軟弱地盤上における施工過程・排水性を考慮した補強土擁壁の挙動解析

(財) 鉄道総合技術研究所 小島謙一・舘山勝

日本鉄道建設公団 青木一二三・米澤豊司・丸山修

ピート地盤など軟弱地盤上に施工された補強土擁壁においては、1m 以上もの大きな沈下が想定される。補強土擁壁の施工は、連続壁の場合は補強材の敷設、土の撒きだし、転圧を繰り返す、最後に壁面を構築する。また、分割壁の場合には各層ごとに壁面を施工する。補強土擁壁内の補強材や壁面の応力状態は、施工の状態や補強盛土や地盤の変形などによって大きく変わる。特に軟弱地盤の場合は地盤の変形が大きく、壁面の構造形式や壁面の施工時期によって、補強材や壁面の負担する応力は大きく左右される。また、粘性土を盛土材に使用した場合、補強材に排水性を付与するかどうかにより、補強土擁壁の変形は異なってくる。

本研究は、実現場での実測データや有限要素法により、施工工程や壁面構造、補強材効果の違いによる補強土擁壁の変形の違い等について検討を行ったものである。

キーワード：補強土擁壁，変形，軟弱地盤，有限要素法，施工

Deformation Analysis of Reinforced Soil with Retaining Wall to Consider Progress of Construction and Drange of Geosynthetics on Soft Ground

K.Kojima and M.Tateyama : Railway Technical Research Institute

H.Aoki, T.Yonezawa and O.Maruyama : Japan Railway Public Construction

The reinforced soil with retaining wall on a soft ground is predicted to considerably settle in different modes of deformation adopted orders of construction process and characteristics of geosynthetics.

This paper describes the differences of displacement, stress conditions of retaining walls and geosynthetics in the soil by using the result of finite element analyses and measured data.

Keyword : reinforced soil with retaining wall, deformation, soft ground, finite element method, construction

軟弱地盤上における施工過程・排水性を考慮した補強土擁壁の挙動解析

(財) 鉄道総合技術研究所 小島謙一・館山勝

日本鉄道建設公団 青木一二三・米澤豊司・丸山修

1. はじめに

ビート地盤など軟弱地盤上に施工された補強土擁壁においては、盛土荷重により 1m 以上もの大きな沈下が想定される。補強土擁壁の施工は、連続壁の場合は補強材の敷設、土の撒きだし、転圧を繰り返し、最後に壁面を構築する。また、分割壁の場合には各層ごとに壁面を施工する。補強土擁壁内の補強材や壁面の応力状態は、施工の状態や補強盛土や地盤の変形などによって大きく変わる。特に軟弱地盤の場合は地盤の変形が大きく、壁面の構造形式や壁面の施工時期によって、壁面や補強材の負担する応力は大きく左右される。

本研究は、有限要素解析を用いて、施工工程や壁面構造の違いによる壁面や補強材の違いについて検討を行ったものである。

2. 解析対象現場概要

解析は、長野市北東部（赤沼地区）に盛土構造で建設された北陸新幹線長野車両基地での施工¹⁾について実施した。現場は千曲川の後背湿地であり、第四紀沖積世に堆積した 30m 近い軟弱な粘土層が分布している。図-1 に地質縦断面図を示す。地層構成は、沖積粘土層 (Ac)、洪積粘土層 (Dc)、洪積砂礫層 (Eg) となっており、軟弱である約 25m の沖積粘土層中には粘土質の腐植土層(1.7~5.2m)が介在しており、この腐植土層が短期間に多くの圧密沈下を起こすことが事前に想定された。また、本構造物は経済性を考慮し、現場周辺で採取できる粘性土（風化凝灰岩）を採用した。そのため、間隙水圧の上昇による施工不良に起因した盛土本体の変形についても考慮が必要とされた。

北陸新幹線車両基地は、新幹線車両の留置及びメンテナンスを行うものであり、総面積約 150,000m²、延長約 1,800m、最大幅約 100m の大規模な盛土構造物である。設計盛土高さは、2m であるが、圧密促進工法を採用し、事前にある程度の沈下を強制的に発生させるため、施工高さは 2.5m とした。盛土の東側のり面は将来、北陸方面へ新幹線が延伸されることを考慮して、1:1.5 の勾配の盛こぼしとし、西側を剛壁面補強土擁壁工法(RRR 工法)を用いて鉛直とした。図-2 に盛土全体の断面図、図-3 には補強土擁壁部の断面

図-1 地質縦断面図

図を示す。

軟弱地盤上に盛土構造で構造物を建設する際に、大きな問題となるのは変形である。剛壁面補強土擁壁工法においても、不同沈下や側方変位、これらの変位に伴う壁面と補強材との定着切れなどが課題となる。当現場では圧密促進工法としてプレロード工法を採用し、施工された補強土擁壁に高さ 2.5m のプレロード盛土を施工し、1 年程度放置（圧密度約 90%以上）を行った。その結果、盛土中央部で最大 1.2m 程度の沈下が発生した。プレロード载荷期間中、補強土擁壁においては壁面を打設しない状態で、十分に盛土及び基礎地盤の変形させた後、壁面を打設し、完成させた。よって、1m 以上もの沈下が発生しても、補強土擁壁においては有害な変形は生じなかった。盛土材に対しては、補強材に排水性を考慮した複合補強材を用い、間隙水圧の上昇を防ぎ、十分な転圧を可能とした。

図-2 盛土断面図

図-3 補強土擁壁部断面図

3. 解析概要

解析は壁面の補強効果及び補強材の排水性²⁾に着目して、それぞれ盛土の変形に対する影響を比較検討した。解析は 2 次元平面ひずみモデルで実施した。数値解析手法としては、構成関係に関口・太田モデルを組み込んだ土／水連成弾粘塑性有限要素法 (DACSAR)³⁾を用いた。

3.1 基礎地盤のモデル化

基礎地盤は、図-1 に示す通り約 30m の沖積粘土層が続く軟弱地盤地帯である。解析断面には、本現場で最も多くの土質試験を行っているエリアとし、ボーリングポイント 3 点の柱状図や土質試験結果を基にモデル地盤を作成した。図-4 にモデル地盤の構成を示す。本検討はモデル化を行った代表断面でのみ実施した。しかし、地盤の変形は軟弱層の厚さに大きく依存する。車両基地の施工エリアでは腐植土層の厚さが不均一であるため、各地点での変形予測を行う場合には腐植土層厚を変えることが必要となる。図-5 に当現場の代表的な土質パラメータを示す。

図-4 モデル地盤

図-5 主な土質パラメータ

3.2 盛土のモデル化

実際に施工する剛壁面補強土擁壁は、地盤の圧密沈下を考慮して高さ 2.5m(計画高さ 2.0m)とした。盛土幅は最大で約 100m である。このため盛土のモデル化は、高さ 2.5m、幅は対称断面と仮定し 50m とした。基礎地盤の幅は、境界の影響を極力排除するために 250m とした。深さは 30m とし、十分な支持力の得られる層までモデル化を行った。幾何境界は底面を x (水平), y (鉛直) 方向固定, 両側面では x 方向のみ固定とした。排水境界は、地表面のみ排水を許した。盛土材はシルト, 粘土分が約 55% 有する粘性土 (風化凝灰岩) である。図-6 に本試料の粒径加積曲線を示す。表-1 に代表的な物性値を示す。解析に必要な締固め土の特性は、太田ら⁴⁾の等体積一面せん断試験を用いた締固め土の強度～含水比～乾燥密度の関係を用いて主な入力パラメータを決定した。図-7 に一面せん断試験 (圧密, せん断) 結果を示す。本試験は、現場での含水比が 32.5% であったため、その前後の 2 種類の含水比で試験を行った。この結果から、先行圧密荷重

図-6 粒径加積曲線

図-7 一面せん断試験結果

表-1 盛土材の物性値

湿潤密度	1.653t/m ³
乾燥密度	1.247t/m ³
塑性指数	29.2%
初期間隙比	1.15

荷 重
640(kN/m²), せん断強度
180(kN/m²)と推定した。

補強材は、不織布と織布を複

合したジオテキスタイルを用いている。このうち不織布は排水効果，織布は補強効果を期待したものである。したがってジオテキスタイルの解析モデルにはトラス要素を用い，その部分に排水境界を設定して不織布の排水効果を考慮した。また，複合補強材の物性は一軸引張試験結果から求めた。ジオテキスタイルは盛土高 0.3m ごとに 1.5m 敷設し，5 層に 1 層はのり尻から内部摩擦角で引いた線までの長いジオテキスタイルを配置している。また，実際の補強土擁壁の構造を忠実に再現するため，端部の要素を土のうを模擬した弾性体とした。土のう内は碎石であることから，弾性体の物性を $N=50$ と仮定し， $E=25N$ を用いて変形係数を決定した。壁面はビーム要素を用いた。壁面の物性は，コンクリートの変形係数 $E=2.5 \times 10^7 (\text{kN/m}^2)$ と実際の壁厚 0.3m から算出した。

3.3 解析ケース

解析は，①壁面に関する検討，②補強材の排水性に関する検討について実施した。以下に各検討項目別の解析ケースを示す。

3.3.1 壁面に関する検討

壁面に関する検討は，次に示す 2 種類の解析ケースを行った。

- (a) 補強土構築後，1 週間経過させた後に壁面を打設し，2 年間放置したケース。
- (b) 補強土構築後，2 年間放置をしてから，壁面を打設したケース。

3.3.2 補強材の排水性に関する検討

複合補強材の排水性がある場合とない場合の 2 ケースとし，盛土天端に 10kN/m^2 きざみで 100kN/m^2 まで载荷し，排水効果について検討した。複合補強材の排水性は，排水境界を複合補強材配置位置に与えることで考慮した。補強材の排水性に関する検討においては，効果を明確にするため，基礎地盤を取り除いて盛土部だけで解析を実施した。解析モデルを図-8 示す。

図-8 解析モデル

4. 解析結果

図-9 に壁面を打設して放置した場合（ケース(a)）の最終状態（壁面打設後 2 年間放置）の変形図を示す。軟弱な基礎地盤に影響されて盛土が変形していることが解る。図-10，11 に 2 年間放置した後の地表面沈下と壁面部の側方変位を示す。沈下をみると，壁面のないものは約 0.22m（ケース(b)），事前に壁面を打設したもの（ケース(a)）は最大で約 0.16m であり，

図-9 変形図（ケース(a)）

図-10 解析結果（地表面沈下量）

壁面剛性によって壁面のない場合の 70%程度に減少した。側方変位では壁面の有無に関わらず，基礎地盤の変形に大きく左右されたため盛土底部付近の変形が大きくなった。壁面の有無による側方変位量の差は 0.1m であり，壁面剛性による減少率は 10%程度であった。図-12 に補強材のひずみ分布を示す（引張り正）。今回の解析においては，壁面付近の側方変位があまり違いがなく，大きな沈下が発生したのが盛土中央部の補強材の入っていない領域であったため，側方変位や補強材のひずみに大きな差が生じなかった。

盛土頂部（図-8 ポイント A）での水平，鉛直方向の変

位量を図-13，14 に示す。図中□が排水性を考慮しない補強材モデル，▲が排水性を考慮した補強材モデルである。100kN/m² 載荷時で複合補強材の排水性を考慮した場合は，考慮しない場合に比べて水平方向で 0.1m，鉛直方向で 0.05m 程度，変形量が小さくなった。しかし，載荷重が小さい状態（10～40kN/m² 程度）では有意な差が生じず，逆に若干ではあるが排水性のある補強盛土の方が変形が大きかった。図-15，16 に 100kN/m² 載荷時のり面付近の変形モードを示す。排水性の考慮の有無で変形モードに違いは生

図-13 変位量（水平方向）

図-14 変位量（鉛直方向）

図-11 解析結果（側方変位）

図-12 解析結果（ひずみ分布）

じなかったが，排水を考慮しない方が解放面側への倒れ込み量がやや大きくなった。

本解析では，載荷のみによる排水性の検討を行ったため，初期状態では双方差がなく，これにより載荷初期の状態でも間隙水圧の発生はあまり違いがなかった。逆に盛土天端の載荷と補強材の排水効果に

よる圧密促進効果が徐々に進行して、若干、排水性がある補強材の方が変形が大きくなったと考えられる。しかし、更に載荷が進むと盛土内の間隙水圧は補強材の配置されている上下の要素で 3～5 倍程度、補強材に接していない要素でも 1.5 倍以上の違いが生じるようになり、その違いがのり面付近の変形量に現れたものと思われる。

図-15 変形図（排水なし）

図-16 変形図（排水）

5. まとめ

補強土擁壁において、非常に大きな問題となる施工過程の違い（特に壁面の施工時期の違い）による変形特性、粘性土を盛土材に用いた場合の複合補強材の排水性について、有限要素解析を用いて検討を実施した。

壁面の施工時期の違いにおいては、基礎地盤の変形が卓越したために側方変位や補強材のひずみに大きな差が生じなかったが、壁面がある場合の方が 10%程度、側方変位が減少した。また、沈下量は、最大沈下量で比較すると壁面がある方が壁面のないものに対して 70%程度の沈下量であった。このことから、盛土全体では壁面を設けることにより、大きく変形量（側方、鉛直）が変わることが解った。よって、施工過程の違いで、補強土擁壁の応力状態は異なるため、壁面の施工時期に対して十分に配慮する必要があると考えられる。粘性土を盛土材に用いた際の複合補強材の排水性については、間隙水圧の低減、圧密促進、水平変形抑制に効果を解析においても示すことが確認された。

数値解析においては、構造部材をどのようにモデル化するかによっても解が変わる恐れがある。今後は、壁面のモデル化、補強材のモデル化の違いについての検討を進め、よりの確なモデル化の確立が必要であると考えられる。

参考文献

- 1)Kojima,K, Sakamoto,N, Tateyama,M, Maruyama,O : Geosynthetic-reinforced soil retaining wall using clay on a very soft ground for Hokuriku bullet train yard in Nagano,IS-Kyushu96,1986
- 2)小島謙一, 館山勝：軟弱地盤上における粘性土補強盛土の変形解析, 第 49 回年次学術講演会, 土木学会, 1994
- 3)Iizuka,A, Ohta,H : A determination procedure of input parameters in elasto-viscoplastic finite element analysis, Soil and Foundation, Vol 27, No.3,1987
- 4)太田秀樹, 西田義親, 国安, 金子：土の締固め－管理基準と品質管理－, 土と基礎, 第 34 巻 5 号, p43～48, 1986