

## I-8 Web-GISを用いた土工事の施工管理システム

## THE CONSTRUCTION MANAGEMENT SYSTEM FOR EARTHWORK USING Web-GIS

古屋 弘<sup>1</sup>

Hiroshi Furuya

【抄録】建設CALC/ECの進展に伴い、土工事においても設計・施工の各種図面および管理図書のCADに代表される電子化が進み、これらは建設プロジェクトの中で日常的に流通するようになった。さらに、施工においてはGPSを用いた測地手法の一般化に伴い、工事成果物のデータをGISへ展開し、維持管理データとして利用する試みも始まっている。

本論文は、これらの背景をもとに、土工事における施工管理にWeb-GISを用いた施工管理システムを構築し、適用した事例を報告するものであり、その運用における有効性と問題点を検証したものである。

【Abstract】 As the CALS/EC has been improved in civil engineering construction, the various drawings, such as CAD data, and plan documents have changed into electronic processing. These data or information have used and have exchanged between clients and contractors. Furthermore, with the generalization of the survey technique using GPS, those data have applied to GIS in order to use form management or maintenance.

Based on these backgrounds, this paper reports the new construction management system, which used Web-GIS at the earthwork site, and verifies the availability in using this system.

キーワード：CAD, GIS, GPS, 土工事, 品質管理, 施工管理

Key Words : CAD, GIS, GPS, Earthwork, Quality Control, Project Management

## 1. はじめに

地図上でデータの管理・分析を行うことができる地理情報システム (GIS) の利用は、近年急速に拡大しつつあり、土地・施設管理、市場調査、経営資源配分計画、営業支援、さらにカーナビゲーションなど、さまざまな業務に拡がり、独自のシステムを構築している。GISはこれまでは潜在的な市場規模は大きいものの、フィーチャ入力やシステム構築等のコストをはじめとするいくつかの課題があるため、ある程度以上の規模をもった研究開発や事業以外では普及が遅れていたのが現状である。

しかし、1995年に政府により設置された「地理情報システム (GIS) 関係省庁連絡会議」による地理情報の整備と相互利用の環境作りに関する取り組みから、特に自治体の業務では多種多様な地理情報が利用・管理され、一部で地理情報を統合的に活用する試みも始

まっている<sup>1)</sup>。これに加え、数値地図2500等の地理情報の電子化も進みつつあり、またGISに関連したソフトウェアも著しい技術的進歩を遂げていることから、現在はGISの利用の促進を阻害している課題は解決に向かいつつある。

ところで、土木分野におけるGISの利用に関しては、地盤・地質等の調査<sup>2) 3)</sup>、施設計画、ならびに施工物件の維持・管理のデータベース等に利用されたり<sup>4) 5)</sup>、防災関連の評価システム<sup>7) 8) 9) 10)</sup>に利用される例が近年報告され、一部では施工における利用も始まっている<sup>11)</sup>。これらは、データ (情報) の共有とGISを用いることによる思考の援助が大きな目的となり、今後もこれらの特長を生かした実用化事例は増え続けるであろう。

以上の背景をもとに、本論文では、GISの特長を生かす比較的広域な土工事の現場にGISをコアとした施工管理システムを構築し、適用した事例の報告をおこない、施工における情報の流れを考察し、プロジェクトマネジメントに関する考察もあわせて行って

1 正会員 工博 (株)大林組土木技術本部  
〒108-8502 東京都港区港南 2-15-2 品川インターシティ-B 棟

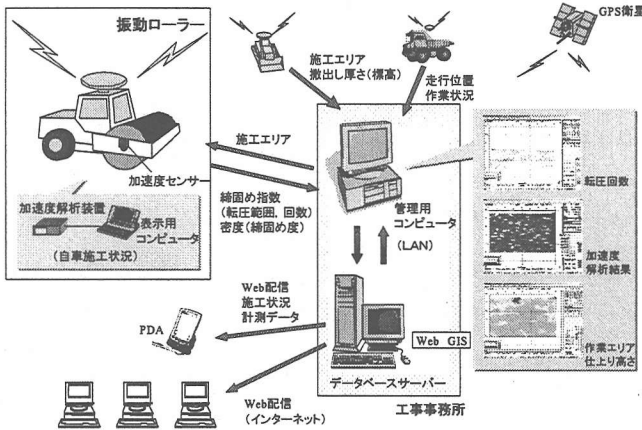


図-1 盛土工事における締固め管理システム

いる。

## 2. 土工事における施工管理の問題点

建設工事における施工管理は、工事管理の中で安全管理や原価管理等とともに重要な管理であり、その管理項目としては、①工程管理、②品質管理、③出来型管理、④現場計測による盛土の沈下・安定管理がある<sup>12)</sup>。この中で②の品質管理は、構造物の本来保有すべき性能を完成後において保証するために重要な管理項目であり、建設工事においてもISO2394（構造物の信頼性に関する一般原則）に基づく信頼性設計法

が適用されつつある<sup>13)</sup>。なかでも建築基準法<sup>14)</sup>や土木学会のコンクリート標準示方書では性能規定の方向をいち早く取り入れた施工管理を行いつつある。

このような社会の流れの中で、土工事においても性能規定による構造物発注は必然的となりつつあるが、土工事は単品受注で現地生産であるという特性から、完成後の製品（構造物）の性能を支配する品質管理に以下のような難しさがある。

- ① 構造物全数量の管理は困難である
- ② 施工途中のプロセス管理によらざるを得ない
- ③ 施工のやり直しが困難である

さらに、土工事に関しては、一定の物性を持った材料を経済的に入手することは困難であり、土の強度や変形特性を経済的にコントロールすることが困難であることに起因し、

- ④ 室内試験や事前調査等との対応が不明確

という不確定要素も加わり、従来最低限の性能を満足する仕様規定を施工管理手法としていた。これは、土構造物を対象とした工事における品質管理を、事前の調査結果や試験施工をもとに管理値を設け、それに従って施工を行い、施工終了後にサンプル試験を実施するという方法である。このような管理手法では試験およびその結果を出すまでに時間がかかることが多く、その間に施工が進んでしまい結果をフィードバックすることができない場合もしばしばあり、必ずしも構造

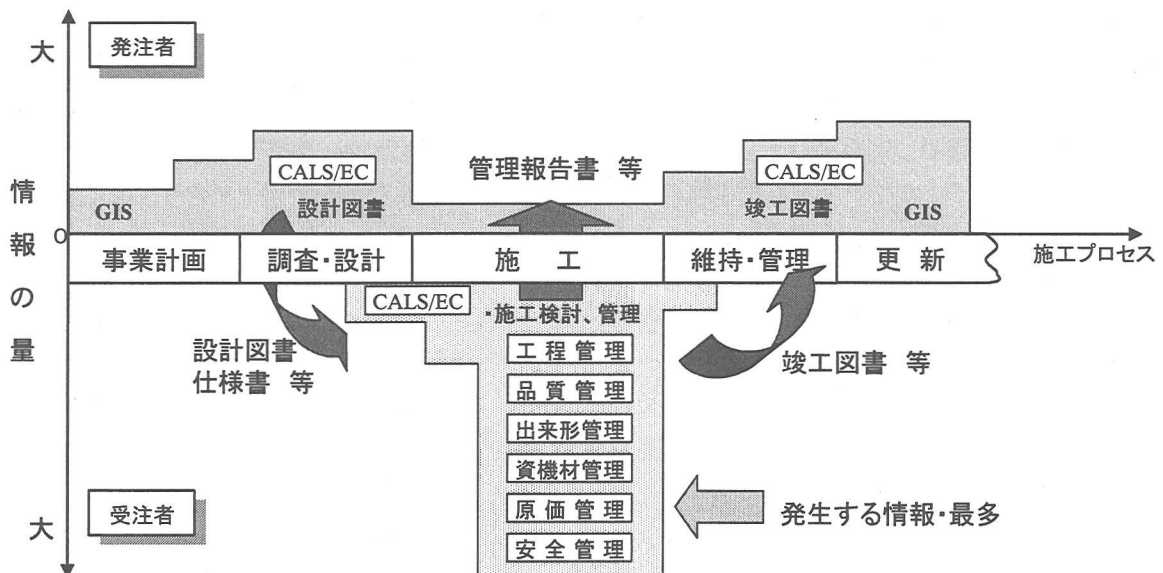


図-2 施工プロセスの中で発生する情報量の変化(模式図)

物の品質を保証するものではないといった問題点もあった。

こうした中で、近年、各種試験・管理手法が提案され、性能規定に対して十分対応しうる管理が出来るようになり、一部は実施されつつある。筆者らは、この「土構造物の性能を保証する」性能規定に対して十分対応しうる施工管理手法の一つとして、振動ローラーに取り付けた加速度センサーとGPSを用いて地盤の締固め度等を面的にリアルタイムに判定する施工管理システムを開発し、図-1に示す「締固め管理システムCOMPACT」として現場適用を行ってきた<sup>15) 16) 17)</sup>。

しかし、工事における施工管理は、上記の品質管理のみではなく、前述のような安全管理を一とする種々の管理項目があり、この管理を行うための多くの情報が施工プロジェクトの中で発生し、利用されている。すなわち、発注者側から受け渡された設計図書

(設計図ならびに仕様書等)をもとに施工計画を作成し、施工を行うわけであるが、施工中はこれに伴う報告書や管理図書を作成し、監督検査を受けるのが一般的である。これを発注者側と受注者側の施工プロセスにおける情報量という観点から模式的に示したものが図-2である。施工に伴い発生する情報量は、建設プロジェクトの中で施工時に受注者側でピークとなり、この部分の情報化を行うことにより業務の効率化を行うことができ、建設工事というプロジェクトの中で、ワークフローの改善できる余地があるものと考えられる。しかし、実際には情報化はスムーズに行われているとは言い難く、特に施工中の管理図書や発注者への報告書等を作成するための情報や作業も多数存在し、無駄な労力(コスト)をかけていることになる。これは、測量機器や計測器、コンピュータが高性能化したにもかかわらず、これらの特性を生かさず、旧態依然

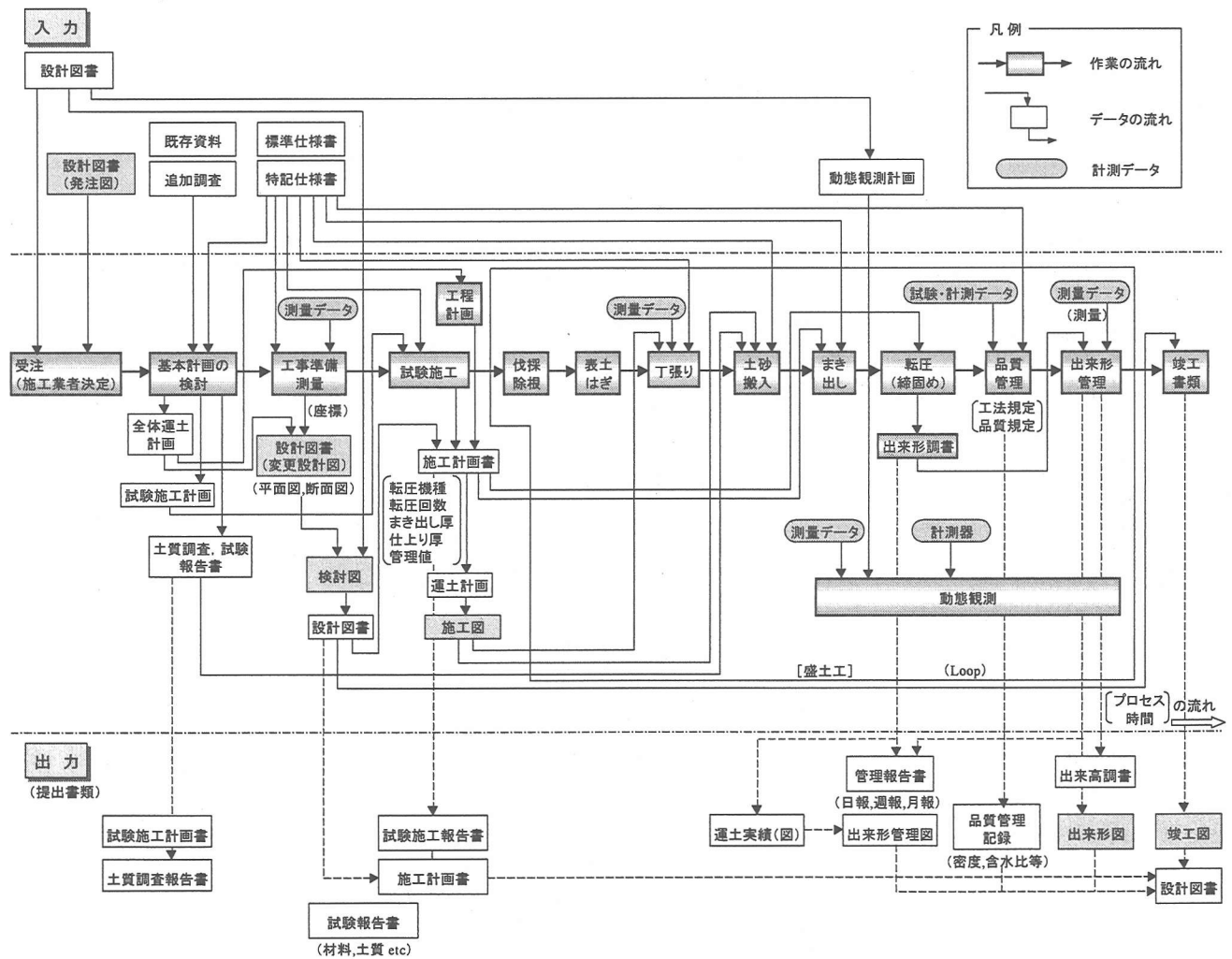


図-3 盛土工事の施工プロセスと情報連携(模式図)

の施工管理を行っていることに起因すると思われる。例えば、各種図面や報告書は電子化されているが、これらは施工中に得られた情報のある出力形式に則ってコンピュータを用いて転写しているにすぎず、無駄な労力（コスト）がここにつぎ込まれていることになる。

### 3. 土工事における情報の連携

このように、土木工事の施工における様々なデータは、設計図書から発生し、施工のプロセスで参照され、様々に活用される。この流れを盛土工事に特化して模式図で示したものが図-3である。ここで、図の中心は施工プロセスを示しており、入力が発注者側から提供される情報、出力は施工者が発注者へ提出する情報である。このような施工の流れの中で、近年のコンピュータの進歩とCALS/ECの推進から、かなりの部分の電子化が行われつつある。

しかし、この電子化に関しては、「施工の合理化をはかる」目的とともに、情報の流通を円滑にし、「コンピュータや通信技術などを活用した合理的な生産システムの確立」することによる省力化を目的として現場にも積極的に導入されているが、現状では以下のような問題点がある。

#### ①情報化に関する認識（コンセンサス）

近年は、急速なインターネットの普及と通信環境の改善により、Web技術を用いた取り組みもなされつつあるが、必要な情報の検討がなされないままの技術先行型の情報化（Webカメラに代表される）や、データの連携を考慮しない活用（施工中の測量データ等）が多数見受けられる。これらは、やみくもに情報量を増加させるだけで、省力化に結びつかないことが多い。

#### ②CALS/ECとの連携

近年のCALS/EC導入の進展から<sup>18)</sup>、設計図書（図面）等はCADによる電子化が急速に進みつつある。しかし、図-3に示すように論理的にはデータは施工中に連携しているが、現状では個別に図面や帳票類の電子化を行っていることが多く、物理的にデータは独立して例えば施工管理者の個々のパソコンのディスク等に存在している場合が多い。これは、施工中の提出書類に関しても同様で、取得したデータをワープロ等で転記・整形し発注者に提出しており、これらのデータは一時的な利用となるものが多く、合理化にはつな

がっていない。

以上のような施工管理における改善すべき点を解決するひとつの試みとして、土工事の現場にてWeb-GISを用いた施工管理システムを構築し、適用実験を行った。

### 4. Web-GISを用いた施工管理システムの概要

構築したシステムは、土工事の施工管理を目的としたものである。以下にシステムの概要を述べる。

#### 4.1 システム構築の目的

前述のように、建設プロジェクトの中では施工時に発生する情報が非常に多いことから、これらを整理し有効に施工管理に生かすためのシステム構築を目標とした。具体的には、これまでの現場施工における図面・図書等の情報管理における問題点を抽出し、以下の目標を掲げた。

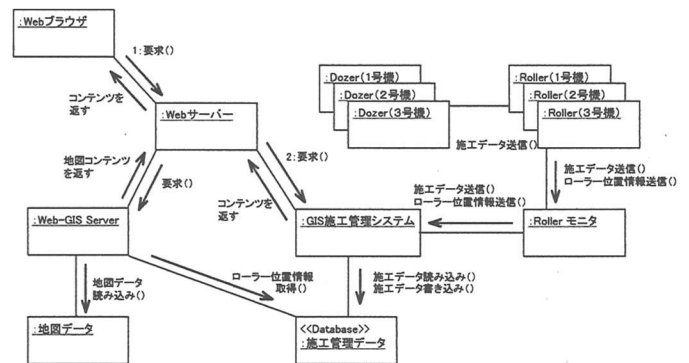


図-4 システムのUML表記(コラボレーション図)

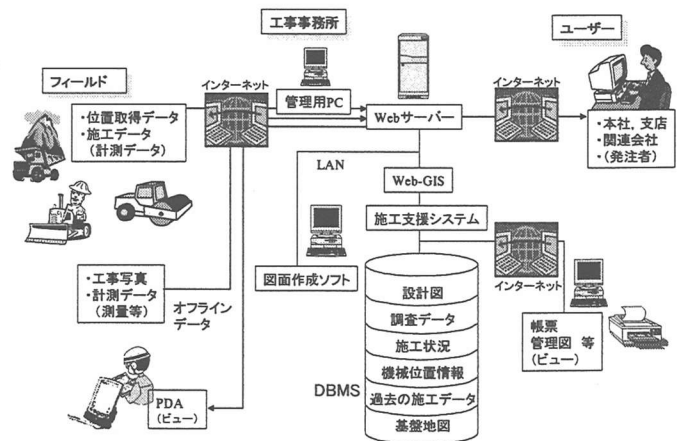


図-5 システム構成(実装例)

- ①工事情報の一元管理による効率化
  - ・迅速なデータ（図面・図書等）へのアクセス
  - ・ライフサイクルでの横断的なデータの活用
- ②ユーザーのアクセシビリティ向上
  - ・地図を用いた直感的な画面インターフェース
  - ・担当者以外でも簡単に情報にアクセス
- ③高品質な施工管理の実施
  - ・リアルタイムな情報伝達による高品質な施工管理が行える環境の提供
  - ・工事事務所内のみならず関連部署との情報共有を図る
- ④作業環境の改善
  - ・ITを駆使した先進的な生産現場のイメージ転換を図るとともに、作業・労働環境を改善

4.2 システム構成

施工管理システムの構成を図-4, 5に, 機能概要を図-6に示す。システムは, 拡張性, 運用の柔軟性（ユーザーに特別なハードウェア・ソフトウェアを要求しない）, メンテナンス性（特にデータの収集とその管理）に関する得失を考慮し, Web-GISを用い

たシステムとした。

(1) Web-GISの利用のメリット

上述のように, 運用の柔軟性, メンテナンス性の良否は, 実際の利用者の負荷に大きく影響する。すなわち, GISによる施工管理システムを利用するにあたり, 特別なソフトウェア等が必要であったり, ハードウェアの制約等がある場合, その利用者は制限を受け, そのためメンテナンスも低下する。特に図-6に示したような機能を維持するにあたっては, 現場で日々発生する情報を更新し, データベースに保存し, ユーザーがそれを活用することが重要な条件となる。これが阻害された場合, システム構築の目的が達成できず, 施工管理システム導入のメリットが享受できないことになる。

特に, 今回のシステムは現場施工管理を目的としたものであるが, そこで発生する情報は, 図-5に示すように現場内のみならず, それをサポートする本支店や発注者にも提供できる環境を作り, それを共有することも目的としている。現在のようにインターネットが日常的に利用できる状況においては, Web-GIS,

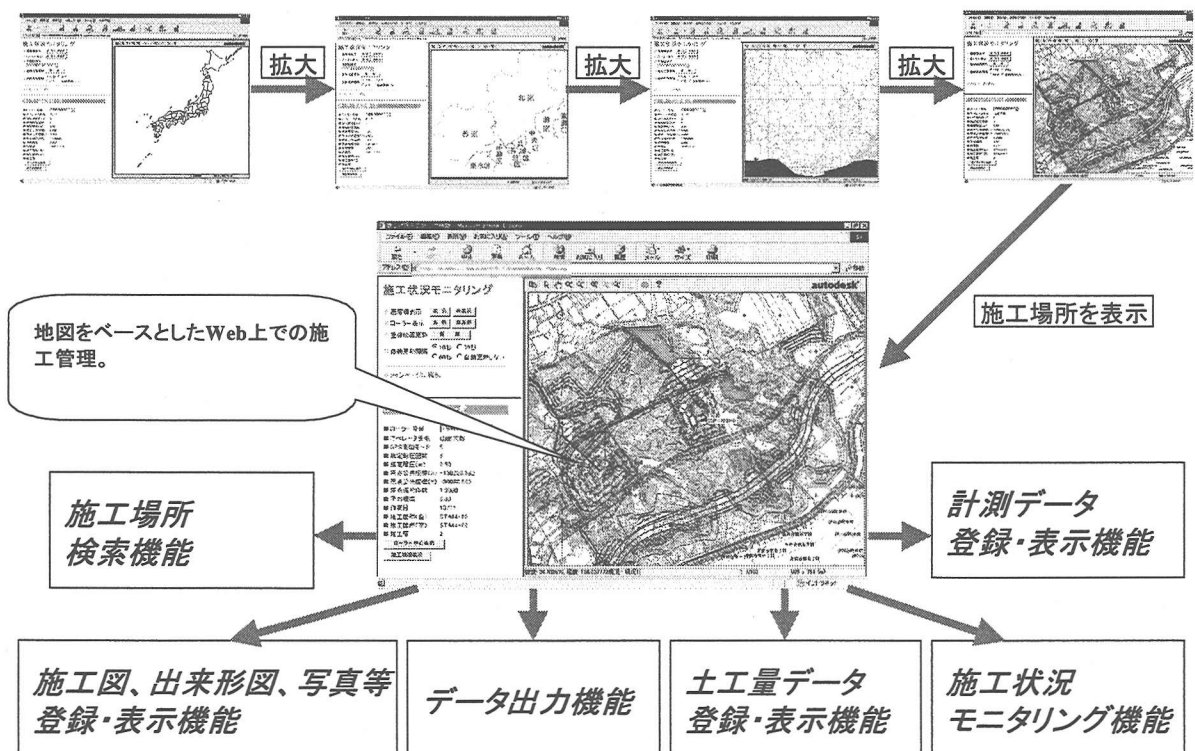


図-6 土工施工管理システム機能概要

すなわちWWWを利用したシステムは、Webブラウザがある環境であれば誰でも利用することができ、システムのプログラム修正もサーバーのみで済むため保守も容易である。さらに、現場の職員が実際のフィールドに出てもデータの参照が出来るよう、今回はPDAの利用も考慮したシステムとしたが、この点もWWW利用のメリットである。

(2) システム構築において考慮した要件

Web-GISを用いた施工管理システムの目的と機能要件は、4. 1ならびに図-6に示したが、その他考慮した要件を以下に示す。

①システム性能

WWWを利用したシステムでは、サーバーにアクセスするユーザー数とデータ量によって性能（システムが提供するサービスの品質）が規定される。今回のシステムは実験的要素が強く、アクセスするユーザーは限られていることや、データの更新が現場で最も多く発生し、データベースで管理するCADデータで数MBのファイルも存在することから、システムサーバーを現場に設置した。

②安全性の検討

システムは、図-6に示す機能を提供するために、図-1および図-5に示すように、外部の重機からリ

アルタイムに施工情報が配信され、そのデータを品質管理、および出来形管理に利用する。このためハードウェアはインターネット環境に置く状態で運用することとなる。

今回のシステムでは、コストの点から簡易ファイアーウォールとウイルス対策ソフト、およびデータのバックアップを組み合わせる対策としたが、システムの規模が大きくなった場合や運用期間が長期になる場合は、セキュリティ対策を検討する必要がある。

③運用要件

施工管理を目的とすることから、システムは単にデータの管理をGISを用いて行うだけでなく、リアルタイム施工モニタリングも行う。このため、利用者がストレスのない運用を行うために、重機モニタリングは専用の管理用PCが受け持ち、座標処理まで行ったデータをGISシステムに受け渡す方式とした（PCサーバー+PCによる構成）。

また、WWWを用いるため、データの送受信に通信インフラに依存した時間がかかる。常設部門間では比較的大容量の通信を容易に行える回線網を利用することが出来るが、建設現場は仮設の事務所であり、高速通信網を必ずしも利用できる環境にはない。今回のシステムも専用のADSL回線を利用したが、十分な通信

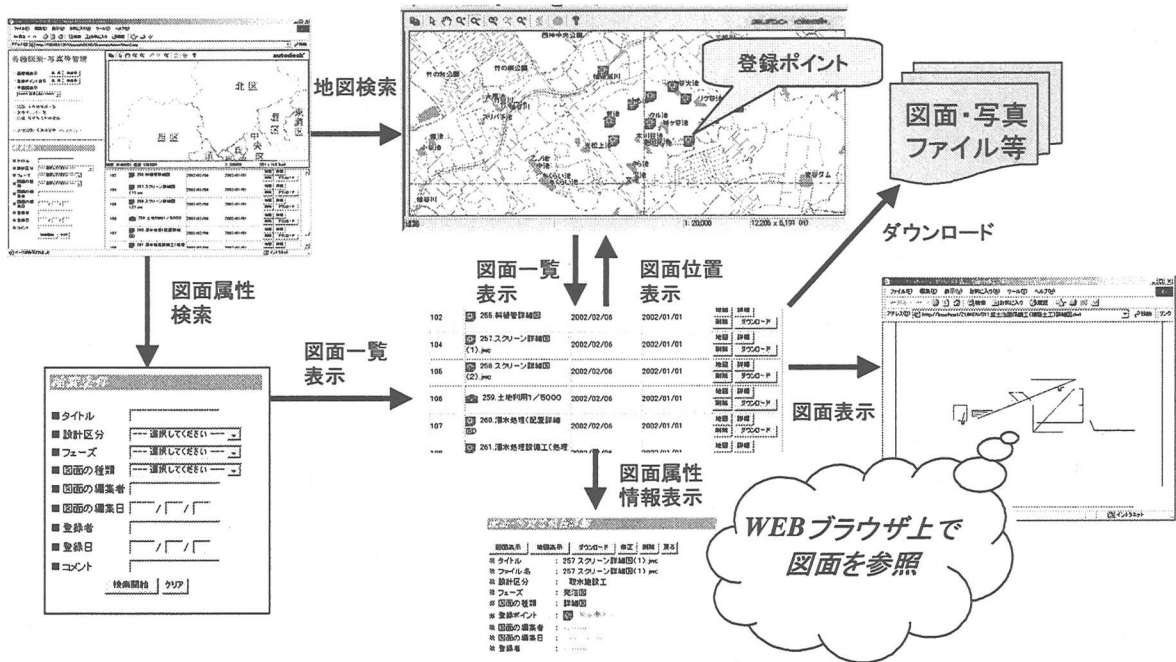


図-7 施工図, 出来形図, 写真等登録・表示機能

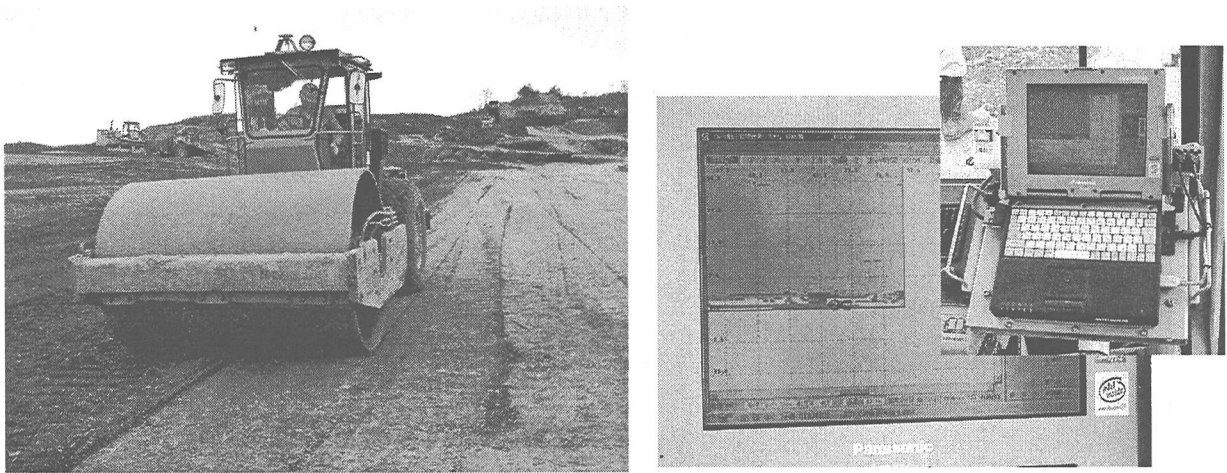


図-8 重機施工支援システム (GPS および転圧管理システムを搭載した重機)

速度を得ることが出来なかった。このため、比較的ファイルサイズの大きい図面(CAD)データは閲覧のみ可能な方式を設け、CADの属性データを除いたベクトルデータを配信する方式もメニューに加えた。

④導入・運用コスト

システム導入に伴うトータルコスト( $\Sigma C$ )と、それによる種々の便益( $\Sigma B$ )を比較し、 $\Sigma B - \Sigma C > 0$ の場合、システム導入のメリットがあったと判断される。現時点では $\Sigma B$ の評価は途上であるため、初期コストを極力抑え、 $\Sigma C$ を小さくすることを目標とした。このため、システム構築においては既存のアプリケーションを極力利用し、また、現場内の通信インフラは商用のPHS(定額制常時接続サービス)を利用した。

4. 3 施工管理システム

以上のような検討のもとに構築した、Web-GISを用いた施工管理システムの中から、実装された機能のいくつかに関し概説する。

(1) 施工図, 出来形図, 写真等登録・表示機能

施工管理システムの中で情報連携という観点からはコアとなる機能で、データベースに登録したCADデータや工事写真等を管理する。機能の概要は図-7に示す通りであり、ユーザー名とパスワードによってデータベースに対するアクセス権(データの更新が行えるユーザーから閲覧のみ許可のユーザーまで3グレード)を管理する。

施工プロジェクトにおいては、現場の施工の進捗に伴い原設計に対し検討を行い、設計変更を行う

場合も多々あり、CADデータに対し修正が加えられることが多い。従来は、各担当者が同一図面で管理を行う場合はレイヤーで、新たにファイルを作成する場合はファイル名で管理することが多く、データの更新や共有に関しては担当者個々に連携に任されていた。この情報を容易に共有・管理できる環境を提供するために、Web-GISを用いた施工管理システムでは、図面や写真データを検索時のヒントとなる様々な属性を持たせデータベースに登録し、施工平面図上に登録ポイントとして配置する(この登録は必ずしも必要ではない)。このシステムにより、図面等のデータは一元管理でき、ファイルやデータはGIS画面上から直感的に検索できるとともに、様々なキーワードから検索が行

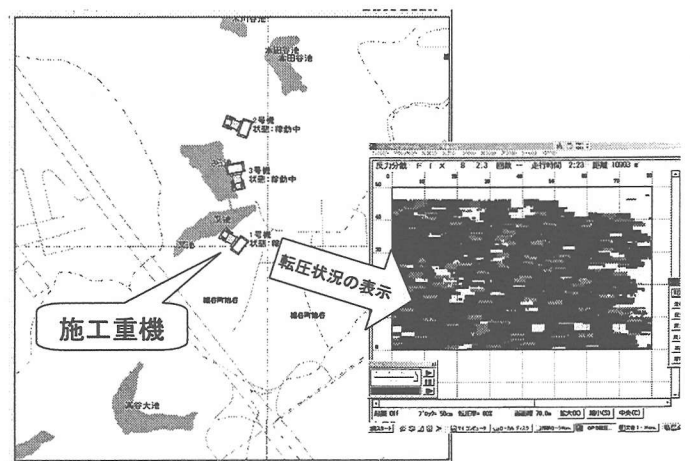


図-9 施工状況モニタリング機能

え、データの更新もファイル名の変更やレイヤーに頼ることなく行えるようになった。また、WWWを利用することを考慮し、前述のようにCADデータの表示はCADデータの中から属性を除去し、1/10以下のサイズにデータを間引きブラウジングさせることにより、図面の表示のための待ち時間を短縮させる方式を採用した。

(2) 施工状況モニタリング機能

土工事において、施工状況の監視は、その施工エリアが広範囲であるために通常は困難である。今回の施工においては盛土部が多く、その転圧管理が品質管理を行う上で重要であることから、重機（振動ローラー）にRTK-GPSと加速度センサーを取付け、転圧回数管理と乱れ率 $p$ を用いた締固め度の判定を行う方式を採用している（施工管理手法に関しては、文献15～17,19,20、および図-10参照）。重機に搭載したRTK-GPSおよび施工支援・解析システムは図-8に示す通りである。重機のオペレーターは搭載されたコンピュータにより施工エリアを指示された後、所定の転圧回数にて施工を行う。この時、重機に搭載したコンピュータは、オペレーターに対し自車位置と転圧回数を表示し、施工支援を行うとともに、現在の位置情報、および鉛直加速度を解析して得られる締固め度のデータを管理用PCにリアルタイム（データは毎秒更新）に送信する。この通信には通常はLANを用いるが、今回は、PHSの常時接続データ通信サービス（32kbps/パケット通信）を利用した。このデータを図-9に示すように、GISモニタリング画面に施工情報を表示する。また、重機施工状況モニタリング画面は、PDAでの利用も可能で、PDAの画面サイズに合わせた画像ファイルを作成し(JPEG)、Webサーバー経由で配信し、現場で利用している。

なお、現在は対象とする重機は振動ローラーのみであるが、簡易型DGPSとPDAの組み合わせで、ダンプトラック等にも適用対象を拡大する予定である。

(3) 土量計算

土工事においては、振動ローラーで締固めたエリアから概略の土工量を推定することが出来る。重機に搭載したGPSにより取得した座標データを施工管理システムのデータベースに日ごとに登録し、前回データとの差分を計算することにより概算土工量を計算する。表示例を図-11に示す。

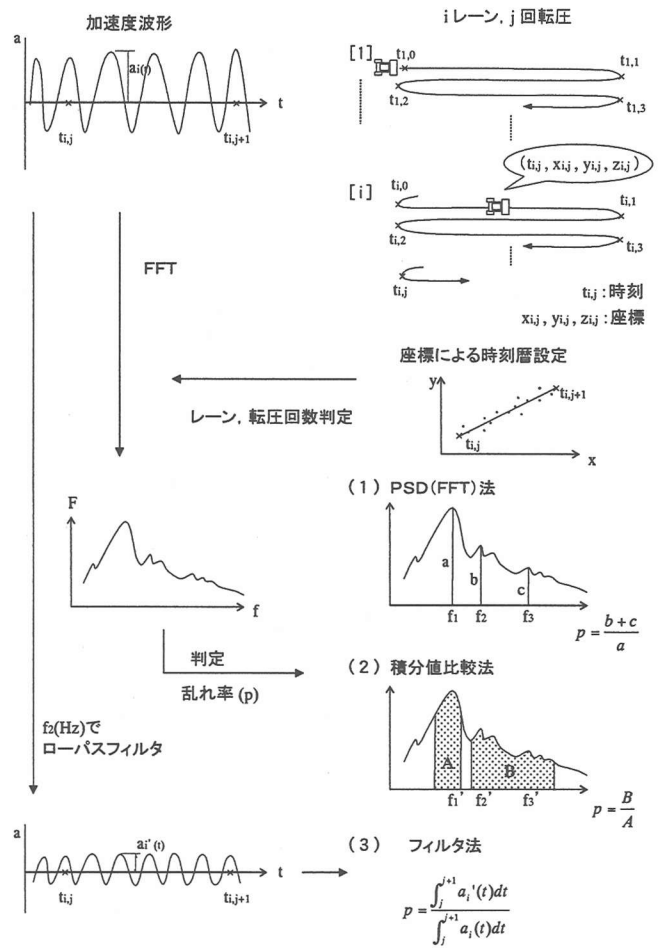


図-10 締固め度の判定手法 (乱れ率  $p$  による判定)

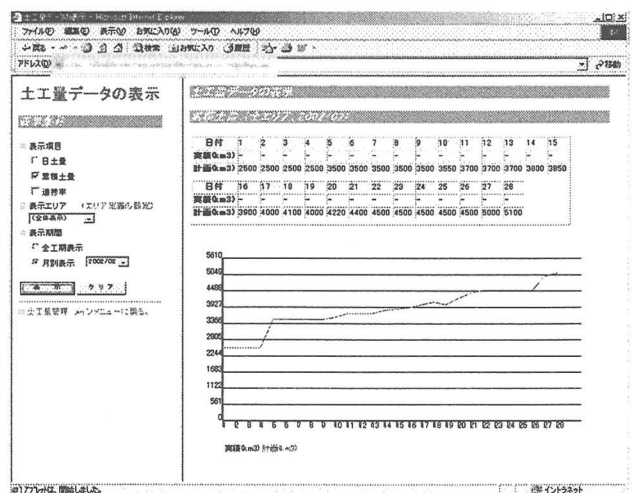


図-11 土量計算

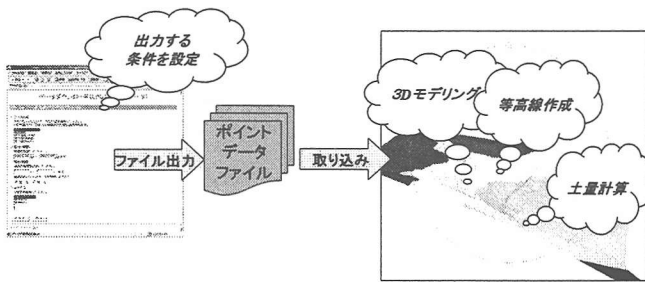


図-12 データ出力の概要図

#### (4) データ出力

データベースに蓄積したデータは、CADデータに関しては必要に応じて出力し使用することになるが、施工データ（出来形）や品質管理データ等はメッシュデータに属性を持たせデータベースに保存している。これらの出力に関してはあえて機能を特化せず、図-12に示すように特定の条件によりポイントデータを生成し、ユーザーが必要なビューを他のアプリケーションを利用して出力することとした。

### 5. システム導入に関する考察

以上のように、建設プロジェクトで扱う情報の多くは、空間参照、多数の関係者間での共有、高い更新頻度を必要とし、これらを管理する一つの試みとして、Web-GISを用いた施工管理システムを構築し、試用している。システム導入および実際の運用において、データの共有等における効率化や、リアルタイム施工管理による品質管理の高度化等、一定の成果は認められた。以下に導入による成果と問題点を示す。

#### ① データアクセス

システム構築の中で、施工時に発生する情報をデータベースサーバーを用いて共有し、Web-GISを利用することにより、特に設計図書管理に関しては大きく省力化が果たされ、設計変更前後のデータを容易に版管理でき、それらを容易に取り出せる等、アクセシビリティの向上には本システムは大きく貢献できた。

#### ② 高品質な施工管理の実現

今回、本システムを適用した現場では、図-8に示すような施工管理システムを重機に搭載し、盛土の施工（転圧）情報はオペレーターおよび管理室でリアルタイムに表示される。これらのデータは日ごとにデー

タベースに格納され、図-12に示すシステムを利用して任意の日付、および断面の面的な品質を出力することが出来るようになり、高度な品質管理を可能とした。また、PDAを用いることにより、現場で職員も施工状況を確認できるようになり、重機オペレーターも情報を確認できることから、施工に対する意識が向上し、結果的に品質の向上につながった。

#### ③ 情報の真の共有

データの共有に関しては、WWWを利用することにより場所を選ばずにデータにアクセスでき、GISによる直感的なアクセスシステムから目的を達成できた。しかし、施工中に取得される各種のデータを他の施工プロセスへ利用することは十分実施できず、管理図書や報告書等を作成するためだけの情報は依然として存在することとなった。

#### ④ セキュリティ

本システムの運用にあたっては、現場にシステムおよびサーバーを設置したが、インターネットより外部から多数のシステムへの攻撃を受ける状況にある。後述の通信インフラ（速度）の影響もあり、当面、現場にシステムサーバーを設置せざるを得ないが、システム管理やセキュリティ対策に関しては運用環境やコスト等を考慮し、今後の重要な検討項目であると考えられる。

#### ⑤ 通信インフラの脆弱性

データの流通には、図-5に示すようにインターネット（イントラネット）が大きな役割を果たすが、現状では次のような通信インフラに関わる問題点がある。

- ・通信環境：特に土木工事においては通信環境左右され、一般のキャリア通信や無線がうまく使用できないことが多い。また、既存のインフラが高速通信を阻害するケース（ISDN等）もある。

- ・通信速度：移動体（主として重機）と管理用コンピュータ間では、必ずしも高速通信は必要としないが、データベースサーバーとクライアント間には大容量のデータ（CADデータ等）の送受信がなされることが多く、高速性が必要である。

- ・通信コスト：今後、施工管理のうち品質管理としてリアルタイム管理が必要となることが増加することが予想されるが、この場合、導入に係わるイニシャルおよび通信コストが大きな問題となってくる。

## 6. おわりに

情報関連の技術は、近年まさにドッグイヤーで進歩し、建設工事における情報化はハード・ソフトの両面から急激に進みつつある。このような背景と、情報の共有という点において有力なツールである点からGISを今回現場施工管理に適用した。今後はXMLをツールとして、施工中の発注者・施工者間のデータ交換に関する検討を引き続き行うが、今回の事例が、新しい施工管理の手法の一つとして参考になれば幸いである。

## 参考文献

- 1) GIS関連連絡象徴会議：GISアクションプログラム2002-2005, 2002.2.20.
- 2) 西原孝美・竹田春美・園田慎一・久米仁司：土質データベースと連携した地盤断面表示システムの開発, 第26回土木情報システム講演集, pp.17~20, 2001.
- 3) 佐久間・岩楯・板橋・倉持・菊地：表層地盤における地震時応答特性の検討とGISを用いたデータベース化, 第26回地震工学研究発表会講演論文集, pp.249~252, 2001.8.
- 4) 矢吹信喜・斎藤大輔：3次元プロダクトモデルと電子タグによる水圧鉄管の点検情報システム, 土木情報システム論文集 Vol.10, pp.113~120, 2001.
- 5) 諏訪・吉田・野畑・関：複数建物の地震リスク評価に関する一考察, 日本地震工学研究会・討論会, pp.162, 2001.
- 6) 蒔苗耕司・伊藤俊明：道路施設管理システムインターフェイスへのweb3Dの応用, 土木情報システム論文集 Vol.10, pp.121~128, 2001.
- 7) 竹本・鈴木・菊地・奥田・山田・近藤：大地震を想定した危機管理システム, 大林組技術研究所報特別号, pp.198~203, 1996.
- 8) 菊池敏男：地震防災情報管理におけるGISの活用—大地震を想定した危機管理システム—
- 9) M.Yamada, K.Onuma, S.Okuda, T.Kikuchi:  
INTRODUCTION TO QUAKE MAPPER, Inter-national Workshop on The Integration of Data for Seismic Disaster Mitigation in Metro Manila, pp.135~142, Nov, 2000.
- 10) 北原武嗣：群馬県における広域的地震動分布評価の一例, 第26回土木情報システム講演集, pp.69~72, 2001.
- 11) 片寄学・小池正己・福森浩史・森下裕史：「IT土エシステムDREAM」の開発と実用化, 第26回土木情報システム講演集, pp.97~100, 2001.
- 12) 佐用泰司：工事管理, 鹿島出版会, 1978.
- 13) ISOにおける性能照査型設計とCENにおけるCPD（建設製品指令）：「ISOへの対応」に関する第2回シンポジウム, 1998.
- 14) 日本建築学会：建築工事標準仕様書・同解説 JASS5 鉄筋コンクリート工事, 1997.
- 15) 古屋 弘ほか：加速度計とGPSを利用した締固め管理システムの開発, 第34回地盤工学研究発表会, 1999.
- 16) 古屋 弘ほか：加速度計を利用した締固め管理システムにおける解析手法の比較, 第54回土木学会年次学術講演会, 1999.
- 17) 例えば, 古屋 弘ほか：振動ローラーを用いた締固め管理手法に関する考察（その2：加速度データと現場密度の関係）, 第36回地盤工学研究発表会, 2001.
- 18) (社) 日本土木工業協会：2001年度 土工協 情報化実態調査報告書, 2002.4.
- 19) 建設省土木研究所 機械施工部施工研究室：振動ローラーによる盛土の締固めに関する調査, pp.1~76, 1985.
- 20) 建山和由・藤山哲雄・西谷誠之：締固め施工における振動ローラーの振動挙動に関する考察, 土木学会論文集 No.544, III-37, pp.231~237, 1996.