

コラム・スラブシステムにより改良した軟弱地盤上の盛土の沈下特性

佐賀大学理工学部 学生会員 多湖 洋平
 佐賀大学理工学部 正会員 柴 錦春
 佐賀大学理工学部 正会員 三浦 哲彦

1. はじめに

軟弱地盤上に道路を建設する際、盛土荷重による圧密沈下を抑制することが求められる。対策方法の一つとしてソイルセメントコラム・スラブシステム工法があり、応用されるケースが増えている。コラム・スラブシステムで改良した地盤の沈下計算について幾つかの提案がある。それらの適応範囲と比較・検討は、十分行われていない。本研究では、コラム・スラブシステムで改良した地盤の沈下計算法を検討し、スラブの剛性によって計算法を選ぶ考えを提案した。また中国の試験区間で本工法を適応した場合の沈下観測値を用いて計算値と比較・検討し、計算法の有効性を確認した。

2. 沈下計算法

改良した軟弱地盤の沈下は、改良した層の沈下量(Δh_1)と未改良の層の沈下量(Δh_2)の合計である。

2.1 (Δh_1)の計算法：つり合い法と平均変形係数法がある。

計算式は以下に示す。

(1) つり合い法

$$\Delta h_1 = \frac{(\mu_c \sigma) H}{D_c} \quad (1) \quad \mu_c = \frac{1}{1 + (n-1)\alpha_p} \quad (2)$$

圧縮指数 C_c を使用する場合以下のようになる

$$\Delta h_1 = H \frac{C_c}{1 + e_0} \log \left(1 + \frac{\mu_c \sigma}{\sigma_{v0}} \right) \quad (3)$$

ただし、 D_c ：土の側方拘束時の圧縮弾性率、 σ ：地盤に作用する荷重、 H ：層厚、 α_p ：面積改良比率、 e_0 ：初期間隙比、 σ_{v0} ：地盤中の初期有効垂直応力、 $n = \sigma_p / \sigma_c$ 、 σ_p = コラム上の応力、 σ_c = 周囲土上の応力。

(2) 平均変形係数法

$$\Delta h_1 = \frac{\alpha H}{D_p \alpha_p + (1 - \alpha_p) D_c} \quad (4)$$

ただし、 D_p ：コラムの側方拘束時の圧縮弾性率。

2.2 (Δh_2)の計算法：以下の2つの計算方法が考えられる。

(1) コラムを1つのブロックと考えて荷重を未改良の層に伝えると仮定して(図2(a))、未改良の層の沈下量(Δh_2)を計算する(平均応力法)。これは、スラブあるいは盛土の剛性が低く応力集中度が低い、等応力条件を想定している。

(2) 図2(b)に示すように応力はコラムの下端から広がると考え、沈下量を計算する(応力集中法)。この時応力の広がる角度は 30° と仮定する¹⁾。コラム下の未改良層に応力の広がる深さについて、二つの制限がある。一つは、隣接するコラムからの応力の広がりが交差する深さ(h_{c1})である。もう一つは、広がった応力は平均応力(σ)と等しい深さ(h_{c2})である。 h_{c1} と h_{c2} の計算は(5)、(6)により計算する。

$$h_{c1} = \frac{(D_e - d)\sqrt{3}}{2} \quad (5)$$

$$h_{c2} = \frac{d\sqrt{3}}{2} \left[\sqrt{\frac{n}{(n-1)\alpha_p + 1}} - 1 \right] \quad (6)$$

ただし、 D_e ：一本のコラムの影響領域の直径 d ：コラムの直径。

h_{c1} と h_{c2} の小さいほうを適応し、その値より下の層の沈下量は平均応力法により計算する。応力集中法は、周辺地盤に対してコラム先端の貫入が、ある程度考慮できる。応力集中法と平均応力法を組み合わせる方法を

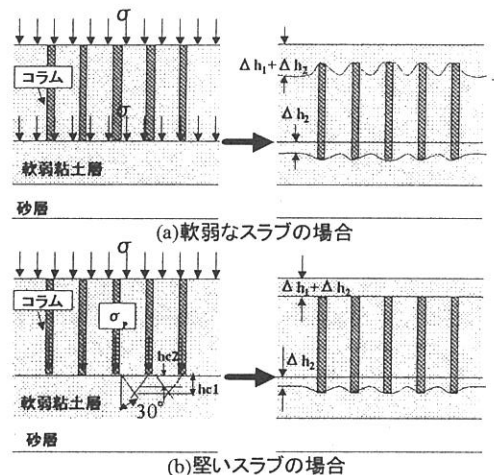


図1 コラム下の応力の広がり方

結合法と呼ぶ。これは、スラブあるいは盛土の剛性が高く応力集中が高い、等ひずみ条件を想定している。

図 1 に示すようにスラブが軟弱な場合、周辺地盤の沈下に着目し、改良した層はつり合い法で、未改良の層は平均応力法で計算する。堅いスラブの場合、コラムの沈下に着目し、改良した層は、平均変形係数法で、未改良の層は結合法で計算する。

3.一つの現場試験の沈下計算と実測値の比較

3.1 現場試験の概要：中国の徐一連高速道路で、長さ約 31 km に渡って、7つのセクションでコラム・スラブシステムの現場試験が行われた。軟弱層の厚さは、5.6～13.3m、表層の厚さは、0～4m である。そこに直径 0.5m、間隔を 1.1～1.6m と変化させ、ソイルセメントコラムで軟弱層全層が改良された。軟弱層の特性は、表 1 に示す。地下水レベルは、地表面から 1～3m であった²⁾。

3.2 解析における仮定：現場地層と盛土高さの平均値を考え解析に用いる条件を図 2 のように仮定した。盛土高さは、2.5、3.5、4.5m の三ケースを仮定した。今回の場合、スラブは柔らかいと考え、つり合い法により沈下計算を行った。

3.3 解析結果と現場データの比較：計算に必要な応力集中率 (n) について、既存データを参考³⁾に、まず $n=20$ と仮定した。図 3 の実線に示すように、計算値はコラムの間隔が小さいときの沈下量を過大評価した。その理由の一つは、応力集中率 (n) は、コラムの間隔によって変化すると考えられる。間隔の減少によってコラム間のアーチ効果が増え、応力集中率が增加する。この考えによって、応力集中率 (n) を表 2 に示すように変化させ、沈下量を計算した。このケースについてコラムと周辺地盤の変形係数比は、約 45 と推定している。応力集中率は、変形係数比より大きい場合はないので n の上限値を 45 にした。図 3 の破線に示すように計算値は、実測値に近づいた。また、現場データがばらついているが、その主な理由は現場の軟弱層厚が、一定でないからだと考えている。

4. まとめ

ソイルセメントコラム・スラブシステムで改良した地盤の沈下計算方法を検討し、スラブの剛性によって沈下計算法を選定する考えを提案した。

中国の現場試験の実測値と比較検討し、計算法の有効性が確認できた。また、逆計算によってコラムは、軟弱層全層を貫通する場合(着底式)、応力集中率はコラムの間隔の減少によって増加することを示した。

【参考文献】

- 1)(財)国土開発技術研究センター(1999),柔構造も設計の手引きⅡ、基礎構造編、第4章柔支持基礎、p233-248.
- 2)Jiang, F, Kiu, S.-Y. and Shao, G.-H.(2001). The settlement of embankment on soft subsoil. Chinese J. of Geotechnical Eng., 23(6): 728-730 (inChinese). 3)Shen, S.-L. Chai, J.-C. and Miura, N. (2001). Stress distribution in composite ground of column-slab system under road pavement. Proc. First Asian-Pacific Cong. on Computational Mech., Elsevier Science Ltd.:485-490.

表 1 軟弱層の特性

項目	軟弱地盤層			
	平均	最小	最大	平均
層の厚さ(m)	0-4	5.6	13.3	8.4
含水比(%)	34.8	47	81.8	70
単位体積重量(kN/m ³)	18.1	15	17.4	16
間隙比, e	-	1.4	2.56	1.9
圧縮指数, C_c	-	0.4	1.24	0.8

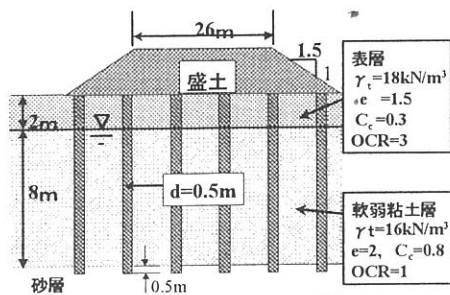


図 2 解析に用いた現場条件

表 2 応力集中率 (n) とコラムの間隔

間隔(m)	1.1	1.2	1.3	1.4	1.5	1.6
n	45	40	35	30	25	20

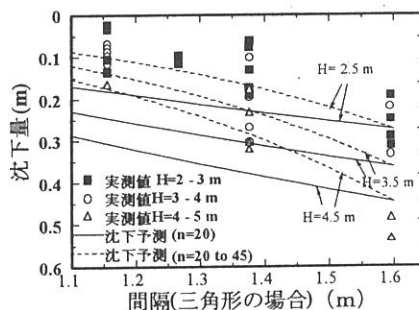


図 3 実測値と計算値の比較