

土留め情報化施工の実施例

An execution Example of Observational Method on Excavation Works

飛鳥建設株式会社 村上清基*

○ 白井 勝*

By Seiki Murakami, and Masaru Usui

土留め工事においては施工管理のために種々の計測器を設置し、測定されたデータに基づいて施工を行なう例が多くなっている。しかし、このような処理を円滑に進めて行くには計測・解析両者がリアルタイムかつシステムティックに行なわれなければならない。当社ではこの様な要求に対応するため「土留め情報化施工システム(TOMAS- α :Tobishima Monitoring and Analysing System- α)」を開発した。TOMAS- α は、現場で得られる計測結果に基づいて、計画・設計段階での不確実性(土質定数および作用外力など)を補いながら、新たに得られる情報(土留め壁の変位、切梁軸力および側圧など)から次段階以降の掘削による土留め構造物の挙動をリアルタイムに予測してゆくことにより、合理的な施工をめざすものである。本文はこのシステムを現場に適用した例について述べたものである。

【キーワード:土留め、計測、システム開発】

1. はじめに

掘削・土留め工事における土留め構造物の設計については、現在数多くの研究が実施されているが、土留め壁に作用する側圧や地盤の反力など不明な点が多く、設計の段階で土留め構造物の挙動を完全に予測することは困難である。このため、大規模な掘削や軟弱地盤における掘削工事においては、土留め構造物などに各種の計器を取りつけて、それらを測定しながら安全性を確認しつつ工事を進めていくという方法が一般に行なわれている。しかし、このような方法では現時点での安全性は確認できても、将来どのような挙動になるかを予測することは難しい。

次段階以降の掘削による土留め構造物の挙動予測を行なうためには、現場で得られる計測結果に基づいて、計画・設計段階での不確実性(土質定数および作用外力など)を補いながら、新たに得られる情報(土留め壁の変位、切梁軸力および側圧など)を

リアルタイムに処理する必要がある。

本報文は土留め情報化施工をシステム化し、実際の現場に適用した例について述べたものである。

2. 情報化施工について

情報化施工とは、広い意味で現場計測を伴う施工についていう場合もあるが、一般的には、現場での計測結果を次段階以降の施工へ即時的にフィードバックさせるシステムをもったもの(コンピュータの利用)を情報化施工と呼んでいる。

土留めの設計は、現場で採取された試料について実施される各種の土質試験および原位試験などから得られる土質定数に基づいて行なわれる。しかしながら、これらの土質定数は地盤の全体的な性質を示すものではなく、ある1点のデータであること、また砂質地盤およびレキ地盤などでは力学特性を直接求めることが困難であり、N値などからの推定値を設計時の力学特性値(設計条件)として用いるのが一般的であり、実際の地盤の特性値とは異なっている場合もある。また、作用外力としての側圧は、地盤と土留め壁との相互作用に関連して、掘削方法、

* 技術研究所 地盤研究グループ

(〒270-02 千葉県東葛飾郡関宿町木間ヶ瀬5472)

掘削手順、切梁設置時期および土留め壁の変形による土圧の再配分などの影響を受けるとされている。

このようなことから、掘削工事に際しては「掘ってみなければわからない」というのが現場技術者の実感であろう。すなわち、掘削の進行に伴い、その時々において現場技術者は適切な状況判断が要求されることが多く、現場計測は技術者の判断資料となる定量的なデータを提供してくれるという意味において重要なものである。

現場計測の一つの目的は、施工中に得られる実測値を設計上の許容値と対比させることにより工事の安全性を管理することにある。情報化施工は、これをさらに一步前進させ、計測によって得られた新たな情報を即時に施工に反映させ、設計段階での不確実性を補いながら、より合理的で安全な施工をめざすという目的を持っている。情報化施工では、実測されたデータを用いることにより、より確かな次の掘削段階での土留め構造物の挙動が予測でき、より合理的な施工管理が可能である。

土留め情報化施工システム（TOMAS- α ）は、



図-1 土留め情報化施工システム構成図

自動計測およびデータの図表化処理の計測システムと、逆解析および予測解析の解析システムから成っている。その構成を図-1に示す。

本システムによる施工管理の流れは、図-2に示すようである。

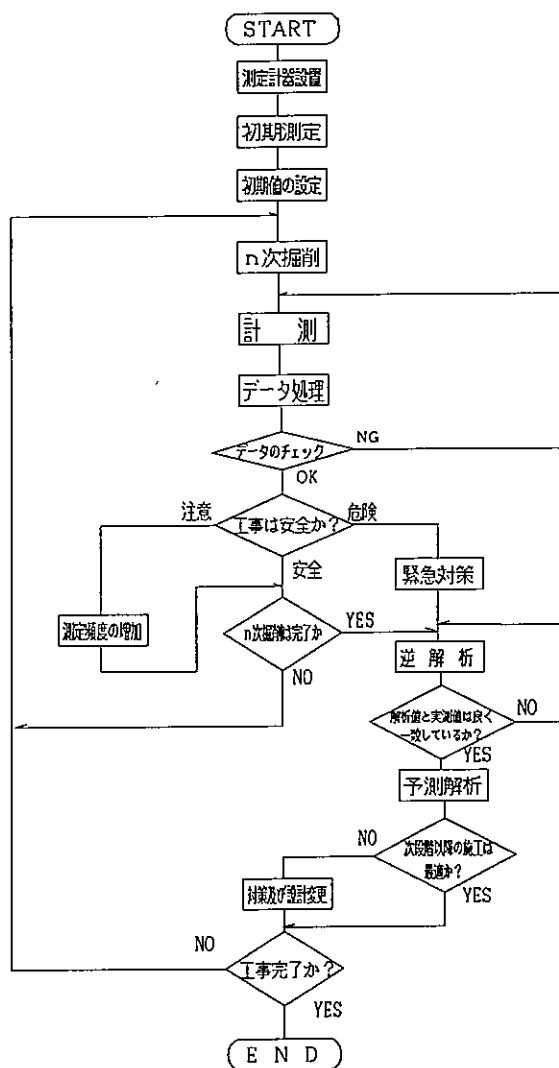


図-2 施工管理フロー図

3. 計測システム

計測は自動計測を前提としているが、挿入式傾斜計等、自動計測を行なうことが困難であるものについては手動計測によりデータを処理している。ただし、データロガー等を使用して、できる限り自動入力するように努めている。また、計器メーカーにより計測処理方法やファイルのフォーマット等が異なっているが、全て当計測システムの圧縮フォーマット（索引順編成ファイル）に変換して処理を行っている。

本システムの利点としては次のことが挙げられる。

- ① 定時的な計測だけでなく、常時計測態勢がとれるとともに、施工の安全性の確認を迅速に行なえる。
- ② 計測管理の省力化が行なわれ、数百点の計測管理もわずかな計測員によって実施が可能になる。
- ③ 計測データは即時に図表化されて、施主への提出資料としてそのまま使用される。
- ④ 計測データは集積されることにより設計にフィードバックでき、今後の設計・施工の資料として役立つ。

4. 解析システム

解析システムは計測システムより得られたデータ（主に変位）に基づいて逆解析を行い土質定数や作用荷重を求める。さらに、この逆解析により得られた結果を用いて将来予測を行なうものである。

このシステムによる解析手法は弾塑性拡張法¹⁾・新弾塑性法^{2) 3)}・有限要素法を単独もしくは組み合わせで行なう。なお、逆解析手法は格子探索法とシンプレックス法を用いたもので

$$\varepsilon = \sum (u_i - U_i)^2$$

ε : 残差平方和

u_i : 計測値

U_i : 解析値

を最小にするパラメータを探索する。

土留めにおいて逆解析を行なう際、未知のパラメータとして扱うものには作用荷重・地盤バネ・C・ ϕ ・静止土圧係数等がある。

5. 実施例

(1) 概要

本工事は、平面形状約80×40m、掘削深さ約25mという大規模な地下工事を、土留め架構として鉄骨式連続地中壁（壁長約50m・壁厚1m）および鋼製切梁（5段または7段切梁）工法で実施した。

地盤条件は非常に軟弱な沖積層（シルトと砂の互層）が40m以上と厚く堆積しており、地下水位もT.P.-1.0m前後と高い。さらに、掘削位置周辺には管廊、流入管および排水溝などの埋設構造物が近接しているという、掘削規模・地盤条件および周辺状況ともに厳しい条件下にある。

施工に当たっては、設計上の不確定な要素および土層構成の複雑さなどを補い、不測の事態を未然に察知するために、各種の計器を用いた現場計測を行ない、実測データを設計・施工に即時的にフィードバックする計測管理（いわゆる情報化施工：TOMAS- α の適用）を実施した。

(2) 計測項目

本工事で実施した現場計測の項目は、以下のとおりである。

a) 鉄骨式連続地中壁土留め部

- ① 連続地中壁に作用する側圧の測定（背面側、掘削側）
- ② 連続地中壁に作用する水圧の測定（背面側、掘削側）
- ③ 連続地中壁の応力（曲げひずみ）の測定
- ④ 連続地中壁の変形測定
- ⑤ 連続地中壁の頭部変位量の測定
- ⑥ 切梁軸力の測定
- ⑦ 切梁の温度測定
- ⑧ 掘削側地盤のリバウンド測定

b) 周辺地盤及び周辺構造物等

- ⑨ 周辺地盤の地中水平変位の測定
- ⑩ 周辺地盤の地表面沈下の測定
- ⑪ 周辺地盤の地表面水平変位の測定
- ⑫ 流入管の頭部鉛直・水平変位の測定

- ⑬ U字側溝の頭部鉛直・水平変位の測定
- ⑭ 管廊の頭部鉛直・水平変位の測定
- ⑮ 管廊ジョイント部の開き測定
- ⑯ 掘削面内の地下水位の測定
- ⑰ 連続地中壁背面の地下水位の測定

(3) 計測要領

計器類は主計測断面4測点と周辺構造物を中心に設置した。代表的な配置を図-3に示す。

今回の現場計測に当たっては、測点数が約300点と多いことから、図-4に示すような自動計測システムを採用し、計測・データ処理時間の短縮および計測管理・解析の迅速化を図った。

なお、図表化処理例を図-5, 6に示す。

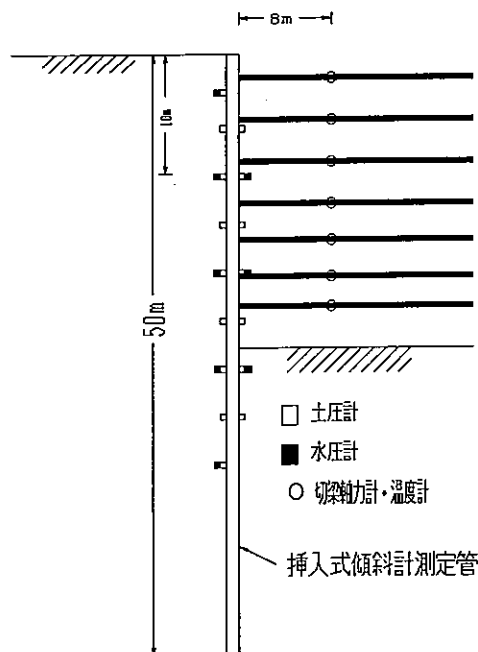


図-3 計器配置図

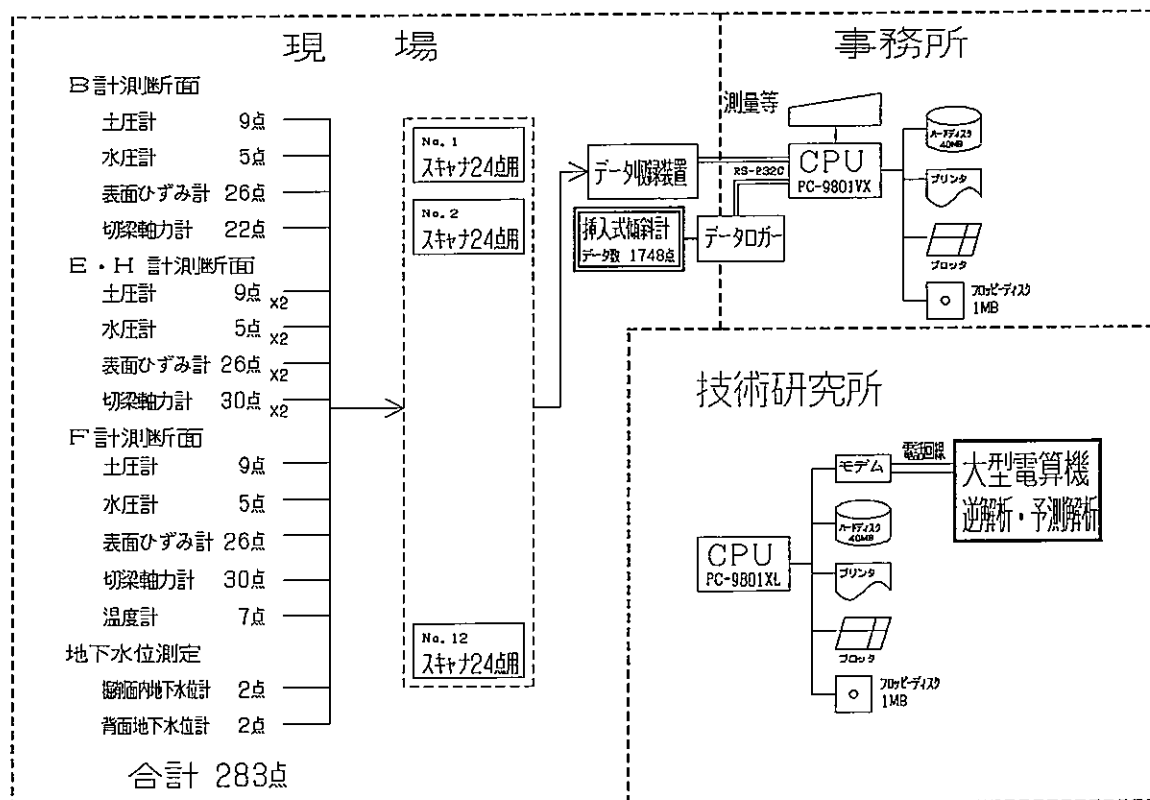


図-4 計測システム図

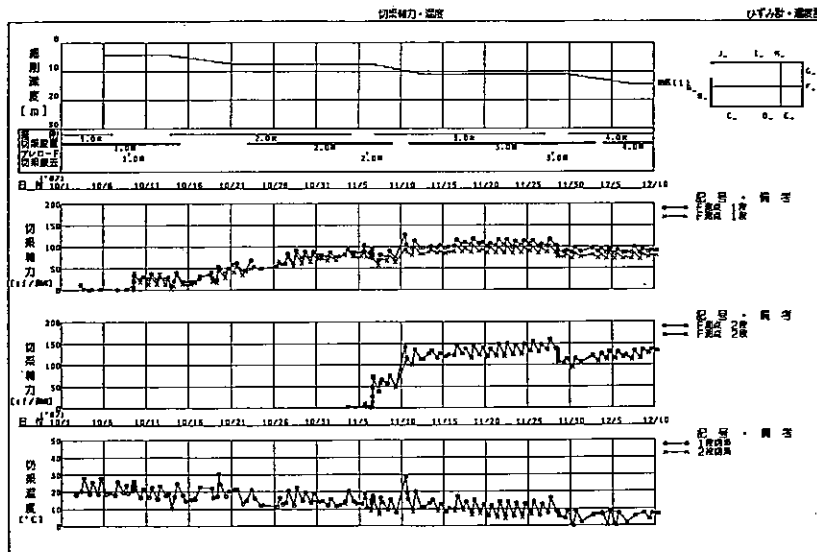


図-5 図表化処理出力例(切梁軸力)

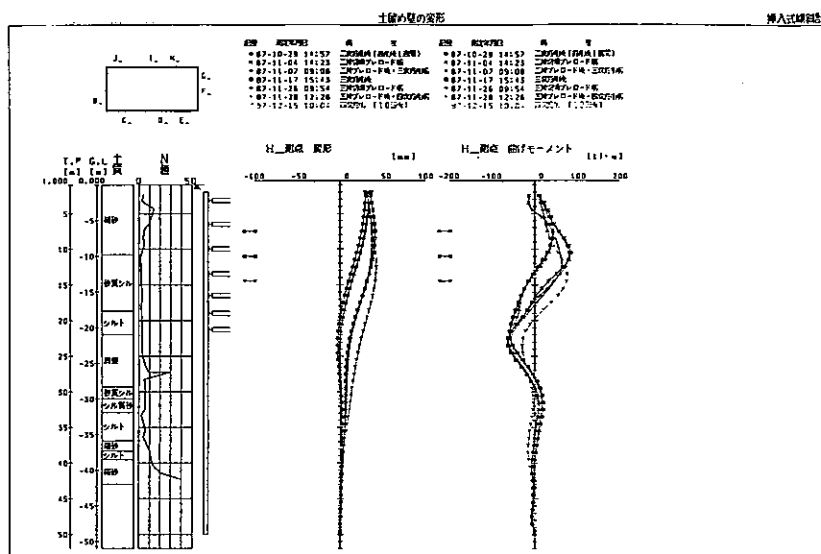


図-6 図表化処理出力例(挿入式傾斜計)

(4) 計測管理

工事の安全管理は、毎日の計測によるチェック(日常管理)と掘削毎の安全性の検討(予測管理)により行なう。日常管理は、実測値とあらかじめ設定する管理基準値との比較により現時点での工事の安全性を確認するものであり、管理基準値と同程度も

しくは、それ以下のときは掘削を続行する。管理基準値より大きい場合、または異常と判断した場合および各次の掘削終了時には、それまでの計測値を分析し、土留め壁の挙動を把握した上で、解析に必要な土質定数などの各種パラメータを導き出し(逆解析)、将来予測(予測解析)を行なう。予測管理は、予測値と管理基準値との比較により次段階から最終段階までの工事に対する安全性を事前に確認するも

のであり、その結果に基づき、次段以降の掘削の可否、対策実施および設計変更の要・不要等を判断する。

逆解析・予測解析は、弾塑性拡張法を用い、主計測断面（4測点）において各次掘削後および各段ブレード導入後に実施している。

逆解析の方法は変形に着目し壁体にかかる荷重を既知として掘削側のバネ値・ $C \cdot \phi$ 等を求めた。

なお、逆解析および予測解析結果の例を図-7、8に示す。

6. おわりに

以上のような計測管理により難易度の高い掘削工事を無事完了することができた。

今後は予測精度を高めるためデータベース（2次処理データ）の構築をさらに進め、AIによる解析も実施して行きたい。

【参考文献】

- 1) 中村・中沢；掘削工事における土留め壁応力解析、土質工学会論文報告集、Vol. 12 No. 14 1972. 12
- 2) 森重龍馬；地下連続壁の設計計算、土木技術、Vol. 1. 30 No. 8 1975. 8
- 3) 米田・津田他；連続地中壁とアンカーによる大規模山留め壁の挙動、第17回土質工学研究発表会講演集、p785～788、1982. 6

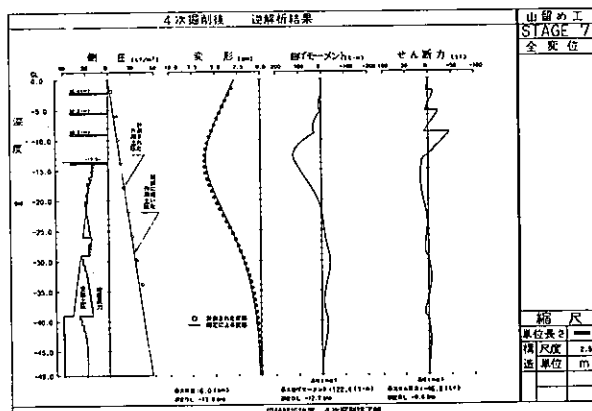


図-7 逆解析例

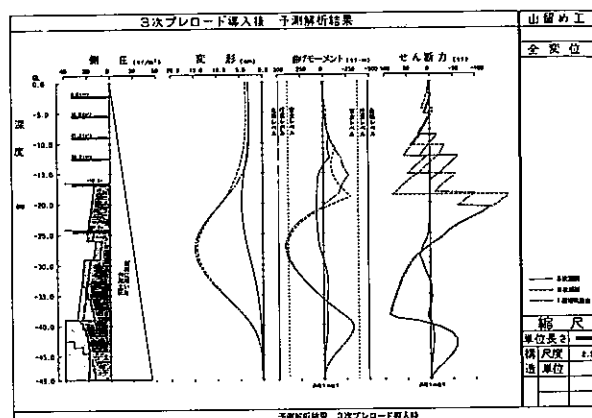


図-8 予測解析例