

架線静特性シミュレータ

A Simulation for the Calculation of the Static Behavior of Contact-line Systems in the Electric Railway

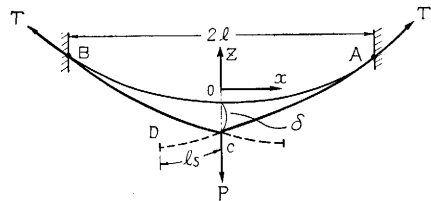
柴田 碧・井原 博

1. はし が き

鉄道の集電用架線の静特性、いわゆる押上特性は文字通り静的なものではあるが、この押上量の場所的変動がパンタグラフ・架線系の強制振動の励振項に相当するので、高速運転時の動特性と大きな関係を有する。したがって静特性の様な架線を設計することが、高速集電を円滑に行なうためにぜひとも必要である。その要求をほぼ満たしたものに国鉄技研電車線研究室などの手により考案された連続網目架線がある。この架線は線条数が4本ありかなり複雑である。これを多少でも構造を変えた場合その押上特性がどのように変化するかはかなり難しい問題である。元来架線は線型の系として扱えるものではあるが、それを解くことは変数が多いため、またその架線構造によりもとの式のかたちが異なるためかなりの手間を要する。したがって新しい架線についてそれを知りたい場合にはむしろ数スパン分の実物架線を架設しその特性を測定するといったことが行なわれている。計算した例としては前記鉄研電車線研究室の糸沢氏のシンプル・カテナリの例¹⁾がある位である。ところがここ2、3年来、新幹線用として使える新しい形式の架線の調査が行なわれるようになった。この場合は数多く形式について検討しなくてはならないのであるが、上述のように実物架線を架設して、その特性を測定することを数多く実施することはいろいろの面から行ない難いので、1/10寸法の模型が使われた²⁾。この場合には架線の梁としての性質(曲げ剛性)の影響が縮尺とともに大きく現われるのを防ぐために鎖が使われている。しかしこれであってもその長さは10m以上となり簡便であるとは云えない。そこで架線系が後述のようにほぼ線型の系であることから電気抵抗網でシミュレートすることを著者らは考えた。この方法によると架線構造の変更も容易であり、また線条間のハンガ(結合部材)をばねで置き換えた合成素子使用の架線についてもその押上特性を求めることができる。また当然のことながら規則的な部分のみならず吊架形式を変える点の前後の過渡的な変化も知ることができる。これについては高速集電に関する論文³⁾の一部にごくそのあらましを述べたが以下やや詳しく記す。

2. 架線の基礎式

第1図のようにスパン長さ $2l$ 、張力 T の弦の中央に荷重 P を加えることを考える。無荷重の場合は弦の重



第1図 懸垂曲線

量によりいわゆる懸垂曲線

$$z = \frac{T}{w} \left[\cosh \frac{w}{T} l - \cosh \frac{w}{T} x \right] \quad (1)$$

を形成する。荷重時はこれが

$$z' = \frac{T}{w} \left[\cosh \frac{w}{T} (l + l_0) - \cosh \frac{w}{T} (x + l_0) \right] \quad (2)$$

となる。ただし $w l_0 = \frac{P}{2}$ であり、 w は弦の単位長さ当たりの重さである。したがって荷重 P による荷重点のたわみ y は

$$\begin{aligned} y &= z_{x=0} - z_{x=0} \\ &= \frac{T}{w} \left[\cosh \frac{P}{2T} \cosh \frac{wl}{T} + \sinh \frac{P}{2T} \sinh \frac{wl}{T} - \cosh \frac{wl}{T} \right] \quad (3) \end{aligned}$$

で与えられる。ここで張力 T にくらべ弦重量 wl 、荷重 P が十分小さいとする。($T=1000$ Kg, $wl=10$ Kg, $P=6$ Kg 程度である)。これにより $\frac{P}{2T}$, $\frac{wl}{T}$ がそれぞれ1より十分小さいということがいえるので、 \cosh , \sinh などを展開し、乗算を行なった後3次以上の項を省略する。すると

$$\begin{aligned} y &= \frac{T}{w} \left[\left(\frac{P}{2T} \right)^2 + \left(\frac{P}{2T} \right) \cdot \left(\frac{wl}{T} \right) \right] \\ &= \frac{Pl}{2T} \left(1 + \frac{P}{2wl} \right) \quad (3') \end{aligned}$$

となる。荷重点のばね定数 k を求めると

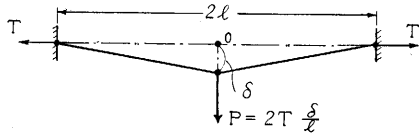
$$k = \frac{P}{y} = \frac{2T}{l} \left(\frac{1}{1 + \frac{P}{2wl}} \right) \quad (4)$$

荷重と弦の総重量との比が十分大ならば線型の系として取り扱えるわけである。実際の架線について検討してみるとハンガ間についてはこの比はあまり大きくなく線型として扱うのはやや精度の悪い近似である。しかし全体の押上特性はスパン長さの弦についての問題であり、この総重量 ($2wl$) は200kg位である。したがって線型とみなしてほぼ差し支えないと云える。もちろん張力 T に比べて wl はまだ小さい。ゆえに

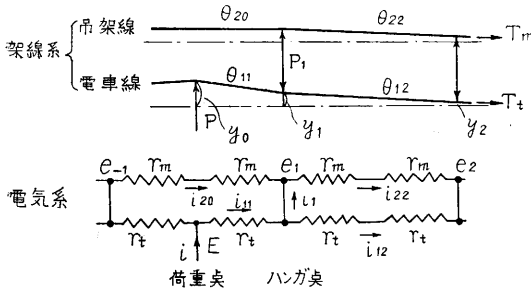
研究速報

$$y = \frac{Pl}{2T} \text{ または } k = \frac{2T}{l} \quad (4)$$

これは重量によるたれ下がりを考えない単純な直線状の弦(第2図)の特性である。



第2図 理想化した弦



第3図 架線系と等価電気抵抗網

3. 電気系との相似関係

第3図のように架線, 抵抗網をそれぞれ考える。架線張力 T は線条によりそれぞれ異なる。荷重点に相当するところに電圧 E を加え, その点の流入電流を i とする。ハンガ点で両者の間に働く力は p_i とする。

荷重点では

$$P = T \left\{ \frac{y_0 - y_1}{l} - \frac{y_{-1} - y_0}{l} \right\} = \frac{T}{l} \{ (y_0 - y_1) + (y_0 - y_{-1}) \} \quad (5A)$$

となる。この点でのばね定数は

$$k_0 = \frac{P}{y_0} = \frac{T}{l} \left\{ \left(1 - \frac{y_1}{y_0}\right) + \left(1 - \frac{y_{-1}}{y_0}\right) \right\} = \frac{T}{l} \gamma \quad (6A)$$

ただし

$$\gamma = \left(1 - \frac{y_1}{y_0}\right) + \left(1 - \frac{y_{-1}}{y_0}\right) \quad (7A)$$

単位押上量 α_0 は

$$\alpha_0 = \frac{1}{k_0} = \frac{l}{\gamma T} \quad (8A)$$

で与えられる。次にある節点(ハンガ点)では上向きの力を正とすると第1線については

$$-p_1 = T_t(\theta_{12} - \theta_{11})$$

となり, 第2線については

$$p_1 = T_m(\theta_{22} - \theta_{20})$$

となる。ただし θ は線の勾配である。これらから p_1 を消去し

$$\tau = \frac{T_m}{T_t} \quad (9A)$$

とすると

$$\tau\theta_{20} + \theta_{11} - \tau\theta_{22} - \theta_{12} = 0 \quad (10A)$$

なる関係が得られる。

一方電気系について同様の式を書いてゆくと次のようになる。相当する式の番号は同じでBとしてある。加圧点では

$$i = \frac{E - e_1}{r} - \frac{e_{-1} - E}{r} = \frac{1}{r} \{ (E - e_1) + (E - e_{-1}) \} \quad (5B)$$

となる。この点でのコンダクタンスは

$$G_0 = \frac{i}{E} = \frac{1}{r_t} \left\{ \left(1 - \frac{e_1}{E}\right) + \left(1 - \frac{e_{-1}}{E}\right) \right\} = \frac{1}{r_t} \gamma \quad (6B)$$

ただし

$$\gamma = \left(1 - \frac{e_1}{E}\right) + \left(1 - \frac{e_{-1}}{E}\right) \quad (7B)$$

あるいは

$$\gamma = \frac{i}{E} r_t \quad (7B')$$

としても求まる。さらにある節点で, 上向きの電流を i_1 とすると第1列については

$$-i_1 = i_{12} - i_{11}$$

となり, 第2列については

$$i_1 = i_{22} - i_{20}$$

となる。これより i_1 を消去すると

$$i_{20} + i_{11} - i_{22} - i_{12} = 0 \quad (10B)$$

が得られる。

ここで勾配, 電流の式をそれぞれの系について書いてみると

$$\left. \begin{aligned} \theta_{22} &= \frac{y_1 - y_2}{2l}, & \theta_{20} &= \frac{y_{-1} - y_1}{2l} \\ \theta_{12} &= \frac{y_1 - y_2}{2l}, & \theta_{11} &= \frac{y_0 - y_1}{l} \end{aligned} \right\} \quad (11A)$$

$$\left. \begin{aligned} i_{22} &= \frac{e_1 - e_2}{2r_m}, & i_{20} &= \frac{e_{-1} - e_1}{2r_m} \\ i_{12} &= \frac{e_1 - e_2}{2r_t}, & i_{11} &= \frac{E - e_1}{r_t} \end{aligned} \right\} \quad (11B)$$

となるが, ここで

$$\tau = \frac{r_t}{r_m} \quad (9B)$$

とすると

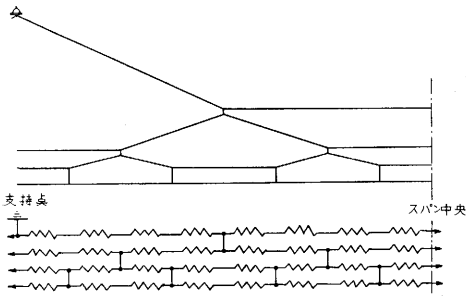
$$i_{22} = \tau \frac{e_1 - e_2}{2r_t}$$

などを書け

$$\begin{aligned} i_{22} &\leftrightarrow \tau\theta_{22}, & i_{20} &\leftrightarrow \tau\theta_{20} \\ i_{11} &\leftrightarrow \theta_{11}, & i_{12} &\leftrightarrow \theta_{12} \end{aligned}$$

などの対応が成立する。

このようにして



第 4 図 連続網目架線と等価回路

電圧↔変位, 電流↔勾配 (力)

の対応があるので、たとえば連続網目架線ならば第 4 図のように、その形状をそのまま抵抗回路網に直し、その一点に加圧して各点の電圧分布を求めれば、それは架線の一点を押上げたときの変形曲線に相似な形となる。単位押上量の値そのものは γ を (7B) 式あるいは (7B') 式から求め (8A) 式に入れることにより求まる。したがって荷重点以外の j 点における変位量は

$$\alpha_j = \frac{e_j}{E} \alpha_0 \quad (12)$$

で得られる。ただし γ を求める際に注意しなければならないことは (7B) 式はハンガ間中央に荷重点があるときのものでハンガ間に荷重した場合は別の式となる。したがって一般には加圧点での見掛けのコンダクタンス $G = \frac{i}{E}$ を測定して、それから (7B') 式で γ を求める方がよい。

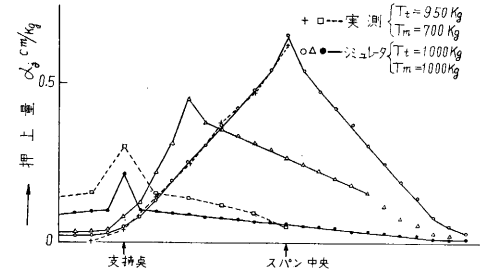
最近連続網目架線にくらべ、簡単な構造で同じ特性を得るためにハンガにばねとダンパから成る素子を挿入した合成架線の研究が行なわれている。静的にはダンパは無視できるのでばね (定数 k_j) の存在のみを考えると、この抵抗網では節点の抵抗値 r_j は

$$r_j = \frac{T_j l}{k_j} r_i \quad (13)$$

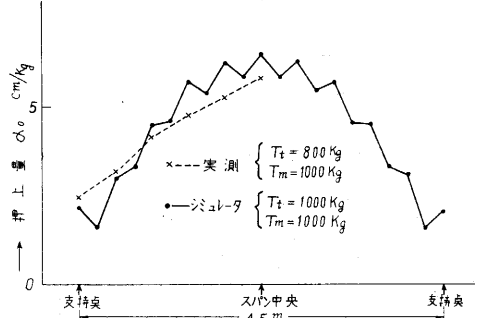
で与えられる。この場合押上特性が一樣になるように各ハンガに素子を入れる必要があるわけであるが、隣接の素子の値が押上量に影響するので正確にその値を求めることは簡単でない。しかしこのシミュレータでは節点抵抗 r_j を可変にしておけば試行法で比較的簡単に求めることができる。

4. 実験と測定結果

抵抗素子に 100Ω のものを使い、各線條の張力が等しい場合について実験してみた。抵抗は 5% 精度のものを用い、網目架線 1 スパン分 (16個 \times 4 列) を 1 単位としてベークライト板に取り付け、ハンガはハンダ付けにより簡単に位置を変えられるようにした。抵抗の真値は $96.5 \sim 97.0 \Omega$ を中心に分散しているので同一線上にな

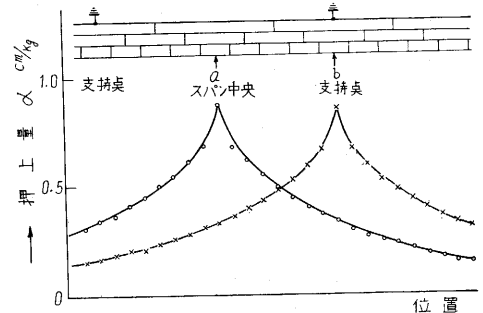


第 5 図 シンプル・カタナリ変形曲線



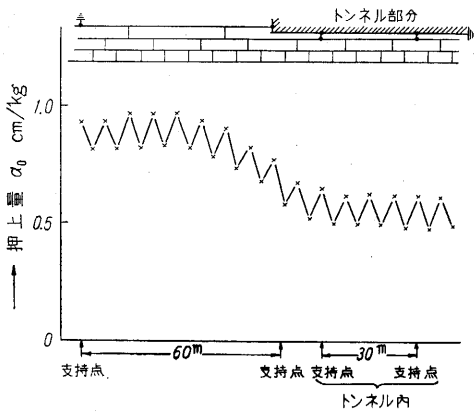
第 6 図 シンプル・カタナリ押上特性

らぶ抵抗素子の抵抗値に大きな差がないように配列した。線條間の抵抗値の差は張力の差に相当し実験結果にはさして響かないが、隣接した素子の差はハンガ間隔の差に相当しわずかであっても、変形曲線などに大きな歪を生じてしまう。電源は $6 \sim 4V$ の電池を用い電圧、流入電流、電圧分布を測定する。第 5 図はシンプル・カタナリ架線の変形曲線である。第 5、6 図とも同じであるが破線は実物の架線での測定結果を示す。張力などの条件が若干異なるので厳密にはくらべられないが、大体は合っている。第 6 図はやはりシンプル・カタナリ架線の押上特性曲線である。第 7 図は連続網目架線の変形曲線



第 7 図 連続網目架線変形曲線

である。シンプル・カタナリでは支持点で変形が押えられて隣接スパンにはほとんど及ばないが、この場合の変形の及ぶ範囲はずっと広い。実物についての詳しい測定はされていないが定性的にはこのようなことがいわれている。第 8 図は連続網目架線で、トンネル入口で 1 線を省略した際の過渡変化を示している。もちろん、トンネ



第8図 連続網目架線押上量曲線

ル内外とも過渡点以外ではきわめて一様である。ただし実測値にくらべて約2倍の値となっている。シンプル・カテナリ架線のかかなり厳密な計算に対しても実測値は小さく出る傾向があるので、これは主として架線各部の有する摩擦性抵抗のためと考えているが詳しくは検討していない。

5. あとがき

簡単には計算することはできない任意の架線構造の押上特性を近似的に求めるシミュレータについて述べた。これによりたとえ第8図の例ならば、動的解析と合わせて、トンネル入口に緩め架線を挿入することの必要はないだろうといったおおよその検討が簡単にできる。架線の動特性についてはLとCを使ってやはりこのような回路構成により任意の架線構造について行なうことができる。

この研究は鉄道電化協会集電第4専門委員会の仕事の一部として行なわれたものであり、ご討論いただいた委員各位に厚くお礼を申し上げる。(1960.12.2)

参考文献

- 1) 桑沢, 集電研究委資料, 4—123, (1960).
- 2) 桑沢, 集電研究委資料, 4—91, (1958).
- 3) 柴田, 機械学会誌, 63, 499, (1960) 1118.
- 4) 柴田, 井原, 電気四学会連合講演会前刷(札幌)(1960) 773.
- 5) 柴田, 井原, 集電研究委資料, 4—137, (1960).
- 6) 柴田, 井原, 集電研究委資料, 4—147, (1960).

次号予告 (3月号)

高分子特集号

特集	高分子工業の史的展望 (総説にかえて)	高橋 武雄
	鎖状高分子の物性と熱運動 (高分子物性論の2章)	祖父江 寛
	二三の新しい高分子合成	井本 稔 大津 隆行
	アルデヒド類の高分子化学 への最近の応用	斎藤 篤二 高橋 章一
	レオロジー (その一般論と高分子 子電解質についての問題)	妹尾 学
	高分子溶融物の流動性	神戸博太郎
	高分子材料の電気技術の応用	川井 栄一
	合成高分子に関する分析法の 最近の進歩	武内 次夫

東京大学生産技術研究所報告予告

第10巻 第4号

吉弘芳郎・中村亦夫著

「デンプン糖の色と5オキシメチルフルフラールの関係について」

この報告はデンプン糖の色に関する基礎研究として、着色における5オキシメチルフルフラール(HMF)の役割を系統的に研究した結果を述べたものである。

内容はまずレブリン酸を含むブドウ糖溶液中の微量HMFを正確に定量する方法を確立し、この定量法を用いてブドウ糖溶液を酸糖化法によるデンプン糖の製造条件で加熱したときの着色とHMFの量的関係をいろいろの角度からしらべ、これより着色に対するHMFの役割について研究したものである。

この研究により、HMFはこれまでデンプン糖の着色の主要因子とされてきたが、この考え方は不備であり、HMFは着色の主要因子でなく、着色に伴って生成されるものであることを理論的にもまた実験的にも証明した。