

約 60 年経過したダムコンクリートの溶出挙動評価

鹿島建設 技術研究所 正会員 安田和弘 渡邊賢三 大野俊夫
鹿島建設 東京支店 正会員 横関康祐

1. はじめに

LCE (ライフサイクルエンジニアリング) が重要視される昨今において、構造物の耐久性を正確に把握するとともに、その経年変化を予測・評価することが重要である。長期にわたる構造物の耐久性の評価および寿命予測を行う場合は、解析的手法を用いて行うことが望ましく、その解析手法の構築において解析定数 (ex. 拡散係数, 各種補正係数など) を得るためのデータの収集が極めて重要である。特に、実環境において長期間曝された構造物は、劣化後の物性を得る重要な資料となる。そこで約 60 年経過したダムコンクリートの調査を実施し、耐久性評価手法の一助とすることを試みた。

2. 測定対象構造物および試験項目

コンクリートコア (直径 100 mm) は、竣工後 58 年経過した A ダムから採取した。コア採取箇所はダムの堤体部上流部で、底部から約 5m 付近の常に水と接していたと考えられる部分である。

試験項目を表-1 に示す。耐久性を評価する上で物質透過性が重要な要因となるため、水と接する面から深さ方向に空隙率や微視的な強度 (ピッカース硬度) を測定した。また、それらの物理的性質と化学的性質の関係を把握する目的で元素分析についても実施した。空隙構造, ピッカース硬度, 元素分析については、水と接していた表面から内部に 100 mm 程度まで測定した。

3. 試験結果

ダムの置かれていた環境を調査するために、貯留水, 流入水の物質を測定した (表-2 参照)。貯流水は流入水に比べてカルシウム: Ca イオン濃度がやや高くなっているが、一般的な河川水に類似した水質であった。ここで、ダム接触水の Ca に関する溶解性を評価する指標として Langelier 飽和係数を用い、式(1) で求めた。

$$Langelier \text{ 飽和係数} = pH - pHs \quad \dots (1)$$

$$(pHs = pCa + pAlk + C)$$

ここに、pH: 測定水の pH, pHs: 炭酸カルシウムで飽和した理論 pH, pCa=5-log(2.5×Ca イオン濃度[mg]), pAlk=4-log(アルカリ度[mg]/5),

C=0.0872log(蒸留残留物[mg]/300)+9.245×10⁻⁵×T²-2.574×10⁻²×T+2.745, T: 水温[°C], である。上式より、Aダムの貯流水の Langelier 飽和係数は-1.7 となる。Langelier 飽和係数は、プラスの場合は析出傾向, ゼロの場合は化学的平衡, マイナスの場合は溶解傾向にある、とされているため、Aダムの貯流水はコンクリートを溶解のモードで浸食していたものと考えられる。

配合推定結果を表-3 に示す。水セメント比は 102.6% となり、現在使用されているコンクリートよりも著しく高い結果となった。

表-1 試験項目一覧

調査項目	規格, 測定方法
配合推定	セメント協会法
圧縮強度	JIS A 1108
空隙構造	水銀圧入法
ピッカース硬度	JIS-Z-2244
主要元素分布	エネルギー分散型X線アナライザー
環境水イオン濃度	イオンクロマトグラフィー・原子吸光

表-2 環境水水質

項目	測定時 水温 (°C)	pH	電気伝導率 (sm/m)	M・アルカリ度 (mgCaCO ₃ /L)	蒸留 残留物 (mg/L)	溶解性鉄 (mg/L)	溶解性 マンガン (mg/L)	
								イオン(mg/L)
	硫酸	塩素	ナトリウム	カリウム	カルシウム	マグネシウム	シリカ	炭酸水素
流入水	19	7.2	6.7	5	40	0.04	0.01未満	
貯留水	19	7.3	8.5	15	110	0.55	0.01	

表-3 配合推定結果

ig.loss (600°C)	ig.loss (1000°C)	insol. (%)	CaO (%)	水セメント比 (%)
3.2	3.6	86	4.8	102.6
単位体積質量 (kg/m ³)		材料単位量 (kg/m ³)		
表乾	絶乾	セメント	水	骨材
2356	2211	153	157	2046

・セメントのCaO量=64.5%、強熱減量=0.6%、骨材の不溶残分=95.2%、CaO量=0.4%、強熱減量=1.2%と仮定

キーワード: 耐久性, 溶出, ダムコンクリート, Ca 溶出率

〒182-0036 東京都調布市飛田給 2-19-1 Tel 0424-89-7071 Fax 0424-89-7073

使用材料や施工方法の情報が乏しく、詳細については不明な点が多いが、約 60 年前のコンクリートは、現在のような質量比の配合ではなく、体積比の配合であったと考えられ、またこのように高い水セメント比のダムコンクリート配合が実際に使われていたとの報告もある¹⁾。なお、表面から深さ 1m 付近から採取した 3 本のコアによる圧縮強度の平均値は 17.9N/mm²であった。

図-1 に表面からの深さと空隙率の関係を示す。空隙率は表面付近で高くなっているが、30 mm 以深ではほとんど変化しない結果となっている。これは、水と常に接し続けたことによって、表面付近の Ca 成分が溶出して、空隙率が高くなったものと考えられる。

図-2 に表面からの深さとビッカース硬度の関係を示す。空隙率の測定結果からも推察されるように、ビッカース硬度は表面付近で低く、コア内部で高くなり、10 mm 以深ではほとんど変化しない結果となっている。なお最表層部でビッカース硬度が高くなっているが、これは炭酸カルシウムなどの析出物によるものと考えられる。

図-3 に表面からの深さと固相 Ca 濃度の関係を示す。この図から、固相 Ca 濃度は 5~10 mm で低いが、10 mm 以深ではほとんど変化がない結果となっている。この結果は、空隙率やビッカース硬度の結果と同様な傾向となっており、これらの結果からセメント成分の溶出は 10 mm 程度の深さまで進行しているものと考えられる。なお、表面付近で Ca 濃度が高くなる傾向が見られるが、これは前述のように炭酸カルシウムなどの反応性生物の析出によるものと推察される。

Ca 溶出による物性変化を評価するために、Ca 溶出率と空隙率、ビッカース硬度の関係を整理した。なお Ca 溶出率は式(2)で算出した。

$$Ca溶出率(\%) = \left\{ 1 - \frac{\text{実測}Ca濃度 (mol/L)}{\text{健全部}Ca濃度 (mol/L)} \right\} \times 100 \quad \dots (2)$$

図-4 に Ca 溶出率と空隙率、およびビッカース硬度の関係を示す。バラツキはあるものの、Ca 溶出率が増加すると空隙率は増加し、ビッカース硬度は低下する傾向にあることがわかる。この結果から、Ca 溶出率は物理特性に影響し、耐久性を評価する上で重要な指標となることがわかる。

4. まとめ

約 60 年前に建設され、ダムの貯留水に接し続けたコンクリートを調査したところ、水と接していた表面付近ではセメント成分の溶出によって劣化が進行していたが、内部は健全であることがわかった。

【参考文献】 1) 中原康：振動ローラで締固める超かた練りコンクリートの配合設計方法に関する研究，博士論文，1994

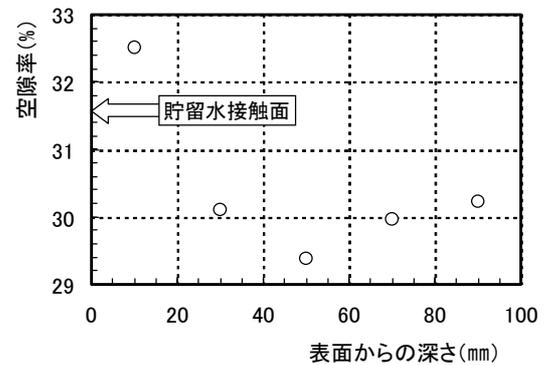


図-1 深さ方向の空隙率の変化

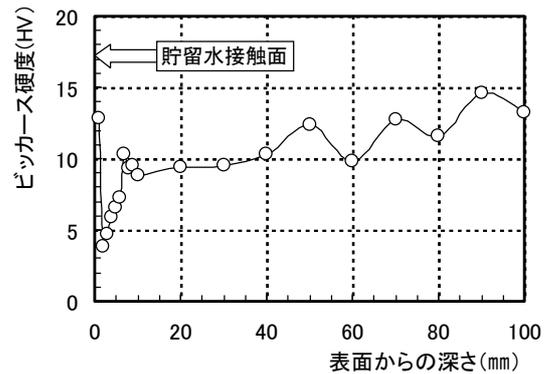


図-2 表面からの深さ方向のビッカース硬度の変化

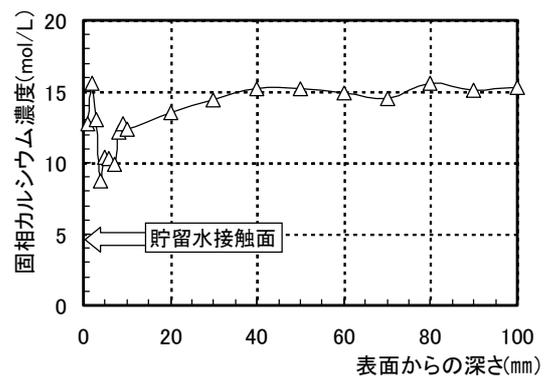


図-3 表面からの深さ方向の固相カルシウム濃度の変化

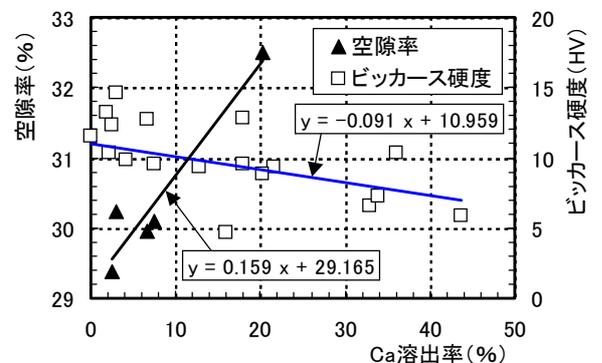


図-4 溶出率と空隙率、ビッカース硬度の関係