

ソイルセメントコラム打設に伴う周辺地盤の側方変位の予測

佐賀大学	理工学部	学生員	○萩原 聖司
同	理工学部	学生員	本原 耕一郎
同	低平地研究センター	正会員	柴 錦春

1. はじめに

軟弱地盤を改良する方法の一つとして、ソイルセメントコラム工法がある。この方法は圧力によってセメント(粉体あるいはスラリー)を軟弱地盤に注入し、粘土と混合して、強度が周囲地盤より高く圧縮性が小さいソイルセメントコラムを地盤中に形成する。しかし、注入圧力によってコラム周辺地盤に側方変位が発生し、既存構造物に影響を与える恐れがある。従って、設計上、この側方変位を予測することが重要である。本研究では、柱状空洞拡張理論に基づいてソイルセメントコラムの打設に伴う周辺地盤の側方変位を予測する方法を提案し、解析値と実測値の比較検討により提案法の有用性を示した。

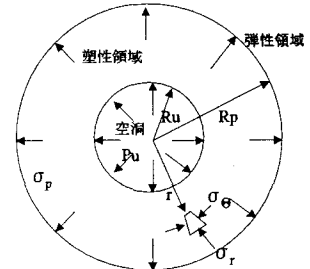


図-1 空洞拡張理論による拡張

2. 空洞拡張理論を用いた予測方法

ソイルセメントコラムの打設に伴う周辺地盤の側方変位の予測は、ほとんどの場合経験的に行っている。経験法のデメリットは地盤の強度・変形特性を明確に考慮できないことである。地盤中にソイルセメントコラムを打設する過程は柱状空洞拡張に近似することができる(完全一致ではない)。柱状空洞拡張理論の概念は図-1に示す。圧力(Pu)によって、空洞が拡張し、その周囲に塑性領域(半径Rp)を形成する。R>Rpの領域は弾性領域である。地盤がMohr-Coulomb破壊基準に従うと仮定して、Rpは下式で計算する。¹⁾

$$R_p = R_u \sqrt{I_r \sec \phi} \quad \dots (1)$$

I_r: 地盤の剛性係数 (I_r=G/S_u、G: 地盤のせん断弾性係数、S_u: 地盤の非排水強度)、φ: 地盤の内部摩擦角度

塑性領域と弾性領域の境界面におけるr方向の応力(σ_p)は以下のようになる。

$$\sigma_p = P_u - 2S_u \ln \left(\frac{R_p}{R_u} \right) \quad \dots (2)$$

塑性領域が発生する空洞圧力Puの大きさは地盤の強度で決定する(φ=0の場合 Pu=S_u·(ln(I_r)+1)+q、qは地盤中の初期平均応力)。

また、r=R_pの側方変位(u_p)は下式で計算する。

$$u_p = \frac{(1+\nu)}{E} R_p (\sigma_p - q) \quad \dots (3)$$

そして、塑性領域と弾性領域の側方変位はそれぞれ式(4)と(5)で表すことができる。

$$u = \frac{2R_p + u_p}{2r + u_p R_p / r} u_p \quad \dots (4) \quad u = \frac{R_p^3}{r^3} u_p \quad \dots (5)$$

現場におけるコラムの打設は一本ではなく、連続数列を打設する。

一列のコラムの打設によるA点(図-2)の側方変位は式(6)²⁾で計算することができる。

$$u_{xA} = \frac{2D}{S} \int_0^{y_L} \frac{u}{\sqrt{D^2 + y^2}} dy \quad \dots (6)$$

D: 列からA点までの距離、S: 列コラムの間のピッチ
y_L: A点から列の終点までのY方向の距離
u: 条件により式(4)あるいは(5)から計算する

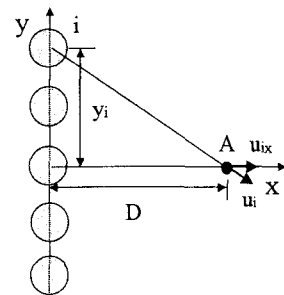
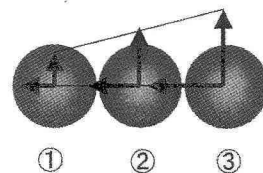


図-2 一列コラムによる側方変

式(6)を実務に応用する場合、以下の仮定を採用する。

(a) 空洞の半径 R_u について: R_u は地盤の弾性係数(E)が影響するので以下の経験式を提案する。

$$R_u = R_{u0} \left(\frac{E_0}{E} \right)^{\frac{1}{3}} \quad \dots (7) \quad \boxed{R_{u0} \text{ は } E_0 \text{ に相当する空洞半径で経験的に決定する。}}$$



(順序①→②→③)

図-3 コラムの応力関係図

(b) 平面ひずみ的な側方変位: 現場においてコラムの連続施工で③番を施工する時、圧力は既に施工した①に伝達し、部分平面ひずみ的な変形が発生する(図-3)。実測値と比較して、(6)式で計算した側方変位値を90%、平面ひずみ条件での側方変位値を10%とする経験的な修正法²⁾を用い、部分平面ひずみ変形の影響を考慮する。

(c) 複数の列による側方変位: 各列の影響を合計して全体の影響を評価する。

3. 提案法の六角川の現場試験へ応用

(a) 現場試験概要

現場試験は六角川の西岸で行った。地盤状態は図-4に示す。現場では、スラリーダブルミキシング法(SLM)、粉体混合法(PJM)と高圧噴射法(HJM)の3つのソイルセメントコラム施工法でそれぞれ試験を行った。コラムの直径は1mで、コラム間のピッチは1.2mで、列間のピッチは1.3mの三角形配置である。改良深さはそれぞれ8m(SLM)、13m(HJM)、15m(HJM)で、使用されたセメント量は、 $\pm 1 \text{ m}^3$ 当たり100~150kgの割合であった。

(b) 解析値と実測値の比較

実測値と計算した地表面の側方変位の比較は図-5に示す。計算において、SLMの影響半径は30m、PJMとHJMはそれぞれ40m、50mと仮定した。また、逆計算した空洞半径($E_0=2250 \text{ kPa}$)は、0.21m(SLM)、0.46m(PJM)、0.58m(HJM)を用いた(I_r の値は50であった)。図-5により計算値と実測値と近いことがわかる。各工法での地盤中の深さ方向における側方変位の変化を、実測値と比較したグラフを図-6に示す。計算値は実測値とよく整合することができた。以上の比較によって、提案法はソイルセメントコラム法的设计に有用な方法であると考えられる。

4. まとめ

空洞拡張理論に基づいてソイルセメントコラム打設による周辺地盤の側方変位を予測する方法を提案した。提案法を用いて六角川の岸で行った現場試験を計算し、実測値と比較することにより提案法の有用性を確認した。

(参考文献)

- (1) Vesic, A. S. (1971): Expansion of cavities in infinite soil mass. J. of Soil Mech. and Found. Eng., ASCE, Vol. 98, No. SM3 pp. 265~290.
- (2) Chai, J.-C. and Miura, N. (2003). Effect of soil-cement column construction to surrounding subsoil, Proceedings of the Sino-Japanese Symposium on Geotechnical Engineering, Beijing, China, PP. 96~101

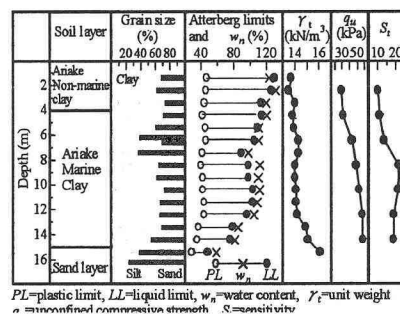


図-4 六角川沿いの土質パラメータ

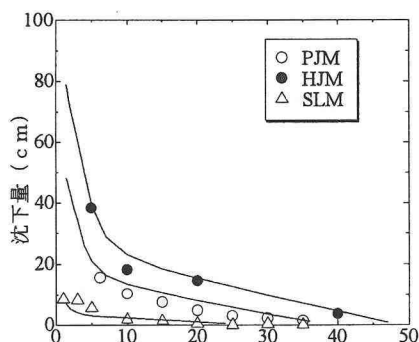


図-5 地表面での側方変位

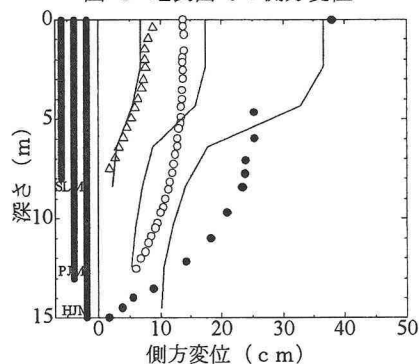


図-6 深さと側方変位