実構造物から採取したコアにおけるビッカース硬さの深度方向分布と中性化深さの関係

(財)電力中央研究所 正会員 蔵重 勲(株)セレス 正会員 〇仲 亮介 関口 陽 下村 和也

1. はじめに

コンクリートの表層品質は、かぶり厚さとともに鉄筋を腐食因子より防護する性能を大きく左右する因子である。したがって、 施工における養生等の影響や供用中の劣化作用による表層品質の変化を的確に把握することが重要となる。従来、水銀 圧入式ポロシメータを用いた空隙構造分析などにより表層品質分布について評価検討がなされ、様々な知見が得られてい る¹⁾。本研究では、5mm 程度の試料片を用いて品質分布を評価する水銀圧入式ポロシメータに対し、硬度評価にはなるが、 より分解能(数百 µm 程度)を高めることが可能なビッカース硬さ測定に焦点を当て、コンクリート表層の品質分布評価を試 みた。

2. 実験概要

表1に示す各種構造物より採取したコアについて,表面から内部40mmまでの領域を対象にビッカース硬さ分布を測定した²⁾。採取コアを切断加工して試料板を作製し,測定面の研磨を十分に行って測定に供した。ビッカース硬さの測定方法は JIS Z 2244 に準拠し,試験力0.98N,試験力保持期間10sec の条件で実施した。また,採取コアにおけるビッカース硬さ分布と中性化深さの関係を分析するために,**表2** に示すコンクリート供試体を促進中性化させて(40℃60%RH-CO₂10%, 促進期間91日間),比較測定した。また,中性化進行と空隙構造変化の関連を調べるために,48時間のD 乾燥を行って測定試料を作製し,水銀圧入式ポロシメータによる分析を実施した。さらに,炭酸カルシウム含有量の深度変化を把握するため,熱重量分析によって定量した。なお,空隙構造分析,熱重量分析ともに,3 回の測定結果を平均した値を示した。

3. 実験結果および考察

図1および図2は、実構造物から採取したコアを対象に分析したビッカース硬さの深度方向分布である。図1に示すとおり、比較的高い強度が求められるPC桁のコアでは、ビッカース硬さも大きな値を示した。中でも、桁Cは人手をかけ丁寧に施工されたものであり、50年以上経過した今日でもほぼメンテナンスフリーで供用され続けている。また、桁Xも同等のW/Cで近年施工された部材であるが、桁Cのビッカース硬さには及ばない結果となった。一方、PC桁ほど強度が期待されない橋脚Xや高欄Xでは小さな値を示し、桁Cと同一の橋梁構造物である橋台Xは、それほど強度が必要とされないにも係わらず、比較的大きなビッカース硬さが測定された。図2にまとめた3種類の構造物のビッカース硬さ分布は、図1とは対照的に深度方向に大きく変化する傾向が認められた。特に、橋脚Fに着目すると、内部ではビッカース硬さが40程度を示しているのに対し、表層5mm程度までは60~80程度と大きな値が得られた。このビッカース硬さ分布の傾向を理解するために、まずフェノールフタレインアルコール溶液によって中性化深さを測定したところ図3に示すように7mm程度となり、ビッカース硬さが上昇している領域とほぼ一致した³⁾。ビッカース硬さに及ぼす中性化深さの影響を確認するため、促進中性化供試体の分析を行ったところ、中性化深さ約13mmの領域までビッカース硬さが大きくなっていることが明らかになった。

ここで、橋脚 F コアのビッカース硬さ分布をより詳細に観察してみると、中性化が及ん でいない約 10~15mm の深さでも、より深部に比べてビッカース硬さがやや大きくなっ ていることが分かる。促進中性化供試体でも同様に中性化深さよりも深部でビッカース 硬さが大きくなる領域が認められた。この原因を探るため表面からの深度を4領域(0~ 5、10~15、20~25、30~40mm)に区分し、それぞれ空隙構造を分析した。図4は橋 脚 F コアの分析結果であるが、表層 0~5mm では C-S-H が炭酸化により分解され て、中性化が及んでいない深部に比べて 10nm 程度以下の空隙量が大きく減少し ていることが分かる。中性化が及んでいないにも係わらずビッカース硬さがやや大

表1 コアを採取した構造物		
種類	構造物略号	経年
PC 桁	桁C	54
	桁X	10
橋台	橋台X	54
RC 橋脚	橋脚 F	33
	橋脚 X	28
トンネル	覆エ A	93
覆エ	覆エ B	74
RC 高欄	高欄 X	28
処分施設	試験体 A	1
試験体	試験体 B	1

キーワード: 表層品質, ビッカース硬さ, 中性化, 空隙構造, 品質検査, 反発度 連絡先: 〒270-1166 千葉県我孫子市我孫子 1646 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



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

単位(g/cm³)

きくなった深さ10~15mmに目を向けると、10nm程度以下の空隙量が同様に若干減少していることが分かる。図5に示した促進中性化供試体の空隙構造分析結果においても同様な傾向が確認できた。これら中性化が及んでいない領域での空隙構造の変化もセメント水和物の炭酸化に起因するものと仮説を立て、熱重量分析によってこれを確認した。その結果が表3であるが、フェノールフタレインアルコール溶液によって測定された中性化深さよりも深部において、炭酸カルシウムが生成していることが確かめられた。

図 6 は、各種コアの代表的なビッカース硬さを構造物調査で測定された基準反発度と比較した結果である。両者の 厳密な関係を理解するには、反発度に及ぼす骨材の質や量の影響を考慮する必要があるが、概ねビッカース硬さが 大きいほど、基準反発度が高くなるといった正の相関が確認された³⁾。

以上より,ビッカース硬さの深度方向分布を分析することによって中性化の進行程度や炭酸化領域の把握に寄与 できることが示された。また,テストハンマー試験で測定される基準反発度との関係を定量化することによって,非破壊 試験結果に基づいた表層品質の判定が可能になることが今後期待される。

- 参考文献:1) 例えば, 湯浅昇, 笠井芳夫, 松井勇, 篠崎幸代:細孔構造によるコンクリート品質評価方法, 日本建築学会コンクリートの 試験方法に関するシンポジウム報告集, 第2編, pp.67-70, 2003.
- 2) 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成果報告書, 土木学会コンクリート技術シリーズ 80, 2008.
- 3) 米澤敏男他:反発度法による構造体コンクリート強度推定精度向上技術の研究,コンクリート工学年次論文集, Vol.27, No.1, pp.1657-1662, 2005.
- 謝辞:本研究における実構造物調査は、土木学会 335 委員会および 216 委員会の活動を通じて実施したものです。両委員会における 情報交換,議論で得られました知見,頂きましたご助言は、研究を推進する上で非常に有益であり、有難いものでした。深く感謝申し 上げます。さらに、貴重な調査機会をご提供下さった管理者や関係者の皆様には、多大なご尽力を賜りました。ここに記しまして、深甚 の謝意を表します。