

開削工事の盤ぶくれに関する現場実験事例の解析検証

(株)大林組 技術研究所 正会員 ○杉江 茂彦, 鈴木 和明

1. はじめに

開削工事では掘削底面に大きな盛り上がりが生じ破壊にいたることがある。主な原因の一つに「盤ぶくれ」がある。これは掘削底面下に高い地下水圧をもった砂層や礫層がある場合に、その上方の粘土地盤が水圧によって押し上げられる現象である。これへの対策として、砂層・礫層の地下水圧の減圧をはかる井戸揚水が行われている。従来、地下水圧の減圧幅の算定には、鉛直方向の力のバランス（水圧による揚圧力とそれへの抵抗力となる土の自重や土留め壁の周面摩擦等の大小比較）をみる慣用設計式が用いられている。しかしながら、大深度クラスの開削工事では、高まる水圧条件下での安全性の確保や地下水環境への影響軽減策の盛り込み等で、慣用設計式だけでは現実的な対策工の案出が難しい場合がある。

そのための設計・計画ツールとして、著者ら他は「盤ぶくれ」の問題への有限要素法（土/水連成解析）の可能性を調べてきた（例えば¹⁾）。この解析法では地盤の応力・変形と地下水の挙動を連成させて計算している（使用コードGRASP3D²⁾）。本研究は、開削工事の盤ぶくれの現場実験事例（松井・中平・中堀・阿部（1987, 1988, 1989）^{3), 4), 5)}）について解析シミュレーションを試み、得られた結果を報告するものである。現場実験^{3), 4), 5)}では実測と有限要素法解析の両面で検証が実施されている。

2. 松井・中平らによる現場実験と本研究での解析モデル化

現場実験の地盤構成および施工・計測状況が図-1（松井・中平，1989）⁵⁾および図-3⁵⁾に示されている。これをもとに図-2に示す有限要素メッシュを設けて、2次元平面ひずみ条件で地盤と施工条件をモデル化した。

(1) 地盤のモデル化

現場実験は沖積平野の河口で実施された。地表より6m程の厚さで砂・砂質シルト層が堆積している。続いて盤ぶくれが生じた軟弱な粘土層が約9mの厚さで堆積している。その下には被圧の地下水をおびた玉石混じりの砂礫層続いている。

粘土の力学挙動のモデル化には関口・太田の弾塑性構成式⁶⁾を用いた。文献^{4), 5)}にもとづき与えた定数値を図-2に併記している。その他の定数値（湿潤密度 $\gamma_t=1.7\text{g/cm}^3$ 、過圧密比 $\text{OCR}=1.1$ および間隙比 $e_0=1.5$ ）についても同文献^{4), 5)}にもとづいた。表層の砂・砂質シルト層および被圧の砂礫層については弾性体で模擬した。両層のN値をそれぞれ10, 30と想定して、今井・殿内の式よりS波速度をもとめ地盤剛性を設定した。ここでポアソン比は0.35とした。地下水の水理条件については、図-3⁵⁾に示される被圧の砂礫層の水位変動幅の上限レベル $\text{TP}\pm 0.0\text{m}$ を水面とした静水圧分布で与えた。

(2) 施工過程のモデル化

掘削平面の規模は（12m×30m）であり、解析の対象とした地点では6次掘削時（GL-8.2m）に掘削底面の浮き上がりが急進したため、注水による安定化対策がとられた後に実験が終了された（図-3⁵⁾参照）。解析では各段階における掘削と切梁設置の施

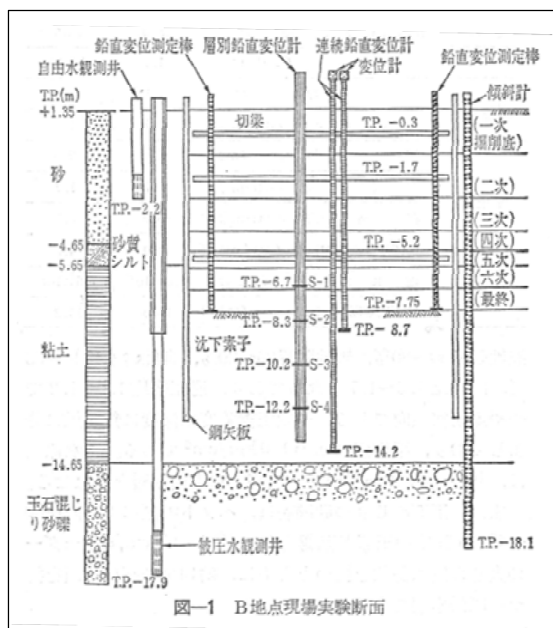


図-1 現場実験の地盤構成と施工・計測断面
松井・中平（1988, 1989）⁵⁾より引用

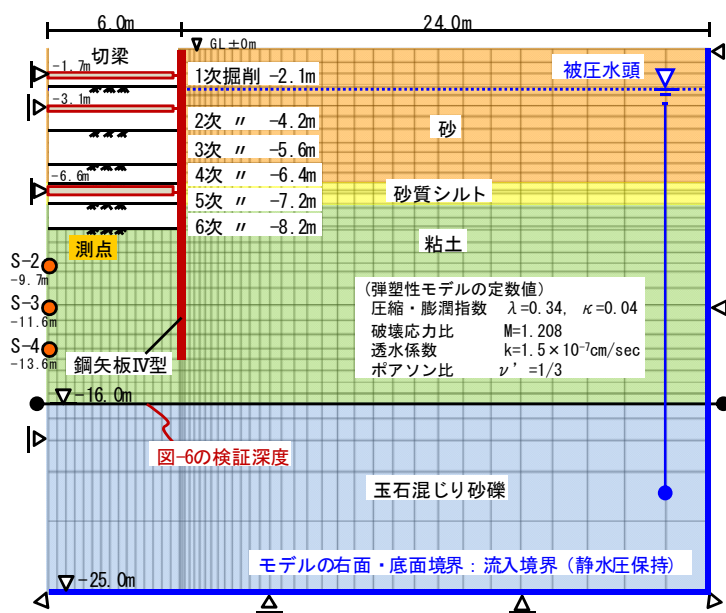


図-2 有限要素メッシュと施工条件のモデル化

キーワード : 開削, 盤ぶくれ, 現場実験, 有限要素法解析

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 地盤技術研究部 TEL: 042-495-1097

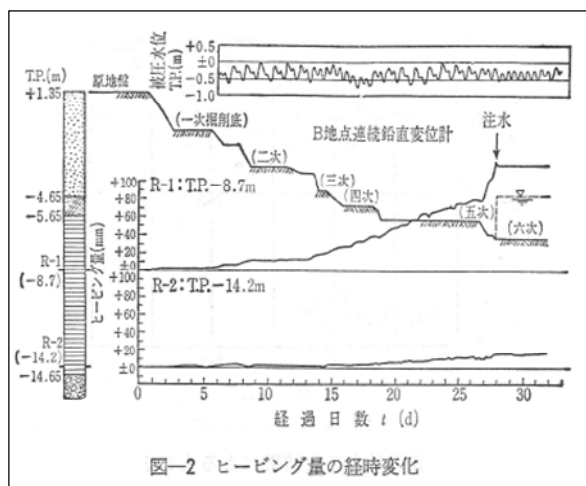


図-3 掘削工程と掘削底面下の浮き上がりの発生状況
松井・中平 (1989)⁵⁾より引用

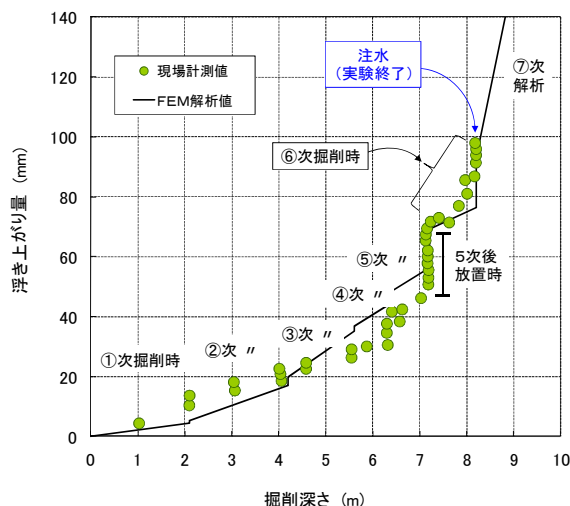


図-4 浮き上がり量の現場計測値と解析値の比較

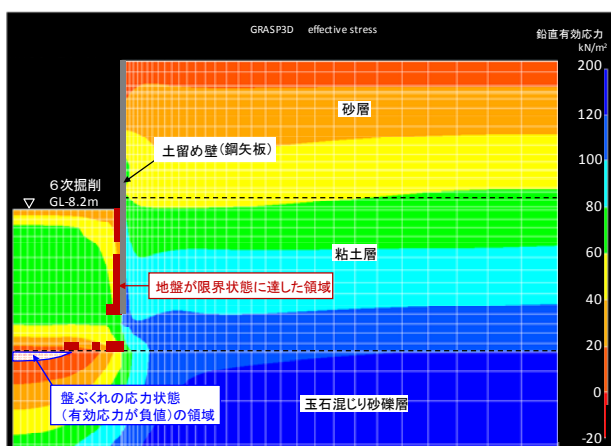


図-5 鉛直有効応力のコンター：6次掘削時

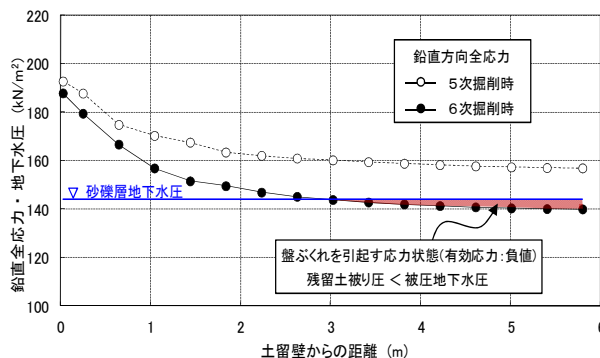


図-6 砂礫層の上端深度での地下水圧と鉛直全応力の比較

工と所要時間を模擬し、地盤の浮き上がりと応力の変化、ならびに被圧の地下水圧と抑え荷重のバランスの状況を追跡した。ここで、鋼矢板による土留め壁（鋼矢板Ⅳ型）の模擬にはシェル要素を、各段切梁の模擬にはトラス要素を用いた。土留め壁/地盤間の摩擦の模擬には薄層のメッシュを設け、文献4), 5) で用いられた摩擦の極限值 40 kN/m^2 を与えた。各掘削段階の掘削面にはドライ掘削ワークを模擬して水圧値 0 の条件を与えた。

3. 掘削底面下の地盤の浮き上がりと応力状態

粘土層の中心深さ付近（計測点S-3：GL-11.6m）での浮き上がりを図-4に示す。計測では3次掘削以前と4次掘削以後で浮き上がりの生じ方に変化が生じている。3次掘削までは増加の割合が一定で緩やかであるが、4次掘削以後は掘削後の放置期間に浮き上がりが生じる割合が増している。特に5次掘削では20mm以上の増分が、6次掘削においても同程度の増分が生じた時点で安定化のための注水がなされている。解析結果においてもこれらの過程の浮き上がりがうまくシミュレートされている。

解析による地盤の鉛直有効応力のコンターを図-5に示す。6次掘削の注水直前の値である。盤ぶくれが生じる応力状態、すなわち被圧砂礫層の地下水圧が上方の粘土層の土被り圧や土留め壁の周面摩擦による抑え荷重を上回る状態では、砂礫層の有効応力が負値となる。図-5では掘削部の中央付近に有効応力が負値となる不安定な状態の領域（白塗り）が生じている。また同図には地盤が限界状態（critical state）に達した領域を朱塗りで示している。土留め壁近傍のほぼ全域と粘土層の下端部の壁側の領域で地盤が大きく痛められた状況が認められる。図-6では5次と6次の掘削段階での砂礫層の上端深度の鉛直全応力を被圧地下水圧とともに示している。ここで鉛直全応力は土留め壁の周面摩擦の効果も得て残留した土被り圧ととらえることができる。6次掘削では土留め壁から3m離れた領域（朱塗り）から、地下水圧が鉛直全応力（抑え荷重）を超えている。本解析では現場実験^{3), 4), 5)}で検証された被圧地下水による地盤の浮き上がりと不安定化の状況が現実に沿って再現できたと考える。

「参考文献」

- 1) 杉江, 高橋, 鈴木: 開削底部地盤の安定性への逆打ち支柱の根入れ効果について, 土木学会第66回年次, III部門, pp. 501-502, 2011
- 2) Ohta, H., Iizuka, A., Omote, Y., Sugie, S.: 3-D analysis of soil/water coupling problems using elastoviscoplastic constitutive relationships, Proc. 7th ICCMAG, pp. 1191-1196, Vol. 2, 1991
- 3) 中平, 中堀, 松井 (中平, 松井, 阿部): 粘土地盤の揚圧力によるヒービングに関する現場実験 (弾塑性解析), 第22回土質工学研究発表会, pp. 1309-1310, 1987, (第23回土質工学研究発表会, pp. 1605-1606, 1988)
- 4) 松井, 中平: 粘土地盤のヒービングに関する現場実験と弾塑性解析, 土と基礎 (土質学会誌), pp. 29-34, 1989
- 5) 6) Sekiguchi, H. and Ohta, H.: Induced anisotropy and time dependency in clay, 9th ICSMFE, Proc., Specialty session 9, pp. 229-239, 1977