

水力発電設備のコンクリートの溶脱に関する促進試験

維持管理工学研究室 下里海斗

1. 研究背景と目的

水力発電は、水資源に恵まれた日本では長期に安定した電力供給が行えるため、水力発電設備の長期耐久性が求められている。

水力発電設備は主にコンクリート構造物となり、地下水位以下に多数存在している。地下水と長期に接していることで、セメント系材料中の水和物が周囲の水に溶解して組織が疎となる溶脱という劣化が生じ、ひび割れもしくは継ぎ目から漏水を伴うエフロレッセンス等の白色析出物が生じている。一般的に美観上の問題はああるが、短期的にはコンクリート強度に影響を及ぼしたりするものではないと言われている。ただし、一部のダムでは、多量の白色析出物が発生しており、高アルカリの湧水が一部で確認されている。

そこで本研究では、多量の白色析出物の発生メカニズムの解明や、溶脱に対するコンクリートの長期耐久性への影響を把握することを目的としている。

2. 供試体概要

「コンクリート標準示方書 ダムコンクリート編 2013年制定」を参考にして配合を決定している。セメントは普通ポルトランドセメントを使用している。コンクリートで100×100×500 mmの角柱供試体を作製し、28日間の散水養生後、両端から50 mmをカットし、それを5つにカットし、100×100×100 mmのブロック供試体を作製する。

3. 実験方法

溶脱による劣化現象を促進するための試験方法として、浸漬法と電気化学的促進法を用いる。浸漬法ではpHの比較をするため、浸漬水に水道水(以下では水)とNaHCO₃(以下では重曹)水溶液を用いている。促進期間0、1、2、4、12、26、52、78、104週経過後の供試体で様々な試験を行う。なお、カルシウムが溶脱したことを確認した供試体で細孔径分布の測定を行う。それぞれ3体ずつ試験を行い、

その平均値を試験値とし、深さ方向の諸物性値の変化から溶脱の程度とコンクリート強度を評価する。

4. 実験結果および考察

浸漬法において浸漬水のpHを測定した結果、浸漬水に水を用いたものは約10.8に、重曹溶液を用いたものは約8.8の値を示し、浸漬水が重曹溶液より水のほうが、pHが高くなることを確認した。

4.1. 中性化深さ

図-1に12週経過後の供試体の中性化深さを示す。本研究では、12週経過後の浸漬法(重曹)と電気化学的促進法の供試体でのみ中性化を確認した。電気化学的促進法を行ったものでは、ばらつきはあるものの平均すると深さ方向に3.63 mm、浸漬法(重曹)では、平均すると2.65 mm中性化していた。したがって、電気化学的促進法、浸漬法(重曹)、浸漬法(水)の順で中性化が進行しやすいことが分かった。

浸漬水で比べると、水よりも重曹のほうが、pHが低いことから、浸漬水のpHが低いほうが、中性化が進行しやすい可能性が考えられる。

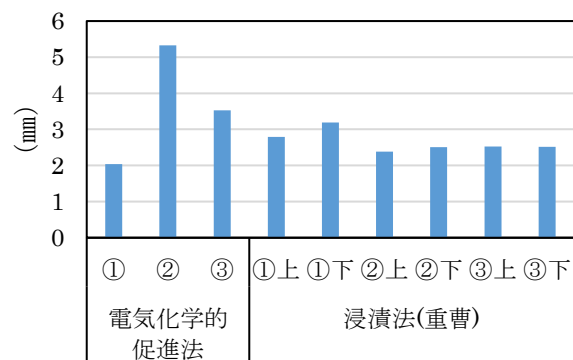


図-1 中性化深さ(12週)

4.2. カルシウムの溶出深さ

中性化を確認した12週経過後の浸漬法(重曹)と電気化学的促進法を用いた供試体から採取した粉末試料で粉末X線回折での解析を行った。また、本研究ではCaの変化を確認するため、Calcite(CaCO_3)、Portlandite(Ca(OH)_2)の鉱物について解析を行った。図-2、図-3にそれぞれの回折線の一部を拡大したものを示す。

浸漬法(重曹)、電気化学的促進法の両方の供試体の中心でPortlanditeとほぼ同じ位置でピークを確認し、Calciteと同じ位置でピークは確認できなかった。一方で、浸漬法(重曹)の表面と電気化学的促進法の陰極側表面は、Calciteとほぼ同じ位置でピークを確認し、Portlanditeと同じ位置でのピークは確認できなかった。

溶脱は Ca(OH)_2 が溶出してしまう現象であり、電気化学的促進法の陰極側表面で溶脱が起こったことが確認された。また、中心ではCalciteが確認できず、表面で確認できたことから溶出した Ca^+ が CaCO_3 となり白色析出物として表面に付着したことがわかった。

また、実際のダムから生じるエフロレッセンス等の白色析出物も CaCO_3 を主成分とするものであるため、本研究の促進法で実現に近い析出物が生じることが確認された。

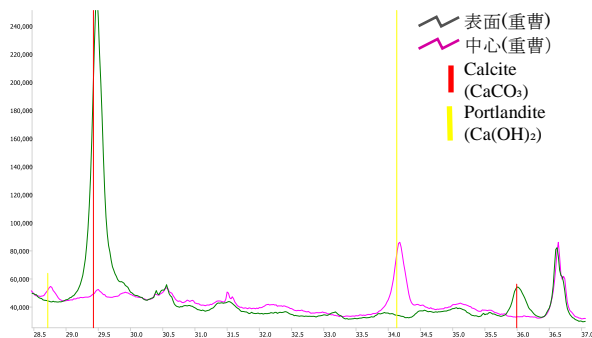


図-2 浸漬法(重曹)の供試体から採取した試料の回折線を一部拡大した図

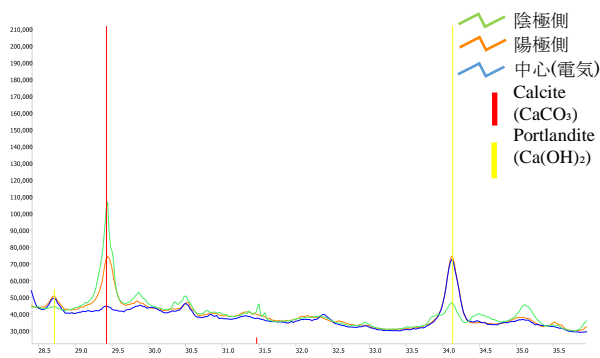


図-3 電気化学的促進法の供試体から採取した試料の回折線を一部拡大した図

4.3. 細孔径分布

図-4に細孔径分布を示す。本研究では、細孔径分布に使う試料が3~5mmであり、3mm以上中性化していた電気化学的促進法の12週経過後の陰極側表面と、比較のため中心の測定を行った。

12週経過後の電気化学的促進法の陰極側表面では、 $0.03\ \mu\text{m}$ あたりの径の細孔が他のものより少なく、 $0.3\ \mu\text{m}$ あたりの径の細孔が他のものより多い結果となった。これは、溶脱が進行したことで組織が疎となったことが考えられる。

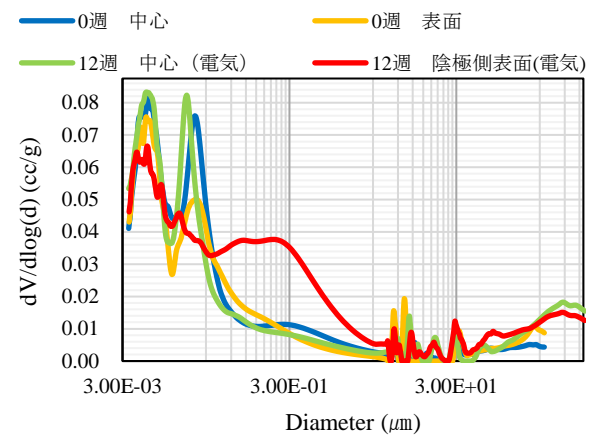


図-4 細孔径分布

5. 結論

- ① 12週経過時点で電気化学的促進法、浸漬法(重曹)で中性化が起こっていた。
- ② 電気化学的促進法、浸漬法(重曹)、浸漬法(水)の順に中性化が進行しやすいことが分かった。
- ③ 中性化が進行していた供試体の表面で、 Ca(OH)_2 がなくなり、 CaCO_3 が生じていることが分かった。また、実際のダムに生じる白色析出物も CaCO_3 が主成分であり、実現に近い析出物が生じていることが確認できた。
- ④ 電気化学的促進法において溶脱をした陰極側表面では組織が疎となっていることが確認された。

浸漬水が水の場合で溶脱を確認できなかったことや、電気化学的促進法での溶脱の進行度合いにばらつきが見られたことがあったため、今後、引き続き溶脱の促進を行っていき、実際の強度を測るなどの詳細な検討が必要であると考えられる。