

ジオコンポジットを用いた補強粘性土盛土模型実験による排水・引張り補強効果の把握

永嶋洋政¹・棚橋由彦²・平井貴雄³・西村 淳⁴・安原一哉⁵

¹正会員 長崎大学大学院 海洋生産科学研究科 博士後期課程 (〒852-8521 長崎市文教町 1-14)

²正会員 工博 長崎大学教授 工学部社会開発工学科 (〒852-8521 長崎市文教町 1-14)

³正会員 博士 (工学) 三井化学産資(株) (〒113-0034 東京都文京区湯島 3-39-10)

⁴正会員 三井化学産資(株) (〒113-0034 東京都文京区湯島 3-39-10)

⁵フェロー会員 工博 茨城大学教授 工学部都市システム工学科 (〒316-8511 茨城県日立市中成沢町 4-12-1)

近年、補強材としてジオグリッド以上の高剛性・高強度を有する織布を不織布で挟んだ構造の排水・引張り補強両機能を有するジオコンポジットが開発された。しかし、ジオコンポジットを用いた補強盛土工法に対する研究は緒についたばかりで、未解明な部分が多い。粘性土盛土を構築する場合、排水材の他に引張り補強材を併用するが多い。しかしながら、排水・引張り補強両機能の効果について、それぞれを明確に評価することが困難なため、盛土の安定性に寄与する排水機能については設計上十分考慮されていないのが現状である。本研究は、ジオコンポジットのもつ排水・引張り補強両機能を考慮した補強盛土の新たな設計法の提案に資するため、補強盛土模型実験を行ったものである。

Key Words: reinforced earth fill, geocomposite, 1g model test, drainage and reinforcing effects, Kanto Loam

1. はじめに

近年、建設発生土のリサイクルや現場発生土の積極的な利用を目的とし補強土工法に粘性土を用いるケースが増加してきている。また、盛土材料に不向きな現場発生土の積極的再利用や、盛土を急勾配にする必要が生じた。そのため、ジオシンセティックスを用いた補強土工法が積極的に採用されるようになってきた。従来盛土材として用いられることのなかった関東ロームのような高含水比火山灰質粘性土でさえ、補強土工法を採用することにより、急勾配盛土の築造が可能になってきた。また、近年補強材としてジオグリッド以上の高剛性・高強度を有する織布を不織布で挟んだ構造の排水・引張り補強両機能を有するジオシンセティックス(ジオコンポジット)が開発された。しかし、ジオコンポジットを用いた補強盛土工法に対する研究は緒についたばかりで、未解明な部分が多い。粘性土盛土を構築する場合、排水材の他に引張り補強材を併用するが多い。しかしながら、このように併用した場合、排水・引張り補強両機能の効果について、それぞれを明確に評価することが困難なため、盛土の安定性に寄与する排水機能については設計上十分考慮されていないのが現状である¹⁾。そこで本研究では、材料、層数、圧密日数の3つの着目点から、ジオ

コンポジット補強盛土(引張り補強・排水両機能、排水期間による強度増加)の有効性を明らかにするため3シリーズの比較盛土実験を実施した。この3種類の模型実験によって、排水機能による盛土材の強度増加、引張り補強機能の安定性への寄与を把握するものである。

2. 既往の研究

これまでジオシンセティックスを用いた補強盛土工法の研究は、盛土材として砂質土を対象としたものがほとんどであったため、引張り補強機能のみの研究がほとんどであった。しかし近年、現場発生土を積極的に利用する目的で、盛土材料に粘性土を用いるケースが増加している。この場合、盛土材の排水性が悪いため引張り補強材の他に排水材が併用して用いられる場合が多いが、引張り補強機能と排水機能の各々の効果について分離評価せず、引張り補強機能のみを考慮して設計を行っているケースが多い。即ち排水機能についてはあまり考慮されていないのが現状である。ジオシンセティックスを用いた粘性土盛土の研究には、嘉門らの不織布で補強された粘性土盛土の実大破壊実験^{2), 3)}、宮田、木暮らの火山灰質粘性土中における複合ジオテキスタイルの引抜き挙

表-1 実験の着目点と試験条件

実験①材料比較

材 料	材料 層数	圧密 日数 (日)	ケース名
不織布	2	40	N2-40
ジオグリッド			G2-40
ジオコンポジット			C2-40

実験②層数比較

ジオコンポジット	2	4	C2-04
	1		C1-04
無補強	0		U-04

実験③圧密日数比較

ジオコンポジット	2	0	C2-00
		20	C2-20
		40	C2-40*
無補強	0	0	U-00
		20	U-20

N: 不織布, G: ジオグリッド, C: ジオコンポジット

U: 無補強

*: 実験①C2-40 と同一

動や排水効果についての研究⁴⁾, 三木の高含水比粘性土盛土に対し排水用ジオテキスタイルを用いた研究⁵⁾, 荻迫, 了戒のジオグリッドで補強された粘性土地盤の研究⁶⁾などがあるが, 粘性土と排水効果及び引張り補強機能をもつジオコンポジットについて研究しているものは少ない。本研究は盛土材として高含水比火山灰質粘性土を対象とし, 引張り補強機能と排水機能を兼ね備えたジオコンポジットを使用した場合について, これまで引張り補強機能と分離評価でできなかった圧密排水による粘性土の強度増加を考慮し, 特に時間効果による強度増加をも考慮に入れた粘性土盛土の挙動について実験的研究を行ったものである。

3. 実験概要

(1) 概要

a) 実験の種類と着目点

表-1に実験の着目点と試験条件を示す。本研究では, 実験①ジオコンポジット(引張り補強・排水両機能), ジオグリッド(引張り補強機能のみ), 不織布(排水機能のみ)の3タイプの異なる材質のジオシンセティックスを用いた材料比較実験^{7), 8), 9)}, 実験②無補強盛土を含む層数の異なるジオコンポジット補強盛土の層数比較実験¹⁰⁾, 実験③無補強盛土とジオコンポジット敷設盛土の排水期

表-2 関東ローム試料の土質試験結果

液性限界 W_L (%)	108.1
塑性限界 W_P (%)	82.3
塑性指数 I_P	25.8
最適含水比 w_{opt} (%)	82.0
最大乾燥密度 ρ_{dmax} (g/cm ³)	0.781
盛土時の状態	
せん断抵抗角 ϕ' (°)	25.0
粘着力 c' (kPa)	5.88

表-3 用いたジオシンセティックスの基本物性

ジオシンセ ティックス の種類	ジオコンポ ジット	ジオグリ ッド	不織布
補強機能	○	○	×
引張強さ (実測)	48.0 kN/m	29.0 kN/m	—
排水機能	○	×	○
通水性能*	0.066cm ² /s	—	0.038cm ² /s

*面内方向通水性能 = $k \cdot g \cdot H$ g = ジオシンセティックスの透水係数・ジオシンセティックスの厚み

間による強度増加の影響を調べる圧密日数比較実験を実施した。この3種類の模型実験によって, 排水機能による盛土材の強度増加, 引張り補強機能の安定性への寄与を把握したものである。

b) 実験材料

実験に用いた盛土材は高含水比粘性土の関東ロームである。今回用いた関東ローム試料の基本物性を表-2に示す。また, 用いたジオシンセティックスの基本物性を表-3に示すが, ジオシンセティックスは荷重による厚さの圧縮性を有しているため, 透水性能は透水係数よりも評価し易い面内方向通水性能で表わした。図-1にジオコンポジットの構造を示す。

4. 実験①材料比較

(1) 概要

a) 着目点

本実験の主な着目点は, (1)ジオグリッドとジオコンポジットの比較により排水機能による圧密促進効果に基づ

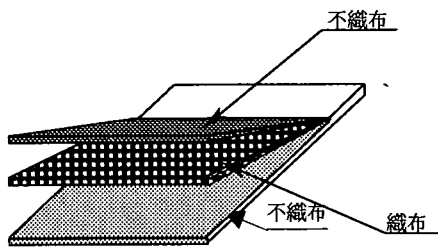


図-1 ジオコンポジットの構造

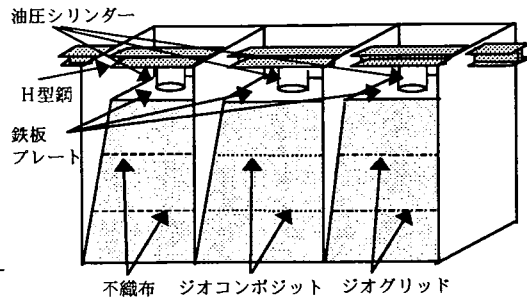
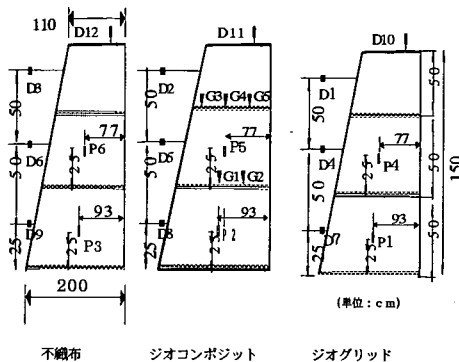


図-2 試験盛土概要図 (実験①材料比較)



■変位計 (D) 間隙水圧計 (P) ひずみ計 (G)

図-3 計測装置配置概要図 (実験①材料比較)

- ジオグリッド(h=25cm) □ ジオグリッド(h=75cm)
- ジオコンポジット(h=25cm) ○ ジオコンポジット(h=75cm)
- ▲ 不織布(h=25cm) △ 不織布(h=75cm)

(但しhは底面からの高さ)

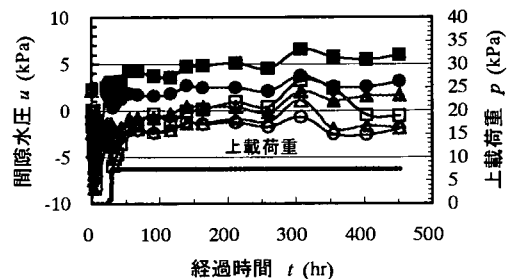


図-4 間隙水圧の経時変化 (実験①動態観測)

く強度増加を確認すること及び(2)不織布とジオコンポジットの比較により補強機能による安定性の確認を行うことにある。実験によって変形・間隙水圧・破壊の状況確認を行う。

b) 実験方法

実験には武蔵野産関東ローンをを用いたが、試料採取時の含水比 22.8%を 98.3%に調整した。土は飽和度 $S_r = 95\%$ の不飽和状態である。図-2 に試験盛土の概要図 (高さ 1.5m, 幅 1.5m, 奥行き 2.0m, のり面勾配 1:0.6) を示す。のり面部と天端を除く模型境界は非排水で、2枚のビニールシートにグリースを介在させ摩擦を極力軽減している。型枠側面の平面ひずみ条件を満足させるために模型盛土とほぼ同等の高さの盛土を実験槽両側面に構築している。ジオシンセティックスの敷設間隔は各盛土とも 50cm である。用いた計測装置は、変位計 (ストローク 100 mm) (D1~D12)、間隙水圧計 ($\phi 30$ max 200 kPa) (P1~P6)、塑性ひずみゲージ (G1~G5) である。なお、ひずみゲージはジオコンポジットの繊維 (引張り補強材) の表と裏に張り付けた。変位計はのり面部、載荷版の両サイド、中心部、間隙水圧計は後方鉄板とのり面中心部、ひ

ずみゲージはジオコンポジット 1 層目に後方鉄板から 45, 95 cm の位置、2 層目には 35, 85, 135 cm の位置に敷設した。計測装置の配置を図-3 に示す。その後、盛土の動態観測 (以下この試験を動態観測と称す) のため、盛土天端に鉄板プレート (0.89 kPa) とコンクリートブロック (6.70 kPa) を載荷し 19 日間計測を行った。計測終了後約 20 日間放置した後、盛土構築から 40 日目 (圧密時間約 960 時間 (長期と称す)) に除荷し、この盛土を用いて載荷試験を行った。載荷は 15 kPa 毎 7 ステップ最大 105 kPa (換算盛土高さ約 7.5 m) まで載荷したが、塑性変形量を求めるため、途中 75 kPa 載荷後に一旦除荷を行った。

(2) 動態観測結果

a) 間隙水圧

図-4 に間隙水圧の経時変化を示す。間隙水圧は常に不織布系よりジオグリッドが大きく、下段 (h=25 cm) では、上載圧の 32% の間隙水圧を生じている。上段 (h=75 cm) では不織布系は全て負圧で推移しており、不織布系の排水機能が卓越していることを示唆している。なお、初期の載荷時に見られる大きな負圧とその回復は、関東ロー

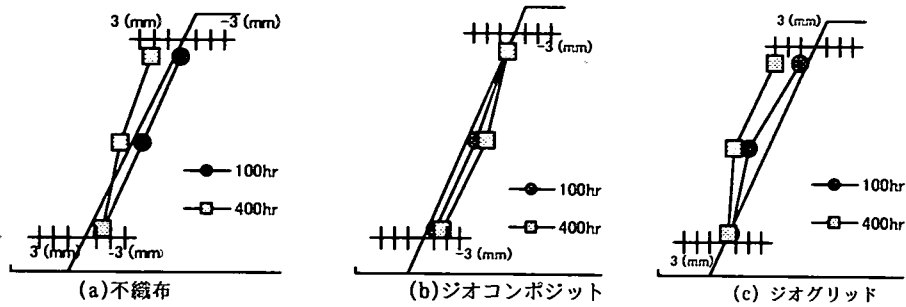


図-5 のり面水平変位分布 (実験①動態観測)

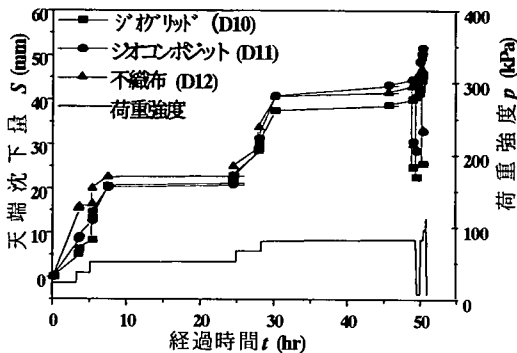


図-6 天端沈下量と荷重強度の関係 (実験①載荷試験)

ムの締め固めによる過圧密粘性土としての特性を示唆しており、 $t=300$ (hr)に見られる間隙水圧の上昇はその前日の降雨による影響と考えられる。

b) のり面変位

動態観測・計測開始後 100 時間及び 400 時間後ののり面水平変位分布を図-5に示す。ジオグリッドは前方への変位(膨み出し)が一番大きい、ジオコンポジットは膨み出しはなく、のり面が後方へ変位している。これは排水機能が卓越しているためと考えられる。不織布はのり面が一旦後方へ変位した後、前方へ少し膨らんでいる。この分布よりジオシンセティックスの機能により変形パターンが異なることが分かる。

(3) 載荷試験結果

a) 天端沈下量

天端沈下量 S ~ 荷重強度 p 関係を図-6に示す。天端沈下量は 3 種のジオシンセティックスとも大差なく、105 kPa 載荷時点での沈下量は 50~60 mm である。載荷に伴う天端沈下は比較的早く落ち着き、時間経過に伴うクリープ変形、圧密変形は小さい。

b) のり面変位

載荷試験時ののり面水平変位分布を図-7に示す。3 種のジオシンセティックスのいずれの場合ものり面は載荷直後から膨み出す傾向にある。ジオグリッド (G2-40)、ジオコンポジット (C2-40) はほぼ均一な水平変位を生じているが、不織布は上段の変位が大きい。これは不織布 (N2-40) の剛性が低いため、この荷重レベルでは引張り補強材として有効に機能していないものと考えられる。

また、のり面変位量 δ ~ 荷重強度 p 関係(図-8)から、不織布の最上段($h=125$ cm)では 28 時間(75 kPa 載荷)後から急激に δ が増加していることが分かった。この間のクリープ変形は他ケースに比べ大きく、25~30 hr 及び除荷後の再載荷($t=50$ hr $p=105$ kPa)において δ が卓越している。これは不織布と土とのすべりが生じている可能性を示唆し、盛土の崩壊に結びつく兆候と考えられる。一方、ジオグリッド及びジオコンポジットの場合には、105 kPa でも δ (Max.6.8 mm, Max.5.9 mm)は微少であり、盛土は安定した状態であった。

c) 間隙水圧

経過時間 t ~ 荷重強度 p ~ 間隙水圧 u 関係を図-9に示す。間隙水圧 u の値は δ に比べ載荷重に対する反応が遅く、定常状態に至るまでに時間を要する。計測値は異なるもののどのケースでも経過時間 t に対し類似した挙動を示す。ジオグリッドでの間隙水圧 u は不織布系より大きく常に正圧で、下段($h=25$ cm)では上載圧の 4.4%の u を生じ、30~40 hr の時間経過に伴う u の減少が少ない。

d) ジオコンポジット動員ひずみの分布

ジオコンポジットの時間 t ~ 荷重 p ~ ひずみ δ 関係を図-10に示す。ひずみは載荷に伴い増加し、上段(G3-G5)は、のり面近傍ほどひずみが大であり、ジオコンポジットの機能を端的に示している。

(4) まとめ

実験①材料比較から得られた知見を総括すると次の通

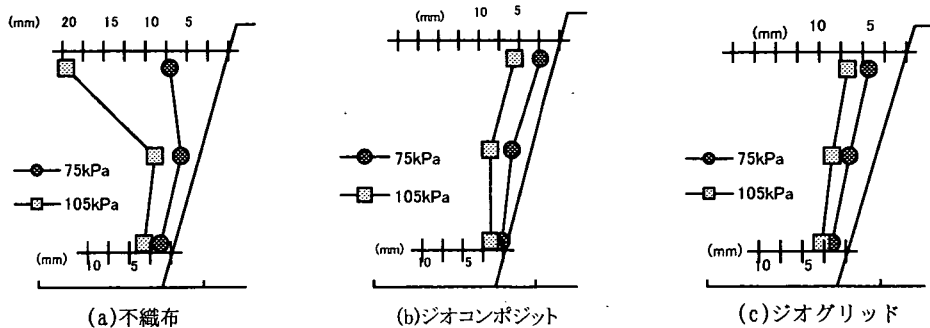


図-7 のり面水平変位分布 (実験①載荷試験)

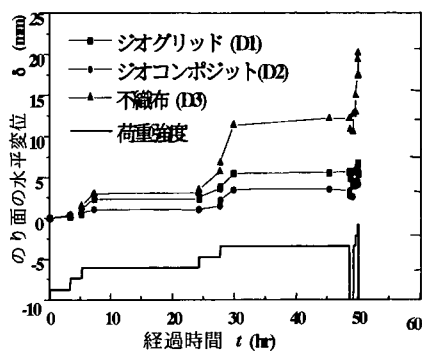


図-8 のり面水平変位と荷重強度の関係
(実験①載荷試験)

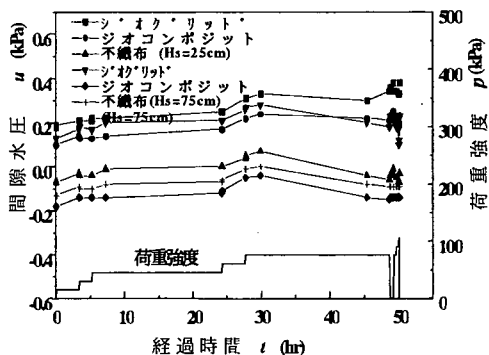


図-9 間隙水圧と荷重強度の関係
(実験①載荷試験)

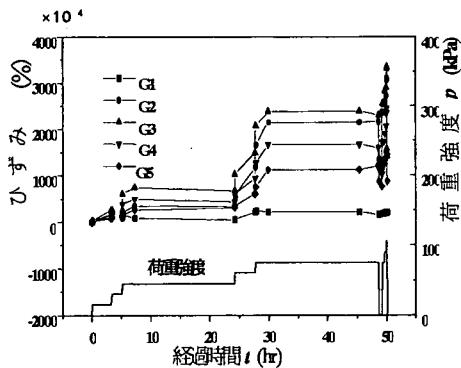


図-10 荷重強度とひずみの関係
(実験①載荷試験)

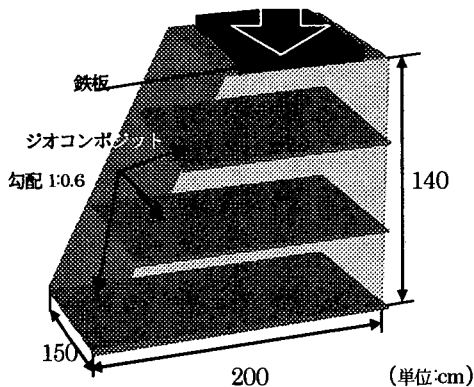
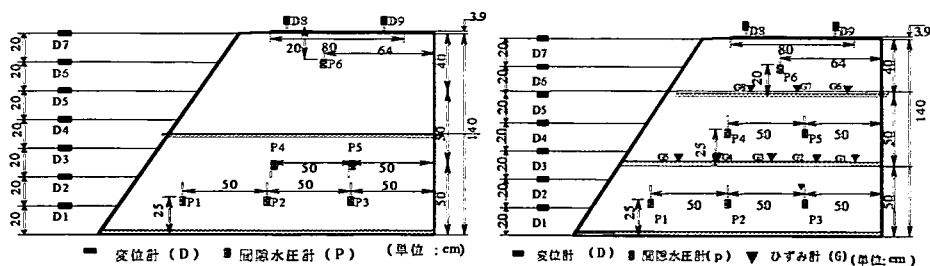


図-11 層数比較試験盛土概要図
(実験②2層敷設)

りである。i) 盛土の変形に関しては、補強機能の有無が明確に現れ、不織布を用いた盛土では荷重強度 105 kPa で破壊に結びつく兆候が見られた。一方、ジオグリッドの変位は上部 6 mm、中部 5 mm、下部 3 mm、ジオコンポジットは上部 5 mm、中部 5 mm、下部 2 mmであり、ジオコン

ポジット補強盛土はジオグリッド補強盛土より更に安定な状態を保持した (図-6, 図-7)。

ii) 間隙水圧測定結果からは、不織布及びジオコンポジットが粘性土盛土に対して排水材として優れた機能を有することを実証する結果が得られた (図-8, 図-9)。



(a) 1層敷設

(b) 2層敷設

図-12 計測装置配置概要図 (実験②層数比較試験)

表-4 実験②層数比較の実験条件

ケース	U-04 無補強	C1-04 1層敷設	C2-04 2層敷設	C2-40 2層敷設 【材料比較 試験】
ジオコンポジット敷設条件	なし	1層($H_s = 75\text{cm}$)	2層($H_s = 50\text{cm}$)	2層($H_s = 50\text{cm}$)
圧密荷重	1.37(kPa)	1.37(kPa)	1.37(kPa)	7.59(kPa)
圧密期間	4日	4日	4日	40日
締固め後の含水比	84.3%	90.4%	88.7%	98.2%
載荷終了後含水比	81.8%	89.6%	83.4%	84.3%

H_s : 敷設間隔

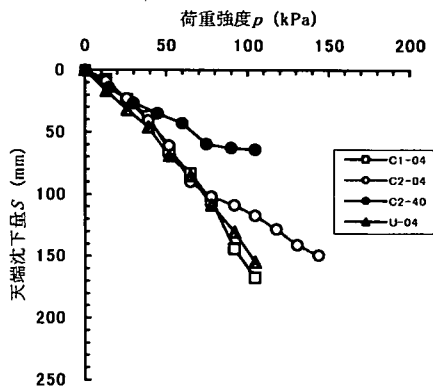


図-13 荷重強度～天端沈下関係 (実験②層数比較試験)

5. 実験②層数比較

(1) 概要

a) 着目点

本実験の着目点は、(1)ジオコンポジットの敷設間隔の影響 (2)圧密時間の影響 (3)無補強とジオコンポジットによる補強盛土の安定性の比較である。

b) 実験方法

実験①材料比較と同様、盛土材料は武蔵野産関東ローム、模型盛土は無補強、ジオコンポジット1層敷設、同2層敷設の3ケースを盛土高さ1.4m、幅1.5m、奥行き2.0m、のり面勾配1:0.6で構築した(図-11)。土は飽和度 $S_r = 95\%$ の不飽和状態で、模型境界の排水条件、型枠側面・背面の処理は実験①と同様である。ただし、実験②層数比較では実験①のように3ケースを連続して構築、実験を行ったものではなく各ケース毎に個別に構築したものである。計測装置は実験①と同タイプの変位計、間隙水圧計を使用した。ジオコンポジットの敷設・計測装置配置を図-12に示す。変位計・間隙水圧計は盛土長手方向中心位置に設置した。盛土天端に鉄板プレート(137kPa)を載せ4日間(短期と称す)圧密させた。載荷は13kPa

毎に11ステップ最大144kPaまで載荷した。表-4に各ケースの実験条件及び締固め直後及び載荷終了後の含水比を示す。

(2) 実験結果

a) 天端沈下量

図-13に荷重強度 p ～天端沈下量 s 関係を示す。 $p=105\text{kPa}$ における沈下量 s は無補強154.8mm、ジオコンポジット1層敷設(短期)167.4mm、ジオコンポジット2層敷設(短期)109.2mmという結果であった。1層敷設においては無補強と類似の挙動を示しており、補強効果が認められなかった。一方、2層敷設(短期)は、78kPaから補強機能が発揮されていることが分かる。また、2層敷設(長期)では $s=50\text{mm}$ での載荷荷重は短期の1.5倍以上であり、圧密期間と圧密荷重の違いにより圧密による強度増の差が明瞭に現れた。

b) のり面変位

図-14に各モデル{2層敷設(長期)を除く}ののり面変形図を示す。無補強は、載荷に伴い盛土下部が膨み出す結果($\delta_{\max}=55.3\text{mm}$)となった。C2-04では $h=40\text{cm}$ 地点で $\delta_{\max}=48.5\text{mm}$ を示し、他のポイントでは20mm前後であ

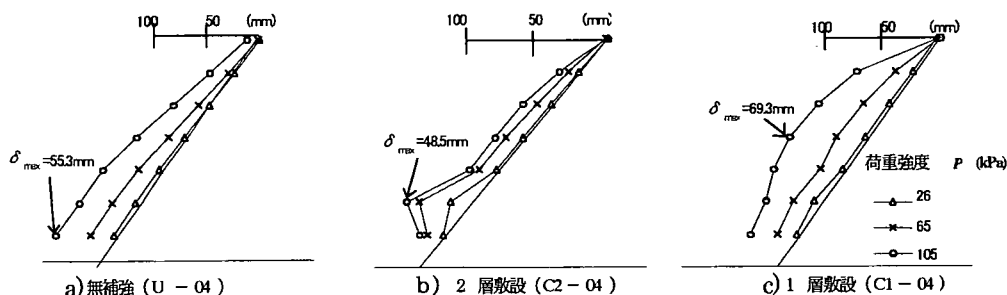


図-1 4 のり面変形図 (実験② 層数比較)

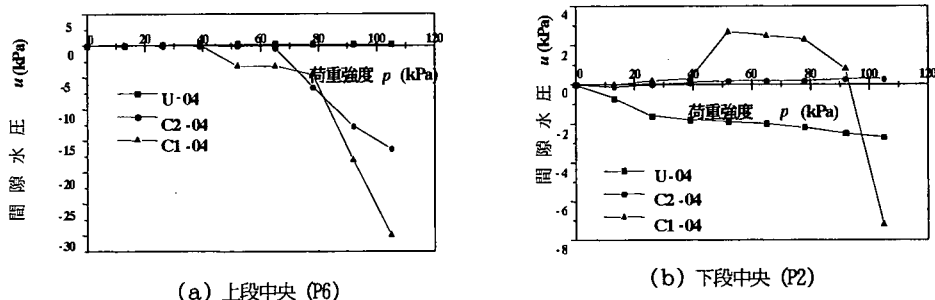


図-1 5 荷重強度～間隙水圧関係 (実験②)

った。

圧密期間 4 日間では圧密による強度増がほとんど期待できないが、実験①C2-40(長期)においては $\delta_{max}=5$ mm 程度であり、排水・引張り補強両効果が長時間の圧密(約 40 日)により十分に発揮されていたことが分かる。ただし、C1-04 の強度増が発揮されていないのは初期条件として含水比が異っていたことも要因として考えられる。

c) 間隙水圧

図-15 に荷重強度 p ～間隙水圧 u 関係を示す。C2-04、C1-04 においてはジオコンポジットの排水効果により載荷後 39 kPa で上段中央(P6)は負圧を発生する。それに伴い下段中央(P2)の間隙水圧は 39 kPa から正圧となるが、ジオコンポジットの排水効果により次第に負圧に移移している。

(3) まとめ

実験②層数比較から得られた知見を総括すると次の通りである。

- i) 圧密時間は関東ロームの強度増加のみでなく、ジオコンポジットと関東ロームの摩擦抵抗にも大きな影響を及ぼすことが報告¹¹⁾されており、今回の載荷試験の結果からも補強効果に寄与することが確認された。
- ii) 圧密期間 4 日間(短期)では、敷設間隔が 70 cm 以上に

なると補強作用が十分に機能されず、天端沈下量、のり面変化量いずれも無補強盛土と大差が無くなる。

6. 実験③圧密日数比較

(1) 概要

a) 着目点

本実験の着目点は、(1) 圧密時間の違いの影響及び(2) 無補強とジオコンポジットによる補強盛土の安定性の比較である。本実験により、ジオコンポジットの排水機能による圧密促進効果の確認、さらに盛土安定性へ寄与する引張り補強効果の確認を行うため、無補強盛土とジオコンポジット敷設補強盛土との比較を行い、ジオコンポジットの排水・引張り補強効果を定量的に評価する。

b) 実験方法

盛土材料は関東ローム(武蔵野産)で、模型盛土は無補強、ジオコンポジット 2 層敷設の 2 パターンを盛土高さ 1.4m、幅 1.5m 奥行き 2 m のり面勾配 1:0.6 で構築した。土は飽和状態で、模型境界の排水条件、型枠側面背面の処理は実験②と同様である。用いた計測装置は、実験①②と同タイプで変位計(ストローク 100 mm)(D1～D9)、間隙水圧計($\phi 30$ max200 kPa)(P1～P6)、塑性ひずみ

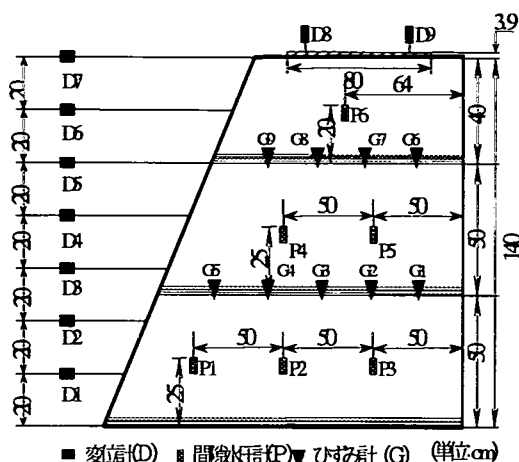


図-16 計測装置配置概要図 (実験③2 層敷設)

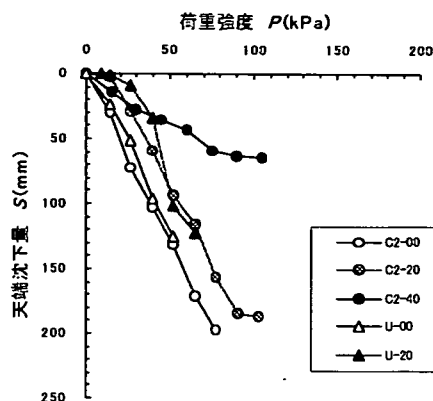


図-17 荷重強度～天端沈下関係 (実験③圧密日数比較)

表-5 実験③圧密日数比較の実験条件

ケース	C2-00	C2-04	C2-20	C2-40	U-04	U-20
ジオコンポジットの敷設条件	2層 (Hs=50cm)	2層 (Hs=50cm)	2層 (Hs=50cm)	2層 (Hs=50cm)	なし (無補強)	なし (無補強)
圧密荷重強度 p (kPa)	0	1.38	9.30	7.59	1.38	9.30
圧密時間 t (day)	0	4	20	40	4	20
締固め後の含水比 w_i (%)	89.5	88.7	89.5	98.3	84.3	86.5
締固め後の乾燥密度 ρ_d (g/cm ³)	0.759	0.745	0.742	0.711	0.751	0.742
載荷終了後の含水比 w_f (%)	89.5	83.4	84.8	84.3	81.8	82.3
載荷前後の含水比低下 w (%)	0	5.3	4.7	14.0	2.5	4.2

Hs: 鉛直間隔

ゲージ (G1～G9) である。

計測器の配置を図-16に示す。なお、盛土完成後20日圧密を行うケースでは盛土上に載荷板(1.37 kPa)を載せ、油圧シリンダにて載荷(7.93 kPa)を行い、所定の期間(20日間)動態観測を行った。動態観測終了後、一度荷重を除荷した後、再度盛土が崩壊に至るまでの段階的な載荷を油圧シリンダにて行った。0日圧密のケースC2-00では盛土構築の翌日に載荷を行った。載荷は12.7 kPa毎で13ステップ最大167.4 kPaまで載荷した。なお各ステップの載荷時間は約0.5時間を目処とした。

表-5に各ケースの実験条件、締固め直後及び載荷終了後の含水比を示す。本実験では無補強と2層補強盛土の各々異なる日数について計3ケースの実験を行った。また、ジオコンポジット2層敷設40日圧密(C2-40)は、実験①材料比較の実験実績であり、U-04及びC2-04は実験②の結果であるが、本実験結果と比較検討を行った。

(2) 実験結果

a) 天端沈下量

図-17に荷重強度 p ～天端沈下量 s 関係を示す。荷重強度60 kPaでの天端沈下量を図-17から読み取ると、C2-00が155 mm、C2-20が107.5 mm、C2-40が43.26 mm、U-20が122.4 mmという結果が得られた。注目すべき点は、C2-40における天端沈下量が他に比べて非常に小さいということである。

これは圧密期間の違いにより、圧密による強度増加の差が明瞭に現れ、ジオコンポジットの排水・引張り補強機能が十分に発揮された結果である。さらに荷重強度の大きな範囲では、全般を通して、圧密期間の違いによる強度増加の差が明瞭に確認できる。しかし、載荷前と載荷後の含水比を比較すると分かるように補強盛土の含水比低下は、40日圧密(C2-40)以外は、無補強盛土とほぼ同程度でジオコンポジットの排水効果は確認できない。

図-17を概観しても分かるように、C2-40以外は無補

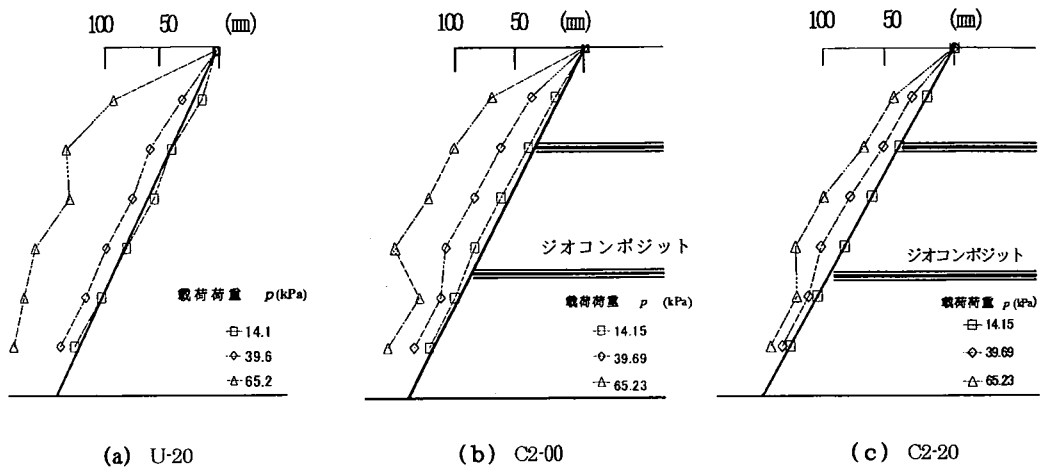


図-18 のり面変形図 (実験③圧密日数比較)

強盛土と補強盛土の曲線が錯綜した形となっており、圧密期間の違いによる土の強度差とジオコンポジットの排水・引張り補強機能による強度増加も明確には確認できない。つまり、ジオコンポジット敷設の補強盛土といえど排水・引張り補強機能が有効に働くには一定以上の圧密期間が必要不可欠であることが分かる。

b) のり面変位量

図-18に各ケースにおけるのり面変形図を示す。ここでは同じ圧密荷重で実施したU-20とC2-20および補強を施したC2-00、C2-20の比較を中心に議論する。

はじめに、圧密期間が同じ20日圧密のU-20とC2-20を比較する。荷重強度65.23 kPa時に注目するとU-20ではのり面変位量が急激に大きくなっているが、C2-20ではのり面変位量の増加率に大きな変化はなく、のり面は安定している。これは無補強のU-20では引張り補強効果はもちろんであるが、排水効果もほとんど発揮されないためC2-20のように粘性土盛土の強度が増加していないことによるものと考えられる。C2-20の変位が小さいのは、ジオコンポジットの排水機能による圧密促進効果と引張り補強機能が有効に働いた結果といえる。

次に2層補強盛土のC2-00、C2-20を比較する。圧密期間の違いによるのり面水平変位を比較すると、C2-00とC2-20とでは変形の大きさが異なりC2-20では水平変位がかなり小さいことが分かる。またのり面変位形状から、2層のジオコンポジット敷設位置で、のり面変位が抑止されていることが窺える。ジオコンポジットによる分割により盛土の安定度増加が期待出来る。排水機能を重視するジオシンセティックスを用いる場合は圧密荷重と圧密時間の関係が盛土構造体の安定性に大きな影響を及ぼすことが示唆される結果である。

c) 圧密試験による間隙水圧変化 (動態観測)

図-19に一定圧密荷重9.30 kPaによる間隙水圧 u の経時変化を示す。計測位置にかかわらず、C2-20よりU-20の方が間隙水圧が大きくなっている。また、U-20は圧密時間の経過に伴い徐々に間隙水圧が上昇している。

一方、C2-20の方はほぼ全域にわたって負圧で推移している。既往の研究で不飽和土急勾配粘性土盛土の安定性に対する間隙水圧の影響は大きく、排水補強材は間隙水圧を負に保っておく機能があることを明らかにしている⁹⁾。このことからジオコンポジットの排水効果を明瞭に表していると言える。なお、圧密の初期に見られる大きな負圧とその回復は、関東ロームの締固めによる過圧密粘性土としての特性を示唆している。

d) 載荷試験時の間隙水圧

図-20に荷重強度 p ～間隙水圧 u 関係を示す。まず、P1について、同じ4日圧密のU-04とC2-04とを比較する。C2-04は載荷以前とほぼ変化なく荷重強度102.9 kPaでも間隙水圧はわずか0.196 kPaしか変化していない。

逆にU-04は荷重強度50.96 kPa時に最大となり、間隙水圧は0.294 kPaまで変化している。わずかな差であるが、これはP1上部のジオコンポジットの排水機能による差と考えられる。次に同じ20日圧密のU-20とC2-20とを比較する。C2-20では、間隙水圧は ± 1 kPa内での変化が見られるのに対し、U-20では、間隙水圧計P1の中で、最も顕著な変化が見られる。U-20におけるのり面変形図を見ると荷重強度65.2 kPa時に大きなのり面変位が確認出来る(図-18a)。これを考えるとU-20の荷重強度60 kPa以前での間隙水圧の大きな変化は、後に現われる大きなのり面変位の前兆であったのではないかと考えられる。

今回の実験では載荷速度が速かったために全体的に急速載荷の状態になり、急激に間隙水圧が上昇しているケースがほとんどである。しかし、今回実験したC2-00、

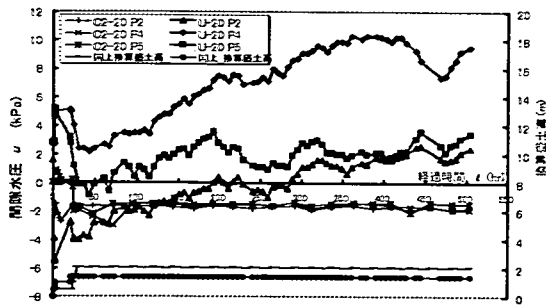
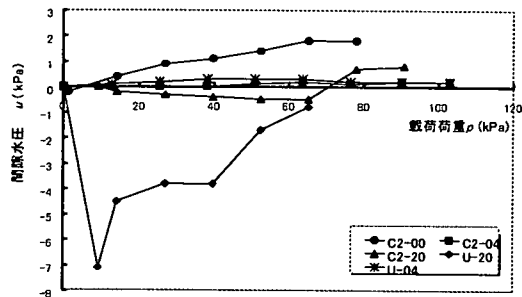
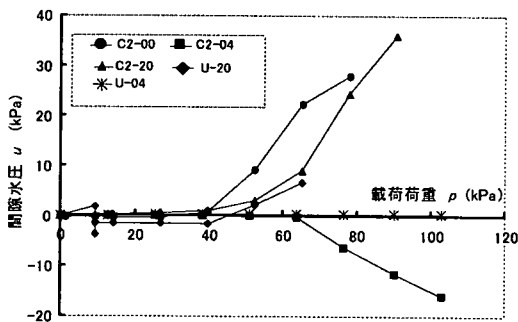


図-19 経過時間 t ～間隙水圧 u 関係
(実験③圧密日数比較)



a) 盛土下部 (P1)



b) 盛土上部 (P6)

図-20 荷重強度 p ～間隙水圧 u 関係
(実験③圧密日数比較)

C2-20においては、いずれの計測点においてもC2-00の方が大きな正の間隙水圧値を示す。この違いは圧密時間におけるジオコンポジットによる排水効果に起因するものである。

e) ジオコンポジット動員引張力の分布

ジオコンポジットに貼付した各計測ポイントG1～G9のひずみゲージの値を動員引張力 σ_a に換算し、ジオコンポジットの破断引張強度で除して正規化 (σ_a/σ_l) し百分

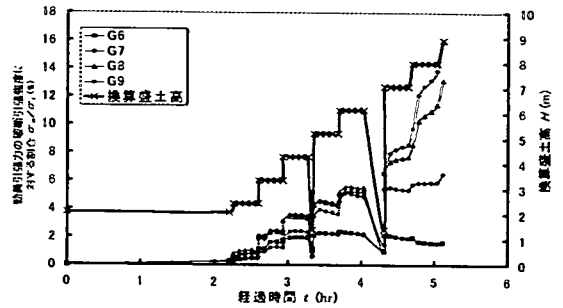


図-21 σ_a/σ_l と経過時間 t 、換算盛土高 H の関 (C2-20, $h=100\text{cm}$) (実験③圧密日数比較)

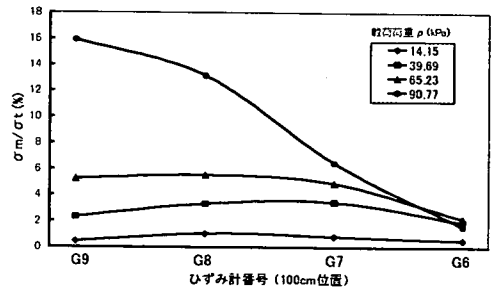


図-22 各ひずみ計位置と σ_a/σ_l の関係 (実験③)

率表示する。なお、ジオコンポジットの破断引張強度は $\sigma_l=48.05 \text{ kN/m}$ である。図-21にC2-20時の σ_a/σ_l と経過時間 t 、換算盛土高 H の関係 (盛土高さ 100cm 位置) を示す。動員引張力は荷重強度の増加に伴い比例的に増大する。その比率はのり面近傍ほど大である (σ_a 大) (図-22)。なお、動員引張力 σ_a は最大 7.63 kN/m であり、破断引張強度 σ_l の約 15.9% が動員されたに過ぎない。

(3) まとめ

実験③圧密日数比較から得られた知見を総合すると以下の通りである。

i) 圧密時間が短いほど、補強機能が十分に発揮されにくく、C2-00に至っては天端沈下量が無補強盛土とほとんど変わらない (図-17)。

ii) 補強盛土の場合、のり面変位量は圧密時間にかかわらず最大変位は盛土斜面中央部に偏っているが、盛土下部はジオコンポジットの排水効果により強度増加しているものと考えられる。また、圧密時間が長くなるほどその効果は顕著に表れる (図-18b～c)。

iii) 間隙水圧とりのり面変位量の関係に着目すると、のり面での大きな膨み出しの前兆と推察される間隙水圧の変化が見受けられた (図-18a, 図-20a)。

iv) ジオコンポジットの動員引張力の分布から、最大動員

引張力は破断強度の約 16 %に過ぎないことが分かった。

これはジオコンポジットの高剛性・高強度を示唆するものである(図-21, 図-22)。

(4) ジオコンポジットによる排水・引張り補強効果と圧密期間の違いによる補強効果の定量的評価

ここでは変形がある程度進んだ荷重強度 65 kPa 時の盛土の天端・のり面の最大変位量について、表-6 に示す実験結果より、圧密期間及び補強材の違いによる補強効果の定量的評価を行う。

a) 天端沈下量(鉛直変位)

ジオコンポジットの補強による沈下抑制量を U-20 と C2-20 の差より求めると 6.4 mm となる。また、圧密期間の差による沈下抑制量を C2-00 と C2-20 の差より求めると 54.0 mm となる。沈下抑制に関しては、ジオコンポジットによる補強効果よりも、圧密期間の差による補強効果の方がより有効であることが分かった。

このことより天端沈下量に関しては補強材もさることながら、圧密期間が大きく影響すると考えられる。

b) のり面変位量(水平変位)

のり面に関して各ケースの変位抑制量を求めると、ジオコンポジットによる変位抑制量は 56.9 mm、圧密期間の差による変位抑制量は 32.0 mm となった。のり面変位に関しては、圧密期間もさることながら、ジオコンポジット自体の補強機能がのり面変位の抑制に対し大きな影響を持つと考えられる。

c) 定量的評価の結果

天端沈下量とりのり面変位量で抑制効果に異なった結果が得られたが、これはジオコンポジットの水平方向透水係数が鉛直方向よりも 10 倍以上高いために水平変位に対してより排水効果を発揮したものと考えられる。

7. 結論

実験①から③の一連の実験結果を総括すると以下の通りである。

(1) 実験①材料比較により三種の種々の補強材による変形挙動の差異が明らかになった。特に、盛土の変形に関しては、ジオシンセティックスの補強機能の有無が明確に現れ、不織布を用いた盛土では荷重強度 105 kPa で破壊に結びつく兆候が見られた。一方、ジオグリッドの変位は上部 6 mm、中部 5 mm、下部 3 mm、ジオコンポジットは上部 5 mm、中部 5 mm、下部 2 mm であり、ジオコンポジット補強盛土はジオグリッド補強盛土より更に安定な状態を保持した。

(2) 実験②層数比較において、ジオコンポジット 2 層敷設では補強効果が確認できたが、1 層敷設では無補強盛

表-6 荷重強度 65 kPa 時の盛土の最大変位量
(実験③圧密日数比較)

	天端沈下量 (mm)	のり面変位量 (mm)
U-20	122.4	108.9
C2-00	170.0	84.0
C2-20	116.0	52.0

土と変位量が変わらず補強効果が確認できなかった。2 層敷設の短・長期圧密の模型盛土を比較するとジオコンポジットの排水効果は認められたが、短期圧密(4 日間)では圧密促進用としての排水効果は認められなかった。

(3) 実験③圧密日数比較の結果より、ジオコンポジット 2 層敷設の圧密期間の違いによる比較から圧密時間が長期になるほど排水効果が顕著に認められた。

・天端沈下量は C2-40 が他に比べて圧倒的に小さく効果が高いことが判明した。逆に圧密期間が短い場合には無補強時との差が明確に確認されなかった。

・のり面変位量は圧密時間が長期になるほど安定度が増し、また盛土下部ほど安定度が高い。無補強時と比較してもその差は顕著で、ここでも排水効果による強度増加が確認できる。

・C2-00 と C2-20 を比較することによって 20 日圧密による排水効果を定量的に抽出することができた(表-6)。

・U-20 と C2-20 を比較することによって盛土安定性へ寄与する補強効果を定量的に評価することができた。

(4) 実験①～③の全体を通して各実験の初期含水比が異なるため、排水効果(圧密による強度増)と補強効果を完全に定量的に把握するには至らなかったが、C2-40 の試料調整前含水比が小さい点を勘案したとしても、圧密による排水効果は非常に大きいものと考えられる。総合的に見ると一連の模型実験においてジオコンポジットの排水・引張り補強両効果の有効性を確認することができた。

参考文献

- 1) ジオテキスタイル補強盛土工法普及委員会: ジオテキスタイルを用いた設計・施工マニュアル, pp. 51-83, 1996.
- 2) Kamon, M., Akai, T., Fukuda, M., Nanbu, Y.: In situ failure test of high water content soft clay embankments reinforced by GHDs, IS Kyusyu' 96, pp. 215-220, 1996.
- 3) 嘉門雅史, 三村衛, 加藤隆, 赤井智幸: ジオシンセティック水平排水材を用いた粘性土補強盛土の変形挙動解析, 第 13 回ジオシンセティック論文集, pp. 1-12, 1998.
- 4) 宮田喜壽, 木暮敬二, 落合英俊: 高含水比粘性土盛土におけ

る水平排水層の排水効果の評価法, 土木学会論文集, No. 589 / III-42, pp. 121-129, 1998.

5) 三木博史: 高含水比粘性土を用いた盛土の補強方法, 土と基礎, Vol. 41, No. 9(428), pp. 69-76, 1993.

6) 荻迫英治, 了戒公利: ジオグリッドで補強された粘性土地盤の解析的評価, 土木学会論文集, No. 638 / III-49, pp. 325-334, 1999.

7) 西村淳, 平井貴雄, 棚橋由彦, 安原一哉, 陶山健太: ジオシンセティックスを用いた火山灰質粘性土補強盛土の比較模型実験, 土木学会第 52 回年次学術講演概要, pp. 556-557, 1997.

8) 平井貴雄, 西村淳, 棚橋由彦, 安原一哉, 東 努, 陶山健太: 火山灰質粘性土を用いた急勾配補強盛土の比較模型実験, 第 33 回地盤工学会研究発表会講演概要集, pp. 2361-2362, 1998.

9) 棚橋由彦, 平井貴雄, 安原一哉, 陶山健太, 西村淳, 東 努: 各種ジオシンセティックスの急勾配補強盛土 1g 模型実験による

排水・補強機能の比較, ジオシンセティックス論文集, 第 13 巻, pp. 105-112, 1998.

10) 平井貴雄, 棚橋由彦, 陶山健太, 安原一哉, 東 努: 関東ロームを用いた急勾配補強盛土の比較模型実験, 第 53 回土木学会年次学術講演概要集, III - B367, pp. 734-735, 1998.

11) 棚橋由彦, 清水裕介, 陶山健太, 持下輝雄, 北川圭介: ジオシンセティックスと火山灰質粘性土の一面せん断及び引き抜き試験による抵抗特性の把握, 第 34 回地盤工学研究発表会講演概要集, 2 分冊の 2, 892, pp. 1785-1786, 1999.

(2001. 4. 2 受付)

JUDGEMENT OF DRAINAGE AND REINFORCING EFFECTS BASED ON MODEL TESTS OF GEOCOMPOSITE -REINFORCED COHESIVE EARTH FILL

Hiromasa NAGASHIMA, Yoshihiko TANABASHI, Takao HIRAI, Jun NISHIMURA
and Kazuya YASUHARA

Recently, construction of high and steep earth fills using a high water content-cohesive soils is a common practice. Because geocomposites which have sandwiched structure of woven fabric between non-woven fabric have over the tensile strength of geogrids of woven fabrics and also having the drainage effect of non-woven fabrics. However, current design methods of nonwoven fabric-reinforced earth fills have considered the drainage function only. This paper presents an experimental study on geocomposites-reinforced steep earth fills using *Kanto Loam*. Comparing both no-reinforced and geocomposites-reinforced earth fills varying consolidated times, the efficiencies of the geocomposites as drainage and reinforcing material have been judged.