

医療用 X 線 CT を用いた W/C が異なるコンクリートの品質評価方法の検討

高知大学海洋コア総合研究センター 正会員 ○岡林 徹 非会員 浦本 豪一郎
非会員 新井 和乃
高知工業高等専門学校 正会員 横井 克則 非会員 矢野 杏菜

1. はじめに

高知大学海洋コア総合研究センターでは、海底掘削コアなどを対象に医療用 X 線 CT を使用して得られた情報解析を行い、各研究分野で成果をあげている。一方、土木・建設分野では工業用 X 線 CT を用いたコンクリートの分析・評価は多数行われ研究成果を挙げているが、医療用 X 線 CT を用いた評価は使用できる環境が少なく、十分な検討が行われていない。そこで、医療用 X 線 CT を用いたコンクリートの品質評価方法として、W/C が異なるコンクリートについて、空気量・W/C・単位粗骨材量の推定および均質性の評価を目的とした検討を行った。

2. 実験方法

表-1 配合一覧表

(1)配合および供試体

配合は、水セメント比を 40、50、60% の 3 水準とし、供試体は $\phi 100 \times 200 \text{ mm}$ と $\phi 150 \times 300 \text{ mm}$ のサイズとした。使用材料は、セメントは普通ポルトランドセメント、細骨材および粗骨材は砂岩を使用した。以下、配合の呼称は表-1の通りとする。

配合	水セメント比 W/C (%)	細骨材率 s/a (%)	単位量 (kg/m ³)				実測値	
			水 w	セメント c	細骨材 S	粗骨材 G	スラップ (cm)	空気量 (%)
1	60	48	173	288	862	937	6.0	5.1
2	50	46		346	804	947	6.5	4.0
3	40	44		433	737	942	2.0	4.6

密度は、セメント 3.15g/cm³、細骨材 2.61g/cm³、粗骨材 2.61g/cm³

(2)医療用 X 線 CT 装置

医療用 X 線 CT 装置は、工業用と比べ測定時間が短いことが特徴で、X 線を患者に照射し得られた X 線透過量から再構成処理を行い、X 線吸収係数を数量化、スライス画像として表示する。データ画像は、画像処理ソフトでの解析が可能である。本実験に用いた供試体の測定は、セットから再構築まで 10 分弱である。

(3)撮影方法

本装置に供試体を横向きにセットし、スライス間隔 0.5mm、管電圧 120 kV、管電流 100mA で 3 次元画像の撮影を行った。CT 画像の解像度は縦横 512×512 ピクセルである。

3. 実験結果と考察

表-2 空気量推定値 (%)

(1)空気量推定

材齢 28 日で CT 撮影を行った。分析結果を検証するために、面積比法を用いて得られた結果と両者を比較した。更に骨材寸法および供試体

配合	$\phi 100$		面積比法	$\phi 150$	$\sigma_{91} \phi 100$
	コンクリート	モルタル	コンクリート	コンクリート	コンクリート
1	2.24	4.19	4.22	2.25	2.25
2	2.06	2.78	4.25	1.78	1.78
3	1.71	2.40	2.77	1.59	1.59

の断面寸法が X 線の透過度に与える影響を調査するため、ウェットスクリーニングしたモルタルも同様に採取した。また、長期材齢による空気量の変化についても継続的に検討した。

CT 画像分析には ImageJ を使用した。コンクリートと空隙部を二値化し、得られた空隙情報からボクセル化した容積をカウントすることで空気量を計測した。更に計測した気泡容積を球と仮定し気泡径(直径)を推定した結果を図-1 に示す。またそれぞれの試験体、寸法による測定結果を表-2 に示す。検出された気泡径は 0.5-10 mm の範囲であった。算出された気泡径の分布は W/C が小さくなる程検出される頻度が低下する傾向が示された。要因としては単位セメント量増加に伴う気泡の吸着が推測される。面積比法と CT 撮影法で得られた空気量の比較では、CT 撮影法が 1.5% 程度低い値となった。モルタルとコンクリートの比較ではコンクリートが 1.0% 程度低い値となった。モルタルでは 0.5 mm 以下の空気量が、コンクリートでは粗骨材の X 線

透過量が影響したと考えられる。長期材齢による空気量の減少は W/C が小さい程減少幅が大きい傾向を示した。セメント量が大きい配合程、水和生成物による気泡への浸食等が要因として推測される。坂田らのリニアトラバース法にて行った実験では、硬化コンクリート中の空気量はフレッシュコンクリート中の空気量より 0.9%程度少ないと報告されている¹⁾。検出された空気量はフレッシュコンクリート時に測定された値の45%程度であるので、測定値をエントラップエア等と仮定すると、耐久性に悪影響を与える気泡を定量化できる可能性がある。

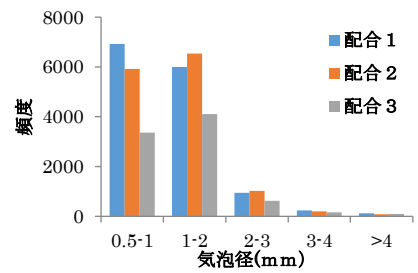


図-1 気泡径グラフ

(2)CT値と圧縮強度および W/C の相関

CT 値と圧縮強度および W/C の結果を表-3 に、圧縮強度及び W/C の相関図を図-2 および図-3 に示す。CT 値はモルタル部分を示すヒストグラムでの最頻値とした。W/C が小さい配合ほど大きな CT 値を示した。供試体の寸法による影響は、部材厚が大きい程 X 線の遮蔽効果により減衰率が大きくなり、CT 値が大きくなる傾向を示した。圧縮強度は材齢による強度増進ほど、CT 値については変化が微小であった。今回の実験では CT 値による W/C および強度の推定の可能性を示した。更に W/C の推定では材齢による影響は少ないと考えられる。

表-3 W/C と圧縮強度 CT値一覧表

材齢	28d		91d	
	圧縮強度 (N/mm ²)	CT 値 (HU)	圧縮強度 (N/mm ²)	CT 値 (HU)
1	26.4	1784	37.2	1812
2	36.1	1886	49.0	1878
3	58.1	1951	75.2	1944

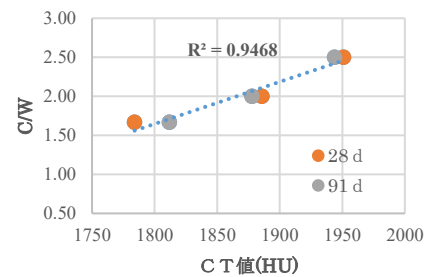


図-2 CT 値-W/C 相関図

(3)均質性評価と単位粗骨材推定

ヒストグラムを用いることで、均質性と単位粗骨材量推定を行った。均質性については供試体高さ方向に 2 分割したヒストグラムを用いて評価した。粗骨材の推定では、既往の研究では画像を二値化し推定する方法が用いられるが、医療用 CT では患者の被ばく量を低減するために X 線の出力を絞っているため、十分な二値化ができない。そこでヒストグラムによる推定を実施した。CT 値の数値を高い方から累加算出したものを百分率で示し、配合表の粗骨材容積と対比することで推定した。均質性評価の結果を表-4、図-4に、粗骨材の推定結果を表-5にそれぞれ示す。

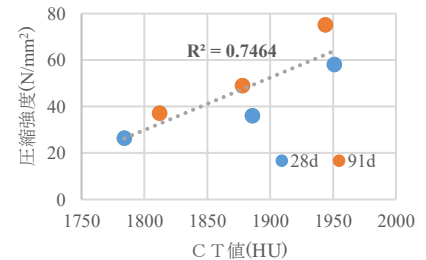


図-3 CT 値-圧縮強度相関図

均質性においては、CT 値が 1800-1900 程度のモルタルと推測される値で差が多く、bottom 側のモルタルが多い傾向となった。粗骨材量の推定では、0.5~7.5%の誤差が生じた。配合 3 においてはモルタルと骨材の CT 値の差が小さく、粗骨材部分の抽出が困難となり小さい値となったと推察される。

表-4 均質性 CT 値の差

配合	最大差 CT 値	差(%)
1	1822	17
2	1864	10
3	1952	30

4. まとめ

- ① 空気量の推定においては、骨材の影響等を考慮することで品質評価向上に寄与する。
- ② CT 値から W/C および粗骨材量の推定の可能性が示された。
- ③ 配合報告書に記載されている情報と、CT 撮影法で得られる値を併用することで品質評価精度向上に期待できる。

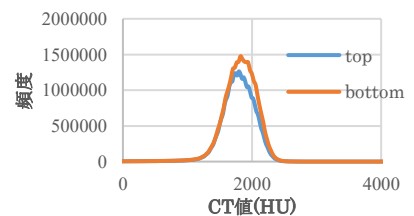


図-4 配合 1 の均質性ヒストグラム

参考文献

1)坂田昇、橋本学、菅俣匠、緒方克彦：中庸熟フライアッシュセメントを用いたコンクリートの耐凍害性に関する研究、コンクリート工学年次論文集、Vol.35、No.1、pp.895-900、2013

表-5 粗骨材の推定量

配合	推定量(kg/m ³)	差(%)
1	942	+0.5
2	934	-1.3
3	874	-7.2