

橋梁に作用する制動力および始動力

Rail International/宮本 征夫

均一な実験用砂地盤を作るための装置の試作

Géotechnique/国生 剛治

移動床の不安定性

Jour. of Fluid Mechanics/池田 駿介

車頭間隔と歩行者の横断

Highway Research Record/小浪 博英

### 橋梁に作用する制動力および始動力

“Braking and Acceleration Forces on Bridges”

ORE Specialists Committee

Rail International, No. 6, pp. 440~442, June (1970)

#### (1) 概 要

鉄道橋においては、上部構造、橋脚、橋台は、列車が橋梁上を通過するときを生ずる制動力および始動力に耐えられるように設計しなくてはならない。現在の設計基準には、これらの水平方向力として、最大鉛直方向力に一定比率を乗じた値を用いることが規定されている。しかしながら、この水平方向力は、列車の速度やレールの状態により変わる量であるので、現行の設計基準は妥当なものとはいえない。ORE (Office for Research and Experiments) 専門委員会 D 101 は、列車が橋梁上を加減速することにより橋梁に作用する水平方向力を調査研究する目的で設立された委員会である。ORE 専門委員会は、オランダ国鉄に依頼して、試験軌道を敷設し、ディーゼル機関車、電気機関車を走らせて、その制動力および始動力により軌道に作用する力を測定する実験を行った。この報告は、委員会から出されたレポートをもとにして、その概要をとりまとめたものである。

#### (2) 軌道側の測定

オランダ国鉄 (Nederlandse Spoorwegen) が本実験を担当し、Maarn 駅近くの、1 日数時間の間合いがとれる退避線に試験装置を設備した。測定の設備を有する軌道は、長さ 13.78 m であり、レールは 18 本の木まくらぎにより支持されている。レールとまくらぎの間には

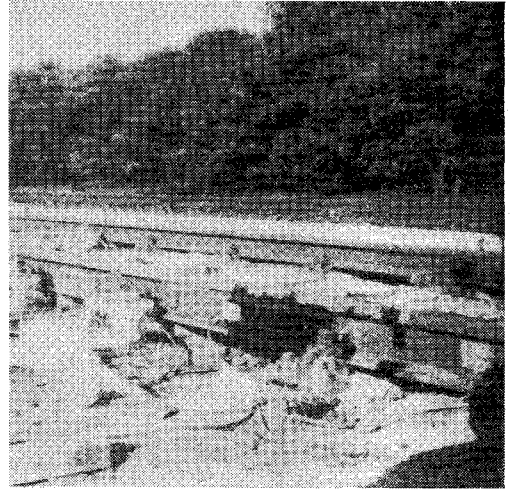


図-1 試験軌道

測定用のベースプレートが置かれている。図-1 は試験軌道の一部であり、レールと継目板の部分を示したものである。測定はストレインゲージおよびベースプレートを介して行われ、レールの水平方向力のレール長さ方向への分布の仕方、2本のレール相互間の水平方向力の差、レール継目部分における継目板の有無による水平方向力の違いなどを調べた。

#### (3) 機関車側の測定

試験に用いた機関車は 2400 形式のディーゼル機関車 (重量 60 t) および 1100 形式の電気機関車 (重量 80 t) である。機関車側では、加速度、ブレーキハンガーにかかる力、連結棒に働く力を測定した。機関車の加(減)

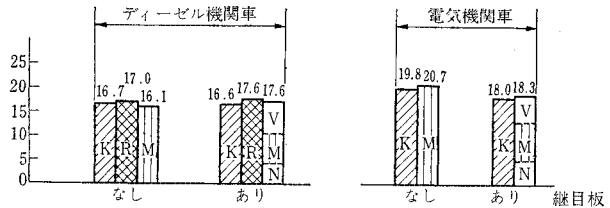
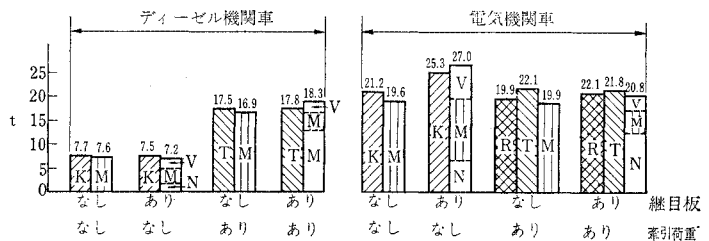


図-2 制 動 力



K: 加速力 R: 制動力 T: 連結棒に働く力  
 V: 機関車の進行方向から見て試験軌道より前の軌道の道床反力  
 M: 試験軌道内の道床反力  
 N: 機関車の進行方向から見て試験軌道より後の道床反力

図-3 始 動 力

速度は、10 g 用 A-5-10-350 形式の STATHAM 加速度計を車体および台車に取り付けて測定を行なった。また、ブレーキの効果を直接調べるために、ディーゼル機関車のブレーキハンガー部分にストレインゲージを接着し、機関車の制動力を測定した。さらに、機関車の連結部に、最大 80 t の引張力に耐えられる牽引フックを設け、その部分にストレインゲージを接着して牽引力を測定した。

#### (4) 結 果

図-2, 3 は実験から得られた制動力および始動力の平均値を示したものである。結果は簡状書きにしてまとめると次のとおりである。

1) 重量 80 t の電気機関車の最大制動力の平均値は、20.7 t であり、この場合の摩擦係数は 0.26 である。摩擦係数の最大値は 0.33 であり、機関車が動き始めるときには、0.37 より大きくなる。

2) 重量 60 t のディーゼル機関車の制動力は 17.4 t、摩擦係数は 0.29 である。最大の摩擦係数は 0.34 である。また、最大始動力から得られる摩擦係数は 0.33 である。

3) レールが継目板により連結されているときには、約 13 m の試験軌道内のベースプレートは、平均的には、電気機関車の場合で 8.2 t、ディーゼル機関車の場合で 6.2 t の最大平均反力を受ける。この値は両者の場合とも機関車重量の 10% にあたる。

4) 機関車の前後における、軌道内に生ずる力の分布は、隣接レール上の荷重の有無により変わる。制動する機関車がない場合には、力はほぼ等しく分布するが、制動する機関車が乗った場合には、荷重の乗った軌道には荷重のない軌道の 4~5 倍の力を生ずる。

5) 水平方向力を伝えるという点で、レール上に接着したストレインゲージは、継目板に接着したストレインゲージよりも信頼できる結果を与えた。

6) 機関車の台車の加速度は車体の加速度より大きな値を示すが、2つの台車の測定値の平均は車体上の加速度とよく対応している。車体の加速度を用いて計算した制動力および始動力は、軌道側で測定した値とよい一致を示した。

(委員 宮本 征夫・訳)

#### 均一な実験用砂地盤を作るための装置の試作

“An Air Activated Sand Spreader for Forming Uniform Sand Beds”

Butterfield, R. and Andraws, K.Z.

Géotechnique, Vol. 20, No. 1, pp. 97~100, March(1970)

砂地盤のモデルについての模型実験を行なうときに常

に問題となることは、空げき率がモデルの各部で均一になるようにすることである。その方法としてパイプレーターやタンパーなどを使うものがあるが、これでは空げき率の大きな砂層はできないし、また異方性や不均一性が現われやすい。

もう一つの方法として砂を高さ一定の位置から散布する方法があるが、これによれば、散布高さと単位時間あたりの散布量を変えることにより、ゆるづめから最密まで任意の空げき率の砂層が得られる。

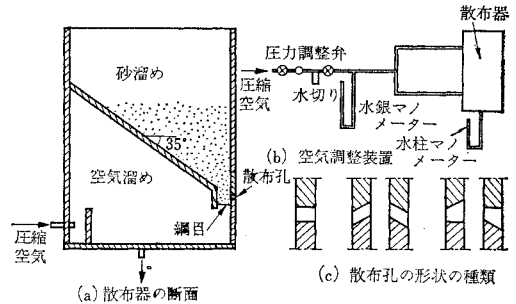


図-1

ここで試作した砂散布器は空気圧を利用したもので、図-1(a) に示すように砂溜めと空気溜めの 2 つの部屋をもっており、空気溜めには図-1(b) に示すような装置を通じて外部から圧縮空気が送られ、圧力が一定に保たれている。2

つの部屋の境界は、細かい網目でわけられており、空気はそこを通過して砂溜めの下部を通りぬけ、砂とともに散布孔より吹き出される。散布量は空気圧にのみ関係し、砂溜め中の砂の量には関係しない。散布器は高さ一定のまま定速度で移動しながら砂を散布し砂層を作る。また、散布孔の形は図-1(c) に示すような各種のものが考えら

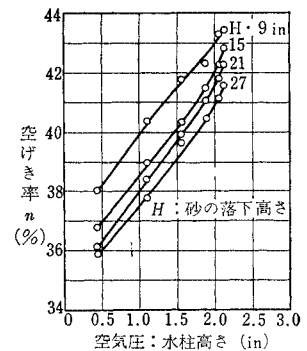


図-2

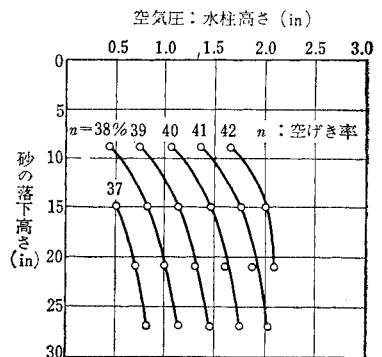


図-3

れ、砂の粒径によって適当なものを選ぶ。

この装置を較正するために、散布高さ $D$ と空気圧をパラメーターとして砂層の空げき率を求める実験を行なった結果、図-2, 3に示すような関係が得られた。図-3の関係を使えば、砂層を作ってゆく段階で砂層表面の高さが高くなってきて砂の落下高が小さくなくても、空気圧を大きくすることにより一定の空げき率が得られるので散布器の高さを上げる必要がなく非常に便利である。

200回の較正試験により、空げき率の場所によるばらつき、同じ試験のくりかえしの間のばらつきを求めたところ、標準偏差はいずれも0.2% (空げき率)程度であって、構造的に簡単で故障も少ないなどの長所を考えあわせて、均一な砂地盤モデルを作る装置として非常にすぐれていることがわかった。

(委員 国生 剛治・訳)

### 移動床の不安定性

“Instability of Erodible Beds”

Engelund, F.

Jour. of Fluid Mechanics., Vol. 42, Part 2 (1970)

#### (1) 序 論

2次元の移動床の安定問題について流れの速度分布と浮遊砂の濃度分布を考慮して考察した。その結果は、ポテンシャル理論 (Kennedy 1963) によって得られた結果と若干の相違を示した。

#### (2) 速度分布と Sediment の濃度分布

計算の複雑化を避けるために対数型 $\epsilon$ の速度分布の代りに parabolic type の速度分布

$$U = U_{b0} + \frac{DU_{f0}^2}{\epsilon} \left[ D - \frac{1}{2} \left( \frac{x_2}{D} \right)^2 \right] \dots\dots\dots(1)$$

を採用する。ここに  $U_{b0}$  は次式で与えられる。

$$\frac{U_{b0}}{U_{f0}} = 1.9 + 2.5 \ln \frac{D}{k} = K \dots\dots\dots(2)$$

$$U_{f0} = (\tau_0/\rho)^{1/2}$$

浮遊砂の濃度分布については、eddy viscosity  $\epsilon$  を一定として

$$c_0 = c_{b0} \exp(-w x_2/\epsilon) \dots\dots\dots(3)$$

ただし  $c_{b0}$  は経験的に

$$c_{b0} = 13 \alpha U_{f0}^3/w^3 \dots\dots\dots(4)$$

$w$  = sediments の水中落下速度

で与えられる。

#### (3) 基礎方程式

渦度の輸送方程式

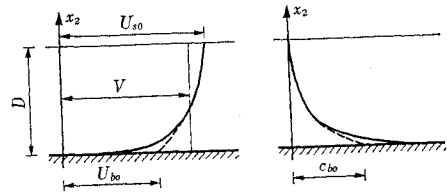


図-1 速度および濃度分布

$$\frac{d\omega}{dt} = \epsilon \nabla^2 \omega \dots\dots\dots(5)$$

から出発する。

流れは uniform な流れの上に微小変動が加わったものとするれば、 $\psi$  を変動部分の流れ関数として、

$$v_1 = U - \frac{\partial \psi}{\partial x_2}, \quad v_2 = \frac{\partial \psi}{\partial x_1} \dots\dots\dots(6)$$

とすれば、渦度  $\omega$  は次式で表わされる。

$$2\omega = -U' + \nabla^2 \psi \dots\dots\dots(7)$$

式(7)を式(5)に代入して

$$\frac{\partial}{\partial t} (\nabla^2 \psi) + U \frac{\partial}{\partial x_1} (\nabla^2 \psi) - U'' \frac{\partial \psi}{\partial x_1} = \epsilon \nabla^4 \psi \dots\dots\dots(8)$$

を得る。同様に浮遊砂の連続方程式から次式を得る。

$$\frac{dc}{dt} = w \frac{\partial c}{\partial x_2} + \epsilon \nabla^2 c \dots\dots\dots(9)$$

ここに

$$c = c_0 + \tilde{c}$$

である。ここで  $\psi$  と  $\tilde{c}$  について次の仮定を行なう。すなわち

$$\left. \begin{aligned} \psi/VD &= f(\xi_2) \exp \left[ ikD \left( \xi_1 - \frac{a}{V} t' \right) \right] \\ \tilde{c} &= \phi(\xi_2) \exp \left[ ikD \left( \xi_1 - \frac{a}{V} t' \right) \right] \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots(10)$$

とおく。ここに

$$\xi_i = x_i/D, \quad t' = Vt/D$$

である。式(10)を式(8),(9)に代入することによって基礎方程式

$$(U-a)[f'' - (kD)^2 f] - U'' f = \frac{\epsilon}{ikD^2} [f^{iv} - 2(kD)^2 f'' + (kD)^4 f] \dots\dots\dots(11)$$

$$\phi'' - (kD)^2 \phi + \frac{wD}{\epsilon} \phi' - \frac{ikD^2}{\epsilon} (U-a) \phi$$

$$= \left( ikD \frac{VD}{\epsilon} \frac{dc_0}{dx_2} \right) f \dots\dots\dots(12)$$

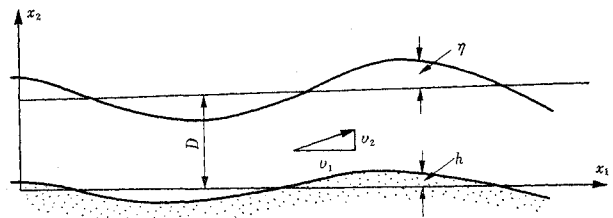


図-2 流れの概念図

が得られる。

(4) 境界条件

以下に満足されるべき境界条件を示す。

- 1) 移動床における kinematical な条件
- 2) shear stress の条件
- 3) 移動床上の濃度と場所的 shear stress の関係
- 4) 水表面における kinematical な条件
- 5) 水面では shear stress が 0 でなければならない条件
- 6) 水面では浮遊砂の vertical flux が 0 である条件式 (11), (12) の各式を解くにあたっては、以上の 6 個の境界条件を考慮に入れなければならない。

(5) Bed load を無視した場合の解

これは河床が細砂から成り立ち、流れの速度が大きい場合に起りうる。このとき砂の移動は浮遊のみにより、total の移動量  $q_s$  は

$$\frac{q_s - q_{s0}}{VD} = -c_{b0} \frac{h}{D} \frac{U_{b0}}{V} + \int_0^1 [U \phi(\xi_2) / V \cdot c_0 f'(\xi_2)] \cdot \exp\left[ ikD \left( \xi_1 - \frac{a}{V} t' \right) \right] d\xi_2$$

で表わされる。ここに  $a$  は河床変動の移動速度である。この式と河床変動の式

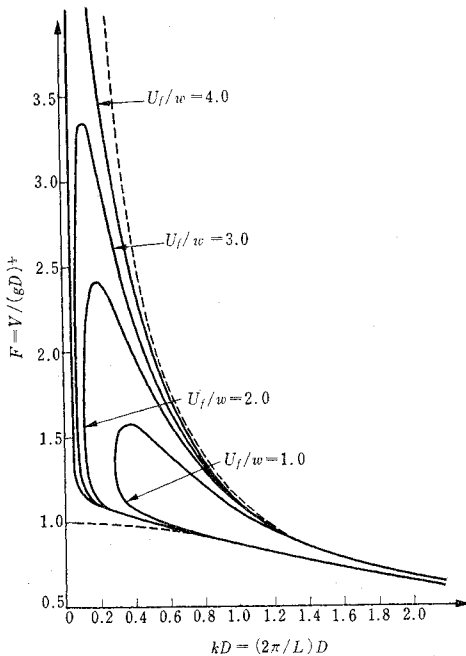


図-3 bed load を無視する場合の安定限界 ( $V/U_f=17$ )

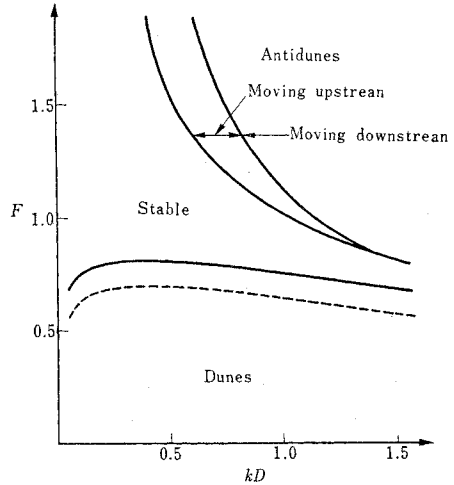


図-4 完全な解の場合の安定限界 ( $V/U_f=21, U_f/wF=1$ )

$$h = h_0 \exp\left[ ikD \left( \xi_1 - \frac{a}{V} t' \right) \right] \dots\dots\dots(13)$$

を移動砂の連続方程式に代入すれば

$$\frac{(1-n)a}{V} = -c_{b0} \frac{U_{b0}}{V} + \frac{D}{h_0} \int_0^1 (U \phi / V - c_0 f') d\xi_2 \dots\dots\dots(14)$$

を得る。式 (11), (12), (14) を用いて  $a$  の値を得ることができる。この値に応じて河床が安定であるか、不安定であるかを定めることができる。図-3 にその結果を示す。図中において、上の点線は Potential 理論による安定限界を示し、下の点線は critical flow の条件  $F^2 = \tanh(kD) / kD$  を示す。

(7) Bed load を含む場合の解

この場合の解析は前の節とまったく同じように取り扱える。図-4 にその結果を示す。bed load を考慮に入れると Froude 数の小さい領域で不安定となることがわかる。

(委員 池田 駿介・訳)

車頭間隔と歩行者の横断

“Pedestrian Gap-Acceptance”  
DiPietro, C.M. and King, L.E.  
Highway Research Record, No. 308, pp. 80~91 (1970)

街区の中央で、何のコントロールもなされていない 2 車線道路を歩行者が横断する際、車頭間隔が歩行者の意志決定とどのような相互関係にあるかを知るため、西バージニア大学に近い 図-1 に示すような地点で、写真撮

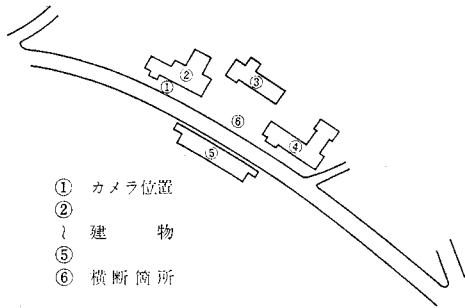


図-1 観測地点略図

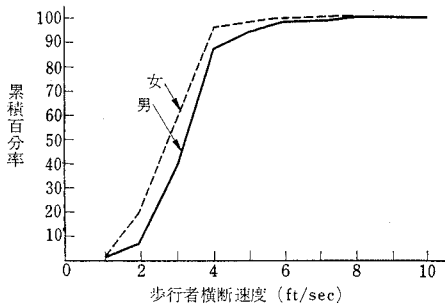


図-2 男女別歩行者横断速度分布曲線

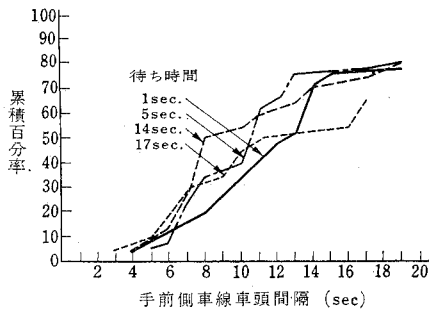


図-3 手前側車線の車頭間隔と横断者の横断開始率との関係に待ち時間が与える影響

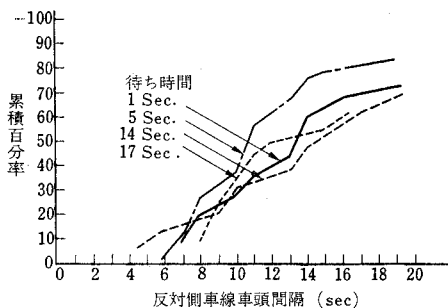


図-4 反対側車線車頭間隔と横断開始率との関係に待ち時間が与える影響

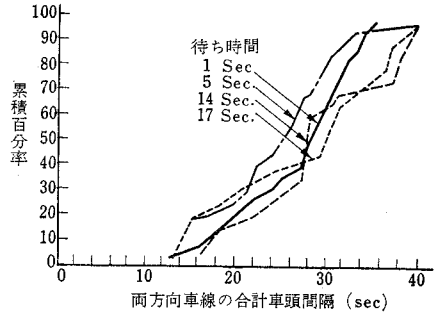


図-5 両方向の合計車頭間隔と横断者の横断開始率との関係に待ち時間が与える影響

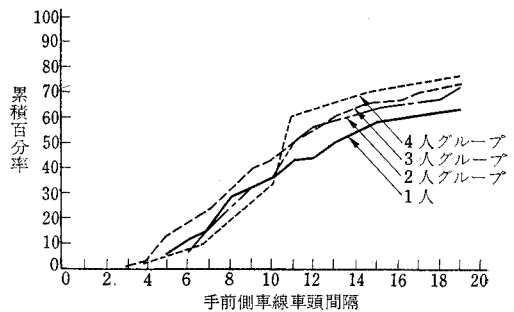


図-6 待っている人数が横断開始率に与える影響

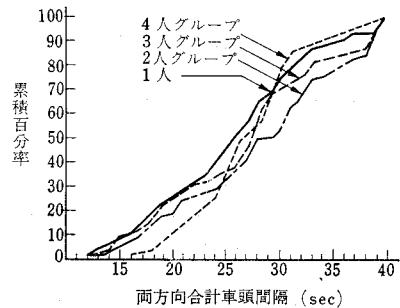


図-7 横断者の人数が横断者の横断開始に与える影響

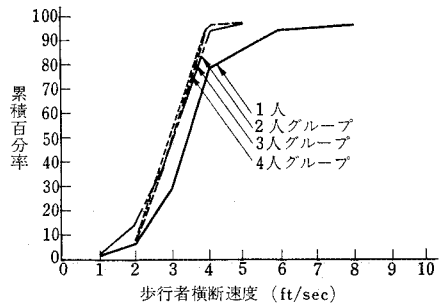


図-8 横断者のグループの大きさが横断速度に与える影響

影による実態観測を行なった。被観測者は740名にのぼり、そのうち138名は女性であった。結果は図-2~図-8に示すとおりである。ここで、両方向車頭間隔と

は、手前側車線の車頭間隔 (sec または ft) と、反対側車線の車頭間隔 (sec または ft) の合計のことである。

(委員 小浪 博英・訳)