

図 6.4-87 緩衝材変質・間隙水組成の変遷評価の解析ケースごとの間隙率の時間的な変化

## 天然バリア

表 6.4-25 に示した核種移行解析ケースに対して、6.4.1 における地下水流動解析の結果に基づいて、天然バリアのパラメータ設定を行った。隆起・侵食シナリオの核種移行解析ケースと天然バリアの設定パラメータを表 6.4-27 に示す。なお、表 6.4-27 中の移行距離とダルシー流速は、初期値のみを示しており、その時間変化は、6.4.1 の地下水流動解析における解析結果に基づいて設定した。また、間隙率と分配係数に関しては、6.4.1 における移行経路上の地質条件と水質条件の内訳に基づいて、間隙率は地質ごと、分配係数は地質（堆積岩 1、2、3）と水質（地下水 1：降水系、地下水 2：塩水系）の組合せ（6.4.5（4））ごとに設定した。

以下では、6.4.1 から 6.4.6 までの評価に依らない各パラメータ設定の概要を示した。

表 6.4-27 隆起・侵食シナリオの核種移行解析ケースと天然バリアの設定パラメータ

地下水流動解析ケース	隆起のタイプ	隆起速度 [mm/y]	侵食速度 [mm/y]	透水異方性	処分場位置	処分場位置での水理条件	処分場対地深度 [m]	天然バリアの設定パラメータ						
								移行距離の初期値 [m]	ダルシー流速の初期値 [m/y]	拡散係数 [m <sup>2</sup> /y]	分散長 [m]	真密度 [kg/m <sup>3</sup> ]	間隙率 [-]	分配係数 [m <sup>3</sup> /kg]
Case1	一樣隆起	0.3	0	×	P1	H2	-300	1172	3.9E-04	3.2E-02	100	2400	地質ごと	地質・水質ごと
					P2	H3	-300	784	3.0E-03	3.2E-02	100	2400	地質ごと	地質・水質ごと
					P3	H2	-300	1690	1.9E-03	3.2E-02	100	2400	地質ごと	地質・水質ごと
					P4	H2	-400	2196	4.4E-04	3.2E-02	100	2400	地質ごと	地質・水質ごと
					P5	H2	-400	2856	1.8E-03	3.2E-02	100	2400	地質ごと	地質・水質ごと
					P6	H1	-500	2665	7.4E-05	3.2E-02	100	2400	地質ごと	地質・水質ごと
					P7	H2	-500	3202	5.7E-04	3.2E-02	100	2400	地質ごと	地質・水質ごと
					P8	H1	-600	3577	1.1E-04	3.2E-02	100	2400	地質ごと	地質・水質ごと
Case2	一樣隆起	0.3	0		P1	H2	-300	1253	1.7E-04	3.2E-02	100	2400	地質ごと	地質・水質ごと
					P2	H3	-300	750	1.7E-03	3.2E-02	100	2400	地質ごと	地質・水質ごと
					P3	H2	-300	1789	7.3E-04	3.2E-02	100	2400	地質ごと	地質・水質ごと
					P4	H2	-400	866	4.3E-04	3.2E-02	100	2400	地質ごと	地質・水質ごと
					P5	H2	-400	1807	6.1E-04	3.2E-02	100	2400	地質ごと	地質・水質ごと
					P6	H1	-500	917	2.3E-05	3.2E-02	100	2400	地質ごと	地質・水質ごと
					P7	H2	-500	1937	3.3E-04	3.2E-02	100	2400	地質ごと	地質・水質ごと
					P8	H1	-600	1940	5.9E-05	3.2E-02	100	2400	地質ごと	地質・水質ごと
Case3	一樣隆起	0.3	0.3	×	P1	H2	-300	1154	4.2E-04	3.2E-02	100	2400	地質ごと	地質・水質ごと
					P2	H3	-300	791	3.1E-03	3.2E-02	100	2400	地質ごと	地質・水質ごと
					P3	H2	-300	1702	1.9E-03	3.2E-02	100	2400	地質ごと	地質・水質ごと
					P4	H2	-400	2169	4.7E-04	3.2E-02	100	2400	地質ごと	地質・水質ごと
					P5	H2	-400	2844	1.9E-03	3.2E-02	100	2400	地質ごと	地質・水質ごと
					P6	H1	-500	2642	8.2E-05	3.2E-02	100	2400	地質ごと	地質・水質ごと
					P7	H2	-500	3174	5.8E-04	3.2E-02	100	2400	地質ごと	地質・水質ごと
					P8	H1	-600	3567	1.2E-04	3.2E-02	100	2400	地質ごと	地質・水質ごと
Case4	一樣隆起	0.3	0.3		P1	H2	-300	1253	1.7E-04	3.2E-02	100	2400	地質ごと	地質・水質ごと
					P2	H3	-300	748	1.7E-03	3.2E-02	100	2400	地質ごと	地質・水質ごと
					P3	H2	-300	1760	7.0E-04	3.2E-02	100	2400	地質ごと	地質・水質ごと
					P4	H2	-400	873	3.7E-04	3.2E-02	100	2400	地質ごと	地質・水質ごと
					P5	H2	-400	1800	6.2E-04	3.2E-02	100	2400	地質ごと	地質・水質ごと
					P6	H1	-500	924	4.4E-05	3.2E-02	100	2400	地質ごと	地質・水質ごと
					P7	H2	-500	1891	3.2E-04	3.2E-02	100	2400	地質ごと	地質・水質ごと
					P8	H1	-600	1897	6.2E-05	3.2E-02	100	2400	地質ごと	地質・水質ごと
Case5	傾動隆起	0.3	0	×	P1	H2	-300	1174	3.9E-04	3.2E-02	100	2400	地質ごと	地質・水質ごと
					P2	H3	-300	786	3.0E-03	3.2E-02	100	2400	地質ごと	地質・水質ごと
					P3	H2	-300	1699	1.9E-03	3.2E-02	100	2400	地質ごと	地質・水質ごと
					P4	H2	-400	2196	4.4E-04	3.2E-02	100	2400	地質ごと	地質・水質ごと
					P5	H2	-400	2854	1.8E-03	3.2E-02	100	2400	地質ごと	地質・水質ごと
					P6	H1	-500	2641	7.4E-05	3.2E-02	100	2400	地質ごと	地質・水質ごと
					P7	H2	-500	3199	5.8E-04	3.2E-02	100	2400	地質ごと	地質・水質ごと
					P8	H1	-600	3574	1.1E-04	3.2E-02	100	2400	地質ごと	地質・水質ごと
Case7	傾動隆起	0.3	0		P1	H2	-300	1248	1.7E-04	3.2E-02	100	2400	地質ごと	地質・水質ごと
					P2	H3	-300	750	1.7E-03	3.2E-02	100	2400	地質ごと	地質・水質ごと
					P3	H2	-300	1789	7.4E-04	3.2E-02	100	2400	地質ごと	地質・水質ごと
					P4	H2	-400	866	4.3E-04	3.2E-02	100	2400	地質ごと	地質・水質ごと
					P5	H2	-400	1809	6.1E-04	3.2E-02	100	2400	地質ごと	地質・水質ごと
					P6	H1	-500	919	2.5E-05	3.2E-02	100	2400	地質ごと	地質・水質ごと
					P7	H2	-500	1889	3.1E-04	3.2E-02	100	2400	地質ごと	地質・水質ごと
					P8	H1	-600	1894	5.7E-05	3.2E-02	100	2400	地質ごと	地質・水質ごと
Case8	傾動隆起	0.3	0.3	×	P1	H2	-300	1154	4.1E-04	3.2E-02	100	2400	地質ごと	地質・水質ごと
					P2	H3	-300	1872	2.6E-03	3.2E-02	100	2400	地質ごと	地質・水質ごと
					P3	H2	-300	1702	1.9E-03	3.2E-02	100	2400	地質ごと	地質・水質ごと
					P4	H2	-400	2169	4.6E-04	3.2E-02	100	2400	地質ごと	地質・水質ごと
					P5	H2	-400	2844	1.9E-03	3.2E-02	100	2400	地質ごと	地質・水質ごと
					P6	H1	-500	2644	8.0E-05	3.2E-02	100	2400	地質ごと	地質・水質ごと
					P7	H2	-500	3172	5.7E-04	3.2E-02	100	2400	地質ごと	地質・水質ごと
					P8	H1	-600	3567	1.2E-04	3.2E-02	100	2400	地質ごと	地質・水質ごと
Case10	傾動隆起	0.3	0.3		P1	H2	-300	1253	1.7E-04	3.2E-02	100	2400	地質ごと	地質・水質ごと
					P2	H3	-300	748	1.7E-03	3.2E-02	100	2400	地質ごと	地質・水質ごと
					P3	H2	-300	1762	7.2E-04	3.2E-02	100	2400	地質ごと	地質・水質ごと
					P4	H2	-400	873	3.7E-04	3.2E-02	100	2400	地質ごと	地質・水質ごと
					P5	H2	-400	1797	6.1E-04	3.2E-02	100	2400	地質ごと	地質・水質ごと
					P6	H1	-500	924	4.3E-05	3.2E-02	100	2400	地質ごと	地質・水質ごと
					P7	H2	-500	1891	3.1E-04	3.2E-02	100	2400	地質ごと	地質・水質ごと
					P8	H1	-600	1890	6.2E-05	3.2E-02	100	2400	地質ごと	地質・水質ごと

i) 実効拡散係数

幌延地域の地質（堆積岩）を想定し、泥岩中の実効拡散係数について既存のデータベースから整理したものを、表 6.4-28 に示す。なお、幌延の岩石は概して間隙率が高く、そのような高い間隙率に対するデータはヨウ素（I）のみであったため、ヨウ素のデータを採用した。また、実効拡散係数は間隙率依存があるため、表の値は間隙率依存性を考慮した値となっている。

ここで、最も高い値である  $8.0 \times 10^{-10} \text{ m}^2/\text{s}$ （声問層）を参考として、ヨウ素の値を全元素に適用するにあたり、保守性を考慮して、 $1.0 \times 10^{-9} \text{ m}^2/\text{s}$ （ $3.2 \times 10^{-2} \text{ m}^2/\text{年}$ ）を全元素共通の設定値とした。

表 6.4-28 幌延地域の地質を想定した泥岩中の実効拡散係数

地質	間隙率 (vol.%)	実効拡散係数 ( $\text{m}^2/\text{s}$ )
稚内層	35	$8.0 \times 10^{-11}$
声問層	65	$8.0 \times 10^{-10}$
勇知層	45	$2.0 \times 10^{-10}$

ii) 縦方向分散長

P2 以外は、移行距離がほぼ 1000m を超えており、P2 もケースによっては、1,000m を超える場合があるため、一律 100m を設定した。

iii) 真密度

幌延地域の堆積岩の真密度は、小川と松井<sup>(30)</sup>による幌延堆積岩の岩石コアを用いたかさ密度等の調査結果をもとに、表 6.4-29 のように算出し、 $2.4 \text{ g/cc}$ （ $2,400 \text{ kg/m}^3$ ）の値を設定した。

表 6.4-29 小川と松井<sup>(30)</sup>による幌延堆積岩の岩石コアに関するかさ密度等の調査結果  
(一部改変)

SA.NO.	深度 (m)	地層名	方向	かさ密度 (乾燥) (g/cc)	かさ密度 (湿潤) (g/cc)	粒子密度 (g/cc)	間隙率 (%)	真密度 (g/cc)
1	246.60	声問層	V	-	1.69	-	-	
2	247.30	声問層	V	-	1.69	-	41.00	
3	304.05	遷移部	V	1.41	1.80	2.40	41.41	2.4
4	305.30	遷移部	V	1.39	1.80	2.42	42.44	2.4
5	305.80	遷移部	V	1.38	1.78	2.41	42.78	2.4
6	490.45	稚内層	V	1.51	1.86	2.40	36.97	2.4
7	490.60	稚内層	H	1.55	1.80	2.43	36.26	2.4
8	493.05	稚内層	V	1.52	1.86	2.37	35.73	2.4
9	493.50	稚内層	V	1.58	1.87	2.48	36.34	2.5

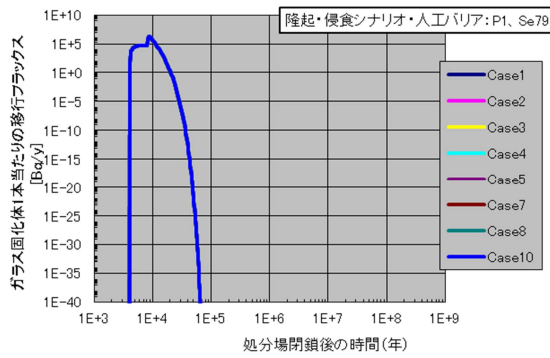
## (2) 解析結果

隆起・侵食シナリオの各処分場位置 (P1～P8) における各バリアからのガラス固化体 1 本当たりの地下水移行による移行フラックスの解析ケース間の比較を、Se79 について図 6.4-88 に、Cs135 について図 6.4-89 に、 $4n+1$  系列の Np237 について図 6.4-90 に示す。また、最大移行フラックスに関して解析ケース間の比較を行ったものを、Se79 について図 6.4-91 に、Cs135 について図 6.4-92 に、 $4n+1$  系列の Np237 について図 6.4-93 に示す。なお、線量の結果は、Appendix H に示した。

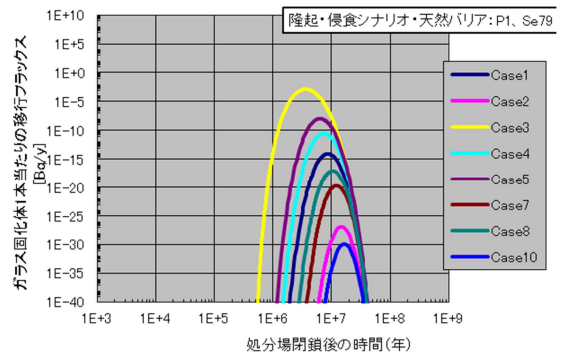
まず、人工バリアからの移行フラックスに関しては、地下水流動の解析ケースによらず、ほぼ処分場位置で決まっていることがわかる。つまり、Se79 及び Cs135 では、処分場位置 P1 や P6、P8 において、塩水条件にさらされる期間が長く、その結果ガラス溶解速度が 2 桁増加するため、塩水条件にさらされる期間の短い P7 や常に降水条件である P2、P3、P4 に比べて、人工バリアからの移行フラックスも 2 桁程度高くなった。一方、Np237 に関しては、ガラス溶解速度の影響は比較的小さく、ほぼ溶解度により決定され、塩水条件にさらされる期間の長い処分場位置 P1 や P6、P8 では、溶解度が P2、P3、P4、P7 に比べて小さく、人工バリアからの移行フラックスも低い値となった。

次に、天然バリアからの移行フラックスに関して、すべての核種において、処分深度の深い P6 (-500m) や P8 (-600m) では、移行距離が長く半減期の影響により有意なフラックスは計算されないものの、その他の処分場位置では、地下水流動の解析ケースによる違いがみられた。基本的には、透水異方性を考慮しないケース (Case1、3、5、8) の方が、透水異方性を考慮したケース (Case2、4、8、10) に比べて、天然バリアからの移行フラックスが高く、これは透水異方性を考慮しないケースの流速が、透水異方性を考慮したケースに比べて、速いためである。ただし、P3 に関しては、一様隆起の侵食なしケースである Case1 と Case2 において、透水異方性を考慮した Case2 の方が、透水異方性を考慮しない Case1 に比べて、天然バリアからの移行フラックスが高くなっており、これは Case2 において、透水異方性を考慮したことにより移行経路の短絡 (移行距離の急激な減少) が生じたためである (図 6.4-41 参照)。同様の理由により、P4 に関しても、一様隆起の侵食ありケースである Case3 と Case4 において、透水異方性を考慮した Case4 の方が、透水異方性を考慮しない Case3 に比べて、天然バリアからの移行フラックスが高くなっている。また、上記のような短絡の影響や P7 の例外を除くと、一様隆起において、侵食を考慮したケース (Case3、4) の方が、考慮しないケース (Case1、2) に比べて、天然バリアからの移行フラックスが高くなっており、これは、侵食による透水係数の増加に伴い、流速が増加したためである (図 6.4-42 参照)。一方、傾動隆起では、処分場位置ごとに、侵食の影響が異なっている。P2、P3、P5 では、侵食を考慮したケース (Case8、10) の方が、考慮しないケース (Case5、7) に比べて、天然バリアからの移行フラックスが高くなっているが、流速の影響というよりは、侵食を考慮することによる移行経路の短絡 (移行距離の減少) に起因している。P1、P4、P7 では、その逆で、侵食を考慮しないケース (Case5、7) の方が、侵食を考慮したケース (Case8、10) に比べて、天然バリアからの移行フラックスが高くなっており、これは、侵食を考慮しないケース (Case5、7) の方が、侵食を考慮したケース (Case8、10) に比べて、流速が速いためである。さらに、隆起のタイプの観点から、侵食なし・透水異方性なしの Case1 と Case5 で比較した場合、P1、P2、P3、P4、P5 では、傾動隆起 (Case5) の方が、一様隆起 (Case1) に比べて、天然バリアからの移行フラックスが高くなっており、これは、傾動隆起することにより動水勾配が大きくなり、結果として流速が増加するためである。

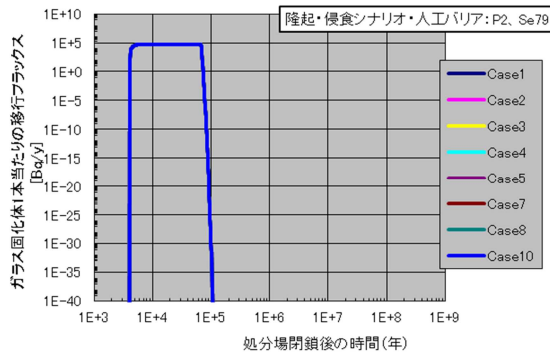
( a ) Se79



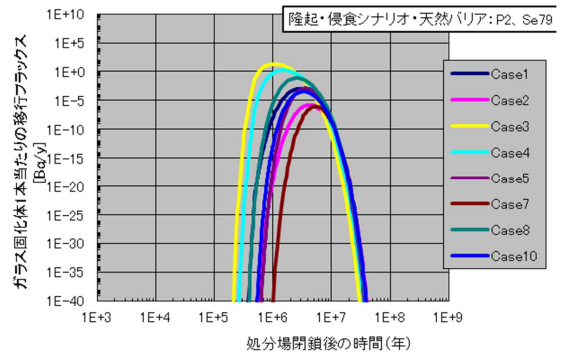
(1a) P1 : 人工バリア



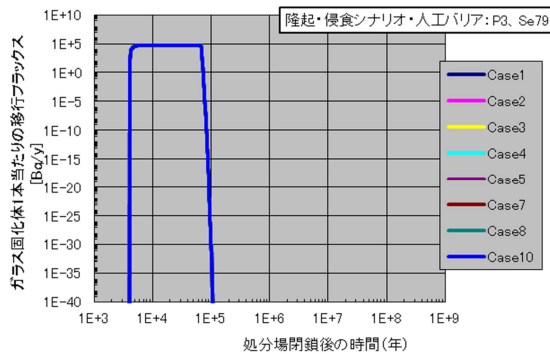
(1b) P1 : 天然バリア



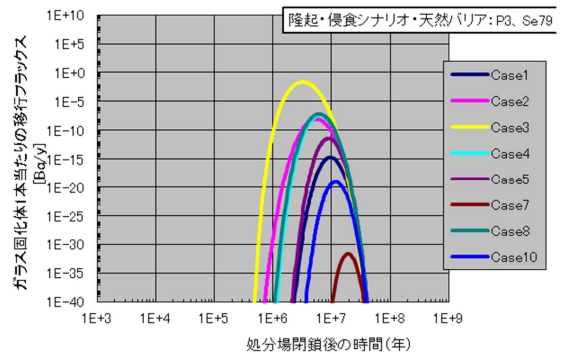
(2a) P2 : 人工バリア



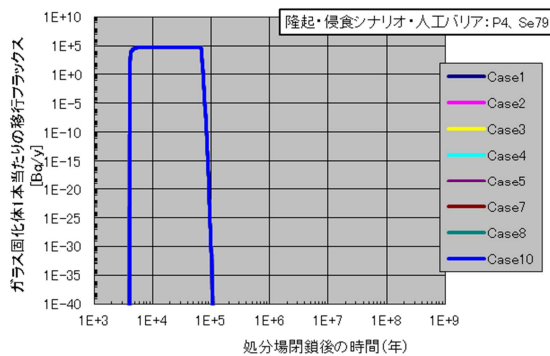
(2b) P2 : 天然バリア



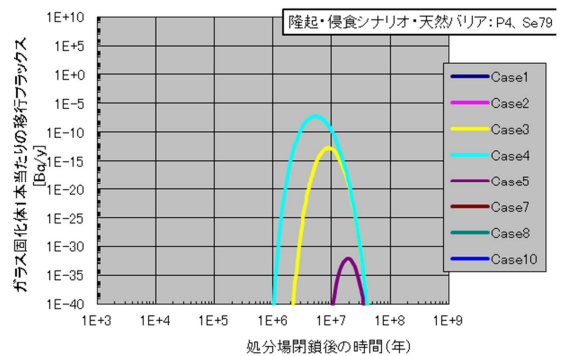
(3a) P3 : 人工バリア



(3b) P3 : 天然バリア

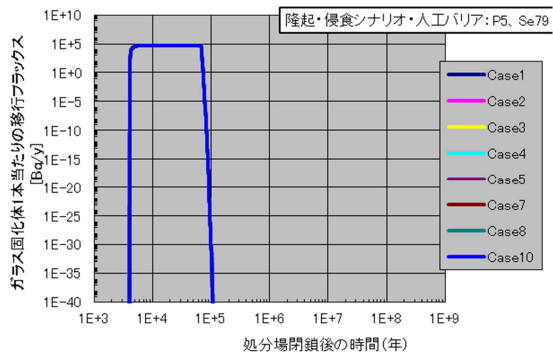


(4a) P4 : 人工バリア

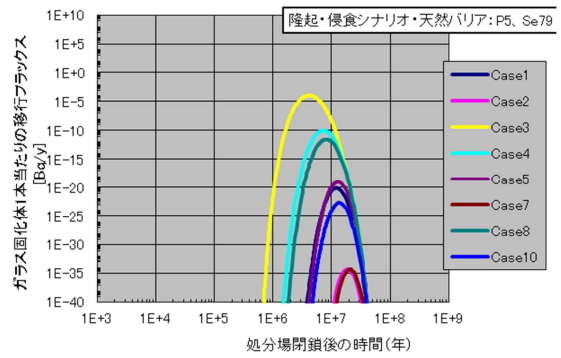


(4b) P4 : 天然バリア

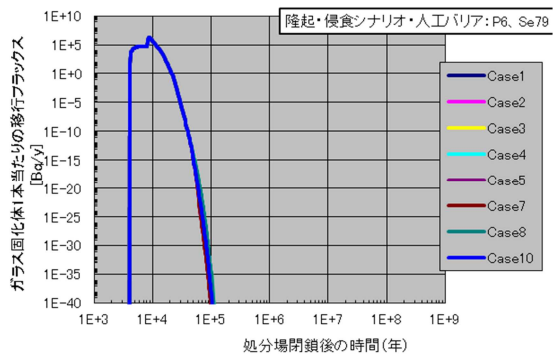
図 6.4-88 隆起・侵食シナリオの各処分場位置 (P1 ~ P8) における各バリアからのガラス固化体 1 本当たりの地下水移行による移行フラックスの解析ケース間の比較 : Se79 ( 1 / 2 )



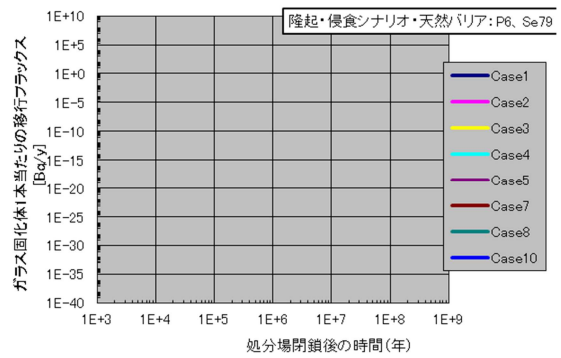
(5a) P5 : 人工バリア



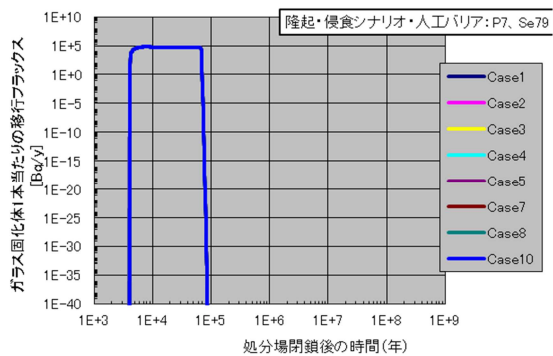
(5b) P5 : 天然バリア



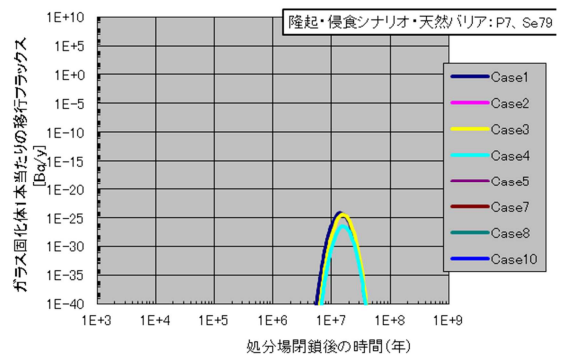
(6a) P6 : 人工バリア



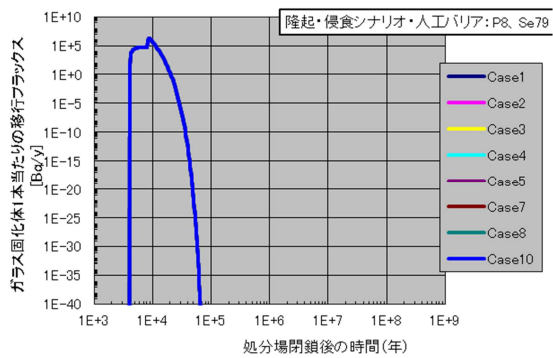
(6b) P6 : 天然バリア



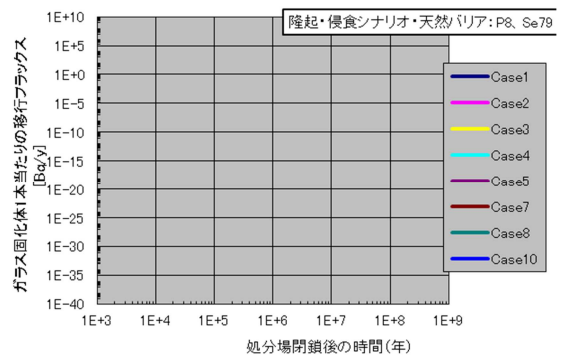
(7a) P7 : 人工バリア



(7b) P7 : 天然バリア



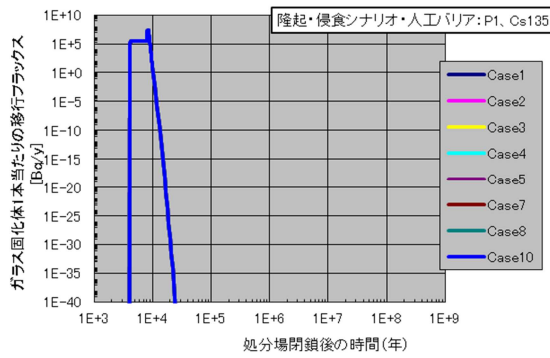
(8a) P8 : 人工バリア



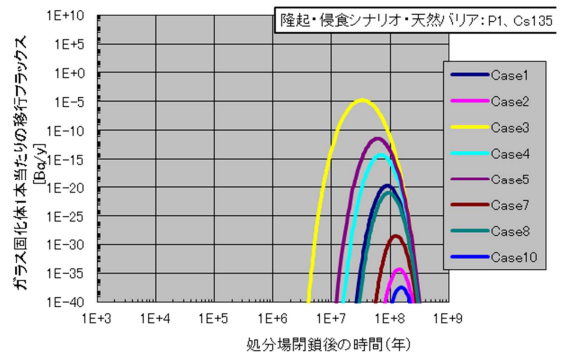
(8b) P8 : 天然バリア

図 6.4-88 隆起・侵食シナリオの各処分場位置 (P1 ~ P8) における各バリアからのガラス固化体 1 本当たりの地下水移行による移行フラックスの解析ケース間の比較 : Se79 (2/2)

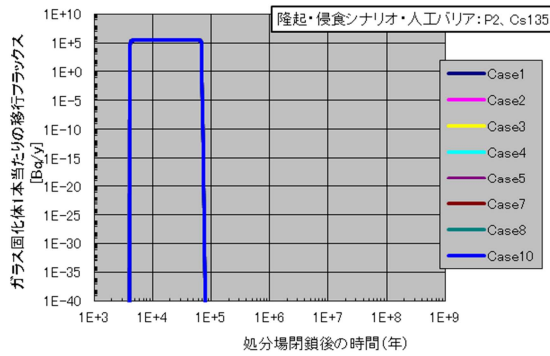
( b ) Cs135



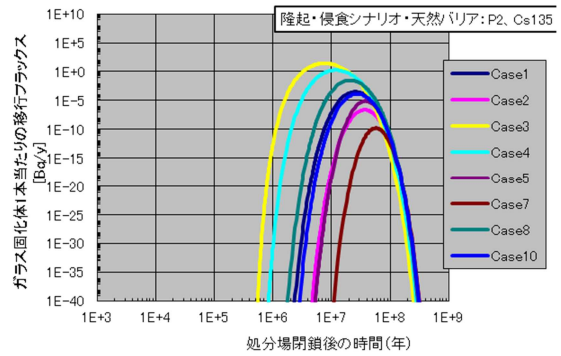
(1a) P1 : 人工バリア



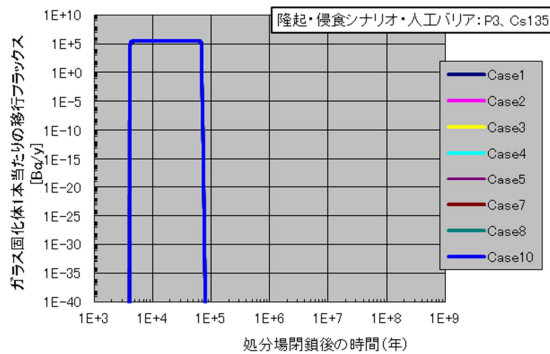
(1b) P1 : 天然バリア



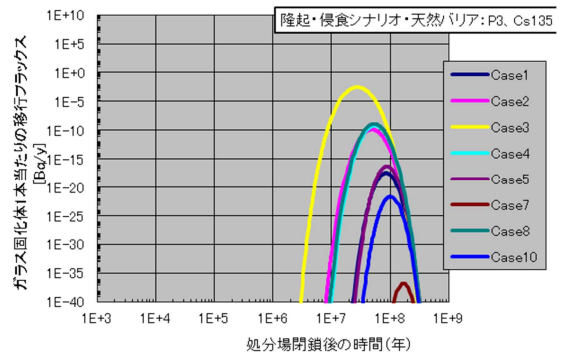
(2a) P2 : 人工バリア



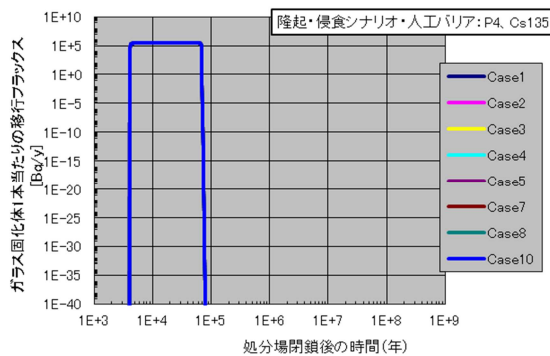
(2b) P2 : 天然バリア



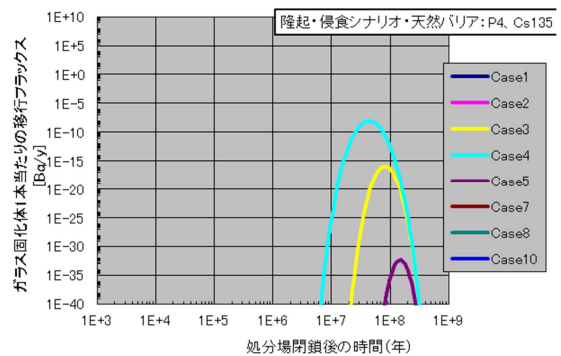
(3a) P3 : 人工バリア



(3b) P3 : 天然バリア

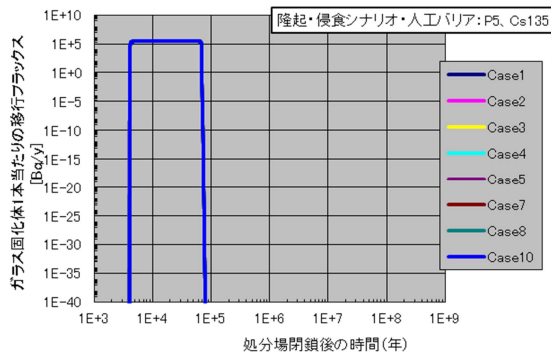


(4a) P4 : 人工バリア

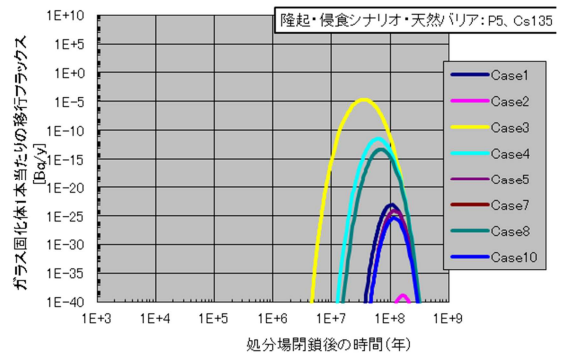


(4b) P4 : 天然バリア

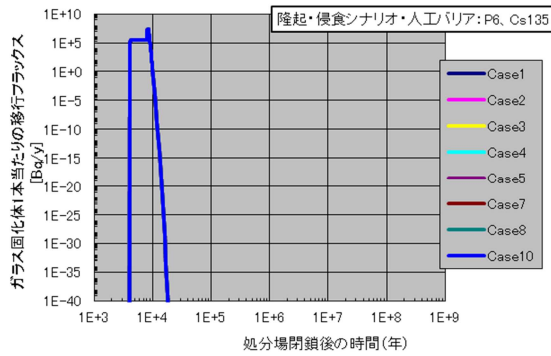
図 6.4-89 隆起・侵食シナリオの各処分場位置 (P1 ~ P8) における各バリアからのガラス固化体 1 本当り地下水中移行による移行フラックスの解析ケース間の比較 : Cs135 (1/2)



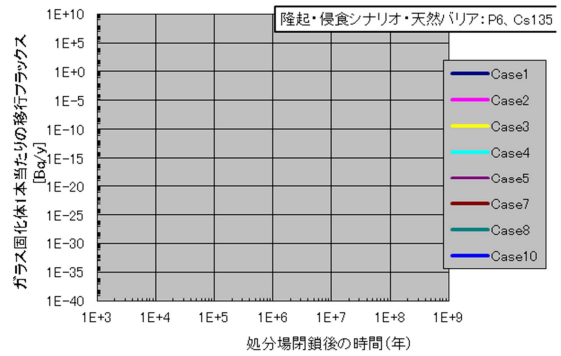
(5a) P5：人工バリア



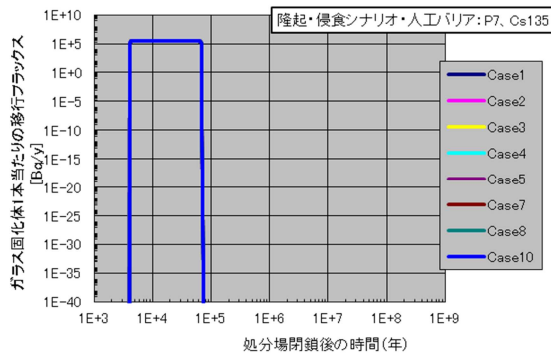
(5b) P5：天然バリア



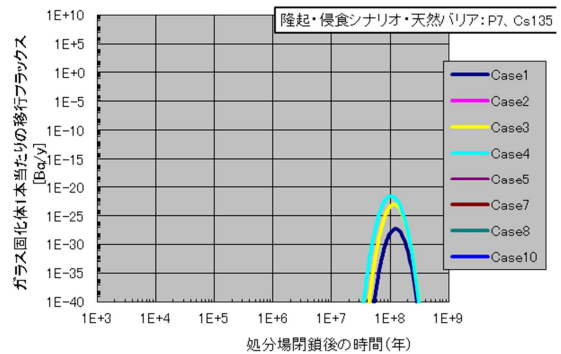
(6a) P6：人工バリア



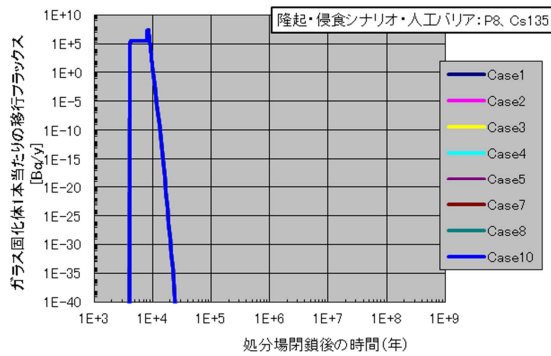
(6b) P6：天然バリア



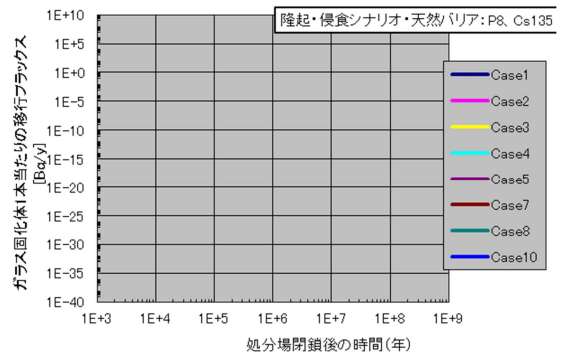
(7a) P7：人工バリア



(7b) P7：天然バリア



(8a) P8：人工バリア

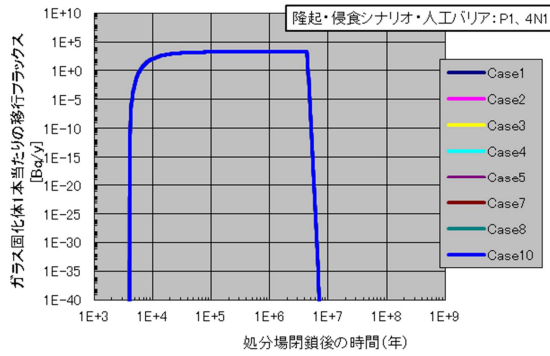


(8b) P8：天然バリア

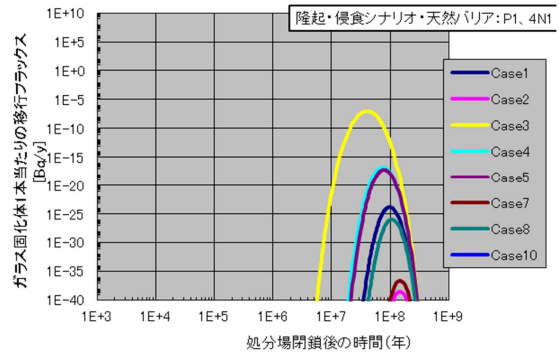
図 6.4-88 隆起・侵食シナリオの各処分場位置 (P1 ~ P8) における各バリアからのガラス固化体 1 本当り地下水中移行による移行フラックスの解析ケース間の比較：Cs135 (2/2)



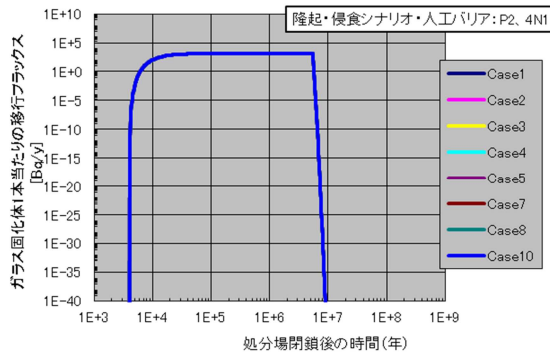
( c ) Np237 ( 4n+1 系列 )



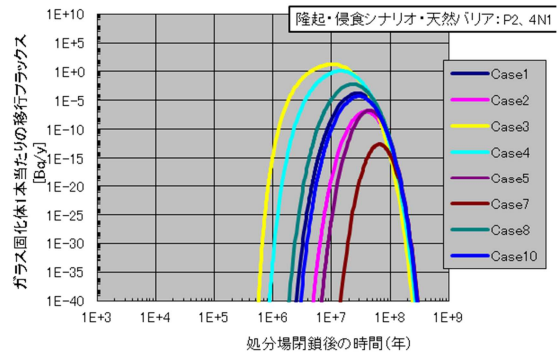
(1a) P1 : 人工バリア



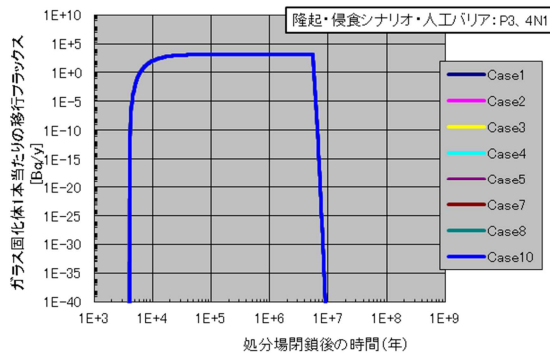
(1b) P1 : 天然バリア



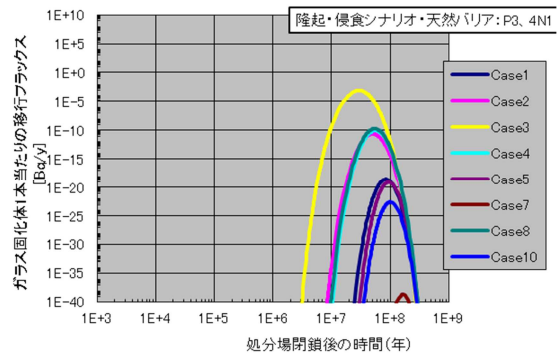
(2a) P2 : 人工バリア



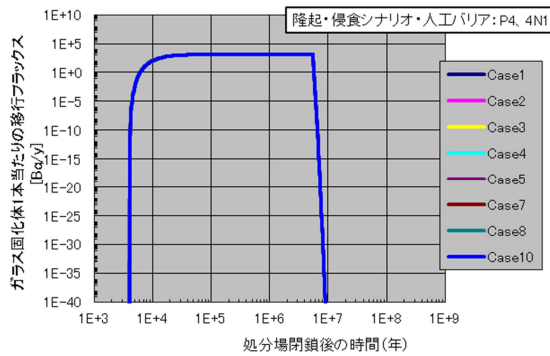
(2b) P2 : 天然バリア



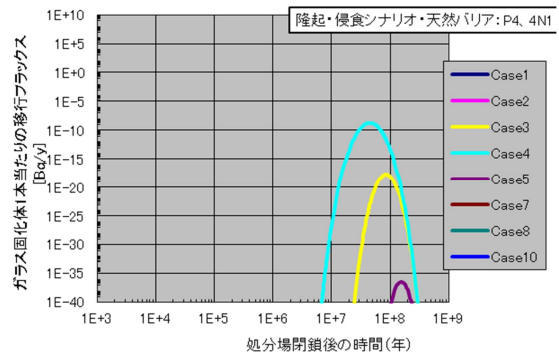
(3a) P3 : 人工バリア



(3b) P3 : 天然バリア

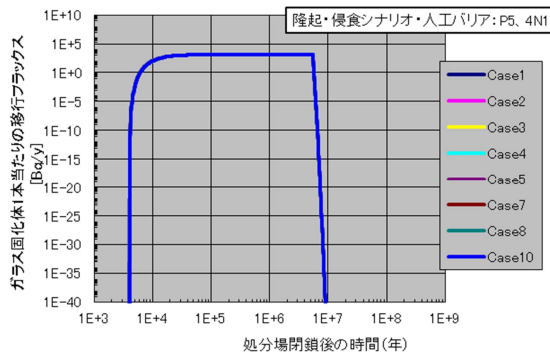


(4a) P4 : 人工バリア

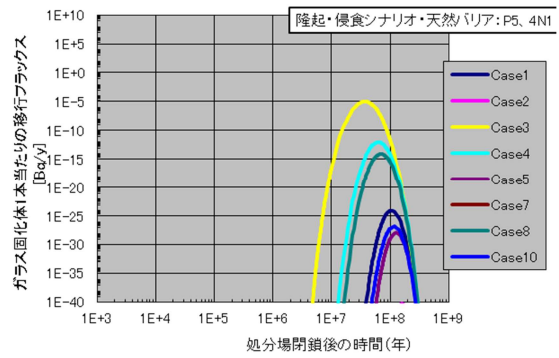


(4b) P4 : 天然バリア

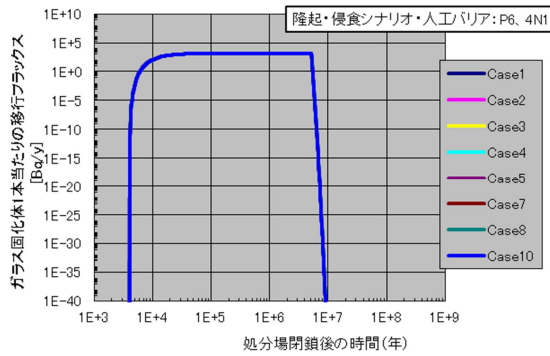
図 6.4-90 隆起・侵食シナリオの各処分場位置 ( P1 ~ P8 ) における各バリアからのガラス固化体 1 本当りでの地下水移行による移行フラックスの解析ケース間の比較 : Np237 ( 1/2 )



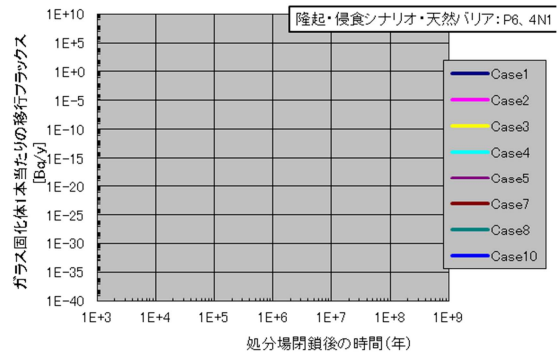
(5a) P5 : 人工バリア



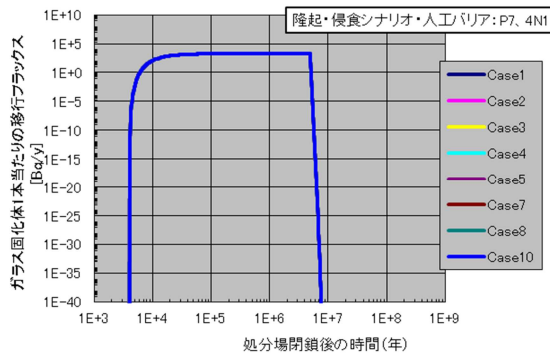
(5b) P5 : 天然バリア



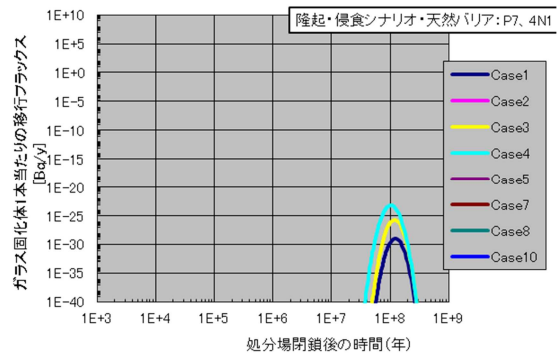
(6a) P6 : 人工バリア



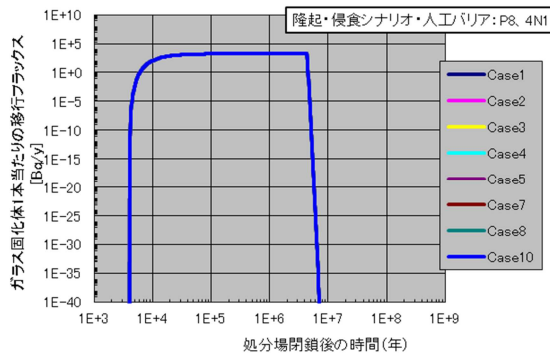
(6b) P6 : 天然バリア



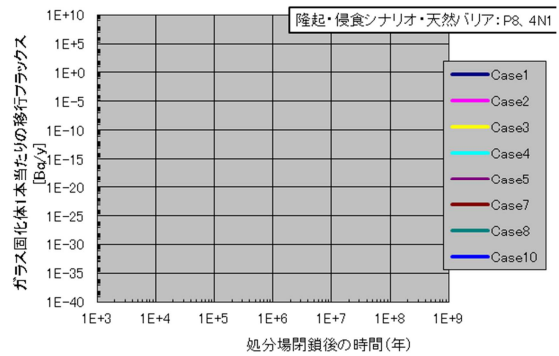
(7a) P7 : 人工バリア



(7b) P7 : 天然バリア



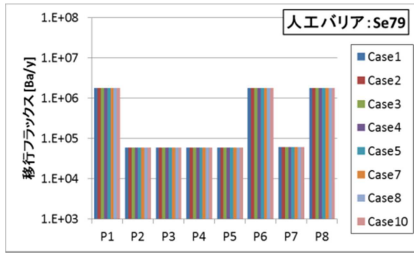
(8a) P8 : 人工バリア



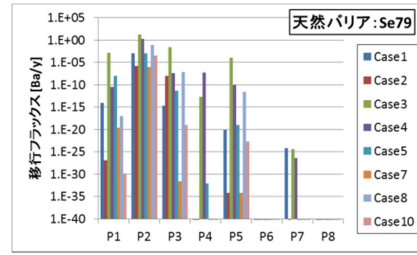
(8b) P8 : 天然バリア

図 6.4-88 隆起・侵食シナリオの各処分場位置 (P1 ~ P8) における各バリアからのガラス固化体 1 本当たりの地下水移行による移行フラックスの解析ケース間の比較 : Np237 (2/2)

(d) 一覧



(a) 人工バリア

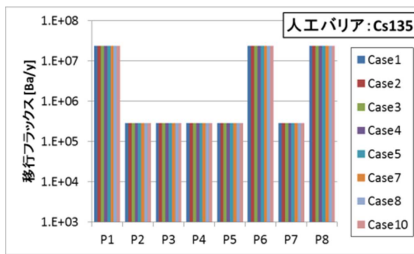


(b) 天然バリア

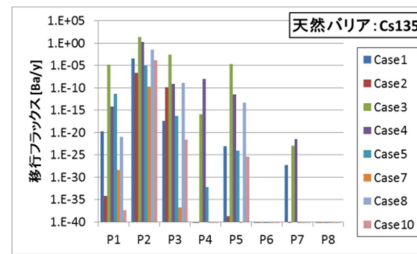
人工バリア: Se79									単位: Bq/y
	Case1	Case2	Case3	Case4	Case5	Case7	Case8	Case10	
P1	1.8E+06	1.8E+06	1.8E+06	1.8E+06	1.8E+06	1.8E+06	1.8E+06	1.8E+06	1.8E+06
P2	5.8E+04	5.8E+04	5.8E+04	5.8E+04	5.8E+04	5.8E+04	5.8E+04	5.8E+04	5.8E+04
P3	5.8E+04	5.8E+04	5.8E+04	5.8E+04	5.8E+04	5.8E+04	5.8E+04	5.8E+04	5.8E+04
P4	5.8E+04	5.8E+04	5.8E+04	5.8E+04	5.8E+04	5.8E+04	5.8E+04	5.8E+04	5.8E+04
P5	5.8E+04	5.8E+04	5.8E+04	5.8E+04	5.8E+04	5.8E+04	5.8E+04	5.8E+04	5.8E+04
P6	1.8E+06	1.8E+06	1.8E+06	1.8E+06	1.8E+06	1.8E+06	1.8E+06	1.8E+06	1.8E+06
P7	6.1E+04	6.1E+04	6.1E+04	6.1E+04	6.1E+04	6.1E+04	6.1E+04	6.1E+04	6.1E+04
P8	1.8E+06	1.8E+06	1.8E+06	1.8E+06	1.8E+06	1.8E+06	1.8E+06	1.8E+06	1.8E+06

天然バリア: Se79									単位: Bq/y
	Case1	Case2	Case3	Case4	Case5	Case7	Case8	Case10	
P1	9.3E-15	1.4E-27	1.4E-03	2.9E-11	1.1E-08	2.3E-20	8.8E-18	1.4E-30	1.4E-30
P2	1.1E-03	1.8E-06	2.0E+01	1.8E+00	1.3E-03	9.5E-07	7.3E-02	3.6E-04	3.6E-04
P3	2.3E-15	8.8E-09	2.4E-02	3.9E-08	4.2E-12	2.7E-32	6.8E-08	1.1E-19	1.1E-19
P4	3.3E-41	1.0E-99	1.9E-13	5.8E-08	8.7E-33	6.6E-60	1.1E-48	3.5E-62	3.5E-62
P5	8.1E-21	6.5E-35	1.1E-04	9.5E-11	1.1E-19	5.8E-35	2.9E-12	1.8E-23	1.8E-23
P6	7.3E-79	1.0E-99	2.9E-64	1.0E-99	8.4E-96	1.0E-99	1.0E-99	1.0E-99	1.0E-99
P7	6.9E-25	5.8E-45	3.5E-25	3.5E-27	3.5E-57	1.0E-99	1.0E-99	1.0E-99	1.0E-99
P8	1.0E-99	1.0E-99	8.1E-53	1.0E-99	1.0E-99	1.0E-99	1.0E-99	1.0E-99	1.0E-99

図 6.4-91 隆起・侵食シナリオの各処分場位置 (P1~P8) における各バリアからのガラス固化体 1 本当当たりの地下水移行による最大移行フラックスの解析ケース間の比較: Se79



(a) 人工バリア

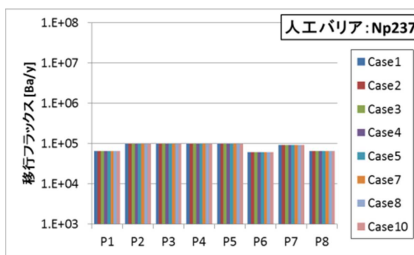


(b) 天然バリア

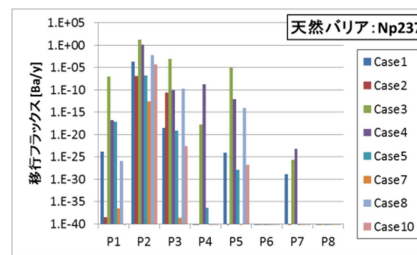
人工バリア: Cs135									単位: Bq/y
	Case1	Case2	Case3	Case4	Case5	Case7	Case8	Case10	
P1	2.4E+07	2.4E+07	2.4E+07	2.4E+07	2.4E+07	2.4E+07	2.4E+07	2.4E+07	2.4E+07
P2	2.9E+05	2.9E+05	2.9E+05	2.9E+05	2.9E+05	2.9E+05	2.9E+05	2.9E+05	2.9E+05
P3	2.9E+05	2.9E+05	2.9E+05	2.9E+05	2.9E+05	2.9E+05	2.9E+05	2.9E+05	2.9E+05
P4	2.9E+05	2.9E+05	2.9E+05	2.9E+05	2.9E+05	2.9E+05	2.9E+05	2.9E+05	2.9E+05
P5	2.9E+05	2.9E+05	2.9E+05	2.9E+05	2.9E+05	2.9E+05	2.9E+05	2.9E+05	2.9E+05
P6	2.4E+07	2.4E+07	2.4E+07	2.4E+07	2.4E+07	2.4E+07	2.4E+07	2.4E+07	2.4E+07
P7	2.9E+05	2.9E+05	2.9E+05	2.9E+05	2.9E+05	2.9E+05	2.9E+05	2.9E+05	2.9E+05
P8	2.4E+07	2.4E+07	2.4E+07	2.4E+07	2.4E+07	2.4E+07	2.4E+07	2.4E+07	2.4E+07

天然バリア: Cs135									単位: Bq/y
	Case1	Case2	Case3	Case4	Case5	Case7	Case8	Case10	
P1	1.8E-20	6.0E-35	1.8E-05	6.1E-15	4.0E-12	4.0E-29	1.1E-21	4.3E-38	4.3E-38
P2	3.2E-04	2.5E-07	2.6E+01	1.8E+00	8.3E-06	1.7E-10	3.2E-02	1.4E-04	1.4E-04
P3	3.9E-18	1.4E-10	3.0E-03	7.3E-10	5.8E-17	1.9E-37	1.3E-09	2.3E-22	2.3E-22
P4	5.0E-50	5.5E-82	1.3E-16	8.9E-09	5.5E-33	4.5E-61	5.2E-47	3.8E-61	3.8E-61
P5	8.6E-24	1.8E-39	2.3E-05	3.5E-12	8.8E-25	8.2E-42	5.5E-14	4.3E-26	4.3E-26
P6	1.8E-81	1.0E-99	2.7E-73	1.0E-99	1.3E-82	1.0E-99	1.0E-99	1.0E-99	1.0E-99
P7	5.4E-28	1.8E-45	1.1E-23	3.1E-22	2.2E-47	1.0E-99	1.0E-99	2.1E-89	2.1E-89
P8	1.0E-99	1.0E-99	6.9E-44	1.0E-99	1.0E-99	1.0E-99	1.0E-99	1.0E-99	1.0E-99

図 6.4-92 隆起・侵食シナリオの各処分場位置 (P1~P8) における各バリアからのガラス固化体 1 本当当たりの地下水移行による最大移行フラックスの解析ケース間の比較: Cs135



(a) 人工バリア



(b) 天然バリア

人工バリア: Np237									単位: Bq/y
	Case1	Case2	Case3	Case4	Case5	Case7	Case8	Case10	
P1	6.5E+04	6.5E+04	6.5E+04	6.5E+04	6.5E+04	6.5E+04	6.5E+04	6.5E+04	6.5E+04
P2	9.7E+04	9.7E+04	9.7E+04	9.7E+04	9.7E+04	9.7E+04	9.7E+04	9.7E+04	9.7E+04
P3	9.7E+04	9.7E+04	9.7E+04	9.7E+04	9.7E+04	9.7E+04	9.7E+04	9.7E+04	9.7E+04
P4	9.7E+04	9.7E+04	9.7E+04	9.7E+04	9.7E+04	9.7E+04	9.7E+04	9.7E+04	9.7E+04
P5	9.7E+04	9.7E+04	9.7E+04	9.7E+04	9.7E+04	9.7E+04	9.7E+04	9.7E+04	9.7E+04
P6	6.1E+04	6.1E+04	6.1E+04	6.1E+04	6.1E+04	6.1E+04	6.1E+04	6.1E+04	6.1E+04
P7	9.3E+04	9.3E+04	9.3E+04	9.3E+04	9.3E+04	9.3E+04	9.3E+04	9.3E+04	9.3E+04
P8	6.6E+04	6.6E+04	6.6E+04	6.6E+04	6.6E+04	6.6E+04	6.6E+04	6.6E+04	6.6E+04

天然バリア: Np237									単位: Bq/y
	Case1	Case2	Case3	Case4	Case5	Case7	Case8	Case10	
P1	1.6E-24	3.5E-39	1.0E-07	1.9E-17	6.7E-18	2.7E-37	1.2E-26	4.9E-42	4.9E-42
P2	1.9E-04	1.2E-07	2.0E+01	1.4E+00	1.9E-07	2.8E-13	6.9E-03	5.6E-05	5.6E-05
P3	2.9E-19	2.4E-11	7.5E-04	9.7E-11	8.7E-20	2.1E-39	2.0E-10	2.6E-23	2.6E-23
P4	1.6E-54	3.7E-85	2.0E-18	2.0E-09	3.9E-37	2.1E-68	5.2E-51	1.2E-66	1.2E-66
P5	8.4E-25	6.0E-41	1.0E-05	9.3E-13	1.2E-28	1.0E-47	8.2E-15	1.5E-27	1.5E-27
P6	1.4E-89	1.0E-99	9.3E-82	1.0E-99	8.1E-88	1.0E-99	1.0E-99	1.0E-99	1.0E-99
P7	1.3E-29	6.1E-48	2.2E-26	6.7E-24	2.9E-52	4.8E-94	1.0E-99	4.4E-97	4.4E-97
P8	1.0E-99	1.0E-99	2.1E-52	1.0E-99	1.0E-99	1.0E-99	1.0E-99	1.0E-99	1.0E-99

図 6.4-93 隆起・侵食シナリオの各処分場位置 (P1~P8) における各バリアからのガラス固化体 1 本当当たりの地下水移行による最大移行フラックスの解析ケース間の比較: Np237

### (3) まとめ

本解析では、隆起・侵食/沈降・堆積及び気候変動による海水面変化の影響のうち、その影響が最も大きいことが予想される隆起・侵食シナリオを対象として、6.4.1における現実的な地層処分サイトを想定し実施した地下水流動解析と、その結果に基づいた6.4.2から6.4.6におけるパラメータ設定を適宜反映した核種移行解析を行い、核種移行への影響の観点から、重要なこれらの天然事象の条件や地質環境の特性について予察的に検討を行った。平成25年度は、平成24年度と同様の、塩水/降水境界の移動に伴う水質条件の空間分布の時間的变化に加えて、移行経路上の地質の空間分布の時間的变化を考慮した、より詳細なリンケージによる解析を実施した。

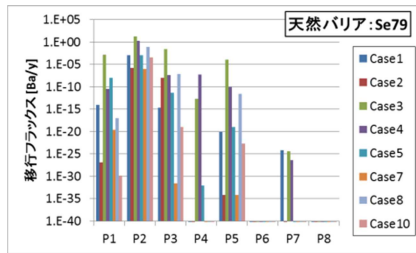
核種移行解析における解析ケースは、地下水流動における8つの解析ケース(Case1～Case5、Case7、Case8、Case10)×8箇所の処分場位置(P1～P8)を組合せた計64ケースを設定した(表6.4-25)。ここで、地下水流動における解析ケースに関して、Case1、Case2では、一様隆起のみを考慮するものとし、Case1とCase2の違いは、透水異方性に関して、Case1が考慮しない、Case2が考慮するケースである。また、Case3、Case4はCase1、Case2の条件に加えて、侵食とそれに伴う透水係数の増加を考慮したケースとなっている。一方、Case5、Case7、Case8、Case10は、Case1、Case2、Case3、Case4のそれぞれに対応する形で、隆起のタイプが一様隆起から傾動隆起に変更したケースとなっている。さらに、上記の各ケースについて、処分場位置ごとに個別の環境条件が設定される。

核種移行解析における天然バリアの最大移行フラックスに関して解析ケース間の比較を図6.4-94に示す。処分深度の深いP6(-500m)やP8(-600m)では、半減期の影響により有意な移行フラックスはみられた。その他の処分場位置に監視しては、概して、透水異方性を考慮しないケース(Case1、Case3、Case5、Case8)の方が、透水異方性を考慮するケース(Case2、Case4、Case7、Case10)に比べて、流速が速く移行フラックスも高い傾向があった。ただし、地下水流動の解析ケースと処分場位置に組合せ(P3のCase2やP4のCase4)によっては、透水異方性を考慮したケースの方が、移行経路の短絡(移行距離の急激な減少)により、移行フラックスが高くなった。隆起のタイプの観点から、侵食なし・透水異方性なしのCase1とCase5で比較した場合、P1、P2、P3、P4、P5では、傾動隆起(Case5)の方が、一様隆起(Case1)に比べて、天然バリアからの移行フラックスが高くなっており、これは、傾動隆起することにより動水勾配の増加による影響であると考えられた。また、侵食の影響に関しては、一様隆起と傾動隆起で異なる影響がみられた。一様隆起では、侵食を考慮したケース(Case3、Case4)の方が、考慮しないケース(Case1、Case2)に比べて、侵食による透水係数の増加に伴う流速の増加(図6.4-42参照)により天然バリアからの移行フラックスが高くなった。一方、傾動隆起に関しては、処分場位置ごとに侵食の影響が異なり、ある処分場位置(P2、P3、P5)では、侵食を考慮したケース(Case8、Case10)の方が、考慮しないケース(Case5、Case7)に比べて、天然バリアからの移行フラックスが高くなった(侵食を考慮することによる移行経路の短絡に起因)のに対して、他の処分場位置(P1、P4、P7)では、その逆で、侵食を考慮しないケース(Case5、7)の方が、侵食を考慮したケース(Case8、Case10)に比べて、天然バリアからの移行フラックスが高くなっており、これは、侵食を考慮しないケース(Case5、Case7)の方が、侵食を考慮したケース(Case8、Case10)に比べて、流速が速いためである。

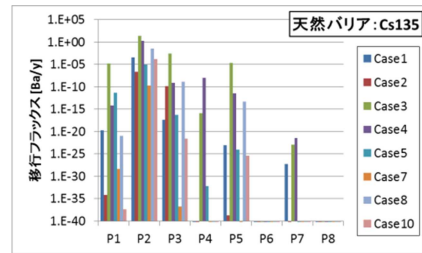
本年度は、塩水/降水境界の移動に伴う水質条件の空間分布の時間的变化に加えて、移行経路上の地質の空間分布の時間的变化を考慮した、より詳細なリンケージによる解析を実施したが、ほぼ地下水流動の解析ケース及び処分場位置ごとの地下水流速及び移行距離の設定により、天然バリアからの移行フラックスが決定される結果となり、天然バリアの移行経路の水質及び地

質の空間分布の違いによる影響はあまりみられなかった。それは、水質及び地質の違いによるパラメータ設定（特に、分配係数）にそれほど大きな差がみられなかったこと、核種移行の解析ケースの設定に対応する水質及び地質の違いが、ほぼ処分場位置ごとに決まっており、ケース間の流速や移行距離の違いに吸収されてしまったこと、が原因として考えられる。

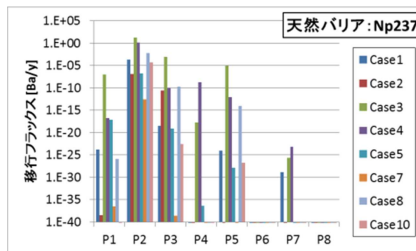
そこで、今後は、水質及び地質の違いによるパラメータ設定の詳細な検討や、流速や移行距離を揃えた場合で水質及び地質の違いのみられるようなケース設定を行うなどの検討が必要と考えられる。



(a) 天然バリア：Se79



(b) 天然バリア：Cs135



(c) 天然バリア：Np237

図 6.4-94 隆起・侵食シナリオの各処分場位置 (P1～P8) における天然バリアからのガラス固化体 1 本当たりの地下水移行による最大移行フラックスの解析ケース間の比較

## 6.5 重要な人工バリアの設計要件と天然バリアの調査要件に関する検討

### 6.5.1 重要な人工バリアの設計要件の検討

6.3 に述べたように、仮想的なサイトを想定して総合的な感度解析を行い、人工バリアに関する重要な設計要件を抽出するため、以下の内容・手順で検討を進めてきた。

これまでの知見やリンケージ解析から、判断指標となりそうなパラメータを絞り込む。

影響解析（ケース解析）を仮想的な処分環境や設計条件を想定して実施する。

バリア性能の劣化や人工バリアからの核種フラックスへの影響の仕方を検討する。

各パラメータの設定の妥当性を判断するために重要な観点を抽出する。

の具体的な内容については、6.3 に述べた。ここでは、それらの結果を受けて、 について記す。

緩衝材のバリア性能の劣化を表す代表的な指標として「有効モンモリロナイト密度( mont)」と「間隙率」を選択した。有効モンモリロナイト密度は、緩衝材中の透水係数評価モデルの重要なパラメータであるとともに、ガラス固化体から溶出した放射性核種の分配係数や拡散係数（特に陰イオンに対して）を評価する際に、結果への影響が大きな因子である。また、間隙率は、核種の拡散係数を細孔拡散モデルで評価する際の主要なパラメータである。そして、透水係数と拡散係数は、緩衝材の安全機能である核種移行抑制機能の評価を定量化するための有効な指標となるため、これら 2 つの指標を、緩衝材のバリア性能の劣化を示す指標として、緩衝材の設計条件を変化させた評価ケースに対するこれら指標の経時変化への影響や傾向について検討を行った。以下の表 6.5-1 に、全設定ケースについて再掲する。

表 6.5-1 人工バリアの変遷のシナリオを対象とした安全評価ケース

ケース	温度 [ ]	地下水水質特性	緩衝材厚さ [cm]	乾燥密度 [g/cm <sup>3</sup> ]	混合率 [Bnt.:Qtz.]	支保工厚さ [cm]	溶存酸素
1	100~47	降水系	70	1.6	7:3	60	無酸素
2	100~47	海水系	70	1.6	7:3	60	無酸素
3	100~47	降水3:海水7	70	1.6	7:3	60	無酸素
4	100~47	降水5:海水5	70	1.6	7:3	60	無酸素
5	100~47	降水7:海水3	70	1.6	7:3	60	無酸素
6	100~47	降水9:海水1	70	1.6	7:3	60	無酸素
7	100~47	海水系	60	1.6	7:3	60	無酸素
8	100~47	海水系	50	1.6	7:3	60	無酸素
9	100~47	海水系	40	1.6	7:3	60	無酸素
10	100~47	海水系	30	1.6	7:3	60	無酸素
11	100~47	海水系	20	1.6	7:3	60	無酸素
12	100~47	海水系	10	1.6	7:3	60	無酸素
13	100~47	海水系	70	1.8	7:3	60	無酸素
14	100~47	海水系	70	1.4	7:3	60	無酸素
15	100~47	海水系	70	1.3	7:3	60	無酸素
16	100~47	海水系	70	1.2	7:3	60	無酸素
17	100~47	海水系	70	1.1	7:3	60	無酸素
18	100~47	海水系	70	1.6	10:0	60	無酸素
19	100~47	海水系	70	1.6	5:5	60	無酸素
20	100~47	海水系	70	1.6	3:7	60	無酸素
21	100~47	海水系	70	1.6	1:9	60	無酸素
22	100~47	海水系	70	1.6	7:3	50	無酸素
23	100~47	海水系	70	1.6	7:3	40	無酸素
24	100~47	海水系	70	1.6	7:3	30	無酸素
25	100~47	海水系	70	1.6	7:3	20	無酸素
26	100~47	海水系	70	1.6	7:3	10	無酸素

6.3.1(4)で示した緩衝材領域の有効モンモリロナイト密度および間隙率の全ケースにに対する変遷パターンを比較、検討した結果、これら26ケースの有効モンモリロナイト密度の経時変化には、地下水水質特性や緩衝材厚さといった入力パラメータの変化が、計算結果に対して「一定の傾向が見出しにくい」ケースと、「一定の傾向が見受けられる」ケースとに分かれた。

有効モンモリロナイト密度（mont）の経時変化においては、入力パラメータの変化が計算結果に対して「一定の傾向が見出しにくい」ケースは、地下水水質を変化させたケースと支保工の厚さを変化させたケースであった。

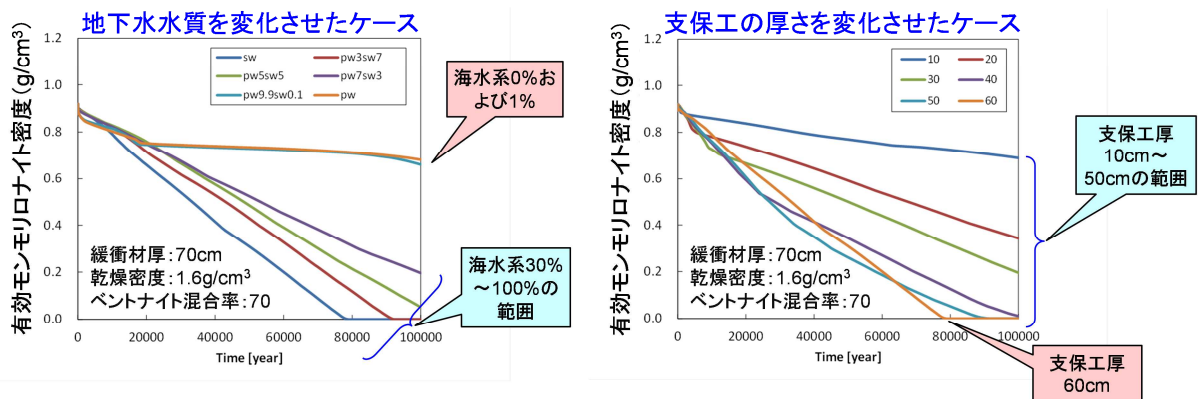


図 6.5-1 有効モンモリロナイト密度の経時変化（「一定の傾向が見出しにくい」ケース）

図中左側の地下水水質を変化させたケースでは、「地下水水質の海水系地下水の割合が 100% ~ 30% の変化」に対して、有効モンモリロナイト密度は線形的な減少傾向を示しているのに対し、海水系の割合が 0 および 1% の経時変化は約 20,000 年経過時点以降、ほぼ一定で推移しており、30% ~ 1% 間で変化の傾向が大きく異なることが示されている。

また、図中右側の支保工の厚さを変化させたケースでは、「緩衝材厚 70cm における支保工の厚さが 10cm ~ 50cm の変化」に対して、有効モンモリロナイト密度は、時間とともにほぼ一定の速度で減少する状態から、支保工厚さに応じた経過時間に応じて、よりゆっくりとした減少速度に変化して行くという線形的な減少傾向を示すのに対し、60cm ではこれらとは異なる有効モンモリロナイト密度の初期減少速度（小さな速度）で、変曲点を明確に経ずに密度ゼロまで減少するという異なる変化となっている。

その一方で、「一定の傾向が見受けられる」ケースとして、緩衝材の厚さを変化させたケース、「ベントナイト：珪砂」混合率を変化させたケース、緩衝材乾燥密度を変化させたケースが該当することが分かった。



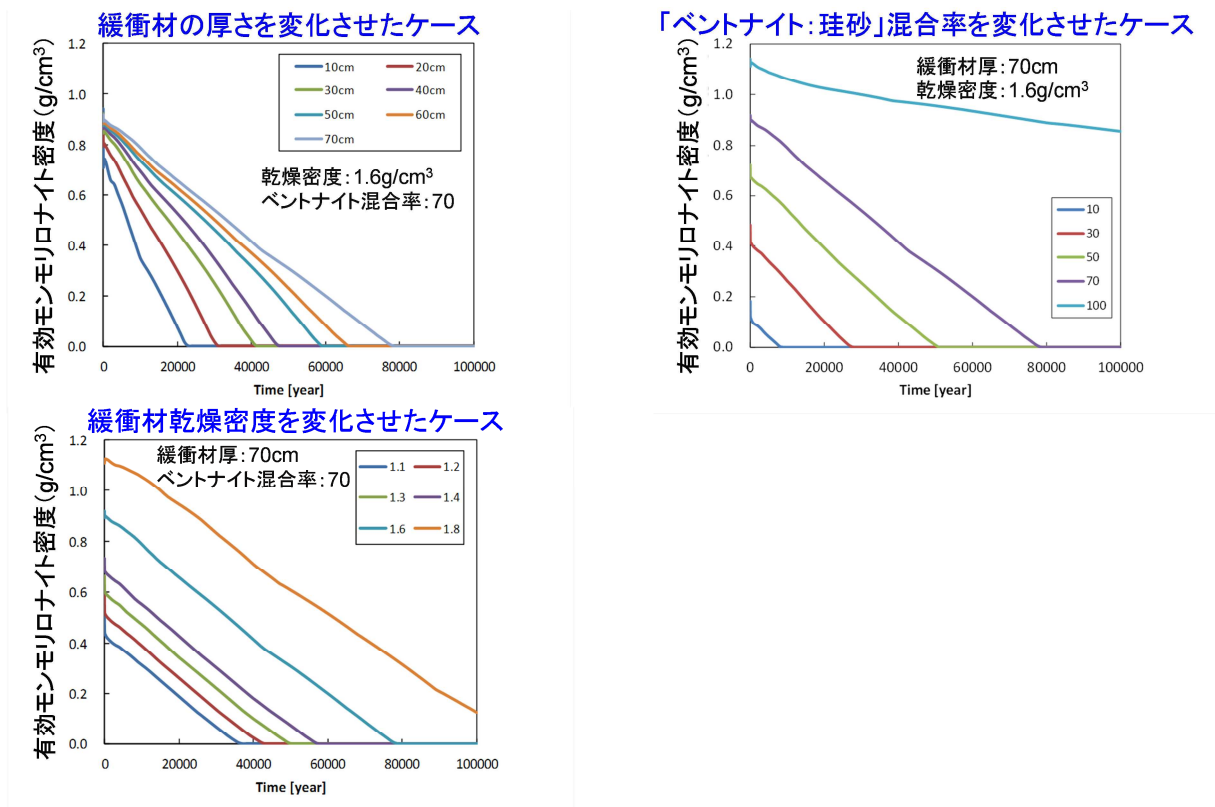


図 6.5-2 有効モンモリロナイト密度の経時変化（「一定の傾向が見受けられる」ケース）

図中左上の緩衝材の厚さを变化させたケースでは、緩衝材の厚さが減少するのに伴い、有効モンモリロナイト密度の減少速度が一定の傾向で増大していた。図中右上の「ベントナイト：珪砂」混合率を变化させたケースおよび左下の緩衝材乾燥密度を变化させたケースでは、これらが变化しても有効モンモリロナイト密度の減少速度は变化しないが、切片が一定の傾向で变化することが示されている。

なお、10 万年経過後の有効モンモリロナイト密度がゼロ以上になったケースには、「緩衝材厚：70cm、ベントナイト混合率：70、緩衝材乾燥密度：1.8g/cm<sup>3</sup>」( case 13 )と「緩衝材厚：70cm、ベントナイト混合率：100、緩衝材乾燥密度：1.6g/cm<sup>3</sup>」( case 18 )の 2 ケースがあった。

これらの有効モンモリロナイト密度の変化に「一定の傾向が見受けられる」ケースについて、間隙率の経時変化を表したものを図 6.5-3 に示す。

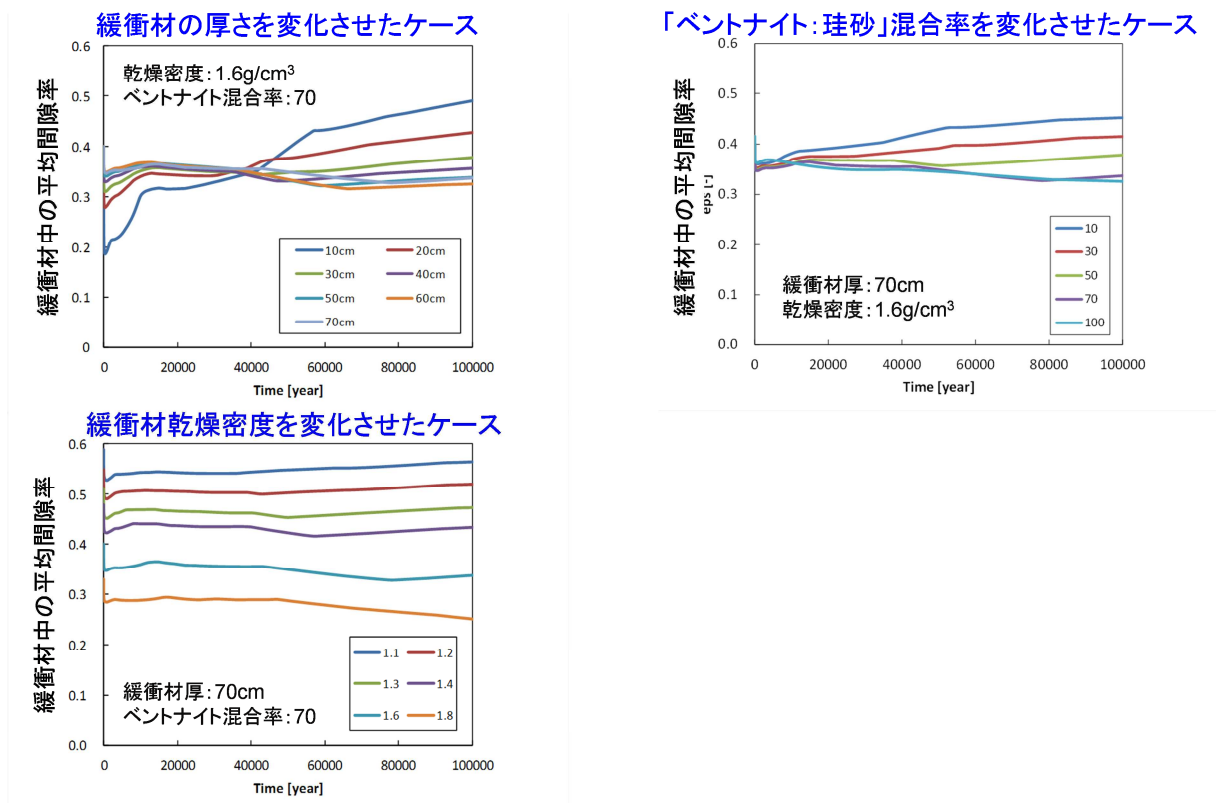


図 6.5-3 間隙率の経時変化（「一定の傾向が見受けられる」ケース）

図中左上の緩衝材の厚さを変化させたケースにおいて、緩衝材厚 10cm のケース（最も薄いケース）の変化の傾向が他と異なるのは、図中に示した間隙率が緩衝材全体の平均値で表した値であり、緩衝材厚が薄いケース（ここでは 10cm および 20cm）においては、支保工境界で生じた間隙率の変化が、他のケースよりも平均値を計算する際に大きく反映されたためと考えられる。これら 2 ケースおよび右上、左下の各ケースにおいては、有効モンモリロナイト密度と比較すると傾向は明確ではないものの、ある程度一定の傾向（ほぼ一定値であることも含め）が見受けられた。

なお、全評価期間で緩衝材の間隙率が初期値（0.4）を超えない（性能が維持される）ケースは、「緩衝材厚 30cm 以上」（case 7～case 10）、「ベントナイト含有率 50 以上」（case 18、case 19）および「緩衝材乾燥密度 1.6g/cm<sup>3</sup> 以上」（case 2、case 13）であった。

これらの検討内容から、地下水の水質（＝海水系地下水と降水系地下水の混合割合）支保工の厚さ（＝緩衝材中のモンモリロナイト量に対するアルカリ、カルシウム成分などの割合）については、緩衝材の性能劣化に対し、非線形的な影響が存在することが示唆された。この原因として、これら 2 つのケース設定について、6.3.1(4)で述べた緩衝材内部の間隙率の時間的・空間的分布についてまとめたものを表 6.5-2 に示す。

表 6.5-2 緩衝材内部の間隙率の時間的・空間的分布の傾向

ケース	地下水水質特性	支保工厚さ [cm]	緩衝材内部の間隙率の空間的・時間的変化の傾向
2	降水0:海水10	60	<b>支保工近辺の緩衝材領域において、局所的な間隙閉塞が起きる。</b> (600年後～1,000年後程度で局所的に間隙が低下するが、6,000年後には間隙率0.1まで解消)
3	降水3:海水7	60	<b>一時的に支保工近辺の緩衝材領域での間隙低下がみられるが、すぐに解消される。</b> (緩衝材領域で間隙閉塞が生じると、支保工のアルカリ成分が抑制され、モンモリロナイト溶解が促進されず、100,000年間残存)
4	降水5:海水5	60	
5	降水7:海水3	60	
6	降水9:海水1	60	<b>支保工近辺の緩衝材領域で局所的に起こる間隙閉塞が100,000年後まで続く。</b>
1	降水10:海水0	60	<b>支保工近辺の緩衝材領域で局所的に起こる間隙閉塞が100,000年後まで続く。</b> (1,000年後から支保工境界付近の緩衝材領域における間隙が低下。10,000年後には、同領域においてCSHおよびLmtによる間隙低下により閉塞(解析上の閉塞:間隙率=0.005)。58,000年後より間隙上昇傾向がみられるが、100,000年後においても解消されなかった)
2	海水系	60	<b>支保工近辺の緩衝材領域において、局所的な間隙閉塞が起きる。</b> (600年後～1,000年後程度で局所的に間隙が低下するが、6,000年後には間隙率0.1まで解消)
22	海水系	50	<b>緩衝材領域内での間隙低下はみられなかった。</b>
23	海水系	40	
24	海水系	30	
25	海水系	20	
26	海水系	10	
全ケース共通	緩衝材厚さ[cm]	70	
	乾燥密度[g/cm <sup>3</sup> ]	1.6	
	混合率[Bnt.:Qtz.]	7:3	

表中の赤字で示したように、図 6.5-1 の両図において、変化の傾向が非線形化したケースにおいては、支保工付近の緩衝材領域で、局所的に間隙閉塞（解析上の下限設定値である 0.005 に達すること）が生じ、それが計算期間全域（100,000年）継続していることが分かった。その他のケースの場合には、一時的な間隙閉塞は発生する場合はあっても、その後短期間で解消されていた。これらのことを踏まえると、緩衝材内の有効モンモリロナイト密度や間隙率などのパラメータを設定する際の妥当性を判断するために重要な観点として、

- ✓ 緩衝材領域における間隙閉塞の発生の有無、継続時間、その影響について、合理的な判断がされているかは重要な観点。

が挙げられる。また、加えて、

- ✓ 設定値の変化に対し一定の傾向がある緩衝材の厚さの設定などでは、例えば「10cm 増加させることで有効モンモリロナイト密度がゼロになる時間がおよそ 9000 年ずつ増加する傾向がある」といった定量的な観点が妥当性判断では重要になる。
- ✓ ベントナイト混合率の低いケース、緩衝材乾燥密度の低いケースでは、評価初期時点で有効モンモリロナイト密度が低いため、止水性、核種収着性、膨潤性などの性能が低い。この傾向は閉鎖後も推移すると考えられるため、処分場閉鎖時点でどの程度の性能の確保を求めるのか、また確保確認あるいは保守的に満足されていることの確認が重要になる。
- ✓ 緩衝材乾燥密度の低いケースでは、評価初期時点で間隙率が高くなっており、低い核種拡散性、自己シール性などの性能が低下した状態で閉鎖後の状態へと推移することになる。このため、特に、再冠水時の地下水上昇流が速い時期において、処分孔内に亀裂などが存在し、緩衝材の流出により低下する可能性を排除できるような観点が重要になる。
- ✓ 海外の処分概念では、クニゲル V1 よりもモンモリロナイト含有率が高いベントナイト

を使用したり、コロイドの移行抑制に対応するため、乾燥密度を  $1.8\text{g/cm}^3$  としたりする事例もある。地下水水質、支保工厚に応じ、緩衝材性能が劣化するまでの時間を延長する効果があるこれらの対策に配慮されているかの判断も重要な観点。

も、重要な観点として抽出されるものと考えられる。

一方、平成 23 および 24 年度のリンケージ解析による感度解析（影響解析）で実施したように、着目する指標として人工バリアからの核種移行フラックスを選択した重要パラメータの抽出については、これまでに下記のような知見が得られている。

- ✓ 複雑系である人工バリアシステム（ガラス固化体 - OP - 緩衝材 - 支保工 - EDZ）の、「入力・出力応答」を一般化して整理することは困難であること。
- ✓ しかしながら、これまでのリンケージ解析（主に地化学的条件を変えた設定）から示せることとして、ソースタームの流出項として最初にコントロールされるガラス固化体の溶解速度は、非常に重要なパラメータであること。
- ✓ ガラス固化体から溶出してしまった核種については、溶解度制限の有無、またその値の影響が大きいこと。
- ✓ 溶解度制限がかからない核種に関しては、分配係数の影響を把握することが重要であること。
- ✓ これらのパラメータに包括的に影響する因子として、EDZ における地下水組成、緩衝材中の鉱物生成・溶解反応、間隙水特性、モンモリロナイト残存量などが重要であること。
- ✓ なお、特殊な条件設定（シナリオ設定）をしない限り、OP は全面腐食で破損し、その寿命は寿命評価に用いる全面腐食速度で決まる。

6.3.6(2)(a)の記述のとおり、26 ケースから選択した 15 ケースに対する核種移行解析の結果からは、ガラス固化体の溶解速度が全ケースで Stage II となったこと、また 6.3.5(3)の記述のとおり、全ケースで緩衝材中の核種移行は拡散支配であったことにより、Se-79 に対してはガラス固化体の溶解速度のように感度の大きいパラメータは抽出されなかった。しかしながら、Cs-135 に対しては、昨年度と同様に、緩衝材中の核種分配係数が感度の高い（重要度の高い）パラメータとして抽出され、これまでの知見と調和的な結果となった。さらに、本年度から開始した、 $4n+1$  系列核種に対しては、Np-237 の緩衝材に対する核種分配係数が全ケース一定となったことにより、核種フラックスのピーク値に対する緩衝材中の核種拡散係数の明瞭な相関関係が見出され、昨年度までの核種分配係数に加わる重要パラメータとして抽出することができた。なお、ガラス固化体の溶解速度、核種溶解度、核種分配係数、核種拡散係数の相対的な重要度は、核種の化学形により変動するとともに、今後の解析ケースの設定、特に我が国で想定される多様な地下水組成の設定により、入れ替わる場合があることを指摘しておく。

これらのパラメータ（核種分配係数、拡散係数）は、重要な人工バリアの設計要因の検討において、緩衝材のバリア性能の指標として選択した有効モンモリロナイト密度と間隙率との相関が非常に高いパラメータであり、重要パラメータをブレイクダウンした観点で人工バリアシステムの性能評価の妥当性を判断する際に重要な影響因子となること示している。

## 6.5.2 重要な天然バリアの調査要件の検討

「6.4 隆起・侵食による地下環境の変動を想定した安全評価」では、仮想的な堆積岩サイトに対し、幌延サイト特有の隆起侵食現象、地質環境等の条件を考慮した隆起・侵食の進行が核種移行に与える影響を把握するための感度解析を行った。感度解析では、隆起の様式（一様/傾動の違い）、侵食、透水異方性、対地深度変化に伴う透水性変化（以上は条件の有無）、氷期-間氷期の涵養量（氷期、間氷期の涵養量の設定値、涵養量の経時変化モデルの違い）に関する条件について、違いを組み合わせた解析ケースを想定した。本解析の結果ならびに平成24年度に実施した予察的な隆起・侵食の解析の結果を踏まえ、規制の観点から隆起・侵食に関係のある天然バリアの重要な調査要件について検討した。その結果、規制の観点から着目すべき調査要件は以下のようにまとめられる。

- ✓ **隆起：** 移行距離・流速に与える影響が小さい一様隆起よりも、特に動水勾配の増加による移行経路上の流速の増加に関係する傾動隆起が評価上重要であり、サイトでは長期的な傾動隆起の発生の可能性、発生する場合にはその様式設定の妥当性に着目すべきである。
- ✓ **沈降：** 処分場の相対的な対地深度の変化により、特に流速の増加傾向が見られたことから、サイトの空間的・時間的な侵食の様式設定の妥当性に着目すべきである。その際、サイトにおける堆積現象とあわせた様式の理解がなされているかどうかは、対地深度の変化を抑えた処分場位置の選定という視点で重要と考えられる。
- ✓ **透水異方性：** 透水係数の異方性については、鉛直方向の透水性が大きい場合、隆起・侵食の進行に伴い懸念される移行経路の短絡、流速の増加があらわれることから、サイトにおける透水異方性は重要な調査要件の1つである。

また、処分場位置（水平・鉛直）の違いにより、移行距離、流速が大きく異なる結果となった。この結果は、上記の要件の他に、サイト本来の水理地質構造条件や流出域・涵養域に依存したものであり、処分場位置の選定の妥当性検討の際には、こうした要件も大切である。

## 6.6 体系的な安全評価手法のまとめと今後の課題

人工バリア領域を対象とした安全評価手法の整備では、人工バリアの構成材が置かれる地球化学的環境条件と人工バリア材の構成・構造に係る設計条件に対応して、それぞれの人工バリア材に期待される安全機能について、人工バリア材間の THMC 状態の相互作用を考慮することのできる評価手法に基づいて、人工バリア領域からの核種移行を評価する手法を目指して整備を進めている。本手法における整備状況のまとめと今後の課題については、以下のようにまとめられる。

- ✓ 地層処分の基本概念である、安定した十分に深い地下環境において廃棄体、人工バリア、処分施設などを埋設した際に生じる THMC 事象から、優先順位を考慮して、特に化学、温度、水理に着目して、実際の処分環境をできるだけ考慮した実験的な手法により、これらの変化を記述できるモデル群の整備を進めてきた。
- ✓ 人工バリア領域の状態変遷は、THC の各パラメータが相互に影響し合いながらしょうじろすることを考慮し、各モデル間のパラメータの入出力関係や、共通に使用されるパラメータの整理を進め、系統的な連成計算ができるリンケージ解析手法としてコード化の整備を進めてきた。
- ✓ リンケージ解析の妥当性は、使用される各モデルそれぞれの科学的妥当性におうところ

が大きく、自他の研究機関等で報告されている変遷事例を用いた検証を進めてきた。また、機構論的なアプローチによる妥当性の付与についても進めてきている。しかしながら、これらだけでは、実験期間と比較して非常に長期にわたる実際の処分期間における評価手法の妥当性を示すことには困難さがあり、今後はナチュラルアナログなどのアプローチの検討も必要と考えられる。

- ✓ リンケージの対象に現状では入っていない力学についても、今後、直接的、あるいは間接的なリンクの方法を検討する必要があるものと考えられる。
- ✓ 解析ケースの設定に関しては、今後、より幅広い我が国の地下水水質（特にガラス溶解に影響の大きいMg）について、バリア材性能への影響因子の絞り込みや影響の仕方の検討が必要と考えられる。

天然バリア領域を対象とした安全評価手法の整備では、地質・気候関連事象を起因事象として、天然バリア領域（母岩領域）を含む処分エリアにおける地質環境のTHMC特性変化の評価（地質・気候関連事象による母岩の影響評価）と、その特性変化を受けた場合の核種移行の評価（地質・気候関連事象に関連した核種移行の評価）の2つの評価手法の整備を進めている。両者に関する手法整備のまとめと今後の課題については、以下のようにまとめられる。

- ✓ 地質・気候関連事象による母岩の影響評価： 処分サイトを特定しないジェネリックな条件の下、地質・気候関連事象による地質環境のTHMC特性に影響を与える可能性のある影響の連鎖を177事象として特定し、既往の種々のモデルの組み合わせから成るモデル構造を用いて影響の代表値（期待値）とともにその不確実性の情報を提供するための評価手法の整備を進めた。影響評価のモデル構造における不確実性を整理した結果から、起因事象のうち火山噴火、マグマ貫入、泥火山（泥噴出、泥貫入）、熱水活動（水噴火含む）については、起因事象に係る予測データの乏しく既往の数値モデルも存在しない不確実性タイプ1(Unknown)の扱いに分類された。これらの起因事象に対しては、影響評価の妥当性を判断することは困難であることから、安全規制の観点から起因事象の排他的領域（未発生領域）として評価する方向が妥当と考えられ、今後、これらの起因事象をスクリーニングする方法論の整備が重要である。また、その他の起因事象については、事例的なサイト条件に対し、既存モデルを具体的に適用するなどの詳細検討が必要と考えられる。
- ✓ 地質・気候関連事象に関連した核種移行の評価： 現在我が国で想定しうる地質・気候関連事象（177事象）のうち、核種移行への影響評価の必要性が高いと考えられる「隆起・侵食」を対象に、核種移行に繋がる評価体系の構築を進めた。また、仮想的な堆積岩サイトに対し、幌延サイト特有の隆起侵食現象、地質環境等の条件を考慮した隆起・侵食の進行が核種移行に与える影響を把握するための感度解析を行い、その結果から、規制の観点から隆起・侵食に関係のある天然バリアの重要な調査要件を提示した。今後は、堆積岩サイトにおいて、隆起・侵食以外の他の起因事象（地震の発生など）を対象とした場合の核種移行に繋がる評価体系の構築を進める必要がある。また、亀裂構造の発達した結晶質岩サイトに対し、人工バリア内の性能評価と亀裂性の周辺母岩の地下水流動との適切なリンケージを図った核種移行の評価手法についても整備を進める必要がある。

## 第6章の参考文献

### 6.2 の参考文献

- (1) 日本原子力研究開発機構, 平成 17 年度放射性廃棄物処分の長期的評価手法の調査報告書 (1/2)[ 確率論的アプローチによる長期的評価手法の調査 ], 平成 18 年 3 月, 2006.
- (2) 日本原子力研究開発機構, 平成 18 年度放射性廃棄物処分の長期的評価手法の調査報告書 (1/2)[ 確率論的アプローチによる長期的評価手法の調査 ], 平成 19 年 3 月, 2007.
- (3) A. Gaudin a, S. Gaboreau, E. Tinseau, D. Bartier, S. Petit, O. Grauby, F. Foct, & D. Beaufort, 2009 Mineralogical reactions in the Tournemire argillite after in-situ interaction with steels. Applied Clay Science, 43, 196–207.
- (4) 大塚伊知郎・瀧洋・山口徹治・飯田芳久・山田文香・稲田大介・田中忠夫, 処分場の緩衝材間隙水の酸化還元電位へのオーバーパック腐食の影響 - 重要パラメータの取得及び Eh の予備解析 - ( 受託研究 ), JAEA-Research 2008-043, 2008.
- (5) 日本原子力研究開発機構, 平成 24 年度地層処分の安全審査に向けた評価手法等の整備報告書, 平成 25 年 3 月, 2013.
- (6) The Geochemist's Workbench<sup>®</sup> Release 9.0
- (7) Savage et al., Modelling iron-bentonite interactions, Appl. Clay Sci. 47, 8, 2010.
- (8) Akira KITAMURA, Kenso FUJIWARA, Reisuke DOI and Yasushi YOSHIDA, Update of JAEA-TDB: Additional Selection of Thermodynamic Data for Solid and Gaseous Phases on Nickel, Selenium, Zirconium, Technetium, Thorium, Uranium, Neptunium Plutonium and Americium, Update of Thermodynamic Data on Iodine, and Some Modifications, JAEA-Data/Code, 2012-006 (2012).
- (9) Wilson, et al., The effect of iron on montmorillonite stability (I) Background and thermodynamic considerations, Geochim. Cosmochim. Acta 70, 306-322 (2006).
- (10) Bard, et al., Standard potentials in aqueous solution, IUPAC, Marcel Dekker, Inc. New York, 1985.
- (11) Kimura, H., The MIG2DF Computer Code User's Manual, JAERI-M 92-115, 1992.
- (12) LS-DYNA KEYWORD USER'S MANUAL Version 971 R6.0.0, February 2012, LIVERMORE SOFTWARE TECHNOLOGY CORPORATION (LSTC)

### 6.3 の参考文献

- (1) 日本原子力研究開発機構, 平成 23 年度地層処分の安全審査に向けた評価手法等の整備報告書, 平成 24 年 3 月, 2012.
- (2) 日本原子力研究開発機構, 平成 24 年度地層処分の安全審査に向けた評価手法等の整備報告書, 平成 25 年 3 月, 2013.
- (3) 核燃料サイクル開発機構, わが国における高レベル放射性廃棄物地層処分の技術的信頼性 - 地層処分研究開発第 2 次取りまとめ - 分冊 3 地層処分システムの安全評価, JNC TN1400 99-023, 1999.
- (4) 電気事業連合会・核燃料サイクル開発機構, 「TRU 廃棄物処分技術検討書 - 第 2 次 TRU 廃棄物処分研究開発取りまとめ - 」, JNC TY1400 2005-013, 2005.
- (5) 日本原子力研究開発機構, 平成 21 年度放射性廃棄物処分の長期的評価手法の調査報告書, 平成 22 年 3 月, 2010.
- (6) 日本原子力研究開発機構, 平成 17 年度放射性廃棄物処分の長期的評価手法の調査報告書 (1/2)[ 確率論的アプローチによる長期的評価手法の調査 ], 平成 18 年 3 月, 2006.
- (7) 日本原子力研究開発機構, 平成 18 年度放射性廃棄物処分の長期的評価手法の調査報告書 (1/2)[ 確率論的アプローチによる長期的評価手法の調査 ], 平成 19 年 3 月, 2007.
- (8) Arthur, R.C., Sasamoto, H., Shibata, M., Yui, M. And Neyama, A., Development of Thermodynamic Databases for Geochemical Calculations, JNC Technical Report, JNC TN8400 99-079, 1999.

- (9) A. Atkinson et al., : Aqueous chemistry and thermodynamic modelling of CaO-SiO<sub>2</sub>-H<sub>2</sub>O gels at 80 °C, DoE, DoE-HMIP-RR-91-045, 1991.
- (10) 大塚伊知郎・瀧洋・山口徹治・飯田芳久・山田文香・稲田大介・田中忠夫, 処分場の緩衝材間隙水の酸化還元電位へのオーバーパック腐食の影響 - 重要パラメータの取得及び Eh の予備解析 - (受託研究), JAEA-Research 2008-043, 2008.
- (11) 谷口直樹、本田明、川崎学、森田光男、森本昌孝、油井三和、“炭素鋼オーバーパックにおける腐食の局在化の検討(研究報告)”, JNC TN8400 99-067, 1999.
- (12) 核燃料サイクル開発機構, わが国における高レベル放射性廃棄物地層処分の技術的信頼性 - 地層処分研究開発第 2 次取りまとめ -, JNC-TN1400, 1999.
- (13) Parkhurst, D. L., Appelo, C. A. J., User's Guide to PHREEQC (Version 2)--A Computer Program for Speciation, Batch-Reaction, One-Dimensional Transport, and Inverse Geochemical Calculations. Water-Resources Investigations Report 99-4259, U.S. Geological Survey, Denver, Colorado, 1999.
- (14) Kitamura, A., Fujiwara, K., Doi, R., Yoshida, Y.: Update of JAEA-TDB: Additional Selection of Thermodynamic Data for Solid and Gaseous Phases on Nickel, Selenium, Zirconium, Technetium, Thorium, Uranium, Neptunium, Plutonium and Americium, Update of Thermodynamic Data on Iodine, and some Modifications, JAEA-Data/Code 2012-006, Japan Atomic Energy Agency, 2012.
- (15) T. Yamaguchi, S. Takeda, Y. Nishimura, Y. Iida, T. Tanaka: U An attempt to select thermodynamic data and to evaluate the solubility of radioelements with uncertainty under HLW disposal conditions, (In press).
- (16) 三原守弘:TRU 廃棄物処分システムの安全評価における核種移行データセット -RAMDA: Radio-nuclide Migration Datasets-, JAEA-Review 2006-011, Japan Atomic Energy Agency, 2006.
- (17) 日本原子力研究開発機構、平成 24 年度地層処分の安全審査に向けた評価手法等の整備報告書、2013.
- (18) 日本原子力研究開発機構、平成 25 年度地層処分の安全審査に向けた評価手法等の整備(核種移行データベースの整備)報告書、2014.
- (19) H. Kimura, The MIG2DF Computer Code User's Manual, JAERI-M 92-115, 1992.
- (20) Kimura H.・Takahashi T.・Shima S.・Matsuzuru H, “A Generic Safety Assessment Code For Geological Disposal of Radioactive Waste: GSRW Computer Code User's Manual”, JAERI-M 92-161, 1992.
- (21) 武田聖司・木村英雄, 確率論的評価手法 GSRW-PSA による地層処分システムの不確かさ解析: パラメータ不確かさおよび天然バリアの概念モデル不確かさの検討, JAREI-Research 2002-014, 2002.
- (22) 日本原子力研究開発機構、平成 23 年度 地層処分の安全審査に向けた評価手法等の整備報告書 [添付資料編], 2012.
- (23) 日本原子力研究開発機構、平成 22 年度地層処分の安全審査に向けた評価手法等の整備報告書, 平成 23 年 3 月, 2012.
- (24) 高レベル放射性廃棄物地層処分の安全性の評価; 地層処分システムの不確かさに対する確率論的解析手法の試適用(受託研究), 武田聖司、山口徹治、長澤寛和、渡邊正敏、関岡靖司、神崎裕、佐々木利久、落合透、宗像雅広、田中忠夫、木村英雄、中山真一, JAEA-Research 2009-034, 2009.
- (25) 三原守弘:TRU 廃棄物処分システムの安全評価における核種移行データセット -RAMDA: Radio-nuclide Migration Datasets-, JAEA-Review 2006-011, Japan Atomic Energy Agency (2006).

#### 6.4 の参考文献

- (1) 操上広志、幌延深地層研究計画における地下水流動解析 - 平成 17 年度までの調査結果を踏まえた再解析 -, JAEA-Research 2007-036、39p.、2007.
- (2) 新里忠志・舟木泰智・安江健一、北海道北部、幌延地域における後期鮮新世以降の古地理と地質構造発達史、地質学雑誌、113、pp.119-135、2007.



- (3) 新里忠志・安江健一、幌延地域における地質環境の長期安定性に関する研究 - 長期安定性の評価・予測における地域特性の考慮 -、原子力バックエンド研究、11、pp.125-137、2005.
- (4) 日本原子力研究開発機構、平成 22 年度地層処分の安全審査に向けた評価手法等の整備報告書、2011.
- (5) 吉田栄一、岩盤中の透水性亀裂とその長期的挙動 - 現状と今後の課題 -、地学雑誌、121、pp.68-95、2012.
- (6) 石井英一・舟木泰智・真田祐幸、北海道北部幌延地域の珪質泥岩中に認められる透水係数の深度依存性の要因、日本地質学会学術講演会 114、P-18、2007.
- (7) Snow, D.T., Rock fracture spacings, openings, and porosities, Journal of the Soil Mechanics and Foundations Division, Proc. of the American Society of Civil Engineers, pp.73-91.
- (8) Bianchi, I. and D.T. Snow, Permeability of crystalline rock interpreted from measured orientations and apertures of fractures, Ann. Arid Zone, 8(2), pp.231-245.
- (9) 木下直人・安部透・竹村友之・横本誠一、(100)原位置透水試験によるトンネル周辺岩盤の水理特性の調査、25 回岩盤の力学に関するシンポジウム講演論文集、pp.481-485、1993.
- (10) 石井卓・桜井英行・船山潤一・木下直人、軟岩内き裂の透水性に関する基礎的実験、31 回岩盤力学に関するシンポジウム講演論文集、pp.301-305、2001.
- (11) 真田祐幸・丹生屋純夫・松井裕哉、HDB-9～HDB-11 孔における岩盤力学的調査結果及び研究所設置地区の岩盤力学的概念モデル更新、JAEA-Research 2008-069、57p.、2008.
- (12) Hoek, E. and J. Bray, Rock slope Engineering, 358p., Inst. of Min. and Met., London, 1981.
- (13) 操上広志・竹内竜史・瀬尾昭治、幌延深地層研究計画における地下水流動解析、JNC TN5400 2005-003、94p.、2005.
- (14) 細谷真一・國丸貴紀・柴野一則、地下水の水圧モニタリングデータを用いた岩盤物性の評価、JAEA-Research 2008-088、78p.、2008.
- (15) 松末和之・藤原治・末吉哲雄、日本列島における最終氷期最寒冷期の気候、サイクル機構技報、6、pp.93-103、2000.
- (16) 戸村豪治・操上広志・柴野一則・國丸高紀・原稔、幌延深地層研究における表層水理調査の現状、JAEA-Research 2007-063、46p.、2007.
- (17) 宮原智哉・稲葉薫・三枝博光・竹内真司、広域地下水流動研究実施領域における水収支観測結果と地下水流動スケールの検討、サイクル機構技報、16、pp.137-148、2002.
- (18) 酒井隆太郎・宗像雅広・木村英雄、地下水の地化学データに基づく地下水流動評価方法の検討 - 幌延地域の例 -、JAEA-Research 2011-054、19p.、2012.
- (19) 國丸貴紀・柴野一則・操上広志・戸村豪治・原稔・山本肇、幌延深地層研究計画における地下水、河川水および降水の水質分析、JAEA-Data/Code 2007-015、113p.、2007.
- (20) 穂刈利之、化学平衡論解析を用いた原位置深層地下水水質の推定、清水建設研究報告、87、pp.77-86、2012.
- (21) 太田久仁雄・阿部寛信・山口雄大・國丸貴紀・石井英一・操上広志・戸村豪治・柴野一則・濱克宏・松井裕哉・新里忠史・高橋一晴・丹生屋純夫・大原英史・浅森浩一・森岡宏之・舟木泰智・茂田直孝・福島龍朗、幌延深地層研究計画における地上からの調査研究段階(第 1 段階)研究成果報告書分冊「深地層の科学的研究」、JAEA-Research 2007-044、434p.、2007.
- (22) 日本原子力研究開発機構、平成 24 年度地層処分の安全審査に向けた評価手法等の整備報告書、2013.
- (23) 高橋一晴、幌延深地層研究計画における地表踏査およびボーリング調査の各種測定・分析データ集、核燃料サイクル開発機構(研究報告) JNC TN5400 2005-010、72.、2005.
- (24) 日本原子力研究開発機構、平成 24 年度地層処分の安全審査に向けた評価手法等の整備報告書、2013
- (25) 日本原子力研究開発機構、平成 25 年度地層処分の安全審査に向けた評価手法等の整備(核種移行データベースの整備)報告書、2014.

- (26) 核燃料サイクル開発機構, わが国における高レベル放射性廃棄物地層処分の技術的信頼性 -地層処分研究開発第2次取りまとめ- 分冊3 地層処分システムの安全評価, JNC TN1400 99-023, 1999.
- (27) 三原守弘: TRU 廃棄物処分システムの安全評価における核種移行データセット -RAMDA: Radio-nuclide Migration Datasets-, JAEA-Review 2006-011, Japan Atomic Energy Agency, 2006.
- (28) Kimura, H., The MIG2DF Computer Code User's Manual, JAERI-M 92-115, 1992.
- (29) 日本原子力研究開発機構, 平成23年度 地層処分の安全審査に向けた評価手法等の整備報告書, 2012.
- (30) 小川豊和、松井裕哉、拘束圧下における幌延堆積岩の弾性波速度特性、土木学会第59回 年次学術講演会(平成16年9月) 2004.