

## 2 現場計測情報システムの現状と展望

施工情報システム小委員会現場計測情報システム研究分科会 主査 佐々木 理一

### 1. はじめに

現場に於ける計測は測量から始まり構造物の変位や内部応力をするために、古くから行われてきたがこれらは測量を除けば、その殆んどが学究上の目的か、或いは安全の為に防衛的な役割をもつてなされてきたものであると言える。

しかし近來機械化施工の普及のみならず施工管理に、或は品質管理に、更には自動化施工と技術の向上は著しい。これらに対応するために現場に於ける計測はこれ迄の実験計測の延長から脱皮して施工をマネジメントする為の情報を得るためのシステムとして考え直す必要があるのではないだろうか。

すでに一部の工種では計測管理が定着しつつあり更に機器制御と連動した自動施工が可能な状況になってきている。しかし大部分の土木工事ではまだまだ計測を施工プロセスの中へとり入れることが邪魔か或はコスト負担が増すと考えられているのが現状のようである。その要因は計測が現場施工に適用したシステムとして完成されていないことと、計測機器そのものが実験計測機器の延長であり、過酷なフィールド・ワークに耐えるものが少ないというところによるものであろう。

しかるに施工管理上や自動化施工のために必要な計測情報は測量・出来型等の幾何的なものから、応力・密度・気象・圧力などの物理的な現象までが要求される。これらをマネジメントの略として合理化や省力化のために使用するためには、計測システムとしては汎用の計測機器で必要な量と精度の情報を低コストで出力する必要がある。このためには現場計測システムを体系化し、機器の規格化をはかることが当面の課題であろう。またそれらの計測情報の蓄積と有効利用に関しても全体的な視野からの方向づけが必要である。

現在の低迷した経済情勢はさらに建設業界に合理化を望むであろう。その中で計測システムを施工マネジメント・システムのサブ・システムとして位置づけした非常に有意義である。この分科会では今後現場計測の標準化を当面の目標として、施工管理

理レベル・アップのために取組んでゆきたい。

### 2. 現場に於ける計測の現状

まず現状を調べるために分科会委員のメンバーに御協力を得てアンケート調査を行った。昭和50年前後から58年までの主な現場計測である。全てを網羅する訳ではないが、おおよその概要は知る事が出来る。

#### (a) 工事の種類による分類

| 工事の種類      | 件数 | 百分率  |
|------------|----|------|
| 土留め工事      | 16 | 21.5 |
| シールド工事     | 10 | 13.2 |
| トンネル工事     | 8  | 10.5 |
| ＃ ( NATM ) | 7  | 9.2  |
| 埋立て・盛土工事   | 3  | 3.9  |
| 地盤改良工事     | 3  | 3.9  |
| ダム工事       | 2  | 2.6  |
| 橋梁工事       | 2  | 2.6  |
| 地上RC構造物    | 2  | 2.6  |
| 地下 〃       | 2  | 2.6  |
| その他        | 21 | 7.4  |

表 1

上の表をみると土留・シールド・トンネルの3工種で54%と半数以上を占める。これらの殆んどが計測目的として安全管理と施工管理をあげているがこれは施工の範囲が限定され、そのプロセスが比較的統一できるからであろう。施工の自動化についても最も進んでいるのがシールド工事であるのもこの様な条件に適合するからと考えられる。

#### (b) 計測目的による分類

目的の分類に当っては単一の目的でない場合が多いので三通り以下の目的をあげ整理してみた。

その結果が次ページの「表-2」である。これによると、その殆んどが複数以上の目的を持っている。しかも施工管理と安全管理の為に計測を行ったというケースが全体の7割近くを占めることは、やはり今後の計測が施工管理と安全の確保にある事を示すものであるといえよう。

|                |       |
|----------------|-------|
| 1. 単一目的による現場計測 | 13.0% |
| 2. 複数目的による     | 87.0% |
| 施工管理を目的の一つとする  | 73.6% |
| 安全管理を          | 57.7% |
| その両方を目的とするもの   | 51.4% |
| 研究・設計が目的とするもの  | 20.8% |
| その他            | 14.3% |

表 2

第2表の中、その他に属するものも工法対比とか測量や挙動観測などで、しいていえば施工・安全・研究のいずれかに分類できるものが殆んどである。

施工管理が感に頼らず計測によって行われる様になってきている事が読みとれる。しかし安全管理を主目的にかんがえているケースも20数%あるが、この中には施主の指定によるもの、あるいは万一の場合のために備えた「防御の計測」もある様である。

(c) 計測項目による分類

| 計 測 項 目   | 件 数 | 百 分 率 |
|-----------|-----|-------|
| 変位置その他    | 27  | 35.5  |
| 沈下量・傾斜その他 | 17  | 22.4  |
| 構造物内部応力他  | 18  | 25.0  |
| 土圧・水圧その他  | 12  | 15.8  |
| その他       | 17  | —     |

表 3

上表の様に4項目でその大半を占める。これは、(a)で記した様に工種の片寄りが影響しているのであろう。この他でどのような計測が行われているかを次に列記してみる。

1. 位置・高さ・寸法・土量等の計測
2. 密度・比重・材種判別等の材料に関する計測
3. 加速度等の現象に関する計測
4. 作業員・車両等の計測
5. 海上・海中の計測

等があり今後現場計測の普及につれ更に多項目の計測の必要性が出てくるだろう。

(d) 計測の頻度に関する分類

計測の頻度を考慮することは、今後計測システムを計画したり、体系づけるために非常に重要なことであろう。一般に土木工事に於ける計測のサンプリング間隔は割合に長い表-4に示す様に1日に1回

と常時が最も多い様である。これは土留計測等は比較的長くシールド工事等では殆んど常時計測されている為で、自動施工に対応させる場合は更に短いサンプリング間隔になるだろう。

この様な比較的長い間隔で計測を行う場合はその測定点数のほうシステム計画に影響を及ぼすといえる。

| 計 測 間 隔  | 件 数 | 百 分 率 |
|----------|-----|-------|
| 1日/1回 計測 | 45  | 78.9  |
| 常時計測     | 20  | 35.5  |
| 1週間/1回計測 | 14  | 24.6  |
| 1日/2回 計測 | 5   | 6.6   |
| 1週間/2回計測 | 4   | 5.3   |
| 随時計測     | 4   | 5.3   |
| 1月/1回 計測 | 2   | 2.6   |
| その他      |     | —     |

表 4

※注 表のデーターは計測目的や手段が複合している場合があり件数・比率とも発生確率であり合計数は合わない。

さらにこれら計測の手段がどのような方法で行われたのかをまとめたのが、表-5である。

| 計 測 手 段 | 件 数 | 百 分 率 |
|---------|-----|-------|
| 半自動計測   | 60  | 78.9  |
| 手動計測    | 27  | 35.5  |
| 全自動計測   | 24  | 31.6  |
| 海・水上計測  | 8   | 10.4  |
| その他(不明) | 5   | 6.5   |

表 5

この様に半自動が圧倒的に多いが、部分的に自動化したり、手動で計測している。又その逆に自動化計測の一部を手動でしている場合もある。これは現場の状況変化が著しく自動化がしにくかったり、手動の方が安価であった為と思われる。

(e) 計測用センサーと情報伝達手段

土木用計測センサーは応力測定にはストレイン・ゲージの直接取付けや、鉄筋計の埋設が主に使用されている。その他圧力センサーにはストレイン・ゲ

ージの他差動トランス型や増幅器内蔵型のトランスジューサーが使用されているが、いずれも埋設して使用するため、その信頼度は著しく低下する傾向にある。特にストレイン・ゲージの直接取付けは相対値計測でありトラブル後の再計測は不可能なので接続ケーブル等も含めて高い信頼度のある製品が要求されると共に、今後は非破壊・非接触のセンサーで絶対値測定を考える必要があるだろう。

又変位等微小変化量の測定も多く行われており、ひずみ計の応用センサーから、ポテンションメータや差動トランス型、更に磁気センサー型へと非常に多様化している。このあたりも我々が今後単にユーザーとしてのみではなくシステム化にどのような態度を取るかが大きな鍵となるであろう。

| センサーの種類   | 件 数 | 百分率  |
|-----------|-----|------|
| ロードセル     | 20  | 26.3 |
| 土圧計       | 18  | 23.7 |
| ストレインゲージ  | 15  | 19.8 |
| 傾斜計       | 12  | 15.8 |
| 変位計       | 6   | 7.9  |
| ポテンションメータ | 4   | 5.3  |
| レーザー測距器   | 3   | 3.9  |
| ソナー測深器    | 3   | 3.9  |
| その他(不明含む) | 25  | 32.8 |

表 5

※注 センサー形式は非常に種類が多くなるので記載しなかった。ストレインゲージとあるのは特別なトランスジューサーを使用せず直接取付けたものである。

最も多く使用されているのが土圧計も含む圧力トランスジューサーであって、一部のものを除き殆んどが埋設計器である。

その他のなかには容量型の水位検出器からカウンター迄が含まれ、内容不明のものも相当あった。特に距離・形状の測定に於いてレーザートランシット以外はメジャーを使用している。特に手段が無い訳ではないのだが、公共工事等では認められないと言うところに問題がある様だ。

(f) 情報の伝達と処理方法

計測情報の伝達は現場に於ける処理システム迄の

1次伝達と更にそのデーターを大型コンピューター等に送る2次伝達がある。近來マイクロ・コンピューターの発達により相当量のデーターでも現場で総ての処理が可能になってきたが、更に多くなるとデーターレコーダーを媒体として大型コンピューターで処理しているものもあるが、概してマイコン或はミニコンのレベルで現場で処理をしている例が多い。故にここで述べる情報伝達の手段とは最終処理に接続するメディアを指すことにするが、一次伝達には殆んどがケーブルを使用しており、この辺も計測対象現場が限定される一つの理由として今後の課題となるであろう。

| 情報の伝達手段 | 件 数 | 百分率  |
|---------|-----|------|
| ケーブル    | 65  | 85.5 |
| テープ     | 15  | 11.4 |
| ディスケット  | 3   | 3.9  |
| トランシーバー | 2   | 2.6  |
| ファクシミリ  | 1   | 1.3  |
| 公共回線    | 1   | 1.3  |
| その他     | 35  | 46.1 |

表 6

| 情報の処理手段   | 件 数 | 百分率  |
|-----------|-----|------|
| マイコンによる処理 | 40  | 52.6 |
| ミニコン "    | 6   | 7.9  |
| マイコン+大型   | 8   | 10.5 |
| 専用機器      | 12  | 15.8 |
| その他       | 35  | 46.1 |

表 7

これによると計測用の機器があってもさらに、マイコン等を使って画像表示を行ったり、制御や警報装置にフィードバックさせようと試みられている。

3. 現場計測に於ける問題点

(a) 分科会に於ける研究発表の概要

当分科会は現在22名の委員数で毎月一度会議の場をもち現場計測という一見非常に地味な分野ではあるが、全委員真剣に研究発表や討議を行ないすでに16回を重ねているが、その間に次の様な研究発表がなされた。

「PC斜張橋の計測管理記録」大成建設㈱

「ハングブレーンによる航空写真測量」々  
「大断面トンネル掘削システム」俣奥村組  
「自動計測解析管理システム」フジタ工業俣  
「マイコンによる内空変位計測」  
「トンネル計測施工システム」日本国土開発俣  
「コンピュータによる山留計測管理」

前田建設工業俣

「軟弱地盤上の盛土の安定と沈下管理」俣間組  
「工事施工に於ける技術的診断と計測情報」

京都大学 春名幹事長

「海上交通分野への電子計算機の応用」

運輸省港湾技研 奥山育英

「LNG地下タンクの計測管理」鹿島建設俣  
「山留め工の計測管理」俣大林組  
「現場計測管理システムについて」俣奥村組  
「NAT計測管理の実例」フジタ工業俣  
「光学式変位計による杭挙動の測定」俣大林組  
「位置計測システムについての実験」大成建設俣  
「シールド計測とマイコンによる管理」東洋建設

以上の様な課題である。その中には他の文献で既に発表されたものもあるが我々は更に今後の現場計測のありかたの為に問題点の追求や討議を行なったこれ等を見ても現場計測が単なる測定ではなくその殆んどが管理の為の計測であり、施工のマネジメント上重要な位置を占めているといえる。

これらの発表された例もアンケート結果も共に実例を調べると圧倒的にトンネル・シールド及び土留工が多い、その理由については、

- a. 施工全体をある程度定型化できること。
- b. 管理するエリアが比較的狭いこと。
- c. 計測結果による管理でその効果が明確に現れること。

等が考えられる。したがって現場計測を体系化するのに最も手近な分野であるだろう。

この逆を考えればその他の施工に計測管理が比較的少ない理由として

- a. 施工システムを定型化して捉えにくい。
  - b. 計測管理範囲が広範囲にわたるため。
  - c. 計測管理の結果による効果が判然としにくい。
- の3項目の何れかに該当するからであろう。

これらの問題点を模索することによって、現在比較

的良く実施されている計測に対しても更に有利な結果がでるのではないだろうか。その点を分科会での討議内容と(2)のアンケート結果も含め考えて見る。

#### (b) 問題点の摘出

前項の現場計測の比較的行われなない3つの理由について考えると、

イ. 施工システムを定型化しにくい点について、まず一番に挙げられるのは工種の多少をさすのではなく対象がトンネル・ダムから都市・海洋工事までを含む土木施工が更に主として自然を対象としているため、自然条件の変化や地域性により工種の変化のみか施工方法も大きく変わることがあり、全く同じ様な施工対象が、別の場所では同じ計画や施工方法で必ずしも成功するとは限らないからである。

一見単純に見える土木施工もこのような条件の変化を考慮すると計画に必要なシステラを構成する要素の組合わせは莫大なものになる。計測機器の発達するまでは「カン」と「経験」に頼ってきたのも仕方ないことであるといえるが、近來計測機器・手法の発達に伴いこれらで得られたデータを活かした施工方法がとられているが土木全般をみた場合まだまだその情報は不足であり、施工システムを定型化するにも今後現場計測情報の蓄積は非常に大切なことではないだろうか。

#### ロ. 計測管理範囲の広さについて

大規模な土木施工ではその対象とする地域は膨大なものになるが、その個々の計測対象は非常に小さいものであり、又小さい現象であるから問題点としては、「情報伝達手段も含んだ計測技術」と「結果のフィードバックも含んだ情報処理」であるといえるだろう。

一見両者とも現在の進んだエレクトロニクス技術で何とかなりそうではあるが実際には問題が多い。

先ず前者では土質・力学面での非接触・遠隔計測がまだまだ困難であること、後者では広さに対して3次元で増える情報処理とその一部を管理データとして現場にフィードバックしてやる情報伝達方法の問題であろう。大規模造成工事などで完全な情報管理を完全に行えば大型コンピュータ・センターが専属で稼動することになるだろうが、コスト面で現在ではそれだけの投資効果は得られない。

しかしながらオプトエレクトロニクスの発達によ

り、その可能性はだんだんと近づいている。近来では超高性能コンピューターと無人施工のシステムが行われるのも夢ではないだろう。だが今はこれら最新技術を少しでも計測に取り入れ技術発展のための一歩を進むのが我々の役目であろう。

ハ、計測結果が管理結果に与える効果について計測の目的をおおまかに分類すれば

- A. 発注者の指示・指定による
- B. 自主管理の情報を得るため
- C. 自動化の制御情報を得るため
- D. 設計・計画の情報を得るため

の4点になるだろう。(A) に対しては管理に不要であったり、施工後の性能に影響のない計測については当然発注側がその効果を判断し費用を負担しなければならないものと思われるが、土木施工が主として受注生産であるため時には判然としない場合もある。今後計測情報の蓄積が進むにつれ体系化や標準化の望まれる問題である。

(B) については安全・工程・原価・品質等の管理のため我々がその効果を評価しなければならない問題である故に当然計測に要する費用とその効果は相当関係がある。この点を解決するためにも計測を系化し規格化することで計測システム内での合理化をはかる必要がある。(C) の自動化や制御の為の計測は概ね(B) と同じではあるが更に積極的に管理の合理化を進めようとするものであり今後メカトロニクスとのリンクでどんどん伸びてゆく分野である。当然管理計測データのの一部も使われるが、主としてリアルタイムな出力を要求され自動化や制御システムと密接な関連があるため別に考えるべきかと思われる。(D) はこの項のはじめにのべた如く施工システムそのものの標準化の為に我々が蓄積し有効利用しなければならないものであり、またこれが設計・計画上の大きなノー・ハウとなるが故に公開されない場合も多いが将来の標準化の大きな基礎にもなるものである。しかし多様で益々増大する蓄積情報も利用率はまだまだ低いのではないだろうか。またそれらの情報から帰納的に共通点を見だし標準化を進めるには少しでも広範囲な情報を整理することが望ましい。そのためには総ての計測やその情報を統一すべきである。

この様な見地から問題点を捉えて行くと、やはり

計測システムの体系化が最も大きな現状での課題となってくる。そして更に規格化して汎用性をもたせることが今後の現場施工システムを確立させるための計測システムの最大の課題であろう。

#### 4. 計測と情報のながれ

現場計測に於てこれをシステムとして捉えたときその情報のフローは非常に重大な意味を持つてくる。前項で述べたように多様性の上に定型化されてない施工システムに於ては概念的なプロセスは想定出来るが、その情報の測定範囲は多くの場合実際より広範囲に設定しなければならないし、既知の情報不足を補う為殆んどの場合施工の当初に計測を実施する。これを「先行計測」と考えているが、調査計測との異なる点は、後者は計画プロセスの概念決定の為のものであり、前者は調査計測の情報不足を補填し実際の施工プロセスを決定するものである。従ってこの先行計測情報を判断して修正された施工システムは非常に確実な成果をあげた例が多い。

そこで計測情報のながれであるが、得られた情報を分析モデル化しこれに蓄積された情報で比較或は補正し施工システムを決定するための情報を出力する。この点が前述した「カン」や「経験」の入る余地のあるところであろう。しかしこの時点でその施工システムの完成度が決定されると言うてほぼさしつかえない。

更に施工プロセスに於ても「先行計測」に「現状計測と施工」から「結果計測」を経てもとにもどるループを形成する。ここで言う施工は単に技術的問題のみでなく、管理からすべてを含んだ施工システムの中の動的現象をさす。次にこの概念を図示する。

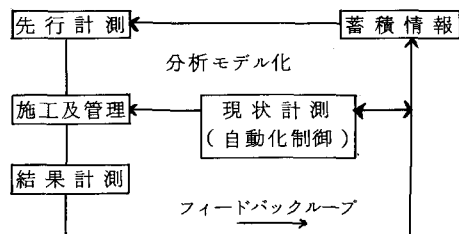


図 1.1 計測情報のながれ

計測情報の図 1.1 のような流れのなかで従来土木施工はどちらかと言えば、ディダクティブな考え方で行われてきたが、システムとして捉え更に合理化や品質管理のため自動化を促進するときは、インダクティブな考え方で処理を行わなければシステム

を定型化し定着させることはできないだろう。

## 5. 計測のシステムの将来への展望

これまでは計測をシステムとして捉えて考えてきたが、ハード側から現状を見てみたい。計測システムはセンサーから情報出力まで概ね次図のようになる。

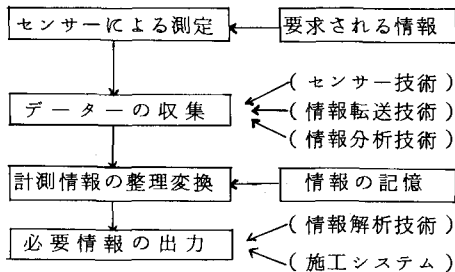


図 1.2

上図の様な構成の中で第一番はセンサー技術である。近來種々の分野でセンサー類の発達は見ざましいが、我々がフィールドワークで使用したい時はこの信頼性は低くなり、特に埋設機器ではそのトラブルは致命的なものになる。センサー自体も多品種少量生産品が主体でコストも決して安いとは言えない。故に実験計測の様になんらかの期待をもって投資する場合と違って定められた範囲での投資とそれに対する相乗効果を期待されることが多い、時には純粋に学術的な或は情報収集の為のデータ収集もあるだろうが、それはそれなりに間接的效果を期待するのであって終局の目的は同じであろう。やはり機器の規格化と施工システムの定型化により少品種少量型のセンサーを安価供給される体制を作るべきであろう。

次の情報転送にも非常に問題が多い、まず現場計測に当ってセンサーやトランスジューサーの配線程施工側から見て邪魔になり計測上のトラブルのもととなるものは少ないのではないだろうか。光ファイバー等でバスラインを設けても無しにはならない。テレメーターでは分解能が不足する、残るのは光通信とマイクロウェーブの使用であるが高価につくと八方すくみの状態である。これらが実験計測の延長を抜けきらぬ現状であろう。これも同様に規格化によるコストダウンを期待しなければならぬ。そして我々は特に発達の目ざましいオプトエレクトロニクスの先端技術に注目するべきである。その利用により非接触計測・遠隔計測が将来現場でも十分可能でありその効果ははかりしれない。

情報処理については周知の様にコンピューターの進歩は著しい昔前は大型コンピューターでなければ出きなかったことが現在ではマイクロ・コンピューターでできる様になった。記憶素子も演算素子も集積技術の進歩で更に小型化されるだろう記憶手段としてのフロッピーディスク・ハードディスクの高密度化から光ディスクへと進んで行くことが予想される。この様なハード技術の発達に較べソフト面では一向に統一がなされていない。メーカーにもそれなりの事情があるのであろうがユーザー側から見れば迷惑至極である。大規模な計測を例にとってみるとハードの費用よりソフトの費用の方が上まわる様な例が多いが果たしてその後の使用で採算に合ったのかどうかは疑問である。汎用化を実現する為にはどうしてもOSや言語及び入出力規格の統一がのぞまれる。

最後に情報の出力であるが、これも書類や図化から管理や自動化へのリアルタイムな出力までを要求される。近來公共事業等では特に提出図面が多く更に増える傾向にある。管理の為には止むを得ぬ向きもあろうが果たして全部が有効利用をされているのかはこれも問題があるだろう。提出書類の省力化の為だけにコンピューターを導入する例も多いが、何れにしてもこれらがシステムの複雑化やコストアップに関連しているのは明らかである。前記の様に記憶手段も日進月歩である。この辺で発想の転換を計らなければならないのではないだろうか。

## 6. まとめ

これ迄の考え方をまとめれば今後の現場計測情報システムのあり方として

- 単に実験計測の延長ではなく施工に関するあらゆる管理情報を得る感覚機関であること。
- 計測システム内での合理化・汎用化を計り管理計測の適用範囲を拡げること。
- 計測情報を更に蓄積し施工システムの自動化やロボット化に対処すること。

等にまとめる事が出来るだろう。

この施工情報システム小委員会にこの様な多数の参加があったのも土木施工が如何に定型化して捉えにくい分野であるかを如実に物語っている様に思われる。この様な機会を有効に他の分科会とも十分にコミュニケーションをとり施工技術の向上に役立つように努力したいものである。

昭和59年1月27日