

窒素溶存水を用いた高耐久コンクリートの開発

古内 仁 [北海道大学大学院工学研究院/助教]
 橋本 勝文 [北海道大学大学院工学研究院/准教授]
 若山 敏次 [株式会社昭和冷凍プラント/取締役会長]
 若山 貴樹 [株式会社昭和冷凍プラント/取締役部長]

背景・目的

河川橋梁や都市高架等の交通インフラには、コンクリート構造物が数多く採用されている。積雪寒冷地である北海道におけるこれらの構造物は、コンクリートの凍害や鉄筋の腐食による劣化が課題としてあげられる。一方、窒素溶存水は、主に生鮮食品の輸送時の酸化防止に効果を発揮する製氷材料として活用されている。本研究では、窒素溶存水の脱酸素およびマイクロバブルを連行するという特性を生かし、コンクリートの練り混ぜ水に用いることで、凍害に対する抵抗性および内部の鉄筋の耐腐食性を高めたコンクリートの開発を目指すものである。

内容・方法

窒素溶存水を用いたコンクリートの耐凍害性に評価するために、JIS A 1148 Aにより凍結融解試験を実施する。試験では、凍結融解サイクルを400回まで実施し、相対動弾性係数および曲げ強度を測定する。また、凍害抵抗メカニズムを解明するためにコンクリートの空隙構造の分析を行う。気泡径が数十 μm ～数mm(メソ領域)では薄板試料を用いた画像解析による評価、気泡径が10 μm 以下(ナノ領域)では水銀圧入法による評価および液体状態におけるナノ粒子解析を行う。

コンクリート中の鉄筋は、酸素や塩化物イオンが供給されると電気化学的な反応により腐食が進行する。本研究では、窒素溶存水を用いたコンクリート内の鉄筋の腐食抵抗性を調べるために、供試体を作製し塩水浸漬試験を実施する。試験では、自然電位、電気抵抗および腐食密度を計測しながら間接的に腐食の進行をモニタリングし、最終的には鉄筋を取り出して腐食量を計測して、耐腐食性の評価を行う。

結果・成果

①コンクリートの耐凍害性

窒素溶存水と水道水を用いたコンクリートについて、相対動弾性係数の推移の比較を図1に示す。AE剤を用いない場合には凍結融解回数が200サイクル以降で水道水のコンクリートの動弾性係数は窒素溶存水のコンクリートに比べて大きく低下した。曲げ強度の比較を図2に示す。凍結融解回数が200サイクルまでは、いずれのケースにおいても大きな差が生じなかったが、400サイクルでは窒素溶存水を用いたときの曲げ強度は水道水の時より大きくなる結果となった。AE剤を用いた場合では水道水のコンクリートに比べて窒素溶存水のコンクリートの曲げ強度

が約16%の増加、用いない場合では約2倍の増加となった。

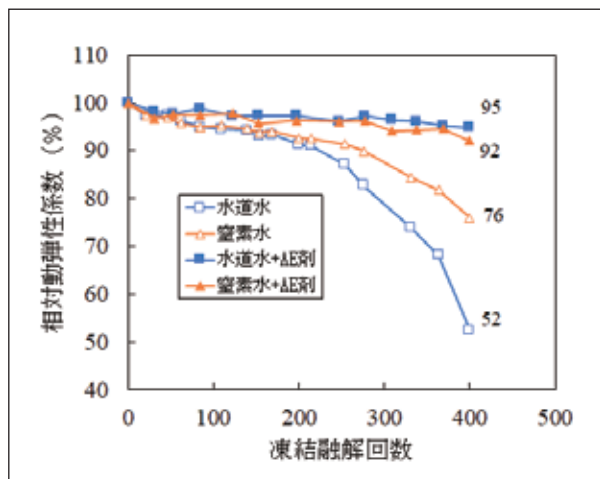


図1:相対動弾性係数の比較

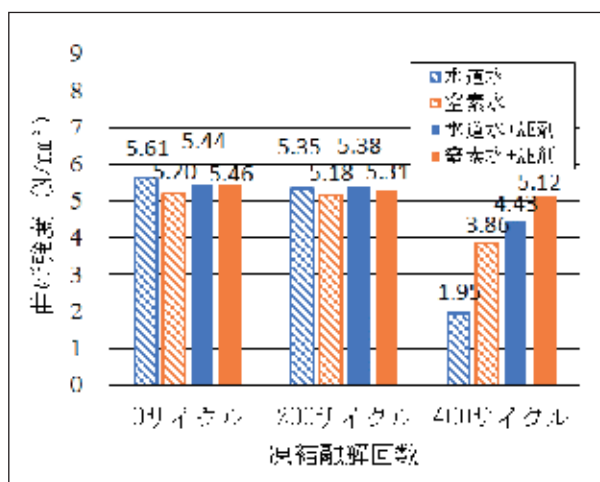


図2:曲げ強度の比較

薄板試料を用いた画像解析によって得られた気泡間隔係数は、AE剤を用いていない場合と用いた場合でそれぞれ比較すると、いずれも窒素溶存水と水道水のコンクリートに大きな差は見られなかった。水銀圧入法による毛細管空隙構造の分析では、加圧過程において窒素溶存水と水道水を用いたコンクリートの比較では差は見られなかったが、減圧過程では窒素溶存水を用いたコンクリートにおいては水道水の場合に比べて水銀が若干残存する結果が示されており、毛細管空隙の構造が異なっている可能性が示された。図3にナノ粒子解析による粒子径濃度の分布を示す。どの試料も粒子径が50nm～400nmに分布しているが、いずれも100nm付近でピークの濃度を迎えている。この領域の気泡の分布を積分すると、AE剤を用いた場合と用いていない場合の両方で窒素溶存水の気泡は水道水に比べて大きい値となる。

以上の実験結果から、窒素溶存水を用いたコンクリートは、凍害に対する抵抗性が高いことが示された。その理由は、窒素溶存水を用いたコンクリートは、ナノレベルの気泡が多く含まれており、水分が凍結して膨張する際にナノ

レベルの気泡が圧力の上昇を緩和していると考えられる。

②コンクリート内の鉄筋の耐腐食性

窒素溶存水と水道水を用いたモルタルに丸鋼鉄筋を配置し、塩水浸漬試験を実施した。試験では、自然電位、電気抵抗および腐食密度をモニタリングした。鉄筋の腐食が進行するとそれぞれの測定値に変化が見られるが、本試験においては計測用導線の接点部が先行して腐食したため、正確な計測を行うことができなかった。

上記の試験は約3か月継続し、モルタル表面に錆汁が観察されたところで鉄筋を取り出した。各鉄筋表面の腐食状況の展開図を図4に示す。それぞれの領域の腐食面積を算出すると、かぶり厚が5mmの場合は水道水を用いたときの腐食面積が窒素溶存水を用いたときの約2倍、かぶり厚が20mmの場合は約2.4倍となった。したがって、窒素溶存水を用いた場合には鉄筋の腐食の進行を遅らせることができる可能性があることが示唆された。

今後の展望

本研究によって、窒素溶存水を用いたコンクリートの凍害および内部鉄筋の腐食に対する抵抗性があることが確認された。研究の次の展開として、経時的な気体成分の変化を調査して長期的な凍害および腐食の抵抗メカニズムについてより詳細な解明を行う予定である。

また、実用化に向けては、工場や施工ヤードで製作されているコンクリート製品（例えば、道路縁石、河川護岸や擁壁等の保護ブロック等）をターゲットとし、製品の用途に対応した自然環境に近い条件を再現した検証実験（例えば凍害と塩害を同時に受けるケース等）を行う必要がある。

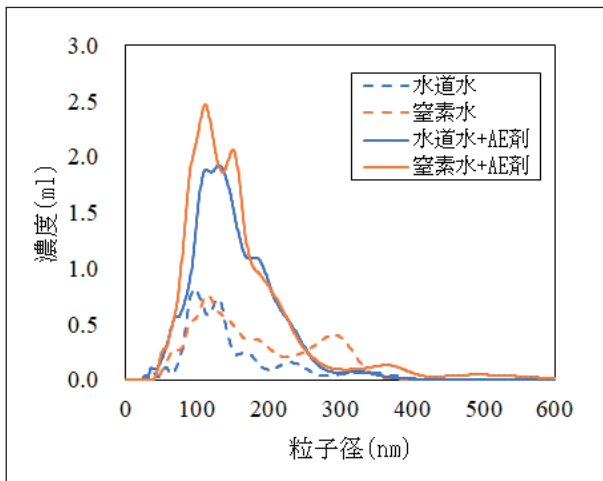


図3: ナノ粒子解析による粒子濃度の比較

	水道水	窒素水
かぶり厚 5mm	<p>W05-3 腐食面積 1322.5mm²</p>	<p>N05-3 腐食面積 646.2mm²</p>
かぶり厚 20mm	<p>W20-9 腐食面積 1452.4mm²</p>	<p>N20-9 腐食面積 608.5mm²</p>

図4: 鉄筋の腐食状況