



CIM が土木分野に与える影響

大阪大学 大学院工学研究科
環境・エネルギー工学専攻 教授

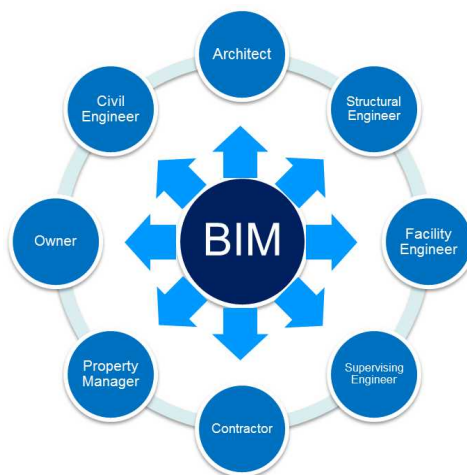
矢吹 信喜

1. はじめに

2012 年度、国土交通省から「CIM」を推進し普及させるという方針が出て、土木関係者の間で大きな話題となっている。CIM は、Construction Information Modeling の略で、建築分野で既に広まっている BIM (Building Information Modeling) をベースに、国土交通省の佐藤直良事務次官が提唱されたものである。プロジェクトに関与する各種プレーヤー達が 3 次元モデルデータを共有しながら、各種 ICT (Information and Communication Technology) を統合的に利用して、計画、設計、施工、維持管理を進めていく方法である。

従来、土木分野では建設 CALS/EC を推進・普及してきたが、これとの大きな違いは、建設 CALS/EC では、主に受注者が発注者に納品する際の納品データの標準化に注力し、そのデータの利用についてはあまり力が入っていなかったのに対し、CIM では、受注者同士あるいは関連する協力会社を含め、プロジェクト関係者がデータを共有し、利用することに主眼を置いている点である。また、そのデータはプロジェクトが進むに連れ、捨てたり、どこかに死蔵したりするのではなく、蓄えていくことである。も

う一つは、共有するデータは、2次元の CAD 図面ではなく、3次元のモデルデータを基本とする点である。3次元モデルデータには、形状などの幾何学的な情報のみならず、属性情報を含む点も大きな違いである。



2. CIMは成功するか

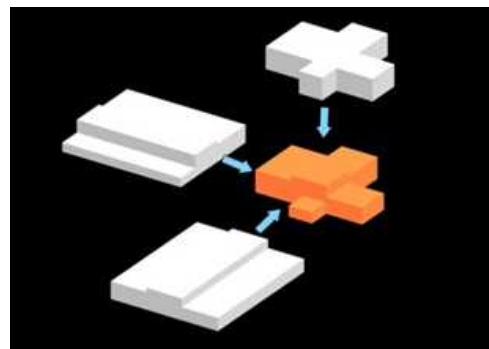
CIM について、トップダウンで進めるプロジェクトであることから、失敗するのではないかと懸念を示す人々がいる。もちろん大きな変化をもたらすわけであるから、紆余曲折や小さな失敗もあるだろう。しかし、私は大局的に見

て CIM は失敗せず、長い目で見れば将来、成功であったと評価されるだろうと楽観視している。それは以下の 3 つの理由からである。

第一に、他の分野の動向である。機械分野は 3 次元 CAD の利用を 1970 年代から始め、設計、解析、製造を統合化した CAD/CAM/CAE を確立し、流通や販売まで統合化した CIM (Computer Integrated Manufacturing) を採用している企業があり、その後、建築分野が BIM を始めた。土木分野は、その流れの最後尾にあり、同じようなことを異なる種類の構造物に対応させるよう努力すれば良いのであるから、突飛なことをやっているわけではないということである。

第二に、歴史的な流れである。建物などの構造物は、大昔から今のような平面図、正面図、側面図、断面図などの正確な 2 次元図面で設計されたわけではなく、怪しげな 3 次元的な「絵」と木などの模型によって設計が行われ、実際に施工する際は設計者がしょっちゅう立ち会って指示したり、自ら職人と一緒になって作業したりすることがあって当然だった。産業革命の頃、フランスの数学者・物理学者であるガスパール・モンジュによって画法幾何という図学が創始され、初めて設計者の意図が他人に正確に伝えられるようになったが、現在の第三角法が標準となったのはつい数十年前である。図面のコピーも 1842 年にジョン・ハーシェルによって青写真が発明され、1900 年頃からようやく青図が広く利用されるようになったのである。そして、1963 年にアイヴァン・サザーランドがコンピュータと CG (Computer Graphics) を用いた 3 次元 CAD を発明したので

ある。これによって、設計の方法がまた大きく変わった、あるいは変わろうとしているのである。つまり、設計の方法は、画法幾何と 3 次元 CAD といった画期的な新技術によって大きく変化してきたことがわかる。土木の CIM は、こうした歴史的な流れに沿ったものであり、流れに逆らったり、おかしな方向に持って行こうとしたりするものでないからである。



第三に、国際的な視点である。米国では 3 次元の土工道路設計モデルである LandXML を 10 年程前から開発しながら利用している。フランスでは BIM の中核となるプロダクトモデル IFC (Industry Foundation Classes) をベースに橋梁プロダクトモデル IFC-BRIDGE を 2002 年に開発した。同年、私も IFC をベースにしたプレストレストコンクリート (PC) 橋梁プロダクトモデルを開発した¹⁾。2004 年には、この 2 つのモデルを統合化して、新 IFC-BRIDGE を開発した²⁾。以前、英国とフィンランドでは鋼構造物の 3 次元プロダクトモデル CIM-Steel や Xsteel を開発した。そして、現在、中国や韓国を含めて多くの国々で、橋梁や道路などの分

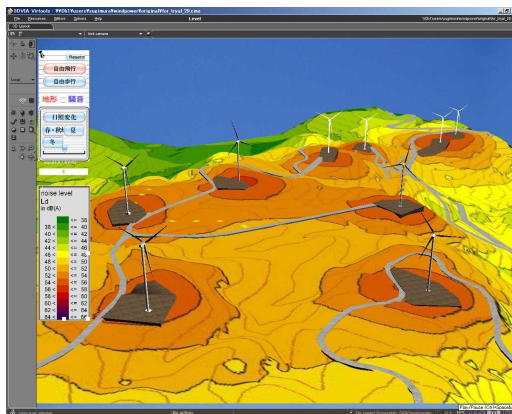
野で3次元 CAD を使って、BIM と同じように設計と施工の効率化と品質の向上を目指そうという動きが活発である。日本だけが先行して行った2次元 CAD 図面の標準 SXF (Scadec eXchange Format) とは異なり、日本の CIM も、こうした各国の動向に近いものであり、国際的な視点から、成功の可能性が高いと考えられる。

3. 2次元と3次元の議論

CIM に関して、なぜ2次元 CAD ではなく3次元 CAD を使わなくてはならないのか、とよく聞かれる。確かに人間が見れば2次元図面は、何を表しているのか、寸法や材料が何なのか十分に理解することができる。これをデジタル化すれば、ファイルを異なるソフトウェア間で交換したり、共有したりすることもできる。しかし、残念ながら、2次元 CAD 図面は単なる直線、円、曲線、文字、模様などの集合に過ぎず、桁や橋脚などといった部材をコンピュータに認識させることは困難である。たとえ、直線や曲線の集合をグループ化して柱と定義しても、平面図、断面図、正面図などに、多くの場合縮尺も異なるバラバラに存在する柱の図を同一の部材だとコンピュータに認識させることは困難である。

一方、オブジェクト指向技術に基づいた3次元 CAD で柱状の幾何形状物を作成し、それに柱だという属性情報を与えれば、コンピュータはその物体は柱だと認識できるし、基本的な寸法や形状の情報を理解することができる。また、材質、強度、仕上げ、価格、その他の仕様、他の梁やスラブ等との接合条件などの属性情報を与えれば、コンピュータはより高度で知的な振

る舞いができるのである。さらに、こうした部材や構造、意匠などに関する情報の記述方法や用語を標準化し、テキストファイルで表現できるようにすれば、特定のCADソフトウェアだけでなく、他の構造解析、CG、日影計算、数量計算、積算、設備設計、施工計画、維持管理などのソフトウェアとの間でも、データを正確に交換できるようになり、あたかも全てのソフトウェアが接続して、互いに協調しながら知的に動作しているようにすることも可能である。これが、BIM の目指すところなのであり、機械分野では既に相当のことができるようになっている。土木はCIMで、これからBIMに追いつこうとするわけである。



4. 情報伝達のパラダイムシフト

ここで重要なのは、2次元 CAD から3次元 CAD に次元が一つ増えただけのように見えるが、実はそんな単純な話ではないということである。従来は、情報が人間の頭から他の人間の頭に正確に迅速に伝達されることが重要であったのが、現在は、コンピュータとコンピュータ、あるいは

は機械と機械との間で情報のやり取りをして知的に振る舞えることが重要であるということへのシフトが起こっているのである。これに伴い、情報伝達のメディアも従来の紙や人間が読める電子ファイルから、機械が理解できる電子ファイルにシフトしつつある。総じていえば、情報の主な消費者が、人間から機械に変わりつつあるのである。

これは人類の長い情報伝達の歴史の中で、極めて大きなパラダイムシフトであり、文字の発明、紙の発明、印刷技術の発明などに匹敵する程の規模だと考えている。マシンからマシン、すなわち、M to M (M は Machine) 略して M2M へとシフトしていき、社会や産業に大きなインパクト (影響力) を与えることだろう。

5. 情報化施工と3次元データ

国土交通省では、2008年2月に情報化施工推進会議 (委員長: 建山和由 立命館大学教授) を発足させ、同年7月に情報化施工推進戦略を発表した。情報化施工とは、3次元の設計データと TS (Total Station) あるいは RTK-GNSS (Real Time Kinematic - Global Navigation Satellite System) などの測量データを利用して施工機械を自動的あるいは半自動的に稼働させるとともに、出来形や品質データを自動的に得て検査を効率化することを意味する。

一つは、ICT を用いて建設機械の自動化であり、例としては、バックホウなどの掘削盛土機械に3次元設計データを入力し、TS や GNSS による位置データから、丁張りなしで制御できる

ようにオペレータに指示するマシンガイダンス技術 (AMG) やブルドーザやグレーダの排土板の高さを、やはり3次元設計データと機械の位置情報から、油圧を使って、自動制御しながら敷き均しを行うマシンコントロール技術 (AMC) である。

もう一つは、設計・施工時の情報を基にした技術者の判断や監理の高度化であり、例としては、TS や GNSS を用いた出来形管理技術、ローラの走行軌跡や加速度応答から締固めや強度など品質を管理する技術などである。

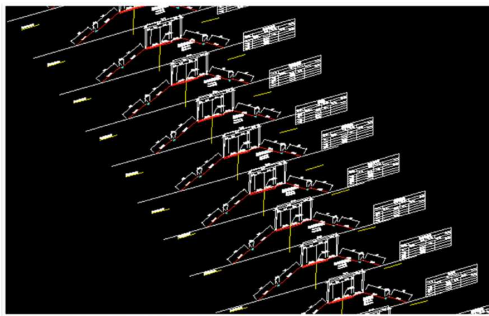
大規模土工については2、3年で、小規模土工についても4、5年で情報化施工を標準的な施工方法に位置付けようと、試験施工を全国で展開しながら、研修やアンケート、効率や品質の検証などを行いながら、本格的な導入へ努力した。

情報化施工を行うためには、3次元の測量データや設計データが必要である。そうした3次元の入力データのフォーマットは、機械のメーカーによって異なるため、ある程度の標準化やデータ作成のためのプログラムが日本建設機械施工協会から提供されている。情報化施工に関する国際標準作成にも日本は大きく関与している。

しかし、通常、施工業者に渡されるデータは2次元 CAD 図面であるため、3次元データを作成するための手間やコストがかかっているのである。従って、設計段階で測量データと3次元設計データを作成し、機械同士でデータがやり取りできるよう、ある程度、標準化された形式になっていれば、そうした手間やコストが削減

できるようになる。つまり、施工側が上流側に3次元データを要求しているのであるが、こうした声は残念ながら中々発せられないし、発注者や設計者の耳に入ることは少ない。また、入ったとしても、実際どうすることもできなかったのである。

それゆえ、情報化施工開始から4年経過した今、CIMが始まったのは実に意義深いのである。施工という下流から攻め上がってきた3次元の波が積算と設計、計画へといよいよ到達しつつあるからである。



6. 「20世紀型」公共工事システム

CIMを、ただ単に2次元から3次元に変わるだけではないという、もう一つのポイントは、現在の公共・公益土木工事のプロジェクトの進め方を根本から変えていく可能性がある、ということである。

1960年頃までは、発注者内部に設計部門があり、図面作成、設計技術計算、数量計算、墨入れまでやっているところがあった。積算部門の技術者は施工管理経験が豊富で工法や歩掛りをよく知っており、建設現場と設計や積算部署との転勤を通じて、構造物のライフサイクル

を体感することができたと考えられる。

1950年頃から、設計を委託で実施する建設コンサルタント会社が主に発注者からのスピンオフにより少しずつ設立され、1959年には公共工事における設計・施工分離発注方式が当時の建設省から通達されたこともあり、発注者、設計者、請負業者の3者の間には、高い壁ができ始め、特に設計者である建設コンサルタントと請負業者との間には高くて固い壁が生まれた。

さらに、高度経済成長を迎え、建設投資はどんどん増え、バブル経済崩壊後も景気の下支えのために2000年頃まではかなりの公共事業投資を実施した。この間、ずっと2次元図面をベースとした三者関係という環境に、それぞれのプレイヤーが最適化していき、その結果、建設コンサルタントは、多くの下請け、孫請け業者と継続的な受発注関係を構築し、請負業者もやはり下請け、孫請け業者などとの間で効率的な関係を構築してきた。つまり、自分で鉛筆や電卓を使って計算するより、受発注業務と営業活動に追われるようになったと推測される。発注者は、自治体、住民や地元団体、自然保護団体などとの間に発生する各種業務で多忙になり、技術的には、設計は建設コンサルタント、施工は請負業者へ任せるという形にならざるを得なくなると想像される。

私はこのようにして、日本の土木は2000年に「20世紀型」最適公共工事システムが確立されたのだと思っている。そして、2001年、21世紀を迎え、どうなったか、公共事業投資はどんどん減らされ、多くの建設会社は倒産した。それなのに、20世紀型最適公共工事シス

テムは、そのままである。PPP (Public Private Partnership)、PFI (Private Finance Initiative)、CM (Construction Management) などが導入されつつあるが、あくまでスポット的である。また、設計・施工一括発注 (DB : Design-Build) 方式も一部の小型工事では実施されているが、心理的にも設計・施工分離発注 (DBB : Design-Bid-Build) 方式への拘りは相当に強いと感じられる。

7. CIM と「21 世紀型」システム

では、CIM はこの現在のプロジェクト方式をどう変える可能性があると言うのだろうか。CIM では、プロジェクトに関する測量の 3 次元データ、3 次元設計モデルデータ、建設中の出来形の 3 次元データなどを包括的に一つのデータとして、関係者が共有できるようになる。そうすると、現在の三者関係のように、発注者からは決められた書類しか受注者は渡されず、受注者は契約書に記載されている納品物のみを発注者に納品し、仕事の中で作成された後で請負業者が本当は欲しいデータも、その存在すら明かさずに捨てられてしまう状況や、そもそも、設計者も請負業者も、下請けに仕事を出してしまうため、どんなデータがどう加工されているのかもよく知らないという状況では、建設 CALS/EC とほとんど変わらないという事態になり、決して CIM はうまくいかない、と言うことに早晩気づくことになるだろう。

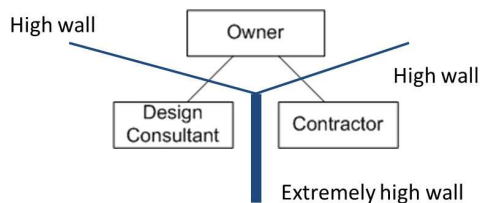
では、どうしたら良いかといえば、発注者と建設コンサルタントと請負業者が、もっとフラットかつオープンで協調的な関係へと移行し

ていき、情報のやり取りがスムーズにできるよう、根本的にビジネス関係を改革していくのが良いと気づくことになるだろう。ただ、そこまで一気に物事は進まないで、まず、測量会社、建設コンサルタント、請負業者などの異業者間の垣根を取り払い、契約方式も、現状の DBB から DB へと緩やかに移行していくことになるだろう。その際 DB の弱点として、ある設計者が必要以上に大きくて高価な構造物を設計し、建設部門を儲けさせるという不正行為が行われる可能性があるが、その発生を防止するため、専門的な立場から設計の適切性を監視する別のコンサルタントに業務委託をすることが必要となる。

日本の発注者は、こうした業務を別のコンサルタントに委託することを嫌う傾向が強い。なぜなら、それは発注者内部の技術者の仕事であって、外部に発注するという事は、内部の技術者の能力が不足しているからだということの意味する、と考えるからである。しかし、必ずしも外部委託する理由はそれだけではあるまい。そもそも発注者が、細かい設計計算を自分で行ったりする手間を省くために、設計者に委託しているのであるし、発注者が、設計のチェックを長い時間かけて行うよりも、地元対応や環境問題、全体計画の策定など、より上流の仕事やソフトな仕事に移行していつているし、していくべきではないだろうか、と思っている。

いずれにしても DB 方式へ移行して、建設コンサルタントと請負業者の高くて固い壁が壊されることにより、互いに情報交換しつつ、自らの下請けや孫請けを使った業務プロセスの再構築の必要性を感じるはずである。そのような過

程を経て、建設業界も再構成、再構築が進み、だんだんと 20 世紀型最適システムから「21 世紀型」システムへと移行していくと期待している。



8. 技術者の幸福

では、21 世紀型システムでは、何が良くなるのであろうか。私は、建設コンサルタントも請負業者も、今よりずっと仕事が楽しくなるはずだと考えている。

そもそも、つまらない仕事とは何だろうか。やり方が決まっていて、ただただ面倒くさくて、ミスすれば怒られ、きちんとできても当たり前だと言われ、何も創造性や自分のアイデアを加える機会がないような仕事が挙げられる。土木技術者のように創造性があり、理数系に強く、知能が高い人たちにそんな仕事が面白いわけがない。今の仕事がそんなものばかりだとは言わない。総合技術評価方式のようにアイデアを出さなければ、仕事が取れないようなものは面白かろう。しかし、そうした仕事も、大きなプロジェクトを細分化していった極小さな断片であれば、やりがいも今一つになってしまう。また、設計や施工上の問題を発見して解決すべきだと言ったとしても、制度的に、あるいは力関係などにより、自らを抑え込んで、曲げなければなら

ないような事態が頻発すれば幸せとは言えないだろう。

建築分野は、建築家と呼ばれる設計者の力が非常に強く、構造技術者、設備技術者、生産技術者、現場の施工技術者などの下流工程で、設計ミスやあまり良くない設計があったとしても、自らを曲げて、設計者に従うことが多かったと聞いている。例えば、構造的にはそんなおかしな形状より、こうした方が経済的なものと思いつつ、仕方がないと従う、そこの梁には穴を開けるなどと言われ、泣く泣く現場でダクトを大きく迂回させる、そんなドアはもう作ってしまった壁にうまく入らないのに、削ってつけさせられた、等々。

ところが、BIM を導入して、施工や設備といった下流工程からフロントローディングで上流になだれ込んでいくため、設計者に早い段階で問題を 3 次元 CAD で明確に示すことによって、建築家に設計そのものを変えさせることができたという事例が生まれたというのだ。これは、施工や設備技術者が建築家に対して溜飲を下げるというレベルの満足感ではなく、仕事の流れや質が変わる可能性を実感する満足感を得られたのではないかと想像している。

CIM が将来、本格的に導入された時、土木技術者は、断片を仕事の対象とすることから、より大きく、より長い期間の仕事に従事できるようになり、プロジェクトの醍醐味を味わうことができるようになり、若い人達が土木技術者になりたい、と憧れるようになる可能性があると感じている。

9. おわりに

私は、1982年に電源開発株式会社に入社し、土木構造物の設計を、大型計算機を用いた設計技術計算（IBMのパンチカード入力）以外は全て手で行い、3次元CADを用いて効率化とプロジェクトのプロセスを変革したいと願った。驚くべきことに1984年に会社は3次元CADを日本の（ひょっとしたら世界の）土木分野では恐らく初めて導入し、その利用と開発の担当者一人となった。それが縁でその後スタンフォード大学大学院に留学したのだが、情報工学に関する知識や技能レベルの彼我的差を思い知らされ、完全にゼロから「コンピュータ・サイエンス」の勉強をした。その時、情報学の基礎を学ぶことの大切さとそうした教科書があったらいいのにと考えた。あれから20年以上経ち、ようやく仲間と一緒に「工業情報学の基礎」³⁾という本を2011年4月に上梓することができた。

3次元CADも各種アプリケーションソフトウェアも、マニュアルを読み、適切なトレーニングを受ければ、大概の人は使えるようになる。しかし、その背後にある情報学の基礎、基本を知らないでただ使っているのは、上級に立つ技術者としてあるべき姿ではないと信じている。

土木技術者なら多かれ少なかれ、何らかの情報システムの構築に関わることがあるだろう。そうした時、システム開発業者の言いなりになったりして、失敗した経験はないだろうか。また、自分でデータベースを作ってはみたものの、汎用性が低く、なぜだろうと不思議に思ったりしないだろうか。

CIMが本格的に生まれれば、データやデータモ

デルの正しさ、適切さ、データ量と計算速度といったことに今よりもっと気を付けなければいなくなる。その時、情報学の基礎であるグラフ理論、論理学、データ構造、探索・整列・最適化、データモデルとデータベース、オブジェクト指向、3次元モデリング等についての勉強しておくことは、一般の土木技術者が微積分、行列、確率・統計、力学等の勉強をしなくてはならないのと同じくらい重要になると思われる。

<参考文献>

- 1) 矢吹信喜、志谷倫章：PC 橋梁の3次元プロダクトモデルの開発と応用、土木学会論文集、No.784/VI-66, pp171-187, 2005
- 2) N. Yabuki, E. Lebegue, J. Gual, T. Shitani, and Z. Li : International Collaboration for Developing the Bridge Product Model “IFC-BRIDGE”, Proc. of the Joint International Conference on Computing and Decision Making in Civil and Building Engineering, Montreal, Canada, pp.1927-1936, 2006
- 3) 矢吹信喜、蒔苗耕司、三浦憲二郎：工業情報学の基礎、理工図書、2011