

## ソイル・セメントコラム・スラブで改良した軟弱地盤の沈下計算法

佐賀大学 工学系研究科 学生員 ○岩政 瞳  
 佐賀大学 低平地研究センター 正会員 柴 錦春

**1. まえがき** ソイル・セメントコラム・スラブ工法は軟弱地盤上における道路、堤防建設によく使われている地盤改良工法である。建設コストの縮減、地盤環境への影響の軽減による観点から、多くの場合、ソイル・セメントコラム・スラブで軟弱層の一部(上部)を改良する(フローティング基礎)。フローティング基礎の沈下計算法は幾つかある。本研究は、1次元での数値計算結果により、コラム上の応力集中率、コラム先端と周囲地盤間の相対沈下量を検討した。既存沈下計算法と有限要素法数値解析結果との比較・検討により、修正沈下計算法を提案した。

**2. 既存沈下計算法** (1) 計算 1: 柔構造樋門設計の手引きによる計算法<sup>1)</sup>である。図-1(a)に示すように、面積改良率  $\alpha \geq 30\%$  の場合、圧密層厚は  $D_1=H \cdot L$ 、 $\alpha < 30\%$  の場合、圧密層厚は  $D_2=H \cdot 2/3L$ 。 $\alpha$  の定義は一本のコラムの断面積  $A_c$  を一本のコラムで改良した領域の面積  $A$  で割ったものである( $\alpha = A_c/A$ ) (図-1(b))。この方法は沈下量におけるスラブの影響及びコラム上の応力集中率を考慮していない。

(2) 計算法 2: コラム上の応力集中率を考慮して、沈下量を計算する方法である<sup>2)</sup>。図-2に示すスラブがある場合、3つのゾーンに分けて、沈下量を計算する。(a)改良ゾーンは複合地盤として、圧縮量を計算する。(b)未改良ゾーン  $h_1$  について、コラムからの応力(荷重)を  $30^\circ$  の角度で軸対称的に拡散すると仮定して、数層に分けた圧縮量を計算する。(c)未改良ゾーン  $h_2$  について、平均荷重増分( $\sigma$ )を用いて圧縮量を計算する。 $h_1$  はコラムから拡散した応力は平均応力増分  $\sigma$  と同じになる条件で、次式より求める。

$$h_1 = \frac{d\sqrt{3}}{2} \left( \sqrt{\frac{n}{(n-1)\alpha + 1}} - 1 \right) \quad (1)$$

ただし、 $d$  はコラムの直径、 $n$  は応力集中率、 $\alpha$  は面積改良率である。

**3. 有限要素法解析** コラム・スラブで改良した地盤の沈下量における改良率と改良深さの影響を系統的に検討した試験値があまりないので、数値解析でそれらの影響を検討した。解析モデルは図-3に示す。実務上コラムの直径は1.0mの場合が多いので、コラムの直径を1.0mと固定する。一本のコラムの改良領域の等価直径( $D_e$ )を変化して、面積改良率  $\alpha$  を設定する。佐賀の地盤状況を参考に、仮定した軟弱層厚は15.0mである。考慮したコラムの長さは5.0~12.0m(スラブを含む)、 $\alpha$  は10~50%であった。スラブの厚さは1.0mとした。解析は市販ソフト Plaxis V.8 を使用し、モデルパラメーターは表-1にまとめている。解析結果から圧密沈下量以外に、応力集中率  $n$  も検討した。検討した条件で  $n$  は2~5であった。また、改良率の増加、改良深さの増加、荷重の減少によって、 $n$  は減少する。沈下量の比較は次で説明する。

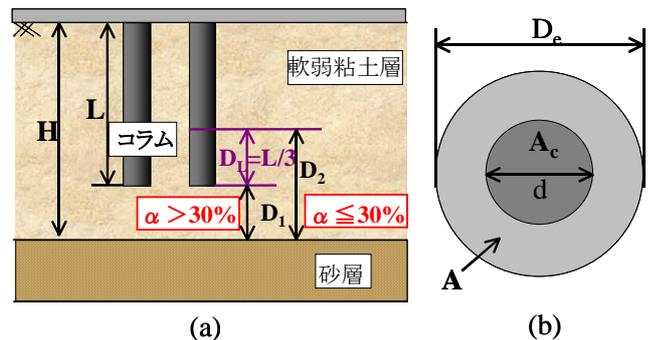


図-1 圧密対象層

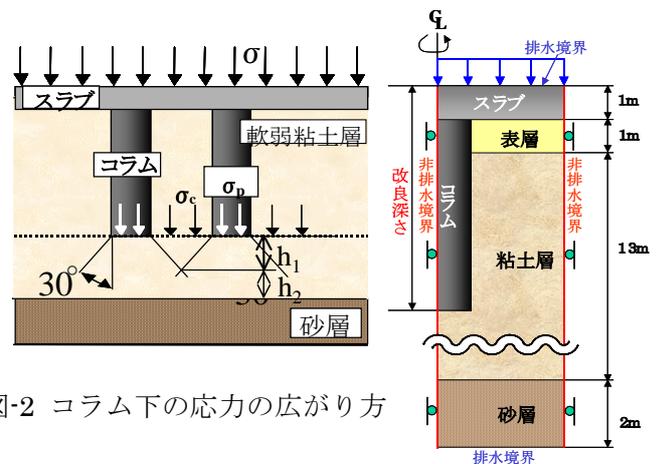


図-2 コラム下の応力の広がり方

図-3 解析モデル

キーワード：地盤改良、フローティング基礎、沈下計算、数値解析

〒840-8502 佐賀県佐賀市本庄町1番地 低平地研究センター Tel: 0952(28)8582 FAX: 0952(28)8189

4. 沈下量の比較検討 (a)改良率変化の影響

改良深さ 7m と固定して、 $\alpha$  は 10~50% と変化する場合の比較は図-4(a)と(b)に示す。全体として、計算法 1 の計算値は数値解析値と近い。ただ、 $\alpha=10\%$  の場合沈下量を過小評価している。計算法 2 は、 $\alpha < 30\%$  の場合の沈下量を過小評価している。計算法 2 の計算に当たって、 $n=3.5$  を用いた。(b)改良深さ変化の影響  $\alpha=20\%$ 、改良深さ 5~12m と変化する場合の比較は図-4(c)(d)に示す。計算法 1 は改良深さの増加に伴って、沈下量を過大評価する傾向がある。特にコラムスラブの場合大きく過大評価している。一般的に、深さの増加によって地盤の強度も増加する。また、改良深さの増加で、未改良ゾーンの厚さが減少し、コラムと周囲地盤間の相対沈下量も減少する。そして、改良率深さを増加しても、改良ゾーンの 1/3 を圧縮層として扱うことは、合理ではないことがわかる。(c)修正計算法 1 計算法 1 と計算法 2 を比べると、計算法 1 は未知の応力集中率の必要がないので、計算上は簡便である。数値解析結果を参考に計算法 1 中を修正した。まず、深さ方向の改良率( $\beta$ )を以下のようにして定義する。  
 $\beta=L/H$   
 ここで、L：改良深さ、H：軟弱層の深さ。次に改良ゾーンの一部を圧縮層として扱うが、その厚さ( $D_L$ )は以下の様に決定する。

$$D_L = \eta \cdot \gamma \cdot L \quad \eta = \begin{cases} 0.5 & (\alpha < 10\%) \\ \frac{2}{3} - \frac{1}{60}\alpha & (10 \leq \alpha \leq 40\%) \\ 0 & (\alpha > 40\%) \end{cases} \quad \gamma = \begin{cases} 1.5 & (\beta < 20\%) \\ 1.9 - 2\beta & (20\% \leq \beta \leq 70\%) \\ 0.5 & (\beta > 70\%) \end{cases} \quad (2)$$

$\eta$  と  $\gamma$  の変化は図-5,6 に示している。また、修正計算法 1 の計算値も図-4 に示す。検討した条件で、修正法は数値解析結果を良く評価できると言える。

5.まとめ コラム・スラブで改良した軟弱地盤(フローティング基礎)の沈下計算法について、数値解析結果との比較によって検討した。検討された 2 つの計算法について、面積改良率、改良深さの影響を良く考慮していないことがわかった。解析・検討結果によって、計算上簡便な計算法 1 を修正した。修正法は検討した範囲で数値解析結果を良く評価でき、コラム・スラブ地盤改良の設計に役立つと考えている。

<参考文献> 1)財国土技術研究センター：柔構造掘門設計の手引き，山海堂，2003.5，2)J.C.Chai,S.Y.Liu and Y.J.Du:FIELD PROPERTIES AND SETTLEMENT CALCULATION OF SOIL-CEMENT COLUMN IMPROVED SOFT SUBSOIL-A CASE STUDY,LOWLAND TECHNOLOGY INTERNATIONAL VoL.4,No.2,51-58,December 2002

表-1 モデルパラメータ

深さ (m)	地層	$\gamma_t$ (kN/m <sup>3</sup> )	$k_x/k_z$ (m/day)	$k_y$ (m/day)	E (kPa)	$c'$ (kN/m <sup>2</sup> )	$\Phi'$	$\nu$	$\lambda^*$	$K^*$
0.0-2.0	表層	15.5	$9.94 \times 10^{-3}$	$6.56 \times 10^{-3}$	2000	5	30	0.25	0.147	0.015
2.0-6.0	粘土1	14.5	$4.92 \times 10^{-3}$	$3.28 \times 10^{-3}$		5	30		0.147	0.015
6.0-15.0	粘土2	14.5	$2.25 \times 10^{-3}$	$1.56 \times 10^{-3}$		5	30		0.249	0.025
15.0-17.0	砂層	19	2600	2600	20000	10	35	0.25		
0.0-2.0	コラム1	15.5	$9.94 \times 10^{-3}$	$6.56 \times 10^{-3}$	50000	250	30	0.2		
2.0-6.0	コラム2	14.5	$4.92 \times 10^{-3}$	$3.28 \times 10^{-3}$	50000	250	30	0.2		
6.0-12.0	コラム3	14.5	$2.25 \times 10^{-3}$	$1.56 \times 10^{-3}$	50000	250	30	0.2		
0.0-1.0	スラブ	15.5	$9.94 \times 10^{-3}$	$6.56 \times 10^{-3}$	12000	120	30	0.2		

$\gamma_t$ : 単位重量、 $k_x/k_z$ : 水平/鉛直透水係数、 $c'$ : 粘着力、 $\Phi'$ : 内部摩擦角、 $\nu$ : ポアソン比、 $\lambda^*=0.43Cc/(1+e_0)$ 、 $K^*=0.43Cs/(1+e_0)$ 、 $Cc/Cs$ : 圧縮/膨張係数、 $e_0$ : 間隙比

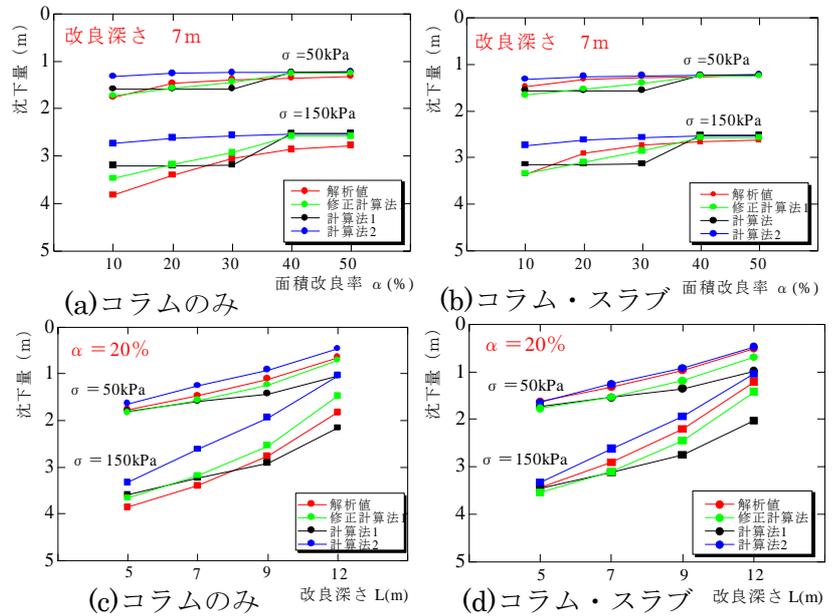


図-4 各計算法による沈下量の比較

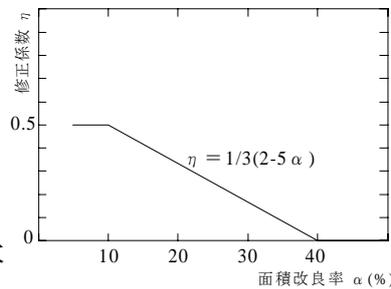


図-5 修正係数  $\eta$  の変化

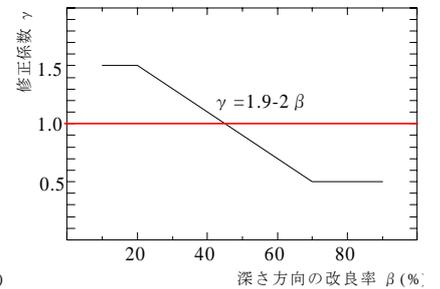


図-6 修正係数  $\gamma$  の変化