

建設施工マネジメントにおける出来高管理システム (EVM)適用法に関する一考察

(財) 日本建設情報総合センター 鈴木信行*¹
早稲田大学理工学術院総合研究所 鈴木明人*²
日本大学生産工学部土木学科 高崎英邦*³

By Nobuyuki SUZUKI, Aketo SUZUKI, Hidekuni TAKASAKI

建設生産システムは、計画、調査、設計、入札・契約、施工、維持管理、更新等のフェーズ（段階）で構成される長いライフサイクルを形成している。その中でも施工の段階は、比較的短い時間に資機材や労務、資金等の多くの資源が投入される¹⁾。したがって効果的なマネジメントの実施が要求される。

マネジメントツールとして米国国防省（Department of Defense, 以下DoD）が提案した、コストと工程を“価値（value）”という同一の評価基準で統括して管理を可能とする出来高管理システム（Earned Value Management System, 以下EVM）は広く知られ、様々な機関や組織で採用されている。

EVMの評価基準である計画価値は、必要コスト（予算）と同等として設定されることが多いが、建設施工では作業資源の段取り等の影響により、計画出来高の確保が困難になる場合が多い。そこで、本研究では作業項目と作業資源の連関に着目し、“価値”の設定方法にグラフ理論の媒介性指標の導入を試みた。そして提案したEVMが建設施工マネジメントにおいて、より効果的な判断支援ツールになるのかを実際の建設施工に適用することにより検証した。その結果、作業資源連関を考慮したEVMは進捗状況をより敏感に感知し、マネジメントの重要な工種の特定やリスクポテンシャルの連鎖を表現しやすいことがわかった。

【キーワード】建設施工マネジメント、EVM、作業資源連関

1. 研究の背景と目的

建設生産システムは自然環境のもとで稼働し、構築された社会環境・社会制度を基盤として、都市空間等の国民の経済活動基盤、安全で安心の生活環境を創造する。特に、バブル経済が崩壊した1990年代後半から21世紀の初めにかけてのICT（情報伝達技術、Information and Communication Technology）の進展と社会への浸透により、建設産業を取り巻く環境は急変している。このように、自然環境や社会制度等の変化・変革は、建設生産システムに直接的に影響を与える。すなわち変化を読み取る技術と適切な対応を判断するマネジメント技術が重要といえる。

マネジメントとは意思決定機能を組織に与え、組織と社会との関連付け（連携）をする²⁾。マネジメント

の構成要素は、品質、コスト、工程、人的資源、調達、情報、リスク、スコープ、統合と定義できる³⁾。マネジメントを適切かつ効率的に機能させることにより、建設生産システム全体としての成果を向上させることが可能である。

建設施工は、工程およびコストの制約下において唯一性のある施工目的を達成しなければならない⁴⁾。そして品質（Q）、コスト（C）、工程（D）には強いトレードオフの関係が存在する⁵⁾。したがってQCDの3つの異なった評価要素を、一義的に監視・管理することは容易ではない。

EVMは、工程とコストを“価値（Value）”という同一の評価軸に換算して、工程とコストを統括管理する手法である。したがって価値の設定方法の相違により、評価結果およびマネジメント判断が影響

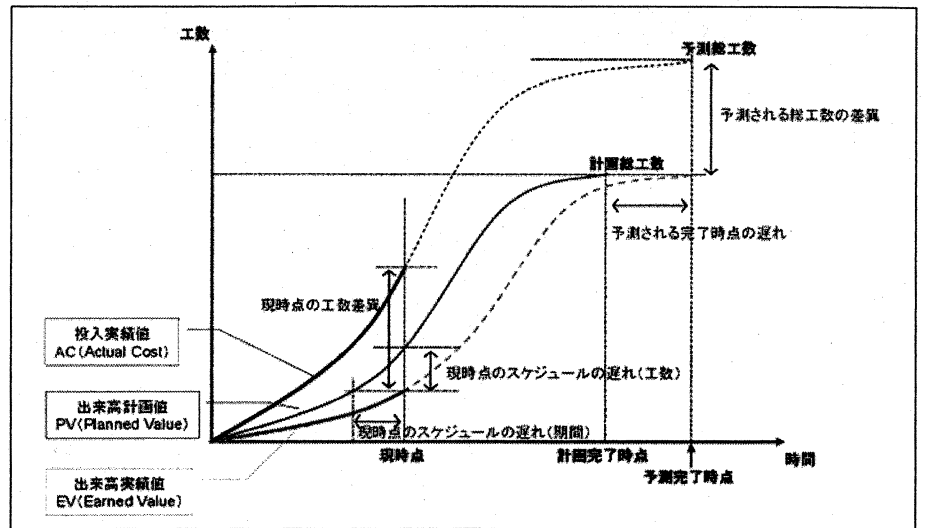
*1 建設コスト研究部 03-3584-2401

*2 suzukiak@kurenai.waseda.jp

*3 takasaki@cit.nihon-u.ac.jp

を受ける。

本研究では、意思決定の支援ツールの一つである EVM の価値の設定方法として、作業資源の連関に着目した。そして、作業資源を含めたネットワークモデルを構築し、グラフ理論の中心性指標の一つである媒介性指標を用いて“価値”に重みを付けることにより、EVM がより効果的に機能するのかの確認を目的としている。そして、この“価値”に重みをつける方法をもとに実工事に適用し、検証した。



図－1 EVM の概念（「業務・システム最適化指針（ガイドライン）」⁷⁾より引用）

2. EVM の概念と適用上の課題

(1) EVM の制定と概念

EVM と同等の概念は、1890 年代から米国の工場生産管理技術者達の間で採用されていた。重要な点は達成された価値と費やしたコストの差を定義し、コスト効率の判断指標としていたことである。その後、1960 年代半ばから約 30 年間については、コスト／スケジュール管理基準（C/SCSC：Cost / Schedule Control System Criteria）と呼ばれる契約相手方のパフォーマンスを監視する基準を DoD が制定した。この C/SCSC の中に既に EVM の概念が組み込まれていた。

30 数年間にわたる C/SCSC における EVM の適用を経て、1997 年初めに DoD の指針 5000.2R に取り入れられ、また民間プロジェクト向けに改良されて 1998 年 7 月には米国国家基準／電子産業連盟（ANSI/EIA）#748 ガイドとして公布された。そして現在に至るまで、民間企業において広く浸透したプロジェクトのマネジメントツールとなっている⁶⁾。

EVM の概念は、監視（モニター）する時点における出来高計画値（PV）に対して、投入実績値（AC）と出来高実績値（EV）の差異で、工事の進捗状況を把握し、将来の状況を予測する仕組みである。概要を図－1 に示す。進捗評価の基準である PV 設定の考え方により、状況判定が影響を受ける。

EVM 英略語表記を表－1 に整理し、以下、本稿では英略記を使用する。

表－1 EVM で使用する略語

英略語	英語表示	日本語
PV	Planned Value	出来高計画値
EV	Earned Value	出来高実績値
SPI	Schedule Performance Index	工程効率指標
CPI	Cost Performance Index	コスト効率指標
AC	Actual Cost	投入実績値
BAC	Budget at Completion	予算
EAC	Estimation at Completion	予測最終コスト

(2) 建設生産システムの特性と EVM 適用の課題

建設業は、製造業、鉱業と共に第二次産業に分類される⁸⁾が、工場内で“製品を造る”という作業とは異なる。気象や地象等の影響を受けやすい。したがって、当初の計画通りに進捗することは少ない。それ故、計画と実績の差異から現状を把握し、そして将来状況を推測する EVM の概念は有効といえる。しかし、一般的に普及している EVM は建設産業に特化して開発された仕組みではない。そこで、本節では建設施工に EVM を適用する場合の主な課題点を著者の経験を基に示す。

a) 作業資源連関の影響課題

建設施工には専門技術やそれぞれの作業項目に必要な資源が継続的に、または断続的に繰返し参画することが多い。工程で示される連続する“作業項目”の連携の他にも、“専門業者や作業資源”の連関が存在する。工程計画の段階で、作業資源の山崩しや作業資源の山均しを検討することは一般的であ

る⁹⁾が、作業項目の順序や関連性（例えば、掘削の前に均しコンクリートの打設は不可とか、鉄筋組みは均しコンクリートの後など）および全体工期との関係等により、作業資源の平準化が困難な場合がある。EVM には作業資源の連関影響を考慮する概念が無い。

b) 潜在化するクリティカルパスのEVM評価

複雑な工事では、作業項目の連関を明確にしてネットワーク工程表を作成し、クリティカルパス法を用いて最長時間となる作業項目の連関経路を抽出することが多い。そして、クリティカルパス上の作業項目に注視して、施工管理を実施することが重要とされている¹⁰⁾。

建設施工をより効果的にするためには、進捗状況を適切に判断し、状況に合わせた工程短縮等の効率化検討が重要である。そのための手法として、①複数の作業項目を並行作業とするファストトラッキング（Fast Tracking）や、②追加の作業資源を導入するクラッシング（Crushing）を検討し、工程短縮効果やコスト削減効果、品質確保の確実性等から建設施工の最適解を求めている。しかし、当初工程を圧縮することにより、クリティカルパスの経路が移動したり潜在化したりする可能性は高い¹¹⁾。

EVM では、クリティカルパス上の出来高も非クリティカルパス上の出来高も同一の“価値”としている。すなわち非クリティカルパス上の出来高が大きい場合、クリティカルパス上の問題が埋没する可能性がある。

c) “価値”の重要度が一定

建設施工は“段取り八分”とも言われ¹²⁾、施工計画の立案や工事の前段が重要と考えられることが多い。しかしながら、準備等の作業が多く、出来高としての進捗度は低くなる傾向がある。それに対して、工期の中間時期は出来高が伸びることが多い。

EVM では、同一期間（時間内）に施工する複数の作業項目毎の出来高値を足し合わせて、その期間における計画出来高としている。表-2 に示すように初版の PMBOK では“計画予算コスト”と“実施予算コスト”という表現を用いており、予算（Budgeted Cost）＝価値（Value）という考え方が強い。建設施工における工程上の重要度とは関係なく、必要な予算から“価値”が設定されることが多い。

3. 重み付き EVM 評価法の提案

前章では建設施工に対して、EVM を現状の方式で適用する場合の“価値”の設定方法に関する課題を示した。今までの EVM は建設産業を対象として考案された管理手法ではなく、様々な業種でも適用できるように、考え方が単純化されている。EVM を建設施工において効果的に適用できるようにカスタマイズすることを考えて、作業資源の連関を考慮した“価値”の設定方法を以下に提案する。

a) 作業項目と作業資源の分解

EVM を実施する前に、EVM の評価項目を設定する必要がある。一般的にはワークブレイクダウンストラクチャ（Work Breakdown Structure、以下 WBS という）という作業の分解を行う。これが作業項目である。次に WBS を構成する最小の管理単位となるコントロールアカウント（Control Account、以下 CA という）またはワークパッケージ（本研究では CA と表現する）まで分解する。これを責任割当マトリックス（Responsibility Assignment Matrix : RAM）と呼ぶこともある¹³⁾。すなわち、一つまたは複数の CA で一つの WBS が構成される。建設施工では、CA が作業資源に相当する。

表-2 EVM 表記の相違

	PMBOK2000 版	PMBOK1996 版（初版）
計画価値	Planned Value	Budgeted Cost Work Planned
出来高	Earned Value	Budgeted Cost Work Performed
実費	Actual Cost	Actual Cost Work Performed

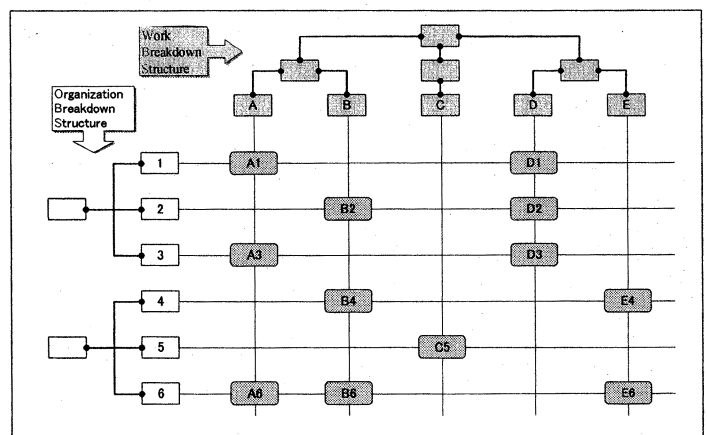


図-2 WBS-CA (RAM) のイメージ

図-2 は、一般的に表示されている WBS と CA の関連性の表記である。それぞれの作業項目 WBS には必要な作業資源が存在し、作業項目の前後関係（作業工程）に合わせて作業資源 CA 間にも関連が存在する。これを WBS-CA ネットワークと定義する。

b) 作業資源を含めたネットワークモデルの構築

以下の条件で作業資源を含めたネットワークモデルを構築する。

- (ア) ネットワークの境界条件の影響を避けるために、工程の最初 (Start) と最後 (Finish) に 1 つずつノードを設定する。
- (イ) 作業項目 WBS を構成する作業資源 CA は作業項目に影響を与え、かつ、作業項目 A から影響を受ける。すなわち、双方向に関係 (リンク) があるとする。
- (ウ) 作業資源間 (例えば、CA-B から CA-D および CA-E へ) の関係は作業項目 WBS の関係に依存するため、片方向の関係 (リンク) があるとする。

図-3 は、5つの作業項目 (A~E) が単純に連続した工程を示している。それぞれの作業項目は作業資源 (CA-A~CA-E) で構成されている。図-4 は、作業項目 B と D、B と E、及び D と E に作業資源に関連がある場合を表現している。すなわち、作業項目 B の作業資源 CA-B が、作業項目 D と E の作業資源でもある。図-3、図-4 いずれの WBS-CA ネットワークは、関連の方向性を持った有向グラフと捉えることができる。

図-3 と図-4 のそれぞれの作業項目に記載した数値は、次節で解説する相対媒介性値である。

c) 媒介性値を用いた価値の重み付け

ネットワークにおいて、重要な役割を果たしている“作業項目”を特定するために、グラフ理論の中心性指標を導入する。代表的な中心性指標を表-3 に示す。本研究では、作業資源の関連の多いノードを特定することができる媒介性指標 (Between-ness) を用いる。媒介性指標は、影響や情報を仲介する機能を示す¹⁴⁾。大きな数値ほど媒介機能が高いと判定できる。すなわち、作業資源が多く関連しており、次の作業等に影響を与える可能性の高い作業項目を特定できる。そして、その重要度を EVM の管理基準曲線 (計画出来高 PV) に“重み”として付加することに

より、作業資源の関連を考慮した EVM を仮定することができる。

次に媒介性指標の算出式を示す。

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

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

図-3 と図-4 の各作業項目に式(1)で算出した媒介性指標の最低値を 1 とした (Start と Finish のノードは除く) 各作業項目の相対媒介性値を示している。作業資源の関連を考慮しない場合は、中間の作業項目 C が最大値を示すが、作業項目が関連した場合はその作業項目 (図-4 では B) の比重が重くなること

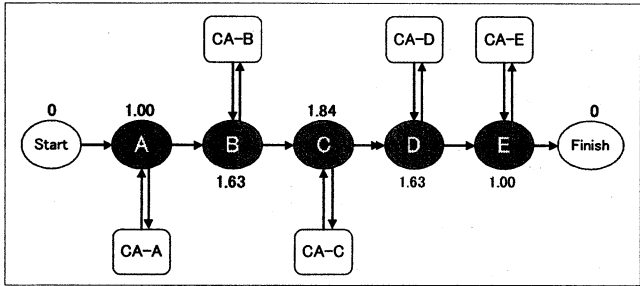


図-3 WBS-CA ネットワークモデル(作業資源関連なし)

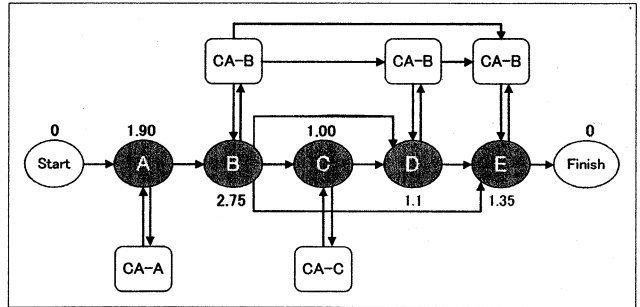


図-4 WBS-CA ネットワークモデル(作業資源関連あり)

表-3 代表的な中心性指標

和表記	英表記	指標の説明
入次数	in-degree	他のノードから入るリンク数の程度を示す。例えば、多くの作業資源が入るノード。
出次数	out-degree	他のノードへ向かうリンク数の程度を示す。例えば、多くの作業資源が出るノード。
媒介性	between-ness	それぞれのノードの連携を媒介する程度を示す。例えば、多くの作業資源が関連するノード。

表-4 各作業項目の計画価値 PV の設定重み

	作業項目				
	A	B	C	D	E
一般的な設定重み	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
作業資源連関なしモデル	1.00	1.63	1.84	1.63	1.00
作業資源連関ありモデル	1.90	2.75	1.00	1.10	1.35

表-4 に図-3 と図-4 のモデルを基に、一般的な計画価値 PV と、本研究で提案する作業資源の連関を考慮した計画価値 PV の設定重みの比較を示す。

d) 作業資源連携とクリティカルパス

次に作業資源の連関による計画出来高 PV 上のクリティカルパス移動を示す。図-5 は作業項目 A から F までの 2 系統のパスで構成される工程である。それぞれの作業項目における必要時間とコストは同等とする。クリティカルパスは、A→B→C→F と A→D→E→F の 2 つ存在する。ここで作業項目 D の資源が作業項目 C と連関が存在する場合、作業項目 A、D、C、F の相対媒介性値が高くなり、計画出来高 PV 上のクリティカルパスになる。

時間軸ベースのクリティカルパスは全ての作業項目が同等に重要であるが、作業資源ベースの出来高上では“B よりも D”、“E よりも C”を重視したマネジメントの必要性があると判断できる。

e) 計画出来高 PV の補正方法

次に監視する時間 (t) における計画出来高 $PV(t)$ の補正方法を示す。当初の累積出来高（予算）である BAC と媒介性指標 *Between-ness*(i)（以下 $Bet(i)$ とする）を用いた計画出来高 $Bet(i) \times PV(t)$ の総和の比を補正係数 Adj とする。監視する時間 (t) における補正後の計画出来高 $Bet.PV(t)$ は補正係数 Adj と媒介性指標 $Bet(i)$ を用いた計画出来高 $Bet(i) \times PV(t)$ の積とする。

$$Adj = \frac{BAC}{\sum_{i=1} Bet(i) \times PV(t)} \quad (2)$$

$$Bet.PV(t) = Adj \times \{Bet(i) \times PV(t)\} \quad (3)$$

図-6 は、作業項目 A～E は共に 10 となる計画出来高 PV（すなわち予算 BAC は 50）の工事を想定した場合、補正の無い一般的な計画出来高 PV と補正後出来高 $Bet.PV$ の比較である。図-3 のような作業資

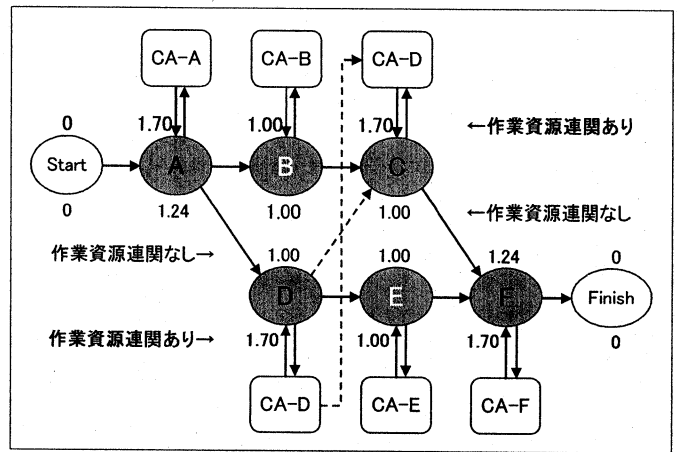


図-5 計画出来高 PV 上のクリティカルパス

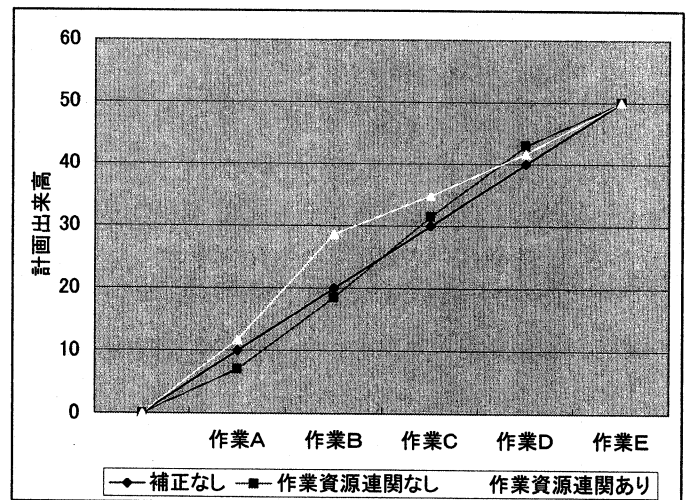


図-6 管理基準線(計画出来高 PV)の比較

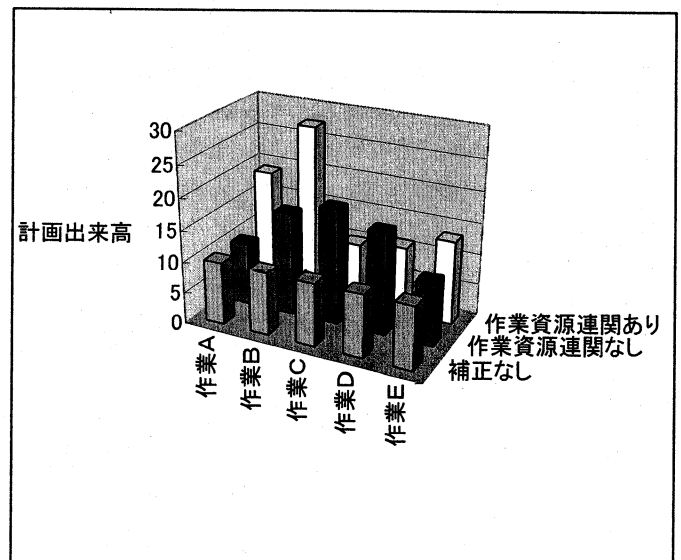


図-7 作業項目別の計画出来高 PV の比較

源に連関の無い場合は、S 字曲線を描くことがわかる。また、図-4 のような作業資源に連関のある場合の計画出来高は、多くの連関を持つ作業項目の出来高が

大きくなるように表現される。すなわち、作業資源の連関の多い作業項目の出来高に“重み”を付けることが可能となり、作業資源が繰返し作業に参画する建設施工の特性を表現しているといえる。図-7は、各作業項目の計画出来高の比較である。作業資源に連関がある場合の作業項目 B の計画出来高の伸びが大きい。

以下、媒介性値を用いて計画価値 PV に重みを付けた EVM を Bet-EVM という。

f) 最終予測コスト BAC の算出法

EVM 評価手法の一つに工事着手後の早い時点で、最終コストを推測する機能がある。最終コストの算出方法には 20 以上の提案式があるといわれ¹⁵⁾、それぞれの業種や組織が経験的に選択決定している。一般的には CPI と $CPI \times SPI$ を用いた次式が用いられる。

$$EAC(CPI) = AC + (BAC - EV) / CPI \quad (4)$$

$$EAC(SPI) = AC + (BAC - EV) / (CPI \times SPI) \quad (5)$$

建設施工においては、工程の進捗状況が最終コストに影響を与えることが多い。例えば、工程回復のために工期末に非効率な突貫工事を行うことになり、利益率が悪化すること等である。したがって、SPI を考慮した EAC 予測式が適切といえる。ただし、工程の進捗が良い場合 ($SPI > 1$) は EAC が予算 BAC 以下になるように算出される。

工程の進捗が良くても工事完成までの資機材や労務コストは変わることが少なく、諸経費分の削減効果だけであり、 $CPI \times SPI$ で算出される最終コストの予測値と合致することは期待できない。したがって、表-5 に整理するように、SPI に関して 1 を閾値にして、 $EAC(SPI)$ または $EAC(CPI)$ で最終コストの予測値を検討することが、建設施工においては、より妥当と考えることができる。

4. 実工事に対する Bet-EVM の適用例

本研究で検討した Bet-EVM を実工事に適用し、“価値”に重みをつけた効果を検証する。

(1) 対象工事の概要と管理状況

表-6 は工事の概要である。以下に施工制約や特徴等を略記する。

表-5 最終コスト算出式の使用提案

工事進捗指数 SPI	最終コスト EAC 予測式
$1 \leq SPI$	$EAC(CPI)$
$SPI < 1$	$EAC(SPI)$

表-6 工事概要

工事区分	トンネル工事
土質	花崗岩 (150MPa 以上)
契約形態	総価契約 (設計施工一括)
工期	39 ヶ月間 (当初)
請負金額	約 180 億円 (当初)
主たる工種	約 3km の TBM によるトンネル掘進
	300m の駅舎トンネル拡幅・構築
	2 箇所の進入立抗掘削・構築
	営業線との歩行者通路掘削・構築
	電気機械設備の管理棟建築工事

- ◇ 施工場所は東南アジアである。
- ◇ 既設の営業地下鉄線と隣接して新線を建設する工事である。
- ◇ トンネル工事以外に乗換駅となるように既設営業線の駅舎を改築する工事を含む。
- ◇ 営業を阻害することなく、かつ旅客や住民、作業員の安全を確保して施工を進めなければならない高難度の工事である。

工事着手後 12 ヶ月間が経過した時点 (約 30% の時間経過) で、四半期に 1 回の割合で報告される現状の把握及び将来の予測が毎回大きく変動していた。そこで、その原因追及と共に、残り工期 70% の施工管理手法の一つとして EVM を導入した。

WBS で作業分解をした際、作業項目及び作業資源が複雑な連関を形成していることが判明し、Bet-EVM を採用した。

(2) 全体工程とコストの予測

a) 作業項目と作業資源のネットワークモデル

当初のネットワーク工程表には約 2,000 の工種 (WBS に相当) が存在していたが、工事を毎月監視するためには詳細過ぎるため、図-9 に示すように大項目 (我が国の工事工種体系¹⁶⁾でいう“レベル 3 (工種)”に相当) にまとめて簡略化している。評

価精度は下がるが、毎月 EVM を実施することによる工事進捗トレンド（傾向）の把握を主眼とした。

b) 媒介性指標の算出

図-9 は各作業項目の関係と共に作業資源の連関を加えたネットワークモデルの元図である。左側の網掛け部が既に施工実施した 12 ヶ月間である。2 重線の下段の網掛け部が作業資源である。右上の網掛けの無い部分を対象に Bet-EVM で進捗を監視した。

媒介性値を算出する際、ネットワークモデルの境界問題が指標の算出結果に影響する。したがって、媒介性値をより実態に整合させて算出するために、Bet-EVM による監視を開始する前 12 ヶ月間の工程及び作業資源連関もモデルに組み込む。また、同一工種であっても、毎月の計画出来高を設定し、それを 1 ノードとする。したがって図-9 に示すように時間軸に沿ってノードが連続する。監視する時間間隔に区切ることにより同じ作業項目であっても、重要な時期を特定することが可能となる。

全ノード数は 687 となり、作業工程および作業資源の連関を表すリンク総数は 1,375 である。図が煩雑になるため、図-9 においては作業資源と作業項目のリンクは省略してある。

式(1)を用いて各ノードの媒介性値を算出する。媒介性指標の算出には、非商業目的で利用できる Pajek (<http://vlado.fmf.uni-lj.si/pub/networks/pajek/>) というソフトウェアを用いている。算出した媒介性指標の最小値を 1 として、全てのノードの媒介性値を相対評価している。相対媒介性値の大きい (45 以上) 作業項目を図-9 に楕円で示す。

最も大きな相対媒介性値の作業（ノード）が並ぶ工種は、駅舎トンネルの機械削岩拡幅作業である。TBM（Tunnel Boring Machine）で地下鉄走行断面を掘進した後に、油圧破碎機等を用いて駅舎（プラットフォーム）用に断面を拡幅する作業である。この作業項目以外に、通気トンネル、通路トンネル、クロスオーバートンネル等の削岩機械を用いた岩掘削作業項目の相対媒介性値が連続して高い。すなわち、作業資源の連関を考慮した場合のクリティカルパスに相当すると考えられる。これらの作業に問題が生じると、後続する作業への影響が大きくなるリスクの連鎖を形成しているといえる。

c) 媒介性指標で重みを付けた計画出来高 PV

各月および各作業項目の補正後計画出来高 $Bet.PV(t)$ は、式(2)および式(3)を用いて算出している。

図-8 は媒介性指標を用いた計画出来高の補正前後を比較したグラフである。WBS-CA ネットワークモデルは、Bet-EVM で監視を開始する前の 12 ヶ月間も包括している。したがって、図-8 に示した第 1 月から第 10 月は全体工程においてちょうど中間時期に相当し、出来高が伸びることが予測される期間である。

媒介性指標を用いた補正後出来高 $Bet.PV(t)$ は、補正前と比較して出来高が伸びているのが分る。すなわち、当該工事における重要な時期であるといえる。

d) Bet-EVM 監視結果

Bet-EVM を導入して監視をした 10 ヶ月間の Bull's Eye Chart¹⁷⁾ を図-10 に示す。一般的な Bull's Eye Chart の横軸（SPI）と縦軸（CPI）を共に逆転して表示し、リスクマトリックスと類義としている。したがって、右上が最もリスクの高い状態を示す。

監視を始めてから 4 ヶ月間は SPI と CPI 共に±数%の中を変動していたが、5 ヶ月目を過ぎた時点から急激に SPI が悪化したことを示している。すなわち、最終工期に遅れるリスクが高くなっていると判断できる。

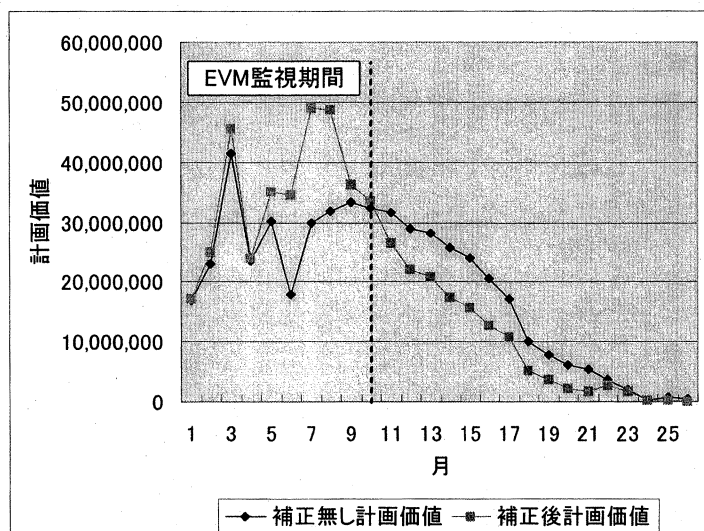


図-8 補正前後の月毎計画出来高 PV の比較

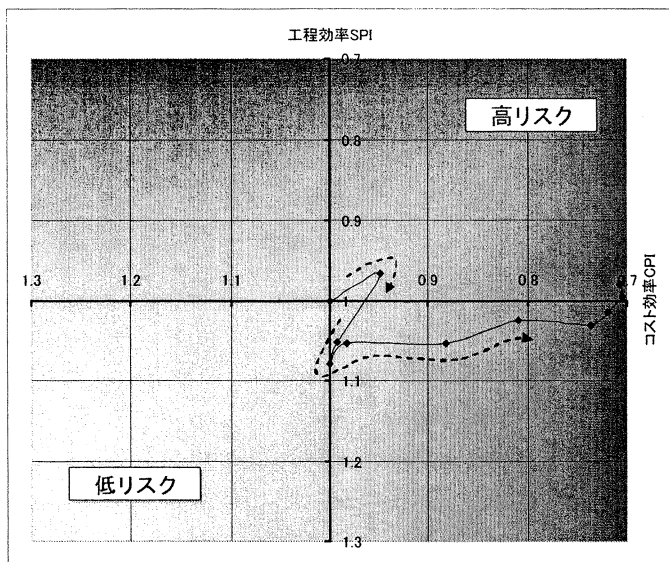


図-10 Bet-EVM による監視結果

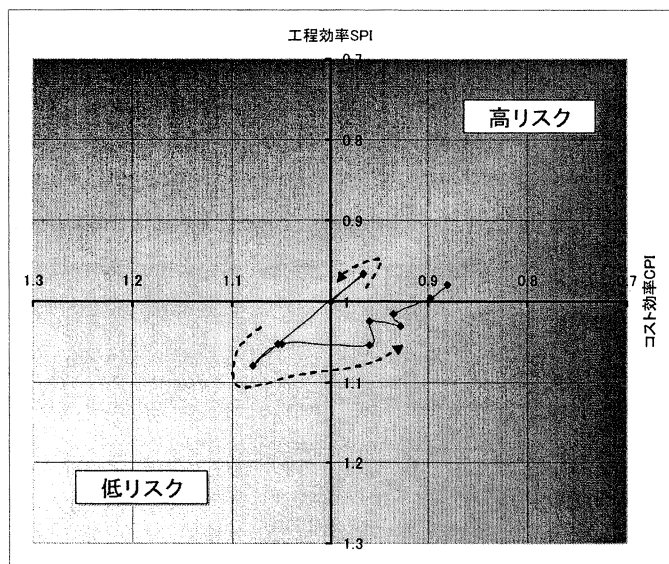


図-11 一般的な EVM による評価の場合

同じデータを用いて媒介性指標を用いない一般的な EVM では、図-11 に示すように工程の悪化傾向は感知できるが、 $\pm 10\%$ の範囲内でありリスクポテンシャルを見落としてしまう可能性が高い。

e) 工程回復対策

コスト効率指標がほぼ計画通り ($CPI \cong 1$)、そして工程効率指標が悪い ($SPI < 1$) 状況を改善するためには、追加の作業資源を投入することが可能であれば、コスト効率を悪化させることなく工程回復の可能性があると判断できる。クラッシングと呼ばれる工程改善対策である。

当該工事は、図-9 の工程表からも分るように TBM での掘進が終了する前後 (EVM 監視をはじめ

てから 3~5 ヶ月後) に、作業空間に制約のある地下において、多くの作業が同時進行しなければならない。それらの作業資源は、2 箇所の立坑 (access shaft : 図-9 の最上段左側の項目) を利用しなければならない。追加の作業資源を効率良く入退場させることは困難である。すなわち、2 箇所の立坑が工程効率 (SPI) 改善のボトルネックであると判断できた。

当該工事の最大の作業制約は、隣接する営業線である。作業資源の入退場ボトルネック解消に、この営業線の利用が考えられた。

地下鉄は深夜に営業が終了し、翌朝の始発までの間は様々な維持や修繕等の作業が行われ、作業車が往来している。そこで、営業時間外の夜間に作業基地から資機材の搬入搬出の許可を要請した。同時に駅舎内部で施工しなければならない場所打ちコンクリート構造物については、場外で事前に準備するプレキャスト化の変更提案も行い、Bet-EVM 監視開始後 8 ヶ月目から工程対策を開始した。

f) 最終コストの予測

予測最終コスト EAC については、式(4)および式(5)を用いて監視を実施した。Bet-EVM では、SPI が 1 を上回ることがなく、全て式(5)の $EAC(SPI)$ を採用した。補正の無い場合は第 2 月~第 4 月間は SPI が 1 を上回ったため、その期間に限り式(4)の $EAC(CPI)$ を採用している。その結果を図-12 に示す。

図-12 から、媒介性補正を用いた EAC は工程の遅れの影響 (SPI の悪化) により、当初予算を大きく超過する可能性のあることが示された。工事費損失のリスクポテンシャルが高い。さらに、地下鉄のように完成物による収益を目的とした工事契約の場合は、開業の遅延による事業者損失が大きくなる可能性がある。したがって、高額の遅延保証金 (Liquidated Damage) を課することが契約書に明記されている場合が多い。ところが、EAC ではこのような付随的マイナス (リスク) 要因を考慮することができないため、工程遅延はさらに大きなリスクや損失の誘引になる可能性が高いといえる。

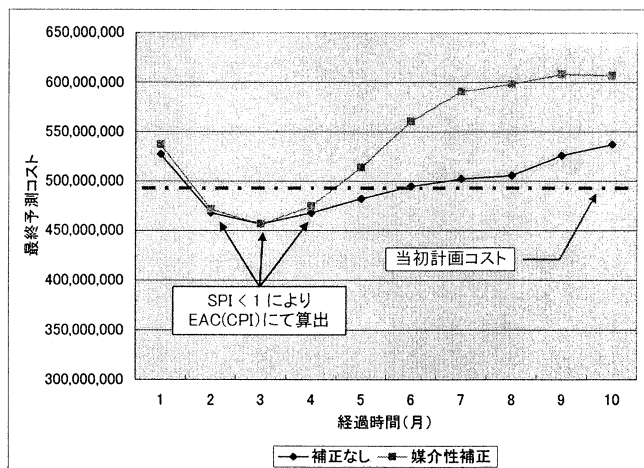


図-12 予測最終コスト EAC の相違

(2) 個別工種の進捗状況判定

図-10 は、工事全体の評価結果である。

EVM の特徴として、複数のプロジェクトを統合したり、分割したりして状況を監視することが容易である。工事全体として問題が無いような評価結果が得られても、出来高が小さい個別工種において部分的に問題が発生している場合もある。そこで個別工種（構造物や工区等）における状況も分割して監視した。“走行トンネル”と“機械棟”の Bet-EVM 監視結果例をそれぞれ図-13 と図-14 に示す。

工事全体においても、個別作業においても工程の悪化傾向（SPI が悪化）が見られた。特に、走行トンネルの工程悪化が顕著である。反面、CPI は一時的に良好な状況を示すことはあったが、監視 10 ヶ月後ではほぼ計画通りとなっていることが Bet-EVM 評価で判明した。

(3) Bet-EVM 導入効果

現行の EVM に対して Bet-EVM は、図-10 に示すように作業資源の連関する作業項目を重視した評価結果が得られた。したがって、作業資源の連関が複雑な工事において、早い時点で潜在化しているリスクポテンシャルを感知し、タイムリーで適切な対応策の検討および実施を行うことが可能となるといえる。さらに、図-9 に示すように媒介性指標の大きな作業項目の連携は、リスク連鎖や損失の拡大を誘発する可能性が高い。作業資源の連関を切断するような新たな資源の調達や、ボトルネックとなっている立坑の課題解決等のマネジメント判断支援が適切となり、損失拡大防止に有効であった。

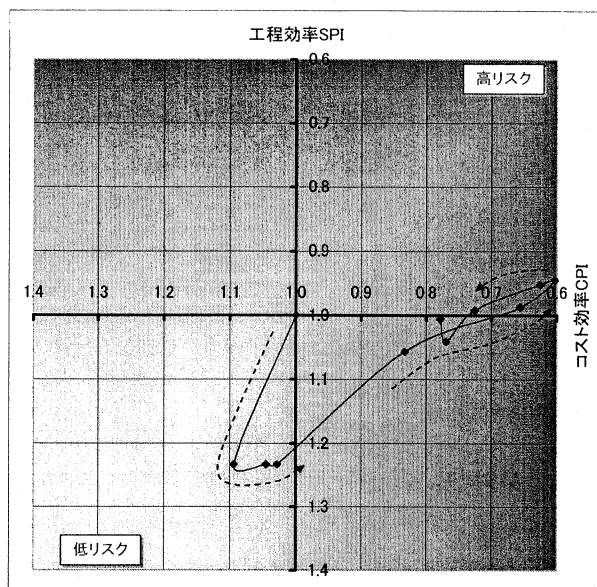


図-13 走行トンネルの Bet-EVM 監視結果

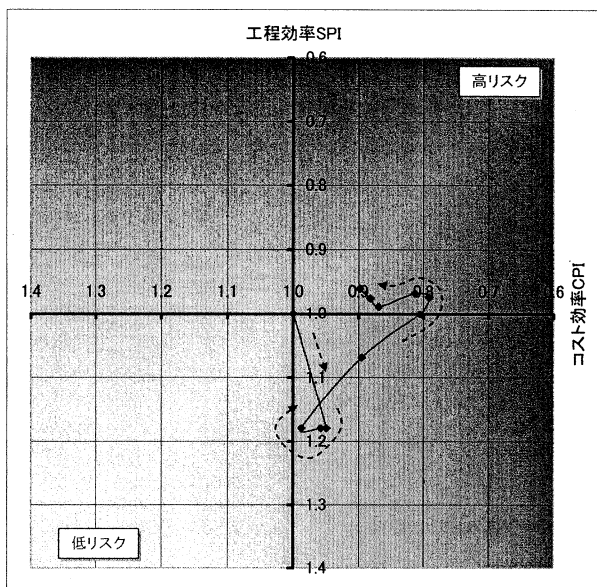


図-14 機械棟の Bet-EVM 監視結果

5. まとめ

重大な事故や損失は、単一の要因のみで発生することは少ない。ある要因の失敗（failure）が別の失敗を引き起こし、被害が拡大する。建設業におけるこのような重大な事故例が失敗知識データベースとして構築され、インターネット上に公開されている¹⁸⁾。重大災害が発生する要因の連鎖が示されている。これがリスクの連鎖である。

建設施工においては、作業資源の調達や段取りがリスクの連鎖を形成していることが多い。本研究では作業資源の連関に着目し、関連性の強弱を定量的

に把握する手法を提案した。作業時間の長さを基準としたクリティカルパスと共に、作業資源の連関を捉えることが、建設施工において効果的な判断支援になることを示すことができた。

建設施工に EVM を導入することは、管理の標準化や透明化が容易となる。発注者にとっては納税者への説明責任、また施工業者にとっては株主等への説明責任が向上するといえる。しかし、今までの EVM は作業資源が継続的または断続的に連関するという建設施工の特性を考慮しておらず、適切な評価にならない場合があった。

本研究の成果である媒介性値指標を用いた EVM 評価は、重要な作業が実施される時期には変動の幅が大きくなり、適切な警鐘を発することが可能となる。この計画価値 PV に重みを付けることにより、出来高は小さいが多くの他の作業に影響を与えている作業、工事着手直後の重要な作業、工事全体の中でのリスクポテンシャルの高い作業等を特定し、より効果的な建設施工マネジメントが可能となる。また、Bull's Eye Chart のリスクマトリックスへの変換表示及び SPI=1 を閾値にした予測最終コスト EAC の判定法により、リスクマネジメントとしての援用が容易となる。

今回提案したネットワークモデルは、作業項目と作業資源の連関とその方向を考慮した有向グラフ (topological network model) である。しかしながら、作業資源が、時間が離れて連関するような場合は、必ずしも影響度合いが大きくなるとは限らない。すなわちネットワークモデルのリンクに重み (時間間隔) を持つ空間ネットワーク (spatial network model) と捉えることも重要と思われる。これら 2 つのタイプのモデルを併用することにより、さらに建設産業の特性を踏まえた EVM が可能になると考える。

謝辞

本研究の遂行にあたり、(有)大崎PMエージェントの大崎康生氏、およびアラブ首長国連邦ドバイにおいてQA/QC Project Managerとして勤務するMr. James R Whorlowに有益なアドバイスをいただいた。ここに記して感謝の意を表します。

【参考文献】

- 1) 鈴木明人：情報化施工入門，工学図書株式会社，pp.9-23，2004.07
- 2) 高崎英邦，佐橋義仁，石井信明：進化する建設マネジメント，建設図書，pp.1-29，2002.10
- 3) Project Management Institute: *A Guide to the Project Management Body of Knowledge*, 1996
- 4) 池田将明：建設事業とプロジェクトマネジメント，森北出版株式会社，pp.22-27，2000.12
- 5) 例えば，旧建設省記者発表資料：「公共事業へのプロジェクトマネジメント (PM) 手法導入に関するビジョン」について，建設省，平成 11 年 (1999 年) 6 月
- 6) 能澤 徹：国際標準プロジェクトマネジメント，日科技連，pp.6-33，1999.11
- 7) 首相官邸，IT 戦略本部，各府省情報化統括責任者 (CIO) 会議，第 19 回会合資料 13-3「業務・システム最適化指針 (ガイドライン)」，2006.03.31
http://www.kantei.go.jp/jp/singi/it2/cio/dai19/19siryou13_03.pdf
- 8) 総務省統計局ホームページ／3 産業，
<http://www.stat.go.jp/data/kokusei/2005/kihon2/00/03.htm>
- 9) 4) と同じ，pp.132-135
- 10) 4) と同じ，pp.165-168
- 11) 鈴木信行，鈴木明人：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，土木学会第 25 回建設マネジメント問題に関する研究発表・討論会講演集，pp.113-116，2007.11
- 12) 井上明彦：プロジェクトマネジメントのツボ，第 2 回段取り八分，Club Unisis+Plus，2003.03
<http://www.unisys.co.jp/club/pm/no02.html>
- 13) Alan Webb: *Using Earned Value, A Project Manager's Guide*, Gower Publishing Limited, pp.60-72, 2003.10
- 14) 安田 雪：実践ネットワーク分析，関係を解く理論と技法，新曜社，pp.85-87，2001.10
- 15) 7) と同じ，pp.127-140

- 1 6) 国土交通省技術調査課：新土木工事積算大系の解説 - 工事工種の体系化を核として〈平成16年度改訂版〉，経済調査会，2004.12
- 1 7) Project Management Institute: Practical Standard for Earned Value Management, 2005
- 1 8) (独) 科学技術振興機構 (JST)，失敗知識データベース整備事業，
<http://shippai.jst.go.jp/fkd/Search>

A STUDY ON THE EFFECTIVE CONSTRUCTION MANAGEMENT USING EARNED VALUE MANAGEMENT SYSTEM

By Nobuyuki SUZUKI、 Aketo SUZUKI、 Hidekuni TAKASAKI

The construction process has a long lifecycle, involving; a planning phase, investigation phase, designing phase, tendering & contracting phase, construction phase, maintenance and renovating phase. Within this lifecycle, the construction phase particularly requires the use of significant quantities of construction materials, machines, manpower and capital within relatively short period. Therefore, to ensure outputs are optimized, and all expectations of project proponents are achieved, effective and efficient management strategies and methodologies must be adopted.

An Earned Value Management System (EVM) is an integrated concept which can be applied to manage construction cost and time as conceived by the Department of Defense (USA), and subsequently widely adopted throughout the world by many governmental organizations and private enterprises. The use of EVM has also been made more available through the providers of mainstream project management software, such as “Primavera Project Planner” and “MS Project”, by the inclusion of EVM functions within their systems.

Our paper considers on the relationship between construction resources and programme through analysis of a resourced network model and application of Graph Theory “between-ness index” to determine important key activities. The output from our analysis has then been applied as a prototype on an overseas project, to weight the planned value of the EVM in line with the identified key activities. The practical effectiveness of our proposed EVM was thereafter monitored verified and validated through a series of extensive and robust physical site trials, with positive results and conclusions.