

(PS 13C パンタグラフ突放し位置)

決してそうではなく、戦時中から戦後にかけて一時かなり緩慢だった国鉄の技術面の進歩もここ数年来非常に勢いを示し始めた。この原因としては現実面からの要求によることの他に、戦時中軍関係に集中していた多くの研究者が戦後鉄道に入り他の分野の技術方法を大幅に導入した点にある。これにより飛躍的發展をなした部門もいくつかあり、長年 95 km/h であった最高速度も次第に引上げられ、非営業では 150 km/h にまで達しようとしている。そしてさらに広軌新幹線では 250 km/h という超高速が目標とされている。こうして列車の運転速度が引上げられて来ると、それを障げるものは意外なところから現われる。障害は理論的に予想されるもの、走って気付くもの等さまざまであるが、一般的な見地からはかなり余想外のことで多い。その一つはブレーキであり、他の一つは集電の問題である。かくれた問題点が高速を保つことにあるのではなく、むしろ加減速に関係のある事であるのは面白い。著者はここ 2、3 年来この後者の問題に関係して来たのでその経過等についてざっと紹介したい。

現在、国有鉄道で使用している集電方式は架空線式である。吊架線（鋼索線に懸垂曲線をなす）と、それに吊り下げられている水平に張られた硬銅線—電車線から成るシンプルカテナリ方式架線が設けられ、それを車上にあるパンタグラフで下から押上げるようにして摺動して集電している。

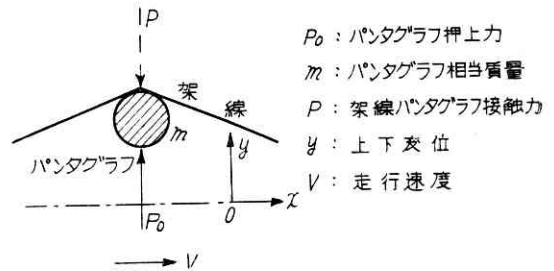
さてパンタグラフで必要なことはつねに架線と接触していて連続的に集電するということである。

しかし現実にはパンタグラフと架線間でアークを生じたりせぬように連続的に集電することは大変困難であり、短くて 0.01 秒から長くなると 1 秒近くに亘ってパンタグラフと架線が離れアークを生じ、さらには停電状態にさえなってしまうのである。離れている時間が 0.1 秒程度以上の離線は大離線といわれるが、これが電車運転に最も大きな影響を与えるものである。たとえば主電動機の閃絡、補助電源電圧の不安定、機械的衝動の発生その他いろいろの障害をもたらすが、特に困るのは集電が十

パンタグラフの力学

柴田 碧

分に行われないと電力が十分得られず、加速が悪くなりそれ以上の速度の増加を妨げることである。これにより集電の不安定な状態から抜け出すことが困難になり、副次的な事故の発生の確率を高め高速化の障害となる。この大きな離線は架線を支持しているビームの下を通過した後に発生するので、架線構造に原因があることは判っており、一部では架線構造による離線とも呼ばれて来た。この種の離線は比較的速度の高い方 110 km/h ~ 120 km/h 以上で起ることが多いので、近年までは我国では余り問題にされていなかったが、運転許容速度の高速化に伴ってそれを阻止する大きな原因の一つとしてクローズ・アップされるようになった。しかし、この現象は今までもなかったわけではない。昭和初年に輸入された大型パンタグラフを使用している線区では 60 ~ 80 km/h 付近あるいはそれ以下であっても、大離線が発生し運転上の障害は勿論のこと夜など車内の直列電灯が派手に明滅して乗客にまで相当な影響をもたらしていた。この種の離線に対する理論は 1939 年ドイツの J. Beier によって提唱されたものが通説になっていた。パンタグラフは一見複雑な機構を有しているが力学的に考えると質点を下から一定の力で押し上げているもので代表できる。



第 1 図 パンタグラフ・モデル

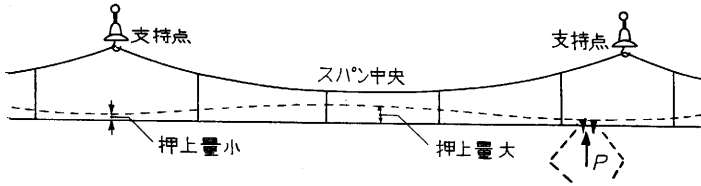
第 1 図で押上力 P で表わされている力は、実際にばねによって枠組を支えている力から、その重量分を除いた正味の力、つまりパンタグラフを架線に押付けている力である。この力の大きさは通常のパンタグラフで約 6 kg 位である。

ここで今までの離線についての考え方を簡単に述べると架線は動かないもの（剛体）と考え、それにパンタグラフの摺体が P_0 という一定の押上力で押付けられて走行するとしていた。したがって架線に凸凹があると、摺体の慣性で架線が凹ならば両者の間に大きな接触力が働

き、凸ならば接触力が減じ、場合によってはそこを過ぎた瞬間パンタグラフは跳躍して離線が生ずると考えられていた。つまり慣性力

$m \frac{d^2y}{dt^2} = mV^2 \frac{d^2y}{dx^2}$ が押上力 P_0 より大になると離線が生ずるといふわけである ($\frac{d^2y}{dx^2}$ は架線の曲率である)。

しかし実際の架線は前述のように水平な直線に張られていて、支持点 (ビーム下) を通過する毎に離線が発生する程の凹凸はない。この点については次のように説明されて来た。架線を一定の力で押上げて見ると押上る量



第2図 押上量曲線

が支持点下では最も小さくスパン中央では大きい。したがって架線をパンタグラフが一定の押上力で押上げて通るとすると、その軌跡は第2図のようになり、支持点の付近では凸 (下向きに) になってそれでパンタグラフが跳躍するのである。この説明は次の点で矛盾している架線を押し上げその曲線を形作るのは押上力そのものでなく押上力から慣性力を減じた接触力

$$P = P_0 - m \frac{d^2y}{dt^2} \quad (1)$$

であり、離線するときはこの力 P が零になった時である。したがってその場合は第2図のような曲線を形作る力自身が消滅してしまう。剛体と考えた架線の変形曲線が、実はパンタグラフの接触力 P によって変化する性質のものであったわけである。このように考えて行くと次のようなことがわかる。低速では慣性力が小さいから一定の押上力の押上げた際の第2図のような変形曲線になるが、速度が高くなって来ると、支持点付近ではパンタグラフの運動が下に凸であるから、慣性力により接触力は減じ、その変形曲線は次第にパンタグラフのない場合に近づく。逆にスパン中央では下に凹であるから接触力は増し架線は持ち上げられる。このように架線の変形量が大きくなると、パンタグラフに働く慣性力が大きくなり変形量がさらに大きくなるように接触力は変化して行く。このようにして架線とパンタグラフの振幅は一方向的に増加し不安定になってしまふ。このような速度を限界速度という。この限界速度をもうすこしはっきり捕えるためには次のように考える。架線のある一点で押上げるとその押上った量は押上力に大体比例する。これは単純なばねと同じ性質である。したがってばね定数という数値で表わすことができる。

一方パンタグラフは前に述べたように質点で表わすことができる。したがって架線を付加して考えると、この系は一元のばね質量系と考えられ固有振動数 ω を有する。いま上記の系のばねの一端を上下に振動させその振動数を固有振動数に一致させると共振現象を示すが、パンタグラフの場合、励振が何によってなされているかが問題となる。これは架線のばね定数の不同が要素となっているのである。すなわち架線側から見た接触力は

$$P = k(x) \cdot y \quad (2)$$

となる。ばね定数 $k(x)$ はスパン長さ l を周期とする場所の関数であるが、一番簡単な場合について考えると架線のばね定数の平均値を k としてその最大値 $k(1+\epsilon)$ 最小値を $k(1-\epsilon)$ とするならば、 ϵ は、ばね定数の不同率といえ

$$k(x) = k(1 - \epsilon \cos \frac{2\pi}{l}x) \quad (3)$$

となる。もしパンタグラフが速度 V で走行しているなら $x = Vt$ から $\frac{2\pi}{l}x =$

$\frac{2\pi V}{l}t$ と時間の関数に書換えられる。前に示したパンタグラフの側からの接触力の式とまとめると

$$m \frac{d^2y}{dt^2} + k(x)y = P_0 \quad (4)$$

$$\text{あるいは } m \frac{d^2y}{dt^2} + k(1 - \epsilon \cos pt)y = P_0 \quad (5)$$

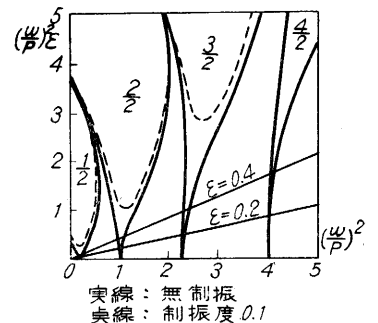
$$\text{ただし } p = \frac{2\pi V}{l} \quad (6)$$

この方程式の一般解は、これの特解と、右辺を零とした方程式

$$m \frac{d^2y}{dt^2} + k(1 - \epsilon \cos pt)y = 0 \quad (5')$$

Mathieu の方程式の一般解の和である。Mathieu の方程式の解は良く知られているように、 $\frac{\omega}{p} = \frac{1}{2}, \frac{2}{2}, \frac{3}{2}, \dots$ の付近では不安定になって発散する。すなわち第3図で $\epsilon = 0.2, 0.4$ 等の直線が実線で示したより上の領域にある時

である。他の領域では安定であって、右辺の一定外力項があればそれによって振幅は定まる。一定の外力項の存在によって y の中に一定の片寄りを示す項 y_{st} と振動項 y_d とがあることが予想される。



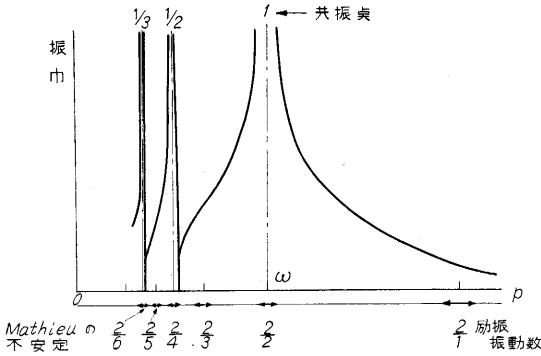
第3図 不安定限界線図

$y = y_{st} + y_d$ とし $y_{st} = \frac{P_0}{k}$ と仮定し, (5)式に入れて

ϵy_d を省略すると

$$m \frac{d^2 y_d}{dt^2} + k y_d = \epsilon P_0 \cos pt \quad (5')$$

となる. これによって近似的には通常の強制振動と同様なものと考えてよいことがわかる. しかし右辺の強制力項によって変位 y_d に $\cos pt$ の項が生ずるとばね定数項の変動 $\epsilon \cos pt$ との積によって復元力には $\cos 2pt$ の項が含まれるようになる. これにより変位にも $\cos 2pt$ の項が生ずる. このようにして復元力には高次の項が含ま



第 4 図 (5) 式の解, 説明図

れるようになり. それが系の固有振動数と一致すると分

数次共振を起すので, $\frac{\omega}{p} = 2, 3, \dots$ で振幅は発散す

る. この二つの現象を共振曲線にまとめると第 4 図のよ

うになる. しかしこれらの共振峰, 不安定領域等で卓越

しているのは主共振と, $\frac{\omega}{p} = \frac{1}{2}$ の不安定である. し

たがってパンタグラフについてはこの 2 点が主として問

題となるのである. その理由としては, 1)パンタグラフ

はその機構上相当の摩擦を持つ. 2)パンタグラフは走

行しつつ振動しているので, 常に振動エネルギーの相当

部分を架線に置き去りにしている. これらのことにより,

(5)式のパンタグラフの基礎方程式は減衰項を含み

副次共振および $\frac{\omega}{p} = \frac{1}{2}$ の不安定領域は消滅してしま

う. 次に現在のパンタグラフ, 架線等の寸度と走行速度

から考えると, $\frac{\omega}{p} = \frac{1}{2}$ の不安定領域は遙かに高速度

側であり, 当面問題になるのは主共振であることが知ら

れる. したがって前述のように 1 自由度のばね質量系の

強制振動として考えればよいわけであるが, $k(1+\epsilon), k(1$

$-\epsilon)$ と変化するばね定数の平均値は動的に考えた場合 k

ではなく $k(1 - \frac{\epsilon^2}{2})$ となる. したがって固有振動数

は $\omega = \sqrt{\frac{k}{m} (1 - \frac{\epsilon^2}{2})}$ となり限界速度(主共振)は

$$V_c = \frac{l}{2\pi} \sqrt{\frac{k}{m} (1 - \frac{\epsilon^2}{2})} \quad (7)$$

となる. またパンタグラフと架線の接触力 $P = P_0 -$

$m \frac{d^2 y}{dt^2}$ が負となれば両者の接触が断たれる. これが離線

である. パンタグラフはその性格からいって, 接触力の

大小とか振幅よりは, ただ接触しているか否か, 離線し

ないかどうか問題となるのである. 接触力がその振動

周期中一瞬でも負となれば離線をするのであるから離線

開始速度 V_r は $P_{min} < 0$ から求められる.

$$V_r = \frac{l}{2\pi} \sqrt{\frac{1 - \epsilon^2/2}{1 + \epsilon} \cdot \frac{k}{m}} \quad (8)$$

となる. ここで注目しなければならないことは, これら

の速度が押上力 P_0 に無関係であることである. このこ

とは振動学的には極めて明らかなことであるかもしれない

が, パンタグラフに関する限りは, 在来いわれて来た

ことに反する事柄である.

もしパンタグラフ系を振動系として考えることが正し

いなら, それに対する方策は今までの防振策が役立つ.

その第 1 は使用振動数(速度)を固有振動数(限界速度)

から離すこと. 第 2 は励振項をできる限り小さくすること.

第 3 はもし使用速度が限界速度に近付いたりそれを

越す必要があるならば減衰要素を入れること. などがお

もな点である. 第 1 の点を実現するには, パンタグラフ

および架線(後述)の相当質量を減ずることおよび架線

のばね定数を増すことの 2 点によって限界速度を引上げ

ることができる. 架線のスパン l を大にすることは,

限界速度を引上げるが, ばね定数の低下をもたらす. 第

2 の点はまず架線のばね定数の差をなるべく減じ一様

のものとするのである. 架線のたるみなどによる凹凸

(dip) も考えることはやや複雑である. $2y_{st}$ (支持点下

とスパン中央での押上量の差)に相当するたるみは近似的

には励振項をなくすることができる(後述の(15)式参

照). この方法は種々の難点はあるが, 一応の対策として

は以前考えられたこともある. かなり一様な架線が得ら

れないとすると, 現在のパンタグラフや架線の寸度では

限界速度 V_c が 130~150 km/h となるので, これより高

速運転を必要とするならば, 第 3 点について考えなけれ

ばならない. 前にも一寸述べたように減衰項が存在する

と共振, 不安定とも抑え得る. 減衰項の大きさを表わす

のにここでは制振度 ζ を使う.

$$\zeta = \frac{c}{2\sqrt{mk}} \quad (9)$$

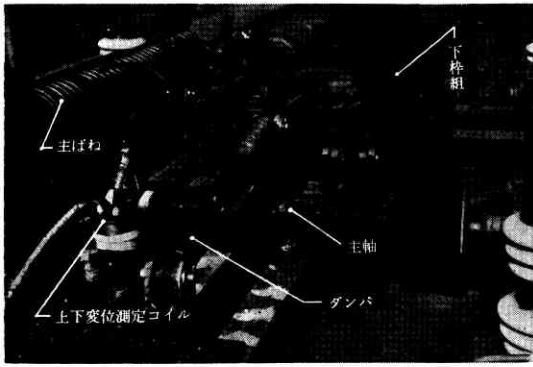
c は粘性抵抗係数であり, $2\sqrt{mk}$ はこの系の臨界粘

性抵抗である. したがって ζ は, その値に対する減衰項

の大きさの割合を示している. Mathieu の不安定領域は

減衰項の存在により狭くなる. 第 3 図の破線はその一例

で $\zeta = 0.1$ のときを示している. $\frac{\omega}{p} = \frac{1}{2}$ で一番顕著



第5図 パンタグラフ用ダンパ取付図

であるが、 $\zeta = \frac{\epsilon}{4}$ 以上の減衰があれば不安定振動は抑えることができる。これよりもさらに問題になるのは主共振である。最大振幅時でも離線しない、 $P_{min} > 0$ という条件から考えると、 $\zeta = \frac{\epsilon}{2}$ という結果が得られる。ここでダンパの使用ということが考えられるようになった。ダンパとしては粘性抵抗

性のものが好ましく、離線した際の上昇速度を制限しないように下向き片作用のものが適当である。



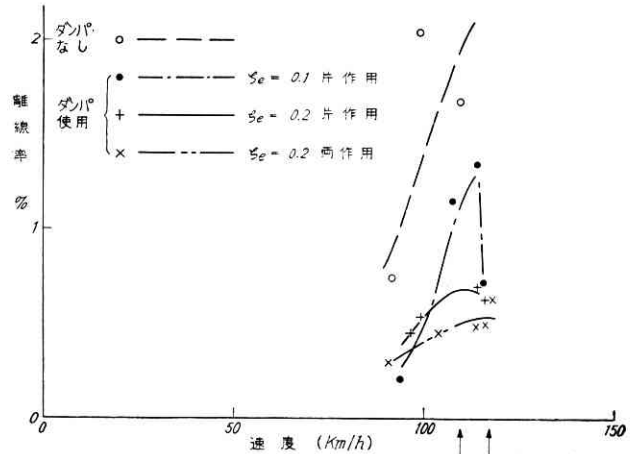
v : ピストン速度
 R : 抵抗係数
 C : 粘性抵抗係数
 $R = Cv$

第6図 オイル・ダンパ

以上のような点を明らかにするために、昨年12

月東武鉄道で集電試験を行った。測定の対象はパンタグラフの振幅、架線の押上量変化、離線率などと工業用テレビによる集電状況の目視観測であった。パンタグラフはPT41型という相当質量 $m = 3.5 \text{ kg} \cdot \text{s}^2/\text{m}$ のものであって、摺体支持には四ツ棒構が使われている。国鉄の標準型であるPS13C型と機構には相当の差が

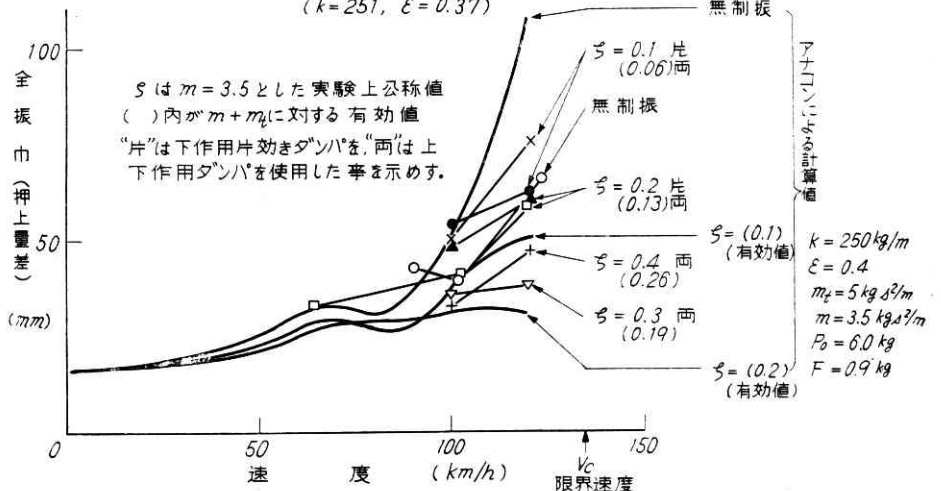
あるが相当質量に近い値を有しているの、実験対象として選んだのである。ダンパには各種のもの（たとえばコイルばね自体に減衰性を持たせる等）が考えられるが片作用、両作用の比較などにも便利なオイル・ダンパを使用した。ただ自動車用と比しピストン速度が小さいので完全に線型のものとは得られず、今後の問題を残した。走行速度は限界速度付近の状態を知ることに重点を置いて定められた。結果は量および精度の点からはあまり満足できるものではなかったが、しかしこのことは鉄道車両の実験としては当然のことであって、不足な点は工業用テレビによる目視観測で相当程度補えた。測定結果の一例を第7図に示したが、限界速度における共振峰の存



PT41型パンタグラフ
 45mシングルカタナリ架線
 $m = 3.5 \text{ kg} \cdot \text{s}^2/\text{m}$, $k = 205 \text{ kg/m}$
 $m_t = 5.8 \text{ kg} \cdot \text{s}^2/\text{m}$, $\epsilon = 0.37$
 東武鉄道日光線 杉戸〜車手間

第7図 速度-離線率曲線

東海道線 辻堂〜茅ヶ崎(才4回高速試)
 PS13C型パンタグラフ45mシングルカタナリ架線
 $(k = 251, \epsilon = 0.37)$



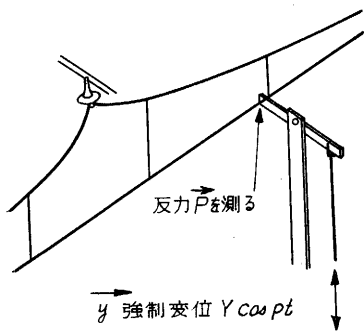
ζ は $m = 3.5$ とした実験上公称値
 () 内が $m + m_t$ に対する有効値
 “片”は下作用片効きダンパを、“両”は上下作用ダンパを使用した率を示す。

$k = 250 \text{ kg/m}$
 $\epsilon = 0.4$
 $m_t = 5 \text{ kg} \cdot \text{s}^2/\text{m}$
 $m = 3.5 \text{ kg} \cdot \text{s}^2/\text{m}$
 $P_0 = 6.0 \text{ kg}$
 $F = 0.9 \text{ kg}$

第8図 速度-振幅曲線

在, ダンパの効果よびそれが等価制振度によって定まり片作用, 両作用であるかによっては, あまり差がなくいづれも有効であることなどが判明した. とくにテレビを通して観測した結果, ダンパを使用した際は限界速度付近での大離線は認められなかった. 第 8 図は東海道本線で行った試験の際の振幅速度曲線を計算値と比較してみた.

このようにしてパンタグラフ・架線系の動力学的性格が明らかになると, それを改良する方法は自ずと明らかになる. ただここでもう一つ注意しなければならないのは架線質量の問題である. 前述の(5)式を解いて得られる固有振動数と架線単独での固有振動数とはともに 1 cps 内外である. このことは架線を単なるばねと考え, その質量を無視することは誤りであることを示している. 実際, 限界速度等計算する際, 架線の質量を考えないと約 4~50% 計算値の方が大きくなる. したがって上記の限



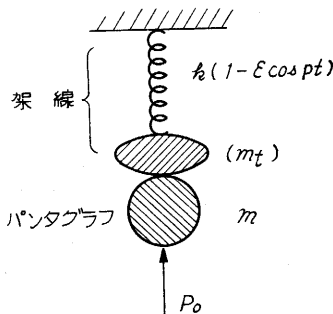
第 9 図 架線特性試験

界速度や振幅曲線の計算には架線の質量を考えてある. 一口に相当質量といっても架線は分布質量系であるので簡単に済ませるわけには行かない. 今架線上の一点を一定振

$$m \frac{d^2 y}{dt^2} + c \frac{dy}{dt} + Z(p)y = \varepsilon P_0 \cos pt \quad (10)$$

幅の正弦波で強制的に加振し(第 9 図), その反力を測定する. 強制変位ベクトルを \vec{y} , 反力ベクトルを \vec{P} とすると $\vec{P} = Z(p)\vec{y}$ の関係が得られる. この Z は動インピーダンスとか動的ばね定数とかいわれ複素数で表現される. これを(5')式の静的ばね定数 k の代りに入れると

となる. $Z(p)$ は単純な弦とか, その他モデル化したものについては求めることができるが実際の架線については第 9 図のような方法で実験的に求めることができる. これを使って(10)式からその共振曲線は描くことができるが, 実際の系について考え



第 10 図 架線とパンタグラフのモデル

て行く場合は相当質量 $m_t(p)$ を使った方がよい.

ダンス $Z(p)$ が等しいような 1 自由度の質量・ばね系を仮定する. その系の質量が架線の相当質量である. 架線に減衰がないとするなら,

$$m_t = \frac{k - Z(p)}{p^2}$$

となり, m_t は一般には振動数の関数である.

このようにすると, パンタグラフ-架線系は第 10 図のような系として扱うことができる. 運動方程式は

$$(m + m_t) \frac{d^2 y}{dt^2} + c \frac{dy}{dt} + k(1 - \varepsilon \cos pt)y = P_0 \quad (11)$$

で表われ, 2 つの質量間に働く力の正負関係から離線の条件も得られる. この系での限界速度等は

$$V_c = \frac{l}{2\pi} \sqrt{\frac{k(1 - \varepsilon^2/2)}{m + m_t}} \quad (12)$$

$$V_r = \frac{l}{2\pi} \sqrt{\frac{k(1 - \varepsilon^2/2)}{m(1 + \varepsilon + m_t/m)}} \quad (13)$$

となる.

押上力を増すことが限界速度に関係しないのは共振といった考え方からしても明らかであるが, 離線開始速度には関係することもある. それは架線が弛んで完全に水平に張られていない場合である. 今弛みを簡単に余弦関数で表わすと

$$y_0 = \delta \cos pt \quad (\text{スパン中央原点, 垂下時 } \delta < 0)$$

となる.

$$m \frac{d^2 y}{dt^2} + c \frac{dy}{dt} + k(1 - \cos pt)(y - \delta \cos pt) = P_0 \quad (14)$$

近似的には y の変動分に対しては

$$m \frac{d^2 y_d}{dt^2} + c \frac{dy_d}{dt} + ky_d = (\varepsilon P_0 + k\delta) \cos pt \quad (15)$$

となる. これから離線開始速度を求めると

$$V_r = \frac{l}{2\pi} \sqrt{\frac{k(1 - \varepsilon^2/2)}{m(1 + |\varepsilon + \delta/y_{st}|)}} \quad (16)$$

ただし $y_{st} = P_0/k$

ある範囲(垂下量が零から静的押上量程度)を除いて押上力を増した方がよいことがわかる.

この他パンタグラフの構造の問題として枠組と摺体の間にばねを入れる場合が多い. この場合の運動方程式は 2 自由度の質量・ばね系となる. この解は 1 自由度の解と類似であって Mathieu 型の不安定や副次共振の問題等があるが, 実際の場合には今までに述べた考え方を拡張すればよい.

以上のように動力学的に考え, それをある程度実験で見当をつけることができたので, それにもとづく各種の対策が前述のごとく考えられた. これについてももう少し検討すると, その一つとして在来から行われて来たパンタグラフを軽量化することが限界速度などを高めるのに効果があることは明らかである. しかし架線の質量の方が大きいので, この対策は非常に有効であるとはいえない

い、45m シンプル・カテナリの場合 PS 13 型パンタグラフなど $m=3.5 \text{ kg}\cdot\text{s}^2/\text{m}$ では $V_{\text{臨}}=110 \text{ km/h}$ から問題となるが、最近の軽量化パンタグラフで $m=1.5\sim 2.0 \text{ kg}\cdot\text{s}^2/\text{m}$ のものは 130 km/h 以上になって離線を生ずるようになる。したがって、現在の 120 km/h 以下の速度では、ダンパ付パンタグラフが既存のパンタグラフの改良としては必要であるが、軽量パンタグラフにダンパを付すことは今のところさして必要であるとは考えない。ただ将来、 140 km/h の運転が実現する場合には、パンタグラフをさらに軽量化することの効果は架線質量が相当大きいことためあまり期待できずダンパの使用が有効な解決方法となるものと思われる。

押上力 P_0 を増すのは離線を抑えることには関係なくかえってこれが大きいと上下振幅は増し、各部に生ずる力も増すというようなことになる。したがって摩擦力を極端に減ずるといったことの必要性、または高低によらず押上力を一定とすることの必要性はなく、むしろ適度の摩擦の存在はダンパを付さない場合には必要である。しかし摩擦は完全にはダンパの代用とはなり得ず、それのみであると共振点での振幅は非常に大きくなり得る。

その他の対策としては、限界速度をなるべく引上げ励振の振幅を減ずることである。限界速度を引上げるためには、架線・パンタグラフ系の軽量化をはかること、架線ばね定数を増すために総張力を増すこと、スパンを長くすることなどがある。励振振幅を減ずるためには変形 Y 型、スプリングハンガの採用などにより、支持点のこわさを増さないようにすることが第一である。したがって、支持点のこわさを増す 2 重電車線方式はあまり好ましくないと考えられる。一方 2 重吊架線、ダブルカテナリ

などの方式はスパンを長くできることと共に有利であろう。ただここで一つ問題になるのは架線の特性は理論的な解析が非常に困難であって、その優劣を判断したり、またパンタグラフと結び付けた際の特性を紙の上で推定することは難しい。結局架線を強制振動させる実験を周期、場所を変え何回か行い、後は計算により架線相当質量等を求め、これらの値を上記の基準で判断しなければならぬ。

以上パンタグラフの離線のうち、支持点間（スパン長さ）を周期とした振動の発生理由とそれに対する防止策を簡単に述べた。今まで誤り考えられていたパンタグラフ架線系を正しく振動系として見るならば、その後の対策は自ずと明かである。結局、大離線を解決する鍵は、ダンパとか各々の問題にあるのではなく、振動系として見ることができると否かにあるわけであり、東武鉄道における実験もそこに主眼をおいたものである。

大離線ということから離れて考えると、今後考えなければならないことには、硬性点（架線に取付けられている重量物）による離線、列車の走行速度が 200 km/h を超えて架線の波（上下方向）が伝わる速度に近くなって来ると生ずる連続的な離線、パンタグラフに受ける風圧抵抗、隧道に高速度で進入した際に起るさまざまな障害等研究の対照は多く、それを解決するにはかなり時間が必要であろうと思われる。

最後に、本研究は鉄道電化協会・集電研究委員会に関係して行われたものであることを記し、同委員会および走行試験の結果を提供された鉄道技術研究所・東武鉄道株式会社に心から感謝する。 (1958. 10. 15)

次号予告 (12月号)

研究解説

- Dome Dam の Prestressing について.....岡本 舜三
野崎 弘
- 電子写真の応用.....坂田 俊文
原 浩
- ダクト系に用いる消音器に関する実験.....勝田 高司
後藤 滋
寺沢 達二

- 建築工業生産化のためのモジュール(標準数)の確立について.....池辺 陽
- 超音波濃度計.....石橋 泰雄
市川 初男

速報

- 板状吸音材料の吸音特性について.....渡辺 要
石井 聖光
木村 翔
- 千葉県産石材の強度について.....久保慶三郎
上野 五郎
- 抵抗線ひずみ計の防湿.....高橋 幸伯
内山 厚克
- 逆応答プロセスのサンプル値制御.....森 政弘
正満 敏雄
- O. J. M. Smith の方法の拡張による逆応答プロセスの連続制御.....森 政弘
松本 幸生
- 鉄鉱石流動還元剤の反応速度.....原 善四郎

表紙写真

左上はエレクトロファックスの荷電装置、中央はその磁気ブラッシによる現像、右下はゼロックスのセレン感光板よりの転写操作を示す。

正誤表 (10月号)

頁	段	行	種別	正	誤
13	左	2	本文	K-VI型	K-IV型
"	"	26	"	K-III型	K-IV型
22	右	3	"	前記計算の	前記計算の
23			第1表	K-V-2	K-V-3
68			第3図	$\alpha(\text{m/s}^2)$	$\alpha(\text{m/s})$