

報告 水中にあるコンクリートのテストハンマー強度に関する研究

小島 政則*¹・鎌田 敏郎*²・泉 肇*³・大岡 浩明*⁴

要旨：本研究では，テストハンマー試験においてコンクリートおよびテストハンマーが水に没している時の，水および水圧が反発度に与える影響について検討した。実験では，水槽中で計測を行うとともに，さらに人工的に水圧を調整可能な装置を用い，水圧の影響についても評価した。なお，本研究では防水型のテストハンマーを試作し使用した。その結果，本研究で提案する手法によれば，水中においてもコンクリートの強度評価が可能であることが明らかとなった。

キーワード：水中にあるコンクリート，圧縮強度，反発度，テストハンマー強度

1. はじめに

コンクリートの非破壊試験法には，テストハンマー法，超音波法，衝撃弾性波法，および打音法などの手法がある¹⁾。このうち，テストハンマー法は，検査が簡便であることから，コンクリート構造物の維持管理や竣工時の検査をはじめ，コンクリート製品の品質評価などによく用いられる。

しかしながら，従来のテストハンマー法は，気中にあるコンクリートにのみ適用され，水中にあるコンクリートには適用例は報告されていない。また，実際には，水中にあるコンクリートの品質評価は，コア抜きや潜水土による構造物表面の目視検査などに限られている。さらに，超音波などの電子計測器を用いる手法は，水中での制約条件が多く，手法の開発は容易ではない。

そこで，本研究では，水中でも使用可能な防水型のテストハンマーを試作し，コンクリートおよびテストハンマーが水中にある場合に，水の存在が反発度に与える影響について検討した。

さらに，ダム，堤防，護岸，河川等に架かる橋の橋脚部，給水タンク等のようなコンクリート構造物への適用を想定し，水深の違いによる水圧の変化が，反発度に与える影響についても検討した。

2. 実験概要

2.1 供試体概要

セメントには，普通ポルトランドセメントを，また混和剤には，高性能減水剤およびAE剤を使用した。コンクリートの配合とフレッシュ時の性状を，表-1に示す。水セメント比を30%から75%の間において5%ずつ変化させ，計10配合を作製した。テストハンマー試験には，300×300×300mm立方体供試体を，また圧縮強度試験には，φ100×200mmの円柱供試体を用いることとした。供試体作製にあたっては，基本的には単位水量を150kg/m³，目標スランプ8.0±1.5cm，および空気量4.0±1.0%で一定としたが，水セメント比65, 70, 75%については，単位水量および空気量のみを一定にした。また，立方体供試体の型枠に

*1 岐阜大学大学院 工学研究科土木工学専攻 (正会員)

*2 岐阜大学 工学部社会基盤工学科助教授 工博 (正会員)

*3 ノダック(株) 代表取締役

*4 ノダック(株) 中部事業所

表-1 コンクリート配合表

W/C (%)	s/a (%)	単位量 (kg/m ³)				AD* C× (%)	AE* C× (%)	スランプ (cm)	空気量 (%)
		W	C	S	G				
30	39	150	500	648	1041	0.45	0.0120	9.0	3.7
35	40		429	688	1060	0.40	0.0080	9.0	3.9
40	41		375	723	1068	0.375	0.0060	9.5	4.0
45	42		333	755	1071	0.375	0.0055	9.5	4.2
50	43		300	784	1068	0.40	0.0045	9.0	4.1
55	44		273	812	1062	0.35	0.0035	8.0	4.8
60	45		250	839	1054	0.35	0.0030	7.0	4.7
65	47		231	884	1024	0.40	0.0025	6.0	4.7
70	49		214	928	992	0.40	0.0020	3.0	4.6
75	51		200	972	959	0.40	0.0015	2.0	4.2

* ADは高性能減水剤添加量を、AEはAE剤添加量をセメント重量に対する比率として示す。

は、合板型枠を用いた。立方体供試体および円柱供試体共に、打設2日後に脱型、その後材齢28日まで水中養生をし、以降は湿布養生を行った。

2.2 計測概要

(1) テストハンマー概要

使用したテストハンマーは、市販されているテストハンマー（以下、非防水型テストハンマー）、および非防水型テストハンマーに防水加工を施したもの（以下、防水型テストハンマー）の2種類である。

防水型テストハンマーを写真-1に示す。これは、アクリル製の筒の中に非防水型テストハンマーを入れ、プランジャー部やボタン部のような可動部からの水の侵入を防ぐ構造となっている。また、防水型テストハンマーでは、防水加工にあたってプランジャーの長さを非防水型テストハンマーより20mm長くしてある。

(2) 反発度の計測

テストハンマー試験は、JIS A 1155「コンクリートの反発度の測定方法」に従って行った。反発度の測定面は供試体側面とし、打撃は水平方向のみとした。

水中における反発度の計測状況を写真-2



写真-1 防水型テストハンマー

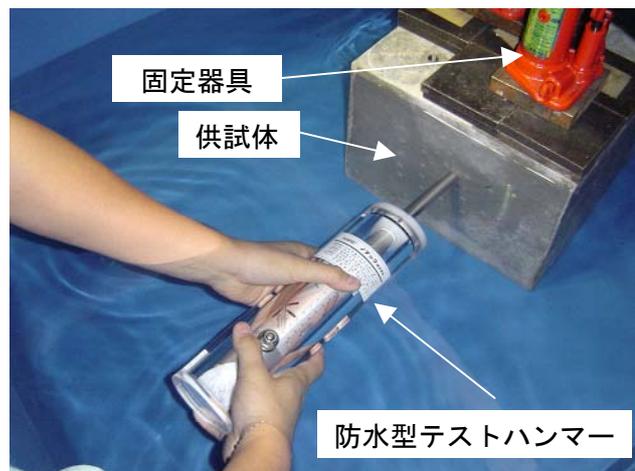


写真-2 計測状況

に示す。コンクリート張り出し部およびコンクリート床との間に、底面が平滑なポリエチ

レン製の水槽（縦 1030mm×横 760mm×高さ 450mm）を置き、この水槽の中に立方体供試体を入れた。さらに、コンクリート張り出し部と供試体上部の間に油圧ジャッキを介して、供試体を固定した（写真－3）。

試験にあたっては、水を張った水槽内において、立方体供試体を 24 時間水中にて静置した後、防水型テストハンマーを用いて水中での反発度を計測した。その後、立方体供試体を気中にて 12 時間静置し、表面が気乾状態になってから、防水型および非防水型テストハンマーを用いて気中での反発度の計測を行った。

試験材齢としては、非防水型テストハンマーを用いた気中における反発度の計測では、材齢 7 日および 28 日とし、防水型テストハンマーを用いた水中および気中における反発度の計測では、材齢 28 日および 56 日とした。

(3) 圧縮強度試験

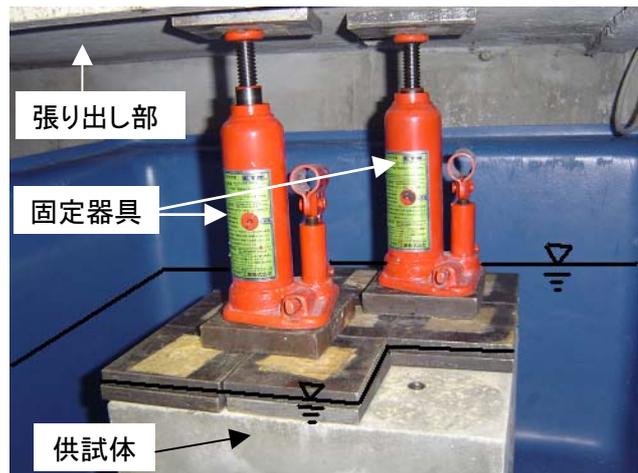
反発度の計測で使用する立方体供試体と同一条件で作製した円柱供試体を用いて、圧縮試験を行った。圧縮試験で用いた円柱供試体の材齢は、テストハンマーを用いた反発度の計測時に使用した立方体供試体の材齢と同じとした。円柱供試体 3 体による平均値を圧縮強度とした。

(4) 水圧影響実験

本研究では、水深の違いによる水圧の変化がコンクリートの反発度に与える影響を調べることを目的として、水中にあるコンクリートに加わる水圧を変化させて、反発度の計測を行った（以下、水圧影響実験とする。）。

ダム、堤防、護岸、河川等に架かる橋の橋脚部、給水タンク等のようなコンクリート構造物では、コンクリート面が水深 10m～20m の条件下にある場合もあり得る。

そこで、本研究では、写真－4 のような人工的に室内の気圧を調整可能なホスピタルロックを利用し、気圧を変化させることで、水圧の条件を変化させることを試みた。



写真－3 供試体の固定方法



写真－4 ホスピタルロック

ホスピタルロック内において水を張った水槽に、表－1 に示す配合のうち W/C=35, 55, 70% の 300×300×300mm 立方体供試体を入れ、気圧をホスピタルロックによる加圧分として 0.00 N/mm²（水深 0m 相当水圧）、0.09 N/mm²（水深 9m 相当水圧）、0.20 N/mm²（水深 20m 相当水圧）と変化させ、防水型テストハンマーを用いて反発度を計測した。ホスピタルロック内における計測は、2.2 (2) に準じて行った。テストハンマーの打撃方向は、水平方向とした。このときの試験材齢は、いずれも材齢 50 日である。

また、水圧影響実験で用いた立方体供試体と同配合の円柱供試体を用いて圧縮強度試験も、同時に行った。

3. 実験結果および考察

3.1 反発度と圧縮強度との関係

(1) 非防水型テストハンマー

図-1に、材齢7日および28日における気中での非防水型テストハンマーを用いた場合の反発度と圧縮強度との関係を示す。また、各計測値に対する近似曲線および相関係数も図中に示す。テストハンマー強度の推定式は、多くの研究者によって様々な提案がなされている²⁾が、本研究においては、相関が最も良かった累乗近似によって表現するものとした。

図-1の結果によれば、本実験結果は日本材料学会³⁾の提案式と比べ、より安全側の評価を行っているものと考えられる。しかしながら、明石らの提案式⁴⁾とはほぼ一致していることがわかる。このことから、本実験での反発度の計測においては、ジャッキを使用したことなどによる試験条件の変化が、反発度と圧縮強度との関係にはほとんど影響を及ぼしておらず、本計測は有効であったことが示された。

(2) 防水型テストハンマー

図-2に、材齢28日および56日における水中および気中での、防水型テストハンマーを用いた場合の反発度と圧縮強度との関係を示す。また、各計測値に対する近似曲線（累乗近似）および相関係数も、それぞれ図中に示す。

図-2から、本研究の範囲内において、水中および気中での近似曲線自体を比較すると、曲線形状も近く、両者の同一強度における反発度の差は最大で2から3程度であり、水中および気中での反発度の差は一見小さいように見える。

しかしながら、同一強度における水中および気中での反発度の実測値を個々に比較すると、両者の差は小さいとはいえない。

そこで、水中および気中での反発度の差を、供試体の圧縮強度との関係として図-3に示

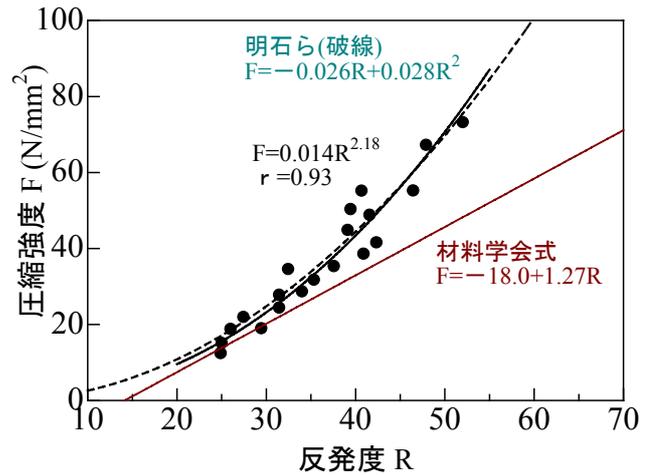


図-1 気中・非防水型の結果

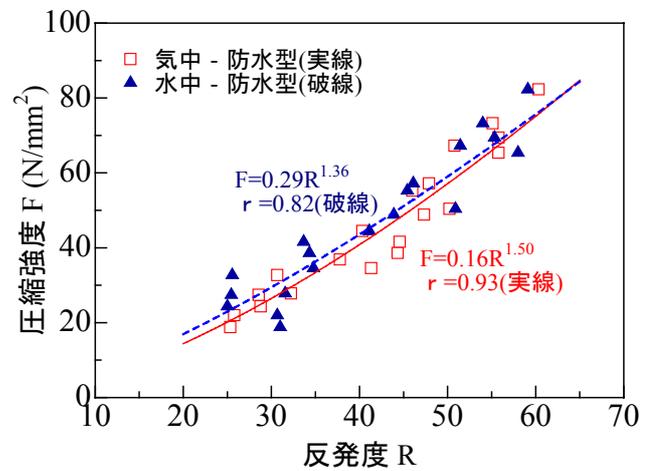


図-2 水中および気中・防水型の結果

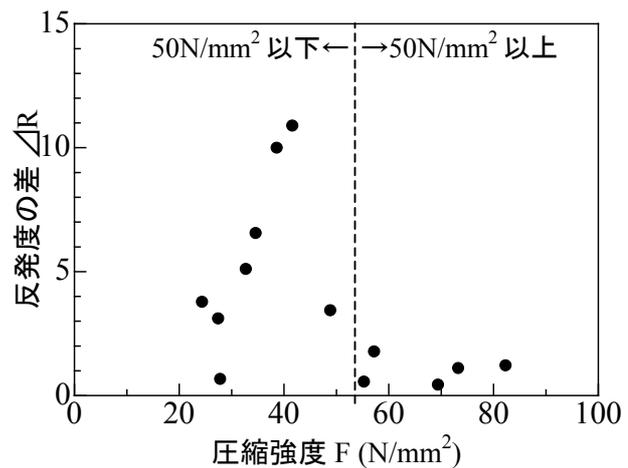


図-3 反発度の差と圧縮強度の関係

す。一般的に、表面が湿潤状態にあるコンクリートの反発度は、気乾状態の反発度より小さい値を示すことが知られている⁵⁾。このことから、図-3に示す反発度の差は、気中で

計測した反発度から水中で計測した反発度を差し引いた値とした。また、反発度の差がマイナスになるものは、カウントしなかった。

これによれば、圧縮強度 50N/mm^2 程度以下の範囲においては、反発度の差が大きく、圧縮強度 50N/mm^2 程度以上の範囲においては、反発度の差が 0 から 2 程度と小さくなる傾向を示した。これは、コンクリートが高強度になるにつれて、コンクリートが緻密となり、これに伴って水中と気中との表層部における含水状態の差が小さくなるため、反発度が水分による影響を受けにくくなるためと考えられる。

土木学会規準⁶⁾では、表面が湿潤状態にあるコンクリートの反発度を計測した場合、測定反発度に 5 加えて補正する旨が記述されているが、本研究の範囲内においては、コンクリートが水中にある条件であったとしても、圧縮強度 50N/mm^2 程度以上の範囲では、これより小さくてもよいものと考えられる。

図-4 に、材齢 28 日における気中での、防水型および非防水型テストハンマーを用いた場合の反発度と圧縮強度の関係を示す。圧縮強度が大きくなるにつれて、同一強度における反発度は、非防水型テストハンマーより防水型テストハンマーを用いた場合の方が大きくなる傾向を示した。これは、テストハンマーを防水加工した時のハンマーの構造的な変化によるものであると思われる。しかしながら、両者の結果において、近似曲線の傾向には明確な相違は見られなかった。

これらより、防水型テストハンマーによっても、実験で得られた関係式を用いることにより、水中にあるコンクリートの品質（強度）を評価することが可能であることが示された。

図-5 に、材齢 28 日および 56 日において、水中および気中で防水型テストハンマーを用

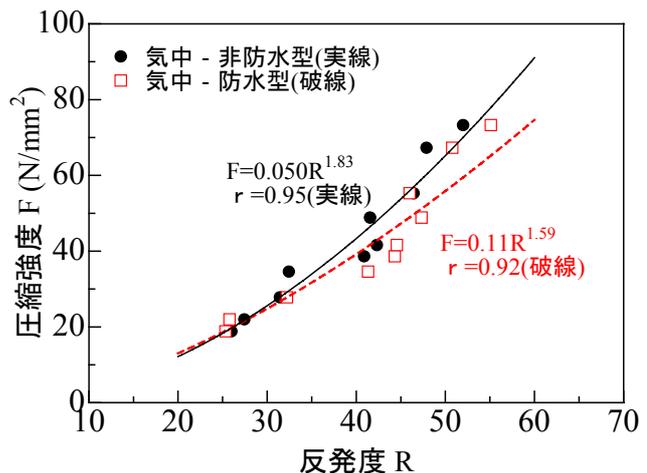


図-4 気中・防水型および非防水型の結果

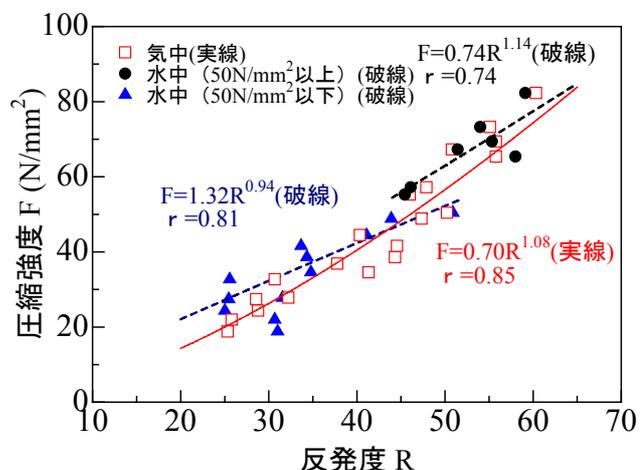


図-5 圧縮強度と反発度の関係

表-2 水圧影響実験の結果

W/C (%)	圧縮強度 (N/mm ²)	反 発 度			
		0.00 (N/mm ²)		0.09 (N/mm ²)	0.20 (N/mm ²)
		気中	水中		
70	27.4	32.1	28.8	27.8	29.3
55	40.7	43.1	39.6	42.0	40.8
35	65.9	54.3	56.3	55.1	58.1

いた場合の圧縮強度と反発度との関係を示し、水中に関してのみ、図-2 で導いた近似曲線とは別の方法で導いた近似曲線を新たに示す。すなわち、ここでは図-3 の考察結果に基づき、水中においては圧縮強度 50N/mm^2 程度以上および 50N/mm^2 程度以下の領域に区分して、テストハンマー強度推定式を求めること

とした。これにより、すでに求めた全強度領域に対するテストハンマー強度推定式（図－2参照）と比べ、コンクリートの表面状態の影響をより適切に考慮した推定式が得られるものと考えられる。

3.2 水圧が反発度に及ぼす影響

水圧影響実験の結果を表－2に示す。

大気圧下において、水中および気中で計測された反発度と圧縮強度との関係では、W/C=35%では気中より水中で計測された反発度の方が大きな値を示しているものの、圧縮強度50N/mm²程度以下であるW/C=70,55%については、3.1と同様な傾向が示された。

水圧をホスピタルロックによる加圧分で0.00N/mm²（水深0m相当水圧）、0.09N/mm²（水深9m相当水圧）、0.20N/mm²（水深20m相当水圧）と変化させても、0.00N/mm²（水深0m相当水圧）における反発度と比較すると、その差は最大で5%程度であり、水圧が反発度に与える影響はないものと考えられる。

よって、本研究において、水深20mまでは水深0m時と同様の強度推定式を用いてコンクリートの品質（強度）評価が可能であることが示された。

4. まとめ

本研究において明らかとなった事項を以下に示す。

- 1) 本研究において試作した防水型テストハンマーは、水中での的確に作動する構造であることが確認できた。
- 2) 防水型テストハンマーは、非防水型テストハンマーと比較した場合、コンクリートの圧縮強度が大きくなるにつれて、反発度の差は大きくなる。
- 3) 防水型テストハンマーによって水中および気中で計測された反発度は、圧縮強度が50N/mm²程度以下の範囲においては両者の差が大きく、50N/mm²程度以上の範囲においては、その差は小さくなる傾向

が示された。

- 4) 防水型テストハンマーを使用した場合、反発度は水圧の変化による影響を受けないことが示された。また、本研究において、水深20mまでは有効であることが確認できた。
- 5) 水中にあるコンクリートの品質（強度）は、本研究において新たに提案する防水型テストハンマーを用いることによって、評価可能であることが示された。

謝辞 水圧影響実験の実施に際し、(株)大本組河原秀聡氏、原尾勇氏に貴重なご助力を頂いた。また、実験全般に関し、岐阜大学大学院生の下村雄介氏および同大学学部生の田中洋輔氏の協力を得た。ここに付記して感謝の意を表す。

参考文献

- 1) メインテナンス工学連合小委員会：社会基盤メインテナンス工学, (社)東京大学出版, pp.152-191, 2004.3
- 2) コンクリートの非破壊試験法研究委員会：コンクリートの非破壊試験法研究委員会報告書（コンクリートの非破壊試験法に関する技術の現状）, 日本コンクリート工学協会, p.20, 1992.3
- 3) 岡田 清 ほか：新建設材料実験, (社)日本材料学会, pp.135-139, 1993.3
- 4) 明石外世樹・渡辺昭彦：舗装用コンクリートの非破壊試験, セメント技術年報 IX, 1955.
- 5) たとえば 明石外世樹：シュミットハンマーの使用上の注意, コンクリート工学, Vol.14, No.5, pp.41-46, 1976.5
- 6) 土木学会コンクリート委員会：硬化コンクリートのテストハンマー強度の試験方法, コンクリート標準示方書[規準編], pp.203-206, 2002.3