

泥炭性軟弱地盤におけるパイロット盛土工法について（その1）

——土質性状からの地盤改良効果の検討——

齋藤 二郎 丸山 誠
木村 薫 鳥井原 誠
平間 邦興

Pilot Embankment Method on Peaty Soft Ground (Part 1)

—Examination of Soil Improvement Effects
from Standpoint of Soil Characteristics—

Jiro Saito Makoto Maruyama
Kaoru Kimura Makoto Toriihara
Kunioki Hiramama

Abstract

The banking area in this particular expressway construction project consists of a diluvial tableland and a flood plain alluvial bottomland which is very soft ground partially including peaty soil of high water content. Moreover, the distribution of soil properties is extremely complicated. Accordingly, in design of banking, the area is divided into several parts in consideration of the soil properties and construction conditions of each location for examinations of various soil improvement methods. In the embankment construction, a "Pilot Embankment Method" is applied, that is, a method of building embankment at small area of each part before the main one, and observing data from instruments installed beforehand by which safety of the main embankment is confirmed. Soil investigations are carried out before and after construction. In this paper, a summarization is made of discussions of soil characteristics at the main point of each area, variations in soil properties during construction, and the effects of various soil improvement methods adopted.

概 要

この高速道路盛土工事区域は、地質的には洪積台地と河川氾らん原の沖積低地より成り、一部高含水比の泥炭性土を含む劣悪な軟弱地帯を形成し、しかも土質性状の分布が非常に複雑多岐であった。そこで、設計にあたっては各地点での地盤・施工条件を考慮に入れて軟弱地盤地区を6工区に分割して各種の地盤改良工法をそれぞれ検討した。また、盛土工事にあたっては、各工区ごとに事前に設置した埋設計器を観測しながら、本体部よりも一部区域を常に盛土を先行させ、安全を確認しながら本体を築造していくパイロット盛土工法によって施工管理を行ない、合わせて盛土前後に土質調査を実施した。

この報文では、各工区の代表地点における土質性状の検討、施工過程における土質性状の変化および採用した各種地盤改良工法についての改良効果を比較・検討した結果をまとめたものである。

1. まえがき

熊本県上益城郡における高速道路建設工事該当区域は地質的には洪積台地と河川氾らん原の沖積低地から構成され、きわめて劣悪な軟弱地盤地帯を形成しており、地形・地質的にみても不均質な複雑な条件に満たされている。特に、沖積地のオボレ谷、後背湿地に代表される地域には、高含水比の泥炭性粘性土層を含むきわめて劣悪な沖積粘土より成り、雨期には一面の湛水地帯となる。

このような軟弱地盤の生成過程には非常に複雑な要因が推定され、その縦横断方向における土質性状の分布はきわめてランダムな傾向を示す。したがって、設計々算に用いる土質定数も至近距離においてさえ極端なバラツキが多く、安定解析、圧密解析などにあたって、その定量的な取扱いを困難にしている。そこで、この建設工事においては、各地点の地盤条件、施工条件を考慮して縦断方向にいくつかの工区に分割し、各工区ごとに過去に実績のある数種類の地盤改良工事を検討し、設計・施工を行なった。また、盛土工事にあ

かった。以上が設定したA工区からF工区までの軟弱地盤改良工法の概要である。

3. パイロット盛土工法の提案

これまで述べてきた経過の如く、各種の土質調査結果をもとに土質性状の検討、及び盛土体の定安性の確認のための各種解析を積み重ねてきた結果、土質性状は深度方向にも延長方向にもきわめて不規則な分布を示して不連続であり、はなはだしいバラツキを示して、その工学的性状を設計々算に組み入れるための定量的な把握が困難な部分が数多く認められた。また、圧密解析や法面安定解析結果からもその安定性にきわめて不安視される点が数多く問題点として残された。しかも、土質工学における各解析理論は、数多くの仮定から成り立っており、理論値と実測値が一致しない場合も稀ではない。このような場合には、一般的な手段として数多くの、不確定な要因や危険な傾向をすべて包括し、正確にその地盤の挙動に関する情報を得るために、試験盛土を実施して実情に即した測定データから判断する方法がよく採られる。しかしながら、改めて、試験盛土を実施するとなれば、多大の費用と測定解析に長大な時間と手間を費すことになり、工程的にも無理が生じてくる。そこで、各工区ごとに延長30～40mの区間を選定し、他の区域に比して常に盛土高さを2～3mずつ先行させ、埋設した諸計器の測定結果から安全性を確認しながら他の残りの部分の盛土を行っていく、いわゆるパイロット盛土工法の導入をはかった。

3.1. パイロット盛土工法の目的

パイロット盛土工法の目的としては、盛土体の安定及び沈下性状の確認という大前提につきるが、その詳細な調査・検討事項を具体的に列記すると次のようになる。

(I) 盛土の安定性に関して

- ①盛土速度と盛土の安定性の関係
- ②圧密速度と軟弱地盤における強度増加の確認
- ③各種地盤改良工法による安定性の比較
- ④ドレーンの打設が地盤強度に及ぼす影響と間げき水圧の変化の確認
- ⑤被圧水の存在による盛土の安定性に及ぼす影響

(II) 盛土の沈下性状に関して

- ①圧密沈下性状と各土層の沈下分布のは握
- ②各種地盤改良工法が沈下に及ぼす効果
- ③圧密沈下量と側方流動に基づく塑性沈下量との関連性
- ④圧密挙動と間げき水圧との相関性

したがって以上の事項については、諸観測計器を設置し、測定データをもとに迅速に地盤の挙動を把握し、的確な指示を与えることのできる体制を整える必要がある。

3.2. パイロット盛土地点と観測計器

パイロット盛土地点と設置した計器の一覧表を示したのが表一である。

これらの設置した観測計器によって随時測定して、異常が認められた場合にはすぐに盛土を中断し、対策工法について検討する。また、パイロット盛土地点においては、盛土前にサウンディング及び土質試験を実施して詳細な土質性状や土質分布を十分には握する。また盛土終了後にも同一地点で同様な土質調査及び土質試験を実施し、地盤改良工法の改良効果などについての検討を実施して事前設計との比較分析を行なった。

4. 軟弱地盤の土質性状について

ここで、パイロット盛土工法の決め手となるのが土質性状の詳細な把握である。道路盛土工事においては、盛土前の第1次土質調査と、盛土後ほぼ同一地点で第2次及び第3次土質調査を実施した。原則として、第2次調査はサーチャージ盛土完了時に、また第3次調査はサーチャージ除去時に、すべてフォイルサンプラーによる試料採取を行なった。以下に、第1次～第3次土質調査結果をもとに土質性状の変化の概要について検討したい。

4.1. 各工区の土質性状の変化

第1次～第3次土質調査結果について、各工区ごとに示したのが図一4～9である。第2次及び第3次土質調査結果は、すべて第1次土質調査に対応する調査深度に修正してある。したがって、図中の同一深度で対応する調査結果の差異が対策施工による土質性状の変化と解釈できる。ここで、第1次土質調査ではG.L. -7m程度までのフォイルサンプリングが可能で

観測計器	工区						合計
	A	B	C	D	E	F	
埋設位置	STA 59+00	STA 60+40	STA 64+40	STA 71+05	STA 83+60	STA 89+00	
沈下板	1	1	1	1	1	1	6
連続沈下計 (坂田電機LR103-F)	1	1	1	1	1	1	6
間げき水圧計 (坂田電機PD-2P)	4	4	4	4	5	5	26
土圧計 (坂田電機PD-2F800)	1	1	1	1	1	1	6
地スベリ計 (坂田電機LR-19)	1	1	1	2	2	2	9
変位グイ	4	0	4	8	4	4	20

表一 1 パイロット盛土観測地点と設置計器一覧

あったが、第2次、第3次土質調査ではG. L. -3m以深では試料採取が不可能となり、一部機械ボーリングを使用し、合わせて標準貫入試験を実施した。全般的な傾向として、ほとんどの工区については圧密沈下量の多くはG. L. -3mまでの上部に位置する泥炭性粘性土層の圧縮によると考えられるが、下部粘性土層についても相応の圧密効果があったと判断することができる。また、第1次と第2次土質調査結果には明確な差異が認められるが、第2次と第3次土質調査結果を比較した場合、有意の差を判断することが困難な部分が多く認められた。以下に各工区ごとに概説する。

A工区 (サンドドレーン工法、盛土高9.2m)：施工前における上部粘性土の自然含水比が100%程度であったため、含水比の低下は20~30%に過ぎないが、それ以深の泥炭性土では200%もの含水比低下が認められ、サンドドレーン工法の改良効果が顕著である。しかし、単位体積重量については上部粘性土でも増加が著しい。一軸圧縮強度についても、G. L. -2m付近で4倍以上の強度が得られており、圧密降伏応力に

も同様の傾向が認められている。また、コーン指数については、時間の経過に対応して増加している様子がよくわかる。

B工区 (サンドドレーン工法、盛土高8.2m)：下部の泥炭性粘土層では初期含水比400%前後だったのが、第2次、第3次調査ではそれぞれ180%、250%に低下しており、サンドドレーン工法の効果の著しさを示している。粘着力、圧密降伏応力及びコーン指数にも同様の傾向が認められ、特に粘着力は6~9倍増加し圧密による強度増加が著しい。圧密降伏応力はむしろ上部粘土層の方の増加が大ききようである。

C工区 (サンドドレーン・サンドコンパクションバイル併用工法・盛土高6.8m)：土質性状の劣悪さのためにバラツキが多く、全体的に改良効果はあまり明確ではないが、泥炭性粘性土層の含水比低下は著しい。特に粘着力は平均3~5倍増加し、コーン指数はG. L. -2~-6mで大略一様な増加傾向を示している。また圧密降伏応力をみると比較的下部土層まで記憶されていると判断できよう。

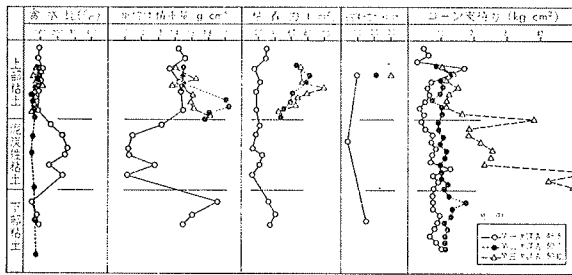


図-4 土質性状の変化 (A工区 STA59+00)

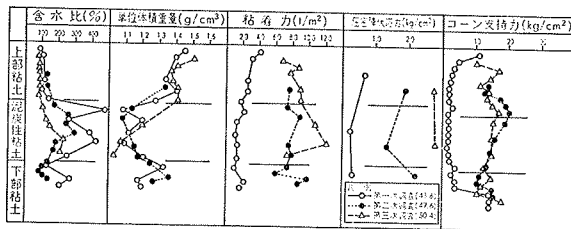


図-5 土質性状の変化 (B工区 STA60+40)

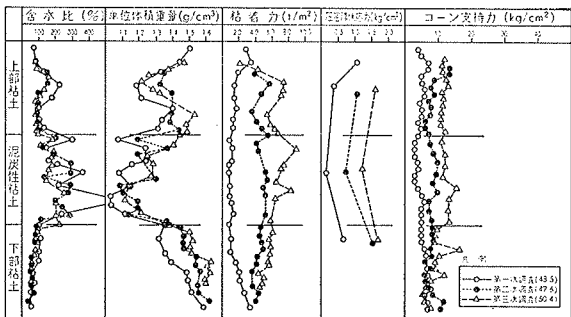


図-6 土質性状の変化 (C工区 STA64+40)

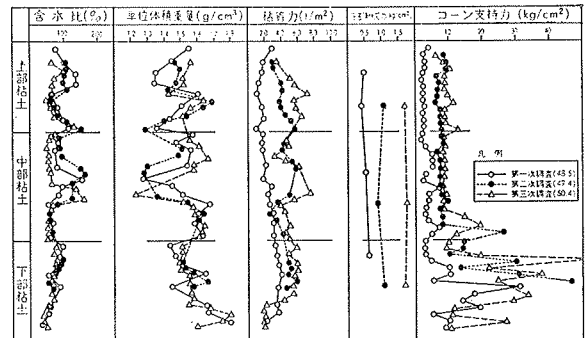


図-7 土質性状の変化 (D工区 STA71+05)

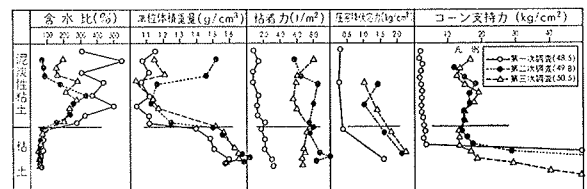


図-8 土質性状の変化 (E工区 STA83+60)

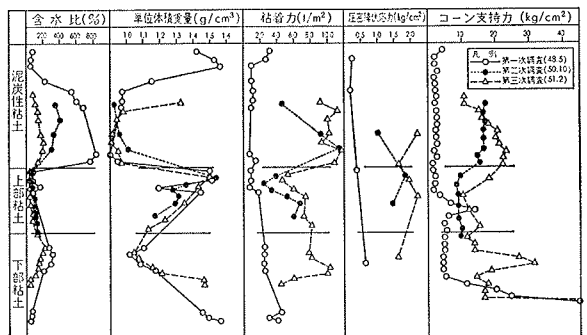


図-9 土質性状の変化 (F工区 STA89+00)

D工区（特殊サンドドレーン工法・盛土高 5.6m）：比較的良好的な地盤のためか，改良工法によるものかは定かではないが，改良効果を明確に判断することがむずかしい。例えば，含水比低下は G. L. -5.5m までは小さく，それ以深ではほとんどが有意の差は認められない。粘着力，コーン指数及び圧密降伏応力については増加幅は小さいながら改良効果を一樣に認めることができる。

E工区（サンドドレーン・サンドコンパクションバイル併用工法・盛土高 8.3m）：軟弱層厚が薄いこともあって，含水比の低減効果はきわめて大きい。特に 300~550% の初期含水比の泥炭性粘性土が 70~280% となり，サンドドレーン工法の効果が顕著である。しかし，G. L. -3.2m 以深の含水比低下はほとんど認められない。粘着力，コーン指数，圧密降伏応力はそれぞれ 4~6 倍増加していることがわかる。

F工区（サンドマット工法・盛土高 7.4m）：地盤改良工事を特にしなかったが，初期含水比 800% も示す泥炭性粘性土層が 200% 以下になり，脱水効果の大きさを示している。ただ，下部粘土層の変化は明確でなく，粘着力・コーン指数についても同様の傾向が認められた。圧密降伏応力については，徐々に応力履歴として記憶されていく過程が理解できる。

4.2. 地盤改良工法の違いによる土質性状の変化

地盤改良による各工区での土質性状の変化割合を上記粘性土層と泥炭性粘性土層について図示してみたのが図-10である。各種の地盤改良工法による改良効果の概要を比較・検討することができる。

まず，平均盛土高が他工区よりも小さいこともあるが，D工区（特殊サンドドレーン工法）についてのみいづれの調査結果からも他の工法と比して顕著な効果を認めることはできないようである。また，無処理地盤のF工区については意外に大きな改良効果が得られている。平均盛土高が比較的大きかったこと，及び当時の施工条件から結果的に緩速盛土となり，調査時期が他工区より長時間経過して表われた影響，及び大きな圧密脱水効果を期待できる泥炭性粘性土層が表層近

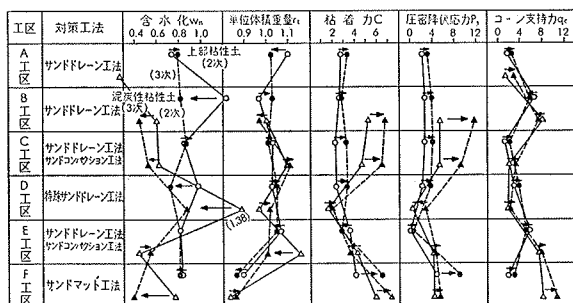


図-10 各種地盤改良工法による土質性状の変化

くに厚く堆積したことなどの理由によると考えられる。その他の改良工法では，ほぼ同程度の改良効果が得られており，有意の差は認められない。また，特にA，B工区では盛土荷重以上の圧密降伏応力の増加があった。これは，盛土時期が早期で，サーチャージの影響が大きくあらわれていると考えられる。

4.3. 土質定数の相関関係について

第1次~第3次土質調査によって得られた種々の土質定数をもとに，一般に相関性のあるといわれる代表的な項目について検討してみた結果が図-11である。

比重 (G_s)—自然含水比 (W_n) 関係：粘性土の大部分が含水比に関係がなく $G_s=2.6\sim 2.8$ に集中しているが，大略 $G_s=2.8-0.003W_n$ なる関係が得られた。

一軸圧縮強度 (q_u)—自然含水比 (W_n) 関係：相関性はあるが， $W_n=110\%$ 付近で急変している状況が理解できる。

圧縮指数 (C_c)—自然含水比 (W_n) 関係：一般的に $C_c=0.01W_n$ と比較的一致しているといえよう。

粘着力 (C)—コーン指数 (q_c) 関係：大略 $C=0.05q_c$ なる関係が求められる。

ここで，圧密による強度増加率について比較してみると，施工前の圧密非排水三軸試験結果では 0.40~0.75 が得られたのに対して，今回の現位置土質調査結果では強度増加率が 0.25~0.45 の小さめの値に分布していた。

これらの傾向の原因としては，施工による地盤のカク乱及び盛土形状による地盤の側方流動をはじめとして数多くの要因の影響を考慮すること

ができる。

図-11 土質定数の相関関係

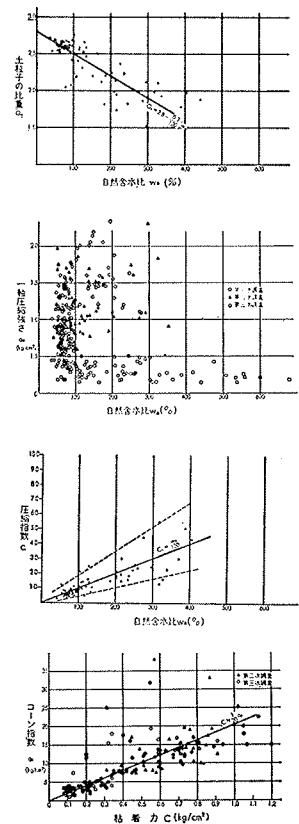


図-11 土質定数の相関関係

5. あとがき

パイロット盛土工法の導入によって無事に工事を完了し，十分な成果をあげることができたと考えている。また，この工法の実施にあたっては，日本道路公団松橋工事事務所からのきわめて大きな御理解と御助力があった。また，大林組・清水建設共同企業体御船工事事務所から得た尽力も非常に大きい。ここに深甚なる謝意を表します。