

水和生成物の地下水への溶脱に伴うコンクリートの長期劣化に関する調査

東京電力(株) 蓮本 清二 内田 善久
 東電設計(株) 正会員 原 雅人 谷 智之 池谷 貞右
 (株)大林組 正会員 齊藤 裕司 三好 悟

1. はじめに

地下水位以下の岩盤に接したコンクリートの長期劣化を考えた場合、コンクリートは岩盤空隙との接触面からの水和生成物の溶脱に伴い劣化していくと考えられる。しかし、自然環境下におかれたこれらの劣化状態に関する知見は非常に少ない。本報告では、施工後約70年経過したダムおよび水路トンネル岩着部からコンクリートおよび岩盤のコアを採取し、水和生成物の状況を調査した結果について報告する。

2. 調査地点の概要

コアは、施工後約70年経過したダムの基礎部と水路トンネルの岩着部(側壁)より採取した。ダムの基礎岩盤は、安山岩質の火山砕屑岩で、比較的ポーラスな岩盤である。一方、導水路トンネルの周辺岩盤は新鮮な石英閃緑岩であり、非常に硬質・緻密な亀裂性岩盤である。

3. 調査項目

コンクリートの劣化状態を調査するため、採取したコアの分析を行った。調査項目は表-1に示すとおりである。本報告では、特に水和生成物の溶脱状態の試験結果に着目して報告する。試料の割付は、中性化試験の結果を参考にして行った。試料割付を図-1、表-2に示す。

表-1 調査項目

| 分類 | 調査項目 | 方法 |
|--------------------|---|---|
| 1. 力学的性能 | 圧縮強度、弾性係数 | JIS A 1107 |
| 2. 材料・配合 | 骨材の岩種 配合 | 目視観察 セメント協会法(F-18) |
| 3. 水和組織の変質状態 | 中性化範囲 細孔量と細孔径分布 水和生成物の構成 C-S-HのCa/Siモル比の分布 | フェノールフタレンを用いた変色範囲 水銀圧入法 X線回折法、熱分析法 EPMAによる面分析法 |
| 4. コンクリートが置かれていた環境 | 水質分析 | JIS K 0102, JIS K 101, 上水試験法 |

4. 試験結果

1) 中性化範囲

中性化試験の結果を図-1に示す。比較的ポーラスな火山砕屑岩と接しているコンクリートの中性化範囲は15mm程度、硬質・緻密な石英閃緑岩と接しているものでは、0~5mm程度であった。

2) 水和生成物の構成

X線回折と示差熱分析により調査した水和生成物の構成を表-3に示す。

比較的ポーラスな火山砕屑岩と接しているコンクリート着目すると、地下水の影響が少ないと考えられる内部側のA-(4)では、CH,CSH,CAHが存在するが、A-(1)(2)(表面から2cmの範囲)ではCH,CAHが消失・減少しており、この範囲で溶脱していると判断される。

一方、硬質・緻密な石英閃緑岩と接しているものでは、全体にわたって水和生成物が認められており、深度方向にも一定の傾向が認められないことから、水和生成物の構成からは溶脱によるコンクリート劣化は生じていないと判断される。

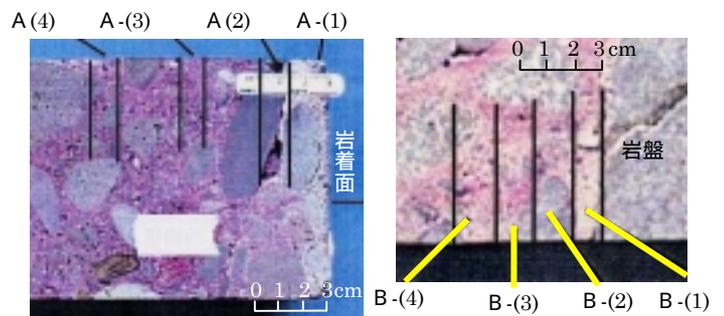


図-1 中性化試験結果と試料割付

表-2 試料の割付

| 採取箇所 | 試料名 | 採取位置 | 備考 |
|-------|-------|------------|-------|
| 火山砕屑岩 | A-(1) | 岩着面から1cm | 中性化部 |
| | A-(2) | 岩着面から1~2cm | 若干中性化 |
| | A-(3) | 岩着面から4~5cm | 未中性化部 |
| | A-(4) | 岩着面から8~9cm | 未中性化部 |
| 石英閃緑岩 | B-(1) | 岩着面から1cm | 未中性化部 |
| | B-(2) | 岩着面から2~3cm | 未中性化部 |
| | B-(3) | 岩着面から3~4cm | 未中性化部 |
| | B-(4) | 岩着面から4~5cm | 未中性化部 |

キーワード：長期劣化，水和生成物，溶脱

〒110-0015 東京都台東区東上野 3-3-3 / TEL:03-4464-5182 / ttani@tepsc.co.jp / 谷 智之

表-3 水和生成物の構成

| 岩種 | 試料名 | 採取位置 | X線回折分析結果 | | | | | 示差熱分析結果 | |
|-------|-------|------------|----------|-----|----|-----|-----|----------|----------|
| | | | CH | CSH | CC | AFm | CAH | CH含有量(%) | CC含有量(%) |
| 火山砕屑岩 | A-(1) | 岩着面から1cm | | ◎ | △ | | | 0 | 4.2 |
| | A-(2) | 岩着面から1~2cm | | ◎ | △ | | △ | 0 | 1.6 |
| | A-(3) | 岩着面から4~5cm | △ | ◎ | | | ○ | 1.8 | 0 |
| | A-(4) | 岩着面から8~9cm | △ | ◎ | | | ○ | 1.7 | 0 |
| 石英閃緑岩 | B-(1) | 岩着面から1cm | ◎ | ◎ | △ | △ | ○ | 6.7 | 11.6 |
| | B-(2) | 岩着面から2~3cm | ◎ | ◎ | △ | △ | ○ | 7.5 | 8.8 |
| | B-(3) | 岩着面から3~4cm | ◎ | ◎ | △ | △ | ○ | 5.7 | 5.8 |
| | B-(4) | 岩着面から4~5cm | ◎ | ◎ | △ | △ | △ | 6.7 | 8.1 |

CH:Ca(OH)₂, CSH:CaO・SiO₂・H₂O, CC:CaCO₃, AFm:モノサルフェート, CAH:4CaO・Al₂O₃・13H₂O
 ◎:多量 ○:中量 △:少量 ブランク:検出されず

3)Ca/Si モル比

EPMA を用いて測定した岩着部の Ca/Si モル比を 図-2 に示す。ポーラス岩盤との接触部では、岩着面から 約 15mm の範囲で、Ca/Si モル比が小さくなっていることが確認できる。一方、緻密な岩盤との接触部では表面から 10~15mm の範囲で、若干 Ca/Si モル比が小さくなっているものの、その程度はダム岩着部に比して小さい。

4)細孔量

水銀圧入法によって測定した細孔量の測定結果を表-4 に示す。ポーラス岩盤との接触部においては、岩着面から 20mm の範囲で細孔量が増加しており、この範囲で溶脱によってコンクリートがポーラスになっていると判断される。緻密な岩盤との接触部では、細孔量に変化は認められず、溶脱は生じにくいものと判断される。

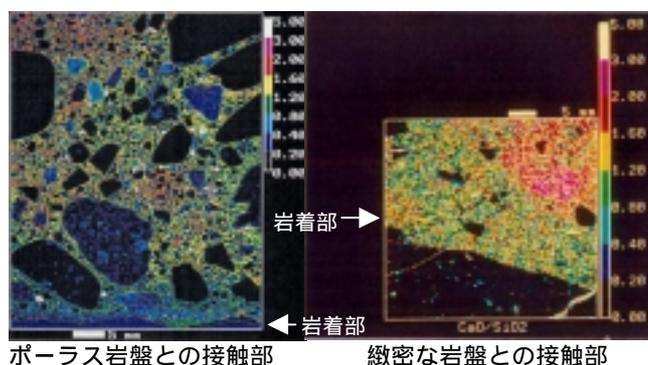


図-2 EPMA 結果(Ca/Si 比)

表-4 細孔量の測定結果

| 岩種 | 試料名 | 採取位置 | 細孔容積 [cc/g] | かさ密度 [g/cc] | 細孔容積 [cc/cc] |
|-------|-------|------------|-------------|-------------|--------------|
| 火山砕屑岩 | A-(1) | 岩着面から1cm | 0.207 | 1.642 | 0.340 |
| | A-(2) | 岩着面から1~2cm | 0.149 | 1.818 | 0.271 |
| | A-(3) | 岩着面から4~5cm | 0.108 | 1.967 | 0.212 |
| | A-(4) | 岩着面から8~9cm | 0.118 | 1.891 | 0.223 |
| 石英閃緑岩 | B-(1) | 岩着面から1cm | 0.122 | 1.834 | 0.224 |
| | B-(2) | 岩着面から2~3cm | 0.103 | 1.903 | 0.196 |
| | B-(3) | 岩着面から3~4cm | 0.117 | 1.854 | 0.217 |
| | B-(4) | 岩着面から4~5cm | 0.13 | 1.825 | 0.237 |

5 . 考察

以上の調査結果を総合すると、ポーラス岩盤との接触部においては、表面から 約 20mm の範囲で水和生成物の溶脱が明確に認められた。一方、緻密な岩盤との接触部においては、若干の Ca/Si モル比の低下が認められるものの、他の分析結果からは溶脱の傾向が明確に認められず、溶脱の進行は非常に遅いと判定される。

双方ともに打設後約 70 年経過しているが溶脱の程度は異なっている。この要因としては、コンクリートと接している岩質の差の他に水理的境界条件の差、すなわちコンクリート - 岩盤境界部の地下水の流動状態の差が考えられる。水路トンネルでは周辺に動水勾配が大きくなる要因がないのに対して、ダムでは背面に調整池があり、動水勾配が大きいという条件下にある。次年度以降は、地下水下の岩盤と接するコンクリートの長期劣化について定量的な評価を行い、劣化予測を試みる予定であり、上記の境界条件を十分に分析した上で実施することとしたい。