

非破壊 CT—XRD 法によるコンクリートと堆積岩との相互作用の 理解のための環境制御下での接合部の詳細観察

Observation of Contact Area under Environmental Control for Understanding the Interaction of Concrete and Sedimentary Rocks using Non-Destructive Integrated CT-XRD Method

人見 尚

Takashi Hitomi

(株)大林組

Obayashi Co. Ltd.

コンクリートと堆積岩が接して施行された場合を想定し、地下水の接する環境下でのそれぞれの挙動やさらには相互作用の有無の検出を目的とし、経時的な変化を形状と鉱物組成の双方から非破壊観察を行った。形状観察には X 線 CT を用い、鉱物組成観察には、小径 X 線によるエネルギー分散型の XRD を用いた。このため、48 時間の通水では、セメント硬化体部分の成分溶出が進行し、水の通過した領域の周辺では、劣化の発生が確認できたが、堆積岩の領域では大きな変化は確認できなかった。

キーワード： コンクリート、堆積岩、相互作用、X 線 CT、X 線回折

背景と研究目的：

大深度地下に建設が検討されている放射性廃棄物処分場では、廃棄体からの核物質の漏えい防止と、周辺地下水の廃棄体への作用を抑制するために、多重バリヤが用いられている。坑道安定性確保のための支保工としてコンクリートと母岩に接するように打設される。内部にはベントナイトが廃棄体を包むように設置され、廃棄体の止水材として用いられている。コンクリートは、母岩の割れ目を通じて地下水に接することになり、構成材料が長期的な観点からは水溶性であるため、徐々に劣化していくものと考えられる。

本検討では、多重バリヤのうちコンクリート母岩が接して施工された場合を想定し、地下水の接する環境下でのそれぞれの挙動やさらには相互作用の有無の検出を目的とする。母岩の例として、堆積岩を検討対象とし、スイスで実際検討されている地域に存在する、Opalinus Clay を対象とした。

実験：

実験は、セル内にセメントと母岩である Opalinus Clay の小片を合わせて設置し、中心部に開口を設け、そこに地下水を通水させたものを供試体とした。セメントは普通ポルトランドセメントを用いた。供試体作製から観察までの期間は 28 日とした。これは、セメントの水和には十分な期間といえず、セメント硬化体内部には未水和のセメント成分が含まれるものと思われる。通水には、海水系地下水を用い、人工海水をイオン交換水で 1/3 程度に希釈したものをを用いた。この組成は、国内の幌延の大深度地下で見られるものである。通水量は 1 時間に 50 cc 程度を流した。

この供試体の内部での経時的な変化を形状と鉱物組成の双方から非破壊観察[1]を行った。形状観察には X 線 CT を用い、鉱物組成観察には、小径 X 線によるエネルギー分散型の XRD を用いた。X 線 CT の諸元は、画素長が 2.44 μm で、画素数が水平方向に 1960 で鉛直方法に 1440 とした。このため断面の視野は、およそ 4.78 mm で、高さ方向は 3.51 mm となった。露光時間は 0.4 秒で、投影数は 1500 で 0.12°の角度刻みとした。

CT によって内部の構造を観察したのち、試験結果の図中に示す供試体内部の 3 点に対する局所 XRD 測定を行なった。X 線回折では、BL28B2 の白色光源を用い、回折角は 10°でエネルギー分散

型 XRD プロファイルを得た。回折 X 線のエネルギースペクトルの測定には半導体検出器 GLP-16195/10-P を用いた。スリット幅は S1 で 0.050 mm, S2 で 0.025 mm および S3 で 0.150 mm とした。エネルギーの分解能に関しては、検出器の取り込み角度が 0.00039 [rad] で、ブラッグの回折条件の微分より、取り込み角度 $\Delta\theta$ とエネルギー分解能 ΔE との関係が $\Delta\theta/\tan\theta=\Delta E/E$ であることを用い、50 keV の場合、エネルギー分解能 ΔE は 0.11 keV となるが、検出器の仕様上、エネルギー分解能は 0.5 keV 程度と考えられる。入射 X 線は、水平方向の幅は 0.15 mm, 鉛直方向は 0.05 mm のマイクロビームとした。測定時間は一点あたり 5 分として、測定期間内は供試体を回転させて多くの結晶情報を取り込むこととした。供試体の回転によって、測定領域は円盤状になり、ビームの強度分布を考慮しそのサイズを求めた結果、直径はおよそ 0.2 mm 程度となった。

結果および考察：

図 1 に通水前の供試体断面を示す。セルの内部にセメントを設置し、母岩鉱物の小片が見られる。またセメント硬化体部分では、密度の高い未水和のセメント鉱物や、水酸化カルシウムの析出による明るい領域が島状に分布している様子が確認できた。母岩鉱物は堆積岩であり、乾燥に伴う層状の空隙が認められた。

図 2 に通水 48 時間後の供試体断面を示す。通水は中心の穴および図の下部にできた大きな空隙を通過したものと考えられた。このため穴の周囲のセメントの色調に若干の変化が見られ、島状の明るい領域は消失した。また堆積岩は、地下水に触れて膨潤し、層状の空隙の幅が狭くなっている様子が認められた。

図 3 に通水試験前、図 4 に通水後の測定点 1~3 の X 線回折プロファイルを示す。セメント硬化体中である測定点 1 および 2 では、未水和のセメント成分である Larnite と水和後析出する水酸化カルシウム (Portlandite) のピークと一致する結果となった。通水試験後は、特に Larnite のピークが減少する傾向がみられた。Opalinus Clay の内部にあたる測定点 3 の回折プロファイルでは、特に大きな変化がみられなかった。

このため、48 時間の通水では、セメント硬化体部分の成分溶出が進行し、水の通過した領域の周辺では、劣化の発生が確認できたが、堆積岩の領域では大きな変化は確認できなかった。

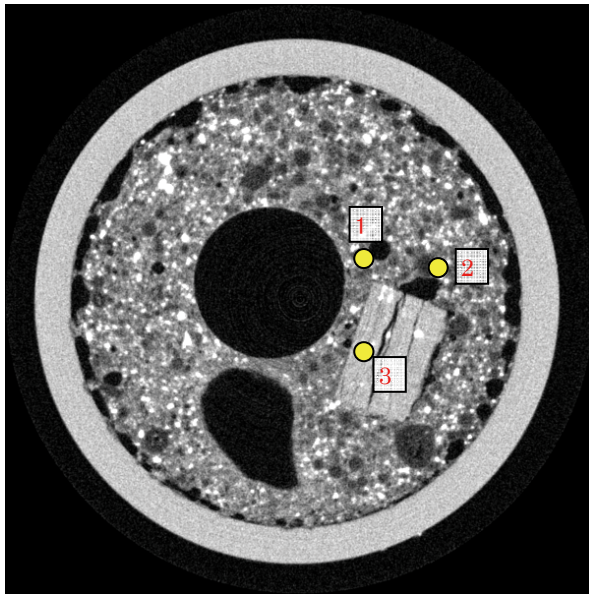


図 1. 通水試験前の断面

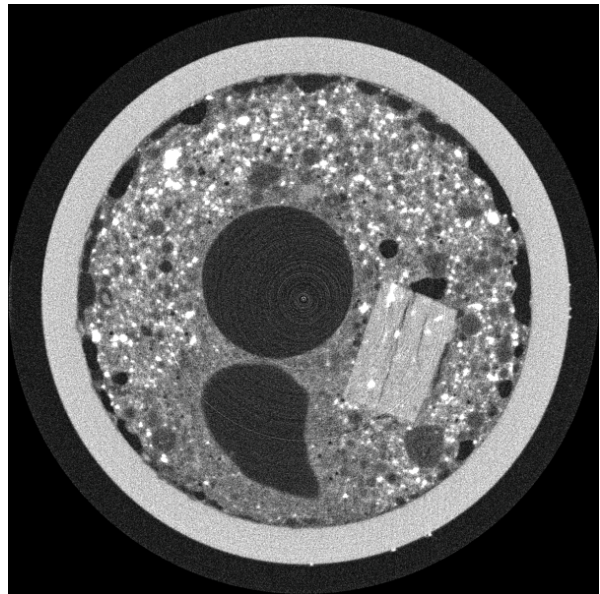


図 2. 通水試験 48 時間経過後の断面

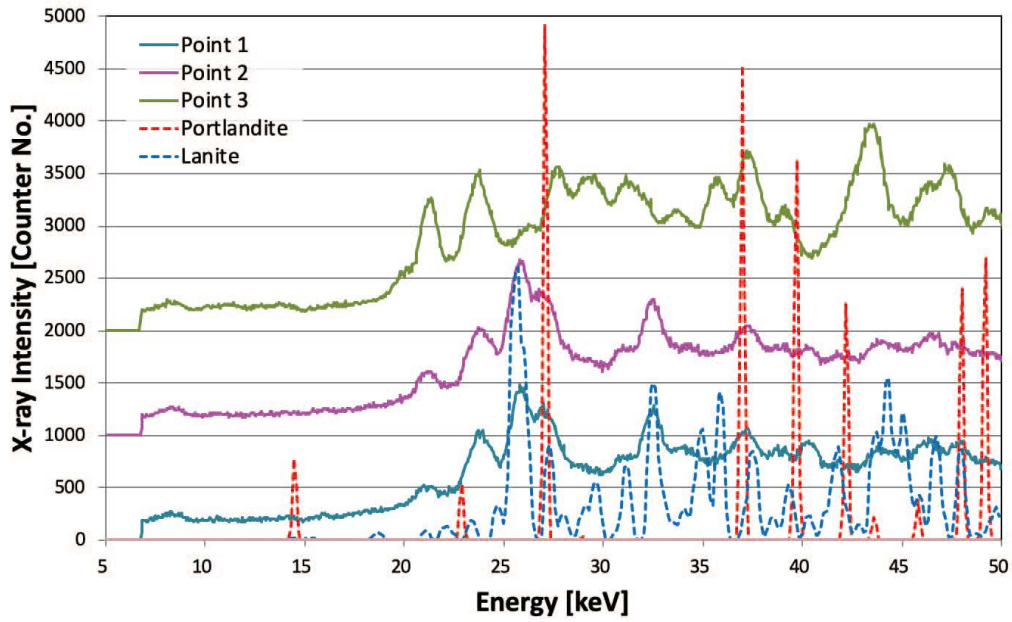


図 3. 通水試験前の XRD プロファイル

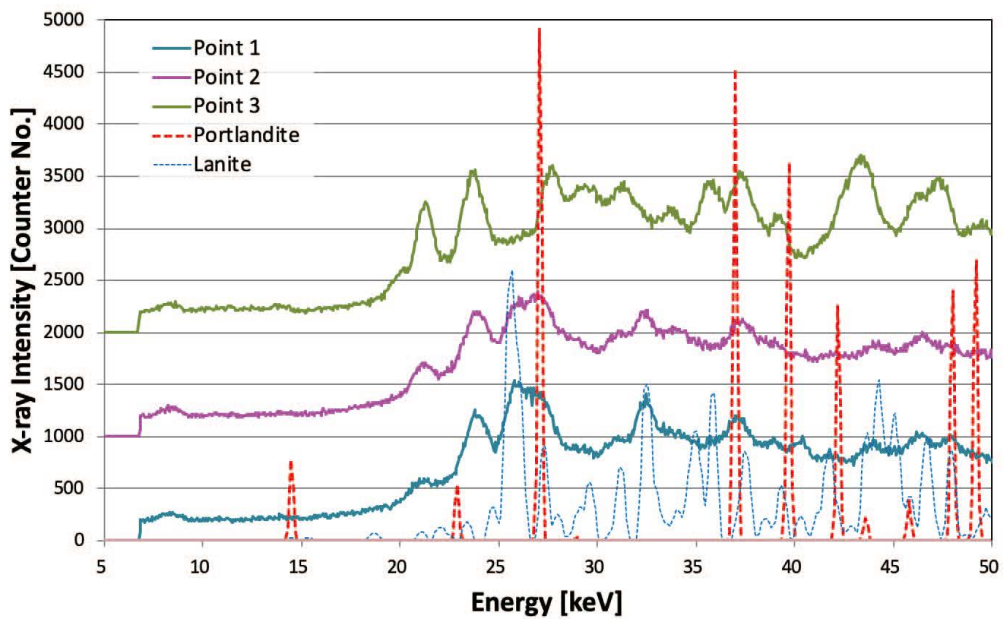


図 4. 通水試験後の XRD プロファイル

今後の課題：

引き続き、通水試験を継続し、堆積岩部分への影響の有無を確認することとしたい。

参考文献：

- [1] 梶原堅太郎、人見尚、杉山隆文：非破壊 CT-XRD 連成測定によるコンクリート内部の鉱物分布評価技術の開発、第 67 回セメント技術大会講演要旨、pp.82-83(2013)