

可塑状ゲル圧入工法における締固め効果の土圧係数 K_0 による解析的評価

強化土エンジニアリング(株)

正会員

○赤木 知之

強化土エンジニアリング(株)

正会員

佐々木隆光・小山 忠雄

強化土(株)

フェロー会員

島田 俊介

大阪大学 フェロー会員

常田 賢一

1. はじめに

可塑状ゲルとは液体と固体の中間領域にあるゲルで、静止時は変形しないが加圧することにより容易に変形流動する。筆者等は、可塑状ゲルのこのような流動特性を利用して、ゲルを地盤中に圧入することにより地盤を効率良く締め固める可塑状ゲル圧入工法の開発を進めてきた¹⁾²⁾。その原理は可塑状ゲルを軟弱な地盤中に圧入すると可塑状ゲルの塊状体表面が脱水して殻を形成しながら膨張し、ゲル周辺の地盤が乱れることなく効率よく締め固められることにある。これらを大型土槽による実験で確認してきた³⁾が、今回、その締め固め効果を理論的に検証し、土圧係数 K_0 によって実験結果の評価を試みたので、その結果について報告する。

2. 実験概要

実験内容の詳細は既に発表している²⁾³⁾のでここでは省略し、その概要を図-1に示す。模型地盤は、気乾状態の山砂を相対密度がおよそ50%程度になるように空中落下法にて作製されている。実験での計測項目は、ゲル圧入量 Q 、注入圧 p_0 、上載圧 σ_v 、模型外壁での側圧 σ_h 、地表面変位 δ_h である。

圧入は2ストロークとし、1ストローク21リットル、計42リットルの圧入が段階的に行なわれた。上載圧を変えた3ケースについて、各圧入量に対して計測された地表面変位と側圧の変化の様子を図-2に示す。なお、側圧は模型外壁の変位を拘束する圧力である。

3. 理論的検証

Vesic⁴⁾は、等方応力状態の半無限体中にある球状の空洞に内圧を加えた時に周囲の塑性領域が拡大するのに必要な極限内圧の算定理論を提案している。本実験では、終了後掘り出して確認されたゲル固結体が、写真-1に示すように球体と見なせるので、この理論を適用して膨張圧に対する地盤内の応力状態を算定し、土圧係数を解析的に求めた。

球対称問題における地盤中の半径方向応力 σ_r と円周方向応力 σ_θ の平衡方程式は、物体力を考えない場合、次式で表される。

$$\frac{\partial \sigma_r}{\partial r} + 2 \frac{\sigma_r - \sigma_\theta}{r} = 0 \quad (1)$$

σ_r 、 σ_θ は主応力であり、それらが塑性平衡状態にあるとすると、次のモール・クーロンの式を満足しなければならない。

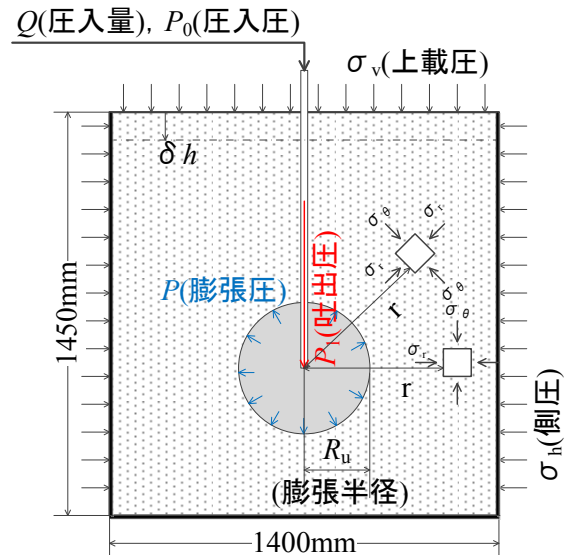
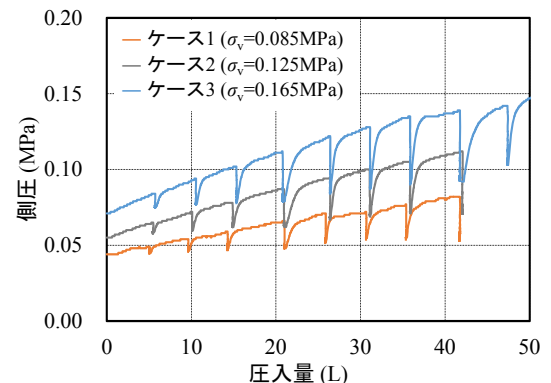
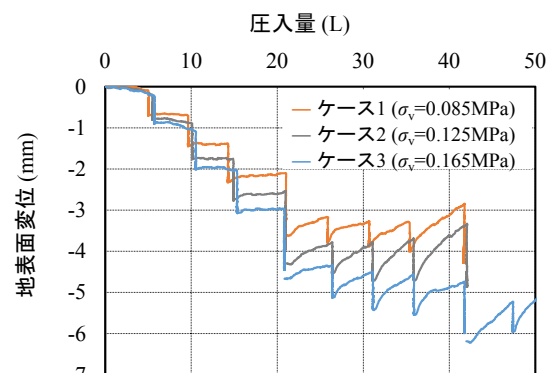


図-1 実験概要図



(a) 側圧



(b) 地表面変位

図-2 側圧と地表面変位の計測値

キーワード：可塑状ゲル、静的締め固め、土圧係数、空洞膨張理論

連絡先：〒113-0033 東京都文京区本郷 3-15-1(美工ビル) TEL03-3815-1687 FAX03-3818-0670

$$\sigma_r - \sigma_\theta = 2c \cdot \cos\phi + (\sigma_r + \sigma_\theta) \cdot \sin\phi \quad (2)$$

式(2)を式(1)に代入し、境界条件 $r=R_u$ にて $\sigma_r=p$ を導入して解くと、次に示す解が得られる。

$$\sigma_r = (p + c \cdot \cot\phi) \cdot \left(\frac{R_u}{r}\right)^{\frac{4\sin\phi}{1+\sin\phi}} - c \cdot \cot\phi \quad (3)$$

粘着力 $c=0$ の地盤の場合は

$$\sigma_r = p \cdot \left(\frac{R_u}{r}\right)^{\frac{4\sin\phi}{1+\sin\phi}} = p \cdot \left(\frac{r}{R_u}\right)^{-\frac{4\sin\phi}{1+\sin\phi}} \quad (4)$$

と表される。締め固め効果を評価する土圧係数 K_0 は、水平応力 σ_h と上載圧 σ_v の比、 $K_0=\sigma_h/\sigma_v$ として求められる。

本実験では地盤模型として気乾状態の山砂を用いているので $c=0$ とした式(4)により、それぞれのゲル圧入量に対する膨張半径 R_u と膨張圧 p に対する側壁での σ_r を求めそれを水平応力成分 σ_h に換算し、その側壁全体での平均値から土圧係数を算出する。

膨張半径 R_u は、球状固結体の体積がゲル圧入量 Q に等しいものとして、球体の半径を逆算して求めた。膨張圧 p は計測されていないので、ポンプ注入口で測定される注入圧 p_0 がゲル膨張壁に至るまでの圧力損失を推定して決められた。ポンプから地盤内の吐出口までの管内での圧力損失は、既往の研究事例⁵⁾を参考にして一定の割合 50kPa/m として吐出圧 p_1 を決め、吐出口から膨張体外縁までの損失は、ゲルが粘塑性体であるとし、式(3)より、ゲルの粘着力を $c=20\text{kN/m}^2$ 内部摩擦角を $\phi=2^\circ$ と仮定して求めた。

ゲル圧入前の上載圧のみによる土圧係数の側壁部での計測値は 0.52 であった。これを初期値として解析値はそれに増分として加算される。モデル砂地盤の内部摩擦角を $\phi=39^\circ$ とし、段階的な圧入量とその時の膨張圧に対する側壁部での半径方向応力を求め、それを水平応力成分に換算し、その平均値から求まる土圧係数を解析値とし、計測値と比較して図-3 に示した。

4. 結果と考察

図-3 には計測値を比較して示しているが、理論値の方が計測値よりも大きな結果となっている。圧入量が少ない段階では 1.12 倍程度で、圧入量が多く膨張圧が大きい段階では 1.95 倍程度である。これは、圧入球体の膨張圧が推測値であり、実際の膨張のメカニズムはもっと圧力損失を大きくさせ、膨張圧はもっと低かったことに依るものかもしれない。また、図-2 の地表面変位の計測値が沈下を繰り返す傾向を示していることから、理論の前提となる圧入量と地盤の圧縮量の比例関係が、模型地盤において必ずしも成立していなかったことが、原因とも考えられる。今後、実際の現場での計測結果にも理論的な評価を適用して、その妥当性を検証してみたい。

参考文献

- 1) 島田・小山・佐々木・井筒・栗崎・常田・木嶋：可塑状ゲル圧入工法の開発～塊状固結体の形成とその要因～2005 年土木学会
- 2) 大場・小山・佐々木・島田・井筒・栗崎・米倉・木島：可塑状 FM グラウトの開発 2005 土木学会全国大会。
- 3) 小山・佐々木・島田・井筒・亜崎・常田・ADEL 木島：可塑状ゲル圧入工法における締め固め効果に関する大型土槽実験 2006 年土木学会全国大会。
- 4) Vesic, A.S. : Expansion of cavities in infinite soil mass, J. Soil Mech. Fdn. Engng. Am. Soc. Civ. Engrs 98, SM3, pp.265-290, 1972.
- 5) 新坂孝志：液状化対策としての静的圧入締め固め工法に関する研究、学位請求論文、第 5 章 3 節、平成 17 年



写真-1 ゲルの固結体

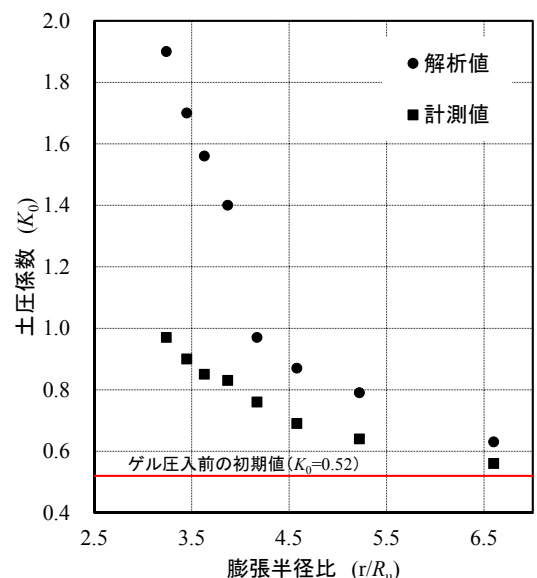


図-3 土圧係数の解析値と計測値