

地下水によるコンクリート構造物の劣化に関する調査

金沢大学 工学部 正会員 ト部 達也

同上 “ 川村 満紀

1. まえがき

ダム監査廊側壁のコンクリート部分に、斜め方向に走る幅広いひびわれが数本みられ、それらひびわれより地下水が染み出た状態となっており、ひびわれ部分より、白色侵出物および側壁下端部分のコンクリートが、一部分は黒色に脆弱化していた。一方、ひびわれは監査廊の建設後間もなく力学的な原因によって生じたものであることが確認された。本調査は、ひびわれを通して流出している地下水の成分分析、採取したコア内部で劣化した部分および、黒色に脆弱化した部分より採取した試料のX線回折、走査型電子顕微鏡観察、および採取したコア供試体の強度試験の結果より、脆弱化の原因および劣化の程度を明らかにするとともに、補修のための基礎資料を得ることを目的にしたものである。

2. 試験概要

各試料の採取位置の概略を、図-1に示す。

コア供試体は、コンクリートの側壁の厚さ方向に、No.1～No.4より採取した。そのうちコンクリート側壁表面に白色侵出物が確認された箇所は、No.1（側壁中部）、No.2（側壁下部）およびNo.4（側壁下部）で、黒色に変色し脆弱化している箇所は、No.3（側壁下端部）である。強度試験に用いる試料は、 $\phi 55\text{mm} \times 100\text{mm}$ に作製し、側壁表面から一定の深さごとに強度を求めた。No.1のコア供試体深さ、約70cmの箇所、およびNo.3のコア供試体表面の一部分の脆弱化が確認された箇所より、粉末X線回折分析および走査型電子顕微鏡（SEM）観察を実施した。地下水の成分分析に用いる試料は、ひびわれ部分より流出した地下水を採取し、その化学成分分析を実施した。

3. 試験結果および考察

（1）水質試験

水質分析結果を、表-1に示す。 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} および SO_4^{2-} は、かなり高い値を示している。

（2）強度試験

コア供試体による強度試験の結果を、表-2に示す。採取箇所No.1～No.4のいずれのコアにおいても著しい強度の低下は認められなかったが、各採取箇所の深度別に比較すると、若干低い値を示す箇所が認められる。これは、力学的に生じたひびわれに起因するものか、地下水による侵食によるものかは明確ではない。

（3）粉末X線回折分析および走査型電子顕微鏡（SEM）観察
No.1およびNo.3の劣化した部分より得たX線回折の結果を、図-2に示す。コンクリートの脆弱化した部分には、エトリンガイト（Et）、ブルーサイト（ $\text{Mg}(\text{OH})_2$ ）およびカルサイト（ CaCO_3 ）が含まれていることが認められた。No.3のコンクリート表面部分（黒色に変色

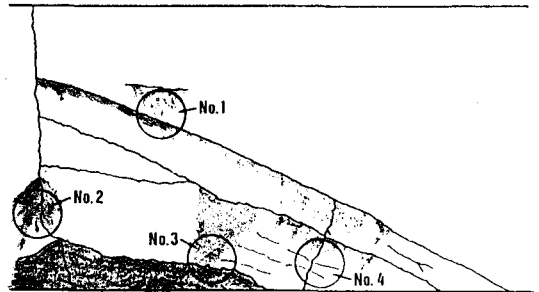


図-1 試験試料採取位置

表-1 地下水の成分分析結果 (mg/l)

pH	Ca^{2+}	Mg^{2+}	Cl^-	SO_4^{2-}	SiO_2
7.0	438	104	13.0	1540	1.8

表-2 圧縮強度試験結果

深度 (m)	圧縮強度 (kgf/cm^2)
0.00～0.10	311
0.10～0.20	249
0.20～0.30	258
0.30～0.40	205
0.40～0.50	208
0.50～0.60	272
0.60～0.70	276
0.70～0.80	364
0.90～1.00	228
1.00～1.10	296
1.10～1.20	358
1.30～1.40	266
1.40～1.50	393

し脆弱化)より採取した試料のSEM観察の結果、エトリンガイトが確認された(写真-1)。

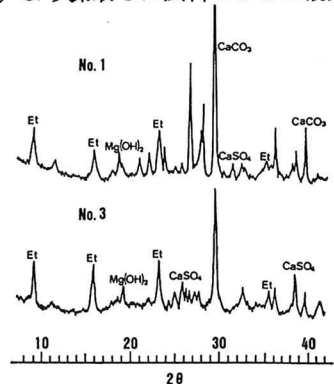


図-2 劣化した箇所 X線回折結果

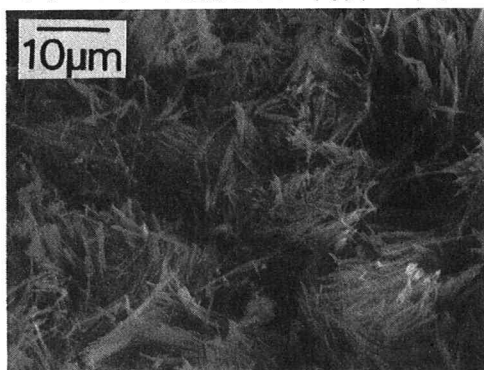
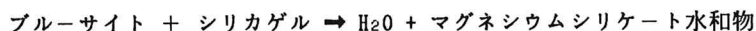
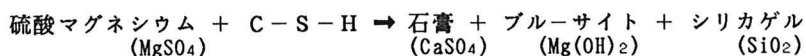


写真-1 脆弱化した箇所のSEM写真

(4) 考察

粉末X線回折分析およびSEM観察の結果、白色生成物および黒色に変色し脆弱化した部分より採取した試料には、ブルーサイト、カルサイトおよびエトリンガイトが含まれていることが確認されたことから、硫酸マグネシウム侵食によるものと判断される。硫酸マグネシウム侵食は、硫酸イオン濃度によって、次の侵食過程が考えられる。

- (Ⅰ) 硫酸濃度が0.48%以下のとき、エトリンガイトが生成され、その際に大きな体積膨張が生じることによって、劣化する。
- (Ⅱ) 0.48% < 硫酸濃度 < 0.75%のとき、エトリンガイトおよび石膏が生成され、コンクリートを軟化させる。
- (Ⅲ) 硫酸濃度が0.75%以上のとき、マグネシウム侵食が進行し、次の反応が進行、コンクリートは脆弱化する。



最終的に、硫酸マグネシウム侵食によって生成されるマグネシウムシリケート水和物は、接着性を有しない物質であり、コンクリート中で骨材を接着しているC-S-Hは、マグネシウムシリケート水和物によって分解する。今回の調査で、(Ⅲ)の侵食が進行するほど、地下水中の硫酸イオン濃度は高くない。しかし、ひびわれを通して、コンクリート体表面を徐々に流下する間に水分が蒸発することによって、地下水が濃縮され、硫酸イオン濃度が上昇し、(Ⅲ)の反応が進行し、コンクリートが脆弱化したものと推察される。

4. 結論

本調査で得られた結果をまとめると以下の通りである。

- 1) 強度試験に用いたコアの採取箇所は、コンクリート表面部分に、白色侵出物および黒色に変色し脆弱化した部分であり、顕著な劣化が確認された箇所より採取した。しかし、No.1～No.4のコア供試体による強度試験の著しい低下は確認されなかった。
- 2) 地下水の化学成分分析の結果から、硫酸イオン濃度が、かなり高い値を示しているが、コンクリートに硫酸塩侵食を引き起こすほど高くない。しかし、今回の場合、力学的に生じたひびわれを通して、地下水が表面へ流下する間に濃縮され、硫酸濃度が上昇し、硫酸マグネシウム侵食が進行し、コンクリートを脆弱化したものと考えられる。