

# 土木学会論文集

第 58 号・別冊

## 鉄道橋梁下部構造の運動性状について

正員 堀 松 和 夫

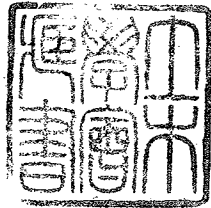
---

TRANSACTIONS  
OF THE  
JAPAN SOCIETY OF CIVIL ENGINEERS

No. 58, EXTRA PAPER

ON THE PROPERTIES AND STATES OF THE  
MOVEMENT OF SUBSTRUCTURE OF RAILWAY BRIDGE

*By Kazuo Horimatsu, C.E. Member*



September 1958  
TOKYO JAPAN

---

昭和 33 年 9 月

土 木 学 会

# 鉄道橋梁下部構造の運動性状について

正員 堀 松 和 夫\*

## ON THE PROPERTIES AND STATES OF THE MOVEMENT OF SUBSTRUCTURE OF RAILWAY BRIDGE

By Kazuo Horimatsu, C.E. Member

**Synopsis :** It is important to affirm the properties and states of the above title not only for the purpose of designing, construction and maintenance of bridges, but also for setting the standard and the regulations of standard test to judge safety of substructure. I started the examination of railway bridges in 1951 and have tested over 1000 abutmentes and piers for settling-test and over 800 abutmentes and piers for vibration-test. There are very few who have tested using bridges, and it is hard to get any datum of this kind specially of new constructions.

The properties and states of movement show great difference according to the kind of superstructure, substructure, train load, foundation soil, scouring and the quality of material used in the substructures. Therefore, we can find out the generality and inter-relation of properties and states of the movement only through the test of many railway bridges as possible under different conditions of each through a certain and definite way of test. Regarding these points, I have analysed the collected data and got the conclusions as written in this report.

### 目 次

第1章 緒 論	性状
§ 1 目的, 意義	§ 1 動揺振動振幅週期の実測結果
第2章 調 査	§ 2 動揺振動拘束作用の考察
§ 1 調査一般	§ 3 動揺振動の運動性状の結論
§ 2 測定器具	第6章 弾性振動実測結果と考察ならびに性状
§ 3 用語の定義	§ 1 弾性振動振幅週期の実測結果
第3章 沈下量実測結果と考察ならびに性状	§ 2 弾性振動の運動性状の結論
§ 1 荷重および沈下と基礎土質の実測結果	第7章 合成振動拘束作用と性状
§ 2 地盤係数と基礎土質	§ 1 合成振動拘束作用
§ 3 沈下運動拘束作用の解析	§ 2 合成振動の運動性状の結論
§ 4 動荷重による沈下の運動性状の結論	第8章 沈下と動揺振動との関係の解析
第4章 振動実測結果の性状と考察	§ 1 沈下量, 構造寸法, 根入と振幅および週期
§ 1 記号番号	§ 2 沈下と動揺振動間の関係の結論
§ 2 振動性状	第9章 結 言
§ 3 振動の考察	附 録
§ 4 振動性状の結論	
第5章 動揺振動の実測結果と考察ならびに	

### 第 1 章 緒 論

#### §1. 目的, 意義

橋梁下部構造の運動性状を知ることは, 合理的設計, 施工, 保守およびその管理に必要であるとともに, 健全度判定基準等の研究を進める上にも緊要である。

この運動性状は, 上部構造, 下部構造, 列車荷重, 基礎構造および土質等によりいちじるしく変化するために各種の条件下で一定の試験方法によつて求めなければならない。この試験における研究の目標を次の点においた。

\* 日本国有鉄道, 盛岡工事局, 土木課課長補佐

試験の種類は、沈下量の測定と振動の測定とに大別し沈下測定においては、沈下量と基礎土質、偏倚する沈下と基礎の支持状態、振幅量と沈下量および補強と沈下量の変化等を求めようとし、振動測定においては、振幅の減衰状態と基礎の拘束度、振幅波形と地盤支持力の状態、振幅偏倚と基礎の状態、振幅および週期の値の関係要素および沈下、振動と構造物老朽度との関係等を求めようとした。

このために昭和26年より昭和32年3月までに調査した構造物は、沈下試験では1000基また振動試験では800基であつて、その区域は国鉄東北支社管内で東北6県にわたつていた。

## 第2章 調 査

### §1. 調 査 一 般

橋梁下部構造の運動性状を調査するには、動的荷重として営業列車を利用するのが普通であるが、場合により起振機をもつて下部構造を起振して行うことがある。この調査では、次の要領をもつて行つている。

#### a) 測定要領

沈下量の測定は、図-1において躯体天端左右端C、Eに鉄釘を打ち込み、20# 亜鉛引鉄線的一端を固定して他端を地上にたらし、陸上沈下測定器に取りつける。

陸上沈下測定器は、地上において躯体左右端部よりそれぞれ約1.5m離れて地上に設置されている。これに使用するゲージは、普通1/100mmダイヤルゲージであつて、このスタンドもまた地上に設置される(写真-2参照)。

測定構造物が水上にある場合には、図-1において構造物天端に20# 亜鉛引鉄線的一端を仮りに結び、他端には重錘を結びこの重錘を水中にたらし、重錘が少なくとも河床において構造物の左右端部より約1.5m以上離れる位置にセットせしめる。次にこの鉄線の上端を天端の仮止位置よりは少し、図-1のFなる躯体天端に設置した水上沈下測定器に取りつける。またこれに使用するゲージは普通1/100mmダイヤルゲージであり、このスタンドは躯体天端に設置される(写真-4参照)。

以上のごとくして測定器を取つけたならば、各測定器の位置に1名ずつの測定者を配置し列車がその構造物に近づく時に、ダイヤルゲージを観測し出してダイヤルゲージの最大値を読み取りこの値をもつて沈下量としている。

躯体の動的ひずみあるいは目地切れ等に起因する縮み量を測定するには、C点において沈下量を測定する時と同様にD点においても同様の設備をし、動荷重による沈下量を同時に2台の沈下測定器にて求め、その差をもつてC-D間の動的ひずみあるいは縮み量とする。

また他の方法としてD点に固定台を取りつけ、陸上沈下測定器を調整してC-D間の動的ひずみあるいは縮み量を1台の測定器で求めることもある。

構造物の水平変位量の測定は、図-1のG点にL型ピン付金具を取りつけ、L型の一辺にはE点との間に、また他辺には陸上沈下測定器との間にはそれぞれ20# 亜鉛引鉄線を取りつけて、変位量の測定を行う(写真-3参照)。

振動の測定は、図-1において、躯体天端A点に振動変位計を調整して行う。

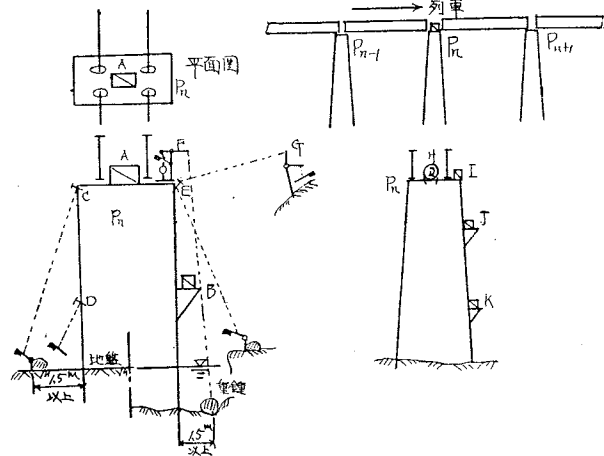
しかし、振動の原点を調査する場合には、B点にもさらに振動変位計を取りつけ、A、B2台をもつて同時測定を行う。

以上の振動測定は、列車荷重を利用して行うものであり、列車がその構造物に近づくとき振動変位計を起動せしめ、列車の通過後停止させる。この時えた測定記録図には、解析の便を計るために機関車先輪が $P_{n-1}$ 、 $P_n$ 、 $P_{n+1}$ の3点に来た時に電氣的にマークを入れている。

この $P_n$ は、測定下部構造であり振動変位計は $P_n$ 上におかれている。またこの時のマーク間隔をもつて列車速度を算出している。

振動起振試験を行う場合には、躯体天端Hなる位置に起振機をアンカーボルト8本をもつて固定し、振動変位

図-1



計は I, J の位置におく。使用した起振機は電力により起動し 3800 rpm で 1 t の慣性力を出すものであり、使用回転数は 400~3000 rpm である。

この試験では、一般に 400 rpm, 500 rpm, 600 rpm というように 100 rpm の段階ごとに各回とも振動記録をとっている。

また、振動変位計 2 台をもつて図の I, J, K の 3 カ所において振動測定をなす場合には、I と J を、次に I と K をそれぞれ 2 台一組として、2 回に分けて振動試験を行つている。

なお、J, K の如き中段の固定台はくの字形鉄筋を橋脚に埋込みこれに測定台をボルト締めで十分に固定してある。

またこの試験では、電気式回転計をもつて起振機の回転を読み、回転数が正しく一定値、例えば 1000 rpm のどとくなつた瞬間に、振動変位計に電氣的にマークを入れている。

また取り付けカ所の関係で小型の電気抵抗式微動計を使用した場合もある。この時は電磁オシロを併用した。

b) 測定上の誤差

図-2 には、沈下量と動荷重の関係が示されていて沈下量は、動荷重の増加につれほぼ直線的に増加し、橋梁下部構造下の土質の異なる個所ごとに沈下量が変わつてゐることを示している。

したがつて前述のごとく、躯体天端と地盤との間の相対沈下量を求めることは、絶対沈下量を測定する場合に比しその精度が落ちるものであるけれども基礎土質、荷重等の相対関係を求める上には一般的に支障が認められなかつた。

いま、図-3 において次のごとく符号を定め誤差の計算をする。

$\delta$ : 沈下量

$\delta'$ : ダイアルゲージの読み

$y$ : 橋脚天端より機械位置までの高さ

$x$ : 橋脚天端端部より A 点までの水平距離

$e'$ : 橋脚の水平変位

として、 $e'$  を半振幅、 $e \equiv 0$  と仮定すると

$$(y + \delta' - \delta)^2 + (x \pm e')^2 = l^2 = x^2 + y^2$$

$a$ : 誤差とすると、 $a = \delta - \delta'$

$$\text{これより } a \approx \frac{\pm e' \cdot x}{y}$$

ただし  $\delta, \delta', \delta^2, \delta'^2, e'^2$  は、比較的小なる値であるから略す。

沈下測定時の誤差は、橋脚天端左右方向の振幅の出ない時には発生しない。これは  $e \equiv 0$  としたためである。

いま、 $x = 1.5\text{m}$  として天端左右方向の半振幅  $e' = 0.1 \sim 0.5\text{mm}$  に変化させ、 $y = 2 \sim 15\text{m}$  に変化させた時の発生誤差は、図-4 に図示してある。

普通一般の橋脚は、 $y = 7 \sim 10\text{m}$  で  $e' = 0.3 \sim 0.4\text{mm}$  の範囲が多いので、この時の誤差の最大値は 4/100mm 程度である。構造物試験では、一般に誤差修正を行つていないしまた特別の場合以外はこのためによるいちじるしい支障は認められないようであつた。

§2. 測定器具

測定のために次の器具を使用した(写真-1~6 参照)。

a) 沈下測定器

陸上用  $\frac{1}{100}\text{mm}$  ダイアルゲージ付  
 水上用

図-2 荷重と沈下量

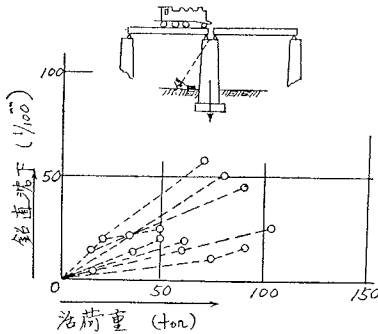


図-3

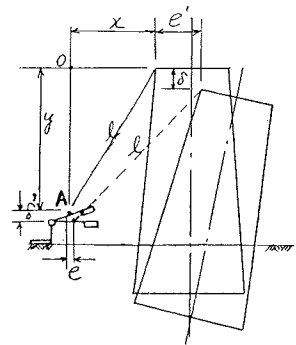
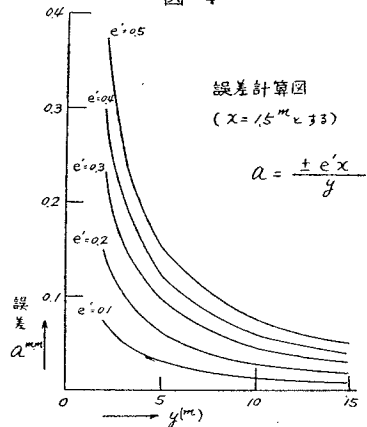


図-4



## b) 変位, たわみ, ひずみ測定器

沈下測定器に一部属品を付す

## c) 振動変位計

水平2成分円筒煤煙式, スプリングモーター付, 幾何倍率50, 固有週期0.5秒, 図上週期3.92 cm/sec

## d) ガイゲル変位計

## e) 電気抵抗式微動計および電磁オシロ

写真-1 ガイゲル変位計

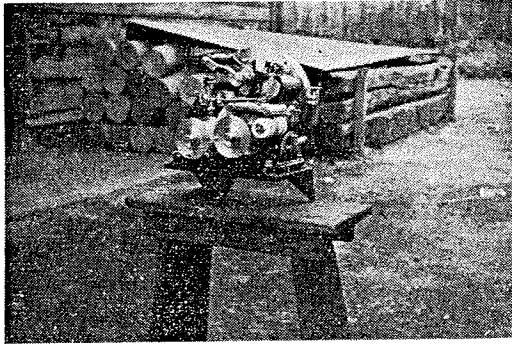


写真-2 陸上沈下測定器

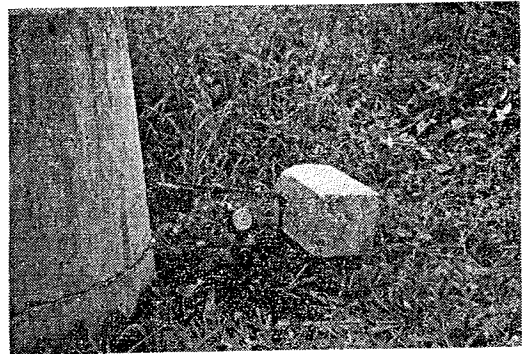


写真-3 水平ヒズミ測定器

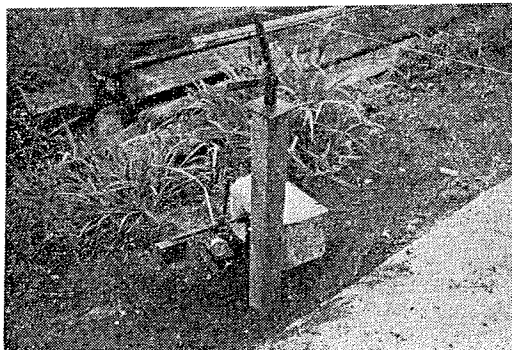


写真-4 水上沈下測定器

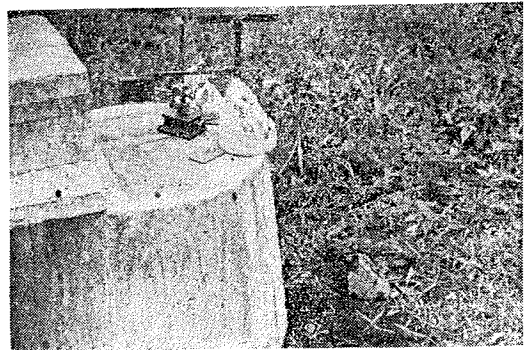


写真-5 橋脚振動変位計

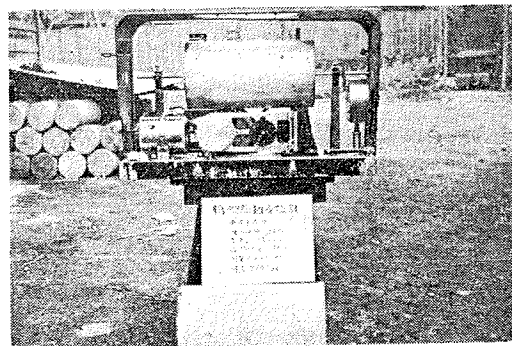
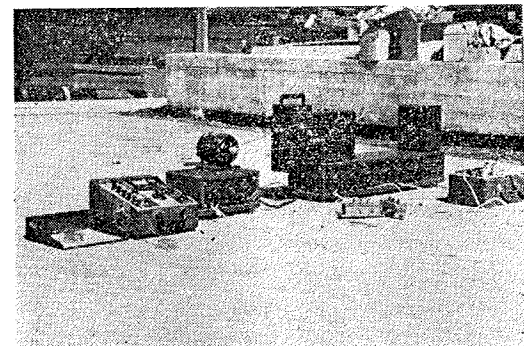


写真-6 オシロ, 微動計, インチケータ



## §3. 用語の定義

本文にはつぎの用語を用いている。

鉛直沈下とは、躯体の左右方向沈下量がほぼ等しい時の動的沈下とする。また沈下とは、列車等による構造物天端左右端と地表面との間の動的相対沈下とする。

鉛直偏倚沈下とは、躯体の左および右方向沈下量がある程度以上異なる時の動的沈下とする。

傾斜沈下とは、躯体の鉛直の沈下量に比し傾斜による沈下量が特に大なる時の動的沈下とする。

動揺振動とは、躯体の左右方向振動の原点が基礎底面以下にある場合の振動とする。

弾性振動とは、軀体の左右方向振動の原点が軀体中にある場合の振動とする。  
 合成振動とは、軀体の左右方向振動の原点がある瞬間には基礎底面以下にあり、また他の瞬間には軀体内にある場合と、振動の原点が軀体内および基礎底面以下に同時に発生する場合の両者の振動を総称するものとする。  
 普通基礎とは、下部構造中、杭、井筒基礎以外のものとする。  
 拘束力とは、ある外力を受けて物体が変位をしようとする時にその物体の変位を妨げようとする力とする。  
 次に図面符号について説明をする。

図-5 図面符号

	旧構造		新構造		橋台	橋脚	一般
	直上	最大	直上	最大			
橋台	△	△	△	△			
橋脚	○	○	●	▲			
普通基礎	○	○	●	▲	○	○	○
杭基礎	△	△	●	▲	○	○	○
井筒基礎	□	□	■	■	○	○	○
計算値							x
実測値							○

本文中の実測結果を示す図面中の各点に適用されている符号は、  
 図-5 に示す意味をもっている。

図の説明で、直上とは、機関車重心が測定構造物の直上に来た時を意味し、また最大とは、その構造物の振幅が前後あるは左右方向で最大となつた時のことを意味する。この時の機関車先輪位置は該構造物を通してのものが普通であるが橋梁構造等によつては一定していない。

### 第3章 沈下量実測結果と考察並に性状

#### §1. 荷重および沈下と基礎土質の実測結果

##### a) 鉛直沈下

図-6 には、作用荷重による沈下の状態が示されている。沈下量は、 $Q_1$  が作用した時が  $\delta_{a-1}$  で、 $Q_2$  が作用した時には  $\delta_{b-2}$  である。

また、偏倚沈下量は、 $\delta_{a-1} \sim \delta_{b-2}$  にて示される。

このようにして、求められたものは、図-7 より 図-12 に記入してある。

図-7 から 図-12 には、列車の機関車荷重、土質および、構造型式と沈下との関係を土質区分毎に示してある。土質が変つて地耐力が減少すれば沈下の増大することが示され、また橋台は橋脚より一般に沈下の少ないことが示されている。

岩盤上の橋脚は、沈下量の分布幅が極めて大きい。この原因は、基礎地盤の洗掘、腐蝕或は新設時の岩盤の緩み等が主なものでないかと考えられる。またこれら橋脚の大部分は、円形橋脚で基礎フーチングのないものであつた。しかし岩盤上でも楕円橋脚では上記の分布幅が狭く沈下量も少ないようであつた。

図-7~図-12 において

$$\delta \cong \alpha_0 P \dots \dots \dots (3-1)$$

とおけば係数  $\alpha_0$  として 表-1 に示す値をうる。

ここに

$\delta$  : 鉛直沈下量 (mm)

$P$  : 機関車重量 (t)

$\alpha_0$  : 係数 (mm/t)

この表に示してある標準値とは、最多頻度のものである。

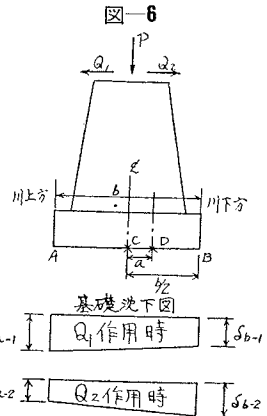


図-7 岩盤

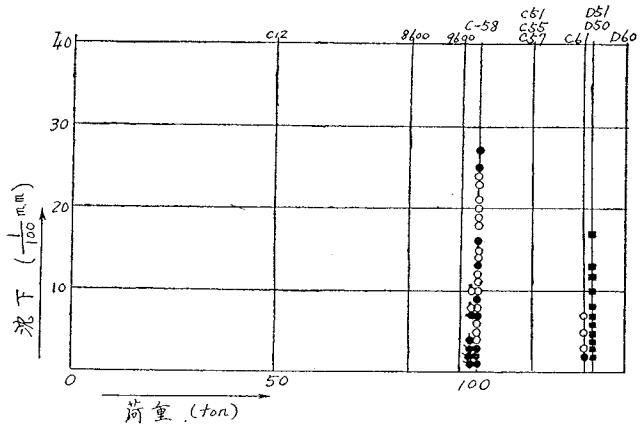


図-8 締まつた砂礫

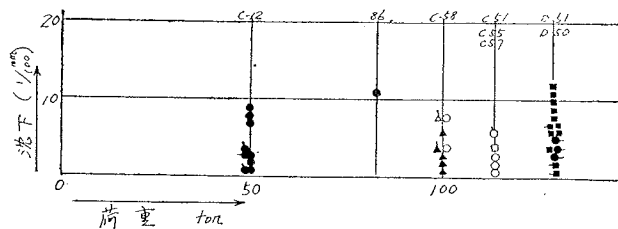


図-9 緩い砂

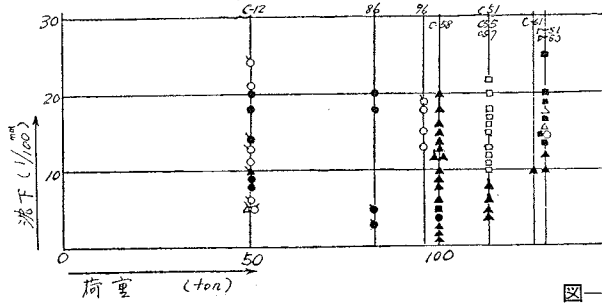


図-10 締まつた粘土

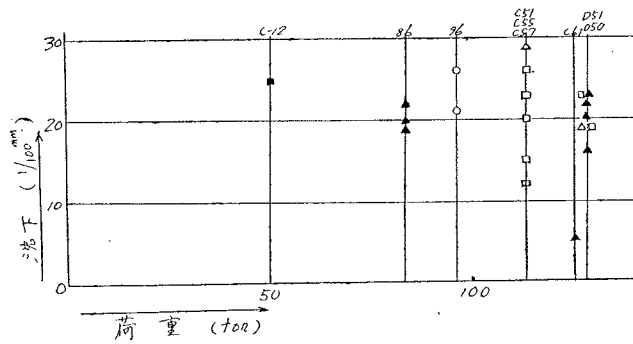


図-11 緩い粘土

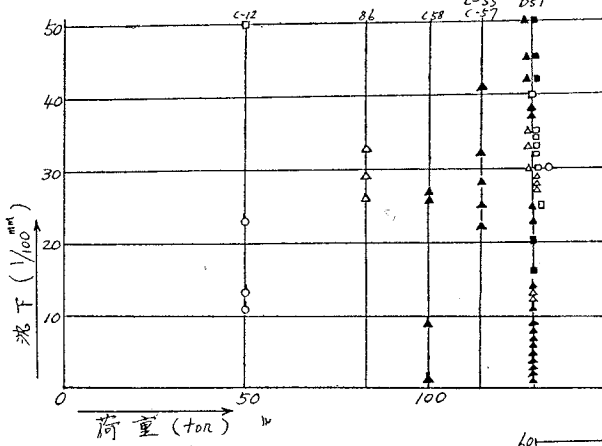


図-12 圧密される粘土

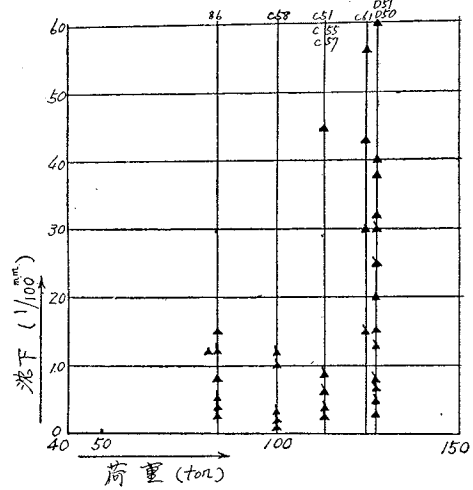


表-1  $\alpha_0$  の 値

単位 (mm/t)

土 質	上 部 構 造 — 鉄 桁						上 部 構 造 — コンクリート桁					
	橋 台			橋 脚			橋 台			橋 脚		
	上限値	下限値	標準値	上限値	下限値	標準値	上限値	下限値	標準値	上限値	下限値	標準値
岩 盤	15 10 000	1 10 000	5 10 000	27 10 000	1 10 000	8 10 000	2 10 000	1 10 000	1 10 000	12 10 000	1 10 000	5 10 000
締 ま っ た 砂	8 10 000	1 10 000	4 10 000	14 10 000	2 10 000	5 10 000				2 10 000	1 10 000	2 10 000
緩 い 砂	18 10 000	1 10 000	5 10 000	20 10 000	5 10 000	13 10 000				15 10 000	5 10 000	10 10 000
締 ま っ た 粘 土	16 10 000	5 10 000	10 10 000	27 10 000	10 10 000	18 10 000						
緩 い 粘 土	26 10 000	1 10 000	5 10 000	40 10 000	16 10 000	32 10 000						
圧 密 さ れ る 軟 弱 土	24 10 000	1 10 000	7 10 000	60 10 000	30 10 000	45 10 000						
$\alpha_0$ の標準範囲	4~10 10 000			5~45 10 000			1 10 000			2~10 100 000		

b) 傾斜沈下

構造物が、沈下をなす時に鉛直の沈下量に比し傾斜による沈下量の大きな場合を図示すると 図-13 および 図-14 に大別される。

この時の躯体天端左右方向振幅と構造体寸法および傾斜沈下量との関係は、夫々 (3-2), (3-3) 式にて、基礎底面の回転軸の鉛直沈下量を僅少なものと無視することにより、幾何学的に次のごとく求められる。

傾斜沈下

図-13 において  $\Delta l$  : 左右方向振幅とすると図より

$$\Delta l = \frac{4l}{b} \times \delta \quad \dots\dots\dots (3-2)$$

をうる。

傾斜偏倚沈下

図-14 において  $l : \Delta l_1 = \left(a + \frac{b}{2}\right) : \delta_2$

$$\left. \begin{aligned} \text{これより} \quad a &= \frac{\delta_2 l}{\Delta l_1} - \frac{b}{2} \\ &= \frac{-\delta_1 l}{\Delta l_2} + \frac{b}{2} \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (3-3)$$

図-13

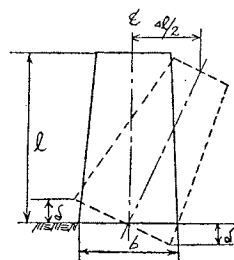


図-14

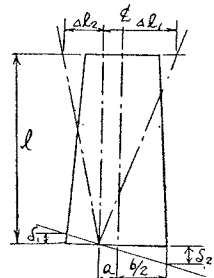


図-15 傾斜沈下

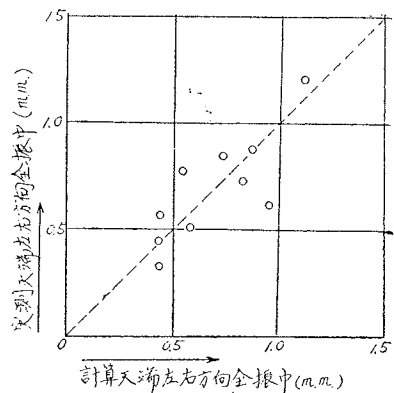


図-15 には (3-2) 式により計算した値と実測値との関係が示されている。図では両者の関係がほぼ直線的で両者の値が近いので式の示す如き現象が発生しているものと推定される。しかし岩盤上の橋脚が必ず傾斜沈下を行っているものではなく、発生のためには、何等かの条件を必要とするものと考えられる。

発生箇所より見ると旧構造物では、基礎地盤の洗掘、腐蝕或は新設構造物では掘削による地山の緩み等が原因であるように考察される。

§2 地盤係数と基礎土質

図-16 に示してある鉛直沈下量は、各構造物について実測値より求めたものである。

またその下部構造物にかかる列車による鉛直力 (衝撃を含まず) を下部構造の基礎の種類に拘らず、その底面積にて割つた値を  $q$  とし、その荷重によるその下部構造の沈下量  $\delta$  にて、この  $q$  を割つたものを地盤係数  $k_0$  とした。測定した鉛直沈下量を図の横軸に、また地盤係数  $k_0$  を縦軸とし、各種基礎を有する下部構造について、 $\delta$  と  $k_0$  の関係を示したものが 図-16 である。

この図の左側にある各種基礎の土質区分は、右の図と関連づけて作られてある。

図-16 の曲線は、基礎構造別にそれぞれ  $k_0$  と  $\delta$  との関係が双曲線の形をとっている。



次に 図-16 の曲線が双曲線であるとすれば

$$q = k_0 \times \delta$$

この関係より基礎毎の  $q$  の値を 図-16 より求める。

このようにして求めた値を下記に示す。

- 普通基礎  $q \cong 0.55 \text{ kg/cm}^2$
- 杭基礎  $q \cong 0.40 \text{ kg/cm}^2$
- 井筒基礎  $q \cong 0.75 \text{ kg/cm}^2$

次に 図-16 より基礎構造別、土質別に  $k_0$  の値を表-2 の如く求めた。

図-16 地盤係数による地盤土質の判定図

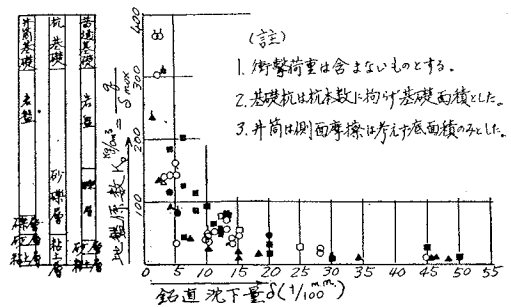


表-2 地盤係数と基礎構造および土質 (kg/cm²)

基礎	地質	岩盤	礫層	砂層	粘土層
普通基礎	—	140 以上	40 以上	17 以上	0~17
杭基礎	—	—	50 以上	—	0~50
井筒基礎	—	80 以上	50~80	35~50	0~34

§3 沈下運動拘束作用の解析

a) 下部構造左右方向偏倚沈下

下部構造物が沈下をなす時に左右方向の内、いずれか一方に他方より大きく沈下する場合は屢々見られる。

次に実測結果について見ると、図-17より図-19には、躯体の川上、川下間の沈下の偏倚状態を示して、普通基礎、杭基礎、井筒基礎の3種に区分してある。図中の符号の下のアンダーラインは、偏倚沈下によつて振動図に明瞭に左右方向振幅偏倚の認められたものであり、Vの符号は沈下量の大きい側と逆の側に左右方向振幅が増大偏倚することを示している。なおラインおよびVのない点は偏倚があつてもその差が比較的明瞭でないことを示しているものである。従つて動揺振動にあつては、一般に沈下偏倚量の異なる方向に躯体天端左右方向振幅が増大偏倚する傾向がみられる。また弾性振動においては、一般に沈下偏倚量の異なる方向でなく反対方向に振幅が増大偏倚する傾向が見られる。この結果、弾性振動には一般に躯体中間よりくの字にすなわち多次振動が発生し易いと推定される。

図-17 普通基礎

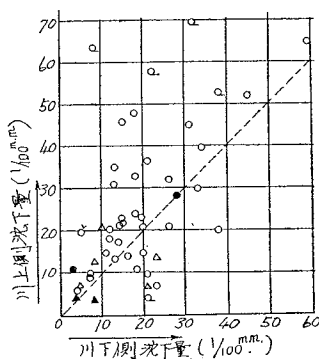


図-18 杭基礎

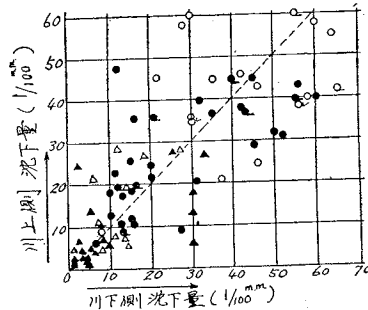
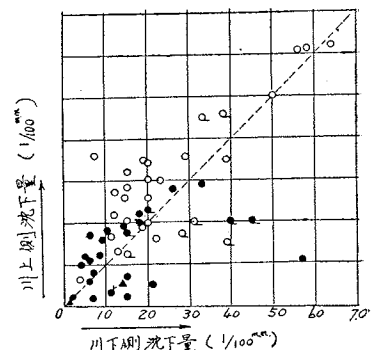


図-19 井筒基礎



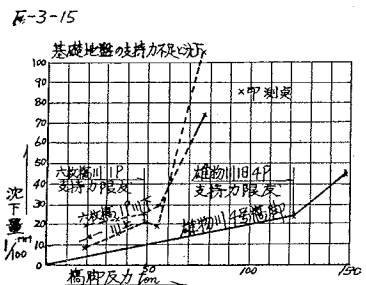
今左右方向偏倚沈下量は、実測結果の示す一般的傾向よりすれば、躯体全高、および基礎の最大沈下量の増大につれて増大することとなり、この最大沈下量の増大は地耐力の小さな土、すなわち軟弱となることを示すものである。

沈下偏倚方向は、普通基礎に於ては沈下量が異なるにつれて川上側が多く、杭、井筒基礎においては川上、川下の方向別の顕しい傾向は認められなかつた(図-17~19 参照)。

b) 基礎地盤支持力不足と沈下

支持力の充分ある橋台、橋脚の沈下は鉛直荷重量に対し 図-2 の如く

図-20



直線の変化をするものであるが、支持力の不足な橋脚は、図-20の如く彎曲点をもつようである。

したがって、彎曲点の後は活荷重を受持たしめるべきでないと考えられ、またこの現象により基礎の許容支持力を推定することができると思われる。

c) 橋脚偏倚沈下

図-21は新設井筒橋脚であるが基礎地盤の関係で大きい偏倚沈下が川下に出ている上に振幅にも明瞭にその偏倚が出ている。

また表-3は無筋コンクリート普通基礎橋脚の偏倚沈下を示すもので振動図にも明瞭に偏倚が出ている。

図-21

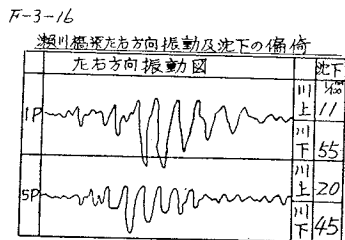


表-3 奈曾川橋梁沈下表

単位 1/100 mm

機 関 車	沈 下 量	
	川 上	川 下
1 A C-51	7	4
1 P D-51	81	19
2 P C-51	20	5
3 P D-51	64	8
2 A C-57	10	8

d) 躯体基礎補強による沈下量の減少

表-4は、雄物川4Pの根固工と17Pの躯体および基礎部へのセメント注入を実施した結果とを示してある。また、吉田川6Pは周辺に支持の増杭をなしたもので、ともに補強効果が認められる。

表-4 躯体基礎補強による沈下減少 単位 (1/100 mm)

橋 梁 名	橋 脚	試験時機	川上沈下量	川下沈下量	補 強 法
雄 物 川 橋 梁	4 P	補 強 前	43		
		" 後	20		
	17 P	" 前	115	80	セメント注入
		" 後	60	47	
吉 田 川 橋 梁	6 P	" 前	46.87	67.89	増 杭 (支持)
		" 後	2	7	

e) 杭補強による沈下現象

表-5は、旧杭基礎の周辺に摩擦杭を打ち補強したもので、所期の効果は出ていないようであった。

これは地盤が施工中緩んだこと、摩擦杭補強であったことの原因の他に、杭打の一般工法をとつたため、新杭に構造体の死荷重が十分働かず活荷重もまた新杭に作用していないことによるものと考えられ、補強根拠による地盤の緩みのみが作用として残つたものと考えられる。

ここでは、結果的に加圧工法をなす必要があつたものと考えられた。加圧工法は、基礎杭補強の際に行つたものである。在来行つている杭補強の欠点は、旧杭の受持つ死荷重と補強杭の受持つ死荷重とが異なつているために、補強後も補強杭にて受持つ総荷重は旧杭の割合よりも著しく小さい。この欠点を除き、少なくとも補強杭に旧杭の受持つ死荷重以上の死荷重負担をなさしめるべく、補強フーチング上に補強杭頭を露出せしめ、このフーチングに反力をもたせてジャッキにて杭頭を加圧し、加圧の状態にて杭頭をフーチングに固定埋込する工法をいうものである。これにより補強杭の死荷重負担力が増加し、この結果総荷重の負担力も増して補強効果があがる

表-5 迫川橋脚補強による沈下現象

橋 脚	川 上			川 下		
	旧	新	増加率	旧	新	増加率
1	32	45	1.41	50	40	0.80
2	45	40	0.89	45	55	1.22
3	19	45	2.37	15	40	2.67
4	23	32	1.39	11	52	4.72
5	28	37	1.32	25	25	1.00
6	22	29	1.32	20	45	2.25
7	50	37	0.74	50	43	0.86
8	16	25	1.56	15	20	1.34
9	20	37	1.85	20	35	1.75
10	26	37	1.42	20	50	2.50
11	29	60	2.07	33	30	0.91
12	22	24	1.09	12	23	1.92
13	—	20	—	—	37	—
14	19	15	0.79	19	26	1.36

※ 表中記載の新旧沈下量は何れも 1/100 mm の単位である。

増加率は  $\frac{\text{新測定値}}{\text{旧測定値}}$  で示しているので増加率が

1より大きい場合は増加を示し、1より小なる場合は減少を示している。

ものである。またこの工法によつて補強した構造物、例えば昭和32年に施工した鳴瀬川橋脚梁橋脚では沈下振動試験の結果極めて効果のあることを知りえた。

f) 複線橋脚の沈下現象

表-6は、複線橋脚上に偏心単線のある場合のもので沈下の値も列車の通らない方向は(-)の値がでていた。

g) 老朽構造物の沈下

躯体、基礎が健全であれば沈下量は基礎地盤土質の影響を大きくくける。

表-7には、土質による沈下を分離した値を躯体全高で割つたものを示してある。

判定結果では、煉瓦橋脚での躯体の縮みは、横目地切れのある場合で1~3/100 mm/m

横目地切れ大きい場合で 5~7/100 mm/m

縦横の目地切れ大きい場合で 7~10/100 mm/m

程度に大別しても支障が少ないようである。

表-7の芋川、浅瀬石川橋梁は、ブロック工で基礎水中コンクリート、また子吉川はコンクリート工であつた。これらの値は主

として水中コンクリート施工に起因する基礎コンクリートの老朽礫化による縮みと推定された。一般に基礎が水中コンクリート以外の時は、構造物の全高で躯体縮み量を割り、目地の縮み平均量を求める。

表-6 胆沢川橋梁複線橋脚の沈下

橋脚	機関車	沈下量 1/100 mm			
		上り		下り	
		川上	川下	川上	川下
1P	D51	—	+20	—	—
2P	〃	-3	+40	-4	+42
3P	〃	-5	+39	-5	+36
4P	〃	-2	+54	-2	+53
5P	〃	-3	+57	-3	+52
6P	〃	-11	+75	-12	+67
7P	〃	-8	+50	-7	+50
8P	〃	-9	+82	-11	+89
9P	〃	-10	+48	-9	+46
10P	〃	-12	+48	-10	+39
11P	〃	-7	+54	-6	+48
12P	〃	-10	+46	-9	+40
13P	〃	-10	+35	-10	+38
14P	〃	-10	+52	-10	+52
15P	〃	-3	+55	-8	+51
16P	〃	-9	+47	-8	+46
17P	〃	-7	+54	-8	+54
18P	〃	—	+6	—	+9

表-7 躯体、基礎老朽による沈下量の増大

単位 1/100 mm

橋梁	橋脚	実測沈下量		土質による沈下量	躯体および基礎の縮み量			橋梁	橋脚	川上			川下			上段と下段との距離	
		川上	川下		総量	躯体高	1m当り			上段	下段	躯体縮	上段	下段	躯体縮		
芋川(石積)	1	150	137	20~33	117	10.9	10.7	浅瀬石川(石積)	1	130	42	88	148	93	55	川上 5.9m	
		140	135	20~25	115	10.5	60			40	20	123	90	33			
	2	130	118	20~32	98	10.9	9.0			72	45	27	126	90	36	川下 0.9m	
		52	43	9	123	90	33										
子吉川(煉瓦)	1	120	120	25~25	95	8.4	11.3	浅瀬石川(石積)	2	113	91	22	130	76	54	川上 2.8m	
	2	80	110	25~55	55	8.4	6.5			110	82	28	110	65	45		川下 3.35m
	3	75	90	25~40	50	13.6	3.7		3	135	95	40	154	127	27	川上 3.25m	
	9	90	100	25~35	65	13.7	4.7			116	42	74	154	116	38		
	10	110	120	25~35	85	8.4	10.1			147	73	74	194	120	74		川下 3.54m
	11	80	70	25~35	55	8.4	6.5			143	66	77	175	111	64		
	12	115	118	25~28	90	8.4	10.7										
13	110	135	25~50	85	8.4	10.1											

§4. 動荷重による沈下の運動性状の結論

- 1) 躯体に列車荷重が作用すれば基礎地盤は、一般に荷重に比例した沈下を発生する。
- 2) 沈下量は、基礎土質が軟弱になる程同一構造、同一荷重では増加傾向をとる。
- 3) 岩盤上の橋脚で基礎部が腐食しているものの中には、列車荷重により僅少な沈下をすると共に大きな傾斜をなし、いわゆる傾斜沈下をするものがまれにある。
- 4) 構造物は、基礎土質および基礎構造別毎に特有の地盤係数をもつものである。
- 5) 構造物が荷重により沈下する時は、若干の偏倚量が出易い。この量は、根入浅く、躯体の全高大でかつ、基礎土質軟弱となるほど大となる傾向をとつている。
- 6) 複線橋脚の川上方を列車が通過する時は、川下方に浮上する傾向が出ているものがある。
- 7) 沈下量は、躯体老朽目地切れのある構造物では、地盤沈下と躯体の縮みの和として一般に現われる。

第4章 振動実測結果の性状と考察

§1. 記号、番号

第4章の表および振動図中に使用してある記号、番号の説明は表-8にある。

振動図の縮尺は次の通りである。

本図は原図を約 1/4.7 に縮めてある。

振動図中、左右方向の振動をとつたものを記号  $L$  としてあり、また前後方向の振動をとつたものを記号  $F$  としてある。

次に §2 以下に述べた振動性状は、70 河川について約 200 基の下部構造を 表-8 の記号により分類して求めたものである。尚振動記録は紙面の都合上一部のもののみ掲載することとした。

§2. 振動性状

a) 動揺振動

次の場合に動揺振動が発生し易い。

- 1) 一般に躯体健全なもの。
- 2) 一般に躯体の健全な構造物では、地盤軟弱で地盤拘束力小なる個所のもの。
- 3) 岩盤上に基礎のある構造物では、基礎の密着不良か或は腐食をなしているもの。

b) 弾性振動

次の場合に弾性振動が発生し易い。

- 1) 一般に基礎地盤の拘束力大なる個所のもの。
- 2) 躯体の材質が、コンクリートブロック、煉瓦および石積工のもので躯体に弱点のあるもの。
- 3) 躯体の健全なるものでは一般に地盤拘束力特に大なる個所のもの。

表-8

振動性状	動弾性結合	揺成	振振	動動	1 2 3	躯体健全度	健全	00
	上部構造	構架	コンクリート	桁橋	T G C		健全	10
	基礎構造	管	坑	通	N P W		健全	20
基礎構造	岩盤	砂	粘	盤	A B C D E F	基礎状態	健全	30
	土質	粘	極	土	D E F		健全	40
	下部構造	鉄筋	コンクリート	無筋	コンクリート		300	健全
下部構造	煉瓦	工	煉瓦	工	500	その他	健全	60
	煉瓦	工	煉瓦	工	600		健全	1
	煉瓦	工	煉瓦	工	600		健全	2
その他	煉瓦	工	煉瓦	工	600	その他	健全	3
	煉瓦	工	煉瓦	工	600		健全	4
	煉瓦	工	煉瓦	工	600		健全	5
その他	煉瓦	工	煉瓦	工	600	その他	健全	6
	煉瓦	工	煉瓦	工	600		健全	7
	煉瓦	工	煉瓦	工	600		健全	8
その他	煉瓦	工	煉瓦	工	600	その他	健全	1
	煉瓦	工	煉瓦	工	600		健全	2
	煉瓦	工	煉瓦	工	600		健全	3
その他	煉瓦	工	煉瓦	工	600	その他	健全	4
	煉瓦	工	煉瓦	工	600		健全	5
	煉瓦	工	煉瓦	工	600		健全	6
その他	煉瓦	工	煉瓦	工	600	その他	健全	7
	煉瓦	工	煉瓦	工	600		健全	8
	煉瓦	工	煉瓦	工	600		健全	9
その他	煉瓦	工	煉瓦	工	600	その他	健全	10
	煉瓦	工	煉瓦	工	600		健全	11
	煉瓦	工	煉瓦	工	600		健全	12

図-22

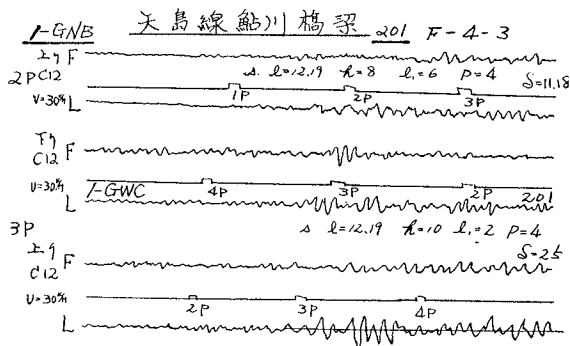


図-23

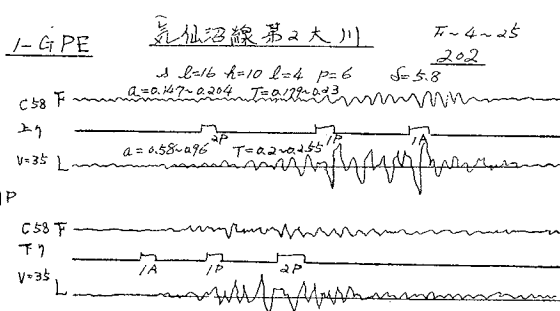


図-24

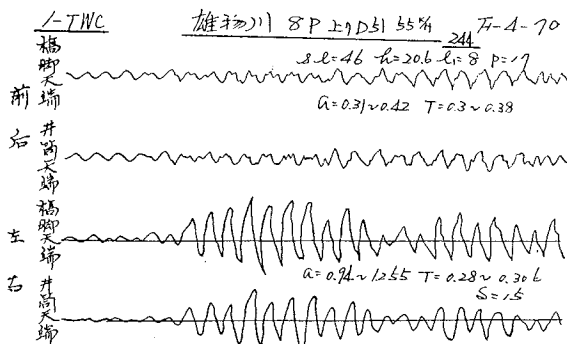


図-25

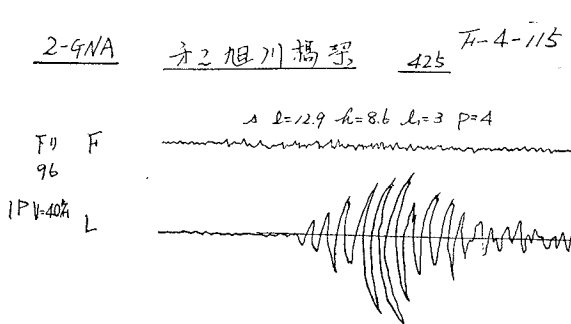


図-26

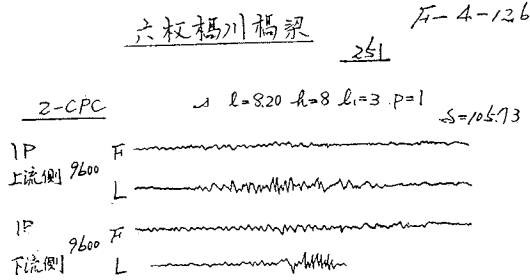
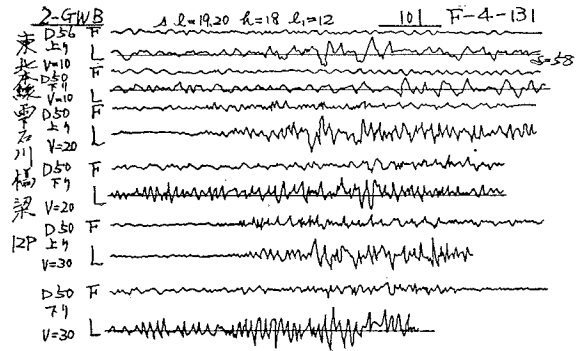


図-27



c) 合成振動

次の場合に合成振動が発生し易い。

- 1) 躯体健全地盤拘束力が動揺振動を出す箇所より若干大きい箇所のもの。
- 2) 躯体不健全なものでは、地盤拘束力が比較的小さいが動揺振動を出す箇所より若干大きい箇所のもの。
- 3) 構造物基礎底面と地盤或は、杭との密着度が荷重をうけた時に急激にまた不均等に変わり易い箇所のもの。

図-28

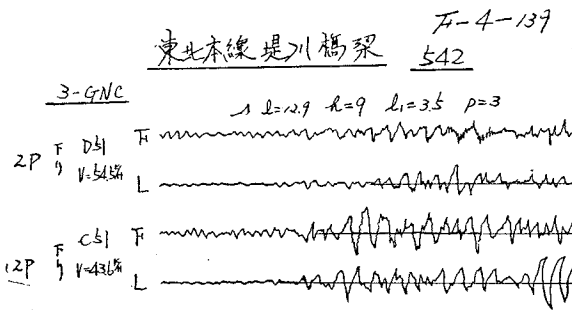
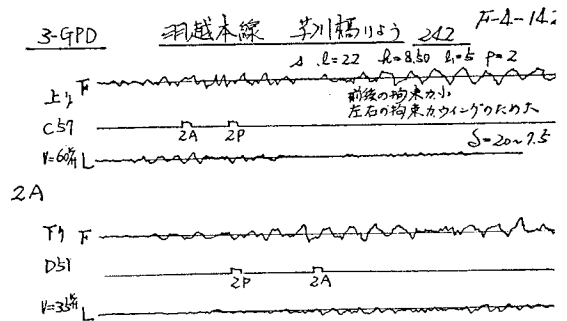


図-29



§3. 振動の考察

a) 週 期

前後方向週期は、左右方向週期の概ね 1/2 程度であるものが一般に多い。しかして特に短い週期のものは、躯体の上部に弱点のあるものも多く、下部に弱点のあるものはこれより週期が長くなっている。左右方向週期の大きなものは、動揺振動をなすものに多い。

動揺振動では躯体の健全なものにおいては、地盤軟弱、基礎洗掘、腐食或は根入小なるための地盤拘束力小なることによるものと推定される。

また躯体の不健全なものは、躯体下部の目地切れ、或は基礎の弱化に起因しているものが一般に多い。

左右方向週期の小なるものは、地盤の拘束力大なるもので一般に弾性振動をなしているものに多い。

また弾性振動をなすものは躯体健全なるものと、躯体に目地切れ或は弱点のあるものとに大別される。

b) 振 幅

動揺振動をなすものは、前後方向振幅が左右方向振幅の 1/5~1/3 程度が多く、弾性振動をなすものは 1/2 程度が多い。しかして振幅の大きいのは、一般に動揺振動をなすもので、基礎拘束力小なるものも多く弾性振動をなすものでは、躯体に弱点のあるものが一般に多い。左右方向振幅の大きなものは、動揺振動では基礎地盤の拘束力の小なるものに多いようである。また弾性振動では基礎地盤の拘束力大なるものは躯体の上部、あるいは下部に弱点のあるものにみられ基礎地盤の拘束力小なるものは、躯体下部、あるいは基礎の弱化によるものに多く見られる。

c) 橋台左右方向振幅

一般には、橋台振幅は橋脚振幅の 1/3 程度であるが地盤軟弱な箇所や橋台背面に高築堤のある箇所では、築堤

の振動によつて橋台左右方向振幅が誘発増大されて、可成り大きく一般橋脚程度のものもまれにみられることがある。

#### d) 左右方向の振幅偏倚

左右方向振幅偏倚の大なるものは、普通基礎では動揺振動をなすもので、基礎の洗掘、腐食、不等沈下、あるいは、掘削による緩みなどによるものと推定される。

また杭基礎では、基礎部の弱化によるもの、あるいは地盤の拘束力小なるものにみられるようである。

井筒基礎では、洗掘をうけているものおよび複線橋脚で偏心荷重作用をうけているもの等にみられる。

杭基礎では、地盤軟弱で拘束力の小なるもの、あるいは目地切れのあるものに多くみられる。

合成振動では、地盤軟弱で拘束力小で躯体に弱点のあるものにこの傾向が多くみられる。

#### e) 左右方向振幅最大位置

左右方向振幅は、機関車先輪がその橋脚を通過し次の経間中央付近に到達した時に最大となるものが比較的多い。

しかし橋梁基礎の地盤拘束力がその橋脚と隣接橋脚との間で特に異なる場合、或は躯体の剛度がこれら橋脚で差のある時、支間、橋脚高等の異なる時には最大振幅を出す時の機関車の位置は夫々異なるもので一定していないようである。

#### f) 前後方向振幅が左右方向振幅より大なるもの

ブロック積の老朽構造体に多くみられるが、複線橋脚で左右方向の地盤拘束力特に大なるものにもまれにみられる場合がある。

#### g) 振幅図の形状

躯体天端左右方向の振幅の振動図の形を見ると、左右端部の比較的丸味のあるもの、丸味があつてもその半径の小なるもの、および尖鋭なものとの三者に大別される。

この内尖鋭なものは次の場合に多く発生している。動揺振動をなしているものでは、基礎地盤支持力の大なるもの、すなわち岩盤上の橋脚に多い。

また弾性、合成振動をなしているものは、煉瓦、石積コンクリートブロック工に多く、これらのほとんどは躯体の上部、下部あるいは基礎部に弱点のあるものと外見上推定される。

また、鉄筋コンクリート工では、基礎部の地盤拘束力の大なるものに多い。

しかして、この例では躯体、基礎の接合部において弾性振動をして尖鋭な振動を発生しているものがある。

次に振幅図形の丸味半径の大なるものは、動揺振動中特に地盤の軟弱なところに多く発生している。

しかして、地盤が堅硬になるにつれこの尖端部の丸味の半径が小となつて来ているものが多い。したがつて、この場合にはこのことより尖端部の丸味は基礎の地盤支持力の大小の状態を示めずものと考えられる。

#### h) 遠心力による振幅偏倚

曲線橋梁には、遠心力により振幅の偏倚を生じ易いはずであるが、躯体が健全であり、地盤の拘束力大なる時には、殆んど振幅図にはこの現象が出てこないようである。しかしこれと異なる場合には偏倚現象の出るものがまれにみられる。

#### i) 列車進行方向による振動形状変化

橋脚上を通過する列車が上り、下りでその方向を変える時には、橋脚の左右方向振幅に大きな差のみられるものがある。この例では勾配区間の橋梁或は、橋台近傍の橋脚である場合の2者に大別される。しかして動揺振動をなしているものではこの現象が著しい。

他の例では、前後の支間の異なる場合、あるいは上り下り列車の機関車型式の異なる場合等があるようである。

#### j) 左右方向の振幅減衰

左右方向振幅の減衰の遅いものは、動揺振動においては、基礎の洗掘、新設橋脚における地盤の掘削による緩み、あるいは軟弱地盤のため、地盤の拘束力の小なることによるものに多くみられる。

また、弾性あるいは合成振動をなすものでは、コンクリートブロック積工・石積工・煉瓦工のものに多く、これらは、躯体の上部あるいは下部、または基礎部にある弱点に基因するものと考えられる。

#### k) 左右方向の標準波形

標準波形とは、その振幅、週期が健全な下部構造の振動図形に近く、減衰が早く偏倚のないものとする。

この波形は、健全なコンクリート構造体で一般に地盤の拘束力の大なるものに発生しているようである。構造的に見ると橋台に発生する割合が比較的多い。

#### 1) 左右方向の特殊波形

この波形は動揺振動では、基礎地盤の拘束力小なるもの、あるいは基礎の洗掘、腐食等によるものに多くみられ、この内杭基礎で発生するものは、軟弱な粘土質の個所に多いようである。

合成或は弾性振動では、躯体がコンクリートブロック、煉瓦、或は石積工であつて、躯体およびその基礎部に弱点のあるものに多くみられる。

また、躯体健全なものでは、新設構造物で地盤のセット、不十分なもまたは基礎底面を段切りしているものなどにみられるようである。

#### m) 左右方向の振幅変化図

橋梁上を列車が通過する時の振幅の変化を、最大振幅位置に注目し分類すると 図-30 の如くなる。

これらの形式、A~O はそれぞれいかなる条件で、いかなる構造体に発生するかは未だ明かになし得ないが、図-30 についてみるに、動揺振動をなす時には橋脚  $P_{n-1}$ 、 $P_n$ 、 $P_{n+1}$  の基礎地盤の左右方向拘束力に大きく支配され、また弾性振動をなす時には上記橋脚の躯体の剛度により大きく支配されるのではないかと推定される ( $P_n$ : 測定橋脚)。動揺振動では一般に、橋脚反力の大きい場合に最大振幅が左右方向において現われ図の A, B, F の波形をとるようであるが、 $P_{n-1}$ 、橋脚が特に地盤拘束力小であるか或は躯体剛度小なる場合にはこの影響を  $P_n$  橋脚が受けて、G の波形が出易くなり、また  $P_{n+1}$  が  $P_{n-1}$  のようであれば、C, D, E の形が出易くなるのではないかと推定される。

また他の形は、更に他の要素が付加されて一層複雑な形をとるに至っているものと推定される。

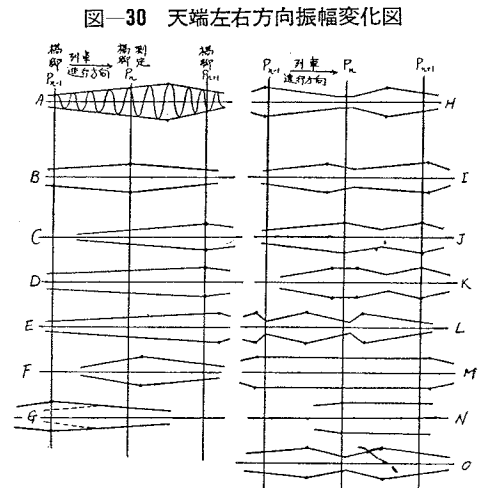


図-30 天端左右方向振幅変化図

#### §4 振動性状の結論

- 1) 振動の種類は、動揺、弾性、合成振動に区分される。
- 2) 一般に躯体の健全度、基礎の拘束力等により発生すべき振動の種類が定まる。
- 3) 前後方向週期は、左右方向週期よりも一般に小さく弾性振動をなすものは、動揺振動をなすものの週期よりも一般に小さい。また同一構造体では振動の変位原の低下につれ、また同一作用力に対する水平変位量の増大につれて週期は増大する傾向が一般にある。
- 4) 前後方向振幅は、左右方向振幅よりも一般に小さい。また弾性振動をなす時の振幅は動揺振動をなす時のものよりも一般に小さい。
- 5) 橋台左右方向振幅は、橋脚よりも一般に小さい。また橋台振幅は、背面盛土の影響をうける場合もみられる。
- 6) 動揺振動における振幅最大位置は、一般にその橋脚に最大反力を与えるとき位置に荷重のある時に発生しているものが比較的多い。
- 7) 複線橋脚および老朽ブロック構造体の内には、前後方向振幅が左右方向振幅よりも大なるものがまれにある。
- 8) 振動図形の振幅の尖端形状の尖鋭度により地盤拘束力、地耐力、および躯体の健全度の比較をなしうる場合が多い。
- 9) 健全構造体では、振動図に遠心力のための偏倚振幅の現われる場合は一般に少ない。
- 10) 同一構造体上を通過する列車による振動は、一般に上り、下りの進行別により異なるものであるが弾性振動をなすものは、動揺振動をなすものよりもこの差異は一般に少ない。
- 11) 天端左右方向振幅の減衰速度は、健全構造体が不健全構造体よりも一般に早い傾向にある。
- 12) 標準に近い振動波形は、健全構造体に見られるが軟弱個所の杭基礎構造および老朽度特に大なる構造体に

は特殊波形の現われる場合が多い。

13) 列車通過時の天端左右方向振幅の変化を最大振幅位置および形状に注目して分類する大体15種に区分される。

### 第5章 動揺振動の実測結果と考察ならびに性状

#### §1 動揺振動振幅週期の実測結果

##### a) 軀体天端前後および左右方向振幅

以下の図中にプロットしてあるものは、数十カ所の構造物を夫々列車が通過した時の値であり1カ所の橋脚上に各種列車が通過した時のものではない(5~8章)。

図-31より図-33において共通なことは左右方向振幅は、前後方向振幅より大きく、新設構造物程この傾向が一般に強いようである。

今、前後方向振幅を左右方向振幅で割った値

図-31 普通基礎

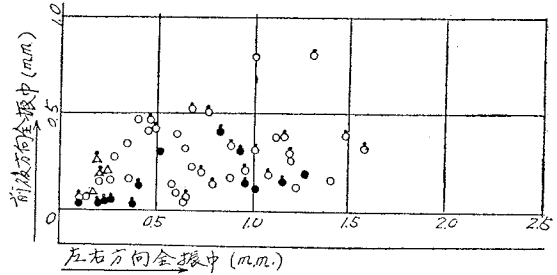


図-32 杭基礎

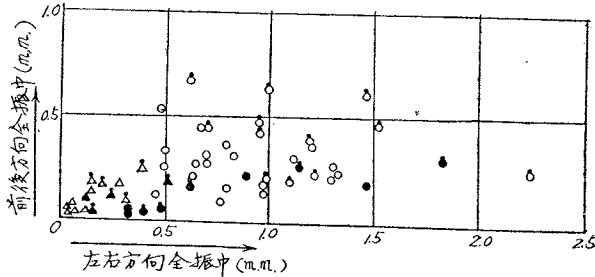


図-33 井筒基礎

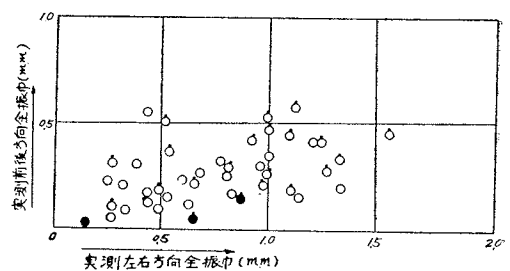


表-9  $z_1$  の表

区分	基礎区分	新設						旧設					
		鉄桁用			コンクリート桁用			鉄桁用			コンクリート桁用		
		上限値	下限値	標準値	上限値	下限値	標準値	上限値	下限値	標準値	上限値	下限値	標準値
普通基礎	橋脚	0.45	0.03	0.25	0.05	0.05	0.05	1.20	0.10	0.30			
	橋台							0.85	0.22	0.55			
杭基礎	橋脚	0.25	0.12	0.17			0.04	1.07	0.12	0.30			0.12
	橋台	0.60	0.17	0.50			0.30	1.20	0.80	1.00			0.133
井筒基礎	橋脚						0.17	1.28	0.13	0.30			
	橋台												

を  $z_1$  とすると表-9をうる。表中標準値とは、最多頻度を示した  $z_1$  の値である。

##### b) 軀体天端前後および左右方向週期

図-34より図-36をみると前後左右週期間には特別な関係が出ていないようである。

また、測定構造物の根入長さおよび支間ごとに区分しても特別な関係は出ていないようである。

しかしてこれらの平均値は、表-10に示してある。

図-34 普通基礎

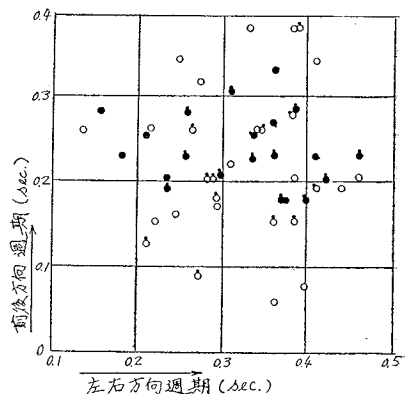




図-35 杭基礎

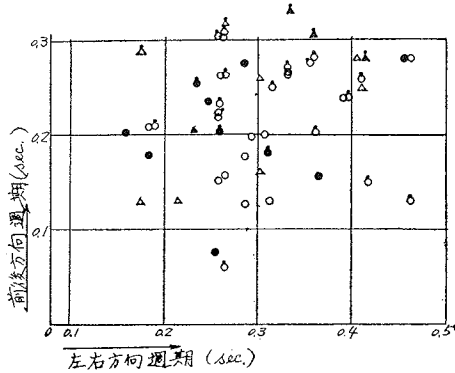


図-36 井筒基礎

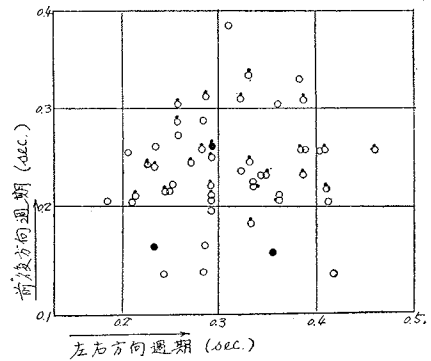


表-10 前後左右方向週期 (sec)

	前後方向	左右方向	平均値	
			前後方向	左右方向
普通基礎	0.06~0.38	0.13~0.46	0.18~0.29	0.23~0.4
杭基礎	0.06~0.33	0.15~0.46	0.13~0.28	0.25~0.41
井筒基礎	0.12~0.385	0.185~0.46	0.20~0.30	0.20~0.40

c) 軀体天端左右方向振幅週期

図-37 より 図-39 をみると振幅の増加につれて週期の増加傾向が出ている。

図-37 普通基礎

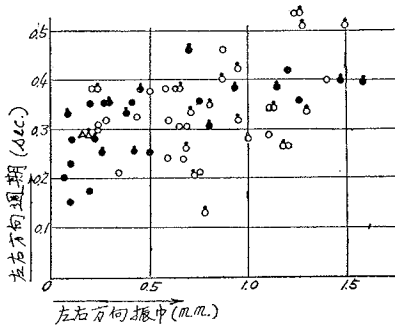


図-38 杭基礎

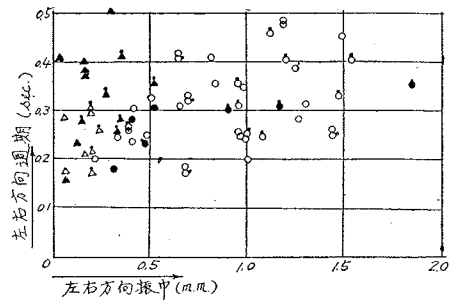
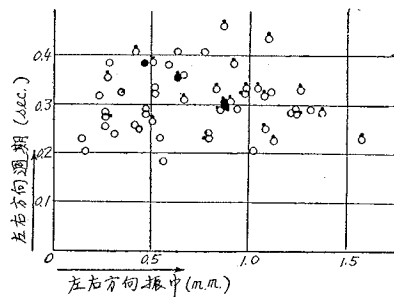


図-39 井筒基礎



d) 軀体天端前後方向振幅週期

図-40 より 図-42 をみると一般的傾向として新設構造物では振幅の増加につれて週期の増加するものが認められる。今、前後方向週期を前後方向振幅で割った値を  $z_2$  とすると 表-11 をうる。

表-11  $z_2$  の表

	測定結果よりの値	平均値
普通基礎	0.48~4.00	1.00
杭基礎	0.38~4.00	1.02
井筒基礎	0.40~4.50	0.72

図-40 普通基礎

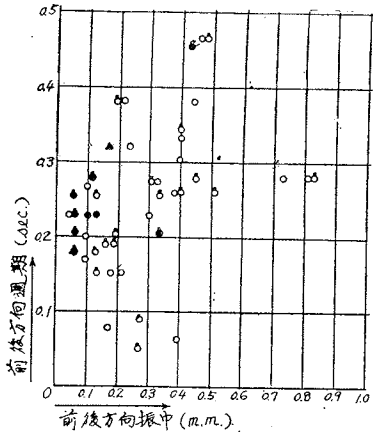
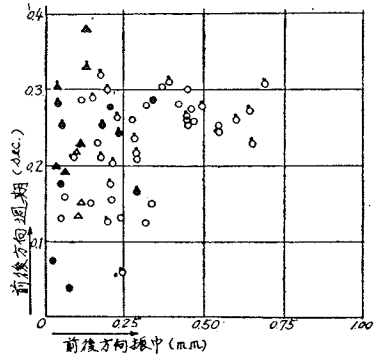


図-41 杭基礎



§ 2 動揺振動拘束作用の考察

a) 機関車荷重, 列車長, 速度

重連の機関車の通過時には, 単機の時の列車よりも一般に振幅が大きい。また基礎地盤が軟弱になり, 荷重が増加する程振幅の増量が一般に著しい。

これは沈下量が増すために振幅が増大するものと考えられる。

次に多径間橋梁上を多数の車輛を索引した列車が通過する時には, 上り, 下りの別による橋脚天端左右方向振幅は両者間で著しく差が出るものが多いようである。

図-46 には, 列車長および速度が夫々大なるほど左右方向振幅の大となる例を示してある。ただし下り列車はこの関係を満してはいなかった。

図-43 でこの原因を考察する。図の上り列車による影響線は2つの影響値の和であつて, 1つは1P の前後両支間に亘る主として反力に比例する三角形であり他の1つの斜線部の値は前者の値と桁に作用する列車の横力および基礎地盤振動等による要素を含む影響値と考えられる。

これらの値の総合した影響線値は曲線の形をとるが曲線形が明でないために便宜上直線の形で示めておいた。

この図-43 では1P に最大振幅を与える荷重状態は, 1P~2A 迄車輛のある場合である。

このような現象のために上り列車では 図-46 の如き結果が出たのではないかと考えられる。

また下り列車では, 1P については1A~1P 間が1径間であり車輛増加の影響が1径間に亘るもので 図-43 の上りの如く多径間に亘つて現われなかつたためのものと考えられる。

列車速度の増加する場合は, 一般に速度と振幅が比例して増大している傾向が 図-44 にみられこのために 図-43 の影響線値が増し 図-46 のごとき現象が出たものと考えられる。

列車速度と左右方向振幅は 図-44 の如く必ずしも直線比例するものではなく各種の要素があつて, 増加率も一

図-42 井筒基礎

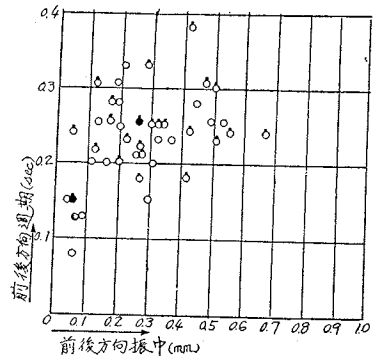


図-43

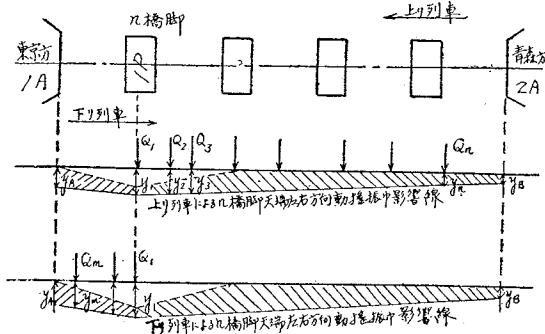
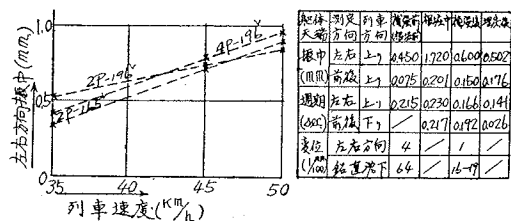


図-44



定してない。ここには特に速度試験をした結果の一例を示めずこととした。

図-45 は、無筋コンクリート橋脚が洪水により洗掘された時の測定値と、動揺防止のためにこの橋脚上の両桁間に亘つて軌道内に橋軸線方向に軌条桁を挿入し補強した結果の測定値とを示めておいた。

図-45

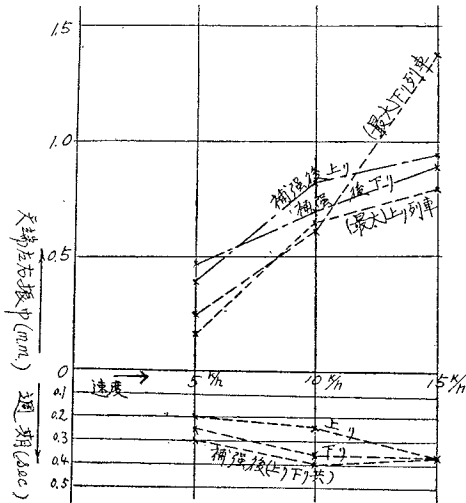
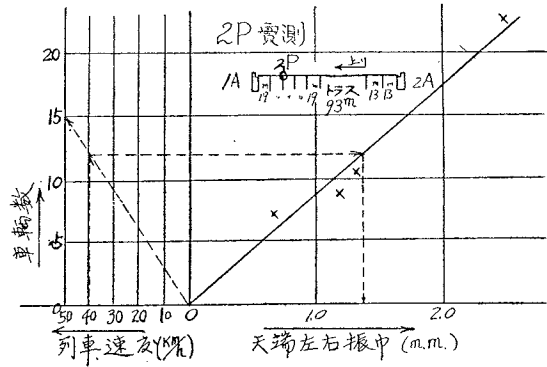


図-46



b) 橋梁内橋脚位置

動揺振動をなしている橋梁中の橋脚は、上り、下り、列車により左右方向振幅に差の出る場合が一般に多い。この原因は列車の機関車型式が上、下列車で異なる場合、また該橋脚の隣接桁の支間の異なる時等によるものと考えられるが、これよりも橋脚位置による影響が大きいようである。この橋脚位置による差異は、図-43 によつて説明されると考えられ。

図-43 において動揺振動左右方向振幅は次式で表わされる。

$$\left. \begin{aligned} \text{上り列車, 左右方向振幅} & \quad \Delta l = \sum_{i=1}^n Q_i y_i \\ \text{下り列車, 左右方向振幅} & \quad \Delta l = \sum_{i=1}^m Q_i y_i \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (5-1)$$

図において測定橋脚を 1P とすると、 $n=7$ ;  $m=2$  となり上り列車による左右方向振幅は、下り列車によるものよりも本図では計算上大となる。

c) 橋脚動揺週期

一般に動揺振動の天端左右方向週期は弾性振動に比して大きい。また前後方向週期は左右方向週期に比して小さい。また一般に軀体全高が大となる程、週期は大となる傾向があるようである。

動揺振動をなしている橋脚の、左右方向週期が桁の影響を強く受けていると思われるものは、一般にみられないようである。

橋脚前後方向週期は、桁の拘束が大きく作用しているためか一般に小さい。

左右方向週期は、地盤の拘束が比較的小さいので前後方向週期に比し一般に大きいようである。このことよりすれば、橋脚天端の単位水平引張力による変位量の大きさによつて、橋脚動揺週期は影響されるものと見ることができる。

しかしてこの単位水平引張力による変位量は、軀体全高、基礎土質、根入などにより支配されるものと考えられ、結局週期は上記要素により主として定められると考えられるものである。

以下に橋脚動揺振動における週期計算の略算式を示す。図-47 において軀体を剛体とし土を弾性体と仮定して、エネルギー式により計算をする。

- T : 週期 (sec)
- A : 基礎底面積 (m<sup>2</sup>)
- C : クーロンの受働土圧係数
- ω : 土の単位容積重量 (t/m<sup>3</sup>)

- P : 桁および桁上の死荷重と活荷重の和 (t)
- q<sub>a</sub> : 躯体底面部の高さ 1m 当りの躯体自重 (t/m)
- q<sub>l</sub> : 躯体天端部の高さ 1m 当りの躯体自重 (t/m)
- y<sub>x=l</sub> : 天端に水平力 1t 作用した時のその方向の変位置 (m)

図-47, 図-48, 図-49 を参照する。

$$q_0 \equiv q_a - q_l \text{ とすると } l : q_0 = (l-x) : q'$$

また  $y_x = y_{x=l} \times \frac{x}{l}$  であるから  $q' = \frac{q_0(l-x)}{l}$  となる。

したがって

$$q_x = q_l + \frac{q_0(l-x)}{l}$$

位置エネルギー  $E_p = \frac{1}{2} \{Q \times y_{x=l}\}$

運動エネルギー  $E_k = \frac{(2n\pi)^2}{2g} \left\{ \int_0^l q_x \cdot y_x^2 dx + P y_{x=l}^2 \right\}$

$E_p = E_k; T = \frac{1}{n}$  とし  $g = 9.8 \text{ m/sec}^2$  とすると

$$T = 2\pi \sqrt{y_{x=l} \cdot \{0.102 P + l(0.0085 q_a + 0.0255 q_l)\}} \dots \dots \dots (5-2)$$

が求まる (この式は 図-86 に図表化)。

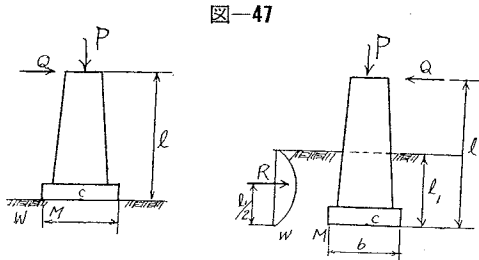


図-47

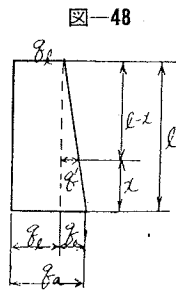


図-48

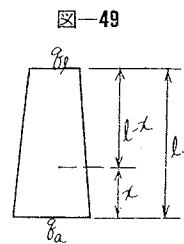


図-49

d) 振動の伝播

図-50 は、躯体天端左右方向の振動の伝播現象を示したものであり、電気抵抗式微動計をオシロと併用して測定したものである。

本橋梁は基礎井筒工で岩盤に達しているが、中間土質は極軟なシルト質である。

図では 4P が遠くより動揺振動をなしている。

図中の縦点線は、振動図における橋脚位置を示しているものであり、この間隔は列車速度が大なる程小となるものである。

e) 振幅の減衰

図-51 は、減衰不良な例である。

基礎地盤は軟弱なシルト質で構造は円形無筋コンクリート、杭基礎にして根入浅く、杭長は 4m 程度であつた。橋脚は 12 基あつて列車速度を 25 km/h 以上とすると左右動が大となるため速度制限をなしたもので、測定時には列車が橋梁上に入る数百米前より列車が橋梁通過後数百米間約 60 秒に亘り振動が記録された。

一般に基礎地盤良好にして拘束力大であれば該橋脚の前後相隣接 2 径間の間で大部分の振動の減衰するのが常であつた。

4-5-16

図-50

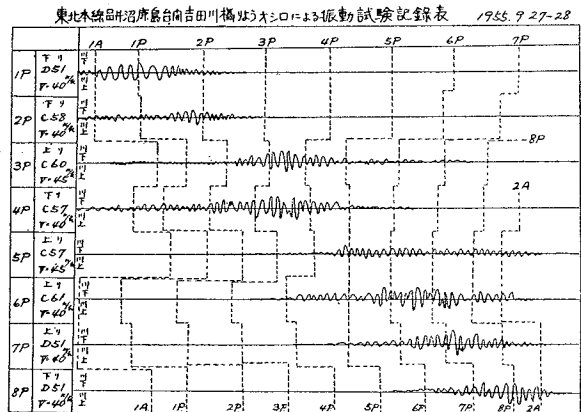
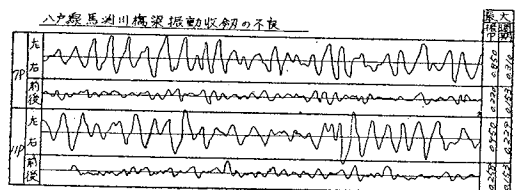


図-51

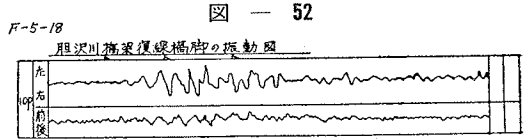


f) 複線橋脚の振動

複線橋脚上に単線橋梁があり、列車荷重および桁自重も偏倚して共に偏心荷重の作用している場合の振動を 図-52 に示してある。

この橋脚は、基礎井筒工で根入は約 6m、躯体は無筋コンクリートであり基礎底面の土質は砂礫であった。

図-52 で左右方向の振動波形中尖っている方向に偏心荷重が作用していたものである。



§ 3 動揺振動の運動性状の結論

- 1) 動揺振動は一般に躯体の剛度に比較して地盤の拘束力の小なるものに多く発生している。
- 2) 週期振幅は一般に弾性振動のものよりも大きい。
- 3) 左右方向振幅の増加につれて前後方向振幅の増加傾向が認められる。
- 4) 左右方向週期と前後方向週期との間には特別な関係が一般的に認められないようである。
- 5) 左右方向振幅の増加につれて左右方向週期の増加傾向は余り明瞭には出ていないようである。
- 6) 前後方向振幅の増加につれて前後方向週期の増加傾向があるようである。
- 7) 橋台の中には、主として、左右方向振幅が築堤の振動に支配されたと考えられるものがある。
- 8) 左右方向振幅端部の図形は一般に丸味が多く発生しているが、基礎地盤の支持力の大となる程一般にこの形は尖鋭になつて来ている。
- 9) 左右方向振幅は、列車の進行方向によつて大きく異なるものが一般に多い。
- 10) 地盤軟弱な個所で多径間の橋梁では、振幅の減衰速度の遅いものが一般に多い。
- 11) 特殊波形は、動揺振動に多く、中でも軟弱地盤上の杭基礎構造に屢々現われるようである。
- 12) 振動の週期、振幅におよぼす主な要素は、次のものと推定される。
  - a) 基礎土質、基礎底面のその方向の断面係数、根入等による地盤の拘束力
  - b) 橋台橋脚の区分
  - c) 基礎区分
  - d) 構造物の全高
  - e) 振動の方向
  - f) 上部構造の種類
  - g) 天端左右方向作用力
  - h) 勾配および曲線部
  - i) 橋脚の位置
  - j) 機関車荷重、および列車長速度

第 6 章 弾性振動実測結果と考察ならびに性状

§ 1 弾性振動振幅週期の実測結果

a) 躯体天端前後および左右方向振幅

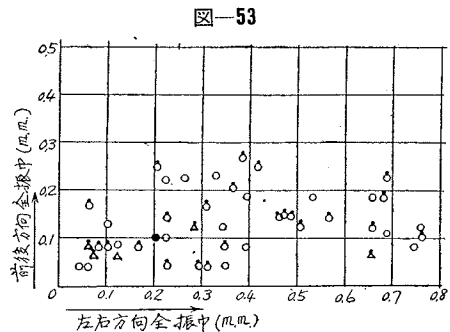
図-53 では、左右方向振幅の増加につれて前後方向振幅の増加する傾向が見られる。

図より 表-12 をうる。

表中の直上とは機関車が測定構造物の直上にある時のもので、最大とは最大左右方向振幅時のものである。

表-12 前後左右方向振幅

振 幅 mm	前 後 方 向		左 方 方 向
	直 上	0.04~0.23	0.04~0.76
	最 大	0.06~0.27	0.06~0.76



b) 軀体天端前後および左右方向週期

図-54 では、左右方向週期の増加につれて前後方向週期の増加傾向がある。

図より 表-13 をうる。

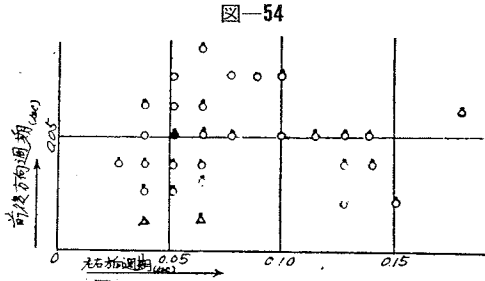


表-13 週期の範囲

週期	前後方向		左右方向	
	直上	sec	直上	sec
最大	0.01~0.09		0.037~0.128	
最小	0.01~0.09		0.027~0.178	

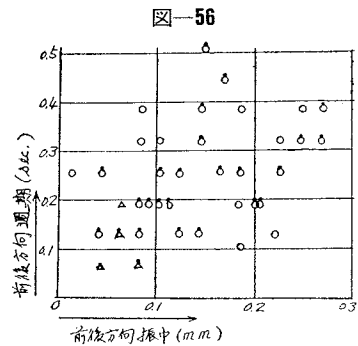
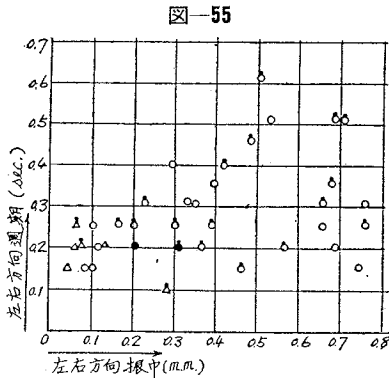
c) 軀体天端左右方向振幅および週期

図-55 では、左右方向振幅の増加につれて左右方向週期の増加する傾向が見られる。

d) 軀体天端前後方向振幅および週期

図-56 では振幅の増加につれて週期の増加傾向が不十分ながら認められるようである。

しかし分布が散つているので両者間には特別の係数関係が認められないようである。



e) 軀体天端左右方向振幅と剛度

図-57 を次の点に注目して見る。

今図において使用した符号を列記すると、

$\Delta l$  : 天端左右方向振幅 (mm)

$l$  : 軀体の全高 (m)

$I_a$  : 軀体の底部左右方向断面二次モーメント ( $m^4$ )

$I_l$  : 軀体の天端左右方向断面二次モーメント ( $m^4$ )

とすると図より次の関係がみられる。

$$\Delta l \cong f \left( \frac{2l}{I_a + I_l} \right)$$

しかし、両辺は概ね直線関係にあることがわかる。

この関係に実測値を挿入すると、次の実用式をうる。

$$\left. \begin{aligned} \text{左右方向最大振幅の時は } \Delta l &\cong \frac{0.63 l}{I_a + I_l} \\ \text{左右方向平均振幅の時は } \Delta l &\cong \frac{0.36 l}{I_a + I_l} \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (6-1)$$

f) 機関車荷重、列車速度

図-58, 図-59 には振幅と列車速度の関係が示めされている。

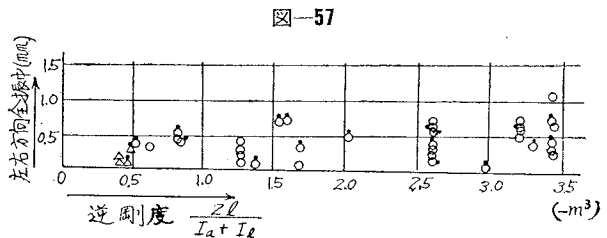


図-58 では左右方向振幅は列車速度と関係の少ないことがみられる。

図-59 は、速度の増加につれて振幅の増す傾向がみられる。

図-58

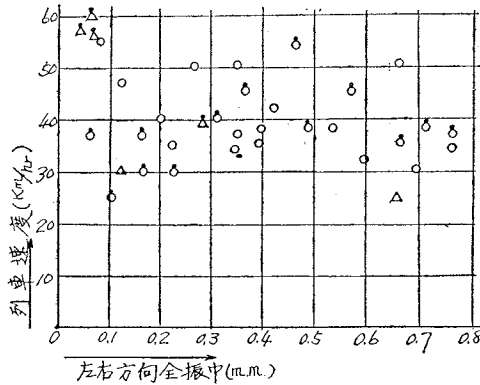
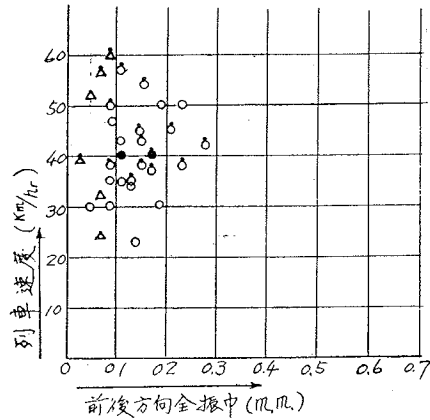


図-59



この関係を実測値をもつて実用式化すると

$$\left. \begin{aligned} \text{前後方向振幅最大値 } \Delta l_{\max} &\cong 0.0064 \cdot V \\ \text{前後方向平均振幅値 } \Delta l &\cong 0.003 \cdot V \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (6-2)$$

但し、 $V$  : 列車速度 (km/h)

$\Delta l$  : 前後方向振幅 (mm)

次に図示はしていないが、実測結果では機関車荷重が増すと、週期が大となり、列車速度が大となれば週期の小となる傾向の出る場合がみられる。

前者は荷重増大により作用力が増し左右方向振幅が増大し、これにつれて週期が大となるためと考えられる。

後者は速度を増すと列車よりの車輪回転による発振週期が短くなり 軀体天端付近に弱点のあるものではこの部分に共振現象が生じ列車による振動エネルギーが集中し易くなつて、この小週期が出易くなるためではないかと、推定される。

g) 岩盤上の橋脚の起振試験

第15 閉伊川および達曾部川橋梁は、無筋コンクリート、また第16 閉伊川橋梁は、新設の鉄筋コンクリート橋脚である。

この橋脚にそれぞれ起振試験を行つた結果、図-60、図-61、図-62 を得た。

図の週期振幅関係は次の要領で行つた結果得たものである。

天端を起振機をもつて起振し、天端および軀体中間施工打継目部付近の計2カ所で2台の変位計で同時受振したものである。

図には、天端と中間位置では週期に差のあること、また曲線形が相似であることが示されている。

これは、左右方向に起振したもので、これより弾性振動上の諸問題が将来解明されるようになるものと考えられる。基礎が岩盤であるために軀体の状態が比較的明瞭に出たもので、岩盤でない場合には曲線が尖端部で丸味をもつてこのように明瞭な関係を示していないのが多かつた。この特性中には打継目の影響も含まれているように考えられる。

図-60

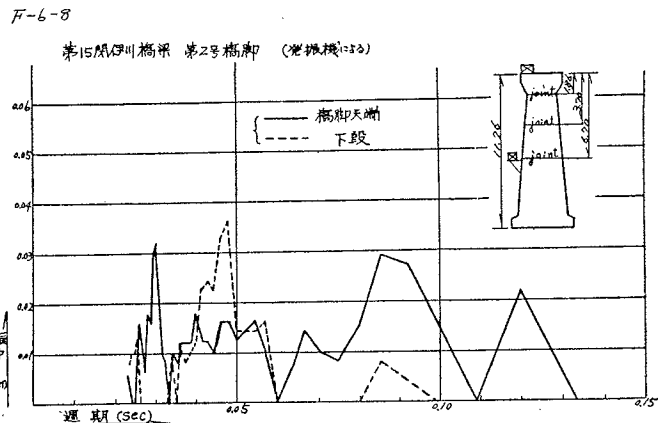


図-61

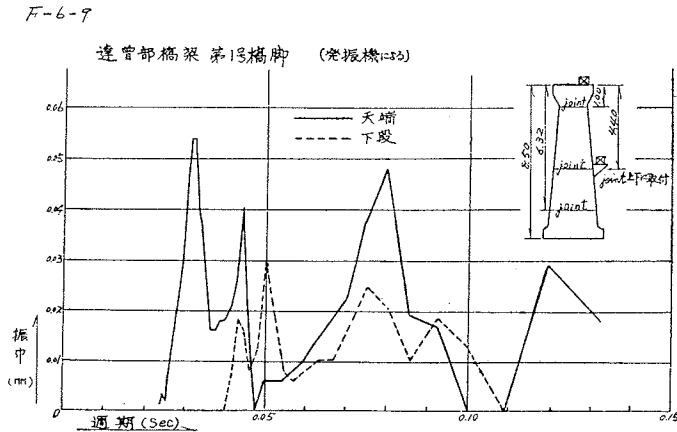
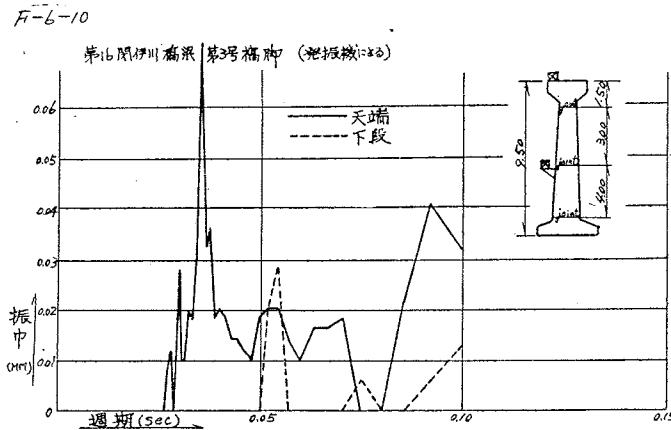


図-62



h) 橋脚起振試験

一般に健全な橋脚においては、試験の結果躯体の高さが高くなる程週期が大となつているものが多いようである。また老朽して弱点部のある橋脚では、躯体下部にキレツのある場合は、上部にキレツのある場合よりも週期が一般に大きいようである。また一般に振幅の大きいものは、週期が大きいような傾向が見られる。

これよりして週期に関係するものは、橋脚の全高、天端水平単位荷重による変位、すなわち躯体の断面二次モーメントと躯体高、有効断面積、材質、健全度等であると考えられる。

図-63より図-66には、生橋線取染および六枚沢橋脚の夫々起振試験より得たもので、躯体の高さごとの共振週期がプロットされている。この共振週期は振幅/遠心力と週期との関係より求めたものである。

また、橋脚天端水平引張試験より得た  $y_{x=1}$  すなわち (6-5) 式の日端水平変位量  $y_{x=1}$  に水平作用力  $Q=1t$  の場合の値を入れて求めた計算週期を 図-63~図-66 に付記してある。

図より知れることは、実験値と計算値がほぼ平行線をなしていることで、このことより  $Q$  を変えることにより実験値に近い週期を計算により求められることを示している。

取染橋脚はコンクリートブロック工であり、六枚沢橋脚は無筋コンクリート工である。

引張試験値を後述の (6-5) 式に代入して求めたこの週期は全般的に実験値より大きく、ブロック工よりも特に無筋コンクリート橋脚におけるものが大きな差をもっている。

これは静的引張試験により求めた  $y_{x=1}$  を動的週期算式に使用したためかとも考えられる。しかし算式が略算式でもあり今のところこの原因は明かでない。

橋脚起振試験において実測値と比較するために求めた弾性振動の週期の略算式を示すと次の如くなる。



図-63

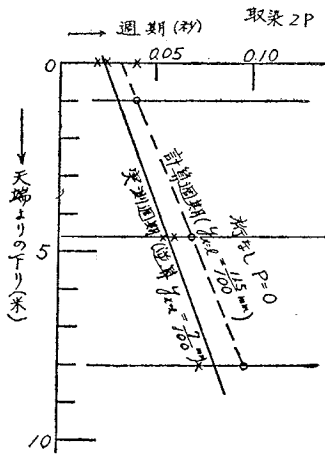


図-64

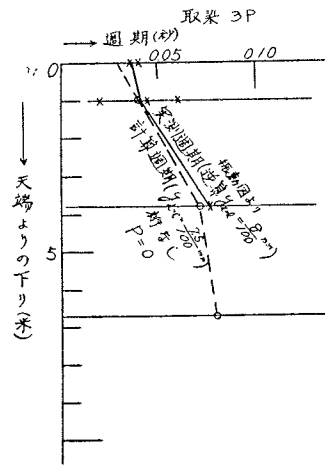


図-65

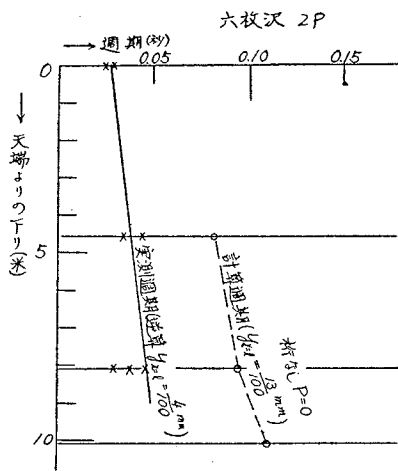


図-66

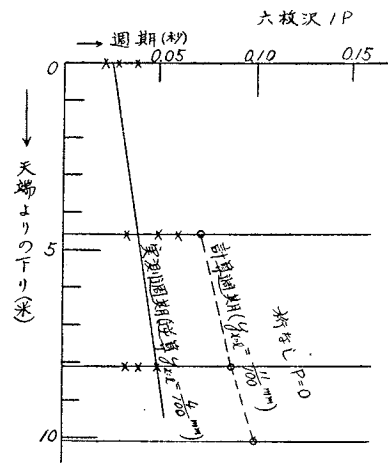


図-67, 図-68 において土を剛体, 躯体を弾性体と仮定して, エネルギー式により計算をする。

C 点は振動の原点とする。

P: 躯体天端上の死荷重と活荷重の和 (t)

Q: 躯体天端水平作用力 (t)

図-67

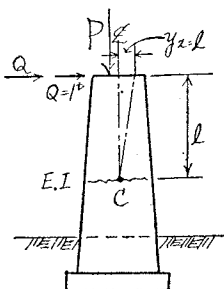
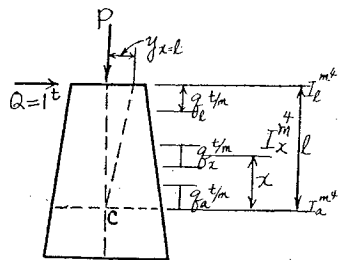


図-68



次に 
$$\left. \begin{aligned} I_x &= I_a e^{-nx} \\ I_l &= I_a e^{-nl} \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (6-3)$$
 とおけば

$I$  : 断面二次モーメント (m<sup>4</sup>)

$n$  : 係数で上述の式により断面形を知り定められる値。

$E$  : 軀体の弾性係数 (t/m<sup>2</sup>)

$$\left. \begin{aligned} \text{これより } \frac{d^2y}{dx^2} &= \frac{M}{EI_a e^{-nx}} \\ M &= Q(l-x) \end{aligned} \right\}$$

この式を数値積分すると

$$y_{x=l} = \frac{Ql^3}{192 EI_a} (12 + 8 e^{\frac{nl}{9}} + 21 e^{\frac{2nl}{9}} + 8 e^{\frac{3nl}{9}} + 10 e^{\frac{4nl}{9}} + 5 e^{\frac{6nl}{9}}) \dots\dots\dots (6-4)$$

また  $q_x = q_l + \frac{(q_a - q_l)(l-x)}{l}$

以上を

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{\int_0^l q_x \cdot y_x^2 dx + P \cdot y^2_{x=l}}{g \int_0^l EI_a e^{-nx} \left(\frac{d^2y}{dx^2}\right)^2 dx}}$$

に代入し  $g = 9.8 \text{ m/sec}^2$  とすると。

$$T = 2\pi \sqrt{y_{x=l} \cdot \left[ \frac{l}{1372 \cdot 400 \cdot D \cdot C} \{ (0.25 A^2 + 0.125 B^2) q_a + (0.125 A^2 + 0.25 B^2 + 91.25 C^2) q_l \} + \frac{P \cdot C}{1880 \cdot D} \right]} \dots\dots\dots (6-5)$$

この式は 図-87 に図表化してある。

ここに、

$$\begin{aligned} A &= 36 + 26 e^{\frac{nl}{27}} + 75 e^{\frac{2nl}{27}} + 32 e^{\frac{3nl}{27}} + 46 e^{\frac{4nl}{27}} + 35 e^{\frac{6nl}{27}} + 6 e^{\frac{9nl}{27}} \\ B &= 144 + 100 e^{\frac{2nl}{27}} + 276 e^{\frac{4nl}{27}} + 112 e^{\frac{6nl}{27}} + 152 e^{\frac{8nl}{27}} + 100 e^{\frac{12nl}{27}} + 12 e^{\frac{18nl}{27}} \\ C &= 12 + 8 e^{\frac{nl}{9}} + 21 e^{\frac{2nl}{9}} + 8 e^{\frac{3nl}{9}} + 10 e^{\frac{4nl}{9}} + 5 e^{\frac{6nl}{9}} \\ D &= 0.125 + 0.167 e^{\frac{nl}{3}} + 0.0416 e^{\frac{2nl}{9}} \end{aligned}$$

i) キレットを発生させた橋脚の起振試験

砂利層上に構築された、旧煉瓦橋脚を天端より4m下つた位置で、ジャッキにてキレットを発生せしめ、天端にてキレット発生の前後にそれぞれ起振したものである。

表-14 には、切断後の前後方向振動では切断面下の共振週期が出ていることを示している。

また左右方向振動では切断後でも、切断面下の共振週期が出ていることを示している。

これは前後方向の断面は軀体2次モーメントが小さくキレットもまた十分内部まで入っているが、左右方向では断面2次モーメントが大きいので、1t以上の起振力では、キレットの結果を十分に左右方向の振動に発生せしめ得なかつたためではないかと考察された。また試験に使用した起振機は軀体天端に固定せしめ、受振計は天端およびキレット位置直下に取りつけてある。表-14 は天端受振計の記録であり下段の受振記録は、振幅が小さくこの解析には使用してない。

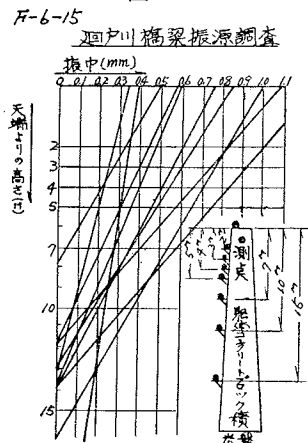
j) 列車による軀体の振動の原点調査

図-69 は、天端と軀体中間位置7個所の間において、各回共、天端1台、中間1台の振動変位計を計2台併用して、同時測定した値をもつて幾何学的に計算し、軀体の弾性振動の原点を求めたものである。この結果橋脚は弾性振動をなしていたものであることが推定され補強後の結果をも考慮するとこの現象が弾性振動であることが確認された。

表-14 発振機による橋脚調査 (胆沢川橋梁旧橋脚)

	共振発生廻転数 (r/m)	
	前	後
切断前	400~2300 400~800	400~500
切断後	800~1000	400~1800 800~1000

図-69



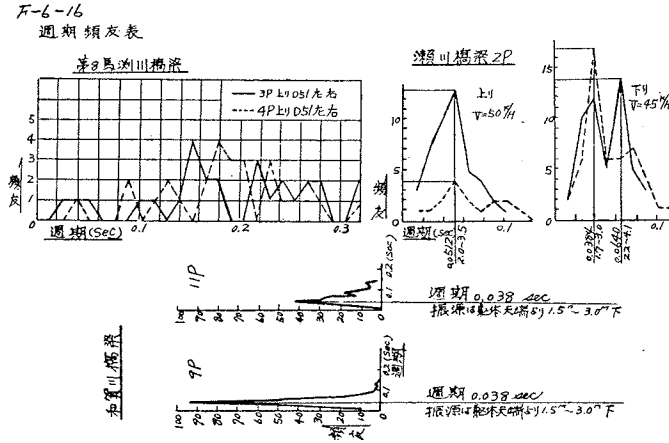
## k) 列車による下部構造の週期頻度

図-70の内第8馬淵川橋梁は、岩盤上の石造橋脚、瀬川橋梁は、粘土、砂利の互層上の煉瓦橋脚で、和賀川は瀬川と似ている。

これらの躯体は、老朽化して目地切れがあり、動揺振動となるべきものが、弾性振動になっている例であると思われる。

瀬川橋梁の図の中で実線は、左右方向振動の、また点線は、前後方向振動の夫々の週期を表わしている。第1は第8馬淵川橋梁、次で瀬川橋梁橋脚と老朽度の異なるものより示めされていて、和賀川は比較的老朽度が前者より少ないものであった。

図-70



## §2 弾性振動の運動性状の結論

- 1) 弾性振動は、躯体の剛度が地盤の拘束力に比し小なるものに一般に多く発生している。
- 2) 週期および振幅は動揺振動に比して一般に小さい。
- 3) 左右方向振幅の増加につれて、前後方向振幅の増加傾向があるようである。
- 4) 左右方向週期の増大につれて前後方向週期の増大傾向は余り明瞭には認められない。
- 5) 左右方向週期、振幅においては、週期は振幅値に正比例する如き傾向が見られる。
- 6) 前後方向週期、振幅では、振幅の増加につれて週期の増す傾向が一般に認められる。
- 7) 天端左右方向振幅は、躯体の剛度と逆比例関係にある傾向が一般に認められる。
- 8) 前後方向振幅は列車速度に正比例するようである。
- 9) 同一起振力では、基礎地盤が堅くなる程躯体内部の状態が受信記録に強く出る傾向があるようである。
- 10) 列車による週期頻度曲線では躯体が不健全なもの程一般にその減衰速度が遅れるようである。
- 11) 天端左右方向振幅図の端部の形は、一般に尖鋭であり、躯体の材質が堅硬となる程、また週期が小となる程この傾向が強くなるようである。
- 12) 列車の進行方向による天端左右方向振幅値の差異は一般に小さい。
- 13) 岩盤上の橋脚で勾配区間にある橋脚では、上下列車で前後方向振幅に差の認められるものが若干ある。
- 14) 健全橋脚では一般に振幅の減衰速度が早い。
- 15) 特殊波形は一般に少なく、ただ老朽構造物に若干発生しているようである。
- 16) 振動の週期、振幅におよぼす要素は主として次のものと推定される。
  - a) 構造物の種類および材質
  - b) 上部構造の種類
  - c) 躯体の剛度および健全度
  - b) 不健全断面の位置
  - e) 振動の方向
  - f) 機関車荷重および列車速度等

## 第7章 合成振動拘束作用と性状

### §1 合成振動拘束作用

#### a) 下部構造物の種類

合成振動は主として石積工，煉瓦工に多く発生しているようで，またコンクリート工においては，基礎の拘束力小なるものでは躯体の断面に急変部あるものか弱点のあるものに多いようである。この現象は橋台に少なく橋脚は比較的多い。

#### b) 上部構造

この振動は鋼鈹桁橋梁の下部構造物中の一部のものに発生していた。

#### c) 基礎構造

橋脚のみに合成振動が発生しているようで橋台中には今迄のところ記録されなかつた。橋脚では基礎底面と地盤或は杭との密着度不良なもので，鉛直荷重をうけ不均等にまた急激に密着度の変り易い基礎構造にこの振動は発生していたようである。

#### d) 躯体の健全度

躯体健全なる時は，小さな振幅週期が一般に多く，不健全な時には，その弱点部が天端より下るにつれて，週期が増し振幅も増す傾向が見られるようである。

図-71

#### e) 振動波形

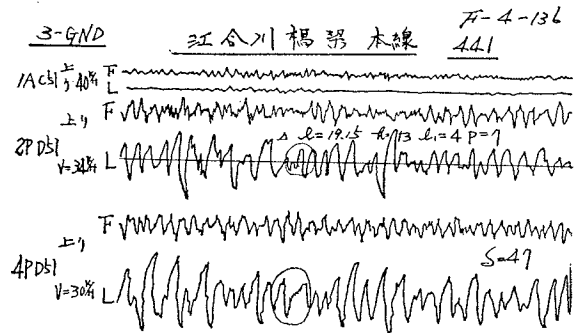
天端左右方向振幅図の波形は一般に丸味を有し，この波形中に弾性振動波が入っている(図-71 参照)。

振幅図の波形に弾性波の出るのは，躯体が外力で一方向に変位し，これにつれ地盤拘束力が増大した時に続いて作用する同一方向の外力のため弾性振動が出るものと考えられる。またこの振動は左右方向に現われ易い。

振幅の波形の横軸中心部に弾性振動の入っているものがある。これは機関車荷重が作用し，川上方向より川下方向に躯体が運動する時に，沈下が生じて橋脚基礎の運動を一時的に拘束するために発生するのではないかと考えられる。これに近い現象は，杭基礎にもまれに見られる場合がある。

#### f) 橋脚週期

合成振動には動揺と弾性の週期が入っている。合成振動は外力によるエネルギーが躯体と基礎の両者に分布するために，その割合等によつて，弾性動も一般の弾性振動と大部変つたものとなり週期も変るものと考えられる。また振幅は弾性振動の場合よりも小さいようである。



### §2 合成振動の運動性状の結論

1) 合成振動は，橋梁下部構造が動揺振動をなしている時に，基礎地盤の拘束力が列車荷重等により急激に増した時に発生し易いようである。

一般に機関車がこの構造物上に来た時に発生し，機関車が遠ざかるにつれて急激に消える傾向のあるものが多い。

2) 合成振動中の弾性振動の振幅は一般に小さくこの減衰速度は早いようである。

3) 振動の振幅，週期におよぼす主要要素は次のものと推定される。

- a) 構造物の種類と材質
- b) 地盤拘束力と躯体剛度との関係
- c) 基礎構造と土質および作用活荷重
- d) 躯体の不健全位置
- e) 構造物の全高

## 第8章 沈下と動揺振動との関係の解析

### §1 沈下量，構造寸法，根入と振幅および週期

a) 天端左右方向振幅と、構造寸法および沈下の関係

天端左右方向振幅と基礎土質に関する沈下量との関係を算式として誘導し、この算式に実測値を入れて図示し係数を求める。次にこの係数を使い実用式を作る。

以上の順序で解析を進めることとし、まず算式の誘導を行なう。

以下の計算に用いる記号の意味をつぎのとおりとする。

$\alpha, \beta$ : 係数

$M$ : 外力による躯体底面C点のモーメント

$q_y$ : 躯体側面受働土圧強度

$\delta_y$ : 躯体水平変位量

$l_b$ : 躯体水平反力の応力球根の長さ

$E$ : 土の圧縮弾性係数

$\delta$ : 鉛直沈下量

$P$ : 躯体天端鉛直力

$Q$ : 躯体天端水平作用力

$p_y$ : 躯体側面主働土圧強度

$C$ : 土の受働土圧係数

$y$ : 地表面よりの深さ

$w$ : 土の単位容積重量

$R$ : 底面反力

$e$ : 底面反力偏心距離

$W$ : 水平作用力によるモーメントに対する底面の断面係数

$A$ : 底面積

$N$ : 底面に作用する活荷重による鉛直力

$a$ : 躯体底面の前後方向幅

$b$ : 躯体底面の左右方向幅

$l$ : 躯体および基礎の全高

$l_1$ : 躯体の根入長

躯体が鉛直沈下をなす時の天端左右方向振幅について算式を誘導する。

図-72 より

$$\delta_2 \sim \delta_1 = \frac{2M\alpha}{W}$$

$$\Delta l = \frac{2l}{b} (\delta_2 \sim \delta_1)$$

とすれば

$$\Delta l = \frac{4lM\alpha}{Wb} \dots\dots\dots (8-1)$$

また

$$\alpha = \beta \cdot \delta_{\max} \dots\dots\dots (8-2)$$

とおく。

次に(8-1)式中の  $M$  について算式を誘導する。躯体は、剛体とし土は弾性体とみなす。また躯体底面は  $Q$  なる水平力で滑動しないもので回転の中心は底面の中心にあるものと仮定する。

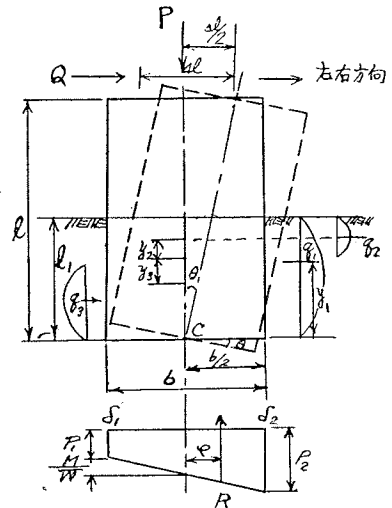
図-73 においてつぎの関係をうる。

$$q_y = \frac{E_y \cdot \delta_y}{l_b}; E_y = p_y \cdot f(a) \quad \delta_y = (\delta_2 \sim \delta_1) \frac{l_1 - y}{b}$$

$$\delta_1 \sim \delta_2 = \frac{(p_1 - p_2) f(a)}{E_0} \quad E_0 = \left( \frac{N}{A} \right) \cdot f(a)$$

$$p_1 - p_2 = \frac{2M}{W} \quad l_b = f(a)$$

図-72



ここに、 $E_0$ ：基礎底面下の土の動弾性係数とする。

以上により

$$q_y = \frac{2MA}{NW} p_y \left( \frac{l_1 - y}{b} \right)$$

また、 $p_y = c \cdot w \cdot y$

側面の反力の合力の大きさ  $R_1$  は

従つて

$$R_1 = \int_0^{l_1} a q_y dy = \frac{M \cdot a \cdot l_1^3 \cdot A \cdot c \cdot w}{3 \cdot b \cdot N \cdot W}$$

地表面より躯体側面反力の作用点迄の深さ  $y_0$  は

$$y_0 = \frac{\int_0^{l_1} q_y \cdot y dy}{\int_0^{l_1} q_y dy} = \frac{l_1}{2}$$

となる。

図-73 より次の関係をうる。

$R = N$ 、底面矩形の時は、 $e = \frac{MAb}{6NW}$ 、 $M = R \cdot e$ 、 $A = a \cdot b$ 、 $Ql = R_1 \cdot d_1 + R \cdot e$ 、 $d_1 = \frac{l_1}{2}$  にして底面を矩形とすれ

ば  $W = \frac{ab^2}{6}$  これにより

$$M = \frac{Ql}{1 + \frac{l_1^4 Acw}{b^3 N}} \dots \dots \dots (8-3)$$

現場調査では、 $l_1^4$ 、 $w$ 、 $c$  等の算定に実際上は誤差を生じ易いものであり、結果的には底面円形の場合\*に底面直径を  $b$  とし (8-3) 式を使用しても大きな支障がないものと考え、便宜上また近似的に底面矩形および円形の両者について (8-3) 式を共用することとした。

今 (8-1) 式中の  $M$  は、(8-3) 式より  $l$  に比例する。また  $W$  を基礎底面の断面係数とすれば

底面矩形の時は  $W = \frac{b^2 a}{6}$

底面円形の時は  $W = 0.098 b^3$

以上の関係と (8-2) 式の  $\alpha = \beta \delta_{\max}$  の関係を (8-1) 式に挿入すると

底面矩形の時は

$$\Delta l \propto \frac{l^2 \delta_{\max}}{ab^3 \left( 1 + \frac{l_1^4 Acw}{b^3 N} \right)}$$

底面円形の時は

$$\Delta l \propto \frac{l^2 \delta_{\max}}{b^4 \left( 1 + \frac{l_1^4 Acw}{b^3 N} \right)}$$

} ..... (A)

また (8-3) 式の代りに (8-10) 式を使用すれば

底面矩形の時は

$$\Delta l \propto \frac{\kappa l^2 \delta_{\max}}{ab^3}$$

底面円形の時は

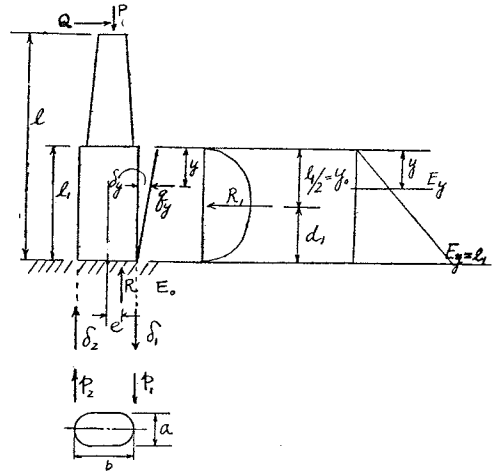
$$\Delta l \propto \frac{\kappa l^2 \delta_{\max}}{b^4}$$

} ..... (B)

また (B) 式の  $\kappa = f(l_1)$  で (8-12) 式と (8-9) 式の間があるが今  $\left( 1 + \frac{l_1^4 Acw}{b^3 N} \right)$  を共通項に含ませるより

\* 底面円形の場合  $M = \frac{Q \cdot l}{1 + \frac{1.7 Acw l_1^4}{b^3 N}}$  となる

図-73



も(8-12)式の実験式を主体として考慮し、(A),(B)式中の右辺は共通性をもつべきであるとの点に留意する。こうして(A),(B)式より共通項を分離すると底面矩形の時は、 $\Delta l \propto \frac{l^2 \delta_{max}}{ab^3}$  また底面円形の時は  $\Delta l \propto \frac{l^2 \delta_{max}}{b^4}$  をうる。

次にこの点に注目し実験値を用いてこの関係を図示してみると、図-74, 75, 76 をうる。

図-74 普通基礎

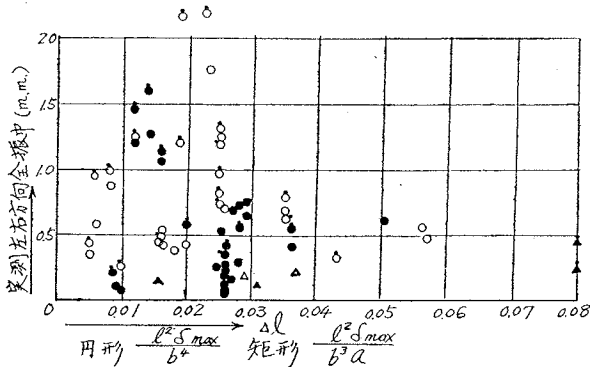


図-75 杭基礎

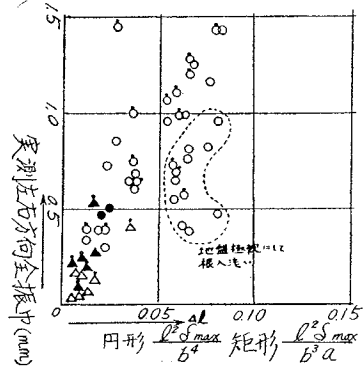
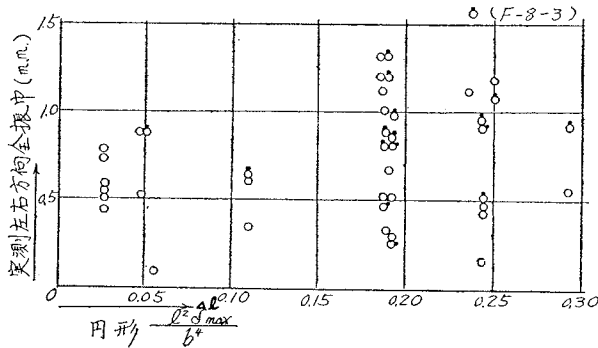


図-76 井筒基礎



次に種々こころみたが結果的に  $\frac{\Delta l ab^3}{l^2 \delta_{max}}$  と  $\frac{\Delta l b^4}{l^2 \delta_{max}}$  と  $\Delta l$  の関係をとることとした。こうしてこれより図-77, 78, 79 をえた。この図は、図-74~76 の係数の逆数に  $\Delta l$  を乗じたものを係数としている。

以上の6つの図において図示の点の分布が比較的狭いものは、図-75, 77, 79 であつた。これより次の係数関係をえた。

図-77, 普通基礎

底面矩形  $\frac{ab^3}{l^2 \delta_{max}} \cong 38$

底面円形  $\frac{b^4}{l^2 \delta_{max}} \cong 38$

図-78, 杭基礎

橋台底面矩形  $\frac{ab^3}{l^2 \delta_{max}} \cong 60$

図-79, 井筒基礎

底面円形  $\frac{b^4}{l^2 \delta_{max}} \cong 5$

をうる。

次に振幅  $\Delta l$  と構造寸法および沈下の関係は次の如く求められた。

図-74, 普通基礎 (橋台)

底面矩形  $\Delta l \cong 5 \times \frac{l^2 \delta_{max}}{b^3 a}$

(8-4)

図-75, 杭基礎

$$\left. \begin{array}{l} \text{底面矩形} \\ \text{底面円形} \end{array} \right\} \Delta l \cong 15 \times \frac{l^2 \delta_{\max}}{b^3 a} \quad (8-5)$$

$$\Delta l \cong 15 \times \frac{l^2 \delta_{\max}}{b^4}$$

ここに

$\delta_{\max}$ : 実測値より躯体老朽による縮み量を減じたもので、基礎土質に関する鉛直沈下量 (mm)

$l$ : 躯体と基礎の全高 (m)

$a$ : 基礎底面前後方向幅 (m)

$b$ : 基礎底面左右方向幅 (m)

$\Delta l$ : 躯体天端左右方向振幅 (mm)

図-77 普通基礎

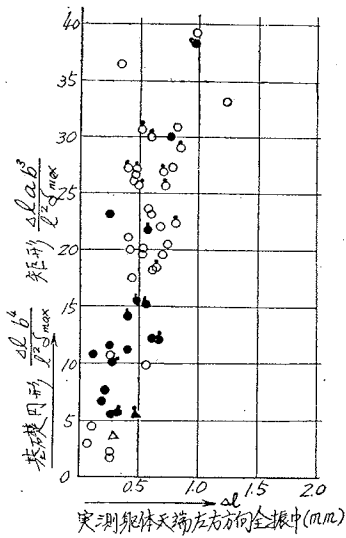


図-78 杭基礎

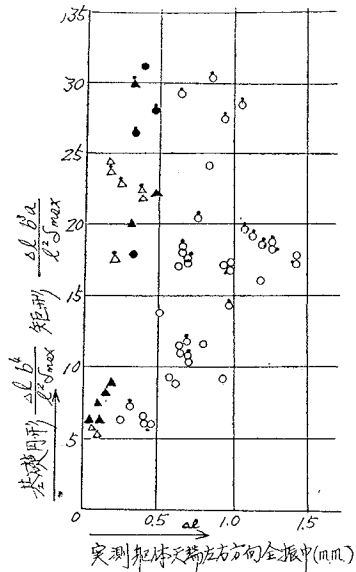
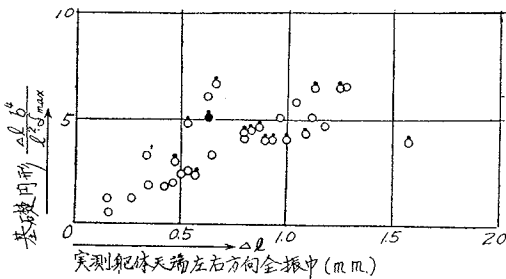


図-79 井筒基礎



b) 天端左右方向振幅と構造寸法および根入と週期および天端左右方向作用力との関係

これら標記の要素関係を算式にて誘導し算式に実測値を入れて図示し、係数値を求めこの係数をもつて実用式を作る。

まず算式を誘導する。

今、 $Q$ : 躯体天端水平作用力 (t)

$y_{x=l}$ : 躯体天端に水平力  $1t$  が作用した時のその方向の水平変位量 (mm)

$\Delta l$ : 躯体天端左右方向振幅 (mm) とする。

また変位量が水平力に正比例するものとすれば、

$$\text{半振幅} \frac{\Delta l}{2} = Q \cdot y_{x=l} \text{ にして}$$



$$y_{x=l} = \frac{\Delta l}{2Q} \dots\dots\dots (8-6)$$

次に、(8-1), (8-2), (8-3), (8-6) 式より次式をうる。

$$y_{x=l} = \frac{4I^2Q\beta\delta_{\max}}{2QbW\left(1 + \frac{I_1^4Acw}{Nb^3}\right)} = \frac{r_1 I_2^2 \delta_{\max}}{2QbW} \text{ にして } y_{x=l} \left(1 + \frac{I_1^4Acw}{Nb^3}\right) = \frac{2I^2\beta\delta_{\max}}{bW} \text{ となる。ここに}$$

$$r_1 = \frac{4Q\beta}{1 + \frac{I_1^4Acw}{Nb^3}}$$

この式より

$$2Qy_{x=l} = r_1 \frac{I_2^2 \delta_{\max}}{bW} \text{ をえ、 } 2Qy_{x=l} = \Delta l$$

よりして

$$\Delta l = r_1 \frac{I_2^2 \delta_{\max}}{bW} \text{ をうる。}$$

上式より

$$\frac{\Delta l}{y_{x=l} \left(1 + \frac{I_1^4Acw}{Nb^3}\right)} \text{ を求めこの値を } K \text{ とすると}$$

$$K = \frac{\Delta l}{y_{x=l} \left(1 + \frac{I_1^4Acw}{Nb^3}\right)} = \frac{r_1}{2\beta} \dots\dots\dots (8-7)$$

これを變形して

$$y_{x=l} = \frac{\Delta l}{K \left(1 + \frac{I_1^4Acw}{Nb^3}\right)} \dots\dots\dots (8-8)$$

$y_{x=l}$  について (8-6) と (8-8) 式を等値とおくことにより

$$Q = \frac{K}{2} \left(1 + \frac{I_1^4Acw}{Nb^3}\right) \dots\dots\dots (8-9)$$

(8-9) 式の  $Q$  を (8-3) 式に挿入すると

$$M = \frac{K}{2} l \dots\dots\dots (8-10)$$

をうる。

次に (8-7) 式を變形し

$$\beta = \frac{r_1}{2K} \dots\dots\dots (8-11)$$

前式中 (8-8), (8-9), (8-10) 式中の共通の係数は  $K$  である。

この  $K$  の値を次の要領で求めてみる。

1) (5-3) 式と (8-7) 式に実測した値を挿入する。実測値は天端左右方向週期  $T$ 、および左右方向振幅  $\Delta l$  であり設計図、および調査によつて求まる値は、(5-3) 式で  $P, l, q_a, q_l$  また (8-7) 式では  $I_1, A, c, w, b, N$  である。

2) (5-3) 式に実測値  $T$  および設計図等より得られた  $P, l, q_a, q_l$  を挿入して  $y_{x=l}$  を求める。

3) (8-7) 式に実測値  $\Delta l$  および設計図等より得られた、 $I_1, A, c, w, b, N$  を挿入し式中の  $y_{x=l}$  には前述の如くして (5-3) 式より求められた値を挿入すると (8-7) 式は、計算することができ  $K$  の値が求められる。

4) 以上は計算による方法であるが図計算をすべく横軸に  $y_{x=l} \left(1 + \frac{I_1^4Acw}{b^3N}\right)$  を縦軸に  $\Delta l$  をとつて実測値をプロットす

図-80 普通基礎

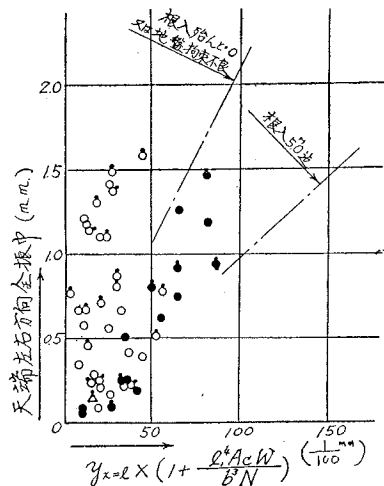


表-15 K の値 ただし  $l_1$  は根入長さ (m)

区分	普通基礎			杭基礎				井筒基礎				
	根入長	根入な いか拘束不良	根入 5m 以下	根入 2m 以下	2m } 4m	4m } 5m	5m } 8m	8m } 10m	根入 3m 以下	3m } 5m	5m } 8m	8m } 以上
K の 値	範 圍	2.1 } 10	1.0 } 2.1	8 } 15	1.3 } 8	1.3 } 0.55	0.55 } 0.12	0.12 } 0.06	8 } 1.5	1.5 } 0.6	0.6 } 0.23	0.23 } 0.03
	平均	6	1.4	10	2.2	0.9	0.35	0.1	4	1.1	0.45	0.15

れば、図より容易に  $K$  を定められる。またこの  $K$  の図示の個所の橋桁は鋼鉄桁であつた。

以上の如くして求めたものが、図-80~82 に示され基礎の構造種別毎に区分してある。

これより求めた  $K$  の値は 表-15 に示めてあり、式化したものは次の如くなる。

普通基礎

$$K \cong 6 e^{-0.28l_1}$$

杭基礎

$$K \cong 10 e^{-0.56l_1}$$

井筒基礎

$$K \cong 4 e^{-0.32l_1}$$

.....(8-12)

次に天端左右方向週期および水平作用力を計算によつて求める方法を述べる。

1) 週期

(8-7) 式において、 $\Delta l$  を (8-5) 式および後述の (8-16) 式より求め、現場の土質および設計図等より  $l_1, A, c, w, b, N$  を求め、また基礎構造を知ると (8-12) 式より  $K$  が求まり、これ等を (8-7) 式に挿入し  $y_{x=l}$  を逆算する。

この  $y_{x=l}$  を (5-3) 式に前述の如くして求めた、 $P, l, q_0, q_1$  と共に挿入すると週期  $T$  が計算で定められる。

2) 水平作用力

(8-9) において基礎構造を知り (8-12) 式より  $K$  を求め、設計図および現場の土質等を知り  $l_1, A, c, w$  を求めこれらを挿入すると水平作用力  $Q$  が計算で定められる。

c) 躯体天端作用力とレール面上左右方向作用力との関係および左右方向振幅と上部構造の拘束作用

図-84 より天端およびレール面上の作用力の関係を求める。

$$Q_0 = Q + Q_1 + Q_2$$

図-83 より突桁と考へ

$$Q_1 \cong \frac{3 \cdot \Delta l E_1 I_1}{2 l_1^3}; \quad Q_2 \cong \frac{3 \Delta l E_2 I_2}{2 l_2^3}$$

ここに

$Q_0$ : レール面左右方向作用力

$Q$ : 躯体天端左右方向作用力

$Q_1, Q_2$ : その橋脚の前後 2 支間中の夫々の桁に作用する水平作用力

$E_1, E_2$ : 各桁の弾性係数

$I_1, I_2$ : 各桁の横方向断面二次モーメント

$l_1, l_2$ : 各桁の支間

図-81 杭基礎

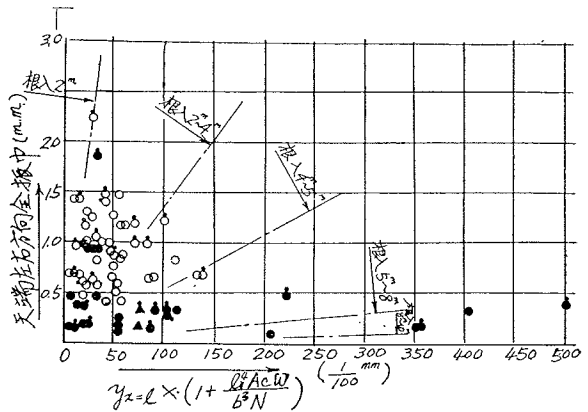
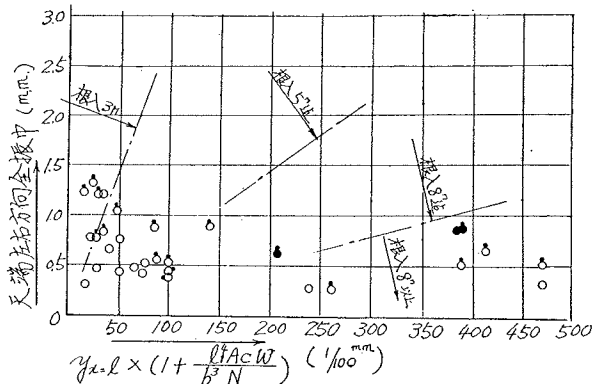


図-82 井筒基礎



$\Delta l$ :  $Q_0$  により躯体天端に発生せしめられた左右方向振幅

上式より

$$Q = Q_0 - (Q_1 + Q_2)$$

$$Q_1 + Q_2 = \Delta l \left( \frac{3E_1 I_1}{2l_1^3} + \frac{3E_2 I_2}{2l_2^3} \right)$$

(8-3) 式を (8-1) 式に代入すれば

$$\Delta l = \frac{4l^2 \alpha Q}{bW \left( 1 + \frac{l_1^4 Acw}{b^3 N} \right)} \dots \dots \dots (8-13)$$

また

$$\frac{3}{2} \left( \frac{E_1 I_1}{l_1^3} + \frac{E_2 I_2}{l_2^3} \right) \equiv A$$

$$\frac{bW \left( 1 + \frac{l_1^4 Acw}{b^3 N} \right)}{4l^2 \alpha} \equiv B$$

$$\frac{A}{B} \equiv r_2 \quad \text{とおけば}$$

$$\left. \begin{aligned} Q &= \frac{Q_0}{1+r_2} \\ r_2 &= \frac{4l^2 \alpha \left( \frac{3E_1 I_1}{2l_1^3} + \frac{3E_2 I_2}{2l_2^3} \right)}{bW \left( 1 + \frac{l_1^4 Acw}{b^3 N} \right)} \end{aligned} \right\} \dots \dots \dots (8-14)$$

をうる。

次に左右方向振幅と上部構造の拘束作用について求める。

図-83 において

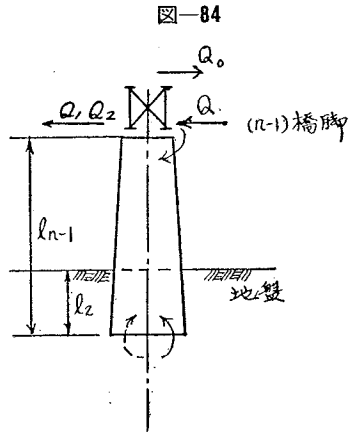
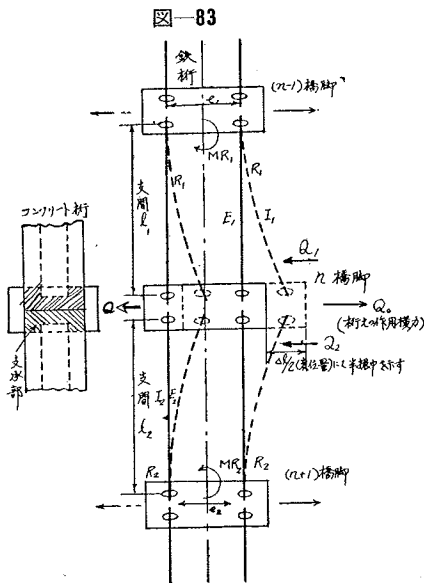
$$Q_1 = \frac{R_1 \cdot e_1}{l_1}$$

$$Q_2 = \frac{R_2 \cdot e_2}{l_2}$$

図-84 において  $Q_0 = Q + Q_1 + Q_2$  にして  $Q = Q_0 - (Q_1 + Q_2)$  である。

以上の関係を (8-13) 式に代入すれば

$$\Delta l = \frac{4l^2 \alpha \left\{ Q_0 - \left( \frac{R_1 e_1}{l_1} + \frac{R_2 e_2}{l_2} \right) \right\}}{bW \left( 1 + \frac{l_1^4 Acw}{b^3 N} \right)} \dots \dots \dots (8-15)$$



ここに

$e_1, e_2$  : 各桁の主桁中心間隔

$R_1, R_2$  : 沓上面における前後方向抵抗力

前述の(8-14)式では  $\frac{3}{2} \left( \frac{E_1 I_1}{l_1^3} + \frac{E_2 I_2}{l_2^3} \right)$  が大となれば  $r_2$  が大となり  $Q_0$  が一定であつても  $Q$  が減少する。すなわち桁の横剛度が大きくなれば躯体天端作用力が減少することが示されている。

また(8-15)式では  $\frac{R_1 e_1}{l_1} + \frac{R_2 e_2}{l_2}$  が大となれば  $\Delta l$  が小となる。すなわち主桁中心間隔が大となり沓上面の摩擦力或は同一材質では沓上面の接触面積が大となれば、振幅の減少することが示めされている。

この接触面積はコンクリート桁が鉄沓を有する鋼桁よりも大きく、また摩擦力もコンクリート桁の方が鋼桁よりも大きいために一般にコンクリート桁の天端左右方向振幅は鋼桁の振幅よりも小さくなることと計算される。

測定の結果このような現象がコンクリート鋼桁との間には一般的現象として認められた。

次に天端左右方向作用力  $Q$  について吟味してみる。今根入ないとすれば  $l_1 = 0$  となり(8-12)式および(8-9)式より表-16の結果をうる。

このようにして求めた  $Q$  を(8-6)式に代入し  $y_{x=l}$  を求めこれを(5-2)式に代入して求めた計算値週期  $T$  と実測値  $T'$  とを比較しても大差のない筈がえられている。

表-16

Q	普通基礎	杭基礎
	3 ton	5 ton

d) 天端左右方向振幅と根入の関係

振幅と根入に関する算式の誘導を行なう。

(8-1) 式より  $\Delta l = \frac{4IM\alpha}{Wb}$

(8-2) 式より  $\alpha = \beta \delta_{\max}$

(8-10) 式より  $M = \frac{K}{2} l$

また、矩形の  $W = \frac{ab^2}{6}$  円形の  $W = 0.098 b^3$  である。

今(8-1)式に(8-2)、(8-10)式を代入し求めた式中の  $\delta_{\max}$  に(8-4)式および矩形、或は円形の基礎の断面係数  $W$  を代入すれば次式をうる。

普通基礎	}	(8-16)
底面矩形 $\Delta l \cong 0.315 K\beta$		
底面円形 $\Delta l \cong 0.504 K\beta$		
杭基礎	}	(8-16)
橋台底面矩形 $\Delta l \cong 0.2 K\beta$		
井筒基礎		
底面円形 $\Delta l \cong 4.1 K\beta$		

ここに  $\beta$  の値は上記関係を使用して実測値より次の如く定めた。

普通基礎

矩形	β ≅	直上振幅の時……………0.8
		最大振幅の時……………1.0
円形	β ≅	直上振幅の時……………0.84
		最大振幅の時……………1.16

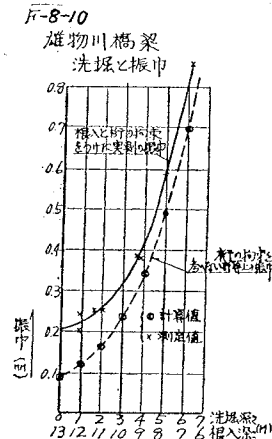
杭基礎

橋台底面矩形	$\beta \cong 0.4$
井筒基礎	
円形	$\beta \cong 0.4$

以上の関係式により基礎構造種別および根入長さを知れば躯体天端左右方向振幅値を求めうる。

次に(8-3)式の吟味をすべくこの式を(8-1)式に代入し  $\Delta l$  と  $l_1$  の変化と実測値との関係を求め 図-85 に示めた。雄物川上部構造は鋼構桁

図-85



である。根入長さが10mまでは雄物川の土質では実測曲線に近い性質を計算曲線が示していることよりして、(8-3)式を適用しても支障が少ないものと考えられる。

§2 沈下と動揺振動間の関係の結論

標記の関係をまとめてみると次のようになる。

- 1) 躯体全高と基礎寸法と沈下量との関係は(8-4)式の如きものである。
- 2) 天端左右方向振幅と沈下および構造物寸法との関係は(8-5)式の如きものである。
- 3) 躯体天端左右方向作用力とレール面上左右方向作用力との関係は(8-14)式の如きものである。
- 4) 躯体天端左右方向振幅と桁の拘束力との関係は(8-15)式の如きものである。
- 5) 躯体天端左右方向振幅と根入長さおよび基礎構造形式との関係は(8-16)式の如きものである。

但し、 $K$ の実測値は上部構造が鋼板桁の橋梁箇所より得たものである。

第9章 結 言

橋梁下部構造物を調査し研究した結果前述の如き運動性状の一部を明かにすることができた。

これらの性状を参考にしてこの研究が今後の下部構造の設計、施工、保守および健全度の判定の対策を立てる資料の一部ともなれば喜ばしい。

終りに、本調査を援助された、盛岡工事局北村局長、新橋工事局上原局長に対し感謝の意を表する次第である。なお本調査に協力された局内幹部ならびに鉄道技術研究所梶田技師および当工事局土木課特殊設計係員に謝意を表する。

附 録

(5-2)式、(6-5)式の算定図表を付記する。

図-86

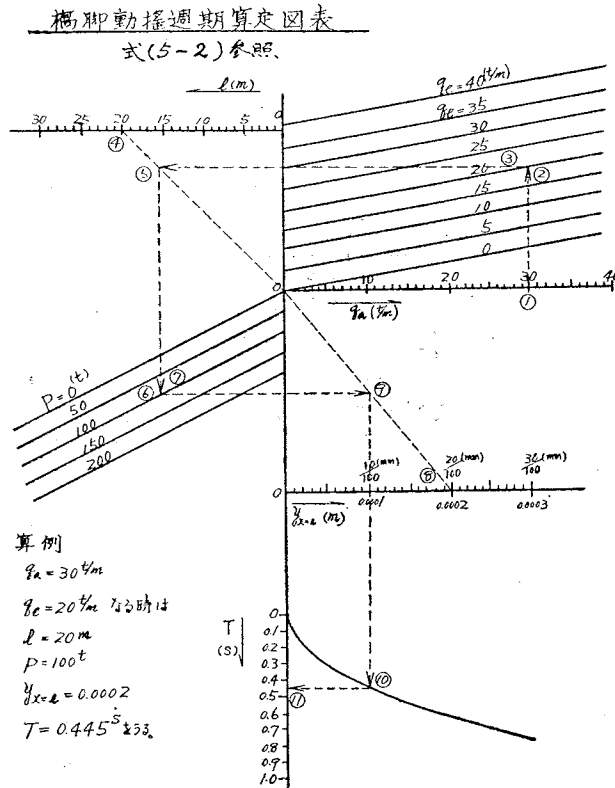
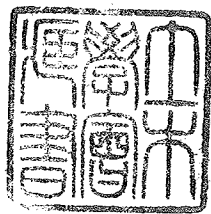
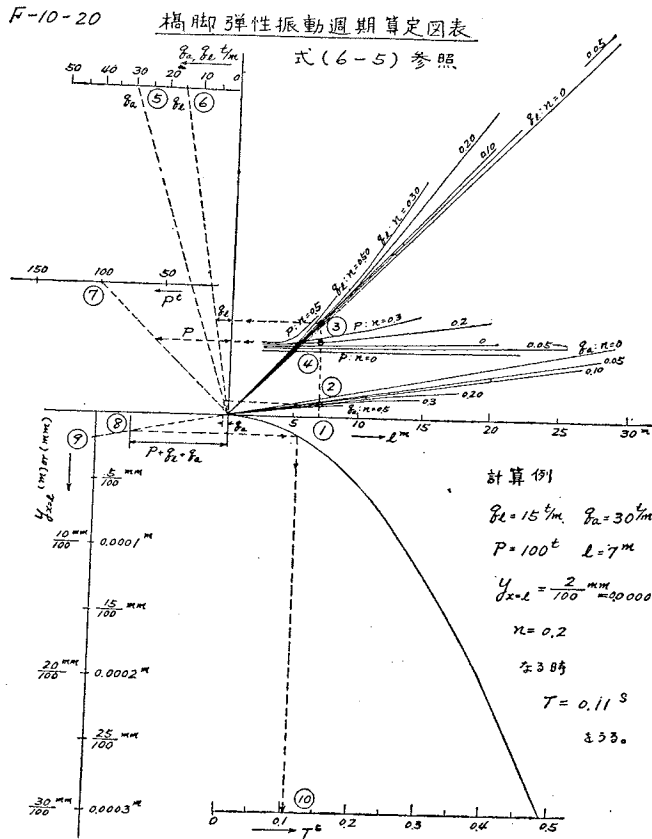


図-87



昭和33年9月20日印刷  
昭和33年9月25日発行

土木学会論文集第58号・別冊

定価 200 円 (〒 10 円)

著者 日本国有鉄道, 盛岡工務局土木課  
編集者 東京都新宿区四谷1丁目  
印刷所 東京都港区赤坂溜池5番地

堀松和夫  
国分正胤  
株式会社 技報堂

発行所 社団法人 土木学会

東京都新宿区四谷一丁目 電話 (35) 5130・5138・5139 振替東京16828番