

斜面崩壊予測システムの開発と適用例

Development and an application of landslide forecast system

熊谷組 石 崎 英 夫*

大 田 弘*

○井 上 嘉 人*

By Hideo Ishizaki, Hiroshi Ohta, Yoshito Inoue

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ひとつとして「斜面崩壊予測システム」を開発した。本システムは、従来の計測管理システム（計測データを取り込み、結果を図表化する）の機能に加え、予測・解析・総合評価・通信などの計測管理者を技術的に支援する機能を有している点に特徴がある。また、総合評価機能においては、試験的にエキスパート・システムを組み込んでいる。

一方、本システムの試験適用現場では、システムが斜面崩壊の兆候を事前に感知し、工事を安全に終了することができた。また、崩壊までの余裕時間も1週間前からは、かなりの精度で予測が可能であることが確認できた。

〔キーワード〕 情報化施工システム、斜面崩壊予測、パソコンネットワーク、エキスパートシステム

1. はじめに

我が国のように山地の多い国では、人間の生活の場が斜面と係わり合いを持つことが多く、斜面災害は国土開発の急進展もあって依然として跡を絶たない。

毎年各地で台風・集中豪雨により斜面災害が繰り返し発生し貴重な人命・財産が失われ、大きなニュースになっており、昭和60年7月に発生した長野県地附山付近の大規模地滑りは記憶に新しい。

一方、建設工事においても施工中に発生する斜面崩壊は工程・工事費を圧迫するだけでなく、労働災害といった最悪の事態につながることもあり工事担当者にとっても大きな問題である。

この様な斜面崩壊を事前に予測することは、不確実な要素の多い自然地盤を対象としているため困難な面があり、現在においても合理的な調査・設計手法を模索中の段階である。

しかし、この種の問題に対して近年、発展の著しいマイクロコンピュータ技術・センサー技術を利用した情報化施

* 土木本部土木設計部

(〒162 新宿区津久戸町2-1)

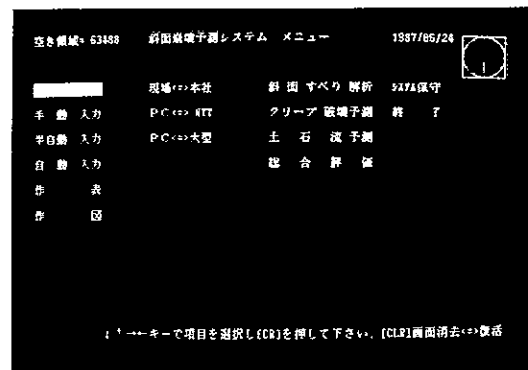


写真-1 解析システムメニュー

工システムが有効であり、既に積極的にこのシステムを導入した施工管理が行われ、山止め工事など大きな成果を上げている。しかし、この様な計測管理システムは特にプログラムの開発に費用がかかることから、その適用は大規模な現場に限定される傾向にある。

そこで、現状の情報化施工の在り方を見直し、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に着手し、この度その第一段として「斜面崩壊予測システム」(Realtime Construction Control System of Slope 略称REALS-S)を完成した。

本システムは、斜面崩壊の兆候を計測機器等により事前にとらえ、崩壊時間の予測や対策工法の設計を迅速に行えるだけでなく、現場～本社間をパソコン通信によって結び全社的な技術支援体制を確立したものである。

本論文では、本システムの概要、現場適用例、および今後の展開について報告する。

2. システムの概要

(1) システムの特徴

本システムは従来の計測管理システムと比較して次のような特徴がある。

- ① 各種の計測方法・規模・現場状況に対応できる高度の汎用性
- ② パソコン通信を利用した本社～現場間のデータ伝送機能
- ③ パソコン通信を利用した遠隔計測管理機能
- ④ 斜面の変形・地下水位の変動・降雨量等からリアルタイムで崩壊時間を予測する解析機能
- ⑤ 地滑り対策工法を検討する設計機能
- ⑥ 斜面崩壊の各種要因から地滑りの危険度を判定する総合評価機能（エキスパートシステム）
- ⑦ ユーザーの使用性を重視した対話型入力およびグラフィック機能
- ⑧ パソコンを中心とした低廉なハードシステム

a) 各種計測規模に対応できる汎用機能：①について

従来の現場状況に合わせて各々の現場において計測管理システムを個別に作成してきた。すなわち、各現場により計測項目・規模・管理方法等が異なるのが一般的であるため、その都度毎にシステムを作成していた。

そこで従来の実績及び今後予想されるあらゆる計測管理システムのパターンを想定し、これらに対応可能な高度な汎用性を持たせた。

b) 本社～現場間パソコン通信機能：②について

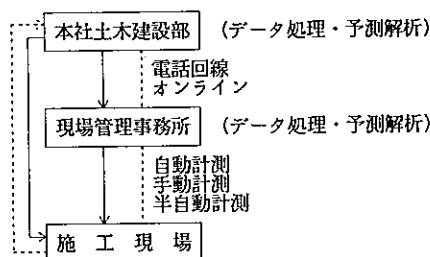
従来、現場において計測・解析されたデータは郵送・ファクシミリ・電話等により本社に伝送されていたため技術判断までの時間ロスや情報不足による問題が生ずるケースもあった。

そこで、NTT等の一般公衆回線を利用したパソコン通信機能を持たせ、迅速なデータ伝送を可能にした。これにより、特に緊急事態が生じた場合などには本社と現場

との情報のギャップ無しに対策等の協議を行うことができる。（図－1参照）

c) 自動・半自動・手動計測機能および管理・警報条件設定機能：③について

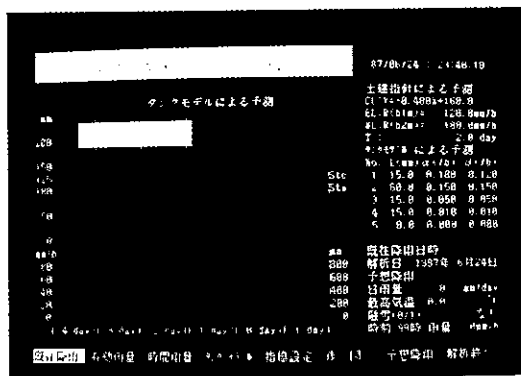
これにより、無人現場やパソコン等の設備のない現場においても設計管理が可能である。（図－1参照）



図－1 データ処理フロー

d) 保存データ作表・作図機能及び各種崩壊予測解析機能：④について

従来は、計測データの採取と解析とは別々のシステムで行っていたがこれらを同一システムで行うようにした。特に、刻々と変化する現場状況をリアルタイムでとらえ崩壊時間を7種類の方法で予測できる機能を持たせ、現場での技術判断も可能にした。



写真－2 崩壊時間予測解析例（コンピューター画面上）

崩壊時間の予測は、以下の7つの計算方法により行うことができる。

粘性土すべりに対応

- ① 斉藤による2次クリープの方法
- ② 斉藤による3次クリープの方法
- ③ 福岡による方法（ひずみ速度の逆数による）

④ 川村による方法（ひずみ速度の差分による）
土石流に対応

⑤ 建設省土研によるA法
（時間雨量～実効雨量による）

⑥ 建設省土研によるB法
（有効雨量強度～実効雨量による）

砂質土・レキ質土すべりに対応

⑦ 道上による方法（ツカザルによる：写真－2参照）

e) 設計・解析機能（すべり計算他）：⑤について

地滑り対策は緊急性を要求される場合が多い。そこで、各種地滑り解析機能や地滑り防止杭等を設計機能を持たせ、現場でも対策工法の設計を可能にした。

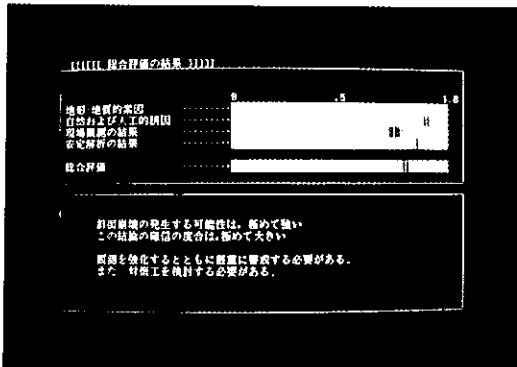
f) 総合評価機能：⑥について

地滑りの危険度は設計データだけでなく、地質・地形要因やすべり安定解析結果なども考慮して総合的に判断する必要がある。しかしながら、これを行うには熟練技術者の高度な専門的知識及びノウハウが必要とされるため現場技術者だけで判断するたことが困難な場合が多い。

そこで、熟練技術者によるデータベースを構築し、パソコンからの種々の質問（現在は総計25問）に答えていけば、地滑りの危険度が評価できるエキスパートシステムを組み込んだ。（写真－3参照）

質問は以下の4つの項目に大別され、各項目毎に入力された解答とその解答の確信度により、総合的な崩壊の危険度を確率論的に算出する。

- i) 地形・地質的素因
- ii) 自然および人工的誘因
- iii) 現場観測の結果
- iv) 安定解析の結果



写真－3 斜面安定性総合評価システム（コンピューター画面上）

g) 対話型入力およびグラフィック機能：⑦について

システムやコンピューターに対する知識が少ないユーザーでも利用が可能なように、極力対話型の入力機能を持たせている。また、解析結果等はわかりやすく図化処理されたものが出力され、技術判断が容易に行えるようになっている。

h) 低廉なパソコンを主体としたシステム：⑧について

本システムの導入費用は、1現場当たり2～5万円/月程度のリース料金で済み低廉なものである。（計測機器は除く：写真－4参照）



写真－4 解析システムハードウェア

(2) システムのハードウェア構成

a) 計測センサー

斜面崩壊予測に必要な計測機器が、メーカーを問わず接続可能となっている。これらは、自動計測・半自動計測・手動計測のいずれの計測体制でも可能である。

- ① 挿入式傾斜計 ② 固定式傾斜計
- ③ 地表面変位計（伸縮計） ④ 地表面移動計（移動式）
- ⑤ レーザー変位計（地表）
- ⑥ 地表面傾斜計（水管式及び電気式）
- ⑦ 地表面沈下計 ⑧ 地下水位計
- ⑨ 間隙水圧計 ⑩ 雨雪量計

b) ハードウェアの全体構成

本社以外で用いるハードウェアは、図－2に示すものから計測の目的や規模に応じて、自由に組み合わせ（同じ記号が接続可）を選択することができる。

なお、本システムは、NECのPC9801Vm以上の9800シリーズ・パソコン（今回の現場適用ではPC-98×Lを使用した。）に組み込み可能となっている。

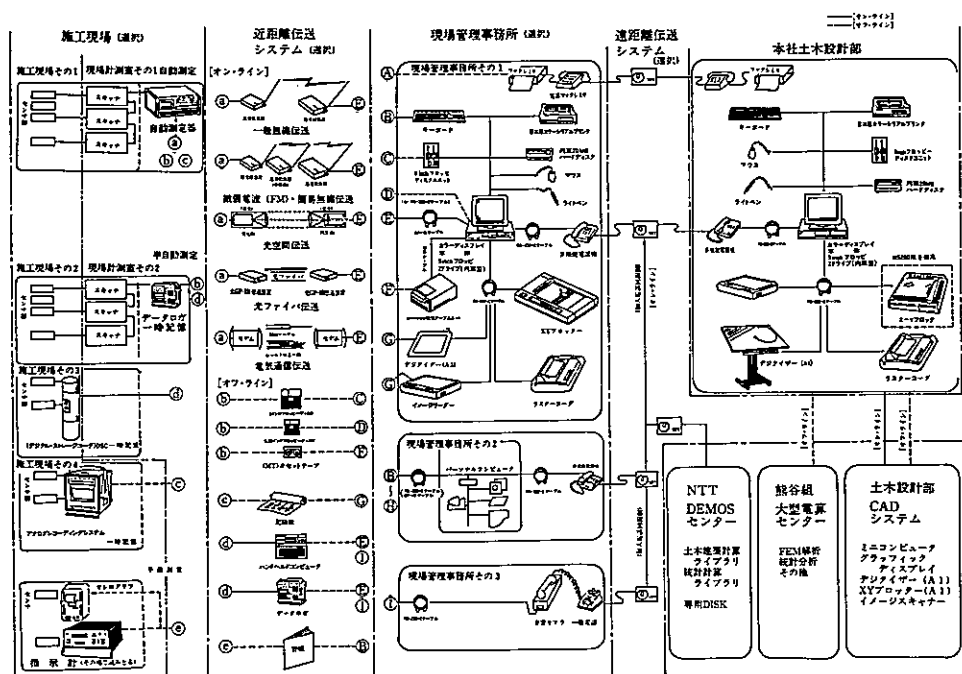


図-2 斜面崩壊予測システム概要 (ハードウェア)

3. 現場適用事例

(1) 地質および計測概要

本システムを日本道路公団・道央自動車道・北光工事の切土現場に適用した事例を報告する。

切土対象地質は、新第三紀層であり、断面図(図-3)中の下部層はN値が30~50の固結度の高い安定した基盤層と見なすことができるが、上部層は層理が明瞭で砂・シルト・砂礫が交互層となり、10~15°の流れ盤をなしている。

しかも、N値10以下と固結度が低いこともあり、当初から崩壊が懸念されていた。

計測機器の配置は切土高さ、地質、走行傾斜、すべり計算結果等から判断し決定した。(図-4参照)

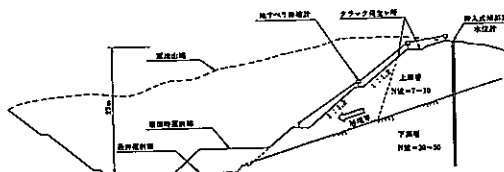


図-3 地質及び切土断面

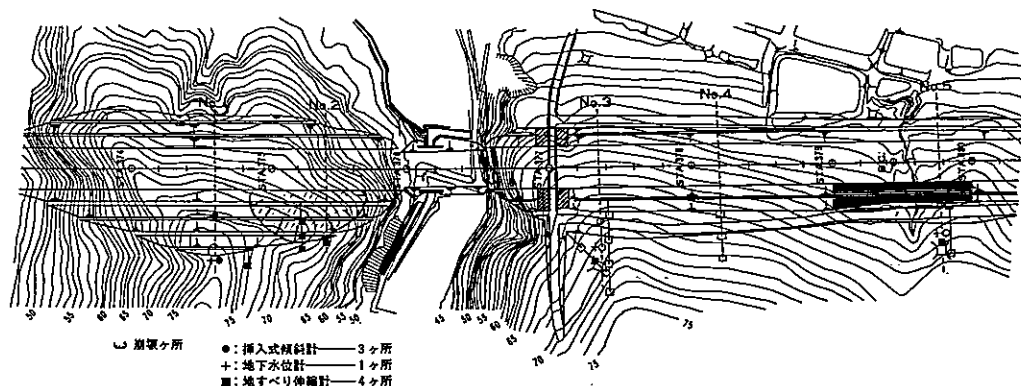


図-4 計測機器平面配置

崩壊斜面の位置は図-4に示す通りであったが、斜面の崩壊は、最終掘削段階で発生し、上部層の層境界面に沿う様なスベリであり、崩壊土層は約6000m³であった。

(写真-5参照)



写真-5 斜面崩壊状況

(2) 崩壊までの経緯

まず、定期的な計測管理において、実崩壊の34日前に挿入式傾斜計が異常な挙動を感知した。図-5は、地中水平変位を経時的に図化したものであるが、深度7mの位置で不連続なパターンを示し、すべり面発生の兆候と判断した。この時点から地滑り伸縮計を追加設置して観測体制を強化すると共に、以後伸縮計データから得られる地表面移動速度による予測解析を開始した。

崩壊の兆候があらわれ、ただちに対策工法が検討されたが、下記理由から「切土勾配の変更」が最良と判断された。

- ① 押え盛土工法は、工事用道路および本線道路を確保しなければならないため、その規模が限定され十分かつ永久的な対策工とはならない。
- ② 地滑り防止杭などはかえって施工時にすべりを誘発する可能性があるだけでなく、ほぼ完成された法面対策工としては経済的でない。
- ③ 斜面背後には構造物もなく、安定勾配で再カットとするのが最も経済的である。

一方、再カットの時期は、全体工事工程および施工時の安全性から、

崩壊後に行うこととした。

その後は、図-6に示すように、地すべり伸縮計の変位量が徐々に増加し、法肩部が引っ張り、法尻部が圧縮といった傾向が顕著になり、崩壊に至った。

周囲には重機、車輛などが走行していたため、本システムにより、常に斜面の状況を監視し、崩壊時間を予測しながらの安全管理を行って、工事を無事終了することができた。

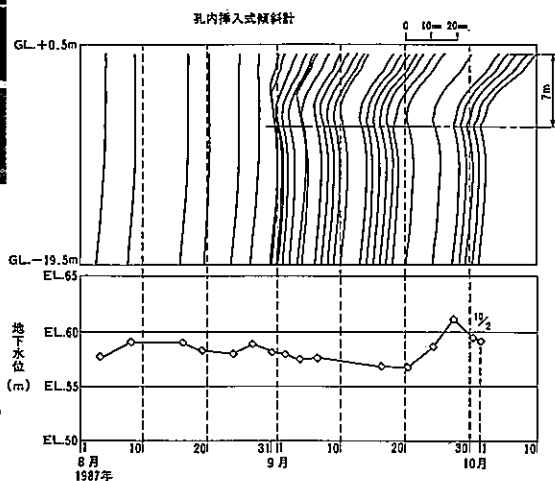


図-5 合成水平変位・地下水位経時変化図

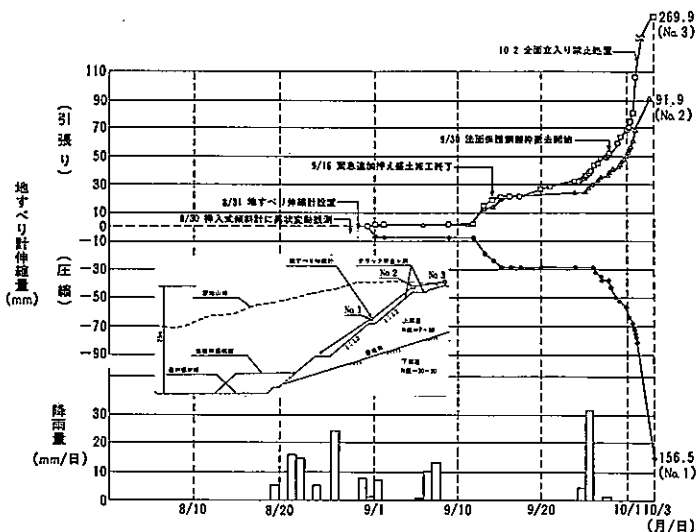


図-6 地滑り伸縮計測値・地下水位・降雨量の経時変化図

(3) 崩壊余裕時間の予測結果

崩壊余裕時間は、粘性土のクリープ破壊理論にもとづく4種類の提案式により予測した。すなわち、①斉藤による2次クリープの方法、②斉藤による3次クリープの方法、③福田による方法、④川村による方法の4種類で、システムでは、図-7のようにリアルタイムで同時に解析され、結果が表示される。

これらの予測解析の経緯を対数グラフ上にプロットしたものを図-8に示す。縦軸に崩壊までの予測余裕時間を、横軸に崩壊までの実余裕時間を取っている。従って、予測と実測が一致した場合には、一点鎖線で描いた対角線上にプロットされることになる。

このグラフから本システムによる予測解析について考察すると、

- ① 崩壊が近づくにつれて各方法とも高い予測精度となっている。
- ② 実崩壊1週間以前の段階では、予測値がかなり変動している。
- ③ 降雨による地下水位の上昇に伴い、地表面移動速度が早くなり、崩壊までの余裕時間が急激に短くなった。

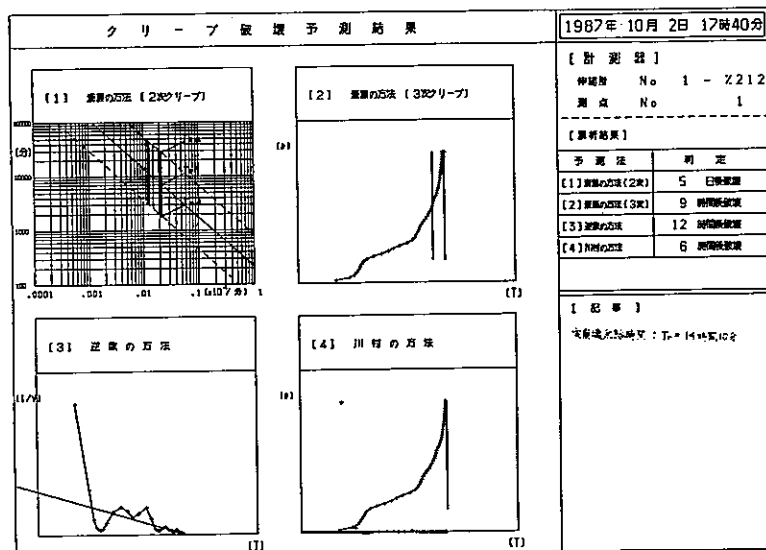


図-7 崩壊余裕時間の予測結果

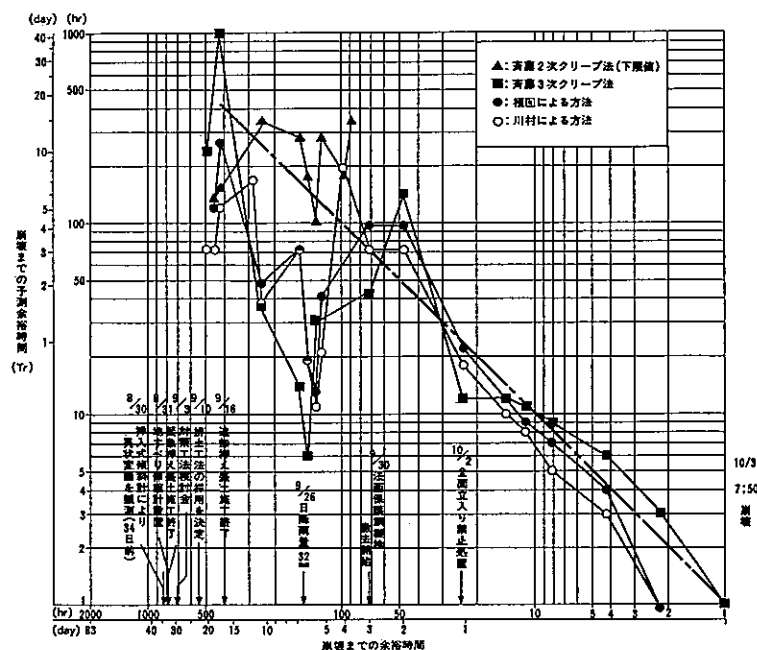


図-8 崩壊余裕時間予測結果の推移図

4. 今後の展開

以上、システムの概要およびシステム適用の1事例を簡単に紹介したが、今後もより多くの現場適用を通じてシステムの使用性、予測手法の適用性の検討を行っていきたいと考えている。

また、エキスパート・システムを組み込んだ総合評価機能は、情報化施工システムに付加すべき機能として重要であり、今後ますます充実していく必要があると考えている。

なお、現在までに「斜面崩壊予測システム」の他、汎用型の「山留め計測管理システム」および「地下水計測管理システム」を開発し、実際の現場に試験適用中である。

今後は、盛土施工管理システム等も加えて、図-9に示すような、情報化施工のネットワーク化を推進し全社的な技術支援体制を確立していく予定である。
***本システムは、㈱計測リサーチコンサルタントと共同で開発を行ったものである。

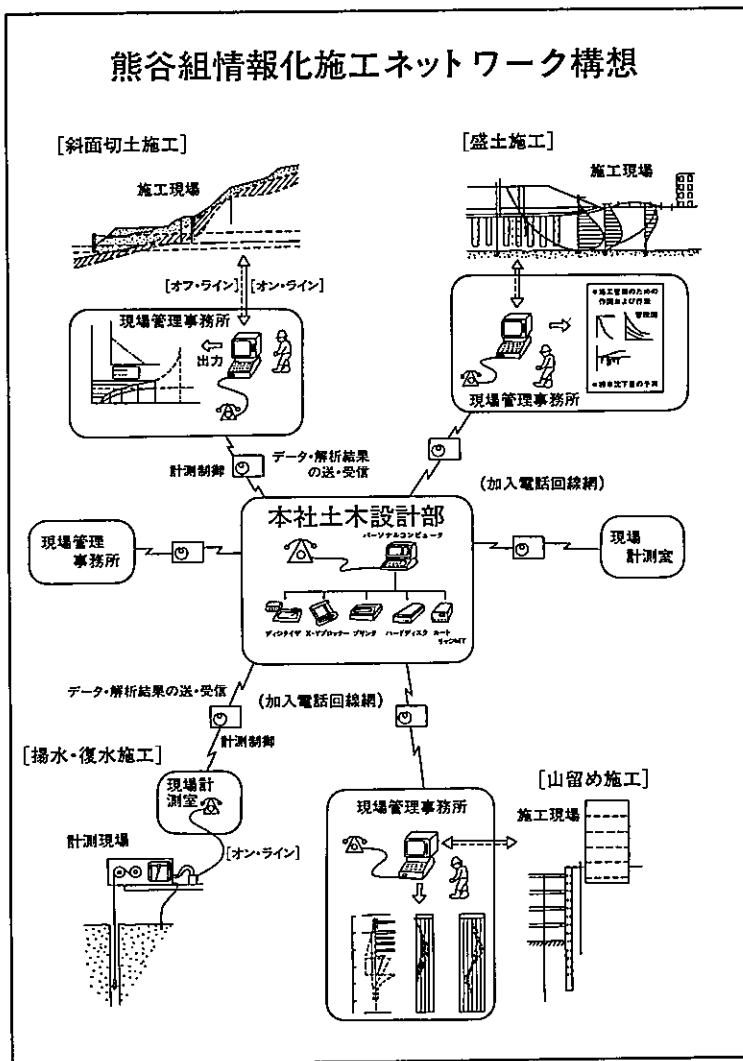


図-9 情報化施工ネットワーク構想イメージ

(参考文献)

- 1) 石崎英夫, 大田弘, 加登文士他: 斜面崩壊予測システムの開発、第23回土質工学研究発表会、1988年
- 2) 斉藤勉孝: 斜面崩壊発生時期の予知に関する研究、鉄道技術研究所報告、1968年
- 3) 川村国夫, 浅岡顕, 西本俊晴: 地すべり予知のためのパソコン利用、土と基礎、1986年7月号
- 4) 福岡輝旗: 表面移動速度の逆数を用いた降雨による斜面崩壊発生時刻の予測法、地すべり、第22巻第2号、1985年
- 5) 木村隆雄, 高倉清, 石崎英夫, 大田弘, 土山昌美, 井上嘉人: 斜面崩壊予測システムの開発及び適用事例、土木学会第43回年次学術講演会、1988年10月

