

論文 試験開始材令および供試体の水分移動条件がコンクリートの耐凍害性に及ぼす影響に関する実験

西澤賢太郎*1 ・ 永山 功*2 ・ 渡辺和夫*3

要旨: 骨材品質規格からはずれて廃棄されている岩石材料を有効利用する方法として、耐久性に関する要件が緩やかな重力式コンクリートダム内部コンクリートへの利用が考えられている。しかし、このためには、内部コンクリートに要求される耐久性を評価する試験方法の確立が必要である。本論文では、その基礎的な資料を得るため、現行の凍結融解試験条件の中から試験開始材令と凍結融解条件（コンクリート供試体の内外への水の移動条件）を取り上げ、その影響について検討を加えた。その結果、試験開始材令、凍結融解条件がコンクリートの凍害状況に大きく影響することがわかった。

キーワード: 内部コンクリート、耐久性、材令、凍結融解条件

1. はじめに

従来、重力式コンクリートダムの堤体コンクリートには、コンクリート標準示方書に規定された品質を満足した骨材が使用されてきたが、材料の有効利用の観点から、多少品質が劣る骨材についても安全性を確認した上でこれを積極的に使用していこうとする気運が高まっている。そこで、外部コンクリートほど耐久性を必要としない内部コンクリートに現行の品質規格からはずれた骨材を使用することが検討されている[1][2]。しかし、ダムは社会的に重要性の高い大規模構造物であるから、品質の劣る骨材を内部コンクリートに使用していく場合においても、内部コンクリートに要求される耐久性の程度を明らかにしておくことが必要である。

現在、ダムコンクリートの耐久性を評価するために実施されている凍結融解試験は、環境が過酷な外部コンクリートを対象とした試験であり、内部コンクリートの耐久性を評価する試験としては必ずしも適当ではないと考えられる。そこで、内部コンクリートの耐久性を評価する試験方法として、筆者らは現行の凍結融解試験の試験条件を緩和した試験について検討を行っている。ここでは、そのような検討のうち、コンクリート供試体の試験開始材令および凍結融解条件（コンクリート供試体の内外への水の移動条件）がコンクリートの耐凍害性に及ぼす影響について検討した結果を述べる。

2. 試験内容

2.1 供試体作製

凍結融解試験で使用する供試体の寸法は $10 \times 10 \times 40 \text{ cm}$ とし、JIS A 1132「コンクリート強度試験用供試体の作り方」により、各ケース3本を作製した。コンクリートの配合は RCD 用コンクリートと同程度の水セメント比を想定して $W/C=80\%$ とした。試験に用いたコンクリートの配合を表-1に示す。また、材料として、セメントには普通ポルトランドセメント（比重 3.16、比

*1 建設省土木研究所ダム部ダム構造研究室研究員、工修（正会員）

*2 建設省土木研究所ダム部ダム構造研究室室長（正会員）

*3 建設省土木研究所ダム部ダム構造研究室主任研究員

表－１ コンクリートの配合

粗骨材 最大寸法 (mm)	目標 スランプ (cm)	目標 空気量 (%)	水セメ ント比 (%)	細骨 材率 (%)	単位量(kg/m ³)			
					水	セメント	細骨材	粗骨材
25	8±1	4.5±0.5	80	44.5	167	209	851	1071

表面積 3320cm²/g) を、骨材には笠間産砂岩（細骨材：比重 2.65、吸水率 1.00%、粗骨材：比重 2.67、吸水率 0.45%）を使用した。なお、AE 減水剤としてポゾリス No.8 を、また AE 助剤としてポゾリス No.202 を使用し、表－１に示すスランプ、空気量を確保した。供試体は打設後 1 日で脱型し、試験開始日まで 20℃の水中養生を行った。

また、凍結融解試験用供試体と同バッチのコンクリートで圧縮強度試験用の標準供試体を 12 本、10×10×40cm の角柱供試体を 6 本作製し、圧縮強度試験日まで 20℃の水中養生を行った。

2. 2 試験方法

2. 2. 1 概要

凍結融解試験方法は、後述する水中凍結融解試験と遮水凍結融解試験の 2 種類とし、試験開始材令は JSCE の方法による 14 日と材令を延ばした 28 日、42 日、91 日の合計 4 種類とした。

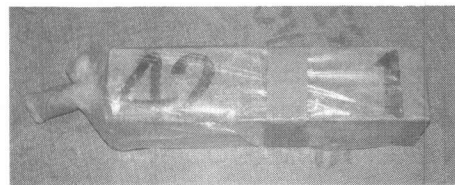
また、材令 14 日、28 日、42 日、91 日に標準供試体による圧縮強度試験（各 3 本）を行った。さらに、凍結融解試験を実施した供試体については試験終了後に圧縮強度試験を行い、また、標準養生を行った角柱供試体についても凍結融解試験開始時と試験終了時にそれぞれ圧縮強度試験（各 3 本）を行った。

2. 2. 2 水中凍結融解試験

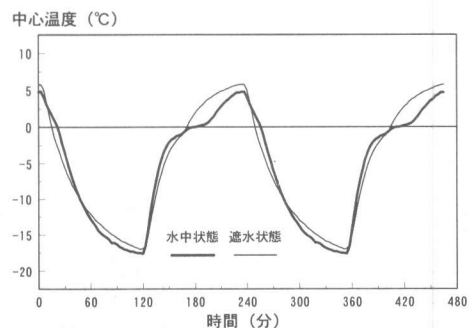
水中凍結融解試験は JSCE-G501-1986「コンクリートの凍結融解試験方法」に準拠し、－18℃～5℃の振幅で 1 サイクル 4 時間として 300 サイクルの凍結融解を行った。ただし、試験開始材令については前述のとおり 4 種類に変化させた。

2. 2. 3 遮水凍結融解試験

通常の凍結融解試験（水中凍結融解試験）では、試験開始材令まで標準養生した供試体をそのままゴムスリーブに入れて水で満たすが、遮水凍結融解試験では、試験開始材令まで標準養生した供試体をビニール袋に入れて密封し（写真－1）、ゴムスリーブに入れた。すなわち、養生中の供試体内の水分のみを保持し、試験中の外部との水分移動、特に新たな水分供給を遮断した状態で試験を行った。また、試験中の供試体中心温度の履歴を水中凍結融解試験用供試体のものに近づけるため、何らかの熱伝達媒体をゴムスリーブと供試体の間に入れる必要が生じたが、氷圧などの外部拘束力を



写真－１ 遮水凍結融解試験用供試体



図－１ 供試体中心温度履歴

供試体に与えないように不凍液を採用した。その他の試験条件は水中凍結融解試験と同一とした。なお、図-1 に遮水凍結融解試験用供試体の中心温度の履歴と水中凍結融解試験用供試体の中心温度の履歴を比較して示す。両者の温度履歴はよい一致を示している。

2. 3 測定項目

凍結融解試験では、一定サイクルおきに供試体の一次共鳴振動数（JIS A 1127「共鳴振動によるコンクリートの動弾性係数試験方法」に準拠）と供試体の質量を測定し、あわせて供試体表面の外観を観察した。また、凍結融解試験終了時に凍害後の供試体の圧縮強度と標準養生した角柱供試体の圧縮強度を測定した（JIS A 1108「コンクリートの圧縮強度試験方法」に準拠）。

3. 試験結果

3. 1 標準養生供試体の試験結果

3. 1. 1 コンクリートの圧縮強度

図-2 に凍結融解試験開始材令時の標準供試体および角柱供試体の圧縮強度を示す。標準供試体に比べ、角柱供試体の方が大きな圧縮強度を示したが、強度発現の傾向は等しく、材令が 28 日を過ぎると圧縮強度の増加はわずかである。なお、角柱供試体の圧縮強度が標準供試体の圧縮強度より大きくなった理由としては、角柱供試体の方が断面が小さく、寸法効果の影響が現れたものと考えられる。

3. 1. 2 コンクリートの動弾性係数

図-3 に凍結融解試験開始材令時の標準供試体および凍結融解試験に用いる角柱供試体の動弾性係数を示す。標準供試体については縦振動による共鳴振動数から、角柱供試体についてはたわみ振動による共鳴振動数からそれぞれ動弾性係数を測定したが、両者はよく一致している。なお、圧縮強度は材令 28 日付近まで増進するのに対し、動弾性係数は材令 14 日以降ほぼ一定の値となっている。

3. 2 凍結融解試験結果

3. 2. 1 コンクリートの外観観察

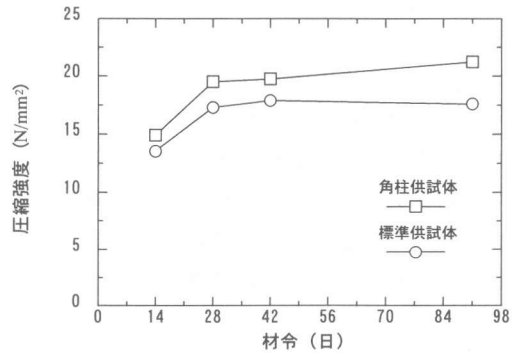


図-2 材令と圧縮強度の関係

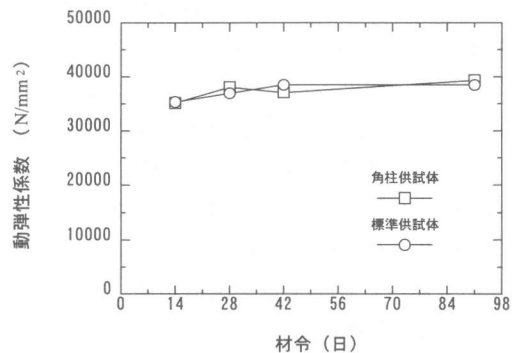


図-3 材令と動弾性係数の関係

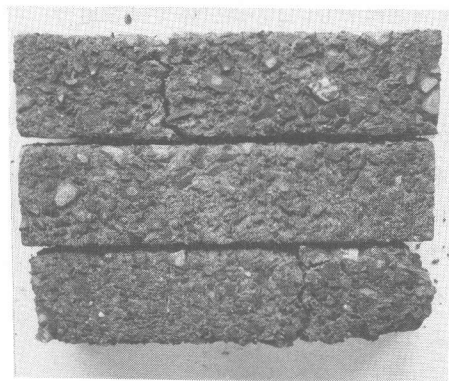


写真-2 (a) 凍結融解試験後の供試体外観
(水中凍結融解試験、試験開始材令 91 日)

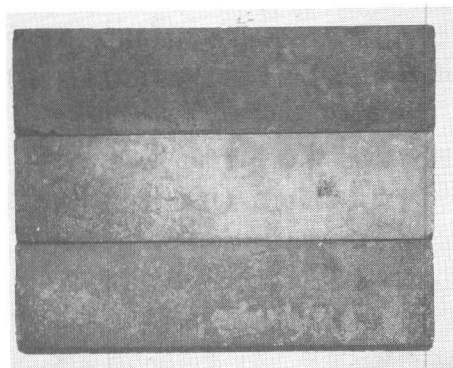
凍結融解試験終了後の供試体の外観の一例を写真－2 (a), (b) に示す。水中凍結融解試験を実施した供試体のうち、試験開始材令が 14 日、28 日、42 日の供試体は 120 サイクル程度で全て破壊した。また、試験開始材令が 91 日の供試体も写真－2 に示すように表面のモルタルがほぼはがれ落ち、3 本の供試体のうち 2 本は 2 つに割れている。一方、遮水凍結融解試験を実施した供試体は、いずれの試験開始材令のものも表面のモルタルのはがれ落ちはないが、表面に微細なクラックが見られ、特に、試験開始材令が早い供試体には多数のクラックが認められた。

3. 2. 2 コンクリートの動弾性係数

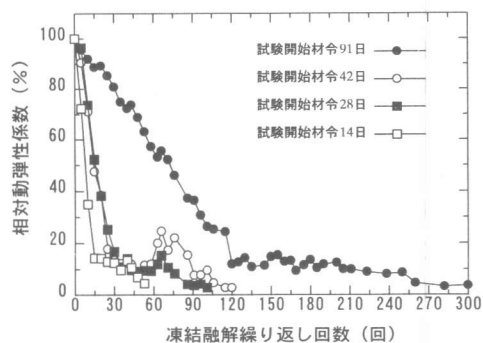
図－4 (a), (b) に凍結融解繰返し回数と相対動弾性係数の関係を示す。水中凍結融解試験 (a) においては、試験開始材令 14, 28, 42 日の供試体では試験開始直後から相対動弾性係数が低下して 15 サイクル程度で 60% を下回っており、120 サイクル程度で全ての供試体が破壊している。しかし、試験開始材令 91 日の供試体では相対動弾性係数は 60 サイクル程度で 60% となっており、他の 3 材令に比べて低下速度が遅い。一方、遮水凍結融解試験 (b) においては、試験開始材令 14 日の供試体では相対動弾性係数は 80 サイクル程度で 60% となっており、試験開始材令 91 日の供試体では 300 サイクルを終了しても相対動弾性係数は 75% を保っている。

次に、図－5 に試験開始材令と耐久性指数の関係を示す (遮水凍結融解試験より求められた値を耐久性指数と呼ぶことは厳密には適切でないが、ここでは便宜上同じ名称を用いることとする)。なお、耐久性指数は次式より求めた。

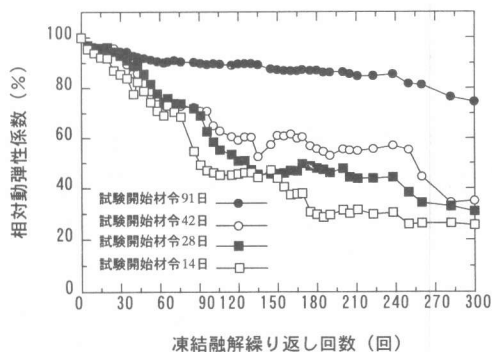
$$DF = \frac{E_R \cdot N}{300} \times 100$$



写真－2 (b) 凍結融解試験後の供試体外観
(遮水凍結融解試験、試験開始材令 91 日)



図－4 (a) 凍結融解繰返し回数と相対動弾性係数の関係 (水中凍結融解試験)



図－4 (b) 凍結融解繰返し回数と相対動弾性係数の関係 (遮水凍結融解試験)

ここに、DF：耐久性指数

N：300 サイクルまたは E_R が 60%

以下に低下したときのサイクル数

E_R ：300 サイクルまたは N サイク

ル時の相対動弾性係数

図より、コンクリートの耐久性は、試験開始材令、凍結融解条件によって大きく影響され、特に供試体の凍結融解条件の影響が大きいことがわかる。また、耐久性指数は材令とともに直線的に増加し、材令 28 日以降ほぼ一定の値を示す圧縮強度とは異なった傾向を示している。これは、圧縮強度に明確な差は現れていないものの、材令 28 日以降もセメントの水和反応が継続していることを示しているものと考えられる。

3. 2. 3 コンクリートの質量変化率

図-6 (a) , (b) に凍結融解繰り返し回数と供試体の質量変化率の関係を示す。水中凍結融解試験 (a) を行った供試体は 30 サイクルを越えたあたりから質量の減少が顕著となる。なお、試験開始材令 42 日までの供試体は 120 サイクルまでに全て破壊している。一方、遮水凍結融解試験 (b) を行った供試体は 300 サイクルを終了しても質量の変化がほとんどない。

3. 2. 4 コンクリートの圧縮強度

図-7 に凍結融解試験開始時と終了時における角柱供試体の圧縮強度を示す。ただし、水中凍結融解試験に用いた供試体は凍結融解試験中に全て破壊したため、図には遮水凍結融解試験に用いた供試体の結果のみを示してある。また、図-8 は凍結融解試験開始時の供試体の圧縮強度と凍結融解試験終了時の供試体の圧縮強度の比 (圧縮強度比) を示したものである。図によれば、圧縮強度比の伸びは圧縮強度の伸びとほぼ同様な傾向にあり、材令 28 日までは圧縮強度比の伸びは大きく、材令 28 日以降の伸びは鈍化している。なお、材令 28 日に

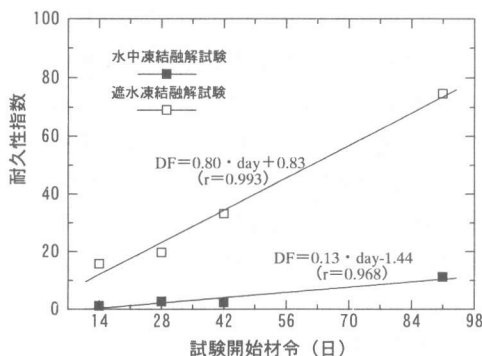


図-5 凍結融解試験開始材令と耐久性指数の関係

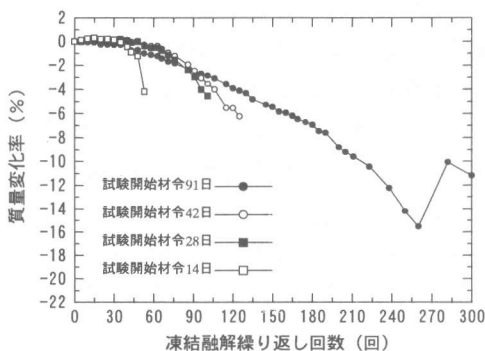


図-6 (a) 凍結融解繰り返し回数と質量変化率の関係 (水中凍結融解試験)

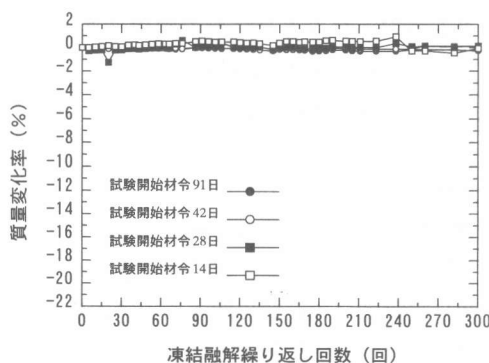


図-6 (b) 凍結融解繰り返し回数と質量変化率の関係 (遮水凍結融解試験)

おける供試体の圧縮強度は 20 N/mm^2 程度であり、圧縮強度が 20 N/mm^2 以上であれば、遮水凍結融解試験による圧縮強度の低下は少ないものと考えられる。一方、遮水凍結融解試験を実施した供試体の耐久性指数と圧縮強度比の関係を図-9に示す。図によれば、耐久性指数が20以上の範囲では耐久性指数の低下と圧縮強度比の低下はほぼ比例関係にあるが、耐久性指数が20以下では圧縮強度比は極端に低下している。

4. まとめ

重力式コンクリートダム内部コンクリートに要求される耐久性を評価する試験方法を検討するため、ここでは、現行の凍結融解試験の試験条件の中から試験開始材令、凍結融解条件を取り上げ、これがコンクリートの耐凍害性に及ぼす影響について調査した。その結果、凍結融解条件（供試体の内外への水の移動条件）がコンクリートの凍害の程度に大きな影響を及ぼすことがわかった。また、材令が大きくなると、貧配合のコンクリートであっても強度が発現し、ある程度まで耐凍害性が向上することがわかった。

今後は凍結融解試験の凍結温度の影響などについても検討を加え、重力式コンクリートダム内部コンクリートの環境条件に即した凍結融解試験方法の確立を目指し、研究を進めていく予定である。

参考文献

- [1] 大下昌利、永山功、渡辺和夫、西澤賢太郎：コンクリートの強度、変形性に及ぼす低品質粗骨材の影響に関する実験的検討、コンクリート工学年次論文報告集、Vol.17, No.1, pp.1267-1272, 1995.6
- [2] 永山功、渡辺和夫、西澤賢太郎：骨材の品質がコンクリートの耐久性に及ぼす影響についての基礎的検討、ダム技術、No.121, pp.24-30, 1996.10

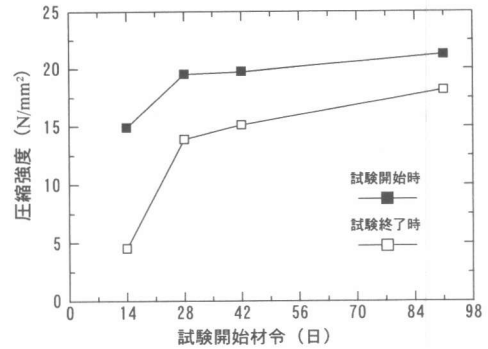


図-7 凍結融解試験開始時と終了時の供試体の圧縮強度

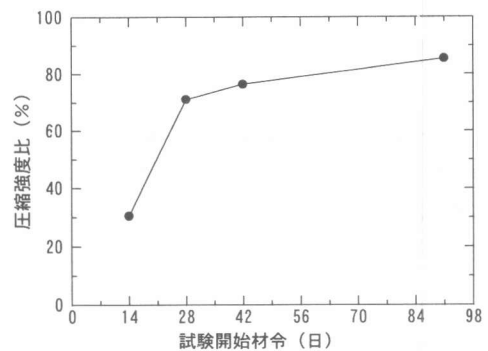


図-8 凍結融解試験終了時の供試体の圧縮強度比

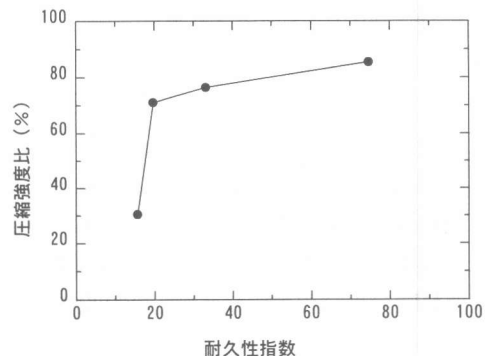


図-9 耐久性指数と圧縮強度比の関係