

大規模開削工事における盤ぶくれとリバウンドの計測管理について

清水建設株式会社

正会員 ○足助 美岐子 三木 浩
正会員 斧 申二 清水 勝正

1. はじめに

本工事は、開削工事（土留壁：RC 地中連続壁、幅約 43.5m×延長約 92m×深さ約 27m、切梁形式）により、都内湾岸エリアにおける浸水対策を目的とした大規模地下構造物を構築するものである。

本稿では、掘削工事に伴う盤ぶくれおよびリバウンドとこれらの計測管理について述べる。

2. 検討概要

図 1 および図 2 に土留め平面図および断面図を示す。当該地盤は、地下水位が GL-1.5m 程度と高く、主な掘削対象土層は N 値 5 以下の軟弱な沖積粘性土層であり、GL-43.5m 付近には被圧水を有する Nas 層が存在する。Nas 層の被圧による盤ぶくれに対して、6 次掘削（GL-18.25m）までは荷重バランスのみで必要安全率を満足するが、7 次掘削以降は土留め壁と地盤の摩擦抵抗力や難透水層のせん断抵抗力を考慮して初めて成立する計算結果であった。所定の摩擦抵抗力、せん断抵抗力が得られない場合には、盤ぶくれが発生し周辺への影響が懸念されるため、対策工が必要となる。したがって、盤ぶくれの兆候を把握するための計測管理手法の確立が重要であった。

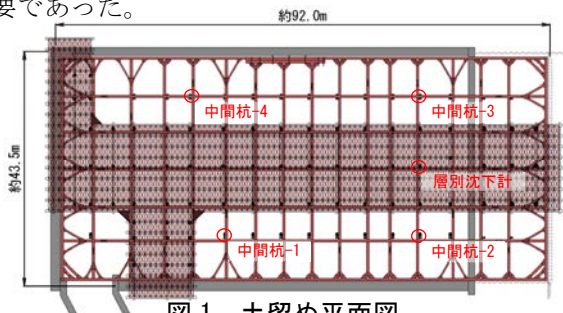


図 1 土留め平面図

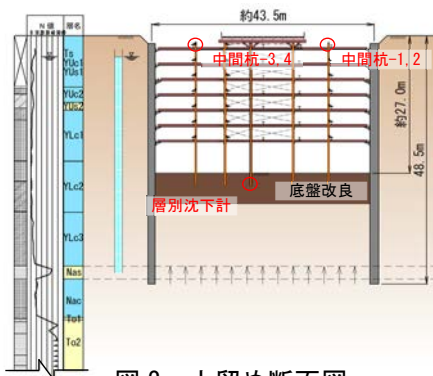


図 2 土留め断面図

(1) 検討フロー

図 3 に施工フローと検討事項の概要図を示す。6 次掘削までは、盤ぶくれに対して荷重バランスのみで必要安全率を満足するため、掘削底面の鉛直変位が発生した場合、リバウンドがその主要因であると言える。

一方、7 次掘削以降において想定した摩擦抵抗力・せん断抵抗力が得られない場合、盤ぶくれの発生が懸念される。盤ぶくれの兆候を見逃さないようにするためには、リバウンド量を高い精度で把握しておくことが重要とある。しかし、実現象としての鉛直変位をリバウンドと盤ぶくれに明確に分けることは困難である。そこで、6 次掘削までのリバウンド量（実測値）に基づき予測値を修正し、7 次掘削以降の計測管理値を見直す計画とした。

すなわち、より高い精度でリバウンド量を予測した上で計測管理を実施し、万が一鉛直変位が管理値を超えるような場合には、盤ぶくれが発生しているものと判断し、対策工を講じることとした。

(2) リバウンド量の予測

リバウンド量を予測するために、二次元 FEM 解析（以後、リバウンド解析）を実施した。ステップごとに要素を除去する手法とし、掘削解放力は掘削地山の全応力の 100%とした。水平方向の地盤変形係数は、YUs2 層以浅部（GL-13.0m まで）を N 値からの推定で設定し、YLc1 層以深部を三軸圧縮試験と孔内水平載荷試験結果に基づき設定した。鉛直方向の地盤変形係数は、「鉄道構造物等設計標準・同解説 開削トンネル」（H13.3）を参考に水平方向の 3 倍と設定した。

図 4 に解析モデル図と解析結果（鉛直コンター図）を示す。解析結果のうち、各ステップの地盤改良体上端

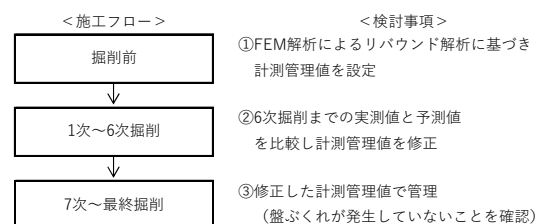


図 3 施工フローと検討事項の概要図

キーワード：大規模開削工事、掘削底面の安定、盤ぶくれ、リバウンド、計測管理

連絡先：〒104-8370 東京都中央区京橋二丁目 16-1 清水建設株式会社 土木技術本部 TEL:03-3561-3877

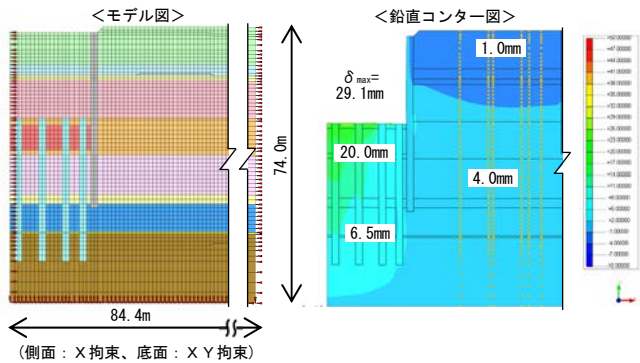


図 4 リバウンド解析モデル図および鉛直コンター図

のリバウンド量が最大となる点の値を管理値設定の指標として採用した。

3. 計測項目と計測管理値の設定

盤ぶくれに対する計測項目は、掘削底面の鉛直変位とし、中間杭の天端レベル（4 箇所）および底盤改良体内に設置した層別沈下計により計測した（図 1 参照）。

当初の計測管理値は、3 段階で設定した。一次管理値はリバウンド予測変位の 80%、二次管理値はリバウンド予測変位、三次管理値は限界値（後述）の 50%とした。限界値は、底盤改良体の曲げ引張強度から決まる改良体の限界変位（100mm）と、中間杭の浮き上がりを考慮した切梁の限界変位（150mm）のうち小さい方の値である 100mm とした。

なお、荷重バランスのみで安全率が 1.1 以上である 1 次掘削時～6 次掘削時の計測結果は、リバウンド解析の妥当性確認や実測値の傾向を把握するとともに、7 次掘削以降の管理値の設定に活用した。計測管理値一覧表を表 1 に示す。

図 5 に示すように、掘削工事の進捗に伴う中間杭の天端計測による鉛直変位（リバウンド量）には、多少のばらつきが見られた。一方、層別沈下計による計測結果にはばらつきが見られず、鉛直変位の傾向をより正確に把握できるが、計測値は予測変位よりも明らかに小さいものであった。このことから、実際の土中の鉛直方向の地盤変形係数が推定よりも大きく、そのため 7 次掘削以降のリバウンド量が予測変位より小さくなることが推察できた。7 次掘削以降も、リバウンド解析を基に設定した管理値を用いた場合、管理値とリバウンド実測値に大きく差があるため（同図緑丸部）、盤ぶくれの兆候を見逃すことが想定された。そこで 7 次掘削以降においては、リバウンド解析結果を再評価し、管理値を小さく設定した上で計測管理を行うことが適切であると考えた。

以上より、7 次掘削以降は主に層別沈下計で計測管理を行い、新たな計測管理値を基に盤ぶくれ発生の有無の判断を行うこととした。新たな計測管理値は、実測値より線形近似により設定した。修正計測管理値一覧表を表 2 に示す。

3. 計測結果とまとめ

図 6 に修正計測管理値と実測値の比較を示す。7 次掘削時の最大鉛直変位量は 7.1mm となり、概ね予測通りの結果が得られた。現在最終掘削を行っており、掘削深度 27m に対して、掘削底面の鉛直変位量は 11.3mm であり、二次管理値には到達せずに最終掘削を完了する見通しである。

リバウンド量をより高い精度で予測し計測管理を行うことにより、盤ぶくれが発生していないことを確認することができ、安全に工事を進めることができた。

表 1 計測管理値一覧表（単位：mm）

施工ステップ	一次管理値 (リバウンド予測変位の80%)	二次管理値 (リバウンド予測変位)	三次管理値 (改良体の限界変位の50%)
1次掘削時*	1.3	1.6	50.0
2次掘削時*	3.6	4.5	
3次掘削時*	6.0	7.5	
4次掘削時*	8.2	10.3	
5次掘削時*	10.7	13.4	
6次掘削時*	13.1	16.4	
7次掘削時	15.8	19.8	
最終掘削時	23.3	29.1	

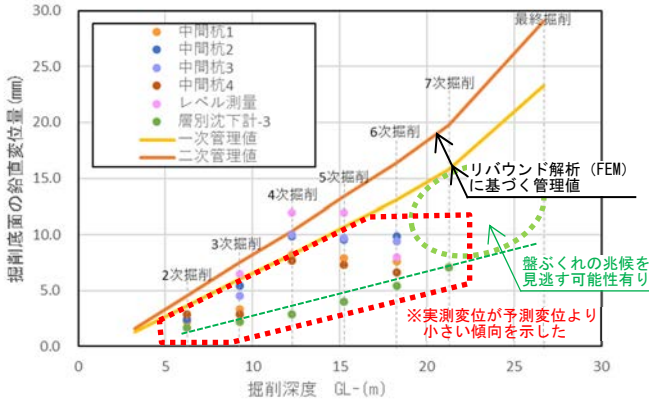


図 5 鉛直変位の推移と変更前計測管理値

表 2 修正計測管理値一覧表（単位：mm）

施工ステップ	一次管理値 (変更前×0.53-1.5)	二次管理値 (変更前×0.53-1.5)	三次管理値 (改良体の限界変位の50%)
6次掘削時*	5.4	7.2	50.0
7次掘削時	6.9	9.0	
最終掘削時	10.8	13.9	

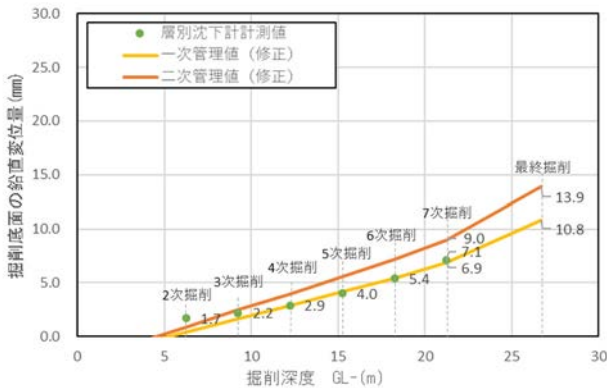


図 6 層別沈下計計測結果と修正計測管理値