

初代十勝大橋コンクリート桁の暴露試験 10 年目における物理化学特性

(独) 土木研究所寒地土木研究所 正会員 ○吉田 行, 正会員 島多 昭典, 正会員 田口 史雄

1. はじめに

初代十勝大橋は、供用後 55 年経過した 1996 年(平成 8 年)に治水上の理由により解体されたが、半世紀に及ぶ過酷な低温環境下に曝されながらも健全な状態を保持していたことから、その一部を保存し、建設時から 200 年にわたる長期暴露試験が計画・実施されている。本報では、一次調査から 10 年経過(建設後 65 年経過)時に実施した各種物理化学試験結果から、その性状を評価した¹⁾。

2. 物理試験概要

初代十勝大橋コンクリートの暴露状況を写真-1 に示す。本暴露試験では雨水や積雪等の影響の有無について検討するために、屋根なし、屋根あり(写真-1 に示した試験体の後方)としている。各暴露条件試験体において、試験体の上部、中間部、下部の 3 部位から直径 15cm、長さ 40cm 程度のコアをそれぞれ 1 個ずつ採取した。



写真-1 暴露状況(苫小牧市美沢)

物理化学試験として、反応生成物を同定するために粉末 X 線回折試験、示差熱分析および電子顕微鏡観察/元素分析(SEM/EDX)を行った。

X 線回折試験は、試料水平型 X 線回折装置を用い、Ni フィルターを透過した Cu-K α 線(管電圧 40kV、管電流 40mA)にて行った。なお、ゴニオメータの走査速度は、3.0°/min で走査ステップは 0.01° とした。また、半定量分析を行うために粉砕時に酸化マグネシウム(MgO)を 10%添加して測定した。生成量は 74 μ m 通過粉末の(1+100)塩酸不溶解残分補正を行いペーストベースで MgO に対する相対ピーク強度で評価した。示差熱分析は、熱重量/示差熱分析装置を用い、昇温速度 10°C/min にて 20~1000°C まで測定した。生成物の定量は 74 μ m 通過粉末の(1+100)塩酸不溶解残分補正を行いペーストベースで行った。なお、X 線回折および示差熱分析用の試料は、コンクリート表面より 0~20、40~60 および 90~110mm の深さからそれぞれ採取し、表面からの深さの表記はそれぞれの範囲の中間値とした。電子顕微鏡観察/元素分析(SEM/EDS)は、塊状試料にカーボン蒸着し、エネルギー分散型分析計を兼備した走査型電子顕微鏡を用い、加速電圧 5kV および 15kV で観察および元素分析を実施した。

3. X 線回折試験結果

X 線回折試験から、セメント水和物として、エトリンガイト(以下略号 AFt)、モノサルフェート(AFm)、カルシウムアルミネート水和物(CAH)および水酸化カルシウム(CH)が確認された。また、コンクリート硬化後に生じた生成物として炭酸カルシウム(カルサイト(CaCO₃))を確認した。特に強いピーク強度が確認された CH と CaCO₃ の相対ピーク強度とコンクリート表面からの深さの関係を図-1 に示す。CaCO₃ はいずれも表層 10mm のみで確認され、屋根なしの CaCO₃ の相対ピーク強度は屋根ありの 1.7 倍であった。一方、CH は、表層 10mm では屋根ありにのみ認められ、50mm 以深の内部ではいずれの箇所でも同程度のピーク強度が確認された。表層 10mm での各生成物の生成量の増減は、コンクリートの炭酸化によるものと判断できる。一般に、コンクリートは乾燥しているほど炭酸化しやすいが、本暴露試験の場合、コア採取時に高周波容量式の表面水分計を用いてコンクリート表面の水分率を計測した結果、屋根あり(平均 4.4%)よりも屋根なし(平均 5.5%)の方が水分率が高かった。このことから、屋根なしでより炭酸化が進行した原因については、日照や乾

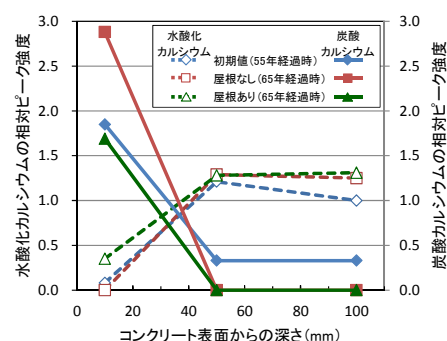


図-1 X 線回折試験結果

キーワード 長期暴露試験, 中性化, 未水和セメント, 火山灰, X 線回折, 示差熱分析

連絡先 〒062-8602 札幌市豊平区平岸 1 条 3 丁目 1-34 寒地土木研究所 耐寒材料チーム TEL: 011-841-1719

湿の繰り返しの影響のほか、凍結融解作用による組織の弛緩等が考えられるが、今後も検討が必要である。一方、経年的には、CHは若干増加の傾向があり、暴露試験後も水和が進行していることが推察されたが、 CaCO_3 は屋根なしの表層でしか増加しておらず、炭酸化の進行は部分的だった。

4. 示差熱分析結果

示差熱分析により、CH、CAH、AFm、 CaCO_3 および二水石膏を確認した。石こうは、屋根ありの表層でのみ確認され、AFmは、いずれの暴露箇所でも内部では確認されたが、表層では確認できなかった。このことから、石こうは、AFmの炭酸化により生じたものと考えられる。

図-2にCHと CaCO_3 の生成量とコンクリート表面からの深さの関係を示す。表層10mmのCHの生成は屋根ありでのみ確認された。内部50、100mmでは、屋根ありの方がやや多かった。表層10mmの CaCO_3 の生成量は、屋根なしと屋根ありでそれぞれ61.9%、35.9%であった。

この屋根なしと屋根ありの生成量の比率も1.7倍であり、X線回折の半定量結果と一致していた。経年的には、いずれもX線回折の結果と同様、CHの生成量は暴露開始後も増加しており、暴露試験後も水和が継続している可能性が確認できた。また、 CaCO_3 の生成量は、屋根なしの表層10mmで増加しているものの、それ以外では増加の傾向はない。

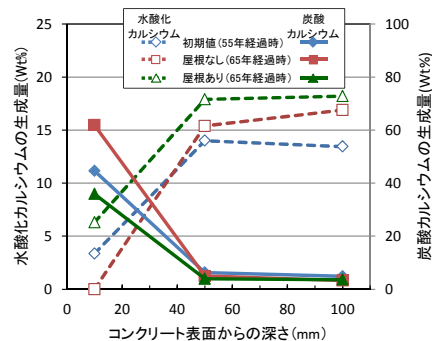


図-2 示差熱分析結果

5. 電子顕微鏡／元素分析結果

電子顕微鏡観察と元素分析結果から、屋根ありの内部(50mm)試料からは、ビーライト(C_2S)の未水和クリンカーが確認され(図-3左)、長期的な水和反応の継続に寄与していると推定される。一方、屋根なしの表層(10mm)試料からは、セメントに由来するビーライトのクラスターが見られ、元素分析チャートから、ビーライト表面は一部水和によりCa

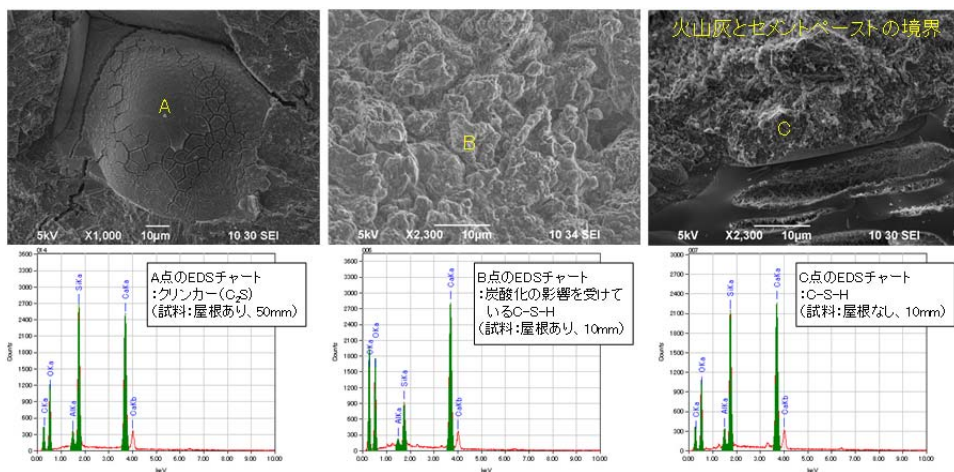


図-3 電子顕微鏡観察により観察された鉱物と元素分析チャート

が溶出しSiが主成分となっていた。また、ビーライトの間にはCa、Al、Feを主成分とする間隙質の存在を確認した。内部50、100mmの試料には板状のCH、針状のAFtおよび板状のAFmが観察された。一方、表層10mmは、いずれの暴露箇所でも CaCO_3 や炭酸化の影響を受けていると思われるカルシウムシリケート水和物(図-3中央)が観察され、表層部の炭酸化を確認した。さらに、細骨材に混入していたと考えられるポーラスな火山灰がいずれの試料からも多数認められ、火山灰の周辺にはポゾラン反応によりカルシウムシリケート水和物(C-S-H)が生成して一体化し、緻密な組織を形成していることが確認され(図-3右)、火山灰のポゾラン反応がコンクリート組織の緻密化に寄与していることを確認した。

6. まとめ

暴露10年経過時点における物理化学試験により、コンクリート表層部の炭酸化が、特に屋根なし箇所で行われていることを確認した。また、未水和セメントや火山灰がセメント硬化体中に確認され、これらが長期的なコンクリート強度の増加に寄与していることが推定された。

【参考文献】1)熊谷守晃, 星俊彦, 佐伯昇, 太田利隆: 50 数年経過したコンクリートの物理, 化学的特性と耐久性, 土木学会論文集 No. 686/VI-52, pp. 41-54, 2001.9