

# パソコンを用いた軟弱地盤上の盛土の情報化施工管理システム

平 間 邦 興      鳥 井 原   誠

## Observational Construction Control System of Embankment on Soft Ground Making Use of Personal Computer

Kunioki Hirama      Makoto Toriihara

### Abstract

In case of construction of embankments on soft ground, it is very often that unforeseen landslides or extreme settlement occur. Terzaghi, who is the pioneer of soil mechanics, took note of such phenomena, and he emphasized the importance of field measurements during construction. Such a point of view has continued to be held by civil engineers who have followed, and observational construction systems have been formulated on development of measurement and computer technologies.

In this report, the authors propose an example of observational control systems making use of a personal computer. Applying this system, it is possible to treat field data and determine safety instantaneously, and to avoid final failure.

### 概 要

軟弱地盤上に盛土を施工する場合、着工前に予期し得なかった盛土のすべりや過大な沈下が発生するということが多々ある。近代土質力学のパイオニアである Terzaghi は、このことに、いち早く着目し、施工中の現場計測の重要性を強くとなえた。この考え方は、その後の土木技術者達によって綿々とはぐくみ伝えられ、近年の計測およびコンピューター技術の発展によって、情報化施工というひとつのシステムとして、開花してきたのである。

今回、開発した盛土の情報化施工管理報システムは、動態観測のデータをパソコンにより瞬時に処理して、その時点での盛土の安定性を即座に判定して、施工へフィードバックさせ、最終的な破壊を事前に回避することが目的である。

### 1. まえがき

一般に、地盤を対象とした建設工事においては、事前の計画、調査、設計の段階では予期し得ない破壊や過大な沈下が発生するということが多々ある。特に、軟弱地盤上に構造物を施工する際には、その傾向が顕著である。

近代土質力学のパイオニアである Terzaghi は、このことに、いち早く着目し、施工中の現場計測を重視した観測施工の重要性を強くとなえた。この考え方は、その後の土木技術者達によって綿々とはぐくみ伝えられ、近年の計測およびコンピューター技術の発展によって、情報化施工というひとつのシステムとして、開花してきたのである。こういう意味では、比較的最近になって強調されだした情報化施工も、古くて新しい問題だということ

とができる。

ただ、従来の観測施工は、施工中の計測自体が容易でなかったこと、計測データをもとにした施工管理手法が確立していなかったこと、計測データの解析に時間を要したこと、などのために、得られたデータがその工事の施工管理に直接役立たず、単なる設計のチェックや、施工記録にすぎないという結果になることが非常に多かった。これに対し、情報化施工の理想は計測データから得られる情報をコンピューターにより瞬時に処理し、設計・施工へフィードバックして、より合理的だと判断されるならば、施工中の設計変更をも辞さないという積極的な立場をとるものである。

従って、情報化施工では、計測データを常に原設計へフィードバックし、危険あるいは過大設計のいずれにも

ならないよう、施工中の情報価値を考慮した設計変更が常に可能であるような、設計・施工における柔軟性が要求される。こうした施工中の設計変更の繰り返しによって、その時点、時点での最適設計による施工が可能となっていくのである。

このようなシステムが有効に運用できるのは、盛土に代表される土構造物のように、橋梁や建築構造物と異なり、施工中の設計変更が比較的容易な場合である。裏返していえば、そういった構造物は施工にかかってはじめて得られる新しい情報をうまく利用し、原設計をより合理的なものに変更し得る余裕度が大きいといえる。土工問題では、この特徴を十分に生かしていく積極的な姿勢で施工中の情報の収集、利用をはかるのが望ましく、単に原設計の確認のみにとどまるべきではない<sup>2)</sup>。

今回、開発したシステムは、上述した情報化施工を各工事現場で実際に行なう上で、非常に有効となるパソコンを用いた情報処理システムである。

## 2. 盛土の情報化施工

軟弱地盤上に盛土を施工する場合、地盤の安定と長期沈下が問題となる。施工中の現場計測は主として地盤安定に対する情報を与え、施工末期ないし施工後のそれは長期沈下に対する情報を与える。従って、現場計測による施工管理の対象となるのは、盛土の安定施工とプレロード、サーチャージなどを含む構造物施工の工程管理である。

しかし、盛土施工における最も重要な問題は、盛土が無事に計画高まで立ち上がるかどうかという安定の問題である。具体的には、動態観測のデータなどから盛土や地盤がどの程度安定であるか、いいかえればどの程度破壊に近いかを予測し、それによって盛土速度を増減することが中心となる。このような作業は一般に安定管理と呼ばれる。これをもとにした情報化施工のフロー図を図-1に示す<sup>1)</sup>。

## 3. 現場計測と安定管理の考え方

情報化施工には適確な現場計測とその結果に基づく安定管理が必要であるが、安定管理の成否は、盛土や地盤の破壊がいかに精度良く予測できるかにかかっている。地盤の挙動と破壊の兆候をまとめると、図-2のようになる<sup>1)</sup>。

概念的にいえば、盛土荷重による地盤の挙動は圧密とせん断が複合したものであり、圧密がせん断より卓越していれば地盤は安定であり、逆にせん断が圧密より卓越するようになれば不安定状態となる。通常の現場計測では、盛土の沈下と地盤の側方変位の測定が主であるが、

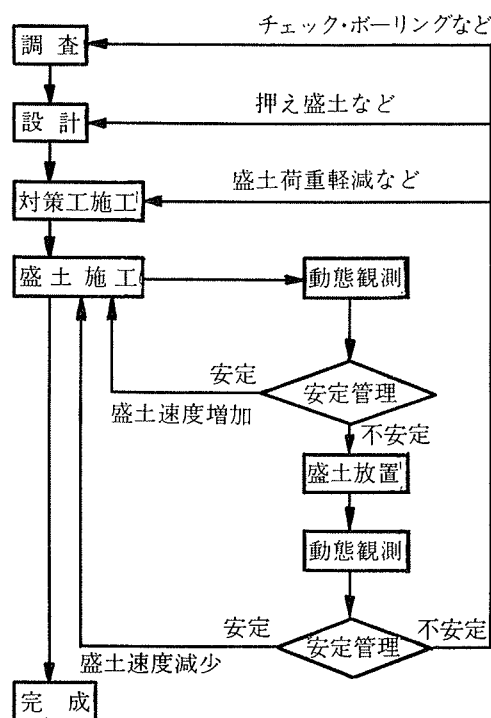


図-1 盛土の情報化施工

盛土の沈下が大きくて側方の地盤が外へ変位しないか、もしくは内側へ変位する場合は安定であり、側方地盤が外側へ変位し隆起する場合は破壊へ向う傾向となる。

以上から、軟弱地盤の極限的な破壊が、それにいたるまでの地盤の変形量の大きさや履歴に密接に関連すること、従って、盛土の破壊予知に関して地盤の変形が重要な指標となることが理解される。しかし、上述したように地盤には一般に圧密と側方流動が同時に生ずるから、その挙動はきわめて複雑である。この事実が、地盤の変形と破壊との関係の理論的解明を困難にしている理由である。

しかし、理論的解明が困難だからといって、手をこまねいていては、盛土をすべらすという事故は後を絶たない。そこで、現在までに、主に現象論的立場から種々の破壊予測法が提案されてきている。

## 4. 破壊予測と判定基準

### (1) S~ $\delta$ 管理

盛土中央部の沈下量 S と盛土法尻部の側方変位  $\delta$  を合わせて計測し、 $\delta/S$  値の急増をもって盛土破壊の前兆とするもので、富永・橋本<sup>3)</sup>による提案である。

盛土荷重の小さな段階で計測された S~ $\delta$  関係は、図-3 のようにある傾き  $\alpha_1$  を持つ直線の上を進む。ところが、盛土破壊に近づくと、S の増加に比べて  $\delta$  の増加が著しくなるので、その勾配が  $\alpha_2$  と増大する。つまり  $\delta/S$  値の急増をもって盛土破壊が近いと判断できるのである。

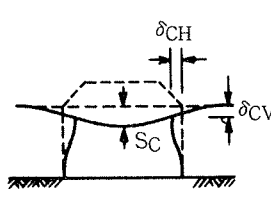
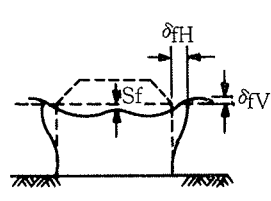
		地盤の挙動		破壊の兆候
		圧密	せん断	
変形	現象	 <p>○体積圧縮が生じる 沈下量 <math>S_C</math> 側方変位量 <math>\left\{ \begin{array}{l} \delta_{CH}(\text{水平方向}) \\ \delta_{CV}(\text{鉛直方向}) \end{array} \right.</math></p>	 <p>○形状変化が生じる 沈下量 <math>S_f</math> 側方変位量 <math>\left\{ \begin{array}{l} \delta_{FH}(\text{水平方向}) \\ \delta_{FV}(\text{鉛直方向}) \end{array} \right.</math></p>	<p>○圧密変形に比べてせん断変形が卓越するとき ○ヘアークラックの発生など</p>
	測定値	<p>沈下量(盛土中央部) <math>S_C</math> 水平変位量(盛土のり尻部) <math>\delta_{CH}</math> 鉛直変位量( " ) <math>\delta_{CV}</math></p>	<p><math>S (= S_C + S_f)</math> <math>\delta_H (= \delta_{CH} + \delta_{FH})</math> <math>\delta_V (= \delta_{CV} + \delta_{FV})</math></p>	<p>○<math>\delta_H</math>が盛土の外側へ増加する ○<math>\delta_V</math>が上方へ増加する</p>
強度	現象	○強度増加あり	○強度増加なし、または低下	○地盤の強度(支持力)以上の盛土荷重が載荷されるとき
	測定値	<p>一軸圧縮強度<math>q_u</math>、コーン強度<math>q_c</math>など 盛土荷重<math>q_E (= \gamma_E H_E)</math> (<math>\gamma_E: H_E</math>盛土単体重量、盛土高) 過剰間隙水圧<math>\Delta u</math></p>		<p>○<math>q_u, q_c</math>などの増加がないか、低下する ○<math>\Delta u</math>が急増する</p>

図-2 地盤の挙動と破壊の兆候

(2)  $\Delta\delta/\Delta t$  管理

施工中の盛土法尻部の側方変位速度  $\Delta\delta/\Delta t$  の時間的推移の一例を図-4に示す。 $\Delta\delta/\Delta t$ は載荷直後にピーク値を示し、放置期間中に漸減していくパターンを持っている。栗原・一本<sup>4)</sup>らは、このピーク値が一定の値を越えたと不安定な状態につながると考え、ある限界値を越えないように施工管理する方法を提案した。

(3)  $S \sim \delta/S$  管理

松尾・川村<sup>5)</sup>は、わが国における盛土の破壊例を数多く調べ、盛土の幾何学形状や基礎地盤の土性の違いによらず、破壊時の  $S$  と  $\delta/S$  の関係は、図-5に示す

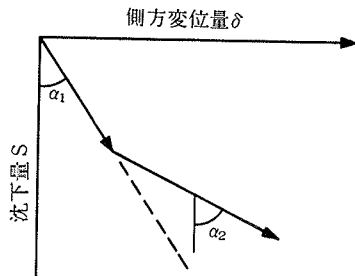


図-3  $S \sim \delta$  管理図

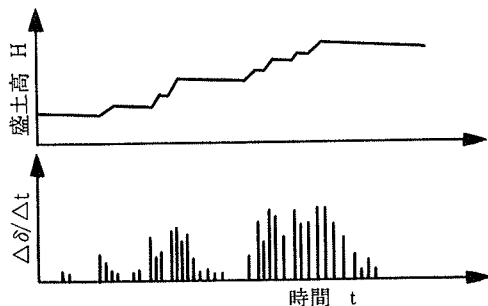


図-4  $\Delta\delta/\Delta t$  管理図

ような、ほぼ一本の曲線上にのることを見出した。この曲線のことを破壊基準線と呼んでいる。

さらに、盛土施工中の変位過程を  $S \sim \delta/S$  図上にプロットした場合、その軌跡が破壊基準線に近づくか遠ざかるかをもって、盛土破壊あるいは安定の予測ができるとした。つまり、盛土施工中の基礎地盤の変位軌跡が、図-5のI~IIのように破壊基準線に近づく傾向を示した場合には、破壊の前兆であり、また、I~IIIの傾向を示した場合には、安定に向っている。

図中の  $q_f$  は最終的な破壊荷重(破壊時の盛土荷重)を、また  $q$  はそこに到達するまでの任意の盛土荷重を示している。図-5は破壊基準線を含めて  $q/q_f$

値の異なる5本の等値線が示されているので、この図によって現在盛土がどの程度安全であるかを判断することができる。

(4)  $\Delta q/\Delta\delta \sim H$  管理

柴田・関口<sup>6)</sup>らは、モデル地盤による数値計算により、非排水条件のもとで一定速度の載荷を行なうと、安全率  $F_s < 1.4$  で、 $\Delta q/\Delta\delta$  が  $q$  に

$$\rho = a \exp[b(\delta/\rho)^2 + c(\delta/\rho)]$$

$q/q_f$	a	b	c	$\delta/\rho$ の範囲
1.0	5.93	1.28	-3.41	$0 < \delta/\rho \leq 1.4$
0.9	2.80	0.40	-2.49	$0 < \delta/\rho \leq 1.2$
0.8	2.94	4.52	-6.37	$0 < \delta/\rho \leq 0.8$
0.7	2.66	9.68	-9.97	$0 < \delta/\rho \leq 0.6$
0.6	0.98	5.93	-7.37	$0 < \delta/\rho \leq 0.6$

表-1 等値線の式示

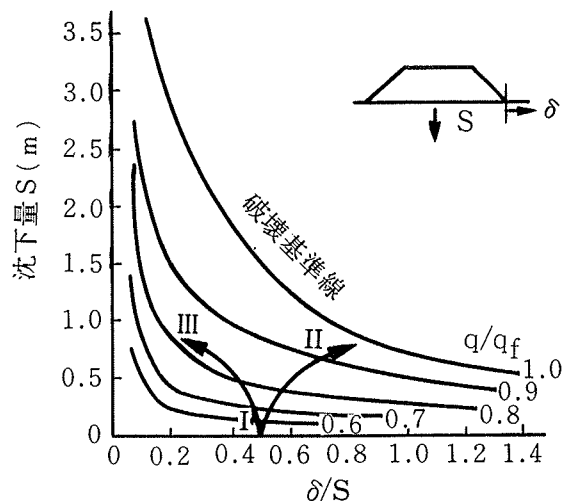


図-5  $S \sim \delta/S$  管理図

対してほぼ直線的に減少することを見出した。そこで、 $\Delta q/\Delta\delta$  値がゼロとなった時点点を破壊と考えると载荷中の  $\Delta q/\Delta\delta \sim q$  関係から破壊荷重が予測できる。

図-6は、 $q$ の代わりに盛土高さ $H$ をとり、 $\Delta q/\Delta\delta \sim H$ 関係をプロットした例を示したものである。盛土が高くなるほど  $\Delta q/\Delta\delta$  が低下する傾向が明らかである。なお、図中で  $\Delta q/\Delta\delta \sim H$  関係が2本の線に分かれているのは、途中で放置期間が入って、圧密による強度増加が生じたためである。

### 5. 安定管理システムの構成

今回開発した安定管理システムは、前節で述べた管理手法をすべて網羅し、なおかつ、双曲線法による最終沈下量の予測も行なうことができる。

プログラムの流れをフローチャートにして示すと、図-7のようになる。このプログラムはパソコンとの対話形式によって任意の安定管理表や安定管理図を描かせることができる。

当システムの実施例として、ある施工記録をもとにして描かせた安定管理表および安定管理図を表-2、図-8~12に示す。安定管理表の各項目を表わす文字が本文中と若干異なっているため、念のため、各文字の説明を表-2の下部に示している。また安定管理図のうち、沈下-時間曲線で示した沈下量は計測した沈下量に初期沈量を加えたものである。

安定管理表の右端のWは、各種判定基準法で設定した管理基準値をオーバーしたことを表わす警告マークであり、

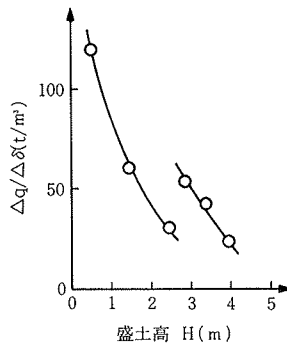


図-6  $\Delta q/\Delta\delta \sim H$  管理図

このマークが連続して出る場合には、施工を中止して様子をみなければならぬ。場合によっては、ただちに対策工を実施しなければならない。

図-9、11における破線は、その工事で採用された管理基準値である。この値は、対象としている地盤の性状を十分に考慮して決定されるべきであり、できれば試験盛土工事を実施することが望ましい。

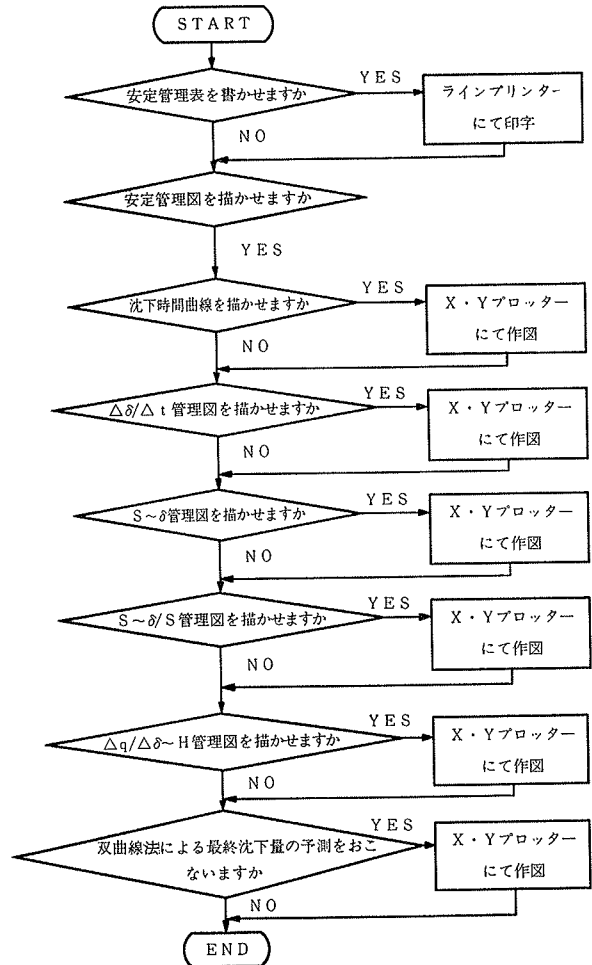


図-7 フローチャート

アンティガソリヒョウ

DATA= 103

DATE	T	S	D	DD	H	HT	DHT	DQ	DQ/DD	D/S	A2	A3
(DAY)	(CM)	(CM)	(CM)	(M)	(M)	(M)	(T/M[2])	(T/M[3])				
55/ 8/ 8	0	0.5	0.4	0.0	1.19	1.58	0.00	0.00		0.800	0.0	0.0
55/ 8/ 9	1	1.8	0.8	0.4	1.80	2.20	0.62	1.25	311.5	0.444	0.3	-0.0
55/ 8/10	2	3.2	1.0	0.2	1.80	2.22				0.313	0.1	-0.1
55/ 8/11	3	5.1	1.1	0.1	2.33	2.77	0.55	1.10	1098.0	0.216	0.1	-0.2
55/ 8/12	4	6.1	1.1	0.0	2.47	2.92				0.180	0.0	-0.3
55/ 8/13	5	6.4	1.0	-0.1	2.47	2.92				0.156	-0.3	-0.1
55/ 8/20	12	10.8	1.0	0.0	2.37	2.86				0.093	0.0	-0.7
55/ 8/21	13	11.3	0.8	-0.2	2.37	2.87				0.071	-0.4	-0.2
55/ 8/22	14	11.5	1.1	0.3	2.38	2.88				0.096	1.5	0.1 W
55/ 8/23	15	13.1	0.9	-0.2	2.54	3.06				0.069	-0.1	-0.6

DATE (日付), T (計測開始日よりの日数), S (沈下量), D ( $\delta$ : 側方変位量), DD ( $\Delta\delta$ ), H (盛土高)  
HT (実際の盛立高), DHT ( $\Delta HT$ ), DQ ( $\Delta q$ ), DQ/DD ( $\Delta q/\Delta\delta$ ), D/S ( $\delta/S$ ), A2 ( $\alpha_2$ ), A3 ( $\alpha_3$ ), W (警告マーク)

表-2 安定管理表

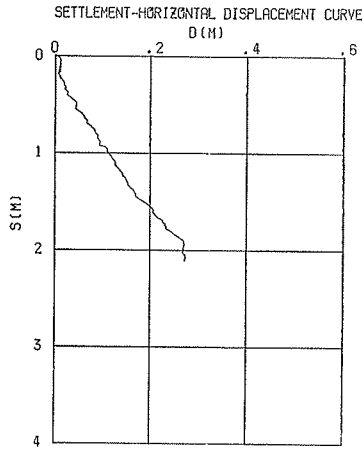


図-8 S~δ 管理図

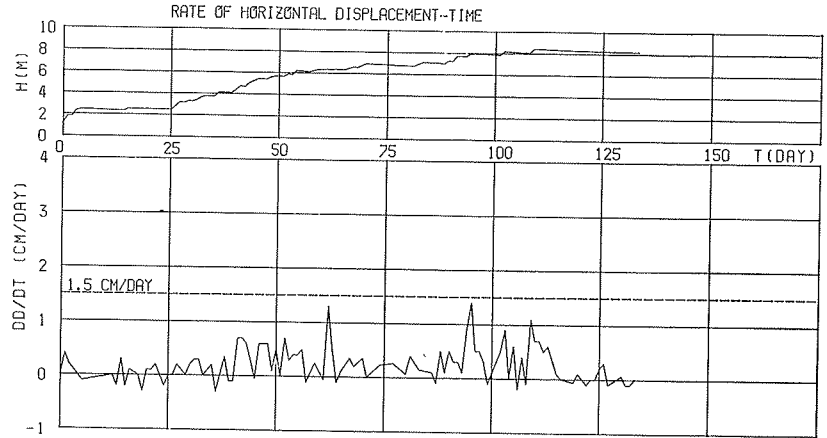


図-9  $\Delta\delta/\Delta t \sim t$  管理図

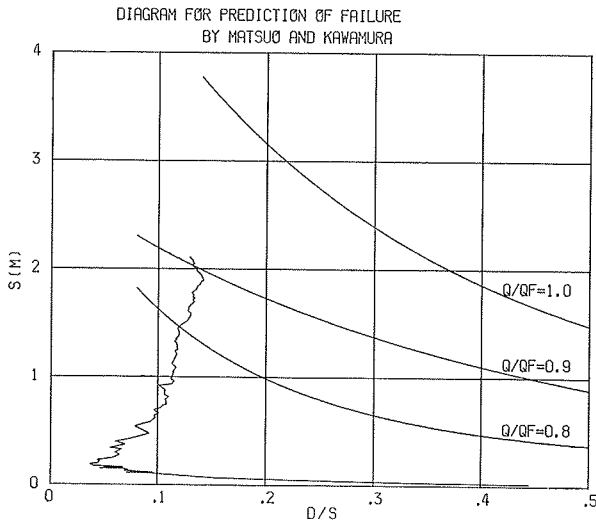


図-10 S~δ/S 管理図

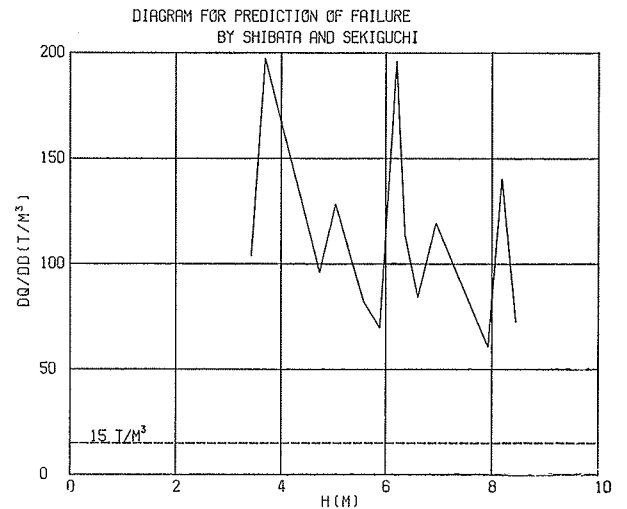


図-11  $\Delta q/\Delta\delta \sim H$  管理図

## 6. あとがき

盛土の本格的な情報化施工はスタートラインについたばかりであるので、今後その実績が積み重ねられていくにしたがって、安定管理手法そのものが再検討され、新しい手法もつぎつぎと提案されてくるであろう。この意味では、情報化施工の手法そのものが、その時点、時点での最適な手法を採用しながら発展していくという、大きな意味での情報化システムの発展をたどるといって良いであろう。

## 参考文献

- 1) 栗原：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, (1982), pp. 55~62
- 2) 柴田編：現場計測工法，(1979)
- 3) 富永，橋本：側方変位の現地計測による盛土の施工管理について，土と基礎，Vol. 22, No. 11, (1974), pp. 43~52
- 4) 栗原，一本：動態観測の活用，昭和52年度土木学会関西支部講習会テキスト，(1977)
- 5) 松尾，川村：軟弱地盤上の盛土施工に関する施工管理図，土と基礎，Vol. 26, No. 7, (1978), pp. 5~10
- 6) 柴田，関口：盛土基礎地盤の弾・粘塑性挙動解析と破壊予測，土木学会論文報告集，No. 301, (1980.9), pp. 93~104

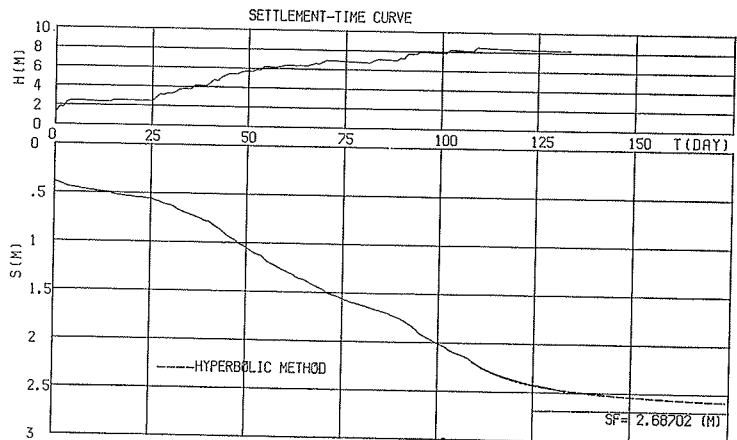


図-12 沈下~時間曲線