

ジオセルを用いた舗装路の段差抑制 に関する検討

館林雅治¹・川口貴之²・渡邊達也³・古矢達也¹・川尻峻三⁴・中村大⁴・原田道幸⁵

平成30年9月の北海道胆振東部地震において、札幌市では清田区での液状化現象を主たる要因とした地盤沈下や土砂流出の他に、盛土部分が圧縮・流動することで、切土部分との境界に生じた段差による交通障害も発生した。既にジオシンセティックスを用いた効果的な段差抑制工が提案されているが、生活道路では埋設管工事の際に撤去や再構築が容易であるといった機能も必要である。そこで本研究では、展開するとハニカム構造の立体補強材となるジオセルに着目し、模型試験と実大実験によってジオセルを用いた舗装路の段差抑制工に関する検討を行った。

キーワード：ジオセル，段差対策，地震，舗装路

1. はじめに

平成30年9月の北海道胆振東部地震では、北海道で史上初となる震度7を観測した厚真町における大規模斜面崩壊や、震度5強を観測した札幌市清田区における液状化現象を主たる要因とした地盤沈下や土砂流出など、多くの地盤災害が発生した¹⁾。札幌市内で発生した被害の中には、盛土部分が圧縮・流動することで、切土部分との境界に生じた段差もあり、写真-1に示すように住宅街の舗装路（生活道路）では最大0.3m程度の段差が生じたことによる交通障害も発生した。

これまでに発生した大きな地震でも、橋台やボックスカルバート等のコンクリート構造物と道路盛土との境界部に段差が生じ、地震直後の大きな交通障害をもたらす原因になったことが報告されている²⁾。これに伴って、道路橋示方書には地震時における路面の連続性を確保に関する記述が追加され³⁾、橋台と背面盛土との間については、踏掛版による段差対策が普及している。しかし、東日本大震災では踏掛版が設置された舗装路での段差被害が報告⁴⁾されたこともあり、ジオシンセティックスを用いた効果的な段差対策工に関する検討が行われている。

竜田・横田⁵⁾は室内模型試験によってジオテキスタイルの単純な敷設だけでは走行性の改善効果が低いことを報告している。また、辻ら⁶⁾は路床の上に拘束部材によって粒状材料とその間に敷設した複数枚のジオグリッドを挟んだ複合剛性層を構築する段差抑制工に関する大規模実大実験を実施し、優れた

段差抑制効果が発揮されることを確認している。これらのことから、対策工にはある程度の曲げ剛性が必要であることは言うまでもないが、盛土側の沈下や、交通荷重の載荷によって生じる盛土側への引張力に対して抵抗することも重要と考えられる。ところが、このような対策工は比較的浅い位置に設置されるため、十分な摩擦抵抗を発揮するのに必要な上載荷重が確保できず、ジオテキスタイルの単純な敷設だけでは改善効果が低いと推察される。

一方、本研究で対象とする生活道路への適用を考えると、設置費用が比較的安価で施工性が良いことや、水道やガスといった埋設管工事の際に撤去や再構築が容易であることも要求される。このような背景から、図-1に示すように展開すると厚みのあるハニカム構造の立体補強材になるジオセルに砕石（C-40）を充填し、全体を不織布で巻いた上で、段差抑制対策として切盛境界部の路盤下に設置することを着想した。なお、砕石を充填し、全体を不織布で巻いたジオセルは支持力改善対策として既に用い



写真-1 地震時に生じた段差の例

¹地盤工学会員，北見工業大学 大学院 工学研究科 社会環境工学専攻（〒090-8507 北見市公園町165番地）

²IGS個人会員，北見工業大学 工学部 社会環境系 教授（同上）

³地盤工学会員，北見工業大学 工学部 社会環境系 助教（同上）

⁴IGS個人会員，北見工業大学 工学部 社会環境系 准教授（同上）

⁵IGS個人会員，東京インキ株式会社（〒114-0002 東京都北区王子1-12-4TIC王子ビル）

られている。厚みの分だけ摩擦を発揮する表面積が大きくなることや、対策工自体の自重が増すことによって、地震による急激な段差変位が生じてても、盛土側への引張力に対してある程度の引抜き抵抗を発揮することが期待できる。また、中詰め材がジオセルと不織布によって拘束されることによって、曲げに対して抵抗するとともに、本来の柔軟性によって変形がなだらかになり、最低限緊急車両が通過できる程度の路面形状を保持することも期待できると考えた。なお、ジオセルであれば掘削時に切断しても、同等な引張強度を維持して再接続することも可能で

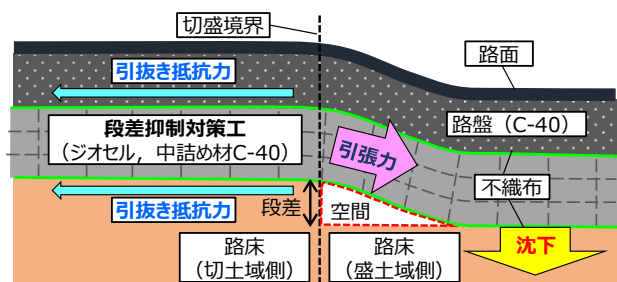


図-1 本研究で対象とした段差抑制工の概略図

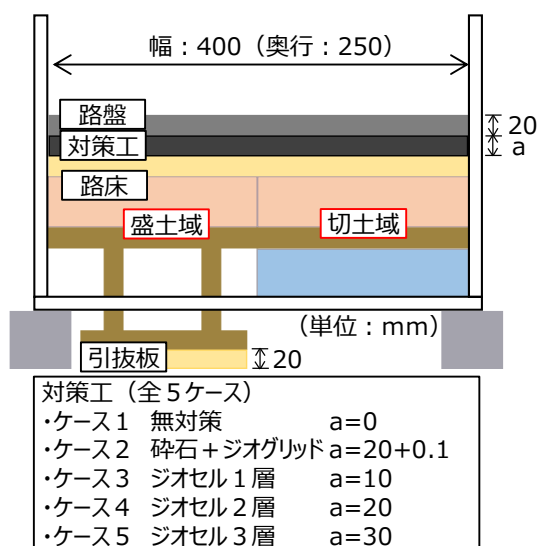


図-2 模型試験に使用した土槽の概略図

ある。また、先述したコンクリート構造物と道路盛土との境界部における段差対策にジオセルを適用した研究例は既に報告されている⁷⁾。ジオセルによる支持力向上によって、交通荷重による道路盛土側の圧縮沈下量が減少し、無対策区間に比べて段差が抑制されることが示されているが、本研究で対象とした路面からの交通荷重を伴わずに生じる地震時のような比較的大きな段差に対して、どの程度の効果を発揮するかは不明である。

そこで本研究では、初めに本工法の効果検証を目的とした室内模型試験を実施した。そして、その結果を踏まえて凍結融解作用によって段差が生じる実大舗装路を構築し、ジオセルを用いた段差抑制対策工の効果やその改善策について検討した。

2. 室内模型試験による検討

(1) 試験方法

図-2は、縮尺比を1/15とした模型試験に使用した土槽に関する概略図である。土槽は透明アクリル製であり、側面からの視認が可能である。また、模型道路は中央部で段差が生じるように、土槽内で底上げされた二枚の板の上に構築している。片方の板は土槽の底に開けた穴を通じて底板と連結されており、その下に設置した引抜き板を素早く引き抜くことで、所定の段差が生じる仕掛けとなっている。以下、沈下させる側を盛土域側、もう片方を切土域側とする。

この土槽を用いて、図-2中に示した対策工の部分のみを変えた全5ケースの試験を実施した。ケース1は何も設置しない（無対策）、ケース2は砕石層の上にジオグリッドを敷設、ケース3～5は砕石を充填した1～3層のジオセルを全体を不織布で巻いた場合を想定した対策工を設置し、模型道路に段差を与えた。なお、段差の大きさは実際に生じた最大値0.3mに相当する大きさ（20mm）とした。

写真-2は、模型道路の構築過程や実験に使用した模擬部材などを示したものである。路床には、2つの発砲スチロール板を並べたが、隙間に砂利が入り

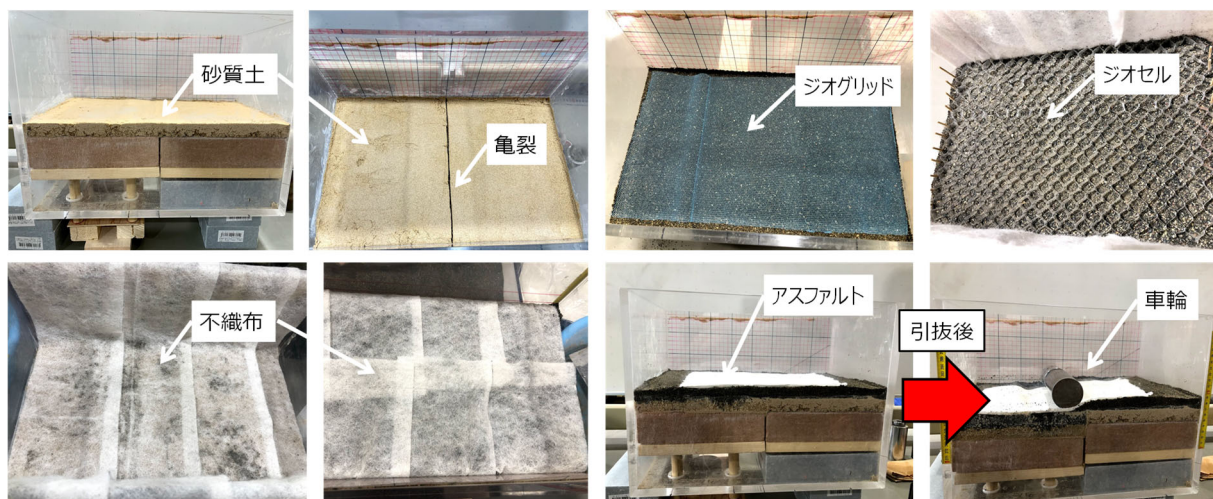


写真-2 模型試験の様子

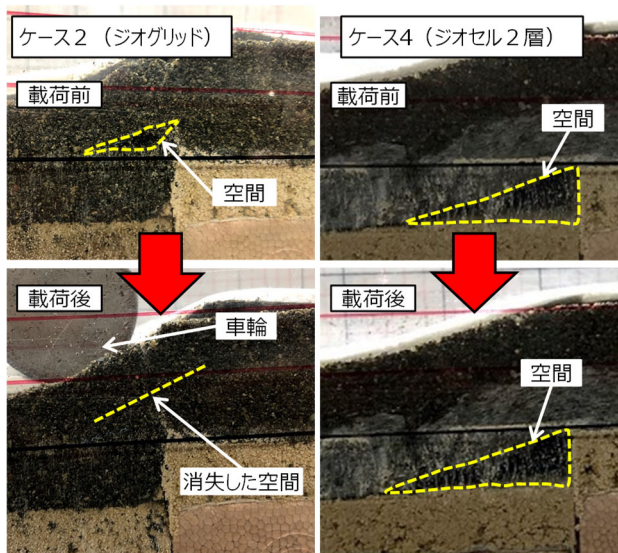


写真-3 輪荷重載荷前後の段差付近

込むことを防ぐため、その上に砂に水と粉末粘土を加えて若干の粘着力を持たせた砂質土を設置した。ただし、本試験では段差発生時における対策工から上部の挙動を把握することが主な目的であるため、路床土が変形に対して抵抗しないよう、段差部分には予め亀裂を入れた。ジオグリッドは市販のポリエチレン製ネットとし、ジオセルは高さ0.15 m、展開時の縦と横の長さが約0.3 mのタイプを換算した大きさになるよう、厚さ0.1 mmのPET製シートをステープラーによって所定の間隔で貼り合わせて作製した⁸⁾。なお、使用するジオセルの厚さは1.3 mmであるため、厚さの縮尺比も概ね整合している。不織布は目付300 g/m²、厚さ3.0 mmのタイプを想定し、換算した厚さ（0.2 mm）の不織布を日用品の中から調達した。不織布は実際の施工を想定して路床上に複数枚敷設し、ジオセルを設置して中詰め材を充填した後で、ジオセル層全体を不織布で巻いた。

路盤やジオセルの中詰め材は砕石（C-40）とし、最大粒径の縮尺が砕石に概ね合っている。市販の砂質土を含水比2%に調整し、いずれのケースでも湿潤密度が一定（1.7 g/cm³）になるように突き固めて構築した。また、路盤の上には軽量粘土を薄板状にしたものをアスファルト混合物層として敷設しており、段差を発生させた後には、鉄製の丸棒を車輪と見立て、段差周辺の路面上を切土域側から盛土域側に向かってゆっくり転がしながら1回通過させた。丸棒の直径は0.75 m、重さは約116 kNに相当するため、10 tダンプトラック程度とみなすことができる。

(2) 試験結果

写真-3は、ケース2（ジオグリッド）とケース4（ジオセル2層）における輪荷重載荷前後の段差付近を比較したものである。ケース2では段差発生直後はジオグリッドの下に空間があるが、輪荷重によって消失していることが分かる。ジオグリッドモデルは、実際のものに比べて伸び剛性が低いと考えられるが、これは輪荷重で生じた引張力によってジオグ

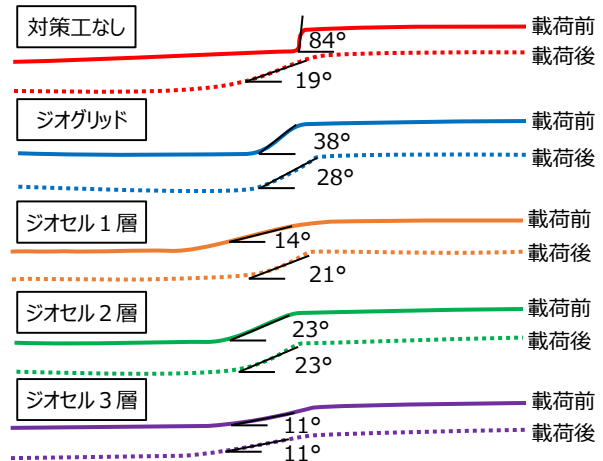


図-3 実験終了後の路面形状の比較

リッドが局所的に伸びたか、切土域側のジオグリッドが盛土域側へ移動した（引き抜かれた）ためと考えられる。一方、ケース4では段差発生直後からジオセルの下にはケース2よりも大きな空間ができ、輪荷重によってもその大きさはほとんど変わらないことが分かる。これは先述したように中詰め材がジオセルと不織布によって拘束されていることで段差付近で曲げに抵抗するとともに、摩擦や自重によって輪荷重で生じた引張力にも抵抗し、段差付近での支持力も保持された結果と解釈できる。

図-3は、実験終了後の路面形状を比較したものである。輪荷重載荷後における段差付近での路面形状は、丸棒を路面上で転がした影響で傾斜がゆるやかになってしまったものもあるが、いずれのケースも与えた段差は同じ（20 mm）であるため、段差抑制の効果は段差周辺における路面の傾斜や不陸の少なさ（なだらかさ）で評価すべきと考えられる。よって、図中に示した結果から、ジオセルを用いた本対策工には段差抑制効果が見込まれ、全般的にはジオセル層数を増やすほど、輪荷重載荷による変化も少なく、路面もなだらかになると判断した。

3. 実大実験による検討

(1) 実験方法

図-4は、ジオセルを用いた段差抑制対策について検討することを目的とした実大実験に関する概略図である。分かりやすいように縦横比を変えており、比率は図中に示している。模型試験結果を踏まえて、約55 mの舗装路の中に4箇所の段差が生じるようにし、それぞれに無対策と、1～3層のジオセル段差抑制工を設置した。なお、アスファルト混合物層と路盤の厚さは、先述した地震時に段差が生じた市道と同様にし、全体の層厚を合わせるために路盤の下0.45 mの範囲は全て砕石（C-40）で構築した。すなわち、無対策でも路盤の下0.45 mは砕石置換されていることに等しい。

段差を生じさせる機構については、本来であれば

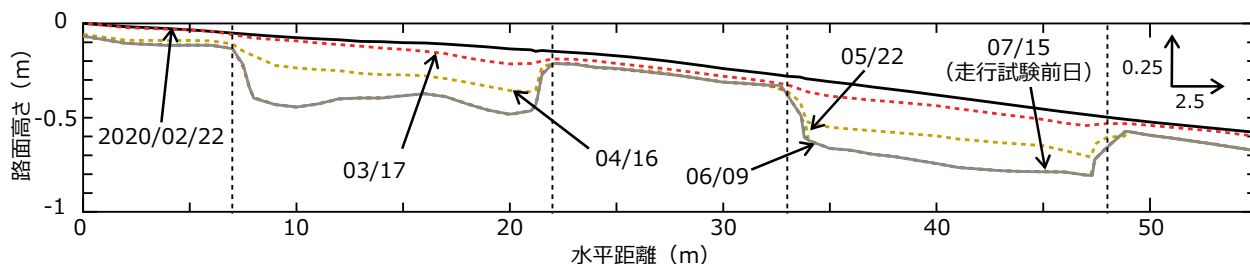


図-5 氷雪の融解に伴う路面形状の推移

めても2時間程度であった。また、施工全体は概ね3日間で終了し、3日目の大部分は舗装作業であった。

(2) 段差の発生と評価

図-5は、施工した2020年2月中旬から、2020年7月中旬までの路面形状の推移を約1ヶ月ごとに示したものである。なお、図中の路面形状は道路中央に概ね1 m間隔で設置した測点に対する水準測量の結果を連ねたものである。ただし、盛土域が沈下した以降は、形状を把握できるように、変曲する箇所測点を追加して測量を行った。この冬は少雪であったことに加え、春以降は除雪したこともあり、5月中旬には変形が収束していることが分かる。

写真-5は、2020年7月中旬に撮影した段差周辺の様子を比較したものである。ジオセルの層数が減り、無対策に近づくほど、段差周辺の損傷範囲が大きくなっていることが分かる。また、3層のジオセルからなる対策工を設置した段差周辺のアスファルトが最もなだらかに変形していることも確認できる。

(3) 車両走行試験

写真-6は、2020年7月中旬に実施した車両走行試験の様子を示したものである。普通自動車（約12 kN）で50往復した後、総重量を200 kNに調整したダンプトラックで100往復した。いずれも3層のジオセルからなる対策工が設置された側から無対策側に向かって進行し、バックで戻るまでを1往復とした（図-4参照）。写真はジオセル3層の対策工を設置した段差を通過している様子であるが、普通自動車でも通過できることを確認した。ただし、普通自動車の走行時には、安全のために盛土側の段差部分に砂を詰めた土嚢袋を設置したが、ダンプトラックの走行時には撤去して走行した。

写真-7は、走行試験前後における段差周辺の様子を比較したものである。走行試験前の写真に着目すると、部分的に急な勾配となっている箇所もあるが、全体としては無対策に近づくほど、全体的な勾配はむしろ緩やかになっていることが分かる。しかしながら、これについては本試験における段差が冰雪層の融解によって徐々に進行したことに加え、無対策であっても路盤から段差部分までは碎石で構成されているため、段差周辺における切土域側の碎石が盛土域側へ向かって徐々に移動した結果と考えている。これを裏付けるように、無対策に近づくほど、最大クラックの位置が切土域側に位置しており、それに

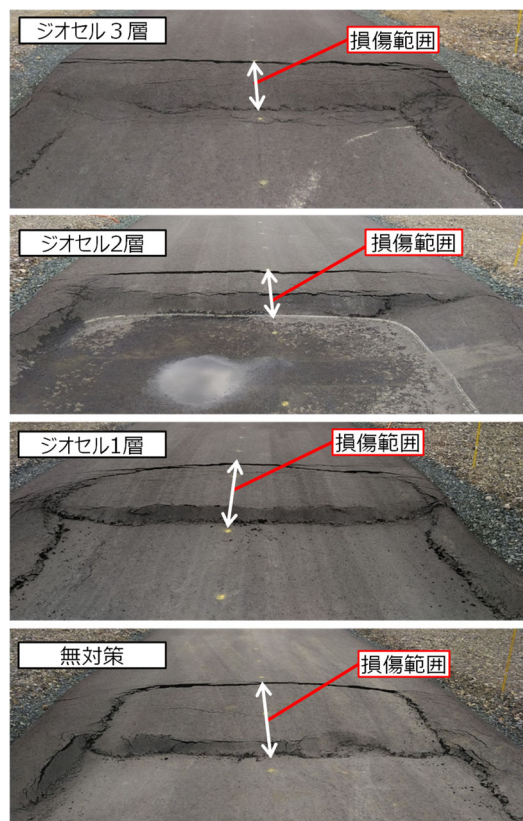


写真-5 段差周辺の比較



写真-6 車両走行試験の様子（ジオセル3層）

伴って損傷範囲が大きくなっている。このことは、無対策に近づくほど、段差発生時に生じる盛土域側への引張力に対する抵抗力が小さくなるため、切土域側にまで影響が及んだことを意味しており、地震時のように急激な変形が生じた場合には、模型試験で見られたように、対策工による段差抑制効果がより顕著に発揮されると考えている。また、無対策に

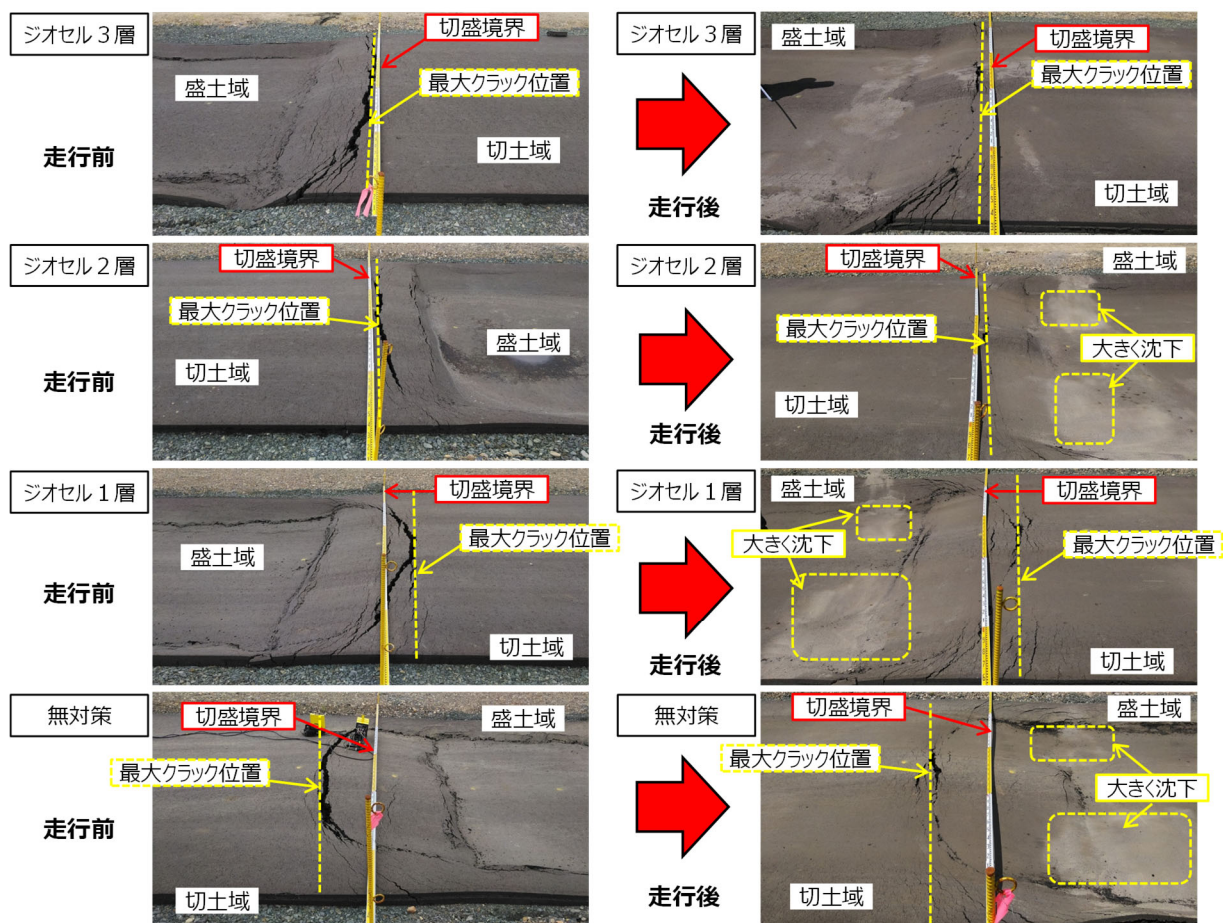


写真-7 走行試験前後における段差周辺の様子の比較

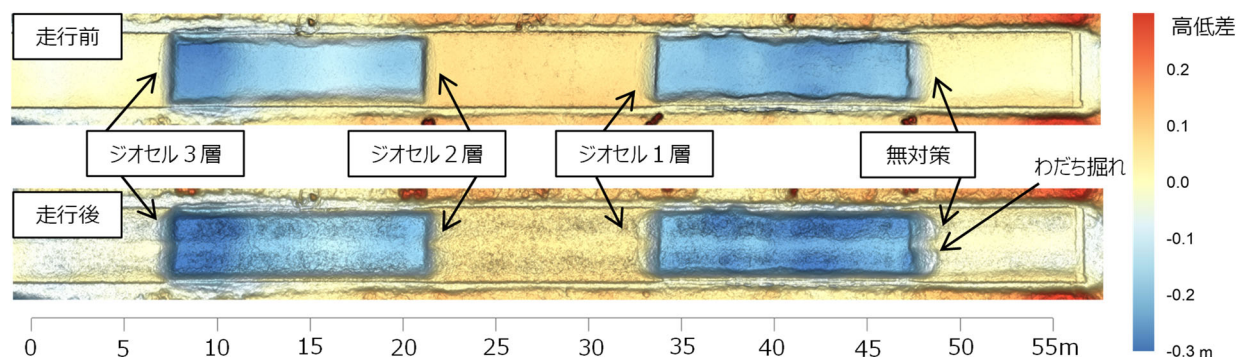


図-6 走行試験前後の UAV-SfM 測量での路面形状の変化

近づくほど切土域側の碎石が盛土域側に移動しているのであれば、段差周辺の密度は低下し、それに伴って支持力も低下していると推測される。

図-6は、走行試験の前後で実施したUAV-SfM測量で得られた全体的な路面形状の変化を示したものである¹²⁾。なお、本測量の精度は約0.01 mであり、耐水しないよう無対策側の舗装路を低くしているため、路面に正対した面からの高低差として表現している。無対策に近づくほど、特に段差周辺で大きなわだち掘れが形成された様子が確認できる。また、このことは走行試験後の写真からも確認でき(写真-7参照)、先述のように無対策に近づくほど段差周辺の支持力低下が顕著かつ広範囲に及んでいることを裏付けている。なお、普通自動車の走行で生じた

路面変状はほぼ無かったため、この変形はダンプトラックの走行によるものと理解している。

(4) 対策効果と改善策に関する検討

図-7は、走行試験前後の水準測量結果である。走行試験後については、車道中央の測点に加えて、そこから路肩側へ0.95 m離れた位置でも計測した。なお、この測点はダンプトラックの車輪位置に相当する。走行試験前後における車道中央の路面高さを比較すると、無対策やジオセル1層の対策工ではほとんど変化ないが、ジオセル2層や3層の対策工では段差周辺の勾配が幾分緩やかになっている。次に、走行試験後における車道中央と0.95 m離れた位置での路面高さを比較すると、ジオセルの層数が増えるほ

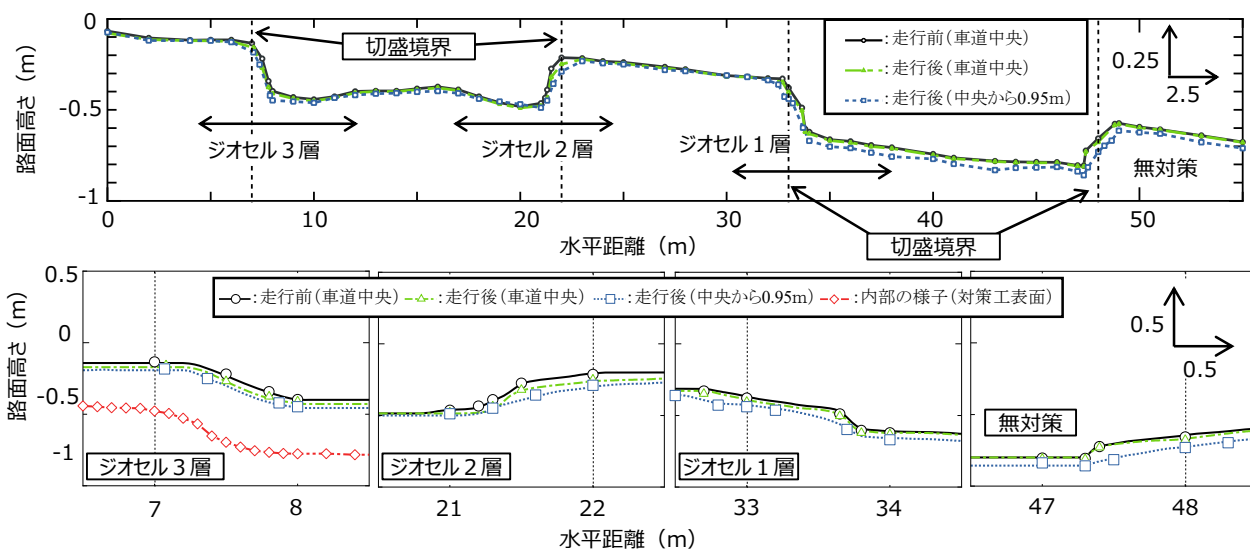


図-7 走行試験前後の水準測量の結果

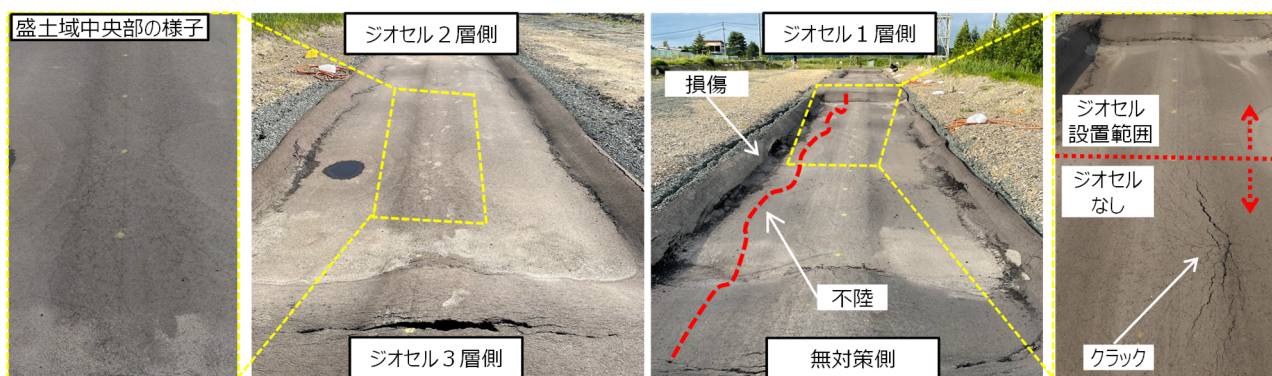


写真-8 走行試験終了後における盛土域の様子

ど、全般的に両者の差（高低差）が小さくなっており、ジオセル3層の対策工を設置した範囲では、走行試験前後ともになだらかな路面形状を保持している。これは碎石を充填し、全体を不織布で巻いたジオセル層が持つ剛性によって支持力が向上し、局所的な輪荷重に対して一体的に変形したためと考えられる。一方、写真-7や図-6でも確認されたように、無対策に近づくほど高低差が大きくなっており、わだち掘れが顕著になっている。以上のことから、最大0.3 m程度の段差抑制に関して、3層のジオセルであれば、地震時にも段差部分でなだらかな変形が期待でき、緊急車両等の大きな輪荷重が作用してもわだち掘れの発生を抑制できると考えられる。つまり、3層のジオセルからなる対策工は、最大で0.3 m程度の段差を想定した、主に生活道路を対象とした簡易な段差抑制工として効果的と判断した。

写真-8は、走行試験終了後における冰雪が融解して沈下した2箇所の様子を比較したものである。路面の損傷や不陸は、両端の段差が1層のジオセルと無対策からなる沈下領域（盛土域）の方が激しい。また、詳細に観察すると、路面のクラックはジオセル（1層）が設置されていない範囲で顕著であった。このことから、舗装路下におけるジオセル層の設置は、段差周辺と同様なメカニズムによって支持力が向上し、一体的に変形するため、融解期に重車両が

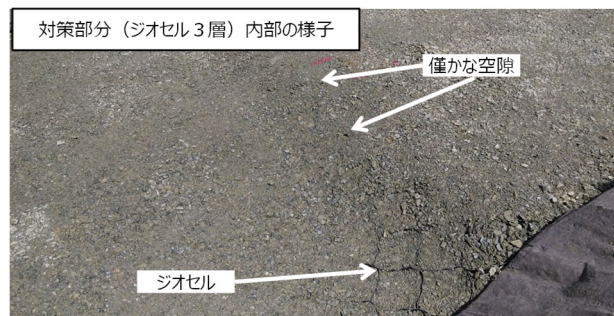


写真-9 走行試験後に開削した対策工の様子

走行することで生じる路面のクラックやわだち掘れなどの損傷抑制に対しても有効と考えられる。なお、今回の対策工を設置した位置は下層路盤の下であり、中詰め材は碎石であるため、寒冷地では凍上抑制層を兼ねることができる。

写真-9は、走行試験後に3層のジオセルからなる対策部分を開削し、内部の様子を観察した様子である。屈曲部のジオセルは幾分伸展し、僅かであるが中詰め材の移動が生じている様子が見られた。写真-6や写真-7などで示したように、3層のジオセルからなる対策工周辺での変形はなだらかで、緊急車両が走行できる程度であったものの、全体的な勾配は決して緩やかとは言えない状況であった。また、図-7中には開削した対策工表面の測量結果も示してい

るが、舗装路下にある対策工部分も走行試験前の路面形状と同様であった。一方、これ以上ジオセルの層数を増やすことはコストや施工性を考えると難しい。以上のことから、改善策として本実験のようにジオセル全体を1枚の不織布で包むのではなく、1層ずつ包むことが挙げられる。これに伴うコストの増加や施工性の低下は少なく、少なからずジオセルの変形は抑制されると考えられる。さらに、セルの大きさ（サイズ）を小さくすることも段差部の勾配を緩やかにするのに有効と予想されるが、これについては今後慎重に検討していきたいと考えている。

4. まとめ

本研究では、室内模型試験とそれを踏まえた屋外での実大実験によって、地震時に生じる段差抑制を目的とした対策工にジオセルを適用することについて検討した。得られた成果を以下にまとめる。

- 1) 3層のジオセルからなる対策工では、段差周辺での路面形状もなだらかで、重車両走行時のわだち掘れも抑制されたことから、この工法は最大0.3 m程度の段差を想定した、主に生活道路を対象とした簡易な段差抑制工として効果的と判断した。
- 2) 路盤の下にジオセル層を構築することは、融解期に重車両が走行することで生じる路面のクラックやわだち掘れなどの損傷抑制に対しても有効であることが分かった。

謝辞：本研究を進めるに当たり、札幌市建設局市街地復旧推進室の皆様には多大なる協力を得た。ここに記して深甚なる感謝の意を表します。

参考文献

- 1) 例えば、公益社団法人地盤工学会，平成30年北海道胆振東部地震による地盤災害調査団：平成30年北海道胆振東部地震による地盤災害調査団最終報告書，2019。
- 2) 社団法人土木学会，東京大学，京都大学，長岡技術科

- 学大学，早稲田大学，中央大学：活褶曲地帯における地震被害データアーカイブスの構築と社会基盤施設の防災対策への活用法の提案，平成17年度文部科学省科学技術振興調整費，平成17年度研究成果報告書，2006。
- 3) 社団法人日本道路橋会：同解説，IV下部工編，Vol.57，2012。
- 4) 国土技術政策総合研究所，土木研究所：地震時の交通機能確保に配慮した道路構造物の技術基準，東日本大震災報告会発表資料，2012。
- 5) 竜田尚希，横田善弘：基礎的実験による既存道路の地震時段差対策の効果，平成30年度近畿地方整備局研究発表会論文集，2018。
- 6) 辻慎一郎，竜田尚希，石垣勉，太田秀樹：ジオグリッドを用いたアスファルト舗装の地震対策型段差抑制工法に関する現場実験，ジオシンセティックス論文集，Vol.27，pp.89-92，2012。
- 7) 峯岸邦夫，石井大悟，山中光一，渡部健：道路境界部に用いたジオセルの段差抑制効果および強度特性，ジオシンセティックス論文集，Vol.29，pp.135-138，2014。
- 8) 米良有玄，清田隆，HAN Xinye，片桐俊彦：振動台模型実験による改良型ジオセル補強盛土の耐震性の検討，土木学会第69回年次学術講演会，2014。
- 9) 石垣勉，竜田尚希，川崎始，橘伸也，桑野二郎，太田秀樹：地震対策型段差抑制工法の補強メカニズムに関する実験的検討，土木学会第67回年次学術講演会，2012。
- 10) 村田芳信，荻谷敬三，八嶋厚，岡村拓朗，伊藤修二，辻慎一郎，横田善弘：道路舗装長寿命化に向けたジオシンセティックスを用いた路盤改良の試み(2)―試験施工の概要と効果確認の試み―，ジオシンセティックス論文集，Vol.34，pp.69-74，2019。
- 11) 加賀宗彦，高磊，清川伸夫，原田幸道：モデル化したジオセルの支持力，土木学会第67回年次学術講演会，2012。
- 12) 渡邊達也，三浦竜，川尻峻三，山崎新太郎，中村大，川口貴之，雨宮和夫：北海道陸別町で発生した地すべりの末端隆起の成長，日本地すべり学会誌，Vol.56，pp.313-319，2019。

STUDY ON RESTRAINT METHOD OF BUMPS IN PAVEMENT ROAD USING GEOCELLS

Masaharu TATEBAYASHI, Takayuki KAWAGUCHI, Tatsuya WATANABE, Tatsunari FURUYA, Shunzo KAWAJIRI, Dai NAKAMURA and Michiyuki HARATA

In addition to the damage caused by liquefaction phenomenon in Sapporo City, bumps were generated at the boundary with the cut area due to the compression and flow of the embankment area in the eastern part of Hokkaido Eastern Iburi earthquake in September, 2018, and a traffic obstruction occurred. Though the effective restraint method of bumps using geosynthetics has already been proposed, removal and reconstruction must be simple, because construction of buried pipes is sometimes carried out on community roads. In this study, therefore, the authors focused on the geocell which becomes a three-dimensional reinforcement of honeycomb structure, and examined restraint method of bumps in pavement road using geocells by model tests and full-scale experiments.

KEYWORDS: Geocell, Restraint Method of Bumps, Earthquake, Pavement Road