

凍害を受けたコンクリートの診断・評価に関する基礎的研究

(独)土木研究所 寒地土木研究所 正会員 ○遠藤 裕丈 正会員 田口 史雄  
正会員 林田 宏 非会員 草間 祥吾

1. はじめに

本研究は、コンクリート構造物の凍害に対する耐久性の照査・設計法の構築に向け、凍害劣化を定量的に評価する方法を開発・提案することを目的としている。耐久性を照査するには、凍害の進行を時間を追って予測できるモデルが必要だが、未だ確立に至っていない。その根本的な理由の一つに、一般に広く普及している JIS A 1148 の凍結融解試験の結果と実構造物の劣化との関連性が不明確であることが挙げられる。現行の JIS A 1148 は弾性係数の相対変化率から得られる耐久性指数で評価を行うのに対し、実構造物は凍害深さで劣化のグレードが評価される。環境の相違もさることながら、評価の内容が双方異なるため横並びで比較できないことが大きな障害になっている。凍害深さは室内試験と構造物調査で共通で使える指標ではあるが厳密な判定は難しく、試験法の規準化が望まれる。一方で、構造物の要求性能に及ぼす凍害の影響の明確化も重要であり、凍害深さのみならず凍害劣化の度合も無視できない。劣化の度合は凍害によって発生するひびわれの本数(密度)、幅、深さ等が影響すると考えられる。本論文では凍害劣化の定量的な評価手法に関する検討の一環としてひびわれ密度に着目し、凍害深さとひびわれ密度との関係、塩化物イオン拡散係数と鉄筋付着応力度に及ぼすひびわれ密度の影響について基礎的な検討を行った。

2. 試験概要

コンクリートの配合は北海道開発局道路橋設計施工要領(RC-1)に準じ、水セメント比 55%、単位セメント量 280kg/m<sup>3</sup>とした。セメントは普通ポルトランドセメントとし、凍害を促進させるため AE 剤は使用しなかった。図-1 に供試体を示す。実構造物を想定し、極力、水分の供給面を一面に限定するため、打設面以外の五面に厚さ 2mm の合板をはり付けた。寸法は 100×100×400mm, 100×100×100mm の 2 種類とした(合板の厚さを含めての寸法)。水中養生を 28 日施した後、供試体をゴム容器に入れて(隙間は 3mm)水を注入し、試験槽に収納して 3~4 時間 1 サイクルの急速凍結融解作用(最低温度-18℃, 最高温度 5℃)を与えた。図-2 は合板をはっていない 100×100×400mm 供試体の凍結融解試験結果である(予備実験)。ここでは相対動弾性係数 100, 80, 60, 30%に相当する凍結融解作用を受けた供試体を使うこととし、予備実験はサイクルを決めるために行った。図より、0, 7, 14, 28 サイクルの 4 水準とし、凍結融解試験後、凍害深さ、ひびわれ密度、塩化物イオン拡散係数(JSCE-G571)、鉄筋付着応力度(JSCE-G503)の測定を行った。供試体は、鉄筋付着応力度のみ 100×100×100mm, それ以外は 100×100×400mm である。凍害深さは、非破壊で推定できる手法を検討するため、表面走査法(図-3)<sup>1)</sup>を準用し、(1)式<sup>1)</sup>より凍害深さの推定を試みた。

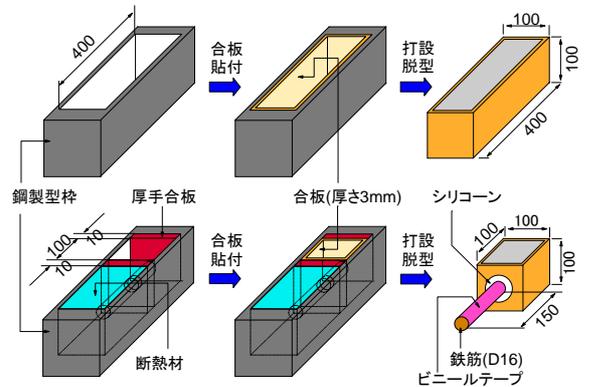


図-1 供試体

図-2 は合板をはっていない 100×100×400mm 供試体の凍結融解試験結果である(予備実験)。ここでは相対動弾性係数 100, 80, 60, 30%に相当する凍結融解作用を受けた供試体を使うこととし、予備実験はサイクルを決めるために行った。図より、0, 7, 14, 28 サイクルの 4 水準とし、凍結融解試験後、凍害深さ、ひびわれ密度、塩化物イオン拡散係数(JSCE-G571)、鉄筋付着応力度(JSCE-G503)の測定を行った。

供試体は、鉄筋付着応力度のみ 100×100×100mm, それ以外は 100×100×400mm である。凍害深さは、非破壊で推定できる手法を検討するため、表面走査法(図-3)<sup>1)</sup>を準用し、(1)式<sup>1)</sup>より凍害深さの推定を試みた。

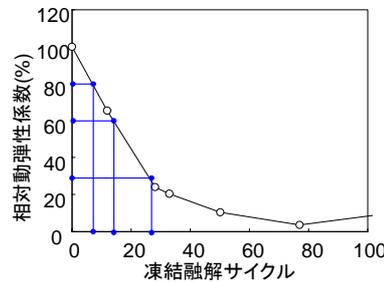


図-2 合板をはっていない

供試体の凍結融解試験結果

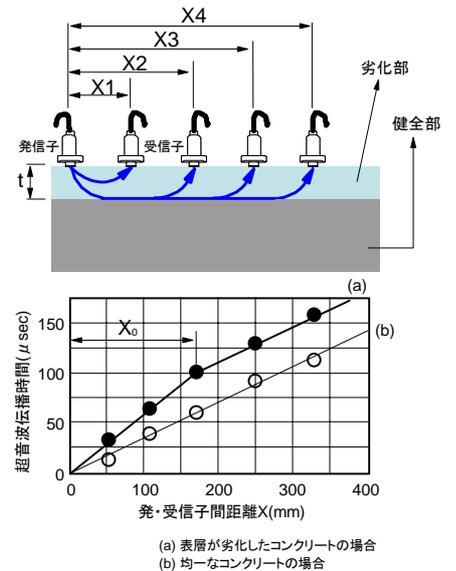


図-3 表面走査法による評価<sup>1)</sup>

ここに、t:劣化部(凍害領域)の厚さ(mm), X<sub>0</sub>:変曲点までの距離(mm), V<sub>s</sub>:健全部の超音波伝播速度(km/sec), V<sub>d</sub>:劣化部の超音波伝播速度(km/sec)で、ここでは直線の傾きの逆数を速度とした。ひびわれ密度の測定は、深さ 20, 40, 60, 80mm の 4 面で実施し、顕微鏡を用いて画面の測線上を横切るひびわれの本数を求め、測線長 1mm あたりのひびわれ本数

キーワード 凍害深さ, 表面走査法, ひびわれ密度, 性能設計

〒062-8602 札幌市豊平区平岸 1 条 3 丁目 1 番 34 号 TEL 011-841-1719 FAX 011-837-8165

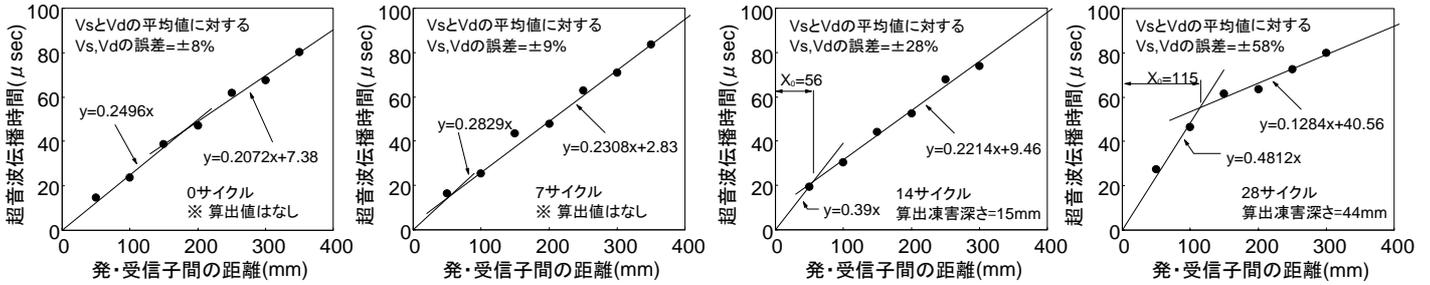


図-4 表面走査法による凍害深さの測定結果

を算出した。観察面は 100×100mm とした。塩化物イオン拡散係数の測定は、試験規格はφ100mm だがコア採取が困難であったため、便宜上、表面から深さ 0~20mm より 70×70×20mm の試料を切り出し、測定用ホルダーを別途作製して試験を行った。

3. 結果・考察

図-4 に表面走査法による凍害深さの測定結果を示す。ここでは、二本の直線による折れ線回帰を行うプログラムを使用して、原点通過を前提条件に回帰分析を行い、互いの回帰直線の交点を変曲点と定義した。本研究で用いた機材の測定精度が±5%であることを考慮し、Vs, Vd との平均値からの誤差が5%を大きく超え、明らかに品質の違いがあると思われる 14, 28 サイクルについて凍害深さを計算したところ 15mm, 44mm であった。

図-5 にひびわれ密度の測定結果を示す。ここでは前述した凍害深さの結果を重ね合わせて図示した。サイクルに伴いひびわれ密度は増加しているが、本研究で実施した表面走査法においては、ひびわれ密度が概ね 0.010 本/mm を超えたものが凍害と評価される傾向にあった。28 サイクルは深さ 40~60mm で一部評価が分かれているが、これについてはひびわれ幅など密度以外の要素が影響していると考えられ、今後詳しく検討したい。

図-4 をみると、サイクルに伴い変曲点までの傾きは増加している傾向が見受けられる。傾きの増加は速度の低下を表す。

図-6 に変曲点までの傾きと深さ 20mm のひびわれ密度との関係を整理した。両者の対応は良く、表面走査法は凍害を受けた劣化部のひびわれ密度を推定する手法としても有用と思われる。図-7 に深さ 20mm のひびわれ密度と塩化物イオンの拡散係数との関係を示す。全体的に、ひびわれ密度の増加に伴い拡散係数は増加する傾向がみられる。本研究の範囲においては、ひびわれ密度が 0.018 本/mm 以上になると拡散係数の指数は  $10^{-8} \text{cm}^2/\text{s}$  から  $10^{-7} \text{cm}^2/\text{s}$  に増える結果となった。図-8 に深さ 50mm のひびわれ密度と鉄筋付着応力度との関係を示す。深さ 50mm ではひびわれ密度は測定していないが、鉄筋が中央に埋設されていることを考慮し、深さ 40mm と 60mm のひびわれ密度の平均をとり、これを深さ 50mm の値とみなした。ひびわれ密度の増加に伴い鉄筋付着応力度は低下しており、凍害の影響が明瞭に表れている。例えば安全をみて鉄筋付着応力度の許容値を  $4.2 \text{N/mm}^2$  とすると、この場合、ひびわれ密度の許容値は約 0.015 本/mm になると予想される。

4. まとめ

ひびわれは合理的な評価の一指標になり得る可能性の一端が示された。このことは、コンクリート構造物の要求性能に及ぼす凍害の影響を評価する上で有益な情報と言える。今後は、ひびわれの発生挙動に及ぼす配合・環境の影響の検討、並行して行っている構造物調査の結果との比較を行い室内試験の結果と構造物劣化との関係の検討を行う予定である。

参考文献 1) 柏忠二, 明石外世樹, 小阪義夫: コンクリートの非破壊試験法—日欧米の論文・規格・文献—, p. 42, 1980  
2) 2002 年制定, コンクリート標準示方書構造性能照査編, 土木学会, pp. 21

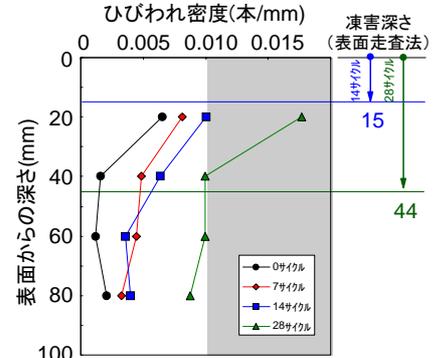


図-5 ひびわれ密度測定結果

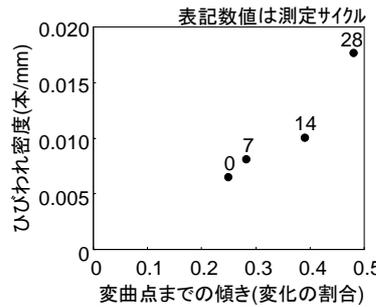


図-6 変曲点までの傾きとひびわれ密度

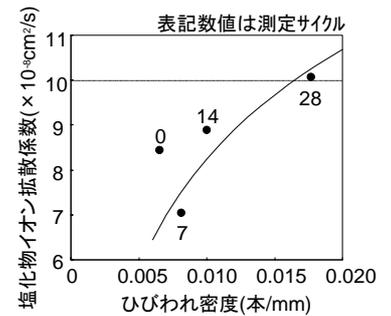


図-7 ひびわれ密度と拡散係数

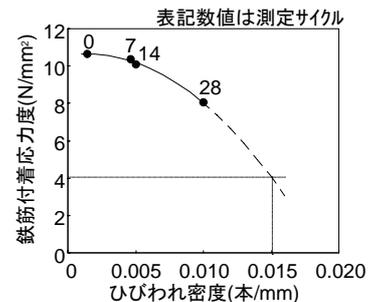


図-8 ひびわれ密度と鉄筋付着応力度