

凍害を受けたコンクリートの超音波伝播速度とひび割れ本数の関係の評価

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

1. はじめに

寒冷地のコンクリート構造物は、凍害を受けやすい厳しい環境下に曝されており、微細ひび割れの進展による耐久性の低下が懸念される。凍害による損傷の程度を把握することは、構造物の維持管理において極めて重要であるが、定量的な評価が難しく、診断手法は確立されていないのが現状である。

凍害の程度をより簡便に診断する方法の一つとして超音波伝播速度が提案されているが、劣化診断を的確に行うには、超音波伝播速度と凍害による損傷の度合との関係を明確にする必要がある。そこで、室内試験ならびに凍害を受けた実構造物において調査を実施し、超音波伝播速度と凍害による損傷の度合との相関性について評価を行った。

2. 室内試験の概要

(1) 配合および供試体

表-1 にコンクリートの配合を示す。配合は、北海道の内陸部の鉄筋コンクリート構造物の標準配合¹⁾に準じ、水セメント比55%, 単位セメント量 280kg/m^3 とした。セメントは普通ポルトランド、細骨材は除塩処理済の海砂(密度 2.70g/cm^3 , 吸水率 0.89%), 粗骨材は碎石(密度 2.68g/cm^3 , 吸水率 1.07%, 最大寸法 25mm)を用いた。凍害を促進させる観点から、AE 剤は使用しない配合とした。図-1 に供試体を示す。寸法は $100\times 100\times 400\text{mm}$ で、実構造物を想定し、水分の供給面を一面に極力限定するため、水中養生(7日間)終了後、打設面以外の5面に厚さ2mmの合板を貼付けた。

表-1 コンクリートの配合

W/C (%)	s/a (%)	単位量(kg/m^3)			
		W	C	S	G
55	44	154	280	840	1052

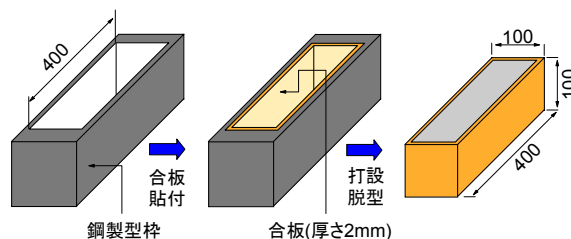


図-1 供試体 (単位は mm)

(2) 凍結融解試験および測定

凍結融解試験は材齢 28 日より行った。本研究では JIS A 1148 に準じ、最低温度 -18°C 、最高温度 5°C 、1 サイクル3~4 時間の凍結融解作用を与えた。ここでは、凍結融解作用を 0, 7, 14, 28, 50, 100, 173, 200 サイクル与え、その後、図-2 に示すように $100\times 100\times 100\text{mm}$ 寸法で試料を切り出し、側面に $\phi 20\text{mm}$ の発・受信子をあてて超音波伝播速度を測定した。なお、微細ひび割れに多くの水分が供給・蓄積されていると見かけの超音波伝播速度は大きく表示される²⁾ことから、ここでは試料を乾燥させ、水分量を低減させてから測定を行った。乾燥は、温度が 40°C 程度であれば組織変化に対する影響が少ないとする堀ら³⁾の報告に基づき、 40°C で7日間行った。次に、20mm 間隔で試料をスライスし、図-3 に示すように顕微鏡を用いて測線長 1mm あたりのひび割れ本数(以下、ひび割れ密度と記)を求めた。測定は深さ 20, 40, 60, 80mm で行った。測定長は ASTM C 457 に準じた。なお、微細ひび割れを際立たせるための蛍光塗料は使用していない。

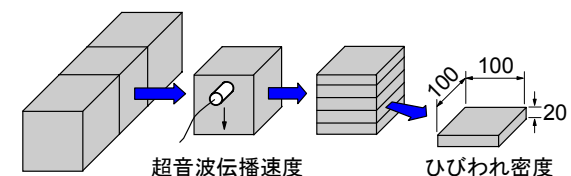


図-2 超音波伝播速度・ひび割れ密度の測定

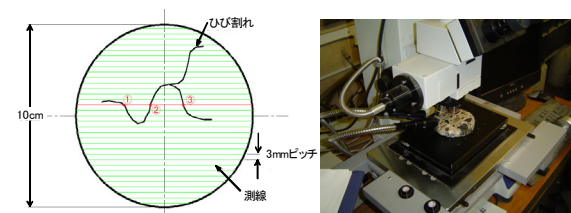


図-3 顕微鏡によるひびわれ密度の測定状況

3. 現地調査の概要

(1) 調査対象構造物

凍害は、塩化物イオンの介在の有無で劣化形態は大きく異なる。

キーワード 凍結融解, 超音波伝播速度, ひびわれ

〒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

本研究では、凍害による単独劣化を受けている北海道の道北地方に位置する約 50 箇所の河川樋門を調査の対象とした。長谷川らは、全国の気象データを基に、コンクリートの凍害の危険性を地域ごとに 0～5 の 6 段階で表した凍害危険度マップを提案している⁴⁾。数値が高いほど凍害が発生する危険性が高いことを表しているが、今回選定した 50 箇所の河川樋門は凍害危険度が 4 および 5 の環境条件が極めて厳しい地域に位置している。供用年数は 10～49 年である。

(2) 調査および測定

調査は、図-4 に示すように、操作台、門柱、擁壁（上部、中間部、喫水部）にて行った。各々の部位から $\phi 100\text{mm}$ のコアを採取し、コアの両側面に発・受信子をあてて超音波伝播速度を測定した。その後、コアをスライスしてひび割れ密度を測定した。測定は深さ 15, 20, 40, 60, 80mm 位置で行った。なお、測定方法は室内試験に同じである。

4. 結果および考察

(1) 室内試験

図-5 に室内試験における超音波伝播速度とひび割れ密度の関係を示す。図には全てのデータを一括してプロットしている。サイクルごとにみると、28 サイクルまでは、超音波伝播速度の低下に従ってひび割れ密度は大きくなる良好な相関($r^2=0.6641$)を示し、超音波伝播速度は凍害による損傷状態を良く評価している。しかし、全サイクルを総合すると、相関係数は 0.6641 から 0.4894 に低下する結果となった。これは、ひび割れの本数が同じでも発生形態も一様とは限らず、その形態が複雑であるほど迂回距離も長くなることから、サイクルの増加に伴うひび割れの発生形態の違いが相関係数の低下に影響していることが考えられる。

このことは、超音波伝播速度によって凍害による損傷の度合いを評価する場合、劣化の程度により精度が異なる可能性があることを示している。

(2) 河川樋門

図-6 に河川樋門における超音波伝播速度とひび割れ密度の関係を示す。図には室内試験で得た回帰式も図示している。超音波伝播速度は多くのデータが 3.0～4.0km/sec の区間に分布しており、室内試験の結果に比べるとプロットの範囲は限定的であるが、ひび割れ密度は 0～0.20 本/mm と分布区間は極めて広範で、図-5 に比べるとばらつきは非常に大きい結果となった。

ここで、供用年数ごとに着目すると、それぞれの回帰式の傾きは、室内試験で得た回帰式と比較すると、年数の経過に伴って増加している傾向が全体的にみられる。供用 40～49 年にいたっては、相関が認められない分布を呈した。このように、今回の調査では、全体的に供用年数が長い構造物においてばらつきが大きくなる傾向が示された。これは、室内試験の考察でも述べたようにひび割れの発生形態の影響や、材齢の進行が超音波伝播速度に影響を及ぼした可能性が考えられる。今後はこれらの影響についても詳細に検討を行っていく必要がある。

参考文献

- 1) 北海道開発局：道路設計要領，第 3 集橋梁，第 2 編コンクリート，p. 3-コ 2-4，2006. 4
- 2) 林田ほか：超音波伝播速度測定によるコンクリート構造物の凍害診断，土木学会第 62 回年次学術講演会，V-571，pp. 1141-1142，2007. 9
- 3) 堀ほか：細孔構造の変化に着目したコンクリートの低温劣化の診断法の基礎的研究，コンクリート工学年次論文集 Vol. 13，pp. 723-728，1991
- 4) 長谷川ほか：コンクリート構造物の耐久性シリーズ「凍害」，p. 79，技報堂，1988. 2



図-4 調査部位（河川樋門）

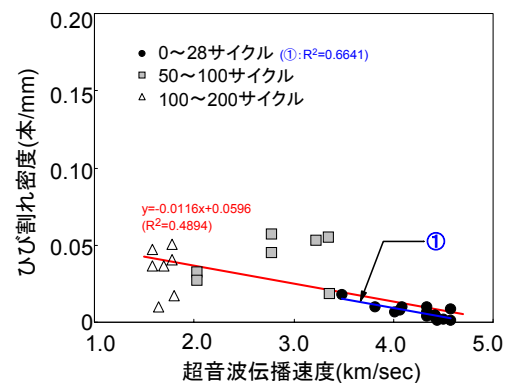


図-5 超音波伝播速度とひび割れ密度の関係（室内試験）

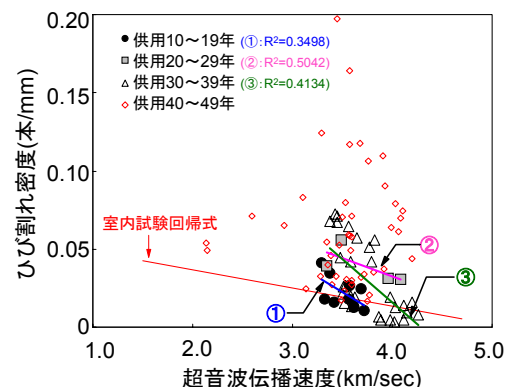


図-6 超音波伝播速度とひび割れ密度の関係（河川樋門）