

繰り返し荷重による土層の永久沈下に関する 考察(時間要素を考慮した場合)

最上 幸夫*・長谷川 淳*

On the Permanent Depressions of Soils under Static Repeated Loading considering the Time Factor

Sachio MOGAMI and Atsushi HASEGAWA

Abstract

On the permanent depressions of soils under static repeated loading, the time factor is almost negligible when the soil is composed of granular materials, but we can easily expect the time factor when the soil contains clay. In this paper we studied the permanent depressions under static repeated loading considering the time factor and introduced the following formula;

$$\varepsilon_n = B \left\{ 1 - \left(\frac{A}{A + K\sigma} \right)^n \right\} \tag{1}$$

where,

$$K = 1 - e^{-\alpha t} \tag{2}$$

$$\alpha = E_1/\eta_1 \tag{3}$$

E_1, η_1 are shown in Fig. 1.

We applied the formula in Seed and Chan's experimental results and calculated the characteristic coefficients A, B, α and added some considerations.

1. 緒 言

土層が繰り返し荷重をうけた場合の永久沈下に対する特性を究明することは、とくに道路の路床、路盤などの沈下量を見積るうに重要なことである。繰り返し荷重をうけた粒体層の永久沈下については、すでに報告を行ったが¹⁾、実際の土層においては砂層とか砂利層といった粒体層とは異なって粘性土もかなり含まれており、載荷重をかけた場合永久沈下は時間的に変動する現象が認められる場合が普通である。本文においては、かかる土質基礎に繰り返し荷重が作用したときの永久沈下について考察を行ない、力学的モデルを仮定して簡単な算式を導き、この算式が比較的良好に実験結果を説明しうることを示し、式中に現われた特性値を若干の実験結果に適用して求める方法を示すとともに簡単な考察を行なった。

2. 理論的考察

時間的要素を考慮した場合の繰り返し荷重による永久沈下に対する力学的モデルとしては、Fig. 1に示す。

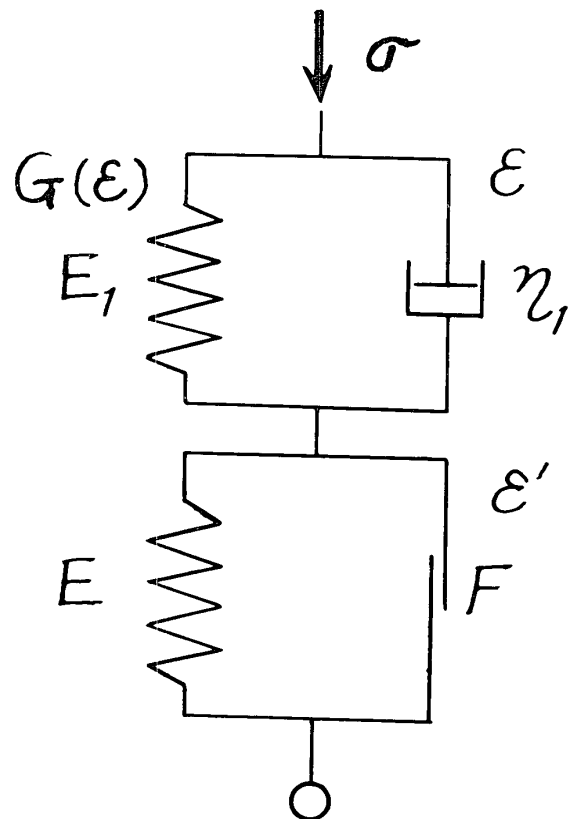


Fig. 1. Mechanical model on the permanent depressions of soils.

* 土木工学教室

ような系を仮定する。すなわち時間要素を考慮しない場合の力学的モデル²⁾の摩擦要素の代わりに構造抵抗要素 $G(\varepsilon)$ として Voigt Model を用いたものである。

Fig. 1 に示す ε' は弾性変形に関する項であるから永久変形のみを対象とする場合にはこれを考慮する必要はない。永久変形 ε のみに注目すれば、力学的モデルを参照して次式が成立する。

$$\sigma = E_1 \varepsilon + \eta_1 \dot{\varepsilon} \quad (1)$$

ここに、 σ : 土層に作用する平均荷重強度、 ε : 土層の永久沈下量、 E_1 : モデルの弾性係数、 η_1 : モデルのダッシュポット係数、 $\dot{\varepsilon}$ は ε の時間微分を表わす。

$t=0$ で $\varepsilon=0$ の条件を用いれば、式(1)より

$$\varepsilon = \sigma/E_1 \cdot (1 - e^{-E_1/\eta_1 t}) \quad (2)$$

したがって構造抵抗要素 $G(\varepsilon)$ は、

$$G(\varepsilon) = \sigma = E_1 \varepsilon (1 - e^{-\alpha t})^{-1} \quad (3)$$

$$\text{ここに、} \quad \alpha = E_1/\eta_1 \quad (4)$$

一方土層の初期状態における沈下量を ε_0 とすれば、第1回目の載荷過程における $G_1(\varepsilon)$ は、永久沈下が一定値に落ちつく場合には、つぎの条件を満足する必要がある。すなわち

$$G_1(\varepsilon_0) = 0, \quad G_1(\varepsilon_m) = \infty \quad (5)$$

ただし、 ε_m は与えられた基礎が最大間げき状態から最小間げき状態に達するまでに生じた永久沈下量を表わす。そこで式(5)の条件を満足する $G_1(\varepsilon)$ の形としては次式を仮定する。

$$G_1(\varepsilon) = A \frac{\varepsilon - \varepsilon_0}{B - \varepsilon} (1 - e^{-\alpha t})^{-1} \quad (6)$$

ここに、 A , B , α は与えられた基礎の繰り返し荷重による永久沈下に対する特性値である。一般には同一荷重強度を繰り返して土層に作用させた場合、式(4)の α の値、すなわち時間要素は各繰り返し載荷過程ごとに異なった値を示すものと考えられるから、一般的には第 n 回目の載荷過程における時間要素を α_n で表わすことにすれば、各載荷過程における構造抵抗要素は式(6)と同様につぎのごとく表わされる。

$$\left. \begin{aligned} G_2(\varepsilon) &= A \frac{\varepsilon - \varepsilon_1}{B - \varepsilon} (1 - e^{-\alpha_2 t})^{-1} \\ \vdots \\ G_n(\varepsilon) &= A \frac{\varepsilon - \varepsilon_{n-1}}{B - \varepsilon} (1 - e^{-\alpha_n t})^{-1} \end{aligned} \right\} \quad (7)$$

砂利層または砂層(乾燥砂に油をまぜたもの)について著者らが行なった繰り返し載荷の実験では、実験に用いた荷重強度が比較的小さい範囲(平均荷重強度 3.53 kg/cm^2)であり、実験に用いた基礎は周囲をコンクリート壁で拘束したため、時間要素の影響はほとん

ど無視しうる程度であったが、Seed および Chan の実験³⁾では時間要素の影響がかなり顕著に認められている。そこでこのような場合に生じる永久沈下に上述の関係式を適用しうるように考えてみる。前述のごとく厳密にいうと、時間要素 α は各載荷過程ごとに異なった値をとるものであるが、このような取り扱いではきわめて煩雑になるから、以下の取り扱いでは、各載荷過程の時間要素の平均値的な α の値を仮定し、近似的に各載荷過程の時間要素 $\alpha =$ 一定とみなして取り扱うことにする。かくすれば、式(6), (7)の関係を用い、初期沈下状態を永久沈下の基準にとり、 $\varepsilon_0 = 0$ とおくことにより、第 n 回目の載荷過程までに生じた永久沈下量 ε_n は、

$$\varepsilon_n = B \left\{ 1 - \left(\frac{A}{A + K\sigma} \right)^n \right\} \quad (8)$$

$$\text{ここに、} \quad K = 1 - e^{-\alpha t} \quad (9)$$

として表わされる。

以上は各載荷過程における時間要素 α が一定と仮定して導かれたものであるが、著者らが行なった一部の試験結果から検討すると、ある一定の荷重強度 P を繰り返して作用させた場合、第1回目の載荷過程では、永久沈下量は、第2回目以後に比較してきわめて大きく、かつ時間要素の影響も顕著であり、砂層の実験においては第2回目以後では時間要素の影響はほとんど認められず、 $\alpha = \infty$ とみなしうる程度であった。このような事実から判断すると、多くの土層の場合、時間要素 α は第1回目の載荷過程と第2回目以後とは、かなりその値に相異があるものと考えられる。したがって土層の繰り返し荷重による永久沈下の特性を検討する場合、時間要素 α に関しては、第1回目の載荷過程における値を α_1 とし、第2回目以後の載荷過程におけるものは、その平均値 $\alpha =$ 一定とみなして取り扱う方が合理的であると考えられる。このような考えに従えば、式(8)を導いたときと同様にして、第 n 回目までに生じた永久沈下量 ε_n は次式で与えられる。

$$\varepsilon_n = B \left\{ 1 - \left(1 - \frac{\varepsilon_1}{B} \right) \left(\frac{A}{A + K\sigma} \right)^{n-1} \right\} \quad (10)$$

ここに、 ε_1 : 第1回目の載荷過程で生じた永久沈下量、 A , B , K は式(8)と同一である。

3. 実験結果への適用

本節では式(9)の関係を Seed および Chan の実験結果に適用して基礎の繰り返し荷重による永久沈下の特性値 A , B , α などの値を求めてみる。Fig. 2 (a), (b), (c) に Seed および Chan の実験結果の一例を示した。

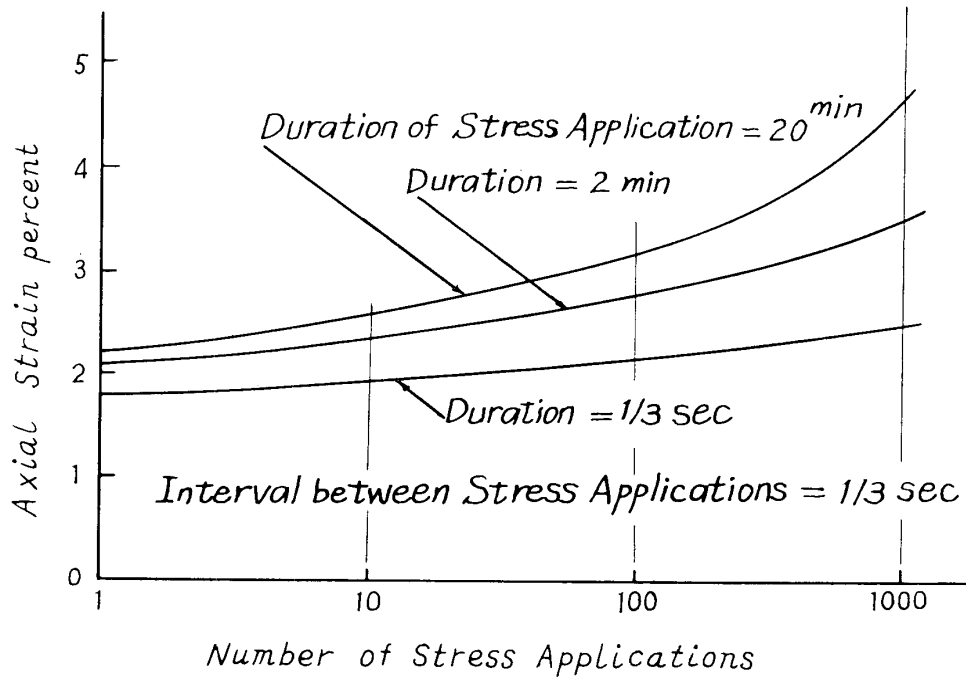


Fig. 2 (a). Effect of duration of stress applications on deformation of silty sand.

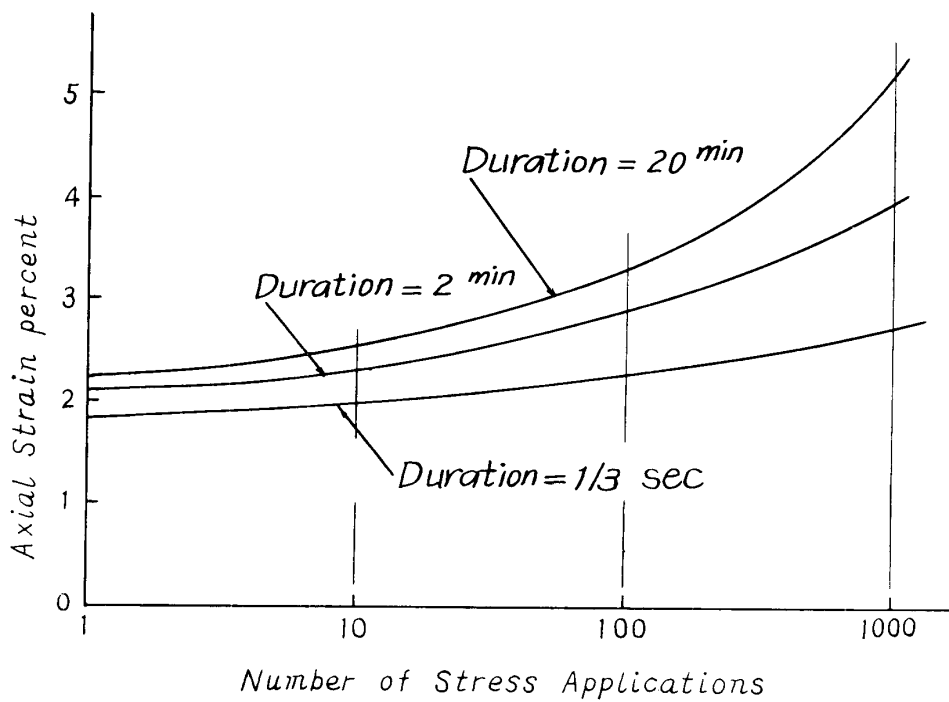


Fig. 2 (b). Interval between applications = 2 min.

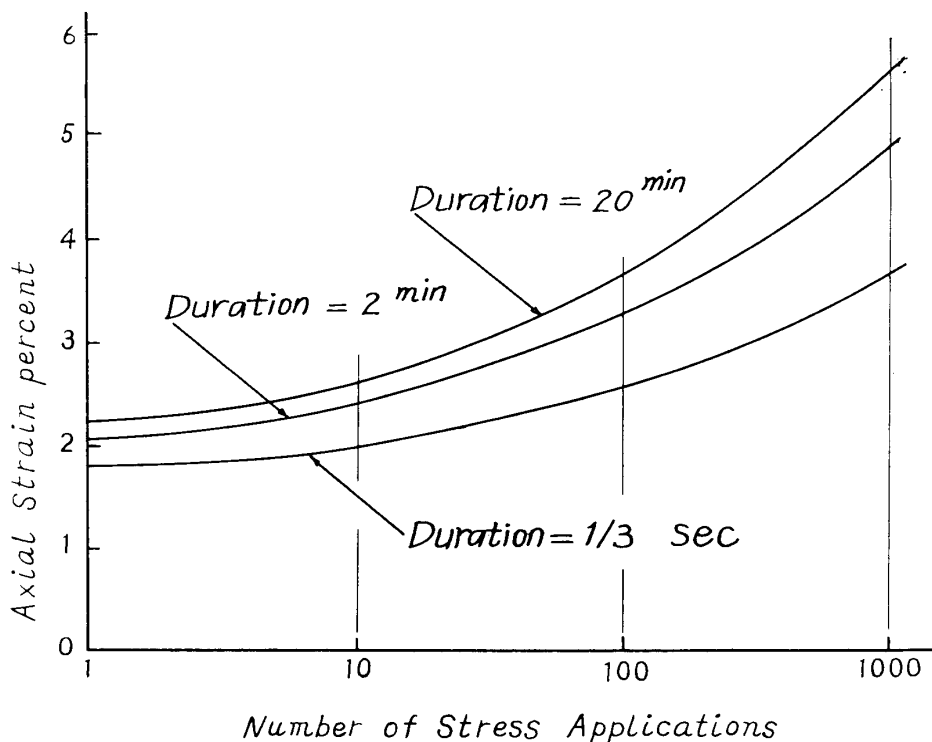


Fig. 2 (c). Interval between applications = 20 min.

式(9) または 式(8) の関係を用いて 特性値 A, B, α などを決定する場合、繰り返し回数 n としては、必ずしも実際の繰り返し回数を用いる必要はなく、適当な繰り返し回数を単位にとって表わして差支えない。たとえば繰り返し実験の総回数が1000回である場合、1000回までの永久沈下量が2~3 mm といった微小量である場合は、便宜上500回の繰り返しを $n = 1$ と考え、したがって1000回の場合は $n = 2$ とすればよい。また時間の単位についても同様に考えればよい。以上の見解に従って Seed および Chan の実験結果から特性値を求めてみる。Fig. 2 の場合、総繰り返し回数は1000回となっているので 前述のごとく、一応500回を $n = 1$ 、1000回を $n = 2$ 、時間の単位としては、10 min = 1 として取り扱うことにした。要するに実験によってえられた繰り返し沈下曲線の特性を A, B, α なる特性値によって数値的に表わすわけであるから、これらの特性値を求めやすい方法を採用すればよい。このようにして Fig. 2 (a), (b), (c) の場合に対して特性値を求めると、Table 1 のごとくなる。

Table 1 Values of A, B, α, α_1

Fig. 2	A kg/cm ²	B mm	$\alpha/10\text{min}$	$\alpha_1/10\text{min}$
(a)	1.59	1.07	1.51	2.50
(b)	0.96	1.08	1.56	
(c)	0.65	1.14	1.46	

一般にいえば、特性値 A の値は大きい程安定な基礎といえ、 B は逆にその値が小さい程安定な基礎といえることができる。また時間要素 α, α_1 の値は大きい程沈下量が速かに一定値に落ちつくことを示す。Seed らの実験結果を検討すると、 α_1 の大きいものが、必ずしも α が大きいとは限らず、基礎地盤の永久沈下はきわめて不規則かつ複雑なものであることが知られる。

4. 結 言

本文においては静的繰り返し荷重が土質基礎に作用した場合の永久沈下が時間的要素の影響をうける場合について簡単な力学的モデルを用いて理論的考察を行ない、簡単な理論式を導き、これを Seed らの実験結果に適用して基礎の繰り返し荷重による永久沈下に対する特性値を求めてみた。しかし Seed らの実験資料も比較的一部のものにすぎず、荷重強度や載荷板の形状寸法などの影響が特性値にどのように現われるかについては十分検討することはできなかったが、特性値について一般的にいえることは、 A の値が大きい程、 B の値は小さい程、基礎に生ずる永久泥下量は少なくなり、安定した基礎といえることができる。また時間要素 α, α_1 の値は大きいほど永久沈下は速かに一定値に落ちつくことを示している。したがって自然地盤の繰り返し荷重による永久沈下に対する安定度を検討する

場合には、荷重強度、載荷板の形状寸法、荷重の繰り返し回数および荷重の作用時間の種類などを指定して現場実験を行ない、その結果えられた永久沈下—繰り返し回数の関係を図示し、これより特性値 A , B , α_1 , α などの値を決定して比較検討すればよい。これによって基礎のこのような永久沈下に対する安定度を数値的に比較検討することができる。現在土質試験においては単に1回の荷重—沈下曲線を求めて地盤の支持力を求めているが、道路の路床、路盤などにおいては動的荷重が作用する関係上繰り返し荷重をうけるのが普

通であり、したがって試験も繰り返し荷重によって沈下をしらべ、本文に述べたような方法によって基礎の特性値を数値的に求めるのが合理的であると考えられる。

参 考 文 献

- 1) 最上幸夫, 長谷川淳: 山口大学工学部研究報告, 14, 101—105. (1964)
- 2) 谷本喜一: 土木学会論文集, 43, 55. (1957)
- 3) H.B. Seed and C.K. Chan: Proc. of the 5th Int. Conf. on Soil Mech. and Found. Eng., 341—345. (1961)