

ジオグリッドで補強された粘性土地盤の 解析的評価

荻迫栄治¹・了戒公利²

¹正会員 工博 清水建設株式会社 技術研究所 主任研究員 (〒135-8530 東京都江東区越中島3-4-17)

²正会員 工博 清水建設株式会社 環境プロジェクト本部 副部長 (〒105-8007 東京都港区芝浦1-2-3)

ジオグリッドの引抜き試験結果に基づき、粘性土とジオグリッドの相互作用特性について検討した。粘性土とジオグリッド間に作用する引抜き抵抗は変位に依存しない部分と変位に依存する部分に分けて評価することにより、その特性を統一的に評価できる。粘性土とジオグリッドの相互作用特性を有限要素法に取り入れた解析法を提案し、その妥当性について検証を行った。解析値と実測値や実験値との比較を行った結果、定性的にも定量的にもジオグリッドに発生するひずみの発現状況等がよく一致し、提案した解析法の妥当性が検証された。

Key Words : geogrid, cohesive soil, pull-out resistance, finite element method

1. はじめに

ジオグリッドは盛土や基礎地盤の変形に伴い、自らも変形することによってその引張抵抗を発揮するとともに、土との間に発現されるせん断抵抗によって補強効果を発揮する。従って、ジオグリッドを用いた補強土構造物の設計や解析に際しては、土とジオグリッドの相互作用としての引抜き抵抗特性を把握することが重要である。特に、ジオグリッド補強土の特徴の一つである現地発生土の利用という点を考えると、粘性土におけるジオグリッドの引抜き抵抗について評価することは重要であると考えられる。従来より、土中におけるジオグリッドの引抜き抵抗を評価する試みがなされてきたが^{1),2)}、そのほとんどは砂質土に関するものであった。

そこで本研究では、まず粘性土におけるジオグリッドの引抜き試験を実施し、その引抜き抵抗の評価方法について検討を行った。そして、土とジオグリッドの相互作用を考慮できる方法として、引抜き試験より得られた引抜き抵抗特性を有限要素法に取り入れた解析法を提案し、ジオグリッドで補強された粘性土地盤の模型実験と粘性土盛土の試験施工の解析を行い、実測値と解析値の比較を行うことによって、提案した解析法の妥当性について検証した。

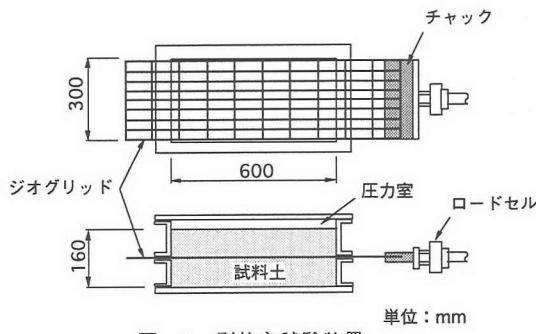


図-1 引抜き試験装置

2. 土とジオグリッドの相互作用特性³⁾

(1) 引抜き試験の方法

引抜き試験に用いた装置は図-1に示すように、ジオグリッドを挟む供試体を覆う土槽とジオグリッドの引抜き装置から構成されており、土槽の供試体部の寸法は、長さ600mm、幅300mm、高さ160mmである。試験は、その中央にジオグリッドを水平に敷設し、供試体上部に設置したエアバッグを介して一定の上載圧を供試体に作用させた状態でジオグリッドを引抜くというものである。ジオグリッドの節点には細いステンレスワイヤーを取り付け、土槽外に引

表-1 ジオグリッドの物性

種類	GB5	GB10	SR80
目合い(mm)	100×30	100×30	166×22
引張強度(kN/m)	49	98	83

表-2 試料土の物性

種類		シルト岩ぎり	風化岩
粒度(%)	礫分	3.1	6.4
(%)	砂分	37.6	25.2
	シルト・粘土分	59.3	68.4
	湿潤密度(g/cm³)	1.55	1.45
	粘着力(kPa)	9.6	21.9
	内部摩擦角(度)	28.9	11.6

き出して変位計に接続することでジオグリッド各節点の変位を測定した。また、ジオグリッド先頭の引抜き力はロードセルを介して測定した。なお、引抜き速度は土質工学会基準案「土とジオテキスタイルの摩擦特性試験方法」⁴⁾に準拠し、1 mm/minの一定速度で行い、上載圧 σ_n は4～5段階に変えて試験を行った。

試験に用いたジオグリッドはFRP系ジオグリッド(GB5, GB10)とポリマーグリッド(SR80)であり、その基本物性は表-1に示す通りである。また、試料土はシルト岩ぎり、風化岩の2種類で、供試体は角形ランマーによる突き固め法により、所定の密度に締め固めた。また、同じ密度に締め固めた供試体に対して三軸圧縮試験(UU試験)を行った。その物性値を表-2に示す。

(2) 引抜き抵抗と変位の関係

次式にて定義した引抜き抵抗応力 τ と平均節点変位 u の関係の一例を図-2に示す。

$$\tau = \frac{F}{2A} \quad (1)$$

$$u = \frac{\sum_{i=1}^n u_i}{n} \quad (2)$$

ここで、 F ：引抜き力

A ：土中にある補強材の面積

u_i ：各節点変位($i=1 \sim n$)

n ：土中にある節点数

引抜き抵抗応力 τ は、当初節点変位がほとんど0の段階である値まで上昇し、その後変位の進行に伴って増加するが、変位がある程度進行するとある一定の値に近づいていくという傾向を示す。この傾

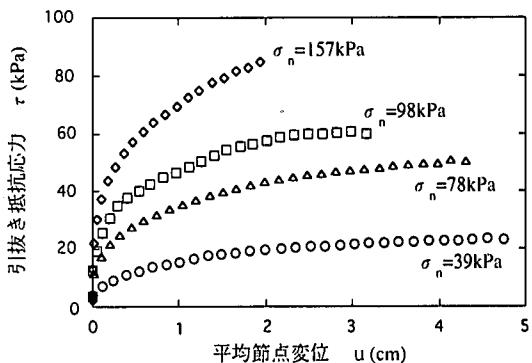


図-2 引抜き抵抗応力と節点変位の関係(GB10:シルト岩ぎり)

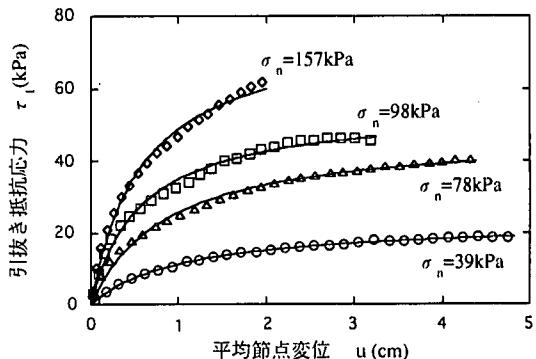


図-3 引抜き抵抗応力 τ_1 と節点変位の関係(GB10:シルト岩ぎり)

向は上載圧が変わっても同様である。そこで、変位が0の段階で発生する引抜き抵抗を τ_0 、その後変位に依存して発生する引抜き抵抗応力を τ_1 とし、 τ_1 と u の関係を示したもののが図-3である。上載圧が大きい程引抜き抵抗応力 τ_1 は大きいが、 τ_1 と変位 u の関係は、破断したケースも含めていずれも双曲線(図中実線で示す)で近似できる。

(3) 引抜き抵抗と上載圧の関係

図-3に示した τ_1 と u の関係における双曲線の漸近線に対応する引抜き抵抗の値を τ_{ult} とすると、引抜き抵抗の極限値 τ_{ult} は $\tau_{ult} = \tau_0 + \tau_{ult}$ と表される。図-4～図-7は各ケースにおける τ_0 、 τ_{ult} 、 τ_{ult} と上載圧 σ_n の関係を示したものである。補強材の種類、試料土の種類にかかわらず、 τ_0 、 τ_{ult} ともに上載圧との間に直線的な比例関係が存在することがわかる。すなわち、引抜き抵抗の極限強度 τ_{ult} は上載圧 σ_n と線形関係にあり、次のような摩擦則が成立する。

$$\tau_{ult} = c + \sigma_n \tan \delta \quad (3)$$

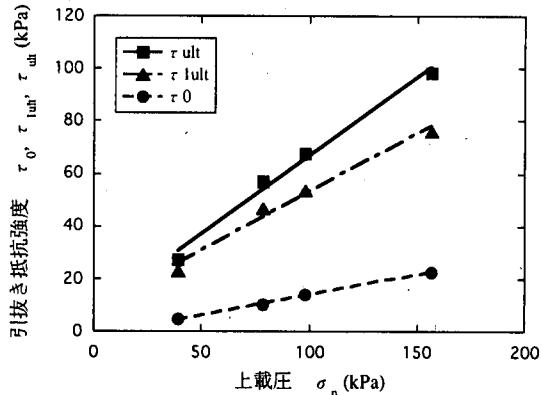


図-4 引抜き抵抗強度と上載圧の関係 (GB10: シルト岩ぎり)

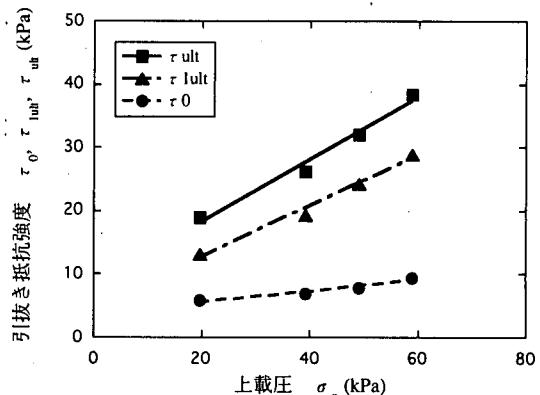


図-5 引抜き抵抗強度と上載圧の関係 (GB5: シルト岩ぎり)

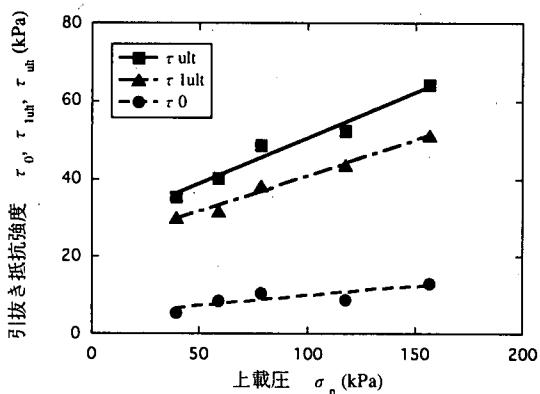


図-6 引抜き抵抗強度と上載圧の関係 (SR80: シルト岩ぎり)

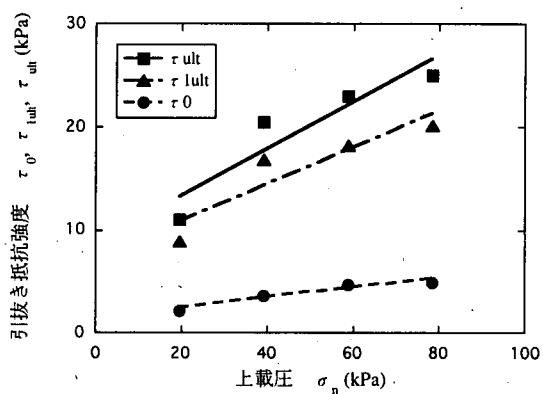


図-7 引抜き抵抗強度と上載圧の関係 (GB5: 風化岩)

ここで、 c は引抜き抵抗強度 τ_{ult} の粘着力成分、
 $\tan \delta$ は摩擦成分である。

また、変位に依存しないで発揮される引抜き抵抗は全引抜き抵抗の 2 割程度であると言える。

3. ジオグリッド補強土の解析法

前章で示したように、土とジオグリッド間に作用する引抜きせん断抵抗とジオグリッドの節点変位の関係は双曲線によって近似できる。そこで、この関係を有限要素法を用いた解析法に取り込む手法⁵⁾について検討する。

図-8 に示すように、有限要素法を用いて解析する際に、ジオグリッドは軸力のみを伝え、曲げには抵抗しないことから平面トラス要素としてモデル化する。

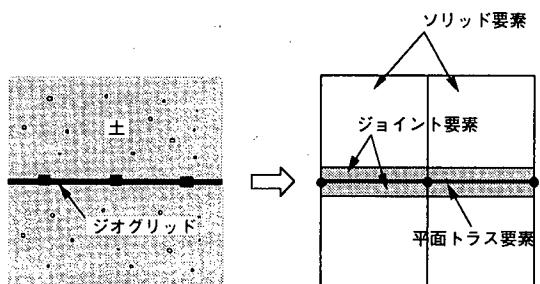


図-8 土とジオグリッドの相互作用のモデル化

また、土とジオグリッド間に作用する引抜きせん断抵抗を表現するために、土とジオグリッド間にジョイント要素を配置し、そこに作用するせん断応力と変位の関係に、引抜き試験より得られた前述の関係を導入する。

ジョイント要素に作用するせん断応力 τ と変位 u

の間には次の関係が成り立つ。

$$\tau = K_s \cdot u \quad (4)$$

ここで、前章で示したように土とジオグリッド間に作用する引抜きせん断抵抗は τ_0 を越えるまで変位が進行せず、 τ_0 を越えた後は $\tau_1 = \tau - \tau_0$ と変位 u の関係は図-3に示すように双曲線で近似できることから、上式中のせん断剛性 K_s を次のように定義する。

(1) $\tau \leq \tau_0$ のとき

$$K_s = \infty \approx 10^{11} \text{ (kN/m}^2/\text{m}) \quad (5)$$

(2) $\tau > \tau_0$ のとき

$$K_s = (1 - \tau_1 / \tau_{ult})^2 \cdot K_{si} \quad (6)$$

ここで、 K_{si} は初期せん断剛性である。

また、 τ_0 より τ_{ult} は前章で示したように、上載圧との間に次のような摩擦則が成り立つ。

$$\tau_0 = c_0 + \sigma_n \tan \delta_0 \quad (7)$$

$$\tau_{ult} = c_1 + \sigma_n \tan \delta_1 \quad (8)$$

以上のことから、引抜き試験で得られた土とジオグリッド間の引抜きせん断抵抗特性を有限要素法解析の中に取り込むことができる。

4. ジオグリッドで補強された粘性土地盤の解析

前章で提案した解析法を用いて、ジオグリッドで補強された粘性土地盤の模型土槽実験⁶⁾について有限要素法解析を実施した。解析値と実験値の比較を行い、解析手法の妥当性について検討した。

(1) 模型実験の概要

実験に用いた土槽は図-9に示すように、幅1500mm、奥行300mm、高さ800mmである。実験は、ジオグリッドを深さDの位置に長さLで一層敷設した補強地盤に幅B=100mmの載荷板を介して鉛直荷重を載荷するものである。なお、地盤の厚さは400mmとした。土槽前面には2cmの格子を描いた厚さ20mmのアクリル板を設置し、側面および背面は鉄板とし、土と壁面間の摩擦を除去するためにテフロンシートを貼り付けている。

実験に用いた土試料はシルト岩ぎりであり、土槽に4～5層に分けて投入し、角形ランマーにて引抜き試験時の湿潤密度と同じになるよう締め固めた。その物性値は表-2に示したとおりである。また、補強材はFRP系ジオグリッド(引張強度12kN/m、引張剛性392kN/m)を用いている。

載荷は19.6kPaの荷重を5分ごとに段階的に載荷した。軟弱地盤上の盛土の安定性を論ずる場合、通常粘性土が圧密現象により強度増加するため、短期的な

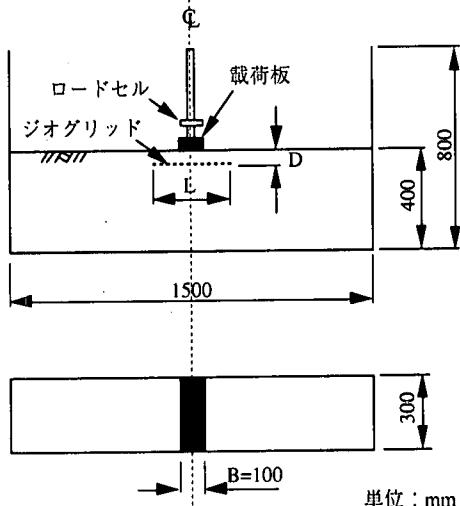


図-9 模型実験装置の概略図

表-3 解析ケース

ケースNo.	敷設長 L/B	敷設深さ D/B	解析法
1	5	0.3	提案法
2	5	0.3	通常法
3	5	0.5	提案法
4	5	0.5	通常法
5	5	0.8	提案法
6	5	0.8	通常法
7	5	1.0	提案法
8	5	1.0	通常法

安定を検討することによって、その安全性を照査することが多い。そこで、盛土施工直後の状況を想定し、試験においても載荷直後の即時沈下がほぼ終息する程度の時間を考慮して載荷速度を決定した。

実験中、変位計により載荷板沈下量並びに地表面鉛直変位を、また、ひずみゲージにより補強材に発生するひずみを測定している。

(2) 解析条件

a) 解析モデルおよび解析ケース

解析はジオグリッドの敷設長を $L/B=5$ とし、敷設深さを $D/B=0.3 \sim 1.0$ と変化させたケースについて行った。また、前章で示した土とジオグリッドの相互作用を考慮した解析法(以後提案法と呼ぶ)を用いた場合と、相互作用を無視し土をソリッド要素、ジオグリッドを平面トラス要素でモデル化するのみの解析法(以後通常法と呼ぶ)による場合の両方を試みた。表-3に今回行った解析ケースの一覧を示す。

図-10に解析モデル図の一例を示す。

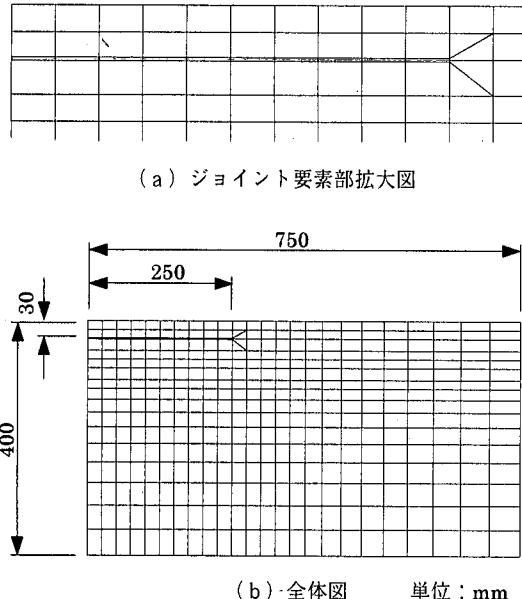


図-10 模型実験の解析モデル図($L/B=5$, $D/B=0.3$)

表-4 土の入力パラメータ

実験定数 K	実験定数 n	実験定数 Rf	粘着力 (kPa)	内部摩擦角 (度)	ボアソン比	単位体積重量 (kN/m³)
560	0.44	0.90	9.6	28.9	0.333	15.2

表-5 土とジオグリッドの相互作用に関する入力パラメータ

初期せん断剛性 ($kN/m^2/m$)	鉛直剛性 ($kN/m^2/m$)	付着力 c_0 (kPa)	摩擦角 δ_0 (度)	付着力 c_1 (kPa)	摩擦角 δ_1 (度)
6791	10^{11}	0.0	22.0	1.0	24.8

解析に際しては2次元平面ひずみ条件を仮定し、境界条件としては側面を水平方向固定・鉛直方向自由、底面を両方向固定とした。また、荷重条件としては載荷板に相当する節点に強制変位を与えることとした。

b) 入力パラメータ

土の応力～ひずみ関係にはDuncan-Chang⁷⁾の非線形弾性モデルを用いた。同モデルでは、弾性係数Eは次式で表される。

$$E = \left\{ 1 - \frac{R_f(1-\sin\phi)(\sigma_1 - \sigma_3)}{2C\cos\phi + 2\sigma_3\sin\phi} \right\}^2 K P_a \left(\frac{\sigma_3}{P_a} \right)^n \quad (9)$$

ここで、 σ_1 : 最大主応力
 σ_3 : 最小主応力
 c : 粘着力

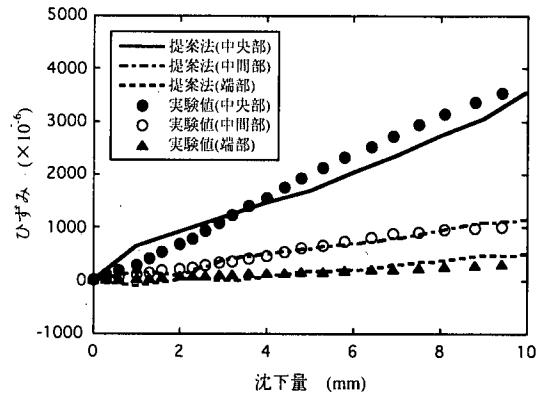


図-11 ジオグリッドのひずみと載荷板沈下量の関係
(提案法と実験値の比較 : $L/B=5$, $D/B=0.5$)

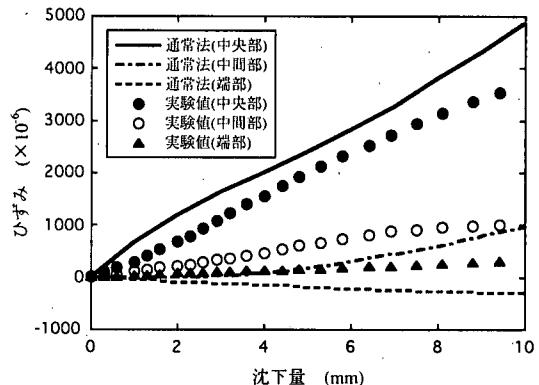


図-12 ジオグリッドのひずみと載荷板沈下量の関係
(通常法と実験値の比較 : $L/B=5$, $D/B=0.5$)

ϕ : 内部摩擦角

P_a : 大気圧

R_f : 拘束圧に関わる定数

K, n: 実験的に決まる定数

入力パラメータは、前述したように短期的な安定問題を想定し、非圧密非排水三軸試験(UU試験)結果に基づき表-4に示すように決定した。また、土とジオグリッドの相互作用特性については前章で示した手法を用い、引抜き試験より得られた表-5の定数を用いて解析を行った。

(3) 解析結果

a) ジオグリッドのひずみ

図-11および図-12はジオグリッドに発生するひずみと載荷板沈下量との関係を示したものである。図-11が提案法による解析値と実験値の比較を、図-12が通常法による解析値と実験値の比較

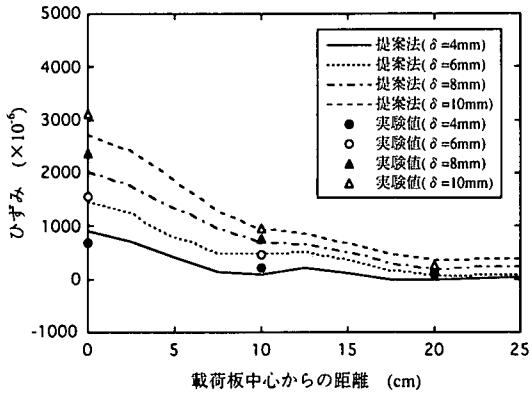


図-1-3 ジオグリッドのひずみ分布(提案法と実験値の比較 : $L/B=5$, $D/B=0.5$)

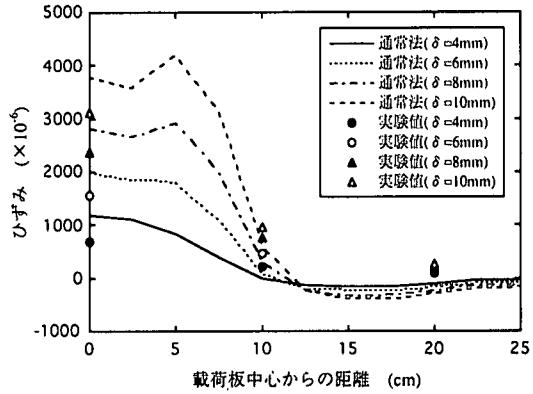


図-1-4 ジオグリッドのひずみ分布(通常法と実験値の比較 : $L/B=5$, $D/B=0.5$)

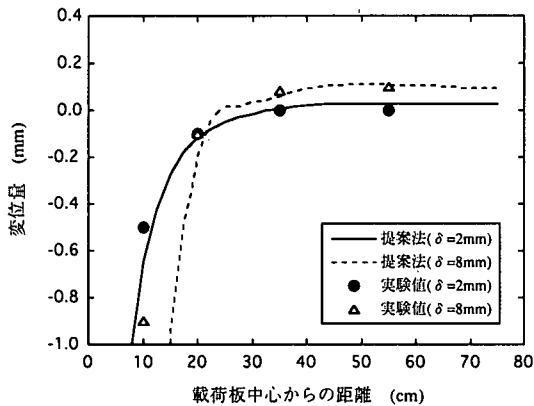


図-1-5 地表面変位の分布($L/B=5$, $D/B=0.5$)

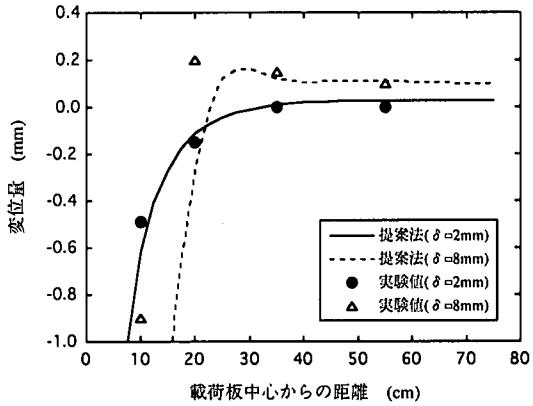


図-1-6 地表面変位の分布($L/B=5$, $D/B=0.8$)

を表している。

提案法によるひずみの解析値は沈下量の増加とともにほぼ単調に増加しており、実験値の傾向と同様である。また、定量的にも解析値と実験値はよい一致をしている。一方、通常法による解析値は、端部のひずみが沈下量の増加とともに単調に減少しており、実験値の傾向と異なっている。また、定量的にも実験値に比べて中央部のひずみを大きく、端部のひずみを小さく評価しており、実験値との差異も大きい。

図-1-3および図-1-4はジオグリッドに発生するひずみの分布状況を載荷板の沈下量ごとに示したものである。図-1-3が提案法による解析値と実験値の比較を、図-1-4が通常法による解析値と実験値の比較を表している。

提案法によるひずみの解析値は中央部で最も大きく、端部に向かうほど小さくなる分布を示しており、実験値と同様の傾向であると考えられる。定量

的にも解析値は実験値とよく一致している。一方、通常法による解析値は、中央部のひずみを過大に、端部のひずみを過小に評価しており、実験値との差異も大きい。

以上の傾向はここに示した以外のケースについても同様であり、このことから判断すると、提案法を用いた場合の方が通常法を用いた場合より、定性的にも定量的にも実験におけるジオグリッドのひずみを精度良く評価できると考えられる。

b) 変形

図-1-5および図-1-6は地表面変位の分布性状について提案法を用いた場合の解析値と実験値の比較を示したものである。解析結果は載荷板の沈下が進行するにつれて載荷板に近い部分の地盤は沈下し、載荷板から離れた部分の地盤は隆起している。特にジオグリッドの敷設深さが深い場合には沈下の進行につれて隆起量が載荷板側で大きくなる分布形状を示しており、これらの傾向は実験値とよく一致

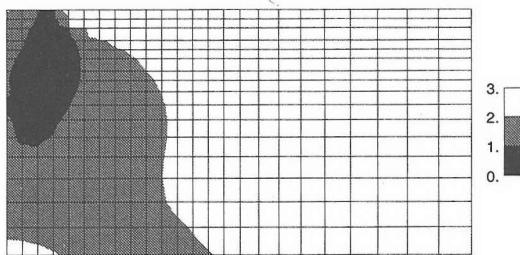


図-17 安全率図(無補強)

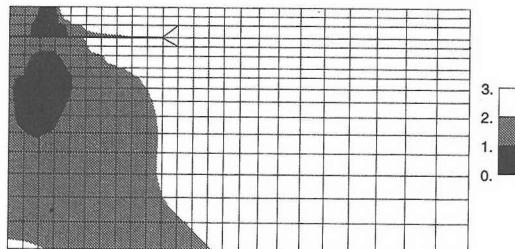


図-18 安全率図($L/B=5$, $D/B=0.5$)

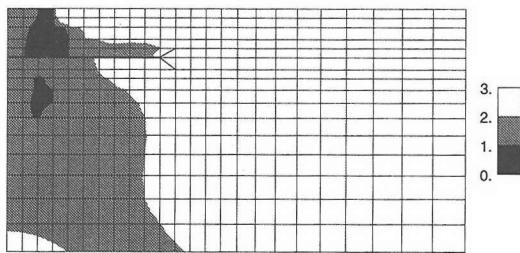


図-19 安全率図($L/B=5$, $D/B=0.8$)

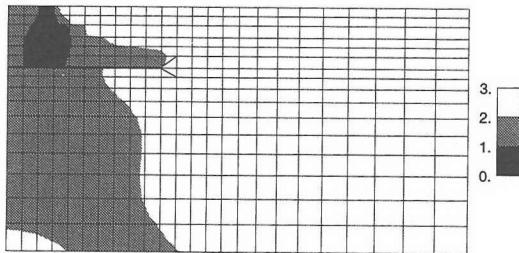


図-20 安全率図($L/B=5$, $D/B=1.0$)

している。定量的には載荷板の沈下量が小さい時の地表面変位量は実験値と極めてよく一致している。載荷板の沈下が進行した場合に、載荷板に近い部分の地表面変位量を解析値は実験値に比べてやや小さめに評価してはいるが、概ねよい一致をしていると考えられる。

c) 安全率

図-17は載荷板の沈下量が8 mmのときの無補強時の解析による地盤の局所安全率を、また、図-18～図-20は敷設深さ $D/B=0.5 \sim 1.0$ における提案法による地盤の局所安全率を示したものである。図中黒い部分が安全率が1を下回る部分、いわゆる塑性域である。ジオグリッドを敷設した場合はいずれも無補強の場合に比べて塑性域は小さくなっている。また、塑性域の分布状況はジオグリッドの敷設深さが浅い場合はジオグリッドの上下に形成されるが、敷設深さが深くなるに従って下部の塑性域が次第に小さくなり、逆に上部に安全率の小さい領域が広がっていく様子がうかがえる。このことから判断すると、ジオグリッドの敷設深さが深い場合はジオグリッドを横切るような破壊形態を生じるのに對し、敷設深さが深い場合はジオグリッド上面をすべるような破壊形態を生じると考えられる。このことは砂について行った解析結果^{8),9)}の傾向と一致している。

表-6 基礎地盤の物性値

土質	層厚 (m)	N値	自然含水比 (%)	比重	湿潤密度 (g/cm ³)
砂質シルト	2.0	—	56.4	2.45	1.58
シルト質細砂	7.0	8	45.4	2.48	1.59
礫混じり砂	0.6	19	—	—	—

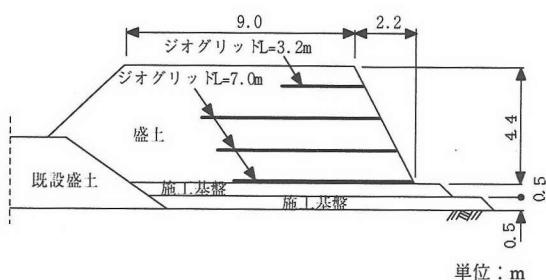


図-21 試験盛土の断面形状

5. ジオグリッドで補強された粘性土盛土の解析

実施工例と解析との比較を行うために、北海道帯広にて実施された高さ4.4mの試験補強盛土を取り上げ、提案した解析法を用いて有限要素法解析を実施し、補強盛土の挙動および解析手法の妥当性について検討を行った⁵⁾。

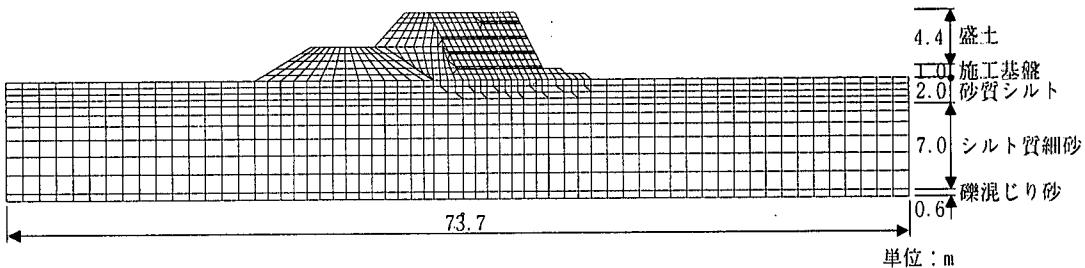


図- 2 2 試験盛土の解析モデル図

表- 7 地盤および盛土材の入力パラメータ

土質	実験定数 K	実験定数 n	実験定数 Rf	粘着力 (kPa)	内部摩擦角 (度)	ポアソン比	変形係数 (kPa)
盛土(シルト岩すり)	560	0.44	0.90	9.6	28.9	0.333	-
盛土(風化岩)	408	0.30	0.89	21.9	11.6	0.333	-
既設盛土	408	0.30	0.89	21.9	11.6	0.333	-
砂質シルト	406	0.56	0.82	54.9	29.0	0.333	-
シルト質細砂	188	0.81	0.61	61.7	36.0	0.333	-
礫混じり砂	-	-	-	-	-	0.333	39100

表- 8 土とジオグリッドの相互作用に関する入力パラメータ

盛土材の種類	初期せん断剛性 (kN/m ² /m)	鉛直剛性 (kN/m ² /m)	付着力 c ₀ (kPa)	摩擦角 δ ₀ (度)	付着力 c ₁ (kPa)	摩擦角 δ ₁ (度)
シルト岩すり	3822	10 ¹¹	3.8	5.0	4.7	21.9
風化岩	2548	10 ¹¹	1.5	2.8	7.4	10.1

(1) 試験盛土の概要

試験施工箇所の基礎地盤は上部より有機物を含む砂質シルト、シルト質細砂および礫混じり砂から成り、その物性値は表- 6 に示すとおりである。

盛土材として用いられたのは、シルト岩すりおよび風化岩で、その土質試験結果は表- 2 に示したとおりである。

また、補強材にはFRP系ジオグリッド(引張強度49kN/m、引張剛性2254kN/m)を用いている。

盛土は図- 2 1 に示すように法面勾配1:0.5、高さ4.4mで、既設盛土材による施工基盤1mの上に施工されており、ジオグリッドが4層敷設されている。

(2) 解析条件

a) 解析モデルおよび解析ケース

解析は盛土材にシルト岩すりと風化岩を用いたケースについて、ここでも前章同様提案法を用いた

場合と通常法を用いた場合の2通りについて行った。解析モデルは図- 2 2 に示すとおりで、解析に際しては2次元平面ひずみ条件を仮定し、境界条件としては側面を水平方向固定・鉛直方向自由、底面を両方向固定とした。また、荷重は盛土自重を物体力として作用させた。

b) 入力パラメータ

地盤および盛土材の応力～ひずみ関係にはDuncan-Chang⁷⁾の非線形弾性モデルを用い、土質試験結果に基づき表- 7 に示すように入力パラメータを決定した。なお、礫混じり砂については弾性と仮定し、N値より変形係数を推定した。

また、土とジオグリッドの相互作用特性については、引抜き試験より得られた表- 8 の定数を用いた。

(3) 解析結果

a) ジオグリッドのひずみ

図- 2 3 はシルト岩すりの2段目のジオグリッド

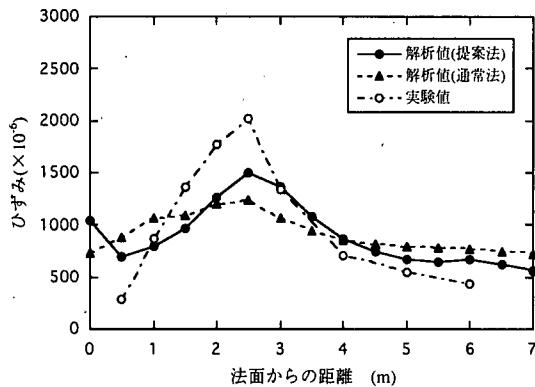


図-23 ジオグリッドのひずみ分布(シルト岩ぎり)

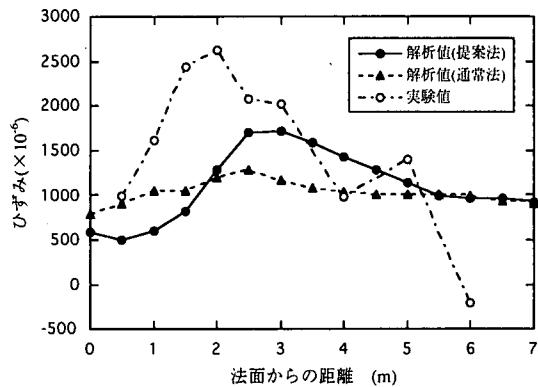


図-24 ジオグリッドのひずみ分布(風化岩)

に発生するひずみ分布を示したものである。黒ヌリが解析値を白ヌキが実測値を表している。解析値は提案法を用いた場合と通常の解析法による場合の両方を示している。提案法を用いた場合の解析値はひずみ分布が実測値とよく似ており、また、定量的にもピーク値が若干小さめではあるが実測値に近い値となっている。一方、通常法による場合の解析値はピーク値が小さく、先端部と後端部の値が大きく、全体としてなだらかな分布形状を示しており、実測値との一致度は提案法の場合に比べて悪くなっている。

図-24は風化岩の2段目のジオグリッドに発生するひずみ分布を示したものである。シルト岩ぎりの場合と同様、通常法による場合の解析値はほとんどピークを示さず、ジオグリッド全長に渡ってほぼ均等なひずみ分布を示す。これに対し、提案法を用いた場合は、実測値に比べて前方のひずみは小さく、後方のひずみは大きい傾向はあるが、実測値とほぼ同じ位置でピークを示す山型の分布を示しており、実測値により近い分布となっている。

b) 土とジオグリッド間のせん断応力

図-25はシルト岩ぎりおよび風化岩2段目に敷設されたジオグリッドと土の間に働くせん断応力の分布を示したものである。図中黒ヌリはジョイント要素のせん断応力解析値を、また、白ヌキはその時の鉛直応力から式(3)によって計算される極限せん断応力を表している。シルト岩ぎりの場合でジオグリッド後端部で若干せん断応力が上昇しているものの、全般的には法面側の先端部で大きく後方にいくほど小さくなる傾向を示している。また、極限せん断応力に対して発生せん断応力は1/3~1/4程度であり、ジオグリッドの引き抜けに対しては十分に安全であると言える。

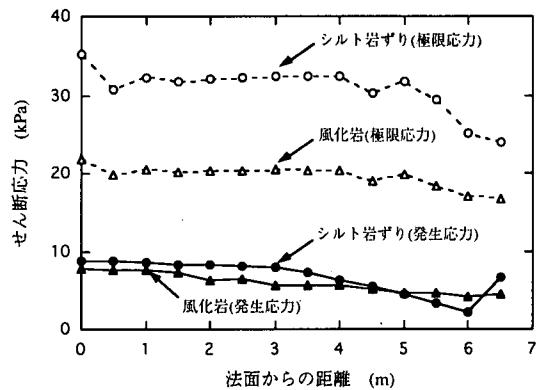


図-25 土とジオグリッド間のせん断応力分布

6. おわりに

ジオグリッドの引抜き試験結果に基づき、粘性土とジオグリッドの相互作用特性について検討するとともに、相互作用特性を有限要素法に取り入れた解析法を提案し、その妥当性について検証を行った。得られた知見をまとめると以下のとおりである。

(1) 粘性土とジオグリッド間に作用する引抜き抵抗は変位に依存しない部分 τ_0 と変位に依存する部分 τ_1 に分けられ、引抜き抵抗 τ_1 と変位の関係は双曲線によって近似できる。そして、引抜き抵抗の極限強度と上載圧との間には線形関係が成立つ。

(2) 粘性土とジオグリッドの相互作用を考慮できる方法として、前述の引抜き試験より得られた引抜き抵抗特性を有限要素法に取り入れた解析法を提案し、ジオグリッドで補強された粘性土地盤の模型実験に適用した。その結果、提案した解析法と相互作用を

考慮しない通常の解析法の両者を用いて解析を行ったところ、提案した解析法による方が定性的にも定量的にもジオグリッドに発生するひずみの発現状況や地表面変位の分布性状について実験値とよく一致した。

(3) 提案した解析法を用いて試験補強盛土のシミュレーションを行った。その結果、通常の解析法に比べて提案した解析法による方が定性的にも定量的にもジオグリッドのひずみ分布が実測値に近く、提案した解析法の妥当性が検証された。

参考文献

- 1) 萩迫栄治、落合英俊、林重徳：土中におけるジオグリッドの引抜き抵抗特性、第24回土質工学研究発表会発表講演集、pp.13-16、1989.
- 2) 坂井晃、林重徳、福島伸二、兵動正幸、治田堅二、安田進、新谷秀人：ジオグリッドの引抜き一斉試験結果について、第4回ジオテキスタイルシンポジウム発表論文集、pp.126-132、1989.
- 3) 萩迫栄治、了戒公利：粘性土におけるジオグリッドの引抜き抵抗の評価、第32回地盤工学研究発表会発表講演集、pp.2531-2532、1997.
- 4) 木暮敬二、輕部大蔵：新規制定の学会基準案「土とジオテキスタイルの摩擦特性試験方法」について、土と基礎、Vol.42, No.1, pp.92-102, 1994.
- 5) 萩迫栄治、了戒公利、境吉秀：ジオグリッドで補強された粘性土盛土の挙動解析、土木学会第53回年次学術講演会講演概要集 第3部(B), pp.720-721, 1998.
- 6) 萩迫栄治、了戒公利：ジオグリッドで補強された粘性土地盤の支持力特性、第33回地盤工学研究発表会発表講演集、pp.2383-2384、1998.
- 7) Duncan, J.M. and Chang, C.Y. : Nonlinear Analysis of Stress and Strain in Soils, *Journal of Soil Mechanics and Foundations Division, ASCE, SM5*, pp.1629-1653, 1970.
- 8) 萩迫栄治、了戒公利：補強材敷設深さがジオグリッド補強地盤の支持力に及ぼす影響、土木学会第51回年次学術講演会講演概要集 第3部(B), pp.618-619, 1996.
- 9) Ogisako, E. and Ryokai, K. : Finite element analyses for bearing capacity of geogrid reinforced ground, *Proceedings of the International Symposium on Mechanically Stabilized Backfill*, pp.217-222, 1997.

(1999.3.26 受付)

ANALYTICAL METHOD OF REINFORCING EFFECT BY GEOGRID IN COHESIVE SOIL GROUND

Eiji OGISAKO and Kimitoshi RYOKAI

The characteristics of interaction between cohesive soil and geogrid is investigated on the basis of the pull-out test results of geogrid in soil. The pull-out resistance acting between cohesive soil and geogrid can be divided into two parts; the one is dependent on a displacement of geogrid while the other is independent of it. The analytical method introducing its characteristics of interaction between cohesive soil and geogrid into a finite element method is proposed and its validity is verified. From the comparison between the analytical values and the measured or experimental values, it is proved that the behavior of reinforced cohesive soil ground by geogrid can be analysed well by means of the proposed method.