

山留め計測結果の解釈とその有限要素解析

Field Measurements in Braced Excavation and Its Finite Element Analysis

岩 田 尚 之 (いわた なおゆき)

㈱日衛工務部技術課 係長

檜 尾 正 也 (ひのきお まさや)

名古屋工業大学助手 社会開発工学科

中 井 照 夫 (なかい てるお)

名古屋工業大学教授 システムマネジメント工学科

竹 川 勝 久 (たけかわ かつひさ)

鹿島建設㈱名古屋支店愛知南営業所 工事事務所長

1. はじめに

近年“情報化施工”の名のもとに地下掘削工事における山留め計測管理が広く行われるようになった。それとともに昨今の情勢から、仮設部門においても“コストダウン”の要求に応えるため計測管理に基づく施工が不可欠となっている。その結果、より経済的効率的な計測計画が今後いっそう求められるであろう。一方、現在の計測管理は“管理値”を設定し、その管理値と比較する形式が採られる事が一般的である。管理値は計測項目にもよるが、独自に管理値が定められている場合を除いて設計値に基づいて設定される。山留めの設計に関してこれまでにいろいろと議論されているが、一般的には設計の壁体変位と計測結果の壁体変位は合わない事が多い。本論文では実際の施工現場から得られた“計測結果”と“計測管理値”との関係に留意し、計測結果の解釈と計測管理方法に対する考察をまとめたものである。また、地盤の力学特性を考慮し、弾塑性の性質を忠実にシミュレーションした解析結果が計測結果をよく説明することも示す。

2. 計測現場とその概要

計測データを採取した現場は名古屋市中区内の建築現場で既設構造物が隣接する典型的な都市部における掘削工事であった(計測概要を表1に示す)。掘削レベルはGL-15.8mであり、山留め壁はSMW、切梁3段の切梁プレロード工法を採用している。地盤条件は図-1に示すように、G.L. -2.5mまで盛土(B)、G.L. -14.5mまで相対密度中位の砂質土(Ds)、G.L. -22.5mまでシルトが混在する砂質土(Ds)、G.L. -25mまで洪積シルト(Dc)となっている。

表1 計測概要

計測項目	計測位置	計測形態
山留め壁の変位	長辺方向 4箇所 短辺方向 2箇所	手動計測 (各施工段階毎)
切梁軸力	各段 3箇所	自動計測 (定時計測)
切梁温度	日向 2箇所 日陰 2箇所	自動計測 (定時計測)

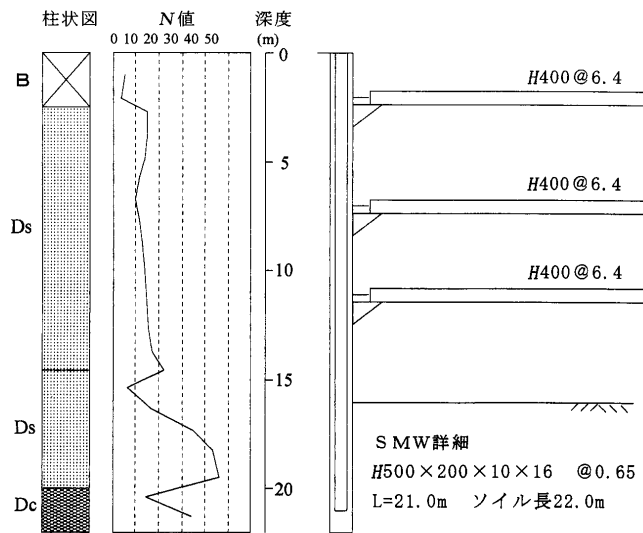


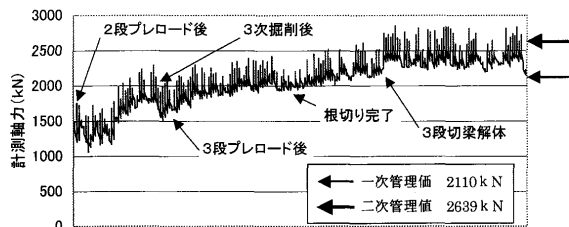
図-1 柱状図および山留め支保工

尚、山留め壁の変位及び切梁軸力計測に使用した計測器は差動トランス式とし、切梁温度計測に使用した計測器は白金抵抗式とした。

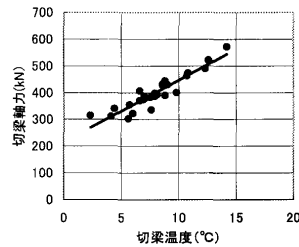
3. 計測管理と解釈

計測管理上山留め壁の変位の測定には特に問題はないが、図-2に示すように切梁軸力は温度依存性が高く、計測値の変動が切梁軸力管理時には温度応力によるものか土圧の増加によるものなのかの判断が難しい。そこで切梁軸力を温度補正し、その補正した値を実際の計測管理の判断材料として使用した。

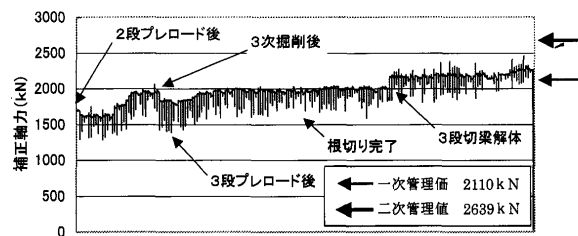
温度補正の方法としては、掘削レベルが一定の期間において、切梁軸力と温度に図-3に示すような一次的関係が見られることから、切梁軸力を温度の一次関数によって表現した。図-2の測定値を温度一定として補正した軸力の変化を図-4に示す。その結果、温度補正された図-4の結果の変動が少なく、土圧の変化による軸力の動きをより明確に表しているのがわかる。図-2の補正前の切梁軸力は計測期間中、床付け完了時から2段目切梁の軸力(温度補正前)が設計値(二次管理値)に達しているのがわかる。そこで、施工時には図-3、4を各段毎に作成し、軸力増加が温度応力によるものか土圧の増加によるものかの判断を行い計測管理を行った。このときの山留め壁の変位は設計値の半分にも満たない



図—2 2段目切梁軸力(測定値)



図—3 切梁軸力-温度関係

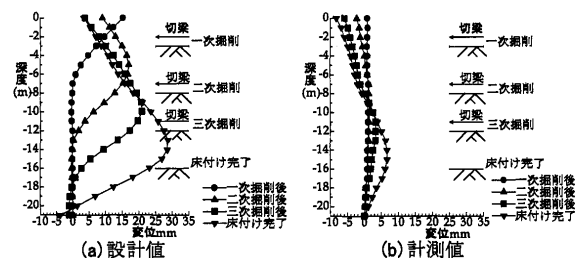


図—4 2段目切梁軸力(温度補正後)

事および温度補正を行った切梁軸力は土圧の増加によるものではないとの判断から地下工事を遂行させる事ができた。

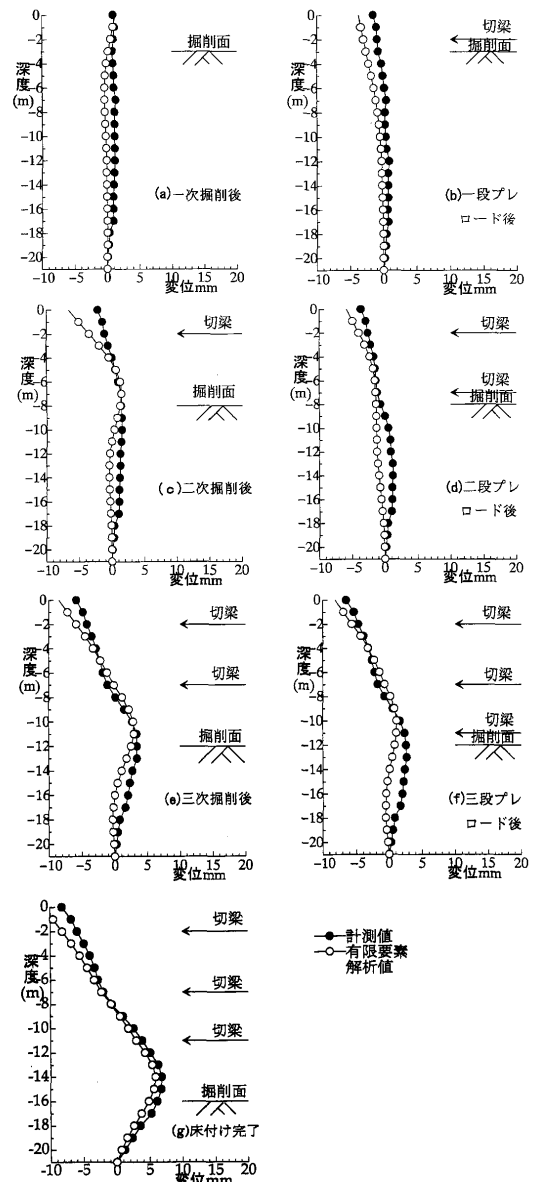
4. 施工条件を考慮した有限要素解析との比較

図—5 (a)の設計値は通常の弾塑性山留め解析¹⁾にて設計されたものであるが、(b)図の実測値と比較した場合に、設計値は掘削底面付近で変位を許しているのに対し、実測値は変位が小さい傾向を示していた。弾塑性山留め解析特有の変位の傾向であるため、実際の切梁軸力と山留め変位の関係が妥当であったかの検討を有限要素解析によって確認した。



図—5 山留め壁の変位

有限要素解析には変形・強度特性におよぼす中間主応力、応力経路、密度、拘束応力の影響を考慮できる等方硬化型の subloading t_{ij} model²⁾を使用した。なお、山留め壁を beam 要素、地盤と山留め壁の摩擦を考慮するため弾塑性 joint 要素³⁾を使用した。弾塑性有限要素解析時には境界条件を適切に表現するため周辺の構造物の荷



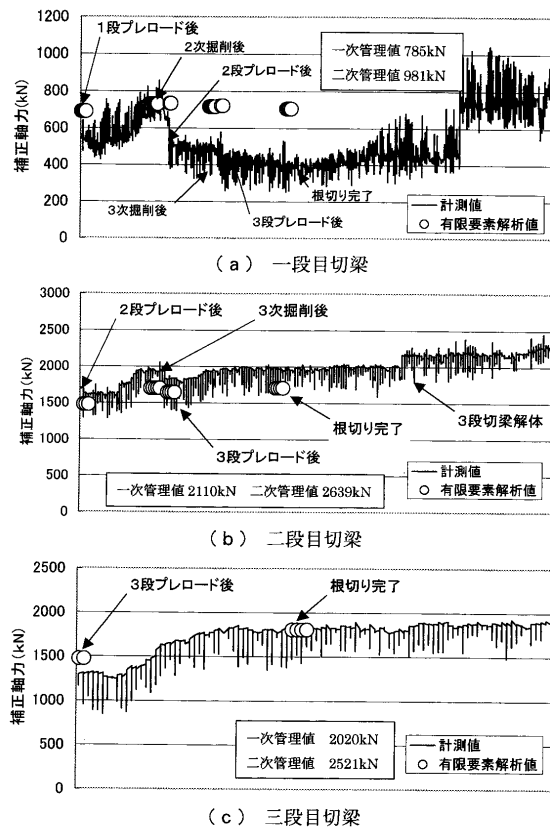
図—6 計測値と有限要素解析の比較

重も考慮した。図—6に各施工段階における壁体変位の比較を、図—7に切梁軸力の変化の比較を示す。

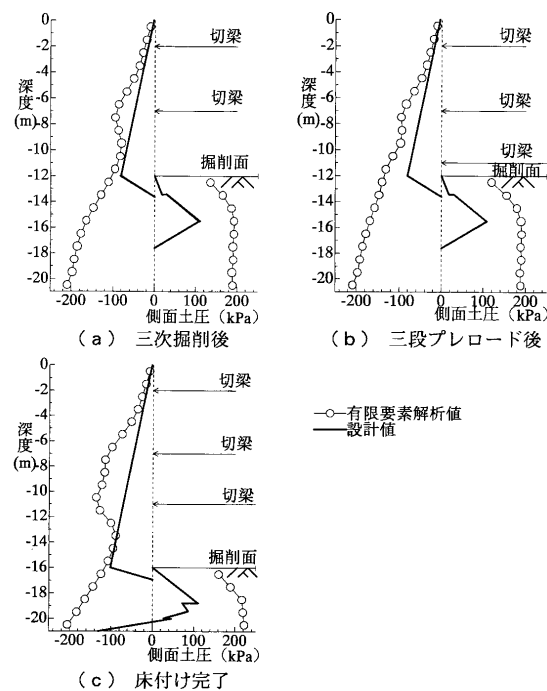
図—6の解析値の山留め壁の変位は計測値とよい対応をしている。切梁軸力(図—7)に関しても絶対値にずれは見られるが、各施工段階において軸力の増加分は2段目、3段目においてよい整合性が見られる。図—6からも1段目は解析値と計測値の変位に差が認められるが、2段目、3段目では全体的によく変位を表現している。

図—8に三次掘削完了時、三段プレロード載荷後、および床付け完了時の掘削側および背面側の壁面土圧の設計値と有限要素解析結果を示す。また図—9にはその時の地盤内の水平土圧分布を等値線で示す(両図の各段階の壁体変位図は図—6の(e), (f), (g)に対応)。図—6の壁体変位図や図—8, 9の土圧分布の解析値から判断すると、掘削時の背面側土圧は設計値のように直線的な分布をせず、掘削やプレロード載荷のプロセスで生じるアーチング効果で多様に変化することになる。

論文



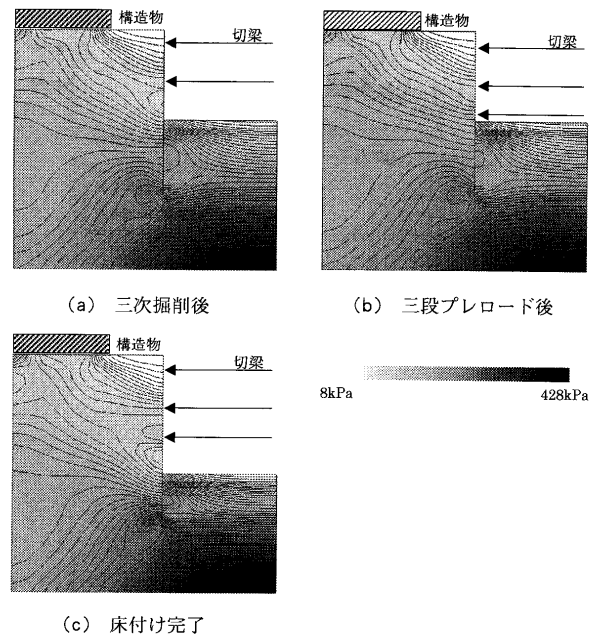
図—7 計測値と有限要素解析の比較



図—8 掘削側および背面側の壁面土圧分布

5. ま と め

切梁軸力と山留め変位の管理値に対してどちらかが管理値を超えた場合、計測頻度を増やし、計測値が増加傾向であるかの確認を行う体制をとることが一般的である。



図—9 地盤内の水辺土圧分布

したがって、適切な施工管理を行うには管理値を決める設計法そのものの合理的妥当性が問題となる。通常用いられる山留め解析法（なぜか弾塑性？と呼ばれている）は地盤を弾性ばねとして解析するために弾塑性体である地盤の挙動は説明できない。より効率的な計測管理を行うには現場の状況に応じた適切な予測解析を行い、予想される挙動と比較しながら管理を行う事が重要である。その予測解析の手法として subloading t_{ij} model を用いた有限要素解析結果は山留めの挙動をよく表現した。注意すべき点として、計測結果の解釈を行う際は切梁軸力の温度補正を行い、解析結果の軸力はその増分で管理する必要がある。原因としては各段にプレロードを行う際の切梁温度が異なることが考えられる。

参 考 文 献

- 1) 日本建築学会：山留め設計施工指針
- 2) 檜尾正也・中井照夫・星川拓哉・吉田英生：3次元応力経路下において単調繰返し载荷を受ける砂の応力・ひずみ挙動とそのモデル化，地盤工学会論文報告集 Vol. 41, No. 3, pp. 125～140, 2001
- 3) Teruo Nakai, Hiromichi Kawano, Kouki Murata, Masaaki Banno and Tadashi Hashimoto: Model test and numerical simulation of braced excavation in sandy ground: influences of construction history, wall friction, wall stiffness, strut position and strut stiffness, Soil and Foundations Vol. 39, No. 3, pp. 1～12, 1999

(原稿受理 2002.1.23)