

A I を利用した山留め施工支援システム

Artificial Interigence In The Construction Of Re-
-taining Walls

五洋建設㈱ ○ 菊地正俊
結城知史

by Masatoshi Kikuchi, Tomofumi Yuki

掘削工事では、大規模大深度構造物への対応、地盤条件・周辺環境からの制約等、施工条件の悪化への対応から、情報化施工を取り入れるケースが増加しており、特に施工管理を目的とした計測管理が、重要視されている。

掘削工事における計測管理は「現状管理」、「予測管理」の二つの管理に分類され、設計時の不確定な様々の要因に対して、実際の壁体の挙動を定量的に把握し、工事の安全性を確認しながら施工を進める為に実施される。

今回開発を行った山留め施工支援システムは、既存現状管理機能に加えて山留め架構時に行われる山留め材の変状および、土圧作用状態等の計測データをもとに次段階掘削時の山留め部材や周辺地盤に対する安全性を予測するシステムであり、従来、熟練担当者によりトライアルで行われていた逆解析・予測解析に、A I / エキスパートシステムによる知識処理を導入して判断の自動化を行い、山留め予測解析業務における一般技術者の意志決定支援・対策工法シミュレーションを迅速に実施することで、急速安全施工を可能にするものである。

[キーワード：施工管理、情報化施工、エキスパートシステム]

1. はじめに

山留め壁の設計及び計画の立案時に、現地の土質常数や施工手順等様々な条件を的確に評価して計画を行っていくには限界があるが、施工段階ではこれら不確定要素を残したまま工事が実施されるため、安全施工・迅速施工に対して影響を及ぼす不測の事態が懸念される。

本システムのねらいは、これらの事態を未然に防ぐため、適切な工事管理情報を迅速に施工へ反映することを目的として開発を行った。

そこで、工事担当者は本システムの支援により、各施工段階で変化する山留め架構の状態を分析しつ

つ、次段階予測の結果を考慮しながら安全施工を実施することが可能となった。

2. 本システムの構成

本システムは、施工に伴い時々刻々と変化する山留め架構や周辺環境の変化を、主として現場内で管理する現状管理と、これらの計測データに基づいて次段階施工に対する状態の変化を事前に予測し、管理する予測管理の二つの機能を持っている。

(1) 現状管理機能

図-1 に示すように現場においては、パソコンを中心とした自動計測管理システムにより、測定・デ

ータ処理・図化处理等を行って即座に実測値と管理基準値とを比較し、現状での安全性を確認する管理を行う。

(2) 予測管理機能

図-1に示すように前記処理と並行して、現場に設置したホスト端末より本社大型電算機にオンラインし、計測結果・施工情報を対話形式で入力し、予測管理のシステムを利用することにより、次段階以降の安全性確認が行われる。

予測管理は、計測結果をもとに現時点での変位・応力状態から、不明確であった地盤の物理定数を推

定するフィッティング処理と、これにより推定された地盤定数等を利用して、次段階以降の山留め壁に発生する変位・応力を解析する予測解析処理からなる。

通常、フィッティング処理・予測解析は各段階掘削が開始される前の時点で実施し、次段階施工に活用する。

図-2には山留め施工管理に関わる管理業務フローを示す。

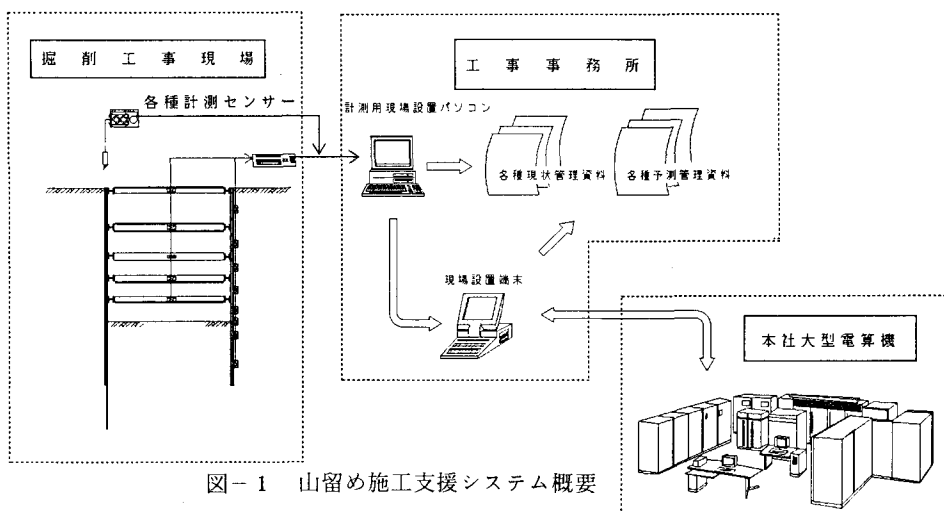


図-1 山留め施工支援システム概要

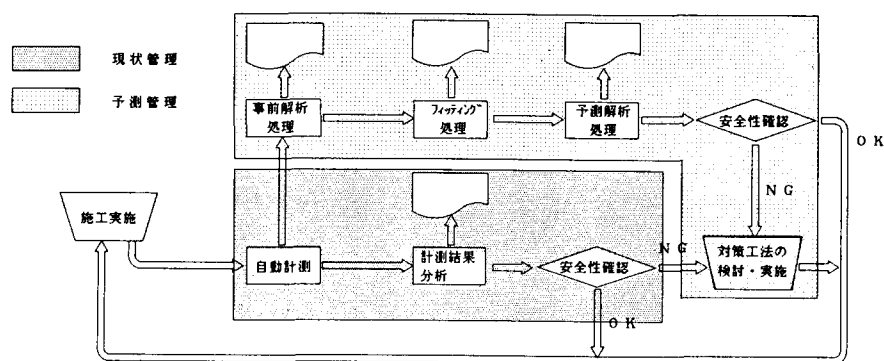


図-2 山留め管理業務フロー

3. 開発の背景

(1) 危険な兆候の事前予測と事故防止

山留め設計に用いる物理定数は、調査の段階でかなりの不確定要素を含んでおり、不均一な材料であ

る地盤を設計者の判断のもと、均一材料として取り扱われる。

特に、山留めに作用する側圧は、土質構成のみならず、山留めの剛性や山留め規模・地下水の排水条件・山留め壁架構条件・掘削手順等によりかなり変

化するが、これらの条件の詳細について設計の段階で考慮をすることは、不可能に近い。特に根切り面以深の土圧については不明な点が多く、不確定要素の多い地盤の条件や、定量化しにくい要素を含んだまま設計がなされるため、設計で想定した状態と現実が異なる可能性があり、その結果不測の事態が生じる恐れがある。

本システムは、これらの不確定要素に対して、専門家から抽出したフィッティング処理のノウハウを利用して逆解析を行い、事前に危険な兆候をキャッチして現場への有効な情報のフィードバックが可能となる。

(2) 工程のスムーズな進捗

施工を実施するにあたり、重要な使命として前述の安全性に加えて迅速性の要素があげられるが、施工を迅速に行ううえで重要なことは、精度の高い次段階予測を迅速に行うことである。予測管理の分析処理スピードは、次段階施工における資機材の調達・実作業手順の検討に重要な要素として関わる。

本システムは、次段階予測結果の迅速な現場へのフィードバックにより、施工のスムーズな進捗管理が行える。

(3) 技術情報の蓄積

掘削工事における施工計画の立案作業において、工事実績の分析は施工計画に重要な要素となる。

特に地盤条件、地下水条件等は地域的に特殊性をもっており、過去の工事履歴情報を保存し、活用する要求が多い。

本システムは工事に関する情報を工事名称および項目毎にデータベース化して自動的に蓄積し、分析加工することにより過去の実績、統計情報を収集することが可能である。

(4) 弾塑性解析業務の標準化

従来より利用していた弾塑性解析プログラムは、ホストコンピュータによるバッチ処理が中心となっており、実行環境の設定やデータの作成、境界条件の設定等にホストコンピュータに関するノウハウを必要とし、一般技術者が手軽に利用できる環境が切望されていた。

本システムは対話形式であること、またエキスパートシステム（以下E S）が解析条件に適した実行環境や解析データを自動生成し結果に対する評価を加えて利用者に提示してくれるため、特にホストコンピュータに関するノウハウを必要としないばかりでなく、データのパンチミス等による解析ミスの防止が可能となった。

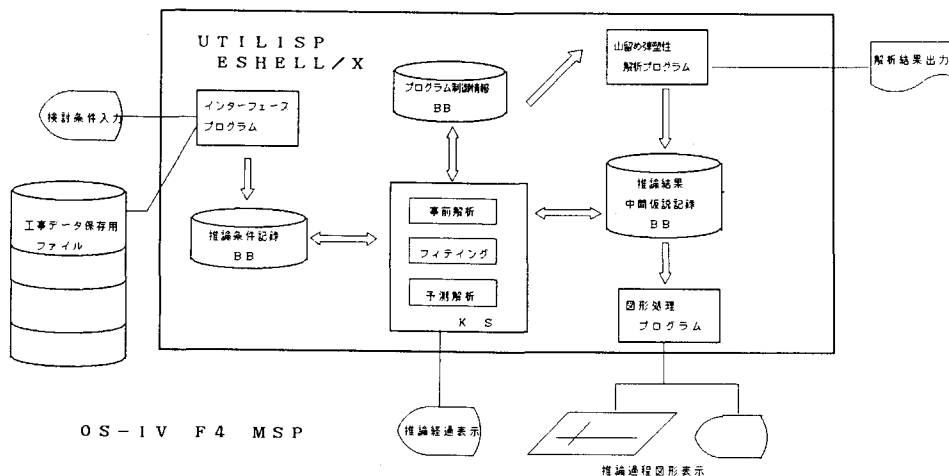


図-3 ESシステム構成

4. 予測管理におけるAIの適用

近時急増する情報化施工のニーズから、予測解析業務が経験を積んだ技術者に集中するといった事態が生じている反面、対象となる工事に対しては、熟

練技術者においても、予測解析までを実施するには1掘削ステップに3～4日程度必要となることから現場において、迅速な対応を行ううえで支障をきたす恐れがある。

以上の問題から当社では、予測管理の各フェーズ

に知識処理を導入し、予測管理業務における様々な判断・解析処理業務をコンピュータに肩代りさせ、担当技術者の負荷を低減させることを可能にした。

本システムはE S 化手法の生成検査法(Generating and Testing method)を適用した。これは最適解に到る中間仮説が一次的に定まらない場合、ある時点で考えられる仮説候補を生成し検証しつつ絞り込みを行うといったテーマに適するとされる。

本システムでは熟練技術者より抽出した様々な経験的判断知識を仮説生成および仮説検査ルールとして利用し、その間のトライアルをE S がコントロールすることにより最適解の絞り込みを行っている。

そこで予測解析業務における解析技術に必要なノウハウの支援を受けることで、一般技術者による迅速な処理が可能になった。以下に各フェーズ毎の処理概要を説明する。

(1) 事前解析フェーズ

設計条件(前段階のフィッティング処理)に用いた解析パラメータをもとに、今回対象となる弾塑性解析用データを自動生成し、プログラムを起動させる。

入力された計測結果を最適解として、上記解析結果との間に差異が発生した場合、差分値・発生ヶ所や発生原因を分析し、これらに対する仮説を生成する。

(2) 補正フェーズ

発生した差異の状況が壁体変形量・曲げモーメント・切りばり軸力のうち、どの要素に起因するかを認識し、以後の処理手順の立案を行う。

事前解析で生成した仮説に従い、最適解へ近づくために変更すべき解析パラメータの選択を行う。

解析パラメータの変更ヶ所・変更量・変更方法を決定する。パラメータの変更量が一般的な解析パラメータとして整合性のとれた値であることの評価を行う。(各解析パラメータの標準値および上下限値はフレーム型知識ベースに記録されており、適宜これを検索することでパラメータ変更時の整合性をチェックする)

(3) フィッティングフェーズ

仮説にもとづきフィッティング処理を行う。変更ヶ所が複数の場合その優先順位を決定し、優先順位に従って解析パラメータの変更を行う。

変更された解析パラメータを用いて、今回対象となる構造条件をもとに弾塑性解析用データを自動生成し、弾塑性解析プログラムを起動する。

前記解析結果と計測結果の差異を再度分析し、仮説の生成・補正フェーズを必要に応じて繰り返し計測結果と解析結果の適合度を高める。フィッティングにより変更したパラメータの履歴は逐次ファイルに保存され、利用者の要請に従って出力される。

さらにフィッティング処理の終了・続行・ユーザーの介入要請の判断を行う。

(4) 予測解析フェーズ

フィッティング処理終了時の解析パラメータをもとに、クリープ変形による側圧を考慮した次段階施工時の弾塑性解析用データを自動生成し、弾塑性解析プログラムを起動する。

次段階予測解析結果にもとづき山留め材の変形・応力を管理規準値と比較し、安全性の判定を行う。

もし安全性に問題がある場合、担当者の検討結果にもとづく補強、補助工法の妥当性評価のシミュレーションを行い、問題点の除去にあたる。

写真-1～6には本システムで入力・確認等に利用する画面例を紹介する。

5. システムの適用範囲

以下に本システムが利用可能な山留め適用範囲を示す

(1) 対象山留め壁種類

鋼矢板壁	鋼管矢板壁	鋼管矢板井筒
S MW壁	連続地中壁	

(2) 最大掘削深度

70 m程度

(3) 最大切りばり段数

20段

(4) 適用土層数

20層

6. 本システム適用による効果

(1) システムの効果

一般技術者に対しては熟練技術者のノウハウの提供を、熟練技術者に対しては煩雑なトライアル業務

画面番号 051 施行段階入力画面 表示内容の修正は可能です

バット(N)	1 掘削 2 切戻設置 3 撤去 4 盛装設置	施工(設置 撤去) 深度 m	施工 実施年 月日	計測 実施年 月日	ブレード 載荷値 ton
1	1	2.50	1988.0909	1988.0911	2.20
2	2	2.61	1988.0910	1988.0916	
3	2	5.90	1988.0920	1988.1001	
4	1	8.60	1988.1001	1988.1002	
5	2	7.10			
6	1	11.20			
7	2	10.60			
8	1	14.90			
9	2	13.05			
10	1	17.10			

注) ブレード載荷値は切りばり設置時のみ入力
PF 7 前面面表示 PF 8 次画面表示
実行キー 次処理 表示画面選択

写真-1 処理条件入力確認画面
(施工順序および時期の入力)

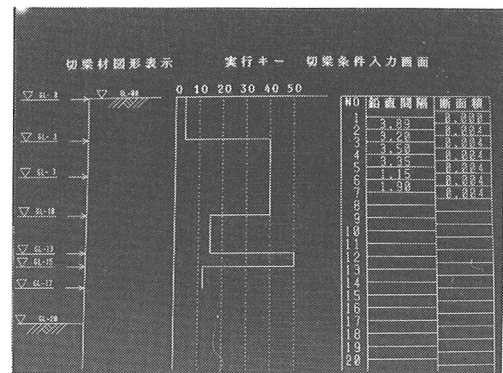


写真-2 処理条件確認画面
(切りばり位置・地盤状態の確認)

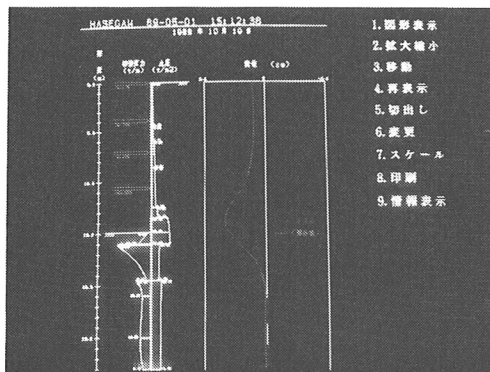


写真-3 フィッティング処理中の
壁体変形量表示画面

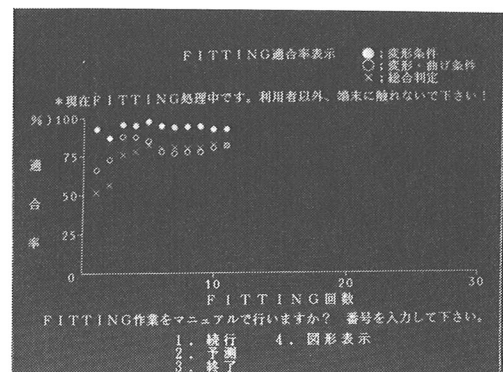


写真-4 フィッティング処理経過
の推移の表示画面

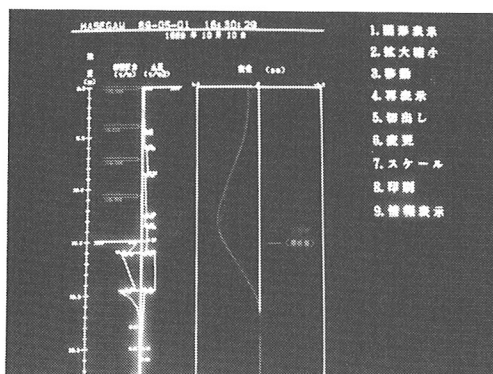


写真-5 フィッティング終了時の
壁体変形量表示画面

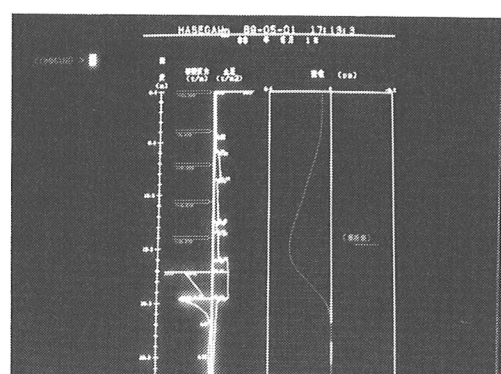


写真-6 次段階掘削時の壁体変形量
予測結果表示画面

からの解放といった2つの効果が期待できる。

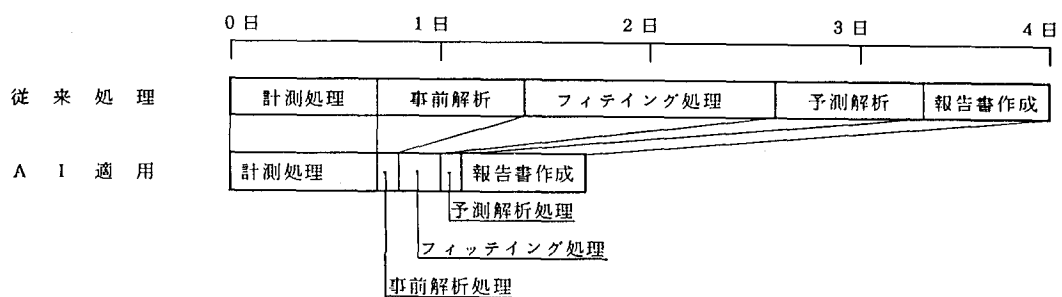
さらに本システムは、フィッティング・予測解析の各フェーズの任意時点から推論を中止し、従来のマニュアル操作による処理を実施することが可能であるため、特に熟練技術者において効率的運用が期待できる。

また、図形表示機能の充実により解析経過・結果を視覚的にとらえることができ、的確な判断が可能となる。さらに、今後増大が予想される情報化施工

に対して、特化した技術者に対する負荷を軽減し、現場状況に即応した精度で、安定した施工管理情報の提供が期待できる。

（2）処理時間短縮による効果

図－4に示すように、従来業務による予測管理に比べてトライアル処理、解析用プログラムのデータ作成の自動化によりフィッティング処理・予測解析に関わる解析業務の大幅な省力化を実現できた。



注）上記処理時間は掘削1ステップに掛かる処理時間とする。

図－4 ESシステムと従来処理との比較

7. おわりに

今回開発したシステムは、センサー情報を対象とした点や既存のシステムのコントロールを行うといった様々な要素技術を実用化することを目的として開発されたもので、今後センサー情報処理のES化あるいは既存システムのESコントローラとして充分期待がもてる。

また本システムは今後発生する山留め新技術への対応、予測管理精度の向上、ドキュメントの品質向上等の改良を行い、加えて、施工技術の発展に追従していけるよう改善していく方針である。