Deformation Analysis of Retaining Wall Reinforced with Geogrids

By

Hiroshi Abe, Koichi Oniki and Yuki Yoshi Kitamoto

Kajima Institute of Construction Technology

When we design the reinforced structures on the soft ground, the deformation behaviour has to be taken into account.

Then authors have carried out loading test for retaining wall reinforced with geogrids and investigated the method of deformation analysis in order to predict the deformation behaviour. Based upon the results, it has been clarified that the validity of the deformation analysis using the soil-geogrids interaction characteristics by pullout tests is well supported by the loading test.

軟弱地盤上の補強土構造物を設計する際には、その変形も考慮する必要がある。そこで、ジオグリッドを用いた補強土擁壁の載荷実験を行い、その変形挙動を予測するための解析手法について検討した。その結果、引抜き試験結果から求めたジオグリッドの引抜きせん断特性を用いた変形挙動解析手法の妥当性が検証された。

ジオグリッドを用いた補強土擁壁の変形挙動解析

鹿島建設技術研究所	阿部 裕
同 上	○ 鬼木 剛一
同 上	北本 幸義

1. はじめに

著者らは、ジオテキスタイルを用いた補強土構造物の合理的な設計・施工法を確立する目的で一連の研究を実施している。このような補強土構造物の設計法として現在提案されているのは、極限状態でのモーメントあるいは水平力のつり合いのみを考慮した極限つり合い法に基づく方法がほとんどである。しかし、補強土構造物を交通荷重が作用する道路盛土や周辺に重要構造物がある場所での盛土等に適用する際には、支持力的な安定性だけでなく、補強土構造物の沈下や側方変位といった変形についても考慮する必要がある。そこで、補強土構造物の変形を考慮した設計法を確立するための1ステップとして補強土擁壁の室内載荷実験を行い、その変形挙動をFEM解析によってどの程度表現できるかについて検討した。その結果、引抜き試験から求めたジオテキスタイルの引抜きせん断特性を入力物性値とするFEM解析により、補強土擁壁の変形挙動をある程度の精度で表現できることがわかったので報告する。

2. 補強土擁壁の室内載荷実験

(1) 実験方法

補強土擁壁の載荷実験は、長さ2m、高さ2m、奥行き1mの前面が強化ガラス張りの鋼製土槽を用いて行った。この土槽内に、図-1に示すようなコンクリートパネル製の壁面をもつ盛土をジオテキスタイルで補強した補強土擁壁を築造し、載荷による変形挙動を測定した。

盛土材料は、鹿島産の海砂を用い、均等に締固めるため1層の仕上り厚が10cmとなるように転圧しながら盛立てを行った。盛土材料の物理・力学特性は、表-1に示すとおりである。

盛土前面には、高さ0.4m、幅1.0m、厚さ0.12mのコンクリートパネルを図-1中に示すように、丸鋼で接続しながら垂直に3段積み重ねて壁面とした。

補強材として用いたジオテキスタイルは、一軸延伸型ジオグリッドで表-2に示すような特性を有している。ジオグリッドは、長さ1.6m、幅1.0mのものを盛土内に平行に3層敷設し、一方はジオグリッド固定用フックにてコンクリートパネルに結合した。

載荷重は、幅1.0m、奥行き0.9mの載荷板を介して油圧ジャッキにより載荷した。載荷方法は、荷重制御方式とした。荷重の増分は2tfとし、所定の荷重に達した時点で30分間放置した後、次の荷重ス

トップに移り、最大荷重16tfまで載荷した。また、実験中には、載荷重、載荷板沈下量、壁面水平変位量、盛土変位量、ジオグリッドに生じる伸びひずみを測定した。

(2) 実験結果

実験結果の一例として、載荷重 $P = 16\text{tf}$ のときの補強土擁壁の変形状況を図-2に示す。

これによると、載荷板中央における沈下量は $S = 34\text{mm}$ 、壁面の最大水平変位は盛土高さ $H = 0.8\text{m}$ の位置で生じており、その値は $\delta_{H\max} = 19\text{mm}$ であった。

図-1 補強土擁壁室内載荷実験の概要

表-1 盛土材料の特性

粒 度 特 性	礫 分 (%)	2
	砂 分 (%)	96
	シルト・粘土分 (%)	2
	最大粒径 (mm)	9.52
含 水 比 w (%)		10
湿潤密度 ρ_t (t/m^3)		1.45
力 学 特 性	粘着力 C_d (tf/m^2)	0
	内部摩擦角 ϕ_d ($^\circ$)	30
	変形係数 E (tf/m^2)	1000

表-2 ジオグリッドの特性

単位幅当りの引張強度 R_{Tf} (tf/m)	5.5
ピーク時の伸びひずみ ϵ_f (%)	14
変形係数 E (tf/m^2)	3.8×10^5
材 質	高密度 ポリエチレン

また、図-2中のA部におけるジオグリッドと土との境界付近の変形挙動を詳細に調べると、図-3 (a) のような結果が得られた。さらに、図-3 (a) の変位ベクトルの水平方向成分のみを取り出すと図-3 (b) のようになる。これによると、補強土擁壁の変形に伴ってジオグリッドと土との間に水平変位のずれが認められ、ジオグリッドと土との接触面でのすべりが生じていることがわかった。

図-2 補強土擁壁の変形状況 (P=16tf 載荷時)

(a) 図-2中A部の変位ベクトル

(b) 図-2中A部の水平変位ベクトル

図-3 ジオグリッドと土との境界付近の変形挙動

3. 補強土擁壁の変形挙動解析

(1) 解析方法

図-1 に示した補強土擁壁室内載荷実験の断面をモデル化し、その断面を用いてFEMによる補強土擁壁の変形挙動解析を行った。

補強土擁壁室内載荷実験において、補強土擁壁の変形に伴ってジオグリッドと土との接触面ですべりが生じていることが確認されたので、解析に際してはこのような不連続性を考慮できる方法を採用した。すなわち、図-4 (a)に示すようにジオグリッドを平面トラス要素に置き換え、ジオグリッドと土との間の不連続面にジョイント要素を設けたFEM解析手法を採用した。なお、ジョイント要素の厚さは、既往の文献¹⁾をもとに $t = 5\text{mm}$ とし、せん断特性は図-4 (b)に示すようにジオグリッドに水平なせん断に対しては非線形的挙動を示すものとした。

また、盛土部及び平面トラス要素(ジオグリッド)の入力物性値は、表-1、2に示した各々の材料特性をもとに設定したが、せん断特性についてはジオグリッドと土との間の不連続面に設けたジョイント要素と同様に、非線形的挙動を示すものとした。

FEM解析は、載荷重 P をパラメータとして $P = 4、8、12、16\text{tf}$ の4ケースについて実施した。

図-4 ジョイント要素のモデルとせん断特性

(2) ジオグリッドの引抜き試験

ジオグリッドと土との間の不連続面に設けたジョイント要素の入力物性値であるせん断降伏応力 τ_f 及びせん断弾性係数 k_s を決定するために、ジオグリッドの引抜き試験を行った。

ジオグリッドの引抜き試験は、図-5に示す引抜き試験装置(土槽の長さ70cm、幅30cm、高さ30cm)を用いて行った。

試験は、土槽に試料土を補強土擁壁室内載荷実験時と同じ状態(含水比 $w = 10\%$ 、湿潤密度 $\rho_t = 1.45\text{t/m}^3$)になるように均一に詰め、その中に敷設した幅15.5cm、長さ51.5cmのジオグリッドをジャッキで引抜くことにより行った。なお、試験はジオグリッドに作用する垂直応力 σ_n をパラメータとして

$\sigma_n = 0.2, 0.6, 1.0, 1.4 \text{ kgf/cm}^2$ の4ケースについて実施した。

ジオグリッドの引抜き試験結果をもとに求めたせん断降伏応力 τ_f と垂直応力 σ_n の関係及びせん断弾性係数 k_s と垂直応力 σ_n の関係を各々図-6、7に示す。これによると、せん断降伏応力 τ_f 及びせん断弾性係数 k_s はいずれも垂直応力 σ_n とほぼ比例関係にあり、その関係式は次式で表される。

$$\tau_f = 0.225 \sigma_n + 0.13 \text{ (kgf/cm}^2\text{)}$$

$$k_s = 0.180 \sigma_n + 0.22 \text{ (kgf/cm}^2\text{)}$$

このようにして得られたせん断降伏応力 τ_f と垂直応力 σ_n の関係式及びせん断弾性係数 k_s と垂直応力 σ_n の関係式をジョイント要素の入力物性値としてFEMによる補強土擁壁の変形挙動解析を行った。

図-5 引抜き試験装置の概要

図-6 せん断降伏応力 τ_f と垂直応力 σ_n の関係

図-7 せん断弾性係数 k_s と垂直応力 σ_n の関係

4. 実測値と解析値の比較

F E Mによる補強土擁壁の変形挙動解析結果の一例として、載荷重 $P=16\text{tf}$ のときの解析結果を実測結果と併せて図-8に示す。

これによると、盛土天端の沈下性状については、解析値と実測値はよく一致している。

壁面の水平変位量については、解析値と実測値の間に若干の差異が認められるもののほぼ同様な傾向を示している。ただし、水平変位が最大値を示す位置は解析値、実測値ともに盛土高さ $H=0.8\text{m}$ の位置で一致しており、最大水平変位量も約 20mm でほぼ一致している。

ジオグリッドの伸びひずみ分布については、壁面の水平変位と同様に解析値と実測値の間に若干の差異が認められるものの、全体的にはほぼ同様な傾向を示している。

図-8 補強土擁壁の変形挙動解析結果 ($P=16\text{tf}$ 載荷時)

5. おわりに

以上のように、引抜き試験から求めたジオグリッドの引抜きせん断特性を入力物性値とするF E M解析により、補強土擁壁の変形挙動をある程度の精度で表現できることがわかった。

今後は、本解析手法を実際の補強土構造物の変形挙動解析に適用し、その妥当性を検証するとともに補強土構造物の変形を考慮した設計法を提案したいと考えている。

参考文献

- 1) 久楽他；有限要素法による土中のジオテキスタイルの変形挙動解析，第30回土質工学シンポジウム，昭和60年