

砂利層の振動性状について

正員 工学博士 村山 朔郎*
正員 最上 幸夫**

ON THE VIBRATION CHARACTER
OF GRAVEL LAYERS

(JSCE June 1953)

Dr. Eng., Sakurō Murayama, C.E. Member, Sachio Mogami, C.E. Member

Synopsis In order to investigate the dynamic stability of structures experimental studies are carried out on the vibration character of the gravel layer used as the structure foundation. This paper is a report of the laboratory tests performed with models as a part of the investigation.

要旨 構造物基礎として使用される砂利層の振動性状を明らかにし、構造物の動力学的安全の諸問題に役立たしめようとして実験的研究を行ったもので、本文はその一部として行った模型による室内実験の報告である。

1. 緒言

構造物の動力学的安全を論ずるには、その基礎の振動性状を明らかにすることが重要なことは論をまたない。種々の土質基礎についてその振動特性を明らかにするために、その自然振動数、減衰係数などを測定した例は見受けられるが¹⁾、基礎土質と構造物の中間に介在する砂利層の振動性状については、あまり十分な研究は進められていないようである。このような見地から著者等は砂利層の振動性状に関する基礎的研究の必要を認め実験に着手した。諸施設の関係上まず第一段階として行った模型による室内実験について述べる。

2. 実験実施要領

この室内実験では砂利層には単に上下方向の振動力のみ加えた。上下動は 1/50 IP のモーターにより偏心回転重りを対向に回転する形の小型加振機を用いた。

加振機のみ(偏心重り、底板を含まず)の重量は、1.74 kg で、その底部には、その重量、接地面積を加減できるように次の4種の鉄板を用意し、自由にボルトで着脱できるようにした。本実験では4枚全部をとりつけた場合を原則とし、一部3枚、2枚、1枚をとりつけた実験を行った。

鉄板 (1)	寸法	重量
(1)	95 × 80.6 mm	323 g
(2)	101 × 120 mm	467
(3)	117 × 140 mm	540
(4)	135 × 160 mm	860

また偏心回転重りも次の4種の重さのものをつくり、着脱できるようにした。

A : 2.6 g, B : 19.7 g, C : 26.55 g, D : 37.43 g,
次に実験に用いた砂利層は、表-1 のとおりである。この実験では、砂利層がきわめて軟弱な路盤上にあるものと仮定し、砂利層の下部にはゴムスポンジ板(52 cm × 53 cm × 1 cm)を敷いた場合と、強固な路盤を有する例としてコンクリート床上に砂利層をおいた場合とについて実験を行った。表-1 に示すように、砂利層の周囲の3辺は、30 cm × 30 cm, 50 cm × 50 cm の2種の木枠で囲み、ある程度砂利層を固定し、かつ振動の反射波の影響をさけるため砂利層と木枠の中間に厚さ 6 mm 程度の綿を挿入した。この木枠を用いた理由は、わづかの砂利の堆積上に加振機をのせたため、枠がないと砂利がずつて砂利層の沈下はなはだしく、振動記録がうまくとれないためである。また実際の砂利層の状態も4辺自由よりも周囲の隣接砂利層の摩擦によつてある程度準固定の状態にあると考えられるので、この木枠の大きさを変えたものを用いた。砂利層は厚さ 5 cm の層ごとに約 550 g のハンマーで一様に 50~60 回程度つき固めた。

表-1 砂利層実験種別

50cm 枠		30cm 枠	
層厚	粒径	層厚	粒径
5 cm	5 ^{mm} 以下	5	5 ^{mm} 以下
10	5~10 ^{mm}	10	5~10 ^{mm}
15	10~15 ^{mm}	15	10~15 ^{mm}

振動記録としては加振機底面重心部の振動をしらべ、その測定は光学的方法によつて回転ドラム上の映画紙に記録せしめた²⁾。加振機は電源 110 V より電圧調整器によつて徐々に電圧を上昇せしめ回転数を増加した。

加振機の構造上振動数の範囲は $\omega_1 = 0 \sim 50$ c.p.s. 程

* 京都大学教授, 工学部土木教室

** 山口大学講師, 工学部土木教室

図-1 共振曲線 (その1)

(砂利厚5cm, 粒径10~15mm, 50cm枠, ゴム基礎)

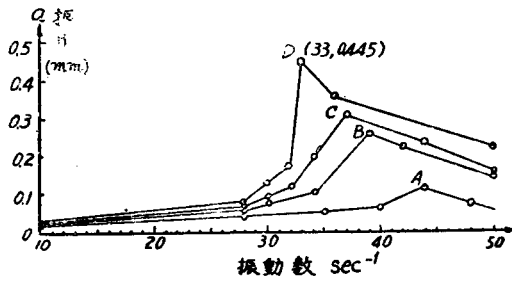


図-2 共振曲線 (その2)

(砂利厚10cm, 粒径10~15mm, 50cm枠, ゴム基礎)

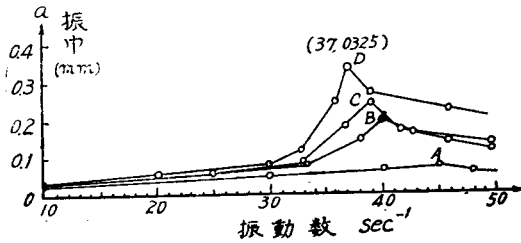


図-3 共振曲線 (その3)

(砂利厚15cm, 粒径10~15mm, 50cm枠, ゴム基礎)

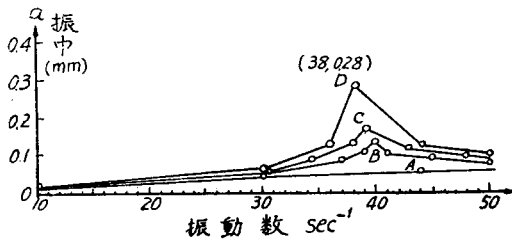


図-4 共振曲線 (その4)

(砂利厚10cm, 粒径10~15mm, 50cm枠, 加振機底 鉄3枚の場合)

ゴム基礎とコンクリート基礎の比較

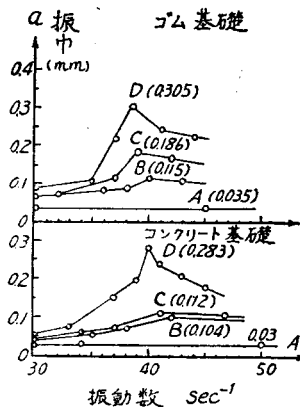


図-5 共振曲線 (その5)

(砂利厚5cm, 粒径5~10mm, 50cm枠, ゴム基礎)

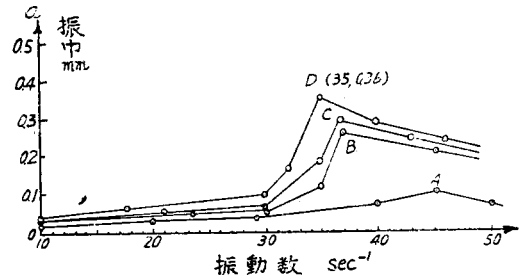


図-6 共振曲線 (その6)

(砂利厚5cm, 粒径5mm以下, 50cm枠, ゴム基礎)

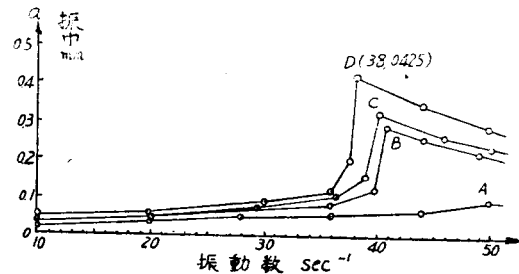
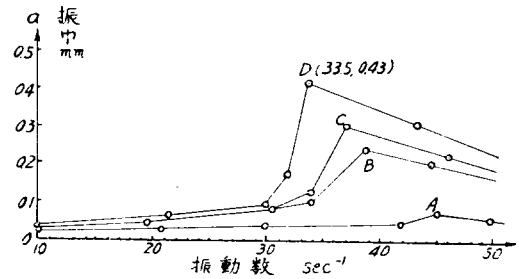


図-7 共振曲線 (その7)

(砂利厚5cm, 粒径10~15mm, 30cm枠, ゴム基礎)



度であり、それ以上は実験できなかつたが、実際の共鳴振動数は大体 30~50 c.p.s. の範囲であつたから、ほぼこれで間に合つた。砂利試料は鴨川産の川砂利を用い、表-1のごとく、粒径 5 mm 以下、5~10 mm、10~15 mm の3種にふるいわけ、よく水洗いして乾燥し清浄なものを用いた。以上の要領によつて各種の砂利層について振動記録をとり、加振機底板重心部の振動数とその振巾との関係を求めると、図-1~7のごとくである。これらの共振曲線を見てわかることは、砂利層の振動特性が、非線型に属していることである。従つてこの場合の砂利層の動的特性を一つのバネ常数によつて表わすことにすれば、このバネ特性曲線は線型の場合のごとく直線とはならないはずである。

3. 近似法によるバネ特性曲線の決定

前述のごとくこの振動系は非線型特性を示している

から、この場合加振機底面単位面積に対する運動方程式をたてれば、近似的に次のように表わされる。

$$M \frac{d^2x}{dt^2} + f(x) = P \cos \omega t \quad \dots\dots\dots(1)$$

ここに、 M ：加振機底面単位面積当りの振動部分の質量、 P ：同上単位面積当りの加振力、 ω ：加振機の回転角速度、 x ：加振機底面重心部の上下動変位、 $f(x)$ ：加振機底面単位面積当りに作用するバネ特性。

振動を定常とし、 $f(x)$ を求めるため、Den Hartogの方法³⁾を用いた。すなわち、いま x を、

$$x = a \cos \omega t \quad \dots\dots\dots(2)$$

で近似できると仮定すれば、 $M\ddot{x}$ は $-Maw^2 \cos \omega t$ となり、その最大値は $-Maw^2$ となる。このとき同時に加振力及びバネ特性値がそれぞれの最大値 P 及び $f(a)$ になるものと仮定すれば、 $x=a$ においては、

$$f(a) = Maw^2 + P = Maw^2 + mrv\omega^2 \quad \dots\dots\dots(3)$$

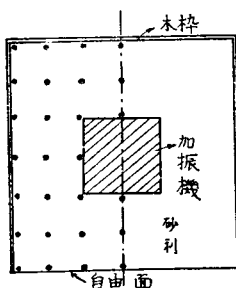
この関係は $x=0$ のとき、 $f(x)=0$ であれば、 $x=0$ に対しても成立する。ただし、 m ：加振機底面単位面積当りの偏心質量、 r ：偏心重りの回転半径。この場合加振機底面単位面積当りの振動部分の質量 M は近似的に次式によって求めた。

$$M = \frac{1}{aF} (\bar{M}_1 a_1 + \bar{M}_2 a_2 + \bar{M}_3 a_3) \quad \dots\dots\dots(4)$$

ここに、 a ：加振機底面重心部の上下動振幅、 F ：加振機の底面積、 \bar{M}_1 ：加振機の質量、 \bar{M}_2 ：砂利層の質量、 a_2 ：砂利層上下動振幅の平均値、 \bar{M}_3 ：ゴム板の質量、 a_3 ：ゴム板上下動振幅の平均値。 a_2 、 a_3 を測定するために、実験では砂利層中に $\phi 6 \text{ mm}$ の木片を埋め込み、よく砂利層を突き固めてその上下動振幅を測定した。

測定点は図-8のとおりである。振巾分布の左右の対称性につき、若干の場合に対して検証したところでは

図-8 測定点



はほぼ満足されていたので、実験の手数をはぶくため片側のみについて測定した。以上の方法によって式(3)を用い、バネ特性曲線を求めると、砂利層の動的性質をしらべることができる。その一例を図-9~11に示す。なお同図中には、加振機底板上に静荷重を加えた場合の荷重強度—沈下曲線の実験結果を附記した。両者を比較すれば、動的の場合と静的場合のバネ特性が明瞭に区別される。路盤係数は静的の場合、この範囲ではほぼ一定数となるが、動的

図-9 バネ特性曲線

(砂利厚5cm, 粒径10~15mm, 50cm枠)

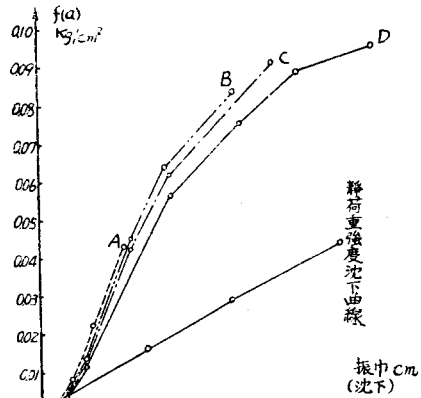


図-10 バネ特性曲線

(砂利層10cm, 粒径10~15mm, 50cm枠)

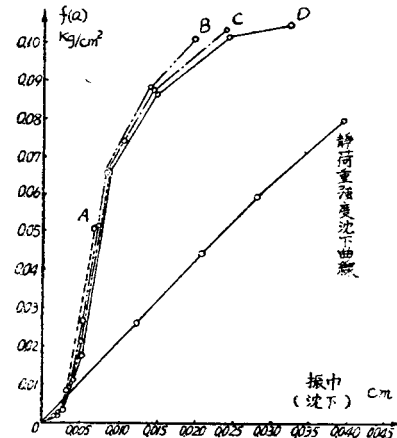


図-11 バネ特性曲線

(砂利厚15cm, 粒径10~15mm, 50cm枠)

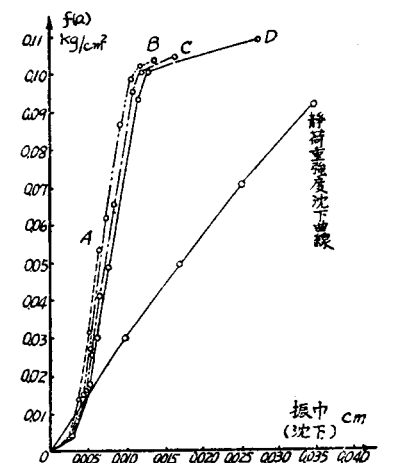


表-2 砂利層動的路盤係数比較の1例
(加振機(D), 振動数 $\omega_1=35\text{sec}^{-1}$ の場合)

50cm 枠			30cm 枠		
層厚	砂利種別	K (kg/cm ²)	層厚	砂利種別	K (kg/cm ²)
5	5mm 粒徑	2.39	5	5mm 粒徑	2.29
10	5mm 以下	5.48	10	5mm 以下	2.43
15	5mm 以下	8.84	15	5mm 以下	4.31
5	10mm 粒徑	2.46	5	10mm 粒徑	1.82
10	10mm 以下	5.66	10	10mm 以下	3.73
15	10mm 以下	9.15	15	10mm 以下	5.56
5	15mm 粒徑	2.22	5	15mm 粒徑	1.67
10	15mm 以下	4.67	10	15mm 以下	3.28
15	15mm 以下	8.77	15	15mm 以下	4.69

K は特性曲線の切線 $f'(a)$ によつて求められる。一般に動的路盤係数は静的路盤係数よりも大きい値を示している。本実験で行つた範囲の砂利層について、同一荷重状態（加振機底板4枚，偏心重りD，振動数 $\omega_1=35\text{c.p.}$ ）

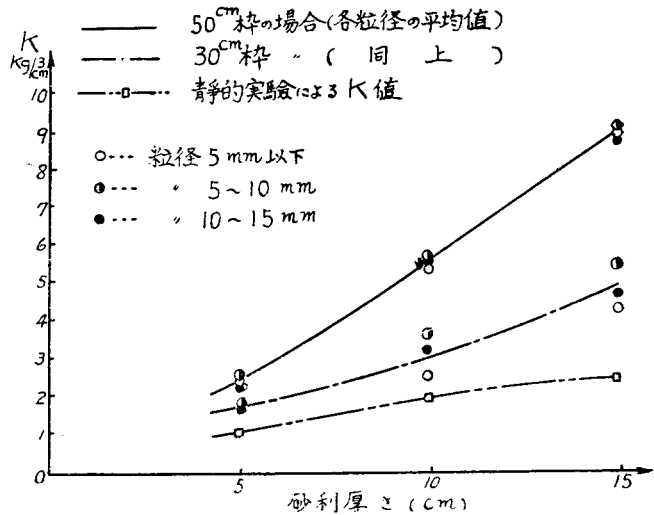
s.) の場合について各種砂利層の動的路盤係数 K の値を求めてみると，表-2のごとくなる。表-2より一定の荷重状態および振動数に対し，砂利層の動的路盤係数は砂利の厚さ，粒徑によりかなり異なることがわかる。

4. 結 言

以上の並砂利について行つた実験では，資料が少数であるから十分な信頼はおきかたく，これからただちに確定した結論をひきだすわけにはゆかないが，以上の定性的実験の結果からおおよそ次のようなことがいえる。

- 1) 砂利層の振動特性は非線型であり，バネ特性曲線は荷重状態（静荷重，荷重接触面積，偏心重量）によつて異なつた曲線型を示す。
- 2) この特性曲線は近似的に式(3)の $f(a)$ によつて表わすと，これより $f'(a)$ によつて動的路盤係数が求められる。したがつてこの方法は，動力学的な計算に用いる動弾性係数の一測定法として用いられる。
- 3) 一般に動的路盤係数は静的なものより大きいことが知られる。また表-2および同表より求めた図-12により見られるごとく，砂利厚さの増大とともに振動に対する抵抗力を増す。また粒度組成によつても多少の変化が見られるが，これは砂利層の突き固めによる密度も影響するものと考えられるので，さらに検討の余地がある。
- 4) ある特定の荷重状態ならびに振動数に対しては，これに最も適合した砂利層の厚さおよび粒度組成

図-12 表-2 による K と砂利厚さとの関係



などが存在しうること。

本実験は現場実験に対する予備的実験を目的としたもので，実際にはより多くの条件，試料について検討する必要があるが，以上の取扱いを実地に適用すれば，砂利基礎の合理的設計に寄与しうるものと思われる。近く現地の道床について現場実験を行う予定である。

終りにのぞみ本実験について多大の便宜を与えられた京大防災研究所の畑中助教に深謝の意を表わす次第である。なお本研究には文部省昭和27年度科学研究助成補助金の一部を使用した。ここに附記して謝意を表す。

参 考 文 献

- 1) H. Lorenz : V. D. I. Bd. 78, 1934, pp. 379~385.
- Terzaghi & Peck : "Soil Mechanics in engineering practice," pp.111~113, pp.528~530.
- Tschebotariouff : "Soil Mechanics, Foundations, and Earth Structures, June, 1951. Chap. 18.
- 谷藤正三 : "路盤の支持力に関する土質力学的研究" 土木学会誌 35 卷 6号 pp. 257~258.
- 鈴木武夫 : "動的路盤反力係数" 物理探鉱第5 卷, 第3号 pp. 124~125.
- 2) 実験方法は下記文献とほぼ同様である。
- 畑中元弘 : "突堤の自由振動について", 土木学会誌 36 卷 10号 p. 444
- 3) Den Hartog : "Mechanical Vibrations", 2nd Ed., New York, 1940. pp. 403~404. (昭.28.1.20)