



格子交点溶着型および一体型ジオグリッドの土中引抜き抵抗特性の比較

澁谷, 啓
片岡, 沙都紀
植松, 尚大

(Citation)

ジオシンセティックス論文集, 29:19-26

(Issue Date)

2014-12

(Resource Type)

journal article

(Version)

Version of Record

(URL)

<https://hdl.handle.net/20.500.14094/90003306>



格子交点溶着型および一体型ジオグリッドの 土中引抜き抵抗特性の比較

澁谷啓¹・片岡沙都紀²・植松尚大³

近年、地震や豪雨に強く、低コストで環境負荷軽減に寄与する全く新しい発想の盛土工の開発の手始めとして、長期的に自硬性を有する重質な鉄鋼スラグを用いた盛土に関する研究を進めている。当該工法では、締固めた鉄鋼スラグ盛土内にジオテキスタイルを敷設することで、耐震性が高く、優れた変形追従性能を有する鉄鋼スラグ補強土をイメージしているが、まずは、用途に適したジオテキスタイルの種類および設計値としてのジオテキスタイルとスラグ盛土材との引張り抵抗力を求める必要がある。そこで本論文では、室内引抜き試験装置を用いて、格子交点のタイプとして、溶着型2種類および一体型2種類の計4種類のジオグリッドと未固結・気乾状態の締固めた鉄鋼スラグとの引抜き抵抗特性を比較検討している。

キーワード：ジオグリッド、格子接点、鉄鋼スラグ、土中引抜き試験

1. はじめに

近年、豪雨や地震による道路・宅地盛土の被害が後を絶たない。平成16年の台風23号による被害調査報告¹⁾によると、豪雨による盛土被害は、いわゆる片切・片盛施工による谷埋め盛土や腹付け盛土に集中していた。また、平成23年に発生した東北地方太平洋沖地震では、地震による宅地盛土での被害が甚大であったことが報告されている²⁾。一般に、補強土壁工法は耐震性が高いが、盛土本体の締固めが不十分な場合には壁面工に変状が生じ、修復が容易でないのが弱点である³⁾。よって、今後の大規模地震の備えるためには、従前よりも耐震性能に優れ、かつ変形追従性能を有する粘り強い補強土壁の研究開発が強く望まれている。

近年、自然由来の天然砂や碎石は限られた資源であり、天然資源保全の観点から、リサイクル材料としての鉄鋼スラグの価値が高まっている。鉄鋼スラグは粒子のかみ合わせが良く、自硬性により高い強度と剛性が期待できるため、土木分野では路盤材等に多用されている。筆者らは、鉄鋼スラグの土木分野への利用促進を目的に、これまでに鉄鋼スラグを用いたL型スラグ擁壁の研究開発を行っており、鉄鋼スラグが有する自硬性が補強土全体の性能の向上に寄与することを確認している^{4,5)}。

本研究では、鉄鋼スラグ盛土内にジオグリッドを敷設することで、より地震に強く、優れた変形追従性能を有する鉄鋼スラグ補強盛土工を研究開発することを目的としている。そのための基礎研究の一貫として、この種の用途に適したジオテキスタイルの種類および設計値と

してのジオテキスタイルとスラグ盛土材との間の引張り抵抗力を求めた。具体的には、室内引き抜き試験装置を用いて、格子交点が溶着型2種類および一体型2種類の計4種類の目合いが異なるジオグリッドと未固結・気乾状態の締固めた鉄鋼スラグとの引抜き抵抗特性を比較検討した。また、一連の試験では、使用した鉄鋼スラグの粒径を変化させ、引抜き抵抗特性に及ぼすスラグ粒径の影響についても調べた。

2. 試験概要

(1) 土層内試料

本研究には、粒子密度 $\rho_s=3.294\text{g/cm}^3$ 、初期含水比 $w_0=5.4\%$ の未固結状態の鉄鋼スラグ（転炉スラグ）を用いた。粒径加積曲線を図-1に示す。なお、一連の引抜き試験では、スラグの粒径とジオグリッドの目合いとの兼ね合いを検討するために、粒径が9.5mm以下と9.5～30mmの2種類の試料を使用した。図-2は、粒径が9.5mm以下の鉄鋼スラグの締固め曲線であり、最大乾燥密度 $\rho_{d\max}=2.319\text{g/cm}^3$ 、最適含水比 $w_{\text{opt}}=11.2\%$ を得ている。なお、土槽内にスラグを充填する際には、粒径が9.5mm以下の試料では、最適含水比状態で締固め度が90%となるように密度調整した。一方、9.5mm～30mmの試料は締固め試験ができないため、手動の小型タンパーを用いてできるだけ密に充填した。その際の乾燥密度を算出したところ、 $\rho_d=1.76\text{g/cm}^3$ 程度であった。

9.5mm以下の試料では、一面せん断試験により強度定

¹⁾地盤工学会国際会員，神戸大学大学院工学研究科 市民工学専攻，教授（〒657-8501 兵庫県神戸市灘区六甲台町1-1）

²⁾地盤工学会国際会員，神戸大学大学院工学研究科 市民工学専攻，助教（〒657-8501 兵庫県神戸市灘区六甲台町1-1）

³⁾地盤工学会学生会員，神戸大学大学院工学研究科 市民工学専攻，博士前期課程（〒657-8501 兵庫県神戸市灘区六甲台町1-1）

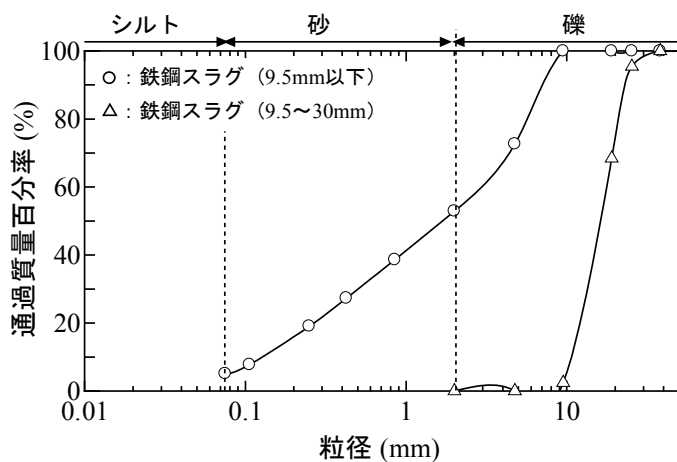


図-1 鉄鋼スラグの粒径加積曲線

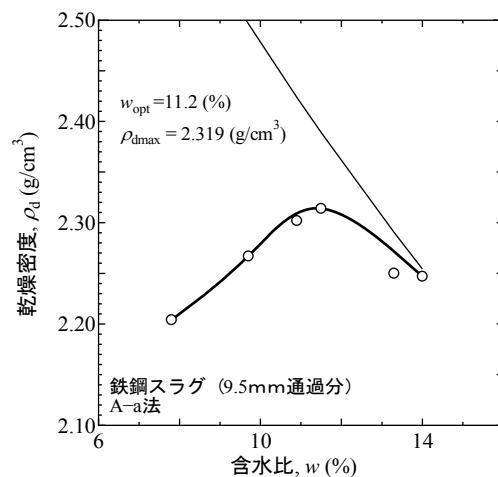


図-2 鉄鋼スラグの締固め曲線 (粒径9.5mm以下)

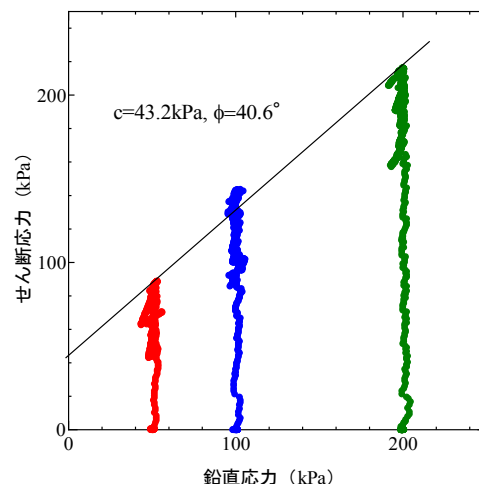
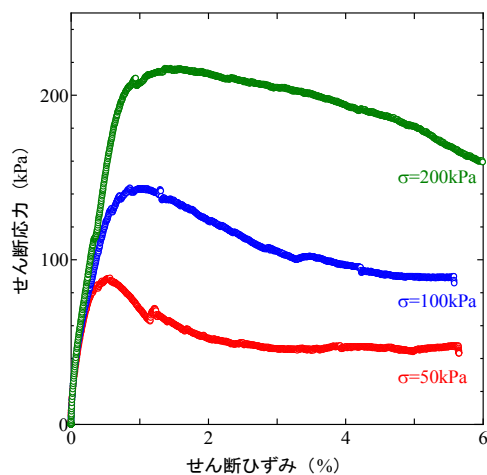


図-3 一面せん断試験結果 (スラグ粒径2mm以下, 左: 応力ひずみ曲線, 右: 鉛直応力とせん断応力の関係)

表-1 各種ジオグリットの性状

	交点一体型A	交点一体型B	交点接着型A	交点接着型B
形状				
材質	アラミド繊維 高密度ポリエチレン	高密度ポリエチレン	延性ポリプロピレンテープ エチレン・酢酸ビニル共重 合樹脂	高強度ポリエステル繊維 ポリプロピレン樹脂
目合寸法 (縦×横)	50mm×28mm	265mm×22mm	80mm×40mm	40mm×40mm
結合点の 厚さ	約4mm	9.7mm	約4mm	約4mm
破断強度	195.6kN/m	192.2kN/m	137.9kN/m	104kN/m
敷設幅	280mm	250mm	250mm	280mm

数 (粘着力 c , 内部摩擦角 ϕ) を求めている。その際の応力-変位関係および鉛直応力とせん断応力の関係を図-3に示す。図より、鉛直応力とせん断応力の関係から鉄

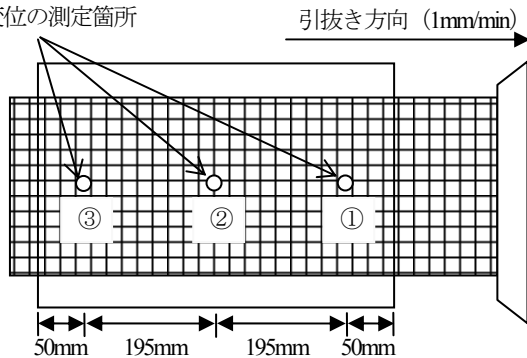
鋼スラグの強度定数は $c=43.2\text{kPa}$, $\phi=40.6^\circ$ であり、土材料と比較して非常に大きな値を示していることが示された。



写真-1 引抜き試験装置

＜交点一体型A, 交点溶着型A, B＞

変位の測定箇所



＜交点一体型B＞

変位の測定箇所

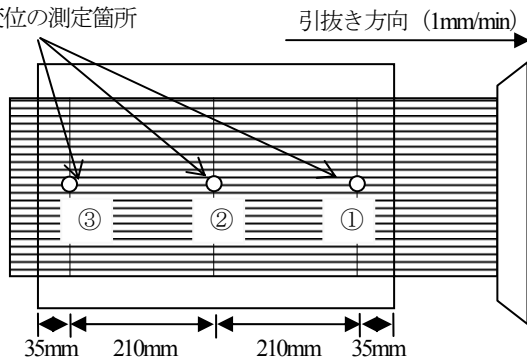


図-4 敷設したジオグリットの概略図 (上面図)

(2) ジオグリット

表-1は本試験で使用した各種ジオグリットの性状である。今回の引抜き試験には、ジオグリットの破断強度が100~200kN/mと高強度の材料を使用している。また、格子交点一体型2種類（以下、一体型A, Bと示す）、交点溶着型2種類（以下、溶着型A, Bと示す）を用意した。また、それぞれの材料で目合いの大きさが異なる。

(3) 試験方法

引抜き試験装置を写真-1に示す。土層のサイズは幅345mm、長さ490mm、高さ170mmであり、引抜き口の大きさは使用したジオグリットの結合点の厚さを考慮して10mmとしている。

図-4は、ジオグリット敷設の様子を示したものである。ジオグリットは土槽中央に敷設し、ジオグリット

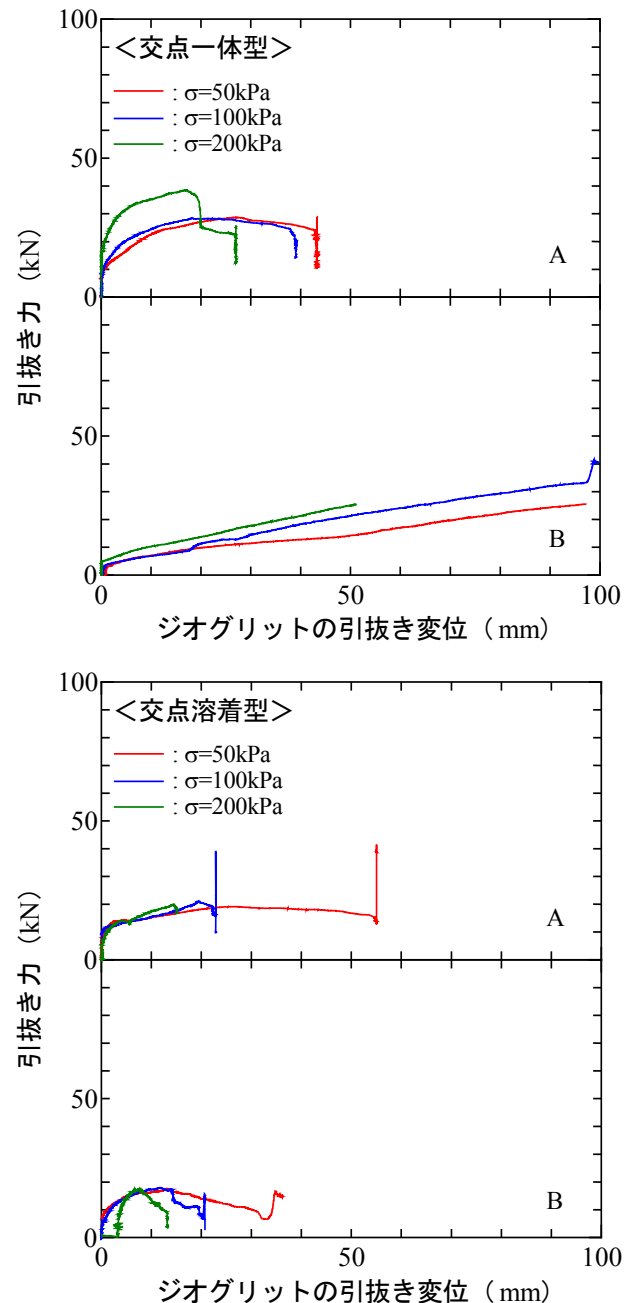


図-5 ジオグリットの引抜き変位と引抜き力の関係

の変位を測定するために、土槽中央および端部より約50mm（交点一体型Bのみ35mm）離れた箇所の計3か所にピアノ線を固定し、土槽後方から取り出してジオグリットの変位を測定した（図-4の①～③）。引抜き試験時には、上方から空気圧によって一定で異なる鉛直応力（50, 100, 200kPa）を載荷し、土槽前方より取り出したジオグリットをクランプで固定したのち、1mm/minの速度で引き抜いた。

3. 試験結果および考察

図-5はジオグリットの変位を測定した3か所のうち、引抜き側から一番遠い箇所（図-4中③の箇所）で測定

交点一体型A



交点一体型B



交点溶着型A



交点溶着型B



写真－5 引抜き後のジオグリットの様子 ($\sigma=100\text{kPa}$)

した引抜き変位量と引抜き力の関係を鉛直応力毎に示したものである。図より、とりわけ交点一体型Bが、他のジオグリットよりも大きな変位量を示していることが分かる。引抜き後のジオグリットを観察すると（写真－2参照）、交点一体型B以外では被覆材が剥がれて芯材が出ていたが、交点一体型Bではそのような兆候はなかった。

図－6には、各変位測定点でのジオグリットの伸び率と引抜き力との関係を示す。なお、引抜き変位の伸び率 ε は以下のように算出した。

$$\varepsilon = \frac{(\text{隣接する2測点間の伸び})}{(\text{隣接する2測点間の初期長さ})}$$

なお、隣接する2測点間の初期長さは、図－4から交点一体型Bが210mm、それ以外のものに関しては195mmである。図より、交点溶着型の一部で伸びが大きく示されている箇所があるものの、全体的に交点一体型のほうがジオグリットの伸びが大きい傾向が伺える。写真－2からも明らかのように、交点溶着型では溶着交点が引抜き後に剥がれている箇所が数多くあり、このことが伸び率に影響を及ぼしていると考えられる。また、どのジオグリットにおいても引抜き側（測定点①－②間、図－6中実線で示す）で伸び率が大きいことから、ジオグリット

の伸びが引抜き側に集中しており、相対的に引抜き力が大きくなっているようである。

図－7は、各種ジオグリットの引抜き時の摩擦強さ τ_{max} と垂直応力 σ との関係を示したものである。ここで引抜き時の摩擦強さの整理方法として、地盤工学会指針⁹⁾では、最大引抜き抵抗力をそのときのジオグリットの敷設面積の2倍で除して求める全面積法と、ジオグリットの引抜き限界抵抗長の範囲でのみ、試験片の両面で有効な引抜き抵抗力が発揮されたと想定して算出する有効面積法とがある。本試験では、鉛直応力が50kPa以上と比較的大きな応力で引抜き試験を実施していること、試験後に交点溶着型のジオグリットの一部が破断していたことなどを考慮して、2つの手法で整理した結果を示す。

図中の全面積法および有効面積法での引抜き摩擦強さの算出には、以下の式を用いた。

$$(\text{全面積法}) \quad \tau_{p \text{ max}} = \frac{F_{\text{max}}}{2 \cdot B \cdot L} \quad (1)$$

$$(\text{有効面積法}) \quad \tau_{p \text{ max}} = \frac{F_{TE}}{2 \cdot B \cdot L_T} \quad (2)$$

$$L_T = \frac{F_U}{2 \cdot B \cdot (c + \sigma \cdot \tan \phi)} \quad (3)$$

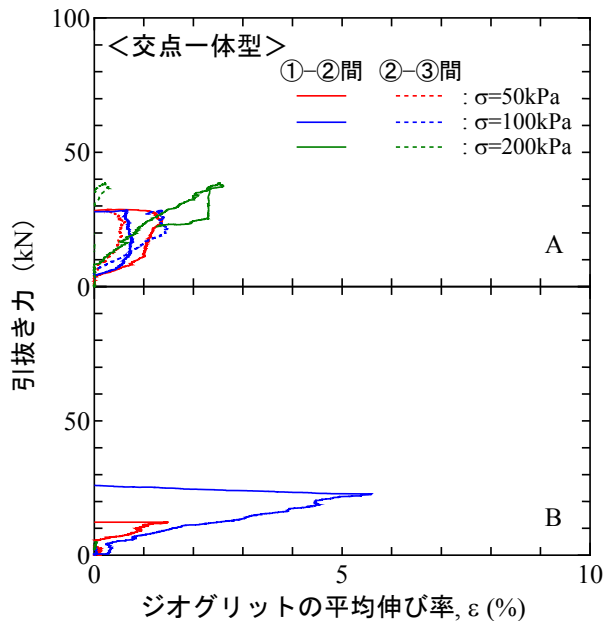


図-6 ジオグリット引抜き変位の平均伸び率と引抜き力との関係 (スラグ粒径9.5mm以下)

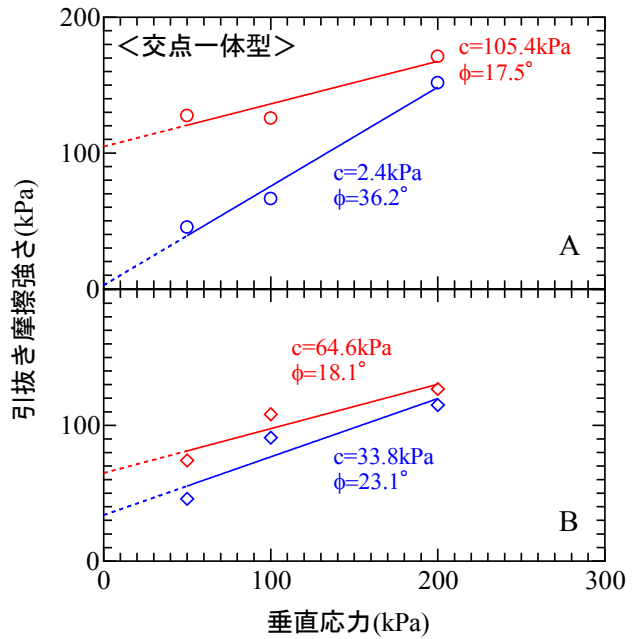
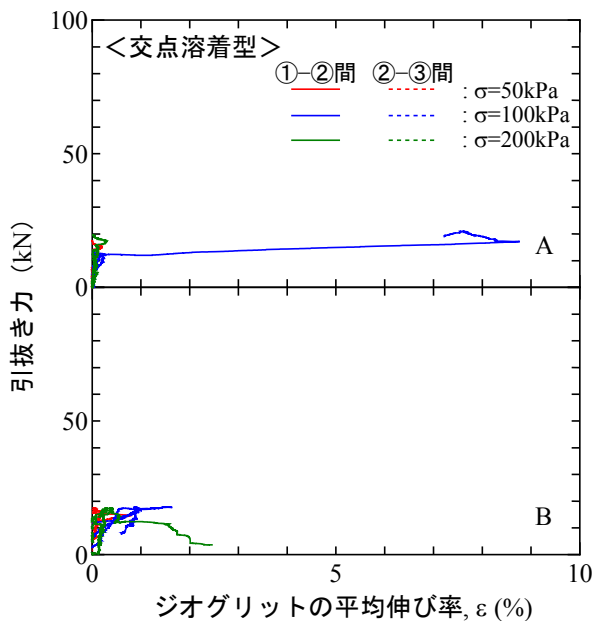


図-7 ジオグリットの引抜き摩擦強さと垂直応力との関係 (スラグ粒径9.5mm以下, 赤: 全面積法, 青: 有効面積法にて整理)

ここで、式中における τ_{\max} は引抜き摩擦強さ (kPa), F_{\max} はジオグリットの最大引抜き力 (kN), F_{TE} はジオグリットの最大引抜き有効抵抗力 (kN), L は引抜き抵抗長 (m), L_T は引抜き限界抵抗長 (m), B は供試体幅 (m), F_U はジオグリットの破断強度 (kN), c は一面せん断試験より算出した鉄鋼スラグの見かけの粘着力 (kPa), ϕ は鉄鋼スラグの内部摩擦角である。なお、有効面積法にて整理するにあたっては、 c , ϕ は図-3より $c=43.2$ kPa, $\phi=40.6^\circ$ としており、 F_{TE} は F_{\max} と L_T の部分よりも後方で発揮される抵抗力の差としている。

図より、試験後に交点が剥離した溶着型において、全面積法ではどの鉛直応力でも同程度の摩擦強さとなっ

ていたものが、有効面積法で計算すると鉛直応力依存性に顕著な違いが見られる。このことを考慮して、有効面積法において各々の強度定数を比較したところ、一体型Aで鉄鋼スラグとジオグリット間の引抜き摩擦角が $\phi=36.2^\circ$ と最も大きな値を示しており、優れた摩擦特性を示していることがわかる。一方、交点一体型Bは交点一体型Aよりも ϕ は小さいが、見かけの粘着力 c が大きい。一方、2種類の交点溶着型ジオグリットの ϕ は、一体型Aと比較して 8° 程度も小さい。

ジオグリットの引張補強効果について、補強材と土粒子との関係に着目したものはこれまでも検討されているが⁷⁾⁸⁾、本論文では強度定数 c , ϕ が土質材料と比較して

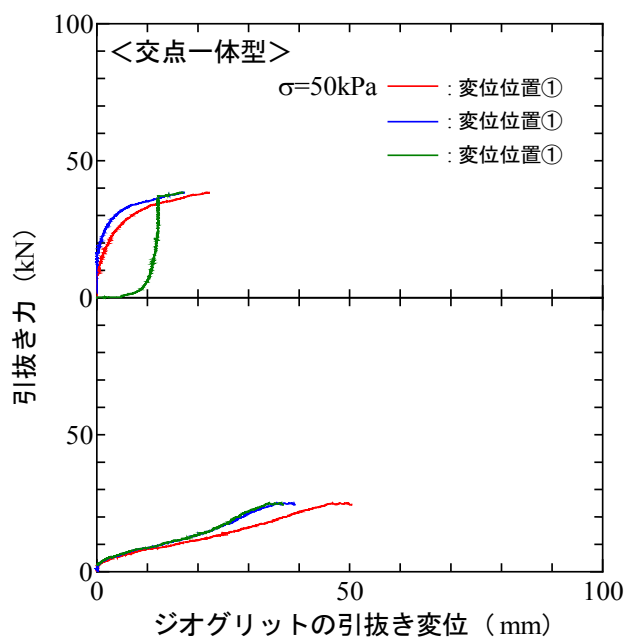


図-8 ジオグリットの引抜き変位と引抜き力の関係
(スラグ粒径 9.5mm~30mm)

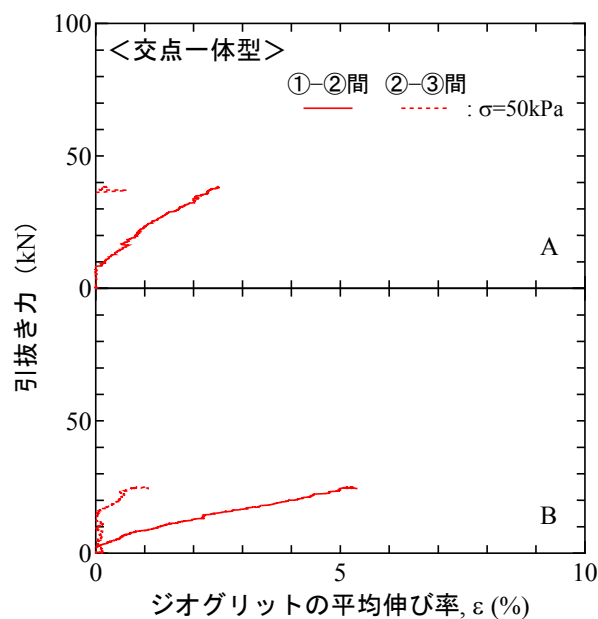
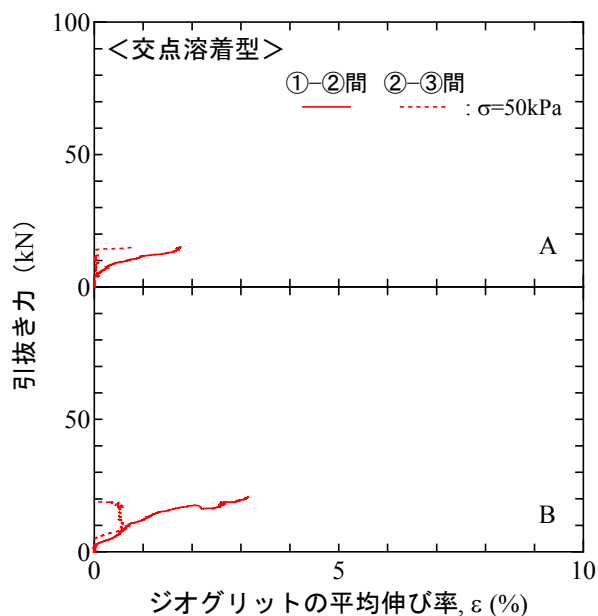
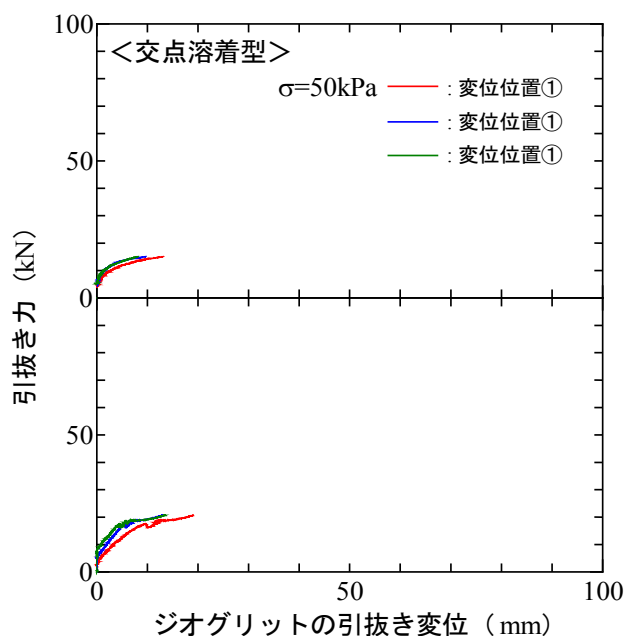


図-9 ジオグリットの引抜き変位の伸び率と引抜き力
との関係 (スラグ粒径 9.5mm~30mm)



非常に大きい鉄鋼スラグにおいて、粒径を変化させた場合にジオグリットの目合いが引張補強効果にどの程度影響するのかを検討するために、鉄鋼スラグの粒径が9.5mm~30mmについても同様に土中引抜き試験を実施した。

図-8には鉛直応力が50kPa時における各測定点におけるジオグリットの引抜き変位の平均伸び率と引抜き力との関係を示す。この結果から、交点一体型のほうが溶着型よりもジオグリットが大きく伸びていること、その傾向はスラグ粒径が9.5mm以下のものに比べるとより顕著であることなどが確認できた。加えて、9.5mm以下の試料では、引抜き力がピークを示していたが9.5mm~

30mmの粒径を用いた試験結果では、いずれの試験においてもピークを示していない。

図-9には、鉛直応力が50kPa時における各変位測定点でのジオグリットの伸び率と引抜き力との関係を示す。これより、交点一体型Bでの伸び率が他のジオグリットと比較すると大きくなっており、その差はスラグ粒径が9.5mm以下で示した図-6の結果よりも顕著であった。

図-8や図-9に示された結果を考察するために、引抜き試験後のジオグリットの様子を確認すると(写真-3参照)、まず交点溶着型の2種類に関しては目合いにスラグが挟まって接合部が剥がれていたことが確認できた。よって、試験中にスラグが目合いに挟まって接合

交点一体型A



交点一体型B



交点溶着型A



交点溶着型B



写真-3 引抜き後のジオグリッドの様子 (スラグ粒径 9.5mm-30mm, $\sigma=50\text{kPa}$)

部が剥がれたことにより引抜き力が低下したものと考えられる。一方、交点一体型においては、交点一体型Bの目合いが大きいことから、敷設面積におけるジオグリッドの目合いと鉄鋼スラグとのかみ合わせ箇所が交点一体型Aよりも全体的に少なく、その結果摩擦強度が低くなっている可能性が考えられる。以上の結果を踏まえると、今回実施した鉄鋼スラグとジオグリッドとの摩擦強度に関しては、ジオグリッドの格子交点为一体となっている構造が有利であること、同じ一体型でもジオグリッドの目合いと使用するスラグの粒径との関係によっては、摩擦特性が低下することなどがわかった。

4. まとめ

本研究では、格子交点が溶着または一体となっている目合いの異なるジオグリッドを用いて、締固めた未固結の鉄鋼スラグ中における引抜き抵抗を測定し、引抜き摩擦強さや引抜き変位にどのような違いが生じるかを検討した。その結果、鉛直応力が大きくかつ鉄鋼スラグのように粒子径が砂礫に相当し、粒子の噛み合わせが良好で材料の強度が大きい場合には、ジオグリッドの格子交点溶着しているものでは試験中に溶着点が剥離してしまうため不適であり、一体型の方がより優れた摩擦特性

を示すことが確認できた。また、一体型のジオグリッドにおいても、目合いの大きさによってはスラグが上手くかみ合わず、摩擦強度が小さくなってしまったこともわかった。

今回の結果から、仮に鉄鋼スラグのように材料自体の (c, ϕ) が大きい材料で、かつ鉛直応力が大きくなる高盛土にジオグリッドを引張り補強材として使用する場合には、交点一体型のジオグリッドが適しており、さらに目合いが材料の粒径に対して適切であるかどうかを検討項目として重要であることが分かった。

謝辞：本論文の作成に際して、原健二博士（太陽工業、元神戸大学大学院生）より貴重なアドバイスを頂戴した。本研究は、公益財団法人鉄鋼環境基金より2013年度研究助成（一般研究助成）を受けた。記して、深甚なる謝意を表する。

参考文献

- 1) 平成16年台風23号関西圏地盤災害緊急調査団：平成16年台風23号による関西圏地盤災害調査報告書、（社）地盤工学会、2005。
- 2) 森友宏，風間基樹，佐藤真吾：東日本大震災における仙台市の大規模造成宅地の地震被害調査—5つの造成地における全域調査—，地盤工学ジャーナル，Vol. 9, No. 2, pp233-253, 2014。

- 3) Shibuya, S., Hur, J.S., Jung, M. S. and Kim, B.S.: Case study on rainfall-induced behavior of unsaturated soils in natural slopes and reinforced-earth walls, *International Symposium on Deformation Characteristics of Geomaterials*, pp. 141-180, 2011.
- 4) 原健二, 澁谷啓, 齋藤雅彦, 鳥居宣之, 蔡鍾吉, 舩尾孝之: ジオシンセティックスを用いたL型排水盛土工―実物大実験による評価―, ジオシンセティックス論文集, 第23巻, 国際ジオシンセティックス学会日本支部, pp.147-154, 2008.
- 5) 白濟民, 澁谷啓, 許晋碩, 尾方武文: 鉄鋼スラグを用いたテールアルメ擁壁の適用性に関する実物大盛土実験, 地盤の環境・計測技術に関するシンポジウム論文集, 公益社団法人地盤工学会関西支部, pp.119-124, 2012.
- 6) 地盤工学会基準 (JGS0941-2008) : ジオシンセティックスの土中引き抜き試験方法, 地盤材料試験の方法と解説, 公益社団法人地盤工学会, 2009.
- 7) 安福規之, 落合英俊: 土ージオグリット系補強土における拘束効果とその評価, ジオシンセティックス論文集, 第22巻, 国際ジオシンセティックス学会日本支部, pp.1-12, 2007.
- 8) 坂井晃, 福島伸二, 林重徳, 治田堅二, 兵動正幸, 安田進, 新谷秀人: ジオグリットの引抜き一斉試験結果について, ジオテキスタイルシンポジウム発表論文集, 第4巻, 国際ジオシンセティックス学会日本支部, pp.126-132, 1989.

A COMPARISON OF PULL-OUT SHEAR RESISTANCE OF BONDED AND EXTRUDED TYPES OF GEOGRID

Satoru SHIBUYA, Satsuki KATAOKA and Shoudai UEMAMATSU

In the authors' laboratory, the development of a completely new type of embankment by using heavy steel slag as the fill material has recently been underway with missions to achieve low-cost, environmentally tender and high resistance against earthquakes and heavy rainfalls. In the image of this reinforced embankment, geotextile sheets are placed in the compacted steel slag so that a high earthquake resistance, together with significant flexibility against deformation of the foundation soil may be achieved. However, little information is available as to the type of geogrid appropriate in the steel slag as well as the in-slag shear characteristics of the geogrid. In this paper, a comparison of pull-out shear force resistance of bonded/extruded types of geogrid is made in pull-out test in the laboratory.

KEYWORDS: Geogrid, Bonded/Extruded Type, Steel Slag, Pull-out Test