機械インピーダンス法による表層脆弱厚の異なるコンクリートの強度評価

Strength evaluation of concrete with different surface deteriorated thicknesses by mechanical impedance method

北見工業大学　工学部　社会環境工学科　○学生員　須藤貴史 (Takafumi Sudo)
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　技術部　正　員　岡田包儀 (Kaneyoshi Okada)
日東建設㈱　正　員　久保　元 (Hajime Kubo)
アプライドリサーチ㈱　正　員　境　友昭 (Tomoaki Sakai)

１．はじめに

20 世紀の公共事業は新設が主流であり、維持・修繕費や更新に要する費用は 1980 年代で 3 兆円、1990 年代でも 4 兆円程であった。しかし、近年は構造物の新設が少なくなった一方で維持・管理費用や更新費用が徐々に増加している傾向があり、公共事業の主流は新設から保全へと変わりつつある。そのような背景から近年では、構造物に損傷を与えずに様々な状態を把握することが出来る非破壊試験が注目されている。

非破壊試験の中でハンマーによるコンクリート強度を測定する手段としては、一般に広くリバウンドハンマーが使用されている。しかしこのリバウンドハンマーは、強度推定における精度 [1]や平滑な表面でないと適用が難しいという課題を持っている。さらに、コンクリート表面に凹凸がある場合などは、表面を研磨処理して平滑化を行うことになっている。しかし、非破壊試験では構造物に対する損傷を最小限に抑えて性能を把握することが求められている。また、研磨処理に費用と時間を要するため経済的・効率的とは言いがたい現状である。

一方で近年、非破壊試験の新たな手法として機械インピーダンス法 [2]によるハンマーが開発され、実用化されている。

機械インピーダンス法ハンマー（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。

その波形のピークの値（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 Z を求めることができる。

写真 1　機械インピーダンス法ハンマー

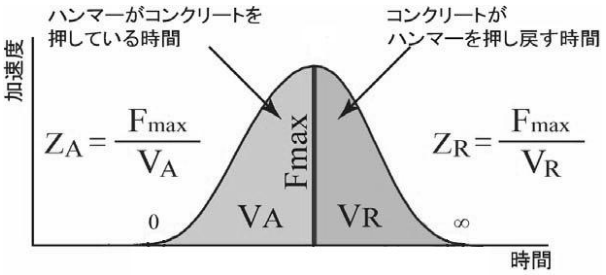

図 1　強度指標値の算出

本手法では、ハンマーが衝突する際の初速度 V_A とハンマーが反発する際の初速度 V_R の 2 パターンから強度指標値（Z_A，Z_R）を求めることが出来るが、前者の場合はコンクリート表面の塑性化といった弾性的性質を測定する上で好ましくない影響がある。そのため、強度指標値を求める際は後者を用いている。また、V_A と V_R の比を求めることで、表面の劣化度具合を求めることも出来る。

既往の研究 [3~5]では、機械インピーダンス法によるハンマーを使用し、前処理（表面を研磨処理して平滑化）を施さなければその適用が困難とされている表面劣化が進行したコンクリート面を対象にした強度推定手法の検討を行なってきた。

本手法では表面劣化している農業水路用コンクリートの内部強度を比較的精度よく推定することが可能であるのがわかっている。一方で、貧配合なコンクリートで激しい凍結融解作用を受ける構造物では劣化が表面のみではなく内部まで進行していることが想定される。このような場合には、コンクリート表層内部における劣化状態の把握が期待されるが、ハンマーが強度情報を取得している領域は定かではない。

そこで本研究では、機械インピーダンスハンマーが取得する強度の取得領域を明らかにすることを目的とした基礎的検討を行った。まず、高強度コンクリートの表面に低強度モルタルを数パターンの厚さに分けて施工することにより表層劣化を模擬した供試体を作成した。そこに機械インピーダンスハンマーによる打撃を行い、得られた強度推定値から強度取得領域の推定を試みた。

２．研究方法

２．１　供試体の概要

(1)　使用材料

コンクリート及びモルタルの使用材料を表 1 に示す。

表 1　コンクリート及びモルタルの使用材料

セメント	普通ポルトランドセメント	密　度　：3.16g/cm^3
粗骨材	砕石（北見産）	表乾密度：2.88g/cm^3 最大寸法：25 mm
細骨材	陸砂（幕別産）	表乾密度：2.61g/cm^3
混和剤	減水剤，AE剤	

なお、モルタルに用いた細骨材は施工時のモルタルの厚さを確保するため 2.5mm ふるいに通ったものを使用した。

(2)　配合

コンクリートの配合については W/C の小さい（35%）配合のコンクリート（表 2 参照）を作成した。

表 2　コンクリートの配合

W/C [%]	s/a [%]	単位量 [kg/m^3] W	C	S	G	減水剤 [g]	AE剤 [g]
35	37.7	159	454	637	1161	C×1.5(%)	C×0.05(%)

また、表層劣化を模擬したモルタル層は逆に W/C の大きい（70%）配合のモルタルとした。（表 3 参照）

表 3　モルタルの配合

W/C [%]	単位量 [kg/m^3] W	C	S
70	294	392	1569

(3)　コンクリートの練り上がり性状

コンクリートの練り上がり目標は、スランプを 8.0cm ±2.0cm，空気量を 5.0%±1.0%に設定した。本測定供試体の練り上がり性状の測定値については、スランプ 8.0cm，空気量 4.0%であった。

(4)　表層劣化模擬供試体の作成

写真 2 に作成した表層劣化模擬供試体を示す。まず木材の仕切り板を設置した角柱型枠（15×15×53cm）を用意し、型枠高さから表層劣化を模擬する所定のモルタル層厚を差し引いた高さまでコンクリートを打設した。

材齢 1 日で各供試体の型枠高さまでモルタルを施工することにより、6 水準（2.5mm，5mm，7.5mm，10mm，20mm，30mm）の表層劣化厚さを模擬した。その翌日に脱型を行い、コンクリート打設日から数えて材齢 21 日まで水中養生（20±1℃）、その後材齢 28 日まで気中養生（20±1℃，60±5%RH）を行った。

非破壊試験は材齢 28 日に実施し、同時に基盤コンクリート及び表層劣化部のモルタルの圧縮強度試験を実施した。

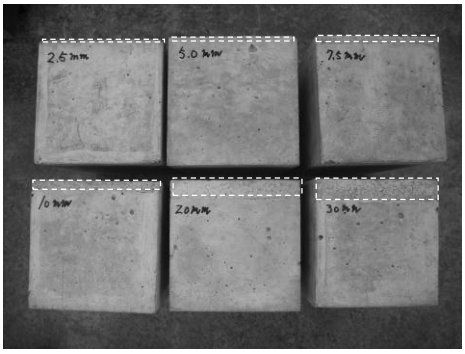

写真 2　非破壊試験用供試体（破線部が劣化模擬層）

2．2　試験方法

(1)　モルタル厚さの測定

モルタル厚さ 2.5mm，5mm の供試体に関しては施工誤差を考慮してモルタルの厚さを実測した。測定方法は供試体側面の周囲 30 点を測定し、その平均値をその供試体の厚さとした。測定の結果 2.5mm 供試体のモルタル厚さは 3.7mm，5.0mm 供試体は 5.9mm であった。

(2)　非破壊強度試験機

非破壊強度試験機は、質量 380g の機械インピーダンスハンマーを使用した。

(3)　打撃位置の設定

表層劣化模擬供試体の打撃（測定）位置は 27 箇所とし、打撃による周囲への影響を考慮して打撃位置が近接しないように写真 3 に示す位置を打撃した。

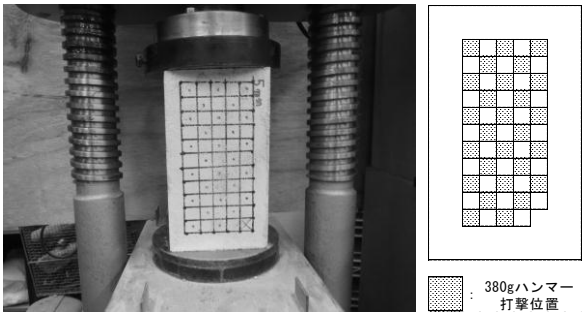

写真 3　表層劣化模擬供試体の打撃位置

(4)　強度測定方法

機械インピーダンスハンマーによる強度測定を行う際、日本材料学会の方法 [6]に準じて圧縮試験機を用いて測定供試体に圧縮応力 0.74N/mm^2（7.5kg/cm^2）で圧定させて測定を行った。

測定は各測定箇所において 1 回打撃して 26 点のデータを採取した（写真 4 参照）。その 26 点のデータから全平均値を算出し、全平均値とデータとの誤差が±20%の範囲から外れるデータは棄却した。破棄データを除いたデータで再度平均値を算出してそれを供試体の強度指標値とした。

3．測定結果と考察

3．1　各強度試験用供試体の測定結果

JIS-A-1108-2006 コンクリートの圧縮強度試験方法に準じて圧縮強度試験を行った。結果は、基盤コンクリートの圧縮強度は 72.2N/mm^2 で、表層劣化部のモルタルは 21.6N/mm^2 であった。

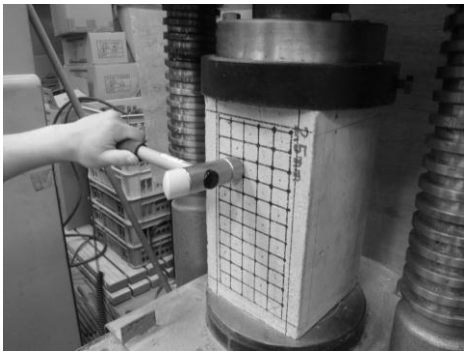

写真 4　劣化模擬コンクリートへの測定

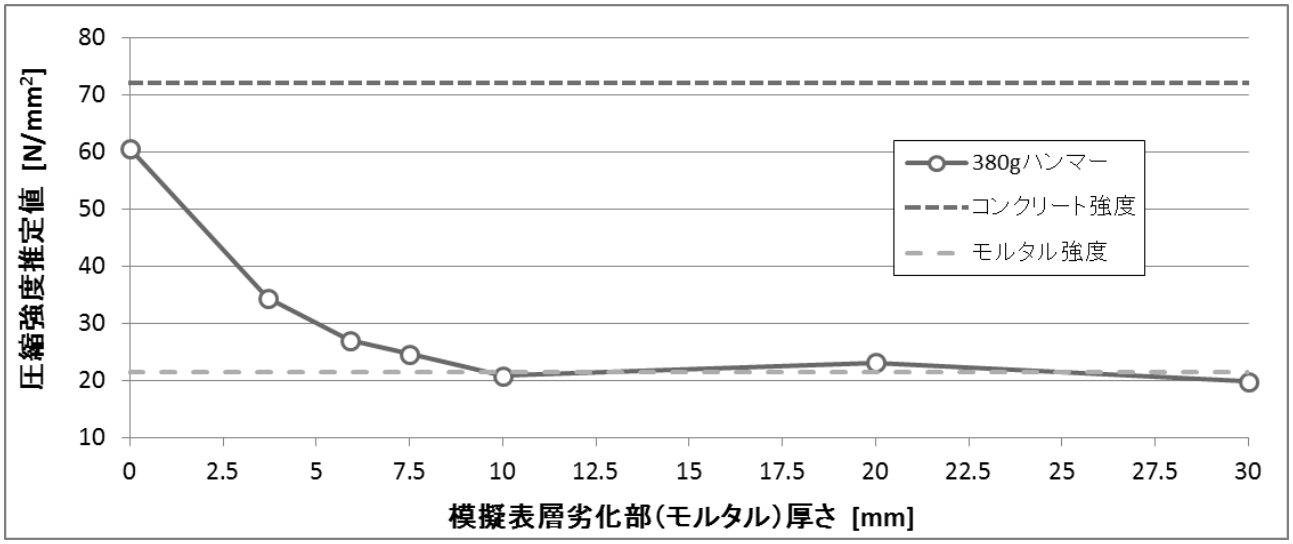

図 2　圧縮強度推定値と模擬表層劣化部（モルタル層）厚さの関係

３．２　非破壊試験による強度指標値の測定結果

非破壊強度による強度指標値の結果を表 6 に示す。

表 6　380g ハンマーによる非破壊試験の結果

	模擬表層劣化部（モルタル）厚さ[mm]						
	0	3.7	5.9	7.5	10	20	30
強度指標値	1.59	1.38	1.30	1.27	1.21	1.25	1.19
標準偏差	0.07	0.06	0.04	0.05	0.05	0.04	0.05
変動係数 [%]	4.4	4.1	3.2	3.9	2.2	2.9	4.6

強度指標値は 380g 機械インピーダンスハンマー固有の指標値なのでコンクリート基盤の圧縮強度やモルタルの圧縮強度との比較ができない。そのため、製造元から公表されている圧縮強度に変換する式（表 7 参照）を用いて圧縮強度に変換することによって強度平均との比較を行った。強度指標値を圧縮強度に変換したものを表 8 に示す。

表 7　強度推定式

	強度換算式 (STR=強度指標値)	適用範囲
380g	$11.78 \times (STR)^3$	STR値1.24 未満
	$9.5 \times (STR)^4$	STR値1.24 以上

表 8　380 g ハンマーの圧縮強度推定値

	模擬表層劣化層（モルタル）厚さ[mm]						
	0	3.7	5.9	7.5	10	20	30
強度換算値 [N/mm²]	60.7	34.5	27.1	24.7	20.9	23.2	19.9

図 2 には、380g ハンマーの圧縮強度推定値と表層劣化厚さの関係を示す。図中には、コンクリート基盤及びモルタル層の圧縮強度も示す。

３．３　測定結果からの考察

表 6 より 380g ハンマーは標準偏差の値を見てもばらつきが小さく安定した結果となっている。また、0mm 強度推定値と圧縮強度との誤差は 16%であり、比較的良好な結果が得られた。

図 2 より換算強度はモルタルの厚さが厚くなるほどモルタルの強度を示した破線に近づく傾向を確認できた。380g ハンマーの換算強度が模擬表層劣化部の厚さ 10mm の時にモルタルの圧縮強度を下回っている。20mm ではモルタル強度を上回るものの、30mm では 10mm を下回る結果となった。従って、20mm 供試体での結果は誤差の範囲であり、機械インピーダンスハンマーは表面から厚さ 10mm までの供試体の状態（強度）を取得していると考えられる。

４．結論

表層に劣化部を模擬した供試体に対する機械インピーダンス法ハンマーによる打撃測定は、打撃面から厚さ 10mm 程度までの強度を測定していることが明らかになった。また、380g ハンマーは取得データのばらつきも少なく測定精度も比較的良好な結果であった。

〔参考文献〕

1） JSCE-G504-2007：硬化コンクリートのテストハンマー強度の試験方法（案），2007 年制定コンクリート標準示方書規準編，土木学会，pp253-256，2008.5

2） 久保元,金田重夫,久保元,極壇邦夫：ハンマ打撃によるコンクリート強度の推定，コンクリート工学，５月号 Vol.44，No.5，pp41-44，2006.5

3） 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，pp28-33，2009.10.28

4） 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，pp2-7，2010.10.15

5） 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，pp24-29，2011.10.11

6) 日本材料試験協会，シュミットハンマーによる実施コンクリートの圧縮強度判定試験方法指針（案）：材料実験，第 7 巻，第 59 号，pp427-430，1958.8