

各種因子を考慮したリバウンドハンマーによる圧縮強度推定式の提案

三井住友建設（株） 正会員 ○斯波 明宏
安藤建設（株） 正会員 川中 政美
不動建設（株） 正会員 林 敬史

1. はじめに

近年、リバウンドハンマーによるコンクリート強度推定手法については、国土交通省による通達¹⁾や、検査方法のJIS規格化²⁾など、公にも認知されてきている状況にある。しかしながら強度推定式に関しては、用いる推定式によって大きく推定強度が異なる場合があり、また圧縮強度の範囲として40N/mm²程度以下のコンクリートを対象としたものが多く、高強度領域に関する検証が不十分であるといった課題が残されている。本研究では、様々な条件でコンクリート供試体を作製し、リバウンドハンマーによる反発度と圧縮強度との関連を調べ、高強度領域へのリバウンドハンマーの適用性について検証した。また使用材料、施工方法など様々な条件（以下、因子と呼ぶ）の違いが、反発度と圧縮強度の関係に及ぼす影響を検討し、各種因子の影響を考慮した強度推定式を提案した。

2. 試験方法

反発度の測定に関しては、原則としてISO/DIS 1920-7³⁾に準拠した。主な内容を表-1に示す。

3. 試験水準

測定条件、コンクリート材料および施工条件などの各種因子が反発度に及ぼす影響を調べるため、リバウンドハンマーの個体差、測定時の材齢、粗骨材量、型枠種類、養生条件、セメント種類および混和材に着目して試験を行った。検討項目を表-2に示す。尚、表中のW/Bは水結合材比、g/glimは粗骨材かさ容積、Nは普通セメント、Lは低熱セメント、BBは高炉セメントB種、SFはシリカフューム、CSFは碎石粉、BFは高炉スラグ微粉末（6000ブレン）を表している。

4. 強度推定基準式

図-1に全測定結果を示す。図中には、従来から一般的に使用されている強度推定式（土木学会式⁴⁾、建築学会式⁵⁾）と後述する強度推定基準式（式(1)）も併せて示した。土木学会式、建築学会式とも、反発度が40を超えると本試験結果に対しかなり安全側の評価となっており、高反発度（高強度）領域になるにしたがって、本試験結果と推定強度との乖離は大きくなる傾向となった。

強度推定式を表すには種々の方法が考えられるが、ここでは、一般的なコンクリート打設条件である、普通セメント、封かん養生、化粧合板型枠による測定結果に着目し、それら結果により得られた回帰式（以下基準式と呼ぶ）を基に、各種因子の影響を係数として乗じる方法を考えた。基準式は図-2に示すように、上記結果の圧縮強度の逆数と反発度の逆数とがほぼ直線関係にあることから式(1)を導いた。図-2および式(1)のFは推定強度、Rは反発度を表し、係数aは図-2の回帰式の傾き、係数bは切片を示す。係数kは、各種因子の影響を考慮した乗数であり、考慮しない場合は1.0となる。

表-1 試験方法概要

供試体寸法	200mm×200mm×200mm
試験材齢	材齢 7 日, 28 日, 91 日, 180 日, 365 日
測定点数	一箇所あたり 9 点以上
固定方法	面圧 2MPa で上下面を載荷

表-2 検討項目および内容

検討項目	検討内容
リバウンドハンマー	P社製, K社製
測定時の試験材齢	7 日, 28 日, 91 日, 180 日, 365 日
水結合材比	W/B = 25%~70%
粗骨材量	g/glim = 0.5~0.7
型枠種類	化粧合板, メタル, こて仕上げ
供試体養生条件	封かん養生, 気中養生
セメント種類および混和材	N, L, BB, N+SF, L+SF, N+CSF, N+BF

$$F = \frac{a'R}{1-bR} \quad a' = ka \quad (1)$$

ここに、a=0.561, b=0.0135, k=1.00

キーワード リバウンドハンマー、高強度コンクリート、反発度、影響因子、強度推定式

連絡先 〒270-0132 千葉県流山市駒木 518-1 三井住友建設（株）技術研究所 TEL 04-7140-5201

5. 各種因子と強度推定式

各種因子による式(1)の具体的な補正方法であるが、各種因子に対し得られた測定値を式(1)と同様の式で回帰し、新たに求められた係数 a' の係数 a に対する割合を補正係数 k と表した。ここで、式(1)の分母の係数 b については、推定式を用いる上での利便性を考慮して0.0135で固定とした。上述の手法により、各種因子の影響を検討した結果を表-3に示す。どの因子においても基準式に対し、最大で±10%程度の補正が必要であり、シリカフュームを混入したコンクリートでは+20%程度の補正が必要である。最終的な強度推定式を式(2)に示す。

$$F = k_1 \cdot k_2 \cdot k_3 \cdot k_4 \cdot k_5 \cdot k_6 \cdot \frac{aR}{(1-bR)} \quad (2)$$

ここに、 $a=0.561$, $b=0.0135$, $k_1 \sim k_6$ は表-3の補正係数

なお、影響因子が特定できない場合や、該当するものが存在しない場合には、係数 k を1.0に設定することを推奨する。

最終的な強度推定式（式(2)）による推定強度と圧縮強度の相関を図-3に示す。式(2)を用いることにより、全試験結果がほぼ±20%の範囲で推定可能になった。

6. まとめ

本研究で明らかとなった事項を以下に示す。

- ・ 既往の代表的な推定式は、従来から言われているように高強度（高反発度）領域になるに連れて誤差が大きくなる。
- ・ 考慮する因子によっては、基準となる推定強度に対し0.9～1.2程度の補正が必要となる。
- ・ 提案した強度推定式は、高強度領域においても比較的精度の良い強度推定が可能である。

参考文献

- 1) 古賀裕久, 河野広隆: テストハンマーによるコンクリート強度の推定調査について, コンクリート工学, Vol.40, No.2, pp.3-7, 2002.2
- 2) JIS A 1155 コンクリートの反発度の測定方法, 2003
- 3) ISO/DIS 1920-7 Testing concrete-Part7: Non-destructive tests of hardened concrete 4.1 Determination of rebound number, 1999
- 4) 土木学会: 硬化コンクリートのテストハンマー強度の試験方法 (JSCE-G 504-1999)
- 5) 日本建築学会: コンクリート強度推定のための非破壊試験方法マニュアル, 1983.2

謝辞

共同研究として御参加いただいた浅沼組, 安藤建設, 大木建設, 東亜建設工業, 不動建設, 松村組, 三井住友建設の皆様には多大な協力を賜りました。また, 群馬大学辻幸和教授には, 本研究を進めるにあたり, 貴重なご助言, ご指導を頂きました。ここに, 深く感謝の意を表します。

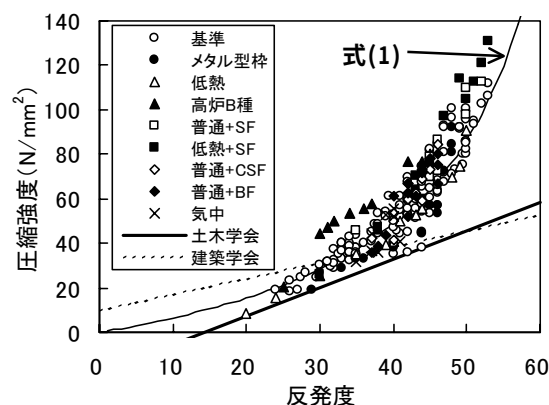


図-1 全測定結果

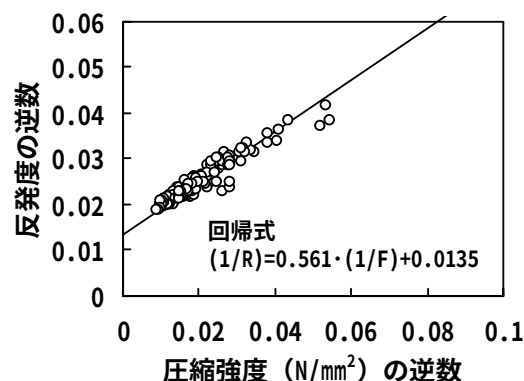


図-2 圧縮強度の逆数と反発度の逆数

表-3 各種因子と補正係数

係数	要因	因子	補正係数
k_1	材齢(日)	7	0.92
		28	1.00
		91	1.06
		180	1.07
		360	1.07
k_2	粗骨材量 (m^3/m^3)	0.5	1.10
		0.55	1.05
		0.6	1.00
		0.65	0.95
		0.7	0.90
k_3	型枠	化粧合板	1.00
		メタル	0.90
		こて仕上げ	0.88
k_4	養生	封緘	1.00
		気中	0.90
k_5	セメント	普通	1.00
		低熱	0.89
		高炉B種	1.08
k_6	混和材	シリカフューム/普通	1.23
		シリカフューム/低熱	1.21
		砕石粉/普通	0.95
		高炉スラグ/普通	0.94

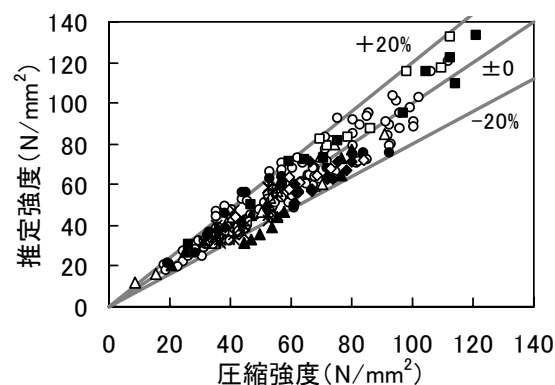


図-3 推定式の精度