

# プレキャストコンクリートL型擁壁の凍上対策

芮大虎<sup>1</sup>・鈴木輝之<sup>2</sup>・山下聡<sup>3</sup>・澤田正剛<sup>4</sup>

<sup>1</sup>学生会員 工修 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)

<sup>2</sup>正会員 工学博士 北見工業大学教授 土木開発工学科 (同 上)

<sup>3</sup>正会員 工学博士 北見工業大学助教授 土木開発工学科 (同 上)

<sup>4</sup>北見工業大学講師 土木開発工学科 (同 上)

本研究は寒冷地におけるプレキャストL型擁壁の凍上対策を検討するため、北見工業大学構内に凍上対策をしない区間、断熱工法及び置換工法を施した区間の三つの区間からなるL型土留め壁を試験設置した。3シーズンにわたる地盤凍結期の裏込め土の凍結分布と壁体の挙動測定から凍結土圧の発生メカニズムを把握し、更に断熱工法と置換工法の有効性を確認した。次にシミュレーション手法によって各種断面形状のL型擁壁における裏込め土中の凍結面形状を推定し、これらの解析結果から置換工法における有効な置換範囲の決定方法を提案した。

**Key Words** : precast concrete L-type retaining wall, frost-heave prevention, replacement method, freezing front, numerical simulation

## 1. はじめに

寒冷地では地盤の凍上によって道路舗装面の破損、建物の持ち上がりなど、地盤と接する構造物に様々な被害が発生する。従来の土木構造物の凍上被害に関する研究は道路路床、路盤の凍上対策が中心であり、土留め壁、水路構造物あるいはボックスカルバートなどの各種構造物の凍上被害対策に関する研究は少なく、凍上対策指針などの整備も不十分な状態である。

地盤凍上の発生原理は一つであるが、地盤の凍結条件や構造物の特性に応じた凍上対策を行うのは単純ではない。筆者らの研究室では小型Uトラフに加わる凍結土圧の発生するメカニズムを明らかにし、砂利による裏込めや断熱材の設置による凍結土圧軽減効果を示した<sup>1), 2)</sup>。また、多数アンカー式補強土壁の実物大模型実験<sup>3), 4)</sup>を行い、壁面コンクリートに加わる凍結土圧は、背面土を凍上しにくい火山灰とする置換工法あるいは断熱材を設置した断熱工法によってほぼゼロに抑えられることを明らかにした。

構造物の凍上対策の原理は温度、水分、土質のどれかへの対応に集約されるが具体的な工法としては多様にある。しかし、現在のところ最も確実とされ、

さらに最も多く用いられているのは、凍結が及ぶ範囲を凍上しない材料(一般的には砂、砂利)で置き換える置換工法である。この工法を設計するためには次の二つのことを決める必要がある。1) 有害な凍結が及ぶ範囲を包含するような置換範囲の決定、2) 凍上を発生しない置換材料の選択。

宇野ほか<sup>5)</sup>は多数アンカー式補強土壁の凍結面の推定において、凍結シミュレーションが有効であることを示し、凍上対策としての置換範囲を決定する方法を提案した。本研究では、高さが1~4m程度のプレキャストL型コンクリート擁壁に注目し、置換工法による合理的な凍上対策の設計手法の確立を目的とした。北見工業大学構内に試験設置したプレキャストL型コンクリート擁壁において3年間にわたる冬季間の背面土の凍結状況、壁体変位などの観測を行い、凍上発生時の壁体の挙動特性を明らかにした。さらに裏込め(置換)処理の方法を変えた壁体の凍上発生時挙動の比較から置換工法と断熱工法の有効性を確認した。これらの実験結果を一般化するためにコンピューターシミュレーションによって、種々の形状を持つ壁体の凍結面を求め、置換工法における置換範囲の決定方法を提案した。

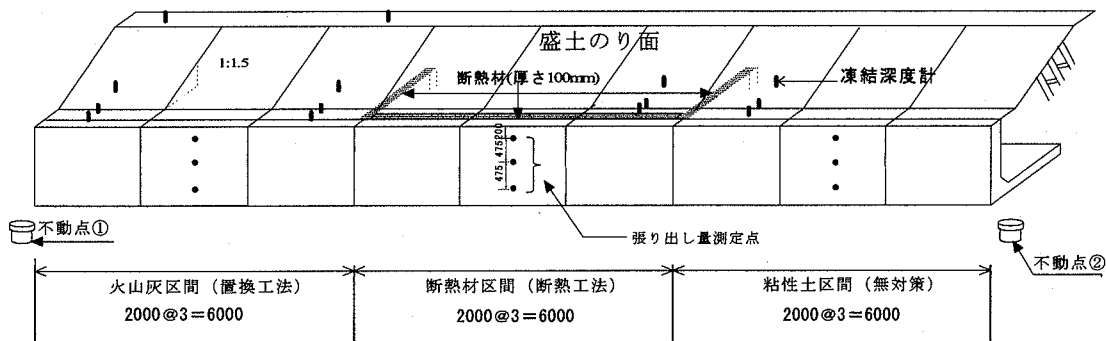


図-1 試験壁の全体概要

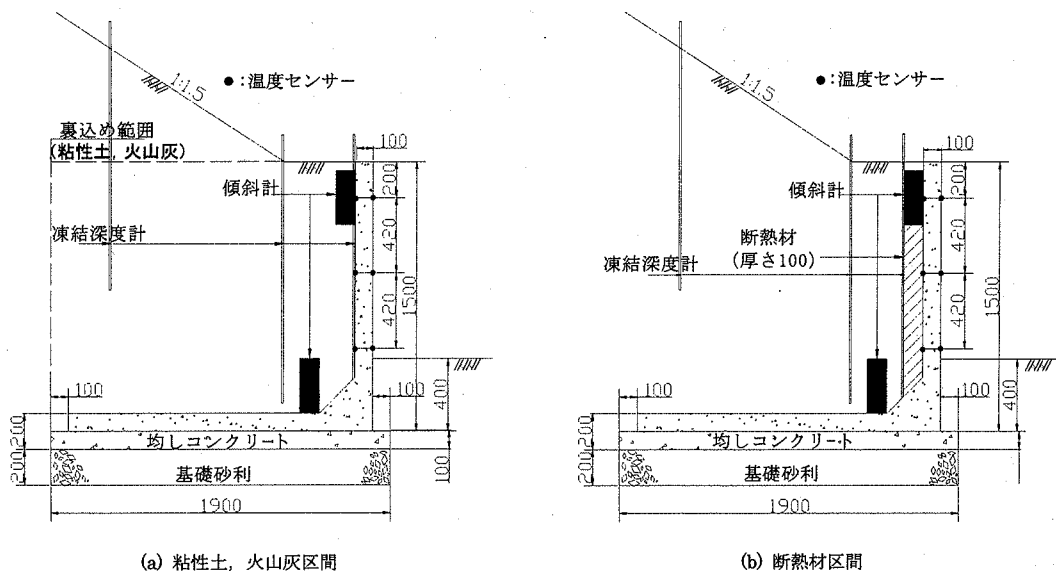


図-2 試験壁の断面の概要

## 2. 実験の概要

設置した試験壁の全体概要を図-1に、断面図を図-2に示す。試験壁は高さ1.5m、幅2.0m、底版長1.7mのものを計9基設置し、全体を以下の3区間に分けて各々背面処理の条件を変化させた。

- 1) 火山灰区間：非凍上性の火山灰で裏込めした区間で、置換工法を施した区間と見なしている(図-2(a))。
- 2) 断熱材区間：壁面ブロックの裏側に厚さ10cmの発泡スチロールの透水性断熱材を設置して壁面からの凍結侵入(熱流出)を防ぎ、断熱工法による凍上対策区間と見なしている(図-2

(b))。

- 3) 粘性土区間：凍上性の粘性土を裏込めにした区間で凍上対策を施していない区間と見なしている(図-2(a))。

隣接するブロック間の連結は行わず、3つの背面の区間仕切りとして厚さ10cmの発泡ポリスチレンの断熱材を用いた。表-1に設置現場の土と裏込め土の性質を示す。これらの中で火山灰は北見地方で道路の凍上抑制層に用いられている非凍上性材料であり、粘性土は火山灰質土で凍上性の強い材料である。

傾斜計は各区間中央の壁体の縦壁裏面に1か所、底版に1か所設置した。この傾斜計はカンチレバー振り子にひずみゲージを貼り付け、ひずみ量として

表-1 試験壁に使用した土の物性値

土質性状		粘性土	火山灰	現地土	平坦地の土
土粒子の密度 $\rho_s$ (g/cm <sup>3</sup> )		2.59	2.51	2.53	2.51
粒度試験	礫分 (%)	5.80	13.9	-	-
	砂分 (%)	57.0	63.9	67.0	47.7
	シルト分 (%)	27.5	18.2	27.0	39.3
	粘性分 (%)	9.70	4.0	6.0	13.0
	均等係数 $U_c$	43.4	21.2	55.2	27.9
	曲率係数 $U_c$	1.74	1.37	1.68	0.56
締固め試験	$W_{opt}$ (%)	29.4	29.8	24.3	26.0
	$\rho_{dmax}$ (g/cm <sup>3</sup> )	1.31	1.15	1.46	1.39
凍上試験 (道路土工排水工指針)	凍上率 (%)	21.3	0.82	56.0	63.3
	凍結様式	霜降状	コンクリート状	微細霜降状	微細霜降状

傾斜角が測定される形式で、定格容量は±5°，使用温度範囲は-20~70℃である。また、銅-コンスタンタン温度センサーを図-2に示したように配置して縦壁表面と裏面の温度を測定した。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(図-2)によって毎日1回測定した。また、壁の持ち上がり量と縦壁部の前方への張り出し量及び凍結深度計の持ち上がり量は図-1に示す不動点を基準にして毎週1回の測量によって測定した。

以上の試験壁における動態観測と並行して、平坦地において気温、凍結深度、凍上量、凍上力の測定を行った<sup>6)</sup>。この平坦地は大学構内で、試験壁から100m程離れた場所に火山灰質土によって造成しており、その土の性質を表-1に示している。

### 3. 実験結果及び考察

#### (1) 実験シーズンの気象環境と平坦地の凍結・凍上

図-3に実験を行った1999年11月から2002年4月までの3シーズンに、平坦地で計測された気温、凍上量、凍結深さ及び凍上力をそれぞれ示す。凍結指数は1シーズン目は875℃・days、2シーズン目は1077℃・days、3シーズン目は737℃・daysであった。近年の暖冬傾向からすると実験を行った3シーズンは寒冷傾向が比較的強く、特に2シーズン目は過去10年間で最大の凍結指数を示した。

地表面付近での一時的な凍結・凍上の発生は11月には認められ、同月の下旬からは連続的な凍結侵入と凍上発生が始まっている。凍結深さは3月上旬に最大となり、その後は主として地表面から融解していく。

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力である<sup>6)</sup>。凍

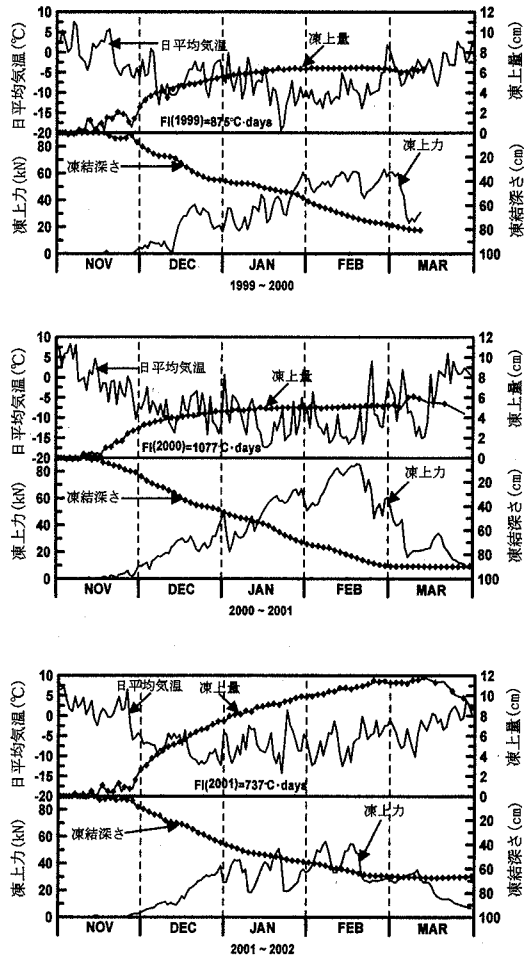


図-3 平坦地の気温、凍結深さ、凍上量、凍上力

上力の発生は11月下旬の地盤凍結と同時に始まり気温の変化に伴って変動するが2月に最大値を示している。

#### (2) コンクリート壁体の温度

図-4は図-2に示す縦壁部表面の温度測定点にお

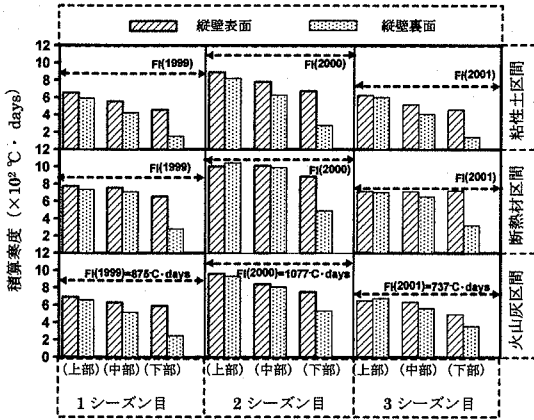


図-4 凍結指数と壁表面，壁裏の積算寒度

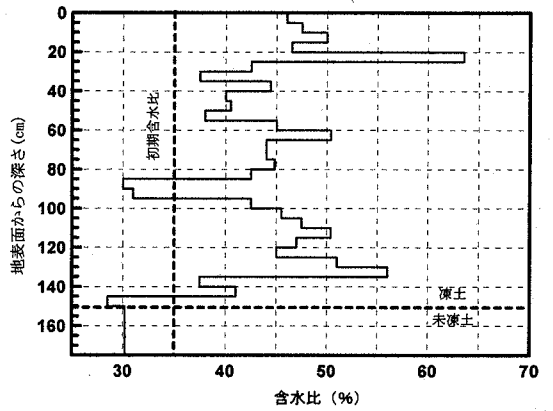


図-6 壁裏土の含水比の分布

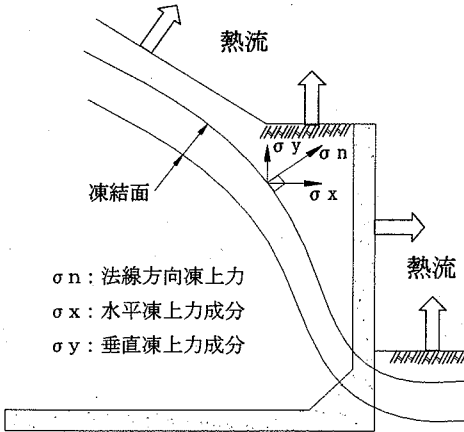


図-5 凍結面形状の模式図

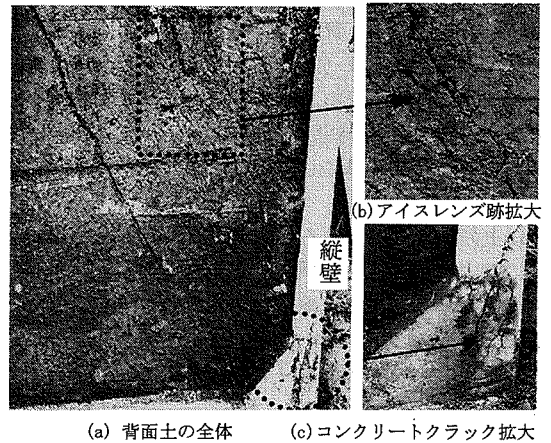


写真-1 凍上が発生した壁の断面（粘性土区間）

ける積算寒度を示している。ここにおける積算寒度はマイナスとなる日平均気温を1シーズンに渡って積算した値であり、その意味と求め方は気温における凍結指数と同じである。図-4から縦壁コンクリートの表面温度に関して次のようなことが分かる。

- 1) 縦壁部コンクリートの温度は表側より裏側が高く、表裏の温度差は下方ほど大きくなる。
- 2) 縦壁部コンクリートの積算寒度は上方ほど大きく、温度が低い。
- 3) 縦壁コンクリートの温度は粘性土-火山灰-断熱材区間の順に高い。

壁体コンクリートの温度は、後述する背面土中に形成される凍結面形状と密接に関連し、その値は壁全体の形状や背面土の熟物性値、さらに断熱材の有無など、複雑な因子に支配される。

### (3) 背面土中の凍結侵入状況

写真-1に凍上が発生した背面土の断面写真を、図-5に凍結侵入形態の模式図を示す。凍結面は大気に曝される面、すなわち壁体の表面に平行に入り始める。垂直土留め壁では、縦壁部上部の方が下部よりも大気に開かれた面が多く熱流出が多くなる。その結果として縦壁の背後の凍結面は壁前面とは平行にならない。

地盤の凍結が始まると未凍土側の水分は凍結面に向かって移動し、この水分が凍結面に到達して凍結するときに粒子骨格から分離してアイスレンズを形成（氷晶分離）して凍上が発生する。アイスレンズの形成は発生する潜熱とそれを奪う寒さ（熱流）がバランスした状態で起こる。気温がさらに下がるとアイスレンズは凍土層中に取り残され、凍結面は熱的バランスがとれる位置まで移動し、そこで再びア

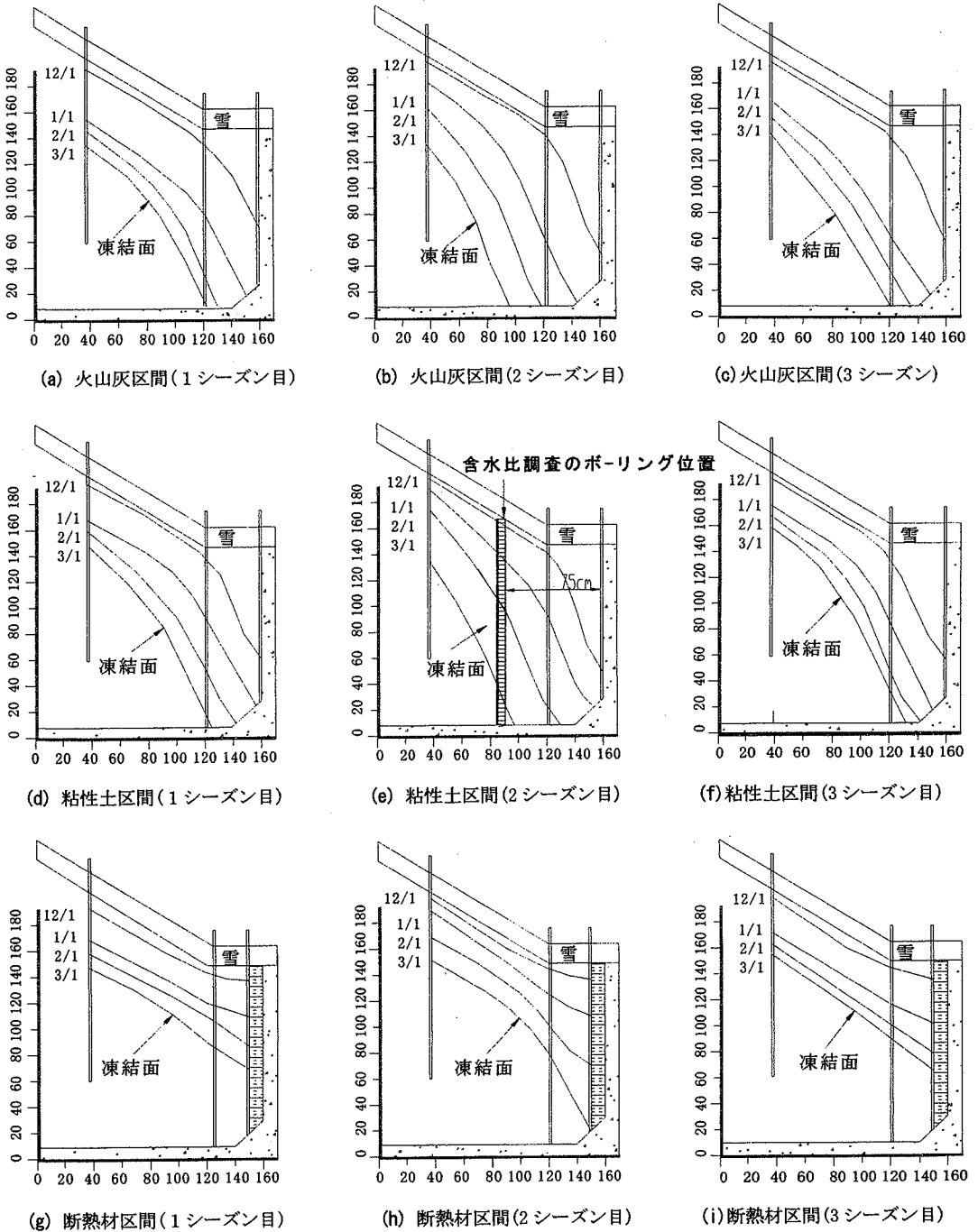


図-7 擁壁裏込め土中の凍結面形状

アイスレンズが形成される<sup>7)</sup>。写真-1(a)は実験開始から3シーズン経過後の2002年9月に撮影した粘性土区間背面の断面である。写真に見られるようにアイスレンズの発生によって生じた土中クラック(写真-1(b)),すなわち凍結面の跡が明瞭に認められる。

図-6は擁壁背面の含水比分布とアイスレンズの発生状況を調べるために2001年3月8日に行った凍土ボーリング調査の結果である。ボーリングは図-7(e)に示す粘性土区間で行った。土が凍結した深さ150cmまでは、全体的に含水比が高くなっており、

水分の移動とその水分による凍上発生を示唆している。また、凍結範囲内でも含水比のより高い部分と低い部分が交互に現れている。アイスレンズは深さ方向に均一に発生するのではなく、熱バランスのとれた位置で集中的に発生する傾向があることを示している。

#### (4) 擁壁裏込め土中の凍結面形状

凍結土圧は凍結面の法線方向あるいは熱流の方向に作用する。したがって、凍結面形状が分かればコンクリート縦壁部を押し出すような有害な凍上を発生する背面土の範囲を求めることができる。裏込め土中における凍結面形状を把握することは土木構造物の凍上対策において先ず重要なことである。図-7はメチレンブルー凍結深度計の実測値から推定した背面土中の凍結面形状を示す。これらの図から以下のようなことが分かる。

- 1) 凍結面の形状は地表面(熱流出面)の形状に支配され、凍上力は凍結面に垂直の方向に作用する。火山灰区間と粘性土区間では縦壁からの熱流出の影響で、凍結面の傾斜は急になっている(図-7(a)-(f))。このような凍結面形状の場合、背面土中で凍上が発生すると、壁前面を押し出すような凍上力の水平成分が大きくなる。
- 2) 断熱材区間では縦壁からの熱流出が妨げられるため、凍結面は背面土表面に平行、すなわち水平となる傾斜が強くなる(図-7(g)-(i))。しかし、この場合でも凍結面は完全に水平になるわけではないため、凍上力の水平成分は小さくなくてもゼロになることは期待できない。
- 3) 同一設置区間で比較すると凍結侵入深さは2シーズン目(2000-2001年)で大きくなっている。この結果は、図-3に示す平坦地の凍結深さが2シーズン目で最も大きくなっていることと対応している。また、同一シーズンで比較すると、火山灰区間の凍結深さは粘性土区間のそれより大き目に現れている。この凍結深さの違いは主として含有水分の違いに起因していると考えられる。一般に、含有水分が多いほど、水分の凍結に伴って発生する潜熱量が多くなるために凍結深さは小さくなる

#### (5) 壁体の挙動

凍結土圧によるL型擁壁縦壁部の傾斜は、下端部が破壊されて発生する場合、地盤支持力が不十分で壁体が回転する場合の二つが想定される。

図-8は各区間における縦壁部の傾斜角の経時変化を示す。凍上対策をしていない粘性土区間ではど

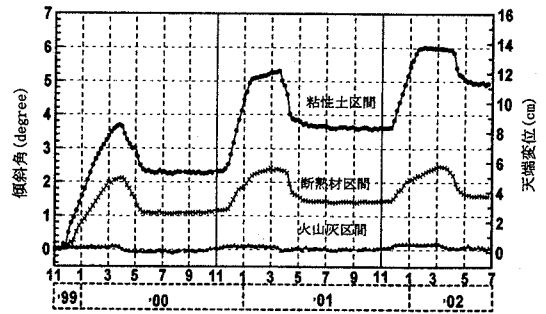


図-8 3シーズンにわたる縦壁の傾斜

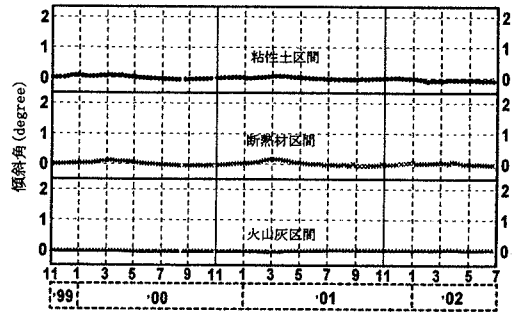


図-9 3シーズンにわたる底板の傾斜

のシーズンでも凍結が始まるとほぼ同時に縦壁部の傾斜の増加が始まっている。前出の図-3でも示すように、地盤凍上力の発生は、凍結初期の段階から始まる事が分かる。粘性土区間の縦壁部の傾斜の最大値は1シーズン目3.7°、2シーズン目5.4°、3シーズン目6.3°となり、実験開始時からの天端の最大移動量は3シーズン目において約14cmにもなった。縦壁の傾斜は裏込めの融解が始まる3月下旬から一部は元に戻るが、裏込めの凍土が完全に無くなった夏以降も残留し、この残留量はシーズンを追うごとに累積している事が分かる。粘性土区間における縦壁部の傾斜は明らかに凍結土圧によるものと判断される。傾斜角あるいは天端の移動量は明らかにコンクリートの許容変形量を超えており、縦壁部下端にはクラックが発生していた(写真-1(c))。このクラックは縦壁と底板の接合部における配筋に支配され、凍上力の作用方向と対応したものになっていないが、これは凍結土圧によってコンクリート製L型擁壁に発生するクラックの典型的なものである。

断熱材区間では、最大傾斜角が最大で1シーズン目2.2°、2シーズン目2.5°、3シーズン目2.6°となった。これらの値を凍上対策を施していない粘性土区間と比較すると壁体の変形量は約半分に減少している。このように縦壁背面に断熱材を設置した一応の効果は認められた。しかし、粘性土区間同様、

明らかに凍結土圧による壁の有害な変形が認められ、凍上対策としては不十分であった。図-7(g)-(i)に示すように本実験における断熱材区間では、凍上力の水平成分がゼロになるような凍結面形状にはなっていない。壁裏面上にのり面を有している場合の断熱工法の適用にはさらに工夫が必要である。

次に、火山灰区間では、実験開始時から縦壁部の傾斜はほとんど見られず、有害な凍結が及ぶ範囲を非凍上性の火山灰で置き換えた置換工法の効果が顕著に認められる。また、この区間では、3シーズン経過後も壁体コンクリートには写真-1(c)に示すようなクラックは認められなかった。

図-9は壁底版の傾斜角の推移を示す。粘性土区間と断熱区間では、僅かであるが冬季間における底版の傾斜が認められる。また3シーズン目の底版の傾斜が認められないのは縦壁部下部のクラックが広がり、縦壁部への力が底版部に伝わられなくなったためと思われる。しかし、これらの底版の傾斜は縦壁部の傾斜に比べて非常に小さなものであり、さらに未凍結期には元に戻っている。本試験壁の場合、地盤支持力の不足による壁体の傾斜(回転)はほとんどなく、凍結土圧によって縦壁部だけが傾斜して、下端部にクラックが発生したことが分かる。

#### 4. 置換範囲の設計手法

##### (1) 置換範囲の決定方法

前項までにおいて、試験設置したプレキャストL型コンクリート擁壁における凍結期の動態観測の結果、背面土の凍上による擁壁の破壊状態やメカニズムが明らかにされた。以後においてはこれらの実測結果からの知見を基に、置換工法による凍上対策の設計手法を提案する。提案する非凍上性材料による置換範囲の決定方法を図-10に示す。図-10において凍結深さが $Z_f$ の時、縦壁裏面(c-d面)に作用する凍上力が発生する凍結面の範囲は図中のa-b間の部分と見なすことができる。ここで、a点を境界点と呼んでいる<sup>9)</sup>。原理的にはこの凍結面を含むa-b-c-d-eで囲まれる置換範囲を設定すれば良いことになる。道路土工擁壁工指針ではL型擁壁の根入れ深さは50cm以上確保するとされている<sup>9)</sup>。しかし、図-10に示した凍結面分布は根入れ部分を無視している。根入れ深さは擁壁を設置する場所や地盤の支持力等の諸条件によって異なるものであり、それを考慮することによって危険側の設計になることが想定される。また、図-10では積雪が凍結面形状に与える影響を無視している。積雪の断熱効果を考慮すると原

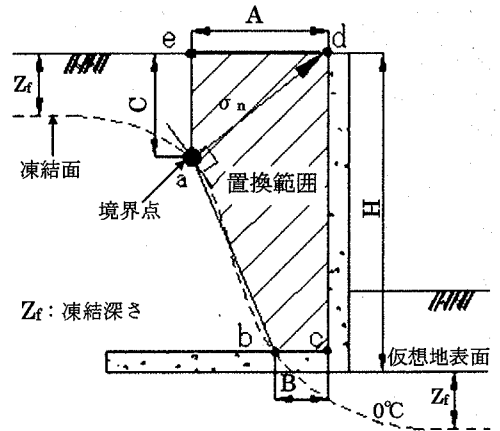


図-10 置換範囲の提案図

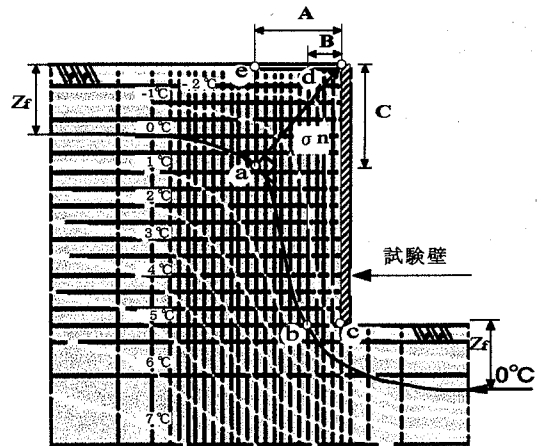


図-11 凍結シミュレーション結果

理的には置換範囲を小さくすることができるが、この効果を定量的に見込むことは困難である。以上の考え方を前提として図-10中の置換範囲(a-b-c-d-e)を決定するために最大凍結深さ $Z_f$ とA, B, Cとの関係を求めようとするものである。

##### (2) 数値シミュレーション

図-10の置換範囲を求めるためには、まず凍結面の形状を決める必要がある。このために本研究では多数アンカー式補強土壁における凍上対策の研究でその有用性が確認されているシミュレーション手法を用いた<sup>5)</sup>。この解析プログラムの基本方程式は凍結-融解潜熱を考慮した2次元非定常熱伝導式である。入力パラメーターは解析モデルの断面形状、構成材料の熱物性値及び気温データである。表-2にシミュレーションで使用した材料の物性値を示す。北見工

表-2 シミュレーションで用いた材料の物性値

入力定数	土 <sup>8)</sup>	コンクリート <sup>5)</sup>
未凍結時の熱伝導率 (W/m·K)	1.2	2.55
凍結時の熱伝導率 (W/m·K)	1.8	2.55
体積比熱 (J/m <sup>3</sup> ·K)	2500	2510
体積含水率 (%)	40	0

大構内に設置された気象観測システムの記録を参考にして、地中温度は 5m の深さで 9℃ の一定値とした。外気温は過去 10 年において最も寒かった 2000 年度に北見工業大学構内で測定された値を使用した。

図-11 にシミュレーション結果の一例を示す。土中での等温線は白線で表されており温度間隔は 1℃ である。凍結面形状に影響すると想定される擁壁背面の形状（法面の有無、小段幅、壁高）を変化させて解析を行った。プレキャスト L 型擁壁設計施工マニュアル（案）<sup>10)</sup> では、擁壁高さは 1m から 4m とされているのでここでは壁高 1m から 4m のものについて検討を行った。図-11 は任意時点での等温線の一例である。この凍結面のシミュレーション結果は、図-7 の実測値を良く表していることが分かる。さらに、本解析ではこの線群を凍結面の経時的な変化と見なしている。この仮定が実用的に問題のないことは別途確認されている<sup>8)</sup>。以上の解析を想定した擁壁背面形状において行い、得られた凍結面毎に凍結深さ  $Z_f$  と置換範囲を表す A, B, C の値との関係を求めた。

### (3) 凍結深さ $Z_f$ <sup>5)</sup>

置換範囲を表す A, B, C の値は凍結深さによって決まる。図-12 は凍結指数と凍結深さの関係を示している。この図は凍結シミュレーションを一次的に適用し、凍結指数と平坦地の凍結深さの関係を求めたものである。また、最大乾燥密度  $\rho_{dmax}$  と最適含水比  $w_{opt}$  をパラメーターとしているが、これらの数値は土の種類及び熱物性値との相関性が確認されているものである。

### (4) A, B, C の決定

図-13 は A と  $Z_f$  の関係を壁高をパラメーターとしてプロットしたものである。壁高 100cm の曲線は、凍結深さ 40cm 程度までは、他の 3 本の曲線と類似である。壁高が 100cm と低い時は凍結深さ 80cm の時に底版上面と境界点（図-10 の a 点）が一致する。この場合、計算上は凍結深さがさらに増加すると、A の値は減少傾向を示す。しかし実際の設計での利用を想定して、図-13 の壁高 100cm の曲線は凍結深さ

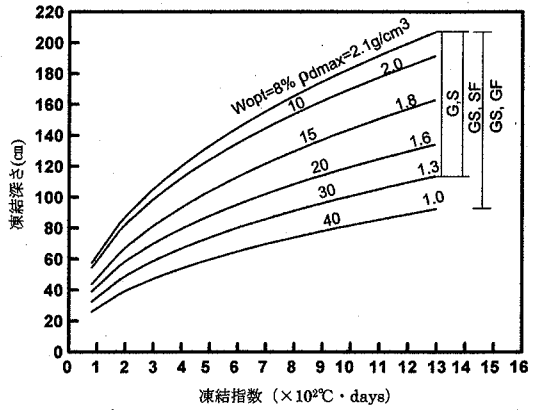


図-12 凍結指数と凍結深さの関係

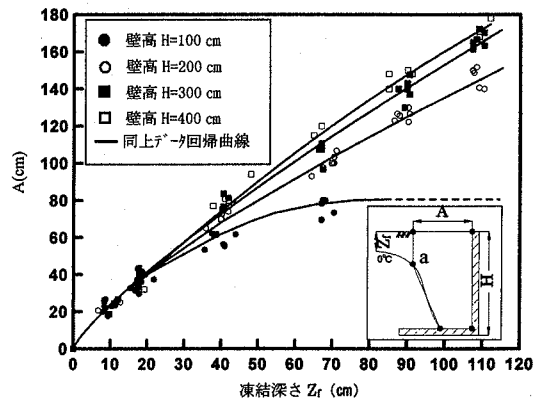


図-13 凍結深さと A の関係

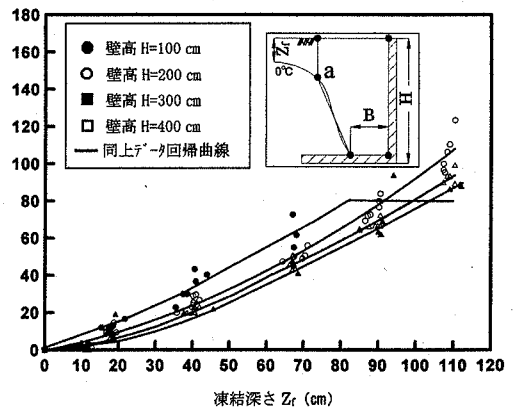


図-14 凍結深さと B の関係

80 cm 以深で、A の値を 80 cm で一定としている。

図-14 は B と凍結深さ  $Z_f$  の関係を示したものである。B の値は壁高をパラメーターとして 4 本の曲線で表わしているが、各曲線の違いは小さい。これは B が縦壁下部の凍結面形状によって決まり、壁高や



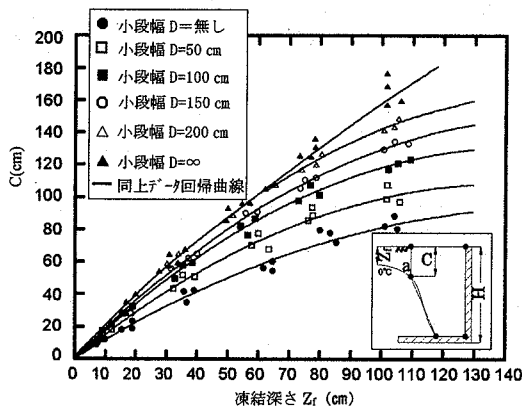


図-15 凍結深さとCの関係

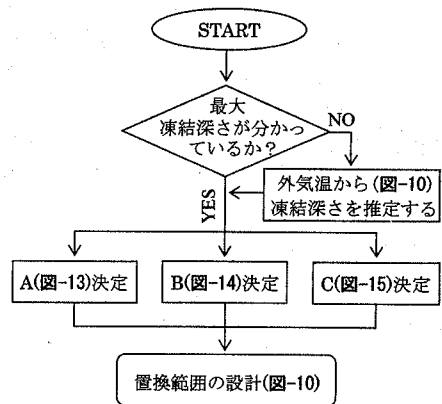


図-16 置換範囲設計の流れ図

小段幅の影響が小さいためである。壁高100cmの曲線では図-13のAの曲線の場合と同様の理由から、凍結深さ80cm以上で $B=80\text{cm}$ としている。したがって壁高100cmで $Z_f \geq 80\text{cm}$ の場合は図-13, 14から $A=B$ となり、置換範囲は四角形となる。

図-15はCと凍結深さZの関係の小段幅をパラメーターとしてプロットしたものである。凍結面は地表面の形状に支配され、小段幅が小さいほど凍結面は縦壁に対して平行または、それに漸近する形となり境界点aの位置は縦壁天端に近くなる。一方、小段幅が大きくなると壁背面土上面からの熱流出により裏込め土中では凍結面はくさび形となり境界点aの位置は縦壁天端から離れる。また、図-15の場合もA(図-13)、B(図-14)と同様に壁高100cmの場合は $Z_f \geq 80\text{cm}$ で、 $C=100\text{cm}$ (=壁高)となり、裏込めの断面形状は四角形となる。

プレキャストL型擁壁設計施工マニュアル(案)によると擁壁天端より背面盛土が高い場合、荷重が大きくなり安定条件の安全率が確保できないため、背面盛土は擁壁天端より高くしないことになっている。この場合は小段幅 $\infty$ (背面盛土が無い)となる。しかし、本解析では一般性を持たせるために、のり面がある場合も想定し検討を行った。

### (5) 置換範囲設計の例

図-16は寒冷地での擁壁の凍上対策を行う際の置換範囲設計の流れを示している。いま仮に設計条件として壁の高さ $H=200\text{cm}$ 、小段幅 $D=50\text{cm}$ 、最大凍結深さを80cmとすると、図-13、図-14、図-15より、 $A=112\text{cm}$ 、 $B=62\text{cm}$ 、 $C=85\text{cm}$ になる。これらの数値を図-10に当てはめることによって置換範囲が決まる。

## 5. まとめ

本研究は北見工業大学構内に試験壁と平坦地を設置して行った屋外凍上実験と、背面土中の凍結シミュレーション結果を結合して凍上対策としての置換範囲の決定方法を提案した。本研究の結論をまとめると以下のようなものである。

- 1) 裏込め土中で凍上の発生を許すとコンクリート壁体の残留変形が年々累積され、破損に至る。
- 2) 擁壁の裏込め土を非凍上性の土で置き換える置換工法は凍上対策として効果が確実に得られる。
- 3) 裏込め土中の凍結面の形状は、凍結深さの他に、壁高や背面の形状、及び小段幅によって変化する。
- 4) 擁壁を設置する場所の凍結深さ $Z_f$ が分れば、図-13, 14, 15よりそれぞれA, B, Cが決定され、裏込めの置換範囲を決めることができる。

### 参考文献

- 1) 鈴木輝之, 山田利之: 小型U-トラフの凍上被害に関する屋外試験, 土木学会論文集, No. 439/III-17, pp. 163-171, 1990.
- 2) 鈴木輝之, 上野邦行, 林啓二: 裏込め砂利による小型U-トラフの凍上破壊対策, 土木学会論文集, No. 439/III-17, pp. 89-96, 1991.
- 3) 鈴木輝之, 宇野裕教, 澤田正剛, 安達謙二: 多数アンカー式補強土壁の背面凍結と凍結土圧, 土木学会論文集, No. 645/III-50, pp. 281-290, 2000.
- 4) 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.

- 5) 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.
- 6) 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.
- 7) 土質工学会: 土質基礎工学ライブラリー (23) 土の凍結-その理論と実際- (第一回改定版), 1994.
- 8) 藤田輝政, 鈴木輝之, 芮大虎, 竹本健, 本堂直和: 既製コンクリート L 型擁壁における凍上対策-置き換え範囲の決定試案-, 第 43 回地盤工学会北海道支部技術報告集, pp. 323-328, 2003
- 9) (社)日本道路協会: 道路土工-擁壁工指針, p. 109. 1999.
- 10) 国土交通省四国地方整備局: プレキャスト L 型擁壁設計施工マニュアル(案), 2001.

(2003. 11. 10 受付)

## STUDY ON COUNTERMEASURE TO FROST HEAVE OF PRECAST L-TYPE RETAINING WALLS

Dahu RUI, Teruyuki SUZUKI, Satoshi YAMASHITA and Seigo SAWADA

The countermeasure of L type retaining wall to frost heave occurred in backfill was studied. Test wall was installed in a filed of Kitami institute of technology. The wall consists of following three sections, 1) back filled with frost susceptible clayey soil, 2) using thermal insulation material, and back filled with frost susceptible soil, 3) backfilled with frost-unsusceptible soil. From Nov. 1999 to April 2002, the freezing lines, displacement of wall, and so on were measured. The effectiveness of replacement method and insulation method was verified through the measurements. Finally, a method to determine replacement range was suggested by using computer numerical simulation of freezing line in backfill.