

フローティング式深層混合処理工法を用いた擁壁基礎の沈下量推定について

独立行政法人土木研究所 正会員 ○井谷 雅司 正会員 浜口 武
 同上 正会員 堤 祥一 正会員 大下 武志

1. はじめに

近年、土地利用上の制約から地盤条件の悪い場所での建設工事が増加してきており、軟弱な地盤上に構造物を構築する事例が増えてきている。構造物基礎として、フローティング式の深層混合処理工法は、コストを低減できる工法として注目されているが、改良効果や沈下量については厳密には解明されていない。そこで、遠心模型実験を実施し、擁壁基礎へフローティング式深層混合処理工法を適用した場合の改良効果・沈下量を調べるとともに、一次元圧密理論および改良地盤の簡易モデルによる弾性解により算出される理論値との比較検証を行った。

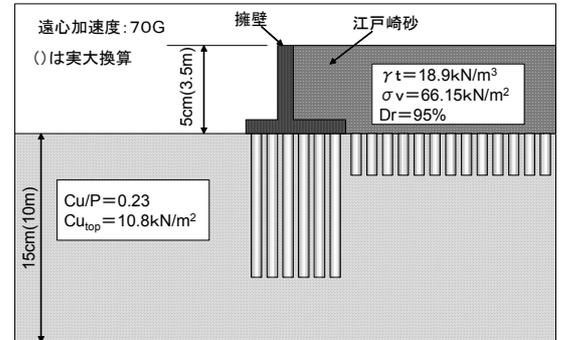


図-1 実験概要図

2. 実験概要

実験概要図を図-1に示す。土槽の寸法は $80\text{cm} \times 20\text{cm} \times 30\text{cm}$ であり、実験地盤には、カオリンクレイ (ASP-100) を使用した (表-1)。土槽にカオリンクレイを投入後、真鍮棒により地盤表面に遠心場での圧密荷重 31.85kN/m^2 をかけ、遠心加速度 70G にて、24時間放置した。改良柱体には、相似則を合わせるためにアルミ棒 ($\Phi 10\text{mm}$) を使用した。その後、アルミ棒を所定の位置に挿入し、再度、 31.85kN/m^2 の上載荷重をかけ、沈下が完了するまで遠心圧密 (70G) を行い、実験模型地盤を作製した。模型地盤完了後、事前に凍結させておいた擁壁供試体 (擁壁部+裏込め土) を所定の位置に設置し解凍作業を行ったのち、遠心加速度 70G 場で沈下量の計測を行った。裏込め土には江戸崎砂を最大締固め度に締固めたものを使用した。実験ケースは、擁壁部と裏込め部の改良率および改良深さを変化させた4ケース実施した。表-2に実験ケースを示す。

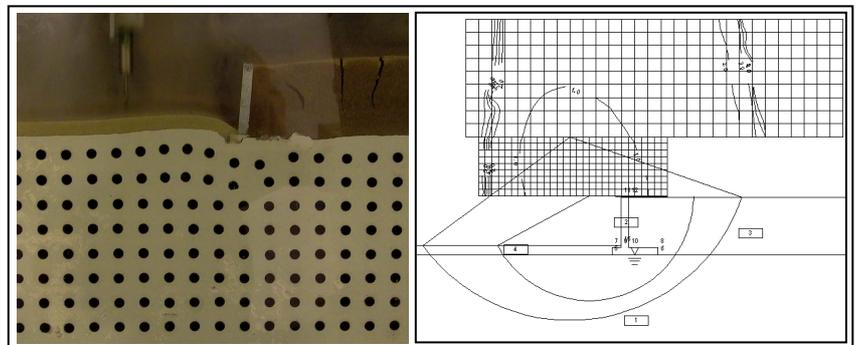
表-1 地盤物性値

名称	記号	数値
ポアソン比	ν	0.32
液性限界	W_c	81.94%
塑性限界	W_p	30.48%
塑性指数	I_p	51.46%
強度増加率	C_u/P	0.23
土粒子の密度	ρ_s	2.639 g/cm^3
K_0 値	K_0	0.471

表-2 実験ケース

実験ケース	擁壁基礎		裏込め基礎	
	改良率 (%)	杭長 L (m)	改良率 (%)	杭長 L (m)
1	無対策	-	無対策	-
2	41.6	6	32.9	4
3	58.9	6	32.9	4
4	41.6	6	32.9	6

図-2 実験結果とすべり計算結果



試体 (擁壁部+裏込め土) を所定の位置に設置し解凍作業を行ったのち、遠心加速度 70G 場で沈下量の計測を行った。裏込め土には江戸崎砂を最大締固め度に締固めたものを使用した。実験ケースは、擁壁部と裏込め部の改良率および改良深さを変化させた4ケース実施した。表-2に実験ケースを示す。

3. すべり安全率の設定

Case1 実験後の地盤の変形状況およびすべり計算結果を図-2に示す。明確なすべり破壊が発生した。これは、事前に実施した円弧すべり計算の結果とも整合が取れている。これ以外のケースはすべり安全率 $F_s > 1.0$ となるよう設定し、実験時もすべり面は発生しなかった。

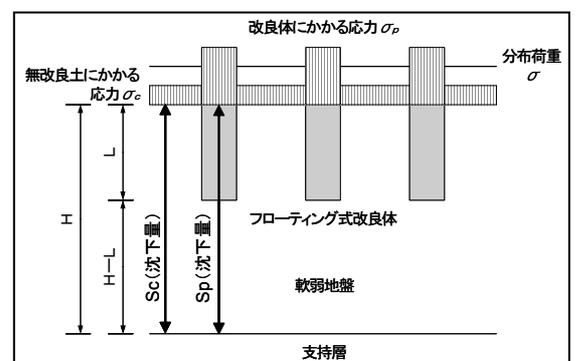


図-3 改良部模式図

キーワード：フローティング、深層混合処理、遠心模型実験、圧密沈下、擁壁

連絡先 〒305-8561 茨城県つくば市南原 1-6 独立行政法人土木研究所 施工技術チーム TEL:029-879-6759

4. フローティング式深層混合処理の沈下量推定法

基礎の沈下量は、改良地盤内部（H₁）の沈下（S₁）と改良地盤以下（H₂）の沈下（S₂）に分けて算出し、その合計値（S=S₁+S₂）を基礎の沈下量とする。

1) 改良地盤内部の沈下（S₁）の算出法

杭式改良の地盤の圧密沈下量は、簡便な式として以下の式が良く用いられている。

$$S_1 = \frac{1}{(n-1)a_p + 1} \cdot m_{vo} \cdot H_1 \cdot \sigma \quad (\text{式-1})$$

フローティング式杭基礎を用いた場合の応力分担比 n は、定着式より若干低い値となることが報告されているが、定量的にはまだ把握されていない。筆者らは、改良率・杭長等のパラメータより理論的に応力分担比を算出するため、図-3 に示す簡易モデルの弾性解から応力分担比を導いた。地盤（S_c）と改良体直下（S_p）の沈下量はそれぞれ次のように算出する。

$$S_c = S_p, \quad S_c = m_c H \sigma_c, \quad S_p = m_p L \sigma_p + m_p (H-L) \sigma'_p \equiv m_c (H-L) \sigma'_p$$

体積圧縮係数は圧密試験結果より、圧縮ひずみと圧密圧力は次式のように指数近似する。

$$\sigma_c = 0.023 e^{13.72 \varepsilon_c} \Leftrightarrow \varepsilon_c = (X) \ln \sigma_c + (Y) = 0.07289 \ln \sigma_c + 0.2749$$

これらの関係式を利用し平衡状態になった時点での式を誘導すると、地盤部応力 σ_c および杭頭部応力 σ_p は、右式で算出できる。

$$a_p e^{\frac{Y}{X} L} \cdot \sigma_c^{\frac{H}{H-L}} + \alpha(1-a_p) \sigma_c - \alpha \sigma = 0$$

$$\sigma_p = \frac{\sigma - \sigma_c(1-a_p)}{a_p} = \frac{1}{\alpha} e^{\frac{Y}{X} L} \cdot \sigma_c^{\frac{H}{H-L}}$$

2) 改良地盤以下の沈下量（S₂）の算出法

S₂の算出は、一般的に用いられている慣用法により算出する。

$$S_2 = H_2 \frac{C_c}{1+e_0} \log_{10} \frac{p_0 + \Delta p}{p_0} = H_2 \frac{e_0 - e}{1+e_0} = H_2 \frac{\Delta e}{1+e_0}$$

ここでの、 Δp は、上載応力が改良深さの 1/3 の位置から θ （ここでは 30°）の角度を持って地盤に分散するとして算出する。カオリンクレイは鋭敏比が高く e-logP 曲線は逆 S 字を示すため、 $\ln(f) (= \ln(e+1))$

-logP としてプロットし指数近似式を算出し、所定の圧密応力時の間隙比より沈下量の推定を行った（図-4）。

$$\ln(e+1) = -0.0960 \ln(P) + 1.42 \Leftrightarrow e_{\text{間隙比}} = e^{-0.0960 \ln(P) + 1.42}$$

5. 推定結果と考察

上記の推定式を用いた値と遠心実験による沈下量の結果を表-3 に示す。推定式によって算出した応力分担比は、10~20 の範囲で変動しており、一般的に用いられている値と同様の結果となり、推定式の妥当性が伺える。厳密に沈下量を推定するには、提案した理論式より応力分担比の算出するのがよい。沈下量に関しては、Case1 は円弧すべりが発生したため圧密理論は適用できない。裏込め部の沈下量は概ね推定が可能であるが、擁壁の沈下量には誤差が生じている。この原因は、図-5 のように盛立て初期の地盤変形（排水を伴わない）の影響により、圧密計算値の精度を幾ら上げて、塑性変形が発生する擁壁付近では 1 次元圧密理論のみでは沈下挙動が再現できないためである。

6. まとめ

裏込め部の沈下のような排水による沈下が卓越する場所では、提案した推定方法により、ある程度厳密な沈下量算出できるが、擁壁直下のような変形が卓越する場所での沈下量の推定は数値解析的手法による検討が必要と考える。今後は変形も考慮した構造物全体系の変位量の簡易的な推定法を検討していく予定である。

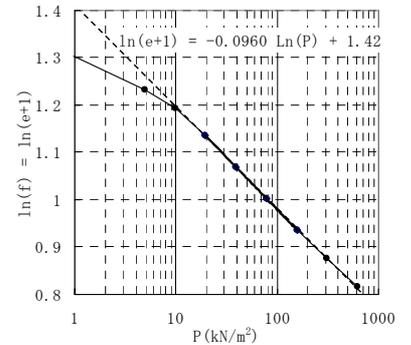


図-4 ln(f)-logP 関係

表-3 実験結果と推定値

実験ケース	推定式による沈下量				実験沈下量	
	擁壁部		裏込め部		擁壁部	裏込め部
	応力分担比 η	沈下量 S(cm)	応力分担比 η	沈下量 S(cm)	沈下量 S(cm)	沈下量 S(cm)
1	-	12.3	-	57.3	51.7	23.3
2	19.2	11.6	11.8	26.3	13.1	25.0
3	17.0	11.0	11.8	26.3	7.0	24.6
4	19.2	11.6	20.2	19.9	7.8	20.7

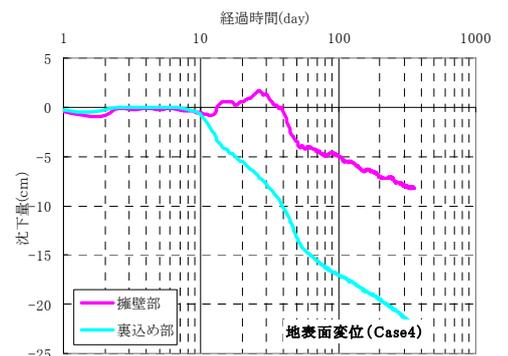


図-5 沈下量-時間関係(Case4)