

V-168

地中におけるコンクリートの長期耐久性（その1）

— カルシウムの溶出 —

日本国土開発㈱ 正会員 黒山 英伸、同 正会員 大西 利満
埼玉大学 正会員 町田 篤彦、群馬大学 正会員 辻 幸和
㈱原子力環境整備センター 正会員 吉田 弘明

1. はじめに

我が国の原子力発電所から発生する低レベル放射性廃棄物（LLW）を最終的に埋設する埋設施設は、鉄筋コンクリート造の埋設設備と覆土により構成（図-1）されており、埋設設備の埋戻し後 300年の長期にわたり段階管理される。埋設設備は、コンクリートの長期安定性評価手法が確立されていないことから、早期に機能を喪失するものとして評価され、その上で安全性を確保できるように覆土の設計がなされている。覆土は、現地発生土からなる通常覆土およびベントナイトと砂を混合したベントナイト混合土を使用した難透水性覆土から構成され、埋設設備はこのベントナイト混合土に覆われ、ベントナイト混合土を通過した地下水と接することになる。

本研究は、地下水位以下の地中環境にある埋設設備の長期の耐久性を実証する目的で行った試験の中で、埋設設備の変質要因の調査と軟水によるカルシウム溶出について報告する。

2. 試験概要

一般的なコンクリートの変質要因の調査と、青森県六ヶ所村 LLW埋設箇所近傍の環境調査を実施し、当該地におけるコンクリートの変質要因を検討した。その結果、自然環境中の変質要因として地下水へのカルシウムの溶出が考えられ、その影響を調査するため、軟水であるイオン交換水への浸漬試験を実施した。本報告は、24ヶ月間の浸漬試験の結果を報告するものである。

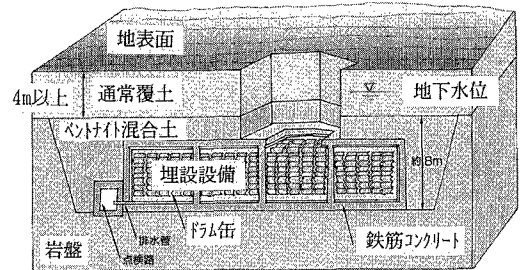


図-1 LLW埋設施設概要図

3. 埋設設備の変質要因

コンクリートの変質は、物理的変質と化学的変質に分類でき、表-1に示す変質要因が挙げられる。また、埋設設備は、構築後10数年間大気中にあり、その後覆土され地表面下 6.0 m以深の地下水位以下の環境に置かれる。これらの変質要因や立地条件を念頭に置き、六ヶ所村周辺の気温、地中温度、降雨、降雪、地下水の水質などの環境調査を行った。調査結果から、大気中にある10数年において、埋設設備は軽微な凍害と中性化を受ける可能性があるものの、覆土後には影響が無く、既存の予測式から算出すると変質の深さは数mm程度であることから、これらの影響は考慮しないこととした。ただし、コンクリートの打設から数年間に微細な表面ひび割れが生ずる可能性があり、埋戻し後の変質促進等への影響を考慮するものとした。

また、表-2に示すように、当該地の地下水には、埋設設備が化学的な変質を受けるような濃度の化学成分は含まれていないが、覆土後数百年の長期間を考えた場合に、地下水が最も影響を与える現象として、カルシウムの溶

表-1 一般的なコンクリートの変質現象と要因

変 質 現 象			変 質 要 因
物理的 変質	ひび割れ 損食		材料、施工、環境により発生 大気中、水中でのすりへり等 凍結融解の繰り返し、初期養生中の 凍害等 高温度の作用、火災
	凍結融解		
化学的 変質	化学的 腐食	酸 アルカリ 塩類 軟水 海水 ガス	無機酸、有機酸による浸食 高アルカリによる浸食 無機塩類、有機塩類による浸食 軟水による水酸化カルシウムの溶出 海水による浸食 有害ガスによる浸食
	鉄筋 腐食	中性化 塩化物	炭酸ガス等の浸透による鉄筋の発錆 塩化物の浸透による鉄筋の発錆
	アルカリ骨材反応 微生物 電食		セメント中のアルカリと骨材の反応 微生物の作用 直流電流の作用
放射線劣化			放射線による影響

出が考えられる。

4. イオン交換水浸漬試験

地下水への Ca^{2+} の溶出現象を把握するため、モルタル供試体を Ca^{2+} の溶出に厳しい条件である イオン交換水に24ヶ月浸漬し、変質の状況を観察した。

4.1 試験条件

(1) 供試体

試験に用いたモルタル供試体の配合を表-3に示す。養生は、84日間封かん養生後、一部の供試体については浸漬面以外を Ca^{2+} 溶液により被覆し、その後91日まで水中標準養生を行った。

(2) 浸漬溶液

浸漬溶液には イオン交換水を使用した。溶液は、浸漬後 1, 2, 3, 4週、3, 6, 9, 12, 18 ヶ月に全量交換し、温度は $20 \pm 2^\circ\text{C}$ に保った。溶液量は、供試体浸漬面の面積 1cm^2 当り 10cm^3 以上とした。

4.2 試験結果

浸漬24ヶ月までの期間に実施したBPMa観察、化学分析、示差熱分析による供試体の調査では、何ら変化が認められなかった。浸漬溶液の分析からは、溶液中に溶出した Ca^{2+} が捉えられ、モルタル供試体単位面積当りの Ca^{2+} 溶出量の積算値は図-2に示す結果となった。ケースによって差があるのは、モルタル供試体の種類（被覆の有無、寸法による締固めの違い）が影響しているものと考えられる。

この溶出量は、時間 t の対数あるいは $1/3$ 乗と比較的相関が良い結果となった。この結果から、最も溶出量の大きなNo.5のケースを用いても、1万年の間に、 $\ln(t)$ で表面から 5.5mm 、 $t^{1/3}$ でも 31mm 部分に含まれる Ca^{2+} の $1/3$ が溶出する試算結果となった。イオン交換水への浸漬試験の結果、軟水による Ca^{2+} の溶出も無視できる程度の微細な変質であることが分かった。

5. おわりに

六ヶ所村の地下水位以下の地中環境は、地下水中にコンクリートを変質させるような濃度の化学成分が含まれておらず、軟水による影響も非常に小さいこと等から、コンクリートにとって良好な環境であることが分かった。

しかし、実際の埋設設備は、周辺のベトナト混合土を通過した地下水が接触することになり、調査の結果、このような地下水にはコンクリートの変質をもたらす可能性のある濃度の Na^+ 、 HCO_3^- 、 SO_4^{2-} が含まれることが分かった。以上のことから、これらのイオンの濃度を調査するとともに、炭酸塩、硫酸塩のコンクリートに対する影響、また微細な表面ひび割れが存在した場合にこれらの変質が促進される可能性について調査を実施している。さらに長期間ベトナトに接触していた実構造物の調査を実施し、ベトナトによる総合的な影響を把握するための試験も行った。これらの結果は総合的に検討しており、今後報告する予定である。

本研究は、(財)原子力環境整備センターが科学技術庁の委託を受けて行った「低レベル放射性廃棄物最終貯蔵システム安全性実証試験」のうち埋設設備の長期安定性に関する調査・検討の一部である。

表-2 当該地地下水の水質 (mg/l)

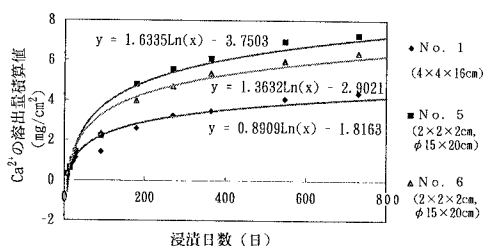
分析項目	pH	Na^+	Ca^{2+}	Mg^{2+}	HCO_3^-	SO_4^{2-}	Cl^-
H7採取地下水	8.0	10.5	6.6	2.2	31.0	<5	30.9
H5採取地下水	7.6	16.0	4.4	2.5	43.0	<5	23.0
全国の地下水*	—	3~100	.5~50	.5~10	14~205	0~100	2~50

注) *1; (社)日本分析化学会：分析化学便覧改定3版, p782, 1982年

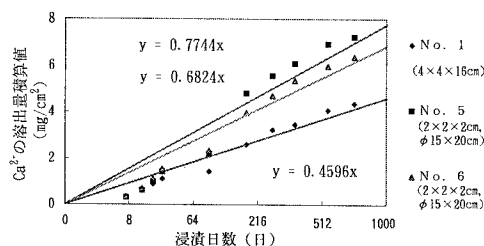
表-3 モルタル供試体の配合 (kg/m³)

水	セメント	豊浦標準砂	相馬標準砂	混和剤
247	459	587	881	5.41

セメント：B種高炉セメント（高炉スラグ置換率55%）
 混和剤：A/E減水剤5倍希釈溶液
 水セメント比：55%



i. $\ln(t)$ に比例するとした場合



ii. $t^{1/3}$ に比例するとした場合

図-2 単位面積当りの Ca^{2+} の溶出量