

技術報文

## ジオセルを用いた浅層地盤の支持力改善

東京インキ（株）加工品営業本部 生産技術部 川俣 さくら

東京インキ（株）加工品営業本部 生産技術部 原田 道幸

### 1. はじめに

擁壁やボックスカルバートといった構造物を支える地盤の支持力対策工として、ジオセル<sup>1)</sup>を用いた地盤補強工法（以下、ジオセルマットレス工法）がある。従来から広く普及している砕石置換工法と比較して対策範囲を浅くできることから、狭隘で掘削の困難な多くの現場に採用されている。しかし、ジオセルは開発当初に定められた製品規格が用途に関わらず使用されている。また、ジオセルマットレス工法が補強効果を最大限に発揮される構造についても未解明な部分が多くある。そこで、ジオセルマットレス工法の効果に加え、ジオセル自体の材料特性について検討した。本報文では、ジオセルの材料特性を把握するための性能試験、及び実物大のジオセルマットレス工法で様々なケースにより実施した平板載荷試験の結果について報告する。

### 2. ジオセル

#### (1) ジオセルの仕様と特徴

ジオセルは、高密度ポリエチレン（HDPE）製のシートを複数枚溶着し、蜂の巣状に立体構造を有する製品である（**図-1**）。製品が軽量でコンパクトに畳めるため、容易に運搬することができ、広い保管場所を必要としない。また、様々な用途で用いられ、施工時にはジオセルを展開し所定の場所に設置後、現地発生土や砕石などの中詰材を充填して締固めることで中詰材を拘束することにより補強効果を向上させる製品である。

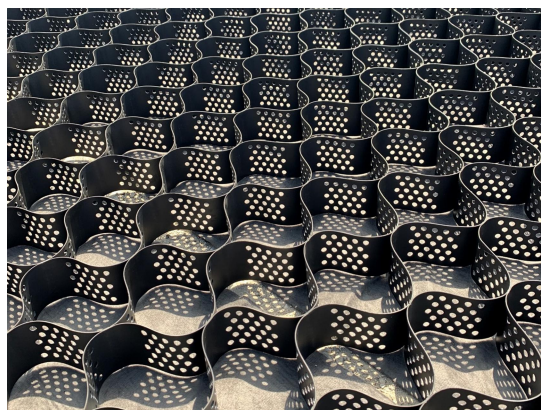


図-1 ジオセルの展開状況

#### (2) 主な使用用途

ジオセルは、軟弱地盤で車両走行性を確保するために道路舗装面（**図-2 a**）として用いられていたが、急勾配の切土斜面や緩勾配の盛土斜面に適用されるようになり、擁壁工（**図-2 b**）やのり面保護工（**図-2 c**）として全国に施工実績がある。その他にも、急勾配の盛土斜面においてはジオセルを壁面材に用いたジオグリッド補強盛土（**図-2 d**）としてジオシンセティックス製品を併用した技術も提案されている<sup>2)</sup>。また、近年では本報文で述べる基礎地盤の支持力改善を目的にジオセルを使用する用途も増加している。

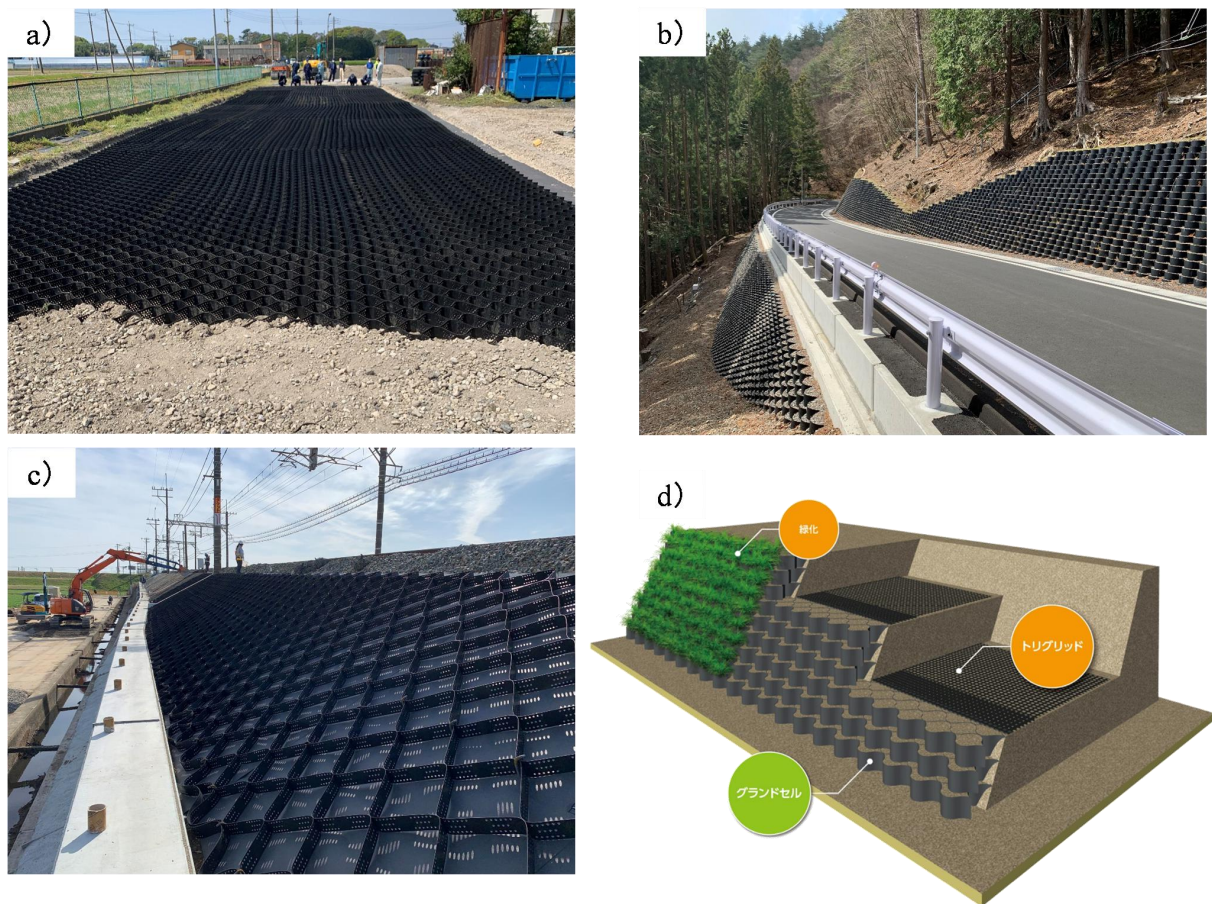


図-2 ジオセルの使用用途例

### 3. ジオセルの材料特性

材料特性を把握するための性能試験には、図-1 に示すような高密度ポリエチレン製のジオセルを使用した。まず、ジオセルの製品強度を計測するために引張試験を行った。つぎに、施工性とジオセルの中詰材の締固め特性を把握するため、実物大の締固め試験を行った。さらに、ジオセルと中詰材の力学特性を把握するため、一軸圧縮試験を行った<sup>3)~5)</sup>。以下、各試験の概要と結果を示す。

#### (1) 引張試験の概要と結果

引張試験は JIS L 1908 を参考に単調引張条件で行った。引張試験の状況を図-3 に示す。今回の試験では、弱部となりやすい溶着部が含まれる供試体に対して試験を行うものとした。供試体は、高密度ポリエチレン製のシートに穴があるものと穴がないものを使用した。シートの厚さは 1.3mm、幅は 100mm を用いた。

引張試験の結果を表-1 に示す。ジオセルに使用されるシートに穴がない供試体の引張強度は平均 22.1 kN/m であった。ジオセルに使用されるシートに穴がある供試体の引張強度は平均 14.9 kN/m であった。シートに穴があることで、引張強度は 30%以上の低下を示した。以上の結果より、シートの原料、規格が同質の場合、引張強度はシートの開孔率が製品強度に影響を及ぼすことを確認できた。

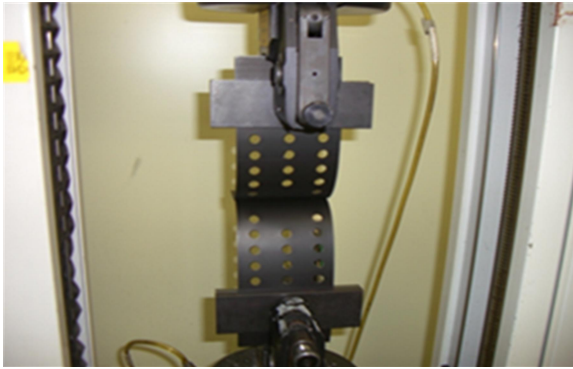


図-3 引張試験の状況

表-1 引張試験の試験条件

シートの穴	無し	有り	
シート厚さ (mm)	1.3	1.3	
シート幅 (mm)	100	100	
引張強度 (kN/m)	1	21.6	14.8
	2	21.3	14.7
	3	23.1	15.6
	4	22.4	14.4
	5	22.0	15.2
平均	22.1	14.9	

## (2) 締固め試験の概要と結果

締固め試験は、ジオセルを壁面材として活用する場合を想定し、試験ケースはジオセル、鋼製枠、人力で比較を行った。試験のケースを表-2に示す。ジオセルは高さ200mmを2段、鋼製枠は高さ600mmを1段設置した。締固め方法はハンドガイドローラー(600kg級)とプレートコンパクタ(60kg級)、人力による踏み固めの3方法とした(図-4)。ジオセルの中詰材は表-3に示す山砂を使用した。含水比を最適含水比付近となるように調整した後1層の締固め厚さをジオセルの場合は200mm、鋼製枠の場合は100mmとした。締固め後、壁面側から50、300、550mm離れた3箇所の締固め度をRI試験により測定した。

表-2 締固め試験のケース

壁面材の種類	締固め方法	締固め厚さ
ジオセル	ハンドガイドローラー	200mm
鋼製枠	プレートコンパクタ	100mm
鋼製枠	人力	100mm

表-3 締固め試験に使用した盛土材料

土質名称		山砂
締固め	土粒子の密度 $\rho_s$ ( $\text{g}/\text{m}^3$ )	2.700
	最大乾燥密度 $\rho_{dmax}$ ( $\text{g}/\text{m}^3$ )	1.696
	最適含水比 $w_{opt}$ (%)	16.3
粒 度	細礫分 (%)	0.7
	砂分 (%)	88.8
	シルト分 (%)	8.0
	粘土分 (%)	2.5

締固め試験の結果として、RI試験による結果を図-5に示す。RI試験による結果はジオセルをハンドガイドローラーで締固めた場合、全ての測点において締固め度95%以上の値を得られた。鋼製枠を用いてプレートコンパクタと人力による踏み固めで締固めた場合は、壁面付近では90%以下の値を示した。

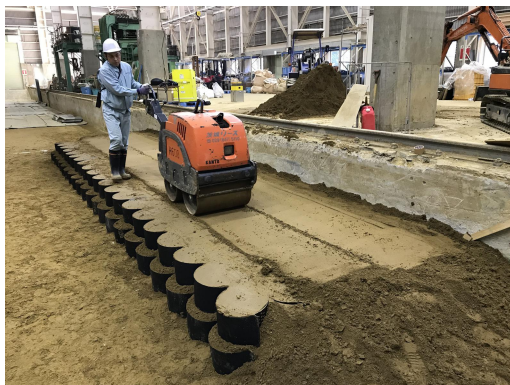


図-4 ハンドガイドローラーによる締固め状況

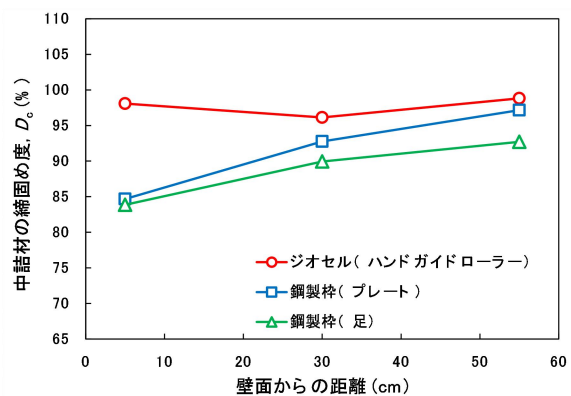


図-5 締固め試験の結果 (RI試験)

### (3) 一軸圧縮試験の概要と結果

一軸圧縮試験は、ジオセルに中詰材を充填した供試体に対して行った。一軸圧縮試験の状況を図-6に示す。ジオセルの中詰材は碎石を用いてセルの寸法を変化させた試験とセルの寸法は同じで中詰材を碎石、砂質土、粘性土とした試験を行った。セルの寸法は、図-7に示すセルの展開寸法を320×289mm (Mタイプ)、256×228mm (Sタイプ)、セルの高さを100、150mmとして、それぞれの組合せについて検討した。

中詰材に碎石を用いてセルの寸法を変化させた結果として、載荷応力と変位量の関係を図-8に示す。セルの展開寸法がMタイプでセル高さ150mmと100mmのケースを比較すると、セル高さ100mmの方が大きな載荷応力を発揮した。セル高さ150mmでセルの展開寸法がM、Sタイプのケースを比較すると、載荷応力に大きな違いはなかった。既往の研究でみられるように、今回の試験でもセル高さの影響が大きく現れる結果となった。

セルの寸法は同じで中詰材を碎石、砂質土、粘性土と変化した試験では、ジオセルが破断するまで試験を行い、破断時の最大荷重を評価した。結果を図-9に示す。その結果、碎石の場合に最も大きな載荷荷重を示し、粘性土の場合に最も小さな載荷荷重を示した。破断に至るそれぞれの最大載荷荷重は碎石で約130kN、砂質土で約60kN、粘性土で約10kNとなり、一軸圧縮強度は中詰材に大きく依存した。碎石の場合、破断荷重に至るとジオセルが一気に破断したが、粘性土の場合、変形に伴い徐々にジオセルが破断した。



図-6 一軸圧縮試験の状況

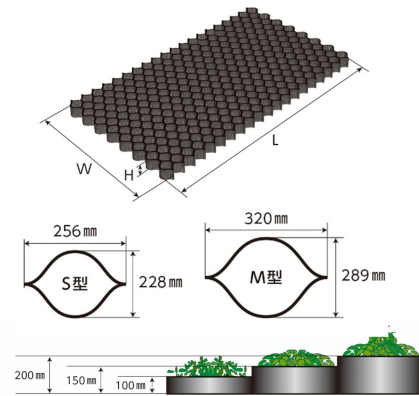


図-7 ジオセルの標準展開寸法

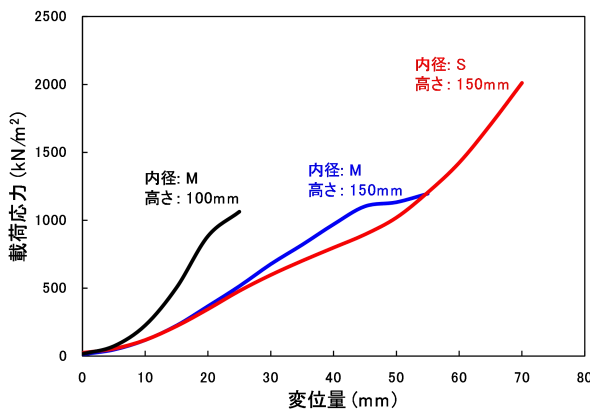


図-8 セル寸法が一軸圧縮強度に及ぼす影響

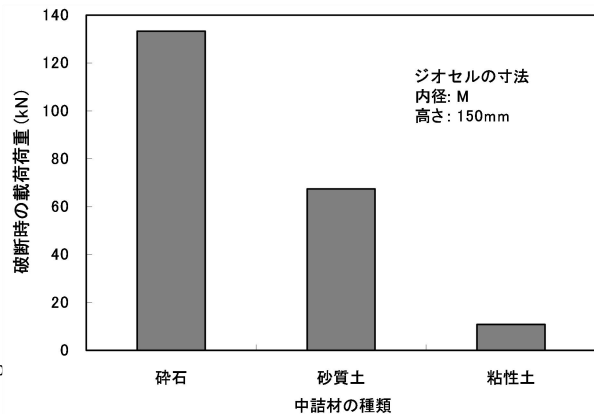


図-9 中詰材が一軸圧縮強度に及ぼす影響

#### 4. ジオセルマットレス工法

##### (1) 工法概要

ジオセルマットレス工法は、セル内に中詰材の碎石を拘束することで、応力分散効果や側方流動防止に補強効果をもたらすことが知られている<sup>6)7)</sup>。また、ジオセルは耐薬品性に優れた製品のため、周辺環境への影響がない。前述のように従来工法よりも対策範囲を浅くできる(図-10)といった特徴から、用地に制限のある現場で用いられることが多い。

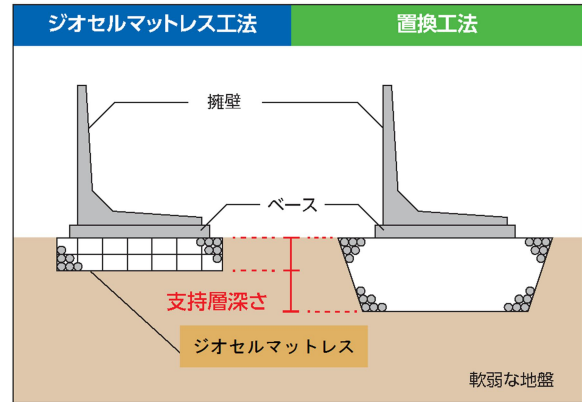


図-10 ジオセルマットレス工法の概要図

##### (2) 平板載荷試験の概要と結果

ジオセルマットレス工法が支持力の改善にどの程度の効果を発揮するのかを把握するために実施した平板載荷試験のケース内容を表-4に示す。ジオセルマットレスは、厚さ150mmと200mmのジオセルを用いて行った。マットレス深さの違いによる効果を比較するため、設置段数は1段(150mm)もしくは2段(300mm、400mm)とした。設置幅は円形載荷板からジオセルの底面幅をケース6及び7は約0°、ケース8は約70°、それ以外のケースは約35°でジオセルの底面幅が広がるように設置した。ケース6と7は、載荷板に対するジオセルの配置位置による影響の有無を確認するため、ケース6は9セル、ケース7は12セル設置した。さらに、段数を2段にしたジオセルマットレスにおいてはジオセルのタイプをMタイプとSタイプの2種類にすることでセルの大きさの違いによる効果も比較した。展開後、中詰材として碎石C-40を充填し、いずれのケースもプレートコンパクタを使用して全面を3往復するように締固めを行った。なお、原地盤への材料の流出を防ぐため、ジオセルを設置する前には不織布を敷設している。例として、図-11 a)にケース10のジオセル設置状況を示す。

表-4 試験ケース

条件	ケース1	ケース2	ケース3	ケース4	ケース5
ジオセル	セルタイプ(サイズ)	—	Mタイプ(320×290)	Mタイプ(320×290)	Sタイプ(250×230)
段数	—	1段	2段	2段	—
マットレスの深さ(m)	—	0.15	0.30	0.30	0.30
設置幅(°)	35	35	35	35	35
概要図					
条件	ケース6	ケース7	ケース8	ケース9	ケース10
ジオセル	セルタイプ(サイズ)	Mタイプ(320×290)	Mタイプ(320×290)	Sタイプ(250×230)	Mタイプ(320×290)
段数	2段	2段	2段	2段	2段
マットレスの深さ(m)	0.30	0.30	0.30	0.40	0.40
設置幅(°)	0	0	70	35	35
概要図					

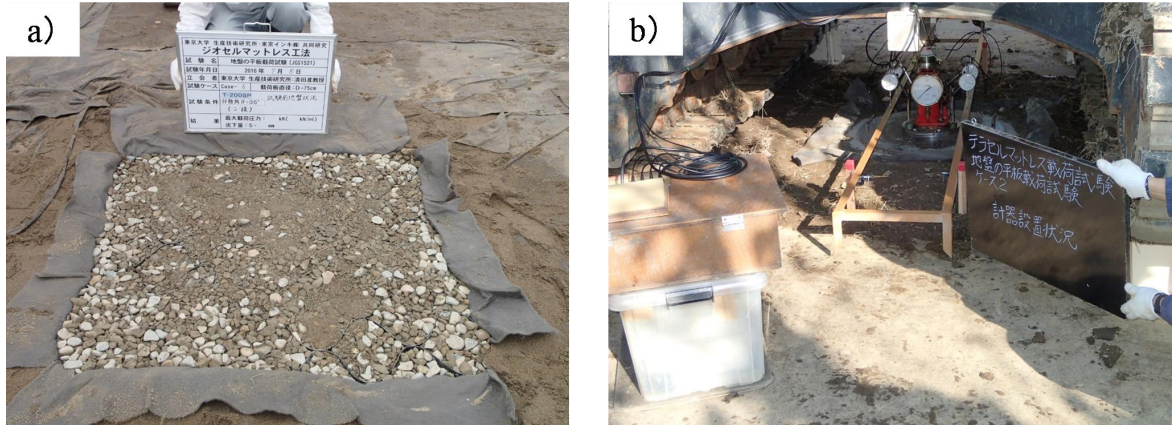


図-11 試験の状況

平板載荷試験は表-5に示す各ケースの最大載荷圧力と沈下量を測定した。平板載荷試験によって求められる支持力特性は載荷板の直径1.5～2.0倍程度の深さの地盤が対象<sup>8)</sup>となり、一般的には直径300mmの円形載荷板を使用するが、ジオセルの設置深さは載荷板の0.5～1.0倍と厚く、最大載荷圧力の予測ができないためにジオセルの効果が過大評価される可能性がある。そこで、本試験では750mmの円形載荷板を使用し、段階式載荷（1サイクル方式）で実施した。図-11 b)に示すように、反力装置にはバックホウ（0.7m<sup>3</sup>級）を用いて、想定される試験最大載荷圧力の1.2倍以上の荷重とした。また、反力装置の受台にはH形鋼を用いて、載荷板の中心から1.5m以上離れた位置に設置し、始めに予備載荷として第1段階の半分程度の荷重を載荷した。その後、一定荷重段階にて各ケースの載荷を実施し、ケース1とケース2は10kN毎、ケース3は15kN毎、ケース4～10は20kN毎に荷重段階を増加させ、各載荷段階の載荷保持時間は30分の一定時間とした。沈下量の測定は各荷重段階において所定の荷重に達した後、すぐに測定し、その後は5分経過ごとに30分まで継続して行い、載荷中に地盤が破壊するなど所定の荷重を保持することが困難と判断した場合にはその荷重を最大載荷圧力として試験を終了した。

各ケースにおける平板載荷試験の結果を表-5と図-12に示す。図-12は結果を a) 無補強地盤と補強地盤による比較、b) マットレス深さによる比較、c) 設置幅による比較、d) セルサイズによる比較に分類した。試験最大載荷圧力に達したときの沈下量を最大沈下量とし、最大沈下量が載荷板直径の10%（75mm）を越えたケースは沈下量が75mmに相当する値を極限支持力として評価した。

a) 無補強地盤、補強地盤による比較から、ケース1の無補強地盤よりも碎石やジオセルマットレスによる地盤補強を行ったケースの方が極限支持力は増加する傾向を示している。ケース3の

表-5 試験結果

試験箇所	ケース1	ケース2	ケース3	ケース4	ケース5	ケース6	ケース7	ケース8	ケース9	ケース10
最大載荷圧力 (kN/m <sup>2</sup> )	113.2	181.1	271.6	362.2	226.3	226.3	226.3	362.2	362.2	407.4
最大沈下量 (mm)	49.38	52.12	64.77	106.7	79.47	74.82	87.60	87.76	86.63	99.29
極限支持力 (kN/m <sup>2</sup> )	113.2	181.1	271.6	319.0	220.1	227.4	210.1	342.6	340.8	366.2

ジオセルマットレスによる極限支持力はケース5の砕石に比べ大きな値を示しており、同じ載荷圧力をかけた際の沈下量はケース1や5と比較して小さい。また、沈下の進行も緩やかであることから、セル1つ1つの拘束効果が沈下に対して粘り強さを発揮したものと考えられる。

b) マットレス深さによる比較からは、マットレスの深さが400mmであるケース10が最も大きな極限支持力を示しており、沈下量は緩やかに増加している。砕石置換工法と同様に、ジオセルマットレスも深さが改善効果に大きく影響を与えていることを確認した。

c) 設置幅による比較からは、設置幅が0°のケース6、7の沈下の進行が急であるが、ジオセルに対して載荷板の設置位置を変更したことによる沈下量の違いは確認されなかった。また、設置幅が広くなるにつれて沈下の進行は緩やかであり、極限支持力も大きな値を示している。設置幅が広くなると置換範囲も広がることから、ケース8は荷重の分散効果が発揮されたものだと考えられる。既往の研究<sup>9) 10)</sup>からもジオセルによる置換範囲が支持力に影響を及ぼすことは報告されており、設置幅は35°以上が最適だと考えられる。

d) セルサイズによる比較からは、セルの高さが300mmのタイプではMタイプのケース3よりもSタイプのケース4が大きな極限支持力を示しているが、セルの高さが400mmのタイプでは逆の傾向を示している。セルサイズの違いはマットレスの深さや設置幅ほど支持力の改善効果に大きく影響しないと考えられる。

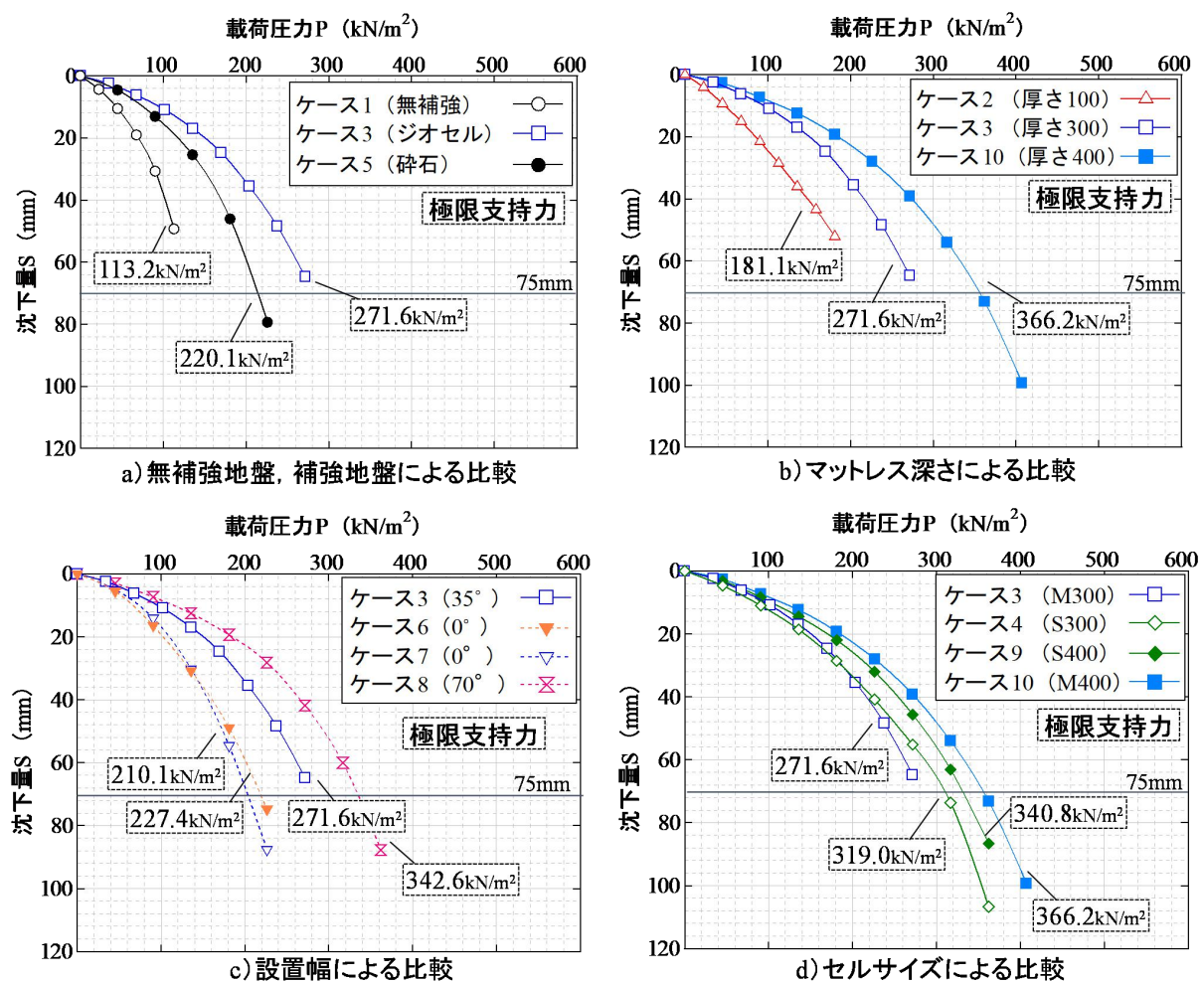


図-12 載荷圧力と沈下量の分類別比較

### 3. 施工手順

ジオセルマットレス工法の施工手順は、図-13 に示すように準備工・整地工の後、吸出し防止材として不織布の敷設、ジオセルの展開・敷設、ジオセルへの中詰材の充填・転圧を所定の厚さを確保するまで繰り返す。特殊作業を必要とせず、簡単作業の繰り返しとなる。そのため、施工性に優れ軟弱地盤上での作業を軽減できる。

#### 1. ジオセル展開敷設



#### 2. 中詰材の充填・転圧



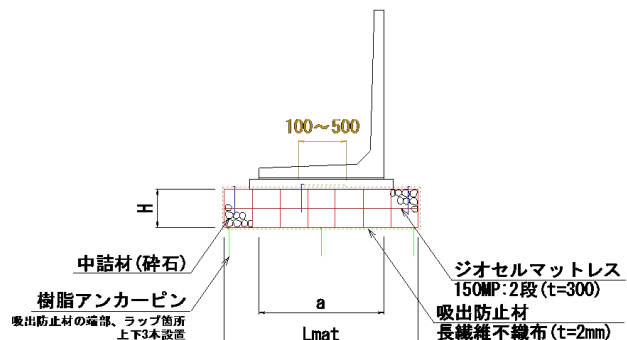
#### 3. 吸出し防止材 巻き込み



#### 4. L型擁壁設置



#### 5. 施工完了



許容支持力 : 19.35kN/m<sup>2</sup>      施工場所: 福岡県  
 設計地盤反力 : 70.00kN/m<sup>2</sup>      施工面積: 421m<sup>2</sup>  
 マットレス使用后: 77.62kN/m<sup>2</sup> OK      使用品番: グランドセル®  
 (G-150MP)

図-13 ジオセルマットレス工法の施工手順



## 6. まとめ

本報文では、ジオセルの基本的な材料特性と実物大によりジオセルマットレス工法を様々なケースで支持力改善の効果を定量的に評価した。ジオセル自体は材質やシート規格により製品強度が異なり、中詰材の違いにより大きな影響を受けることを確認できた。また、ジオセルマットレス工法はジオセルの設置幅やマットレス深さを変えることで無対策地盤と比較し、支持力改善の効果があることを確認できた。今後、ジオセルマットレス工法に最適なジオセルを選定するためには、ジオセルの材料特性とジオセルマットレス工法の関連性や周辺地盤に与える影響を更に検討する必要があり、これらの課題点を解決していくことで省力化の推進と工法普及による社会貢献できる製品や工法の開発に努めていきたいと考えている。

最後に、本報文をまとめるにあたり、ご助言とご協力いただいた皆様に文末ながらここに記して深く謝意を申し上げます。

## 参考文献

- 1) R.J.Bathurst, R.E.Crowe :Recent Case Histories of Flexible Geocell Retaining Walls in North America, International Symposium in Recent Case Histories of Permanent Geosynthetic-Reinforced Soil Retaining Walls, 1993
- 2) 川口貴之、中村大、川尻峻三、山下聡、小林歩、佐々木貴、林豪人、安達謙二、雨宮盛児、原田道幸: 寒冷地に構築した補強土壁の凍結融解挙動、ジオシンセティックス論文集、第29巻、pp147-154、2014
- 3) ジオテキスタイル普及委員会: 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、土木研究センター、2013
- 4) 原田道幸、林豪人: ジオセルを壁面に用いた補強土工法の盛土材の締固め特性、第53回地盤工学研究発表会、pp1669-1670、2018
- 5) 矢澤一樹、大森英治、金子賢治、堀江征信、熊谷浩二: ジオセル補強土の力学特性に与える充填地盤材料の影響、ジオシンセティックス論文集、第21巻、pp31-36、2006
- 6) 安食貴章、奥山道明、矢澤一樹、金子賢治、堀江正信、熊谷浩二: ジオセル補強地盤の支持力特性、ジオシンセティックス論文集、第22巻、pp. 233-238、2007
- 7) 加賀宗彦、高磊、清川伸夫、原田道幸: モデル化したジオセル基礎の支持力、土木学会第67回年次学術講演会、pp565-566、2012
- 8) 公益社団法人 地盤工学会: 地盤調査の方法と解説 JGS1521-2012 地盤の平板載荷試験方法、2013
- 9) 山本新吾、川口陽、巻内勝彦、峰岸邦夫: ジオセルによるマットレス補強土の支持補強効果、ジオシンセティックス論文集、第12巻、pp108-112、1997
- 10) 山中光一、峰岸邦夫、橋本凌: ジオセル補強路盤の補強効果に及ぼす補強材条件とその影響度に関する研究、ジオシンセティックス論文集、第35巻、pp7-14、2020