

ジオセルとジオグリッドを併用した 補強土壁の耐凍上性評価

川口貴之¹・中村大²・山下聡³・林豪人⁴・安達謙二⁴

雨宮盛児⁵・原田道幸⁵・山崎新太郎⁶・小林歩⁷・玉井啓博⁷

北海道のような寒冷地に構築されたコンクリート擁壁，テールアルメ工法や多数アンカー工法といったコンクリート製の壁面材を用いた補強土壁，更には鋼製壁面材とジオテキスタイルを用いた補強土壁についても，壁面側から寒気が入り込むことによって背面の土が凍上し，凍上力によって壁面材が損傷したり，壁面材と補強材が切断されるといった被害事例が報告されている．そこで，より追従性の高い壁面材としてジオセルを活用し，これとジオグリッドを組み合わせた新開発の補強土壁を北見工業大学敷地内に試験的に構築した．本文では，施工や計測に関する詳細を報告するとともに，凍結から融解に至るまでの変位や地中温度等の各種計測結果から本補強土壁の耐凍上性を検証し，現時点では崩壊に直結するような変状は見られないことを確認した．

キーワード：凍上，補強土壁，ジオセル，ジオグリッド，ジオテキスタイル

1. はじめに

北海道のような寒冷地に構築された擁壁や補強土壁については，壁面が垂直あるいは1:0.5程度の急勾配であるために積雪による断熱効果が期待できない．このため，L型などのコンクリート擁壁や，テールアルメ工法，多数アンカー工法といったコンクリート製の壁面材を用いた補強土壁では，裏込めに用いた土の凍上性が高く，背面側からの地下水の供給が十分な場合，壁面側から寒気が入り込むことによって背面の土が凍上し，凍上力によって壁面材が損傷したり，壁面材と補強材が切断されるといった被害が発生する¹⁾．このような背景もあって，擁壁や補強土壁については置換工法による凍上対策工が設計にも取り入れられている²⁾．また，背面に断熱材を設置する断熱工法も有効であるとの研究例もある^{3,4)}．

次に，ジオテキスタイルを用いた補強土壁については，壁面を緑化できる特徴を生かすためもある⁵⁾．しかし，近年凍上に起因した変形や崩壊が生じた事例が報告され⁶⁾，先と同様な置換工法による凍上対策が設計にも取り入れられ始めている^{6,7)}．しかしながら，凍上対策と壁面緑化を両立することは難しく，コスト面などで

問題になることが予想される．

一方，部分的に接合させたシート状の高密度ポリエチレンを展開し，ハニカム構造となった枠内に中詰材を充填させたジオセルと呼ばれる構造体があり，のり面保護や構造物基礎など，近年様々な土構造物の補強に活用されている^{8,9)}．その中でも，ジオセルを段積みさせた擁壁は軽量で施工性が良く，緑化もできること，更には中詰材に現地発生土を有効利用できる利点も有しており，施工実績も増えている．このジオセル擁壁のように，より追従性の高い壁面材であれば中詰材やその背後の土がある程度凍上あるいは融解しても，それに応じて変形し，先述の擁壁や補強土壁で見られた被害を防止できると期待されるが，一般にジオセル擁壁はもたれ式擁壁と同様に比較的安定した地山や切土部のみに適用される¹⁰⁾．

そこで，壁面材としてのジオセルとジオグリッドとを組み合わせることで，擁壁としての汎用性を広げ，現地発生土を有効利用しつつも耐凍上性や耐震性の向上も期待できる補強土壁が新たに開発された．本研究では，この補強土壁を2012年末に北見工業大学敷地内に試験的に構築し，継続的に地中温度やジオセルの変位といった様々な項目を計測している．本文では，この施工や計測の詳細を示すとともに，現時点までの各種計測結果に基

¹IGS個人会員，北見工業大学工学部 社会環境工学科，准教授（〒090-0857 北見市公園町165）

²地盤工学会員，北見工業大学工学部 社会環境工学科，准教授（〒090-0857 北見市公園町165）

³地盤工学会員，北見工業大学工学部 社会環境工学科，教授（〒090-0857 北見市公園町165）

⁴地盤工学会員，岡三リビング株式会社（〒108-0023 東京都港区芝浦4丁目16番23号 AQUACITY芝浦）

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

⁶地盤工学会員，北見工業大学工学部 社会環境工学科，助教（〒090-0857 北見市公園町165）

⁷地盤工学会員，北見工業大学大学院 社会環境工学専攻，大学院生（〒090-0857 北見市公園町165）

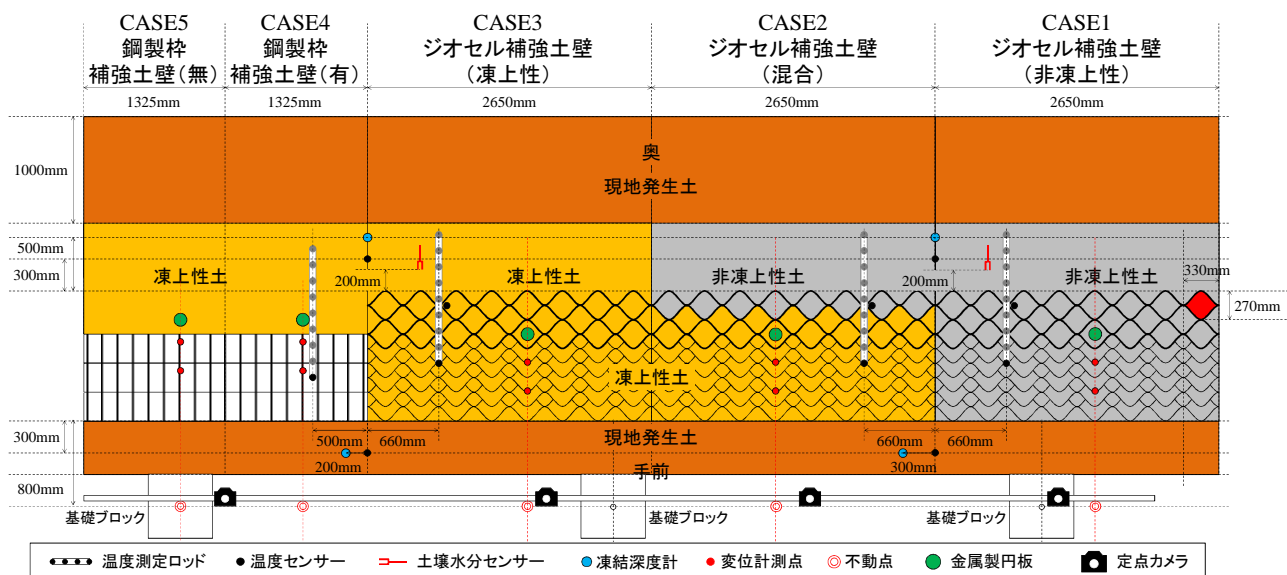


図-1 補強土壁の平面図



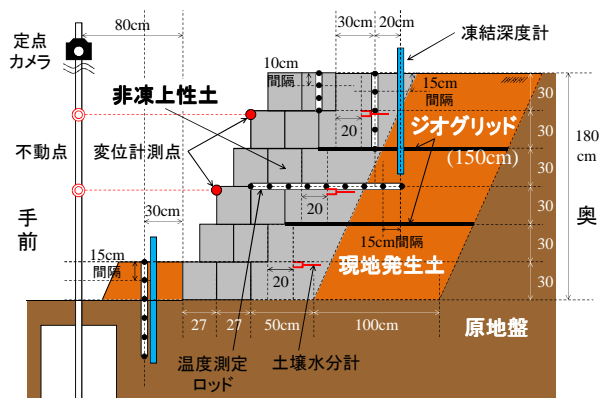
写真-1 補強土壁の全景（2013年4月30日撮影）

づいて本補強土壁の耐凍上性を検証した。

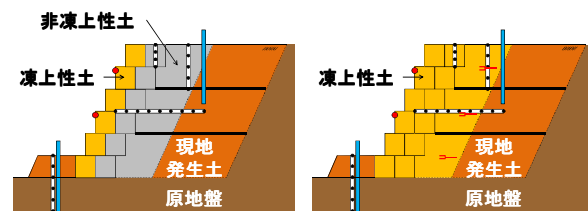
2. 施工の概要

写真-1 は北見工業大学敷地内に構築した補強土壁の全景である。また、図-1 は補強土壁の種類や使用した地盤材料が異なる全 5 ケースの概要と計測器の設置状況をまとめた平面図、図-2 は各ケースの断面図である。施工は本格的な冬期を迎える直前の 2012 年 11 月 17 日から 21 日にかけて実施した。補強土壁は全 5 ケースあり、既存の植生された北向き斜面を掘削して後退させ、そこに腹付ける形で構築した。最大凍結深やこれに伴う壁面材へ影響を考慮して、壁面から 1m の範囲内には、別途用意した凍上性の異なる 2 種類の地盤材料を適用し、その背後には既存斜面を切土した際に発生した土（以下、現地発生土）を用いた。

図-3 は補強土壁のために用意した 2 種類の地盤材料の粒径加積曲線である。凍上することを期待して用意した土（以下、凍上性土）は道東の訓子府町から採取したもので、細粒分に火山灰を含む段丘堆積物であり、細粒分質礫質砂（SFG）に分類される。一方、凍上しないこ

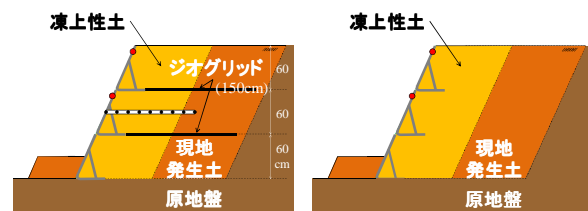


CASE1ジオセル補強土壁（非凍上性）



CASE2
ジオセル補強土壁（混合）

CASE3
ジオセル補強土壁（凍上）



CASE4
鋼製枠補強土壁（有）

CASE5
鋼製枠補強土壁（無）

図-2 補強土壁の断面図

とを期待して用意した土（以下、非凍上性土）は、道東で一般に凍上抑制層（置換材）として使用されている火山灰であり、細粒分質砂（SF）に分類される。

図-4 はこれらの土の締固め試験結果であり、凍上性

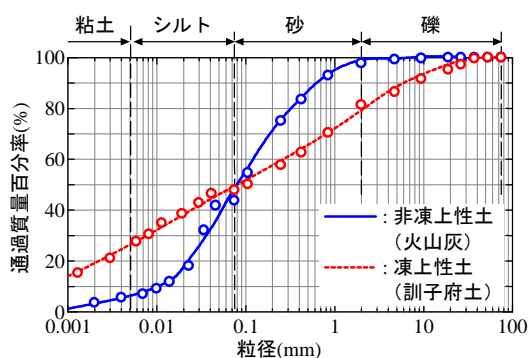


図-3 2種類の地盤材料の粒径加積曲線

土については玉石が混入しているため、A法とB法で実施したが、最大乾燥密度などにそれほどの違いは確認されなかった。また、図-5はこれらの凍上試験結果であり、試験方法は基本的に地盤工学会学会基準¹⁾に準拠したが、より実状に近い凍上性を評価することを目的として、施工時に実施した砂置換法による現場密度試験結果で得られた含水比と密度になるように作製した供試体を用いた(図-4参照)。地盤工学会基準に基づく、凍上性土の凍上速度 0.301 mm/hr は「凍上性が高い」、非凍上性土の 0.004 mm/hr は「凍上性が低い」と判定され、凍上性に大きな違いがあることが分かる。なお、一般に凍上性土については締固め度が高くなるほど凍上速度が大きくなるため¹²⁾、基準通りにA法に従えば、より大きな凍上速度となることが予想される。

図-2に示したように、全5ケースの内、3ケースについては壁面材にジオセルを用いた補強土壁であり、中詰材、盛土材ともに非凍上性土で作製したもの(以下、CASE1 ジオセル補強土壁(非凍上性))、植生することを想定して壁面材表面付近の中詰材のみに凍上性土を使用し、盛土材には非凍上性土を用いたもの(以下、CASE2 ジオセル補強土壁(混合))、中詰材、盛土材ともに凍上性土で作製したもの(以下、CASE3 ジオセル補強土壁(凍上性))である。また、比較対象として、鋼製壁面材(以下、鋼製枠)を用いた補強土壁も2ケース併設し、凍上に対するジオテキスタイルの抵抗性を評価する目的で、盛土材は凍上性土とし、ジオグリッドを敷設したもの(以下、CASE4 鋼製枠補強土壁(有))と、敷設していないもの(以下、CASE5 鋼製枠補強土壁(無))とした。なお、鋼製枠は斜材を有し、ジオセル補強土壁と同様な壁面角となるものであり、こぼれ出し防止のために内側に不織布を設置した。

施工方法については、1層あたりのジオセル高さが30cmであることから、まき出し厚についても30cmとした。現地発生土と非凍上性土については、小型の振動ローラーを用いて転圧したが、凍上性土については高含水比状態でトラフィカビリティが確保できなかったため、主に木だこや足踏みによって行った。これは、初冬の施工であったため、元来自然含水比が高かったこともあるが、現地の地下水位は施工基面下で背後からの水分供給も見込めないため⁴⁾、土中水分を多くしておくことで凍上性の違いによる補強土壁の変状を明確にするためでも

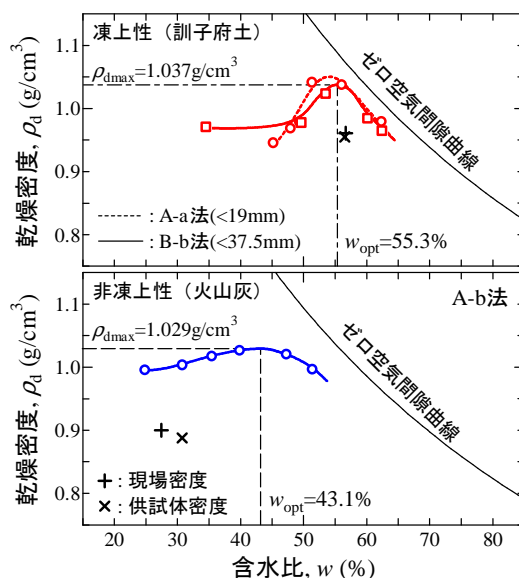


図-4 2種類の地盤材料の締固め試験結果

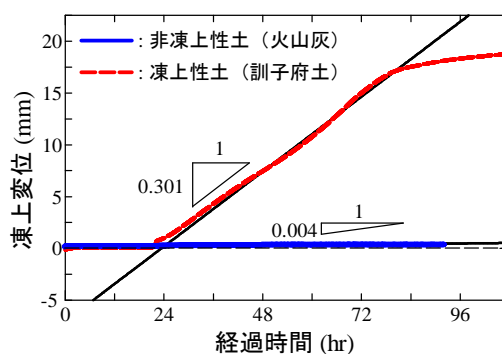


図-5 2種類の地盤材料の凍上試験結果

ある。しかしながら、締固め度については90%を超えており、むしろ非凍上性土の方が90%を幾分下回っている(図-4参照)。

ジオセル補強土壁については、6段積み(高さ1.8m)とし、2段ごとに新たに開発した治具によってジオグリッドとジオセルを連結させて敷設した¹³⁾。一方、鋼製枠補強土壁(有)についても鋼製枠の高さが60cmであるため、ジオセル補強土壁と同じ高さでジオグリッドを鋼製枠と連結させて敷設した。ただし、補強土壁完成後に計測時の足場確保や安全性を考慮して最下層前方に高さ30cm(ジオセル1段分)、幅50cm程度の腹付け盛土(埋戻し)を行った。このため、外見上1.5m(ジオセル5段分)の補強土壁となっている。また、ジオセル補強土壁は各ケース8セル分(2.65m)とし、その両端は鋼製のアンカーで固定した。鋼製枠補強土壁は各ケース幅1.33mとした。

3. 計測の概要

(1) 補強土壁内の温度

温度については、等間隔に穴が開けられた塩化ビニールパイプにT型熱電対を通し、先端を穴から出して固

定した温度測定ロッドを図-1、図-2 に示した位置に埋設した。なお、ジオセル補強土壁最上段に設置したロッドの測点間隔は 10cm, それ以外のロッドの測点間隔は 15cm である。ロッド内には砂を充填しており、1 か所に集約して多チャンネル温度ロガーで 1 時間ごとに計測した。また、これとは別に温度測定ロッドの計測結果を補完する目的で、メチレンブルー凍結深度計を 4 か所に設置している。この凍結深度計を用いることで、凍結期には凍結線（水と氷の境界）が地表面から地中へと進行していく様子を、融解期にはこの凍結線が地表面へと上昇してくる様子、さらには融解線（同様に水と氷の境界）が地表面から地中へと進行していく様子を、目視で確認することができる。なお、天端や壁面、のり尻といった補強土壁周辺は冬期間中常に除雪環境下とした。

(2) 盛土材・中詰材の物性変化

盛土材（中詰材）の物性変化については、土質の異なる CASE1 ジオセル補強土壁（非凍上性）と CASE3 ジオセル補強土壁（凍上性）の上から 1, 3, 5 段目下の盛土部分に誘電率土壌水分センサーを埋設し（図-2 参照），1 時間ごとに誘電率を計測している。誘電率は体積含水率 θ によって変化することが知られているが、土質によって換算式は異なる。そこで、2 種類の土を用いてそれぞれ予め検定し、得られた誘電率から θ に換算した。なお、誘電率は周辺の土が凍結すると急激に低下することから、上述の温度測定ロッドやメチレンブルー凍結深度計による結果の解釈にも役立つ。

(3) 補強土壁の変位・変形

変位については、先述のようにジオセルは追従性の高い柔な素材であるため、局所的な変位を計測しても、それが補強土壁全体の変形を捉えているか判断することは難しい。また、年間を通じた温度変化が大きく、積雪の影響もあるため、ひずみゲージ式変換器等を用いた自動計測、更には光波測距儀やトランシット等の測量機器を用いた多点測量を頻繁に行うことは極めて困難である。そこで、まず補強土壁前方に 60cm×60cm の基礎ブロックを 80cm 深に埋設し、そこに単管パイプをセメントで固定することで幾つかの不動点を設けた（写真-1、図-1 参照）。そして、ジオセルおよび鋼製枠の表面に設けた測点と、不動点を利用して設けた水平線上の 2 点を結んでできる三角形の辺長をコンベックスで計測し、デジタル角度計（傾斜計）を用いて計測した水平面からの角度を用いることで測点の 3 次元的な変位を定期的に計測した。なお、ジオセル補強土壁については各ケース上から 2 段目と 4 段目の左から 4 セル目の中央先端、鋼製枠補強土壁についても、上から 1 段目と 2 段目の鋼製枠上部に測点を設けた（図-2 参照）。この他に、不動点である単管パイプ上にデジタルカメラを 4 台設置し（写真-1、図-1 参照）、定点から各ケース全景を定期的に撮影した。さらに、最上段前面のセル内に金属製円盤を設置し（図-1 参照）、近隣の電柱を不動点として定期的に水

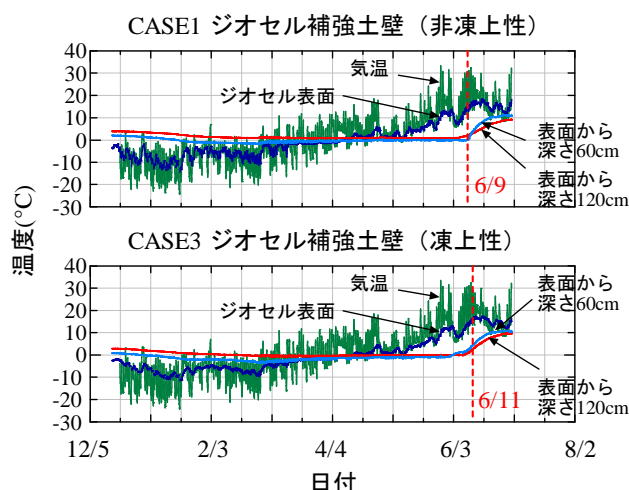


図-6 ジオセル補強土壁中層の土中温度

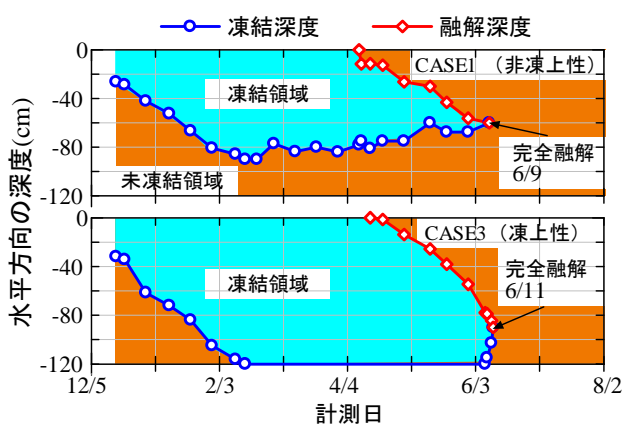


図-7 ジオセル補強土壁中層の凍結・融解深度

準測量も行った。そして、以上の多角的な計測結果から補強土壁全体の変位・変形を把握することを試みた。なお、凍結深は基礎ブロックを埋設した 80cm を超えてしまったが、計測期間中における単管パイプと電柱上に設けた基準点との鉛直距離は最大でも 2mm 程度の変化しかなく、不動点として機能していることを確認した。

4. 計測結果に基づく耐凍上性評価

(1) 補強土壁内の温度と体積含水率の計測結果

図-6 は CASE1（非凍上性）と CASE3（凍上性）のジオセル補強土壁中層に埋設された温度測定ロッドの計測結果、図-7 はこれを用いて算出したジオセル補強土壁中層におけるジオセル表面から水平方向への凍結・融解深度（0°C線）を比較したものである。凍結・融解深度は温度測定ロッドの計測値がプラスからマイナスへ変わる間で比例配分し、0°C線の位置を推定した。しかし、厳冬期では予想を超える凍結深となったため、CASE3（凍上性）の凍結深度については一部推定できなかった。

図-8 は天端に設置したメチレンブルー凍結深度計の計測結果である。これについても予想を超える凍結深とな

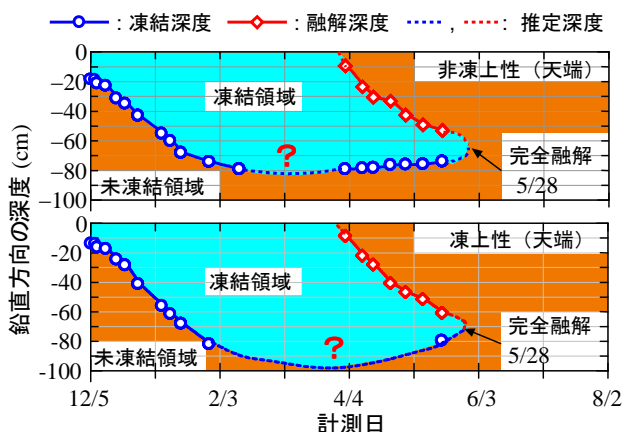


図-8 ジオセル補強土壁天端における凍結・融解深度

ったために一部は計測できず、前後の凍結深から推定（点線）しているが、両者から得られた傾向に違いは見られないため、補強土壁内の凍結深の推移は概ね把握できたと考えている。

以上の計測結果に基づくと、全体的には2月下旬～3月上旬に最大凍結深となって4月上旬から融解が始まり、5月下旬～6月上旬に全体が融解したと思われる。なお、凍結深の時間的推移は過去に近隣で実施された多数アンカー式補強土壁の計測結果とも一致している⁴⁾。また、図-9はCASE1（非凍上性）とCASE3（凍上性）全体の凍結・融解深度の推移を概略的に示したものであり、幾つかの時点での温度測定ロッドの計測値から得られた深度とメチレンブルー凍結深度計から得られた深度を用いて推定したものである。多数アンカー式補強土壁⁴⁾や植生斜面¹⁴⁾でも観測されているように、凍結期は天端と壁面側の両方から寒気が入るために凍結線は壁面と平行にはならず、のり肩部分の凍結深が比較的大きい。また、熱伝導率が異なるためか、非凍上性土より凍上性土の最大凍結深の方が大きく、融解期も同様に天端およびのり肩部分から融解し始めていることが分かる。

図-10は誘電率の測定結果に基づく θ の推移を比較したものである。図中より、上から5段目下に設置したセンサーから得られた誘電率は初冬における急激な減少が見られないことから、いずれの土においてもこの領域までは凍結していないと考えられる。一方、それ以外のセンサーにおいて、 θ が急激に低下する時期と凍上性土における θ が上昇する時期は温度・凍結深の計測結果と概ね一致し、先述の温度計測結果を裏付けているが、非凍上性土の融解時期については θ の上昇が先行して起こっている。これは非凍上性土の含水比が小さいために融解が局所的に生じているためだと推測され、現に凍結深度計において完全融解が確認された5月下旬になって θ の変化がようやく安定している。また、計測開始時と現在（2013年7月中旬）の θ を比較すると、非凍上性土ではそれほど変化がないが、凍上性土は全般的に低下傾向にあり、特に上層が顕著である。これは、施工時の含水比が高かったため、主に乾燥によるものだと考えられる。

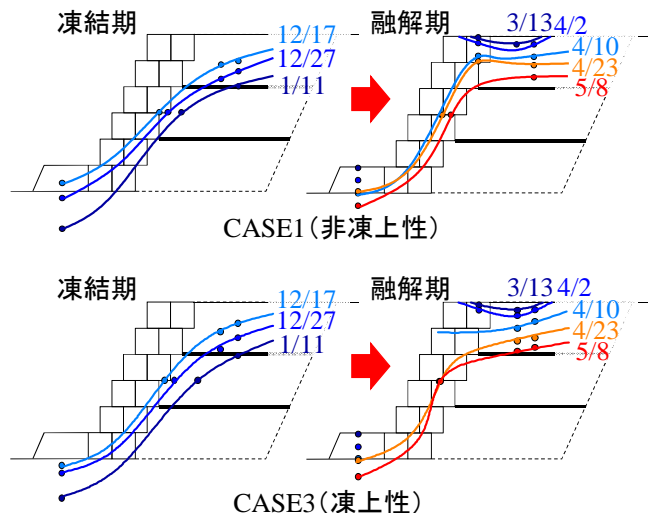


図-9 ジオセル補強土壁全体の凍結・融解深度の推移

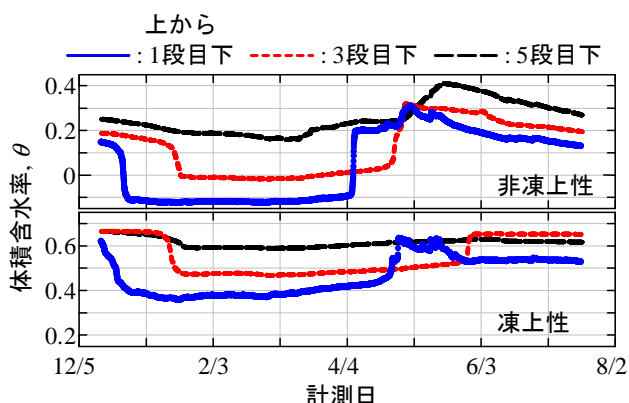


図-10 ジオセル補強土壁における体積含水率の推移

(2) 補強土壁の変位・変形計測結果と耐凍上性評価

図-11は例としてCASE1（非凍上性）とCASE3（非凍上性）における測点（各2点ずつ）の変位について、補強土壁正面から見て、右、手前、上への動きを正として比較したものである（3. (3)参照）。いずれにおいても左右の変位はほとんど生じておらず、他のケースでも同様であった。そこで、図-12に示すように鉛直方向と奥行き方向に関する二次元的な変位によって各ケースの挙動を比較した。また、図-13は補強土壁の天端前（のり肩）に設置した金属板の水準測量結果を比較したものである。

図-12より、3月中に最大凍上量に達し、4月から6月にかけて融解沈下していくことが分かるが、これは図-13に示した結果ともほぼ一致しており、凍上量や融解沈下量についても金属板の計測結果と近くにある測点（上部）の計測結果は概ね一致している。また、写真-2は定点カメラで撮影された画像を比較した例であり、図-12に示した凍上と融解沈下が補強土壁全体で生じていることが確認できる。さらに、これらの挙動は先述の土中温度や凍結深度の測定結果とも符合する。以上のことから、先述のように簡易的な方法によって計測（測量）したにも関わらず、図-12に示した結果は各ケースにおける凍結融解に伴う補強土壁の全体的な挙動を良く表現

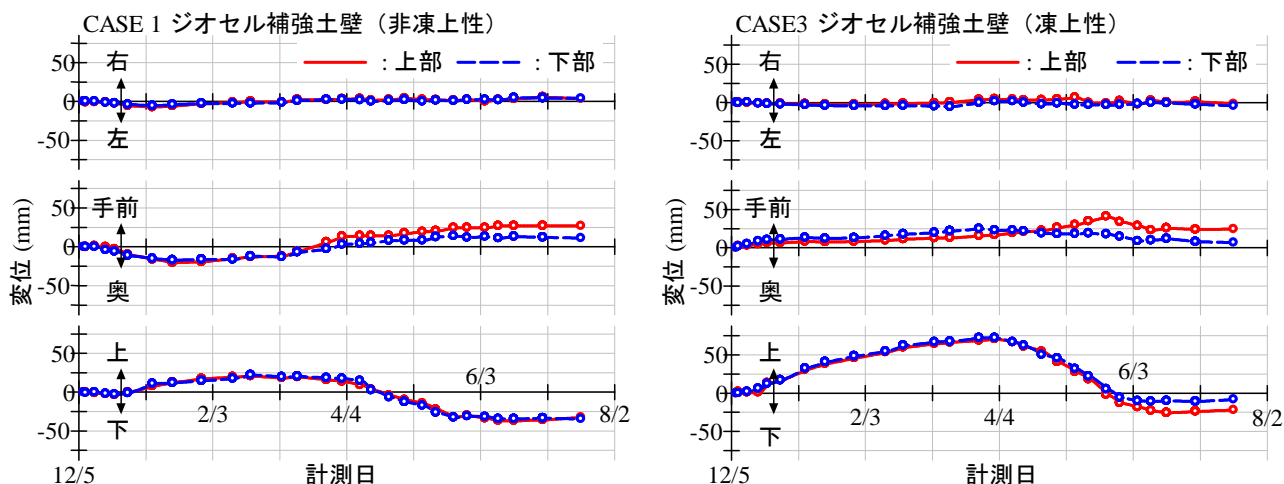


図-11 ジオセル補強土壁における測点の3次元変位

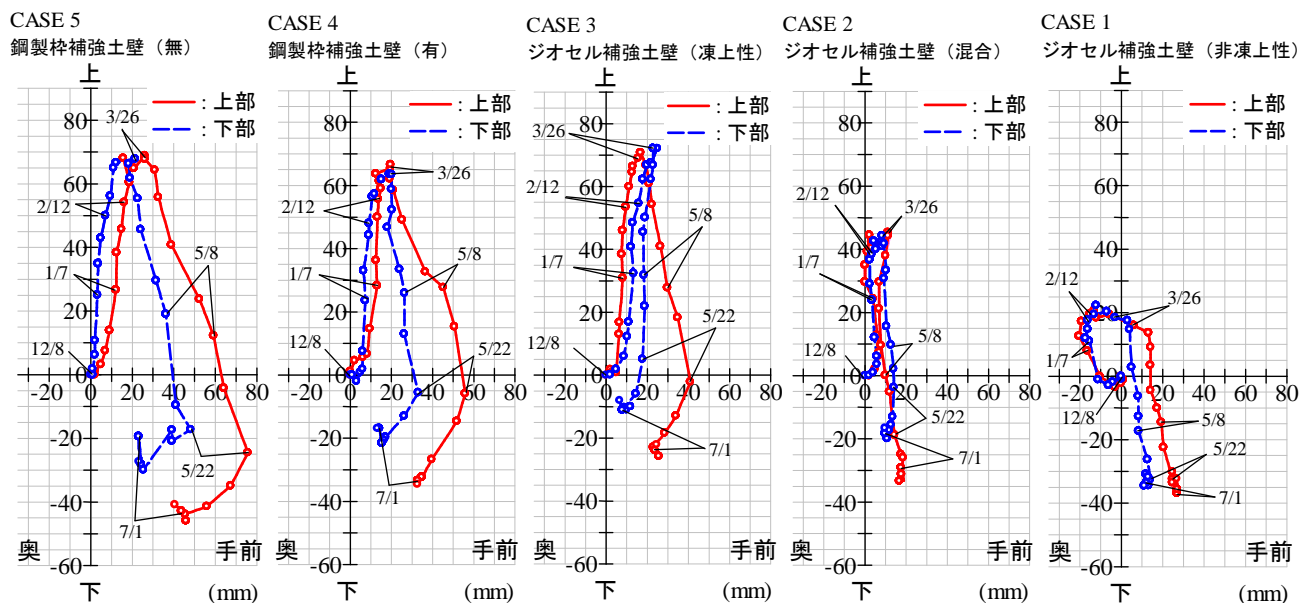


図-12 ジオセル補強土壁の全ケースにおける変形挙動の比較

できていると判断した。

図-12 より、凍上性土のみを用いた 3 ケースについては凍上によっていずれも最大 70mm 程度の上方向変位が生じており、非凍上性についてはその半以下、CASE2 ジオセル補強土壁（混合）については、それらの中間的な変位量となっていることが分かる。いずれのケースにおいても凍結期における前方（手前）への移動は比較的小さく、ジオグリッドの有無によってもそれほどの違いが無い。図-9 に示した凍結線から考えると、凍上は図-12 に示された方向よりもさらに斜め上方（より前方に）に向かって発生すると思われるが、セルや鋼製枠、ジオグリッドによって拘束されていないために変形が容易となる上方向の変位（凍上）が大きかったと推測される。したがって、これらの結果を考えれば凍結期に凍上によってジオグリッドに作用する引張力はそれほど大きくないと推測されるが、この点に関しては今後さらに検討する必要があると考えている。

一方、3 月下旬からの融解時における前方（手前）への移動には同じ凍上性土のみを用いた 3 ケースでも違い

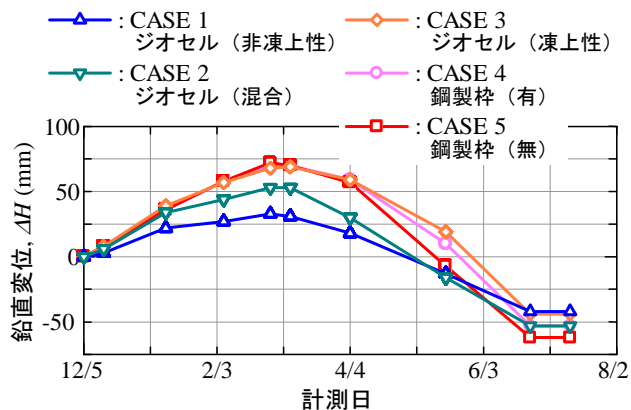


図-13 補強土壁のり肩の水準測量結果

が見られ、CASE5 鋼製枠補強土壁（無）の変位が最も大きく、CASE3 ジオセル補強土壁（凍上性）が最も小さい。この内、2 種類の鋼製枠補強土壁の違いについては、明らかにジオグリッドの有無によるものと考えられ、融解に伴う前方（手前）への移動に対してジオグリッドが抵抗していることが伺える。また、非凍上性土を用い

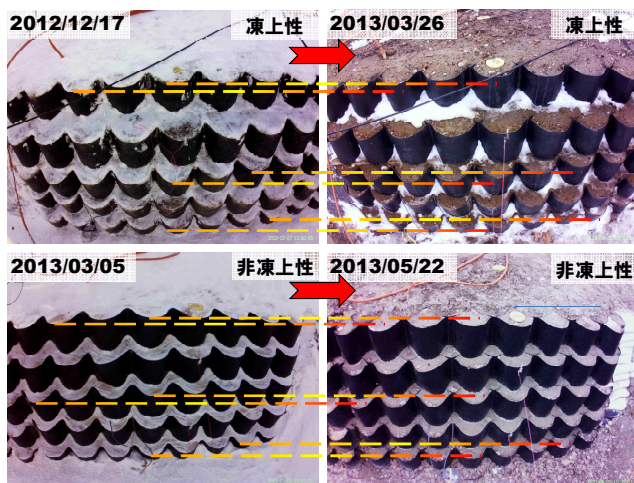


写真-2 定点カメラで撮影された画像の比較例

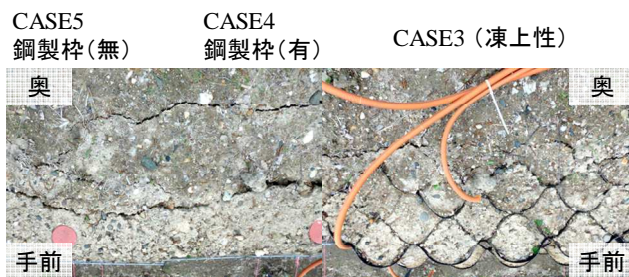
た他のジオセル補強土壁についても前方への移動が大きく抑制されていることから、ジオグリッドとジオセルの連結¹³⁾も適切に行われており、凍結融解に対して効果的に抵抗していると解釈できる。なお、凍結期よりも融解期にジオグリッドに作用する引張力が大きくなることは他の研究でも確認されている^{5,7)}。

写真-3 は融解期の鋼製枠とジオセル補強土壁におけるのり肩部分を比較したものであり、上記を裏付けるように、鋼製枠には大きく開口したクラックが確認された。ジオセル補強土壁にもクラックは確認されたが、鋼製枠に比べてその開口幅は明らかに微細であった。

さらに、同じ凍上性土で構築されていても鋼製枠補強土壁は前方への移動量や沈下量、更にはそれらの上下2測点間の違いが、ジオセル補強土壁に比べて明らかに大きいことが分かる。鋼製枠において上部の測点の方が前方へ移動していることは壁面勾配が急となり、倒壊側へ傾いていることを意味しており^{5,7)}、沈下量が大きいことは観察から上部の鋼製枠下端が下部の鋼製枠の内側へ入り込んできているからのようである。一方、CASE3 ジオセル補強土壁（凍上性）については同様な傾向が若干見られるが、ジオセルは基本的に構造上各段が独立しているため、これに伴う危険性は鋼製枠に比べて少ないと考えられる。また、セル自体の拘束力のためか、前方への移動量も小さいことから、これらの点については鋼製枠に比べて耐凍上性に優れていると言えよう。

加えて、非凍上性土を一部または全体に用いた2ケースについては、当然のことながら凍結期の上方変位や融解期の前方（手前）への移動もCASE3 ジオセル補強土壁（凍上性）に比べて少ない。しかし、図-14 に示すようにCASE1 ジオセル補強土壁（非凍上性）では急激な融解によって壁面に近いセルの一部からセル内の土が局所的に下方へすり抜け、流亡する現象が見られた。よって、寒冷地では非粘着質な砂質材料は中詰材にあまり適していないと考えられ、総合的に考えるとCASE2 ジオセル補強土壁（混合）が最も耐凍上性に優れた結果となっている。

ところで、全ケースで施工直後に比べて沈下してい



2013年5月29日撮影

写真-3 鋼製枠とジオセル補強土壁ののり肩の比較

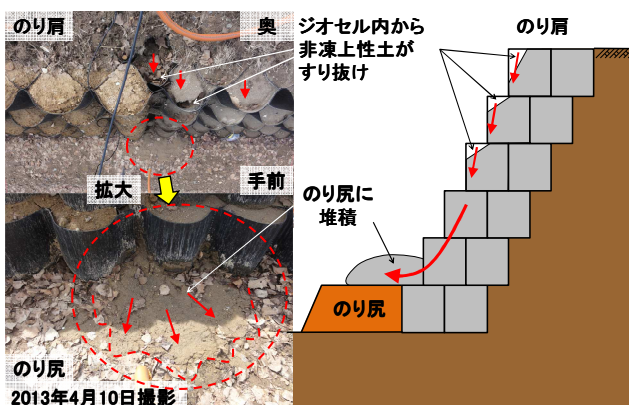


図-14 非凍上性土で確認されたセル内からの流亡

ることについては、非凍上性土では凍結融解に伴う圧縮も考えられるが、全般的には施工時における土試料の含水比が高く、比較的緩いために生じた（凍結融解によらない）経時変化的な圧縮によるところが大きいと考えている。また、このことは先述のクラックにも大きく関与していると推測される。よって、これらの影響を明確に把握するために今後も継続的に観測していくことが重要だと考えている。なお、ジオセル補強土壁については、ここに挙げた以外に景観上の問題や倒壊に繋がるような変状は現時点で確認できていない。

最後に、高い凍上性を有する地盤材料も用いた今回の試験施工から、寒冷地におけるジオセル補強土壁はある程度の凍上性がある中詰材や盛土材を用いても構造的な安定に支障をきたす可能性は低いと見込まれる。よって、今後は継続的な観測を行っていくとともに、これらの知見も踏まえて適用土質の範囲についても検討していきたいと考えている。

5. まとめ

本研究で得られた知見を以下にまとめる。

- 1) 本文中に示した様々な機器や手法を組み合わせることで、試験施工した補強土壁の季節変動に伴う凍結融解の推移、更にはそれに伴う変形（変位）挙動を捉えることができた。
- 2) 凍結期において、凍結線は壁面と平行にならず、のり肩部分の凍結深が比較的大きかった。また、融解

期も同様に天端やのり肩部分から融解し始めた。

- 3) 補強土壁の種類によらず、凍結融解に伴う前方（手前）への移動は凍結期よりもむしろ融解期に大きいことが分かった。また、ジオグリッドとジオセルの連結も適切に行われ、前方（手前）への移動に対してジオグリッドが抵抗していることが確認された。
- 4) 凍結融解による前方への移動量の違いやそれに伴う壁面勾配の変化を考慮すると、ジオセル補強土壁は鋼製枠補強土壁に比べて耐凍上性に優れていると考えられる。
- 5) 3 ケースのジオセル補強土壁の中では、変位も小さく、融解に伴う中詰材の流亡も見られなかったジオセル補強土壁（混合）が最も耐凍上性に優れた結果となった。ただし、中詰材や盛土材にある程度凍上性を有する地盤材料を用いても構造的な安定に支障をきたす可能性は低いと見込まれるため、適用土質については今後更なる検討が必要である。

謝辞：補強土壁の設計・施工には有限会社シー・エス・プランニングの上野邦行氏、実験機器の設置と凍上変位の測量には北見工業大学技術職員の平田広昭氏に多大なるご協力を頂いた。ここに記して感謝の意を表します。

参考文献

- 1) 例えば、社団法人地盤工学会北海道支部 地盤の凍上対策に関する研究委員会：寒冷地地盤工学―凍上被害とその対策―，中西出版，2009。
- 2) 公益社団法人 日本道路協会：道路土工要綱（平成21年度版），2009。
- 3) 宇野裕教，鈴木輝之，澤田正剛，安達謙二：寒冷地における多数アンカー式補強土壁の凍上対策，土木学会論文集，No.701/III-58，pp.243-252，2002。
- 4) 鈴木輝之，澤田正剛，宇野裕教，安達謙二：寒冷地における多数アンカー式補強土壁の背面凍結と凍上土圧，土木学会論文集，No.645/III-50，pp.281-290，2000。
- 5) 佐藤厚子，西本聡，竜田尚希：ジオテキスタイルによる補強土壁の凍上による変形要因の解明と対策，第55回（平成23年度）北海道開発技術研究発表会，2012。
- 6) 北海道開発局：平成25年度 北海道開発局 道路設計要領 第1集 道路，第7章 擁壁，2013。
- 7) 佐藤厚子，西本聡，鈴木輝之，吉田浩一，竜田尚希：ジオテキスタイルによる補強土壁の凍上対策に関する屋外土槽実験，ジオシンセティックス論文集，Vol.24，pp.251-256，2009。
- 8) 例えば，国際ジオシンセティックス学会日本支部：ジオシンセティックス入門，理工図書，2001。
- 9) 奥山道明，安食貴章，矢澤一樹，堀江征信，金子賢治，熊谷浩二：新潟県中越沖地震後のジオセル補強土壁の現地変状調査，ジオシンセティックス学会論文集，Vol.22，pp.239-242，2007。
- 10) 公益社団法人 日本道路協会：道路土工 擁壁工指針（平成24年度版），2012。
- 11) 公益社団法人 地盤工学会：地盤材料試験の方法と解説 JGS 0172-2009 凍上性判定のための土の凍上試験方法，2009。
- 12) 中村大，鈴木輝之，後藤隆司，金学三，伊藤陽司，山下聡：凍結融解による土の透水係数及び間隙比の変化，土木学会論文集C，Vol.67，No.2，pp.264-275，2011。
- 13) 林豪人，小浪岳治，原田道幸，雨宮盛児：土槽内に設置したジオセル壁面工とジオグリッド補強材との連結部の引張り試験，第48回地盤工学研究発表会概要集，pp.1415-1416，2013。
- 14) 上野邦行，芮大虎，中村大，伊藤陽司，山下聡，鈴木輝之：植生保護法面の凍結・融解過程における挙動特性，地盤工学ジャーナル，Vol.5，No.3，pp.413-424，2010。

EVALUATION OF THE FROST HEAVE RESISTANCE OF REINFORCED SOIL WALLS USING GEOCELL AND GEOGRID IN COMBINATION

Takayuki KAWAGUCHI, Dai NAKAMURA, Satoshi YAMASHITA,
Taketo HAYASHI, Kenji ADACHI, Seiji AMAMIYA, Michiyuki HARADA,
Sintaro YAMASAKI, Ayumi Kobayashi and Yoshihiro TAMAI

In a cold region, like Hokkaido, it is reported that concrete retaining walls and reinforced soil walls covered with concrete facing panels or steel frames can collapse by frost heaving force. In response to this, a new reinforced soil wall employing geocell, used as a flexible wall surface material, and geogrid in combination were developed, and we constructed it experimentally on the site of Kitami Institute of Technology. In this paper, details of the construction and measurement are reported; the frost heave resistance characteristics of this reinforced soil wall are verified based on various measurement results, including displacements from freezing to melting and underground temperatures. It is confirmed that no deformation that directly lead to collapse is observed.

KEYWORDS: Frost heave, Reinforced soil wall, Geocell, Geogrid, Geosynthetics