

我が国におけるライフサイクル全体での BIM 活用の推進に向けた一検討

学生氏名 伊藤 優太
指導教員 皆川 勝

所属 東京都市大学工学部都市工学科 計画マネジメント・皆川研究室
E-mail syuta0808@gmail.com

近年、建設設計・生産プロセスで3次元モデルデータを一元管理する BIM の考え方が世界で急速に広がりを見せている。アメリカでは産業界とともに、5D モデルを用いて IPD を実施中であり BIM を積極的に活用している。またヨーロッパでも情報共有システムを構築し、BIM の導入に積極的であり今後、世界的に普及・発展が予測される。日本でも BIM が今後、急速に普及・発展していくことが予測される。

そこで本研究では、今後日本で到来するであろう BIM の導入期・普及発展期に向け、BIM 先進国である英国・米国についての BIM の諸事情の調査をして、我が国でライフサイクル全体での BIM 導入がスムーズに行えるように考察をもとに検討を行う。

Key Words: *Building Information Modeling, Civil Information Modeling, BS1192, Ministry of Land, Infrastructure, Transport and Tourism*

1. 序論

(1) 背景

近年、建設産業界には様々な課題が渦巻いている。産業力の指標の一つである労働生産性では、図-1より製造業等の生産性がほぼ一貫して上昇したのとは対照的に、建設業の生産性は大幅に低下した。これは主として、建設生産の特殊性(単品受注生産等)および就業者数削減の遅れ等によると考えられる。近年は建設業就業者数の減少もあり、概ね横ばいに近い動きとなっている。また、図-2より建設業就業者数を年齢階層別にみると、若年層の減少が目立っており、相対的に高齢層の割合が高まっている。このような高齢化の傾向は、他産業と比べても顕著である。就業者の高齢化は産業活力の維持、強化の点で大きな問題であり、また、団塊世代の多数の技術者、熟練技能者の退職が進行しつつある中で、建設生産システムの中核をなす技術、技能の継承が当面の大きな課題である。

また、日本の首都圏のインフラ施設は、ほぼ完成されている近年で、表-1より建設後50年以上経過したインフラ施設の割合は約20年後には、ほとんどの施設で50%を越え老朽化が危惧されています。また、国内だけでなく、海外に市場を広げていくことは非常に重要な課題である。しかしながら、図-3より日本企業の海外の受注実績は安定していない。

これらの課題解決に向けた有効策の一つとして、建設設計・生産プロセスで3次元モデルデータを一元管理する BIM の考え方が世界で急速に広がりを見せている。ヨーロッパでも BIM の導入に積極的であり、英国では2016年に公共工事は BIM が義務化される予定である。日本でも、①ITインフラの進化。②「透明性」が要求されてきた。③コストや工期、品質に関する普遍的な要請に対するメリット。④フロントローディングを効果的にサポートできる。以上の理由により BIM (Building Information Modeling) が日本でも今後、急速に普及・発展していくことが予測される。

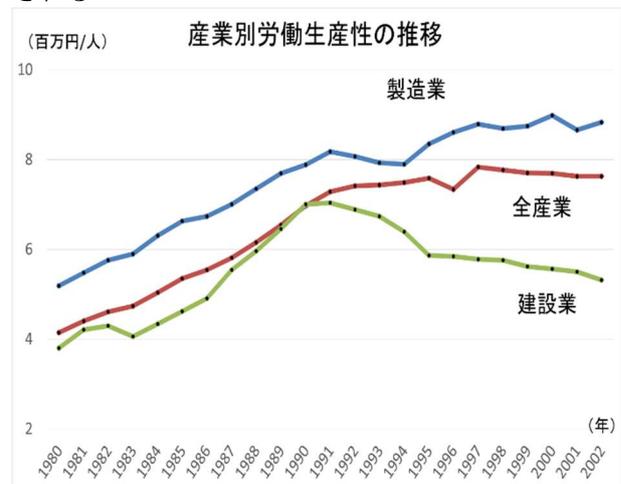


図-1 労働生産性¹⁾

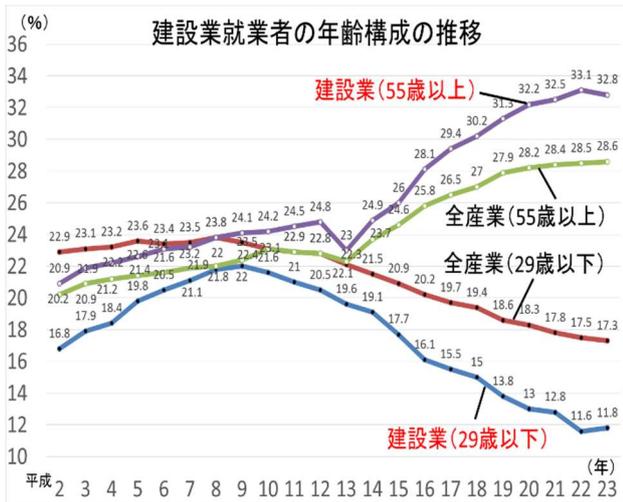


図-2 建設業就業者の年齢構成の推移²⁾

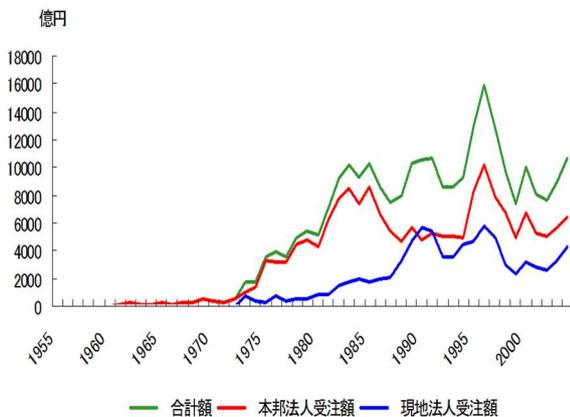


図-3 海外建設受注実績の推移³⁾

表-1 建設後50年以上経過したインフラの割合⁴⁾

	平成22年度	平成32年度	平成42年度
道路橋 ※約15万5千橋 (橋長15m以上)	約8%	約26%	約53%
排水機場、水門等 ※約1万施設	約23%	約37%	約60%
下水道管きよ ※総延長:約43万km	約2%	約7%	約19%
港湾岸壁 ※約5千施設	約5%	約25%	約53%

(2) 目的

日本の社会的背景を踏まえた上で、今後、普及・発展していくと考えられるBIMを調査し考察を行う。さらに導入先進国である海外の事例を調査し、利点・欠点を評価・検討した上で、日本で建設ライフサイクル全体に活用していただけるためのBIMを導入するための提案を行うことを目的とする。

2. BIMとは

(1) 従来の3Dモデルとの違い⁵⁾

BIMとは、Building Information Modelingの略称であり、コンピュータ上に単に3次元で物体のカタチが表現できるというだけでなく、そこで構成される空間や各部材・機器等に、仕様・性能、コスト等の属性情報を持たせた建物情報モデルを構築することをいう。従来の3Dモデルでは、単なる3次元部材による形状の構成であり、そこに存在する情報は形状と仕上げ・材質のみであった。一方BIMは、コンピュータの仮想空間上に、実際の建物と同じモデルを構築し、設計・建設・運用のシミュレーションを行うことが可能となるものである。また、従来の3Dモデルでは不可能であったモデルからの図面や数量の書き出しも可能となり、かつ、それはモデルと連動しているため不整合も起こらない。以上のようにBIMは、この建設モデルを設計から施工、維持管理に至るまで、建設ライフサイクル全体で一貫したデータを活用することにより、大きな効果が得られると言われている。



図-4 BIMによる完成予想図

(2) BIMによるメリット

BIMとはプロジェクトの物理的、機能的な情報をICT関連技術を活用して統合した業務執行プロセスであり、実現すると、以下のメリットが挙げられます。

表-2 BIMによるメリット

- a 情報の利活用による設計の可視化
- b 設計の最適化(整合性の確保)
- c 施工の高度化(情報化施工)、判断の迅速化
- d 維持管理の効率化、高度化
- e 構造物情報の一元化、統合化
- f 環境性能評価、構造解析等高度な技術解析の適用

a) 情報の利活用による設計の可視化

図面とは、建物を色々な方向や切り口から見て、平面図、立面図、断面図といった2次元の組み合わせで表現する手法です。これに対し、BIMは、コンピュータ上に実際の建物を3次元で作り上げる手法。CGと似ているが、見える部分だけをモデル化するCGに対し、BIMは壁や天井裏に隠れた柱や梁、配管や空調ダクト等まで忠実にモデル化出来ます。

b) 設計の最適化（整合性の確保）

図面を途中で変更すると、関連する他の図面も修正して整合させる必要がありますが、実際にはそこで修正間違いが起こりがちです。その点、BIMでは3次元の基データを修正し、図面を描き直すだけで整合性が自動的に取れるので、チェック作業が大幅に省力化できます。

c) 施工の高度化（情報化施工）、判断の迅速化

施工段階では、設計、構造、設備の干渉問題が起こりがちですが、BIMには干渉チェック機能があるため、設計段階でそれを発見することができます。このことをフロントローディング（作業の前倒し）といいます。

d) 維持管理の効率化、高度化

維持管理において必要なデータ（属性データ等）を連携させることにより、維持管理での3次元モデルが構築され、管理の効率化・高度化が可能となる。

e) 構造物情報の一元化、統合化

施工時に時間軸と金を追加（4次元・5次元モデル）するなどの応用し1つのモデルに統一することで、施工計画の最適化、効率的な施工管理、安全の向上等が可能となる。

f) 環境性能評価、構造解析等高度な技術解析の適用

BIMデータを気流・音・熱環境シミュレーションなどに活用し、更に、合理的構造形式の検証や設備機器の立体的納まりの検証に展開されている。

つまり3次元形状を含む、設計、施工、維持管理それぞれの業務で必要なすべての情報を相互連携させたデータベースを必要に応じて参照、活用しながら業務を進める手法と言える。

BIMにより建設事業の各段階で利用する情報を共有化することで、本来であれば後工程でないと利用できない情報（フロントローディング）も前もって利用できるというメリットが特徴です。

(3) 土木における BIM[®]

BIMという言葉はその「Building」という響きから永く建築（Vertical Construction）に特化した技術あるいはプロセスのように思われていた。ところが近年この「Building」を「建設する」あるいは「築造する」のように動詞と捉えることにより土木（Horizontal, Heavy Construction）分野でも使用され始めた。本研究でもCIM=BIMを同義とみなす。BIMは現在建設業界のさまざまな変化の中で最もその導入効果や影響が顕著かつ期待される情報利用技術の一つと言える。

2009年にMcGraw-Hill社が実施した欧米建設市場調査によると、建設会社や設計事務所、建設コンサルタントのおよそ50%が何らかの形で実務においてBIMを導入している。そして設計者、エンジニア等の実務担当者たちは今後さらにその利用率が上がることを予測している。この利用率の向上の理由としては、多くの実プロジェクトにおいてBIM導入による非常に高い投資対効果を実証されていることが挙げられる。

a) 土木分野での BIM 化は自然な流れ

2次元図面の電子化や属性付与では得られる効果は限定的である。現在でも設計意図を伝えるため、紙上あるいは2次元CAD上に線や文字、記号などを利用して設計図書や仕様書を作成している。これらの表現方法ではそれ自体は有効な情報であるが、それぞれの相互関連性がない。つまり、様々な情報を人間がすべて理解し、関連付け、そして統合して初めて図面間の整合性が保たれ、正しく数量が算出でき設計者の意図が伝わる仕組みである。

一方、製造業界や金融業界など建設業以外の情報化先進産業界では、かなり以前からVR(Virtual Reality)やモデルベース設計(Model-based Design)、DPF(Digital Prototyping and Fabrication)、ICT(Information Communication Technology)に代表されるような情報を高度に連携させたシステムの活用が進んでいる。それらは現在でも年々高度化しており、高い生産性や製品品質向上に寄与し続けている。3次元設計を耳にする機会は確かに増えたが、BIMの登場で建設産業はようやくこのデジタル技術を有効活用できる変化に身をもって体感する段階にきたと言える。現状では建築分野での活用が多く企業の実践され、着々と成果が発表されているが、土木分野でもCALS/ECによる情報連携の手段としてBIMデータベースの研究が始まっている。

b) BIM 導入実態調査

McGraw-Hill社はBIM導入実態調査の中で、米国に本拠を置く約1000社の発注者、施工者、建設資材の製造会社らを対象として聞き取り調査を実施した。この調査によりBIMを導入している会社数、その会社がどの程度実務利用しているかあるいは近い将来活用を計画しているか、その程度のBIM導入効果があるか、どの分野がBIM導入によりもっとも効果上がるか、なぜ他社はBIM導入を戸惑っているのかあるいは何時導入しようとしているのかなどの設問に対して興味深い回答があった。

この調査の結果、BIM導入初期には得られ難しかった導入効果が、いったん経験を積むことで多大な効果が期待できるということがわかった。調査対象の約75%がBIM費用対効果を実感し、またBIM上級者の約20%は100%以上のBIM費用対効果を実感している。BIMを利用することで、77%が手戻りを削減し、72%が追加業務の受託に成功し、71%が作業人工の削減に成功し、71%が新規受託に貢献した。さらに彼らは今後5年間でBIM化が進み、より精密

に設計されたプロジェクト、より低リスクかつより正確な効果予測の実現、そしてモデルベースの工場製作による品質、精度、コスト削減などが実現できると予測している。

3. CALS/EC の成功と失敗

企画から設計、施工、維持管理まで建設生産システムの成果を高めるキーワードのひとつが情報の共有である。近年の電子情報処理技術の高度化は、膨大な量の情報を扱う建設生産システムに巨大なインパクトを与えようとしている。国土交通省は、1997年から設計情報等の電子化による効率的な処理を進めることを目的に CALS/EC の開発・普及に取り組んできた。その結果、図面や写真の電子納品、電子入札などの成果を得てはいるが、電子情報を施工段階において十分に活用できていない。一方で、民間の建築現場では、3次元建築情報により設計、施工の情報共有を進める BIM が効果をあげはじめ、国土交通省では営繕工事で BIM の試行を行うとともに、土木についても CIM と称して開発に着手した。さらに、携帯情報端末機の発達は、建設現場における情報交換に大きな変化を引き起こそうとしている。

つまり、BIM/CIM は CALS/EC の延長線上の取り組みであるが故に、CALS/EC の課題を解決していかないと BIM/CIM の導入でも同じ失敗をしてしまう。

a) CALS/EC とは¹⁰⁾

CALS/EC(Continuous Acquisition and Life-cycle Support / Electronic Commerce)とは、「公共事業支援統合情報システム」の略称であり、従来は紙で交換されていた情報を電子化するとともに、ネットワークを活用して各業務プロセスをまたぐ情報の共有・有効活用を図ることにより公共事業の生産性向上やコスト削減等を実現するための取り組みです。

b) CALS/EC の有効性

表-3 に示す。

c) CALS/EC の成功と失敗

■成功したこと

・ CALS/EC における個別の要素技術。電子入札の利用が拡大し、電子納品は CAD 図面や写真、測量成果品など様々な基準が整備された。

■できなかったもの

・ CALS/EC における建設生産システム全体のワークフローが未完成。電子契約は未達成、電子納品された成果品はあまり活用されていない、設計から施工、施工から維持管理の間での情報共有も出来ていない。

■なぜ失敗したのか？

・ 国交省の CALS/EC 担当者は、この 10 年間、ほぼ 2 年ごとに交代し、CALS/EC が抱える課題は先送りされ続けてきた。

・ 今までの現状では、CALS/EC に対応するために必要な費用は受注者が負担していた。そのため、民間業者も CALS/EC に対応しても、自らの生産性向上につながらないばかりか手間ばかり増えることが判っている。

d) 改善策

・ CALS/EC のロードマップが実現するまでは何年かかっても腰を据えて CALS/EC 担当を続けていれば、早期に実現の可能性があったかもしれない。

・ CALS/EC に対応するために必要な費用は発注者側が負担する。生産性向上が向上すれば、投資した金額以上の利益が出ると考える。

公共分野での BIM 本格導入の際に、CALS/EC での失敗を活かすことが非常に重要である。

表-3 CALS/ES の有効性

発注者の観点から見た公共事業の特徴

- ・ 発注者、設計者、施工者、資材供給者等の関係者が多く、この間で頻繁に情報交換が行われる。
- ・ 交換される情報は、文書のみならず、図面や写真、設計書等、多様で量が多い。
- ・ 施設のライフサイクルが長く、長期間にわたる維持管理が必要であり、これを支える情報の役割が大きい。

効率的な業務の遂行が可能となる

- ・ 情報の電子化により、保管スペースが削減され、かつ、検索が簡易・短時間で可能となる。
- ・ 通信ネットワークを利用し、短時間でどこでも情報交換でき、より迅速な業務の執行が可能となる。
- ・ 情報の共有により、行き違いや伝達ミスがなくなる。

4. 海外でのBIM活用事例

(1) ロンドンのクロスレール計画の概要⁷⁾

「北半球最大のプロジェクト」と言われる英国ロンドンの「クロスレール(Crossrail)」プロジェクトは英国工業規格(BS1192)に基づき、徹底したIT化を図ったプロジェクト情報の先進的、組織的な活用事例である。

a) クロスレール路線概要

クロスレールはロンドンの東西間を結ぶ新路線である。路線図を見ればわかるが、クロス型に東西間に路線が伸びているのが特徴である。ナショナルレールのグレートウェスタン線とグレートイースタン本線に、ロンドン中心部を地下で横切るトンネルを経由して、相互に乗り入れる。ロンドン中心部では、現在の地下鉄各路線よりも深いところにトンネルを建設する予定である。従来の地下鉄よりもロンドン中心部の駅が少なく、高速運転が実施されることから、パリのRERに似た性格を持つ鉄道である。ロンドン中心部のトンネル区間には6駅が建設され、既存の地下鉄・ナショナルレールの各線と乗り換えできる。なお、ロンドン中心部の各駅はロンドン地下鉄の駅と一括で管理が行われる。ロンドン中心部のトンネル区間を抜けると、東側は二手に分かれて、片方は2012年のロンドンオリンピックのメイン会場の最寄りとなるストラットフォード駅からグレートイースタン本線に乗り入れる路線であり、もう片方はロンドンの再開発地域であるカナリーワーフ方面への路線である。また、トンネル区間の西側ではロンドンのターミナル駅であるパディントン駅からグレートウェスタン線に乗り入れる。

b) クロスレールからの空港・ユーロスターアクセス

クロスレールの一部の列車はヒースロー空港に乗り入れる予定である。現在、パディントン駅からヒースロー空港までは直通列車であるヒースローエクスプレスと、途中駅に停車するヒースローコネクットの2種類の列車が運行されているが、クロスレール開業と同時にヒースローコネクットはクロスレールに統合される。現在、カナリーワーフからヒースロー空港までの所要時間はヒースロー風力発電の電気

を一部使用して走行する電車(マルメ, スウェーデン)エクスプレス経由で約50分、地下鉄のみで約1時間10分(乗り換え時間含む)であるが、これが乗り換えなしの43分に短縮される。また、クロスレールからヒースロー空港以外のロンドンの各空港へのアクセスは、1回の乗り換えで可能である。さらに、ストラットフォード駅近くに、パリ・ブリュッセル方面のユーロスターが停まるストラットフォード国際駅があり、ユーロスターへの乗り換えもしやすくなる。このように、クロスレールは空港アクセスやユーロスターへのアクセスがしやすい路線となる。

c) 車両・運賃概要

クロスレール用の車両は1両あたり20mの車体長であり、ロンドン地下鉄で用いられる16~18mの車両よりも長い。開業当初は10両編成で運行予定であるが、プラットホームは将来を見越して12両編成に対応できるように建設される。また、都心部のトンネルの直径は6mであり、Tubeタイプのトンネル直径の3.81mよりも大きく、従来よりも大型車両が走行可能である。さらに、ラッシュ時には2分30秒間隔で運転する。これによって、従来の地下鉄よりも高容量での運行が可能になる。また、ロンドン中心部の各駅にはホームドアが設置され、安全性が高められる。クロスレールの運賃は、ロンドン交通局の運賃体系と同一のゾーン制となる。またロンドンで運用されているICカードのオイスターカードも利用可能である。

(2) World Trade Center 再開発事業(アメリカ)⁸⁾

・プロジェクト概要

発注者

ニューヨーク州・ニュージャージー州港湾局

プロジェクト

WTC 統合交通ターミナル施設建設パーソンズブリ
ンカホフ&URS プログラムマネージメント共同業体

WTC 統合交通ターミナル施設総事業費

2,200 億円



Crossrail line 1: accurate to official plans as of May 2014

図-5 路線図⁷⁾

a) One World Trade Center⁹⁾

フリーダムタワーと呼ばれていたが、2009年に名称変更が決まった。

高さ 1,776 フィート (541m) はアメリカ独立年にあやかったもので、ニューヨーク一高いビルとなり、WTC 再開発の中核施設である。

ファサードは 8 つの鋭角三角形で構成され、ガラス四角柱の角をカットしたデザインで、近年数多くみられるガラスカーテンウォールの高層ビルの中でも洗練されたものである。



図-6 One World Trade Center 完成予想図

b) Transportation Hub⁹⁾

子供が空へ鳩を放つ仕草からインスピレーションを受け、鳥が飛ぶ姿を表現したデザインとなっている。

当初は、白い尖塔と細長いガラスを使った屋根が、可動する計画であったが、安全性、コスト面から計画の変更が行われました。



図-7 Transportation Hub 完成予想図

c) プログラムマネージメントにおける課題と解決策⁸⁾

WTC 跡地をメモリアルとして残す必要があり、地下工事と地上メモリアル工事を平行する必要がありました。そのため基本・設計計画段階でそれぞれの請負計画を色分けで表現し、施工計画内容（地下工事と地上メモリアル）の干渉チェックを事前に行い不整合を確認することが出来た。

仮設（青）、本設（赤）、完成モデル（白）でモデル化して統合、干渉チェックを実施した。更に、困難な状況ゆえに、時間軸を追加した 4D で検討が重要であったため、PDF 上の構造物をクリックすることで詳細な情報が表示されるシステムを構築した。

モデルは工事進捗に合わせた道路の仮配置にも使われ、BIM が計画進行の命綱になっています。

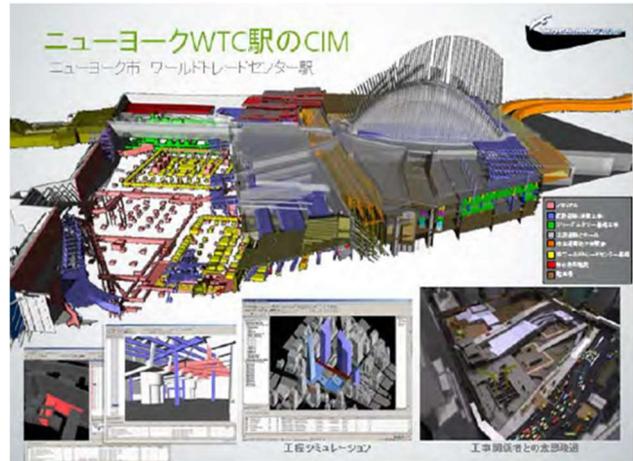


図-8 BIM 作成図

作成された WTC 再開発の BIM データ量は世界最大級とも言われている。事業規模や関係者の多さに加え、完成後の維持管理にもデータを活用する計画があり、モデル自体が高精度に構築されている。BIM 先進国の米中でも、将来を見据えた象徴的なプロジェクトの 1 つとなっている。

(3) シカゴ鉄道局 Wilson Transfer Station パイロットプロジェクト(アメリカ)⁸⁾

・プロジェクト概要

シカゴ市内を走る環状鉄道駅舎のアップグレードプロジェクト。

Revit(計画モデル)と Re Cap(現状モデル)を Infra Works で結合し、設計施工を行うためのモデルを作成。このパイロットモデルにより、シカゴ鉄道局(CAT)は今後 BIM を採用する方向。

将来的に他のプロジェクトでも活用できるようにライブラリ化も行った。さらに地下埋設物は埋設 GIS データから自動的にモデル化を実現している。建物の詳細を認識するだけでなく、プロジェクト全体を把握するためのモデルを作成することが重要で、マイクロレベル・全体都市モデルから建設現場に必要な抽出モデルを再現・計画し、それをまた全体モデルに反映した。

(4) Connecticut 道路局高速道路 インターチェンジ(アメリカ)⁸⁾

・プロジェクト概要

発注者：コネチカット州道路局

プロジェクト：インターステート 95 号線ニューヘブ
ン湾横断線改良工事

NEW HAVEN HARBOR CROSSING IMPROVEMENT PROGRAM

高速道路 3 号線のインターチェンジ改良工事
延長距離 70 マイル
総事業費：2000 億円

発注者が BIM の ROI(return on investment)に着目し、設計、施工業者の BIM 化に対して出資した 2 億円を BIM によるプログラムマネジメントに投資した。目的は既存の交通の流れを阻害しないで安全かつ、高速道路を毎日 4 時間しか封鎖しないで施工することであった。4D-CAD が無い時代では、工程管理者は工程計画、設計者は設計、施工者は施工計画をそれぞれ作成し、発注者はそれらが問題なく進むことを祈るだけだったが、BIM 技術によってこのような心配をする必要がなくなるだけでなく、さらに施工スケジュールを短縮できるようになった。

発注者への納品物は 2 次元図面だが、前述のように対応する為に Navisworks を利用し、補完資料として提出している。将来オフィシャルにする為には法律上、契約上の課題はあるが、ソフトウェアとしては既に対応可能である。建設では既に法律、契約上の整備が整っているが、土木分野もこれらを参考にして事業に適用する必要がある。今までは、発注者は施工者に任せっきりでスケジュール管理も行っていなかったが、Design-Build、PPP などにより状況は変わりつつある。

5. 日本での BIM 活用の事例

(1) BIM 活用の事例-新宿労働総合庁舎¹⁾

国土交通省官庁営繕事業における BIM 導入の効果及び課題について、実証的に検証することを目的に「新宿労働総合庁舎」、「前橋地方合同庁舎」及び「静岡地方務局藤枝出張所」の 3 件の事業で試行しているところです。

その中の最初の事業の新宿労働総合庁舎の概要を詳しく調査しました。

表-4 新宿労働総合庁舎概要

対象施設	新宿労働総合庁舎
業務内容	設計業務 (基本設計および実施設計)
発注機関	関東地方整備局
施設用途	事務庁舎
延床面積	約 3・500m ²
構造	鉄筋コンクリート造 (RC)
階数	地上 6 階・地下 1 階
業務期間	平成 22 年 10 月～平成 24 年 3 月
主な BIM の試行分野	建築意匠および構造分野

2008 年に国土交通省が初めて BIM を導入して行ったプロジェクトが新宿労働総合庁舎です。

試行の概要 について以下の a-e に示す。

- a) 設計と条件の可視化
 - ・法規制等による建築可能範囲を BIM により可視化
 - ・周辺の敷地や建物輪郭等の情報を含む BIM モデルを作成し周辺環境と建物の相互の影響を整理
- b) 基本設計方針策定段階における試行概要
 - ・整備イメージを検討するための外部空間（整備施設外観、当該敷地形状、周辺の敷地・建物を含む）が確認できる BIM モデルを作成
 - ・配置計画および所要室の配置
 - ・面積等の必要な条件をもとに、BIM を用いて施設機能の空間ゾーニングを作成
 - ・周辺を含む日影解析・BIM モデルを活用して配置計画
 - ・立面計画等の比較検討
 - ・BIM を使用しない通常的设计と今回の試行における BIM による設計とのプロセスの違いを確認
- c) 基本設計段階における試行概要
 - ・基本設計図を作成するために必要な情報が入力された BIM モデルを作成
 - ・意匠と構造間の設計整合性の確認
 - ・BIM モデルの数量算出機能を用いて算出した数量により工事費概算を作成
 - ・BIM を使用しない通常的设计と今回の試行における BIM による設計とのプロセスの違いを確認
- d) 実施設計段階における試行概要
 - ・実施設計の成果物のうち、実施設計図（仕上げ表・平面図・立面図・断面図・展開図・天井伏図（天井開口リストを含む）・建具表のほか、技術提案書により提案した図面）を作成するために必要な情報が入力された BIM モデルを作成
 - ・仕様やディテール等を作り込む際には、BIM モデルで確認
 - ・意匠と構造間の設計整合性の確認
 - ・BIM モデルより実施設計図（仕上げ表・平面図・立面図・断面図・展開図・天井伏図（天井開口リストを含む）・建具表のほか、技術提案書により提案した図面）を出力するための調整
 - ・BIM モデルより特定行政庁等への各種申請図書（二次元で表現されたもの）を出力するための調整・BIM モデルの数量算出機能を用いて算出した数量により工事費概算を作成
 - ・BIM を使用しない通常的设计と今回の試行における BIM による設計とのプロセスの違いを確認。
- e) 積算段階における試行概要
 - ・実施設計段階の BIM モデルの数量算出機能を用いて算出した数量と「公共建築工事積算基準」の躯体の区分により算出した数量を各部ごとに比較

試行により得られた課題として以下の 2 点が挙げられる。

1 点目が BIM データの入力条件の整理。

BIMモデルは、設計のどの段階で、どのような内容を、どのくらいの精度で入力するか、といったBIMデータの入力条件について設計者等の関係者間であらかじめ整理しておくことが重要である。

2点目が迅速な意思決定。

フロントローディングを実現するためには、設計や施工時の意思決定者が、設計や施工に着手する前に設計と条件を的確に整理し、設計者から提示された提案や検証結果に対して迅速に判断をしていく必要がある。

6. BIMガイドラインについて

2014年3月19日、国土交通省の官庁営繕部では、BIMガイドラインを策定しました。

■ガイドラインのポイント

BIMモデル作成やその利用に関する基本的な考え方や留意事項を示した。具体的には、
○BIMの利用目的を明確化し、「技術的な検討」の具体例を示した。

具体例：各種シミュレーション、内外観・納まり等の可視化、干渉チェック等

○BIMモデル作成の「代表例」(柱、梁、ダクトなど)や「詳細度の目安」を示した。

■ガイドラインの運用により期待される効果

○BIMの利用目的を明確化した使い方によって、求めるBIMの効果が的確に発現される

○BIMモデル作成の「代表例」や「詳細度の目安」の例示により、BIMを導入する受注者のBIMモデル作成の効率性が高まる

BIMガイドラインでは、新宿労働総合庁舎よりスタートした数々のBIMプロジェクトを踏まえ、新宿労働総合庁舎で課題と挙げられていた、BIMデータの入力条件の整理および迅速な意思決定に対しても明確に課題解決が示されている。

BIMモデルの詳細度の概念が示され、シミュレーションが追加業務として明示されたことで、高品質の設計に対して、適切な金額が払われるようになり、工事の手戻り防止などの利益の一部を発注者を通じて設計者に環流するシステムができあがると、設計者はフロントローディングに対して積極的になる。そうなれば、BIMの導入によって建物のライフサイクルにおける「QCDSE (Quality Cost Delivery Safety Environment=品質, コスト, 工期, 安全, 環境)」全体を改善する効果が期待できる。

7. 日本でライフサイクル全体でのBIM/CIM導入に対しての現状の課題

建設業や建設コンサルタント業等において実際に設計、施工を現場で進めていく立場からBIM/CIM導入の技術的課題や制度上の問題点等について明らかにしている。BIM/CIM導入に対しての現状の課題を整理すると表-5のように大別でき、BIM/CIMを進めていくための課題は技術的なものだけでなく、契約制度や費用負担、監督・検査のあり方等制度的なものもある。

表-5 CIM導入に対しての現状課題¹³⁾

BIM/CIM導入に対しての現状課題	
CIMモデル（データ）の運用	<ul style="list-style-type: none"> ・モデルの精緻さ・精度、描画のルール ・工種、利用目的等に応じたモデルの使い分け ・各フェーズ間のデータ交換・モデル継承のルール ・属性情報の記録ルール ・データ管理運用マネジメント(CIMマネージャー) ・データフォーマットの統一 ・国際的なルール作りへの取り組み
CIMの効果を発揮するため発注者（管理者）、設計者、施工者等の連携のあり方	<ul style="list-style-type: none"> ・CIM導入が有効な場面、工種、規模等の明確化 ・フロントローディングが有効な項目の明確化 ・発注者だけでなく受注者がメリットを感じられる仕組みの構築 ・設計施工一括発注等での効果検証 ・計画から設計、施工、維持管理までの各プレイヤーの連携方法 ・情報化施工とのデータ交換のあり方 ・CIM導入に対応した契約、監督・検査、設計変更等のあり方
人材育成やハード・ソフトの整備	<ul style="list-style-type: none"> ・3Dソフトやツールやデータ（部品）群の充実 ・3Dモデルの作成や操作を円滑に行うための人材育成
コスト負担のあり方	<ul style="list-style-type: none"> ・CIM導入のためのハード・ソフトの初期投資 ・モデル構築や運用にかかるコスト負担

課題は、実際に BIM/CIM を導入・運用するには場合、技術開発、基準や制度の新たな策定や見直し等の解決すべき課題は多数ある。これらの課題を大別すると、大きく3つの課題に大別されると考えられる。

a) 運用・マネジメントに対しての課題

- ・ CIM モデル(データ)の運用
 - ・ モデルの精緻さ・精度、描画のルール
 - ・ 工種、利用目的等に応じたモデルの使い分け
 - ・ 各フェーズ間のデータ交換・モデル継承のルール
 - ・ 属性情報の記録ルール・データ管理運用マネジメント(CIM マネージャー)
 - ・ データフォーマットの統一
 - ・ 国際的なルール作りへの取り組み
- ・ CIM の効果を発揮するため発注者(管理者)、設計者、施工者等の連携のあり方
 - ・ CIM 導入が有効な場面、工種、規模等の明確化
 - ・ フロントローディングが有効な項目の明確化
 - ・ 発注者だけでなく受注者がメリットを感じられる仕組みの構築
 - ・ 設計施工一括発注等での効果検証・計画から設計、施工、維持管理までの各プレーヤの連携方法
 - ・ 情報化施工とのデータ交換のあり方
 - ・ CIM 導入に対応した契約、監督・検査、設計変更等のあり方

b) ソフト・技術面に対しての課題

- ・ 人材育成やハード・ソフトの整備
 - ・ 3D ソフトやツールやデータ(部品)群の充実
 - ・ 3D モデルの作成や操作を円滑に行うための人材育成

c) コスト面の課題

- ・ コスト負担のあり方
 - ・ CIM 導入のためのハード・ソフトの初期投資
 - ・ モデル構築や運用にかかるコスト負担

課題は多く残されており、本研究で目指しているライフサイクル全体での BIM 活用の段階ではないと考える。

8. 課題解決に向けて

(1) BS1192¹⁴⁾の概要

a) 運用・マネジメントに対しての課題について

この課題に対しては、「北半球最大のプロジェクトと言われる英国ロンドンの「クロスレール(Cross rail)」プロジェクトが英国工業規格(BS1192)に基づき、徹底した IT 化を図ったプロジェクト情報の先進的、組織的な活用事例であり、BS1192 を調査・考察し、日本版を導入することで、運用・マネジメントに対しての課題について課題解決を図れると考え

ている。実際に BS1192 を購入し、以下に BS1192 の全文の概要を示す。

BS とは、BRITISH STANDARD (英国規格) のことであり、英国工業規格によって作成されている。この英国規格は建築上の協力的(共同的)な生成、エンジニアリングおよび情報構築-作業標準である。BSI から発行され、2007年12月31日に発効されている。

建設プロジェクトにおける参加者間の協調作業は、施設の効率的な納品に極めて重要です。技術対応のプロセスがプロジェクトを支援するために使用される場合、この標準の使用は特に有用です。これらのプロセスは以下のものが含まれます。

- ・ 製図の自動化および文書の生成プロセス。
 - ・ インデックス生成及びプロジェクトに関するデータの材料を探索する。
 - ・ フィルタリングと並べ替え。
 - ・ 品質チェック及びドキュメントの比較。
- この標準の実装が、適切に行われていればプロジェクトチームの生産性と組織の収益性に対して多大な利点があります。

この標準では、協調作業及び特定の命名ポリシーの秩序だったプロセスを用いて、CAD システムによって生成されたものを含む建設情報の生産、流通や品質を管理するための方法論を確立します。これは、プロジェクトのライフサイクルおよびサプライチェーン全体を通じた設計、施工、運用および解体を通して情報の準備と利用に関わるすべての関係者に適用可能である。情報共有と共通のモデリングのための原則は、建築プロジェクトや社会基盤プロジェクトにも同様に適用可能である。

プロジェクトの「標準的な方法と手順」は、プロジェクトに関わるすべての関係者(例えば、クライアント、設計コンサルタント、サプライチェーンパートナーなど)が事前建設契約段階でプロジェクトのライフサイクルのことを合意され、約束する必要があります。BS 1192 は、構成ファイルやアプリケーションのアドオンの提供を通じて、その実装をサポートすることを可能にするソフトウェアアプリケーションの開発者のためのガイドです。BS 1192 は、CPIC (Construction Project Information Committee) によって公開されている建設業界のための手順コードに大きく依存しています。標準コードはファイルの役割のための標準的コードを次のように1つの文字をする必要があります。

- A Architect
- B Building Surveyor
- C Civil Engineer
- D Drainage, Highways Engineer

- A アーキテクチャー
- B 建築測量
- C 土木技術者
- D 排水、高速道路エンジニア

他にもまだまだコードはあり、データの受け渡し方やフォルダやファイルの名前の付け方まで厳密に規則として定めることで建築プロジェクトや社会基盤プロジェクトで正確な情報交換ができるようになってきている。

(2) ベントレー社および技術ソフトについて¹⁵⁾

b) ソフト・技術面に対する課題について

数ある CAD 会社の中のベントレー・システム株式会社について調査した。

※2007 年時点でのデータ参照

創立 23 年目の CAD ベンダー。

CAD のシェアは世界第 2 位

メイン商品は MicroStation という CAD。

社員数 2500 人以上, 80 拠点, 40 ヶ国。

建設, 土木, 測量, プラントの分野でビジネスを展開している。

・日本のユーザー (建設)



図-9 MicroStation

・日本のユーザー (プラント)



図-10 独立行政法人 日本原子力研究開発機構
ふげん発電所廃止処置による解体シミュレーション

・多くの測量会社がユーザー
財団法人日本測量技術協会
会員の 80%以上が Micro Station のユーザー。
会員数 (平成 17 年 8 月 5 日時点: 測技協の HP より)

北海道 6 社 東北 3 社 関東 47 社 信越 5 社 北陸 5 社 東海 10 社 近畿 7 社 中国 4 社 九州 10 社 合計 101 社

日本のユーザー (土木)

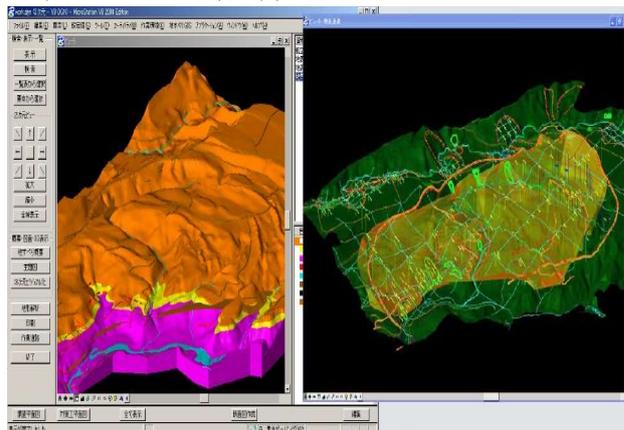


図-11 国土防災技術株式会社
地すべり頻発地区の 3 次元管理システムの構築

・ Bentley の優位性

1 点目, 大量データの処理, 表示パフォーマンスが良好. 3 次元地形モデル, 航空写真の合成などに実用的なプロダクト。

2 点目, DGN はコンパクトなデータ. 同じモデルを他社製品で作成した場合と比較した場合, データ容量が 1/3-1/5 程度。

3 点目, グラフィックエンジンの改良. 表示速度を大幅に改善. リアルタイムアニメーションも可能。

4 点目, 標準化・・・主要フォーマットをサポート。

a) Mapped ネイティブサポート

DWG (R11-2007)

b) Interchange データ交換

SXF, DXF (9-2007), LandXML (Inroads に装備)

c) Publish 表示データ

PDF, U3D, KML/KMZ (Google Earth)

・ BIM/CIM に使える代表的な製品の概要一覧

a) ConstructSim V8i

建設作業の計画・順序付け・実行・監視

ConstructSim V8i は, 豊富なデータで構成された仮想のプラントモデルを使用して, 建設作業の計画, 順序付け, 実行, 監視などの各工程を通じてプロジェクトを最適化します. ユーザーインターフェースは直感的で使いやすく, 豊富なツールで建設プロセスを支援し, ビジュアル共同作業環境をチームに提供します。

ConstructSim V8i の強力な機能により, リスクを軽減しチームの安全性を確保しながら, 生産性の向上, コストの削減, プロジェクト周期の時間短縮をはかります. 特に, 調達可否, 完成費用, 情報管理, TO-システムの設置管理, フィールドワークの生産性といった建設上の課題に対処します。

b) ProStructures

鋼構造・コンクリート構造の詳細設計および製作図

ProSteel は鋼構造および金属加工の詳細設計、ProConcrete は現場打ち、プレキャスト方式、ポストテンション方式の鉄筋コンクリート構造の詳細設計および集計表作成のためのソフトウェアです。

ProStructures を使用することで、エンジニアはドキュメント作成時間を短縮できるほか、エラーや設計上の欠陥をなくし、複合構造の設計・ドキュメント化も行えます。

c) AECOsim Building Designer

複数の専門分野の建物情報モデリング (BIM) ソフトウェア

AECOsim 建物のデザイナーは、単一の建物情報モデリング (BIM) ソフトウェアアプリケーションの複数の専門分野のチームです。建築家、構造、機械、および電気技師の設計、分析、構成、ドキュメント、し、任意のサイズ、フォームと複雑さの建物を視覚化します。

d) MicroStation

AECO インフォメーションモデリング
および CAD 作成ソフトウェア

MicroStation (マイクロステーション) は、世界をリードするインフォメーションモデリング環境です。電気・ガスなどの公共システム、道路および鉄道、橋梁、ビルディング、通信ネットワーク、上下水道ネットワーク、プロセスプラント、採鉱施設など、あらゆるタイプのインフラストラクチャを対象とする建築、エンジニアリング、建設、およびオペレーションを扱えます。MicroStation はソフトウェアアプリケーションでもあり、テクノロジプラットフォームでもあります。

ソフトウェアアプリケーションとして使えば、MicroStation はアイデアを具現化するための製品となります。MicroStation では、3次元のモデルと2次元の設計を使ったイマーシブでインタラクティブな操作を通じて、精密な図面や情報量豊かな3次元PDF、3次元プロットなど、信頼性の高い成果物を確実に作成できます。堅牢なデータと分析機能により、リアルなレンダリングや魅力的なアニメーションを活用して設計の性能をシミュレーションできます。エンジニアリングジオメトリおよびデータを利用可能な他 CAD ソフトウェア数、対応エンジニアリングフォーマット数の多さで比肩できるものはありません。このオールラウンド対応プラットフォームでこれらを統合し、ユーザーはプロジェクトチーム全体とシームレスに作業できます。

CAD のシェア第1位の Autodesk と第2位の Bentley は、AEC ソフトウェアの相互運用性を推進している。普及拡大をしていくべきと考える。

9. 考察

既往の研究では BIM を積算や維持管理、設計など建設ライフサイクルの一部についての研究しかされていないのが現状である。

BIM は建設ライフサイクル全体で用いていくことによって、さまざまなメリットがあり、今までにない事業の効率化が期待できる。事業の効率化が可能となれば1つのプロジェクトが早期に終わり、結果、作業員のコスト削減や BIM における可視化で早期に事業の課題を発見できコスト削減が図れる。

製造業の労働生産性が建設業の労働生産性を抜き去った背景には、3次元 CAD を使った設計・製造工程の技術革新があります。3次元 CAD や様々な解析ソフトが導入されたため、製品の企画を始めてから市場に送り出すまでの期間が非常に短縮されました。一方、建設業は CAD やパソコンが導入されたとはいえ、現場での単品生産という製造業とは違う特殊性などを理由に、これまで数十年にわたって基本的には同じ仕事の仕方をしてきました。そのため、コンピュータや IT (情報技術) の力を十分に生かすことができず、労働生産性の面で製造業に大きく後れをとってしまいました。BIM/CIM モデルは土木構造物の形状や構造、材質などをコンピュータが理解できるように作ってあります。BIM モデルのデータを読み書きできるソフトウェアを利用すれば、設計や施工に関する様々な情報をコンピュータの力を生かして自動的に処理できるため、業務の生産性は大幅に高まります。

さらに、BIM は BIM モデルと連動しているため、少し時間がかかっても、一つの BIM モデルを完成させてしまえば、そこから平面図、立面図、断面図など必要な図面を必要なだけ、半自動的に作ることができます。また土量計算書などの数量計算の書類も、CIM モデルの属性情報によって自動的に作成でき、図面間や数量集計表との間に不整合が起こることはありません。

BIM は万国共通語として用いることも可能です。言葉が通じなくても BIM モデルがあれば技術的なことはほぼ通じます。そのため、海外プロジェクトでは BIM モデルが言葉の代わりとなります。また、国内工事用の部材を海外の工場に発注することも、BIM モデルがあれば簡単です。

このように BIM は生産性の向上、海外での仕事の増加など様々なメリットがあります。しかし、日本では建設ライフサイクル全体での BIM 導入には様々な課題が堆積しています。

a) 運用・マネジメントに対しての課題

この課題が上手く解消できなければ BIM はライフサイクル全体での BIM の活用は出来ないと考える。英国ロンドンの「クロスレール (Cross rail)」プロジェクトが英国工業規格 (BS1192) に基づいて、現在

も行われているプロジェクトです。このプロジェクトが成功したあかつきには、BIMの推進に対して世界の最先端を走っている英国のBS1192が情報共有の指標として世界の建設産業界でのスタンダードとなっていくと考えられる。なので、この課題に対しては英国で上手く機能している工業規格BS1192を参考に、工事に関わるエンジニア全員で情報共有出来る為の環境を進めていく必要がある。

b) ソフト・技術面に対する課題

CADのシェア第1位のAutodeskと第2位のBentleyは、AECソフトウェアの相互運用性を推進しており、2社合わせてCADのシェアは8割近くあり、すでにBIM/CIMに対応できるソフト及び技術面での課題は解決されていると考える。今後もBIMが世界的に広がっていけば、さらに多くのソフトが開発されると予測できる。海外での事例でもAutodesk社とBentley社の2社のソフトが使用されていることが多く、この2社のソフトを用いていくことでBIM/CIMに対応した世界共通のツールとして使用できると考える。日本でも今後、この2社のソフトの普及拡大をしていくべきと考える。

c) コスト面の課題

コストの初期投資は現段階では、受注者側（ゼネコン）が負担している。CALS/EC導入の際も、対応するために必要な費用は受注者が負担していたことが課題としてあげられており、同様の課題となっている。BIMの推進を進めているのは国側なので、初期投資に関しては国が上流部分から適切な価格を負担するべきだと考えている。

具体的な解決策として考えられるのが、BIMモデルの作成はコンサルタントが担って、フロントローディングによるコスト削減効果を実証できれば、国側はBIMの推進の初期投資にも前向きになり、コンサルタント、ゼネコンに適切な価格での発注を可能に出来るのではないかと考えている。しっかりと国が負担していかないと適正な生産性が確保できなく、これから世界でのスタンダードになっていくと考えられるBIMの対応に遅れてしまう。CALS/ECでの課題でもあったコスト面の課題は前向きに国側が検討していくことが非常に重要であると考ええる。

BIM/CIMの課題は設計から施工、施工から維持管理への情報運用面の課題。ソフト・技術力面の課題。コスト面の課題。様々な課題がある。しかし、それ以外でも制度上の課題もある。そこでBIM/CIMを本格的に建設ライフサイクル全体で導入していくために、アメリカで始まったIPD（Integrated Project Delivery）の導入を日本でも検討するべきではないかと考える。

10. IPDの導入¹⁶⁾

Integrated Project Delivery (IPD)とは、アメリカで誕生した「建設業における新しい発注・契約形態の考え方」であり、建築家、エンジニア、請負業者、発注者等の利害関係者が計画の初期の段階から協力し、最適な構造物を作成するといった共通目的の基、最も有効な決定を共同で下すことを可能にする協業形態である。BIMを使って「うまい」「安い」「早い」建物をつくるためには、あとから発生しそうな施工時の課題や問題点などを、着工前の設計段階で解決しておくフロントローディングを実践しておくことが重要です。建設プロジェクトの関係者は数が多く、地理的にもあちこちに散らばっています。そこで、設計中の建物の情報を共有するために、BIMが大きなパワーを発揮します。設計中の建物のBIMモデルをインターネット上のサーバーに入れておき、関係者がいつでも見られるようにしておくことで、設計内容や進捗状況が一目でわかります。意匠設計者が設計中のBIMモデルを、設備設計者や建設会社など後工程を担当する人が見て、問題になりそうな点があれば、事前に改善してもらうことができます。

また、意匠設計者と構造・設備の設計者が同時並行で設計を進めることもできます。意匠、構造、設備の各部材が干渉した場合、その場でお互い調整することができます。IPDでは施主の役割も重要で、先送りにしがちなデザインや構造についての意思決定を早い段階で行うことで、設計・施工のスピードが早くなり、手戻りによるコストアップも防げます。

このように、建設プロジェクト関係者間にまたがるフロントローディングを実現していく仕組みがIPDと言えます。

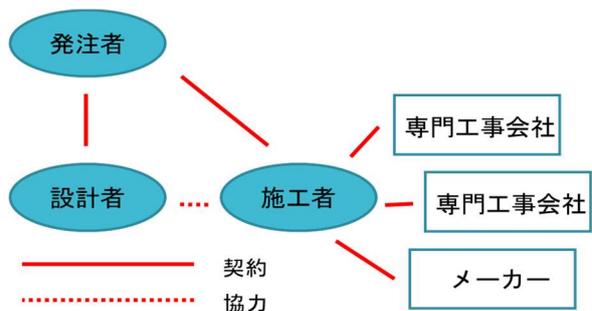


図-12 現状の契約形態

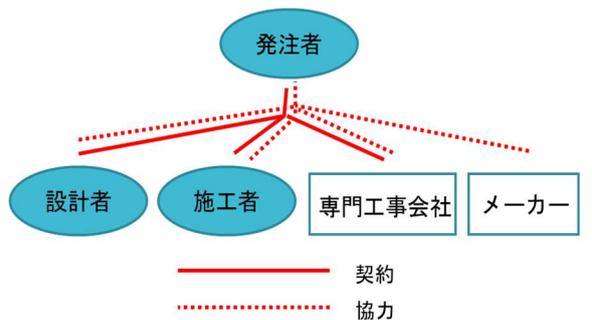


図-13 IPD活用時の契約形態

11. 結論

現在の日本でBIMについての課題を解決するために、以下の提案を行う。

- a) BS1192に基づいた日本版の情報共有システムの構築
- b) Autodesk社とBentley社のBIM対応ソフトの普及・推進
- c) 初期投資は国に適切な価格を負担することを検討してもらう。
- d) 5Dモデルを使用して、IPDの導入。

現状の日本の実態である発注者・受注者の二者構造からの脱却を図るために、発注者・設計者・施工者の三者が対等な立場のIPDの導入を推進する。IPDの導入を推進することで、三者間の透明性が確保でき、設計者はフロントローディングを実践するため仕事が増える。施工者はフロントローディングによって手戻りコストを大幅に削減でき、事業の効率化により短期間に工事を終わらすことが可能となる。作業員のコスト削減が可能となることにくわえて、BIMの導入前に比べて、1つの工事期間が短縮されるため工事の本数が増えていくと予測できる。発注者も施工者同様に、工事の手戻りコストが減ることによって落札価格が下がり、発注者にもメリットがある。BIMの3Dモデルにさらに時間と金を追加させた5Dモデルを使用することで、さらに三者間のメリットが大きくなると考える。IPD内でのBIMモデルを扱う際は日本版のBS1192に基づいた徹底した情報管理を行う。BIMソフトはAutodesk社とBentley社のBIM対応ソフトを用いる。

上記の方法を将来的に行っていくために、初期投資は国に適切な価格を負担することを検討してもらう。これらを行っていけばBIMを建設ライフサイクル全体に活用していける時代が到来する。

参考文献

- 1) 日本建設業連合会：建設ハンドブック，pp23，2014.
- 2) 総務省統計局：労働力調査，2013.
- 3) 海外建設協会：海外建設受注実績の動向，2004.
- 4) 国土交通省：建設後50年以上経過したインフラの割合，2011.
- 5) 外崎康弘：営繕部におけるBIMの試行について-設計段階における成果と課題-，pp1，営繕部 整備課.
- 6) 福地良彦：BIMが拓くモデルベース土木設計プロセス，pp1-2，土木学会第65回年次学術講演会，2010.10.
- 7) Adrian Burgess Project Technology Group：Scott Wilson Ltd, Crossrail: BS1192 Design Information Coordination & Control.
- 8) 土木学会 土木情報学委員会 米国 CIM 技術調査団：米国におけるCIM技術調査2013報告書，pp8-15，2013
- 9) 山本勝貴：WTC再開発，2011.10.
- 10) 国土交通省 CALS/EC 推進本部：国土交通省 CALS/EC アクションプログラム2008，2013.3.
- 11) 国土交通省大臣官房官庁営繕部整備課施設評価室：官庁営繕事業におけるBIM導入プロジェクトについて，建設マネジメント技術2012年8月号.
- 12) 国土交通省：官庁営繕事業におけるBIM導入プロジェクトについて，2014.3.
- 13) CIM 技術検討会：CIM 技術検討会 平成25年度報告，pp92，2013.
- 14) BRITISH STANDARD BS 1192:2007 Collaborative production of architectural, engineering and construction information - Code of practice：BSI，2007.
- 15) 株式会社ベントレー・システムズ：Bentley社の3次元土木プロダクトのご紹介，2007.
- 16) 家入龍太：よくわかる最新BIMの基本と仕組み，pp54-55，秀和システム，2012.

OF THE ENTIRE LIFE CYCLE IN JAPAN A STUDY AIMED AT THE PROMOTION OF BIM UTILIZATION

Yuta ITOH

In recent years, BIM concept to centrally manage a three-dimensional model data in the construction design and production process is showing a rapidly spread in the world. With industry in the United States, you are actively utilize the BIM is being conducted IPD using the 5D model. In addition to building the information sharing system in Europe, the future is actively involved in the introduction of BIM, dissemination and development is expected worldwide. It is expected that the BIM to worldwide is showing the spread continue to rapidly spread and development in Japan.

In this study, we aimed to introduction period and dissemination development phase of BIM that will arrive in Japan future, we conducted a survey of various circumstances of overseas BIM, to allow BIM introduction of the entire life cycle smoothly in Japan discussion I do consider based on.