The University of Osaka
Institutional Knowledge Archive

Title	Construction Information Modelingの適用による建設生産システムの改善に関する研究
Author(s)	藤澤, 泰雄
Citation	大阪大学, 2014, 博士論文
Version Type	VoR
URL	https://doi.org/10.18910/34451
rights	
Note	

The University of Osaka Institutional Knowledge Archive : OUKA

https://ir.library.osaka-u.ac.jp/

The University of Osaka

博士学位論文

Construction Information Modeling の適用による建設生産システムの改善に関する研究

藤　澤　泰　雄

2014 年 1 月

大阪大学大学院工学研究科

目　　次

第 1 章 序論 1
1.1 建設生産システム 1
1.2 建設業界の課題 1
1.3 建設生産システムの課題 4
1.3.1 多様化する入札制度の課題 5
1.3.2 技術力低下の課題 5
1.3.3 CALS/EC の成果 6
1.4 三次元モデルの利用 7
1.5 既往の研究の整理 7
1.5.1 三次元モデルを用いた BIM、CIM に関する研究 7
1.5.2 三次元モデルと建設生産システムに関する研究 8
1.6 本論文の目的 9
1.7 本論文の概要 11
第 2 章 建設生産システムと CIM（Construction Information Modeling） 15
2.1 CALS/EC から CIM へ 15
2.2 CIM の定義 17
2.3 CIM によるプロダクトモデルのイメージ 18
2.4 CIM による三次元設計手法 20
2.5 技術的な背景 21
2.6 国土交通省の CIM 23
2.7 世界の動向 25
2.7.1 導入事例-1 ニューヨーク市 Site Safety Plans 25
2.7.2 導入事例-2 The Transbay Transit Center Project（サンフランシスコ） 26
2.8 技術者の考え方 27
第 3 章 鉄道高架橋を対象とした三次元設計モデルの積算・施工への利用 33
3.1 設計から施工までの事業プロセス 33
3.2 三次元設計モデルの利用方法の検討 34
3.2.1 設計・発注者積算時での利用 34
3.2.2 施工者積算時での利用 35
3.2.3 施工計画時での利用 35
3.3 実設計データによる積算の検証 35
3.3.1 モデル化 36
3.3.2 部品リストと数量 37
3.3.3 数量比較 38
3.4 三次元設計モデルの施工計画への適用検証 39
3.4.1 施工手順 39
3.4.2 施工計画を考慮した三次元モデル（4D） 39
3.4.3 適用結果 40
3.5 まとめ 42

第 4 章 鉄道高架橋を対象とした三次元モデルと解析ソフトウェアとの連携に関する検討 45
4.1 三次元モデルを用いた設計時構造解析への適用検証 45
4.2 三次元モデルと解析ソフトウェアの連携方法 48
4.2.1 対象とした解析ソフトウェアの特徴 48
4.2.2 三次元モデル作成ツールと変換ソフトウェア開発環境 48
4.2.3 解析ソフトウェアのデータ構造と解析モデル作成上の特徴 49
4.2.4 三次元モデルのデータ構造 50
4.2.5 解析のためのモデル化の検討 51
4.2.6 変換ソフトウェアの機能検討と作成 51
4.2.7 変換ソフトウェアの評価 54
4.3 ST-BRIDGE への対応 55
4.3.1 ST-BRIDGE の形式 55
4.3.2 ST-BRIDGE フォーマットへの変換 55
4.4 まとめ 57
第 5 章 三次元設計モデルの積算への利用方法の検討 59
5.1 積算の考え方 59
5.1.1 積算の目的 59
5.1.2 設計時における積算の役割 60
5.2 積算への適用手法の検討 61
5.2.1 対象構造物 61
5.2.2 数量の算出と二次元数量との比較 62
5.2.3 積算への適用 64
5.2.4 三次元プロダクトモデルを活用するための手法の提案 66
5.3 まとめ 68
第 6 章 CIM を用いた建設生産システムの提案 71
6.1 CIM を用いた建設生産システム 71
6.2 CIM を用いた建設生産システムの目指す姿 71
6.3 建設生産システムの変更 73
6.3.1 デジタル地図の使用による設計の流れの見直し 73
6.3.2 フロントローディング 75
6.3.3 契約制度の見直し 77
6.3.4 設計手法・設計基準 78
6.4 CIM マネージャ 79
6.5 CIM を推進するための教育 81
第 7 章 結論 83
7.1 まとめ 83
7.2 今後の課題 85
7.2.1 既設構造物の扱い 85
7.2.2 三次元プロダクトモデルに関連する課題 85
7.2.3 建設生産システムに関連する課題 86
謝　辞 87

第1章　序論

1.1　建設生産システム

現在の道路・橋梁などの公共インフラ構造物の建設生産は、どのような公共インフラ構造物を構築するか等を「計画（企画）」し、企画した地域の状況を「調査」し、公共インフラ構造物の内容を具現化する「設計」を行い、実際に現場において公共インフラ構造物を「施工」し、生産された建設生産物を実際に供用・利用する「維持管理」というプロセスにより構成されている。

一般的には、「計画（企画）」は、国、地方公共団体等の「発注者」が、「設計」は、建築構造物の場合は建築士、土木構造物の場合は建設コンサルタント等の「設計者」が、「施工」は総合工事業者、専門工事業者等の「建設業者」及び建設資材を納入する「資材業者」等が担っており、最終的に構築された公共インフラ構造物は、「発注者」が維持管理を行っている。さらに「維持管理」段階では、対象とする構造物の管理のために「調査（点検）」、「補修・補強設計」、「補修・補強施工」というプロセスが回っている。

建設生産の特徴は、発注者を含め非常に多くの関係者による共同作業により行われていることと、公共インフラ構造物は、エンドユーザーである国民にサービスが提供されることにある。これらの建設生産は、構造物の高度化・複雑化等により数多くの専門的な担い手の参画が必要となってきており、各プロセスにおいて専門化・分業化・重層化していることも特徴と言える。

このような建設生産の特徴を踏まえると、『「建設生産システム」とは、建設生産物のエンドユーザーに対する、発注者、設計者、施工者等の各主体による建設生産物を提供するプロセス（各主体の選定及び事業の実施）及び各主体相互の関係性の総体ととらえる』ことができる[1)]。

1.2　建設業界の課題

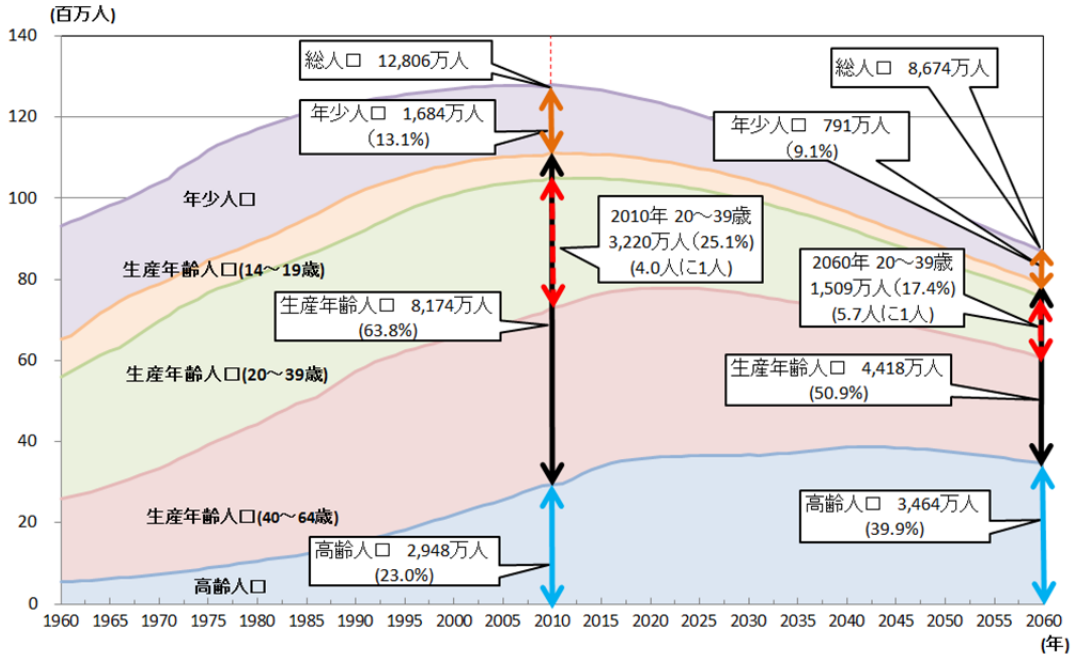
今後、我が国は**図-1.1** に示すように少子高齢化社会に入っていくと言われている。この推測によれば、2060 年の生産年齢人口は、2010 年の 54%とほぼ半減する。これは、単に人が減るというだけではなく、いろいろな職種の熟練労働者・熟練技術者も減少するということである。**図-1.2** は、建設業就業者の年齢構成の推移を示しており、他の産業と比べても、建設業は高齢化が進み、若年労働者の減少が著しいことがわかる。

一方、国・地方自治体は、これまでに多くのインフラ整備を積極的に進め、生活基盤の調達管理を

行ってきた。一般的に構造物の耐用年数は 30～50 年であり、高度成長期に充実させてきた社会インフラは 50 年以上経過するものも多く、維持管理・補修・補強にも図-1.3 のように多額の費用が掛かると予測されている。表-1.1 は、建設後 50 年以上経過したインフラの割合をまとめたものである。今後、20 年後には、道路橋、排水機場、水門、港湾岸壁の半数以上が建設から 50 年以上経過する。下水道も 2 割が 50 年以上を越える。

こうした構造物の調査・設計・施工管理・点検調査・補修設計を行っているのは、建設コンサルタントである。図-1.4 は、建設コンサルタンツ年齢別職員数の推移と予測を示したものである。平成 7 年には、25 歳前後の職員数が多かったが、16 年後の平成 23 年には、40 歳前後が一番多くなっている。これは、平成 7 年のピークがほぼ移動しており、この間に若年層が増えていないことを示している。平成 23 年の分布を単純に 10 年後として移動すると、ピークは、50 歳代となり、コンサルタント業界でも、高齢化が進んでいくことは明確である。

人口減少は、税収の減少だけでなくこうした技術者の減少としてもあらわれる。一方で維持管理施設は増加し管理費用は増大していく。建設コンサルタント会社の減少、維持管理施設数の増加に対して、設計・施工の効率化、施設管理の効率化を進めていくことが、建設業界の大きな課題となっている。



注) 「年少人口」は 0～14 歳の者の人口、「生産年齢人口」は 15 歳～64 歳の者の人口、「高齢人口」は 65 歳以上の者の人口
資料) 総務省「国勢調査（年齢不詳をあん分して含めた人口）」、同「人工推計」、国立社会保障・人口問題研究所「日

図-1.1 我が国人口の推移（国土交通白書 2014 より）[2)]

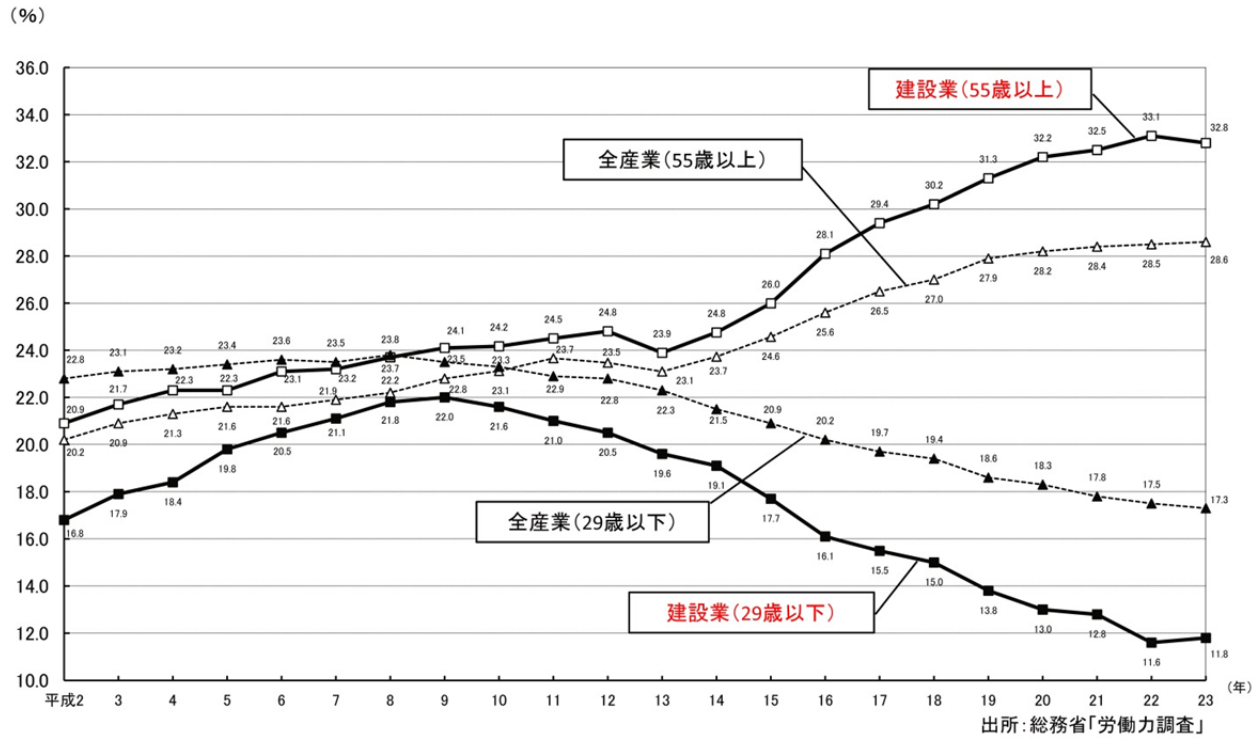


図-1.2 建設業就業者の年齢構成の推移(建設産業の再生と発展のための方策 2012(資料編)より) [3)]

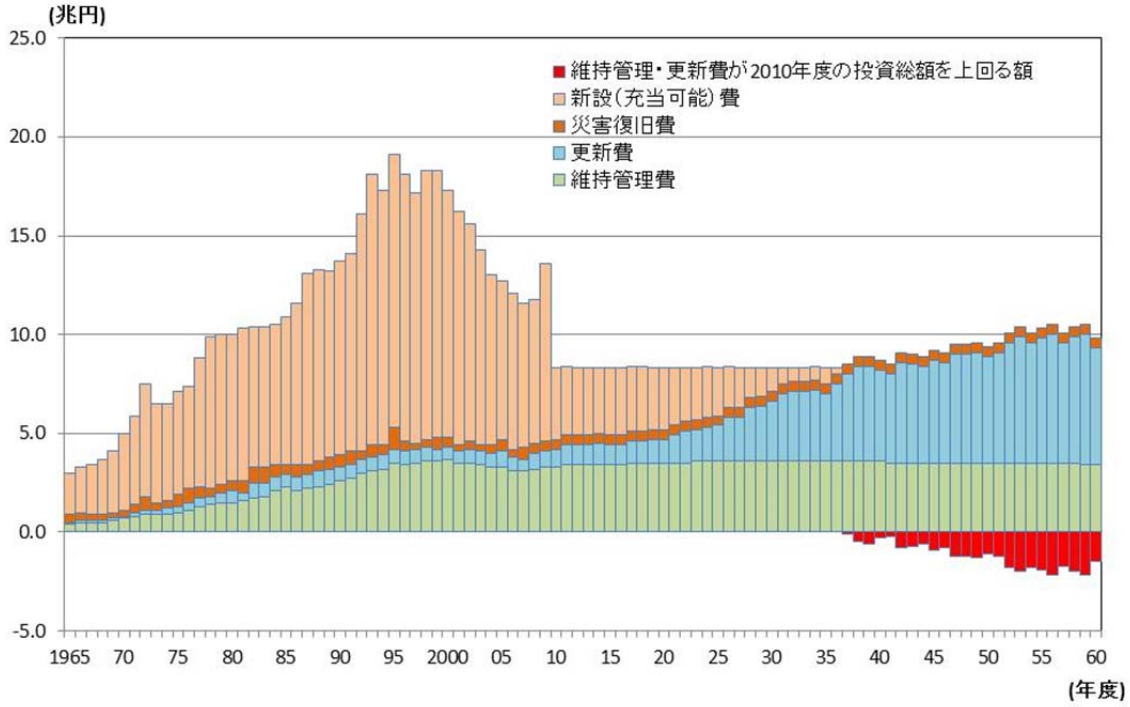


図-1.3 従来どおりの維持管理・更新をした場合の費用の推計 [1)]

表-1.1 建設後 50 年以上経過したインフラの割合 [1)]

構造物の種類		平成 22 年度	平成 32 年度	平成42年度
道路橋	約 155、000 橋(橋長 15m 以上)	約 8%	約 26%	約 53%
排水機場、水門等	1 万施設	約 23%	約 37%	約 60%
下水道管渠	総延長 43 万 km	約 2%	約 7%	約 19%
港湾岸壁	約 5000 施設	約 5%	約 25%	約 53%

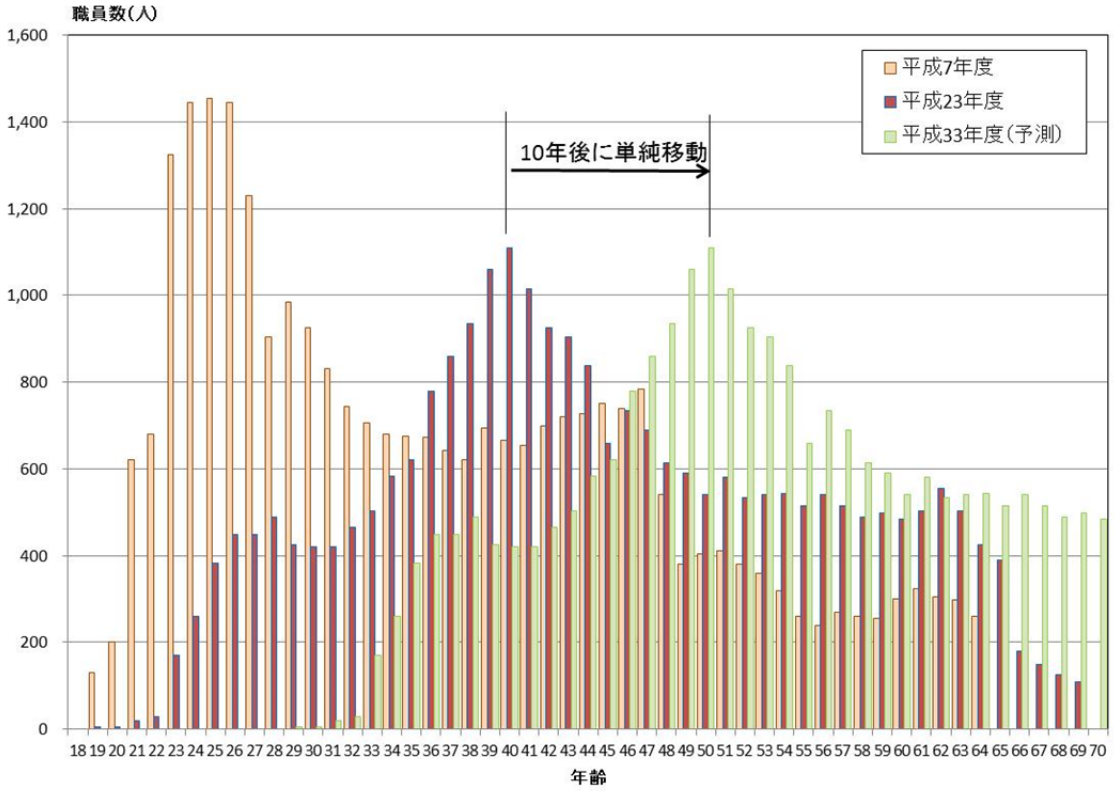


図-1.4 建設コンサルタンツ年齢別職員数の推移と予測 [4)]

1.3 建設生産システムの課題

建設業界では、談合や低価格入札などの問題に直面し、「建設産業政策研究会」は、今後の建設産業政策のあり方について議論を行い、建設産業の「構造改革」を促進するため、①公正な競争基盤の確立、②再編への取組みの促進、③技術と経営による競争を促進するための入札契約制度の改革、④対等で透明性の高い建設生産システムの構築、⑤ものづくり産業を支える「人づくり」の 5 つの施策

が提言された。また、中央建設業審議会は、「新たな競争時代に対応した地方公共団体の入札契約制度改革支援方策」と題したワーキンググループの『第二次中間とりまとめ』の中で、多様な調達手段の活用（設計・施工一括発注方式、CM（Construction Management）方式や PM（Project Management）方式など）を提案するなど、さまざまな提言が行われている。

1.3.1　多様化する入札制度の課題

「公共工事の品質確保の促進に関する法律」（以下「品確法」とする）が、平成 17 年 4 月 1 日に施行され、「公共工事の品質は、価格及び品質が総合的に優れた内容の契約がなされることにより確保されなければならない」と明記され、「価格のみの競争」から「価格と品質で総合的に優れた調達」への転換を図ることが示された。品確法では、以下の 5 項目が示されている。

①価格と品質の総合評価

②入札・契約の適正化

③民間事業者の能力活用

④対等な立場と公正な契約の締結、誠実な実行

⑤調査・設計の品質確保

従来の社会インフラの調達方法が競争入札を基本としてきたものから、低コストで高品質な社会資本調達を目的として、総合評価落札方式に代表される多様な入札・契約方式が採用されることとなった。

設計・施工する現場ごとに条件が異なり、新技術の開発等により施工手段も多様化するなかで、受注者は常に新しい提案を行い、発注者はその新提案内容を正しく審査・評価することは容易ではなく、CM 方式や PM 方式も検討すべきと考えるが、それぞれが持つ課題も多く導入は進んでいない[5)]。

1.3.2　技術力低下の課題

測量・設計に関する知識の部分や、経験工学に基づく現場管理といった技術力の低下も課題である。これは土木構造物が複雑化するなかで、業務が専門的に分化していくことにより、総合的な広い知識か専門的な（狭い分野での）知識へ変化しており、このため現場を経験し技術を学ぶ機会が減少している。発注者側も、技術職員の採用が抑制されている中で、業務量が増加しているため相対的にさらに事務処理に必要とされる時間が増え、結果的に技術力が低下している。

1.3.3　CALS/EC の成果

こうした状況を克服することを目的に、国土交通省は 1996 年度「建設 CALS 整備基本構想」を策定し、建設 CALS の整備の方向性を示し、建設業界全体として、ICT 化を含めた取り組みを 15 年以上進めてきた。

国土交通省の業務・工事では、成果品の電子納品が行われ、入札は電子入札が導入されたことにより入札の透明化が達成するなどの成果を残しているが、電子納品の形骸化や、地方自治体への導入が進んでいないなどの課題も多く、十分な成果が上がっているとは言えない（図-1.5、図-1.6）。

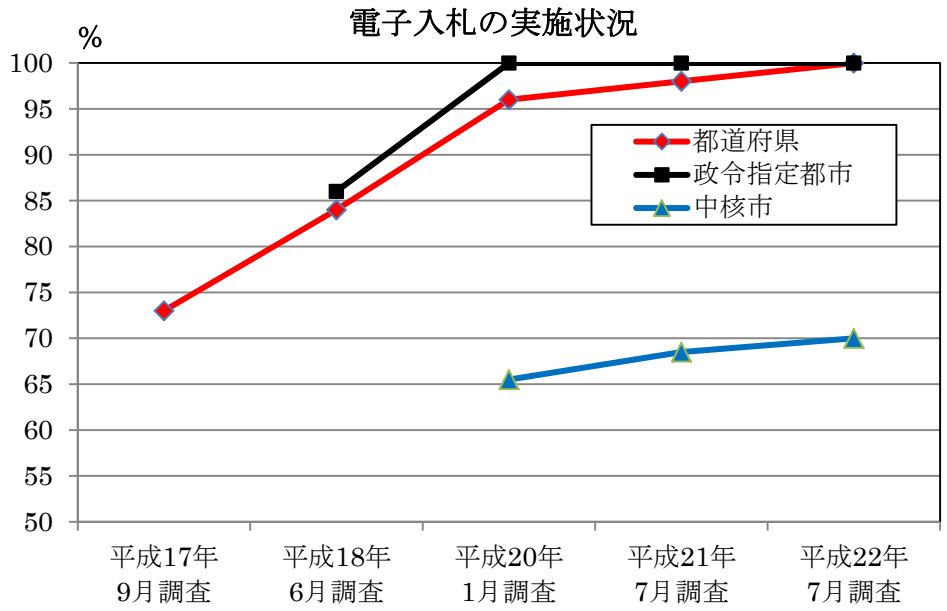


図-1.5　電子入札の実施状況 [6)]

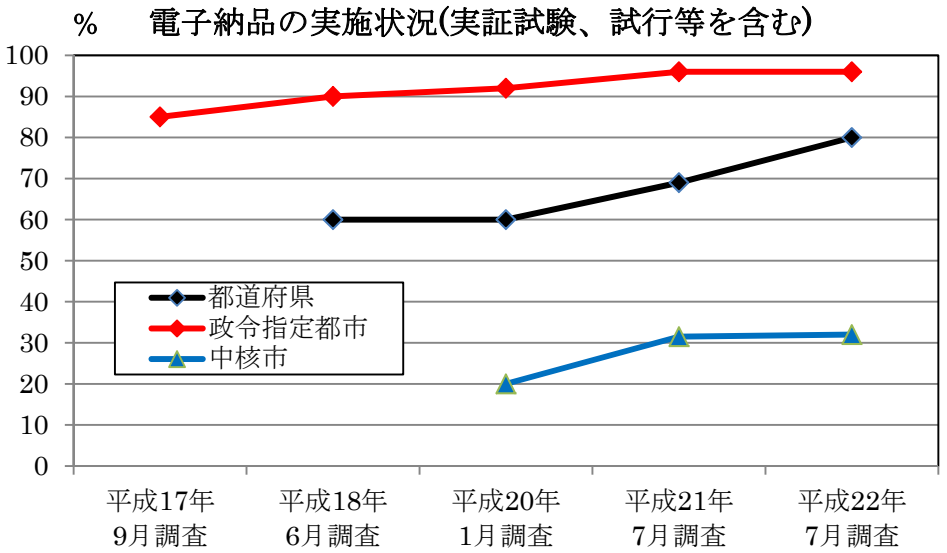


図-1.6　電子納品の実施状況 [6)]

1.4　三次元モデルの利用

コンピュータの機能向上により、製造業では従来の二次元モデルから三次元モデルを用いた設計スタイルにシフトしている。現在の自動車開発は、三次元ＣＡＤデータを活用した開発形態にシフトしており、3D モデルを図面に付加する取組みも開始されている [7)]。建築分野においても、2005 年頃より、オブジェクト指向技術に基づく三次元のプロダクトモデルを中心として、種々の異なるソフトウェアでデータを交換、共有しながら、意匠、構造、設備、生産など異なる分野の技術者およびオーナーなどが協調的･効率的に素早く建築構造物の設計を行うための技術である BIM(Building Information Modeling)が適用され始めている [8)]。BIM データは、建物を構成する全てのオブジェクト（例えばドア、窓、壁などのような要素）のシステム的な表現方法の仕様を IFC（Industry Foundation Classes）として定義しており [9)]、IFC は 2013 年に ISO 16739:2013 として国際標準となっている。IFC により、建設業界のソフトウェア・アプリケーション間のデータ共有化とその相互運用が可能となっている。国土交通省においても、平成 22 年度より官庁営繕事業で BIM が試行導入されている [10)]。

国土交通省では土木分野においても、BIM の考え方をそのまま導入して、名称を CIM(Construction Information Modeling)として 2012 年度より試行業務が開始された。

1.5　既往の研究の整理

本研究の対象は、三次元モデルと建設生産システムとの関連に関する問題である。既往の研究の整理は、三次元モデルを用いた BIM、CIM に関連する研究の他、三次元モデルと建設生産システムに関する研究を対象とすることとした。

1.5.1　三次元モデルを用いた BIM、CIM に関する研究

三次元モデルとその利用に関して、国内では、機械・造船分野での研究発表が多く、当初は、三次元モデルのあり方などに関するものが中心であったが、近年では三次元モデルを用いた最適設計や、三次元解析に関する研究など多岐に渡った研究が行われている。建築分野では、BIM に関連した三次元モデルに関する研究が多く発表されている。特に、三次元モデルに施工性を考慮した四次元モデル(4D)に関しては、2009 年に建築学会から「BCS 工程計画データ交換ガイドライン」[11)]が発表され、

林の生産段階での活用に向けた三次元オブジェクトモデルの自動生成手法に関する研究[12)]や熊懐らの 3 次元部品情報データベースと利用システムの試作[13)]など BIM 実用化に向けた研究が増加している。

プロダクトモデルに関しては、建築分野では IFC が標準として確立したが、土木分野では、矢吹らが橋梁のプロダクトモデルである IFC-BRIDGE[14)]やシールドトンネルの IFC-Shield Tunnel[15)]などを開発している。土木分野全体のプロダクトモデルに関しては、buildingSMART International の中に、インフラストラクチャを対象としたプロダクトモデルの開発と標準化を推進する目的として OpenINFRA が活動を開始しており、IAI 日本を中心に国内でも活動が開始されている。

1.5.2 三次元モデルと建設生産システムに関する研究

三次元モデルを建設生産システムに活用しようという試みは、設計に関しては、小林らが土木構造物設計への三次元モデル導入の検討[16)]を行っており、藤澤らは、設計で作成した三次元モデルの適用性を示すために、三次元設計モデルの設計・施工への適用事例を示し数量算出、施工計画に適用できることを示した[17)]。積算に関しては、建築分野では民間での工事が多いため、今井らの汎用三次元 CAD ソフトウェアを用いた積算の研究[18)]や早坂らの自動積算ツールの開発[19)]などが発表されているが、土木分野は設計・施工分離を原則とした契約制度のため請負契約に必要とされる積算に関する研究は少ない。これは、契約制度上、積算は発注者側で行うものであり、受注者側は発注者側で作成された積算システムに合わせて積算を行う必要があり受注者側ではこのシステムを改良するなどの工夫の余地が少ない。このため、積算に関する研究は、発注者側が積算システムをどのように改良したか、または、新たな積算システムを検討した内容であることが多い[20)]。特に、従来は二次元図面と数量表により積算を行っているためこれらの研究は、すべて二次元である。三次元プロダクトモデルを用いた研究としては、矢吹が施工時の出来高部分払いのための 4D-CAD タイプシステムを構築し、実用性、適用性を検証した研究[21)]や、同じく矢吹らが三次元プロダクトモデルを中心とする三次元 CAD システム、設計照査システムおよび数量計算・積算システムを統合化したシステムモデルを提案した研究[22)]がある。

一方、海外では、BIM の普及に伴い、三次元プロダクトモデルに工程を追加した 4D、さらにコストを追加した 5D に関する非常に多くの論文が発表されている[23)]。 アメリカでは、BIM ソフトウェ

アと積算ソフトウェアを連携させる動きも始まっている[24)]。

このように建設生産システムにおける三次元モデルの利用は、施工時における複雑な配筋部分の干渉チェックや設計時･施工時の住民への説明などその時に必要とされる現実的な問題解決のための研究に使われていることが多い。特に現在の入札システムが設計と施工を分離したシステムとなっているため、設計・積算・施工を連携した利用などフェーズ間を渡った利用の研究はほとんど行われていない。

1.6　本論文の目的

土木業界では、早くから二次元 CAD を導入し手書きの図面の電子化を進めパソコンを用いた設計計算ソフトも各社が独自に開発するなど、積極的に IT 化を推進してきた。こうした IT 化を推進するために、常に標準化を追い求め社会インフラの品質を一定に保つことに努力を続けている。

しかし、耐震性能の算定などで一部三次元解析が行われているが、設計の基本は二次元ベースである。

さらに、1995 年（平成 7 年）1 月 17 日に発生した阪神・淡路大震災により耐震性能が引き上げられたことによりコンクリート構造物では複雑で密な配筋を行わざるを得なくなっている。

二次元をベースとすると構造物の長手方向とこれに直交する方向で解析し作図を行うが、一方を修正すると他方も修正が発生するが、図面枚数が 100 枚以上となると修正ミスが発生しやすくなる。こうした状況のもと、抜本的な改善が望まれており三次元モデルを活用した新しい考え方の導入が不可欠であるが、実際の設計などへの適用は行われていないため、適用方法などは解っていない。

本論文は、少子高齢化社会の中、増大する社会資本の効率的な維持管理を行っていくために、平成 22 年度より導入が開始された CIM を現在のシステムの中でどのように活用できるかを検討し、CIM を用いた建設生産システムの在り方について述べ、建設産業の生産性向上を目指すことを目的とする。

現状の計画⇒調査⇒設計⇒積算⇒施工⇒維持管理という各フェーズを基本とした建設生産システムの中で、CIM の中心である三次元プロダクトモデルを特に設計・積算プロセスを中心に、施工前段の施工計画までを対象にどのように利用していくかを検討する。

二次元をベースとしている現在の建設生産システムでは、設計・施工分離の原則のもとに、各フェ

ーズでの役割が二次元をベースに明確に分けられている。このため、民間において各フェーズを渡った研究を行うためには、会社をまたがった研究を行う必要があり、業務内容に関しても守秘義務があり、簡単には行うことができない。したがって、各フェーズ全体に渡る研究を学術機関で行うことの意義は大きく、当事者の見方だけでない研究成果は業界に広く受け入れられやすい。

このような状況の中で、設計・施工分離発注という現状の体制をベースに、生産性向上のためにはどのような体制が必要であるか課題を提起し、土木業界で働くことの楽しさ、喜びを多くの若者に知ってもらい、美しい日本の再生に取り組んでもらえる環境を整え提示することが本研究の動機であり目的である。

本論文では、「発注者」が公共である土木分野の公共インフラ構造物の「建設生産システム」を対象とし、特に筆者が関係している建設コンサルタントが関係する「設計」分野とこれに関連する内容を中心に検討する。

1.7　本論文の概要

第 2 章は、平成 8 年度に「建設 CALS 整備基本構想」により開始された CALS/EC と新しい考え方である CIM（Construction Information Modeling）の考え方と関係を示す。CIM は三次元プロダクトモデルを用いた新しい建設生産システムの変革であり、CIM の定義、CIM により設計手法の考え方を示す。CIM の動向として、平成 24 年度 CIM 試行業務、建築分野、国際的な動きなど、CIM を取り巻く状況をまとめる。

また、CIM は新しい考え方でまだ実際の建設生産システムへどのように導入が可能であるかは未知数である中、技術者の CIM に対する意識をまとめている。

第 3 章～第 5 章は、現在の設計生産システムの中で、実際の構造物への設計に CIM をどのように適用できるかを実証した結果を示す。検証は、構造物の設計を中心に、設計⇒積算⇒施工という流れの中でどのように設計モデルが利用できるか、特に積算にどのように利用できるかと、設計側で問題となる解析との連動が可能かを検証している。

第 6 章は、建設生産システムに CIM を適用し、現状の課題を解決するための手法の提案を行う。三次元モデルを活用するためには、計画段階から三次元モデルを活用して、設計分野において可能な限り課題を解決していくフロントローディングを行い、設計モデルを積算・施工に活用することにより、建設生産性の向上を図るとともに、今後の維持管理に向けた CIM を用いた情報流通基盤の必要性をまとめている。

第 7 章は、結論である。

本論文の構成を図-1.7 に示す。

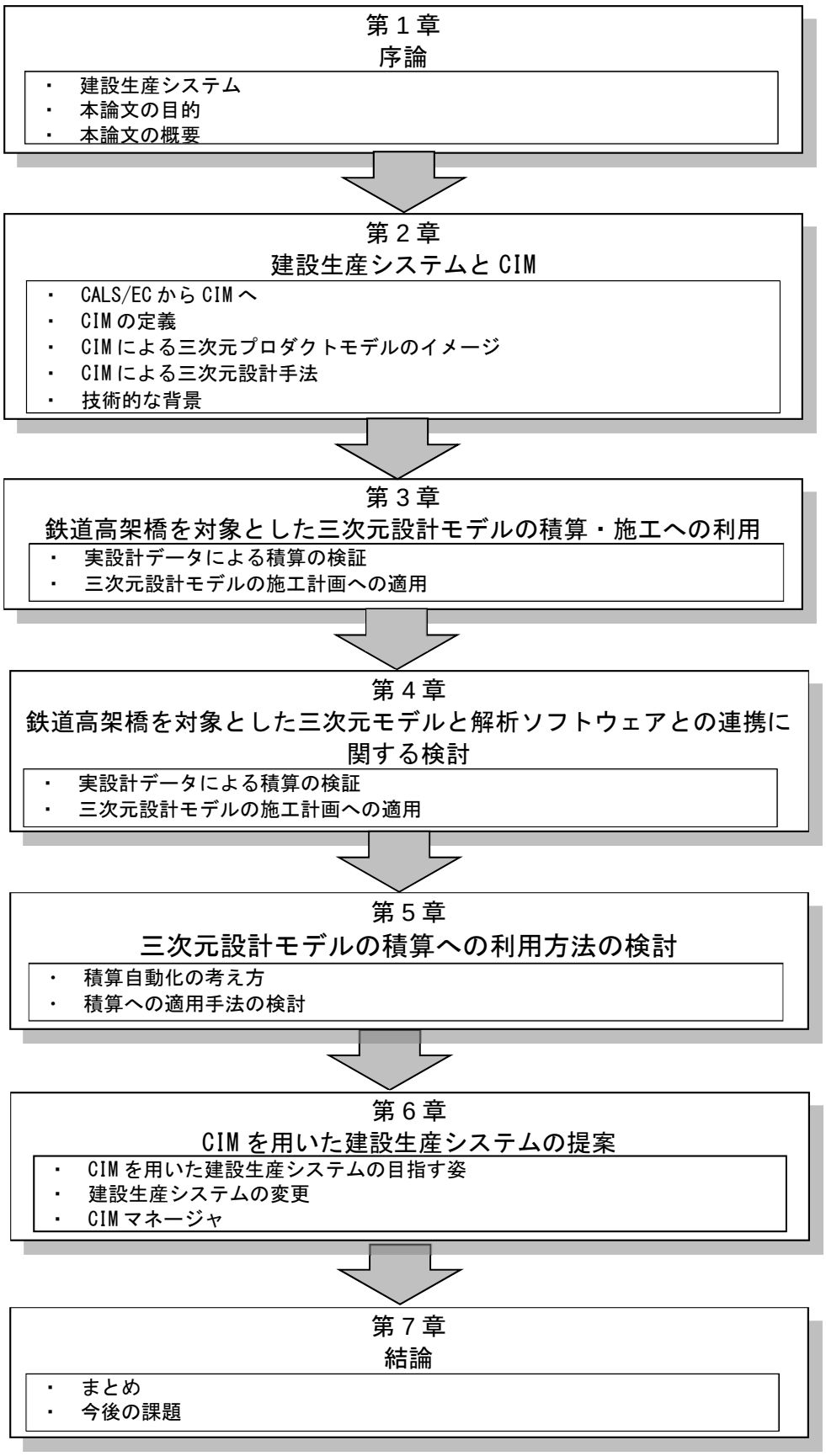


図-1.7 本論文の構成

参考文献）

1） 建設産業政策研究会：建設産業政策 2007～大転換期の構造改革～、2007.

2） 国土交通省：国土交通白書 2012、2012.

3） 国土交通省建設産業戦略会議：建設産業の再生と発展のための方策 2012（資料編）、2012.

4） 一般社団法人建設コンサルタンツ協会：平成 24 年度建設コンサルタンツ白書、2012.

5) 野間卓志、小林一郎、九鬼裕之：社会資本調達管理の情報運用支援に関する考察、土木学会社会マネジメント研究論文集、Vol. 16、pp. 161-172、2009.

6） 日本建設情報総合センター : 地方公共団体の CALS/EC 動向（第 6 回調査 H23.9 時点）, 2013.

7） 日本自動車工業会 HP：http://www.jama.or.jp/cgi-bin/it/download_01.cgi

8） 矢吹信喜：平成 22 年度財団法人日本建設情報総合センター　社会基盤情報標準化セミナー 2010、2010.

9） 日本建設情報総合センター：BIM を実現する標準データモデル IFC およびその国際的な活用動向、建築コスト研究 2009 SPRING、pp2-17、2009.

10） 国土交通省関東地方整備局営繕部整備課 : 官庁営繕事業における BIM 試行～見えてきた成果と課題～、建設 IT ガイド 2013.

11) 社団法人建築業協会 IT 推進部会: ＢＣＳ工程計画データ交換ガイドライン第 1 版, 社団法人 建築業協会，2009.

12) 林 瑞樹 : 8004 生産段階での活用に向けた 3 次元オブジェクトモデルの自動生成手法に関する研究、日本建築学会大会学術講演梗概集 2012(建築社会システム)、7-8、2012.

13) 熊懐 直哉、高橋 暁、加戸 啓太 : 8002 既存住宅の材料・構法等に係る情報管理・活用に関する研究: (その 2) 3 次元部品情報データベースと利用システムの試作、日本建築学会大会学術講演梗概集 2012(建築社会システム), 3-4, 2012.

14) Yabuki, N., Lebegue, E., Gual, J., Shitani, T., Li, Z : 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, 1927-1936, 2006.6.

15) Yabuki, N. : Representation of caves in a shield tunnel product model, Proc. of the 7th European Conference on Product and Process Modelling, Sophia Antipolis, France, CRC Press, 545-550, 2008.9.

16) 小林三昭、池田美紀、田原孝、柳沼謙一：土木構造物設計への 3 次元モデル導入の検討、土木学会年次学術講演会講演概要集 第 6 部 Vol: 66、269-270、2011.

17) 藤澤泰雄、矢吹信喜、五十嵐善一、吉野博之 : 鉄道高架橋を対象とした三次元設計モデルの積算・施工への利用、土木学会論文集 F3、Vol. 67 No. 2、pp. 8-17、2011.

18) 今井佑允、木本健二：8070 汎用 3 次元 CAD ソフトウェアによる積算と作業性の検討 ： 生産設計における 3 次元 CAD の活用に関する基礎研究 その 2(CAD・IC タグ,建築経済・住宅問題)、日本建築学会大会講演梗概集、F-1、pp. 1311-1312、2007.

19) 早坂拓之、許 雷：40569 国際規格 IFC による建築デジタル設計に関する研究 ： 自動積算ツールの開発(設計支援ツール、環境工学 I)、日本建築学会大会学術講演梗概集、D-1、pp.1201-1202、2009.

20) 森本恵美、滑川達：積算方式の違いによる入札参加・価格決定行動の比較に関する研究,土木学会論文集 F4、Vol.67 No.4、pp.I_315-I_326、2011.

21) 矢吹信喜 : プロダクト・プロセスモデルによる 4D-CAD の出来高部分払い方式への応用、建設マネジメント研究論文集、Vol.10、pp.93-102、2003.

22) 矢吹信喜、古川将也、加藤佳孝：プロダクトモデルによる PC 中空床版橋の設計照査と概略積算の統合化、土木情報システム論文集、Vol.10、pp.213-220、2001.

23) Vladimir Popov, Virgaudas Juocevicius, Darius Migilinskas, Leonas Ustinovichius, Saulius Mikalauskas : The use of a virtual building design and construction model for developing an effective project concept in 5D environment Original Research Article, Automation in Construction, Vol.43, pp.2431-2528, 2000.

24) 木本建二: BIM の積算への影響の最新事情，建築コスト研究，2010.

第2章　建設生産システムと CIM（Construction Information Modeling）

2.1　CALS/EC から CIM へ

土木分野における現状の課題は、設計においては構造物の形式が複雑な上に、耐震性能を向上させるために配筋が密になっており、設計が複雑になり、結果として、設計ミスが多発しており、適切な成果品の品質確保体制の整備を早急に行うことである[1)]。施工においては熟練工が不足し、複雑な施工に対応できない上に、低入札の影響などで不良工事の発生が多く、工事の品質確保が重要になっている[2)]。設計側・施工側ともに技術力の向上が今後の重要なテーマとなっている[3)]。

こうした状況に対応するため、ICT を利用した品質向上やコスト縮減を目指して CALS/EC が推進されてきた。CALS/EC の考え方は、計画⇒調査⇒設計⇒積算⇒施工⇒維持管理という各フェーズのライフサイクルの流れの中で、データを交換・共有することにより、生産性の向上を目指すものである。現状の CALS/EC は、従来の紙で作成した成果品の内容を標準フォーマットにより、電子化して CD-R で提出している。しかし、電子化して納品することが目的となり、実際にフェーズ間を連携するための仕組みが考えられていなかった。現在を第一世代とすると、第 2 世代の CALS/EC では、連携するための仕組みを取り入れる必要がある。また、現状ではすべての納品を同じように取り扱っているが、ライフサイクルを渡って連携するものと、フェーズの中だけで完結するデータに分かれることがわかってきている[4)]。このため、第二世代では連携するデータと保管だけするデータに分け、全体を統一して管理する仕組みが必要である。調査・設計・施工における位置情報を持つデータは地理座標系上に構築し、これをライフサイクルのどの段階でも自由に使える環境を構築していくことが必要である（図-2.1）。

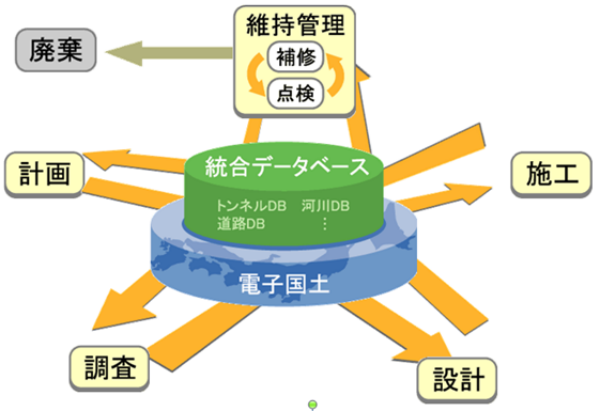


図-2.1 第二世代の CALS の姿

建築分野では BIM（Building Information Modeling）として三次元モデルの活用が始まっている。建築分野では、buildingSMART が提唱している建物を構成する全てのオブジェクト（例えばドア、窓、壁などのような要素）のシステム的な表現方法の仕様である IFC（Industry Foundation Classes）がスタンダードとして利用できる環境が整っているため、異なるアプリケーションデータを IFC で統合して利用可能であることが普及を支えており[5)]、現場での実用化が進められている一方、三次元モデルに施工計画を加えた 4D（四次元モデル）、さらにコストを加えた 5D（五次元モデル）としての研究が始まっている。

土木分野では、二次元モデルに関しては SXF（Standard CAD data Exchange format in japanese Construction field data eXchange Format）が策定され、国土交通省の CAD データの交換が行われているが、二次元モデルであるため、図形の交換だけで属性情報を含んでおらずモデルの交換には至っていない。

しかし、一部の設計では住民説明用に CG（Computer Graphics）・VR（Virtual Reality）・パースなどとして三次元モデルを作成することや、施工時では、三次元の配筋チェック[6)]や施工計画などのために三次元モデルが作成され、活用され始めている。

これらは、設計または施工という自工程の中で必要に迫られて作成されているものであり、次の工程や最終的な維持管理を考慮してモデル化を行っているわけではないため、作成されたモデルは、特定の用途（住民説明や施工チェックなど）のためにだけ作成・使用され、用途が終わると廃棄される。

計画⇒調査⇒設計⇒積算⇒施工⇒維持管理というライフサイクル全体を考えた場合、そのサイクルの中だけで利用される三次元モデルをその都度作成していることは非効率であるばかりでなく、かえってミスを増加させている可能性もある。このため、計画⇒調査⇒設計⇒施工⇒維持管理というライフサイクル全体で利用できる具体的な三次元モデルの提案が必要である。

CALS/EC の第三世代では、こうした三次元モデルを調査・設計・施工で各々構築し、このモデルを流通する流通基盤を構築し、三次元モデルを各フェーズで活用することにより、高度化と効率化を目指すものとなるであろう（図-2.2）。第三世代の CALS/EC を推進するためには、三次元モデルを利用することによるメリットを明確に提示していくことが必要である。2012 年、国土交通省では BIM の考え方を土木分野にも適用した CIM（Construction Information Model）を CALS/EC に代わり推進を開始し、CALS/EC の考え方は、CIM に引き継がれることとなった。

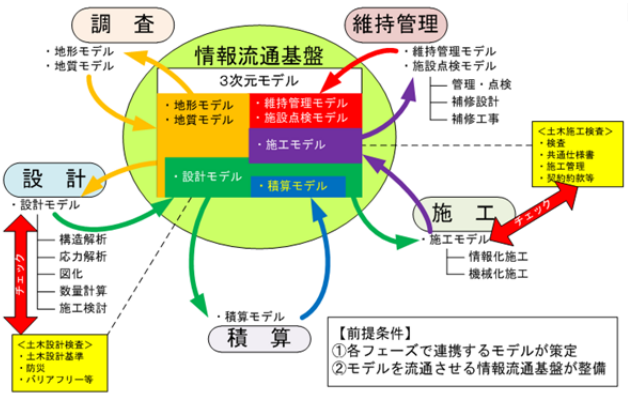


図-2.2 第三世代の CALS/EC の姿

2.2　CIM の定義

CIM は、BIM（Building Information Modeling）の考え方をベースに、土木分野に適用しようとする考え方で、現状では明確な定義は行われていない。

BIM は、コンピュータ上に作成した三次元の建築物の形状を表すデジタルモデルに、コストや仕上げ、管理などの情報を属性データとして追加した建築物のデータベースを、建築の設計、施工から維持管理までのあらゆる工程で情報活用を行うためのソリューションであり、新しいワークフローと考えられている。

BIM の考え方をそのまま適用しても問題なさそうではあるが、日本では、土木分野と建築分野は明確に別れており、関係者も分かれているため、その分野の特徴をうまく引き出すためには、別の呼称であったほうが便利であろう。しかし、そのツール・考え方等は、共通の部分が多く将来的には統一されると思われる。

国土交通省では、CIM を以下のように定義している [7)] 。

> CIM とは、調査・設計段階から三次元モデルを導入し、施工、維持管理の各段階での三次元モデルに連携・発展させることにより、設計段階での様々な検討を可能とするとともに、一連の建設生産システムの効率化を図るものである。三次元モデルは、各段階で追加、充実化され維持管理段階での効率的な活用を図る。

本論文においてもこの定義を用いるが、今後の進展により定義が変更されて行くものと考える。また、上記定義は、単に三次元モデルとしているが、構造物を表現する場合は、三次元プロダクトモデルと考え、三次元で作成されたモデル全体を示す場合は、三次元モデルと分けて考えていく。

なお、本研究では、土木分野での構造物を構築していくためのライフサイクルは、最も一般的な調査、設計、施工、維持管理の他に、工事費を算出するための積算を入れた 5 つの段階で検討する（図-2.3）。

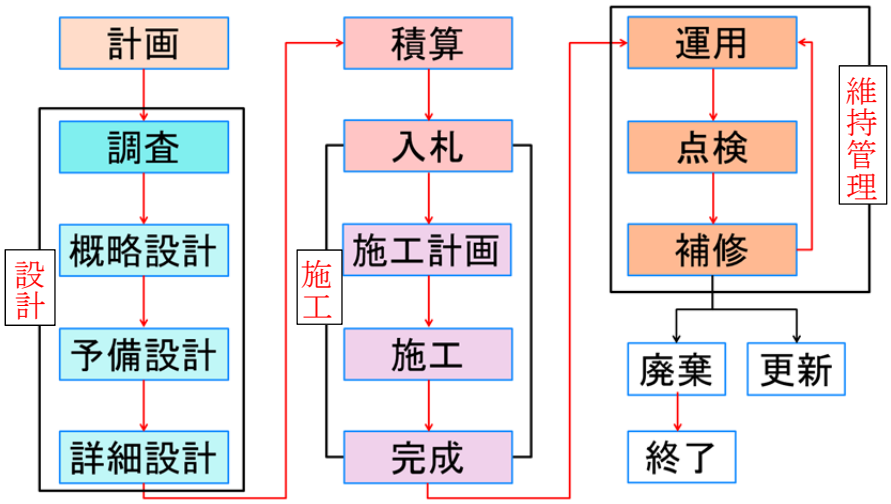


図-2.3 ライフサイクルの考え方

2.3 CIM によるプロダクトモデルのイメージ

プロダクトモデルとは，単なる CAD データの互換フォーマットではなく製品や構造物の全体から部品，部材レベルまでにわたり，形状や材料，仕様，部材間の関係等の情報をオブジェクト指向技術に基づいて表現した汎用的なデータモデルのことであり通常テキストファイルあるいはデータベースとしてコンピュータに実装される。プロダクトモデルを中心としたデータの共有システムを構築して運用することにより，各業務間におけるデータの相互運用（interoperability）が実現し作業効率の向上を図ることが可能となる [5)]。

建設分野における一例として、図-2.4 に示すような橋梁の三次元形状とこれに関連付けた情報（属性）を併せ持ったモデルを、橋梁の三次元プロダクトモデルと考えることができる。形状は、構造形式により決定されるが、属性としてどのような情報を持たせていくかは、プロダクトモデルをどのように利用するかによっても異なっていく。

また、計画⇒設計⇒積算⇒施工⇒維持管理というライフサイクルで考えると、計画段階でのモデル、設計段階でのモデルのように各段階で、それ以前からの情報を引継ぎ、さらに更新されていくことを考えると、維持管理前の完成形状のモデルは、図-2.5 のように、それ以前のモデルを包含したモデルと考えることができる。

さらに、前述のように、維持管理でも、点検⇒補修設計⇒補強施工という流れがあり、こうしたデータもモデルに取り込んでいくことで、ライフサイクルを通した建設構造物のプロダクトモデルを考えていくことができる。

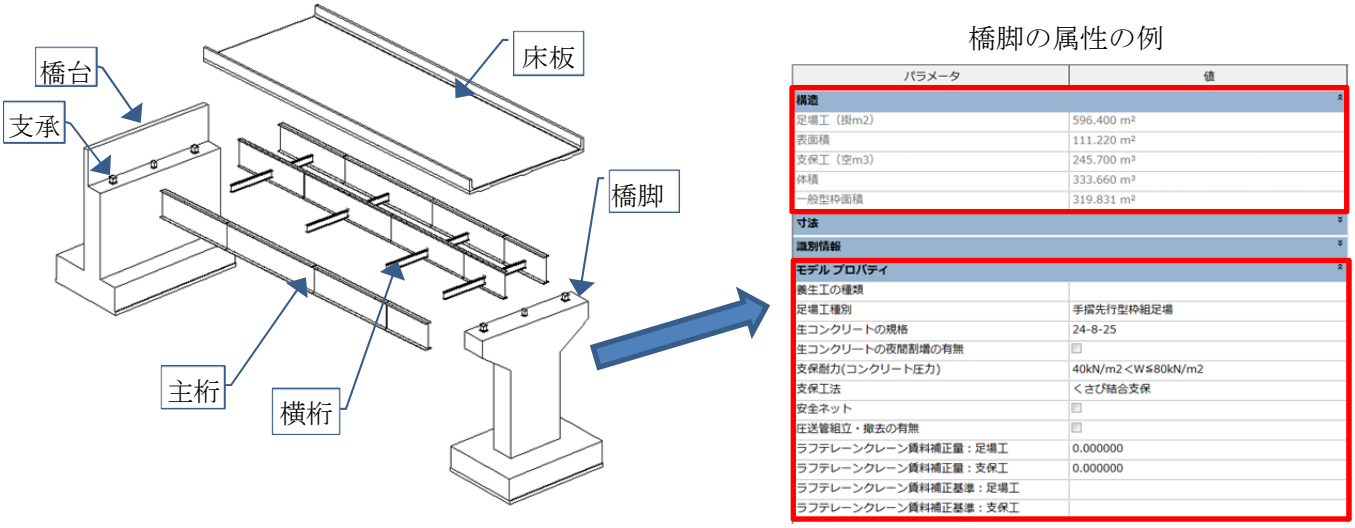


図-2.4 橋梁のプロダクトモデルの例

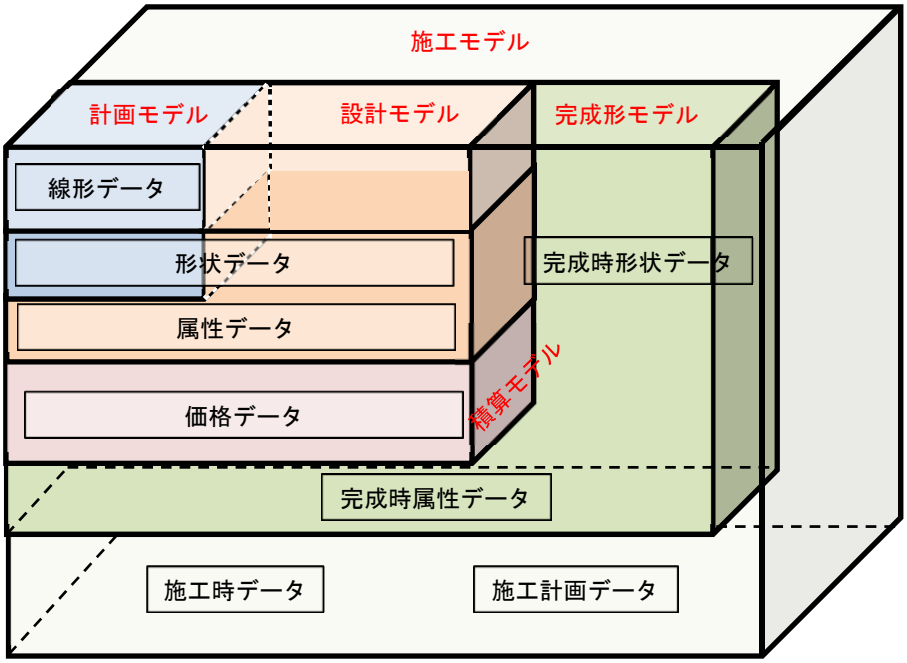


図-2.5 建設構造物のプロダクトモデルの考え方

2.4　CIM による三次元設計手法

従来から二次元図面を用いた設計手法は、図-2.6 に示すように作成する構造物の形状を三次元で頭の中にイメージし、このイメージを元に平面、側面、立面での二次元図面にて表現し、これを元に長手方向とこれと直角方向での断面を作成し構造解析を行い、各部材の断面形状・必要鉄筋量などを求め形状を決定している。複雑な構造物では、非常に多くの解析断面を作成し、場合によっては二次元図面の中に異なる縮尺で図形を描画する場合も多い。さらに、鉄筋コンクリート構造物では、鉄筋の配置を示す配筋図や鉄筋の形状を示す加工図なども作成されており、どこか 1 か所を修正するとこれに直交する断面の形状や鉄筋の位置など関連する他の図面も変更しなければならない。現在では、非常に複雑な構造物の設計が多くどうしても図面間の不整合がなくならない。

一方、三次元プロダクトモデルを用いる場合は、図-2.7 に示すように頭の中でイメージした形状を、そのまま三次元形状モデルとして作成して、この形状から解析を行う。形状を変更する場合はモデル自体を変更するため、対応する部材なども自動的に変更され、これに依り二次元図面を作成する場合のような修正忘れ等は生じない。二次元図面が必要な場合は、三次元形状モデルから出力するため、不整合も生じにくい。三次元形状モデルに、施工ステップを情報として入力しておけば、施工計画にも利用できるなど、その後のライフサイクルを渡った利用も簡単になる。

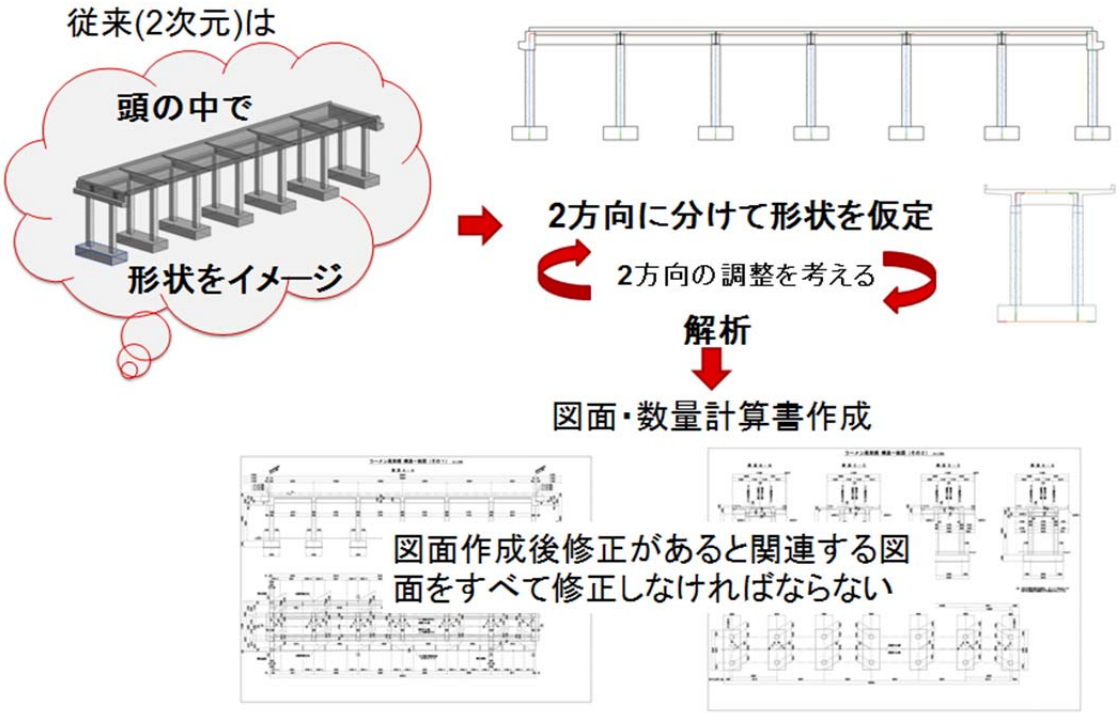


図-2.6 二次元図面による設計スタイル

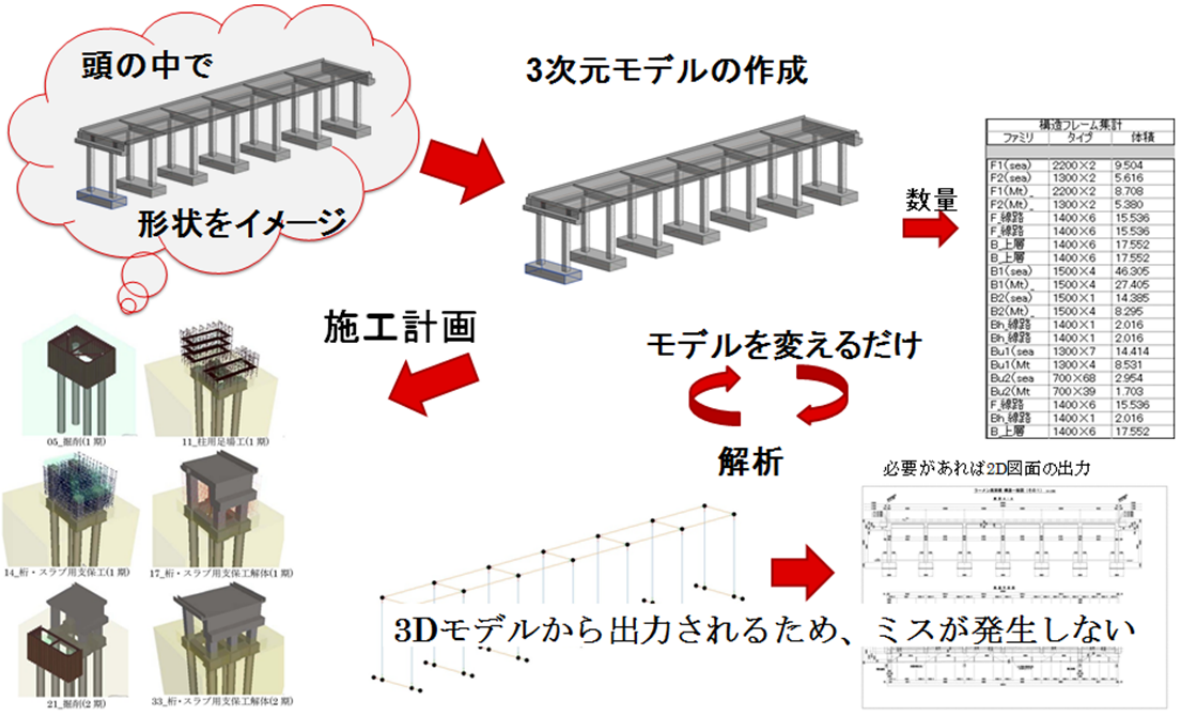


図-2.7 三次元プロダクトモデルを用いた設計スタイル

2.5 技術的な背景

三次元モデルの利用は、30 年以上前の卵型消化槽の設計における形状や配筋の確認 [7]や景観など特殊な状況を再現するために多く用いられてきた。しかし、三次元モデルを作成するソフトウェアもハードウェアも高価で一般的ではなかったが、土木分野での道路設計を対象に 2004 年に Autodesk 社から 32bit Windows XP 上で稼働する Autodesk Civil 3D 2005 が発売され、その後の 2005 年には Windows XP Professional x64 Edition がリリースされ、このオペレーションシステム上で稼働する各種のソフトウェアが提供されるようになり一般的なツールとして普及が始まった。

また、現況の三次元地形モデルを作成するためには、地形図の等高線データをスキャニングしてラスタデータをベクトル化し、さらにこれに高さ情報を追加するという煩雑な作業が必要であったが、国土地理院は 2008 年までに地表での経度差、緯度差 0.4 秒（約 10m）間隔のメッシュの中心点の標高データ（以下、「10m メッシュ標高」とする）を全国で整備しており、この 10m メッシュ標高を利用することにより、広域の地形を素早く作成することができるようになった。国土地理院では、これに続いてメッシュの幅を半分にした地表での経度差、緯度差 0.2 秒（約 5m）間隔のメッシュ中心標高データ（以下、「5m メッシュ標高」とする）の整備も開始され、さらに高精度な地形情報が入手可能となっている。図-2.5 に 10m メッシュ標高と 5m メッシュ標高データの比較を示す。

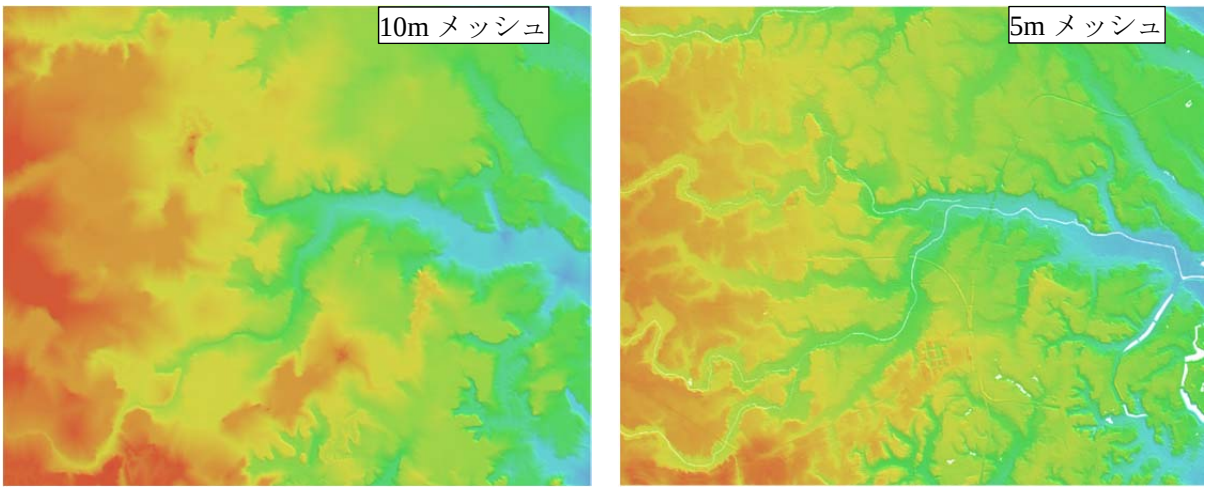


図-2.8 10m メッシュ標高と 5m メッシュ標高データの比較

この他にも、空中写真を歪みのない画像に変換し、正しい位置情報を付与したオルソ画像の提供も始まっており、様々な地理空間情報と重ね合わせることができるようになっている。

これらの情報を用いることにより直接現場に行く前に、現地の状況をかなり正確に把握することが可能となっている。図-2.7 は、5m メッシュ標高と国土地理院のオルソ画像とを組み合わせた例である。

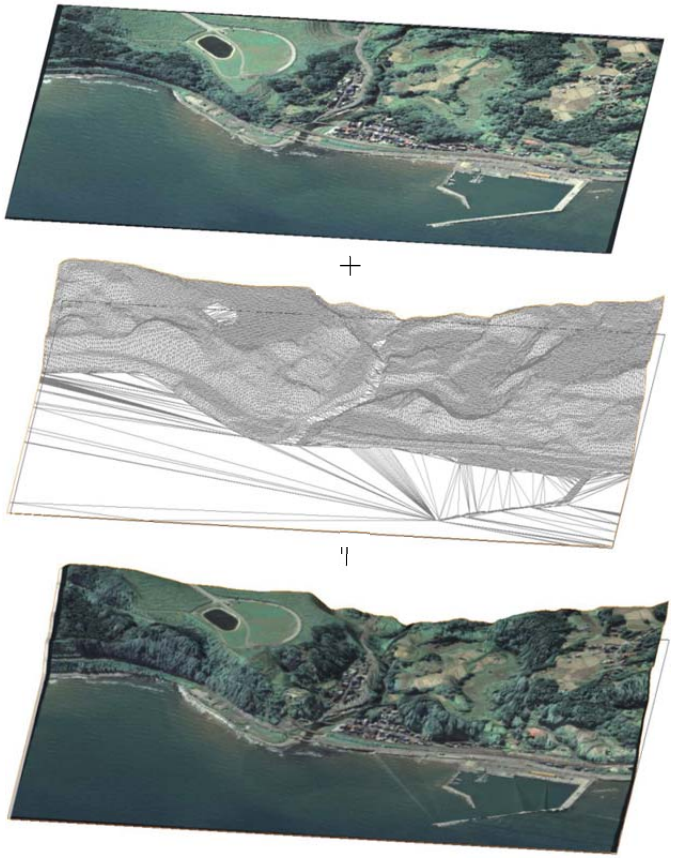


図-2.9　5m メッシュ標高とオルソ画像を合成した 3D 現況地形モデル(新潟県上越市の有間川河口部)

2.6 国土交通省の CIM

国土交通省は、2012 年度に CIM を普及するために表-2.1 に示す詳細設計を対象とした CIM 試行業務を行った。表-2.1 の試行区分の先導モデルとは、可能な限り三次元モデルを作成するもので、一般モデルとは、設計の一部に三次元モデルを作成するものである。

表-2.1 平成 24 年度 CIM 試行業務一覧 [8)]

地整	業務名	設計業務内容	試行対象業務内容	試行区分	業務期間
北海道	一般国道 40 号 天塩町 天塩防災 道路詳細設計業務	道路詳細設計 L=9.6Km	道路詳細設計 L=1.3km	一般 モデル	H25.2
東北	小佐野高架橋 橋梁詳細設計業務	橋梁詳細設計 4 橋 橋梁下部工設計 1 式 基礎工 1 式	D ランプ橋 L=120m	一般 モデル	H25.3
関東	H23IC・JCT 本線第一橋梁 詳細設計業務	鋼 6 径間連続非合成少数鈑桁橋 L=216.55m 橋台 1 基、橋脚 6 基	橋梁下部工 1 基	一般 モデル	H25.3
	24F 八王子南バイパス （1 工区）構造検討他	交差部検討修正設計 1 式 調整池詳細設計 2 箇所	調整池 2 箇所	一般 モデル	H25.3
	H24 中部横断道 入之沢川橋詳細設計	鋼 4 径間連続細幅箱桁橋 L=259m 橋台 2 基、橋脚 3 基	橋脚 1 基	一般 モデル	H25.3
北陸	能越自動車道 中波 2 号跨道橋 詳細修正設計他業務	PC方杖ラーメン橋 2 橋 工事用道路設計 L=1.3km 仮橋設計 4 橋	PC方杖ラーメン橋 1 橋（L=73m）	先導 モデル	H25.3
中部	H24 155 号 豊田南 BP 横山地区 道路詳細設計業務	道路詳細設計 L=1.21Km 他 箱型函渠：W9.5*H5.5：2 箇所 重力式擁壁 H4.2～0.5：7 箇所 補強土壁：H7.7～0.5：6 箇所	道路詳細設計 L=0.14Km 箱型函渠： W9.5*H5.5：1 箇所	先導 モデル	H25.3
近畿	国道 161 号安曇川地区 橋梁修正設計業務	ポータルラーメン橋修正設計 L=14.6m 他 修正設計 2 橋	ポータルラーメン橋修正設計 L=14.6m	一般 モデル	H25.3
中国	H24 安芸バイパス八本松 IC 橋詳細設計業務	鋼単純合成箱桁橋： 1 橋 L=50.5m 橋台 2 基 鋼単純合成鈑桁橋： 1 橋 L=38.0m 橋台 2 基	橋台 2 基 （鋼単純合成鈑桁橋）	一般 モデル	H25.3
四国	平成 24 年度 立江櫛渕軟弱 地盤対策検討業務	軟弱地盤解析 1 式 対策工法詳細設計 1 式	軟弱地盤の盛土管理	一般 モデル	H25.3
九州	福岡 201 号 筑豊烏尾トンネル（下り線）詳細設計業務	トンネル詳細設計 L=1.5km	トンネル詳細設計 L=1.5km	一般 モデル	H25.5

試行業務成果のまとめを表-2.2 に示す。この結果は、受発注者にアンケートを行ったものをまとめたものである。試行業務において三次元モデルを用いたが効率化が認められなかった事項として、①配筋モデルの作成作業、②ソフトウェア間のデータ授受、③鉄筋長が個々に異なる場合の作成作業、

④世界測地系（大座標）への変換作業の 4 項目が挙げられている。作成した受注者である建設コンサルタント業者は、まだ三次元モデルの作成ソフトウェアの操作に慣れていないため、複雑な処理を伴う配筋作業や座標系の変換などの作業に時間を要したためと思われる。

一方、三次元モデルを用いて効率化が認められた事項としては、「可視化」が挙げられている。従来の二次元図面ではわかりにくい個所を三次元モデルで可視化することで受発注者ともに二次元図面で確認するよりも確認が容易であったためと思われる。

表-2.2 アンケート結果（表示用に一部修正）[7)]

項目	効果が認められた事項	課題
(1) 打合わせ （可視化による条件錯誤の削減）	･鳥瞰図で全体把握 ･アイデア発想が短時間に可能 ･設計意図･条件確認の効率化 ･相互理解の促進	･現況詳細図(地形等)が必要 ･PC(ハード)のスペック不足 ･予備設計段階での作成が効果的
(2) 情報共有 (ﾋﾞｭｰﾜ利用等による効率化)	･共有化による作業の効率化 ･協議や社内での打ち合わせに使用	･資機材への投資に負担 ･ソフト間のデータ変換システムが必要
(3) 地盤データ確認		･地層モデル化は専門知識が必要
(4) 測量データ確認（3Dモデル作成の効率化）	･Civil３Ｄで対応し、測量データを移管することで効率化できる事を確認	･試行結果の好事例の周知による効率化 ･データが重い ･測量精度に依存
(5) 一般図(モデル)作成 (可視化による効率化、交差･座標系チェック)	･可視化による取り合いの位置、３ＤＣＡＤ上での座標チェック等、作業の効率化 ･不整合個所が判明し効果的	･座標を持てないソフトがある ･モデル作成ツールの線形情報利用機能の付加 ･道路設計など長延長なものはデータが重くなり操作性が悪い
(6)～(10)構造物設計 (設計干渉チェック、配筋チェック)	･鉄筋干渉チェックに効果 ･自動干渉チェックシステムの活用	･データが重く費用対効果が望めない ･干渉箇所などを設計上修正するものと現場で対応するものの扱いを検討する必要
(11)付属物･付帯物設計 (取り合いチェック)	･不整合個所の確認	･付属物のオブジェクトをゼロから作成する必要
(12) 数量計算 (自動計算による効率化)	･自動算出により効率化 ･積算単価付与による概算額算出 ･精度面での問題は無い	･算出根拠が確認できない ･土量は各断面値を手作業で修正 ･手作業が多い(道路詳細)
(13) 作図･図化 (作図･図面修正の効率化等)	･３Ｄモデルからの自動作成が可能であり設計ミスの防止	･寸法線の追加に手間(複数)
(14)設計照査 (図面照合チェックの省力化)	･平面･縦断･横断の連動により,相互の取りあいが同時に照合可能 ･任意測点の照査が可能 ･修正主旨の意思伝達の正確性向上	
(15) 仮設･施工計画 (諸条件の確認,照査)	･受発注者間における設計･施工条件の相互確認を行う上で有効	･作業量と効果が見合わない

2.7　世界の動向

CIM は、日本の土木業界の用語で世界的には BIM（Building Information Model）として推進されている。諸外国では、BIM は、コンピュータ技術を利用した可視化、協業シミュレーション、3D、4D による最適化として、より効果的に顧客、設計、建設、プログラムの要求を満たすことができると考えており、表-2.3 に示すように推進されている。

表-2.3 各国の BIM の推進状況

国　　名	主な活動
アメリカ	2008 年 政府事業（計画）における BIM 利用の義務化　（連邦調達庁、陸軍工兵隊）
ノルウェー	2010 年 新たな建築物に対する IFC/BIM の適用を条件化
イギリス	2016 年 政府事業（計画）における BIM 利用の義務化
フィンランド	2007 年 大手不動産管理会社が自ら発注する事業（計画）に IFC/BIM の適用を条件化
シンガポール	2013 年 BIM を利用した建築確認プロセスを意匠設計 20、000m^2 以上の案件に適用

2.7.1　導入事例-1 ニューヨーク市 Site Safety Plans

ニューヨーク市建築局では、Site Safety Plans として既存 10 階以上、新設 15 階以上のビルの外壁計画工事に対しては安全計画書の提出を義務付けしている。2011 年の 3 つのテストプロジェクトで実施後、2012 年 5 月から正式にビルの改修・施工計画で Site Safety Plans に BIM の適用を開始し、初年度は 24 の新規プロジェクト、147 改修プロジェクトで実施した [9)]。

ニューヨーク市建築局は、仮設計画では、安全性確保のために民間を監督する立場に有り、仮囲い、落下物防止ネット、仮設階段、エレベーター、クレーン、足場、支方工、開口部の養生、手摺、ガードレールなどについて BIM モデルでの納品を義務化している。BIM モデルで納品するために図-2.8 に示すような部品を配布している [10)]。

設計者は BIM モデルの実際の位置にタグ付けされたコメントを見ることで、迅速な判断ができ、監督、施工者との間でも同じように BIM モデルを利用している。検査官は BIM モデルでプロジェクトの全体計画、検査項目を理解することができ、必要な情報をオフィスから現場に持ち出して活用することができる。年間 10 万件の申請処理に対してニューヨーク市建築局職員は 100 名しかいないが、BIM によって命に関わらないようなものはソフトウェアが処理し、局員がチェックしなくてはいけない部分に集中することができるようになっており、具体的な目的を定めて定型的なチェックで有効に活用している。

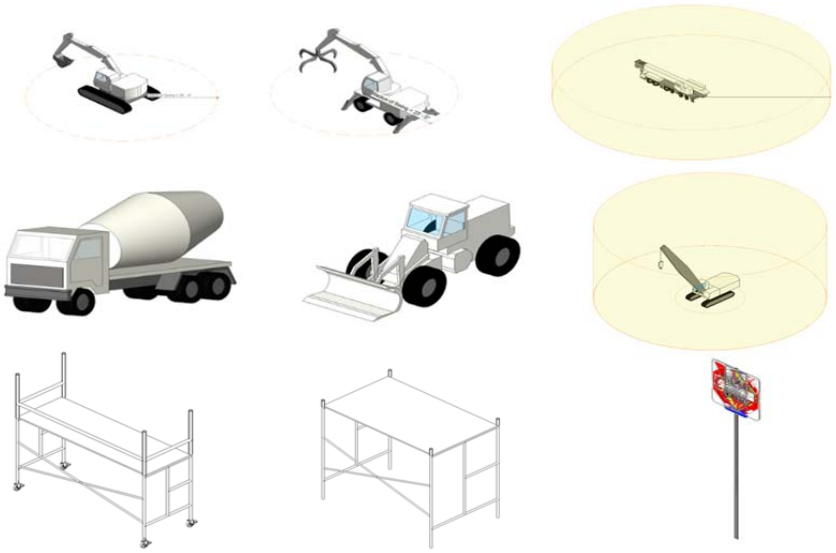


図-2.8　NYC で配布している部品の例 [10)]

2.7.2　導入事例-2 The Transbay Transit Center Project（サンフランシスコ）

2010 年 10 月、カリフォルニア州サンフランシスコのトランスベイ交通センター（Transbay Transit Center）における建設管理事業が開始された [11)]。2017 年に建設第 1 期の Transbay Transit Center Building の工事が終了する予定で、この工事を米国 Webcor 社と大林組の Joint Venture が CM/GC 方式で図-2.9 に示す体制で受注している [12)]。

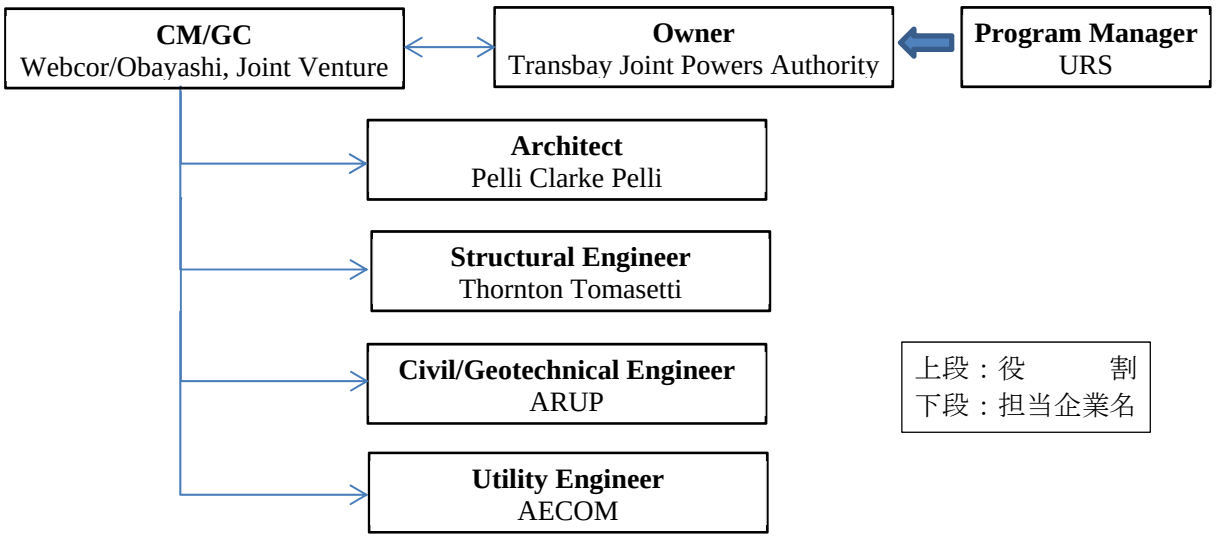


図-2.9 プロジェクトの構成

CM/GC の契約において BIM で行うことが指定されており、JV では、BIM を用いて施主との調整やコストとスケジュールを入れた 5D で管理を行っている。BIM のコストは、CM/GC の中でプレコンストラクションサービス（契約前の計画初期段階から、施工性・工期やコスト面などのアドバイスを有償で提供すること）として働いた人の時間単価 x 時間数で発注者に請求している。発注者には事

前に、毎月の予定表、費用を施主に提出し了解を得て作業を行っている。発注者からは、契約上二次元図面だけが渡されており、これを元に JV および下請けの会社が 3D モデルを作成して、JV がチェックを行っている。このプロジェクトで採用されている CM/GC のメリットは、発注前に施工業者の意見をできるだけ早く施主の考えに対して、施工業者のコメント設計へ反映するところにある（アーリーインボルブメント）。この事例のように、BIM を導入している現場では、すべての関係者が三次元モデルを作成しているわけではなく、現場で BIM を推進するチームと、全体をマネージメントする組織が全体を調整して、最終的な現場での手戻りを少なくすることにより、効率化を推進している。

写真-2.1 工事中の Transbay　Transit Center Building

2.8　技術者の考え方

2013 年 7 月～12 月にかけて、土木学会土木情報学委員会の国土基盤モデル小委員会と ICT 施工研究小委員会の主催による無料の「CIM に関する講演会」が表-2.4 に示す全国 9 都市で開催された。この講演会は、CIM に対する取組として、産（設計者、施工者）、官（事業発注者）、学（技術開発者）の立場から、建設生産システム合理化の方向性について紹介し、全国の建設従事者に広く周知することを目的としており、来場者にアンケートを実施している。

全参加者 988 名の内、アンケート回答者 803 名のアンケート結果を図-2.10 に示す。回答者の 53%は建設コンサルタント会社勤務者で、建設会社勤務者 15%、発注元勤務者 8%であった。CIM に関しては、「内容をよく知っている」が 33%で、「はじめて知った」は 9%に過ぎない。これは、半数以上が建設コンサルタント会社勤務者で、建設コンサルタント業者には、平成 24 年度から試行業務が開始されているため、「よく知っている」が多くなっているものと思われる。しかし、「実際に取り

組んでいる」のは 27%で、まだ普及するところまでは行っていないことがわかる。「当面取り組む予定はない」のは、わずか 6%であり技術者の意識としては、CIM に取り組んでいくという気持ちは多くの技術者が持っていることがわかる。

また、「CIM を導入するにあたって考えられる課題」については、図-2.11 に示す選択肢から複数回答を求め、一番多い回答は「人材育成・教育」であり、続いて「導入コスト」と回答している。「今後、CIM を導入するにあたってどのような情報を希望しますか？」という設問に対して、図-2.12 に示す選択肢から複数回答を求め、「3 次元モデリング手法」、「ソフトウェア勉強会」、「CIM に対する施策や方針」を選択している回答者が多い。多くの企業では、まだ試験導入を始めたばかりで、実際に業務に活用するために必要とされる回答が多くなっているためと思われる。

このように、新しい取り組みではあるが多くの技術者は、期待を持って進展を見守っているというのが現状である。

表-2.4 「CIM に関する講演会」実施状況

日程	開催地	会場	定員	参加者数	アンケート回答者
7 月 5 日	札幌	札幌市生涯学習センター	210	141	110
7 月 17 日	福岡	天神ビル　会議室 11 号	120	148	109
9 月 27 日	名古屋	名古屋市中小企業振興会館　吹上ホール	144	133	118
10 月 2 日	広島	まちづくり交流プラザ	112	85	66
10 月 10 日	仙台	せんだいメディアテーク	180	113	89
10 月 16 日	高松	高松市マリンパレスさぬき　瀬戸 A	90	57	47
11 月 15 日	大阪	大塚商会　関西支社	200	135	127
11 月 27 日	金沢	石川県勤労者福祉文化会館	144	46	38
12 月 9 日	東京	土木学会	150	130	99
			合計	988	803

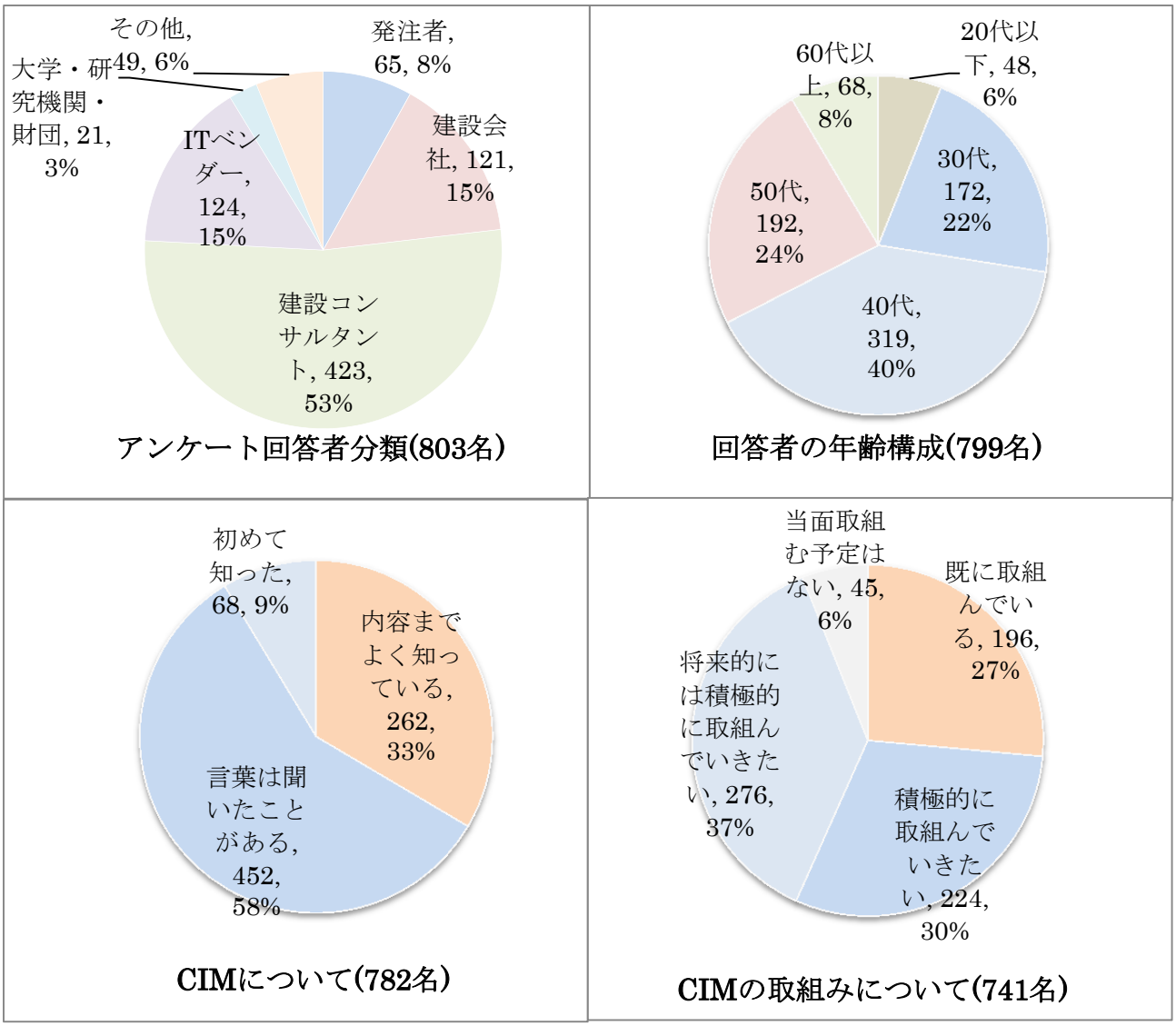


図-2.10　CIM 講演会来場者アンケート結果

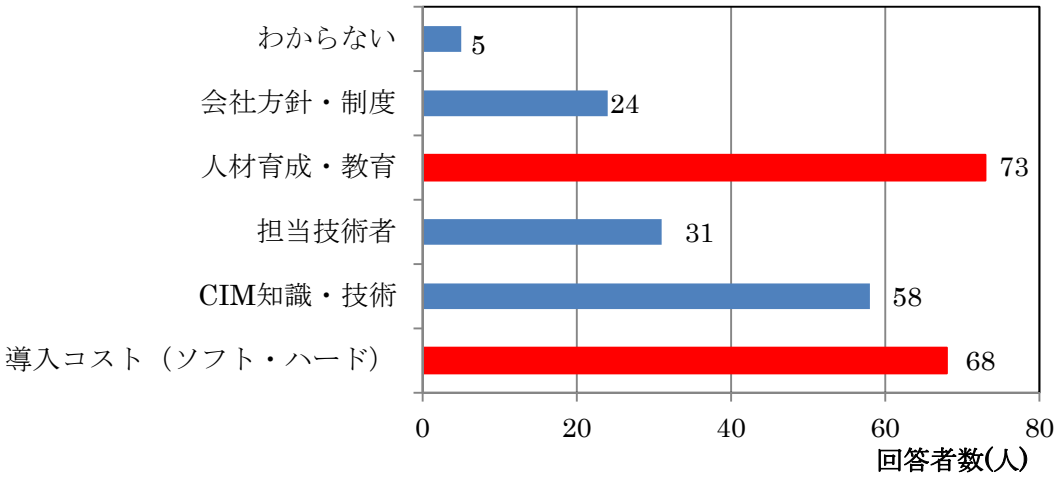


図-2.11　CIM 導入時に考えられる課題（複数回答）

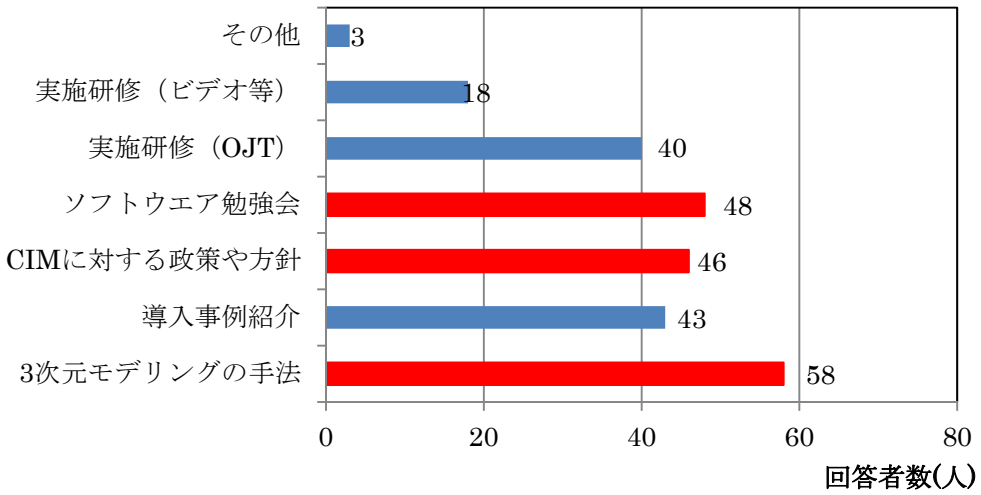


図-2.12　CIM 導入時に必要とする情報（複数回答）

参考文献）

1） 国土交通省: 設計コンサルタント業務等成果の向上に関する懇談会 中間とりまとめ、設計コンサルタント業務等成果の向上に関する懇談会、2007.

2） 常山修治: 公共工事の品質確保について、国土交通省近畿地方整備局、2005.

3） 建設関連業検討会: 建設関連業の課題と展望、2011.

4） 古賀秀幸、藤澤泰雄、吉野博之、佐藤昇、市場嘉輝: 土木設計業務の電子納品に対する提言（その 1）－電子納品のあり方についてー、 土木学会第 65 回年次学術講演会概要集、CS-6-010、pp19-20、2010.

5） 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.

6） 五十嵐善一:三次元配筋モデルの施工現場への適用についてー現状の効果と課題および今後の方向性ー、土木学会第 65 回年次学術講演会、VI-525、pp.1049-1050、2010.

7） 柳屋健治 : モデルデータが拓く建設コンサルタントの新しい姿、建設ソリューション EXPO 2006、2006

8） CIM 技術検討会：CIM 技術検討会 平成 24 年度報告、2013.

9） John Chiusano, Charanjeet Singh: Creating BIM Site Safety Plans, 2013 BUILD SAFE/LIVE SAFE CONFERENCE, 2013

10）NYC Building website : http://www.nyc.gov/html/dob/html/development/bim.shtml

11）Transbay Transit Center website: http://transbaycenter.org/

12）WEBCOR BUILDERS website:
http://www.webcor.com/projects/all-projects/government/sf-transbay-transit/

第3章　鉄道高架橋を対象とした三次元設計モデルの積算・施工への利用

3.1　設計から施工までの事業プロセス

土木分野では、設計⇒積算⇒施工というプロセスが個別に区分され、設計者・発注者・施工者の役割が明確であるという認識が一般的である。積算という視点では、設計者が、設計（詳細設計）において積算のための二次元図面、数量計算、概略施工計画、予算要求レベルの工事費を作成する。同様に、施工者は、発注者が提示する入札のための積算で用いた二次元図面、数量計算と概略施工計画から、入札金額を決定する。

表-3.1 は、従来の設計から施工までの事業プロセスを入札という視点で整理したものである。この中で、設計・積算・入札時を総括し入札として分類している。設計者・発注者・施工者が、各フェーズで要求される図面、数量計算、施工計画、工事費を作成し、これを後のフェーズで活用している。さらに、設計⇒積算⇒施工というプロセスは、一般的な認識とは異なり、入札というプロセスを考えると、明確に区分されるものではないことがわかる。

施工時に判明する設計計算ミス、配筋ミス、数量計算ミス等は、設計時に由来するものであり、設計段階の二次元図面および数量計算にはミス発生の懸念があると言える。さらには、設計段階のミスが施工時・竣工時における施工数量変更、工事費変更となり、発注者・施工者の負担になっている。

また、入札段階での施工計画は、一般的な施工を設計側が想定して施工数量として算出しているもので、実際の施工数量とは一致しないことが多い。このため、施工側では、受注後、現場の状況や自社の施工実績などをもとに、本来の施工費用を算出するための実行予算書を作成する。現状では、二次元図面から実際の施工計画を算出しているため、詳細な検討を行う際には三次元モデルを作成する場合も多い。

表-3.1 設計から施工までのプロセス（従来）

フェーズ		入札			施工	
		設計	積算	入札時	施工時	竣工時
作成者		設計者	発注者	施工者		
作成物	モデル	二次元モデル	二次元モデル			二次元モデル
	図面	二次元図面●	二次元図面			二次元図面（管理用台帳）
	数量計算	設計数量●	積算数量		施工数量■	
	施工計画	概略	概略	概略	詳細■	
	工事費	予算要求	発注	応札	応札・変更	
備考		●：ミス発生の懸念が高い ■：変更発生の可能性が高い				

こうした建設生産システムは、二次元図面をベースとしているため図面間の不整合などが発生しやすく、実際の施工できないなどの問題が生じている。契約上、施工者は施工に先立って設計図書の照査を行い問題がないか確認することとなっているが、厳しい受注環境と熟練技術者の不足などのために、こうしたミスを事前に発見できず、工事を行ってから発見される場合も多い。

CIM は、三次元モデルを用いることによりこうした課題も克服できると考えられているが、まだ、実際の検証は行われていない。本章では、これからの土木事業における技術の高度化のために三次元モデルがどのように活用できるかを検証する。ライフサイクルのうち設計から施工にいたるプロセスにおいて、積算が橋渡しの役割を演じていることに注目して、実際の鉄道プロジェクトに適用させて、設計時の三次元モデルを積算・施工に活用するための提案と検証を行った。対象とするモデルは、鉄道高架橋とした。

3.2　三次元設計モデルの利用方法の検討

3.2.1　設計・発注者積算時での利用

現状の二次元図面を用いた設計⇒積算⇒施工の流れの中では、設計ミス・積算ミス、設計変更・工費変更などが多く、成果品の品質向上と工費縮減が課題となっている。このため、設計段階から三次元モデルを作成し、後のフェーズで利活用する場合を検討した結果を表-3.2 に示す。三次元モデルは、データ修正・変更が容易であるため、修正・変更の度に関係図面をすべて確認する必要がある二次元図面よりもデータ流通の面で優れている。同様に、三次元モデルより求められる各種数量も、既往の数量計算書と比較し計算精度は高く、データ修正・変更も確実に行われる。三次元モデルではモデル作成時にミスが発生する可能性も高いが、三次元形状として、各種の取り合いなども表現されるため、各フェーズでのチェックが掛けやすく修正しやすい。

本研究で対象とした鉄道高架橋における数量計算構成例を表-3.3 に示す。同表は、「土木工事数量算出要領（案）」[13] に基づき、種別－細目毎に代表的な項目を整理したものである。各細目では、単に数量を求めるだけでなく、数量に紐付けられる属性情報を詳細に設定しなければならない。二次元図面の場合は、属性情報は文字情報として図面に書き込むしかないため、関連する部材の修正はすべて手作業で行わざるを得ないが、三次元モデルの場合は、部材の属性を変更するだけで良い。

また、実際の施工では二次元図面が利用されているが、二次元図面も三次元モデルから出力するこ

とにより、変更時の修正漏れによるミスを大幅に低減することが可能である。

表-3.2 設計から施工までのプロセス（三次元モデル利用）

<table>
<tr><td colspan="2" rowspan="2">フェーズ</td><td colspan="3">入　札</td><td colspan="2">施　工</td></tr>
<tr><td>設　計</td><td>積　算</td><td>入札時</td><td>施工時</td><td>竣工時</td></tr>
<tr><td colspan="2">作成者</td><td>設計者</td><td>発注者</td><td colspan="3">施工者</td></tr>
<tr><td rowspan="5">作成物</td><td>モデル</td><td colspan="5">三次元モデル</td></tr>
<tr><td>図　面</td><td colspan="5">二次元モデル（必要に応じて）</td></tr>
<tr><td>数量計算</td><td>設計数量</td><td colspan="4">積算数量</td></tr>
<tr><td>施工計画</td><td colspan="2">概　略</td><td colspan="3">詳　細■</td></tr>
<tr><td>工事費</td><td>予算要求</td><td>発　注</td><td colspan="3">応　札■</td></tr>
<tr><td colspan="2">備　考</td><td colspan="5">■：変更発生の可能性が高い</td></tr>
</table>

3.2.2　施工者積算時での利用

前述のように、施工者が入札時に利用している積算数量は、設計時の詳細設計によるもので、この中には、材料費の他に、施工計画の費用も含まれている。従来は、設計者が検討した施工手法・手順による施工計画で応札しているが、構築物の三次元モデルだけでなく周辺の三次元地形データや構造物の三次元モデルデータを入手できれば、施工者の得意な施工手法を採用することにより、全体の工期・工費を低減することも可能である。また、現在広く行われている総合評価落札方式の技術点の評価にも利用できるとともに、より現実に近い積算が可能となる。

3.2.3　施工計画時での利用

積算時で既に三次元モデルで施工計画が出来上がっているため、これを元に工事を着工する。工事の進捗にしたがって、必要に応じてこの施工計画を修正していくことにより、現実に近い形での施工が可能になる。この施工計画に、今後のコストを入力していくことにより、最終的な工費の予測が可能になり、損益分岐点の確認など、今後対応すべき事項が明確になる。

また、工事の進捗が明確になっていくため、工事の出来高に応じた支払いも可能となる[9)]。

3.3　実設計データによる積算の検証

表-3.1 に示すように現在の積算数量は二次元モデルで作成した設計時の数量を元にして行っている。この数量が間違っていると施工時で修正し施工価格も変更するなど非常に手間が掛かるため、正確な数量が必要なことは明らかである。

はじめに二次元モデルで算出された数量と同じように三次元モデルでも算出できるかを検証するために、実際の二次元モデルで設計した図面を用いてこれを三次元化し、このモデルから数量算出を行い二次元モデルでの結果と比較を行った。

3.3.1　モデル化

モデル化に当たっては、はじめて三次元モデルを用いた検証を行うため、構造形式が梁・柱で構成される比較的簡単な構造物として図-3.1 に示す阪神電気鉄道株式会社青木（おおぎ）工事現場における B29 ラーメン高架橋を対象とした。図-3.2（a）に作成した三次元モデルの全体を示す。この他に、積算と施工計画を検討するために図-3.2 に示す配筋モデル、型枠モデル、土留モデル、足場モデル、支保モデルを作成した。モデルの作成には、Autodesk 社の Revit Structure 2011（以下 RST とする）を用いた。RST は、梁、柱などの分類ごとに部材を事前に部品として作成しておき、寸法をパラメータとして変更させることで、モデルを構築していく。このため、同じ部品では、材料特性（コンクリート強度、単位体積重量など）は同じ設定となる。

現在、三次元モデルが活用されていない理由の一つに三次元モデルを作成する手間が非常にかかると思われる点にあるが、このように部品を事前に作成しておくことにより、個別に作成するよりも手間を省くことができる。

モデル化に要した時間は、1 つの部品の作成に 10 分から 40 分、全体で 2 日間、形状モデルの作成に 1 日、配筋モデルの作成に 10 日間であった。配筋モデルの作成に時間が掛かったのは、二次元図面から配筋を読み取るのに時間が掛かったためで、配筋が分かっていればもっと短い時間で作成が可能である。現状では、二次元モデルで本検討モデルのような鉄道高架橋を設計計算・数量算出・図面作成を行う場合、2.5 か月／人ほどの時間が掛かっている。三次元モデルの作成は設計計算・数量算出の一部を行っているに過ぎないため、三次元モデルでどのくらい効率化したかは本検討だけでは判断できない。

今後の設計をはじめから三次元モデルを作成して行うことにより、三次元モデルから解析用のデータを作成したり、最終的な三次元モデルから二次元図面を作成したりすることにより、設計計算結果と図面との不整合を防いだり、図面の修正忘れなどもなくなるため、設計の品質向上が期待できると考えている。

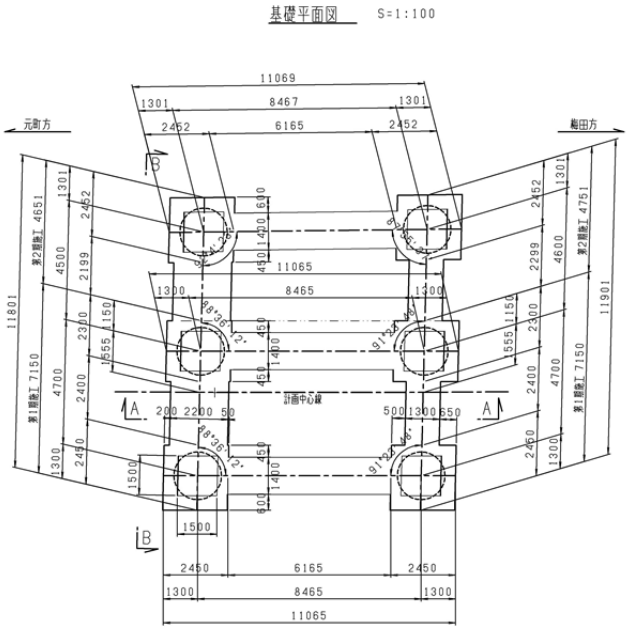


図-3.1　B29 ラーメン高架橋（平面図）

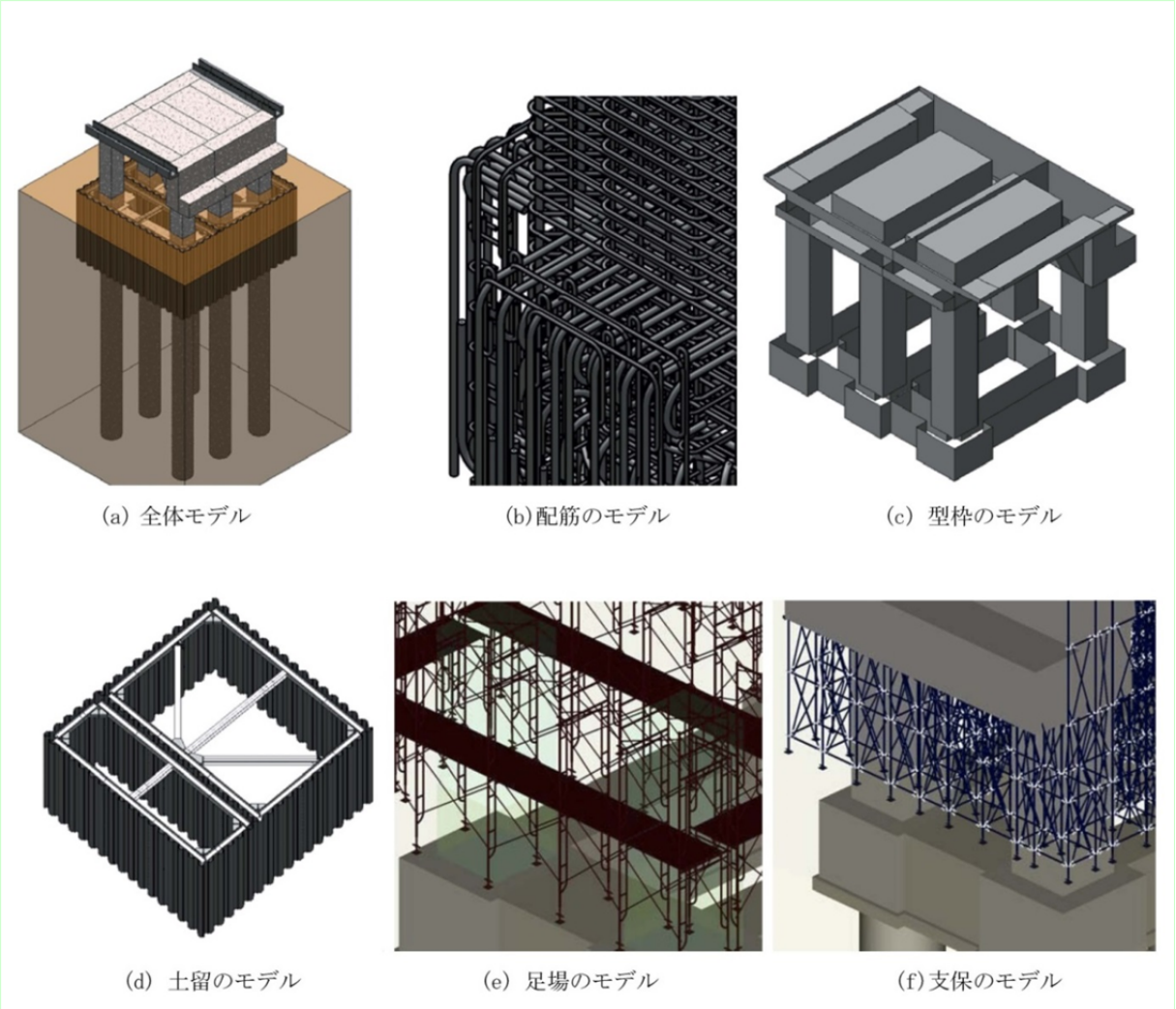


図-3.2 三次元モデル

3.3.2　部品リストと数量

表-3.3 に示すような二次元図面での積算数量に合わせられるように部品を作成した。作成した部品を表-3.4 に示す。

対象とした高架橋の施工は、図-3.3 に示すように、はじめに元町方下り線から施工（第 1 期工事）を開始し、下り線を切り替えてから梅田方上り線を施工（第 2 期工事）する。積算においても、第 1 期工事と第 2 期工事に分けて算出されているため、モデル化もこの施工手順に合わせて部品を定義した。このようにして算出した躯体コンクリート体積と型枠面積・土工量・基礎工量の詳細を表-3.4 の各部品の右側に 1 期、2 期ごとに示した。表-3.4 には、施工計

表-3.3 鉄道高架橋の数量計算構成例

種　別	細　目	数量	属　性	
土工	掘削	○	土質	構造物
			施工形態	水陸
	残土処理	○	土質	構造物
			施工形態	
	盛土	○	土質	構造物
			施工形態	
場所打杭工	場所打杭	○	杭径	杭長
			鉄筋	ｺﾝｸﾘｰﾄ
			ﾓﾙﾀﾙ	中詰材
			H型鋼	鋼管
	杭土処理	○	杭径	杭長
			土質	
	杭頭処理	○		
	殻運搬処理	○		
土留・仮締切工	鋼矢板	○	工種	規格
	腹起し	○	規格	
	切梁	○	規格	
	火打ち	○	規格	
	中間杭	○	規格	
柱・梁・スラブ	基礎材	○	規格	
	均しｺﾝｸﾘｰﾄ	○	規格	
	支保	○	工法	支保耐力
			設置高	
	足場	○	工法	
	型枠	○	規格	
	鉄筋	○	規格・仕様	材料規格
			鉄筋径	施工条件
	ｺﾝｸﾘｰﾄ	○	規格・仕様	
	打継ぎ処理	○	規格	

画で利用するために作成した仮設材の部品名も示してある。

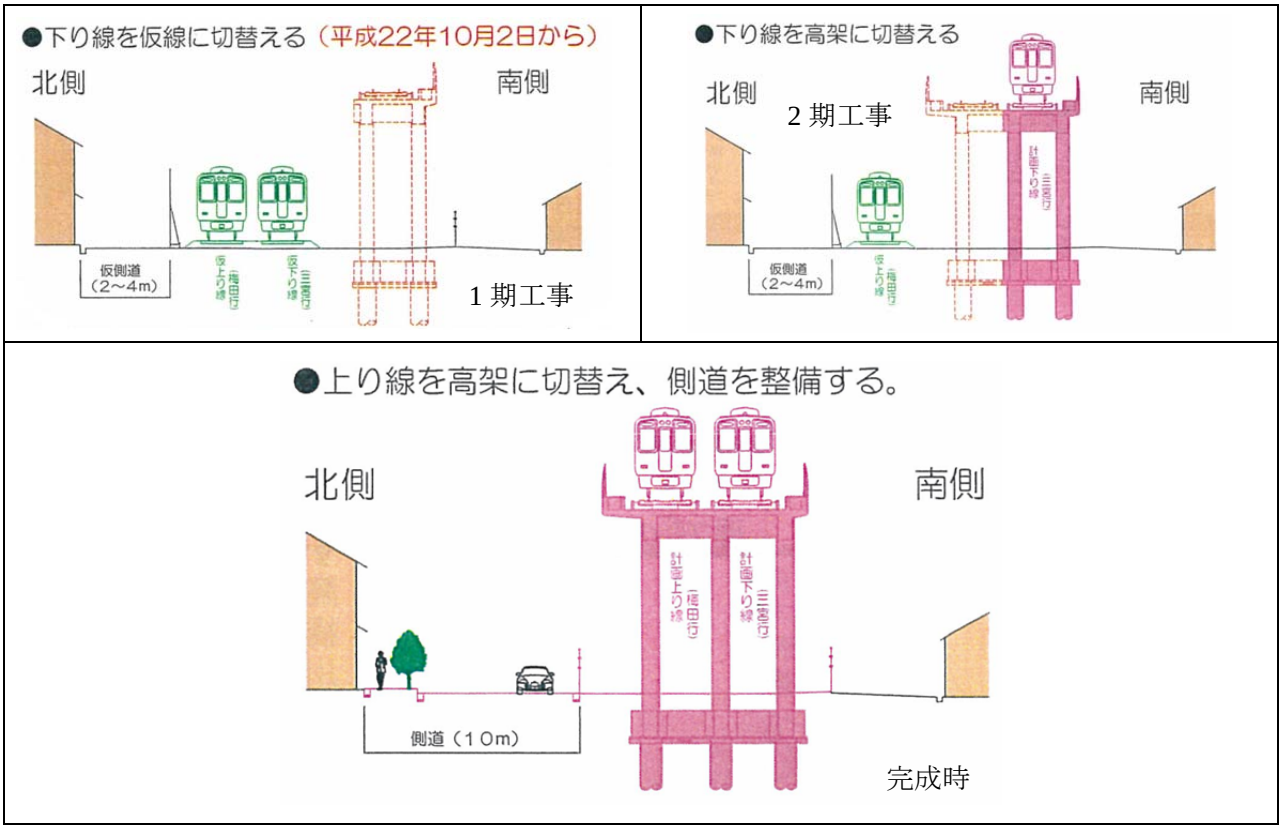


図-3.3 施工手順

3.3.3 数量比較

二次元図面と三次元モデルから算出した主な積算数量の比較を表-3.5 に示す。型枠と躯体コンクリートは同じ結果となっている。

土工と基礎工では、二次元モデルの土工数量の算出方法を確認すると、掘削方法の考え方が多少異なっているためわずかではあるが相違が生じていた。鉄筋に関しては、二次元モデルでは鉄筋同志の重ね合わせ（ラップ）を考慮しているが、RST では重ね合わせの指定できないため、三次元モデルの数量が少なくなっている。

三次元モデルでも、積算を考慮したモデルの作成手法（部品の区分け方法など）を事前に検討しておけば、鉄筋を除いて積算を行うことは問題ないことが分かった。適切な配筋を行えるツールを用いれば、相違はなくなると思われる。

表-3.4 部材リストとコンクリート体積・型枠面積・土工量・基礎工量

No	記号	名称	形状	寸法	コンクリート体積(m^3)	
					1期	2期
1	P1	場所打ち杭	直径×高さ	φ1.8×L=22.0m	(111.966)	(55.983)
2	P2	場所打ち杭	直径×高さ	φ1.8×L=22.0m	(111.966)	(55.983)
3	F1	杭受台	縦×横×高さ	2.45×2.45×1.8	21.610	
4	F2	杭受台	縦×横×高さ	2.3×2.45×1.8	20.286	
5	F3	杭受台	縦×横×高さ	2.452×2.452×1.8		21.644
6	F1(sea)	線路直角地中梁	幅×高さ×奥行	2.2×1.8×2.4	9.504	
7	F1(Mt)	線路直角地中梁	幅×高さ×奥行	2.2×1.8×2.199		8.708
8	F2(sea)	線路直角地中梁	幅×高さ×奥行	1.3×1.8×2.4	5.616	
9	F2(Mt)	線路直角地中梁	幅×高さ×奥行	1.3×1.8×2.299		5.380
10	F	線路方向地中梁	幅×高さ×奥行	1.4×1.8×6.165	31.072	15.536
11	C1	柱	縦×横×高さ	1.5×1.5×4.4	19.800	9.900
12	C2	柱	縦×横×高さ	1.5×1.5×7.2	32.400	16.200
13	B1(sea)	上層線路直角梁	幅×高さ×奥行	1.5×4.2×7.35	46.305	
14	B1(Mt)	上層線路直角梁	幅×高さ×奥行	1.5×4.2×4.35		27.405
15	B2(sea)	上層線路直角梁	幅×高さ×奥行	1.5×1.4×6.85	14.385	
16	B2(Mt)	上層線路直角梁	幅×高さ×奥行	1.5×1.4×3.95		8.295
17	B	線路方向梁	幅×高さ×奥行	1.4×1.8×6.965	35.104	17.552
18	Bh	線路方向梁ハンチ	幅×高さ×奥行	1.4×2.4×1.2	4.032	2.016
19	Bu1(sea)	受け桁	幅×高さ×奥行	1.3×1.55×7.351	14.414	
20	Bu1(Mt)	受け桁	幅×高さ×奥行	1.3×1.55×4.341		8.531
21	Bu2(sea)	受け桁	幅×高さ×奥行	0.7×0.75×6.851	2.954	
22	Bu2(Mt)	受け桁	幅×高さ×奥行	0.7×0.75×3.959		1.703
23	S(sea)	スラブ	縦×横×高さ	6.965×3.3×0.3	6.895	

No	記号	名称	形状	寸法	コンクリート体積(m^3)	
					1期	2期
24	S(Mt)1	スラブ	縦×横×高さ	6.965×0.7×0.3	1.463	
25	S(Mt)2	スラブ	縦×横×高さ	6.965×2.4×0.3		5.119
26	Sk(sea)	片持ちスラブ	縦×横×高さ	6.965×1.471×0.35	3.301	
27	Sk(Mt)	片持ちスラブ	縦×横×高さ	6.965×1.696×0.35		3.763
28	SkB(sea)	片持ちスラブ梁部	縦×横×高さ	1.5×0.927×0.35	1.087	
29	SkB(Mt)	片持ちスラブ梁部	縦×横×高さ	1.5×1.142×0.35		1.283
				合計	270.228	153.035

No	記号	名称	形状	寸法	体積(m^3)	
30	(基礎工)	砕石	−	−	8.96	5.29
31		均しコンクリート	−	−	4.48	2.65
32	(土工)	掘削土量	−	−	306.18	146.43
33		床付整正	−		58.88	28.16
34		埋戻土量	−	−	266.93	119.86

No	記号	名称	形状	寸法	型枠面積(m^2)	
35	Wall	標準壁	縦×横	−	379.066	204.065
36	Slab	床	縦×横	−	92.958	61.535
				合計	472.024	265.600

仮設材	切梁材	ジャッキベース
	腹起材	キリンジャッキ
	鋼矢板Ⅲ型	布板
	支柱	水平継材
	火打受金物	
	自在火打受ピース	

表-3.5 数量の比較

工種	二次元(a)	三次元(b)	a/b
型枠工(m^2)	737.6	737.6	1.00
躯体コンクリート(m^3)	423.5	423.3	1.00
鉄筋(t)	141.9	135.5	1.05
土工(m^3)	543.0	539.7	1.01
基礎工(m^3)	21.6	21.4	1.01

3.4　三次元設計モデルの施工計画への適用検証

次に前節で作成した三次元モデルを施工計画に利用できるか検証を行った。

3.4.1　施工手順

鉄道高架橋の施工手順として表-3.6 の左側に示す一般的な施工手順（杭打設、矢板の打ち込み、掘削、床付整正、杭頭・地中梁施工、埋戻し、矢板撤去、柱用足場設置、柱施工、柱用足場撤去、桁・スラブ用支保工設置、桁施工、スラブ施工、桁・スラブ用支保工撤去）で検討を行った。また、施工は 1 期と 2 期とに分けて行われるためこれを 2 回繰り返す。

表-3.6 の右側には、この施工手順に対応した「土木工事数量算出要領（案）」[12] における施工能力を示した。

3.4.2　施工計画を考慮した三次元モデル（4D）

三次元モデルに施工計画を合わせた施工シミュレーションモデル（4D）を作成した（図-3.4）。施工シミュレーションモデルの作成に当たっては、Autodesk 社の NavisWorks2012 を用いた。三次元モ

デルに施工手順を属性として与え、NavisWorks 形式でデータを出力し、これを NavisWorks に読み込むと、施工手順ごとの表示が可能となる。図-3.4 の右側には、施工手順を行として、施工期間を列として開始時点のみを表示している。図-3.4 の右側には、施工手順に合わせた代表的な施工図を表示している。図のキャプションは施工手順の説明と同じである。

3.4.3　適用結果

二次元モデルと三次元モデルで施工日数（表-3.6）と工事費（表-3.7）を比較した。実際の施工計画が策定されていないため、型枠支保、足場の数量は、従来の二次元モデルにおける施工計画を参考に、三次元モデルから本数を算出し、設置手間（労務費及び施工日数）に関しては二次元モデルと「土木工事数量算出要領（案）」[12)] の数量を利用した。この結果、検討したモデルが簡単であったため、二次元でも三次元でも違いがあまりなく、施工日数・工事費とも違いはほとんどなかった。

もともと、二次元モデルでも正確に検討していれば三次元モデルと何ら変わることはなく、特に本検討で用いた鉄道高架橋のように比較的簡単な構造物では、二次元モデルでも三次元モデルでもそれほど大きな相違は生じていないためである。

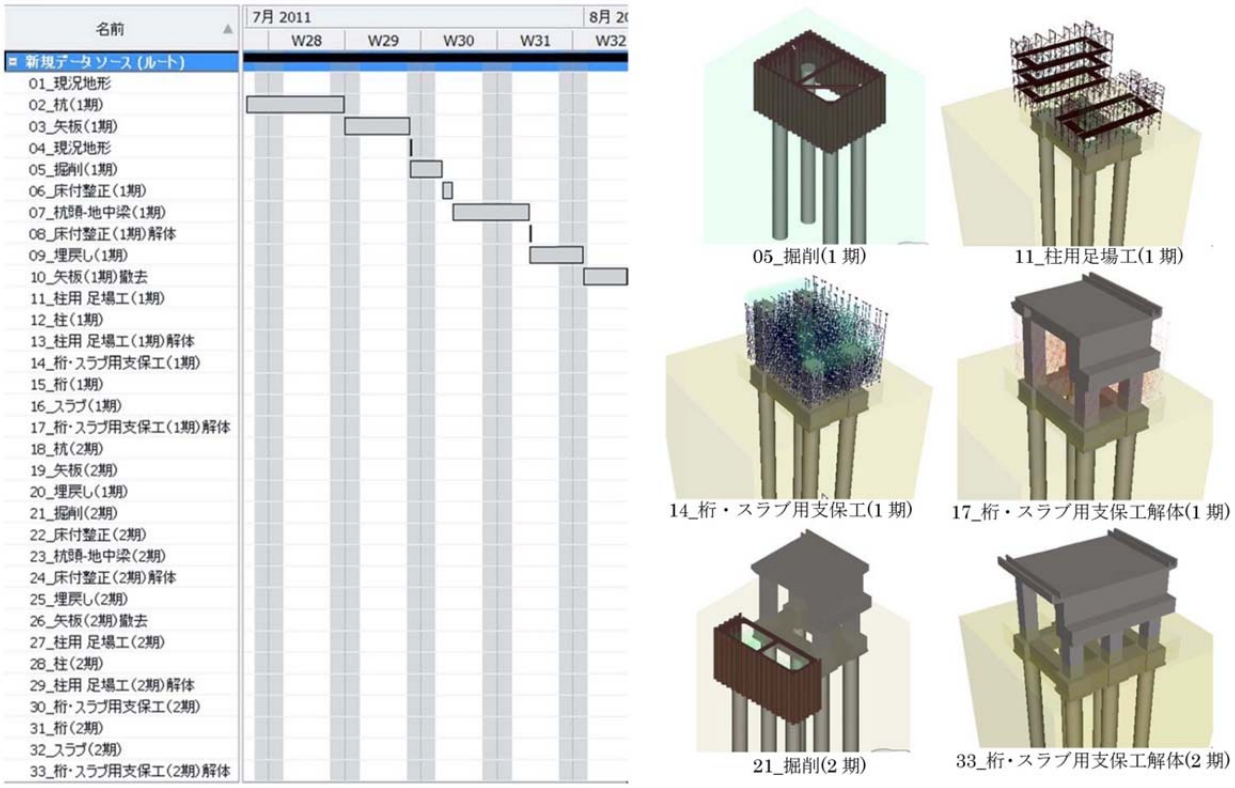


図-3.4 施工シミュレーション

表-3.6 施工手順・施工能力と施工日数

施工手順				一期施工				二期施工			
				二次元モデル		三次元モデル		二次元モデル		三次元モデル	
順	工種	能力	不稼動係数	施工数量	日数	施工数量	日数	施工数量	日数	施工数量	日数
1	杭	1.34日/本	1.5	4本	9	4本	9	2本	5	2本	5
2	矢板	28枚/日	1.5	110枚	6	110枚	6	54枚	3	54枚	3
	掘削土量	190m^3/日	1.5	277.1m^3	3	306.2m^3	3	178.3m^3	2	146.4m^3	2
	床付整正土量	180m^3/日	1.5	53.3m^3	1	58.9m^3	1	34.3m^3	1	28.2m^3	1
3	杭頭・地中梁(型枠)	38m^2/日	1.5	108.5m^2	5	108.5m^2	5	62.4m^2	3	62.4m^2	3
	杭頭・地中梁(コンクリート)	81m^3/日	1.5	88.1m^3	2	88.1m^3	2	51.3m^3	1	51.3m^3	1
4	埋め戻し土量	100m^3/日	1.5	227.0m^3	4	266.9m^3	5	153.2m^3	3	119.9m^3	2
	引き抜き	48枚/日	1.5	110枚	4	110枚	4	54枚	2	54枚	2
5	柱用足場工(設置)	61掛m^2/日(55%)	1.5	213.4掛m^2	3	213.4掛m^2	3	106.7掛m^2	2	106.7掛m^2	2
6	柱(型枠)	38m^2/日	1.5	138.1m^2	6	138.1m^2	6	69.0m^2	3	69.0m^2	3
	柱(コンクリート)	81m^3/日	1.5	52.2m^3	1	52.2m^3	1	26.1m^3	1	26.1m^3	1
7	柱用足場工(撤去)	61掛m^2/日(45%)	1.5	213.4掛m^2	3	213.4掛m^2	3	106.7掛m^2	2	106.7掛m^2	2
8	桁・スラブ用支保工(設置)	67空m^3/日(55%)	1.5	517.6空m^3	7	517.6空m^3	7	358.3空m^3	5	358.3空m^3	5
9	桁(型枠)	38m^2/日	1.5	178.1m^2	8	178.3m^2	8	97.8m^2	4	97.7m^2	4
	桁(コンクリート)	81m^3/日	1.5	117.2m^3	3	117.2m^3	3	65.5m^3	2	65.5m^3	2
10	スラブ(型枠)	38m^2/日	1.5	47.2m^2	2	47.2m^2	2	36.5m^2	2	36.5m^2	2
	スラブ(コンクリート)	81m^3/日	1.5	12.8m^3	1	12.7m^3	1	10.3m^3	1	10.2m^3	1
11	桁・スラブ用支保工(撤去)	67空m^3/日(45%)	1.5	517.6空m^3	6	517.6空m^3	6	358.3空m^3	4	358.3空m^3	4
			合計		74		75		46		45

表-3.7 工事費の比較

施工手順			1期施工				2期施工			
			二次元モデル		三次元モデル		二次元モデル		三次元モデル	
順	工種	単価	施工数量	直接工事費	施工数量	直接工事費	施工数量	直接工事費	施工数量	直接工事費
1	杭	853,100	4	3,412,400	4	3,412,400	2	1,706,200	2	1,706,200
	杭(コンクリート)	15,800	241.7	3,818,860	241.7	3,818,860	120.9	1,910,220	120.9	1,910,220
	杭(鉄筋)	90,000	27.4	2,466,000	27.4	2,466,000	13.7	1,233,000	13.7	1,233,000
2	矢板	8,639	110	950,290	110	950,290	54	466,506	54	466,506
	山留支保(設置)	20,340	10.1	205,434	10.1	205,434	6.4	130,176	6.4	130,176
	掘削土量	299.7	277.1	83,046	306.2	91,768	178.3	53,436	146.4	43,876
	床付整正面積	262.0	106.6	27,929	117.8	30,863	68.6	17,973	56.4	14,777
3	杭頭・地中梁(型枠)	5,356	108.5	581,126	108.5	581,126	62.4	334,214	62.4	334,214
	杭頭・地中梁(コンクリート)	16,890	88.1	1,488,009	88.1	1,488,009	51.3	866,457	51.3	866,457
4	埋め戻し土量	2,148	227	487,596	266.9	573,301	153.2	329,073	119.9	257,545
	山留支保(撤去)	12,150	10.1	122,715	10.1	122,715	6.4	77,760	6.4	77,760
	引き抜き	4,990	110	548,900	110	548,900	54	269,460	54	269,460
5	柱用足場工(設置)	1,825	213.4	389,455	213.4	389,455	106.7	194,727	106.7	194,728
6	柱(型枠)	5,356	138.1	739,663	138.1	739,663	69.0	369,564	69.0	369,564
	柱(コンクリート)	16,890	52.2	881,658	52.2	881,658	26.1	440,829	26.1	440,829
7	柱用足場工(撤去)	–	–	–	–	–	–	–	–	–
8	桁・スラブ用支保工(設置)	1,416	517.6	732,921	517.6	732,921	358.3	507,352	358.3	507,353
9	桁(型枠)	5,356	178.1	953,903	178.3	954,974	97.8	523,816	97.7	523,281
	桁(コンクリート)	16,890	117.2	1,979,508	117.2	1,979,508	65.5	1,106,295	65.5	1,106,295
10	スラブ(型枠)	5,356	47.2	252,803	47.2	252,803	36.5	195,494	36.5	195,494
	スラブ(コンクリート)	16,890	12.8	216,192	12.7	214,503	10.3	173,967	10.2	172,278
11	桁・スラブ用支保工(撤去)	–	–	–	–	–	–	–	–	–
仮設賃料	矢板賃料(整備費)	3,000	46.2	138,600	46.2	138,600	22.7	68,100	22.7	68,100
	矢板賃料(日当たり)	75	1155	86,625	1201.2	90,090	340.5	25,537	317.8	23,835
	山留支保賃料(整備費)	4,000	10.1	40,400	10.1	40,400	6.4	25,600	6.4	25,600
	山留支保賃料(日当たり)	105	252.5	26,512	262.6	27,573	96	10,080	89.6	9,408
	足場賃料	899	213.4	191,846	–	77,269	106.7	95,923	–	45,028
	支保賃料	697	517.6	360,767	–	497,375	358.3	249,735	–	265,129
1期施工　合計				21,183,158		21,306,458		11,381,494		11,257,113
1期、2期合計			a	32,564,652	b	32,563,571	a/b= 1.000			

3.5　まとめ

本研究では、鉄道高架橋を対象に、三次元モデルを作成して、二次元図面から作成した数量との比較を行い、使用したモデル作成ツールの機能不足により鉄筋に関しては、正確な検証ができなかったが、躯体コンクリート体積・型枠面積でほぼ同じ結果を得られ、三次元モデルでの積算が可能であることを検証できた。

型枠支保工、足場など仮設資材に関しては、実際の施工計画がまだ策定されていないため、従来の二次元モデルにおける施工計画を参考に、三次元モデルを用いて数量を算出した。

二次元モデルを用いた従来の積算手順では、型枠支保に関しては設ける空間（空 m^3）を算出するだけで、どのくらいの型枠支保が必要かは検討していないが、三次元モデルを用いて算出した数量とほぼ同じ結果が得られた。

本研究で作成した鉄道高架橋モデルは、梁・柱・スラブ・杭というモデルとして簡単な構成要素であり検証も比較的容易であった。実際の橋梁などでは、もっと多くの構成要素があり、検討するべき事項は多くなるが、これも事前にどのようにモデルを作成するかを検討しておけば、十分可能であると思われる。

本研究では、二次元モデルと三次元モデルとの比較を行っているため、その差が明確となるが、今後、三次元モデルだけを利用して積算や施工計画を行う場合、三次元モデルをどのように検証するかが大きな課題である。三次元モデルでは、モデルを回転したり拡大したりすることによりその形状を確認できるため、梁と柱の接合がうまくできていないなどという単純な間違いは生じない。しかし、コンクリート体積などは二次元モデルのように手計算で根拠となる計算式を示すのではなく、アプリケーション内部で計算されるため手計算で検証することが難しい。今後こうした数値を簡易な別ツールで検証する仕組みが必要である。

また、三次元モデルを普及させるためにはその形状や属性を誰もが簡易に確認できることが必要である。そのためには、従来の二次元図面と同じように三次元モデルを表現する必要があり、機械分野で利用されている 3D 単独図 [14] のような形式の導入を検討していくことが必要と思われる。

積算においても、現状では二次元モデルを用いて、完成形を念頭に置いた積算になっているが、三次元モデルを利用した積算体系への変更や施工計画を考慮した五次元での積算手法の検討も今後必要と思われる。

参考文献）

1) 国土交通省：設計コンサルタント業務等成果の向上に関する懇談会 中間とりまとめ、設計コンサルタント業務等成果の向上に関する懇談会、2007.

2） 常山修治：公共工事の品質確保について、国土交通省近畿地方整備局、2005.

3） 建設関連業検討会：建設関連業の課題と展望、2011.

4） 古賀秀幸、藤澤泰雄、吉野博之、佐藤昇、市場嘉輝：土木設計業務の電子納品に対する提言（その 1）－電子納品のあり方について－、土木学会第 65 回年次学術講演会概要集、CS-6-010、pp19-20、2010.

5） 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.

6） 五十嵐善一：三次元配筋モデルの施工現場への適用について－現状の効果と課題および今後の方向性－、土木学会第 65 回年次学術講演会、VI-525、pp.1049-1050、2010.

7） 社団法人建築業協会 IT 推進部会：BCS 工程計画データ交換ガイドライン第 1 版、社団法人 建築業協会、2009.

8） 矢吹信喜、志谷倫章：PC 橋梁の三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、pp.171-187、2005.

9） 矢吹信喜、古川将也、加藤佳孝：プロダクトモデルによる PC 中空床版橋の設計照査と概略積算の統合化、土木情報システム論文集、Vol.10、pp.213-220、2001.

10） 矢吹信喜:プロダクト･プロセスモデルによる 4D-CAD の出来高部分払い方式への応用、建設マネジメント研究論文集、Vol.10、pp.93-102、2003.

11） Vladimir Popov, Virgaudas Juocevicius, Darius Migilinskas, Leonas Ustinovichius, Saulius Mikalauskas：The use of a virtual building design and construction model for developing an effective project concept in 5D environment　Original Research Article、Automation in Construction, Vol.43, pp.2431-2528, 2000.

12） 木本建二：BIM の積算への影響の最新事情、建築コスト研究、2010.

13） 国土交通省：平成 23 年度版土木工事数量算出要領（案）、2010.

14） JAMA レポート：3D 図面活用のクルマづくり、日本自動車工業会、No103.

第4章　鉄道高架橋を対象とした三次元モデルと解析ソフトウェアとの連携に関する検討

4.1　三次元モデルを用いた設計時構造解析への適用検証

土木構造物の発注の多くは、国土交通省や都道府県などの公共団体等が行っている。これらの発注者の多くは、BIM、三次元プロダクトモデルやこれらの統合に関する知識をあまり持っていないこともあり、三次元の利用をためらうことが多い。また、設計者も従来の二次元設計における作業に慣れており、設計ツールなども整備されているため二次元モデルに基づいた設計のまま変更しようと考えていないし、その余裕もないのが現状であろう。今後、生産性を向上し設計段階・施工段階での単純なミスを防止するためには、受発注者双方が BIM の必要性を理解していくことが重要であると考えられている。そして、こうした現状を変えていくためには、従来の設計手法を、三次元モデルを中心とした設計手法に変更するための方策と、その長所、短所を明確にした新しい設計を提案してくことが求められている。土木にも BIM の概念を取り入れるため Construction Information Modeling (CIM) として三次元モデルの活用を始めるための CIM 試行業務が開始され、これにより発注者、受注者など関係者の BIM (CIM)に関する理解が進むことが期待されている。

CIM が開始されたとは言え、国内の土木分野では、実際にはまだほとんど三次元モデルを利用していないため、どのように利用できるのかが理解されておらず検証もされていない。既往の研究でも、矢吹らの橋梁のプロダクトモデルである IFC-BRIDGE[1)] やシールドトンネルの IFC-Shield Tunnel[2)]の開発など三次元プロダクトモデルの開発・適用に関する事例は多いが、プロダクトモデルと土木構造物の解析に関して研究されている事例は見当たらない。建築分野では、三次元 CAD で建物モデルを作り、IFC で出力したファイルを、熱環境解析ソフトウェア（例えば、環境シミュレーション社の WindPerfect DX）に入力すると、建物などのデータがそのまま解析に使われている事例がある。CIM を推進するためには、プロダクトモデルとしてどのように三次元モデルを作成しどのような形で利用し、その結果を次のフェーズに連携していくかが重要なテーマである。土木構造物の設計の現場では、三次元設計を普及するには設計業務の中心となっている構造解析において三次元モデルをどのように用いていくかが次の課題として考えられている。

本研究では、設計における構造解析を対象に、三次元モデルと解析ソフトウェアとの連携方法について検討することとした。鉄道の高架橋の構造解析ソフトウェアでは、二次元モデルと三次元モデル

のそれぞれを対象とした解析プログラム JRSNAP（鉄道総合技術研究所）と DARS(株式会社 構造計画研究所)が存在するため、RC 鉄道高架橋を対象として検討を行った。JRSNAP と DARS は、鉄道構造物を対象とした材料と地盤抵抗の非線形性を考慮した平面骨組静的非線形解析ソフトウェアであり、解析対象は主として直接基礎形式または杭基礎形式を持つラーメン高架橋、橋台および橋脚である。

二次元モデルで設計する場合は、図-4.1 に示すように電車進行（線路）方向とこれに直交する（線路直角）方向のいくつかの断面で解析モデルを設定するが、二次元モデルであるため、これらは相互には直接連携していない。このため、どちらか一方向だけを修正して、他方を修正し忘れるなどのミスが発生しやすい。特に複雑な構造物では、作成する図面数は 100 枚以上に及ぶ場合もあり、修正ミスが発生することが多い。解析に三次元モデルを用いた場合、流れ自体は同じであるが、三次元モデルを修正すると線路方向と線路直角方向双方に関連する部材は自動的に変更されるため、この三次元モデルから二次元解析モデルを作成すれば修正による断面相互の修正ミスはほとんど発生しないはずである。また、三次元モデルでは不整形なラーメン高架橋なども検討が可能であり、従来の二次元モデルでは評価できなかった地震時のねじれなどの複雑な挙動も評価できるなど、今後複雑化する構造物の解析には三次元解析は必須であり、実際、道路橋などでは耐震解析は三次元解析が標準となっている。

こうした状況においても鉄道高架橋の設計の現場では三次元モデルの利用があまり進んでいない。この主な理由は、（1）三次元モデルを扱えるソフトウェアが少なく、高価であったこと、（2）二次元設計のためのツールが充実しており、 設計者はこれを用いることに慣れている、（3）受発注者双方が二次元設計の結果の評価に慣れているが、三次元解析の結果をどのように評価してよいか十分に理解できていないため などである。

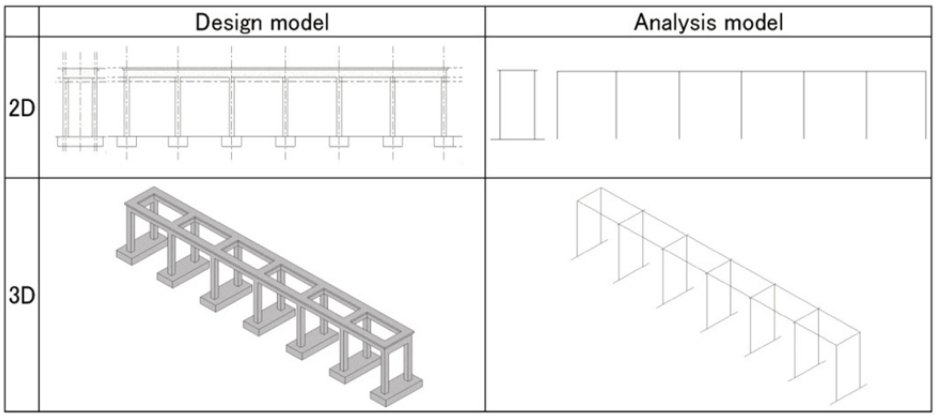


図-4.1　設計モデルと解析モデル

確かに、現状で三次元設計を行うためには、（1）三次元モデルを作成、（2）三次元モデルから三次元解析モデルへの変換、（3）三次元解析結果の評価、（4）三次元解析結果から二次元図面の作図といった手順を行い、これらのモデルの作成手法・評価などを再度習得しなければならず手間がかかる。また、現状で利用されている三次元解析ソフトウェアは、その解析ソフトウェアのためのモデル作成ツールが付属しているが、操作方法などは固有で、データフォーマットも独自形式であり、三種類の三次元解析を行うためには三種類のソフトウェアのモデル作成ツールの使用方法を学習しなければならない。こうした課題も普及を阻害している原因と考えられる。

こうした中で、BIM の進展により汎用的な三次元モデルを作成できるツールが登場しており、buildingSMART が提唱する IFC が ISO として国際標準となる予定であり三次元モデルの標準化も進んでいる。矢吹ら[3)] は、PC 橋梁の三次元プロダクトモデルを開発しており、今後もこうした土木構造物のプロダクトモデルの開発と普及も促進されると思われる。一方で、既往の三次元構造解析プログラムは独自のモデル作成ツールを持っており、これらの解析ソフトウェアも IFC に対応するのが望ましいと思われるが、上記のように土木構造物のプロダクトモデルは開発途中であり対応には時間がかかる。こうした中で、IAI 日本構造分科会では、 構造モデルの普及活動と実証実験結果の展開およびアグリメント作成とソフトウェアへの IFC 実装環境整備のために、 国内構造関連アプリケーションの連携用標準フォーマット「ST-BRIDGE」を開発している[4)] 。ST-BRIDGE は、XML 形式を採用しており、IFC よりも形式が簡易なため扱いやすい。ST-BRIDGE は、既に福井コンピュータ社製の建築用三次元 CAD ソフトウェア GLOOBE に実装されているなど一部の製品間では連携も始まっており、汎用的な三次元モデル作成ツールで作成した三次元モデルと解析ソフトウェアが連携すれば、設計者の利便性は向上するものと思われる（図-4.2）。

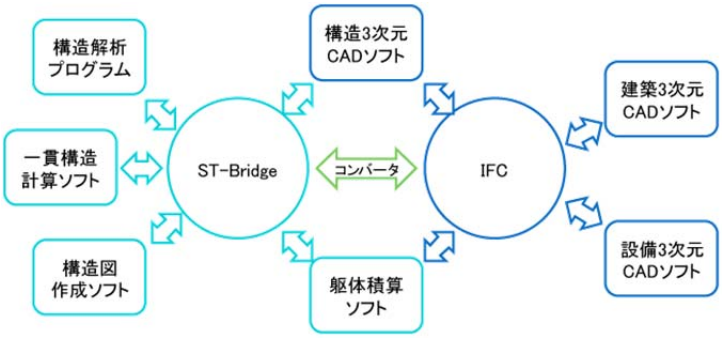


図-4.2　ST-BRIDGEでの連携の考え方[6)]

4.2　三次元モデルと解析ソフトウェアの連携方法

4.2.1　対象とした解析ソフトウェアの特徴

鉄道分野の設計では、設計者は、認証された解析ソフトウェアの利用が義務付けられている。本研究では三次元モデルデータから出力する解析ソフトウェアとして二次元ソフトウェアは鉄道総合技術研究所社製の JRSNAP を、三次元ソフトウェアは構造計画研究所社製の DARS を対象とした。JRSNAP と DARS は鉄道構造物等の設計に用いられている鉄道構造物等設計標準・同解説（コンクリート構造物 平成 16 年改訂）、鉄道構造物等設計標準・同解説（耐震設計 平成 11 年制定）に準拠したプログラムである。DARS は JRSNAP の三次元版として開発されているため、解析に必要とする情報は非常によく似ているが、DARS では三次元モデルを用いることによりスラブへの直接的な荷重配置により複雑な荷重計算、荷重分担計算の省略や、1 モデル 2 方向に解析・照査することにより解析ケース数、作業量を大幅に軽減できるなどの特徴がある。

JRSNAP は、地震時の動的解析が行えるなど一般的解析ソフトウェアより機能が多いが、こうした機能に対応するため入力パラメータが他のソフトウェアよりも複雑となっている。

4.2.2　三次元モデル作成ツールと変換ソフトウェア開発環境

三次元モデルの作成には、Autodesk 社製の RST（Revit Structure 2012）を用いた。RST では、Family と呼ばれる部品を事前に作成しておき、この部品を組み合わせることにより簡易にモデルを作成することが可能である。RST で作成した三次元モデルから JRSNAP および DARS への変換ソフトウェアは、RST の Software Development Kit （SDK）と Microsoft 社製の Visual Studio 2010 を用いて RST 上で稼働するアドインソフトウェアとして作成した。

4.2.3　解析ソフトウェアのデータ構造と解析モデル作成上の特徴

本検討で対象とする解析は、構造解析であり、解析に必要な事項は、解析フレーム（軸線）とフレームを構成する部材の断面形状、部材特性（材料強度、配筋など）、荷重、境界条件（支点条件、地盤条件）、解析制御データである。JRSNAP ではこれらの解析データを表-4.1 に示すようなブロックと呼ばれる単位で分類しておりデータの先頭はヘッディングカードをセットする。本研究では解析に必要となる表-4.1 に示すハッチングで示した必須項目と適用断面データを変換対象とした。

表-4.1　JRSNAP の解析データ

ブロックデータ番号	ヘディングカード	データの内容	入力
BLOCK1	START	タイトルデータ	必須
BLOCK2	DIMENSION	構造基本データ	必須
BLOCK3	DA	非線形解析制御データ	必須
BLOCK4	JOINT	節点座標データ	必須
BLOCK5	MEMBER	要素データ	必須
BLOCK6	SUPPORT	支点データ	必須
BLOCK7	MF	材料非線形特性データ（固定値入力）	オプション
BLOCK8	DL	材料非線形特性自動設定用データ	オプション
BLOCK8	AP	適用断面データ	オプション
BLOCK9	LOAD	荷重データ	オプション
BLOCK10	PP	有効抵抗土圧データ	オプション
BLOCK11	ED	地盤変位データ	オプション
BLOCK12	DI	強制変位データ	オプション
BLOCK13	KG	杭基礎設定用データ	オプション
BLOCK14	OT	地盤変位量連携用データ	オプション
BLOCK15	（なし）	解析の実行開始	必須

モデル作成上の特徴は、以下の通りである。

・部材ごとに断面形状の他、鉄筋の配置位置を入力する必要がある（図-4.3）。

・JRSNAP では、梁、柱部材では図に示すような位置で剛域と非線形性を考慮するための 10mm 幅のばね部材を設定する必要があり、節点を追加しこの部材を作成する必要がある（図-4.4）。

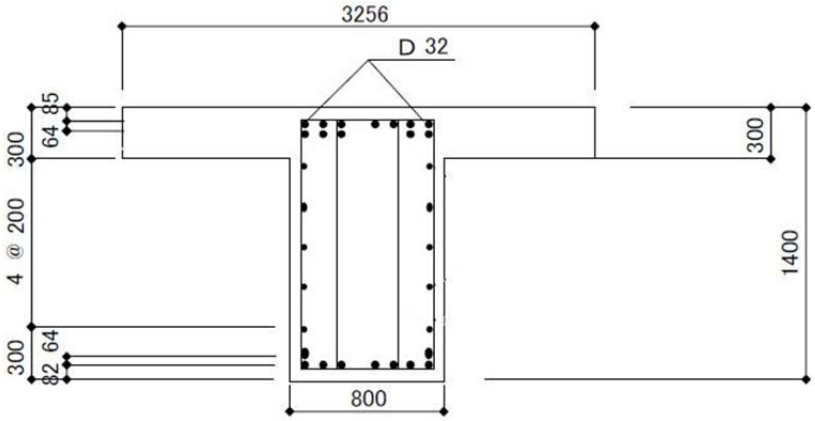


図-4.3　鉄筋の配置

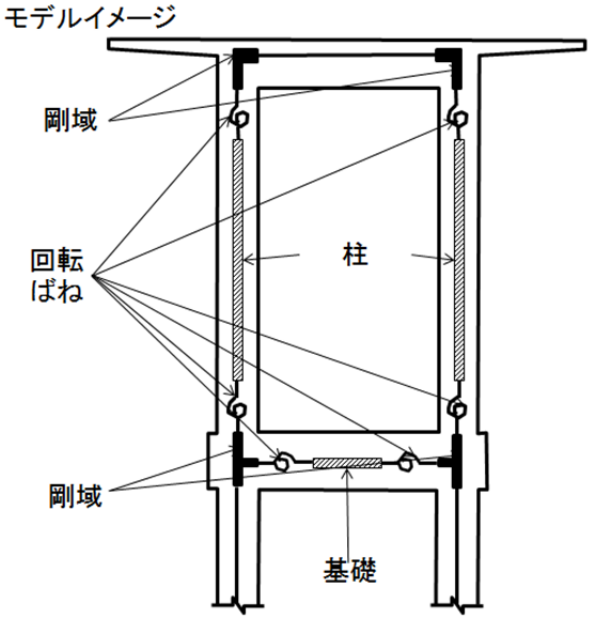


図-4.4　剛域と回転ばねの設定

4.2.4　三次元モデルのデータ構造

RST で作成されるモデルは、一つ一つが Family と呼ばれる部品で作成されており、この部品に属性情報が格納されている。この部品を組み合わせて全体のモデルを作成する。RST SDK でこうした属性情報にアクセスするための API が提供されている。 RST API を用いると、Family からは、表-4.2 に示すような情報を取得できる。変換プログラムでは、これらの情報を RSMember と Node という 2 つのクラスに格納して利用するものとした。RSMembaer は、表-4.2 の Category、Parameters と AnalyticalModel を部材ごとにまとめたもので、Node クラスは Location を中心に節点座標データを格納している。こうすることにより部材ごとに各種の情報にアクセスすることが可能となる。また部材の断面情報や各種の属性は三次元モデルでは Parameters から取得できるため、取得した属性を形状、配筋などの分類ごとに RSMember のサブクラスとした。

表-4.2　RST モデルのデータ構造

分類名	内容	値がセットされる時期
Category	要素型を識別するクラス	Family 作成時
Location	配置情報クラス	モデル作成時
Materials	材料特性クラス	Family 作成時
Parameters	属性クラス	Family/モデル作成時
AnalyticalModel	構造解析クラス	モデル作成時

4.2.5　解析のためのモデル化の検討

解析ソフトウェアのデータモデルと三次元モデルの構造から、作成すべき三次元モデルをどのように作成すべきかを検討した。

節点、要素データは、AnalyticalModel から情報を取得できるため、構造解析のための部品を用いて Family を作成する必要がある。 この節点、要素データから図-4.4 に示した剛域、ばね部材を追加するための新しい節点位置は内部で計算可能である。また、上部の T 型梁は左右で形状が違うため、別々の Family とした。

当初、配筋データもモデル化できるため、モデルデータとして作成して検討を始めたが、配筋モデルを作成すると非常にデータ量が多く負荷が高いため、属性情報として Family に追加することとした。

境界条件には、支点情報の他、地盤の物性を設定する必要があるため、これも属性データとして追加することとした。このように検討した結果、図-4.5 に示すモデルを作製した。

4.2.6　変換ソフトウェアの機能検討と作成

対象とするモデルの構成を元に変換するソフトウェアの機能の検討を行った。変換対象は、表-4.1 に太枠で示す必須項目とモデルデータから取得できる形状データとした。

変換ソフトウェアの機能として考慮した点とその内容は以下の通りである。

(1)　単純ミスを起こさないように可能な処理は内部で行うこと

JRSNAP では、線路方向、線路直角方向の各々の解析を行う際の梁の解析線分の高さは、断面の図芯位置と定められている。この際、鉄筋は無視しているが、断面形状を変更すると JRSNAP のモデル形状も変更する必要がある。このため、部品の形状から梁の図芯高さや断面 2 次モーメントも内部で計算できるようにしておくことにより自動化とミスの軽減を図った。

(2)　RST のアドインであるが、設定などはわかりやすく入力できること

属性情報は RST の機能として図-4.6 のように設定できるが、設定しやすくするために図-4.7 のようなダイアログを作成している。

DARS では、解析データを作成するために、スクリプト機能というテキスト形式での操作手順ファイルを作成しておくと、このファイルを読み込むことにより解析モデルを作成することが可能であり

変換ソフトウェアは、このスクリプトファイルを作成するものとした。変換内容は、JRSNAP と同様に形状および部材断面に関する部分とした。DARS は二次元解析ソフトウェアである JRSNAP を三次元化したものであるため、必要とするパラメータはほぼ同じである。軸方向鉄筋の配置に関しては JRSNAP では、配筋位置は配置高さだけを入力すれば良かったが、DARS で水平位置も必要であるため内部で配置を計算した。このように、変換ソフトウェアの作成は二次元用に設定した各種の属性を用いることにより比較的簡単に作成が可能であったため、作成時間は一週間ほどであった。また、事前に JRSNAP で各種の機能を理解していたことにもよるが、形状データはその形式をほとんど変更する必要がないため、三次元解析モデルに変換する方が明らかに簡易であった。図-4.8 に変換データを DARS で入力して検証した結果を示す。

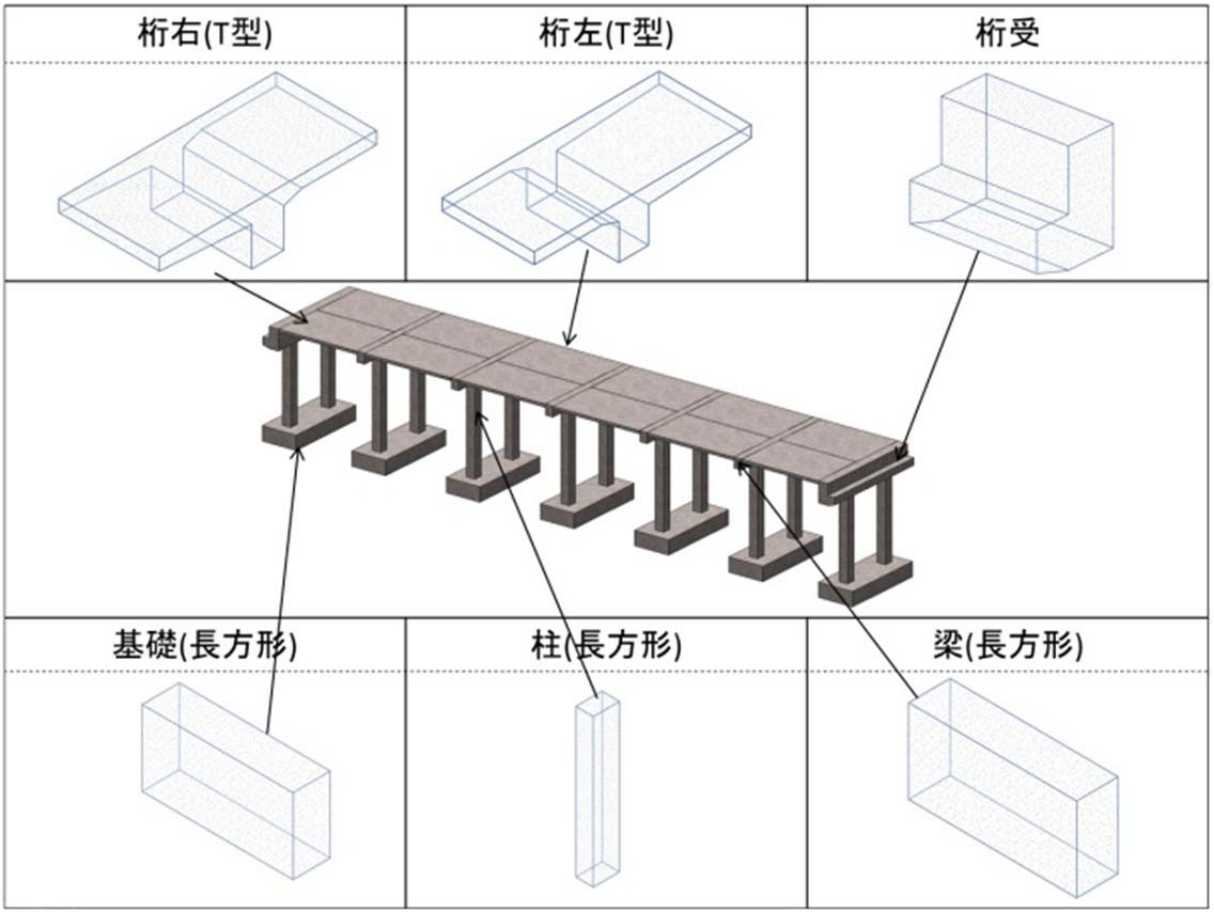


図-4.5　高架橋の三次元モデル

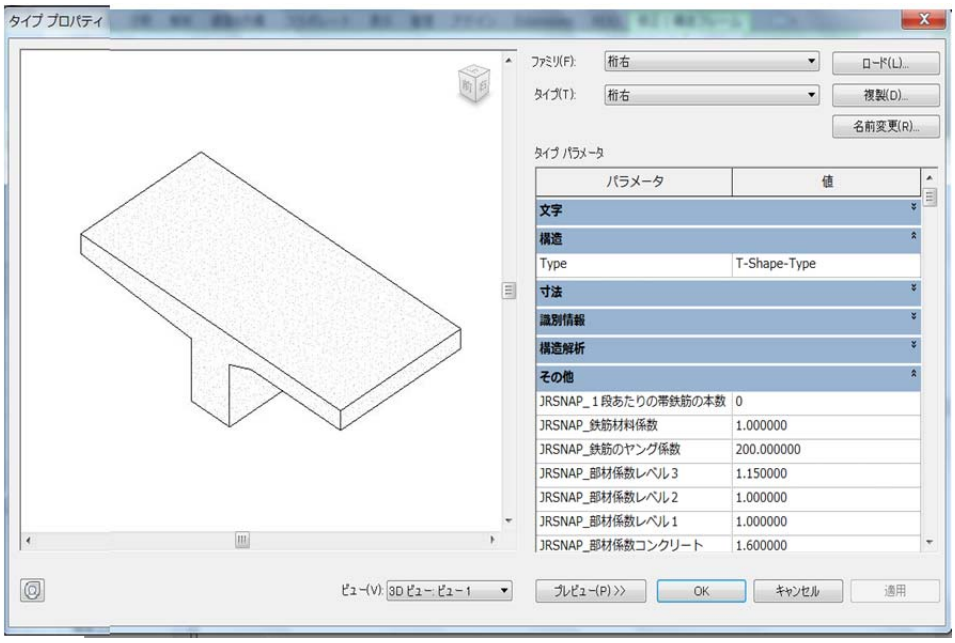
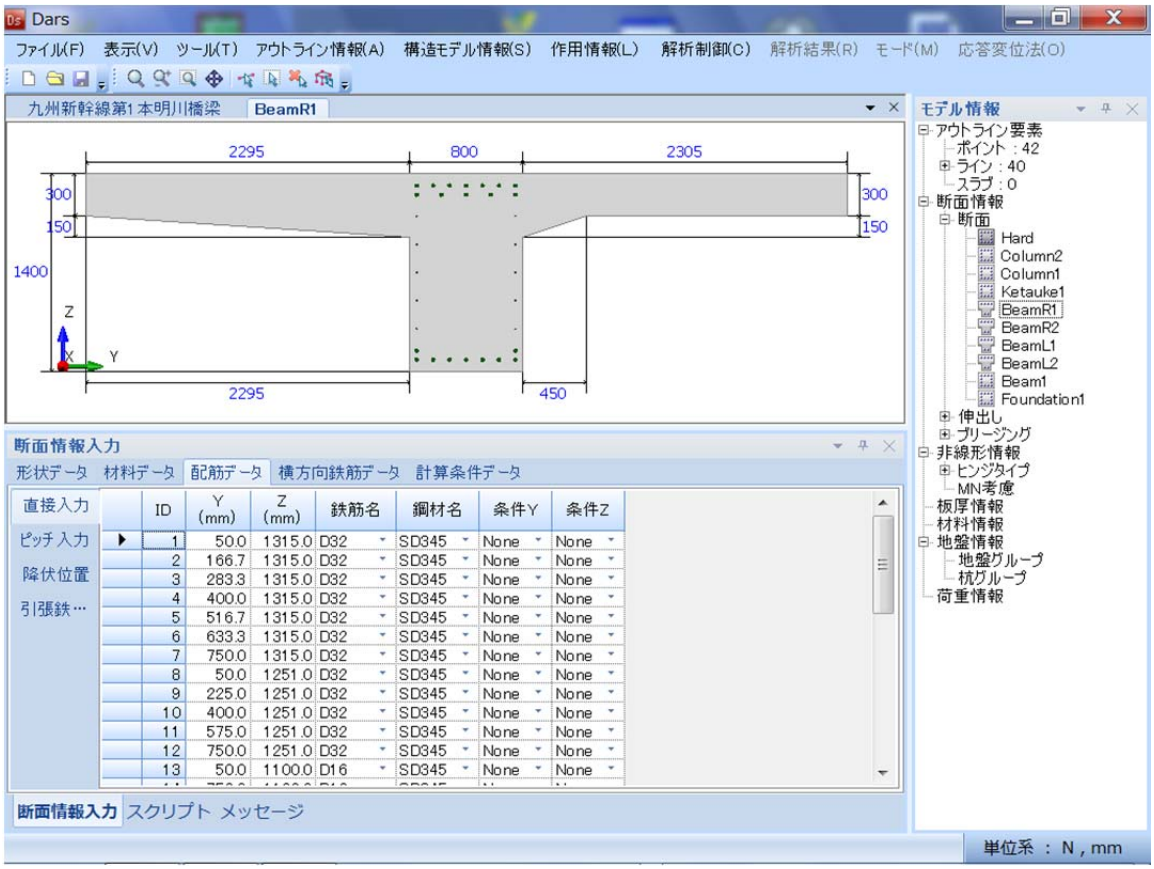
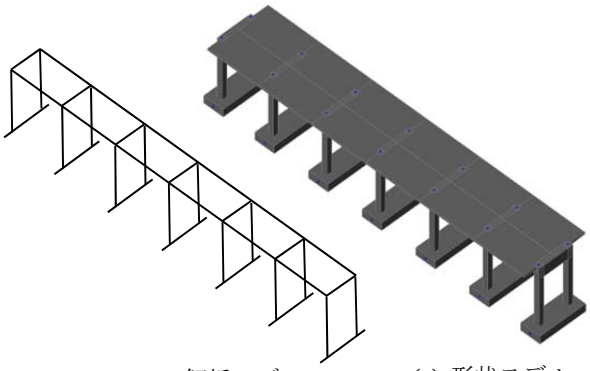


図-4.6　RSTのFamilyとプロパティの設定（T型梁）

図-4.7　配筋位置のダイアログ



(a) 梁断面(T 型)



(b) 解析モデル

(c) 形状モデル

```
*InsertPoint  Point37 23009.22729,-6005.513612,-1400
*InsertPoint  Point38 32534.22729,2494.486388,-1400
*InsertPoint  Point39 32534.22729,-6005.513612,-1400
*InsertPoint  Point40 -26515.77271,2494.486388,-1400
*InsertPoint  Point41 -26515.77271,-6005.513612,-1400
// ラインの作成
// 柱
*InsertLines  3  C1  Point0  Point1
*InsertLines  3  C2  Point2  Point3
*InsertLines  3  C3  Point4  Point5
*InsertLines  3  C4  Point6  Point7
```

(d) DARS 用スクリプトの例

図-4.8 DARS による表示

4.2.7 変換ソフトウェアの評価

現状ではまだ実際に三次元モデルを用いて本工事の設計を開始していないため、この変換ソフトウェアでどの程度作業が効率化するかは評価できていない。

現状での二次元モデルを用いて鉄道高架橋を設計するための一般的な手順を図-4.9 に示す。図-4.9 に示す作業項目の括弧内は一般的な作業日数を示している。荷重計算、地盤定数設定作業は、三次元モデルを利用しても作業に変更はないため、三次元モデルを利用することにより効率化されるのは、図-4.9 の太枠で示している作業が主体となる。したがって、三次元モデルを利用して解析データを出

力する場合は、解析までの 16 日間のうち三次元モデルを作成する太枠の 5 日間の作業が効率化すると思われる。その他にモデルを変更した場合の修正忘れ等の単純ミスの防止や、荷重の作成も線路方向、線路直角方法の両方を一度にモデルの中で作成可能であるため効率化できると考えている。

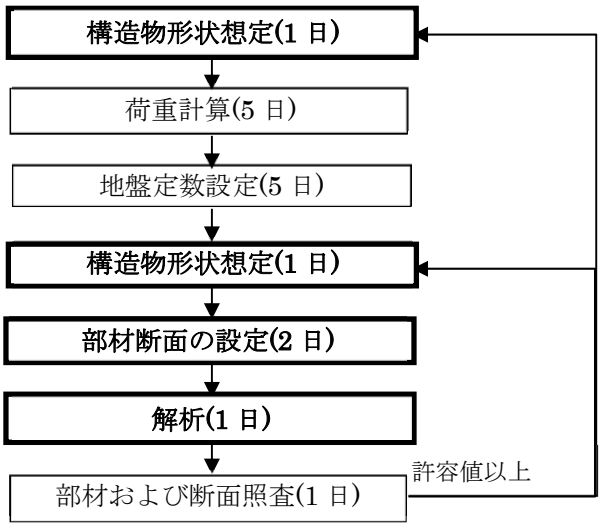


図-4.9　設計における解析の流れと日数

4.3　ST-BRIDGE への対応

前述のように解析のための標準フォーマットとして ST-BRIDGE が開発されており最新版は Ver1.0 である。実際に実装されたソフトウェアが発表され実用化が開始されたため前述の三次元モデルを ST-BRIDGE のフォーマット形式に出力して GLOOBE で読み取りが可能かを検証した。

4.3.1　ST-BRIDGE の形式

ST-BRIDGE のフォーマットは XML 形式で標準的なタグを表-4.3 に示す。建築分野を中心にしているため軸、階という土木分野では使用しない呼び方が使われているが、軸は橋脚位置、階はレベルとして考えればよい。

4.3.2　ST-BRIDGE フォーマットへの変換

ST-BRIDGE フォーマットへの変換は、基本的には DARS の出力とほぼ同じように節点データは、Node クラスから、部材データと断面データは RSMember クラスから出力している。軸は X、Y 軸として固定情報で、階は Node クラスから Z 値の最大値と最小値の情報を出力した。

ここで問題となったのは、T 型断面の取扱いであった。土木分野では梁、柱として荷重を負担する

と考える場合が多いが、建築分野では柱間が広いため梁・スラブ構造として考えることが多い。ST-BRIDGE は梁・スラブとしての取扱いが主体で、本研究で対象とした鉄道高架橋の T 型断面を直接扱うことができなかったため、便宜的に T 型断面、桁受けは矩形構造として出力した（図-4.10）。図-4.11 に ST-BRIDEG で変換結果の一部を、図-4.12 に GLOOBE で表示した結果を示す。

このように土木分野と建築分野でほぼ同じものを対象とする場合に、基本的な考え方が違う場合があるなどは今後の検討課題である。

表-4.3　ST-BRIDGE のタグ

タグ	内容
<StbCommon>	建物の共通情報を表す
<StbModel>	節点・部材の情報（位置・断面）を表す
<StbNodes>	節点
<StbAxes>	軸
<StbStories>	階
<StbMembers>	部材
<StbSections>	断面
<StbFromIfc>	Ifcデータを表す（敷地・複雑な形状用）

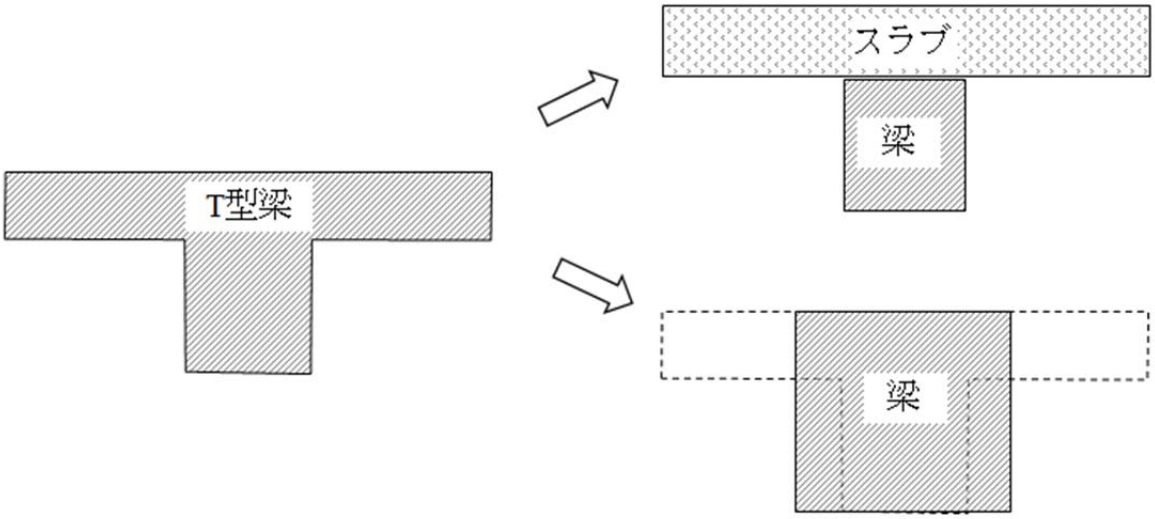


図-4.10　T 型梁への対応

```
<?xml version="1.0" encoding="shift_jis" standalone="yes" ?>
- <ST_BRIDGE version="1.00.000">
  <StbCommon globalID="ERB*352-10001S" project_name="" app_name="Revit2012"
  - <StbModel>
    - <StbNodes>
        <StbNode id="0" x="-16990.773" y="-4455.514" z="-1400" />
        <StbNode id="1" x="-16990.773" y="-4455.514" z="10000" />
        <StbNode id="2" x="-16990.773" y="944.486" z="-1400" />
        <StbNode id="3" x="-16990.773" y="944.486" z="10000" />
        <StbNode id="4" x="-6990.773" y="-4455.514" z="-1400" />
        <StbNode id="5" x="-6990.773" y="-4455.514" z="10000" />
  + <StbAxes>
  + <StbStories>
  - <StbMembers>
    - <StbColumns>
        <StbColumn id="1" name="Column21" idNode_bottom="0" idNode_top="1" rotat
        <StbColumn id="2" name="Column22" idNode_bottom="2" idNode_top="3" rotat
        <StbColumn id="3" name="Column23" idNode_bottom="4" idNode_top="5" rotat
        <StbColumn id="4" name="Column24" idNode_bottom="6" idNode_top="7" rotat
        <StbColumn id="5" name="Column25" idNode_bottom="8" idNode_top="9" rotat
        <StbColumn id="6" name="Column26" idNode_bottom="10" idNode_top="11" ro
        <StbColumn id="7" name="Column27" idNode_bottom="12" idNode_top="13" ro
        <StbColumn id="8" name="Column28" idNode_bottom="14" idNode_top="15" ro
        <StbColumn id="9" name="Column29" idNode_bottom="16" idNode_top="17" ro
        <StbColumn id="10" name="Column210" idNode_bottom="18" idNode_top="19"
```


図-4.11　ST-BRIDGE に変換した結果の一部

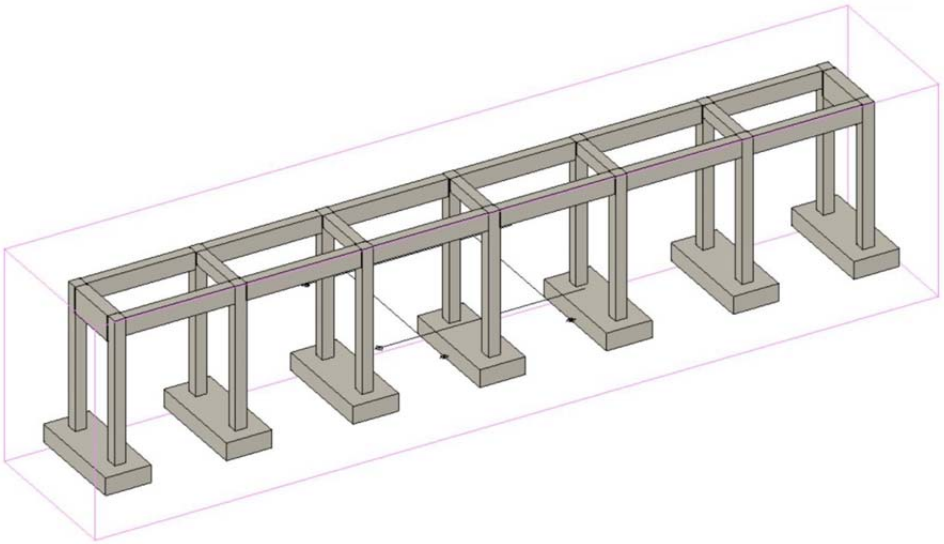


図-4.12　GLOOBE で表示した結果

4.4　まとめ

本研究では、三次元モデルを用いて解析ソフトウェアと連携するためのモデルの作成方法、パラメータの設定について検討し、解析データを作成する変換ソフトウェアを作成した。

その結果として以下のことが分かった。

・構造フレーム形状の取得、変換は、三次元モデルの節点、要素データを取得することで対応

可能なため比較的簡単に行える

・T 型断面・桁受け・ハンチ部のような複雑な形状の断面取得は、モデル側と解析側でその形状（T 型など）を特定できる機能がないと難しい

・配筋のモデル化も可能であるが、鉄筋径、位置などを属性として与えることで簡易に連携できる

・特定の解析のためには、非常に多くの属性を追加する必要がある

・変換ソフトウェアの作成には、三次元モデルと解析ソフトウェア双方の知識が必要で、作成には非常に手間がかかる

今後の三次元設計を推進していくためには、三次元モデルを用いて三次元で解析を行っていくことが効率的である。しかし三次元モデルを利用するためには、新しくソフトウェア・ハードウェアの準備をし、ソフトウェアの使用方法を理解するなど様々な準備を行っていかなければならない。また、一般的に三次元モデルで解析した結果を二次元モデルで解析した結果と比べると、構造物の応力レベルでは三次元モデルで解析結果の方が二次元モデルの応力よりも小さくなる傾向にある。このため、三次元解析に慣れていない技術者はその結果をどのように判断してよいかがわからない。これから三次元設計を進めていく過渡期においては、二次元の結果と三次元の結果を比較してその相違をどのように評価していけばよいかを検証していく必要があり、そのためにも三次元モデルと二次元解析との連携を当面は続ける必要があると考える。

参考文献）

1) Yabuki, N., Lebegue, E., Gual, J., Shitani, T. and Li, Z.：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, 1927-1936, 2006.6.

2) Yabuki,N.：Representation of caves in a shield tunnel product model, Proc. of the 7th European Conference on Product and Process Modelling, Sophia Antipolis, France, CRC Press, 545-550, 2008.9.

3) 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，pp.171-187，2005.

4) IAI 日本支部構造分科会ホームページ, http://www.building-smart.jp/meeting/structure.php.

第5章　三次元設計モデルの積算への利用方法の検討

5.1　積算の考え方

5.1.1　積算の目的

我が国における公共工事の設計業務は、戦前は、政府機関(内務省、農林省等)の職員によって企画、調査、計画、設計から施工まで一貫して直轄・直営で行なわれていた。戦後も引きつづき政府の土木関係機関の職員が、調査、計画、設計及び工事監理を行っていた。その後、昭和 30 年代に入って社会資本整備の急速な拡大とともに、名神高速道路、東海道新幹線などの大規模事業が着手され、調査、計画、設計及び工事監理において建設コンサルタント業務として、外部の民間技術力活用の気運が急速に高まり、昭和 34 年 1 月建設コンサルタントの契約方式、標準契約書、価格の積算方法などを規定した「土木事業にかかわる設計業務等を委託する場合の契約方式等について」が、建設省事務次官通達として出された。この通達の最大のポイントは「設計・施工分離の原則」の明確化であり、この原則はその後の建設コンサルタント業務の確立と発展の基礎となっている[1)]。設計と施工を分離したことにより、発注者側は、工事費用を算出するにあたり、建設コンサルタントに設計を依頼し、工事費を算出するための設計を依頼するようになっている（図-5.1）。

表-5.1 は、土木設計業務等共通仕様書における詳細設計の役割を記述したものであり、ここからも明確に工事費を算出することが目的であることがわかる。

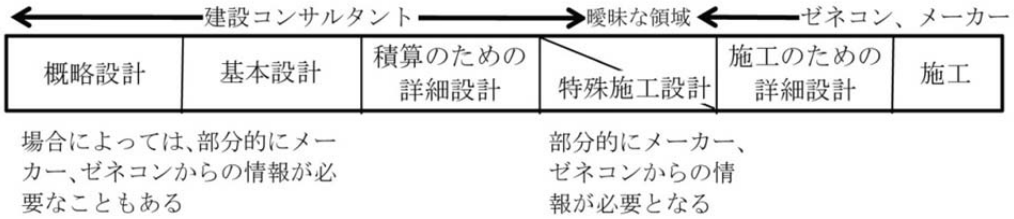


図-5.1　設計の役割[2)]

表-5.1　土木設計業務等共通仕様書における詳細設計に関する記述[1)]

設計工種別		詳細設計についての記述
共通仕様書総則	詳細設計	詳細設計とは、実測平面図(空中写真図を含む)、縦横断面図、予備設計等の成果品、地質資料、現場踏査結果及び設計条件等に基づき**工事発注に必要な平面図、縦横断面図、構造物等の詳細設計図、設計計算書、工種別数量計算書、施工計画書等を作成するもの**をいう。

5.1.2　設計時における積算の役割

土木構造物の設計の役割は、経済面、施工面、構造面、環境面、景観面などを合理的に判断して設計することにある。このため、総合的な能力を発揮し計画段階から施工段階まで一貫した設計思想を保持して詳細設計は行われるべきである。ただし、この段階での詳細設計は、本体の諸元が明確となり、施工可能な水準であることを要求されているだけで、構造詳細図や施工詳細図などは必要とされていない。これは、二次元設計による図面を主体とした設計スタイルでは、設計工期の短縮、チェックの充実による信頼性の向上などトータルな意味で早期工事発注や早期運営など建設事業全体の合理化につながると考えられているためである。

国土交通省では、工事費用の算出について、契約の透明性の向上、工事目的物の明確化、積算・見積業務の合理化、建設事業の国際化対応など積算業務の改善のために、新土木工事積算体系を定めており、その概念は図-5.2 のように示されている[2)]。また、国土交通省では新しく市場価格に基づく積算方式（施工パッケージ型積算方式）の試行を発表しているが、現状ではまだこの新土木工事積算体系に従って積算されていることが多い。

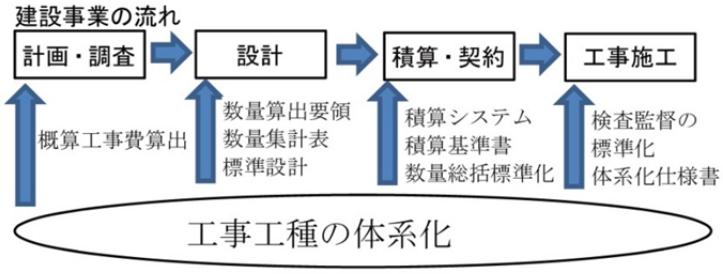


図-5.2　新土木工事積算体系の概念[3)]

図-5.2 における工事数量の算出については、国土交通省　国土技術政策総合研究所にて公表されている「土木工事数量算出要領（案）」[4)]（以下、数量算出要領とする）により、工種ごとに決められた数量算出表が示されており、この算出表に示された項目について数量が算出されているが、この算出要領は数量の算出を規定しており具体的な施工方法に関連するものについては規定されていない。このため、図-5.1 に示すように特殊な場合を除いて設計側で施工計画まで検討する例は少ない。

発注時の積算に対応するためには、設計業務の積算の段階で施工計画を組み込み、施工管理経験の豊富な技術者を適正に業務に編入できれば、建設コンサルタントは所定の目的を達成し得る施工計画を提示し工事金額の算出が可能である。しかし、設計・施工分離の原則の下では、積算時には施工業者は未定であり、どの業者が受注しても施工できるような一般的な工法での施工費を積算しており、

コスト縮減、効率化などを目指したものとはなっていない。このため、精緻な三次元プロダクトモデルを作成しても、施工方法によりその工費は大きく変動する可能が大きく、正確な工事費を算出するためには、設計者が施工方法を決定するか、受注した施工業者が施工計画を決定するかのどちらかとなる。現状では、施工者が受注してから施工計画を調整しているため、施工方法の変更に伴う工事費の増大を招く場合が多い。

国土交通省では、CIM の定義として、「調査・設計段階から三次元プロダクトモデルを導入し、施工、維持管理の各段階での三次元プロダクトモデルに連携・発展させることにより、設計段階での様々な検討を可能とするとともに、一連の建設生産システムの効率化を図るものである」としており、単に設計・施工に三次元プロダクトモデルを利用するだけでなく、最終的な維持管理にその成果を活用することを念頭に置いており、自動積算も視野に入っている。建築分野では、BIM として建物への利用が進んでおり、積算への検討も始まっている。土木分野においても、発注者側では CALS/EC の時代から積算をどのように効率化するかが課題であり、これを解決するために自動積算が常に考えられており、CIM においても三次元プロダクトモデルを有効に活用することが望まれている。第 3 章で、「鉄道高架橋」を対象に高架橋の三次元プロダクトモデルを作成し、これを用いて積算数量を正確に求めることが可能であることを示した。しかし、積算には実際の施工手順・仮設手順などの施工計画の情報も必要である。本章では、道路橋の下部工を対象に設計で作成した三次元モデルを積算において利用するためには、どのようなことが必要であるかを検討した。

5.2　積算への適用手法の検討

5.2.1　対象構造物

積算の自動化は現状では難しいが、現状の建設生産システムの流れの中で、実際に前述のように工事費用の積算を行うための手法を検討する。

工事費用を積算するためには、対象構造物とその施工位置など施工計画が設定できる情報が必要である。本研究では、図-5.3 に示すような三次元プロダクトモデルで設計した実データを対象に積算への適用手法を検討した。三次元プロダクトモデルの作成に当たっては、Autodesk 社の RST（AutoCAD Revit Structure 2014）を用いた。

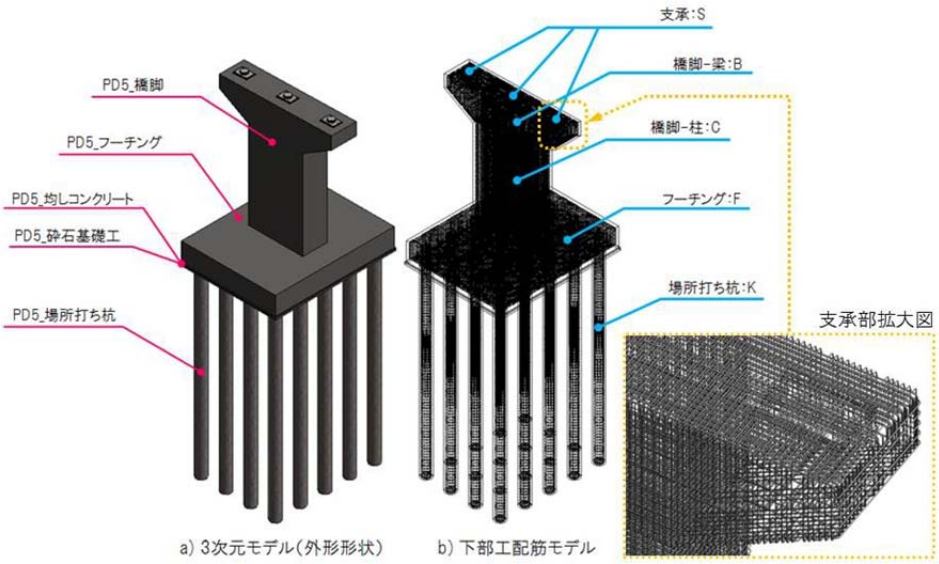


図-5.3　橋脚のモデルと配筋の一部

5.2.2　数量の算出と二次元数量との比較

数量算出要領によるコンクリート橋脚の主な項目を表-5.2 に示す。

表-5.2 に示す項目の数量を三次元プロダクトモデルから抽出するために、図-5.3 に示す橋脚のモデルに体積・表面積などを自動で算出できるように図-5.4 に示すような橋脚の形状寸法をパラメータとして設定した。このパラメータを元に、表-5.3 の中に示すような計算式、値を設定することにより、表-5.3 の右側のように対応する属性を RST の属性として設定した。

表-5.2　積算階層

工種	種別	項目	規格	条件	施工条件
コンクリート工	コンクリート工	コンクリート	呼び名		・養生工の種類 ・生コンクリートの夜間割増の有無 ・圧送管組立･撤去の有無 ・圧送管延長（m）
		均しコンクリート	呼び名		・養生工の種類 ・生コンクリートの夜間割増の有無 ・コンクリート割増率 ・ポンプ車供用日当り運転時間 ・圧送管組立･撤去の有無 ・圧送管延長（m）
	型枠工	型枠	一般型枠		
			均しコンクリート型枠		
			埋設型枠		(歩掛なし)
	鉄筋工	鉄筋径	鉄筋径	高強度	(歩掛なし)
				一般	・時間的制約を受ける場合の補正 ・夜間作業補正
		ガス圧接	鉄筋径		
仮設工	足場工	足場	手摺先行型枠組足場		・安全ネット ・ラフテレーンクレーン賃料補正
	支保工	支保	くさび結合	支保耐力	
アンカー箱抜き					(歩掛なし)
土工	作業土工	床掘り			
		埋戻し	埋戻し種別		
		基面整正			
	残土処理	残土			

表-5.3　パラメータの設定例

積算で必要とする設定項目		
分類	パラメータ	計算式・値
マテリアル	構造マテリアル	コンクリート
構造	足場工(掛m2)	=(a*2+g*2+8800mm)*設置高H
	表面積	=a*h+1/2*(a+b)*i+b*j
	支保工(空m3)	=1/2*(k+e)*l*g+1/2*(n+f)*m*g
	体積	=表面積*g
	一般型枠面積	=表面積*2+(c+e+d+f+h*2)*g
寸法	設置高H	=h+i+j
積算	養生工の種類	
	足場工種別	手摺先行型枠組足場
	生コンクリートの規格	24-8-25
	支保耐力(コンクリート圧力)	40kN/m2＜W≦80kN/m2
	支保工法	くさび結合支保
	安全ネット	有り
	圧送管組立・撤去の有無	無し

対応する RST での設定項目

パラメータ	値
マテリアルと仕上げ	
構造マテリアル (既定値)	コンクリート
構造	
足場工(掛m2)	596.400
表面積	111.220
支保工(空m3)	245.700
体積	333.660
一般型枠面積	319.831
寸法	
モデルプロパティ	
養生工の種類	
足場工種別	手摺先行型枠組足場
生コンクリートの規格	24-8-25
支保耐力(コンクリート圧力)	40kN/m2＜W≦80kN/m2
支保工法	くさび結合支保
安全ネット	☐
圧送管組立・撤去の有無	☐

このように RST で作成したモデルから計算した数量と従来の二次元モデルで計算された数量を比較すると、コンクリートの体積と一般型枠面積は表-5.4 のようにほぼ一致した。これは、図-5.4 のように 2D 設計成果と同じようにパラメータを設定したためである。

鉄筋重量は、表-5.5 に示すように最大で約 1.7%の相違が生じた。この違いは、図-5.5 に示すように二次元図面では鉄筋曲げ曲率を考慮しない基準になっており、鉄筋の曲げの量だけ二次元モデルの方が一本当たりの鉄筋長は長くなり差が生じている。

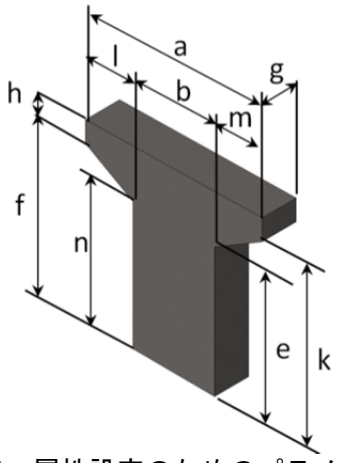


図-5.4　属性設定のためのパラメータ

表-5.4 コンクリート体積と一般型枠面積の比較

部材	コンクリート体積（m³）		一般型枠面積（m²）	
	①2D 設計成果	②3 次元モデル	①2D 設計成果	②3 次元モデル
躯体工	333.660	333.660	319.832	319.831
フーチング工	361.152	361.152	113.520	113.520
均しコンクリート工	14.674	14.674	5.240	5.240
砕石基礎工	29.348	29.348		
基礎工	25.447	25.447		

表-5.5　鉄筋の重量の比較

部材		鉄筋の重量（t）		比率
		①2D 設計成果	②3D モデル	②/①
躯体工	梁（B）	9005.028	8963.451	99.54%
	柱（C）	33731.539	33229.545	98.51%
	支承（S）	348.239	342.541	98.36%
フーチング工（F）		53518.293	53281.906	99.56%
場所打ち杭（K）		3909.798	3908.965	99.98%
合計		100512.897	99726.408	99.22%

実際の工事費の算出に当たっては、仮設計画や施工計画も行わなければならない。しかし、設計時に現地の詳細な情報が得られているわけではないため、新土木工事積算体系では、標準的な工法の採用を想定しており施工方法は規定していない。このため、詳細設計時に二次元モデルから作成している数量計算書には表-5.2 の右端に示すような施工条件が不足していることが分かった。

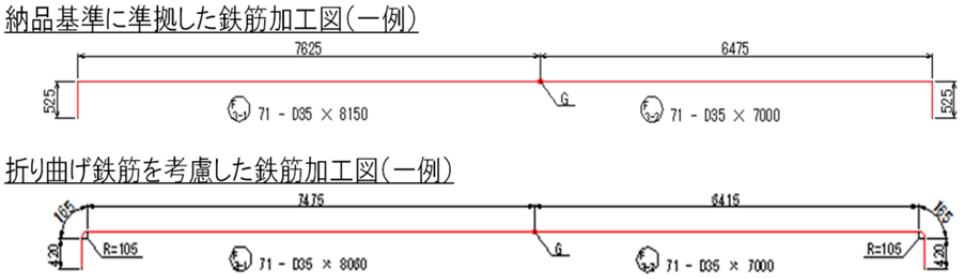


図-5.5　鉄筋の表示方法の違い

5.2.3　積算への適用

施工条件以外の数量は、三次元プロダクトモデルから問題なく算出することが可能であった。積算時に三次元プロダクトモデルが利用できないと考えられているのは、表-5.2 に示したような施工条件がこのモデルに設定されていないためである。設計段階では、標準的な施工手順を想定しているだけであり、積算に必要なすべての条件を設定しているわけではない。積算に利用するためには、設計段階で事前に積算に必要な項目を属性として三次元プロダクトモデルに追加しておけば、この三次元プロダクトモデルの属性と積算システムとを連携することにより三次元プロダクトモデルを積算に利用することが可能となる。表-5.3 の積算欄は、こうした積算で必要な属性を設計側でセットしておくことにより、発注時の積算で設定することにより、工事費用が算出でき、さらにこのモデルを入札時の応札業者に渡すことにより、施工計画の変更などに対応して、応札業者独自の考え方により応札も可能となり、より現実的な積算・入札・応札が可能になるものと考えられる（図-5.6）。

筆者らは、Autodesk 社の Revit Structure で作成した三次元プロダクトモデルに属性を設定し、Autodesk 社の SDK（Software Development Kit）を用いてこれから属性値を取り出し、他のシステムと連携することが可能であることを既に確認している[5)]。したがって、同様の手法で図-5.7 に示すような手順で、三次元モデルから属性値を設定することにより，従来の積算システムとの連携が可能であると考えている。

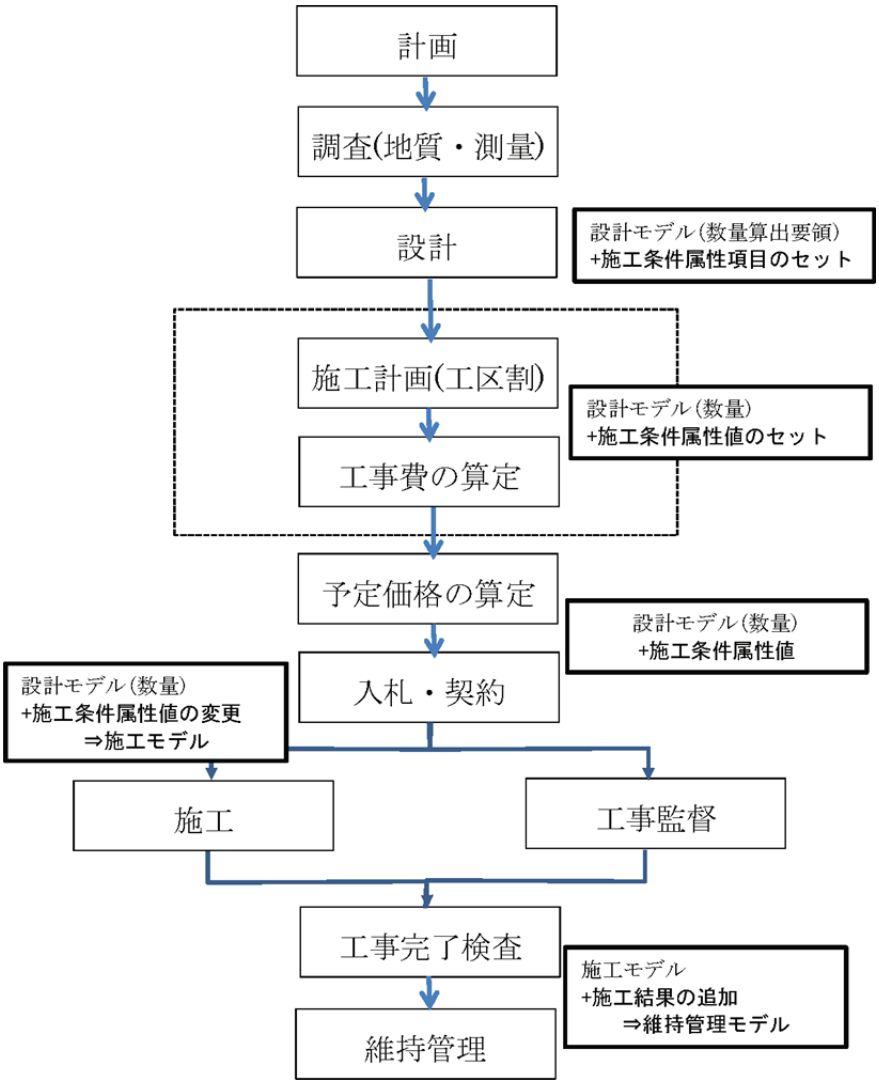


図-5.6　三次元プロダクトモデルに施工条件を設定したモデルデータの流れ

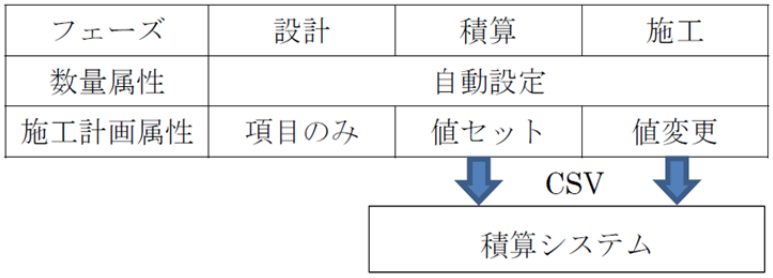


図-5.7　三次元プロダクトモデルと積算システムの連携

5.2.4　三次元プロダクトモデルを活用するための手法の提案

前述のように現在の積算システムは、工事費を積算するための一般的な施工計画をもとに行っている。これは、二次元モデルから効率的に工事費を積算するためのシステムとして確立してきた。しかし、三次元プロダクトモデルはモデル自体から数量を算出できるなど、従来の二次元にはない特徴を有しているため、図-5.6 のような形で積算をシステム化できても、結局最終的な施工計画が変われば、工事費は変更されてしまう。また、三次元プロダクトモデルに時間軸を入れて、施工ステップなどの検討を行う 4D に展開する場合も、施工段階で活用しないと十分な効果を発揮しない。したがって、本来の三次元プロダクトモデルを用いた効率化を期待するためには、設計モデルに実際の施工計画を反映させていくことが必要である。

そのためには、従来から行われている設計・施工分離発注を設計・施工一括発注のように、施工者の意見を早い段階で設計に反映できるシステムを変更する必要がある。設計・施工一括発注は既に、PFI・PPP など新しい形式での発注では利用されており、大規模なプロジェクトでは効果が認められている。こうしたプロジェクトの CIM を利用していくことが重要であるが、図-5.8 に示すように設計者と施工者の役割の見直しなど、CIM の推進は、単に技術的な革新だけでなく制度の革新も行っていくことが必要である [6)]。

前述の三次元プロダクトモデルに時間軸を追加して 4D、コスト情報を加えて 5D と言われている。5D では、三次元プロダクトモデルから積算情報（内訳明細）、原価計算から原価管理や差異分析、最終結果の完成工事原価、予算管理へと円滑に原価情報を移行できるという考えがある [7)]。すなわち、三次元プロダクトモデルで付与される工種、材料種別、数量、仕様等と、市場の資機材とが紐付できれば、容易に積算が可能となる。工事受注後は、積算データを工事の原価管理システムへ移行することで、施工管理の効率化が期待できる。米国では、BIM ツールとして数量計算から積算までを連動して行っている事例がある。我が国では、公益社団法人　日本建設積算協会が BIM－積算システム連携中間ファイル仕様書 [8)] を策定し公開している。仕様書は、積算業務の効率化と新たなビジネスチャンスの創出を目的として、BIM ツールと建設積算システム間のデータ交換形式と手順を標準化するものである。この仕様書に対応した BIM ツール並びに積算システムは、未だ市販されていない。しかしながら、発注者の積算作業、工事業者の実行予算作成作業・原価管理等の効率化においては、三次元プロダクトモデルと積算との連携を避けて通れない。

数量を積上げる積算方法は、多くのモデルを作成するため、モデリングに多くの労力を必要としている。繰返し利用可能なモデルを、パーツ集として用意しても、モデルの種類・量が膨大となり、それを管理することの難しさが課題である[9)]。また、BIM ツールで用いたモデルが、積算システムで対応していないため、結果として入力作業が発生することで、作業の効率化につながらない事も想定される。その解決方法としては、パラメトリックなモデリング手法の採用もしくは、資機材メーカーによるパーツの準備、公開が求められる。

この様に、三次元プロダクトモデルと積算との連携については、作業効率化・積算精度の向上が見込まれるものの、運用する上で課題を抱えており、実現するための環境を早急に検討する必要がある。

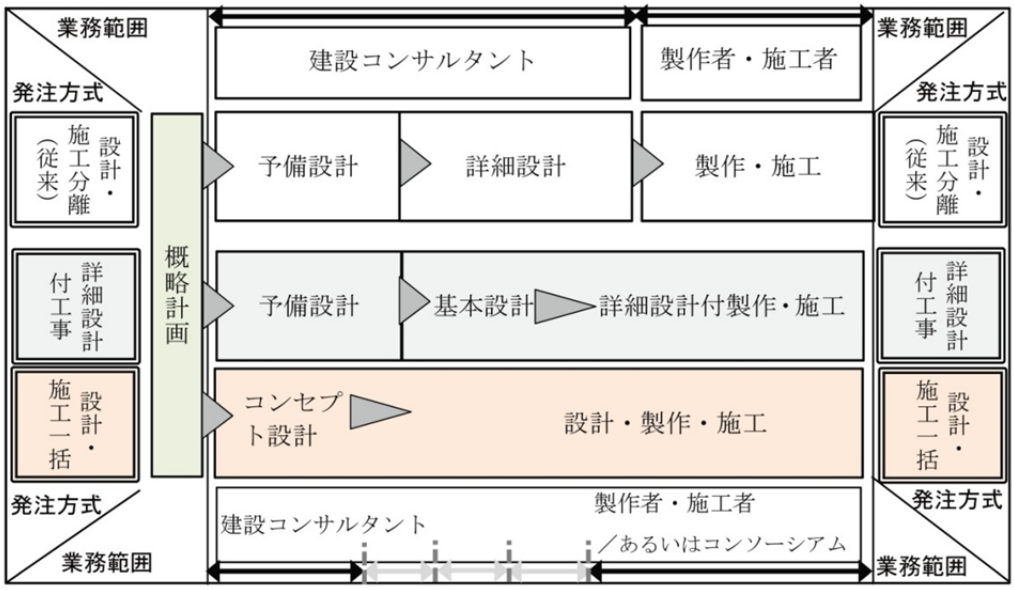


図-5.8 従来の発注方式と設計・施工一括発注の場合の役割分担イメージ[6)]

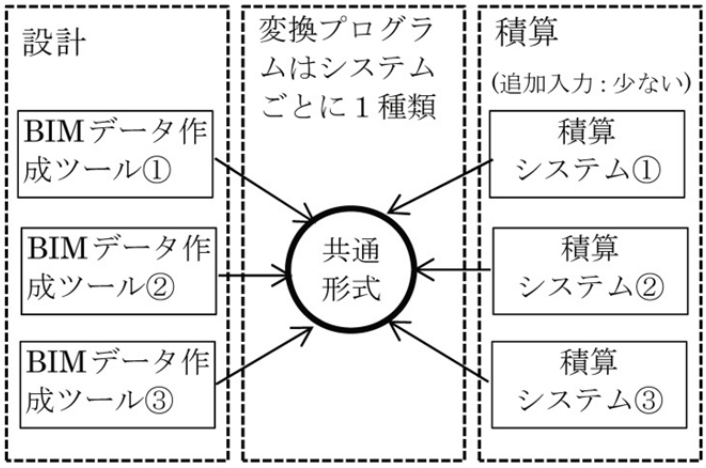


図-5.9　BIM ツールと積算システムとのデータ連携イメージ[8)]

5.3　まとめ

積算は、詳細設計業務で得られる情報を元に行われていると考えがちであるが、実際には、設計側では標準的な施工方法による工事費を算出しているにすぎず、実際の工事費の積算には、さらに詳細な施工計画を考慮する必要がある。現状の設計業務ではこうした点までは求められていないため、詳細設計業務の成果だけで積算を行うことはできない。しかし、コンクリート橋脚のように施工対象を明確にすることにより、必要とされる属性が明確になるため、こうした情報を三次元プロダクトモデルに付加しておくことにより、三次元プロダクトモデルからの積算も有効に行える可能性を示した。しかし、三次元プロダクトモデルを効率的に活用するために、従来の設計・施工分離発注ではどうしても実際の施工で使用する施工計画を設定することは難しく、設計者と施工者が施工計画を考えながら設計を行っていく設計施工一括発注などの方式を活用することが望ましい。しかし、これは従来の制度を変更することであり難しい課題である。この他に、数量計算方法において面積は CAD ソフトの利用が可能であるが、体積に関しては平均断面法を用いることとなっており、三次元プロダクトモデルから数量を算出する根拠として、どのようにするかなど、さまざまな点で多くの課題がまだ存在するものと思われる。

また、積算システムとしては、各地方整備局で利用されている積算システムの他に、地方公共団体向けには一般財団法人　日本建設情報総合センターが「JACIC 版 Web 積算システム」を提供している。これらのシステムは、発注者の予定価格算出を支援するために、必要不可欠な存在となっているが、その基本は土木工事積算体系であり、これは今までの二次元での設計をベースに組み上げられた体系で、三次元プロダクトモデルを用いた場合については、この積算体系自体を見直すことが必要となる。一方で，新しく試行が始まった「施工パッケージ型積算方式」では、直接工事費を従来の積み上げ式からこれらを一つの施工パッケージとして扱うこととされており、本研究で示したような三次元プロダクトモデルでの属性の与え方と施工パッケージとの関係を整理することにより、現在の Web システムに活用することにより、より現実に近い積算が可能となるのではないかと考えている。

三次元プロダクトモデルを活用することは今後の大きな流れであり、建設システムの生産性向上には不可欠な要素であり、業界として取り組んでいく必要がある。

参考文献）

1) 建設コンサルタンツ協会：平成 24 年度 建設コンサルタンツ白書、 2012.

2) 土木学会建設コンサルタント委員会：建設コンサルタントの役割に関する研究、1995.

3) 国土技術政策総合研究所：新土木工事積算体系と積算の実際、2001.

4) 国土技術政策総合研究所：平成 25 年度（4 月改正） 土木工事数量算出要領（案）、2013

5) 藤澤泰雄、矢吹信喜：鉄道高架橋を対象とした三次元プロダクトモデルと解析ソフトウェアとの連携に関する検討、 土木学会論文集 F3、Vol.68 No.2、pp.1-8、2012.

6) 建設コンサルタンツ協会：平成 25 年度 建設コンサルタンツ白書、 2013.

7) （財）建設コスト管理システム研究所・新技術調査検討会：BIM と XBRL、建築コスト研究 no.72、2011.

8) （公社）日本建設積算協会：BIM－積算システム連携中間ファイル BS-Transfer/仕上 仕様書 Ver1.0、2012.

9) 木本建二: BIM の積算への影響の最新事情，建築コスト研究，2010.

第6章　CIM を用いた建設生産システムの提案

6.1　CIM を用いた建設生産システム

第 2 章で示したように、国土交通省は平成 24 年度より CIM の利用を推進している。しかし、実際の現場には、事前の準備もなく開始された状態で、具体的に何をして良いかわかっていない。平成 24 年度の試行業務では、従来の二次元設計に追加する形で三次元モデルの作成を行ったに過ぎず、目的も目標もよくわかっていなかった。結果として、可視化などで成果が得られたとしているにすぎず、本質的な適用については検討半ばである [1)] 。

建設生産システムにおいて三次元モデルの活用に関して、第 3 章では設計・積算・施工計画へと連携した利用が可能であることを、第 4 章では、設計における解析への適用を、第 5 章では積算への利用が可能であることを実証した。これらの検証結果を考慮に入れながら、今後の CIM を用いた建設生産システムの提案を行う。

検討項目としては、第 2 章で行った現状の整理から①「CIM の目指す姿」を示し、②これからの建設生産システムをどのように変更していくべきか、③そのためにはどのような仕組みが必要か、④技術者にはどのように CIM を普及させていくかという 4 点である。

6.2　CIM を用いた建設生産システムの目指す姿

現在の社会インフラの管理は、台帳や地図上に表示された二次元図面などで行われている。基本的な考え方は、人が対象物を探し出し、対象物に関連している情報により、次のアクションを起こすための判断を行っている。このため、何処に、何があり、どのような情報が連携しているかを確認できればよく、二次元情報でも十分である。

CIM では、各種施設やその基盤モデル（地形・地盤）も三次元プロダクトモデルで構成される。プロダクトモデルでは、各情報が属性としてコンピュータが理解できる形式で格納されているため、この情報をもとに、コンピュータが現状を判断して、現在の状態や危険性などを報告してくれるようになる。飛行機の各種計器がパイロットに飛行に関する情報を与えるのと同じように、CIM で構成された構造物から発せられる情報を頼りに、管理するための判断材料を提供してくれるようになる。全てが自動化されるのではなく、最終判断は人間が下す仕組みとすることを忘れてはならない。人間

がミスをするのと同じように、機械も故障するためである。正しい情報であるかを判断して、人間が判定を下すことが重要である。

各構造物は、建設時の情報だけでなく、利用時には各種センサーから得られる情報や、定期点検結果もとりまとめて、構造物モデルとして格納される。構造物モデルは、設計時のモデル・施工時のモデルなど様々な状況で作成されたものと最終形のモデルで構成される。

さらに、建設時の地盤モデルや地形の状況なども格納される。こうした地盤モデルや地形モデルは、基盤モデルとしてさらに広範囲なデータとしてまとめられる。基盤モデルも、定期的な測量や地質調査により更新され履歴情報として格納される。

これからの CIM を用いた社会インフラの整備は、単に設計・施工などのプロセスに三次元データを利用することではなく、最終的な社会インフラの維持管理のために、CIM で構成されたプロダクトモデルをまとめて利用できる情報共有基盤（プロダクトモデル共有サイト）を構築することである（図-6.1）。

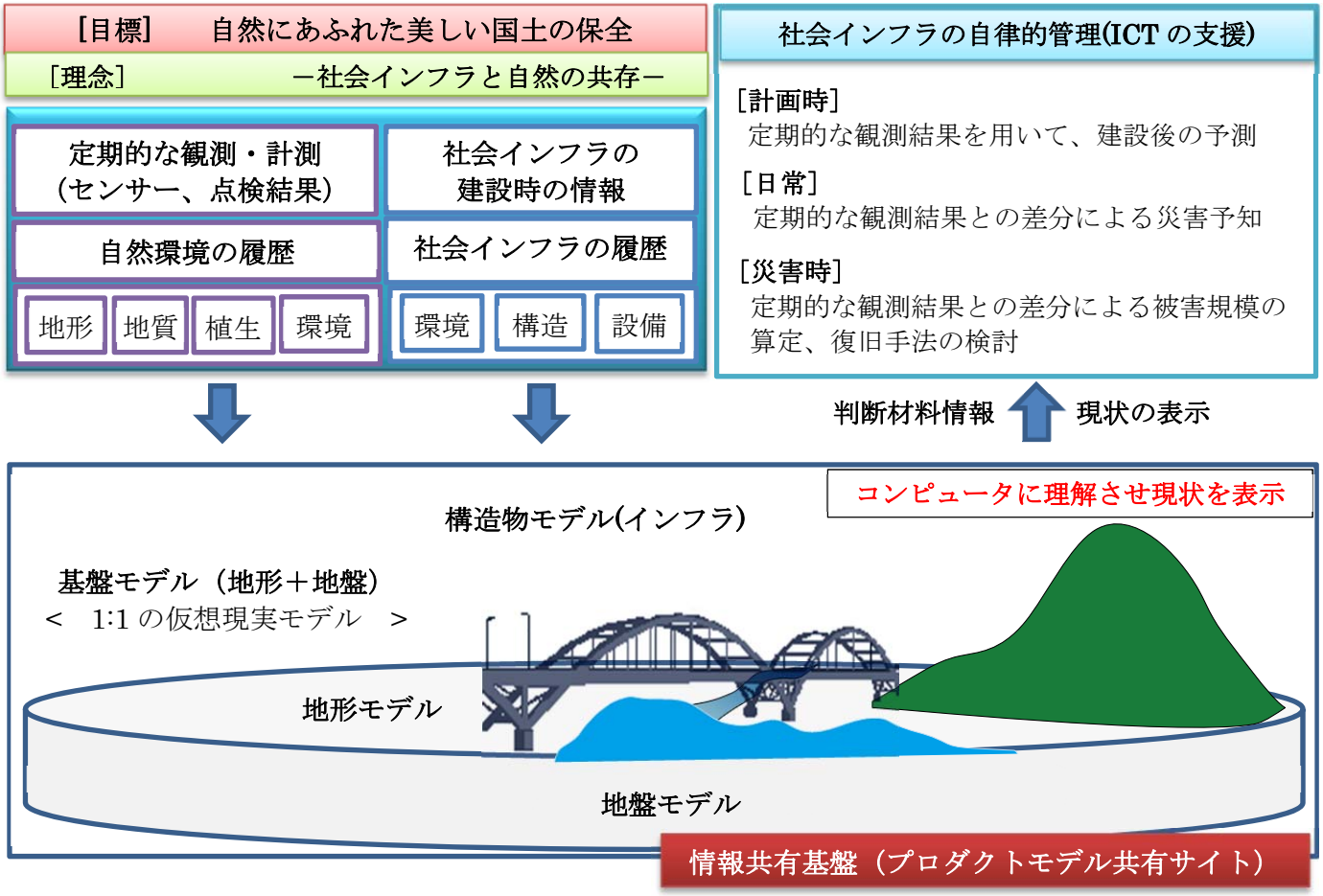


図-6.1 CIM による管理システムのイメージ

こうした基盤を構築することにより、災害時には、災害後の地形モデルを作成し、情報共有基盤から災害前の地形モデルと比較することにより、被害の程度を迅速に判定し復旧を行うことが可能となる。

新しい構造物を建設する際には、情報共有基盤から過去のこうした構造物モデルから、最適なモデルを利用し、最新の基盤モデルを元に検討を行い、環境影響評価などのシミュレーションも簡単に行うことが可能となる。

こうした情報に、だれでも、いつでもアクセスできるための情報流通基盤が構築されていることである。

6.3　建設生産システムの変更

現在の建設生産システムの内、施工前までの計画（企画）⇒調査⇒設計段階では、国土地理院が整備してきた地図や、各市町村が整備している都市計画図という紙地図をベースに検討が行われている。従来は、詳細な地図は特定の地域ごとに整備されてきたが、近年は国土地理院により、数値地図として地理情報システム（GIS : Geographic Information System）や、CAD で利用されるようになっている。第 2 章で示したようにこれらのデータを元に、CIM では、三次元現況地形として利用可能であり、さらに詳細な地上レーザ測量などにより、現況を精度よく再現することが可能となっており、従来の地図をベースとした概略設計・予簿設計・詳細設計という従来の設計区分の変更も可能である。

また、第 2 章のアメリカでの BIM の事例を見ると、可能な限り事前に検討を行い、現場での手戻りを最小にすることにより効率化を図っていることがわかる。発注方式が、設計施工分離方式よりも設計施工一括方式の方が BIM の効果を得やすいのは、同じチーム内で検討する設計施工一括方式の方がより事前の検討を行えるからに他ならない。したがって、CIM でもどのように手戻りを最小限にするか、そのための方式を検討することが重要である。

6.3.1　デジタル地図の使用による設計の流れの見直し

従来の建設生産システムは、地図をベースにすべての計画が始まっている。初期の計画（企画）段階では、10 万分の 1 などの小縮尺の地図をベースに概要を検討して、概略設計⇒予備設計⇒詳細設計と図面縮尺を大きくしながら精度を上げている（表-6.1）。第 2 章で示したように現状では、国土地理院より基盤地図情報縮尺レベル 2500（縮尺 1/2,500 の地図）、数値標高モデル 5m メッシュが入

手可能である。5m メッシュデータの精度は、表-6.2 に示すように縮尺 1/1,000 に相当しており、このデータと縮尺レベル 2500 の数値地図を用いた検討では、表-6.1 に示す道路予備設計 A,B 相当で作業を行っていることになる。このように事前に三次元の詳細な地形情報を用いることが可能となるため、従来の二次元モデルで行っている、概略設計・予備設計・詳細設計という流れを簡略化することも可能である。道路設計を例に、二次元モデルとで三次元モデルを用いた建設フェーズの流れを検討しなおしてみると図-6.2 のようにすべてを一括して検討することも可能である。

現状では、縮尺 2500 と数値標高モデル 5m メッシュであるが、将来的には、さらに詳細な現況地形モデルが用意されると、概略設計・予備設計・詳細設計という考え方は、単に詳細設計だけになるなど、根本的な建設生産システムの変革に繋がる。

表-6.1 道路設計の各段階における目的と測量精度

設計段階	目的	測量方法	地形図縮尺
道路概略設計	ルート決定	航空測量(航測) または市販地図	1/5000、1/2500
道路予備設計 A,B	A,B　中心線の決定 B　　用地幅決定	航測又は実測平面 B　実測縦横断図	1/1000
道路詳細設計	（用地幅決定） 工事数量算定	実測平面 実測縦横断図	1/500 または 1/1000
橋梁予備・詳細設計	橋梁形式決定、工事数量算定	実測平面図 （平板測量）	1/200～1/500

表-6.2 数値地形図データの精度
（国土地理院公共測量作業規定 作業規定の準則より）

地図情報レベル	水平位置の標準偏差	標高点の標準偏差	等高線の標準偏差
250	0.12m 以内	0.25m 以内	0.5m 以内
500	0.25m 以内	0.25m 以内	0.5m 以内
1000	0.70m 以内	0.33m 以内	0.5m 以内
2500	1.75m 以内	0.66m 以内	1.0m 以内
5000	3.50m 以内	1.66m 以内	2.5m 以内
10000	7.00m 以内	3.33m 以内	5.0m 以内
5m メッシュ標高	1.0m 以内	0.3m 以内(レーザ) 0.7m 以内(写真)	－

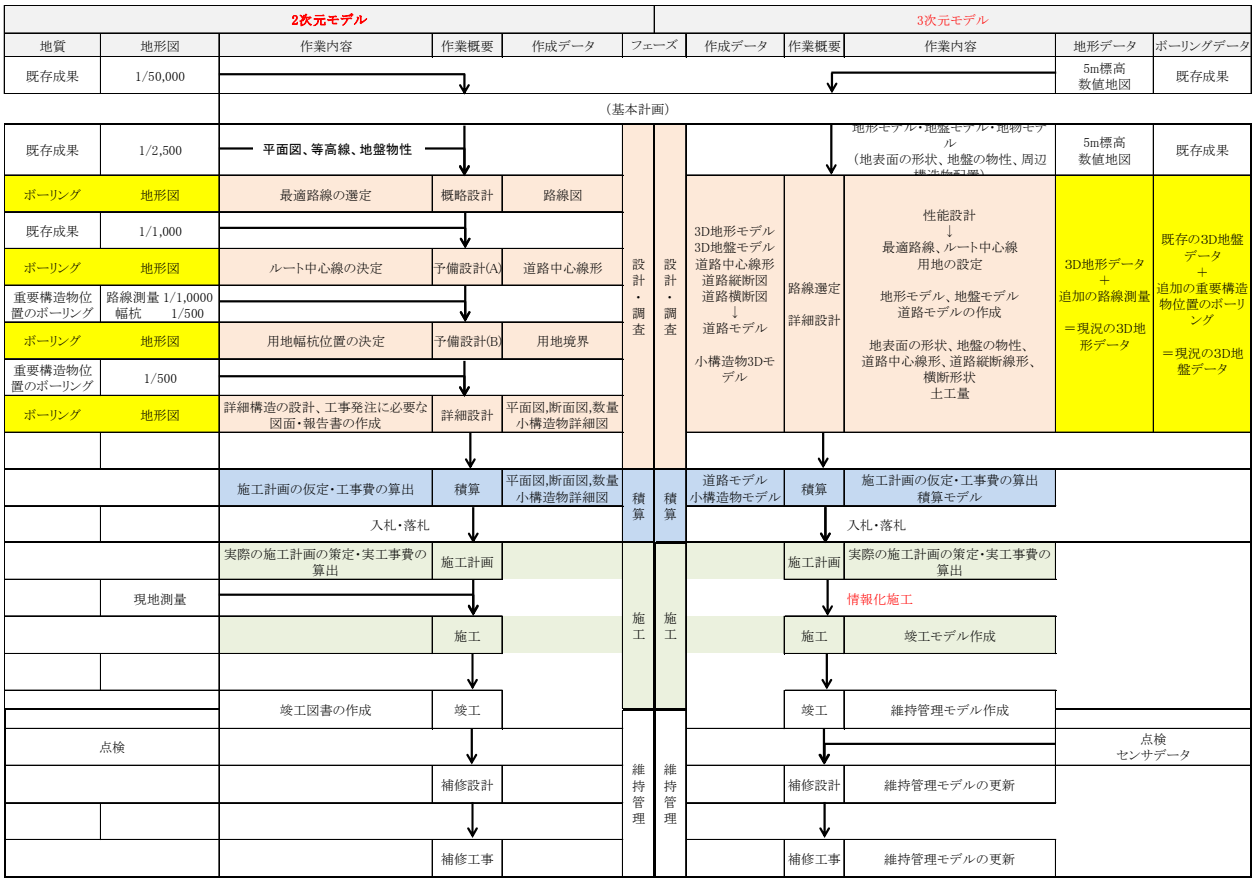


図-6.2 道路設計における二次元モデルと三次元モデルのプロセスの比較（現状）

6.3.2 フロントローディング

前節のように、設計の初期段階から前倒しで詳細な検討を行うことはフロントローディングと呼ばれている（図-6.3）。しかし、土木分野では、設計と施工の分離を原則としているため、どんなに設計側でフロントローディングを行っても、入札の結果、落札して施工者が、事前に作成された三次元モデルを活用しなければ何の役にも立たない。現在の建設生産システムの効率化・生産性向上を目指すためには、効果的に三次元モデルを活用できる形に変更する、すなわち、実際に施工する施工者の意見を設計に取り入れて、施工計画・仮設計画などをフロントローディングとして取り入れていくことが重要である。第 5 章で実証した中で、設計と施工が分離しているために、積算における工事費の算出も仮定の条件で行っており、受注した施工者が再度工事費を算出するという無駄を行っている上に、正確な工事費が算定できないため、変更設計・修正設計などの手戻りが発生している。将来的に図-6.2 で示した道路設計の例を手戻りが少なくするように、詳細設計と施工を一括して行うと仮定した場合の建設生産システムの流れは、図-6.4 にようになり、設計期間・施工期間ともに短縮することが可能になると思われる。

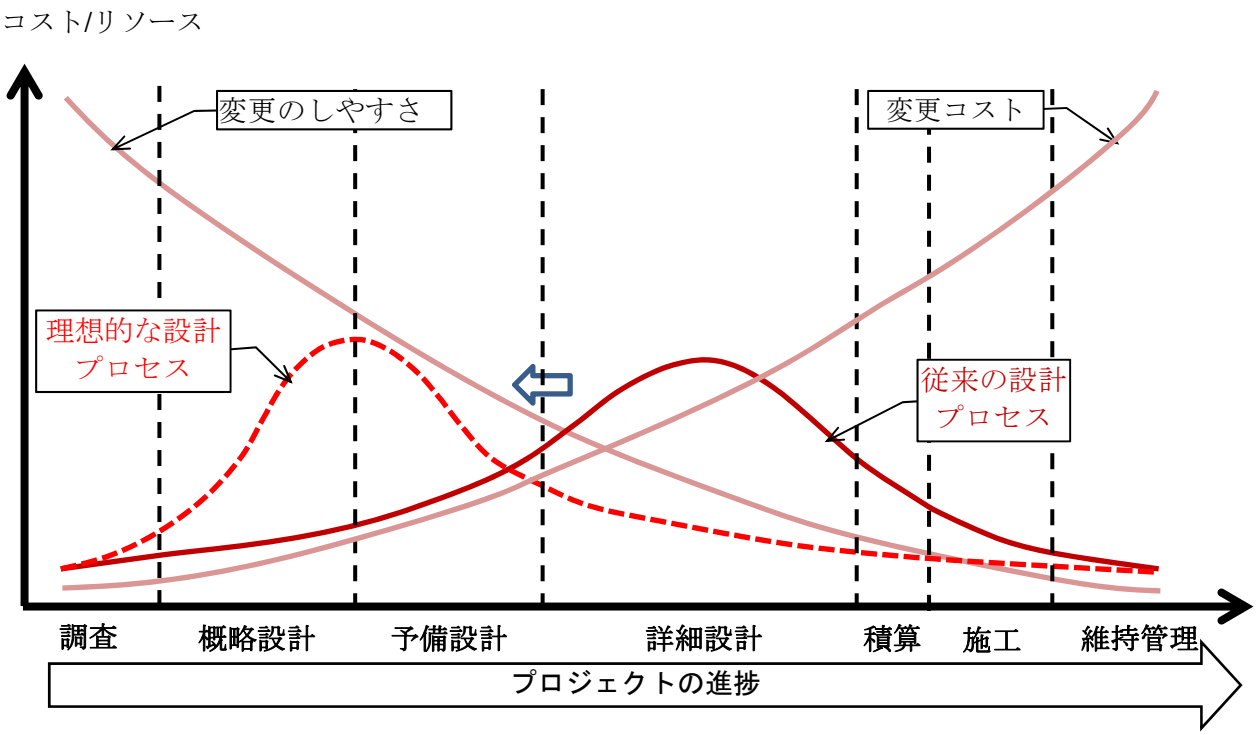


図-6.3 フロントローディング（MacLeamy Curve[2] に日本のプロジェクトスタイルを加筆）

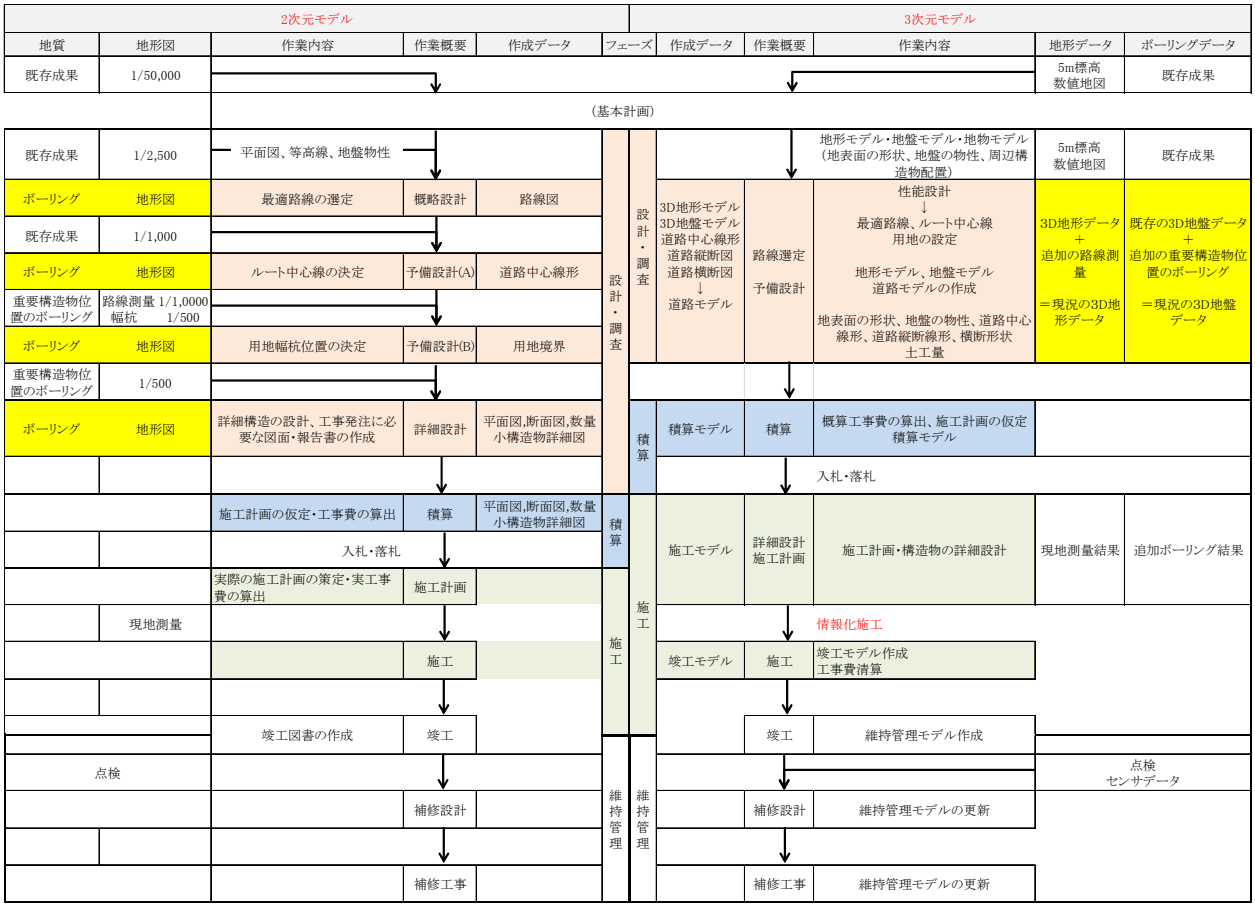


図-6.4 道路設計における二次元モデルと三次元モデルのプロセスの比較（将来）

フロントローディングは、建築分野では早くからその有用性が謳われてきた。これは、建築は整地した土地の上に建物を建築するため、不確定な事項が少ないためである。一方、土木分野では、橋梁の上部工では、建築と同様にフロントローディングが有効と考えられるが、道路・河川・橋梁の下部工などは、地形の他、地盤の土質・地質条件が必要であるが地下の状況は不明な場合が多い。現状では、地盤の三次元モデルを作成するツールの提供も始まっているが、ボーリング間を推定して作成されている地盤モデルの正確性がどの程度か現状ではまだ判断できない。したがって、土木分野でフェーズ間を渡ったフロントローディングを検討するには、地盤が関連しない分野で実施する必要がある。

6.3.3　契約制度の見直し

CIM で効率的な設計・施工を行っていくためには、手戻りを少なくしていくことが重要であることは既に述べた。現在の土木分野では、設計・施工分離を原則としており、契約制度の見直しも大きなテーマである。

設計・施工分離原則の見直しについては、平成 12 年度「設計・施工一括発注方式導入検討委員会 報告書」において、既に提言されている。この報告書では、「①公共工事の発注に当たっては、公正さを確保しつつ良質なモノを低廉な価格でタイムリーに調達するために、最適な発注方式を選択することが原則であると明確に示した、②これまでの我が国の設計・施工分離の発注方式による公共工事システムにおいては、公共発注者が全ての責任とリスクを担い、受注者（建設会社、建設コンサルタント、測量業者、地質調査業者等）は、ロー（ノー）リスク・ハイリターンという著しく恵まれた状況におかれてきたことを明確にした、③我が国の公共工事システムに「設計・施工一括発注方式」を導入するということは、受注者の立場が、責任およびリスク分担という意味で、これまでよりも著しく重く厳しい状況にさらされることになるということを具体的に示した」ことが特徴である[3)]。

設計・施工一括発注だけが最善の方式であるわけではなく、現在では、CM（Construction Management）方式、IPD（Integrated Project Delivery）[4)]、ECI（Early Contractor Involvement）[5)] のような契約方式も検討されているが、これらはすべて、施工の意見を設計で事前に取り入れて効率化していく形態であり、今後、CIM 試行業務等を通して、どのような形態が最適かを検討していくことが必要である。

6.3.4　設計手法・設計基準

CIM で土木構造物を設計する手順は、図-2.7 に示したように対象とする構造物を三次元プロダクトモデルで作成することから始まる。設計を三次元で行うためには、三次元の構造解析など三次元理論に基づいた解析や計算手法を用いることが必要である。しかし、現在の設計基準は、二次元での解析結果をもとに作成されたもので、三次元理論をもとに作成されていない。三次元理論をベースとした設計体系が確立すれば三次元設計が可能になるが、そのためには、産官学での基準の策定を行う必要があり、多くの時間が必要である。

したがって、三次元での基準が策定されるまでは、従来の二次元での基準に合わせた解析を行う他ない。第 4 章で示したように、三次元プロダクトモデルから従来の二次元解析ソフトや設計計算ソフトウェアへ連携する仕組みが必要となる。モデルを三次元で作成することにより、三次元プロダクトモデルから二次元図面を出力することにより、はじめから二次元図面を作成していた時のような図面の修正忘れによる図面間の不整合などはなくなる。将来的には、多くの三次元プロダクトモデルの設計結果を蓄えることにより、このモデルをベースとした設計手法も確立されることであろう。

6.4　CIM マネージャ

CIM を用いて三次元モデルを作成すると、形状データの他に、部材の材質など関連する情報が属性として設定される。このため、モデルの作成・修正を行う際には、どのような属性情報が必要なのか、どのように設定されているのかなどを理解しておかないと後々問題が生じる可能性がある。CIM で作成されたモデルはデータベースそのものであり、CIM のモデルを管理するということはデータベースを管理するということに他ならない。

特に、建設分野では計画～設計～施工まで、非常に多くの技術者が関わっており、維持運用段階も含めれば 50 年以上の長期にわたってこうした情報を管理していかなければならない。

したがって、CIM で作成されたモデルを活用していくためには、それだけの能力を持った担当者が適切に管理していかなければならないし、建設分野では長期間に渡って管理していく体制・組織が必要である。

建設業界における現在の発注体制で考えれば、インフラ施設は発注者が管理しているため、CIM マネージャは発注者の中で、施設の管理を行う組織に属していることが自然である。国土交通省で考えれば、各事務所に CIM マネージャが存在することになる。

今後、IPD のような発注者・設計者・施工者が密接に連携しあう体制では、施設の管理を担う部署の担当者が CIM マネージャとして中心的に機能するはずである。

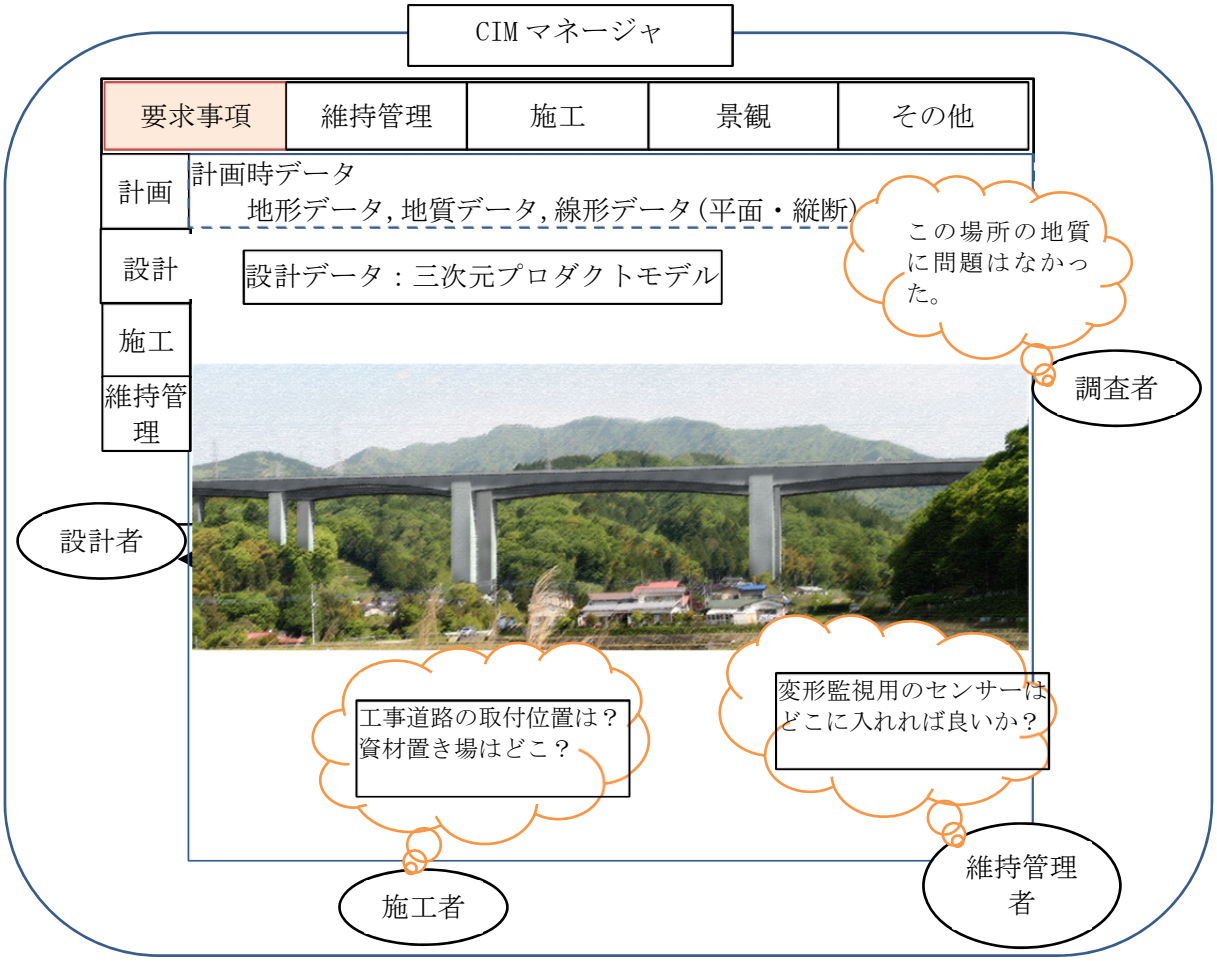


図-6.5 CIM マネージャの役割の例

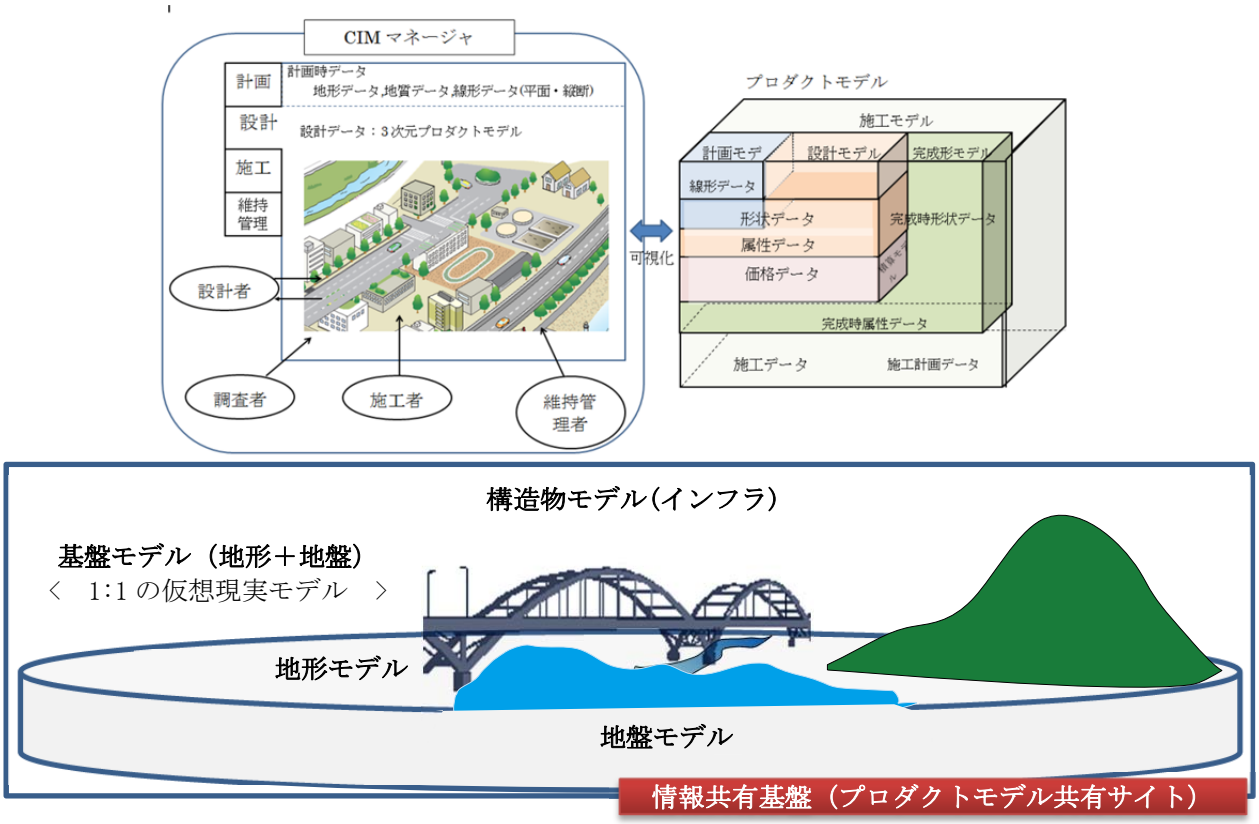


図-6.6 CIM を用いた建設生産システムの管理イメージ

6.5　CIM を推進するための教育

CIM の普及を図る上では、教育が重要である。今までは、3DCAD ベンダーがプライベートの製品説明のための教育が主体であったが、一般企業が主催する CAD 操作のためのトレーニングコースなども登場している。しかし、土木分野の CIM に対応したトレーニングコースはまだ一般的ではなく、各企業毎の社内教育の他、多くの CAD オペレータなども含めた教育体制の構築を行う必要がある。また、初期講習として、上級講習として大学などの学術機関での教育も重要なテーマである。

図-6.7 は、役割に応じた教育体系の一例である。

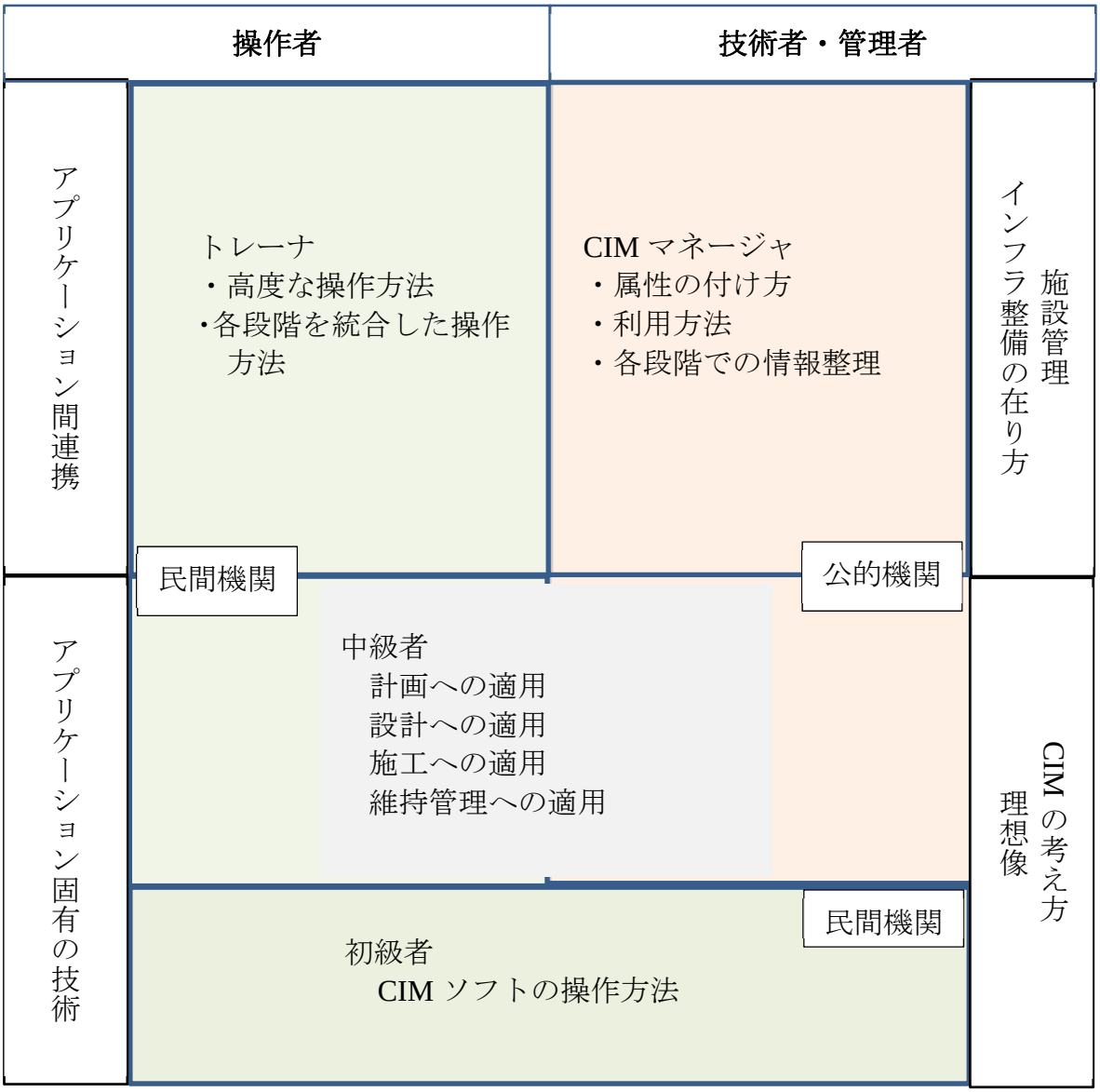


図-6.7　CIM 教育体系

参考文献）

1) 藤澤泰雄、矢吹信喜 : CIM モデル事業の事例と三次元設計モデルの積算への利用方法の検討、土木学会 土木情報学シンポジウム講演集、Vol.38、pp127-130、2013.

2) Construction Users Round Table, Collaboration, Integrated Information and the Project Lifecycle in Building Design, Construction and Operation, WP-1202, 2004.

3) 設計・施工一括発注方式導入検討委員会 : 設計・施工一括発注方式導入検討委員会　報告書、2001.

4) Owen Matthews and Gregory A. Howell : Integrated Project Delivery An Example Of Relational Contracting, Lean Construction Journal 2005, Vol 2 #1, 2005.

5) Song, L., Mohamed, Y. and AbouRizk, S. : Early Contractor Involvement in Design and Its Impact on Construction Schedule Performance., J. Manage. Eng., 25（1）, 12–20, 2009.

第7章　結論

7.1　まとめ

本論文は、建設分野に三次元モデルを活用しようとする CIM を建設生産システムにおける設計分野を中心にどのように利用できるかを検証し、CIM を有効に活用していくための建設生産システムの改善の提案を行った。

本論文で得られた結論を各章ごとにまとめると以下のとおりとなる。

第 1 章は序論であり、建設生産システムと建設業界の現状と直面している課題について紹介し既往研究の整理を行い。本論文の構成をとりまとめた。

建設分野では、少子高齢化による人口減少社会の到来による税収減少による社会資本整備費用の現象と若年層の減少による技術者の減少という課題と、建設後 50 年以上経過する社会インフラの維持管理をどのように効率的に進めるかが大きな課題となっている。

第 2 章では、国土交通省が推進していた CALS/EC から新たに提唱された CIM（Construction Information Modeling）の現状についてまとめている。

CIM は、三次元プロダクトモデルを計画⇒調査⇒設計⇒積算⇒施工の各段階で利用し効率的な維持管理に活用するものである。この考え方に従った CIM を用いた三次元モデルのイメージを示し、三次元での設計スタイルを示している。また、CIM を取り巻く状況として、平成 24 年度から開始された国土交通省の CIM 試行業務、海外での動向、アメリカでの事例などをまとめている。

第 3 章～第 5 章では、実際の土木構造物を対象に、土木分野で利用方法の検証を行った。国土交通省では、社会インフラとして整備してきた施設の維持管理の必要性を説いており、三次元モデルを用いた新しい建設生産性システムの構築が必要となっている。CIM に関する知見はまだ少なく、先行しているアメリカにおいても土木分野への適用はまだ一部で行われているに過ぎない。そういう意味では、国土交通省の取り組みは無謀と言えるかもしれない。しかし、日本は日本流の CIM を推進していくために、現状の設計で作成される三次元プロダクトモデルを積算・施工計画に適用して、検証を行い課題の抽出を行った。

第 3 章では、鉄道高架橋を対象に、二次元モデルから三次元モデルを作成し、数量の比較、施工計画を策定し、三次元モデルの時間軸を設定した 4D での表現を行い、設計で作成した三次元モデルの

利用が可能であることを示した。

第 4 章では、設計の分野で特に重要となる解析との連携を検証した。鉄道分野では、解析ソフトウェアとして二次元で解析を行うソフトウェアと三次元で解析を行うソフトウェアの 2 種類の利用が認められている。設計で三次元モデルを作成して、これらのソフトウェアと連携することが可能であるかを検証し、どの程度効率化が可能かを検証し、三次元モデルと二次元解析ソフトウェアとの連携は可能であるが、三次元解析ソフトウェアと連携する方が有利であることが分かった。

第 5 章では、道路橋を対象に設計モデルをどのように積算に生かすか、そのためにはどのような手法が必要かを検証した。積算に生かすためには、数量の他、施工計画・仮設計画という施工側の情報を追加することが必要であり、これらの情報を属性として設定すれば設計モデルを積算にも利用できることを検証したが、実際の施工計画・仮設計画を入れなければ、正しい工費を設定できず、現状の設計・施工分離発注の制度の元では、設計モデルを十分に活用できないこともわかった。

第 6 章では、CIM を建設生産システムに適用し、現状の課題を改善するための方策を取りまとめ提言した。

CIM はひとつのツールであり、最終的な目標は、技術者不足、増大する社会インフラの維持管理の効率化である。そのために三次元プロダクトモデルを用い、各段階で属性情報を蓄積していくことと、供用中の状況をセンサーなどにより収集したデータと合わせてコンピュータが施設の状況を確認できる環境の構築を提言している。

三次元プロダクトモデルを利用することにより、現場に行かなくとも状況を的確に判断できる環境が出来上がっている。こうした環境を上手に利用することにより、今まで考えられなかったことが可能になるであろう。そして、人口減少による技術者不足は、CIM 関連技術を用いることにより、高度な判断が可能となると思われる。維持管理に関しても、CIM を用いずに作成された既設構造物をどのように扱うかという問題は残っているが、重要な構造物は、三次元化することにより、高度な管理が可能となり、全体として効率的な管理につなげられるであろう。

7.2　今後の課題

CIM の検討が開始されているが、本研究を通して考えられる今後の課題を整理する。

7.2.1　既設構造物の扱い

CIM を新設構造物の設計から始めることにより、三次元プロダクトモデルとして、将来的な維持管理も効率化できると考えられているが、第 1 章で示すように、新規に構築する構造物よりも、既設の構造物の方がはるかに多い。既設の構造物も三次元モデルとして表現できれば、その後の管理手法は同一である。問題は、どのように既設構造物の三次元形状を取得するかである。

7.2.2　三次元プロダクトモデルに関連する課題

建築分野では、IFC が 2013 年に ISO 16739:2013 として国際標準となったことにより、BIM ソフトウェア間の交換の標準が完成している。土木分野でも、建築と同じ梁・柱・スラブなどの部材で構成されている場合は、IFC で交換可能であるが、一般的な橋梁・道路・トンネルなどはこれらだけでは対応できない。こうした背景を受けて、buildingSMART が土木版の IFC といえる openINFRA の開発を開始しており、日本の土木業界としても、国内標準を作成するのではなく、こうした世界標準の策定に積極的に参画すべきであろう。

積算に関しては、型枠支保の算出にあたっては、支保の数ではなく支保を設置する空間（空 m^2）を算出する基準となっており、三次元モデルでは必要となる支保数を算出できるため実際の三次元モデルから算出する積算体系の検討が必要と思われる。

設計時においては、現状は二次元手法と並行して行うことが多いが、三次元モデルだけで設計した場合に、その正しさをどのように検証するのか、三次元モデルからどのように二次元図面を出力するのかなどといった課題もある。また、従来の二次元解析結果をもとに作成されている要領・基準も解析を三次元で行うこととなれば、三次元解析結果をもとにした要領・基準が必要となり、学術的な研究結果との連携が必要であろう。当面の課題としては、三次元モデルから従来の二次元解析ツールとうまく連携するツールの開発が必要とされるはずである。

解析においては、建築分野と土木分野の考え方の違いも検討していく必要がある。同じ構造形式の建物でも、建築分野では柱・スラブ構造として解析するが、土木では梁・柱構造として解析している。BIM と CIM として同じ解析ツールを用いる場合、どちらで検討するかで結果が異なる場合が予想さ

れる。

7.2.3　建設生産システムに関連する課題

CIM で重要な点は、できるだけ前段でいろいろな要素を固め、後工程での手直しを少なくするフロントローディングの考え方である。現在の設計・施工分離方式という契約形態では、どうしても設計だけ、施工だけとなり、一連のとりまとめが難しい。できるだけ手戻りが少なくなるように、従来の調査⇒設計⇒積算⇒施工という流れ自体を見直すことや、CM、IPD などの新しい契約制度の導入なども必要であろう。今後、CIM が推進していく中では、さまざまなツールが開発されていくはずである。二次元設計の場合でも、CAD での部品が生産性を向上したと同じように、CIM においても部品の活用が設計の生産性の効率ばかりでなく、維持管理における維持管理モデルでの標準化に寄与していくと考えられる。同じ部品を何度も作成するのではなく、共通の部品として流通させることが必要であろう。こうした課題の解決のためには、実際にいろいろな試行を行うことが必要であり、国土交通省において実施が予定されている試行業務・工事において、これらの課題解決を目的とした試行や契約方法の試行も必要であろう。

本論文において、現在の建設生産システムの内、設計分野を中心に CIM を適用する手法を検証し、積算・施工の一部にも十分に利用可能であることを示した。実際の建設生産システムに活用するためには、この他にも多くの事項について検討する必要があるが、その取り掛かりの部分を提示できたと考えている。既に、国土交通省では CIM の活用方法の検討が始まっているが、二次元図面から三次元モデルを作成しているにすぎず、設計分野で重要となる解析との連携や、積算への適用などはまだ行われていず、これからの試行業務での検証の際の参考になると考えおり、多くの課題を解決することができると確信している。

本研究で提案したように CIM を用いた建設生産システムを変革することにより、少子高齢化による技術者不足に対応して生産システムの構築と、増加する社会インフラ施設の維持管理の効率化が図られることを期待する。今後は建設生産システム全体での効率化の検証についても研究を重ねていく所存であることをここに明記し結びとする。

謝　辞

本論文は大阪大学大学院、矢吹信喜教授のご指導のもとにとりまとめたものです。矢吹先生には、本研究の実施の機会を与えていただき、終始懇切なるご指導とご鞭撻を賜りました。心から深く感謝いたします。

お忙しい中に本論文の指導委員を担当してくださいました澤木昌典教授、福田知弘准教授には丁寧かつ熱心なご指導を賜りました。先生方のご指導に対しまして、ここに厚く御礼申し上げます。

8 年前の 2005 年、これからの設計スタイルと三次元化することを目指して、Autodesk 社 Civil 3D という三次元設計ツールを導入し、社内での普及も開始しました。この時のコンセプトは、「設計者に三次元ツールを鉛筆のように作成し製図ではない設計ツールとして利用させる」でした。しかし、現在のようなパソコン性能も低く、ソフトウェアの能力もまだまだ、地形は地図の等高線から作成するなど、一つの作業を行うのに随分と手間が掛かっていました。発注者側も三次元データを望んでいた訳ではなく、一番は、設計者はいろいろなツールを使いながら設計を行っているおり、まだ十分なツールが整っていない中では、ほとんど利用されることはありませんでした。とはいえ、細々と三次元設計を進めていました。4 年前、矢吹先生と大阪で話している中で、大学院で研究してみないかというお誘いを受けました。当時は、52 歳で次の年から 3 年ですと既に 56 歳となり、こんな年寄りがと思いましたが、何らかの形で三次元を使った事例を提示していく中で、三次元の土壌を作っていけないかと、お誘いを受け大学院での研究を行わせていただくこととなりました。

2 年目には、JACIC セミナーでの当時の国土交通省の佐藤技監の講演「CIM ノススメ」で、はじめて CIM という言葉が登場し、多くの方々が三次元化を認識していただけるようになったことは研究にとっては大きな追い風となりました。この講演をきっかけに国土交通省の CIM 推進が開始され、CIM 制度検討会、CIM 技術検討会、CIM 試行業務という取り組みが開始され、これらにも関与させていただき、CIM に関していろいろと検討させていただきました。特に、CIM 技術検討会では、当時の JACIC（日本建設情報総合センター）の元永秀氏はじめ多くの方々と、連日のディスカッションを経て作成した資料は本研究のとりまとめにも生かされています。また、CIM 試行業務の担当として、社内成果の作成や社内技術部所への支援なども行い、今年度からは CIM 推進室の設置という 8 年来の活動もさらに一つ上のステップに引き上げることができました。

さらに、本年度は土木学会の「米国 CIM 技術調査団」の一員としてアメリカでの現状に触れることもでき、これからの設計コンサルとしての CIM の進め方に大きなヒントを得ることができました。

大学院は所属する八千代エンジニヤリング株式会社の社会人留学制度を利用しており、社内の方々にもいろいろな形でご協力をいただけたことを心から感謝しております。

本論文は他にも多くの皆様のご援助を得て、はじめてまとめることができたものであり、心から深くお礼申しあげます。

最後になりましたが、本論文の完成に至るまで迷惑をかけた家族にも感謝の気持ちを記して、本論文の結びといたします。

平成 26 年 1 月

藤澤　泰雄