

コンクリート製水路の凍害メカニズムに関する研究

松江工業高等専門学校 正会員 高田 龍一
松江工業高等専門学校 学生会員 ○橋本 和幸
鳥取大学 正会員 緒方 英彦
鳥取大学 非会員 服部 九二雄

1. はじめに

コンクリートの劣化機構のひとつに凍害がある。凍害は主にコンクリート中の水分が凍結融解作用を受ける際に発生する膨張圧によって劣化が進行する、日本の広い地域で見ることができるコンクリート劣化現象である。写真1に示すようにコンクリート製水路の側壁では、最多流量水位の上部（気中部）に凍害が発生し、下部（水中部）に発生しないケースが見られる。この原因として、コンクリートの上部と下部での施工性の違いが考えられる。コンクリート製水路ではコンクリートの打設が鉛直方向で行われるために、下部に骨材の量が多くなり、ブリージング等の影響により上部はペースト量が多くなる。また、気泡分布も異なることが考えられ、上部ほどエントラップドエアが多くなり耐凍害性を衰えさせることが考えられる。



写真1 凍害を受けた水路

本研究では、コンクリート製水路における上部と下部の凍害の発生状態が異なる原因をコンクリートの上部と下部の施工性の違いについて実験的に検討し、コンクリート製水路の凍害メカニズムを明らかにすることを目的とした。そこで、図1に示す自作した鋼製型枠を用いて水路側壁を模した高さ 1.2mの供試体を作製し、打設位置の影響が耐凍害性に及ぼす影響を W/C を変えたコンクリートで検討した。今回は、W/C=55%と W/C=60%のコンクリートで違いを検討した。

2. 実験概要

本研究で使用する供試体の示方配合を表1に、圧縮強度試験結果を図2に示す。図1に示す通り、供試体は長さ 120cm の鉛直方向に長い供試体を作製し、縦方向でコンクリートを打設した後、40cm 間隔で3分割し、それぞれ上部、中部、下部とした。また、横打ち打設による標準角柱供試体も作製した。

凍結融解試験は、JIS A 1148-2001 の水中凍結水中融解試験（A 法）に準じて行った。試験時には空中重量、水中重量、共鳴周波数（動弾性係数）、縦断方向の超音波伝播速度について測定を行った。凍結融解試験を開始する前に、各指標を初期値として測定し、以後の測定は凍結融解約 30 サイクルごとの間隔で行うものとした。共鳴周波数は JIS A1127 に準じた測定装置を用いて行い、超音波伝播速度の測定は直接法にて行った。直接法は、供試体の長さ方向（40cm）を伝播距離とした縦断方向で測定した。

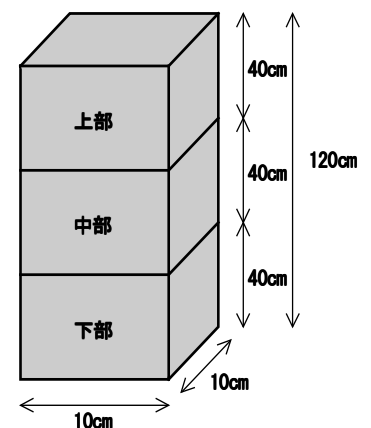


図1 作製供試体

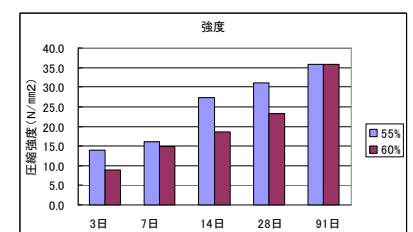


図2 圧縮強度

表1 示方配合

W/C (%)	Gmax (mm)	スランプ (cm)	空気量 (%)	s/a (%)	単位量(kg/m³)				
					水	セメント	細骨材	粗骨材	混和剤
55	20	8	5	44.5	165	300	771	1045	3
60	20	8	5	44.5	165	275	810	1053	2.75

3. 実験結果、考察

図3にスケーリングに伴う質量変化率を示す。図3より $W/C=55\%$ の供試体では、上部、中部が大きく低下しており下部はあまり低下していないことがわかる。これにより、上部ほどスケーリングが起こりやすく、下部ほど起こりにくいことが明らかとなった。 $W/C=60\%$ の供試体でも同様の傾向が見られる。横打ちの供試体については、 $W/C=55\%$ の場合は下部と似かよった値を示し、 $W/C=60\%$ の場合は上部と似かよった値を示している。これより、スケーリングには自重による閉め固めの影響が出にくいと考えられる。

図4は供試体内の気泡分布を示す。一般的に耐凍害性に悪影響を及ぼす気泡の大きさは 40nm から 2000nm のものといわれている。今回の供試体は 40nm から 100nm の気泡が多く存在した。これはAE剤がうまく機能しなかったためと考えられる。しかし、上部ほど耐凍害性に悪影響を与える気泡がより多く混入している事がわかる。

図5に相対動弾性係数の変化を示す。今回の実験では、全ての供試体において動弾性係数の低下が著しく、耐久性が優れているとは言い難い。これはAE剤がうまく機能していないためと考えられる。しかし、打設条件別の動弾性係数の違いは見る事ができた。 $W/C=55\%$ 、 $W/C=60\%$ 共に上部ほど相対動弾性係数の低下が大きく、下部ほど小さくなる。これより、内部劣化は上部ほど進行しやすいことがわかる。また、横打ちの供試体は動弾性係数が最も低下していない。横打ちの供試体は打設条件が縦打ちの場合よりよく、AE剤の効果を得ることができたと考えられる。また、 W/C 別に比較してみると僅かだが、それぞれ $W/C=60\%$ の方が低下している。 $W/C=60\%$ の方が内部劣化を起こしやすいが、大きな差はないことがわかった。

図6に相対超音波伝播速度の変化を示す。 $W/C=55\%$ 、 $W/C=60\%$ 共に上部、中部は超音波伝播速度の低下が大きく、下部は劣化が小さくなっている。さらに、上部、中部は早い段階で供試体が測定不能になっている。このことより、上部ほど劣化の進行が早いことが分かる。 W/C 別に比較してみると、それぞれ $W/C=60\%$ の方が低下している。このことから、 $W/C=55\%$ の方が凍害に対する耐久性があり、しかも、下部の方が耐凍害性に優れていることがわかる。

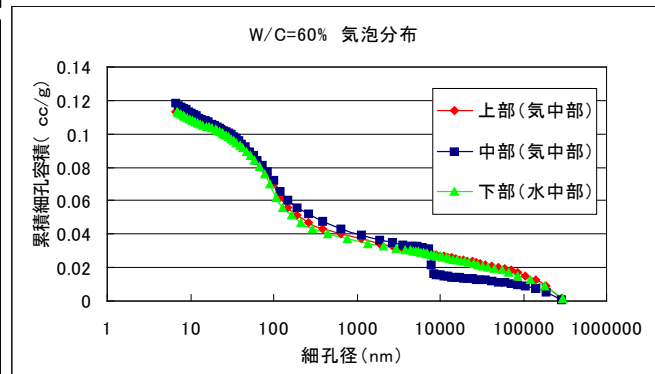
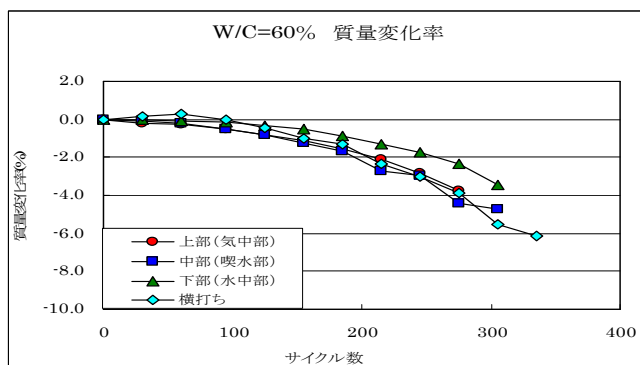
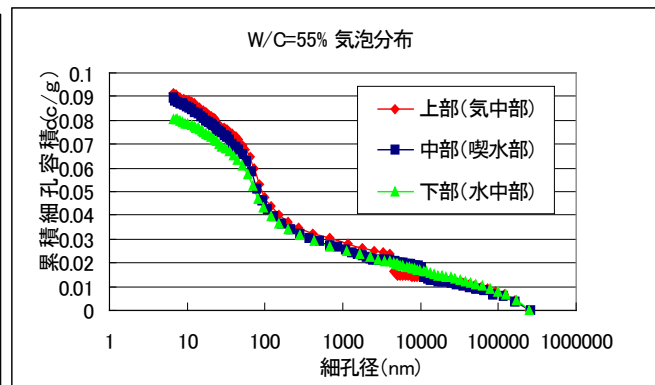
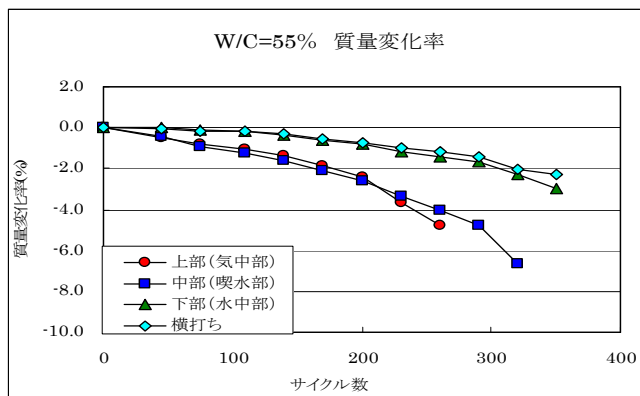


図3 質量変化率

図4 気泡分布

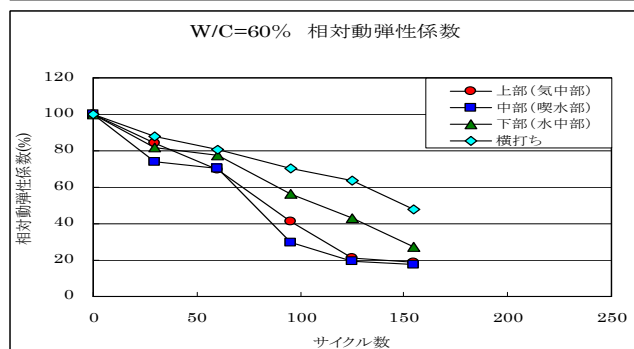
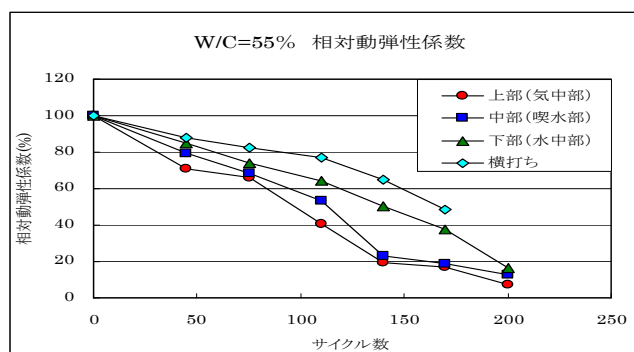


図 5 相対動弾性係数

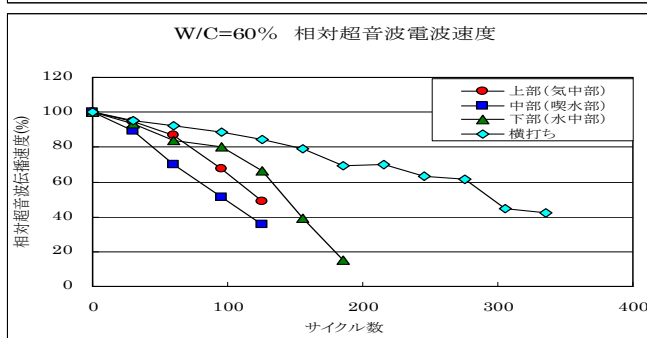
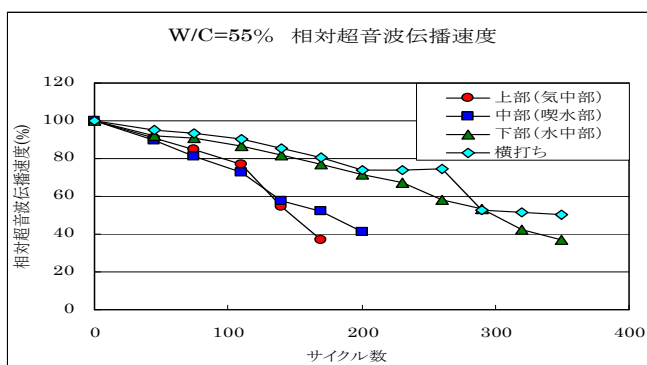


図 6 相対超音波伝播速度

4. まとめ

今回の実験では $W/C=55\%$ 、 $W/C=60\%$ 共に上部ほど耐凍結融解性に劣り、下部ほど優れるという結果が認められた。これは実際の水路と同様の結果である。高さにより劣化が異なる理由としては、上部ほど締め固めによりエントラップドエアが浮き上がることにより、コンクリートの組織構造が粗くなり骨材密度や気泡分布が異なる事からいえる。さらにブリージングの影響によって打設場所により水セメント比が変化するため、耐凍結融解性に違いが出ることが考えられる。

W/C での違いについては、全体的に $W/C=55\%$ の方が耐凍結融解性に優れるという結果になった。これは、水セメント比が低い方が密なコンクリートとなるため、妥当な結果と言える。しかし、今回の実験では AE 剤の効果が十分に現れなかった。このような結果となった理由は、AE 剤の使用に不備があり、締め固めにも若干問題があったと考えられる。また、横打ち供試体が他の供試体に比べ耐凍害性が優れている理由としても、同様のことが考えられる。今後は AE 剤の使用、締め固め条件に充分配慮し、改めて検討する必要があると考えられる。

【参考文献】

- 1) 緒方英彦，高田龍一，野中資博，服部九二雄：RC 開水路の凍害メカニズム，*水土の知* 76 (9)，pp.819～822 (2008)
- 2) 日本コンクリート工学協会：コンクリートの凍結融解抵抗性の評価方法に関する研究委員会報告書 (2008)