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

株式会社高速道路総合技術研究所　正会員　萩原　直樹
株式会社高速道路総合技術研究所　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　フェロー会員　谷倉　泉
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　○渡邉　晋也

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．リバウンドハンマーの測定原理は，反発の高さを測定する方法であり打撃角度など要因で測定値を補正しなくてはならない測定装置である．近年，欧州構造基準（ユーロコード）やASTMなどでは，反発度を測定する方法ではない新たな測定方法によるコンクリート強度推定方法が示されてきた．そこで，本研究ではEUなどで，規格化されている反発速度比を用いた新たな測定方法について検討を行った．本報告では，各種コンクリートを作製し，反発速度比とコンクリート強度の関係について検討を行った結果について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

本研究で用いた反発速度比を用いた測定機は，一般的に市販されており，本研究ではスイスの試験機メーカが販売している測定機を用いて検討を行った．また，同じ試験機メーカから従来のリバウンドハンマー試験機も販売していることから，両者のカタログ値を比較した結果を表１に示す．この表からもわかるように，コンクリートに加える衝撃エネルギーは2.207Nmと同じであることがわかる．測定範囲は，従来のリバウンドハンマーは10～50N/mm^{2}なのに対して，反発速度比を測定する測定機では，10～100N/mm^{2}と広範囲な測定が可能とされている．また，反発速度比を測定する装置としての特徴として，打撃角度の補正が必要ないことと，測定機の重さが約半分の570gと軽量であることが良い特徴であると考えられる．この理由として，実構造物などの特に狭隘部が多い構造物には空間的な制限が少なくなり，また軽量であることから測定者の負担を軽減できることが考えられるからである．本測定機は，点検などで使用することが有効的な測定機であると考えられる．反発速度比の測定原理は，内蔵されている光学センサーにより衝撃を加えた時点の速度と跳ね返ってきた時点の速度を測定し，そのエネルギー比率から反発速度比が算出される．この反発速度比を指標としてコンクリートの強度を推定するものである．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．

表１　従来リバウンドハンマーとの比較

	リバウンドハンマー（従来品）	反発速度比測定機（本研究の対象品）
測定項目	反発の高さを測定	反発の速度を測定
単位	R値	Q値
衝突エネルギー	2．207Nm	2．207Nm
測定範囲	10～50N/mm2	10～100N/mm2
角度補正	あり	なし
重量	1．0kg	0．57kg

写真１　反発速度比を測定する機器の外観

３．検討概要

本研究では，我が国で用いられている一般的なコンクリートを用いて従来の反発度（R値）と新しい測定機から得られる反発速度比（Q値）について，コンクリートの圧縮強度との関係を確認することを目的に検討を行った．本研究で使用したコンクリートの配合を表２に示す．水セメント比を37.8%～69.8%との５条件を

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　〒417-0801　静岡県富士市大渕3154　（一社）施工技術総合研究所　研究第二部　ＴＥＬ0545-35-0212

表２　使用したコンクリートの配合

呼び強度 N/mm²	セメントの種類	水セメント比 (%)	s/A (%)	スランプ (cm)	W	C	S1	S2	G	Ad
					(kg/m³)					
15	普通ポルトランドセメント	69.8	51.3	8.0	155	223	590	394	944	2.23
24		54.5	47.0		155	285	527	351	1000	2.85
30		46.5	44.2		159	342	480	320	1021	3.42
40		38.5	38.5		167	434	420	280	1024	4.34
40	早強セメント	37.8	39.9		170	450	404	269	1024	4.5

S1:富士川中流域産　川砂、S2富士宮星山産　山砂、G:富士川中流域産　川砂利、Ad:AE減水剤

用いている．反発度および反発速度比の測定は，Φ100mm×200mm 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 25ｋN で載荷した状況で各測定を 20 点実施した．材齢は 1 日，3 日，5 日，7 日，14 日および 28 日とし，各材齢で 3 本の試験体を用いている．養生条件は，気中養生とし水分などの補正は行っていない．また，測定値については，平均値±20%を超えた値については除外し，測定結果には平均値を用いている．

４．測定結果

圧縮強度と各反発係数の関係を図 1 に示す．本研究で対象としている反発速度比 Q 値は，従来のリバウンドハンマーで得られる反発度 R 値と比較して，傾きが緩やかであることが判明した．この結果は，圧縮強度を推定する場合，測定範囲が広くなり，また，圧縮強度の推定精度が向上することが考えられる．また，従来のリバウンドハンマー試験による圧縮強度の推定には，日本材料学会式で F=−18.0+1.27R で強度を算出している．新しい反発速度比 Q 値を線形近似で表すと，F＝−10.9+1.01Q となり，従来のリバウンドハンマーと同様の精度でに推定することが可能であると考えらえる．反発速度比と圧縮強度の相関を確認したところ，指数近似では 0.91，線形近似では 0.92 と両方とも高い値を示している．この結果はドイツ連邦材料研究所で実施された試験結果 [1] とほぼ同じ結果となった．

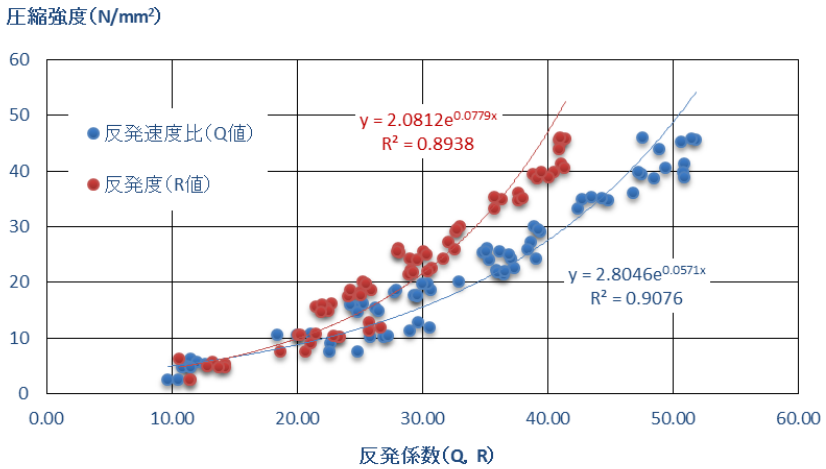

図１　反発係数と圧縮強度の関係

５．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そん色のない結果であると考えられる．

本研究で用いた反発速度比を測定する機器については，上述した通り，角度補正の必要がないことや試験機の重量が軽いということから，高所や狭隘部での作業に使用しやすく，測定者の誤差などが少なくなると考えられる機器である．また，今後の検証としては，実構造物での適用性の検討および点検などの経年劣化が生じているコンクリート構造物に適用の可能性について試験を実施していきたいと考えている．

参考文献

1)http://www.silverschmidt.com/fileadmin/documents/proceq/products/Concrete/SilverSchmidt/The_SilverSchmidt_Reference_Curve.pdf（2016 年 4 月 1 日）