

# 大規模土工事の現場管理における統合化システムの開発と展開

大前延夫<sup>1</sup>，建山和由<sup>2</sup>，海老原雄志<sup>3</sup>，須田清隆<sup>4</sup>，黒台昌弘<sup>5</sup>

<sup>1</sup>正会員 ハザマ大阪支店(〒541-0048 大阪府大阪市中央区瓦町 4-4-8)

<sup>2</sup>正会員 工博 京都大学大学院工学研究科(〒606-8501 京都府京都市左京区吉田本町)

<sup>3</sup>非会員 ハザマ淡路島出張所(〒656-2212 兵庫県津名郡津名町佐野 1970-1)

<sup>4</sup>正会員 (株)ジオスケープ(〒107-0061 東京都港区北青山 2-5-8)

<sup>5</sup>正会員 博(工) (株)ジオスケープ(〒107-0061 東京都港区北青山 2-5-8)

昨今の建設工事を取り巻く様々な環境の変化の中で，筆者らは，大規模土工事を対象として，情報通信技術（IT）を効果的に建設サイクルに取り込んで，現場運営を円滑に進める試みを続けている．具体的には，既存の情報化施工技術ばかりでなく，それらを有機的に結合させた調和型の統合化システムを構築し，運用している．本システムは，綿密な現場の調査・計測を通じて地盤特性の空間的な分布や施工条件に関する詳細な情報を把握した上で，施工方法の決定，工程計画の策定及び運営管理といった土工事のプロセス全体の最適化を図ったものであり，精密な施工情報を基に，緻密な現場運営を推進する「精密施工」とも言える施工法として注目される．

**キーワード：**精密施工，情報化施工，情報通信技術，3次元GIS

## 1. はじめに

「情報化施工」という技術が建設工事に用いられて久しいが，当初の導入目的は施工に関わる計測作業の効率化とともに，計測結果を分析して次工程の施工に役立てようとするものであった<sup>1)</sup>．一方で，建設機械の自動化・無人化に関する技術開発が雲仙普賢岳復興事業を契機に盛んに行われるようになり，このような大きな2つの流れが合流するような形で情報化施工技術の向上が図られてきた．

この技術は，主として建設サイクルの一つの側面である「施工」の効率化に着目して開発されてきたものであるが，昨今の建設工事を取り巻く様々な環境を鑑みると，建設工事全体に関わるコスト縮減や環境負荷の低減に，さらに寄与できるシステムの開発やその活用方策を考えていく必要がある．すなわち，このような目的に対応した現場運営を行うためには，各々独立した技術を展開するのではなく，それらの技術を有機的に結合させ，相乗効果により工事全体の生産性の向上を図る方策が必要である．

ところで，近年のIT化の流れの中で，現場管理のIT化も進み，一見，その効率化が図られているように見える．しかし，現実的には，様々な施工情報が数多く収集されているにもかかわらず，現場技術者はその情報の洪水に溺れ，必要な情報を目的に応じて加工しきれない現象も表出している．すなわち，施工情報の精密さと施工管理のそれが合致していない現象が散見されている．

以上のような建設工事に関わる情報化の問題点を背景に，筆者らは，建設工事に導入している情報化施工技術を1つ1つ丹念に再評価し，建設サイクル全体を通じて利用効果の大きい調和型の統合化システムの構築を進めることとした．具体的には，大規模な採土工事を対象にして，「所定の出荷量の確保」といった目標を満足するための生産活動を通じて，施工ロスの低減や生産コストの縮減，環境負荷低減等を実現することのできる総合的なシステム開発を行うと同時に，それを効果的に利用した施工法を提案するものである．

## 2. システム開発の概要

### (1) 現場概要

システム開発の対象となった現場は、主に関西国際空港建設用の採土を行っている現場であり、**図-1**に示すように地山の掘削、積込、運搬、破碎、栈橋での船積という一連の作業を連続的に行っている。

この現場では、同空港第1期工事の埋立て開始から採土を始め、現在、第2期工事の埋立てに向けて採土の最盛期を迎えており、第1期工事開始当初から比べ、1日あたりの要求出荷量が各段に増大している。現在では、破碎機の破碎能力やベルトコンベアの運搬能力に応じた大型土工機械の効率的な運用が進められ、積込機械4台とダンプトラック9台を用い、最大4組((積込機械1台+重ダンプトラック2~4台)×4)で、時間あたり最大7,000 ton(4,000 m<sup>3</sup>)の採土を行うことができる。



図-1 採土現場の作業概要<sup>2)</sup>

### (2) システム開発のコンセプト

採土から運搬、船積までの一連の工程の中で、いずれかの工程で作業遅延が生じると、すべての工程に影響を与え、予定されている土砂の出荷停止を余儀なくされる。このことをシステム開発側から見直してみると、統合化システムに求められている機能は次のようにまとめることができる。すなわち、予定される出荷量や重機・設備の作業能力等の制約条件の下で、様々な施工情報に基づいて、工程毎あるいは工程間における作業能力と作業時間に関する最適化問題を解決することに帰着される。

以上のことから、システム開発にあたっては、建設工事の各工程において極力情報化を推進し、現場

管理における技術者の意志決定を効果的に支援できるような機能を具備することを主なるコンセプトとした。具体的には、各工程において、施工に関わる情報(以下、施工情報)を効率的に収集して、複数の工程間で情報を共有し、しかも、その情報を効果的に運用管理し、かつ、その分析結果を即座に施工にフィードバックできる機能を有することとした。

本システムは、施工の効率的な推進のために技術者の判断を「支援する機能」を有するシステムであって、例えば、自動的に施工指示内容を分析して、それを発信するような人工知能型システムではないことも特徴の1つである。

### (3) システムの全体像

上記のようなシステム開発コンセプトを模式化したものが**図-2**であり、以下の様な機能を有している。

- 機能1) マッピング機能を有し、採土地の地質構造や重機の稼働実績を3次元GIS上で展開できる機能(データベース機能)
- 機能2) ネットワーク利用による施工情報のリアルタイム更新が可能な情報管理システム(ネットワーク機能)
- 機能3) 施工過程で刻々と変化する現場の状況にリアルタイムで対応できる技術者支援機能(施工技術者の意思決定支援機能)

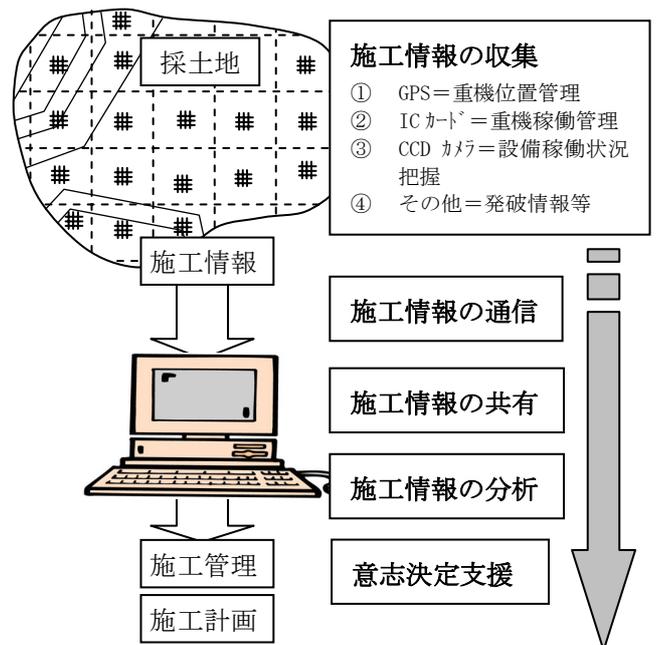


図-2 システムの全体像

また、複数の工程間に連携を持たせ、調和型の統合化システムを構築することを目的にして、図-3のように10m立方のサイコロ型の情報ユニットを設定した。そして、このユニットの中に、施工情報を工程毎に記録していく方式として、全工程に関する施工情報のデータベース化を進めた。このことは、情報収集という最上流の工程から、技術者の意思決定支援といった最下流の工程までを、このユニットが連続的にネットワーク上を流れ下りて行くことを想像すると考えやすい。この考え方には、各工程で取得できる施工情報が明確になることやそのデータの記録過程が施工の工程に対応しているため、現場技術者にとって情報発信源の特定が容易になるといったメリットがある。例えば、最下流の工程で問題点を発見した場合、各工程を逆上りながら、このユニットに記録された情報を基に原因説明を行うことも容易になる。

このように統合化システムを構築するにあたり、システム間の連携を実現するために、ハード的なシステム間のリンクを張ることをせず、情報ユニットの授受というソフト的な対策を講じているところに本システムの大きな特徴を見出すことができる。

### 3. 統合型採土地施工管理システム

#### (1) システムの全体構成

統合型採土地施工管理システムのうち、ソフトウェア部分の全体構成は、図-4の通りである。前述した3つの機能を満足するために、施工情報収集サブシステム、施工情報管理サブシステム、施工情報分

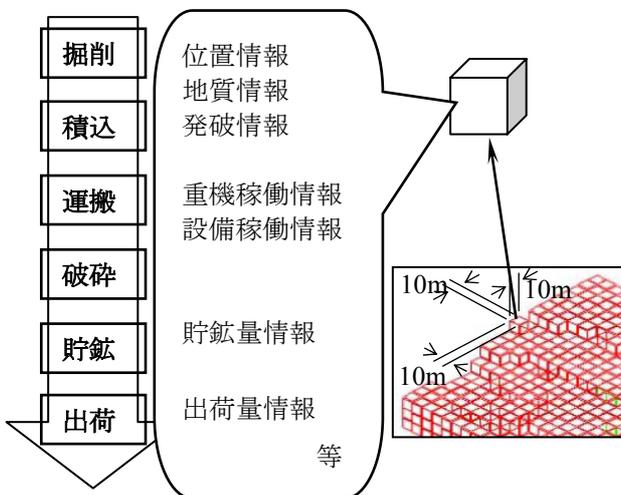


図-3 情報ユニットの概念と内部情報

析サブシステムの3つのサブシステムが整備されており、次節以降にこれらのサブシステムを構成する主なシステムの概要を説明する。

ハードウェアの構成を図-5に示す。本システム開発の対象現場である採土工事以外へのシステム展開を考慮して、汎用電子機器の利用に努めている。情報収集機能については、重機側には、位置計測のためのGPS、積載情報を取得するペイロードメータ、これらの情報を通信する無線装置、重機稼働内容を記録するICカード等が搭載されている。また、約3km離れた採土場と現場事務所間は高速大容量通信を可能とする光ファイバー網で接続し、採土場内での情報通信には、スペクトラム拡散機能及び時分割制御機能を有する双方向無線通信システムを用いた。

このようにして取得された施工情報は、現場事務所に設置されたメインサーバーに一旦蓄積され、現場技術者の意思決定支援のための情報に加工されるとともに、施工管理に必要なデータはディスプレイ上にリアルタイムで表示される。同時に、取得した情報は日常の施工管理のための帳票類に加工したり、将来の施工計画立案のための基礎データとしても利用される。

#### (2) 施工情報収集サブシステム

##### a) 重機位置監視システム

海上保安庁江崎局から送信されているDGPS補正データを一旦基地局で受信し、これを採土場内に特定小電力無線機を用いて場内放送する。重機側では搭載した無線受信機によりこの補正データを受け取

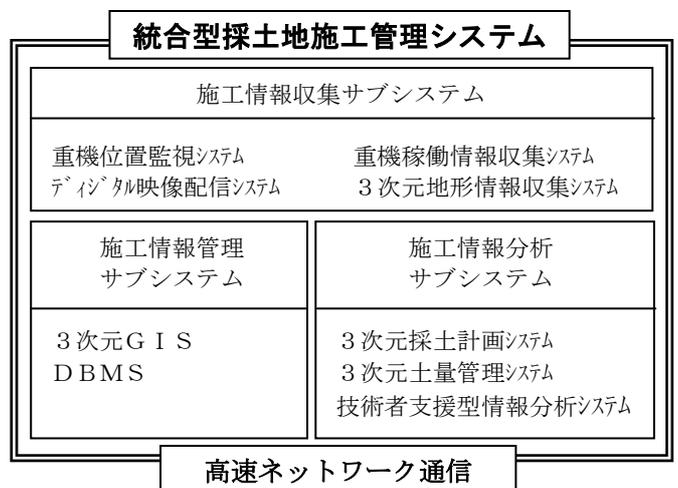


図-4 ソフトウェアの全体構成

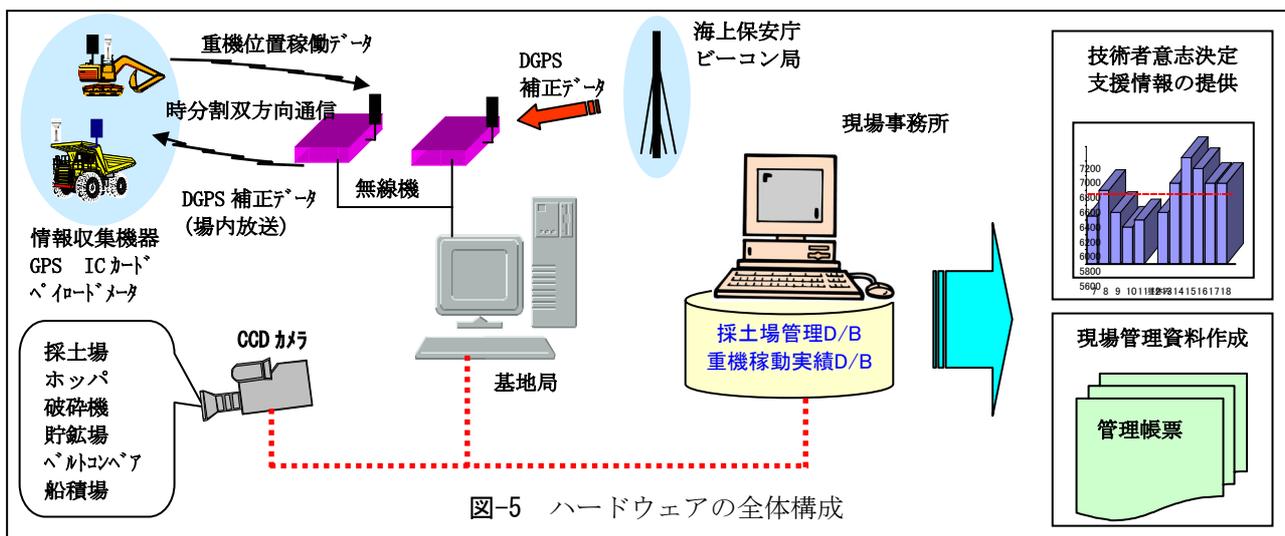


図-5 ハードウェアの全体構成

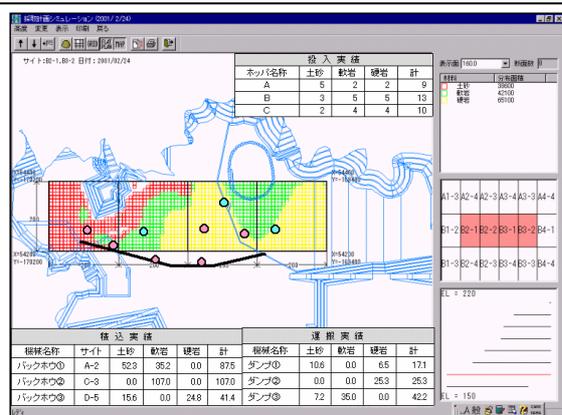


図-6 重機位置監視画面

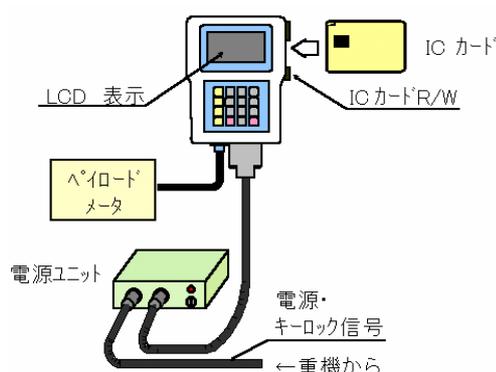


図-7 IC カード重機稼働情報収集システム

り、自機搭載の DGPS 受信機で受信した GPS データと合わせて高精度な位置決めを行う。さらに、運搬機械では、積載情報をペイロードメータにより取得し、前記位置データと合わせて無線送信する。

このようにして得られたデータは、ネットワークを介して、現場事務所に設置したサーバーに送られ採土場管理DB(データベース)に登録されると同時に、図-6に示すような「重機位置監視画面」にリアルタイム表示される。現在稼働している重機の位置を所定の間隔で更新表示し、積込機械・運搬機械の作業実績及びホップへの土砂投入実績を、土砂・軟岩・硬岩の材料別に1時間毎に積算して表示している。

### b) 重機稼働情報収集システム

重機土工に関する施工計画を立案する場合、重機の稼働に関する情報は非常に重要である。施工ロスの少ない施工を実現するためには、各機械の作業能力を正確に把握する必要がある。そこで、GPS データに含まれる時刻情報や位置情報、ペイロードデー

タの積載情報、ICカードに記録された稼働情報を基に、機械の作業状況管理やサイクルタイム等の計測を行っている。このことにより、機械の作業能力の算定と施工計画の策定を行う際に必要となる基礎データの収集と更新が可能となる。図-7にICカード重機稼働情報収集システムを示す<sup>2)</sup>。認証を受けたICカードを差し込まないと重機の始動ができないような構造になっており、安全面にも配慮されたシステムである。ICカードにはオペレータの氏名はもとより作業開始時間・終了時間、採土位置、岩種等の登録も可能で、ペイロードメータによる積載情報と合わせて重機稼働情報が生成される。

### (3) 施工情報管理サブシステム

重機土工における採土作業の効率化は、使用機械の作業能力や運土距離とともに地山の特性・形状によっても影響を受ける。特に、どの位置のどの深さに硬岩が存在しているのかといった3次元的地質情報は、掘削作業の効率にとって支配的な影響要因で

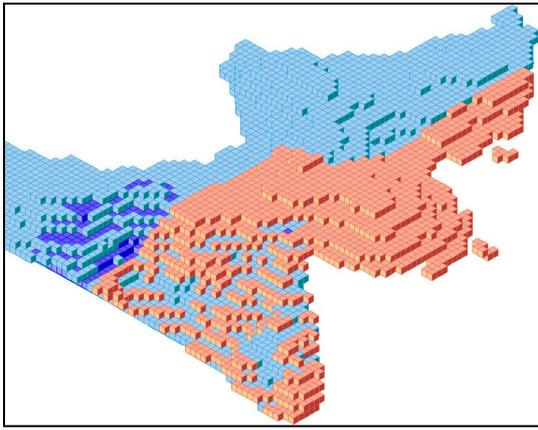


図-8 3次元GIS上に展開された地質情報

ある。岩が硬いほど破碎作業の効率が低下し、その結果、出荷量の減少に直接的に影響するからである。

2章では本システムにおける情報管理の概要を記したが、地山の特性・形状に関する情報も、基本的な情報として記録している。図-8は弾性波探査、過去の地質情報、地表面踏査の結果等から作成した地質情報を示している。加えて、地表面の3次元形状については、高精度GPS測量によってデータを取得し、地質データと合わせて3次元化している。

また、発破作業に関するデータも地山特性を示しているものであり、穿孔深さや穿孔間隔、装薬量等のデータも情報ユニットに登録し、事後の地山評価に用いている。

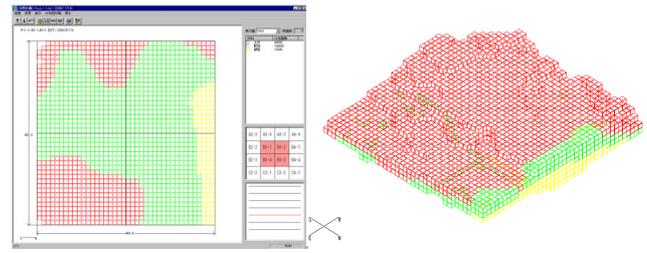
このようにして登録した情報は空間的な位置情報を有しているため、3次元GISを用いることにより効率的に管理することができるとともに、位置情報を介して、登録された全ての情報が有機的に結合されていることから、様々な情報分析が可能となる。

本システムは、データベース機能については汎用ソフトを利用し、GIS及び相互のリンク部分については専用のプログラムを開発した。

#### (4) 施工情報分析サブシステム

##### a) 3次元採土計画システム

予定されている出荷量を確保するためには、事前に地質状況を考慮した採土位置の計画が重要である。つまり、破碎機の作業能力と出荷する土の品質を一定に保つために、土砂・軟岩・硬岩をバランス良く採土できるような計画を立案する必要がある。



平面表示

3次元表示

図-9 採土計画システムでの出力事例

本システムでは、情報ユニットに記録されている位置情報と地質情報を用いて、3次元的に採土計画を行うことのできるシステムを装備している。図-9は、採土計画システムでの出力事例を示しているが、材料の相違によって色分けを施し、どの位置にどの程度の量の材料が存在しているかを視覚的に表示することができる。最終的には、ここで得られた材料賦存量、重機配置・そのセット数、騒音粉塵の影響等を考慮して、採土計画が確定される。

##### b) 技術者支援型情報分析システム

これまでの情報化施工技術では、施工に関わる情報の収集技術の開発に主眼がおかれ、収集されたデータを分析して施工ロスに直結する要因分析を行い、即座にその結果を施工にフィードバックさせるといったシステムの開発あるいはその運用については、それほど多くの事例が見られないのが現状である。

本システムでは、情報ユニットに登録された施工情報を通じて、どの生産工程に問題があるのかを迅速に解明するため、意志決定支援情報を提供する機能を有している。一例として、図-10に時間あたりホッパ投入量の経時グラフを、図-11に運搬機械のサイクルタイムに関する経時グラフを示す。このように、施工ロスにつながる重機土工の作業性の悪化が即時に把握でき、機械配置や採土位置の変更といった是正措置を迅速に指示することが可能となる。さらに、材料別の採土量やホッパ投入量等の分析も可能であり、情報化技術の効果的な組み合わせにより、より緻密な施工を実現することができる。

すなわち、リアルタイムで精密に施工情報を収集し、情報ユニットと称する情報伝達記録媒体を介して、工程の上下流を自由に探索することによって、施工の精密化を図ることが可能であるといえる。

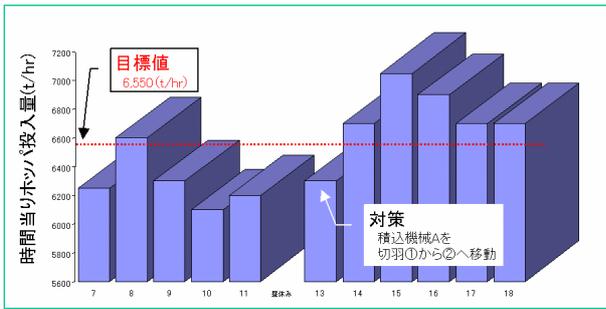


図-10 時間あたりホッパー投入量

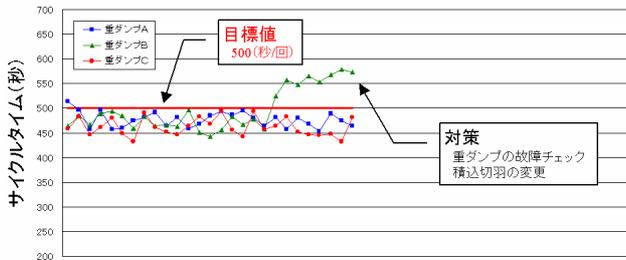


図-11 運搬機械のサイクルタイム

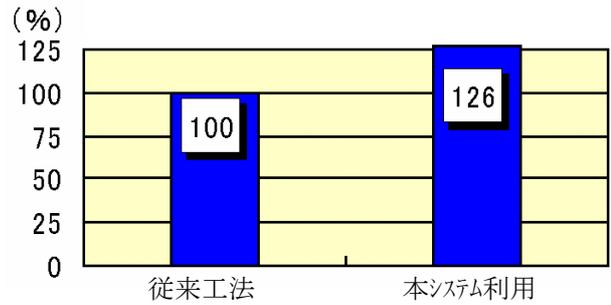


図-12 1日あたりの生産量

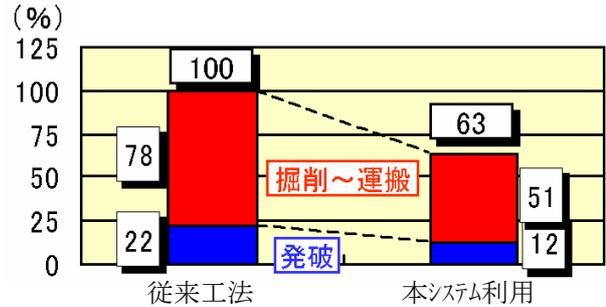


図-13 1 m<sup>3</sup>あたりの採土コスト

#### (5) 本システムの導入効果

本システムを実施工で運用した場合の効果を以下に示す。図-12 は1日あたりの生産量(1988.10～1990.7と2000.4～2001.3)を、図-13は1 m<sup>3</sup>あたりの採土コスト(2000.1～2001.3)を示したものである。

これらの図は関西国際空港の1期工事の際に用いられていた機械と施工法を用いる場合(従来工法と呼ぶ)を基準とし、統合型採土地管理システムを運用した場合とを比較した結果である。ただし、採土コストの算出においては物価の変動等を考慮する必要があるため、従来工法によって2期工事の施工を進めることを想定して算出したコストを100とした。これらの図より明らかなように、日出荷量で26%の増加、採土コストで37%の縮減がなされていることがわかる。

#### 4. おわりに

本論では、筆者の一人である建山<sup>3)</sup>が提唱する「精密施工」の概念を、実際の工事現場に適用し実用化技術として確立した事例を紹介した。

精密施工とは、綿密な現場の調査・計測を通じて地盤特性の空間的な分布や施工条件に関する詳細な情報を把握した上で、施工方法の決定、工程計画の策定及び運営管理といった土工のプロセス全体の

最適化を図ろうとする技術概念であり、単に情報化施工技術を組み合わせただけでは具現化することはできない。つまり、本論で示したように「情報ユニット」という情報媒体を介して、個別に展開されているすべての情報化施工技術に関連性を持たせた上でこれらを有機的に結合させることにより、採土場施工管理システムを1つの統合化システムとして実用化している。このベースになっているものが空間的な地理情報を取り扱うことのできる3次元GISであり、建設工事の施工管理及び施工計画に用いた先駆的な事例でもある。

一方で、建設工事に関わる情報を精密に収集管理し、目的に応じたデータ分析を迅速に行い、それを施工にすぐさまフィードバックさせるというワークフローは、まさしく、建設CALSの目的に合致するものであり、ここで示した「精密施工」の概念が新しい時代の施工法として確立されていくことを期待したい。

#### 参考文献

- 1) 土木学会編：土木用語大辞典，技報堂出版，1999.2
- 2) 大前，沖，澤：現場内ネットワークを用いた大規模重機土工の施工管理，建設の機械化，pp. 23-28，2000.12
- 3) 建山：ITと建設施工—Precision Constructionの試み—，建設の機械化，2002.3(掲載予定)