

## 6.4.2 緩衝材変質・間隙水組成の変遷評価

6.4.1 項の地下水流動解析の地下環境条件の評価結果を考慮し、MC-BUFFER を用いて地層処分的人工バリアシステムとして、オーバーバック - 緩衝材 - 支保工とした計算体系にて緩衝材変質評価計算を実施した。

### (1) 解析条件

解析体系は 6.3.1 項と同様に、HLW を模擬した 1 次元解析体系とし、オーバーバック 19cm、緩衝材 70cm、支保工 60cm とした。境界条件についても 6.3.1 項と同じとし、人工バリアの支保工外側に EDZ を境界条件として設定した。解析評価時間は 6.3.1 項と同じ 10 万年間とし、タイムステップは 1 カ月と設定した。温度については、6.3.1 項と同様に人工バリアの温度変遷を模擬するため、オーバーバックの経時的な温度変化 (100 ~ 47 ) を設定した。EDZ に設定する地下水質については、塩水 / 降水境界より上層を降水系地下水とし、下層を塩水系地下水と扱い、それぞれの地下水組成については、平成 24 年度にも用いた表 6.4-21 に示す幌延地下水組成を設定した。鉱物組成およびモンモリロナイト溶解速度モデルやベントナイト透水係数評価モデル等の評価モデル、熱力学データベース、各領域における初期間隙率も、6.2.1 項で用いたものと同じとした。

表 6.4-21 幌延地下水組成

降水系地下水		塩水系地下水	
Temperature	25	Temperature	25
pH	6.8	pH	6.3
Eh	-210 mV	Eh	-210 mV
Na	9.74E-02 mol/L	Na	3.37E-01 mol/L
K	2.56E-03 mol/L	K	4.09E-03 mol/L
Ca	2.75E-03 mol/L	Ca	4.24E-03 mol/L
Mg	2.47E-03 mol/L	Mg	6.99E-03 mol/L
C	2.50E-02 mol/L	C	1.92E-01 mol/L
S	9.60E-04 mol/L	S	1.03E-03 mol/L
Cl	9.00E-02 mol/L	Cl	2.61E-01 mol/L
Fe	2.36E-04 mol/L	Fe	1.79E-06 mol/L
Si	3.34E-03 mol/L	Si	1.74E-03 mol/L

### (2) 解析ケース

解析ケースについては、6.4.1 項にて決定した隆起・侵食による地下水流動解析の評価結果より設定した 13 ケース (ケース A ~ ケース M) より、表 6.4-22 に解析ケースに示す 6 ケースを採用した。これら採用したケースについては、平成 24 年度における隆起・侵食による人工バリア解析での結果を踏まえ、時間の感度を検討した結果、数千年程度での人工バリア変遷においては、影響が少ないことから切り替え年数の近いケースについては集約することとした。さらに、切り替え年数が長期のケース M の解析結果より、ケース F の 37,000 年後までに支保工領域におけるアルカリ成分が低下していることからモンモリロナイト溶解が緩和され、人工バリア変遷においてあまり変化が見られないことから、表 6.4-23 に示すとおり 13 ケースを 6 ケー

スに集約した。ただし、比較的切り替え年数の近いケース C とケース E については、支保工領域の Mg 濃度が 8,000 年から上昇することによるガラス固化体の溶解速度への影響を考慮し、2 ケースのままとした。

表 6.4-22 におけるケース A については、初期より処分場位置が降水系環境条件であり、100,000 年間継続するケースとし、ケース C~M については初期の処分場位置が塩水系環境条件であり、各切り替え年数で降水系環境条件に変化するケースとしている。さらに、地下水質切り替わり以降は全て降水系環境条件が継続するものとした。

表 6.4-22 人工バリア解析ケース一覧

ケース	温度 [ ]	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]	切替年数 [塩水→降水]
A	100~47	70	1.6	7 : 3	60	0
C	100~47	70	1.6	7 : 3	60	6000
E	100~47	70	1.6	7 : 3	60	9000
H	100~47	70	1.6	7 : 3	60	45000
K	100~47	70	1.6	7 : 3	60	57000
M	100~47	70	1.6	7 : 3	60	64000

表 6.4-23 集約ケース割り当て一覧

集約ケース	地下水組成 切替年数	割当ケース	切替年数
A	0	-	-
C	6,000	B	4,000
E	9,000	D	8,000
H	45,000	F	37,000
		G	41,000
K	57,000	I	53,000
		J	55,000
M	64,000	L	60,000

### (3) 解析結果

(2) 項にて設定した解析ケースについて、解析結果を示す。解析結果のグラフについては 6.2.1 項と同様に、経時変化および空間分布について示した。

#### (a) ケース A

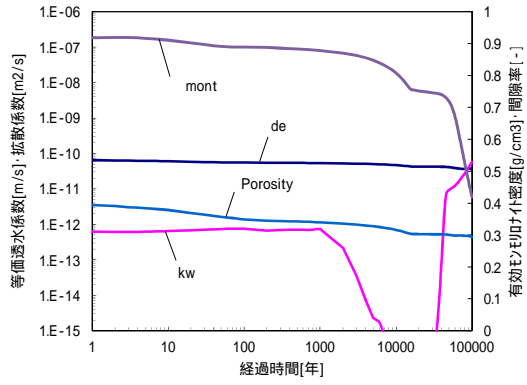
ケース A の幌延降水系地下水条件について、図 6.4-59 ~ 図 6.4-62 に示す。ケース A では経時変化より 100,000 年後において有効モンモリロナイト密度は  $0.42 \text{ g/cm}^3$  残存する結果となった。6.2.1 項でのケース 1 の降水系地下水では、 $0.68 \text{ g/cm}^3$  残存する結果となっているが、ケース A では支保工付近の緩衝材領域における局所的な間隙低下が一時的に低下し、その後上昇する現象がケース 1 に比べ早く低下していることから支保工領域におけるアルカリ成分の影響を多く受けたためと考えられる。透水係数は 100,000 年後において、 $5 \times 10^{-11} \text{ m/s}$  の結果となったが、上述の局所的な間隙率低下のため、透水係数でも約 8,000 年後までに  $4 \times 10^{-16} \text{ m/s}$  まで低下する傾向がみられた。この間隙率低下は、35,000 年後頃から上昇するとともに、透水係数も上昇がみられている。OP 付近における緩衝材領域の Eh については、4,000 年後に Eh が -540 mV から -630 mV まで低下する。これは、この緩衝材領域において、6.2.1 項のケース 2 でも述べたように S(6) ( $\text{SO}_4^{2-}$ ) および C(4) ( $\text{CO}_3^{2-}$ ) の還元反応により S(-2) ( $\text{HS}^-$ ) および C(-4) ( $\text{CH}_4$ ) が生成し、Eh を緩衝していたが、 $\text{SO}_4^{2-}$  および  $\text{CO}_3^{2-}$  が全て還元されてしまったために  $\text{H}^+$  の還元による H ( $\text{H}_2$ ) が支配し、Eh を低下させたものと考えられる。さらに 500 年後においても Eh は若干低下しており、イオン種濃度をみると  $\text{HS}^-$  が上昇しているが、 $\text{H}_2$  が Eh を支配していることには変わらない。

図 6.4-60 の 6,000 年後における固相空間分布をみると、支保工近辺の緩衝材領域と掘削影響領域 (EDZ) 境界付近において間隙率が低下していることがわかる。この間隙率低下は支保工のアルカリ成分の拡散によるモンモリロナイト溶解が起因することにより初期から徐々に低下し、約 8,000 年後に両側ともに間隙閉塞となる。さらに EDZ 境界付近では 10,000 年後の固相空間分布のとおり、支保工内部に進行している。この間隙閉塞は、100,000 年後までに支保工中央付近まで進行することとなる。この EDZ 境界付近の間隙率低下の現象は、支保工の CSH 溶解による Ca の拡散によって Calcite が生成していることが主な原因と考えられる。またこの間隙率低下は、支保工領域のアルカリ成分が EDZ 境界側に拡散して抜けていくことを抑制する効果も考えられる。緩衝材側の間隙閉塞は EDZ 境界付近と反対に、上述のとおり 35,000 年後頃から間隙率が上昇していき、約 67,000 年後には 0.2 程度となる結果となった。45,000 年後の固相空間分布をみると、支保工側の緩衝材領域に Greenalite が生成していることがわかる。この Greenalite は 18,000 年後頃から生成しているが、Pyrite 溶解により生成したものと推測される。その後、Greenalite は徐々に緩衝材領域中央へと生成し続けるが、57,000 年後の固相空間分布のとおり、支保工近辺の緩衝材領域にて Magnetite の生成が確認できる。その後 65,000 年までに緩衝材領域の全ての Greenalite は Magnetite に変化し、さらに 100,000 年後には緩衝材領域一様に生成する結果となった。支保工領域でも鉄鉱物の生成・溶解反応が起きており、EDZ 境界付近の間隙閉塞の領域では 500 年後頃から Pyrite が生成し続ける。この Pyrite は、当初は支保工内の AFm の溶解による S の供給により生成しているものと推測されるが、AFm が消滅する 5,000 年後以降は緩衝材中の Pyrite の溶解により供給されているものと推測される。その付近の支保工領域では、100 年後の固相空間分布のとおり Magnetite が生成していることがわかる。Magnetite は 700 年後には Pyrite、5,000 年後には Magneite、27,000 年後には一時的に Berthierine が生成し、その後 Magnetite へと支保工領域にて鉄鉱物が激しく変遷する変化が見られた。液相空間分布をみると、9,000 年後までは支保工内の Al 濃度は  $10^{-3} \text{ mol/L}$  オーダーであるが、

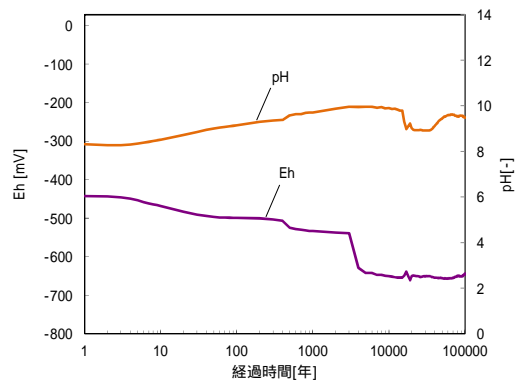
100,000 年後にかけて徐々に低下していることがわかる。これは、当初 AFm や HT の溶解により高い Al 濃度を示している。その後拡散により EDZ 境界へ流れていることも考えられるが、消滅するまでに FriedelSalt や Gibbsite、Analcime、Lmt などの生成・溶解の変遷挙動に伴い Al 濃度も変化した結果であると推測される。

ガラス固化体溶解速度については 2.2 節のとおり、緩衝材近辺の支保工領域における Mg 濃度をパラメータとしていることを考慮すると、当該領域における Mg 濃度は全期間  $10^{-5}$  mol/L オーダー以下であり、リンケージするガラス固化体溶解速度は残存溶解速度 ( Stage ) に近い速度になるものと推測される。

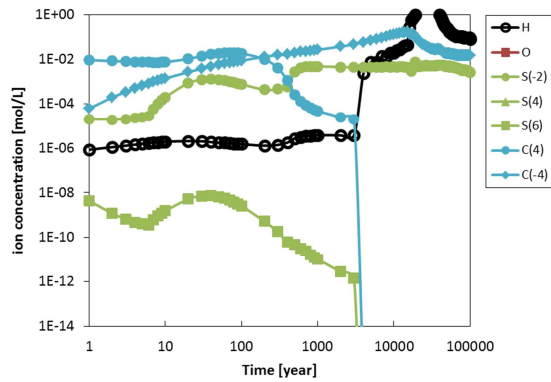




透水係数・拡散係数・有効密度・空隙率

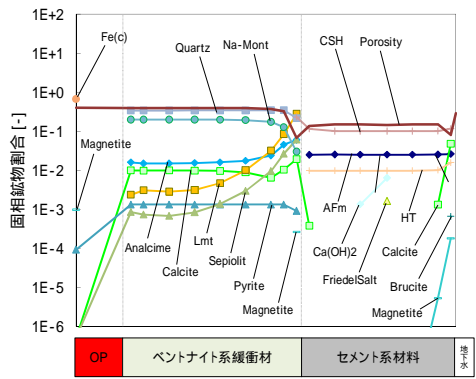


酸化還元電位・pH

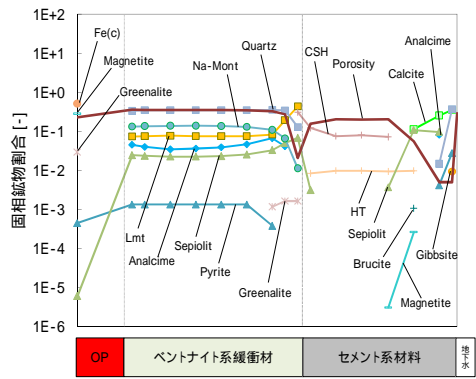


炭素種・硫黄種・溶存水素・溶存酸素濃度

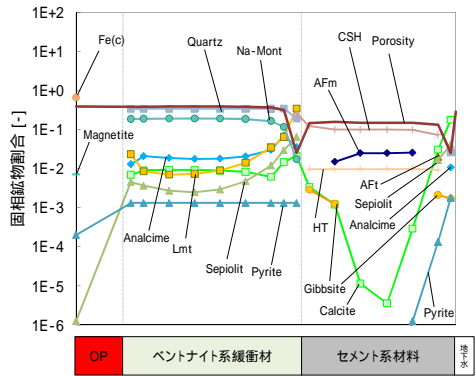
図 6.4-59 緩衝材領域における経時変化 (ケース A)



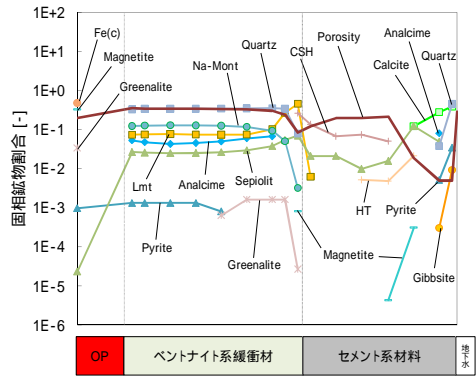
100 年後



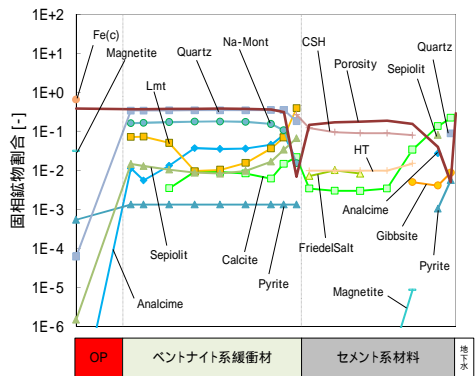
45,000 年後



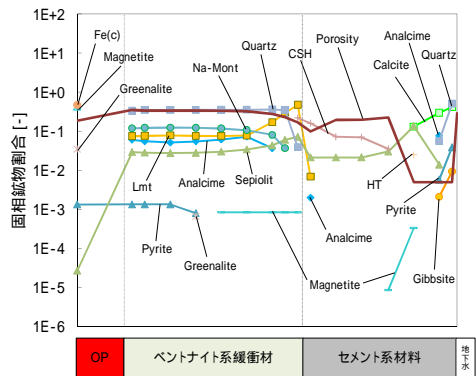
1,000 年後



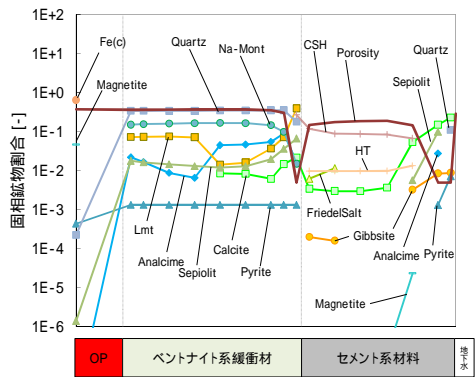
57,000 年後



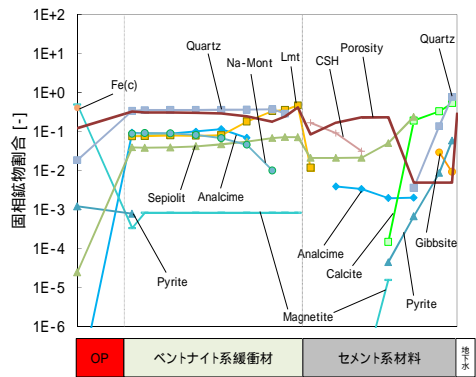
6,000 年後



64,000 年後



9,000 年後



100,000 年後

図 6.4-60 全領域における固相空間分布 (ケース A)

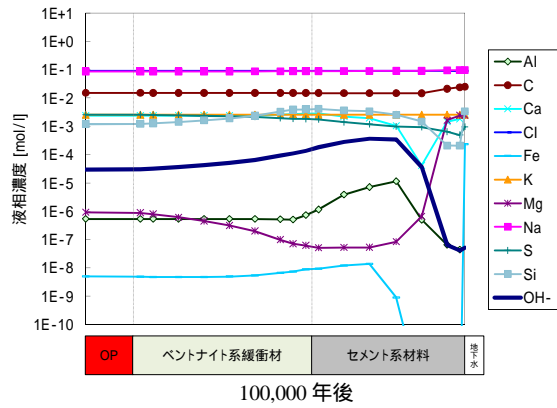
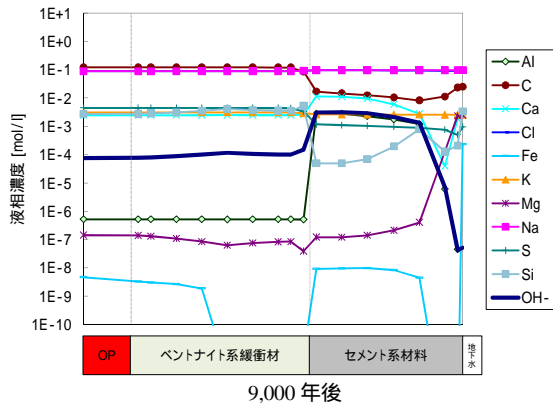
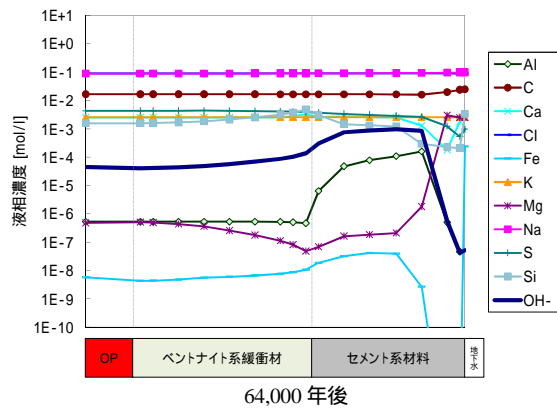
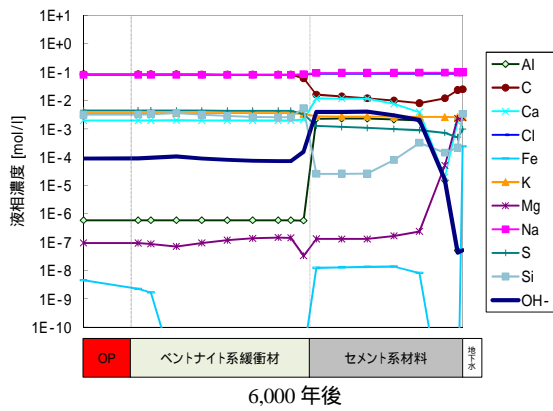
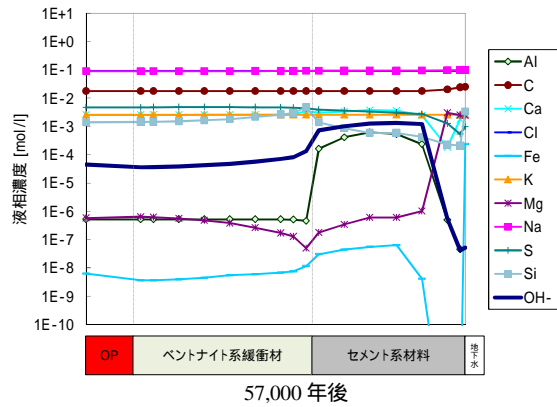
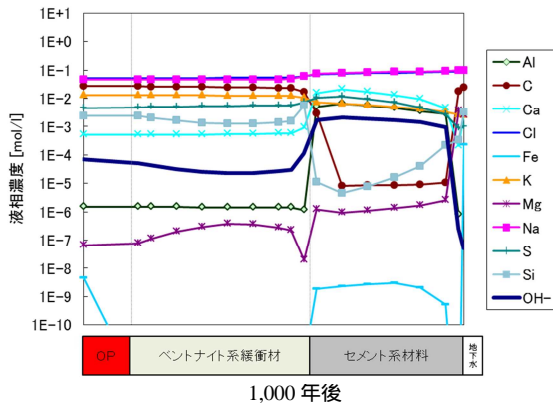
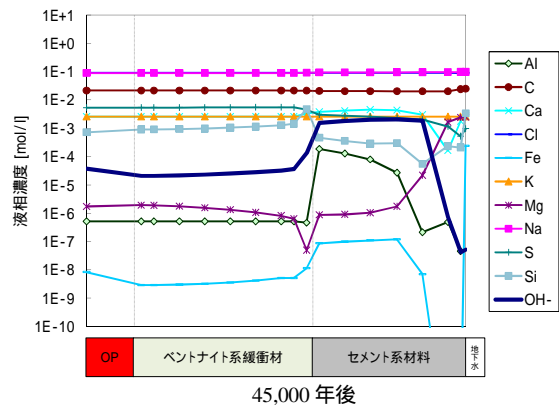
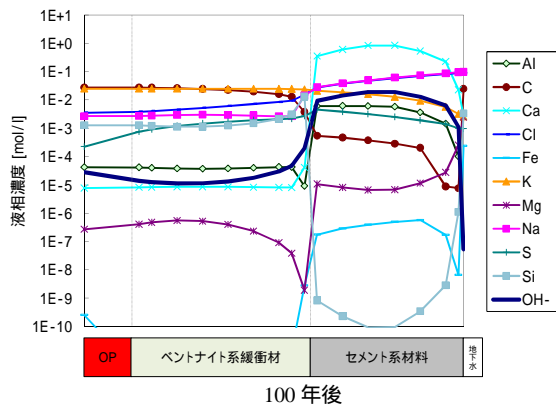


図 6.4-61 全領域における液相空間分布 (ケース A)

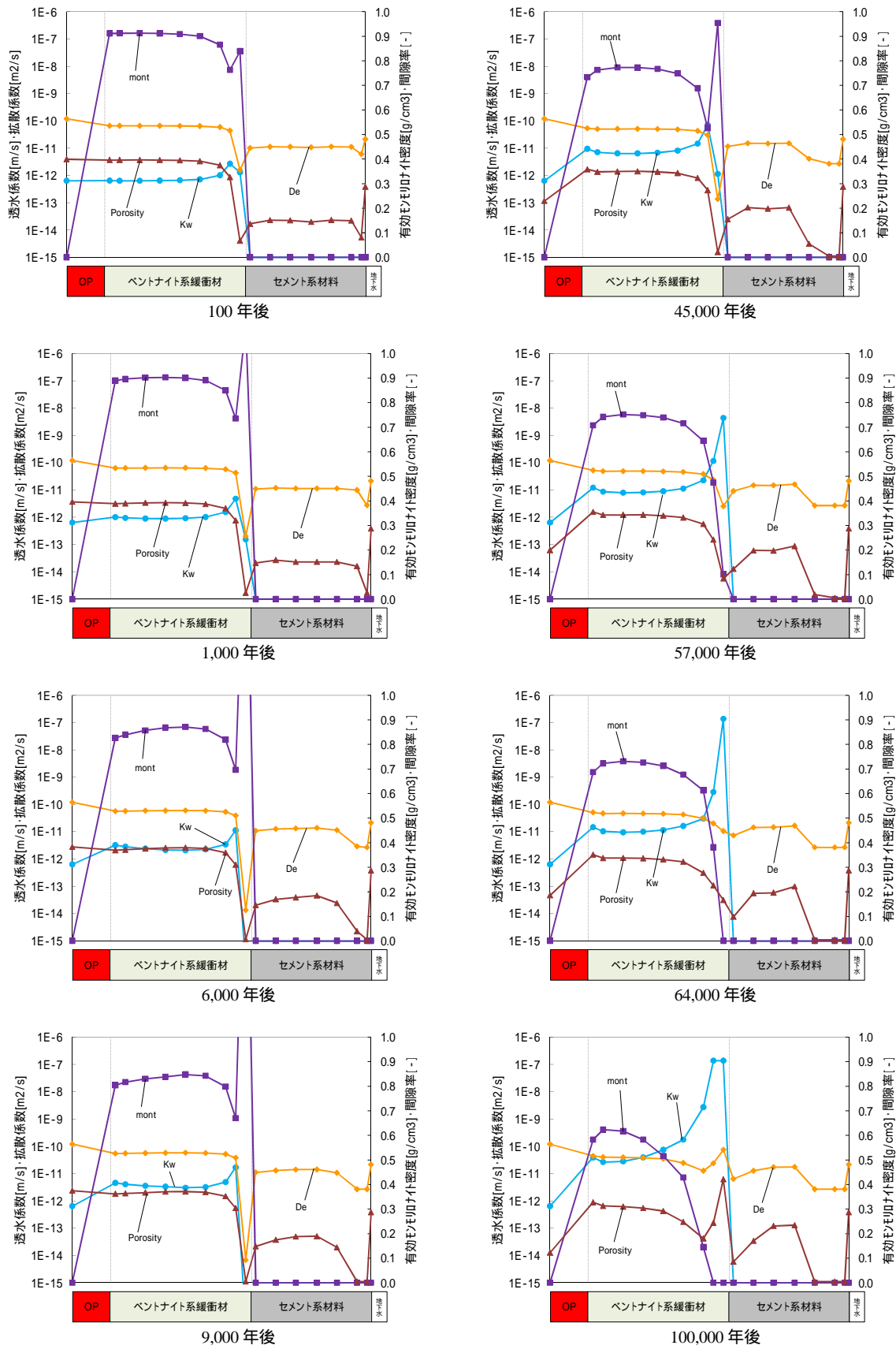


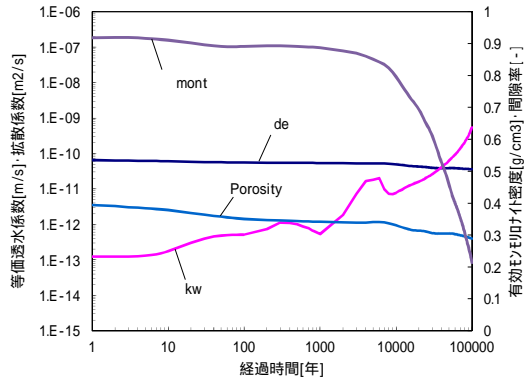
図 6.4-62 全領域における  $K_w \cdot D_e \cdot E_p$  空間分布 (ケース A)

( b ) ケース C

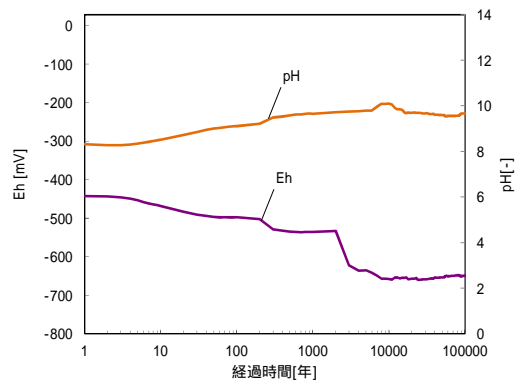
ケース C について、図 6.4-63 ~ 図 6.4-66 に示す。ケース C では図 6.4-63 の経時変化より 100,000 年後において有効モンモリロナイト密度は  $0.26 \text{ g/cm}^3$  残存する結果となり、ケース A と比較して有効モンモリロナイト密度が低下することとなった。これは 6,000 年後以降の降水系地下水への変化による影響が大きいと考えられる。図 6.4-64 の固相空間分布における 1,000 年後をみると、支保工領域近傍の緩衝材領域にて局所的な間隙率低下が起きていることがわかるが、それ以降は間隙閉塞が解消方向へと進行し、57,000 年後をみると支保工領域中央付近での局所的な間隙閉塞がみられる。また、局所的な間隙率低下が解消されている支保工 - 緩衝材境界付近では、CSH が残存していることから、その後アルカリ成分は緩衝材領域へと流入し、モンモリロナイトの溶解を促進させたことにより、ケース A に比べモンモリロナイトが溶解したものと考えられる。よって、6,000 年後から降水系地下水に切り替わることによる水質変化がこの間隙率低下に変化をもたらしているものと考えられる。このモンモリロナイト溶解の促進は、100,000 年後においても CSH が残存していることから、図 6.4-65 の液相空間分布でも確認できるように OH は支保工領域から緩衝材領域へと濃度勾配がみられ、100,000 年後以降においても継続するものと推測される。透水係数は 100,000 年後までに  $5.0 \times 10^{-10} \text{ m/s}$  と終始上昇しており、ケース A に比べ約 1 オーダー上昇する結果となった。ただし、7,000 年後以降  $7.0 \times 10^{-12} \text{ m/s}$  程度まで一時的な低下がみられるが、局所的な間隙率低下が再び上昇することによって透水係数も上昇したものと考えられる。OP 近傍における緩衝材領域の Eh については、3,000 年後に -530 mV から -620 mV に低下する。この現象は、ケース A で述べたように  $\text{SO}_4^{2-}$  および  $\text{CO}_3^{2-}$  が Eh を緩衝しなくなったことによる  $\text{H}^+$  の還元による  $\text{H}_2$  の上昇が起因となっている。その後 Eh は -650 mV まで低下し、 $\text{H}_2$  の支配が 100,000 年後まで維持する結果となった。

図 6.4-64 の固相空間分布における 45,000 年後をみると、支保工近辺の緩衝材領域における間隙率の変化は周辺の領域より上昇しており、ケース A と明らかに傾向が逆であることがわかる。これは、図 6.4-66 でもわかるように、この領域における拡散係数は  $5.0 \times 10^{-11} \text{ m}^2/\text{s}$  に対し、ケース A は  $1.5 \times 10^{-13} \text{ m}^2/\text{s}$  と 2 オーダーの差異がみられる。ケース A での支保工付近の緩衝材領域において Greenalite 生成の影響により OH が低下していることも考えられるが、上述のとおり緩衝材領域における間隙率の変化によって、アルカリ成分の抑制をしていることが緩衝材変質に大きく影響していると考えられる。初期鉱物である Pyrite は、45,000 年後において、Magnetite に変遷していることがわかる。ケース A では、Pyrite から Greenalite に変遷しているが、両ケースとも Eh はほぼ同じであるが、間隙水や鉱物の生成溶解反応によって生成する鉄鉱物が変化していると推測される。

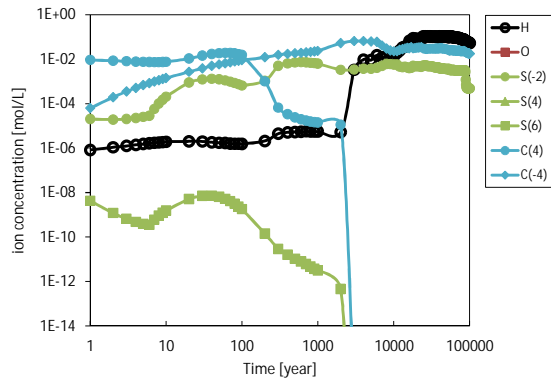
液相空間分布では、図 6.4-65 の 6,000 年後をみると支保工領域での OH 濃度が殆ど低下していることがわかる。これは上述のとおり、1,000 年後に緩衝材領域で局所的な間隙閉塞が起きているためであり、同時期に EDZ 境界付近の支保工領域でも同現象がみられるが、緩衝材 (ベントナイト) と支保工 (セメント) での拡散係数が 2 オーダー程度差異があることから EDZ 境界へ拡散してしまったことが原因と推測される。また、緩衝材付近の支保工領域での Mg 濃度は、全期間  $10^{-5} \text{ mol/L}$  オーダー以下であることから、ケース C ではリンケージするガラス固化体溶解速度は残存溶解速度に近い速度になるものと推測される。



透水係数・拡散係数・有効孔隙率・間隙率

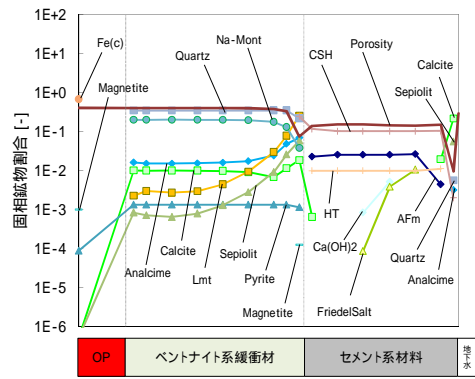


酸化還元電位・pH

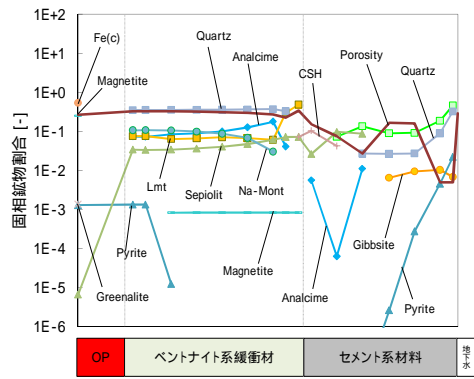


炭素種・硫黄種・溶存水素・溶存酸素濃度

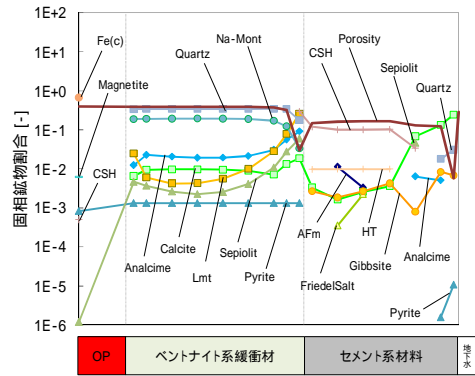
図 6.4-63 緩衝材領域における経時変化 (ケース C)



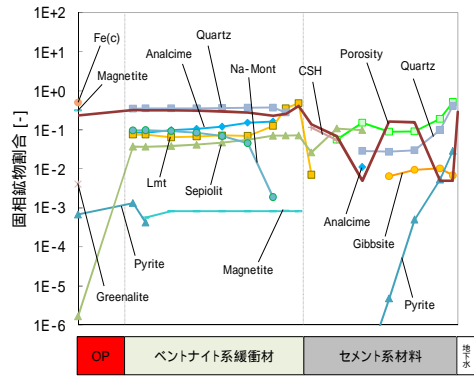
100 年後



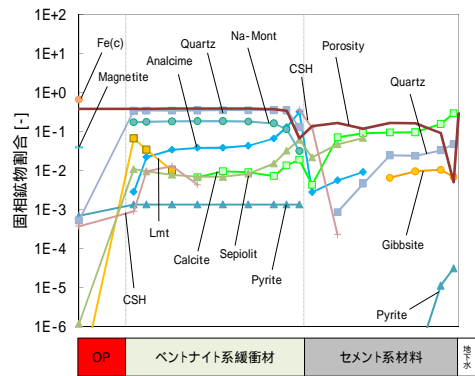
45,000 年後



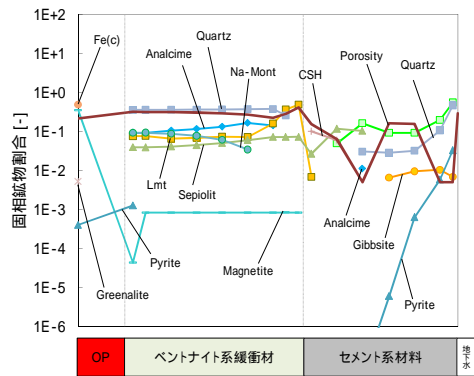
1,000 年後



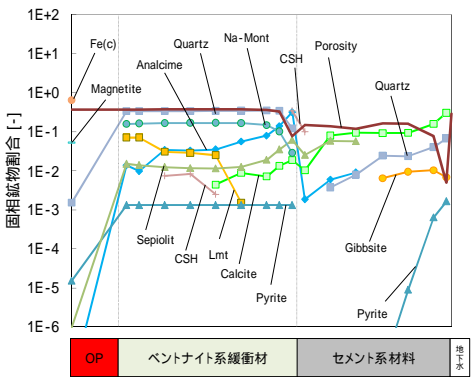
57,000 年後



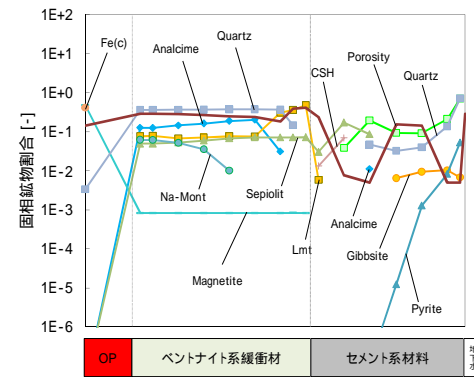
6,000 年後



64,000 年後



9,000 年後



100,000 年後

図 6.4-64 全領域における固相空間分布 (ケース C)

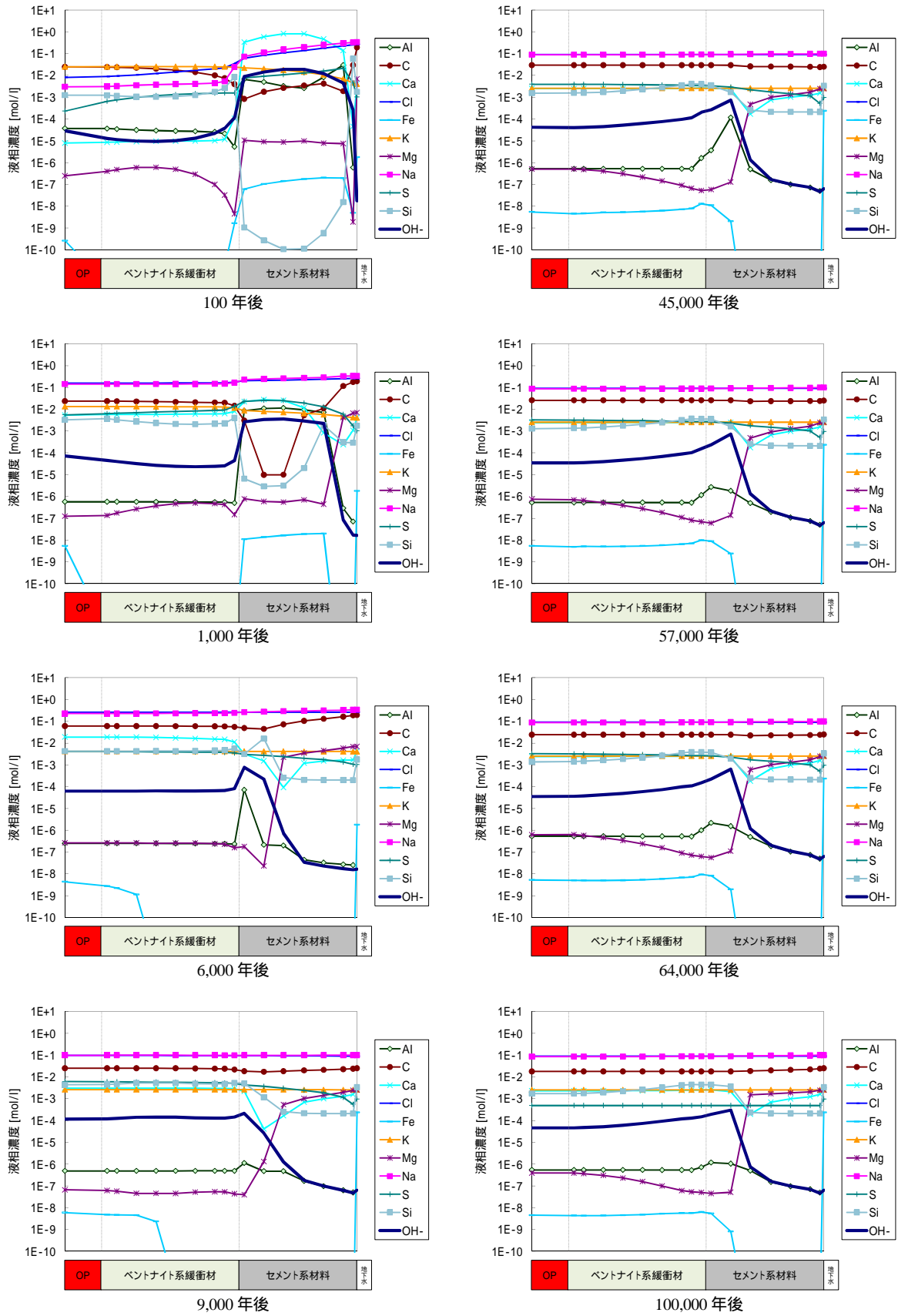


図 6.4-65 全領域における液相空間分布 (ケース C)



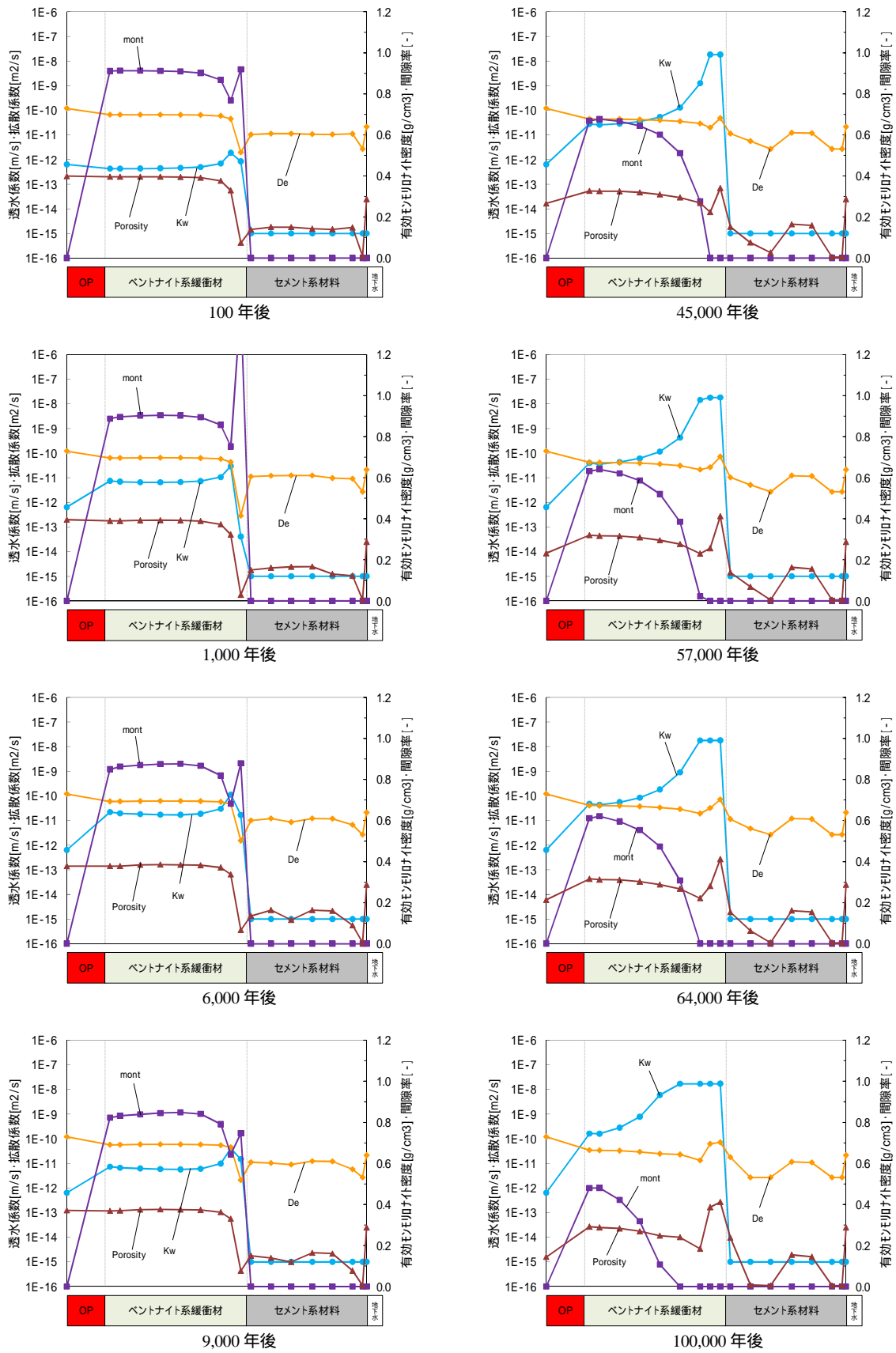


図 6.4-66 全領域における Kw・De・ $\rho_m$ ・Eps 空間分布 (ケース C)

( c ) ケース E

ケース E について、図 6.4-67 ~ 図 6.4-70 に示す。図 6.4-67 をみると、100,000 年後における有効モンモリロナイト密度は  $0.26 \text{ g/cm}^3$  とケース C とほぼ一致する結果となった。また、透水係数や拡散係数、間隙率についてもほぼ同傾向の分布を示している。ただし、透水係数においては、ケース C でもみられた一時的な透水係数低下の現象については、9,000 年後から 12,000 年後に  $7.0 \times 10^{-13} \text{ m/s}$  まで低下する結果となっており、ケース C より 1 オーダー低い結果となった。これは、図 6.4-66 および図 6.4-70 の 9,000 年後にて確認すると、支保工近辺の緩衝材領域における間隙率の低下がケース C より進行したためであり、降水系地下水への切替年数が約 3,000 年間伸びたことによる影響と考えられる。OP 付近の緩衝材領域における Eh の分布についても、10,000 年後以降の多少のがたつきはあるものの、ケース C とほぼ同じ傾向を示していることがわかる。Eh の大きな変化については、切替年数以前に起きていたものであり、この切替年数の差異による影響はみられなかった。

図 6.4-68 の 45,000 年後の固相空間分布をみると、支保工 - 緩衝材領域境界での間隙率は低下しておらず、EDZ 境界付近での間隙閉塞がみられる。ケース C での同時期では EDZ 境界付近での間隙閉塞とともに、支保工領域中央付近でも間隙率の低下がみられ、切替年数の差異による影響がみられた。この支保工領域における間隙率の変化は、100,000 年後でも EDZ 境界付近での閉塞が継続するのみであり、他領域が閉塞する傾向はみられなかった。鉱物組成については、ケース C と比較しても有意な差は認められず、ほぼ同傾向であることから、切替年数における影響はないものと考えられる。

図 6.4-69 の液相空間分布では、切替年数における有意な差がみられる。9,000 年後をみると緩衝材付近の支保工領域において、Mg 濃度が  $1.5 \times 10^{-2} \text{ mol/L}$  と上昇していることがわかる。これは、同領域での Sepiolite が生成から溶解過程へと移行していることから、EDZ 境界からの地下水の拡散と Sepiolite 溶解による Mg 供給により、濃度が上昇したものと推測される。この現象は 8,000 年後頃から起きており、ケース C ではそれ以前に地下水質が切り替わったことで、Sepiolite 生成過程が続くために差異が生じているものと考えられる。この Mg 濃度の上昇は、ガラス固化体の溶解速度に影響を与えると推測され、マトリクス溶解の初期溶解速度( Stage ) に相当する速度になる可能性が示唆される。高い Mg 濃度は 10,000 年後には  $10^{-3} \text{ mol/L}$  と 1 オーダー低下するが、その後 5,000 年間続く結果となった。

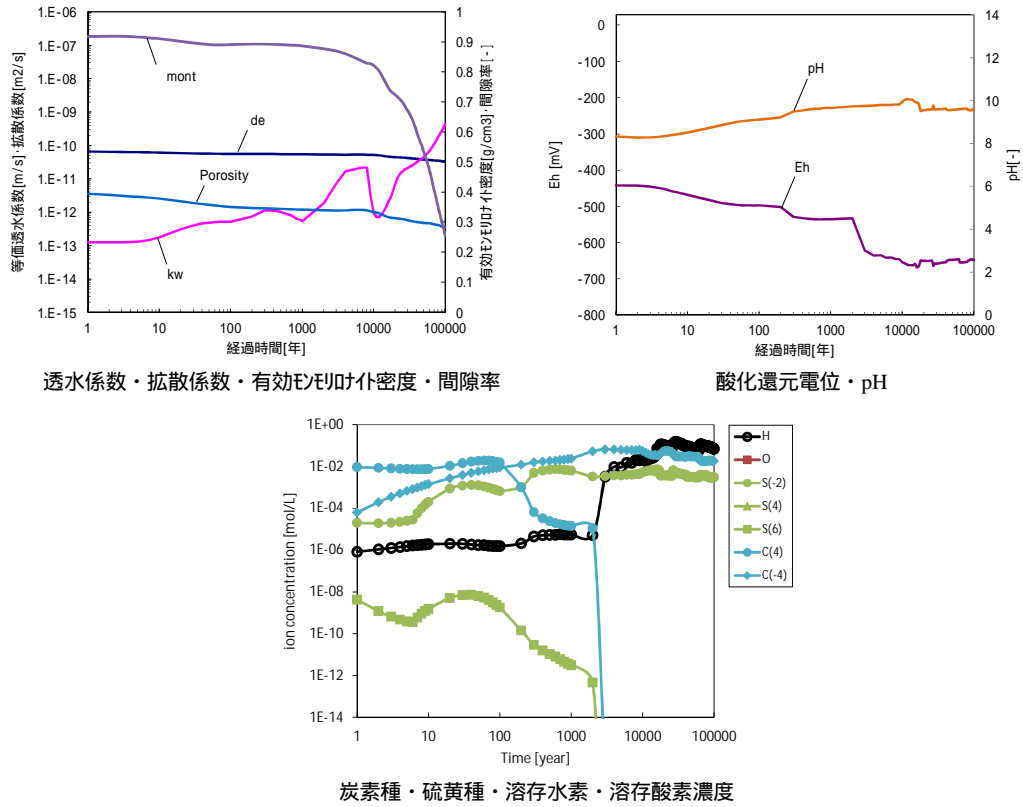


図 6.4-67 緩衝材領域における経時変化（ケース E）

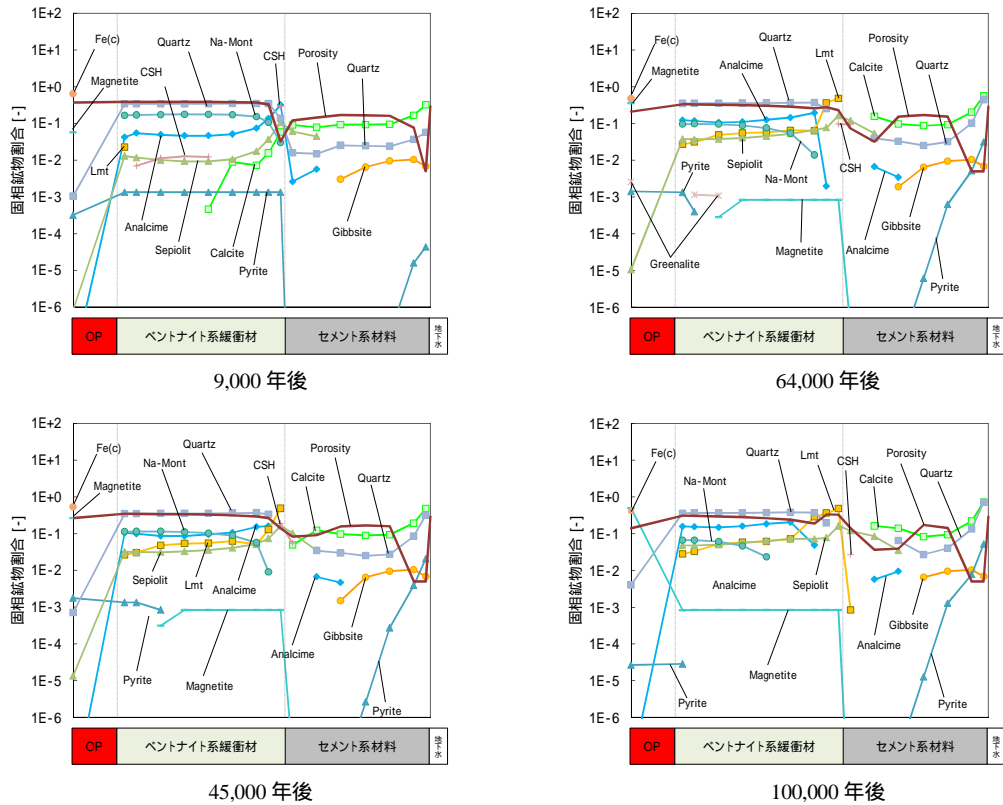


図 6.4-68 全領域における固相空間分布（ケース E）

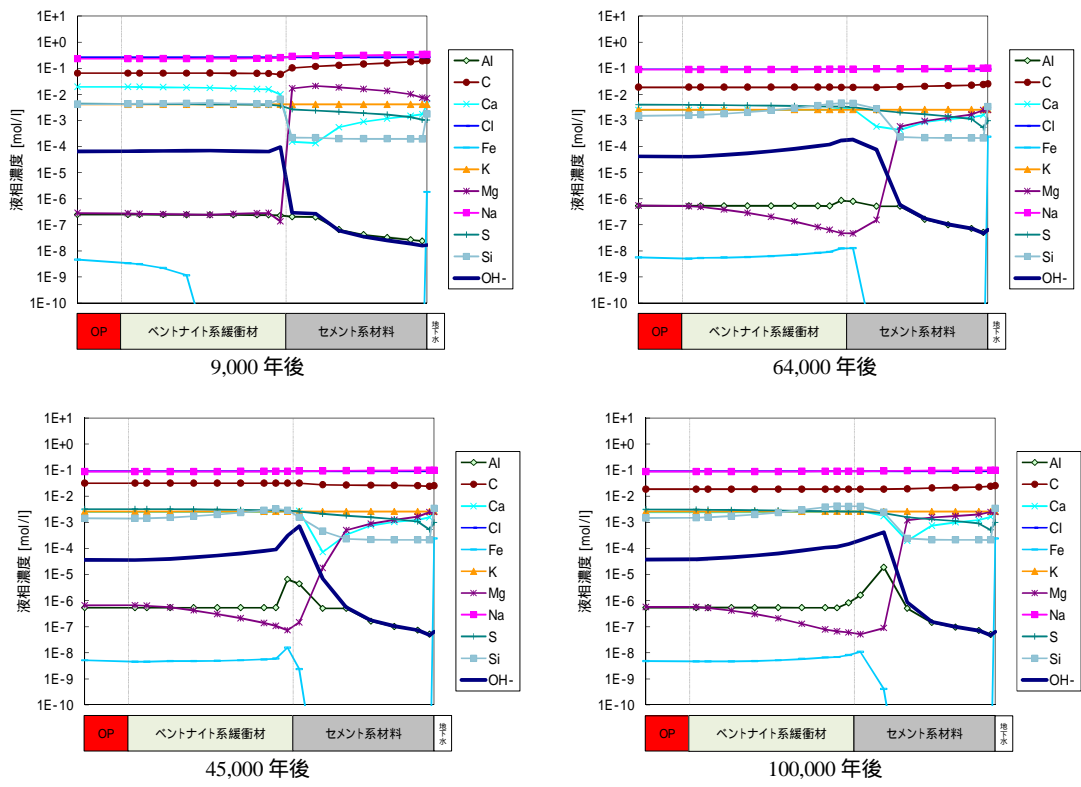


図 6.4-69 全領域における液相空間分布 (ケース E)

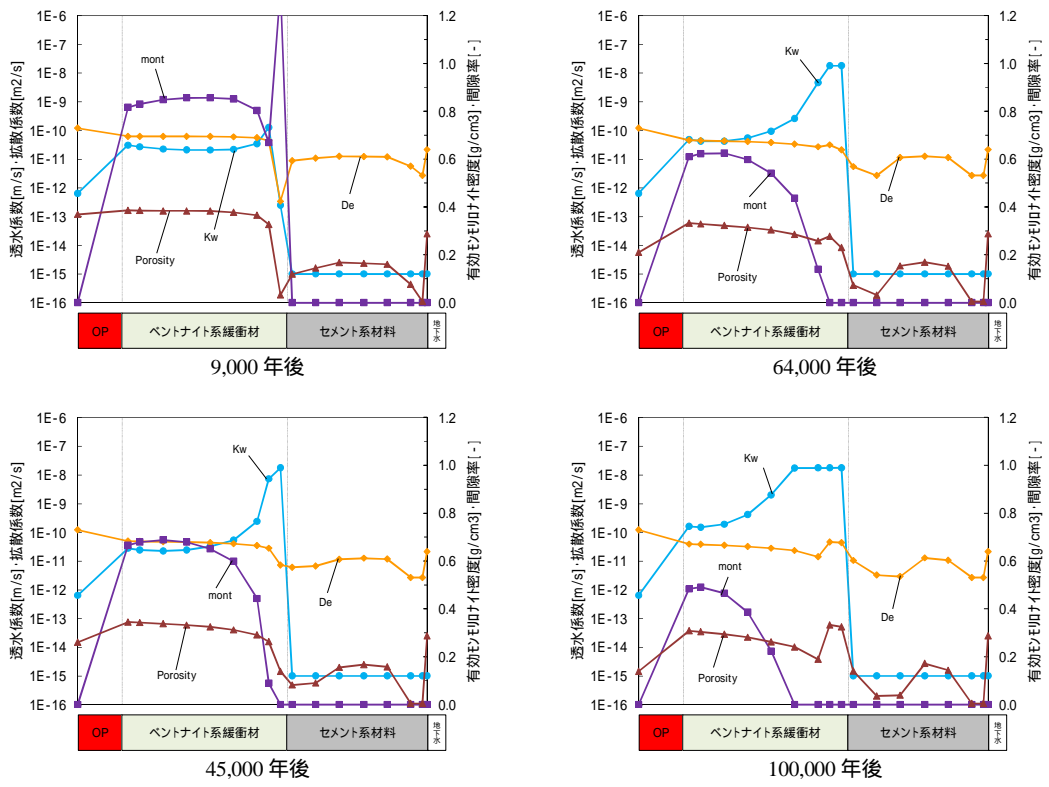


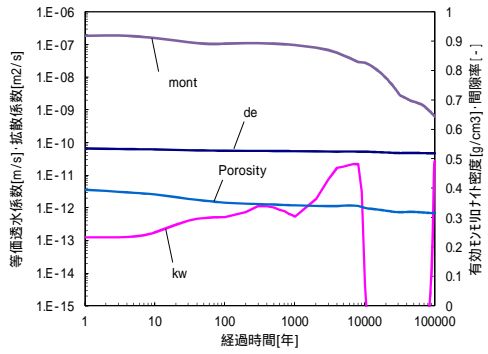
図 6.4-70 全領域における Kw · De ·  $m \cdot Eps$  空間分布 (ケース E)

( d ) ケース H

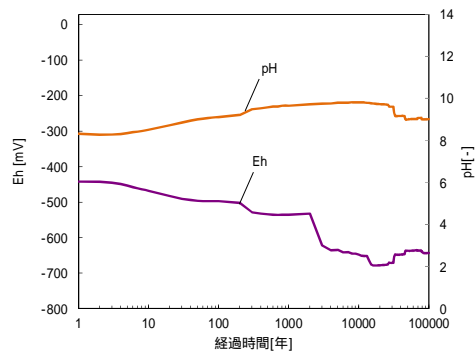
ケース E について、図 6.4-71 ~ 図 6.4-74 に示す。図 6.4-71 をみると、100,000 年後における有効モンモリロナイト密度は  $0.64 \text{ g/cm}^3$  とケース A やケース C・E に比べモンモリロナイトが残存する結果となった。ケース H ではケース C・E の切替年数後の 10,000 年後より支保工付近の緩衝材領域において間隙閉塞が起きていることから、支保工からのアルカリ成分が緩和されており、100,000 年後においても継続しているためにより多くモンモリロナイトが残存しているものと推測される。透水係数は、ケース E では一時的な低下となっていたが、約 70,000 年後まで長期的な低下がみられ、それ以降は 100,000 年後で  $3.0 \times 10^{-11} \text{ m/s}$  まで上昇している。これは支保工近辺の緩衝材領域における間隙閉塞が起因となり透水係数が低下しているものと考えられる。透水係数の再上昇する現象については、この緩衝材領域における間隙率の上昇ではなく、モンモリロナイト濃度の低下に伴って有効モンモリロナイト密度も低下することにより、透水係数が上昇しているものと推測される。OP 付近の緩衝材領域における Eh は、ケース C・E と同じように 3,000 年後以降  $\text{H}_2$  が Eh を支配していることを示していることがわかる。

図 6.4-72 の 45,000 年後の固相空間分布をみると、支保工 - 緩衝材領域境界での間隙閉塞とともに EDZ 境界付近でも間隙閉塞がみられ、ケース C・E と異なった傾向を示している。この時期の同地下水質となるケース A では、35,000 年後まで間隙閉塞が続いていたが、本ケースでは上述のとおり 100,000 年後まで間隙閉塞が継続する結果となっている。また、CSH は、100,000 年後においてケース C・E では緩衝材付近の支保工領域にて残存する結果となっているが、本ケースでは支保工付近の緩衝材領域、すなわち間隙閉塞している領域にて残存する結果となった。この領域では図 6.4-74 のとおり、間隙閉塞により拡散係数が  $10^{-15} \text{ m}^2/\text{s}$  オーダーとかなり低いことから、緩衝材領域へのアルカリ成分がかなり抑制されており、上述のようにモンモリロナイトが残存するものと考えられる。さらに、モンモリロナイト溶解があまり進んでないことから、二次鉱物である Lmt の生成が他ケースに比べ低いのも特徴である。

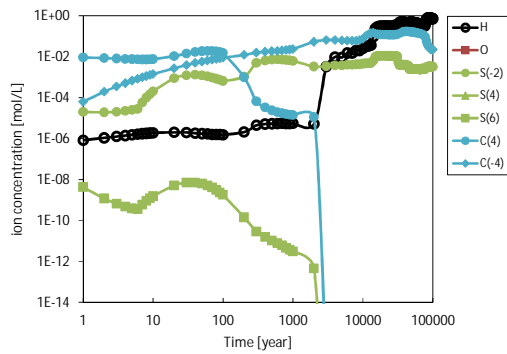
図 6.4-73 の液相空間分布では、9,000 年後に緩衝材付近の支保工領域における Mg 濃度が上昇してから  $10^{-3} \text{ mol/L}$  オーダーの濃度が約 79,000 年後まで継続しており、ケース E より明らかに長期間にわたり高濃度が持続される結果となった。この高濃度の Mg は、ケース E で述べたとおり、ガラス固化体の溶解速度が初期溶解速度に相当する速度になる可能性がある。また、79,000 年後以降の Mg 濃度の低下は、ケース E と同様に同僚域内において Sepiolite の生成過程が始まったことが原因である。以上より、切替年数が 9,000 年後から 45,000 年後と伸びたことにより、ケース C・E と比較して人工バリア変遷挙動が明らかに異なっていることがわかった。



透水係数・拡散係数・有効モリヤル密度・間隙率

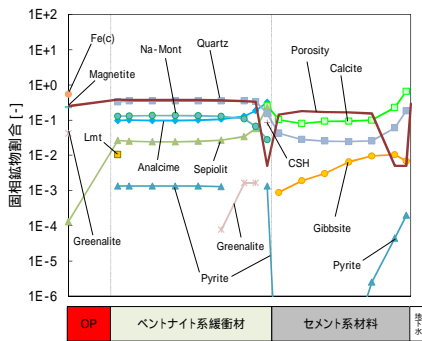


酸化還元電位・pH

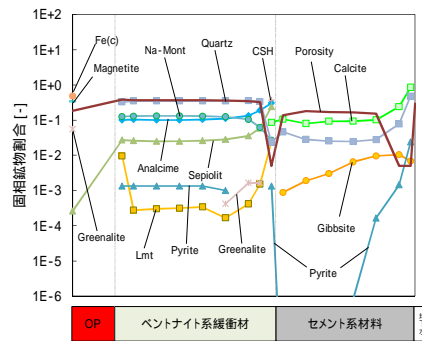


炭素種・硫黄種・溶存水素・溶存酸素濃度

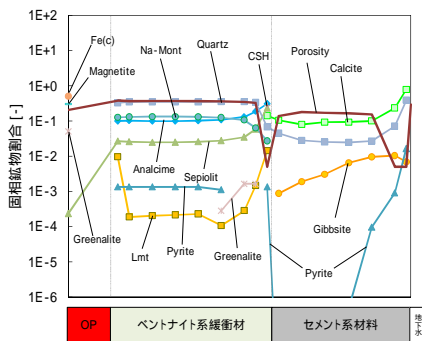
図 6.4-71 緩衝材領域における経時変化 (ケース H)



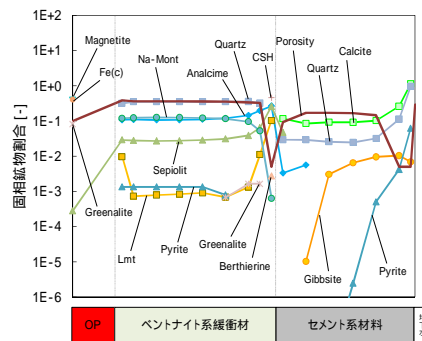
45,000 年後



64,000 年後



57,000 年後



100,000 年後

図 6.4-72 全領域における固相空間分布 (ケース H)

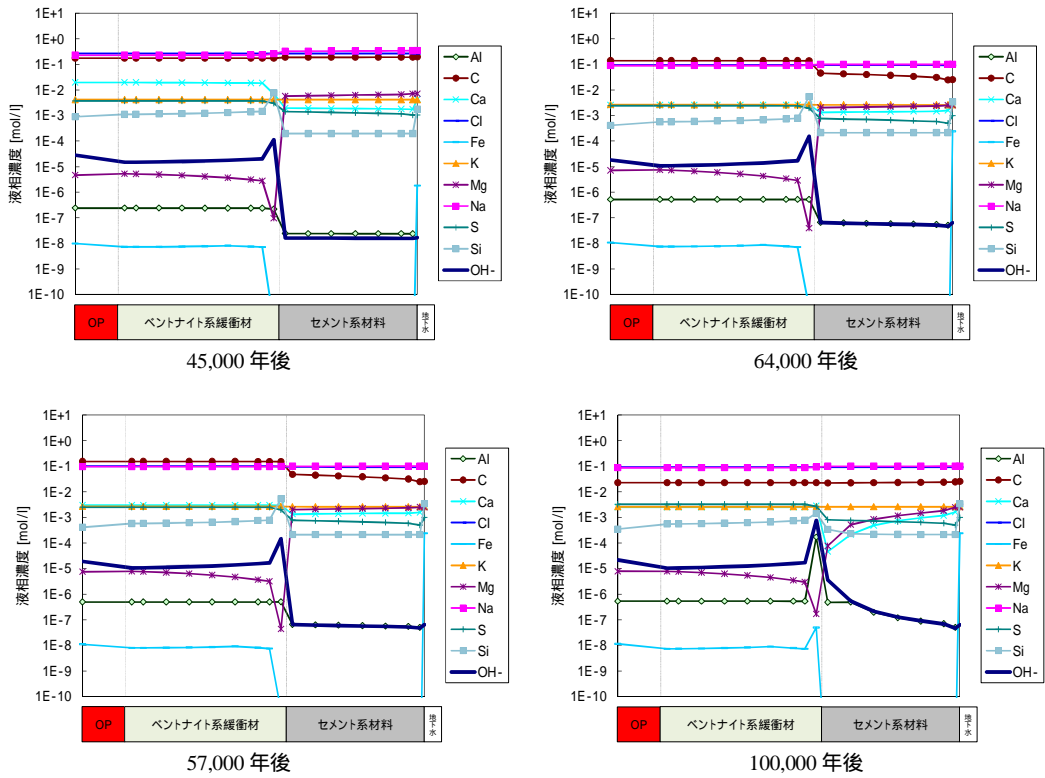


図 6.4-73 全領域における液相空間分布 (ケース H)

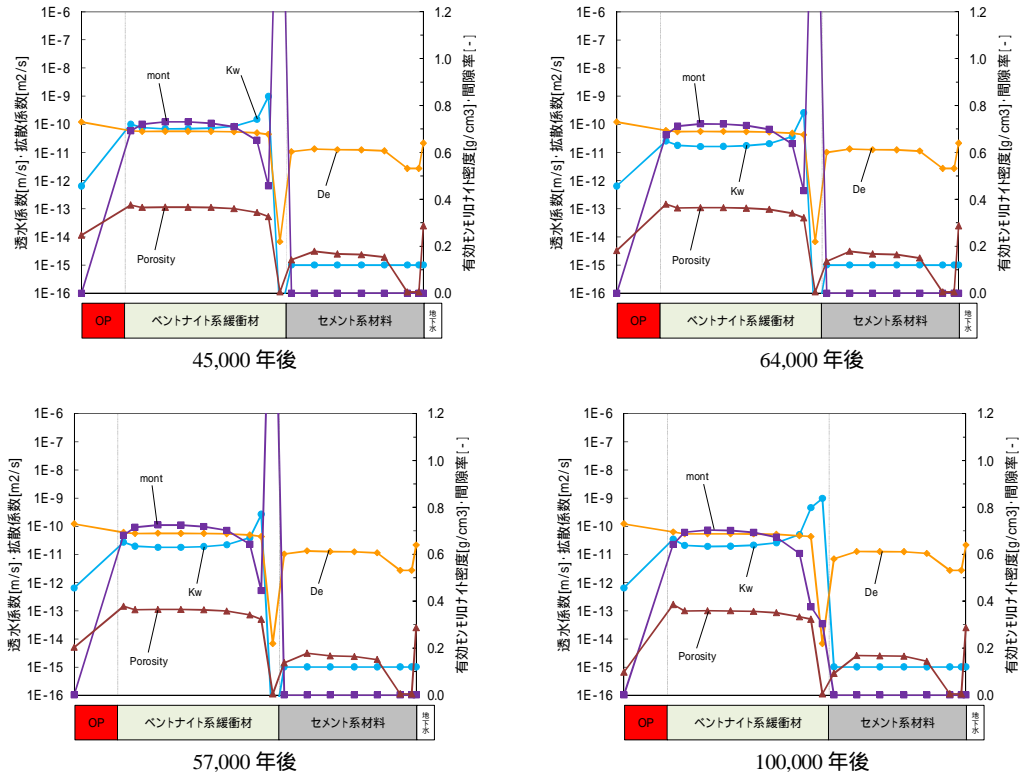


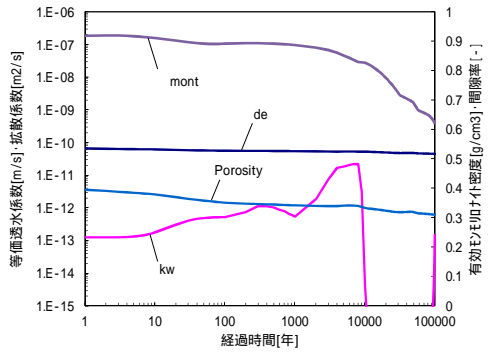
図 6.4-74 全領域における  $K_w \cdot De \cdot \epsilon_m \cdot Eps$  空間分布 (ケース H)

( e ) ケース K

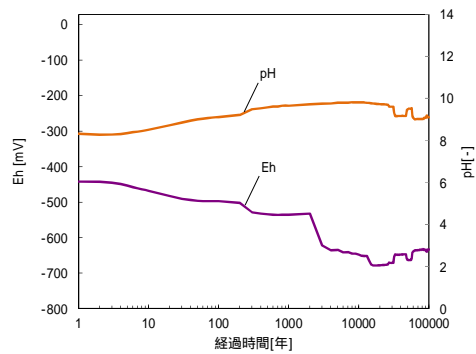
ケース K について、図 6.4-75 ~ 図 6.4-78 に示す。図 6.4-75 をみると、100,000 年後における有効モンモリロナイト密度は  $0.62 \text{ g/cm}^3$  とケース H とほぼ同等の結果となった。透水係数についてもケース H と同傾向を示しているが、透水係数の再上昇が約 80,000 年後と 10,000 年間遅い結果となった。その結果、100,000 年後では  $1.0 \times 10^{-13} \text{ m/s}$  とケース H に比べ低い透水係数を示すこととなっている。OP 付近の緩衝材領域における Eh は、ケース C・E・H と同じように 3,000 年後以降  $\text{H}_2$  が Eh を支配していることを示していることがわかる。

図 6.4-76 の固相空間分布をみると、間隙閉塞が起きている緩衝材領域において CSH が残存していることがわかる。しかし、この CSH は 5,7000 年後で一度消失し、58,000 年後に再度生成している。CSH の消滅は、緩衝材領域の Lmt が溶解することによる Si の供給で生成していた Greenalite が、Lmt が消滅することにより CSH が供給源となったためと推測される。64,000 年後をみると間隙閉塞が起きている緩衝材領域において Lmt が生成していることが確認できるが、これは消滅した Lmt が再生成し始めたものであり、その後 Lmt は緩衝材領域で成長していることがわかる。図 6.4-77 の液相空間分布では、緩衝材付近の支保工領域における Mg 濃度が 9,000 年後以降、支保工領域内で Sepiolite の生成が認められないことから 100,000 年後まで  $10^{-3} \text{ mol/L}$  オーダーの濃度が継続しており、ケース H と異なった変遷傾向がみられた。よって、本ケースにおいてもガラス固化体の溶解速度が初期溶解速度に相当する速度になる可能性がある。ただし、鉱物組成や溶液組成など人工バリア変遷挙動全体としては、ケース H と殆ど変わらない結果であるといえる。

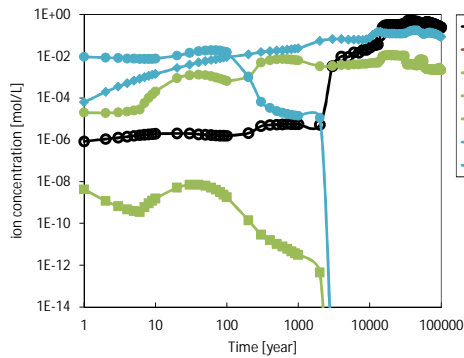




透水係数・拡散係数・有効E/Pりけ密度・間隙率

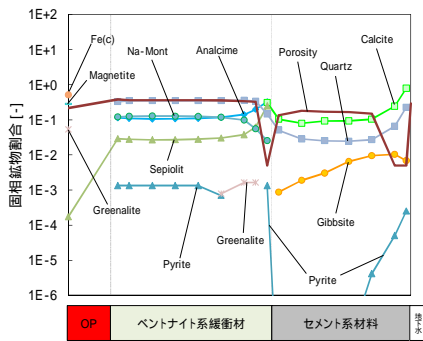


酸化還元電位・pH

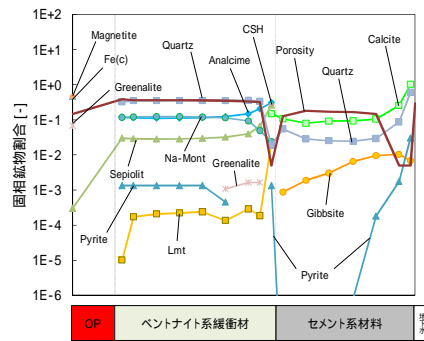


炭素種・硫黄種・溶存水素・溶存酸素濃度

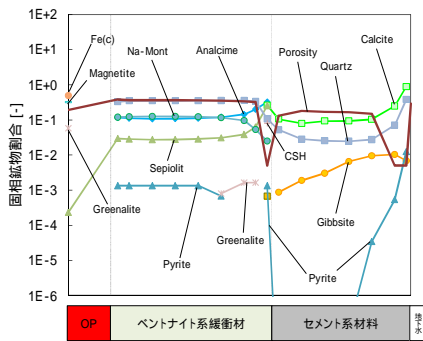
図 6.4-75 緩衝材領域における経時変化 (ケース K)



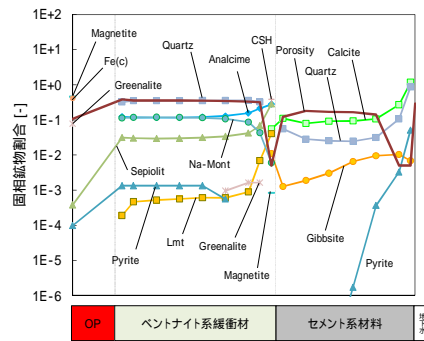
57,000 年後



80,000 年後



64,000 年後



100,000 年後

図 6.4-76 全領域における固相空間分布 (ケース K)

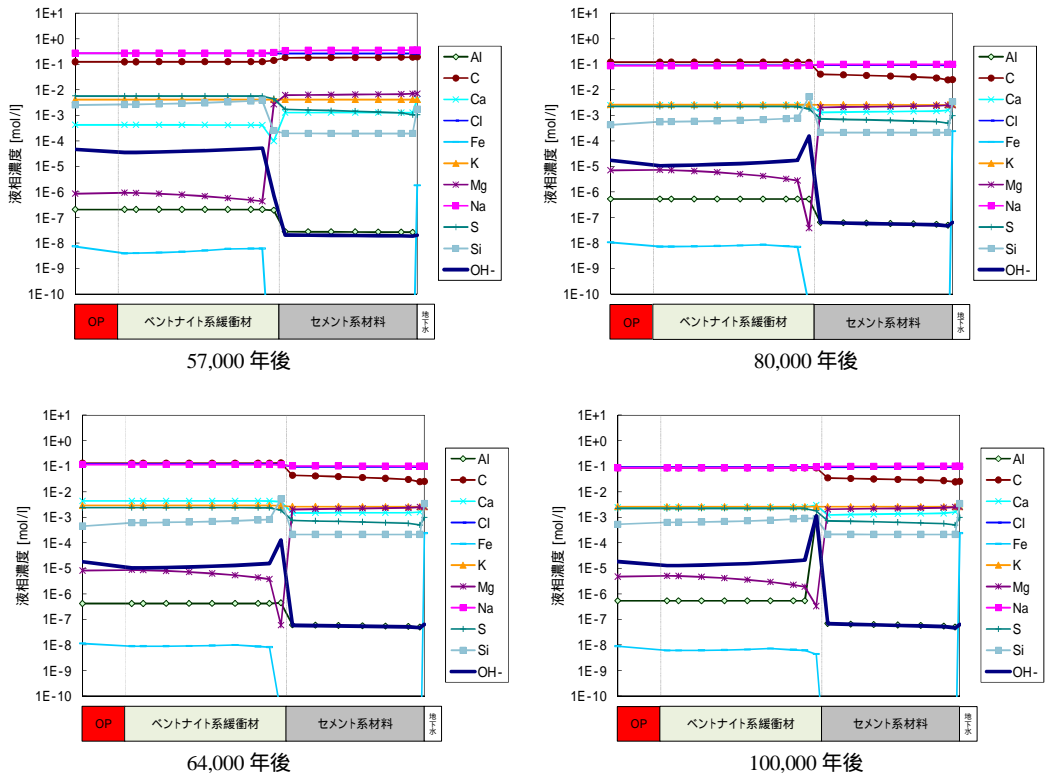


図 6.4-77 全領域における液相空間分布 (ケース K)

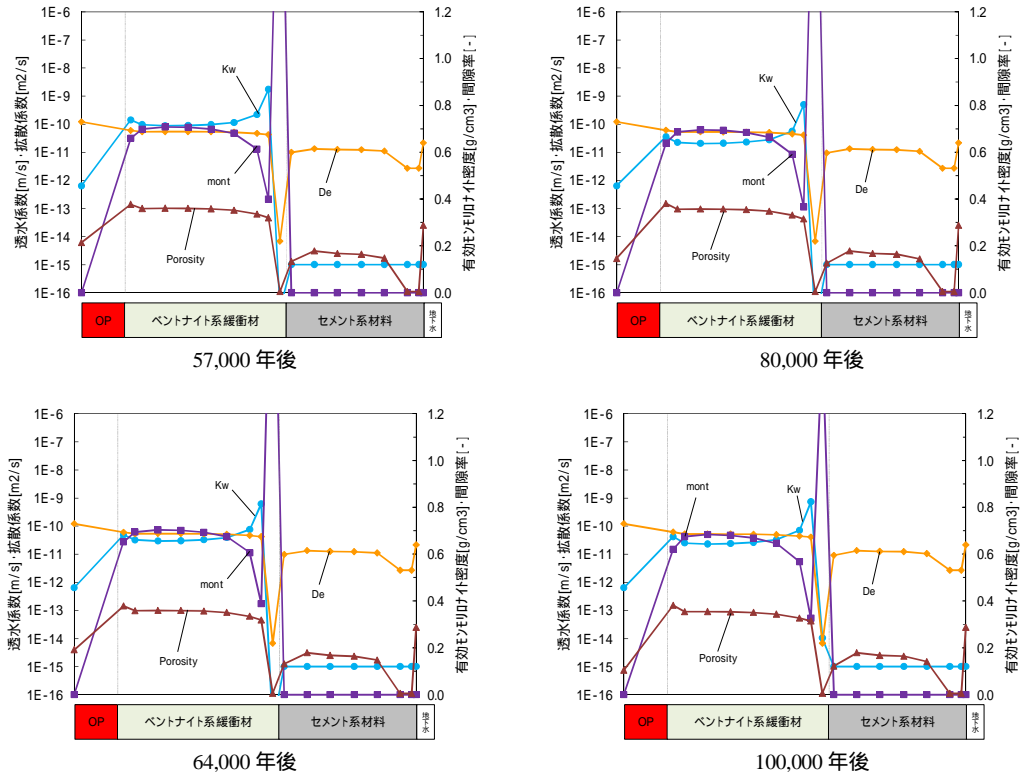
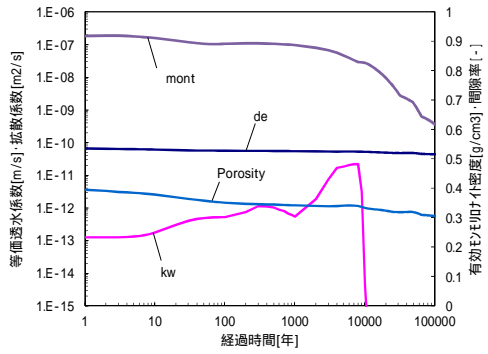


図 6.4-78 全領域における Kw · De ·  $m \cdot Eps$  空間分布 (ケース K)

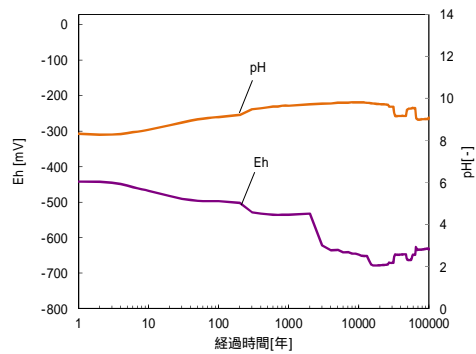
( f ) ケース M

ケース M について、図 6.4-79 ~ 図 6.4-82 に示す。図 6.4-79 をみると、100,000 年後における有効モンモリロナイト密度は  $0.62 \text{ g/cm}^3$  と減少傾向も含めケース K と同等の結果となった。緩衝材のパラメータである透水係数や拡散係数、間隙率についてもケース K と同傾向であることがわかる。ただし、透水係数については、上述のとおりケース K では 100,000 年後で  $1.0 \times 10^{-13} \text{ m/s}$  まで上昇しているが、本ケースでは  $1.0 \times 10^{-16} \text{ m/s}$  と上昇傾向はみられず低透水係数を示す結果となった。OP 付近の緩衝材領域における Eh についても、ケース K とほぼ同じ挙動を示している。

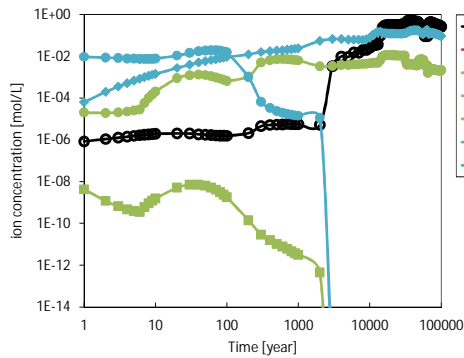
図 6.4-80 の固相空間分布をみると、64,000 年後では間隙閉塞が起きている緩衝材領域において CSH が消滅していることがわかる。この CSH は 57,000 年後に消滅しており、ケース K と同時期であることがわかる。さらに 80,000 年後をみると、同領域内で CSH が再生成していることが確認できる。この再生成は、66,000 年後から起こっており、ケース K が 58,000 年後に再生成していることを考慮すると、この現象は地下水質の切替が起因しているものと推測される。鉄鉱物では、64,000 年後をみると緩衝材領域にて Magnetite が生成していることが確認できる。ケース K では、同領域において Greenalite が生成しているが、本ケースでは CSH 消滅後の 58,000 年後に Magnetite に変遷している。さらに 80,000 年後をみるとわかるように、Greenalite が確認でき、Magnetite から再度変遷したことが確認できる。この Greenalite への変遷は 65,000 年後からであり、地下水質の切替直後であることから、CSH の再生成と関連しているものと考えられる。図 6.4-81 の液相空間分布では、ケース K と同様に支保工領域内で Sepiolite の生成が認められないことから 100,000 年後まで  $10^{-3} \text{ mol/L}$  オーダーの濃度が継続する傾向となった。よって、本ケースにおいてもガラス固化体の溶解速度が初期溶解速度に相当する速度になる可能性がある。ただし、鉱物組成や溶液組成など人工バリア変遷挙動全体としては、ケース H・K と殆ど変わらない結果であるといえる。



透水係数・拡散係数・有効E/P/割合密度・間隙率

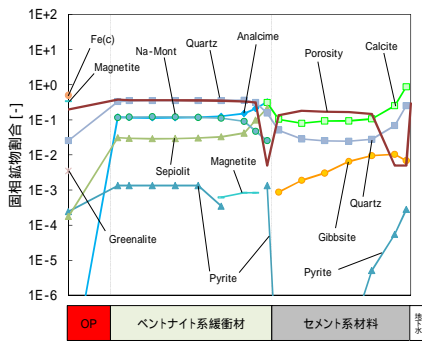


酸化還元電位・pH

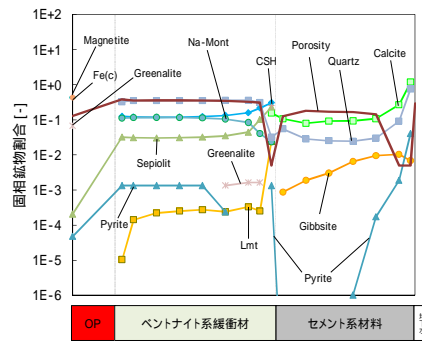


炭素種・硫黄種・溶存水素・溶存酸素濃度

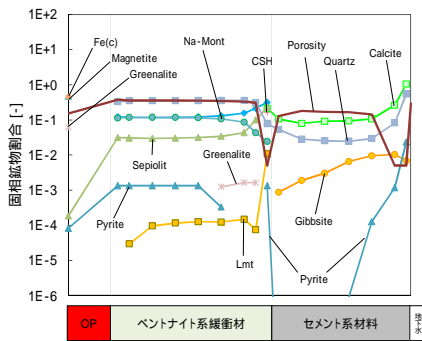
図 6.4-79 緩衝材領域における経時変化 (ケース M)



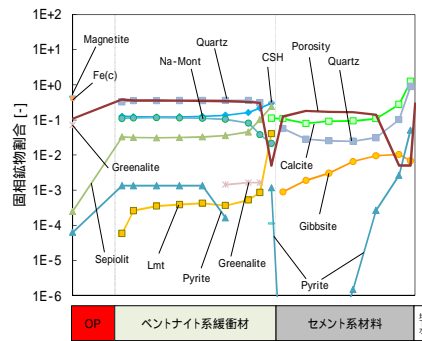
64,000 年後



90,000 年後



80,000 年後



100,000 年後

図 6.4-80 全領域における固相空間分布 (ケース M)

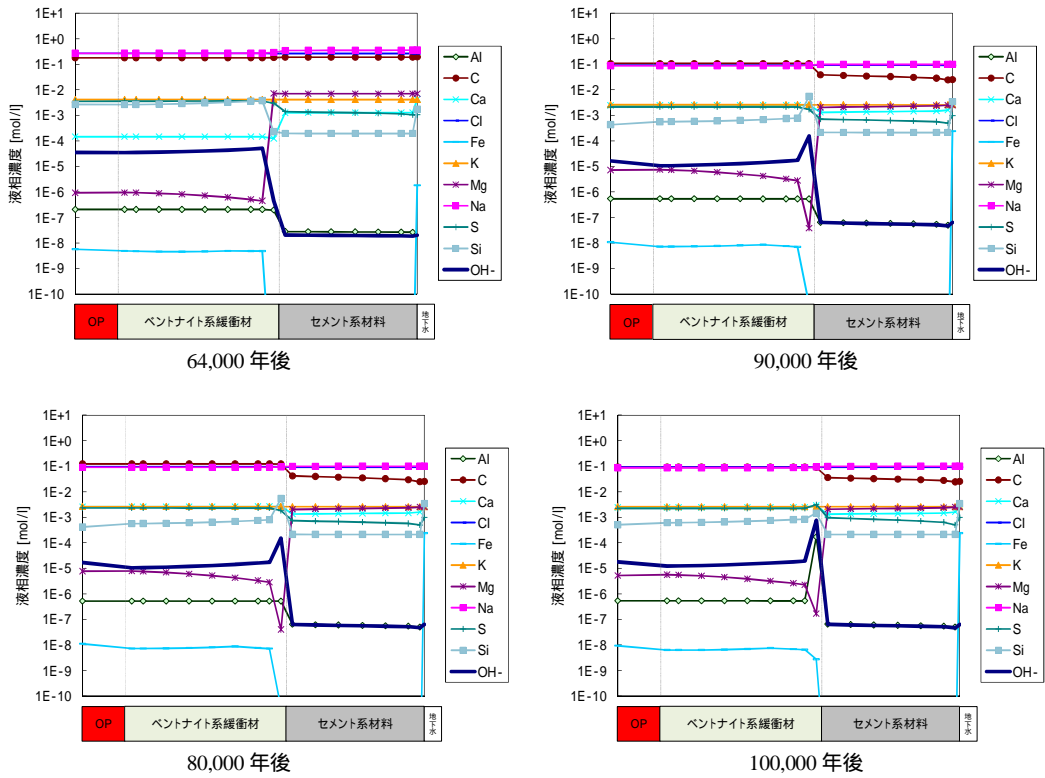


図 6.4-81 全領域における液相空間分布 (ケース M)

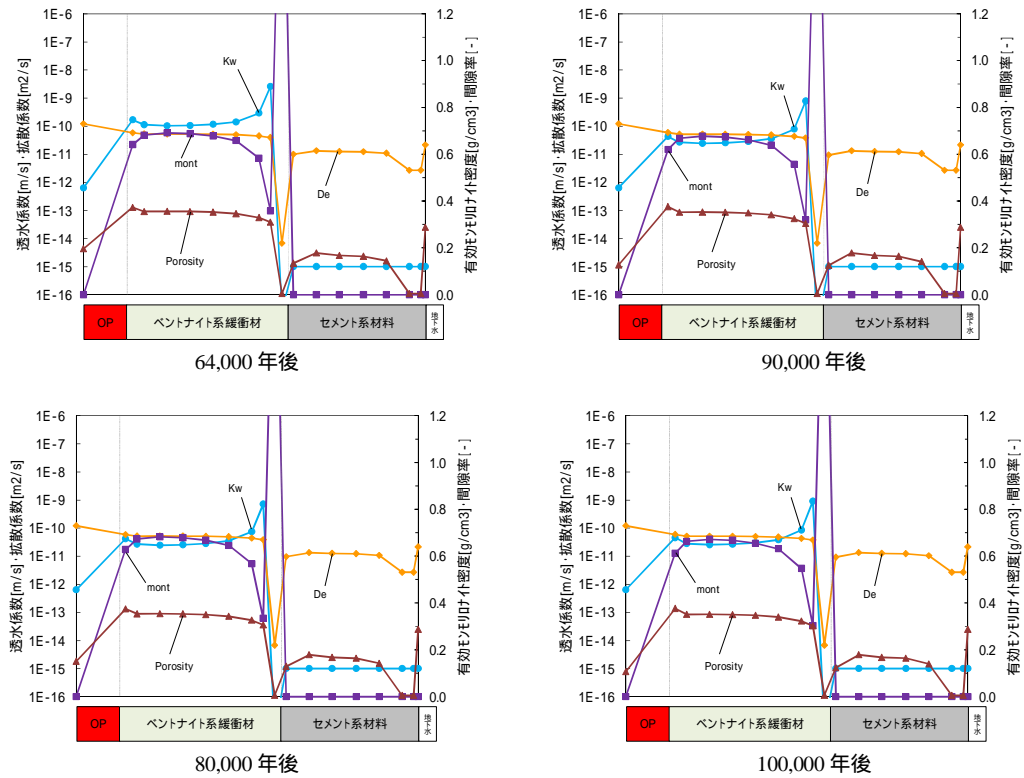


図 6.4-82 全領域における  $K_w \cdot De \cdot m \cdot Eps$  空間分布 (ケース M)

(4) 各評価へのデータリンケージ

(3) 項の解析結果より、各評価へ人工バリア解析データの提供を行った。提供するリンケージデータについては、6.2.1 項に示したデータを提供した。

(5) まとめ

6.4.1 項にて整理された 13 ケースについて、平成 24 年度の人工バリア解析結果を踏まえて時間の感度と人工バリア変遷挙動への影響を考慮し、かつ切り替え年数の近いケースについて検討した結果、6 ケースに集約を行った。この地下水質の切替年数の異なる 6 ケースについて緩衝材変質評価計算を実施し、人工バリア変遷挙動の考察を行った。緩衝材中のモンモリロナイト溶解が最も進んだケースはケース C およびケース E であり、切替年数が 10,000 年未満の場合に、支保工近辺の局所的な緩衝材領域での間隙率があまり低下しないまま上昇したことが要因と考えられる。切替年数がより長期なその他ケースについては、多少変遷挙動に差異がみられるが、全体的な人工バリア変遷挙動としては有意な差は認められなかった。ガラス溶解速度に影響を与えると考えられる Mg 濃度は、緩衝材近辺の支保工領域において、切替年数 9,000 年以降のケース E~M では  $10^{-3}$  mol/L オーダーの濃度がみられることから、マトリクス溶解の初期溶解速度に相当する速度となる可能性が示唆された。また、切替年数が長期となるケース H~M については、長期間高濃度が継続する結果となった。

#### 6.4.3 炭素鋼オーバーパックスの腐食寿命解析

隆起・侵食による地下水環境の変動を想定した場合におけるオーバーパックス腐食寿命解析は、6.3.2と同様の方法で実施した。その結果、すべてのケースにおいて局部腐食及び応力腐食割れは生起せずオーバーパックスの腐食形態は6.4.2で設定したすべてのケースに対して全面腐食となった。これらの中で腐食寿命評価に使用したモデル及びパラメータも6.3.2と同様であり、腐食寿命解析の結果得られたオーバーパックスの腐食寿命は4,000年となった。

#### 6.4.4 ガラス溶解速度評価

6.3.3(2)に前述したMg影響モデルの考え方にに基づき、各ケースにおけるガラス固化体の溶解速度を試算した結果、ケースA及びCについては、Mgイオンの影響はほぼ無視することができることから、ガラス固化体の溶解速度は $1.0 \times 10^{-3} \text{ g/m}^2/\text{day}$ に設定した。

一方、他のケースについては、約8000年度以降に、Mgイオンの影響によるガラス固化体の溶解速度が $1.0 \times 10^{-3} \text{ g/m}^2/\text{day}$ を超え、約9000年後にガラス固化体の全量が溶解する計算結果となることから、8000～9000年後においては、ガラス固化体が全量溶解するまでの平均溶解速度として $1.0 \times 10^{-1} \text{ g/m}^2/\text{day}$ を設定した。

各ケースにおけるガラス固化体の溶解速度の設定値と期間の関係を以下に示す(単位はいずれも $\text{g/m}^2/\text{day}$ )。

【ケースA】0～100000年：1.0E-3

【ケースC】0～100000年：1.0E-3

【ケースE】0～8000年：1.0E-3, 8000～9000年：1.0E-1(約9000年でガラス固化体消失)

【ケースH】0～8000年：1.0E-3, 8000～9000年：1.0E-1(約9000年でガラス固化体消失)

【ケースK】0～8000年：1.0E-3, 8000～9000年：1.0E-1(約9000年でガラス固化体消失)

【ケースM】0～8000年：1.0E-3, 8000～9000年：1.0E-1(約9000年でガラス固化体消失)

#### 6.4.5 核種移行パラメータ

##### (1) 溶解度

6.4.2の解析によって得られた各解析ケースの緩衝材中の間隙水組成に基づいて、6.3.4の(1)と同様の方法により放射性核種の溶解度を求めた。各解析ケースにおける溶解度の経時変化を図6.4-83に示す。

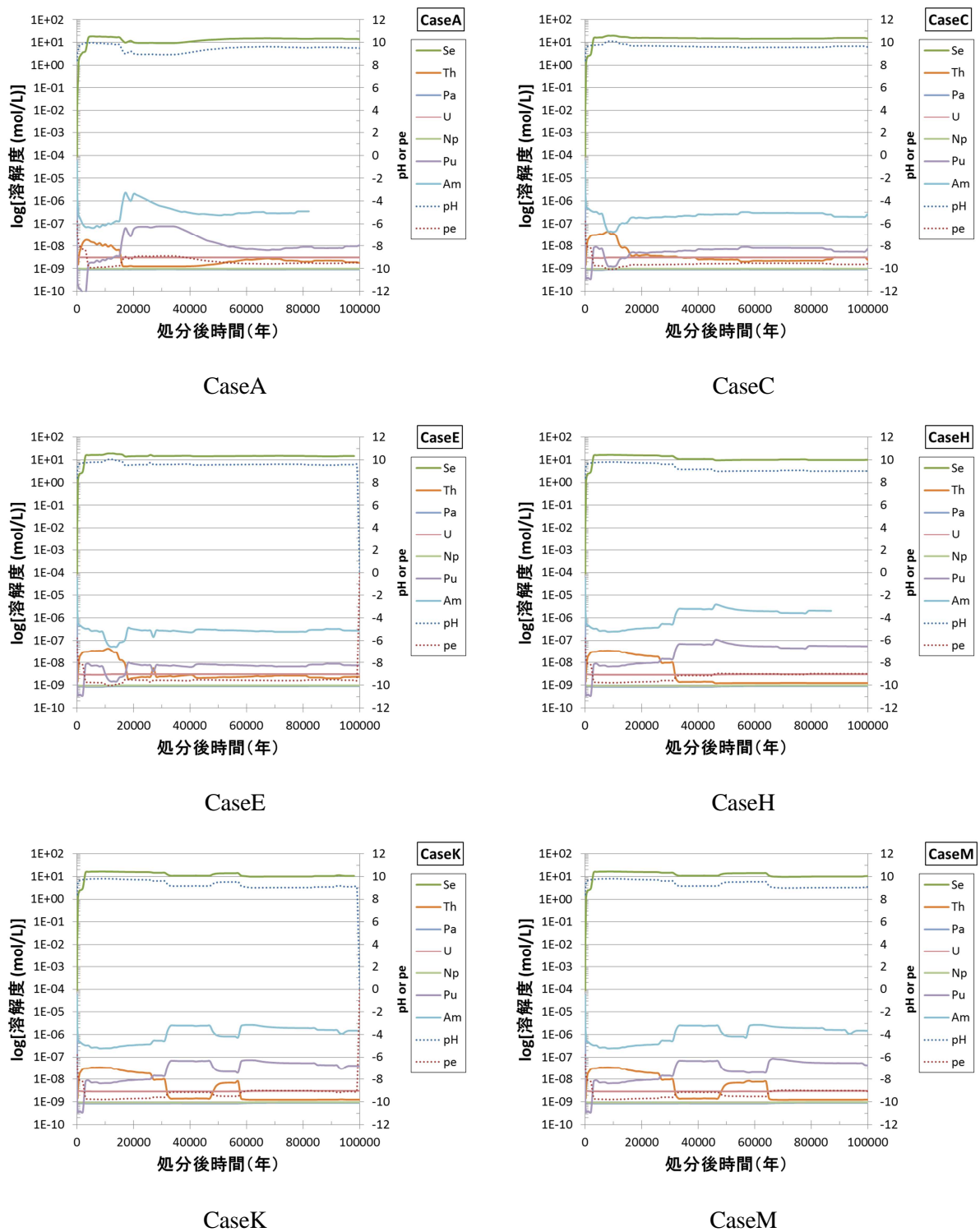
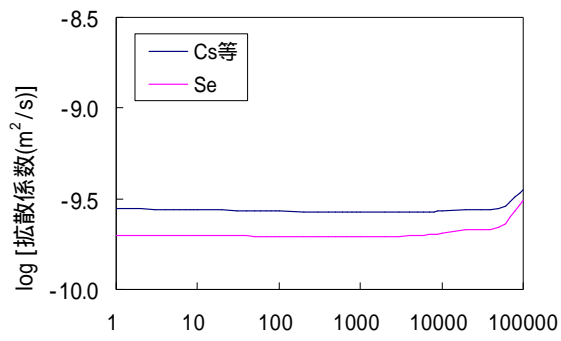


図 6.4-83 各解析ケースにおける溶解度の経時変化

(2) 拡散係数

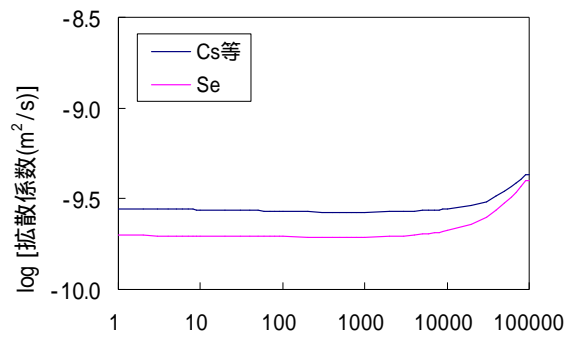
6.4.2 の解析によって得られた各解析ケースの緩衝材中の間隙水組成に基づいて、放射性核種の拡散係数を求めた。昨年度と同様に、Se は陰イオン排除モデルから、その他の元素は細孔拡散モデルから拡散係数を算出した<sup>(24)</sup>。各解析ケースにおける拡散係数の経時変化を図 6.4-84 に示す。





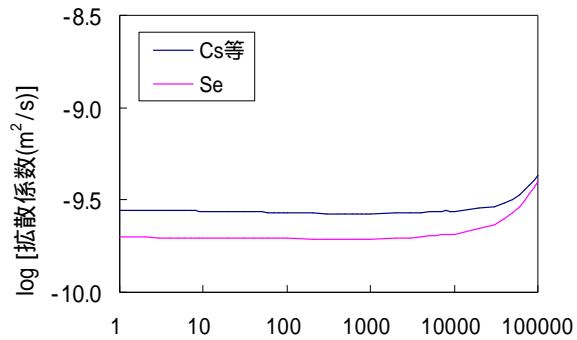
処分後時間 (年)

CaseA



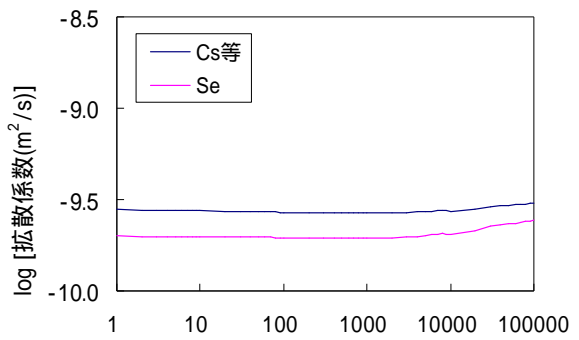
処分後時間 (年)

CaseC



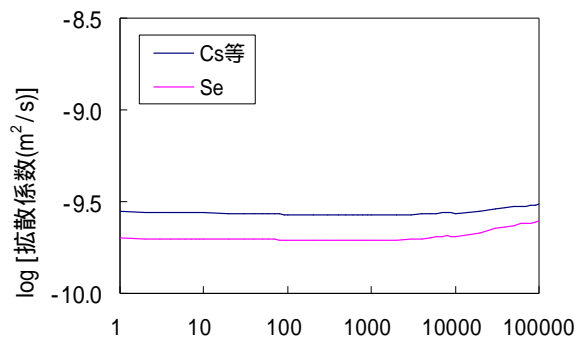
処分後時間 (年)

CaseE



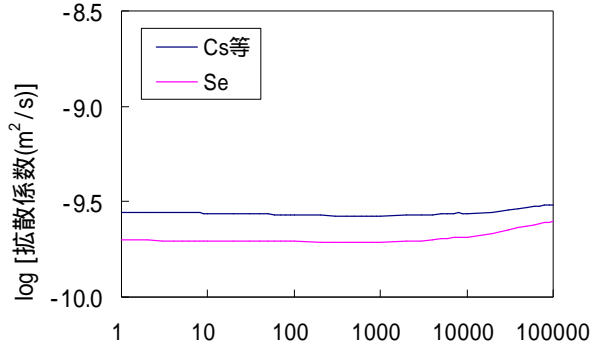
処分後時間 (年)

CaseH



処分後時間 (年)

CaseK



処分後時間 (年)

CaseM

図 6.4-84 各解析ケースにおける拡散係数の経時変化

(3) 収着分配係数：人工バリア

6.4.2 の解析によって得られた各解析ケースの緩衝材中の間隙水組成に基づいて、放射性核種の分配係数を求めた。昨年度と同様にモンモリロナイトを収着鉱物とし、Se は分配係数の実測値から、Cs はイオン交換モデルから分配係数を算出した<sup>(24)</sup>。Th については、モンモリロナイトおよび石英に対する実測値<sup>(25)</sup>から、環境条件によらず  $1 \text{ m}^3/\text{kg}$  一定とした。U、Np、Pu についても Th の化学的類似性より  $1 \text{ m}^3/\text{kg}$  一定とした。その他の元素については、JNC 第2次取りまとめ<sup>(26)</sup>の値を設定した。各解析ケースにおける Se、Cs の経時変化を図 6.4-85 に示す。なお、その他の元素の設定値は、6.3.4 (3) と同様である。

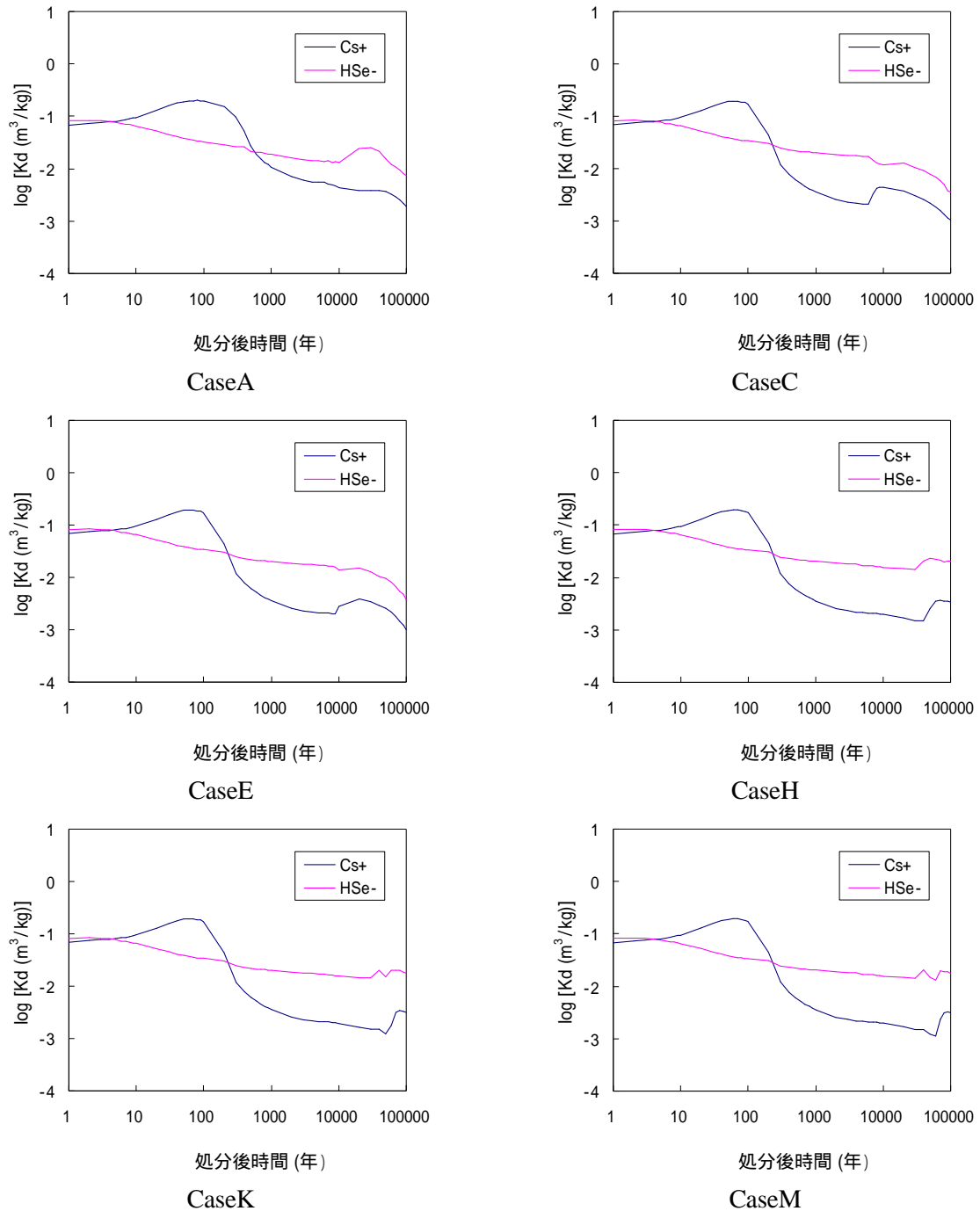


図 6.4-85 各解析ケースにおける Se および Cs の収着分配係数の経時変化

(4) 収着分配係数：天然バリア

天然バリアにおける収着分配係数の設定を表 6.4-24 に示す。Se、Cs に関しては、地質条件（表 6.4-4）と水質条件（表 6.4-3）に基づいて、昨年度及び本年度の評価モデルにより、分配係数を算出した。残りの Ra、Th（化学アナログ：Pa、U、Np、Pu）、Am（化学アナログ：Ac、Cm）に関しては、分配係数のデータベースから抽出した値と RAMDA<sup>(27)</sup>での設定値を比較した上で、最終的には RAMDA を参考に設定した。

表 6.4-24 天然バリアにおける収着分配係数の設定

< m <sup>3</sup> /kg >				
元素	地質条件	水質条件	設定値 [m <sup>3</sup> /kg]	設定根拠
Se	堆積岩1	降水系	2E-02	H25報告書 <sup>(25)</sup> (黄鉄鉱含有量0.3%から計算)
		海水系	2E-02	H25報告書 <sup>(25)</sup> (黄鉄鉱含有量0.3%から計算)
	堆積岩2	降水系	1E-01	H25報告書 <sup>(25)</sup> (黄鉄鉱含有量2.2%から計算)
		海水系	1E-01	H25報告書 <sup>(25)</sup> (黄鉄鉱含有量2.2%から計算)
	堆積岩3	降水系	3E-01	H25報告書 <sup>(25)</sup> (黄鉄鉱含有量6.1%から計算)
		海水系	3E-01	H25報告書 <sup>(25)</sup> (黄鉄鉱含有量6.1%から計算)
Cs	堆積岩1	降水系	6E-01	H24報告書 <sup>(24)</sup> (イライト1.3%、塩濃度0.1Mとして計算)
		海水系	2E-01	H24報告書 <sup>(24)</sup> (イライト1.3%、塩濃度0.3Mとして計算)
	堆積岩2	降水系	1E+00	H24報告書 <sup>(24)</sup> (イライト2.2%、塩濃度0.1Mとして計算)
		海水系	4E-01	H24報告書 <sup>(24)</sup> (イライト2.2%、塩濃度0.3Mとして計算)
	堆積岩3	降水系	1E+00	H24報告書 <sup>(24)</sup> (イライト3.2%、塩濃度0.1Mとして計算)
		海水系	5E-01	H24報告書 <sup>(24)</sup> (イライト3.2%、塩濃度0.3Mとして計算)
Ra	泥質岩	降水系	5E-01	データベースに収録された全てのRaのデータ数 (Kd>0m <sup>3</sup> /kg)のうち泥質岩に分類される岩石は、泥岩25、粘土岩5、不明4、計34であったが、測定データの情報が不足しているため、泥岩(25)のみを対象とした。また、降水系(酸性性雰囲気:14)と海水系(還元性雰囲気:11)で分けた場合、データに顕著な差がみられた。そこで、降水系条件のものに限定し(25件 14件)、統計値(対数平均:4E-1m <sup>3</sup> /kg、最小値:2E-1m <sup>3</sup> /kg、最大値:5E-1m <sup>3</sup> /kg)を算出した。その結果、得られた対数平均値はRAMDAにおける設定値(5E-1m <sup>3</sup> /kg)と同程度であったため、最終的にRAMDAの値を採用した。
		海水系	5E-02	データベースに収録された全てのRaのデータ数 (Kd>0m <sup>3</sup> /kg)のうち泥質岩に分類される岩石は、泥岩25、粘土岩5、不明4、計34であったが、測定データの情報が不足しているため、泥岩(25)のみを対象とした。また、降水系(酸性性雰囲気:14)と海水系(還元性雰囲気:11)で分けた場合、データに顕著な差がみられた。そこで、海水系条件のものに限定し(25件 11件)、統計値(対数平均:2E-2m <sup>3</sup> /kg、最小値:7E-3m <sup>3</sup> /kg、最大値:3E-2m <sup>3</sup> /kg)を算出した。その結果、得られた対数平均値はRAMDAにおける設定値(5E-2m <sup>3</sup> /kg)と同程度であったため、最終的にRAMDAの値を採用した。
Ac	泥質岩	降水系	5E+00	Amの化学アナログとして設定した。
		海水系	5E+00	Amの化学アナログとして設定した。
Th	泥質岩	降水系	1E+00	H25報告書 <sup>(25)</sup> (pHと長石含有量から計算)、一般の泥岩には0.3m <sup>3</sup> /kgを適用。どちらが適切か要検討。
		海水系	1E+00	
Pa	泥質岩	降水系	1E+00	Thのアナログ
		海水系	1E+00	
U	泥質岩	降水系	1E+00	Thのアナログ
		海水系	1E+00	
Np	泥質岩	降水系	1E+00	Thのアナログ
		海水系	1E+00	
Pu	泥質岩	降水系	1E+00	Thのアナログ
		海水系	1E+00	
Am	泥質岩	降水系	5E+00	データベースに収録された全てのAmのデータ数 (Kd>0m <sup>3</sup> /kg)のうち泥質岩に分類される岩石は、粘板岩95のみであった。また、液相分類は降水系(酸性性:86、不明:9)のみであった。そこで、上記のデータについて統計値(対数平均:8E+1m <sup>3</sup> /kg、最小値:2E+0m <sup>3</sup> /kg、最大値:8E+2m <sup>3</sup> /kg)を算出した。その結果、得られた対数平均値はRAMDAにおける設定値(5E+0m <sup>3</sup> /kg)より高い値であったため、保守性を考慮して最終的にRAMDAの値を採用した。
		海水系	5E+00	データベースに収録された全てのAmのデータ数 (Kd>0m <sup>3</sup> /kg)のうち泥質岩に分類される岩石は、粘板岩95のみであった。また、液相分類は降水系(酸性性:86、不明:9)のみであるが、RAMDAでは降水系と海水系で同じ値が設定されているため、降水系の値をそのまま海水系の値として採用した。
Cm	泥質岩	降水系	5E+00	Amの化学アナログとして設定した。
		海水系	5E+00	Amの化学アナログとして設定した。

#### 6.4.6 ニアフィールド地下水流動

緩衝材変質の進行に伴う緩衝材中の地下水流速の変化を評価するため、「6.4.2 緩衝材変質・間隙水組成の変遷評価」において評価された変質した緩衝材中の透水係数及び間隙率の空間的・時間的变化の条件を基に、多孔質系媒体中の地下水流動解析コード MIG2DF<sup>(28)</sup>及び地下水流路解析コード PASS-TRAC を用いて、変質した緩衝材及びその周辺岩盤を解析領域とする地下水流動解析を実施した。さらに、GSRW-PSA による人工バリア内の 1 次元核種移行解析の入力の 1 つとなる緩衝材中の地下水流速を決定するため、地下水流動解析の結果に対し、緩衝材中に設定した粒子に対する移行経路解析を行い、その結果から緩衝材中の実流速を決定した。その解析条件、解析結果の詳細については、Appendix -G に記述した。すべての解析ケースにおいて、変質した緩衝材中の核種移行は拡散支配となった。

#### 6.4.7 核種移行解析

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した。

本年度は、昨年度と同様の、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。

##### (1) 解析条件

##### (a) 評価シナリオ及び解析ケースの設定

埋設深度300mで処分場位置より上側に塩水/降水境界が存在する場合を例として、隆起・侵食シナリオの概念図を図6.4-86に示す。隆起・侵食シナリオにおいて考慮した前提・解析条件を以下に示す。

- ・ 隆起速度は各ケース一律に、0.3m/千年(0.3mm/年)とし、侵食を考慮するケースでは、侵食速度を0.3m/千年(0.3mm/年)と想定する。ただし、隆起・侵食の生じる期間は、6.4.1の地下水流動解析における評価期間である50万年までと仮定し、それ以降の隆起・侵食現象は不確実性が大きいものとして、考慮しないものとした。
- ・ 隆起・侵食に伴い処分後の地下水流動系については、6.4.1の解析結果に基づいて、移行距離及び地下水流速の時間的な変化を考慮する。また、処分環境条件に関しても、6.4.1の解析結果を基に次のように設定する。
  - 人工バリアの地下水条件に関しては、6.4.1において評価した処分場位置と塩水/降水境界の関係の時間的な変化を基に、塩水/降水境界の下側にある場合を塩水系とし、上側にある場合を降水系とする。
  - 天然バリアも同様に、移行経路のうち、塩水/降水境界の上流側(処分場側)にある部分を塩水系、下流側(地表側)にある部分を降水系として、その時間変化を考慮する。なお、酸化還元条件については、サイトの特性を考慮してすべて還元性雰囲気とする。また、移行経路上の地質の空間分布の時間的な変化を考慮して、核種移行パラメータ(分配係数、間隙率)を設定する。
- ・ 6.4.1の評価において使用した堆積岩からなる母岩中に処分場が建設されるものとし、処分場の埋設位置のオプションとして、6.4.1で設定した以下の8箇所を想定する。
  - P1(埋設深度:300m、初期水理区分:H2、初期地下水条件:塩水系)
  - P2(埋設深度:300m、初期水理区分:H3、初期地下水条件:降水系)
  - P3(埋設深度:300m、初期水理区分:H2、初期地下水条件:降水系)
  - P4(埋設深度:400m、初期水理区分:H2、初期地下水条件:降水系)
  - P5(埋設深度:400m、初期水理区分:H2、初期地下水条件:降水系)
  - P6(埋設深度:500m、初期水理区分:H1、初期地下水条件:塩水系)
  - P7(埋設深度:500m、初期水理区分:H2、初期地下水条件:塩水系)
  - P8(埋設深度:600m、初期水理区分:H1、初期地下水条件:塩水系)このうち、処分場位置での初期地下水条件が塩水系であるP1、P6、P7、P8に関しては、塩水/降水境界の時間変化により、処分場位置よりも塩水/降水境界が下側に到達

した場合は、降水系に変化させる。また、P1、 P6、 P7、 P8 に関して、処分場から塩水/降水境界までの天然バリアでの移行経路は塩水系条件、塩水/降水境界から地表面までは降水系条件とし、その経路の領域は塩水/降水境界の時間変化とともに変化させるものとする。

- 天然バリアの核種移行に関して、侵食の影響として移行距離の減少を考慮し、侵食により削剥された土砂中の核種については、別途、土砂の削剥速度により天然バリアからの移行フラックスとして評価する。ただし、本年度の解析では、後述するように、評価核種に関して、天然バリアの出口に到達する時刻は、隆起・侵食を考慮する期間である50万年よりも後になるため、侵食に伴う削剥された土砂によるフラックス成分は、評価上、計算されなかった。

以上の前提・解析条件と、6.4.1における地下水流動の解析ケースと想定する処分場位置に基づいて、隆起・侵食シナリオにおける核種移行の解析ケースを表 6.4-25 のように設定した。

ここで、Case1、2では、一様隆起のみを考慮するものとし、Case1と2の違いは、透水異方向性に関して、Case1が考慮しない、Case2が考慮するケースである。また、Case3、4はCase1、2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、7、8、10は、Case1、2、3、4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。つまり、地下水流動における8つの解析ケース(Case1、2、3、4、5、7、8、10)×8箇所の処分場位置(P1、2、3、4、5、6、7、8)の計64ケースである。

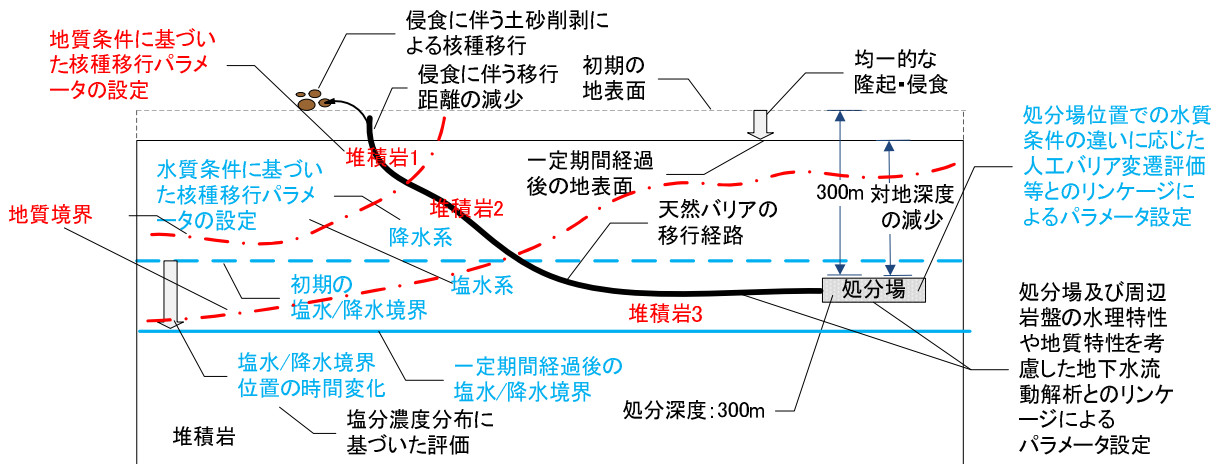


図 6.4-86 隆起・侵食シナリオの概念図：埋設深度 300m で処分場位置より上側に塩水/降水境界が存在する場合

表 6.4-25 隆起・侵食シナリオの解析ケース

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]	処分場位置での地下水環境条件	緩衝材変質・間隙水組成の変遷評価における解析ケース	ニアフィールド地下水流動における解析ケース
Case1	一様隆起	0.3	0	×	P1	H2	-300	塩水系 降水系	E	H2:E
					P2	H3	-300	降水系	A	H3:A
					P3	H2	-300	降水系	A	H2:A
					P4	H2	-400	降水系	A	H2:A
					P5	H2	-400	降水系	A	H2:A
					P6	H1	-500	塩水系 降水系	K	H1:K
					P7	H2	-500	塩水系 降水系	C	H2:C
					P8	H1	-600	塩水系 降水系	E	H1:E
Case2	一様隆起	0.3	0		P1	H2	-300	塩水系 降水系	E	H2:E
					P2	H3	-300	降水系	A	H3:A
					P3	H2	-300	降水系	A	H2:A
					P4	H2	-400	降水系	A	H2:A
					P5	H2	-400	降水系	A	H2:A
					P6	H1	-500	塩水系 降水系	M	H1:M
					P7	H2	-500	塩水系 降水系	C	H2:C
					P8	H1	-600	塩水系 降水系	E	H1:E
Case3	一様隆起	0.3	0.3	×	P1	H2	-300	塩水系 降水系	E	H2:E
					P2	H3	-300	降水系	A	H3:A
					P3	H2	-300	降水系	A	H2:A
					P4	H2	-400	降水系	A	H2:A
					P5	H2	-400	降水系	A	H2:A
					P6	H1	-500	塩水系 降水系	H	H1:H
					P7	H2	-500	塩水系 降水系	C	H2:C
					P8	H1	-600	塩水系 降水系	E	H1:E
Case4	一様隆起	0.3	0.3		P1	H2	-300	塩水系 降水系	E	H2:E
					P2	H3	-300	降水系	A	H3:A
					P3	H2	-300	降水系	A	H2:A
					P4	H2	-400	降水系	A	H2:A
					P5	H2	-400	降水系	A	H2:A
					P6	H1	-500	塩水系 降水系	H	H1:H
					P7	H2	-500	塩水系 降水系	C	H2:C
					P8	H1	-600	塩水系 降水系	E	H1:E
Case5	傾動隆起	0.3	0	×	P1	H2	-300	塩水系 降水系	E	H2:E
					P2	H3	-300	降水系	A	H3:A
					P3	H2	-300	降水系	A	H2:A
					P4	H2	-400	降水系	A	H2:A
					P5	H2	-400	降水系	A	H2:A
					P6	H1	-500	塩水系 降水系	K	H1:K
					P7	H2	-500	塩水系 降水系	C	H2:C
					P8	H1	-600	塩水系 降水系	E	H1:E
Case7	傾動隆起	0.3	0		P1	H2	-300	塩水系 降水系	E	H2:E
					P2	H3	-300	降水系	A	H3:A
					P3	H2	-300	降水系	A	H2:A
					P4	H2	-400	降水系	A	H2:A
					P5	H2	-400	降水系	A	H2:A
					P6	H1	-500	塩水系 降水系	M	H1:M
					P7	H2	-500	塩水系 降水系	C	H2:C
					P8	H1	-600	塩水系 降水系	E	H1:E
Case8	傾動隆起	0.3	0.3	×	P1	H2	-300	塩水系 降水系	C	H2:C
					P2	H3	-300	降水系	A	H3:A
					P3	H2	-300	降水系	A	H2:A
					P4	H2	-400	降水系	A	H2:A
					P5	H2	-400	降水系	A	H2:A
					P6	H1	-500	塩水系 降水系	H	H1:H
					P7	H2	-500	塩水系 降水系	C	H2:C
					P8	H1	-600	塩水系 降水系	E	H1:E
Case10	傾動隆起	0.3	0.3		P1	H2	-300	塩水系 降水系	E	H2:E
					P2	H3	-300	降水系	A	H3:A
					P3	H2	-300	降水系	A	H2:A
					P4	H2	-400	降水系	A	H2:A
					P5	H2	-400	降水系	A	H2:A
					P6	H1	-500	塩水系 降水系	K	H1:K
					P7	H2	-500	塩水系 降水系	C	H2:C
					P8	H1	-600	塩水系 降水系	E	H1:E

## ( b ) 評価モデルの概要

以下に、GSRW-PSA コードの評価モデルの概要を示す。なお、使用した評価モデルは、「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」<sup>(29)</sup>において整備したものである。また、天然バリアにおける水質条件及び地質条件の空間分布の時間的な変化機能は、本年度の「6.2.2(3) 確率論的安全評価コード(GSRW-PSA)の拡張」において整備した機能を用いた。

### 人工バリア

人工バリアの核種移行解析では、人工バリアの構成要素である廃棄体(ガラス固化体)オーバーパック領域、緩衝材を一次元体系として、これらの連続したコンパートメントとして考えることにより核種移行解析を行った。オーバーパックが破損するまでは、ガラス固化体中での核種の減衰の効果を考慮した。オーバーパックの破損後、ガラスの溶解により核種がオーバーパック領域に放出され、移流・拡散により緩衝材へと移行する。オーバーパック領域での収着及び溶解度限度による制限は考慮しない。緩衝材間隙水中の核種は、収着(分配係数)及び溶解度限度により間隙水中濃度が制限され、移流・拡散により移行する。ここで、溶解度限度に関しては、安定同位体核種が存在する場合は、放射性核種との濃度比に応じた溶解度限度を考慮した。なお、核種の収着及び溶解/沈殿の現象は瞬時/可逆を仮定した。人工バリアからの地下水移行による移行フラックスは、緩衝材と周辺岩盤の境界濃度をゼロとし、緩衝材と周辺岩盤の間の濃度勾配を最大化することで、拡散の効果を保守的に見積もった値として算出した。

また、処分場位置における環境条件の時間的な変化は、核種移行パラメータの時間的な変化としてリンケージさせた。

なお、隆起・侵食シナリオの侵食を考慮したケースに関して、本解析では、50 万年後の継続的な隆起・侵食を仮定しないため、昨年度において想定した処分場が地表面に到達するという現象は、考慮しないものとした。

### 天然バリア

天然バリアの核種移行解析では、地層処分サイトが堆積岩からなるものと想定しているため、亀裂の少ない地層あるいは亀裂帯のように亀裂頻度が極めて高い地層中における核種移行の評価に適用される、多孔質媒体近似モデルを用いた。多孔質媒体近似モデルでは、間隙率を含む均質な移行媒体での移行を評価する。多孔質媒体中の核種移行として、地質媒体中の移流及び分散・拡散、地質媒体への瞬時/可逆を仮定した収着遅延による移行現象を考慮した。上流側の境界条件はディリクレ境界条件、下流側の境界条件はコーシー境界条件として、天然バリアからの地下水移行による移行フラックスを算出した。

また、天然バリアにおける環境条件の時間的・空間的な変化は、核種移行パラメータの時間的・空間的な変化としてリンケージさせた。

なお、隆起・侵食シナリオの侵食を考慮したケースでは、侵食により、天然バリアにおける移行距離が減少していくとともに、移行距離の減少に応じた土砂削剥による移行フラックスも別途評価する必要がある。その場合は、間隙水中の核種に加えて、削剥される媒体中に収着している核種も含めて核種量を求め、移行距離の削剥速度により移行フラックスの評価を行った。ただし、天然バリアの出口に到達する時刻(特に、ピーク出現時刻)は、隆起・侵食を考慮する期間である 50 万年よりも後になるため、侵食に伴う削剥された土砂によるフラックス成分は、評価上、計算されなかった。



( c ) 核種移行パラメータ

核種移行解析において使用するパラメータは、6.4.1 から 6.4.6 までの解析及び検討により得られた結果に基づいて設定した。基本的には、6.4.1 から 6.4.6 で得られた核種移行パラメータの時間的な変化をそのまま核種移行解析にリンクさせた。なお、6.4.1 から 6.4.6 で得られる各評価結果は、それぞれの時間刻みで評価しているため、評価時刻間の変化を線形直線内挿により補間した。また、天然バリアにおける核種移行解析では、水理条件及び地質条件の空間分布の時間的な変化も考慮して、リンクを行った。以下では、人工バリア及び天然バリアの核種移行解析で使用する主要なパラメータの設定の概要を示す。なお、評価対象核種及びインベントリ(表 6.3-8)は 6.3.6 ( 1 )( b )と同様である。

人工バリア

隆起・侵食シナリオのための緩衝材変質・間隙水組成の変遷評価における解析ケースと設定パラメータを表 6.4-26 に示す。隆起・侵食シナリオの核種移行解析では、表 6.4-25 に示した解析ケースに対して、表 6.4-26 に示した緩衝材変質・間隙水組成の変遷評価における解析ケースと設定パラメータを組合せて設定する。なお、表 6.4-26 中の設定パラメータにおける A、C、E、H、K、M は、6.4.1 から 6.4.5 までの各評価結果におけるパラメータの時間変化を考慮することを意味している。ただし、緩衝材中の地下水流速は、処分位置における水理条件との組合せにより、設定パラメータが異なるため、表 6.4-25 における「ニアフィールド地下水流動のための解析ケース」に対応させて、6.4.6 の評価結果におけるパラメータの時間変化を基に設定した。間隙率の時間的な変化は、拡散係数の評価で用いたものを設定した(図 6.4-87)。

なお、本項において、特に断りがなく解析ケースという場合は、表 6.4-25 における隆起・侵食シナリオの核種移行解析ケース( Case1、2、3、4、5、7、8、10)のことを指し、表 6.4-26 に示された解析ケース(A、C、E、H、K、M)は緩衝材変質・間隙水組成の変遷評価における解析ケースと呼んで区別する。

表 6.4-26 隆起・侵食シナリオのための緩衝材変質・間隙水組成の変遷評価における解析ケースと人工バリアの設定パラメータ

緩衝材変質・間隙水組成の変遷評価				人工バリアの設定パラメータ							
解析ケース	設定条件			OP腐食形態・寿命	ガラス溶解速度 (kg/m <sup>2</sup> /y)	溶解度 (mol/m <sup>3</sup> )	拡散係数 (m <sup>2</sup> /y)	分配係数 (m <sup>3</sup> /kg)	間隙率 (-)	緩衝材中の地下水流速 (m/y)	
	温度 (°C)	支保工厚さ (cm)	地下水特性								初期間隙水特性
A	25	60	降水系・無酸素	純水・無酸素	全面腐食 4,000年	$3.65 \times 10^{-4}$ (4,000年~)	A	A	A	A	処分場位置における水理条件との組合せ
C	25	60	塩水系(0年~6,000年) 降水系(6,000年~) ・無酸素	純水・無酸素	全面腐食 4,000年	$3.65 \times 10^{-4}$ (4,000年~)	C	C	C	C	処分場位置における水理条件との組合せ
E	25	60	塩水系(0年~9,000年) 降水系(9,000年~) ・無酸素	純水・無酸素	全面腐食 4,000年	$3.65 \times 10^{-4}$ (4,000年~8,000年) $3.65 \times 10^{-2}$ (8,000年~)	E	E	E	E	処分場位置における水理条件との組合せ
H	25	60	塩水系(0年~45,000年) 降水系(45,000年~) ・無酸素	純水・無酸素	全面腐食 4,000年	$3.65 \times 10^{-4}$ (4,000年~8,000年) $3.65 \times 10^{-2}$ (8,000年~)	H	H	H	H	処分場位置における水理条件との組合せ
K	25	60	塩水系(0年~57,000年) 降水系(57,000年~) ・無酸素	純水・無酸素	全面腐食 4,000年	$3.65 \times 10^{-4}$ (4,000年~8,000年) $3.65 \times 10^{-2}$ (8,000年~)	K	K	K	K	処分場位置における水理条件との組合せ
M	25	60	塩水系(0年~64,000年) 降水系(64,000年~) ・無酸素	純水・無酸素	全面腐食 4,000年	$3.65 \times 10^{-4}$ (4,000年~8,000年) $3.65 \times 10^{-2}$ (8,000年~)	M	M	M	M	処分場位置における水理条件との組合せ

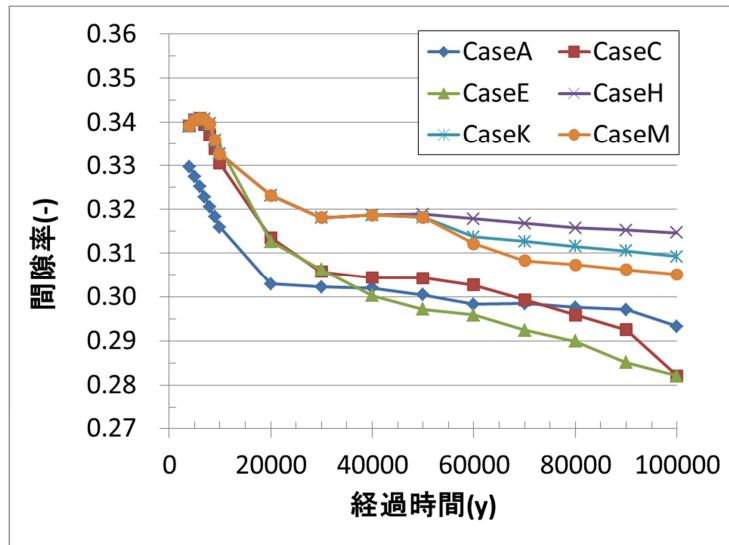


図 6.4-87 緩衝材変質・間隙水組成の変遷評価の解析ケースごとの間隙率の時間的な変化

## 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	一様隆起	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	一様隆起	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	一様隆起	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	一様隆起	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

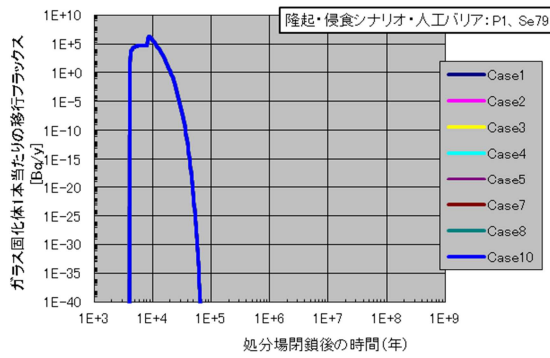
## (2) 解析結果

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。

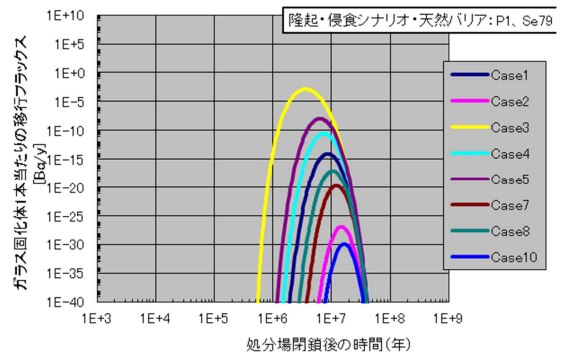
まず、人工バリアからの移行フラックスに関しては、地下水流動の解析ケースによらず、ほぼ処分場位置で決まっていることがわかる。つまり、Se79 及び Cs135 では、処分場位置 P1 や P6、P8 において、塩水条件にさらされる期間が長く、その結果ガラス溶解速度が 2 桁増加するため、塩水条件にさらされる期間の短い P7 や常に降水条件である P2、P3、P4 に比べて、人工バリアからの移行フラックスも 2 桁程度高くなった。一方、Np237 に関しては、ガラス溶解速度の影響は比較的小さく、ほぼ溶解度により決定され、塩水条件にさらされる期間の長い処分場位置 P1 や P6、P8 では、溶解度が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

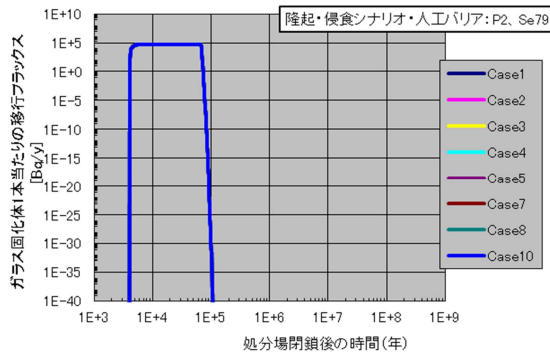
( a ) Se79



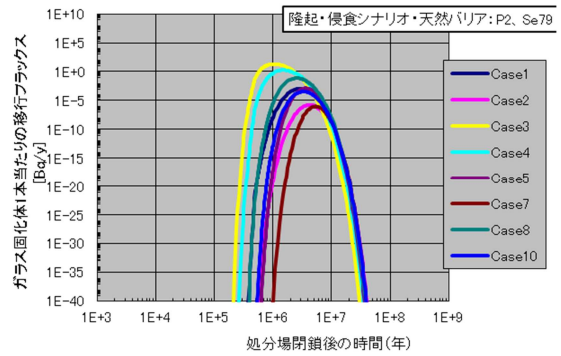
(1a) P1 : 人工バリア



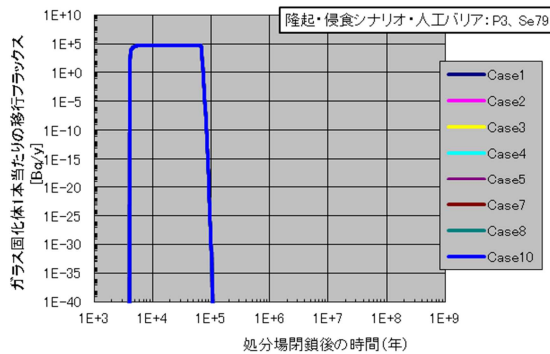
(1b) P1 : 天然バリア



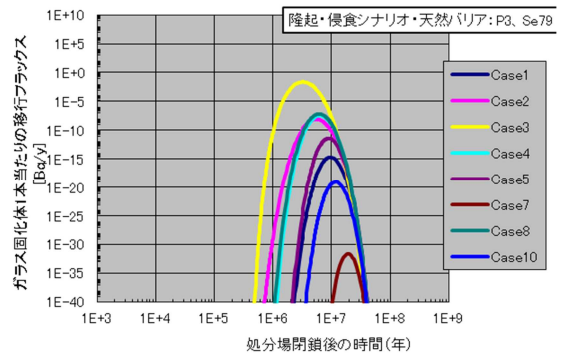
(2a) P2 : 人工バリア



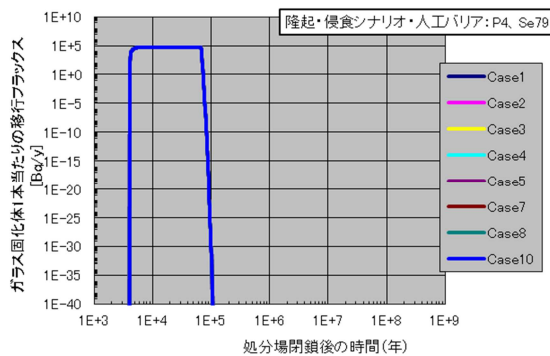
(2b) P2 : 天然バリア



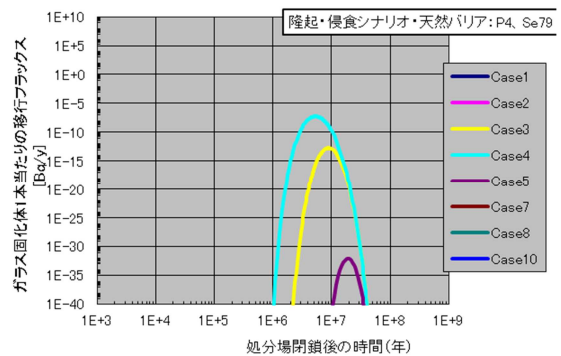
(3a) P3 : 人工バリア



(3b) P3 : 天然バリア

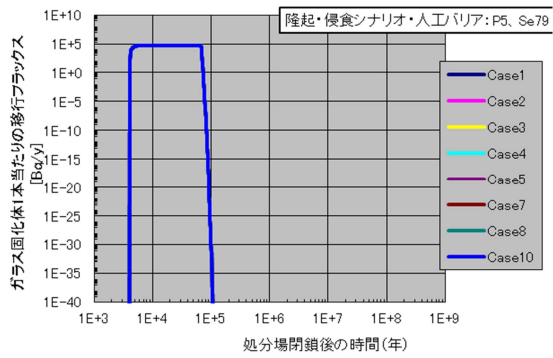


(4a) P4 : 人工バリア

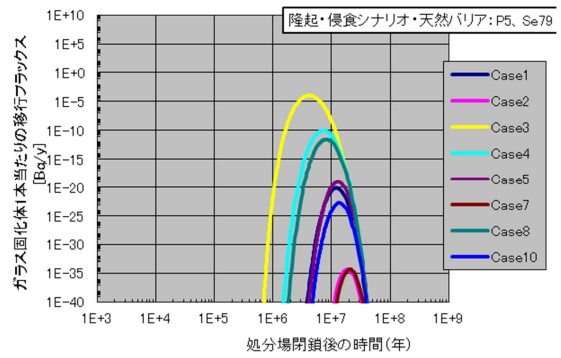


(4b) P4 : 天然バリア

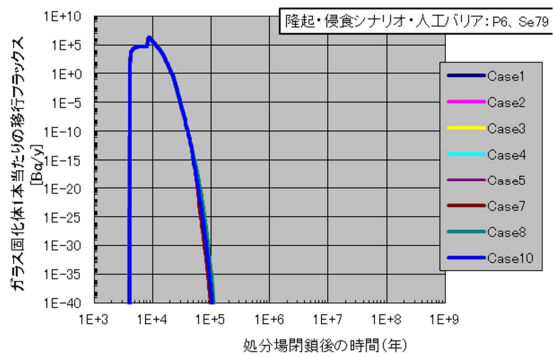
図 6.4-88 隆起・侵食シナリオの各処分場位置 (P1 ~ P8) における各バリアからのガラス固化体 1 本当たりの地下水移行による移行フラックスの解析ケース間の比較 : Se79 ( 1/2 )



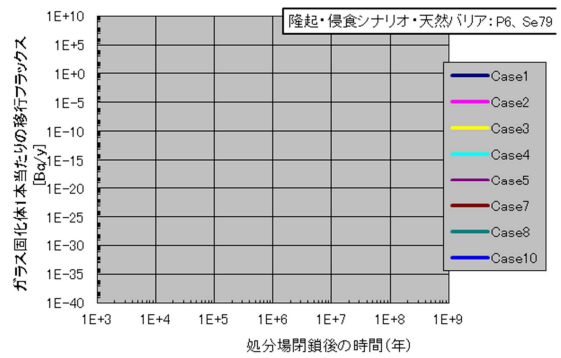
(5a) P5 : 人工バリア



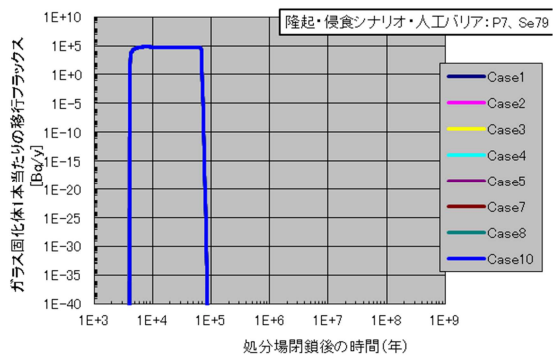
(5b) P5 : 天然バリア



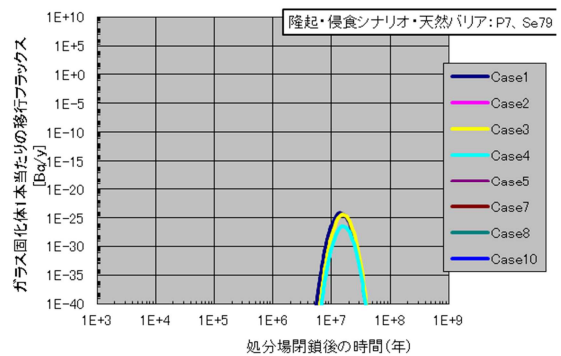
(6a) P6 : 人工バリア



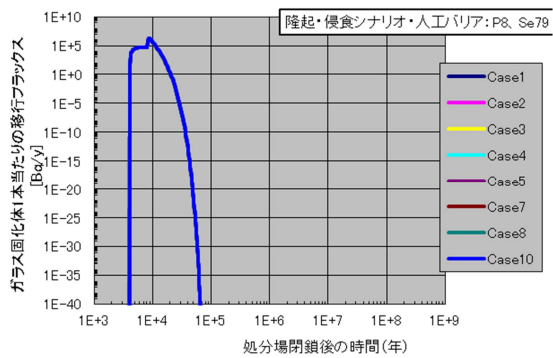
(6b) P6 : 天然バリア



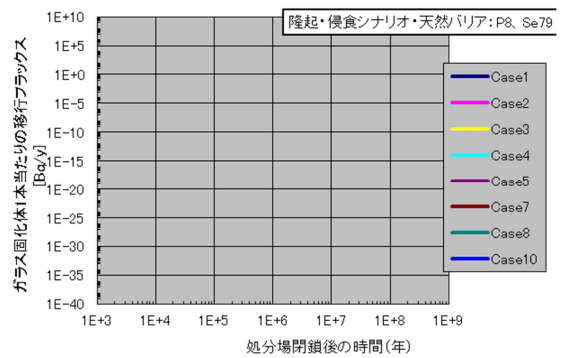
(7a) P7 : 人工バリア



(7b) P7 : 天然バリア



(8a) P8 : 人工バリア

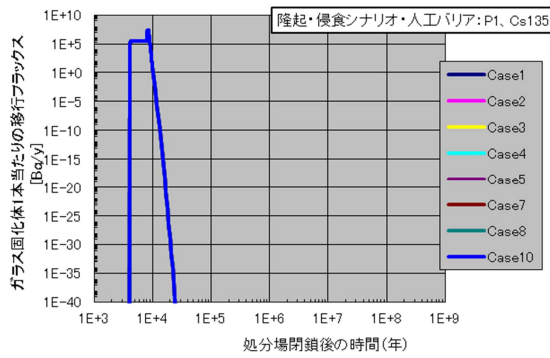


(8b) P8 : 天然バリア

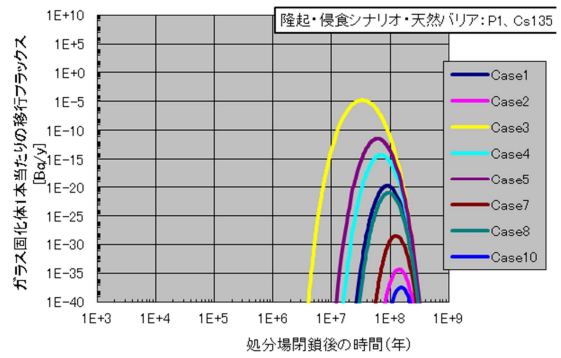
図 6.4-88 隆起・侵食シナリオの各処分場位置 (P1 ~ P8) における各バリアからのガラス固化体 1 本当たりの地下水移行による移行フラックスの解析ケース間の比較 : Se79 (2/2)



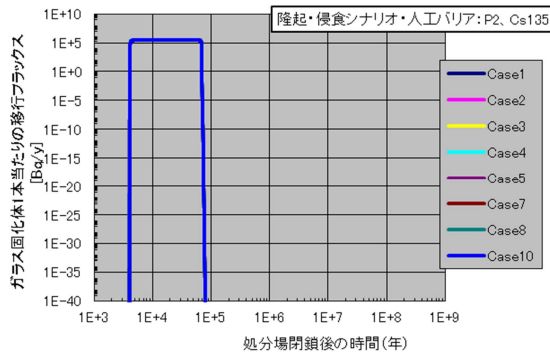
( b ) Cs135



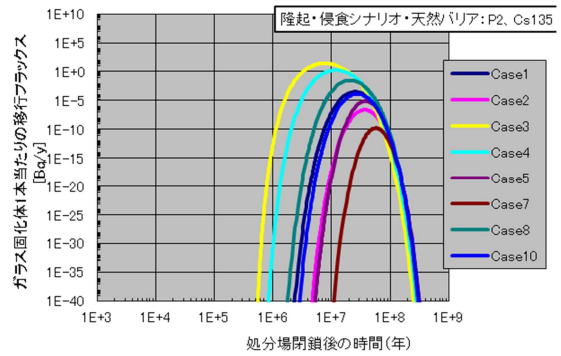
(1a) P1 : 人工バリア



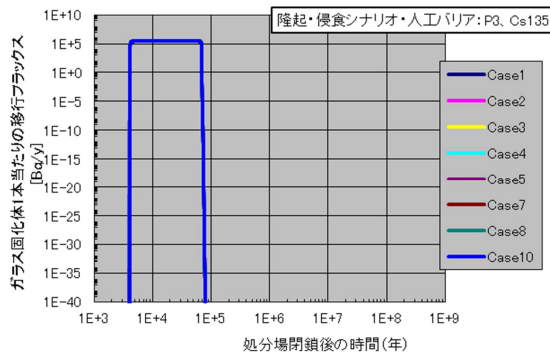
(1b) P1 : 天然バリア



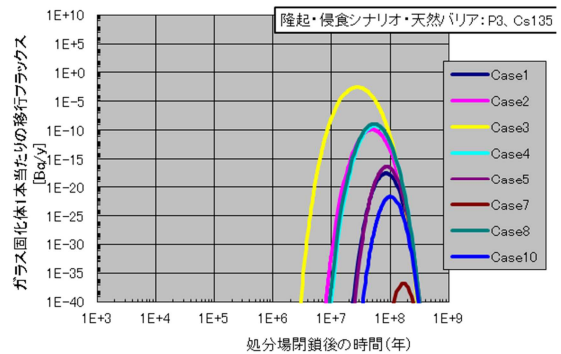
(2a) P2 : 人工バリア



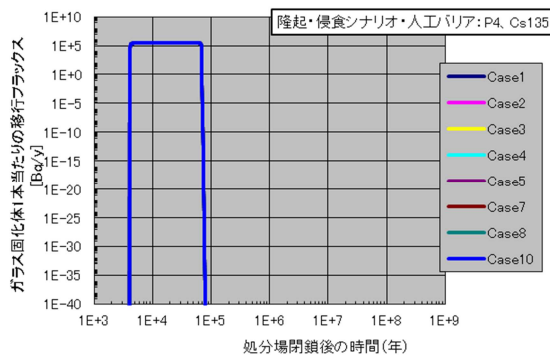
(2b) P2 : 天然バリア



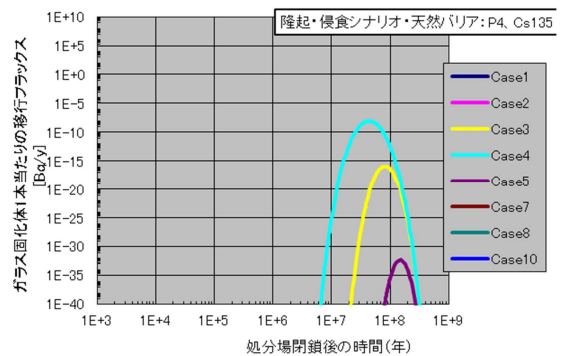
(3a) P3 : 人工バリア



(3b) P3 : 天然バリア



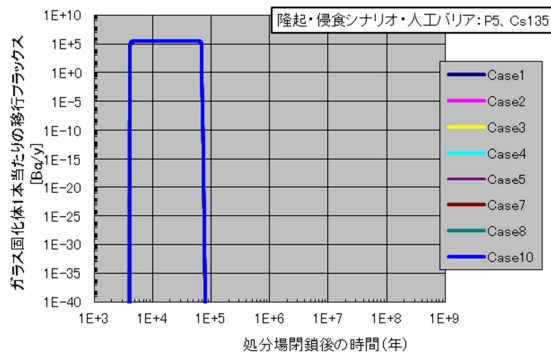
(4a) P4 : 人工バリア



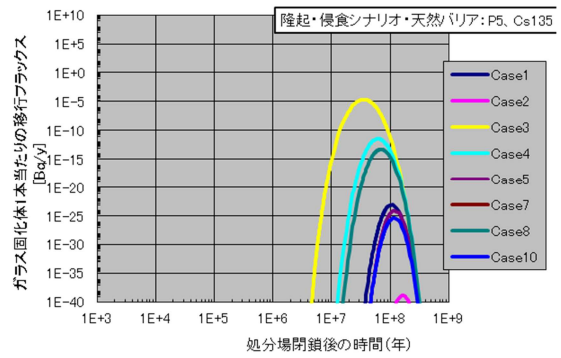
(4b) P4 : 天然バリア

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)

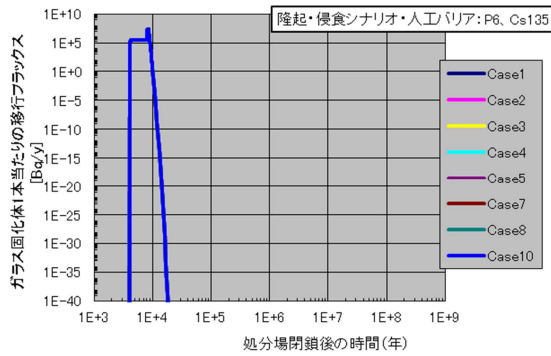




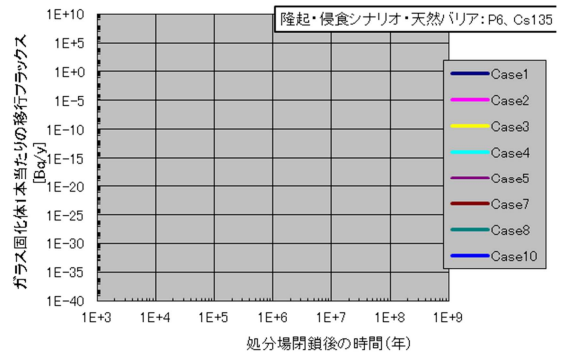
(5a) P5 : 人工バリア



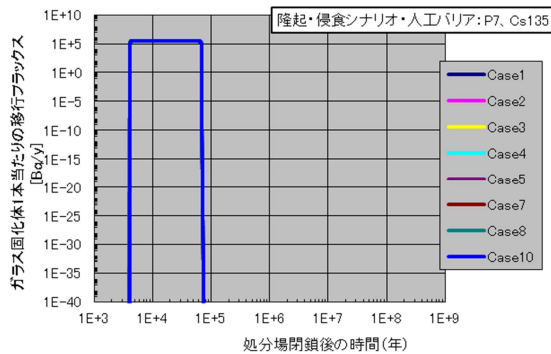
(5b) P5 : 天然バリア



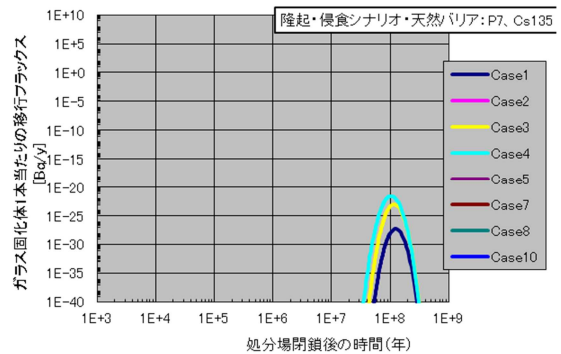
(6a) P6 : 人工バリア



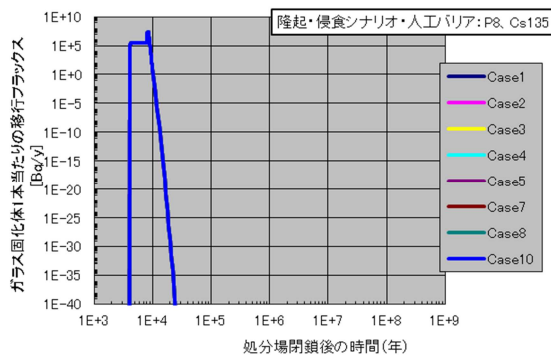
(6b) P6 : 天然バリア



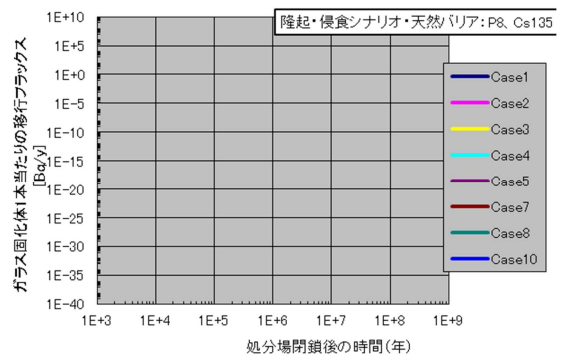
(7a) P7 : 人工バリア



(7b) P7 : 天然バリア



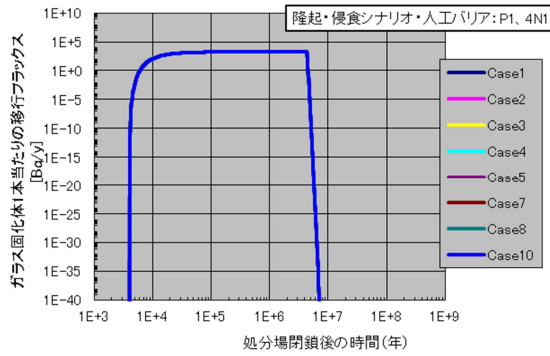
(8a) P8 : 人工バリア



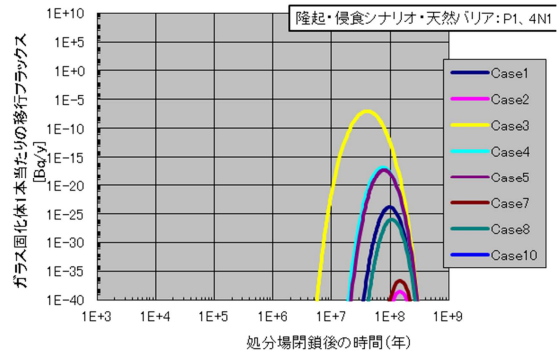
(8b) P8 : 天然バリア

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: Cs135 (2/2)

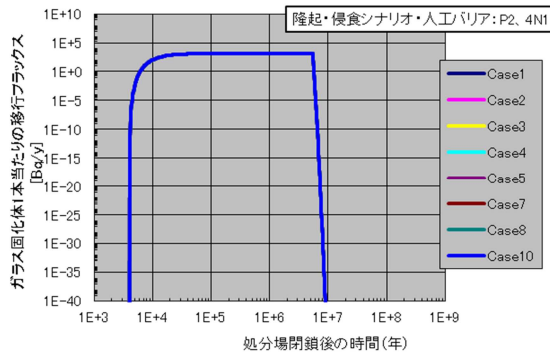
( c ) Np237 ( 4n+1 系列 )



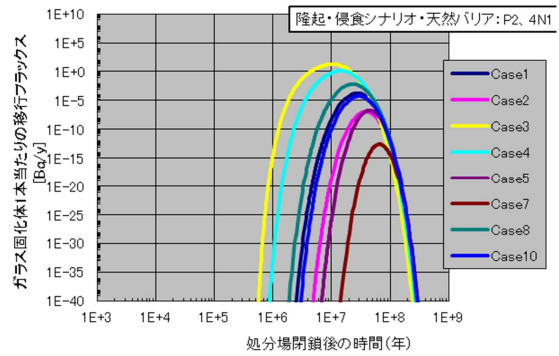
(1a) P1 : 人工バリア



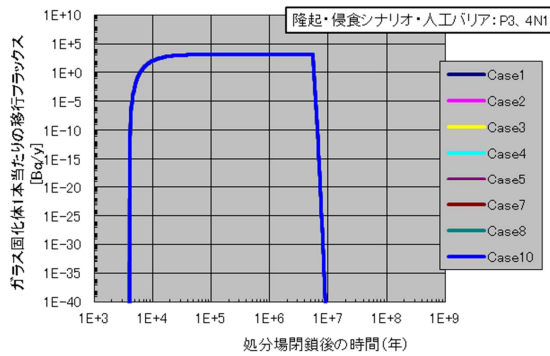
(1b) P1 : 天然バリア



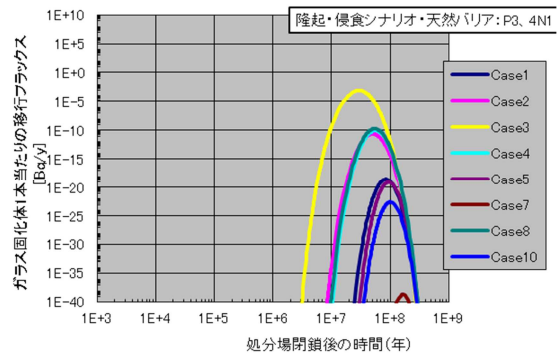
(2a) P2 : 人工バリア



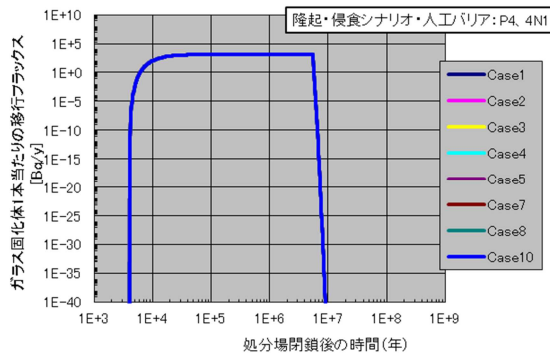
(2b) P2 : 天然バリア



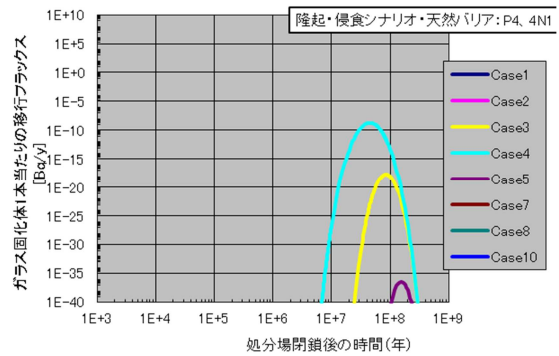
(3a) P3 : 人工バリア



(3b) P3 : 天然バリア

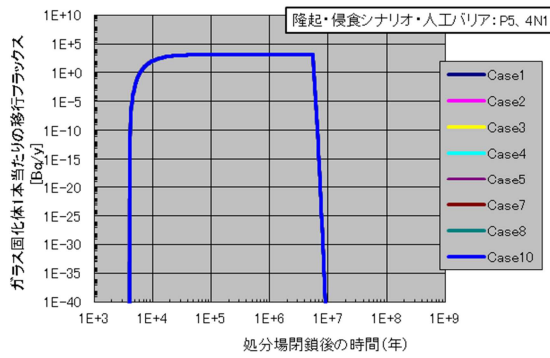


(4a) P4 : 人工バリア

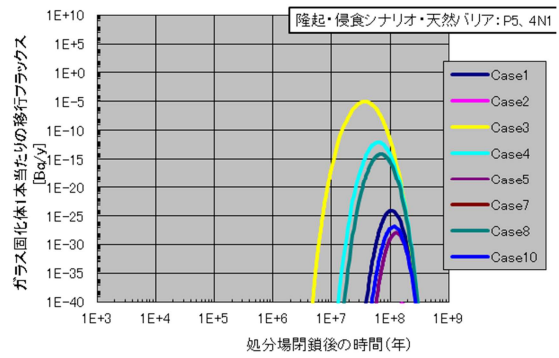


(4b) P4 : 天然バリア

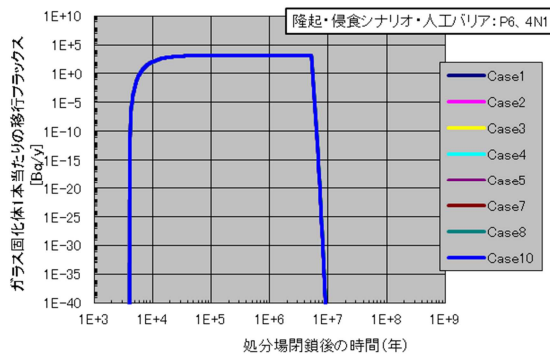
図 6.4-90 隆起・侵食シナリオの各処分場位置 ( P1 ~ P8 ) における各バリアからのガラス固化体 1 本当りでの地下水移行による移行フラックスの解析ケース間の比較 : Np237 ( 1/2 )



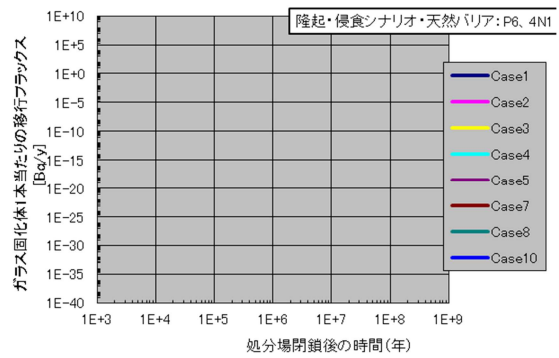
(5a) P5 : 人工バリア



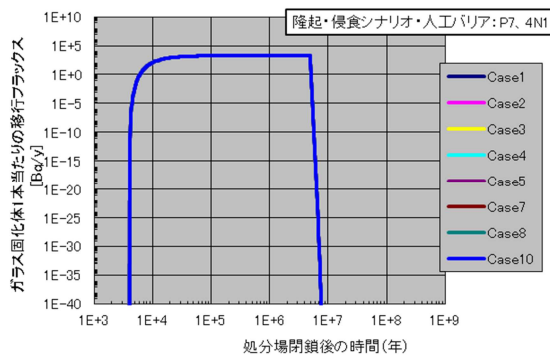
(5b) P5 : 天然バリア



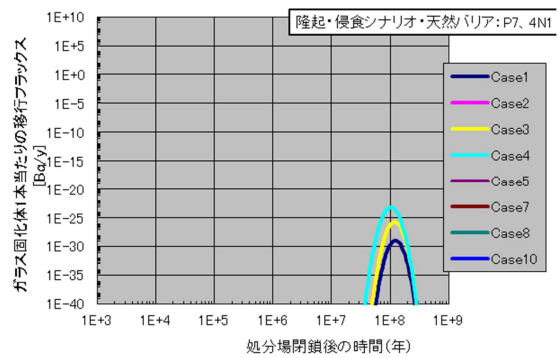
(6a) P6 : 人工バリア



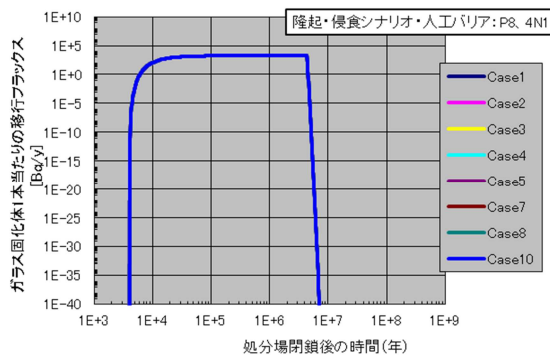
(6b) P6 : 天然バリア



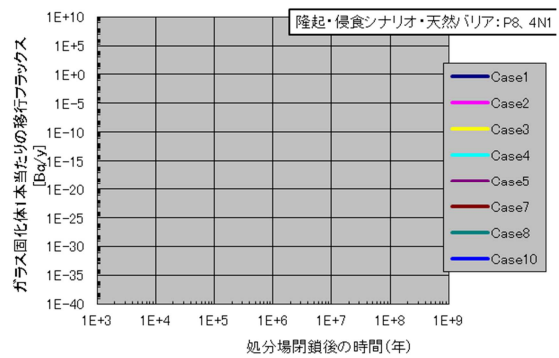
(7a) P7 : 人工バリア



(7b) P7 : 天然バリア



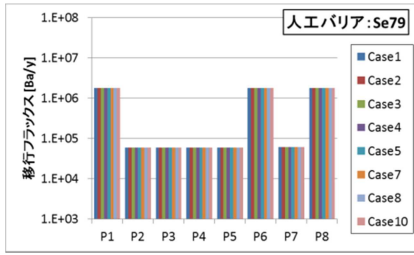
(8a) P8 : 人工バリア



(8b) P8 : 天然バリア

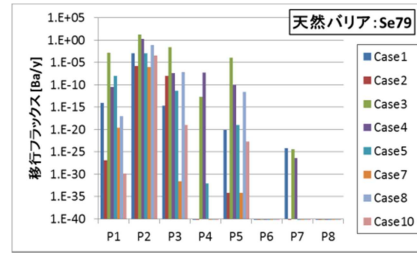
図 6.4-88 隆起・侵食シナリオの各処分場位置 (P1 ~ P8) における各バリアからのガラス固化体 1 本当たりの地下水移行による移行フラックスの解析ケース間の比較 : Np237 (2/2)

(d) 一覧



(a) 人工バリア

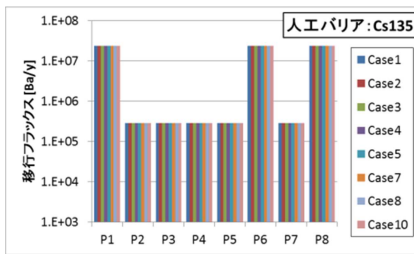
人工バリア: Se79									単位: Bq/y
	Case1	Case2	Case3	Case4	Case5	Case7	Case8	Case10	
P1	1.8E+06	1.8E+06	1.8E+06	1.8E+06	1.8E+06	1.8E+06	1.8E+06	1.8E+06	1.8E+06
P2	5.8E+04	5.8E+04	5.8E+04	5.8E+04	5.8E+04	5.8E+04	5.8E+04	5.8E+04	5.8E+04
P3	5.8E+04	5.8E+04	5.8E+04	5.8E+04	5.8E+04	5.8E+04	5.8E+04	5.8E+04	5.8E+04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



(b) 天然バリア

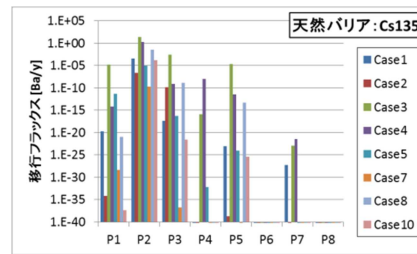
天然バリア: Se79									単位: Bq/y
	Case1	Case2	Case3	Case4	Case5	Case7	Case8	Case10	
P1	9.3E-15	1.4E-27	1.4E-03	2.9E-11	1.1E-08	2.3E-20	8.8E-18	1.4E-30	
P2	1.1E-03	1.8E-06	2.0E+01	1.8E+00	1.3E-03	9.5E-07	7.3E-02	3.6E-04	
P3	2.3E-15	8.8E-09	2.4E-02	3.9E-08	4.2E-12	2.7E-32	6.8E-08	1.1E-19	
P4	3.3E-41	1.0E-99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

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

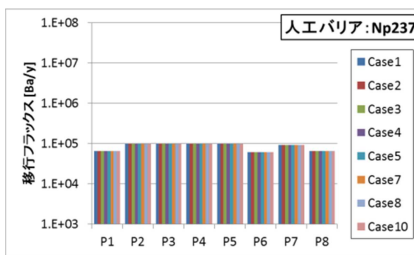
人工バリア: Cs135									単位: Bq/y
	Case1	Case2	Case3	Case4	Case5	Case7	Case8	Case10	
P1	2.4E+07	2.4E+07	2.4E+07	2.4E+07	2.4E+07	2.4E+07	2.4E+07	2.4E+07	
P2	2.9E+05	2.9E+05	2.9E+05	2.9E+05	2.9E+05	2.9E+05	2.9E+05	2.9E+05	
P3	2.9E+05	2.9E+05	2.9E+05	2.9E+05	2.9E+05	2.9E+05	2.9E+05	2.9E+05	
P4	2.9E+05	2.9E+05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



(b) 天然バリア

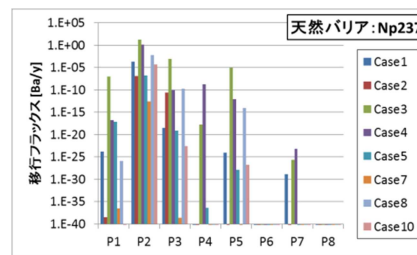
天然バリア: Cs135									単位: Bq/y
	Case1	Case2	Case3	Case4	Case5	Case7	Case8	Case10	
P1	1.8E-20	6.0E-35	1.8E-05	6.1E-15	4.0E-12	4.0E-29	1.1E-21	4.3E-38	
P2	3.2E-04	2.5E-07	2.6E+01	1.8E+00	8.3E-06	1.7E-10	3.2E-02	1.4E-04	
P3	3.9E-18	1.4E-10	3.0E-03	7.3E-10	5.8E-17	1.9E-37	1.3E-09	2.3E-22	
P4	5.0E-50	5.5E-82	1.3E-16	8.9E-09	5.5E-33	4.5E-61	5.2E-47	3.8E-61	
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	
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	
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	
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	

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

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	
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	
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	
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	
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	
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	
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	
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	



(b) 天然バリア

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	
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	
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	
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	
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	
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	
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	
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	

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。

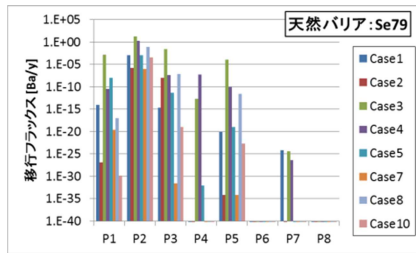
核種移行解析における解析ケースは、地下水流動における8つの解析ケース(Case1～Case5、Case7、Case8、Case10)×8箇所の処分場位置(P1～P8)を組合せた計64ケースを設定した(表6.4-25)。ここで、地下水流動における解析ケースに関して、Case1、Case2では、一様隆起のみを考慮するものとし、Case1とCase2の違いは、透水異方性に関して、Case1が考慮しない、Case2が考慮するケースである。また、Case3、Case4はCase1、Case2の条件に加えて、侵食とそれに伴う透水係数の増加を考慮したケースとなっている。一方、Case5、Case7、Case8、Case10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、Case7)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。

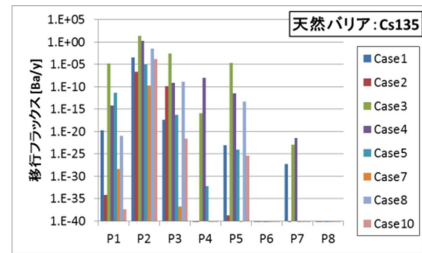
本年度は、塩水/降水境界の移動に伴う水質条件の空間分布の時間的变化に加えて、移行経路上の地質の空間分布の時間的变化を考慮した、より詳細なリンケージによる解析を実施したが、ほぼ地下水流動の解析ケース及び処分場位置ごとの地下水流速及び移行距離の設定により、天然バリアからの移行フラックスが決定される結果となり、天然バリアの移行経路の水質及び地

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。

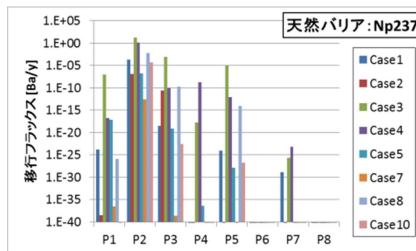
そこで、今後は、水質及び地質の違いによるパラメータ設定の詳細な検討や、流速や移行距離を揃えた場合で水質及び地質の違いのみられるようなケース設定を行うなどの検討が必要と考えられる。



(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。



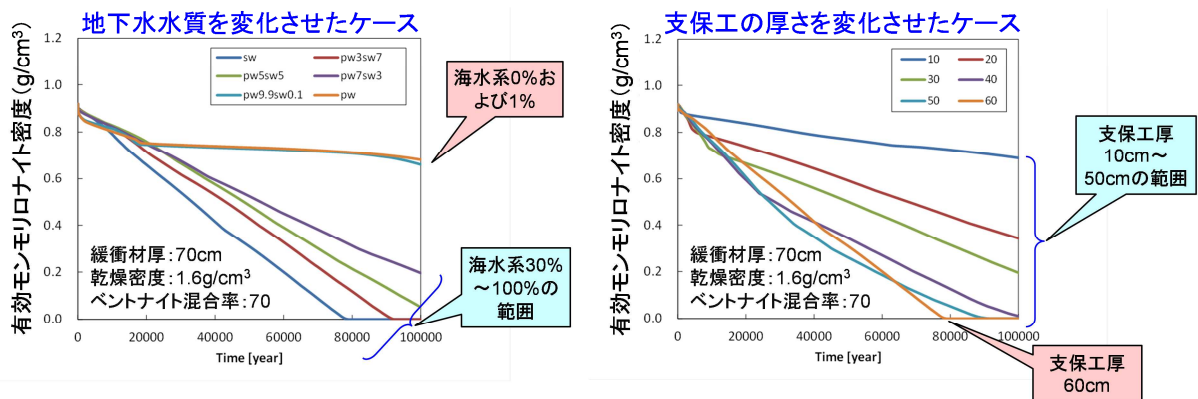


図 6.5-1 有効モンモリロナイト密度の経時変化（「一定の傾向が見出しにくい」ケース）

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。

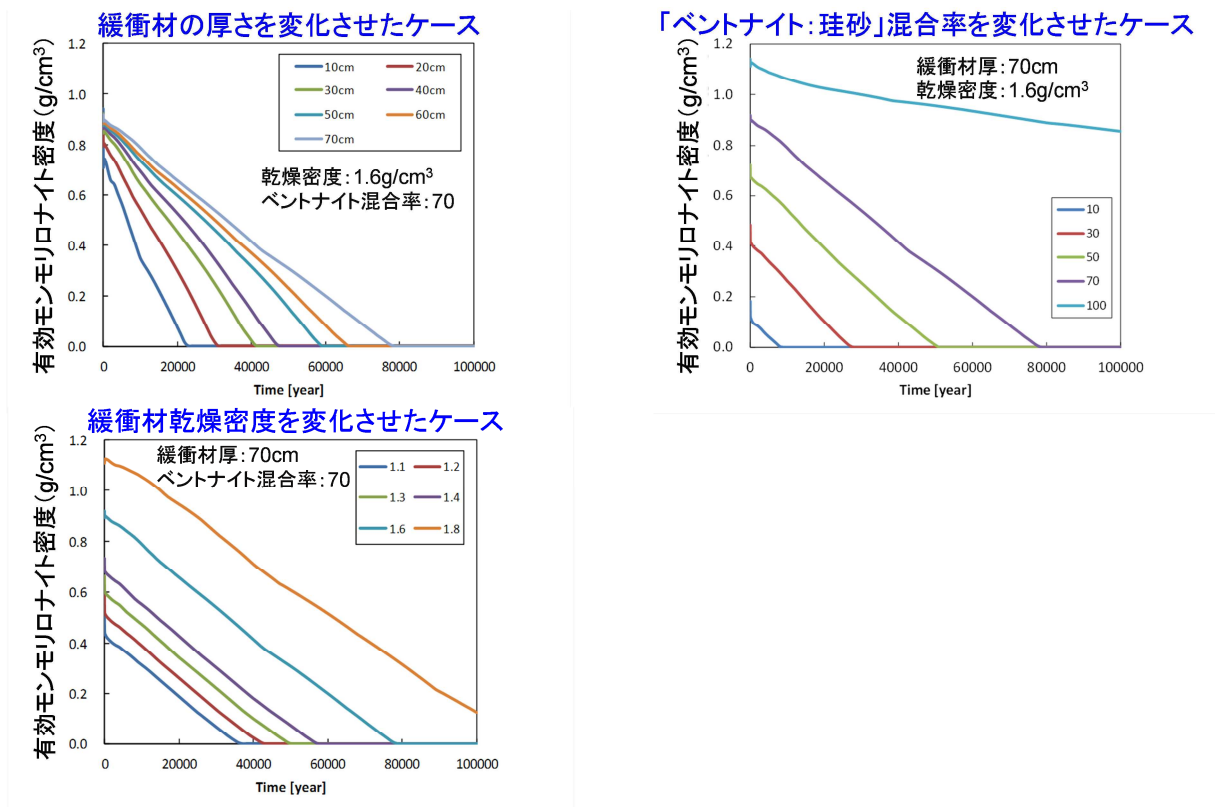


図 6.5-2 有効モンモリロナイト密度の経時変化（「一定の傾向が見受けられる」ケース）

図中左上の緩衝材の厚さを変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」混合率を変化させたケースおよび左下の緩衝材乾燥密度を変化させたケースでは、これらが変化しても有効モンモリロナイト密度の減少速度は変化しないが、切片が一定の傾向で変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。

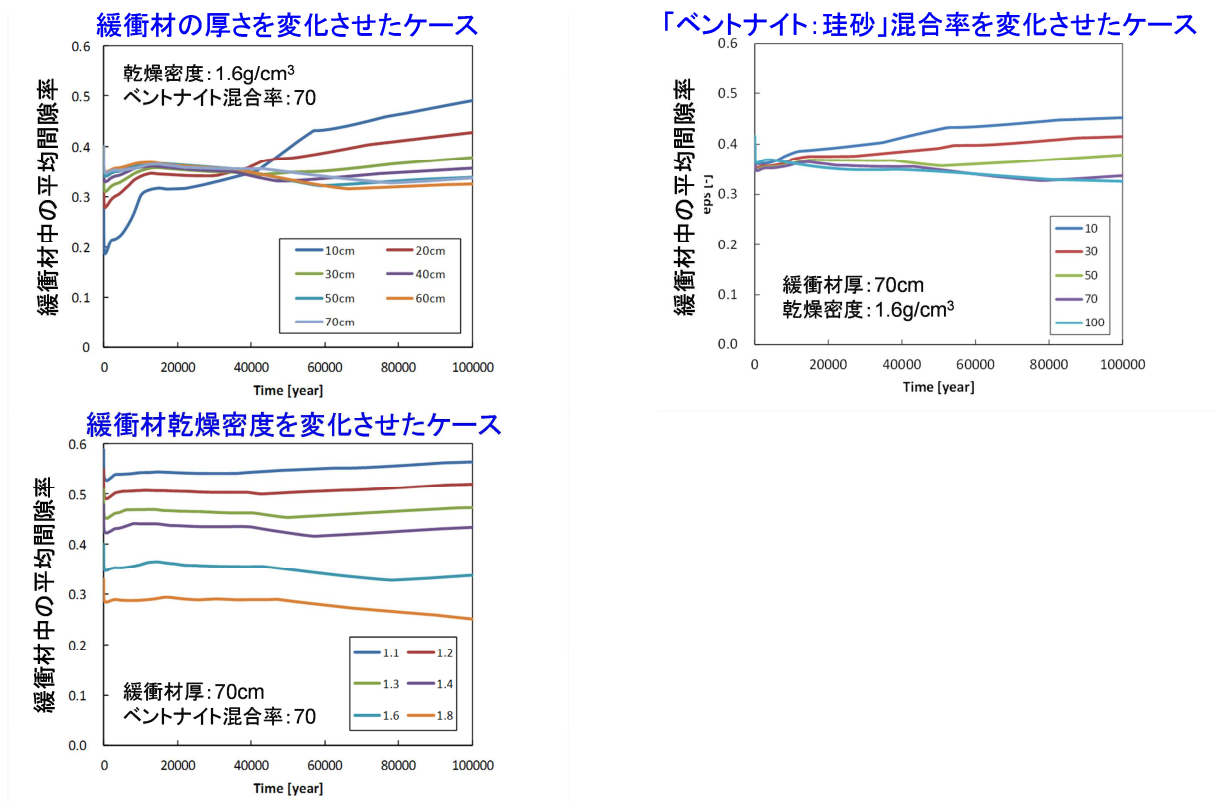


図 6.5-3 間隙率の経時変化（「一定の傾向が見受けられる」ケース）

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・時間的变化の傾向
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係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.