

## I-30 3Dプロダクトデータを用いた土工事施工支援システムの開発と現場適用

## Development a new construction support system for the earthwork using 3D product data

古屋 弘<sup>1</sup> ・ 千葉洋一郎<sup>2</sup>

Furuya Hiroshi, Chiba Yoichiro

**抄録：** CALS/ECの推進による設計データを中心とした電子化は急速に進み、設計図書や施工中の検討図にCADデータが多用されているが、このCADは施工を行う上で中心的なデータであり、このデータを有効に活用することは施工の合理化を検討する上で重要である。

本報ではCADデータを基に3次元プロダクトデータを作成し、重機施工に利用すると共に、現場で発生する情報やデータを有効に管理する一つの試みとして、新しい施工支援システムを構築し現場適用を行った事例の報告を行うものである。システム導入により機械施工および施工管理において大きな効果が得られたが、コスト・システム管理等に対しての問題も明らかとなった。

**Abstract:** As the CALS/EC has been improved in civil engineering construction, the various drawings, such as CAD data, and it is important to utilize CAD data effectively when considering rationalization of construction.

Based on these backgrounds, this paper reports the new construction management system, which used 3-dimensiona product data for earth-moving machinery at the earthwork site, and verifies the availability in using this system. Although the big effect was acquired in machine construction and construction management by introduction this system, it became clear the problem about the cost of system introduction and system maintenance etc.

**キーワード：** CAD, GPS, 土工事, 重機施工, 施工管理, 情報化施工, 3Dプロダクトデータ

**Keywords :** CAD, GPS, Earthwork, Machine construction, Project Management, Information construction system. 3D-Product data.

## 1. はじめに

土工事における情報化・電子化の中で、比較的普及の遅かったCADはCALS/ECの推進により急速に一般化されつつある。CADの利用は迅速且つ正確な作図を行うと共に、思考支援のツールとして有効に使われ、作業の省力化と高品位化に寄与しているが、設計段階ではアプリケーションの進化と共に後者の使い方が増えつつあるのに対し、施工時には施工図ならびに設計変更・竣工図書の作成等、前者（作図ツール）として主として利用されることが多い。

ここで、設計段階では現地の地形や構造物の形状をイメージしつつ3次元のデータを少なくとも設計者の頭の中では構築しているわけであるが、設計図書としてCAD化された時点で2次元データとなり、施工時には担当者が思考しながら再構築（3次元化）し施工を行うことが必要となる。すなわち、作図時に欠落する情報の存在と、図面から実現場へ情報を展開する時のデータを解釈する者のノウハウに依存する部分の存在があることから、本来3次元の構造物構築を2次元データを介して行うことは、処理時間の増大やデータ

解釈の個人差が生じやすい。一方、土木分野における3次元データの利用に関しては標準化作業も進みつつあり、PCとアプリケーションの機能の高度化に伴い、現在では3次元データはパースの出力や土工量計算、測量関連の評価システム等における利用も始まっている。

このような背景から、設計データから3次元データを生成し、それを施工にそのまま利用することは、情報化施工の中で業務援助に大きく寄与することが期待でき、これらの特長を生かした実用化事例は今後徐々に増え続けるものと考えられる。

本報では、3次元データを施工に利用し、現場で発生する情報やデータを有効に管理する一つの試みとして、比較的広域な土工事の現場に施工支援システムを構築し、現場適用した事例の報告を行うものである。

## 2. 技術開発の考え方と情報化施工のコンセプト

建設工事においては、構造物を構成する材料や構造といった要素技術分野の学術的研究の進歩を背景に、設計の高度化と信頼性向上が進み、性能規定を取り入

1：正会員 工博 (株)大林組 土木技術本部 情報化施工グループ

(〒108-8502 東京都港区港南 2-15-2 品川インターシティB棟, Tel :03-5769-1322, E-mail : furuya.hiroshi@obayashi.co.jp)

2：正会員 (株)トリオン (〒150-0031 東京都渋谷区桜丘町 9-3 渋谷内田ビル2F, Tel :03-5459-1317, E-mail : chiba@trion.co.jp)



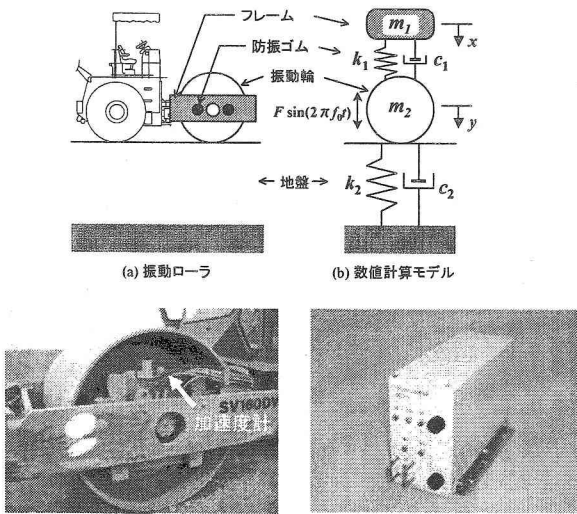


図-3 加速度解析システム概要

この情報管理において筆者らは「Web-GISを用いた土工の施工管理システム」<sup>2)</sup>を構築し現場にて実装し、現在も現場を替えて適用を継続中である<sup>3)</sup>。今回は大規模な土工現場における適用であり、土工重機はブルドーザーと振動ローラーが施工の主体となる。施工支援に関しては機械施工サービスにて述べるが、施工管

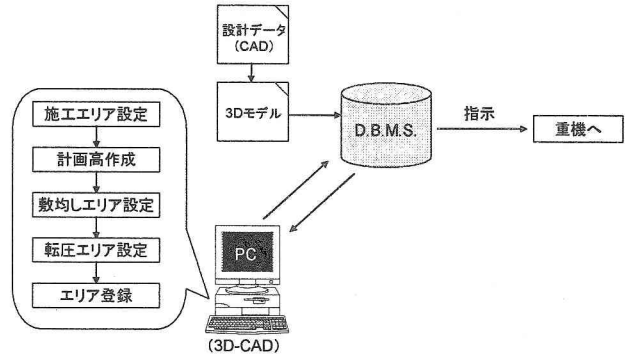


図-4 施工計画作成支援の概念図

理ではサブサービスに示される品質管理と出来形管理、および施工計画作成支援を行うこととした。品質管理に関しては図-3（車載モニターの例は図-6参照）に示す加速度解析による締固め度管理<sup>4)5)6)</sup>を行うこととし、出来形管理は移動体に搭載するシステムにおいてGPSによる重機の軌跡管理システムを利用し、重機の施工結果から取得した空間情報を用いて、数均し・転圧結果をデータベースに保存し利用している。なお、重機の施工結果から得られる出来形は、当然GPSの計測精度に依存することから、精度の高い出来形計測は

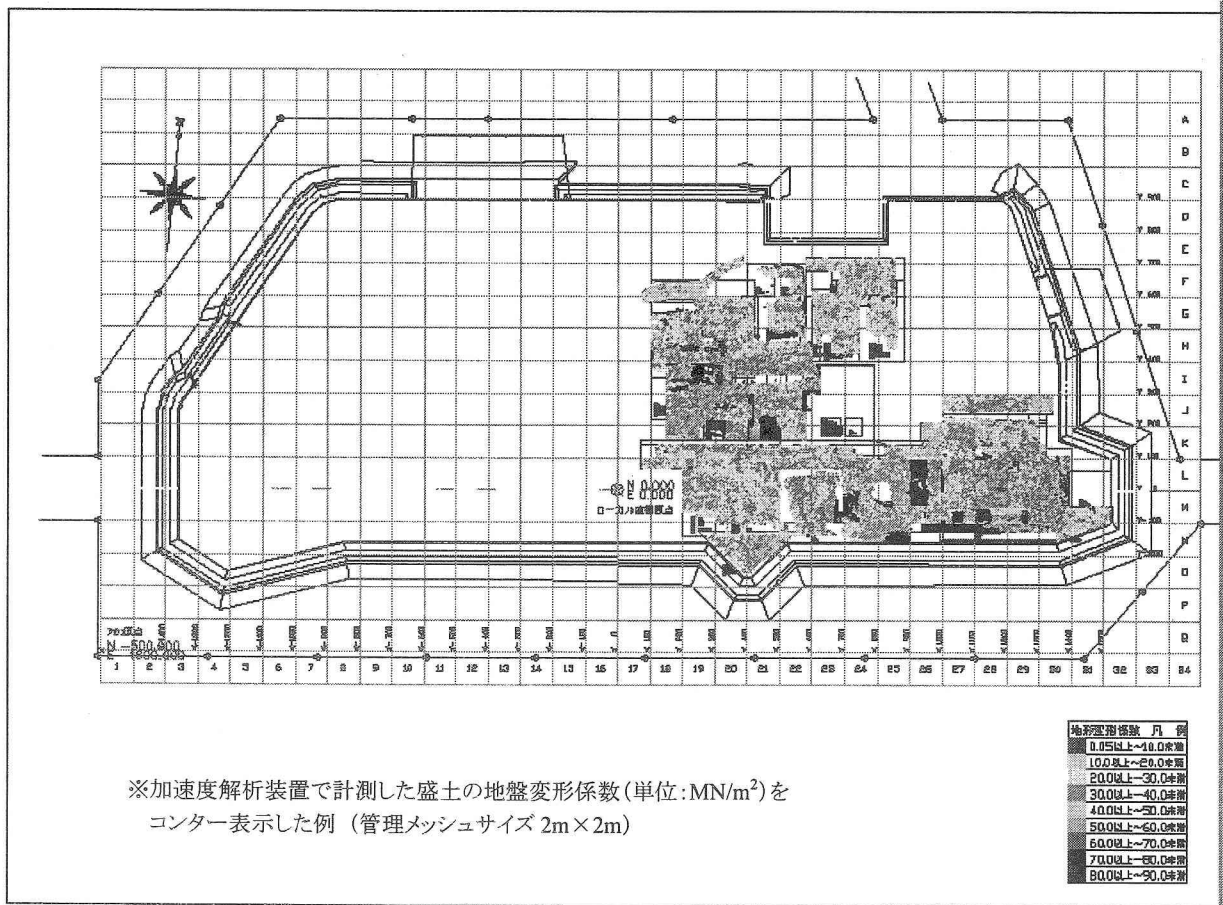


図-5 帳票出力例(層毎の地盤変形係数)

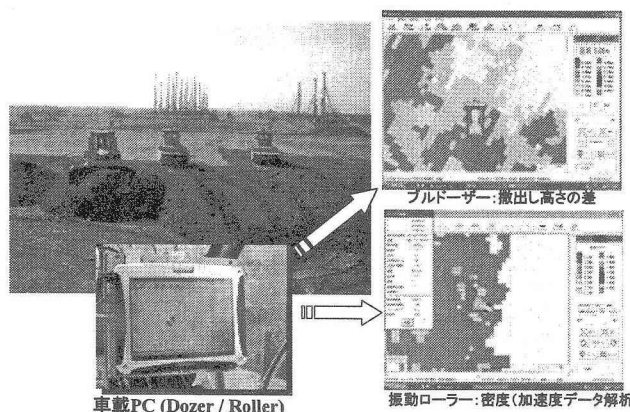


図-6 重機施工支援システム(オペレーターのビュー)

別途行っている。

また、施工計画作成支援は図-4に示すように3Dデータを用いて各重機に対して施工エリア等の割り当てを行うものであるが、データの作成・利用方法に関しては次章で述べる。

(2) 監督検査

サブサービスとしては「施工管理」と重複するところが多いが、このサービスは施工者においては監督者(または発注者)に施工管理データ等を提出することが主体となる。基本的に本システムで扱う帳票は、品質管理・出来形データとなるが、それらのデータは施工中に取得されたデータをデータベースに格納後、必要なデータを取り出し利用している。基本的に3Dのデータをデータベースに格納し、3D-CADをインターフェイスとして利用しているため、任意の帳票出力が可能であるが、図-5に示す出力例のように、ユーザーの負荷を減らすため、予め帳票のテンプレートを作成し、メニュー上から簡単な選択で出力が可能システムとした。

(3) 機械施工(重機土工)支援

本システムにおける重機施工支援サービスとしては、重機オペレーションのサポートを行っている。施工管理の中の施工計画作成支援サービスで作成したデータを、無線LANを用いて各重機に配信し、施工指示を行うものである。本システムにおいては対象とする重機をブルドーザーと振動ローラーとし、重機オペレーターに対して以下に示す施工支援を行えるシステムとした。システムのオペレーター席でのモニター例を図-6に示す。各重機のデータ配信と利用に関しては次章で述べる。

- a) 無線LANを用いた重機土工のネットワーク化
- b) 3D-CADとデータベースを用いた重機連携管理
- c) ブルドーザーに対して敷均しデータを直接指示：施工エリアの指示と丁張りレス施工
- d) 敷均しが終了したエリアをローラーに引き継ぎ

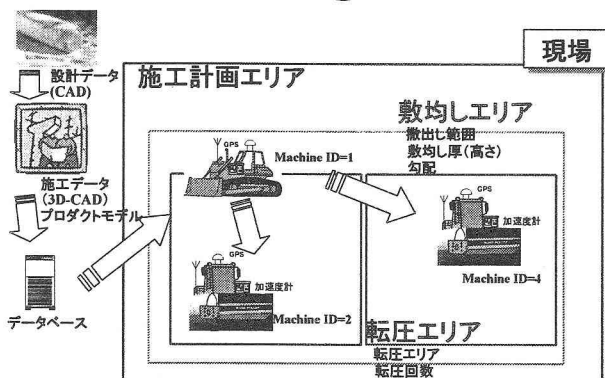
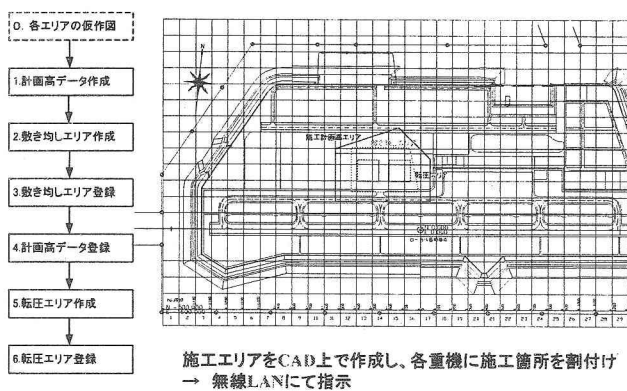


図-7 施工エリアの概念

所定の施工(工法規定)にて転圧支援(転圧エリア、転圧回数、加速度解析データによる品質管理)

e) 出来形の取得(概算出来形の自動取得)

(4) 環境保全と安全

このサービスは本システムで直接的に対応はしていないが、重機の稼働状況のモニタリングが無線LANによりリアルタイムに行えることと、丁張りレス施工と加速度解析による品質の自動取得の結果、重機土工の作業中に測量や品質管理等の作業を行う必要がなくなり、安全管理に結果的に寄与する事となった。

4. システムにおける3Dデータの役割

前述のように、近年はCALS/ECの普及により、設計図書は電子化され、特にCADの普及は著しい。しかし、多くは平面図と断面図で構成された2次元データであり、作図時に欠落する情報の存在と、図面から実現場へ情報を展開する時のデータを解釈する者のノウハウに依存する部分の存在がある。一見簡易な2次元データは、このような問題を内在しており、これらの問題を解決する手段として3次元データの活用が有効であると考えられる。

このような背景から、施工において予め3次元データを生成し、それを施工にそのまま利用することは、

情報化施工の中でそこに参加しているアクター（監督員・現場職員・重機オペレーターなど）に対する業務援助に大きく寄与することとなるものと考え本システムを構築した。土工事施工支援システムの中ではシステム概要でも述べたとおり、ターゲットとする施工重機（オペレーター）を図-8に示すようにブルドーザーと振動ローラーに絞り、3次元化した施工データを複数の施工重機に予め割り当てる。施工開始時に重機オペレーターは、重機に搭載したシステムを立ち上げると施工情報は自動的に無線LANによって配信され、エリア情報を取得する。ここで、エリア情報とは図-7に示すように、ブルドーザーでは敷均し範囲と敷均し高さ、振動ローラーは転圧範囲と転圧回数を含む情報で、共に3次元情報である。このエリア情報を基に、図-6に示すようにブルドーザーではオペレーターは決められた範囲に高さが許容誤差に収まるように敷均しを行い、振動ローラーは自車の転圧範囲・転圧回数と共に、図-3に示す加速度解析装置（ $\alpha$ システム）により、締固め度および地盤剛性を取得する。

ユーザーである各重機のオペレーターは、システムの上では図-6に示すように施工エリアを平面（2次元）的に捉え、自車の施工すべきエリア（位置）を取得し指示に従い施工を行う。このデータの実態は3次元のデータであり、特にブルドーザーにおいて3次元データ利用の効果が顕著である。すなわち、複雑な縦横断勾配を保ちつつ規定の敷均し厚で施工を行うため

には、従来は多数の丁張りを現地に設置し、その目標に対してオペレーターは重機を操縦しなければならなかったが、本システムを用いることにより、モニター上で計画データとGPSにより取得した空間情報との差異を数値とコンターでオペレーターにリアルタイムに示すことにより容易に施工状況を把握できるようになった。

3次元データの施工における利用は、出来形取得のみを目的とすればTIN（三角形網）の利用が有効であるが、今回の利用目的の中に品質管理があり、振動ローラーの工法規定による管理等があることから、メッシュ法によるデータ管理（管理メッシュサイズ1m）を採用し、データベースから様々なデータを抽出し利用できるシステムとした。

なお、施工指示におけるエリア情報の中で、重機（特にブルドーザー）に対しては標高を指示し、施工結果もGPSにより標高を取得するが、今回の施工は大規模な空港島であり、埋立てに伴う沈下が継続中である。このため施工指示における目標高さ、および取得した施工結果データは、ある期間内はGPSの精度内で保持しているが、時間の経過と共に真値と離れていく。すなわち、実際の施工エリアは主として圧密沈下により施工標高が下がってゆくが、システムでは施工時の標高データを保持するため、実際の地盤高とは異なったデータを保持することとなる。よってデータの管理は3次元のデータの他に、敷均し・転圧を行う「層」（当

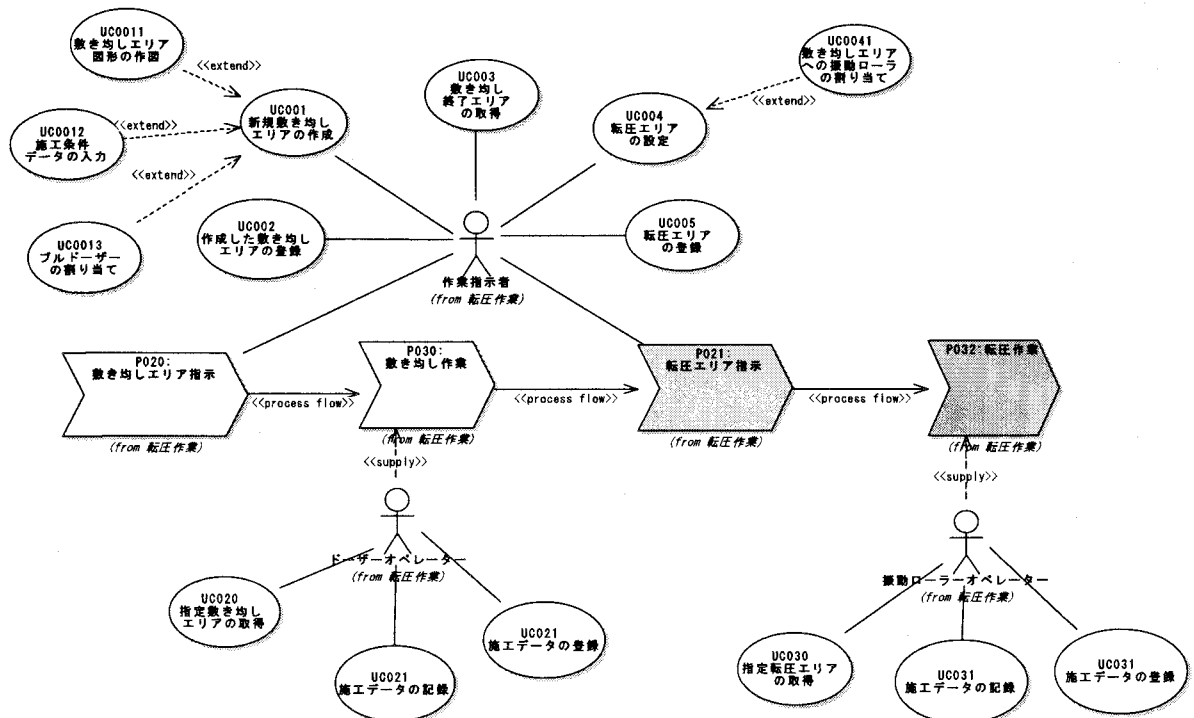


図-8 システムのターゲットとするアクターとユースケース

現場では 60cm 仕上がり厚で 14 層の施工を行う) の概念を取り入れ、施工結果の抽出や帳票出力時には、エリアと層を単位とした方法を用いることとした。

### 5. システムの実装例

土工事施工支援システムの構成を図-9に示す。システムはデータベース1台、クライアントPC2台、重機搭載の管理システム7台(最盛期には14台予定)、および無線LANシステムで構成した。

今回、本システムを採用した現場は大規模土工を短期間に行う現場であり、複数の重機が施工計画に従って整然と施工を行う必要があった。このため、各重機に対して前述の「施工エリア」という概念で施工情報を配信することとした。この施工エリアは図-7に示すような工程で作成する。データ作成には3次元CADを施工支援用にカスタマイズしたプログラムをインストールした管理クライアントPCを工事事務所、および現場詰め所に設置し、サーバーとLANで接続した。作成したデータはデータベースサーバーに登録・蓄積し、重機オペレーターは作業開始時にシステムを起動すると、無線LANを介して自動的に施工エリア情報を取得する。3次元データを配信していることから、特に敷均し作業(ブルドーザーに対して)は現地で丁張りを必要とせず、作業の効率化に大きく寄与している。また、3次元CADシステム上で施工計画を作成できることから、職員は工程計画と実作業を検討しな

がら作業計画を作成し、先々の作業計画を蓄積することができるというメリットもある。また、転圧管理(振動ローラー)に関しては、従来行われているGPSを用いた転圧回数管理(メッシュによる軌跡管理)の他、加速度データを用いての品質管理結果も取得するため、面的な品質管理を行い、そのデータをデータベースに蓄積し3次元情報として活用することで、品質管理の高度化と共に竣工後の維持管理データとしての利用も可能となっている。このシステムを利用し、各重機は自車に搭載されたシステムでサーバーからの施工指示を取得し、その指示に従い整然と施工を行い、施工範囲の施工が終了すると施工完了の信号と共にデータを送り、新たに施工エリアを取得するという施工の繰り返しを行う。

なお、本システムは図-10に示すように、無線LANの採用によりサーバーと重機はデータ交換を行い、管理クライアントPCも施工現場にあることで、急な施工順序の変更や、重機の故障等による施工途中での重機間のデータ交換(重機の交代)も容易に行える等、柔軟な運用も可能なシステムとした。また、重機とサーバー間のデータ交換は、初期データ(施工エリア)の取得に関しては一時に連続して行わなければならないが、施工(結果)データは無線LANの状態をモニタリングしつつ、データトラフィックの平準化を図るため、最短で2分間隔でデータをサーバーに送信することとした。

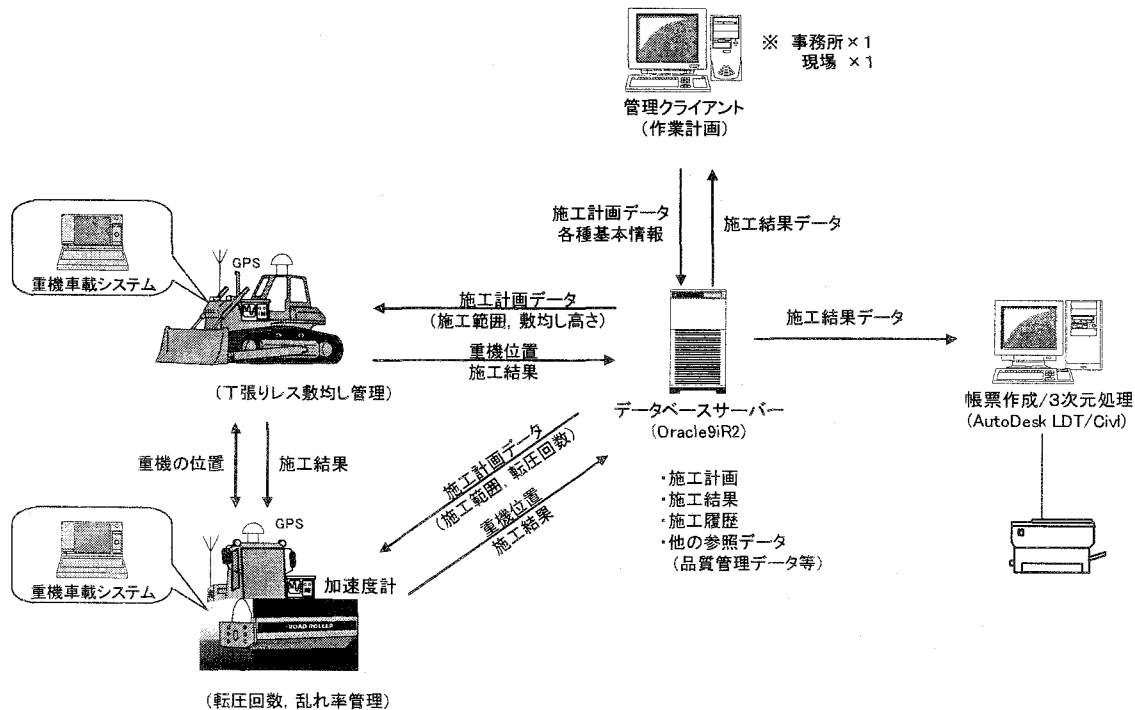


図-9 土工事施工支援システム(Logical model)

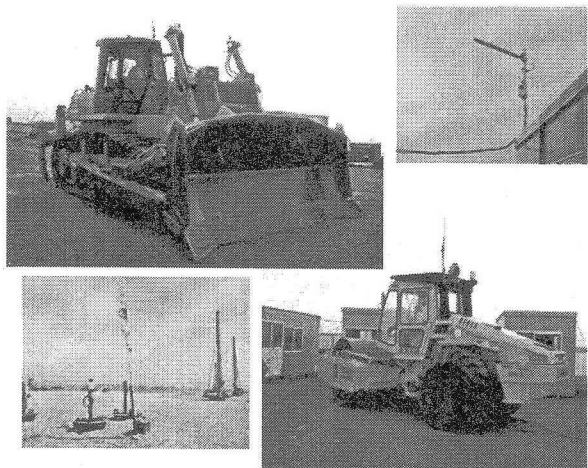


図-10 システム搭載重機と現場無線 LAN

6. システム導入に関する考察

以上のように、今回の土工事施工支援システムは、3次元データを施工に利用し、施工支援を行うことを目的としているが、設計データ (CAD) の有効利用、および異なる重機間のデータ連携もシステム構築の上で大きな目的となっている。今回システムでは、これらを実現する一つの試みとして、データベースと3D-CADを用いた施工支援システムを構築し、運用している。システム導入および実際の運用において、設計、施工、品質・出来形管理データの共有と、丁張りレス施工やデータ指示の効率化、リアルタイム施工管理による品質管理の高度化等、図-11に示すような一定の成果は認められた。図-11は主な作業内容において従来方法での作業工数を100とした場合のシステム導入における効果を比率で示しているが、全般的に効率化が図られていることが解る。特出すべき点は、重機オペレーターに対してシステムから直接施工指示を出し施工を行う点で、職長を含めた前日の打合せで入念な作業計画を立てておき、それをシステム上に入力しておけば、オペレーターは自車の施工場所を迅速かつ正確に把握し施工を開始できる。また、施工結果はリアルタイムに車載モニターに表示されるため、従来は把握できなかった施工誤差等が瞬時に解るため、オペレーターの施工に対する意識が高まり、ブルドーザーでは不陸が小さくなり、振動ローラーでは施工ラップを含め未転圧領域のない施工を行うといった高品質な施工を行うことが可能となった。

なお、帳票出力に関しては従来方法よりも工数が増加しているが、これは取得可能なデータ量が増え、それらをコンター図等に出力するためであり、CALS/ECの動向も考慮しつつ、施工管理図書のありかたに関しては今後の検討課題であると考える。

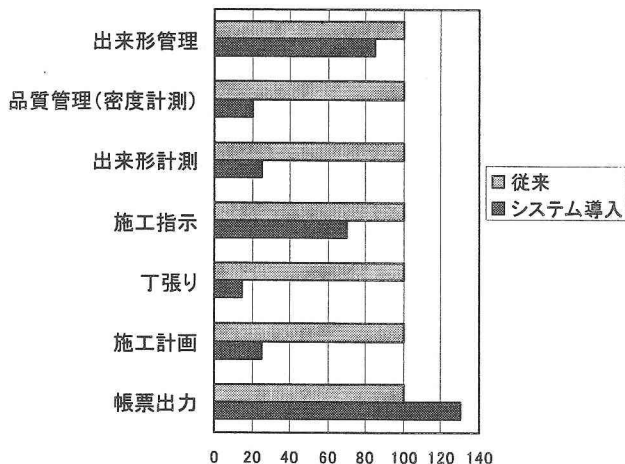


図-11 システム導入による効果 (従来方法を100とした作業工数の比較)

また、振動ローラーに搭載した加速度解析装置を用いて締め度の評価を面的に行うことにより、従来のRI計測によるサンプル検査を超えた品質管理を実現している。

しかし、システム運用等で以下のような問題点も浮き彫りとなった。

a) システム構築に伴うイニシャルコスト

システム構築に伴い相当の初期費用が発生するが、施工費用に対する通常の管理費とシステム導入による費用低減効果がバランスすることが導入の前提条件となる。今回システムを導入した現場のように大規模な現場であれば、施工管理も膨大なものになり、初期投資に対してランニングコストの低減で十分ペイするが、小規模な現場でのコストバランスは難しい面がある。この問題は将来的にはASPやWebサービスで解決できる可能性はあるものと考える。

b) 無線LANシステムの脆弱性

本システムは事務所と空港島(約2.2km)および重機間をネットワーク化している。このため超指向性アンテナで事務所と空港島を結び、現場内はLAN中継局を多数設置する必要があった。この中継局は現場の特性上固定することが出来ず、バッテリー駆動の移動局としたため、電源メンテナンスの煩雑性が現場から指摘された。

c) データのバックアップ

データベース本体のデータバックアップもさることながら、重機からリアルタイムに取得するデータをデータベースに確実に送るまでのデータ保持、およびバックアップは重要である。重機で取得した施工データは3重のバックアップを行っているが、屋外で衝撃の大きい場所で使用するシステムであることから、車載PCの突然のダウン等を考慮したデータ保持機構が必要である。

## 7. まとめ

今回は、大規模土工事である空港島造成工事において施工支援システムを構築し、4つのサービスを対象として土工現場での運用を行った事例を報告した。今後は3次元データの有効な可視化の方法と CALS/EC を考慮しつつ XML をツールとしてのデータ交換、特に取得データの納品（効果的なビューの提供も含む）に関する検討を引き続き行う予定である。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) 「情報化施工のビジョンー21世紀の建設現場を支える情報化施工ー」について、国土交通省総合政策局, 2001年3月.  
[http://www.mlit.go.jp/kisha/kisha01/01/010330\\_.html](http://www.mlit.go.jp/kisha/kisha01/01/010330_.html)
- 2) 古屋 弘 : Web-GISを用いた土工事の施工管理システム, 2002年度土木情報システム論文集 VOL.11, pp.67~76, 2002年10月.
- 3) 浅羽英夫 ほか : 城郭石垣修復における Web-GIS を用いた石垣保全情報管理システムの適用, 土木学会第 59 回年次学術講演会, 2004年9月.
- 4) 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年.
- 5) 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年.
- 6) 例えば, 古屋 弘ほか: 振動ローラーを用いた締め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年.

(2004.5.21受付)