

データベースを用いた軟弱地盤の沈下曲線検索システム

日本道路公団試験所 世 良 至
 // 三 嶋 信 雄
 // 外 山 正 人
 // ○川井田 実

1. 目的

日本道路公団では、名神高速道路の建設以来さまざまな軟弱地盤に遭遇し、数多くの土質調査、盛土工事を実施してきた。これにより発生したデータは、報告書あるいはマイクロフィルムとなり、試験所へ送られてくる。この膨大なデータを系統的に蓄積し、容易に検索・出力ができるように、試験所において軟弱地盤データベース（以下、「DB」という。）を昭和62年までに作成した。

新たに軟弱地盤上で盛土を行おうとする現場においては、類似した地盤条件や盛土条件下で過去に行われた施工事例は、設計・施工に対する貴重な参考資料となり、試験所に対するこのような事例に関する問い合わせも多い。ところが、現在運用中のDBを用いて検索し関連資料を現場に提供する場合、主たる検索条件が位置情報や報告書名であるため、検索する者の記憶や主観に頼るところが大きく、また、類似性の判断にも時間がかかることから、類似事例を的確かつ迅速に検索できるとはいい難い。

そこで、類似事例をDBからの的確かつ迅速に検索し提供することを目的として、地盤条件や施工条件等の沈下に影響を及ぼすと考えられる要因をDBに収められたデータを用いて分析し、その結果抽出された主要因を入力することにより、DB内の類似データを検索するシステム（沈下曲線検索システム）を作成した。

2. 軟弱地盤データベースの概要

DBは、日本道路公団試験所の大型汎用コンピュータACOS650（のちに更新されACOS830）において構築された。構築の主な目的は、①膨大な量のデータの系統的整理および消失防止、②検索・図化機能、③データの設計・施工への反映、等である。

データは、土質調査データ、動態観測データ、設計データ、工事記録データから成っている。図-1は、現地とDB間のデータの流れを示すものである。土質調査データは、約1200本のボーリング柱状図と、その位置でのサンプリング試料による土質試験結果等からなる。表-1に、その主なデータ項目を示す。動態観測データは、軟弱地盤上の盛土工事における現場計測管理データからなり、計器の種類と収録データ数は、表-2のとおりである。設計データ、工事記録データには、それぞれ設計報告書、工事報告書に記されている主要な項目が列記されている。データの出力は、検索結果リストの他に、表-3に示すような作図機

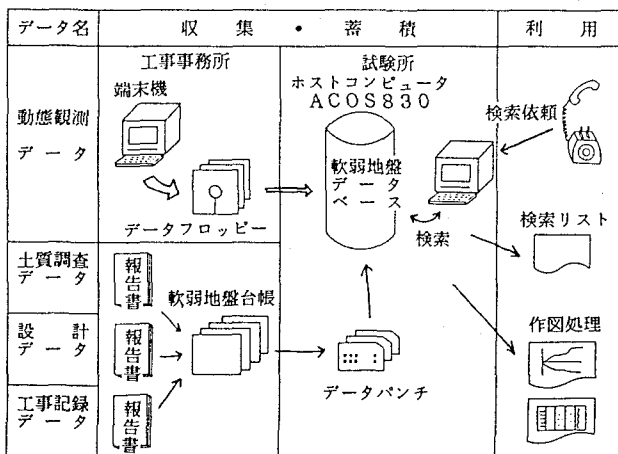


図-1 軟弱地盤データベースのデータの流れ

能がある。現行DBの定型検索条件は、道路名（路線コード）、キロポスト、報告書コード、土質定数の範囲等である。

データベース管理システムにはINQ、作図機能にFORTRANを用いている。

データは、今後も調査および工事が行われるのに従い適宜追加できるようにしているが、DB作成時以後現在までのデータの追加は行っていない。

3. 類似検索の概念

沈下曲線検索システムは、沈下データに着目し、沈下に影響を及ぼすと考えられる地盤条件や盛土条件等のなかから主要因を抽出し、その主要因が持つ特性と、入力された要因の特性が類似するデータをDBから検索・出力しようというシステムである。ここで考えた類似検索の方法とは次のとおりである。

- ① 抽出した主要因に、沈下に及ぼす影響度の大きさに応じて重み係数と名付けた点数を付ける。
- ② 重み係数を（1）式に示すように合計したものを類似度特性値と呼ぶ。これにより、DB内の任意の地盤条件での盛土事例のひとつひとつに固有の数値が与えられる。

$$R = \sum_i X_i \cdot W_i + \sum_j F_j \quad \text{--- (1)}$$

ここに、R : 類似度特性値
Xi : 数値で表示される要因
Wi : Xiに対する重み係数
Fj : 質的要因に対する重み係数

- ③ 検索を行う任意地点の主要因（土質・盛土データ）を入力する。入力値に対しても（1）式に従って類似度特性値が与えられる。
- ④ 適当な検索範囲を指定し、図-2に示すような類似度特性値の数直線上で、入力地点の類似度特性値に近いいくつかの地点を検索し、結果を出力する。

4. 沈下の要因分析

（1）要因分析の方法

沈下に対する主要因を抽出するためおよび検索の決め手となる“類似性”を評価するために、沈下の要因分析を以下の手順で行った。

- ① 要因分析には、盛土中央部550箇所の沈下観測地点のうち、ボーリング調査地点と近接している19

表-1 土質データ項目

ボーリング位置
土質名、深度
土粒子の密度
自然含水比
液性限界、塑性限界
粒度
一軸圧縮試験 (qu、E50、ε)
三軸圧縮試験 (c、φ、σ1、σ3)
圧密試験 (Cc、Pc、mv、Cv)
N値
コン指数

表-2 動態観測データ

計 器 名	デ ー タ 数
地表面沈下計	1780箇所
層別沈下計	盛土中央部550箇所
変位ぐい	680箇所
地すべり計	290測線
間げき水圧計	230箇所
地中変位計	500箇所
	170箇所

表-3 主な作図機能

土性一覧図、土性縦断図
e ~ log P 曲線
log Cv ~ log P 曲線
盛土と沈下の経時変化図

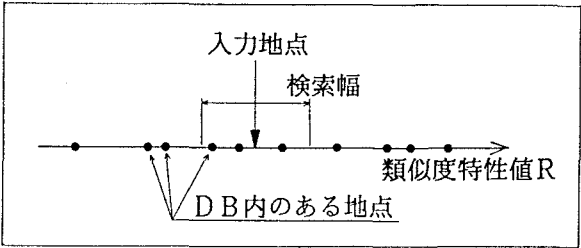


図-2 類似度検索の概念図

5地点の沈下データおよび土質データを用いた。

表-4は、195地点の内訳を示している。

- ② 沈下に影響を及ぼすと考えられる要因として、表-5に示すデータを選定した。このうち、地盤のタイプ分けについては図-3、累積盛土量については図-4に示した方法で定義した。また、軟弱層厚はN値10以下の層の層厚の合計とし、各種土質定数については(2)式に示すように軟弱層の層厚による平均値をとった。

$$\bar{X} = \left(\sum_i X_i \cdot D_i \right) / \sum_i D_i \quad \text{--- (2)}$$

ここに、 $\bar{X}$: 土質定数の代表値

X_i : i 層の土質定数

D_i : i 層の層厚

m : 軟弱層の層数

- ③ 盛土完了時を基準として、完了直後 (S_0)、3か月後 (S_3) および6か月後 (S_6) の沈下量 (図-5参照。以下、これらは記号で表記する。) と、②で選定した要因との統計解析 (単相関分析、重回帰分析および数量化理論I類) を実行し、沈下と関係の深い要因を抽出する。

- ④ 抽出した要因に、統計解析の結果等に基づいて重み係数の初期値を仮定する。

- ⑤ 仮定した重み係数の妥当性を評価するため、195地点のうちの1地点を仮想の入力地点として、前述した類似検索を実行し、検索された沈下量のバラツキの度合を計算する。バラツキの度合は、図-6に示した S_0 の相対差に基づいて、(3)式で定義される数値 (これを「分散指数」と呼ぶ。) で表した。

$$S_i = \left(\sum_j \sigma_j / |R_i - R_j| \right) / \left(\sum_j 1 / |R_i - R_j| \right) \quad \text{--- (3)}$$

ここに、 S_i : 仮想入力地点 i の

分散指数 (cm)

n : i 地点を入力地点としたとき類似検索された地点数

σ_j : 入力地点と検索地点との沈下量 S_0 の差の絶対値 (cm)

R_i : 入力地点の類似度特性値

R_j : 検索地点の類似度特性値

表-4 要因分析対象地点

路線名	地区名	地点数
道央道	岩見沢、江別、白老 他	77
東北道	岩槻	4
常磐道	谷和原、神田	11
北陸道	黒埴、湯東、刈羽、柏崎 他	38
東名道	焼津、愛甲 他	42
中央道	諏訪	9
名神	大垣・安八	8
九州横断	武雄	6
合計		195

表-5 分析に用いた要因

区分	名称	記号	区分	名称	記号
数値要因	土粒子の密度	Gs	数値要因	N値	N
	自然含水比	Wn		軟弱層厚	D
	液性限界	WL		施工日数	da
	塑性限界	Wp		盛土高さ	H
	湿潤密度	wt		盛土速度	V
	初期間引き比	qu		累積盛土量	M
	一軸圧縮強さ	e		(図4参照)	
	一軸試験の破壊ひずみ	ef		軟弱層の換算水量	Wn・D
	一軸試験の変形係数	E50		塑性指数	Ip
	圧密降伏応力	Pc		液性指数	IL
質的	圧縮指数	Cc		設計時計算沈下量	Sf
質的	地盤タイプ		地盤処理工	NT (無処理)	
				SCP (サンドコンパクションパイル)	
要因				SD (サンドドレーン)	
				PD (ベーパードレーン)	
地域コード	北海道	東北・北陸	東海	その他	

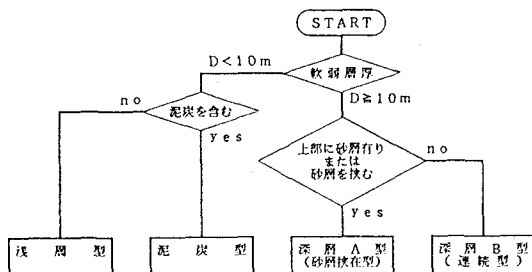


図-3 地盤のタイプ分け

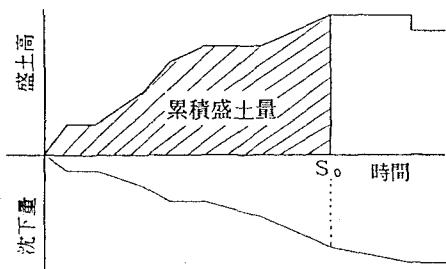


図-4 累積盛土量の定義

この計算をひと組の重み係数について195地点分繰返してその平均値を求める。

- ⑥ 平均の分散指数が小さくなるように④、⑤の作業を繰返し、最小値となったときの重み係数を妥当な重み係数とする。

(2) 要因分析の結果

表-6は、表-5の各要因と沈下量 S_0 との単相関係数を示したものである。強い相関関係があるとはいえないが、これらのうち相関係数が0.5以上の要因および盛土高を、以後の重回帰分析に用いた。数量化理論Ⅰ類についても、 S_0 と1アイテム毎の関係を求めた。表-7はその相関係数である。これも同様に、相関係数が0.5以上のアイテム、地盤タイプ、地盤処理工および盛土高を選定し、以下の解析に用いた。また、これらの傾向は、目的変数に S_0 、 S_3 、 S_6 のどれをとってもほとんど変化がなかったため、以後の統計解析は S_0 を目的変数とした。

表-8は、重回帰分析および数量化理論Ⅰ類を実行したときの、重相関係数の高かった要因の組合せを示したものである。ただし、設計時の最終沈下量が未計算の場合や、検索元のデータにない地域のデータであっても、類似検索が行えるように考慮して、組合せを選定した。図-7は、このうち№1の組合せにおける相関図である。地盤タイプや地盤処理工を除けば、沈下と関係の深い主要因は、地盤の含水比、軟弱層厚、盛土工程であるといえる。よって、重み係数の検討は表-8に示した組合せについて行った。

表-9は、表-8の要因の組合せそれぞれの、平均分散指数の小さかったときの重み係数を一覧表にしたものである。この表から、要因を数量化理論Ⅰ類で評価した場合のほうが、重回帰分析の場合よりも平均分散指数が小さいことがわかる。すなわち、数値で表される要因については、おおよその程度の範囲にあるかによって評価でき、類似検索の精度に影響はないといえる。

図-8は、表-9中の№1の組合せを用いて195地点の類似検索を行ったときの、分散指数のヒストグラムである。検索0の地点が8地点あるため、全数は187地点となっている。分散指数が40cm以下の地点が99箇所、最大分散指数は133cmであった。

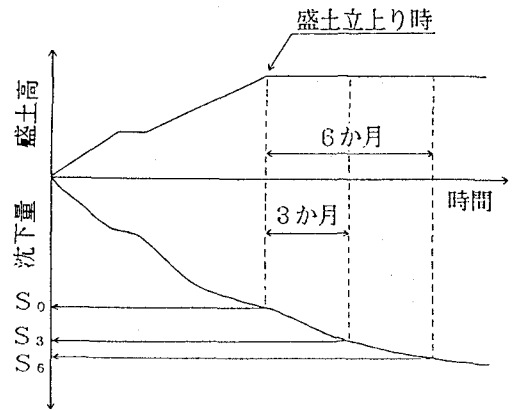


図-5 基準とした沈下量

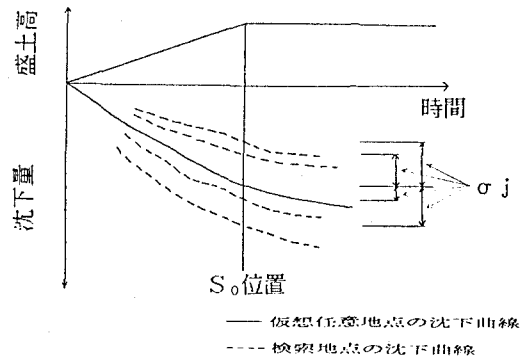


図-6 沈下量のパラツキの算出

表-6 要因と S_0 との単相関係数

記号	単相関係数	記号	単相関係数
Gs	-0.293	N	-0.199
Wn	0.339	D	0.316
WL	0.327	da	0.580
Wp	0.326	H	0.003
rt	-0.227	V	-0.410
e	0.304	M	0.578
qu	-0.105	Wn・D	0.674
ef	0.189	Ip	0.321
E50	-0.162	IL	0.112
Pc	-0.080	Sf	0.700
Cc	0.303		

表-7 1アイテムによる数量化理論Ⅰ類

記号	相関係数	記号	相関係数
地盤タイプ	0.312	地盤処理工	0.418
地域コード	0.503	Cc	0.510
Gs	0.432	N	0.363
Wn	0.542	D	0.310
WL	0.567	da	0.605
Wp	0.561	H	0.355
rt	0.319	V	0.507
e	0.483	M	0.364
qu	0.311	Wn・D	0.697
ef	0.263	Ip	0.550
E50	0.287	IL	0.358
Pc	0.160	Sf	0.682

$R = 0.899$
單位：G/M

種類	No	地盤タイプ	地盤処理工	地域コード	設計沈下量	W・D	施工日数	盛土高	自然含水比	累積盛土量	塑性指数	重相関係数
数量化理論1類	1	○	○	○	○	○	○	○	-	-	-	0.90
	2	○	○	○	-	○	○	○	-	-	-	0.88
	3	○	○	-	○	○	○	○	-	-	-	0.89
	4	○	○	-	-	○	○	○	○	-	-	0.88
重回帰	5	-	-	-	○	○	-	-	○	○	-	0.81
	6	-	-	-	-	○	-	-	-	○	○	0.80

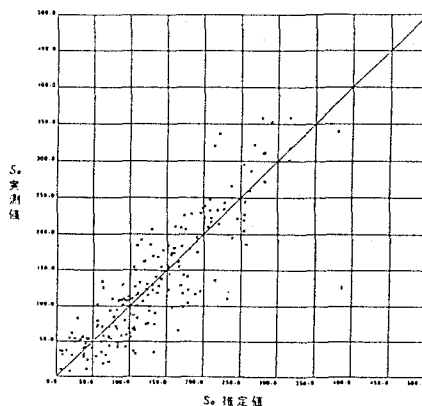
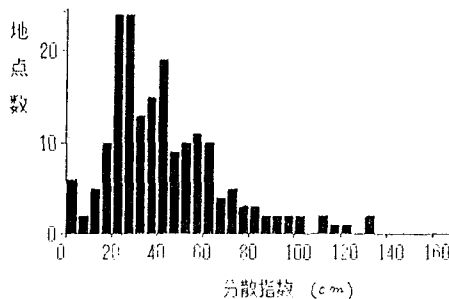


表-9 重み係数検討結果

No	平均分散 指数 (cm)	取 扱 係 数										検索幅	平均検 査地点 数	検索ゼ ロの地 点数				
		地盤タイプ	地盤処理工	地域コード	設計仕下量	W n・D	施工日数	盛 土 高	自然含水比									
1	43.2	浅層型 配炭型 深層A 深層B	66.5 0.01 47.5 71.2	N T SCP S D P D	0.01 31.3 14.9 91.6	北海道 関 東 東北・ 北陸 中 部 東 海 その他	54.4 61.4 28.9 22.0 52.5 0.01	～ 100 ～ 150 ～ 200 ～ 250 ～ 320 ～ 400 ～ 500 500 ～	16.6 18.2 0.01 16.0 33.8 26.7 37.1 87.1	～ 300 ～ 150 ～ 650 ～ 800 ～ 1200 ～ 2000 ～ 3000 3000～	9.91 25.5 72.6 63.7 96.9 102. 96.2 176.	～ 100 ～ 150 ～ 200 ～ 300 ～ 400 ～ 500 ～ 700 700 ～	13.7 0.01 ～ 5.0 ～ 7.0 ～ 4.0 ～ 53.7 ～ 62.8 ～ 153.	29.9 0.01 ～ 6.0 ～ 7.7 ～ 8.4 ～ 9.3 ～ 19.0 10.0	± 4.8	8. 1	8	
2	44.7	浅層型 配炭型 深層A 深層B	60.0 0.1 43.5 64.9	N T SCP S D P D	0.1 32.8 17.8 96.2	北海道 関 東 東北・ 北陸 中 部 東 海 その他	102. 116. 85.2 64.3 101. 0.1	～ 100 ～ 150 ～ 200 ～ 250 ～ 320 ～ 400 ～ 500 500 ～	23.3 25.2 0.1 27.6 47.2 31.5 43.6 94.0	～ 300 ～ 150 ～ 650 ～ 800 ～ 1200 ～ 2000 ～ 3000 3000～	0.1 22.9 67.4 65.0 33.4 101. 94.3 175.	～ 100 ～ 150 ～ 200 ～ 300 ～ 400 ～ 500 ～ 700 700 ～	15.0 0.1 ～ 5.0 ～ 7.0 ～ 4.0 ～ 53.3 ～ 67.9 ～ 147.	27.4 6.0 ～ 6.0 ～ 7.7 ～ 8.4 ～ 9.3 ～ 10.0 10.0	± 4.8	8. 0	7	
3	47.9	浅層型 配炭型 深層A 深層B	66.3 0.1 50.9 82.3	N T SCP S D P D	0.1 18.1 12.3 69.0			～ 100 ～ 150 ～ 200 ～ 250 ～ 320 ～ 400 ～ 500 500 ～	23.3 25.2 0.1 27.6 47.2 31.5 43.6 94.0	～ 300 ～ 150 ～ 650 ～ 800 ～ 1200 ～ 2000 ～ 3000 3000～	0.1 22.9 67.4 65.0 33.4 101. 94.3 175.	～ 100 ～ 150 ～ 200 ～ 300 ～ 400 ～ 500 ～ 700 700 ～	9.9 0.1 ～ 5.0 ～ 7.0 ～ 4.0 ～ 53.3 ～ 67.9 ～ 147.	25.6 6.0 ～ 6.0 ～ 7.7 ～ 8.4 ～ 9.3 ～ 10.0 10.0	± 4.9	8. 1	8	
4	52.4	浅層型 配炭型 深層A 深層B	53.0 0.1 45.6 73.3	N T SCP S D P D	0.1 18.1 13.2 59.4			～ 100 ～ 150 ～ 200 ～ 250 ～ 320 ～ 400 ～ 500 500 ～	23.3 25.2 0.1 27.6 47.2 31.5 43.6 94.0	～ 300 ～ 150 ～ 650 ～ 800 ～ 1200 ～ 2000 ～ 3000 3000～	0.2 21.6 73.7 79.3 122. 120. 127. 215.	～ 100 ～ 150 ～ 200 ～ 300 ～ 400 ～ 500 ～ 700 700 ～	15.7 0.1 ～ 5.0 ～ 7.0 ～ 4.0 ～ 53.3 ～ 67.9 ～ 150.	9.1 6.0 ～ 6.0 ～ 7.7 ～ 8.4 ～ 9.3 ～ 10.0 10.0	57.0 16.2 ～ 20.9 ～ 120 ～ 300 ～ 400 400 ～	± 5.1	8. 0	3
		累積盛土量	塑性指数															
5	55.3	0.425						0.425	0.514				～ 0.056	± 4.3	8. 1	7		
6	52.4	0.500	～ 0.10						0.800					± 4.0	8. 1			

沈下の要因分析の結果に基づき、沈下曲線検索システムの作成を行ったが、プログラムに取り込んだ要因と重み係数は、表-9の№1~4とした。よって、システムの入力項目も、表-9の№1~4のいずれかの組合せである。また、検索対象地点は、要因分析に用いた195地点である。



図一 8 分散指数のヒストグラム

図-9 (a) ~ (c) は、システムの入力画面の一部である。入力データのうち、地盤タイプや軟弱層厚については、土質柱状図に従って層の土質記号とその深度およびN値を入力すれば、プログラム内で判定または計算するようにした。

出力は、検索された地点名の画面出力(図-10)、土質柱状図の並べ書きのプリント出力(図-11)および時間~沈下曲線の重ね書きのプリント出力(図-12)とした。

ユーザーは、これらの出力図を入力地点のものと見比べて、地盤構成や盛土工程等から、類似性をさらに総合的に判断する。その結果、さらに詳細な情報が必要となった場合には、従来の方法によりDBを検索することになるが、その際にはやみくもに行う必要はなく、沈下曲線検索システムの出力結果を検索条件にできる。

G 0 2

1. 1 施工条件及び盛土条件の入力

(A) 設計時の施工日数 (日)
 [注] 盛土立ち上がりまでの日数

(B) 設計時の盛土高 (m)

(C) 都道府県コード
 [例] 北海道: 01

(D) 設計時の累積盛土量 (日*m)

A, Bは必ず入力してください。また、(D)を入力しない場合は、詳細の値を次の画面で入力することになります。

設計段階で最終沈下量[S F] を計算してあれば入力してください。
 (cm)

次の画面へ

図-9 (a) 盛土条件の入力

G 0 3

1. 1. 1 設計時の累積盛土量

N	施工日数 (日)	盛土高 (m)	N	施工日数 (日)	盛土高 (m)	N	施工日数 (日)	盛土高 (m)
1	60	3.0	2	150	3.0	3	230	7.0
4			5			6		
7			8			9		
10			11			12		
13			14			15		
16			17			18		
19			20			21		
22			23			24		

次の画面へ

図-9 (b) 盛土工程の入力

G 0 4

1. 2 土質定数の入力

層NO	土質記号	深度 (m)	自然含水比 (%)	N値	層NO	土質記号	深度 (m)	自然含水比 (%)	N値
1	PT	2.0	500.0	2	2	G	7.0	100.0	4
3	S	8.0	30.0	8	4	M	16.0	50.0	10
5					6				
7					8				
9					10				
11					12				
13					14				
15					16				

N値の値がわからない場合は-1を入力してください。

次の画面へ

図-9 (c) 地盤条件の入力

6. まとめ

これまで述べてきたことをまとめると次のようなことがいえる。

- ① 沈下曲線検索システムを作成したことにより、DBからの類似事例の検索はスピードアップし、よりの確な情報が得られる。
- ② 類似検索に必要なデータは、地盤タイプ、地盤処理工、軟弱層厚、自然含水比、盛土工率であり、圧密試験や一軸圧縮試験等のデータは必要としない。また、入力する数値については、おおよその値でも検索の精度に影響はない。
- ③ 類似性の基準とした盛土完了直後の沈下量の検索によるバラツキの平均値は、最小でも40数cm生じる。これは、解析および検索の対象が195地点と少ないことにも起因しているものと思われる。

2. 1 類似検索された結果										G O 7	
N O	類似度特性値	類似度特性値の差	対応コード	地 点 名							
*	355.1			任意地点(人力された地点)							
1	355.0	0.1	DOKYO002	道央自動車道	北見厚田工事	道央自動車道	北見厚田工事	道央自動車道	北見厚田工事	道央自動車道	北見厚田工事
2	354.8	0.3	DOIC005	道央自動車道	道央自動車道	道央自動車道	道央自動車道	道央自動車道	道央自動車道	道央自動車道	道央自動車道
3	355.6	0.5	DOETW001	道央自動車道	江別大西工事	道央自動車道	江別大西工事	道央自動車道	江別大西工事	道央自動車道	江別大西工事
4	354.1	1.0	HOKAN004	北陸自動車道	海津北工事	北陸自動車道	海津北工事	北陸自動車道	海津北工事	北陸自動車道	海津北工事
5	353.3	1.8	HOKAR008	北陸自動車道	羽羽工事	北陸自動車道	羽羽工事	北陸自動車道	羽羽工事	北陸自動車道	羽羽工事
6	352.5	2.6	HOKAR007	北陸自動車道	刈羽工事	北陸自動車道	刈羽工事	北陸自動車道	刈羽工事	北陸自動車道	刈羽工事
7	358.6	3.5	HOKIT001	北陸自動車道	北野工事	北陸自動車道	北野工事	北陸自動車道	北野工事	北陸自動車道	北野工事
8	350.8	4.3	KYTAK009	九州自動車道	武雄IC	九州自動車道	武雄IC	九州自動車道	武雄IC	九州自動車道	武雄IC
9	359.4	4.3	JOYAW005	常磐自動車道	谷和原工事	常磐自動車道	谷和原工事	常磐自動車道	谷和原工事	常磐自動車道	谷和原工事
10	350.4999	4.6001	TMYA1019	東名自動車道	焼津工事	東名自動車道	焼津工事	東名自動車道	焼津工事	東名自動車道	焼津工事
11											
12											
13											
14											

次の画面へ ☐ Y

図-10 検索地点一覧表の出力

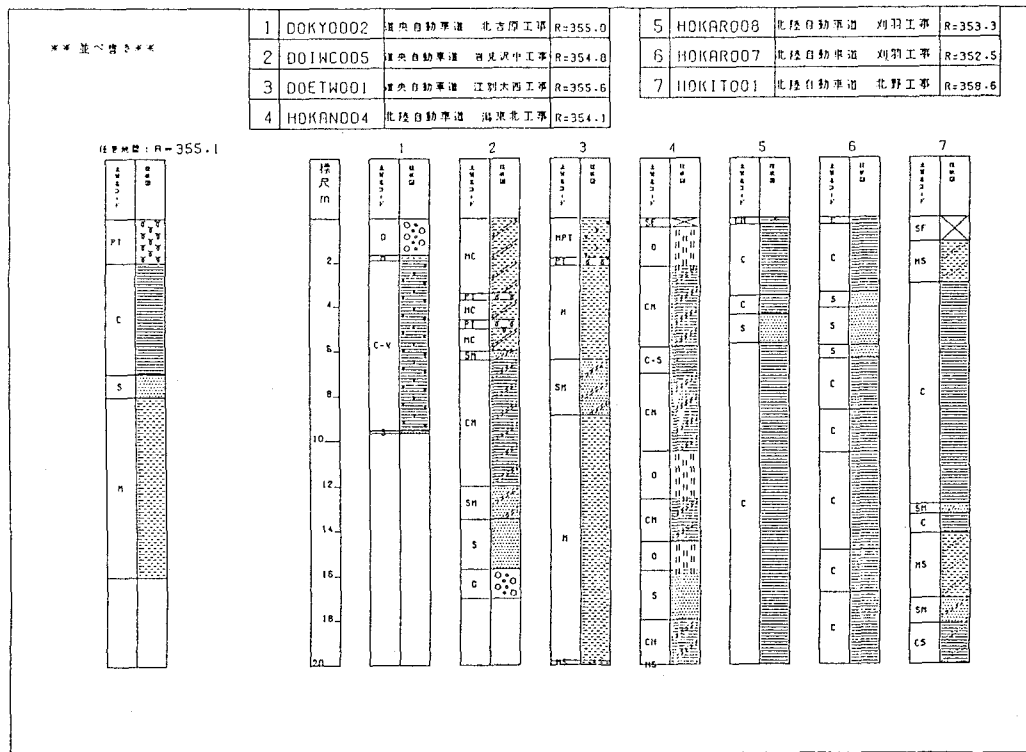


図-11 土質柱状図の並べ書き

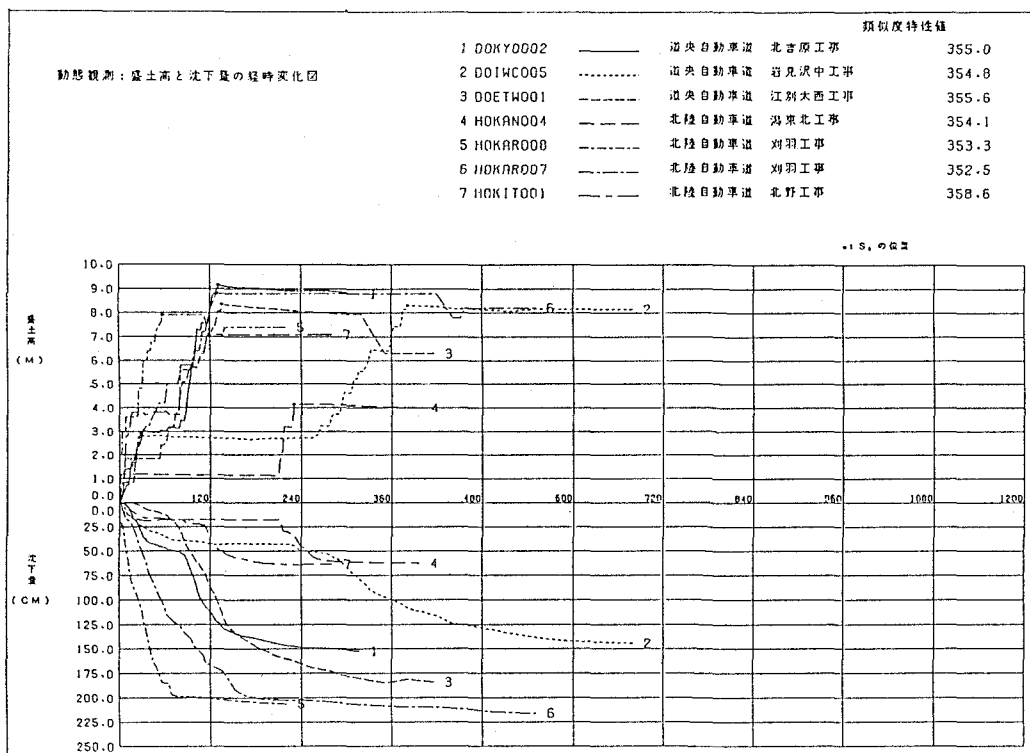


図-12 時間～沈下曲線の重ね書き

軟弱地盤データベースおよび沈下曲線検索システムの今後の課題としては、以下のことが考えられる。

- ① 新規に発生した現場のデータは、なるべく早い時期にDBへ追加する。また、維持管理段階の追跡調査のデータも蓄積する必要がある。
- ② データを効率的にDBへ入力するためには、調査、設計、工事の各段階のデータを、現行の台帳・パンチ形式でなく、フロッピーディスクや磁気テープ等で収集する必要があると思われる。また、入力データのチェック体制を強化する必要がある。
- ③ データ量が増加することにより、沈下の要因分析がさらに詳細に行え、沈下曲線検索システムの検索範囲の拡大および検索精度の向上が図れるものと思われる。
- ④ 沈下曲線検索システムと、その他のデータベース（技術文献システムやマイクロフィルム管理システム等）を結び付けることにより、ユーザーの高いニーズに応じた詳細な情報が迅速かつ確実に提供できるものと思われる。