

論文 Article

コンクリートの表面性状が各種微破壊試験の測定値に及ぼす影響

原稿受付 2012年4月2日

ものづくり大学紀要 第3号 (2012) 50~55

後藤正明^{*1}, 澤本武博^{*2}, 飛内圭之^{*2}, 大塚秀三^{*2}^{*1} 高崎市役所 (ものづくり大学大学院 ものづくり学研究科 修了)^{*2} ものづくり大学 技能工芸学部 建設学科

Effects of Concrete Surface Properties on Measurement Values of Semi-Destructive Testing

Masaaki GOTO^{*1}, Takehiro SAWAMOTO^{*2}, Keishi TOBINAI^{*2} and Shuzo OTSUKA^{*2}^{*1} TAKASAKI City Office (Graduate, Institute of Technologists)^{*2} Dept. of Building Technologists, Institute of Technologists

Abstract

The properties of concrete such as strength and durability are affected by placing, curing and aging. And they can affect concrete surface because of bleeding water, dryness of surface water, and so on. However, correlation between variation of concrete surface and measurement value of semi-destructive testing has not been obvious. In this study, the effects of concrete surface properties on rebound number, rebound speed ratio, and scratch width were investigated. The main conclusions are as follows. (1)The rebound number of the top surface of the member was smaller than that of the side surface. And, the rebound speed ratio showed the same tendency as the rebound number. (2)The rebound number of concrete cured in water was smaller than that of concrete cured in air. And, the rebound speed ratio showed the same tendency as the rebound number. The scratch width of concrete cured in water was wider than that of concrete cured in air. (3)The rebound number and the rebound speed ratio of concrete at the age of 91 days were higher than those of concrete at the age of 28 days.

Key Words : Concrete, Semi-destructive testing, Rebound number, Rebound speed ratio, Scratch width

1. はじめに

コンクリートの強度を簡易に推定する微破壊試験方法として、リバウンドハンマーによる反発度を用いた方法(図1)が代表的であり、ヨーロッパでは新型シュミットハンマーによる反発速度比を用いた強度推定方法(図2)が提案されている。また、コンクリートのごく表層の硬度から強度の推定を行う方法として、引っかき試験器を用いた引っかき傷幅試験(図3)も検討されている¹⁾。そして、これらの試験方法は、コンクリートの表層付近を測定するため、測定部の形状や、養生方

法、材齢などによるコンクリート表面の性質の変化に大きな影響を受けるとされている。

本研究では、コンクリートの測定面・養生・材齢の違いが、リバウンドハンマーによる反発度・新型シュミットハンマーによる反発速度比および引っかき試験器による引っかき傷幅の測定値に及ぼす影響について検討を行った。

2. 実験概要

2.1 使用材料およびコンクリートの配合

コンクリートは、水セメント比を変化させた6



Fig. 1 Rebound number test



Fig. 2 Rebound speed ratio test



Fig. 3 Scratch width test

Table 1 Raw materials of concrete (Laboratory)

Material	Locality or brand	Specification
Cement	Ordinary portland cement	Density : 3.16g/cm ³
Fine aggregate	Product of Kimitsu	Surface-dry condition : 2.61g/cm ³ Water-absorption rate : 2.14%
	Product of Kodama	Surface-dry condition : 2.59g/cm ³ Water-absorption rate : 2.14%
Coarse aggregate	Product of Ome	Surface-dry condition : 2.71g/cm ³ Water-absorption rate : 0.39%
Chemical admixture	Water-reducing and air-entraining admixture	
	High-range water-reducing and air-entraining admixture	

Table 2 Mix proportions and test results (Laboratory)

W/C (%)	s/a (%)	Unit content (kg/m ³)						Test result		
		W	C	S1*	S2*	G	Ad**	Slump(flow)*** (cm)	Air content (%)	Compressive strength (N/mm ²)
60.0	49.4	184	307	435	431	924	C×1.0%	19.0	3.7	31.9
50.0	46.8	184	368	395	392	954	C×1.0%	20.0	3.9	42.6
40.0	48.4	165	413	416	413	924	C×0.85%	19.5	4.8	58.9
35.0	47.0	165	471	393	390	921	C×1.0%	20.5	4.0	67.8
30.0	48.0	165	550	402	399	902	C×1.2%	52.0	2.1	87.9
25.0	45.0	165	660	380	377	854	C×1.8%	57.0	1.5	96.7

* S1: Product of Kimitsu * S2: Product of Kodama
 ** W/C60%~50% : Water-reducing and air-entraining admixture
 ** W/C40%~25% : High-range water-reducing and air-entraining admixture
 *** W/C60%~35% : Slump *** W/C30%~25% : Slump flow

Table 3 Raw materials of concrete (Factory)

Material	Locality or brand	Specification
Cement	Ordinary portland cement	Density : 3.16g/cm ³
Fine aggregate	Product of Tochigi	Surface-dry condition : 2.61g/cm ³ F.M. : 2.75
Coarse aggregate	Product of Tochigi	Surface-dry condition : 2.64g/cm ³ Percentage of solid volume : 59.0%
	Product of Sano (Limestone)	Surface-dry condition : 2.70g/cm ³ Percentage of solid volume : 60.0%
Chemical admixture	Water-reducing and air-entraining admixture	
	High-range water-reducing and air-entraining admixture	

Table 4 Mix proportions and test results (Factory)

Nominal strength	W/C (%)	s/a (%)	Unit content (kg/m ³)					Test result		
			W	C	S	G*	Ad**	Slump(flow)*** (cm)	Air content (%)	Compressive strength (N/mm ²)
24	58.5	48.5	181	310	856	919	C×1.2%	16.0	3.0	34.1
40	42.0	48.4	170	405	791	935	C×1.0%	20.5	4.9	53.6
60	31.0	46.1	170	549	773	851	C×1.4%	57.0	5.0	84.1

* fc24~fc40: Product of Tochigi * fc60: Product of Sano
 ** fc24: Water-reducing and air-entraining admixture
 ** fc40~fc60: High-range water-reducing and air-entraining admixture
 *** fc24~40: Slump *** fc60: Slump flow

種類（以下、試験室と略記）と、呼び強度を変化させた3種類（以下、実機と略記）を使用することとした。それぞれのコンクリートの使用材料および配合は、表1～表4に示す通りである。なお、表2および表4に示した圧縮強度は、標準水中養生を行った材齢28日における強度である。

2.2 供試体の作製

実験に用いた供試体は、試験室・実機ともに150×150×550mmの角柱供試体およびφ100×200mmの円柱供試体とした。また、試験室のみφ150×300mmの円柱供試体も作製した。角柱供試体の作製は、図4に示すように150×550mmの開口部からコンクリートを打ち込んだ。そして、角柱供試体およびφ150×300mmの円柱供試体は材齢7日で脱型し、試験材齢まで室温20℃・相対湿



Fig. 4 Placement of prism specimen

度60%の環境下で気中養生を行った。φ100×200mmの円柱供試体については、気中養生（材齢7日で脱型）、封かん養生および水中養生（材齢1日で脱型）を行った。

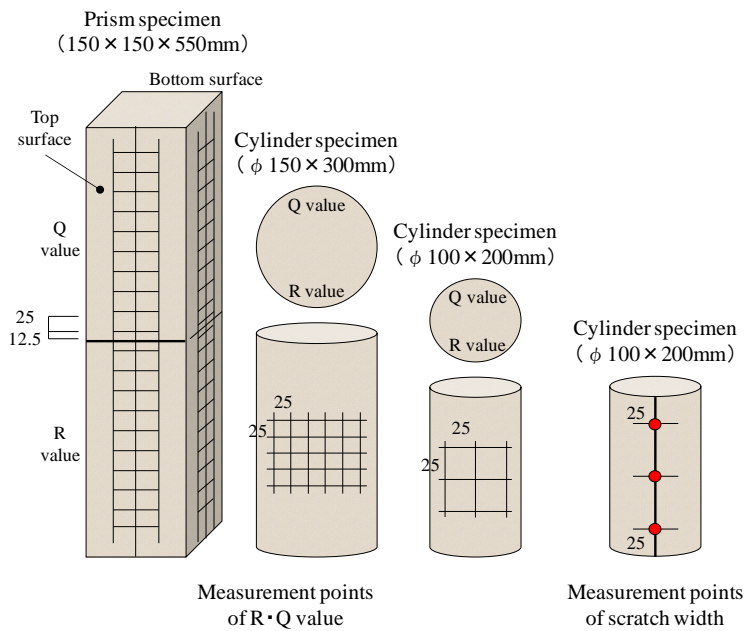


Fig. 5 Measurement points of 3 semi-destructive tests

2.3 各種微破壊試験の測定方法

各種微破壊試験の測定箇所は、図5に示した通りであり、反発度（以下、R値と略記）および反発速度比（以下、Q値と略記）の測定は、耐圧試験機を用いてそれぞれの供試体を 3.5N/mm^2 の力で拘束^{2,3)}して行うこととし、角柱供試体においては打込み面（以下、上面と略記）・側面および底面からそれぞれ30点ずつ（図6）、 $\phi 150 \times 300\text{mm}$ の場合も30点ずつ（図7）、 $\phi 100 \times 200\text{mm}$ の場合は9点ずつのR値およびQ値の測定を行い、平均値を求めた。なお、打撃角度による影響をなくすため、R値およびQ値の測定は水平に打撃することとした。引っかき傷幅試験では、 $\phi 100 \times 200\text{mm}$ の円柱供試体にのみ行うこととし、供試体に引っかき試験器を押し当てて引っかき、表面についた傷から3点の傷幅（荷重 1.0kg ）を測定した。なお、引っかき傷幅の測定は、クラックスケールおよびフラッシュルーペを用いて行った^{1,4)}。

3. 実験結果および考察

3.1 測定面の違いが測定値に及ぼす影響

3.1.1 平面・曲面の影響 平面（側面）と曲面のR値およびQ値の関係は、図8に示す通りである。平面と曲面の違いによる測定値への影響はあまり見られず、測定面の違いがR値およびQ

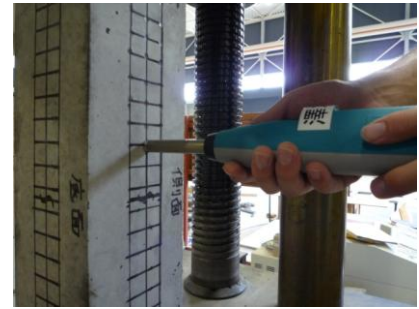


Fig. 6 Measurement of prism specimen



Fig. 7 Measurement of cylinder specimen

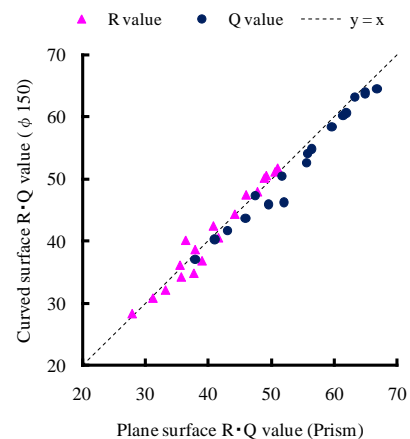


Fig. 8 Effects of plane・curve surface on R・Q value 値に及ぼす影響はほとんどないと考えられる。

3.1.2 上面・側面・底面の影響 上面・側面・底面のR値およびQ値と圧縮強度の関係は、図9に示す通りである。上面の測定では、R値およびQ値いずれの場合にも、側面や底面の測定値より小さい値を示した。これは、ブリーディングなどの影響によって上面に脆弱な層が形成されていたためと考えられる。そのため、上面を測定する際には、補正を行うなどの考慮が必要になると思われる³⁾。上面・側面・底面の違いがそれぞれの測定値に及ぼす影響としては、R値の場合、側面の測定値に比べて上面が4程度小さく、底面は2程度大きくなる傾向にあり、Q値の場合、側面

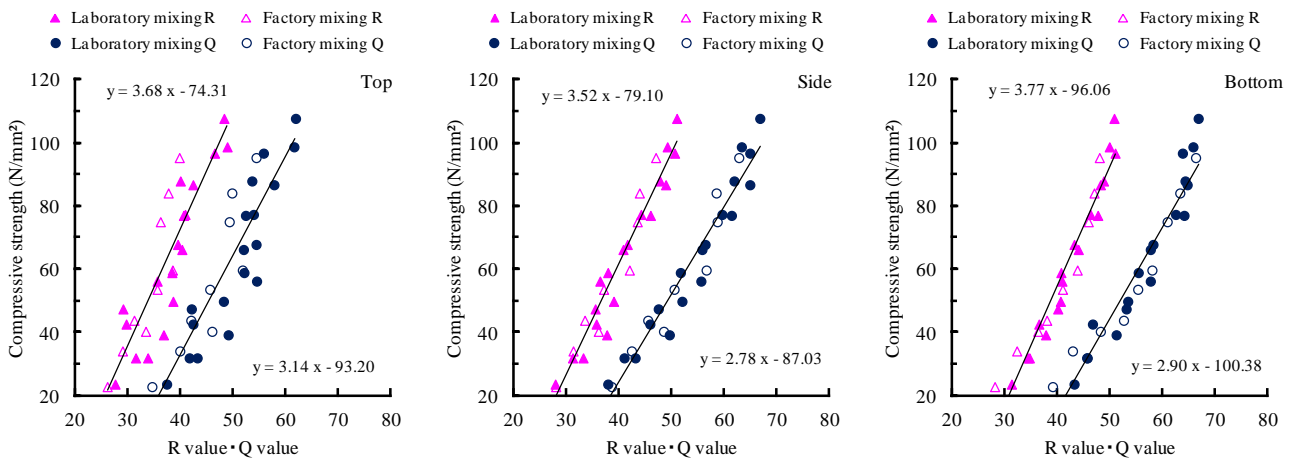


Fig. 9 Effects of top · side · bottom surface on R · Q value (Prism specimen)

の測定値に比べて上面が5程度小さく、底面が3程度大きくなる傾向にあった。

3.2 養生方法の違いが測定値に及ぼす影響

気中養生と封かん養生および水中養生のR値およびQ値の関係は、図10に示す通りである。封かん養生した供試体のR値・Q値は、気中養生した供試体と同程度の値となった。一方、水中養生した供試体のR値・Q値の測定値は、水セメント比が大きい(R値・Q値が小さい)場合には、気中養生した供試体よりも値が小さくなったが、水セメント比が小さい(R値・Q値が大きい)場合には同程度の値となった。これは、高強度になるほど表層の湿潤状態の影響を受けにくいことを表していると考えられる。養生方法の違いによる影響としては、普通コンクリートに近い配合で水中養生を行った場合、R値が5程度小さくなり、Q値が7程度小さくなる傾向にあった。

気中養生と封かん養生および水中養生の引っかけ傷幅の関係は、図11に示す通りである。気中養生と封かん養生の関係では、測定値に多少のばらつきはあったが、概ね同程度の測定値となった。

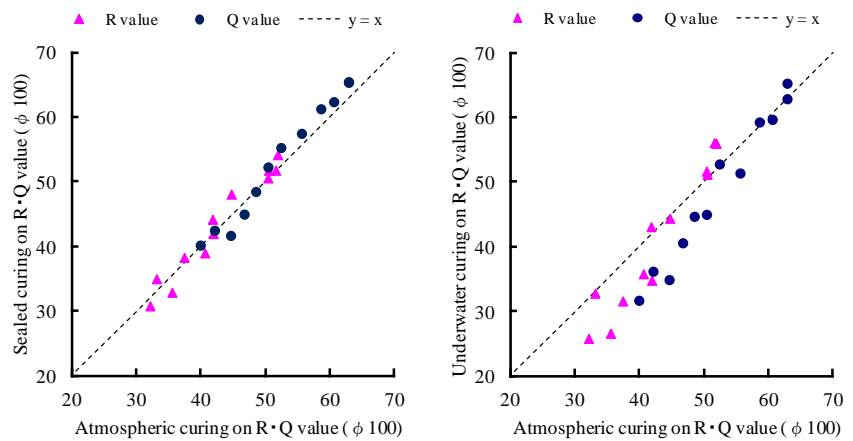


Fig. 10 Effects of curing on R · Q value (Cylinder specimen)

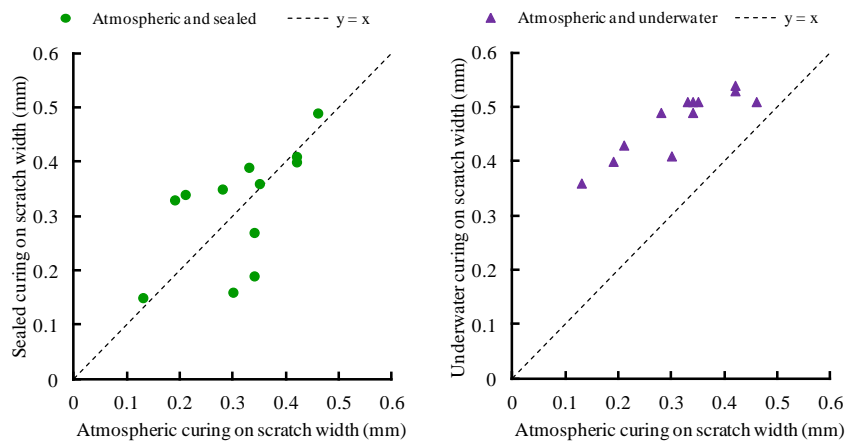


Fig. 11 Effects of curing on scratch width (Cylinder specimen)

しかし、気中養生と水中養生の関係では、水セメント比が小さくなる(傷幅が小さくなる)ほど、水中養生を行った場合には、気中養生を行った場合に比べ傷幅が大きくなる傾向にあり、傷幅の測定値は0.2mm程度大きくなる傾向にあった。

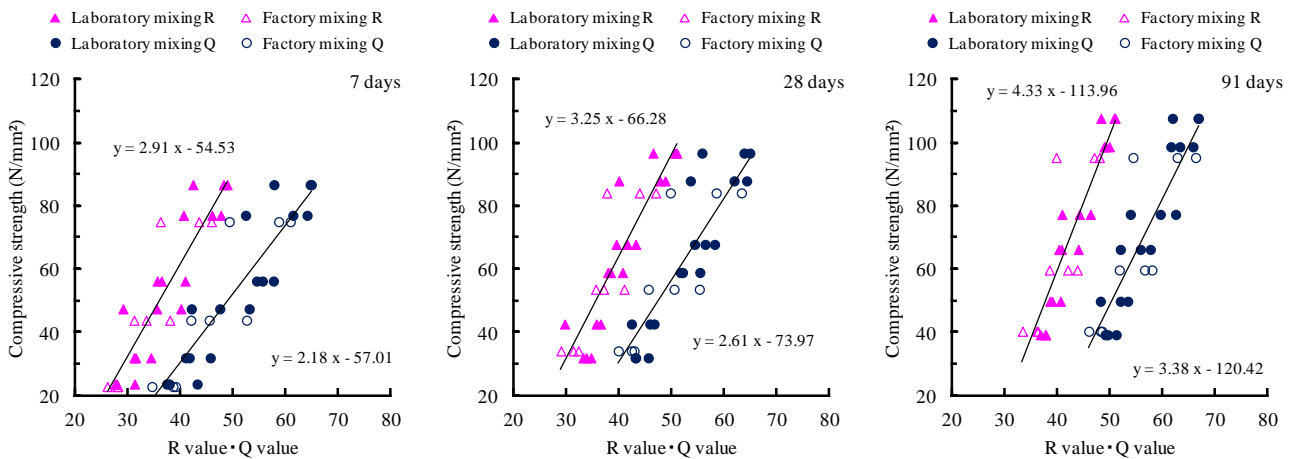


Fig. 12 Effects of aging on R · Q value (Prism specimen)

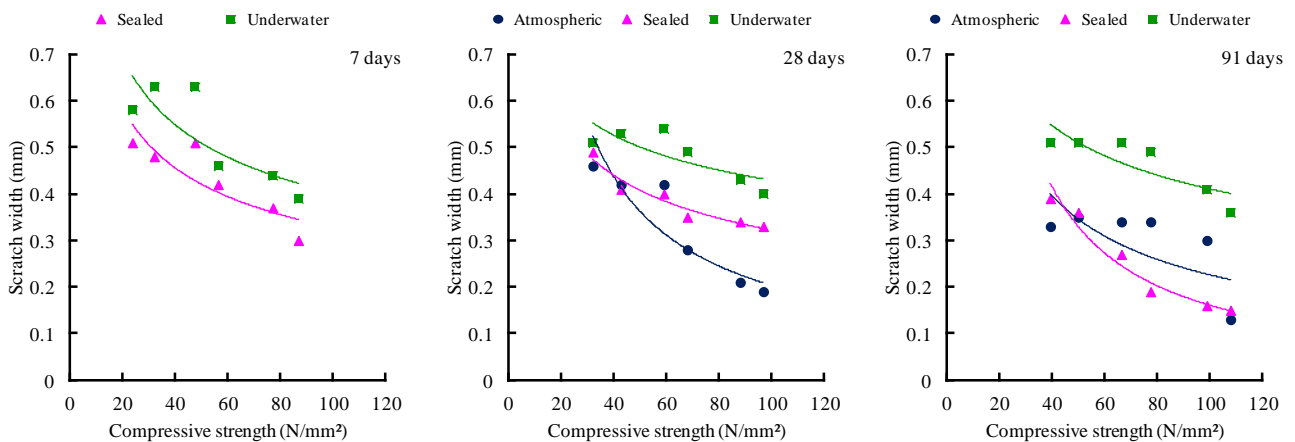


Fig. 13 Effects of aging on scratch width (Cylinder specimen)

3.3 材齢の違いが測定値に及ぼす影響

各材齢におけるR値およびQ値と圧縮強度の関係は、図12に示した通りであり、コンクリートの材齢が進行するほど、圧縮強度の増加に伴うR値・Q値の増加の割合は小さくなる(グラフの傾きが大きくなる)傾向にあった。そのため、材齢が長期間になるほど、コンクリートの強度推定がしにくくなると思われる。

また、圧縮強度が40N/mm²程度の場合のR値およびQ値は、材齢7日と材齢28日では測定値にあまり差は見受けられないが、材齢91日の測定値は、材齢28日の測定値に比べて、R値では3程度大きくなり、Q値では4程度大きくなる傾向にあった。これは、材齢の経過に伴う乾燥や中性化の影響を大きく受けるため、材齢が進行すると、同程度の強度であっても表面硬度が大きくなることが原因と考えられる⁵⁾。

各材齢における圧縮強度と引っかき傷幅の関係

は、図13に示す通りである。ばらつきは大きいものの、材齢の違いによる測定値の全体的な傾向の変化はさほど見受けられないため、材齢が引っかき傷幅の測定値に及ぼす影響はあまりないと考えられる。これは、リバウンドハンマーの測定値は、コンクリート表面から5~10mm程度の深さまで影響するのに対して、引っかき傷幅はごく表層を測定するため、材齢28日と材齢91日の表層部は完全に中性化していると考えられ、ごく表層部に差が見られなかったためと考えられる。

4. まとめ

150×150×550mmの角柱供試体、φ150×300mmおよびφ100×200mmの円柱供試体を作製し、測定面・養生・材齢の異なる条件が各種微破壊試験の測定値に及ぼす影響について検討を行った結果、以下のような傾向を示した。

- (1) 測定面の違いによる影響は、平面・曲面の測定においては測定値にあまり影響を及ぼさないが、部材の上面・側面および底面を測定すると、R 値の場合は側面の測定値に比べて、上面が 4 程度小さくなり、底面が 2 程度大きくなる傾向にあった。また、Q 値の場合も側面の測定値に比べて、上面が 5 程度小さくなり、底面が 3 程度大きくなる傾向にあった。
- (2) 養生の違いによる影響は、普通コンクリートの場合に顕著に見受けられ、水中養生を行った供試体を測定すると、気中養生と比べて R 値では 5 程度小さくなり、Q 値では 7 程度小さくなる傾向にあった。また、引っかけ傷幅においても、水中養生を行った場合の傷幅は、0.2mm 程度大きくなる傾向にあった。
- (3) 材齢の違いによる影響は、材齢 91 日のコンクリートを測定すると、材齢 28 日での測定値に比べて、R 値では 3 程度大きくなり、Q 値では 4 程度大きくなる傾向にあった。しかし、引っかけ傷幅においては材齢の影響はあまり見受けられなかった。

謝 辞

本研究を行うにあたり、株式会社フローリックの因幡芳樹氏、守屋健一氏、檜垣誠氏、根岸稔氏他技術職員各位、ならびに澤本研究室の大学院生、学部生より多大な御協力を賜りました。ここに記して深謝いたします。

文 献

- 1) 湯浅昇, 笠井芳夫, 松井勇: 引っかけ傷によるコンクリートの表面強度測定方法, 日本建築学会大会学術講演梗概集(中国), pp.677-678, 1999.7
- 2) 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マニュアル, pp.16-17, 1983.2
- 3) 澤本武博, 守屋健一, 因幡芳樹, 湯浅昇, 笠井芳夫: コンクリートの打込み面・側面・底面が反発度および引っかけ傷に及ぼす影響, (社)日本非破壊検査協会, シンポジウムコンクリート構造物の非破壊検査論文集(Vol.3), pp.149-156, 2009.8
- 4) 浅見勉: 床下地表面硬さの簡易測定方法に関する研究, 日本建築仕上学会, FINEX, Vol.9, No.54, pp.22-26, 1997.10
- 5) 日本非破壊検査協会: 新コンクリートの非破壊試験, pp.160-161, 2010.3