

# コンカレント・マネジメントによる工程短縮と リスク変動抽出に関する一考察

(財) 日本建設情報総合センター ○鈴木 信行\*<sup>1</sup>  
早稲田大学理工学術院総合研究所 鈴木 明人\*<sup>2</sup>  
By Nobuyuki SUZUKI, Aketo SUZUKI

公共投資額はピーク時の約62%まで減少し、継続的に縮減される傾向にあり受注競争が激化している。低価格による品質確保が危惧され、海外で一般的に実施されているインスペクター制度による段階検査の導入が検討されている。コスト縮減には工程の短縮が有効手段であるが、段階検査の実施により手戻り等の工程への影響が増える可能性がある。

本稿では、工程の短縮手法としてコンカレント・マネジメント（同時施工マネジメント）を実施する際の手戻りの影響や作業資源の連関を潜在リスクと捉え、リスク変動抽出に関してグラフ理論およびデザイン・ストラクチャー・マトリックス手法を導入する。そして、橋梁上部工の施工例をもとに検討効果を示す。

【キーワード】コンカレント・マネジメント、工程短縮、リスク変動抽出

## 1. 研究の背景と目的

### (1) 研究の背景

建設事業は、社会基盤を整備し、経済活動等の人間活動基盤や安全・安心の空間を確保する使命を担っている。わが国の公共建設投資額は 1992 年度の 84 兆円をピークに減少を続け、2007 年度（見通し値）には 52.3 兆円となり、ピーク時の約 62%となっている。次年度においても、更に 3%の縮減予定が既に公表されている。

2005 年 4 月には品確法が施行され、低入札と品質確保の問題に呼応して、総合評価方式による入札・契約が本格的に導入されはじめた。また、「発注者責任に関する懇談会」の中間報告では、施工プロセスを通じた検査制度の導入を提言している。その中には、海外で実施されているインスペクター制度による段階検査の強化が含まれている。

21 世紀に入り ICT（情報伝達技術：Information and Communication Technology）が急速に社会へ浸透し、地場産業と考えられてきた建設分野にも情報化および国際化の潮流が迫ってきている。これまでわが国

の土木技術者は社会基盤建設において、ハード技術とともに、マネジメントというソフト技術を培ってきたと云われている。わが国建設産業の施工技術は世界のトップクラスであると言っても過言ではない。しかし、急激に変化する社会経済環境の中で、従来の勘や経験等いわゆる個人に帰属した暗黙知に依存するマネジメント技術の下では、世界トップクラスの施工技術が適切に活かされないと云われている。

### (2) 研究目的

建設事業におけるコスト縮減対応策として、工程の短縮が有効な手段である。しかし、コストや工程、リスク等のマネジメント要素はそれぞれが強い相互依存の関係にあり、効果的なマネジメント技術の優劣を判断することは容易ではない。

本稿では、工程短縮を目的としてコンカレント・マネジメントを実施する際のリスク変動抽出手法の提案を試みることを研究目的とする。そして、筆者等がマネジメントした橋梁工事にもとづいて、提案手法の有効性を示す。

\*1 建設コスト研究部 03-3584-2401

\*2 suzukiak@kurenai.waseda.jp

## 2. 研究方法

### (1) 工程の検討方法

工程を検討する際、一般的にはガントチャートや PERT、CPM (Critical Path Method) が用いられる。しかしながら、これらの手法では“繰返し作業 (iteration)”を考慮することが困難である。インスペクター制度や段階検査の導入により、次のプロセスに入る前の検査で手戻りの生じる場合が考えられる。このような事例は海外においては頻発している。

そこで、デザイン・ストラクチャー・マトリックス (DSM : Design Structure Matrix) という正方行列により工事プロセスの相互依存性を把握し、手戻りの影響発生を確率として捉え、モンテカルロ・シミュレーション手法により、手戻りによる工程への影響を推測する<sup>(1)</sup>。

図 1 は、1 作業が 30 日間の 4 プロセスで構成された工程例である。10%の確率で手戻りがあるとし、その影響は元の作業日数の 30%として 1,000 回シミュレーションした結果、図 3 に示すように 122 日で累積確率約 70%、124 日で累積確率約 79%になった。

それぞれの作業には機械・労務・材料という施工資源が必要である。それらも次工程へ関連している場合が考えられる。そこで、手戻り発生の確率やその影響度合いを同一として、作業資源の連関を含めたシミュレーションを実施した結果 (図 4)、作業資源を考慮しなかった場合よりもさらに 4 日間ほど工程が延伸する可能性があるという結果になった。

手戻り作業の影響程度の判断は経験者に帰属する暗黙知であるが、適切な連関を把握することによりシステムチェックに捉えることが可能である。

### (2) 作業プロセスとネットワーク分析手法

作業資源の連関を考慮すると図 1 のプロセスが図 2 のように複雑になる。どの作業プロセスを重点的にマネジメントすることが重要なのかをグラフ理論の中心性指標を用いて評価する<sup>(2)</sup>。図 2 はノード数が 20、リンク数が 70 の有向グラフで表される。

グラフ理論の媒介性指標 (between-ness)  $B$  は、システム (系) の中でノード  $i$  が前プロセスから得た成果等を次プロセスへ伝達 (媒介) することによる中心性を示す指標であり、次の式で定義できる。

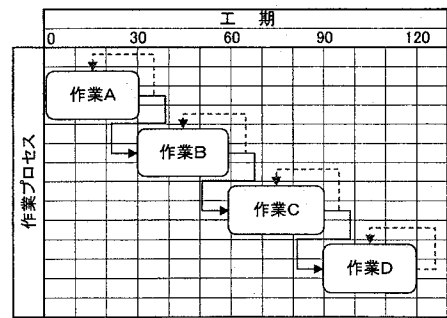


図 1 4つの作業プロセスからなる工程例

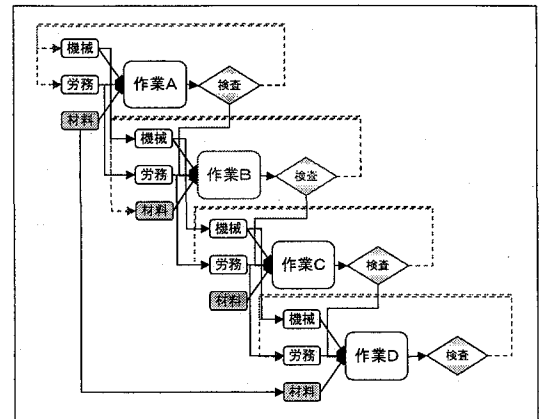


図 2 作業資源の連関を考慮した施工プロセス

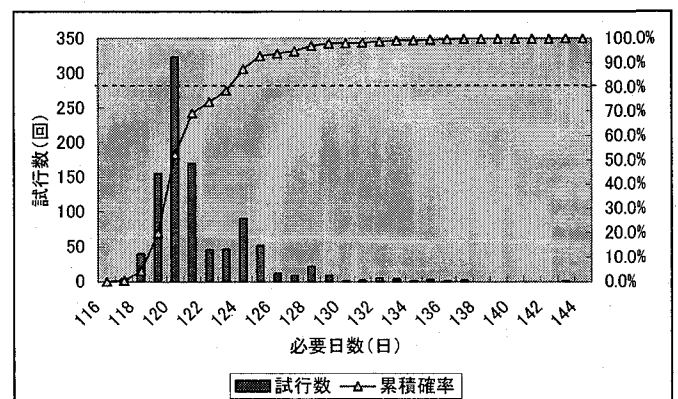


図 3 DSMによる工程シミュレーション結果

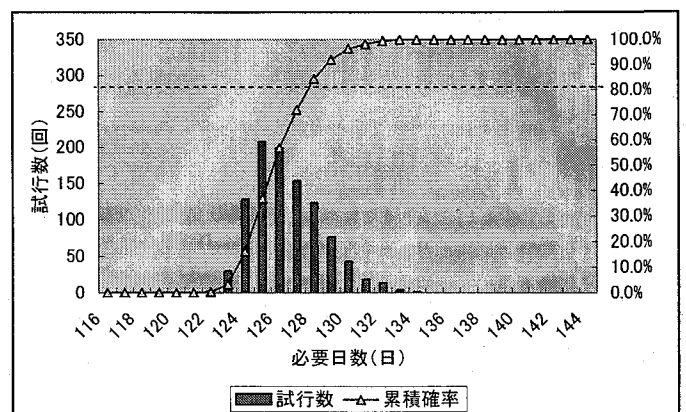


図 4 作業資源を考慮した場合

$$Between-ness(i) = \sum_{j=1, m=1}^N \frac{Gpaths_{j \rightarrow i \rightarrow m}}{Gpaths_{j \rightarrow m}} \quad (1)$$

ここに  $Gpaths_{j \rightarrow m}$  はノード  $j$  からノード  $m$  までの全ての最短経路数、 $Gpaths_{j \rightarrow i \rightarrow m}$  はノード  $j$  からノード  $i$  を含んでノード  $m$  までの最短経路数である。

式(1)により算出した媒介性値を表 1 に示す。表 1 より作業資源の連関を考慮したプロセス例における重要な要素は、「作業 B」と「作業 B の検査」であるといえる。このプロセスにおいて手戻りが生じないようなマネジメントが、リスクの抑制に効果があるといえる。

### 3. 橋梁工事での工程短縮検討事例

筆者等が海外でマネジメントした橋梁工事の事例を次に示す。

#### (1) 工事概要と工程短縮工法(In-Fill 工法)

工事は場所打ち基礎杭を含んだポストテンション工法連続箱桁橋工事である(図 5)。南北と東西に伸びる L 形をしており、連続 5 径間で構成される東西(EW)橋がクリティカル・パスになっていた。

場所打ちの連続橋であるため、1 径間ごとに最初のプロセスから作業をはじめなければならない。工程短縮にはコンカレント作業を増やすことが有効となる。そこで、コンカレントに施工できる計画を立案し、設計監理コンサルタントおよび発注者へ提案し承認を受けた。この提案とは、追加の施工継ぎ目(construction joint)を設けることにより、In-Fill 部 5m と先行スパン 25m に分割し、先行スパンを他径間とコンカレントに施工可能とし(最大第 1~第 4 径間が同時)、クリティカル・パスを工程の短い In-Fill 部に移行する計画である。工程表の抜粋を図 6、概略施工断面図を図 7 に示す。当初設計による EW 橋の全工程は 248 日間であったが、In-Fill 工法の採用により 116 日間短縮できる可能性が判明した。

#### (2) 分析結果

##### a) 媒介性値による重要プロセスの把握

連続桁橋工事は、原則的に 1 作業プロセスごとの直列作業になる。したがって、個別作業プロセスの最適化が全体工程の最適化となる。同種のタイプは、トンネル工事等の線形的に延びる工事が相当する。

表 1 作業プロセスの媒介性値

| A 作業 | 媒介性値 |      | B 作業 | 媒介性値 |      | C 作業 | 媒介性値 |      | D 作業 | 媒介性値 |      |
|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
|      | 機械   | 10.9 |      | 機械   | 25.6 |      | 機械   | 23.8 |      | 機械   | 8.9  |
|      | 材料   | 0.0  |      | 材料   | 0.3  |      | 材料   | 0.0  |      | 材料   | 4.0  |
|      | 労務   | 10.9 |      | 労務   | 25.6 |      | 労務   | 23.8 |      | 労務   | 8.9  |
|      | 作業   | 18.2 |      | 作業   | 38.2 |      | 作業   | 32.2 |      | 作業   | 26.2 |
| B 検査 | 検査   | 30.2 | C 検査 | 検査   | 41.2 | D 検査 | 検査   | 25.2 | E 検査 | 検査   | 10.2 |
|      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |

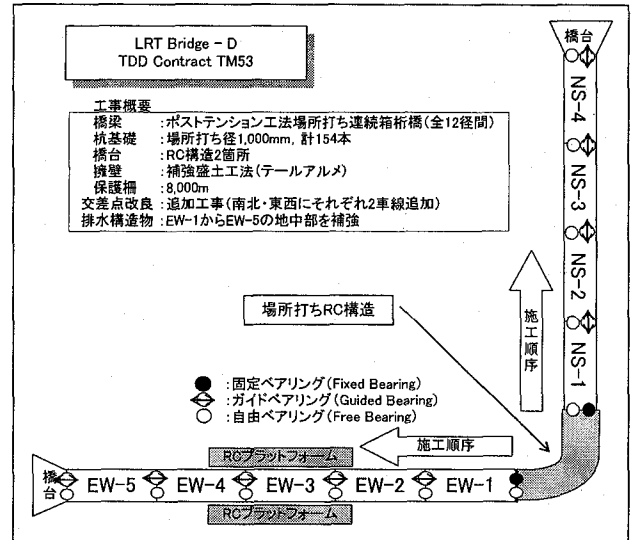


図 5 ポストテンション工法連続箱桁橋の平面概略図

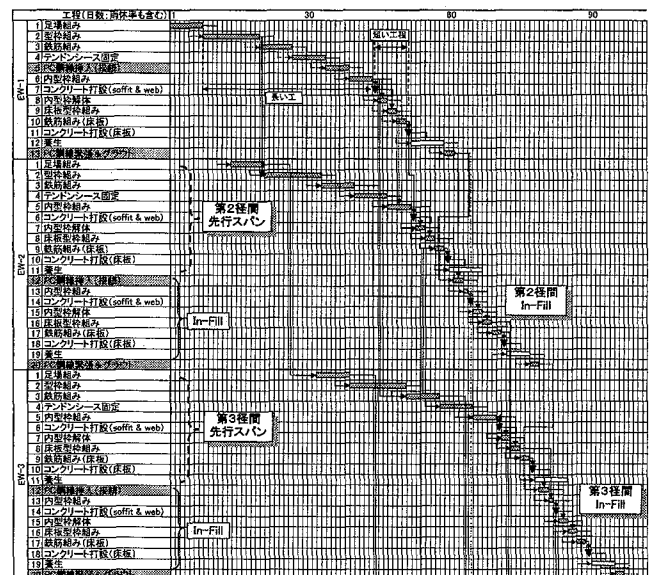


図 6 In-Fill 工法を採用した工程(抜粋)

図 6 は工程と共に作業資源の連関を示している。これをプロセス・グラフと捉え、式(1)より各プロセスの媒介性値を算出した。その結果、最初に媒介性値が高くなるのは第 3 径間の先行スパン型枠工であり、次ぎに第 2 径間の In-Fill 部、その次ぎに第 3 径間の In-Fill 部、次ぎに第 4 径間先行スパン型枠工であることが推断できた。すなわち必ずしもクリティカル・パス上の作業だけが重要ではなく型枠工という作業資源の連鎖に注視する必要があることがわかる。

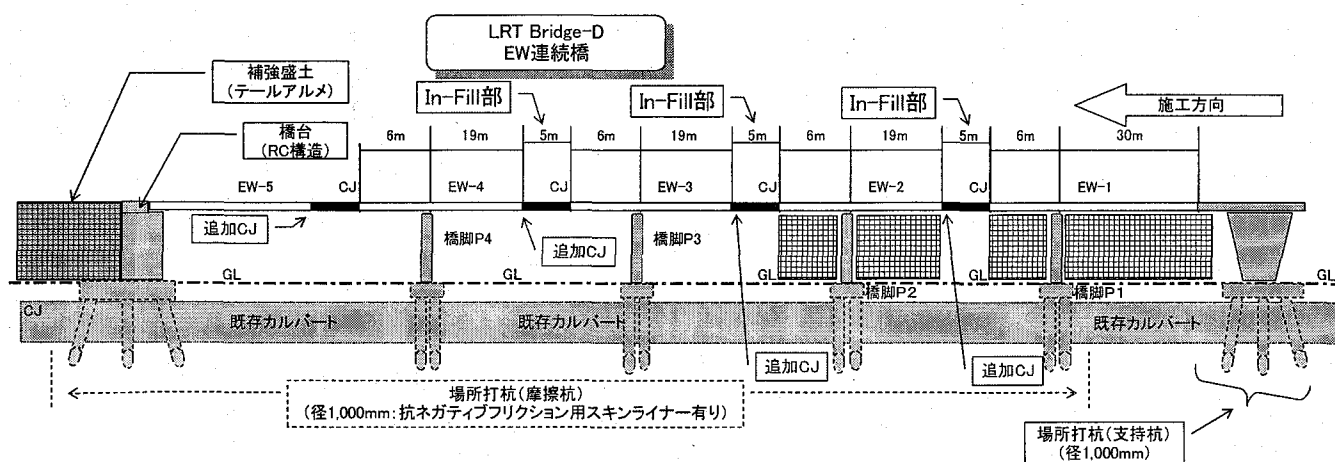


図7 In-Fill工法を採用した5連続箱桁橋

#### b) DSMを用いたモンテカルロ・シミュレーション

次に、当初計画と In-Fill 工法における“手戻り”による工程への影響をシミュレーションした。当初計画の EW-1 は手戻り 6~7 日間（全 60 日間の 12~13% 相当）、EW-2 の In-Fill 部では手戻り 4~5 日間（全 18 日間の 22~28%相当）の影響があると判明した。すなわち、先行径間は当初計画工程よりもそれぞれ 7 日間早く着手しなければ、クリティカル・パスになってしまうという潜在リスクが判明した。また In-Fill 部は小刻みな段取りになるため、手戻りによる遅延リスクが大きいことも判読できた。

#### c) マネジメント判断支援

In-Fill 工法の採用により工程短縮の効果が期待できた。CPM 等によるクリティカル・パスの検討に加えて、作業資源の連関を媒介性値で分析し、さらに手戻りの影響をモンテカルロ・シミュレーションすることによりリスク・ポテンシャルを詳細に把握することができ、工程管理およびリスク管理をより確実なものとすることができた。

#### 4. まとめ

工期短縮案として複数の作業プロセスを同時施工することが有効である。その際、クリティカル・パスが移動することは CPM 等の手法により検討されてきた。しかし、リスクの変動や偏在、潜在、そして他のプロセスに影響を与える重要なプロセスの存在に関する判断は担当者の勘や経験に依存していた。本稿では、DSM 手法とグラフ理論を採用することで、システムチックな分析の可能性を示した。担当者の意思決定支援に有効な手法であると考えられる。

#### 【参考文献】

- 1) Tyson R. Browning, Steven D. Eppinger : Modeling Impacts of Process Architecture on Cost and Schedule Risk in Product Development, IEEE Transactions on Engineering Management, vol. 49, no. 4, pp. 428-442, November 2002
- 2) 鈴木信行, 鈴木明人, 濱田政則 : 建設施工におけるマネジメント要素間の相互依存性と順序立てに関する研究, 土木学会論文集 F, Vol.63(2007), No.1, pp.72-85

## A STUDY ON THE TIME SAVING BY CONCURRENT MANAGEMENT AND RISK IDENTIFICATION

By Nobuyuki SUZUKI, Aketo SUZUKI

The time saving by concurrent management is generally useful for the project cost saving. Not only the critical path, but also risk impact due to the iteration works and the construction resource chains should be taken into account. In our paper, we introduce Design Structure Matrix and a centrality index of Graph Theory to identify the potential risks which are difficult to reveal by usual methods. Finally we give an example of an in-situ continuous post-tensioned box-type bridge for effectiveness.