

反発速度比を用いたコンクリートの強度推定および打撃角度に関する検討

株式会社高速道路総合技術研究所 正会員 萩原 直樹
正会員 ○飛田 一彬
一般社団法人日本建設機械施工協会 施工技術総合研究所 正会員 渡邊 晋也
正会員 中村 浩章

1. 目的

リバウンドハンマーは、コンクリートの強度推定を行う方法として一般的に用いられている手法である。また、東・中・西日本高速道路株式会社の工事においても硬化コンクリートの強度管理にリバウンドハンマーを用いた管理方法を規定している。近年、反発速度比を用いた新たな測定機が開発されており、打撃角度の補正が不要ことや、測定機が従来のものより軽量であること等の利点がある。本報告は、反発速度比を用いた新たな測定機が、従来のリバウンドハンマーと同様に硬化コンクリートの強度管理に使用できることの検討を行った結果を取りまとめたものである。

2. 反発速度比を用いた測定機の概要

従来のリバウンドハンマーの原理は、対象物に衝撃を与えた際のリバウンドハンマー内のハンマーの跳ね上がり高さで反発度（R 値）を求めている。一方、反発速度比を用いた測定機の原理は、リバウンドハンマー内のハンマーを内部に取り付けられたセンサにより、光学的にインパクト前後の通



写真1 反発速度比を測定する機器の外観

過スピードを測定し反発速度比（Q 値）を求めている。これらの原理の違いにより、従来のリバウンドハンマーは重力の影響で摩擦抵抗を受けることから打撃角度により反発度を補正する必要があり、反発速度比を用いた新たな測定機はインパクト直前までと直後以降の抵抗を無視できることから打撃角度による反発度の補正が不要である。なお、コンクリートの強度管理は、これらの反発度または反発速度比からコンクリート強度を推定して実施している。本研究で用いた反発速度比の測定装置の外観を写真1に示す。

3. 検討概要

反発速度比法による強度推定については、既往の研究¹⁾で検討を実施しており、反発速度比と圧縮強度の関係には高い相関があることを確認している。本研究では、更なる検証のため既往の研究¹⁾の実験結果を含めた8条件のコンクリート配合を用いて測定を行った。使用したコンクリート配合を表1に示す。

表1 使用したコンクリートの配合

呼び強度 (N/mm ²)	セメントの種類	水セメント比 (%)	s/A (%)	スラブ・ スランブフロー (cm)	W	C	S1	S2	S	G	G1	G2	Ad
15	普通ポルトランドセメント	69.8	51.3	8	(kg/m ³)								
18		64.5	50.1		155	223	590	394	-	944	-	-	2.23
24		54.5	47		155	241	575	383	-	960	-	-	1.69
30		46.5	44.2		155	285	527	351	-	1000	-	-	2.85
40		38.5	38.5		159	342	480	320	-	1021	-	-	3.42
40	早強ポルトランドセメント	37.8	39.9	12	167	434	420	280	-	1024	-	-	4.34
50		31.3	41.6		170	450	404	269	-	1024	-	-	4.5
高強度型	中庸熱ポルトランドセメント	34.4	50.3	62	155	496	423	282	-	998	-	-	4.17
					170	494	-	-	848	-	449	416	5.43
S1: 川砂(富士川中流域産、密度2.64g/cm ³ 、粗粒率3.0) S2: 山砂(富士宮市安居山産、密度2.65g/cm ³ 、粗粒率2.6) S: 砕砂と山砂の混合砂 G: 砂利(富士川中流域産、密度2.66g/cm ³ 、実積率63%) G1、G2: 砕石2005 Ad: AE減水剤および高性能AE減水剤													

キーワード 非破壊検査, リバウンドハンマー, 反発速度比, 強度推定

連絡先 〒194-8508 東京都町田市忠生 1-4-1 (株) 高速道路総合技術研究所 橋梁研究室 TEL 042-791-1625

反発度および反発速度比の測定は、 $\Phi 100\text{mm} \times 200\text{mm}$ の円柱供試体を用いて測定を行った。測定方法は、一軸圧縮試験機を用いて 25 kN で載荷した状況で各測定を 25 点実施した。材齢は 1 日、3 日、7 日、10 日、14 日、21 日、28 日とし、各材齢で 3 本の試験体を用いている。

測定結果を図 1 に示す。反発速度比法は反発度法と比較して、指数近似曲線が緩やかとなっており、反発度法より圧縮強度の推定精度が向上することが考えられる。相関係数も 0.91 と高い相関があると言える。

また、本研究では、試験体の設置角度の異なる条件下における反発度の測定結果を用いて角度の補正方法の妥当性について検討を行った。実験では、 $1\text{m} \times 1\text{m} \times 0.75\text{m}$ の圧縮強度が異なる 2 種類の試験体を用い、打撃角度が、 $+90^\circ$ 、 $+45^\circ$ 、 0° 、 -45° 、 -90° となるように試験体の設置角度を調整して反発度法と反発速度比法それぞれで測定を行った。なお、本報告での角度に関する表記は、水平方向を 0° 、上向きを -90° 、下向きを $+90^\circ$ とした。打撃面は試験体の 1 面のみを使用し、各打撃角度につき 75 点測定し、平均値 $\pm 20\%$ を異常値として除外した平均値を用いて評価を行った。反発度法と反発速度比から得られた結果を図 2 に示す。なお、図中には 2 種類の圧縮強度の異なる試験体のデータを記載している。この結果から、反発度法による測定の R 値には、打撃角度による変動が見られ、角度と反発度の関係に相関が見られることがわかる。一方、反発速度比による測定の Q 値には、打撃角度による変動は小さく、角度と反発度の関係に相関がないことがわかる。本実験から、反発速度比法による測定機の場合は、角度補正が不要であることが判明した。

図 1 は、反発度 (Q 値、R 値) と圧縮強度 (N/mm²) の関係を示すグラフである。横軸は反発度 (Q 値、R 値) で 0 から 100、縦軸は圧縮強度 (N/mm²) で 0 から 100 である。反発速度比法 (青い丸) の近似式は $y = 3.2725e^{0.0534x}$ 、 $R^2 = 0.9077$ 、反発度法 (オレンジ色の三角) の近似式は $y = 2.8966e^{0.0699x}$ 、 $R^2 = 0.8275$ である。

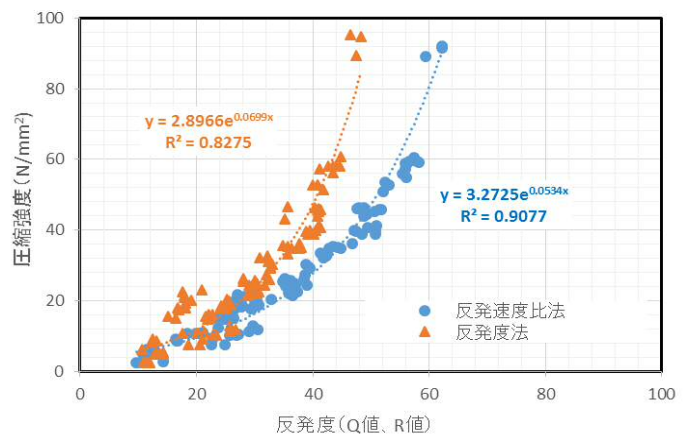


図 1 反発度・反発速度比と圧縮強度の関係

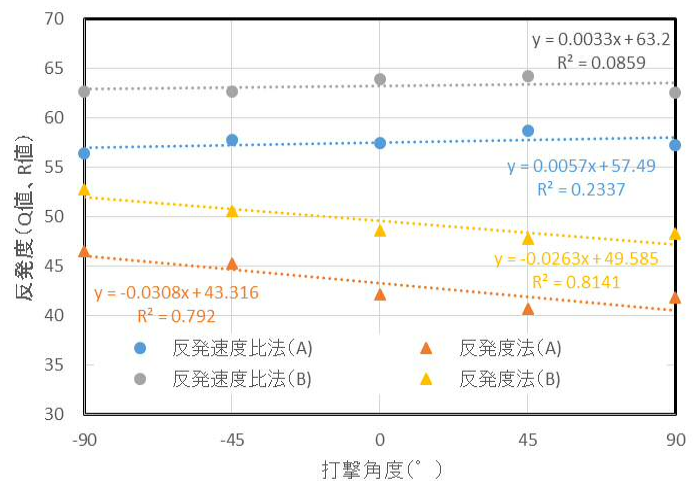


図 2 打撃角度の影響

4. まとめ

本研究では、コンクリートの強度推定を行うリバウンドハンマーの測定方法が異なる測定器を用いて、コンクリートの圧縮強度と反発速度比の関係について検討を行った。本実験では、従来のリバウンドハンマーに比べて、相関係数は高くなることが確認された。したがって、従来のリバウンドハンマーと遜色のない結果であり、コンクリートの強度管理に適用できると考えられる。また、打撃角度による影響も受けず、角度補正が必要ないことも確認され、測定者の省力化に貢献することが予想される。

なお、本研究で用いたコンクリート配合は全て同一材料を使用しているため、今後の研究としては、セメントや骨材等の材料が変わった場合でも圧縮強度推定式が同様の結果となるか検討していきたいと考えている。

参考文献

- 1) 萩原直樹、飛田一彬、谷倉 泉、渡邊晋也：土木学会第 71 回年次学術講演会、反発速度比を用いたコンクリートの強度推定に関する検討、(2016)
- 2) 飛田一彬、萩原直樹、中村浩章、渡邊晋也：検査技術、反発速度比を用いたコンクリートの強度推定の海外動向と適用性検証、(2017. 7) 掲載予定