

# トラス橋の耐力

—市川橋の應力および振動測定中間報告をかねて—

岡本舜三

橋には各種の型式がある。主なものは吊橋（清洲橋）アーチ橋（聖橋）鉸桁橋（兩國橋）トラス橋（市川橋）等である。古い時代の橋は桁橋かまたはアーチ橋であつたが、限られた長さの部材を使つてこれらの型式による長い橋を作ることは困難であつた。

文藝復興期に伊太利の建築家 Andrea Palladio はトラスすなわち細い小さい用材を巧に配列しておどろくべき僅かな材料で重荷重に耐えうる骨組を考案した。まさに天才の業績である。その後 250 年を経た 18 世紀の中間に Grubemann 兄弟がはじめてトラス橋を作つた。爾

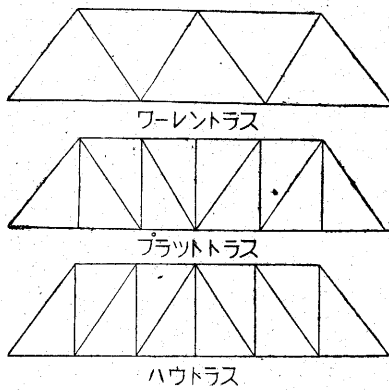
橋が古くなつてくる。通る車輛はますます大型になつてくる。われわれの通つている橋は果して安全なのだろうか？ 東京と千葉とを結ぶ問題の市川橋について應力は？ 振動は？ と検討のメスが振はれている。文字通り縁の下の力持ちにこそエンジニアリングの本姿がうかがわれる。

來幾多の改良をへて今日あるトラス橋はまことに簡素そのものである。（第1圖）荷重は橋面床版から縦桁へ縦桁から横桁へと簡明に傳へられ横桁両端からトラスの節點にかゝつてくる。

荷重による曲げモーメントは上下兩弦材によつて、剪斷力は斜材によつてとられる。各部材

に働らく力は力の釣合条件のみからきまり一次的にはあまいさは全くなく、變形も弾性論を用いれば正確に計算することができる。

橋にかかる力にはいろいろあるが、最も重要なものは橋體自身の重さと車輛の重さならびに衝擊力である。衝擊力とは車輛が動いているために加わる力でこのために橋は振動する。少しの振動は止むを得ないが、あまり大きいと通交者に悪影響を與えるし橋のためにも非常に悪い。トラスは單桁橋とともにわが國には非常に多い。橋齡もかなり古いものもあり近代的重車輛をささえるには、いささかおぼつかなくなつてきたものもある。橋の架換が經費の點で交通量に追いつけないとすれば補強かまたは消極的に荷重制限をやるかしかない。というわけで現在ある橋の耐力を知ることが重要な問題になつてきたわけである。橋が耐えうる荷重は設計の時にきめられており、竣功直後は意圖したところと多分大差はないであろう。しかし年月の経過につれて疲労摩耗ゆるみ等種々の原因から、その耐力が減つてくることが豫想され



第1圖 トラスの種類

第4巻

5月號

目次

第5號

研究

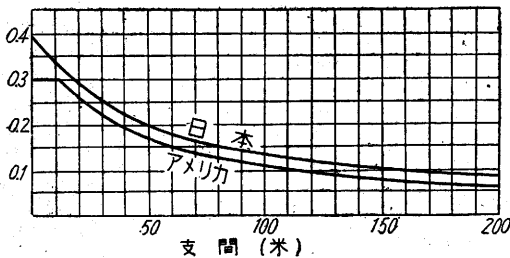
トラス橋の耐力.....岡本舜三... 1	
—市川橋よせて—	
燃料ポンプ・フランジャーの超仕上.....竹中規雄 5	雄三
益好	三
鑄物の凝固速度.....千々岩健兒... 9	
サイクロン收塵装置.....渡邊仁弘...14	端
超音波探傷器.....高木昇登...19	羽
—その實用化への歩み—	
マイクロ波導波管々壁の表面損失の測定.....齋藤成文...24	

化學的に見た漁業用纖維.....高橋武雄...27	
技術メモ	
干涉色による膜厚の測定.....安野惟夫...31	
クローン滴定法.....木本浩二...31	
速報	
9. 二次電子増倍管を用いた螢光スペクトル測定装置の試作.....白井ひで子...32	仁木榮次
海外研究情報 —5—.....福田武雄...34	白井ひで子
カリフォルニア工大、カリフォルニア工學部工學試験所	
カーネギー工大、ケース工大	
生研ニュース..... 33, 36	

る。もちろんこれらのことは見込んで安全に設計してあるから年月がたつと橋が設計荷重に耐えなくなるとはいえないが、問題は何かの理由で耐えなくなった橋がある場合または荷重状態が變つてきた場合に、現存する橋の實際の耐力を判定するには如何なる點に注目すればよいかということである。アメリカではこんな場合橋梁の斷面をその損耗程度を考慮して充分よく調査した上で、設計當時行つた計算をして耐力を規定するようにきめられている。正しい行きかただと思われるが、これを實行するに當つてはなおいろいろ考へべき點がある。以下これに關聯あることについて若干所感を述べあわせて昨秋行つた國道市川橋實測結果を報告しようと思ふ。

2.

橋にかかる荷重のうちで設計荷重とかなり異なることのありうるものは衝擊作用である。普通衝擊作用の尺度として荷重が靜かに加わつた場合と走行した場合の撓みを比較して増加した撓みの百分率を以てし、これを衝擊係數とよんでいる。これは橋が長いほど小さく、示方書では第2圖のように定めている。しかし實際の橋の場合、

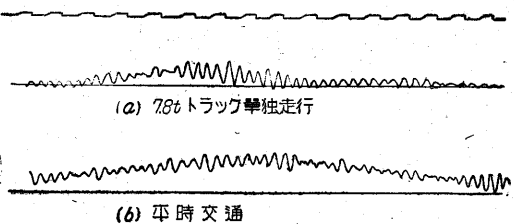


第2圖 衝擊係數

合、橋面の損傷等によつてこの規定より大きな衝擊を生ずる場合がある。だから現在橋梁の耐力判定に當つては、まずこの點が注目されるのである。ところで荷重の與える衝擊力の大きさは、大體はその重さに比例するものであるが、その比率は車輛の構造、速さ、橋の長さ、構造、路面の狀況等によつていちじるしく變る。その因子が餘りに輻射しているために理論的に算出することはかなり困難なことなのである。一通りの筋道をつけるためには理論はなくしてはならないが、實際問題にまでこれを應用するにはそこにどうしても實際的研究がなされねばならない。そんなわけで橋の衝擊實驗は數多く行われた。その方法は通行荷重による橋の振動状態を調べるのである。イギリスの Inglis アメリカの Schneider 等はこの方面の先覺者であるが、現在ではこの方面で最も活潑にやつているのは米ソ兩國であるように思われる。トラスの振動試験で普通に行われることは橋全體としての振動的撓み週期および減衰率の測定や各部材の部材應力および局部應力の測定である。トラス試験で撓みを測るには、ガイゲル撓度計(橋と地面の間にピアノ線を張り、

その間に蔓巻バネを入れ、バネの上部に適當な倍率をもつた記録装置をつけて橋の動きをインクで書かせる)が使われる、これで普通の振動の記録ならばとれるので、また振動計としても使われる。橋の振動のみをとる場合には橋上に地震計(變位計および加速度計)をおく場合もあり減衰係數を調べるにはこの方がよい。部材の應力を測るには從來は機械的振動應力計(變位を槌子で擴大し回轉ドラム上に記録させる)や炭素變位計(壓力によつて炭素盤の電氣抵抗の變化することを利用したもの)が用いられたが、最近急に發達した抵抗線型歪計が今後は廣く利用されそうな趨勢である。これはまだ取付け方法などに種々の問題があり試験時代といえるが、極めて局部的な應力を測りうることに、同時に多數點の記録がとりうることに等いろいろの利點がある。わが國では市川橋や瀬田川鐵道橋で使用されたが、まだ結果は公表されていない。しかしそれが充分に活用される日はもう目前にきているように思えるのである。

トラスの動的振動試験で普通やることは、重さのわかつた車輛を一臺種々の早さで通過させて橋の撓みを刻々に記録することである。われわれも市川橋の實測ではこの方法をとつた。しかし後から考えてみるとこの方法は問題の焦點を逸するところがなくもない。鐵道橋で機關車を通して見る實驗ならばそれが比較的實際に近いものとして意義も多いが、道路橋の場合は實際には多數の車輛が同時に通るのであるから一般交通をとめて一臺だけ車を通して測つた結果が、どの程度實際のものと同連があるかは問題である。自動車5臺通した場合の橋の振動振幅は1臺の場合の5倍よりははるかに小さい。荷重がひろがるほど衝擊作用は比較的には少なくなることを考えると、上記關連性に關するくわしい研究を缺いては單獨走行車輛による實驗の意義が乏しくなる。



第3圖 トラス中央點の撓み

市川橋の實測を第3圖に示そう。(a)は7.8tのトラックが1臺25km/hの速さで通つた場合(b)は交通制限解除直後大型バス、トラック等の一群が推定時速20km弱の早さで相ついで通つた時の記録である。比較してみると全體の撓みは後者が大きいけれども衝擊係數は前者の81%に對し後者は37%にすぎない。設計において見込まれるような滿載荷重ならばこの比率はさらに小さいに違いない。實際この橋の長さからすれば設計において計上すべき衝擊率は日本の規則によれば19.3%、アメ

リカの示方書によれば 16.4% である。この橋の衝撃係数はこれに比して大きすぎるようには思えるが、單獨走行荷重の試験のみからは適確には示方書と比較しにくいのであつて、この點はさらに調べてみねばならないことである。橋の衝撃が示方書より大きいということは設計當時豫想したより危険な状態であることを示すのであるから、その原因を探して、これを除く必要がある。それには衝撃の原因を考えねばならぬが橋の動的撓度の原因としては、橋體および車輛の慣性、遠心力およびコリオリの力、車輛のバネによる振動、機關車の打錠作用、路面または軌條面の不陸による衝撃作用等がある。最後の原因以外のものは理論的に扱えるので Zimmerman, Stokes, Krilof, Timoshenko, Inglis, Steuding 等の研究があるが、残念なことに道路橋の場合大部分の影響は取り残された最後の原因によるらしいのである。ことに耐力の判定が必要なような振動のひどい橋ではとくにそうであろう。

そこで路面状態の調査が必要となつてくる。日本のコンクリート舗装示方書によると仕上面の凸凹は長さ3米につき5耗以下となつており、アメリカの示方書では橋面舗装の場合コンクリートでは 10 呎につき 1/8 吋、タール系では 1/4 吋まで許している。しかし舗装面の實情はまちまちで一般にこれより粗いようである。走行中に自動車に加わる加速度をベドメーターで測つた記録は少くないが、実際に物指して路面の凹凸を測つたものは存外少ない。當所星塾教授の主宰する研究班が都内數地點で測定された記録によると、高級舗装の場合 2mm の振幅の凹凸が最も多くその波長は數十種程度である。たまにしかないが 15 mm に達する振幅もある。橋面は舗装のうちでは一般に維持が行きとどいてるのが常であるが、この程度の凹凸は豫想しうるのであろう。橋面凹凸の一波長を車がすぎる時間が橋の自己振動週期に一致すれば、いわゆる共振によつて衝撃が大きくなるのは明かなことであるが、市川橋の場合自己振動週期が 0.3 秒であるから、もし前記のような波長ならば普通の早さで走る限りこのような共振はおこるはずはない。してみると一番ありそうな原因は橋の比較的中央部に凸または凹部があつて、そこを前輪および後輪が通るたびに衝撃を興えることである。車軸間隔は 4m あるから時速 48km の時は共振をおこして大きな衝撃をおこすわけである。實測の結果にもこの性質が表れているが、さらに時速 25km 附近でも衝撃が大きいようである。この原因はまだよくわからないのであるが、もし橋の中央部におたがいに 2m はなれて二つの凸部または凹部があつたとすれば、このようなことがあるわけである。市川橋のような交通量の多い橋では路面が非常にいたみやすく、表面アスファルト塗装がはげて穴ができるとその部分だけ新しいアスファルトをつめて修理するのが常である。そのた

めに局部的に大きな凸部が人工的に作られているのはしばしば見るところであつて、これが案外大きな衝撃を橋に興えるらしいのである。もし橋面不陸と衝撃の關係がはつきりすれば、今後橋面を修理することによつてどの程度橋の耐力をとり戻しうるかを豫想しうるわけである。筆者は今ちよう都市川橋の不陸度を實測しつつあるが、それにひきつづき當局に依頼して橋面舗装をし、再び振動験測をして橋の振動状況の變化を比較したいと思つている。

### 3.

橋梁工學の進歩した今日ではトラスが一次的な應力によつて破壊するというはまずあるまい。問題は二次應力にある。二次應力はトラスの一次應力および變形と密接な關係があるから、これらの諸量が計算値と一致しているかどうかを確かめることも橋の耐力を判定する上に必要なことである。そこで靜的載荷による試験が行われることになるのである。靜的撓みを測るには地上に槽をくんでトラスとの間に直接ダイヤルゲージを入れるのが經費は少しかかるけれども一番確實な方法である。部材の一次應力測定にはヒューゲンベルガー歪計を使う。銜接部の二次應力はこの計器では測れないが、市川橋では當所池田教授考案の電氣容量型歪計を用いてよい結果を得た。これは數耗のゲージ長の變化を電氣容量の變化にかえて擴大測定するものである。とくに靜的試験がトラスの場合に興味深いことは先に述べたようにその理論計算に疑う餘地がほとんどないことである。したがつて測定の結果を理論と比較した場合もし両者が一致しなければどこに原因があるかを究明することによつて案外容易に問題の本質にふれることができるからである。筆者は市川橋試験の際計算と實測は前述の理により大體合うものと豫想していたが、實際には實測應力と計算應力の比は下弦材で約 0.4 上弦材で約 1.1 斜材では大體一致し橋の中央點の撓では實測値は計算値の 0.81 であつた。

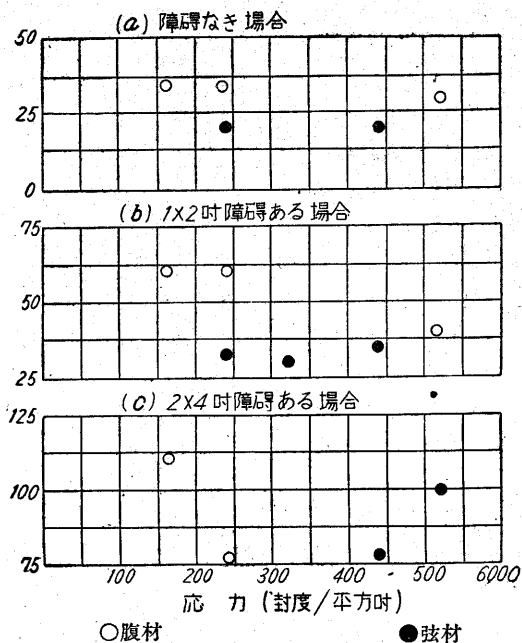
このような差異があることは今度はじめて発見されたことではなく外國の文獻などにはのつていたことではあるが、しかし必ずしもよく認識されているとはいへないと思う。トラスには計算通りの應力が生じていると思つている人は多いし、ことに下弦材の應力が計算値の約 1/2 にすぎないことはたしかに耳新しいことである。この原因は縦桁にあるのではないかと福田教授の示唆により計算を試みたら大體そのようであつた。普通の計算では縦桁はトラスの中に入れていないが、實際には入るものらしい。このために下弦材の應力はいちじるしくさがり、そのかわり下弦材の中心軸線が上がるために上弦材の應力が大きくなる。實際の應力が計算の 40% ならば安全ではないかと安心ばかりもしておられない、というのはこれは縦桁に餘分の力がかかつていることを示すもので、運悪く大きな力が急に加わるようなことがあ

れば縦桁を床桁とつないでいるリベットが破壊するかも知れないのである。鐵道橋に対するトラスの撓みが計算値の0.786~0.840であるところにおける8個の橋の験測の結果報告されているが、市川橋の例をみると道路橋でも同程度のものである。ただこの原因が部材の銜結にあるとする説明には疑問があり、縦桁がきいていると考える方が適當ではないかと思つている。

## 4.

前にも述べたように橋の破壊が主として2次の應力により年月を経たための損傷もまた節點銜結部にあるとすれば直接にはこれらの應力をはかることが、間接には走行荷重による撓み量を知ることが橋の耐力を判定する資料を興えることになる。これらの資料をもとにして2次應力の大きさを計算すれば、このような野外實驗に平行して行われている部材の繼手の強さ、あるいはまた疲労強さ等に関する室内實驗の結果を利用して橋の耐える荷重を想定することができるであろう。また耐力を補う方策としては衝撃力を軽減すること、橋の剛度をますこと等が考えられる。衝撃力の軽減には橋面を補修し平滑にすることが非常に役立つし、また數連にわたる橋梁では隣接區間との接合部に高低差を生じないよう橋面を施工することも必要である。ここにある高低差のために橋梁特に床構がはげしい衝撃をうけることは實驗すればただちに気付くことである。路面を修理した場合衝撃係数はどの程度までにさげうるかについては、目下調査しているが未だ結論しうるまでに至つていない。しかし橋體の慣性、遠心力等先にのべた理論的計算の可能なものについて數值的に計算してみると、これらの影響は市川橋の主桁に対する場合は、たかだか10%程度にすぎない。したがつて路面修理をすれば衝撃係数は現在よりいちじるしく低下し示方書に定められた値程度またはそれ以下になるものと思われる。

第4圖はコンクリート鋪装の場合縦桁にくる衝撃が橋面に障礙物がある場合とない場合にどう變るかを示したアメリカの實驗結果であるが、これをも表面凹凸の影響程度を大體知ることができる。次に一部部材の斷面を増補して橋の剛性を増せば補強された部材の應力が減ずることはいうまでもないが、全體としての變形が少くなるので2次應力がかなり減少する。このことはリベット近傍の局部的な集中應力をも減じ部材強度特に衝撃および疲労強度をたかめ橋の耐力をますことになるものと思われる。一體橋の撓みはどの程度であるかというに、市川橋(支間54m幅員7.2m)の場合は中央に砂利をつんだ約7.8tonのトラックをのせたとき靜的撓みは1.05耗であつた。このうち上弦材、下弦材、腹材、垂直材の各變形による影響はそれぞれ40.3%、5.9%、50.3%、3.5%と推定され腹材の影響最も多く上弦材これにつき下弦材垂直材の影響は微少である。下弦材の影響がこの



○腹材 ●弦材  
第4圖 支間150呎橋梁衝擊係數

ように小さくなつたのは縦桁が共同に働くためでもなくば比率は29.1%、26.6%、41.5%、2.8%となる。これらを比較考慮すると斜材を補強することが橋の撓みを減ずるのに有効なことが知られる。二次應力のくわしい性質についてはまだはつきりしない點もあるが、大體においていえることは弦材については橋の中央部に大きく腹材については端部に大きいことである。その材端モーメントは腹材より弦材の方がかなり大きい部材斷面の剛性を考慮すれば腹材の應力も弦材のそれとほぼ同程度になり、殊に垂直材において大きい。當然のことであるが部材の二次應力はその部材の剛性がませば増大し斷面積が増せば減ずるのが普通である。したがつて部材の斷面を増す時にその剛性は變らないように工夫した方がよい結果を興えるであろう。熔接技術の進歩によつて既設橋梁の斷面補強が確實にできるようになつたので、最近ではこの方法による橋梁補強がさかんになつてきた。わが國ではことに鐵道橋にその例が多いようである。猶以上にはもつぱら主桁についてのべ床構造にはふれなかつたが、床構造のように自己重量の少ないものでは、車輛の重量増加の影響がいちじるしいので設計當時は豫想もしていなかつた超重量の軍用車輛等が通る時は縦桁などは多分危險な限界に達しているであろう。したがつて橋の耐力については床構造も重要な問題であることを指摘しておきたいと思う。

終りに市川橋験測は東大生産技術研究所福田、池田、兩教授、久保助教授および建設省土木研究所谷藤、安部、兩技官との協同研究であつて實施については千葉縣廳土木部道路課の絶大な援助をうけたことを記して深く感謝の意を表する次第である。