

電 算 機 に よ る 地 盤 改 良 の 自 動 設 計

清 水 建 設 官 崎 徳次郎

尾 上 篤 生

○ 草 刈 太 一

1) はじめに

埋立地や内陸に於ける海成あるいは河成の沖積粘土地盤上⁴⁾に土構造物や建物を建設する際に、その重要度と地盤の強度及び沈下との相対関係から、使用に耐える程度の地盤改良が行なわれることが通例である。その工法としては、効果と経済性を考慮してドレーンによる圧密促進の方法が特に顕著であるが、サンドドレーンの効果に関する議論¹⁾が示唆する如く、工事の成否に及ぼす因子は、理論の再検討を除けば次の3点であろう。すなわち、

1. ドレーン自体が排水路として、十分な連続性⁵⁾と透水性⁶⁾⁷⁾を持つこと。

2. 地盤の不均一性に留意して詳細な設計を行うこと。

3. 土質試験結果の解釈にあたり、土の種類や過圧密比などの土の状態などから適用限界を考慮することである。第一の点は、すでに網袋詰めドレーンを改良深度に応じた径を選択して施工するようになって来たことで解決されつつあり、第三の点では幾人かの研究者による指摘¹⁾²⁾³⁾があるが、多分に個人差に負うところが多い。第二の点に関しては、電算機の活用によって従来に比べ飛躍的に速くなり、かつ膨大な演算を処理するとともに設計計算書としての体裁を備えた出力を得ることが可能となった今日では、殆んど技術者の手を煩わすものではない。

ここでは、電算機利用の一例として、土質調査結果の整理から最適設計、積算、作図、施工管理まで自動化した地盤改良自動設計システムを説明し、今後の設計、管理、動態観測データの蓄積などに電算機の高度利用が一層進歩することを期待するものである。

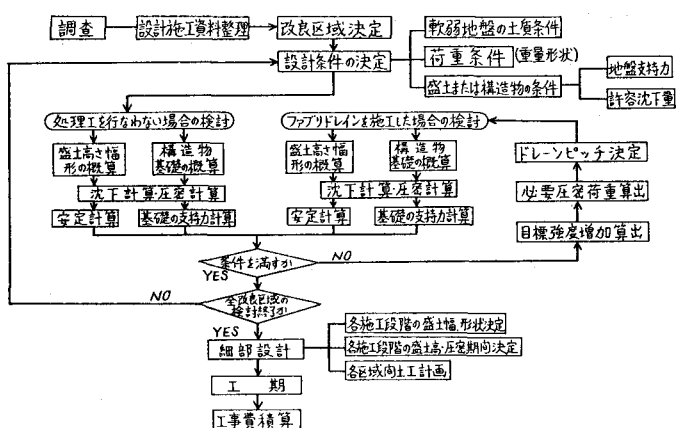
2) システムの概要

筆者らの地盤改良自動設計システムは、現在研究の過渡にある三次元圧密、レオロジー、ドレーンの脱水抵抗、あるいは砂抗の剛性の影響などのシステムへの導入は尙早であるとして、看過せざるを得なかったが通常の設計法ではみられない二三の新しい試みを取り入れられた。

また、設計条件を満足する多数のサーチャージとドレーン打設深度、ピッチの組合せの全事象に対する経済比較をおこなって、ドレーンを必要としない場合も含めて最も経済的な設計、

謂ゆる最適設計をしたことは電算機の機能を効果的に活かした例と思われる。システムはa)設計b)積算c)計測管理の各プログラムからなり、各々オフラインで結ばれている。ここでは、当システムの持つ機能のうち最適設計機能を中心として説明する。これに関するフローチャートを図-1に示す。

図-1 フェブリバックドレーンの設計手順



3) 設計プログラムの構成

設計プログラムへの入力項目(図-2)

1. 土質試験結果のうちボーリング検層、サウンディング検層（検層結果の土質記号³⁾図-3）、N値、土質試験結果一覧表、圧密試験の各荷重段階の諸数値、サンプリングの平面位置及び深度。

3. 計算方針データとして、当プログラムの多重機能の中から
どの様な方針でシステムを使用するかを表わす記号（図-5）

プログラムはフローチャート(図-2)に示す構成を持ち、それぞれの処置に対応する出力項目を持つが、以下に電算機を使用したことによる特色ある箇所を紹介する。

圧密計算に必要な土質データは成層地盤の各層ごとの (C_v , m_v , e) ~ 圧密荷重 P の関係である⁶⁾ から荷重段階ごとの圧密データと、土質試験結果一覧表の諸数値とを試料の採取深度とボーリング及びサウンディングから判断した地盤の成層認識とから自動的に土層ごとに平均、又は深度を変数とする最小二乗法で整理する。従ってボーリング位置ごとに試験され入力されたデータが、自動的に当該敷地内の地盤を構成する全ての土層ごとの設計データとして整理しなおされる。ここで云う土層は局所的に存在するものもすべて含む。

設計条件の一组をなす数値が同じであっても、場所的に成層状態が異なるか、あるいはその逆の場合は、それぞれ別々の設計計算を要する故、ボーリング又はサウンディングの示す数種の地盤領域と設計条件の各組が代表する平面領域とが錯綜することが一般的であるが、このような場合の設計計算を行なう為の地層条件と設計条件のすべての組合せで対象敷地を自動分割し設計計算を行なっている。

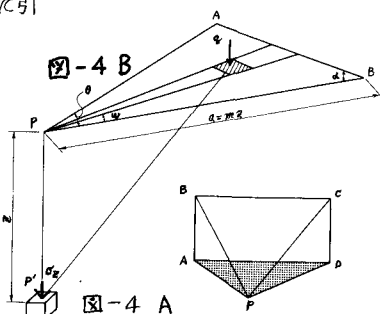
地中応力に変化を及ぼす敷地内外の全ての建造物を計算点から放射状に引いた線分で分割された三角形の集りと考え、この三角形荷重による頂点直下の応力はブシネスクの式を応用して、数値積分し、各計算点に於て重ね合せの原理を利用して求めている。すなわち図-4 A の場合、荷重 ABCD の計算点への影響は $\triangle PAB + \triangle PBC + \triangle PCD - \triangle PDA$ で表わされる。三角形荷重による頂点直下の応力は①式(図-4 B)に示す。

$$\sigma_z = -\frac{q}{2\pi} \left[\theta - \int_0^\theta \left\{ 1 + \left(\frac{m \sin \alpha}{\sin(\omega + \alpha)} \right)^2 \right\}^{-\frac{3}{2}} d\omega \right] \dots\dots\dots (1)$$

IN-PUT項目	フローチャート	OUT-PUT項目
脆弱地盤の範囲 〃 深さ 〃 土層区分 地盤上への構造物の形状 〃 重量 〃 用途 現地盤の標高 設計基準標高 土質試験圧密試験 〃 掃体貫入試験 〃 垂直圧縮試験 盛土の土質採取 〃 土質調査 F.D.のピンチ 〃 居住度 〃 率価 圧密工期	<pre> graph TD A[入力] --> B[設計条件] B --> C[土質試験結果] C --> D[土質試験結果の整理] D --> E[地中応力の計算] E --> F[沈下後設計計算] F --> G[圧密度] G --> H[トレンあり トレンなし] H --> I[設計計算] I --> J[トレンあり トレンなし] J --> K[最速設計] J --> L[有限ピンチ係] K --> M[数量一覧表] L --> M M --> N[出力] </pre>	設計条件 土質係数 初期地盤内及び 地中応力分布 沈下後設計層 圧密度の時間変化 圧密沈下設計計算 工事費の指数及び工数
	数量一覧表	数量一覧表
	出力	

[illegible]

图-4 B



d. 収束計算による設計 (図-7)

ドレーンによる地盤改良の設計に於て通常のように、設計条件を圧密度で規定することは多層地盤が多い現実に照らして疑義があり、当システムでは、地表面許容残留沈下量とした。又、各設計計算区域別に、複数の（ドレーンピッチ、改良深度）の組合せに対して、次のような収束計算を行ない、設計条件を満足する多様な土工事、ドレーン工事の全仕様に対する詳細な設計計算過程を漏れなく出力するので、このまま設計書となり手を加える必要はない。

施工前地盤上にサーチャージ盛土高 H を仮定し圧密期間内の沈下量 ST 、撤去盛土高 H 、設計地盤高と施工前地盤高との差 H_F 、残留沈下量 $SR (= S_F - ST)$ との間には、

$$\text{H}' = \text{H} - \text{S} \quad \text{T} - \text{H} \text{F} \quad \dots\dots\dots \textcircled{2}$$

(撤去時地盤高を設計地盤高とする場合)
又は,

$$H' = H - S \quad T - H \quad F - S \quad R \quad \dots\dots (3)$$

(撤去時地盤高を設計地盤高より残留沈下量だけ高くする場合)

なる関係があり、撤去したサーチャージの荷重と応力分散を考えた全設計荷重のそれぞれによる沈下量は一般に等しくないから、サーチャージ撤去後に残された盛土高 $H - H'$ と敷地内外の新しい建造物とによる最終沈下量 S_F' を計算して、残留沈下量 S_R を

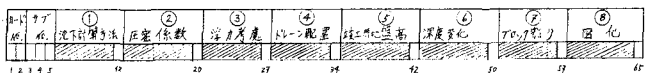
$$S R = S F' - S T \quad \dots\dots (4)$$

によって求める。

②式による設計ではHを仮定すればSRが求まるので、このSRが許容残留沈下量を下回る条件からH、H'が決定され、一種類の収束計算で済むが、③式による設計では、Hを仮定した後、H'を仮定して④式からSRが求まり、H'とSRが③式を満足する迄H'をパラメーターとする収束計算を行うのである。③④式を満たすH'とSRが決まった後、SRが許容残留

圖-5

(2) 設計方針等 - 夕



- ① 下下計算方法 下下計算を $e = 1$ の P 級数に上乗して、実行する場合 1 ,
 $6e$ 法を実行する場合 2 ,
 M 法を実行する場合 3 と記入する。
- ② 圧縮率 圧縮試験の結果データに基づいて計算する場合 1 , 工費試験結果一覧表に基づいて簡易計算する場合 2 と記入する。
- ③ 浮力考慮 圧密沈下の速性に伴う浮力の作用を考慮しない場合 1 , 考慮する場合 2 と記入する。
- ④ ドレーン設置 圧密状態の位置の場合 1 , 圧密状態の位置の場合 2 と記入する。
- ⑤ 竣工地盤調査 竣工地盤調査を完了し、同一地点とする場合 1 , 将来地盤調査が完了したくなるようたしにする場合 2 と記入する。
- ⑥ 高度差考慮 工費表数値が平均化の時 1 , 高度の異なる場合 2 と記入する。
- ⑦ ブロック割り ブロック割り、計算区域を移動した計算する場合 1 , 計算区域を 12 にする場合 2 と記入する。
- ⑧ 図化 付録として図が必要の場合 1 , 図を必要としない場合 2 と記入する。
 名称 1 地盤調査計画図

图 - 6

9th 12 スイッチング コイル システム カイリョウ

PAGE - 5

(3) 77917 1325

TABLE 1. NOTE: P = $\text{K}(\text{K}/\text{CM}^2)$, $\text{K} = \text{K} \times \text{E}$, E = E (K), $\text{K} = \text{K}(\text{K}/\text{CM}^2)$, $\text{K} = \text{K}(\text{K}/\text{CM}^2)$, $\text{K} = \text{K}(\text{K}/\text{CM}^2)$, $\text{K} = \text{K}(\text{K}/\text{CM}^2)$, $\text{K} = \text{K}(\text{K}/\text{CM}^2)$, $\text{K} = \text{K}(\text{K}/\text{CM}^2)$, $\text{K} = \text{K}(\text{K}/\text{CM}^2)$, $\text{K} = \text{K}(\text{K}/\text{CM}^2)$, $\text{K} = \text{K}(\text{K}/\text{CM}^2)$										
		1	2	3	4	5	6	7	8	9
ML	P	0.65000	0.10000	0.20000	0.40000	0.80000	1.60000	3.20000	6.40000	12.80000
	E	1.33200	1.26800	1.23400	1.19500	1.13450	1.10150	1.03950	0.97550	0.89450
	CV		0.1490	0.0700	0.084	0.047	0.031	0.018	0.010	0.006
	P		998.33	1068.33	711.94	878.26	816.91	619.49	714.96	610.85
MH	P	0.65000	0.10000	0.20000	0.40000	0.80000	1.60000	3.20000	6.40000	12.80000
	E	2.45450	2.40000	2.37600	2.31450	2.19500	1.92650	1.66400	1.44600	1.23900
	CV		0.131	0.070	0.084	0.047	0.031	0.018	0.010	0.006
	P		1167.69	1099.01	812.16	941.30	263.52	228.53	228.53	148.91

图-7

9*12 スイッチ コイル システム カイリコ

PAGE - 37

＜２＞ セツケイ ケイラン ケツカ ノ マトメ

(1) クイーン フレーム 1 (ホーリング フレーム 1) G.L. T.P. 5.00(M), F.L. T.P. 7.00(M),

1. アツミツ コウキ ナイ

$$E_{\text{リット}} = \frac{\Delta H}{M} + \left(\frac{\Delta T}{M^2} \right) DP = \left(\frac{2.23}{0.50} + \frac{1.60}{0.50} \right) \times 1.80 = 3.69 \text{ (T/M}^2\text{)}$$

[illegible]

圖 - 8

9th 12 345th 32 3312 9th 8th 7th 641132

PAGE - 49

7. スクリプト イテラン ヒョウ

[illegible]

一によって書くことが出来るようにした。ボーリング検層結果を示すボーリング柱状図(図-11), これと平面的位置関係からの地層想定縦断面図, また沈下量と平面的位置関係の沈下量縦断面図, 土質試験結果の整理の中の土質定数の深度方向変化グラフ, 圧密試験による圧縮曲線, 等である。

4) 積算プログラム

3) d の収束計算で得られた結果を、各設計計算区域ごとにドレーン打設本数、ドレーン深度、サンドマットの砂の量、盛土量、盛土撤去土量などを計算し、数量一覧表(図-8)に出力した。これを積算プログラムの入力として使用している。積算プログラムの出力及びフローチャートを図-9, 10に示す。

5) あとがき

現実の地盤が異方性、不均質で塑性的な側方流動を示す材料であるばかりでなく、荷重や境界形状が位置的にも時間的にも単純でないこと、サンドマットやドレーン材及び下部排水層も脱水抵抗を持つことなど、圧密理論の仮定を許容し難い場合が多いとともに、今日知られている解析解による設計だけでは、基本的に精度向上に限界があると思われる。従って現状の設計方法を踏襲した当自動設計システムに運土計画や、動態観測データを入力とする修正設計システムの機能を加えることとは別に、新しい多次元圧密理論や塑性変形理論を実際の工事に取り入れる為には、有限要素法、差分法と言った数値計算による設計方法を検討することも、電算機の効果を生かす一つの方法と考えられる。

参考文献

- 1)三笠他「バーチカルドレーン工法の問題点をさぐる」土と基礎, 20号8巻, 1972
- 2) Bjerrum, L. 「Embankments on soft Ground」proc. Specialty Conf. A. S. C. E., 1972
- 3)土質工学会編「土質調査法」第1章
- 4)池田俊雄「チュウ積層と洪積層」土と基礎技術手帳, 20号8巻, 1972
- 5)三沢融「把音式地盤探査装置 (phs)によるサンドドレーンの連続性確認」鉄道技研速報 № 72-204 281, 1972
- 6) Barron, R. A. 「Consolidation of fine grained soils by drain wells」Trans. Am. Soc. Civ. Engrs., 113-718, 1948
- 7)吉国他「Consolidation of soils by Vertical Drainwells with finite permeability」Soils and Foundations, Vol 14, № 2, 1974
- 8) Rowe, P. W. 「The influence of geological features of day deposits on the drain and performance of sand drains」proc. I. E. C., 1968

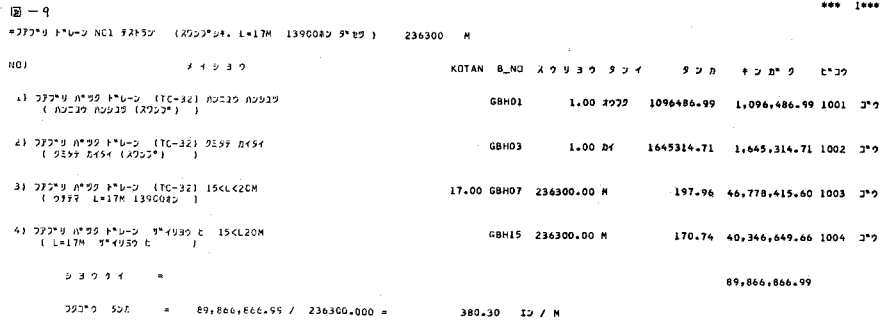


图-10

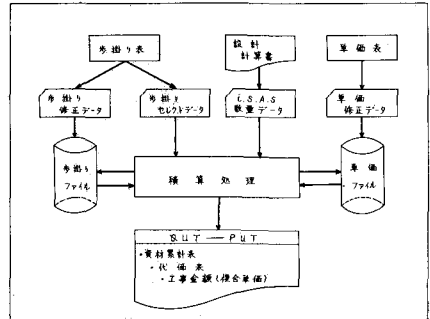


圖-11

