

EWSによる土工事出来形管理システムの開発

A Development for Control System of Completed Amount Using EWS

三井建設(株) ○高田知典*
三井建設(株) 中川良文**
三井建設(株) 佐田達典*
三井建設(株) 林 俊夫***

By Tomonori TAKADA, Yoshifumi NAKAGAWA, Tatsunori SADA, Toshio HAYASHI

複雑化・多様化する建設需要、施工精度・品質・工期に対する要求レベルの高度化につれた管理業務の増加といった建設業をとりまく状況の中で、いかに限られた投入資源（人、金、資機材）を効率的かつ安全に運用・展開させて施工生産活動の最適化を図ることができるか、すなわち生産性の向上が重要な課題となってきた。このような背景のもと、土工事を対象に施工管理業務に係わる各支援システムを統合した施工管理支援システムの開発に着手している。その中でも、基幹となる土工事におけるEWSを用いた出来形管理システムの基本的部分の開発を完了したので、本稿ではその機能と造成現場における適用事例について報告する。

【キーワード】 EWS、出来形管理、GPS、CG、デジタルスチルカメラ、写真測量技術

1. はじめに

土工事における出来形管理は切盛土量バランスなどの工事計画、重機計画、運土計画などの計画業務から、企画・設計段階での景観シュミレーション、CGによるプレゼンテーション、また、施工段階での土量管理まで幅広い業務段階で重要な管理業務となる。これらの業務プロセスで現状、問題となるのは一つにはデータ入力の手間や種々の計測手法に対応したシステムがないこと、これらの業務段階を一つのシステムで処理可能な機能を有していないことであろう。土工事における地形データの入手は昨今の光学・エレクトロニクス技術の進展に伴い急速に進歩してきている。高精度のスキナによる図面読み取り、航空写真測量など現地地形や計画地形の地形データの獲得も従来に比べ効率化されてきている。また、施工段階では、計測手法は種々多様化してきており光波測距儀を利用したトータルステーション

をはじめ、衛星電波を用いるGPSを利用した地形測量も実用化され、特にアンテナを搭載した移動車両による「GPS走行連続出来形測量」¹⁾は従来法に比べ大きな省力化が実現されている。他にも筆者らはデジタルスチルカメラを用いた3次元形状計測システム²⁾や、その場で図面作成が可能な2次元フィールドデジタイジングシステム³⁾など、多様な地形データ入力ツールを開発してきた。これらのシステムは従来の測量手法と異なり、適用場面により使い分けできるとともに膨大な情報を入手できることが最大の特徴である。よって、高速に大量のデータを処理できるシステムが要求され、同時に、プレゼンテーションの高度化も望まれるようになってきた。

そこで、筆者らは種々のデータ入力ツールに対応し、企画から施工管理まで一貫して処理可能なEWSを用いた土工事出来形管理システムを開発した。本システムは土工事を対象とした統合施工管理支援システムの中の基幹システムの一つであり、原価管理システム、工程管理システムと統合データベースを介した情報のリンクを目指している。

* 技術研究所第三研究開発部門 0471-40-5207

** 技術開発推進部 03-5821-7285

*** 土木本部土木設計部 03-5821-7160

2. システムの概要

(1) 概 要

システムの業務プロセスごとの適用場面としては、図-1に示すように、企画・設計段階での景観シミュレーション、CGによる企画提案、計画段階での重機計画、運土計画、施工管理段階での土量管理、出来形管理までを対象としている。図-2にシステムの機器構成およびデータ入力ツールを示す。

対応するデータ入力ツールとしては（表-1）、

- ① デジタイザー
- ② イメージスキャナ
- ③ トータルステーション（光波測距儀）
- ④ GPS（連続走行計測）による地形測量
- ⑤ デジタルスチルカメラによる3次元形状計測システム
- ⑥ 2次元フィールドデジタイジングシステム（新平面測量システム）に対応している。

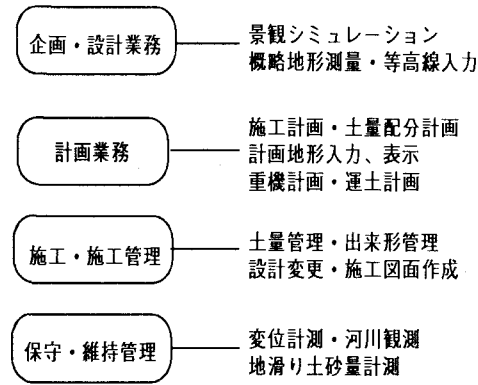


図-1 業務プロセスごとの処理

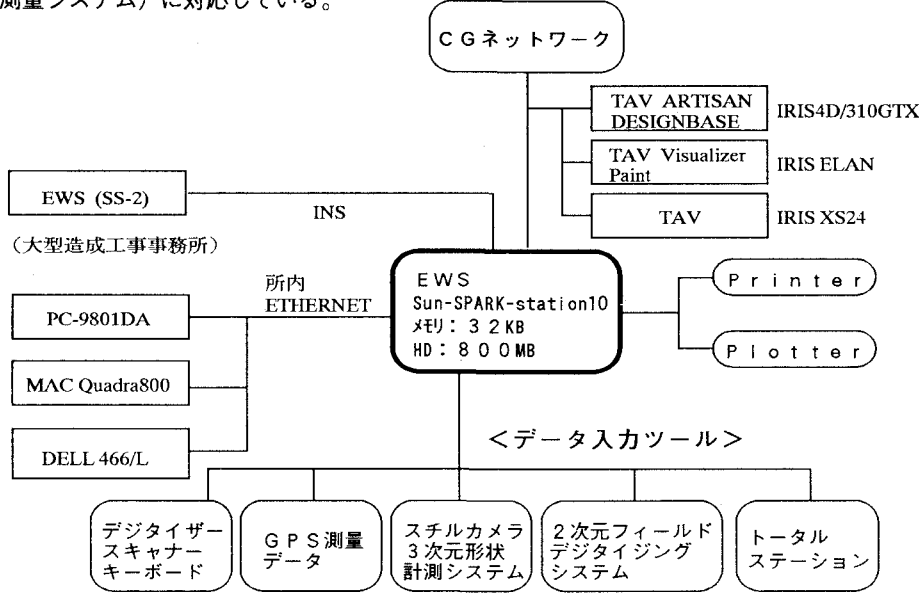


図-2 システム構成およびデータ入力ツール

システムの主な特徴としては次があげられる。

- a) EWSを用いることにより、計画事例をデータベース化し種々の計画、設計シミュレーションが容易となり、大幅に作業効率を向上できる。対象となる施工領域が拡大し、一度に大量の土量を高速に算定できる。
- b) 一度データを作成すれば、業務プロセスに併せた処理が可能となる。

- c) 適用場面（計測範囲、対象物、計測目的、所要精度など）に即したデータ入力ツールを選択できるため、計測作業、データ入力作業が大幅に省力化される。
- d) マルチユーザーを対象としたネットワークシステムの構築により、複数現場でシステムを共有することができ、どこでも高品質の出来形管理が指向できる。

(2) システムの機能

システムは、工程管理・原価管理システムとのデータリンクのほかに大きく7つの機能に分類される。図-3にシステム機能およびフロー図を示す。

a) プロジェクト管理

工事、プロジェクトごとの地形データ（現況データ、計画データ、層別データなど）や時系列ごとの出来形ファイル、工事数量などを管理し、ファイル間のリンク、修正、追加を可能とし、種々のシミュレーションを容易にするモジュールである。

これにより、種々の条件（メッシュ間隔、土量変化率、層分類、重機分類など）の変更に柔軟に対応でき、代替案の作成や比較検討を迅速に行うことができる。

b) 地形データ入力と3次元表示

原地盤、計画、現況、施工段階ごとの地形データは、種々の入力・計測・測量方法で得られたデータから変換でき、自動的にメッシュデータの生成を行う。また、メッシュデータより、投影図、任意点からのワイヤフレームによる透視図、任意地点間での断面図を対話形式で即座に表示する。

さらには、大量の現況地形の形状データの獲得が容易になったことから、アニメーション、フォトモンタージュなどの作成が、計画時点に限らず施工段階ごとでも迅速に作成可能となった。

c) 土量計算および搬土計画

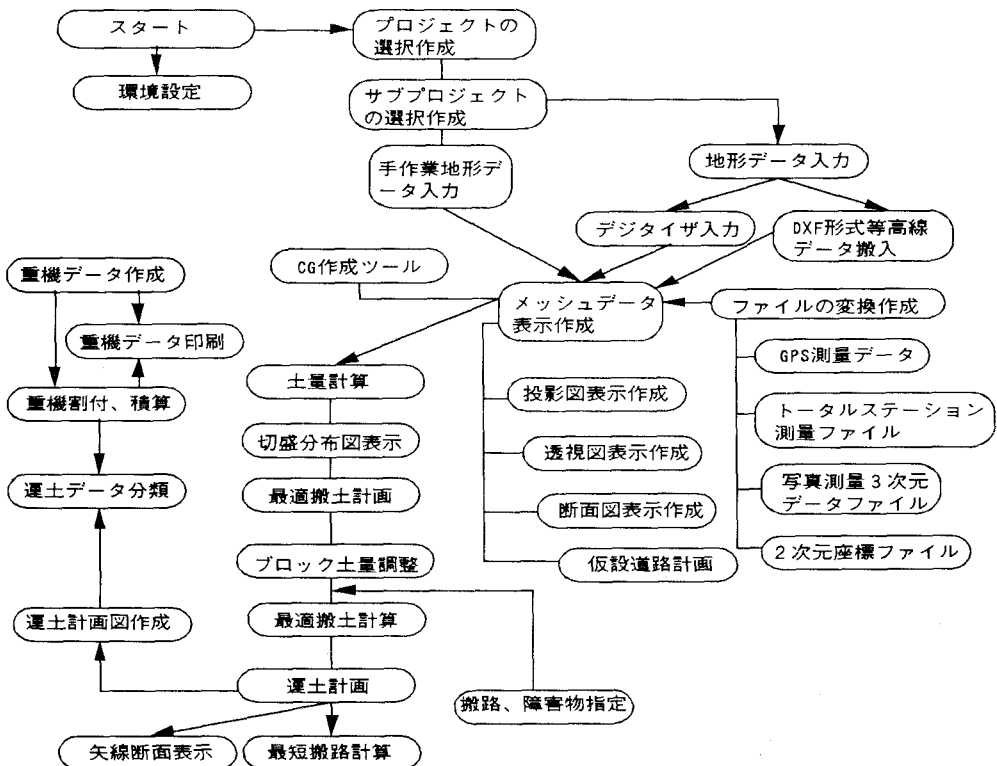
メッシュデータを等高線データより自動作成し、土量計算、切盛分布図を作成する。施工エリアのブロック分割、ブロック土量調整、搬路・障害物の指定、工区分割を行い、最適搬土計算、最短搬路計算運土計画図をプロッターなどに出力する。また、仮設道路の計画図、土量計算などの計画も行う。

d) 重機計画

個々の重機データ（重機能力、単価など）を指定し、重機の割付け・積算を行う。その結果を原価管理、工程管理システムへリンクする。

e) 景観シミュレーション

GPS測量データ、デジタルスチルカメラで得られた3次元形状データを用い、CG、フォトモンタージュなどを作成する。特に、スチルカメラでは形状情報とともに画像情報(RGB:0~255)を同時に取り込むことができる。



図一 3 システム機能およびフロー図

表－１ データ入力ツールと適用場面

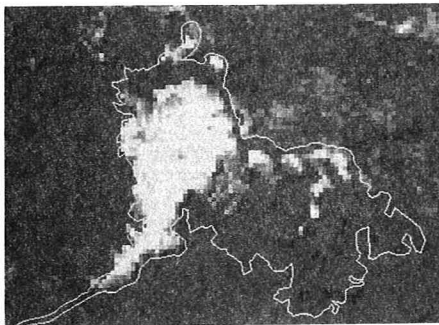
入力ツール 業務段階	デジタイザースキャナー	G P S 測量	スチルカメラによる遠隔計測	トータルステーション	2次元フィールドデジタイジングシステム	航空写真測量
企画、設計業務	原地形データ測量	原地形データ	原地形データ	原地形データ	—	原地形データ
計画業務	計画データ入力	—	—	—	—	—
施工、施工管理	—	出来形測量 完成測量 (土量、平面形状位置の確認、 3次元測量)	出来形計測 土量算定、斜面形状面積の算定、3次元形状計測、 性状分類など	出来形測量 (土量算定)	完成計測 (2次元形状確認 平面図作成)	完成測量 (土量算定、3次元地形測量)
保守、維持管理	—	動態観測 変位観測	土砂量の計測	—	—	—

f) インフラ設計支援

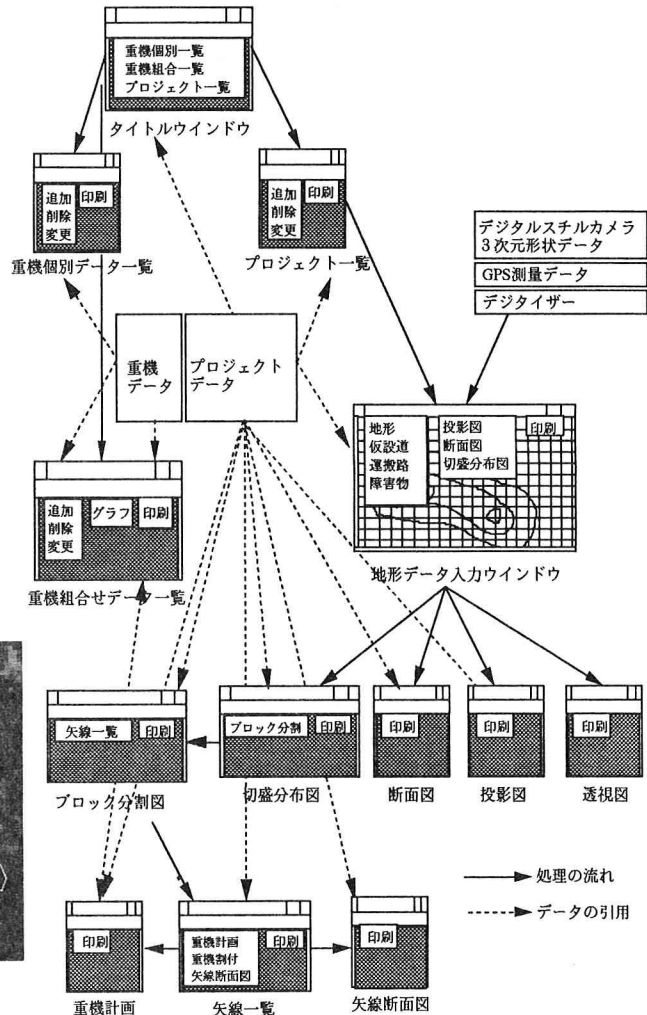
対話形式で宅造工事におけるインフラ設備の施工検討に係わる雨水・污水管、水道、ガス、N T Tなどの埋設物の配置設計、施工図面や縦断面図の作成を行う。

g) リモートセンシングデータとのリンク

リモートセンシング解析データは、20～30mを1ピクセルとして得られる。この解析データと等高線図や切盛分布図との重ね合わせにより、植物の変化や工事進捗度の確認、周辺地域への影響などの環境監視や状況把握に有効な資料を作成する（写真－1）。



写真－1 リモートセンシングデータの解析（植生分布図）



図－4 ウィンドウの構成

(3) システムからの出力

本システムのウィンドウの構成を図-4に示した。プロジェクト一覧ウィンドウから対象工事を選択すると地形データ入力ウィンドウが開き、各メッシュの高さデータ、障害物、仮設道路、運搬路のデータの入力・表示を行う。地形データの入力処理後、投影図、断面図、透視図、切盛分布図を表示するウィンドウを開くことができる。次に、主な出力の概要と事例を示す。

a) 切盛分布図(図-5)、ブロック分割図(図-6)

地形データ入力ウィンドウの各メッシュのデータをもとに、切土盛土の分布を表示、プリントアウトする。さらに、マウスによりブロック分割を行った後、分割図に矢線入力を行う。

b) 矢線一覧、矢線断面図

入力された矢線データの始点、終点ブロック名、移動土量を表示、プリントする。また、ウィンドウ上で矢線断面図が表示、プリントされる。各矢線への重機割付もこのウィンドウから指示可能である。

c) 投影図、断面図、透視図の出力(図-7)

メッシュデータを用いて、投影図、任意線での断面図、透視図を出力できる。透視図は視点の位置を(x、y、高さ、回転角度)を変更することにより様々な、景観がほぼ瞬時に出力される。

d) 重機計画ウィンドウ

重機割付を行った後、重機計画を選択し、重機計画表、工区別集計表、使用機械系の3つの帳票を出力する。

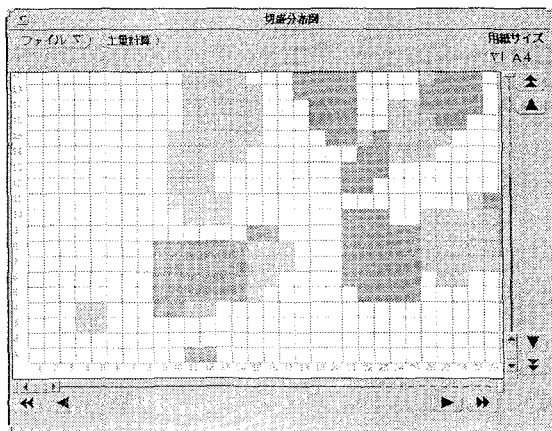


図-5 切盛分布図

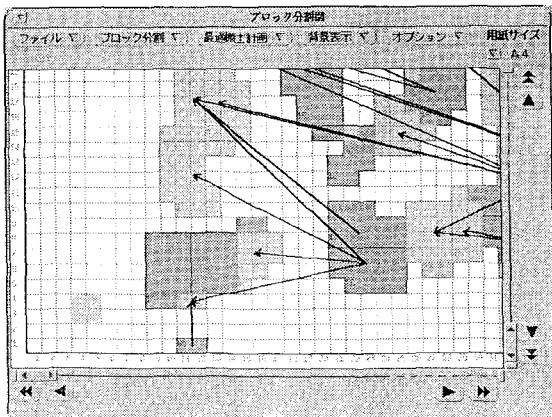


図-6 ブロック分割図

注：最適搬土計算は最少仕事量（運土量×運搬）および最少運搬コストのバランスにより決定

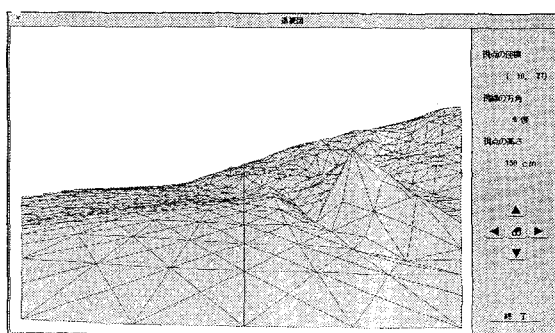
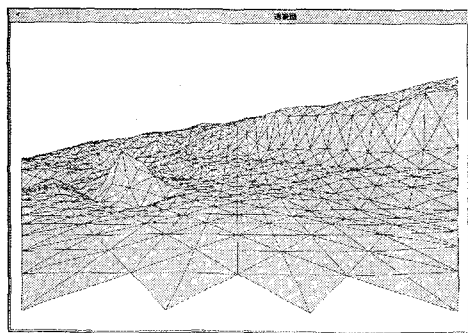


図-7 透視図

3. 実工事への適用例

本システムは種々の地形データ入力方法を業務に合わせ、選択し適用できることを特徴としている。本章では、施工段階における地形データの入力方法として、GPS連続走行出来形測量システムとデジタルスチルカメラを用いた出来形計測システムの概要と実施例について述べる。

(1) GPS連続走行出来形測量システム

(CTT-GPS: GPS Continuous Travelling Topographic Survey System)

a) 計測方法と精度

CTT-GPSは、キネマティック測位のうち、連続キネマチック測位を利用したシステムである。GPSアンテナと受信機を自動車に搭載して、測定区域を低速で万遍なく走行しながら、連続キネマティック測位を行って地形の三次元座標を計測する。写真-2に示すようにGPSアンテナは磁石により自動車のルーフに固定しており、受信機は助手席に設置している。したがって、測定は自動車の運転手1名で可能である。測定時間間隔は1秒以上であれば任意に設定できるが、通常は5秒間隔としており、1時間では720点の測定ができる。測量者(運転手)は、自動車の走行速度を調節したり、走行経路を工夫することにより、必要に応じた密度で地形の3次元座標を計測できる。また、自動車の走行できない場所ではアンテナをポール等に取り付けて徒歩で移動しながら計測することも可能である。測定精度確認実験の一例として、移動側の受信機をある地点に静止して、連続キネマティック測位を測定間隔5秒間測定した。その結果、標準偏差はx座標0.4mm、Y座標6.2mm高さ16mmとなった。この結果は、出来形測量のうち、主に工事の進捗度を把握するために行う中間出来形測量に適用するには十分な精度であると言える。



写真-2 GPS走行連続測量

表-2 土量計算の比較

測定番号		土量 (m ³) (下段は高さの差 (m))		
		従来法 (1)	GPS (2)	1-2
1	盛土	1,526,841	1,526,570	271 0.028
2	盛土	4,714,603	4,730,504	-5,901 -0.035
	切土	4,053,015	4,068,996	-15,981 -0.094

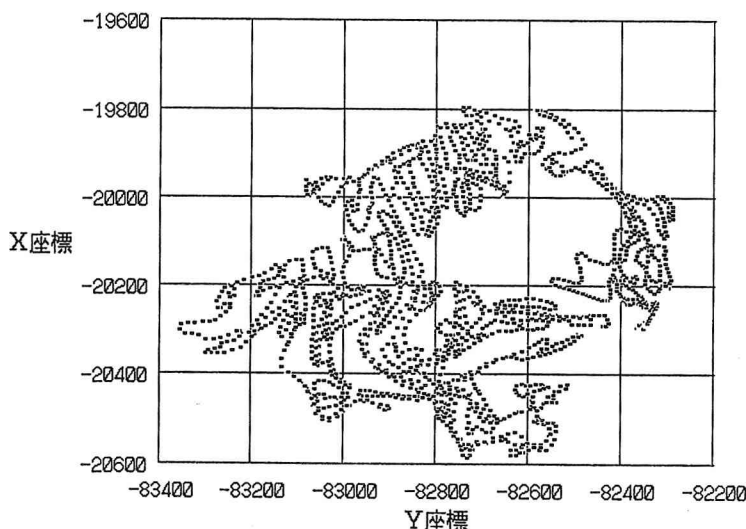


図-8 連続走行測量の軌跡出力図

b) 造成工事出来形計測への適用

大規模宅地造成工事（造成面積200ha）においてCTT-GPSを実施した走行軌跡（図-8）を示す。同時にトータルステーションによる従来測量を実施し作業性について比較した。従来法では、3名の作業員で4日間を要していたが（約800点を測定）、本システムでは1名で約3時間（約2000点を測定）で測定できた。よって、12人・日が0.5人・日に約24倍の省力化ができた。

精度は従来法と比較して（表-2）、高さの平均で（17haで比較）盛土で35mm、切土で94mmであった。また、土量の差の割合は、盛土で0.12%、切土で0.39%となった。

c) ゴルフ場造成工事への適用

CTT-GPSは、移動手段として徒歩も可能であり、30mの先端にアンテナを付けて測定することもできる。この方法は、曲線を含む線状を計測するのに有利な方法である。ゴルフ場の造成工事では、出来形としてグリーンやフェアウェイ、バンカー等の境界線を平面図として作成する（図-9）。1ホール（ショートコース）を2名1組で計測を行った結果、ティー、グリーン、フェアウェイ、バンカー、隣接ホールとの境界を約2時間で完了し、高さについても得られるため施工段階ごとのフォトモンタージュ（図-10）や完成測量結果を利用したCGの作成も試みた。

(2) デジタルスチルカメラによる出来形計測

a) 計測の方法

現在までの多くの現場適用を通じて、デジタルスチルカメラを用いた出来形計測作業について、担当の職員が実際に行う作業ステップはおおむね次のようにルーチンワーク化されている。

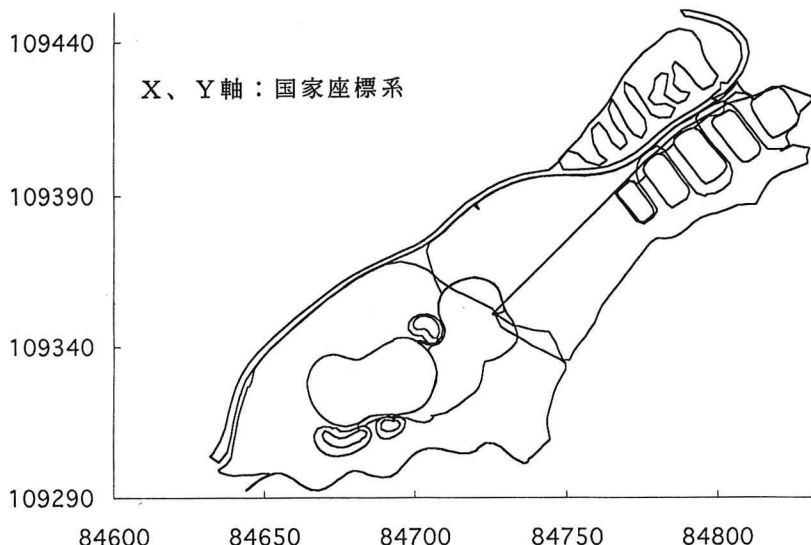


図-9 ショートコースの境界測量



図-10 フォトモンタージュ

ステップ1) 現地において撮影エリア内に基準マークを少なくとも3点以上設置し、座標値を測量する。

ステップ2) カメラにて左右2箇所から撮影を行う。このとき、撮影対象に対して画面上で陰となる部分ができないよう撮影位置を心がける必要があり、対象物の内容に応じて適切な撮影プラットフォームを用意する。

ステップ3) ステレオ画像が記録されたICメモリカードを現場より持ち帰り、解析写真測量システムが用意されたEWSに挿入する(写真-3)。

ステップ4) 解析処理システムの指示にしたがって左右の画像について基準点(左右で同一点と見なすことができ、しかも座標値が既知である点)とパスポイント(同一点と見なすことができる点)を選定する。

ステップ5) 3次元座標値を計算させたい範囲画面上でマウスを用いて、さらに、計算させたいメッシュの大きさを数値入力する。以上により解析写真測量システムは指示された範囲内について座標計算を行い、結果を3次元座標ファイルとして出力し処理を終了する(写真-4)。

ステップ6) このデータファイルを出来形管理システムに読み込みメッシュ変換処理後、必要な土量計算、図示を行う。また、撮影方法として宅地造成やゴルフ場造成のように平面的に大きく広がりをもつ場合には鉛直写真が適当であり、職員が地上からカメラを持って撮影に行っても誤差が大きくなり易い。このような場合にはカメラをラジオコントロールされたヘリコプターに搭載して上空から撮影するといった方法を採用している(写真-5)。一方、法面

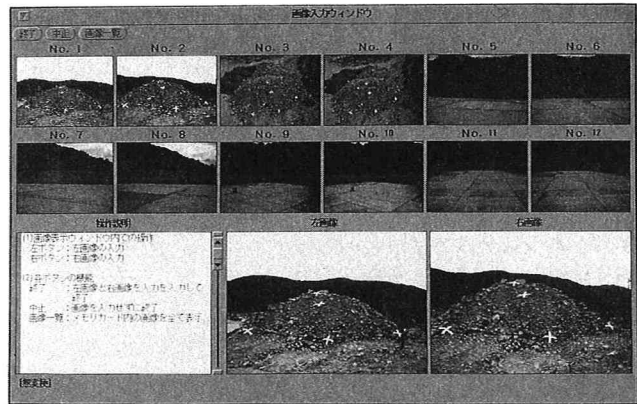


写真-3 撮影映像の選択画面

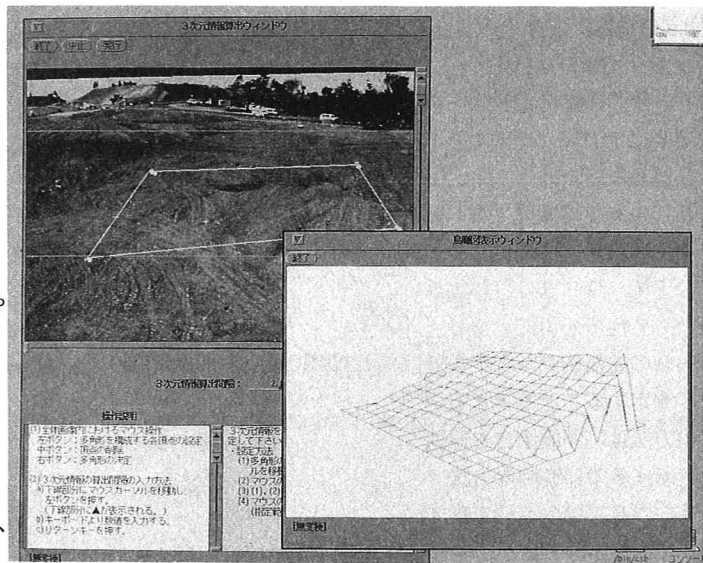


写真-4 3次元データの演算結果画面



写真-5 ラジコンヘリによる撮影

などの斜面についても対象地形に対して斜め上方から撮影できることが望ましく、この場合には高所作業車などを利用して撮影を実施している。

b) 斜面計測への適用

斜面計測に適用した事例として造成現場における切土法面の形状計測を一例としてあげる。ここでは、施工上、切土法面に対して緑化工法を施す必要があり、そのために、施工対象面積を精度よく把握することが施工管理上きわめて重要であった。一方で、山間地における造成工事といったことから対象法面が各所にある、加えて長大法面も多いことから、面積測量にかかる作業量も膨大で、高所作業として危険がともなうケースもあった。また、法面部分が一樣に直線ではなく、曲線を描いているような場合には作業効率、精度ともに問題があった(写真-6)。

そこで、本システムを用いた斜面の計測を実施した。なお、計測に先だって、システムの精度検証を行っており、計測対象域内に設けられた基準点の座標値および土量について、精度および作業効率の両面から従来方法との比較を実施している(表-3、表-4)。その結果、システムの計測精度については全体的な面積や土量の計測では十分実用に耐える精度であること、作業効率も撮影から結果の算出まで約30分と効率化できることが確認された。

4. まとめ

本システムは宅地造成工事を中心に積極的に導入を図り、現在、数現場を対象に試行運用中である。実際の施工現場への適用を通して、設計・施工管理業務の合理化に寄与できたと考えている。

種々の業務段階で従来の管理手法や市販のソフトを利用した管理と比較して、次のような効果があったと考える。

①マンマシンインターフェイス(GUI)

計画・設計変更時の地形データファイルおよび重機ファイルが対話形式でリンク、メンテでき、デー



写真-6 計測対象斜面

表-3 在来法との精度比較

		デジタルスチル カメラシステム	トータルステーション		
			10m	20m	40m
基準点	X	0.128			
	Y	0.363			
	Z	0.097			
RMS誤差 (m)		0.214			
標高RMS誤差 (m)					
土量誤差 (m³)		38.824	0.000	250.903	-1040.890

表-4 作業効率の比較

	計測時間	処理時間
本システムによる計測	4分	54分
トータルステーションによる計測	20分	半日から1日

タ数(メッシュ数等)に制限がないため、広範囲のデータを同時に処理可能となった。すべての操作はマルチウィンドウ上をマウスで行うことができるため、事前に特別のシステム教育が必要なく、誰でも容易に取り扱うことができる。また、透視図などのグラフィック出力がほぼリアルタイムに得られるため設計条件や施工方法選定の支援システムとして機能を充分果たすことができた。

②地形データ入力

本システムは現況地形をより早く、より細かく計測可能な測量・形状システムで得られた地形データを直接、本システムに取り込むことにより、土量計算の精度、信頼性を向上することができた。さらには、施工途中でも現況の地形データを用いたグラフィック表示が現場で得られ、加えてCGやフォトモンタージュなどを利用した景観シミュレーションも従来と比べてより簡便に作成できることが確認され大幅な合理化に寄与できたと考える。

また、次が今後の課題として上げられる。

①工程計画、原価管理システムとのリンク

本システムは、最終的運用段階ではデータベース(ORACLE)を介して、出来形計測結果を工程

図に反映するシステムを目指している。しかしながら、現状では工程上の管理区分との統一性や、工程管理システムの開発の遅れにより十分に機能していない。今後は、原価管理システムへの情報リンクも併せた統合データベースの構築を行い、データの蓄積、システムの高度化を図る必要がある。

②ネットワーク

現在、サーバーを中心としたローカルステーション、システムメンテを行うインテグレーター、技術研究所をINS64を利用してネットワークを結んでいる。今後は、ネットワークを介した複数現場への展開に向けて、利用環境の整備を行う予定である。

図-11に運用中のネットワーク構成を示す。

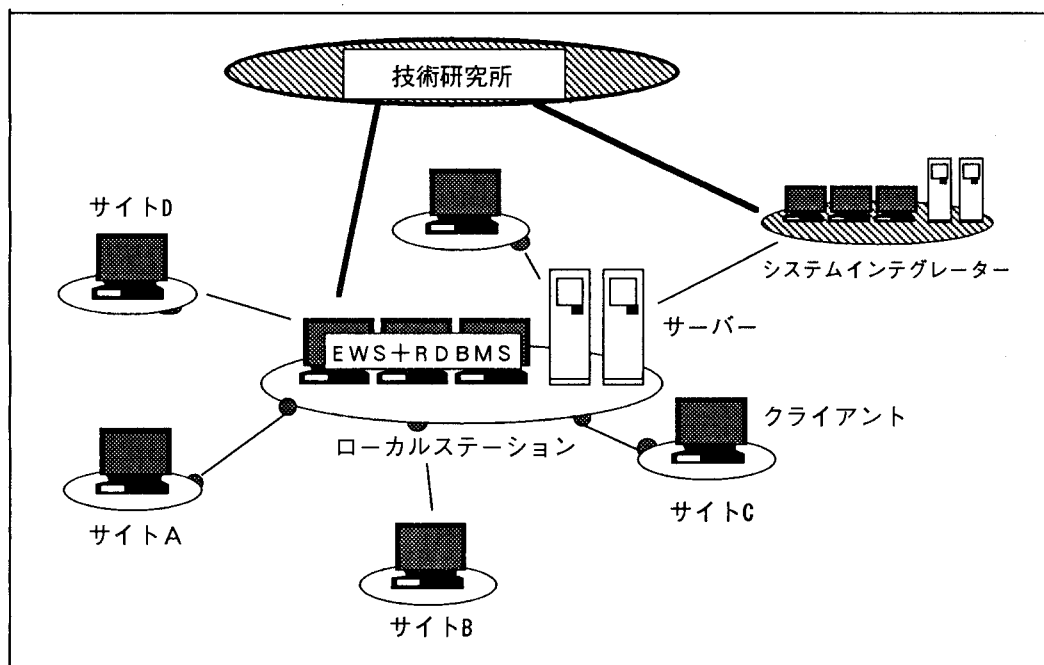


図-11 運用中のネットワーク

【参考文献】

- 1) 佐田達典：測量技術—GPS連続走行出来形測量システム—、土木学会・別冊増刊「技術開発と評価」、pp 64～66、1993年8月
- 2) 掛橋孝夫：デジタルスチルカメラを用いた形状計測システムの開発、土木学会第17回土木情報システムシンポジウム論文集、1992年10月
- 3) 桜井 浩：レーザを利用したフィールドデジタイジングシステムの開発、土木学会第48回年次学術講演会、1993年9月