

深い根切り工事における山留め計測管理システムの適用例

榑熊谷組 原子力開発室 正員 清水昭男 西田栄幸
 正員 西垣和弘 杉本幸司
 小林宏光
 榑熊谷組 電算室 増永利栄 ○ 田 加積

1. はじめに

近年、大規模な山留め掘削工事では、施工中に山留め壁の変形・側圧・切梁軸力等の現場計測を行い、これらの情報を基に、次施工段階以降の挙動を予測し、工事を安全かつ経済的に進める例が多くなってきている¹⁾。これらは計算機・通信・解析技術等の発達に伴い発展してきたものであるが、山留め工事に限らず、様々な現場で情報化施工として一般化しつつある。

本稿では、このような背景を踏まえ、当社が保有する山留め計測管理システム（KOC：Kumagai Observational Control システム）を根切り深さが20mを越える大規模な掘削現場に適用したので、その結果を報告する。尚、本システムでは山留め架構の解析手法として、プレロードを考慮した弾塑性法、地盤定数の推定（現状解析）には実験的回帰分析手法を用いている。

2. システム概要

図-1にKOCシステムの概要を示す。

本システムは、大きく分けて計測工と解析工の2工程から構成され、計測工では、現場で日常管理として得られる計測データを、パソコンを用いて即時処理し、管理基準値と比較しながら安全性の照査を行う。解析工は、各施工段階終了時に送られる計測データより地盤定数の推定（現状解析）、ならびに次施工段階以降の挙動を予測し、必要に応じて対策工の予測・検討を実施する。尚、解析工での現状解析は、計測工で得られる種々の計測データのうち傾斜計による山留め壁の変形量を基本としている。また、その他の計測データは、解析結果の妥当性の確認・検討資料として用いられ、プロッタに出力することができる。

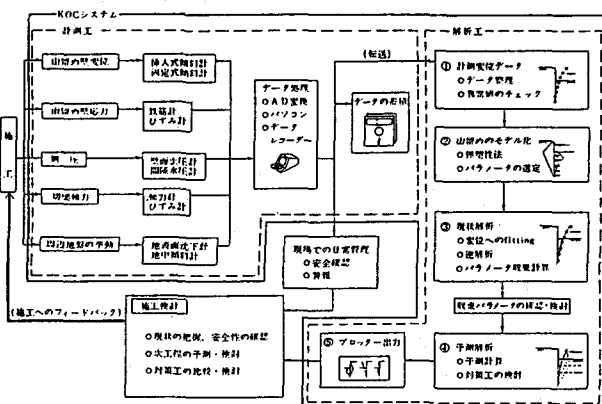


図-1 システム概要

システム全体としては、以上の工程を各施工段階毎に繰り返しながら、合理的に工事の管理・進行を支援するものである。

3. 解析手法

3.1. 山留め解析モデル

現状解析及び予測解析の山留め架構モデルは、根切りによる変形の累積が考慮できる弾塑性法を基本としている³⁾。

また、切梁プレロード導入段階は、プレロード載荷点で集中荷重を受ける弾性床土上の梁を単独で解き、変形ならびに断面力を、前掘削段階の値と合成する手法をとっている⁴⁾。

3.2. 現状解析

未知パラメータとしての地盤定数の推定には、3水準の直交表より、真値を含む範囲を統計的に逐次絞り込む実験的回帰分析手法を用いている。

本システムでの直交表は、パラメータが13個まで扱えるL36を採用している。

図-2に掘削段階における現状解析の計算フローを示す。尚、本システムで扱うことができる未知パラメータは以下の通りである。

- Ka : 主動側圧係数
 - Kp : 受働側圧係数
 - ki : 掘削側第 i 層の地盤バネ定数
 - kb : 背面側地盤バネ定数
- (プレロード導入段階)

4. 適用例

以下に、本システムを実際の施工に適用した結果を述べる。

4. 1. 工事・計測計画概要

本工事は、RC連続地中壁 (l=29.25m, t=100cm) をプレロード支保により、最大深度24.1m まで8段階で根切りを行ったものであり、図-3に地質構成を示す様にGL-21m付近までN値はほぼ0のシルトが堆積する軟弱地盤での工事である。GL-21m以下はN値50以上の固結シルトで山留め壁の支持層である。

計測は、日常管理として管理基準と比較しながら施工の安全性をチェックする目的から、鉄筋計・傾斜計・土圧計・切梁歪計が設置された。傾斜計は挿入式のものを使用し、KOCシステムに必要なデータをパソコンによりデジタル値として自動収録を行った。

4. 2. 解析結果

(1) 解析条件

土質調査結果より、各層の地盤定数は図-3に示す値を初期値として用いた。層区分についてはGL-6m ~ GL-18mの中間シルト層を、孔内水平載荷試験結果を参考に上下2層に分割し、中層部の山留め壁の挙動をできるだけ追従できる様にした。また、主動側圧の分布は設計用側圧と同様、台形分布に単純化した。これは、掘削前の静止土圧分布が深度にほぼ比例して増加する様な、軟弱な粘性土地盤に共通してみられる分布であるこ

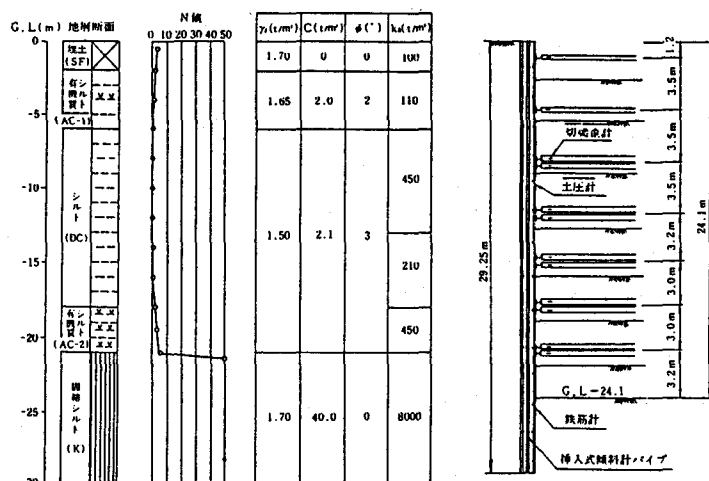


図-3 地盤および山留め架構断面図

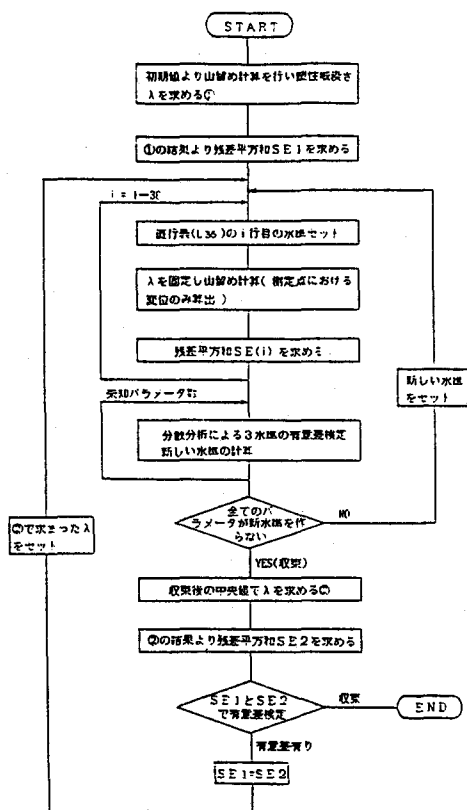


図-2 現状解析計算フロー

とを考慮したもので、予測解析においても同様な形状とした。尚、設計検討時の主働側圧係数は0.6であった。

(2) 現状解析

現状解析における回帰状態の例として、1次掘削時の結果を図-4に示す。図中の傾斜計から求めた断面力は、実測変位を最小自乗法により6次式で回帰し、これを数値微分して求めたものである。

また、現状解析の回帰状態の程度を示す寄与率 ρ は、以下の式によって表され

$$\rho = (1 - Se/St) \times 100 (\%)$$

ρ : 寄与率 (%)

Se : 計測変位と解析変位の誤差変動

St : 計測変位の全変動
($= \sum (U_i - \bar{U})^2$)

1次掘削時には99.8%であった。他の段階においても寄与率はすべて97%以上を確保し、良好な回帰ができて収束した推定値も現実的に妥当なものであった。

次に、パラメータの中で最も不確

定要素の多いと思われる地盤バネ定数について、収束値の推移を図-5に示す。収束値は、2次掘削までの初期の状態では変動が大きいものの、3次掘削以降では安定した結果となった。このうち、下部のシルト層や根入れ部の固結シルト層では、設計時の1.5倍から2倍の値に収束した。また、主働側圧係数は最終的に0.7前後で収束した。

尚、収束までの計算回数は、どの段階においても10回(山留め弾塑性計算は360回)以下であった。

(3) 予測解析

(1)の現状解析で推定された地盤定数を用い、次施工段階以降の挙動を予測した結果について述べる。

図-6は5次掘削、8次掘削(最終段階)時の曲げモーメントを、それぞれ1次掘削及び2段階ブレードから予測したものである。図中の計測値は鉄筋計より求めた値である。尚、全段階を通じての計測最大曲げモーメントは、5次掘削において120tmであった。

同図からもいえる様に、1次掘削から予測した結果は、計測値との間にかなりの誤差が見られた。しかしこれは1段階ブレード、2次掘削と現状解析を繰り返すことによって予測精度が徐々に向上し、2段階ブレードからの予測では図に示す通り、施工管理上ほぼ問題のない良好な精度の結果を得ることができた。2段階ブレード以降に予測した結果は各段階とも大きな変化は見られず、精度の高い安定した予測結果が確保できた。また、図中には参考に設計検討時の曲げモーメントも示したが、計測値と比較すると、最大値で25%程度大きな値であった。

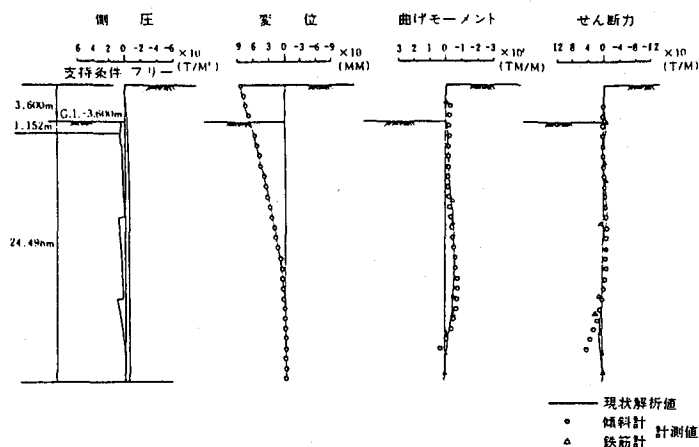


図-4 1次掘削時の現状解析

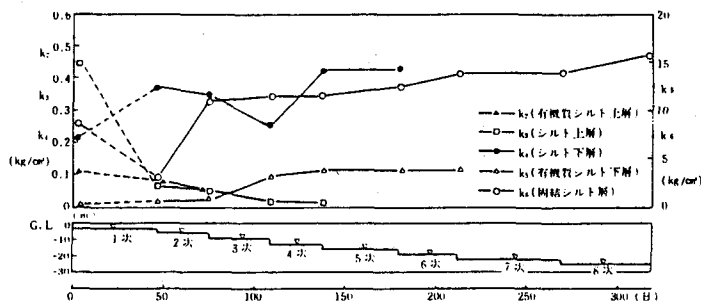


図-5 地盤バネ定数収束値の推移

ちなみに、最終掘削時の変形の予測誤差は1次掘削から予測したものは22%、1段プレロードから予測したものは10%、そして、2段プレロード以降から予測したものは、すべての段階で2%以下であった。

4. 3. 考察

本工事の様なプレロード工法では、山留め壁に作用する側圧が、プレロード載荷の影響により変化することが一般に知られている。現状解析では、このプレロードの影響を受けた後の側圧や地盤バネ定数の推定を行うため、従来の設計検討計算では得ることのできなかつた挙動も詳細に把握でき、信頼性の高い予測が可能になると考えられる。

解析結果では、ごく初期の段階に予測誤差が見られたものの、比較的早い段階で満足のゆく予測結果が得られた。これは、先に述べた側圧や地盤バネ等の地盤定数が、現状解析を繰り返すごとに修正され、予測精度の向上につながったものと思われる。

2段プレロード以降の解析結果は、山留め架構に対して“プレロードを考慮した弾塑性モデル”の妥当性を裏づけるものであり、ならびに本システムの有用性を示すものと言えよう。

5. まとめ

本例では、施工初期段階においては収束パラメータの変動や予測誤差が見られたものの、2段プレロード載荷段階以降は精度の高い予測及び、ほぼ妥当な地盤定数の推定結果を得ることができた。これは、従来あまり試みられなかった切梁プレロード載荷時における計測値を、有効なデータとして扱っていることも大きな要因と思われる。

また、本例の場合、現場での計測値は全工程を通じて非常にうまく収録されたが、この様な情報化施工においては、施工現場での構造物、或いは地盤の動態観測が中心となるため、データの収録が現場の環境に影を受ける。たとえば、計測機器接続端子等の接続不良や断線によるデータの欠落・ノイズによる異常値の観測等が発生する可能性が考えられる。現在のところ、これらの異常値は経験と勘により補正されるケースが多い様である。これらのミスを低減させるため、今後は解析技術のみならず、計測技術もさらに、研究・開発が重要になってくるものと思われる。

参考文献

- 1) 藤田昌一・諸橋伍一・高野孝・佐々木豊・小関楯志：軟弱地盤の大規模掘削工事、土と基礎、Vol.30、No.5、PP13~19、1982
- 2) 内山英夫・越後勇吉・小関楯志：深い掘削工事における現場計測とそのシステム化、土と基礎、Vol.30 No.7、PP25~30、1982
- 3) 清水昭男・仲正博・大田弘・榎島幸博・酒井則宏：山留め解析技術に関する研究と汎用プログラムの開発、熊谷組技報、No.34、1984.2.
- 4) 古藤田喜久雄・風間了・沼上清：切梁プレロードの効果を考慮した山留め壁の解析法（その1）、第17回土質工学会研究発表講演集、土質工学会、PP901~904
- 5) 田口玄一・横山翼子：ビジネスデータの分析、丸善、1975

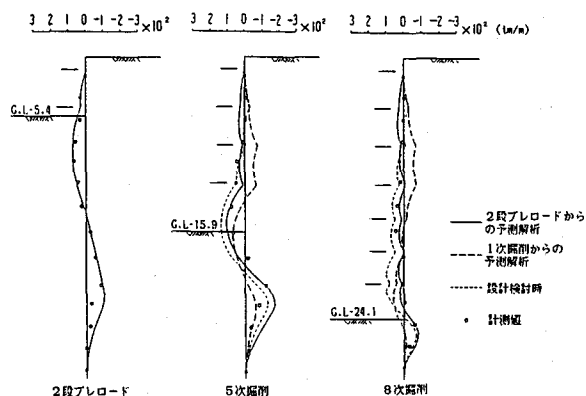


図-6 5次掘削及び8次掘削の曲げモーメント予測