

# ジオグリッド式岸壁構造に関する引抜き試験

水谷 将<sup>1</sup>・三好 俊康<sup>2</sup>

<sup>1</sup>正会員 五洋建設株式会社 技術研究所 (〒329-2746 栃木県那須塩原市四区町1534-1)  
E-mail:Suguru.Mizutani@mail.penta-ocean.co.jp

<sup>2</sup>正会員 五洋建設株式会社 技術研究所 (〒329-2746 栃木県那須塩原市四区町1534-1)  
E-mail:Toshiyasu.Miyoshi@mail.penta-ocean.co.jp

擁壁等において広く使われるジオグリッドを用いた補強土壁工法は耐震性に優れており、港湾構造物（例えば矢板式岸壁）へ適用することは有効であると考えられる。ジオグリッドを港湾構造物に適用する場合、水中での裏込石締固め作業は困難であることから、ジオグリッド敷設箇所の不陸が大きくなり補強効果が十分に発揮されないことが予想される。ジオグリッドは目合い部分と土のかみ合わせにより補強効果を発揮するため、その摩擦特性を把握することは重要となるが、岸壁背後に用いられる裏込石とジオグリッド間の摩擦特性については不明な点が多い。本報告ではジオグリッドと間詰石の相互作用による摩擦特性を把握するため、異なる間詰石や上載荷重に対しジオグリッドの引抜き試験を実施した。その結果、粒径が小さい間詰石を使用するほどジオグリッドとの間に摩擦効果が大きくなることが確認できた。

**Key Words :** geogrid, frictional resistance, pull-out test, sheet-pile quaywall

## 1. はじめに

耐震性に優れたジオグリッド設置型補強土壁工法を矢板式岸壁等の港湾構造物へ適用することは有効であると考えられる。港湾構造物を対象としてジオグリッドを適用する場合、水中では裏込石を締固めできない等の理由によりジオグリッド敷設箇所の不陸が大きくなり、ジオグリッドによる補強効果が十分に発揮されない恐れがある。敷設されたジオグリッドは基本的に水平状態においてその機能ならびに効果を発揮するため、局所的に裏込石が接触すると荷重が1点に集中し、ジオグリッドが切断する可能性が高い。その際、砂利等の間詰石を裏込石間に適度に配置することにより、ジオグリッド敷設箇所が平坦化するとともに上載荷重が分散化し、ジオグリッドの性能および耐久性が向上すると考えられる。また、ジオグリッドは目合い部分と土のかみ合わせにより補強効果を発揮するため、その摩擦特性を把握することは重要となるが、岸壁背後に用いられる裏込石とジオグリッド間の摩擦特性については不明な点が多い。以上の事項を踏まえ、本検討では異なる間詰石や上載荷重に対しジオグリッドの引抜き試験を実施することとした。

## 2. 実験概要

### (1) 実験装置

実験装置断面を図-1に示す。実験装置は長さ2m、幅1.088m、高さ0.8mで、中央部（高さ0.4m）に敷設したジオグリッドを境にして上下対称に裏込石（0.3m幅）、間詰石（0.1m幅）を敷き詰めた。また、実験装置上面に覆工板および敷鉄板を設置することにより、敷鉄板の枚数により上載荷重を変えることを可能とした。なお、ジオグリッドの引抜きにはロードセル付の油圧ジャッキ（最大引張荷重300kN）を用いた。

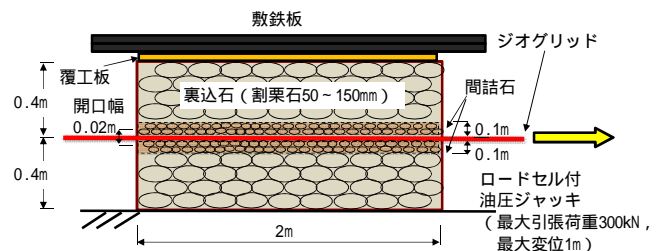


図-1 実験装置断面

(2) 実験材料

a) ジオグリッド

本実験で使用したジオグリッドの特性を表-1に示す。ジオグリッド(写真-1)は軟鋼並みの引張強度を有する高密度ポリエチレン製で破断ひずみが10-20%と小さく、長期耐久性・耐薬品性・耐候性に優れている。土を網目で強く拘束することから、土のインターロック(かみ合わせ)効果に優れ土中のせん断抵抗が大きい。

b) 裏込石および間詰石

裏込石には割栗石(径50-150mm)、間詰石には裏込石と同じもの、単粒度砕石S-30(4号)、粒度調整砕石M-40を用いた(写真-2)。表-2に本実験で用いた裏込石および間詰石の性質を示す。

表-1 高密度ポリエチレン製ジオグリッドの特性

区分	寸法		設計基準強度 (kN/m)	備考
	幅 (m)	目合縦×横 (mm)		
A	1	166×22	100.0	一軸延伸性の性能
B	1	265×22	160.0	一軸延伸性の性能



写真-1 高密度ポリエチレン製ジオグリッド



写真-2 裏込石および間詰石  
(左から単粒度砕石, 粒度調整砕石, 割栗石)

表-2 裏込石および間詰石の性質

区分	呼び名	粒径範囲 (mm)	平均粒径D <sub>50</sub> (mm)
裏込石	割栗石	150-50	100
間詰石	単粒度砕石 S-30(4号)	30-20	25
	粒度調整砕石 M-40	40-0	7
	割栗石	150-50	100

(3) 測定項目

表-3に測定項目, 図-2, 3にひずみおよび変位量の計測箇所を示す。変位量はジオグリッドの横ストランド上の10箇所に取り付けたステンレスワイヤーを土槽外に引き出し, 変位計に接続することにより測定した。ワイヤーは間詰石との接触を避けるため, さや管の中に通した。Aの1ケースについてはジオグリッドの横ストランド間(7箇所)にひずみゲージを取り付けた。

(4) 実験ケース

表-4に本実験で用いた実験ケースを示す。

A(CASE1-10)では代表ケース(間詰石を単粒度砕石, ジオグリッド幅1m, 上載荷重66kN/m<sup>2</sup>)をCASE1とした。計測値のばらつきを確認したケースをCASE2-3(ただし, CASE3のみひずみゲージを設置), ジオグリッド幅0.4mとした1ケースをCASE4, 粒度の違いを確認したケースをCASE5-6, 上載荷重の違いを確認したケースをCASE7-10とした。

表-3 測定項目

項目	使用機器	測定箇所数
ジオグリッド変位	ワイヤー式変位計	10
ジオグリッドひずみ	ひずみゲージ	7(1ケースのみ)
油圧ジャッキストローク	ワイヤー式変位計	1
引抜き荷重	ロードセル (油圧ジャッキ付属)	-
ジオグリッド敷設面不陸	レーザー式変位計	-

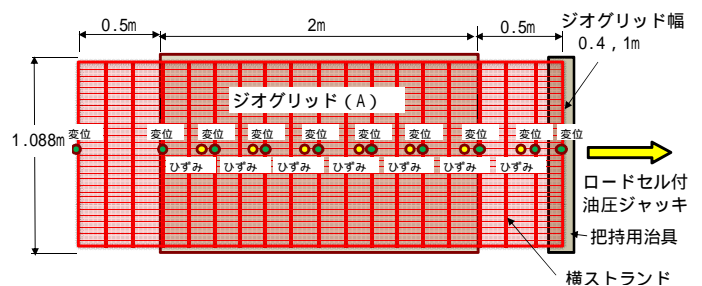


図-2 ひずみおよび変位量の測定箇所(A)

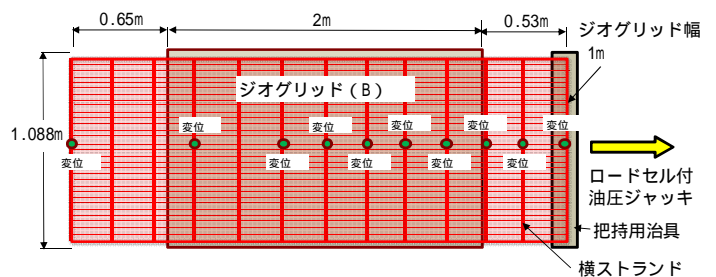


図-3 変位量の測定箇所(B)

表4 実験ケース

	使用		間詰石			ジオグリッド幅(m)		上載荷重(kN/m <sup>2</sup> )					備考	
	ジオグリッド		単粒度	粒度調整	割栗石	1	0.4	66	40	24	14	10		
CASE1			砕石	砕石										代表ケース
CASE2														ばらつき
CASE3														(CASE3はひずみゲージあり)
CASE4														ジオグリッド幅
CASE5														粒度
CASE6														
CASE7														
CASE8														上載荷重
CASE9														
CASE10														
CASE11														代表ケース
CASE12														粒度
CASE13														
CASE14														
CASE15														上載荷重

B(CASE11-15)では代表ケース(間詰石を単粒度砕石, ジオグリッド幅1m, 上載荷重66kN/m<sup>2</sup>)をCASE11とした. 粒度の違いを確認したケースをCASE12-13, 上載荷重の違いを確認したケースをCASE14-15とした.

### 3. 実験結果および考察

#### (1) ばらつき (CASE1-3)

図4に各測点での最大引抜き荷重時の変位量(横軸: 500-2500mmの範囲が土槽内)を示す. 各測点の変位量は, ひずみゲージの影響等により多少差異はあるが本実験においては顕著なばらつきはみられなかった.

CASE3では各測点のひずみについて, ひずみゲージ測定値と変位計から求めた計算値を比較した. 図5に各測点での最大引抜き荷重時のひずみ(横軸: 500-2500mmの範囲が土槽内)について, ひずみゲージ測定値と変位計から求めた計算値を示す. ひずみの計算値は式(1)により算定した(図6). ただし, マイナス値はゼロ値として扱った.

$$\epsilon_{12} = (D_1 - D_2) / L_{12} \quad (1)$$

ここに,  $\epsilon_{12}$ : ひずみ

$D_1, D_2$ : 変位量測定値,  $L_{12}$ : 実験前の距離

ジオグリッド前面壁付近(図5, 点線箇所)で計算値が1.2~1.3倍程度大きくなるが, ここを除くと, ひずみ測定値と計算値は概ね同程度と考えられる.

#### (2) ジオグリッド幅 (CASE1,4) の影響

各測点での最大引抜き荷重時の変位量(図7)はCASE1,4とも同程度の値を示している. 最大引抜き荷重(表5)においてもジオグリッド幅を単位長さあたりの

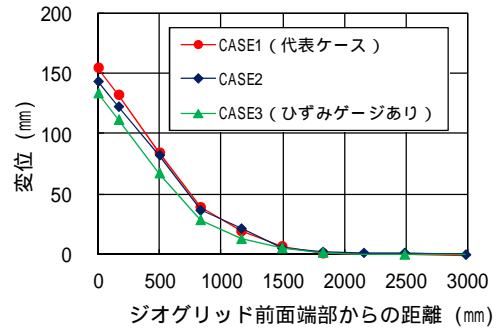


図4 各測点での変位量(ばらつき)

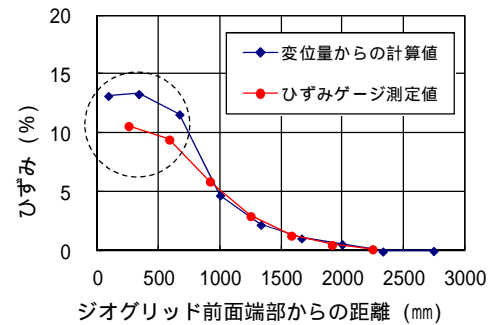


図5 各測点でのひずみ(CASE3)

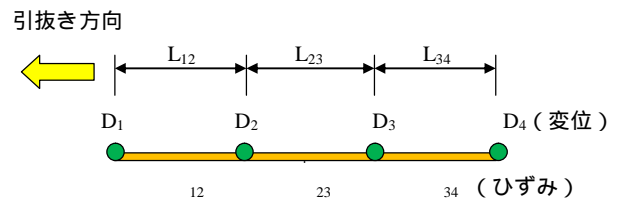


図6 概要図(ひずみの計算)

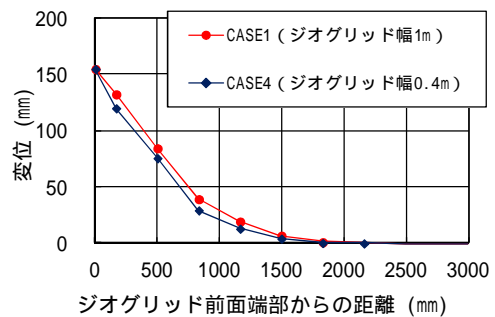


図7 各測点での変位量(ジオグリッド幅)

表5 最大引抜き荷重

	ジオグリッド幅 m	最大引抜き荷重 kN	最大引抜き荷重 kN/m
CASE1	1.0	84.8	84.8
CASE4	0.4	34.2	85.5

換算値では同程度となり, 本実験においてはジオグリッド幅の違いによる影響はみられなかった.

(3) 粒度 (A:CASE1,5-6, B:CASE11-13) の影響

ジャッキストロークと引抜き荷重の関係を表-6 および図-8 に、ジオグリッド敷設面(中央付近)の不陸状況を図-9,10 に示す。全てのケースにおいてジオグリッドは引抜かれず土槽前面壁付近で破断した。A では土槽前面付近において設計基準強度の 8 割程度の引抜き荷重(表-6)で破断しており、粒度の違いによる最大引抜き荷重に差異はほとんど見られない。土槽前面付近では実験の前後でジオグリッド敷設面の不陸の高さが増加しており(図-9, 点線箇所)、実験装置の構造上、引抜き荷重の増大に伴い間詰石密度が土槽前面付近で局所的に大きくなった結果、粒度の違いによる摩擦効果を発揮する前に破断したためであると考えられる。B では単粒度砕石(CASE11)、割栗石(CASE13)において A のケースと比べ、実験の前後でジオグリッド敷設面の間詰石の不陸の水平方向のずれ(図-10, 点線箇所)が顕著となり、ジオグリッドと間詰石のかみ合わせによる摩擦効果が現れていると推測できる。また、このずれにより間詰石の角の部分が局所的にジオグリッドに作用したため設計基準強度に到達する前に破断したと考えられる。粒度調整砕石(CASE12)では細かい粒径の砂が多く含まれており、上乗荷重がジオグリッドに局所的に作用することなく、ジオグリッド全体に分散して作用したため、設計基準強度付近で破断したと考えられる。また、実験前後で高く平らになっている理由としては、ジオグリッド敷設面上部の粒度調整砕石内の細粒分がジオグリッドの引抜け時にジオグリッド内を降下し積もったものと推測できる。

各ジオグリッド各測点位置での変位量、ひずみ、せん断応力(最大引抜き荷重時)を図-11,12,13(横軸:A 500-2500mm, B 530-2530mmの範囲が土槽内)に示す。せん断応力は式(2)で算定した<sup>1)</sup>(図-14)。

$$\tau_{12} = (F_{12} - F_{23}) / (L_{12} + L_{23}) / 2 \quad (2)$$

ここに、 $\tau_{12}$ :せん断応力

$$F_{12}, F_{23}: F_{12} = E_1 \times \tau_{12}, F_{23} = E_2 \times \tau_{23}$$

$E_1, E_2$ : 気中でのジオグリッド引張試験より設定

$L_{12}, L_{23}$ : 実験前の距離

ジオグリッド各測点の変位量は全ケースにおいてジオグリッド前面に近づくにつれて増加する(図-11)。Aで

表-6 最大引抜き荷重(粒度)

A	間詰石	最大引抜き荷重 kN/m	ストローク mm	最大引抜き荷重 /設計基準強度
CASE1	単粒度砕石	84.8	163.3	0.85
CASE5	粒度調整砕石	81.2	158.0	0.81
CASE6	割栗石	80.3	167.5	0.80
B	間詰石	最大引抜き荷重 kN/m	ストローク mm	最大引抜き荷重 /設計基準強度
CASE11	単粒度砕石	148.1	202.0	0.93
CASE12	粒度調整砕石	161.4	199.9	1.01
CASE13	割栗石	138.3	185.1	0.86

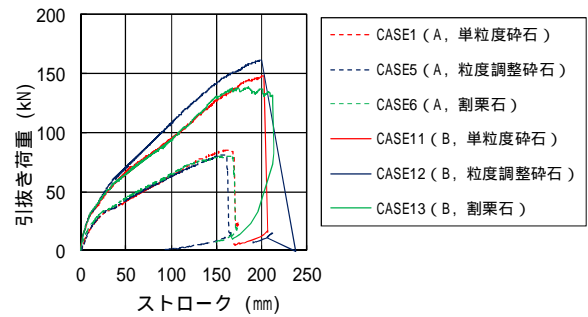


図-8 引抜き荷重(粒度)

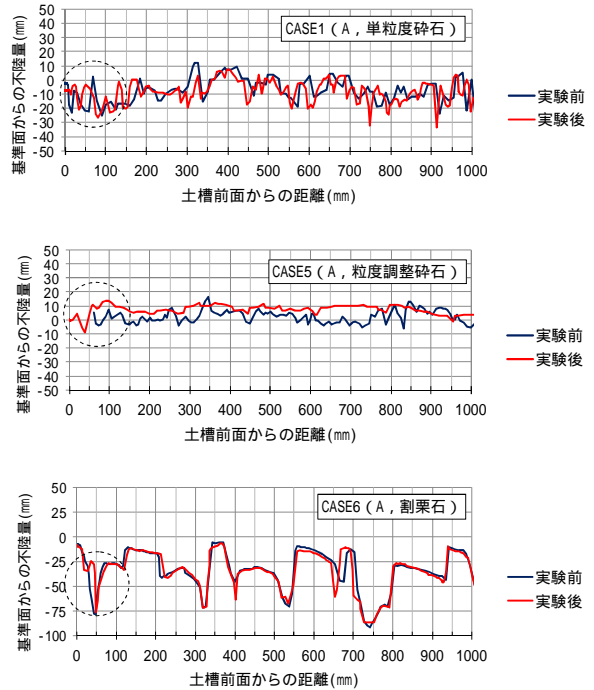


図-9 ジオグリッド敷設面不陸状況(A)

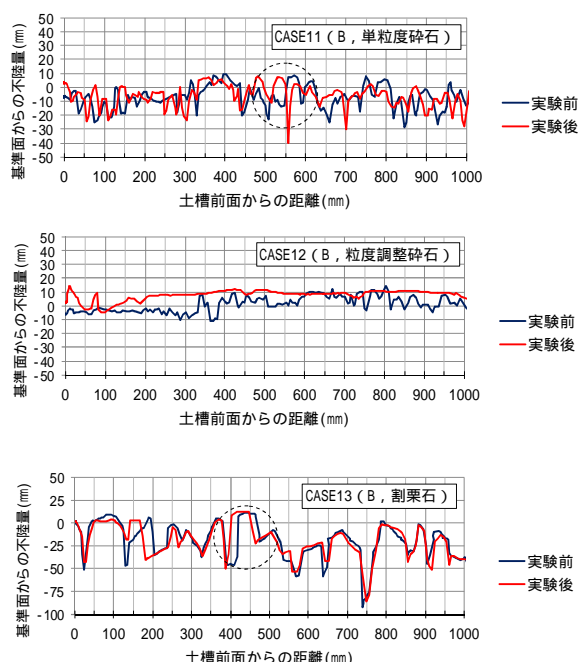


図-10 ジオグリッド敷設面不陸状況(B)



はジオグリッド前面からの距離2000-3000mmではほとんど変位していないのに対し、Bではジオグリッド全面にわたり変位が発生している。Aではジオグリッド全面にわたり変位が発生する前にジオグリッドが破断したためと推測できる。ひずみについてはBの単粒度砕石（CASE11）、割栗石（CASE13）において測点位置により増減を繰り返していることから局所的にひずみが発生していると考えられる（図-12）。この現象からも間詰石の角の部分局所的にジオグリッドに作用していることが推測できる。また、せん断応力はA、Bで程度に違いはあるものの全てのケースにおいて各測点で発生している（図-13）。最後に間詰石の違いによる引抜き抵抗係数を表-7および図-15に示す。引抜き抵抗係数は式(3)、(4)で算定し、間詰材として豊浦砂、ジオグリッドにC（設計基準強度80kN/m）を用いた事例（上載荷重50kN/m<sup>2</sup>）<sup>2)</sup>を参考に併記した。

$$\mu = \frac{\sigma_{max}}{F_T} \quad (3)$$

ここに、 $\mu$ ：引抜き抵抗係数

$$\sigma_{max} (= F_T / (2B_G \times L_E)) \quad (4)$$

：最大引抜きせん断応力

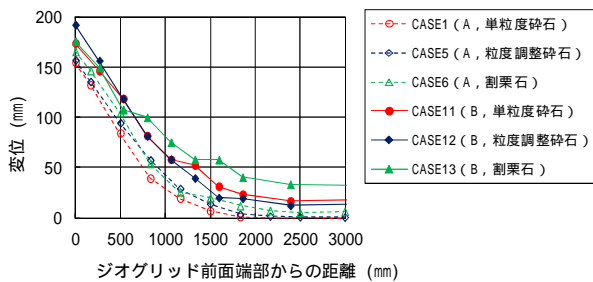


図-11 各測点での変位量（最大荷重時）

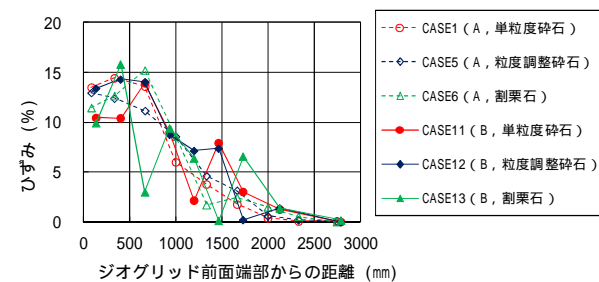


図-12 各測点でのひずみ（最大荷重時）

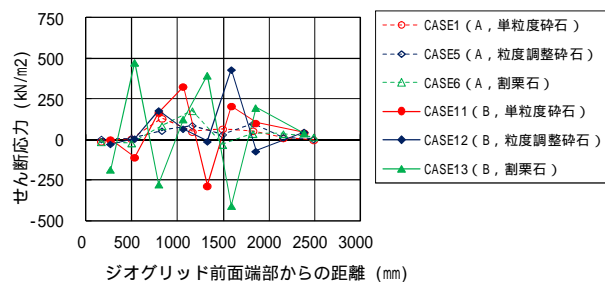


図-13 各測点でのせん断応力（最大荷重時）

：上載荷重、 $F_T$ ：最大引抜き荷重

$B_G$ ：土槽内のジオグリッド幅（=1m）

$L_E$ ：土槽内のジオグリッドの引抜き抵抗長（=2m）

引抜き抵抗係数はAでは粒度の違いによる差異はみられないが、Bでは間詰石が細かい（粒度調整砕石）ほど大きくなる傾向がみられる。

(4) 上載荷重（A:CASE1,7-10, B:CASE11,14-15）の影響  
ジャッキ引抜き量と引抜き荷重の関係を表-8および図-16に示す。Aでは上載荷重24kN/m<sup>2</sup>以上の3ケースでジオグリッドが破断し、14kN/m<sup>2</sup>以下の2ケースで引抜けている。破断したケース（CASE1,7-8）は設計基準強度の8割程度で破断しており、引抜けたケース（CASE9-10）は最大引抜き荷重が設計基準強度の4-5割程度である。

Bでは上載荷重66kN/m<sup>2</sup>の1ケースでジオグリッドが破断し40kN/m<sup>2</sup>以下の2ケースで引抜けている。破断したケース（CASE11）は設計基準強度の9割程度で破断しており、引抜けたケース（CASE14-15）は最大引抜き荷重が設計基準強度の6-7.7割程度である。よって本実験では最大引抜き荷重が設計基準強度の8割以上のケースでジオグリッドが破断している。

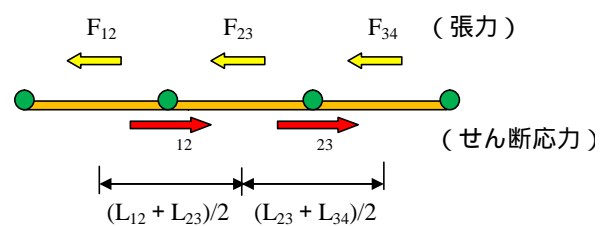


図-14 概要図（せん断応力の計算）

表-7 引抜き抵抗係数（粒度）

A	間詰石	上載荷重 kN/m <sup>2</sup>	最大引抜き荷重 kN	最大せん断応力 kN/m <sup>2</sup>	引抜き 抵抗係数
CASE6	割栗石	65.8	80.3	20.1	0.31
CASE1	単粒度砕石	65.5	84.8	21.2	0.32
CASE5	粒度調整砕石	65.6	81.2	20.3	0.31
B	間詰石	上載荷重 kN/m <sup>2</sup>	最大引抜き荷重 kN	最大せん断応力 kN/m <sup>2</sup>	引抜き 抵抗係数
CASE13	割栗石	65.8	138.3	34.6	0.53
CASE11	単粒度砕石	65.8	148.1	37.0	0.56
CASE12	粒度調整砕石	66.2	161.4	40.4	0.61

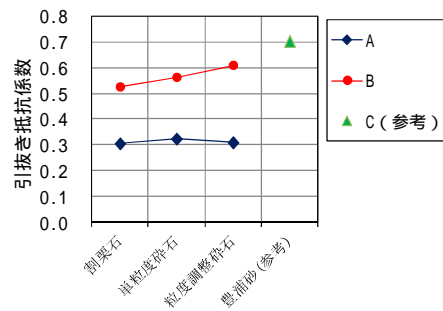


図-15 引抜き抵抗係数（粒度）

表-8 最大引抜き荷重 (上載荷重)

A	上載荷重 kN/m <sup>2</sup>	最大引抜き荷重 kN/m	ストローク mm	最大引抜き荷重 /設計基準強度	備考
CASE1	65.5	84.8	163.3	0.85	破断
CASE7	39.6	81.0	153.6	0.81	破断
CASE8	23.9	79.7	177.5	0.80	破断
CASE9	13.8	54.2	188.9	0.54	引抜け
CASE10	9.7	43.7	212.2	0.44	引抜け
B	上載荷重 kN/m <sup>2</sup>	最大引抜き荷重 kN/m	ストローク mm	最大引抜き荷重 /設計基準強度	備考
CASE11	65.8	148.1	202.0	0.93	破断
CASE14	39.8	122.4	189.7	0.77	引抜け
CASE15	14.4	62.4	299.7	0.39	引抜け

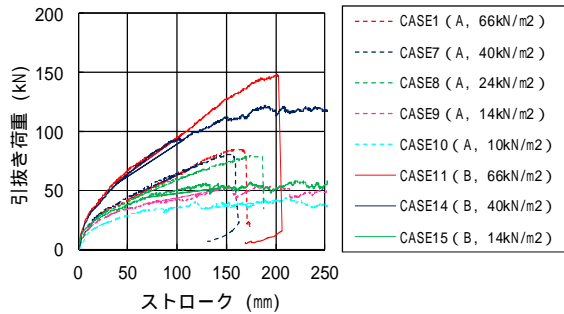


図-16 引抜き荷重 (上載荷重)

表-9 最大せん断応力 (上載荷重)

A	上載荷重 kN/m <sup>2</sup>	最大引抜き荷重 kN	最大せん断応力 kN/m <sup>2</sup>
CASE1	65.5	84.8	21.2
CASE7	39.6	81.0	20.3
CASE8	23.9	79.7	19.9
CASE9	13.8	54.2	13.5
CASE10	9.7	43.7	10.9
B	上載荷重 kN/m <sup>2</sup>	最大引抜き荷重 kN	最大せん断応力 kN/m <sup>2</sup>
CASE11	65.8	148.1	37.0
CASE14	39.8	122.4	30.6
CASE15	14.4	62.4	15.6

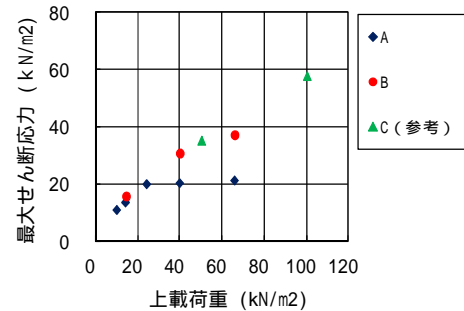


図-17 最大せん断応力 (上載荷重)

次に上載荷重の違いによるジオグリッドの最大引抜きせん断応力 (式(4)より算定) と上載荷重の関係を表-9, 図-17に示す. 図-17では間詰材として豊浦砂を使用した事例<sup>2)</sup>を併記した. その結果, 最大せん断応力はジオグリッドが引抜けるケースでは上載荷重の増加に伴い大きくなるが, ジオグリッドが破断したケースになるとAでは一定値, Bでは増加量が小さくなる.

#### 4. まとめ

本検討ではジオグリッドの引抜き実験を実施した結果, 以下の知見が得られた.

異なるジオグリッド幅での最大引抜き荷重および各測点での最大引抜き荷重時のせん断応力はジオグリッド幅を単位長さあたりに換算すると同程度となる.

Bにおいて引抜き抵抗係数は粒度の違いにより 0.5-0.6の値を示す. 締固めをしない裏込石においても引抜き抵

抗係数は 0.5 を超えており, 間詰石として粒度調整砕石を入れることで上載荷重が均一にジオグリッド上に分散し引抜き抵抗係数は0.6になる.

ジオグリッド上で上載荷重を均一に分散できれば, 最大引抜き荷重を設計基準強度まで引き上げることが可能と考えられる.

謝辞: 本研究は国立研究開発法人港湾空港技術研究所および五洋建設株式会社における共同研究の一環として実施した. ここに記して深甚の謝意を表する.

#### 参考文献

- 1) 木暮敬二, 軽部大蔵: 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」, pp.92-102, 土と基礎, 1994.
- 2) 福島伸二, 坂井晃, 新谷秀人, 治田堅二, 兵動正幸, 安田進, 林重徳: ジオグリッドの引抜き試験結果の整理方法について, pp.115-118, 第4回ジオテキスタイルシンポジウム, 1989.

## PULL-OUT TEST ON GEOGRID-TYPE QUAY STRUCTURE

Suguru MIZUTANI and Toshiyasu MIYOSHI

It is approved that retaining walls, reinforced by geogrid, have considerable earthquake resistance. Thus, it can be also effective to use a reinforced earth work by geogrid in harbor structures (for example, sheet-pile quaywall). It is important to obtain friction characteristics in order to consider reinforcement effects by interaction of mesh of geogrid and soil particles. In this study, pull-out tests are conducted with different soil particles sizes or surface loads, in order to obtain the friction characteristic due to the interaction of a geogrid and backfill. The results show that larger friction angles can be obtained by using a backfill of smaller soil particles.