

## 技術報文

## 発泡廃ガラス混合軽量化土とジオグリッドの摩擦特性について

前田工織(株)	久保哲	也
日本大学	内岸	彦夫
日本大学	峰	

## 1. まえがき

近年、グリーン購入法や建設リサイクル法といった循環型社会の形成が推進されている。そこで、ガラス廃材を原料として再利用した発泡廃ガラスは、リサイクルの有効な手段の一つである。その特長は、間隙構造体となることから、軽量な材料特性を有する。したがって、地盤工学の分野では、軽量盛土工法の一つとして利用可能な材料である。ジオグリッドを用いた補強土壁工法は、土地の有効活用などで、軟弱地盤などの不安定な地盤に構築することが増加している。また、現地発生材などで補強土壁を構築する場合もあり、使用する盛土材料が粘性土やロームといった、摩擦を確保できない材料を使用することも多い。そこで、筆者らは軽量粒状体である発泡廃ガラスを盛土材に混合することで、盛土の軽量化やせん断抵抗角の増加を期待した。本報文では、引抜試験より得られた発泡廃ガラス混合軽量化土とジオグリッドの摩擦特性について報告する。

## 2. 発泡廃ガラス

発泡廃ガラスは、廃ガラス瓶などを粉碎、粉末状態にした材料に発泡材を添加し、焼成することで生成される（写真-1参照）。その構造は微細な独立した多孔質間隙構造体となる。比重は発泡材の添加量により0.3～1.5に調整が可能である。また、独立間隙構造から非吸収性の材料である。安全性については、酸、アルカリおよび石油類などで変質することは無く、有害物質の溶出も無い（表-1参照）。本研究では比重が0.4の材料を使用した。物理的性質を表-2に示す。



写真-1 発泡廃ガラス

表-1 溶出試験結果

項目	溶出試験結果	関連基準		
		埋立基準	海投基準	廃水基準
アルキル水銀	不検出	不検出	不検出	不検出
総水銀	不検出	≤0.005	≤0.005	≤0.005
カドミウム	不検出	≤0.3	≤0.1	≤0.1
鉛	不検出	≤0.3	≤0.1	≤0.1
有機りん	(なし)	≤1.0	≤1.0	≤1.0
六価クロム	不検出	≤1.5	≤0.5	≤0.5
ヒ素	不検出	≤0.3	≤0.1	≤0.1
シアン	不検出	≤1.0	≤1.0	≤1.0
セレン	不検出	≤0.3	≤0.1	≤0.3

## 3. 試験方法

## (1) 材料

## a) 地盤材料

本試験では、現地発生材の有効活用としての使用が増加しているロームを地盤材料とした。試料は、千葉県船橋市内で採取した火山灰質粘性土（関東ローム：VH<sub>2</sub>）である。物理的性質を表-3に示す。

## b) ジオグリッド

芯材にアラミド繊維を用い、高密度ポリエチレンで被覆したジオグリッドを使用した。ジオグリッドの規格を表-4に示す。

## (2) 試験装置

試験装置は、図-1、写真-2に示すジオグリッド引抜試験機を用いて行った。計測は、ジオグリッドの引

表-2 発泡廃ガラスの物理的性質

項目	単位	発泡廃ガラス
比重(乾燥状態)	-	0.4
粒径範囲	(mm)	2.0～75.0
一軸圧縮強さ	(N/mm <sup>2</sup> )	3.0～4.0
有害物質	-	無し

抜力をロードセルで測定し、引抜け量はジオグリッドに3点変位測定用のワイヤーを取り付け、その端部を変位計に固定して行った。ジオグリッドの敷設位置に作用する鉛直荷重の確認は、引抜試験に影響が生じない箇所に土圧計を設置して行った（図-2参照）。

### (3) 試験条件

試料の配合比は、重量比で1:9、1:6、1:3、関東ロームのみ（0:1）および発泡廃ガラスのみ（1:0）とした（発泡廃ガラス：関東ローム）。締固め条件は、既存の研究<sup>1)</sup>で行われた突き固めによる締固め試験の結果より、最大乾燥密度の90%以内となるよう調整した。ジオグリッドの形状は280×500mmとし、土槽内に敷設した。試験は定速度ひずみ制御（1mm/min）で行い、垂直応力は20、40、60kN/m<sup>2</sup>の3 CASEで行った。

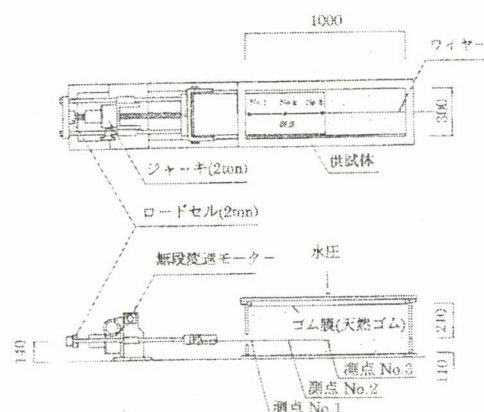


図-1 ジオグリッド引抜試験機の概要

### 4. 試験結果および考察

図-3～図-5は、各垂直応力条件における配合比別のせん断応力と変位の関係を示す。ここで、引抜力の計測は、100kN間隔で測定しているため、図に示す変位は定則ひずみから求めている。いずれの垂直応力においても発泡廃ガラスの配合比が大きくなるにしたがい、せん断応力も増加している。

図-6は、ジオグリッドの引抜試験による各配合での最大せん断応力と垂直応力の関係を示している。これより、クーロンの破壊規準を用いてせん断抵抗角と見掛けの粘着力を求めた

（表-5参照）。発泡廃ガラスを混合することで、せん断抵抗角および見掛けの粘着力は増加する傾向を示す。これはせん断抵抗角をあまり有さ

表-3 関東ロームの物理的性質

項目	単位	関東ローム
土粒子の密度 $\rho_s$	(g/cm <sup>3</sup> )	2.72
自然含水比 $W_n$	(%)	115.0
液性限界 $W_L$	(%)	143.4
塑性限界 $W_p$	(%)	100.9
塑性指数 $I_p$	-	54.5

表-4 ジオグリッドの規格

項目	単位	規格
芯材	—	アラミド繊維
被覆材	—	高密度ポリエチレン
目合	(mm)	26×28
製品基準強度	(kN/m)	46
	(kN/m)	77
破断時のひずみ	(%)	4~6

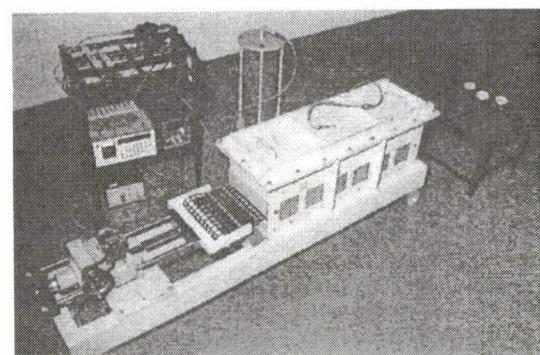


写真-2 ジオグリッド引抜試験機

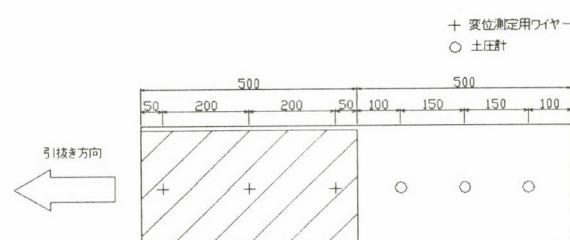


図-2 計器の設置図

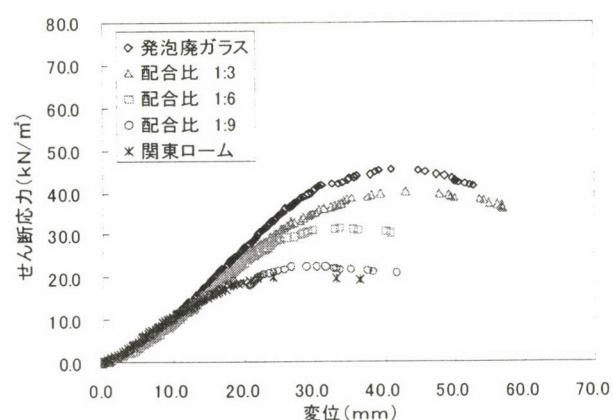


図-3 せん断応力と変位の関係 ( $\sigma : 20\text{kN/m}^2$ )

ない関東ロームに由来する材料である発泡廃ガラスが混合することで、発泡廃ガラス自体の摩擦特性が発現したことと、ジオグリッドの開口部の中に発泡廃ガラスが入り込み、絡む現象（インターロッキング効果）が生じ、摩擦面で粘り強さが発揮されたと考えられる。写真-3は、ジオグリッド設置時の状況と試験後にジオグリッドを撤去した状況を示す。

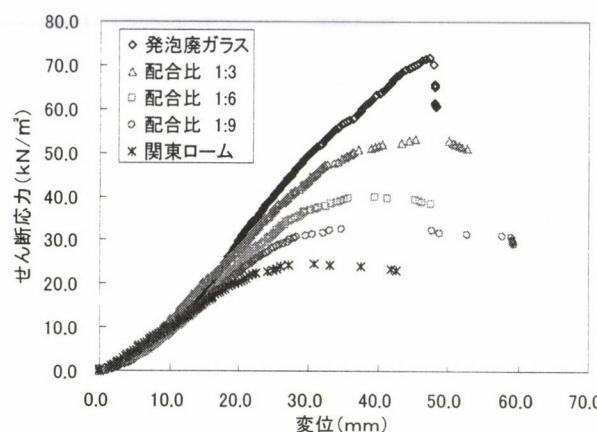


図-4 せん断応力と変位の関係 ( $\sigma : 40 \text{kN/m}^2$ )

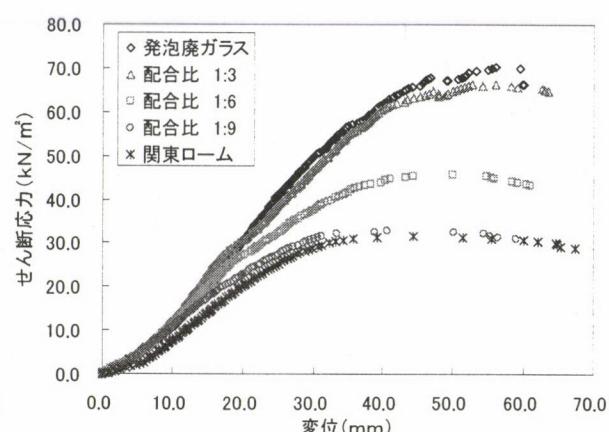


図-5 せん断応力と変位の関係 ( $\sigma : 60 \text{kN/m}^2$ )

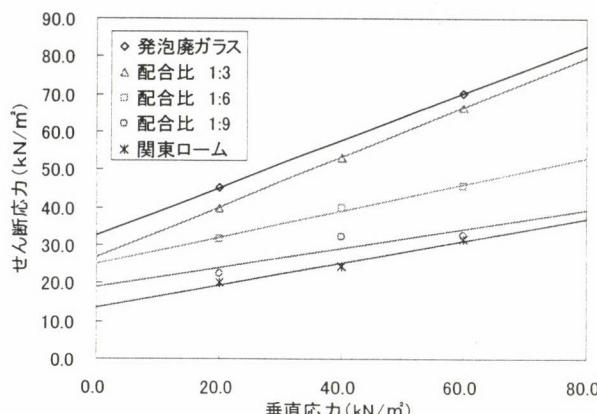


図-6 せん断応力と垂直応力の関係

表-5 見掛けの粘着力とせん断抵抗角

項目	単位	配合比				
		発泡廃ガラス	1:3	1:6	1:9	関東ローム
粘着力 $c$	(kN/m²)	32.0	26.8	25.2	19.1	13.2
せん断抵抗角 $\phi$	(°)	32.0	33.4	19.1	14.4	17.4

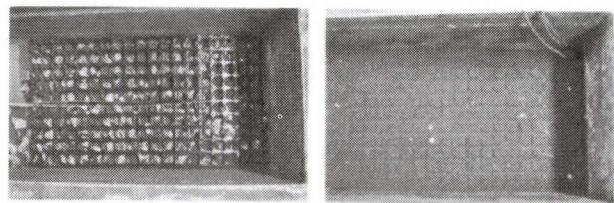


写真-3 引抜試験の試験前、後 (配合比 1:3)

## 5. 補強土への適用

### (1) ジオグリッドの配置

#### a) 試計算の条件

引抜試験より、発泡廃ガラス混合軽量化土とジオグリッドの摩擦特性が確認できた。そこで、試験結果を用い、補強土の設計（試計算）を行い、盛土材料が軽量になることでジオグリッドに及ぼす影響を確認した。また、引抜試験は行っていないが、試計算では砂質土も対象とした。ここで、試計算における土質定数の設定は、配合比の増加に伴う見掛けの粘着力は考慮せずに、各配合条件でのせん断抵抗角と関東ローム自体の粘着力のみで検討した。一方、砂質土についてはせん断抵抗角と粘着力を一定とし、盛土材料の単位体積重量のみを変化させた。試計算の条件を表-6に示す。

表-6 試計算の条件

項目	単位	関東ローム				砂質土			
		0:1	1:9	1:6	1:3	0:1	1:9	1:6	1:3
配合条件									
粘着力 $c$	(kN/m²)			13.2				10.0	
せん断抵抗角 $\phi$	(°)		5.11	19.2	30.5			30.0	
のり面勾配 $n$				1:0.3				1:0.3	
盛土高さ $H$	(m)			8.0				8.0	
					12.0			12.0	
設計水平震度 $kh$					0.15			0.15	
鉛直方向の敷設間隔 $V$	(m)				1.2			1.2	

-20-

### b) 試計算の結果

図-7は、ジオグリッドの敷設長さと配合比の関係を示す。本来、ジオグリッドを用いた補強土工法は、摩擦に依存するため、盛土材料が軽量化することで垂直応力が減少し、ジオグリッドの敷設長が伸びると考えられる。しかし、試計算の結果からは、盛土材料にロームを用いた場合、発泡廃ガラスを混合することで、ジオグリッドの敷設長が短くなる傾向となった。一方、砂質土を用いた場合には、あまり影響しない結果となった。これは、式(1)<sup>2)</sup>に示すように土塊重量が減少することで滑動モーメントが小さくなる。また、抵抗モーメントも土塊重量の影響を受けるが、せん断抵抗角の増加や粘着力成分の抵抗力が影響したことによるものと考えられる。

本試計算はジオグリッドの強度選定や敷設間隔などの一定条件における結果を示していることから、最も経済的な配置でないことに注意願いたい。

$$F_S = \frac{R\sum\{cl + (W \cos\alpha + T \sin\theta)\tan\phi + T \cos\theta\}}{R\Sigma W \sin\alpha} \quad (1)$$

R : 滑り円弧の半径

c : 盛土材料の粘着力

$\phi$  : 盛土材料のせん断抵抗角

l : 弧長

W : 土塊重量

$\alpha$  : 接線角

T : ジオグリッドの引張力

$\theta$  : 円弧とジオグリッドのなす角

### (2) 支持力

上記の試計算で得られた支持力と配合比の関係を図-8に示す。当然ではあるが、発泡廃ガラスを混合することで支持力は軽減される。いずれのCASEにおいても、発泡廃ガラスを混合しない地盤材料（配合比0:1）だけで試計算した補強土の支持力に対し、配合比1:3においては60%程度軽減されている。

## 6.まとめ

関東ロームのような摩擦があまり期待できない盛土材料に、 $\phi$ 材料である発泡廃ガラスを混合することで、せん断抵抗角および見掛けの粘着力は増加することが確認された。したがって、ジオグリッドとの摩擦が確保され、十分な引抜抵抗力が発揮される。また、基礎地盤に対する支持力は軽減され、軟弱地盤での適用も有効であると考えられる。今後、地盤材料に発泡廃ガラスを混合することで、軽量効果の機能を有した補強土の構築が可能となり、新工法としての普及が期待できる。

### 参考文献

- 1) 卷内, 峰岸, 根本, 久保: 軽量発泡廃ガラス混入粘性土の力学特性, 第38回地盤工学研究発表会, 2003.7
- 2) (財) 土木研究センター: 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, 2000.

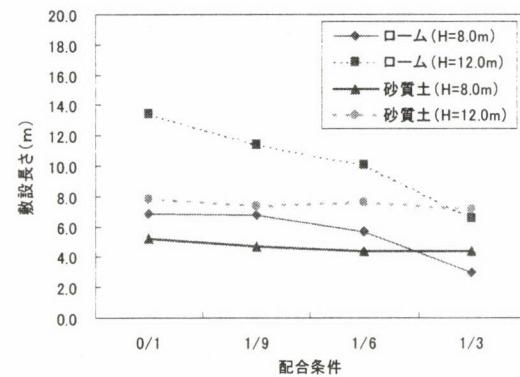


図-7 ジオグリッドの敷設長さと配合比

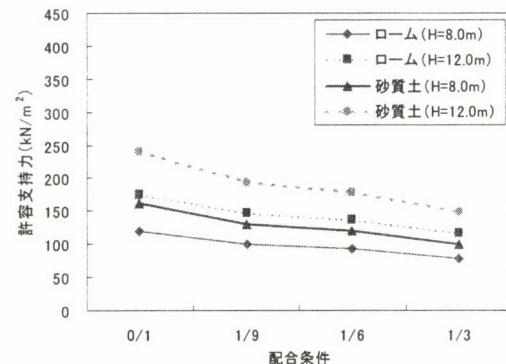


図-8 支持力と配合比