

情報化施工の現状と課題

The Actual Condition of Realtime Construction Control System
And It's Subjects

加登文士* (Yoshihito Kato)

キーワード: 管理/測定/掘削/盛土 (IGC:HO)

1. まえがき

情報化施工は、コンピュータなどの高度情報処理システムを導入して現場計測情報を即時的に解析し、この結果を施工にフィードバックして、安全性や合理性を増そうとする施工手段の1つである。この手法はテルツァーゴの“Observational Procedure”の思想をエレクトロニクス技術によって実用化した現場技術である。最近、この手法による施工例が急速に増加し、報告例もかなりの数にのぼっているが、これらの報告は、個別的な実施例を紹介するに止まっているものが多く、情報化施工の本質的な問題と考えられる「情報」の理論的意義や、その運用におけるハードウェア・ソフトウェアについて体系的に検討されたものは少ない。本文では、既に発表されている報告例や筆者自身の担当した施工例等を整理・分析して情報化施工の現状をさまざまな視点から考察し、問題点を指摘する。次にこれらの問題点を解決するためになされるべき理論体系の整備・計測技術の整備データバンクと人工知能の活用・および社会システムの整備などについて検討する。

2. 情報化施工の歴史と現状

2.1 歴史的概観

表-1に情報化施工の発展過程における注目すべきトピックスを掲げる。情報化施工を進展せしめた主要な要因は、土質・基礎の問題に対応するための必要性の認識、計測器等現場観測手段の発展、および観測データの情報処理手段の発展という3点が挙げられるが、表-1からこれらの要因が歴史的にどのように発展したかを読み取ることができる。すなわち第1に掲げた「必要性」に関しては、土質力学体系が整備された当初から認識されており、しかも今日に至るまで種々の方面の調査や研究がすすめられたにもかかわらず、これを必要なしとするに至っていない。この必要性に対応する手段として、1950年代に土木用計測器が開発され、ついで1970年代の後半に至ってから高度な情報処理手段が普及しはじめ、これら3要素が整って「情報化施工」とし

表-1 情報化施工関連年表(土質・基礎に関する事項)

年代	情報化施工に関する事項
1925	Terzaghi・「Erdbaumechanik」出版、土質力学体系が整えられる。
1948	Terzaghi, K. & Peck, F.B. 「Soil Mechanics in Engineering Practice」の中で、現場計測の重要性と有効性に言及し、「Observational Procedure」と表現する。
(1950 ~)	藤上(土質力学の流し;昭和57年度特別講演会、土質工学会九州支部)によれば、大内二男氏が当時大型ケーソン工事で現場計測による施工制御を実施した。また、このころから1950年代にグレースウェル型計測器の開発をはじめ、日本国内でも阪田電機、新興通信工業、共和電業、自動制御研究所等のメーカーで土木用計測器を開発・販売するようになった。
1955~1956	佐久間ダム堤体コンクリートの打設において、コールソン型計測器などが大量に導入された。(発電水力協会;ダムの測定技術, 1958)
1960~1965	川崎製鉄(川崎製鉄25年史)など臨海工業地帯の開発において軟弱地盤上の掘造物に関する計測が実施された。
1967	斉藤(鉄道技術研究報告, No.626, PP.1~52)地盤変位を観測して斜面崩壊の予知をする方法を研究。
1971	広瀬らが「情報化施工」という用語を用いて鋼管矢板併用基礎の施工報告をした。(土と基礎Vol.19, No.3)
1974	中瀬(土と基礎Vol.22, No.11)がテルツァーゴの「Observational Procedure」を「現場計測法」と呼び、現場計測の重要性を指摘した。
1975~1978	川崎製鉄で情報化施工システム(R.C.C.システム)の開発が行われた。
1979	柴田ら「現場計測法」(日刊工業新聞社)刊行。
1979	吉田(パーソナルドレーン工法の設計と施工管理)が地盤改良における情報化施工について記述。
(1970 ~)	1970年代において、情報化施工に関する個別的な報告が発表されるようになった。また、この間コンピュータシステムの小型化が進み、新しい情報処理時代をむかえた。
1982	「土と基礎」Vol.30, No.7で「情報化施工」小特集号が出版され、「情報化施工」という用語がようやく使用されはじめた。この中で多くの施工事例が発表された。
1984 ~	土木学会において土質工学における「情報化施工」研究小委員会が組織され、研究が開始された。
1985	柴田、昭和60年度土質工学会「最近の土質・基礎に関する講習会」で情報化施工について講演。
1986	土質学会「情報化施工とマイコンの利用」刊行。
(1980 ~)	パーソナルコンピュータの普及が急速に進み、各社競って現場計測システムを開発し、実用化が進められた。

* 株式会社 計測リサーチコンサルタント

て開花するのは1980年代になってからということになる。このような発展過程に従って、1950年代以前は、「現場観測工法」という概念でとらえられていたものが、計測器の開発・導入に併って「現場計測工法」となり、さらにパーソナルコンピュータなどの情報処理手段が普及するに従って「情報化施工」という用語がふさわしい状況になってきたものとみることができる。かつて、「現場計測工法」か「情報化施工」かという用語の採否について議論がかわされ、今日でも意見の統一をみていないが、そのような議論がなされることも含めて、歴史的に発展過程にあると考えるのが自然であろう。この意味では、「情報化施工」という呼称もまた過渡期的用語とみることができ、例えばブルドーザやスクレーパによる施工を「機械化施工」と呼んでいたものが今やことさらに機械化と言わなくても当然それらを用いて施工するように、情報化施工の成熟期においてはもはやこの呼称も必要ないものとなるであろう。

2.2 意思決定問題からみた情報化施工

言うまでもなく、「施工」とは設計された概念を現実創造具現する行為であり、そのプロセスはことごとく担当者の意思決定行為の連続である。土質・基礎工学の分野において、建設行為を意思決定問題としてとらえ、統計的決定理論の導入を試みているのは、いわゆる「信頼性設計」に関する一連の研究¹⁾である。統計的決定理論の根底には、意思決定に際して、これが何等かの

表-2 土質工学における不確実性への対応策の分類

対応観時	対応観術	対応策
観時Ⅰ (不確実性の解消)	(1) 全数調査型	詳細かつ大規模な土質調査・試験
	(2) 因果法別解明型	力学試験・構成方程式の研究
観時Ⅱ (不確実性の取り込み)	(3) 静的対応型	現場試験、模型実験、試験施工 信頼性設計法
	(4) 動的対応型 (観測対応型)	観測的施工法、情報化施工
観時Ⅲ (不確実性の回避)	(5) 回避型	人工材料への置換(クイ、砂置換、DMM)

(第1回リスク・アナリシス研究会；黒田先生の資料による)

不確実性を伴うことが避けられないとの認識があり、このような不確実性を伴う決定の状況において情報と決定との関連を明らかにしようとしている。表-2はこのような統計的決定という視点から情報化施工をみたときの、土質工学的手段(対応策)における位置づけである。²⁾しかしながら、情報化施工の立場から、それが意思決定問題にほかならないとの

認識をもって議論がなされたことは殆どなく、従って、現場計測データの情報化やその運用に際して取り扱いがあいまいなままになっているのが現状である。この点については、3.1で若干の議論を加えたい。

2.3 不確実性の現状

意思決定問題を議論するまえに、その根底にある不確実性の実体について、今少し整理しておきたい。土質・基礎の施工時の関心事は破壊と変形の問題であり、結局その挙動の性状(大きさ・速度など)に支配される。図-1は、筆者の担当した施工例の中から、各種工事での挙動の大きさの分布をまとめたものである。地すべり以外はいずれも破壊に至ったと判断されたものではないが、挙動の大きさにかかなりのバラツキが認められる。例えば土工においては沈下量8cm程度から6m程度に分布する。これを

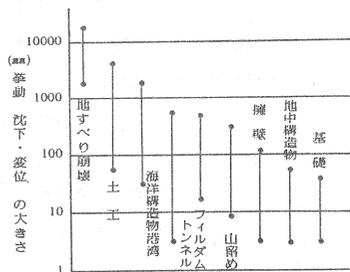


図-1 構造物別挙動の大きさ(例)

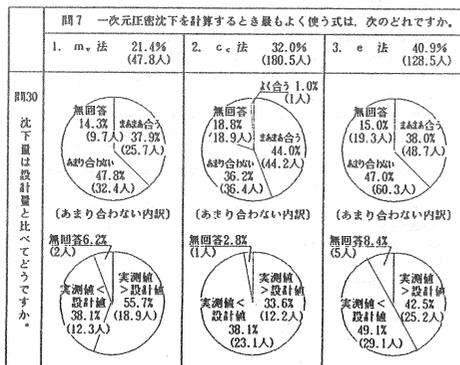


図-2 圧密沈下計算の不確実性

土質調査など事前情報を活用して圧密沈下量を算定すること等により、設計時点で挙動の大きさの分布の幅をもっと小さく予測するのであるが、その結果について満足できない状況がかなりあることが図-2に示されている。³⁾(土質工学会中国支部による圧密計算に関するアンケート)ところが施工がはじまって、その途上の挙動を観測し、得られた情報をもとにして最終状態を予測するというところを

繰り返していくと、次第にその予測精度が高くなる。図-3⁴⁾は、盛土の沈下量についてその様子を示したものであり、観測情報を星盤法を用いて解析し、最終沈下量を予測したものである。実測値と予測値の比 R_s が 1.0 ± 0.1 程度になるには、圧密度 U' が70%程度までの情報を必要とすることがわかる。同様に図-4⁵⁾は山留め掘削工事における壁体の変位を予測したもので、掘削が70%程度に達して、はじめて予測精度が $\pm 10\%$ 以内になることを示している。このように、現状では、施工の最終段階における挙動の量を $\pm 10\%$ 程度の精度で予測しようとするれば、施工が70%程度まで進行するまでの情報が必要であり、施工中の観測情報が重要な意味をもつことがわかる。

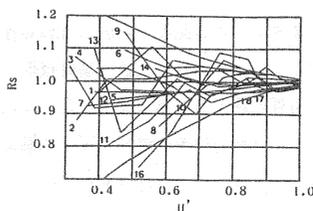


図-3 $U' \sim R_s$ 関係図(星盤法)

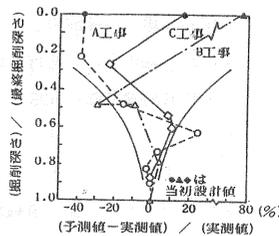


図-4 RCCシステムによる予測値と実測値の推移の例

2.4 情報量と破壊確率

図-5は各種の構造物が現状ではどの程度の破壊確率をもって設計されているか、またそのような破壊確率で設計されながら、これが破壊を引き起さないように施工することができるための安全に関する情報量はどれほど必要かということを概念的に示す。今少し説明を加えるならば、例えばある基礎が破壊確率0.1程度で設計されたとすると、安全率というような概念でみるとかなり余裕があり、不確実性を残した状態でも破壊に至らないまま施工を終える確率が高い。逆に安全に関してさほど多い情報量の蓄積は必要ないであろう。ところが軟弱地盤上の盛土が安全率1、つまり破壊確率0.5ギリギリで設計されたとすると、施工中には、それに見合うだけの十分な情報量の蓄積が必要であり、エントロピーは0に近くなければならない。情報化施工における施工中の観測情報の蓄積は、この場合の安全に関する情報エントロピーの減少に寄与する。

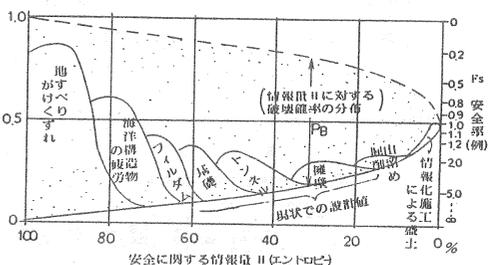


図-5 各工事における破壊確率と必要な情報量(概念図)

この図について別の視点から考察しておかねばならないことがある。すなわち、構造物を造るという社会的行為について、それがどのようにして造られるのが最も望ましいかという選好基準、あるいは最適条件といったある種の価値判断が前提として設定されなければ情報化施工の意義について評価できないということである。技術的興味においては、破壊確率0.5で施工を成功させることを目標とする。最適設計理論では、すべてのリスクを費用で表現し、最小リスク、すなわち最少コストを選好する。この場合は必ずしも破壊確率は0.5とならず、価値判断に多少の社会的配慮がなされたといえる。さらに、最近の都市土木における周辺環境保全の要求などでは、べつの社会的配慮がなされることが多い。このような問題は情報化施工の適用工種の現状を分析してみると理解が容易である。軟弱地盤上の盛土工事や山岳トンネル(NATM)では破壊確率0.5を目標とする傾向が強く、山留め掘削においては最適設計理論という最少コストを目標とする傾向にある。さらにアンダーパニング等都市土木において第3者災害に対応する場合にはリスクの定量的算定が困難な場合が多い。そしていずれの場合でも、これらの選好条件が明確にされないまま、従って安全に関する情報量の最適値がいかにあるべきかということが深く考察されることなく、情報化施工がすすめられている。それ故、現状ではこのような情報量の定量的評価の方法が提案された例はない。今後これらの議論を踏まえて、不確実性と情報の蓄積過程の関連について明らかにしていく必要がある。

2.5 ツール

情報化施工の発展の主要な要因として計測器の発展と情報処理器の発展を掲げたが、これらは、2.1～2.4に述べた情報の取得・処理を担うツールであり、土質・基礎技術とは別の技術分野に依存するところが多い。なかでも情報処理機器の発展は、情報化施工の立場の要求に応える目的で独自に発展してきたものは殆ど皆無と言ってよく、パーソナルコンピュータ分野の技術の展開に完全に制御されている。コンピュータの市場性からみてもこれは当然のことと思われるし、今後もこの傾向は変わらないであろう。しかしこの分野の発展のスピードは十分に速いので、当面、情報処理器について情報化施工の立場から独自の研究・開発をする必要もないと考えられる。情報処理に関しては専らアプリケーションプログラムの開発が関心事となっており、例えばRCCシステム⁵⁾の開発以後、各方面で様々なシステムが研究・開発されている。これらの現状に関する議論はここでは省略するが、3.3で今後の発展方向について若干考察する。

さて、一方計測器については他の工業分野とは、使用環境・使用期間等が著しく異なるので、専用の土木変換器の開発が望まれ、表-1に示したように1950年代から実用計器が製造されるようになった。開発当初は甚だしく信頼性が低いものもあったが、現在では、相当改善が進み、土木学会が行ったアンケート⁶⁾によれば、計器の故障率は表-3のようにになっている。全体としては故障率3.6%と良好な値を示しているが、土圧・水圧計などは

表-3 工種別計器の故障率 (単位:%)

計測項目	a	b	c	d	e	f	g	h	工種別
工 種	土圧	水圧	沈下	応力	変位	傾斜	温度	その他	故障率
① 掘削1	7.0	14.0	3.9	4.6	1.3	16.7	0	4.2%	
② 掘削2	26.8	5.0	1.4	2.9	31.8	0	10.2	4.9%	
③ 盛土	2.1	5.3	0	1.9	14.3	0	0	4.1%	
④ ダム	0	25.0	0	10.3	0	0	10.0	7.4%	
⑤ 埋立など	2.8	5.0	0	11.7	3.9	0	0	5.6%	
⑥ 施設基礎	0	2.2	0	7.2	6.7	1.5	7.1	3.2%	
⑦ トンネル	2.7	1.0	2.7	3.2	0.2	5.6	0	2.1%	
⑧ シールド	55.0	3.2	8.2	7.4	18.6	0	50.0	9.8%	
⑨ 橋梁	25.0	0	3.4	1.4	0	14.3	0	3.2%	
⑩ その他	0	0	6.0	10.3	33.3	5.0	5.0	6.5%	
全 体	9.2	3.0	3.0	1.8	1.8	4.6	7.4	3.6%	

(注) 故障率は、各々の項目について、点数の比率(故障点数/計測点数)を算出している。
全体は、全工事数の故障点数と計測点数より算出している。

は未だ高い故障率を示しており、今後の改善が望まれる。

図-6は、現在市販されている各種ひずみ計をH型鋼に一樣に設置し自然状態に放置して長期安定性を試験しているもので、昭和55年から昭和61年末までのデータである。鋼材のクリープや温度変化の影響を考慮しても±100μストレーン以上の変動をすることはあり得ないが、そのような計測値を示しているのは2タイプの計器にすぎない。情報化施工の実際の現場では、使用環境はさらに過酷であるから、故障率はもっと多くなると考えられる。また、計器の故障率がメーカーや、作動原理によってもかなり異なることがこの図から容易に推察されるであろう。

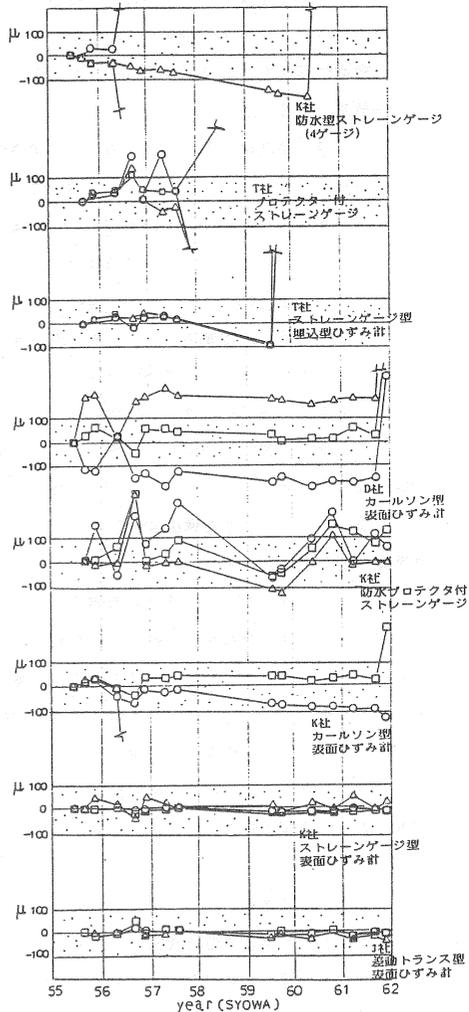


図-6 ひずみ計の長期安定性試験

図-7⁹⁾は、海面埋立工事における護岸下部に間隙水圧計を設置し、3~5年間観測するときの故障率を予測したものである。予測手法は、F.T.A.¹⁰⁾を用い、センサー、導線、測定器など計器各部分に生起する故障や設置上の障害、工事中の施工機械による破壊なども考慮し、日本全国のベテラン経験者による評価値をもとに故障率を算定したものである。計器のBタイプは各種の流体式水圧計、D.E.Fタイプは電気変換方式の水圧計である。予測結果は、20~35%の故障率を示しており、相当悲観的である。現在、土木計測器の開発・改良・製造等は各メーカーの努力に任せられており、従って市場性の限界からもあまり急速な改善は望めないと思われるが、情報化施工技術の今後の進展のためには何らかの対策が望まれる。

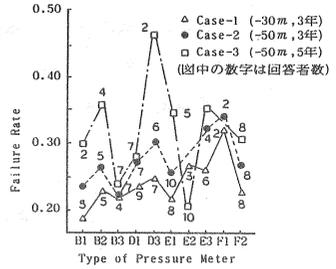


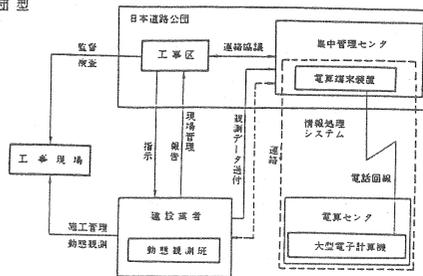
図-7 各種間隙水圧計の故障率の予測

2.6 運用

情報化施工の運用について、情報の流れと意思決定組織に関する問題と、コストの問題の2点についてふれておきたい。

図-8は報告されている文献から代表的な2例について情報運用の形態を示す。(a)⁹⁾は日本道路公団が実施したもので情報が公団(施主)のセンタに蓄積され、意思決定はすべて施主側でなされる。これに対して(b)¹⁰⁾は、田原らが実施したもので、意思決定が、関与しているそれぞれの立場の人々が参加する委員会で行なわれるというものである。工事の契約形態や設計変更に関する責任の所在によってこのような運用形態が選ばれることとなるが、事例の大半は(a)型に属し、意思決定は発注者においてなされることが多い。しかし(a)のような明確な組織が編成されている例は少ない。

(a) 道路公団型



(b) 合議型

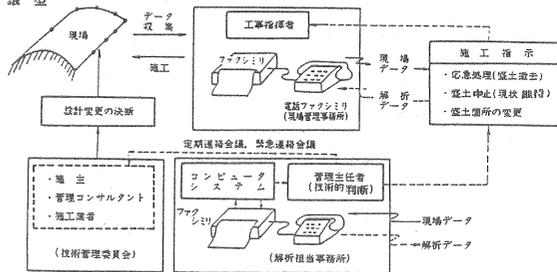


図-8 情報化施工の運用形態

表-4は、土木学会が行ったアンケート¹¹⁾の結果で、計測費の61%は発注者が負担しており、これに従って意思決定も発注者側でなされることが推察される。また、表によれば計測コストは工費の2%程度であり、これは図-9¹²⁾のRCCシステムの運用費の比率とほぼ一致する。筆者の担当した工事では1~3%となっており、いずれも類似の比率を示している。

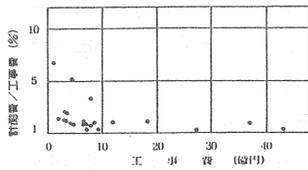


図-9 RCCシステムのコストと工事費 (実績より)

表-4 計測費用(土木学会)

工種	工事金額による計測費用の割合		計測費用の発注者の負担割合			
	1.6%	2.1%	平均負担率	75%以上	25%以下	合計
① 掘削1	1.69%	62 : 38	51.4%	46 : 18	36	100
② 掘削2	2.19%	81 : 19	46.7%	38 : 23	38	100
③ 盛土	1.10%	20 : 80	62.2%	56 : 11	33	100
④ グム	0.13%	100 : 0	46.3%	25 : 50	25	100
⑤ 埋立など	7.21%	84 : 16	75.3%	75 : 0	25	100
⑥ 施設基礎	1.59%	88 : 12	72.8%	67 : 22	11	100
⑦ トンネル	2.31%	69 : 31	70.1%	68 : 24	8	100
⑧ シールド	1.24%	82 : 18	41.4%	33 : 14	52	100
⑨ 橋梁	1.17%	84 : 16	98.3%	100 : 0	0	100
⑩ その他	1.35%	43 : 57	45.6%	47 : 6	47	100
平均	2.00%	71 : 29	61.0%	56 : 17	27	100

(注) 平均とは、表に記載されている数値の平均を意味しており、全工事の工事金額の合計と計測費用の合計から、算出したものではない。

3. 情報化施工の今後の課題

2.で指摘した情報化施工の種々の問題点は、今後実際の現場で試みられる施工や理論上の整備を蓄積して次第に成熟していくものと思われるが、ここでは筆者の研究の方向と試行の一部について提示しておきたい。

3.1 理論体系の整備

表-5 情報化施工に関する理論体系の整備方針

プロセス	I 選好基準の決定	II 意思決定法	III 情報量の算定
整備すべき理論体系	① 構造物の築造に関する社会的選好基準の設定法 ↓ ② 対象構造物の施工に関する不確実量の算定法	③ 意思決定理論導入 1) 多目的決定理論 2) 統計的決定理論 3) 心理学的(行動)決定理論	④ 情報の量的表現法の確立 1) 個別事象ごとの情報量の算定法 2) 総合情報量(エントロピー)の算定法
典型的工種への適用例	(a) 軟弱地盤上の盛土 ↳ 破壊確率0.5で施工 (b) 山留め掘削 ↳ 最適設計法(コスト・ミニマム) (c) 第三者災害を防止するツグビング 原子力施設などの重要構造物 ↳ 絶対的安全確保	意思決定は 1) ($H_f \rightarrow 0$) ↳ 危険側に推移するとき 2) ↳ 安全側に推移するとき 3) ($H_f (\sum C \rightarrow \min)$) ↳ 1) ($H_f \rightarrow 0 H_o(t_0) \rightarrow 0$)	$H(t) = H_f - H_o(t)$ $H(t)$: 施工中ある時刻tに蓄積すべき情報量 H_f : 必要情報量 $H_o(t)$: tまでに得られる情報量

表-5に示すように、これから整備すべき理論体系として4項目を提示する。すなわち、

- ① 構造物の築造に関する社会的選好基準の設定法
- ② 対象構造物の施工に関する不確実量の算定法
- ③ 意思決定理論の導入方法
- ④ 情報の量的表現法

①は「施工」という社会的行為を取り扱う以上回避できないテーマであるが、その研究手法は多分に社会科学であり、土質・基礎工学の分野をこえるかも知れない。②はすでに信頼性設計の研究分野で基礎的理論ができ上がっており¹³⁾、今後は個別の問題に具体的に展開されるであろう。③は、これまであまり研究の対象となっておらず、土木計画論において統計的決定理論がとりあげられ、黒田¹⁴⁾らによって土質・基礎分野への応用が試みられているが、他の方法については研究例がみられない。ところが典型的工種への運用例に示すように、意思決定のかなりの部分は、心理学的決定と言えるものであり、また山留め掘削工事の情報化施工において状況が安全側に推移した場合には、決定は多くの採用可能な代替案のなかから選好されることになり、これには多目的決定理論¹⁵⁾が適用されるべきであろう。後者はこの分野で数学的取扱方法がほぼ完成しているので今後の研究ではこの手法の具体的な導入方法を検討することとなる。しかし前者の心理学的(行動)決定の理論は工学的取扱が甚だ困難であり、現状では認知科学的決定の手法がその分野で論じられている¹⁶⁾程度である。そこで当面は、この種の意思決定に対しては決定に直接関与せず、意思決定支援情報を提供する立場で安全に関する情報エントロピーの最小化を目標とすることとしている。意思決定法の選択ができ、これによって必要情報量 H_f が決定されると、 H_f と現在得られている既知情報量 $H_o(t)$ との差 $H(t)$ が蓄積すべき情報量として要求され、情報化施工においてはこの情報量を獲得しつつ、施工を推進していくことになる。この場合の情報量に関する数学的表現方法については今後の検討課題である。一方法としては、各々の個別事象について確率量を算定し、これをもとにして総合情報エントロピーを定義することが考えられる。これらの数学的取扱は、シャノンによって次のように示されている。¹⁷⁾

$$H = -\sum_j P_j \log P_j \quad (= \text{確率} P_j \text{の組のエントロピー})$$

3.2 計測技術の整備

計測器の現状は2.5 に示したように未だ完成にはほど遠く、今後に多くの課題を残している。以下に計測技術の進展のための方策について2~3の提示をしておきたい。

(1) ハードウェアの改良：計測器の故障は、現場の使用条件が過酷なため、ケーブルの絶縁不良や断線など電気信号の伝送経路に発生する割合が極めて高い。電気変換式計器についてはこの点について、今後改良をすすめていく必要がある。改良に関する1つの方策は、伝送回路において接地絶縁抵抗が低下しないような十分に保護されたケーブルを用いるか、または多少の絶縁の低下が発生しても信号に対して影響が少ないような回路を構成するなどを検討することである。図-10¹⁰⁾ はひずみゲージ・カー

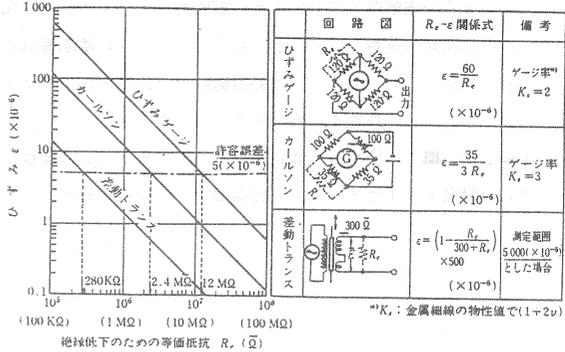


図-10 絶縁低下が測定値(ひずみ計の場合)に及ぼす影響

比較したものである。これによれば差動トランス方式は絶縁抵抗の低下に対して極めて有利なことがわかる。さらに図-11には、筆者らが新しく開発をすすめている水晶発振器を利用した土圧計を示す。

a)はその外観でペローズで構成された容器に3つの水晶を設置し、これに荷重が加わることによって水晶の発振周波数に変化が起ることを利用して圧力を計測している。この形式では、周波数パルスカウンターで数える、いわゆるデジタル方式であるから伝送経路の雑音の影響は図-10に示すような回路上のノイズとならず、パルスを識別できる程度にS/N比が保持されればよい。さらに圧力感度は0.0006~0.0007kgf/MPaと非常に高く、それだけ測定範囲の大きい計器が設計できることや水晶体の弾性圧縮量は石英のそれと同等であることから、土圧計盤面の変位が極めて微小な計器を造ることができるなど、数々の特徴がある。

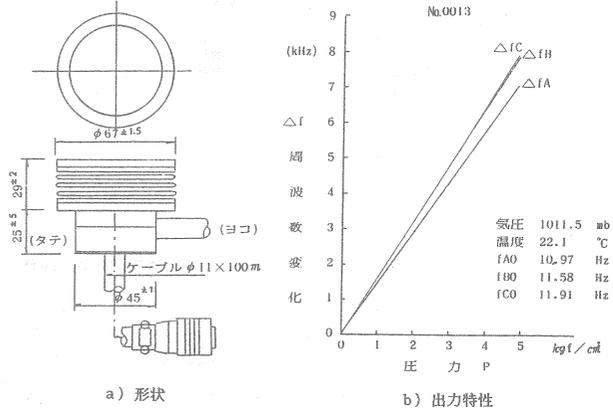


図-11 水晶発振器を利用した土圧計の試作

また、もう1つの方策は、センサー内にアンプやA/D変換回路などを集積化して組み込み、デジタル化されたパルス信号を強固なワイヤーで機械的に補強された光ファイバーケーブルで伝送したり、あるいは単芯のワイヤーと大地間に回路を構成する方式で伝送するなどが考えられる。いずれもIC技術や光通信などの周辺技術の進展に依存するところが多く、またコスト面から実用化がすすみにくい難点があるが、これらを克服していく必要がある。

(2) 設置技術の改良：計測器のハードウェアの改良とともにその設置技術についても今後の整備が望まれる。このことは、全く同じ計測器についてその故障率を調査すると、結果が回答者によって大きくばらつくという事実から類推されることであるが、改善の方策としては結局設置技術者の資質の向上をはかる以外にない。3.4でこのことについて若干触れたい。

3.3 人工知能の活用

一方、情報処理器については、情報化施工の立場で独自の研究・開発をする必要はないことを指摘したが、ソフトウェアに関しては自ら整備していかなければならない。これまでに軟弱地盤上の盛土・山留め掘削・NATMによるトンネル掘削などに対応する計測管理システムが次々に発表されており¹⁹⁾、筆者らもこのようなシステムを独自に開発し運用している。これらのシステムの基本構成は、データの採取・入力(計測)→データの保存→作表・作図という一連のデータ処理過程と、設計理論(モデル)の組み込みによる設計値と実測値の対比・フィッティングなどの作業を可能にするものである。しかしこのようなシステムでは、3.1に提示したような情報の蓄積という概念に照らして満足できず、むしろデータの蓄積というに止まっている。これに対して、図-12は筆者らが開発をすすめている人工知能型²⁰⁾の情報化施工システムである。

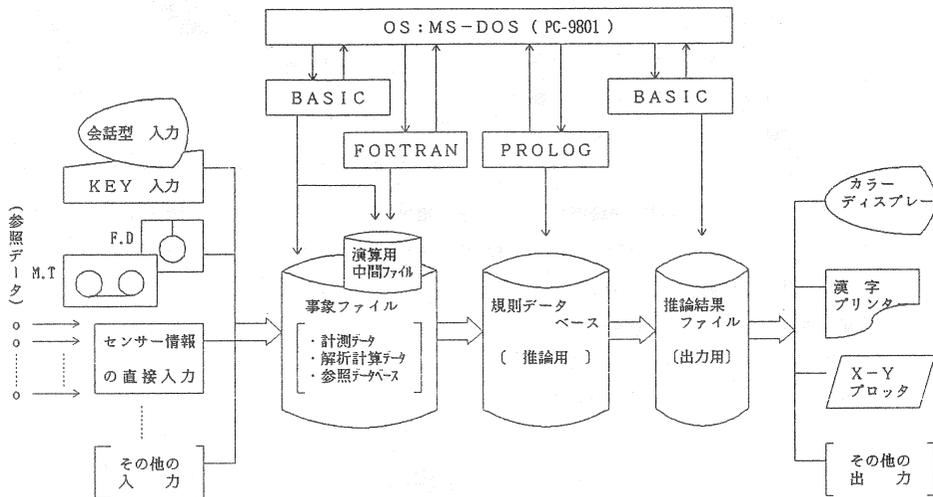


図-12 人工知能型情報化施工管理システム

このシステムでは、計測データや解析計算用のデータ・その他の参照データなど従来型システムで取り扱ってきた事象データベースに加えて、離散的に見られるあらゆる法則性を規則データベースとして蓄積する。プログラム言語は、マン・マシンインターフェース部分をBASICで、演算部分をFORTRANで、また推論部分をPROLOGで記述し、これらの処理過程はMS-DOS管理下でバッチ的に行われるようになっている。ハードウェアはパーソナルコンピュータPC-9801(メモリ512KB、固定ディスク20MB)程度で現在のところ支障ない。システムの特徴は、過去に経験した施工でのさまざまな法則性を、互いに矛盾したり前後したりすることに留意することなく規則データベースに蓄積することができ、また当該現場で観測された事象はPROLOGによって規則データベースと参照して解釈されることなどである。このようにして3.1で示した、ある時点における既知情報量 $I_0(t)$ を最大限にすることによって、情報化施工を次第に高度に成熟させていくことができる。人工知能に関するツールは現在まだ未熟で、言語についてもPROLOGやLISPなどさまざまなものが試行的に販売されている程度で、実用システムが完成するには多少の時間が必要であるが、進歩の速度は急速であり展望は明るい。情報化施工の立場では、システムを大型コンピュータに依存させることのないように配慮しつつ、規則データベースの具体的な構築方法について検討していくことが必要であろう。

3.4 社会システムの整備

以上に提示してきたような理論や周辺技術の整備に加えて、情報化施工がさらに進展していくための社会的な認識と環境づくりが必要なことを次の点について指摘しておきたい。

(1) 計測技術に関する技術水準の維持：3.2 に提示した計測技術の整備に対応して、社会的には、まず計測器の性能について公的な技術認定の制度を設け、利用者の便をはかる必要がある。現在の土質計測器で例えばJISなどの公的技術水準を設定しているものはほとんど皆無であり、利用者は導入の都度メーカーとの協議・試験の立合いや運用上の問題点について苦慮しなければならない。土質試験法や土質調査法について、土質計測器の性能に関する評価基準が整備されることが望まれる。ついで、計器の設置運用にあたっては土質力学をはじめ、施工法・材料・情報理論・電子電気技術・コンピュータなどの非常に多岐にわたる知識が要求されるが、これらを修得した技術者は現在のところ極めて少なく、その育成環境も貧弱である。土質調査技士制度や技術士制度は、土質技術の進展に大きく貢献したとみることができるが、情報化施工に関しては、これらの制度のなかに取り入れるか、新たに計測技士等の評価認定制度をつくることが望まれる。

(2) 運用形態の検討：情報化施工は施工現場の状況に呼応して臨機応変に対応していくことを主眼としているので、施工の方法に関する方針や手段は当然変更されることを前提としなければならないのであるが、このような設計変更は、現実にはあまりうまくいかず、特に公共事業等では契約上の制約からこれが極めて困難であることがよく指摘される。現在よくなされている運用形態は2.6 に示したが、このような形態では、施工に関する意思決定の機関が現場になく、情報の円滑な運用ができないことが多い。図-13 は現場の指揮者に施工に関する情報と意思決定の権限が集中する方式で、契約形態としてはVE方式と呼ばれている。情報化施工をすすめるうえで理想的な形態であろう。しかし土木工事業全般のあり方というも

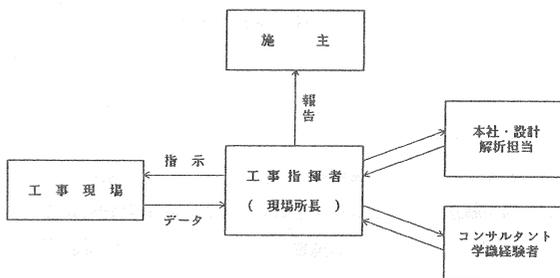


図-13 VE型運用の形態

う1つ上位の視点からみると、公共性、公平さ、遠い将来に対する配慮というような、近視眼的には一見利益に直結しないような要素についても配慮が必要であり、これが必ずしも最適な契約方式とは言えないかも知れない。能率至上主義は慎むべきであろう。運用については多分に社会的であり、今後の研究においてもそれなりに次元をかえた検討が必要である。

4. あとがき

情報化施工は現場で施工手段として進展をみてきたものの、その理論的根拠となる情報理論や決定問題について体系的に研究されておらず、依然、莫としている。加えて計測技術や情報処理技術などの支援ツールもその分野の進展に依存しきっており、情報化施工の立場から積極的にこれに踏み込むことが少ないようにみられる。日常、情報化施工の現場でこれを推進しようとしている筆者にとっては誠に憂慮すべきことであり、このまま放置しては、いたずらに計測とコンピュータ装置が独走するばかりで、ついには情報化施工の何たるかが見失なわれるような危惧を持ったことから、あえて本文を提示した。しかしもとより筆者の力不足のため、展望は単なる願望に終始し、何等具体性のある提案ができないままになってしまった。今後も読者諸賢の御批判と御指導を賜り、1つ1つ問題を解決すべく努力したいと考えているが、なお、大方の独創をもってこの方面の研究に目をむけていただくことを御願います。

参考文献

- 1) 浅岡 顕：「決定理論の概略と母数推定」，土質基礎ライブラリーNo.28
「土質基礎の信頼性設計，2.5」，PP36~51，土質工学会(1985.8)
- 2) 加登文士：「情報化施工のQ&A」，「情報化施工とマイコンの利用，第12章」，PP235~250，
土質工学会，(1986.6)
- 3) 網干寿夫他：「圧密沈下計算法のアンケート結果について」，第16回土質工学研究発表会講演集，
PP261~264，(1981.6)
- 4) 吉国洋 他：「現場計測法による圧密沈下予測法の特性について」，土と基礎，Vol.29，No.8，PP7~13(1981.8)
- 5) 富永真生：「コンピュータの利用とRCCシステム」，現場計測工法，PP212，日刊工業新聞社，(1979.6)
- 6) 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：「現場計測工」，P9，土木学会，(1986.4)
- 7) Kuroda,Miki：「RELIABILITY ASSESSMENT OF FIELD INSTRUMENTS BASED ON F.T.A」，4th International
conference on Structural Safety and Reliability，PPIII-373~382，(1985)
- 8) Norman J Mc Cormick：「Reliability and Risk Analysis」，Academic Press，(1981)
- 9) 栗原則夫：「軟弱地盤における道路盛土の情報化施工」，土と基礎，Vol.30，No.7，PP55~62(1982.7)
- 10) 坂田直文，大形誠：「各種の情報化施工事例とそのシステム論的考察」，土と基礎，Vol.30，No.7，
PP17~24(1982.7)
- 11) 前掲 6)，P11
- 12) 前掲 5)，PP213~215
- 13) 松尾稔編：「土質基礎の信頼性設計」，土質基礎ライブラリーNo.28，土質工学会(1985.8)
- 14) 黒田勝彦：「統計的決定理論と統計的品質管理の理論」，土木技術者のためのデータ処理と確立統計マニ
アル，共通編 PP70~78，(財)土木学会関西支部，(1982.8)
- 15) 市川惇信編：「多目的決定の理論と方法」，(財)計測自動制御学会，(1980.5)
- 16) 池田謙一：「緊急時の情報処理」，認知科学選書No.9，東京大学出版会(1986.2)
なおこのシリーズ全10巻がある
- 17) 関英男 訳：「情報理論」(Stanford Goldman：INFORMATION THEORY)，PP1~61，近代科学社(1956.9)
- 18) 坂田直文：「計測器と計測技術」，土と基礎，Vol.29，No.7，PP29~36，(1981.7)
- 19) 大西有三 他：「小特集，土質工学におけるパソコンの利用」，土と基礎，Vol.134，No.7，(1986.7)
- 20) 小林重信 他：「知識工学の基礎と応用」，知識工学講義シリーズ全6回，計測と制御，Vol.124，No.2~No.9，
(1985.2~1985.9)