

薬液を用いた自立削孔技術の開発

○東京都市大学大学院

東京都市大学

強化土エンジニアリング（株）

学生会員 杉浦 陽子

国際会員 末政 直晃

正会員 佐々木 隆光

1. はじめに

掘削作業において、ベントナイトの注入やケーシングの配置といった孔壁の維持は必要不可欠である（図-1）。掘削工程を必要とする工法の例として薬液注入工法やボーリング試験が挙げられる。これらは複雑な地盤を有し地震が多発する我が国において重要な役割を果たしている。しかし、孔壁の維持を行うため、工費と時間を費やしていることがコスト削減への課題となっている。また、液状化が危惧されている緩い地盤では掘削ドリルのみで孔壁は自立しない。よって、工費と施工時間を可能な限り縮小するため、掘削作業を一工程で完了させる技術が求められている。そこで、削孔しながらにして孔壁を自立させるための技術開発が必要であり、その方法の一つとして、薬液注入工法に用いる薬液の使用を検討している。本報告書では、FEM 解析ソフトにて地下水も考慮した地盤モデルを作成し、孔壁の強度に関する調査を行った。

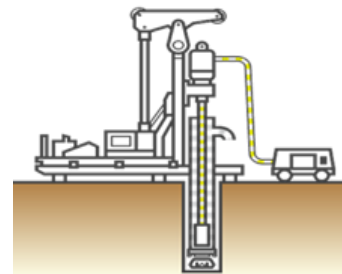


図-1 掘削作業の様子¹⁾

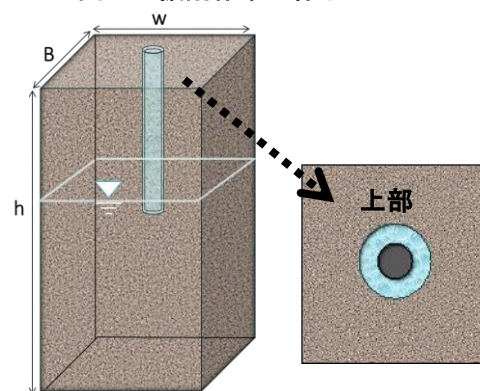


図-2 作成モデルのイメージ図

2. FEM 解析に用いた地盤パラメーター等に関して

本報告で用いた FEM 解析ソフトは PLAXIS 3D である。このソフトは三次元の変形及び安定性解析の三次元地盤専用解析ソフトである。このソフトを用いて、図-2 のような孔のある地盤モデルを作成した。地盤は豊浦砂のみの構成で、高さ $h = 30\text{m}$ 、幅 $W = 10\text{m}$ 、奥行き $B = 8\text{m}$ である。また、孔の深度であるが、ボーリング試験の掘削深度に合わせて 10m とした。更に、図にも示す通り孔の周りに肉厚部分を作成した。この肉厚部分は孔壁に浸透させた薬液部分の地盤を模擬している。この部分の強度を上げることで、本研究の目的としている実際の施工のイメージに近い状況を再現した。解析に使用するパラメーターは肉厚部分の粘着力以外、文献値²⁾を用いた。その各種パラメーターを表-1 に示す。豊浦砂、薬液部分それぞれの初期せん断弾性係数は、BE 試験によって算出されたデータを参考にした。また、薬液部分の粘着力であるが、豊浦砂等は薬液固化後にその粘着力が増すと考えられている。また粘着力 c は

$$c = \frac{1}{2} q_u \times \tan\left(45 - \frac{\phi}{2}\right) \quad (1)$$

(c : 粘着力 q_u : 最大一軸圧縮応力)

で表すことが出来る。³⁾ そのため、豊浦砂で作製した薬液供試体の一軸圧縮試験を行った。図-3 は、一軸圧縮試験結果である最大圧縮力の度数分布表である。この結果より、薬液で固化された豊浦砂の粘着力 c は 30kN/m^2 前後であると考えられる。

しかし、この粘着力 c が 30kN/m^2 前後で自立するような肉厚部分（薬液部分）の厚さや孔径の大きさが不明確である。

キーワード 自立孔壁 有限要素解析 粘着力 地下水

連絡先 〒158-8557 東京都世田谷区玉堤 1-28-1 TEL:03-5707-2222 Email:g1581709@tcu.ac.jp

表-1 各種パラメーター

	ヤング係数 $E(\text{kN/m}^2)$	ポアソン比 ν	ダイレイタンス角 $\psi(^{\circ})$
豊浦砂	167000	0.3	10
薬液部分	390300	0.3	11
	初期せん断弾性係数 $G(\text{kN/m}^2)$	粘着力 $c(\text{kN/m}^2)$	内部摩擦角 $\phi(^{\circ})$
豊浦砂	65230	0	39.7
薬液部分	150100	変数	41.4

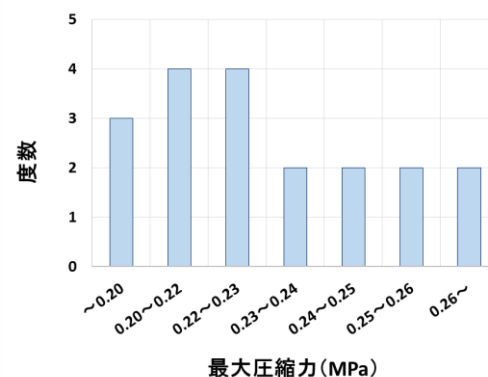


図-3 一軸圧縮試験結果（豊浦砂）

る．そのため，本報告では始めに肉厚部分の厚さと孔径の長さを数ケース定め，PLAXIS 3D で図-2 のようなモデルを作成した．その後，表-1 に示すように粘着力 c を変数とし，孔が自立する c を求めた．また，同じ孔径と肉厚の場合でも解析を行い，地下水の有無の影響についても検討した．さらに，実際の施工においては図-4 左側のように孔が肉厚部分の中心にある場合と，右側のように中心にない場合が想定されるため，このような条件についても2種類の解析を行った．

3. FEM 解析の結果

3-1. 孔が肉厚部分の中心にある場合

解析を行ったケースを表-2 に示す．また，それぞれのケースで用いた粘着力 c とその際の変形量である偏差ひずみ γ_s の値を図-5 に示す． γ_s の値は最大値（孔内壁の最大変形量）を用いている．

図より粘着力 c が 30kN/m^2 に最も近い値となったのは Case7 である．そのため，豊浦砂を薬液固化する場合，Case7 の孔径と肉厚であれば孔壁は自立すると考えられる．表-2 から分かる通り，この時の孔径は 0.34m ，肉厚部分は 0.900m である（どちらも直径）．この孔径等の大きさは試験的なものであり，今後変化させていく必要がある．そして，地下水がある場合の方が粘着力 c の値が低く，偏差ひずみの γ_s 値も小さくなった．これは，地下水位よりも深い位置では土粒子が浮力を受け，土の単位体積重量が小さくなるためこのような解析結果になったとも考えられる．しかしながら，実際に地下水が存在した場合，孔壁が難透水層（肉厚部分の透水係数が $1.0 \times 10^{-7} \text{ cm/sec}$ 程度である場合）となるため，水圧の影響があり水平土圧に加えて水圧も考慮され合力では地下水なしの場合よりも水平方向の圧力は大きくなると考察される．³⁾ Case7 は地下水なしでの条件であるが，地下水が存在する場合 Case7 よりも余裕のある（Case3，Case5 のような）孔径と肉厚のサイズを設定する必要がある．

3-2. 孔が肉厚部分の中心にいない場合

孔の位置や解析内容について表-3 に示す．孔径と肉厚部分の直径は Case7 と同等であるが，孔の位置を Case7 よりも 0.1m ずらした．また，その際の粘着力 c と偏差ひずみ γ_s を図-6 に示す．孔の位置を中心からずらすことで，図-4 のように Case7 と比較すると肉厚が薄い部分があるため粘着力，偏差ひずみともに Case9,10 の方が大きくなった．しかし，地下水が存在する方が値は小さくなるという結果は Case7 と同様であった．そのため，実際の施工では肉厚部分（薬液固化部分）を孔に対して均等な厚さにするか，改良範囲や粘着力を大きくする必要があると考えられる．

4. まとめ

解析の結果，豊浦砂を薬液固化させた孔壁において，粘着力 30kN/m^2 程度で孔が自立する孔径は 0.34m ，肉厚部分は 0.900m であった．比としては孔径：肉厚部分＝ $1:2.37$ である．しかし，地下水を考慮し更に余裕を持たせるような設定や均等に薬液固化部分を作製する必要があることが分かった．

<参考文献>

- 1) 地盤改良 解体サポート全国版 (2016年2月12日) <http://www.kaitai-support.com/zibankairyou.html>
- 2) 水野健太，佐々木隆光 恒久グラウトにより改良した固結砂の力学性及び変形特性 土木学会第 67 回年次学術講演会 III-243
- 3) 片田敏行 共著 オーム社 平成15年発行

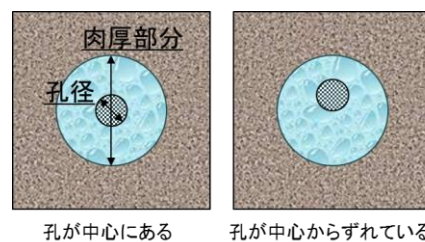


図-4 孔の位置設定

表-2 各解析ケース

	内径(m)	外径(m)	地下水位(m)	要素数	節点数
Case1	0.3	0.9	考慮しない	17259	18247
Case2			-8		
Case3	0.34	0.9	考慮しない	17674	18705
Case4			-8		
Case5	0.38	0.9	考慮しない	165852	17279
Case6			-8		
Case7	0.42	0.9	考慮しない	16616	17236
Case8			-8		

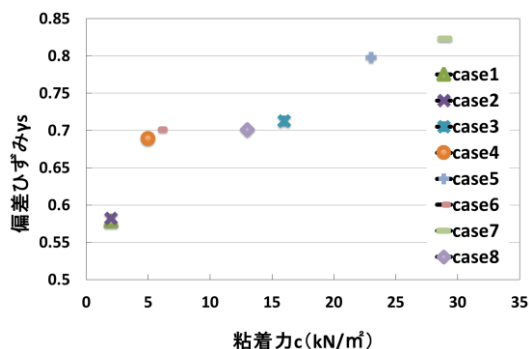


図-5 粘着力 c と偏差ひずみ γ_s

表-3 孔の位置と解析ケース

要素数(最大値)	34510	節点数	29675
孔径(直径)	0.34m		
肉厚部分(直径)	0.90m		
	0.1m 通常時よりも孔の位置をずらす		
Case9	地下水なし		
Case10	地下水あり(-8m)		

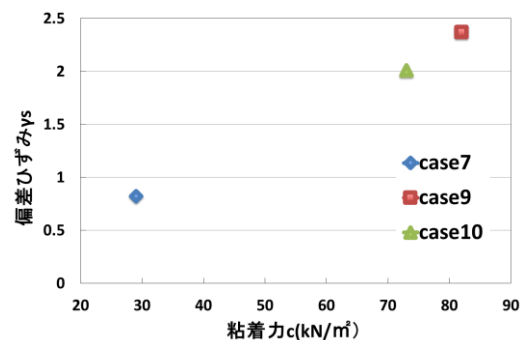


図-6 Case7 との比較