

特集 IT と建設の機械化

IT と建設施工

—Precision Construction の試み—

建山 和由

Precision Construction（精密施工）とは、一般土工事、トンネル工事等地盤を対象とする土木工事において、地盤特性に関する綿密な調査を通じ地盤特性の空間的な分布に関する詳細な情報を把握したうえで、施工方法と施工機械の選定、工程計画の策定、廃棄土処分方法の決定等のためのプロセスの最適化を図ろうとする概念である。この技術により施工コスト縮減や環境負荷の低減を図ることが出来る。本報文では、その概念の紹介と大規模採土工事に取入れた実例を紹介する。

キーワード：土工、精密施工（Precision Construction）、採土、コスト縮減、マッピング技術、IT

1. はじめに

IT, Information Technology という言葉が注目を集めたのはここ数年のことである。にもかかわらず、この言葉はすでに使い古されたという感を受けるほど社会の中に浸透している。おかげで、我々は、膨大かつ様々な情報をいとも簡単に入手することができるようになった。反面、多様で大量の情報を得たがために、考慮すべき条件や選択肢が増えて、結果として様々な局面で判断に困難さを感じるケースが多くなった。情報は集めるだけでは意味がなく、有効に利用して始めてその価値が評価されることは言うまでもない。IT 技術には、情報の収集、伝達・交換のみならず、その有効利用までをも含めた総合的な技術としての発展が期待される。

この考え方にたって、現在の日本の IT 技術を概観すると、情報の収集やその交換手段に重点が置かれているように感じられる。今後は大量・多様な情報を有効利用する仕組み作りに力を注ぐことが求められるであろう。

本報文の主題である「IT と建設施工」が意味するように、建設施工の分野でも IT 技術は様々な局面で積極的に取入れられている。それらの多くは、やはり情報の収集とその伝達・交換に関する技術が多いようである。しかしながら、得られた情報を施工の合理化や改善に最大限利用する技術開発や仕組み作りも試みられている。紙面の都合でそれらの全てを紹介することはできないが、ここでは、作業対象である地盤情報や関連する施工条件を詳細に把握し、それを最大限有効利用することにより施工の最適化をはかる Precision Construction なる技術について紹介する。

2. Precision Farming から Precision Construction へ

農業の分野では数年前から Precision Farming（精密農法）と呼ばれる手法が注目を集めている。Precision Farming とは、農作物の耕作対象エリア内の土壌特性（栄養塩類、水分、土質等）や作物生育・収量及び病害虫などを詳細に検知し、その分布状況に応じて肥料や農薬などの空間的な散

布量を厳密に制御することにより、必要最小限の入力で所定の収穫を得ようとする手法である。この手法を用いると、環境に対する負荷を最小限に押さえることができ、21世紀の新しい農業として期待されている¹⁾。

この農法では、実現に向けて以下に示す3つの要素技術に関する研究開発が行われている。

(1) 圃場マッピング技術

広い圃場内の各位置における土壌の状態を特定するマッピング技術は Precision Farming の記憶装置といえる。この技術は、正確な位置情報(ポジショニング)に土壌の肥沃性や雑草、病害虫の発生等に関する情報を結合させて圃場マップを作成するものである。

(2) 可変作業技術

圃場マップで特定された圃場内の各位置における土壌情報に基づき、地点毎に不足している肥料や水の所定量をピンポイントで散布する技術である。

(3) 意志決定支援システム

圃場マップの情報に基づき、可変作業の内容やスケジュールを決定するアルゴリズムを支援する技術である。必ずしもコンピューターが自動的に最適解を出してくれるというものでもなく、農業者自身が最終的な判断を行う場合も含めた技術である。

図-1 は、Precision Farming の目指すところ

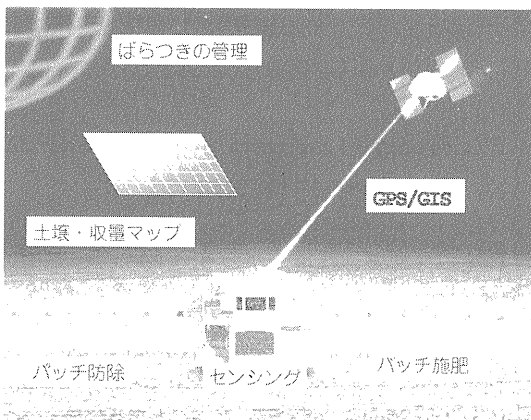


図-1 Precision Farming の概念¹⁾

を示したイメージ図である。現在、このイメージを実現すべく、前述の各技術に関する研究開発が積極的に進められている。例えば圃場マッピング技術では、可視光および近赤外線光を利用し、土の光反射スペクトルを分析することにより、土中の水分、有機物含有量、硝酸態窒素、EC、pH等を把握する技術の開発が進められている。これは、土中光センサともいえるものであり、15~40cm程度の深さの土中の土壌情報をリアルタイムで収集することができる²⁾。このセンサを搭載した農業機械とGPS技術を組み合わせれば、精密な圃場マップを作成することができる。

Precision Construction (精密施工)とは土木の施工分野に Precision Farming の考えを導入しようとする試みである。すなわち、一般土工、トンネル工事、開削工事を始めとする地盤を対象とする土木工事において、綿密な調査を通じ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うえで、施工方法と施工機械の選定、工程計画の策定、廃棄土処分方法の決定等のプロセスの最適化を図ろうとする技術である。最適化の評価関数としては目的に応じて選択することができ、経済性を採用すれば最小コストによる施工の合理化に、また入力エネルギーを評価関数として近年注目されているライフサイクルアセスメントとリンクさせれば、環境負荷軽減の最適化問題とすることができる。

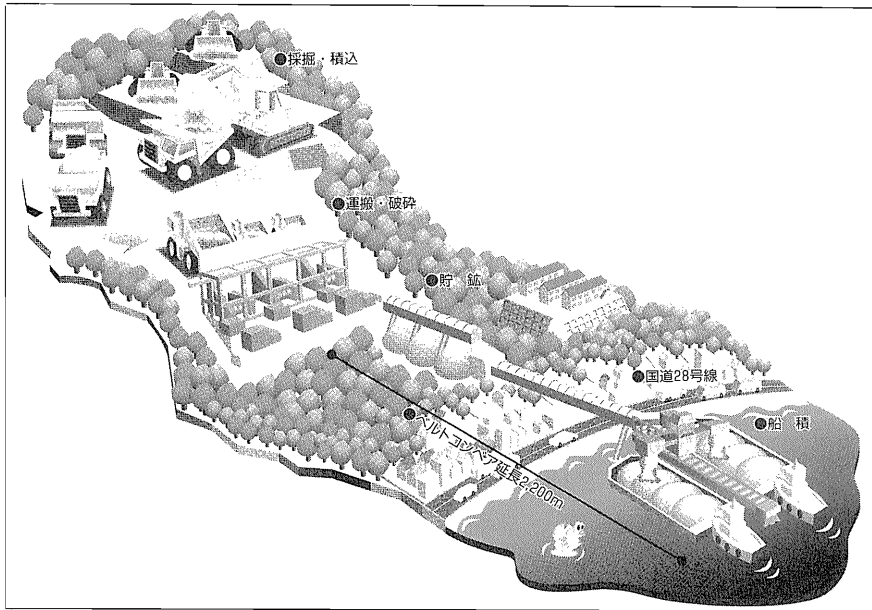
Precision Construction という語句や概念はまだ一般に認知されているわけではないが、すでにそれに向けた取組みは始められている。本報文では、大規模土工における Precision Construction の取組みを紹介する。

3. 大規模土工における Precision Construction の取組み

図-2 は、今回紹介する土工現場の作業内容のイメージ図である。

この現場は、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、地山の掘削、集土、運搬、破碎、栈橋からの積出しという一連の作業を連続的に行っている。

山側の採土地では発破、もしくは油圧ショベル



図一2 採土現場の作業概要³⁾

により地山が掘削される。掘削された土や岩は、ブルドーザで集められた後、油圧ショベルもしくはホイールローダで重ダンプトラックに積込まれ、採土場下端にある破碎機まで運ばれる。破碎機では、岩塊は200 mm以下の土砂にまで破碎され、ベルトコンベアでストックヤードまで運ばれる。ストックヤードの床には土砂の引出し口があり、ここから引出された土砂はベルトコンベアで積出し棧橋まで運ばれ、土運船に積込まれる。

この現場では、関西空港第1期工事の埋立て開始から採土を始め、第2期工事の埋立てが進められている現在、採土の最盛期を迎えている。

表一は現在、この現場で使用されている主な建設機械の種類と台数である。第1期工事開始当初から比べ、機械の大型化とその効率的な利用がはかられており、現在では積込み機械4台とダンプトラック10台を用い、最大4セット（（積込み機械1台+重ダンプトラック2~4台）×4）で、時間あたり7,000 t（4,000 m³）以上の採土を行うこ

表一 使用建設機械の一覧

種類	使用機械
掘削・積込み機械	油圧ショベル 2台（バケット容量12 m ³ 級）
積込み機械	ホイールローダ 2台（バケット容量10, 13 m ³ 級）
集土機械	ブルドーザ 4台（重量95 t級）
運搬機械	ダンプトラック 10台（重量91 t級）
破碎機	ジョークラッシャー 3基（最大840 t/h/台）

とができる。

この施工において、採土のためのセット数と各セットにおける機械の配備計画を固定すると、施工計画を立てる工程は簡便になるが、採土において所定の土量より過不足を生じたり、あるいは必要以上の機械やエネルギーを投入することになる。このため、この現場では、所定の採土量を得ることができ、かつ機械の投入量が最小となるよう配備計画を立てている。以下、ここで行われている施工計画の最適化に必要な技術のうちの主なものを紹介する。

(1) 3次元空間における地盤特性の把握とそのデータベース化

一般に、採土作業の作業効率、掘削・積込み機械の能力、運搬機械の能力と運搬距離とともに、地山の特性によっても影響を受ける。特に地山を構成する地質は掘削作業の効率にとって支配的な影響要因であり、綿密な施工計画を立てるのであれば、詳細な地質情報を事前に調べておく必要がある。

そこで、この現場では、最新の弾性波探査技術、過去の地質情報、地表面踏査で得られた地質情報等から10 mメッシュで地下150 mまでの地質データベースを構築している（図一3参照）。このデータベースは、発破のための削孔や実際に掘削

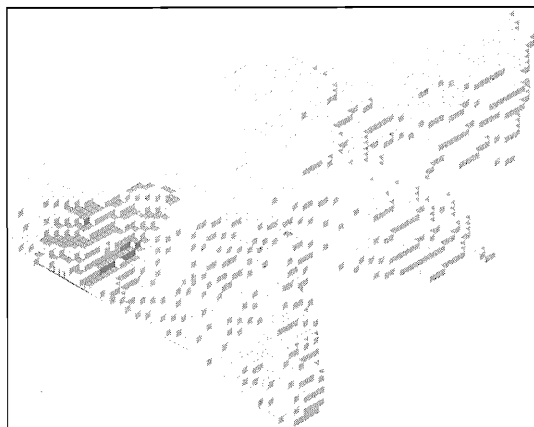


図-3 地質データベース

を行ったときに観察された地質情報を用いて随時更新されている⁴⁾。

(2) 地質情報を利用した採土計画の最適化

この現場では、発破で掘削した岩塊を破碎するために3機のクラッシャを用いている。しかしながら、クラッシャの破碎能力は最大で時間当たり約2,500 tであるため、3~4箇所の採土場から出てくる掘削土がすべて岩塊であると、クラッシャの処理能力が不足することになる。このため、この現場では、地質情報のデータベースを利用して、土と岩をバランスさせながら採土できるよう、採土場の組み合わせを決定している。さらに発破による採土場では、所定の日出荷量・日クラッシング限度量を経済的かつ合理的に満足するよう発破パターンの最適化をはかっている。

(3) 機械の作業能力の正確な把握

施工計画を立てるうえで、各機械の作業能力を正確に見積もる必要がある。一般に機械の作業能力は、機械諸元とともに現場の地形や地質によっても異なる。この現場では、ICカードを用いた機械の作業状況管理や目視によるサイクルタイム等の正確な計測を通じ、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を行っている。

(4) 機械の配備計画の最適化

地質に関する3次元データベース、各機械の正確な作業能力に関するデータを用いて集土機械

表-2 Precision Construction の効果

	1 m ³ 当たりの採土コスト	1 m ³ 当たりの燃料消費量
従来工法	100	100
Precision Construction	63	79

(ブルドーザ)、積込み機械(パワーショベルとホイールローダ)、運搬機械(大型ダンプトラック)の適正配置を求め、これに従い作業を行っている。ここでは、現場内の複数の採土場に、積込み機械1台+運搬機械2~4台を一組とする機械セットを配置するが、個々の機械の作業能力は、機械特性やオペレータの技量等によって異なり、また、複数の採土場は場所により破碎機までの距離や道路勾配、地質が異なる。この現場では、これらの諸要因から、所定の採土量を確保することができ、かつ投入する機械台数を最小化することのできる施工計画の作成システムの構築を図っている。

表-2は、Precision Construction の効果を表したものである。この表は、関西空港の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、1 m³の土を採土するのに要するコストと重機の燃料を従来工法と現在行っている Precision Construction で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、従来工法については現在における推定値を求め、これを100として Precision Construction の実績値を比較している。また、燃料消費量については、従来工法を用いていた1期工事時(昭和63年10月~平成2年3月)の平均値を基準とし、現在(平成12年1月~平成13年3月)における平均値を比較している。

この表より明らかなように、Precision Construction の採用により採土コストで37%、燃料消費量で21%の軽減がなされていることがわかる。

4. おわりに

Precision Farming に倣い Precision Construction なる概念を提案し、その実現に向けた試みについて紹介した。地質やその他の情報を施工に反

映させて合理化を図るという考え方は情報化施工という呼び名で以前より認識されていた。

Precision Construction が情報化施工と大きく異なる点は、施工を精密に行えば、環境負荷の軽減に寄与することができるという方向性を導入したところにある。環境負荷に関する関心が深まる中、建設業を始め、あらゆる業種でCO₂の削減に対する施策の実施が求められる。Precision Construction はそのための有力なツールとなることを期待する。

本報文をまとめるにあたり、Precision Farmingに関する情報は東京農工大学の澁澤栄氏から、また、採土現場に関する情報は、ハザマ・三菱建設共同企業体から提供を受けた。記して謝意を表す。

J C M A

【参考文献】

- 1) 澁澤栄：精密ほ場管理とテラメカニクス，テラメカニクス，第18号，pp.107-112，1998年5月
- 2) 澁澤栄：精密農法の現状と展望，今月の農業，2000年10月号
- 3) 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年12月号
- 4) 山田，須田，小野：大規模土工における採土場管理のシステム化，土木学会第54回年次学術講演会概要集，1999年9月

【筆者紹介】



建山 和由（たてやま かずよし）
 京都大学大学院工学研究科
 都市土木システム工学専攻
 助教授
 工学博士

//大幅改訂//

建設工事に伴う騒音振動対策ハンドブック

「特定建設作業に伴って発生する騒音の規制に関する基準」(環境庁告示)が平成8年度に改正され、平成11年6月からは環境影響評価法が施工されている。環境騒音については、その評価手法に等価騒音レベルが採用されることになった等、騒音振動に関する法制度・基準が大幅に変更されている。さらに、建設機械の低騒音化・低振動化技術の進展も著しく、建設工事に伴う騒音振動等に関する周辺環境が大きく変わってきている。建設工事における環境の保全と、円滑な工事の施工が図られることを念頭に各界の専門家委員の方々により編纂し出版した。本書は環境問題に携わる建設技術者にとっては必携の書です。

■掲載内容：

- 総論 (建設工事と公害，現行法令，調査・予測と対策の基本，現地調査)
- 各論 (土木，コンクリート工，シールド・推進工，運搬工，舗装工，地盤処理工，岩石掘削工，鋼構造物工，仮設工，基礎工，構造物とりこわし工，定置機械(空気圧縮機，動発電機)，土留工，トンネル工)
- 付録 低騒音型・低振動型建設機械の指定に関する規程，建設機械の騒音及び振動の測定値の測定方法，建設機械の騒音及び振動の測定値の測定方法の解説，環境騒音の表示・測定方法(JIS Z 8731)，振動レベル測定方法(JIS Z 8735)

■体 裁：B5判，約340頁，表紙上製

■定 価：会 員 5,880円(本体5,600円) 送料 600円

非会員 6,300円(本体6,000円) 送料 600円

・「会員」本協会の本部，支部全員及び官公庁，学校等公的機関

・申込先 **社団法人 日本建設機械化協会**

〒105-0011 東京都港区芝公園 3-5-8 (機械振興会館) Tel. 03(3433)1501 Fax. 03(3432)0289