

X線CT法を用いた硬化コンクリートの水セメント比と単位セメント量の推定方法について

ハザマ 土木事業総本部ダム統括部 正会員 ○天明 敏行
 東京電力(株) 電力技術研究所 正会員 堤 知明
 ハザマ 技術環境本部技術研究所 正会員 村上 祐治
 熊本大学 工学部環境システム工学科 正会員 尾原 祐三
 熊本大学 工学部環境システム工学科 正会員 小野 宏紀

1. はじめに

硬化コンクリートの配合推定方法は、セメント協会法といわれる化学分析法¹⁾が一般的であるが、分析工程などが複雑で、工期や費用が多大にかかるわりに、試料によっては信頼性に乏しい推定結果が得られることがある。本研究では、X線CT法を用いた硬化コンクリートの水セメント比と単位セメント量を推定方法を検討した。X線CT法とは、CT値で表わされるX線の吸収係数が物性によって変化することを利用して被検体の断層画像を得る手法であり、医療の分野を中心にその有効性が示されている。推定にあたっては、X線CT法を用いてコンクリートのモルタル部の平均CT値と水セメント比、単位セメント量との相関を検討した。

2. 試験方法

X線CTスキャナは、X線管電圧400kV、管電流2A、スライス厚2mmのものを用いた。X線管と176個の検出器は同一水平面上に固定されており、上下方向に移動する。供試体はφ125×250mmで、ターンテーブルの上に設置され併進と回転を行う。コンクリートは普通ポルトランドセメントを使用し、粗骨材には砂岩岩塊混在岩（表乾密度2.68g/cm³）、細骨材には①粗骨材と同種類、②大井川産、③君津産の3種類を使用した。水セメント比は45～75%、細骨材率を

表-1 示方配合

38～42%と変化させた。示方配合を表-1に示す。

細骨材の種類	粗骨材の最大寸法 Gmax (mm)	目標スランプ SL (cm)	水セメント比 W/C (%)	目標空気量 (%)	細骨材率 s/a (%)	単位量(kg/m ³)							
						水		セメント		AE減水剤		空気量調整剤	
						W	C	S	G	A1	A2		
① 砂岩岩塊混在岩 (粗骨材と同種) 表乾密度: 2.65kg/cm ³	40	8	45	4.5	40	178	396	691	1048	0.989	0.049		
	40	8	55	4.5	38	170	309	692	1142	0.773	0.039		
	40	8	55	4.5	40	172	313	725	1100	0.782	0.039		
	40	8	55	4.5	42	176	320	754	1053	0.800	0.040		
	40	8	55	4.5	44	180	327	783	1008	0.818	0.041		
	40	8	65	4.5	40	172	265	741	1124	0.662	0.040		
② 大井川産 表乾密度: 2.62kg/cm ³	40	8	75	4.5	40	177	236	746	1131	0.590	0.041		
	40	8	45	4.5	40	150	333	741	1125	0.833	0.025		
	40	8	55	4.5	40	150	273	762	1156	0.682	0.027		
	40	8	65	4.5	40	152	234	773	1172	0.585	0.023		
③ 君津産 表乾密度: 2.68kg/cm ³	40	8	75	4.5	40	152	203	783	1188	0.507	0.020		
	40	8	45	4.5	40	146	324	749	1136	0.811	0.032		
	40	8	55	4.5	40	146	265	768	1166	0.664	0.027		
	40	8	65	4.5	40	146	225	782	1187	0.562	0.022		
40	8	75	4.5	40	146	195	792	1202	0.487	0.019			

3. 撮影画像とCT値

X線CTスキャナにより得られた撮影画像は、1辺150mmのスキャンエリアに対して512×512のピクセルで構成され、各ピクセルには次式で定義されるCT値が与えられる。

$$CT値 = \frac{\mu_t - \mu_w}{\mu_w} K \quad (1)$$

ここに、 μ_t は求める点のX線吸収係数、 μ_w は水のX線吸収係数で1、 K は定数(=1000)である。空気のX線吸収係数は0であるから、CT値は-1000となる。X線吸収係数は物体の密度に比例することからCT値も密度に比例した値と考えることができる。また、ヨウ素やバリウムの化合物など一部の物体では大きな値となる。

撮影画像の一例を図-2に示す。試料内部の白い部分が骨材であり、灰色部分がモルタル、さらに黒い部分が空隙である。CT値が高いほど白く表示され、密度が大きいことを示している。この断面のCT値の頻度分布は、画像上で各構成材料が占める面積から図-3に示すような各構成材料に分けることができる。

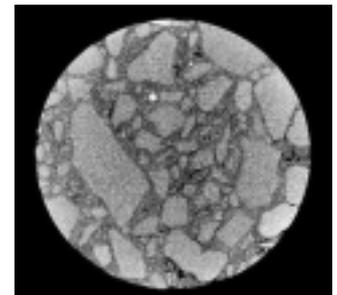


図-2 撮影画像の一例

キーワード X線CT法, CT値, 配合推定, 水セメント比, 単位セメント量

連絡先 〒107-8658 東京都港区北青山1丁目5-8 ハザマ土木事業総本部ダム統括部 TEL 03-3405-1153

4. モルタル部の CT 値と水セメント比の関係

コンクリート供試体のモルタル部の平均 CT 値を調べ、水セメント比との関係を求めた。モルタル部の CT 値と水セメント比の関係を図-4 に示す。ばらつきはあるが、モルタル部の CT 値が大きくなると水セメント比が小さくなる相関が認められた。これは、水セメント比の大きいモルタルは密度が大きく、CT 値が大きくなるためと考えられる。ばらつきの原因は骨材の種類や細骨材率の相違によるものと思われる。

5. モルタル部の CT 値と単位セメント量の関係

コンクリートのモルタル部分の CT 値とコンクリートの単位セメント量の関係を図-5 に示す。単位セメント量が大きいほどモルタル部の CT 値が大きい関係が認められた。これも密度との関係が考えられるが、コンクリートの構成材料のうち、セメントの主成分である CaO が比較的原子量の多い重元素から構成されており、CT 値に反応している可能性も考えられる。

6. 水セメント比と単位セメント量の推定

図-4 および図-5 の関係からコンクリート中のモルタル部の平均 CT 値を用いて水セメント比と単位セメント量を推定した。示方配合の水セメント比と推定値の関係を図-6 に、実際の単位セメント量と推定単位セメント量の関係を図-7 に示す。今回撮影した供試体のうち、2 ケースについて、セメント協会法による配合推定も実施しており、その結果も図-6、7 に併せてプロットしている。X 線 CT 法による水セメント量の推定では最大で 10% 程度、単位セメント量の推定では最大で 50kg/m³ 程度の乖離が認められた。セメント協会法による推定では水セメント比で 5% 程度、単位セメント量で 100kg/m³ 程度の乖離であった。これより、X 線 CT 法による水セメント比と単位セメント比の推定は、従来のセメント協会法に対して大きな遜色なく実施できる可能性があることがわかった。

7. まとめ

硬化コンクリートの供試体の X 線 CT 撮影を行い、コンクリートのモルタル部の平均 CT 値を求めることで配合推定する方法を提案し、従来の方法と比較することによってその可能性を実験的に明らかにすることができた。

参考文献

1) セメント協会：コンクリート専門委員会報告 F-18「硬化コンクリートの配合推定に関する共同試験結果」, 1967

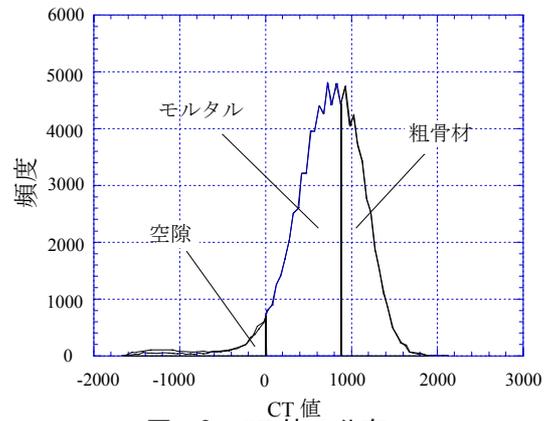


図-3 CT 値の分布

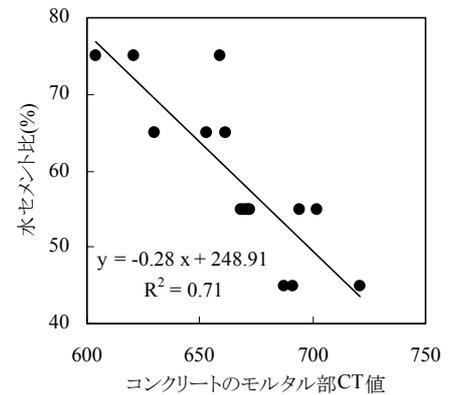


図-4 モルタル部の CT 値と水セメント比

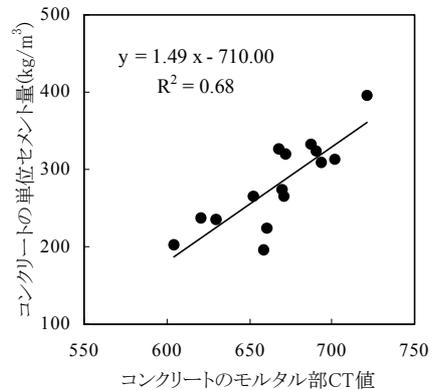


図-5 モルタル部の CT 値と単位セメント量

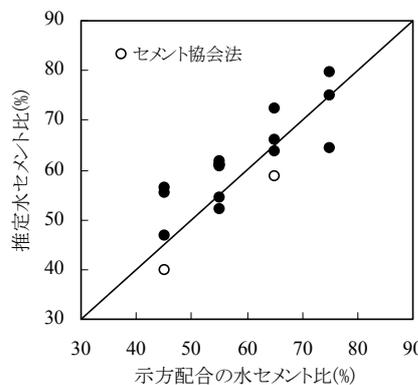


図-6 示方配合の水セメント比と推定水セメント比

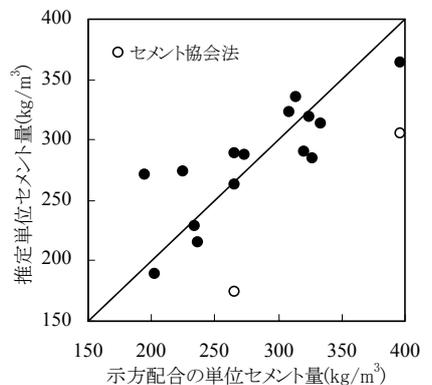


図-7 示方配合の単位セメント量と推定単位セメント量