

砂利層内における各種荷重と沈下との関連性について

最 上 幸 夫

On the Relations between Various Loads and the Settlements in Gravel Layers

S. Mogami

1. 緒 言

著者はさきに砂利層表面における各種荷重—静荷重，振動荷重，衝撃荷重とそれによって生ずる沈下との関連性について研究を行ったが，¹⁾ さらに載荷板重心鉛直軸上各深度における沈下の測定を行ったが，これらに関しては従来ほとんど実験的に研究された例は少く，粒体層の複雑性を考慮すると，荷重状態とそれによって生ずる沈下との関係については，まだ十分実態を把握したものとはいえないようである。本文においては，これらの点について実験的に検討した結果について述べる。

2. 鉛直軸上における圧力と沈下との関係

a) 単一載荷過程の場合

表面における圧力 σ と沈下 ε との関係は，一般に次式で表わされる。²⁾

$$\varepsilon = \frac{\sigma}{\lambda_1 \sigma + \lambda_2} \dots\dots\dots (1)$$

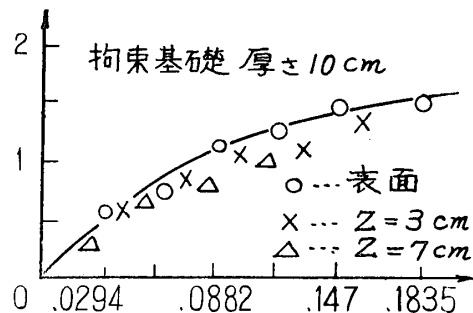
ここに， ε ：砂利層表面の沈下量， σ ：表面における平均荷重強度， λ_1, λ_2 ：与えられた基礎の静的特性値。

式(1)における λ_1, λ_2 なる値は表面における値であるから，これらの特性値が砂利層内部いたるところで一定値を示すか否かは疑問である。そこでこれを検討するために2, 3の基礎状態について実験を行った。

まず砂利層基礎の周辺がある程度拘束された場合について検討してみると，第1図に示すようになる。

表面よりの深さ $Z=3, 7 \text{ cm}$ の点における値は，一般に表面よりもやや小さい値を示すようであるが，そのずれは比較的小さいので，近似的には表面の $\sigma-\varepsilon$ 曲線とほぼ同一とみなして差支えないようである。

したがって λ_1, λ_2 の値は砂利層内部でほぼ一定と考えて差支えないものと考えられる。つぎに非拘束基礎のように流動の著



第1図 鉛直軸上の $\sigma-\varepsilon$ 関係

しい場合には，表面における λ_1, λ_2 を内部にそのまま適用するわけにはいかない。この点に

ついで砂利層10×17×15cm, 路盤コンクリートの非拘束基礎の場合について検討してみる。このときのσ-ε曲線は剛性減少型の特性を示し, このときのσ-εの関係は次式で表わされる。

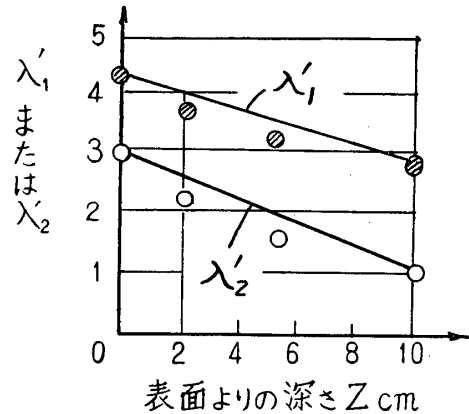
$$\left. \begin{aligned} \sigma &= \frac{\varepsilon}{\lambda_1' \varepsilon + \lambda_2'} \\ \text{または} \quad \varepsilon &= \frac{\sigma}{-\lambda_1 / \lambda_2' \cdot \sigma + 1 / \lambda_2'} \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (2)$$

ここに, λ₁' , λ₂' : 剛性減少型の基礎における静的特性値を表わす。
式(2)における1/λ₂' は, いわゆる地盤係数 K 値に相当するが, 剛性減少型に属する砂質地盤における Terzaghi 氏の実験³⁾ によれば, 限界深度 t_c より浅い範囲では,

$$K_t = K_0 \left(1 + 0.5 \frac{t}{r} \right) \dots\dots\dots (3)$$

ここに, K_t: 深さ t における地盤係数, K₀: 表面における地盤係数, t: 表面よりの深さ, r: 載荷板半径。

で表わされるとしている。したがって載荷板を一定とすれば, K_t は t に比例して増大することになる。したがって式(2)における 1/λ₂' の値も深さ Z によって変化することが予想される。そこで鉛直軸上の沈下を測定し, その点の圧力σ_Zは, 著者提案の圧力分布の計算法⁴⁾ によって, 2次元等分布ν=3として計算し, σ_Z-ε_Z 曲線を求めて, これより λ_{1Z}, λ_{2Z} の値を最小自乗法によって求めると, 第2図に示すようになる。この図によれば, λ_{1Z}, λ_{2Z} とともにほぼ直線的变化をなすものとみなして差支えないようである。実験結果を検討すれば, λ_{1Z}, λ_{2Z} は, ほぼ次式で表わされる。



第2図 各深度の λ'1, λ'2 の分布

$$\left. \begin{aligned} \lambda_{1Z} &= \lambda_{10} (1 - 0.03Z) \\ \lambda_{2Z} &= \lambda_{20} (1 - 0.06Z) \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (4)$$

ここに, λ_{1Z}, λ_{2Z}: それぞれ深さ Z における基礎の静的特性値, λ₁₀, λ₂₀: それぞれ表面における静的特性値。

ただし, このような値の変化は限界深度 t_c (10cm) までと考えられるから, それ以下の深さにおいては一定値 (Z=10cmの値) として取扱えばよいことになる。表面における λ₁₀, λ₂₀ は実験的に容易に求められるから, 式(4)の関係より任意深度の特性値が求まり, その深度の応力σ_Zを前記の計算法によって求めると, 式(1)の関係を用いて任意点の沈下が求められる。

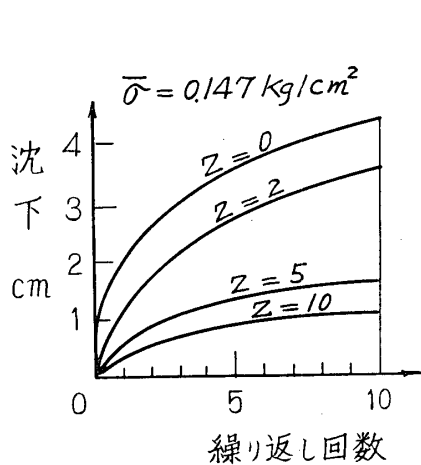
b) 繰り返し載荷過程の場合

つぎに繰り返し載荷過程による圧力σと沈下ε_iとの関係について検討する。両者の表面における関係は一般に次式で表わされる。

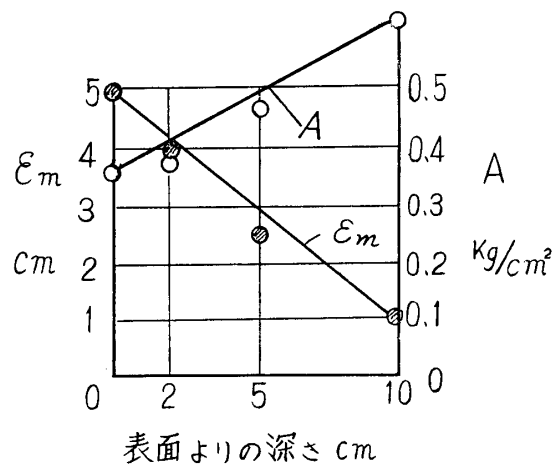
$$\epsilon_i = \epsilon_m \left\{ 1 - \left(\frac{A}{\bar{\sigma} + A} \right)^i \right\} \dots\dots\dots (5)$$

ここに、 ϵ_i : $\bar{\sigma}$ が i 回繰り返されたまでに生じた沈下量、 ϵ_m : $\bar{\sigma}$ が無限回繰り返されたまでに生じたと仮定した沈下量、 A : 基礎の静的構造抵抗係数。

繰り返し過程でも、拘束基礎においては、単一載荷過程と同様に、表面における ϵ_m, A の値は内部でほぼ一定とみなして差支えないが、非拘束基礎ではかなり変化する。この点について、砂利層 $15 \times 25.5 \times 15$ cm, 路盤粘土層 (厚さ 10cm, 含水率 25%) の場合について実験を行った結果によれば、 $\epsilon_i - i$ 曲線は、第3図のようになる。またこれより最小自乗法によって ϵ_m, A の値を求めると、第4図のごとくなる。



第3図 直軸上の $\epsilon - i$ 曲線



第4図 鉛直軸上の $\epsilon_m A$ の分布

第4図によれば、 ϵ_m, A の値は、ほぼ深さ Z に比例して変化するものと考えてよいようである。本実験によれば、

$$\left. \begin{aligned} \epsilon_{mZ} &= \epsilon_{m0} (1 - 0.08 Z) \\ A_Z &= A_0 (1 + 0.08 Z) \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (6)$$

ここに、 ϵ_{mZ}, A_Z : 深さ Z における値 cm, kg/cm², ϵ_{m0}, A_0 : 表面における値、単位はそれぞれ上と同様。 Z : 表面よりの深さ cm, 10 cm より小さい値である。この場合も $Z = 10$ cm 以上では一定値 ($Z = 10$ cm における値) とみなして取扱う。

式(6)の関係を使用すれば、任意深さにおける繰り返し沈下は、式(5)の関係をを用いて容易に求められる。

3. 鉛直軸上における振動沈下について

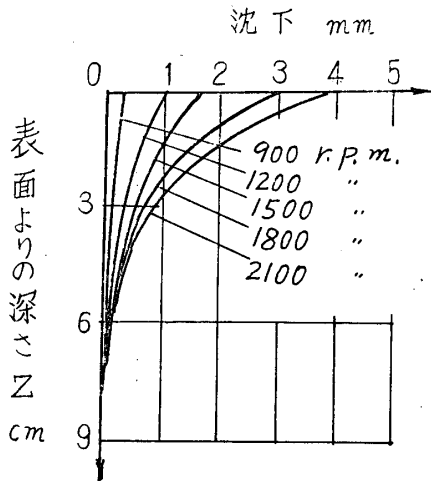
一般に表面における振動沈下 y と振動機の加速度 α との関係は、次式で表わされる。

$$y = \frac{\alpha}{\mu_1 \alpha + \mu_2} \dots\dots\dots (7)$$

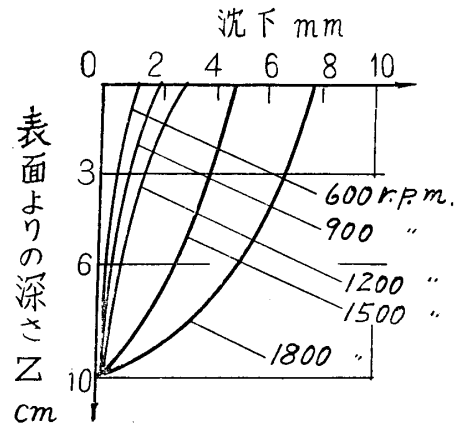
ここに、 y : 表面における振動沈下量 cm, α : 振動機の振動加速度 g (重力の加速度を単位として表わすから、 α は無名数であって 1 より小さい値である), μ_1, μ_2 : 基礎の振動沈下特性

値、単位はそれぞれ、 cm^{-1} , cm^{-1} である。

そこで鉛直軸上における振動沈下を実測し、これと加速度との関係を検討するために、BA-3 G型小型加速度計（新興通信工業 K. K. 製）を砂利層中に埋込んで加速度の測定を行ったが、その値は振動機のそれにくらべて、はるかに小さく、その値には十分な信頼がおけなかったので、 $\nu z - \alpha z$ の関係は検討できなかった。軸上における沈下の測定例を示せば、第 5, 6 図のとおりである。



第 5 図 鉛直軸上における振動沈下測定例



第 6 図 鉛直軸上における振動沈下測定例

これらの実測例より、軸上における振動沈下の一般的傾向について述べると、次のとおりである。

1) 砂利層内部における振動沈下は、一般にはなほだ複雑であって、これを理論的に求めることは困難であり、また実験的にもこれを求めうるような一定の関係式は見出しがたいようである。

2) 非拘束基礎では、表面沈下がきわめて大きい場合でも、 $Z=3\text{cm}$ 付近では、沈下はかなり小さくなり、それより深さとともに漸減する傾向が見られる。このことは、非拘束基礎の表面沈下は主として振動機に接する直下付近の粒子が流動によって側方へ逸脱することによって生ずることを示すものと解される。かくして加速度の大きい振動が作用すると、振動機直下付近の粒子が次々に外方へ逸出し、それによって沈下が促進される。したがってこのような場合には、 $Z=3\text{cm}$ の個所でも、はじめは沈下が比較的小さいにもかかわらず、ある程度時間が経過して表面沈下が促進されてくると、急激に沈下の増大をみるのが実験的に確かめられた。

強固路盤の場合には、 $Z=3\text{cm}$ より深い個所の沈下は微小であり、層厚 15cm の場合には、 $Z=10\text{cm}$ 付近では沈下はほとんど生じない。 $Z=3\sim 10\text{cm}$ の間は、ほぼ直線の変化を示す。これに反して、軟弱路盤の場合は、表面振動の影響が路盤まで波及し、コンクリート路盤の場合にくらべると、深部においてもなお相当大きい沈下を生じ、表面より漸減する傾向が見られる。

3) 拘束基礎の場合は、砂利粒子の流動がかなり阻止されるので、表面沈下は非拘束基礎にくらべ、はるかに小さくなる。各深度における沈下は、路盤の硬軟によって著しく異なるが、その傾向としては非拘束基礎の場合に述べたと同様である。強固路盤では、層厚の大小は沈下に余り影響しないが、軟弱路盤では、層厚をある程度大とする程、表面振動の加速度が減少

し、したがって表面沈下および内部沈下も小さくなる。

4. 鉛直軸上における衝撃沈下特性

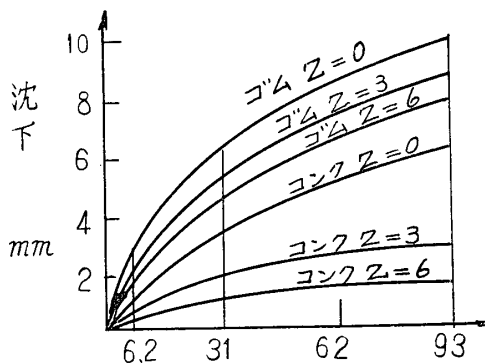
表面に加えられた衝撃エネルギー Wh (W : 落重, h : 落高) と表面沈下 ε との関係は一般に次式で表わされる。

$$\varepsilon = \frac{wh}{\nu_1 Wh + \nu_2} \dots\dots\dots (8)$$

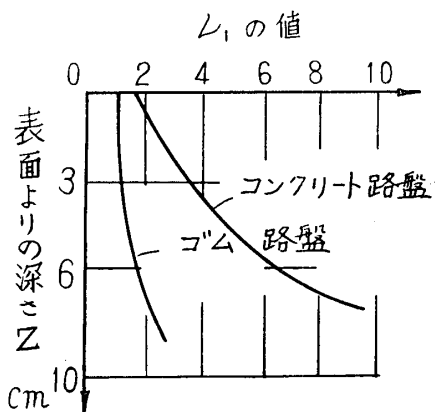
ここに、 ε : 衝撃作用による表面沈下 cm, Wh : 衝撃エネルギー kg·cm, ν_1, ν_2 : 基礎の衝撃沈下特性値, 単位はそれぞれ cm^{-1} , kg。

鉛直軸上各深度における Wh を測定することは困難であるから、表面における Wh と各深度における衝撃沈下 ε との関係を求めると、第7図のようになる。表面の Wh と ε_z との関係から、各深度における ν_{1z}, ν_{2z} を求め、特性値の深さ方向における分布を図示すれば、第8, 9図のとおりである。

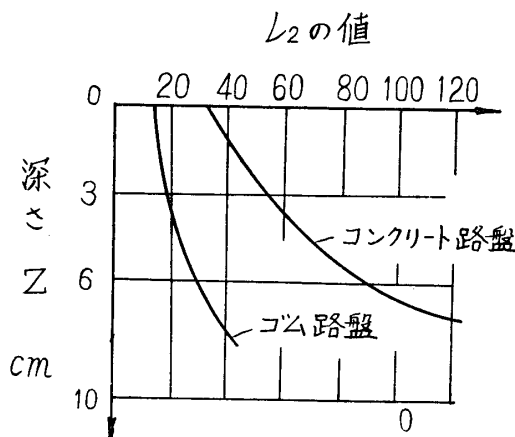
これらの図をみると、 ν_1, ν_2 とも深さ Z とともに増大していくが、ゴム路盤では、その増加がきわめてゆるやかであり、コンクリート路盤では、かなり大きい増加率を示している。砂利層の最底部では、沈下はほとんど0となるから、この付近から ν_1, ν_2 とも急速に増大して無限大に近づくものと考えられる。(ただし、ゴム路盤の場合は、ゴム板の最底部で急速に無限大に近づく)



第7図 軸上における衝撃沈下の測定例



第8図 軸上における ν_1 の分布



第9図 軸上における ν_2 の分布

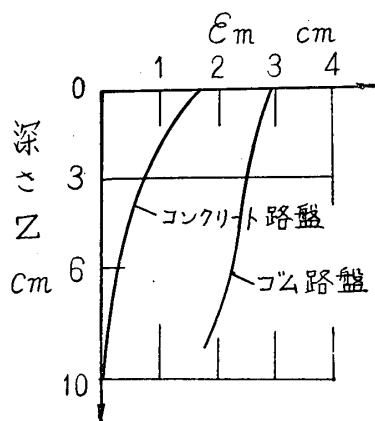
つぎに一定の衝撃エネルギー \overline{Wh} が繰り返して作用した場合の沈下 ε_i は次式で表わされる。

$$\varepsilon_i = \varepsilon_m \left\{ 1 - \left(\frac{A}{\overline{Wh} + A} \right)^i \right\} \dots\dots\dots (9)$$

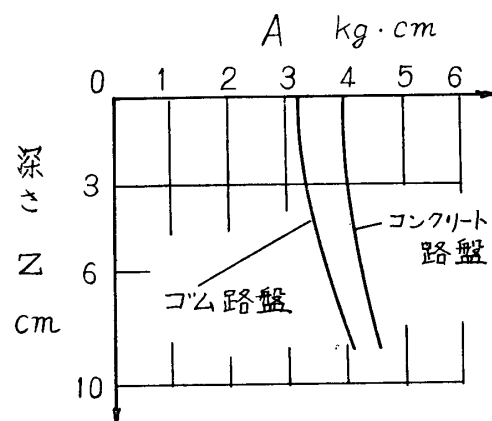
ここに、 ε_i : 衝撃エネルギー \overline{Wh} が i 回繰り返されたまでに生じた沈下 cm, ε_m : \overline{Wh} が無限

回繰り返されたまでに生じたと仮定した沈下 cm , Wh : 繰り返し衝撃エネルギー $kg\cdot cm$, A : 基礎の衝撃に対する構造抵抗係数 $kg\cdot cm$ 。

一回の衝撃の場合と同様に、鉛直軸上の ε_{iz} と Wh との関係より、各深度における ε_m , A_z の値を求め、鉛直軸上におけるこれらの分布を図示すれば、第10図、第11図のとおりである。



第10図 軸上における ε_m の分布



第11図 軸上における A の分布

これで見ると、 ε_m については、コンクリート路盤では、かなり円滑な曲線で Z とともに減少し、 $Z=10\text{ cm}$ (最底部) で $\varepsilon_m=0$ となるが、ゴム路盤では、かなりの深さまで表面値と余り変わらない値を示している。つぎに A の値については、硬軟いずれの路盤の場合も表面値と余り変わらない値を示している。

したがって鉛直軸上における ε_{iz} を求める場合も、式(9)の關係を用いて差支えないと考えられる。ただ ε_m の値は、軟弱路盤では表面値そのままを用いて差支えないが、強固路盤では、表面値そのままを用いることは不適當であり、この場合は近似的に、砂利層最底部の ε_m を 0 とし、表面より Z に比例して直線的に変化するものと仮定すれば、そう大きい誤りはないものと考えられる。

5. 結 言

砂利層基礎に種々の垂直荷重すなわち静荷重、静的繰り返し荷重、振動荷重、衝撃荷重、衝撃繰り返し荷重などが作用した場合の載荷板重心鉛直軸上における沈下量を測定し、これらの沈下と各種荷重状態との關係について検討した結果、静的荷重および静的繰り返し荷重の場合には、表面における關係を用いて軸上各深度の沈下を推定しうることがわかったが、振動荷重、衝撃荷重の場合には、これを推定することは困難であり、ただ概略の傾向を把握しう程度であるが、衝撃繰り返しにおける沈下は、ある程度まで推定可能なことなどが明らかになった。

参 考 文 献 そ の 他

- 1) 最上幸夫：種々の垂直荷重による砂利層の変形に関する研究。土木学会論文集へ投稿中。
- 2) 同上文献。以下の諸式についても文献1)による。
- 3) 原口忠次郎，米田正文：土と杭の工学，p.99 および p.123。
- 4) 最上幸夫：周辺非拘束砂利層内の圧力分布について，山口大学工学部学報第10巻第1号 p.57。