

第 4 章

# 4

低レベル放射性廃棄物処分

## 第4章 低レベル放射性廃棄物処分 目次

我孫子研究所構造部 主任研究員 広永 道彦

我孫子研究所地質部 上席研究員 馬原 保典

我孫子研究所高レベル・TRU廃棄物処分技術課題推進担当 河西 基

4 - 1	コンクリートの長期劣化 .....	51
4 - 2	地下水流動の調査・評価 .....	52
4 - 3	総合安全評価手法 .....	54



広永 道彦（1983年入所）  
放射性廃棄物処分におけるセメント固化体等の廃棄体の健全性評価、コンクリートの耐久性評価研究を一貫して実施。バックエンド全般の廃棄物処分や使用済燃料貯蔵に関する研究に従事。平成5～6年に日本原燃株式会社に出向し、第2号埋設施設の設計、安全評価に関わった。



馬原 保典（1974年入所）  
定年まであと8年、今でもまだまだ現役をモットーに。地下水に溶けたヘリウムやその他の希ガスを質量分析器で追いかけて、深層地下水が発信してくるかすかな情報を基に地下水の生まれや年齢を推定する手法の確立を目指す地下水探偵団。

河西 基（8ページに掲載）

## 4-1 コンクリートの長期劣化

処分施設における核種移行抑止のための「人工バリア」として、コンクリートに要求される性能は、①作用する土圧等に対する耐力、②放射性核種の生活圏環境への移行を抑止するために、処分施設内への地下水の浸入を極力抑える止水性能、③仮に地下水が処分施設内に浸入した場合に核種の移行を遅延させる核種収着性能、である<sup>(1)</sup>。

放射性廃棄物処分施設の特徴は地中に埋設するため、通常のコンクリート構造物と異なり保守・補修が困難なことである。そのため、できるだけひびわれ等の劣化が生じないような設計、あるいは対策を講じる必要がある。

放射性廃棄物処分施設を構成するコンクリート材料には、通常の土木・建築材料としての検討以外に、上記①～③の役割ができるだけ長期に亘って維持できるための検討、また、それらの役割を著しく低下させる現象に対する検討・対策が必要となる。

本研究の目的は、放射性廃棄物処分施設を構成するコンクリートの人工バリア性能を適切に評価するために、処分環境下で生じることが予想される劣化作用に対して、①その劣化・進行程度を明らかにすることと、②それらの作用が生じた場合の人工バリアとしての核種移行抑止機能を評価できる手法を開発すること、である。

### 4-1-1 コンクリートの劣化作用

#### ① 化学的劣化に対する耐久性評価

地下水等に含有される酸・塩類に対する化学的劣化試験を行い、時間と劣化深さとの関係を整理した。その結果、硫酸ナトリウムに対する時間と劣化深さは、時間の平方根と比例関係にあることを示した(図4-1-1)<sup>(2)</sup>。

#### ② ガスの透気特性評価

処分施設内で水素ガスが発生した場合のことを想定して、コンクリートからの透気特性を検討した。処分施設は地下水によって飽和することが考えられることから、飽和状態におけるコンクリートの透気特性を把握する必要がある。当所では、飽和状態にした水セメ

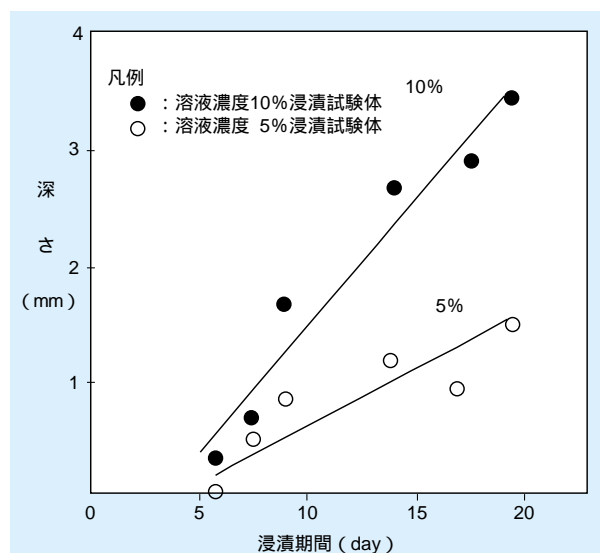


図4-1-1 エトリンガイドの浸透深さと浸漬期間の平方根との関係 (S/√t)

ント比150～300%のモルタル試験体を用いて透気試験を実施した。その結果、材齢の影響、配合の影響および細孔径分布の影響を把握し、飽和状態におけるモルタル試験体のガス透気特性を把握した<sup>(3),(4)</sup>。

### 4-1-2 長期止水性能評価手法の開発

放射性廃棄物処分施設は保守・補修が困難なことから、人工バリアとしての機能が、どの程度維持できるか？ という機能評価手法の確立が必要となる。

そのため、当所では処分施設が置かれる環境条件を考慮して、作用すると考えられる劣化現象をモデル化して、長期に亘る透水係数の評価が可能な手法を構築した。また、ひびわれおよび化学的劣化の進行を考慮した長期止水性能評価手法を開発し、その手法を用いて、良質な材料の選定、入念な施工を行えば、透水係数は長期に亘っても、大幅に低減しない可能性があることを示した(図4-1-2)<sup>(5)</sup>。

以上のような研究成果を蓄積することにより、コンクリートに人工バリアとしての長期耐久性が期待できるようになると、岩盤等、天然バリアの核種閉じ込め

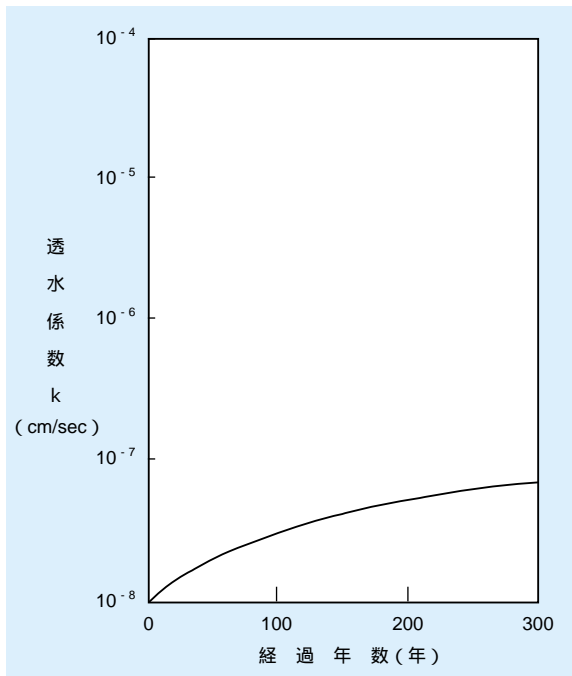


図4-1-2 透水係数の経時変化

機能に裕度ができる。すなわち、簡易な設計・安全評価およびコスト低減に寄与することができる。

また、今後のTRU廃棄物および高レベル廃棄物処分施設の立地選定に際しても、裕度のある選定に寄与することができる。

放射性廃棄物処分におけるコンクリートの耐久性に関する研究は、経済性を意識しながら「材料研究」、「設計検討」、「安全評価」との相関性を踏まえながら実施する必要がある。当所では、いずれの分野でも研究者がそろっており、上記のような意識の下で実施できる唯一の研究機関であると認識している。

今後は、処分環境条件を考慮したセメント溶解に伴う、セメント鉱物の変質と2次生成鉱物によるひびわれ等の閉塞現象を取り入れた止水性能評価手法の高度化を行う。

## 4 - 2 地下水流動の調査・評価

発電所の運転に伴い発生する低レベル放射性廃棄物は、地下施設に埋設される予定である。すでに、濃縮廃液をセメント等で固めた廃棄物は埋設作業が進められており、金属廃棄物を主体とする雑固化体埋設用の施設建設も進んでいる。今後は、放射性核種濃度の比較的高いものを地下50から100mの深度に埋設できるよう、サイトの地下水調査が検討されており、今まで以上に深部までの地下水の流動状況を詳細に調査することが求められている。

このような背景の下、地下水の起源や地下水の滞留時間を基に地下水の流動特性や地下水の鉛直方向の分布と地下水構造を明らかにすること、を目的として研究を実施した。

地下水の起源を知るために溶存イオン量、安定同位体、溶存希ガス濃度と同位体比を測定し、サイトにおいて連続的に計測されている、間隙水圧等のデータとも比較をしつつ、地下水の涵養域と流出域の区分や、地下水の涵養機構と浅層地下水の浸入深度等を評価し、サイトの地下水流動概念モデルを作成した。

### (1) 地下水の起源

浅層地下水は最近の降水を起源としており、深部には古い海水を起源とする塩分濃度の高い地下水が存在し、サイト全体としては浅層地下水と深部の塩水との混合で地下水が作られている(図4-2-1)。

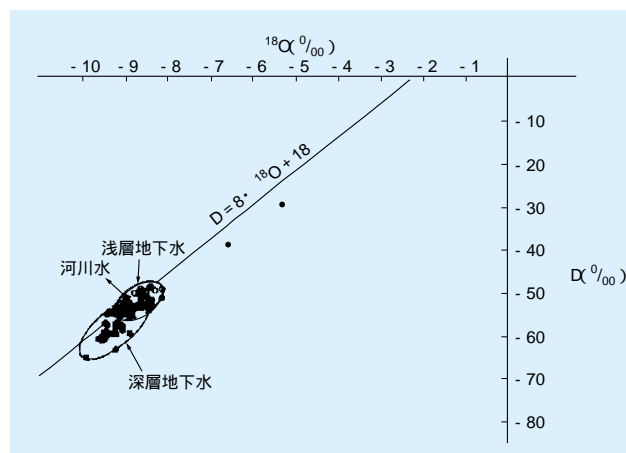


図4-2-1 サイト内の浅層・深層地下水および降水の環境同位体 (D、<sup>18</sup>O) の分布



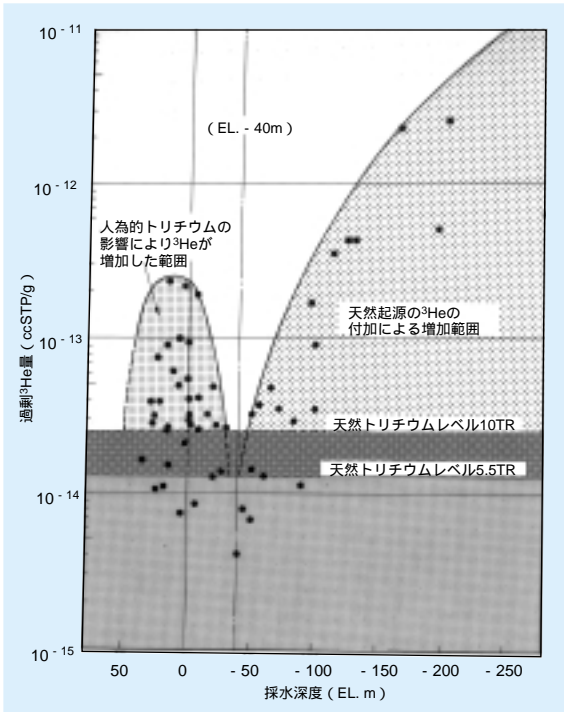


図4-2-2 浅層・深層地下水中の过剩<sup>3</sup>He量と天然トリチウムレベルおよび採水深度との関係(人為的トリチウム起源による<sup>3</sup>He量の増加領域と天然起源<sup>3</sup>Heによる<sup>3</sup>Heの増加領域)

### (2) 浅層地下水の浸入深度

降水を起源とする浅層地下水には、大気起源のトリチウムが含まれている。深度方向にトリチウム濃度とトリチウムが壊変して生成されるヘリウム-3(<sup>3</sup>He)濃度を調べると、1960年代前半の冷戦時代に米ソによって行われた大気圏内核実験の影響によってトリチウム濃度が上昇した範囲と、自然状態で地下深部から供給される天然起源のヘリウム-3濃度分布とを分離することができ、海拔-30mから-40mの範囲に、最近の降水を起源とする地下水の浸入深度が存在することが判明した(図4-2-2)。

### (3) 地下水流動概念モデル

地下水の水質分布、地下水の起源、地下水の滞留時間および浅層地下水と深層地下水の鉛直方向の分布を基に地下水の流動概念モデルを推定することができた(図4-2-3)。浅層地下水は数十年のオーダーで循環しており、深部に行くほど地下水の滞留時間は長くなり、海拔-100mから-50mより深い部分には、変質した海水を起源とする滞留時間も1000年以上に達する非常に流れが遅い塩水が存在する。

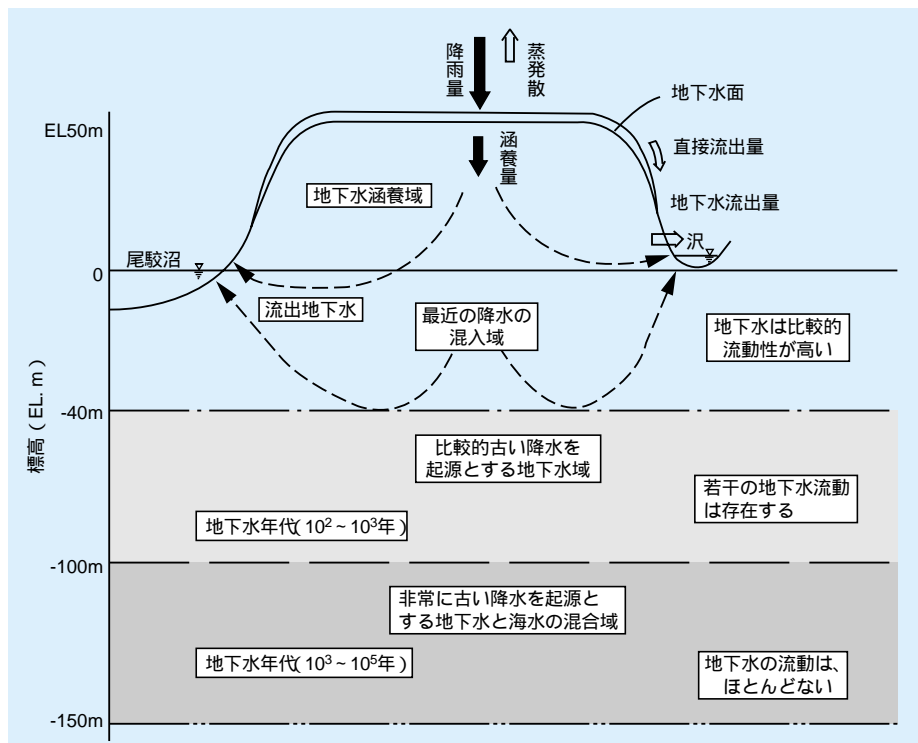


図4-2-3 地下水の流動概念モデル

## 4 - 3 総合安全評価手法

放射性廃棄物地下埋設処分の安全評価において、地下水移行経路は最も重要な評価シナリオの一つである。すなわち、固型化された廃棄体に地下水が直接接触する段階に至り、放射性核種が地下水中に漏出あるいは溶出し、地下水を媒体として処分施設から周辺の地盤中を移動し、その一部が人間環境に到達して被曝の原因となる。

このような地下水移行シナリオに関して、特に、低レベル廃棄物処分では浅地中の飽和～不飽和領域が、また高レベル廃棄物処分においては割れ目や破碎帯を有する深層岩盤中が、地下水流動と核種移行の場となる。

そこで、当所においては、これらの現象を精度良くかつ実用的に解析・評価するとともに、それらの結果をもとに人間への影響(被ばく線量等量)を合理的に評価するためのバリア性能評価手法(処分施設の人工バリア(主として高レベル廃棄物を対象)、天然バリア(周辺地盤)中の地下水流動・核種移行挙動および被曝線量評価から主に構成)の開発解析コードの体系化整備を図っ

表4-3-1 電中研の主要な放射性廃棄物処分バリア性能評価コード

要素	コード	内容	
人工バリア	ガラス固化体	STRAG4	ガラス固化中の核種の移行を評価する
	オーバーバック	CRANP	オーバーバックの腐食速度等を評価する
	緩衝材	GESPER	緩衝材中の核種の移行を評価する
	人工バリア全体	RAPRAN	人工バリア全体の性能を容易に評価する
天然バリア	地下水流動	GMF (FEGM)	割れ目系岩盤(地盤)中の地下水流れを評価する
	熱～地下水	CHGR	岩盤中の熱と地下水の連成挙動を評価する
	核種移行	RMF (FERM)	割れ目系岩盤(地盤)中の移行を評価する
	被曝線量	FORADO	食物連鎖等による被曝線量を評価する

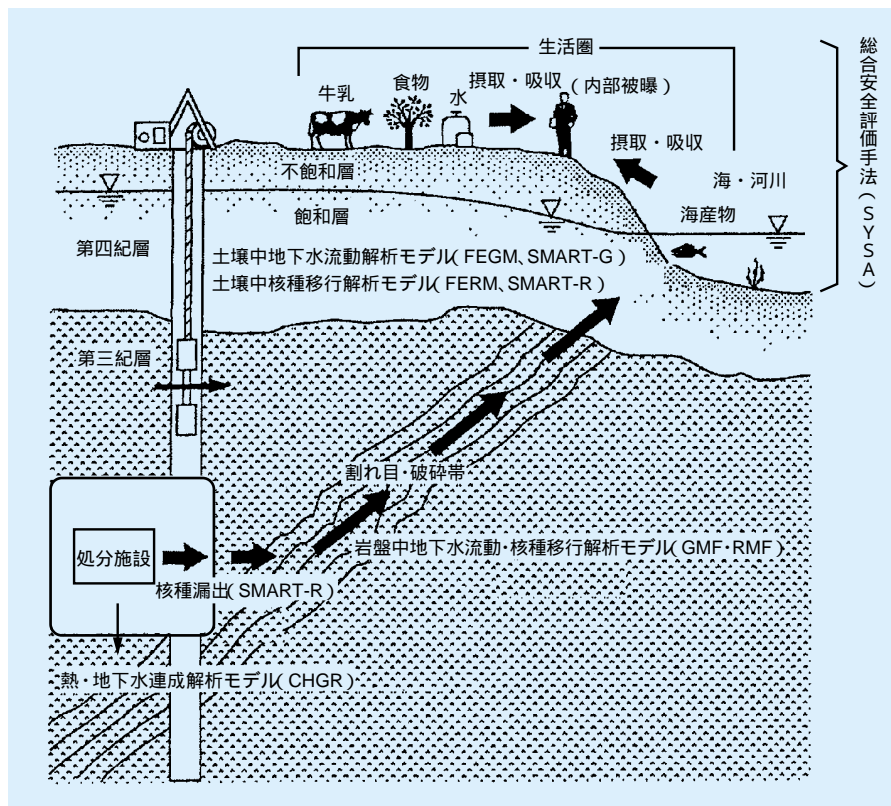


図4-3-1 バリア性能評価/安全評価コード体系の概念図

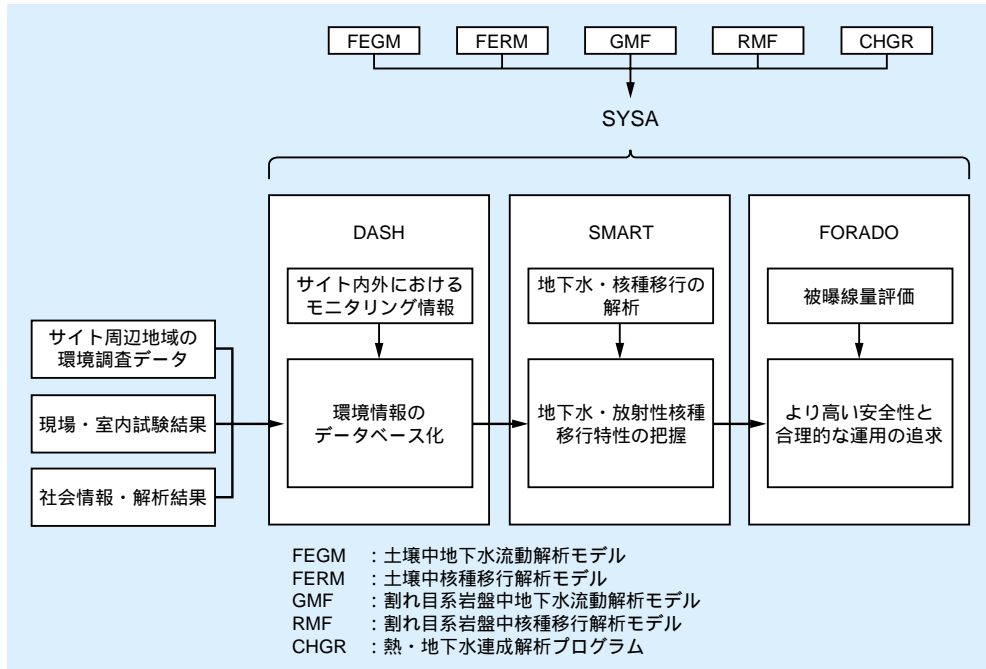


図4-3-2 総合安全評価システム (SYSA) の構成

てきた。表4-3-1は、当所における主なバリア性能評価コードの一覧であり、また図4-3-1はバリア性能評価コード体系の概念を示したものである。さらに、図4-3-2は、コンピュータシステムを用いて統合化した総合安全評価システム(SYSA)である<sup>(7),(8)</sup>。

これらのバリア性能評価手法や総合安全評価システムの研究成果は、日本原燃(株)および電気事業による青森県六ヶ所村における低レベル放射性廃棄物埋設施設の第1期(均一固化体を対象)および第2期(雑固体を対象)の事業許可申請支援等に反映されている。