

# BIM/CIM による設計品質向上を評価するための のCPMに基づく局面分析の有用性

学生氏名 佐藤 峻雅  
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 g1218036@tcu.ac.jp

近年、建設業は海外に市場を広げており、国内における新規建設が減少し、メンテナンス中心に移行してゆくことが重要な施策である。英国では2016年、公共工事の際 BIM(Building Information Modeling)を用いることが義務化される予定であり、我が国でも CIM(Construction Information Modelling)と称し、普及していくことが予測されている。BIM/CIM を有効に活用するため、社会資本のライフサイクルコストの大半を占める建設費及び維持管理費用を最小化することが重要であり、設計段階から3Dモデルを生成するだけでなく、コストや時間の尺度をとりこんだ、4D(コスト)、5D(時間)モデルの運用が必須である。本研究では、実プロジェクトの計画と実際の不足の事態の発生を事例として、BIM/CIM と連携した局面分析のあり方を論じる。本研究では CIM=BIM を同義とみなす

**Key Words:** Building Information Modeling, Civil Information Modeling, Critical Path Method

## 1. 序論

### (1) 背景<sup>1)</sup>

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。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。

一方で、20年間右肩下がりが続いた建設投資は、2011年度を底に増加に転じた。今後も被災地の復興需要、橋梁・トンネル等のインフラ維持更新等で公共工事は堅調に推移すると予想されるが、増加が期待されるのは民間建設投資。建設業景況感は改善しつつあり、2020年オリンピック・パラリンピックの東京招致成功により人々が長期的視野を持ちやすくなったこともあり、海外進出、少子高齢化対策など様々な課題も考えられていく。

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年にすべての公共工事は BIM が義務化される予定である。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してのメリット。④フロントローディングを効果的にサポートできる。などのメリットがあげられる。以上の理由により BIM (Building Information Modeling) が普及しつつある。我が国においても、国土交通省主導で CIM(Construction Information Modelling)と称して、今後、急速に普及・発展していくことが予測される。

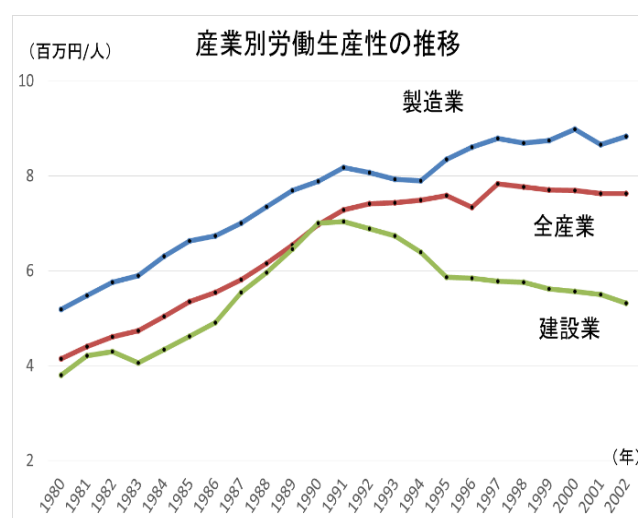


図-1 労働生産性

## (2) 目的

日本の社会的背景を踏まえた上で、今後、BIM (Building Information Modeling) / CIM(Construction Information Modelling)は普及・発展していくと考えられる。

施工段階では、野外での作業が多い。したがって、天候の変化や予期せぬ不測の事態等の不確定要素が多く、計画通りの工程で進んでいくことは少ない。工事管理者は工程の進み具合を監視しながら要求される品質を確保し、安全に工事を進めることができるようにしている。しかしながら、契約上では、工程遅延要因については施工業者の責となる記述が多く、また諸経費の縮減を目的に、施工業者は可能な限り時間短縮となる施工方法を検討することが多い。その結果、施工途中における状況把握が困難となり、竣工間近まで判断できない場合がある。

BIM (Building Information Modeling) / CIM(Construction Information Modelling)を最大限に活用していくためには、社会資本のライフサイクルコストの大半を占める建設費及び維持管理費用を最小化することが重要であり、そのためには、設計段階から3Dモデルを生成するだけでなく、コストや時間の尺度をとりこんだ、4D(コスト)、5D(時間)モデルの運用が必須である。そこで、本研究では、実プロジェクトの計画と実際の不足の事態の発生を事例として、BIM/CIMと連携した局面分析、また、時間軸を基準とした重要な作業工種の連携や流れを抽出し、監視する工程管理でのCPM (Critical Path Method) のあり方を論じる。

## 2. BIMとは

### (1) 3Dモデルとの違い<sup>2)</sup>

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。

### (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関連技術と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、表-1のメリットが挙げられます。

表-1 BIMによるメリット

①	情報の利活用による設計の可視化
②	設計の最適化
③	施工の高度化、判断の迅速化
④	維持管理の効率化、高度化
⑤	構造物情報の一元化、統合化
⑥	環境性能評価、技術解析の適応

### (3) 土木におけるBIM<sup>3)</sup>

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。以下、BIMとする。

#### 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来たと言える。現状では建築分野での活用が多くの企業で実践され、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が上がるか、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. 国内でのBIM調査事例<sup>4)</sup>

### 1) 国内でのBIMを先進的に導入

国内でBIMを先進的に導入している株式会社大林組に焦点を当てた。

株式会社大林組の起源は、土木建築請負業「大林店」として創業した1892年に遡り、以来120年余りを経る中で、わが国を代表するスーパーゼネコンへと発展。国内外における建設工事のほか、地域開発や都市開発、海洋開発、環境整備などの建設事業、幅広い分野で優れた実績を築いてきました。社員数は約8,500名。本社をはじめとする国内事業所（15本店・支店・研究所・機械工場）および海外事業所（アジア地域：8カ国、北米地域：2カ国、欧州・中東・オセアニア：5カ国）に広く展開しています。

### 2) 施工CIMの活用方針

「判断の迅速化」という目的意識を持てば、自ずと「施工の効率化」へと進むことから、これらをカバーする取り組みが先行する。計測情報の見える化や構造物の取合い確認などによる品質向上や工期短縮、最新技術を用いた施工管理などを目指す動きが広がりを見せています。それらと併せて同社が独自にフォーカスしたのが「維持管理初期モデルの構築」です。ということから図-2に活用方針を表している。

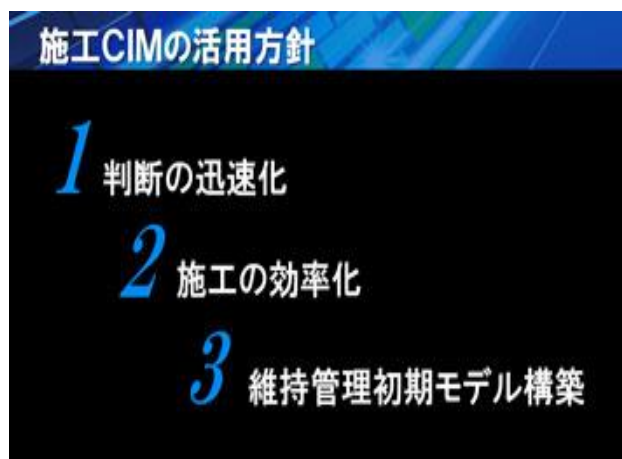


図-2 施工CIMの活用方針

### 3) 施工CIM適用現場

株式会社大林組ではこれまでにトンネルや橋梁、シールド、ダム、造成、鉄道、地下躯体、電力などほぼすべての工種にわたる57案件でCIMを適用。

国交省が従来推進してきたCIMの具体化は建設コンサルタント中心で、今年度ようやく施工フェーズに焦点が当たってきた実情もあり、同社のCIM活用実績はおそらく業界NO.1を誇るに至っています。

表-2 工種ごとのCIM活用工事件数  
(2014年12月より)

トンネル	13件
橋梁	8件
シールド	2件
ダム	2件
造成	13件
鉄道	2件
地下躯体	10件
電力	3件

### 4) 大林組施工CIM適用現場事例<sup>5)</sup>

#### a) 工事概要

工事名称：黒目川黒目橋調節池工事(その10)

発注者：東京都北多摩北部建設事務所

受注者：株式会社大林組

工期：2011年10月～2014年2月



工事内容：黒目川と落合川の洪水時に一時的に貯留する地下調節池(3号側)の築造と、黒目川からの取水堰を築造する工事である。

貯留量：61600m<sup>3</sup>

掘削工：112300m<sup>3</sup>

鉄筋工：4770 t

コンクリート工：38150m<sup>3</sup>

取水堰築造工：L=994m 一式

施工CIMの活用方法による分類：施工管理，施工計画，施工手順周知，施工数量算出

#### b) 導入目的と手順

工期短縮を実現するために採用した「逆打ち工法」を円滑に遂行する。コンクリートボリュームを事前に確認し施工計画する。

手順として、①施工法の検討。配筋モデルから現場職長と作業員で検討，施工法を変更し施工。②コンクリートボリュームの算出。主にモデルから数量を算出。③図面照査。モデルを作成中に不具合を発見，モデルを作成中に不具合を発見。④魅せる現場の実施。モデルを使用したの説明し，ゲームコントローラで簡単操作などを行う。

#### c) 導入効果

現場職員と異業種の作業とでモデルを使用して打合せを実施したことで，作業効率の良い施工法を実施出来工期短縮を実現出来た。本社での簡易モデルの作成，CADや他ソフトでのコストは多少かかったが，コンクリートボリュームを事前に確認し施工計画する事で，無駄を省きコストの削減が実現出来たとしている。

2015年，施工CIM事例集では33箇所での事例を出しており，多くの現場で施工CIMの有用性が感じられる。

### 4. スケジュール管理<sup>6)</sup>

#### (1) 国際建設プロジェクト

国際建設プロジェクトでは単価数量精算契約，一式契約等の契約形態にとらわれず契約した項目の遂行を契約するため，契約金額の内訳と工程表は契約条件と深く関連を持っている。

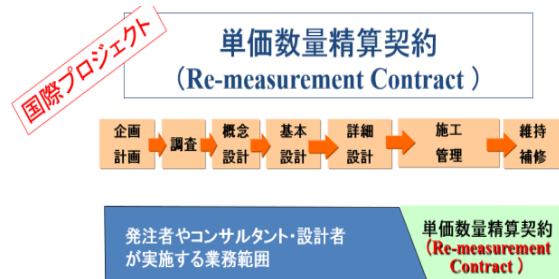
また，国際建設プロジェクトの標準契約約款として広く採用されているFIDIC約款からも，約款の第44条<sup>5)</sup>工事完成期日の延長では，追加工事の発生，FIDIC約款に遅延原因として参照されている事項，異常な気象条件の発生，その他コントラクターの責務外の原因によって生じた遅延については，工期延長の対象として扱われると記されている。

そもそも，スケジュールは目的とする建造物建設のプロセスを表すものであり，契約書類の重要な一部を構成する。入札書類に添付するスケジュール表は，プロジェクト遂行の骨格を表したものであり，実施段階で発生す

る問題や将来の変更に耐え得るものでなくてはならない。工事コストは設定した施工計画，スケジュールを基に算出されるので，施工計画，スケジュールが変われば工事コストも変わることになる。そのため，施工計画，スケジュールは，相互に矛盾なく整合性のあるものとしなければならない。

単価数量精算契約の場合，工事費の精算（通常は毎月精算）は実施した工事数量を確定し，契約単価を用いて行なわれる。従って，請負額(Contract Amount)はプロジェクトの進行と共に変化してゆくことになる。また，プロジェクト遂行に伴い発生してくる契約諸条件の変更に対し柔軟に対応する構造を備えており，設計図面，仕様等が変更する可能性を含んだ状態でも入札や契約が可能となるメリットがある。

表-2 単価数量精算契約



#### (2) 国内建設のプロジェクト

国内建設のプロジェクトは総価一式請負契約を基本としており，契約総額と完成期日が契約に沿って守ることが出来れば当初の計画に比較し施工手順が変わろうともほとんど問題にならない。

つまり，発注者も請負者も契約管理の基盤となる施工計画書と単価内訳書および工程表の連携に関する意識は低く，これからも国内建設プロジェクトにおいて契約条件を前提としたプロジェクトマネジメントの基盤が形成されていない。

公共工事標準請負契約約款は，総価一式請負契約を基本としている。この約款の第三条A項では，“請負者は代金内訳書と工程表を作成し発注者に提出し，その了承を得なければならない。代金内訳書と工程表は，この契約の他の条項に置いて定める場合を除き，発注者と請負者を束縛するものではない”と述べている。

結果的には，“契約総額”と“完成期日”以外契約的に両者を拘束するものはないということになる。つまり，工事を進めていくための工程計画は請負者の自主管理が前提であり，契約に基づき権利と義務を議論するといったビジネス基盤は生まれづらいものとなる。

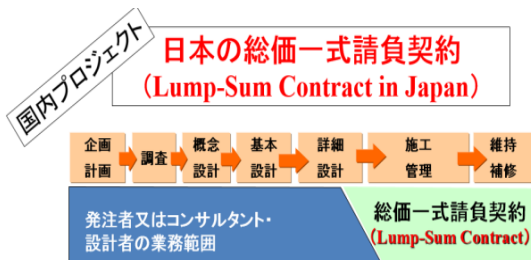
また，コスト管理とスケジュール管理技術のレベルに

においても、スケジュール管理において国際建設プロジェクトでは必須能力である、時間軸を基準とした重要な作業工種の連携や流れを抽出し、監視する工程管理でのCPM（Critical Path Method）に関して受注者と比較して発注者の意識は大幅に低く、スケジュール管理を受注者側に任せていることがわかる。

総価一式請負契約は、発注者からの要望や予知が困難な理由による工事の条件変更以外、追加費用も工期延伸も認めづらいとされており、この実態が複雑な対応状況を生み、片務性や公正な契約問題の処理を妨げる原因となっていることもある。総価一式請負契約という基本があると、発注者は契約条件変更によって発生する追加費用や工期延伸をなかなか認めようとはせず、自身の誤りとなれば一層防御に回ることになってしまう。

よって、国内建設プロジェクトにおいては契約管理に対応できるスケジュール管理能力は備わっていないといっている状態である。また、体制は変えるのに混乱や時間がかかってしまうことから、契約に着目して、海外の契約形態を参考にする。

表-3 総価一式請負契約



### (3) 各プロジェクト比較

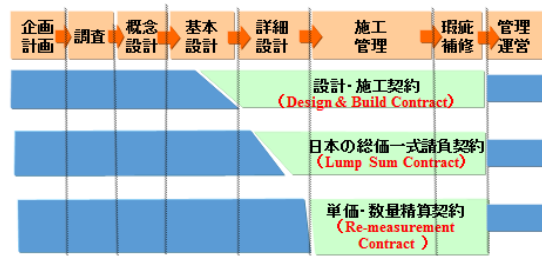
日本の総価一式請負契約では、工程中のスケジュール管理について、契約上求められていないとされている。一方で、国際建設プロジェクトで一般的な単価数量精算契約では、CPM等に対応したりしている。

工程中のコスト管理においても、日本の総価一式請負契約では、契約上求められていないとされており、単価数量精算契約では契約上請求できる契約となっている。日本でも不測の事態での工期遅延やコスト請求について、近年、工期の遅延の影響で作業の延伸が認められやすくなり、コスト請求においても手順を踏んで申請をすれば昔より請求しやすくなっている。

BIMの導入状況においては、国内では2016年CIMガイドライン導入、欧米ではBIMガイドライン導入済みと我が国では遅れてはいるものの少しずつ導入が進んでいる。一方で、CPMの導入が遅れているのも事実である。

表-4 建設プロジェクトの執行形態と契約形態

## 建設プロジェクトの執行形態と契約形態



## 5. プロジェクトタイムマネジメント<sup>7)</sup>

プロジェクトタイムマネジメントは、プロジェクトの期限内完成を確実にするためにプロジェクトスケジュール、プログラムの展開、管理機能と連携されており、発注者の要求事項か、コンストラクターが工期に関する要求を成功させるための手段であり方法である。

発注者は自身のスケジュールやプログラムを作成するか、あるいは、コンストラクターに原型あるいは基本となるスケジュールやプログラムを提出させ、定期的に互いに更新することを契約していることがある。

近年、国際建設プロジェクトでのプロジェクトタイムマネジメントの役割とは、重要な契約管理の要求事項になってきている。発注者とコンストラクター、双方のプロジェクトマネジメントチームの役割がCPM（Critical Path Method）の仕様によって繋がってくるようになっていっている。国内建設プロジェクトで導入されるのも近い将来だと考える。

## 6. CPM (Critical Path Method)

### (1) CPMスケジューリング<sup>8)</sup>

CPMスケジューリングは、国際建設市場のプロジェクトでは標準的なプロジェクトツールであり、コンストラクターの作業が契約書に記載された日までに工事を竣工できることを確実にするように工事を計画し管理するものとなっている。スケジュールはプロジェクトの期限内での竣工を確かなものにするため、特定工事の開始日、期間、工事の順序、完了日を示した計画としての機能を持つ。それは、基本ラインでのスケジュールに対し、実際の工事の竣工を図るため進捗をモニターするために使われることになる。

また、CPMスケジューリングは、図表ネットワークであり、工事は作業と呼ばれる孤立した仕事を分割することにより、建設工事での作業をあらわしている。CPMスケジュールは工事のある特定な部分、例えば掘削、コンクリート打設などがどのように進行させていくのかを示すため、グループ化されることが多い。作業をグループ

化することは、当たり前のことではあるが、最も重要な目標は作業が管理されコントロールできるような方法で作業を把握することである。作業の長さは時間の長さ、一般的には当該作業に完了に要する日数となる。

さらに、各作業に対して4つの期間を算出する。作業の「最早開始」は、その前作業との論理関係により決まった開始可能な最早の期日である。

「最早完了」は、ある作業が完了する最早可能な日付で最早開始日に作業期間を加えて決まる。

「最遅完了」は作業が完了でき、さらにプロジェクトが合意された日付までに完了できる最遅期日である。

「最遅開始」はプロジェクト完了日を達成可能な最遅で開始できる期日である。最遅開始日は、ある作業の最遅完了日から作業期間をマイナスすることで計算される。

スケジュール上の「クリティカルパス」とは、論理的に関連した作業の最も長いパスであり、個々の作業期間をプラスしたもので、プロジェクト全体の期間に等しい(または合意した工期に等しい)。ある作業がクリティカルである場合、その作業は割り当てられた時間内に完了されなければならない。クリティカル作業が遅延すれば、その日数分だけ全体プロジェクトは遅延することになるためクリティカル作業の遅延をどれだけなくすかが重要になっていく。

「フロート」とは、ある作業がクリティカルパスに影響を与えない範囲で、最早完了日より遅れることが許される時間量である。フロートは、ある作業の最遅開始日から最早開始日をマイナスすることによって決まっており、クリティカル作業はその最遅開始日を遅らせることはできないと定義される。そのために、ゼロフロート作業といわれる。クリティカル作業が実際に遅れれば、クリティカルパスに日数が加わり、この遅延は負のフロートを作り出す。非クリティカルパス作業は、それがクリティカルにかわるまで、最早完了日を越えた追加の日数を持っている。この追加の時間はトータルフロートと称される。例えば、ある作業がクリティカルになる前に完了できる期間が10日間であれば、その作業のトータルフロートは10日間である。

## (2) 国際建設市場でのCPM

スケジューリング(工程計画)について公式の標準はないが、CPMは国際建設市場でのプロジェクトでは慣れるに行う慣行となってきた。プロジェクトの工程に反映されているフロートは、特定の当事者に帰属するとの記述が契約条件になれば、フロートはプロジェクトのすべての当事者に帰属するものである。過去には長い間、発注者とコントラクターの間にフロートはどちらかに帰属するかの議論があった。国際建設市場ではこの10年で、この議論が解決されてきた。つまり、トータルフロート

はプロジェクトの利益のためと常に考えられている。なぜなら、フロートは生産性や他の施工要因がすでに考慮された作業期間、順序と理論により計算された結果であるからである。

したがって、コントラクター、エンジニア、発注者を含め、プロジェクト関係者は、フロートを使うことができるのである、建設工事用として国際建設市場で使われる標準契約約款は、この立場をとっている<sup>8)</sup>。したがって、契約管理のプロセスでは、影響の詳細あるいは、プロジェクトの定義の明確化としてCPMスケジューリングが用いられており、同時にCPMはなのが当初に計画されたかの詳細を確定する尺度であり、モニターする手段であり、最終的には計画から乖離を測るものとなる。

近年、建設工事の国際市場ではCPMスケジューリングまたはプログラミングは、発注者とコントラクターにより採用されている主要なツールであり、「相互不信頼」の環境にあって合意された利益を成功裡に管理し保護するために要求される契約管理を達成するために使われる倫理、時期、契約範囲、コスト、必要な資源は、各アクティビティに「付加され: loaded」ている。CPMは両社にとって重要なITツールとなっているのが現状であり、プロジェクトスケジュールまたはプログラムは実際のところ主要な要求事項を特定し、または当初に想定し施工中のある当事者の履行をモニターする拠り所となってきた。プロジェクトタイムマネジメントは、契約に組み込まれた合意に関し、契約当事者たちの立場を保護するための管理機能となってきた。

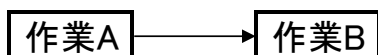
## (3) CPM理論

CPM理論では、スケジュール概念を示す技術用語が使われている。それらは、作業、期間、論理、最早開始、最早完了、最遅完了、最遅開始、クリティカルパス、フロート、基準スケジュールなどがある。

CPMスケジューリングの「理論」とは、論理的にその前か後で行われなければならない作業を決定することにより、ある作業が他の作業といかに関連しているかを示すものとなる。もちろん全ての作業がすべて同時に実施されることはできない。ある作業は他の作業が開始できる前に完了しなければならない。例えば作業Bは、作業Aが完了するまでは開始できないならば、作業AとBの関係は「完了・開始: finish to start」の論理関係があるものとして定義されている。

ところが、ある作業は他から独立しており、同時に進行することができるもの、例えば作業Bは作業Aと同じ日に開始出来るといった場合、この二つの作業間の論理関係作業が実施される順番を決定する。

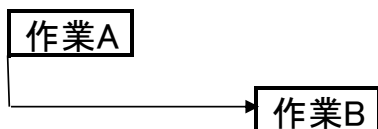
FS=n



作業Bは、作業Aが完了してn日まで開始できない

図-2 完了・開始

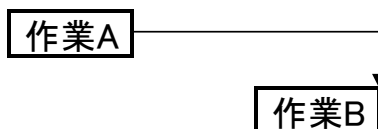
SS=n



作業Bは、作業Aが開始してn日後までは終了できない

図-3 開始・開始

FF=n



作業Bは作業Aが完了してn日後までは終了できない

図-4 完了・完了

SF=n



作業Bは作業Aが開始してn日後までは終了できない

図-5 開始・完了

#### (4) 従来から将来へ

従来では、施工段階の時、野外での作業が多く天候の変化や予期せぬ不測の事態等の際、計画通りの工程で進んでいくことは少ない。工事管理者は工程の進み具合を監視しながら要求される品質を確保し、安全に工事を進めることができるようにしていることでコストが増加することを防いでいる。ここから、CPMを用い各局面での予期せぬ不測の事態等での設計変更コストを分析することで、将来的には、分析した結果をもとに適正な工期延伸やコスト増加をより簡単に評価していくことができるのではないかと、そのために局面分析法を用いることが重要となる。

## 7. 局面分析法

局面分析法は、大きなスケジュール変更や出来事により設定される特定の連続とした期間、これを局面として、プロジェクトを分解するものである。局面分析では計画立案のベースとしてそして工事をモニターするために使用される実際のスケジュールを活用する。この遅延分析法は遅延の基準を、プロジェクトの日々の報告書に置いている。

各局面は将来に向けた現状計画を持ってスタートし、その工程が更新によって著しく変更された時点で もって終了される。局面はそれらのスケジュールが変更される間の暦日期間として定義されている。局面分析法を利用することによって遅延はその時のクリティカルパス上で認識され、現状のスケジュールとその時点で発生している遅延をベースにして、その時点でのプロジェクトの実態を最も映し出すものとなる。また、プロジェクトスケジュールの遅延と短縮は、4つの可能性によってベースができています<sup>9)</sup>。

### (a) 早期開始 : start gain

予定された理論開始以前に作業が開始した日数。打ち合わせの関係や資材搬送の関係などの理由で工事自体の開始日が早まること。

### (b) 開始遅延 : start delay

予定された開始日以降、作業が実際に開始されるまでの日数（スケジュール理論次第で、他の作業の実際の開始または完了が、この直接的な対比を変えることもありうる）。もしあるアクティビティーが、分析対象の局面（Window）の開始時期以前に始まった場合、その作業の局面範囲内では開始遅延はありえない。

あるアクティビティーが局面範囲内で開始が予定されており、そしてそのアクティビティーが当該局面の終了から次の局面まで継続することになっているが、当該局面内には実際に開始ができない場合、開始遅延は予定の開始から当該局面期間の終了までのみ計算される。更なる遅延は当該局面期間では重要ではなくなる。理由として、新しいクリティカルパスが次の局面期間で形成されるので、当該局面期間では契約工期をさらに、遅らすことはないということになるからである。

### (c) 生産遅延 : production delay

局面期間において、ある作業が開始され完了するまでの予定日数を超過した日数を生産遅延とする。言い換えると、実施期間が予定期間より大きかった場合である。（すなわちある作業が完了するに3日かかると予定されたが、実際には5日かかると2日の生産遅延となる）。

生産遅延は、当該局面期間にある予定期日と実際の期間に依存し、限定される。生産遅延は作業が完了したときのみ計算することが出来る。もし作業が次の局面で完



了すれば、次の局面で分析されることになるが、しかしそれが、クリティカスパル上になる場合だけである。他のアクティビティ(複数)の実際の開始または完了が、当該アクティビティと計画との直接的比較分析を変化させることがありうるので、生産遅延は、開始遅延のように、スケジュール理論に依存することになる。

(d) 生産短縮 : production gain

ある作業の開始から完了まで(期間)の日数で、予定日数より少ないもの。言い換えれば、生産短縮とは実際の作業期間が、分析された局面の予定期間より短い日数である。

8. 工事概要

局面分析法を行う対象とした工事は、A社が発注者である民間工事で、B社等からなるJVが受注者の、地下施設の建設工事である。都市部での工事であり、供用中の道路下空間に建設される。したがって、工事は路面の仮覆工までの過程と、本設地下構造物の建設過程とに分けられる。本分析では、予期しない埋設物が仮覆工までの過程の中で発生したことから、仮覆工までの工程を分析の対象とした。なお、この工事においては実際にはCPMは用いられておらず、月間ごとのバーチャートで工程管理が行われていた。

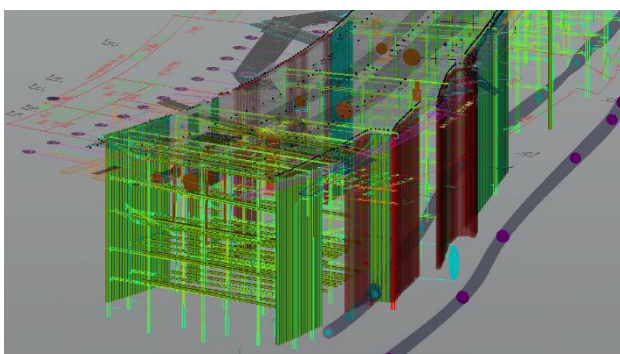


図-6 地下施設の建設工事  
(東京都市大学藤岡氏提供)

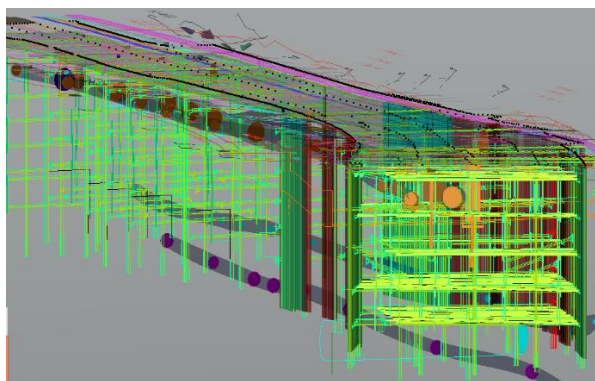


図-7 地下施設の建設工事  
(東京都市大学藤岡氏提供)

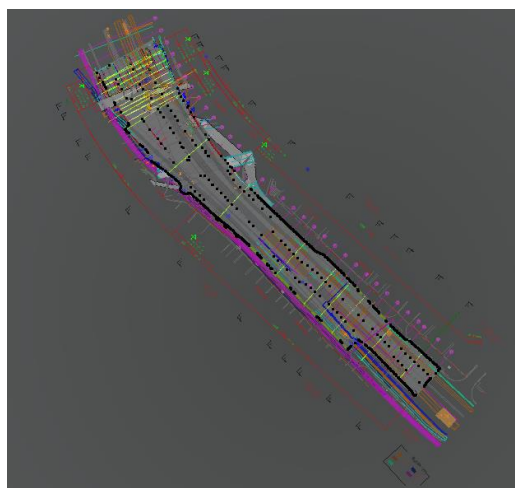


図-8 地下施設の建設工事(上面図)  
(東京都市大学藤岡氏提供)

9. 分析手順

路面の仮覆工までの工程で、プロジェクト完成に影響を与える作業を特定し、1月～7月までの月間工程表から遅延、短縮を抽出した。どのクリティカルアクティビティが連続した局面の中で遅延を受け、または短縮したか、そしてどのくらいの量の遅延か短縮かを明らかにした。また、どのくらいの量の遅延か、あるいは短縮かを明らかにした後で、遅延あるいは短縮の原因と影響を与えたかを仮定ではあるが特定した。なお、対象とした工事実施から10年近い年月を経ており、不測の事態に対応した実際の工程はされていない。多くの情報は、当時の担当技術者の頭の中で行われているため、現時点での把握は困難であった。

通常、局面分析ではプロジェクトのある局面で発生した事象に対する、「開始の遅延、短縮」、「作業の遅延、短縮」を抽出し、これを分析して、受発注者のいずれかの責となる事象に対応した、遅延日数を算出するものである。しかし、本事例分析で対象とした工事の工程計画について月間工程表までの詳細度で分析するため、「開始の遅延、短縮」のみで分析を行う。

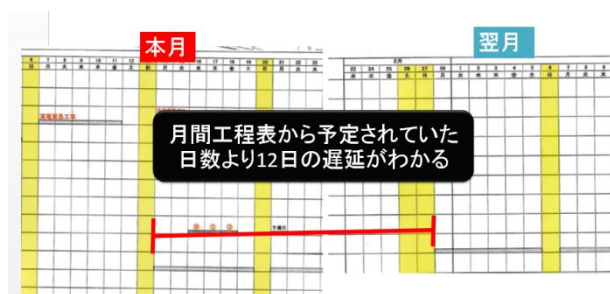


図-9 分析手順例



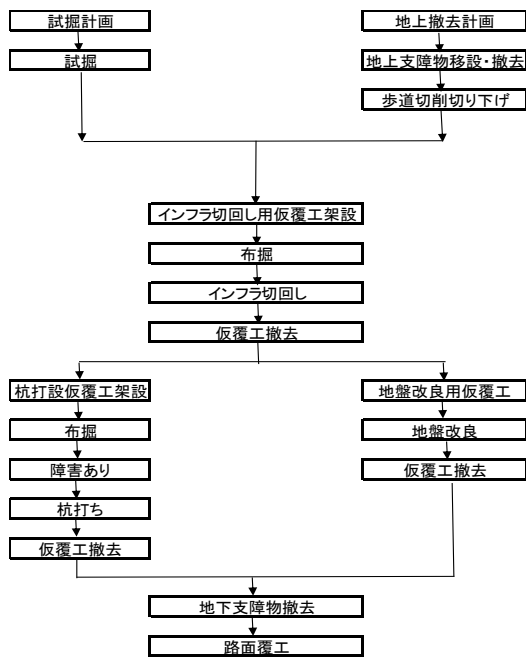


図-10 地下施設の建設工事業手順



図-11 仮覆工架設時における鉄管発見時の記録

これらの日数は、スケジュールの完了を明確にし、どの作業がクリティカルパス上にあるかを考察した。地下施設の建設工事でのプロジェクトが、以下の3つの主要な理由で遅延したと予測した。

- ① 大雪の影響で移動手段の不測
- ② 試掘工(車道部)での仮覆工架設時に鉄管が見つかり緊急工事が入った為
- ③ 年度末工事抑制措置による工事規制期間の影響

## 10. 考察

表-4に結果を示す。これをみると、準備工は現状平面測量の際、5日間の短縮、試掘工(車道部)では27日間の遅延、試掘工(歩道部)では2日間の遅延、試掘工(追加分)では6日間の遅延、探査工(磁気探査)では24日間の遅延、家屋調査工では12日間の遅延、支障物移設撤去工では34日間の遅延、その他工事では20日間、他企業工事では8日間、埋設管切回し工事では12日間の遅延が見つかった。これらの日数は、スケジュールの完了を明確にし、どの作業がクリティカルパス上にあるかを考察した。

そして、対象プロジェクトが、図-11に示す通り、試掘工(車道部)での仮覆工架設時に鉄管が見つかり緊急工事が入ったことにより遅延したことが判明した。

これらの3つの遅延理由のうち、本研究では2番目の要因のみに焦点を当てて、考察した。

原因は2~3月の間に地下埋設管が発見され、対応して緊急工事が行われたことである。工事手順から考察すると、死管の発見により路面覆工までの工期が試掘部(車道部)で27日間、支障物移設撤去工で34日間の計61日間も遅延していることがわかる。これらの遅延は、設計時に把握されていなかった地下埋設管の発見によるものである。

	1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	計
準備工	-5							-5
試掘工(車道部)	-2		2	25	1	1		27
試掘工(歩道部)	-3	5						2
試掘工(追加分)				6				6
探査工(磁気探査)			16	8				24
家屋調査工		12						12
支障物移設撤去工					21	15	-2	34
その他工事					9		11	20
他企業工事					8			8
埋設管切回し工事							12	12

表-4 分析結果

## 11. 結論

本研究では、実プロジェクトの計画と実際の不足の事態の発生を事例として、BIM/CIMと連携した局面分析、また、時間軸を基準とした重要な作業工種の連携や流れを抽出し、監視する工程管理でのCPM (Critical Path Method) のあり方を論じた。既往の研究ではBIM/CIM連携した局面分析等の研究はされていないのが現状である。

BIM/CIM を建設ライフサイクル全体で有効に活用することによって、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、本研究のように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。

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る。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るのが現状である。

本研究で対象とした地下施設の建設工事は工事実施から約10年近い年月を経ており、不測の事態に対応した実際の工程計画は作成されていない。スケジュール管理やコスト管理などの多くの情報は、当時の担当技術者の頭の中で行われているため、現時点での把握は困難であったが、監視する工程管理でのCPMを有効に活用することによって工期の短縮、遅延の把握や、遅延あるいは短縮の原因と影響を与えたかを仮定だが特定し考察した。

もしも、設計時に試掘工(車道部)での仮覆工架設時の鉄管の存在が予測されていたなら、そして、BIM/CIMが導入されて、仮設構造物と埋設物との空間的位置関係が把握されていれば、このような遅延に至る事態は防ぐことができた可能性が高い。このようにBIM/CIM導入は図-11に示すように社会基盤整備のライフサイクルに亘る改革となる。



図-12 BIM/CIMによる社会基盤整備の意識改革  
(草柳俊二東京都市大学客員教授提供)

## 参考文献

- 1) 日本建設業連合会：建設ハンドブック，pp23，2014.
- 2) 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.
- 3) 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.
- 4) <http://kenplatz.nikkeibp.co.jp/article/it/column/20130926/633614/>
- 5) 平成26年度 施工CIM事例集 一般社団法人日本建設業連合会インフラ再生委員会
- 6) 草柳俊二：公共工事標準請負約款に従った契約管理技術の向上 第6回 緑土会セミナー 2014，4
- 7) 建設業法研究会：改訂版 公共工事標準請負契約約款の解説
- 8) Galloway,p.and K.Nielsen,  
Schedule Delay Concurrency Issue Analysis & Proof  
The international Construction Law Review 7 ICLR 386  
Part 4,London,UK,October 1990,
- 9) Kris R.Nielsen 著 草柳俊二 翻訳監修  
“絶滅貴種”日本建設産業 p145 2008
- 10) See Pickavance.,K, delay and disruption in Construction Contracts,second edition,  
Construction Scheduling : Preparation,Liability and Claims,UK,1991.
- 11) Galloway,p.and K.Nielsen,  
International Construction dispute Proofs nortnet 91  
transactions The practice and science of project management  
tromdheim,norway,June3-5 1991

# Usefulness of aspect analysis based on the CPM in order to evaluate the design quality improvement by BIM / CIM

In recent years, the construction industry is to expand the market abroad, new construction is reduced in the country, it is important measures to slide into the transition to the maintenance center. In the UK in 2016, are scheduled to be used the BIM (Building Information Modeling) during the public works is mandatory, it referred to as the CIM (Construction Information Modelling) in Japan, are expected to continue to spread. To effectively utilize the BIM / CIM, it is important to minimize construction costs and maintenance costs account for most of the life-cycle cost of the infrastructure, not only to produce a 3D model from the design stage, the cost incorporating a measure of the time, 4D (cost), 5D (time) model of operation is essential. In the present study, the occurrence of a situation of actual shortages and planning of the actual project as a case study, discuss the way aspects analysis in conjunction with BIM / CIM. Regarded as synonymous with the CIM = BIM in this study