

FEM を用いた近接施工の影響予測手法の検証（その1：実測事例との比較）

戸田建設 正会員 ○佐野 大作
 戸田建設 正会員 福田 健
 戸田建設 正会員 緒方 智之

1. 目的

構造物の解体、新築工事等を行うことで、地盤に作用していた荷重度が変化し地盤変位が生じる。この地盤変位が周辺地盤にも伝わり近接構造物に変状をもたらすことになる。このような場合には、工事着手前に当該近接構造物の企業体と近接協議を行う必要がある。近接協議では工事に伴う近接構造物の変位量を予測する必要があるが、最近では有限要素法（以下、FEM）を用いた手法が一般的である。本稿では、同程度の掘削深度であるが施工方法および基礎形式の異なる2つの事例について、FEMによる予測値と実測値の比較を示す。

2. 近接施工事例

今回近接施工の対象となるのはいずれも地下に縦断する構造物であり、図-1に施工する新築建物エリアと近接構造物の関係を示す。事例1は施工エリアとほぼ並行に地下構造物が縦断しており、最小離隔距離が約5.5mである。建物施工エリアの掘削深さは約34mでソイルセメント壁を土留め壁として採用した。地下の施工は順巻き工法を採用しており、34mまで掘削を進めてから新築建物の構築を進めた。事例2は新築建物エリアが非整形ではあるが、近接構造物に対する掘削面はほぼ並行であり、最小離隔距離は約15mになる。掘削深さは約30mであり、事例1と同じく土留め壁にはソイルセメント壁を採用した。地下の掘削は逆巻き工法を採用し、地下の掘削を進めるとともに新築躯体の構築を行った。

3. 近接施工影響検討

近接の影響解析はいずれも2次元のFEMを用いて実施した。それぞれの解析モデルを図-2に示す。モデルは最近接部の断面を模擬し、地下構造物を含む周辺地盤をモデル化した。建物の掘削エリアは、掘削の中央付近までとし、モデル側面の境界条件は水平変位拘束、モデル底面は固定条件とした。表-1に解析で用いた地盤条件を示す。地盤の変形係数は「鉄道構造物等設計標準・同解説」¹⁾等を参考に、N値およびPS検層結果から算出した。また、解析は施工段階を考慮して表-2に示す2ステップで実施した。事例1は順巻きのため、リバウンドが卓越する掘削完了時を施工ステップ1とし、建物荷重が作用する建物完成時をステップ2とした。一方、事例2は逆巻きのため、ステップ1を2次掘削完了時（約9.7m掘削）、ステップ2を建物完成時とした。これは、2次掘削完了までは地上の躯体工事を行わず地下の掘削を先行する計画であったことから、リバウンドによる影響が卓越すると考えたためである。

ここで、本来は掘削に伴い排土重量による開放力と土留め壁の変形が同時に発生することになるが、本解析では鉛直荷重に対する変動分のみを考慮し、土留め壁の変形は考慮していない。

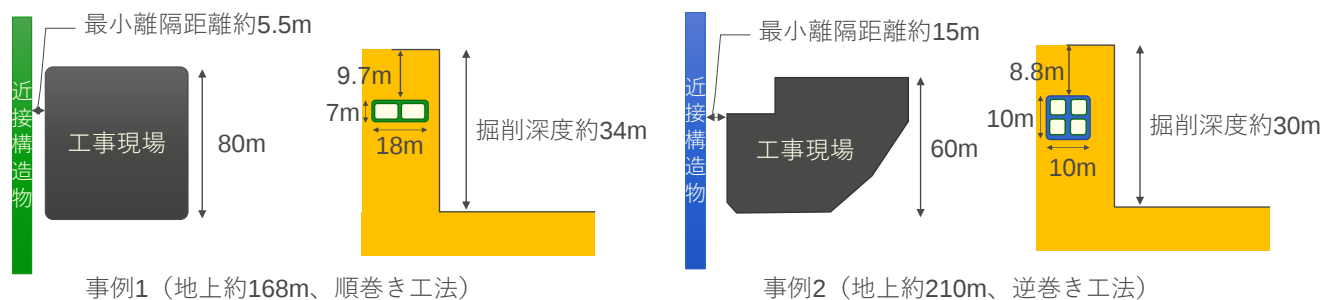


図-1 近接施工事例（施工エリアと地下構造物の配置概要）

キーワード 近接施工、リバウンド、沈下、FEM
 連絡先 〒300-2622 茨城県つくば市要 315
 戸田建設（株）技術研究所 TEL 029-864-2961

4. 解析結果と実測値

近接構造物の鉛直変位は躯体に取付けた水盛り式沈下計によって計測した。図－4 および図－5 に掘削開始からの代表的な鉛直変位の推移と解析値の比較をそれぞれ示す。事例1は順巻きのため、掘削開始とともに地下構造物もリバウンドが生じ、掘削完了まではほぼ直線的に増加している。掘削が終了すると今度は構築する躯体荷重によって沈下傾向に転じ、最終的には-8mmを超えるところで収束した。解析値に関しては、掘削によって+25.0mmほどリバウンドしたあと、建物構築に伴って0mm付近に戻る予測であったがステップ1のリバウンド量は実際には予測よりも小さく、ステップ2での沈下量が大きくなった。ステップ1から2の変化量は解析値の方が大きいものの、全体的にリバウンド傾向が大きく出る結果であった。

一方、事例2はリバウンドと沈下を繰り返しながら推移し、最終的には掘削開始前から+1.6mm程度浮上った状態で終了した。これは逆巻き工法によって掘削と躯体構築を並行して進めた影響であると考えられる。解析値に関しては、事例1と同様にステップ1のリバウンドは実測値よりも過大となったが、ステップ2では+0.25mmもしくは-2.2mm（水压考慮）程度に対して実測は+1.6mmほどリバウンドした状態であった。

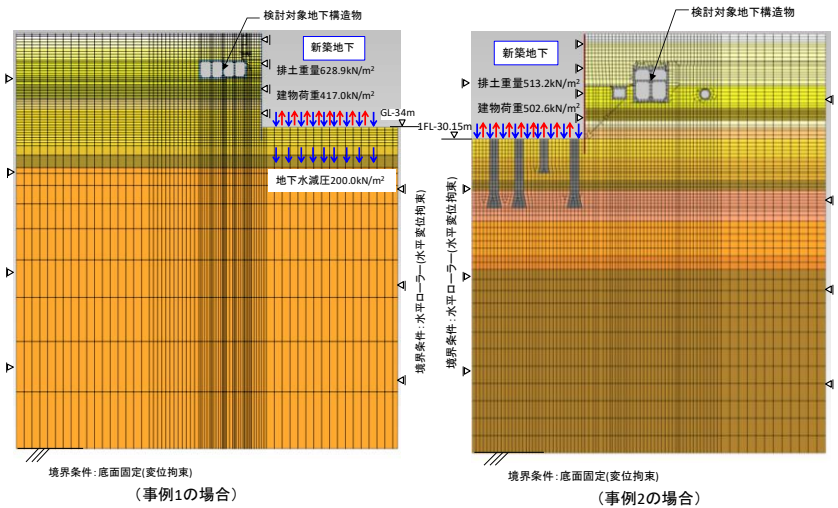
5. 考察

今回、施工法の異なる2つの事例で解析値と実測値の比較を行った。掘削に伴って生じるリバウンドに関しては安全側の予測値（解析値よりも実測値の方が小さい）であったが、躯体構築完了時では実測値に対して傾向の異なる結果であった。

実測値の場合、施工方法や基礎形式の違いおよび周辺環境（気温や潮位など）による影響、また、実際には土留め壁の変位による影響も作用することから、最終的に予測値と差異が生じてしまう可能性があり、必ずしも安全側の結果にはならないことが示唆された。今後は、様々な施工条件を想定し、適切な検証を行う必要があると考えられる。

参考文献

1) 国土交通省鉄道局監修 鉄道総合技術研究所編：鉄道構造物等設計標準・同解説 トンネル・開削編，2021.8



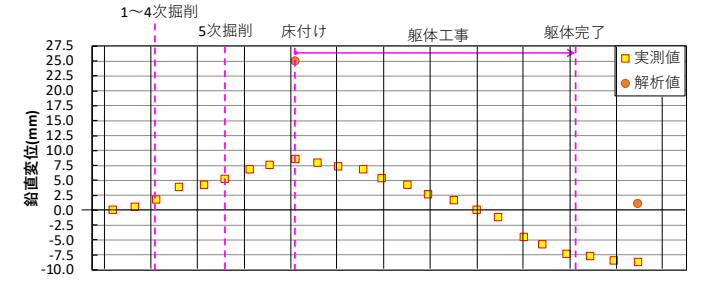
図－2 解析モデル（ステップ2）

表－1 地盤条件

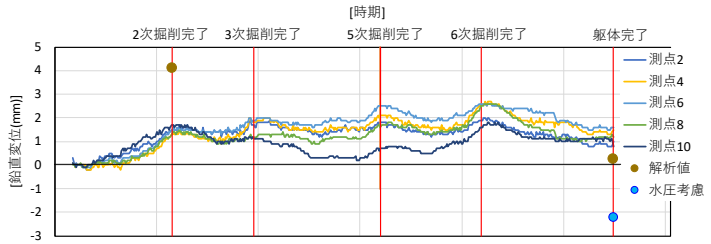
（事例1の場合）						（事例2の場合）					
土質	下端深度 GL-(m)	層厚 (m)	ポアソン比 ν	PS換層 E_0 (kN/m²)	変形係数 E_v (kN/m²)	土質	下端深度 GL-(m)	層厚 (m)	ポアソン比 ν	PS換層 E_0 (kN/m²)	変形係数 E_v (kN/m²)
盛土	2.6	2.6	0.40	99,630	39,852	埋土1	2.3	2.3	0.40	37,466	14,987
砂	5.2	2.6	0.35	92,988	37,195	埋土2	8.0	5.7	0.40	115,761	46,305
シルト	9.3	4.1	0.45	323,895	129,558	シルト1	15.2	7.2	0.45	152,759	61,104
シルト	14.9	5.6	0.45	345,267	138,107	シルト2	20.1	4.9	0.45	274,739	109,896
細砂	18.6	3.7	0.35	894,368	357,747	砂礫1	21.6	1.5	0.35	1,336,251	534,500
シルト	23.0	4.4	0.45	391,913	156,765	固結シルト1	25.1	3.5	0.45	1,137,593	455,037
細砂	24.0	1.0	0.35	824,715	329,886	細砂1	26.5	1.3	0.35	1,583,176	633,271
砂礫	27.7	3.7	0.35	1,683,555	673,422	砂礫2	30.5	4.0	0.35	2,248,734	899,494
① 細砂	40.5	12.8	0.35	891,112	356,445	細砂2	35.8	5.4	0.35	1,469,976	587,990
② 細砂	43.9	3.4	0.35	1,151,979	460,791	細砂3	42.0	6.2	0.35	627,846	251,138
③ 細砂	48.3	4.5	0.35	1,568,334	627,334	細砂3	45.0	3.0	0.35	683,340	273,336
④ 微細砂	150.0	101.7	0.35	1,055,705	422,282	細砂3	54.1	9.1	0.35	702,456	280,982

表－2 解析ステップ

ステップ	事例1	事例2
1	掘削完了（掘削深さGL-34.0m） 排土重量628.9kN/m²（全応力）	2次掘削完了（掘削深さGL-9.7m） 排土重量159.1kN/m²
2	新築躯体完成 建物荷重417.0kN/m²	掘削完了（掘削深さGL-30.15m） 排土重量513.2kN/m² 新築躯体完成 建物荷重502.6kN/m²



図－4 事例1 実測値と解析値の比較



図－5 事例2 実測値と解析値の比較