

地中工事におけるBIM活用時の 施工性向上効果の基礎的検討

学生氏名 伊藤 優太
指導教員 皆川 勝

所属 東京都市大学工学研究科都市工学専攻 計画マネジメント・皆川研究室
E-mail syuta0808@gmail.com

近年、産業力の指標の一つである労働生産性では、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。これらの課題解決に向けた有効策の一つとして、設計・施工プロセスで3次元モデルデータを基に一元管理するBIMの活用が世界で急速に広がりをみせている。

我が国でも、コストや工期、品質に関する要請、並びに、技術の蓄積・継承のツールとしての期待から、BIMの利用拡大が志向され、国土交通省が中心となって精力的な検討が行われている。

本研究では、BIMの普及発展期に向け、BIMを調査設計段階で活用することにより仮想施工計画とフロントローディングによる効果施工性向上の効果を、プロジェクトマネジメントソフトウェアによる施工遅延分析により評価する。

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

1. 序論

(1) 背景

近年、産業力の指標の一つである労働生産性では、図-1より製造業等の生産性がほぼ一貫して上昇したのとは対照的に、建設業の生産性は大幅に低下した。これは主として、建設生産の特殊性(単品受注生産等)および就業者数削減の遅れ等によると考えられる。特に、重大な施工スケジュール遅延は建設プロセスの予測不可能な条件変化により起こされることから、設計変更や施工遅延の結果として、受注者は生産性低下の重大なリスクに直面している。

建設産業における生産性の向上は喫緊の課題といえるが、この課題解決に向けた有効策の一つとして、設計・施工プロセスで3次元モデルデータを基に一元管理するBIM(Building Information Modeling)の活用が世界で急速に広がりをみせている。

BIMの多様な活用方法の中でも、設計時の施工性や維持管理性の検討は、いわゆるフロントローディングと呼ばれる。すなわち、設計までの上流工程でBIMを作成し、これを用いた仮想施工シミュレーションにより、そのようなリスクを減少させることが期待されている。事実、すでに英国をはじめとした先進諸国ではBIMを建設生産性向上戦略の方策と位置づけており、国際プロジェクトにおいてはBIM活用が標準的な方法論として定着すると予想できる。

我が国でも、コストや工期、品質に関する普遍的な要請、並びに、技術の蓄積・継承のツールとして

の期待から、BIMの利用拡大が志向され、国土交通省が中心となって精力的な検討が行われている。



図-1 労働生産性¹⁾

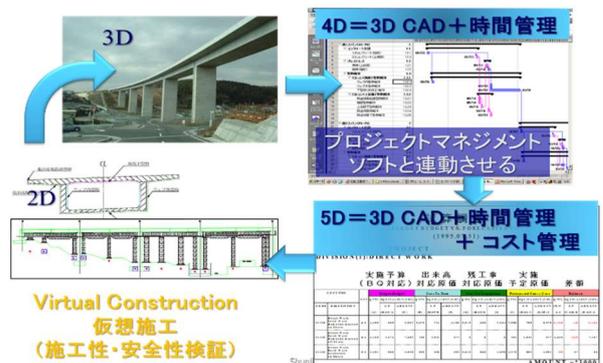


図-2 BIMを活用したプロジェクトマネジメント

(2) 目的

本研究では、このような背景を踏まえ、我が国の建設産業の海外展開を含めた戦略として、BIMあるいは特に我が国で社会基盤整備に対して用いられているCIM (Construction Information modelling) の普及発展期に向け、設計時の仮想施工計画とフロントローディングの効果を定量的に評価することを目指す。そのための基礎的検討として、具体的対象に技術の進んだ各種の位置形状計測装置による現状把握が難しい埋設施設(水道、下水、電気、電信・電話、ガス他)と地下構造物の干渉問題を選び、BIM/CIMを調査設計段階で活用することによる施工性向上の効果を、プロジェクトマネジメントソフトウェアによる施工遅延分析により評価する。

(3) 研究方法

すでに実施された、都市内公道下にすでに建設された地下駅舎の仮設工事を対象として、その2次元図面を入手し、覆工板敷設までの仮設工事をBIMソフトウェアによりモデル化する。また、埋設管の2次元図面からその2次元モデルを作成する。これらのモデルを用いて、施工前段階での、2次元図面の不整合や仮設構造物と埋設物の位置関係を再現する。次に、実施工で用いられたバーチャートをもとに、プロジェクトマネジメントソフトウェアを用いてガントチャートを作成し、これを構成するタスク群から工期遅延の原因となったタスクを特定し、このタスクが遅延を発生させなかった状況と実際の施工状況を比較する。これを仮想施工計画と定義する。

対象となった工事においては、現場管理者のマネジメント能力により、大きな施工遅延は発生していない。しかし、海外の特に発展途上国における工事などでは、設計時に予見されていない埋設管の存在が、工事の大幅遅延の原因となることが少なくないことや、国内工事においても埋設管の位置情報に関する設計変更が受注者の重大リスクとなることから、施工遅延の原因となるタスクの影響度を仮想的により重大に想定した状況に対して、プロジェクトマネジメントソフトウェアによる解析を行う。これにより、設計時に埋設管情報を正確にBIMでモデル化することによる施工性向上の効果を間接的に評価する。

2. BIMとは

(1) 従来の3Dモデルとの違い²⁾

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関連技術を活用して統合した業務執行プロセスであり、実現すると、表-1のメリットが挙げられます。

3. 国際プロジェクトにおけるBIM活用の現状

(1) 世界のBIMに関する動向

2025年に向けての英国政府の建設産業政策(Our vision for 2025)では、Working together, industry and Government have developed a clear and defined set of aspirations for UK construction.「産業と政府は共に働き、英国の建設のための明確なそして確かな達成目標を築き上げる。」と冒頭に述べられている。2025年までの達成目標として、Lower cost(コスト低減)33%減、Faster delivery(時間短縮)50%減、Lower emission(エネルギー低減)50%減、Improvement(海外事業拡大)50%増と目標を定め、政府発注プロジェクトは2016年からBIM使用の義務付けを決定した。その背景として、2025年までに国際建設市場は70%増加すると予測されており、BIM活用の産業戦略は国際市場展開への布石となっている。

表-1 BIMによるメリット

- 設計の可視化
- 整合性の確保
- 情報化施工
- 構造物情報の一元化、統合化
- 環境性能評価、構造解析等
- 維持管理の効率化、高度化

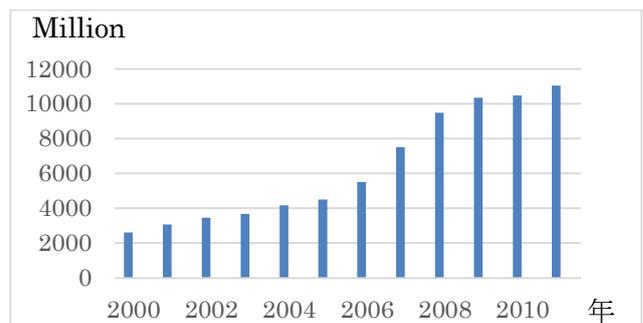


図-3 イギリスの事業量

4. 地下構造物と埋設管の干渉の 3 次元モデルによる把握

施工段階では予見が困難な地中埋設物の影響が受注者の費用負担に大きく影響する。しかし、電力会社、ガス会社、上下水道会社などの施設管理は 2 次元図面でしか公開されていない。清水建設を中心として位置検知システム GNSS (Global Navigation Satellite System) を開発しており、将来は統合的に 3 次元管理出来る技術は整いつつある。そこで、理想的な形で、精度が高い地中埋設物の図面があると仮定して施工遅延の改善効果を分析する。

(1) 対象とした地下駅舎仮設工事

対象とする工事は、BIM を用いられずに従来通りで行われた工事である。本工事は、地下施設の建設工事であり、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、工事の遅延が生じた事例である。施工前に不明瞭な点が多く、地中埋設物の影響が費用に与える影響が大きいため仮設工事を対象とする。また長期間で広範囲の工事のため、一部区間の路面覆工までの工程を分析の対象とし、遅延分析を行う。

a) 工事概要

- ・施工者
建設共同企業体 (JV)
- ・期間
平成 17 年 1 月～平成 26 年 12 月
- ・提供して頂いたデータ
設計図面 (2 次元 DWG データ)
月間工程表 (60 枚, 平成 17 年 12 月まで)
コスト概算表 (2 枚)
- ・対象期間
平成 17 年 1 月～平成 18 年 12 月
一部路面覆工完了まで

対象プロジェクトにおいて 2 次元図面の 3 次元モデル化を行った。用いた図面は仮設構造一般図、止水壁工断面図(A 断面～M 断面)上下線各側面図、各段の切梁平面図、路面覆工図である。作業は Bentley 社の MicroStation V8i を用いて行った。図-4 に架設構造一般図を示す。

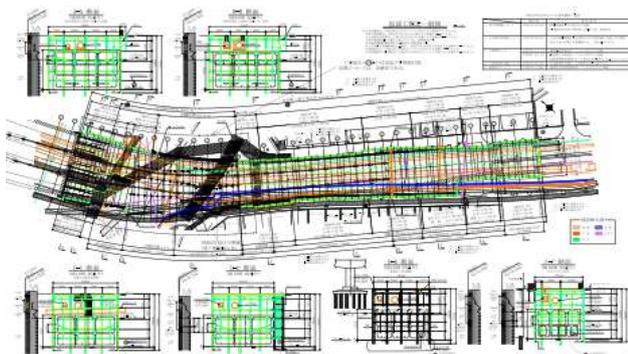


図-4 架設構造一般図

(2) 2 次元設計図面を用いた 3 次元モデル作成

a) セルの作成

セルとは部材のみの寸法・属性を含むデータである。提供された 2 次元図面の部材寸法を基に各部材ごとセルを作成した。

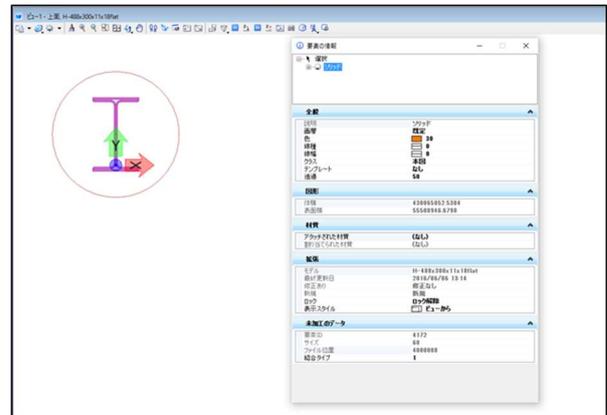


図-5 セルとプロパティの例

b) 2 次元図面の 3 次元空間配置

それぞれの 2 次元図面を止水壁工の断面を基に 3 次元空間に配置した。このとき切梁平面図における中間杭や止水壁の位置が他の図面と異なることが確認できた。

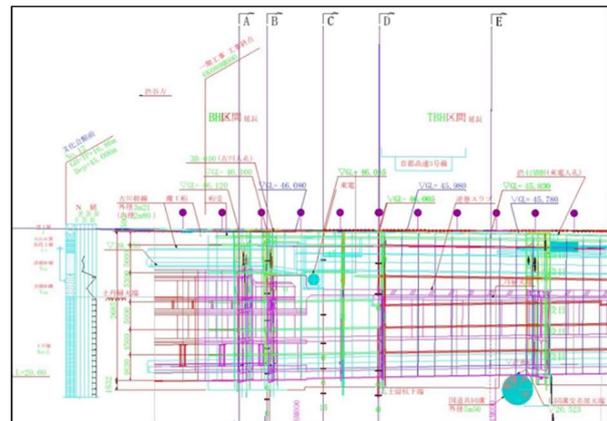


図-6 2 次元図面の 3 次元配置 (2)

c) セルの配置

図-7 のように配置した 2 次元図面を基に事前に作成したセルを配置した。またここでは切梁の詳細なモデルまでは作成していない。図-8 で示すように埋設管に関しては平面をつなぐロストサーフェス機能を用いたが 2 次元図面で示されていた埋設管との差異が生じたため簡易的なモデル作成のみに留めたほうが良いと考えられる。

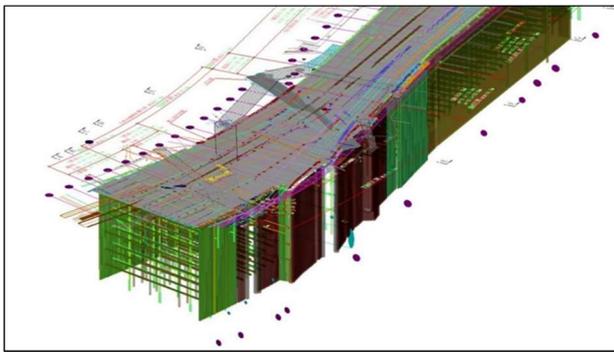


図-7 簡易3次元モデル

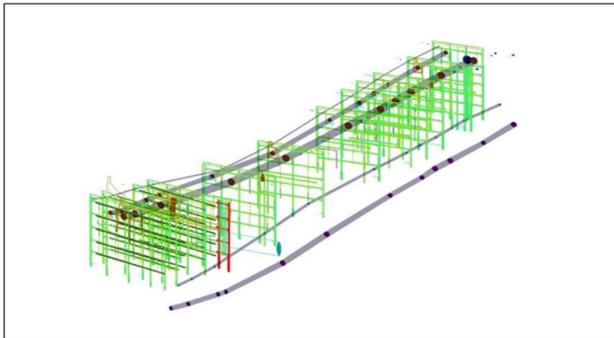


図-8 止水壁断面図と埋設管モデル

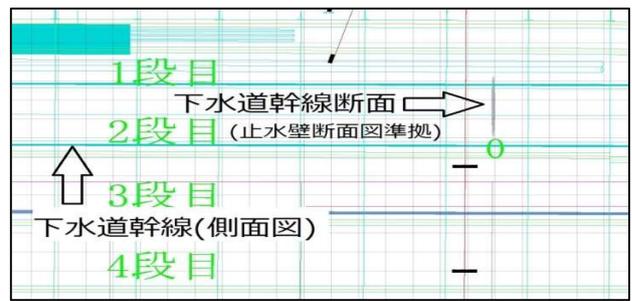


図-9 下水道幹線における図面不整合

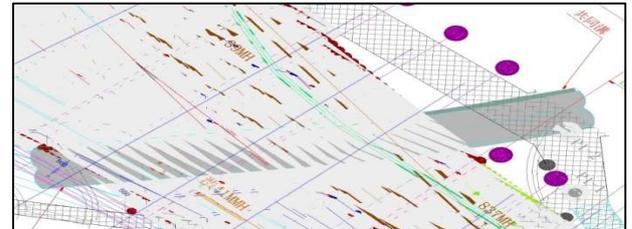


図-10 国道共同溝

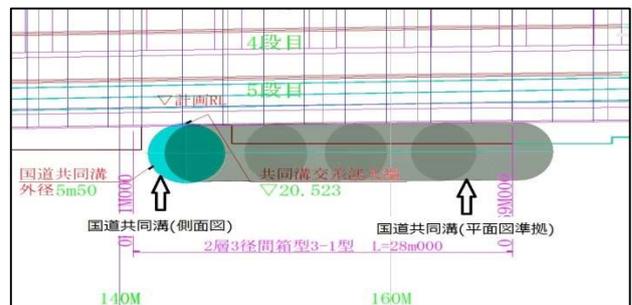


図-11 国道共同溝における図面不整合

(3) 埋設管の図面間での不整合

作成した簡易的な3次元モデルから下水道幹線、国道共同溝、既設・計画幹線において図面間の不整合が複数確認された。図-9ではJ断面における止水壁断面図と側面図での下水道幹線の不整合を示した。図-10で示した国道共同溝では図-11のように平面図に準拠した埋設管と側面図において不整合が確認された。ここで不整合を確認するための埋設管は止水壁断面図からのロストサーフェスのみでなく平面図情報も使用した。

5. 仮想施工による施工遅延の改善効果

(1) ガントチャート作成

図-12のバーチャートを基にガントチャートを構築していきます。

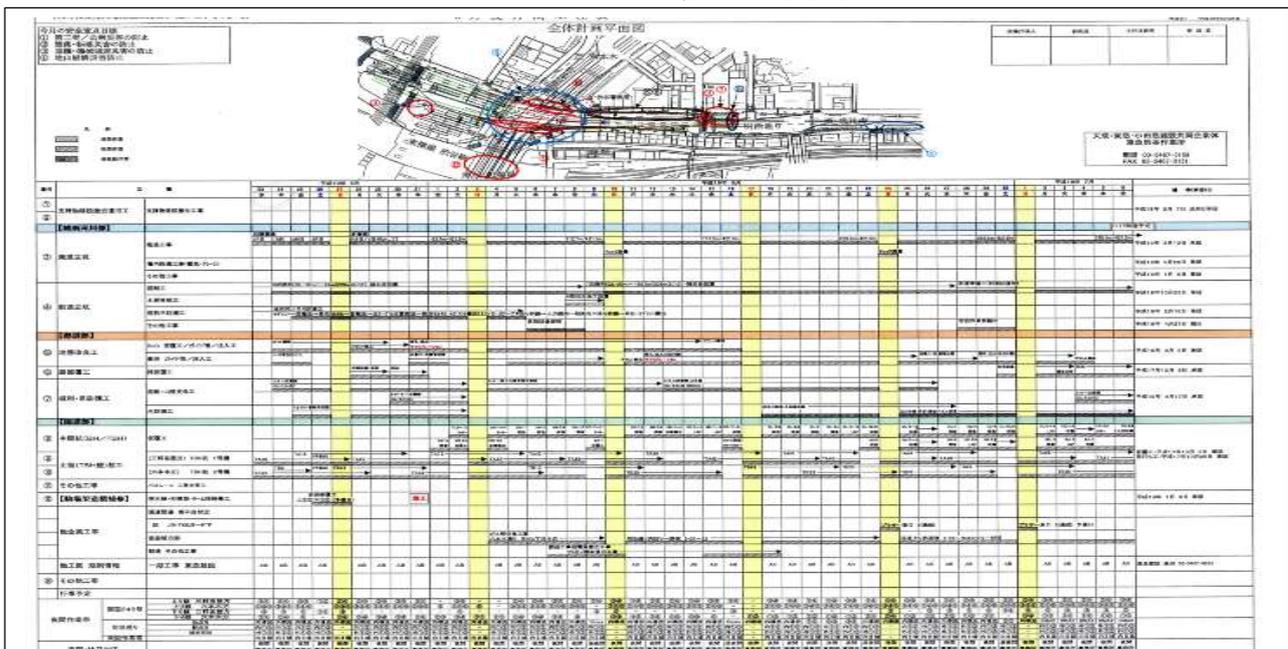


図-12 バーチャート

左の番号が上の区間にリンクしており、各タスクの期間をバーチャートから読み取りガントチャートを作成する。

①試掘工②支障物撤去工③仮設工と2年間分の月間工程表よりガントチャート作成を行う。路面覆工までの工程で、プロジェクト完成に影響を与える作業を特定し、月間工程表から遅延原因タスクを抽出する。どのクリティカルアクティビティーが連続した局面の中で遅延を受け、そしてどのくらいの量の遅延か明らかにする。



図-13 実施工計画ガントチャート

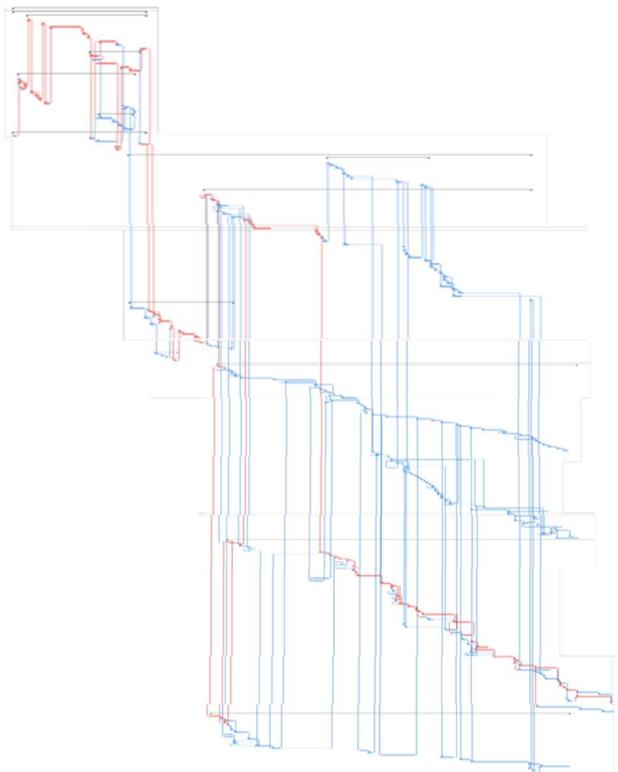


図-14 実施工計画ガントチャート

(2) 遅延原因タスクの特定

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際の実際の工程は示されていない。生成したガントチャートより潜在的な遅延の把握を行う。施工遅延として考えられるタスクを表-2に示す。

まず、タスク1-5については設計段階により詳細な図面、すなわちBIMモデルを使用して作成された図面であれば、設計時の仮想施工や埋設管情報高度化により不要なタスクになると考えられるため抽出した。タスク6についてはタスク5が不要であれば処理をする必要もないので抽出した。タスク7については、本来であれば不明管発見前にあった管路移設布堀タスクのみでよかったと考えられるので抽出した。タスク8については、BIMモデルを使用した施工時におけるシミュレーションやBIMを使用した図面があれば不要なタスクと考えられるので抽出した。

これらのタスクは、設計時により精度が高い図面があれば不要なタスクであるため、施工遅延原因タスクを取り除いた施工計画をBIM適用時の仮想施工計画とし、新たに生成する。

(2) 仮想施工計画の作成

表-2 遅延原因タスク一覧表

工事タスク名	遅延原因タスク期間		日数
1 東電緊急工事	2005/2/7	2005/2/11	4日
2 試掘工(追加分)	2005/3/12	2005/3/16	4日
3 試掘工(追加分)	2005/3/17	2005/3/23	6日
4 試掘工(追加分)	2005/3/29	2005/4/8	10日
5 不明水道管	2005/8/26	2005/8/27	2日
6 不明管処理	2005/9/17	2005/9/20	3日
7 管路移設布堀(下水)	2005/9/26	2005/10/1	6日
8 不明コンクリート調査・撤去	2006/5/26	2006/6/1	6日



図-15 仮想施工計画ガントチャート

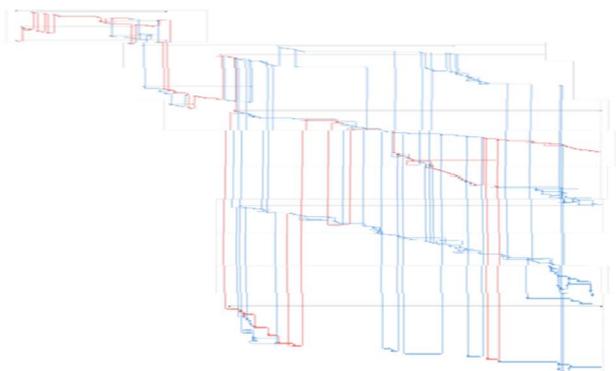


図-16 仮想施工計画ガントチャート

6. 施工遅延分析

(1) 既存の施工解析手法³⁾

遅延解析の目的は、遅延時間についてのコスト補償が決められうるように、そのいづらが個々の関係者（受注者、発注者、またはどちらでもない）に起因するかをプロジェクト後に識別しようとするためのことである。

遅延の種類には2種類があり以下に示す。

- ①受注者がコストのリスクと時間的影響を想定しているイベントは遅延（NN）として分類される。
- ②施工者が、時間延長と追加コストの回収の両方を受ける権利のある遅延（EC）があります。

(2) window analysis³⁾

特定の周期で更新されたスケジュールに関して、遅延の中間評価を行う。

切り取り期間は通常計画または主要なプロジェクト・マイルストーンの大きな変化に基づいて、全体のプロジェクト期間は分けられます。ウィンドウ期間を予定通りに越えた予定は、そのままであることが維持され各々のウィンドウの中の予定は遅れの時に実際の期間とシーケンスを反映するために更新されます。クリティカルパスと新しい完成日付を決定するために、分析は実行されます。この新しい完成日付は、そのウィンドウ期間の間に遅れの量を与える分析より前の完成日付と比較される。

(3) 仮想施工における施工遅延分析

“Window”Analysis を用いて解析を行う。設定した遅延原因タスクは8つあり、“Window”として切り取った期間は2005年度が3か月ごとに切り取り、次年度は2006年6月末まで総計5回の期間を切り取った。これらは遅延原因タスクが完了する期間に基づいて設定した期間である。

実際に遅延解析を進めていく前に切り取った5期間それぞれにおいて遅延原因タスクが、最短で施工期間に影響を及ぼす期間を把握する。また、その際の実施工計画のクリティカルパスの変動についても調べ遅延の影響度を把握していく。

また、マイクロソフトプロジェクトで設定した期間のみのタスクを抽出する機能がなかったため、生成した実施工計画および仮想施工計画から稼働日を一度完全に消去し、2005/03月までのデータを抽出するには2005/04/01から元々の計画の最終日までを休暇日として設定を行い、2005/3月末まで稼働するタスク以外を消去した。残りの切り取り期間についても同様に設定し、新たに施工計画を再構築させた。稼働日を一度完全に消去する方法でタスクを抽出していったので“Window” Analysis を用いる再構築した施工計画においては最終のタスク完了日が異なるが実際に稼働している日数は同じなので、遅延日の把握は最終完了日ではなく施工期間のみで管理している。最終タスクが完了するのは2005/10月末となる。

表-3 最短で全工程に遅延を与える設定期間

ウィンドウ0の遅延日

工事タスク名	遅延原因タスク期間		日数	遅延を与える設定期間	遅延日
東電緊急工事	2005/2/7	2005/2/11	5日	5日	6日
試掘工(追加分)	2005/3/12	2005/3/16	4日	5日	1日
試掘工(追加分)	2005/3/17	2005/3/23	6日	7日	1日

ウィンドウ1の遅延日

工事タスク名	遅延原因タスク期間		日数	遅延を与える設定期間	遅延日
東電緊急工事	2005/2/7	2005/2/11	5日	5日	6日
試掘工(追加分)	2005/3/12	2005/3/16	4日	5日	1日
試掘工(追加分)	2005/3/17	2005/3/23	6日	7日	1日
試掘工(追加分)	2005/3/29	2005/4/8	10日	21日	1日

ウィンドウ2の遅延日

工事タスク名	遅延原因タスク期間		日数	遅延を与える設定期間	遅延日
東電緊急工事	2005/2/7	2005/2/11	5日	5日	6日
試掘工(追加分)	2005/3/12	2005/3/16	4日	5日	1日
試掘工(追加分)	2005/3/17	2005/3/23	6日	7日	1日
試掘工(追加分)	2005/3/29	2005/4/8	10日	21日	1日
不明水道管	2005/8/26	2005/8/27	2日	5日	1日
不明管処理	2005/9/17	2005/9/20	3日	10日	1日

表-4 最短で全工程に遅延を与える設定期間の検討

ウィンドウ 3 の遅延日

工事タスク名	遅延原因タスク期間		日数	遅延を与える設定期間	遅延日
東電緊急工事	2005/2/7	2005/2/11	5日	5日	6日
試掘工(追加分)	2005/3/12	2005/3/16	4日	5日	1日
試掘工(追加分)	2005/3/17	2005/3/23	6日	7日	1日
試掘工(追加分)	2005/3/29	2005/4/8	10日	21日	1日
不明水道管	2005/8/26	2005/8/27	2日	3日	1日
不明管処理	2005/9/17	2005/9/20	3日	8日	1日
管路移設布掘(下水)	2005/9/26	2005/10/1	6日	16日	1日

ウィンドウ 4 の遅延日

工事タスク名	遅延原因タスク期間		日数	遅延を与える設定期間	遅延日
東電緊急工事	2005/2/7	2005/2/11	5日	5日	6日
試掘工(追加分)	2005/3/12	2005/3/16	4日	5日	1日
試掘工(追加分)	2005/3/17	2005/3/23	6日	7日	1日
試掘工(追加分)	2005/3/29	2005/4/8	10日	21日	1日
不明水道管	2005/8/26	2005/8/27	2日	3日	1日
不明管処理	2005/9/17	2005/9/20	3日	8日	1日
管路移設布掘(下水)	2005/9/26	2005/10/1	6日	7日	1日
不明コンクリート調査・撤去	2006/5/26	2006/6/1	6日	12日	1日

ウィンドウ 5 の遅延日

工事タスク名	遅延原因タスク期間		日数	遅延を与える設定期間	遅延日
東電緊急工事	2005/2/7	2005/2/11	5日	5日	6日
試掘工(追加分)	2005/3/12	2005/3/16	4日	5日	1日
試掘工(追加分)	2005/3/17	2005/3/23	6日	7日	1日
試掘工(追加分)	2005/3/29	2005/4/8	10日	21日	1日
不明水道管	2005/8/26	2005/8/27	2日	3日	1日
不明管処理	2005/9/17	2005/9/20	3日	8日	1日
管路移設布掘(下水)	2005/9/26	2005/10/1	6日	7日	1日
不明コンクリート調査・撤去	2006/5/26	2006/6/1	6日	7日	1日

遅延期間(日)

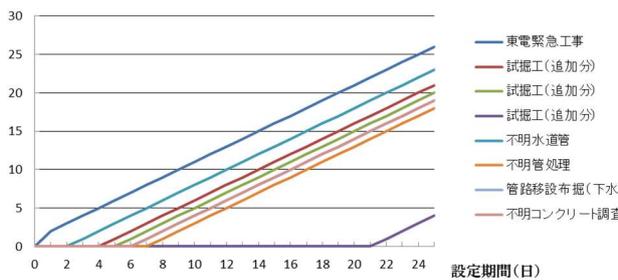


図-17 遅延を与える設定期間の際の遅延期間一覧

以上のデータを基に“Window” Analysis によって遅延解析分析を行っていく。

遅延原因タスクは、BIM を利用した場合はフロントローディングにより、これら全てのタスクを消去でき、再構築された計画を仮想施工計画と定めている。本分析で用いる計画完了日は、仮想施工計画の計画完了日 535 日を基準として分析を行う。実施工計画では遅延が発生したタスクを既に考慮して作成された計画であり、この計画より完全に遅延タスクの特定や遅延期間の特定はできない。そこで、特定した遅延原因タスクが実施工計画完了日に影響を与えないタスクについては、影響を与える最短日を特定し、その日を基準として仮想施工計画に埋め込んでいき発生する遅延日の影響度を分析する。

(3) 分析結果

(a) ウィンドウ0について

ウィンドウ0のタスク1については、設計段階からより精密な設計図面があれば緊急工事を行う必要がなく、予め、工事予定を組んでおくことができるため工期遅延の影響の低減を行うことができると考えられる。タスク2-3においても設計段階からより精密な設計図面があれば試掘の追加分をおこなわなくても一定の試掘で埋設場所を把握できる。そのためウィンドウズ1内で発生する最低遅延日8日間は発注者責任（EC）と定められる。

(b) ウィンドウ1について

ウィンドウズ1内にはウィンドウ0の遅延日も蓄積されており、遅延日が9日間発生するが、“Window”分析では新たに発生した遅延のみ評価していく。ウィンドウズ2内の新たな遅延はタスク4であり、前述同様に、試掘工（追加分）が遅延原因タスクであり、新規発生遅延の1日は、発注者責任（EC）と定められる。

(c) ウィンドウ2について

ウィンドウ2での新規遅延はタスク5-6であり、不明水道管の発見と撤去である。不明水道間の発見は設定期間5日より遅延が発生する。こちら、精密な設計図面があれば、予め、対応された計画を作成することができ遅延の影響は少なくなったと考えられる。しかし発見、初期対応に5日の期間を費やすことで発生してしまう工期遅延のリスクについては発注者の責任もあるが、対応の遅さという点でタスク5に発生する遅延1日は施工者責任（NN）と定められる。

タスク6は不明管の撤去である。不明管の撤去に関しては、遅延が発生した分だけ施工者責任（NN）と定められ、ウィンドウ2内の合計遅延2日は施工者責任（NN）と定められる。

(d) ウィンドウ3について

ウィンドウ3での新規遅延はタスク7の管路移設布堀（下水）である。このタスクは、タスク5-6とリンクされたタスクであり、前のタスクの影響を受ける工程になっている。そのため、タスク7で生じる遅延日1日は施工者責任（NN）と定められる。

(e) ウィンドウ4について

ウィンドウ4での新規遅延はタスク8の不明コンクリート調査・撤去である。こちら、精密な設計図面があれば、予め、対応された計画や仮想施工シミュレーションなど作成することができ遅延の影響は少なくなったと考えられる。しかし調査、撤去対応に12日の期間を費やすことで発生してしまう工期遅延のリスクについては発注者の責任もあるが、対応の遅さという点でタスク8に発生する遅延1日は施工者責任（NN）と定められる。

(f) ウィンドウ5について

ウィンドウ5内に発生する新規遅延はない。ウィンドウ5は工事完了付きであり設定した全タスクがリンクされている。これまでに遅延原因タスクとして想定してきたタスク1-8の期間を遅延発生までの最短期間日で設定すると、前のウィンドウよりも早く遅延が発生してくるタスクや猶予期間が発生するタスクが生じている。これは切り取る区間によって刻一刻とクリティカルパスは変動していることを示し、本工事の施工の複雑さが垣間見られる。そのため、このような複雑性のある工事では、施工段階より前の設計段階からBIMモデルを作成した図面があることによる仮想施工やガントチャートを用いた工程計画を行う価値がある。

表-5 “Window”分析結果

ウィンドウ番号	スケジュール更新	完了期間	ウィンドウ内の遅延	
			EC	NN
0(開始)	2005/1/11-2005/3月末	543日	8	0
1	2005/1/11-2005/6月末	544日	1	0
2	2005/1/11-2005/9月末	546日	0	2
3	2005/1/11-2005/12月末	547日	0	1
4	2005/1/11-2006/7月末	548日	0	1
5(完了)	2005/1/11-2006/10月末	548日	0	0
合計			9	4

ウィンドウごとの総遅延日

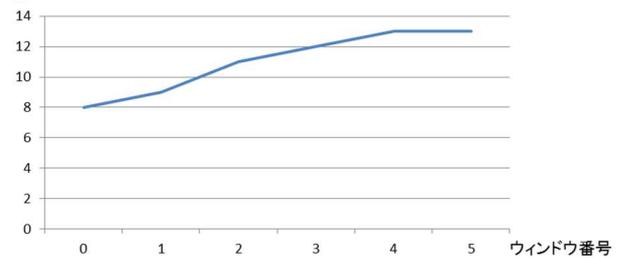


図-18 ウィンドウごとの累積遅延日

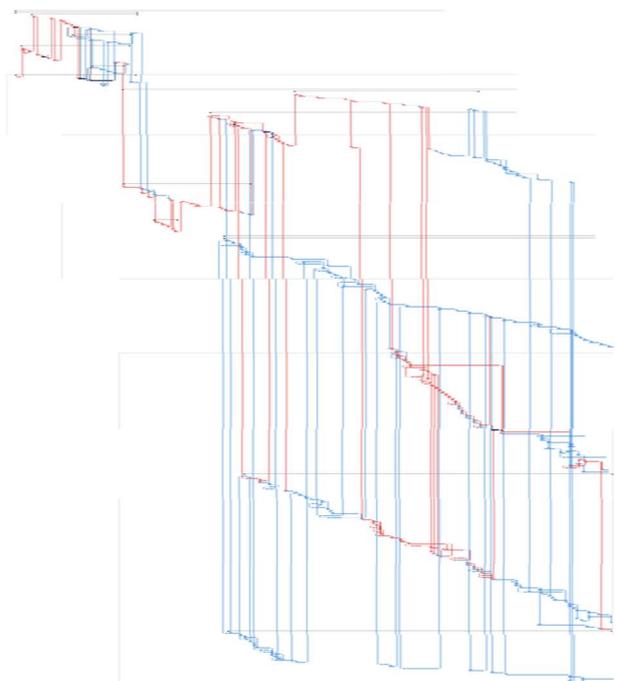


図-19 最終完了月2006/10月の仮想施工計画

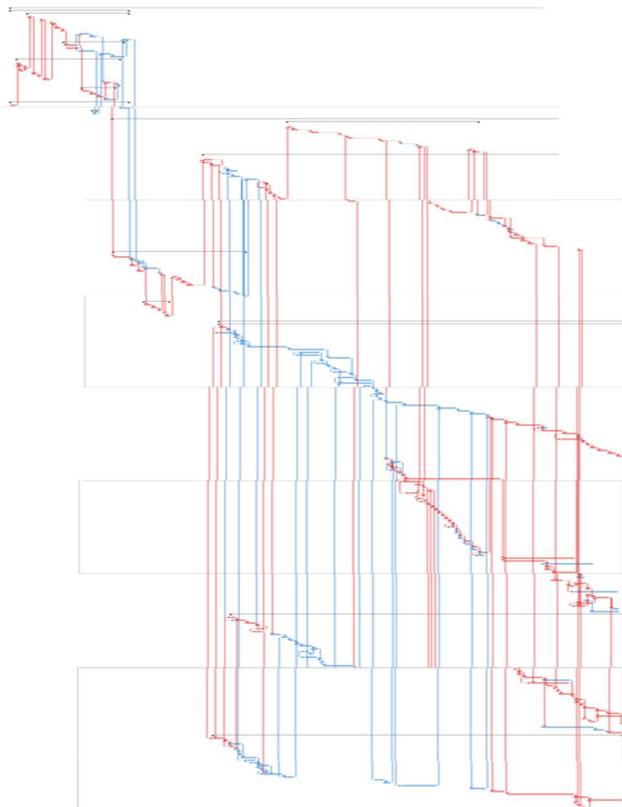


図-20 最終完了月 2006/10 月の実施工計画

“Window”分析では最短日の遅延日で分析を行ったが、ウィンドウ1での遅延や、ウィンドウ3, 4の延は1日でも遅延が発生すると即施工完了日に影響を与えるタスクであることが明確にされた。また、遅延の影響が大きくなるほどガントチャート内のクリティカルパスは変化していきより複雑な工事へとなっていく。1日の遅延が即全体の工期に影響を及ぼすのが明確であり遅延日が増えるほど施工にコストがかかってしまう危惧がある。

(4) 遅延原因タスクの影響度分析

どれだけの遅延が発生するか明確にするために遅延原因タスクについて遅延の影響度分析を行う。分析をおこなうウィンドウは、全工事完了時のウィンドウで遅延原因タスク1-8までのタスクが組みこまれているので2005/1/11-2006/10月末までのウィンドウ5にあたる実施工計画を用いる。

期間をそれぞれ遅延が発生したと想定し、1倍を基準日として2, 4, 6, 8, 10倍と各タスクの期間に倍率をかけていき遅延日の算出をおこなう。

タスク1, 2, 3, 5, 7, 8については2倍時の時に計画日数が付与され以降は等倍のため傾きが一定になる。これは元々のタスクがクリティカルパスであったため、2倍以降も遅延の影響を受け、延びた期間が工事終了日に影響する。

タスク4については、2倍時では遅延の影響が工期に与える影響は0日。4倍時以降傾きが直線になり工期の遅延に影響を与えていることから、クリティカルパスでなかったタスクが遅延の影響を受け、クリティカルパスとなり工期に影響を及ぼしている。

タスク6については、グラフでは読み取りにくい表-6より4倍時の遅延は5日となっており、以降は傾きが一定となる。0~2倍時の途中でクリティカルパスに変化し、以降は遅延が工事完了日に影響を及ぼしている。

このような分析はバーチャートを用いた施工計画では遅延日が施工完了日に与える影響の把握が困難でありガントチャートを用いた分析を行うことでより明確に示すことができる。仮想施工計画はBIMモデル作成を原則としており、BIMモデル作成費用により設計コストは上昇する。しかし、BIMを用いれば本分析のような潜在的遅延の把握を可能とできる点や、ガントチャートと用いることで実際の施工現場のシミュレーションをおこなう技術も確立されており、設計段階でより多くの金額を割くことで施工中の不具合や不測の事態にもスムーズに対応が可能となる点や潜在的課題をいち早く明確にできる点で施工に掛かるコストは下がり、結果として工事コストの削減ができると考えられる。

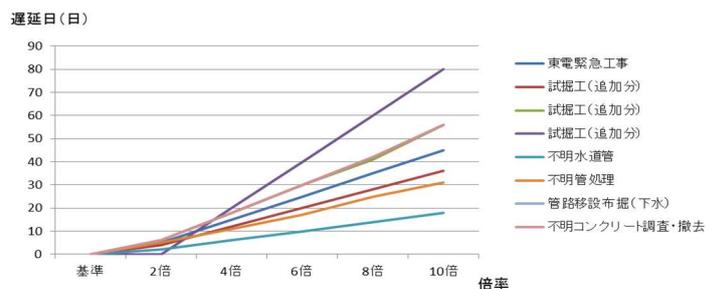


図-21 各タスクの遅延影響度

表-6 遅延原因タスクに各倍率をかけた際の遅延日

工事タスク名	計画日数	基準	2倍	4倍	6倍	8倍	10倍
東電緊急工事	5日	0	5日	15日	25日	25日	30日
試掘工(追加分)	4日	0	4日	12日	20日	28日	36日
試掘工(追加分)	6日	0	6日	18日	30日	42日	54日
試掘工(追加分)	10日	0	0日	20日	40日	60日	80日
不明水道管	2日	0	2日	6日	10日	14日	18日
不明管処理	3日	0	5日	11日	17日	23日	29日
管路移設布掘(下水)	6日	0	6日	18日	30日	42日	54日
不明コンクリート調査・撤去	6日	0	6日	18日	30日	42日	54日

7. 結論

本研究では、BIMの多様な活用方法の中でも、設計時の施工性の検討が社会基盤施設の計画性向上に大きく寄与するとの認識を前提とし、特に施工リスクの要因として重大と思われる地下埋設物と構造物との干渉チェックが効率的に実施できることを実施工事例を用いて確認するとともに、クリティカルパス解析により、その有効性を検証した。

現在の日本の施工現場ではバーチャートを基本とした施工計画が大半を占めているのが現状であり、ガントチャートでは途中の設計変更による工程変更や不測の事態における工程変更の際にマイクロソフトプロジェクトの機能により一括で新規施工期間が把握できる点でBIMとの相性がいい。ガントチャートを使用すれば、新規に施工計画を立てる際に容易に作成できるため、時間がバーチャートに比べ大きく削減でき、先行タスクを変更することで様々なシミュレーションを行い、最適な工程計画をいち早く検討するメリットがある。また、既にガントチャートはBIMとも連動しており、ガントチャートの工程順に施工シミュレーションを行える技術は確立されつつあり今後はますます日本の建設産業が使用する施工計画はバーチャートからガントチャートへと移行が求められると考えられる。

一方、一部期間に注目した際、切り取る区間によって刻一刻とクリティカルパスは変動していること

が示され、本工事の施工の複雑さが垣間見られる。そのため、このような複雑性のある工事では、施工段階より前の設計段階からBIMモデルを作成した図面があることによる仮想施工やガントチャートを用いた工程計画を行う価値がある。

対象となった工事では、現場管理者のマネジメント能力により、大きな施工遅延は発生していない。しかし、海外の発展途上国における工事などでは、設計時に予見されていない埋設管の存在が、工事の大幅遅延の原因となることが少なくないこと、国内工事においても埋設管の位置情報に関する設計変更が受注者の重大リスクとなることから、施工遅延の原因となるタスクの影響度を仮想的により重大に想定した状況に対して、プロジェクトマネジメントソフトウェアによる解析を行った。設計時に埋設管情報を正確にBIMでモデル化することによる施工性向上の効果を間接的に評価することができた。

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) Buildings：Construction Delay Analysis Techniques—A Review of Application Issues and Improvement Needs，2013.3.

When using BIM in underground construction Fundamental study on effectiveness of construction improvement

Yuta ITOH

In recent years, in terms of labor productivity, which is one of indices of industrial power, the productivity of the construction industry has declined sharply, as opposed to almost consistently rising productivity of manufacturing industries. As one of effective measures for solving these problems, utilization of BIM that centrally manages based on three-dimensional model data in the design and construction process is spreading rapidly in the world.

Even in Japan, expanding use of BIM is aimed at the request for cost, construction term, quality, and expectation as a tool of accumulation and inheritance of technology, energetically studied mainly by the Ministry of Land, Infrastructure and Transport.

In this research, we evaluate the effect of the virtual construction plan and the effectiveness of the front loading effect improvement by using the BIM at the investigative design stage towards the spread and development period of BIM by the delay analysis of the construction by the project management software.