

19. 建設施工におけるコンカレントエンジニアリングの実践

立命館大学 理工学部 ○ 芦田 恵樹, 建山 和由
ハザマ 大阪支店 大前 延夫

1. はじめに

情報化技術の進展と共に建設施工でも最新の情報機器を導入し、情報化施工のための様々なシステムが構築されるようになった。情報化施工における研究開発の主な方向としては、情報化施工のための道具の開発と得られた情報を利用して施工の合理化や効率化を図るシステムの構築が挙げられる。

本稿では、後者の情報の有効利用に関する研究開発の一環として、自動車や電気製品などの一般製造業ではすでに取り入れられているコンカレントエンジニアリングの基本的な考え方を建設施工に取り入れることにより開発された精密施工の内容とその導入効果について報告する。

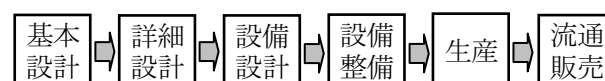
2. コンカレントエンジニアリング^{1),2)}

コンカレント (Concurrent) の con を辞書で引くと, com と同義で, 「共に」という意味がある。Current は流れ, 傾向, 電流という意味がある。両者を併せて Concurrent は, 「並行する」, 「共存する」, 「協調する」, 「同時の」, 「一致する」などの意味がある。

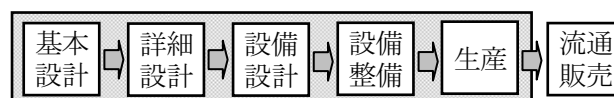
コンカレントエンジニアリングは, 1980 年代の後半, アメリカの防衛関係で試行的に始められ, 後に産業界に広まった。当時, 自動車や電気製品の製造業では, それまでの規格大量生産から消費者のニーズに柔軟に対応した製品作りにその方向性が変わり始めていた。消費者の多様な要求に応えるには, 製品の設計を柔軟に変えていく必要があるが, 新しい製品の設計とそれを製造するためのラインの変更には時間を要し, 時間とともに変わっていく消費者の要求に応えられないという状況に陥っていた。すなわち, 設計では, 多様な消費者のニーズを吸収して新しい製品の設計を行い, 工場では示された設計に応じて材料や部品の調達方法から組み立てラ

インの変更を行っていくが, この作業は, 新しい設計が示されてから始められることになるため結果として時間遅れを伴うことになり, その間に消費者の要望が変わってしまうことも起こり得た (図-1(a)参照)。

このような状況の中, 一般製造業では, コンカレントエンジニアリングを導入して, 柔軟でかつ効率的な設計・製造ラインの構築を目指して行った。ここでは, 設計・製造のプロセスを統合し, これらのプロセスを同時並行的に行うことにより, 効率的な生産システムの構築を行った (図-1(b)参照)。具体的には, 設計と製造の間で情報の共有化と双方向化をはかり, 関連するエンジニアが, 問題とその解決を同じ情報を用いて, かつ同時に議論することにより問題の解決と新しい生産体制の構築を迅速に行う仕組みを整えていった。



(a) 従来の設計・生産工程の流れ



(b) 設計と生産プロセスの統合

図-1 コンカレントエンジニアリングの導入

一般に建設施工では, 複数の工程の作業が所定の流れに沿って実施されていくが, 地質や天候その他, 想定外の事象に起因して, 予定していた工事の進捗が得られないことも多い。この際, 所定の進捗が得られない原因を特定し, その対策を講じなければならないが, 一般に施工工程は多様で多くの要素が関係し, かつそれらは施工の進捗と共に変化していく

ため、原因の特定は困難な作業となる場合が多い。さらに原因が特定されたとしてもその対策は原因を改善するだけでは不十分で、より合理的な施工を目指す場合には、それが他の工程に与える影響を把握した上で、施工全体として最適な解を導き出すことが求められる。

このため、ここでは、先に紹介したコンカレントエンジニアリングの考え方を建設施工に適用することにより、各工程に関する情報を統合的に管理するとともに、これらの情報の共有化と双方向的利用を通じて、実際の現場条件に応じて施工の柔軟で迅速な改善を行うことのできるシステムの構築を行った。

3. 施工現場の概要

図-2(a)は、今回、新たに施工システムの開発を行った採土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、図-2(b)に示すような連続的な工程に従い作業が行われている。

すなわち、山側の採土地では発破、もしくは油圧ショベルにより土岩の掘削が行われる。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み込まれ、採土場下端にある破碎機まで運ばれる。



図-2 システムの構築を行った工事現場概要

破碎機で大きな岩塊は 200mm 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き出し口があり、ここから引き出された土砂はベルトコンベアで積み出し桟橋まで運ばれ、土運船に積み込まれる。

この現場では、関西空港第1期工事の埋め立て開始から採土を始め、第2期工事の埋め立てで所定の土を出荷し、作業は既に完了している。

図-3 にこの現場で用いられた建設機械の一覧と地質概要を示す。現在では積み込み機械4台とダンプトラック10台を用い、最大4セット（(積み込み機械1台+重ダンプトラック(2~4台)×4)で、時間あたり 7,000 ton (4,000 m³) 以上の採土を行うことができる。

現場を構成する地山の地質は硬岩、軟岩、土砂からなるが、破碎機の処理能力は、時間あたり最大 2,500 ton と限られているため、長期にわたり恒常的に所定の採土を行うには、これらの土岩をバランス良く採取する必要がある。また、地山の地質構造は複雑に変動し、また重機の稼働状況も一定ではないため、時々刻々と変化する現場の条件を把握し、適切な対応を迅速に取っていく必要がある。このため、この現場では、汎用的な情報技術を利用した情報化施工システムの構築を行った。



図-3 現場で使用された建設機械と地質区分の概要

4. 情報の有効利用における視点

情報化施工のシステムを構築するに際し、一般的に準拠すべき視点としては、下記が挙げられる。

1) 情報の鮮度

現場は時々刻々変化していく。現場条件に応じた施工の改善を図る場合、古い情報に基づき施工の改善を図ったのでは、適確な改善を行うことができない。また、現場の情報が迅速に得られないがために改善に時間を要することになると、問題のある体制で施工を続けるか、あるいは作業が中断することも起こるため、施工効率の低下を招くことになる。この意味から施工の改善を検討するための情報は、可能な限り新鮮であることが要求される。すなわち、情報収集のリアルタイム性を確保するハードウェアを整備する必要がある。

2) 情報の質と量

工事に関連する情報は多種多様である。これらの情報のすべてを同格で扱うことは、迅速で的確な判断を下す際に効率の低下を招くことになる。このため、工事の各工程とそこで発生する情報の綿密な分析を通じて、施工に支配的な影響を与える主要な情報のみを選択し、これらを効率的に収集すると共に有効に利用する方法を構築する必要がある。

3) 情報の使い易さ

収集した施工情報を用いて、施工の改善を議論することになるが、ただ単に膨大な情報を表示するだけでは、技術者は判断することができない。技術者が的確な判断を下せるような情報提供の仕組みを作る必要がある。この際、各工程を横断して施工全体の情報を統合的に扱うことができ、かつ技術者が適切な判断を下すことができる情報システムを構築する必要がある。

これらの視点のうち、最後の視点は特に重要と考える。この現場では、重要な判断はシステムが自動的に決めるのではなく、現場の技術者が決めることにしている。これは、すべての判断工程を自動化してしまうと、システム自体の問題点を見つけ出すことができなくなり、技術的にはそこで成長しなくなるためである。

5. 情報の収集システム^{3), 4)}

前章で述べた視点 1)に基づき、現場施工に関する情報収集のためのハードウェアを構築した。図-4にそのシステムを示す。

すべての重機には、位置計測のためのGPSと稼働内容を記録するためのICカードが取り付けられている。また、ダンプトラックには積載情報を取得するためのペイロードメータ、これらの情報を通信するための無線装置等が搭載されている。また、現場の主要なポイントにはCCDカメラが取り付けられており、現場事務所にてリアルタイムで作業の状況を知ることができる。

現場事務所と採土場は約3km離れているが、この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され、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が用いられた。

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するとともに、後続の施工計画立案のための基礎データとしても利用された。

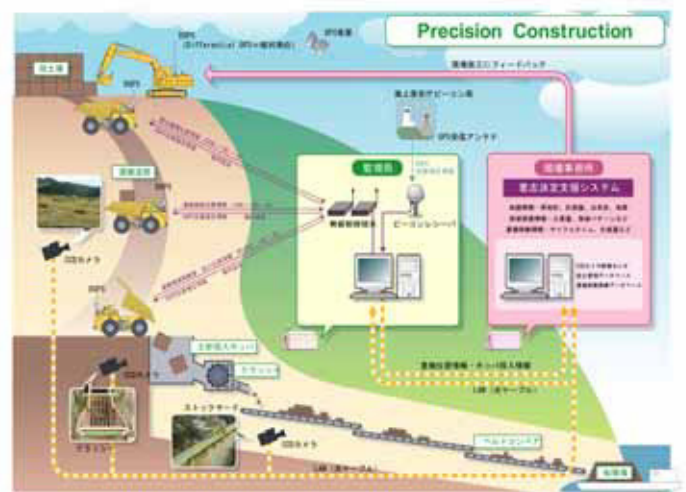


図-4 情報収集のためのハードウェア

6. 情報の統合

前述のハードウェアを用いて得られる施工に関する情報は、種類、大きさ、得られた時刻と場所などが全く異なる多種多様な情報と言える。各工程だけではなく施工全体としての改善を考えるには、これら多種・多様な情報間の関係を把握した上で、改善策を考えていく必要がある。ここでは、先に説明したコンカレントエンジニアリングの考え方を導入して、異なる情報を統合的に扱うシステムの構築を行った。

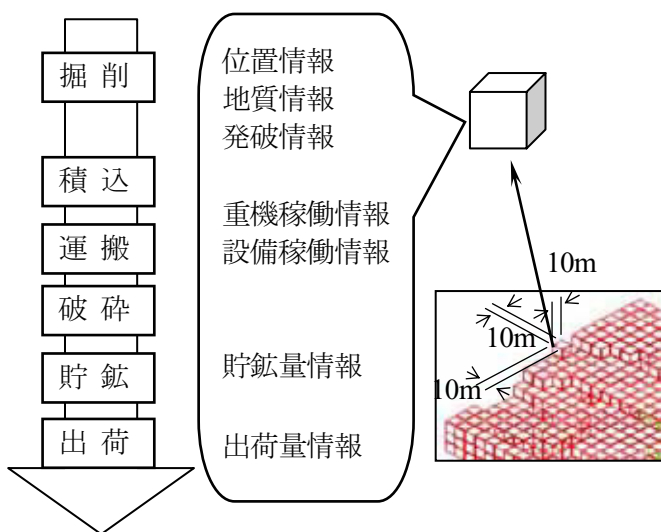


図-5 情報ユニットを用いた情報の統合

このシステムは、複数の工程間に連携を持たせた調和型の統合化システムを目指すものであり、図-5に示すように施工フィールドを仮想的に10m立方のサイコロ型の「情報ユニット」に細分し、個々のユニットの中にデータベース機能を持たせたものをその構成要素とする。このデータベースには地質・地形等の現場情報とともにその地盤を掘削するために要した重機の稼働情報等の施工情報を工程毎に記録していくことにより、全工程に関する施工情報の記録と更新を行った。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、このユニットが連続的に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解明を行うことができる。

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に、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このシステムの大きな特徴を見出すことができる。

7. 情報の共有と双方向化

前述の例で示したとおり、現場で問題が生じた場合、迅速に問題を把握して、それへの対策を早期に実行することが、施工の効率化にとってキーテクノロジーとなる。このために、ここでは、コンカレントエンジニアリングの考え方を導入した。すなわち、これまで説明した情報を工事に関連する技術者が同時に知ることができるとともに、双方向で打ち合わせができるシステムを作ることにより、現場で生じた問題に対し迅速かつ柔軟に対応することのできる体制を作り上げた。

図-6に情報の共有化のイメージを示す。従来の情報の伝達方法では、情報は一方的に伝達されていくため、伝達が完了するまでに多くの時間を要することになる。これに対し、共有化を図ると関連する技術者が同時に情報を知り、その情報を用いてぎろんをおこなうことができる。

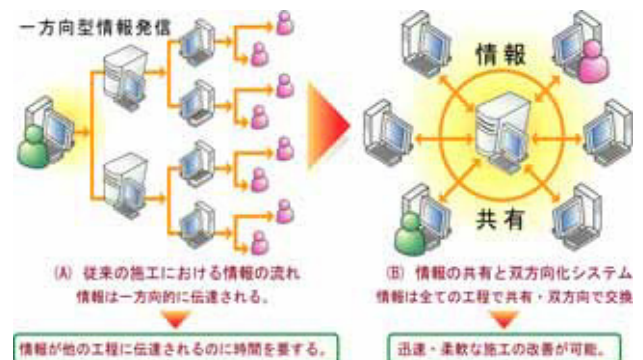


図-6 情報の共有化のイメージ

図-7と図-8に、その一例として、貯鉱量（ストックパイルの土量）の問い合わせと、それに応じた施工の調整に関するプロセスを取り出して、従来法と今回の情報化システムにおける情報の流れを示す。図-7の従来法では、現場JVの事務所から、貯鉱量を問い合わせるまでに多くのプロセスを要することがわかる。これに対し、図-8は今回開発したシステムにおける情報の共有化と双方向化のイメージを示す。情報は、関係者間で共有されるため、情報問い合わせのプロセスの多くは省略されることがわかる。

この例の場合、図-7の従来法では、問題の把握から対策が決定されるまでの情報の伝達ステップは、69、それに要した時間は105分だったのに対し、図-8の新しい情報システムでは、19のステップと35分の所要時間にまで短縮をすることができた。

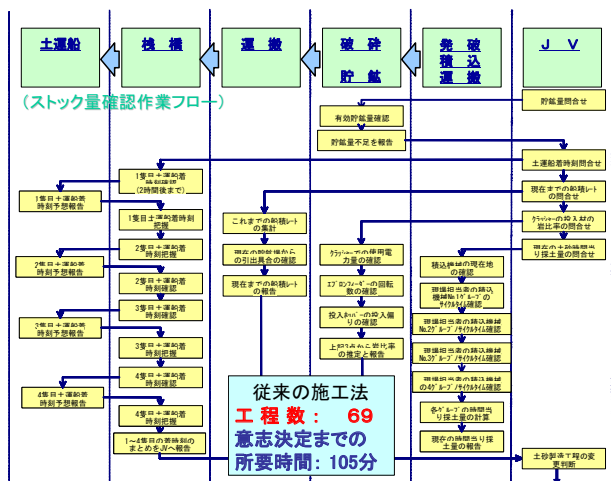


図-7 従来の情報伝達プロセス

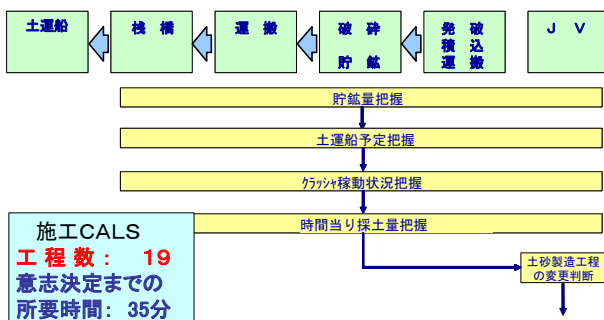


図-8 新しいシステムにおける情報の共有化

8. 効果の検証

施工情報の管理や分析に際して、コンカレントエンジニアリングの考え方を導入して「リアルタイム化」、「統合化」、「共有化」、「双方向化」といった着眼点を基に開発した今回のシステムでは、情報利用面で大きな効果を表した。図-9にこの現場における情報に関する改善度合の一例を示す。

この図に示すように、取り扱う情報量は16倍に、情報収集に要する時間は半分にまで減少した一方、意志決定に費やせる時間は2倍に増加し、余裕を持って施工に対しての判断が下せる環境が整ったことが判明した。すなわち、注目すべき情報の整理やそれによるプロセス間の統合といった従来は実施されなかった「情報利活用」面からの施工プロセスの見直しが、実際の工事の遂行に対して効果的であることが実例をもって示された。

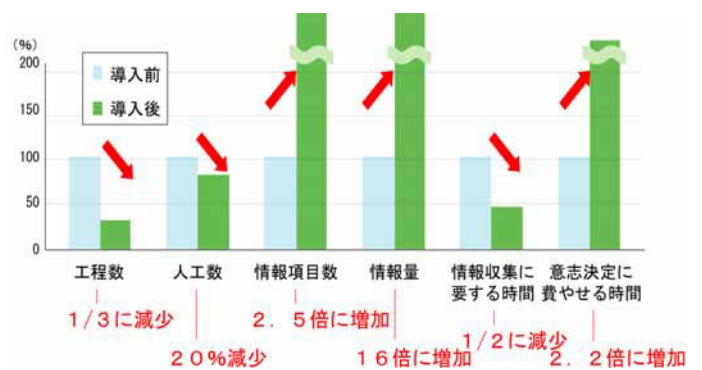


図-9 情報利用面での改善の度合

本システムを実施工で運用した場合の効果を図-10に示す。こ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、これまで説明した統合型採土地管理システムを運用した場合とで1日当たりの生産量を比較した結果である。この図より明らかのように、日出荷量で21%の増加がなされていることがわかる。

今回開発したシステムでは、現場の状況に応じて重機の配置と使用方法、発破における削孔方法や火薬量、採土地の組合せなどの施工方法の最適化を図っていくことを目指している。すなわち、このシス

テムが稼働すると、工事において必要以上のエネルギーや資材の投入を最小限に抑えて所定の採土量を確保することができる。このため、工事が環境に与える影響を軽減する効果が期待される。図-11は、図-10と同様の考え方で1 m³の採土を行うのに使用した電力、燃料、爆薬の消費量をCO₂排出に換算して従来工法と本システムで比較した結果である。この結果より明らかなように、今回のシステムの導入で単位体積の採土を行う際に発生するCO₂を24%減らすことができ、環境に対する負荷を大幅に軽減することができた。このことは、建設施工においても、精密な施工を行い、施工効率の改善を行えば、環境への影響を抑え得ることを意味しており、今回のような採土工事だけでなく、様々な工事において同様の取り組みが進められることが期待される。

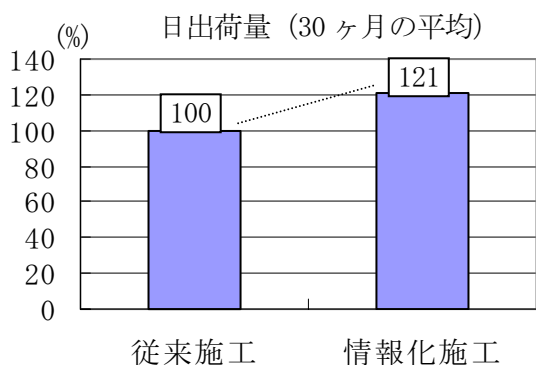


図-10 平均日出荷量の変化

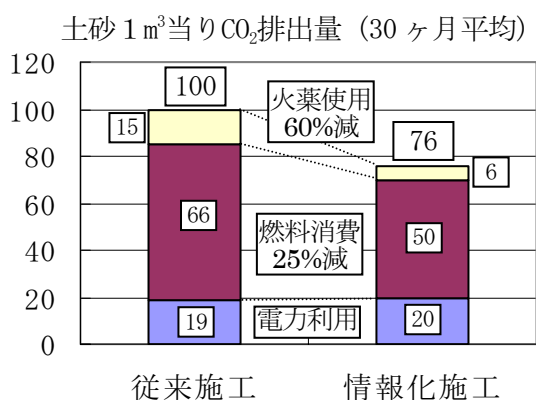


図-11 施工に伴う環境負荷の比較

9. おわりに

今回、コンカレントエンジニアリングの考え方を建設施工に導入して、施工の合理化と最適化を図るシステムの開発を行ったところ、施工効率のみならず環境負荷に関しても大幅な改善を得ることができた。このことは、不確定要因の多い建設施工においては、精密な情報の収集とその有効活用を通じて極力無駄を省けば、施工コストと施工に伴う環境への負荷を最小限に抑えることができることを示すものである。この意味から、我々はこのシステムを「精密施工」と称して、一般土工のみならず様々な建設施工で展開するための研究開発を目指している。

本年2月16日、京都議定書が発行した。世界が温室効果ガスの削減に向けて待ったなしの取り組みをして行くことになる。建設業界も例外ではなく、環境負荷軽減に向けた取り組みが求められることが予想される。このとき、ここで紹介した情報化施工というツールが効力を発揮することが期待される。

なお、ここで紹介した精密施工の実用展開は、立命館大学、ハザマと櫛ジオスケープの共同開発によることを付記しておく。

参考文献

- 1) 福田収一著：コンカレントエンジニアリング、倍風館、1993年
- 2) M. ハマー、J. チャンピー著、野中郁次郎監訳：リエンジニアリング革命、日本ビジネス人文庫、日本経済新聞社、2002年
- 3) 建山和由：ITと建設施工－Precision Constructionの試み－、建設の機械化、No. 625、pp. 3～7、2002年3月
- 4) 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2000年12月
- 5) 奥村敬司、大前延夫、建山和由、須田清隆：大規模土工における施工CALSの開発、電力土木、2005年5月