

段階盛土における地盤挙動の解析手法に関する研究 (その2)

——沈下予測への適用方法について——

西林清茂 上野孝之
杉江茂彦

Study on Ground Behavior Analysis Method for Embankment Constructed in Layers (Part 2)

——Method of Application for Predicting Ground Settlement——

Kiyoshige Nishibayashi Takayuki Ueno
Shigehiko Sugie

Abstract

The authors previously presented an analytical method using FEM to grasp the behavior of soft ground on which embankment was to be done in layers. The way to apply a method for prediction of settlement of the ground is described in the present report. One embankment constructed was selected as an example for a case study of numerical analysis, and the results of the analysis were examined in comparison with observation results. The fundamental method of prediction was for analysis of the next step in banking to be performed using the values of consolidation parameters corrected by back-analysis values from the observed settlement of the last step. As a result of the investigation, it was found that this new way of obtaining good prediction accuracy as banking of layers progressed was more practical than the generally-employed was of using values of soil tests performed before start of embankment work.

概 要

軟弱地盤上に段階盛土を行なう場合の地盤挙動について、有限要素法を用いて解析する手法を先に所報No.32で報告した。この報告では、その解析手法を段階盛土の沈下予測に適用する方法について述べる。方法の検討にあたっては、数値解析のケース・スタディとして軟弱地盤上で実施された段階盛土の実測例を選定し、解析結果と実測結果の比較検討を行なった。沈下予測の基本的な方法は、予測解析に重要な圧密定数(変形係数と透水係数)の修正を各盛土段階とも一段階前の実測沈下から逆算して行なうものである。検証の結果によると、この方法は、施工事前の土質試験値を使用する一般的な方法に比べて、盛土段階が進むにつれて予測精度が上がり、より実用的な方法であると考えられる。

1. まえがき

軟弱地盤を対象とした盛土工事では、すべり破壊や側方流動に起因する地盤変状が生じやすいので、施工途中に圧密放置期間を設けて段階的に盛土载荷を行なうことが多い。筆者らは盛土された軟弱地盤の瞬時変形(非排水変形)と圧密変形(排水変形)を2次的に解析する方法を前報で述べたが、この解析手法を段階盛土工事の

沈下予測に適用することを試みた。

2. 解析手法

解析手法¹⁾の詳細については No. 32 で報告した。ここではその概要を述べる。有限要素法(FEM)による軟弱地盤の沈下変形解析法は、盛土および地盤系を平面ひずみ条件としたもので、図-1にフローを示す。即時的な非排水変形の解析には Duncan and Chang の接線弾

土質試験項目	腐植土	粘土	
採取深さ (m)	2.21~2.87	8.11~8.75	
物理性 状	比重Gs	1.703	2.774
	単位体積重量 $\gamma_t(\text{g/cm}^3)$	1.01~1.08	1.34~1.42
	含水比W(%)	595.4~808.7	101.6~141.4
	自然間隙比 e_0	10.0~14.3	2.9~4.0
	飽和度Sr(%)	95.3~100.0	96.2~100.0
	液・塑性限界(%)	LL822.0 PL182.1	LL101.6 PL33.6

表-1 軟弱地盤の物理的性状

係数式を用いた非線形解析を、圧密変形の解析には Biot の理論に基づく多次元圧密解析を適用した。

3. 実測例と有限要素モデル

3.1. 実施工事の概要

図-2 に数値解析のケース・スタディとしてとりあげた段階盛土²⁾の施工形状と原地盤の状態を示す。盛土下の軟弱地盤は腐植土層と粘土層から成り、その下に1~2mの砂層が分布して洪積粘土層へと続く。腐植土と粘土の物理的性状は表-1に示すとおりであり、腐植土は含水比 $w_0=600\sim 800\%$ 、自然間隙比 $e_0=10\sim 14.3$ と極めて高含水、高圧縮性に富む。

盛土工事は最終の厚さが7.0mの盛土を三段階に分けて三年がかりで施工したものであり、圧密促進工法としてバーチカル・ドレーン工法を併用した。盛土期間を3年としたのは工事計画の都合にもよるが、計画盛土が盛土幅27mに対して高さが7mと高く近接した水田への隆起などの影響をできるだけ最小にしようとしたためである。施工管理にあたっては、地表面沈下板・層別沈下計・挿入式傾斜計および間隙水圧計などを設置して軟弱層の挙動観測を実施した。

3.2. 有限要素モデル

解析の対象として盛土中央位置より田側を選定した。図-3は解析時の有限要素メッシュと境界条件、および三軸圧縮試験(CU)・静的コーン貫入試験の結果から求めた非排水変形解析の土質定数である。また表-2は標準圧密試験・静的コーン貫入試験の結果から求めた圧密変形解析の土質定数である。なおバーチカルドレーンによる改良域に対しては本来三次元解析とすべきであるが二次元解析としたため、バーチ

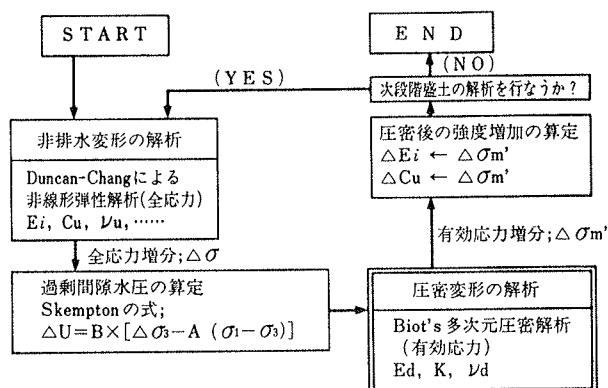


図-1 解析手法の基本的フロー

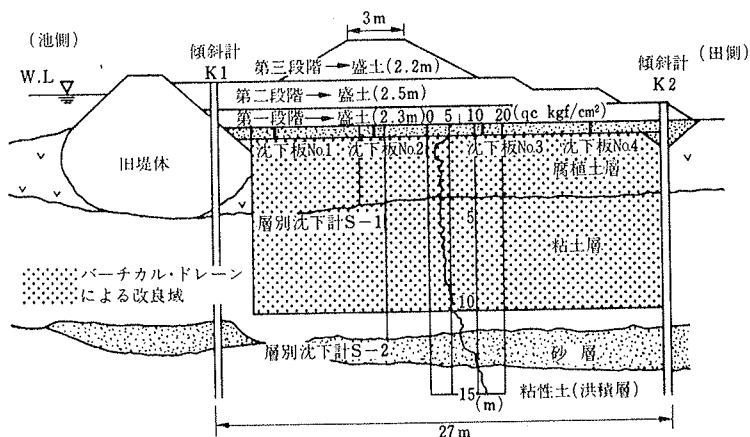


図-2 盛土施工断面と軟弱地盤の構成

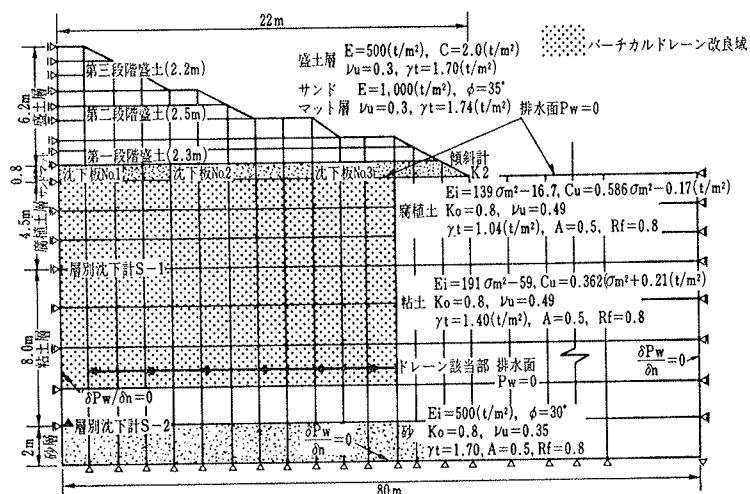


図-3 解析断面と有限要素モデル

	変形係数 Ed(t/m ²)	透水係数 Kv=Kh (m/day)	ポアソン比 νd
腐植土層	7	1.64×10 ⁻³	0.33
粘土層	33	3.80×10 ⁻⁴	0.33
砂層	300	4.32	0.33
サンドマット層	1,000	4.32	0.33
盛土層	500	4.32	0.33

表-2 解析に用いた定数

カル・ドレーンによる圧密度 U=50% に到達する時間が厳密解と一致するように水平方向の透水係数を補正した。

4. 逆解析による予測方法

4.1. 基本的な考え方

一般に沈下の予測は事前の土質調査の結果を用いて行なうが、予測と実測がうまく一致しない場合が多い。これを補う方法として、初段階あるいは途中段階の実測値をもとに将来予測を行なう双曲線法・浅岡法などが施工管理の方法として重宝されている。これらの方法は通常その盛土段階の予測に適用される。

ここに述べる方法は多段階盛土方式を採用する場合において、前段階の沈下実測値から逆算した圧密定数をもとに次段階盛土の予測を行なうものである。

具体的な解析の手順を図-4に示す。第一段階の盛土の沈下予測には従来どおり事前の圧密試験の結果を用いる。第二段階以後においては、まず地盤の有効応力に対応する変形係数と透水係数を圧密試験の結果から求め、この値に補正係数(ζ, η)を乗じて修正を加え、次段階盛土の沈下予測に用いる。ここで、ζ, ηはそれぞれ変形係数と透水係数に関する補正係数を示し、実測の沈下～時間関係から求めた逆算値と圧密試験値との比で定義される値である。

圧密定数の逆算法は図-5に示す手順による。まず前段階の沈下実測値から最終沈下量 S_fを双曲線法などで算定して、この沈下量 S_fとなる変形係数を逆算する。沈下時間の算定に関連する透水係数の逆算は基本的には試行計算によって行なう。この場合、第一段階では逆算値を得るまでの補正幅が大きく、次段階では小さい傾向がある。今回の解析例では、第一段階の第一回値の選定方法として Barron の理論に基づく高木のグラフを用いて沈下実測値から圧密定数 (Ch) を推定し第一回値の透水係数を求めた。

4.2. 解析例

上記の予測方法を先の実測例に適用した結果について述べる。各盛土段階で盛土中央位置の実測沈下～時間関

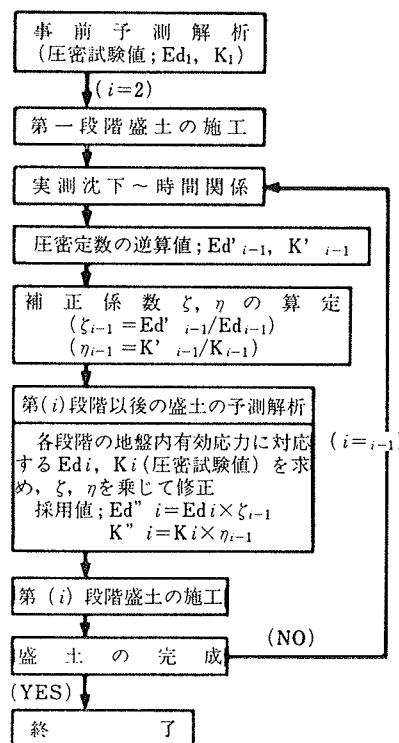


図-4 予測解析の手順

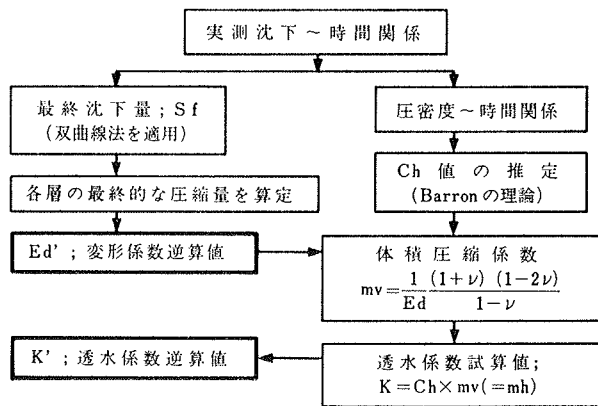


図-5 圧密定数の逆算法

	第一段階	第二段階	第三段階
腐植土	1.10	1.76	1.39
粘土	1.06	1.15	1.15

変形係数についての補正係数; ζ

	第一段階	第二段階	第三段階
腐植土	0.21	0.27	0.37
粘土	0.13	0.27	0.37

透水係数についての補正係数; η

表-3 補正係数の値

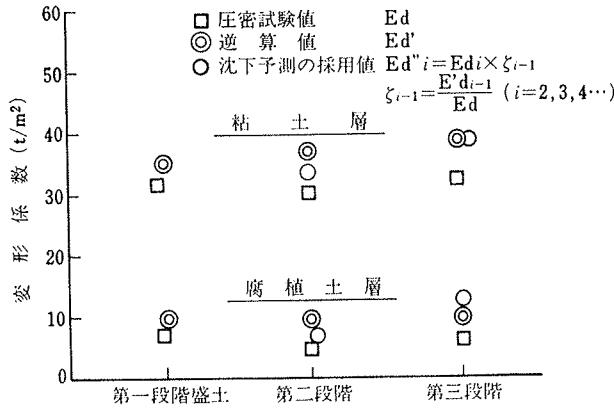


図-6 変形係数の修正結果

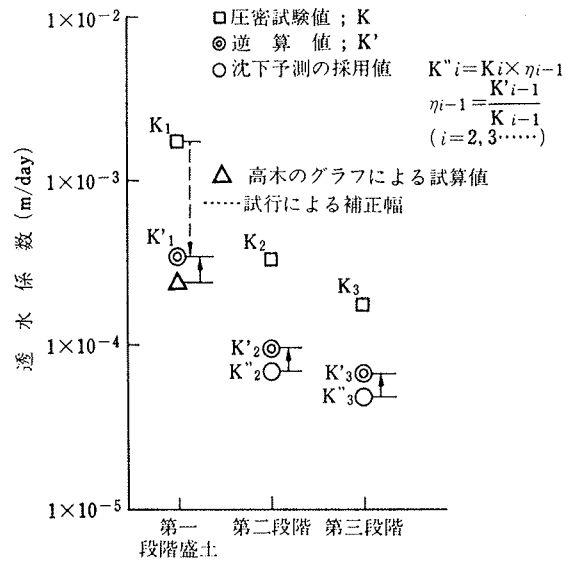


図-7 透水係数の修正結果

係から求めた補正係数を表-3に示す。この補正係数のもととなる各盛土段階の変形係数と透水係数の値を図-6と図-7に事前の土質試験値、逆算値、沈下予測の採用値と併せて示す。図-6によると、第二、第三段階盛土の沈下予測の採用値は、第二、第三段階盛土の実測値から逆算した正解値に近い値を示しており、予測方法の精度がかなり高いことを示している。図-7は透水係数の場合であるが、同様に沈下予測の採用値の精度が高い。

次に沈下予測の結果について述べる。図-8に盛土中央位置における各盛土段階の沈下～時間関係を示す。こ

こで述べた予測解析法の効果を検討するため、予測時点①を①施工前、②第二段階盛土開始前、③第三段階盛土開始前の三ケース設けて、第三段階終了までの沈下～時間関係を比較してみた。ここで、圧密定数として、①では圧密試験値を、②と③ではそれぞれ第一段階、第二段階での補正係数による修正値を採用している。①の場合では盛土段階が進むにつれて実測との誤差は拡大している。②と③では誤差は小さく、③では再度圧密定数の修正を行なったことによりさらに精度が向上している。

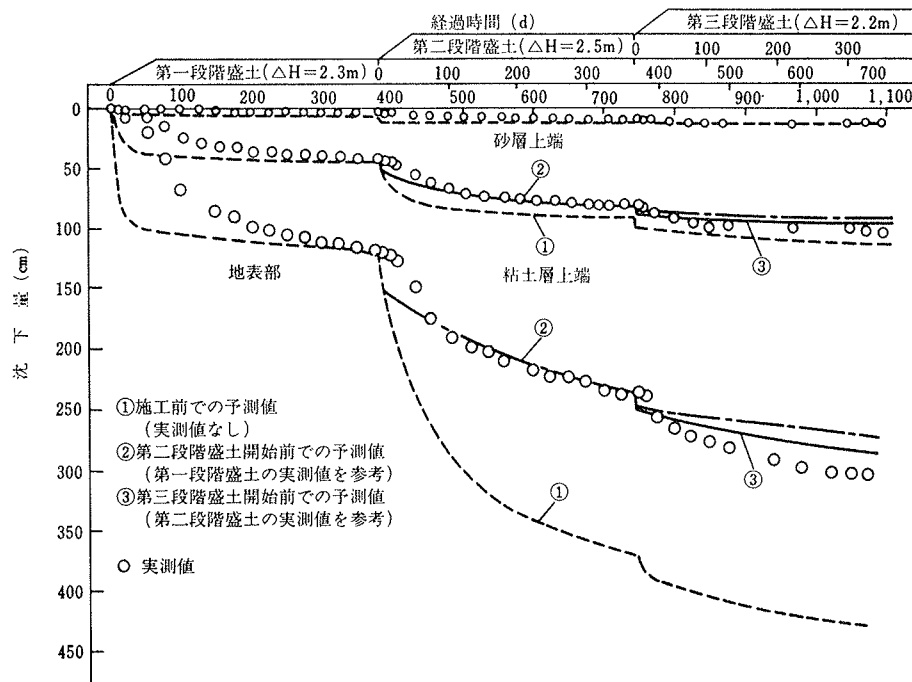


図-8 盛土中央位置における沈下予測の結果

参考までに以下にここで取り上げた実測例の沈下・側方変位の分布、および地盤の改良効果の確認のために実施した土質調査の結果について述べる。図-10は各段階の盛土期間における法尻位置の側方変位の発生量を示したものである。実測値によると腐植土層の側方変位量は盛土段階の進行にしたがって減少している。解析結果においても同様の傾向が示されている。

第三段階の盛土の開始前に地盤の改良効果を確認するため、盛土中央位置と法尻位置においてチェックボーリングを実施した。図-11に標準圧密試験による圧密降伏応力(Pc)と解析から得られた同

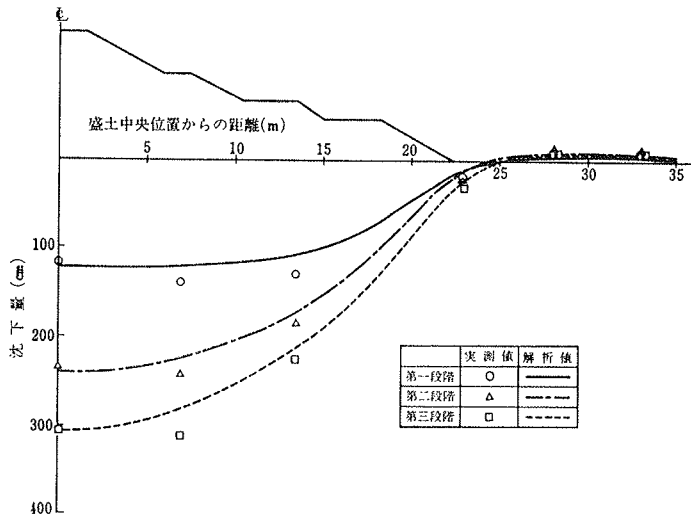


図-9 盛土横断面における沈下分布 (圧密放置最終時)

時期の鉛直有効応力を示す。標準圧密試験および解析の結果とも、圧密による有効応力の増加が認められる。

5. あとがき

以上、段階盛土の沈下予測方法について述べた。今回の沈下予測方法は、圧密定数の修正を前盛土段階の沈下実測値から求めた逆算値に基づき行ない、次段階の予測解析を行なうものである。事例検証の結果では、この方法は施工事前の土質試験値を使用する一般的な方法に比べて、盛土段階が進むにつれて予測精度が上がり、より実用的な方法であると考えられる。今後、適用事例を蓄積し、補正係数を算定する方法をより良く改善したい。

参考文献

- 1) 西林, 上野, 杉江: 段階盛土における地盤挙動の解析手法に関する研究, 大林組技術研究所報, No. 32, (1986), pp. 27~31
- 2) 西林, 上野, 杉江: 軟弱地盤上の堤体盛土に伴う情報化施工とその評価, 大林組技術研究所報, No. 29, (1984), pp. 93~97

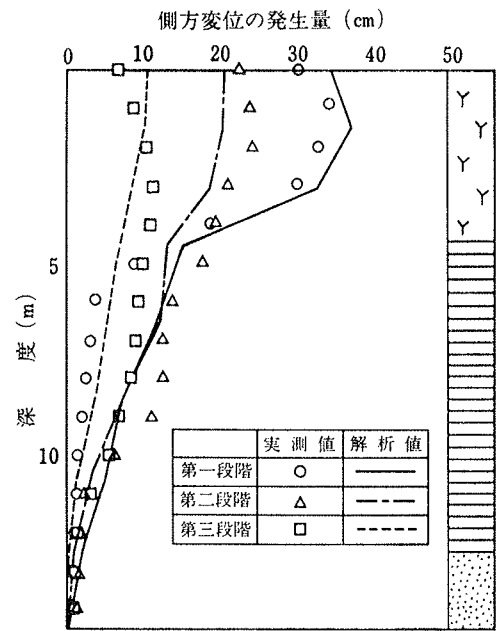


図-10 盛土期間における側方変位の発生量

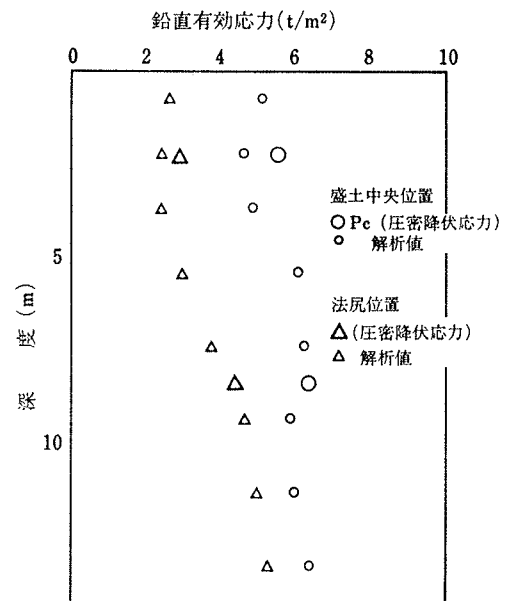


図-11 地盤内鉛直有効応力 (第三段階盛土開始前)