

早期脱型後の曝露条件がコンクリートの表層品質に及ぼす影響

(財)電力中央研究所 正会員 蔵重 勲

(株)セレス 正会員 ○下村 和也 関口 陽 非会員 實方 彰 仲 亮介

1. はじめに

コンクリート構造物の表層品質は、コンクリートそのものの性質や打込み・養生等の施工品質、ならびに脱型・養生後に曝される環境の影響を多大に受ける。表層品質の良否は、鉄筋の発錆時期および腐食速度に直結し、コンクリート構造物の寿命、あるいは維持管理に要する労度や費用を左右することになる。したがって、コンクリートの表層品質を、配合設計、施工計画・実施、品質管理や検査などの各段階で適切に確保することは重要と考えられる¹⁾。

本研究は、脱型時期とその後に曝される環境条件がコンクリートの表層品質に及ぼす影響を、実験によって定量評価することを目的としている。本稿では、仮に打設後 24 時間といったごく早期に脱型が行われたことを想定し、その後様々な環境に曝露されたコンクリートの表層品質を、主にビッカース硬さを指標として調べた結果を報告する。このような早期に脱型され、乾燥条件に曝されたコンクリートでは、表層のビッカース硬さは湿潤養生されたものに比べて小さく、ごく短期間にある程度の深さまで中性化が進行してしまうことが明らかとなった。

2. 実験概要

表 1 に示す配合にしたがって 100x100x400mm のコンクリート供試体を、20℃60%RH の環境で作製した。供試体は、打設後 24 時間経ってから脱型し、図 1 のような 4 種類の条件(温度条件 20℃)に材齢 28 日までそれぞれ曝露した。なお、湿空とは、底面に水を張った密閉容器内の気中雰囲気(98%RH 以上)を指す。その後、約 3 ヶ月間 20℃60%RH 環境に保管した後、コンクリート表層のビッカース硬さ分布をそれぞれの供試体について測定した。

ビッカース硬さ分布は、図 2 に示すように供試体の 100x100mm 断面を対象に、打設上面、底面ならびに左右側面の 4 つの曝露面に対して、表層から内部 40mm までおよそ 0.5mm 間隔で測定した。なお、上記 4 つの曝露面でビッカース硬さ分布に有意な差は認められなかったため、ここでは全ての測定データとそれらを 30 測点ごとに平均化した分布を示し、比較した。

また、ビッカース硬さ分布の測定結果を踏まえ、それぞれの曝露供試体の中性化深さを、フェノールフタレイン溶液の噴霧後、マイクロスコープによって測定した。ここで明らかとなった中性化領域に対して Portlandite の有無を確かめるため、モルタル試料を対象に粉末 X 線回折分析を行った。さらに、一部の曝露供試体に対しては、図 2 に示すように供試体表面から 5mm 間隔でモルタル試料を採取して、水銀圧入法によって空隙構造の分析を実施し、比較した。なお、試料は 48 時間 D 乾燥の前処理を行って分析に供し、2 回の測定の平均値を、かさ密度を用いて単位体積当たりの空隙量(cm^3/cm^3)に換算した。

表 1 コンクリートの配合

W/C %	s/a %	Ac ml/kg-C	単位量 kg/m^3				Sl. cm	Air %
			W	C	S	G		
50	48	2.5	180	360	829	921	8.5	5.3

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

0 日		1 日		28 日		119 日	
				材 齢			
打 設	脱型後通布で打設面を覆い、ビニールシートで密閉保管	脱 型	曝露条件	保管環境	測定・分析項目		
			水 中	60% RH	ビッカース硬さ分布測定		
			湿 空		中性化深さ測定		
			60%RH		X線回折分析		
			40%RH		空隙構造分析		
20℃							

図 1 供試体の早期脱型と曝露条件および測定分析項目

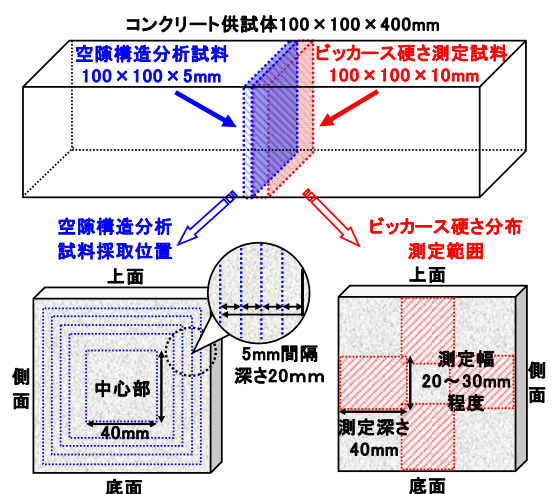


図 2 試料の採取方法と分析・測定箇所

キーワード：表層品質，早期脱型，ビッカース硬さ，中性化，空隙構造

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 TEL(04)7179-6211 FAX(04)7183-4313

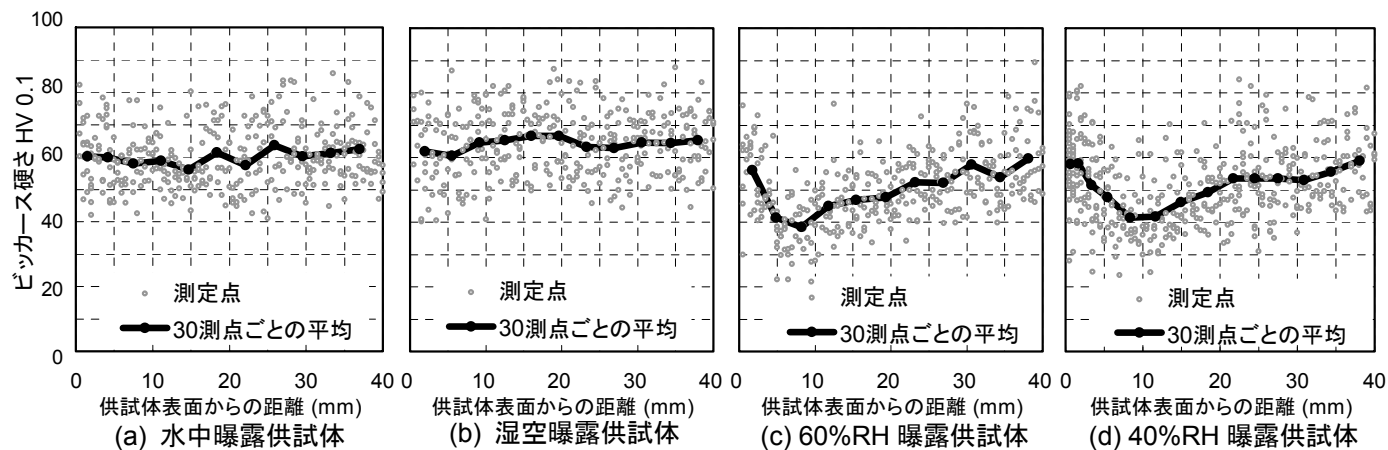


図3 早期脱型後各種環境条件に曝露したコンクリートの表層におけるビッカース硬さ分布

3. 実験結果および考察

打設後 24 時間といったごく早期に脱型し、各種環境条件に曝露したコンクリートについて、表層 40mm の領域を対象にビッカース硬さ分布を測定した結果を図 3 にそれぞれ示す。水中および湿空曝露供試体では、表面近傍から内部 40mm の深さまで、60 程度のビッカース硬さが一様に分布していることが分かる。一方、60%RH および 40%RH 雰囲気への曝露では、40mm 程度の深さまでビッカース硬さが比較的小さい値を示す結果となり²⁾、曝露湿度が低いほどその傾向が顕著となる様子が見えた。これは、セメントの水和反応が十分に進んでいないごく早期に脱型され、その後も比較的水分がコンクリート表面から逸散しやすい乾燥雰囲気へ曝された結果、表層コンクリートの緻密性が損なわれたことを示している。この影響が 40mm といった深さ領域まで及ぶといった今回の実験事実から、鉄筋を保護するための表層(かぶり)品質の確保に対する脱型時期や養生の重要性を再認識できる。

また、図 3 で示されるもう一つの特徴的な結果として、60%RH および 40%RH 雰囲気に曝露した供試体の表層でビッカース硬さが大きくなっていることが挙げられる。この傾向が見られる深さ範囲は、表 2 から分かるように、中性化領域とほぼ一致しており、図 4 でも 40%RH 雰囲気曝露供試体の表層で水酸化カルシウム (Portlandite) が消失していることが確かめられた。以上より、早期脱型後、60%RH、40%RH といった乾燥雰囲気へ曝されたコンクリートでは、一般の大気中で脱型後 4 ヶ月程度のごく短期間で、5mm 程度の深さまで中性化が進んでしまうことが明らかとなった³⁾。

図 5, 6 は、それぞれ水中、40%RH 条件に曝露した供試体の空隙構造分析結果である。水中曝露供試体では、表層と中心部で顕著な差は見られないが、40%RH 雰囲気へ曝露した供試体では、表層 5mm で比較的大きな空隙構造となっていることが分かる。今後は空隙構造のより詳細な分析とともに、物質移動抵抗性との関連を検討していく。

参考文献: 1) 構造物表面のコンクリート品質と耐久性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, 2008.4.
2) 岡崎慎一郎他: 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.
3) 盛岡実他: 有機-無機複合塗膜剤の特性と適用, 土木学会, コンクリート技術シリーズ 74, 混和材料を使用したコンクリートの物性変化と性能評価研究小委員会 (333 委員会) 報告書ならびにシンポジウム講演概要集, pp.II23-II30, 2007.

謝辞: 本研究を実施するに当たり、様々なご助言、ご意見を頂きました土木学会コンクリート委員会 333 委員会ならびに 335 委員会の皆様に御礼申し上げます。また、電気化学工業(株)盛岡実博士には、早期脱型による中性化の進行等に関しまして貴重なご意見を頂きました。ここに記しまして、謝意を表します。

表 2 中性化深さの測定結果

曝露条件	中性化深さ(mm)
水中	0
湿空	0
60%RH	4.8
40%RH	5.8

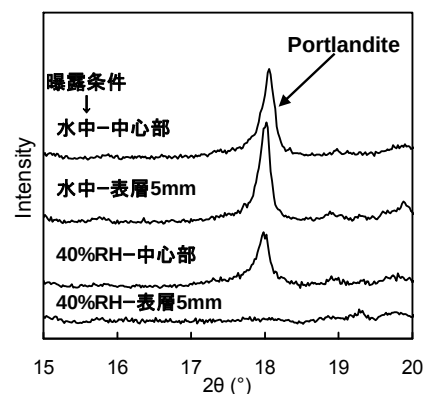


図4 X線回折分析結果の比較

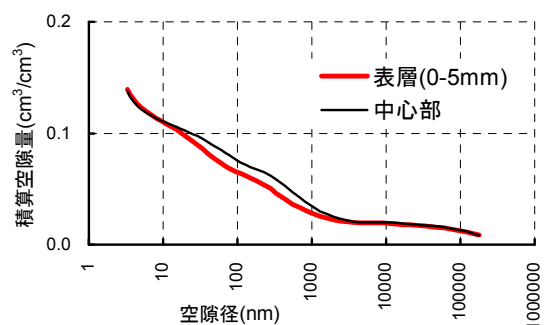


図5 水中曝露供試体の空隙構造分析結果

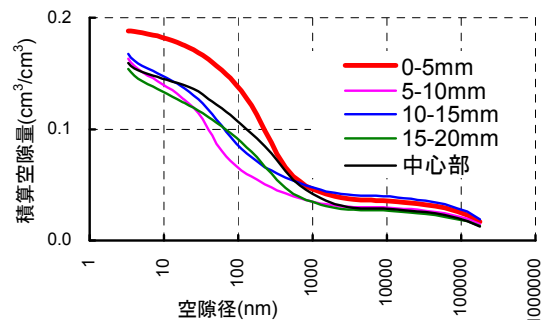


図6 40%RH 曝露供試体の空隙構造分析結果