

粒状廃棄物を利用した コンクリートL型擁壁の凍上対策

芮大虎¹・鈴木輝之²・山下聡³・林啓二⁴

¹学生会員 北見工業大学大学院 システム工学専攻 (〒090-8507 北海道北見市公園町165)
E-mail: dhrui2002@yahoo.co.jp

²正会員 北見工業大学教授 土木開発工学科 (〒090-8507 北海道北見市公園町165)
E-mail: suzuki@mail.kitami-it.ac.jp

³正会員 北見工業大学助教授 土木開発工学科 (〒090-8507 北海道北見市公園町165)
E-mail: yamast@mail.kitami-it.ac.jp

⁴正会員 ドーコン(株) 地質部 (〒004-8585 札幌市厚別区厚別中央1条5丁目4番1号)
E-mail: kh1078@docon.jp

廃棄物処理施設の確保の制約や処分場の埋め立て量に限界があることから、廃棄物を有効利用するための技術開発が図られている。筆者らは粒状廃棄物がL型擁壁の凍上対策の置換材料として代替可能であることを屋外実験で検証し、廃棄物の新たな利用方法の開発を行ってきた。本論文では、袋詰めにした粒状廃棄物（EPS減容品、ガラスカレット）をプレキャストコンクリートL型擁壁に裏込めして、地盤凍結期における裏込め中の凍結状況や壁体変位の動態観測を行った。2シーズンにわたる実験から、凍上抑制置換材料として粒状廃棄物の活用が十分可能であることを明らかにした。

Key Words : granular waste, replacement material, retaining wall, frost heave countermeasure

1. はじめに

産業活動の活発化により廃棄物の排出量が増大し、その処理をめぐるさまざまな問題が深刻化している。廃棄物対策としては廃棄物処理施設の確保と並行して、廃棄物を有効利用するための技術開発が必要とされている¹⁾。

近年、良質な地盤材料の枯渇化の問題とも相まって種々の廃棄物を地盤材料として有効利用する方法が開発され、それらの適用方法が提案されている。荘司ら²⁾は火力発電所などの副産物である石炭灰にセメントを添加して必要な強度を持たせることにより、軽量で高強度な地盤材料として利用可能であることを示し、岸壁裏込め工事に使用した。また、横田ら³⁾はソイルセメントに産業廃棄物であるプラスチック片を混合して、改良地盤における支持力改良効果を明らかにした。久保ら⁴⁾は排水路凍上対策として廃タイヤチップを用いることで、切り込み砂利による標準工法の約1/2の置換厚さで同等以上の凍上抑制効果があることを示した。

寒冷地における土構造物の設計において、凍上対策は重要な課題の一つであり、その方法としては古くから置換工法が広く採用されている。筆者らは10年間にわたる擁壁の屋外凍上実験を通して、置換（裏込め）工法の有効性を検証し、置換範囲の決定方法を提案した^{5),6),7)}。粒状化された廃棄物を良質な凍上抑制置換材料とすることが可能となれば、廃棄物の処理問題にも貢献できると考えられる。

本研究は、粒状廃棄物がL型擁壁の凍上抑制置換材料として代替可能であることを屋外実験で検証し、廃棄物の新たな利用方法とすることを目的とした。実験では、廃棄発泡スチロールを熱融解した後、に固化造粒したEPS減容品と廃ガラス瓶などを砕いたガラスカレットを用いた。これらを土のう袋に詰めて裏込めとしたプレキャストコンクリートL型擁壁を北見工業大学構内に試験設置して、2002年11月から2004年4月までの冬期間に凍上観測を行った。地盤凍結期における背面土中の凍結面、土中温度の分布、壁体の変形などの動態観測を行い、粒状廃棄物の凍上抑制置換材としての有効性を実証

表-1 試験に使用した材料の物性値

試料名	土粒子 の密度	最大 粒径	熱伝 導率	締め固め試験		自然 含水比	現場密度試験		凍上試験 凍上速度
				乾燥密度	最適含水比		乾燥密度	含水比	
	ρ_s (g/cm ³)	D_{max} (mm)	(W/(m・K))	ρ_{dmax} (g/cm ³)	W_{opt} (%)	(%)	ρ_d (g/cm ³)	(%)	U_h (mm/hour)
1) EPS 減容品 (袋詰め材)	1.0	9.5	0.08	-	-	0.22	-	-	0.05
2) ガラスカレット (袋詰め材)	2.44	19	0.31	-	-	0.04	-	-	0.03
3) 火山灰 I (擁壁裏込め土)	2.59	19	-	1.31	29.4	38	1.23	34.3	0.71
4) 火山灰 II (平坦地の土)	2.51	9.5	0.61	1.39	26.0	34	1.01	39.9	0.39



写真-1 EPS 減容品

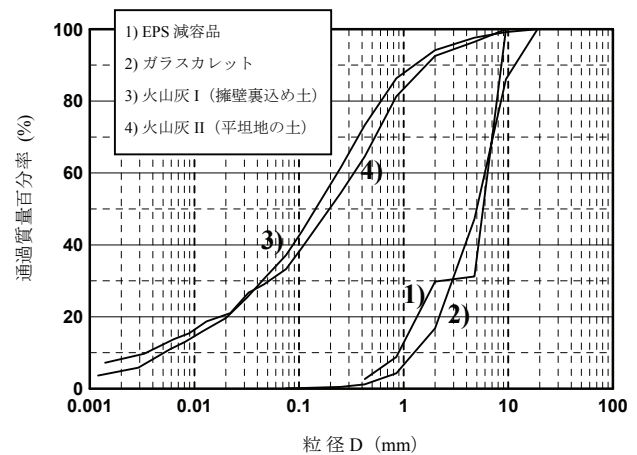


図-1 粒径加積曲線



写真-2 ガラスカレット

した。

また、実験シーズン中の地盤の凍結・凍上の基本データを得るために、擁壁の動態観測と並行して、平坦地の凍上実験フィールドにおいて、外気温、凍結深さ、凍上量、凍上力の観測を行った。

一方、置換材料が非凍上性であっても、背面土表面形状と裏込めの設置方法によっては、壁背後ののり面で発生した凍上力が壁体に伝わり、変形してしまう場合のあることも分かった。本研究では、この変形をもたらすメカニズムを明らかにし、さらに

変形原因を取り除いた実験を行い、袋詰めした粒状廃棄物の凍上抑制効果を確認した。

2. 用いた凍上抑制材料の特性

廃棄物を地盤材料として活用を計る場合は、変形や破壊などに対する安定性を確保すると同時に、自然環境に悪影響を及ぼさないものでなければならない¹⁾。また、凍上抑制置換材として用いるためには、これらの条件を満足すると同時に、凍上しにくい材料であることが必要である。

今回の置換材料の選定では、粒状廃棄物の凍上しにくい性質と断熱性に着目して、EPS 減容品とガラスカレットを選定した。EPS 減容品（写真-1）は使用済み発泡スチロール製品を加熱融解し、容積を減らして粒状化したもので、軽量、高断熱性、低吸水性などの特性を持っている。ガラスカレット（写真-2）は廃ガラス瓶などを破砕した粒状材料である。

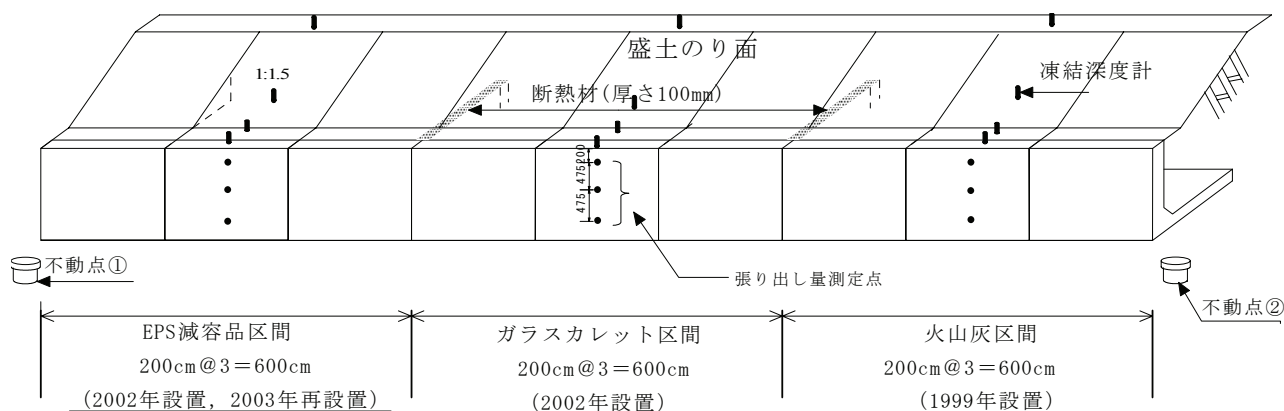


図-2 試験壁の全体概要

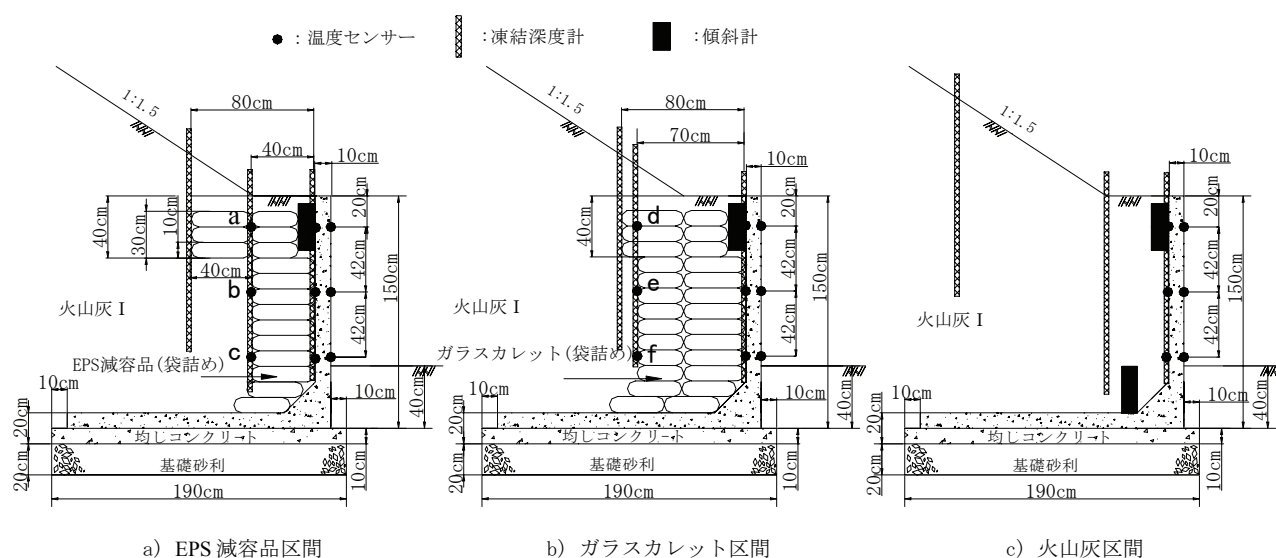


図-3 試験壁の断面

試験に用いた材料の物性値を表-1 に、粒径加積曲線を図-1 に示す。擁壁裏込め土と平坦地の土は、ともに風化した成分を含む火山灰であり、地盤工学会基準 (JGS 0051-2000) によれば、細粒分質砂と分類されるが、ここでは火山灰Ⅰと火山灰Ⅱと記述する。

材料の熱伝導率は非定常熱伝導率測定法に属するプローブ法を用いて測定した⁸⁾。土の熱伝導率は密度、含水比、凍結状態などの多くの因子によって変化する。表-1 中には、置換地盤の土の状態を室内で再現して求めた値を示している。また火山灰Ⅰの測定データは得られていないが、粒度分布と含水比の類似性からして火山灰Ⅱの熱伝導率に近いものであることは推察される。現場密度試験は砂置換法によって行った。なお、EPS 減容品とガラスカレッ



写真-3 土のうの設置状況

トについては、地盤工学会基準に基づく締め固め試験や現場密度試験を正確に行うことが困難であった。

凍上性の判定は地盤工学会基準（JGS 0172-2003）「凍上性判定のための土の凍上試験方法」⁹⁾によって行った。粒状廃棄物の EPS 減容品とガラスカレットは、凍上速度が 0.1mm/hour 以下で、非凍上性材料と判定された。一方、裏込めの一つとして選んだ火山灰 I と、凍上実験フィールドとした平坦地の火山灰 II の二つの土は、凍上速度が 0.3mm/hour 以上であり、凍上性が高い土と判断された¹⁰⁾。

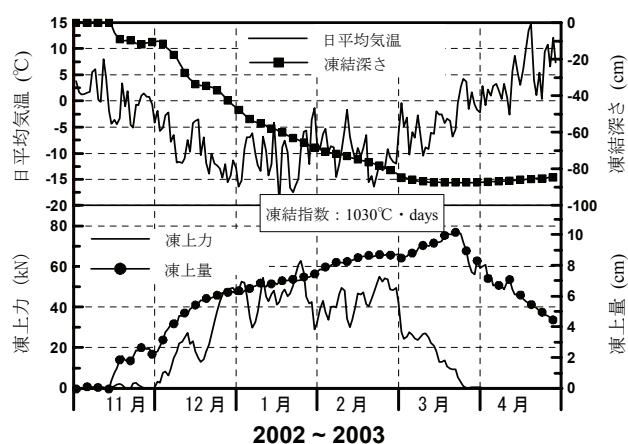
3. 実験内容

鈴木ら¹¹⁾は中詰め材料を砂利とした土のうの屋外実験から、土のうの凍上抑制メカニズムを把握した。ここでは、砂利入り土のうはそれ自体が凍上しないことに加えて毛管水の上昇を防ぐため、土のうより上の土の凍上が起こらなくなることを示した。これらの結果からすれば、袋詰めする材料は砂利に限定されるものではなく、非凍上性の粒状材料であれば凍上対策用の材料として、同様な効果を持つはずである。

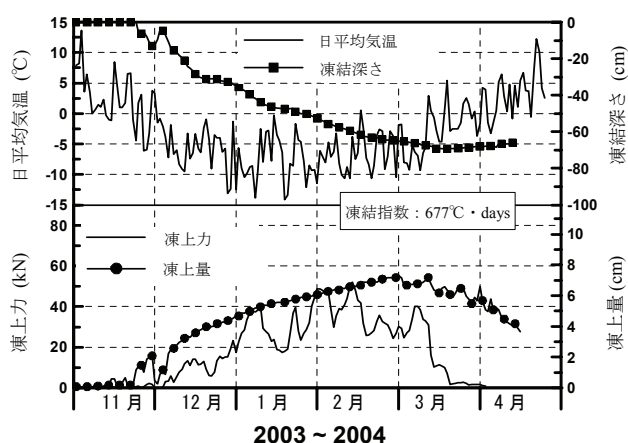
凍上対策用の裏込めとしての役割だけからすれば、材料を袋詰めとすることは理論的には意味がない。しかし、広い視点で見れば、裏込め材を袋詰めとすることで次のようなメリットがある。1) 任意の形状の裏込めを容易に施工できる。2) 廃棄物であっても、地盤土に混入することなく、将来的には回収、再使用も可能である。3) 粒状体として強度が増して土圧が軽減される¹²⁾。

筆者らは 1999 年度から 2002 年度までの L 型擁壁の屋外凍上実験と、凍結シミュレーション手法によって置換工法の有効性を確認し、合理的な置換範囲の決定方法を提案した⁷⁾。この実験手法を引き継いで、本実験では裏込め材料の種類によって火山灰区間、EPS 減容品区間、ガラスカレット区間を設けて、これらの粒状廃棄物の凍上対策材料としての有効性を実証した。2002 年度に測定した試験壁の全体図を図-2 に、試験壁断面の構成を図-3（後述のように 2003 年度に一部変更）に示す。

写真-3 は壁裏に土のう袋を積み上げている様子を示す。ここで、火山灰区間は凍上対策をしない区間、EPS 減容品区間とガラスカレット区間は置換工法を実施した区間と見なした。また、火山灰区間の試験壁は 1999 年度に設置したものを継続して使用したものである。



(a) 2002 年度の測定結果



(b) 2003 年度の測定結果

図-4 平坦地盤における凍結・凍上測定結果

試験壁は幅 2.0m、高さ 1.5m、底版長 1.7m のプレキャストコンクリート L 型擁壁を各区間に 3 基、合計 9 基設置した。EPS 減容品とガラスカレットを土のう袋に詰め、所定の寸法で擁壁背面に設置し、それ以外の背面空間は凍上性の火山灰 I で埋め戻した。これらの裏込め材料は、土のう袋 2 段の高さ毎に、土のう袋も一緒にタンパーによって締め固めた。隣接するブロック間の連結は行わず、三つの背面区間仕切りとして厚さ 100mm の発泡ポリスチレンの断熱材を用いた。

裏込めの凍上によるコンクリート製擁壁の破壊は縦壁下端でのクラック発生と、そこを支点とした縦壁部の壁体前面への傾斜として現れる⁷⁾。本実験では図-3 に示すように、縦壁裏側に取り付けた傾斜計でその傾きを測定した。このとき、壁の前面に向かう傾きをプラスとしている。また、縦壁表側面と

縦壁裏側面温度は、所定の位置で銅-コンスタンタン温度計をコンクリート表面に接着剤で貼り付けて測定した。一方、置換材料と裏込め土の境界の温度は、位置を固定するために外径 20mm の塩ビパイプに温度センサーを貼り付けて測定した。傾斜計と温度のデータは 2 時間間隔で自動的に記録した。これらの自動計測の他に、背面盛土中の凍結深さはメチレンブルー凍結深度計（配置は図-3 参照）によって毎日 1 回測定し、壁の持ち上がり量と縦壁部の前方への水平張り出し量は、毎週 1 回の測量によって測定した。

以上の試験壁の動態観測と並行して、実験シーズン中の地盤凍結状況を把握するために、平坦地の凍上実験フィールドにおいて、外気温、凍結深さ、凍上量、凍上力の測定を行った。この凍上実験フィールドは、試験壁から 100m 程離れた場所に設置され、深さ 2m までを凍上性の火山灰 II (表-1) と置き換えて造成された均一な平坦地盤である¹³⁾。凍上力は、地表面に置かれた直径 10cm の円盤の動きを拘束したときに、その円盤に加わる力を測定したものである。一方、凍上量は地表面に置かれた円盤の持ち上がり量として測定した。凍上力、凍上量ともに、地下 2m に埋設したコンクリートアンカーに固定されたフレームを、反力フレームあるいは不動点として測定した¹⁴⁾。

4. 実験結果と考察

(1) 実験シーズンの地盤凍結状況

2002 年 11 月から 2004 年 4 月までの 2 回のシーズンで、平坦地において計測された気温、凍結深さ、凍上量、及び凍上力の推移をそれぞれ図-4 に示す。このデータは試験壁から 100m 程離れた場所で測定されたものであり、実験シーズンの地盤の凍結状況を反映している。2002 年度の凍結指数は 1030℃・days で、2003 年度は 677℃・days であった。地盤の凍結・凍上は 11 月下旬から一時的に認められ、12 月から連続的な凍結侵入と凍上発生が始まっている。この 2 シーズンの最大凍結深さは 3 月中旬に記録され、それぞれ 87.5cm, 69cm であった。同時期に地表面凍上量も最大となり、それぞれ 10cm, 7.2cm であった。

凍上力は地表面に置かれた直径 10cm の円盤の動きを拘束した時に、その円盤に加わる上向きの力で定義している¹⁴⁾。円盤に加わる凍上力は冬季シーズンを通して小刻みに変動するが、12 月上旬からの連続的な凍結進入とともに発生が始まり、そのあ

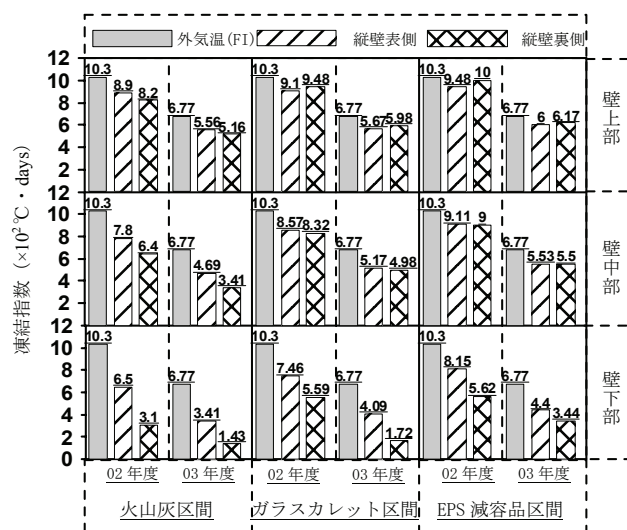


図-5 気温と壁表側面、裏側面における凍結指数

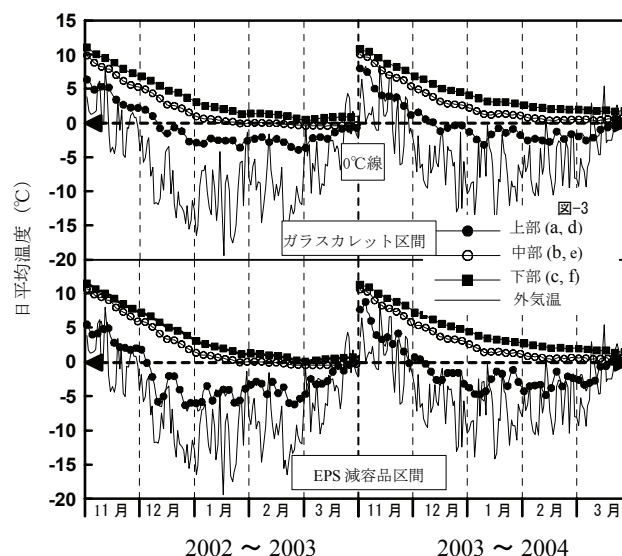


図-6 外気温と置換材料裏側温度の経時変化

と 3 月下旬から低下をたどり、4 月下旬にはゼロになる。凍上力の最大値は 50kN~70kN 程度に達している。言い換えれば、わずか直径 10cm の円盤にこれだけの力が発生するのが凍上力である。この凍上力をコンクリート製 L 型擁壁の縦壁に加わる凍上力に直接当て嵌めることはできないが、実地盤で発生する凍上力が擁壁の強度をはるかに超えるものになることは容易に想定できる。

(2) 試験壁の温度

裏込め材料の種類と厚さの異なるコンクリート壁について、冬期間における縦壁表側面と壁裏側面の積算寒度の分布から間接的に熱流を検討した。図-5

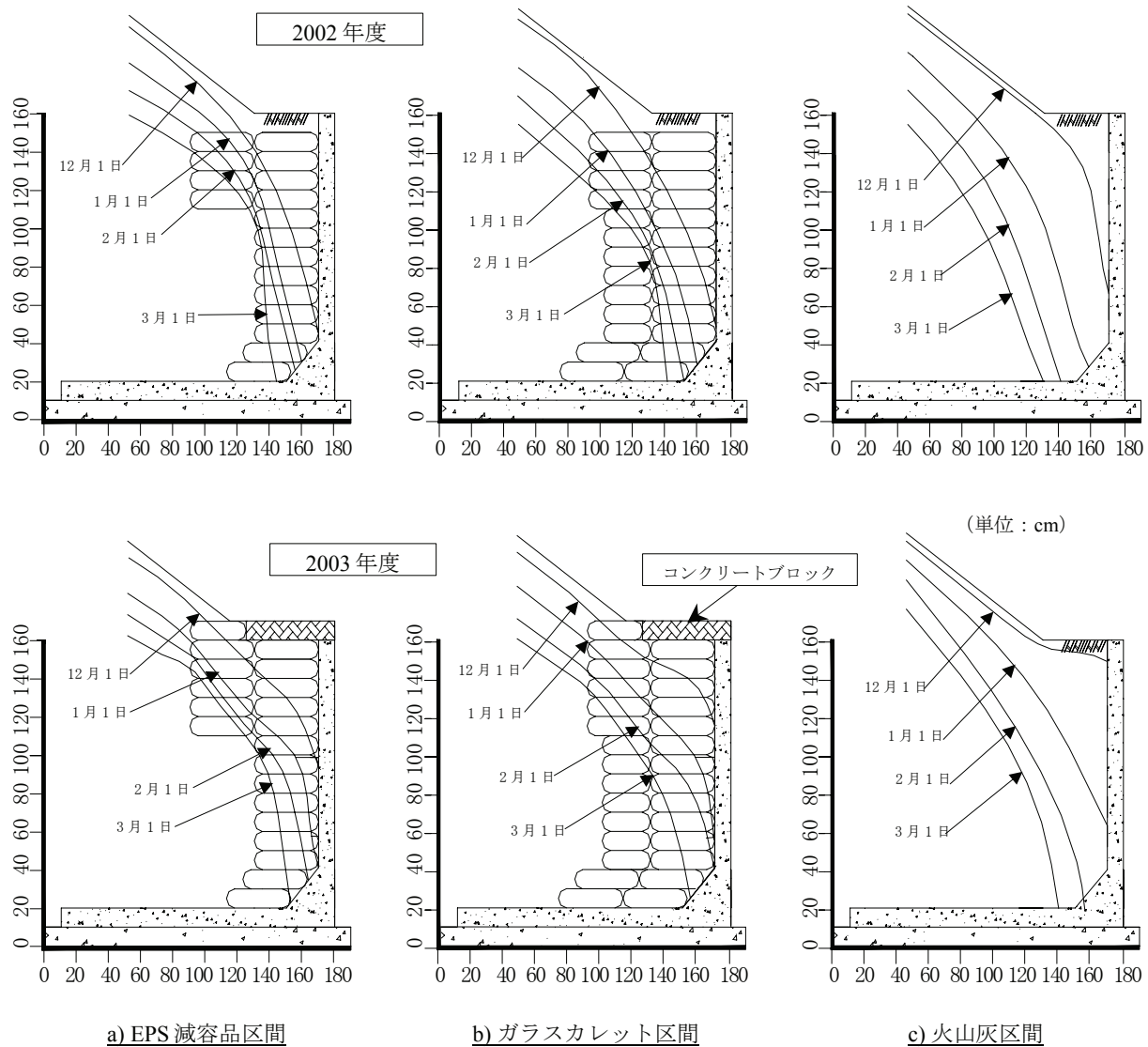


図-7 凍結期における背面土の凍結面の推移

は図-3 に示す縦壁表側面と裏側面の温度測定点における凍結指数と、日平均気温から求めた凍結指数との比較を表したものである。凍結指数は、マイナスとなる日平均温度を1シーズンにわたって積算した値であり、一般的には気温について算出してその冬の寒さを表す指標とされるが、ここでは各温度測定点における記録についても適用して凍結指数と呼んでいる。2シーズンにわたるコンクリート縦壁の温度に関して、三つの区間を比べると次のようなことが分かる。

a) 火山灰区間の場合、凍結指数は上中下のすべての測定位置で裏側面より表側面のほうが大きくなっている。すなわち、表側面の温度が低く、熱放出される傾向が強いことを示している。

粒状廃棄物で裏込めを行った二つの区間の縦壁上部では、裏側面の凍結指数が表側面より大きい。また、縦壁下部では基礎地盤から伝わってくる熱の影響で、表側面の方の凍結指数が大きく、温度が低くなっている。このような縦壁の温度分布は、次項で述べる裏込め土中の凍結面形状と対応したものとなっている。

b) 凍結指数は上方ほど大きく、下方で小さい。この結果は上部の方が下部よりも大気にかかれた面が多く、熱流出が多いことを示している。

c) 縦壁の温度は EPS 減容品区間で最も低くなっている。これは裏込め材料の断熱性の相違によるものと考えられる。

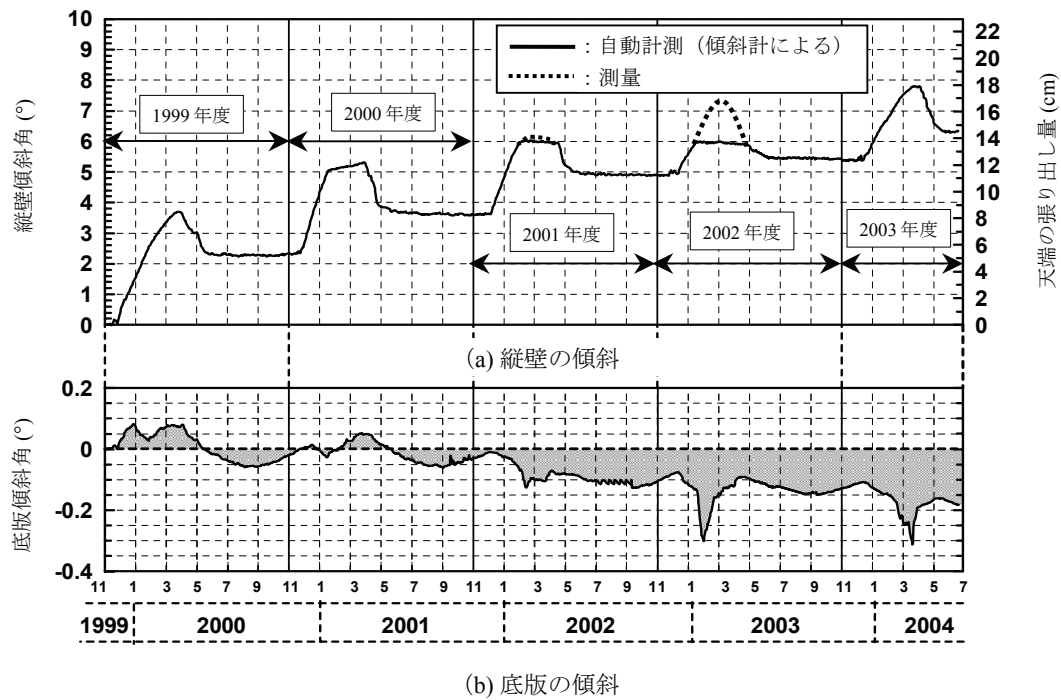


図-8 火山灰区間の壁体の経時変化

(3) 裏込め土中の凍結面の推移

凍上力は凍結面の法線方向に作用するので、構造物の凍上対策においては、背面土の凍結面形状を正確に把握することが重要である¹⁵⁾。

図-6は図-3に示すガラスカレット区間とEPS減容品区間における、置換材料裏側の地中温度と外気温の経時変化を示す。地中温度は外気温に対応して変動するが、その変動幅は外気温の場合に比べて小さくなる。置換材料裏側上部の温度は、外気温の影響を強く受けて短期的な変動が明瞭に現れ、さらにその値も外気温に近くなる。中、下部になると短期的な変動はほとんど見られず、温度は常にプラスになっている。

図-7はメチレンブルー凍結深度計の実測値と、図-6の土中温度から推定した、2シーズンにおける背面の凍結面形状を示す。凍結面形状は地表面の形状に支配され、さらに壁体の上部と下部では熱収支の条件が異なるため、縦壁背後の凍結面は壁前面と平行にはならない。また、縦壁部への凍結土圧を発生し得るような凍結面は、土のうによって置換した範囲内にほぼ留まっている。これは粒状廃棄物を中詰めとした土のうの断熱性の高さによるものと考えられる。

(4) 試験壁の変形

a) 凍上対策を施さない試験壁の変形

図-8に凍上対策をしていない火山灰区間における縦壁と底版の傾斜角の経時変化を示す。設置してから5シーズンとなる火山灰区間の縦壁では、どのシーズンでも凍結が始まるとほぼ同時に、傾斜の増加が始まっている。縦壁の傾斜角の最大値は1シーズン目 3.7°、2シーズン目 5.4°、3シーズン目 6.3°となった。さらに、5シーズン目は 7.8°に達した。縦壁の傾斜は地盤の融解とともに一部は戻るが、背面土の融解後も残留し、この残留量はシーズンを追うごとに累積していることが確認される。

一方、底版の傾斜は僅かであるが、5シーズンにわたる経時変化の推移を図-8(b)に示す。底版の傾斜角は1シーズン目の+0.1°から、5シーズン目の-0.3°に達することが分かる。ここで、底版の傾斜角がプラスになるのは、底版前方が相対的に低くなるような傾きを示し、マイナスはその逆の傾きを示す。2001年度までは、裏込め土の水平凍上力の影響で凍結期の底版の傾斜は縦壁の傾斜のピーク時にプラスになるが、融解期ではマイナスになる。底版の傾斜がプラスになるのは、縦壁に加わる凍上力による回転モーメントが底版部に伝わったためと考

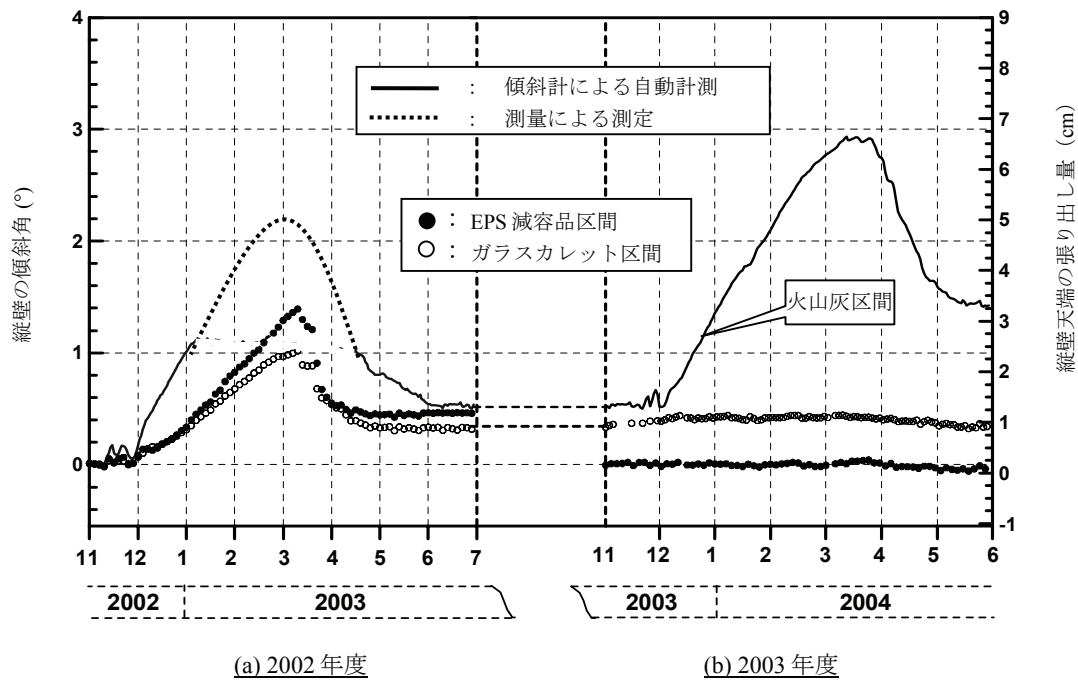


図-9 2シーズンにわたる試験壁の変位

えられる．ここで，2002 年度からは底版の傾斜は常にマイナスになり，年々累積されていることが分かる．これは縦壁下部のクラックが広がり⁷⁾，縦壁に加わる水平凍上力による回転モーメントが底版部へ伝わらなくなり，一方で，基礎地盤前部での凍上発生が底版のマイナスの傾斜を累積させたと考えられる．

コンクリート製 L 型擁壁の縦壁の傾斜がどの程度まで許容されるかは，コンクリートの性質の他に，壁体の形状や使用目的によって異なり，一律に決めることは困難と思われる．しかし，今回測定された 7°以上に及ぶ縦壁の傾斜では，コンクリート構造体としてはもちろん，外観的にも使用に耐えられない状況であった．

b) 凍上対策を施した試験壁の変形

図-9 は 2002 年 11 月から 2004 年 6 月までの 2 シーズンを通しての，ガラスカレット区間及び EPS 減容品区間における縦壁傾斜角の経時変化を示す．

図-9(a) から分かるように 2002 年度の壁では，EPS 減容品区間，ガラスカレット区間ともに火山灰区間とほぼ同じ時期に縦壁の傾斜が現れている．両区間の傾斜は 3 月上旬に最大となり，傾斜角は各々 EPS 減容品区間で 1.4°，ガラスカレット区間で 1.1° となり，天端部の張り出し量は各々 3cm，2.1cm に達した．また，2002 年度の実験終了後に EPS 減容

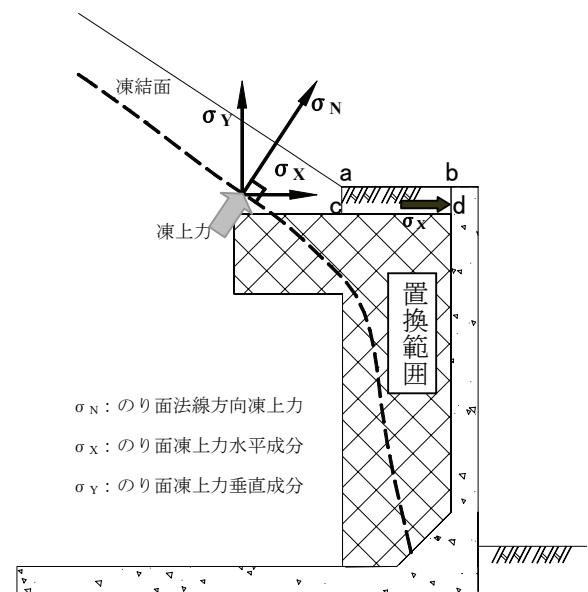


図-10 2002 年度の試験壁における張り出しのメカニズム

品区間の L 型擁壁は交換したが，このとき縦壁下端部には水平へアクラックが認められた．縦壁の傾斜の経時変化を詳細に見ると置換工法を施したこの両区間での傾斜は，火山灰区間と同様に地盤の凍結侵入の始まりと同時に現れ始めて，3 月上旬に最大となり，地盤の融解とともに急速に戻っている．一



写真-4 コンクリートブロックの設置 (2003 年設置)

方、火山灰区間では天端部の最大張り出し量にして 5.0cm であった。このように火山灰区間における壁の変形と比べて、EPS 減容品、ガラスカレットによる置換工法を施したことによる変形量の減少効果は明らかに認められた。しかし、粒状廃棄物の凍上抑制効果を正しく評価するためには、EPS 減容品区間とガラスカレット区間における縦壁変形発生の原因を明らかにする必要がある。

図-10 は置換工法を用いた試験壁で、2002 年に測定された張り出しのメカニズムを模式図で示したものである。2002 年度のガラスカレット区間と EPS 減容品区間の縦壁の変位の発生原因を検討すると、この両区間では、どの時期でも凍結面は置換材料の中に止まり、置換材料の背後の火山灰 I までは入っていない(図-7)。置換材料は室内凍上試験から非凍上性材料と判定されており、置換材料の凍上によって縦壁が変位したとは考え難い。さらに、中詰め材料が粒状廃棄物である土のうは透水性に優れているので、材料中の水分の凍結膨張による凍結土圧の発生もないと考えられる。これらの条件から、原理的には置換材料中での凍上力の発生はないはずである。

図-10 に示すように 2002 年度に設置した壁では、試験壁裏の置換材料の上部 a-b-c-d は緑化のために設置した、厚さ 10cm 程度の芝生用の土である。この芝生用土の部分は断熱性の高い置換材料の設置によって、下部地盤からの熱流が遮断されるので、凍結初期にはのり面の土より早く凍結する¹⁶⁾。一方、背面土の斜面部では、凍上力は図-10 中の σ_N の方向に作用する。この σ_N の水平方向成分 σ_x が a-b-c-d 部分の凍土を介して縦壁天端部に伝わった可能性が考えられた。図-9 に示されるように、地盤の

融解と共に縦壁の張り出しは戻るが、置換工法を施した区間では戻るのが速い。これは a-b-c-d 部分が早く融解し、それと同時に凍上力が解放されるためと思われる。

c) 試験壁の改善と結果

2003 年度の実験では、図-7(a), (b)に示すように、コンクリートブロックを縦壁天端上に置いて滑動できるようにすることによって、のり面部で発生する凍上力の水平成分が縦壁に伝わらないようにした。写真-4 は小段部にコンクリートブロックを設置した状況を示している。

以上のような改善を施した EPS 減容品区間とガラスカレット区間における 2003 年度の縦壁の経時変化を図-9(b)に示す。火山灰区間では前年度と同様に地盤の凍結が始まると同時に傾斜が増加し、3 月上旬に最大になるが、置換工法を行った EPS 減容品とガラスカレットの両区間では凍結期のどの時点でも傾斜の発生が認められなかった。

ここで、EPS 減容品区間では 2002 年度の実験が終了後に同型の新しいものと取り替えたので、2003 年度スタートでの変位はゼロになっている。なお、この擁壁の交換によって、2003 年度の凍上変形条件が変わることはないと考えられる。なぜならば、後述するように一度凍上が発生すると、その凍上力は擁壁の強度を遙かに上回るからである。

以上のように、EPS 減容品とガラスカレットを裏込め材料とすることで、凍土による壁体の変形が認められなくなり、両材料の有効性が確認された。自然寒冷下での凍上対策用材料の適用性は、現在のところ定量的評価は困難とされ、一般的には定性的に評価されている。本実験で用いた二つの粒状廃棄物は、従来の非凍上性材料である砂利や砂などと同様な凍上防止効果があると判断される。

図-9(a)に示す 2002 年度の壁の傾斜の経時変化を見ると、傾斜は凍結侵入の始まりと同時に現れ、地盤の融解とともに急速に戻っている。しかし、小段部にコンクリートブロックを設置して、のり面で発生した凍上力の水平成分が縦壁に伝わらないようにした 2003 年度の実験では、どの時期でも傾斜が起こっていない。このことから、2002 年度の壁の張り出しの原因は、のり面の凍上力の水平成分が早期に凍結した小段部の表土を介して、縦壁上部に伝達されたためであることが分かった。2003 年度の実験では、のり面で発生した凍上力の水平成分が、小段部に設置したコンクリートブロックを通して、縦壁の天端へ伝わらなかったと考えられる。このことは小段に設置したブロックが、融解後に縦壁表側面より 1cm 程度押し出されていた事実によっても裏

付けられている。

背後にのり面を持たない擁壁では、図-10 中の水平方向凍上力成分 σ_x は発生しないことになるが、のり面に隣接する構造物の場合は、のり面部で発生する凍上力の水平成分の影響を十分考慮する必要がある。設計上では、壁体の強度が土圧には十分に耐えるようにするのであるが、凍上が発生した擁壁では往々にして予想できない破壊が起こっている。地盤の凍上は、地中の水分が凍ってアイスレンズを造成して、地面を押し上げる現象であるが、この凍上変位が擁壁などの構造物によって拘束されたときに生じる力が凍上力である。

図-4 に示すように、平坦地では直径 10cm の円盤に最大 50kN~70kN の凍上力が加わっている。この凍上力が縦壁裏面に均一に加わるとすると、縦壁下端部での壁幅 1m 当たりのモーメントは 1700kN・m ~ 2500kN・m 程度となる。このモーメントは縦壁の変形(傾斜)がゼロとした時の値であり、発生し得る最大モーメントということになる。一方、本実験で使用した擁壁の理論上の強度は、縦壁下端におけるモーメントにして 28kN・m 程度である。これらのことから、裏込めで凍上が発生したときの力が、壁の強度を遙かに上回ることが明白である。凍上対策の基本は発生した凍上力を壁の強さで抑えるのではなく、裏込めへの対策などによって凍上が発生しないようにすることである。

5. まとめ

L 型擁壁の凍上対策に用いる裏込め材料として、粒状廃棄物の利用が有効であることを実証した。このために粒状化した EPS 減容品、ガラスカレット及び凍上性の火山灰を裏込めとした 3 つの区間からなる実物大試験壁を屋外に設置して、冬期間の凍結挙動を 2 シーズンにわたって測定した。測定の結果、凍上性の火山灰を裏込めとした区間では、裏込めの凍上による縦壁の傾斜が 2 シーズンで最大 2.9°に達したのに対して、非凍上性の EPS 減容品とガラスカレットを裏込め材とした区間では縦壁の傾斜はほとんど現れなくなることが分かった。これらの結果から、用いた粒状廃棄物の凍上防止効果が明らかになり、凍上抑制用の置換材料として利用可能であることが証明された。

本実験では、粒状廃棄物を土のう袋に詰めて裏込めとする方法で行った。ここで土のうを用いた理由は以下のようなものである。

1) 任意の断面形状の裏込めを容易に施工出来る。

2) 裏込めの力学的性質が改善され土圧が減少する。
3) 自然地盤への廃棄物の混入を防ぎ、将来の回収と循環型利用が可能となる。

凍上対策のための裏込め材料として必要とされる基本的な性質は、その材料の非凍上性である。本実験で用いた 2 種類の粒状廃棄物が非凍上性であることは、凍上試験によって確認されたが、裏込め材料として要求される強度や耐久性あるいは施工管理手法などの点では検討の余地を残している。しかし、本実験で用いた袋詰め粒状廃棄物による裏込めでは、土のう袋 2 段の高さ (20cm) 毎に、タンパーによって締め固めることで、擁壁としての機能には問題は現れなかった。

一方、非凍上性の材料で裏込めした場合でも、壁体背後ののり面で発生する凍上力が小段部分に形成される凍土層を介して擁壁の縦壁部に伝わり、変形が起きてしまう場合のあることも分かった。本実験ではこのメカニズムを明らかにして、さらに対応策を採ったうえで、粒状廃棄物の有効性を評価した。

本実験で実証された手法は、EPS 減容品およびガラスカレットに限らず、溶融スラグ、石炭灰あるいは破碎プラスチックなど、あらゆる非凍上性粒状材料において適用可能である。これらの材料は、廃棄物として産出されたそのままの姿で、あるいは簡単な破碎技術で利用可能になるものが多く、自然から採取される砂や砂利などの地盤材料に比べて、経済的にも不利にはならない。寒冷地域における廃棄物の有効利用と自然保護のうえでも本研究の結果は有効と考える。

参考文献

- 1) 地盤工学会：地盤工学・実務シリーズ (7)，廃棄物と建設発生土の地盤工学的有効利用，pp. 11-132, 1999.
- 2) 莊司喜博，高橋邦夫，浅井正，角野隆：セメント添加した石炭灰の岸壁裏込め材への利用，土木学会論文集，No.637/VI-45，pp. 137-148，1999.
- 3) 横田康行，前田良刀，落合英俊，大嶺聖：プラスチック片を混合したソイルセメント改良地盤の支持力特性，土木学会論文集，No.701/III-58，pp. 87-87，2002.
- 4) 久保宏，佐藤知典，北野隆春：廃棄タイヤチップの水路裏込め材への適用に関する研究，地盤工学会北海道支部技術報告集，No.37，pp. 163-168，1998.
- 5) Suzuki, T., and Sawada, S. : Full-scale model test on frost heaving pressure in a reinforced retaining wall, *Proc. 7th Int. Symp. on Ground Freezing*, pp. 311-316, 1994.

- 6) 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.
- 7) 芮大虎, 鈴木輝之, 山下聡, 澤田正剛: プレキャストコンクリート L 型擁壁の凍上対策, 土木学会論文集, No.771/III-68, pp. 215-224, 2004.
- 8) Sawada, S., Ohno, T.: Laboratory studies on thermal conductivity of clay, silt and sand in frozen and unfrozen states, *Fourth International Symposium on Ground Freezing*, pp. 53-58, 1985.
- 9) 地盤工学会: 新規制定地盤工学会基準・同解説 VII 「凍上性判定のための凍上試験方法」, 2003.
- 10) 小島一宏, 鈴木輝之, 山下聡, 澤田正剛: 新しい凍上性判定試験法の適用性について, 第 38 回地盤工学研究発表会, pp. 333-334, 2003.
- 11) 鈴木輝之, 山下聡, 松岡元, 山口啓三郎: 袋詰めした砂利の凍上抑制効果, 第 35 回地盤工学研究発表会, pp. 609-670, 2000.
- 12) 松岡元: 地盤工学の新しいアプローチ -構成式・試験法・補強法-, 京都大学学術出版会, pp. 215-309, 2003.
- 13) 鈴木輝之, 澤田正剛, 尾中孝美: 地盤の凍上特性に関する屋外実験, 土木学会論文集, No.430/III-15, pp. 107-114, 1991.
- 14) 櫻田尚志, 鈴木輝之, 山下聡, 平田広昭: 同一地盤における長期凍結凍上観測, 第 38 回地盤工学研究発表会, pp.335-336, 2003.
- 15) 土質工学会: 土質基礎工学ライブラリ - (23) 土の凍結-その理論と実際- (第一回改訂版), 1994.
- 16) 劉朝綱, 鈴木輝之, 澤田正剛: 砂利および透水性断熱材を用いる遮水層の凍上抑制効果, 土木学会論文集, No.487/III-26, pp. 265-270, 1994.

(2005. 1. 21 受付)

COUNTERMEASURES FOR FROST HEAVE OF CONCRETE L-TYPE RETAINING WALL BACKFILLED WITH GRANULAR WASTE

Dahu RUI, Teruyuki SUZUKI, Satoshi YAMASHITA and Keiji HAYASHI

Considerable generation of industrial waste is becoming a serious social problem. Under these circumstances it has therefore become necessary to develop effective strategies for the utilization of wastes. This study employed field trials to investigate the application granular waste for use as replacement material for frost prevention. A new method for dealing with such waste using soil bags filled with granular waste consisting of glass cullet and expanded poly-sterol to facilitate reduced volumes was used to backfill precast concrete L-type retaining walls. From November 2002 to May 2004, the frozen state of backfill soil and displacement of the walls were measured. These measurements revealed that granular waste is suitable for use as a frost heave prevention material.