

# 模型軌道による振動沈下に関する一実験

最 上 幸 夫

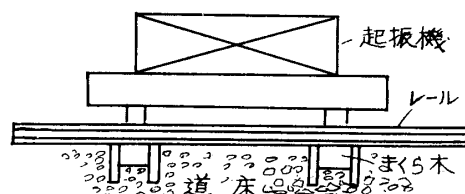
## 1. 緒 言

近年になって他の交通機関との競争の立場から鉄道の速度向上化はますます切実な問題となり、東京一大阪間の新幹線が計画実現される段階にいたったのであるが、時速 250km/hr の高速に対しては現行の軌道構造では不十分であって、動的強度の面からいかなる軌道構造を採用するのが最も得策であるかについて種々の実験的研究が進められている。

最重要幹線における道床構造については、現行の道床厚では不十分でトップバラスト 27cm、栗石サブバラスト 20cm、総バラスト厚を47cm とすることが最も合理的であるとされている。<sup>1)</sup>従来著者は砂利層の静力学的ならびに動力学的性質について基礎工学的な立場から研究を行ってきたが、その結果によれば、砂利層に動的荷重が作用した場合には振動沈下を生ずることはほとんど避けがたいものであることが確認された。これは砂利層ないし道床が動的荷重によって主として流動現象を生ずることに帰因するものと考えられる。このような流動沈下を完全に防止することは不可能であるが、できるだけ最小限度に喰い止める必要がある。このためには軌道構造をいかにすれば最も合理的であるかについて著者は模型軌道を用いて実験的研究を行ったので、以下これについて実験結果ならびに若干の理論的考察を進めることにした。

## 2. 実験要領ならびに実験結果

従来行ってきた砂利層基礎の振動沈下に関する模型実験の結果<sup>2)</sup>を検討すれば、基礎の拘束度が完全拘束に近い場合が流動沈下に対して最も安定した状態といえるから流動沈下を最小限度に喰い止めるためには基礎の拘束度をできるだけ大きくすることが有利であると考えられる。それでこのような点を検討するために実軌道の約1/10の縮尺で模型軌道を造って振動沈下の実験を行った。まず最初の実験では第1図に示すごとく、まくら木の四周をコンクリート枠で囲んで振動沈下の実験を行った。しかしこの構造ではまくら木とコンクリート枠との密着がうまくいかず、そのため軌道の振動がきわめて大きくなり、高速に対してはかえって不安定な軌道構造となることがわかったので、

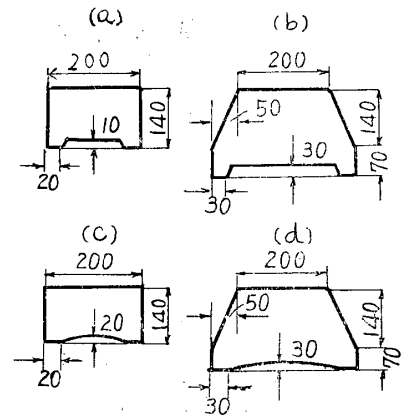


第1図 模型実験略図

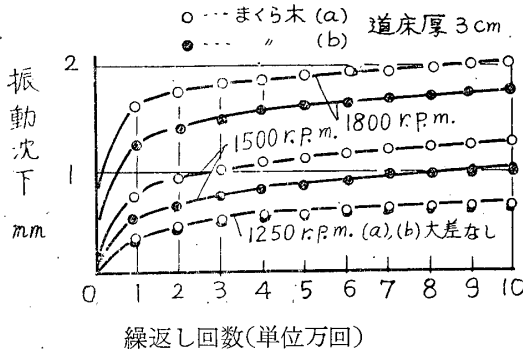
コンクリート枠の使用は取り止め、つぎに木まくら木とコンクリートまくら木との振動沈下について比較実験を行った。この実験では振動初期の圧密沈下については両者で大した差異はみられず、むしろ木まくら木の方が圧密沈下は小さくなる傾向が認められたが、流動沈下における流動こう配はコンクリートまくら木の方が明らかに小さく、全体として振動沈下に対してはコンクリートまくら木の方が有利であることが確認されたので、以後の実験においてはコンクリートまくら木を対象としてその形状効果について検討を進めることにした。実験に用いたコンクリートまくら木の断面形状は第2図に示すとおりである。道床用碎石は粒径2~8mmのものをを用い、道床厚は2, 3cmの2種、路盤は自然乾燥させた砂および赤土の粉末を2:1の割合いで十分混合

均一化したものに水を加えて練り混ぜたもので含水比は6~9%の範囲であった。これを5cm厚さに十分締固めた。振動荷重として用いた起振機は従来の実験に使用したものをを用いた。<sup>3)</sup> 振動はコンクリートまくら木上にとりつけた小型加速度計 (BA-3G120Ω, 新興通信 K. K. 製) を D. S.-6 P 型ヒズミ計 (新興通信 K. K. 製) につなぎ, これをインク書きオシロによって記録せしめた。振動沈下の測定は起振機重心部の沈下量をダイヤルゲージによって測定した。

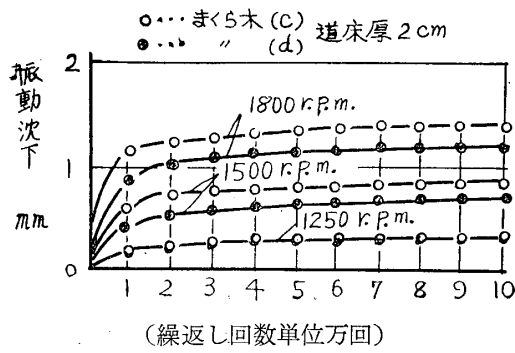
実験結果の一例を示せば, 第3図および第4図に示すとおりである。



第2図 コンクリートまくら木の断面形状



第3図 振動沈下曲線の例



第4図 振動沈下曲線の例

### 3. 振動沈下に関する理論的考察

従来振動沈下現象に対してはその性質が著しく複雑であるため, ほとんど理論的な取扱いを試みた例はないので, 著者は前節でえられたような実験曲線の場合について簡単な仮定を設けて若干の理論的考察を行った。

このため第5図に示すような力学的モデルを仮定する。ここに,  $G(y)$ : 基礎の構造抵抗力を表わし, 振動沈下量  $y$  の関数で表わされるものと仮定する。

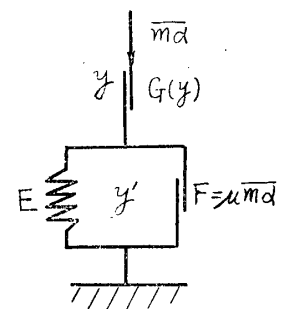
$E, F$ : それぞれ基礎の弾性係数, 摩擦抵抗力を表わすが, これらの要素は復元量  $y'$  に関する項であり, 振動沈下  $y$  とは無関係であるから, ここでは一応無視する。

$m$ : 振動体の単位面積当りの質量,  $\alpha$ : 振動体の加速度,  $y$ : 振動沈下量,  $y'$ : 復元量。いま道床上で振動体が振動している場合を考えると, 振動加速度  $\alpha$  は上下方向に作用するが, 振動沈下を生ずるのは慣性力  $m\alpha$  が下向きに作用する場合である。すなわち振動沈下は下向きの慣性力  $m\alpha$  が繰返して作用することによって生ずるものと仮定する。

ここで, 構造抵抗力  $G(y)$  の形をつぎのごとく仮定する。

$$G_1(y) = A \frac{y - y_0}{B + y_m - y} \quad (y_0 \leq y < y_m) \dots \dots \dots (1)$$

ここに,  $A, B$  は与えられた基礎の振動沈下に対する特性を表わす係数,  $y_0$ : 初期振動沈下量,



第5図 振動沈下の力学的モデル

$y_m$  : m回の振動繰返しまでに生じた振動沈下量。

式(1)によれば、繰返しによって生ずる沈下 $y$ がある値 $y_m$ に達すると、それ以後の繰返しでは、分母の項は $B$ となり、構造抵抗力は一定値に達し、 $y$ は繰返し回数に比例して直線的に増大する。したがって式(1)の関係をさらに書きかえると、ある繰返し回数 $m$ を境として、つぎのように表わされる。

$$\left. \begin{aligned} G_1(y) &= A \frac{y-y_0}{B+y_m-y} \quad (y_0 \leq y < y_m) \\ &\vdots \\ G_m(y) &= A \frac{y-y_{m-1}}{B+y_m-y} \quad (y_{m-1} \leq y \leq y_m) \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (2)$$

m回以後では、

$$\left. \begin{aligned} G_{m+1}(y) &= \frac{A}{B} (y-y_m) \quad (y_m \leq y) \\ &\vdots \\ G_n(y) &= \frac{A}{B} (y-y_{n-1}) \quad (y_{n-1} \leq y) \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (3)$$

しかして構造抵抗力 $G_i(y)$ は慣性力 $m\alpha$ と釣合うから一般に

$$G_i(y) = \overline{m\alpha} \quad \dots\dots\dots (4)$$

以上の諸式を用いると、初期状態を基準にとり、 $y_0 = 0$ とにおいてm回の繰返し過程までに生ずる沈下 $y_i$ は次式で表わされる。

$$y_i = (B+y_m) \left\{ 1 - \left( \frac{A}{m\alpha + A} \right)^i \right\} \quad (i \leq m) \quad \dots\dots\dots (5)$$

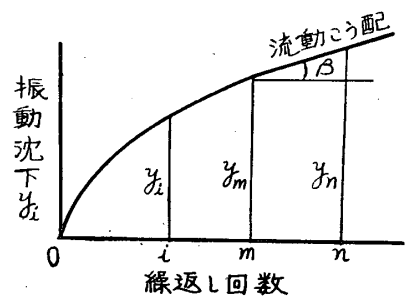
m回以後の繰返しによって生ずる沈下 $y_n$ は

$$\begin{aligned} y_n &= (B+y_m) \left\{ 1 - \left( \frac{A}{m\alpha + A} \right)^m \right\} (n-m) \frac{B}{A} \overline{m\alpha} \\ &= y_m + (n-m) \frac{B}{A} \cdot \frac{B}{m\alpha} \quad (n \geq m) \quad \dots\dots\dots (6) \end{aligned}$$

式(5), (6)の関係を図示すれば、第6図に示すごとくなり、繰返し回数 m回までは道床は圧密沈下と流動沈下とが共存し、m回以後は流動沈下のみが生ずるのと考えられる。さきに示した第3—4図の実験曲線の傾向はほぼ第6図と一致した傾向を示している。流動による沈下曲線のこう配 $\tan B$ の値を実験曲線から求めると、

$$B/A = \tan \beta / \overline{m\alpha} = S \quad \dots\dots\dots (7)$$

となるから、式(5), (6)は次式のごとく表わされる。



第6図 理論による振動沈下と繰返し回数の関係

$$y_i = (AS + y_m) \left\{ 1 - \left( \frac{A}{m\alpha + A} \right)^i \right\} \quad (i \leq m) \quad \dots\dots\dots (8)$$

$$y_n = (AS + y_m) \left\{ 1 - \left( \frac{A}{m\alpha + A} \right)^m \right\} + (n - m) S m \bar{\alpha} \quad (n \geq m) \quad \dots\dots (9)$$

実験曲線がえられると、理論式(8)の關係を用い、最小自乗法によってAS + y<sub>m</sub>、Aの最確値がきめられるから、これよりy<sub>m</sub>の値を、したがってmの値も決定することができる。また式(6)より係数Bの値も容易に求められる。

もし振動沈下曲線がほとんど流動を生じないで次第に一定の沈下量に落付くような場合にはB = 0とおけばよい。この場合振動沈下y<sub>i</sub>は次式で表わされる。

$$y_i = y_m \left\{ 1 - \left( \frac{A}{m\alpha + A} \right)^i \right\} \quad (i \leq m) \quad \dots\dots\dots (10)$$

4. 理論式の実験結果への適用と考察

前節に求めた理論式を本模型軌道の実験結果に適用して理論式における各係数を求めた例を示せば、第1表のごとくなる。

第1表 理論式における各係数を求めた例

振動数 1800r.p.m., 道床厚 3 cm

各係数 まくら木種別	A (kg/cm <sup>2</sup> )	B (cm)	S (cm <sup>3</sup> /kg)	tanB (cm/万回)	y <sub>m</sub> (cm)
(a)	0.0029	0.00020	0.055	0.0020	0.17
(b)	0.0028	0.00013	0.048	0.0012	0.14
(c)	0.0030	0.00017	0.050	0.0018	0.16
(d)	0.0032	0.00011	0.045	0.0010	0.11

註：(a),(b),(c),(d), は第2図の区分による。

第1表によれば、振動沈下の小さい場合程、一般にB, S, tanB, y<sub>m</sub>の値は小さくなる。また係数Aの値は一般に大きい程、振動初期における圧密沈下の落付きが早いことを示している。しかしAの値は実験初期における道床の突き固めの程度によってかなり影響されるものと考えられるから、実際上はむしろ流動こう配 tanBの値が最も重要な要素と考えられる。第1表から tanBの値を比較すると、(d), (b), (c), (a)の順に大きくなり、(d)の場合は(a)の約1/2程度となり、(a)のまくら木断面にくらべてかなり有利な結果を示している。したがって本模型実験の結果によれば、振動沈下に対しては(d)のような断面形状が最も優れているといえることができる。しかし振動数したがって加速度のかなり小さい範囲では、いずれの断面形状についても振動沈下に余り明確な差異は認められず、優劣の判定はくたしがたい結果となった。それゆえこのような検討については現地軌道について実測をかなり長期間にわたって実施しなければ最終的な結論をくだすことは困難であると考えられる。

5. 結 言

本文においては現寸軌道の約1/10の模型軌道を造り、これに振動動荷重を作用させてまくら木面の振動沈下量を測定し、主としてまくら木の形状効果について検討を行ったのであるが、その結果第2図に提案したまくら木断面形状については、振動数がかかなり高い 1800r.p.m. の場合に

は(d)のような断面形状が最も効果的であることが実験的に確かめられた。しかし一方では(b), (d), のような断面では材料費が高くなるから実際面においては製作費と保守費の面から現地軌道について詳細な検討を行う必要があるものと考えられる。また一方本実験結果のような場合については従来理論的考察はほとんど試みられていなかったので著者はこれについて若干の理論的考察を行って理論式を導き、振動沈下と振動要素との関連性を明らかにした。求めた理論式の妥当性について著者の行った実験結果および鉄道技術研究所軌道研究室で行った実験結果<sup>4)</sup> ならびに大阪市大岡部教授、安山助教授の行った実験結果<sup>5)</sup> について検討した結果はかなりよい一致を示すことが確認された。

#### 参 考 文 献 そ の 他

- 1) 岡部二郎：バラスト教持力の実験的研究，  
学位論文概要パンフレット，P. 4.
- 2) 村山朔郎，最上幸夫，：砂利層の振動沈下に関する一実験，  
土木学会誌，38-6，PP.310-313，
- 3) 最上幸夫：砂利層の振動沈下に関する研究，  
山口大学工学部学報，第7巻第1号，P. 57.
- 4) 佐藤裕：繰返荷重による道床沈下の実験，  
鉄道技術研究報告，第65号，施設編第27号，PP.1-13.
- 5) 岡部二郎，安山信雄：Laboratory Investigation of Railroad Sub-Ballast.  
(Ist Progress Report),  
大阪市立大学工学部紀要，vol.1.,PP.113-114, 1959.