

# ジオグリッド敷設による軟弱地盤の支持力改良

平尾和年<sup>1</sup>・安原一哉<sup>2</sup>・棚橋由彦<sup>3</sup>・落合英俊<sup>4</sup>・安福規之<sup>5</sup>

<sup>1</sup>正会員 博(工) 西日本工業大学助手 工学部土木工学科 (〒800-03福岡県京都郡苅田町新津1633)

<sup>2</sup>正会員 工博 茨城大学教授 工学部都市システム工学科(〒316日立市中成沢町4-12-1)

<sup>3</sup>正会員 工博 長崎大学教授 工学部社会開発工学科(〒852長崎市文教町1-14)

<sup>4</sup>フェロー 工博 九州大学教授 工学部建設都市工学科(〒812福岡市東区箱崎6-10-1)

<sup>5</sup>正会員 工博 九州大学助教授 工学部建設都市工学科(〒812福岡市東区箱崎6-10-1)

本研究は、覆土工設計法のための基礎的資料を得る目的で、種々のジオテキスタイルを用いて軟弱地盤における覆土工法を想定した一連の室内模型実験を行った。その結果、軟弱地盤の支持力改良のためジオグリッド敷設方法として、(i)不織布との併用、(ii)端部の拘束、(iii)サンドマットを敷設することが軟弱地盤の支持力改良のために効果的であることが明らかになった。

*Key Words* : geogrid, soft clay, model footing test, bearing capacity, earth reinforcement, sand mat

## 1. まえがき

我が国ではウォータフロント開発等、地盤条件の悪い軟弱地盤上に土構造物を築造する場合や埋立て地盤の早期利用のため、ジオテキスタイル(合成高分子製人工材料)と呼ばれる地盤材料を用いた表層処理工法、いわゆる軟弱地盤における補強土工法の確立が望まれている。浚渫埋立て地のように表層部の支持力が極めて小さい軟弱地盤では、施工機械のトラフィカビリティおよび覆土先端部の安定性の確保のため、シートやネット等のジオテキスタイルを用いた覆土工法<sup>1)</sup>が覆土の支持力を得る目的で実施される。現在では、ジオテキスタイルの開発に伴って、高張力を有するジオグリッドを用いた覆土工法も行なわれるようになった。最近では、覆土工法を敷設材工法と呼ぶこともある<sup>2)</sup>。

この覆土工法は基本的に、敷設したジオテキスタイル上の小型施工機械および覆土などの上載荷重と地盤支持力をバランスさせながら行なう工法である。したがって、設計では事前に埋立地盤の支持力を適切に評価することが要求される。この

ような、覆土工法の設計法として、テルツァギの支持力式に基づくもの<sup>3)、4)</sup>あるいは弾性論を援用する変形を考慮した設計法がいくつか提案されている<sup>5)~7)</sup>。しかしながら、軟弱地盤においてはその変形が弾性変形の範囲を越えた大変形であること、施工中にも地盤の強度および形状や補強材に作用する張力など支持力式に含まれる未知パラメータが刻々と変化することなど多くの問題を含んでいるため、いずれも確立された設計法とは言い難い。そのため、現状では、施工実績に基づく経験的な設計が行なわれている<sup>8)</sup>。

このような現状を地盤工学的側面から打開するためには、ジオテキスタイルを用いた軟弱地盤の挙動のメカニズムと支持力特性を明らかにする必要がある。この改良効果のメカニズムについては福住・西林<sup>9)</sup>の研究を参考にすれば、次の9つの支持機構が考えられ、模式図で表せば図-1のようになる。

(a)基礎地盤の支持力 ( $q_1$ )

(b)補強材の撓みに伴いもたらされるハンモック効果による支持力増加 ( $q_2$ )

(c)側方隆起に伴い補強材に作用する揚圧力による

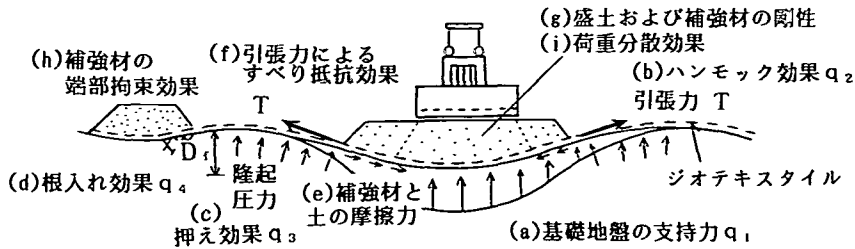


図-1 ジオテキスタイル敷設地盤の変形と支持機構 (参考文献 2) に加筆)

支持力増加 ( $q_3$ )

- (d) 盛土沈下, 側方隆起に伴う根入れ効果による支持力増加 ( $q_4$ )
- (e) 補強材と土の付着力や摩擦力による支持力増加
- (f) 補強材自体の抗張力によるすべり抵抗力の増加
- (g) 補強材自体の剛性と, 盛土および補強材との版状層が持つ剛性
- (h) 補強材の端部拘束力による支持力増加
- (i) 盛土厚さによる上載荷重分散効果

一般に, 現地で試験施工<sup>10), 11)</sup>を数多く実施することは困難であるので, 室内模型実験によって支持力改良効果を調べる<sup>12)</sup>ことが行われる。覆土工法において支持力改良に及ぼす影響要因は数多く考えられるが, 大別すると以下のように分類される。

- ① ジオテキスタイルの材料特性 (例えば, 摩擦係数, 引張強度, 曲げ剛性および剛軟度)
  - ② 粘土層厚
  - ③ ジオテキスタイル敷設幅
  - ④ 現地の施工を想定したジオテキスタイルの敷設方法 (i) ジオテキスタイル端部を緩やかに拘束した方法, (ii) ジオテキスタイルの上にサンドマットを設けた方法, (iii) ジオグリッドと他の材料を重ねて併用した方法
  - ⑤ 載荷方法 (静的載荷か動的載荷か)
- このうち⑤については静的載荷に限定した研究を行った。上記の要因のうち, 支持力増加に及ぼすジオテキスタイルの材料特性の影響については, これまでの研究<sup>13)~15)</sup>で次のような結論が得られている。
- (i) ジオテキスタイル単体の引張強度, 曲げ剛性および剛軟度が支持力改良に及ぼす影響は少ない。
  - (ii) ジオテキスタイルと粘土間の摩擦力が支持力増加に対して, 最も大きな影響を与える要因である。

本研究では, これに引続き, 設計法の基礎的資

料を得る目的で, 種々のジオテキスタイルを用いて軟弱地盤における覆土工法を想定した一連の模型実験<sup>16)~18)</sup>を行った。主に, 支持力改良に及ぼすジオテキスタイルの敷設方法, なかでもジオグリッドの効果的な敷設方法について検討した結果を報告する。

## 2. 模型実験の概要

### (1) 実験装置および実験方法

#### a) 実験装置

実験土槽は, 図-2に示したように, 幅200cm, 高さ100cm, 奥行き50cmの鋼枠の前後面に, 粘土地盤の挙動を外から観察できるよう厚さ2.5cmのアクリル板を取りつけたものである。土槽下部の砂層の有無で粘土層厚は $D=40\text{cm}, 80\text{cm}$ となるので, 粘土層厚と載荷幅 $B=10\text{cm}$ との比はそれぞれ $D/B=4$ および $D/B=8$ である。粘土層厚 $D=40\text{cm}$ の場合, 想定している現地との相似比は約 $1/20$ となる。非排水条件で急速静的載荷試験を行なうため, 下部砂層の上には2mmのアクリル板とビニールフィルムでシールしている。

土槽中央の載荷板の寸法は幅 $B=10\text{cm}$ , 壁面との隙間を確保するため長さ $l=49\text{cm}$ のものを使用した。載荷板1枚の重量は $W=4.9\text{kgf}(48\text{N})$ であるため,  $p=0.01\text{kgf}/\text{cm}^2(0.98\text{kPa})$ の載荷応力が負荷されることになる。

ジオテキスタイルの端部を拘束した実験は, 図-1に示すような押え盛土を想定している。中央部分の覆土の沈下に伴って, 押え盛土内のジオテキスタイルに徐々に張力が生じる。張力が土とジオテキスタイルのせん断抵抗力を越えるとジオテキスタイルはこのせん断抵抗力を保ったまま引きずり込まれることになる。このような緩やかな拘束を再現するため, 図-2(a)に示すように土槽両端の端部拘束装置を用いた。ジオテキスタイル端部

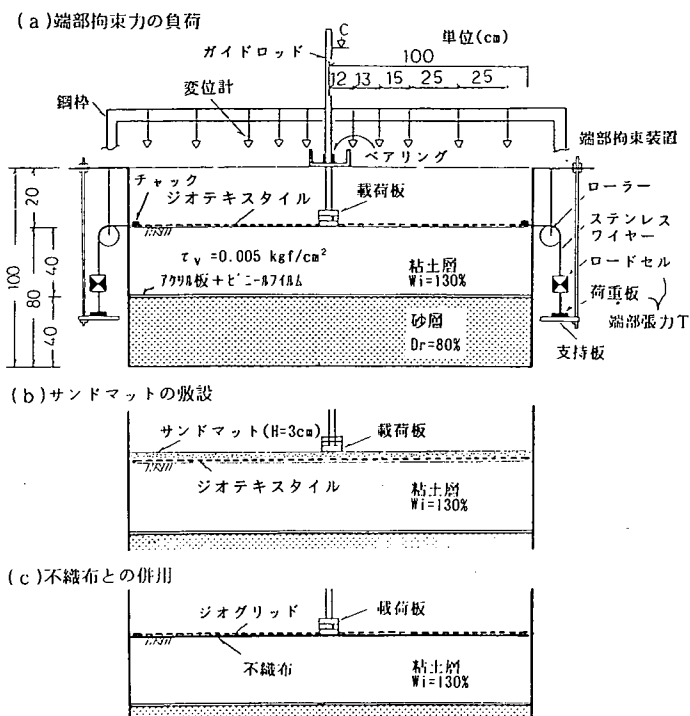


図-2 実験土槽とジオテキスタイルの敷設方法

のチャックにステンレスワイヤー2本で吊るしたロードセル(圧縮・引張両用)と荷重板の合計重量で端部張力  $T$  が負荷できるように改良を加えた。載荷試験前の調整方法は次の通りである。図-3(a)に示す支持板を持ち上げ、ステンレスワイヤーが弛んだ状態でロードセルの初期調整を行った。次に、ジオテキスタイルの弛みをとるため支持板を一度下げ、張力  $T=5\text{kgf}$  を与えた。再度、支持板を持ち上げ張力  $T=0.1\text{kgf}$  となるよう調整操作を行った。載荷試験前はロードセルと荷重板は支持板で支えられているため端部張力は生じないが、土槽中央の載荷板の沈下に伴って、徐々に端部張力が生じる。さらに、沈下が進むと図-3(b)のようにロードセルと荷重板が支持板から浮き上がり、所定の端部張力が負荷されたまま載荷試験が行なわれることになる。

図-2(b)に示したジオテキスタイル上にサンドマットを設けた実験は、ジオテキスタイルを粘土地盤表面に敷設後、土槽幅にほぼ等しい砂撒き器で砂を投入後コテでならして、厚さ3cmのサンドマットを設けた。使用した砂の物理的性質は、比重  $G_s=2.648$ , 最小密度  $\rho_{d,\min}=1.321(\text{g}/\text{cm}^3)$ , 最大密

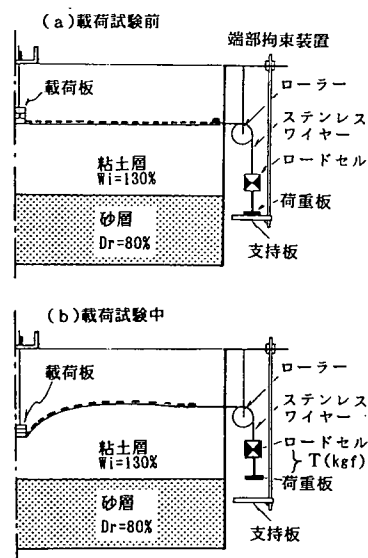


図-3 端部拘束力の負荷方法

度  $\rho_{d,\max}=1.621(\text{g}/\text{cm}^3)$ , 平均粒径  $D_{50}=0.38\text{mm}$  である。

ジオテキスタイルの併用は、図-2(c)のように不織布の上にグリッドを重ねて使用した。ただし、不織布とジオグリッドとはなんら結束していない。

### b) 実験方法

実験試料の苜田粘土 ( $G_s=2.62$ ,  $w_L=107\%$ ,  $I_p=66$ ) を液性限界より高い初期含水比  $w_i=130\%$  に調整後、土槽に投入して軟弱粘土地盤を作成する。4日間の養生期間後、粘土地盤のせん断強度をベーンせん断試験によって直接調べた。粘土地盤のせん断強度が極めて小さいため、低容量のトルクメータと高さ6cm, 幅3cmの小型のベーンを用いた。載荷試験直前のベーンせん断強度は深さ方向にほぼ一様で  $\tau_v \doteq 0.005\text{kgf}/\text{cm}^2 (0.5\text{kPa})$  であった。この粘土地盤表面にジオテキスタイルの端部を拘束しないで一層全面敷設する。ジオテキスタイルの寸法は全て  $50\text{cm} \times 200\text{cm}$  である。

現地では急速施工(非排水条件)であることを考慮して、室内試験における静的載荷は15分毎に約  $p=0.01\text{kgf}/\text{cm}^2 (1.0\text{kPa})$  の載荷板を介して粘土地盤の中央に段階的に地盤が破壊するまで載荷した。

表-1 使用したジオテキスタイルと材料特性

ジオテキスタイルの分類	ジオテキスタイルの記号	厚さ (mm)	目合い (mm)	イラスト断面	引張強度 $T_a$ (tf/m)	最大摩擦力 $F_{max}$ (kgf/50cm)	曲げ剛性 $B$ (gf·cm <sup>2</sup> )	剛軟度 $l$ (cm)
不織布	NW-A	2.5	---		0.08	8.0	* $1.20 \times 10^3$	17.0
	NW-B	0.6	---		0.02	7.7	* $1.18 \times 10^3$	16.8
	NW-C	3.0	---		0.10	9.8	* $1.02 \times 10^3$	12.9
複合不織布	CF-A	3.5	---		0.92	8.0	* $9.53 \times 10^2$	11.3
	CF-B	4.0	---		1.65	13.3	* $1.15 \times 10^3$	16.0
織布	WF	0.5	---		1.65	3.6	* $9.53 \times 10^2$	11.3
グリッド系	GG-A	---	9 x 9		0.59	6.0	$2.36 \times 10^3$	33.9
	GG-B	---	28 x 40		0.74	5.5	$1.32 \times 10^4$	75.3
	GG-C	---	28 x 33		0.94	6.0	$1.89 \times 10^4$	85.3

[注] \*: 剛軟度  $l$  と曲げ剛性  $B$  関係より外挿した値  
 $T_a$ : 伸びひずみ  $\epsilon=1\%$  に対応した値

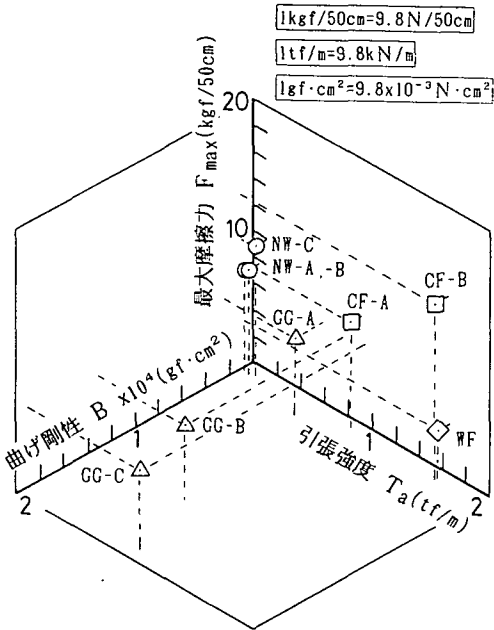


図-4 材料特性の相互関係

うな9種類である。ジオテキスタイルの厚さあるいはグリッドサイズと材料強度を共に低減させた材料の入手が困難であったので今回は市販のジオテキスタイルをそのまま用いた。これらを大別すると不織布、複合不織布、織布およびグリッド系に分類される。それぞれの特徴を述べると、不織布NWはスパンボンド製法の不織布であるがNW-Bのみ熱エンボス加工が施されている。複合不織布CF-Aは不織布の間にポリプロピレンの織布を挟んだ製品であり、CF-Bも不織布間に高強度の織布を挟んだ複合製品である。織布WFは縦系に高引張強度の繊維を用いている。GG-Aは格子状のポリエステル繊維を塩ビコーティングした製品であり、GG-B、GG-Cはいずれも二軸延伸ポリマーグリッドである。

材料特性には、ジオテキスタイル単体での特性と粘土との相互作用によるものが考えられる。前者は引張強度、曲げ剛性、剛軟度などであり、後者は粘土とジオテキスタイルの摩擦特性がこれに相当する。それぞれの材料特性試験の詳細は文献<sup>15)</sup>に譲るが、特性値は一括して表-1に併記している。ジオテキスタイルは種類によって著しく異なる伸び特性を有することと織布WFおよび不織布CF-Bの破断ひずみ3%を考慮して、伸びひずみが1%における値を引張強度とした。また、簡易摩擦試験機によって粘土と各種ジオテキスタイルの摩擦特性を調べた<sup>21)</sup>。得られた材料幅50cm当たりの摩擦力(水平力)・水平変位関係のピーク値をもって最大摩擦力を決定した。さらに、従来の曲げ試験<sup>22)</sup>では全てのジオテキスタイルの曲げ剛性を求めるこ

ただし、第1段階はガイドロッドを含めて荷重応力  $p=0.016\text{kgf/cm}^2$  (1.6kPa) である。実験中の地表面の沈下量の経時変化は11本の変位計によって計測した。このような、荷重実験をジオテキスタイルの種類、粘土層厚および敷設方法を変えて33ケース行った。

(2) 用いたジオテキスタイルの材料特性

実験に用いたジオテキスタイルは表-1に示すよ

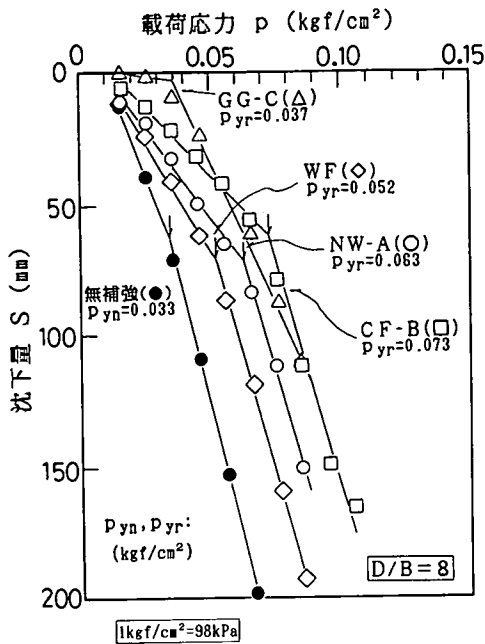


図-5 支持力に及ぼすジオテキスタイルの種類の影響

とが難しいために、JISの一般織物試験方法によってジオテキスタイルの剛軟度を求めた。ジオグリッドの剛軟度と曲げ剛性関係に良い相関が得られたため、この結果を外挿して不織布や織布についても曲げ剛性を予測した。

ここで、剛軟度とは試験片を水平な台から前方へ押し出し、その先端が水平面と45°をなす面に接したときの移動量と定義されている<sup>23)</sup>。これらの特性値の中で、引張強度、最大摩擦力および曲げ剛性の相互関係を整理すると図-4のようになる。3つの材料特性を十分有するジオテキスタイルが支持力改良に効果的であろうが、用いたジオテキスタイルには見当らない。しかし、不織布系(NW)は摩擦力、織布(WF)は引張強度、グリッド(GG)は曲げ剛性に優れていることが分る。この中で、複合不織布CF-Bは大きな摩擦力と引張強度を共に有している。

### 3. ジオグリッド敷設による支持力改良

ジオグリッドを単独で敷設した場合、不織布などに比べそれほど補強効果は得られないことは、図-5に示した載荷応力と載荷板沈下量(各段階の最終沈下量)の代表例から明らかである<sup>14)</sup>。そこで本論文は、これを改善するためにジオグリッドの

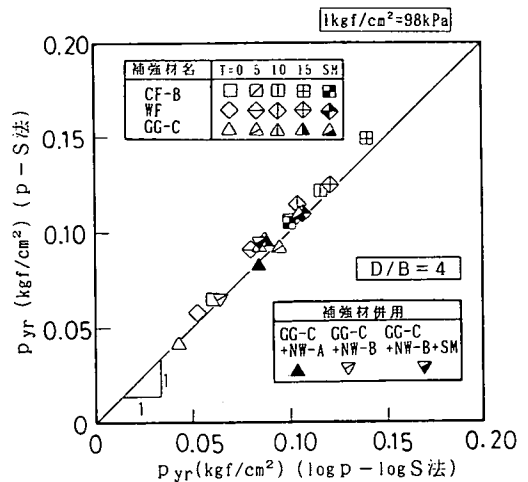


図-6 p-S法とlog p-log S法による支持力の相違

種類と次のような敷設方法について、ジオグリッドに関連した実験を中心に検討した。①ジオグリッドの端部を緩やかに拘束、②ジオグリッドの上にサンドマット(砂層厚3cm)を設ける、③ジオグリッドの下に不織布を併用する。

図-5のように、軟弱な粘土地盤では局部せん断破壊形式となり極限支持力を明確に求めるのは極めて難しいので、ここでは載荷応力-沈下曲線の初期と終期の接線の交点を以って降伏応力(短期の支持力)  $p_m$  とするが、以降は単に支持力と表現する。また、補強材を一層または併用敷設して補強された粘土地盤の支持力を  $p_{yr}$  と表現すれば、支持力増加比  $R_p$  は次式のようになる。

$$R_p = p_{yr} / p_{yn} \quad (1)$$

この方法を  $p-S$  法と呼び、平板載荷試験の整理で用いられる  $\log p - \log S$  法<sup>19)</sup> と比較するため、粘土層厚  $D=40\text{cm}$  の実験データ18ケースについて整理した結果が図-6である。ジオテキスタイルの種類、敷設方法の相違に依らず、図中の45度ライン上に各実験の値がプロットされ、 $p-S$  法の値が  $\log p - \log S$  法の値とほぼ一致することが認められる。したがって、以降は  $p-S$  法で求めた支持力  $p_{yr}$  で議論する。

#### (1) ジオグリッドの種類の影響

図-7に支持力に及ぼすジオグリッドの種類の影響を示している。図中にはジオグリッド単体の曲

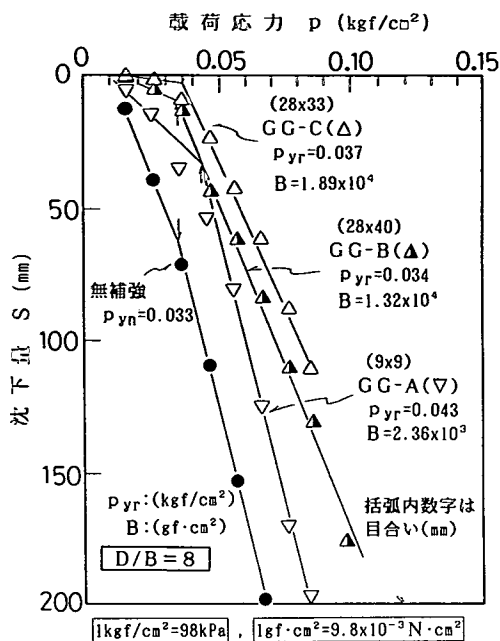


図-7 支持力に及ぼすジオグリッドの種類の影響

げ剛性と目合いを記入しているが、いずれのジオグリッドも支持力増加はそれほど認められない。用いた3種類のジオグリッドの中でGG-BとGG-Cは曲げ剛性の大きさに対応して支持力は若干増加している。しかし、GG-Aはこれらに比べ曲げ剛性が1オーダー小さいにも拘わらず支持力は最も大きくなっている。これは、これまで得られている支持力増加に及ぼす材料特性の中で重要な要因である粘土とジオテキスタイル間の最大摩擦力が表-1よりほぼ同じであることと、ジオグリッドの材料幅が同一であり、GG-B、GG-Cに比べGG-Aの目合いの数が約3倍となることを考え合わせるとジオグリッドの目合いの相違によるものと推測される。つまり、目合いが小さいほど網目を粘土が通過する抵抗が増すため、載荷板側方の隆起に対する面反力が少しは確保されることに起因するものと考えられる。

## (2) 端部拘束力の影響<sup>10)</sup>

現地では、ジオテキスタイルの端部を拘束して用いることがある。例えば、押え盛土による方法もその一つであり、この場合覆土の沈下に伴ってジオテキスタイルに張力が生じ、ある限界を越えると一定の拘束力を保ったまま(緩やかな拘束)ジオテキスタイルが移動することになる。このよ

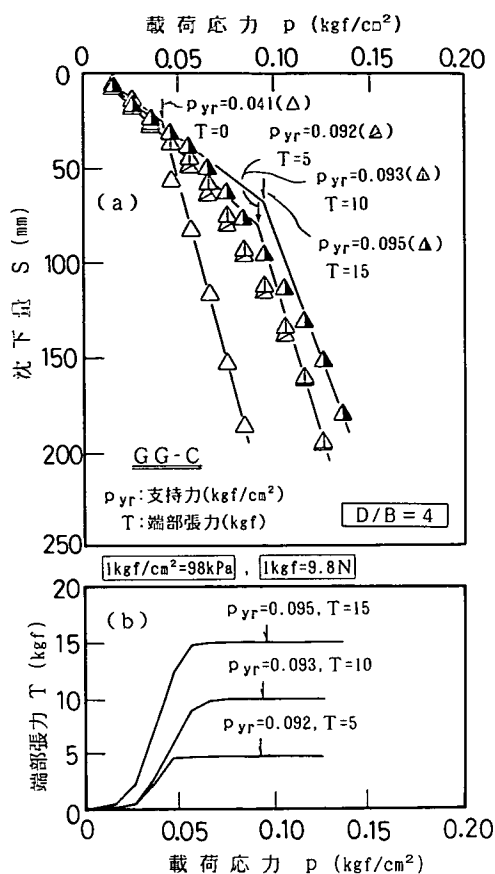


図-8 ジオグリッド(GG-C)の載荷応力と沈下量、端部張力の関係

うな施工を想定して補強材端部を拘束した覆土工法模型実験を行った。

ジオグリッドGG-Cを用いた実験結果について端部張力をパラメーターとして、載荷応力と載荷板の沈下量・端部張力関係を整理すれば図-8となる。なお、実験中の端部張力の値はロードセルで計測した左右の平均値で示している。ジオグリッドGG-Cでは $T=5 \text{ kgf}$ (49N)で支持力増加が見られるが、これ以上端部張力が大きくなっても支持力増加は認められない。

また、所定の端部張力に達するまで、本来端部張力 $T$ の大きさは無関係に載荷応力 $p$ と端部張力とは一義の関係があると考えられるが、実験データではややバラツキがある。この原因として、ジオテキスタイルのたるみを取るため、実験開始前に張力 $T=5 \text{ kgf}$ を一度負荷した後、張力を $T=0.1 \text{ kgf}$ (0.98N)まで除荷する操作を行なっている。こ

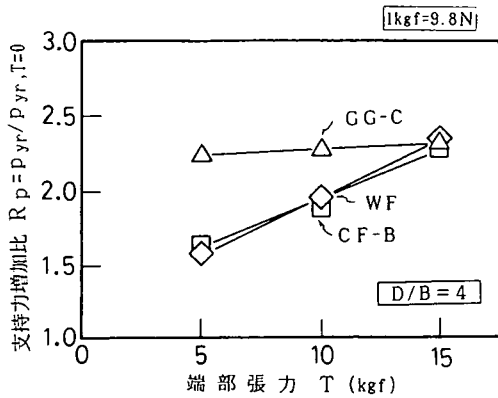


図-9 支持力増加比に及ぼす端部張力の影響

の調整の微妙な相違が実験結果のバラツキに関与しているものと推測される。この図で特徴的な事実は所定の端部張力に達した後、同程度の載荷応力の増分をもって極限支持力が表れるようである。

次に、補強材端部を拘束した実験の支持力  $p_{yr}$  を無拘束の支持力  $p_{yr, T=0}$  で正規化した支持力増加比  $R_p$  端部張力  $T$  で整理すると図-9のようになる。図中には比較のため、ジオグリッド以外の複合不織布 CF-B、織布 WF も併記している。GG-C では端部張力  $T=5\text{kgf}$  で支持力増加を示しているが、さらに端部張力が大きくなっても増加比  $R_p$  はほぼ一定である。この理由は、ジオグリッドの網目から粘土が絞り出されるため、載荷板側方の粘土地盤の隆起に対する面反力が十分確保されないためと考えられる。

一方、CF-BとWFの場合は、共に支持力の増加が認められる。このことは、①端部張力により補強材と粘土地盤との摩擦が増すことに加えて、②地盤の側方隆起範囲の拡大とこの抑制に伴う揚圧力によって、支持力の増加が得られるためと考えられる。端部張力を与えることによって補強材と粘土との摩擦力がそれほど大きくない織布WFでも、無拘束の場合に比べ支持力が著しく大きくなるのが分かる。

以上のことから、軟弱地盤上のジオテキスタイル端部を緩やかに拘束することによって、土とジオテキスタイルの間に見掛け上摩擦力が賦与されるため、著しい軟弱地盤の支持力増加が得られることが明らかとなった。

### (3) サンドマットの影響 <sup>17), 18)</sup>

#### a) 模型実験結果の考察

ジオテキスタイル敷設方法の要因のうち、サン

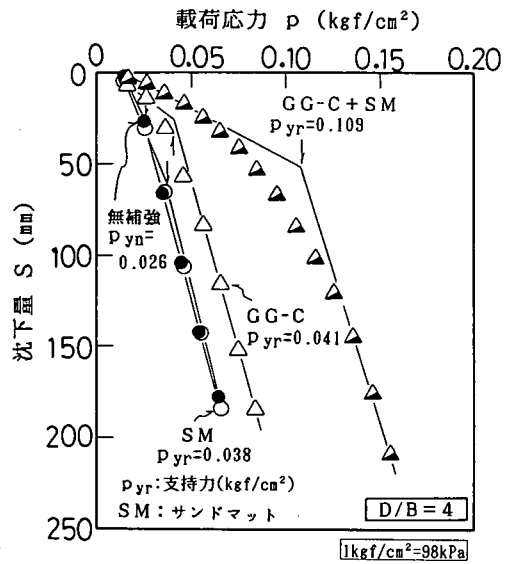


図-10 支持力に及ぼすサンドマットの効果

ドマットの効果を確認するため、厚さ3cmの砂層を端部無拘束のジオテキスタイル上に設けた実験を行った。

図-10には、サンドマットを敷設した実験の載荷応力-載荷板沈下量関係の代表例を示した。これより、サンドマットのみ敷設した場合、荷重・沈下曲線は無補強とほとんど変わらないが、支持力はやや大きくなる。この実験では載荷板付近が著しく沈下し、パンチング破壊に似た形状が観察された。また、サンドマット層厚3cmを考慮すると載荷応力を分散する効果、あるいは全面敷設した押え効果はそれほど大きくないと考えられる。

また、ジオグリッドを単独で軟弱地盤上に敷設した場合、無補強に比べそれほど支持力は増加しないが、ジオグリッドの上にサンドマットを敷設すること (GG-C+SM) によって、著しい支持力の増加が認められる。この支持力増加の要因として、①ジオグリッドの網目をサンドマットが塞ぎ、粘土地盤の隆起に対する面反力が得られること、言い換えれば、粘土の移動を妨げ拘束力が生じる、②ジオグリッド上面と砂との摩擦成分が加味されること、③ジオグリッドとサンドマットの複合によってグリッド近傍の砂粒子が拘束され見かけ上曲げ剛性が増加することなどが考えられる。しかし、これら要因の影響の程度を区別することは難しい。

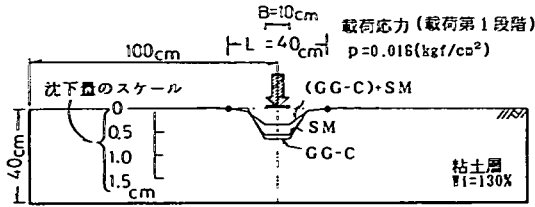


図-11 載荷第1段階の粘土層表面の変形

### b) サンドマット効果の定量的評価

グリッドの上にサンドマットを敷設することによって、著しい支持力の増加が得られることは分かったが、ジオテキスタイルを含んだサンドマット全体の力学的パラメータが決め難いため、その効果を適切に表現できない。別途、支持力増加要因の中の曲げ剛性を求める実験方法を模索したが、サンドマットが粒状体であるため、極めて難しい。そこで、既往の研究例<sup>20)</sup>を参考にして、模型粘土地盤に対する載荷試験結果そのものから曲げ剛性を求めることを考えた。

本論文における模型載荷試験は土槽中央の限られた部分に対して行われており模型地盤も極めて脆弱なため、第1近似として部分等分布荷重が載荷される単純梁のたわみ特性式に基づく式(2)を用いて曲げ剛性  $B_s$  を算定することにした。

$$B_s = \frac{x(4R_A L^3 - 4R_A Lx^2 - qb^4)}{24yL} + \frac{q}{24y} (x-a)^4 \quad (2)$$

ここで、 $R_A$ : 支点反力、 $L$ : 支間距離、 $y$ : たわみ、 $x$ : 支点からの距離、 $a, b$ : 支点より荷重端までの距離である。上式では、たわみが既知でなければ  $B_s$  が求められない。しかし、実験においてはジオテキスタイルあるいはサンドマット敷設直後のたわみは得られないので、便宜的に載荷第1段階での最終沈下量を用いて計算し、これを初期の曲げ剛性  $B_{s1}$  と考えることにした。ジオテキスタイルの上にサンドマットを敷設した場合、ジオテキスタイルを包括したサンドマットの曲げ剛性が算定される。支間距離  $L$  については、図-11に示した第1段階の地表面変形図より沈下量が生じる区間40cm ( $L/B=4$ ) を用いた。このとき、 $a=15\text{cm}$ ,  $b=25\text{cm}$  となる。初期曲げ剛性と載荷試験で得られた支持力を整理すると図-12、図-13が得られる。何れのジオテキスタイルもサンドマット(SM)の敷設によって見かけ上曲げ剛性が大きくなるため、1.6~2.7倍の支持

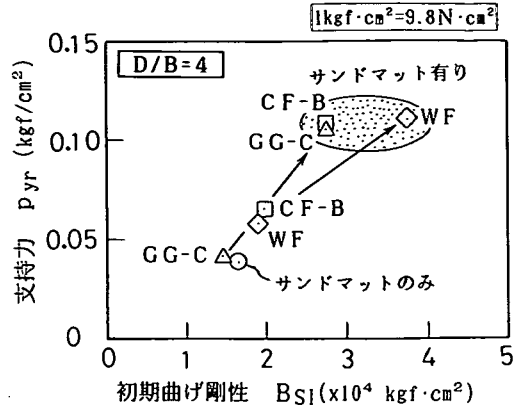


図-12 初期曲げ剛性と支持力の関係

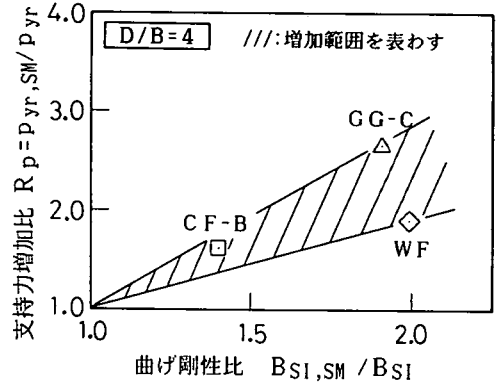


図-13 初期曲げ剛性の増加による支持力の変化

力増加が認められる。特に、グリッドの場合その増加が顕著であるが、考えられる要因については前項で述べた。一方、サンドマットだけではその曲げ剛性及び支持力はグリッドのみの場合と大差ない。したがって、砂がある程度拘束されなければ、その効果が充分発揮されないと言えよう。

次に、支持力及び曲げ剛性の増加比の関係を整理した図-13より、複合不織布製品に比較すると織布は平織で縦糸と横糸が1本ずつ交錯して織られているため、砂を拘束する効果が大きいことが推測される。そのためジオグリッドと同程度の曲げ剛性の増加が認められる。これを要するに、サンドマット敷設による初期曲げ剛性の増加(式(2)から明らかのように、たわみの低減によってもたらされ、補強材上面と砂との摩擦成分の影響なども間接的に含まれる)が支持力増加の要因の一つと言えよう。



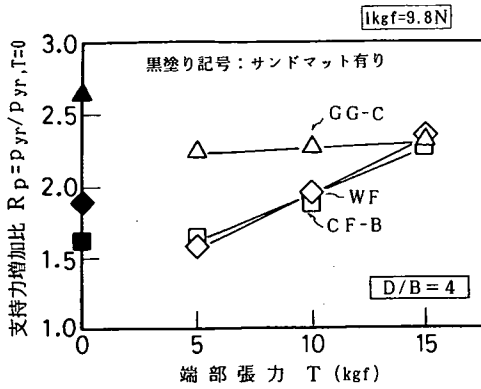


図-14 支持力増加に及ぼすサンドマットと端部張力の比較

このように、いずれのジオテキスタイルを用いた実験でもサンドマットによって支持力が著しく増加することが分かった。前述の端部拘束効果と対比するため、先の図-9にサンドマットを敷設した実験結果を加筆したものが、図-14である。

それぞれのジオテキスタイルに対するサンドマット効果は、複合製品CF-Bで $T=5\text{kgf}$ 、織布WFで $T=10\text{kgf}$ 程度の端部張力に相当することがわかる。しかし、ジオグリッドGG-Cでは $T=15\text{kgf}$ を上回る著しい支持力の増加となる。つまり、GG-Cのようなジオグリッドでは、端部張力よりサンドマットの効果の方が卓越する結果が得られた。

#### (4) ジオテキスタイル併用の影響<sup>17)</sup>

ジオグリッドGG-Cを単独で敷設した場合、他の補強材に比べそれほど大きな支持力増加とはならないことはすでに述べた。また、現地が超軟弱であれば人力によるGG-Cの展開も容易ではない。そのため、GG-Cと他のジオテキスタイルを併用して補強材敷設を容易にする工夫が行なわれる。

そこで、ジオテキスタイルの併用効果を調べるため、ジオテキスタイル端部は無拘束のいくつかの実験を行った。ジオグリッドGG-Cの下に併用した不織布はNW-AとNW-Bで、二種のジオテキスタイルは結合せずに重ねて用いた。载荷試験の $p-S$ 曲線は図-15の通りである。図-16には支持力の増加比を示しているが、いまジオテキスタイル併用の的確な力学的パラメータは決め難いので、ここでは不織布上面のジオグリッドとの摩擦力は考慮せず、不織布と粘土間の最大摩擦力<sup>21)</sup>によって整理している。図-16によれば、ジオグリッドGG-Cの下に不織布を併用すると支持力増加

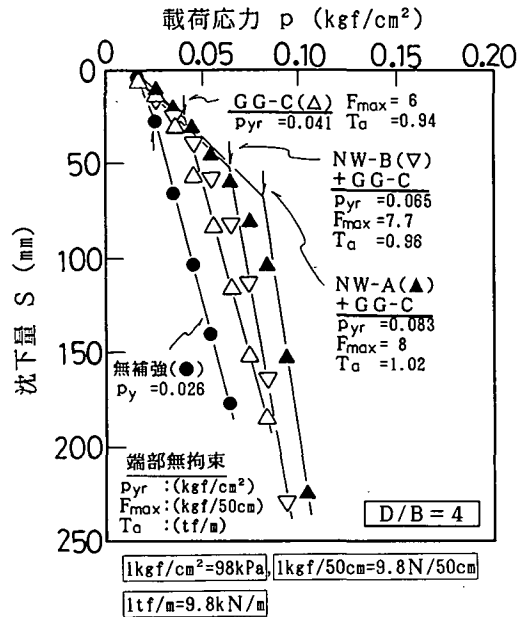


図-15 支持力増加に及ぼすジオテキスタイル併用効果

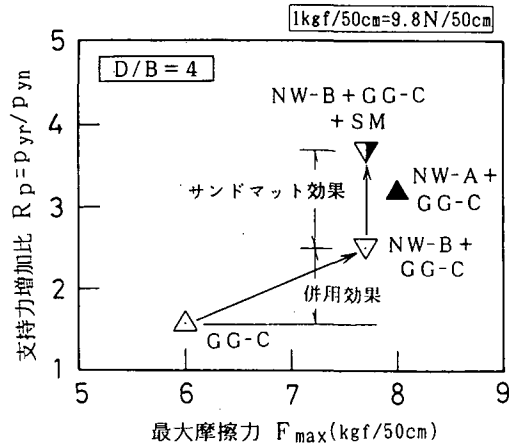


図-16 支持力増加比と最大摩擦力関係に及ぼす併用効果

が計られることが明らかである。この傾向は、粘土層厚 $D=80\text{cm}$ ( $D/B=8$ )のシリーズでも確かめられている<sup>13)</sup>。また、粘土との間の摩擦力のやや大きいNW-Aと併用した方が補強効果が著しいことが分る。このことは、NW-A, NW-Bを併用すると粘土と不織布間の摩擦力が賦与されることに加えて、前項のサンドマット効果と同様にジオグリッドGG-Cの網目が不織布で塞がれ、载荷板周辺地盤の隆起に対する面反力が得られることに起因する。

なお、NW-Bとの併用に加え、さらにサンドマットを設けた場合、前節(3)ですでに述べたサンドマット効果によってより一層の支持力増加が計られた。このように、ジオテキスタイルを併用すれば、サンドマットを敷設することに匹敵する支持力改良効果が得られる。当然のことながら、最良の敷設方法は補強材を併用し加えてサンドマットを敷設することになる。

#### 4. まとめ

ジオテキスタイルを用いた超軟弱地盤の支持力特性に及ぼす要因の影響を明らかにする目的で、ジオテキスタイルを一層敷設した覆土工法模型実験を行った。本論文では、主にジオグリッドの効果的な敷設方法について支持力を主体に検討した。得られた主な結論を示せば以下の通りである。

- 1) 端部無拘束でジオグリッドを一層敷設した場合、支持力増加は目合いに依存することが認められた。
- 2) ジオテキスタイル端部を緩やかに拘束することによって、ジオテキスタイルの種類に依らず著しい支持力増加が計られる。このことは、見掛け上摩擦力が賦与されることと、載荷板周辺地盤の側方隆起の抑制に対する揚圧力に起因するものと思われる。
- 3) しかし、ジオグリッドGG-Cの場合、端部張力の増加による支持力増加比は目合いが一定のため面反力を確保できる上限値が存在する。
- 4) ジオテキスタイル上にサンドマットを設けることによって、ジオテキスタイルの種類に関わらず支持力は顕著に増加する。特にジオグリッドGG-Cの場合、その増加が著しい。サンドマットが網目を塞ぐことによる面反力の確保によるものと思われる。
- 5) サンドマット敷設による曲げ剛性の増加と支持力は良い対応を示すことから、ジオテキスタイルとサンドマットの複合による見かけの曲げ剛性の増加が支持力増加の一要因として寄与しているものと考えられる。
- 6) ジオグリッドGG-Cを単独で用いた場合、他のジオテキスタイル補強材に比べそれ程大きな支持力増加とはならないが、この下に不織布を併用すると支持力の増加が得られる。併用する不織布は、NW-Bのような引張強度が小さく薄い材料でもかなり効果がある。

7) この支持力増加は、GG-Cの網目がサンドマットと同様に不織布で塞がれることによる面反力の確保および不織布と粘土間に発生する摩擦力に起因するものと考えられる。つまり、ジオテキスタイルを併用すれば、サンドマットを敷設することに匹敵する支持力改良効果があると言える。

#### 参考文献

- 1) 渡 義治：ジオテキスタイル利用工法の設計と施工、建設図書、p.93、1987。
- 2) ジオテキスタイル補強土工法普及委員会編：ジオテキスタイルを用いた補強土の設計・施工マニュアル、(財)土木研究センター、pp.202-203、1993。
- 3) 福住隆二、西林清茂：ビニロンシートによる軟弱地盤表層処理工法、第22回土木学会年次学術講演概要集、pp.122-1~122-4、1967。
- 4) 山内豊聡、後藤恵之輔：敷網工の実用支持力公式の一提案、九大工学集報、第52巻、第3号、pp.201-207、1979。
- 5) 清水昭男、堀家茂一、篤 勇二、西村義章：トリカルネット工法の基本原理と実施例、熊谷技報第20号、pp.103-115、1977。
- 6) 山内豊聡、後藤恵之輔、案浦徳治：版理論を用いた敷網工の沈下量計算、九大工学集報、第52巻、第4号、pp.433-440、1979。
- 7) 林 健太郎、樋口洋平、渡 義治：ジオテキスタイルを用いた軟弱地盤上の覆土設計、五洋建設技術研究所年報、Vol.17、pp.115-120、1988。
- 8) 土質工学会編：補強土工法、土質工学会、pp.329-333、1986。
- 9) 福住隆二、西林清茂：ビニロン製織布の土木的利用に関する研究、大林組技術研究所報、No.1、pp.97-106、1966。
- 10) Watari, Y., Higuchi, Y. and Aboshi, H. : Field studies of the behavior of geogrids and very soft ground, *Proc. of 3rd Intn'l Conference on Geotextiles*, 2A/3, pp.187-191, 1986.
- 11) Matsunaga, S., Watari, Y. and Isayama, S. : Reinforcement of very soft ground using bamboo cross beam with polymer, *Proc. of Intn'l Symp. on Theory and Practice of Earth Reinforcement (IS Kyushu '88)*, pp.425-430, 1988.
- 12) 例えば、福住隆二、西林清茂：ファゴット工法の基本原理と効果、大林組技術研究所報、No.3、pp.62-67、1968。
- 13) 平尾和年、安原一哉、高岡恭三、西村淳、棚橋由彦：ジオテキスタイルを用いた模型軟弱地盤の支持力

- 特性, 土木学会第47回年次学術講演会講演概要集, 第3部, pp.1238-1239, 1992.
- 14) 平尾和年, 安原一哉, 棚橋由彦, 高岡恭三, 西村淳 : ジオテキスタイルで補強された模型軟弱地盤の支持力特性, 第7回ジオテキスタイルシンポジウム発表論文集, pp.1-9, 1992.
- 15) 平尾和年, 落合英俊, 安原一哉, 安福規之 : ジオテキスタイル敷設による軟弱地盤の支持力改良効果, 九大工学集報, 第69巻, 第4号, pp.451-458, 1996.
- 16) Hirao, K., Yasuhara, K., Takaoka, K., Nishimura, J. and Tanabashi, Y.: Laboratory Model Tests on the Application of Composite Fabrics to Soft Clay, *Proc. of Int'l Symp. on Earth Reinforcement Practice (IS Kyushu '92)*, Vol.1, pp. 601-606, 1992.
- 17) 平尾和年, 安原一哉, 棚橋由彦 : ジオグリッドによる模型軟弱地盤の補強効果, 土木学会第48回年次学術講演会講演概要集, 第3部, pp.1130-1131, 1993.
- 18) 平尾和年, 安原一哉, 棚橋由彦, 高岡恭三 : サンド
- マットによるジオテキスタイル補強軟弱地盤の支持力改良効果, 土木学会第49回年次学術講演会講演概要集, 第3部, pp.1646-1647, 1994.
- 19) 土質工学会編 : 土質調査法, 土質工学会, p.34, 1980.
- 20) 福田直三 : ポリマーグリッドを応用して築造する土構造物の補強機構に関する研究, 九州大学学位論文, 1984.
- 21) 平尾和年, 安原一哉, 高岡恭三, 西村淳, 棚橋由彦 : 覆土工法のためのジオテキスタイルと粘土の摩擦特性, 土木学会第46回年次講演概要集, 第3部, pp.778-779, 1991.
- 22) ジオグリッド研究会 : 『ジオグリッド工法』ガイドライン(第1分冊), pp.74-77, 1990.
- 23) JIS : 一般織物試験(JIS L 1096), 剛軟性, pp.23-27, 1979.

(1996.7.17受付)

## BEARING CAPACITY IMPROVEMENT OF SOFT CLAY REINFORCED WITH GEOGRIDS

Kazutoshi HIRAO, Kazuya YASUHARA, Yoshihiko TANABASHI, Hidetoshi OCHIAI and Noriyuki YASUFUKU

Several series of 1g model footing tests were carried out at laboratory to provide information which can be used for design of the spreading earthwork on soft clay. It was indicated from the results of these tests that (i) combination with nonwoven geofabric, (ii) confinement at the edge of geogrid and (iii) placement of sand mat were effective for increasing the bearing capacity of soft clay reinforced with geogrids.