

セメント・ベントナイト混合砂質土の累積変形特性について

(株)複合技術研究所 正会員 ○岡本 正広, 木口 峰夫
鉄道建設・運輸施設整備支援機構 正会員 森野 達也, 米澤 豊司, 丸山 修
(財)鉄道総合技術研究所 正会員 小島 謙一, 坂本 寛章

1. はじめに

地盤改良杭の耐震性の評価を目的として、豊浦砂を用いたセメント・ベントナイト混合砂質土の繰返し三軸試験を実施した。本報告では、列車走行による地盤改良杭の累積沈下の予測解析に必要な繰返し変形特性を把握するための各種パラメータについて報告する。

2. 試験方法

2.1 試験の種類および条件

試料は、気乾状態の豊浦砂、普通ポルトランドセメント、および混和材としてベントナイトを配合したものをを用いて作製した。パイルスラブ式盛土に用いる地盤改良杭の改良強度を一軸圧縮強度で 500 と 750kN/m²の 2 パターンを設定、拘束圧は実地盤を想定して、25kPa(浅部 1.5m程度)と 75 kPa(深部 4.5m程度)の 2 ケースを設定した。この設定強度を有する三軸試験用供試体を作製するために本田・小澤らの研究¹⁾を参考に配合試験を実施した。配合試験の結果、試料の配合比は表 1 の通りとした。繰返し载荷は、列車荷重による繰返しを想定し、排気条件で繰返し周波数f=4Hz、20 万回とし、繰返し载荷における初期せん断応力比 (SR_s)と繰返しせん断応力比 (SR_d) はともに 0.4 とした。今回実施した試験条件を表 2 に示す。

表 1 地盤改良杭 (セメント改良土) の配合量

case	目標強度 q _u (kPa)	配合(重量比)			
		豊浦砂(気乾)	セメント	ベントナイト	水
1	500	100	6.42	7.00	30.25
2	750	100	9.65	7.00	30.25

表 2 繰返し三軸試験の条件

名称	供試体寸法 (cm)		改良体強度 (kN/m ²)	拘束圧 (kPa)	初期せん断 応力比	せん断 応力比
	直径	高さ			SR _s	SR _d
1	5	10	500	25	0.4	0.4
2				75		
3			750	25		
4				75		

2.2 試験装置

4Hzの繰返し载荷周波数および所定の繰返し载荷応力条件を満たす小型三軸試験装置を使用した。図 1 に小型三軸試験装置システム概念図を示す。なお、軸ひずみはLDT(局所軸ひずみ測定装置)²⁾を用いて測定している。

3. 繰返し载荷による累積変形特性のパラメータ

繰返し载荷試験結果から得られた累積変化特性の既往の実験式は次式で与えられる³⁾。

$$SR_d = a_1 \varepsilon_1^{a_2} \exp(-a_3 x) \dots \dots \dots (1)$$

ここに、SR_d : 動的せん断応力比
ε₁ : 残留軸ひずみ (%)
x = log₁₀ N (N : 繰返し回数)
a₁, a₂, a₃ : 累積沈下特性のパラメータ

(1)式を展開すれば、
$$\varepsilon = (SR_d / a_1)^{1/a_2} N^{0.4343a_3/a_2} \dots \dots (2)$$

ここで、非粘性土の繰返しによる永久変形特性を(3)式で表し、(4)式と書き換えれば、(4)式に含まれる各種パラメータは以下の通りとなる。

$$\varepsilon^p = \bar{B} e^{nX} N^m \dots \dots \dots (3)$$

$$\varepsilon_1 = AN^m \dots \dots \dots (4)$$

(log₁₀ ε₁ = log₁₀ A + m log₁₀ N)

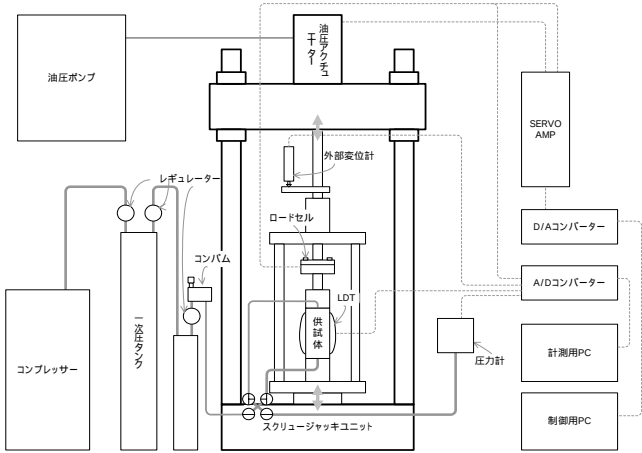


図 1 小型三軸試験装置のシステム概念図

$$A = (SR_d / a_1)^{1/a_2} \dots \dots \dots (5)$$

$$m = 0.4343a_3 / a_2 \dots \dots \dots (6)$$

$$a_1 = \begin{cases} 0.2 & \text{for } SR_{d \max} < 0.5 \\ SR_{d \max} - 0.3 & \text{for } SR_{d \max} \geq 0.5 \end{cases} \dots \dots \dots (7)$$

ここに、ε^p : 繰返し载荷による永久ひずみ (%)
B̄, n, m : パラメータ
X : 軸差応力 (主応力差) (= (σ₁ - σ₃) / (σ₁ - σ₃)_f)
N : 繰返し载荷回数
その他、諸式の諸量は文献 2) を参照されたい。

4. 試験結果

4.1 軸ひずみの時刻歴結果

典型的な試験結果例として、改良体強度 500kN/m^2 、拘束圧 75kPa の場合の軸ひずみ～時間関係、および軸ひずみ～繰返し回数関係をそれぞれ図 2(a),(b)に示す。ここでは、そのデータは省略するが、各試験ケースとも載荷開始から 1,000 秒ほどで軸ひずみが収束する傾向が認められ、また、今回のように、初期せん断応力比および繰返しせん断応力比一定の条件下では有効拘束圧が大きい ($\sigma = 75\text{kPa}$) 方が初期せん断応力および繰返しせん断応力共に大きいので、載荷の初期に生じる軸ひずみは有効拘束圧が小さいケースに比べて大きい傾向を示している。

累積沈下特性を表す各種パラメータは、図 2(b)に示す両対数の関係上で最小二乗法により(4)式に示すパラメータ A と m を決定し、以後、(5)～(7)式より a_1, a_2, a_3 を決定した。

4.2 累積沈下特性

改良強度の違いによるパラメータ m および a_2 の比較を図 3 および図 4 にそれぞれ示す。パラメータ m については、拘束圧が大きいと改良杭の強度が大きい方がパラメータ m も大きい。一方、拘束圧が低いと改良強度が小さい方がパラメータ m は大きくなる傾向を示す。

パラメータ a_2 については、一部のデータを除けば改良強度および拘束圧によらず、ほぼ一定で 0.5 程度の値を示す。

5. まとめ

列車走行によるパイルスラブ式盛土の累積沈下の予測解析に必要な繰返し変形特性を把握するために実施したセメント改良土の繰返し三軸試験結果より、以下のことが分かった。

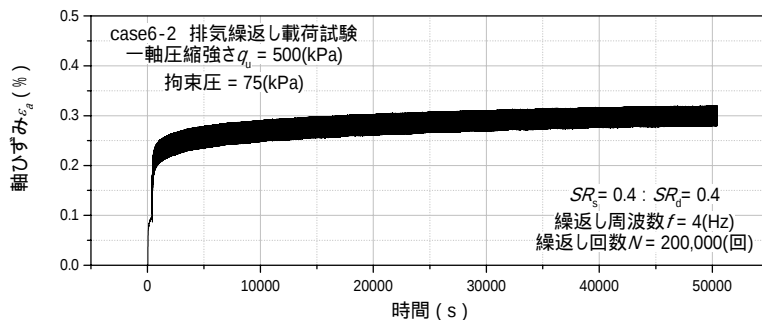
パラメータ m は、初期せん断応力比および繰返しせん断応力比一定の条件下では、拘束圧、改良強度に影響される。

その値は、拘束圧が大きいと改良杭の強度が大きい方がパラメータ m も大きくなる。一方、拘束圧が低いと改良強度が小さい方がパラメータ m は大きくなる傾向を示す。

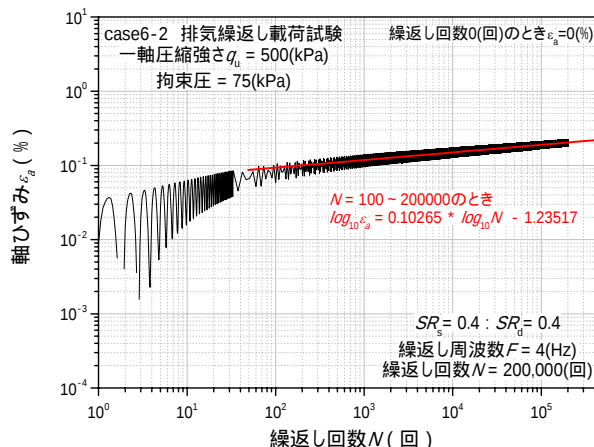
パラメータ a_2 については、一部のデータを除けば改良強度および拘束圧によらず、ほぼ一定で 0.5 程度の値を示す。

<参考文献>

- 1) 本田章人・小澤裕・澁谷啓・三田地利之：セメント混合砂質土の室内試験 - 供試体作製法の検討 - , 第 29 回土質工学研究発表会, pp. 2261 ~ 2262, 2004.6
- 2) Goto, S., Tatsuka, F., Shibuya, S., Kim Y. S. and Sato, T.: A Simple Gauge for Local Small Strain Measurements in the Laboratory, S&F, Vol. 31, No. 1, pp. 169-180, 1991
- 3) (財)鉄道総合技術研究所：鉄道構造物等設計標準・同解説 - 土構造物, 平成 19 年 1 月



(a) 軸ひずみ～時間関係



(b) 軸ひずみ～繰返し回数関係

図 2 典型的な試験結果

(改良体強度 500kN/m^2 、拘束圧 75kPa)

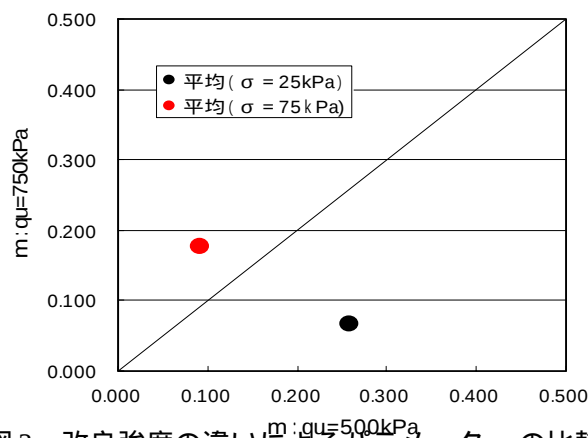


図 3 改良強度の違いによるパラメータ m の比較

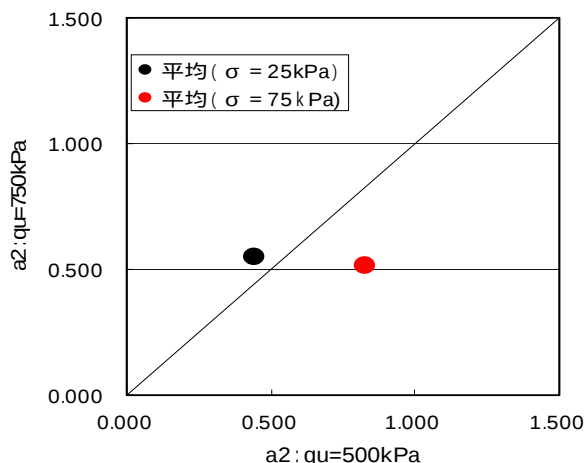


図 4 改良強度の違いによるパラメータ a_2 の比較