

脱型時期およびその後の曝露環境が異なるコンクリートの強度特性と反発度の関係

(財)電力中央研究所 正会員 蔵重 勲

(株)セレス 正会員 ○関口 陽 下村 和也 仲 亮介

1. はじめに

一般に、コンクリート構造物の耐久性は、鉄筋を腐食因子より防護するためのかぶり品質(≒表層品質)の影響を多大に受け、その表層品質は施工時の養生によって良くなり悪くなることが知られている。すなわち、施工時における養生の管理・検査が大切であるとともに、竣工時のコンクリート品質検査技術を整え、構造物が保有する耐久性をより確実に検証するシステムの必要性が指摘されている¹⁾。既往の研究では、圧縮強度に及ぼす養生の影響について網羅的な検討が実施されており参考になるが²⁾⁵⁾、非破壊試験によって評価された品質との対応等を整理した例はあまり見当たらない。そこで、実構造物への適用実績が豊富なテストハンマー試験に着目し、強度特性との関連を調べた。また、養生、特に早期脱型による乾燥の影響は、コンクリート表層の品質を低下させる可能性がある。つまり、圧縮強度試験といった円柱供試体の平均的な品質の評価方法では、表層品質の低下を過小評価する可能性も考えられる。そのため、本研究では表層品質とより関連性が高いと考えられる曲げ強度も測定し、比較評価した。

2. 実験概要

表 1 に示す配合にしたがってφ10x20cm(圧縮強度、静・動弾性係数測定用)、10x10x40cm(曲げ強度測定用)、15x15x53cm(反発度測定用)のコンクリート供試体を打設した。図 1 に示すように脱型時期(1, 5 日)、およびその後の曝露環境(60%RH, 湿空, 水中)が異なる 5 種類の条件を設定し、材齢 28 日において各種試験に供した。圧縮強度、静弾性係数、曲げ強度、動弾性係数については JIS で定められた方法に準拠した。また、テストハンマー試験は土木学会標準 JSCE-G504 -2007 の方法に従って実施した。なお、測定は 15x15x53cm 角柱供試体の打設両側面を対象に、床上に定置した状態で鉛直方向に打撃し、打撃方向補正を行って基準反発度を求めた。

表 1 コンクリート供試体の配合

W/C (%)	s/a (%)	Ac ml/kg-C	単位量 (kg/m ³)				Sl. (cm)	Air (%)
			W	C	S	G		
50	48	3.0	165	330	859	956	7.5	5.7

AC:AE 減水剤添加率,W:水(Ac 含む),C:普通ポルトランドセメント,S:陸砂,G:碎石

略 号	脱型時期および曝露環境(20℃)	測定項目
1-6	60%RH	圧縮強度
1-H	湿 空(98%RH 以上)	静弾性係数
1-W	水 中	動弾性係数
5-6	60%RH	曲げ強度
5-H	湿 空	反発度

打設 1日 5日 28日 材齢
脱型 脱型

図 1 脱型時期および曝露環境と測定項目

3. 実験結果および考察

脱型時期および曝露環境が異なるコンクリート供試体の圧縮強度と静弾性係数の関係を図 2 に示す。コンクリート標準示方書施工編では、普通ポルトランドセメントコンクリートの湿潤養生として、15℃以上の環境で5日間を標準としている。材齢 5 日に脱型後、60%RH 環境に曝露した 5-6 供試体は、圧縮強度 53N/mm²程度、静弾性係数 32kN/mm²程度となり、示方書設計編で示される関係式にほぼ従う値となった。また、同材齢に脱型後、湿空環境に曝露した 5-H 供試体は、圧縮強度、静弾性係数ともに上回った。一方、材齢 1 日に脱型後、60%RH 環境に曝露した 1-6 供試体の圧縮強度ならびに静弾性係数は、5-6 供試体に比べて大きく下回る結果となった。しかし、材齢 1 日で脱型したものでも水中や湿空環境に曝露した 1-W, 1-H 供試体では、圧縮強度の低下は小さかった。これら圧縮強度および静弾性係数をコンクリート密度と比較すると図 3 の通りである。早期脱型や乾燥環境への曝露により密度が低下するほど両測定値も小さくなる傾向が見られ、脱型後の水分逸散が強度低下に及ぼす影響が確認された。さらに、圧縮強度と曲げ強度の関係を整理したものを図 4 に示す。材齢 1 日に脱型後、60%RH 環境に曝露した 1-6 供試体は曲げ強度も低下することが認められ、材齢 5 日に脱型し同様の環境に曝露した 5-6 供試体でも圧縮強度に対し、比較的曲げ強度が小さくなった。

このような脱型時期およびその後の曝露環境によって変化する強度特性と、テストハンマー試験によって得られる基準反発度を比較し、非破壊試験によってコンクリートの品質変化を評価可能か検討した。図 5 に基準反発度と圧縮強度の関係を示す。材齢 1 日で脱型し水中養生を施した 1-W 供試体は、近年提案されている推定式(土研式、谷口らの式、

キーワード:養生, 圧縮強度, 弾性係数, 曲げ強度, 品質検査, 反発度

連絡先: 〒270-1166 千葉県我孫子市我孫子 1646 (財)電力中央研究所内 (株)セレス 地質・原燃サイクル部 TEL(04)7179-6211

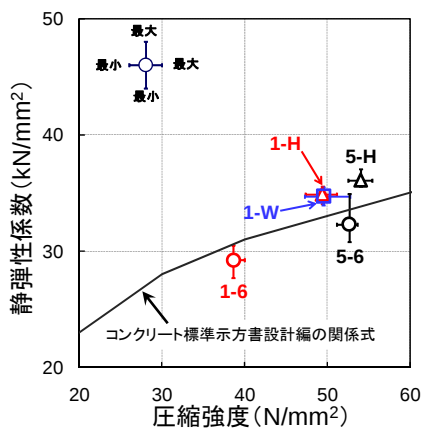


図2 圧縮強度と静弾性係数の関係

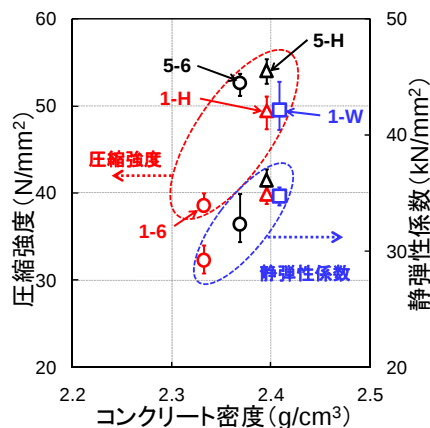
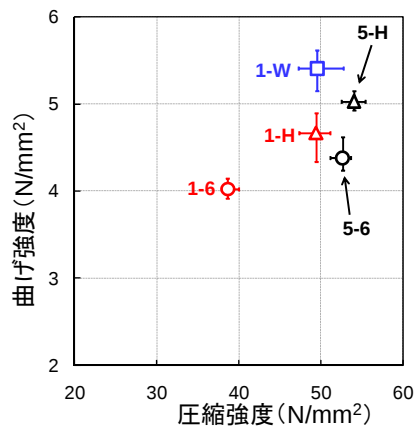
図3 コンクリート密度と圧縮強度
ならびに静弾性係数の関係

図4 圧縮強度と曲げ強度の関係

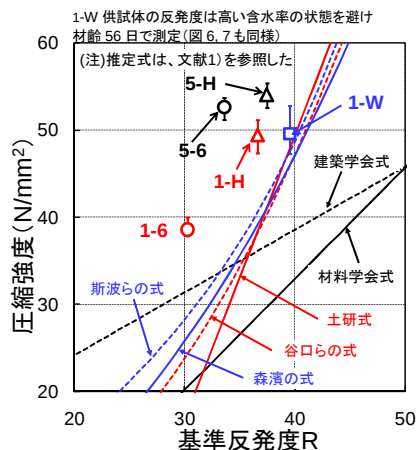


図5 基準反発度と圧縮強度の関係

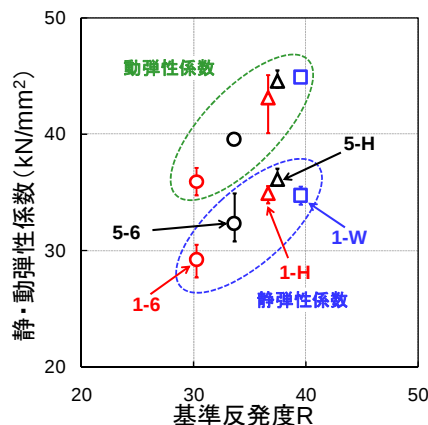


図6 基準反発度と弾性係数の関係

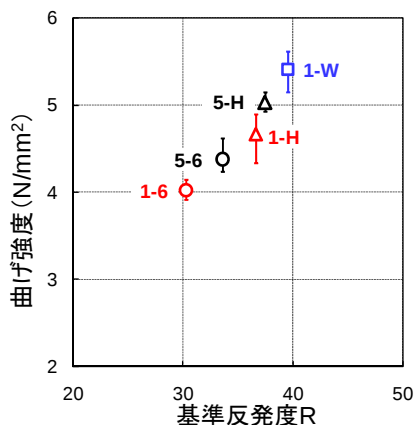


図7 基準反発度と曲げ強度の関係

森濱の式、ス波らの式)で求められる圧縮強度と近い値を示した。一方、1-6 供試体を始めとした気中あるいは湿空環境に曝露した供試体は、基準反発度が小さいにも関わらず推定式より大きな圧縮強度となった。これは、圧縮強度試験がφ10x20cm 供試体全体の平均的な品質を捉えていることに対して、テストハンマー試験で得られる基準反発度は脱型時期や曝露環境によって、より敏感に変化したコンクリート表層の品質を評価していることが理由として考えられる。

テストハンマー試験は、プランジャーの打撃による反発度を評価する衝撃現象を取り扱っていることから、コンクリートの圧縮強度よりも弾性係数との関連性が期待される。そこで、図6に基準反発度と静弾性係数ならびに動弾性係数の関係を整理した結果、それぞれ強い正の相関が認められた。さらに、基準反発度と曲げ強度の関係を図7にまとめた。曲げ強度試験では、供試体下端の最大応力度を評価するといった測定の原理上、圧縮強度試験と比較し、コンクリートの表層品質をよりの確に判定できる可能性がある。同図を見ても、基準反発度が大きくなるほど、曲げ強度も高くなる傾向が認められ、圧縮強度との関係よりも強い相関が確認された。

4. まとめ

品質検査技術の整備など竣工検査体制の充実を目指し、脱型時期およびその後の曝露環境によって変化するコンクリートの品質を、非破壊試験方法として実績豊富なテストハンマー試験で評価可能か実験的に調べた。その結果、脱型時期が早いほど、またその後湿度が低い環境に曝されるコンクリートほど、強度特性が低下することが確認された。さらに、弾性係数や曲げ強度はテストハンマー試験で得られる基準反発度と強い相関が認められた。以上より、テストハンマー試験によって、コンクリート施工後に養生の良し悪しによって変化する品質評価できる可能性が明らかとなった。

参考文献: 1)構造物表面のコンクリート品質と耐久性能検証システム研究小委員会(335委員会)成果報告書、土木学会コンクリート技術シリーズ80、2007
2)郭、宇治、國府、上野:養生条件によるコンクリートの組織変化と中性化を支配する細孔径の評価、土木学会論文集、V-57、pp.59-68、2002
3)伊代田、魚本:若材齢における乾燥がセメント硬化体の内部組織構造に及ぼす影響、土木学会論文集、V-59、pp.17-26、2003
4)岡崎、八木、岸、矢島:養生が強度と物質移動抵抗性に及ぼす影響感度の相違に関する研究、セメント・コンクリート論文集、No.60、pp.227-234、2006
5)佐藤、丸山、榊田:脱型時期がコンクリートの品質に及ぼす影響、コンクリート工学年次論文集 Vol.29、No.1、pp.795-800、2007

謝辞:本研究を実施するに当たり、ご助言、ご意見を頂きました土木学会コンクリート委員会216委員会、ならびに335委員会の皆様に御礼申し上げます。