

3次元GISを活用した精密施工支援システムの研究

大前延夫^{1*}・大西有三²・建山和由³・西山哲²・黒台昌弘⁴

¹ハザマ大阪支店 営業部 (〒530-0004 大阪市北区堂島浜2-2-8)

²京都大学大学院 工学研究科都市環境工学専攻 (〒615-8540 京都市西京区京都大学桂C1棟)

³立命館大学 理工学部建築都市デザイン学科 (〒525-8577 滋賀県草津市野路東1-1-1)

⁴ハザマ技術研究所 (〒305-0822 茨城県つくば市荻間字西向5-15-1)

*E-mail :omae@hazama.co.jp

本論文は、大規模土工事を対象として、さまざまな情報化システムを効果的に結合させ、それらから得られる情報を3次元GIS上で管理する精密施工支援システムに関する研究開発例を記述する。精密施工支援システムとは、施工に関連する情報をリアルタイムに収集・管理し、その情報の目的に応じて迅速に対応すると共に、その対応された情報を判断して現場技術者が現場運営に対しての意志決定をし、工事を効率的に進めるといった施工法の実施を支援するシステムである。ここでは、精密施工支援システムの開発内容コンセプト、情報管理の基本単位である情報ユニットの考え方、およびシステムの全体構成について記述する。

Key Words : *precision construction, information technology, GIS*

1. はじめに

近年のIT機器の普及により、大規模工事においても施工や施工管理の効率化を目的としたITの導入が進んでいる。しかし、現実には、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、現場技術者は必要な情報を取捨選択しきれない現象が現れてきている。我々は、この施工の効率化を目指すシステムとして、精密施工と称する新しい施工法を提唱してきた¹⁾。これは、様々な情報化システムを有機的に結合させて、施工及び施工管理に関する種々の施工情報を効果的に収集・把握・分析すると同時に、その結果を施工に迅速にフィードバックさせることにより建設工事のプロセス全体の最適化を図ろうとする技術である。また、この施工法では、経済性やエネルギー、安全、工程、労務等の工事の様々な要因を入力関数とすることにより、その要因に合致した効率的な施工法を組み立てることが可能となる。例えば、経済性を入力関数とすればコスト低減に対する最適化を図ることができ、消費エネルギーを考えれば例えば二酸化炭素の排出量の削減といった環境負荷低減に対する施工の最適化が可能となる。今後、地層処分あるいは国際リニアコライダーなどの大規模な工事に対して、どのように施工法を構築していくかという問題は未着手といっ

てもよく、本論文はこのような背景を鑑み、精密施工の概念を、実際の建設工事を対象としてシステム化した研究成果について報告するものであり、今後の大規模工事の施工法の構築に対して有用な情報を提供できるものと考ええる。

2. 現場概要

ここではシステムを導入した例として、関西国際空港建設用の採土を行った現場について報告する。関空二期工事着工当初は土砂を供給する土源が少ないながらも44,000m³/日の多量かつ安定的な土砂供給が求められた。その中で採土の対象となった地山の岩質は風化花崗岩を主体としており、土砂から弾性波速度4,000m/秒の硬岩に至るまでの複雑で多様な分布をしていた。そのため、最大破碎能力2,500ト/時の破碎設備に負荷を掛けすぎないように、土砂・軟岩・硬岩をバランス良く採取していく必要が生じた。また、これら稼働重機・設備類は、作業連携上ほぼ直列に配置されており、どの一つが故障しても、最終の土運船船積みには支障をきたす仕組みとなっていた。そのため、現場技術者が維持管理・運営に対し、稼働重機・設備類を含めた採土地全体の最適化を図

るためには、重機稼働(発破、集土、積込、ダンプ運搬、走路管理、破碎設備投入等)、破碎状況、貯鉱量、ベルトコンベアの稼働、船積みおよび船舶稼働といった多種多様な情報をリアルタイムに入手し、当日の施工あるいは翌日の施工計画にフィードバックする必要がある。本現場の状況を図-1に示す。図に示すように地山の掘削、積込、運搬、破碎、栈橋での船積みという一連の作業を連続的に行っている。このように所定土量の安定出荷及び均一な品質の確保とともに、土砂・軟岩・硬岩毎の残土量を的確に把握しながら採土することで、それらを適度な割合に配合した上で出荷するという必要があるなどの背景を考慮して、採土・運搬能力や岩破碎能力といった施工機械・設備の稼働限界値を最適化する施工及び施工計画が要求され、本研究である精密施工システムを開発するに至った²⁾。

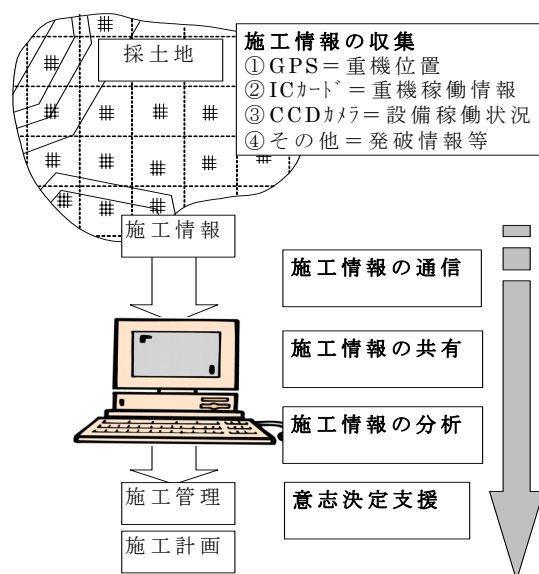


図-2 開発した施工システムの基本概念

3. 精密施工システムの概要と導入効果

採土から運搬、船積み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、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、施工システムの開発にあたっては、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に次の機能を具備することを主たるコンセプトとした。

- ・ データベース機能：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

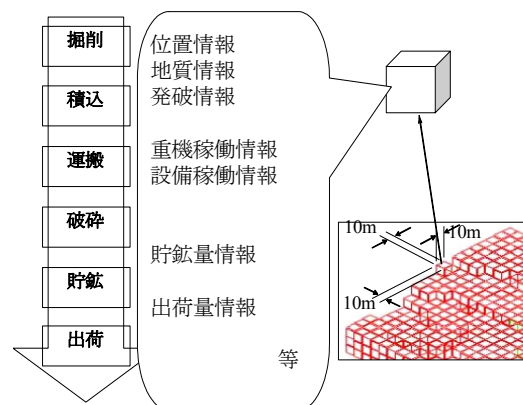


図-3 情報ユニットの概念と内部情報

開できる機能

- ・ ネットワーク機能：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
- ・ 意思決定支援機能：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

図-2にこのコンセプトを模式化したものを示す。

本研究が提唱する精密施工を実現するためには、施工情報の収集・共有・管理・分析・フィードバックを効果的に行うことが可能な仕組みが必要である。そこで、本システムでは、まず、全ての工程で共有できる情報管理媒体として、図-3のように10m立方体のサイコロ型の情報ユニットを設定する。次に、このユニットに施工情報を工程毎に記録し、全工程に関する施工情報を、位置情報を拠り所にして、GIS上で管理する方式を採用した。このことは、情報収集という最上流の工程から、技術者の意志決定支援といった最下流の工程までを、この



図-1 採土現場の作業概要

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意味する。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利点がある。

システムのハードウェアの構成を図-4に示す。施工重機には、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採用している。

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。

また、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、施工情報分析サブシステムの3つのサブシステムがシステムには備えられている。各々のサブシステムを構成する個別のシステムについて、ここでは主要なシステムについて説明する³⁾。

(1) 施工情報収集サブシステム

重機位置や運搬土量実績、機械稼働状況の映像等を現場技術者にリアルタイムで提供するためのシステムである。ここで得られたデータは、ネットワークを介して、現場事務所に設置した監視用コンピュータに「土砂生産量監視画面」として、リアルタイムに表示される。

(2) 施工情報管理サブシステム

本サブシステムは、情報ユニットに格納された施工

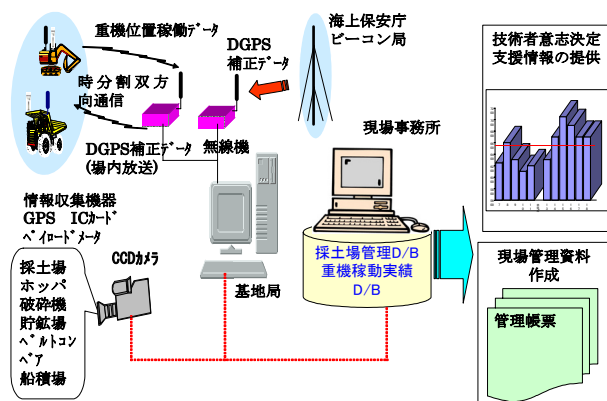


図-4 システムのハードウェア構成

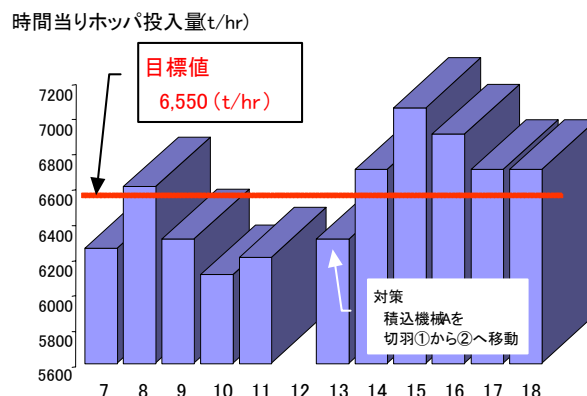


図-5 時間あたりのホッパ投入量の経時グラフ

サイクルタイム(秒)

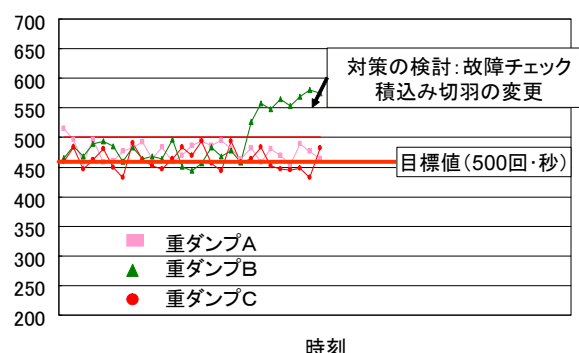


図-6 運搬機械のサイクルタイム

情報の管理機能を具備しており、地山の特性・形状に関する情報に加えて、施工機械の稼働に関わる情報についても管理の対象としている。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記録し、事後の地山評価に用いている。

このようにして記録した情報は空間的な位置情報を有するため、3次元GISにより効率的に管理できる。さら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ることから、様々な情報分析が容易となる。

(3) 施工情報分析サブシステム

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・管理技術の開発に主眼がおかれていたが、本サブシステムでは、このような機能に加えて、施工情報をリアルタイムに分析する機能を付加した。すなわち、収集されたデータを加工して施工ロスに直結する要因分析を行うための情報を提供する機能であり、情報ユニットに記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ことが可能である。

一例として、図-5に時間あたりのホッパ投入量の経時グラフを、図-6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。これらのグラフにより、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、

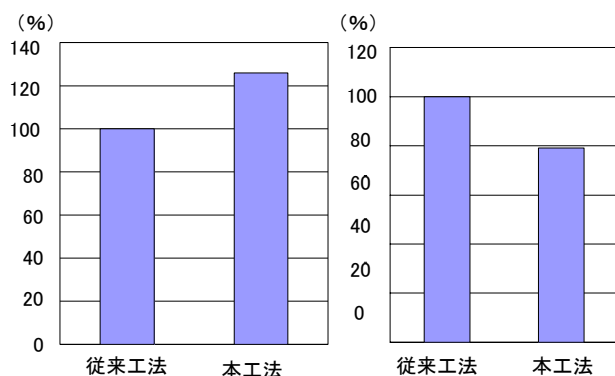


図-7 1日あたりの生産量(左)および1m³あたりの重機燃料消費量システム(右)

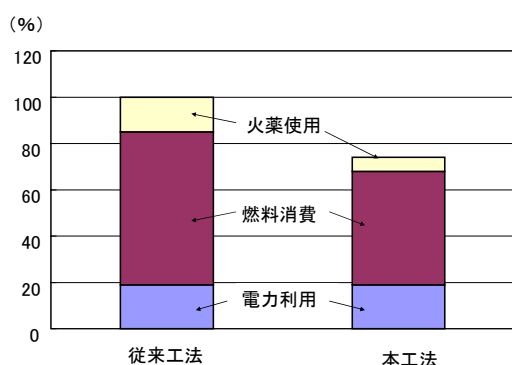


図-8 環境負荷低減(CO₂換算)効果

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できる。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、より緻密な施工が実現できる。一方、発破工においては、穿孔速度、発破効果、振動・低周波計測結果などの実績を、翌日の発破パターン決定に、迅速にフィードバックすることにより、岩の硬さに応じた最少の火薬量使用量が維持できる。このように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、工程の上下流を探索することにより施工の精密化を図ることが可能である⁴⁾。

本システムを実施工で運用した場合の効果を図-7 に

示す。図-7 は1日あたりの生産量および1m³あたりの重機燃料消費量および図-8 は環境負荷低減をCO₂換算で示したものである。これらの結果は関西国際空港の1期工事の際に用いられていた機械と施工法での実績(従来工法と呼ぶ)を基準とし、精密施工法を運用した場合とを比較した結果である。これらの図より明らかなように、日出荷量で26%の増加、生産量1m³当りの重機燃料消費量で21%の低減がなされ、また施工機械の効率的な運用、火薬の最少使用などの効果によってCO₂換算で26%の環境負荷低減を実現することができた。

4. 結 言

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たすべての情報化施工技術に関連性を持たせ、これらを有機的に結合する精密施工システムの概要と導入効果について述べた。精密施工はこれまで展開されてきた精密農法の概念を取り入れた工法である。地層処分をはじめとする大規模な地下開発のプロジェクトにおいては施工法の研究により一層着目する必要がある、今後は本研究の機能の向上をさらに図っていきたい。

参考文献

- 1) 大前延夫, 沖政和, 澤正樹: 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.
- 2) 大前延夫, 沖政和, 建山和由, 須田清隆, 黒台昌弘, 都城秋穂, 久城育夫: GIS を活用した精密施工支援システムの開発, 土木情報システムシンポジウム講演集, Vol.27, pp.45-46, 2002.
- 3) 大前延夫, 沖政和, 建山和由, 須田清隆, 黒台 昌: 3次元GIS を中核にした施工 CALS の開発, 土木学会年次学術講演会講演概要集, Vol.58, pp.517-518, 2003.
- 4) 澁澤栄: 精密ほ場管理とテラメカニックス, テラメカニックス第18号, pp.107-112, 1998.

STUDY ON PRECISION CONSTRUCTION SYSTEM USING THREE DIMENSIONAL GIS INFORMATION SYSTEM

Nobuo OMAE Yuzo OHNISHI, Kazuyuki TATEYAMA, Satoshi NISHIYAMA
and Masahiro KURODA

This paper describes an example of study on precision construction system using 3D GIS that makes an effective collection of various information about construction in a large-scale field. Precision construction realizes an effective construction method that supports a decision making of an engineer by collecting lots of real-time information about construction and studying measures to the real-time information. In this paper, we introduce the overall structure of this system, the idea and method that manage the information in order to make a precision construction system possible.