

汎用型山留め・地下水情報化施工管理 システムの開発

Development of Realtime Construction control System
for Excavation works with Seepage

(株)熊谷組 大田 弘
吉本豊彦
○生駒尚己
(株)計測リサーチコンサルタント 加登文士
大形 誠
宮本則幸

By Hiroshi Ohta, Toyohiko Yoshimoto, Naoki Ikoma
Yoshihito Kato, Makoto Ogata, Noriyuki Miyamoto

すでに「土木学会第6回建設マネジメント問題に関する研究発表・討論会」で発表したとおり¹⁾、筆者らは様々な現場条件に対応できる汎用型の情報化施工ネットワークシステムの開発を進めており、さきの「斜面情報化施工管理システム」に続いて、このたび「山留め・地下水情報化施工管理システム」の開発を完了した。本システムは、可能な限りの汎用性を追求した現場計測機能に加えて、山留めや地下水の挙動解析・予測・通信システムなどの技術支援機能を組み込んでおり、一連の情報化施工ネットワークシステムとして基本的な形態の完成を見たものと考えられる。一方、このようなシステム構築の進展が、施工マネジメントという視点でどのように位置づけられるのか、あるいは見失っている問題点はないのか、振り返って検討することもあるいは意義深いことと思われる。本文では上述のコンピューターシステムを紹介するとともに、これを情報化施工の本来的な目的に照らして検討し、その妥当性を見だし、システム運用の留意点を指摘した。

【キーワード】 システム開発、施工支援、施工管理、情報化施工

1. はじめに

近年ウォーターフロント開発やジオフロント開発などの大規模プロジェクトが展開されている。これらの開発には山留め掘削工事が重要な役割を果たしており、その規模も大深度化かつ大型化してきている。

一般に大規模な山留め掘削工事を行なうにあたっては、工事着手前の調査・設計のみで対処しようとした場合、不確実な要素の多い自然地盤を対象としているため、安全率が大きくなり過ぎて不経済な設計となったり、逆に危険側の設計となり思わぬ事故を引き起こしたりする場合がある。また、山留め掘削工事を安全にかつ経済的に行なうには、地下水の問題にいかに対処していくかが重要となる。山留め

の事故の多くが地下水に原因している事実をみてもこのことが言える。

これらの問題に対処するためには、施工中の計測結果を基に設計を修正しながら工事を進めていく、いわゆる情報化施工が効果的である。しかし、情報化施工を行なうにあたっては、①現場ごとに計測規模や管理方法などが異なるため、既存のシステムでは汎用性に欠ける。②現場ごとに適したシステムに改良するためには、費用がかなりかかる。などがしばしば問題となる。

そこで、筆者らは従来の情報化施工のありかたを見直し、様々な現場条件に対応できる高度汎用型の

「山留め・地下水情報化施工管理システム」を開発した。

2. システムの概要

(1) 情報化施工ネットワーク

図-1は、筆者らが進めている情報化施工ネットワーク構想であり、今回、「盛土工」の部分を除いたシステムが完成した。平成元年中に全システムが完成・運用開始される予定である。

図に示されるように、国内の主要な土木建設工事の殆んどすべてについて情報網を張り、統一的に技術支援体制を整備しうるものでこれによって、本社に蓄積されたノウハウがリアルタイムに個々の現場の施工マネジメントに利用可能となった。

(2) ハードウェア構成

ハードウェアの構成を図-2に示す。施工現場で使用するセンサー、測定器をはじめ、測定器と現場管理事務所間の通信手段、処理システム、本社への通信手段などは、それぞれ、現在市販されたり、公的に利用可能となっているものは殆んど結合可能である。

(3) ソフトウェア構成

ソフトウェア構成を図-3に示す。OSはMS-DOSとし、計測制御や計測情報の作図・作表などの出力は、会話形式で実行しやすいことや、オプション機能の追加等のメンテナンスの容易さを考慮してBASICインタプリタで記述した。

一方、山留め弾・塑性解析や地下水挙動解析などは処理スピードを考慮して、FORTRANで記述している。

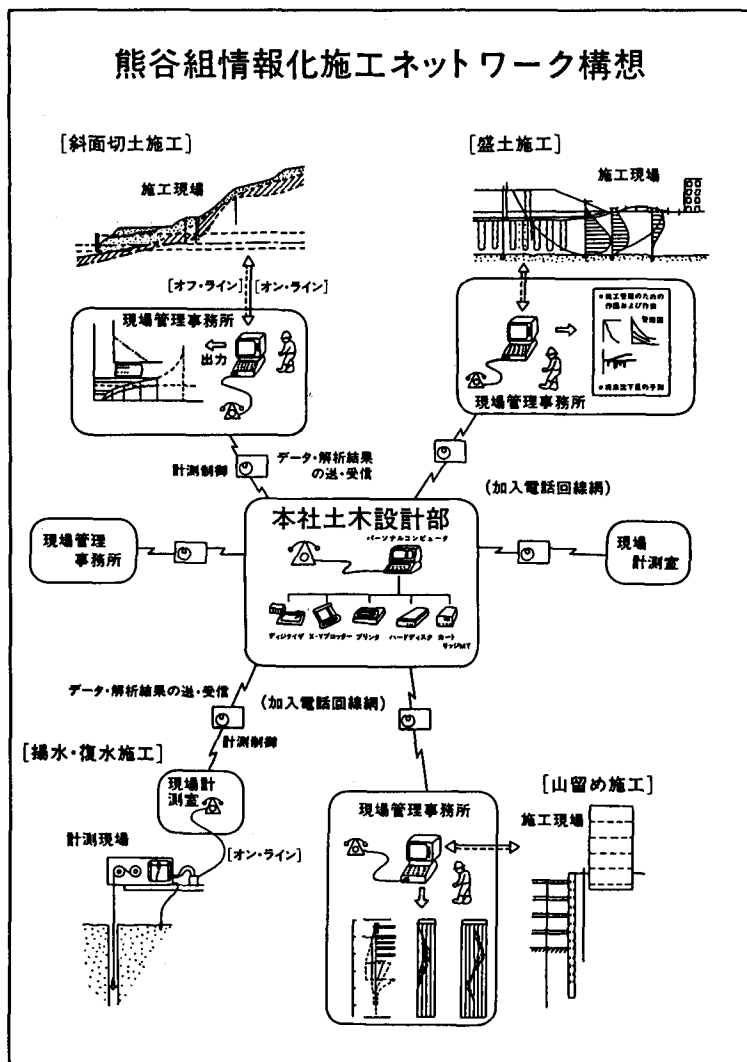


図-1 情報化施工ネットワーク構想

3. システムの特長

システムの特長として以下の事項が挙げられる。

①高度な汎用性：計測器メーカー、計測規模などに関係なく適用可能なように高度な汎用性を持たせた。

②パソコン通信可能：従来、現場において計測・解析されたデータは、郵送・ファクシミリ等により本社に伝送されていたため技術判断までの時間ロスや情報不足による問題が生じるケースもあった。そこで、電話回線を利用したパソコン通信機能を持

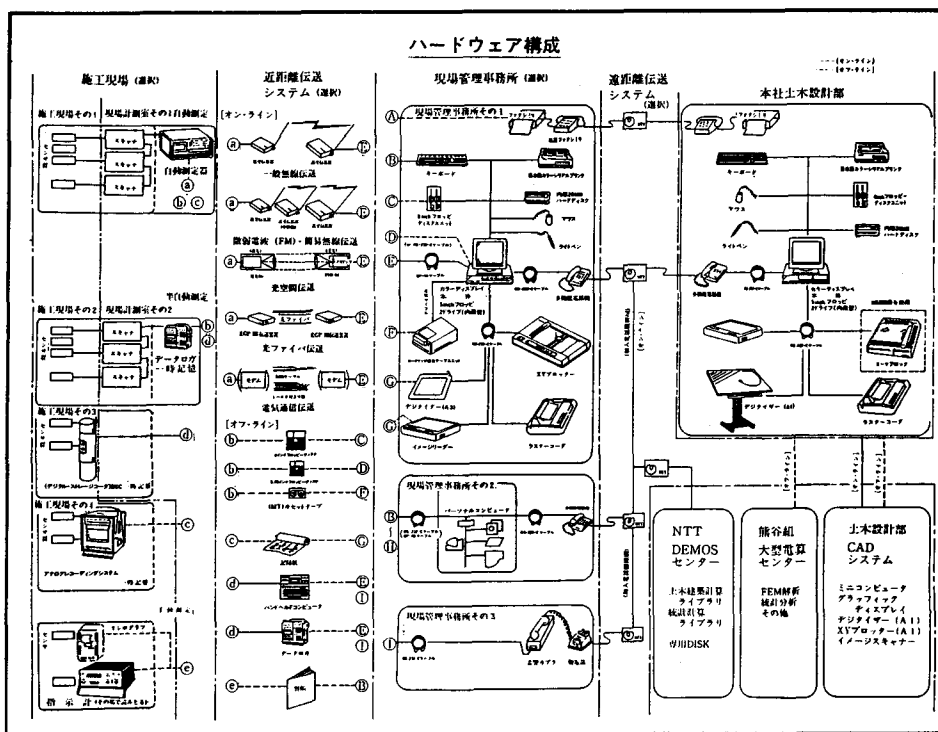


図-2 山留め・地下水情報化施工管理システム概要（ハードウェア）

たせ、迅速なデータ伝送を可能にした。

③解析機能：山留め掘削工事、および地下水関係工事の情報化施工を進めるうえで必要な解析機能を持たせた。地下水解析機能の中には、イ) 二次元地下水解析プログラム、ロ) 準三次元地下水解析プログラム、ハ) 地下水低下に伴う圧密沈下プログラムを組み込んだ。イ)、ロ) と ハ) は、連動計算が可能であり、解析作業の迅速化・効率化が図られる。

（図-3、4参照）

④地下水試験・計測機能：地下水低下工法などの検討に当たっては水理定数を正確に把握することが重要となる。そこで、地下水試験（揚水試験、注水試験）が可能な機能を持たせた。また、地下水関係の計測は、特にリアルタイム管理が重要となるため、任意計測値のCRT画面へのリアルタイム表示機能を持たせた。CRT画面への出力形式はユーザーが任意にレイアウトすることができる。

（写真-1参照）

⑤汎用型の出力機能：XYプロッター、CRT画面の出力形式としては、ユーザーが任意にレイア

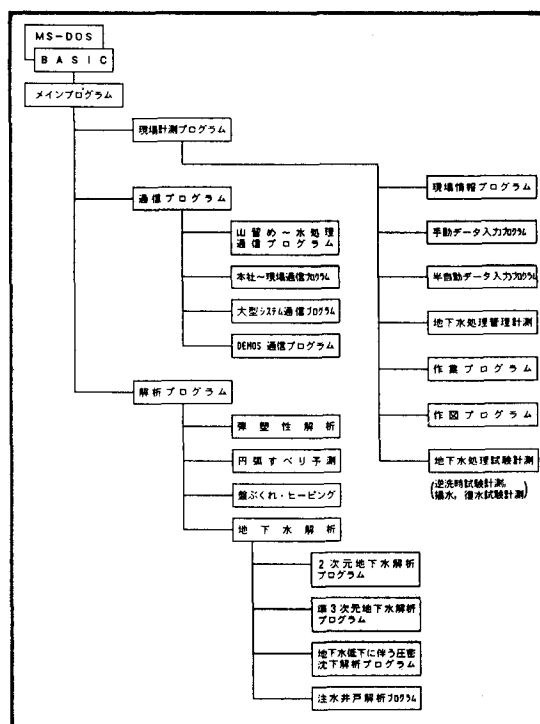


図-3 ソフトウェア構成

ウトすることが可能なように、高度な汎用性を待たせた。(図-5参照)

⑥対話型入力機能：システムやコンピュータに対する知識が少ないユーザーでも利用可能なように、極力対話型の機能を持たせた。

4. 施工マネジメントからみた本システムの意義

(1) 施工マネジメントシステムとしての情報化施工管理システム

加登²⁾は、施工マネジメントシステムとして情報化施工が注目され、発展してきた要因として、①建設(とくに土質・基礎)の問題に本質的に内在する不確実性の認識、②計測器等の現場観測手段の発展、③観測データの情報処理手段の発展という3点を挙げている。図-6は施工を好ましい結果が得られるように制御するための一連の情報化施工の流れとしてシステムの概念を示すもので³⁾、本文で紹介したシステムは、図中の「コンピューターシステム」の部分にあたり、さきに述べた3要因のうち③に関するものである。しかし、このようなシステムを開発するにあたって、単にこの部分のみの機能を拡大することを考えても全体の整合性を無視しては望ましい情報化施工のシステムは完成し得ない。

(2) 不具合発生確率の減少

情報化施工では潰滅的な破壊は確実に防止するものとして、例えば、部材が許容曲げモーメントを越えるような状況になるなど、いわゆる「不具合の発生」というレベルで、その発生確率を評価するのが現実的と思われる。このような不具合発生に寄与する要因として、設計時に考えられる不具合発生確率 P_f ・観測によって、不具合発生を予知できる確率 P_o ・さらに P_o を得て、対策工を実施する確率 p_a の3つを挙げる。

P_f 、 P_o 、 P_a をそれぞれ独立事象と仮定すれば、不具合が発生しない確率(信頼度と考えて良い) R_s は、

$$R_s = 1 - P_f (1 - P_o \cdot P_a) \cdots \cdots (1)$$

と表現されよう。

(図-7)⁴⁾

実情では、 $P_f=0.4\sim0.5$ 程度(0.5は安全率1に対応する)で設計されたとすると、 $R_s>0.9$ 程度を確保するためには、 $P_o \cdot P_a$ が0.8、つまり観測情報

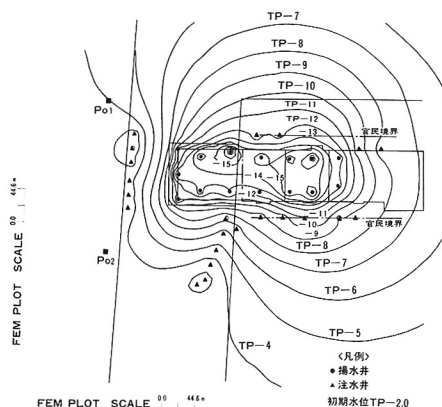


図-4 解析例(準三次元地下水解析)

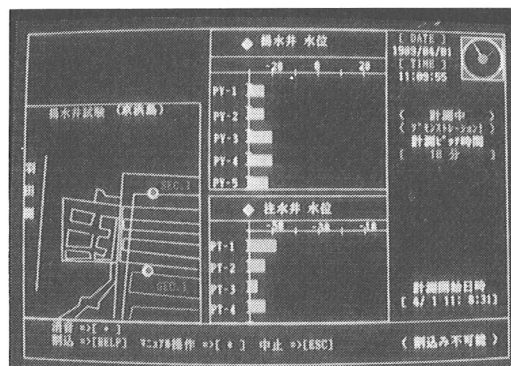


写真-1 地下水試験データ出力例(CRT画面)

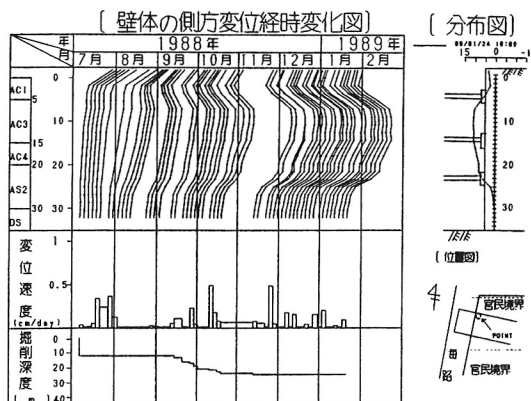


図-5 作図例(XYプロッター出力)

を得て、これによって対策工を実施するという行為を80%は実現しなければならないと思われる。逆にこのようなマネジメントが実現されれば、 $Pf < 0.4$ という、いわゆる過大設計を見直して合理的な施工が可能となる。

本文で紹介したシステムは、現場で得られる観測情報の処理過程を通して、情報の質・量・および情報出力のタイミング（スピード）などの適正を計って、 Po の向上に貢献しているものと位置づけられる。さらに、解析プログラム部の運用によって、現場サイドで設計パラメータのチェックができることや、通信プログラム部の運用で本社技術陣の即時的支援を可能にすることにより、対策工を実行するという意思決定行為（図-6）に寄与し、結果的に $Po \cdot Pa$ の向上につながっていると見られる。

（3）試行例

図-8は、ある地下連続壁の情報化施工を想定して、本システムを運用した場合の不具合発生防止確率 Rs を評価した結果である。設計時の連続壁の最大曲げモーメントに関して $Pf = 0.4$ とする（この場合、土圧係数、地下水位、切梁バネ定数等を確率変数とし、モンテカルロシミュレーションによって、 M_{max} を確率変数として求め、これが許容値を越える確率を Pf とした。）

また、ローラー型傾斜計で壁体変位を計測する場合、鉄筋計、土圧計などを用いる場合について、計器の信頼性をFTAの手法で評価し⁵⁾、これに本システムの性能を考慮して計器ごとの信頼度 Poi を評定した。さらに計器の組合せによって最終的な $Po \cdot Pa$ および Rs を算定している。

試行の結果を分析すると、 Rs の向上のためには、計器・計測データの信頼性（とくに、土水圧計）の向上が望まれるが、現状でもシステムの整備によって Rs を0.9程度に確保することは十分可能である。

5. おわりに

本文で述べたとおり、コンピュータシステムは、情報化施工の完成度を高めて行くための重要な役割を持つものではあるが、施工マネジメントの視点から見ると、設計における不確実性の大きさや、センサー、予知理論の信頼度、あるいは意思決定のための人的組織のあり方などと整合の取れた運用がなされなければ、合理的とはいえないであろう。

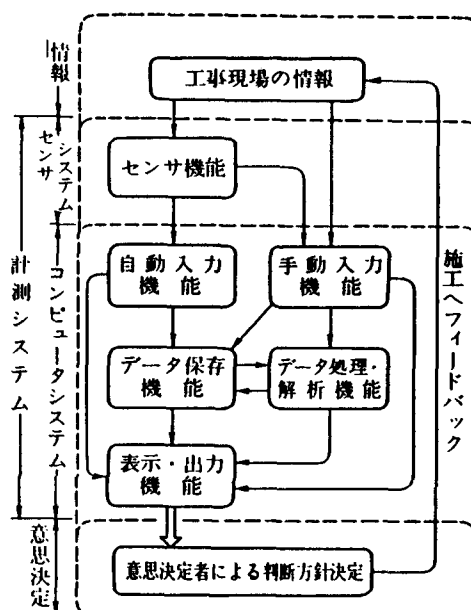


図-6 情報化施工システム概念

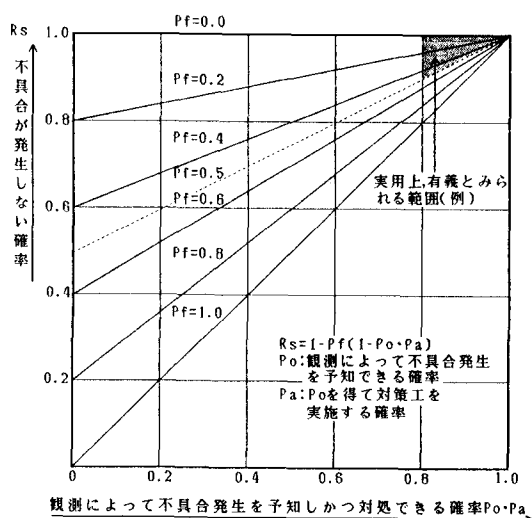


図-7 観測による不具合発生確率の減少

(1)式は、未完成ではあるが、これらの整合性を定量的に評価する手法として提案するもので、今後実際の現場で適用性を検討していきたい。

今回開発したシステムおよび開発済の斜面関係の情報化施工システムについては、すでにいくつかの現場で適用を開始している。今後は、これらの現場

1. 設計時のPf.....(Mmaxが許容値をこえる確率)

Pf=0.4

2. 観測情報 Po.....

信頼性 計測項目	計器・計測 データの信頼性	システム予知理論 の信頼性	計器ごと 信頼度 Poi	総合信頼度 ΣPoi
変位計 (傾斜計)	0.9	0.8	0.72	0.72
鉄筋応力計	0.7	0.8	0.56	0.88
土・水圧計	0.6	0.7	0.42	0.93

3. 対策工を実施できる可能性.....

Pa=0.9

*Poi のプール代数和

4. 不具合を防止できる確率 Rs.....

$$(Rs=1-Pf+Pf \cdot Po \cdot Pa)$$

計 測 項 目	Pf	Po・Pa	Rs
計測しない	0.4	0	0.60
変位のみ計測	0.4	0.65	0.86
変位＋鉄筋応力	0.4	0.79	0.92
変位＋鉄筋＋土・水圧	0.4	0.84	0.93

図-8 ある地下連続壁の計測計画例

の適用を通して、さらに使用性の向上を計り、情報
化施工システムの意義を深めていく考えである。

(参考文献)

- 1) 石崎英夫, 大田弘, 井上嘉人「斜面情報化施工管理システム(REALS-S)の開発と適用例」
土木学会第6回建設マネジメント問題に関する研究発表、討論会講演集 PP.189～195(1988)
- 2) 加登文士「情報化施工の現状と課題」、土質学会中国支部論文報告集 vol14, No1. PP.63～72 (1986)
- 3) 加登文士「情報化施工とマイコンの利用、第8章システムの構成と運用」PP.165～182
土質工学会(1986)
- 4) 運輸省第一港湾建設局(財)沿岸開発技術センター、「新潟港沈埋トンネル情報化施工調査報告書、
第5章.情報化施工の概念と方法」PP.67～134(1989)
- 5) kuroda, miki:「Releability Assesment of Field Instruments Based on F.T.A.」
4th ISSR, PP.III-378～382 (1985)