

機械インピーダンス法による凍害劣化したコンクリートの簡易診断技術に関する基礎的研究

A fundamental study on simple diagnosis technique using mechanical impedance method for concrete deteriorated by frost damage

北見工業大学 工学部 社会環境工学科 ○学生員 沼田 真 (Makoto Numata)
 北見工業大学 工学部 社会環境工学科 正 員 井上真澄 (Masumi Inoue)
 北見工業大学 工学部 社会環境工学科 正 員 崔 希燮 (Choi Heesup)
 日東建設(株) 正 員 久保元樹 (Genki Kubo)

1. はじめに

農業用コンクリート開水路は、一般のコンクリート構造物と比較すると部材厚が薄いことに加えて、過湿な環境下にあるものが多い。そのため、開水路は一般的なコンクリート構造物とは凍害劣化機構が異なり、表面だけでなく側壁の内部にも凍害劣化(層状ひび割れ)が生じることが指摘されている¹⁾。しかし、このような側壁内部の凍害劣化の有無を簡易的に診断する方法がないのが現状である。また、延長の長い開水路では、調査・診断に長時間を要することから、簡易かつ効率的な劣化診断手法の開発が求められている。

コンクリート構造物の非破壊試験方法の一つとして、機械インピーダンス法²⁾がある。機械インピーダンスハンマー(写真1参照)とは、ハンマー内部に衝撃加速度計が内蔵されており、コンクリート表面を打撃することで時間ごとの加速度が測定できる。測定した値にハンマーの質量を掛けることで打撃力が求まり、時間ごとの打撃力を求めることによって図1のような波形として示される。

波形のピークの値(最大打撃力 F_{max})をハンマーの初速度 V で割ることでコンクリートの強度指標値(STR)を求めることができる。



写真1 機械インピーダンスハンマー(380g)

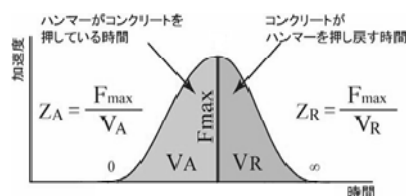


図1 強度指標値の算出²⁾

従来のリバウンドハンマーと同様、コンクリート表面を打撃して測定するという点で類似した測定法ではあるが、両者の基本原理は大きく異なる。リバウンドハンマー法では、打撃によりコンクリート表面に塑性変形が生じ、その過程でエネルギーが吸収され反発度(Ro)が低下

するとされている。これに対して、機械インピーダンス法は、ハンマーとコンクリートの接触面でコンクリートの弾性係数に関する機械インピーダンスを測定し、圧縮強度を推定している³⁾。コンクリート部材の表層あるいは内部にひび割れが存在するとコンクリートの弾性係数は低下すると考えられることから、機械インピーダンス法を用いることで層状ひび割れの検出が可能であると推察される。

そこで本研究では、コンクリート内部に層状ひび割れを模擬した供試体を作製し、機械インピーダンス法による層状ひび割れの検出の可能性について検討を行った。また、リバウンドハンマーによる測定も実施し、両者の比較検討を行った。

2. 実験概要

2.1 供試体の概要

(1) 使用材料

セメントには、普通ポルトランドセメント(密度：3.16g/cm³、記号：C)、細骨材には幕別産陸砂(表乾密度：2.61g/cm³、吸水率：1.43%、F.M.：2.53、記号：S)、粗骨材には北見産砕石(表乾密度：2.90 g/cm³、吸水率：1.01%、F.M.：6.98、 G_{max} ：25mm)、混和剤には、AE 剤(主成分：天然樹脂酸塩、密度：1.05～1.07 g/cm³)を使用した。その他、ひび割れ導入用に膨張材(密度：3.16g/cm³、記号：P)を使用した。

(2) 配合

表1にコンクリートの配合を示す。水セメント比(W/C)=60%とした。

表1 コンクリートの配合

W/C[%]	単位量[kg/m ³]				AE 剤 (%)
	W	C	S	G	
60	186	310	737	1124	0.02

(3) 層状ひび割れ供試体の作製

写真2に作製した供試体を示す。供試体寸法は150×150×530mmとし、模擬層状ひび割れ(以下、層状ひび割れと称す)を発生させる位置に、膨張ペーストを注入する孔を開けるための直径20mmのパイプを型枠内の所定の位置に設置した(図2参照)。コンクリート打設後、翌日脱型を行い、材齢28日まで水中養生(20±1℃)を行った。その後、予め設置した孔に膨張ペーストを充填し、写真2に示すような層状ひび割れが発生するまで恒湿

恒温室内($20 \pm 1^\circ\text{C}$ 、 $85 \pm 5\%\text{RH}$)にて養生した。本実験では、膨張ペーストを充填して3日後に層状ひび割れの発生を確認した。

層状ひび割れの幅は、膨張ペーストの膨張材添加量を調整することにより0.5mmと1.0mmの2水準の層状ひび割れを再現した。一方、層状ひび割れの設置深さは、コンクリート開水路における側壁内部の凍害劣化(層状ひび割れ)を想定し、20mm、30mm、40mmの3水準とした。写真2に層状ひび割れの発生状況の一例を示す。

(4) 測定方法

非破壊試験には、質量380gの機械インピーダンスハンマーとリバウンドハンマーを使用した。いずれのケー

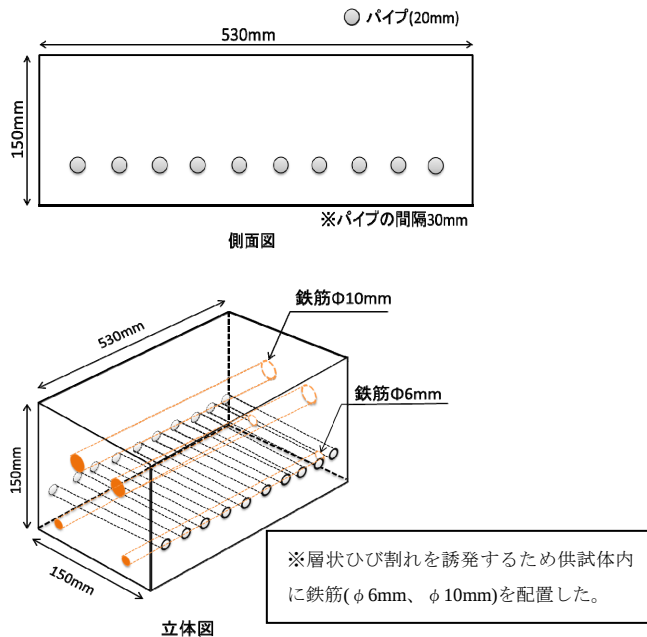


図2 供試体側面図および立体図

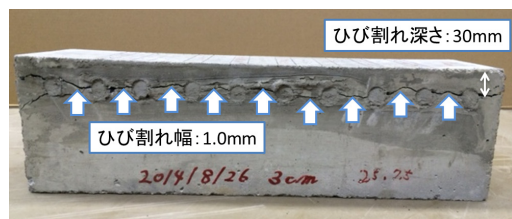


写真2 層状ひび割れ発生状況
(ひび割れ深さ30mm、ひび割れ幅1.0mm)

スもハンマーによる打撃を行う際は、供試体を平らな地面に設置して測定を行った。(写真2参照)

測定は図3に示す各測定箇所において1回の打撃によりデータ(強度指標値と反発度)を採取した。各供試体で膨張ペースト充填部表面の打撃点を除いた計21点の打撃点から全平均値を算出し、全平均値とデータとの誤差が $\pm 20\%$ の範囲から外れるデータは棄却した。棄却したデータを除いて再度平均値を算出し、表2に示す強度推定式から補正強度推定値を算出した。さらに、健全供試体にて得られた補正強度推定値に対する層状ひび割れ供試体の補正強度推定値の比を算出し、これを補正強度推定比とした。

3. 実験結果および考察

強度推定式によって算出した補正強度推定値の結果を表3に示す。

表3の測定結果より、インピーダンスハンマーは標

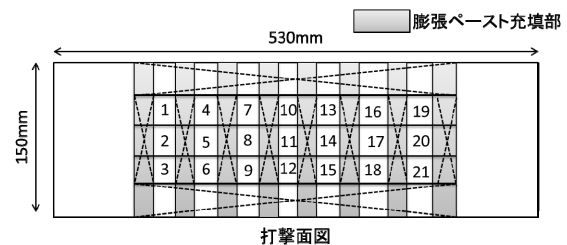


図3 模擬ひび割れ箇所の打撃箇所

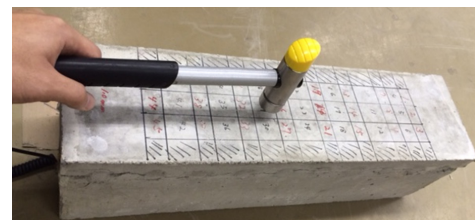


写真3 打撃試験状況(機械インピーダンス法)

表2 強度推定式

380g 機械インピーダンスハンマー	強度換算式 (STR=強度指標値) $F = 11.78 \times (\text{STR})^3$ $F = 9.5 \times (\text{STR})^4$	適用範囲 STR 値 1.24 未満 STR 値 1.24 以上
リバウンドハンマー ⁴⁾	$F = -18.0 + 1.27R_o$ R _o : 反発度	

表3 打撃試験結果

打撃試験方法	①				②				①				②			
ひび割れ深さ(mm)	20				30				40							
ひび割れ幅(mm)	0.5	1.0	0.5	1.0	0.5	1.0	0.5	1.0	0.5	1.0	0.5	1.0	0.5	1.0	0.5	1.0
強度指標値(STR 値), 反発度(R _o)	1.1	1.06	26	30	1.4	1.31	31	31	1.52	1.44	37	34				
補正強度推定値(N/mm ²)	16.2	13.9	14.4	20.7	39.2	27.8	20.8	21.6	51.1	40.6	29.0	25.3				
強度推定比(%)	42	27	67	55	77	55	71	73	101	80	99	87				
標準偏差(N/mm ²)	0.05	0.11	2.97	3.49	0.10	0.08	3.14	2.54	0.08	0.08	3.63	3.46				
変動係数(%)	5	10	11	11	7	6	10	8	5	5	10	10				

※①: 機械インピーダンスハンマー、②: リバウンドハンマー

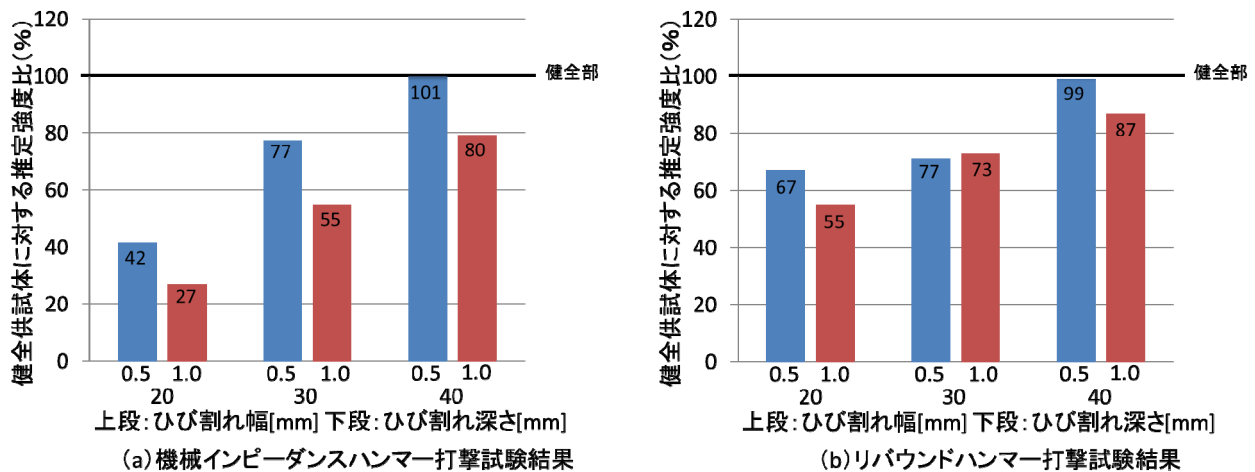


図3 強度推定比

標準偏差が小さく安定した結果が得られた。これに対してリバウンドハンマーは、機械インピーダンスハンマーに比べて標準偏差が大きくなった。

図3に各供試体の強度推定比を示す。機械インピーダンス法では、ひび割れ深さに着目すると、ひび割れ深さ40mmでは強度推定比の変化は小さいものの、層状ひび割れの位置がコンクリート表面に近くなるに伴い強度推定比が明確に低下する傾向が確認された。またひび割れ幅については、各ひび割れ深さで比較すると、いずれのケースにおいても損傷の度合いが大きいひび割れ幅1mmのケースで強度推定比が明確に低下することを確認した。

リバウンドハンマー法においても層状ひび割れの位置が浅いほど強度推定比が低下する傾向が確認された。しかし、ひび割れ深さ20mmと30mmの比較においては、強度推定比の差異は小さいものであった。また、ひび割れ深さ30mmにおけるひび割れ幅の比較においては、ひび割れ幅が異なるにも関わらず強度推定比は同程度の値を示しており、模擬した損傷程度を評価できているとは言いがたい。また、リバウンドハンマー法は、その測定原理から打撃面の平滑の度合いによってばらつきが大きいことや強度推定における精度にも課題も指摘されている⁵⁾。したがって、本研究で模擬したようなコンクリート内部の層状ひび割れや欠陥の検出には適さないと考えられる。

一方、機械インピーダンス法は、打撃によりコンクリート表層部の弾性係数に由来する指標値を測定していることから、打撃面の性状に関わらずコンクリート表層内部の強度を測定することが可能とされている⁶⁾⁻⁸⁾。また、本実験結果が示すように損傷度合い(ひび割れ幅及びひび割れ深さ)の変化を強度推定比により確認することができた。したがって、機械インピーダンス法は、コンクリート表層内部に存在する層状ひび割れをある程度検出できると考えられる。

4. 結論

本研究では、コンクリート内部に層状ひび割れを模擬した供試体を作製し、機械インピーダンス法によるひび

割れの検出の可能性について検討を行った。以下に、本実験の範囲で得られた結果をまとめる。

- 1) 機械インピーダンス法では、ひび割れ幅が大きいほど、ひび割れ深さが浅いほど強度推定値が低下することを確認した。
- 2) 本実験の範囲では、機械インピーダンス法を用いて、ひび割れ幅0.5mm以上、ひび割れ深さが30mm以下であれば層状ひび割れを検出できることがわかった。

参考文献

- 1) 緒方英彦, 高田龍, 鈴木哲也, 山崎大輔, 佐藤周之: RC開水路の側壁内部における凍害ひび割れの発生形態、農業農村工学会誌78(5)、pp.29-33、2010.5
- 2) 久保元, 金田重夫, 極壇邦夫: ハンマー打撃によるコンクリート強度の推定、コンクリート工学、Vol.44、No.5、pp.41-44、2006.5
- 3) 金田重夫, 久保元, 久保元樹, 境友昭: インピーダンス法によるコンクリート強度推定・原理と誤差、土木学会第65回年次学術講演会講演概要集、pp.495-496、2011
- 4) N型シュミットハンマーによる換算式: 日本材料学会
- 5) JSCE-G504-2013: 硬化コンクリートのテストハンマー強度の試験方法(案)、2013年制定コンクリート標準示方書規準編、土木学会、pp.335-338、2013.11
- 6) 岡田包儀, 猪狩平三郎, 久保元, 金田重夫, 久保元樹, 境友昭: 機械インピーダンス法による表層劣化水路コンクリートの強度推定、第58回農業農村工学会北海道支部研究発表会、pp.28-33、2009.10
- 7) 岡田包儀, 猪狩平三郎, 久保元, 金田重夫, 久保元樹, 境友昭: 劣化コンクリートの省力化強度測定手法の開発及び検討、第59回農業農村工学会北海道支部研究発表会、pp.2-7、2010.10
- 8) 岡田包儀, 久保元樹, 境友昭: 表層劣化コンクリートの非破壊による強度推定方法の実験的検討、第60回農業農村工学会北海道支部研究発表会、pp.24-29、2011.10