

運材用索道主索の設計および検定法に関する研究

助教授 加 藤 誠 平

Seihei KATO:

Studies on the Skyline Logging Cables for their Planning and Inspection

緒 言

本報文は著者の運材用索道に関する研究中主として主索の設計及び検定法に関する部分を取纏めたものである。本稿を草するに当り多年に亘り御誘掖を賜つた恩師西垣晋作、藤岡光長、山口昇の三先生ならびに本研究に対し終始多大の便宜を与えられた東京大学農学部林学科教授、助教授各位及び特に査閲をわづらわした藤林誠、萩原貞夫両教授に甚深の謝意を捧げる。また本研究中実際の運材用索道の調査実験等に際しては、林野庁、各営林局署、林業試験場、都道府県林務部課、東京大学農学部附属演習林の当局者各位ならびに民間林業家および索道業者各位より多大の御援助を受け、実測や数値計算等に関しては東大農学部森林利用学教室の丸山正和教官、秩父演習林成瀬善高技官その他の職員各位より多大の御協力をうけた。さらにまた多荷重索道の主索の研究に関しては東京教育大学農学部林学科堀高夫講師の協力を負うところが少なくない。これらの各位に対してもまた衷心感謝に耐えない。なお本研究の一部は文部省科学研究費、同科学試験研究費、林野庁の応用研究費等の補助を受けて行つたものであることを附記し併せて感謝の意を表す。幸にして本報文が運材用索道の普及発達に何等か貢献することができれば、著者の悦びこれに過ぎるものはない。

昭和 30 年 1 月 著 者

目 次

第I章 序 論	第2節 荷重の衝撃係数	79
第1節 運材用索道の趨勢と運材系統におけるその地位	第3節 総括	87
第2節 索道運材の特質	引用文献	87
第3節 運材用索道の種類と特徴	第VI章 曳索の影響	
第4節 運材用索道に関する諸問題と主索の重要性	第1節 曳索の張力と主索の関係	88
第5節 主索用鋼索	第2節 単一荷重一方曳索の曳索係数	90
第6節 運材用索道に関する既往の研究	第3節 単一荷重二方曳索の曳索係数	92
第7節 本研究の目的及び範囲	第4節 多荷重二方曳索の曳索係数	94
引用文献	第5節 総 括	94
第II章 索道主索の設計に関する基礎理論	引用文献	95
第1節 拋物線索理論による索道主索の静力学解法とその基本式	第VII章 主索の設計法	
第2節 垂曲線索理論と拋物線索理論	第1節 設計の順序	96
引用文献	第2節 主索の索張り	98
第III章 運材用索道主索に対する拋物線索理論適用の信頼度	第3節 原索線形の算定と作図	99
第1節 主索の緒元とその限界	第4節 設計荷重の算定	100
第2節 測量誤差の程度と設計計算の誤差の許容限界	第5節 索長の算定	101
第3節 無負荷索の線形	第6節 荷重軌跡曲線の算定と作図	101
第4節 負荷索の線形及び荷重軌跡曲線	第7節 最大張力と張力安全率の算定	107
第5節 無負荷索の張力	第8節 最大応力と総安全率の算定	109
第6節 負荷索の張力	第9節 負荷索線形の算定	111
第7節 総括	第10節 計算図表	114
引用文献	引用文献	114
第IV章 補正理論	第VIII章 主索の検定法	
第1節 負荷による支点変位に対する索の垂下量及び張力の補正	第1節 索張りの検定	128
第2節 索長が変化した場合の無負荷索垂下量の補正	第2節 張力の検定	129
第3節 負荷による索の弾性伸長に対する索の垂下量の補正	第3節 計算図表	132
第4節 負荷による索の弾性伸長に対する索の張力の補正	引用文献	132
第5節 温度変化による索の伸縮に対する索の垂下量及び張力の補正	第IX章 多荷重索道主索の解法	
第6節 総括	第1節 多荷重索道の主索	135
引用文献	第2節 多荷重軌跡曲線に関する 2~3 の実験	135
第V章 衝撃荷重の影響	第3節 任意の数の搬器荷重のある主索の最大張力に関する一般解	138
第1節 搬器荷重の運動とその影響	第4節 2個の搬器荷重のある主索の最大張力算定法の吟味	140
	第5節 当値等布荷重法	142
	第6節 当値垂下比等布荷重法	145
	第7節 多荷重索道主索の設計法	147
	引用文献	151
	第X章 結 論	152
	Résumé	154

第 I 章 序 論

第 1 節 運材用索道の趨勢と運材系統におけるその地位

近代林業における運材法は天然河川の流水を利用する管流・筏流等の水運から漸次陸運に轉換し、運材の根幹がトラック運材と軌道運材におかれることとなり、森林経営における運材系統の枢軸は道路および森林鉄道（軌道）により形成されつつある。山元の伐採地から市場または駅土場までの素材搬出にトラック運材または軌道運材の一貫作業を行うことは林業経営上理想的であるが、一般の道路・鉄道ならびに林道および森林鉄道の發達がいちじるしく遅れているわが国における多くの林地では、あらたに長距離にわたる路線を新設しないかぎり、この一貫作業は望むべくもない。しかして森林資源が漸次奥地に移行しつつあるわが国の現状においては、林道または森林鉄道の作設には多額の固定投資を要するから、材価が他の物価に比していちじるしく高騰しないかぎり、この理想の実現は経済上不可能に近い。したがって現実の問題としては、林道または森林鉄道の終点および沿線の要地に「山土場」を設け、伐採地からこの山土場までの区間がいろいろの方法で運材されている。これがいわゆる「山出し運材」であつて、通常このために要する経費は木材生産費中の極めて重要な部分を占めている。したがって山出し運材法の如何が林業経営の死命を制する場合もすくなくないのである。

わが国において旧來行われて来た山出し運材法には「山落し（平落し）」「修羅出し」「鉄砲出し」「玉曳き」「木馬」「雪橇（バツ・ヨツ・バチバチ等）」「作業軌道（豆トロ）」「作業林道（簡易トラック道）」等きわめて多数の種類があるが、「索道運材（架線運材）」はこの山出し運材の一法として昭和初年頃より漸次發達し、戦時中および戦後数年間は資材難のため一時停頓したが、最近数年間においては急速に普及の徴候を示している。運材用索道には一時的な施設が多いために、正確な統計が得られていないが、現在全国では 1000 箇所以上の大小の索道により現実に運材が行われているものと推定される。しかして三重県・和歌山県・静岡県・山梨県・東京都・埼玉県等の一部の地方では、政府の助成政策等とはほとんど無關係に、この索道（架線）運材法が山岳林における最も普通の運材法としてすでに常識化されている事実^{1) 33)}に徴しても、それが十分経済的に裏付けられていることを察知し得るのである。

索道運材と他の運材法との経済的優劣については、個々の場合の嚴密な比較を採らぬかぎり断定しがたいが、すでに索道が極めて有利と判定された 2~3 の例が發表されており、この種の例は全国では相当多数にのぼる公算が多い。著者が従來實地に調査した数十箇所の索道について概括的に考察すると、索道を他の施設より有利とする運材条件は、おおむね

- (1) 地形が急峻複雑な場合
- (2) 運材距離（直線距離）数百米乃至数杆の範圍

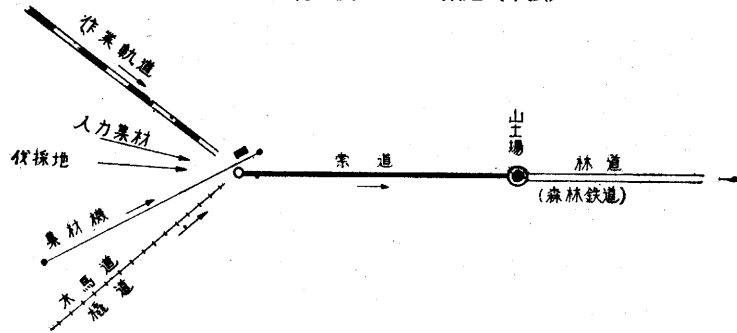
(3) 搬出量1期間 1,000 石乃至年間 30,000 石の範囲

(4) 搬出材の材種(径級・材長・重量等)がはなはだしく不均一でない場合

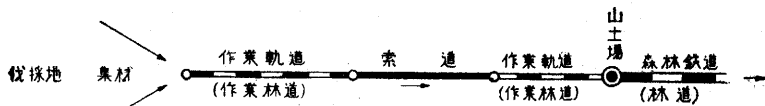
であつて、現在わが国の多くの林業地における出材条件は、大体この範囲に属するようである。したがつて索道運材は今後必然的に普及発達し、旧来の原始的運材法は漸次これに転換されるものと想像される。特に土砂流出、崩壊等のおそれがあつて林地の保全上特別の注意を要するがごとき場合には、当然優先的に索道運材が考慮されなければならない。

運材系統の観点から索道を見ると、索道それ自体は集材能力を持たないから、必ず何等かの集材施設と関連して設置されることとなる。すなわち索道への素材供給は多くの場合、木馬・豆トロ・集材機等により行われ、これを索道により林道または森林鉄道まで搬出するのが最も一般的な場合である。次に索道は他の山出し運材施設の中継施設としても極めて有利に利用せられる。すなわち地形の急峻な山岳林における森林鉄道または林道においては下部路線と上部路線の間を

(1) 山出し運材施設としての索道(単独)



(2) 同上(中継施設)



(3) 集運材一貫機械化施設としての索道

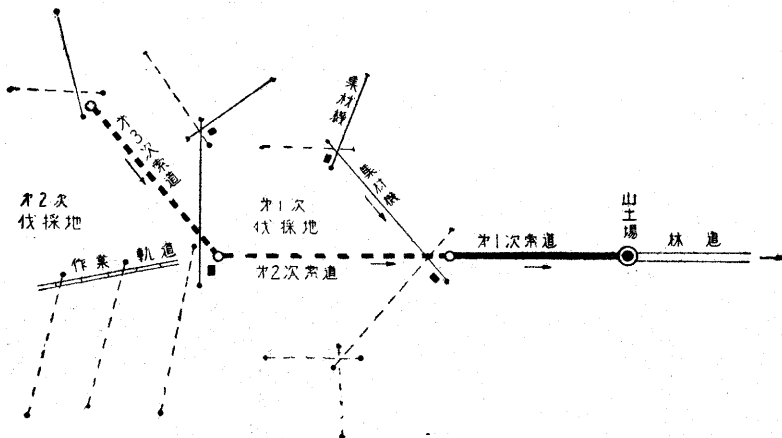


図-1/1

しばしば地面索道（インクライン）によつて中継せられていたが、近時これにかわるべき有利な施設として架空索道が採用せられる場合がある。さらにまた最近では索道と架空線集材機とを併用する新しい運材方式が採用されはじめた。これは戦後におけるわが国の林業政策の要請より、山脚の遠い奥地林開発が進展するに従い、集材機の進歩と相まつて、索道により集材機を上方に送りこみ、さらに集材機の移動に伴つて索道を順次延長して、広範囲にわたる集運材を合理的かつ経済的に遂行せんとするものである。これは索道が単なる山出し運材施設たるにとどまらず、奥地林開発上の機動的機械化作業施設の一環として重要な役割を演ずることとなつたことを意味し、運材系統における索道の地位はますます高く評価されねばならぬ。これを要するに運材系統における索道の地位は、

- (1) 適当な集材施設を伴う山出し運材施設
- (2) 他の運材施設（主として作業軌道）の中継施設
- (3) 架空線集材機を併用する集運材一貫機械化施設

として極めて好適かつ重要なものと云うべく、図—1/I はこの関係を模式図によつて示したものである。

第2節 索道運材の特質

索道運材は俗に架線運材と称せられ、運搬法としては架空索道運搬^{*}に属するものである。その特色は地形および地表障害物に拘束せられることなく、土工等の大規模の工事をほとんど必要とせず、2地点間最短距離の運搬を可能ならしめる点にある。したがつて索道運材は地形が複雑急峻な箇所においては経済上ならびに林地保全上他のいかなる地上運材施設よりも有利である。しかしながらこの運材法は空中に張り渡した索により運搬荷重を支えて走行せしめるのであるから、当然索の強度に支配されて、道路・軌道等の地上施設による場合に比べると運搬可能な荷重単位がいちじるしく制限される。索道が薪炭材・木炭・人工林小径木素材の搬出には古くから利用されているのに反して、天然林大径木素材の搬出用としての使用が比較的遅れていたのはこのためである。近時索道が中径木・大径木素材の搬出にさかんに使用され始めたのは、鋼索の品質の向上に負うところが少なくない。索道の積載荷重単位は通常 6~8 石 (1.5~2.0 t) 以下であつて、トラックの 20~30 石 (5~7 t) 軌道台車 (単車) の 10~16 石 (2.5~4 t) に比べていちじるしく小さい。積載荷重単位が小さいことは搬器の自重に制限を与え、積荷にくらべて極めて軽量の搬器が要求されることとなり、その結果搬器車輪はトラックや台車に比べていちじるしく小型となる。索に最善の条件を与えても車輪の回転数はある限度以上にはできないから、索道における搬器の走行速度はこれによつて制約を受ける。単支間斜降索道のごとき最も単純な索道においてさえ、走行速度は 8 m/sec (480 m/min, 28.8 km/hr), 多支間循環式索道においては

* Aerial cableway, Aerial ropeway, Skyline cableway, Schwebelbahn, Seilbahn, Luftseilbahn.

2.0 m/sec (120 m/min, 7.2 km/hr) がおむね上限とされている。このように積載荷重単位が小さく速度が遅いということは、その運材能力に一定の限度があることを意味し、索道が地上施設よりも有利なのはこの限度以内においてのことである。

架空索道は元来鉱山用（鉱石運搬）あるいは建設用（材料運搬）として発達したもので、その後遊覧用旅客索道あるいはスキーリフトのごとき施設を生むに至つたが、歴史的には軍用および林業用としての利用も古い。初期の林業用索道はいわゆる索修羅²⁾のごとき極めて簡単な重力式索道であつて、これはわが国でも野猿（矢遠）と称せられて古くから山間で用いられたようである。この簡易な架線施設にもそれなりの長所があり、これに鉱工業用索道の長所が取入れられ、また鋼索・搬器等の機材の改善と相まつて、林業用索道は鉱工業用索道とは異なる独自の発達を見たのである。鉱山用および建設用索道は元来特定の2地点間に積載荷重単位の比較的小さな一定量の荷物を相当長期にわたつて継続的に輸送することを目的として作られるから、一搬に相当大規模な固定的施設となり経済的にも相当多額の投資をゆるされる。しかるに林業用索道においては年々の伐採箇所が異なり、搬出すべき木材は広範囲の地域に分散しており、かつその木材はすでに特定の容積と重量を有してこれを任意の単位に分割することができない。これは索道運搬にとつては相当の悪条件である。しかしながら積載荷重単位の比較的大きな索道を、比較的小額の経費で作設することができて、しかもこれに相当の機動性を賦与することができるならば、これらの悪条件は解消して、きわめて有利な運材施設として成立する。現在わが国において普及しつつある運材用索道も、スイス、オーストリー等のヨーロッパ山岳国において用いられているものも概ねこの範疇に属するものであつて、特に彼我の間にほとんど技術交流の形跡がないにもかかわらず、彼地の代表的な運材用索道である索修羅および Valtellina 式索道³⁾とわが国の重力式索道および多支間循環式索道とが極めて類似した施設であることは非常に興味深く感ぜられる。

前記のごとく索道を有利とする運材条件は、かなり大きな巾を持つているから、運材用索道の規模様式はそれぞれの現場の出材条件に適合するように工夫されて、野猿のごとき簡易な施設から大規模の長支間索道あるいは多支間索道に至るまで極めて多くの種類を生じた。これは現場ごとの経済効果を追及した結果ではあるが、その反面、設計作設の技術を繁雑化せしめ、部品的大量生産化を阻止している原因でもある。

以上は運材用索道の特質、特に鉱工業用索道との差異の概要であるが、これらのことが作設の技術の上にも、設計の基礎理論の上にも大きく影響してくるのである。すなわち鉱工業用索道の作設技術および設計理論は、到底そのままでは運材用索道には適用しがたいものであつて、ここにこの分野での特に掘下げた研究が必要となつてくるのである。

すでに前節に記したように、索道（架線）は運材系統中において重要な地位を占めるものであ

* Seilriesen

るから、本来ならば現状よりもはるかに高度の普及発達をとげていなければならないと考えられるのであるが、それが現状の程度にあることについては、その普及発達を妨げている原因があるはずである。著者はこの原因の主要なものとして次の3者を指摘したい。

- (1) 索道施設の主体をなす鋼索の価格が比較的高価なこと
- (2) 運材用索道の設計作設等に関する基礎理論ならびにその実用に関する基準が確立されていないこと
- (3) 実際の運材用索道の多くが科学的基礎の乏しい経験者の勘によつて作設されているため普及性に乏しく、かつ不慮の失敗におちいることがしばしばあること

これらの内(1)は林業の範囲のみで解決することが困難であるから、それをしばらく措くこととすれば、先決問題は(2)の原因を早急に解消することである。(3)の原因は(2)に対する成果を実用的な形にして現業の第1線に流すことにより大部分おのずから解決されるであろう。したがつて運材用索道に関する研究は(2)に関する問題を対象として着手されなければならぬ。きわめて簡易な施設については必ずしも厳密な設計や検定を要せぬ場合も多いが、中規模以上の索道、特に最近いちじるしく要求の高まりつゝある重荷重索道、長支間索道および長距離多支間索道の作設ならびに保守に対しては、厳密な設計および検定の理論とその実用的な応用法の確立を急務とするのである。

第3節 運材用索道の種類と特徴

運材用索道には前記のごとき理由により相当多数の種類がある。いまこれを諸種の角度から分類して、おのおのの特徴を摘記すればおゝむね次のとおりである。

1. 機構および構造様式による分類

(a) 搬器の走行機構による分類 (図—2/I)

I 単線式 Mono-cable system

無端架空索の各所に一定間隔で多数の搬器をグリップにより固定し、この索を低速度で循環的に運転する方式で、主索・曳索の区分がない。支柱上では溝車により索を支える。荷重が比較的大きく運転速度が大きい場合には索の消耗が早い。大径の索を運転するために起点終点に大径の溝車を用いる必要がある。鋳工業用には広く採用されているが、運材用には一般に適さない。我が国では薪炭材用の軽架線に試用されており、フランス系の Lasso 式索道は薪材・パルプ短材の搬出に用いられている。

II 複線式 Bi-cable system

固定された架空索(主索または軌索)上に車輪(滑車)を有する搬器を懸け、これを別の曳索によつて運転する方式で、常に主索と曳索の2種類の索を用いる。前者はもつぱら荷重を空中に支えて搬器走行の軌道となり、後者はもつぱら搬器の走行をつかさどる。支柱上では主索

は支持金具（受杏）によつて支え、曳索は溝車またはローラーによつて支える。比較的大きな荷重を相当の速度で走行させることができる。普通の運材用索道はほとんどすべてこの方式に属する。

Ⅲ 自走式

固定された架空索上に車輪を有する搬器を懸け、重力によりこれを自走せしめる方式で、曳索を用いない。搬器を適当な速度で走行させ目的地に到達せしめるためには支間の傾斜角、荷重の重量ならびに索張りに相当大きな制限があるから、本格的運材には不適當であるが、鉄線運搬、野猿等の簡易施設として多く用いられ、薪炭材・木炭等の搬出に適する。

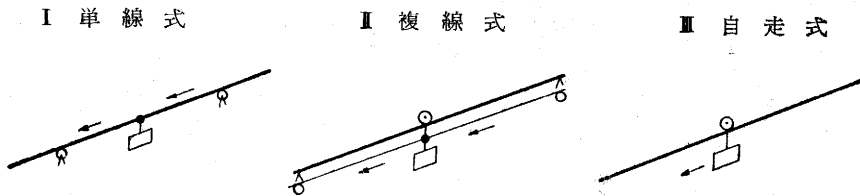


図-2/I

(b) 軌線数による分類 (図-3/I)

- I 単軌線式 $\begin{cases} A & \text{往復式} \\ B & \text{交走式 (乗越式・触過式)} \\ C & \text{循環式} \end{cases}$

索の節約のため複線式において主索1本を用いる方式である。搬器の運行法により往復式・交走式・循環式に分けられる。

A 往復式は1個の搬器を曳索により往復せしめるので必ず動力を要し、かつ短距離でない¹⁾⁴⁾⁵⁾⁶⁾と能率が悪い。流送材の陸揚げ、工所用材料の上げ荷等に用いられるが、一般運材用としては Wyssen 式集材機のごとき特殊の装置を用いる高速度機種のほかは不適當である。

B 交走式は2箇の搬器を用い曳索により上下交互に走行せしめるもので、下げ荷には動力を必要としないが、搬器の行き違いのために乗越装置付搬器または触過装置が必要である。この考案は特殊の搬器または特殊の装置を要するので普及性に乏しく、現在ではまったく使用されていない。

C 循環式は単支間の場合に複軌線式の復索を省略し空搬器を曳索のみによつて返送するもので、運材量があまり多くない場合に有利に用いられ、この方式は俗に半架線またはテール架線と呼ばれている。フランス系の Lasso 式索道の用材搬出用のものもこれに属する。

- II 複軌線式 $\begin{cases} A & \text{両線負荷式} \\ B & \text{一線負荷式 (復索式)} \end{cases}$

左右1対の軌索を用いる最も普通の複線式索道の方式で、俗に本架線と呼ばれている。

A 両線負荷式は軌索（主索）に同一太さの索2本を用い、実搬器と空搬器が左右の索上を交互に上下するものである。

B 一線負荷式は軌索の1本は太く1本は細いものを用い、実搬器は常に太い方の索上を、空搬器は常に細い方の索上を走行せしめるものである。この場合太い方の軌索が主索、細い方の軌索が「復索」または「返り線」と呼ばれる。A、Bともに運材用としては最も広く用いられている。BはAに比べて軌索の経費を節約し得るが、交走式運転の場合には搬器の懸替を要し、循環式運転の場合には重量物逆送の場合に逆回転を要することが多少不便である。

III 多軌線式

荷重が特に大きい場合には複軌線式では軌索に大径の索を用いる必要があり、架設上困難を伴うので、中庸の索2本以上を1組として用い、全体として4本以上の軌索を張り、搬器には複列車輪を用いる。この方式は台湾において大材の搬出用に用いられたが現在わが国ではほとんど用いられていない。長支間重荷重索道ではこの方式も考慮せらるべきである。

I 単軌線式 (1) 往復式 (2) 循環式 II 複軌線式 III 多軌線式

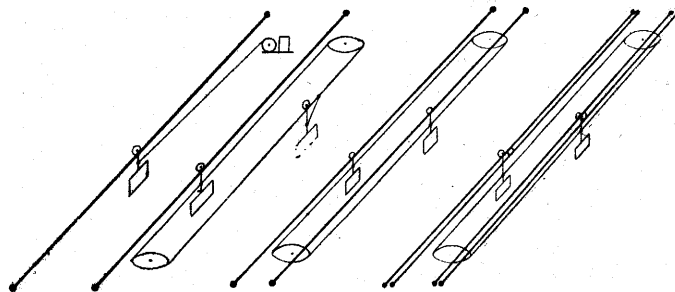


図-3/I

(c) 曳索の運転方式による分類 (図-4/I)

I 往復式

架空線集材機の搬器のごとく1本の軌索上を1個の搬器が往復する方式で、単軌線式の場合にのみ用いられる。

II 交走式 { A 釣瓶式 B テール線式

左右2線の軌索上を実搬器と空搬器が交互に上下する方式で、きわめて短距離または軽荷重の場合は井戸の釣瓶と同様の A 釣瓶式が用いられ、長距離または重荷重の場合には尾索(テール線)を用いて B テール線式とし運転の安全円滑を確保する。いずれの場合にも曳索受溝車またはテール線受溝車は搬器の一往復ごとに正回転と逆回転をする。A、Bともに単支間、複軌線(両線負荷)重力式索道に用いられ、単一荷重式(単送式)として機構が最も簡単で走行速度も大きくできるから、短中距離の運材索道には最も一般的に採用されている。ヨーロッパにおける索修羅もこの方式に属する。特にBは完全な制動装置を用いれば重荷重長支間の場合にも適する。

III 循環式 (エンドレス式) $\left\{ \begin{array}{l} A \text{ 単支間式} \\ B \text{ 多支間式} \end{array} \right.$

無端曳索を上下支間に設置した溝車にエンドレスに掛けて、グリップ (抱索器) または特殊の鈎または鑿により搬器に曳索を連結し、搬器を常に同一方向に運行させる方式で、曳索は常に同一方向に運動する。

A 単支間複軌線 (一線負荷) 重力式索道にこれを用いる場合は上下支間において曳索受溝車を反転して搬器の懸替を要する以外はIIと同様であるから、搬器の取扱いが容易な中小径木の運材用として広く用いられている。

B 多支間長距離索道ではI, IIは能率が悪いので、ほとんどすべての場合グリップ (手付式または自付式抱索器) を用いた多荷重連送循環式が採用されている。これは運材用としてはわが国でも比較的新しく取入れられた方式であるが、急速に普及発達しつつあり、スイス、イタリアおよびフランスのアルプス地帯山岳林において多く用いられている Valtellina 式もこの方式に属する。搬器荷重を連送式にすれば、運転速度 (索速度) が小さい割合に運材能力を大きくすることができる。

IV 自走式

曳索を用いずにもつばら索張りの調節により重力で搬器を自走せしめる方式で、簡易な鉄線運搬またはこれに類する小規模の施設として、薪炭材・木炭・間伐材・パルプ用材等の搬出に用いられる。カナダの KOROLEFF 式鉄線運搬もこの方式に属する。本格的運材に不適当なことは云うまでもない。

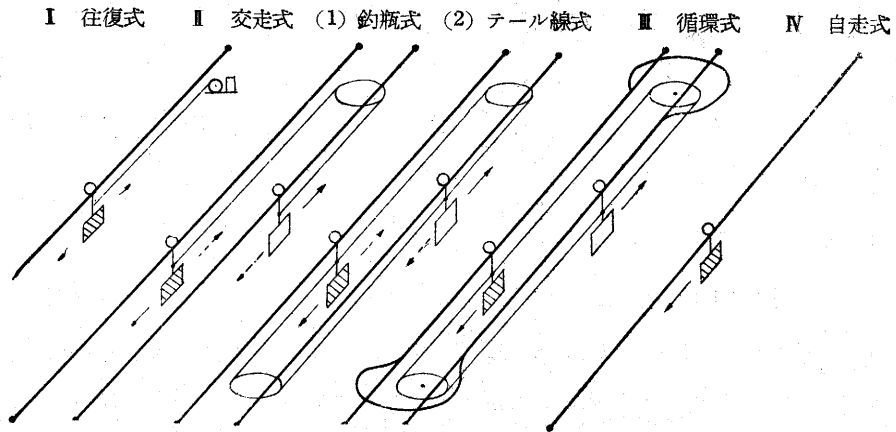


図-4/I

(d) 支間数による分類

I 単支間式 $\left\{ \begin{array}{l} A \text{ 純単支間式} \\ B \text{ 補助支柱付単支間式} \end{array} \right.$

主索を起点終点間に単支間で張る最も単純な方式で、現存する運材用索道の大半はこれに属する。支間に鳥居型支柱を設け、その背後で主索端を緊結するものが A 純単支間式である。

地形および盤台との関係で支点附近に補助支柱を設けることがあるが、これは支柱と補助支柱間の距離が主支間に比べて極めて小さいから単支間式の範疇に属せしめるのが適當である。これが B 補助支柱付単支間式である。A, B ともに構造が最も簡単で作設も容易であるから、運材用として応用範囲が最も広い。しかし索の強度と索張り（垂下）の関係上、支間長にはおのづから限度がある。現在わが国の単支間式は支間長 1,000~1,200 m 程度以下のものが多く、最大約 1,400 m である。もつとも多支間式索道中の最大支間には、2,000 m に達するものがあり、オーストリーには単支間式で 2,400 m の例もあるから、およむね 2,000 m 程度までの単支間式は考慮し得るが、それ以上の長距離索道では中継式にしないかぎり使用困難である。

II 多支間式 $\left\{ \begin{array}{l} \text{A} \text{ 主索連続式} \\ \text{B} \text{ 主索中継式} \end{array} \right.$

起点終点の中間に支柱を設け、主索を多支間に張る方式で、地形が複雑なときおよび長距離の場合に採用される。一連の主索を張るものが A 主索連続式、主索を途中の支点箇所で分割して緊結し、その点を懸垂軌条で連絡するものが B 主索中継式である。B は支柱設備が若干複雑になるが主索の修理等の場合に便利である。多支間式索道は鉱工業用索道としては最も普通であるが、運材用としては戦後急速に発達したもので、まだ実例は少ないが各地で良好な成績をあげているから、将来さらに普及発達の可能性が大きい。多支間索道の搬器は支点通過の際衝撃を受けるので、走行速度は単支間式ほど大きくすることができないが、多荷重連送式の採用と自動グリップ装置の改良により運材能率を高めることができる。

(e) 主索の緊張法による分類 (図-5/I)

I 定張力式 (変索長式, 平衡錘式, 調整式)

主索の張力をほぼ一定に保つために、主索の一端に平衡錘または類似の原理による張力自動調整装置を用いる方式で、搬器荷重の移動に伴い索長が自動的に変化する。鉱工業用索道はほとんどすべてこの方式によっているが、運材用にこれを用いることはまれである。調整装置の作設費がかさむこと、負荷支間の垂下量が増すことなどが林業用に用いられない主な理由であるが、調整装置を用いても主索の支持に滑車を用いず支持金具(受容)を用いた場合には摩擦力のために必ずしも理論どおりの調整が行われず、不定張力式と大差のない結果になることが

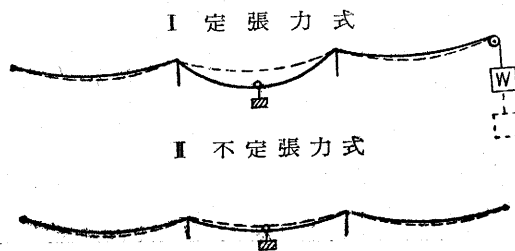


図-5/I

あることも実際上の問題として留意すべきであろう。

II 不定張力式 (定索長式, 両端固定式)

主索の両端を固定し索長をほぼ一定に保つ方式で、搬器荷重の移動に伴い索の支点張力は変化する。設備が簡単なと、負荷支間の

垂下量が少ないために、運材用索道にはほとんどすべてこの方式が採用されている。両端固定といつても、これを恒久的に固定するのではなく、少なくとも一端には索長の調節をつかさどる装置（巻胴・ターンバックル・ソケット・遊動溝車等）を設ける。

2. 路線形による分類

(a) 平面形による分類 (図-6/I)

I 直線式

起点終点間の全区間をほぼ直線とするもので、最も普通に採用される。2以上の直線式索道を直列に接続して設け中継式に屈曲して運材することもあり、このとき積載したままの搬器を懸垂軌条により送るときは、この中継地点をカーブステーションとよぶことがあるが、これは単に直線式の組合せと考うべきものである。

II 曲線式 { A 曳索中継式 B 曳索連続式

路線の途中に屈曲部をおき、主索の曲折部に懸垂軌条による曲線を設けて搬器を起点終点間連続運行せしめるものである。このとき各支間ごとの曳索を独立のものとし、屈曲部ごとに作業員を配して曳索の附替えを行うものが A 曳索中継式、全区間に連続した曳索を用いて連続運転するものが B 曳索連続式である。Aは搬器の取扱いが容易な小中径木の運材に多く用いられ、屈曲角に制限が少ないので屈曲の大きいときにも適し、かつ左右いずれの屈曲も自由である。Bは屈曲部に特殊の曳索受滑車を配して連続運転するため作業員の配置を要しないが、現在のところ1箇所の屈曲は20°前後が限度とされ、かつ左右屈曲(Sカーブ)の設置は困難である。これは極めて最近考案された方式³³⁾で未だ実例は少ないが、運材能率は比較的よい。この種のもので左右屈曲および急屈曲の自由なものが現在考案されつつあるので、その実用化が期待される。

I 直線式 II 曲線式 (1) 曳索中断式 (2) 曳索連続式

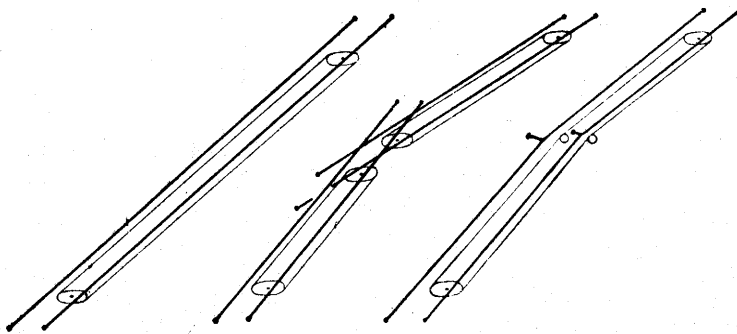


図-6/I

* 東京営林局水窪営林署大俣索道、長野営林局藪原営林署笹尾沢索道、伊邦営林署大黒沢索道等

(b) 縦断形による分類

I 斜降式

重力により実搬器を上方より下方に降下させる下げ荷の方式で、運材用としては最も一般的なものである。

II 引上式

動力を用いて実搬器を下方より上方に引上げる上げ荷の方式で、運材用としては特殊の場合にのみ用いられる。

III 峯越式

逆勾配区間を挿入し、部分的に上げ荷、下げ荷または水平移動が行われる方式で、地形が複雑な場合および流域の異なる伐採地からの運材用に用いられる。一般に中長距離の多支間多荷重式とし、順勾配区間を降下する搬器荷重の重力を逆勾配または水平区間の搬器の運行に利用し、必要に応じ補助動力を用いる。

3. 動力の種類による分類

I 重力式（自動式、自転式）

もつばら積荷の重量を利用して搬器を自動せしめ、曳索を制動して運転をつかさどる方式で、運材用索道は大部分これに属する。

II 補助動力式

斜降式または峯越式で積荷の重力のみでは動力が不足の場合補助動力として小出力の内燃発動機（または電動機）を用いる方式である。この動力は架設用の動力源としても利用し得るので中長距離索道では補助動力の採用が増加しつつある。

III 動力式

内燃発動機または電動機により運転する方式で、引上式および起終点間の高低差が少ない長距離索道に採用される。

4. 路線距離および支間長による分類

(a) 路線距離による分類

I 短距離式

全長おおよそ 500~600 m 以下、索張りが容易であるから主として単支間式として広く用いられている。

II 中距離式

全長おおよそ 2,000 m 以下、山出し運材距離として最も普通であるから近時急激に増加しつつある。

III 長距離式

全長おゝむね 2,000 m 以上, 奥地林開発用 その他林道等の 幹線運材施設が不十分のとき用いられる。7,000~10,000 m に及ぶものも漸次作設される傾向にある。殆んどすべての場合多支間多荷重循環式が採用されている。

(b) 支間長による分類

I 短支間式

1支間長おゝむね 500~600 m 以下, 比較的小径の索が用いられ, 索張りが容易であるから簡易な施設に適する。

II 中支間式

1支間長おゝむね 800~1,000 m 以下, 単支間式, 多支間式ともに運材用として最も多く遭遇する支間長である。

III 長支間式

1支間長おゝむね 800~1,000 m 以上, いわゆる 山脚が遠く, かつ 支柱作設が困難な谷越運材等の場合に用いられる。

5. 荷重による分類

(a) 荷重の種類による分類

I 軽荷重式

薪炭材・木炭・間伐材等の搬出用で, 軽架線と称せられ, 搬器の積載量 (1 荷の重量) おゝむね 250 kg (1 石) 以下, 簡易な施設として普及しつつある。

II 中荷重式

針葉樹小中径木用材またはこれに相当するものの搬出用で, 搬器の積載量 (1 荷の重量) おゝむね 1,000 kg (4 石) 前後, 運材用として最も広く用いられている。

III 重荷重式

天然林針・広葉樹中大径木用材またはこれに相当するものの搬出用あるいは軌道台車の中継用で搬器の積載量 (1 荷の重量) 2,000 kg (8 石) 以上, 未だ実例は少ないが, 奥地天然林の開発に伴い, この種のものに対する要求が高まりつつある。

(b) 荷重数による分類

I 単一荷重式 (単送式)

主索に常に 1 個の搬器荷重が作用するもので単支間式はおゝむねこれに属する。

II 多荷重式 (連送式)

主索上に一定間隔で 2 個以上の搬器荷重を掛け一連の曳索で連結して運転するもので, 中距離および長距離索道に採用される。多支間索道で搬器間隔が支間長よりも大きい場合は, その支間については単一荷重式となる。

第4節 運材用索道に関する諸問題と主索の重要性

前節の分類により我々が研究の主たる対象とすべき運材用索道の種類，すなわち現在広く使用されている重要なものおよび将来重要性が高まることが予想されるものを抽出するとおおむね次のとおりになる。

(1) 機構および構造様式

- (a) 搬器の走行機構……………複線式
- (b) 軌線数……………複軌線式
- (c) 曳索の運転方式……………交走式・循環式
- (d) 支間数……………単支間式・多支間式
- (e) 主索の緊張法……………不定張力式

(2) 路線形

- (a) 平面形……………直線式・曲線式
- (b) 縦断形……………斜降式・峯越式

(3) 動力の種類……………重力式・補助動力式

(4) 路線距離および支間長

- (a) 路線距離……………中距離式・長距離式
- (b) 支間長……………中支間・長支間

(5) 荷重

- (a) 荷重の種類……………中荷重・重荷重
- (b) 荷重数……………単一荷重・多荷重

これらはすべて複線式に属し，共通な重要点は主索（軌索）が索道構造の主体をなしていることであり，運材の実際から見ても索道の成否は一にいかなる主索をいかに張り渡すかにかかっていると云つても過言でない。

また，いま中規模の索道，すなわち年間運材量 10,000 石，距離 1,000 m 程度のものについて，運材費を概観して見ると，昭和 28 年の物価を標準として，

作設費（鋼索および附属機械器具および作設一式）	1,000,000～3,000,000 円
同上石当り経費（3ヶ年償却）	30～100 円/石
運材作業費（作業員労務者人件費，消耗品費，修理保守費一式）	25～50 円/石
石当り運材費	55～150 円/石

の程度のものが普通であつて，木馬道等の施設に比べて固定費は高額であるが，作業費は著しく低額である。したがつて索道運材の経済効果は主として固定費（作設費）に支配されることとなる。しかも通常作設費の 50～70 % は主索（軌索）の購入とその架設のために費されるので，こ

の主索をいかに適切に設計作設するかの問題は経営経済上重要な鍵となる。しかして実際問題としてはこの主索費をできるだけ切詰めようとする要請から、旅客用あるいは工鉞業用索道に比べて安全率をはるかに低いものが運材用に採用されることとなり、ここに運材用索道特有の厳密な検討を要する問題がはらまれている。たとえば労働省の調査による林業労働死亡災害率⁸⁾を見ると運材関係のそれは全林業の^{*}その65%を占めるが、その中で索道運材は26%を占め木馬運材に次で高率を示している。この原因の大半は安全率が低くかつ施設が不適當であることに存するものと考えられる。さらにまた曳索はその検査ならびに修理交換等が比較的容易であるが、主索はそれが相当困難であるから、当初の設計が極めて重要であるとともに、有効な検定法を案出することもまた極めて必要である。

かくして運材用索道においては、構造上ならびに経済上、各種類の索道を通じて共通にして、かつ最も重要な問題として、まず主索（軌索）に関する諸問題が取上げられなければならないことになるのである。運材用索道に関してはもとより他にも重要な問題がすくなく存在する。なかんずく（1）曳索の正確な算定法（2）主索および曳索の耐久力の判定および磨耗対策（3）索の支持構造（4）索の緊張・固定・調節装置（5）制動および動力装置（6）搬器の構造および材質（7）鋼索の構造および材質（8）曲線装置（9）發送装置（10）施工法特に索の架設法等はいずれも早急に解明を要する事項である。しかして、これらの諸問題については各方面でそれぞれの研究が進められているが、著者は本邦各地における運材用索道の実情を調査した結果、最も基本的な主索の問題を再検討することが極めて緊要なことを痛感するに至つたのである。

第5節 主索用鋼索

一般に複線式索道の主索用鋼索に対して要求される性質としては

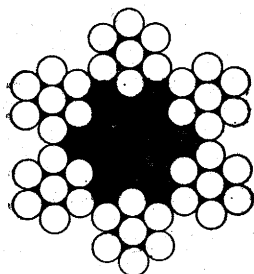
- （1）張力に対する強度が大きく適度の弾性を有しかつ疲労限が高いこと
- （2）索の表面が平滑で搬器車輪面との接触面積が大きく、磨耗耐力が高いこと
- （3）柔軟で取扱いやすく、かつ曲げおよび横圧力に対する強度が大きいこと

等が挙げられ、これらの要求に応ずるものとして製作使用されている索道主索用鋼索には次のような種類がある。（図一7/I参照）

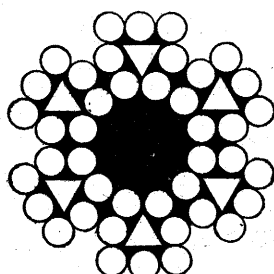
- （1）マルチプルストランド型鋼索
- （2）フラットドストランド型鋼索（三角心・階円心）
- （3）スパイラル型鋼索
- （4）ロックトコイル型鋼索
- （5）セミロックトコイル型鋼索

* 全林業の死亡災害率は他産業のそれに比べて相当高い。

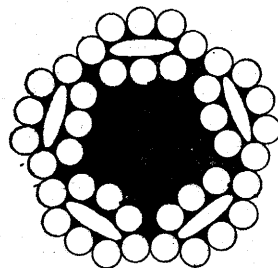
- (1) マルチプルストランド型 (2a) フラットンドストランド型 (2b) 同左(階円心)
(三角心)



(3) スパイラル型



(4) ロックトコイル型



(5) セミロックトコイル型

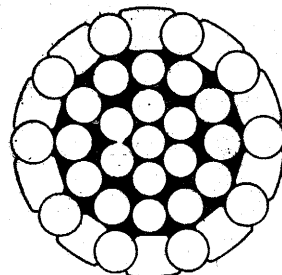
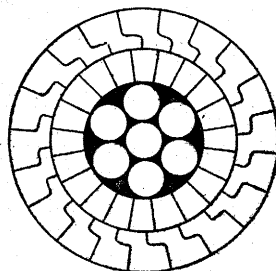
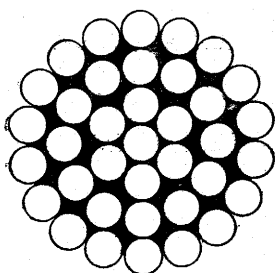


図-7/1 主索用鋼索

これらの内、わが国において運材用索道に使用されているものは殆んどすべて丸線マルチプルストランド型で、多くは日本工業規格 JIS 3525 に規定された 6×7 中心繊維ラング撚り裸不反撥性鋼索に相当するものである。すなわち鋼索素線の破断強度 145~175 kg/mm² (特殊のものは 180 kg/mm² 以上) 素線ヤング率 20,000~21,000 kg/mm²、鋼索ヤング率 9,000~11,000 kg/mm² 程度のものであつて、本研究においてはこのことを一応念頭に置きつつ考察を進めることとする。(第VII章図表-11/VII参照)

第6節 運材用索道に関する既往の研究

1. 主要業績

索道に関する既往の研究は決してすくなくない。AMMANN,⁹⁾ DUHM,¹⁰⁾ 苫名¹¹⁾等はその著書に極めて多数の文献を掲げている。著者は未だこれら数百篇に上る文献のすべてを通読し得ていないが、それらの中の代表的な業績は、STEPHAN,¹²⁾¹³⁾ DUHM,¹⁰⁾ CERETTI,²⁾ AMMANN,⁹⁾ CARSTARHPEN,¹⁴⁾ KOROLEFF,⁷⁾ BLYTH,^{15) 11)16)17)} 苫名,¹⁸⁾¹⁹⁾ 渡辺のそれであるといつてよいであろう。しかしこれらと比較して見ると、おゝむね次のようなことが指摘される。

STEPHAN, DUHM, AMMANN 等のドイツ系の学者は基礎理論として垂曲線索理論を採用し、

* 最近小繩中心に星型素線を用いたものも用いられている (例-帝国産業K.K. スターロープ)。

** 外国品には 200 kg/mm² 級のものがある。国産原料を用いた国産品では最近 180~190 kg/mm² のものが製造されるようになった (例-川崎製鉄K.K. 強力ロープ)。

単一荷重索道につき一応体系の整つた設計理論を完成しているが、その応用面においてはしばしば近似式を採用し、その条件はわが国の運材用索道と相当異なる場合が多いので、これをそのまま用いることは実情に即さない。

CARSTARPHEN, BLYTH 等の英米系学者は極めて実用的立場から索道の構造様式を論じているが、基礎理論については特記すべきものが無い。CARSTARPHEN が基礎理論として単一荷重索道に抛物線索理論を採用した点はドイツ系学者と対比して興味深いが、設計法としては始終点間の高低差を無視した近似式を採用しているので、わが国の運材用索道にそのままでは適用しがたい。

CERETTI のごとき イタリア系学者は主として多支間長距離索道に関する実用的設計法を完成し、近似抛物線索理論を基礎とし、索応力ならびに安全率については独自の理論を提示しているが、設計には結局実用係数を採用しており、これは定張力式（調整式）主索を対象としたものであるから、不定張力式の場合にこれをそのまま採用することには疑問がある。

カナダの KOROLEFF はソ連系学者であつて、その研究は主として簡易鉄線運搬を取扱い、線材として特殊鋼を使用した暫新な面を持つが、基礎理論に乏しい。

苦名の業績は運材用索道主索の設計理論に関する限り最もよく整理されたものであつて、これはわが国既往の主要業績たる網島²⁰⁾、持田²¹⁾、藤岡²²⁾、西垣等²³⁾の研究より一段の飛躍を見せたものである。すなわち苦名は基礎理論として垂曲線索理論を採用し、相似性の原理を利用していわゆる基本形式索道理論を誘導し、これを実用化する一方途を案出した。

渡辺もまた基礎理論として垂曲線索理論を採用して逆双曲線函数を用いる算法を案出し、さらに交走式単一荷重索道の場合に曳索張力を同時に考慮した主索の解法を提示した。

本邦における文献中一般にしばしば参考に供されるものとしては中村(元)²⁴⁾、中村(猪市)²⁵⁾、二宮等²⁶⁾の業績もあるが、これらは主として諸外国における既往の業績にのつとり、かつ工鉄業用索道を主たる対象として書かれたものであつて、本質的には特記すべき内容を持たない。これに反して最近における本多・山脇²⁷⁾、斎藤²⁸⁾、加藤(正育)²⁹⁾、佐々木等³⁰⁾の業績は部分的問題に関する研究ではあるが、運材用索道に関する限り参考に値するものである。また山口³¹⁾は純粋な応用力学上の問題として示唆に富む暫新な索張力の近似解法を示したが、その適用範囲は局限されているように思われる。

2. 索道主索に関する既往の理論とその批判

完全に曲りやすい索を2点で支えた場合、その索線が垂曲線形となることは物理学上古くから知られている。垂曲線は双曲線函数式で示されるが、曲線形が極めて扁平な場合には抛物線形に近似し、曲線式は2次の代数函数で代用し得る。次に任意の垂曲線索が等布荷重の作用を受けるとき、索の自重に比べて荷重が大きい場合には、索線形は十分正確に抛物線として取扱い得ることは応用力学上既知であつて、吊橋の主索の設計理論はこれによつて解決されている。また任意

の垂曲線索が単一集中荷重の作用を受けるとき、索の自重に比べて荷重が極めて大きければ、糸に錘を懸けた場合のごとく、索線形は直線となり、このとき荷重点が2支点を焦点とする隋円上にあることは解析幾何学上既知である。しかるに索道における主索と荷重との関係は吊橋や糸の場合のように簡単でないから、既往の設計理論は、索や荷重をいかに仮定するかによつて、その基礎を異にしている。索道主索の設計または検定上最も基本的な問題は索の張力および索線形（垂下量）の算定法であるから、この見地から在来の代表的な理論を検討して見るとおゝむね次のような特色と欠陥とが指摘される。

A 支点の変位および索の伸縮を無視した理論

既往の理論はいずれも、支点に変位が起らず、温度変化や索の弾性に起因する索の伸縮が無いものと仮定した基礎理論に出發しているが、殆んどすべての場合この仮定が十分満足されない場合に対する補正を行っていない。支点変位の無視は多支間多荷重式索道で隣接支間相互に変位が相殺される場合もしくは荷重が比較的軽い場合には差支えないが、その他の場合には一般に許容しがたい誤差を生ずる。索の伸縮の無視は自動的に索長が調節される定張力式（調整式）主索の場合には問題とならないが、不定張力式（固定式）主索の場合には一般に相当の誤差を生ずる。したがつてこの種の理論は工鋳業用索道に対してはおゝむね妥当性が認められるが、運材用索道に対しては妥当性を欠くことが多い。

B 索の伸縮を考慮に入れた理論

著者が昭和5年に発表した論文³²⁾には、索の弾性伸長および温度変化による伸縮を考慮に入れた場合の理論式を掲げている。しかしこれはすでに吊橋の主索に対する補正理論をそのまま索道主索に適用したものであつて、十分正確な補正值を与えるものでない。すなわち吊橋の場合には活荷重の負荷による張力増加量が、無負荷の張力に比べてあまり大きくないので、弾性伸長率が極めて微小であり、したがつて偏微分法により導いた補正式の誤差は少ないが、索道の場合には相当大きな張力差が生ずるから、弾性伸長率も大きな値をとり、したがつてこの理論式の誤差も大きくなつて実際に適合しない。

C 負荷索線形を拋物線として取扱う理論

多支間・多荷重の工鋳業用索道においては、搬器荷重を等布荷重に換算して同じく等布荷重と見做した主索の自重に加算し、全体として主索を直線的な等布荷重を受ける索と仮定して算定するのが常法とされている。この場合主索の線形は当然拋物線として取扱われる。また、たとえば³⁾CERETTIのごときは線形にはこの理論を用い、応力算定には別に実用式を並用している。この種の理論は支間内の搬器数が多い多荷重式索道においては妥当性が認められるが、単一荷重式もしくは小数荷重式の場合には適合しない。

D 原索線形および負荷索線形を拋物線、荷重軌跡曲線を高次曲線として取扱う理論

原索線形を扁平な曲線と見て近似抛物線式で示し、これより単一荷重の軌跡曲線を誘導し、張力もまたこの垂下量に基いて算定する理論で、CARSTARPHEN¹⁴⁾ および著者がこれを提示した。前者は支間傾斜角を無視した近似式を与えたので支点の高低差の大きな場合に誤差が大きいが、後者は支間傾斜角を考慮に入れてある。いずれも2荷重以上の場合は取扱っていない。

E 原索線形および負荷索線形を共に垂曲線として扱う理論

単一荷重式索道に対し、STEPHAN¹²⁾、AMMANN und GRUENEWALD⁹⁾、DUHM¹⁰⁾、持田²¹⁾、綱島²⁰⁾、藤岡²²⁾、西垣²³⁾、渡辺¹⁸⁾、苦名等^{11), 17)}がいずれもこの理論を採用している。純理論としては垂曲線が抛物線よりも合理的なのは云うまでもないが、垂曲線索理論による設計計算には双曲線函数を用いる必要があり、またこれを展開形の代数函数で置換えても2次の抛物線式よりはるかに複雑となる不便がある。抛物線索理論との優劣は一概に決めかねるが、少なくとも実用的見地からすれば、この種の理論は初学者にとって難解のため普及性に乏しいという欠点がある。

F 曳索張力を同時に考慮した理論

負荷索線形の基本式誘導の基礎となる静力学平衡条件の中に曳索張力を入れて考えた理論で、複線式索道に対する新しい考え方をした理論である。単一荷重交走式索道主索の解法として渡辺¹⁹⁾がこれを提示している。考え方としては極めて合理的であるが、曳索の条件に特定の仮定を設ける必要があるものごとく、この理論の適用範囲も局限されている。曳索張力を除外して主索の問題を解き、曳索張力の影響を別途に考慮して補正を行う一般の方法といずれがまさるか疑問である。少なくとも実用上は算定の手続きが繁雑である。

G いわゆる「基本形」理論

ある一つの索張りをした主索と、同じ比例で索張りされた他の主索との間の相似性を利用し、一つの基本的形の索について求めた索線形、張力等に関する諸関係を任意の索に対して係数の形で適用するもので、垂曲線索理論を基礎として苦名¹⁶⁾がこれを提示した。この考え方は、たとえば桁の計算における影響線の方法乃至は単位荷重の方法等応用力学上多く用いられている方法に類似し、算定の簡便化に役立つ。しかしながらその基礎となつた相似性の原理は支点の変位や索の伸縮が皆無のときにのみ成立し、それらが無視し得ぬ量に達すれば相似性は成立し難い。したがってこの理論も亦完全とは云いがたい。

H 張力重合の理論

原索線形を垂曲線、仮想負荷索線形を直線として扱うもので、索の支点張力を、無負荷原索の張力と、重量のない索に単一集中荷重が作用するものと考えたときの負荷索張力との重合と見なす近似値理論である。山口³¹⁾により提案されたもので、応用力学上興味ある構想であり、スイスのSTEINLIN³⁴⁾もこれと類似した近似計算を採用している。しかしこの理論による解の近似性が高いのは搬器荷重が比較的軽い場合にかぎられ、また索線形乃至は垂下量と張力値の間に関連性

のある結果が得られぬ点は欠陥として指摘し得るであろう。

これを要するに上記のごとき既往の各種理論には、支点変位や索の伸縮を軽視すると云う共通の欠陥があるとともに、基礎理論としては垂曲線索理論、拋物線索理論、張力重合理論の三者が併立しており、いずれが最適であるかについては検討されたことが無く、かついずれの理論も一般的に妥当性の大きな実用的な形で与えられていないので、実際の設計および検定への応用上すくなからざる不便がある。

第7節 本研究の目的および範囲

以上の考察にもとずき本研究は一応その対象をを運材用索道中最も一般的でかつ最も重要な複線式索道の主索に関する問題に限定し、その設計ならびに検定の理論を解析的ならびに実験的方法により厳密に解明するとともに、これに基き実用上有効な設計法及び検定法の標準を確立することを目的とした。この目的のために研究の主眼をまず第一に基礎理論の再検討、特に単支間単一荷重索道主索に対する垂曲線索理論と拋物線索理論の比較検討と支点の変位および索の伸縮を考慮にいれた場合の補正理論の確立におき、次に荷重の走行及び曳索が主索に及ぼす影響を吟味し、次に多荷重索道主索の問題を追及した。而てこれらの基礎的研究に基いて著者が最適と信ずる設計法と実験により確認した検定法を提示し、これを実用に供するために必要な各種の計算図表を作製した。これらの研究の一部はすでに発表したものであつて、一般の実用に供され、また普及の段階に入っている部分もあるが、概ね上記のごとき範囲の研究成果を次章以下に取まとめて論述することとした。

引用文献

- 1) 加藤 誠平：伐木運材経営法 pp. 151~158, 昭 27.
- 2) CERETTI, G.: Aerial cableways. (WALKER, W. J. 訳) New York, 1927.
- 3) MEYR, Rudolf: Seilbahnbau in der Schweiz und in Frankreich, Wien, 1954.
- 4) 加藤 誠平：森林土木学, 昭 26.
- 5) 水野 遵一：「集材機—主としてウィッセン集材機の考え方と性能について」林業機械化情報, 10, 11, 13, 14 号, 昭 26.
- 6) HAFNER, F.: Die Praxis des neuzeitlichen Holztransportes. Wien, 1952.
- 7) KOROLEFF, A. and SILVERSIDES, C. R.: Transport of wood by gravity over suspended wire, Journal of Forestry, Vol. 47, No. 2, 1949.
- 8) 三田村修治：「林業死亡災害の分析とその防止について」林材労月報第 61 号, 昭 29.
- 9) AMMANN, O. und GRUENEWALDT, C. V.: Bergbahnen, Berlin, 1915.
- 10) DUHM, Julius: Seilbahnen (HAUSKA, Leo: Das Forstliche Bauingenieurwesen. Bd. I—2.), Wien u. Leipzig, 1933.
- 11) 若名孝太郎：架空索道の理論と計算, 昭 28.
- 12) STEPHAN, P.: Die Luftseilbahn, Berlin, 1907.
- 13) " : Die Drahtseilbahnen, Berlin, 1916.
- 14) CARSTARPHEN, F. C.: Aerial Tramways, Trans. A. S. C. E., 1928.
- 15) BLYTH, Herbert: Modern telpherage and ropeways, New York, 1926.

- 16) 吉名孝太郎：「森林索道に関する静力学的問題の新解法」，東大演習林報告第 19, 21, 23 号，昭 9, 10, 12.
- 17) " : 架空索道計算法，昭 10.
- 18) 渡辺 治人：「簡易索道の軌索の設計に就て」，林学会雑誌第 13 卷，第 4,9 号，昭 6.
- 19) " : 「交互式索道の索線の曲線，長さ及び張力に関する静力学的研究」，九大演習林報告第 7号，昭 10.
- 20) 網島 政吉：「架空索道及び其の運材能力」，山林公報臨時増刊，大正 7.
- 21) 持田軍十郎：「自働単一徑間索道設計法」，山林彙報，大正 10.
- 22) 藤岡 光長：Notes on aerial wire tramway, Tokyo. 大正 4.
- 23) 西垣 晋作：「鉄索の理論及び計算法」，林学会雑誌第 1号，大正 8.
- 24) 中村 元：鋼索運輸，昭 9.
- 25) 中村 猪市：森林工学，昭 5. 同補遺篇，昭 8.
- 26) 二宮勝太郎：架空索道，昭 18.
- 27) 本多三雄，山脇三平：「実際に使われている集材機主索の張力と垂るみ量」，日本林学会誌，Vol. 34, No. 5, 昭 27.
- 28) 斎藤 栄吉：「架空索道又は集材機主索の実用的計算法」，林業機械化情報，26号，昭 28.
- 29) 加藤 正育：「基本形索道理論に関する実験的研究 (1, 2)」，第 58, 59 回日本林学会大会講演集，昭 25, 26.
- 30) 佐々木功，貴島恒夫：「架空索道の荷重点の軌跡」，第 1~4 報，第 59~62 回日本林学会大会講演集，昭 26, 27, 28, 29.
- 31) 山口 昇：山口応用力学，昭 25.
- 32) 加藤 誠平：「パラボリック・ケーブルの静力学的性質」，林学会雑誌第 12 卷，第 10 号，昭 5.
- 33) 長野営林局作業課：索道集，昭 29.
- 34) STEINLIN, v.H. und ZEHNTNER, K. : Untersuchungen zur Verbesserung des Holztransportes im Gebirge, I. Mitteilung, Mitteilungen der Schweizerischen Anstalt für das forstliche Versuchswesen, XXIX Bd. 1 Heft, Zürich, 1953.

第II章 索道主索の設計に関する基礎理論

第1節 抛物線索理論による索道主索の静力学的解法とその基本式

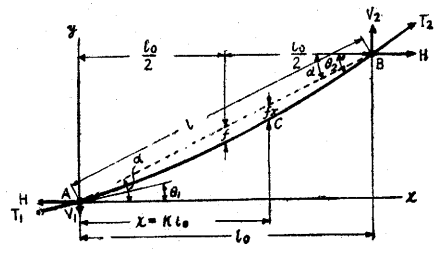
1. 抛物線索

2 支点間に張り渡した完全に曲りやすい索が、その鉛直射影線に沿う等布荷重（したがって両支点を結ぶ直線に沿う等布荷重）を受けるとき、この索の形成する曲線形は抛物線であつて、このような索は力学上抛物線索 Parabolic Cable と名付けられている。2 支点間に張られた索道の主索（機器荷重のない原索）や送電線の如き索には、索の自重のみが作用して、索の太さが一樣ならば、この自重は索曲線に沿う等布荷重であるから、索の形成する曲線は垂曲線であつて抛物線ではない。しかしながら索張りが相等強く索線形が極めて扁平な場合には、第2節以下に記すように、この垂曲線は極めてよく抛物線と近似する。すなわち実際には索曲線に沿つて分布する荷重を、2 支点間を結ぶ直線に沿つた仮想等布荷重に置換えて、静力学平衡条件 ($\Sigma H=0$, $\Sigma V=0$, $\Sigma M=0$) により力学的解析を行えば、この索曲線の基礎方程式として2次の抛物線式が誘導され、これを基にして垂下量、索長、索傾斜、索の張力等の基本公式が得られる。また2 支点間に張り渡した索の中間に単一集中荷重が作用する場合には、索線形は荷重作用点で不連続の2個の曲線となり、これも実際には2個の垂曲線であるが、原索の索張りが強いときにはこの2曲線も亦極めて扁平な曲線で、それぞれ近似的に抛物線と見なし得る。もし支点が完全に固定されていて動くことなく、かつ索に伸縮が無いものと仮定すれば、この負荷索の2個の曲線の基礎方程式もまた、上記の抛物線索上に単一集中荷重が加わつたものとして静力学平衡条件を考へることにより、解析的に容易に誘導し得る。負荷索の線形、荷重作用点の垂下量、荷重軌跡曲線、索の張力等に関する基本公式はこの基礎方程式から求められる。著者が昭和5年に発表した抛物線索理論¹⁾中の諸公式はこのような前提条件によつて導いたものである。しかしこのような基礎方程式及び基本公式の誘導法そのものはまったく静力学的解析法の範囲に属するものであるからその解法についてこゝに再録することを避け、次に坐標と記号を統一した索線形の基礎方程式と、其後若干の修正を加えた各種の基本公式⁴⁾⁵⁾⁶⁾を掲げる。

2. 抛物線索の基本公式

A. 無負荷原索（両端固定）（図一1/II 参照）

- 〔記号〕 A: 下部支点（坐標原点）, B: 上部支点,
- l_0 : 支間水平距離,
- $l = l_0 / \cos \alpha$: 支間斜距離, α : 支間傾斜角,
- f : 中央垂下量, $s = f / l_0$: 中央垂下比,
- $x = kl_0$: 坐標横距, $k = x / l_0$: 距離係数,



図一1/II

y : 坐標縦距, $f_x = m \cdot f$: 垂下量, $m = 4(k - k^2)$: 無負荷索線形係数,
 θ : 索曲線の傾斜角, θ_1 : 下部支点に於けるそれ, θ_2 : 上部支点に於けるそれ,
 θ_m : 支間中央に於けるそれ, $L = \beta \cdot l$: $A \sim B$ の索長, $\beta = L/l$: 索長比,
 T_x : 索の張力, T_1 : 下部支点 A に於ける張力,
 T_2 : 上部支点 B に於ける張力 (最大張力), T_m : 支間中央における張力,
 H : 索の張力の水平分力, V : 索の張力の垂直分力, V_1 : T_1 の垂直分力,
 V_2 : T_2 の垂直分力, p : 索の単位長当り重量 (線比重), $W = p \cdot L$: 索の自重,
 $w = W/l = pL/l$: AB 線に沿う等布荷重に換算した索重量

(1) 索曲線の基礎方程式

$$\left. \begin{aligned} y &= x \tan \alpha - f_x \\ f_x &= 4s \frac{x(l_0 - x)}{l_0} \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots(1/\text{II})$$

(2) 中央垂下量

$$f = s \cdot l_0 \dots\dots\dots(2/\text{II})$$

(3) 任意の点の垂下量

$$\left. \begin{aligned} f_x &= m \cdot f \\ m &= 4(k - k^2) \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots(3/\text{II})$$

(4) 索の傾斜

$$\left. \begin{aligned} \tan \theta &= \frac{dy}{dx} = \tan \alpha - 4s(1 - 2k) \\ \tan \theta_1 &= \left(\frac{dy}{dx} \right)_{k=0} = \tan \alpha - 4s \\ \tan \theta_2 &= \left(\frac{dy}{dx} \right)_{k=1} = \tan \alpha + 4s \\ \tan \theta_m &= \left(\frac{dy}{dx} \right)_{k=1/2} = \tan \alpha \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots(4/\text{II})$$

(5) 索長 (曲線長)

$$\left. \begin{aligned} L &= \beta \cdot l \\ \beta &= 1 + \frac{8}{3} s^2 \cos^4 \alpha \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots(5/\text{II})$$

(6) 索の張力

$$\left. \begin{aligned} T_x &= H \left[1 + \left(\frac{dy}{dx} \right)^2 \right]^{\frac{1}{2}} = H \left[1 + \left\{ \frac{wl_0 - 2wx}{2H \cos \alpha} + \tan \alpha \right\}^2 \right]^{\frac{1}{2}} \\ T_1 &= pL \cdot \frac{B_1}{A} \quad \text{たゞし} \left\{ \begin{aligned} A &= 8s \cos \alpha \\ B_1 &= \left[1 - \left(\frac{\tan \alpha}{2s} - 1 \right) 16s^2 \cos^4 \alpha \right]^{\frac{1}{2}} \end{aligned} \right. \\ T_2 &= pL \cdot \frac{B_2}{A} = W \cdot \frac{\left[1 + (4s + \tan \alpha)^2 \right]^{\frac{1}{2}}}{8s} \\ &\quad \text{たゞし} \left\{ \begin{aligned} A &= 8s \cos \alpha \\ B_2 &= \left[1 + \left(\frac{\tan \alpha}{2s} + 1 \right) 16s^2 \cos^2 \alpha \right]^{\frac{1}{2}} \end{aligned} \right. \end{aligned} \right\} \dots\dots(6/\text{II})$$

$$T_m = H \sec \alpha = \frac{\rho L}{8s} \sec \alpha$$

(7) 索の張力の水平分力

$$H = \frac{w l_0^2}{8f} \sec \alpha = \frac{\rho L}{8s} = \frac{W}{8s} \dots\dots\dots(7/II)$$

(8) 索の張力の垂直分力

$$\left. \begin{aligned} V &= H \tan \theta \\ V_1 &= H \tan \theta_1 \\ V_2 &= H \tan \theta_2 \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots(8/II)$$

B. 単一集中荷重負荷索 (両端固定) (図-2/II 参照)

[記号] P : 単一集中荷重 (搬器荷重)

$n = P/W = P/\rho L$: 荷重比

D : 荷重 P の作用点

$k l_0$: $A \sim D$ の水平距離,

k : 荷重位置係数,

x : A を原点とする坐標横距 (右方正値),

y : 同縦距 (上方正値),

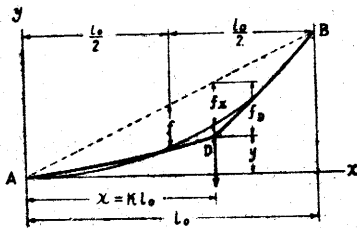


図-2/II

X : B を原点とする坐標横距 (左方正値), Y : 同縦距 (下方正値),

f_D : 荷重作用点 D の垂下量, $r = f_D/f_x$: 負荷索増垂係数,

$f_I = m_I \cdot f_D$: 索 AD の垂下量, m_I : 負荷索線形係数 ($A \sim D$),

$f_{II} = m_{II} \cdot f_D$: 索 BD の垂下量, m_{II} : 負荷索線形係数 ($B \sim D$),

$k_1 l_0$: A からの水平距離, $k_2 l_0$: B からの水平距離, k_1, k_2 : 距離係数,

T_{P1} : 下部支点 A における索の張力, T_{P2} : 上部支点 B におけるそれ,

T_{Pmax} : 索の最大張力 (荷重 P が支間中央に作用するときの T_{P2}),

H_P : 荷重 P が D 点にあるときの索の張力の水平分力,

V_{P1} : 下部支点 A における張力の垂直分力,

V_{P2} : 上部支点 B における張力の垂直分力,

θ_{1P} : 下部支点 A における索の傾斜角, θ_{2P} : 上部支点 B における索の傾斜角

(その他の記号前記ののとおり)

(1) 索曲線の基礎方程式

$$A \sim D: \quad y = x \tan \alpha - f_I$$

$$f_I = \frac{w l_0 \sec \alpha [1 + 2n(1-k)]x - w x^2 \sec \alpha}{2H_P} \dots\dots\dots(9/II)$$

$$H_P = \frac{w l_0 \sec \alpha [1 + 12(n+n^2)(k-k^2)]^{\frac{1}{2}}}{8s}$$

$$\left. \begin{aligned}
 B \sim D: \quad Y &= X \tan \alpha + f_{II} \\
 f_{II} &= \frac{wl_0 \sec \alpha (1 + 2nk) X - wX^2 \sec \alpha}{2H_F} \\
 H_F &= \frac{wl_0 \sec \alpha}{8s} [1 + 12(n + n^2)(k - k^2)]^{\frac{1}{2}}
 \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (10/II)$$

(2) 荷重作用点の垂下量

$$\left. \begin{aligned}
 f_D &= r \cdot f_{x(x=kl_0)} \\
 r &= \frac{1 + 2n}{[1 + 12(n + n^2)(k - k^2)]^{1/2}}
 \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (11/II)$$

(3) 荷重軌跡曲線の方程式

$$y = kl_0 \tan \alpha - f_D \dots\dots\dots (12/II)$$

ただし $k = 0 \sim 1$

(4) 索曲線の垂下量

$$\left. \begin{aligned}
 A \sim D: \quad f_I &= m_I \cdot f_D \\
 m_I &= \frac{[1 + 2n(1 - k)]k_1 - k_1^2}{[1 + 12(n + n^2)(k - k^2)]^{1/2}}
 \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (13/II)$$

ただし $k_1 = 0 \sim k$

$$\left. \begin{aligned}
 B \sim D: \quad f_{II} &= m_{II} \cdot f_D \\
 m_{II} &= \frac{(1 + 2nk)k_2 - k_2^2}{[1 + 12(n + n^2)(k - k^2)]^{1/2}}
 \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (14/II)$$

ただし $k_2 = 0 \sim (1 - k)$

(5) 索の張力

$$\left. \begin{aligned}
 T_{F1} &= \frac{pL}{8s \cos \alpha} \left[a' + \left(b_1' \frac{\tan \alpha}{2s} + c_1' \right) 16s^2 \cos^2 \alpha \right]^{\frac{1}{2}} \\
 T_{F2} &= \frac{pL}{8s \cos \alpha} \left[a' + \left(b_2' \frac{\tan \alpha}{2s} + c_2' \right) 16s^2 \cos^2 \alpha \right]^{\frac{1}{2}} \\
 a' &= 1 + 12(n + n^2)(k - k^2) \\
 b_1' &= (1 + 2nk)[1 + 12(n + n^2)(k - k^2)]^{\frac{1}{2}} \\
 b_2' &= \{1 + 2n(1 - k)\}[1 + 12(n + n^2)(k - k^2)]^{\frac{1}{2}} \\
 c_1' &= (1 + 2nk)^2 \\
 c_2' &= \{1 + 2n(1 - k)\}^2
 \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (15/II)$$

$$\left. \begin{aligned}
 T_{Fmax} &= pL \cdot \frac{D}{A} = W \cdot \frac{D}{A} \\
 A &= 8s \cos \alpha \\
 D &= \left[a + \left(b \frac{\tan \alpha}{2s} + c \right) 16s^2 \cos^2 \alpha \right]^{\frac{1}{2}} \\
 a &= 1 + 3(n + n^2) \\
 b &= (1 + n)[1 + 3(n + n^2)]^{\frac{1}{2}} \\
 c &= (1 + n)^2
 \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (16/II)$$

(6) 索の傾斜

$$\left. \begin{aligned} \tan \theta_{1P} &= \left(\frac{dy}{dx} \right)_{k_1=0} = \tan \alpha - 4s \cdot \frac{[1+2n(1-k)]}{[1+12(n+n^2)(k-k^2)]^{1/2}} \\ \tan \theta_{2P} &= \left(\frac{dY}{dX} \right)_{k_2=0} = \tan \alpha + 4s \cdot \frac{(1+2nk)}{[1+12(n+n^2)(k-k^2)]^{1/2}} \end{aligned} \right\} \dots\dots(17/II)$$

(7) 索の張力の水平分力

$$\begin{aligned} H_P &= \frac{pL}{8s} [1+12(n+n^2)(k-k^2)]^{1/2} \\ &= W \cdot \frac{[1+12(n+n^2)(k-k^2)]^{1/2}}{8s} \dots\dots\dots(18/II) \end{aligned}$$

(8) 索の張力の垂直分力

$$\left. \begin{aligned} V_{P1} &= H_P \cdot \tan \theta_{1P} \\ V_{P2} &= H_P \cdot \tan \theta_{2P} \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots(19/II)$$

第2節 垂曲線索理論と拋物線索理論

前記のごとく、2 支点間に完全に曲り易い索を懸垂したとき、この索曲線が垂曲線 Catenary であることは静力学の平衡条件から導きだされる。図-3/II に示すごとく、この垂曲線の一般方程式はパラメーターを用いて、

$$y = c \cosh \frac{x}{c} \dots\dots\dots(20/II)$$

で与えられるが、これを展開形で示すと

$$y = \frac{c}{2} (e^{\frac{x}{c}} + e^{-\frac{x}{c}}) = \left(c + \frac{x^2}{2!c} + \frac{x^4}{4!c^3} + \frac{x^6}{6!c^5} + \dots \right) \dots\dots\dots(21/II)$$

となる。この式の第3項以下を省略すると

$$y = c + \frac{x^2}{2c} \dots\dots\dots(22/II)$$

の形の2次式すなわち拋物線式となる。よつてパラメーター c の値が比較的大きくて、曲線の形状が扁平な場合には、(20) の近似式として (22) を採用し得ることが、数学上も明らかである。

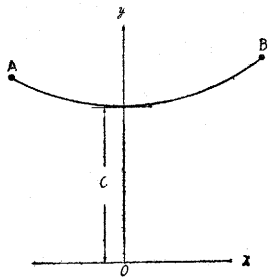


図-3/II

運材用索道主索(軌索)の形状は一般に相当扁平であるから、その計算式として演算の簡便な拋物線索 Parabolic Cable の理論式を使用すべき旨を著者は提唱してきた。わが国の運材用索道としては大規模のものに属する東京営林局管内の千頭天地索道^{**2)}、旭川営林管内の層雲峡索道^{**3)}、埼玉県秩父郡大滝村地内の大洞川索道^{***}の如きも、著者の示した拋物線索理論式を用いて設計されたが、作設後の諸元の実測値は設計

* 昭和 27 年作設、支間 1375 m、主索径 30 mm、設計荷重 2 t
 ** 昭和 26 年作設、支間 555 m、主索径 34 mm、設計荷重 2.5 t
 *** 昭和 29 年作設、全長約 7000 m、最大支間 1680 m、主索径 28 mm、設計荷重 1.2 t

計算数値とよく一致し、実用上良好に運転されている事実により、著者の提唱が妥当であつたことは一応立証された。しかしながら、一般には索の計算法は垂曲線式によるのが正統的で、拋物線式は単にその略算式としてのみ認識されているようであり、索道の研究者の多くは垂曲線式を用いている。しかし好んで垂曲線を用いる学者も、多少複雑な数式を取扱う部分ではしばしば2次式に省略して扱っている場合も少なくない。このような場合は始めから拋物線式を採用する方がむしろ賢明と云えよう。また実際の索道の設計や検定に垂曲線理論式を直接用いて計算する場合はもちろん、あらかじめ計算図表等を作製する場合や研究実験を行う場合にも、垂曲線索の計算の手続は非常に繁雑であり、また十分の精度を持つ計算数値を得るためには、特に桁数の多い双曲線函数表を必要とする。設計実務の観点よりすれば、これははなはだ不便である。もし拋物線索理論を適用する場合の信頼度を吟味した上で、それが実用上十分の精度を有するものであれば、応用力学の常道として当然これを採用すべきである。よつてまず索の力学的諸関係を支配する条件並に諸元算定の基礎となる測量の精度等を考慮に入れて、拋物線索理論による算定値の信頼度を実験により吟味することとした。その結果は次章に記すとおりである。

引用文献

- 1) 加藤誠平：「パラボリック・ケーブルの静力学的性質」林学会雑誌第 12 巻第 10 号，昭 5。
- 2) 林 次良：「千頭経営区の天地索道について」東京林友第 5 巻第 2 号，昭 27。
- 3) 加藤誠平：伐木運材経営法 pp. 152~155，昭 27。
- 4) " : 運材用索道主索の設計と検定，昭 29。
- 5) 加藤誠平，丸山正和：「振動波による架空索最大張力の推定法に関する理論的解析」東大演習林報告 第 44 号，昭 28。
- 6) 加藤誠平，堀 高夫：「多荷重架空索の張力算定法」日本林学会誌 Vol. 36, No. 11, 12, Vol. 37, No. 1, 昭 29, 30。

第Ⅲ章 運材用索道主索に対する拋物線索理論適用の信頼度

第1節 主索の諸元とその限界

現在わが国において実際に使用されている運材用索道の主索に関して著者が実地に調査した資料ならびに既発表の各種資料に基いて、索の線形、垂下量、張力等を支配する主索の諸元を概観して見ると、特殊の例外を除外すればおむね表-1/Ⅲに掲げるような数値を示している。

表-1/Ⅲ 運材用索道主索の諸元

種 別		短支間索道	中支間索道		長支間索道	
諸 元						
支間	長勾配傾斜角 l (m)	200~300	300~800		800~1,600	
	配 $\tan \alpha$	0.1~0.6	0.15~0.5		0.2~0.4	
	角 α°	6~31	9~27		11~22	
荷重	種別	軽荷重	中荷重	重荷重	中荷重	重荷重
	量 P (kg)	100~250	250~1,000	1,000~2,500	250~1,000	1,000~2,500
	材横積 (石)	0.4~1	1~4	4~10	1~4	4~10
	搬器車輪数	2	2	4	2	4
主索	種別	6×7 ラング	6×7 ラング	6×7 ラング	6×7 ラング	6×7 ラング
	直径 d (mm)	14~18	18~26	26~34	26~30	30~36
	重量 p (kg/mm)	0.674~1.199	1.199~2.520	2.520~4.328	2.520~3.264	3.264~4.795
	破断強度 S (t)	10.5~18.7	18.7~39.5	39.5~67.8	39.5~51.1	51.1~75.2
垂下比	$s = \frac{f}{l_0}$	0.025~0.06	0.03~0.05	0.03~0.06	0.03~0.06	0.035~0.05
荷重比	$n = \frac{P}{W}$	0.2~2.0	0.2~0.6	0.4~1.0	0.1~0.5	0.3~0.7
運搬材		スギ、ヒノキ、マツ等の小、中径木用材または広葉樹小径木薪炭材	スギ、ヒノキ、マツ等の小、中径木用材	針葉樹および広葉樹中、大径木用材	スギ、ヒノキ、マツ等の小、中径木用材	針葉樹および広葉樹中、大径木用材
摘 要		小規模の簡易索道	最も普通に用いられるもの。多径間索道の場合にも、設計および検定上問題となる支間はおむねこれに属するが、その場合支間勾配は0~1.5 (0~9°) のものを含む。		山岳地の人工林または奥地天然林開発に用いられる大規模の索道	

これらの諸元は索の線形および各種力学上の諸関係を解析する場合の境界条件とな

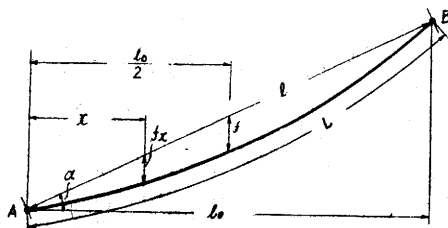


図-1/Ⅲ 索張り

表-2/Ⅲ 諸元の限界

諸 元	限 界 値
支間水平距離 (l_0)	100~2000m
支間傾斜角 (α)	0~30°
索張り(中央垂下比) ($s = f/l_0$)	0.02~0.08
荷重比 ($n = P/W$)	0.1~2.0

るものであつて、いまその限界値を表-2/Ⅲのようにとれば、一応必要かつ十分であると考えられる。

(図-1/Ⅲ参照)

* 第Ⅱ章第1節参照

第2節 測量誤差の程度と設計計算の誤差の許容限界

運材用索道の作設箇所は一般に地形地貌が急峻複雑であつて、測量に対して高い精度を期待することが困難である。多くの場合支点間水平距離または斜距離において 1/1,000、垂直距離において 1/500 程度の誤差があり得るものと考えねばならぬ。次に実際の索道主索の線形について実用上許容し得る計算値と実際値との誤差を考えると、水平距離 (l_0) または斜距離 (l) に対しては測量誤差と同じ 1/1,000 程度、索の垂下量 (f_x) に対しては支間中央附近で 1/50~1/100 程度、支点附近では 1/10~1/20 程度を許容してさしつかえない。たゞし索長 (L) の微小な変化 (索長一定の場合には微小な支点変位) も垂下量にはかなり大きく影響するから、これについては索の伸縮を考慮に入れて別途に吟味する必要がある。したがつて索の線形に関する吟味を行うには、実験用の索として完全に曲りやすく、張力等による伸縮がほとんど無いようなものを用い、測定誤差が水平距離 1/1,000、垂直距離 1/500、垂下量 1/10~1/100 程度の精度が得られる実測を行つて、これと理論値とを比較検討すればおゝむね目的が達成されるはずである。

第3節 無負荷索 (原索) の索形

1. 垂下比と線形の関係

(a) 実験方法

索の線形を支配する前記諸元の条件の中で、支間勾配 ($\tan \alpha$)、垂下比 ($s=f/l_0$) および荷重比 ($n=P/W$) が一定ならば支間水平距離 (l_0) または支間斜距離 (l) の大ききの如何に係らずその線形は常に相似である。(図-1/Ⅲ参照) よつて α, s, n の中でまず s の値と線形との間に存する一般的関係を知るために、 $\alpha=0, n=0$ の場合、すなわち水平な2点間に懸垂した無負荷索の垂下量 (f_x) の値について実験値と理論値を比較した。2~3 の予備実験の結果、合金製細鎖を用いると線形測定に比較的精度の高い結果が得られ、かつ張力による弾性伸張や実験中の温度変化による伸縮もまったく無視し得る程度であることが知れたので、さらに線形を測定する方法として、写真撮影による方法、索の水平射影を平行光線により直接印画紙に焼付ける方法、噴

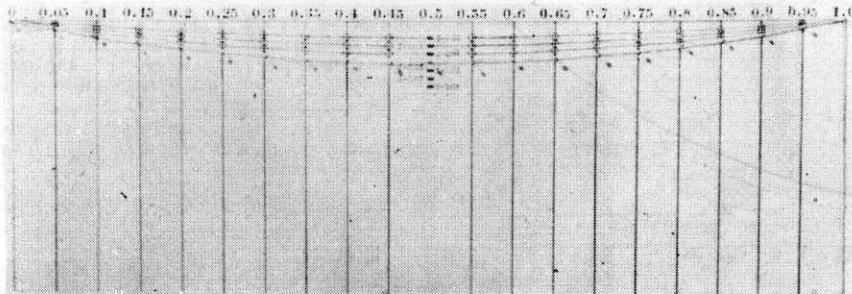


写真-1/Ⅲ 線形実験 ($\alpha=0^\circ$)

霧着色法により索形を紙上に印す方法、物指で直接計測する方法、方眼紙上に針先で線形をプロットする方法の5者を比較検討した結果、方眼紙上にプロットして方眼の目盛の誤差を修正して計測する方法が最も精度が高くかつ操作上便利なのが知れたので、これを採用した。すなわち A-1 版 mm 目方眼紙の方眼をスチールテープにより検定修正して、縦横軸が完全に水平垂直になるようにして垂直面に張り、写真-1/Ⅲに示すように A, B 両支点を水平線上にとり、支間長 $l=l_0=700\text{ mm}$ を定めて合金製細鎖（重量 $p=8.51\text{ mg/mm}$ 、1 節の大きさ $1.89 \times 2.23\text{ mm}$ 、鎖材の直径 0.51 mm ）の1端をピンで A 点に固定する。次に中央垂下量すなわち AB の中点における垂下量（ f ）が鎖の幅の中央において丁度 $f=sl_0=s \times 700\text{ mm}$ の値を示すまで鎖の長さを調節し、その位置で鎖をピンで B 点に固定すると、所定の垂下比（ s ）を与えた場合の索曲線（垂曲線）が得られる。この鎖の目の中央を針先でプロットすると方眼紙上に垂曲線が描かれる。任意の位置における鎖の垂下量（ f_x ）は AB 線から縦軸方向にその点までの方眼目盛を読むことにより得られる。目盛の読取りは目測で 0.1 mm 程度まで読めるが、針先のプロットの誤差は最大 0.3 mm 程度である。垂下量の測定は AB を 20 等分した点で、 $s=0.02, 0.05, 0.08$ の場合につき行い、参考のため $s=0.10 \sim 0.50$ の場合も実測した。この垂下量の実験値は \bar{f}_x の記号で表-7, 8/Ⅲに理論値と対照して示した。

(b) 抛物線索線形の理論値

抛物線索線形の基本方程式を実際的设计計算に便利のように、図-2/Ⅲのごとく下部支点 A を原点とする直交坐標によつて示すと

$$\left. \begin{aligned} y &= x \tan \alpha - f_x \\ f_x &= 4f \cdot \frac{x(l_0 - x)}{l_0} \end{aligned} \right\} \dots\dots(1/\text{Ⅲ})$$

となる。いま $s=f/l_0$, $k=x/l_0$ とおけば、任意の点の垂下量 f_x は AB の支間傾斜角 α に関係なく

$$f_x = 4(k - k^2)f \dots\dots(2/\text{Ⅲ})$$

で与えられる。 $m=4(k - k^2)$ とおけば

$$f_x = m \cdot f \dots\dots(3/\text{Ⅲ})$$

となり、係数 m の値をいろいろの k の値に対して算出すると表-3/Ⅲの数値となる。この m を原索線形係数と呼ぶこと

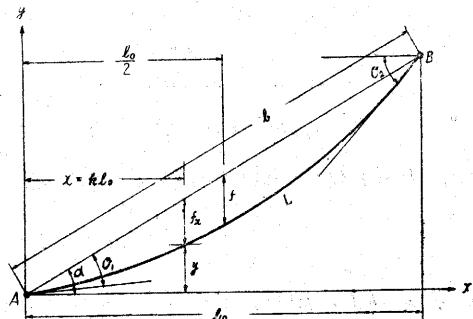


図-2/Ⅲ 抛物線索

表-3/Ⅲ 原索線形係数 m の値

k	m
0.00	0.00
0.05 (0.95)	0.19
0.10 (0.90)	0.36
0.15 (0.85)	0.51
0.20 (0.80)	0.64
0.25 (0.75)	0.75
0.30 (0.70)	0.84
0.35 (0.65)	0.91
0.40 (0.60)	0.96
0.45 (0.55)	0.99
0.50	1.00

表-4/Ⅲ 中央垂下量 f の値

l_0 (mm)	700		
s	0.02	0.05	0.08
$f = sl_0$ (mm)	14.0	35.0	56.0

にする。中央垂下量 f の値は支間水平距離 $l_0=700\text{ mm}$ の場合には表-4/Ⅲに示すとおりである。

よつて各点の垂下量 f_x は表-3/Ⅲの中央垂下量に表-4/Ⅲの原索線形係数を乗ずれば求められる。この理論値は表-7, 8/Ⅲに f_{px} の記号で示した。

(c) 垂曲線索線形の理論値

垂曲線索の基本方程式をパラメーターを用いて示すと(20/Ⅱ)式のとおりであつて、図-3/Ⅲ

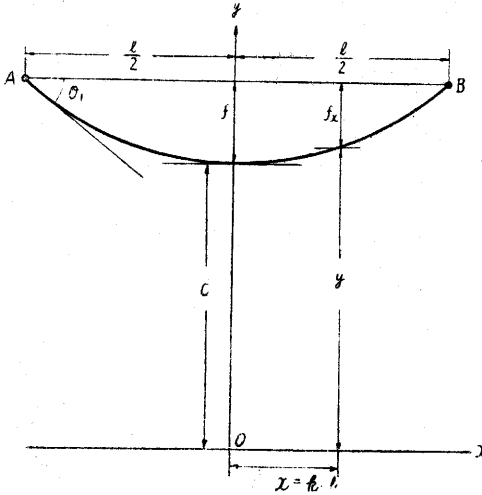


図-3/Ⅲ 垂曲線索

に示すごとく水平な2点 AB 間に中央垂下比 s , 同垂下量 $f=sl$ の条件で懸垂された索の曲線は $x=l/2$ のとき $y=c+f$ でなければならぬ関係から

$$y_{x=l/2} = c \cosh \frac{l}{2c} = c + f = c + sl \dots (4/Ⅲ)$$

が成立つ。よつて、いま $z=l/2c$ とおけば

$$\cosh z = 1 + 2zs \dots (5/Ⅲ)$$

双曲線函数表を用いて s がいろいろの値の場合に(5/Ⅲ)式を満足する z の値を求め、 $c=l/2z$ の関係により、 $l=700\text{ mm}$ の場合のパラ

メーター c の値を算出すると表-5/Ⅲの数値を得る。

x が $0 \sim \pm l/2$ の間の任意の値に対する垂下量を f_x とすれば

$$f_x = c + f - y = f - c \left(\cosh \frac{x}{c} - 1 \right) \dots (6/Ⅲ)$$

いま $x=k_1 l$ とおけば、 $x/c = k_1 l/c = 2k_1 z$ であるから、表-4/Ⅲ、表-Ⅲ 5の f, z, c の値により双曲線函数表を用いて(6/Ⅲ)式により各種の s および k_1 の値に対応する f_x を算出すると表-6/Ⅲの数値を得る。抛物線索の垂下量および実験値と対照するために坐標原点を A 点に移し、 $k_1 = k - 1/2$ の関係により k_1 を k におき換えた数値を f_{px} の記号で表-7/Ⅲに示した。

表-5/Ⅲ パラメーター c の値

s	z	$2z=l/c$	$c=700/2z$ (mm)
0.02	0.080	0.16	4375
0.05	0.200	0.40	1750
0.08	0.320	0.64	1094

表-6/Ⅲ 垂曲線索垂下量の値

$f_x = f - c \left(\cosh \frac{x}{c} - 1 \right)$ (mm)			
$s \backslash k_1$	0.02	0.05	0.08
0.00	14.00	35.00	56.00
± 0.05	13.82	34.65	55.43
± 0.10	13.61	33.60	53.75
± 0.15	12.69	31.85	50.95
± 0.20	11.72	29.40	47.02
± 0.25	10.81	26.25	41.97
± 0.30	8.92	22.12	35.78
± 0.35	6.82	17.81	28.43
± 0.40	4.97	12.55	19.95
± 0.45	2.62	6.58	10.31
± 0.50	0.00	0.00	0.00

(d) 実験値と理論値の比較

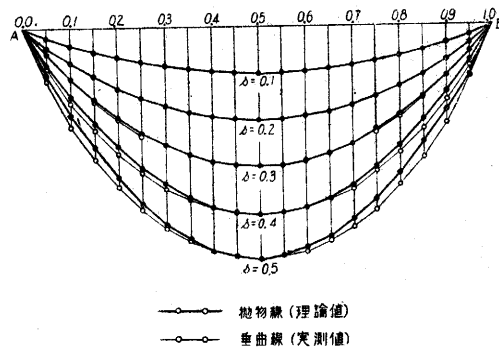
支間を 20 等分した点, すなわち $k=0.05\sim 0.95$ の各点における垂下量の実測値 \bar{f}_x と, 拋物線索理論値 (f_{px} で示す) および垂曲線索理論値 (f_{cx} で示す) の 3 者を比較対照して示すと表一7/Ⅲのとおりである。

表一7/Ⅲ 垂下量の実験値と理論値 (垂下比との関係)

s	f_x (mm)								
	0.02			0.05			0.03		
k	f_{px}	f_{cx}	\bar{f}_x	f_{px}	f_{cx}	\bar{f}_x	f_{px}	f_{cx}	\bar{f}_x
0.00	0.00	0.00	0.0	0.00	0.00	0.0	0.00	0.00	0.0
05	2.66	2.62	2.9	6.65	6.58	6.8	10.64	10.31	11.0
10	5.04	4.97	5.2	12.60	12.55	12.8	20.16	19.95	20.4
15	7.14	6.82	7.3	17.85	17.81	18.0	28.56	28.43	28.8
20	8.96	8.92	9.2	22.40	22.12	22.9	35.84	35.78	36.2
25	10.50	10.81	10.9	26.25	26.25	27.2	42.00	41.97	42.5
30	11.76	11.72	12.5	29.40	29.40	30.5	47.04	47.02	48.0
35	12.74	12.69	13.1	31.85	31.85	32.0	50.96	50.95	51.3
40	13.44	13.61	14.0	33.60	33.60	34.1	53.76	53.75	54.0
45	13.86	13.82	14.1	34.65	34.65	34.5	55.44	55.43	55.2
50	14.00	14.00	14.0	35.00	35.00	35.0	56.00	56.00	56.0
55	13.85	13.82	14.0	34.65	34.65	34.8	55.44	55.43	55.5
60	13.44	13.61	14.0	33.60	33.60	33.8	53.76	53.75	54.0
65	12.74	12.69	13.2	31.85	31.85	32.2	50.96	50.95	51.2
70	11.76	11.72	12.2	29.40	29.40	29.8	47.04	47.02	47.0
75	10.50	10.81	11.2	26.25	26.25	27.2	42.00	41.97	42.7
80	8.96	8.92	10.0	22.40	22.12	23.3	35.84	35.78	36.1
85	7.14	6.82	8.0	17.85	17.81	18.2	28.56	28.43	29.0
90	5.04	4.97	5.5	12.60	12.55	12.8	20.16	19.95	20.3
95	2.66	2.62	2.7	6.65	6.58	7.0	10.64	10.31	11.3
1.00	0.00	0.00	0.0	0.00	0.00	0.0	0.00	0.00	0.0

(註) f_{px} : 拋物線索垂下量理論値, f_{cx} : 垂曲線索垂下量理論値, \bar{f}_x : 垂下量実験値,
支間水平距離 $l_0=700$ mm, 支間勾配 $\tan \alpha=0$

これによつて見ると f_{px} と f_{cx} の差異は s の値の増大に伴つていくぶん大きくなる傾向があるが, $s \leq 0.08$ の限界内ではその差異は極めて僅少で, 誤差率はもちろん前記実用上の許容値以下である。 f_{px} , f_{cx} の理論値と実験値 \bar{f}_x とは相当よく一致し, その差はおおむね測定 of 誤差の範囲内であるが, s の値が比較的小さい場合にやゝ率の大きな誤差が見られるのは, 測定中における鎖の固定点のピンの動揺の影響とプロットの誤差が重合した場合と思われる。いずれにしても $s \leq 0.08$ の場合には f_{px} と \bar{f}_x または f_{cx} との差異に及ぼす s の値の影響は極めて僅少であつて, 索の垂下量すなわち線形の算定に拋物線索理論式を適用することは極めて妥当であることが明らかに認められる。



図一4/Ⅲ 垂下比と曲線形

なお参考のため大きな垂下比 ($s=0.1\sim 0.5$) の場合について同様の実験をおこなつた結果を拋物線索の理論値と比較すると表—8/Ⅲのとおりであつて、 s が増大するにしたがつて理論値の誤差は無視し得ない程度になる。図—4/Ⅲはその概況を示すものであるが、実際の索道ではこのような大きな垂下比を用いることがないから、ここでは問題とならない。

表—8/Ⅲ 垂下比の大きな場合の垂下量

s	f_x (mm)									
	0.1		0.2		0.3		0.4		0.5	
h	f_{px}	\bar{f}_x	f_{px}	\bar{f}_x	f_{px}	\bar{f}_x	f_{px}	\bar{f}_x	f_{px}	\bar{f}_x
0.00	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
05	13.3	13.5	26.6	27.2	39.9	43.0	53.2	60.0	66.5	77.5
10	25.2	25.0	50.4	52.2	75.6	81.0	100.8	111.0	126.0	142.5
15	35.7	36.0	71.4	73.0	107.1	117.7	142.8	153.5	173.5	197.0
20	44.8	44.2	89.6	91.0	134.4	138.5	179.2	189.2	224.0	240.5
25	52.5	52.0	105.0	105.7	157.5	162.0	210.0	218.2	262.5	275.5
30	58.8	58.7	117.6	118.2	176.4	179.2	235.0	241.5	294.0	303.0
35	63.7	63.7	127.4	127.3	191.1	193.0	254.8	257.0	318.5	323.0
40	67.2	67.0	134.4	134.0	201.6	202.2	263.8	270.0	336.0	339.0
45	69.3	69.2	138.6	138.0	207.9	207.0	277.2	277.5	346.5	346.0
50	70.0	70.0	140.0	140.0	210.0	210.0	230.0	280.0	350.0	350.0
55	69.3	68.7	138.6	138.0	207.9	207.8	277.2	277.5	346.5	347.0
60	67.2	67.0	134.4	134.0	201.6	202.5	268.8	269.7	336.0	339.5
65	63.7	63.0	127.4	127.0	191.1	193.0	254.8	257.5	318.5	325.0
70	58.8	59.0	117.6	118.0	176.4	178.5	235.2	240.5	294.0	304.8
75	52.5	53.0	105.0	106.0	157.5	161.5	210.0	218.0	262.5	277.0
80	44.8	45.0	89.6	90.5	134.4	139.0	179.2	189.5	224.0	241.5
85	35.7	36.0	71.4	72.5	107.1	111.8	142.8	154.0	173.5	197.0
90	25.2	25.7	50.4	51.7	75.6	80.0	100.8	112.0	126.0	144.0
95	13.3	13.5	26.6	27.5	39.9	43.0	53.2	61.0	66.5	78.5
1.00	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0

(註) f_{px} : 拋物線垂下量理論値, \bar{f}_x : 垂下量実験値, 支間水平距離 $l_0=700$ mm, 支間勾配 $\tan \alpha=0$

(e) 索の傾斜

索の線形吟味の参考として、上記索線の傾斜について検討すると、 $\tan \alpha=0$ の場合の支点における傾斜 ($\tan \theta_1$) は (4/Ⅱ) 式より、

拋物線索では

$$\tan \theta_{p1} = \left(\frac{dy}{dx} \right)_{x=0, \alpha=0} = (\tan \alpha - 4s)_{\alpha=0} = -4s \dots\dots\dots(7/Ⅲ)$$

垂曲線索では

$$\tan \theta_{c1} = \left(\frac{dy}{dx} \right)_{x=-l/2} = -\sinh \frac{l}{2c} = -\sinh z \dots\dots\dots(8/Ⅲ)$$

であるから (図—2, 3/Ⅲ参照), (7/Ⅲ) 式に各種の s の値を入れ, (8/Ⅲ) 式にその s に相当する (5/Ⅲ) 式の z の値を入れて比較すると表—9/Ⅲ のとおりである。実験値は短い線分で角度を精密に測定することが困難なために表に掲げなかつたが、肉眼的にきわめてよく理論値と一致することが認められた。

これによつて見ると索線の傾斜 ($\tan \theta_1$) もまた $s \leq 0.08$ の範囲では相当よく一致すること

が知れる。垂下比 s が未知の索に対しては θ_1 を実測して (7/Ⅲ) 式より s を算出することができるから、 θ_{p1} と θ_{c1} がこの程度に近似することは拋物線索理論の実用上極めて好都合である。

表-9/Ⅲ 支点における索の傾斜

s	0.02	0.05	0.08
$\tan \theta_{p1}$	0.080	0.200	0.320
$\tan \theta_{c1}$	0.030	0.201	0.325
θ_{p1}	4°35'	11°11'	17°45'
θ_{c1}	4°35'	11°13'	18°0'
$\theta_{c1} - \theta_{p1}$	—	2'	15'

2. 支間勾配と線形の関係

(註) θ_{p1} : 拋物線索傾斜角, θ_{c1} : 垂曲線索傾斜角

線形と支間勾配 ($\tan \alpha$) の関係を知るためには、垂下比 (s) を一定にして $\tan \alpha$ の値を種々変化させ、それが垂下量 (f_x) に影響するか否かを調べればよい。よつて支間水平距離 $L_0=500$ mm を用いて 1. の実験と同様の方法により測定を行つて理論値と比較した。測定の便宜上 $s=0.10$ すなわち $f=sl_0=50$ mm に一定し、前記限界値 $\tan \alpha=0.0\sim 0.8$ の場合について索形をプロットして (写真-2/Ⅲ 参照) \bar{f}_x を計測し、これを 1. の場合と同様にして算出した拋物線索垂下量理論値 f_{px} と対照比較したが、垂下比 s が 0.10 より小さい場合には差異はさらに少なくなるはずである。表-10/Ⅲ は実験値と理論値の比較であつて、これによつて見ると両者はやはり相当よく一致し、その差異については特に $\tan \alpha$ の値と相関するような傾向が認められない。すなわち支間勾配 $\tan \alpha \leq 0.8$ の場合には f_{px} と \bar{f}_x の差異に及ぼす α の影響はほとんどなく、索の線形の算定に拋物線索理論式を適用することが妥当であることが認められる。

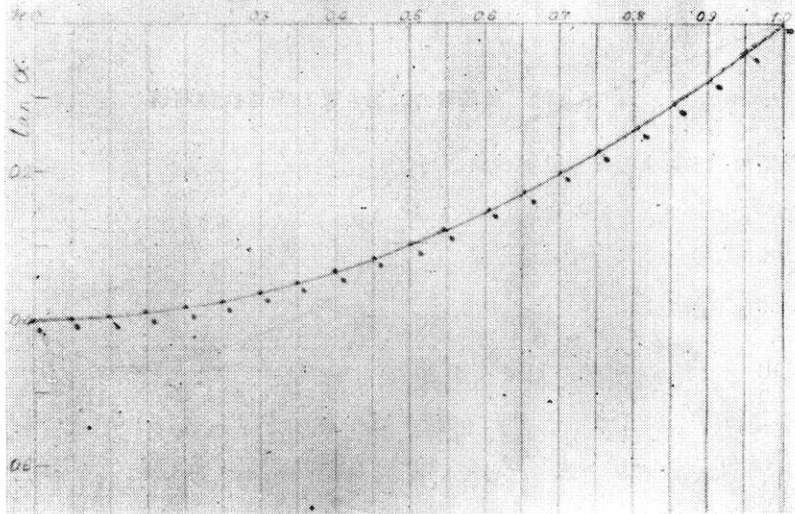


写真-2/Ⅲ 線型実験 ($s=0.1$)

なお参考のため行つた $\tan \alpha=1.0\sim 1.4$ の場合の実験結果も同表に掲げたとおりの大差がない。ただ $\tan \alpha$ の値が増大すると f_{px} と \bar{f}_x の差異がいくぶん増大する傾向が見られるが、これは測点の縦距離と索曲線との交角が鋭くなることによつて生ずる測定上の誤差の増大が含まれるためと考えられ、 α の値が相当大きくても理論値に修正を加える必要は認められない。実際の索道の主索をその上下支点の方向に肉眼で観察すると線形に及ぼす支間勾配の影響が相当あるがごと

表一10/Ⅱ 垂下量の実験値と理論値 (支間勾配の關係)

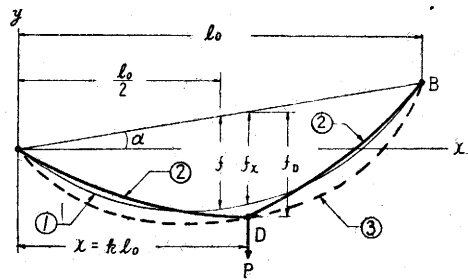
f_x	$f_{px}(\text{mm})$	\bar{f}_x (mm)					(参考) \bar{f}_x (mm)		
		0.0 (0°)	0.2 (11°20')	0.4 (21°50')	0.6 (31°—)	0.8 (38°40')	1.0 (45°—)	1.2 (50°10')	1.4 (54°30')
0.00	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
05	9.5	9.1	9.0	9.2	9.0	8.5	9.0	9.5	9.0
10	18.0	18.0	17.5	17.5	17.0	17.0	17.0	17.0	18.3
15	25.5	25.2	25.0	25.0	24.5	24.5	24.8	24.3	25.8
20	32.0	32.1	31.4	31.5	31.8	30.0	31.1	31.0	31.0
25	37.5	37.7	37.0	37.0	36.3	36.4	36.6	36.2	37.0
30	42.0	42.1	42.0	41.3	40.5	41.0	41.0	41.0	41.5
35	45.5	45.8	45.2	44.5	45.0	44.0	44.2	44.8	45.2
40	48.0	48.0	48.0	47.2	47.3	48.0	47.0	47.3	47.8
45	49.5	49.7	49.8	49.0	49.3	49.0	49.0	49.0	49.2
50	50.0	50.0	50.0	50.0	50.0	50.0	50.0	50.0	50.0
55	49.5	49.5	49.7	49.5	49.6	49.5	49.0	48.5	50.0
60	48.0	48.0	48.8	47.7	48.5	48.1	48.2	48.0	49.0
65	45.5	46.0	46.5	45.0	46.5	46.0	45.0	45.5	47.0
70	42.0	42.5	42.7	41.8	43.2	43.0	42.0	42.0	43.2
75	37.5	37.9	38.4	37.2	38.9	37.1	38.4	39.3	38.9
80	32.0	32.3	33.0	31.8	33.8	32.3	32.8	32.3	32.8
85	25.5	25.7	26.2	26.4	26.7	26.2	26.7	26.2	26.5
90	18.0	17.8	18.6	18.1	18.8	19.1	18.6	19.1	19.1
95	9.5	9.5	10.0	9.5	10.0	10.0	9.3	9.5	9.5
1.00	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0

(註) f_{px} : 放物線索垂下量理論値, \bar{f}_x : 垂下量実験値, 支間水平距離 $l_0=500$ mm, 垂下比 $s=0.10$
 く感じられるが, おそらくこれは人間の視覚の錯覚によるものであつて実験では支間勾配が索の垂下量に及ぼす影響は上記のごとく僅少である。

第4節 負荷索の線形および荷重軌跡曲線

1. 負荷索の線形および荷重軌跡曲線

図-5/Ⅲに細線で示すような原索(無負荷索) AB 上の任意の点に垂直に単一集中荷重(搬器荷重を集中荷重と見做す) P が作用した場合には索曲線は変形して ADB となり, 索曲線は D 点で不連続となるが, 曲線 AD と曲線 DB はいずれも原索 AB よりも明らかに扁平な曲線である。AD, DB 両曲線の方程式は原索曲線の方程式と同様に荷重 P を



①原索 ②負荷索 ③荷重軌跡

図-5/Ⅲ 垂直荷重負荷索

を含めた静力学平衡条件 $\sum H=0, \sum V=0, \sum M=0$ から求められるが, このとき拋物線索理論を適用すれば, 両曲線とも2次式(拋物線式)で表わされる。すでに実験により明らかにされたように, 原索曲線 AB を拋物線と見做すことが妥当であるならば, それよりも扁平な負荷索曲線 AD, DB もまた当然拋物線として取扱つてさしつかえない。

負荷索の線形を2個の拋物線として取扱つても, 荷重作用点の垂下量 f_D は荷重比(垂直荷重

と索の自重の比 ($n=P/W$) の値如何により変化し、その軌跡曲線はかならずしも拋物線に近似しない。いま荷重比の極限を考えると、 $n=0$ のときは軌跡曲線は原索曲線と一致し、 $n=\infty$ のときは索の線形は2個の直線となり軌跡曲線は支点 A, B を焦点とする楕円となる。したがって n が極めて小または大のときは軌跡曲線を拋物線または楕円と見做すことができるが、実際の運材用索道では経済上の関係ならびに鋼索の強度や弾性の関係から、そのような極端な荷重比を用いることがない。一般に n の値が表—2/Ⅲ に示した限界値内の場合には、軌跡曲線は原索曲線と楕円との中間的曲線となることは明らかである。

さらにまた比較的 n の値の小さい多数の同量集中荷重が一定間隔で連続負荷されるような工業用索道では、この荷重を等布荷重と見做し、したがって軌跡曲線も拋物線として取扱うのが普通であるが、運材用索道では搬器荷重として n の値が相当大きな単一集中荷重が作用するのであるから軌跡曲線を拋物線と見なすことはできない。

以上の理由により原索曲線および負荷索曲線をそれぞれ拋物線と見なし、拋物線索理論を適用して任意の点 (荷重が作用して作用点が原索より下方に変位したとき支点 A からその点までの水平距離が $x=kl_0$ のような点) の軌跡曲線の縦距 y_D および垂下量 f_D を求めると次式を得る。

$$\left. \begin{aligned} y_D &= kl_0 \tan \alpha - f_D \\ f_D &= \frac{4f(1+2n)(k-k^2)}{\{1+12(n+n^2)(k-k^2)\}^{1/2}} \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots(9/Ⅲ)$$

ただし上式は原索の拋物線式 (4/Ⅲ) 式と同じ坐標および記号を用いて示したものである (図—5/Ⅲ 参照)。

(2/Ⅲ)(9/Ⅲ) 両式より任意の点すなわち $x=kl_0$ の位置における原索の垂下量 f_x とその位置に荷重が加わつた後の垂下量 f_D を比較すると、

$$\left. \begin{aligned} f_D &= r \cdot f_x \\ r &= \frac{1+2n}{\{1+12(n+n^2)(k-k^2)\}^{1/2}} \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots(10/Ⅲ)$$

の関係が得られるので、 r を負荷索増垂係数と呼ぶことにする。すなわち f_D は f_x に増垂係数 r を乗じた数値であり、 r は n と k のみの函数であつて理論上は原索の垂下比 (s) や支間勾配 ($\tan \alpha$) に無関係である。荷重作用点の垂下量を示す (10/Ⅲ) 式を実用に供することが果して妥当であるか否かをしらべるには、この式による計算値と実験値とを比較して見ればよいことになる。

2. 荷重軌跡曲線の線形と荷重比の関係

(a) 実験方法

増垂係数 $r=f_D/f_x$ が理論上支間傾斜角 α に無関係なことおよび第3節2.の実験により原索垂下量の誤差に対する α の影響も無視し得ることから、負荷索の垂下量に関する実験は \tan

$\alpha=0$ の場合について行えば一応目的を達することができるはずである。原索の垂下比 s は増垂係数 r には理論上無関係であるが、原索の垂下量 f_x は s の値によつて異なるから、実験は s の各種の値の場合について行うのが望ましい。よつて第3節の実験とまったく同じ方法により、 $l_0=700\text{mm}$ 、 $\tan \alpha=0$ 、 $s=f/l_0=0.03, 0.04, 0.05, 0.06$ にとつて細鎖(重量 $p=8.51\text{mg/mm}$) を懸垂して垂下量 f_x をプロットし、次に $k=0.05\sim 0.95$ の位置に荷重比 $n=0.5, 1.0, 2.0$ に相当する荷重を吊下げて、変位後の垂下点をプロットして荷重軌跡曲線をえがき、図上でこれらの点を計測して実測値 \bar{f}_D を求め、これを理論値 f_D と比較した(写真-3/Ⅲ参照)。使用した荷重は表-11/Ⅲに示すとおりである。

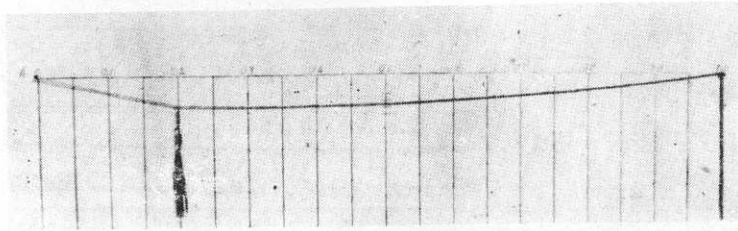


写真-3/Ⅲ 荷重軌跡曲線実験

表-11/Ⅲ 実験に使用した荷量

番 号	重 量 (gr)	摘 要
$P_{0.5}$	2.94	1 個の重量 0.42 gr のジェムクリップ 7 個
P_1	5.88	同 14 個
P_2	12.18	同 29 個

(b) 荷重軌跡曲線の理論値

$l_0=700\text{mm}$ 、 $\alpha=0$ 、 $s=0.03\sim 0.06$ に対する原索の垂下量 f_x を第3節1. (b)と同様にして求めると表-13/Ⅲ中 $n=0$ の欄に示す値となる。実験に使用した鎖の単位長当り重量 p は一定であるが、垂下比 s が異なると索長 L も変化するから、索の自重 $W=pL$ の値も変る。 L の実測値と理論値とはよく一致することが確かめられたが、実測値には測定上の僅かな誤差があるので、 L には次の理論式から求めた値を用いて $W=pL$ を算出した。ただし β は索長比で、本実験では $\alpha=0$ である。

$$\left. \begin{aligned} L &= \beta \cdot l \\ \beta &= 1 + \frac{8}{3} s^2 \cos^4 \alpha \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots(11/Ⅲ)$$

表-ii/Ⅲの荷重 P とこの自重 W から荷重比 $n=P/W$ の精密な値を求め、 n と (10/Ⅲ) 式の増垂係数 r との関係を実験的に吟味すると、 n の僅少の変化に対しては r の変化が極めて微小で、 n の値はそれぞれ 0.5, 1.0, 2.0 として取扱つても差支えないことが確かめられた。よつてこれにより係数 r の値を求めると表-12/Ⅲのとおりである。

よつて前記の原索垂下量 f_x にこの係数値を乗じて負荷索荷重作用点の垂下量 f_D を求めると

表-12/Ⅲ 増垂係数 r の値

$$r = f_D / f_x = \frac{1+2n}{\{1+12(n+n^2)(k-k^2)\}^{1/2}}$$

k	n	0.0	0.5	1.0	2.0
0.05	(0.95)	1.00	1.66	2.01	2.38
10	(90)	"	1.49	1.69	1.83
15	(85)	"	1.34	1.49	1.57
20	(80)	"	1.28	1.36	1.41
25	(75)	"	1.22	1.28	1.34
30	(70)	"	1.18	1.22	1.25
35	(65)	"	1.15	1.18	1.21
40	(60)	"	1.13	1.15	1.17
45	(55)	"	1.11	1.14	1.15
50		"	1.11	1.13	1.15

表-13/Ⅲに示すとおりである。

(c) 実験値と理論値の比較

荷重軌跡曲線の線形すなわち荷重の位置における負荷索垂下量の実験値 \bar{f}_D と理論値 f_D を比較対照して示すと表-13/Ⅲのとおりである。

これによつて見ると荷重軌跡の実験値と理論値にまた概してよく一致する。図-6/Ⅲはこの実験による荷重軌跡曲線の概況を示すもので、理論式を実用に供しても大体

表-13/Ⅲ 荷重軌跡の実験値と理論値 (荷重比との関係)

		f_D (mm)															
		0.03								0.04							
s	n	0.0		0.5		1.0		2.0		0.0		0.5		1.0		2.0	
k		f_x	\bar{f}_x	f_D	\bar{f}_D	f_D	\bar{f}_D	f_D	\bar{f}_D	f_x	\bar{f}_x	f_D	\bar{f}_D	f_D	\bar{f}_D	f_D	\bar{f}_D
0.00		0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
05		4.0	3.9	6.6	6.7	8.0	8.4	9.5	9.7	5.3	5.3	8.8	8.7	10.7	10.8	12.6	12.5
10		7.6	7.8	11.3	11.5	12.8	13.3	13.9	14.2	10.1	10.0	15.0	14.8	17.1	17.0	18.5	18.3
15		10.7	10.4	14.3	14.0	15.9	16.4	16.8	17.4	14.3	14.3	19.2	19.8	21.3	21.5	22.6	22.6
20		13.4	13.1	17.2	17.0	18.2	18.9	18.9	19.8	17.9	18.0	22.9	23.7	24.3	24.5	25.2	25.9
25		15.8	16.0	19.3	20.0	20.2	20.9	21.2	22.2	21.0	21.0	25.6	25.6	26.9	26.8	28.1	28.2
30		17.6	17.5	20.8	21.0	21.5	22.6	22.0	23.2	23.5	23.7	27.7	27.7	28.7	29.2	29.4	30.3
35		19.1	18.8	22.0	22.8	22.5	23.4	23.1	23.9	25.5	25.8	29.3	30.2	30.1	30.8	30.9	31.8
40		20.2	19.9	22.8	24.0	23.2	23.8	23.6	25.1	26.9	27.0	30.4	30.9	30.9	31.7	31.5	32.4
45		20.8	20.5	23.1	24.0	23.7	24.6	23.9	25.9	27.7	28.0	30.7	31.1	31.6	31.9	31.9	32.7
50		21.0	21.0	23.3	24.5	23.7	24.4	24.2	25.4	28.0	28.0	31.1	31.1	31.6	32.1	32.2	33.2

		f_D (mm)															
		0.05								0.06							
s	n	0.0		0.5		1.0		2.0		0.0		0.5		1.0		2.0	
k		f_x	\bar{f}_x	f_D	\bar{f}_D	f_D	\bar{f}_D	f_D	\bar{f}_D	f_x	\bar{f}_x	f_D	\bar{f}_D	f_D	\bar{f}_D	f_D	\bar{f}_D
0.00		0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
05		6.7	7.0	11.1	11.0	13.5	13.2	15.9	16.0	8.0	8.0	13.3	13.0	16.1	16.0	19.0	19.0
10		12.6	12.5	18.8	18.3	21.3	21.0	23.1	23.2	15.1	15.0	22.5	22.0	25.5	25.5	27.5	27.5
15		17.9	18.0	24.0	24.5	26.7	26.7	28.1	28.5	21.4	21.5	28.7	29.0	31.9	32.0	33.6	34.0
20		22.4	22.4	28.7	28.5	30.5	30.5	31.6	31.1	26.9	26.5	34.4	34.0	36.6	36.5	37.9	38.6
25		26.3	26.4	32.1	31.9	33.7	33.5	35.2	35.5	31.5	31.5	38.4	38.2	40.3	40.3	42.2	42.2
30		29.4	29.2	34.7	34.5	35.9	35.5	35.9	37.3	35.3	35.0	41.7	41.5	43.1	43.2	44.1	44.8
35		31.9	31.8	36.7	36.6	37.6	38.0	38.6	39.0	38.2	38.2	43.9	43.3	45.1	45.0	46.2	46.5
40		33.6	33.5	38.0	38.0	38.6	39.0	39.3	39.7	40.3	40.2	45.5	45.1	46.3	47.0	47.2	48.0
45		34.7	34.9	38.5	38.0	39.6	39.0	39.9	40.5	41.6	41.8	46.2	46.0	47.4	47.5	47.7	48.0
50		35.0	35.0	38.9	38.8	39.6	39.8	40.3	41.0	42.0	42.0	46.6	46.0	47.5	47.5	48.3	48.8

(註) f_D : 荷重作用点垂下量理論値, \bar{f}_D : 同実験値, 支間距離 $l=l_0=700$ mm, 支間傾斜角 $\alpha=0^\circ$

差支えなさそうなことはわかる。しかしプロットの誤差は前記のとおり垂直方向に最大 0.3 mm 程度であるから、 $\Delta f_D = f_D - \bar{f}_D$ の値が ± 0.3 mm 以上の差異については一応吟味を要するものと考え、 Δf_D を求めてグラフを作製すると 図-7/Ⅲ のようになる。この図によれば原索垂下比 (s) が小さくなるに従って Δf_D はいちじるしく負の値に偏してその絶対値も増大し、荷重比 n の値が大きい場合は Δf_D の値も概して大きく現れる傾向が見られる。負荷による索張力の増大による索の伸びは、本実験に使用した鎖の場合には前記のとおり無視し得る程度であるから、これは伸びの影響とは考えられない。この実験では鎖をピンでとめたので、実験中に支点に微小な移動があつたことは考えられる。もし仮に荷重の負荷により支点が微小な変位を生じたと仮定すれば、それは s の値が小さい時ほど高率に垂下量に影響することは (11/Ⅲ) 式により明らかであり、また荷重が大きいほど変位も大きいはずである。この推定により $s=0.03$ の場合に AB 両支点が支間内方に向つて支間の 1/1,000 程度 (約 0.7mm) の変位を生じたものと想定して試

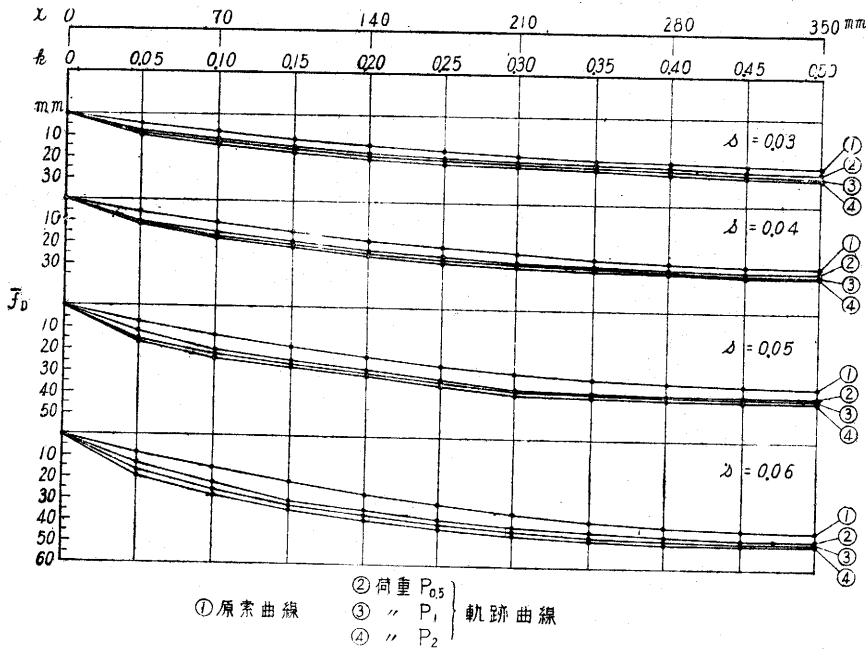


図-6/Ⅲ 荷重軌跡曲線

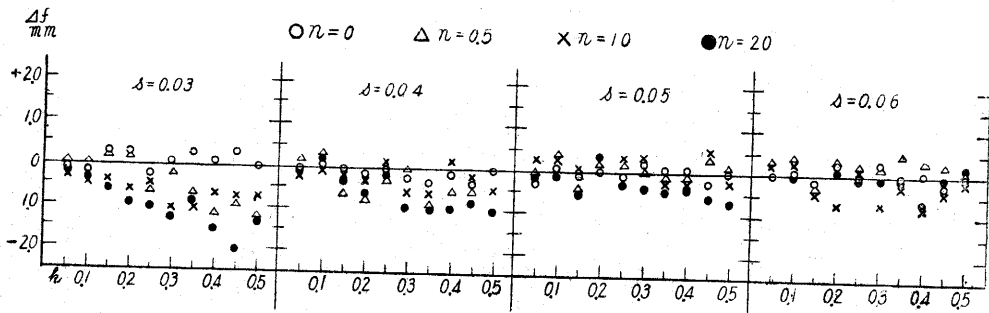


図-7/Ⅲ 荷重軌跡の実験値と理論値の差異の分布

算して見ると*、丁度実験と同程度の差異が算出されるのでこの推定は妥当のようである。それゆえ上記の差異は拋物線索理論値そのものの信頼度を低めるものではない。しかし索に伸縮なく、支点に変位がないという仮定を前提として誘導された理論値は、拋物線索たると垂曲線索たるとを問わず、これを実際の索道設計に応用する場合、垂下比が小さく荷重比が大きければ修正を要する可能性があることが、この実験からも示唆されるわけである。

以上の考察により、索の伸縮や支点の変位を別途に考慮するならば、垂直荷重負荷索の線形および荷重軌跡曲線の算定に対しても拋物線索理論を適用することは一般に妥当と認められる。

第5節 無負荷索の張力

1. 張力の理論式

完全に曲りやすい索が静力学的平衡状態におかれているとき、この索の線形は外力（作用する荷重・索の自重および支点反力）間の平衡条件によつて定まる平衡線形を形成するから、この外力によつて生ずる索の張力の大きさならびにそれに伴つて索に生ずる応力の大きさもまた索の線形によつて定まる。したがつて線形に関する理論値と実験値がよく適合するならば、理論式誘導の前提仮定が変化しないかぎり、張力に関する理論値もまた当然よく実際に適合するはずである。よつて無負荷索（原索）たると負荷索たるとを問わず張力の理論式についてはほとんど吟味の必要がないように思われるが、念のために2, 3の実験値と理論値を比較吟味することとした。

運材用索道主索に使用される鋼索は現在ではほとんど全部日本工業規格（JIS）G 3525 表示品であつて、破断強度を始め各種の機械的性質はJIS 数値を最低とする標準値を有するものと考えてよいが、実際の索の有する強度その他の諸性質はこの標準値に対して数%の値の差を有するものが多く、殊にある程度使用されたもの、継手を設けたもの等においてはさらに大幅の差異がある。したがつて張力または応力の算定値または測定値に5%程度の誤差があつても、これは実用上通常許容し得る範囲であり、とくにそれが安全側の誤差の場合には問題がない。張力の吟味はこのようなことを念頭において行えばよい。いま支点 A, B は完全に固定、索には伸縮がないものと仮定して、図一1/Ⅲに示した中央垂下比（ $s=f/l_0$ ）で懸垂された無負荷索（原索）の張力に関する算式を拋物線索理論により誘導すると第Ⅱ章に記したように次の諸式が得られる。

(a) 一般式

$$T_x = H \left\{ 1 + \left(\frac{wl_0 - 2wx}{2H \cos \alpha} + \tan \alpha \right)^2 \right\}^{\frac{1}{2}} \quad \dots\dots\dots(12/Ⅲ)$$

$$H = \frac{wl}{8s} = \frac{pL}{8s}$$

ただし T_x : 任意の点の張力, H : 張力の水平分力

$wl = pL = W$: 索の自重, $w = pL/l$

* 第Ⅳ章参照

(b) 支点張力および最大張力

$$T_1 = \frac{pL}{8s \cos \alpha} \left\{ 1 - \left(\frac{\tan \alpha}{2s} - 1 \right) 16s^2 \cos^2 \alpha \right\}^{\frac{1}{2}} \dots\dots\dots(13/\text{III})$$

$$T_{\max} = T_2 = \frac{pL}{8s \cos \alpha} \left\{ 1 + \left(\frac{\tan \alpha}{2s} + 1 \right) 16s^2 \cos^2 \alpha \right\}^{\frac{1}{2}} \dots\dots\dots(14/\text{III})$$

(c) 支間中央における張力

$$T_m = H \sec \alpha = \frac{pL}{8s \cos \alpha} \dots\dots\dots(15/\text{III})$$

(d) 平均張力^{* 1)}

$$\begin{aligned} T_{av} &= \frac{\int_0^l T_x dx}{l_0} = \frac{1}{6} (T_1 + 4T_m + T_2) = C \cdot T_m \\ &= C \cdot \frac{pL}{8s \cos \alpha} \dots\dots\dots(16/\text{III}) \end{aligned}$$

$$\text{ただし } \begin{cases} C = \frac{B_1 + B_2 + 4}{6} \\ B_1 = \left\{ 1 - \left(\frac{\tan \alpha}{2s} - 1 \right) 16s^2 \cos^2 \alpha \right\}^{\frac{1}{2}} \\ B_2 = \left\{ 1 + \left(\frac{\tan \alpha}{2s} + 1 \right) 16s^2 \cos^2 \alpha \right\}^{\frac{1}{2}} \end{cases}$$

ここで C の値を吟味して見ると $\alpha=0$, $s=0.08$ の場合 1.017 で, α が大きくなるほど, また s が小さくなるほど 1 に近づく。したがって一般に $C=1$ としておくむね差支えない。すなわち, このときは

$$T_{av} = T_m = H \sec \alpha = \frac{pL}{8s \cos \alpha} \dots\dots\dots(17/\text{III})$$

2. 支点張力の測定

上記の諸式はすべて一連の関連した式であるから, その信頼度を知るためにはいずれか一つのものにつき測定を行つて理論値と比較して見ればよい。支間勾配 $\tan \alpha$ の影響が比較的小さいことはすでに線形実験によつて知られたから, ここでは $\tan \alpha=0$ の場合に垂下比を $s=0.02, 0.05, 0.08$ にとつて B 点の支点張力 (最大張力 T_2) の直接測定を行い (14/III) 式による理論値と比較した。すなわち支間距離 $l=l_0=3,600$ mm とし前と同じ細鎖 (垂量 $p=8.51$ mg/mm) を用い, 図-8/III に示すように A, B 支点を軸摩擦の小さな小滑車 (a) (b) (強固に固定) とし, A 点の左方 c で鎖の一端を固定し, B 点の右方に別の小滑車 (d) を設けて鎖を滑車 (a), (b), (d) にかけてその先に錘を懸けた^{***}。錘の重量を増減して線形が所定の垂下比に一致したときの錘の重量 (滑車 b より外側の鎖の重力を加算) を秤量して B 点の張力を求めた。このとき支

* 厳密な計算には $\int_0^l T_x \cdot dx$ を求めればよい。この積分は数学的には簡単にできるが数式が複雑になつて非実用的である。加藤誠平, 丸山正和: 「振動波による架空索の最大張力推定法に関する理論的解析」東大演習林報告第 44 号参照

** 滑車の軸摩擦係数は 0.01 程度で計算上これを無視した。

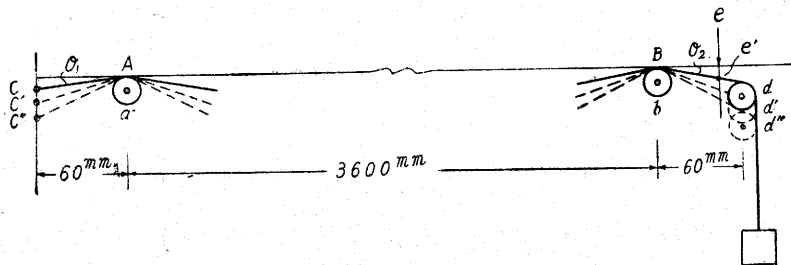


図-8/Ⅲ 支点張力の測定

点 A, B が水平方向に変位することを妨ぐために Ac 線および Bd 線の傾斜を (4/Ⅱ) 式により算出した A および B における索の傾斜角 θ_1, θ_2 に一致させた。なお錘の重量ははじめに所定の垂下比より大きな垂下比にしておいて所定の垂下比になるまで重量を増加して行く場合と、はじめに所定の垂下比より小さな垂下比にしておいて所定の垂下比になるまで重量を減少していく場合とで若干の相異があることが知れたので、その両者を計量して、張力の実験値 \bar{T}_2 としてはその平均値をとつた。^{*}

3. 実験値と理論値の比較

$l=l_0=3,600$ mm, $\tan \alpha=0$, $p=8.51$ mg/mm, $s=0.02, 0.05, 0.08$ の場合における支点張力実験値 (\bar{T}_2) と理論値 (T_2) とを比較対照すると表-14/Ⅲのとおりである。

表-14/Ⅲ 無負荷索支点張力の実験値と理論値

$l=l_0$ (mm)	s	f (mm)	β	L (mm)	pL (gr)	T_2 (gr)	\bar{T}_2 (gr)	備	考
3600	0.02	72	1.0011	3604	30.7	192	198	$\tan \alpha=0, p=8.51$ mg/mm	
	0.05	180	1.0067	3624	30.8	79	80	$T_2 = \frac{pL}{8s \cos \alpha} \left\{ 1 + \left(\frac{\tan \alpha}{2s} + 1 \right) 16s^2 \cos^2 \alpha \right\}^{\frac{1}{2}}$	
	0.08	288	1.0170	3661	31.2	51	49	$\bar{T}_2 =$ 張力の実験値	

(註) l : 支間距離, s : 垂下比, f : 中央垂下量, β : 索長比, L : 索長, pL : 自重, T_2, \bar{T}_2 : 支点張力
 これによつて見ると理論値と実験値とは実用上さしつかえない程度によく一致する。垂下比 s の値が小さいとき T_2 と \bar{T}_2 の差異が大きくなるのは線形を所定の垂下量に合致せしめることに実験上の誤差が不可避であつたことが主要な原因と考える。

第6節 負荷索の張力

1. 張力の理論式

(a) 一般式

図-9/Ⅲのような任意の点 (Aからの水平距離が kl_0 のような点) に単一集中荷重 P が垂直に

* 索張力の測定法として現在までのところ A 型張力計により任意の位置の張力を測定する方法, H型または C 型張力計, ばね秤等により支点張力を測定する方法, 振動波法により平均張力を測定する方法, もあるが, この実験には最も簡便な重錘による直接測定法を用いた。電気歪計の使用も考えられるが未だ十分検討されていない。実際の索の張力測定には振動波法が便利である。

作用する索 ADB の線形は AD, DB の 2 曲線となり, その方程式は第 II 章に記したように次式で与えられる。

曲線 A~D の方程式

$$\left. \begin{aligned} y &= x \tan \alpha - \frac{wl \{1+2n(1-k)\} x - wx^2 \sec \alpha}{2H_P} \\ H_P &= \frac{wl}{8s} \{1+12(n+n^2)(k-k^2)\}^{\frac{1}{2}} \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots(18/\text{III})$$

曲線 B~D の方程式

$$\left. \begin{aligned} Y &= X \tan \alpha + \frac{wl \{1+2nk\} X - wX^2 \sec \alpha}{2H_P} \\ H_P &= \frac{wl}{8s} \{1+12(n+n^2)(k-k^2)\}^{\frac{1}{2}} \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots(19/\text{III})$$

しかして

$$\begin{aligned} \frac{dy}{dx} &= \tan \alpha - \frac{wl \{1+2n(1-k)\} 2wx \sec \alpha}{2H_P} \\ &= \tan \alpha - \frac{pL [\{1+2n(1-k)\} 2k_1]}{2H_P} \dots\dots\dots(20/\text{III}) \end{aligned}$$

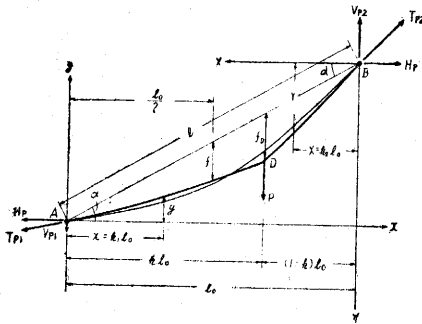


図-9/III 負荷索張力

であるから, AD 間の索張力の一般式は

$$\begin{aligned} T_{P_x} &= H_P \left\{ 1 + \left(\frac{dy}{dx} \right)^2 \right\}^{\frac{1}{2}} \\ &= \frac{pL}{8s \cos \alpha} \left\{ a + \left(b_1 \frac{\tan \alpha}{2s} + c_1 \right) 16s^2 \cos^2 \alpha \right\}^{\frac{1}{2}} \dots\dots\dots(21/\text{III}) \end{aligned}$$

ただし

$$\begin{cases} a = 1 + 12(n+n^2)(k-k^2) \\ b_1 = \{1+2n(1-k) - 2k_1\} \\ \quad \{1+12(n+n^2)(k-k^2)\}^{\frac{1}{2}} \\ c_1 = \{1+2n(1-k) - 2k_1\}^2 \end{cases}$$

同様にして BD 間の索張力の一般式は

$$\begin{aligned} T_{P_X} &= H_P \left\{ 1 + \left(\frac{dY}{dX} \right)^2 \right\}^{\frac{1}{2}} \\ &= \frac{pL}{8s \cos \alpha} \left\{ a + \left(b_2 \frac{\tan \alpha}{2s} + c_2 \right) 16s^2 \cos^2 \alpha \right\}^{\frac{1}{2}} \dots\dots\dots(22/\text{III}) \end{aligned}$$

$$a = 1 + 12(n+n^2)(k-k^2)$$

ただし $b_2 = (1+2nk - 2k_2) \{1+12(n+n^2)(k-k^2)\}^{\frac{1}{2}}$

$$c_2 = (1+2nk - 2k_2)^2$$

(b) 支点張力

下部支点 A における支点張力 T_{P1} は (21/III) 式において $k_1=0$ の場合であるから

$$T_{P1} = \frac{pL}{8s \cos \alpha} \left\{ a + \left(b_1' \frac{\tan \alpha}{2s} + c_1' \right) 16s^2 \cos^2 \alpha \right\}^{\frac{1}{2}} \dots\dots\dots(23/\text{III})$$

$$\text{ただし} \begin{cases} a = 1 + 12(n+n^2)(k-k^2) \\ b_1' = (1+2nk)\{1+12(n+n^2)(k-k^2)\}^{\frac{1}{2}} \\ c_1' = (1+2nk)^2 \end{cases}$$

上部支点 B における支点張力 T_{F2} は荷重位置 (k) が一定の場合には ADB 間における最大張力であつて、(22/Ⅲ) 式において $k_2=0$ の場合であるから

$$T_{F2} = \frac{pL}{8s \cos \alpha} \left\{ a + \left(b_1' \frac{\tan \alpha}{2s} + c_1' \right) 16s^2 \cos^2 \alpha \right\}^{\frac{1}{2}} \dots\dots\dots(24/Ⅲ)$$

$$\text{ただし} \begin{cases} a = 1 + 12(n+n^2)(k-k^2) \\ b_2' = \{1+2n(1-k)\}\{1+12(n+n^2)(k-k^2)\}^{\frac{1}{2}} \\ c_2' = \{1+2n(1-k)\}^2 \end{cases}$$

(c) 最大張力

H_P および T_P の値は荷重作用点の位置すなわち k の値によつて異なり、荷重位置が移動するとき k は 0~1 の間の変数であるから、明らかに $(k-k^2)$ の値が最大のとき最大となる。すなわち $\frac{d(k-k^2)}{dk} = 0$ の条件より H_P および T_P を最大ならしめる荷重位置は $k=0.5^*$ のときであつて、このとき

$$H_{P\max} = \frac{pL}{8s} \{1+3(n+n^2)\}^{\frac{1}{2}}$$

$$T_{P\max} = T_{F2\max} = \frac{pL}{8s \cos \alpha} \left\{ a + b \frac{\tan \alpha}{2s} + c \right\} 16s^2 \cos^2 \alpha \right\}^{\frac{1}{2}} \dots\dots\dots(25/Ⅲ)$$

$$\text{ただし} \begin{cases} a = 1 + 3(n+n^2) \\ b = (1+n)\{1+3(n+n^2)\}^{\frac{1}{2}} \\ c = (1+2n)^2 \end{cases}$$

(d) 平均張力

D 点における張力は 21/Ⅲ式において $k_1=k$ とし (22/Ⅲ) 式において $k_2=1-k$ とすれば求められるから、無負荷索の場合と同様にして AD 間の平均張力 T_{Fav1} と BD 間の平均張力 T_{Fav2} とは別々に求められる。ADB 間の平均張力 T_{Fav} は正確には

$$T_{Fav} = kT_{Fav1} + (1-k)T_{Fav2} \dots\dots\dots(26/Ⅲ)$$

で与えられる。しかし k の値が 0.5 に近く、かつ原索垂下比 s が小さいときには近以値として

$$T_{Fav} \approx H_P \cdot \sec \alpha \dots\dots\dots(27/Ⅲ)$$

を用いてもその誤差は極めて僅少である。

2. 支点張力の測定

前記負荷索張力理論式による張力の値を吟味するために、まず第5節 2. とまったく同様の

* 垂曲線理論によれば T_P を最大ならしめる k の値は 0.5 とわずかに異なるがその差は実用上無視し得る程度である。

装置で $\tan \alpha = 0$ の場合の測定を行つた。この場合最初に無負荷索 (原索) の垂下比が所定の値 ($s=0.02, 0.05, 0.08$) をとるとき Bd 間の壁面に設けた標識 e と一致する鎖上の 1 点 e' に印をつけておき、次に支間中央点に所定の荷重比 ($n=P/pL=0.5, 1.0, 2.0$) を有する荷重 ($P_{0.5}, P_1, P_2$) をかけ、鎖の右端に重錘をかけて釣合わせ、このとき同時に前記 e と e' が一致するようしに重錘重量を加減した。(図—8/Ⅲ参照) この重錘重量を秤量して $\bar{T}_{I_2 \max}$ とし、その値を (25/Ⅲ) 式の $T_{I_2 \max}$ と比較した。

3. 実験値と理論値の比較

$l=l_0=3,600$ mm, $\tan \alpha=0$, $p=8.51$ mg/mm, $s=0.02, 0.05, 0.08$, $n=0.5, 1.0, 2.0$, $k=0.5$ の場合における支点張力の実験値 $\bar{T}_{I_2 \max}$ と理論値 $T_{I_2 \max}$ を比較対照すると表—15/Ⅲのとおりである。

表—15/Ⅲ 負荷索支点張力の実験値と理論値

$l=l_0$ (mm)	k	s	f (mm)	L (mm)	pL (gr)	P (gr)	n	$T_{I_2 \max}$	$\bar{T}_{I_2 \max}$	備		考
										$f_{D(k=0.5)}$ (mm)	$\bar{f}_{D(k=0.5)}$ (mm)	$\tan \alpha=0$ $p=8.51$ mg/mm
3600	0.5	0.02	72	3604	30.7	15.4	0.5	347	238	80	118	
						30.7	1.0	510	309	82	139	
						61.4	2.0	838	391	83	171	
		0.05	180	3624	30.8	15.4	0.5	142	137	200	210	
						30.8	1.0	206	185	203	229	
						61.6	2.0	339	296	207	252	
		0.08	288	3661	31.2	15.6	0.5	91	90	320	328	
						31.2	1.0	134	130	325	335	
						62.4	2.0	218	210	331	357	

(註) l : 支間距離, k : 荷重位置, s : 原索垂下比, f : 原索中央垂下量, L : 索長, pL : 自重, P : 荷重, n : 荷重比, $T_{I_2 \max}$: 支点張力理論値, $\bar{T}_{I_2 \max}$: 同実験値, $f_{D(k=0.5)}$: 負荷索中央垂下量理論値, $\bar{f}_{D(k=0.5)}$: 同実験値

これによつて見ると張力が比較的小さいとき、すなわち荷重比 (n) が小さく原索垂下比 (s) が大きいときには実験値と理論値はほど近い値を示すが、その反対の場合には両者の間に相当大きな開きが見られる。これは実用上は安全側の差異であるけれども、その程度はすでに実用上の許容限界をはるかに越える。そこで負荷索の中央(荷重作用点)の垂下量を測定して見ると表に附記したとおり、その実測値 $\bar{f}_{D(k=0.5)}$ は (10/Ⅲ) 式による理論値 $f_{D(k=0.5)}$ よりも相当大きくなっている。これは実用上は危険側の差異であるからいつそう無視できない。この実験装置では前記のとおり第4節の実験よりもはるかに大きな支間をとつたが支点変位がほとんど起らないように工夫してあるから、このような垂下量(線形)ならびに張力の差異は主として負荷による張力の増大に伴う鎖の伸びの影響と推定される。よつて後記のごとく索の伸縮を考慮に入れた理論的補正値と上記実験値とを比較すると極めてよく一致することが知れた*。それゆえ、このような実験値

* 第IV章参照

と理論値の差異があつても、これは拋物線索理論そのものの信頼度を低めるものではない。しかし同時に他面において索の伸縮の影響を無視し得ないという事実を立証するものである。すなわち索長が常に一定であることを前提として誘導した索張力に関する前記の基本公式は、すべてこれを実際に適用する場合に索の伸びなど考慮に入れて補正を要することが明らかとなつた。

第7節 総 括

前各節の解析および実験の結果を総括するとおおよそ次のとおりである。

現在考えられる運材用索道諸元の限界内において、測量誤差ならびに算定数値の精度が実際の主索の設計ならびに検定上要求せられる程度内にあることを前提として考察すれば、

(1) 無負荷索の線形に関する拋物線理論値と垂曲線理論値とは極めてよく一致する。

(2) 無負荷索線形（垂下量）の実験値と拋物線索基本公式によるその理論値とは極めてよく一致する。

(3) 上記実験値と理論値の差異は中央垂下比が大きくなるにしたがつて、すなわち索張りがゆるくなるにしたがつて、増大する傾向があるが、それは実用上無視し得る程度である。

(4) 無負荷索の垂下量に対する支間勾配の影響はほとんど無い。

(5) 単一集中荷重の作用を受ける負荷索の荷重軌跡曲線（荷重作用点の垂下量）の実験値と拋物線索基本公式によるその理論値とは垂下比が比較的大きく荷重比が比較的小さい場合、すなわち索の張力が比較的小さい場合には相当よく一致する。しかし張力が小さい場合でも支点到若干の変位があるときには両者の差異は実用上無視し得ぬ程度になる。また支点到変位が無くとも張力が比較的大きい場合には実験値と基本公式による理論値との間には実用上無視し得ぬ程度の差異があり、これは負荷による張力の増大に伴う索の伸長に基因するものと考えられる。

(6) 無負荷索の張力の実験値と拋物線索基本公式によるその理論値とは極めてよく一致する。

(7) 負荷索の支点張力の実験値と拋物線索基本公式によるその理論値とは支点変位がなく、かつ張力が比較的小さい場合には相当よく一致する。支点変位がなくても張力が比較的大きいときには両者の間には相当大きな差異があり、これも索の伸長の影響と考えられる。

(8) 以上の結果から次のことが結論される。

a. 拋物線索基本公式は運材用索道主索の算定に対して垂曲線索基本式と同程度の信頼度を有する。したがつて算定および作図の利便の点からも、線形および張力に関する第2次的問題（支点の変位・索の伸縮・荷重の運動等の影響その他）の解析を容易ならしめる点からも、索道主索に対する基礎理論として拋物線索理論を採用すべきである。

b. 支点において索の両端が固定され、その支点到変位がなく、かつ索に伸縮がまつたく無

いという仮定を前提条件として誘導された基本公式の与える負荷索の線形および張力に関する諸数値を、実験値と比較すると索張りが強く張力が大きい場合（垂下比が比較的小さく荷重比が比較的大きい場合）には実用上無視し得ぬ程度の誤差がある。この誤差は上記前提条件が実際に適合しないために生ずる誤差と考えられるものであつて、支点変位および索伸縮に対する何等かの補正を行わぬかぎり、著者の誘導した拋物線索理論式²⁾も、在来の垂曲線索理論式³⁾もともに不完全であり、その信頼度は十分でない。

引用文献

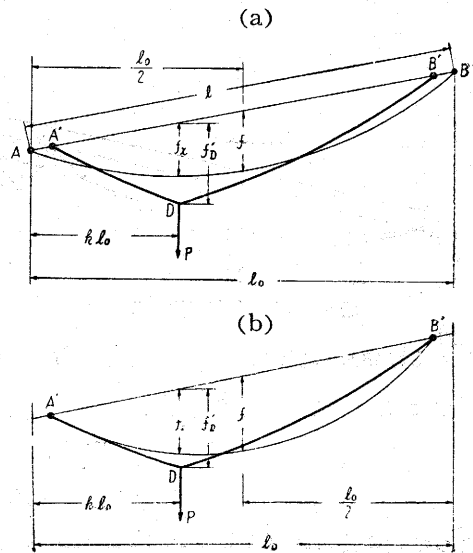
- 1) 加藤誠平, 丸山正和:「振動波法による架空索の最大張力推定法に関する理論的解析」東大演習林報告第 44 号, 昭 28.
- 2) 第 I 章引用文献 4), 32)
- 3) 同上 9) 10) 11) 13) 13) 16) 17) 18)

第 IV 章 補 正 理 論

第 1 節 負荷による支点変位に対する索の垂下量および張力の補正

1. 支点変位に対する垂下量の補正

図一1/IV (a) に示すように、支間水平距離 l_0 、支間斜距離 l の原索 AB が特定の中央垂下量 $f = cl_0$ で懸垂されているとき、任意の点 D ($x = kl_0$) に垂直荷重 P が作用したために、支点 A, B が内方あまり大きくない変位をして A', B' となり、任意の点の原索垂下量 f_x が負荷索においては $f_{D'}$ の垂下量に増大したものとする。このとき荷重の作用が静力学的で、かつ索に伸縮が無いものと仮定すれば、いわゆる重積の法則が成立するから、同図 (b) に示すように同じ原索の支点 AB が初めに $A'B'$ に変位して中央垂下量 f が f' に増大し、このような索の同じ点 D ($x = kl_0$) に荷重 P が作用してそ



図一1/IV 支点変位 (1)

の点の垂下量が f_x から $f_{D'}$ に増大したものと考えても $f_{D'}$ の大きさは (a) の場合と同じでなければならぬ。したがって

$$f_{D'} = r \cdot f_x' = r \cdot m \cdot f' \dots\dots\dots (1/IV)$$

ただし $\begin{cases} r = \text{負荷索増垂係数} \\ m = \text{原索線形係数} \end{cases}$

支点に変位のない場合の負荷索荷重作用点の垂下量を f_D とすれば、 $f_D = r \cdot m \cdot f$ であるから

$$\frac{f_{D'}}{f_D} = \frac{r \cdot m \cdot f'}{r \cdot m \cdot f} = \frac{f'}{f} = \epsilon_a \dots\dots\dots (2/IV)$$

すなわち ϵ_a は支点変位を考慮した場合の垂下量補正係数であつて、 ϵ_a を理論的に求めておけば

$$f_{D'} = \epsilon_a \cdot f_D \dots\dots\dots (3/IV)$$

により支点変位があつた場合の垂下量が算定される。

2. 支点変位に対する垂下量補正係数

図一2/IV (a) に示すように原索支点が AB 線上に微小な移動をして A', B' になつたものとすれば索長が変化しないかぎり中央垂下量 (f) は Δf だけ増大する。支点の変位量 Δl , Δl が支間斜距離 l に比べて小であるとすれば、この索形の変化は同図 (b) のように A が変位せず

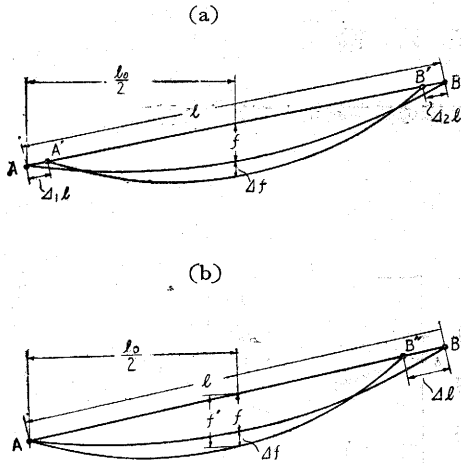


図-2/IV 支点変位 (2)

B が B'' まで $\Delta l = \Delta l_1 + \Delta l_2$ の変位をした場合と同じと見做せる。この場合支点変位率 (支間減少率) は

$$\Delta_a = \Delta l / l \dots\dots\dots (4/IV)$$

である。いま $f' = f + \Delta f$, $s = f / l_0$, $s' = f' / l_0$ とおけば原索長 (A~B の曲線長) は

$$L = \beta \cdot l = \left(1 + \frac{8}{3} s^2 \cos^4 \alpha\right) l \dots\dots\dots (5/IV)$$

支点変位後の索長 (A~B'' の曲線長) は

$$L' = \beta' (1 - \Delta_a) l \\ = \left(1 + \frac{8}{3} s'^2 \cos^4 \alpha\right) (1 - \Delta_a) l \dots\dots\dots (6/IV)$$

しかるに索長に変化がないものとすれば $L = L'$ でなければならないから、(6/IV) = (5/IV) において s と s' の関係を求めると

$$s' = \left[\frac{s^2 + \frac{3}{8} \cos^4 \alpha \Delta_a}{1 - \Delta_a} \right]^{\frac{1}{2}} \dots\dots\dots (7/IV)$$

よつて支点変位率 (支間減少率) $\Delta_a = \Delta l / l$ が与えられれば、(2/IV) (7/IV) 式より補正係数は

$$\varepsilon_a = \frac{f_{D'}}{f_D} = \frac{f'}{f} = \frac{s'}{s} = \left[\frac{1 + \frac{3}{8 s^2} \cos^4 \alpha \Delta_a}{1 - \Delta_a} \right]^{\frac{1}{2}} \dots\dots\dots (8/IV)$$

によつて求められる。したがつて (3/IV) 式に (8/IV) 式を ε_a を用いれば補正された垂下量が求められる。

3. 実験値と補正理論値との比較

(a) 実験方法

拋物線索理論式による (22) 式の補正係数を用いた垂下量の算定値が実際とどの程度に合致するかを確かめるために、第 III 章 第 3 節 の実験と同様の方法により同じ細鎖 (伸縮を無視できる) を用いて実験を行つた。すなわち $l_0 = 700 \text{ mm}$, $\tan \alpha = 0.0$, $s = 0.02 \sim 0.08$ の場合に支点間索長を同一に保ちつゝ $\Delta_a = 0.001 \sim 0.01$ になるように支点 B の位置を変化させて垂下量 $f_{D'}$ をプロットし中央垂下量 f' を測定した。図-3/IV はプロットした線形を示すもので、微小な変位が垂下量および垂下比に大きく影響すること、また垂下比が小さいときほどそれが甚しいことが知られる。

(b) 実験値と理論値の比較

各種の支間減少率 Δ_a に対応する中央垂下量の理論値 f' と実験値 $f_{D'}$ を比較対照すると表-1/IV のとおりである。

表-1/IV 支点変位のあつた場合の中央垂下量

s	f (mm)	Δa	εa	$f' = \varepsilon a \cdot f$ (mm)	\bar{f}' (mm)
0.02	14.0	0.0010	1.39	19.5	19.7
		0.0025	1.83	25.6	26.1
		0.0050	2.39	33.5	33.6
		0.0100	3.24	45.4	44.0
0.05	35.0	0.0010	1.07	37.5	37.5
		0.0025	1.18	41.4	41.2
		0.0050	1.33	46.6	47.5
		0.0100	1.59	55.7	56.5
0.08	56.0	0.0010	1.02	57.1	57.5
		0.0025	1.07	59.9	60.0
		0.0050	1.14	63.8	63.5
		0.0100	1.27	71.1	71.0

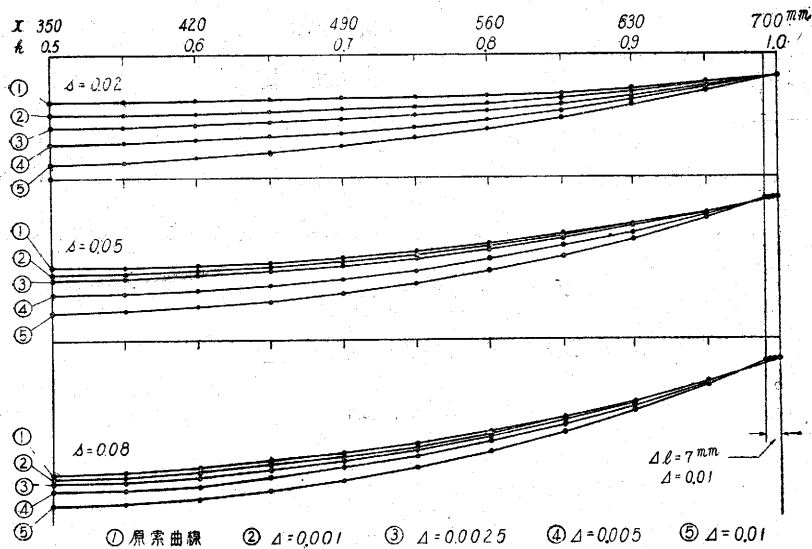


図-3/IV 支点変位と索形

これによつて見ると垂下比 s が小さいときには理論値と実験値の差異が若干大きく現れているが、これは支間減少率 Δa の実験上の僅小の誤差が垂下量に鋭敏に影響するためである。いずれにしても理論値と実験値は相当よく一致している。

実際の索道における支点変位量 Δl の大きさは支点の構造と索の張力および傾斜によつて異なり、立木や細い支柱を用いた場合、回転式支持金具または鋼索による吊金具を用いた場合などには Δa の値は無視し得ない程度になるが、 $\Delta a > 0.005$ のような変位は実際上は極めて稀であるから、(8/IV) 式の補正係数は実用上妥当なものと認められる。

4. 支点変位に対する張力の補正

すでに垂下量の補正係数が求められたから、張力の算定は同じ補正係数により補正した垂下比 $s' = \varepsilon a \cdot s$ を用いて張力基本式を演算すればよい。たとえば負荷索最大張力は

$$T'_{\max} = \frac{\rho L}{8s' \cos \alpha} \left\{ a + \left(b \frac{\tan \alpha}{2s'} + c \right) 16s'^2 \cos^2 \alpha \right\}^{\frac{1}{2}} \dots\dots\dots(9/IV)$$

ただし

$$\begin{cases} a = 1 + 3(n + n^2) \\ b = (1 + n) \{ 1 + 3(n + n^2) \}^{\frac{1}{2}} \\ c = (1 + n)^2 \\ s' = \varepsilon_a \cdot s \quad (s = \text{原索中央垂下比}) \end{cases}$$

第2節 索長が変化した場合の無負荷索垂下量の補正

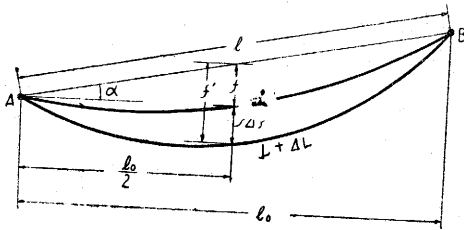


図-4/IV

1. 一般的補正係数

無負荷索（原索）の垂下比は索長の増減（索の伸縮）に伴つて増減する。図-4/IVにおいて特定の中央垂下量（ $f = sl_0$ ）を持つように AB 間に張られた索の索長（ L ）が $\pm \Delta L$ だけ変化して L' になつたために、中央垂下量（ f ）が $\pm \Delta f$ だけ

変化して $f' = s'l_0$ になつたものとする。このとき A, B に変位がまつたくないものとするれば

$$\begin{aligned} L &= \left(1 + \frac{8}{3} s^2 \cos^4 \alpha \right) l \\ L' &= L \pm \Delta L = L(1 \pm \Delta) \\ &= \left(1 + \frac{8}{3} s'^2 \cos^4 \alpha \right) l \\ \frac{L'}{L} &= (1 \pm \Delta) = \frac{\left(1 + \frac{8}{3} s'^2 \cos^4 \alpha \right)}{\left(1 + \frac{8}{3} s^2 \cos^4 \alpha \right)} \dots\dots\dots(10/IV) \end{aligned}$$

いま $\frac{s'}{s} = \frac{f'}{f} = \varepsilon_1$ とすれば上式より

$$\varepsilon_1 = \left\{ 1 \pm \left(1 + \frac{3}{8s^2 \cos^4 \alpha} \right) \Delta \right\}^{\frac{1}{2}} \dots\dots\dots(11/IV)$$

すなわち上式の ε_1 は索長変化に伴う垂下量または垂下比の一般的補正係数であつて、索長変化後のそれらは

$$s' = \varepsilon_1 \cdot s, \quad f' = \varepsilon_1 \cdot f \dots\dots\dots(12/IV)$$

与えられる。

2. 微小な伸縮に対する補正係数

索長の変化すなわち索の伸縮が極めて微小な場合には、すでに吊橋の主索等の計算に用いられている方法と同様にして、 ΔL と Δf の関係は索長

$$L = \left(1 + \frac{8}{3} \frac{f^2}{l_0^2} \cos^4 \alpha \right) l_0 \sec \alpha$$

を f について偏微分することにより

$$\frac{\partial L}{\partial f} = \frac{16f}{3l_0} \cos^3 \alpha = \frac{16}{3} s \cos^3 \alpha$$

$$\therefore \Delta f = \frac{3}{16s \cos^3 \alpha} \cdot \Delta L$$

$$\frac{\Delta f}{f} = \frac{\Delta f}{sl_0} = \frac{3 \cdot \Delta L}{16s^2 l_0 \cos^3 \alpha} = \frac{3}{16s^2 \cos^4 \alpha} \cdot \frac{\Delta L}{l} \dots \dots \dots (13/IV)$$

s の値があまり大きくなく、かつ ΔL が L に比べて極めて微小であれば

$$\frac{\Delta L}{L} \doteq \frac{\Delta L}{l}$$

と見做し得るから、索の伸縮率は

$$\pm \Delta = \pm \frac{\Delta L}{L} \doteq \pm \frac{\Delta L}{l} \dots \dots \dots (14/IV)$$

よつて、この場合の補正係数は

$$\varepsilon_2 = \frac{s'}{s} = \frac{f'}{f} = 1 \pm \frac{\Delta f}{f} = 1 \pm \frac{3}{16s^2 \cos^4 \alpha} \cdot \Delta \dots \dots \dots (15/IV)$$

Δ の値がどの程度に微小なときに (11/IV) 式のかわりに (14/IV) 式の補正係数を実用し得るかを吟味して見ると、おゝむね表-2/IVのとおりである。

表-2/IV 補正係数値の比較

s	tan α	Δ							
		0.0001		0.0005		0.001		0.005	
		ε_1	ε_2	ε_1	ε_2	ε_1	ε_2	ε_1	ε_2
0.02	0.0	1.05	1.05	1.21	1.23	1.39	1.47	2.39	3.35
	0.6	1.05	1.05	1.24	1.27	1.45	1.55	2.55	3.73
0.05	0.0	1.01	1.01	1.04	1.04	1.07	1.08	1.33	1.38
	0.6	1.01	1.01	1.04	1.04	1.09	1.09	1.38	1.44
0.08	0.0	1.00	1.00	1.01	1.01	1.03	1.03	1.14	1.15
	0.6	1.00	1.00	1.02	1.02	1.03	1.03	1.16	1.17

すなわち原索垂下比が下限 ($s=0.02$) のときには $\Delta=0.0005$ 程度まで、中庸 ($s=0.05$) のときは $\Delta=0.001$ 程度まで、上限 ($s=0.08$) のときは $\Delta=0.005$ 程度までは ε_1 のかわりに ε_2 を用いても誤差は実用上許容し得る程度である。 Δ の値がそれ以上の場合には補正係数として (11/IV) 式の ε_1 を用いる必要がある。なお補正係数に及ぼす $\tan \alpha$ の影響は比較的僅少であることもこの表の数値を見れば明らかである。

3. 実験値と補正理論値の比較

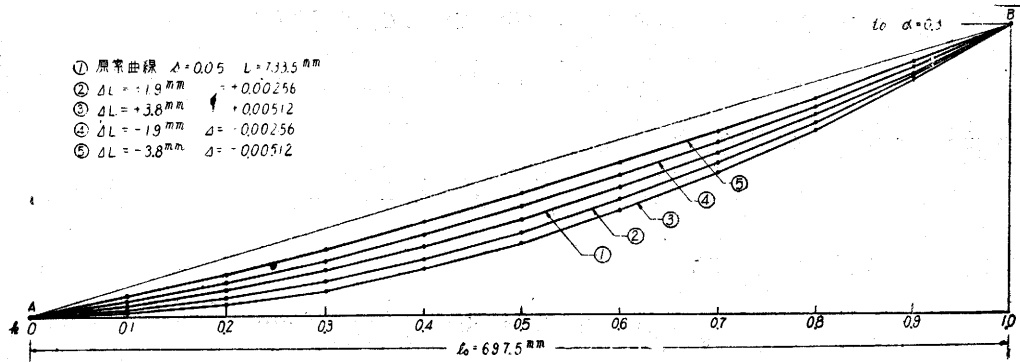
(a) 実験方法

実験の技術上、索の伸縮率 (Δ) を $1/1,000$ 以下にとることは極めて困難なので、 Δ の値を比較的大きくして理論値には (11/IV) 式の一般式を用いて比較することとした。すなわち第 1 節の実験と同様の方法により、同じ細鎖 (1 節の長さ 1.9 mm, 自重 $p=8.51$ mg/mm) を用い、 l_0

表-3/IV 実験に用いた ΔL の値

記号	ΔL (mm)	L (mm)	$\Delta = \Delta L/L$
$-\Delta_3$	-3.8	733.5	-0.00512
$-\Delta_1$	-1.9	"	-0.00256
$+\Delta_1$	+1.9	"	+0.00256
$+\Delta_3$	+3.8	"	+0.00512

$= 697.5 \text{ mm}$, $\tan \alpha = 0.3$, $s = 0.05$, $L = 733.5$ mm の原索を基準とし、鎖を1節ずつ伸縮して中央垂下量 f' をプロットして測定した。測定値は \bar{f}' の記号で表-4/IV に示した。この場合 Δ の値は表-3/IV のとおりで、プロット



- ① 原索曲線 $\Delta = 0.05$ $L = 733.5 \text{ mm}$
- ② $\Delta L = +1.9 \text{ mm}$ $\Delta = +0.00256$
- ③ $\Delta L = +3.8 \text{ mm}$ $\Delta = +0.00512$
- ④ $\Delta L = -1.9 \text{ mm}$ $\Delta = -0.00256$
- ⑤ $\Delta L = -3.8 \text{ mm}$ $\Delta = -0.00512$

図-5/IV

した線形の概況は図-5/IVのとおりである。

(b) 実験値と理論値の比較

(2/IV) 式に $s = 0.05$, $\tan \alpha = 0.3$

および表-3/IV の Δ の値を用いて補正係数 ϵ_1 を求め、中央垂下量 $f' = \epsilon_1 \cdot f$ を算出して実測値 \bar{f}' と比較すると表-4/IVのとおりである。

表-4/IV 索伸縮に伴う無負荷索中央垂下量

f (mm)	Δ	ϵ_1	$f' = \epsilon_1 f$ (mm)	\bar{f}' (mm)
35.0	-0.00512	0.44	15.4	15.7
	-0.00256	0.77	27.0	26.8
	+0.00256	1.34	46.9	45.0
	+0.00512	1.49	52.2	51.0

これによつて見ると理論値と実験値は相当よく一致することがわかる。両者の差異が多少ばらつくのは ΔL の実験上の誤差が鋭敏に現れたものとする。

第3節 負荷による索の弾性伸長に対する索の垂下量の補正

1. 索の弾性伸長と負荷索垂下量の関係

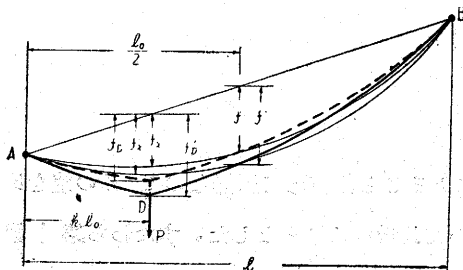


図-6/IV

原索に荷重が負荷されると索の張力は当然増大する。張力によつて生ずる索の応力が弾性限界以内ならば、索は張力の増大量に比例して弾性伸長を起し、そのために図-6/IVに示すごとく荷重作用点の垂下量は f_D' となる。この場合にも荷重が静力学的荷重で、かつ支点変位がないものとする

ば、重積の法則が成立する。したがって索長が変化しない場合の中央垂下量を f 、同垂下比を s 、荷重作用点の垂下量を f_D 、原索に弾性伸長と等しい量の索長変化があつたものと仮定した場合の中央垂下量を f' 、同垂下比を s' とすれば

$$\frac{f_D'}{f_D} = \frac{r f_x'}{r f_x} = \frac{r m f'}{r m f} = \frac{f'}{f} = \frac{s'}{s} \dots\dots\dots (16/IV)$$

ただし $\left\{ \begin{array}{l} r = \text{負荷索増垂係数} \\ m = \text{原索線形係数} \end{array} \right.$

2. 索の弾性伸長率

鋼索を構成する素線の弾性係数（ヤング率）を E 、鋼索のそれを E_c とすれば、通常

$$E = 21,000 \sim 22,000 \text{ kg/mm}^2$$

$$E_c = 0.45E \sim 0.60E$$

であるから、おむね

$$E_c = 9,500 \sim 12,000 \text{ kg/mm}^2 \dots\dots\dots (17/IV)$$

の値をとればよい。

一般に使用される索道主索用鋼索（JIS, G3525, 6×7 ラング撚裸）の素線の引張破断応力は 145~175 kg/mm² であるから、仮に張力に対する安全率を約 3 にとつて許容引張応力（実引張応力最大値）を 50 kg/mm² と押えて見る。

次に原索および負荷索の平均張力は (17/III) 式および (27/III) 式に示したとおり

$$T_{av} \doteq H \sec \alpha = \frac{pL}{8s} \sec \alpha$$

$$T_{rav} \doteq H_r \sec \alpha = \frac{pL}{8s} \{1 + 12(n+n^2)(k-k^2)\}^{\frac{1}{2}} \sec \alpha$$

よつて

$$\frac{T_{rav}}{T_{av}} = \{1 + 12(n+n^2)(k-k^2)\}^{\frac{1}{2}} \dots\dots\dots (18/IV)$$

この式の値が最大値を示すのは $k=0.5$ のときであつて

$$\frac{T_{rav}}{T_{av}} = \{1 + 3(n+n^2)\}^{\frac{1}{2}} \dots\dots\dots (19/IV)$$

一方索の弾性伸長が設計上問題となるのは概して支間距離が大きな場合であつて、荷重比 (n) の値は一般に 1.0 以下のときであると考えてよい。それゆへ (19/IV) 式において $n=1$ とおけば $\frac{T_{rav}}{T_{av}} = \sqrt{7}$ となる。

よつて、負荷による応力増大量 σ_i の最大値は一応 $\sigma_c = 50 - \frac{50}{\sqrt{7}} \doteq 31.5 \text{ kg/mm}^2$ 程度となるが、弾性伸長があれば当然垂下量が増加して負荷索平均張力は低下するから実際の応力増大量はこれよりも少ないはずである。よつて原索と負荷索の応力差の限度は最大

$$\sigma_i = 30 \text{ kg/mm}^2 \dots\dots\dots(20/IV)$$

と押えれば十分であろう。このとき索の弾性伸長率を Δ_e とすれば、 $E_c = 10,000 \text{ kg/mm}^2$ の値を用いて

$$\Delta_e = \frac{\sigma_i}{E_c} = \frac{30}{10000} = 0.003 \dots\dots\dots(21/IV)$$

したがって弾性伸長に対する垂下量補正係数の公式には一般に (11/IV) 式に示した ε_1 の形を用いねばならぬことが知れる。

5. 弾性伸長に対する負荷索垂下量補正係数

索の弾性伸長率 Δ は上記のとおり原索と負荷索の平均応力差 σ_i 、換言すれば平均張力差 T_i によつてきまる。負荷索平均張力の理論値は弾性伸長を無視した場合と、これを考慮に入れた場合とで当然異なるが、後者の場合の値は垂下量の補正值が知れなければ算出できないから、これを正確に求めるには漸近試算法による演算を必要とする。しかし、これを実用的見地から考えると前者の場合の平均張力値を用いて算出した垂下量補正係数 ε_e は、その誤差が安全側にあるから、原索線形および荷重比がある範囲内ならばこれを用いてさしつかえない。すなわち、このときの平均張力差は (17/III) (27/III) 両式より

$$\begin{aligned} T_i &= T_{rav} - T_{av} = H_P \sec \alpha - H \sec \alpha \\ &= \frac{pL}{8s \cos \alpha} \left[\{1 + 12(n+n^2)(k-k^2)\}^{\frac{1}{2}} - 1 \right] \dots\dots\dots(22/IV) \end{aligned}$$

鋼索の弾性係数を E_c 、索線の総有効断面積を A_e 、平均応力差を σ_i とすれば、索の弾性伸長率は

$$\Delta_e = \frac{\sigma_i}{E_c} = \frac{T_i}{A_e E_c} \dots\dots\dots(23/IV)$$

よつて弾性伸長に対する負荷索荷重作用点の垂下量補正係数は (23/IV) 式を (11/IV) 式に入れて

$$\varepsilon_e = \left[1 + 1 + \frac{3}{8s^3 \cos^4 \alpha} \frac{T_i}{A_e E_c} \right]^{\frac{1}{2}} \dots\dots\dots(24/IV)$$

したがって弾性伸長を考慮した場合の荷重作用点の垂下量 ($f_{D'}$) は (24/IV) 式の ε_e を用いて

$$f_{D'} = \varepsilon_e \cdot f_D = \varepsilon_e \cdot r \cdot m \cdot f \dots\dots\dots(25/IV)$$

ただし $\left\{ \begin{array}{l} r = \text{負荷索増垂係数 (弾性伸長無視)} \\ m = \text{原索線形係数} \\ f = \text{原索中央垂下量} \end{array} \right.$

また試験片による索の引張試験の結果特定標点距離に対するその索の荷重一伸長量 ($Q-d$) 曲線が得られている場合、単位荷重当り弾性伸長率 (単位荷重当り伸長量 ÷ 標点距離) を λ とすれば $\lambda = 1/A_e E_c$ であるから、

$$\Delta_e = \lambda T_i \dots\dots\dots(26/IV)$$

$$\epsilon_0 = \left[1 + \left(1 + \frac{3}{8s^2 \cos^4 \alpha} \right) \lambda \cdot T \right]^{\frac{1}{2}} \dots\dots\dots(27/IV)$$

で示すこともできる。

原索垂下比 s が小さく荷重比 n が大きいときには (24/IV) 式または (27/IV) 式の補正係数 ϵ_0 の値の誤差は大きくなるから反覆漸近試算法³⁾によって求めねばならぬ。すなわち (24/IV) 式または (26/IV) 式の補正係数 ϵ_{01} を用いて $s_1 = \epsilon_{01} \cdot s$ を求め、(22/IV) および (24/IV) 式の s のかわりに s_1 を用いて $\epsilon_{02} = \epsilon_{0(s=s_1)}$ を算出し、さらに ϵ_{02} を用いて $s_2 = \epsilon_{02} \cdot s$ を求め、この s_2 の値によつて前と同様の方法で $\epsilon_{03} = \epsilon_{0(s=s_2)}$ を求める。この作業を繰返すと ϵ_0 の値はほど一定値に近づく。このような補正係数を用いて補正を行えば垂下量および張力の正確な値が求められる。特定の索について上記の作業を何回繰返すべきかは、原索の垂下比と荷重比 n の値およびその索の弾性係数 E 。または単位張力当り伸長率 λ によつて決まる索の伸長率 Δ の値如何によつて決めればよい。

4. 弾性伸長を生ずる負荷索の線形

(a) 負荷索の線形

支点変位および索の伸縮がないものと仮定して拋物線索理論により図-7/IVに示すような負荷索の線形、すなわち曲線 AD および曲線 BD の方程式を誘導すると次式を得る。

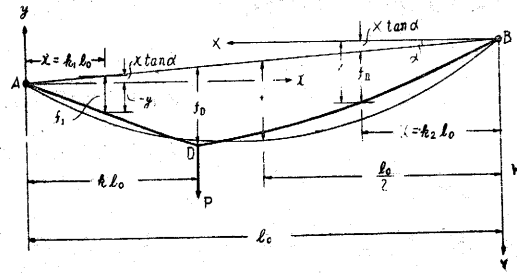


図-7/IV 負荷索の線形

(1) 曲線 AD

$$\left. \begin{aligned} y &= x \tan \alpha - \frac{wl_0 \sec \alpha \{1 + 2n(1-k)\}x - wx^2 \sec \alpha}{2H_F} \\ H_F &= \frac{wl_0}{8s \cos \alpha} \{1 + 12(n+n^2)(k-k^2)\}^{\frac{1}{2}} \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots(28/IV)$$

(2) 曲線 BD

$$\left. \begin{aligned} Y &= X \tan \alpha + \frac{wl_0 \sec \alpha (1 + 2nk)X - wX^2 \sec \alpha}{2H_F} \\ H_F &= \frac{wl_0 \sec \alpha}{8s} \{1 + 12(n+n^2)(k-k^2)\}^{\frac{1}{2}} \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots(29/IV)$$

上式中 $wl_0 \sec \alpha = pL = W =$ 索の自重, $n = P/W = P/pL =$ 荷重比, $kl_0 =$ A 点から荷重位置までの水平距離, $H_F =$ 負荷索張力の水平分力, $s =$ 原索垂下比であつて、支間直線 AB から曲線 AD および曲線 BD までのそれぞれの垂下量を f_I, f_{II} とし、原索垂下量を f_c 、同中央垂下量を f , $x = kl_0$, $X = k_2 l_0$ とすれば、索 AD および BD の任意の位置における垂下量は

$$\left. \begin{aligned} f_I &= 4f \cdot \frac{\{1 + 2n(1-k)\}k_1 - k_1^2}{\{1 + 12(n+n^2)(k-k^2)\}^{1/2}} \\ f_{II} &= 4f \cdot \frac{(1 + 2nk)k_2 - k_2^2}{\{1 + 12(n+n^2)(k-k^2)\}^{1/2}} \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots(30/IV)$$

ただし $k_1 = 0 \sim k, k_2 = 0 \sim (1-k)$

* この方法は実用上は不便である。

しかるに荷重作用点 (D) の垂下量は (9/III) 式に示したとおり

$$f_D = 4f \cdot \frac{(1+2n)(k-k^3)}{\{1+12(n+n^2)(k-k^3)\}^{1/2}} = r \cdot f_x = r \cdot m \cdot f \dots\dots\dots(31/IV)$$

ただし r : 負荷索増垂係数, m : 原索線形係数

であるから

$$\left. \begin{aligned} \frac{f_I}{f_D} &= \frac{\{1+2n(1-k)\}k_1-k_1^3}{(1+2n)(k-k^3)} = m_I \\ \frac{f_{II}}{f_D} &= \frac{(1+2nk)k_2-k_2^3}{(1+2n)(k-k^3)} = m_{II} \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots(32/IV)$$

上式の m_I, m_{II} は索 AD および BD の線形係数であつて, その値は荷重位置 k と荷重比 n の如何によつてきまる。(31/IV), (32/IV) 式より

$$\left. \begin{aligned} f_I &= m_I \cdot f_D = m_I \cdot r \cdot f_x = m_I \cdot r \cdot m \cdot f \\ f_{II} &= m_{II} \cdot f_D = m_{II} \cdot r \cdot f_x = m_{II} \cdot r \cdot m \cdot f \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots(33/IV)$$

ここで支点変位または索の伸縮があつたとして, その場合の垂下量補正係数を ϵ とすれば, 補正垂下量は

$$\left. \begin{aligned} f_{I'} &= m_I \cdot r \cdot m \cdot \epsilon \cdot f \\ f_{II'} &= m_{II} \cdot r \cdot m \cdot \epsilon \cdot f \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots(34/IV)$$

(b) 実験値

第III章第6節の実験の際負荷による索(鎖)の伸長が垂下量に強く影響することが認められたので, 同じ実験装置を用いて負荷索の垂下量を測定して補正理論値と比較した。この実験装置では前記のとおり支点反力が常に垂直方向に働くように調整して水平方向の支点変位が起らぬように注意し(写真-1/IV参照), かつ測定を短時間内におこなつて温度変化の影響を避けるようにしたから, 測定値には索の負荷による伸長以外の因子の影響はほとんど入っていないものと考えてよい。

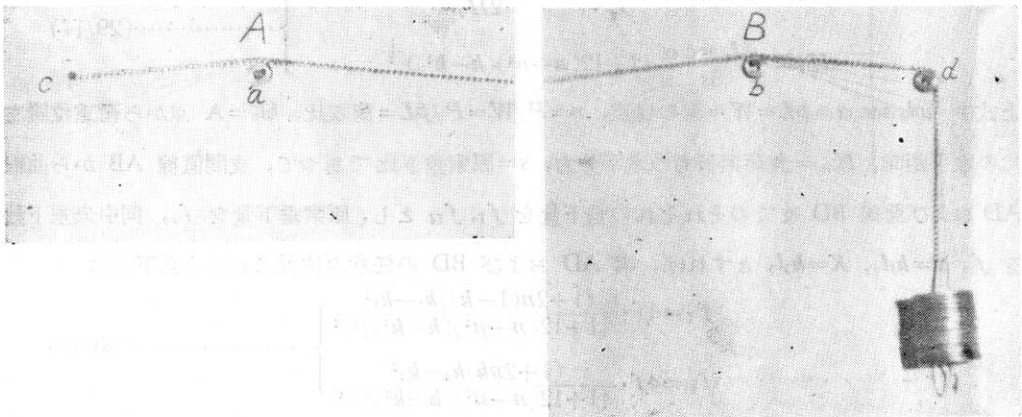


写真-1/IV 負荷索垂下量測定

垂下量の測定はまず $s=0.05$ の場合を選んで $l=l_0=3,600\text{mm}$, $\tan\alpha=0$, $p=8.51\text{mg/mm}$, $n=0.5, 1.0, 2.0$ の条件により荷重位置を $k=0.1\sim 0.9$ に移動し, k がそれぞれの値をとつた場合における索の垂下量を, k_1, k_2 がそれぞれ $0.1\sim 0.9$ の位置においてスチールテープで直接測定した。その値は表-8/IVに \bar{f}_I, \bar{f}_{II} で示すとおりである。

(c) 理論値

上記の実験値と比較した理論値は荷重作用点垂下量無補正理論値 $f_D=r\cdot f_s=r\cdot m\cdot f$ と, 索の弾性伸長を考慮した反覆漸近試算による第1次~第3次補正值 $f_D^{(1)}=\varepsilon_{e1}\cdot f_D, f_D^{(2)}=\varepsilon_{e2}\cdot f_D, f_D^{(3)}=\varepsilon_{e3}\cdot f_D$ である。まず (32/IV) 式により荷重比 $n=0.5, 1.0, 2.0$ の場合における負荷索線形係数 (m_I, m_{II}) を算出すれば表-5/IVのとおりである。

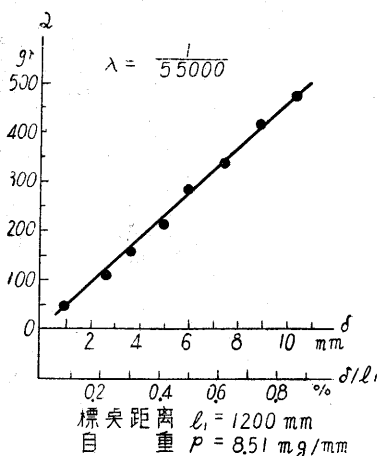
表-5/IV 負荷索線形係数の値

荷重位置係数 k	荷重比 n	線形係数 m_I								
		距離係数 k_1		0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9
		0.1	0.2							
0.1	0.5		1.333	1.556	1.637	1.667	1.556	1.333	1.000	0.556
	1.0	1.000	1.185	1.296	1.333	1.296	1.185	1.000	0.741	0.407
	2.0		1.067	1.039	1.067	1.000	1.899	0.733	0.533	0.239
0.2	0.5	0.531		1.094	1.125	1.094	1.000	0.814	0.625	0.344
	1.0	0.521	1.000	1.021	1.000	0.933	0.833	0.683	0.590	0.271
	2.0	0.513		0.963	0.900	0.813	0.700	0.563	0.400	0.213
0.3	0.5	0.381	0.714		1.000	0.952	0.857	0.714	0.524	0.285
	1.0	0.365	0.698	1.000	0.937	0.873	0.762	0.619	0.444	0.833
	2.0	0.352	0.686		0.914	0.810	0.685	0.543	0.381	0.200
0.4	0.5	0.313	0.583	0.813		0.928	0.833	0.683	0.500	0.271
	1.0	0.291	0.556	0.792	1.000	0.903	0.778	0.625	0.444	0.236
	2.0	0.275	0.533	0.775		0.875	0.733	0.575	0.400	0.208
0.5	0.5	0.289	0.520	0.720	0.890		0.880	0.720	0.520	0.289
	1.0	0.253	0.489	0.630	0.853	1.000	0.853	0.689	0.489	0.253
	2.0	0.232	0.448	0.648	0.835		0.835	0.648	0.448	0.232
0.6	0.5	0.271	0.500	0.683	0.833	0.928		0.813	0.583	0.313
	1.0	0.236	0.444	0.625	0.778	0.903	1.000	0.792	0.556	0.292
	2.0	0.208	0.400	0.575	0.733	0.875		0.775	0.533	0.275
0.7	0.5	0.285	0.524	0.714	0.857	0.952	1.000		0.714	0.381
	1.0	0.238	0.444	0.619	0.762	0.873	0.937	1.000	0.693	0.565
	2.0	0.200	0.381	0.543	0.685	0.810	0.914		0.630	0.352
0.8	0.5	0.344	0.625	0.814	1.000	1.094	1.125	1.094		0.531
	1.0	0.271	0.500	0.683	0.833	0.933	1.000	1.021	1.000	0.521
	2.0	0.213	0.400	0.563	0.700	0.813	0.900	0.933		0.513
0.9	0.5	0.556	1.000	1.333	1.555	1.637	1.657	1.556	1.333	
	1.0	0.407	0.741	1.000	1.185	1.296	1.333	1.296	1.185	1.000
	2.0	0.289	0.533	0.733	0.833	1.000	1.067	1.089	1.067	
k	n	距離係数 k_2								
		0.9	0.8	0.7	0.6	0.5	0.4	0.3	0.2	0.1
線形係数 m_{II}										

次に (10/III) 式による荷重作用点垂下量無補正理論値 f_D を算出すると表-6/IVのとおりである。

表-6/IV 荷重作用点垂下量理論値 (無補正值 f_D) $s=0.05$

$l_0=l$ (mm)	s	$f=s \cdot l_0$ (mm)	k	m	$f_x=m \cdot f$ (mm)	n	r	$f_L=r \cdot f_x$ (mm)	備 考
3600	0.05	180	0.1 (0.9)	0.36	65	0.5 1.0 2.0	1.49 1.63 1.83	97 110 119	$m=4(k-k^2)$: 原索線形係数 $n=P/W$: 荷重比 $r = \frac{(1+2n)}{\{1+12(n+n^2)(k-k^2)\}^{1/2}}$: 負荷索増垂係数
			0.2 (0.8)	0.64	115	0.5 1.0 2.0	1.28 1.36 1.41	147 156 162	
			0.3 (0.7)	0.81	151	0.5 1.0 2.0	1.18 1.22 1.25	178 184 189	
			0.4 (0.6)	0.96	173	0.5 1.0 2.0	1.13 1.15 1.17	195 199 202	
			0.5	1.00	180	0.5 1.0 2.0	1.11 1.13 1.15	200 203 207	



次に補正係数の値を求めるために実験用の細鎖についてあらかじめ引張試験を行って、荷重—伸長量曲線 ($Q-\delta$ 曲線) を描いて見ると、さいわいに図-8/IVに示すごとく、極めて良好な比例関係が得られ、後記の支点張力測定実験に用いた張力 (荷重) の範囲では明らかに弾性限界 (比例限界) 以内の応力—歪関係を示すことが判明した。この予備実験における試験片の標尺距離 l_1 は 1,200mm であつたから、伸長量 δ を伸長率 δ/l_1 に換算して、図上から (26/IV) 式の λ の値、すなわち荷重 (張力 Q) 1 gr 当りの弾性伸長率を求めると $\lambda=1/55,000$ である。よつて (27/IV) 式の補正係数 ϵ_e の値の算出に

この値を用いて反覆漸近試算により第1次~第3次補正係数 $\epsilon_{e1}, \epsilon_{e2}, \epsilon_{e3}$ を求め、この係数を表-6/IVの荷重作用点垂下量無補正值 f_D および原索垂下比 (s) に乗じて、荷重作用点の第1次~第3次補正垂下量 ($f_D^{(1)} f_D^{(2)} f_D^{(3)}$) および第1次~第3次補正垂下比 (s_1, s_2, s_3) を求めると表-7/IVのとおりである。

表-7/IV 荷重作用点の補正垂下量および補正垂下比 (理論値)

s	k	n	T_{11} (gr)	L_1	ϵ_{e1}	$f_D^{(1)}$ (mm)	s_1	T_{12} (gr)	L_2	ϵ_{e2}	$f_D^{(2)}$ (mm)	s_2	T_{13} (gr)	L_3	ϵ_{e3}	$f_D^{(3)}$ (mm)	s_3
0.05	0.1 (0.9)	0.5	27	0.0005	1.03	99	0.052	26	0.0005	1.03	99	0.052	26	0.0005	1.03	99	0.052
		1.0	60	0.0011	1.08	119	0.054	56	0.0010	1.06	117	0.053	54	0.0011	1.07	118	0.054
		2.0	133	0.0024	1.17	183	0.059	114	0.0021	1.11	182	0.056	124	0.0023	1.13	184	0.059
	0.2 (0.8)	0.5	43	0.0008	1.06	157	0.053	41	0.0007	1.05	154	0.053	41	0.0007	1.05	154	0.053
		1.0	86	0.0017	1.12	175	0.056	88	0.0016	1.08	168	0.054	89	0.0016	1.10	172	0.055
		2.0	166	0.0036	1.24	202	0.062	159	0.0029	1.13	183	0.057	172	0.0031	1.17	190	0.059

0.3 (0.7)	0.5	54	0.0011	1.08	202	0.054	50	0.0009	1.06	189	0.053	52	0.0009	1.07	189	0.054
	1.0	113	0.0020	1.14	210	0.057	99	0.0018	1.08	199	0.054	105	0.0019	1.12	276	0.055
	2.0	232	0.0042	1.28	242	0.064	182	0.0033	1.14	215	0.057	205	0.0027	1.19	225	0.060
0.4 (0.6)	0.5	60	0.0011	1.08	211	0.054	56	0.0010	1.06	207	0.053	53	0.0010	1.07	209	0.054
	1.0	123	0.0022	1.15	228	0.058	107	0.0020	1.11	221	0.056	114	0.0021	1.12	223	0.056
	2.0	252	0.0046	1.30	263	0.065	195	0.0035	1.15	232	0.053	218	0.0040	1.20	242	0.060
0.5	0.5	62	0.0011	1.08	216	0.054	57	0.0011	1.07	214	0.043	57	0.0011	1.07	214	0.054
	1.0	127	0.0023	1.16	236	0.058	110	0.0020	1.11	225	0.056	114	0.0021	1.11	225	0.056
	2.0	259	0.0047	1.31	270	0.066	197	0.0036	1.15	233	0.058	232	0.0042	1.21	250	0.060

〔註〕 支間 $l=l_0=3,600\text{mm}$, 支間勾配 $\tan\alpha=0$, 原索中央垂下比 $s=0.05$,
索重量 $p=8.51\text{ mg/mm}$

(d) 実験値と理論値の比較

(b) の実験値 (\bar{f}_I, \bar{f}_{II}) と (c) の理論値 $f_I, f_I^{(1)}, f_I^{(2)}, f_I^{(3)}; f_{II}, f_{II}^{(1)}, f_{II}^{(2)}, f_{II}^{(3)}$ を比較対照して示すと表—8/IVに示すのとおりであつて, 表中太字は荷重作用点の垂下量 ($\bar{f}_D, f_D, f_D^{(1)}, f_D^{(2)}, f_D^{(3)}$) である。

表—8/IV 負荷索線形 (垂下量) の実験値と理論値

n	k	垂下量種別	線形 (垂下量) (mm)								
			測定位置								
			$k_1=0.1$ ($k_2=0.9$)	0.2 (0.8)	0.3 (0.7)	0.4 (0.6)	0.5 (0.5)	0.6 (0.4)	0.7 (0.3)	0.8 (0.2)	0.9 (0.1)
0.5	0.1 (0.9)	f_I, f_{II}	95	129	151	162	162	151	129	97	54
		$f_I^{(1)}, f_{II}^{(1)}$	99	132	155	165	165	155	132	99	55
		$f_I^{(2)}, f_{II}^{(2)}$	〃	〃	〃	〃	〃	〃	〃	〃	〃
		$f_I^{(3)}, f_{II}^{(3)}$	〃	〃	〃	〃	〃	〃	〃	〃	〃
		\bar{f}_I, \bar{f}_{II}	99	131	153	164	167	153	130	97	55
	0.2 (0.8)	f_I, f_{II}	78	147	161	165	161	147	124	92	51
		$f_I^{(1)}, f_{II}^{(1)}$	83	175	173	177	173	157	132	99	53
		$f_I^{(2)}, f_{II}^{(2)}$	81	163	167	172	167	153	129	96	〃
		$f_I^{(3)}, f_{II}^{(3)}$	〃	〃	〃	〃	〃	〃	〃	〃	〃
		\bar{f}_I, \bar{f}_{II}	80	153	168	174	169	153	127	94	52
	0.3 (0.7)	f_I, f_{II}	69	127	178	178	169	153	127	93	52
		$f_I^{(1)}, f_{II}^{(1)}$	77	143	202	202	191	173	143	105	58
		$f_I^{(2)}, f_{II}^{(2)}$	72	135	189	189	180	162	135	99	54
		$f_I^{(3)}, f_{II}^{(3)}$	〃	〃	〃	〃	〃	〃	〃	〃	〃
		\bar{f}_I, \bar{f}_{II}	71	132	186	187	179	159	131	96	53
	0.4 (0.6)	f_I, f_{II}	61	114	159	195	181	162	134	98	53
		$f_I^{(1)}, f_{II}^{(1)}$	65	122	171	211	196	175	146	106	57
		$f_I^{(2)}, f_{II}^{(2)}$	〃	120	168	207	192	172	142	104	56
		$f_I^{(3)}, f_{II}^{(3)}$	〃	〃	〃	〃	〃	〃	〃	〃	〃
		\bar{f}_I, \bar{f}_{II}	63	118	164	205	194	171	137	102	55
0.5	f_I, f_{II}	56	104	144	176	200	176	144	104	56	
	$f_I^{(1)}, f_{II}^{(1)}$	60	112	156	190	216	190	156	112	60	
	$f_I^{(2)}, f_{II}^{(2)}$	〃	111	154	188	214	188	154	111	〃	
	$f_I^{(3)}, f_{II}^{(3)}$	〃	〃	〃	〃	〃	〃	〃	〃	〃	
	\bar{f}_I, \bar{f}_{II}	58	107	150	185	212	185	149	108	58	
0.1 (0.9)	f_I, f_{II}	110	130	143	147	143	130	110	82	45	
	$f_I^{(1)}, f_{II}^{(1)}$	119	141	155	159	155	141	119	88	49	
	$f_I^{(2)}, f_{II}^{(2)}$	114	135	148	152	148	135	114	84	45	
	$f_I^{(3)}, f_{II}^{(3)}$	〃	〃	〃	〃	〃	〃	〃	〃	〃	
	\bar{f}_I, \bar{f}_{II}	111	132	147	152	150	135	117	83	44	

1.0	0.2 (0.8)	f_I, f_{II}	81	156	159	156	145	130	107	78	42
		$f_I^{(1)}, f_{II}^{(1)}$	91	175	179	175	163	145	121	88	47
		$f_I^{(2)}, f_{II}^{(2)}$	89	170	173	170	159	142	117	85	46
		$f_I^{(3)}, f_{II}^{(3)}$	//	//	//	//	//	//	//	//	//
		\bar{f}_I, \bar{f}_{II}	83	170	172	170	160	140	113	82	44
	0.3 (0.7)	f_I, f_{II}	67	128	184	172	161	140	114	82	44
		$f_I^{(1)}, f_{II}^{(1)}$	74	147	210	197	183	160	130	92	50
		$f_I^{(2)}, f_{II}^{(2)}$	74	142	203	190	177	155	126	90	49
		$f_I^{(3)}, f_{II}^{(3)}$	//	//	//	//	//	//	//	//	//
		\bar{f}_I, \bar{f}_{II}	71	140	202	193	179	154	122	87	47
	0.4 (0.6)	f_I, f_{II}	58	111	157	199	181	155	124	88	47
		$f_I^{(1)}, f_{II}^{(1)}$	66	128	180	228	205	178	144	100	55
$f_I^{(2)}, f_{II}^{(2)}$		64	123	175	221	200	172	138	98	52	
$f_I^{(3)}, f_{II}^{(3)}$		//	//	//	//	//	//	//	//	//	
\bar{f}_I, \bar{f}_{II}		62	120	173	222	201	170	136	95	50	
0.5	f_I, f_{II}	51	97	148	173	203	173	148	97	51	
	$f_I^{(1)}, f_{II}^{(1)}$	59	113	160	201	236	201	160	113	59	
	$f_I^{(2)}, f_{II}^{(2)}$	57	108	153	192	225	192	153	108	57	
	$f_I^{(3)}, f_{II}^{(3)}$	//	//	//	//	//	//	//	//	//	
	\bar{f}_I, \bar{f}_{II}	55	106	151	194	229	192	152	106	54	
2.0	0.1 (0.9)	f_I, f_{II}	119	127	130	127	119	106	87	63	34
		$f_I^{(1)}, f_{II}^{(1)}$	139	148	151	148	139	124	102	74	40
		$f_I^{(2)}, f_{II}^{(2)}$	127	136	138	136	127	114	93	68	37
		$f_I^{(3)}, f_{II}^{(3)}$	133	141	145	141	133	118	97	71	38
		\bar{f}_I, \bar{f}_{II}	135	142	145	144	137	119	95	69	37
	0.2 (0.8)	f_I, f_{II}	83	162	156	146	132	113	91	65	35
		$f_I^{(1)}, f_{II}^{(1)}$	104	202	195	182	164	141	114	81	43
		$f_I^{(2)}, f_{II}^{(2)}$	93	181	174	163	147	127	102	72	39
		$f_I^{(3)}, f_{II}^{(3)}$	97	190	183	171	154	133	147	76	40
		\bar{f}_I, \bar{f}_{II}	96	191	186	174	158	132	104	74	38
	0.3 (0.7)	f_I, f_{II}	67	130	189	181	152	130	103	72	38
		$f_I^{(1)}, f_{II}^{(1)}$	85	166	242	221	196	166	131	92	48
$f_I^{(2)}, f_{II}^{(2)}$		75	146	213	195	172	156	116	81	43	
$f_I^{(3)}, f_{II}^{(3)}$		79	154	225	206	182	154	122	86	45	
\bar{f}_I, \bar{f}_{II}		81	153	224	206	184	153	119	83	42	
0.4 (0.6)	f_I, f_{II}	56	103	151	202	177	148	116	81	42	
	$f_I^{(1)}, f_{II}^{(1)}$	72	140	204	263	232	193	151	105	55	
	$f_I^{(2)}, f_{II}^{(2)}$	63	123	178	230	201	169	132	92	48	
	$f_I^{(3)}, f_{II}^{(3)}$	67	131	190	245	214	180	141	98	51	
	\bar{f}_I, \bar{f}_{II}	65	129	189	248	218	180	139	96	48	
0.5	f_I, f_{II}	48	93	134	173	207	173	134	93	48	
	$f_I^{(1)}, f_{II}^{(1)}$	62	120	175	225	270	225	175	120	62	
	$f_I^{(2)}, f_{II}^{(2)}$	55	107	154	199	238	199	154	107	55	
	$f_I^{(3)}, f_{II}^{(3)}$	58	112	162	209	250	209	162	112	58	
	\bar{f}_I, \bar{f}_{II}	57	110	159	209	252	209	160	110	57	

(註) f_I, f_{II} : 無補正值
 $f_I^{(1)}, f_{II}^{(1)}$: 第1次補正值
 $f_I^{(2)}, f_{II}^{(2)}$: 第2次補正值
 $f_I^{(3)}, f_{II}^{(3)}$: 第3次補正值
 $f_I^{(k_1=k)} = f_{II}^{(k_2=k)} = f_D$

支間 $l=l_0=3,600$
 支間勾配 $\tan \alpha = 0$
 原索中央垂下比 $s=0.05$

これによつて見ると原索垂下比が 0.05 の場合には実験値と無補正理論値との間にはかなり大きな差異があるが、補正理論値は実験値と相当よく一致することが知れる。また荷重作用点の垂下量の理論値がその実験値と極めてよく一致する場合には、これに負荷索線形係数を乗じた任意の点の負荷索垂下量理論値もまた極めてよくその実験値と一致することも明らかとなつた。よ

表-10/IV 荷重作用点の垂下量補正係数・補正垂下量および補正垂下比の理論値

s	k	n	T _{i1} (gr)	Δ ₁	ε _{e1}	f _D ⁽¹⁾ (mm)	s ₁	T ₂ (gr)	ε ₂	ε _{e2}	f _D ⁽²⁾ (mm)	s ₂	T _{i3} (gr)	Δ ₃	ε _{e3}	f _D ⁽³⁾ (mm)	s ₃	T _{i4} (mm)	Δ ₄	ε _{e4}	f _D ⁽⁴⁾ (mm)	s ₄	f _{D_{av}} (mm)	s _{av}
0.02	0.1 (0.9)	0.5	67	0.0012	1.46	57	0.029	47	0.0009	1.20	47	0.024	58	0.0011	1.31	51	0.026	52	0.0009	1.23	48	0.025	48	0.025
		1.0	150	0.0027	1.88	83	0.038	80	0.0015	1.18	52	0.024	130	0.0024	1.60	70	0.032	94	0.0017	1.27	56	0.025	64	0.029
		2.0	332	0.0060	2.58	124	0.052	129	0.0023	1.15	55	0.023	191	0.0053	2.18	105	0.044	152	0.0028	1.24	60	0.025	86	0.036
	0.2 (0.8)	0.5	106	0.0019	1.67	99	0.033	66	0.0012	1.19	70	0.024	94	0.0017	1.45	86	0.029	75	0.0014	1.27	75	0.025	79	0.027
		1.0	238	0.0043	2.24	141	0.045	107	0.0020	1.17	74	0.023	208	0.0038	1.92	121	0.038	126	0.0023	1.26	79	0.025	102	0.033
		2.0	487	0.0089	2.89	188	0.058	169	0.0031	1.16	75	0.023	427	0.0078	2.56	166	0.051	193	0.0035	1.23	80	0.025	127	0.039
	0.3 (0.7)	0.5	134	0.0024	1.80	128	0.036	75	0.0014	1.19	84	0.024	117	0.0021	1.54	109	0.031	88	0.0016	1.27	90	0.025	100	0.028
		1.0	280	0.0051	2.41	176	0.048	118	0.0022	1.17	85	0.023	245	0.0044	2.06	150	0.041	138	0.0025	1.25	91	0.025	125	0.034
		2.0	577	0.0105	3.30	248	0.066	173	0.0031	1.13	85	0.023	506	0.0092	2.72	204	0.054	210	0.0038	1.22	91	0.024	166	0.043
	0.4 (0.6)	0.5	150	0.0027	1.88	147	0.038	80	0.0015	1.18	92	0.024	130	0.0024	1.60	125	0.032	94	0.0017	1.27	99	0.025	113	0.029
		1.0	307	0.0056	2.50	198	0.050	124	0.0023	1.16	93	0.023	269	0.0049	2.14	169	0.043	140	0.0025	1.23	107	0.025	139	0.035
		2.0	627	0.0114	3.45	279	0.069	180	0.0033	1.12	91	0.022	576	0.0104	3.01	244	0.060	211	0.0038	1.18	96	0.024	180	0.045
	0.5	0.5	153	0.0028	1.90	152	0.038	82	0.0015	1.18	94	0.024	134	0.0024	1.60	128	0.032	97	0.0018	1.27	102	0.025	116	0.029
		1.0	316	0.0057	2.52	204	0.050	128	0.0023	1.16	94	0.023	277	0.0050	2.13	172	0.043	145	0.0026	1.24	104	0.025	143	0.035
		2.0	644	0.0117	3.46	287	0.069	188	0.0034	1.12	93	0.022	591	0.0107	3.05	253	0.061	213	0.0039	1.18	98	0.024	185	0.045
0.05	0.1 (0.9)	0.5	27	0.0005	1.03	99	0.052	26	0.0005	1.03	99	0.052	26	0.0005	1.03	99	0.052	—	—	—	—	—	98	0.051
		1.0	60	0.0011	1.08	119	0.054	56	0.0010	1.06	117	0.053	58	0.0011	1.07	118	0.054	—	—	—	—	—	115	0.052
		2.0	133	0.0024	1.17	139	0.059	114	0.0021	1.11	132	0.056	124	0.0023	1.13	134	0.059	—	—	—	—	—	129	0.055
	0.2 (0.8)	0.5	43	0.0008	1.06	157	0.053	41	0.0007	1.05	154	0.053	41	0.0007	1.05	154	0.053	—	—	—	—	—	152	0.052
		1.0	96	0.0017	1.12	175	0.056	88	0.0016	1.08	168	0.054	89	0.0016	1.10	172	0.055	—	—	—	—	—	166	0.053
		2.0	196	0.0036	1.24	202	0.062	159	0.0029	1.13	183	0.057	172	0.0031	1.17	190	0.059	—	—	—	—	—	182	0.056
	0.3 (0.7)	0.5	54	0.0011	1.08	202	0.054	50	0.0009	1.06	189	0.053	52	0.0009	1.07	189	0.054	—	—	—	—	—	190	0.052
		1.0	113	0.0020	1.14	210	0.057	99	0.0018	1.08	199	0.054	105	0.0019	1.12	206	0.056	—	—	—	—	—	197	0.054
		2.0	232	0.0042	1.28	242	0.064	182	0.0033	1.14	215	0.057	205	0.0038	1.19	225	0.060	—	—	—	—	—	216	0.057
	0.4 (0.6)	0.5	60	0.0011	1.08	211	0.054	56	0.0010	1.06	207	0.053	58	0.0010	1.07	209	0.054	—	—	—	—	—	203	0.052
		1.0	123	0.0022	1.15	228	0.058	107	0.0020	1.11	221	0.056	114	0.0021	1.12	223	0.056	—	—	—	—	—	214	0.054
		2.0	252	0.0046	1.30	263	0.065	195	0.0035	1.15	232	0.058	218	0.0040	1.20	242	0.060	—	—	—	—	—	233	0.058
	0.5	0.5	62	0.0011	1.08	216	0.054	57	0.0011	1.07	214	0.054	57	0.0011	1.07	214	0.054	—	—	—	—	—	208	0.052
		1.0	127	0.0023	1.16	236	0.058	110	0.0020	1.11	225	0.056	114	0.0021	1.11	225	0.056	—	—	—	—	—	220	0.054
		2.0	259	0.0047	1.31	270	0.066	197	0.0036	1.15	238	0.058	232	0.0042	1.21	250	0.060	—	—	—	—	—	239	0.053
0.08	0.1 (0.9)	0.5	17	0.0003	1.01	157	0.081	17	0.0003	1.01	157	0.081	—	—	—	—	—	—	—	—	—	156	0.081	
		1.0	38	0.0007	1.03	181	0.082	37	0.0007	1.03	181	0.082	—	—	—	—	—	—	—	—	—	179	0.081	
		2.0	84	0.0015	1.04	198	0.083	81	0.0015	1.04	198	0.083	—	—	—	—	—	—	—	—	—	194	0.082	
	0.2 (0.8)	0.5	27	0.0005	1.01	238	0.081	27	0.0005	1.01	238	0.081	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	237	0.081
		1.0	60	0.0011	1.03	258	0.082	59	0.0011	1.03	258	0.082	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	254	0.081
		2.0	124	0.0023	1.07	277	0.086	115	0.0021	1.05	272	0.084	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	268	0.083
	0.3 (0.7)	0.5	34	0.0006	1.02	292	0.082	33	0.0006	1.02	292	0.082	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	289	0.081
		1.0	71	0.0013	1.04	307	0.083	68	0.0012	1.03	304	0.082	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	301	0.082
		2.0	147	0.0027	1.08	327	0.086	136	0.0025	1.06	321	0.085	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	315	0.083
	0.4 (0.6)	0.5	38	0.0007	1.03	321	0.082	37	0.0007	1.03	321	0.082	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	317	0.081
		1.0	78	0.0014	1.04	330	0.083	75	0.0014	1.04	330	0.083	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	324	0.082
		2.0	159	0.0029	1.08	349	0.086	147	0.0027	1.07	346	0.086	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	336	0.083
	0.5	0.5	39	0.0007	1.03	330	0.082	38	0.0007	1.03	330	0.082	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	325	0.081
		1.0	80	0.0015	1.05	341	0.084	76	0.0014	1.05	341	0.084	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	333	0.082
		2.0	164	0.0030	1.09	361	0.087	149	0.0027	1.07	354	0.086	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	346	0.084

つて理論値として第何次の補正值までを算出すべきかは、荷重作用点の垂下量すなわち荷重軌跡曲線の線形について吟味すればたりのわけである。

5. 弾性伸長を生ずる索の荷重軌跡曲線

支点変位および索の伸縮がないものと仮定した場合の荷重作用点 (D) の垂下量 (f_D) は前記のとおり

$$f_D = 4f \cdot \frac{(1+2n)(k-k^2)}{\{1+12(n+n^2)(k-k^2)\}^{1/2}} = r \cdot f_x = r \cdot m \cdot f$$

であるから、支点変位または索の伸縮を考慮した場合の垂下量補正係数を ε とすれば、この場合の荷重軌跡曲線の線形を示す補正垂下量は

$$f_{D'} = \varepsilon \cdot f_D = r \cdot \varepsilon \cdot f_x = r \cdot m \cdot \varepsilon \cdot f \dots\dots\dots(35/IV)$$

である。4. の実験に採用した諸元に対応する荷重作用点垂下量の数値 (理論値および実験値) は表-8/IVに太字で示したとおりである。しかしてこの数値は前記のとおり原索中央垂下比が $s = 0.05$ の場合のものであるから、4. の実験および計算方法とまったく同じ方法により、 $s = 0.02$

表-9/IV 荷重作用点垂下量無補正理論値

$l_0=l$ (mm)	s	$f=s \cdot l_0$ (mm)	k	m	$f_x=m \cdot f$ (mm)	n	r	$f_D=r \cdot f_x$ (mm)
3600	0.02	72	0.1 (0.9)	0.36	26	0.5 1.0 2.0	1.49 1.69 1.83	39 44 48
			0.2 (0.8)	0.64	46	0.5 1.0 2.0	1.28 1.36 1.41	59 63 65
			0.3 (0.7)	0.84	60	0.5 1.0 2.0	1.18 1.22 1.25	71 73 75
			0.4 (0.6)	0.96	69	0.5 1.0 2.0	1.13 1.15 1.17	78 79 81
			0.5	1.00	72	0.5 1.0 2.0	1.11 1.13 1.15	80 81 83
3600	0.08	288	0.1 (0.9)	0.36	104	0.5 1.0 2.0	1.49 1.69 1.83	155 176 190
			0.2 (0.8)	0.64	184	0.5 1.0 2.0	1.28 1.36 1.41	236 250 259
			0.3 (0.7)	0.84	242	0.5 1.0 2.0	1.18 1.22 1.25	286 295 303
			0.4 (0.6)	0.96	276	0.5 1.0 2.0	1.13 1.15 1.17	312 317 323
			0.5	1.00	288	0.5 1.0 2.0	1.11 1.13 1.15	320 325 331

表-11/IV 荷重軌跡曲線の試験値と理論値

n	s	f (mm)	k	f_D (mm)	$f_{D^{(1)}}$ (mm)	$f_{D^{(2)}}$ (mm)	$f_{D^{(3)}}$ (mm)	$f_{D^{(4)}}$ (mm)	f_{Dav} (mm)	\bar{f}_D (mm)
0.5	0.02	72	0.1 (0.9)	39	57	47	51	48	48	50
			0.2 (0.8)	59	99	70	85	75	79	83
			0.3 (0.7)	71	123	84	109	90	100	102
			0.4 (0.6)	78	147	92	125	99	113	115
			0.5	83	152	94	128	102	116	118
	0.05	180	0.1 (0.9)	97	99	99	99	—	98	98
			0.2 (0.8)	147	157	154	154	—	152	153
			0.3 (0.7)	178	202	189	189	—	190	194
			0.4 (0.6)	195	211	207	209	—	203	205
0.5			200	216	214	214	—	208	210	
0.08	288	0.1 (0.9)	155	157	157	—	—	156	154	
		0.2 (0.8)	236	238	238	—	—	237	239	
		0.3 (0.7)	285	292	292	—	—	289	292	
		0.4 (0.6)	312	321	321	—	—	317	318	
		0.5	320	330	330	—	—	325	328	
1.0	0.02	72	0.1 (0.9)	44	83	52	70	56	64	58
			0.2 (0.8)	63	141	74	121	79	102	99
			0.3 (0.7)	73	176	85	150	91	125	120
			0.4 (0.6)	79	198	93	169	107	139	136
			0.5	81	204	94	172	104	143	139
	0.05	180	0.1 (0.9)	110	119	117	118	—	115	113
			0.2 (0.8)	156	175	168	172	—	166	170
			0.3 (0.7)	184	210	199	206	—	197	202
			0.4 (0.6)	202	228	221	223	—	214	222
0.5			203	236	225	225	—	220	229	
0.08	288	0.1 (0.9)	176	181	181	—	—	179	180	
		0.2 (0.8)	250	258	258	—	—	254	258	
		0.3 (0.7)	295	307	304	—	—	301	300	
		0.4 (0.6)	317	330	330	—	—	324	330	
		0.5	325	341	341	—	—	333	335	
2.0	0.02	72	0.1 (0.9)	48	124	55	105	60	86	78
			0.2 (0.8)	65	183	75	166	80	127	120
			0.3 (0.7)	75	248	85	204	91	162	145
			0.4 (0.6)	81	279	91	244	96	180	167
			0.5	83	287	93	253	98	185	171
	0.05	180	0.1 (0.9)	119	139	132	134	—	129	135
			0.2 (0.8)	162	202	183	190	—	182	191
			0.3 (0.7)	189	242	215	225	—	216	224
			0.4 (0.6)	202	263	232	242	—	233	248
0.5			207	270	238	250	—	239	252	
0.08	288	0.1 (0.9)	190	198	198	—	—	194	199	
		0.2 (0.8)	259	277	272	—	—	268	277	
		0.3 (0.7)	303	327	321	—	—	315	323	
		0.4 (0.6)	323	349	346	—	—	336	345	
		0.5	331	361	354	—	—	346	357	

〔註〕 $l_0 = l = 3600$ mm, $\tan \alpha = 0$, $p = 8.51$ gr/mm $n = P/pL$: 荷重比 s : 原索垂下比 f : 原索中央垂下量 f_D : 荷重作用点垂下量理論値 (無補正) $f_{D^{(1)}}$: 同上 (第1次補正) $f_{D^{(2)}}$: 同上 (第2次補正) $f_{D^{(3)}}$: 同上 (第3次補正) $f_{D^{(4)}}$: 同上 (第4次補正) f_{Dav} : f_D と $f_{D^{(1)}}$ の平均値 \bar{f}_D : 荷重作用点垂下量実験値

および $s=0.08$ の場合についても実験を行い、まず荷重作用点垂下量の無補正理論値および補正理論値ならびに補正垂下比 (s_0) を算出すると表—9/IVおよび表—10/IVのとおりである。これらの垂下量理論値を実測値 (\bar{f}_D) と比較対照して見ると表—11/IVのとおりである。

これによつて見ると、無補正理論値と実験値の間には相当大きな相異が見られるが、反覆漸近試算法により求めた理論値、すなわちほぼ一定値に近づいた垂下量補正係数により算出した補正理論値は実験値とよく一致することが知れる。

6. 弾性伸長に対する負荷重垂下量平均補正係数

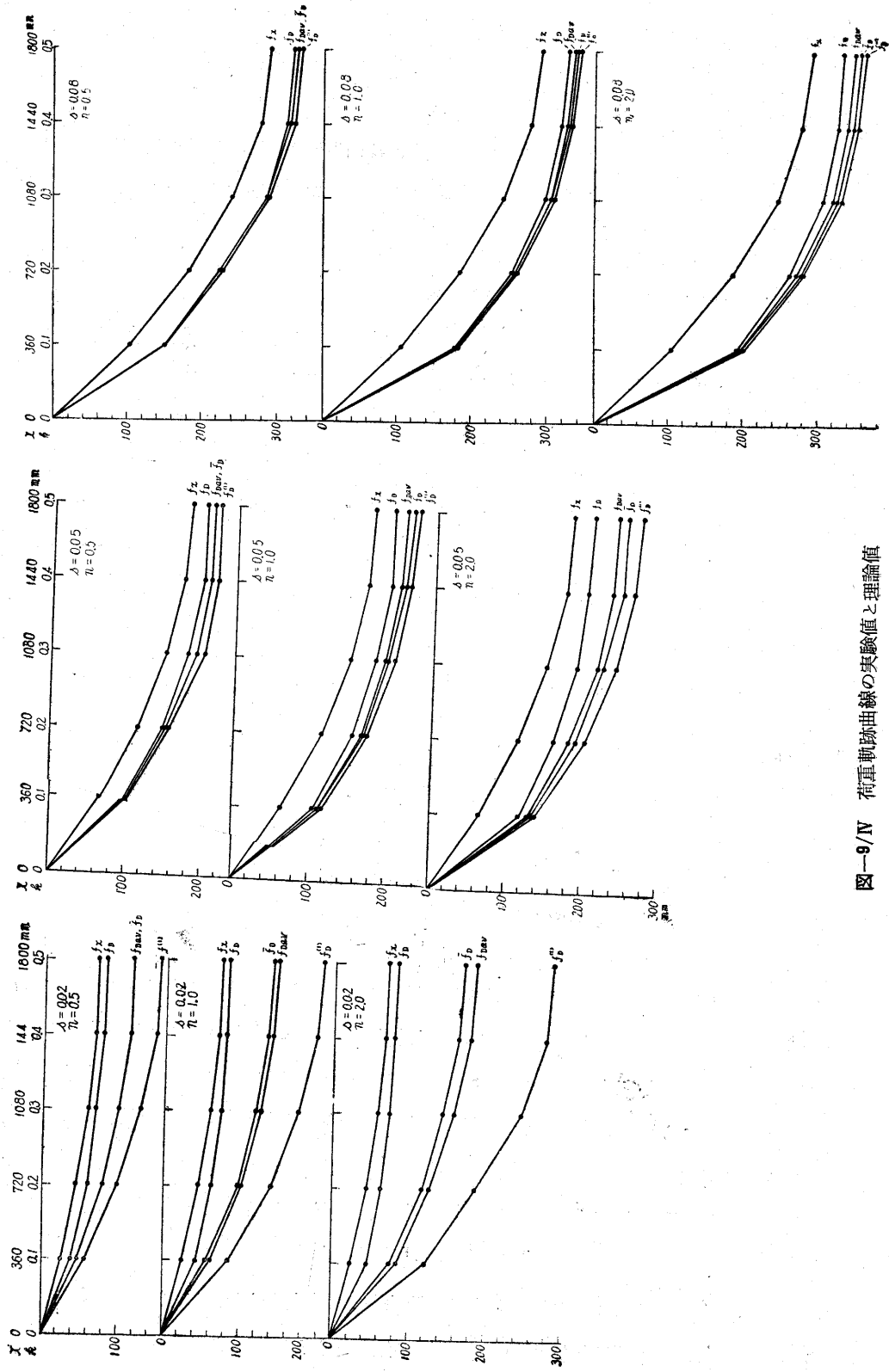
表—10/IVおよび表—11/IVより明らかなように漸近試算法による垂下量補正係数値、したがつて補正垂下量理論値は原索の垂下比が比較的大 ($s=0.08$) の場合には比較的早くほぼ一定値に収斂するが、原索の垂下比が比較的小 ($s=0.02$) の場合には相当多数次の試算を行わないと収斂した特定値を見出すことが困難である。このことは実用的見地から見てきわめて不便である。よつて試みに荷重作用点垂下量の無補正理論値 (f_D) と第1次補正理論値 ($f_D^{(1)}$) との算術平均値 f_{Dav} を求めて見ると、表—11/IVに並記したとおりの数値を示し、これは収斂した補正理論値との近似性が極めて高く、かつ実験値とも相当よく一致することが知れた。よつて実用上はこの平均補正理論値を用いてさしつかえないことがわかる。このことから、いまここに、このような補正值に相当する補正係数を平均補正係数 (ϵ_e) と名付けるならば、その一般式は (11/IV), (21/IV), (23/IV), (26/IV) 式より

$$\epsilon'_e = \frac{1 + \epsilon_e}{2} = \frac{1 + \left\{ 1 + \left(1 + \frac{3}{8s^2 \cos^4 \alpha} \right) \Delta_e \right\}^{\frac{1}{2}}}{2} \dots\dots\dots (36/IV)$$

$$\text{ただし} \begin{cases} \Delta_e = \frac{T_e}{A_e \cdot E_e} = \lambda \cdot T_e \\ T_e = \frac{pL}{8s \cos \alpha} \left[\{ 1 + 12(n+n^2)(k-k^2) \}^{\frac{1}{2}} - 1 \right] \end{cases}$$

で与えられる。すなわち、このような平均補正係数を用いれば、反覆漸近試算法によらずたゞ一回の計算で真実に近い負荷索垂下量および荷重軌跡曲線を簡単に算定することが可能であり、この平均補正係数と負荷索線形係数 (m_I, m_{II}) を並用すれば、真実に近い負荷索の線形を算定することも簡単にできるわけである。図—9/IVは原索の線形と荷重軌跡曲線の無補正理論値 f_D 、第1次補正理論値 $f_D^{(1)}$ 、平均補正係数を用いた補正理論値 f_{Dav} および実験値 \bar{f}_D を比較対照したものであるが、平均補正係数を用いた補正理論値は実験値と極めて近い値なので、縦距の縮尺を横距のその 2.5 倍にとつて差を拡大して示してある。

実際の索の場合には、このような平均補正係数 (ϵ'_e) を算定するためには弾性伸長率 Δ_e の算定に必要な単位張力当り弾性伸長率 $\lambda = \frac{1}{A_e \cdot E_e}$ の値を知らぬばならぬ。鋼索はその製造者によ



図一9/IV 荷重軌跡曲線の実験値と理論値

つて1本ごとに引張り試験が行われているから、使用鋼索が特定の品物である場合にはその試験成績の荷重伸長量曲線から直接 λ の値を知ることができるが、使用鋼索が未決定の場合には索の標準的な弾性係数(E_c)と有効断面積(A_e)の値を用いて算出した λ の値を用いねばならない。よつて通常運材用索道主索に採用される6×7 ラング Z 撚り裸(中心麻入)鋼索について、JIS. G3525 に規定された1号鋼索の数値に基き $E_c=10,000 \text{ kg/mm}^2$ として λ の値を算出すると表-12/IV のとおりである。しかして同一構造の鋼索ならばその単位長当り重量 p (線比重)と有

表-12/IV JIS. G 3525 7×6 ラング Z 裸鋼索の張力 1 kg 当り弾性伸長率の値

索径 (ϕ) (mm)	素線径 (δ) (mm)	有効断面積 (A_e) (mm ²)	張力 1 kg 当り 弾性伸長率 $\lambda = \frac{1}{A_e E_c}$	重量 (kg/mm)	λp	$100 \cdot \lambda p$
8	0.90	26.7	374×10^{-8}	0.243		
9	1.00	33.0	303×10^{-8}	0.300		
10	1.10	39.9	250×10^{-8}	0.363		
12	1.30	55.5	180×10^{-8}	0.506		
14	1.50	74.2	135×10^{-8}	0.674		
16	1.80	106.9	94×10^{-8}	0.971		
18	2.00	131.9	76×10^{-8}	1.199		
19	2.10	145.5	69×10^{-8}	1.322		
20	2.20	159.7	63×10^{-8}	1.451	91×10^{-8}	91×10^{-6}
22	2.40	190.0	53×10^{-8}	1.726		
24	2.70	240.5	42×10^{-8}	2.185		
25	2.80	258.6	39×10^{-8}	2.350		
26	2.90	277.4	36×10^{-8}	2.520		
28	3.10	317.0	32×10^{-8}	2.880		
30	3.30	359.2	28×10^{-8}	3.264		
32	3.50	404.1	25×10^{-8}	3.671		
34	3.80	476.3	21×10^{-8}	4.328		
36	4.00	527.8	19×10^{-8}	4.795		

備考: $E_c=10,000 \text{ kg/mm}^2$

効断面積 A_e の間の比率はほぼ一定であり、弾性係数 (E_c) もまたある 特定値 をとるものとすれば、 $\lambda \cdot p = \frac{p}{A_e E_c}$ の値はほぼ一定である。したがつて (36/IV) 式中の A_e の値を書きなおすと

$$A_e = \lambda p \cdot \frac{G-1}{A} \dots\dots\dots (37/IV)$$

$$\text{ただし} \begin{cases} \lambda p = \text{const.} \\ G = \{1 + 12(n+n^2)(k-k^2)\}^{\frac{1}{2}} \\ A = 8s \cos \alpha \end{cases}$$

よつて、いま索長 100 m についての張力 1 kg 当り 弾性伸長率を A_{e100} とすれば、単一集中荷重を受ける主索においては $A_{e100} = 100 \cdot \lambda p \cdot \frac{G-1}{A}$ で、右辺の $100 \cdot \lambda p$ は常数であるから、係数 $\frac{G-1}{A}$ を算出すれば A_{e100} は容易に求められる。したがつて索全長についての 弾性伸長率は

$$A_e = A_{e100} \times \frac{L}{100}$$

によつて求められる。(36/IV) 式中の A_e 算定はこのようにして行えば簡単である。

第4節 負荷による索の弾性伸長に対する索の張力の補正

1. 負荷索の線形と張力の関係

索の弾性伸長を考慮に入れた場合に垂下量補正係数を用いて負荷索線形の理論値を正確に算出し得ることがすでに明らかにされたから、索に弾性伸長のある場合の索張力の算定は、第II章に示した諸公式の中に含まれる垂下量または垂下比に補正理論値を用いて演算を行えばよい。いま負荷索垂下量平均補正係数を ε_0 、原索中央垂下比を s とすれば、弾性伸長を考慮した場合の補正垂下比は

$$s' = \frac{f'}{l_0} = \frac{\varepsilon_0 f}{l_0} = \varepsilon_0 \cdot s \quad \dots\dots\dots(38/IV)$$

よつて、支点張力および最大張力の算式は単に s の代りに s' を用いればよい。すなわち

$$T_{P1}' = \frac{pL}{8s' \cos \alpha} \left\{ a' + b_1' \frac{\tan \alpha}{2s'} + c_1' \right\} 16s'^2 \cos^2 \alpha \Bigg\}^{\frac{1}{2}} \quad \dots\dots\dots(39/IV)$$

$$\text{ただし} \begin{cases} a' = 1 + 12(n+n^2)(k-k^2) \\ b_1' = (1+2nk)\{1+12(n+n^2)(k-k^2)\}^{\frac{1}{2}} \\ c_1' = (1+2nk)^2 \end{cases}$$

$$T_{P2}' = \frac{pL}{8s' \cos \alpha} \left\{ a' + \left(b_2' \frac{\tan \alpha}{2s'} + c_2' \right) 16s'^2 \cos^2 \alpha \right\}^{\frac{1}{2}} \quad \dots\dots\dots(40/IV)$$

$$\text{ただし} \begin{cases} a' = 1 + 12(n+n^2)(k-k^2) \\ b_2' = \{1+2n(1-k)\}(1+12(n+n^2)(k-k^2))^{\frac{1}{2}} \\ c_2' = \{1+2n(1-k)\}^2 \end{cases}$$

$$T_{P' \max} = \frac{pL}{8s' \cos \alpha} \left\{ a + b \frac{\tan \alpha}{2s'} + c, 16s'^2 \cos^2 \alpha \right\}^{\frac{1}{2}} \quad \dots\dots\dots(41/IV)$$

$$\text{ただし} \begin{cases} a = 1 + 3(n+n^2) \\ b = (1+n)\{1+3(n+n^2)\}^{\frac{1}{2}} \\ c = (1+n)^2 \end{cases}$$

2. 負荷索最大張力の実験値と補正理論値および無補正理論値の比較

弾性伸長のみを考慮した場合の負荷索最大張力の実験（測定法）は第III章に示したとおりであつて、無補正理論値 ($T_{P \max}$) と実験値 ($\bar{T}_{P \max}$) は同章表—15/IIIに掲げた。すなわちこの実験は $l=l_0=3,600$ mm, $\tan \alpha=0$, $s=0.02, 0.05, 0.03$, $p=8.51$ gr/mm, $W=p \cdot L=30.7, 30.8, 31.2$ gr, $P=1.54 \sim 62.4$, $n=0.5, 1.0, 2.0$, $k=0.5$ の場合のものであつて、これに対し平均補正係数 ε_0 および補正理論値 $T'_{P \max}$ を算出して比較対照して見ると表—13/IV および図—10/IVのとおりである。

これによつて見ると補正理論値は実験値と相当よく一致し実用上このような補正理論値を用い

表-13/IV 負荷索最大張力実験値と補正理論値の比較

s	n	ε'/ε	s'	$T_{P'}^{\max}$ (gr)	$\bar{T}_{P^{\max}}$ (gr)	$T_{P^{\max}}$ (gr)	備 考
0.02	0.5	1.45	0.029	243	238	347	ε'/ε : 補正係数 s' : 補正垂下比 $T_{P'}^{\max}$: 補正理論値 $\bar{T}_{P^{\max}}$: 実験値 $T_{P^{\max}}$: 無補正值
	1.0	1.76	0.035	296	309	510	
	2.0	2.23	0.045	383	391	835	
0.05	0.5	1.04	0.052	136	137	142	
	1.0	1.08	0.054	192	185	206	
	2.0	1.16	0.058	295	296	339	
0.08	0.5	1.02	0.081	91	90	91	
	1.0	1.03	0.082	134	130	134	
	2.0	1.05	0.084	216	210	218	

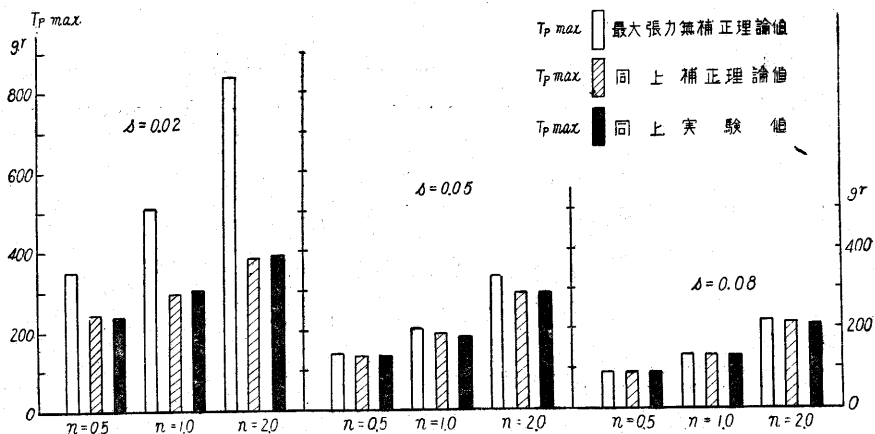
〔註〕 $l=l_0=3600$ mm, $\alpha=0^\circ$, $p=8.51$ mgr/mm

図-10/IV 負荷索最大張力

ることが妥当であることが判明した。 $s=0.02$ の場合に補正理論値と実験値との差異が他の場合よりも大きいのは実験上の測定困難による誤差と認められる。なおこの実験に用いたような弾性伸長率を有する索で荷重比が $s=2.0$ より小さい場合には垂下比が大 ($s=0.08$) ならば実用上、ほとんど弾性伸長に対する補正を要せず、垂下比が中庸 ($s=0.05$) ならば荷重比が中庸以上 ($n=1.0$) のときのみ補正を要し、垂下比が小 ($s=0.02$) のときには荷重比の如何に係らず ($n=0.5\sim 2.0$) 補正を要することが図-10/IVを見ればうなずける。

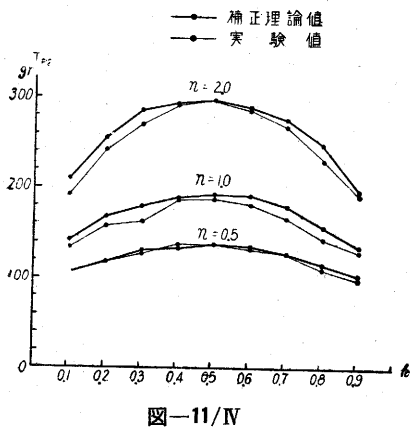
3. 荷重が移動する場合の負荷索支点張力

上記2の実験は荷重作用位置が支間中央 ($k=0.5$) の場合の支点最大張力に関するものであるから、荷重が移動する場合にも同様の補正理論値が実験値と比べて適正な数値を示すか否かも一応調べておく必要がある。よつて $s=0.05$ を代表的な垂下比と考えて、この場合に $k=0.1\sim 0.9$ に変化させて、各々の場の支点 B の張力 T_{P2} を前と同様の方法で測定し、これを平均補正係数を用いた補正理論値と比較して見ると表-14/IVのとおりであり、図-11/IVはこれを図示したものである。

表-14/IV 荷重が移動する場合の負荷索支点張力の実験値と補正理論値の比較

k	0.1			0.2			0.3			0.4			0.5			
	s'	T _{F2} '	T _{F2}	s'	T _{F2} '	T _{F2}	s'	T _{F2} '	T _{F2}	s'	T _{F2} '	T _{F2}	s'	T _{F2} '	T _{F2}	
n	0.5	0.051	106	106	0.052	118	117	0.052	130	127	0.052	134	137	0.052	136	137
	1.0	0.052	140	132	0.053	166	155	0.054	179	162	0.054	189	185	0.054	192	185
	2.0	0.055	206	190	0.056	253	240	0.057	283	270	5.058	291	290	0.058	295	296

k	0.6			0.7			0.8			0.9			備考	
	s'	T _{F2} '	T _{F2}	s'	T _{F2} '	T _{F2}	s'	T _{F2} '	T _{F2}	s'	T _{F2} '	T _{F2}		
n	0.5	0.052	134	132	0.052	128	127	0.052	113	109	0.051	103	99	s=0.05 s'=ε'・s T _{F2} '=補正理論値 (gr) T _{F2} '=実験値 (gr)
	1.0	0.054	189	180	0.054	178	165	0.053	156	142	0.052	133	127	
	2.0	0.058	287	280	0.057	275	266	0.056	246	230	0.055	194	190	



〔註〕 $l=l_0=3600$ mm, $\tan \alpha=0$, $p=8.51$ mgr/mm

これによつて見ると、やはり補正理論値と実験値との差異は実用上さしつかえない程度で、両者がよく一致することが明らかとなつた。

以上の実験と考察により、(36/IV) 式の平均補正係数 ϵ' を用いた補正理論値は負荷索の線形・荷重軌跡・索張力のいずれに対しても、従来の無補正值に比べてはるかに正確な値を与えるものであることが確認された。

第5節 温度変化による索の伸縮に対する索の垂下量および張力の補正

1. 温度変化による索の伸縮

鋼索の軸心と小繩の軸心との間の撚りの傾斜角を φ_1 、小繩の軸心と素線の軸心との間の撚りの傾斜角を φ_2 、素線の長さを L_1 、索長を L とすれば

$$L = L_1 \cos^2 \varphi_1 \cdot \cos^2 \varphi_2 \dots\dots\dots(42/IV)$$

である。³⁾よつて温度変化による素線の線膨脹係数を ω_0 とすれば、索の線膨脹係数は

$$\omega = \omega_0 / \cos \varphi_1 \cdot \cos \varphi_2 \dots\dots\dots(43/IV)$$

であるが、 $\omega_0=0.11 \times 10^{-4}$ であり、 $\cos \varphi_1 \cdot \cos \varphi_2$ は 0.9 前後の値であるから、

$$\omega \approx 0.00011 \dots\dots\dots(44/IV)$$

として実用上さしつかえない。

温度変化 (t°) は一般の鋼構造では ± 3) $\sim 40^\circ\text{C}$ 、最大 $60\sim 80^\circ\text{C}$ を想定しているが、索道主索には多少とも索長調節装置を設けるのが普通であるから、索固定の1作業期間内の温度変化は $\pm 25^\circ\text{C}$ 、最大 50°C を想定すれば十分であろう。

よつて仮に $t^\circ = 50^\circ\text{C}$ とすれば温度変化による索の伸縮率は

$$\Delta_t = \omega \cdot t^\circ = 0.000011 \times 50 = 0.00055$$

となる。

2. 温度変化に対する垂下量補正係数

第2節の吟味の結果 Δ_t の値が上記の程度るときは垂下量補正係数として (15/IV) 式の ε_a を用いてさしつかえないから、温度変化による無負荷索垂下量補正係数を ε_t とすれば

$$\varepsilon_t = 1 \pm \frac{3}{16s^2 \cos^4 \alpha} \Delta_t \dots\dots\dots(45/IV)$$

$$\text{ただし} \begin{cases} \Delta_t = \omega t^\circ \\ \omega = 0.00001 \\ t^\circ = \text{温度変化 (}^\circ\text{C)} \end{cases}$$

よつて負荷索に対しても原索の垂下量 (f または f_x) に、この補正係数を乗じて補正した値 (f' または f'_x) を用いればその垂下量が知れる。すなわち

$$f'_D = \varepsilon_t \cdot f_D = \varepsilon_t \cdot r \cdot f_x = \varepsilon_t \cdot r \cdot m \cdot f \dots\dots\dots(46/IV)$$

$$\text{ただし} \begin{cases} r = \text{負荷索増垂係数} \\ m = \text{原索線形係数} \end{cases}$$

3. 張力の補正

温度変化のみによる張力の増減は上記の補正係数を用いて

$$s' = \varepsilon_t \cdot s \dots\dots\dots(47/IV)$$

を求め s の代りにこの補正垂下比 (s') の値を用いて張力の基本公式を算定すればよい。温度差が少なければ、 ε_t の値は 1 に近い値となり温度変化に対する補正は不要となる。

第6節 総 括

前各節の所論および実験の結果を総括すると次のとおりである。

(1) 負荷による支点変位が生ずる場合の索の垂下量 (線形および荷重軌跡曲線) は、基本公式により算定した垂下量に特定の補正係数を乗ずることにより求められる。この補正係数は理論上次式で与えられる。

$$\varepsilon_a = \left[\frac{1 + \frac{3}{8s^2 \cos^4 \alpha} \Delta_a}{1 - \Delta_a} \right]^{\frac{1}{4}} \dots\dots\dots(A)$$

$$\text{ただし} \begin{cases} s = \text{原索中央垂下比} \\ \alpha = \text{支間傾斜角} \\ \Delta_a = \frac{\Delta t}{t} = \text{支点変位率} \end{cases}$$

しかしてこの補係数を用いて算定した補正垂下量は実験値と極めてよく合致する。また同じ場合の索の張力は原索の垂下比に上記補正係数を乗じた値を原索垂下比と考えて基本式を算定することにより求められる。

(2) 負荷による張力の増大に伴い索に弾性伸長がある場合の索の垂下量（線形および荷重軌跡曲線）は基本公式により算定した垂下量に特定の補正係数を乗ずることにより求められる。この補正係数は理論上次式で与えられる。

$$\epsilon_e = \frac{1 + \left[1 + \left(1 + \frac{3}{8s^2 \cos^4 \alpha} \Delta_e \right)^{\frac{1}{2}} \right]^{\frac{1}{2}}}{2} \dots\dots\dots (B)$$

ただし

- s = 原索中央垂下比
- α = 支間傾斜角
- $\Delta_e = \frac{\Delta L}{L} = \lambda \cdot T_i$ = 索の弾性伸長率
- $T_i = pL \frac{G-1}{A}$ = 荷重前後の張力差
- $\lambda = \frac{1}{A_e E_c}$ = 単位張力当り弾性伸長率
- A_e = 索の有効断面積, E_c = 索の弾性係数
- pL = 索の自重, p = 単位長当り索重量 (線比重),
- L = 索長
- $G = \{1 + 12(n+n^2)(k-k^2)\}^{\frac{1}{2}}$, $n = \frac{P}{pL}$ 荷重比
- P = 荷重, k = 荷重位置の係数
- $A = 8s \cos \alpha$

しかしてこの補正係数を用いて算定した補正垂下量は実験値と極めてよく一致する。また同じ場合の索の張力は原索垂下比に上記補正係数を乗じた値を原索垂下比と考えて基本式を算定することにより求められ、この理論値は実験値と極めてよく一致する。

(3) 索の弾性伸長率は上記のごとく

$$\Delta_e = \lambda pL \cdot \frac{G-1}{A}$$

で与えられ、同一種類、構造の鋼索では λp の値は常数であり、原索垂下比 s 、荷重比 n 、支間傾斜角 α および荷重作用位置の係数 k が一定ならば係数 $(G-1)/A$ もまた一定であるが、上式は L の傾を含むから、 Δ_e の値は索長 L によつて変化する。したがつて弾性伸長に対する補正係数 ϵ_e の値もまた L の函数である。このことは s 、 α 、 n 、 k の等しい二つ以上の負荷索の間に相似性が成立しないことを意味する。しかして弾性伸長を無視した場合には s 、 α 、 n 、 k が等しければ支間距離 l_0 (したがつて索長 L) が異なつても索の線形は相似であり、この相似性に基いていわゆる基本形理論^{*}が導かれるが、相似性がなければ基本形理論もまた成立しない。したが

* 第I章 引用文献 11) 16) 17) 参照

つて $\epsilon_e = 1$ と見なせない程度に弾性伸長が生ずる索に対して基本形理論を適用することは、それを双曲線函数で示すと2次代数函数で示すとかかわらず不合理である。

(4) 温度変化による索の伸縮がある場合の索の垂下量は、基本式により算定した垂下量に特定の補正係数を乗ずることにより求められる。この補正係数は通常予想せられる温度差の範囲では理論上次式で与えられる。

$$\epsilon_t = 1 \pm \frac{3}{16s^3 \cos^4 \alpha} \omega t^\circ \dots\dots\dots (C)$$

ただし

$$\left\{ \begin{array}{l} s = \text{原索中央垂下比} \\ \alpha = \text{支間傾斜角} \\ \omega = \text{索の熱膨脹係数} \\ t^\circ = \text{温度差 (C}^\circ\text{)} \end{array} \right.$$

通常予想される ωt° の値は極めて小さいので、この補正係数を用いて算定した補正垂下量の信頼度を直接実験により確かめることは困難であるが、 ωt に相当する伸縮率を比較的大きくとつた場合の垂下量の実験値は上記の補正理論値とよく一致するから、 ωt° の絶対値が相当小さい実際の場合には当然理論値と実験値は極めてよく一致するものと考えられる。温度変化による索の伸縮がある場合の張力は原索の垂下比に上記補正係数を乗じた値を原索垂下比と考えて基本公式を算定することにより求められる。

(5) 上記の結果を基礎にして考察すると次のことが結論される。

a. 抛物線索基本公式誘導の前提条件をなす力学上の假定中、索が完全に曲りやすいという假定が索道主索においてほぼ完全に満足されることはその線形を観察すれば一目瞭然とするが、支点に変位がなく索に伸縮のないという假定は必ずしも常に近似的にさえ満足されない。しかもその変位または伸縮の量が微小であつても、それが索の線形および張力あるいは荷重軌跡におよぼす影響は相当大きいことが理論上ならびに実験により判明した。著者は現場関係の技術者から時々理論値と実際値との不適合を指摘されたことがあるが、その原因の一つは在来の理論がこの点をほとんど無視していることにあると考えられる。

b. 適当な安全率を採ることにより索の応力が常に弾性限界以内に保たれることを前提とすれば、問題となる支点変位および索の伸縮は、静力学的解析の限りにおいては、搬器荷重の負荷による支点の変位および索の弾性伸長と温度変化による索の伸縮がその主要なものである。

c. 負荷による支点変位、索の弾性伸長および温度変化による索の伸縮がある場合の索の線形(垂下量・荷重軌跡曲線)は、それらが全く無いものと假定した基本式によつて与えられる数値に、応用力学上の重積の法則を用い抛物線索理論を普延して誘導したそれぞれ特定の補正係数(ϵ_{a_1} , ϵ_e , ϵ_t)を乗ずることにより、その補正理論値を求めることが出来、かつこの理論値はそ

れぞれの実験値に極めてよく適合する。

d. 同じ場合の索の張力は原索中央垂下比に上記補正係数を乗じた補正垂下比を用いて、張力の基本公式を算定することにより求められ、この理論値もまた実験値に極めてよく適合する。

e. 負荷による弾性伸長が生ずる場合には垂下比、支間勾配および荷重比が等しく荷重作用点の位置が相似する二つ以上の索の間に相似性が成立せず、いわゆる基本形理論は成立しがたくなる。

f. 支点変位、弾性伸長、温度変化が同時に生ずる場合には重積の法則により、総合的補正係数としてそれぞれの補正係数の相乗積を用いればよい。すなわち補正係数として

$$\varepsilon = \varepsilon_a \times \varepsilon_e \times \varepsilon_t$$

を用いて総合補正を行い得る。

引用文献

- 1) JOHNSON, J. B., BRYAN, C. W. and TURNEAURE, F. E.: The theory and practice of modern framed structures, New York, 1916.
- 2) STEINMAN, D. B. : A practical treatise on suspension bridges, New York, 1922
- 3) 加藤誠平 : 「架空線集材用鋼索の計算法に関する研究」東大演習林報告第 38 号, 昭 25.

第V章 衝撃荷重の影響

第1節 搬器荷重の運動とその影響

1. 搬器荷重の運動に伴う動力学的問題

搬器荷重は通常2個または4個の滑車により主索上を走行する。このとき滑車の車輪がきわめて円滑に、たとえば理想的に平滑な軌条の上を走ると共に、主索上を運動し、かつ索が完全に曲りやすいものと仮定すれば、荷重の運動は概ね荷重軌跡曲線に沿って行われるはずである。荷重がこのような運動をする場合に、静荷重と異なつて運動のために索に作用する力としては2種の力が考えられる。すなわちその1は垂下量を増大させるように働く遠心力であり、その2は索と滑車の間に働く抵抗力により索の線形を荷重の進行方向に歪めるように働く力である。次に実際の索および滑車は理想的に平滑でないから、その細凹突のために走行中の荷重にはしばしば瞬間的な上下方向の加速度変化が生じ、これが衝撃力として作用し、索を上下に振動させることになる。ここでは走行障害による衝撃と名付けることとする。次に搬器に木材を積荷した瞬間、または始走装置（通称ボタン）により搬器荷重が主索に負荷された瞬間に、この荷重は索に対していわゆる急激荷重^{*}として作用する。これもやはり1種の衝撃と見なし得るものであつて、索に振動を与えるが、索の振動停止後に搬器を始発させれば、問題は積荷点または始発点のみに限定される。もつとも集材機の親索の場合には搬器が支間中央部にあるときでも、地上物に支えられていた木材が急に離れて急激荷重となることが実際に度々見られ、索道の場合にも何等かの理由^{**}で、類似の事態が発生し得るから、これも一応は考慮せねばならぬ。さらにまた走行中の搬器を曳索により急制動したり動力により曳索を急激に加速した場合もしくは多支間索道において搬器が中間支点を通過するときには、荷重が上下いずれかの方向に急激に加速され、その結果荷重はやはり1種の衝撃荷重として作用し、索に相当大きな振動が与えられることもしばしば目撃される。

これらはすべて荷重の運動に関連して考えられ、あるいは実際の索道主索に生ずる現象として観察される走行荷重の影響であつて、静力学的に解析して求めた荷重軌跡や張力は、さらにこれらの動力学的影響を明らかにした上で、要すれば何等かの補正を施さなければならぬ。よつてこれらの影響を吟味して見ることにした。

2. 遠心力

荷重軌跡曲線は垂曲線と楕円との中間的曲線であつて、ある曲率 $1/\rho$ を有する（図-1/V）から、荷重が走行中には円心力が働き、索に対してはそれだけ荷重が増加したのと同様の作用をするはずである。いま

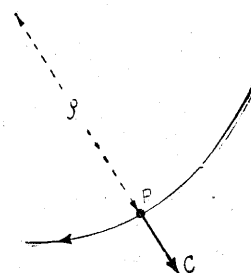


図-1/V

* Suddenly applied load
** 風衝・搬器の故障等

荷重を P 、走行速度を v 、曲率半径を ρ 、遠心力を C とすれば

$$C = \frac{P}{g} \cdot \frac{v^2}{\rho} \dots\dots\dots(1/V)$$

ただし $g=9.8 \text{ m/sec}^2$ =重力の加速度

(1/V) 式より明らかなように、 P を一定とすれば C の大きさは v と ρ の値に支配され、なかならず v の影響が大きい。通常搬器の速度は

索 道	{	循環式 ……1.0~1.5 m/sec 最大 2.5 m/sec
		交送式 ……2.5~4.0 m/sec 最大 8 m/sec
集材機	{	……3.0~6.0 m/sec 最大 10 m/sec

であるから、循環式索道の場合には C の値は P に比べて問題なく小さい。交送式索道または集材機の場合は、搬器速度は上下両支点附近においては比較的小(おゝむね $v < 1.5$) で、 v が最大値を示すのは支間中央部またはそのやゝ下方においてである。しかるに支間中央部ならびにこれに接続する相当広範囲の部分では荷重軌跡曲線が原索曲線とやゝ平行することは第IV章に記した所によつても明らかであり、したがつて荷重が比較的大きな速度で走る部分における荷重軌跡曲線は一応原索と同じ拋物線と見なしても誤差は極めて僅少である。よつて、いまこのような想定のもとに曲率 $1/\rho$ の近似値を求めると、

$$\frac{1}{\rho} = \frac{d^2y}{dx^2} = -\frac{8f}{l_0^2} \dots\dots\dots(2/V)$$

よつていま最も普通の場合を考えて

$$\left. \begin{array}{l} v=8\text{m/sec} \\ s=0.05 \\ l_0=500\text{m} \end{array} \right\} \text{の値をとつて見ると}$$

$$C = P \times \frac{8^2 \times 8 \times 0.05}{9.8 \times 500} = 0.005P$$

となり、遠心力の影響は実用上無視できる。またきわめて極端な場合を考えて

$$\left. \begin{array}{l} v=10\text{m/sec} \\ s=0.08 \\ l_0=200\text{m} \end{array} \right\} \text{の値をとつて見ても}$$

$$C = P \times \frac{10^2 \times 8 \times 0.08}{9.8 \times 200} = 0.033P$$

の程度であるから、遠心力が荷重軌跡および張力に及ぼす影響はこれを無視して差支ない*。

3. 抵抗力

走行中の搬器がある1点 D にある瞬間を考えると、搬器の滑車は荷重軌跡曲線に等しい軌道

* 本多三雄は荷重軌跡に近似楕円を用いて検討し、著者と同一結論を得ている。引用文献 7) 参照。

上を走行しているものと考えてよい。すなわち図-2/Vのごとく搬器を軌道方向に走らせる力は $P \sin \alpha_1$ で、軌道に作用する圧力は $P \cos \alpha_1$ である。搬器滑車の走行抵抗係数を μ とすれば走行を阻害する抵抗力は $R = \mu \cdot P \cos \alpha_1$ で示される。この抵抗力は荷重を静力学的に作用させた場合には存在せず、搬器の走行に伴って生じ、その大きさは走行速度とも関連する。索道における μ の値は極めて複雑な因子に左右されるために普通の軌道におけるごとく簡単には求められない。かりに滑車の軸承摩擦を一定と考えても、索と車輪の間

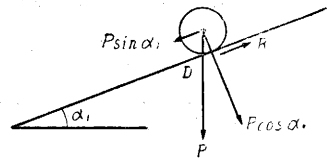


図-2/V

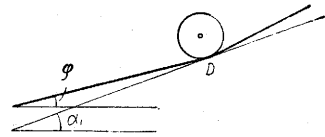


図-3/V

の転動摩擦は両者の表面の状態により大巾に変化するし、また車輪が実際に走るのは軌道上でなく索上であり、索の線形は D 点において不連続であるから、車輪の下において搬器の進行方向の索は図-3/Vのように $(\alpha_1 - \varphi)$ の角度だけ軌道と傾斜している。 $\tan \varphi$ は負荷索線形曲線 AD の方程式を微分して $x = kl_0$ と置くことにより、また $\tan \alpha_1$ は荷重軌跡曲線の方程式を微分して $x = kl_0$ と置くことにより求められるので、両者を試算してみると $\alpha_1 - \varphi$ の値はあまり大きくはならないが、索張り s および荷重比 n の値によつて変化するので、一般的に程度をきめることは困難である。このように屈折した索を比較的小径の滑車がしごいて走行する形となるので直線索上を走行する場合よりも抵抗係数 μ が若干大となるであろうことは予想できる。しかし軌道が全面的に固定している場合には、 $R = \mu \cdot P \cos \alpha_1$ は走行の阻害にのみ働くが、索は両端が固定されているのみであるから、この抵抗力の反作用として索線形が走行方向に歪められることになる。すなわち D 点に働く抵抗力 R は索に対してはこれを左方に引きよせる力として働くはずである。いまこの力 R の水平分力を H' 、垂直分力を V' とすれば

$$\left. \begin{aligned} H' &= R \cos \alpha_1 = \mu \cdot P \cos^2 \alpha_1 \\ V' &= R \sin \alpha_1 = \mu \cdot P \cos \alpha_1 \sin \alpha_1 \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (3/V)$$

しるかに静力学的荷重の場合の垂直荷重は P 、 D 点の索の張力の水平分力は第II章(18)式より $H_P = \frac{W}{8s} \{1 + 12(n+n^3)(k-k^3)\}^{\frac{1}{2}}$ であつて、 H' が H_P に比べて相当大きく、あるいは V' が P に比べて相当大きければ D 点の移動は一応考慮しなければならない。よつて水平移動について荷重が支間中央にある場合 ($k=0.5$) 相当極端な条件を考えて

$$^* \mu = 0.03, n = P/W = 2.0, s = 0.8, \alpha_1 = 0$$

の値をとつて見ると

$$H = 6.8/W, H' = 0.06W, \therefore H' = H_P \times 0.009$$

* CERETTI の与えた μ の最大値は 0.03 である。引用文献 3)

また垂直移動については同じ条件で $\alpha_1=30^\circ$ の値をとつて見ると

$$V'=0.013P$$

すなわちこのような相当極端な条件でも、抵抗力の影響は実用上無視し得る程度であることが知られる。

4. 走行荷重による佐々木の実験結果とその考察

佐々木功は模形実験により走行荷重の軌跡を写真撮影により測定し、結論として

- 1) 最大垂下量は荷重の変化に従つて比例的に増加する。
- 2) 最大垂下量は索長の変化に従つて増加するが必ずしも比例的でない。
- 3) 最大垂下量の垂下点は垂曲線の垂下点よりも後方^{*}にある。
- 4) 最大垂下量の垂下点は索長の増加に従つて前方^{**}に移動する。
- 5) 最大垂下量の垂下点は勾配の増加に従つて後方に移動する。

旨を示し、あたかもこれらの現象が荷重の運動に原因するかのとき印象を与える所論をなしているが、佐々木が垂下量とよんだのは上部支点を過ぎる水平線から荷重点までの垂直距離の意であつて、著者の定義した垂下量とは異なる。したがつて(1~5)はいずれも特に運動に基づく現象ではなくて、静力学荷重の場合にも当然同様の現象が見られるはずである。即ち佐々木の結論中

1) については佐々木が行なつた実験写真では索に鋼帯板を用い、搬器に良好な滑車を使用したので振動の影響はほとんど見られない。しかし実験に用いた荷重は荷重比が極めて大であるから、索は弾性伸長(あるいは弾性的な支点変位をも)を伴い、そのために荷重と垂下量との間に比例関係が認められたと解し得る。もし運動による遠心力や抵抗力が影響したとすれば、原索垂下比が大きいものほど垂下量が急激に増加するはずであるが、その事実は認められていない。

2) については著者の作製した負荷索増垂係数の図表(第VII章図表—4/VII)を見れば明らかのように、それが直線でないことから当然のことで、荷重の運動の影響によるものとは考えられない。

3), 4), 5) については荷重軌跡曲線が原索曲線と楕円との中間の曲線であることから、佐々木のとなえた意味の荷重点垂下量最大の点が原索の同じ意味での垂下量最大点より下部支点寄りになるのは当然である。これも特に荷重の運動の影響と考えられない。

要するに佐々木の実験は運動する荷重を用いた実験ではあるが、その結果は荷重軌跡が著者が静力学的に解析した結果とほとんど同じ傾向を示すことを裏書きするものであつて、動力学的な特別の結果は現れていない。すなわちこれによつても、搬器が極めて平滑に索上を走行する場合

* 下部支点寄りの意, ** 上部支点寄りの意

には、特に動力学的な補正を必要としないことが知れる。

したがって荷重の運動に伴う動力学的な問題として残るのは各種の原因によつて生ずる衝撃の問題がその主なるものであると考えてよい。

第2節 荷重の衝撃係数

1. 衝撃係数の観念

主索に対する衝撃の影響は橋梁設計の場合と同様の衝撃係数の観念で取扱うのが最も便利であろう。すなわち動荷重を P 、衝撃力を I 、衝撃係数を i とすれば

$$i = \frac{I}{P} \dots\dots\dots(4/V)$$

もし i の値が適当にきめられれば、主索の設計または検定に用いる荷重は

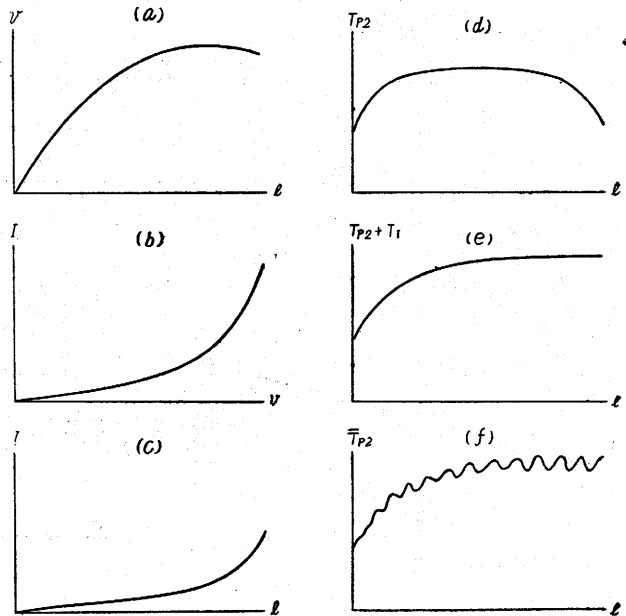
$$P(1+i) \dots\dots\dots(5/V)$$

の形で与えられるので極めて便利である。

橋梁の桁の場合には荷重と曲げモーメントの間にも荷重と撓みとの間にも比例関係が存在するから、 i の値は衝撃力の理論値からも、撓みの測定によつても比較的簡単にその値をきめることができるが、索道主索の場合には荷重と垂下量も、垂下量と張力も比例しないから桁の場合ほど簡単に i を求めることができない。索の設計法に衝撃係数と類似の観念を取入れたものは、⁵⁾ DUHM が曳索の計算式に加速度または減速度の影響を別途に考慮した場合 $i=0.1$ に相当する算式を用いているだけで、その他には例を見ない。すなわち衝撃等荷重の運動に伴う影響を一括して安全率の観念の中にも含めるのが普通であり実用上はおもむねそれで差支ない場合が多いようであるが、運材用索道では極めて低い安全率を用いる場合があるから、一応衝撃係数についても吟味して置く必要を認める。

2. 軌道障害による衝撃

軌道障害による衝撃は多支間索道における搬器の支点通過時の衝撃と支間中間部において索の振動を伴う衝撃と大別し得る。前者は索の局部的磨耗等の悪影響を伴うが、索の張力に対してはほとんど影響しない。しかしこの衝撃エネルギーが振動として残る場合には、中間部に軌道



図—4/V

障害があつて振動が現れる場合と同じく、荷重に垂直方向の慣性が与えられ、これが衝撃として索の張力に影響する。

加藤正育⁵⁾は上下2点間に張つた相当大規模の実験索上に軸摩擦の極めて少い滑車により無制動で荷重を走行せしめカセドメーターを用いて上部支点張力 T_{F2} の直接測定を行つた結果、 T_{F2} が最大値を示すのは荷重の位置が支間中央よりも下方にずれることを指摘したが、その理由については十分説明されていない。著者はこの事実は次のような理由によるものと解釈したい。すなわち

(1) 無制動走行においては荷重軌跡曲線の傾斜が0の点までは一応加速されるはずであるから上部支点からの距離 (l) と走行速度 (v) との間にはおゝむね図—4/V(a) のような関係がある。

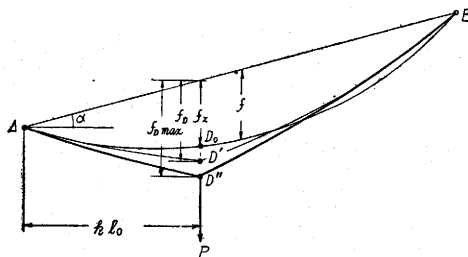
(2) 走行に伴う動学的影響 (主として軌道障害による衝撃 I) はおゝむね図—4/V(b) のような速度の関数で示されるはずであるから、これを l と I との関係になおすとおゝむね図—4/V(c) のような傾向を示す。

(3) しかるに l と上部支点張力の理論値 T_{F2} は中央に最大値を有する同図 (d) のような曲線で与えられるから、 T_{F2} と I の合成曲線は同図 (e) のような形となる。

(4) 上部支点張力の実側値 \bar{T}_{F2} 曲線は上記 $T_{F2}+I$ 曲線とよく符合 (同図 (f)) しているから、 \bar{T}_{F2} の最大値と T_{F2} の最大値との差は一応走行に伴う衝撃の影響と見てさしつかえないであろう。しかしこの場合も原索垂下比が小さければ荷重の運動による影響はあまり大きなものではない。

3. 急激荷重による衝撃

始走装置による急激荷重、曳索による制動に伴う衝撃および風圧その他何等かの理由による支間中間部における急激荷重が、最も大きな衝撃係数を与えるであろうことは容易に想像され、またこれらの原因によつて負荷索に振動が与えられ、荷重が相当大きな上下運動をすることは実際の索道においてもしばしば目撃するところである。なかんづく、支間中央部において搬器荷重が急激荷重として作用した場合に垂下量も張力も最大値を示すであろうことは自明であり、また特



図—5/V

に2荷重以上の荷重のある支間では1個の荷重が支点を通過する際にかなり大きな振動が生ずることがある。

いま図—5/Vにおいて、主索 AB 上の任意の点 D_0 に荷重 P が静力学的に作用した場合に D_0 が D' に変位 (D_0 の水平方向への移動は微小であるから無視する) するものとする P が

急激に作用した場合には、 P が D_0 から D' に動く間に荷重および索体に慣性が賦与される。このために P は D' 点を越えて下方に落下するが、 D'' 点において停止したとすれば、 P が D_0 から D'' まで h の距離を落下した間になされた仕事量は

$$U_f = P \cdot \overline{D'D''} = P \cdot h = P(f_{D_{\max}} - f_x) \dots\dots\dots(1/V)$$

である。この仕事量に等しいエネルギーは、音・熱等への転換を無視すれば一部は索の線形変化の仕事のために費されて索に位置のエネルギー U_c を与え、他の一部は索の弾性伸長のために費されてその内部に歪エネルギー U_s として蓄積される。すなわち

$$U_c + U_s = P(f_{D_{\max}} - f_x) \dots\dots\dots(7/V)$$

しかして

$$\begin{aligned} U_c &= k \cdot p \cdot \int_0^{kl} (f_I - f_x) dx + (1-k) p \int_{kl}^l (f_{II} - f_x) dx \\ &= W \left\{ k \int_0^{kl} (m_I \cdot f_{D_{\max}} - f_x) dx + (1-k) \int_{kl}^l (m_{II} \cdot f_{D_{\max}} - f_x) dx \right\} \dots\dots\dots(8/V) \end{aligned}$$

$$\text{ただし} \begin{cases} m_I = \frac{\{1+2n(1-k)\} \frac{x}{l_0} - \left(\frac{x}{l_0}\right)^2}{(1+2n)(k-k^2)} \\ m_{II} = \frac{(1+2nk) \left(1 - \frac{x}{l_0}\right) - \left(1 - \frac{x}{l_0}\right)^2}{(1+2k)(k-k^2)} \\ W = \text{索自重} \end{cases}$$

$$U_s = \frac{1}{2} \cdot \frac{T_i^2}{A_e E_c} \cdot L \dots\dots\dots(9/V)$$

$$\text{ただし} \begin{cases} T_i = \text{負荷前後の索の張力差} \\ A_e = \text{索の有効断面積} \\ E_c = \text{索の弾性係数} \\ L = \text{索長} \end{cases}$$

しかるに U_c も U_s もともにポテンシャルエネルギーであるから、 D'' 点で落下速度 (v) が 0 となれば P は上方に向つて運動を開始し、その慣性により D' 点を越えてその上方まで上昇する。かくして索は荷重とともに、その運動エネルギーが完全に吸収し尽くされるまでの間上下に振動を続けるわけである。ここに問題となるのは $f_{D_{\max}}$ の値である。 U_c および U_s の値を (8/V)(9/V) 式よりただちに求めることができれば (7/V) 式より $f_{D_{\max}}$ の値もまた算出されるが、 U_c 、 U_s ともに $f_{D_{\max}}$ の関数であるから (7/V) の方程式を解くことは一般に不可能である。よつて衝撃係数 i の値は $f_{D_{\max}}$ の測定値によつて誘導するか、支点張力の直接測定値から算出するかいずれかの方法を探らねばならぬ。しかるに後者はその正確な測定がかなり困難であることから、ここでは前者を採用することとした。

いま $f_{D_{\max}}$ と同じ大いさの垂下量を示す仮想静荷重を P' とし、 P' による無補正垂下量を

f_{Dst} その弾性伸長に対する補正係数を ε_e' とすれば

$$f_{Dmax} = \varepsilon_e' \cdot f_{Dst} = \varepsilon_e' \cdot r' \cdot f_x \dots \dots \dots (10/V)$$

$$\text{ただし} \begin{cases} r' = \frac{1+2n'}{G'} = P' \text{ に対する負荷索増垂係数} \\ n' = P'/W = \text{荷重比} \\ G' = \{1+12(n'+n'^2)(k-k^2)\}^{\frac{1}{2}} \end{cases}$$

$$\begin{aligned} \therefore \varepsilon_e' &= \frac{f_{Dmax}}{r' \cdot f_x} = \frac{f_{Dmax}}{f_x} \cdot \frac{G'}{1+2n'} \\ &= \frac{f_{Dmax}}{f_x} \cdot \frac{\{1+12(n'+n'^2)(k-k^2)\}^{\frac{1}{2}}}{(1+2n')} \dots \dots \dots (11/V) \end{aligned}$$

しかるに第四章 (36) 式より

$$\varepsilon_e' = \frac{1 + \left\{ 1 + \Delta_e' \left(1 + \frac{3}{8s^2 \cos^4 \alpha} \right) \right\}^{\frac{1}{2}}}{2}$$

$$\text{ただし } \Delta_e' = \lambda pL \frac{G'-1}{8s \cos \alpha} = \lambda pL \frac{\{1+12(n'+n'^2)(k-k^2)\}^{\frac{1}{2}} - 1}{8s \cos \alpha}$$

$$\therefore (2\varepsilon_e' - 1)^2 = 1 + \Delta_e' \left(1 + \frac{3}{8s^2 \cos^4 \alpha} \right)$$

$$\frac{(2\varepsilon_e' - 1)^2 - 1}{\left(1 + \frac{3}{8s^2 \cos^4 \alpha} \right)} = \Delta_e' = \lambda pL \frac{\{1+12(n'+n'^2)(k-k^2)\}^{\frac{1}{2}} - 1}{8s \cos \alpha}$$

$$\frac{8s \cos \alpha \{ (2\varepsilon_e' - 1)^2 - 1 \}}{\lambda pL \left(1 + \frac{3}{8s^2 \cos^4 \alpha} \right)} = \{1+12(n'+n'^2)(k-k^2)\}^{\frac{1}{2}} - 1$$

$$\left[\frac{8s \cos \alpha \{ (2\varepsilon_e' - 1)^2 - 1 \}}{\lambda pL \left(1 + \frac{3}{8s^2 \cos^4 \alpha} \right)} + 1 \right]^2 = 1 + 12(n'+n'^2)(k-k^2)$$

$$\therefore n' = \frac{1}{2} \left[\left\{ 1 + \frac{\left\{ \frac{8s \cos \alpha \{ (2\varepsilon_e' - 1)^2 - 1 \}}{\lambda pL \left(1 + \frac{3}{8s^2 \cos^4 \alpha} \right)} + 1 \right\}^2 - 1}{3(k-k^2)} \right\}^{\frac{1}{2}} - 1 \right]$$

.....(12/V)

上式右辺の ε_e' は (11/V) 式よつて与えられ n' の項を含むから (12/V) 式より n' を求めるには試算法によらねばならぬ。すなわち f_{Dmax} の実側値 \bar{f}_{Ddy} と f_x の理論値を用いて $\frac{f_{Dmax}}{f_x}$ を求め、次に n' の値を適当に仮定して (11/V) 式により ε_e' の値を算出し、この ε_e' の値を用いたとき (12/V) 式が満足されるような n' を求める。このような n' が求められれば衝撃係数は

$$i = \frac{P'}{P} - 1 = \frac{n' pL}{n' pL} - 1 = \frac{n'}{n} - 1 \dots \dots \dots (13/V)$$

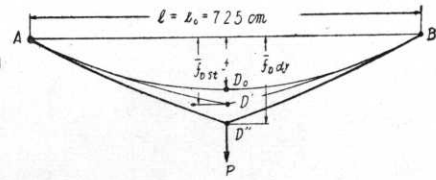
で与えられる。しかして n' を求めるための実際の演算には計算図表を作製して用いれば簡単である。

4. 急激荷重による衝撃係数に関する実験

(a) 実験方法

急激荷重による衝撃係数がどの程度の数値を示すかを知るために次のごとき実験を行った。図

—6/Vに示すごとく、水平支間 $AB=l_0=l=725\text{ cm}$ にとり、(支間傾斜角 $\alpha=0$) 鉄製 Gem ペーパークリップ (1個の長さ 22.4 mm , 1個の重量 330 mg , 単位長当り重量 $p=14.52\text{ gr/m}$) を多数連結して作製した索を、中央垂下比が $s=0.02, 0.08$ になるように張り、その中央 ($k=0.5$) に荷重比が n



図—6/V

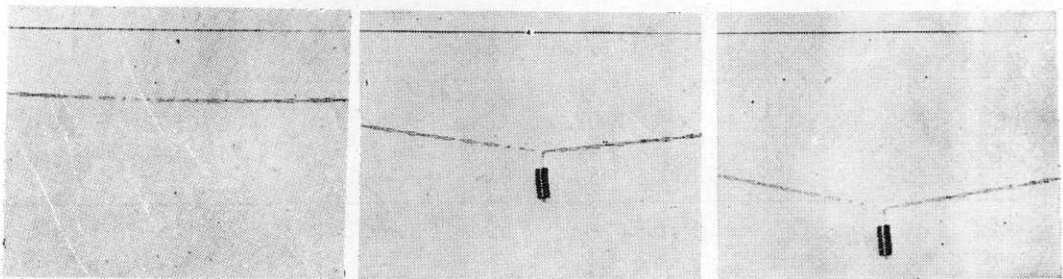
$=0.1, 0.5, 1.0$ の錘をかけてその垂下量を測定した。支点 AB には強固な釘を使用して支点変位を無視し得る状態とし、測定を短時間内に行つたから温度変化の影響も無視し得る。まず第IV章の補正理論値と比較するため錘 (荷重 P) を静力学的に作用させて中央点の垂下位置 D' 点でその垂下量 \bar{f}_{Dst} を直接スチールテープにより測定し、次に所定の原索垂下量 $f=sl_0$ を保持する位置で錘を下から支えて置いて、これを急激に離れた場合の最大垂下点 D'' の垂下量 \bar{f}_{Ddy} を実測した。すなわち最大垂下点を水平方向から肉眼で観察して、索の直後に設けた壁上の紙に印をつけ、この点をスチールテープで測定した。(写真—1/V)

表—1/V 実験に使用した荷重

l_0 (cm)	s	f (cm)	L (cm)	$W=pL$ (gr)	P (gr)		
					$n=0.1$	0.5	1.0
725	0.02	14.5	725.8	105	10.5	52.5	105
	3	22.0	726.7	106	10.6	53.0	106
	4	29.0	728.1	106	10.6	53.0	106
	5	36.0	729.9	106	10.6	53.0	106
	6	43.5	732.0	106	10.6	53.0	106
	7	51.0	734.4	107	10.7	53.5	107
	8	58.0	737.3	108	10.7	53.5	107

[註] l_0 : 支間水平距離, s : 原索垂下比, f : 原索垂下量
 L : 索長, pL : 索自重, P : 使用荷重, n : 荷重比

使用索の引張り試験を別に行つた結果張力 1 gr 当り弾性伸長率は (標点距離 100 cm , 静力学荷重) $\lambda=1/100000$ であつた。しかして弾性限界を超える過張力を避けるために $n=1.0$ までの実験とした。使用した錘の重量 P は原索中央垂下比 s の大きさおよび荷重比に応じて表—1/Vのとおりのもを用いた。



a. 無負荷索垂下量 (f) b. 静力学荷重による垂下量 (f_{Dst}) c. 急激荷重による最大垂下量 (f_{Ddy})

写真—1/V

(b) 実験の結果

実験の結果を原索垂下量 $f=sl_0$ と対照して示すと表—2/Vのとおりである。ただし \bar{f}_{Dst} は静力学荷重による側定値, \bar{f}_{Ddy} は急激荷重によるそれで数值は 5 mm 完約。

表-2/V 静力学荷重による荷重作用点垂下量と急激荷重によるその測定値

	$n \backslash s$	0.02	0.03	0.04	0.05	0.06	0.07	0.08
		\bar{f}_{Dst} (cm)	0.1 0.5 1.0	17.5 27.5 35.0	24.0 32.0 33.0	32.0 33.5 41.5	39.0 45.0 48.0	45.5 52.0 55.0
\bar{f}_{Day} (cm)	0.1 0.5 1.0	19.5 32.0 40.5	25.5 37.0 48.0	33.0 42.0 52.5	40.0 49.0 57.0	47.5 56.0 62.0	56.0 63.0 68.5	64.0 70.5 76.0
f (cm)		14.5	22.0	29.0	36.0	43.5	51.0	58.0

(c) 静力学荷重による実験値と補正理論値の比較

まず上記実験結果の信頼度を検定するために静力学荷重による中央垂下量の補正理論値 f_D' を算出して見ると表-3/Vのとおりである。

表-3/V 静力学荷重による垂下量補正理論値

(i) 負荷索増垂係数 (r)

n	0.1	0.5	1.0
$r_{(k=0.5)}$	1.04	1.11	1.13

$$[\text{註}] r = \left(\frac{1+2n}{\{1+12(n+n^2)(k-k^2)\}^{1/2}} \right)_{(k=0.5)}$$

(ii) 弾性伸長率 (Δ_e)

	$n \backslash s$	0.02	0.03	0.04	0.05	0.06	0.07	0.08
		Δ_e	0.1 0.5 1.0	0.0010 0.0053 0.0108	0.0006 0.0037 0.0072	0.0005 0.0027 0.0054	0.0004 0.0021 0.0044	0.0003 0.0018 0.0035

$$[\text{註}] \Delta_e = \lambda \cdot pL \left(\frac{G-1}{A} \right), \lambda = 0.00001, G = \{1+12(n+n^2)(k-k^2)\}^{1/2}_{(k=0.5)}$$

$$A = 8s \cos \alpha_{(a=0)}$$

(iii) 補正係数 (ε_e)

	$n \backslash s$	0.02	0.03	0.04	0.05	0.06	0.07	0.08
		ε_e	0.1 0.5 1.0	1.20 1.72 2.17	1.06 1.30 1.50	1.03 1.14 1.26	1.02 1.03 1.14	1.01 1.05 1.09

$$[\text{註}] \varepsilon_e = \left[\frac{1 + \left\{ 1 + \Delta_e \left(1 + \frac{3}{8s^2 \cos^4 \alpha} \right) \right\}^{1/2}}{2} \right]_{(a=0)}$$

(iv) 垂下量補正理論値 (f_D')

	$n \backslash s$	0.02	0.03	0.04	0.05	0.06	0.07	0.08
		f_D' (cm)	0.1 0.5 1.0	18.0 23.0 35.5	24.0 31.5 37.5	31.0 36.0 41.0	38.0 43.0 46.5	45.5 50.0 53.5

$$[\text{註}] f_D' = \varepsilon_e \cdot r \cdot f$$

この補正理論値を表-2/Vの \bar{f}_{Dst} と比較して見ると相当よく一致しているの、急激荷重による実験値 \bar{f}_{Day} の検討にはこれを \bar{f}_{Dst} と比較する代りに f_D' と比較してよいことが知れる。

(d) 急激荷重を仮想静力学荷重に換算した荷重比

急激荷重による最大垂下量 $f_{Dmax} = f_{Day}$ より仮想静力学荷重換算荷重比 n' を算出するために、荷重比 n と補正垂下量 f_D' の関係を図-7/Vに示すようなグラフに作製して、図上より f_{Day} と同じ垂下量を与える換算荷重比 n' を求めると表-4/Vのとおりである。

表-4/V 急激荷重に相当する仮想静力学荷重比

		s						
		0.02	0.03	0.04	0.05	0.06	0.07	0.08
n'	n = 0.1	0.14	0.16	0.26	0.24	0.25	0.29	0.35
	n = 0.5	0.76	0.96	1.08	1.26	1.42	1.50	1.70
	n = 1.0	1.48	1.96	2.14	2.23	2.29	2.61	3.30

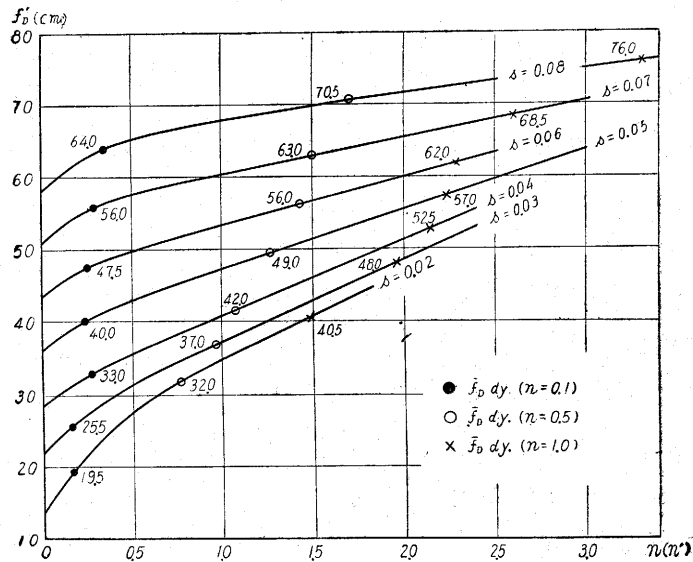


図-7/V

(e) 急激荷重による衝撃係数

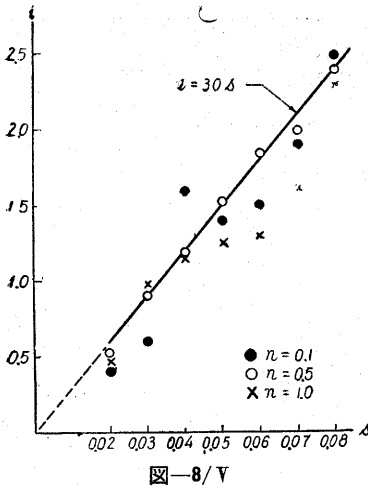
仮想静力学荷重比 n' と衝撃係数 i の関係は (13/V) 式より $i = \frac{n'}{n} - 1$ であるから、上表の n' により衝撃係数を求めると表-5/Vのとおりである。

表-5/V 支間中央急激荷重の衝撃係数

		s						
		0.02	0.03	0.04	0.05	0.06	0.07	0.08
i	n = 0.1	0.40	0.60	1.60	1.40	1.50	1.90	2.50
	n = 0.5	0.52	0.92	1.16	1.52	1.84	2.00	2.40
	n = 1.0	0.48	0.96	1.14	1.23	1.29	1.61	2.30

これによつて見ると衝撃係数 i の値はおおむね 0.4~2.50 の間に変化し、作用せしめた錘の荷重比 n と i との間には判つきりした関係が認められないが、原索垂下比 s と i の間にはほぼ比例的関係が見られる。よつて s と i の関係をグラフにとつて見ると図-8/Vに示すごとく、近似的に次式の関係が成立する。

$$i = 30s \dots\dots\dots(14/V)$$



図—8/V

衝撃の大きさは錘の落下によつて得た運動エネルギーの量に比例する。錘の落下距離を h とすれば、錘 (重量 P) によつてなされた仕事量は Ph である。この仕事が索の線形の変形や索の弾性伸長に費されなければ衝撃係数 i は Ph , したがつて nh に比例するはずであるが、 n の影響がほとんど見られないのは、荷重比 n , したがつて荷重 P が大きくなるにしたがつて索形の変形および索の伸長に費される仕事量が増大するため、 P の大きさの影響が相殺されて h の影響のみが残るものと解釈し得る。しかして錘の静力学的平衡位置 D 点までの落下速度は f_{Dst} が大なる

ほど大であり、 $f'_{Dst} = \epsilon_e \cdot r \cdot f$ の値に対して $f = sl_0$ は使配的値であるから、衝撃係数 i の値に対して原索垂下比の値が支配的に影響することもうなづける。近似的に (14/V) 式によつて示された事実並に上記の考察よりすれば、衝撃の影響は原索垂下比が大なるほど大であり、したがつて衝撃の影響を小にするためには索道主索の垂下比は小さい方が有利であることが明らかである。

5. 設計衝撃係数

以上の実験は室内模型実験で、実際の鋼索による野外実験でないから、特に弾性係数 E の値の異なる実際の主索に、この結果をそのまま適用することはできないが、大体の傾向は推定し得る。(実際の鋼索の弾性係数は本実験の索のそれよりも大であるから実験値は多少過大のはずである) すなわち衝撃係数は一般に

$$i = as \dots\dots\dots(15/V)$$

で示すことができると考える。而て本実験においては支間中央における理想的急激荷重を作用せしめたが、実際にこのような衝撃荷重が作用することは恐らく存在せぬであろう。支点附近における荷掛けの衝撃は、元来の垂下量が僅少であるから中央荷重に比べればその張力に及ぼす影響が問題なく小であるとは明らかである。荷重が支間中央部にあるとさの急制動または風圧を受ける場合および他の搬器の支点通過の際の振動を観察しても急激荷重の場合に予想される振動よりもはるかに小さく、したがつて実際に設計上使用すべき衝撃係数は上記実験値の数分の一を採れば十分であろう。

いま仮に実際に使用すべき設計衝撃係数を中央急激荷重による実験値の 1/5 にとれば、(15/V) 式において $a = 30/5 = 6$ となるから

$$i = 6s \dots\dots\dots(16/V)$$

よつて設計荷重に対する衝撃係数はおゝむね表—6/V の値を標準として、多くの場合大なる不都

合はないであろう。

表-6 設計荷重に対する衝撃係数の標準(案)

原索中央垂下比 s	0.02	0.03	0.04	0.05	0.06	0.07	0.08
衝撃係数 i	0.1	0.2	0.25	0.3	0.35	0.4	0.5

第3節 総 括

運材用索道の搬器は相当の速度で走行するから主索に対して動力学的な影響を与える。その中で最も重大なものは急激荷重の影響で、その他の影響は比較的軽微であることが判明したので、急激荷重による衝撃力の想定に基き衝撃係数 i を用い、前各章の静力学的荷重 P を補正して補正荷重 P' を採用する方法を提唱したい。すなわち

$$P' = P(1+i) \dots \dots \dots (A)$$

運材用索道主索の算定に適用すべき衝撃係数 i の算式としては、実験結果より勘案した次式を提案する。

$$i = 6s \dots \dots \dots (B)$$

ただし s = 原索中央垂下比

引 用 文 献

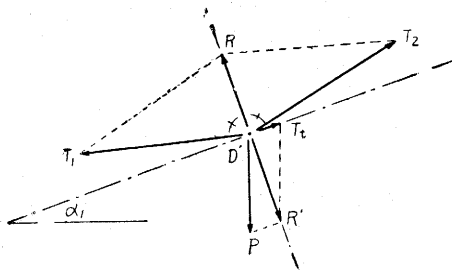
- 1) 林材労働福利協会：架空索道材安全指標，昭 27.
- 2) 長野営林局：機械集材安全基準及作業心得，昭 27.
- 3) CERETTI, G.: Aerial cableway; New York, 1927.
- 4) 佐々木功，貴島恒夫：架空索道の荷重点の軌跡 第1報，第59回日本林学会講演集 pp. 197~199, 昭 26.
- 5) DUHM, J: Seilbahnen, Wien u. Leipzig, 1933.
- 6) 加藤正育：基本形索道理論に関する実験的研究(未発表)，昭 28.
- 7) 本多三雄：「主索張力に及ぼす走行荷重の影響」林業機械化情報 第33号，昭 20.

第VI章 曳索の影響

第1節 曳索の張力と主索の関係

曳索の張力は搬器を通じて主索に対して微妙に作用し、その影響を正確に把握することは極めて困難である。しかして曳索の張力問題は曳索そのものの設計に必要な曳索の最大張力を求めることに主眼が置かれるために、曳索が主索に及ぼす影響については従来の研究も乏しい。前各章に記述した主索の垂下量および張力に関する算定式はすべて搬器荷重と索の静力学的平衡条件を考慮する際に、曳索を考慮せず、搬器が索上の1点に固定されているものと仮定して導かれたものである。しかしながら実際の複線式索道においては搬器の滑車は索上を自由に走行するから、曳索のない搬器が静止して平衡を保つ位置は、支間傾斜角の如何によつては皆無であるかも知れないし、あつても1点に限られるはずである。搬器が索上の任意の位置において平衡を保ち得るのは、曳索の張力が常に関与するためである。したがつて曳索の張力が主索に及ぼす影響は一応これを吟味して、要すれば前各章の垂下量や張力を補正する必要があるのである。

¹⁾ DUHM および ²⁾ 苫名は曳索の張力を考慮に入れた静力学的平衡条件にもとづいて検討した若干の知見を発表しているが、いずれも主索に対する影響についての一般的解を得るに至っていない。



図—1/VI

両者とも一応搬器滑車と主索の間の摩擦を無視し
図—1/VIに示す D' 点を静力学的平衡の保たれた
位置として、次のような考え方をしている。すな
わち滑車直下（荷重点 D' ）における主索の張力
は、滑車の摩擦を無視すれば、上部支点側の張力
 T_2 と下部支点側の張力 T_1 が等しくならねばならぬ

ことから、 T_1 と T_2 の合力 R の働く方向が、 T_1 と T_2 の方向線との角の2等分線上になければならぬとし、この合力 R と釣合っている力が荷重 P と曳索張力 T_t の合力 R' であらねばならぬことから、 D' 点の位置もしくは T_2 の値を求めようとしたのであるが、 T_t は曳索に対して特定の条件を仮定せぬかぎり不定であるから一般的な解は得られない。それゆえ DUHM は図—1/VIに示す α_1 すなわち $T_1 T_2$ の方向の2等分線に直角の方向を以て曳索の適正角度^{*}とし、これが荷重軌跡曲線の近似抛物線^{**}の D' 点における接線方向と一致するという仮定のもとに D' 点の垂下量を求めているのであるが、実際の曳索は必ずしも常にこの適正角度で曳かれるものでないから、この議論は理論遊戯にすぎない。これに反して苫名はやゝ实际的に「標準状態の

* “Günstigste” Zugwinkel

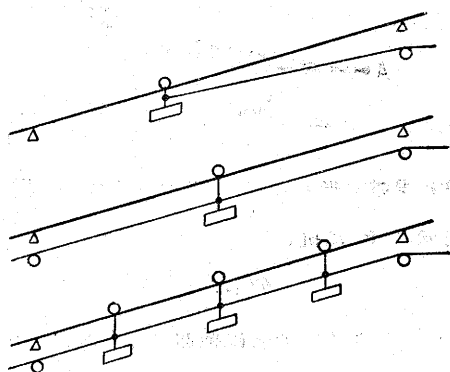
** DUHM は荷重軌跡曲線を近似抛物線で与えているが、これが不適當であることは第III、IV章により自明である。

場合」すなわち「弛んでいる方の索が同じ側の主索線分と同形をなす場合」なる特定条件の見索を想定して、曳索張力が荷重に及ぼす影響の算出式を導いている。しかしこの想定もまた実際の索道における観察と比較するとかなりの隔りがあり、またこの「標準状態」を守り得るような曳索の運転は事実上不能に近い。

これに反して渡辺³⁾は交走式索道の場合に、曳索張力を同時に考えた静力学平衡条件に出発し巧に数学的方法を応用して、直接主索の最大張力を算定することに成功している。これは理論的には革新的な進歩を示したものと云い得るが、実用的見地よりすると相当むずかしい方法であり、さらにこの考え方を循環式索道にも摘要するものとすれば、算式はさらに繁雑になるものと思われる。

著者もまたこの種の解析方法を試みたが、やはり一般的な解を求めることが極めて困難で、特に曳索受溝車を起終点ともに固定した非調整式無端曳索の場合には解を得がたいことを知った。

しかしながら曳索により搬器を運転し、その張力が作用する以上、主索に何等かの影響が与えられることは避けがたい事実なので、著者はこれに対し、実用的な見地より、曳索張力の垂直分力のために生ずる荷重の増減を吟味して、荷重の補正を行うという考え方を採用することとした。すなわち曳索の影響を衝撃係数と類似した曳索係数で示そうとするものである。渡辺の方法またはこれと同様の考え方をする方法と著者の方法との得失については、今後の課題として研究したい。なお STEINLIN⁴⁾は集材機架空線の張力算定に一方曳



図—2/VI

索の場合の曳索張力を同時に考慮したときの計算式を掲げているが、これは簡単な略算式で限定された条件の範囲内でないと用い得ないことが明示されている。

運材用索道における曳索の配置は、運行方式によつていちじるしく異なるので、まずこれを分類して見ると、表—1/VIに示すように要約することができる。(図—2/VI参照)

表—1/VI

運 行 方 式	曳 索 配 置
(a) 往復式・交走釣瓶式	単一荷重一方曳索
(b) 循環式・交走復索式(単一荷重)	単一荷重二方曳索
(c) 循環式(多荷重)	多荷重二方曳索

よつてこれら三つの場合について考察を加えることとする。

* Newton の方法.

第2節 単一荷重一方曳索の曳索係数

図-3/VI (a) に示すごとく、搬器に曳索の1端を結合して、荷重を B→A の方向に降下させる場合、荷重軌跡曲線を BD'A とすれば、任意の点 D' における荷重の運動方向は D' 点における軌跡曲線の傾斜（接線）方向 $\angle\alpha_1$ である。よつて荷重が D' 点にある瞬間においては同図 (b) のごとき斜面上の運動と考えてよい。荷重を P とすれば、これを α_1 の方向に動かす力 F および主索に作用する圧力 N は次式で考えられる。

$$F = P \sin \alpha_1, \quad N = P \cos \alpha_1 \dots\dots\dots(1/VI)$$

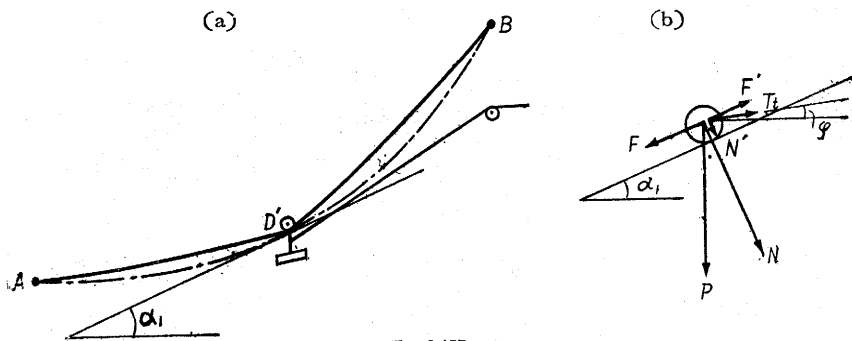


図-3/VI

次に曳索の張力を T_t 、その方向を φ 、搬器の走行抵抗係数を μ とすれば、D' 点において α_1 の方向に F に抗して働く力 F' は

$$F' = T_t \cos(\alpha_1 - \varphi) + \mu \{P \cos \alpha_1 + T_t \sin(\alpha_1 - \varphi)\} \dots\dots\dots(2/VI)$$

よつて $F > F'$ ならば搬器は下部支点の方に向つて走行するが、曳索の制動により搬器が停止しているときには $F = F'$ が成立し、このとき搬器の走行抵抗係数 μ は、滑車の静止軸摩擦係数 μ' に置き換えられ、抵抗 $W = \mu' \{P \cos \alpha_1 + T_t \sin(\alpha_1 - \varphi)\}$ の値は極めて小さくなる。よつて $W = 0$ として静止の条件をとると、

$$P \sin \alpha_1 = T_t \cos(\alpha_1 - \varphi)$$

$$\therefore T_t = P \cdot \frac{\sin \alpha_1}{\cos(\alpha_1 - \varphi)} \dots\dots\dots(3/VI)$$

また T_t の $\angle\alpha_1$ に直角な方向の分力は

$$N' = T_t \sin(\alpha_1 - \varphi) = P \sin \alpha_1 \tan(\alpha_1 - \varphi) \dots\dots\dots(4/VI)$$

すなわち静止の場合は F と F' が相殺され、 $N + N'$ が残存し、これが D' 点において主索の張力 T_1' 、 T_2' と釣合うことになる。このような場合を、曳索が無くて搬器荷重 P が何等かの方法で主索の同じ位置に固定された場合に比較すると、図-4/VI (a) (b) のとおりであつて、あたかも D 点の荷重 P のかわりに $N + N'$ の力が作用したのと同じ結果になる。すなわち図-4/VI (a) の状態にあるところへ、新たに N' が作用したと考えてよい。したがつて同図 (c)

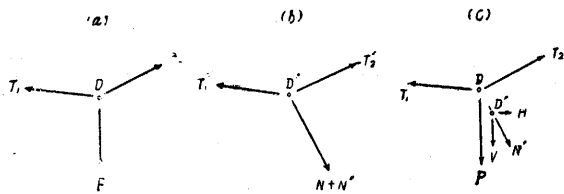


図-4/V

のごとく D' は D よりも $\overline{DD'}$ だけ N' の作用方向に変位しているはずである。しかるに (4/V) 式より明らかなように N' の方向は $\alpha_1 > \varphi$ のときは下方に、 $\alpha_1 < \varphi$ のときは上方に向くから、 $\overline{DD'}$

の値は α と φ の関係により正または負となる。次に N' の水平分力を H 、垂直分力を V とすれば

$$\left. \begin{aligned} H &= N' \sin \alpha_1 = P \sin^2 \alpha_1 \tan (\alpha_1 - \varphi) \\ V &= N' \cos \alpha_1 = P \sin \alpha_1 \cos \alpha_1 \tan (\alpha_1 - \varphi) \end{aligned} \right\} \dots \dots \dots (5/V)$$

$\sin^2 \alpha$ の項を含む H は比較的小さいから、 V の影響のみを取上げ、 V と荷重 P との比をとつて、これを曳索係数 τ とすれば、

$$\tau = \frac{V}{P} = \sin \alpha_1 \cos \alpha_1 \tan (\alpha_1 - \varphi) \dots \dots \dots (6/V)$$

上式の値は α_1 と φ の関係によつてきまるので、その正の最大値を一般式で示すことは困難であるが、大体の傾向としては次のことがいえる。(図-5/V参照)

(1) 荷重が上部支点附近にあるときは一般に $\alpha_1 > \varphi$ であるから、 τ は正值で、 α_1 は相当大きいから φ の値はあまり大きくないから τ の値は比較的大きい。 φ は曳索の上部支点 B' と主索の上部支点 B との関係位置によつてきまるから、 τ を小にするためには B' を B に近づければよい。

(2) 荷重が上部支点より少し下降した位置では、一般に $\alpha_1 < \varphi$ であるから、 τ は負の値をとる。このとき曳索の長さはあまり長くないので、 B' が B よりもはなはだしく下方にないかぎり $\alpha_1 - \varphi$ の値は小さく、 α_1 が小さければ τ の絶対値は極めて小となり、 $\alpha_1 = \varphi$ の点では $\tau = 0$ である。

(3) 荷重が支間中央部にあるとき、支点傾斜角を α とすれば、 $\alpha_1 = \alpha$ であるが、このとき

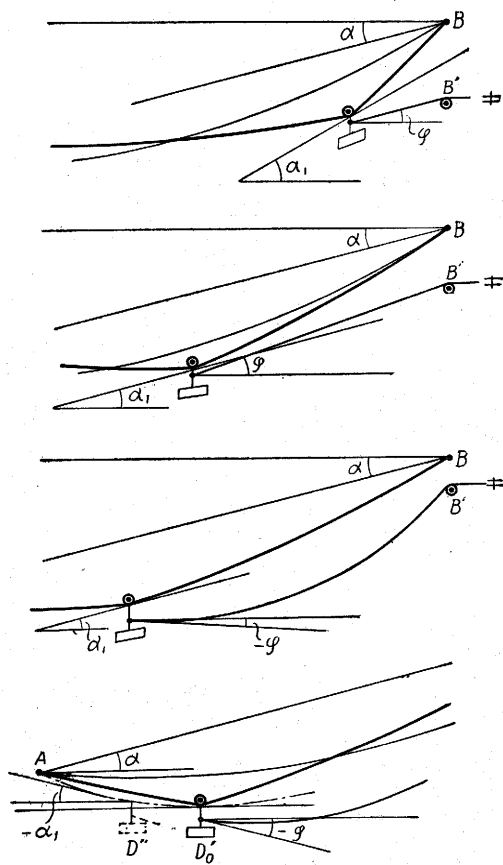


図-5/V

曳索は相当長くなるので、その自重により垂下を生じ、垂下が大きければ φ の値は負となる。したがって α_1 はあまり大きくないけれども $\alpha_1 - (-\varphi) = \alpha_1 + \varphi$ は相当大きな値となる。すなわち一般に τ の値は正で、その絶対値も相当大きい。

(4) 荷重が下部支点到近づき、 $\alpha_1 < 0$ になれば、静力学的に釣合う点は存在しない。すなわち曳索がある場合に平衡状態が成立する最下点は $\alpha_1 = 0$ の点で、この点はもちろん曳索が無い場合の最下点よりも上部支点到側に偏するはずである。しかし走行搬器はその隋力により $\alpha_1 < 0$ になつても実際には静止せず、走行を続け D'' 点に達するが、放置すれば D_0' 点までもどつて静止する。しかしてこのときは $\alpha_1 = 0$ であるから当然 $F = 0$ であつて、曳索張力 T_i の垂直分力 V_0 のみが荷重 P に加算されていることになる。 V_0 は曳索を D_0' 点を下部支点和し、 B' を上部支点和とする無負荷索と考えた場合の下部支点和張力の垂直分力にほかならないから、これはこのような無負荷索を想定すれば、第II章(8/II)式によつて算定し得る。したがつて $\tau = V_0/P$ の値を求めることも可能である。

以上の考察により、曳索が無いものとして求めた主索の垂下量および張力に関する理論式が危険側の誤差を有するのは(1)(3)(4)の場合であることが推察されるが、(1)、(4)の場合は荷重が支点到に比較的近いので主索張力の絶対値はその最大値よりもかなり小さい。また(3)の場合のごとく荷重が支間中央部にあるときは、荷重の位置が相当広範囲に動いても張力の変化が少なく、曳索がなければ荷重が中央にあるとき張力が最大となるのは前記のとおりである。よつて設計上は近似値として曳索のある搬器荷重が支間中央($k=0.5$)にある場合の曳索係数を求めて、これにより張力および垂下量を算定すればよく、しかもこの場合の誤差は安全側にある。このような τ の値は(6/VI)式において $\alpha_1 = \alpha$ と置いて、

$$\tau = \sin \alpha \cos \alpha \tan (\alpha - \varphi) \dots \dots \dots (7/VI)$$

となる。上式中 φ は未知数であるが、これを理論的に求めることは極めて困難であつて、適当な想定値を用いねばならぬ。実際問題として曳索には主索の径の $1/2 \sim 1/3$ 程度の細い索が使用されるのではあまり大きな値にはならない。仮に $\alpha = 15^\circ$ のとき $\varphi = -5^\circ$ と想定すれば $\tau = 0.09$ となり、 $\alpha = 30^\circ$ のとき $\varphi = 15^\circ$ と想定すれば $\tau = 0.12$ となる。実用上このような想定をすることはそれほど困難ではない。

第3節 単一荷重二方曳索の曳索係数

単一荷重ならば、二方曳索の場合にも、主索の最大張力および垂下量に関連して考慮すべき曳索係数は、荷重が支間中央部にある場合につき考慮すべきことは前節の場合とかわりがない。二方曳索のときは曳索は当然循環的に張られてある大いさの基礎張力が与えられているから、一方曳索の場合のように張力が大きく変化しない。この基礎張力が相当大きければ $A'D'$ および

B'D' は直線に近付き、その作用は荷重 P を軽減する方向に働く。したがって P に対して危険側の影響が与えられるのは、図-6/VIに示すごとく基礎張力が比較的小で、A'B' 間に相当大きな垂下比で張られた曳索を D' で吊上げた形になるときである。このとき曳索が搬器に及ぼす影響は近似的に D' 点における曳索の支点反力 R_D に等しい力が P に加算されるものと見做し得る。搬器の位置が A'B' の中央、すなわち D' 点にあるとき、A'D' の傾斜角を α_1' 、D'B' の傾斜角を α_2' 、索 A'D' の索張り(垂下比)を s_1' 、索 D'B' のそれを s_2' とすれば、索張力の水平分力はそれぞれ

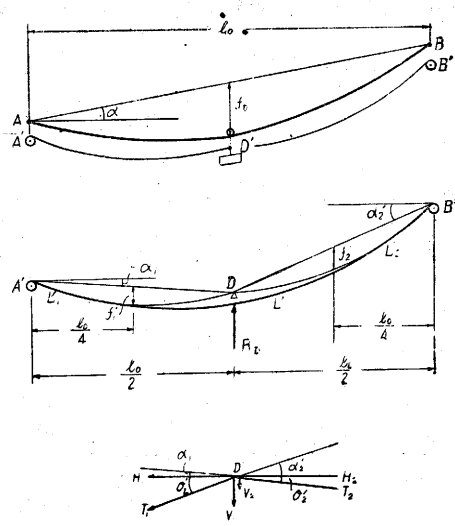


図-6/VI

$$H_1' = \frac{W_1'}{8s_1'}, \quad H_2' = \frac{W_2'}{8s_2'} \quad \dots\dots\dots (8/VI)$$

$\left\{ \begin{array}{l} W_1' = \text{索 A'D' の自重} \\ W_2' = \text{索 D'B' の自重} \end{array} \right.$

循環式曳索では垂下比 $s_1's_2'$ はあまり大きくないから、搬器が支間中央にあるときは A'D' と D'B' の索長はほぼ同一で、 $W_1' \approx W_2'$ と見なし得る。搬器が静止の場合を考えれば $\Sigma H = 0$ の条件より $H_1' = H_2'$ が成立せねばならぬから、(8/VI) 式より

$$s_1' = s_2' \equiv s' \quad \dots\dots\dots (9/VI)$$

いま A'B' 間の曳索の自重を W' とすれば

$$H_1' = H_2' = H' \frac{W'}{16s'} \quad \dots\dots\dots (10/VI)$$

よつて D' 点の曳索張力の反力は、曳索張力の垂直分力を V_2' 、 V_1' 、曳索の傾斜角を θ_2' 、 θ_1' とすれば

$$R_D = V_2' + V_1' = H \tan \theta_2' + H \tan \theta_1' \quad \dots\dots\dots (11/VI)$$

しかるに

$$\left. \begin{array}{l} \tan \theta_2' = \tan \alpha_2' + 4s_1' \\ \tan \theta_1' = \tan \alpha_1' - 4s_2' \end{array} \right\} \text{であるから (8, 9, 10, /VI) 式より}$$

$$R_D = \frac{W'}{16s'} (\tan \alpha_1' + \tan \alpha_2')$$

$$= \frac{W'}{8s'} \cdot \tan \alpha \quad \dots\dots\dots (12/VI)$$

よつて曳索係数は次式で与えられる。

$$\tau = \frac{R_D}{P} = \frac{W'}{P} \cdot \frac{\tan \alpha}{8s'} \quad \dots\dots\dots (13/VI)$$

すなわち搬器荷重が支間中央にある場合の曳索の索張り（垂下比） s' を適当に想定することにより τ の近似値が求められる。

第4節 多荷重二方曳索の曳索係数

多荷重二方曳索の場合にも第3節の場合と同様の想定を用いて曳索係数を算定することは可能であるが、実際問題としては演算が煩瑣である。多荷重の場合には曳索の影響が各搬器に分散されるので、単一荷重の場合ほど集中的でない。よつて通常工鉱業用索道において常用されている方法による近似値を用いてよいであろう。すなわち搬器の両側にある曳索重量の1/2ずつが垂直荷重として搬器荷重に附加されるものと見なし、搬器間隔を一定と考えて、相隣る搬器間の曳索の自重を W'' とすれば、曳索係数は

$$\tau = \frac{W''}{P} \dots\dots\dots (14/VI)$$

によつて与えられる。

第5節 総 括

曳索の張力が搬器を通じて主索に及ぼす影響を厳密に把握することはきわめて困難であるが、実用的見地よりすれば、これを衝撃係数と類似の観念による曳索係数 τ の形で示し、これにより搬器荷重 P を補正するのが最も便利と思われるので、著者はこの方法を提唱したい。すなわち補正荷重として

$$P'' = P(1 + \tau) \dots\dots\dots (A)$$

を用うべく、またもしこれを衝撃と同時に考慮すれば、補正荷重として

$$P'' = P'(1 + \tau) = P(1 + i + \tau) \dots\dots\dots (B)$$

を用いればよい。

曳索係数 τ の値は、曳索の方式により異なり、次の近似公式により与えられる。

(1) 単一荷重一方曳索の場合

$$\tau = \sin \alpha \cdot \cos \alpha \cdot \tan (\alpha - \varphi)$$

ただし $\left\{ \begin{array}{l} \alpha = \text{支間傾斜角} \\ \varphi = \text{搬器の位置における曳索の傾斜角 (想定値)} \end{array} \right.$

(2) 単一荷重二方曳索の場合

$$\tau = \frac{W'}{P} \cdot \frac{\tan \alpha}{8s'}$$

ただし $\left\{ \begin{array}{l} W' = \text{支間内の曳索の自重} \\ \alpha = \text{支間傾斜角} \\ s' = \text{搬器が支間中央にあるときの曳索の垂下比 (想定値)} \end{array} \right. \dots\dots\dots (C)$

(3) 多荷重二方曳索の場合

$$\tau = \frac{W''}{P}$$

ただし $\left\{ \begin{array}{l} W'' = \text{相隣る搬器間の曳索の自重} \\ P = \text{搬器荷重} \end{array} \right.$

引用文献

- 1) DUHM, J.: Seilbahnen, Wien u, Leipzig, 1933.
- 2) 苔名孝太郎: 架空索道の理論と計算, 昭 28.
- 3) 渡辺治人: 交互式架空索道の索曲線の長さ及び張力に関する静力学的研究, 九州大学演習林報告第 7 号, 昭 7.
- 4) STEINLIN, H. und ZEHNTNER, K.: Untersuchungen zur Verbesserung des Holztransportes im Gebirge, Mitteilungen der Schweizerischen Anstalt für das forstliche Versuchswesen. Zürich, 1953.

第 VII 章 主索の設計法

第 1 節 設計の順序

本章においては前各章において論述した理論および実験的検討の結果を実際の索道主索の設計に応用する方法について記述する^{*}。したがってここに対象とするのは運材用索道として最も普通と考えられる複線式索道の主索で、しかも単支間たると多支間たるとを問わず 1 支間内に 1 個の搬器荷重が載荷されるような主索である^{**}。このような索道主索の設計は、これを次のような順序で行うのが便利である。

1. 踏査と予測

まず運材条件（年間出材量，作業日数，一日運材量，作業時間，一日運転回数，一回積載石数，運材距離，高低差，地形，索道使用期間，積卸および前後の運材系統等）を全般的に考えて，採用すべき索道の大体の規模，様式を予定した上で，既存の地形図，林相図，航空写真等を参照しながら，なるべく詳細に实地踏査を行い，起点，終点および大体の路線を図上に入れ，総延長，最大支間，高低差，支柱位置等を想定する。通常起点終点の盤台位置は，地形と前後の集材および運材関係によつて大体の位置がきめられるが，最適路線の判定は林道や軌道の場合よりもはるかに困難である。よつて 2~3 の予定線を想定して，これを比較線とし，各線につき予測を行う。予測の結果により適当な索張りの能否，補助動力の要否，中間支柱の要否および数，曲線の要否（なるべく直線をとる）等を比較検討した上で予定線を定め実測に移る。

2. 実測

実測は作設する索道の種類規模に応じて要求される精度が異なるから，その精度に応じて適当と思われる測量機械を使用して行う。通常平面はトランシット，縦断はレベルの使用が望ましいが，トランシットのみによるスタジャ測量による方が迅速である。また地形や伐開の関係で最初にはポケットコンパスとハンドレベルまたは高度計あるいは光学的測距器で間に合わせておいて，作設の際精密に再測量して十分の索張り検定を行うことも一法である。しかし実測の精度が高いほど設計計算の誤差が少なく作設上の不安が除かれることも念頭に置くべきである。実測の結果はまず現地盤を平面図，縦断面図（いずれも縮尺 1:500 または 1:1000，水平距離と垂直距離の縮尺は同一にした方が便利である）および支柱設置箇所の横断面図（縮尺 1:100）に図示する。

3. 索張りの想定と原索曲線の算定作図

まず実測の縦断面図上に鳥居または支柱の高さを適当に予定して，搬器の発着位置が積卸に便

* 引用文献 (1) (2) (3) 参照。但し公式，図表などには修正を加えて改善した。

** 1 支間内に 2 個以上の搬器が載荷される主索の設計法については第 IX 章に記載

利な高さになるように支点位置を定める。多支間索道では中間支柱高（またはサイドケーブル吊支点）を同じく適当に予定して、各支点位置を定める。次に縦断面図と実測野帳を参照して下部支点 A と上部支点 B の間の正確な水平距離 l_0 および支間斜角 α （または $\tan \alpha$ ）を求めておく。こゝで索張り（垂下比 s ）を適当と思われる値に想定し、この索張りの原索曲線を原索線形係数 m を用いて算定し縦断面図上に作図して、地面との関係、搬器の走行勾配等に不都合がないかどうかを概略しらべる。多支間索道においては、最大支間その他問題になりそうな支間についてまずこれを行い順次他の支間に及ぼすのであるが、その際中間支点の左右の索の偏倚角が過大にならぬこと（おゝむね $3^\circ \sim 4^\circ$ 以下）を確め、過大のときは中間支柱における支持金具を 2 個以上配列して（必要に応じ補助支柱を設ける）一支間の偏倚角を小さくする。

4. 索の径と設計荷重および荷重比の想定

使用すべき索の径を適当に（通常小規模索道では $\phi 12 \sim 16 \text{ mm}$ ，中規模索道では $\phi 20 \sim 24 \text{ mm}$ ，大規模索道では $\phi 26 \sim 36 \text{ mm}$ 程度）想定して、その諸元（1 m 当りの重量 p ，保証破断力 S ，有効断面積 A_0 ，素線の径 d および破断応力 σ 等）を調べておく。

また搬器の構造（2 輪，4 輪の別と機構）および重量を想定し、積載荷重を予定し、これに適當な衝撃係数および曳索係数を見込んで設計荷重（常用荷重） P を決定する。

また必要に応じ極めてまれに出材さるべき特大材または機材運搬等の場合の最大荷重 P_{\max} を予定する。

次に支点間の索長 L と支点間の索の自重 W を算定し、荷重比 $n = P/W$ を求める。

5. 荷重軌跡曲線の算定作図

原索に前記の設計荷重 P （必要に応じ最大荷重 P_{\max} ）が負荷運行された場合の荷重軌跡曲線（近似曲線）を上記の荷重比 n と負荷索増垂係数 r を用いて算定し縦断面図上に作図する。その結果、地表障害物（積込地点，荷卸地点，中間の尾根筋，立木等）との間に余裕が少ないときには、支点の移動，温度の変化および索の弾性伸長に対する垂下量補正係数 ε を用いて障害物附近における補正軌跡曲線（理論値）を算定作図して、搬器の最大垂下量を検べる。もし荷が下りすぎるようならば、最初に想定した原索垂下比 s を小さくするか，索の径を大にするか，設計荷重を減ずるか，いずれにしても前の想定を変更してやりなおしてみる。略算のときは補正係数を用いず，見こみで前の近似曲線を修正すればよい。

6. 最大張力の算定と張力安全率の算出

索の最大張力は設計荷重 P （必要に応じ P_{\max} ）が支間中央に負荷されたとき上部支점에生ずるから，この最大張力 T_{\max} を算定し，索の破断力（切断荷重） S と比較し，張力安全率 N_t を算出する。最大張力の正確な算定には，原索垂下比の補正值 $s' = \varepsilon \cdot s$ を用いるが，略算のときは最初に想定した垂下比 s を用いてよい。張力安全率は $3 \sim 3.5$ 以上であることが望ましく，そ

れが過小（たとえば 2.5 以下）の場合には設計荷重を減ずるか、索径を大きくするか、索線強度の大きな索を用いるかせねばならぬ。

7. 最大応力の算定と総安全率の算出

索の最大応力は前記の最大張力による引張応力 σ_t と主索支持金具上の曲げ応力 σ_{b1} または搬器滑車の下における曲げ応力 σ_{b2} の加算されたものであるから、 $\sigma_{\max} = \sigma_t + \sigma_{b1}$ と $\sigma_{\max} = \sigma_t + \sigma_{b2}$ の中で大きい方を取り、この最大応力と索の破断応力 ($\sigma_u = S/A$ 。または索線切断強度 $\sigma \times 90\%$) と比較して総安全率 N を求める。 N の値は 2.5~3 以上であることが望ましく、 N が過小（たとえば 2 以下）のときは張力を減ずるようにするか、支持金具の曲率半径を大にするか、搬器の滑車数を増加して最大応力を減ずるようにする。鋼索の索線の径を δ 、支持金具の曲率半径を $D/2$ とするとき D/δ の値が 800~1000 以上ならば、 σ_{b1} の計算は不要である。

8. 負荷索線形の算定

主索の上方に障害物のある場合、もしくは中間支点において主索の浮上りのおそれのある多支間索道に対しては、負荷索線形係数を用いて負荷索の線形を算定し、支障の有無を検べなければならない。

おゝね以上の順序で主索の設計を行うのであるが、その各段階における数値計算は相等煩雑である。その煩雑を避けるために各種の実用表を作製したので、以下その原理と使用法を簡単に説明する。これらの実用表を十分活用すれば、設計や検定の計算時間をいちじるしく節約することができるから、設計の際多数の比較線をとることも、また既設索道をしばしば検定することも容易になる。

第2節 主索の索張り

主索の索張り、すなわち索の張りの強さが適切であるかどうかは、索道の円滑な運転と運材能率を支配する重要因子である。索張りが強すぎても弱すぎてもいろいろの不都合が起る。上下支点間の距離や傾斜角にも関連するが、一般に索張りが強すぎる場合には、(1) 張力が過大となり、(2) 一定の安全率を保つためには太い索を用いるか、荷重を減ずるかせねばならず、(3) 支間傾斜の強い場合には強力な制動を要する。これに反して索張りが弱すぎて垂みが大き過ぎる場合には、(1) 搬器荷重が垂れ下りすぎて地上障害物に触れたり、(2) 運転中索の振れが大きくなつて円滑な運行が妨げられ、(3) 搬器滑車の下や支持金具上で索の曲げ応力が過大となり、(4) 一定の安全率を保つためには、やはり太い索を用いたり荷重を減じたりせねばならず、(5) 支間傾斜の緩い場合には、補助動力を用いないと搬器が下部盤台まで到達せず、(6) 多支間式では搬器の中間支点の通過が円滑を欠く等の欠陥が生じてくる。

索張りの程度を示すのに、索長比（索の曲線長と支間斜距離の比）で表わす方法と、中央垂下

比（支間中央における索の垂下量と支間水平距離の比）を以て表わす方法があるが、実用上は後者の方が便利である。図一1/VIIにおいて

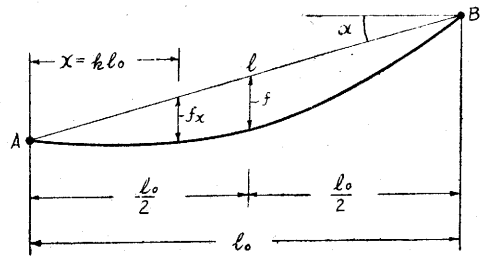
索長比は $\beta = L/l$ (1/VII)

中央垂下比は $s = f/l_0$ (2/VII)

を意味し、水平距離 l_0 または斜距離 l の値の如何にかかわらず索張りが同じで索の線形が相似ならば β または s の値は常に同じである。著者が今までに観察した多くの索道における索張りはおおむね $s = 0.02 \sim 0.08$ の範囲にあり、なかんずく適切と思われるのは

$s = 0.03 \sim 0.06$ (3/VII)

の範囲である。主索の設計に当たってはまず第一に原索の中央垂下比（以下単に垂下比という）をこの範囲（なるべく $s = 0.04 \sim 0.05$ ）にするように考えることが必要である。



図一1/VII 索張り（原索線形）

第3節 原索線形の算定と作図

1. 単支間の場合

前掲の図一1/VII において索張りの垂下比を s とすれば、原索曲線の中央垂下量は $f = s \cdot l_0$ で、曲線 AB 上の任意の点（A からの水平距離 x の点）の垂下量は

$f_x = m \cdot f$ (4/VII)

ただし、 $m = 4(k - k^2)$, $k = x/l_0$

で与えられる。 m は原索線形係数で、 $k = x/l_0$ は、任意の点を A 点から計った水平距離の係数である。図表一1/VII は k の任意の値に対する m の算出図表である。

〔例題 1〕

単支間、水平距離 $l_0 = 600$ m、支間傾斜角 $\alpha = 15^\circ$ の支点 AB 間に垂下比 $s = 0.05$ の索張りで架設する原索の線形を算定作図せよ。

〔解法〕

$l_0 = 600$ m をたとえば 20 等分して水平に 30 m ごとの点をとれば、水平距離係数は $k = 0.05, 0.10, \dots, 0.95, 1.00$ となる。これらの k の値に対する線形係数 $m = 4(k - k^2)$ の値を計算または図表一1/VII から求めると下表のとおりである。

k	0.05	0.10	0.15	0.20	0.25	0.30	0.35	0.40	0.45	0.50
	0.95	0.90	0.85	0.80	0.75	0.70	0.65	0.60	0.55	
m	0.19	0.36	0.51	0.64	0.75	0.84	0.91	0.96	0.99	1.00

しかるに中央垂下量は $f = s \cdot l_0 = 0.05 \times 600 = 30$ m であるから、各点における垂下量 f_x は 30 m 以上表の m を乗じて

k	0.05 0.95	0.10 0.90	0.15 0.85	0.20 0.80	0.25 0.75	0.30 0.70	0.35 0.65	0.40 0.60	0.45 0.65	0.00
f_x	5.7	10.8	15.3	19.2	22.5	25.2	27.3	28.8	29.7	30.0

この f_x の長さを AB 線から下方にとつた点を結べば図-6/VII-①のごとき線形曲線を得る。

2. 多支間の場合

図-2/VIIのごとき多支間索道の場合は、相隣接する支間の主索がそれぞれ互に平衡を保つように無理なく索張りしたとき、すなわち最も安定した索張りをしたときには、各支点には垂直反力のみが働き水平反力が無いから、隣接支間の垂下比および中央垂下量の間には次の関係がある。

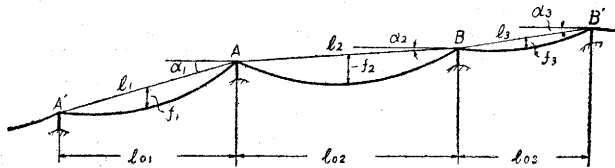


図-2/VII 多支間索道

$$s_1 : s_2 = l_1 : l_2, \quad s_2 : s_3 = l_2 : l_3 \dots\dots\dots (5/VII)$$

よつて、たとえば支間 AB の垂下比 s_2 または中央垂下量 f_2 を想定すれば、支間 A'A および BB' の垂下比および中央垂下量はそれぞれ

$$\left. \begin{aligned} s_1 &= s_2 \frac{l_1}{l_2}, & s_3 &= s_2 \frac{l_3}{l_2} \\ f_1 &= s_1 l_{01}, & f_3 &= s_3 l_{03} \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (6/VII)$$

によつて与えられる。よつて各支間の線形はこのような垂下比および中央垂下量を用いて単支間の場合とまったく同じ方法で算定し得る。

第4節 設計荷重の算定

搬器の自重と想定した積載重量の和を P_0 とすれば、設計荷重 P は次式により算定される。

$$P = P_0(1 + i + \tau) \dots\dots\dots (7/VII)$$

ただし $\left\{ \begin{array}{l} i = \text{衝撃係数} \\ \tau = \text{曳索係数} \end{array} \right.$

衝撃係数 i には想定した索張り s の値に応じて次の数値を標準にとる。

索張り (原索中央垂下比) s	0.02	0.03	0.04	0.05	0.06	0.07	0.08
衝 撃 係 数 i	0.1	0.2	0.25	0.3	0.35	0.4	0.5

曳索係数 τ は次式により算定する。

$$\left. \begin{aligned} \tau &= \sin \alpha \cdot \cos \alpha \cdot \tan (\alpha - \varphi) \dots \text{単一荷重一方曳索} \\ \tau &= \frac{W'}{P} \cdot \frac{\tan \alpha}{8s'} \dots\dots\dots \text{単一荷重二方曳索} \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (8/VII)$$

$$\tau = \frac{W''}{P} \dots\dots\dots \text{多荷重両方曳索}$$

(第VI章(C)式参照)

ただし、使用すべき曳索には主索の径の 1/2 程度の径の鋼索を予想して上式中の曳索重量を算定する。概算の場合には曳索係数を考慮しないでよいが、その場合は後の安全率算出の際曳索の影響を考慮に入れる必要がある。

なお想定すべき積載重量としては常用荷重(最も普通に搬出さるべき一荷の木材石数を重量に換算)を用いてよいが、必要に応じ別途に当該索道に積荷を予想される最大荷重 P_{0max} を想定して(7/VII)式により P_{max} を求め、後記の安全率を検定することが望ましい。

第5節 索長の算定

支間 AB の索長 L は次式で与えられる。

$$L = \beta \cdot l \dots\dots\dots (9/VII)$$

$$\text{ただし} \begin{cases} l = l_0 / \cos \alpha = \text{支間斜距離} \\ \beta = 1 + \frac{8}{3} s^2 \cos^4 \alpha \end{cases}$$

この β を索長比といい、垂下比 s と支間傾斜角 α がきまれば β の値もきまる。よつて索長は斜距離に索長比を乗ずることによつて求められる。図表—2/VIIは任意の s および α の値に対する β の算出図表である。

【例題 2】

【例題 1】の場合の索長を求めよ。

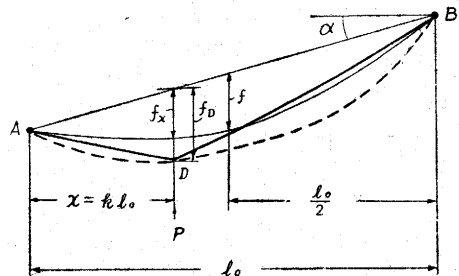
【解法】

表—2 より $s=0.05$, $\alpha=15^\circ$ に対する β を求めること、 $\beta=1.0058$ である。よつて索長は $L = \beta \cdot l = 1.0058 \times \frac{600}{0.96593} = 624.77 \text{ m}$

第6節 荷重軌跡曲線の算定と作図

1. 無補正值

図—3/VII に示すように AB 間の任意の位置に搬器荷重(単一集中荷重) P がかゝると、索は D 点まで垂下して釣合う。A から D までの水平距離を x , 位置係数を $k=x/l_0$ とする。このとき原索(無負荷)のこの点における垂下量を前記のとおり f_x とし、荷重がかゝつたときの垂下量を f_D とすれば



図—3/VII 負荷索

$$f_D = r \cdot f_x \dots\dots\dots (10/Ⅶ)$$

$$\text{ただし} \begin{cases} r = \frac{1+2n}{\{1+12(n+n^3)(k-k^2)\}^{1/2}} \\ k = x/l_0 = \text{荷重位置係数} \\ n = P/W = \text{荷重比} \end{cases}$$

上式中、 r を負荷索増垂係数といふ、この係数を用いて、いろいろの k の値に対する f_D を求めれば荷重軌跡曲線が得られる。 r は n と k の関数であるから、鋼索が一定ならば設計荷重 P の太いさと、その懸る位置によつて変る。 p を鋼索の単位長当り重量、 L を索長とすれば支点間の索の自重は $W = pL$ で、荷重比 n は搬器荷重 P と索自重 W の比を示す数字である。図表—3/Ⅶは JIS 6×7 (ラング鋼索の直径別自重の算出図表で、この表を用いれば $W = p \times L$ の演算がはぶける。図表—4/Ⅶは (10/Ⅶ) 式から求めた任意の n と k の値に対する増垂係数 r の算出図表である。ただし同式は両端支点が少しも動かないこと、索長に変化がない (索の縦方向の移動や伸縮がない) ことを仮定して求めた理論式であるから、実際の場合には上記の値は近似値を示すもので、実際の値は一般にこれよりも若干下方にずれることを常に念頭に置かねばならぬ。

〔例題 3〕

JIS 規格 6×7 ラング径 24 mm の主索を〔例題 1〕と同じ条件の場所に、同じ索張り $s = 0.05$ で架設し、これに設計荷重 $P = 2000$ kg の搬器荷重 1 個を運行する場合の荷重軌跡曲線 (無補正近似値) を算定作図せよ。

〔解 法〕 表—12/Ⅶより $\phi 24$ mm 索は $p = 2.185$ kg/m である。また $L = 9 \cdot l = 624.77$ m であるから、図表—3/Ⅶまたは計算により $W = pL = 2.185 \times 624.77 = 1365$ kg である。よつて $n = P/W = 2000/1365 = 1.46$ 。図表—4/Ⅶより $n = 1.46$ の場合のいろいろの k の値に対する r を求め、これを〔例題 1〕で求めたそれぞれの位置の原索垂下量 f_x に乗ざると、それぞれの荷重位置の場合の垂下量 f_D が次表のとおり得られる。

k	0.05 0.95	0.10 0.90	0.15 0.85	0.20 0.80	0.25 0.75	0.30 0.70	0.35 0.65	0.40 0.60	0.45 0.55	0.5
r	2.21	1.77	1.55	1.39	1.31	1.24	1.19	1.16	1.15	1.14
f_x	5.7	10.8	15.3	19.2	22.5	25.2	27.3	28.8	29.7	30.0
f_D	12.6	19.1	23.7	26.7	29.5	31.2	32.5	33.4	34.1	34.2

この f_D の長さを〔例題 1〕の作図と同様に AB 線から下方にとつた点を結べば、図—6/Ⅶ—②の近似軌跡曲線が得られる。

2. 補正值

運材用索道では主索の 1 端に平衡錘を用いて一定張力式にすることがまれて、原索をかなり強く張つて両端を固定するから、一般に支点における主索支持金具上を主索が縦の方向に撓動することはない (あつても極めて微小)。したがつて垂下量は前記の近似値に支点の移動、温度変化および索の弾性伸長に対する補正を行えば相当正確な値が得られる。万一微小な索の縦方向の移動

があるような場合にはこれを弾性伸長に加算して補正すればよい。在来の索道設計法ではこのような補正を行わなかつたので、原索垂下比 s の値が小さく、荷重比 n の値が大きい場合（運材用索道ではそれが多）にはしばしば理論計算値と実際値との間に相当大きな差異（垂下量は理論値が過小、張力は理論値が過大）が出るることがあり、そのために現場技術者が理論値に対する信頼感を失つて、ますます勘に頼る傾向を生じたようである。補正を行わない理論値はその計算を如何に厳密に行つても正解値ではなく、どこまでも近似として考えねばならぬことを特に注意しておきたい。

(a) 支点変位に対する補正

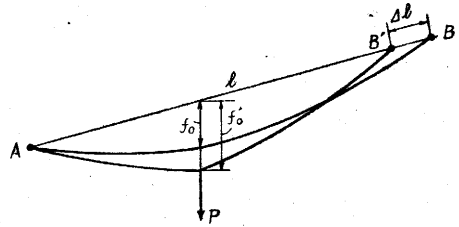
主索は荷重が懸ると張力を増すから、その上下両支点は支間内方に若干変位（移動）して、支間斜距離がそれだけ短くなり、垂下量は増大する。この支点の微小な変位量を Δl とし、原索の支間斜距離を l とすれば変位率は

$$\Delta a = \Delta l / l \dots\dots\dots(11/VII)$$

図—4/VII に示すように、変位が無いものと仮定した場合の垂下量を f_D とし、変位があつたときの垂下量を $f_{D'}$ とすれば

$$f_{D'} = \epsilon_a \cdot f_D \dots\dots\dots(12/VII)$$

$$\text{ただし } \epsilon_a = \left[\frac{1 + \frac{3}{8s^2 \cos^4 \alpha} \cdot \Delta a}{1 - \Delta a} \right]^{\frac{1}{2}}$$



図—4/VII 支点変位

上式の ϵ_a は支点変位に対する垂下量の補正係数で、この係数の値は原索の垂下比 s 、支間傾斜角および変位率 Δa が変れば変る。図表—5/VII は任意の $s, \alpha, \Delta a$ の値に対する ϵ_a の算出図表である。実際問題としては、主索の支持構造から考えて実際に起りそうな両支点の変位量の合計 Δl を適当に想定して (11/VII) 式により Δa を求め、図表—5/VII から ϵ_a を見出して (12/VII) 式を算定するのである。

(b) 温度変化に対する補正

主索架設の時（または調整時）と運行中とでは温度が異なり、この温度変化のため鋼索は伸縮して垂下量が増減する。鋼索の温度に対する伸縮率はおゝむね 1°C につき $\omega = 11 \times 10^{-6}$ で比較的小さな値である。原索の任意の点のはじめの垂下量を f_x とし、伸縮後のそれを $f_{x'}$ とすれば

$$f_{x'} = \epsilon_t \cdot f_x \dots\dots\dots(13/VII)$$

$$\text{ただし } \epsilon_t = 1 \pm \frac{3}{16s^2 \cos^4 \alpha} \omega t^\circ$$

上式の ϵ_t は温度変化 $t^\circ\text{C}$ に対する垂下量補正係数で、これは荷重が負荷されたときもそのまま残る。すなわち温度変化が無いときの荷重点垂下量を f_D とし、温度変化後のそれを $f_{D'}$ とすれば $f_D = r \cdot f_x, f_{D'} = r \cdot \epsilon_t \cdot f_x$ であるから

$$f_{D'} = \epsilon_t \cdot f_D \dots\dots\dots(14/VI)$$

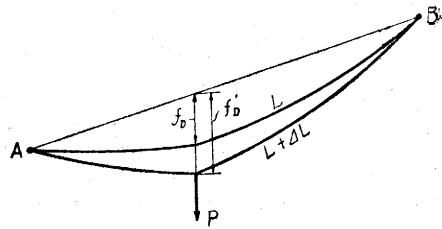
図表—6/VIは任意の s, α, t° の値に対する ϵ_t の算出図表である。正負の記号は温度上昇の場合が正（垂下量増大）、温度下降の場合が負（垂下量減少）である。

(c) 索の弾性伸長に対する補正

主索に荷重が懸ると張力が増大し、そのために弾性伸長が生じて垂下量は増大する。原索はすでに相当大きな張力で張られているから、初期張力に対する塑性伸長はすでに消滅しているものと考えてよい。また弾性限界を超えた伸長はここでは考える必要がない。いま弾性伸長量を ΔL とし、原索の索長を L とすれば、索の弾性伸長率は

$$\Delta_e = \Delta L / L \dots\dots\dots(15/VI)$$

図—5/VIに示すごとく、弾性伸長がないものと仮定した場合の垂下量を f_D 、伸長があつた場合のそれを $f_{D'}$ とすれば



図—5/VI 索の伸長

$$f_{D'} = \epsilon_e \cdot f_D \dots\dots\dots(16/VI)$$

$$\text{ただし } \epsilon_e = \frac{1 + \left[1 + \frac{3}{8s^2 \cos^4 \alpha} \right] \Delta_e}{2}$$

上式中の ϵ_e は負荷によつて生ずる張力の増大に伴う索の弾性伸長に対する垂下量補正係数で、表—7/VIは任意の s, α, Δ_e の値に対する ϵ_e の算出図表である。ところが伸長率 Δ_e は s, α の外に荷重比 n と荷重位置係数 k の値によつて変化する函数で

$$\Delta_e = \lambda \cdot T_i \dots\dots\dots(17/VI)$$

$$\text{ただし } \lambda = \frac{1}{A_e \cdot E_e}, T_i = \text{負荷による張力増大量}$$

しかして単一荷重の場合には

$$T_i = W \cdot \frac{G-1}{A} \dots\dots\dots(18/VI)$$

$$\text{ただし } \begin{cases} A = 8s \cos \alpha \\ G = \left\{ 1 + 12(n+n^3)(k-k^3) \right\}^{\frac{1}{2}} \\ n = P/W \\ W = pL \end{cases}$$

で示される。上式中 A_e は索の有効断面積、 E_e は索の弾性係数、 λ は単位張力当り弾性伸長率、 $W = pL$ は索の自重、 $W \cdot (G-1)/A$ は原索と負荷索の仮想平均張力差（無補正值）である。しかるに鋼索の種類と材質が一定ならば、その太さに係らず、 $\lambda \cdot p$ の値は一定（たとえば JIS 7×6 ラング鋼索では $E_e = 10,000 \text{ kg/mm}^2$ として張力 1 kg 当り $\lambda \cdot p = 91 \times 10^{-8}$ であるから、このよ
うな数値を用いて (17, 18/VI) 式を演算すれば Δ_e の値が求められる。この Δ_e は実は理論上の

仮想伸長率で実際の伸長率よりも過大であるから、(16/VII)の ϵ_e の算出式においてこれを補正してある。(17,18/VII)式の演算は煩雑なので、まず索長 100 m 当り平均弾性伸長率 Δ_{e100} を求め

$$\Delta_e = \Delta_{e100} \times \frac{L}{100} \dots\dots\dots(19/VII)$$

により Δ_e を算出することとした。上式中の Δ_{e100} もまた s, α, n, k の函数であるから、まず $\alpha=0, k=0.5$ (支間水平・中央荷重) の場合の Δ_{e100} の値 $\Delta_{e100}(\alpha=0, k=0.5)$ を求め、任意の α と任意の k の値に対応する倍率 μ および ν をあらかじめ算定しておけば、索長 100 m 当り平均弾性伸長率は

$$\Delta_{e100} = \mu \cdot \nu \cdot \Delta_{e100}(\alpha=0, k=0.5) \dots\dots\dots(20/VII)$$

により求められる。図表—8/VII—(1) は任意の s, n に対する $\Delta_{e100}(\alpha=0, k=0.5)$ の算出図表、図表—8/VII—(2) は任意の α に対する倍率 μ の算出図表、図表—8/VII—(3) は任意の k に対する倍率 ν の算出図表である。実際の演算にはまず図表—8/VII—(1) により $\Delta_{e100}(\alpha=0, k=0.5)$ の値を求め、次に図表—8/VII—(2) により与えられた α に対する μ の値を求め、また図表—8/VII—(3) により設計上考慮を要する地点の k の値に対する ν を求めて、これらを相乗して (20/VII) 式の Δ_{e100} の値を算出し、この Δ_e に相当する ϵ_e の値を図表—7/VII によつて求めればよい。

(d) 総合補正

支点変位と温度変化と索の弾性伸長は同時に起るから、実際問題としては総合補正が必要である。総合補正係数を ϵ とすれば

$$\epsilon = \epsilon_a \cdot \epsilon_t \cdot \epsilon_e \dots\dots\dots(21/VII)$$

よつて総合補正垂下量は次式で算定される。

$$f_D' = \epsilon \cdot f_D = \epsilon_a \cdot \epsilon_t \cdot \epsilon_e \cdot f_D \dots\dots\dots(22/VII)$$

〔例題 4〕

〔例題 3〕と同じ場合に、(1) 支点変位量 $\Delta l = 40$ cm、(2) 温度変化 $+20^\circ\text{C}$ および (3) 索の弾性伸長を考慮に入れた荷重軌跡曲線の補正值を求む。ただし搬器が地上障碍物に接触の危険があるのは $x=180 \sim 210$ m ($k=0.3 \sim 0.35$) の地点とする。

〔解法〕

(1) 支点変位に対する補正係数の算定

$\Delta_a = \Delta l / l = 0.4 \div 621.16 = 0.00064$ 、よつて図表—5/VII より $s=0.05, \alpha=15^\circ, \Delta_a=0.00064$ の場合の ϵ_a を求めると

$$\epsilon_a = 1.05$$

(2) 温度変化に対する補正係数の算定

図表—6/VII より $s=0.05, \alpha=15^\circ, t=+20^\circ\text{C}$ の場合の ϵ_t を求めると

$$\epsilon_t = 1.02$$

(3) 索の弾性伸長に対する補正係数の算定

図表—8/VII—(1) より $\alpha=0, k=0.5$ のときの $s=0.05, n=1.46$ に対する索長 100 m 当り平均伸長率を求めると

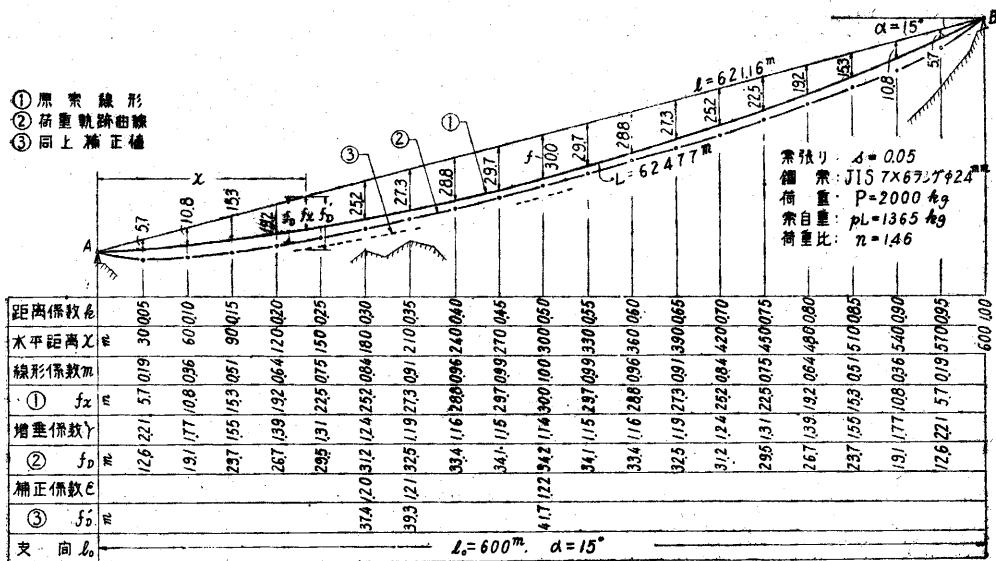


図-6/Ⅶ

$$\Delta e_{100}(a=0, k=0.5) = 0.00056$$

図表-8/Ⅶ-(2) より α=15° に対する倍率を求めると

$$\mu = 1.035$$

図表-8/Ⅶ-(3) より k=0.3 および k=0.35 に対する倍率を求めると

$$k=0.3 : \nu = 0.89$$

$$k=0.35 : \nu = 0.94$$

よつて (20/Ⅶ) 式より索長 100m 当り平均弾性伸長率は

$$k=0.3 : \Delta e_{100} = \mu \cdot \nu \cdot \Delta e_{100}(a=0, k=0.5) = 1.035 \times 0.89 \times 0.00056 = 0.00052$$

$$k=0.35 : \Delta e_{100} = \quad \quad \quad = 1.035 \times 0.94 \times 0.00056 = 0.00054$$

$$k=0.5 : \Delta e_{100} = \quad \quad \quad = 1.035 \times 1.00 \times 0.00056 = 0.00058$$

したがつて索全体の弾性伸長率は (19/Ⅶ) 式より

$$k=0.3 : \Delta e = \Delta e_{100} \times \frac{L}{100} = 0.00052 \times \frac{624.77}{100} = 0.0032$$

$$k=0.35 : \Delta e = \quad \quad \quad = 0.00054 \times \frac{624.77}{100} = 0.0034$$

$$k=0.5 : \Delta e = \quad \quad \quad = 0.00058 \times \frac{624.77}{100} = 0.0036$$

よつて図表-7/Ⅶ により s=0.05, α=15° のときの上記のような Δe の値に対する補正係数を求めると

k	0.30	0.35	0.50
ε _e	1.12	1.13	1.14

(4) 総合補正係数の算定

上記の各補正係数を相乗すれば次の総合補正係数 ε が得られる。

k	0.30	0.35	0.50
ε _d	1.05	1.05	1.05
ε _f	1.02	1.02	1.02
ε _e	1.12	1.13	1.14
ε	1.20	1.21	1.22

(5) 荷重軌跡曲線補正值の算定

〔例題 3〕で求めた軌跡曲線近似値（無補正值） f_D に上記の総合補正係数 ε を乗ずれば、下記のような補正值 $f_{D'}$ が得られる。

k	0.30	0.35	0.50
f_D	31.2	32.5	34.2
ε	1.20	1.21	1.22
$f_{D'}$	37.4	39.3	41.7

(6) 作 図

上記の $f_{D'}$ の長さをそれぞれの k の位置で直線 AB より下方にとつた点を結べば図-6/Ⅶ-③の補正軌跡曲線が得られ、地上障碍物に対する安全性を厳密に検定することができる。

第7節 最大張力と張力安全率の算定

機器荷重の懸つた負荷索の最大張力 T_{Pmax} は、荷重 P が支間中央（荷重位置係数 $k=0.5$ ）に位置するとき上部支点において生じ、原索中央垂下比重 s 、支間傾斜角を α 、荷重比を $n = P/W = P/pL$ とすれば

$$T_{Pmax} = pL \cdot \frac{D}{A} \dots\dots\dots (23/Ⅶ)$$

$$\text{ただし} \begin{cases} A = 8s \cos \alpha \\ D = \left\{ a + \left(b \frac{\tan \alpha}{2s} + c \right) 16s^2 \cos^2 \alpha \right\}^{\frac{1}{2}} \\ a = 1 + 3(n + n^2) \\ b = (1 + n) \{ 1 + 3(n + n^2) \}^{\frac{1}{2}} \\ c = (1 + n)^2 \end{cases}$$

で与えられる。すなわち最大張力は支点間の索の自重 $W = pL$ に係数 D/A を乗じた値である。この係数の算出に用いる垂下比 s に原索中央垂下比の値をそのまま用いれば最大張力の無補正值（近似値）が得られ、これは通常真の最大張力よりも若干過大であるが、誤差が安全側にあるから、実用上はこれを用いても大体さしつかえない。しかし原索垂下比の値が小さく荷重が比較的大きい場合には、誤差がかなり大きくなるから、補正を行つて補正值を求めなければならぬ。

厳密な意味における最大張力、すなわち支点変位・温度変化および索の弾性伸長を考慮した場合の最大張力は、荷重位置係数 $k=0.5$ の場合につき、まず前記の垂下量総合補正係数 ε を求め、これを原索中央垂下比 s に乗じて次式の補正垂下比を求める。

$$s' = \varepsilon \cdot s \dots\dots\dots (24/Ⅶ)$$

次に (23/Ⅶ) 式の係数 D/A の算出に当り、 s の代りに s' を用いれば最大張力の補正值が得られる。すなわち

$$T_{P' max} = pL \cdot \left(\frac{D}{A} \right)_{(s=s')} \dots\dots\dots (25/Ⅶ)$$

(25/Ⅶ) 式または (23/Ⅶ) 式の最大張力係数 D/A は上記のとおり s, α, n の函数であつて、その演算は相当煩雑であるが、支配的因子は荷重比 n の値である。よつてまず $\alpha=0$ の場合の D/A の値 $(D/A)_{\alpha=0}$ を算定し、これに対して α が任意の値をとるときの D/A の値 $(D/A)_{\alpha}$ に対応する倍率 μ をあらかじめ求めて置くことにより

$$\frac{D}{A} = \left(\frac{D}{A}\right)_{\alpha} = \mu \cdot \left(\frac{D}{A}\right)_{\alpha=0} \dots\dots\dots (26/Ⅶ)$$

によつて係数值を算定することができる。図表—9/Ⅶ—(1) は s および n の任意の値に対する $(D/A)_{\alpha=0}$ の算出図表であり、図表—9/Ⅶ—(2) は任意の α に対する倍率 μ の算出図表である。

鋼索の破断力を S とすれば引張安全率は

$$N_t = S/T_{P' \max} \dots\dots\dots (27/Ⅶ)$$

で与えられる。

〔例題 5〕

〔例題 4〕と同じ条件の主索の最大張力補正值と張力に対する安全率を算定せよ。ただし温度変化は $+20^{\circ}\text{C}$ の代りに -20°C を想定するものとする。

〔解法〕

〔例題 4〕の条件中必要な諸元を摘録して見ると次のとおりである。

$s=0.05, \alpha=15^{\circ}, W=pL=1365 \text{ kg}, P=2000 \text{ kg}, n=1.46, \epsilon_a=1.05, k=0.5$ のときの $\epsilon_e=1.14$

まず〔例題 4〕の解法 (2) に記した方法と同様にして図表—6/Ⅶより $t^{\circ}=-20^{\circ}\text{C}$ に相当する補正係数を求めると $\epsilon_t=0.98$ である。よつて総合補正係数は

$$\epsilon = \epsilon_a \cdot \epsilon_t \cdot \epsilon_e = 1.05 \times 0.98 \times 1.14 = 1.17$$

ゆえに補正垂下比は

$$s' = \epsilon \cdot s = 1.17 \times 0.05 = 0.058$$

表—9/Ⅶ—(1) より $\alpha=0$ の場合の $s=0.058, n=1.46$ に対する最大張力係数 $(D/A)_{\alpha=0}$ を求めること、

$$\left(\frac{D}{A}\right)_{\alpha=0} = 7.4$$

次に図表—9/Ⅶ—(2) により $\alpha=15^{\circ}$ に対する倍率 μ を求めること、

$$\mu = 1.08$$

よつて $s=0.058, \alpha=15^{\circ}, n=1.46$ の場合の係数值は、

$$\frac{D}{A} = 1.08 \times 7.4 = 7.99$$

よつて最大張力 (補正值) は

$$T_{P \max} = pL \cdot \frac{D}{A} = 1365 \times 7.99 \doteq 10900 \text{ kg}$$

なお参考のため最大張力無補正值を求めてみると

$$\left(\frac{D}{A}\right)_{\alpha=0} = 8.8, \quad \mu = 1.074, \quad \frac{D}{A} = 9.45$$

$$T_{P \max} = 1365 \times 9.45 = 12920 \text{ kg}$$

となり、この例では正解値に対し約 2 割過大の数値が出る。

鋼索は JIS 7×6 ラング径 24 mm 1 級 (1950) を用いるものとするれば、その破断力は $S=36.4 \text{ t}$ であるから、(22/Ⅶ) 式により前記補正值による張力安全率を算出すると

$$N_t = S/T_{P' \max} = \frac{36,400}{10,900} = 3.3$$

第8節 最大応力と総安全率の算定

主索は支点における支持金具の上で曲げられるから、そこに曲げ応力 σ_{b1} が働き、また搬器の車輪の下では荷重による横圧力 Q のために別の曲げ応力 σ_{b2} が働く (図-7/VII 参照)。これらの曲げ応力は次式で与えられる。¹⁴⁾

$$\sigma_{b1} = \frac{\delta}{D} \cdot k_1 \cdot E \dots\dots\dots (28/VII)$$

ただし $\left\{ \begin{array}{l} \delta = \text{鋼索を構成する素線の直径} \\ \frac{D}{2} = \text{支持金具の曲げの曲率半径} \\ E = \text{素線の弾性係数} \\ k_1 = \text{係数} \end{array} \right.$

$$\sigma_{b2} = Q \sqrt{\frac{k_2 E}{T A_e}} \dots\dots\dots (29/VII)$$

ただし $\left\{ \begin{array}{l} Q = \text{横圧力 (搬器荷重を } P \text{ とすれば 2 輪搬器では } Q = P/2, \text{ 4 輪搬器では } Q = P/4) \\ k_2 = \text{係数} \\ T = \text{主索の張力} \\ A_e = \text{鋼索の有効断面積} \end{array} \right.$

通常(28/VII)式においては $E=21000 \text{ kg/mm}^2$, $k_1=3/8$ の値をとつてよい。この数値を入れると $\sigma_{b1}=7875 \cdot \delta/D$ となり、 δ/D の値が $1/800 \sim 1/1000$ より小さければ σ_{b1} の値はほぼ 10 kg/mm^2 以下となる。したがつて $\sigma_{b1} < \sigma_{b2}$ となるのが普通であるから、支点において主索が特に強く曲げられないかぎり σ_{b1} は問題とならない。(29/VII)式においては $E=21000 \text{ kg/mm}^2$, $k_1=0.4$ の値をとる。式より明らかなように σ_{b2} は Q が大きければ相当大きな値を示すので、常に計算に入れなければならない。

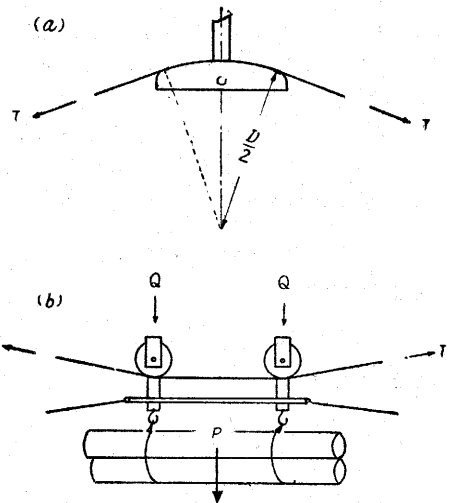


図-7/VII 主索の曲げ (a) 支点 (b) 搬器車輪

主索の張力を T とすれば、引張応力 σ_t は

$$\sigma_t = T/A_e \dots\dots\dots (30/VII)$$

ただし $A_e = \text{索の有効断面積}$

である。したがつて最大応力は

$$\left. \begin{aligned} \sigma_{\max} &= \sigma_t + \sigma_{b1} \\ \text{または } \sigma_{\max} &= \sigma_t + \sigma_{b2} \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (31/\text{VII})$$

のいずれかである。 σ_t および σ_{b2} の算出に用いる張力 T の値には負荷索最大張力 $T_{P_{\max}}$ を用いて実用上さしつかえない。

鋼索の破断力を S , 有効断面積を A_e , 索線の破断応力を σ とすれば, 鋼索の実際の破断応力 σ_u は

$$\left. \begin{aligned} \sigma_u &= S/A_e \\ \text{または } \sigma_u &= \sigma \times 90\% \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (32/\text{VII})$$

で計算される。

したがって総安全率は次式で算定される。

$$N = \frac{\sigma_u}{\sigma_{\max}} \dots\dots\dots (32/\text{VII})$$

しかして鋼索の弾性限界は通常破断応力の 1/2 を若干上廻る程度であるから, $N=2$ の場合は主索は最早危険であると云わねばならぬ。よって実用上は少なくとも

$$N > 2.5 \sim 3 \dots\dots\dots (34/\text{VII})$$

が確保されることが望ましく, 鋼索材料の疲労, 磨耗による断面の減少等を考慮に入れるときは, さらに安全率を大きくとる必要がある。

〔例題 6〕

〔例題 5〕の主索の総安全率を算定せよ。ただし設計荷重 $P=2000$ kg, 搬器は 4 輪滑車, 主索支持金具の受沓の曲率半径 $D/2=800$ mm とする。

〔解法〕

表-12/VII より JIS 7×6 ラング $\phi 24$ mm 1 級 (3 種) 鋼索では, 索線の径 $\delta=2.7$ mm, 有効断面積 $A_e = n \cdot \frac{\pi \delta^2}{4} = 240.5$ mm², 破断強度 $S=36.4$ ton, 索線破断応力 $\sigma=165$ kg/mm², 索線弾性係数 $E=2100$ kg/mm² であるから, (26/VII) 式より

$$\text{引張応力 } \sigma_t = \frac{T_{\max}}{A_e} = \frac{10900}{240.5} = 45.4 \text{ kg/mm}^2$$

(24/VII) 式より

$$\text{支点における曲げ応力 } \sigma_{b1} = \frac{\delta}{D} \cdot k_1 \cdot E = \frac{2.7}{2 \times 800} \times \frac{3}{8} \times 21000 = 13.3 \text{ kg/mm}^2$$

(25/VII) 式より

$$\begin{aligned} \text{搬器車輪下における曲げ応力 } \sigma_{b2} &= Q \sqrt{\frac{k^2 E}{T A_e}} = \frac{2000}{4} \sqrt{\frac{0.4 \times 21000}{10900 \times 240.5}} \\ &= 28.3 \text{ kg/mm}^2 > \sigma_{b1} \end{aligned}$$

よって最大応力は

$$\sigma_{\max} = \sigma_t + \sigma_{b2} = 45.4 + 28.3 = 73.7 \text{ kg/mm}^2$$

しかるに (28/VII) 式により索の破断応力は

$$\sigma_u = S/A_e = 36400 \div 240.5 = 151 \text{ kg/mm}^2$$

$$(\sigma_u = \sigma \times 90\% = 165 \times 0.9 = 151 \text{ kg/mm}^2)$$

よって総安全率は

$$N = \frac{\sigma_u}{\sigma_{\max}} = \frac{151}{73.7} = 2.1$$

すなわち、この例題の場合には総安全率がほとんど限界に近い。したがってこの索張りでは、常用荷重を 1000~1200 kg 程度に押えるのが適当であろう。

第9節 負荷索線形の算定

1. 上方障害物に対する安全性の吟味

運材用索道の路線が高圧電線その他の架空線路と交叉する場合に、運材用索道の主索を下位にとつて他の線路との接触を避けることは設計上当前の措置であるが、この場合主索上のある点に搬器荷重が載荷されると支点寄りの他の点は原索よりも上昇するから、原索が単に上方障害物よりも下位にあると云うだけでは必ずしも安全でない。実際にも常用荷重による運材中には何等支障のなかつた索道で、たまたま、やゝ大きな過荷重の材を搬出した際に、主索の上昇によつて上方の高圧電線に接触して事故を起した事例があつた。^{*} よつてこのような危険が予想される場合には荷重位置を種々変えて見て、おのおのの場合の線形を算定し、その安全を確保せねばならぬ。

いま任意の荷重作用点の垂下量を f_D とし、負荷索線形係数を m_I, m_{II} とすれば、主索の線形（任意の点の垂下量）は

$$f_I = m_I \cdot f_D, \quad f_{II} = m_{II} \cdot f_D \dots\dots\dots (35/VII)$$

$$\left. \begin{array}{l} \text{ただし} \\ m_I = \frac{\{1+2n(1-k)\}k_1 - k_1^3}{(1+2n)(k-k^2)} \\ m_{II} = \frac{(1+2nk)k_2 - k_2^2}{(1+2n)(k-k^2)} \\ k = \text{荷重位置係数} \\ k_1 = f_I \text{ に相当する距離係数} \\ k_2 = f_{II} \text{ に相当する距離係数} \end{array} \right\}$$

よつて各種の荷重位置係数および各種の距離係数 k_1, k_2 の値に対する線形係数 m_I, m_{II} の値をあらかじめ算出して表示しておけば、索の任意の位置における垂下量 f_I, f_{II} は (35/VII) 式により簡単に求められる。図表-10/VII はこの目的のために作製した m_I, m_{II} の計算図表である。なお (35/VII) 式の荷重作用点垂下量には補正值 $f_D' = \epsilon \cdot f_D$ を用いれば最も正確な線形が算定されるわけであるが、無補正值 $f_D = r \cdot f_x = r \cdot m \cdot f$ を用いたときの誤差は安全側にあること、ならびに索の振動を考慮に入れると主索と上方障害物との間には相当の余裕を見る必要があること等を勘案すれば、一般にこの種の線形算定には無補正值を用いてさしつかえない。

〔例題 7〕

〔例題 4〕の主索の上方 $x=480$ m, $y=120$ m の位置 C に電線が通つているとき、この主索上を設計荷重 2000 kg の搬器荷重が通過するとき、主索と電線との間の最小間隔（垂直距離） h は何ほどあるかの算定（図-8/VII 参照）。

* 東京都西多摩郡水川町地内鳩ノ巣附近の民有林索道，昭 25。

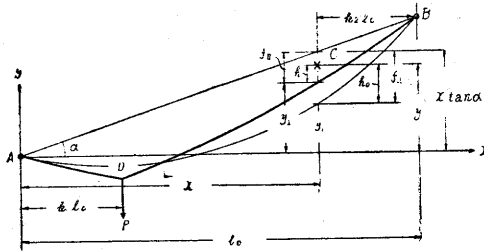


図-8/VII

(b) 負荷索と電線との最小間隔

負荷索 DB と電線 C の間隔 h は $k_2=(600-480)/600=0.2$ の位置における索 DB の垂下量 f_{II} が知れば求められる。しかし f_{II} は荷重位置 kl_0 の変化によつて変るので、 f_{II} の最小値は k の値をいろいろに変えて比較して見ないとわからない。よつてまず第6節1の方法によりいろいろの荷重位置に対する荷重作用点の垂下量 f_D を求めると次のとおりである。

k	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5
f_c	10.80	19.20	25.20	28.80	30.00
r	1.77	1.39	1.24	1.16	1.14
f_D	19.1	26.7	31.2	32.5	34.2

次に図表-10/VIIIにより k のいろいろの値に対する $k_2=0.2$ に相当する線形係数 m_{II} を求めると次のとおりである。

k	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5
m_{II}	0.64	0.45	0.41	0.42	0.47

よつてこの f_D と m_{II} を相乗して f_{II} を求めると次の値を得る。

k	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5
f_{II}	12.2	12.0	12.8	13.7	16.1

上表によつて見ると f_{II} は $k=0.2$ のとき最小で、このとき

$$y_{II} = x \tan \alpha - f_{II} = 128.6 - 12.0 = 116.6 \text{ m}$$

よつて

$$h = y - y_{II} = 120 - 116.6 = 3.4 \text{ m}$$

すなわち 2000 kg の搬器荷重が A 点から右方 $kl_0=0.2 \times 600=120 \text{ m}$ の位置に来るとき、上方障害物のある $x=480 \text{ m}$ の点では索が $h_0-h=10.6-3.4=7.2 \text{ m}$ だけ上昇するが、なお 3.4 m だけ余裕があることが知れる。

2. 多支間索道の中間支柱における主索浮上の吟味

多支間索道の中間支柱が低位置にあつて、路線の縦断面が凹形の場合には、無負荷の場合および搬器荷重が中間支柱附近にあるときには中間支柱には垂直圧力が加わるが、搬器荷重が中間支柱を過ぎかつたときには、主索が浮上るかも知れない。もし浮上りにより主索が支持金具から脱落するおそれがあれば、原索の垂下比を大きく索張りするか、支柱を高くするか、あるいは主索の押えこみ装置を用いることにより、これを防がねばならぬ。押えこみ装置は実際にはやむを得ず用いることがしばしばあるが、原則としてはそのようなことを要せぬような路線を設定する方

〔解法〕

(a) 原索と電線との間隔

まず原索(無負荷) AB と電線 C との間隔 h_0 を見るために第3節(1)の方法により f_c を求めると、 $l_0=600 \text{ m}$ 、 $s=0.05$ 、 $f=30 \text{ m}$ 、 $x=480 \text{ m}$ 、 $k=480/600=0.08$ 、 $m=0.64$ であるから、 $f_c=m \cdot f=0.64 \times 30=19.2 \text{ m}$ しかるに $\alpha=15^\circ$ 、 $\tan \alpha=0.26795$ であるから、

$$y_0 = x \tan \alpha - f_c = 123.6 - 19.2 = 109.4$$

$$\text{よつて } h_0 = y - y_0 = 120 - 109.4 = 10.6 \text{ m}$$

が賢明である。従来これに対する吟味の方法がなかったので、多支間索道の作設現場では、支柱を移動したり、細い索をあらかじめ張って試験したりなどいろいろの苦心が払われていたが、これは線形算定により簡単に解決できる。すなわちこの場合は中間支柱が無い場合を想定し、この想定索上を搬器荷重が移動するとき、中間支点位置における索の上昇を求め、これと中間支柱の支持金具位置とを比較すればよい。

〔例題 8〕

支間水平距離 $l_0=800\text{m}$ 、支間傾斜角 $\alpha=10^\circ$ の 2 点 AB 間に JIS 6×7 ラング $\phi 24\text{mm}$ の主索を張り、設計荷重 $P=1500\text{kg}$ を考慮した場合、中央垂下比 $s \leq 0.05$ の索張りでは張力が過大となつて安全率が低いので、 $s \geq 0.05$ の索張りとしたいが、 $x=240\text{m}$ の距離の現地盤 C_0 点が高いので、搬器がここで接地する虞がある。よつて C_0 点に中間支柱を設けて ACB の索張りを設計しようとする。このとき ACB の索長を $s=0.05$ で AB を索張りしたときの索長と同じにするものとして、支柱 C において主索が浮上るか否かを算定するものとする。ただし A と C の高低差は $y=15.0\text{m}$ とする。(図-9/Ⅷ参照)

〔解法〕

D 点に荷重が作用した場合、 $x=240\text{m}$ すなわち $k_1=240/800=0.3$ の水平位置における負荷索の垂直位置(高さ)を C' とすれば、A と C' の高低差は $y_I = x \tan \alpha - f_I = 240 \times \tan 10^\circ - f_I = 240 \times 0.17633 - f_I = 42.3 - f_I$ である。よつて荷重位置 kl_0 を種々変えて f_I の最小値を求め、上式より y_I を算出すれば、主索の上昇位置 C' と中間支点 C の高低差は $h = y_I - y$ によつて求められる。 $h > 0$

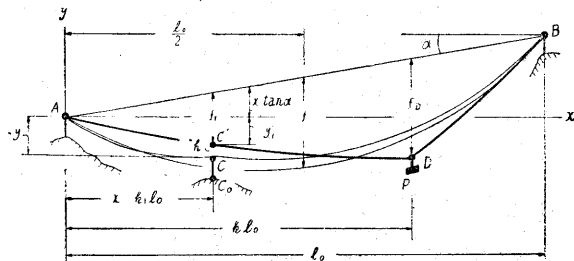


図-9/Ⅷ

ならば浮上りが起り $h < 0$ ならば安定である。まず第 6 節 2 の方法により f_D を求める。

$f = 0.05 \times 800 = 40\text{m}$ 、図表-11/Ⅷより $p = 2.185\text{kg}$ 、図表-2/Ⅷより $\beta = 1.0067$ 、 $L = \beta \cdot l = 815.74\text{m}$ 、 $W = p \cdot L = 1782\text{kg}$ 、 $n = 1500/1782 = 0.84$ であるから、

k	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9
f_x	40.0	38.4	33.6	25.6	14.4
r	1.13	1.14	1.21	1.34	1.67
f_D	45.2	43.8	40.7	34.3	24.0

〔例題 7〕と同様にして k の各値に対する負荷索 AD の $k_1=0.3$ における線形係数 m_I および垂下量 $f_I = m_I \cdot f_D$ を求めると

k	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9
m_I	0.68	0.63	0.65	0.74	1.14
f_I	30.7	27.6	26.4	25.4	27.4

これによつて見ると f_I の値は $k=0.8$ のとき最小で、このとき

$$y_I = 42.3 - 25.4 = 16.9\text{m}$$

よつて

$$h = y_I - y = 16.9 - 15.0 = 1.9\text{m} > 0$$

すなわちこの場合は搬器荷重が A 点より右方 $kl_0 = 0.8 \times 800 = 640\text{m}$ (B 点より左方 160m) の点に来たとき、C 点で主索が 1.9m 浮上ることになる。よつて支柱高を約 2m 高くするか、押込装置を設けるかせねばならぬことが知れる。

第10節 計算図表

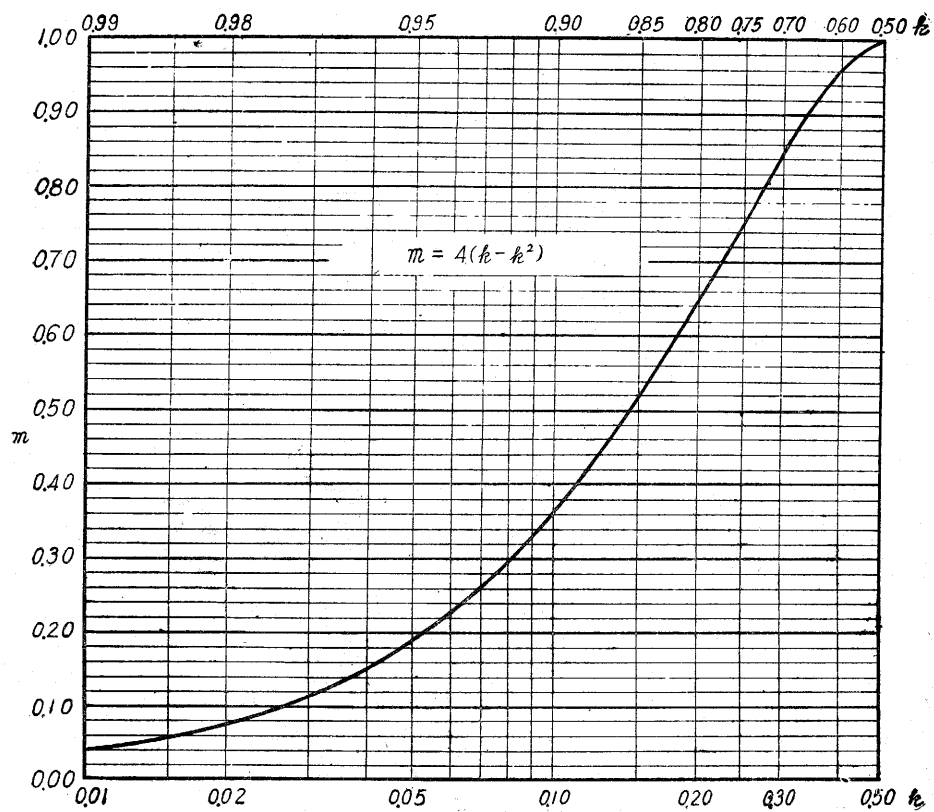
前各節に記した計算図表を一括して示せば次のとおりである。

- 図表—1/VII 原索線形係数算出表
- 2/VII 索長比算出表
 - 3/VII 鋼索自重算出表
 - 4/VII 単一荷重負荷索増垂係数算出表
 - 5/VII 支点変位に対する垂下量補正係数算出表
 - 6/VII 温度変化に対する垂下量補正係数算出表
 - 7/VII 弾性伸長に対する垂下量補正係数算出表
 - 8—(1)/VII 索長 100 m 当り平均弾性伸長率算出表
 - 8—(2)/VII 同上補助表—1
 - 8—(3)/VII 同上補助表—2
 - 9—(1)/VII 単一荷重最大張力係数算出表
 - 9—(2)/VII 同上補助表
 - 10/VII 単一荷重負荷索線形係数算出表
 - 11/VII 主索用鋼索諸元

引用文献

- 1) 加藤誠平：林業土木学，昭 26.
- 2) 加藤誠平：運材用索道主索の設計と検定，林業普及シリーズ 40，昭 29.
- 3) 加藤誠平：運材用索道主索の設計及び検定法について—実用計算図表とその使用法，長野営林局報第 18 号附録，昭 29.
- 4) 加藤誠平：「架空線集材用鉄索の計算法に関する研究」東大演習林報告第 38 号，昭 25.

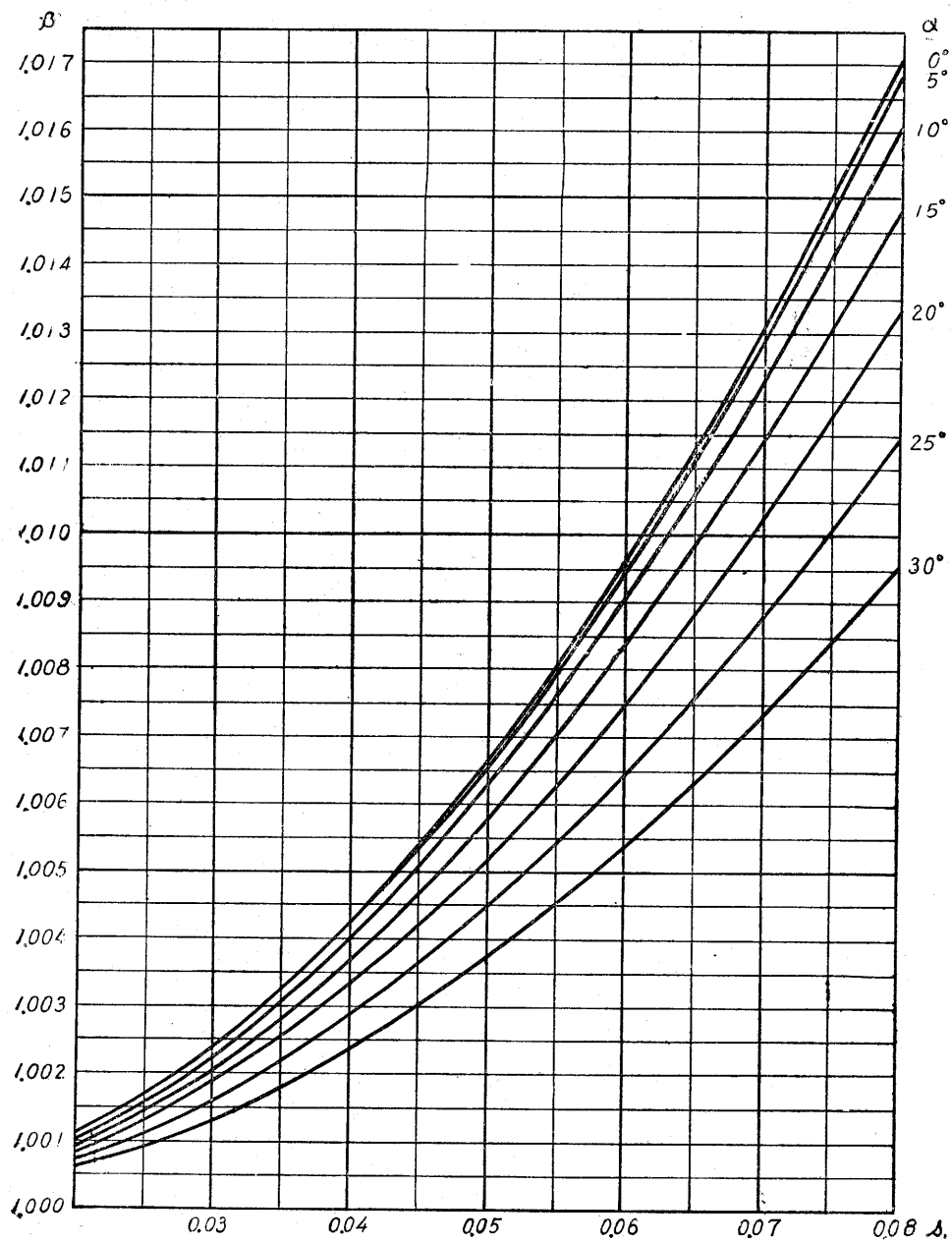
図表—1/Ⅶ 原索（無負荷）線形係數算出表
 $f_x = m \cdot f$ $m = 4(k - k^2)$



圖表—2/Ⅶ 索長比算出表

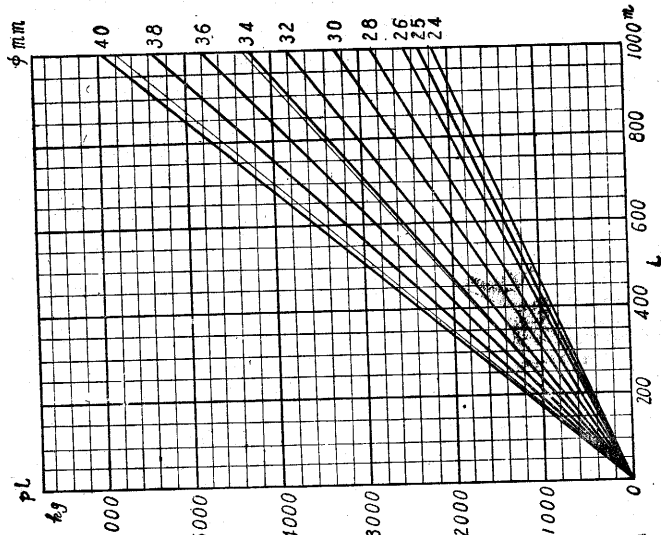
$$L = \beta \cdot l$$

$$\beta = 1 + \frac{8}{3} s^2 \cos^4 \alpha$$

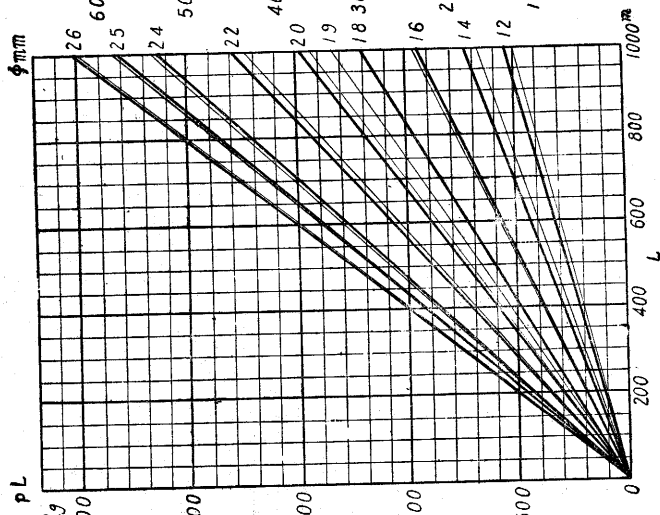


圖表-3/Ⅳ 鋼索自重算出表 JIS G 3525 (1950, 1953)

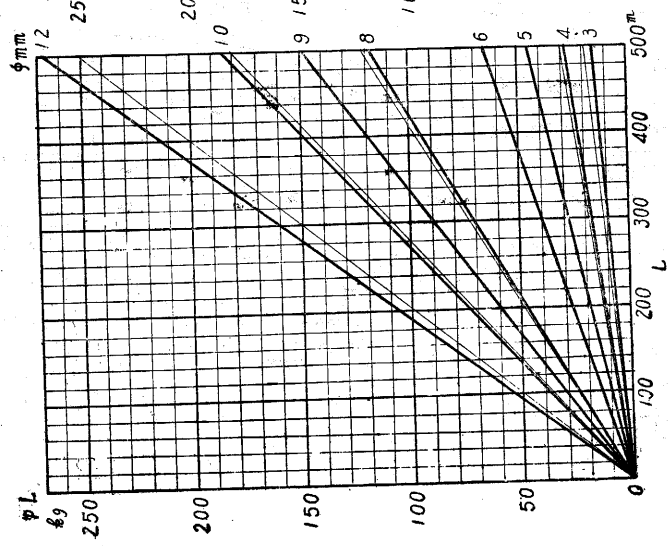
大 索 徑



中 徑 索



小 徑 索



異線 1950 年規格

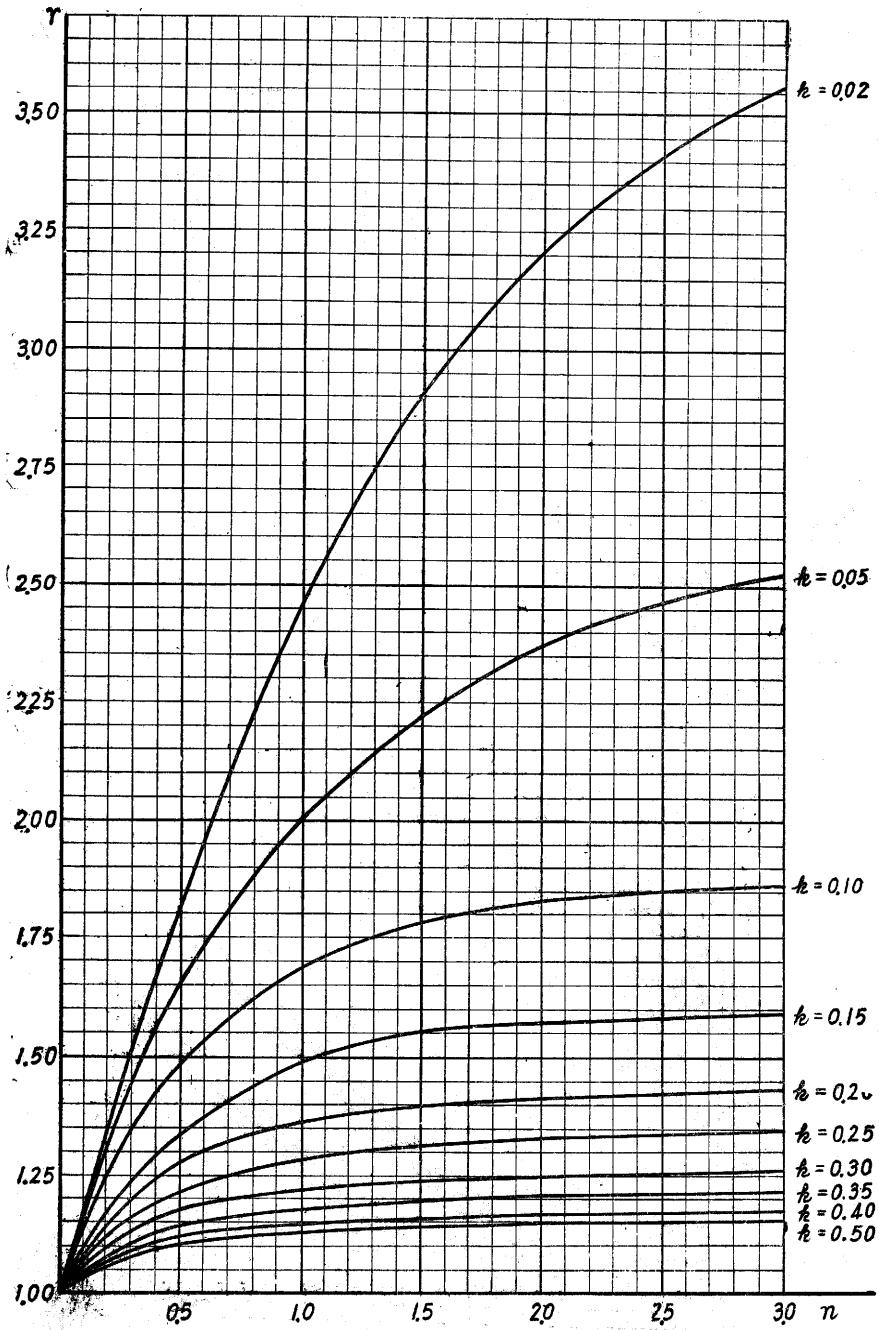
太線 1953 年規格

圖表-4/Ⅶ 負荷索增垂係數算出表

$$f_D = r \cdot f_x$$

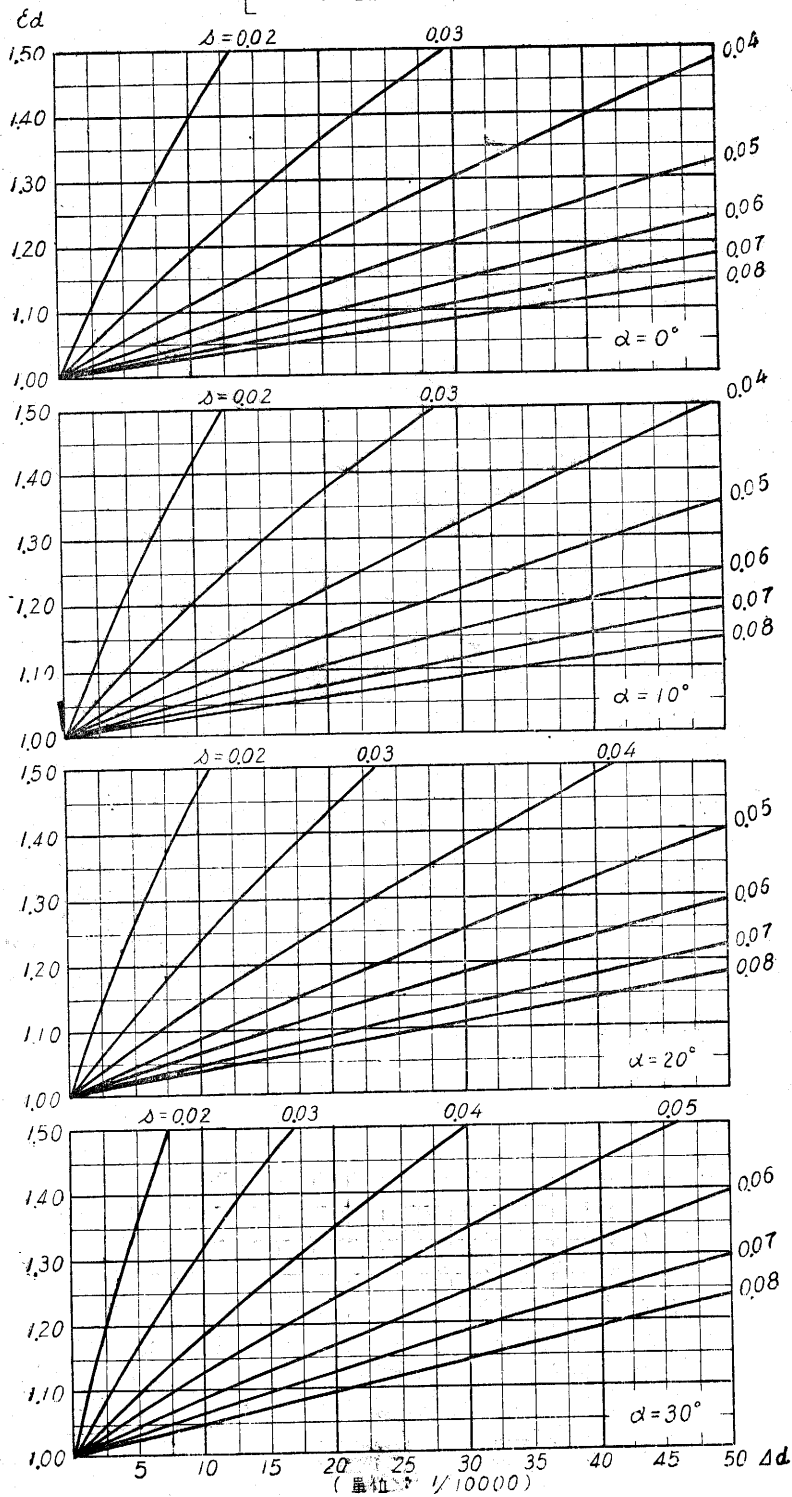
$$r = \frac{1+2n}{[1+12(n+n^2)(k-k^2)]^{\frac{1}{2}}}$$

$$n = \frac{P}{W}, \quad k = \frac{x}{l_0}$$

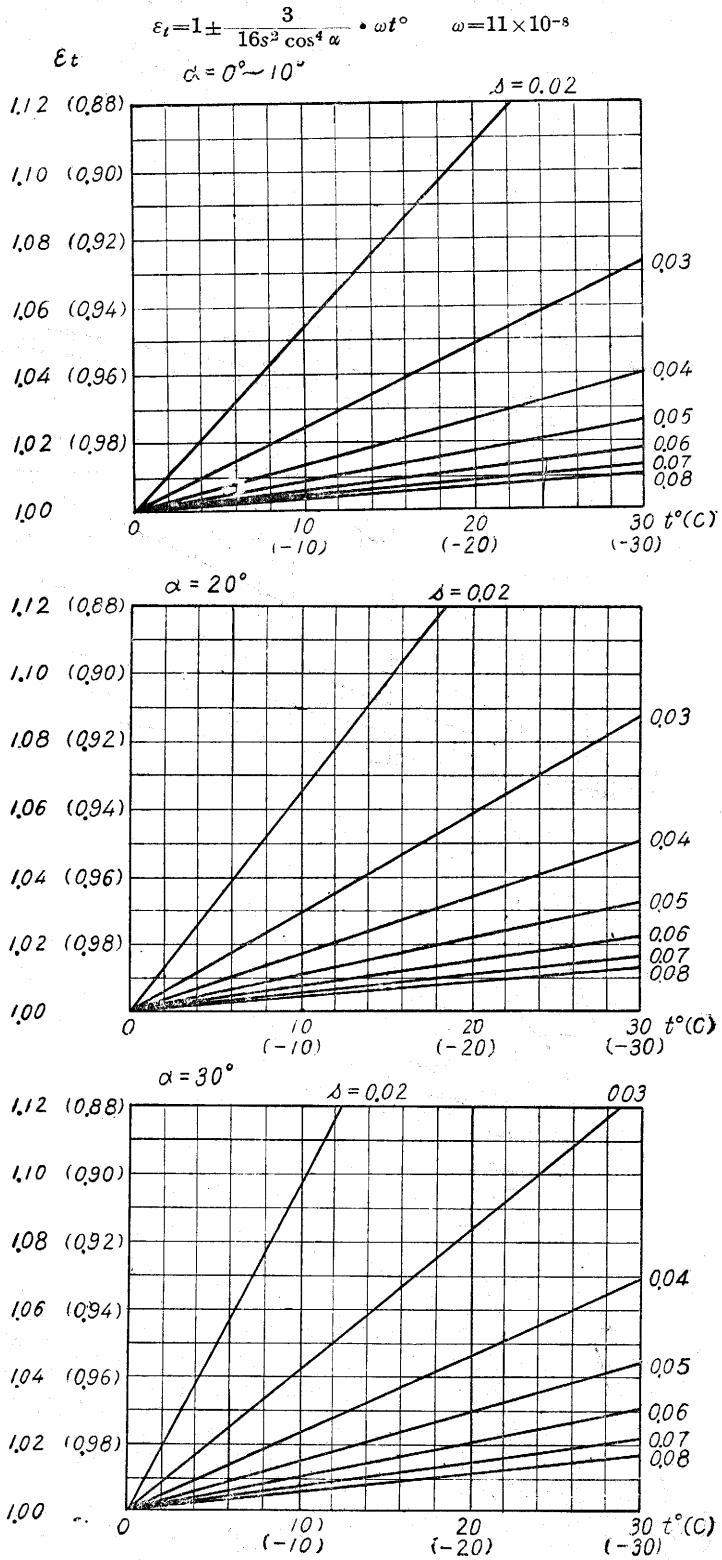


図表-5/Ⅶ 支点変位に対する垂下量補正係数算出表

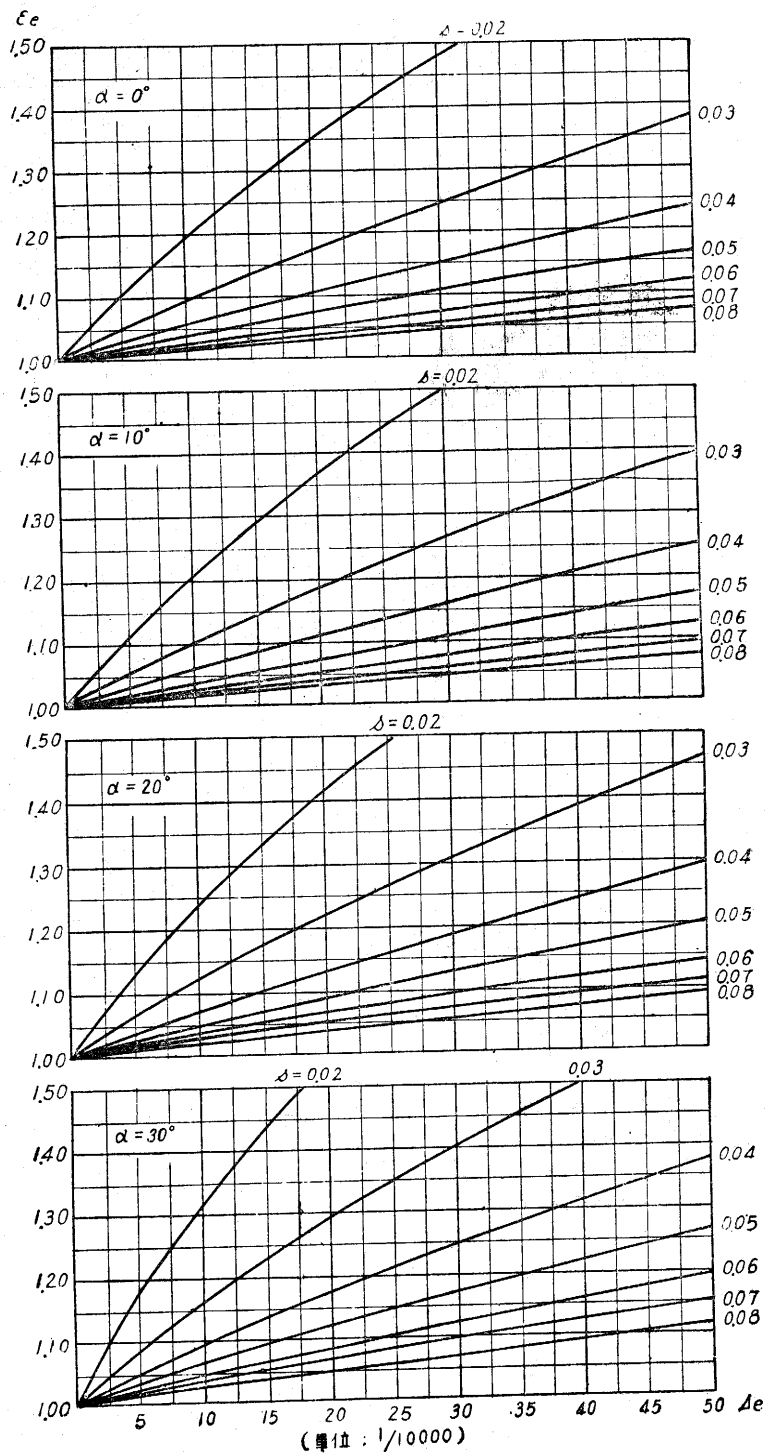
$$\epsilon_d = \left[\frac{1 + \frac{3}{8s^2} \cos^4 \alpha \Delta d}{1 - \Delta d} \right]^{\frac{1}{2}} \quad \Delta d = \frac{1}{1}$$



図表-6/Ⅶ 温度変化に対する垂下量補正係数算出表

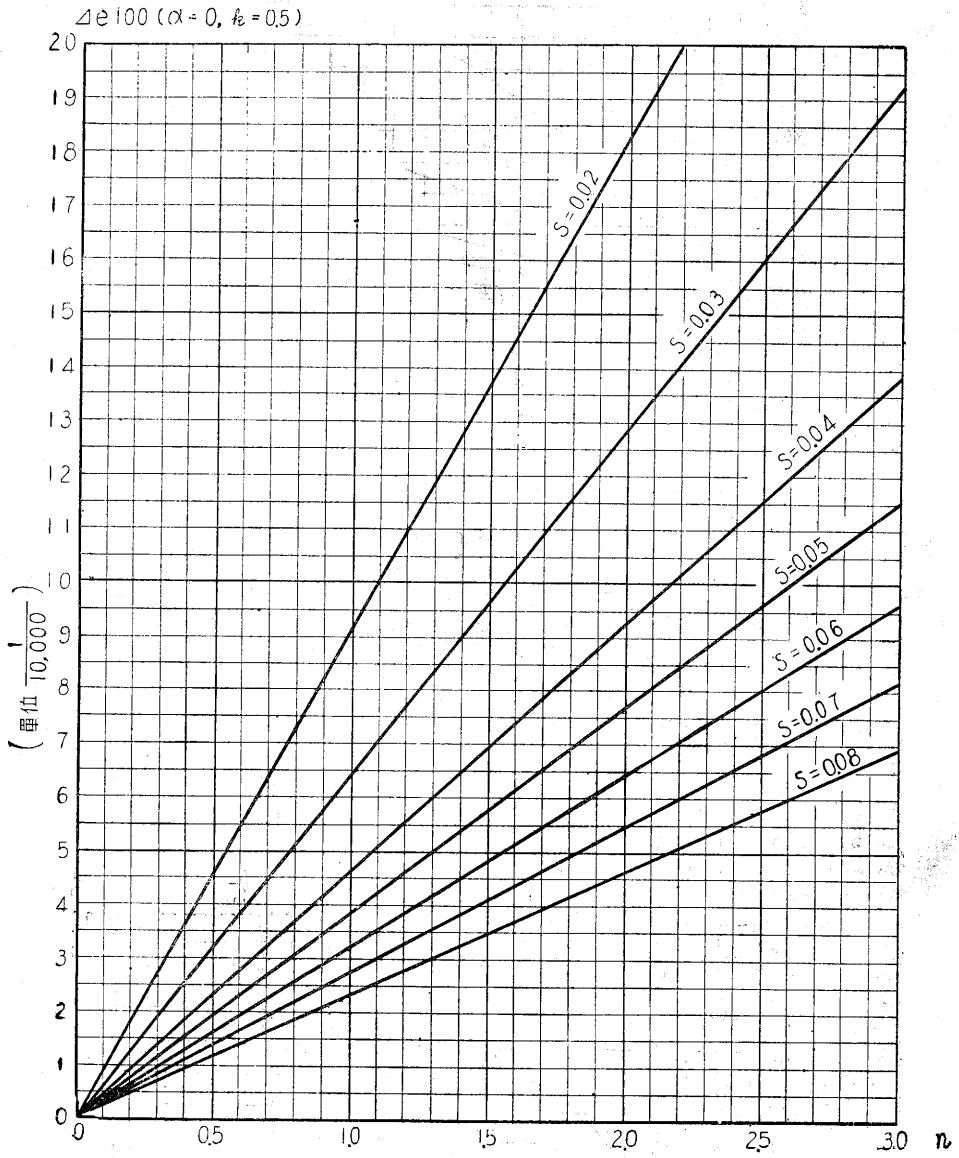


図表-7/VII 弾性伸長に対する垂下量補正係数算出表

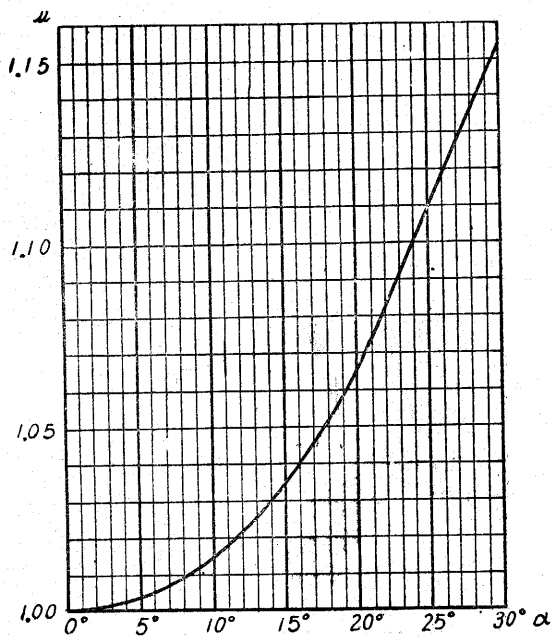


図表一8-(1)/Ⅶ 索長 100 m 当り平均弾性伸長率算出表

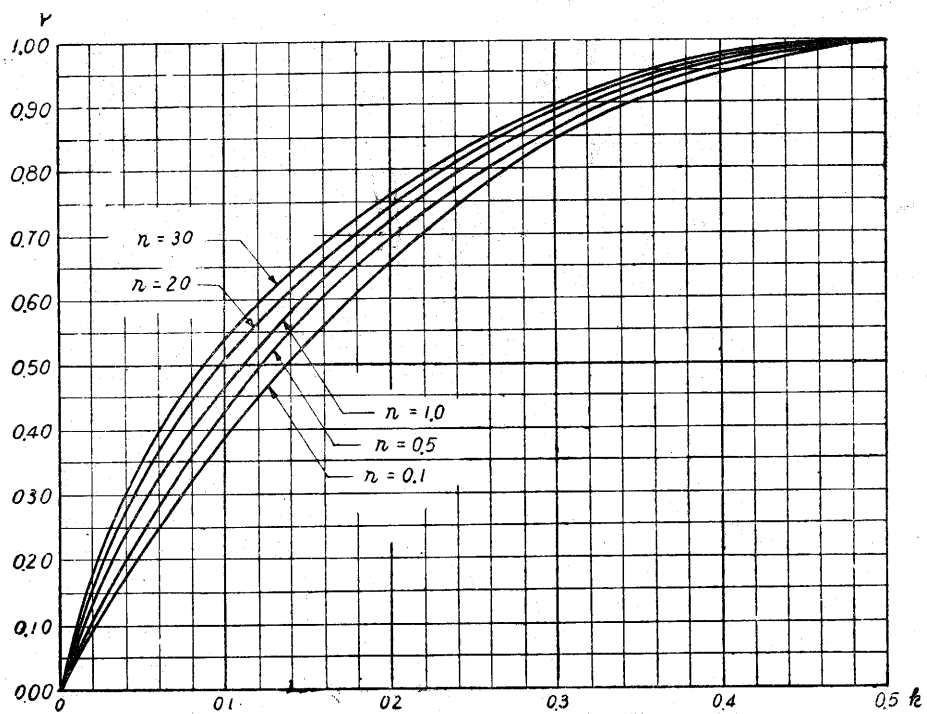
$$\Delta e_{100} = \mu \cdot \nu \cdot \angle c. (\alpha=1, k=0.5)$$



図表-8-(2)/Ⅶ 索長 100 m 当り平均弾性伸長率算出補助表-1
 α の値による $\Delta e_{100}(\alpha=0, k=0.5)$ の倍率



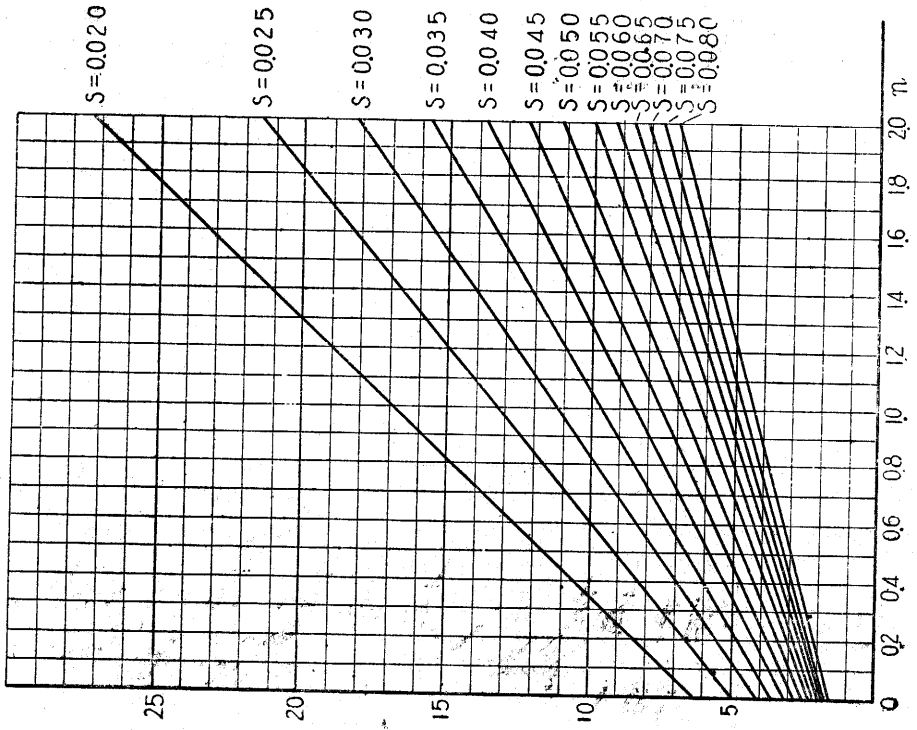
図表-8-(3)/Ⅶ 同上補助表-2
 k の値による $\Delta e_{100}(\alpha=0, k=0.5)$ の倍率



図表--9--(1)/Ⅶ 単一荷重最大張力係数算出表

$$T_{rmax} = PL \cdot \frac{D}{A}$$

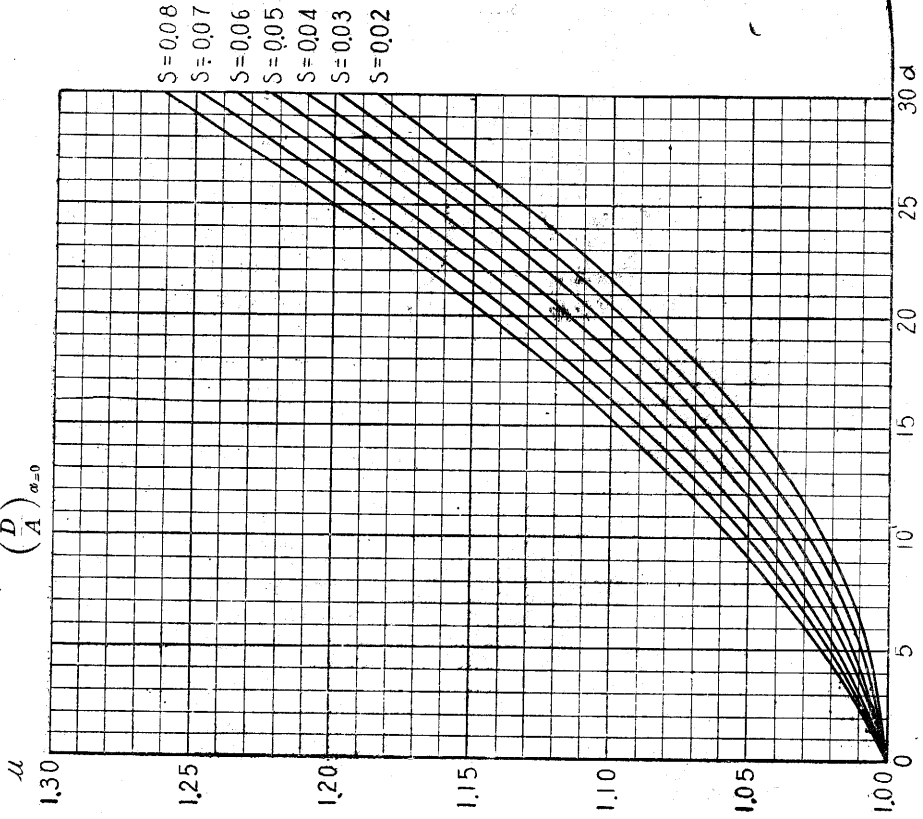
$$\left(\frac{D}{A}\right)_{\alpha=0} = \mu \cdot \left(\frac{D}{A}\right)_{\alpha=0}$$



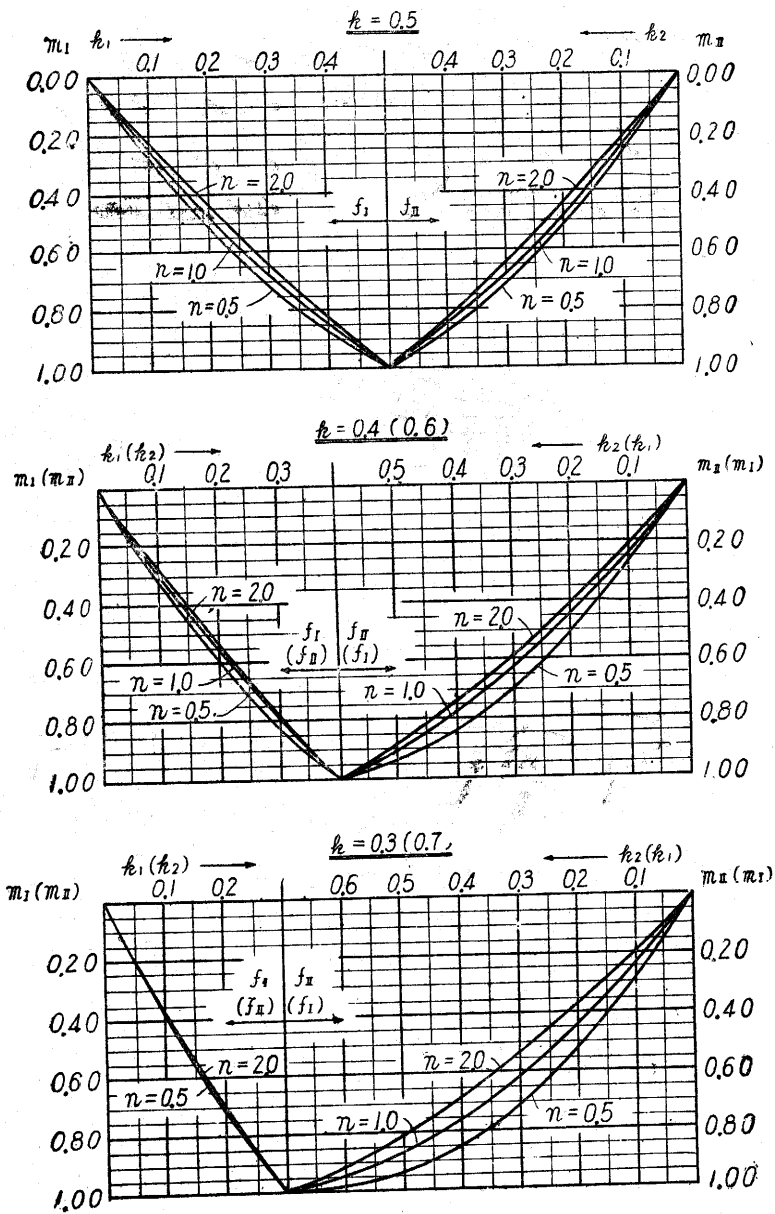
図表--9--(2)/Ⅶ 同補助表

α の値による $\left(\frac{D}{A}\right)_{\alpha=0}$ の倍率

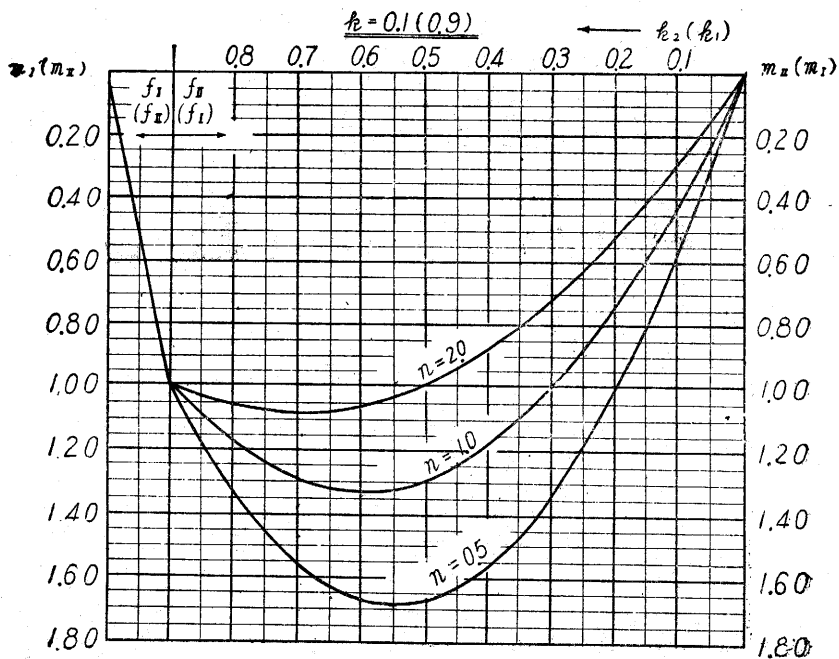
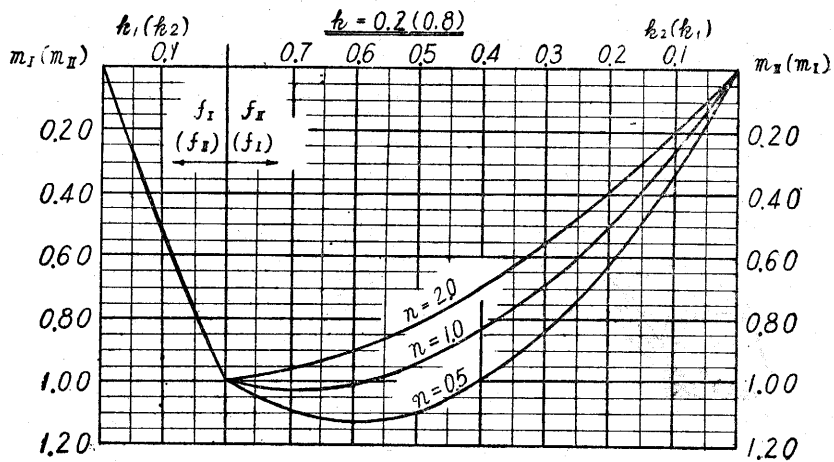
$$\mu = \frac{\left(\frac{D}{A}\right)_{\alpha}}{\left(\frac{D}{A}\right)_{\alpha=0}}$$



图表—10—(1)/Ⅷ 单一荷重負荷索線形係數算出表 (1)



图表—10—(2)/Ⅶ 单一荷重负荷索线形系数算出表 (2)



圖表-11/Ⅷ 主索用鋼索諸元

直徑 (d)	素線直徑 (d)		有效斷面積 (A _e)		重量 (p)		切斷荷重 (破斷力) (S)									備 考
	1950		1953		1950		1953		1950			1953				
	mm	mm	mm ²	mm ²	kg/m	kg/m	kg/mm ²	kg/mm ²	1級 素線強度(σ) 165 kg/mm ²	2級 (σ)	3級 (σ)	1種 (σ)	2種 (σ)	3種 (σ)		
8	0.90	0.83	26.7	25.5	0.243	0.237	4.01	3.81	3.56	3.65	3.88	4.12	4.91	5.21	ton	日本工業規格 JIS 3525 1950, 1953 1号7本線6燃 (7×6,6×7), 中心麻入(中 心纖維), 裸 (油又はコン ポジション塗 り), ランゾグ Z 燃, 卷上機・ 索道用鋼索
9	1.00	0.99	33.0	32.3	0.300	0.300	4.98	4.67	4.26	4.61	4.91	5.21	6.06	6.43	ton	
10	1.10	1.10	39.9	39.9	0.363	0.370	6.02	5.68	5.29	5.69	6.06	6.43	8.72	9.25	ton	
12	1.30	1.32	55.5	57.5	0.506	0.533	8.46	7.92	7.41	8.19	8.72	9.25	11.8	12.6	ton	
14	1.50	1.54	74.2	78.2	0.674	0.725	11.2	10.5	9.89	11.2	11.8	12.6	15.5	16.5	ton	
16	1.80	1.76	106.9	102.1	0.971	0.947	16.1	15.2	14.2	14.6	15.5	16.5	19.6	20.8	ton	
18	2.00	1.98	131.9	129.4	1.199	1.20	20.0	18.7	17.5	18.4	19.6	20.8	21.8	23.2	ton	
19	2.10	2.09	145.5	144.1	1.322	1.34	22.1	20.7	19.4	20.5	21.8	23.2	24.2	25.7	ton	
20	2.20	2.20	159.7	159.7	1.451	1.48	24.2	22.7	21.2	22.8	24.2	25.7	27.5	29.3	ton	
22	2.40	2.42	190.0	193.2	1.726	1.79	28.8	27.0	25.3	27.5	29.3	31.1	34.9	37.0	ton	
24	2.70	2.64	240.5	229.9	2.185	2.13	36.4	34.2	32.0	32.8	34.9	37.0	37.8	40.2	ton	
25	2.80	2.75	258.6	249.5	2.350	2.31	39.2	36.9	34.5	35.6	37.8	40.2	40.9	43.4	ton	
26	2.90	2.86	277.4	269.6	2.520	2.50	42.0	39.5	36.9	38.4	40.9	43.4	44.6	47.5	ton	
28	3.10	3.08	317.0	302.9	2.880	2.90	48.1	45.1	42.2	44.6	47.5	50.3	51.2	57.8	ton	
30	3.30	3.30	359.2	359.2	3.264	3.33	54.5	51.1	47.9	51.2	54.5	57.8	62.0	65.8	ton	
32	3.50	3.52	404.1	408.7	3.671	3.79	61.3	57.6	53.9	58.3	62.0	65.8	70.0	74.3	ton	
34	3.80	3.74	476.3	461.5	4.328	4.28	72.2	67.8	63.5	65.8	70.0	74.3	78.5	—	ton	
36	4.00	3.96	527.8	517.4	4.795	4.79	80.1	75.2	70.4	73.8	78.5	—	—	—	ton	
38	—	4.18	—	575.4	—	5.35	—	—	—	82.3	—	—	—	—	ton	
40	—	4.40	—	638.4	—	5.92	—	—	—	91.2	—	—	—	—	ton	

第Ⅷ章 主索の検定法

第1節 索張りの検定

1. 各種検定法の比較

実際に主索を架設した場合にそれが設計どおりの索張りで張られているかどうかを検定すること、あるいは既存の索道主索の索張りがどの程度であるかを知ることはいろいろの意味で必要である。すなわち主索（原索）の索張りは索線形、荷重軌跡、索張力等すべての計算の基礎となるからである。この索張りの検定法としては3方法が考えられる。第1は索長比の測定、第2は中央垂下比の測定、第3は索張力の測定によるものである。

第1は索長比 $\beta=L/l$ の測定で、斜距離 l は常に測量結果より与えられるが、既設の主索の索長 L を正確に測定することがほとんど不可能であることから、架設前に所定の索張比^{**}に相当する索長により索の両端に印を付け、その印が上下両支点に一致するまで索を張り上げる方法がしばしば行われている。この場合索の張力は零から次第に増大していくわけであるが、鋼索は初期荷重に対しては比較的伸長率の大きい部分が存在し、それが架空索に残るから架設後の索長は架設前（無張力）のそれよりも若干長く、この僅少な索長の差が垂下量等に極めて鋭敏に影響することは前記のとおりである。したがって索長比による検定は一般に不正確で、きわめて限られた場合にしか応用できない。

第2の方法では中央垂下比 $s=f/l_0$ の測定のために中央垂下量 f を実測しなければならない。実際に f を直接測定することはほとんど不可能に近いが、これを支点における索の傾斜により間接に測定することは比較的容易である。

第3の方法は張力を直接検定するもので、索張りはこれより逆算すれば求められる。張力の検定法としては理論上最も優れているが、張力の測定法そのものに問題がある。在来の張力計を用いる方法では相当大きな測定上の誤差が予想されるとともに、実用上技術的にも難点がある。後記の振動波法による間接測定を行えば、この欠点は一応解消するが、索張りの検定法としてはどこまでも間接的である。

以上の考察の結果、主索の索張りの検定法としては第2の方法が最も有効であると考えられる。

2. 支点における索の傾斜測定による索張りの検定

図一Ⅷに示すごとく、支点 A, B における無負荷原索の傾斜角を θ_1, θ_2 、中央垂下比を $s=f/l_0$ とすれば

$$\tan \theta_1 = \tan \alpha - 4s, \quad \tan \theta_2 = \tan \alpha + 4s \dots\dots\dots (1/\text{Ⅷ})$$

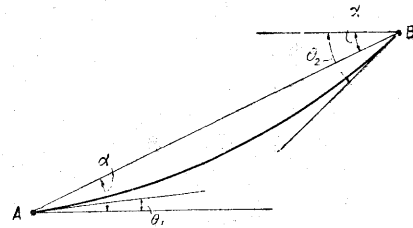
* 著者はこれを原案中央垂下比 $s=f/l_0$ で示した。

** 索長比と中央垂下比の関係は第Ⅷ章 第5節に示したとおりである。

および

$$s = \frac{\tan \alpha - \tan \theta_1}{4} = \frac{\tan \theta_2 - \tan \alpha}{4} \dots\dots\dots (2/\text{VIII})$$

の関係がある。上式中 α は支間傾斜角で、 α または $\tan \alpha$ は測量によつて得られる既知量であるから、 θ_1 または θ_2 を角測器で測定すれば索張り s の値は (2/VIII) 式より求められる。実際には θ_1 、 θ_2 の代りに $\tan \theta_1$ 、 $\tan \theta_2$ を水準器と物指で測定してもよい。主索の線形曲線の曲率半径は極めて



図一1/VIII 索の傾斜

大きいから、支点から数米の間を直線と見なしてさしつかえなく、したがつて測定は極めて容易である。著者はこの目的に都合のよい極めて簡単な測器を考案して使用している。なお架設に際して所定の中央垂下比を得るように索張りするためには、支点における索の傾斜が (1/VIII) 式の与える値になるまで張り上げればよい。

図表一1/VIIIは任意の α および θ_1 、 θ_2 の値に対する s の値を示す図表であつて、 θ_1 、 θ_2 の概測値から s の概数を求めるための計算図表である。

第2節 張力の検定

新たに主索を張つたとき、または使用中に索張りを調節したときには、搬器荷重を運行させる前に是非とも張力の検定を行つて、過張力によつて鋼索の寿命を縮めたり事故を起したりすることを未前に防がなければならない。

前記の索張りの検定によつて原索（無負荷）の中央垂下比 s がわかれば、この索に荷重を懸けたときの最大張力の理論値は常に算定することができるから、これでも一応張力の検定ができる。しかしこの検定法は間接検定であるのと、足場が悪いと索の傾斜角を正確に測ることが困難な場合があることによつて、最上の方法とは云えない。

張力の直接検定法としては適切な張力計を用いて張力の直接測定を行うのが最もよいわけであるが、現在のところではこの目的に適合するような都合のよい張力計が無いために実行困難である。Wien 大学 CZITARY の情報¹⁾²⁾ に基きいろいろの実験をして見た結果振動波による検定法が最も便利で実用的であることが知れた³⁾⁴⁾⁵⁾。すなわち原索の I 端(支点から 1 m くらいの所)を棒で叩いて、索に振動波を起し、その伝波速度 v を測定すると、この索の平均張力は次式で算定される。

$$T = \rho v^2 \dots\dots\dots (3/\text{VIII})$$

ただし $\left\{ \begin{array}{l} \rho = p/g = \text{索の線密度} \\ p = \text{索の単位長当り重量} \\ g = \text{重力の加速度} \end{array} \right.$

T を kg, p を kg/m, g を m/sec², v を m/sec の単位で示せば

$$T = 0.102pv^2 \dots\dots\dots (4/\text{VIII})$$

よつて、いま主索用の JIS 6×7 ラング Z 鋼索の各径別の重量 p を用いて v と T の関係を求めると図表—2/VIII を得る。この表は T を ton 単位で示したものであつて、任意の v m/sec の値に対する原索平均張力の算出図表として用いる。

たとえば索張りの未知な径 24 mm の主索があつて、振動波測定の結果 $v = 150$ m/sec であつたとすれば、表—2/VIII の $\phi 24$ mm の斜線と $v = 150$ m/sec の縦線の交点を横にたどつて $T = 5.0$ ton を得る。

伝波速度 v の測定は振動波が支点間を 5~10 回往復するに要した時間を秒針付の時計（ストップウォッチならば最もよい）で測つて、伝波 1 往復平均の所要時間 t sec を求め

$$v = 2L/t \dots\dots\dots (5/\text{VIII})$$

により算出する。索長 L を知ることが困難なときは L の代りに斜距離 l を用い、 $v = 2l/t$ を用いても誤差は極めて小さいからさしつかえない。

次にこの原索に懸けるべき搬器荷重 P より荷重比 $n = P/W = P/pl$ を算出（ L を知ることが困難なときは $pL = pl$ を用いても誤差は極めて小さい）すれば、単一搬器荷重負荷索の最大張力は著者の解析の結果によれば次式により推定し得る。^{*}

$$T_{\max} = r \cdot T \dots\dots\dots (6/\text{VIII})$$

$$\left\{ \begin{array}{l} T = \text{振動波で測定した原索平均張力} \\ r = D/C = \text{係数} \\ C = \frac{B_1 + B_2 + 4}{6}, \quad B_1 = \left\{ 1 - \left(\frac{\tan \alpha}{2s} - 1 \right) 16s^2 \cos^2 \alpha \right\}^{\frac{1}{2}} \\ \text{ただし } B_2 = \left\{ 1 + \left(\frac{\tan \alpha}{2s} + 1 \right) 16s^2 \cos^2 \alpha \right\}^{\frac{1}{2}} \\ D = \left\{ a + \left(b \frac{\tan \alpha}{2s} + c \right) 16s^2 \cos^2 \alpha \right\}^{\frac{1}{2}} \\ a = 1 + 3(n + n^2), \quad b = (1 + n) \{ 1 + 3(n + n^2) \}^{\frac{1}{2}} \\ c = (1 + n)^2 \end{array} \right.$$

上式中の係数 r は理論上の負荷索最大張力係数で、その演算ははなはだ煩雑である。よつてこれを吟味して見ると、荷重比 n の値には大きく影響されるが、原索垂下比 s の影響は極めて僅少であり、支間傾斜角 α の影響もあまり大きくない。しかして原索の垂下比が $s = 0.03 \sim 0.06$ のような普通の索張りの場合には、 r は実用上十分正確に次式で示される。⁶⁾

$$r = (1 + 0.002\alpha)(1 + 1.65n) \dots\dots\dots (7/\text{VIII})$$

* 本章ならびに引用文献 (3) (4) に記す最大張力は単一荷重に対する最大張力である。

よつて支間傾斜角 α が既知ならば、荷重比 $n=P/W$ さえきめれば、最大張力係数 r の値、したがつて最大張力 $r \cdot T$ をただちに算定することができる。

図表—3/Ⅷは任意の荷重比 n および任意の支間傾斜角 α の値に対する係数 r の算出図表である。かくして支間長 l (または索長 L) と支間傾斜角 α が既知の索道ならば、現場に時計と図表—3/Ⅷ, (2, 3)/Ⅷ の3表を持参すれば、たゞ索を叩くだけで最大張力の検定が可能となり、実用上すこぶる便利である。

主索用 JIS 7×6 ラング Z 鋼索の各径別破断強度 S は表—12/Ⅷに示されたとおりであるから、上記の最大張力推定値 T_{\max} と S の値を比較することによりたゞちに張力安全率 N_t も判明する。すでに相当使用した索や、継いだ索では S の値に表の破断強度よりも 10~20%減の値を用いる。しかして前記のごとく

$$N_t > 3.0 \sim 3.5 \dots\dots\dots (8/\text{Ⅷ})$$

を確認した上で実際の荷重を懸けるようにすれば、過張力による事故や索の損傷を未前に防ぐことができる。

なお索張りが強すぎたり、荷重が重すぎたりして、索に生ずる応力が弾性限界を超えるような場合には、上記の振動波法による検定法にはやゝ大きな誤差が生ずると思われるのでその点は十分注意を要する。

〔例題 1〕

索長 $L=550$ m の JIS 7×6 ラング Z 1級 (1950) 径 22 mm の索が、支間傾斜角 $\alpha=10^\circ$ の2点間に張られているとき、振動波測定の結果、 $v=170$ m/sec であつたとする。この主索に $P=800$ kg の搬器荷重 (衝撃および曳索重量を含む) を懸けるものとすれば、その張力安全率はいくらか。また張力安全率 $N_t=3.0$ を確保するためには荷重を何 kg に制限すればよいか。

〔解 法〕

図表—2/Ⅷにより $\phi 22$ mm, $v=170$ m/sec に相当する原索平均張力を求めると

$$T=5.1 \text{ ton}$$

次に第Ⅷ章・図表—3/Ⅷにより $\phi 22$ mm 索の $L=550$ m のときの自重 W を求めると

$$W=pL=0.95 \text{ ton}$$

よつて荷重比は

$$n=P/W=0.80 \div 0.95 \doteq 0.84$$

次に図表—3/Ⅷにより、 $n=0.84$, $\alpha=10^\circ$ に相当する最大張力係数 r の値を求めると

$$r=2.2$$

よつて負荷索の推定最大張力は

$$T_{\max}=r \cdot T=2.2 \times 5.1=11.22 \text{ ton}$$

第Ⅷ章 図表—11/Ⅷより $\phi 22$ mm 1級 (1950) の破断強度は

$$S=28.8 \text{ ton}$$

よつて張力安全率は

$$N_t=S/T_{\max}=28.8 \div 11.22=2.57 < 3.0$$

すなわちこの索に 800 kg の荷重をかければ安全率は過小となる。

次に張力安全率 $N_t=3$ とすれば許容最大張力は

$$T_{\max} = S/N_t = 28.8 \div 3 = 9.6 \text{ ton}$$

よつて要求される r の値は

$$r = T_{\max}/T = 9.6 \div 5.1 = 1.89$$

図表—3/Ⅷにおいて $r=1.89$ の横線と $\phi 22 \text{ mm}$ の斜線の交点を下方にたどれば、要求される n の値は

$$n = 0.55$$

よつて張力安全率 $N_t=3$ のときの許容最大荷重（制限荷重）は

$$P = n \cdot W = 0.55 \times 0.95 = 0.52 \text{ ton} = 520 \text{ kg}$$

となる。

なお2～3の実際索道および集材機の架空索について実験を行った結果、搬器を載荷した負荷索に於ても、振動波法によりその現実張力を測定し得ることが判明した。この場合は支点附近に打撃を与えて生ぜしめた振動の伝波は、最寄の搬器の位置から反射してくるので、支点と最寄搬器間の距離（索長）を知れば、伝波速度を算定して、(4/Ⅷ)式によりその間の索の現実張力を求めることができる。ただし軽い空搬器がある場合には搬器位置で反射する波とそれを越えて進行する波とが混合して帰ってくるため、 v の測定が困難なことがある。

第3節 計算図表

前各節に記した計算図表を一括して示せば次のとおりである。

図表—1/Ⅷ 原索中央垂下比算出表

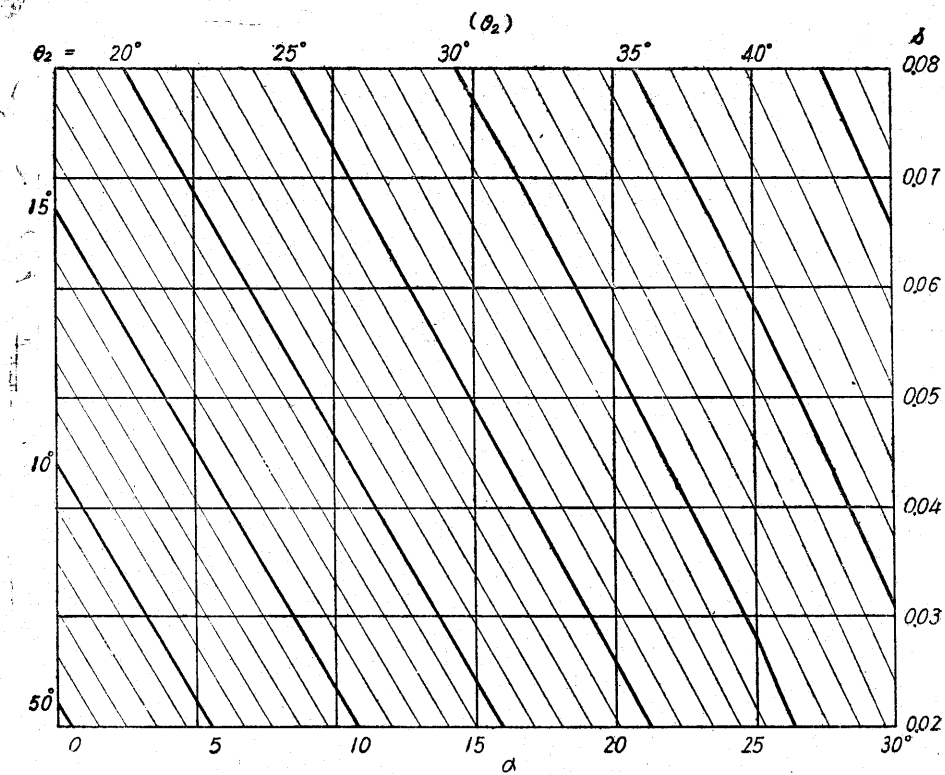
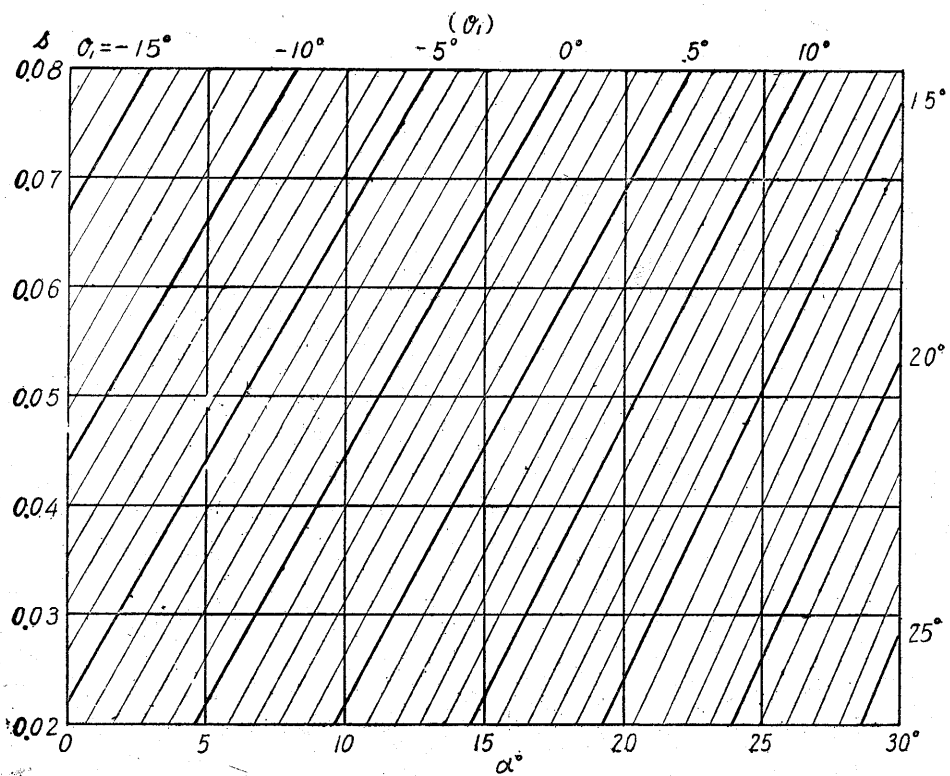
図表—2/Ⅷ 振動波法による原索平均張力算出表

図表—3/Ⅷ 振動波法による単一荷重負荷索最大張力係数算出表

引用文献

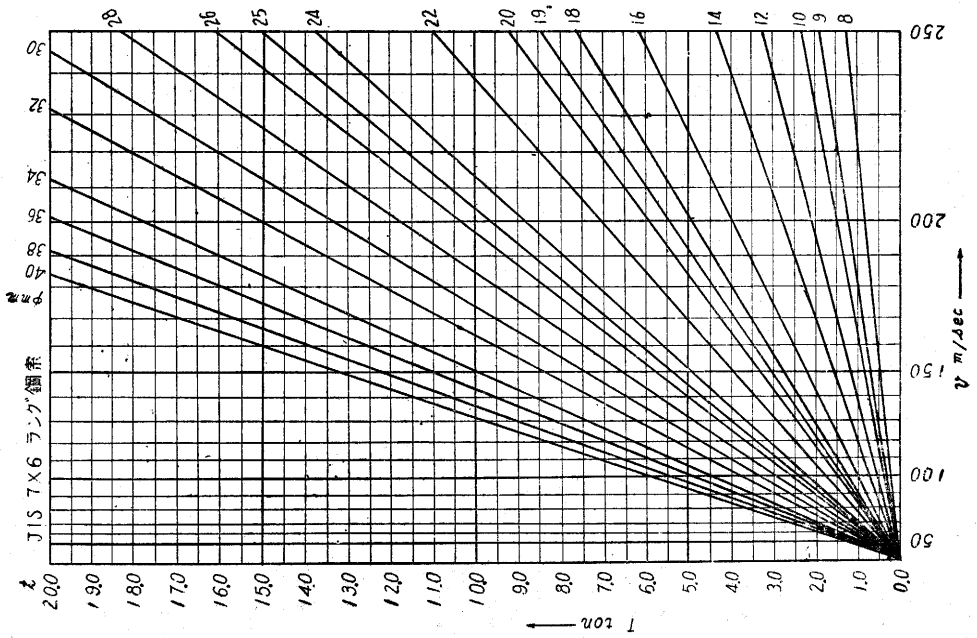
- 1) 林野庁国有林課（水野遵一）：ウィッセン集材機資料 No. 11, 昭 27.
- 2) PESTAL, E.: Die Messung der Trageilspannung nach dem Seilshwingungsverfahren. Internationaler Holzmarkt, Wien, 1950.
- 3) 加藤誠平, 丸山正和：「振動波による架空索の張力測定法とその応用」日本林学会誌 Vol. 35, No. 2, 昭 28.
- 4) 加藤誠平, 丸山正和：「振動波による架空索最大張力推定法に関する理論的解析」, 東大演習林報告第 44号, 昭 28.
- 5) 成瀬善高, 大河原昭二：「振動波法による運材用索道主索の張力測定結果について」東大演習林 第 10号, 昭 30.
- 6) 加藤誠平：運材用索道主索の設計と検定, 林業普及シリーズ 40, 昭 29.

图表一/Ⅷ 原索中央垂下比算出表



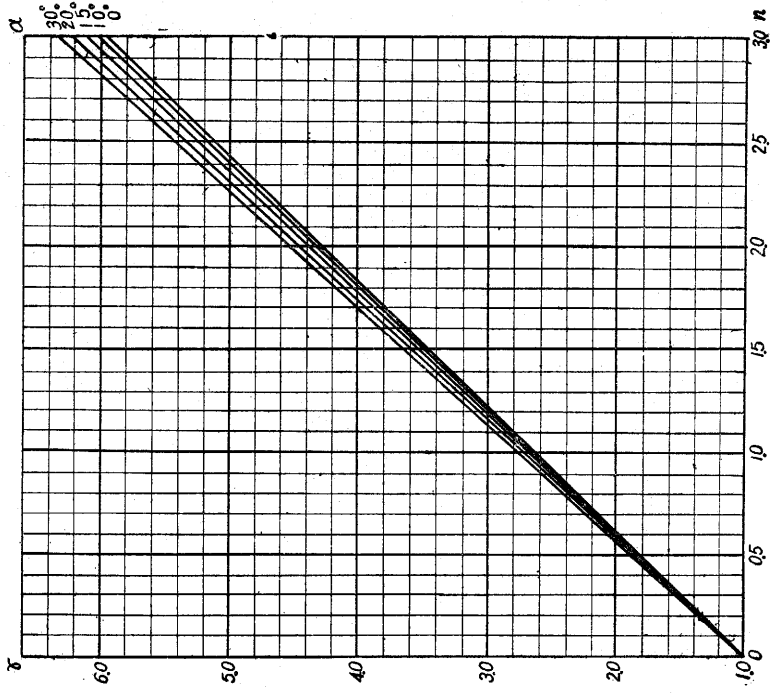
図表-2/Ⅷ 振動波法による原索（無負荷）平均張力算出表

$$T = wv^2 = 0.102 pv^2$$



図表-3/Ⅷ 振動波法による単一荷重負荷索最大張力係数算出表

$$T_{max} = \gamma \cdot T \quad \gamma = (1 + 0.002\alpha)(1 + 1.65\pi)$$



第Ⅳ章 多荷重索道主索の解法

第1節 多荷重索道の主索

前各章においては主として単一荷重索道の主索ならびに、多荷重索道にあつても1支間に1個の搬器荷重が載荷される場合に関する問題を取扱つたが、最近長距離多支間連送式運材用索道の急速な発達に伴い、1支間に2個以上の搬器荷重が載荷される主索の正確な算定法が要求されている。

従来多荷重索道主索の算定法としては、本来集中荷重の性質を有する搬器荷重を単に等布荷重に換算して垂下量や張力を求める方法（これを在来等布荷重法と呼ぶこととする）以外には解法が発表されていない。在来等布荷重法は1搬器の荷重比が比較的小さい多数の搬器荷重が1支間内かけられる主索に対しては相当近似性の高い解を与えるが、運材用多荷重索道においては荷重比の比較的大きな集中荷重が1支間内に2~4個程度かけられることが多く、このような場合には在来等布荷重法によると相当大きな誤差が生ずるものと考えられる。よつてここに多荷重支間の問題を取上げて吟味することとした。

連送式索道のある任意の支間における荷重数は、支間距離と搬器間隔の関係により、曳索の運行に伴つて変化する。連送式索道においては1支間内の主索長 L と曳索長 L' とはほぼ同長と見なしてさしつかえないから、搬器間隔を l' とし、

$$q = \frac{l'}{L} = \frac{l'}{L} \dots\dots\dots (1/K)$$

を搬器間隔の係数とすれば、その支間内の搬器数 i は表—1/Kのとおりである。

表—1/K 搬器間隔と荷重数

搬器間隔係数 (q)	荷重数 (i)
$q > 1$	0~1
$1 > q > 1/2$	1~2
$1/2 > q > 1/3$	2~3
$1/3 > q > 1/4$	3~4

このうち $i=1$ の場合はすでに論議したので、 $i > 2$ の場合について、理論的検討に先立ち、一搬的傾向を知るためにまず2~3の実験を試みた。

第2節 多荷重軌跡曲線に関する2~3の実験

単一荷重と多荷重の相異を最も端的に知るためには搬器荷重の作用点の垂下量すなわち荷重軌跡曲線ならびに索線形を観察するのが好適であろうと考え、第Ⅲ章第4節の実験とまったく同様の装置により、荷重数 $i=2\sim 4$ の場合の荷重軌跡をプロットし、原索線形および1荷重軌跡曲線

と比較した。この実験装置は支点変位や索の伸縮を無視し得るような装置である。

1. 2 個の荷重の軌跡曲線および曲線形

支間傾斜角 $\alpha=0$, 原索中央垂下比 $s=0.08$ の場合に, 1 個の荷重の荷重比 $n=P/W$ が一定値の等量荷重 2 個 ($P_{No.1}, P_{No.2}$) が図-1/K に示すような一定間隔 $k_2 l_0$ で主索に懸つて移動するときの荷重作用点 E, F の軌跡をプロットして見ると図-2/K のような結果が得られた。ただしこれは $n=0.5$ および $1.0, k_2=0.5, 0.6$ および 0.7 の場合を示す。 $k_2 < 0.5$ の場合は前記のとおり荷重数が 3 個以上となるので後述する。この実験では $\alpha=0$ を用いたが垂下量に対する α の影響は少ないので $\alpha \neq 0$ の場合にもほぼ同様の結果が得られるものと考えてよい。また負荷索増垂係数は理論上一応原索垂下比 s の値に無関係であることから, 実験誤差の少ない $s=0.08$ の場合を選んだのである。また 1 個の荷重の荷重比の値が $n > 1.0$ の場合は, 荷重作用点が支점에極めて近いときを除き $n=1.0$ の場合と垂下量の差が極めて僅少であること, ならびに $n < 0.5$ のときは軌跡曲線と原索曲線が非常に近接することから上記の実験条件を選んだのである。

この実験の結果, 支間 AB 内に 2 個の等量荷重が存在するときの荷重軌跡曲線 (荷重点の垂下

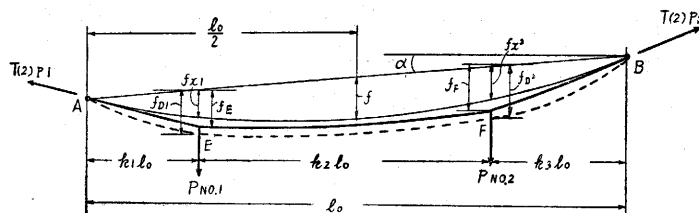


図-1/K 等量 2 荷重索

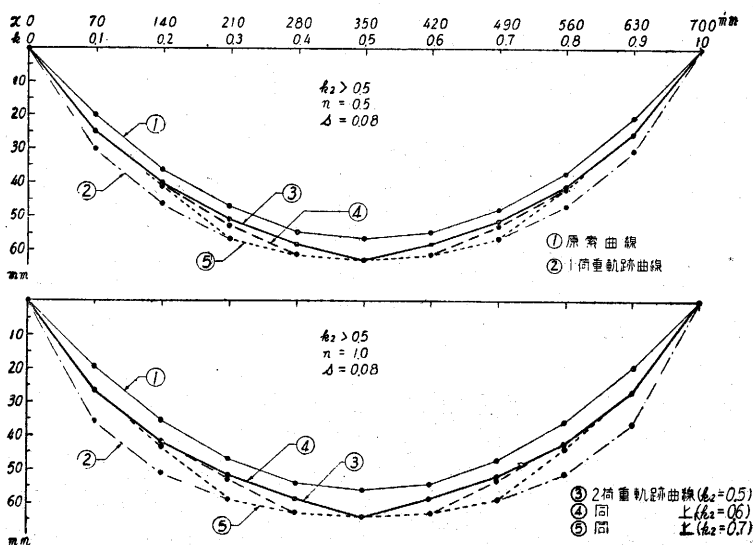


図-2/K 2 荷重軌跡曲線

量)は同一重量の荷重1個の場合の荷重軌跡曲線と無載荷原索曲線のほぼ中央(支点付近ではいくぶん原索曲線に近づく)を通ること,ならびに負荷索 AE, FB の線形はそれぞれ,ほとんど直線と見なし得るほどの扁平曲線であることの二つの事実が判明した。搬器と支点間の索線形がほとんど直線になることは各地における実際の索道の観察結果とも一致する*。

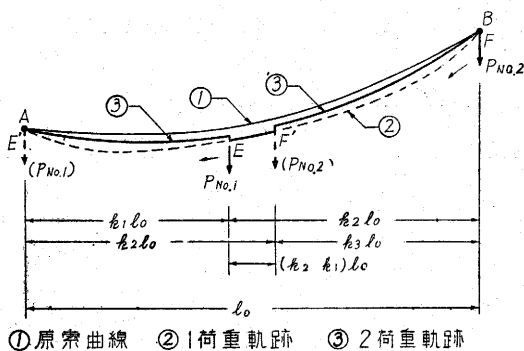
(2) 荷重数の変化と軌跡曲線および最大張力の関係

原索の線形が相当扁平 ($s \leq 0.08$) であることを前提とすれば,実際の搬器間隔と水平間隔との関係は,2個荷重の場合には

$$\left. \begin{aligned} k_1 l_0 : k_2 l_0 : k_3 l_0 &= k_1 L' : k_2 L' : k_3 L' \\ k_2 &= q \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (2/K)$$

と見なし得る。したがって $q = k_2 > 0.5$ の場合に1個の荷重が支間中央部にあるときは,他の荷重は同一支間内に存在しない。したがってそのときの垂下量および張力は単一荷重の場合とまったく同じである。支間内に2個の荷重が存在するのは $k_1 = 0 \sim (1 - k_2)$, $k_3 = (1 - k_2) \sim 0$ の場合に限られる。したがって $k_2 > 0.5$ の場合は支間中央部において $(k_2 - k_1)l_0$ の水平距離に相当する位置に荷重がある間は単一荷重の軌跡となり,荷重がその左右,支点までの間にあるときに2個荷重の軌跡となる。すなわち前記2個荷重の軌跡曲線(垂下量 f_E, f_F)に関する事実は図-3/Kにおいて AE 間および F'B 間においてのみ存在するものであつて, E 点 F' 点の両側において荷重軌跡は f_E 曲線および f_F 曲線から急激に f_D 曲線に移行する。すなわち軌跡曲線は不連続であつて,これは搬器が支点を通過するごとに当該支間内の荷重数が1個だけ増減することに基因する。軌跡曲線が不連続であると言うことは,搬器が支点を通過するごとに主索に衝撃が与えられることを意味する。すなわち実際の多支間多荷重索道において搬器が支点通過の際にしばしば観察される衝撃現象は,単に支点構造の欠陥のみに基因するものではなくして,軌跡不連続の必然の結果であることがわかる。このことは衝撃問題の対策上大きな示唆を与えるものと云わねばならぬ。

しかしてまたこの荷重数の変化は最大張力を考究するときにも, $q = k_2 > 0.5$ の場合には単一荷重の最大張力と2個荷重の最大張力とを比較して大きな方を採らねばならぬことを意味する。



このような関係は3個以上の多荷重の場合

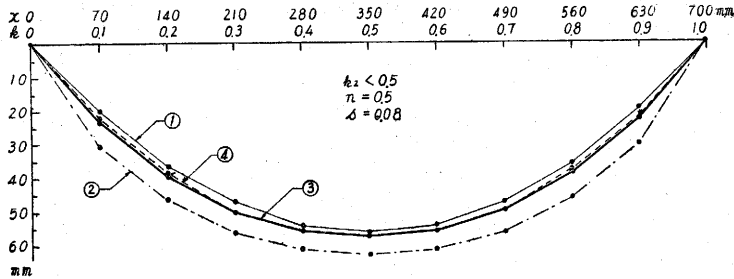
図-3/K 軌跡の不連続性

* 埼玉県秩父郡三峰口日室工業単線式索道,群馬県利根郡藤原村地内電源開発用単線式索道,埼玉県秩父郡大洞川東洋工業運材用索道等

にも当然存在する問題であるので、後に再吟味することとする。

3. 3 個以上の荷重の軌跡曲線および索線形

荷重間隔係数 $q = k_2 < 0.5$ の場合には 1 支間内に必ず 2 個は荷重が存在し、 k_2 の値が小さいときおよび k_1 の値が小さいときには 3 個以上の荷重が存在する。図-4/K は (1) の実験と同様にして $\alpha = 0, s = 0.08, n = 0.5$ の場合について荷重軌跡をプロットした結果を示すものであ



① 原 索 曲 線 ③ 多 荷 重 軌 跡 曲 線 ($k_2=0.4, i=2-3$)
 ② 1 荷 重 軌 跡 曲 線 ④ 同 上 ($k_2=0.3, i=3-4$)
 図-4/K 多 荷 重 軌 跡 曲 線

る。これによつて見ると $k_2=0.3$ および 0.4 の場合は $k_2=0.5, 0.6$ および 0.7 の場合に比べて軌跡曲線はいちじるしく原索に近づくことがわかる。この実験中の観察でも荷重および支点間の索線形はやはり直線に近い。実験の結果から勘案して、荷重数 i がある程度以上多くなれば、全体の負荷索線形は原索曲線に近づき、在来等布荷重法の適用が無理でなくなるように思われる。しかしながら、これは張力算定に関するかぎりのことであつて、荷重軌跡については、なんらかの理由で 1 個の搬器のみが積載され、他の搬器がすべて空搬器となつて運行される場合を予想すると、これは単一荷重の軌跡とほとんど同じになることになるから、設計上は常に安全のため単一荷重軌跡（補正值）を採らねばならぬことに注意したい。

第 3 節 任意の数の搬器荷重のある主索の最大張力に関する一般解

1. 多荷重架空索の基礎方程式

拋物線索理論により、まず支点変位および索の伸縮が無いものと仮定して、任意の数 (i 個) の集中荷重の作用を受ける架空索の基礎方程式を、単一荷重の場合と同様にして静力学平衡条件によつて求めると次式が得られる。¹⁾ (図-5/K 参照)

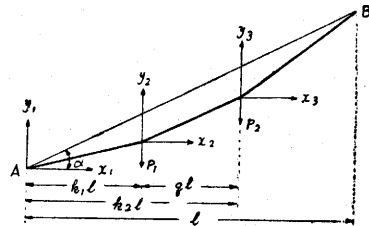


図-5/K 多 荷 重 索

$$y = \frac{x^3}{2m_i} + \frac{l_0 x}{2m_i} (2k_{j-1} - 1) + \frac{l_0 x}{m_i} \left\{ \sum_{h=1}^i n_h k_h - \sum_{h=j}^i n_h \right\} + x \tan \alpha \dots \dots \dots (3/K)^*$$

* 単一集中荷重の場合は $i=1, k_{j-1}=0, \sum n_h k_h = n k_1, \sum n_h = n$ であるから、この値を用いると第 I 章に記した基礎方程式とまったく同一になる。

たゞし上式中

x, y = 任意の荷重作用点 (左より数えた任意の目番目 $j-1$) を原点とする座標軸

$m_i = H_i/w$ = パラメーター

w = 水平方向単位長当り重量に換算した索重量

i = 荷重数 (任意)

j = 荷重番号 (左より数えた任意の番目)

$k_{j-1} = j-1$ 番目の荷重の位置係数

$k_h = h$ 番目の荷重 P_h の位置係数

$n_h = P_h/W = h$ 番目の集中荷重の荷重比

$P_h = h$ 番目 (任意) の荷重

$W = p \cdot L = wl_0 = AB$ 間の索自重

p = 単位長当り索重量

L = AB 間の索長

l_0 = 支間水平距離

α = 支間傾斜角

$H_i = \frac{W}{8s} \sqrt{K_i} =$ 張力の水平分力

s = 原索中央垂下比

$$K_i = 1 + 12 \left\{ \sum_{h=1}^i (n_h + n_h^2) k_h (1 - k_h) + 2 \sum_{h=1}^{i-1} \sum_{j=h+1}^i n_h n_j k_h (1 - k_j) \right\}$$

2. 最大張力の基本公式

上記基礎方程式より B 点 (上部支点) における負荷索の最大張力 $T_{i\max}$ を求めると、それは全集中荷重の重心が支間の中央^{*}を通るような搬器配置のときに生じ、その大きさは次の基本公式によって示される。

$$T_{i\max} = \frac{W}{8s} \sqrt{K_{i0}} \sqrt{1 + \left\{ \frac{4s}{\sqrt{K_{i0}}} \left(1 + \sum_{h=1}^i n_h \right) + \tan \alpha \right\}^2} \dots \dots \dots (4/\sqrt{K})^{**}$$

$$\text{たゞし } K_{i0} = 1 + \left\{ 3 \sum_{h=0}^i n_h + 12 \frac{\left\{ \sum_{h=1}^i n_h (k_h - k_1) \right\}^2}{\sum_{h=1}^i n_h} - 12 \sum_{h=1}^i n_h (k_h - k_1)^2 \right\}$$

$$+ \left\{ 3 \left(\sum_{h=1}^i n_h \right)^2 + 12 \sum_{h=1}^{i-1} \sum_{j=h+1}^i n_h n_j (k_h - k_j) \right\}$$

3. 等量等間隔荷重の場合の最大張力公式

普通の索道では等量の搬器荷重が等間隔に配置されるものと考えてよいから、この等量等間隔

* 厳密には中央より極めて僅少のずれがあるが、実用上は中央と考えて差支ない。(引用文献(2)参照)
 ** 単一集中荷重の場合は $K_{i0} = 1 + 3(n + n^2)$ となり、この値を用いると第II章に記した最大張力の基本公式と全く同一になる。

荷重の場合には、 $P_1=P_2=\dots=P_i$, $\Sigma P=iP$, $\sum_{h=1}^i n_h=in$ であつて、いま荷重間隔係数を q (荷重の水平間隔 ql_0) とすれば、(4/K) 式にこれらの値を用いて最大張力を次式で示すことができる。

$$T_{i\max} = \frac{W}{8s} \sqrt{K_{i0}} \sqrt{1 + \left\{ \frac{4s}{\sqrt{K_{i0}}} (1+in) + \tan \alpha \right\}^2} \dots\dots\dots (5/K)$$

ただし $K_{i0} = 1 + n\{3i - i(i-1)(i+1)q^2\} + n^2\{3i^2 - 2i(i-1)(i+1)q\}$

4. 支点変位、温度変化および索の弾性伸長に対する補正

支点の変位および温度変化による索の伸縮に対する索曲線および張力の補正法は第IV章、第VII章に記した単一荷重の場合とまったく同じに考えられるので、ここでは索の弾性伸長に対する補正法を考えればよい。いま無負荷原索の上部支点張力を T 、多荷重負荷索の最大張力を $T_{i\max}$ とすれば、負荷による張力増大量 T_d は実用上、

$$T_d = T_{i\max} - T \dots\dots\dots (6/K)$$

と見なして差支ない。したがつて弾性伸長率は

$$\Delta_e = \lambda \cdot T_d = \lambda(T_{i\max} - T) \dots\dots\dots (7/K)$$

$$\text{ただし} \begin{cases} \lambda = \frac{1}{A_e E_e} = \text{単位張力当り弾性伸長率} \\ A_e = \text{鋼索の有効断面積} \\ E_e = \text{鋼索のヤング率} \end{cases}$$

で与えられる。よつて第IV章及び第VII章に示した補正係数公式中の Δ_e に上式の値を用いて補正係数 ε_e を求め、これにより垂下比の補正值

$$s' = \varepsilon_e \cdot s \dots\dots\dots (8/K)$$

を算出して、(4/K) または (5/K) 式中の s にこの s' を代入すれば最大張力の補正值が求められる。支点変位や温度変化が同時に考えられる場合には総合補正係数 $\varepsilon = \varepsilon_d \cdot \varepsilon_t \cdot \varepsilon_e$ の算出に当り上記の ε_e を用いればよい。

第4節 2個の搬器荷重のある主索の最大張力算定法の吟味*

1. 等量2荷重理論式

前節の一般式 (5/K) において荷重数 $i=2$ と置いて等量2荷重の場合の最大張力式を求めると

$$T_{2\max} = \frac{W}{8s} \sqrt{K_{20}} \sqrt{1 + \left\{ \frac{4s}{\sqrt{K_{20}}} (1+2n) + \tan \alpha \right\}^2} \dots\dots\dots (9/K)$$

$$\text{ただし} \begin{cases} K_{20} = 1 + 6(1-q^2) + 12n^2(1-q) \\ q = k_2 - k_1 = 1 - 2k_1 = \text{搬器間隔係数} \\ W = AB \text{ 間の索自重} \end{cases}$$

* 引用文献 (2) 参照。

$$\left\{ \begin{array}{l} n = P_1/W = P_2/W = 1 \text{ 個の荷重の荷重比} \\ s = \text{原索中央垂下比}, \alpha = \text{支間傾斜角} \end{array} \right.$$

が得られる。(図-6/K 参照)

2. 等量2荷重半実験式

第2節に記した実験により確かめられた事実に基き、拋物線索理論を適用してまず各荷重点の垂下量を求めると、

$$f_E = \frac{1+r_1}{2} m_1 f, \quad f_F = \frac{1+r_2}{2} m_2 f$$

……………(10/K)

$$\text{ただし} \left\{ \begin{array}{l} r_1 = \frac{1+2n}{\{1+12(n+n^2)(k_1-k_1^2)\}^{1/2}} \\ r_2 = \frac{1+2n}{\{1+12(n+n^2)(k_2-k_2^2)\}^{1/2}} \\ m_1 = 4(k_1-k_1^2), \quad m_2 = 4(k_2-k_2^2) \end{array} \right.$$

が得られる。次に山口の張力重合理論⁴⁾を適用し、上部支点 B における張力 $T_{2,max}$ を、原索の張力 T_{B1} と、2個の搬器荷重が重さのない索で垂下量が(10/K)式の f_E, f_F になるように張られたときの B 点における張力 T_{B2} との重合と見なす

(図-7/K 参照) ことにより、次の半実験式を得る。

$$T_{2,max}' = T_{B1} + T_{B2} = W \left\{ \frac{B_2}{A} + \frac{2n}{\sin \alpha_2 + \cos \alpha_2 \tan \alpha_1} \right\} \dots\dots\dots(11/K)$$

$$\text{ただし} \left\{ \begin{array}{l} W = \text{AB 間の索自重} \\ A = 8s \cos \alpha, \quad s = \text{原索中央垂下比}, \quad \alpha = \text{支間傾斜角} \\ B_2 = \left\{ 1 + \left(\frac{\tan \alpha}{2s} + 1 \right) 16s^2 \cos^2 \alpha \right\}^{1/2} \\ \alpha_1 = \tan^{-1}(C - \tan \alpha) \\ \alpha_2 = \tan^{-1}(C + \tan \alpha) \\ C = \frac{(1+2n)(1+q)}{1+3(n+n^2)(1-q^2)} \\ n = P_1/W = P_2/W = 1 \text{ 個の荷重の荷重比} \\ q = k_2 - k_1 = 1 - 2k_1 = \text{搬器間隔係数} \end{array} \right.$$

3. 在来等布荷重法による最大張力式

集中荷重をそのまま原索上の等布荷重に換算する方法であるから、拋物線索理論による上部支点張力(最大張力)は次式で示される。

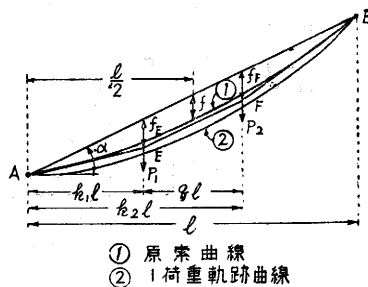


図-6/K 等量2荷重索垂下量

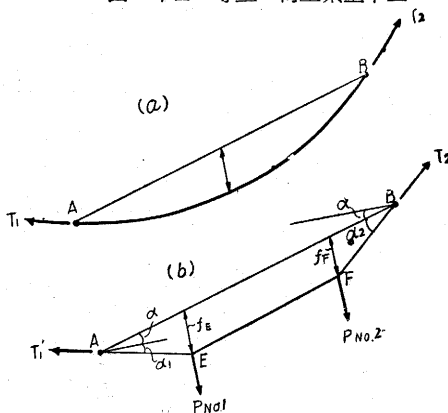


図-7/K 張力重合

$$T_{2\max}'' = \frac{W}{8s} (1+2n) \sqrt{1+(4s+\tan \alpha)^2} \dots\dots\dots(12/K)$$

ただし $\left\{ \begin{array}{l} W = \text{AB 間の索自重} \\ s = \text{原索中央垂下比, } \alpha = \text{支間傾斜角} \\ n = P_1/W = P_2/W = \text{1 個の荷重の荷重比} \end{array} \right.$

4. 各式の比較

(9/K) 式の $T_{2\max}$, (11/K) 式の $T_2'_{\max}$, (12/K) 式の $T_{2\max}''$ の与える張力値にどの程度の差があるか、また実際の張力算定への応用上の得失を吟味するために、 $\alpha = 0^\circ \sim 30^\circ$, $s = 0.02 \sim 0.08$, $n = 0.1 \sim 2.0$, $q = 0.5 \sim 0.7$ の範囲において数値計算を行つて、各式による張力値を比較して見た。この場合理論式 (9/K) の値を 1 としたときの半実験式 (11/K) の値の比率を R_1 、在来等布荷重式 (12/K) の値の比率を R_2 とすれば、

$$R_1 = \frac{T_2'_{\max}}{T_{2\max}}, \quad R_2 = \frac{T_{2\max}''}{T_{2\max}} \dots\dots\dots(13/K)$$

この R_1, R_2 を算出し、理論式を一応最も正しい値と見て半実験式と在来式の適合性を検討すると次のことが判明した。

- (a) 半実験式の誤差率は最大限安全側において 7.7%，危険側において 3.8%である。
- (b) 在来等布荷重式の誤差率は最大限安全側において 27.9%，危険側において 14.2%である。
- (c) R_1, R_2 ともに搬器間隔係数 q の値により大きく変動し、 q の増大に従つて誤差率は安全側に向う。 $q = 0.5 \sim 0.7$ の範囲では R_1 は 6.7%， R_2 は 21.9%変動する。
- (d) R_1, R_2 ともに q に次で荷重比 n の影響が大きい。 R_1 の値は n の増大に従つて減少し $n = 0.1 \sim 2.0$ の範囲では最大限 4.9%変動する。 R_2 の値は n の増大によつて 1 より遠ざかり、 $n = 0.1 \sim 2.0$ の範囲では最大限 11.9%変動する。
- (e) 原索中央垂下比 s および支間傾斜角 α の影響は極めて僅少である。

以上の諸点より見て半実験式は在来等布荷重式に比べて誤差率の点でもその変動の点でも優れており、その適合性も相当良好である。しかし計算の手續がかなり面倒な割合に精度があまり高くないと云う欠点がある。在来等布荷重式は精度が低くすぎて、2 荷重の場合には概算式としても不適當である。したがつて理論式を実用上簡便に使用する方途を講ずることが最も得策であると考え。よつて次節以降においてはこれについて考究することとした。

第5節 当値等布荷重法^{*}

1. 当値等布荷重法と当値係数

第3節に記した多荷重主索の最大張力の算出には、多数の集中荷重を受ける橋梁の桁の曲げモ

* 引用文献 (3) 参照。

ーメント算出の際に用いられる当値等布荷重^{*}の方法と同様の考え方で、(4/K)式または(5/K)式の最大張力理論値と等しい張力値を与えるような当値等布荷重の算式を求め、与えられた搬器荷重(集中荷重)をこの当値等布荷重に換算して等布荷重の張力公式により最大張力を求めることは一つのよい方法であるとする。

搬器荷重 P_h を荷重比 $n=P_h/W$ を用いて示せば $P_h=n_h \cdot W$ で、索自重 W の水平方向単位長当り重量を $w=W/l_0$ とすれば $P_h/l_0=n_h \cdot w$ である。いま当値係数 μ_i を考えれば、 P_h に相当する当値等布荷重は

$$w' = \frac{\mu_i P_h}{l_0} = \mu_i \cdot n_h \cdot w \dots\dots\dots(14/K)$$

で示される。しかし一般に等布荷重 w_0 の作用を反ける拋物線索の最大張力は第II章に記したとおり、

$$T_{\max} = \frac{w_0 l_0}{8s} \sqrt{1 + (4s + \tan \alpha)^2} \dots\dots\dots(15/K)$$

で与えられるから、索の自重を含めて $w + \sum_{h=1}^i w' = (1 + \mu_i \sum n_h)w$ の等布荷重を受ける索の最大張力は、(15/K)式の w_0 にこの値を入れて、

$$T_{i' \max} = \frac{w l_0}{8s} (1 + \mu_i \sum_{h=1}^i n_h) \sqrt{1 + (4s + \tan \alpha)^2} \dots\dots\dots(16/K)$$

しかるに多重荷索の最大張力は第3節に記したとおり

$$T_{i \max} = \frac{w l_0}{8s} \sqrt{K_{i0}} \sqrt{1 + \left\{ \frac{4s}{\sqrt{K_{i0}}} (1 + \sum_{h=1}^i n_h) + \tan \alpha \right\}^2} \dots\dots\dots(17/K)$$

であるから、 $T_{i' \max} = T_{i \max}$ とおけば当値係数 μ_i が求められる。すなわち(16, 17/K)式より当値係数 μ_i を求めると、

$$\mu_i = \frac{\sqrt{K_{i0}}}{\sum_{h=1}^i n_h} \cdot \frac{1 + \frac{\sum_{h=1}^i n_h}{\sqrt{K_{i0}}} \cdot t_1 + \frac{(1 + \sum_{h=1}^i n_h)}{K_{i0}} \cdot t_2}{1 + t_1 + t_2} - \frac{1}{\sum_{h=1}^i n_h} \dots\dots\dots(17/K)$$

ただし $t_1 = 2s \sin 2\alpha$, $t_2 = 8s^2 \cos^4 \alpha$

原索中央垂下比 s が小さく、支間傾斜角 α があまり大きくなければ、上式中の t_1, t_2 は微小量になるから、 μ_i の近似式として次式を得る。

$$\mu_{i0} = (\mu_i)_{t_1=0, t_2=0} = \frac{\sqrt{K_{i0}} - 1}{\sum_{h=1}^i n_h} \dots\dots\dots(18/K)$$

しかし等量等間隔荷重の場合には、第3節に記したように(17/18/K)式中

$$\left. \begin{aligned} K_{i0} &= 1 + n \{ 3i - i(i-1)(l+i)q^3 \} + n^2 \{ 3i^2 - 2i(i-1)(i+1)q \} \\ \sum_{h=1}^i n_h &= in \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots(19/K)$$

* Equivalent uniform load

である。いま単一荷重および等量2荷重（搬器間隔係数 $q=0.5$ ）の場合につき、原索中央垂下比 $s=0.02, 0.08$ 、支間傾斜角 $\alpha=0^\circ, 30^\circ$ 、1個の荷重の荷重比 $n=0.1, 2.0$ の条件により、当値係数 μ_i およびその近似値 μ_{i0} を上式により算出して見ると表-1/Kのとおりである。

表-1/K 当値係数とその近似値

荷重数 i	1								2							
	搬器間隔係数 q															
原索中央垂下比 s	0.02				0.08				0.02				0.08			
支間傾斜角 α	0°		30°		0°		30°		0°		30°		0°		30°	
荷重比 n	0.1	2.0	0.1	2.0	0.1	2.0	0.1	2.0	0.1	2.0	0.1	2.0	0.1	2.0	0.1	2.0
当値係数 μ_i	1.529	1.676	1.513	1.655	1.431	1.626	1.443	1.575	1.143	1.207	1.139	1.200	1.131	1.150	1.121	1.175
同上近似値 μ_{i0}	1.533	1.679	1.533	1.679	1.533	1.679	1.533	1.679	1.144	1.208	1.144	1.208	1.144	1.208	1.144	1.208
μ_{i0} の誤差率 (%)	+0.3	+0.2	+1.3	+1.5	+3.5	+3.3	+5.9	+6.6	+0.1	+0.1	+0.4	+0.7	+1.1	+1.5	+2.1	+2.8

上表によつて見ると (17/K) 式の μ_i の代りに近似値 μ_{i0} を用いても実用上は大した差支がないようである。いずれにしてもこのような当値係数 μ_i をいろいろの条件に対してあらかじめ算定して表示しておけば、(16/K) 式の最大張力をたゞちに算定できる。なお苦名は単一荷重 P の場合に、等布荷重的計算法として、 $2 \times P$ を等布荷重に換算すべきことを提示⁴⁾しているが、これは $\mu_i=2.0$ を用うべきことを意味し、この値は概算値としても過大にすぎる。

以上のごとく当値等布荷重法は在来等布荷重法に比べてはるかに好適であるが、当値係数の正確な値の算定がかなり面倒であること、またその近似式には多少の誤差があることが欠点である。

2. 荷重数および荷重間隔と最大張力の関係

一般に i 個の等量等間隔の搬器荷重があるときの最大張力は、 $(i-1)$ 個の搬器荷重があるときの最大張力よりも大であると考えられるが、1支間内に最大限 i 個の搬器荷重が乗りうる場合においても、搬器間隔係数 q の値が大きい場合には、 $(i-1)$ 個の荷重があるときの最大張力の方が、 i 個の荷重があるときの最大張力よりもかえつて大きくなることもあり得る。この両者の限界に相当する荷重間隔係数 q の値は次の条件によつて定まる。

$$i\mu_i = (i-1)\mu_{i-1} \dots \dots \dots (20/K)$$

いま μ_i の代りに μ_{i0} を用いれば、上の条件は

$$K_{i0} = K_{i-1,0} \dots \dots \dots (21/K)$$

となるから、(19/K) 式を代入して変形すれば

$$q^2 + 2nq - \frac{1+n(2i-1)}{i(i-1)} = 0$$

$$\therefore q = \sqrt{n^2 + \frac{1+n(2i-1)}{i(i-1)}} - n \dots \dots \dots (22/K)$$

これは原索垂下比 s の値が極めて小さいと考えたときの近似値であるが、前記のとおり s の値が μ_i の値におよぼす影響は極めて小さいから、荷重間隔係数の限界値の算出にはこれを用いて

さしつかえない。表-2/Kは(22/K)式により求めたこの限界値である。

表-2/K 等量等間隔多荷重索において最大張力を考慮すべき搬器間隔係数の限界値

搬器荷重数 <i>i</i>	1個の荷重 の荷重比 <i>n</i>	搬器間隔係数 <i>q</i>	
		1支間内に当該荷重数の 載り得る限界値	最大張力を考慮すべき限界
1	{ 0.1 2.0	0.50~1.00	{ 0.71~1.00 0.74~1.00
2	{ 0.1 2.0	0.33~1.00	{ 0.41~0.71 0.41~0.74
3	0.1~2.0	0.25~0.50	0.29~0.41
4	0.1~2.0	0.20~0.33	0.22~0.29

第6節 当値垂下比等布荷重法*

等布荷重を受ける拋物線索の最大張力 T_{max} は、索の自重を含む全荷重を Q とすれば、

$$T_{max} = \frac{Q}{8s} \sqrt{1 + (4s + \tan \alpha)^2} \dots\dots\dots(23/K)$$

で与えられる。よつて1支間内の全荷重をそのまま等布荷重と考えた場合には在来等布荷重法のとおり、最大張力は

$$T_{i,max} = \frac{W(1 + \sum_{h=1}^i n_h)}{8s} \sqrt{1 + (4s + \tan \alpha)^2} \dots\dots\dots(24/K)$$

で示される。

また任意の集中荷重を受ける拋物線索の最大張力 $T_{i,max}$ は索の自重の影響を含めて

$$T_{i,max} = \frac{W}{8s} \sqrt{K_{i0}} \sqrt{1 + \left\{ \frac{4s}{\sqrt{K_{i0}}} (1 + \sum_{h=1}^i n_h) + \tan \alpha \right\}^2} \dots\dots\dots(25/K)$$

であることは第3節に記したとおりである。

したがつて(24/K)式において

$$s = s_i, \quad s_i = z \cdot s, \quad z = \frac{1 + \sum_{h=1}^i n_h}{\sqrt{K_{i0}}} \dots\dots\dots(26/K)$$

と置けば、(24/K)式の T_{max} と(25/K)式の $T_{i,max}$ とは等値となる。すなわちこのことは任意の多荷重最大張力は、単に在来等布荷重最大張力式において原索中央垂下比 s の代りに s_i を用いれば、簡単に算定し得ることを示している。よつて(26/K)式の s_i を当値垂下比、 z を垂下比当値係数、このような算定法を当値垂下比等布荷重法と呼ぶこととした。すなわちこの方法による最大張力公式は

$$T_{i,max} = \frac{W(1 + \sum_{h=1}^i n_h)}{8s_i} \sqrt{1 + (4s_i + \tan \alpha)^2} \dots\dots\dots(27/K)$$

ただし

$$\begin{cases} s_i = z \cdot s \\ z = \frac{1 + \sum_{h=1}^i n_h}{\sqrt{K_{i0}}} \end{cases}$$

* 引用文献(3)参考。

によつて与えられ、等量等間隔荷重の場合には、1個の荷重を P とすれば

$$T_{i\max} = \frac{W + iP}{8s_i} \sqrt{1 + (4s_i + \tan \alpha)^2} \dots\dots\dots(28/K)$$

$$\text{ただし} \begin{cases} s_i = z \cdot s \\ z = \frac{1 + in}{\sqrt{K_{10}}} = \frac{1 + in}{\sqrt{1 + n\{3i - i(i-1)(i+1)q^2\} + n^2\{3i^2 - 2i(i-1)(i+1)q\}}} \end{cases}$$

となる。しかして (27/K) 式中の $W(1 + \sum_{h=1}^i n_h)$ または (28/K) 式中の $(W + iP)$ は当該支間内の索自重を含む全荷重であるから、

$$\frac{\sqrt{1 + (4s_i + \tan \alpha)^2}}{8s_i} = \phi \dots\dots\dots(29/K)$$

と置けば、

$$T_{i\max} = (\text{全荷重}) \times \phi \dots\dots\dots(30/K)$$

の形で示される。この ϕ は全荷重に対する最大張力係数を示すもので、この係数が荷重数の如何を問わず同一形の式で示されることは、演算上極めて便利である。すなわち無負荷原索の最大張力は $i=0$ と置いて

$$T_{0\max} = W \cdot \phi \dots\dots\dots(31/K)$$

$$\text{ただし } \phi = \frac{\sqrt{1 + (4s + \tan \alpha)^2}}{8s}$$

単一荷重索の最大張力は $i=1$ と置いて

$$T_{1\max} = (W + P)\phi \dots\dots\dots(32/K)^*$$

$$\text{ただし} \begin{cases} \phi = \frac{\sqrt{1 + (4s_i + \tan \alpha)^2}}{8s_i} \\ s_i = z \cdot s \\ z = \frac{1 + 2n}{\sqrt{1 + 3(n + n^2)}} \end{cases}$$

2 荷重以上の場合には $i=2, 3, 4 \dots\dots$ 等と置いて

$$T_{i\max} = (W + iP)\phi \dots\dots\dots(33/K)$$

$$\text{ただし} \begin{cases} \phi = \frac{\sqrt{1 + (4s_i + \tan \alpha)^2}}{8s_i} \\ s_i = z \cdot s \\ z = \frac{1 + in}{\sqrt{1 + n\{3i - i(i-1)(i+1)q^2\} + n^2\{3i^2 - 2i(i-1)(i+1)q\}}} \end{cases}$$

を算定すればよい。したがつて n, i, q の任意の値に対する垂下比当値係数 z の値および s, α の任意の値に対する最大張力係数 ϕ の値をあらかじめ算出して置けば、上式の算定は極めて容易にできる。また戦荷による張力増加量 $T_d = T_{i\max} - T_{0\max}$ も同一方法で算定し得る便益もある。

以上のごとく当値垂下比等布荷重法は前節の当値等布荷重法に比べて、その力学上の観念を理

* この式を変形すれば第II章に記した単一集中荷重の場合の基本公式とまったく同じになる。

解するには若干むずかしい点があるが、計算上は正確な値を極めて簡単に、かつ一般的に算定し得ると云う非常な利点がある。

第6節 多荷重索道主索の設計法

前各節のごとき検討の結果、一般に多荷重索道（単一荷重索道を含む）、換言すれば任意数の搬器荷重が載荷される索道主索の張力算定法として著者のいわゆる「当値垂下比等布荷重法」を最適と認めたので、以下これに基き実用的に設計法を解説することとする。

1. 荷重軌跡曲線の算定および作図

設計上の安全を期するならば、多荷重の場合にも何等かの理由で1搬器のみが積載され他は空搬器となることを予想せねばならぬから荷重軌跡の算定は第七章に記した単一荷重を用いねばならぬ。したがって算定作図の方法は前記のとおりでよい。

2. 最大張力（無補正值）の算定

(a) 荷重間隔に応ずる荷重数の確認

搬器間隔と支間との関係、すなわち搬器間隔係数 $q = \frac{\text{搬器間隔の水平距離}}{\text{支間水平距離}}$ を算出し、これに応じて最大張力を考慮すべき搬器荷重数を図表—1/ K より求める。表中の q_1 は荷重数 i に対する下限、 q_2 は同じく上限を示すものであつて、 $q < q_1$ の場合には $(i+1)$ 個荷重に対する最大張力を $q > q_2$ の場合には $(i-1)$ 個荷重に対する最大張力を求めねばならぬ。 $q = q_1 \sim q_2$ の値をとるときにのみ、これに相当する i 個荷重に対する最大張力を求めるのである。なお同表は第5節に記した限界値を実用的に完約したものである。

(b) 垂下比当値係数の算定

前節(33/ K)式によりまず上記の荷重数、荷重比および搬器間隔係数に応じた垂下比当値係数 z の値を求める。図表—2/ K はこの目的のために作製した計算図表であるからこれを利用してもよい。荷重数が5個以上の場合は $z = 1$ と見なしてさしつかえない。

(c) 当値垂下比の算定

原索中央垂下比 $s = f/l_0$ に当値係数を乗じて当値垂下比 $s_i = z \cdot s$ を算定する。

(d) 最大張力係数の算定

上記の当値垂下比 s_i を用いて最大張力係数 $\theta = \frac{\sqrt{1 + (4s_i + \tan \alpha)^2}}{8s_i}$ を算定する。図表—3/ K は任意の s_i および支間傾斜角 α の値に対応する θ の計算図表であるから、図表中の s_i に上記 s_i の値をとり、与えられた α に対する θ の値を求めればよい。

(e) 最大張力の算定

支間内の全荷重に上記最大張力係数を乗じ、最大張力 $T_{\max} = (W + iP)\theta$ を算定する。これが最大張力の無補正理論値である。

3. 索の弾性伸長に対する補正

(a) 原索張力の算定

図表—3/Kより与えられた原索中央垂下比 s に相当する最大張力係数を求め、これを索自重に
乗じて張力 $T_{0\max} = W \cdot \phi$ を求める。

(b) 張力増加量無補正理論値の算定

(2)(e) の最大張力と上記張力の差 $T_d = T_{i\max} - T_{0\max}$ を求める。

(c) 弾性伸長率の算定

上記 T_d の値を用いて弾性伸長率 $\Delta_e = \lambda \cdot T_d$ を算出する。 λ は単位張力当り弾性伸長率で、
JIS 鋼索では図表—4/K の値である。ただし同表は鋼索のヤング率を $E_e = 10,000 \text{ kg/mm}^2$ と
して算出したものである。

(d) 補正係数の算定および最大張力の補正

上記弾性伸長率 Δ_e を用いて第VII章に記した方法により補正係数 ε_e を求め、(2)(c) の当値垂下
比を補正して $s'_i = \varepsilon_e \cdot s_i$ とし、この s'_i を用いて求めた最大張力係数 ϕ により最大張力値を算
定すればよい。

〔例題 1〕

水平距離 $l_0 = 800 \text{ m}$ 、傾斜角 $\alpha = 15^\circ$ の支間において主索の径 28 mm の原索中央垂下比 $s = 0.05$ の索
張りのとき、設計荷重 $P = 1,000 \text{ kg}$ の搬器荷重を搬器間隔 $l' = 410 \text{ m}$ で連送する場合の最大張力を求む。

(a) 主索長 (図表—2/Ⅷより)

$$L = \beta \cdot l_0 \sec \alpha = 1.0053 \times 800 \times \frac{1}{0.9659} = 817.89 \text{ m}$$

(b) 搬器間隔係数

$$q = \frac{l'}{L} = \frac{410}{817.89} \doteq 0.5$$

(c) 索自重

$$W = p \cdot L = 2.9 \times 817.89 = 2,371 \text{ kg}$$

(d) 1個の搬器荷重の荷重比

$$n = P/W = 0.42$$

(e) 最大張力を算定すべき搬器荷重数

図表—1/Kより $q = 0.5$ につき、 $i = 2$

(f) 垂下比当値係数

図表—2/Kにおいて $i = 2$ 、 $n = 0.42$ に相当する z の値を求めると、 $z = 0.875$

(g) 当値垂下比

$$s_i = z \cdot s = 0.875 \times 0.05 = 0.044$$

(h) 最大張力係数

図表—3/Kにおいて $s = 0.044$ 、 $\alpha = 15^\circ$ に相当する ϕ の値を求めると、 $\phi = 3.1$

(i) 全荷重

$$W + iP = W + 2P = 2,371 + 2 \times 1000 = 4,371 \text{ kg}$$

(j) 最大張力 (無補正值)

$$T_{2\max} = (W + 2P) \cdot \phi = 4,371 \times 3.1 = 13,550 \text{ kg}$$

〔例題 2〕

同じ場合に索の弾性伸長を考慮した最大張力の補正値を求め。

(a) 原索張力

図表—3/Ⅰにおいて $s=0.05$, $\alpha=15^\circ$ に相当する最大張力係数を求めると, $\phi=2.78$ であるから

$$T_{\max} = W \cdot \phi = 2.371 \times 2.78 = 6,581 \text{ kg}$$

(b) 搬器荷重の載荷による張力増大量

$$T_d \doteq T_{2\max} - T_{0\max} = 13,550 - 6,591 = 6,960 \text{ kg}$$

(c) 弾性伸長率

図表—4/Ⅰより $\phi 28 \text{ mm}$ 鋼索の張力 1 kg 当り弾性伸長率を求めると,

$$\lambda = 0.00000032$$

よつて弾性伸長率は

$$A_e = \lambda \cdot T_d = 0.00000032 \times 6,960 \doteq 0.0021$$

(d) 垂下量補正係数

$A_e=0.0021$ に相当する垂下量補正係数を図表—7/Ⅰより求めると, $\varepsilon_e=1.09$

(e) 当値垂下比補正值

$$s'_i = \varepsilon_e \cdot s_i = 1.09 \times 0.044 = 0.048$$

(f) 最大張力補正值

図表—3/Ⅰに於て $s=0.048$, $\alpha=15^\circ$ に相当する最大張力係数 ϕ を求めると,

$$\phi = 2.87$$

よつて最大張力 (補正值) は

$$T_{2\max} = (W + 2P)\phi = 4,371 \times 2.87 = 12,540 \text{ kg}$$

4. その他の設計事項

その他の設計事項については第Ⅶ章に記した単一荷重の場合とまったく同様であるからここでは省略する。

5. 計算図表

前記の計算図表を一括して換げると次の通りである。

図表—1/Ⅰ 最大張力算定に用いる搬器荷重数

図表—2/Ⅰ 垂下比当値係数算出表

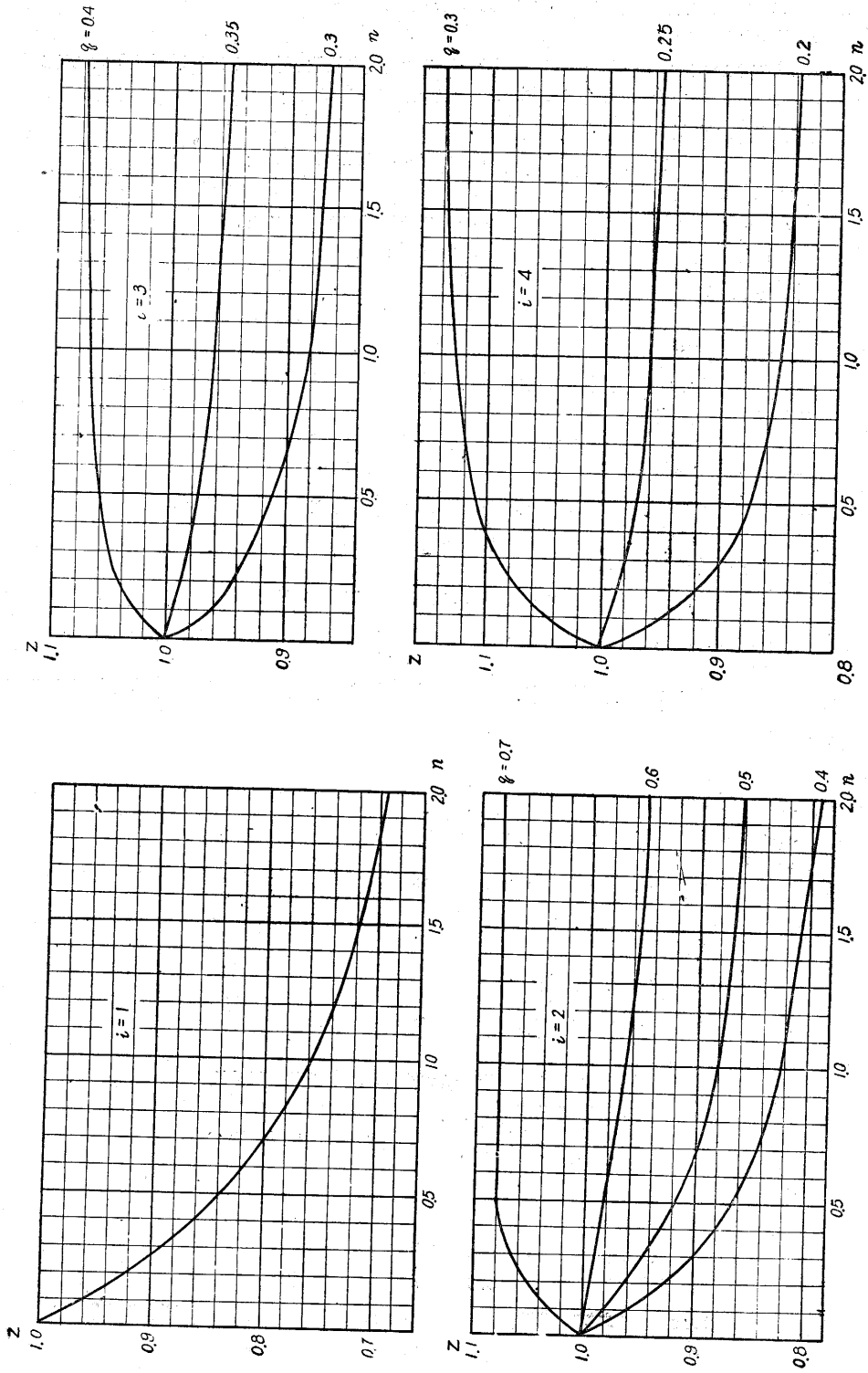
図表—3/Ⅰ 最大張力係数算出表

図表—4/Ⅰ 張力 1 kg 当り弾性伸長率算出表

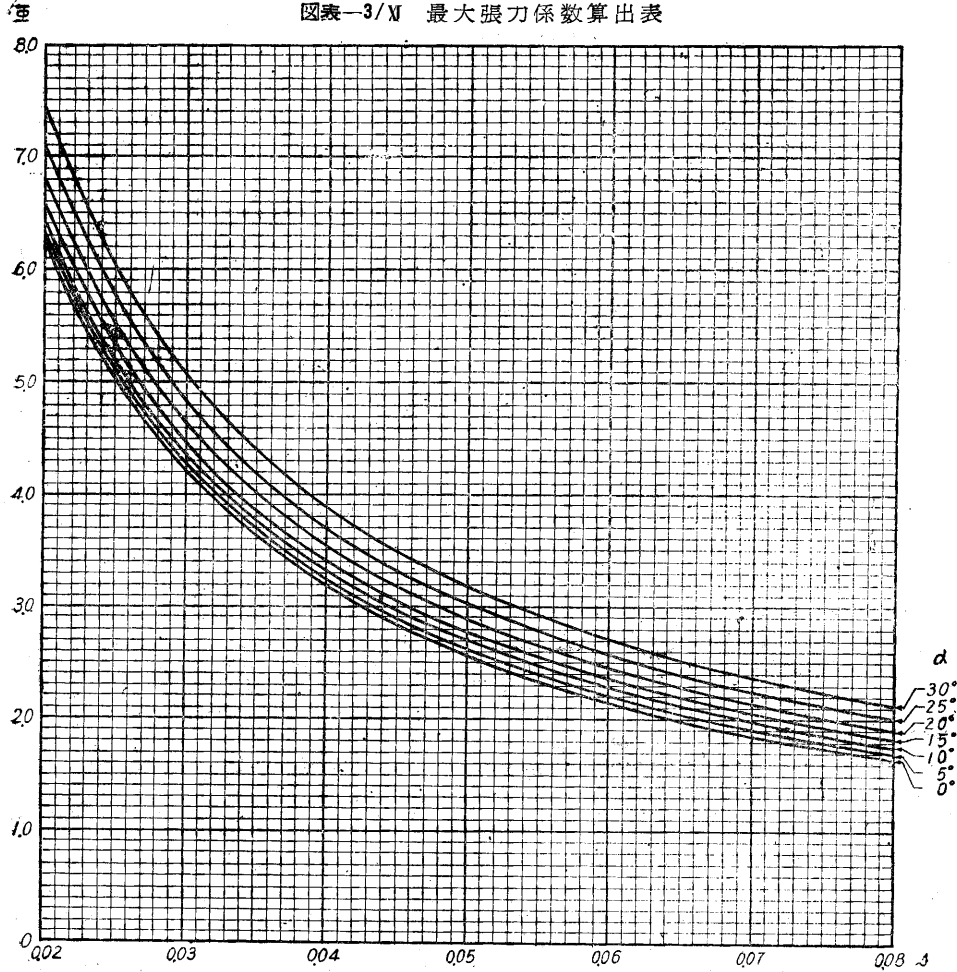
図表—1/Ⅰ 最大張力算定に用いる搬器荷重数

搬器間隔係数 q		搬器荷重数 l
下限 q_1	上限 q_2	
0.7		1
0.4	~ 0.7	2
0.3	~ 0.4	3
0.2	~ 0.3	4

圖表-2/Ⅳ 垂下比等係數算出表



図表-3/M 最大張力係数算出表



図表-4/K 張力 1kg 当り弾性伸長率算出表

$$\lambda = 1/A_e E_e, E_e = 10,000 \text{ kg/mm}^2$$

索径 (φ) (mm)	λ	索径 (φ) (mm)	λ
8	0.0000384	22	0.0000053
9	0.0000303	24	0.0000042
10	0.0000250	25	0.0000039
12	0.0000180	26	0.0000036
14	0.0000135	28	0.0000032
16	0.0000094	30	0.0000028
18	0.0000076	32	0.0000025
19	0.0000069	34	0.0000021
20	0.0000063	36	0.0000019

JIS G 3525 7×6 ラング Z 裸鋼索

引用文献

- 1) 加藤誠平・堀高夫：多荷重架空索の張力算定法（第1報），日本林学会誌 Vol. 36, No. 11, 昭 29.
- 2) " " " (第2報)，日本林学会誌 Vol. 36, No. 12, 昭 29.
- 3) " " " (第3報)，日本林学会誌 Vol. 37, No. 1, 昭 30.
- 4) 山口昇：山口応力学，昭 25.
- 5) 菅名孝太郎：索道の理論と計算，p. 57, 昭 2.

第Ⅹ章 結 論

すでに第Ⅰ章序論に記した範囲において得られた本研究の成果は第Ⅱ章～第Ⅹ章に記述したとおりであつて、こゝに各章において論議した結果の要点を取纏めて結論すれば、概ね次のとおりである。

(1) 運材用索道主索の設計および検定に必要な索の線形、索長、荷重軌跡(垂下量)、張力等の諸元算定の基礎理論として、著者が静力学的解析により誘導して採用した拋物線索理論は、在来の各種基礎理論に比べて便利な点が多く、少なくとも実用上は極めて有利である。

(2) 拋物線索理論に基づく主索の線形、索長、荷重軌跡(垂下量)、張力等の諸元に関する基本公式を実験値に照合して検べた結果、その信頼度は垂曲線索理論に基づくものと変らない。しかしながらこの基本公式による主索諸元の算定値は、在来の各種公式による算定値と同様に、支点の変位、温度変化並に索の弾性伸長があるときには、実用上看過しがたい誤差を生ずる場合があり、これに対する補正を必要とする。

(3) この補正を行うために著者が誘導した補正公式による主索諸元の算定値は、実験値と良く一致し、その算定手続も比較的簡単であるから、この補正法は実用に供し得る。

(4) 搬器の運行に伴う動力学的諸影響の中、主索の設計および検定上問題となるのは衝撃の影響で、走行抵抗および遠心力等の影響はほとんど問題にならない。衝撃の影響を衝撃係数の形で示し、この係数により静力学的な搬器荷重を割増して設計荷重をきめる方法は実用上適切である。急激荷重による実験の結果衝撃係数は搬器荷重の荷重比(搬器荷重と索自重の比)にはほとんど無関係で、原索中央垂下比との間には直線的関係があることが判明した。この事実に基づき著者は原索中央垂下比の1次式で示される衝撃係数公式の採用を提案した。

(5) 上記の各種主索諸元算定法には曳索の影響を考慮に入れていない。主索と曳索を同時に考慮して主索諸元を算定する方法は理論上は正しい方法と考えるが、応用上の困難を伴う。著者は曳索が主索に与える影響を衝撃係数と類似の概念による曳索係数の形で示す方法を採用したがこれは主索諸元の算定に関する限りにおいては有効である。ただし曳索の方式に従いそれぞれ異なつた曳索係数公式を用いねばならぬという若干の欠点はある。

(6) 以上の基礎的な研究結果に立脚して、運材用索道主索の設計順序ならびに設計諸元の算定法を提示し、これに必要なかつ便利と考えられる計算図表を作製した。この設計法は運材用複線式索道中最も普遍的な、任意の支間内の搬器数が1個の場合を主たる対象として考えたものである。

(7) 主索の索張りの検定に前記の基礎理論を応用すれば、上下いずれかの支点における主索(無負荷原索)の傾斜を測定することにより、原索中央垂下比を知り得るから、これにより索張

りの程度ならびにその適否を検定し得る。

(8) 主索に打撃を与えて生ずる振動波の伝波速度の測定による索張力の物理的検定法を実験により追試した結果、この方法を実用に供し得ることが判明した。前記基礎理論の応用により、この現実主索張力の実測値より、主索に特定の搬器荷重が載荷された場合の最大張力および安全率を推定し得るので、その算定法を提示し、これに必要かつ便利と考えられる計算図表を作製した。この張力検定法は在来の張力計による検定法、または索張りの検定を基礎とする計算値による検定法に比べて、実用上はるかに有効である。

(9) 多荷重索道の主索張力に関する基本公式を拋物線索理論を基礎にして新たに誘導し、この理論式を、著者が別途に実験結果を参照しつゝ求めた半実験公式、および在来の換算等布荷重公式と比較検討して、理論式の採用が最も適当であることを認め、その応用方法として当値等布荷重法と当値垂下比等布荷重法を創案し、これを比較した結果、後者に多くの利点を見出した。

(10) これに基づき多荷重索道主索の設計法を提示するとともに、当値垂下比等布荷重法による主索最大張力およびその補正值の算定に必要な且つ便利と考えられる計算図表を作製した。この方法は任意の支間内に任意数の搬器荷重（従つて無載荷原索および搬器荷重1個の場合を含む）が懸けられる場合の算定法であつて、主索の張力算定法としては最も一般的でありかつ実用上極めて簡便な方法である。したがつてこの方法を前記の各種主索諸元の算定法および検定法中の必要な部分に併用すれば、運材用索道主索の設計および検定に関する主要な問題は大部分解決される。

Résumé

The theory and practice of skyline logging cable are described in this report. The author has established a basic theory of the skyline cable, the adequacy of which has been proved by numerous experiments performed by him. Applying the theory to the practical problems of the skyline cables used in logging operation, new methods of planning and inspection of the cable installations were investigated. The report consists of ten chapters, some important points of which are here noted.

Chap. I. Introduction.

The use of aerial cableways and other similar cable-hauling installations are rapidly increasing in this country, playing a very important role in the transport system of the modern logging industry. The result of the investigations on the characteristics and the efficiencies of the skyline hauling methods shows that, (1) the skyline methods are usually preferable from the stand point of the forest economy as well as from that of the land-conservation, (2) the technical problems of the skyline wireropes are most important which are to be solved immediately, because the economy and the safety of the logging operation depend mostly on the skyline cables, and (3) the fundamental requirements for the logging cableways are far different from those of the cableways of mining or civilengineering. Since there are too many inadequate cable installations for logging, the necessity of more progressive practice of planning and designing of the cableway is increasing. For the logging installations, the problems of the "*Bi-cable system*" cableways (alternate or endless hauling cable operation), especially with heavy concentrated loads and with long-span or long distance multiple-spans, are considered the main subjects necessitating further investigation.

Chap. II. The fundamental theory.

By the statical analyses based on the theory of the "*Parabolic cable*", the author derived a new series of the basic formulae to be used for planning the skyline cable with a single concentrated load. Comparing these formulae with the previously used ones which are based on the theory of the "*Catenary*", the superiority of the former were recognized from the stand point of practical use.

Chap. III. The reliability of the new formulae.

To prove the reliability of the new theory, the author carried out some laboratory experiments. The fundamental theory was established on the basis of statical assumptions that, there is no change in the length of the cable and no displacement of the supporting points of the cable. It was found by the experiments that the theoretical values calculated by the formulae are fairly coincident with the respective amounts obtained by the direct measurements when the behavior of the cable is strictly kept to fulfil the assumed conditions mentioned above. To the contrary, when there occurs even a slight displacement of a supporting point or a slight change in the length of the cable, the numerical values obtained from the fundamental formulae are not true, so that some adequate corrections becomes necessary.

Chap. IV. The corrective formulae.

The author observed that the need of the correction is caused by the displacement of the supporting points and the elastic elongation of the cable due to the tension increase of the cable when the carriage-load is applied to it, and also by the elongation or shortening of the cable due to the change of temperature. For these additional conditions, the author derived the corrective formulae, the accuracy of which was also proved by experimentations.

Cap. V. The effects of the impact.

Investigating the dynamic effects given to the skyline cable, the author pointed out that, the effect of an accidental impact given by the carriage-load, which may cause the vibration of the cable, is most serious, while the dynamic effects of the centrifugal force and the rolling resistance of the carriage are practically negligible. The impact-coefficients for the maximum vertical displacements, when the loads are suddenly applied, were measured, from which the author suggested the advantage of employing the empirical formula to determine the values of the coefficients.

Chap. VI. The effects of the hauling cable.

The effects of the hauling cable are very complicated. There may be both positive and negative effects, but here, only the positive effects which may increase the tension of the cable, were taken. Then the effects were considered as the coefficients of the load. For the planning of the skyline cable, the weight of the carriage-load should be modified by these coefficients, in the same manner as for the impact.

Chap. VII. Planning of the skyline cable.

The principle and the procedure of the practice of planning the skyline cables are described and several tables and charts are also provided for practical use. The merits of the author's method may be pointed out as follows. (1) The grade of tensioning of the skyline cable is indicated by the central sag-span ratio, $s=f/l_0$, where f =the central sag, and l_0 =the horizontal length of the span. (2) The curve, or the sag at any point of the original unloaded cable is given by a simple formula $f_x=m \cdot f$, where m is the coefficient determined by the horizontal distance from the lower end. (3) The curve of the locus of the carriage-load is also given by a simple formula $f_D=r \cdot f_x$, where r is the coefficient of the sag-increase relating to the situation of the carriage and the live-load ratio. (4) The displacements of the supporting points and the elastic elongation of the cable, and also the temperature change are taken into account. The corrected values of the sag and the central sag-span ratio are given by $f_D'=\varepsilon \cdot f_D$, and $s=\varepsilon \cdot s$ respectively, in which ε is the correcting coefficient. (5) The maximum tension of the loaded cable is given by the formula, $T_{P_{\max}}=W(D/A)$, where W is the total weight of the cable (the dead load) and D/A is the coefficient relating to the live-load ratio, the central sag-span ratio and the inclination of the span. (6) The corrected value of the maximum tension of the cable is given by $T_{P_{\max}}=(T_{P_{\max}})_{\varepsilon=s'}$, e. i., the correction

is made by merely substituting s' for s in the procedure of determining the value of the coefficient D/A . (7) The curves of the loaded cable lines are given by the formulae, $f_I = m_I f_D'$ and $f_{II} = m_{II} f_D'$ where m_I , m_{II} are the coefficients relating to the situation of the live-load and the live-load ratio.

Chap. VIII. Inspection of the skyline cable.

The grade of tensioning of the cable and the safety factor of it, or the allowable maximum carriage-load, should be carefully inspected. This is a very important problem in the cableway construction and operation. The grade of tensioning is indicated by the central sag-span ratio, which may be checked by the inclination angle of the cable at a supporting point. For this purpose, the author recommends the formula, $s = (\tan \alpha - \tan \theta_1)/4 = (\tan \theta_2 - \tan \alpha)/4$, in which, θ_1 or θ_2 is the inclination angle of the cable at the lower end or at the upper end respectively, and α is the inclination angle of the span. For the examination of the cable tension, the author preferred the "*Vibration wave method*". If the propagating velocity v m/sec of the mechanical vibration wave, which is given to the cable by means of striking it at one end, measured by a watch, the average tension T of the cable may be given by the theoretical formula, $T = \rho v^2$, where ρ is the linear intensity of the cable. The probable maximum tension T_{\max} of the loaded cable can be given by the formula, $T_{\max} = \gamma \cdot T$. Applying the result of the theoretical analysis, the author determined a formula for the coefficient γ , which is correlated predominantly with the live-load ratio. Thus, it is possible to presume any accurate value of the probable maximum tension of the loaded cable. The accuracy of the formula was proved by the field tests as well as by the laboratory tests. Comparing this maximum tension with the breaking strength of the wire rope, the safety factor may be easily judged. If the safety factor is to be kept within a certain limit, the amount of the allowable load is reversely determined by the coefficient γ . For these practical purposes of judgement and inspection, several conventional charts in regard to the JIS specified wire ropes were also prepared.

Chap. K. Solutions for the cableways with multiple carriage-loads.

The problems of the skyline cable span with a series of multiple concentrated carriage-loads are usually solved by the conventional method of the "*Uniform load*", in which the carriage-loads are merely assumed to be a uniform load of the same total weight. It was clarified by the authors experiment that, this conventional method is practically applicable when many carriages are hung within a span, while it is undesirable in the case of a fewer number of the carriages with heavy loads. For this reason, the author gave a general solution for the tension of the skyline cable loaded with any number of carriages, and a theoretical maximum tension formula was derived. Then the "*Theoretical formula*" was applied for the case of the cable with two equal carriage-loads, and was compared with the "*Uniform load formula*", mentioned above, and with a tentative "*Semi-empirical formula*", which was suggested by the author, based on his experiments for the same case. The comparative discussion on these three kinds of the tension-formula resulted in

the recognition of the superiority of the "*Theoretical formula*". For the practical application of the "*Theoretical formula*", two conventional methods, the "*Method of equivalent uniform load*" and the "*Method of uniform load with equivalent sag-span ratio*", were invented by the author. The latter method has the advantage of simple procedures of calculation. In this method, the maximum tension $T_{i\max}$ of the cable, with any number i of carriages, is given by the total weight of loads (including the weight of the cable) within a cable span under consideration multiplied by the coefficient ϕ , e. i., $T_{i\max} = (W + iP)\phi$. The values of the coefficient $\phi = \sqrt{1 + (4s_i + \tan\alpha)^2} / 8s_i$ can be calculated by the values of the equivalent sag-span ratio s_i and the inclination α of the span. The equivalent sag-span ratio is given by the formula, $s_i = z \cdot s$, where s is the sag-span ratio of the original unloaded cable, and z is the coefficient of the equivalency, which is determined by the live-load ratio, number of carriages, and the ratio of the distance between two adjacent carriages to the span length of the cable. The corrective formulae for the elastic elongation of the cable were also given. For these practical computations some conventional tables and charts were prepared.

Chap. X. Conclusion.

Summarizing the results of the investigations and discussions noted above the author concluded as follows:—

(1) The theory of the "*Parabolic cable*" is practically preferable for the basic theory of the logging skyline cables.

(2) The reliability of the author's basic formulae of the "*Parabolic cable*" is sufficient. But, in most cases, the displacement of the supporting points, the elastic elongation of the cable and the temperature change should be taken into account.

(3) The author's "*Corrective formulae*" for these additional conditions proved to be applicable.

(4) The effects of impact should be taken into account, and the use of the "*Impact coefficient*" is advisable.

(5) The effects of the hauling cable should be taken into account, and the use of the "*Coefficient of the hauling cable*" is also advisable.

(6) The results of these fundamental studies can be practically utilized for the planning of the skyline cable with a traveling carriage-load.

(7) For inspection of the tensioning of the skyline cable, the measurement of the inclination of the cable at the supporting point is advantageous.

(8) The "*Vibration wave method*" is very useful and practical for inspection of the cable tension and judgement of the safety factor.

(9) The result of the author's theoretical investigations on the cableways with multiple-loads showed the adequacy of the "*Uniform load method with equivalent sag-span ratio*" based on the newly derived multi-loads maximum tension formula.

(10) This theory is practically applicable and preferable for the planning of the skyline cable loaded with any number of carriage-loads.