

還暦を迎えたダムコンクリートの健康診断



徳島大学大学院 社会産業理工学研究部
教授 橋本 親典

1. 長安ロダムの改造事業

私は2019年に還暦を迎えました。この号が発刊される時は、63歳になるので、2015年3月の定年まであと2年です。私のほぼ同い年のコンクリートダムの1つに、徳島県那賀郡の長安ロダムがあります。約60年間その役割を維持してきましたが、那賀川下流の度々の洪水発生のため、洪水調節機能の向上を目的とした改造事業を行いました。私は、改造施工技術検討委員会の委員長を引き受けました。改造工事は2020年度末に無事終了しましたが、コロナ禍の影響のため、2021年5月14日、完成式典ということで行われました。

最大放流量を10%程度大きくするために、開口高さが旧ゲートより5m程度深い新しいゲートを2門新設しました。図-1にその概要を示します。新設ゲートの運用は、2019年から行われており、甚大な被害が発生した2019年の西日本豪雨は、那賀川水系でも相当な降雨量であったにも関わらず大きな洪水が発生しませんでした。

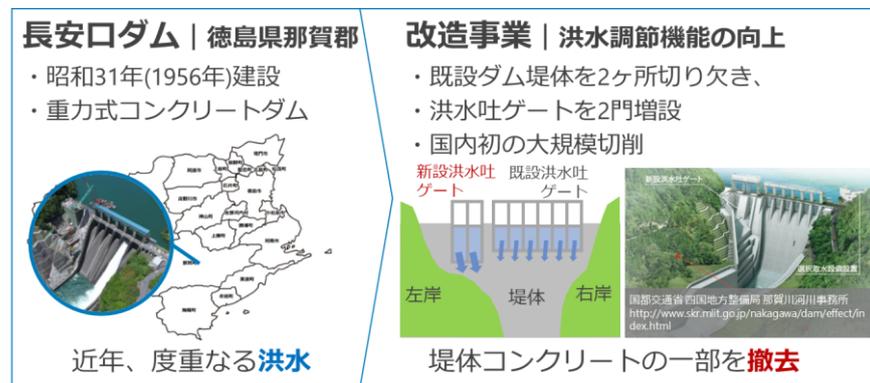


図-1 長安ロダムの位置と改造事業の概要

本改造工事では、堤体のコンクリートに高さ30m×幅10mという巨大な穴を2つ造りました。それに伴い、堤体コンクリートが無数のブロックとして切削・廃棄されました。堤体コンクリートを単に廃棄するのは勿体ないということで、私の研究室で、この堤体内部のコンクリートの物性値の評価および配合推定を行いました。つまり、60年経過した現役の堤体コンクリートの健康診断を行ったということになります。

結論から言いますと、圧縮強度は40N/mm²程度、未中性かつ耐凍害性を有するAEコンクリートであり、大変健全でした。60年前のセメントは非常に貴重であり、少ないセメント量で入念な施工を行ったと思います。

これに対して、私は毎年人間ドックで年齢を重ねるごとに、要検査や経過観測項目が

増えています。コロナ禍の影響で、夜の飲み会や懇親会の回数が減ったため、少し減量したおかげで、少しばかり数値が良くなりました。

数年で大学教員を退職しますが、長安ロダムはまだ現役を続ける必要があります。生コン工場もない時代にこのような素晴らしいコンクリートを造った当時の技術者に敬意を払い、本稿において、そのコンクリートの調査結果（健康診断）を紹介したいと思います。なお、本内容は、JCI 年次論文集に投稿済です。実験方法や実験結果等の詳細なデータを知りたい会員の方は、参考文献¹⁾を JCI の論文検索から無償で入手できます。

2. 実験概要

2.1 供試体

撤去した大量の堤体コンクリートの一部を研究用として四国地方整備局那賀川河川事務所から提供していただきました。写真-1は、この堤体



写真-1 ブロックの概観

切削後のコンクリート片で標準寸法が 1200×1200×1500mm であり、長安ロダムの貯水池仮設構台に一次保管していました。写真-1の右側は、現在のコンクリート片です。コンクリート片をさらに 600×600×300mm のコンクリートブロックに切削し、18 体にしました。このコンクリートブロックは、平成 30 年と令和元年にそれぞれ 2 体と 1 体を用いて非破壊試験を行うために、試験体 1 体に対して、φ100mm×200mm 及び φ150mm×300mm のコアを 4~7 本採取しました。図-2 に示すように、各コア供試体について各種試験を行い、コアから小片及び円盤を採取し化学分析を行いました。なお、コンクリートブロックの保管環境は、屋外で雨水にさらされている状態です。残ったブロックはそのまま現在も存置しています。

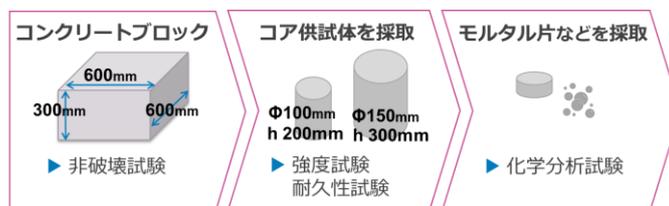


図-2 試験体と各種の試験方法の関係

2.2 配合及び粗骨材寸法

鹿島建設株式会社堰体部のダム工事記録（昭和 34 年 12 月調）及び徳島県那賀川開発建設事務所の竣工図に掲載されている配合表を表-1 に、粗骨材寸法を表-2 に示します。配合は 3 種類あり、堤体の上部及び下部・外部・内部に分類されていました。粗骨材は 3 水準で最大寸法 130mm でした。また、細骨材は、小砂利をロッドミルで製砂して使用し、製砂前は、川砂が

表-1 配合表

配合	大砂利 (kg)	中砂利 (kg)	小砂利 (kg)	砂 (kg)	セメント (kg)	AE (cc)	水 (kg)
A (上・下部)	467	481	510	595	250	110	110
B (外部)	476	491	521	595	230	110	105
C (内部)	494	509	540	582	180	100	105

表-2 粗骨材の寸法

	大砂利 (mm)	中砂利 (mm)	小砂利 (mm)
粗骨材寸法	130~75	75~35	35~5

採取されていたことが記載されています。AE 剤が使用されたコンクリートであることも記録されています。

2.3 コア供試体の分析項目と実験方法

(1) 各種強度試験

JIS A 1107 に準じて、圧縮強度試験、JIS A 1113 に準じて割裂引張強度試験及び JIS A 1149 に準じて静弾性係数試験を行いました。

(2) 中性化試験

JIS A 1152 に準じて、コア供試体の中性化深さ試験を行いました。

(3) 長さ変化試験（迅速法）

コンクリートの乾燥収縮ひずみを検討する試験方法は、JIS A 1129-2（モルタル及びコンクリートの長さ変化測定方法-第2部：コンタクトゲージ法）で行いました。20℃の室温では182日間必要ですが、私の研究室で開発した長さ変化試験（迅速法）を採用しました。6日間40℃で低温炉乾燥し、その後24時間20℃の試験室に静置し供試体温度を下げ、8週間（56日）まで繰り返します。

(4) 凍結融解試験（JIS A 法・急速法）

JIS A 1148 に準拠して、コア供試体の凍結融解試験（JIS A 法）を行いました。さらに、液体窒素を用いたコンクリートの簡易凍結融解試験（急速法）を行いました。私の研究室で開発したこの簡易凍結融解試験は、容器の中で液体窒素を供試体底面に30秒吹き付け、30秒間静置することで、供試体端面を凍結させ、その後に5分間、45～50℃の湯に浸漬することで融解させるという試験です。

(5) 微細構造に関する試験

水銀圧入法により、細孔径分布を求め、リニアトラバース法により、ASTM C457 に準じて気泡間隔係数を求めました。

(6) 配合推定試験

配合推定試験は、「硬化コンクリートの配合推定に関する共同試験報告 F-18）/セメント協会」に従って、配合推定を行いました。供試体は、φ100mm×180mm（外部環境による中性化進行の影響がない試料）のコア供試体を用いました。

3. 実験結果

(1) 圧縮強度試験結果

図-3 に、平成30年度のφ100mmと令和元年度のφ150mmのコア供試体の圧縮強度試験結果を示します。平成18年に堤体切削を行うための事前調査として鹿島建設が実施したボーリングコア（φ150mm）、コンクリートブロックを用いたシュミットハンマーによる強度推定の結果も示します。同じ試験体から採取したコアですが、φ150mmの方が、平均強度が増加しました。供試体内部に存在する潜在的欠陥がφ100mmの試験体よりも小さいためと考えられます。通常は寸法効果の影響で供試体が小さい方が、強度が増加します。し

かし、供試体寸法よりも骨材の最大寸法が大きい試験体では、寸法効果よりも潜在的結果の影響が卓越するようです。

平成 18 年度のデータは、改造事業担当者がコアを採取しており、必ずしも堤体内部のコンクリートではない可能性があります。

興味深い点としては、60 年以上経過しても強度が低下しない点です。水和反応はほぼ終了していると思いますが、セメント硬化体の強度がそのまま維持しているということが明らかになりました。残念なのは、もっと強度が増加するのではないかと思います、当時の設計基準強度 18N/mm^2 の約 2 倍程度の増進であると言えます。

(2) 中性化深さ試験結果

図-4 に割裂した供試体断面にフェノールフタレイン溶液を噴霧した断面を示します。粗骨材以外のモルタル部分が変色したことより、このコンクリート片は、ダム堤体の内部のコンクリートであり、中性化していないことが確認できました。強度試験結果と同様ですが、60 年経過しても水和した硬化体が分解するということはないということです。

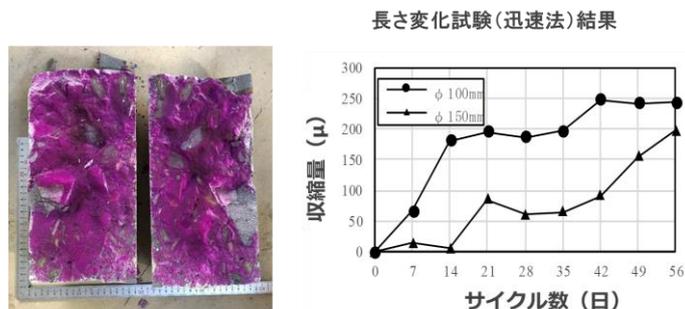


図-4 中性化試験と長さ変化試験の結果

(3) 長さ変化試験 (迅速法) 結果

図-4 に乾燥収縮ひずみを示します。材齢が 60 年以上経過しているため、水和反応は収束している可能性があります。しかしながら、φ 100mm と φ 150mm のコア供試体において残存する自由水が乾燥することによる収縮を確認することができました。つまり、60 年経過しても自由水が存在しているということです。コアドリルを使って採取するときの水道水を供試体が吸収したとすれば、その水量は初期に脱水すると思われます。しかしながら、サイクル数 (1 サイクルが 7 日) の増加に伴い、収縮量が増加しており、収縮ひずみは供試体内部に存在していた自由水の乾燥によるものと思われます。60 年間経過しても内部コンクリートには自由水が存在しているということが明らかになりました。

ただし、 $250\mu\text{m}$ 程度の収縮量は現在のコンクリートと比較して半分以下であり、水和反応はほぼ終了していると思われます。

(4) 凍結融解試験結果

図-5 に凍結融解試験 (JISA 法・急速法) 結果を示します。JISA 法では、超音波伝搬

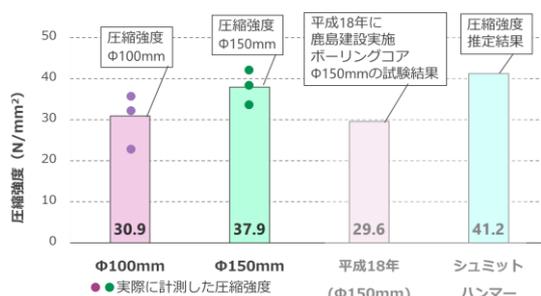


図-3 圧縮強度試験データの比較

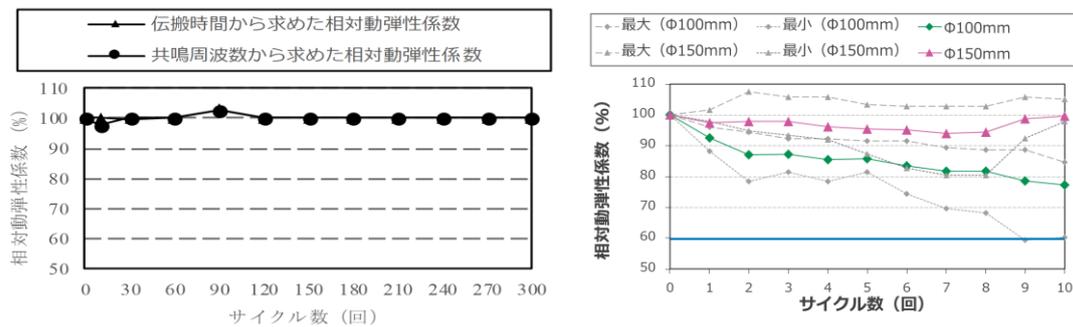


図-5 凍結融解試験(左:JIS法・右:急速法)の結果

時間から求めた値および共鳴周波数から求めた値のどちらも相対動弾性係数は、60%以上を維持していました。急速法でも、供試体の寸法に関係なく、相対動弾性係数の平均値は、10 サイクル終了後も60%以上を維持していました。よって、この堤体コンクリートは、耐凍害性を有するコンクリートであることが確認できました。

(5) 微細構造に関する試験

図-6に、モルタル小片の微細構造分析として、細孔径分布と気泡間隔係数の分析結果を示します。細孔径分布からは、1 μ m以下の微細な空隙の存在を確認することができました。気泡間隔係数は、290 μ mであることが確認できました。

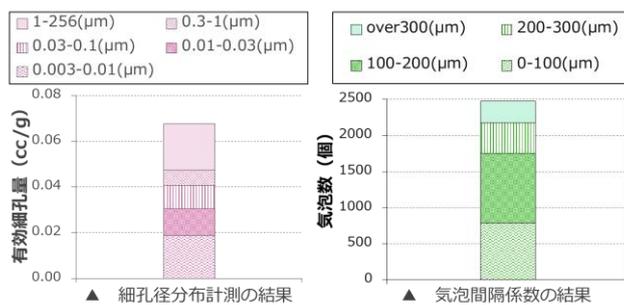


図-6 微細構造に関する試験結果

耐凍害性に有効な気泡間隔係数

200 μ m以下よりも大きい値ではありますが、凍結融解試験の結果と合わせると、連行空気量の存在が明らかになりました。また、微細な連行空気は、細孔径分布の計測結果から妥当であると判断できます。

以上の結果より、堤体コンクリートはAEコンクリートであると判断できました。

(6) 配合推定試験結果

1979年以前のポルトランドセメントは、JISで少量混合成分(5%)の添加が認められていないため、石灰石や高炉スラグがポルトランドセメントに混合されることはないと考えられます。そのため、ig. loss. は現在よりも低い値となっていると思われます。また、CaOは、現在にくらべて当時のセメントのほうが高く、長期強さを発現するビーライト(C₂S)の鉱物比率が、現在にくらべて当時のセメントのほうがやや低いと推計されます。長安口ダムでもこのようなセメントが使用された可能性があります。

文献情報から当時のセメントの化学成分として、ig. loss. を0.8%、insol. を0.4%およびCaOを65.4%と仮定して推定した結果を表-4に示します。更に、空気量を2%、3%及

び4%と仮定した場合のそれぞれのケースで配合を推定しました。なお、細骨材率はすべて27%としました。配合推定の結果、単位セメント量は160kg/m³を下回り、水セメント比は空気量を1~3%と仮定した場合、50.6~64.1%と推定され、長安ロダムの配合表(表-1)と比較すると、内部コンクリートの値に近いことが確認できました。

表-4 配合推定試験結果

配合	大砂利(kg)	中砂利(kg)	小砂利(kg)	砂(kg)	セメント(kg)	AE(cc)	水(kg)	W/C(%)
空気量1.0(%)		2178			156	-	100	64.1
空気量2.0(%)		2188			158	-	88	55.7
空気量3.0(%)		2195			158	-	80	50.6
空気量4.0(%)		2205			158	-	71	44.9

4. 健康診断結果

長安ロダムの堤体内部コンクリートの物性値の調査結果の知見は、以下の通りです。

- 1) 圧縮強度は40N/mm²程度である。
- 2) 中性化深さ試験と長さ変化試験の結果より、セメント硬化体は、中性化していなく自由水を保持している。
- 3) 凍結融解試験、微細構造に関する試験および配合推定試験の結果より、AEコンクリートである。

本稿の冒頭で説明しました通り、60年経過してもコンクリートは現役世代であるという健康診断結果でした。コンクリートブロックの残部は、阿南市の生コン工場のヤードに置かせてもらっています。あと2年で定年退職しますが、このあと、20年ごとに、同様な調査をして、強度や耐久性等の経年変化を追跡してもらおう計画があります。

80歳、100歳のダムコンクリートの堤体コンクリートの健康診断結果を、「関東コン便り」に発表できればと思っております。

写真-2は、本改造事業が終了し、完成した2門の新しいゲート(左岸側の2門)が運用している長安ロダムの風景です。旧の6門に比べてゲートの高さが長いです。

なお、以下のURLにこの長安ロダムのコンクリートの調査に関するYouTubeが川口ダムの自然エネルギーミュージアムのHPの中で配信されています。興味のある方は、是非一度ご覧ください。< <https://kre-museum.jp/> >



写真-2 完成後の2門の新しいゲート
<https://www.mlit.go.jp/sogoseisaku/region/infratourism/infralist/tokushima/index01.html>

参考文献

- 1) 川原恵理子,阿邊浩市,橋本親典,渡邊健:60年以上経過した長安ロダムの堤体コンクリート内部から採取したコア供試体の物性値の評価,コンクリート工学年次論文集,Vol.42, No.1,pp.1246-1251,2020.