

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

(独) 土木研究所 寒地土木研究所 寒地地盤チーム ○佐藤 厚子
西本 聡
前田工織株式会社 福井本社 竜田 尚希

寒冷地の道路盛土では、ジオテキスタイルを用いた補強土壁が凍上により変形する例が報告されている。そこで、その要因を確かめるために屋外で実物大模型を構築し、ひずみや変形を測定し凍結による補強土壁の変状を測定するとともに、凍上対策を行い標準工法と比較した。その結果、凍上による変形に対して、置換工法が効果が大きいことが分かった。また、既設の補強土壁の凍上抑制対策として、断熱材の設置により効果が期待できることが分かった。

キーワード：凍上、対策、ジオテキスタイル、補強土壁

1. はじめに

寒冷地では、ジオテキスタイルを用いた補強土壁が凍上により変形する例が報告されている(写真-1)。凍上により壁面材がせり出したのち壁面が崩壊している状況が確認できる。この対策の確立を目的として、置換、排水、断熱に着目した実物大模型を構築し、ひずみや変形を測定し標準工法と比較した。その結果、置換、断熱工法により凍上による変形を抑制できる可能性があることが分かった。また、従来施工した補強土壁の外側に、断熱工法に着目した凍上抑制工を2種類設置し、効果を確認した。本報告は、これらをまとめたものである。



写真-1 補強土壁の変状事例

2. 実験方法

(1) 補強土壁の構造

寒地土木研究所苫小牧施工試験フィールドにおいて、推移を調節できる実験土槽を用いて、表-1に示す土質材料を盛土材料としたジオテキスタイルによる補強土壁について2008年度に置換、排水、断熱の3種類の凍上抑制工を設置した。盛土材料は、トラフィカビリティ試験によるコーン指数が3000 kN/m²以上あり、施工性の良好¹⁾な火山灰である。しかし、凍上性は中位であり凍上発生があり得る²⁾。また、2009年度に既設の補強土壁の凍上抑制方法として断熱対策を行った。さらに、地上部に断熱工法に着目した実物大の補強土壁を構築して標準工法と比較した。

設置した補強土壁の代表例の概略を図-1、図-2に、凍上抑制工の仕様を表-2に示す。土槽内に敷いた排水砂利層の上に、鋼製壁面材1段あたりの高さ60cmの盛土を3段積み上げた補強土壁を造成した。2008年度は、凍上抑制対策をしない標準工法(CASE1)、排水対策工法

(CASE2、CASE3)、断熱工法(CASE4)、置換工法(CASE5)を実施した。2009年度は施工済みの補強土壁の凍上抑制対策として、断熱、排水、置換工法のうち施工が比較的容易な断熱対策を行った。2008年度に排水マットを施

表-1 盛土材料の基本物性値

試料		火山灰土
土粒子密度 $\rho_s(t/m^3)$		2.470
自然含水比 $wn(\%)$		46.98
コンシステンシー限界		N.P.
地盤材料の分類記号		SVG
凍上	凍上速度(mm/h)	0.27
	凍結膨張率(%)	18.1
	凍上性判定	中位
透水係数 $k(cm/sec)$		2.34×10^{-5}
最大乾燥密度 $\rho_{dmax}(t/m^3)$		不定

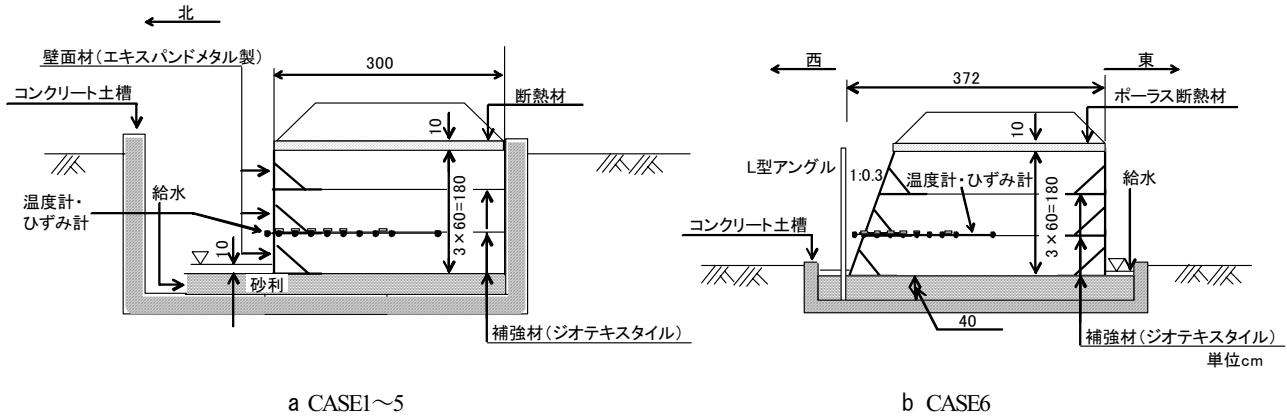


図-1 補強土壁の形状

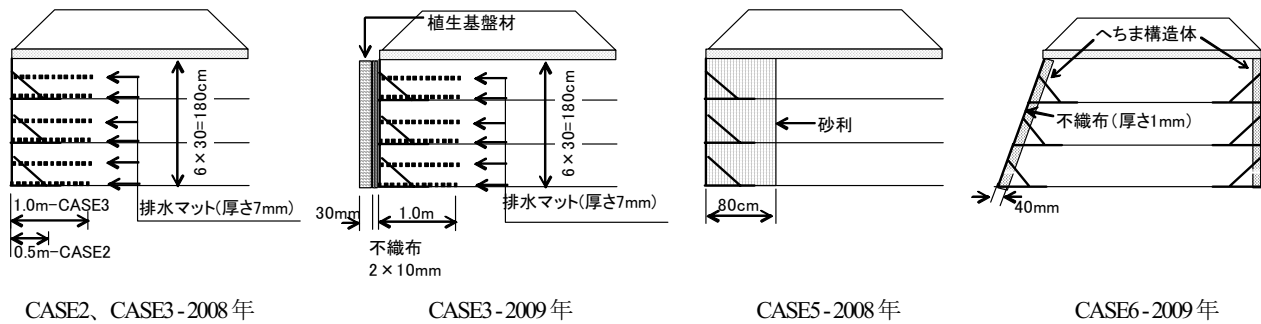


図-2 実験ケースの例

表-2 凍上抑制工の仕様

CASE	仕様	施工年	備考	壁面の向き	のりこう配
1	無し (標準)	2008	土槽	北	垂直
2	不織布 10mm×3枚 排水マット(厚さ 7mm、長さ 0.5m)	2009 2008	土槽	北	垂直
3	不織布 10mm×2枚+植生基盤材 30mm 排水マット(厚さ 7mm、長さ 1.0m)	2009 2008	土槽	北	垂直
4	壁面に断熱材(ヤシマット、厚さ 30mm)	2008	土槽	北	垂直
5	砂利による置換(壁面から 0.8m)	2008	土槽	北	垂直
6-1	無し (標準)	2009	地上部	東・西	垂直・3分
6-2	へちま構造体 80mm+不織布 1mm				

工した箇所の上に、CASE2として厚さ10mmの不織布を3枚重ねた対策、CASE3として厚さ10mmの不織布を2枚(20mm)と厚さ30mmの植生基盤材を組み合わせた(50mm)対策とした。また、2009年度に、地上部に補強土壁を施工した(CASE6)。断熱対策として厚さ40mmのへちま構造体2枚と1mmの不織布を組み合わせて壁面材の背面に設置した補強土壁を標準工法とともに施工した。CASE6ののり面勾配は垂直(東向き)と3分(西向き)である。

実際の現場では、補強土壁の背面から水が供給される場合に凍上の影響を受けると考えられる。土槽の構造上補強土壁背面からの水分供給ができないことから、CASE1~5は、凍結が始まるまで補強土壁の上面まで水浸した状態を保ち、凍結直前に排水し、排水砂利層の上

約10cmまで水位を低下させた。CASE6では、補強土壁盛土を水浸できないことから、盛土上面から凍結期になるまで水道水を供給した。なお、すべてのCASEにおいて壁面からのみ冷却させるため、盛土の上部は厚さ10cmの断熱材で覆いその上50cmを火山灰で覆土した。

(2) 測定項目

各補強土壁について、2段目の盛土下部付近の気温、盛土下面に設置したジオテキスタイルの上面下面のひずみ、地中温度(図-1)、壁面材の水平変位を表-3に示す方法で測定した。なお、CASE1~CASE5の壁面材の水平変位は図-3に示す位置で、CASE6はコンクリート土槽に設置した鋼製アングルからの位置を測定した。

表-3 計測項目と計測間隔

計測項目	計測位置	計測機器	計測方法	計測間隔
気温	2段目の壁面の外側 10cm の空中	熱電対	自動	1時間
ジオテキスタイルのひずみ	2段目の補強材の上面と下面 壁面から 10、30、50、70、90、140cm	ひずみゲージ	自動	1時間
地中温度	2段目の補強材の上面付近 壁面から 10、30、50、70、90、140m	熱電対	自動	1時間
壁面材の水平変位	補強土壁の上から 1段目と 2段目の上下	定規	人力	1週間(凍結期) 2週間(融解期)

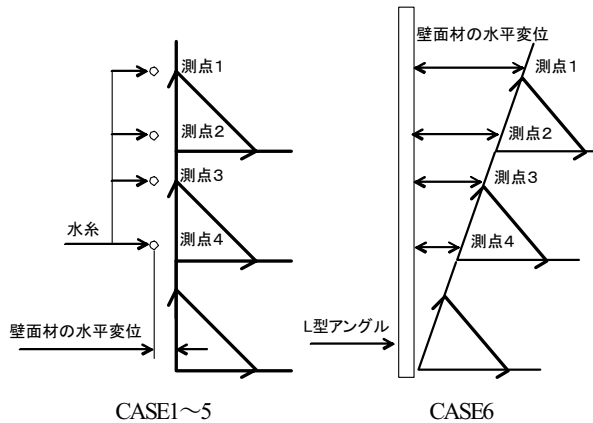


図-3 変位の測定箇所

3. 試験結果

(1) 補強土壁盛土の凍結深さ

補強土壁盛土の凍結深さを図4に示す。補強土壁盛土の凍結深さは、温度がプラスからマイナスへ変わる間で比例配分し、0度となる位置とした。また、試験施工箇所凍結指数を表4に示す。

排水対策の効果としてCASE2、3をCASE1と比較した。2008年度は、CASE1、2、3の順に凍結指数が大きく、凍結深さも大きくなっている。排水対策では凍結深さを小さくする効果はあまり期待できないと思われる。CASE2、CASE3は、2009年度に施工済みの補強土壁の外側から断熱対策したものである。断熱対策をした2009年度は、CASE2、CASE3のいずれも凍結指数が大きいにもかかわらず、標準工法より約10cm凍結深さが小さくなっている。さらに2010年度も同様な結果であり、施工後2年間は断熱の効果期待できると考えられる。

2008年度から断熱対策をしたCASE4では、2008年度は凍結指数がCASE1、2、3よりも大きかったが、凍結深さが小さくヤシマットの断熱効果が期待された。しかし、2009年度、2010年度は標準工法よりも約5cm凍結深さが小さくなっただけで、1年目よりも断熱効果が小さくなった。ヤシマットは天然の植物繊維を使用しているため時間の経過により断熱性が低下したと思われる。断熱効果の期待できる期間が短い可能性があると考えられる。

CASE5は、施工後盛土材の凍結はなく、置換対策の効果があるといえる。

CASE6については、垂直のり面では、2009年度、2010年度ともに、断熱対策が標準工法の約1/2の凍結深さであった。図には示していないが、3分のり面では断熱対策が標準工法の約1/4の凍結深さであり、断熱対策の効果が確認できた。

(2) 壁面材の水平変位量

壁面材の水平変位の例としてCASE1、4、5を図5に示す。全体の傾向として、凍結するとともに壁面材が外側に変位し始め、盛土材が完全に融解すると若干内側に戻り、そのままの状態から、次の凍結期に再び盛土外側に変位した。壁面材の水平変位は凍結をくり返すと累積した。各CASEの観測年度の最大水平変位量を図6に示す。CASE1とCASE6の標準工法では、ともに1回目の凍結期の水平変位が大きく、2回目は若干ではあるが小さくなっていった。

CASE4は、1年目の変位量は標準工法より小さかったものの、2年目、3年目は標準工法よりも変位量は大きく、全変位量は標準工法に次いで大きかった。

CASE5は施工した中で最も変位量が小さかった。補強土壁盛土は測定期間中凍結することはなかった。補強土壁に水平変位が発生したのは、置換した購入砂利の中に微細な粒子が含まれており、これが凍上して変位したものと考えられる。

施工後断熱対策を行ったCASE2、CASE3では不織布が厚いCASE2の方が変位量は小さかった。植生基盤材は30cmの厚さであったが、不織布10mmよりも断熱効果が小さい。2010年度の水平変位量は施工時の2009年度の約半分であり、断熱対策の効果が確認できる。

図4の盛土の凍結深さと比較すると、凍結深さが大きいと水平変位量も大きくなる傾向が見られる。断熱対策では、断熱材の種類により変位の抑制効果や断熱効果の持続性に違いはあるものの、いずれの対策も標準工法より水平変位量は少ないと考えられる。

(3) 補強材の残留ひずみ

補強材のひずみの例として、CASE1を図7に示す。CASE1では、盛土材が凍結融解を受けても壁面から90cm-140cmの位置では補強材にはほとんどひずみが発生

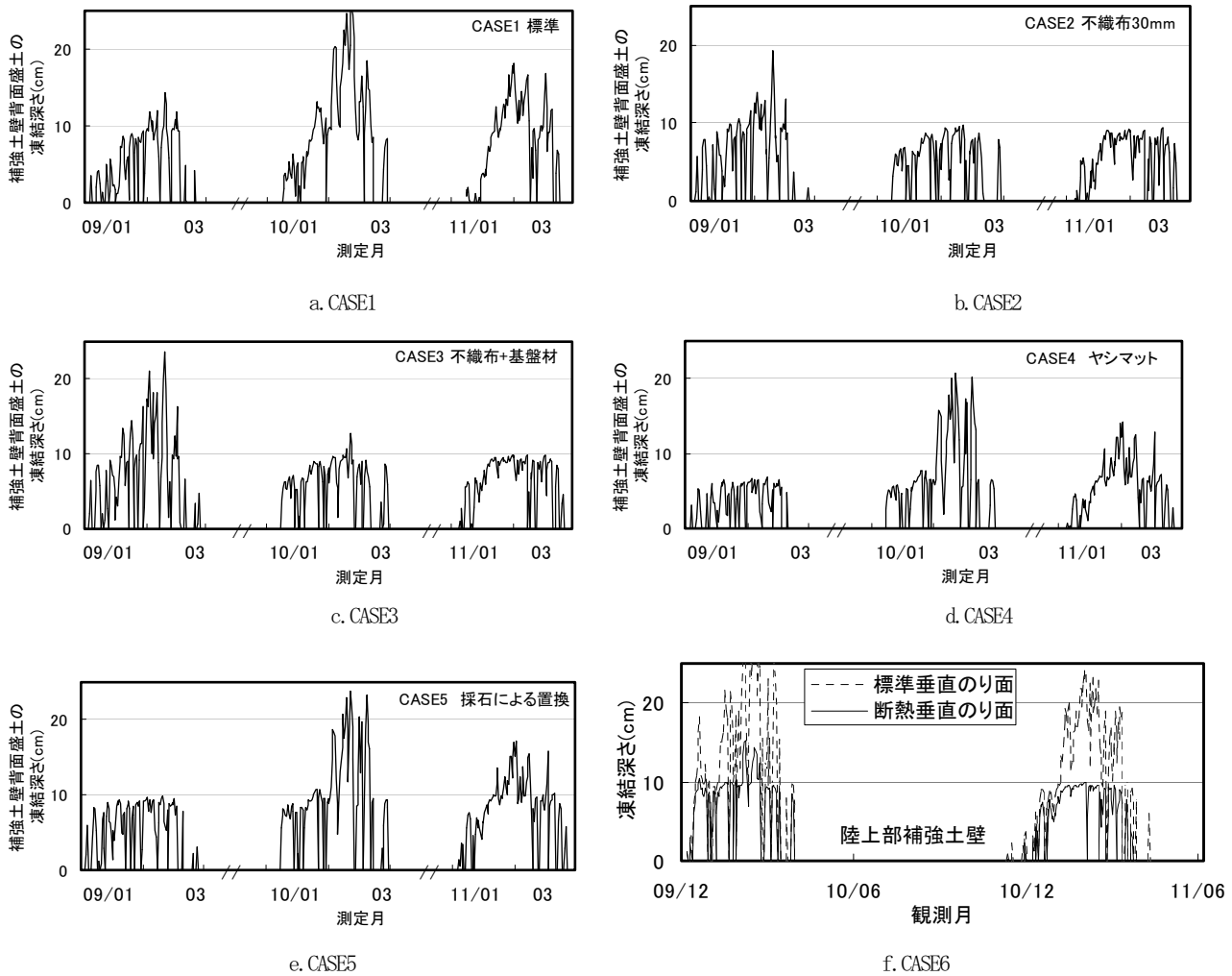


図-4 補強土壁背面盛土の凍結深さ

表-4 試験施工箇所での凍結指数(°C・days)

観測年度		2008	2009	2010
土槽	CASE1	106.0	159.9	130.0
	CASE2	204.3	255.7	219.9
	CASE3	227.3	275.8	306.5
	CASE4	244.9	359.8	407.4
	CASE5	234.4	365.6	369.6
地上部	垂直断熱		360.5	374.8
	垂直標準		390.0	404.9
	3分断熱		368.9	233.7
	3分標準		323.6	233.9

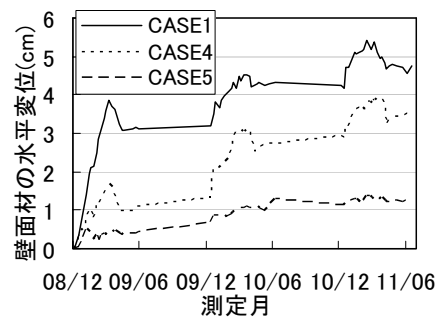


図-5 壁面材の水平変位(CASE1、CASE4、CASE5)

しなかった。ひずみの発生する深さがあるといえる。

他の0cm、30cm、50cm、70cmの位置では、盛土材が凍結する頃から引っ張り側にひずみが発生し、盛土が融解する頃一旦小さくなる。その後引っ張りひずみが残留している状態で盛土の凍結期を迎え、盛土の凍結とともにひずみは大きくなっていく。どのCASEでも同様であった。

各補強土壁について壁面材から最もひずみが大きかった位置のひずみの変化を図-8に示す。CASE2～CASE5

では凍上によるひずみの発生が比較的少なく、対策の効果が確認できる。

各CASEでひずみが最も多く発生した箇所の年度ごとの最大ひずみ量を図-9に示す。CASE2、3の施工済み箇所への断熱工法では2009年に施工してからほとんどひずみが発生していない。

CASE6でも、断熱対策を行った補強土壁は標準工法よりもひずみが小さく断熱の効果が確認できた。

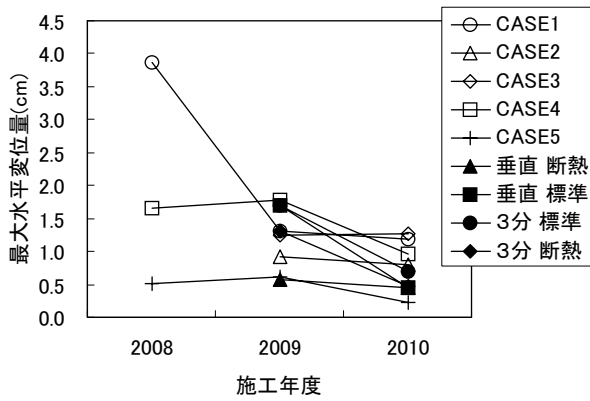


図-6 施工年度と最大水平変位量

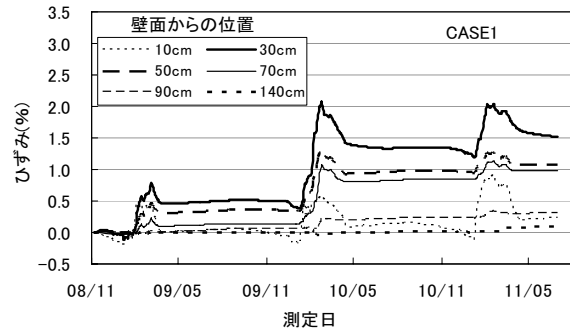


図-7 補強材のひずみ(CASE1)

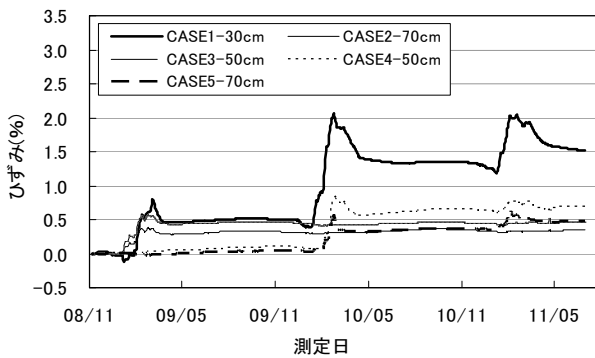


図-8 各 CASE の最大ひずみ

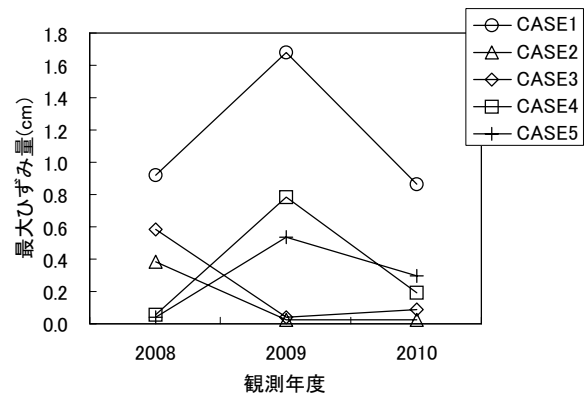


図-9 施工年度と最大ひずみ量

4. まとめ

寒冷地におけるジオテキスタイルによる補強土壁の凍上抑制対策に関する実験を3年間行った。その結果、次のことがわかった。

- ① 凍上によりジオテキスタイルによる補強土壁に変位やひずみが発生する場合がある。これらの変位やひずみは、盛土材が融解しても残留し、凍上が繰り返されると累積する傾向がある。
- ② ジオテキスタイルによる補強土壁の凍上対策として、凍上しない材料による置換工法は効果が大きい。凍上しないとされている材料であっても細粒分が多いと凍上する場合があるので、細粒分が少ないを含まない材料が適している。また、置換の範囲は、凍上により発生した変位やひずみが元の状態に戻らないことから、できる限り厚く（最大凍結深さと同等）する。
- ③ ジオテキスタイルによる補強土壁の凍上対策として、断熱材の設置は効果がある。天然の材料では、断熱効果の持続性が乏しい場合があるので、断熱材の種類の選定には注意が必要である。また、既設の補強土壁の凍上抑制対策として、補強土壁の外側に断熱材を設置することは効果が期待できる。
- ⑤ 盛土内への水の供給を抑制できれば、補強土壁の変状を抑制できるが、北海道のような寒冷地では、排水マ

ットによる排水対策は効果は期待できない。

参考文献

- 1) 日本道路協会：道路土工要綱、2009。
- 2) 地盤工学会：凍上量測定のための凍上試験方法、凍上性判定のための凍上試験方法、新規制定地盤工学会基準・同解説、2003。
- 3) 佐藤厚子、西本聡、鈴木輝之、吉田浩一、竜田尚希：屋外土槽を用いたジオテキスタイルによる補強土壁の凍上対策に関する研究、第44回地盤工学会研究発表会、2009。
- 4) 佐藤厚子、西本聡、鈴木輝之、竜田尚希、王宗建：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、第25回ジオシンセティックスシンポジウム（その2）、2010
- 5) 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、第24回ジオシンセティックスシンポジウム（その1）、2009。