

(Ⅲ-6)

建設プロセスと計測効果にもとづく 現場計測システムの導入・評価の考え方

Concept for Introduction and Evaluation of Observational Construction System
based on Construction Process and Measurement Effect

東京商船大学 〇苦瀬 博 仁^{*}
(株) 間 組 長 谷 幸 一^{**}
大成建設(株) 鈴木 明 人^{***}
東急建設(株) 渋沢 重 彦^{****}
日本国土開発(株) 指 田 健 次^{*****}

By Hirohito KUSE, Kouiti NAGAYA, Aketo SUZUKI, Shigehiko SIBUSAWA and Kenji SASHIDA

近年の土木工事の多様化・複雑化にともない、現場計測システムの重要性は増しているが、現場計測システムの効果を定性的ないし定量的に測定する方法が確立していないために、システムの効率的な導入やシステムの導入効果の評価はあいまいとなっている。

本研究は、著者らの従来の研究をベースに、計測効果の研究の範囲と方法について、体系的にまとめることを目的としている。そしてここでは、建設プロセスにおいて現場計測システムの導入・評価についての考え方と、その方法について、明らかにしている。

【キーワード】 現場計測システム、計測効果、建設プロセス、システム評価

1. はじめに

近年における土木工事の多様化・複雑化と土木技術の進歩にともない、情報化施工が一般的となってきたおり、その中核をなす現場計測システムの役割も、ますます重要となっている。この一方で、現場計測システムの効果に関する評価方法が確立していないため、システムの効率的な導入やシステムの評価はあいまいとなっている。著者らはこの点に着目し、評価手法を提案し、実用可能性を検討してきた。

そこで本論文では、提案されてきた評価方法も含め、土木構造物の建設プロセスを通じて、現場計測システムの導入・評価を、どのような考え方にしたい、どのような方法で検討してきくべきかについて、整理することを目的としている。

2. 現場計測システムの役割と問題点

(1) 土木工事の特徴

土木構造物の多くは、インフラストラクチャー（社会基盤施設）であるため、人々の生活に深い関わりを持っている。この土木構造物の工事を他の製造業と比較すると、次のような特徴があげられる。

第一は、現地生産ということである。土木構造物は、一般の製造業のような工場生産は困難なため、仮設設備による現地生産となる。

第二は、土木構造物は地盤を対象としていることである。このため、地盤の変化に大きく影響を受け、特にわが国においては複雑な地質の変化があるために、土や水に関する不確定要素が多い。このため施工段階において、適宜に状況変化を確認しながら最適な工法と対策を決めていかなければならない。

第三は、単品生産であるということである。このため、構造物の標準化・規格化が困難である。たとえば、類似の構造物であっても、工法が異なることや、施工時の状況が異なることは一般的である。

*	商船学部流通管理工学講座	03-3641-1171
**	情報システム部開発二課	03-3405-1155
***	技術本部技術開発部	03-3348-1111
****	技術本部土木技術部	03-5466-5276
*****	インフォリソグ本部技術開発部	0462-86-4550

(2) 現場計測システムの内容

a) 現場計測システムの目的と役割

情報化施工とは、施工状態をリアルタイムに把握し、施工を進めていくことである。そして現場計測システムとは、施工中の構造物と構造物周辺の状態を計測し、計測結果を分析し、管理基準値に照らし合わせて施工時の安全の確保と品質の確保をするとともに、設計や施工計画段階で不明確だった事実が明らかになった場合には、速やかに設計ないし施工計画に反映させることで、経済的・技術的に適した工法を採用する目的を持っている。

このため現場計測システムは、情報化施工技術の中核をなすものであり、施工にともなう計測・データの解析・設計へのフィードバックを可能にするものでなければならない。(図-1、参照)

特に最新の現場計測システムでは、計測結果を逆解析し、設計時に仮定していた常数をより正確なものとする例も多い。

b) 現場計測システムの構成

現場計測システムの構成は、工種や計測対象により変化するが、一般的には①構造物及び周辺地盤の応力(変形の経時変化)・外観・形状・色調・温度の変化を測定する計測機器(ハード)と、②これらのデータを記録・集計・分析するためのソフトウェア、により構成されている。

特に計測機器(ハード)の構成としては、①現象を検出するセンサー、②測定値を伝送するスキャナー、③データを収録するコントローラー、④データを処理するコンピュータ、などで構成されている。

(3) 現場計測システムの重要性の増加と問題点

a) 現場計測システムの重要性の増加

土木工事における現場計測システムの役割は、近年その重要性を増しているが、これは以下の点から指摘できる。

第一は、建設地点の変化である。たとえば、都市中心部の工事の増加は、必然的に近接工事の増加をもたらし、既設構造物に影響を与えずに施工することが必要となっている。また臨海部の工事の増加にともない、軟弱地盤での仮設工事や地盤改良がおこなわれるようになり、地盤のより厳密な変形監視が要求されるようになっている。

このため最適な現場計測システムの選定、施工中

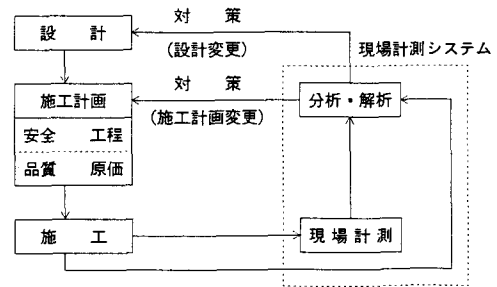


図-1 設計・施工における現場計測システム

の周辺への影響の有無の判断、計測結果の迅速な施工計画への反映、などが重要となる。

第二は、工事の大型化である。大型構造物が増えたため、仮設工事も大型化し、周辺への影響も大きくなっている。そのため、現場計測システムそのものが複雑かつ多様化し、施工中の構造物および構造物周辺挙動の確認も、より重要となっている。

第三は、社会環境の変化である。周辺住民への工事内容の理解や、工事による騒音・振動などの除去などにおいて、より厳密な施工管理が必要となっている。

b) 現場計測システムの評価に関する問題点

現場計測システムの重要性が増し、計測技術そのものが進歩している一方で、工事の設計・施工計画段階で、現場計測システムを導入すべきかという適切な判断基準や、施工終了後において計測効果を評価する方法は確立していない。

これは、計測目的の検討が不十分なことや、現場計測システムの評価に重要な現場計測システムの費用が、一部の工種を除いて独立費目となっていないため、その費用を明確に算出できないことによる。

このため、技術的な面(品質管理・安全管理上)からは現場計測システムの重要性が広く認識されているにもかかわらず、もしくは認識されているために、積算や原価管理において、計測費用はいまいきな取扱いになることも多くみられた。

よって現場計測システムの評価については、①計測目的と計測効果の相互関係の厳密な検討、②計測費用の把握方法と計測効果の費用換算方法の開発、③システムの導入方法と評価方法の開発、などが必要と考えられる。

3. 現場計測システムと計測効果の考え方

(1) システム工学の視点からみた建設プロセスと現場計測システム

a) 建設段階(フェーズ)と検討のステップ

建設事業は、①企画・調査、②設計、③施工計画・施工、④維持・管理の段階(フェーズ)を経て実施される。そして各々の段階において、現場計測システムに関する検討がおこなわれる。(図-2、参照)

この一方、システムの検討・評価のステップを簡潔に表現するならば、①目的分析、②内容分析、③代替案作成、④評価・決定、と示すことができる。

(図-3、参照)^{1) 2)}

b) 建設プロセスにおける現場計測システム

建設段階(フェーズ)とシステム検討のステップを組み合わせることで、建設プロセスをマトリックスで表現できる。(図-4、参照)^{3) 4)}

このとき各段階における現場計測システムの検討は、図-3の検討ステップを経て、螺旋状(スパイラル状)に進められていく。

さらに、これを現場計測システムに着目して示すと、図-5となる。この場合、図-3の検討ステップは、サブルーチンとして示すことができる。

この検討ステップのサブルーチンは、必要に応じて単純化されたり、省略されたりする。通常は、建設プロセスが進むほど詳細な検討がなされ、検討の精度が向上する。

(2) 計測効果の把握のための視点

現場計測システムの計測効果を考えるために、計測効果の考え方を整理すると、建設段階、工事関与主体、工事特性、計測内容、計測費用、計測効果特性などの視点ごとに、以下のようになる。

a) 建設段階別の視点

建設段階別とは、工事の進捗により企画調査・設計・施工・維持管理の段階を経ていく点に着目している。このとき、現場計測システムの計測効果は、システム導入の検討・システム採用時の評価・システムの事後評価などについてなされるが、段階の変化にあわせて現場計測システムの対象範囲や精度も変化していくと考えられる。

b) 工事関与主体別の視点

工事関与主体別とは、工事に関わる事業主体、施工主体、周辺住民などの区分に着目している。この

企画・調査 → 設計 → 施工計画・施工 → 維持・管理

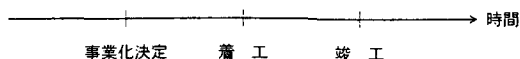


図-2 建設段階(フェーズ)の変化

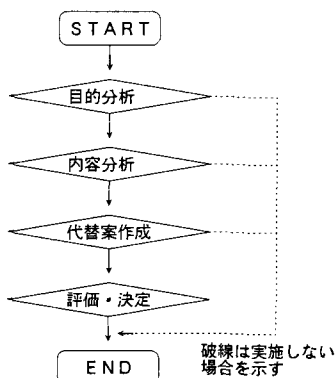


図-3 システムの検討評価のステップ

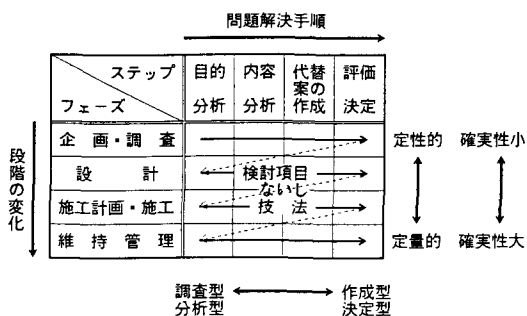


図-4 建設段階(フェーズ)とシステム検討手順

とき、事業主体と施工主体の間で現場計測システムに対する認識が異なったり、施工主体内においても計測担当者と現場管理者の間で現場計測システムの重要性に対する認識が異なることがある。このように、同一のシステムであっても、主体間や担当者ごとに考え方が異なることがある。⁵⁾

c) 工事特性の視点

工事特性には、①工事規模別、②工事期間別、③工事数・工程数別、の視点が考えられる。

①工事規模別とは、工事の規模によって計測効果に対する考え方が異なることに着目している。たとえば、非常に小さな規模でかつ技術的に無難な工事では、現場計測システムの費用が安くとも、その導入が必要ない場合もある。

②工事期間別とは、現場計測システムを設置したとき、工事が長期にわたるほど計測効果が増加することに着目している。たとえば、システムの初期費用が等しければ、工事が長期にわたるほど、費用に対する効果が増加すると考えられる。

③工事数・工程数別とは、類似工事が多い工事であるか否か、またトンネル工事のように工程が複数にわたるか否かに着目している。類似工事が多い工事は、一度現場計測システムを開発し、これを類似工事に適用できるならば、開発費用は相対的に低くなることが考えられる。また工程が複数の場合は、前工程の計測結果を次の工程に利用することで、計測効果はより高くなるであろう。そのため、当該工事のみや当該工程のみに着目して計測効果を測定する場合と、他の工事や次の工程を考慮する場合とは、計測効果の算出方法も異なるはずである。

d) 計測内容別の視点

計測内容別には、①工種別、②計測項目別、の視点が考えられる。⁶⁾

①工種別とは、工事の種類によって計測効果が異なることに着目している。工事の種類によっては、計測が義務づけられているものもあり、計測効果そのものの検討が不要な場合もある。

②計測項目別とは、計測項目によって頻繁に計測されるものや、特殊な場合にのみ計測されるものがあることに着目している。計測頻度の多い計測項目はついて、他の工事や他の工程に対する計測効果も含め、多くの事例や対象の検討も必要ことがある。

e) 計測費用の視点

計測費用とは、現場計測システムの費用の大小と効果の大小について着目している。すなわち、わずかな計測費用では十分な計測効果を得られないが、多くの計測費用をかけただけ、より多くの計測効果を得られるものではない。このため計測費用の増加に対して計測効果が徐々に増加し、さらに計測費用が増加すると、費用の増加の割合に比較してそれほど計測効果が増加しないことが考えられる。

f) 計測効果特性の視点

計測効果特性には、①直接・間接効果別、②計測結果のフィードバック先、の視点が考えられる。

①直接・間接効果別とは、計測目的に沿って得られる効果で、現工程において計測結果を反映させ、

品質管理や安全管理に役立てたり、最適な施工計画の立案に役立てる直接効果と、これに付随して設計法の確認や技術データの蓄積などに役立てる間接効果に着目したものである。

②計測結果のフィードバック別とは、現場計測をおこなうことで、工事施工中での現場計測システムの変更や、施工方法の変更がおこなわれることに着目したものである。すなわち、計測結果にもとづく現場計測システムの変更や施工方法の変更を計測効果と考えることで、これを分析しようとするものである。

4. 計測効果の評価の考え方

(1) 計測効果の評価方法の分類

計測効果の把握には、定性的な方法と定量的な方法がある。

定性的な方法は、定量化できない項目の評価も可能であり、システムの効果を概念的に把握する場合に有効である。この一方定量的な方法は、評価項目の定量化が困難な場合もあるが、効果を数値として把握できるので、システムの評価とともにシステム間の比較に適している。⁷⁾

なお定性的な方法に含まれるが、技術者の経験的ないし工学的な判断により、分析を必要としないこともある。この点については、ここでは言及しない。

(2) 計測効果の定性的な分析方法

定性的な分析方法としては、関連樹木や定性的マトリックスの利用が考えられる。

a) 関連樹木(トリー)による方法

関連樹木による方法は、現場計測システムの内容を明らかにするために、計測目的の構造を把握するような場合に適している。関連樹木法には、目的－手段の樹木や原因－結果の樹木などがあるが、分析目的に合わせて適切な方法を選択すれば良い。

たとえば、計測目的、計測効果、現場計測の課題などの整理がこれにあたる。(評価方法A)^{5) 6)}

b) 定性的マトリックスによる方法

定性的マトリックスによる方法は、二つの項目間の相互関係を明らかにする時に用いられるものである。これには、①定性的な判断をベースとするものと、②定性的な判断を数値化するものがある。

①定性的な判断によるものでは、計測目的と計測

効果の相互関係による波及効果の分析や、計測方法と施工条件の比較による計測方法の選択、施工法と設計条件の比較による施工方法の選択、などがある。（評価方法B）⁸⁾

②定性的な判断の数値化の方法は、一対比較法やレリーバンスマトリックス法やクロスサポートマトリックス法などがある。これら方法は、①の方法を発展させたものでもある。（評価方法C）⁸⁾

（3） 計測効果の定量的な分析方法

現場計測システムを含め、一般的なシステムの効果を定量的に測定する方法の一つとして、システム投入費用（C）とシステムがもたらす便益（B）を比較し、便益費用比（ B/C ）ないし純便益（ $B - C$ ）を求める方法がある。

この方法は、定性的効果および金額換算できない効果を除いて評価することから、システムの効果を過小に評価する危険性はあるが、システムの効果を金額換算することで、確実に評価できる点に特徴がある。

このうち、施工開始前の方法としては、現場計測システムの導入による費用の増加と、システムを導入せずに対策工事を必要とする

ことで予想便益を算出し、現場で発生する費用が最小となる状態を最適な状態と仮定し、現場計測システムの導入の是非を検討する方法がある。（評価方法D）^{9) 10)}

次に施工中ないし施工終了後の方法としては、施工方法の変更が計測によってもたらされた効果と考え、施工方法の変更による施工費用の減少分と計測費用と比較し、費用便益を算出する方法がある。（評価方法E）¹¹⁾

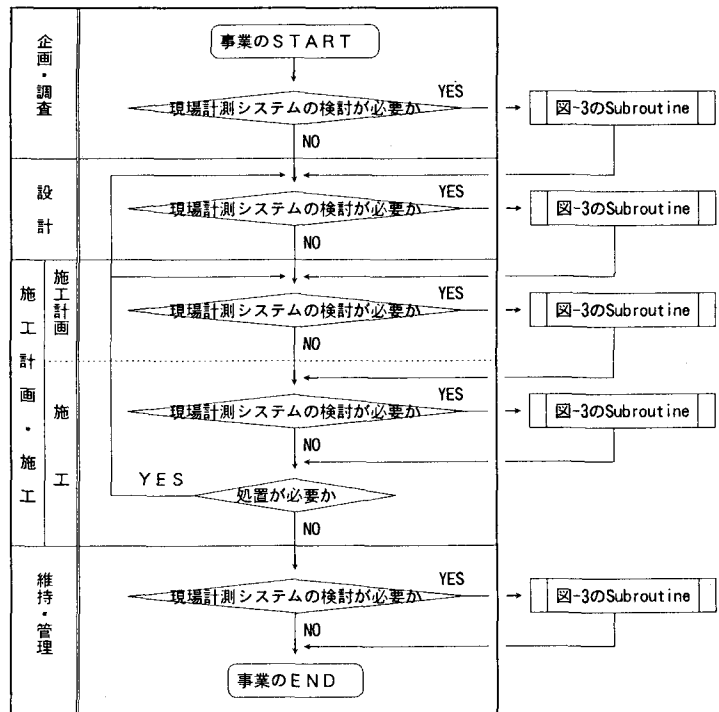


図-5 建設プロセスと現場計測システムの導入・評価の流れ

ステップ フェーズ	目的分析	内容分析	代替案の作成	評価・判断
企画・調査	A B C	A B C	A B C	A B C
設計	A B C D	A B C D	A B C D	A B C D
施工計画・施工	B C D E	B C D E	B C D E	B C D E
維持・管理	A B C D E	A B C D E	A B C D E	A B C D E

問題解決手順 →

プロジェクトの時間軸 ↓

評価方法 A : 関連樹木法
 評価方法 B : 定性的なマトリックス法
 評価方法 C : 定性的な判断を数値化したマトリックス法
 評価方法 D : 確率を導入した予想便益を算出する方法
 評価方法 E : 実際に計測に要した費用と効果を積算し、費用便益を算出する方法

注：7/9-ライン は特に適当と思われる手法

図-6 建設プロセスにおける現場計測システムの評価手法

（3） 建設プロセスと評価手法の組合わせ

建設段階（フェーズ）と検討ステップで示される建設プロセスにおいて、採用可能と考えられる現場計測システムの評価の考え方と評価手法は、以下のよう

a) 企画・調査段階の評価方法

企画・調査段階では、工事の内容や施工方法が明確に定められていないため、定性的な方法を取らざるを得ないことが多い。そのため、主として評価方

法のA～Cの採用が適当であろう。

b) 設計段階の評価方法

設計はその詳細さによって、概略設計、基本設計、実施設計に区分できる。そのため現場計測システムの導入・評価の検討は、その三つの区分に応じておこなわれる。たとえば、概略設計では定性的な方法が多くとられ、基本設計・実施設計となるにつれて、定量的な方法が採用されるべきであろう。

よって、設計段階では、評価方法A～Dが考えられるが、実施設計など設計がより具体化するにつれて、評価方法C・Dなどが適していると考えられる。

c) 施工計画・施工段階の評価方法

施工計画の立案時には、計測システムの導入の是非や計測目的と計測項目の関係について、より厳密に計測計画を検討する必要がある場合には、評価方法B・Cが有効であろう。

また施工中に構造物やその周辺の状態が変化し、対策工が必要になる場合を想定できるならば、評価方法Dが有効であろう。

この一方施工終了時点で、単に安全性の確保や構造物の品質の確保という定性的な評価に留まらずに、定量的に現場計測システムの導入効果を評価する場合には、評価方法Eが適していると考えられる。

d) 維持・管理時の評価

供用中の構造物の計測は、安全性の確認や周辺環境への影響等を調査し、効率的な構造物の維持管理をおこなうことに目的がある。

維持管理中の現場計測システムの評価方法は、企画・調査から施工計画・施工で用いるべき評価方法A～Eを採用できるが、構造物の老朽度や機能低下の程度によって、採用すべき評価方法も異なるものと考えられる。

5. おわりに

本論文は、現場計測システムの計測効果の評価手法に関する一連の研究の一部として、現場計測システムの計測効果の評価手法を、どのように考え方にしたい、どのような方法で進めていくかについて、分析してきた。

この結果、①現場計測システムの評価方法開発の意義と、②システム工学の考え方を演繹して、建設段階(フェーズ)と検討ステップから建設プロセスを

明らかにし、③計測効果を考えるときの視点を整理して、計測効果の研究の方向を示し、④建設プロセスにおける現場計測システムの考え方と、評価方法の五つの考え方(評価方法A～E)の対応、について明らかにした。

この一方、本研究の範囲では検討が不十分な点も多い。たとえば、①計測効果の評価に関する視点や五つの評価方法の設定などについて、より厳密な検討が必要と考えられること、②評価方法の設定には事例研究にもとづく実用可能性の検討が不可欠であるが、一部の評価方法を除いて検討が不足していると考えられること、などである。

本研究を基礎に、現場計測システムの評価方法を体系的に整理するという目的にしたがって、上記の課題を含め、今後も研究を進めていく予定である。

参考文献

- 1) 吉川和広：土木計画のシステム分析、新体系土木工学52、pp 1～28、技報堂出版、1980
- 2) 長尾義三：土木計画序論－公共土木計画論－、pp22～54、共立出版、1972
- 3) A. D. Hall: Three-Dimensional Morphology of System Engineering、IEEE Transaction of Systems Science and Cybernetics、vol. ssc-5、No. 2、pp156～160、1969
- 4) 苦瀬博仁：システム工学を利用した都市計画の計画手順と技法に関する研究、日本都市計画学会学術研究論文集、pp 632～636、1989
- 5) 猪狩・苦瀬・伊藤・久保・落合・結城：現場計測システムの活用のための課題と解決方法、第5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、pp183～192、1987
- 6) 結城・苦瀬・猪狩・久保・落合・伊藤：現場計測システムの現状と課題、第4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、pp129～138、1987
- 7) 竹村伸一：システム技法ハンドブック、日本理工出版会、オーム社、1981
- 8) 長谷・苦瀬・鈴木・指田：現場計測システムの導入目的と効果に関する分析、第8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、pp251～260、1990
- 9) 苦瀬博仁：施工計画・管理と現場計測システム導入の評価方法に関する基礎的研究、土木計画学研究・講演集、No. 10、pp493～498、1987
- 10) 苦瀬博仁：現場計測システム導入の評価方法、第5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、pp193～200、1987
- 11) 苦瀬・長谷・鈴木・指田：費用便益分析による現場計測システムの導入効果の研究、土木学会論文報告集、第 427号 / IV-14、pp233～240、1991