

# 機械インピーダンス法による層状ひび割れを有する コンクリートの強度評価

Strength evaluation of concrete with layered crack by mechanical impedance method

北見工業大学 工学部 社会環境工学科	○学生員	高松秀平 (Shuhei Takamatsu)
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(株)	正員	久保元樹 (Genki Kubo)
(独)土木研究所寒地土木研究所		佐藤 智 (Satoshi Satou)

## 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<sup>1)</sup>や平滑な表面でない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・効率的とは言えない現状である。

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<sup>2)</sup>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。

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ハンマー

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、表面の劣化具合を求めることも出来る。

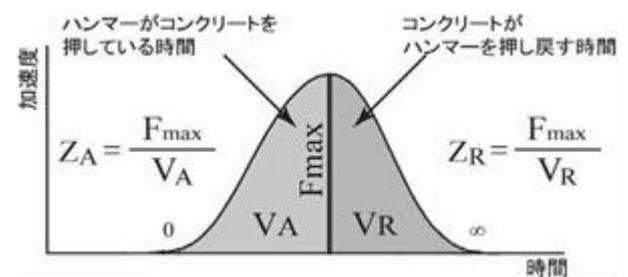


図1 強度指標値の算出

既往の研究<sup>3-5)</sup>では、機械インピーダンスハンマーを使用し、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ってきた。

その結果、本手法では表面劣化している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ことが確認されている。

一方で、農業用コンクリート開水路では部材厚が薄いことに加え、コンクリート部材が過湿な環境にあるものが多い。そのため、コンクリート開水路は一般的なコンクリート構造物とは凍害劣化が異なり、表面だけでなく側壁の内部にも凍害劣化(層状ひび割れ)が生じることがある<sup>6)</sup>。このような場合には、側壁内部の凍害劣化の有無を簡易的に調査することが期待されるが、ハンマーがコンクリート内部の層状ひび割れ等の劣化情報をどこまで検出できるかは定かではない。

そこで本研究では、機械インピーダンスハンマーがコンクリート内部の劣化(層状ひび割れ)を検出できる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。具体的には、層状ひび割れを模擬したモルタル供試体を作製し、そこに機械インピーダンスハンマーによる非破

壊試験を行い、得られた強度推定値からひび割れ検出の可能性について検討を行った。

## 2. 実験概要

### 2.1 供試体の概要

#### (1) 使用材料

モルタルには、普通ポルトランドセメント（密度：3.16g/cm<sup>3</sup>、記号：C）、細骨材には幕別産陸砂（表乾密度：2.61g/cm<sup>3</sup>、吸水率：1.69%、F.M.：2.54、記号：S）を使用した。

#### (2) 配合

表 1 にモルタルの配合を示す。水セメント比 (W/C)=50%、セメント：細骨材=1:3 とした。

W/C[%]	単位量[kg/m <sup>3</sup> ]		
	W	C	S
50	288	576	1382

#### (3) モルタルの練り上がり性状

モルタルの練り上がり時の目標フローは、200±20mm とし、空気量は目標を設定していない。本供試体の練り上がり時の測定値は、フロー181mmであった。

#### (4) 模擬ひび割れ供試体の作製

写真 2 に作製した供試体を示す。まず、型枠（500×500×150mm）を用意し、型枠高さからひび割れを模擬する所定の打撃盤厚を差し引いた高さまでモルタルを打設した。

約3時間後、打設面にビニールを敷き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、3水準（20mm、30mm、40mm厚）の打撃盤を作製した。その翌日に脱型を行い、材齢21日まで散水養生、その後材齢28日まで気中養生を行った。

非破壊試験及びモルタルの圧縮強度試験は、材齢28日に実施した。

### 2.2 試験方法

#### (1) 非破壊強度試験使用器具

非破壊試験には、質量380gの機械インピーダンスハンマーを使用した。

#### (2) 打撃位置の設定

模擬ひび割れ供試体の打撃（測定）位置は196箇所とした。また、模擬ひび割れ幅の大きな0.5mm及び1mmに関しては、打撃盤へのダメージを考慮し打撃位置を狭め、100箇所とした。

#### (3) 模擬ひび割れ設置方法

コンクリート開水路の側壁内部の凍害劣化（層状ひび割れ）を想定し、供試体の打撃盤と基盤の間に、厚みの異なる4水準（0.1mm、0.3mm、0.5mm、1mm厚）のビニールシートを設置し、層状ひび割れを模擬した。（図2参照）

#### (4) 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、供試体を平らな地面に寝かせて測定を行った。（写真2参照）

測定は各測定箇所において1回打撃して196点（ひび

割れ幅0.5mmと1mmは100点）のデータを採取した。採取したデータを表2に示す強度推定式に代入し、強度推定値を算出した。そ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。棄却したデータを除いたデータで再度平均値を算出して、補正強度推定値とした。

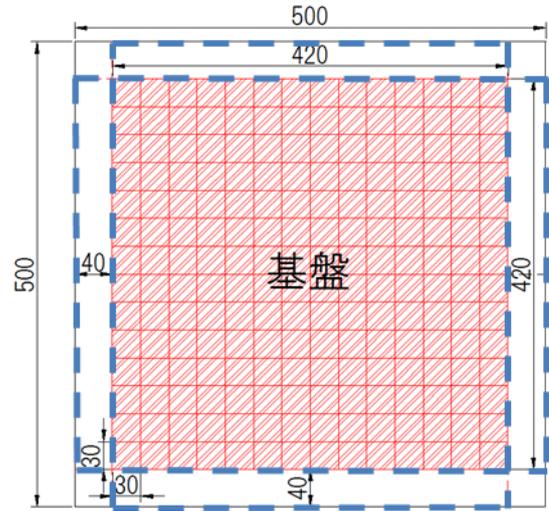


図2 ビニール設置位置（点線部、単位：mm）

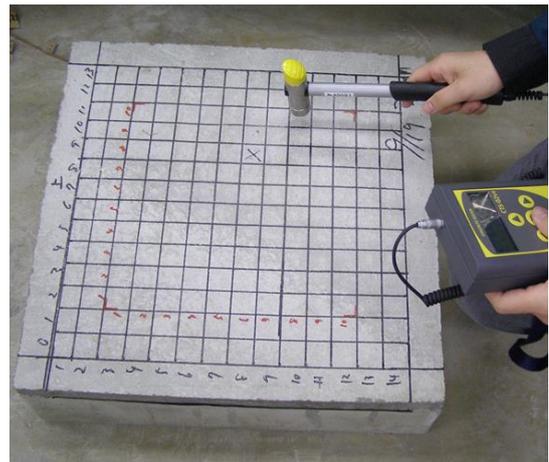


写真2 模擬ひび割れ供試体の打撃試験

## 3. 測定結果と考察

### 3.1 圧縮強度試験の測定結果

JIS A 1108 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、55.7N/mm<sup>2</sup>であった。

### 3.2 非破壊試験による強度推定値の測定結果

強度推定式を表2に、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。

また、図3に各水準の健全部で測定した補正強度推定値を100%として、各ひび割れ幅での補正強度推定値の低下率を示す。

表2 強度推定式

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

表 3 各水準での補正強度推定値結果

ひび割れ設置深さ[mm]	20				30				40			
ひび割れ幅[mm]	0.1	0.3	0.5	1	0.1	0.3	0.5	1	0.1	0.3	0.5	1
補正強度推定値 [N/mm <sup>2</sup> ]	22.6	21.8	12.9	16.8	34.1	32.9	29.2	29.6	32.2	32.5	27.6	29.7
標準偏差[N/mm <sup>2</sup> ]	8.93	6.29	5.75	3.19	6.81	7.05	5.08	5.11	7.63	6.29	5.11	4.24
変動係数[%]	39.3	27.1	42.3	19.0	19.7	21.0	17.0	17.3	23.4	19.1	17.9	14.2

補正強度推定値の低下率

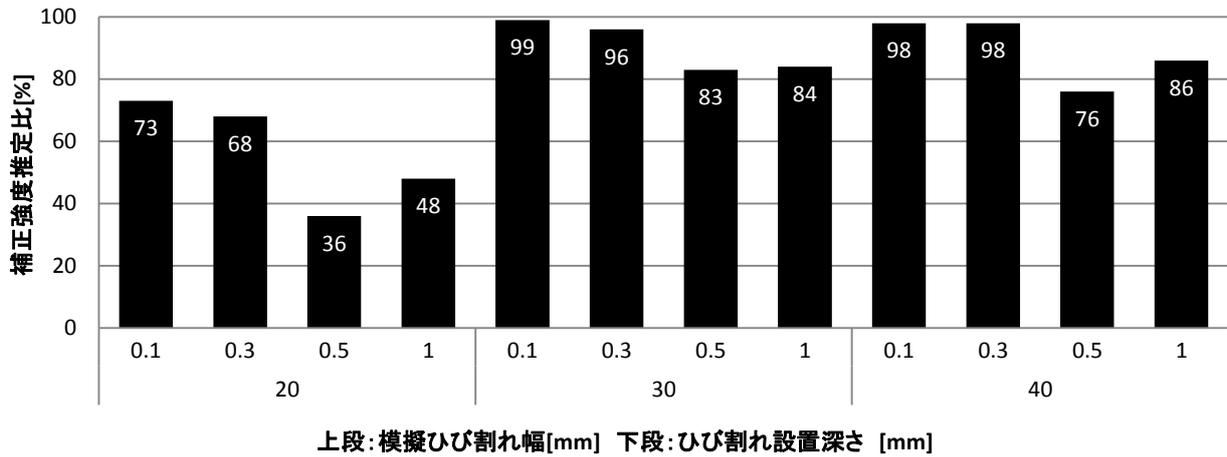


図 3 各水準での補正強度換算値の低下率

3. 3 測定結果からの考察

表 3 の測定結果より、標準偏差の値を見るとばらつきが大きい結果となった。これは、供試体のひび割れ面は不陸があるため、設定したひび割れ幅自体にばらつきがあったためと推察される。

図 3 より、ひび割れ設置深さ 20mm ではすべての模擬ひび割れ幅で強度推定値の明確な低下が観察され、模擬ひび割れ幅の増加とともに強度推定値も低下する傾向にあった。なお、実験結果では模擬ひび割れ幅 1mm よりも 0.5mm のケースで強度推定値が低下している。今回は、1mm 幅供試体の打撃試験のあとに 0.5mm 幅の打撃試験を実施したが、打撃盤にハンマー打撃時の損傷が残存し、0.5mm 幅の強度推定値の低下につながったものと考えられる。

一方、ひび割れ設置深さ 30mm と 40mm では、模擬ひび割れ幅 0.1mm 及び 0.3mm では強度推定値の低下はみられないが、0.5mm と 1mm では 14~24%の強度低下が確認された。この強度推定値の低下率は、機械インピーダンスハンマー自体の測定誤差が±15%程度であることから、ひび割れの有無を検出するのに十分な差とは言い難い。しかし、本実験での模擬ひび割れ幅 0.1mm 及び 0.3mm 時の結果と比較すれば、強度推定値の低下は明確である。したがって、ひび割れ設置深さが 30~40mm 程度の領域においても、ひび割れ幅 0.5mm 以上の損傷の度合いが大きいケースではひび割れの検出が可能であると考えられる。

4. 結論

コンクリート内部に層状ひび割れを模擬した供試体に

対する機械インピーダンスハンマーによる打撃試験の結果、ひび割れ設置深さ 20mm までは、内部の層状ひび割れを検出できることが明らかになった。また、ひび割れ設置深さ 30~40mm の領域においてもひび割れ幅 0.5mm 及び 1mm と損傷の度合いが大きいケースであれば、ひび割れの検出が可能であると考えられる。

【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、pp.253-256,2008.5
- 2) 久保元,金田重夫,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,pp.41-44,2006.5
- 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、pp.28-33,2009.10.28
- 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、pp.2-7,2010.10.15
- 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) 緒方英彦,高田龍一,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