# 上総層固結シルトを対象とした大深度地盤の FEM による施工時挙動予測

(株)大林組　正会員　○中道　洋平　　フェロー会員　　杉江　茂彦
正会員　　鈴木　和明

## １．はじめに

近年、道路と鉄道インフラなどのプロジェクトを始めとして、大深度地下を利用したインフラ整備は増加傾向にあり、首都圏深部を対象とした施工時挙動の予測は重要性を増している。そこで、本研究では首都圏深部の上総層固結シルトを対象に、自社開発 FEM コード:GRASP3D[1)]による施工時挙動の予測技術向上を図った。本稿では、上総層固結シルトの構成モデルとして、力学的非線形性を考慮したモデルを構築し、越智ら[2)]が行った空洞掘削事例（Fig.1）の施工時挙動の再現性について検討したので報告する。

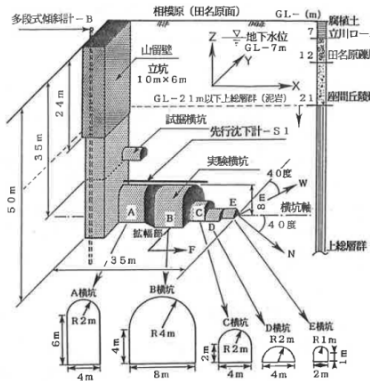


Fig.1　実験空洞鳥瞰図（越智ら[2)]より）

## ２．上総層固結シルトの力学特性について

上総層固結シルトの力学特性については、龍岡ら[3)]の研究より、変形係数がひずみレベルに大きく依存することが明らかになっている。また、龍岡らは同論文で、ポアソン比の応力比依存性についても指摘している。本研究では、これらの力学特性を FEM に適用するため、変形係数とひずみの関係については Hardin-Drnevich モデル(H-D モデル)で近似することを試み、また、ポアソン比と応力比の関係については、指数関数を用いて近似を行った。

Fig.1 に龍岡ら(同上論文)が得た原位置データおよび上総層固結シルトの排水三軸圧縮試験から得た割線弾性係数と最大主ひずみの関係、H-D モデルによる近似式を示した。なお、縦軸は、ひずみレベルに応じた変形係数を微小ひずみ時の変形係数で正規化した低減率として示している。

H-D モデルは下記に示す式(1)により与えられる。

$$E_{sec}/E_0 = \frac{1}{1+\varepsilon/\varepsilon_0} \qquad \begin{pmatrix} E_0：微小ひずみ時の\ E \\ \varepsilon_0：規準ひずみ \end{pmatrix} \qquad (1)$$

FEM における変形係数は、接線弾性係数が用いられるため、FEM への適用式は式(1)を微分した下記の式(2)が用いた。

$$E_{tan}/E_0 = \frac{1}{(1+\varepsilon/\varepsilon_0)^2} \qquad (2)$$

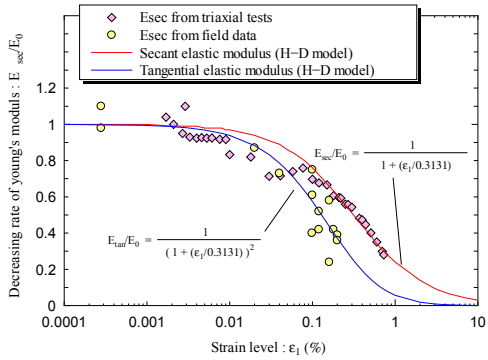


Fig.2　変形係数とひずみレベルの関係
(龍岡ら[3)]にトレース・加筆)

Fig.2 に龍岡ら(同上論文)が得たポアソン比と応力比の関係を示した。応力比が 0.51 以上になると、ポアソン比は急激に増加する。本研究では、この挙動を下記の式(3)を用いて近似し、FEM へ適用することとした。

$$\begin{aligned} \nu &= 0.15 && (q/q_{max} < 0.51) \\ \nu &= 0.039 \times e^{2.6387 \times q/q_{max}} && (q/q_{max} \geqq 0.51) \end{aligned} \qquad (3)$$

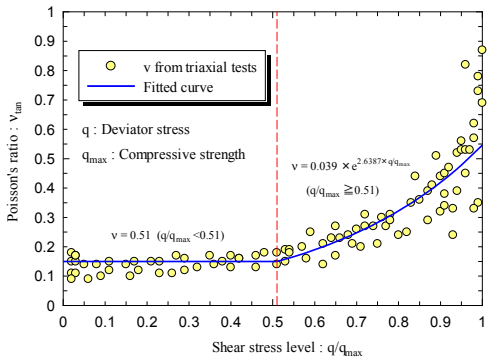


Fig.3　ポアソン比と応力比の関係
(龍岡ら[3)]にトレース・加筆)

## ３．上総層固結シルト地盤の空洞掘削事例の再現解析

(1) 解析モデルの概要

上総層固結シルトの非線形弾性モデルの施工時挙動の再現性を検討するために、越智ら[2)]による相模原市上総層固結シルトの空洞掘削試験(Fig.1)の再現解析を行った。解析モデルを Fig.4 に示す。実工程を模擬して、立坑掘削後、横坑掘削を開始することとし、立坑の影響を考慮した。また、上総層の上部の他の地層については弾性

キーワード　上総層固結シルト，大深度地盤，施工時挙動，非線形 FEM 解析
連絡先　〒204-8558　東京都清瀬市下清戸 4-640　(株)大林組　技術研究所　TEL.042-495-9636　FAX.042-495-0909

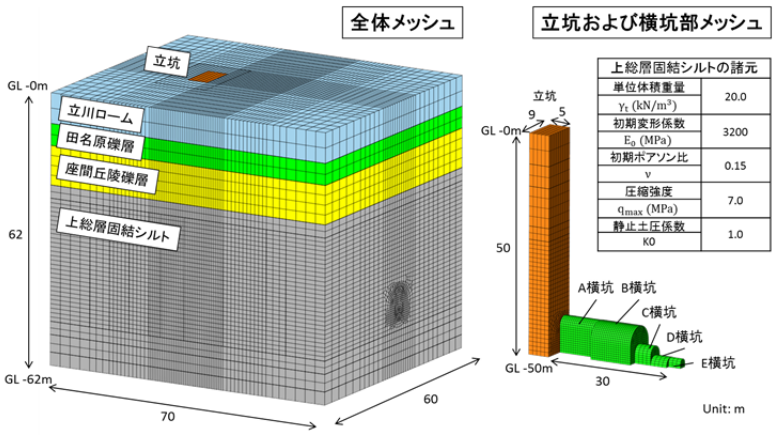


Fig.4　FEM 解析モデル

体とし、上総層固結シルトのみ非線形性を考慮した。

(2) 解析結果

Fig.5 に抗口からの掘削に伴う横坑の各測点における天端沈下量を示す。なお、測点番号は文献 2)と一致させている。A 横坑内の測点 13 では、B 横坑掘削終了時点(抗口からの掘削距離 19m)での解析値は実測値の 1/2 程度と少なくなっているが、その他の 3 つの測点においては解析値と実測値は良く整合している。

Fig.6 に相対地中変位の分布を示す。これは、相似形状の B、C、E 横坑の側壁方向の変形から、坑径が大きくなるにしたがって地盤内のひずみが大きくなる寸法効果を調べたものである。各測点において、解析値の方が大きなひずみを示しているが、B、C、E 横坑のひずみにほとんど差がないことから、実測値、解析値ともに寸法効果は小さいという事が分かる。

横坑掘削終了時の最大主ひずみの分布を Fig.7 に示す。立坑と横坑の境界付近で最もひずみが卓越しており、その値は 0.5%程度である。この結果から Fig.2 を参照すると、立坑と横坑の境界付近での割線変形係数の低減率は約 0.39 であることが分かる。また応力比についても、立坑と横坑の境界付近で 0.51 を上回る値を示しており、ポアソン比は最大で 0.3 程度(初期ポアソン比 0.15)であった。

## 4．おわりに

本稿では、非線形性を考慮した上総層固結シルトの力学モデルを構築し、空洞掘削事例の再現解析を試みた。その結果、施工時挙動の再現性について確認することが出来た。今後は解析事例を増やし、実測との整合についてのより深い検討を行いたい。

### 参考文献

1) 杉江(1995)：3 次元地盤/地下水連成解析プログラム GRASP3D の解析理論と粘土の力学挙動解析への応用，大林組研究所報，No.51，pp.15-22.
2) 越智，壷内，龍岡(1994)：空洞掘削と実験調査および線形逆解析による堆積軟岩の変形特性，土木学会論文集 No.487，Ⅲ-26，pp.177-186.
3) 龍岡，小高，王，早野，古関(1997)：堆積軟岩の変形特性，土木学会論文 No.561，Ⅲ-38，pp.1-17.

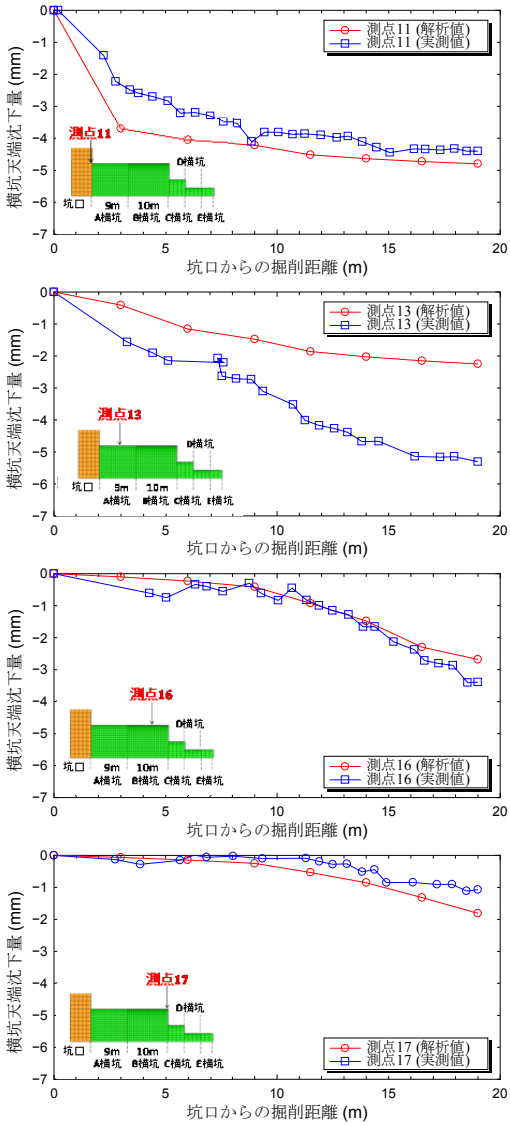


Fig.5　各測点位おける横坑天端変位

(越智ら 2)にトレース・加筆)

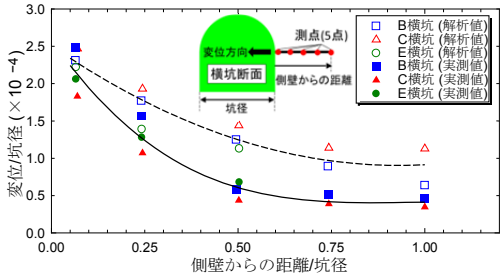


Fig.6　相対地中変位の分布

(越智ら 2)にトレース・加筆)

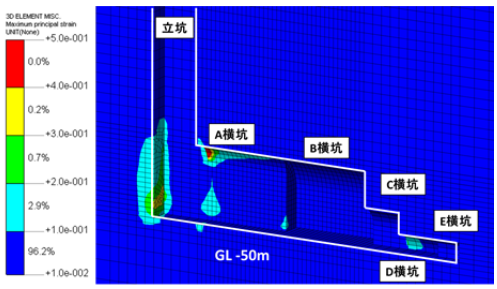


Fig.7　最大主ひずみ分布