

研究会における凍結融解に関する自主研究試験データ

S B ウォール工法研究会では内部材として使用する砂防ソイルセメント工法の耐凍結融解性能について、これまでいくつかの試験を実施している。この資料は、現時点において当研究会が実施している試験結果を取りまとめたものである。

1 これまで実施した凍結融解試験とその目的

周知のとおり一般的な砂防ソイルセメント(INSEM 材)はコンクリートに比べ単位セメント量が少ないことから耐摩耗性・耐衝撃性など耐久性が低い。このためS B ウォール工法は開発当初より、これらを補完するため外部保護材を設置する複合構造形式としている。

一方、一般的な砂防ソイルセメント(INSEM 材)の耐凍結融解性能については、コンクリートと比較して凍結融解作用に対する耐性が低い事が解っているものの、国内において砂防ソイルセメントの凍結融解に対する研究事例が少なく、また、S B ウォール工法のような複合構造物形式に対する凍結融解作用による影響についても具体的なデータが少ない。

当研究会ではS B ウォール工法の凍結融解作用に対する安全性を確認する事を目的に、平成12年「LUC-SB ウォール工法」の開発当初から砂防ソイルセメントに与える凍結融解の影響および外部保護材による凍結融解に対する有効性の確認など、様々な研究を積極的に実施している。

これまで当研究会が実施した主な凍結融解に関連する試験内容を以下に示す。

表-1 凍結融解に関する実施試験一覧表

時期	試験内容	実施機関	目的
平成14年3月～ 平成14年5月	L.U.C.材(クラッシュランを用いたソイルセメント)の JIS A 1148 凍結融解試験	LUC-SBウォール工法 技術審査証明委員会 (砂防部会)	L.U.C.材とコンクリートの耐凍結融解性能の比較
平成14年4月～ 現在進行中*	実物大衝撃実験用試験体における暴露試験 (栃木県下都賀郡野木町にて実施)	SBウォール工法研究会	実物大衝撃実験用で使用した試験体の耐久性確認 (温度履歴測定, 定期的な各種試験によるINSEM材 の性能把握)
平成16年1月～ 平成17年3月	北海道恵庭地域における供試体暴露試験 L.U.C.材(クラッシュランを用いたソイルセメント)	SBウォール工法研究会	寒冷地域での供試体による水中・気中暴露試験(質 量測定・動弾性係数測定・一軸圧縮強度試験)による L.U.C.材の耐凍結融解性能の把握
平成16年1月～ 平成17年3月	北海道日高地域における供試体暴露試験 INSEM材(現地発生土砂を用いたソイルセメント)	SBウォール工法研究会 タカ企画 株式会社	寒冷地域での供試体による水中・気中暴露試験(質 量測定・動弾性係数測定・一軸圧縮強度試験)による INSEM材の耐凍結融解性能の把握
平成16年10月～ 平成17年2月	ASTM D-560 米国ソイルセメントの凍結融解試験	SBウォール工法研究会 京都府立大学 農学部 共同研究	INSEM材およびL.U.C.材の凍結融解による質量損失 率の把握および米国ソイルセメント基準による評価
平成18年2月～ 平成18年4月	実物大衝撃実験用試験体より採取したコアを用いた JIS A 1148凍結融解試験	SBウォール工法研究会	実物大衝撃実験用試験体より採取したコアを用いて 実施したJIS A 1148凍結融解試験による耐凍結融解 性能の把握
平成18年2月～ 平成18年4月	実物大衝撃実験用試験体より採取したコアによる 凍結融解試験後のINSEM材(コア)を用いた三軸圧縮試験	SBウォール工法研究会	凍結融解試験(JISA1148)による影響(要求品質の低下) を意図的に与えポロポロにしたINSEM材の三軸試験 による性状(C・φ)把握
平成18年2月～ 平成18年4月	実物大衝撃実験用試験体より採取したコアを用いた 鋼製外部保護材の凍結融解に対する有効性確認試験 (JIS A 1148凍結融解試験)	SBウォール工法研究会	温度振幅抑制機能が無い鋼製外部保護材を想定した 簡易モールド被覆の有無による凍結融解に対する 耐久性および被覆機能の有効性についての確認

*実物大衝撃実験に用いた試験体より、定期的にサンプリングコアを採取し、単位体積重量・圧縮強度などの各試験を継続して現在も実施している。

2 試験結果

これまでに当研究会が実施した試験（研究）結果を整理し、概略結果を以下に示す（試験項目および詳細などについては、参考資料を参照）。

- 供試体および試験体を用いて実施した各地における暴露試験結果では、強度低下および質量損失など、凍結融解作用による影響を受けた事例はなかった。
- 凍結温度を水と同様の 0℃とした場合、温度振幅の影響深は構造体の表面から 30cm までであった（大山山系日野川）^{※1}。
- 凍結温度をコンクリートと同様-2℃に仮定した場合、温度振幅の影響は表面から 10cm 程度であった。また、内部材は質量損失など凍結融解作用による影響は受けていなかった。（大山山系日野川）^{※1}。
- 2 年間実施した寒冷地での供試体による暴露試験では、強度低下などの凍結融解作用による影響はなく、材齢の経過に対し圧縮強度・相対動弾性係数（一次共鳴振動数測定）ともに値は向上し、質量損失もなかった。（北海道）。
- 米国ソイルセメントの凍結融解性能試験（ASTM D560）において、米国基準を大幅に満足する結果であった（京都府立大）。
- 温度振幅抑制機能が無い鋼製材で保護した供試体と保護しない供試体による凍結融解試験（JIS A 1148）実施後の結果を比較した場合、鋼製材で保護した供試体が質量損失などの凍結融解作用による影響が少ない結果を確認したことから、鋼製材が凍結融解作用に対し有効である事を確認した（室内試験）。

3 凍結融解作用が SB ウォール工法に与える影響の考察

SBウォール工法における構造上の安全性確保という観点から、内部材に適用する砂防ソイルセメントが凍結融解作用による影響を受けた場合を想定し、これがSBウォール工法に必要な要求品質へ与える影響を考察した。なお、SBウォール工法の基本構造は重力式壁体構造物であり、要求される品質は「**内部応力に対する抵抗性（圧縮応力）**」および「**外力に対する抵抗性（単位体積重量）**」である。

- ① **SBウォール工法内部材の品質が劣化するなど凍結融解作用による影響を受け、内部材品質が重力式壁体構造として必要な最大内部圧縮応力を下回ってはならない。**

SBウォール工法では、内部に発生する最大圧縮応力に対して、抵抗力を持つ品質の砂防ソイルセメントを全断面に適用している。このことから、構造上最大圧縮応力が発生する下流側かか

^{※1}日野川河川事務所 工務課 吉廻 伸：「低強度建設材料の砂防堰堤への適用性検討の一例」国土交通省国土技術研究会資料

と部以外においては、構造機能へおよぼす凍結融解作用による影響は少ないと考えられる。また、最大圧縮応力が発生する下流側かかと部においても、図- 3.1 に示すとおり基本的に埋戻など、土砂で保護されることから温度振幅が抑制されるため、凍結融解作用による影響は小さいと考えられる。しかしながら、特に厳しい寒冷地などにおいては、留意する必要がある。

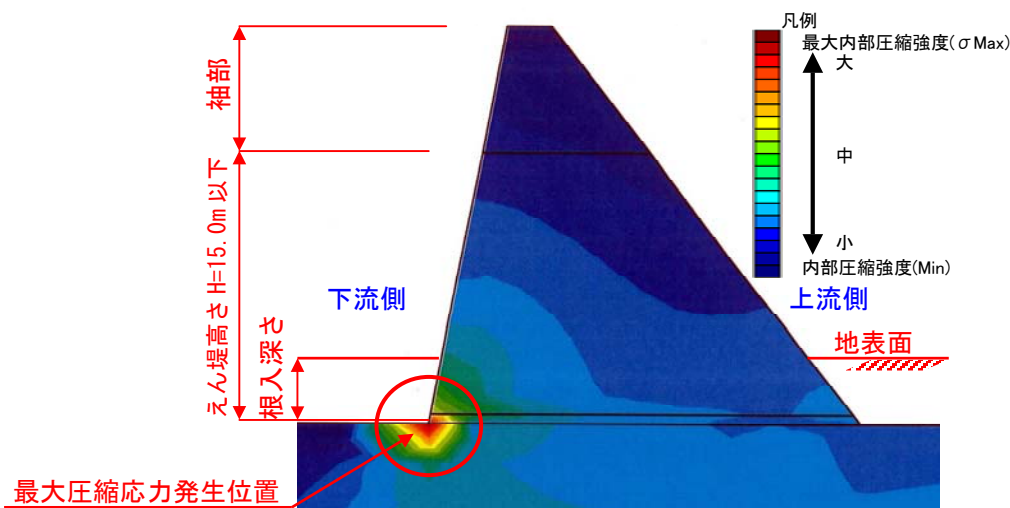


図- 3.1 有限要素法（FEM解析）結果

② 凍結融解作用により内部材の表面から品質が劣化し、これが剥落するなどして重力式壁体構造として必要な質量を損失してはならない。

S Bウォール工法は、内部材を外部保護材で保護する構造となっていることから、基本的に内部材の剥落はない。そのため、もし内部材が品質劣化などの凍結融解作用による影響を受けた場合においても内部材は剥落しないため、凍結融解作用による影響が進行する事はないものと考えられる。しかしながら、S Bウォール工法のような複合構造物への影響について、具体的なデータが少ないことから、特に厳しい寒冷地などにおいては、留意する必要がある。

凍結融解作用による影響に対して、これまで実施してきた凍結融解試験および外部保護材の有効性などに関する自主研究結果を踏まえれば、現時点においてS Bウォール工法で構築した砂防えん堤は、強度低下や質量損失などの凍結融解作用による影響に対して、構造上安全性を確保していると考えている。

なお、当研究会の暴露試験による最大経過年数(材齢)は、現時点で5年であり、砂防えん堤の対応年数に対して期間が短い。SBウォール工法研究会としては、今後よりS Bウォール工法の信頼性の向上を図るために、これからも研究を重ねていきたいと考えている。

研究会自主研究(参 考 資 料)

●研究会自主研究の試験状況と結果（参考資料）

当研究会がこれまでに実施した各種試験の中から抜粋した試験の状況と結果を以下に示す。

○北海道における供試体暴露試験

(1) 使用材料

本試験に使用した材料は、A地区の河床に堆積している現地発生土砂（河床砂礫）およびクラッシュランを用いた。以下に粒度特性を示す。なお、参考として JIS 規格であるクラッシュラン規格値，上下限値を併記する。クラッシュランは，単位セメント量 $100\text{kg}/\text{m}^3$ で目標強度レベル III 以上の強度を発現することが可能である。

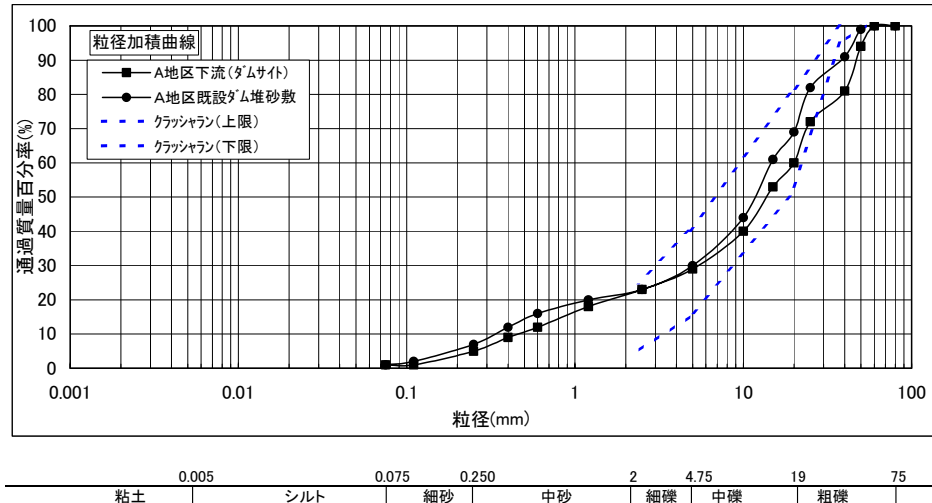


図- 3.4 使用した現地発生土砂の粒度分布図

本試験に使用した現地発生土砂は，強度発現へ影響を与えると考えられる 0.075mm 細粒分含有量が 1.0% と非常に少ない材料である。全体的な粒度分布をみると，クラッシュランの規格粒度範囲の中央を通る粒径である。これらのことから，単位セメント量 $100\text{kg}/\text{m}^3$ で目標強度レベル III ($3.0\text{N}/\text{mm}^2$) 以上の強度を発現することが可能であるクラッシュランとほぼ同等の良質材料であると判断される。

(2) 試験状況

当該試験は、平成 16 年 1 月～平成 17 年 3 月に北海道 A・B 地区で実施した供試体暴露試験である。試験状況を以下に示す。



写真- 1 左：空中暴露試験状況、右：水中暴露試験状況

(3) 試験場所における実施期間の温度状況

以下に試験を実施した寒冷地において温度振幅条件が最も厳しかったA地区の温度振幅履歴を示す。温度振幅履歴図内に示す赤色実線は融解温度の0℃を、青色実線は凍結温度の-1℃を示す。また、参考として JIS A 1148 凍結融解試験で規定されている凍結融解振幅温度である+5℃および-18℃を黒色破線で示す。

表-2 北海道A地区温度状況（平成15年10月～平成16年4月）

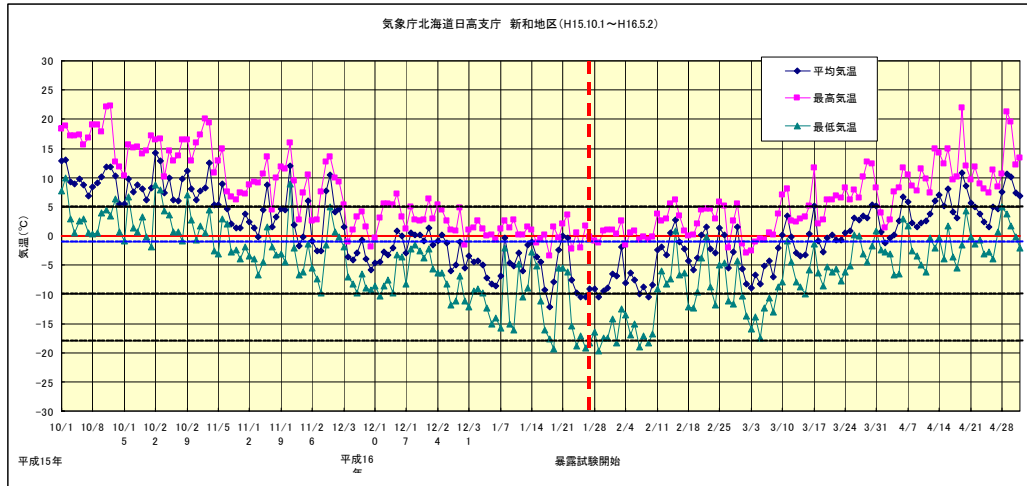
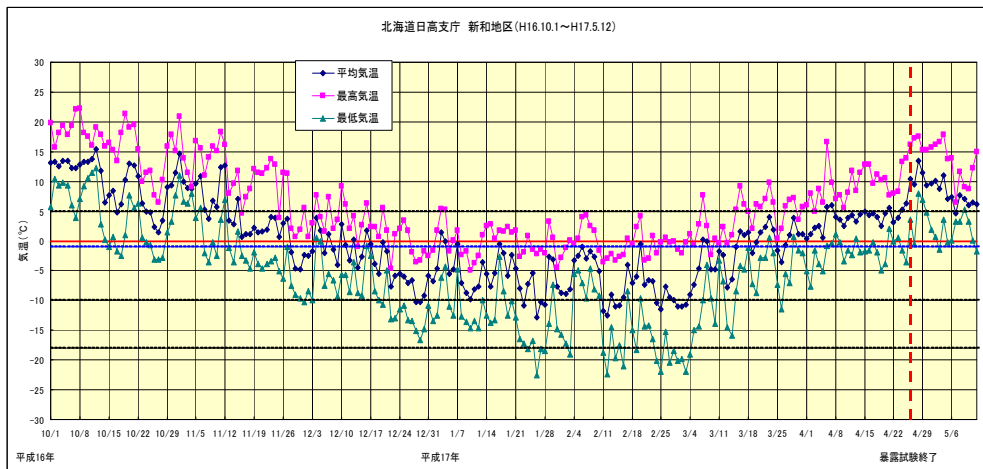


表-3 北海道A地区温度状況（平成16年10月～平成17年5月）



試験実施期間における凍結融解回数は、コンクリートへ凍害影響を及ぼすとされる-1℃^{※2}を凍結温度として用い、融解温度を0℃としてカウントした。結果を以下に示す。

表-4 北海道A地区外気温結果一覧表

観測期間	最低温度	凍結融解回数	備考
平成15年10月～平成16年3月	-19.7℃	119回 (内試験期間内回数40回)	日最大温度差23.5℃
平成16年10月～平成17年4月	-22.6℃	114回	日最大温度差21.8℃

※2 浜 幸雄、村松 光太郎、田畑 雅幸、富板 崇、鎌田 英治：「気象因子を考慮したコンクリートの凍害劣化予測」日本建築学会構造系論文集、第523号、p9-16、1999年9月

(4) 試験結果

試験結果を以下に示す。なお、曝露試験は材齢 28 日より開始した。

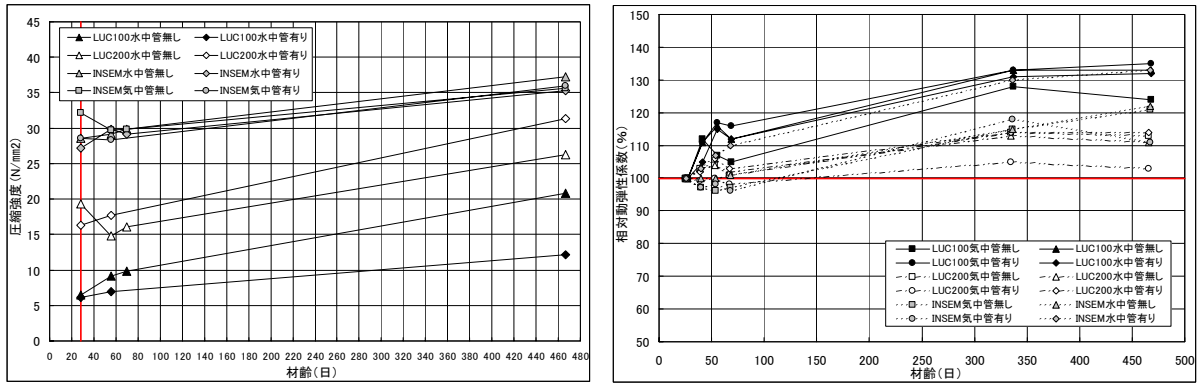


図-2 左：材齢と圧縮強度の関係、右：材齢と相対動弾性係数の関係

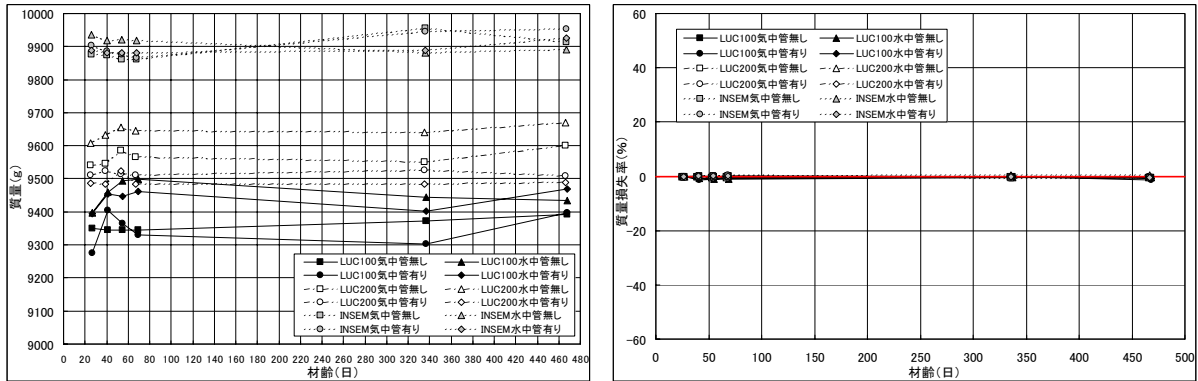


図-3 左：材齢と質量の関係、右：材齢と質量損失率の関係

[圧縮強度]

- ・ 圧縮強度は、一部の配合ケースが材齢 56 日で低下しているものの全ケースにおいて、材齢 468 日（試験完了時）では強度が増加していた。
- ・ 材齢 28 日（曝露試験開始）に対し材齢 468 日（試験完了）の圧縮強度は、INSEM 材および L.U.C. 材共に大幅に強度が増加していた。また、増加率で判断すると L.U.C. 材単位セメント量 100kg/m³ のケースが最も伸び率が大きく、その値は約 320%であった。

[相対動弾性係数]

- ・ 圧縮強度と同様に一部の配合ケースが材齢 56 日で係数値が 100%以下に低下しているものの全ケースにおいて、材齢 468 日（試験完了時）では係数値が 100%以上であった。
- ・ 材齢 69 日（1 年目越冬後）から材齢 337 日（2 年目越冬前）では、全てのケースで係数値が約 105~130%程度まで増加したが、材齢 337 日（2 年目越冬前）から材齢 468 日（2 年目越冬後）では、係数値に大きな変化は確認できなかった。
- ・ 材齢 28 日（曝露試験開始）から材齢 468 日（試験完了）の最終係数値は、配合ケースで値が異なるものの約 103~135%まで増加している事を確認した。

- ・ 材齢 28 日（暴露試験開始）に対する材齢 468 日（試験完了）相対動弾性係数の増加率が最も大きかった配合ケースは、圧縮強度と同様に L. U. C. 材の単位セメント量 $100\text{kg}/\text{m}^3$ であった。

[質量損失率]

- ・ 材齢 28 日（暴露試験開始）から材齢 69 日（1 年目越冬後）においては、損失率が増減したが、その値は $0.2\sim-0.6\%$ と 1% に満たない少量であった。
- ・ 材齢 69 日（1 年目越冬後）から材齢 337 日（2 年目越冬前）においても損失率が一部増加しているが、値はほとんど変化しておらず材齢 468 日（試験完了）もほぼ同等の値であった。

○実物大衝撃試験体の暴露試験

～長期追跡強度確認（L.U.C.材5年、INSEM材4年経過）～

(1) 試験概要

栃木県野木地区に構築したS Bウォール工法試験体を利用して、内部材（L.U.C.材およびINSEM材）の長期耐久性（長期強度）に関する追跡調査を実施中である。これまで、L.U.C.材が5年・INSEM材が4年経過した。

本調査では、上記月日を経過した試験体より採取した各材料の強度に関する調査を行った。また、試験体近傍に平成16年12月7日～平成17年3月31日の間に温度データロガーを設置し、内部材の凍結融解抵抗性について、気温の履歴から検討を行った。追跡調査を実施したS Bウォール工法試験体を写真-2に示し、本調査における目的を以下に示す。

なお、本試験体は、S Bウォール工法の標準施工と異なり、天端保護コンクリートは打設せず、内部材が暴露した状態で行っている。

- 1) 内部材（クラッシュラン100% L.U.C.材およびINSEM材、目標強度レベルⅢ 3.0～6.0N/mm²を示す。）の長期強度を確認する。
- 2) 気温の履歴から内部材の凍結融解抵抗性について検討を行う。



写真-2 左：実物大衝撃実験試験体、右：内部材天端部状況

(2) 試験場所における実施期間の温度状況

追跡調査を実施中の気温履歴（平成16年12月7日～平成17年3月31日）を以下に示す。

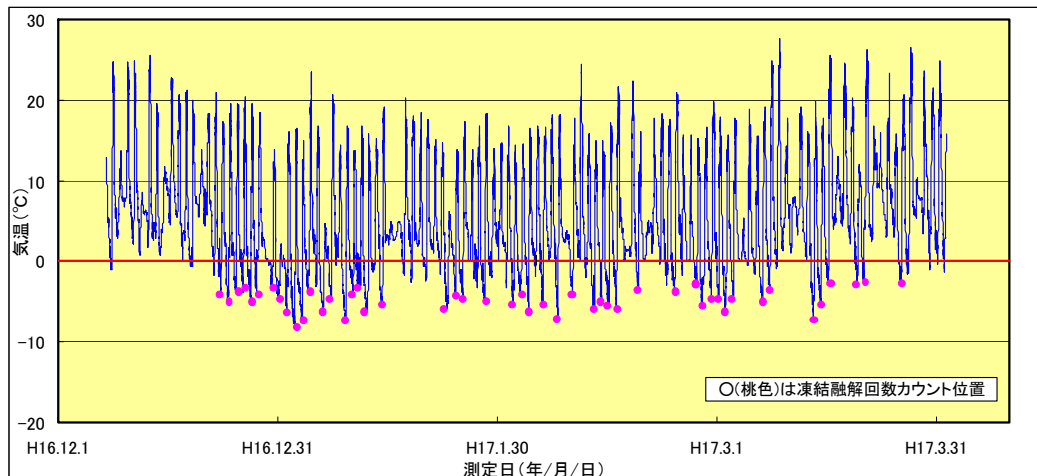


図-4 気温履歴（平成16年12月7日～平成17年3月31日）

試験実施期間における凍結融解回数を水の凍結温度 0℃と仮定してカウントした結果を以下に示す。

表-5 栃木県野木地区外気温結果一覧表

観測期間	最低温度	凍結融解回数	備考
平成 16 年 12 月～平成 17 年 3 月	-8.1℃	49 回	

(3) 試験結果

1) 内部材の長期強度

図-5 に L. U. C. 材、図-6 に INSEM 材の材齢と圧縮強度の関係を示す。圧縮強度は各材齢における平均値である。内部材は、材齢とともに圧縮強度が増加していることが認められた。

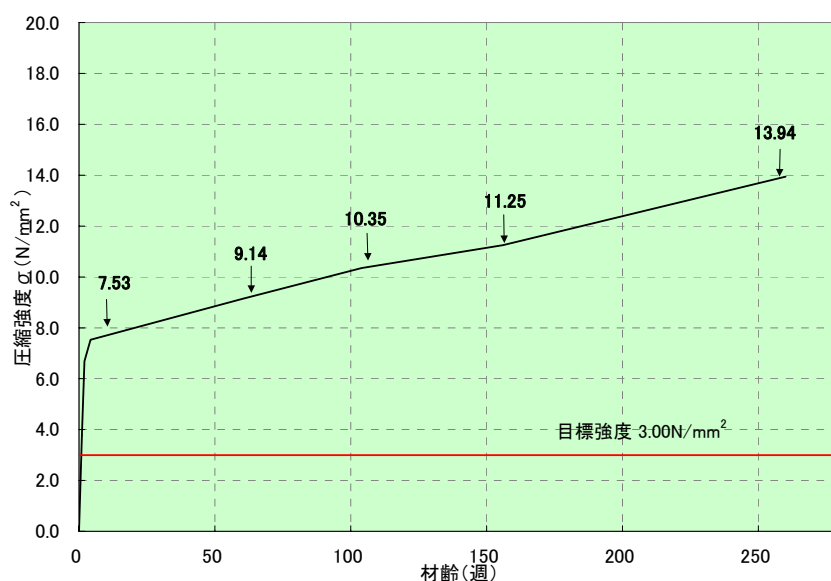


図- 5 材齢 (週) と圧縮強度の関係 (L. U. C. 材)

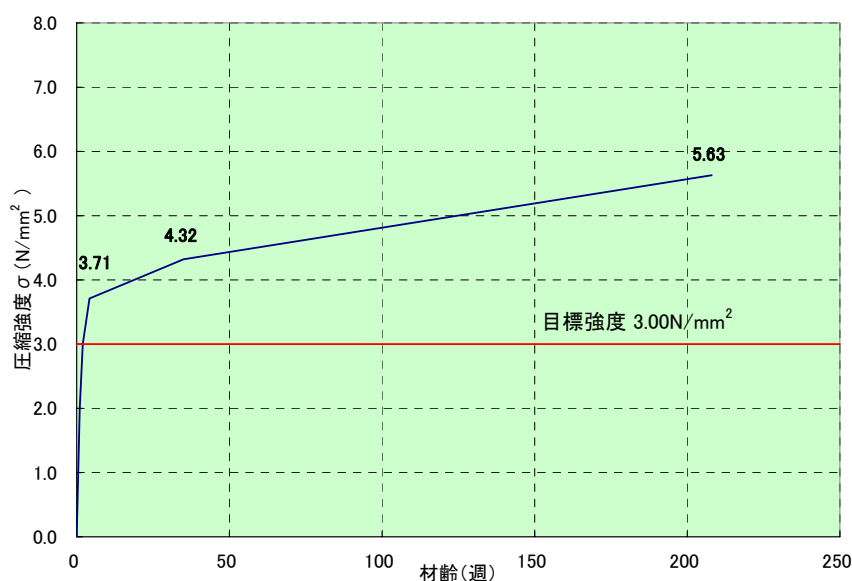


図- 6 材齢 (週) と圧縮強度の関係 (INSEM 材)

2) 内部材の凍結融解抵抗性について

内部材の凍結融解抵抗性を議論する場合は、0℃前後あるいは 0℃以下での気温が対象となることから、以後、温度データロガーで測定した気温を参考に内部材の凍結融解抵抗性を検証する。野木に構築した S B ウォール工法試験体の気温履歴（平成 16 年 12 月 7 日～平成 17 年 3 月 31 日）を温度データロガーで測定した結果、以下のことを確認した。

- ① 測定期間中の最低気温は -8.1℃ であった。
- ② 測定期間中、0℃以下を記録した日数は 85 日間（測定日数 114 日間）であった。
- ③ 0℃前後の気温の推移を 1 サイクルとした場合、観測期間中は 49 サイクルであった。

砂防ソイルセメントに関する文献に、「内部材の深さ方向に対する外気温の影響は 50cm 程度」（田中ほか「砂防 CSG 工法の試験施工（温度観測結果）について」、平成 13 年 5 月、平成 13 年度 砂防学会研究発表会概要集、pp12～13 より）とある。そこで、図-7、図-8 に振動ローラにより締固めた内部材を材齢別に表層 50cm まで（図中◆（赤塗）表面部）と 50cm 以深（図中□ 内部）に分けて、材齢と圧縮強度の関係を示した。

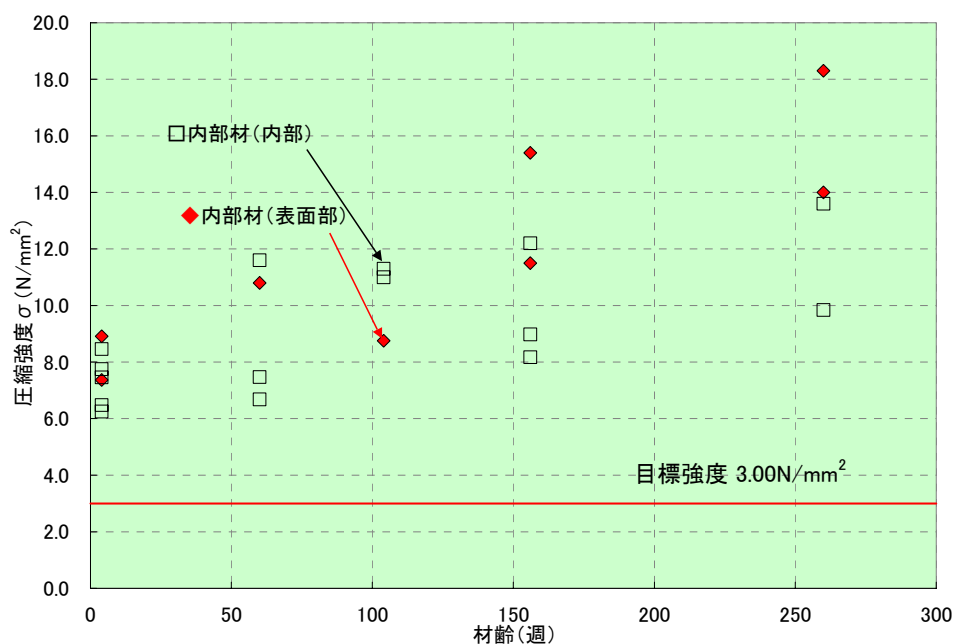


図-7 コアの深さ別 材齢－圧縮強度の関係 (L. U. C. 材)

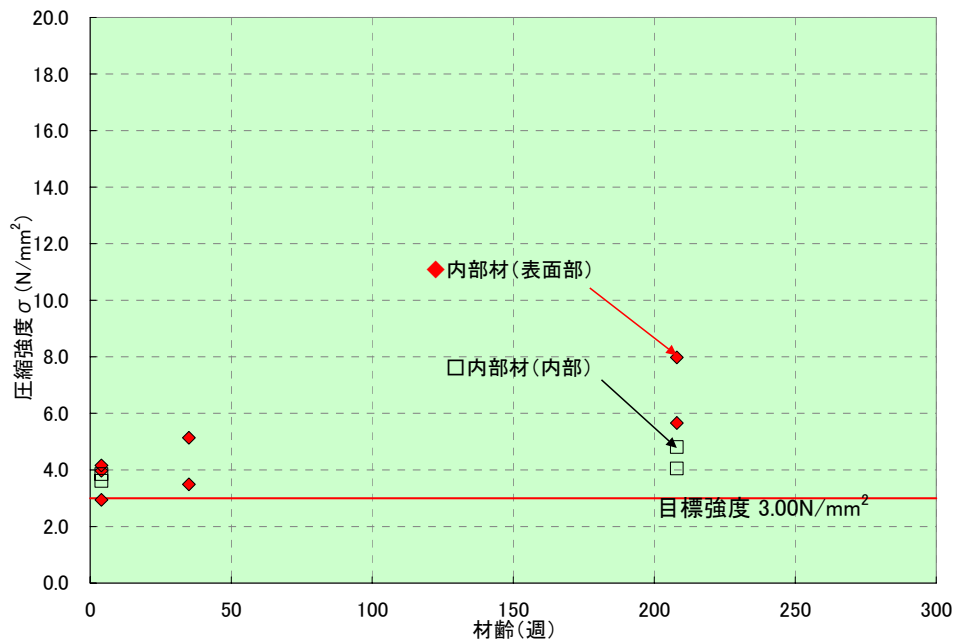


図-8 コアの深さ別 材齢—圧縮強度の関係 (INSEM 材)

対象となる圧縮強度実施コア個数 n 数は少ないものの、図-7～図-8 の結果から凍結融解の影響による内部材表層部の劣化は見られないと判断される。

以上より、野木に構築し現在まで月日が経過した実物大衝撃実験試験体から内部材の凍結融解抵抗性について検証を行った。

毎年、気象条件は異なるものの平成 16 年 12 月～平成 17 年 3 月末までの冬期気象条件を参考とすれば、これまでに試験体は L.U.C. 材で約 250 サイクル程度 (49×5 年) ・ INSEM 材で約 200 サイクル程度 (49×4 年) での温度振幅の影響を受けていることになるが、現状においては圧縮強度試験結果を考慮すると内部材の劣化など凍結融解作用による影響は見られなかった。

なお、今後も追跡調査を継続することによって、内部材の長期安定性を確認していく予定である。

○試験体採取コアを用いた鋼製外部保護材の耐凍結融解の有効性確認試験

(1) 試験概要

一般的にコンクリートおよび砂防ソイルセメントで構築した構造物が凍結融解作用による影響を受けた場合、双方共に経年による質量損失を問題としており、凍結融解作用を受けた部位が一度に破壊される事を想定しているものではない。米国ソイルセメントの凍結融解試験（ASTM D560）においても、質量損失を前提としているため質量損失量を計測する事としている。また、既往文献においても、「凍結融解作用を受けた部位全体が一度に影響を受け破壊されるのではなく、構造物の表面から一部分が剥落することにより破壊が進行するとされており、剥落しない場合は破壊がほとんど進行しない。」と考えられている。

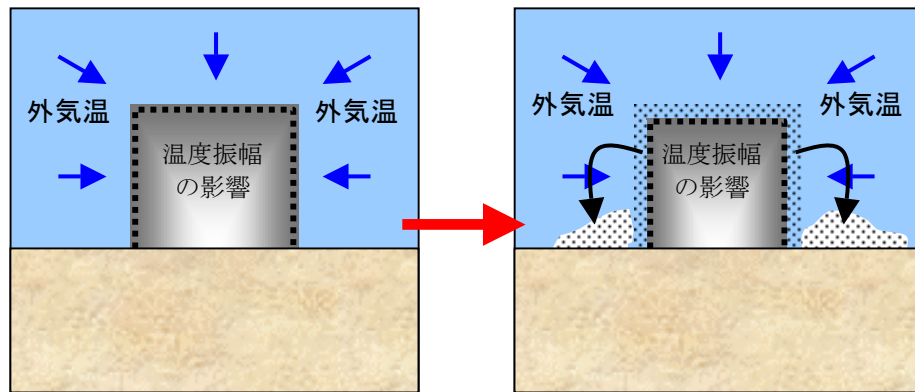


図- 9 外部保護材無の場合の凍結融解影響状況

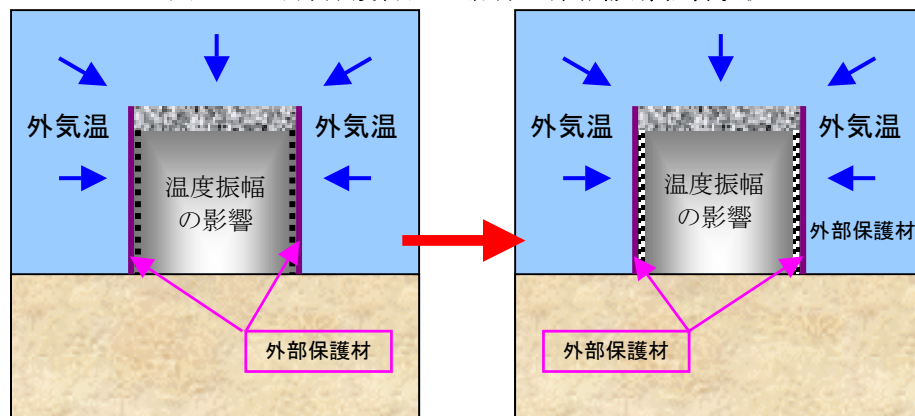


図- 10 外部保護材有の場合の凍結融解影響状況

当試験は、平成 18 年 2 月～平成 18 年 4 月にかけて実物大衝撃実験に用いた実物大試験体より採取したコアを用い、温度振幅の抑制効果が期待できないと考えられる鋼製外部保護材（軽量鋼矢板）でこれを保護した場合の耐凍結融解性能および鋼製外部保護材の凍結融解作用に対する有効性を確認する事を目的として実施した。なお、試験方法には、強制的に凍結融解作用を内部材へ与え、これを劣化させるためにコンクリートの凍結融解試験（以下「JIS A 1148」と称す）を適用した。

なお、本試験に適用した温度振幅条件は自然界における凍結融解作用と条件が異なる事を考慮する必要があることから、この温度振幅条件について以下に概略説明を補足する。

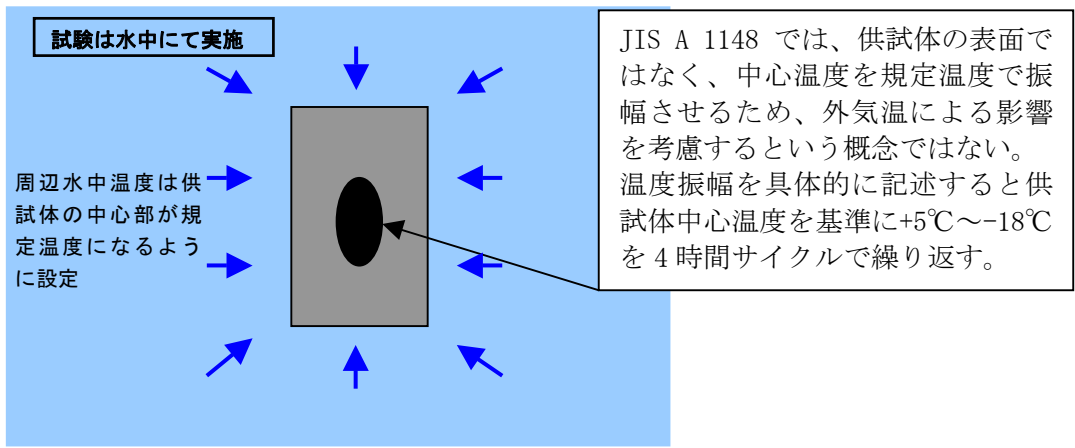


図- 11 コンクリートの凍結融解試験(JIS A 1148)の実施状況模式図

図- 11 に示すように、JIS A 1148 で実施される温度振幅は、外気温による温度振幅を実施するのではなく、水中において供試体の中心温度が $+5^{\circ}\text{C}\sim-18^{\circ}\text{C}$ となるように外気温を設定し、これを4時間サイクルで繰り返し強制的に凍結融解作用を与える。これに対し自然界における凍結融解作用は外気温が振幅し、これがえん堤に影響するものであり、サイクル時間についても長い。また、適用材料によりこの振幅効果（伝導割合）は異なるが、表- 6・図- 12 に示すように部材深さ（長さ）に比例し外気温に対する温度振幅が抑制される。国内における一般的なコンクリートの外気温に対する深さ（長さ）と温度伝導割合の関係を以下に示す。

【コンクリートの温度伝導割合】

準拠指針「多目的ダムの建設」より、実際の構造物の代表的なえん堤の場合、大気に曝露され外気温の影響を受ける自由面は一面に限定され、外気温の振幅は日単位で変化する。以下にコンクリート表面温度と内部温度の振幅比（ ζ ）を示す。

表-6 一般的なコンクリートの外気温に対する深さと温度伝導割合

深さ (m)	0.0	0.25	0.50	0.75
ζ (%)	100	30	10	0.0

※出展：多目的ダムの建設 財団法人 ダム技術センター

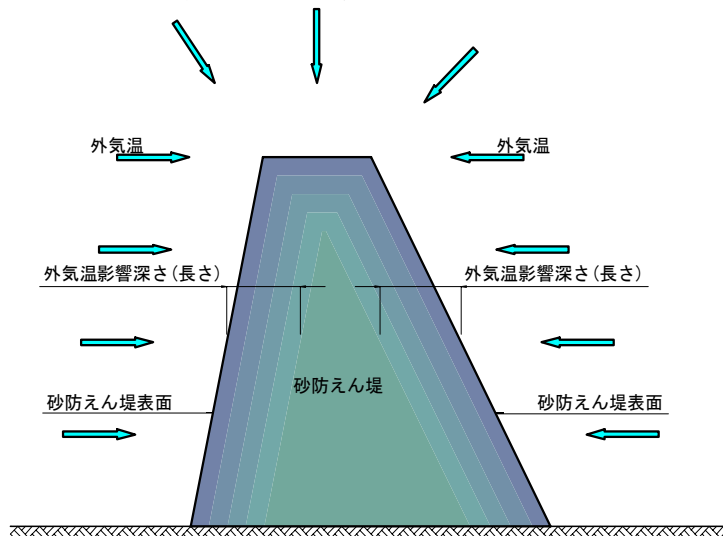


図- 12 砂防えん堤外気温影響範囲概略図

ここで、JIS A 1148 の温度条件が実際の砂防えん堤表面より $t=0.25\text{m}$ の部位に働くと仮定すれば、表-6 の値を用いて外気温を逆算する事ができる。

○コンクリート $t=0.25\text{m}$ の部位を JIS A 1148 と同条件とする場合

設定温度 = 外気温 $Z \times \zeta / 100$ 算出式と下記表コンクリート厚さ(深さ) $t=0.25\text{m} \cdot \zeta = 30\%$ より

➤ 最低設定温度 $-18^\circ\text{C} = Z \times 30 / 100 \rightarrow Z = -18^\circ\text{C} / 0.3 = -60^\circ\text{C}$

➤ 最高設定温度 $+5^\circ\text{C} = Z \times 30 / 100 \rightarrow Z = +5^\circ\text{C} / 0.3 = 16.667 \approx 17^\circ\text{C}$

となり、砂防えん堤表面から深さ $t=0.25\text{m}$ 付近を JIS A 1148 の温度条件である温度振幅 $+5^\circ\text{C} \sim -18^\circ\text{C}$ とするためには、外気温振幅範囲が $+17^\circ\text{C} \sim -60^\circ\text{C}$ となる。

また、低強度建設材料 (L. U. C. 材) を用いて構築した実物大試験体による凍結融解試験を実施した「低強度建設材料の砂防堰堤への適用性検討の一例」の試験結果を参照すれば以下の通りとなる。

○「低強度建設材料の砂防堰堤への適用性検討の一例」を用いた場合

日野川河川事務所 工務課 吉廻 伸氏らが発表した「低強度建設材料の砂防堰堤への適用性検討の一例」の結果を用いて、上記した一般的なコンクリートの外気温に対する深さと温度伝導割合と同様に低強度建設材料における深さと温度伝導割合を算出すると以下の通りとなる。

➤ 低強度建設材料厚さ(深さ) $t=0.10\text{m}$ 時の振幅比率 $\zeta = 30\%$

以上より、コンクリートが $t=0.25\text{m}$ で振幅比率が $\zeta = 30.0\%$ であるのに対し、低強度建設材料 (L. U. C. 材) $t=0.10\text{m}$ で振幅比率が $\zeta = 30.0\%$ とコンクリートに比べ温度振幅の抑制率が高い結果となっている。この結果を用いて自然界における外気温を逆算すると以下のとおりとなる。

設定温度 = 外気温 $Z \times \zeta / 100$ 算出式と下記表コンクリート厚さ(深さ) $t=0.10\text{m} \cdot \zeta = 30\%$ より

➤ 最低設定温度 $-18^\circ\text{C} = Z \times 30 / 100 \rightarrow Z = -18^\circ\text{C} / 0.30 = -60^\circ\text{C}$

➤ 最高設定温度 $+5^\circ\text{C} = Z \times 30 / 100 \rightarrow Z = +5^\circ\text{C} / 0.30 = 16.667 \approx 17^\circ\text{C}$

以上、単純計算ではあるものの JIS A 1148 で実施される温度振幅および条件をそのまま日本の自然界における現象に置き換えるとあり得ない温度振幅となり、更にこれを水中において 4 時間サイクルで繰り返すとなれば、そのエネルギー量は膨大である事が解る。

当試験においては、これらの事を理解したうえで評価する必要がある。

(2) 試験体の概要

当該試験では、温度振幅の抑制効果が期待できないと考えられる外部保護材（軽量鋼矢板）の耐凍結融解性能および凍結融解作用に対する有効性の有無を確認する事を目的としている。このことから、実物大試験体から採取したサンプリングコアに軽量鋼矢板を想定した簡易モールドを
図- 13 に示す内容で加工し被覆した供試体と、被覆していない場合の 2 種類を用いて実施した。施した簡易モールドの形状を以下に示す。

なお、JIS A 1148 の規定条件のもとに凍結融解温度振幅 60 回において圧縮強度試験・動弾性係数および質量計測・外観調査を実施した。

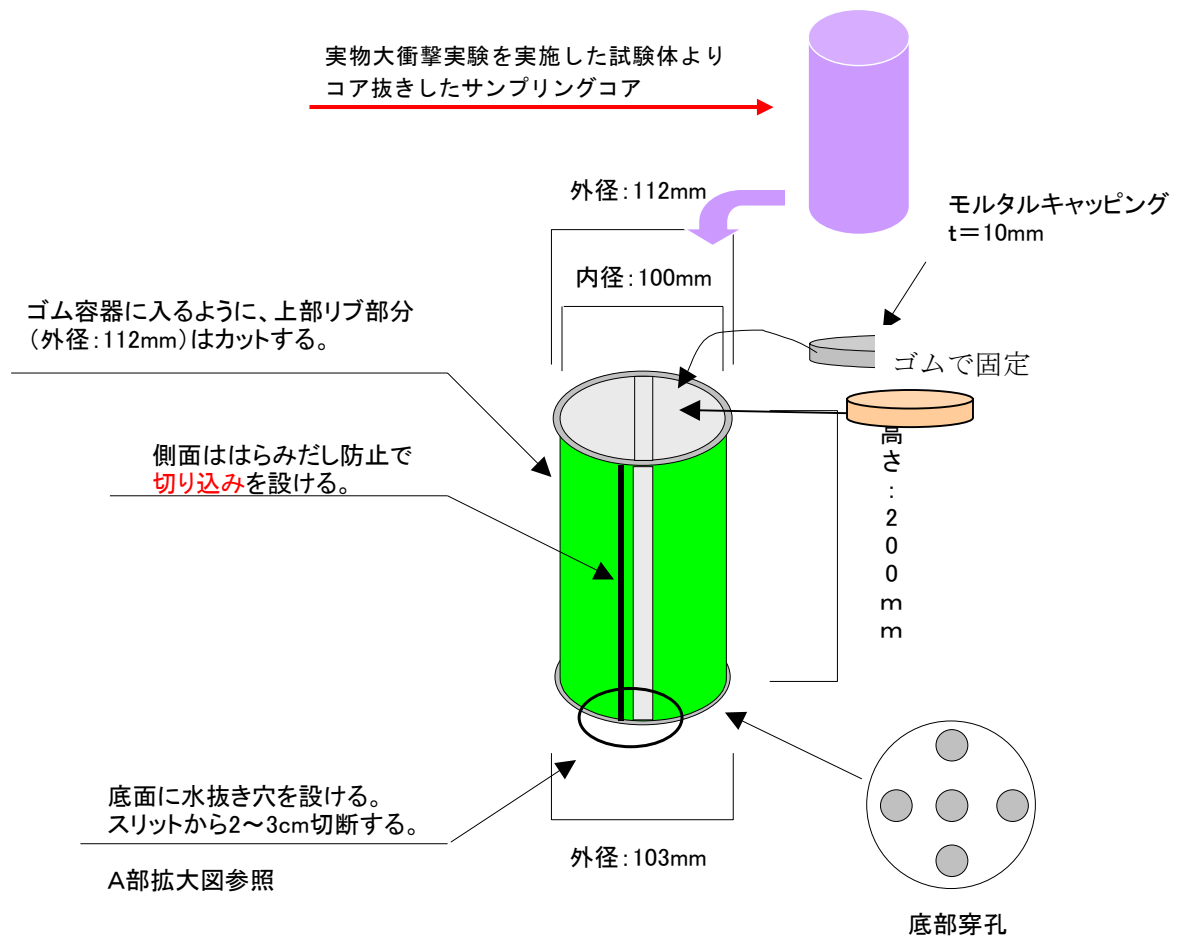


図- 13 供試体概要図

(3) 試験結果

室内凍結融解試験結果状況（60 サイクル完了時）を次に示す。

試験状況写真



写真- 3 左：試験開始前の供試体（採取コア）状況、右：60 サイクル完了後状況

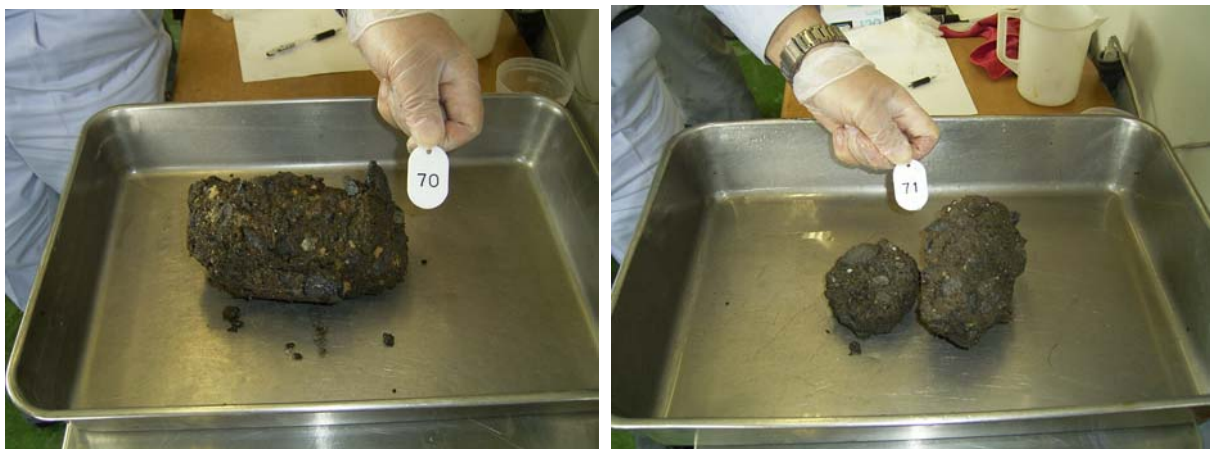


写真- 4 60 サイクル完了後(モールド無)状況 (供試体番号：左 70、右 71)



写真- 5 60 サイクル完了後(モールド有)状況 (供試体番号：左 88、右 89)

室内凍結融解試験結果状況（60 サイクル完了時）より以下の結果が得られた。

- 外部保護材を想定した簡易モールドを設置していない供試体については、凍結融解の作用により品質が劣化した表面が剥落され質量が減少し、ボロボロな状態（原形が残らない状態）になっていた（写真- 4 参照）。

- 外部保護材を設置したすべての供試体が原形をそのまま留めていた。また、単位体積重量は、凍結融解試験前の単位体積重量より 2.0kN/m^3 程度増加していた。これは、凍結融解試験が水中で実施した試験であることから、供試体の空隙部へ水が浸透したことによるものと推測する。