

現場計測マニュアルについて

要素技術ワーキンググループ

福島晴夫 伊東良浩 岡野幹雄

指田健次 笛木正文 藤井義文

1. はじめに

土木工事は、本四連絡橋、東京湾横断道、石油地下備蓄施設などの大プロジェクトに象徴されるように、大型化、複雑化してきており、完成された構造物には、社会的な要請に応じた高い信頼性、安全性が求められている。このような工事の施工では、要求された品質を確認、維持しながら完工に導く工事のマネジメントや、長期にわたり構造物の安定を監視するメンテナンスには、コンピュータや精度、信頼性、耐久性の高い計測機器を使用した計測システムが欠くことのできないものとなる。

コンピュータは、土木学会やその他の雑誌で特集が組まれているように、ここ数年、建設現場への進出がめざましく、工事の管理や実績データの収集、計測データの処理等の多岐にわたって盛んに利用されるようになってきている。特に最近では、現場計測とそのフィードバックによる科学的な工事管理手法が注目を集めており、数値解析を含めた総合的な計測管理システムが提案されている。

しかしながら、コンピュータにインプットする計測データの信頼性や計測のハードウェアシステムの精度、信頼性について検討された報告は少なく、これらは多くの場合、メーカーや計測コンサルタントなどの専門業者にゆだねられているのが現状である。

一方、計測機器や周辺装置は、最近のハイテクブームの波に乗って著しく発展しており、土木計測分野へ応用できると思われる新しいセンサー、トランスデューサ^{注)}や伝送技術が続々と実用化されつつある。

要素技術ワーキンググループでは、このような計測技術の現状に着目し、現場の計測担当技術者が、計測機器や伝送方法に関する各メーカーのパンフレ

ットを理解し、計測業者の提出した計測のハードウェアシステムをチェックして、現場のニーズに合った信頼性の高いデータを収集できるようにするための情報提供を目的として、

① 信頼度が高く、コストパフォーマンスの良い計測機器、周辺装置の調査

② ハードウェアを主体とした現場計測技術者のための計測マニュアルの作成

について検討している。

ここでは、昨年の研究発表で述べた計測機器の標準化の一環として、来年度に完成を目指しているハードウェアを主体とした計測マニュアルについて概要を報告する。

2. 計測マニュアルの作成方針

土木関係の計測機器のカatalogには、その工事の計測ニーズに適したセンサー、トランスデューサの種類や精度、設置方法、データ読取りに必要な測定装置、コンピュータを利用する場合のハードウェアシステム例などが、かなり詳しく示されている。その内容は、センサーやトランスデューサを例にとれば、測定範囲、精度、分解能、直線性、非直線性、温度特性などで、一般的に電氣的な知識に乏しい土木技術者にとっては、不可解かつ一見大変信頼性の高いものに感じられる。

しかしながら、これらの用語は、定義だけでも数種類に分けられるばかりでなく、各センサーやトランスデューサには統一された規格がないために、その種類や製造方法はメーカーにより異なっている(表-1参照)。このことは、各現場で同じ計測項目について測定を実施したとしても、同一の計測機

注) トランスデューサ(変換器)：明確な定義はないが、一般には「測定される物理量(ひずみ、応力など)と変換された後の物理量(主に電気量)が比例関係にあるもの」をいう。

表－１ 計測機器メーカー一覧表（例）

計 器 名	メ ー カ ー						工 種							備 考
	共和電業	坂田電機	東横エレクトロニクス	東京測器	土木測器(NHIB)	応用地質	観 測	埋 設	立 土	ダ ム	ト ネ ル	斜 面	鋼 材	
荷 重 計	G	D	G	G	CG		○				○		○	
圧 土圧計	CG	D	CG	G	CDG	G	○			○	○			
力 水圧計・間隙水圧計	CG	D	CG	G	CDG	G	○	○	○					
計 コンクリート応力計	CG	D	G		C					○	○		○	有効応力計等
変位計	CG	D	CP	G	CDP	D				○			○	クラック計、観目計等
変 地表面変位計	MP		P		P	P	○	○			○	○		伸縮計、地すべり計等
位 地中変位計	MP	P	MP		P	M	○	○	○	○	○	○		エクステンソメータ等
計 沈下計	E	E	E		E		○	○	○	○	○	○	○	水盛式、水圧式等
歪 歪計	CG	DG	CG	G	CG		○	○	○	○	○	○	○	パイプ歪計等
計 鉄筋計	CG	D	CG	G	CG		○						○	
傾斜計	CG	D	GD	G	CGD	E	○	○	○	○	○	○	○	
湿度計	CG	D			C					○			○	

C：カールゾン式 D：差動トランス式 G：ストレインゲージ式 M：機械式 P：ポテンショメータ式 E：その他

器を用いていなければ、同じ精度や信頼度は得られないことを意味している。

現場計測におけるデータの有効利用とは、データを収集、蓄積し、施工にフィードバックして工事管理に役立てていくことであり、そのためには、同一の精度、信頼度を持った計測機器を使用してデータの統一を図ることが重要である。この観点から、計測マニュアルは、現場技術者が計測機器のカタログの内容を理解するために必要な情報を提供することを第１の目的として作成する。

２．１ 計測マニュアルの範囲

現場計測の精度や信頼性を左右するハードウェア技術は、

- ① センサー、トランスデューサ、測定装置、伝送方法などの電氣的、機械的な技術
- ② 設置位置、設置方法などの人為的要素を含んだ技術

に大別される。

このうち、①は、計測機器メーカーの技術レベルへの依存度が高く、現場技術者では改良の難しい部分であり、②は、設計、施工担当者の技術的な判断が大きく影響する部分である。

今回、要素技術ワーキンググループが作成する計測マニュアルは、①の範囲にとどめ、②は、周辺技

術ワーキンググループと協力して作成する方向で検討している。

２．２ 計測機器の資料収集方法

センサー、トランスデューサなどは、表－２^{１)}に示すように、あらゆる工業分野で様々な方法で利用されているため、これらに関する膨大な資料を収集し、その中から、土木分野に適用できるハードウェアを抽出することは、高度の専門技術と多大な時間が必要となり、当ワーキンググループで対処することは非常に難しいと考える。

この観点から、要素技術ワーキンググループでは、土木計測で一般に使用される計測機器を対象にマニュアルを作成することとし、表－３の要領で資料の収集を行った。これらの資料は、各メーカー発行の単品カタログおよび総合カタログなど、現場で容易に入手できるもので、メーカーの開発中の新技術などに関する情報は、省いている。

２．３ マニュアルの目次および概略の内容

計測マニュアルは、第１編「基礎編」、第２編「応用編」とし、今回は第１編を作成する。第１編の目次および概略の内容を表－４に示す。

表-2 各種センサーの利用分野（その1）

シリーズ	ニース	鉄鋼・金属	電子工業	機械工業	建設・ビル	電力・ガス・水道・資源開発・鉱業	化学工業 (紙、パルプ、石油、繊維、薬品、食品)	水産・農業・畜産
位置・変位		材料の厚さ 塗料の幅 原料レベル	熱入流流量 変位計	ロードセル、加速度計 ひずみゲージ	傾斜計、ひずみ計	ダム水位、降雨量	原料レベル、粘度計、発行計	自動秤
傾斜・力・重量		地震計	結晶重量、数量計	所動計、加速計 製品形状	地質探知、振動計、水位 燃料レベル、重量計 エレベーター制御用	地質計、ガス流量、地震・鉱脈探査、重量探査、深度計	地質計、各種原料の重量測定、密度計、弾力計	
圧力		高炉内圧	水災感知	呼吸計、満量計、油圧計 エアーマイクロノータ	空調、気温、水災感知、土圧計	ガス圧、真空圧、給水流量、深度計	各種ガス圧	無気圧、換圧
温度		ロール温度、冷却水温度、高炉内温度、焼結、プロセス制御用、高炉寿命	プロセス制御用	軸受け温度、空調、プロセス制御用、異常監視	空調	送電機温度、電力機器温度、カローリメータ、海水温度、地熱探査	プロセス制御用、紙の水分	冷却水温度、空調、水温
湿度		石灰水分	除湿、空調		空調		プロセス制御用、紙の水分	作物の乾草度、土壌水分、木材乾草度(水分)
光		真面のキズ、よごれ検出、炉内サーモグラフィ	鏡厚計、平面度測定、露光量、微小傷中の測定(1mm以下)、プラズマ分光、外観検査、カラーCRTの色調管	変位、距離、寸法測定、鏡厚、近接スイッチ	照度、距離、寸法、色判別、外観測定、パターン認識、角度・角速度測定、キズ、ムラ検出、赤外線イメージ	清濁測定(フイバー利用)、位相検出、液面検出(電子管)、超音波圧電検出、リモートセンシング、レーザ測定	紙の厚さ、草物検出、湿度、乾燥、生虫検出、機械断糸検出	日照計、発育度、選果計
磁気		形状、シート枚数、磁厚計、キズ検出、磁入磁差	変位計、モーター制御用	変位、距離、寸法測定、鏡厚、近接スイッチ	方位	埋設水道管の位置検知、回転機異常、地磁気探査、鉱山探査	流量、O ₂ 計、流量計	
放射線		イの検出、厚み計、結晶分析、水分計、密度計	結晶検査、結晶解析	非破壊検査、成分分析、レベル計、厚さ計		原子力関係、地質探査、シンチレーションカウンタ、ガイガーカウンタ	厚み計、放射線分析、密度計	キャベツ等の密度
音		超音波探傷		ひずみ測定、超音波探傷、超音波ホログラム、アコースティックエミッション、硬度測定、寸法測定	超音波探傷、超音波探傷、超音波探傷、超音波探傷	漏水の検出、地震探査	レベル計、流量計、流速計	食肉用肉質の検査(牛肉)、魚のほろ、成育度、魚探、魚群探知、レベル計、流量計
固体成分・液体成分・気体		成分分析、原料分析、ガス組成、O ₂ 計(シリコンニア)	水質センサー、H ₂ センサー、微量O ₂ 測定用センサー、有毒ガス成分	ひずみ測定、超音波探傷、超音波ホログラム、アコースティックエミッション、硬度測定、寸法測定	コンクリート配合、ガスもれ、水災感知、線素	水質計、変圧器オイルの劣化、水道メータの自動検計、ガスもれ検出、排ガス、ガスメータの自動検計、pH計、コイル地磁気劣化、固体成分分析、イオンクロマトグラフ、水質分析、ガスクロマトグラフ	原料分析、成分計、(キウ計)、成分分析(分子計)、成分、酸素、O ₂ 計(シリコンニア)	土壌の分析、飼料の測定、付着物質、水質計(海洋用)、人工環境用各種測定
電波					測量	電磁レーザ、リモートセンシング	水分計(マイクロ波)	比周子振、水分計
電気			炉内センサー(スバクタリング)		過電流遮断、漏電検知	埋設水道管の位置検知、自動検計、電力量、雷検知	積算時間計、石油水分計	土壌の質
その他			電子顕微鏡			送電機温度計		温度センサー、湿度センサー

表-2 各種センサーの利用分野(その2)

ニーズ		ニーズ						
位置・部位	測定項目・HA)	防犯監視・公害	情報(OA)	海洋・気象	輸送(航空・船舶・航空機)	医療	その他	
位置・部位	石油油圧 水位センサー 水検トイの水位	侵入検知	マウス タブレット	潮流計 風速計 風向計	燃料計 回転計 ガソリン消費量計 自動運転 バッテリーレベル ギアアップ機能	手術中の体系測定用センサ		
	石炭ストーブ自動消化装置 圧力スイッチ 体重量計 はかり 握力計	地温計 侵入者検知	計算機連動設計 電子秤	航法用 重力探査	ジャイロ 地震計 加速度計(インバータセンサ) 燃料計 ブレーキシステム 重量計 過熱防止 シートベルト	心作マイク 体重計 パルスオキシメトリ		
圧力	注：排水水位 樹液採取用の観測器	土壌計	インクジェット ハードディスク	気圧計 波高計	エンジン制御用 油温 冷却水温 エアープレッシャー ノッキングセンサー ターボチャージ	肺圧 呼吸器内圧 腎臓中圧 手術中の負荷検出		
温度	冷庫房用 冷凍機器 温度調節 過熱防止 乾燥器 衣類乾燥 船体温度調節 風速速度調節	気温 湿度 氷点感知 サーモグラフィ	オフィス環境 通風防止	気温 水温	船倉・客室温度制御用 気温 海水温度制御用 ヒーター エアコン 暖房温度制御用 空気流量 除湿計 湿度計 船体加熱管理	サーモグラフィ 体温 深部体温計		
湿度	空調 調理器 VTR録画	大気湿度	オフィスの湿度制御用 換気排出水の水分	大気湿度 降水検知	船倉湿度制御用 大気湿度 スキッド防止 デフロスタ 自動ワイパー	皮膚水分計		
光	赤外線非接触式 VTR TV ビデオカメラ 照明器具 カメラ 自動点灯 自動ドア コンバクトディスプレイ 液晶モニター	TV レーザーテレーン 侵入者検知 煙感知 火災警報器 光ファイバ	LAN OMR レーザープリンター ファックス (CCD)印刷FAX 先読込みスキャン	日照 海面高度 ライブ映像計 格闘計	トルーパー検知 ヘッドアップディスプレイ レンジングセンサー ファイバーシャット 回転計 ITV 格闘計 シーローダー ライティングシステム(車載用) オートディスター	超音波出力用センサ サーモグラフィ 視覚的診断 眼底カメラ 腎臓カメラ 膀胱カメラ レントゲン撮影 X線造影 光電色計 生体組織(心臓、脳、肝臓) 血液検査 自動検査計 NMR CT		
磁気	磁気ヘッド スイッチ	IDカード 金融機関 電子キー	IDカード データベース MT コピーメモリ コピー単位 デジタルタイマー	ラジオゾンダ		X線CT X線ホログラフィ X線透視 PET検査装置 ポジトロンCT		
超音波	マイクロホン ピックアップ 音センサー カメラ(自動焦点) テレビのリモコン	侵入者検知 地震予知 マイクホーン(騒音)	メモリー 音声応答 音声入力	潮差 広域平均気温 風の流速計 雨量計 被害計	ソーナード ドップラー効果 単独検出器 水中通信 ハイキングセンサー 車道センサー 近接警戒 空気の濃度計(カルマンウズ)	超音波画像 超音波カメラ 超音波CT 人工子宮(胚移植) 電気的心臓 神経系		
固体成分・液体成分・気体	ガスもれ	本質検知(MSS, BOD, COH, DO) ガスもれ 大気汚染物質 水質汚染物質 酸素 油膜	pH計	pH計	パラストモニタール 酸分解成分 肥料成分 バイオリファーゼ 等分洗浄剤 NO _x , CO計 アルコール検知 有毒ガス 窒息抑制用	各種液体の分析用 検出器用ガス質量 呼吸分析 検出器中の酸素濃度		
電波	TV カメラ トラクションペー	侵入者検知	アンテナ	レーザ テレメータリング 衛星測距 ゾーンの追跡	サチナル レーザ デューカ コロシアム オメガ 対話型時計 日時計型のATM トップアラーム レーザ距離検知 車両番号検知 ESU (販売予定)	マイクロ波CT テレメータ 医用カメラ マイクロ波サーモグラフィ		
電気	温度検知 電力重 炎センサー フレアカー	温度検知 データセンター 出センサー	タブレット	海水伝導率 pH計	製薬製造設備 バッテリー充電計	インベークションCT 腫瘍 乳房放射線 心臓 心臓計 筋電 神経計 ポリアグラフ 顕微鏡計 皮膚病検計		
その他		微生物量			交通量測定	人間活動用モニタール 稼働時間		

表-3 計測資料の収集範囲

項 目	内 容
資 料 の 範 囲	① 主として土木構造物の挙動を測定し、設計、解析に基づいた計測管理にフィードバックできるデータを取得するセンサー、トランスデューサ、測定装置など ② 電氣的、機械的、磁氣的、光學的な測定法 ③ 測距、測量などの出来型管理測定は除外
メーカ-	① 現場計測の現状調査アンケート ²⁾ に記載した土木計器メーカー ② 上記のメーカーの計測機器に使用されているセンサーのメーカー
専 門 技 術	① 市販の文献 ② メーカーのカatalogや内部資料

表-4 現場計測マニュアル(第1編)目次

目 次	概 要
1. はじめに	・「計測マニュアル」作成の方針、経過等
2. 計測関連用語の定義	・JIS規格(JIS 1002-1975)に掲載されている計測関連用語を中心に、基本的な用語の解説
3. センサー解説	
3-1 ひずみゲージ	・各センサーの作動原理、構造、特性、精度、分解能、温度特性などについて、電氣的な内容を含めて解説
3-2 差動トランス	・その他は、ギャップセンサー、マグネスケールなど、土木分野ではあまり応用されていないセンサーも含めて紹介
3-3 ポテンショメータ	
3-4 カールソン型ひずみ計	
3-5 サーボ型センサー	
3-6 その他	
3-7 センサーメーカー	・代表的なセンサーメーカーを紹介
4. トランスデューサ	
4-1 力の測定	・センサーの測定原理によるトランスデューサの分類、変換方法、トランスデューサの構造などについて解説
4-2 変位の測定	
4-3 角度の測定	
4-4 温度の測定	
4-5 トランスデューサメーカー	
5. 測定装置	
5-1 測定装置の分類と特徴	・各種測定装置の能力、特徴を紹介
5-2 測定装置メーカー	・測定装置のコストパフォーマンスについて検討
6. 伝送方法	
6-1 ケーブル	・各伝送方法の原理、特徴、適性、問題点などについて解説
6-2 電波	・実施例の紹介
6-3 光	
6-4 その他	
7. 使用上の問題点	
8. おわりに	

3. 参考文献、資料

現場計測にたずさわる技術者のための参考資料として、計測マニュアル作成に当り収集した文献、資料を以下に示す。

1. 「センサー」(1982)

日経産業新聞編；日本経済新聞社

2. 「センサ入門」(1983)

雨宮好文著；オーム社

3. 「やさしいセンサ技術」(1980)

森田正直、山崎弘郎編；工業調査会

4. 「センサとその応用」(1980)

一ノ瀬昇、小林哲二編；総合電子出版社

5. 「センサのはなし」(1982)

山崎弘郎著；日刊工業新聞社

6. 「センサの原理と使い方(1)~(3)」(1983)

計量管理協会計測センサー利用技術調査研究委員会編；コロナ社

7. 「センサ活用技術」(1984)

工業調査会編集部編；工業調査会

8. 「センサ技術新時代」(1981)

高橋清、小長井誠著者；工業調査会

9. 「センサ工学」(1981)

大森豊明著；テクノ

10. 「センサ工学」(1982)

森村正直、山崎弘郎著者；朝倉書店

11. 「マイコンとセンサのインターフェイス技術・ 4. おわりに

応用編・基礎編」(1983)

村田裕著；日刊工業新聞社

12. 「メカトロニクスのセンサ技術」(1983)

塩田泰仁著；総合電子出版社

13. 「センサデバイスハンドブック」(1983)

センサ技術臨時増刊；情報調査会

14. 「センサ計測器バイヤーズガイドブック」

(1984) センサ技術臨時増刊；情報調査会

15. 「センサ技術ハンドブック」(1983)

センサ技術ハンドブック企画編集委員会編；

日本能率協会

16. 「センサ技術マニュアル」(1981)

鈴木巧男著；新技術開発センター

17. 「センサ実用便覧」(1978)

大森豊明他編；フジテクノシステム

18. 「センサ百科」(日本の最新技術シリーズ12)

日刊工業新聞社

19. 「センサの働きと最適利用」(1981)

日本レギュレーター・センサー研究会；技術評論社

20. 「マイコン用計測回路とそのインターフェイス」(1982)

蒲生良治著；CQ出版社

21. 「電子計測器ハンドブック」(1983)

実用電子計測器ハンドブック編集委員会編；

東京電気大学出版局

22. 「センサのすべて」(1985)

ニュートン別冊；教育社

23. 「土木計測ハンドブック」(1984)

土木施工臨時増刊；山海堂

24. 「JISハンドブック電気計測」

25. 「 ” 機械計測」

26. 「 ” 標準化」

日本規格協会

27. 「情報化施工とマイコンの利用」(1986)

土質工学会

今回作成中の計測マニュアルは、センサー、トランスデューサ測定装置、伝送機器について、土木技術者立場から、ある程度詳細に述べる予定である。

しかし、資料収集が十分でないこともあると考えられるため、情報提供や助言をいただければ幸いである。

参考文献

1) 「センサのすべて」(1985)

ニュートン別冊；教育社

2) 「現場計測Ⅰ・現場計測システムの現状と課題」

S. 61. 4；土木学会建設マネジメント委員会現場計測システム小委員会

執筆者

福島 晴夫 (佐藤工業(株))

伊東 良浩 (佐藤工業(株))

岡野 幹雄 (フジタ工業(株))

指田 健夫 (日本国土開発(株))

苗木 正文 (前田建設工業(株))

藤井 義文 (株) 竹中土木)