JAEA-Research 2010-001

幌延沿岸域を対象とした 地下水流動評価のためのモデル化・解析 (受託研究)

A Modeling and Numerical Simulation for Evaluating Groundwater Flow at the Horonobe Coastal Area (Contract Research)

前川 恵輔 三枝 博光 稲葉 薫 下河内 隆文

Keisuke MAEKAWA, Hiromitsu SAEGUSA, Kaoru INABA and Takafumi SHIMOGOUCHI

地層処分研究開発部門 幌延深地層研究ユニット Horonobe Underground Research Unit Geological Isolation Research and Development Directorate

日本原子力研究開発機構

July 2010

Japan Atomic Energy Agency

本レポートは独立行政法人日本原子力研究開発機構が不定期に発行する成果報告書です。 本レポートの入手並びに著作権利用に関するお問い合わせは、下記あてにお問い合わせ下さい。 なお、本レポートの全文は日本原子力研究開発機構ホームページ(<u>http://www.jaea.go.jp</u>) より発信されています。

独立行政法人日本原子力研究開発機構 研究技術情報部 研究技術情報課
〒319-1195 茨城県那珂郡東海村白方白根2番地4
電話 029-282-6387, Fax 029-282-5920, E-mail:ird-support@jaea.go.jp

This report is issued irregularly by Japan Atomic Energy Agency Inquiries about availability and/or copyright of this report should be addressed to Intellectual Resources Section, Intellectual Resources Department, Japan Atomic Energy Agency 2-4 Shirakata Shirane, Tokai-mura, Naka-gun, Ibaraki-ken 319-1195 Japan Tel +81-29-282-6387, Fax +81-29-282-5920, E-mail:ird-support@jaea.go.jp

© Japan Atomic Energy Agency, 2010

幌延沿岸域を対象とした地下水流動評価のためのモデル化・解析 (受託研究)

日本原子力研究開発機構

地層処分研究開発部門 幌延深地層研究ユニット 前川 恵輔,三枝 博光⁺,稲葉 薫^{*},下河内 隆文^{*}

(2010年1月6日受理)

原子力発電に伴って発生する高レベル放射性廃棄物等の地層処分計画を進める上で,地 層処分の技術的信頼性を高め,社会の理解と信頼を得ると同時に,処分事業や安全規制の 基盤となる技術を確立するための研究開発を着実に行う必要がある。基盤的な研究開発分 野のひとつである地質環境の調査評価技術のうち,沿岸域を対象とした地下水流動を評価 するための手法については,これまでに調査事例が限られており,とくに浅海域の地下深 部を含む広範な領域を対象として,実測したデータに基づくモデル化や解析についての/ ウハウや経験が少ないことから,これを充実させていくことが求められている。

本件では,原子力機構が進めている深地層の研究施設計画等の成果に基づき,幌延地域 の沿岸域を事例とした地下水流動評価のためのモデル化・解析を行い,同作業を通じて取 得される知見,ノウハウを以下の項目を実施することにより知識ベースとして蓄積・整理 した。

- (1) 深地層の研究施設計画において作成されている地下水流動評価の作業フローの沿 岸域を含めた場合の適用性の検討,および必要に応じた拡張・更新
- (2) 幌延地域の沿岸域における既存の調査試験結果に基づく地質構造等に関する情報 による地下水流動の把握
 - (2-1) 地下水中の塩分濃度分布の推定

(2-2) モデル化・解析作業におけるノウハウ・判断根拠等の情報の抽出・整理

これによって、わが国における多様な地質環境への対応を想定した地層処分システムの 設計・安全評価を行う上で必要となる地下水流動評価手法に関する知見の拡充を行った。

米を使用して取りまとのにものでのも。

幌延深地層研究センター(駐在):〒098-3224 北海道天塩郡幌延町北進 432-2

+ 東濃地科学研究ユニット

* 株式会社竹中工務店

本報告書は、経済産業省資源エネルギー庁受託「地質環境総合評価技術高度化開発」の成果を使用して取りまとめたものである。

A Modeling and Numerical Simulation for Evaluating Groundwater Flow at the Horonobe Coastal Area (Contract Research)

Keisuke MAEKAWA, Hiromitsu SAEGUSA⁺, Kaoru INABA^{*} and Takafumi SHIMOGOUCHI^{*}

Horonobe Underground Research Unit Geological Isolation Research and Development Directorate Japan Atomic Energy Agency Horonobe-cho, Teshio-gun, Hokkaido

(Received January 6, 2010)

In order to promote the program of the geological disposal of high-level radioactive waste (HLW) generated from nuclear power generation, it is extremely important not only to obtain social understanding and confidence but to improve the reliability of the research and development which provides technical basis to implementation and regulatory of geological disposal.

The research examples of the evaluation methodology of the groundwater flow at the coastal area are limited among the technique of investigation and evaluation of the geological environment. Especially, the knowhow and the experience of numerical modeling based on the data acquired in a wide area including deep underground in the shallow sea area are needed to be enhanced because these are little.

Against this background, we have carried out modeling and groundwater flow simulation of the Horonobe coastal area. The knowledge and the knowhow acquired through this work were accumulated and arranged as a knowledge base by executing the following items.

- (1) The discussion of applicability of the workflow of evaluation of the groundwater flow for the coast region (the workflow was already made with Horonobe URL plan), and extension and update according to need.
- (2) Understand of groundwater flow by geological information based on existing investigation result in Horonobe coastal area
 - (2-1) Estimation of distribution of salinity in groundwater
 - (2-2) Extraction and arrangement of knowhow and judgment basis in modeling and simulation works

As a result, the knowledge was expanded concerning the groundwater flow evaluation methodology needed in design and safety assessment of the geological disposal system that is able to correspond to various geological environments in our country.

Keywords: HLW Geological Disposal, Hydrogeological Model, Groundwater Flow Analysis, Coastal Area

- + Tono Geoscientific Research Unit
- * Takenaka Corporation

This work was carried out by JAEA under the contract with the Natural Resources and Energy Agency, Ministry of Economy, the Trade and Industry.

目 次

1. はじめに		1
2. 目的, 実力	施概要	2
2.1 目的		2
2.2 実施項	頁目	2
2.3 実施想	既要	2
3. 地下水流	動評価の作業フローの沿岸域を含めた場合の適用性の検討および拡張・更	〔新5
3.1 統合化	とデータフローダイアグラムの適用性の検討および拡張・更新	5
3.2 作業ス	7ローの適用性の検討および拡張・更新	10
3.3 作業項	頁目の中身(タスク)の分類・整理	14
4. 幌延地域(の沿岸域における既存の調査試験結果に基づく地下水流動の把握	44
4.1 地下才	k中の塩分濃度分布の推定	44
4.2 モデル	レ化・解析作業におけるノウハウ・判断根拠等の情報の抽出・整理	160
5. まとめ		166
5.1 深地層	暑の研究施設計画において作成した地下水流動評価の作業フローの沿岸は	域を含めた場
合の道	適用性の検討と必要に応じた拡張·更新	166
5.2 幌延地	地域の沿岸域における既存の調査試験結果に基づく地下水流動の把握	168
謝辞		170
参考文献		171
Appendix		
A. 作業フ	ロー一覧	177
B. 類似事	例調査文献リスト	191

C.	類似事例詳細情報	段		
D.	非定常解析結果	(塩分濃度分布)	の時系列情報	

Contents

1. Introduction1
2. Aims and overview
2.1 Aims
2.2 List of implemented items
2.3 Overview
3. Applicability and modification of the workflow for groundwater flow analysis at coastal area
5
3.1 Integrated data flow diagram, "Geosynthesis flow"5
3.2 Workflow of groundwater flow analysis at coastal area10
3.3 Task flow in each work for groundwater flow analysis $\dots 14$
4. Groundwater flow analysis with existing data in case of the Horonobe coastal area $\hfill \ldots 44$
4.1 Estimation of saltwater concentration distribution in groundwater $\dots 44$
4.2 Technical know-how and decision process for modeling and analysis160
5. Summary
5.1 Workflow of groundwater flow analysis at coastal area based on the result of the
Underground Research Laboratory Projects
5.2 Implementation of groundwater flow analysis with existing data in case of the Horonobe
coastal area168
Acknowledgment
References

Appendices

A. Workflows for groundwater flow analysis at coastal area	177
B. References of domestic and foreign similar examples	
C. Overview of domestic and foreign similar examples	
D. Results of groundwater flow analysis in case of Horonobe area	

図 目 次

図 2-1	ノウハウ・判断根拠等の情報の抽出・整理の流れ	4
図 3-1	統合化データフローダイアグラム	7
図 3-2	本研究に関する統合化データフローダイアグラム	9
図 3-3	超深地層研究所計画における地下水流動解析研究を事例とした作業フロー	11
図 3-4	本研究における地下水流動解析の仕様の精査	12
図 3-5	本研究において拡張・更新した作業フロー	16
図 3-6	タスクの分類(瑞浪事例)	17
図 3-7	幌延沿岸域における地質環境概念モデル(大澤ほか(2008)から引用)	23
図 3-8	水理地質構造概念モデルの構築に関するフローダイアグラム	24
図 3-9	大規模不連続構造のモデル化手法選択に関するフローダイアグラム	25
図 3-1	0 小規模不連続構造のモデル化手法選択に関するフローダイアグラム	26
図 3-1	1 大規模不連続構造部のメッシュ作成に関するフローダイアグラム	27
図 3-1	2 モデル化領域全体のメッシュ作成に関するフローダイアグラム	
図 3-1	3 地下水の大局的な流動方向の推定に関するフローダイアグラム	33
図 3-1	4 不連続構造に起因する流束コントラストの推定に関するフローダイアグラム	
図 3-1	5 濃度境界に起因する流束コントラストの推定に関するフローダイアグラム	35
図 3-1	6 解析手法の選択に関するフローダイアグラム	
図 3-1	7 数値計算手法の選択に関する真理表	37
図 3-1	8 上部水頭境界条件設定に関するフローダイアグラム	
図 3-1	9 側方境界条件設定に関するフローダイアグラム	
図 3-2	0 下部境界条件設定に関するフローダイアグラム	40
図 3-2	1 濃度境界条件設定に関するフローダイアグラム	41
図 3-2	2 解析結果の妥当性に関するフローダイアグラム	42
図 3-2	3 解析結果の考察に関するフローダイアグラム	43
図 4-1	地質環境概念モデル(石油公団(1995)の解釈に基づく)	45
図 4-2	地質環境概念モデル(産業技術総合研究所(2006)の解釈に基づく)	45
図 4-3	三次元地質構造モデルの例	47
図 4-4	三次元地下水流動解析結果例(モデル B,標高-500m水平断面の全水頭分布)	
図 4-5	電磁探査測線	49
図 4-6	地下水主流動方向抽出断面の位置図(モデル B, 地表での地質分布図に加筆)	
図 4-7	地質構造断面(モデル A, 断面 1)	50
図 4-8	地質構造断面(モデル A, 断面 2)	50
図 4-9	地質構造断面(モデル A, 断面 3)	50
図 4-1	0 地質構造断面(モデル B, 断面 1)	50
図 4-1	1 地質構造断面(モデル B, 断面 2)	50
図 4-1	2 地質構造断面(モデル B, 断面 3)	50

図 4-13	予備解析結果(濃度分布,モデルA断面1,密度差あり,解析開始後10万年)	53
図 4-14	予備解析結果(濃度分布,モデルA断面1,密度差あり,解析開始後1億年)	53
図 4-15	予備解析結果(濃度分布,モデルA断面1,密度差なし,解析開始後10万年)	53
図 4-16	予備解析結果(濃度分布,モデルA断面1,密度差なし,解析開始後1,000億年)	53
図 4-17	濃度計算値の経時変化(密度差あり、沿岸域エリア標高・2km 以浅)	54
図 4-18	濃度計算値の経時変化(密度差なし、沿岸域エリア標高-2km以浅)	54
図 4-19	定常/非定常解析手法の選択に関する意思決定フローダイアグラム	55
図 4-20	有限差分法による解析モデル(粗モデル)	55
図 4-21	有限差分法による解析モデル(精密モデル)	55
図 4-22	有限差分法による予備解析結果(濃度分布,粗モデル,解析開始後約10万年)	56
図 4-23	有限差分法による予備解析結果(濃度分布,精密モデル,解析開始後約10万年)	56
図 4-24	離散化結果(モデルA 断面1)	57
図 4-25	離散化結果(モデルA断面2)	57
図 4-26	離散化結果(モデルA 断面3)	57
図 4-27	離散化結果(モデル B 断面 1)	57
図 4-28	離散化結果(モデル B 断面 2)	57
図 4-29	離散化結果(モデル B 断面 3)	57
図 4-30	予備的解析および本解析の時間軸に沿った実施手順概念図	60
図 4-31	解析実施に関するフローダイアグラム	61
図 4-32	解析結果の妥当性評価に関するフローダイアグラム	63
図 4-33	解析結果の考察に関するフローダイアグラム	65
図 4-34	解析結果(濃度分布)比較図(モデル A, 断面 1)	68
図 4-35	解析結果(濃度分布)比較図(モデル A, 断面 2)	69
図 4-36	解析結果(濃度分布)比較図(モデル A, 断面 3)	70
図 4-37	解析結果(濃度分布)比較図(モデル B, 断面 1)	71
図 4-38	解析結果(濃度分布)比較図(モデルB,断面2)	72
図 4-39	解析結果(濃度分布)比較図(モデル B, 断面 3)	73
図 4-40	解析結果(水頭分布)比較図(モデル A, 断面 1)	74
図 4-41	解析結果(水頭分布)比較図(モデル A, 断面 2)	75
図 4-42	解析結果(水頭分布)比較図(モデル A, 断面 3)	76
図 4-43	解析結果(水頭分布)比較図(モデル B, 断面 1)	77
図 4-44	解析結果(水頭分布)比較図(モデル B, 断面 2)	
図 4-45	解析結果(水頭分布)比較図(モデル B, 断面 3)	79
図 4-46	解析結果(流速分布)比較図(モデル A, 断面 1)	80
図 4-47	解析結果(流速分布)比較図(モデル A, 断面 2)	81
図 4-48	解析結果(流速分布)比較図(モデル A, 断面 3)	82
図 4-49	解析結果(流速分布)比較図(モデル B, 断面 1)	83
図 4-50	解析結果(流速分布)比較図(モデル B, 断面 2)	84
図 4-51	解析結果(流速分布)比較図(モデル B, 断面 3)	

図 4-52	基本ケースとの濃度差分布(モデルA,断面1)	86
🗵 4-53	基本ケースとの濃度差分布(モデル A, 断面 2)	87
図 4-54	基本ケースとの濃度差分布(モデル A, 断面 3)	88
図 4-55	基本ケースとの濃度差分布(モデル B, 断面 1)	89
図 4-56	基本ケースとの濃度差分布(モデル B, 断面 2)	90
図 4-57	基本ケースとの濃度差分布(モデル B, 断面 3)	91
図 4-58	基本ケースとの水頭差分布(モデル A, 断面 1)	92
図 4-59	基本ケースとの水頭差分布(モデル A, 断面 2)	93
図 4-60	基本ケースとの水頭差分布(モデル A, 断面 3)	94
図 4-61	基本ケースとの水頭差分布(モデル B, 断面 1)	95
図 4-62	基本ケースとの水頭差分布(モデル B, 断面 2)	96
図 4-63	基本ケースとの水頭差分布(モデル B, 断面 3)	97
図 4-64	基本ケースとの流速差分布(モデル A, 断面 1)	98
図 4-65	基本ケースとの流速差分布(モデル A, 断面 2)	99
図 4-66	基本ケースとの流速差分布(モデル A, 断面 3)	100
図 4-67	基本ケースとの流速差分布(モデル B, 断面 1)	101
図 4-68	基本ケースとの流速差分布(モデル B, 断面 2)	102
図 4-69	基本ケースとの流速差分布(モデル B, 断面 3)	103
図 4-70	各物理量の基本ケースとの差の深度方向分布(モデルA,断面1)	107
図 4-71	各物理量の基本ケースとの差の深度方向分布(モデルA,断面2)	108
図 4-72	各物理量の基本ケースとの差の深度方向分布(モデルA,断面3)	109
図 4-73	各物理量の基本ケースとの差の深度方向分布(モデル B, 断面 1)	110
図 4-74	各物理量の基本ケースとの差の深度方向分布(モデル B, 断面 2)	111
図 4-75	各物理量の基本ケースとの差の深度方向分布(モデル B, 断面 3)	112
図 4-76	地表~E.L4,000m を通る流線(Case A1-1, A1-2, A1-3, A1-4)	114
図 4-77	地表~E.L4,000m を通る流線(Case A2-1, A2-2, A2-3, A2-4)	114
図 4-78	地表~E.L4,000m を通る流線(Case A3-1,A3-2,A3-3,A3-4)	115
図 4-79	地表~E.L4,000m を通る流線(Case B1-1, B1-2, B1-3, B1-4)	115
図 4-80	地表~E.L4,000m を通る流線(Case B2-1, B2-2, B2-3, B2-4)	116
図 4-81	地表~E.L4,000m を通る流線(Case B3-1, B3-2, B3-3, B3-4)	116
図 4-82	パーティクル移行距離・移行時間(CaseA1-1)	117
図 4-83	パーティクル移行距離・移行時間(CaseA1-2)	118
図 4-84	パーティクル移行距離・移行時間(CaseA1-3)	119
図 4-85	パーティクル移行距離・移行時間(CaseA1-4)	120
図 4-86	パーティクル移行距離・移行時間(CaseA2·1)	121
図 4-87	パーティクル移行距離・移行時間(CaseA2・2)	122
図 4-88	パーティクル移行距離・移行時間(CaseA2-3)	123
図 4-89	パーティクル移行距離・移行時間(CaseA2-4)	124
図 4-90	パーティクル移行距離・移行時間(CaseA3-1)	125

図 4-92 パーティクル移行 図 4-93 パーティクル移行 図 4-94 パーティクル移行 図 4-95 パーティクル移行	距離・移行時間(Case 距離・移行時間(Case 距離・移行時間(Case 距離・移行時間(Case 距離・移行時間(Case 距離・移行時間(Case	A3-3) A3-4) B1-1) B1-2) B1-3)	
図 4-93 パーティクル移行 図 4-94 パーティクル移行 図 4-95 パーティクル移行 図 4-96 パーティクル移行	距離・移行時間(Case 距離・移行時間(Case 距離・移行時間(Case 距離・移行時間(Case 距離・移行時間(Case	A3-4) B1-1) B1-2) B1-3)	
図 4-94 パーティクル移行 図 4-95 パーティクル移行 図 4-96 パーティクル移行	距離・移行時間(Case 距離・移行時間(Case 距離・移行時間(Case 距離・移行時間(Case	B1-1) B1-2) B1-3)	
図 4-95 パーティクル移行 図 4-96 パーティクル移行	距離・移行時間(Case 距離・移行時間(Case 距離・移行時間(Case	B1-2) B1-3)	100
図 4-96 パーティカル投行	距離・移行時間(Case 距離・移行時間(Case	B1-3)	130
四王00 / / / / / / / / / / / / / / / / / /	「距離・移行時間(Case	D 1 0/	131
図 4-97 パーティクル移行		B1-4)	132
図 4-98 パーティクル移行	距離・移行時間(Case	B2-1)	133
図 4-99 パーティクル移行	距離・移行時間(Case	B2-2)	134
図 4-100 パーティクル移	行距離・移行時間(Cas	eB2-3)	135
図 4-101 パーティクル移	行距離・移行時間(Cas	eB2-4)	136
図 4-102 パーティクル移	行距離・移行時間(Cas	eB3-1)	137
図 4-103 パーティクル移	行距離・移行時間(Cas	eB3-2)	
図 4-104 パーティクル移	行距離・移行時間(Cas	eB3-3)	139
図 4-105 パーティクル移	行距離・移行時間(Cas	eB3-3)	140
図 4-106 パーティクルの	軌跡(CaseB1-1,標高-	842m, 順方向)	141
図 4-107 電磁探査測線図			142
図 4-108 電磁探査結果(測線 A-A',測線 B-B').		142
図 4-109 電磁探査結果(A-A')		143
図 4-110 地下水流動解析	結果(水頭分布,CaseA	.1-1)	143
図 4-111 地下水流動解析	結果(濃度分布,CaseA	.1-1)	143
図 4-112 地下水流動解析	結果(流速ベクトル, C	aseA1-1)	144
図 4-113 電磁探査結果(A-A')(再揭)		147
図 4-114 キャリブレーシ	ョン後の解析結果(濃度	云分布,Case CA1-1)	147
図 4-115 キャリブレーシ	ョン後の解析結果(濃度	云分布,Case CA1-2)	147
図 4-116 解析結果(水頭	分布,モデル較正後)	(CaseCA1-1, CA1-2)	149
図 4-117 解析結果(水頭	分布,モデル較正後)	(CaseCA2-1, CA2-2)	149
図 4-118 解析結果(水頭	分布,モデル較正後)	(CaseCA3-1, CA3-2)	149
図 4-119 解析結果(塩分	濃度分布, モデル較正後	(CaseCA1-1, CA1-2)	150
図 4-120 解析結果(塩分	濃度分布, モデル較正後	(CaseCA2-1, CA2-2)	150
図 4-121 解析結果(塩分	濃度分布, モデル較正後	(CaseCA3-1, CA3-2)	150
図 4-122 解析結果(流速	分布,モデル較正後)	(CaseCA1-1, CA1-2)	151
図 4-123 解析結果(流速	分布,モデル較正後)	(CaseCA2-1, CA2-2)	151
図 4-124 解析結果(流速	分布,モデル較正後)	(CaseCA3-1, CA3-2)	151
図 4-125 密度差の有無に	よるケース間の水頭,濃	度差分布(CaseCA1-1-Ca	aseCA1-2)152
図 4-126 密度差の有無に	よるケース間の水頭, 濃	度差分布(CaseCA2-1-Ca	aseCA2-2)152
図 4-127 密度差の有無に	よるケース間の水頭, 濃	度差分布(CaseCA3-1-Ca	aseCA3-2)152
図 4-128 地表~E.L4,00	0m を通る流線(Case (CA1-1, CA1-2)	153
図 4-129 地表~E.L4,00	0m を通る流線(Case (CA2-1, CA2-2)	153

図 4-130	地表~E.L4,000m を通る流線(G	Case CA3-1, C	CA3-2)15	53
🗵 4-131	パーティクル移行距離・移行時間	(CaseCA1-1)		54
図 4-132	パーティクル移行距離・移行時間	(CaseCA1-2)		55
🗵 4-133	パーティクル移行距離・移行時間	(CaseCA2-1)		56
🗵 4-134	パーティクル移行距離・移行時間	(CaseCA2-2)		57
図 4-135	パーティクル移行距離・移行時間	(CaseCA3-1)	15	58
🗵 4-136	パーティクル移行距離・移行時間	(CaseCA3-2)		59

表 目 次

表 4-1	間隙率の設定	
表 4-2	数値解析手法の選択に関する真理表	51
表 4 - 3	初期条件設定の選択に関する真理表(本件での事例に基づく)	54
表 4-4	解析ケース	59
表 4-5	計算時間一覧(解析開始後10万年の非定常解析に要した時間)	62
表 4-6	基本ケースとの濃度差の統計情報(モデルA、断面1)	104
表 4-7	基本ケースとの水頭差の統計情報(モデルA、断面1)	104
表 4-8	基本ケースとの流速差の統計情報(モデルA、断面1)	104
表 4-9	基本ケースとの濃度差の統計情報(モデルA, 断面2)	104
表 4-10	基本ケースとの水頭差の統計情報(モデル A, 断面 2)	104
表 4-11	基本ケースとの流速差の統計情報(モデル A, 断面 2)	104
表 4-12	基本ケースとの濃度差の統計情報(モデル A, 断面 3)	104
表 4-13	基本ケースとの水頭差の統計情報(モデル A, 断面 3)	105
表 4 - 14	基本ケースとの流速差の統計情報(モデル A, 断面 3)	105
表 4-15	基本ケースとの濃度差の統計情報(モデル B, 断面1)	105
表 4-16	基本ケースとの水頭差の統計情報(モデル B, 断面 1)	105
表 4-17	基本ケースとの流速差の統計情報(モデル B, 断面 1)	105
表 4-18	基本ケースとの濃度差の統計情報(モデル B, 断面 2)	105
表 4-19	基本ケースとの水頭差の統計情報(モデル B, 断面 2)	105
表 4-20	基本ケースとの流速差の統計情報(モデル B, 断面 2)	106
表 4 - 21	基本ケースとの濃度差の統計情報(モデル B, 断面 3)	106
表 4-22	基本ケースとの水頭差の統計情報(モデル B, 断面 3)	106
表 4 - 23	基本ケースとの流速差の統計情報(モデル B, 断面 3)	106
表 4 - 24	キャリブレーション解析ケース	145
表 4-25	キャリブレーション計算時間一覧(解析開始後 10 万年の非定常解析)	146
表 4-26	研究全体に関するノウハウ・判断根拠情報	160
表 4-27	「水理地質構造概念モデルの構築」作業におけるノウハウ・判断根拠情報	160
表 4 - 28	「水理地質構造モデルの構築」作業におけるノウハウ・判断根拠情報	161
表 4-29	「地下水流動概念モデル」作業におけるノウハウ・判断根拠情報	161
表 4 - 30	「解析手法の選択」作業におけるノウハウ・判断根拠情報	162
表 4 - 31	「計算手法の選択」作業におけるノウハウ・判断根拠情報	162
表 4-32	「初期条件設定」作業におけるノウハウ・判断根拠情報	163
表 4 - 33	「空間の離散化」作業におけるノウハウ・判断根拠情報	163
表 4 - 34	「境界条件の設定」作業におけるノウハウ・判断根拠情報	164
表 4-35	「解析ケースの設定」作業におけるノウハウ・判断根拠情報	164
表 4-36	「解析結果の妥当性確認」作業におけるノウハウ・判断根拠情報	164

表 4-37	「解析結果の考察」	作業におけるノウ	ハウ・判断根拠情	報	165
表 5-1	本研究で拡張・更新	iした作業フローと!	瑞浪事例における [、]	作業フローの差異.	166

This is a blank page.

1. はじめに

わが国において原子力エネルギーを継続的に利用していく上で,原子力発電および核燃料サイクル に伴って発生する放射性廃棄物の処理処分対策を着実に進める必要がある。その中で,地質環境調査 評価技術分野の研究開発では,「総合的な調査評価技術」という新たな研究開発分野が設定され,日 本の地質環境を代表する結晶質岩と堆積岩を対象とした二つの深地層の研究施設計画(超深地層研究 所計画,幌延深地層研究計画)などを活用して,これまでに開発・整備してきた地質環境の調査評価 技術を実際の地質環境に適用することを通じてそれらの技術の信頼性や適用性を確認しつつ,地上か らの調査や地下施設での調査といった段階に応じて,各要素技術を適切に組み合わせた体系的な調査 評価手法が整備されることになっている。その上で,以下に示す具体的な課題が示された(資源エネ ルギー庁・原子力機構,2006)。

- ・ 地質環境調査のマネジメントや説明に利用できるコンピュータツールの開発
- ・ 知識・事例のデータベース化
- 沿岸域重要課題に対応した地質環境調査技術の体系的整理(例えば、沿岸、島嶼に対応できる 調査システムフローの構築)
- ・ 坑道を利用した調査段階の調査システムフローの構築
- ・ 地質環境調査技術の適用性に関する検討,二つの深地層の研究施設計画における地質環境情報 を活用した調査システムフローの適用性確認
- ・ 設計・性能評価の模擬検討に基づく調査評価技術の有効性, 信頼性の確認
- ・ 国内外の最新技術、知見の調査による情報の拡充とフローの更新

地質環境の調査評価技術のうち,沿岸域を対象とした地下水流動を評価するための手法については, これまでの調査事例が限られており,とくに浅海域の地下深部を含む広範な領域を対象として,実測 したデータに基づくモデル化や解析についてのノウハウや経験が少ないことから,これを充実させて いくことが求められている(資源エネルギー庁・原子力機構, 2006)。

このうち、本件では、原子力機構の深地層の研究施設計画などでの成果に基づき、幌延地域の沿 岸域を事例として地下水流動評価のためのモデル化・解析を行い、同作業を通じて取得される知見、 ノウハウを知識ベースとして蓄積・整理することを目的とし、わが国における多様な地質環境への対 応を想定した地層処分システムの設計・安全評価を行う上で必要となる地下水流動評価手法に関する 知見の拡充を図るための検討を行った。

2. 目的, 実施概要

2.1 目 的

原子力発電に伴って発生する高レベル放射性廃棄物等地層処分システムの設計・安全評価を行う上 では、その技術的な基盤となる情報を提供する地質環境の調査評価技術の信頼性を向上することが極 めて重要である。地質環境の調査評価技術のうち、沿岸域を対象とした地下水流動を評価するための 手法については、これまでに調査事例が限られており、とくに浅海域の地下深部を含む広範な領域を 対象として、実測したデータに基づくモデル化や解析についてのノウハウや経験が少ないことから、 これを充実させていくことが求められている。

本件では、原子力機構の深地層の研究施設計画などでの成果に基づき、幌延地域の沿岸域を事例と して地下水流動評価のためのモデル化・解析を行い、同作業を通じて取得される知見、ノウハウを知 識ベースとして蓄積・整理することを目的とする。これによって、わが国における多様な地質環境へ の対応を想定した地層処分システムの設計・安全評価を行う上で必要となる地下水流動評価手法に関 する知見の拡充を行う。

- 2.2 実施項目
- (1) 深地層の研究施設計画において作成した地下水流動評価の作業フローの沿岸域を含めた場合の 適用性の検討と必要に応じた拡張・更新
- (2) 幌延地域の沿岸域における既存の調査試験結果に基づく地質構造等に関する情報による地下水 流動の把握
- (2-1) 地下水中の塩分濃度分布の推定
- (2-2) モデル化・解析作業におけるノウハウ・判断根拠等の情報の抽出・整理

2.3 実施概要

(1)深地層の研究施設計画において作成した地下水流動評価の作業フローの沿岸域を含めた場合の 適用性の検討と必要に応じた拡張・更新

原子力機構によって作成した地下水流動評価のための作業フロー(統合化データフロー,タスクフ ローなど)について,(2)の項目を実施するにあたり,対象領域に沿岸域を含めた場合の適用性を事 前に検討し,必要に応じて更新を行った。また,(2)の作業を通じて得られる知識に基づき,必要に 応じてさらに修正を加え,沿岸域を対象とした地下水流動評価のための作業フローとして取りまとめ た。

(2) 幌延地域の沿岸域における既存の調査試験結果に基づく地質構造等に関する情報による地下水 流動の把握

ここでは地下水中の塩分濃度を考慮した地下水流動解析を直ちに三次元モデルによって行うこと は、計算時間が膨大となり現実的でない場合が多いという観点から、効率的な解析・評価を行う上で の知識の抽出・整理を主眼においた検討を行った。

(2-1) 地下水中の塩分濃度分布の推定

① モデル化領域の要素分割,② 物性値・境界条件の設定,③ 地下水流動解析の実施,の各項目 を実施した。 ①では,通例行われる地下水流動系を抽出する過程に従い,地下水中での分散や密度差などの塩分の影響を考慮しない水輸送のみの三次元地下水流動解析結果に基づいて地下水流動方向を抽出し,その方向に沿った鉛直二次元断面において地形の起伏や地質構造を考慮した要素分割を行った。

②では、三次元水理地質構造モデルや三次元地下水流動解析結果および、これまでの調査試験結果 (太田ほか、2007)などに基づき、①で作成した二次元メッシュに物性値(透水係数,比貯留率、 間隙率、拡散係数、分散長など)および境界条件を設定し、データセットとして整理した。その際、 過去に実施されている沿岸域等を対象とした類似の解析事例について、物性値、境界条件の設定およ び解析手法や解析の目的などの調査を行い、整理を行った。

③では以下の項目を実施した。

1) 塩水の影響を考慮した感度解析

2) モデルの更新とそれを用いた解析

3) 解析結果のとりまとめ

1)では、①、②で作成した二次元メッシュおよびデータセットを用いて、鉛直二次元断面における 地下水流動解析を行った。ここでは、塩分濃度の高い地下水の流動に関する影響を考慮した解析手法 として用いられる二つの解析手法(密度を考慮しない移流・分散解析および密度差を考慮した移流・ 分散解析)による解析を行った。解析ケースは3 断面において、解析手法ごとにそれぞれ不連続構 造の形状・不連続構造の水理特性の不確実性を考慮した計24ケース(3 断面×2 解析手法×4 ケース (不連続構造の形状 A、B+不連続構造の水理特性 C、D の組合せ))を設定した。

2)では、地下深部における電気比抵抗分布などの塩分濃度分布に関する調査結果を用いて、各断面 におけるモデルの更新(キャリブレーション)を行った。更新したモデルを用いて、塩分濃度の高い 地下水の影響を考慮した地下水流動解析(移流・分散解析および密度流解析)計6ケース(3)断面× 2)解析手法)を用い、1)での結果との比較から、モデルの更新前後における解析結果への影響を整理 した。

3)では、地下水位・水頭・流速分布、地下水中の塩分濃度分布、地下水の移行特性(移行距離、移 行時間等)について、解析手法の違いによる解析結果への影響を取りまとめた。

(2-2) モデル化・解析作業におけるノウハウ・判断根拠等の情報の抽出・整理

(2-1)のモデル化・解析作業を通じて、モデル化領域の設定、沿岸域の地下水流動評価を行う上で 重要な因子の抽出、地質環境の長期的な変遷に伴う地下水流動への影響の把握などの沿岸域を対象と した地下水流動評価における情報やデータの具体的な取扱い方法の決定にいたる検討・作業の経緯、 判断・決定を行った理由などのノウハウ・判断根拠等を、(1)で設定した作業フローに沿って抽出し、 整理を行った。この際、作業フローの適用性についての確認を行い、必要に応じて修正を加えた。ま た、各作業項目における意思決定の課程は作業項目ごとにフロー図として整理した。整理した情報に 基づいて、今後想定される地質構造モデルの更新や地質環境の長期変遷を考慮した地下水流動解析を 行う際の留意点や課題を抽出した。その際。過去に実施されている沿岸域を対象とした類似の解析事 例についての調査結果も踏まえて情報を整理した。

本件の実施内容の構成を図 2-1に示す。

-3-



図 2-1 ノウハウ・判断根拠等の情報の抽出・整理の流れ

3. 地下水流動評価の作業フローの沿岸域を含めた場合の適用性の検討および拡張・更新

3.1 統合化データフローダイアグラムの適用性の検討および拡張・更新

「総合的な調査評価技術」に関して、平成18年度までに資源エネルギー庁と原子力機構 によって統合化データフローダイアグラムが作成されている(三枝ほか、2007;太田ほか、 2007)。このうち原子力機構の統合化データフローダイアグラムは、深地層の研究施設計画 を事例に、調査から評価における流れを示しつつ、それらを実際の地質環境調査評価に適 用し、経験やノウハウを蓄積してきているものである。本研究における沿岸域を対象とし た地下水流動作業を行うに先立ち、統合化データフローダイアグラムの沿岸域への適用性 を事前に検討した。本研究においても、地形、地質構造モデル、水理地質構造モデルを基 にした地下水流動解析を実施し、重要な地質環境の特性およびプロセスの検討を行うとい う流れに沿った検討を行うことから、統合化データフローについては基本的に拡張・更新 の必要はなく、沿岸域を含めた場合についても適用可能であろうと判断した。

沿岸域を対象とした統合化データフローダイアグラムを図 3-1 に示す。

沿岸域を対象としたモデル化・解析および解析結果の評価を実施する上で、上記統合化 データフローダイアグラムの項目のうち、「概念化・モデル化・シミュレーション」のカラ ムが主にモデル化・解析に関連する部分であり、また、解析結果の評価については「重要 な地質環境の特性・プロセス」のカラムが主に関連する部分となる。さらに、地質環境の 長期変遷に関する項目については本研究では検討しないことを考慮し、図 3-1 の統合化デ ータフローダイアグラムから本研究に関する部分を抽出した(図 3-2)。 This is a blank page.

JAEA-Research 2010-001

	調査	7	データ	t	解釈・データセット		概念化・モデル化・シミュレーション
既存情報の収集	地形・測地・空中写真・衛星写 直などに関する情報 地質学特性に関する情報(地 質・地質特性に関する情報(地 質・地質構造・テクトニクス・ 在代などの情報) 岩石の鉱物・化学特性・岩盤物 理特性物質移動特性などに関す る情報 況地球的気候変動の長期予測 などに関する情報 表面水理特性に関する情報(河) 川炭量、降水量、蒸発敗量、地 下水位、福生など)	地形・測地デー 地形分布,水- 地形致化デー 古地図など) 気候変明デー 古焼株・古槌 地質分布デー 埋積祖、側方 地質構造デー 断層分布,福田	-タ (地表標高分布. 系分布など) -タ (隆起・浸食速度. タ (隆起・浸食速度. 生データなど: -タ (爾序、港層分布. 変化など) -タ (周下、大工)、 - 4 (リニアメント、 出構造、活構造など)	過去~現在の地殻変動(応力場の変遷含む) 古地図(汀線位置含む)の変遷 古気候の変遷・気候変動の長期 予別 地層・断層の形成	地形変化 地形変化 地質構造の変化	地形モデル 地形変形モラ 地形変形モラ 地質構造・	ル レ モデル 賃構造発達モデル
空中からの	深層水理特性に関する情報 (開除水圧, 透水係数など) 水質に関する情報(降水, 河川 水, 地下水, 滴水などの化学組 成, 同位体など) 岩盤力学, 熱特性, 初期応用な どに関する情報 リモートセンシング ウートセンシング 空中・物理探査(磁気探査,電磁 探査,自然放射能,重力探査な	テクトニクス、 代、堆積年代、 地殻応カデー 解 岩石鉱物・化: 支貨構造、溶射 物量など) 岩磁物理特性 度、間線手:	データ(断層形成年 変形・変位量など) タ・震源メカニズム 学特性データ(岩石 化学・同位体組成 解・沈殿組織、有機 データ(弾性滋速 密度、比枢抗など)	対象岩壁の水平分布,幾何形状, 層厚・深度・地質構造領域区分 周辺岩壁の水平分布・幾何形 状・層厚 不連続構造の分布・幾何形状・ 拡がり	岩盤物理特性の変化 (沈降史解析など)		水理地質構造モデル 地下水流動解析 (濃度や密度を考慮し た解析) 水理地質構造発達モ デル 地下水流動解析(濃度や を密度、天然現象の変遷を 考慮した解析)
地表からの調査	地設定動観測 (GPS 観測、地部観測など) 地形調査 (地形測量、地形分布調査など) 表層水理調査/気象観測 地表水の厚水調査 (降水・河川水などの化学分析) 地表対策調査(厚作・労厳調査、 新層調査、変形構造解析など) トレンチ調査 ドレンチ調査 どの空内調査・分析(営石鉱物) 調査、常様・電磁探査、 弾性波探査など) トレンチ調査 どの空内調査・分析(営石鉱物) 調査、物理特性試験、力学試験など) 古気候調査(地形、堆積物、珪藻、 古植生、年代など)	スプレン スプレン	データ(河川満量、 散量、地下水位、植 ・湧水量データ データ、 データ、 データ、 ボル学特性データ(化 体、コロイド、有機 と) ビーマド性データ(化 体、コロイド、有機 と) 学特性データ(化学	対象岩盤の水理特性 周辺岩盤の水理特性 不連続構造の水理特性 不連続構造の水理特性 水頭分布(深層部の水圧分布)	万務署/加下水面分 万務署/加下水面分 消費量の変化 水理特性の変化		
海上からの調査	海底和質調查(潜木調査: ビスト ンコア調査: ドレッジ調査など) 第1時確認を(重力課金: 磁気探 査: 電磁調査: 弾性波探 査: 地殻熱流量測定など) 第度運用物: 岩石の室内調査: 分析(岩石鉱物調査: 微化石分析: 所間瓶水分析板ど) 第度における水理特性調査(海 底満水箇所:海進堆積物の透水 性調査など) 海水の探水調査 (海水:海底湧水などの化学分析)			-	対象岩盤中の岩石の岩石 同位体比など) 周辺岩盤中の岩石の岩石 同位体比など) 不連続構造中の岩石の岩 石鉱物・(生特性(化学組成, 同位体比など) 対象岩盤中の地下水の地 球化(学特性(水覚, 同位体 など)		
ボーリング調査	 岩芯地質調査/掘削泥調査 1.1壁画像調査 1.1壁画像調査 物理給層 VSP 探査/孔間トモグラフィ探査 孔内力学試験 岩芯の室内調査・分析(岩石鉱物 調査、微化石分析,年代測定、 古磁気測定、透水試験、物理物 性試態、間隙水の分析,物質移動試験、力学試験など) 流体検層 水理試験(単孔式,孔間水理試験) 長期地下水モニタリング トレーサー試験 	1000000000000000000000000000000000000	<u>キ</u> データ (収着・拡散 、 間隙構造など)	 力学, 熟特性	周辺岩壁中の地下水の地 球化学特性(水質、同位体 不連続岩壁中の地下水の 地球化学特性(水質、同位 体など) 不連続岩盤/不連続構造中 の長期物質移動 可セス(移行) 対象岩盤/不連続構造中 の長期物質移動 対象岩盤/不連続構造中 現象	中の物質移 分配、拡散 分配、拡散 合の物質	- 物質移動概念モデル - 地殻変動
	地下水の採水調査(化学分析,同 位体分析,原位置物理化学パラ メータ計測など)	 初期応力デー	-9	初期応力状態			
		現在を対象とした調査・ 解析に関係する項目	地質環境の長期変遷に係れ 調査・解析に関係する項目	つる 現在を対象とした調	査・ 地質環境の長期変遷に係わる	整合性の確認	
						゚イアグラム	· · ·





3.2 作業フローの適用性の検討および拡張・更新

(1) 瑞浪超深地層研究所の研究を事例とした統合化データフロー

統合化データフローダイアグラムは,地質環境調査から地層処分の成立性などの検討に いたる「調査」→「データ」→「解釈・データセット」→「概念化・モデル化・シミュレ ーション」→「重要な特性・プロセス」の合理的な道すじを示すものである。この統合化 データフローダイアグラムに基づき,一連の作業プロセスとその関連性を示すフローが原 子力機構によって構築されている(大澤ほか, 2008)。

図 3-3 に瑞浪の超深地層研究所計画における地下水流動研究事例(以下,「瑞浪事例」と称する)におけるフローを示す。このフローは図 3-1 の統合化データフローから,モデル化・解析部分を抜き出し,より詳細に記述したものであり,以後「統合化データフロー(抜粋版)」と称する。ここで,作業項目「水理地質構造モデル」および「地下水流動解析」は以下のように定義されている。

・ 水理地質構造モデル:

対象とする場における透水係数などの水理特性の空間分布を表現したもの。

• 地下水流動解析:

水理地質構造モデルと境界条件を入力とし、水頭値などの空間分布が出力される。一 般的に淡水系地下水を対象としている場合では、ダルシー則と連続方程式に基づく数 値シミュレーションが行われる。

瑞浪事例では淡水域かつ結晶質岩を対象としているが、本研究で対象とする幌延沿岸域 は淡水および海水の混合域であり、かつ堆積岩が分布する環境である。瑞浪事例において 作成された図 3-3 のフローに対し、本研究を通じて必要に応じて拡張・更新を行うことに より、わが国の多様な地質環境に対して広く適用可能な作業フローの構築を目指す。



図 3-3 超深地層研究所計画における地下水流動解析研究を事例とした作業フロー

(統合化データフロー(抜粋版))

(2) 本研究における作業の流れの整理

本研究の作業の流れを整理する。まず,幌延沿岸域を含む周辺領域を対象とした三次元 モデルにより,地下水中の塩分などの溶質を考慮しない流動のみを取り扱った地下水流動 解析(大澤ほか,2008)の結果から地下水の主流動方向を抽出可能かどうかを検討した上 で,可能であれば主流動方向を抽出する。次に,抽出した主流動方向に沿った二次元鉛直 断面モデルを構築し,その二次元モデルを用いて地下水中の塩分を考慮した地下水流動解 析(移流・分散解析)を実施し,地下水流動についての評価を行う。さらに,地表で実施 された物理探査結果に基づく電気比抵抗分布などの調査結果を利用してモデルの更新(キ ャリブレーション)を行い,更新したモデル(二次元)を用いて地下水中の塩分を考慮し た地下水流動解析を実施し,解析結果から地下水流動についての評価を行う。なお,溶質 を考慮しない地下水流動解析を実施した後に塩分を考慮した地下水流動解析(移流・分散 解析)を二次元モデルで実施するという段階的な手順を採用したのは,地下水中の塩分を 考慮した移流・分散解析を三次元モデルで行うことは計算上の負荷が大きいことが予想さ れたこと,不確実性要因が多数ある場合の感度解析を実施する上では,二次元モデルの方 が三次元モデルよりも有利であること,という判断がなされたためである。

この一連の作業を簡略化して図化したものが図 3-4 である。



図 3-4 本研究における地下水流動解析の仕様の精査

なお,「二次元モデル」→「三次元モデル」の段階的アプローチについては,地下水流動 場の把握を目的とした研究開発において,例えば以下の事例でも採用されている。

・ スウェーデン Äspö 島を対象とした二次元および三次元地下水流動解析

(Andersson, et al., 1997)

- ・ 英国 Sellafield を対象とした二次元地下水流動解析 (Porte, 1995), 三次元地下水流 動解析 (Degnan and Littleboy, 1997)
- ・日本の沿岸域を対象とした二次元および三次元地下水流動解析(産業創造研究所, 2002)
- ・ 黒部扇状地を対象とした二次元および三次元地下水流動解析(徳永ら, 2003)

また,溶質を考慮しない淡水の地下水流動解析(Groundwater flow simulation)から塩水を含む移流・分散解析(Advection / dispersion simulation)への段階的なアプローチは Jaquet and Siegel(2006)等でも行われている。さらに、計算の収束性への不安を要因とした移流・分散解析の局所的なモデル化・解析から広域的なモデル化・解析への段階的なア プローチは、産業創造研究所(2002)等でも試みられている。以上から、本研究で採用する段階的なアプローチは既存の研究でも見られる一般的な方法であるといえる。

(3) 統合化データフロー(抜粋版)および作業フローの拡張・更新

以上を踏まえて、瑞浪事例における作業フローの本研究への適用性を事前に検討し、拡張・更新を行った。図 3-5 に拡張・更新後の作業フローを示す。赤線部分が拡張・更新された部分である。なお、実際の作業を通じて統合化フロー・作業フローの拡張・更新を適 宜行うこととしており、その拡張・更新については次章(4章)に記す。

「対象領域における地層の地下水」の項目から「水理地質構造モデル(移流・分散問題)」 への流れは本研究における「モデルの更新(キャリブレーション)」の流れを示すものであ り、キャリブレーション作業を行う前の段階では基本的に淡水のみの問題で用いた三次元 の水理地質構造モデルを流用する。

また,「水理地質構造モデル(移流・分散問題)」および「地下水流動解析(移流・分散 問題)」の作業項目は以下のように定義する。

- 水理地質構造モデル(移流・分散問題):
 対象とする場における透水係数などの水理特性および分散長などの特性の空間分布 を表現したもの。
- 地下水流動解析(移流・分散問題):
 水理地質構造モデルと境界条件を入力とし、水頭値や濃度などの空間分布が出力される。一般的に地下水の流れはダルシー則と連続方程式に基づく数値シミュレーション、溶質の移動はダルシー則に支配される地下水の流れに沿った移流式と機械的分散・分子拡散等を考慮した分散方程式の組合せに基づく数値シミュレーションが行われる。

なお、淡水のみを対象とした地下水流動解析は単に「地下水流動解析 (Groundwater flow simulation)」と呼ぶことが多い。"水の移動"については輸送 (transport) や移動 (motion) などの表現がみられる (Bear, 1972 など)。移流 (advection) は水の移動に伴う溶存物質

の移動を指す用語として用いられる(ドミニコ,シュワルツ,1995 など)ため、本稿では、 淡水のみを考慮した地下水流動解析については以後、「水輸送問題」と呼称することとする。

3.3 作業項目の中身(タスク)の分類・整理

前節で示した作業フローを基に,作業フロー中の各項目(作業項目)の中で実際に行われる作業詳細(タスク)についての整理・検討を行った。

(1) 瑞浪事例におけるタスクの分類・整理

タスクについては、瑞浪事例を基に分類・整理が行われている(大澤ほか、2008)。本研究 では、この瑞浪事例を基にしたタスクの分類・整理結果をベースとし、本研究への適用性 を検討した上で、必要に応じて拡張・更新を行うことで、タスクの分類・整理を行った。 瑞浪事例を基にしたタスクの分類・整理結果を図 3-6 に示す。

各タスクの瑞浪事例における定義は以下の通りである。

- (1-1) 水理地質構造モデル
- ① 水理地質構造概念モデルの構築

水理特性の不均質性を考慮した上で水理地質構造区分を行うこと。

- ② 水理地質構造モデル手法の選択 水理地質構造概念モデルを数値モデルとして適切に表現するための数値モデル化手法 を選択すること。数値モデルとしては具体的には等価連続体モデル・割れ目ネットワー クモデル等がある。
- ③ 水理地質構造モデルの構築(空間領域の分割,水理・物質移行特性の設定) 計算機容量や演算速度の観点から地下水流動解析で使用することのできるモデルを構築すること。具体的には、分割要素もしくは分割格子(以下、「メッシュ」と称する) を作成し、メッシュに水理特性を割り当てることによって水理特性の空間分布を表現する。
- (1-2) 地下水流動解析
- ① 地下水流動概念モデルの構築

地下水の大局的な流動方向、定性的な流速コントラストを概念化すること。

- ② 解析手法の選択 地下水流動解析で対象とすべき空間的な次元の設定,および,解析条件(飽和解析,飽 和・不飽和解析,あるいは定常解析,非定常解析など)の設定。
- ③ 境界条件の設定
 上部境界条件,側方境界条件,下部境界条件の設定。固定水頭境界条件,固定流量境界
 条件,固定涵養境界条件(自由浸出面境界),不透水境界条件から選択する。
- ④ 解析ケースの設定
 水理地質構造モデルの不確実性を低減させるための重要因子を特定し、その重要因子の

水理特性に着目した感度解析ケースを設定すること。具体的には重要因子の水理特性を 複数設定することである。(すなわち複数の水理地質構造モデルを構築することとなる)

- ⑤ 解析の実施 数値計算を実施すること。計算が正しく行われているかどうかについては、解の収束性 (解の振動や発散がないか、収束判断が適切に行われているかなど)や解析結果(解析 領域への地下水の流入出量の釣り合いなど)による判断が必要である。
- ⑥ 解析結果の妥当性確認 解析値と実測値の比較。具体的には水頭値の実測値と解析値の空間的な分布傾向が整合 しているかどうかなどの確認。
- ⑦ 解析結果の考察 感度解析結果の比較により水理地質構造モデルの不確実性を低減させる上での重要因 子を抽出・特定すること。





図 3-6 タスクの分類 (瑞浪事例)

(2)沿岸域における地下水流動評価を行う際のタスクの分類・整理(瑞浪事例を基にした拡張・更新)

瑞浪事例におけるタスクの分類・整理結果を踏まえ,沿岸域を対象とした場合の「水理 地質構造モデル(移流・分散問題)」と「地下水流動解析(移流・分散問題)」の各作業項 目の詳細(タスク)について実作業を行うに先立ち,事前に検討を加えた。なお,実作業 を通じて行った検討については4章に記す。

(2-1) 水理地質構造モデル

本研究では、まず三次元水理地質構造モデル(大澤ほか、2008)を用いる。従って、作 業項目「水理地質構造モデル(移流・分散モデル)」については大きな変更はない。ただし、 後述する地下水流動解析作業における「空間の離散化」タスクにおいてもメッシュ作成作 業が発生するのであるが、「③水理地質構造モデルの構築」におけるメッシュとは別のもの という認識をすることに留意する必要がある。

(2-2) 地下水流動解析

本研究では沿岸域を対象とした移流・分散解析を実施することになるが、移流・分散解 析結果の評価において重要となる項目の一つに数値分散の影響がある。数値分散について は、一般的に差分法よりも有限要素法がその影響が少ないと言われている。差分法の方が 数値分散の影響が大きいと言われる要因としては、「格子方向効果」や、空間二次元・三次 元の5点・7点差分に基づく差分法では偏微分方程式中の分散項を充分に表現できないこと、 などが挙げられている(フヤコーン・ピンダー、1988)。

従って,数値解析手法の選択および空間離散化の精度が移流・分散解析においては重要 な項目となる。これらの作業は移流・分散問題を扱う場合の特有のタスクと考えられる。 瑞浪事例におけるタスクの整理結果に対してこれらのタスクを付加することで拡張・更新 し、より汎用的なものにするよう検討を加えた。

1) 数値解析手法の整理

物質輸送問題に対して数値解析を実施する際の離散化手法としては一般に差分法,有限 体積法,有限要素法,境界要素法がある(棚橋,1993)。このうち差分法,有限体積法,有 限要素法が実際のシミュレーションでは良く使用されている(地盤工学会,2002;水文・ 水資源学会,2005など)。

流体の運動は質量・運動量・角運動量・エネルギーの保存則またはつりあい方程式とし て積分形で記述することができるが、この方程式を直接離散化したものが有限体積法であ る。積分形の保存則に Gauss の定理と Reynolds の輸送定理を適用すると偏微分方程式が 導かれる。この偏微分方程式を離散化したものが差分法である。一方、物体の運動を支配 する最小作用の原理(エネルギー原理)を変分法に適用すると Lagrange の運動方程式が導 かれるが,流体運動を支配する Navier-Stokes の方程式は非線形が強く汎関数が存在しな いため,変分原理を拡張した重み付き残差法を適用して数値計算が行われる。この重み付 き残差法の重み関数に形状関数を選び,一回部分積分して弱形式を作ったものが有限要素 法である。なお,重み関数に Green 関数を採用し2回部分積分したものが境界要素法であ る。これらの体系が棚橋(1993)にまとめられている。

また,棚橋(1993)によって,差分法,有限体積法,有限要素法の利点,欠点が次のようにまとめられている。

- ・ 差分法 (FDM)
 - ▶ 欠点:複雑形状物体の境界条件が取り込みにくい
 - 利点:計算効率が高く数値解析技術が進んでいる
- · 差分法的有限体積法(FDM-like FVM)
 - ▶ 欠点:移流項の高次精度の数値流束の計算が複雑になる
 - ▶ 利点:差分法よりも汎用性がある
- 有限要素法的有限体積法(FEM-like FVM)
 - 利点:形状関数を用いるため有限要素法の汎用性が受け継がれ、かつ、記憶容量が少なく高速計算が可能
 - ▶ 欠点:移流項の高次精度計算に時間がかかる
- 有限要素法 (FEM)
 - ▶ 利点:境界条件の取り込みが容易で汎用性が高い
 - ▶ 欠点:係数行列に多くの記憶容量を必要とし、計算時間が長く経済性に欠ける

なお、近年では差分法による解析手法が発達を遂げ、差分法は有限体積法に非常に近い ものとなっている。差分法と有限体積法の違いは境界条件の設定などを除いて大きなもの ではなく、最終的なプログラムはほぼ同じであり、差分法と有限体積法を異なる手法とし て議論することは不必要であると考えられる(藤井、1994)。また、藤井(1994)によれば、 有限差分法、有限体積法、有限要素法といった分類は、境界条件の設定なども考慮して、 プログラムを組む人間が理解しやすいほうを選択すればよいのであって、どちらが優れて いるという議論はあまり意味がなく、個々の問題に応じて生じる若干の有利・不利はたい して重要でないとしている。

しかし、本研究では、差分法は、長方形あるいは直方体でのみ格子を分割できるという 制限があって、領域形状を十分に表現できない手法との認識が現段階では一般的であると 考え(例えば、P.A.ドミニコ・F.W.シュワルツ、1996)、いわゆる差分法(長方形/直方体 格子分割)と、有限体積法、有限要素法を別の数値解析手法としてまとめることとした。

2) タスクの分類・整理

以上を踏まえて、瑞浪事例のタスクの分類・整理の見直しを行う。

地下水流動概念モデルの構築

移流・分散問題では,濃度分布の概念モデルも加える必要がある。従って,このタス クの定義は,地下水の大局的な流動方向,定性的な流速コントラスト,濃度の大局的な 分布を概念化すること,とする。

2) 解析手法の選択

移流・分散問題では,数値解析手法(差分法等)の選択が重要な項目となることを述 べた。従って,このタスクの定義は,地下水流動解析で対象とすべき空間的な次元の設 定,および,解析条件(飽和解析,飽和/不飽和解析,あるいは定常解析,非定常解析 など)の設定,数値計算手法(差分法,有限体積法,有限要素法など)の選択,となる。

③ 境界条件の設定

移流・分散問題では、圧力に関する変数のほか、濃度に関する変数を解くことになる ため、当然のことながら、濃度に関する境界条件が設定される。従って、このタスクの 定義は次のようになる。

上部境界条件,側方境界条件,下部境界条件の設定。圧力(水頭)に関する境界条件 は固定水頭境界条件,固定流量境界条件,固定涵養境界条件(自由浸出面境界),不透 水境界条件から選択する。濃度に関する境界条件は,固定濃度境界条件,固定濃度流量 (フラックス)境界条件,固定濃度涵養境界条件から選択する。

④ 解析ケースの設定

上記と同様に,濃度分布に対する不確実性を低減させる因子の特定する作業を付加す る。濃度分布に影響を与える因子は,移流・分散現象に関わる因子であり,移流項につ いては水理特性と同じである。分散現象に関わる因子は,分散長,密度,屈曲度などが あり,ここではそれらを分散特性として総称することにする。従って,このタスクの定 義は以下のように記述できる。

水理地質構造モデルの不確実性を低減させるための重要因子を特定し,その重要因子 の水理特性および分散特性に着目した感度解析ケースを設定すること。具体的には重要 因子の水理特性および分散特性を複数設定することである。(すなわち複数の水理地質 構造モデルを構築することとなる)

6 解析の実施

このタスクについては水輸送問題でも移流・分散問題でも同じ作業となる。すなわち 以下のような定義となる。

数値計算を実施すること。計算が正しく行われているかどうかについては、解の収束

性や解析結果(解析領域への地下水の流入出量の釣り合いなど)による判断が必要である。

⑥ 解析結果の妥当性確認

基本的に解析値と実測値の比較という観点は水輸送問題でも移流・分散問題でも変わらない。具体的な記述箇所に濃度に関する記述を加えることで、移流・分散問題へも適用できる定義となる。従ってこのタスクの定義は以下のようになる。

解析値と実測値の比較。具体的には水頭値および濃度の実測値と解析値の空間的な分 布傾向が整合しているかどうかの確認。

⑦ 解析結果の考察

瑞浪事例の定義が移流・分散問題へも適用できるものとなっているため、ここではそ れを流用し、以下の定義とした。

感度解析結果の比較により水理地質構造モデルの不確実性を低減させる上での重要 因子を抽出・特定すること。

本研究においては、タスクのほかに、移流・分散問題において考慮すべき重要な因子と なる数値分散に対して影響を与える(フヤコーン・ピンダー、1988)「空間の離散化」につ いても一つのタスクとして設定した。空間の離散化タスクの定義は以下のように設定した。

数値計算手法を実行するために必要に応じて解析対象領域空間の離散化を行うこと。

なお,空間の離散化については,数値解析コードの仕様の影響を受けることから,「解析 手法の選択」タスクの後に行うことが適当であると考えられる。

また、「水理地質構造モデルの構築」のタスクにおいても水理特性等の分布を表すための 離散化作業が行われるが、これはあくまでも水理特性等の分布を示すことが目的の離散化 であり、「地下水流動解析」のタスク中の「空間の離散化」作業とは別とする。効率的な作 業の観点からは水理地質構造モデルの構築時から地下水流動解析を実施する際のことを考 え、主に計算の収束性などを考慮した実効的な解析のための離散化をあらかじめ行ってお くことが理想的ではあるものの、水理地質構造モデルの構築から地下水流動解析の実施と いう段階的な流れを踏まえ、より汎用的な観点から、上記の定義とした。

(3) 沿岸域における地下水流動評価を行う際の意思決定プロセスフロー(決定木等)の瑞浪 事例を基にした拡張・更新

上記で整理された各タスクの中での実際に行われる作業(サブタスク)における判断の フロー(意思決定過程のフロー,決定木等)について整理を行う。意思決定過程のフロー についても瑞浪事例で作成されており,これに基づいて必要に応じた拡張・更新を行うこ とにより,沿岸域を含む領域におけるモデル化・解析へ適用できる意思決定過程のフロー の構築を目指した。

(3-1) 水理地質構造モデル

水理地質構造モデル構築に関する意思決定過程のフローダイアグラムとして,以下のものが瑞浪事例で取りまとめられている(大澤ほか,2008)。

- 水理地質構造概念モデルの構築に関するフローダイアグラム
- 大規模不連続構造のモデル化手法に関するフローダイアグラム
- ・ 小規模不連続構造のモデル化手法に関するフローダイアグラム
- 大規模不連続構造部のメッシュ作成に関するフローダイアグラム
- ・ モデル化領域全体のメッシュ作成に関するフローダイアグラム

本研究においては、水理地質構造モデル構築については瑞浪事例のタスク分類・整理結 果と大差がないため、これらの意思決定プロセスのフローダイアグラムについても流用が 可能であると考えた。ただし、瑞浪事例と大きく異なる点として、瑞浪事例が水輸送問題 であるのに対し、本研究は移流・分散問題である点が挙げられ、このことに伴い、分散特 性に関する意思決定フローダイアグラムを新たに付加する必要があると考えられた。その ため、瑞浪事例における意思決定フローダイアグラムに分散特性に関する項目を付加する ことを念頭に拡張・更新を行った。

1)水理地質構造概念モデルの構築に関するフローダイアグラム

これまでに、幌延沿岸域に対しては「既存情報に基づく地質・地質構造,地下水の流動 特性,地下水の塩分濃度分布に関する概念モデル」が構築されている(大澤ほか,2008)。 図 3-7 に既存情報に基づく地質・地質構造,地下水の流動特性,地下水の塩分濃度分布に 関する概念モデルを示す。本研究においては、水理地質構造概念モデルはこの既存情報に 基づく地質・地質構造,地下水の流動特性,地下水の塩分濃度分布に関する概念モデルを もって代替したため、モデル構築に関して新たな作業は発生しなかった。従って水理地質 構造概念モデルの構築に関するフローダイアグラムについては特に変更を行わなかった。

図 3-8 に瑞浪事例における水理地質構造概念モデルの構築に関するフローダイアグラム を示す。

2) 大規模不連続構造のモデル化手法に関するフローダイアグラム

前項と同様に、本研究においては大規模不連続構造のモデル化手法選択に関するフロー ダイアグラムについては変更を行わなかった。図 3-9 に瑞浪事例における大規模不連続構 造のモデル化手法選択に関するフローダイアグラムを示す。

3) 小規模不連続構造のモデル化手法に関するフローダイアグラム

前項と同様に、本研究においては小規模不連続構造のモデル化手法選択に関するフロー ダイアグラムについては変更を行わなかった。図 3-10 に瑞浪事例における小規模不連続構 造のモデル化手法選択に関するフローダイアグラムを示す。

4) 大規模不連続構造部のメッシュ作成に関するフローダイアグラム

前項と同様に、本研究においては大規模不連続構造部のメッシュ作成に関するフローダ イアグラムについては変更を行わなかった。図 3-11 に瑞浪事例における大規模不連続構造 部のメッシュ作成に関するフローダイアグラムを示す。

5) モデル化領域全体のメッシュ作成に関するフローダイアグラム

前項と同様に、本研究においてはモデル化領域全体のメッシュ作成に関するフローダイ アグラムについては変更を行わなかった。図 3-12 に瑞浪事例におけるモデル化領域全体の メッシュ作成に関するフローダイアグラムを示す。



図 3-7 幌延沿岸域における地質環境概念モデル(大澤ほか(2008)から引用)


図 3-8 水理地質構造概念モデルの構築に関するフローダイアグラム

-24-



JAEA-Research 2010-001



-26-



-27-



(3-2) 地下水流動解析

「地下水流動解析」作業項目に関する各タスクに含まれるサブタスクにおける意思決定 過程のフローダイアグラムとして以下のものが瑞浪事例で取りまとめられている(大澤ほ か,2008)。

- ・ 地下水の大局的な流動方向の推定に関するフローダイアグラム
- ・ 流束コントラストの推定に関わるフローダイアグラム
- ・ 解析手法選択に関わるフローダイアグラム
- ・ 上部境界条件設定に関わるフローダイアグラム
- ・ 側方境界条件に関わるフローダイアグラム
- 下部境界条件設定に関わるフローダイアグラム
- ・ 解析実施に関わるフローダイアグラム
- ・ 解析結果の考察に関わるフローダイアグラム

本研究でも基本的にこのような意思決定を行うこととする。ただし、上記に加えて、前 述のように「空間の離散化」に関するサブタスクを新たに設定した。このサブタスクに関 する意思決定過程についても検討した。

また,境界条件については,(2-2)2)で述べたように濃度に関する境界条件を移流・分散 問題では設定する必要がある。従って,「濃度境界条件設定」を新たなサブタスクとして加 えた。なお,分子拡散現象は,濃度差がある限り常に生じ濃度差を変化させる。このため 分子拡散速度一定となるような境界条件は一般には不自然であり,そうした境界条件が設 定された事例は本研究で収集した類似事例にも例がない。数値計算で設定される濃度境界 条件は,分子拡散とは別の分散(機械的分散)現象についての境界条件であり,機械的分 散は移流に伴って生じる現象であるから,移流に関する境界条件に付随するものと言える。 移流に関する境界条件は水輸送問題の境界条件に相当することから,瑞浪事例における上 記に掲げた境界条件そのものであり,固定水頭境界,固定流量境界,固定涵養量境界(自 由浸出面境界),不透水境界のいずれかを選択するものである。このことから,濃度に関す る固定境界は,固定水頭境界の場合は固定濃度境界,固定流量境界あるいは固定涵養量境 界の場合は固定濃度フラックス境界,不透水境界の場合は濃度に関する境界条件は設定し ないということになる。

1) 大局的な地下水流動方向の推定に関するフローダイアグラム

本研究では三次元の地下水中の塩分を考慮しない地下水流動解析結果から地下水の主流 動方向を抽出する。この時,水輸送問題であることから,基本的に瑞浪事例と同様の意思 決定が行われるものと考えられる。ただし,移流・分散問題においては水のポテンシャル は重力のほか,溶質による密度変化の影響も受けることを考慮し,瑞浪事例での「水圧プ ロファイル」の記述を「水頭(あるいは全水頭,ポテンシャル等)」とすることによって淡 水のみの水輸送問題だけでなく,移流・分散問題へも適用できるものとした。 これを踏まえて、地下水の大局的な流動方向の推定に関するフローダイアグラムを見直 した(図 3-13)。

2) 流束コントラストの推定に関するフローダイアグラム

流束コントラストは不連続構造の他,移流・分散問題においては濃度境界(例えば塩水 と淡水の混在する領域)の影響を受ける(例えば,登坂(2006))。このことから,流束コ ントラストの推定については濃度境界の影響を考慮した意思決定フローを新たに作成した。 なお,濃度境界は水理学的な境界面として不連続構造と同等の働きをするが,不連続構造 と違って透水係数等の水理特性には変化を起こさないことに留意し,瑞浪事例における不 連続構造に起因する流束コントラストの推定に関するフローダイアグラムを修正する形で 濃度境界に起因する流束コントラストの推定に関するフローダイアグラムを構築した。

図 3-14 に不連続構造に起因する流束コントラストの推定に関するフローダイアグラム, 図 3-15 に濃度コントラストに起因する流束コントラストの推定に関するフローダイアグ ラムを示す。

3) 解析手法選択に関するフローダイアグラム

解析手法選択タスク中のサブタスクは瑞浪事例において以下のものが挙げられている。

- ・ 二次元解析/三次元解析の選択
- ・ 飽和解析/飽和・不飽和解析の選択
- ・ 定常解析/非定常解析の選択

移流・分散問題へも適用可能な汎用性の高いものとするために,上記に加え,以下のサ ブタスクを設定した。

- ・ 溶質を考慮する/しないの選択
- 密度差を考慮する/しないの選択

これらを踏まえた上で解析手法の選択に関する意思決定過程の見直しを行った。解析手 法の選択については瑞浪事例ではマトリクス表(真理表)でまとめられており、本件でも これを踏襲し、その上で拡張・更新を行った。図 3-15 に解析手法の選択に関するフローダ イアグラムを示す。

なお,解析手法選択に関わるフローダイアグラムについては次章で述べる実作業においてさらに拡張・更新がなされた。これについては 4.1(2)(2-2)において詳述する。

4) 数値計算手法選択に関する真理表

3.2(2)(2-2)で述べたように移流・分散問題については数値計算手法(FEM, FDM, FVM 等)の選択が重要となるため、この意思決定プロセスについてもまとめた。

図 3-17 に数値計算手法の選択に関する真理表を示す。この判断では、地質構造の表現性 や数値分散の影響あるいは計算時間などの要求事項に対する相対的な評価に基づいて優先 順位を考慮することになるため,真理表を用いた。なお,数値計算手法の選択においては, 一般的に(棚橋,1993 など)用いられる有限要素法(FEM),有限体積法(FVM),有限 差分法(FDM)を対象とした。

このフローダイアグラムの実際の適用事例を次章, 4.1(2)(2-2)に示す。

5) 空間の離散化に関するフローダイアグラム

空間の離散化については、計算用に行うか、水理特性等の分布を表現するために行うか という違いがあるのみで、基本的に水理地質構造モデル構築に関する離散化のための意思 決定過程のフローダイアグラム(大規模、小規模、モデル化領域全体のメッシュ作成)が そのまま適用できると判断した。

6) 上部境界条件設定に関するフローダイアグラム

上部境界条件(濃度境界条件以外)の設定については、瑞浪事例のものを本研究においても適用できる。ただし、前述のように、水圧という記述を水頭とするほうがより汎用的 と考えられたためそのような修正を行った。図 3-18 に上部境界条件設定に関するフローダ イアグラムを示す。

7) 側方境界条件設定に関するフローダイアグラム

上記 6)と同様に,瑞浪事例におけるフローダイアグラムを修正した。図 3-19 に側方境界 条件設定に関するフローダイアグラムを示す。

8) 下部境界条件設定に関するフローダイアグラム

上記 5)と同様に,瑞浪事例におけるフローダイアグラムを修正した。図 3-20 に下部境界 条件設定に関するフローダイアグラムを示す。

9) 濃度境界条件設定に関するフローダイアグラム

上述のように,流量に関する境界条件に応じて濃度境界条件が設定される。図 3-21 に濃度境界条件設定に関するフローダイアグラムを示す。

10) 解析実施に関するフローダイアグラム

解析実施に関するフローダイアグラムについては、瑞浪事例におけるフローが適用でき ると考えられる。

11) 解析結果の妥当性に関するフローダイアグラム

解析結果の妥当性に関するフローダイアグラムについては、水頭値の比較に加え、濃度 の比較も妥当性評価の重要事項であるため、瑞浪事例に濃度に関する記述を加えることで 見直しを行った。図 3-22 に解析結果の妥当性に関するフローダイアグラムを示す。

なお、このフローダイアグラムは実測値と計算値の比較による妥当性評価の観点でまと められているが、本研究は実測値が得られる前の段階であるため、このフローダイアグラ ムでは解析結果の妥当性については十分評価できないものと思われる。この点については 実作業を通じて検討し、必要に応じて拡張・更新を行うこととした。この詳細については 次章 4.1(2)(2-6)および(2-7)において述べる。

12) 解析結果の考察に関するフローダイアグラム

上記 9)と同様に, 濃度に関する記述を追加した。図 3-23 に解析結果の考察に関するフロ ーダイアグラムを示す。



図 3-13 地下水の大局的な流動方向の推定に関するフローダイアグラム



不連続構造に起因する流東コントラストの推定に関するフローダイアグラム 3-14



図 3-15 濃度境界に起因する流束コントラストの推定に関するフローダイアグラム

			を考慮しない		同的 境界条件の時間的	う 変化を考慮しない	f 飽和定常解析			╞定 節和/不飽和定常	解析	
訴	常解析とするか に慮する場合に		。募家		瞐粕の⇒る、おりました。	変化を考慮する	丱 猢鴬긻非00			非哇调工/哇调	常解析	
三次元解	 <る解析とするか、定済 かしないか、溶質を考 判断			き慮しない	境界条件の時間的	変化を考慮しない	飽和定常移流・分	散解析		飽和/不飽和定常	移流・分散解析	
	回和/不飽和状態によ 多流・分散を考慮する。 はマトリクス表により ¹		持慮する	密度差を考	境界条件の時間的	変化を考慮する	飽和非定常移流·	分散解析		飽和/不飽和非定	常移流・分散解析	
二次元解析 	 による解析とするか飢 !析とするか, 溶質の ! 考慮するかしないか,	を考慮するかしないか	溶質を	考慮する	境界条件の時間的	変化を考慮しない	飽和定常移流・分	散(密度流)解析		飽和/不飽和定常	移流・分散(密度	流)解析
	휍 帯 で で で で が 部 の 部 に 部 で 部 で の で で で で で の で で で の で で で の で で の で の で で の で の で の の で の の の の で う の の う の う			密度差を	境界条件の時間的	変化を考慮する	節和非定常移流·	分散(密度流)解	析	飽和/不飽和非定	常移流・分散(密	度流)解析
							地下水面を解析領	域の上部境界面と	して設定可能	地下水面形状が推	定されていない	

٩

Yes

着目する地下水流動が二次元 断面内で適切に表現可能 図 3-16 解析手法の選択に関するフローダイアグラム

数値計算手法は候補となる数値計算コードを整理表 にかけて判断

崁					や エ
メッシュ作	作業量				立等を考慮した
計算時間					予項目の優先順(
数値分散の影響					/△/×などを記入し, 冬
地質構造の表現性					て各項目を文章や◎/〇
盒 分考慮					,経済性などを判断し
コード名 サ					対する機能の有無 法を選択する
		差分法	有限体積法	有限要素法	※要求事項I⊂; 数値解析手》

図 3-17 数値計算手法の選択に関する真理表













図 3-21 濃度境界条件設定に関するフローダイアグラム







4 幌延地域の沿岸域における既存の調査試験結果に基づく地下水流動の把握

前章では、瑞浪事例を基にして、作業フロー、タスクおよびサブタスクの拡張、更新を 行った。本章では、拡張、更新した作業フローおよびタスク、サブタスクを基に、地下水 中の塩分濃度分布を推定するためのモデル化・解析を実施し、必要に応じて作業フロー、 タスク、サブタスクについてさらに拡張、更新を行った。

4.1 地下水中の塩分濃度分布の推定

(1) 水理地質構造モデル

「水理地質構造モデル」タスクに関する事前検討結果については3章3.3節(2)(2-1)および(3)(3-1)に記述した。この結果を基に実際にモデル化を行い,必要に応じて拡張,更新を行った。

(1-1) 水理地質構造概念モデルの構築

幌延地域は、北海道北部、天北堆積盆の東端部に位置し、白亜系を基盤岩とし、主に古 第三系の増幌層、中期中新世後半から鮮新世の稚内層、声問層、鮮新世から前期更新世の 勇知層、更別層、および第四紀完新世堆積物により構成される(太田ほか、2007)。そのほ か、地下水移行経路となる重要な構造として、デタッチメント断層、サロベツ断層帯、大 曲断層、北川口断層、ヌカナン断層などが抽出されている(大澤ほか、2008)。このうち、 サロベツ断層帯の幾何形状については、異なる二つの解釈(産業技術総合研究所(2006)、 石油公団(1995))があることから、これらの解釈に基づく地質環境概念モデルがそれぞれ 作成されている(大澤ほか、2008。図 4-1、図 4-2)。本研究におけるモデル化ではこれら の地質環境概念モデルに基づくこととし、産業技術総合研究所(2006)、石油公団(1995)

幌延沿岸域における地下水流動特性については、大局的には東から西へ流れる緩慢な地 下水流動が生じていると考えられているが、実際の調査研究事例がほとんどなく、大規模 な不連続構造が地下水流動特性に与える影響などについては十分把握されていない(大澤 ほか、2008)。そのため、解析の実施に当たっては、これらの不確実性を低減するための複 数の解析ケースを設定することが適当であると考えられる。

また,沿岸域における地下水流動特性を把握する上では,地下水の密度が重要となる。 幌延沿岸域では,深度 100m 以浅の表層において塩分濃度の低い淡水系地下水が分布する のに対し,深度とともに塩分濃度の高い塩水系地下水が卓越する傾向が認められている(大 澤ほか,2008)。このような塩分濃度の分布は,河川水や降水などの表層水,陸域の地下水, 海水,海底下の地下水などの塩分濃度と,それらの相互作用によって形成されているもの と考えられる。



図 4-2 地質環境概念モデル(産業技術総合研究所(2006)の解釈に基づく)

(1-2) 水理地質構造モデル化手法の選択

本研究では、すでに構築した三次元水理地質構造モデル(大澤ほか、2008)を活用し、 断層のモデル化/非モデル化、あるいは等価連続体/DFN(亀裂ネットワーク)モデルの 選択等の作業や判断については、同モデルで表現した断層形状、連続体モデルとしての近 似を採用することとした。また、沿岸域を対象とした場合についてのモデル化手法の選択 に関する作業フロー等の拡張、更新については、沿岸域特有の塩分濃度分布に影響を与え る分散特性に関して、今回の検討では地質構造ごとの不均質性などに関する実際の情報が 得られていないため、既存の三次元モデル化手法を採用することとした。

(1-3) 水理地質構造モデルの構築(空間領域の分割,水理・物質移行特性の設定)

沿岸域を対象とする場合,塩分濃度の高い地下水の移流・分散現象を考慮する必要があ るため,瑞浪事例では考慮しなかった物質移行特性を新たに設定する必要が生じた。物質 移行特性には,場に依存するパラメータとして間隙率および分散長,物理的な定数として 分子拡散係数などがある。以下にそれぞれの設定の詳細について記す。

1) 間隙率の設定

稚内層,声問層についてはボーリング調査などに基づく実測値が得られているため(牧 野ほか,2005),ここではそれらの値(声問層 0.54,稚内層 0.38)を用いることとする。

その他の地層や地質構造の間隙率については,松井(2007)を参考にした。すなわち, 有効間隙率は地表付近で0.6前後,深度700m付近で0.3前後を示すこと,わが国において は一般に地下深度が大きくなるにつれて間隙率は低くなる傾向にあること(新エネルギ ー・産業技術総合開発機構,2005など)を考慮し,層序的に上位の層は間隙率を高く,下 位の層は低くなるように設定した(表 4-1)。

地質構造要素	間隙率
第四紀-更別層	0.6
勇知層	0.6
声問層	0.54
稚内層	0.38
先第三紀-増幌層	0.3
白亜系	0.2

表 4-1 間隙率の設定

2)分散長の設定

分散長は,移流・分散問題において物質の移行速度に関わる重要なパラメータであるが, 瑞浪事例では水輸送問題であったためこのパラメータに関する検討は行っていない。

分散長は,幌延地域の原位置では得られていないため文献情報から設定することとした。 分散長は一般にモデルのスケールに依存することが知られている(例えば, P.A.ドミニ コ・F.W.シュワルツ, 1995)。Gelhar et al. (1992) などでは,モデルのスケールと分散長 との関係が示されている。また、横分散長は縦分散長より少なくとも1オーダー小さい値 であるとされている(P.A.ドミニコ・F.W.シュワルツ,1995)。モデルのスケールは分割す るメッシュサイズに相当する。後述するが、本モデルのメッシュサイズは概ね250m~ 1,000mである。このスケールの平均値に基づき、モデルのスケールと分散長との関係から、 縦分散長を50m、横分散長はその1オーダー小さい値である5mとした。

(2) 地下水流動解析

「地下水流動解析」タスクに関する事前検討結果については 3 章 3.3 節(2)(2-2)および (3)(3-2)に記述した。この結果を基に実際の解析を行い,必要に応じて拡張,更新を行った。

(2-1) 地下水流動概念モデル

地質環境概念モデル(図 4-1,図 4-2)には塩水と淡水の混在する領域の分布形状も含め た地下水流動概念がモデル化されていることから、本研究ではこれを用いることとした。

また,本研究では三次元地下水流動解析結果から地下水流動の主流動方向を抽出するが, この作業は,前章で設定した大局的な地下水流動の推定に関する意思決定過程に従って行 うこととした。

前述のように、断層の形状に関して二つの解釈に基づくモデルを構築しているが、産業 技術総合研究所(2005)の解釈に基づくモデルAの鳥瞰図を図 4-3に示す。



図 4-3 三次元地質構造モデルの例

三次元地下水流動解析の設定条件等は以下のとおりである。

- 飽和定常解析
- ・ 計算コード:有限体積法的差分法コード Frac-Affinity(稲葉ほか, 2002)
- 境界条件
 - 上部境界条件:陸域 固定水頭境界(地表面で圧力水頭 0m), 海域 固定水頭境界(海底面全水頭 0m)
 - ▶ 側方,下部境界条件:不透水境界

上記の条件のもと、地質構造(白亜系~第四系,および断層)の水理特性をパラメータ とした感度解析を実施した。各解析ケースの結果を比較したところ、上記パラメータは地 下水の大局的な流動方向に対する影響が小さいことがわかった。その流動方向は東から西 に向かうものであり、地質環境概念モデルと整合するものである。

図 4-4 に解析結果例として水頭分布を示す。大局的な地下水流動方向は東から西に向か うものであるが、その上流域については大きく二つのエリアが抽出された(図 4-4 の①お よび②のエリア)。

この結果の考察と、本研究でモデルの較正(キャリブレーション)に用いる比抵抗断面 が得られている電磁探査の測線(図 4-5)を考慮し、図 4-4 の①のエリアを通り、かつ、 測線上に重なる二つの断面、および②のエリアを通る東西断面を地下水流動の主流動方向 として抽出した。

図 4-6 に本研究で抽出した地下水流動の主流動方向(3 断面)の位置を示す。



図 4-4 三次元地下水流動解析結果例 (モデル B,標高-500m水平断面の全水頭分布)



図 4-5 電磁探査測線



図 4-6 地下水主流動方向抽出断面の位置図 (モデル B, 地表での地質分布図に加筆)

図 4-7~図 4-12 に各断面位置における地質構造断面図(モデル A, モデル B)を示す。

これらの断面における断層の位置・形状や地質構造分布の性状は地質環境概念モデル(図 4-1,図 4-2)と整合するものであり、地下水流動についても図 4-1,図 4-2の概念を適用 できる。

なお,図 4-4,図 4-6 に示した沿岸域エリアとは,沿岸域特有の現象の理解と調査・評 価の体系的な整備を目的とした実証的プロジェクト(沿岸域プロジェクト,大澤ほか(2008)) における調査対象の中心的なエリアである。以後,この範囲を沿岸域エリアと称する。



(2-2) 解析手法の選択

移流・分散問題を扱う場合は数値分散の影響を考慮する必要があることを先に述べた。 数値分散の影響は数値計算手法によって異なる。前章で構築した数値解析手法の選定に関 する意思決定過程に従い、本件で用いる数値解析手法を選択した。解析コードとして本件 で候補としたのは、Dtransu2D・EL(有限要素法)、TOUGH2(有限体積法)、GETFLOWS (有限差分法)である。これらの解析コードは移流・分散問題に対して広く一般的に使わ れ、実績もあることから(地盤工学会、2002;水文水資源学会、2002;原子力安全基盤機 構、2008 など)、選択肢として適当であると判断した。数値解析手法の選択に関する意思決 定過程の真理表を用いてこれらの解析コードの比較を行った(表 4-2)。

	解析 コード名	地下水中の 塩分を考慮 できる	地質構造等の 表現の自由度 が高い	数値分散の 影響が小さい	計算時間 が短い	メッシュ作成 等の作業量が 少ない
差分法	GETFLOWS	0	Δ	Δ	O	O
有限 体積法	TOUGH2	0	0	Δ	0	0
有限 要素法	Dtransu	0	Ø	0	Δ	Δ

表 4-2 数値解析手法の選択に関する真理表

本件では,解析結果が解析手法などの他の要因に因らずに高い精度で得られることを重 視し,一般に数値分散の影響が小さい解析手法である有限要素法に基づく解析コード Dtransu2D・ELを採用することとした。

一方,定常/非定常解析の選択に関しては以下の検討を行った。移流・分散問題におけ る定常解析では,移流・分散解析の非定常解析を実施し,水頭や濃度の経時変化が十分小 さくなった時点をもって定常に至ったと判断し,その時点の結果を定常状態とみなす方法 が一般的である(例えば,産業創造研究所,2002)。こうした方法により定常解析を行う場 合,領域の規模,初期条件,境界条件の組み合わせによっては,定常に至るまでに要する 時間が増大する可能性が考えられる。また,実際の自然界においては,塩分濃度分布が広 域的に定常状態に達していることは少ないのではないかとの指摘もある(例えば,Jaquet and Siegel, 2003)。塩分を含む地下水流動場が定常状態ではない可能性を考慮し,定常解 析で得られる結果の意味を,実際の地質環境条件に照らして十分吟味することが重要であ る。そこで,本件では,事前に移流・分散解析の予備的な解析を実施し,定常/非定常解 析の選択に関する検討を加えることとした。

また,塩分を含む移流・分散解析は非定常解析であるため,実施に際しては塩分濃度に 関する初期条件(解析開始時の濃度)の設定が必要となる。沿岸域を対象とした地下水流 動解析における初期条件の設定方法は次の3つに大別できる(産業創造研究所(2002),登 坂(2002a,b))。

全領域において塩水飽和

- ・ 全領域において淡水飽和
- ・ 特定の位置(海岸線など)を境界に一方を塩水飽和,他方を淡水飽和

解析の目的が実際の場の再現にあり,濃度分布が定常状態にはなく過渡的な状態である と考えられるのであれば,対象地域の地史から想定される適切な条件を設定するべきであ る(登坂,2001)。幌延地域の地史(サイクル機構,2002)によると,現在の陸域の大部分 は第三紀までは海成の堆積環境下にあり,第四紀以降に陸化して現在に至っていると考え られている。この地史に整合する濃度に関する条件としては,初期条件は塩水飽和,陸域 の上部境界条件は濃度ゼロの固定境界という設定が考えられる。なお,このような初期条 件,境界条件の設定の下で行われた沿岸域を対象とした解析事例には,Lofman(1999)や Hartley, et al. (1998) などがあり,いずれも地史に応じて過去から現在に至る濃度の非定 常変化を推測するための解析が行われている。

非定常解析において対象とする期間を設定するために、上記の初期条件および境界条件 (後述)を設定して、移流・分散解析の予備的な検討を実施した。用いた断面はモデル A の断面1である。

予備的検討は以下のように行った。

- 境界条件が恒久的に続くものと仮定し、水頭、塩分濃度の最終的な分布を推定するための非定常解析を実施。比較のために、塩水の密度差を考慮あるいは考慮しない2つのケースを設定。
- 水頭,濃度の経時変化が十分小さくなったと判断された時点,あるいは(地史などの常 識を超えた)十分に長い期間の解析を行ったと判断された時点で解析終了。
- 解析終了に至るまでの塩分濃度分布の変遷に基づいて、現在の幌延沿岸域の地質環境概 念との整合性が高い結果における解析上の時間経過を抽出する。
- ・ 上記で抽出された時間までの期間を、本研究で行う非定常解析で対象とする期間に設定 する。

図 4-13~図 4-16 に予備解析結果(濃度分布,沿岸域エリア付近拡大図)を示す。また, 図 4-17~図 4-18 に同領域の標高-2km 以浅での濃度の経時変化を示す。密度差を考慮した 場合,考慮しない場合で,それぞれ解析上設定した1億年,1,000億年後に濃度の経時変化 が十分小さくなったと判断された。計算時間はそれぞれ1,600時間,84時間程度であった。 得られた濃度分布は地質環境概念モデル(図 4-1,図 4-2)と明らかに整合していないこと から,パラメータや条件設定の不確実性は高いと考えられるものの,現在の地下水流動場 のうち,とくに塩分濃度分布は定常には至っておらず過渡的な状態にある可能性が示唆さ れる。地質環境概念モデルと整合するのは,解析開始から約10万年後の結果であると判断 された。この判断は以下の状況が地質環境概念と解析結果とで整合性が高いことによる。

・ 淡水浸入領域は概ね第四紀層/更別層内である。

勇知層以下の背斜構造部においては淡水領域の侵入深度は浅い。

・ 大曲断層以東では西側よりも相対的に淡水浸入領域深度が浅い。

以上の検討結果を踏まえ,前章の3.2(3)(3-2)で検討した「解析手法の選択」タスクのサブ タスクとして,「初期条件の設定」を新たに設定した。また同様に,図3-17の解析手法の 選択に関するフローから「定常/非定常解析の選択」サブタスクを新たに抽出し,このサ ブタスクの意思決定過程について整理した。

初期条件の設定に関する意思決定は,表 4-3の真理表で判断した。定常/非定常解析の選択については,今回の検討を踏まえて図 4-19の形式に取りまとめた。

なお,水頭についても初期条件の設定が必要となるが,静水圧分布などの場に応じた適切な設定のほか,水輸送問題における定常解析結果を流用する方法などが考えられる。



図 4-13 予備解析結果(濃度分布,モデルA断面1,密度差あり,解析開始後10万年)



図 4-14 予備解析結果(濃度分布,モデルA断面1,密度差あり,解析開始後1億年)



図 4-15 予備解析結果(濃度分布,モデルA断面1,密度差なし,解析開始後10万年)



図 4-16 予備解析結果(濃度分布,モデルA断面1,密度差なし,解析開始後1,000億年) ※凡例は、海水を1.0とした相対濃度を表す。



図 4-17 濃度計算値の経時変化(密度差あり,沿岸域エリア標高-2km以浅)



図 4-18 濃度計算値の経時変化(密度差なし,沿岸域エリア標高-2km 以浅)

	初期条件					
	塩水飽和	淡水飽和	塩水と淡水境界設定			
地下水流動解析の目的, 地史との整合	0	×	×			

表 4-3 初期条件設定の選択に関する真理表(本件での事例に基づく)



図 4-19 定常/非定常解析手法の選択に関する意思決定フローダイアグラム

さらに、予備的な検討として、解析手法の違いによる解析結果への影響を確認する一環 として、前述の予備解析と同様の条件の下、有限差分法による解析を実施した。計算コー ドは GETFLOWS を用いた。有限差分法では、一般に離散化格子の精度(分割の程度)が 数値分散に影響を与えると言われており、これを確認するために、精度の異なる 2 つのモ デルを構築し、解析を実施した。第一のモデルは、前述の有限要素法による離散化メッシ ュのうち、地表部分の節点をそのまま流用し、その節点位置を基に差分格子として離散化 したもので、格子数 472×38 である(以後、粗モデルと称する。図 4・20)。第二のモデル は、粗モデルの分割数を縦横それぞれ倍に細かくしたモデルで、格子数 944×76 である(以 後、精密モデルと称する。図 4・21)。



図 4-21 有限差分法による解析モデル(精密モデル)

粗モデル,精密モデルを用いた有限差分法による約10万年の非定常解析結果(濃度分布) を図4-22,図4-23にそれぞれ示す。



図 4-22 有限差分法による予備解析結果(濃度分布,粗モデル,解析開始後約10万年)



図 4-23 有限差分法による予備解析結果(濃度分布,精密モデル,解析開始後約 10 万年)

粗モデルと精密モデルで塩分濃度分布に若干の差異がみられる。格子の分割の細かさに 伴う数値分散の影響によるものと思われる。有限要素法による解析結果(図 4-13, 図 4-15) と比べて淡水浸入領域が大きく求められている。有限差分法における数値分散の影響と考 えられるが,この点についてはさらに詳細な検討を行い,その差が出る要因について明ら かにする必要がある。

(2-3) 空間の離散化

有限要素法コード Dtransu2D・EL で解析を行うための離散化メッシュを作成した。こ こでは三次元統合 CAD/CAM/CAE ソフトである I-DEAS による自動メッシュ作成機能を利 用し、メッシュ作成作業量の低減を図った。なお、自動メッシュ作成機能は、三次元モデ ルにおいては研究段階であるが、二次元モデルについては実用段階にある。

I-DEAS による自動メッシュ作成機能では、ある程度のメッシュ精度(節点間隔)を制御 することができるが、解析領域中央部の沿岸域エリアは高精度に、その周辺の領域は粗く なるように設定した。具体的な精度は、三次元水理地質構造モデルの精度を参考に、沿岸 域エリアをおよそ 250m ピッチ、解析領域端部をおよそ 1,000m ピッチとし、沿岸域エリア より離れるに従い徐々にメッシュが粗くなるよう調整した。メッシュの粗さを急激に変化 させないように調整するのは、一般的に計算の収束性の悪化を防ぐためである。 図 4-24 ~図 4-29 に各モデルの各断面における離散化結果を示す。 JAEA-Research 2010-001



(2-4) 境界条件の設定

水頭や流量に関する境界条件は,三次元地下水流動解析で設定した境界条件を変更する 理由がとくにない限り,三次元解析での境界条件の設定を流用した。変更点は,海域上部 境界面の水頭に関する固定境界条件で,塩分濃度に応じた密度変化を考慮するケースにお いては海底面上に存在する海水の静水圧を計算し,その静水圧の固定境界を海底面に与え

た。なお、海水における静水圧は、 $\int_{-0}^{t} \rho dz$ で求められる (ρ :海水の比重, h:海底面ま での水深)。海水の比重を均一とすれば、海底面に作用する圧力は ρh となる。ここでは海 水の比重は 1.023 (Dtransu2D・EL マニュアル等) で均一であるとした。

水理学的な境界条件を整理すると以下のようになる。

- ・ 上部境界条件:陸域,海域とも圧力固定
- · 侧方境界条件:不透水
- · 下部境界条件:不透水

濃度に関する境界については、図 3-22 のフローに従い、以下のように設定した。

- ・ 上部境界条件:固定濃度(陸域ゼロ,海域1.0)
- ・ 側方境界条件:設定せず
- ・ 下部境界条件:設定せず

(2-5) 解析ケースの設定

解析ケースは、以下の項目に着目した感度解析ケースを設定した。

- 断層の位置・形状の不確実性
- ・ 断層の水理特性
- · 塩水密度

断層の位置・形状の不確実性を考慮して一つの断面位置について二つの異なる解釈による断面(モデルA,モデルB)を構築しているので、この二つのモデルによる解析を実施し、 解析結果を比較することで断層の位置や形状の不確実性についての検討を行う。

水理特性のうち,透水係数については三次元地下水流動解析において断層の透水異方性 に関する不確実性を考慮することが考えられる。断層の透水異方性を考慮したケースでは, 断層の面方向および面に直交する方向の透水係数を3オーダー異なる設定としていること を踏まえて,断層の透水異方性を3オーダー異なるものとして考慮したケースと,考慮し ないケースを設定した。

塩水密度の影響を検討するために、密度差を考慮するケースと考慮しないケースを設定 した。

解析ケース一覧を表 4-4 に示す。全24 ケースの感度解析ケースを設定した。

水理特性の		密度差	差考慮	密度差なし		
不連続構造	── 不確実性	透水係数基本	異方性なし	透水係数基本	異方性なし	
の不確実性		(異方性あり)		(異方性あり)		
断面 1	モデルA	caseA1-1	caseA1-2	caseA1-3	caseA1-4	
	モデル B	caseB1-1	caseB1-2	caseB1-3	caseB1-4	
断面 2	モデルA	caseA2-1	caseA2-2	caseA2-3	caseA2-4	
	モデル B	caseB2-1	caseB2-2	caseB2-3	caseB2-4	
断面 3	モデルA	caseA3-1	caseA3-2	caseA3-3	caseA3-4	
	モデル B	caseB3-1	caseB3-2	caseB3-3	caseB3-4	

表 4-4 解析ケース

(2-6) 解析の実施

本研究においては前述の通り、モデル A、モデル B をそれぞれ 3 断面ずつ計 6 断面(6 モデル)を作成し、その 6 断面について感度解析ケース 4 ケースを実施する。効率的な作 業を図るため、本解析を実施する前に、収束の程度や動作確認等を目的とした予備的解析 を実施した。予備的解析に使用したのはモデル A 断面 1 で、全体の作業速度を速める観点 から、離散化モデルのドラフト版(地質要素が正しくモデル化されているかどうかなどの チェックを行う前段階のもの)を用いて、実際に Dtransu2D・EL 用の入力データを作成 し、解析を実行して、その収束性などを検討した。またその作業と並行して離散化モデル の最終版および他のモデル作成を行った。これらの手順を図 4-30 に示す。

この手順に沿ってモデル化・解析を実施し, 24 ケースの解析結果を導出した。その結果 を用いて、ケース間の比較などを行い、パラメータの感度などに関する考察を行った。


図 4-30 予備的解析および本解析の時間軸に沿った実施手順概念図

なお、多数のモデルや入力データの作成を同時に行うなど、作業が複雑になることによ りヒューマンエラーが発生する可能性が高まることが想定される。ヒューマンエラーの防 止に当たっては、入力されたデータ、あるいは、作成したデータを用いて別のデータを作 成する場合など、下流側のデータが正しく上流側から受け渡されているかどうかなどを確 実に確認することや、予備的解析などにおいて、水頭分布等の図化結果による比較および 数値による定量的な比較を行うことが必須である。ヒューマンエラーの防止が実現できる ようにすることを念頭におきながら、瑞浪事例における解析実施に関するフローダイアグ ラムと解析の妥当性に関するフローダイアグラムの見直しを行った。なお,解析の妥当性 に関するフローダイアグラムについては次の(2-7)に記述する。

瑞浪事例の解析実施に関するフローダイアグラムでは解析上でエラーが発生せず収束性 等に問題がなければ次の段階に進むが、ヒューマンエラーを未然に防ぐためには計算を行 う直前にも入力ミス等のチェックを行うことが必要と判断し、図 4-のようにフローを拡 張・更新した。意思決定フローなどで示される各タスクボックス内にデータの受け渡し作 業が内包されているような場合もあることを想定し、データの適切性の確認については下 流側のデータを使う旨をコメントとして記述することとした。



※上流側の作業から下流側の作業へのデータの受け渡しがある場合は下流側のデータで確認する

図 4-31 解析実施に関するフローダイアグラム

拡張・更新された解析実施に関するフローダイアグラムに従って解析を実施した。解析 結果については解の収束性や水収支等に問題がないことから,適切に計算が行われている ものと考えられる。

解析開始後10万年の非定常解析に要した時間は表4-5の通りである。

表 4-5 計算時間一覧(解析開始後 10 万年の非定常解析に要した時間)

		中中学者			
		密度差考慮		密度差なし	
不連続構造		透水係数基本	異方性なし	透水係数基本	異方性なし
の不確実性		(異方性あり)		(異方性あり)	
断面 1	モデルA	caseA1-1	caseA1-2	caseA1-3	caseA1-4
		3.8	4.4	0.7	0.7
	モデル B	caseB1-1	caseB1-2	caseB1-3	caseB1-4
		3.6	3.5	0.5	0.7
断面 2	モデルA	caseA2-1	caseA2-2	caseA2-3	caseA2-4
		9.2	9.1	2.0	2.0
	モデル B	caseB2-1	caseB2-2	caseB2-3	caseB2-4
		6.9	3.7	1.2	1.6
断面 3	モデルA	caseA3-1	caseA3-2	caseA3-3	caseA3-4
		7.6	6.8	0.3	0.3
	モデル B	caseB3-1	caseB3-2	caseB3-3	caseB3-4
		3.5	3.2	1.5	1.5
Intel Xeon 3.0GHz 使用 Intel Con				6GHz 使用 [単位:時間]

AMD Athlon 4400 2.3GHz 使用

(2-7) 解析結果の妥当性確認

解析結果の妥当性確認については、瑞浪事例を基に事前に拡張・更新したフロー(図 3-23) においては解析値と実測値との比較により判断することとなる。本研究実施時においては 当該断面における解析結果と比較できるような水頭あるいは濃度の実測データは取得され ていないため、このタスクについては本研究では取り扱わないこととする。

しかしながら,実測値が得られていない段階から数値解析的に不確実性要因の影響を評価し,効率的な調査計画立案に反映するアプローチは SKB における研究事例 (Jaquet and Siegel, 2006 など) などでも採用されており,実測値を用いない何らかの方法で解析結果の妥当性を確認する必要が生じることも想定される。SKB 等の類似事例では,地質環境概念 モデルとの比較により,解析結果の妥当性を論じている。この際,水頭や濃度分布等を図化し,その解析結果と地質環境概念モデルとの比較を行う場合が多い。この方法は,対象における全体的な傾向などを概括的に確認できるため,定性的な評価を行う上で有効であると考えられる。

以上を考慮し,解析結果の妥当性確認に関するフローダイアグラムの拡張・更新を行った。図 4-32 に拡張・更新後の解析結果の妥当性確認に関するフローダイアグラムを示す。



-63-

(2-8) 解析結果の考察

感度解析を実施する目的は、感度解析ケース間での比較・検討を通じて、地下水流動特性の不確実性を低減させることである。すなわち、どの感度解析ケースが他と異なるのか、 その異なる度合いはどのくらいかを評価し、解析結果に与える影響が大きい不確実要因を 特定して次段階の調査計画へ反映することが重要となる。図 3-23 のフローはそのような検 討に適したものである。本件でもこのフローに沿って考察を行った。

本件における解析結果の評価項目は水頭値,流速,濃度である。実測値を用いた検討は ここでは行わないため,定性的な議論になることはやむを得ないことに留意し,具体的な 評価方法について検討を加えた。

上記評価項目の分布図を図 4-34~図 4-51 に示す。これらの分布図を目視で比較すること によってケース間の差異を評価することもよく行われる(K. Meling and V. Taivassalo, 1991; U. Svensson, 1997 など)。ただしこの場合、判断基準から担当者の主観を完全に排除 することは不可能である(担当者の経験による判断が多少含まれる)こと、局所的な違い は目に付きにくいことを留意すべきであろう。本件の場合は分布図の比較から以下の事項 を挙げることができる。

- ケース間の差はあまり大きくない。
- ・ 密度差を考慮しない方が淡水が侵入する範囲が大きい。
- 密度差を考慮しない方が海岸線から海側の地下に淡水領域が広がる傾向にある。
- ・ 水頭分布は陸域深部を除いてほぼ同一。陸域深部の差も小さい(10m 程度)。
- ・ 流速分布はほぼ同じ傾向である。

なお、"あまり大きくない"、"傾向は同じ"、"若干"といったやや主観的な表現は類似事 例でも用いられている。こうした主観的な表現により客観性をもたせる手法としては、あ るケースを基本ケースとして他のケースとの差をとり、その傾向などを比較する方法があ る。同じ数値モデル(節点の位置座標が同じモデル)間であれば比較的容易に差を計算す ることができる。図 4-52~図 4-69 は同じ数値モデルを用いたケース間の解の差をとり、そ の分布を示したものである。この手法ではケース間の違いが明瞭になるほか、その差が生 じる領域をより限定的に求めることができ、さらに差の定量的な評価を行うことで、パラ メータの影響の程度を定量的に評価することが可能となる。特に本件のような数十~数百 km に及ぶ広範囲な領域を対象とする場合、全体的な傾向の比較による検討だけでは気付き にくいケース間の差異を際立たせることで、地下水流動場の理解に資する判断材料を提供 できる可能性がある。

本件の場合、ケース間の差の算出と差の分布図の比較から、以下のことが言える。

- ・濃度分布,流速分布については断層の透水性の不確実性よりも密度差あり/なしの影響の方が大きい
- その影響範囲は濃度分布および流速分布の場合浅部のみであり、淡水侵入領域と呼応し

ている。

・ 水頭分布は断層の透水性の違いの影響が深部においても見られる。

さらにこうした差分値の算出を行いケース間で比較することは、先に述べたようにヒュ ーマンエラー等の確認に利用することが可能であると考えられる。今回の件では、濃度等 の差が他のケースに比べてオーダーで異なることなどからヒューマンエラーが確認できた。 ①水頭分布・濃度分布比較、②局所的傾向が一致していない、③感度パラメータに起因し た違いが認められない(感度パラメータの違いによる違いにしては差が大きすぎる)、④「境 界条件の設定」もしくは「解析の実施」に戻る、という流れになる。



図 4-33 解析結果の考察に関するフローダイアグラム

水頭・濃度等の差から、以下のことが考察できる。 濃度分布などについては深度-2,000m 付近より深部においては解析ケース間の違いはほ とんどない。今回の解析結果では図による比較でも十分直感的にそのことは理解できると 考えられたが、その判断を補完する情報として、深度ごとの差を図化することが考えられ る。図 4-70~図 4-75 に深度と濃度差、深度と水頭差、深度と流速の差をそれぞれ示す。

さらに、同じ数値モデルを用いているのであれば、節点における物理量の統計データ(全 節点における物理量の平均値,最大値,最小値,分散,頻度分布など)を別に算出してケ ース間の比較を行うとこともできる。表 4-6~表 4-23 に各解析ケースにおける水頭,濃度, 流速の全節点における平均値等の統計情報を示す。

これらの統計情報および基本ケースとの差異の図からは以下のことが言える。

- パラメータの違いによる水頭への影響は地下深部まで及ぶ。
- ・ パラメータの違いによる濃度への影響は標高-2,000m 程度より浅い範囲に現れる。
- パラメータの違いによる流速分布への影響はほぼ濃度の影響範囲と同一である。

水頭と流速の違いは呼応していないこと,水頭の違いが大きい深部地下において流速の 違いがほとんど生じていないことから,ケース間の水頭の違いは小さいとしてよいものと 考えられる。

濃度と流速の違いは呼応しており、濃度の違いによって流速分布に影響が出ているもの と考えられる。従って、濃度に影響を及ぼすパラメータの不確実性を低減させることが、 地下水流動場の評価の精度を向上する上で有効であると考えられる。

また,表4-5によると,密度差を考慮したケースは密度差を考慮しないケースに比べて計算に要する時間が長くなる傾向にある。これは,密度差を考慮して物性を変化させることで,材料非線形性が高まることによる一般的な事象だと考えられるが,モデルA断面2での結果にみられるように,そうした傾向から外れる場合もある。これはメッシュ形状等の影響によるものと思われる。一般的には,密度差を考慮しない場合の方が計算時間が短く,シミュレーションを実施する観点では効率的であるが,密度差を考慮しないことで現象として支障がないと判断される場合に限定されることに留意する必要がある。今回の検討では,密度差を考慮した場合とそうでない場合で,解析結果に差異が認められたが,どちらの条件設定が適切であるかの判断には至っていない。このことは、実測値に基づく解析結果の妥当性の評価等をもって判断すべきである。

上述の考察を総合的に判断し、本件では以下の結論を得た。

- 本モデルにおいては、断層形状、透水異方性の不確実性の影響は小さい。
- ・ 塩水と淡水の密度差を考慮する場合としない場合の計算結果(濃度,流速)の差は大きく,その差は標高-2,000m以浅に現れる。
- ・ 標高-2,000m 以浅における水理特性の不確実性を低減することが,地下水流動場の評価の精度を上げるために必要である。
- ・ 数値解析を行う場合は、塩水と淡水の密度差を考慮した計算を行うべきである。

以上のような方法により,実測値を用いた検討を行わなくても,感度解析ケース間の比 較検討を行うことで,パラメータの不確実性に伴う解析結果への影響の程度を評価するこ とが可能である。ただし,この場合の評価はあくまでも定性的なものであり,定量的な評 価には,実測値を用いた比較などが必要であることに留意する。











図 4-37 解析結果(濃度分布)比較図(モデルB 断面1) 上段:全体図,下段:拡大図





図 4-39 解析結果(濃度分布)比較図(モデルB 断面3) 上段:全体図,下段:拡大図





















上段:全体図,下段:拡大図,単位[m/y] 図 4-48 解析結果(流速分布)比較図(モデルA 断面3)







上段:全体図,下段:拡大図,単位[m/y] 断面3) 解析結果(流速分布)比較図(モデルB








































































	密度差あり・異方性なし	密度差なし・異方性あり	密度差なし・異方性なし
平均值	-1.9E-5	0.005	0.005
中央値	0	0	0
最大値	0.19	0.96	0.96
最小値	-0.26	-0.24	-0.26
標準偏差	0.0053	0.055	0.055

表 4-6 基本ケースとの濃度差の統計情報(モデルA, 断面1)

表 4-7 基本ケースとの水頭差の統計情報(モデルA,断面1) [単位[m]]

	密度差あり・異方性なし	密度差なし・異方性あり	密度差なし・異方性なし
平均值	0.43	-3.6	-3.2
中央値	-2.0E-6	-2.4	-1.3
最大値	13.0	1.1	6.2
最小値	-10.7	-22.6	-22.6
標準偏差	2.2	4.0	4.4

表 4-8 基本ケースとの流速差の統計情報(モデル A, 断面 1) [単位[m/y]]

	密度差あり・異方性なし	密度差なし・異方性あり	密度差なし・異方性なし
平均值	-6.1E-6	-0.0007	-0.0007
中央値	-6.6E-10	-2.6E-10	-7.2E-8
最大値	0.0002	0.28	0.28
最小値	-0.005	-0.3	-0.3
標準偏差	8.5E-5	0.01	0.01

表 4-9 基本ケースとの濃度差の統計情報(モデルA,断面2)

	密度差あり・異方性なし	密度差なし・異方性あり	密度差なし・異方性なし
平均值	0.0002	0.006	0.006
中央値	0	0	0
最大値	0.48	0.97	0.98
最小値	-0.06	-0.40	-0.4
標準偏差	0.007	0.06	0.06

表 4-10 基本ケースとの水頭差の統計情報(モデルA, 断面2) [単位[m]]

	密度差あり・異方性なし	密度差なし・異方性あり	密度差なし・異方性なし
平均值	-0.2	-3.2	-3.0
中央値	-0.03	-2.6	-1.9
最大値	6.2	2.0	3.1
最小値	-10.5	-17.9	-17.9
標準偏差	1.7	2.8	3.6

表 4-11 基本ケースとの流速差の統計情報(モデル A, 断面 2) [単位[m/y]]

			-
	密度差あり・異方性なし	密度差なし・異方性あり	密度差なし・異方性なし
平均值	-9.1E-6	-0.0004	-0.0004
中央値	-5.4E-8	-2.1E-9	-4.2E-7
最大値	0.0007	0.03	0.03
最小値	-0.007	-0.2	-0.2
標準偏差	0.0001	0.006	0.006

表 4-12 基本ケースとの濃度差の統計情報(モデルA,断面3)

	密度差あり・異方性なし	密度差なし・異方性あり	密度差なし・異方性なし
平均值	0.0003	0.002	0.002
中央値	0	0	0
最大値	0.3	0.7	0.7
最小値	-0.04	-0.4	-0.4
標準偏差	0.007	0.03	0.03

	密度差あり・異方性なし	密度差なし・異方性あり	密度差なし・異方性なし
平均值	2.9	-3.6	-0.6
中央値	4.5E-5	-2.6	-0.6
最大値	68.2	3.0	61.7
最小値	-4.6	-13.4	-13.4
標準偏差	8.5	3.5	8.2

表 4-13 基本ケースとの水頭差の統計情報(モデル A, 断面 3) [単位[m]]

表 4-14 基本ケースとの流速差の統計情報(モデル A, 断面 3) [単位[m/y]]

	密度差あり・異方性なし	密度差なし・異方性あり	密度差なし・異方性なし
平均值	-1.1E-5	-9.3E-5	-0.0001
中央値	-3.0E-9	-2.0E-7	-2.2E-7
最大値	0.006	0.05	0.05
最小値	-0.02	-0.10	-0.10
標準偏差	0.0002	0.002	0.002

表 4-15 基本ケースとの濃度差の統計情報(モデル B, 断面 1)

	密度差あり・異方性なし	密度差なし・異方性あり	密度差なし・異方性なし
平均值	0.0001	0.004	0.004
中央値	0	0	0
最大値	0.1	0.95	0.95
最小値	-0.06	-0.6	-0.6
標準偏差	0.003	0.05	0.05

表 4-16 基本ケースとの水頭差の統計情報(モデル B, 断面 1) [単位[m]]

	密度差あり・異方性なし	密度差なし・異方性あり	密度差なし・異方性なし
平均值	0.96	-3.0	-2.0
中央値	0.002	-2.4	-0.9
最大値	13.6	1.1	7.7
最小値	-1.9	-20.3	-20.3
標準偏差	2.2	3.1	3.0

表 4-17 基本ケースとの流速差の統計情報(モデル B, 断面 1) [単位[m/y]]

	密度差あり・異方性なし	密度差なし・異方性あり	密度差なし・異方性なし
平均值	-6.1E-6	-0.0004	-0.0004
中央値	-1.3E-8	-1.5E-9	-1.4E-7
最大値	0.0002	0.03	0.03
最小値	-0.004	-0.22	-0.22
標準偏差	7.8E-5	0.006	0.006

表 4-18 基本ケースとの濃度差の統計情報(モデルB,断面2)

	密度差あり・異方性なし	密度差なし・異方性あり	密度差なし・異方性なし
平均值	0.0002	0.01	0.01
中央値	0	0	0
最大値	0.37	1.0	1.0
最小値	-0.08	-0.4	-0.4
標準偏差	0.008	0.09	0.09

表 4-19 基本ケースとの水頭差の統計情報(モデルB, 断面2) [単位[m]]

	密度差あり・異方性なし	密度差なし・異方性あり	密度差なし・異方性なし
平均值	0.5	-2.9	-2.5
中央値	-5.0E-7	-2.2	-1.4
最大値	8.8	2.1	3.3
最小値	-2.9	-18.3	-18.3
標準偏差	1.5	2.9	3.0

	密度差あり・異方性なし	密度差なし・異方性あり	密度差なし・異方性なし
平均值	-6.9E-6	-0.0008	-0.0008
中央値	5.9E-11	-3.4E-9	-2.0E-7
最大値	0.0005	0.03	0.03
最小値	-0.009	-0.23	-0.23
標準偏差	0.0001	0.009	0.009

表 4-20 基本ケースとの流速差の統計情報(モデルB,断面2) [単位[m/y]]

表 4-21 基本ケースとの濃度差の統計情報(モデルB,断面3)

	密度差あり・異方性なし	密度差なし・異方性あり	密度差なし・異方性なし
平均值	0.0002	0.002	0.002
中央値	0	0	0
最大値	0.3	0.6	0.6
最小値	-0.07	-0.2	-0.2
標準偏差	0.007	0.02	0.02

耒	4-22	其木ケー	ストのオ	ィ面差の統計的	き報 (エ	デルB	新面3)	[畄位[m]]
衣	4-22	本中ワー	へとのバ	、頭左の前前前	月刊以して) <i>IV</i> D,	倒回る/	[毕]①[[[11]]]

	密度差あり・異方性なし	密度差なし・異方性あり	密度差なし・異方性なし
平均值	3.0	-3.4	-0.3
中央値	0.0001	-2.4	-0.6
最大値	68.2	4.0	62.0
最小値	-4.7	-13.1	-13.1
標準偏差	8.5	3.4	8.2

	密度差あり・異方性なし	密度差なし・異方性あり	密度差なし・異方性なし		
平均值	-1.6E-5	-0.0001	-0.0001		
中央値	-9.6E-10	-2.0E-7	-2.1E-7		
最大値	0.02	0.04	0.04		
最小値	-0.10	-0.05	-0.11		
標準偏差	0.001	0.002	0.002		

表 4-23 基本ケースとの流速差の統計情報(モデル B, 断面 3) [単位[m/y]]























さらに、各解析ケースにおいて、移行距離・移行時間の検討を行った。移行距離・移行時間の算出には市販の図化ソフト MicroAVS の流線表示機能を用いた。流線は、沿岸域エリアの中心の地表から深度 4,000m 前後までを 64~70 分割した時の分割点を出発点として、地下水流動の順方向、逆方向の移行距離・時間(モデル境界に達するまで)を算出した。

移行距離・移行時間は各モデル非定常解析結果(10万年後)の流速データを用い,便宜 上この流速の値が不変として流線を描画する。実際の場は先に述べたように定常に至るま での過渡期にあると考えられ,長期的にみれば流速分布は変化しているはずであり流速不 変の設定は現実的ではないが,解析ケース間の違いを評価することなどによる地下水流動 場の理解には有用であろう。

図 4-76~図 4-81 に各ケースにおける流線を示す。同一断面は概ね全体的に一致した傾向 を示し、断面が異なると傾向は変わる。また、CaseA1 と CaseB1 など、断層の形状が異な るケース間では概ね傾向が一致したことから、断面が異なることによる地質構造の全体的 な位置の変化が地下水移行経路に影響を及ぼすものと考えられる。また、どのケースもほ ぼ東から西に向かう流れであり、地下水流動の主流動方向として抽出した断面が適切であ ったことを示している。

図 4-82~図 4-105 に各ケースの移行距離・移行時間を記す。各ケースとも標高-1,500m ~-2,000m 付近を境に深部において移行時間が大幅に増加する傾向が見られる。これは移行 距離の増加と流速の減少による影響だと思われる。また,いくつかのパーティクルにおい て突出して移行時間・距離が増大するケースが見られるが,これは図 4-106 のように場合 によってはパーティクルがループ上の移行経路をとるケースがあるためと考えられる。

なお、標高-1,000mより浅い部分における移行距離・時間は概ね数 km~数+ km, 10 万 ~100 万年となったが、10 万年の非定常解析によって塩分濃度等が、特に浅い部分におい て変化している状況を考えれば、流速不変の条件が現実とは異なることは明らかであり、 また地下水流動の主流動方向以外の向きの地下水流動の影響の程度が明らかでない状況に おいては、これらの数値は定量的な意味を持たないことに留意する必要がある。

-113-



図 4-77 地表~E.L.-4,000m を通る流線(Case A2-1, Case A2-2, Case A2-3, Case A2-4)





CaseB1-4

CaseB1-3







図 4-82 パーティクル移行距離・移行時間(CaseA1-1)



図 4-83 パーティクル移行距離・移行時間(CaseA1-2)



図 4-84 パーティクル移行距離・移行時間(CaseA1-3)



図 4-85 パーティクル移行距離・移行時間 (CaseA1-4)



図 4-86 パーティクル移行距離・移行時間 (CaseA2-1)



図 4-87 パーティクル移行距離・移行時間 (CaseA2-2)



図 4-88 パーティクル移行距離・移行時間 (CaseA2-3)



図 4-89 パーティクル移行距離・移行時間 (CaseA2-4)



図 4-90 パーティクル移行距離・移行時間(CaseA3-1)



図 4-91 パーティクル移行距離・移行時間 (CaseA3-2)



図 4-92 パーティクル移行距離・移行時間(CaseA3-3)



図 4-93 パーティクル移行距離・移行時間(CaseA3-4)



図 4-94 パーティクル移行距離・移行時間(CaseB1-1)



図 4-95 パーティクル移行距離・移行時間 (CaseB1-2)



図 4-96 パーティクル移行距離・移行時間 (CaseB1-3)


図 4-97 パーティクル移行距離・移行時間(CaseB1-4)



図 4-98 パーティクル移行距離・移行時間 (CaseB2-1)



図 4-99 パーティクル移行距離・移行時間 (CaseB2-2)



図 4-100 パーティクル移行距離・移行時間(CaseB2-3)





図 4-101 パーティクル移行距離・移行時間(CaseB2-4)





図 4-102 パーティクル移行距離・移行時間(CaseB3-1)



図 4-103 パーティクル移行距離・移行時間(CaseB3-2)



図 4-104 パーティクル移行距離・移行時間(CaseB3-3)







図 4-106 パーティクルの軌跡(CaseB1-1, 標高-842m, 順方向)

(3) モデルの較正(キャリブレーション)

電磁探査による電気比抵抗分布を用いて,各断面におけるモデルの較正(キャリブレー ション)を行う。

(3-1) 水理地質構造モデルの構築(空間領域の分割,水理・物質移行特性の設定) 電磁探査が実施された測線は図 4-107 に示す A-A'および B-B'である。



図 4-107 電磁探査測線図



A-A'および B-B'側線における比抵抗調査結果を図 4-108 に示す。

図 4-108 電磁探査結果(測線 A-A', 測線 B-B')

測線 A-A'に地質構造モデルにおける地質境界等を重ね合わせて表示したものが図 4-109 である。また,測線 A-A'に近い位置でのモデルであるモデル A 断面 1 における地下水流動 解析結果(CaseA1-1)における測線 A-A'部分の拡大図を図 4-110~図 4-112 に示す。



図 4-111 地下水流動解析結果(濃度分布, CaseA1-1)



図 4-112 地下水流動解析結果(流速ベクトル, CaseA1-1)

電気比抵抗分布は,塩分濃度および地質構造の違いを反映していると考えられる。この うち,とくに地表面から浅い部分の電気比抵抗の高い領域は同一地質(更別/第四紀層) 内での変化がみられることから,地質の違いよりも淡水領域と塩水領域の差異をよく反映 していると判断した。この電気比抵抗分布と解析結果のうち,とくに濃度比分布を比較す ると次のことがわかる。

- ・ 大曲断層より西側(図左側)において図 4-109 の「Distance」10km 付近に見られる背 斜構造より西側(左側)および東側(右側)において淡水侵入がみられ,解析結果でも 概ねその傾向は一致している。
- ・ 電気比抵抗調査結果では大曲断層より東側(右側)では淡水侵入領域は地表付近のごく 浅い範囲に限られ,解析結果もそれと整合する。
- ・ 大曲断層より西側のうち,背斜構造より西側では更別層/第四紀層内に淡水領域範囲は 限られており,解析結果でもそれと整合するが,解析結果では「Distance」4km 付近 において上昇流が見られそれに応じて淡水侵入領域が調査結果よりも浅い傾向にある。
- 大曲断層より西側のうち、背斜構造より東側では、電磁探査結果において更別層/第四 紀層内で淡水領域がとどまっているようにみられるが、解析結果では、その下位の勇知 層にまで淡水が侵入している。

調査結果と解析結果の比較により違いが見られた浅部塩分濃度分布を調査結果により整 合するようモデルを更新する。これまでに行った解析結果から、断層の形状・透水性が塩 分濃度分布に与える影響は小さいことがわかっているため、これらの要素以外のパラメー タについて検討を加えた。

解析における淡水侵入領域は更別/第四紀層および勇知層であるので,これらの層の水 理特性が重要であることは自明である。塩分輸送にかかわる水理特性としては,透水係数, 間隙率,分散長がある。

間隙率については、勇知層は実測値を基に設定していることから変化させる根拠が薄い。

背斜構造より西側においては概ね淡水領域が調査結果と解析結果で整合していることか

ら,分散長を変化させることはこの整合している結果にまで影響を及ぼす可能性がある。 これらのことからモデルの更新方針として透水性を変化させることを主眼におき,以下 を設定した。

- ・「Distance」4km 付近の上昇流を抑えるために更別層,第四紀層の透水性を見直す。 具体的には透水異方性を設定し,水平方向の透水性を鉛直方向より高くする。堆積層に おける水平方向と鉛直方向の透水異方性については,水平方向を鉛直方向の 10 倍とし て設定した。
- ・ 勇知層への淡水侵入を抑えるために勇知層の透水性を低くする。勇知層の透水性については三次元地下水流動解析(水輸送問題)において行われた感度解析ケース(大澤ほか,2008)を参考に、3オーダー下げて1.0×10⁻¹¹m/sを設定した。

(3-2) 地下水流動概念モデル

図 4-1,図 4-2 に示した地下水流動概念モデルと大局的には変化はない。

(4) モデル較正後の解析

較正されたモデルを用いて密度差を考慮する場合と考慮しない場合の解析結果への影響 を確認するための解析を実施した。断層の形状,透水性は,解析結果への影響が顕著でな いことから,モデルA(3)断面)において断層の透水異方性を考慮するケースを設定した。

(4-1) 解析ケースの設定

解析ケースの設定についての作業フローについては特に変更点はなかった。 表 4-24 に解析ケースを示す。

	密度差考慮する	密度差考慮しない
モデルA断面1 (断層異方性設定)	Case CA1-1	Case CA1-2
モデルA断面2 (断層異方性設定)	Case CA2-1	Case CA2-2
モデルA断面3 (断層異方性設定)	Case CA3-1	Case CA3-2

表 4-24 キャリブレーション解析ケース

(4-2) 解析の実施

解析実施に関する作業フローについては特に変更点はなかった。計算の収束状況,水収 支等に問題はなく,計算は正しく実行されたと判断した。

計算に要した時間は表 4-25 に示す通りである。

	密度差考慮する	密度差考慮しない
モデルA断面1	Case CA1-1	Case CA1-2
(即唐共力任政定)	19.1*	0.7*
モデルA断面2	Case CA2-1	Case CA2-2
(妳眉共力性政正)	7.3*	3.4*
モデルA断面3 (断層異方性設定)	Case CA3-1	Case CA3-2
	13.1*	1.5**

表 4-25 キャリブレーション計算時間一覧 (解析開始後 10 万年の非定常計算)

*: Intel Xeon 3.0GHz 使用, **: Intel Core2 1.86GHz 使用 [単位:時間]

(4-3) 解析結果の妥当性確認

図 4-32 に示す解析結果の妥当性評価に関するフローダイアグラムに従って妥当性確認 を行う。妥当性を判断するための実測値はここでは電気比抵抗調査結果である。ただし電 気比抵抗調査結果は塩分濃度だけでなく地質構造の違いをも反映したものとなっており, 地質構造の違いを考慮しつつ比抵抗分布の色合いの違いを総合的に見て判断すべきもので あり,定量的な値(絶対値)による議論はできない。

図 4-113 に電気比抵抗調査結果図 (再掲),図 4-114 に CaseCA1-1 における解析結果 (濃 度分布),図 4-115 に CaseCA1-2 における解析結果 (濃度分布)を示す。キャリブレーシ ョン前に見られた背斜構造西側の上昇流による淡水浸入範囲の抑制効果については意図し た通りに緩和されたが、まだその影響が見られる。特に密度差を考慮しないケースにおい てはその影響が強い。

背斜構造西側の勇知層への淡水侵入はキャリブレーション後のモデルにおいては抑制さ れ、電気比抵抗調査結果と解析結果は空間的な分布傾向においては整合していると言える。 密度差を考慮したケースとしないケースでは、密度差を考慮しないケースの方が更別/第 四紀層内の深部にまで淡水が侵入する傾向にあるが、電気比抵抗調査結果との比較におい てはどちらのケースがより整合的かの判断は困難である。塩分濃度の実測値(絶対値)と の比較により今後検証すべきである。

背斜構造東側における勇知層への淡水侵入領域は電気比抵抗調査結果と比べて解析結果 は逆に小さくなった。この点については以下の要因が考えられる。

- ・ 背斜構造を境に西側と東側で勇知層の透水性にコントラストがある。
- ・ 背斜構造の東側では地下水流動の主流動方向以外の流動の影響が大きく,二次元断面モ デルでは再現性に限界がある。

今後,実測値を用いた検証によりモデルの妥当性を評価し,さらに必要に応じてモデル の更新を行っていく必要があると考えられる。



図 4-115 キャリブレーション後の解析結果(濃度分布, Case CA1-2)

(4-4) 解析結果の考察

図 4-116~図 4-124 に, Case CA1-1~2, CA2-1~2, CA3-1~2の解析結果(水頭分布, 濃度分布, 流速分布)をそれぞれ示す。

水頭分布の全体的な傾向は各ケースとも概ね一致している。

濃度分布の傾向は,海岸線より海側地下以外は全体的な傾向は全ケースで概ね一致して いる。密度差を考慮しない場合は,考慮した場合に比べて沿岸海底地下に淡水領域が広が る傾向にある。これはモデル較正前でも同じ傾向が認められ,また,断面の違いによらず, 全断面において密度差の考慮の有無の差によって生じている。この違いは,密度差のパラ メータによる影響と考えられ,今回の較正後のモデルによる解析では,密度差の考慮の有 無は,沿岸海底下の塩分濃度分布に特に大きな影響があると判断できる。

各断面において,密度差を考慮したケース(CAx-1)と密度差を考慮しないケース(CAx-2)の水頭および濃度の差を,図 4-125~図 4-127 にコンタマップで示した。このとき差が大きく現れる箇所は主に更別層,第四紀層下面付近であり,淡水侵入域の先端付近である。

モデル較正前後の解析結果は、以下のようにまとめることができる。

- ・ 塩分濃度分布に大きな影響をおよぼすパラメータは、更別層、第四紀層および勇知層の
 透水性と塩水の密度である。
- ・ 断層の形状,透水性は,水頭分布に影響を与えるが,大きなものではない。









1.0

0.8

0.6

0.4

0.2

00

08

0.6

0.4

0.2

00





-151-





000

-5.00

-1000

-15.00

-20.00

-25.00

-010 -008 -006 -004 -002 000 002 004 006 008 010

本解析と同様に地下水移行経路・距離・時間の算出をキャリブレーション後のモデルに おいても行った。図 4-128~図 4-130 に各ケースの流線を示す。ここで特徴的なのは順方向 の地下水移行経路がかなり西側にシフトする傾向がみられることである。これは沿岸域エ リアより西側にやや厚く存在する更別層の透水異方性を設定して水平方向の流れやすさを 大きくしたことによるものと思われる。

図 4-131~図 136 に各キャリブレーション後のモデルケースにおける地下水移行距離・時間を示す。キャリブレーション前に比べて移行距離・時間が増加するのが概ね標高-900~-1,500m 程度となる傾向が見られる。



図 4-128 地表~E.L.-4,000m を通る流線(Case CA1-1, Case CA1-2)



図 4-129 地表~E.L.-4,000m を通る流線(Case CA2-1, Case CA2-2)



図 4-130 地表~E.L.-4,000m を通る流線(Case CA3-1, Case CA3-2)





(b) 移行時間



図 4-131 パーティクル移行距離・移行時間(CaseCA1-1)







(b) 移行時間



⁽c)移行時間(浅部パーティクル拡大)

図 4-132 パーティクル移行距離・移行時間(CaseCA1-2)



図 4-133 パーティクル移行距離・移行時間 (CaseCA2-1)



(a) 移行距離



(b) 移行時間



図 4-134 パーティクル移行距離・移行時間 (CaseCA2-2)



図 4-135 パーティクル移行距離・移行時間(CaseCA3-1)



(a) 移行距離



(b) 移行時間



図 4-136 パーティクル移行距離・移行時間 (CaseCA3-2)

4.2 モデル化・解析作業におけるノウハウ・判断根拠等の情報の抽出・整理

ここでは、上述の作業において使用したノウハウ・判断根拠等の情報を抽出し、整理を 行う。本研究の背景、全体構成等において参照した情報をまとめた。

表 4-26 に研究全体に関するノウハウ・判断根拠となった情報についてまとめたものを示 す。

表 4-26 研究全体に関するノウハウ・判断根拠情報

情報の種類	文献	ノウハウ・判断根拠情報 (引用・参照内容など)
研究背景	資源エネルギー庁・日本原子力研究開発機構:高レベル放 射性廃棄物の地層処分基盤研究開発に関する全体計画 (2006).	「沿岸域プロジェクト」の]概要などの研 究背景に関する情報。
研究背景/ 既存研究	日本原子力機構:平成 19 年度地層処分技術調査等委託費 地層処分共通技術調査 地質環境総合評価技術高度化開 発 報告書 (2008).	幌延沿岸域および瑞浪事例におけるノウ ハウの抽出・整理手法に関する既存研究 情報。
既存研究	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 (2007).	幌延周辺において取得されている地質環 境に関するデータ。
既存研究	三枝博光,瀬野康弘,中間茂雄,鶴田忠彦,岩月輝希,天 野健治,竹内竜史,松岡稔幸,尾上博則,水野崇,大山卓 也,濱克宏,佐藤稔紀, 久慈雅栄,黒田英高,仙波毅,内 田雅大,杉原弘造,坂巻昌工:超深地層研究所計画におけ る地表からの調査予測研究段階(第1段階)研究成果報告 書,JAEA-Research 2007-043 (2007).	瑞浪周辺において取得されている地質環 境に関するデータおよび「瑞浪事例」の 背景情報。

また、物性値の設定手法、境界条件の設定手法、解析手法および解析の目的等に関して 参考にするために収集した、沿岸域における地下水流動解析などの類似事例として収集し た海外文献については Appendix-A にまとめた。

以下に作業項目ごとにノウハウ・判断基準を整理して列挙する。

(1) 水理地質構造モデル

(1-1) 水理地質構造概念モデルの構築

表 4-27 「水理地質構造概念モデルの構築」作業におけるノウハウ・判断根拠情報

引用・参照文献	記述	ノウハウ・判断根拠
		(引用・参照の仕方)
日本原子力機構:平成 19 年度地層処	「3.4 沿岸域を対象としたノウハウ・	「既存情報に基づく地質・地質構造,
分技術調查等委託費地層処分共通技	判断根拠の蓄積」(pp.112~177)	治水の流動特性、地下水の塩分濃度分
術調查 地質環境総合評価技術高度		布に関する概念モデル」を水理地質構
化開発 報告書 (2008).		造概念モデルとして流用すると同時
		に,そのバックデータとなる調査情報
		等を参照。

(1-2) 水理地質構造モデル化手法の選択

本研究では,既存の水理地質構造概念モデルを流用したため,モデル化手法の選択は行 わなかった。

(1-3) 水理地質構造モデルの構築(空間領域の分割,水理・物質移行特性の設定)

表 4-28 「水理地質構造モデルの構築」作業におけるノウハウ・判断根拠情報

引用・参照文献	記述	ノウハウ・判断根拠 (引用・参昭の仕方)
P.A.ドミニコ、F.W.シュワルツ:地下 水の科学 (I)、土木工学社、1995.	「ある N _{PE} の値では縦方向の分散は横 方向の分散よりもはるかに大きい。例 えば N _{PE} >100 であれば D _L の値は D _T の値のおよそ 10 倍である。」(pp.166)	横分散係数を縦分散係数の 1/10 にす る根拠として使用。
K. Spitz and J.Moreno (岡山地下水研 究会訳):実務者のための地下水環境 モデリング,技報堂出版 (2003)	式 (3.14) $\alpha \approx \frac{1}{10^{4}}$ (pp.57)	
L.W. Gelhar, C. Welty, K.R. Rehfeldt : A Critical Review of Data on Field-Scale Dispersion in Aquifers, <i>Water Resources</i> <i>Research</i> , Vol.28, No.7, pp.1955-1974, 1992.	Fig.1 Longitudinal dispersivity versus scale of observation identified by type of observation and type of aquifer. The data are from 59 field sites characterized by widely differing geologic materials.(pp.1966)	縦分散長と解析スケールの関係をプ ロットしたグラフから本業務におけ る解析スケール(250~100m)より縦 分散長の値(50m)を設定。
核燃料サイクル開発機構:地質環境の 調査から物質移行解析にいたる一連 の調査・解析技術-2つの深地層研究 施設計画の地上からの調査研究段階 (第1段階)における地質環境情報に 基づく検討ー, JNC TN1400 2005-021 (2005)	表 4.3.3・2 設定した間隙率およびコ ア試験・文献等による参考値 (pp.96)	声問層の間隙率0.54, 稚内層の間隙率0.38 を実測データとして参照しモデルに設定。
松井裕哉: 幌延深地層研究計画 地上 からの調査研究段階における深層ボ ーリング調査計画とその実績, JAEA-Technology 2006-054, 日本原 子力研究開発機構 (2007)	図 3.7.4 岩盤力学に関する調査結果 の一例 (平成 15 年度までの結果) (pp.39)	深度 0m で間隙率 0.6 程度, 深度 700m で間隙率 0.3 程度の情報を参照。
新エネルギー・産業技術総合開発機構 (委託先石油資源開発):二酸化炭素 削減等地球環境産業技術研究開発事 業 地球環境産業技術に係る先導研 究 平成16年度成果報告書「堆積盆 の地質学的複雑系に依存した CO2地 中溶解(隔離)技術に関する先導研 究」,新エネルギー・産業技術総合開 発機構(2005)	図 III-1 砂質岩と泥質岩における孔隙 率の震度変化の世界の事例 (pp.52)	図中の間隙率-深度をプロットした 図を,深度が大きくなるにつれて間隙 率は小さくなる傾向にあるという根 拠として使用。

(2) 地下水流動解析

(2-1) 地下水流動概念モデル

表 4-29 「地下水流動概念モデル」作業におけるノウハウ・判断根拠情報

引用・参照文献	記述	ノウハウ・判断根拠
		(引用・参照の仕方)
日本原子力機構:平成 19 年度地層処	第3章第4節沿岸域を	「既存情報に基づく地質・地質構造,治水の流動特性,
分技術調査等委託費地層処分共通技	対象としたノウハウ・	地下水の塩分濃度分布に関する概念モデル」を地下
術調查 地質環境総合評価技術高度	判断根拠の蓄積	水流動概念モデルとして流用するとともに、そのバ
化開発 報告書 (2008).	(pp.112~177)	ックデータとなる調査情報等を参照。

(2-2) 解析手法の選択

表 4-30 「解析手法の選択」作業におけるノウハウ・判断根拠情報

引用・参照文献	記述	ノウハウ・判断根拠
		(引用・参照の仕方)
P.S.フヤコーン, G.F.ピンダー:地下	全般	地下水流れの数値解析手法,有限要素
水解析の基礎と応用(上巻)(下巻),		法,差分法,輸送解析に関する教科書
現代工学社(1987).		レベルの基本情報
P.A.ドミニコ、F.W.シュワルツ:地下	全般	
水の科学 (I~III)、土木工学社、1995		

計算手法の選択

表 4-31 「計算手法の選択」作業におけるノウハウ・判断根拠情報

引用・参照文献	記述	ノウハウ・判断根拠
		(引用・参照の仕方)
P.S.フヤコーン, G.F.ピンダー:地下	全般	有限要素法、差分法の概略情報、およ
水解析の基礎と応用(上巻)(下巻),		びそれらの利点。差分法は複雑形状の
現代工学社(1987).		再現に不利であるという根拠情報。さ
		らに差分法では分散現象を充分に表
		現できないという根拠情報。
P.A.ドミニコ、F.W.シュワルツ:地下	全般	有限要素法,差分法の概略情報,およ
水の科学 (I~III)、土木工学社、1995		びそれらの利点。差分法は複雑形状の
		再現に不利であるという根拠情報。
K. Spitz and J.Moreno (岡山地下水研	6.3「有限要素モデルの長所」(pp.136	有限要素法は有限差分法に比べて数
究会訳):実務者のための地下水環境	~138)	値分散の影響を少なくできるという
モデリング,技報堂出版 (2003)		根拠情報。
棚橋隆彦:CFD 数值流体力学,株式	第1章「偏微分方程式の分類と離散化	差分法,有限体積法,有限要素法,境
会社 IPC (1993)	手法」 (pp.1~122)	界要素法の数理学的基本情報。それら
		の利点。差分法は複雑形状の再現に不
		利であるという根拠情報。また、数値
		解析体系を引用。
藤井孝蔵:流体力学の数値計算手法,	「有限差分法,有限体積法,有限要素	有限差分法,有限体積法,有限要素法
東京大学出版会(1994)	法といった分類は、境界条件の設定な	について優劣判断は必要ないという
	ども考慮して, プログラムを組む人間	意見として引用。
	が理解しやすいほうを選択すればよ	
	いのであって, どちらが優れていると	
	いう議論はあまり意味がないと筆者	
	は考える。」 (pp.199)	
流域水物質循環モデル・ソフトウェア	全般	Dtransu, GETFLOWS, Tough2 ガニー
博覧会 2005 CD-ROM, 水文・水資源		般的な解析コードであることを示す
学会, 2005		情報。
地盤工学会編:土壌・地下水汚染の調		
査・予測・対策, pp.80-81, 地盤工学		
会, 2002		
原子力安全基盤機構:放射性廃棄物処		
分安全解析及びコード改良整備等事		
業一次元安全解析コード及び多次元		
詳細現象解析コードの改良整備に関		
する報告書(2008)		

2) 初期条件設定

表 4-32 「初期条件設定」作業におけるノウハウ・判断根拠情報

引用・参照文献	記述	ノウハウ・判断根拠 (引用
登坂博行 (2002a) 地質時間にわたる 淡塩遷移帯の形成過程と形態変化に 関する数値解析的検討 (その1) 一静 的境界条件下における検討-,応用地 質,43,5,293-305	全般	塩水飽和から降雨(淡水)による洗い 出し解析事例として参照。また、二次 元モデルによる実際の地史にあわせ た解析の実施という観点から塩水洗 い出し解析を行った事例として参照。
產業創造研究所:地下水流動調查総括 報告書(2002)	全般	海岸線位置で淡水と塩水を分離した 初期状態,塩水飽和初期状態,を採用 した解析事例として参照。
O. Jaquet and P. Siegel : Groundwater flow and transport modelling during a glaciation period, R-03-04, SKB Report, 2003.	全般	塩分濃度分布が広域的に定常状態に 達していることは少ない,という知 見。
間組:幌延深地層研究所計画における 地下水流動解析に関する検討(核燃料 サイクル開発機構 委託研究成果報 告書),JNC TJ1400 2002-004 (2002)	pp.5-1~5.5-2	幌延地域における塩淡境界を考慮し た二次元,三次元地下水流動解析の先 行事例,幌延地域の地史に関する知 見,塩水洗い出し/海水浸入解析実施 事例,幌延地域が現在塩水洗い出し環 境にあるという知見,等を参照。
J. Lofman : Site Scale Groundwater Flow in Hastholmen, POSIVA Report 99-12 (1999)	全般	塩水飽和からの淡水による洗い出し 解析事例。
L. Hartley, A. Boghammar, B. Grundfelt : Investigation of the large scale regional hydrogeological situation at Beberg, SKB Technical Report, TR-98-24 (1998)	全般	

(2-3) 空間の離散化

表 4-33 「空間の離散化」作業におけるノウハウ・判断根拠情報

引用・参照文献	記述	ノウハウ・判断根拠 (引用・参照の仕方)
I-DEAS ユーザーズマニュアル	全般	自動メッシュ作成についてのノウハ ウ。

(2-4) 境界条件の設定

表 4-34 「境界条件の設定」作業におけるノウハウ・判断根拠情報

引用・参照文献	記述	ノウハウ・判断根拠
		(引用・参照の仕方)
西垣誠, 三菱マテリアル株式会社, 株式会社ダイヤコンサルタント:オイラリアン・ラ	全般	Dtransu2D \cdot EL \mathcal{O}
グランジアン飽和・不飽和浸透流-移流・分散解析プログラムデータ入力マニュアル		入力データ作成方法
Dtransu2D · EL (2004)		の参照情報。
登坂博行(2002a)地質時間にわたる淡塩遷移帯の形成過程と形態変化に関する数値解析		塩水飽和からの淡水
的検討(その1)-静的境界条件下における検討-,応用地質,43,5,293-305		による洗い出し解析
産業創造研究所:地下水流動調査総括報告書(2002)		事例とその境界条件
O. Jaquet and P. Siegel : Groundwater flow and transport modelling during a		設定方法についての
glaciation period, R-03-04, SKB Report, 2003.		事例。
間組:幌延深地層研究所計画における地下水流動解析に関する検討(核燃料サイクル開	pp.5	
発機構 委託研究成果報告書), JNC TJ1400 2002-004(2002)	-1 \sim	
	5.5 - 2	
J. Lofman : Site Scale Groundwater Flow in Hastholmen, POSIVA Report 99-12	全般	
(1999)		
L. Hartley, A. Boghammar, B. Grundfelt : Investigation of the large scale regional		
hydrogeological situation at Beberg, SKB Technical Report, TR-98-24 (1998)		

(2-5) 解析ケースの設定

表 4-35 「解析ケースの設定」作業におけるノウハウ・判断根拠情報

引用・参照文献	記述	ノウハウ・判断根拠 (引用・参照の仕方)
核燃料サイクル開発機構:地質環境の調査から物質移行解析にいたる 一連の調査・解析技術-2 つの深地層研究施設計画の地上からの調査 研究段階(第1段階)における地質環境情報に基づく検討-, JNC TN1400 2005-021 (2005)	全般	水理特性の値の設定根拠。
日本原子力機構:平成19年度地層処分技術調査等委託費地層処分共通 技術調查 地質環境総合評価技術高度化開発 報告書 (2008)		

(2-6) 解析の実施

本業務で新規に判断を必要としたものは生じなかった。

(2-7) 解析結果の妥当性確認

表 4-36 「解析結果の妥当性確認」作業におけるノウハウ・判断根拠情報

引用・参照文献	記述	ノウハウ・判断根拠 (引用・参昭の仕方)
O. Jaquet and P. Siegel : Regional groundwaer flow model for a glaciation scenario Simpervarp subarea -version 1.2, R-06-100, SKB Report, 2006	全般	実測値が得られていない状態におけ る地下水流動解析結果の妥当性確認 手法についての知見。
徳永朋祥,谷口真人,後藤純治,嶋田純,岩月輝希,張勁,鈴木麻衣, 小山祐樹,亀山宗彦,蒲生俊敬,稲葉薫,三枝博光,登坂博行:沿岸 部および沿岸海底地下水の水理・地球化学環境の評価に関する研究(公 募型研究に関する共同研究報告書),核燃料サイクル公募型研究に関す る平成14年度報告書(2003)		
産業創造研究所:地下水流動調査総括報告書(2002)		

(2-8) 解析結果の考察

表 4-37 「解析結果の考察」作業におけるノウハウ・判断根拠情報

K. Meling, V. Taivasaabi : Three Dimensional Groundwater Flow Modelling for a Potential Repository Site, High Level Radioactive Waste Management. Proc. of the Second Annual International Conference, Vol.2, pp.1299-1306 (1991) Sweenskom : A regional analysis of groundwater flow and salinity distribution in the Aspo, SKB Technical Report TR97-09 (1997) High Second Manual International Conference, Vol.2, pp.1299-1306 J. Löfman : Site Scale Groundwater Flow in Olkiluoto, Positova Report, POSIVA 99-03 (1999) J. Löfman : Site Scale Groundwater Flow in Olkiluoto, POSIVA Report 99-12 (1999) J. Löfman : And F. Meszaros : Simulation of hydraulic disturbances caused by the underground rock characterisation facility in Olkiluoto, POSIVA Report 22005-08 (2005) J. Andersson, B. Dvorstorp, F. Kautsky, C. Lija, R. Sjoblom, B. Sundstrom, O. Toverud, S. Wingefors : SKI SITE-94 Deep Repository Performance Assessment Project Volume12, SKI Report 975 (1997) J. Andersson, B. Dvorstorp, F. Kautsky, C. Lija, R. Sjoblom, B. Sundstrom, O. Toverud, S. Wingefors : SKI SITE-94 Deep Repository Derformance Assessment Project Volume12, SKI Report 96-36 (1996) Svensk Kärnbränslehantering AB : SR 97 - Waste, repository design and sites. Background report to SR 97, SKB Technical Report TR:90-08 J. Andersson, E. Orgional analysis of groundwater flow and salinity distribution in the Aspo, SKB Technical Report TR:90-08 J. Markerson, B. Orginfell : Investigation of the large scale regional hydrogeological situation at Beberg, SKB Technical Report, TR:98-24 (1998). L. Hartley, A. Boghammar, B. Grundfelt : Investigation of the large scale regional hydrogeological situation at Beberg, SKB Technical Report, TR:98-2	引用・参照文献	記述	ノウハウ・判断根拠 (引用・参照の仕方)
for a Potential Repository Site, High Level Radioactive Waste Management, Proc. of the Second Annual International Conference, Vol.2, pp.1299-1306 (1991) U. Svensson : A regional analysis of groundwater flow and salinity distribution in the Aspo. SKB Technical Report TR97-09 (1997) J. Lofman : Site Scale Groundwater Flow in Hastholmen, POSIVA Report PoSIVA 99-03 (1999) J. Löfman and F. Meszaros : Simulation of hydraulic disturbances caused by the underground rock characterisation facility in Olkiluoto, POSIVA Report 2015-08 (2005) J. Andersson, B. Dverstorp, F. Kautsky, C. Lija, R. Sjoblom, B. Sundstrom, O. Toverud, S. Wingefors: SKI SITE-94 Deep Repository Performance Assessment Project Summary, SKI Report 97.5 (1997) J. Andersson, B. Dverstorp, F. Kautsky, C. Lija, R. Sjoblom, B. Sundstrom, O. Toverud, S. Wingefors: SKI SITE-94 Deep Repository Performance Assessment Project Volume 1.2, SKI Report 97.5 (1997) J. Andersson, B. Dverstorp, P. Kautsky, C. Lija, R. Sjoblom, B. Sundstrom, O. Toverud, S. Wingefors: SKI SITE-94 Deep Repository for spent nuclear fuel. SR 97 - Post-closure safety. Main report : Vol. I, Vol. II and Summary, SKB Technical Report TR9-906 J. Andersson : SR 97 Data and data uncertainties Compilation of data and data uncertainties for radionuclide transport calculations, SKB Technical Report TR9909 U. Svensk Karnbränelbantering AB : SR 97 - Waste, repository design and sites. Background report to SN 97, SKB Technical Report, TR9924 (1998). I. Hartley, A. Boghammar, B. Grundfelt : Investigation of the large scale regional hydrogeologial situation at Beberg, SKB Technical Report TR99290 O. Jaquet and P. Siegel : Groundwater flow and salinity distribution in the Asp. SKB Technical Report, TR99540 D. Jaquet and P. Siegel : Groundwater flow and fran spectra glaciation period, R0:30-40, KBE Report, 2003 O. Jaquet and P. Siegel : Groundwater flow and fransport modelling of Beberg, SKB Technical Report TR99-190 O. Jaquet and P. Siegel : Groundwater flow and fransport modelling of Beberg SkB Techni	K. Meling, V. Taivassalo : Three Dimensional Groundwater Flow Modelling	全般	感度解析ケースの比較・検討事
Proc. of the Second Annual International Conference, Vol.2, pp.1299-1306 (1991) U. Svensson : A regional analysis of groundwater flow and salinity distribution in the Apo, SKB Technical Report TR97-09 (1997) J. Lofman : Site Scale Groundwater Flow in Olkiluoto, Positova Report, POSIVA 99-03 (1990) J. Löfman : Site Scale Groundwater Flow in Olkiluoto, Positova Report, POSIVA 99-03 (1990) J. Löfman : Site Scale Groundwater Flow in Olkiluoto, POSIVA Report 2005-08 (2005) J. Andersson, B. Dverstorp, F. Kautsky, C. Lija, R. Sjoblom, B. Sundstrom, O. Toverud, S. Wingefors : SKI SITE'94 Deep Repository Performance Assessment Project Summary, SKI Report 967-5 (1997) J. Andersson, B. Dverstorp, F. Kautsky, C. Lija, R. Sjoblom, B. Sundstrom, O. Toverud, S. Wingefors : SKI SITE'94 Deep Repository Performance Assessment Project Volume, SKI SITE'94 Deep Repository Performance Assessment Project Volume, 38 (S 87) "Deep repository Performance Assessment Project Volume, 38 (S 87) "Deep repository Design and sites. Background report to SR 97, SKB Technical Report TR:99-08 J. Andersson : A regional analysis of groundwater flow and salinity distribution in the Apo, SKB Technical Report TR:99-08 U. Svensk Karnbaslehantering AB : SR 97 ' Waste, repository design and sites. Background report to SR 97, SKB Technical Report TR:90-08 J. Andersson : A regional analysis of groundwater flow and salinity distribution in the Apo, SKB Technical Report TR:90-08 U. Svenskon : A regional analysis of groundwater flow modelling of Averg, SKB Technical Report TR:99-09 U. Svenskon : A regional analysis of groundwater flow modelling of Averg, SKB Technical Report TR:99-09 O. Jaquet and P. Siegel : Groundwater flow and transport modelling during a glaciation period, R:0304, SKB Report, 2003 O. Jaquet and P. Siegel : Regional groundwater flow model for a glaciation scenario Simpervarp subarea -version 1.2, R:06:100, SKB Report, 2006 Berger, SKB Technical Report TR:99-09 O. Jaquet and P. Siegel : Regional groundwater flow model for a glaciation scena	for a Potential Repository Site, High Level Radioactive Waste Management,		例,あるいは単独ケースの妥当
 (1991) U. Svensson: A regional analysis of groundwater flow and salinity distribution in the Aspo. SKB Technical Report TR97-09 (1997) J. Lofman : Site Scale Groundwater Flow in Hastholmen. POSIVA Report 99-12 (1999) J. Lofman : Site Scale Groundwater Flow in Okliuoto. Posiova Report. POSIVA 99-03 (1999) J. Jofman and F. Meszaros : Simulation of hydraulic disturbances caused by the underground rock characterisation facility in Okliuoto, POSIVA Report 2005-08 (2005) J. Andersson, B. Dverstorp, F. Kautsky, C. Lilja, R. Sjoblom, B. Sundstrom, O. Toverud, S. Wingefors: SKI SITE-94 Deep Repository Performance Assessment Project Summary, SKI Report 97:5 (1997) J. Andersson, B. Dverstorp, F. Kautsky, C. Lilja, R. Sjoblom, B. Sundstrom, O. Toverud, S. Wingefors: SKI SITE-94 Deep Repository Performance Assessment Project Volume1,2, SKI Report 96:36 (1996) Svensk Karnbränslehantering AB : SR 97 Deep repository Performance Assessment Project Volume1,2, SKI Report 106:36 (1996) Svensk Karnbränslehantering AB : SR 97 · Waste, repository design and sites. Background report to SR 97, SKB Technical Report TR:99-06 J. Andersson : SR97 Data and data uncertainties Compilation of data and data uncertainties for radionuclide transport calculations, SKB Technical Report TR:99-09 U. Svensson : A regional analysis of groundwater flow and salinity distribution in the Asp. SKB Technical Report TR:90-09 (1997) D. Walker, B. Gylling : Site-scale groundwater flow modelling of Averg, SKB Technical Report TR:90-20 (1997) D. Walker, B. Gylling : Site-scale groundwater flow modelling of Bebrg, SKB Technical Report TR:90-20 (1997) D. Walker, B. Gylling : Site-scale groundwater flow modelling of Bebrg, SKB Technical Report TR:90-20 (1997) D. Walker, B. Gylling : Site-scale groundwater flow modelling of Bebrg, SKB Technical Report TR:90-20 (1997) D. Adquet and P. Siegel : Groundwater flow and transport	Proc. of the Second Annual International Conference, Vol.2, pp.1299-1306		性評価事例として参照。
U. Svensson : A regional analysis of groundwater flow and salinity distribution in the Aspo, SKB Technical Report TR97:09 (1997) J. Lofman : Site Scale Groundwater Flow in Hastholmen, POSIVA Report 99-12 (1999) J. Löfman and F. Meszaros : Simulation of hydraulic disturbances caused by the underground rock characterisation facility in Olkiluoto, POSIVA Report 2005-08 (2005) J. Andersson, B. Dverstorp, F. Kautsky, C. Lilja, R. Sjoblom, B. Sundstrom, O. Toverud, S. Wingefors : SKI SITE-94 Deep Repository Performance Assessment Project Summary, SKI Report 97:5 (1997) J. Andersson, B. Dverstorp, F. Kautsky, C. Lilja, R. Sjoblom, B. Sundstrom, O. Toverud, S. Wingefors : SKI SITE-94 Deep Repository Performance Assessment Project Summary, SKI Report 97:5 (1996) Svensk Kärnbränslehantering AB : SR 97 Deep repository for spent nuclear fuel. SR 97 - Post-Cosure safety. Main report : Vol. II and Summary, SKB Technical Report TR-99-06 Svensk Kärnbränslehantering AB : SR 97 - Waste, repository design and sites. Background report to SR 97, SKB Technical Report TR-99-08 J. Andersson : SR97 Data and data uncertainties Compilation of data and data uncertainties for radionuclide transport calculations, SKB Technical Report TR-99-09 U. Svensson : A regional analysis of groundwater flow and salinity distribution in the Aspo, SKB Technical Report TR97:09 (1997) D. Walker, B. Gylling : Site-scale groundwater flow modelling of Averg, SKB TechnicalReport TR99-23 (1998) L. Hartley, A. Boghammar, B. Grundfelt : Investigation of the large scale regional hydrogeological situation at Boberg, SKB Technical Report, TR:99-24 (1998). J. Adapter and P. Siegel : Groundwater flow modelling of Bberg, SKB Technical Report TR99-18 (1999) O. Jaquet and P. Siegel : Groundwater flow modelling of Bberg, SKB Technical Report TR99-18 (1999) O. Jaquet and P. Siegel : Groundwater flow modelling for Bberg, SKB Technical Report TR99-18 (1999) O. Jaquet and P. Siegel : Groundwater flow and transport modelling of Bberg, SKB Technical Report TR99-18 (1998) C.	(1991)		
distribution in the Aspo, SKB Technical Report TR97-09(1997) J. Lofman : Site Scale Groundwater Flow in Hastholmen, POSIVA Report 90-12 (1999) J. Löfman : Site Scale Groundwater Flow in Olkiluoto, Posiova Report, POSIVA 99-03 (1999) J. Löfman and F. Meszaros : Simulation of hydraulic disturbances caused by the underground rock characterisation facility in Olkiluoto, POSIVA Report 2005-08 (2005) J. Andersson, B. Dverstorp, F. Kautsky, C. Lija, R. Sjoblom, B. Sundstrom, O. Toverud, S. Wingefors : SKI SITF-94 Deep Repository Performance Assessment Project Summary, SKI Report 97:5 (1997) J. Andersson, B. Dverstorp, F. Kautsky, C. Lija, R. Sjoblom, B. Sundstrom, O. Toverud, S. Wingefors: SKI SITF-94 Deep Repository Performance Assessment Project Volume1.2, SKI Report 96:36 (1996) Svensk Karnbränslehattering AB : SR 97 - Vaste, repository Performance Assessment Project Volume1.2, SKI Report 96:36 (1996) Svensk Karnbränslehattering AB : SR 97 - Waste, repository design and sites. Background report to SR 97, SKB Technical Report TR-99-08 J. Andersson : SK97 Data ddata uncertainties Compilation of data and data uncertainties for radionuclide transport calculations, SKB Technical Report TR-99-09 U. Svensson : A regional analysis of groundwater flow and salinity distribution in the Aspo, SKB Technical Report TR97-09 (1997) D. Walker, B. Gylling : Site-scale groundwater flow modelling of Averg, SKB TechnicalReport TR98-23 (1998) I. Hortley, A. Boghammar, B. Grunofelt : Investigation of the large scale regional hydrogeological situation at Beberg, SKB Technical Report, TR-98-24 (1998). B. Gylling, D. Walder, L.Hartley : Site-scale groundwater flow modelling of Beberg, SKB Technical Report TR99-18 (1999) O. Jaquet and P. Siegel : Groundwater flow model for a glaciation scenario Simpervary subarea - aversion 1.2, Re0-100, SKB Report, 2006 @&,Wiff, ACIA, &@&#AH, && HAF, && BU, && HAF, && HAF	U. Svensson : A regional analysis of groundwater flow and salinity		
J. Lofman : Site Scale Groundwater Flow in Hastholmen, POSIVA Report 99-12 (1999) J. Lofman : Site Scale Groundwater Flow in Olkiluoto, Posiova Report, POSIVA 99-03 (1999) J. Lofman and F. Meszaros : Simulation of hydraulic disturbances caused by the underground rock characterisation facility in Olkiluoto, POSIVA Report 2005-08 (2005) J. Andersson, B. Dverstorp, F. Kautsky, C. Lija, R. Sjoblom, B. Sundstrom, O. Toverud, S. Wingefors : SKI SITE-94 Deep Repository Performance Assessment Project Summary, SKI Report 97:5 (1997) J. Andersson, B. Dverstorp, F. Kautsky, C. Lija, R. Sjoblom, B. Sundstrom, O. Toverud, S. Wingefors : SKI SITE-94 Deep Repository Performance Assessment Project Volume1.2, SKI Report 96:36 (1996) Svensk Kärnbränslehantering AB : SR 97 Deep repository for spent nuclear fuel. SR 97 - Post-Coscuer safety. Main report · Vol. II and Summary, SKB Technical Report TR-99-06 Svensk Kärnbränslehantering AB : SR 97 - Waste, repository design and sites. Background report to SR 97, SKB Technical Report TR-99-08 J. Andersson : A regional analysis of groundwater flow and salinity distribution in the Aspo, SKB Technical Report TR97-09 (1997) D. Walker, B. Gylling : Site-scale groundwater flow modelling of Averg, SKB TechnicalReport TR98-23 (1998) L. Hartley, A. Boghammar, B. Grundfelt : Investigation of the large scale regional hydrogeological situation at Beberg, SKB Technical Report, TR-98-24 (1998). B. Gylling, U. Jate-304, SKB Report, 2003 O. Jaquet and P. Siegel : Groundwater flow modelling during a glaciation period. Re30-40, SKB Report, 2003 O. Jaquet and P. Siegel : Groundwater flow and transport modelling during a glaciation lengel : Groundwater flow and transport modelling during a glaciation lengel : Groundwater flow and transport modelling during a glaciation lengel : Groundwater flow and transport modelling during a glaciation lengel : Groundwater flow and transport modelling during a glaciation lengel : Groundwater flow and transport modelling during a glaci	distribution in the Asno SKB Technical Report TR97-09 (1997)		
 J. Löfman : Site Scale Groundwater Flow in Olkiluoto, Positova Report, POSIVA 39-03 (1999) J. Löfman and F. Meszaros : Simulation of hydraulic disturbances caused by the underground rock characterisation facility in Olkiluoto, POSIVA Report 2005-08 (2005) J. Andersson, B. Dverstorp, F. Kautsky, C. Lilja, R. Sjoblom, B. Sundstrom, O. Toverud, S. Wingefors : SKI SITE-94 Deep Repository Performance Assessment Project Summary, SKI Report 97:5 (1997) J. Andersson, B. Dverstorp, F. Kautsky, C. Lilja, R. Sjoblom, B. Sundstrom, O. Toverud, S. Wingefors: SKI SITE-94 Deep Repository Performance Assessment Project Volume1.2, SKI Report 96:53 (1996) Svensk Kärnbränslehantering AB : SR 97 Deep repository for spent nuclear fuel. SR 97 - Post-closure safety. Main report - Vol. I, Vol. II and Summary, SKB Technical Report TR-99-06 Svensk Kärnbränslehantering AB : SR 97 - Waste, repository design and sites. Background report to SR 97, SKB Technical Report TR-99-08 J. Andersson : SR 97 Data and data uncertainties Compilation of data and data uncertainties for radionuclide transport calculations, SKB Technical Report TR-99-09 U. Svensson : A regional analysis of groundwater flow and salinity distribution in the Aspo, SKB Technical Report TR-97-09 (1997) D. Walker, R. Gylling : Site-scale groundwater flow modelling of Averg, SKB TechnicalReport TR98-23 (1998) L. Hartley, A. Boghammar, B. Grundfölt : Investigation of the large scale regional hydrogeological situation at Beberg, SKB Technical Report, TR-98-24 (1998). G. Gylling, D. Walder, L. Hartley : Site-scale groundwater flow modelling of Bberg, SKB Technical Report TR99-18 (1999) O. Jaquet and P. Siegel : Regional groundwater flow modelling for a glaciation scenario Simpervarg subareas and groundwater flow modelling during a glaciation period, R-03-04, SKB Report, 2003 O. Jaquet and P. Siegel : Regional ground	J Lofman · Site Scale Groundwater Flow in Hastholmen POSIVA Report		
 J. Löfman⁺: Site Scale Groundwater Flow in Olkiluoto, Posiova Report, POSIVA 99-03 (1999) J. Löfman and F. Meszaros : Simulation of hydraulic disturbances caused by the underground rock characterisation facility in Olkiluoto, POSIVA Report 2005-08 (2005) J. Andersson, B. Dverstorp, F. Kautsky, C. Lilja, R. Sjoblom, B. Sundstrom, O. Toverud, S. Wingefors : SKI SITE-94 Deep Repository Performance Assessment Project Summary, SKI Report 97:5 (1997) J. Andersson, B. Dverstorp, F. Kautsky, C. Lilja, R. Sjoblom, B. Sundstrom, O. Toverud, S. Wingefors: SKI SITE-94 Deep Repository Performance Assessment Project Summary, SKI Report 97:5 (1996) Svensk Kärnbränslehantering AB : SR 97 Deep repository for spent nuclear fuel. SR 97. Post-closure safety. Main report + Vol. I, Vol. II and Summary, SKB Technical Report TR-99-06 Svensk Kärnbränslehantering AB : SR 97 · Waste, repository design and sites. Background report to SR 97, SKR Technical Report TR-99-08 J. Andersson : SR97 Data and data uncertainties Compilation of data and data uncertainties for radionuclide transport calculations, SKB Technical Report TR-99-09 U. Svensson : A regional analysis of groundwater flow and salinity distribution in the Aspo, SKB Technical Report TR97-09 (1997) D. Walker, B. Oylling : Site-scale groundwater flow modelling of Averg, SKB TechnicalReport TR98-23 (1998) L. Hartley, A. Boghammar, B. Grundfelt : Investigation of the large scale regional hydrogeological situation at Beberg, SKB Technical Report, TR98-24 (1998). G. Gylling, D. Walker, L.Hartley : Site-scale groundwater flow modelling of Bberg, SKB Technical Report TR99-18 (1999) O. Jaquet and P. Siegel : Groundwater flow and transport modelling during a glaciation period, R03:04, SKB Report, 2003 O. Jaquet and P. Siegel : Groundwater flow model for a glaciation scenario Simpervarp subarea -version 1.2, R06:100, SKB	99-12 (1999)		
 Diska Polity Control (Control of Control of Control of Control (Control of Control o	I Löfman Site Scale Groundwater Flow in Olkiluote Periova Report		
 J. Löfman and F. Meszaros : Simulation of hydraulic disturbances caused by the underground rock characterisation facility in Olkiluoto, POSIVA Report 2005-08 (2005) J. Andersson, B. Dverstorp, F. Kautsky, C. Lilja, R. Sjoblom, B. Sundstrom, O. Toverud, S. Wingefors : SKI SIFE-94 Deep Repository Performance Assessment Project Summary, SKI Report 97:5 (1997) J. Andersson, B. Dverstorp, F. Kautsky, C. Lilja, R. Sjoblom, B. Sundstrom, O. Toverud, S. Wingefors: SKI SIFE-94 Deep Repository Performance Assessment Project Volume1.2, SKI Report 96:36 (1996) Svenak Kärnbränslehantering AB : SR 97 Deep repository for spent nuclear fuel. SR 97 · Post-closure safety. Main report · Vol. I, Vol. II and Summary, SKB Technical Report TR-99-06 Svenak Kärnbränslehantering AB : SR 97 · Waste, repository design and sites. Background report to SR 97, SKB Technical Report TR-99-08 J. Andersson : SR97 Data and data uncertainties Compilation of data and data uncertainties for radionuclide transport calculations, SKB Technical Report TR-99-09 U. Svensskon : A regional analysis of groundwater flow and salinity distribution in the Aspo, SKB Technical Report TR97-09 (1997) D. Waker, B. Gylling : Site-scale groundwater flow modelling of Averg, SKB TechnicalReport TR9-823 (1998) L. Hartley, A. Beghammar, B. Grundfelt : Investigation of the large scale regional hydrogeological situation at Beberg, SKB Technical Report, TR98-24 (1998). D. Jaquet and P. Siegel : Groundwater flow model for a glaciation scenario Simpervarp subarea -version 1.2, R-06-100, SKB Report, 2006 marting F. Acida, KaB Report, 2003 O. Jaquet and P. Siegel : Groundwater flow model for a glaciation scenario Simpervarp subarea -version 1.2, R-06-100, SKB Report, 2006 marting Addish dight, Acida KaB, Kapper, 2003 O. Jaquet and P. Siegel : Groundwater flow model for a glaciation scenario Simpervarp subarea -version 1.2, R-06-100, SKB Report, 2006	POSIVA 99-03 (1999)		
by the underground rock characterisation facility in Olkiluoto, POSIVA Report 2005/08 (2005) J. Andersson, B. Dverstorp, F. Kautsky, C. Lilja, R. Sjoblom, B. Sundstrom, O. Toverud, S. Wingefors : SKI SITE-94 Deep Repository Performance Assessment Project Summary, SKI Report 97:5 (1997) J. Andersson, B. Dverstorp, F. Kautsky, C. Lilja, R. Sjoblom, B. Sundstrom, O. Toverud, S. Wingefors: SKI SITE-94 Deep Repository Performance Assessment Project Volume1.2, SKI Report 96:36 (1996) Svensk Kärnbränslehantering AB : SR 97 Deep repository for spent nuclear fuel. SR 97 · Post-closure safety. Main report Vol. 1, Vol. II and Summary, SKB Technical Report TR-99-06 Svensk Kärnbränslehantering AB : SR 97 · Waste, repository design and sites. Background report to SR 97, SKB Technical Report TR-99-08 J. Andersson : SR97 Data and data uncertainties Compilation of data and data uncertainties for radionuclide transport calculations, SKB Technical Report TR-99-09 U. Svensson : A regional analysis of groundwater flow and salinity distribution in the Aspo, SKB Technical Report TR97-09 (1997) D. Walker, B. Gylling : Stie-scale groundwater flow modelling of Averg, SKB TechnicalReport TR98-23 (1998) L. Hartley, A. Boghammar, B. Grundfelt : Investigation of the large scale regional hydrogeological situation at Beberg, SKB Technical Report, TR-98-24 (1988). B. Gylling, D. Walder, L. Hartley : Site-scale groundwater flow modelling during a glaciation period, R-03-04, SKB Report, 2003 O. Jaquet and P. Siegel : Groundwater flow and transport modelling during a glaciation period, R-03-04, SKB Report, 2003 O. Jaquet and P. Siegel : Regional groundwater flow model for a glaciation scenario Simpervarp subarea -version 1.2, R-06-100, SKB Report, 2006 G&xp#ff, Cu02a). Mg#mafic.Ba/tFA; Kg#g#ff : Alf#mkxi, A, Lif##ff; Aff#mkxi, A, Lif##ff; Aff#ff; Aff#mkxi, A, Lif##ff; Aff#ff; Aff#ff; Aff#ff; Aff#mkxi, A, Lif##ff; Aff#ff; Aff#ff; Aff#ff;	J. Löfman and F. Meszaros : Simulation of hydraulic disturbances caused		
Report 2005-08 (2005) J. Andersson, B. Dverstorp, F. Kautsky, C. Lilja, R. Sjoblom, B. Sundstrom, O. Toverud, S. Wingefors : SKI SITE-94 Deep Repository Performance Assessment Project Summary, SKI Report 97:5 (1997) J. Andersson, B. Dverstorp, F. Kautsky, C. Lilja, R. Sjoblom, B. Sundstrom, O. Toverud, S. Wingefors: SKI SITE-94 Deep Repository Performance Assessment Project Volume1.2, SKI Report 96:36 (1996) Svensk Kärnbränslehantering AB: SR 97 Deep repository for spent nuclear fuel, SR 97. Post-closure safety, Main report - Vol. I, Vol. II and Summary, SKB Technical Report TR-99-06 Svensk Kärnbränslehantering AB: SR 97 - Waste, repository design and sites. Background report to SR 97, SKB Technical Report TR-99-08 J. Andersson : SR97 Data and data uncertainties Compilation of data and data uncertainties for radionuclide transport calculations, SKB Technical Report TR-99-09 U. Svensskon : A regional analysis of groundwater flow and salinity distribution in the Aspo, SKB Technical Report TR9-09 (1997) D. Walker, B. Gylling: Site-scale groudnwater flow modelling of Averg, SKB Technical Report TR9-23 (1998) L. Hartley, A. Boghammar, B. Grundfelt : Investigation of the large scale regional hydrogeological situation at Beberg, SKB Technical Report, 2003	by the underground rock characterisation facility in Olkiluoto, POSIVA		
J. Andersson, B. Dverstorp, F. Kautsky, C. Lilja, R. Sjoblom, B. Sundstrom, O. Toverud, S. Wingefors : SKI SITE'94 Deep Repository Performance Assessment Project Summary, SKI Report 97:5 (1997) J. Andersson, B. Dverstorp, F. Kautsky, C. Lilja, R. Sjoblom, B. Sundstrom, O. Toverud, S. Wingefors: SKI SITE'94 Deep Repository Performance Assessment Project Volume1.2, SKI Report 96:36 (1996) Svensk Kärnbränslehantering AB : SR 97 Deep repository for spent nuclear fuel. SR 97 · Postclosure safety. Main report · Vol. I, Vol. II and Summary, SKB Technical Report TR:99-06 Svensk Kärnbränslehantering AB : SR 97 - Waste, repository design and sites. Background report to SR 97, SKB Technical Report TR:99-08 J. Andersson : SR97 Data and data uncertainties Compilation of data and data uncertainties for radionuclide transport calculations, SKB Technical Report TR:99-09 U. Svensson : A regional analysis of groundwater flow and salinity distribution in the Aspo, SKB Technical Report TR:97-09 (1997) D. Walker, B. Gylling : Site-scale groundwater flow modelling of Averg, SKB TechnicalReport TR:98-23 (1998) L. Hartley, A. Boghammar, B. Grundfelt : Investigation of the large scale regional hydrogeological situation at Beberg, SKB Technical Report, TR:98-24 (1998). B. Gylling, D. Walder, L.Hartley : Site-scale groundwater flow modelling of Bberg, SKB Technical Report TR:99-18 (1999) O. Jaquet and P. Siegel : Groundwater flow and transport modelling during a glaciation period, R:03-04, SKB Report, 2003 O. Jaquet and P. Siegel : Greundwater flow model for a glaciation scenario Simpervarp subarea -version 1.2, R:06:100, SKB Report, 2006 @stympt', Cola, SKB Report, 2003 O. Jaquet and P. Siegel : Regional groundwater flow model for a glaciation scenario Simpervarp subarea -version 1.2, R:06:100, SKB Report, 2006 @stympt', Cola, SKB Report, 2003 O. Jaquet and P. Siegel : Regional groundwater flow model for a glaciation scenario Simpervarp subarea -version 1.2, R:06:100, SKB Report, 2006 @stympt', Cola, SKB Report, 2003 O. Jaquet and P.	Report 2005-08 (2005)		
 O. Toverud, S. Wingefors: SKI SITÉ-94 Deep Repository Performance Assessment Project Summary, SKI Report 97-5 (1997) J. Andersson, B. Dverstorp, F. Kautsky, C. Lilja, R. Sjoblom, B. Sundstrom, O. Toverud, S. Wingefors: SKI SITE-94 Deep Repository Performance Assessment Project Volume1.2, SKI Report 96-36 (1996) Svensk Kärnbränslehantering AB: SR 97 Deep repository for spent nuclear fuel. SR 97 - Post-closure safety. Main report - Vol. I, Vol. II and Summary, SKB Technical Report TR-99-06 Svensk Kärnbränslehantering AB: SR 97. Vaste, repository design and sites. Background report to SR 97, SKB Technical Report TR-99-08 J. Andersson : SR97 Data and data uncertainties Compilation of data and data uncertainties for radionuclide transport calculations, SKB Technical Report TR-99-09 U. Svensson : A regional analysis of groundwater flow and salinity distribution in the Aspo, SKB Technical Report TR97-09 (1997) D. Walker, B. Gylling : Site-scale groundwater flow modelling of Averg, SKB Technical Report TR98-23 (1998) L. Hartley, A. Boghammar, B. Grundfelt : Investigation of the large scale regional hydrogeological situation at Beberg, SKB Technical Report, TR-98-24 (1998). B. Gylling, D. Walder, L.Hartley : Site-scale groundwater flow modelling of Bberg, SKB Technical Report TR99-18 (1999) O. Jaquet and P. Siegel : Regional groundwater flow model for a glaciation scenario Simpervarp subarca -version 1.2, R-06 100, SKB Report, 2006 @äxmlft, & ChugA, Kässä, =ztøt #, Bay, £stwfft: Alpämä Lordsheim distabetro & J. & Reberg, Report, 2003 O. Jaquet and P. Siegel : Regional groundwater flow model for a glaciation scenario Simpervarp subarca -version 1.2, R-06 100, SKB Report, 2006 @äxmlft, & ChugA, Kässä, =ztøt #, Bay, £stwfft: Alpämä Lordsheim distabetro & J. & Robig, B_Sch Ficki Jo & Jake Report, 2006 @äxmlft, & ChugA, Kässä, =ztøt #, Sayka## doverside & Emsge(LC)# distabetro & Jaby & Bay, Bay, Bay	J. Andersson, B. Dverstorp, F. Kautsky, C. Lilia, R. Sioblom, B. Sundstrom,		
Assessment Project Summary, SKI Report 97:5 (1997) J. Andersson, B. Dverstorp, F. Kautsky, C. Lilja, R. Sjoblom, B. Sundstrom, O. Toverud, S. Wingefors: SKI SITE-94 Deep Repository Performance Assessment Project Volume1,2, SKI Report 96:36 (1996) Svensk Kärnbränslehantering AB : SR 97 Deep repository for spent nuclear tuel. SR 97 · Post-closure safety. Main report · Vol. I, Vol. II and Summary, SKB Technical Report TR-99-06 Svensk Kärnbränslehantering AB : SR 97 · Waste, repository design and sites. Background report to SR 97, SKB Technical Report TR-99-08 J. Andersson : SR97 Data and data uncertainties Compilation of data and data uncertainties for radionuclide transport calculations, SKB Technical Report TR-99-09 U. Svensson : A regional analysis of groundwater flow and salinity distribution in the Aspo, SKB Technical Report TR97-09 (1997) D. Walker, B. Gylling: Site-scale groundwater flow modelling of Averg, SKB TechnicalReport TR98-23 (1998) L. Hartley, A. Boghammar, B. Grundfelt : Investigation of the large scale regional hydrogeological situation at Beberg, SKB Technical Report, TR98-24 (1998). O. Jaquet and P. Siegel : Groundwater flow model for a glaciation scenario Simpervarp subarea -version 1.2, R-06-100, SKB Report, 2006 @shapt, Acida Report TR99-18 (1999) O. Jaquet an	O. Toverud, S. Wingefors : SKI SITE-94 Deep Repository Performance		
 J. Andersson, B. Dverstorp, F. Kautsky, C. Lilja, R. Sjoblom, B. Sundstrom, O. Toverud, S. Wingefors: SKI SITE-94 Deep Repository Performance Assessment Project Volume1.2, SKI Report 96:36 (1996) Svensk Kärnbränslehantering AB : SR 97 Deep repository for spent nuclear fuel. SR 97 - Postclosure safety. Main report - Vol. I, Vol. II and Summary, SKB Technical Report TR-99-06 Svensk Kärnbränslehantering AB : SR 97 - Waste, repository design and sites. Background report to SR 97, SKB Technical Report TR-99-08 J. Andersson : SR 97 Data and data uncertainties Compilation of data and data uncertainties for radionuclide transport calculations, SKB Technical Report TR-99-09 U. Svensson : A regional analysis of groundwater flow and salinity distribution in the Aspo, SKB Technical Report TR97-09 (1997) D. Walker, B. Gylling : Site-scale groudmwater flow modelling of Averg, SKB TechnicalReport TR98-23 (1998) L. Hartley, A. Boghammar, B. Grundfelt : Investigation of the large scale regional hydrogeological situation at Beberg, SKB Technical Report, TR-98-24 (1998). D. Jaquet and P. Siegel : Groundwater flow modelling during a glaciation period, R-03-04, SKB Report, 2003 O. Jaquet and P. Siegel : Groundwater flow model for a glaciation scenario Simpervarp subarea -version 1.2, R-06-100, SKB Report, 2006 @kwilt#, 20 a L, & @minki. #alm##, #gm, & & hxmax, .viuhä di, @uhxe, miteriemic.mit.a Surg (CdgsWarfs: Cint A-st, in Breft@t 2002) httgmentic.pht-6407, CdgsWatefsEd (2003) Zøgufeff (2002a) httgmentic.pht-6407, CdgsWatefset (2004) Zøgufeff (2002b) httgmentic.pht-6407, CdgsWatefset (Cling)- cost (2005) Zøgufeff (2002b) httgmentic.pht-63kuäte/#miteget.miteget.cling)- cost (2005) Zøgufeff (2002b) httgmentic.pht-63kuäte/#miteget.pht-kgit.gdgt.pht/ Babuff.pdgt] (Co01) - hindugf.settric.tdto.dgt]-, KBH degt.pdf Zøgufeff (2002b) httgmentic.tdto.dgktarefset.pht/ Søgufeff.dgt.gdf Zøg	Assessment Project Summary, SKI Report 97:5 (1997)		
 O. Toverud, S. Wingefors: SKI SITE-94 Deep Repository Performance Assessment Project Volume 1.2, SKI Report 96:36 (1996) Svensk Kärnbränslehantering AB : SR 97 Deep repository for spent nuclear fuel. SR 97 - Post-closure safety. Main report - Vol. I, Vol. II and Summary, SKB Technical Report TR-99-06 Svensk Kärnbränslehantering AB : SR 97 - Waste, repository design and sites. Background report to SR 97, SKB Technical Report TR-99-08 J. Andersson : SR97 Data and data uncertainties Compilation of data and data uncertainties for radionuclide transport calculations, SKB Technical Report TR-99-09 U. Svensson : A regional analysis of groundwater flow and salinity distribution in the Aspo, SKB Technical Report TR97-09 (1997) D. Walker, B. Gylling : Site-scale groundwater flow modelling of Averg, SKB TechnicalReport TR98-23 (1998) L. Hartley, A. Boghanmar, B. Grundfelt : Investigation of the large scale regional hydrogeological situation at Beberg, SKB Technical Report, TR-98-24 (1998). B. Gylling, D. Walder, L.Hartley : Site-scale groundwater flow modelling of Bherg, SKB Technical Report TR99-18 (1999) O. Jaquet and P. Siegel : Groundwater flow and transport modelling during a glaciation period, R-03-04, SKB Report, 2003 O. Jaquet and P. Siegel : Regional groundwater flow model for a glaciation scenario Simpervarp subarea -version 1.2, R-06-100, SKB Report, 2006 (德水润洋, 谷口具人、後塵輻結, 嶋田純, 世月輝希, 張勁, 鈴木麻衣, 小山祐 樹, 亀山宗彦, 蒲生俊敏, 福葉葉, 三枝博木, 登坂博行: 沿岸部および沿岸海 庭地下水の水理, 地康林伫字環境の評価に関する研究 (公募型研究に関する共同 研究観告書), 枝燃料サイクルン凝繁型研究に関する平式 14 年度報時完計を大演 支援庫特行 (2002a) 地質時間にわたる淡塩遷移帯の形成過程と形態変化に関す る数値時折り検討 (その1) - 静的境界条件下における検討 -, 応用地質, 43, 5, 209-305 登坂博行 (2002b) 地質時間にわたる淡塩遷移帯の形成過程と形態変化に関す る数値解析的検討 (その 2) - 動的境界条件下における検討 -, 応用地質, 43, 5, 209-315 間組: 輾延葉地層研究所計画における地下水流動解析に関する核蝕 / (2002b) 	J Andersson B Dverstorn F Kautsky C Lilia R Sjoblom B Sundstrom		
 Norlad, Wingkons (National Control Deep Reportion) Svensk Kärnbränslehantering AB: SR 97 Deep repository for spent nuclear fuel. SR 97 - Post-closure safety. Main report - Vol. I, Vol. II and Summary, SKB Technical Report TR:99-06 Svensk Kärnbränslehantering AB: SR 97 - Waste, repository design and sites. Background report to SR 97, SKB Technical Report TR:99-08 J. Andersson : SR97 Data and data uncertainties Compilation of data and data uncertainties for radionuclide transport calculations, SKB Technical Report TR:99-09 U. Svensson : A regional analysis of groundwater flow and salinity distribution in the Aspo, SKB Technical Report TR:97-09 (1997) D. Walker, B. Gylling : Site-scale groundwater flow modelling of Averg, SKB Technical Report TR:98-23 (1998) L. Hartley, A. Boghammar B. Grundfelt : Investigation of the large scale regional hydrogeological situation at Beberg, SKB Technical Report, TR:98-24 (1998). B. Gylling, D. Walder, L.Hartley : Site-scale groundwater flow modelling of Bberg, SKB Technical Report TR:99-18 (1999) O. Jaquet and P. Siegel : Groundwater flow and transport modelling during a glaciation period, R:03-04, SKB Report, 2003 O. Jaquet and P. Siegel : Regional groundwater flow model for a glaciation scenario Simpervarp subarea -version 1.2, R:06:100, SKB Report, 2006 döxmät, Ar darg, Mätgä, itt Hät, Batpärh, Bry, shr.wax, uhitä H, Auinse, ärketgw, Kätgä, itt Apätä, Batpärh, Bry, shr.way, uhitä H, Auinse, ärketgw, Kätgä, itt Apätä, Batpärh, Bry, shr.way, uhitä H, Auinse, Sitte-Schage Reverk, Bry, Str. Tu 4-µgätels (2003) Bögtrif (2002) hugimpilic bzc. Sciga@aFwinFiki@aFwinEusetSwitcRipt - Scipai Scipa	O Toverud S Wingefors: SKI SITE-94 Deen Repository Performance		
Svensk Kärnbränslehantering AB : SR 97 Deep repository for spent nuclear fuel. SR 97 - Postclosure safety. Main report - Vol. I, Vol. II and Summary, SKB Technical Report TR-99-06 Svensk Kärnbränslehantering AB : SR 97 - Waste, repository design and sites. Background report to SR 97, SKB Technical Report TR-99-08 J. Andersson : SR97 Data and data uncertainties Compilation of data and data uncertainties for radionuclide transport calculations, SKB Technical Report TR-99-09 U. Svensson : A regional analysis of groundwater flow and salinity distribution in the Aspo, SKB Technical Report TR97-09 (1997) D. Walker, B. Gylling : Site-scale groundwater flow modelling of Averg, SKB TechnicalReport TR98-23 (1998) L. Hartley, A. Boghammar, B. Grundfelt : Investigation of the large scale regional hydrogeological situation at Beberg, SKB Technical Report, TR-98-24 (1998). B. Gylling, D. Walder, L.Hartley : Site-scale groundwater flow modelling of Bberg, SKB Technical Report TR99-18 (1999) O. Jaquet and P. Siegel : Groundwater flow and transport modelling during a glaciation period, R-03-04, SKB Report, 2003 O. Jaquet and P. Siegel : Regional groundwater flow model for a glaciation scenario Simpervarp subarea -version 1.2, R-06-100, SKB Report, 2006 @m.mitr And P. Siegel : Regional groundwater flow model for a glaciation scenario Simpervarp subarea -version 1.2, R-06-100, SKB Report, 2006 @m.mitr And P. Siegel : Regional groundwater flow model for a glaciation scenario Simpervarp subarea -version 1.2, R-06-100, SKB Report, 2006 @m.mitr And P. Siegel : Regional groundwater flow model for a glaciation scenario Sim	Assessment Project Volume 1 2 SKI Report 96:36 (1996)		
byens hamstennikering HD Van Deep report, Vol. I, Vol. II and Summary, SKB Technical Report TR:99-06 Svensk Kärnbränslehantering AB : SR 97 · Waste, repository design and sites. Background report to SR 97, SKB Technical Report TR:99-08 J. Andersson : SR97 Data and data uncertainties Compilation of data and data uncertainties for radionuclide transport calculations, SKB Technical Report TR:99-09 U. Svensson : A regional analysis of groundwater flow and salinity distribution in the Aspo, SKB Technical Report TR:97-09 (1997) D. Walker, B. Gylling : Site-scale groudnwater flow modelling of Averg, SKB TechnicalReport TR:98-23 (1998) L. Hartley, A. Boghammar, B. Grundfelt : Investigation of the large scale regional hydrogeological situation at Beberg, SKB Technical Report, TR:98-24 (1998). B. Gylling, D. Walder, L.Hartley : Site-scale groundwater flow modelling of Bberg, SKB Technical Report TR:99-18 (1999) O. Jaquet and P. Siegel : Groundwater flow and transport modelling during a glaciation period, R-03-04, SKB Report, 2003 O. Jaquet and P. Siegel : Regional groundwater flow model for a glaciation scenario Simpervarp subarea –version 1.2, R-06-100, SKB Report, 2006 @w.mPi, & Oraje, & & & & & & & & & & & & & & & & & & &	Svansk Kärnbränslahantaring AB : SR 97 Deen repository for spent nuclear		
Ide: Dat Of a closure costedy. Main report vol. 1, vol. 1 and commany, SKB Technical Report TR-99-06 Svensk Kärnbränslehantering AB : SR 97 · Waste, repository design and sites. Background report to SR 97, SKB Technical Report TR-99-08 J. Andersson : SR97 Data and data uncertainties Compilation of data and data uncertainties for radionuclide transport calculations, SKB Technical Report TR-99-09 U. Svensson : A regional analysis of groundwater flow and salinity distribution in the Aspo, SKB Technical Report TR97-09 (1997) D. Walker, B. Gylling : Site-scale groudnwater flow modelling of Averg, SKB TechnicalReport TR98-23 (1998) L. Hartley, A. Boghammar, B. Grundfelt : Investigation of the large scale regional hydrogeological situation at Beberg, SKB Technical Report, TR-98-24 (1998). B. Gylling, D. Walder, L.Hartley : Site-scale groundwater flow modelling of Bberg, SKB Technical Report TR99-18 (1999) O. Jaquet and P. Siegel : Groundwater flow and transport modelling during a glaciation period, R-03-04, SKB Report, 2003 O. Jaquet and P. Siegel : Regional groundware flow model for a glaciation scenario Simpervarp subarea -version 1.2, R-06-100, SKB Report, 2006 @k_mptrk, & Cargk, marke, marke	fuel SR 97 - Post-closure sefety Main report - Vol I Vol II and Summary		
SNensk Kärnbränslehantering AB : SR 97 · Waste, repository design and sites. Background report to SR 97, SKB Technical Report TR-99-08 J. Andersson : SR97 Data and data uncertainties Compilation of data and data uncertainties for radionuclide transport calculations, SKB Technical Report TR-99-09 U. Svensson : A regional analysis of groundwater flow and salinity distribution in the Aspo, SKB Technical Report TR97-09 (1997) D. Walker, B. Gylling : Site-scale groudnwater flow modelling of Averg, SKB TechnicalReport TR98-23 (1998) L. Hartley, A. Boghammar, B. Grundfelt : Investigation of the large scale regional hydrogeological situation at Beberg, SKB Technical Report, TR-98-24 (1998). B. Gylling, D. Walder, L.Hartley : Site-scale groundwater flow modelling of Bberg, SKB Technical Report TR99-18 (1999) O. Jaquet and P. Siegel : Groundwater flow model for a glaciation scenario Simpervarp subarea -version 1.2, R-06-100, SKB Report, 2006 Gaxniff, A Caj A, & KBB Report, 2003 O. Jaquet and P. Siegel : Regional groundwater flow model for a glaciation scenario Simpervarp subarea -version 1.2, R-06-100, SKB Report, 2006 Gaxniff, A Caj A, & Kämstän, eintä, HJP#A, HJP, ShArax, 小山tä ä, alur, ko Kämstån, eintä, HJP#A, HJP, ShArax, 小山tä ä, alur, ko Kämstån eintä, HJP#A, HJP, ShArax, 小utä ä, alur, ko Kämstån eintä, HJP#A, HJP, ShArax, 小utä ä, alur, ko Kämstån eintä, HJP#A, HJP, ShArax, Juhä ä, alur, ko Kämstån eintä, Ko Kähther A Duvägämäric HJP A Fung, ShArax, Juhä ä, alur, ko Kämstån eintä, Ko Kähther A Duvägämäric HJP A Fung, ShArax, Juhä ä, sono Alure, skämstån e Karax, Etä Kämstä, Kämstån e Kämstä, Kämstån e Kämstån e Kämstä, Kämstån e Kämstä, Etä Kämstä, Kämstån e Kämstån e Kämstån e Kämst	SKB Toghnigal Raport TR-90-06		
Svensk Karlmänstellandering AD 50.57. Wake, Fejonoly Gesgin and sites. Background report to SR 97. SKB Technical Report TR:99-08 J. Andersson : SR97 Data and data uncertainties Compilation of data and data uncertainties for radionuclide transport calculations, SKB Technical Report TR:99-09 U. Svensson : A regional analysis of groundwater flow and salinity distribution in the Aspo, SKB Technical Report TR:97-09 (1997) D. Walker, B. Gylling : Site-scale groundwater flow modelling of Averg, SKB TechnicalReport TR:98-23 (1998) L. Hartley, A. Boghammar, B. Grundfelt : Investigation of the large scale regional hydrogeological situation at Beberg, SKB Technical Report, TR:98-24 (1998). B. Gylling, D. Walder, L.Hartley : Site-scale groundwater flow modelling of Bberg, SKB Technical Report TR:99-18 (1999) O. Jaquet and P. Siegel : Groundwater flow and transport modelling during a glaciation period, R:03:04, SKB Report, 2003 O. Jaquet and P. Siegel : Regional groundwater flow model for a glaciation scenario Simpervarp subarea -version 1.2, R:06:100, SKB Report, 2006 @ex.ml祥, 谷口真人, 後藤純治, 嶋田純, 岩月輝希, 張勁, 鈴木麻衣, 小山祐 材, 龟山宗彦, 蒲生伎敬, 稲葉薰, 三枝博光, 登坂博行: 沿岸部および沿岸海 底地下水の木理・地球化学環境の評価に関する研究 (公募型研究に関する平成 14 年度観吉書 (2003) 壆坂博行 (2002a) 地質時間にわたる淡塩遷移帯の形成過程と形態変化に関す る数値解析的検討 (その1) - 静的境界条件下における検討-, 応用地質, 43, 5, 293-305 壆坂博行 (2002b) 地質時間にわたる淡塩遷移帯の形成過程と形態変化に関す る数値解析的検討 (その2) - 動的境界条件下における検討-, 応用地質, 43, 5, 306-315 maa: :幌延碟地層研究所計画における地下水流動解析に関する検討 (核燃料サ イクル開発機構 委託研究成果報告書), JNC TJ1400 2002:004 (2002)	Skall Könnhvänglahantaning AB : SP 07 - Waata vanasitany design and		
Sites: Data ground report of the 37, info reclimital heppite 112 35 03 J. Andersson : SR97 Data and data uncertainties Compilation of data and data uncertainties for radionuclide transport calculations, SKB Technical Report TR:99:09 U. Svensson : A regional analysis of groundwater flow and salinity distribution in the Aspo, SKB Technical Report TR97:09 (1997) D. Walker, B. Gylling : Site-scale groudmwater flow modelling of Averg, SKB TechnicalReport TR98:23 (1998) L. Hartley, A. Boghammar, B. Grundfelt : Investigation of the large scale regional hydrogeological situation at Beberg, SKB Technical Report, TR:98:24 (1998). B. Gylling, D. Walder, L.Hartley : Site-scale groundwater flow modelling of Bberg, SKB Technical Report TR99:18 (1999) O. Jaquet and P. Siegel : Groundwater flow and transport modelling during a glaciation period, R:03:04, SKB Report, 2003 O. Jaquet and P. Siegel : Regional groundware flow model for a glaciation scenario Simpervarp subarea -version 1.2, R:06:100, SKB Report, 2006 @k.ml#, A Chag, K& meth, #El ##A, #gm, #Arkæ, A, uhr # Mata uh: R:E, meth, #Et #E, Et #Et #Et #Et #Et #Et #Et #Et #Et #Et	sites Background report to SP 97 SKB Technical Report TP-00-08		
 b). Anderson¹: SNS¹ Data and data undertaindes Compliation of data and data uncertainties for radionuclide transport calculations, SKB Technical Report TR:99:09 U. Svensson : A regional analysis of groundwater flow and salinity distribution in the Aspo, SKB Technical Report TR97:09 (1997) D. Walker, B. Gylling: Site-scale groundwater flow modelling of Averg, SKB TechnicalReport TR98:23 (1998) L. Hartley, A. Boghammar, B. Grundfelt : Investigation of the large scale regional hydrogeological situation at Beberg, SKB Technical Report, TR:98:24 (1998). B. Gylling, D. Walder, L.Hartley : Site-scale groundwater flow modelling of Bberg, SKB Technical Report TR99:18 (1999) O. Jaquet and P. Siegel : Groundwater flow and transport modelling during a glaciation period, R:03:04, SKB Report, 2003 O. Jaquet and P. Siegel : Regional groundwater flow model for a glaciation scenario Simpervarp subarea -version 1.2, R:06:100, SKB Report, 2006 (@*,#JIĦ, 谷口貫入, 後藤純治, 嶋田純, 岩月輝希, 張勁, 鈴木麻衣, 小山枯 樹, 亀山宗彦, 蒲生侯敏, 福養藻, 三枝博水, 经野菜, (公募型研究): [B]+ö3±, [B]+ö3±, [C]+ö3±, [B]+ö3±, [B]+ö4±, [S], [S]+ö4±, [S], [S], [S]+ö4±, [S], [S], [S]+ö4±, [S], [S], [S]+ö4±, [S], [S], [S], [S], [S], [S], [S], [S]	I Andersson SP07 Data and data uncertainting Compilation of data and		
Bara under and spore tarting of the analysis of groundwater flow and salinity distribution in the Aspo, SKB Technical Report TR97-09 (1997)D. Walker, B. Gylling : Site-scale groundwater flow modelling of Averg, SKB TechnicalReport TR98-23 (1998)L. Hartley, A. Boghammar, B. Grundfelt : Investigation of the large scale regional hydrogeological situation at Beberg, SKB Technical Report, TR-98-24 (1998).B. Gylling, D. Walder, L.Hartley : Site-scale groundwater flow modelling of Bberg, SKB Technical Report TR99-18 (1999)O. Jaquet and P. Siegel : Groundwater flow and transport modelling during a glaciation period, R-03-04, SKB Report, 2003O. Jaquet and P. Siegel : Regional groundwater flow model for a glaciation scenario Simpervarp subarea -version 1.2, R-06-100, SKB Report, 2006徳永朋祥, 谷口真人, 後藤純治, 嶋田純, 岩月輝希, 張勁, 鈴木麻衣, 小山祐 樹, 亀山宗彦, 清生俊敏, 稲葉薰, 三枝博光, 登坂博行: 沿岸部および沿岸梅 底地下水の水理・地球化学環境の評価に関する研究 (公募型研究に関する共同 研究報告書), 核燃料サイクル公募型研究に関する平成 14 年度報告書 (2003)登坂博行 (2002a) 地質時間にわたる淡塩遷移帯の形成過程と形態変化に関す る数値解析的検討 (その 1) - 静的境界条件下における検討-, 応用地質, 43, 5, 293-305登坂博行 (2002b) 地質時間にわたる淡塩遷移帯の形成過程と形態変化に関す る数値解析的検討 (その 2) - 動的境界条件下における検討-, 応用地質, 43, 5, 306-315間組 : 幌延深地層研究所計画における地下水流動解析に関する検討 (核燃料サ イクル/開発機構 委託研究成果報告書), JNC TJ1400 2002-004 (2002)	data uncertainties for radionuclide transport calculations. SKB Technical		
Integrit Tri SolodU. Svensson : A regional analysis of groundwater flow and salinity distribution in the Aspo, SKB Technical Report TR97-09 (1997)D. Walker, B. Gylling : Site-scale groundwater flow modelling of Averg, SKB TechnicalReport TR98-23 (1998)L. Hartley, A. Boghammar, B. Grundfelt : Investigation of the large scale regional hydrogeological situation at Beberg, SKB Technical Report, TR-98-24 (1998).B. Gylling, D. Walder, L.Hartley : Site-scale groundwater flow modelling of Bberg, SKB Technical Report TR99-18 (1999)O. Jaquet and P. Siegel : Groundwater flow and transport modelling during a glaciation period, R-03-04, SKB Report, 2003O. Jaquet and P. Siegel : Regional groundwater flow model for a glaciation scenario Simpervarp subarea -version 1.2, R-06-100, SKB Report, 2006徳志, 期祥, 谷口真人, 後藤純治, 嶋田純, 岩月輝希, 張勁, 鈴木麻衣, 小山祐 樹, 亀山宗彦, 蒲生後敬, 稲葉薰, 三枝博光, 登坂博行: 沿岸部および沿岸海 底地下水の水理・地球化学環境の評価に関する研究 (公募型研究に関する共同 研究報告書), 核燃料サイクル公募型研究に関する平成 14 年度報告書 (2003)登坂博行 (2002a) 地質時間にわたる淡塩遷移帯の形成過程と形態変化に関す る数値解析的検討 (その 1) - 静的境界条件下における検討-, 応用地質, 43, 5, 293-305登坂博行 (2002b) 地質時間にわたる淡塩遷移帯の形成過程と形態変化に関す る数値解析的検討 (その 2) - 動的境界条件下における検討-, 応用地質, 43, 5, 306-315間組: 調組: 幌艇深地層研究所計画における地下水流動解析に関する検討 (核燃料サ イクル/開発機構 委託研究成果報告書), JNC TJ1400 2002-004 (2002)	Report TR-00-00		
 b. Svensson : A regunar analysis of groundwater now samily distribution in the Aspo, SKB Technical Report TR97-09 (1997) D. Walker, B. Gylling : Site-scale groundwater flow modelling of Averg, SKB TechnicalReport TR98-23 (1998) L. Hartley, A. Boghammar, B. Grundfelt : Investigation of the large scale regional hydrogeological situation at Beberg, SKB Technical Report, TR-98-24 (1998). B. Gylling, D. Walder, L.Hartley : Site-scale groundwater flow modelling of Bberg, SKB Technical Report TR99-18 (1999) O. Jaquet and P. Siegel : Groundwater flow and transport modelling during a glaciation period, R-03-04, SKB Report, 2003 O. Jaquet and P. Siegel : Regional groundware flow model for a glaciation scenario Simpervarp subarea -version 1.2, R-06-100, SKB Report, 2006 (徳永朋祥, 谷口真人, 後藤純治, 嶋田純, 岩月輝希, 張勁, 鈴木麻衣, 小山祐樹, 亀山宗彦, 蒲生俊敏, 稲葉薫, 三枝博光, 登坂博行 : 沿岸部および沿岸海 底地下水の水理・地球化学環境の評価に関する研究 (公募型研究に関する共同 研究報告書), 核燃料サイクル公募型研究に関する平成14 年度報告書 (2003) 登坂博行 (2002a) 地質時間にわたる淡塩遷移帯の形成過程と形態変化に関す る数値解析的検討 (その1) 一静的境界条件下における検討 -, 応用地質, 43, 5, 203-305 登坂博行 (2002b) 地質時間にわたる淡塩遷移帯の形成過程と形態変化に関す る数値解析的検討 (その2) 一動的境界条件下における検討 -, 応用地質, 43, 5, 306-315 間組 : 幌延深地層研究所計画における地下水流動解析に関する検討 (核燃料サイクル) 	II Supreson : A regional analysis of groundwater flow and calinity		
D. Walker, B. Gylling: Site-scale groudnwater flow modelling of Averg, SKB TechnicalReport TR98-23 (1998) L. Hartley, A. Boghammar, B. Grundfelt : Investigation of the large scale regional hydrogeological situation at Beberg, SKB Technical Report, TR-98-24 (1998). B. Gylling, D. Walder, L.Hartley : Site-scale groundwater flow modelling of Bberg, SKB Technical Report TR99-18 (1999) O. Jaquet and P. Siegel : Groundwater flow and transport modelling during a glaciation period, R-03-04, SKB Report, 2003 O. Jaquet and P. Siegel : Regional groundwaer flow model for a glaciation scenario Simpervarp subarea –version 1.2, R-06-100, SKB Report, 2006 德永朋祥, 谷口真人, 後藤純治, 嶋田純, 岩月輝希, 張勁, 鈴木麻衣, 小山祐 樹, 亀山宗彦, 蒲生俊敏, 稲養薫, 三枝博光, 登坂博行 : 沿岸部おおしび沿岸海 底地下水の水理・地球化学環境の評価に関する研究 (公募型研究に関する共同 研究報告書), 核燃料サイクル公募型研究に関する平成 14 年度報告書 (2003) 登坂博行 (2002a) 地質時間にわたる淡塩遷移帯の形成過程と形態変化に関する数値解析的検討 (その 1) 一静的境界条件下における検討一, 応用地質, 43, 5, 293-305 登坂博行 (2002b) 地質時間にわたる淡塩遷移帯の形成過程と形態変化に関する数値解析的検討 (その 2) 一動的境界条件下における検討一, 応用地質, 43, 5, 306-315 間細: 幌蜒深地層研究所計画における地下水流動解析に関する検討 (核燃料サ 間細: 幌蜒深地層研究所計画における地下水流動解析に関する検討 (核燃料サ イクル・開発機構 委託研究成果報告書), JNC TJ1400 2002-004 (2002)	distribution in the Aspe SKB Technical Report TB97-00 (1997)		
D. Warker, B. Gylling · Site'scale groudnwater now modeling of Averg, SKB TechnicalReport TR98-23 (1998) L. Hartley, A. Boghammar, B. Grundfelt : Investigation of the large scale regional hydrogeological situation at Beberg, SKB Technical Report, TR-98-24 (1998). B. Gylling, D. Walder, L.Hartley : Site-scale groundwater flow modelling of Bberg, SKB Technical Report TR99-18 (1999) O. Jaquet and P. Siegel : Groundwater flow and transport modelling during a glaciation period, R-03-04, SKB Report, 2003 O. Jaquet and P. Siegel : Regional groundwaer flow model for a glaciation scenario Simpervarp subarea -version 1.2, R-06-100, SKB Report, 2006 徳永朋祥, 谷口真人, 後藤純治, 嶋田純, 岩月輝希, 張勁, 鈴木麻衣, 小山祐 樹, 亀山宗彦, 藩生俊敏, 稲葉薫, 三枝博光, 登坂博行 : 沿岸部および沿岸海 底地下水の水理・地球化学環境の評価に関する研究 (公募型研究に関する状定し関する状同 研究報告書), 核燃料サイクル公募型研究に関する研究 (公募型研究に関する大家友達優務市の形成過程と形態変化に関す る数値解析的検討 (その1) - 静的境界条件下における検討-, 応用地質, 43, 5, 293-305 登坂博行 (2002b) 地質時間にわたる淡塩遷移帯の形成過程と形態変化に関す る数値解析的検討 (その2) - 動的境界条件下における検討-, 応用地質, 43, 5, 306-315 間組 : 幌延深地層研究所計画における地下水流動解析に関する検討 (核燃料サ イクル開発機構 委託研究成果報告書), JNC TJ1400 2002-004 (2002)	D. Weller, D. Celling, Cite and small method for an delling of Assess CVD		
Ic. Hartley, A. Boghammar, B. Grundfelt: Investigation of the large scale regional hydrogeological situation at Beberg, SKB Technical Report, TR-98-24 (1998). B. Gylling, D. Walder, L.Hartley: Site-scale groundwater flow modelling of Bberg, SKB Technical Report TR99-18 (1999) O. Jaquet and P. Siegel: Groundwater flow and transport modelling during a glaciation period, R-03-04, SKB Report, 2003 O. Jaquet and P. Siegel: Regional groundwater flow model for a glaciation scenario Simpervarp subarea -version 1.2, R-06-100, SKB Report, 2006 徳永朋祥, 谷口真人, 後藤純治, 嶋田純, 岩月輝希, 張勁, 鈴木麻衣, 小山祐樹, 亀山宗彦, 蒲生俊敬, 稲葉薫, 三枝博光, 登坂博行: 沿岸部および沿岸海 医地下水の水理・地球化学環境の評価に関する研究(公募型研究に関する共同研究報告書), 核燃料サイクル公募型研究に関する平成 14 年度報告書 (2003) 登坂博行(2002a) 地質時間にわたる淡塩遷移帯の形成過程と形態変化に関する数値解析的検討(その1) - 静的境界条件下における検討-, 応用地質, 43, 5, 203-305 登坂博行(2002b) 地質時間にわたる淡塩遷移帯の形成過程と形態変化に関する数値解析的検討(その2) - 動的境界条件下における検討-, 応用地質, 43, 5, 306-315 間組: 幌延深地層研究所計画における地下水流動解析に関する検討(核燃料サイクル) 間組: 幌延深地層研究成果報告書), JNC TJ1400 2002-004 (2002)	D. walker, D. Gylling · Sile scale groudiwater now modelling of Averg, SKD		
L. Hartley, A. Bognammar, B. Grundfelt : Investigation of the large scale regional hydrogeological situation at Beberg, SKB Technical Report, TR-98-24 (1998). B. Gylling, D. Walder, L.Hartley : Site-scale groundwater flow modelling of Bberg, SKB Technical Report TR99-18 (1999) O. Jaquet and P. Siegel : Groundwater flow and transport modelling during a glaciation period, R-03-04, SKB Report, 2003 O. Jaquet and P. Siegel : Regional groundwaer flow model for a glaciation scenario Simpervarp subarea -version 1.2, R-06-100, SKB Report, 2006 徳永朋祥, 谷口真人, 後藤純治, 嶋田純, 岩月輝希, 張勁, 鈴木麻衣, 小山祐 樹, 亀山宗彦, 蒲生俊敏, 稲葉薰, 三枝博光, 登坂博行 : 沿岸部および沿岸海 底地下水の水理・地球化学環境の評価に関する研究 (公募型研究に関する共和, 14年度報告書 (2003) 登坂博行 (2002a) 地質時間にわたる淡塩遷移帯の形成過程と形態変化に関す る数値解析的検討 (その 1) - 静的境界条件下における検討-, 応用地質, 43, 5, 293-305 登坂博行 (2002b) 地質時間にわたる淡塩遷移帯の形成過程と形態変化に関す る数値解析的検討 (その 2) - 動的境界条件下における検討-, 応用地質, 43, 5, 306-315 間組 : 幌延深地層研究所計画における地下水流動解析に関する検討 (核燃料サ イクル開発機構 委託研究成果報告書), JNC TJ1400 2002-004 (2002)	L H H A D L D C ICH L H H H H H		
regional hydrogeological situation at Beberg, SKB lechnical Report, TR:98-24 (1998). B. Gylling, D. Walder, L.Hartley: Site-scale groundwater flow modelling of Bberg, SKB Technical Report TR99-18 (1999) O. Jaquet and P. Siegel: Groundwater flow and transport modelling during a glaciation period, R:03:04, SKB Report, 2003 O. Jaquet and P. Siegel: Regional groundware flow model for a glaciation scenario Simpervarp subarea –version 1.2, R:06:100, SKB Report, 2006 徳永朋祥,谷口真人,後藤純治,嶋田純,岩月輝希,張勁,鈴木麻衣,小山祐 樹,亀山宗彦,蒲生俊敬,稲葉薫,三枝博光,登坂博行:沿岸部および沿岸海 底地下水の水理・地球化学環境の評価に関する研究 (公募型研究に関する共同 研究報告書),核燃料サイクル公募型研究に関する平成 14 年度報告書 (2003) 登坂博行 (2002a) 地質時間にわたる淡塩遷移帯の形成過程と形態変化に関す る数値解析的検討 (その1) –静的境界条件下における検討-,応用地質, 43, 5, 293-305 登坂博行 (2002b) 地質時間にわたる淡塩遷移帯の形成過程と形態変化に関す る数値解析的検討 (その2) –動的境界条件下における検討-,応用地質, 43, 5, 306-315 間組: 幌延深地層研究所計画における地下水流動解析に関する検討 (核燃料サ イクル開発機構 委託研究成果報告書), JNC TJ1400 2002-004 (2002)	L. Hartley, A. Bognammar, B. Grundleit : Investigation of the large scale		
IN-98/24 (1998). B. Gylling, D. Walder, L.Hartley : Site-scale groundwater flow modelling of Bberg, SKB Technical Report TR99-18 (1999) O. Jaquet and P. Siegel : Groundwater flow and transport modelling during a glaciation period, R-03-04, SKB Report, 2003 O. Jaquet and P. Siegel : Regional groundwaer flow model for a glaciation scenario Simpervarp subarea -version 1.2, R-06-100, SKB Report, 2006 徳永朋祥,谷口真人,後藤純治,嶋田純,岩月輝希,張勁,鈴木麻衣,小山祐 樹,亀山宗彦,蒲生俊敏,稲葉薫,三枝博光,登坂博行:沿岸部および沿岸海 底地下水の水理・地球化学環境の評価に関する研究(公募型研究に関する共同 研究報告書),核燃料サイクル公募型研究に関する平成14 年度報告書 (2003) 登坂博行 (2002a) 地質時間にわたる淡塩遷移帯の形成過程と形態変化に関す る数値解析的検討(その1) -静的境界条件下における検討-,応用地質,43, 5, 293-305 登坂博行 (2002b) 地質時間にわたる淡塩遷移帯の形成過程と形態変化に関す る数値解析的検討(その2) - 動的境界条件下における検討-,応用地質,43, 5, 306-315 間組: 幌延深地層研究所計画における地下水流動解析に関する検討(核燃料サ イクル開発機構 委託研究成果報告書), JNC TJ1400 2002-004 (2002)	TE OR DA (1008)		
 B. Gylinig, D. Walder, L.Hartley · Site-scale groundwater flow modelling of Bberg, SKB Technical Report TR99-18 (1999) O. Jaquet and P. Siegel : Groundwater flow and transport modelling during a glaciation period, R-03-04, SKB Report, 2003 O. Jaquet and P. Siegel : Regional groundwater flow model for a glaciation scenario Simpervarp subarea –version 1.2, R-06-100, SKB Report, 2006 徳永朋祥, 谷口真人, 後藤純治, 嶋田純, 岩月輝希, 張勁, 鈴木麻衣, 小山祐 樹, 亀山宗彦, 蒲生俊敏, 稲葉薫, 三枝博光, 登坂博行 : 沿岸部および沿岸海 底地下水の水理・地球化学環境の評価に関する研究 (公募型研究に関する共同 研究報告書), 核燃料サイクル公募型研究に関する平成 14 年度報告書 (2003) 登坂博行 (2002a) 地質時間にわたる淡塩遷移帯の形成過程と形態変化に関す る数値解析的検討 (その1) – 静的境界条件下における検討 –, 応用地質, 43, 5, 293-305 登坂博行 (2002b) 地質時間にわたる淡塩遷移帯の形成過程と形態変化に関す る数値解析的検討 (その2) – 動的境界条件下における検討 –, 応用地質, 43, 5, 306-315 間組 : 幌延深地層研究所計画における地下水流動解析に関する検討 (核燃料サ イクル開発機構 委託研究成果報告書), JNC TJ1400 2002-004 (2002) 	$1 \text{ K}^{-95^{-}24}$ (1996).		
Boerg, SKB Technical Report TR99-18 (1999) O. Jaquet and P. Siegel: Groundwater flow and transport modelling during a glaciation period, R-03-04, SKB Report, 2003 O. Jaquet and P. Siegel: Regional groundwater flow model for a glaciation scenario Simpervarp subarea -version 1.2, R-06-100, SKB Report, 2006 徳永朋祥,谷口真人,後藤純治,嶋田純,岩月輝希,張勁,鈴木麻衣,小山祐樹,亀山宗彦,蒲生俊敬,稲葉薫,三枝博光,登坂博行:沿岸部および沿岸海 底地下水の水理・地球化学環境の評価に関する研究 (公募型研究に関する共同) 研究報告書),核燃料サイクル公募型研究に関する平成14年度報告書 (2003) 登坂博行(2002a) 地質時間にわたる淡塩遷移帯の形成過程と形態変化に関す る数値解析的検討(その1) - 静的境界条件下における検討-,応用地質,43, 5, 293-305 登坂博行(2002b) 地質時間にわたる淡塩遷移帯の形成過程と形態変化に関す る数値解析的検討(その2) - 動的境界条件下における検討-,応用地質,43, 5, 306-315 間組: 幌延深地層研究所計画における地下水流動解析に関する検討(核燃料サ イクル開発機構 委託研究成果報告書), JNC TJ1400 2002-004 (2002)	B. Gylling, D. Walder, L.Hartley \cdot Site-scale groundwater flow modelling of		
 O. Jaquet and P. Siegel: Groundwater flow and transport modelling during a glaciation period, R-03-04, SKB Report, 2003 O. Jaquet and P. Siegel: Regional groundwaer flow model for a glaciation scenario Simpervarp subarea –version 1.2, R-06-100, SKB Report, 2006 徳永朋祥,谷口真人,後藤純治,嶋田純,岩月輝希,張勁,鈴木麻衣,小山祐 樹,亀山宗彦,蒲生俊敬,稲葉薫,三枝博光,登坂博行:沿岸部および沿岸海 底地下水の水理・地球化学環境の評価に関する研究(公募型研究に関する共同 研究報告書),核燃料サイクル公募型研究に関する平成14年度報告書 (2003) 登坂博行 (2002a) 地質時間にわたる淡塩遷移帯の形成過程と形態変化に関す る数値解析的検討(その1) –静的境界条件下における検討-,応用地質,43, 5,293-305 登坂博行 (2002b) 地質時間にわたる淡塩遷移帯の形成過程と形態変化に関す る数値解析的検討(その2) –動的境界条件下における検討-,応用地質,43, 5,306-315 間組:幌延深地層研究所計画における地下水流動解析に関する検討(核燃料サ イクル開発機構 委託研究成果報告書), JNC TJ1400 2002-004 (2002) 	Bberg, SKB Technical Report 1R99-18 (1999)		
a glaciation period, R-03-04, SKB Report, 2003 O. Jaquet and P. Siegel: Regional groundwaer flow model for a glaciation scenario Simpervarp subarea –version 1.2, R-06-100, SKB Report, 2006 徳永朋祥,谷口真人,後藤純治,嶋田純,岩月輝希,張勁,鈴木麻衣,小山祐樹,亀山宗彦,蒲生俊敬,稲葉薫,三枝博光,登坂博行:沿岸部および沿岸海底地下水の水理・地球化学環境の評価に関する研究(公募型研究に関する共同研究報告書),核燃料サイクル公募型研究に関する平成14年度報告書 (2003) 登坂博行(2002a)地質時間にわたる淡塩遷移帯の形成過程と形態変化に関する数値解析的検討(その1)ー静的境界条件下における検討ー,応用地質,43,5,293-305 登坂博行(2002b)地質時間にわたる淡塩遷移帯の形成過程と形態変化に関する数値解析的検討(その2)ー動的境界条件下における検討ー,応用地質,43,5,306-315 間組:幌延深地層研究所計画における地下水流動解析に関する検討(核燃料サイクル開発機構 委託研究成果報告書),JNC TJ1400 2002-004 (2002)	O. Jaquet and P. Siegel : Groundwater flow and transport modelling during		
 O. Jaquet and P. Siegel: Kegional groundwaer flow model for a glaciation scenario Simpervarp subarea -version 1.2, R-06-100, SKB Report, 2006 徳永朋祥,谷口真人、後藤純治、嶋田純、岩月輝希、張勁、鈴木麻衣、小山祐樹、亀山宗彦、蒲生俊敬、稲葉薫、三枝博光、登坂博行:沿岸部および沿岸海底地下水の水理・地球化学環境の評価に関する研究(公募型研究に関する共同研究報告書),核燃料サイクル公募型研究に関する平成14年度報告書 (2003) 登坂博行 (2002a) 地質時間にわたる淡塩遷移帯の形成過程と形態変化に関する数値解析的検討(その1) -静的境界条件下における検討-,応用地質,43,5,293-305 登坂博行 (2002b) 地質時間にわたる淡塩遷移帯の形成過程と形態変化に関する数値解析的検討(その2) -動的境界条件下における検討-,応用地質,43,5,306-315 間組: 幌延深地層研究所計画における地下水流動解析に関する検討(核燃料サイクル開発機構 委託研究成果報告書),JNC TJ1400 2002-004 (2002) 	a glaciation period, R-03-04, SKB Report, 2003		
scenario Simpervarp subarea -version 1.2, R-06-100, SKB Report, 2006 徳永朋祥,谷口真人,後藤純治,嶋田純,岩月輝希,張勁,鈴木麻衣,小山祐樹,亀山宗彦,蒲生俊敬,稲葉薫,三枝博光,登坂博行:沿岸部および沿岸海底地下水の水理・地球化学環境の評価に関する研究(公募型研究に関する共同研究報告書),核燃料サイクル公募型研究に関する平成14年度報告書(2003) 登坂博行(2002a)地質時間にわたる淡塩遷移帯の形成過程と形態変化に関する数値解析的検討(その1)ー静的境界条件下における検討-,応用地質,43,5,293-305 登坂博行(2002b)地質時間にわたる淡塩遷移帯の形成過程と形態変化に関する数値解析的検討(その2)ー動的境界条件下における検討-,応用地質,43,5,306-315 間組:幌延深地層研究所計画における地下水流動解析に関する検討(核燃料サイクル開発機構 委託研究成果報告書),JNC TJ1400 2002-004 (2002)	O. Jaquet and P. Siegel : Regional groundwaer flow model for a glaciation		
徳永崩祥,谷口具人,後藤純治,鳴田純,岩月輝希,張勁,鈴木麻衣,小山祐 樹,亀山宗彦,蒲生俊敬,稲葉薫,三枝博光,登坂博行:沿岸部および沿岸海 底地下水の水理・地球化学環境の評価に関する研究(公募型研究に関する共同 研究報告書),核燃料サイクル公募型研究に関する平成14年度報告書(2003) 登坂博行(2002a)地質時間にわたる淡塩遷移帯の形成過程と形態変化に関す る数値解析的検討(その1)ー静的境界条件下における検討ー,応用地質,43, 5,293-305 登坂博行(2002b)地質時間にわたる淡塩遷移帯の形成過程と形態変化に関す る数値解析的検討(その2)ー動的境界条件下における検討ー,応用地質,43, 5,306-315 間組:幌延深地層研究所計画における地下水流動解析に関する検討(核燃料サ イクル開発機構 委託研究成果報告書),JNC TJ1400 2002-004 (2002)	scenario Simpervarp subarea –version 1.2, R-06-100, SKB Report, 2006		
樹,亀山宗彦,蒲生褒敬,稲葉薫,二枝博光,登坂博行:沿岸部および沿岸海 底地下水の水理・地球化学環境の評価に関する研究(公募型研究に関する共同 研究報告書),核燃料サイクル公募型研究に関する平成14年度報告書(2003) 登坂博行(2002a)地質時間にわたる淡塩遷移帯の形成過程と形態変化に関す る数値解析的検討(その1)ー静的境界条件下における検討ー,応用地質,43, 5,293-305 登坂博行(2002b)地質時間にわたる淡塩遷移帯の形成過程と形態変化に関す る数値解析的検討(その2)ー動的境界条件下における検討ー,応用地質,43, 5,306-315 間組:幌延深地層研究所計画における地下水流動解析に関する検討(核燃料サ イクル開発機構 委託研究成果報告書),JNC TJ1400 2002-004 (2002)	他永朋祥,谷口具人,後滕純冶,鳴田純,岩月輝希,張勁,鈴木麻衣,小山祐		
 広地下水の水理・地球化学環境の評価に関する研究(公募型研究に関する共同研究報告書),核燃料サイクル公募型研究に関する平成14年度報告書(2003) 登坂博行(2002a)地質時間にわたる淡塩遷移帯の形成過程と形態変化に関する数値解析的検討(その1)ー静的境界条件下における検討ー,応用地質,43,5,293-305 登坂博行(2002b)地質時間にわたる淡塩遷移帯の形成過程と形態変化に関する数値解析的検討(その2)ー動的境界条件下における検討ー,応用地質,43,5,306-315 間組:幌延深地層研究所計画における地下水流動解析に関する検討(核燃料サイクル開発機構委託研究成果報告書),JNC TJ1400 2002-004 (2002) 	樹,亀山宗彦,蒲生俊敏,稲葉薫,三枝博光,登坂博行:沿岸部および沿岸海		
研究報告書),核燃料サイクル公募型研究に関する平成14年度報告書(2003) 登坂博行(2002a)地質時間にわたる淡塩遷移帯の形成過程と形態変化に関す る数値解析的検討(その1)ー静的境界条件下における検討ー,応用地質,43, 5,293-305 登坂博行(2002b)地質時間にわたる淡塩遷移帯の形成過程と形態変化に関す る数値解析的検討(その2)ー動的境界条件下における検討ー,応用地質,43, 5,306-315 間組:幌延深地層研究所計画における地下水流動解析に関する検討(核燃料サ イクル開発機構 委託研究成果報告書),JNC TJ1400 2002-004 (2002)	低地下水の水理・地球化学環境の評価に関する研究(公募型研究に関する共同 英字報告表) は地球はようようの美国の原語は東京の大学の大学の大学の大学の大学の大学の		
登坂博行(2002a) 地質時間にわたる淡塩遷移帯の形成過程と形態変化に関す る数値解析的検討(その1) - 静的境界条件下における検討-,応用地質,43, 5,293-305 登坂博行(2002b) 地質時間にわたる淡塩遷移帯の形成過程と形態変化に関す る数値解析的検討(その2) - 動的境界条件下における検討-,応用地質,43, 5,306-315 間組:幌延深地層研究所計画における地下水流動解析に関する検討(核燃料サ イクル開発機構 委託研究成果報告書),JNC TJ1400 2002-004 (2002)	研究報告書)、核燃料サイクル公募型研究に関する平成14年度報告書(2003)		
 	登坂博行(2002a)地質時間にわたる淡塩遷移帯の形成過程と形態変化に関す		
 b. 293-305 登坂博行(2002b)地質時間にわたる淡塩遷移帯の形成過程と形態変化に関する数値解析的検討(その2)ー動的境界条件下における検討-,応用地質,43,5,306-315 間組:幌延深地層研究所計画における地下水流動解析に関する検討(核燃料サイクル開発機構 委託研究成果報告書),JNC TJ1400 2002-004 (2002) 	る数値解析的検討(その1)-静的境界条件下における検討-,応用地質,43,		
 金坂時(T (20020) 地質時间にわたる液温遷移帯の形成適程と形態変化に関する数値解析的検討(その2) - 動的境界条件下における検討-,応用地質,43, 5,306-315 間組:幌延深地層研究所計画における地下水流動解析に関する検討(核燃料サイクル開発機構 委託研究成果報告書),JNC TJ1400 2002-004 (2002) 	5, 293-305 		
る <u>叙</u> 旭 <u></u>	豆奴時行 (2002b) 地質時間にわたる淡温達移帯の形成過程と形態変化に関す		
 5, 300-315 間組:幌延深地層研究所計画における地下水流動解析に関する検討(核燃料サイクル開発機構 委託研究成果報告書), JNC TJ1400 2002-004 (2002) 	る剱旭舟竹的使討(ての2)―動的現界条件下における検討―,応用地質,43,		
间組: ! ! ! ! ! ! ! ! ! ! ! ! ! ! ! ! ! ! !			
	间祖: ! ! ! ! ! ! ! ! ! ! ! ! ! ! ! ! ! ! !		

5.まとめ

5.1 深地層の研究施設計画において作成した地下水流動評価の作業フローの沿岸域を 含めた場合の適用性の検討と必要に応じた拡張・更新

瑞浪事例における地下水流動評価の作業フローをベースに,沿岸域を対象とした場合の 作業フローの適用性について事前の検討を行い,必要に応じて拡張・更新を行った。さら に,地下水中の塩分を考慮した実際の地下水流動解析を通じて,作業フローの拡張・更新 を行うことにより,沿岸域を対象とした場合にも適用可能な地下水流動評価の作業フロー としてまとめた。

本研究を通じて作成した作業フローを Appendix-A に記す。また,作成した作業フローと, 瑞浪事例における作業フローとの差異を表 5-1 にまとめる。

	作業フロー、タスク	瑞浪事例との差異	備考
統合	化データフローダイヤグラム	変更なし	
作業	きフロー	モデル構築,地下水流動解析各々について「水 輸送問題」「移流・分散問題」のボックスに分 け,それらをフローで繋いだ。	
タブ	、ク内のサブタスクの作業フロー		
水 理	水理地質構造概念モデルの構築 に関するフローダイアグラム	変更なし	
地質	大規模不連続構造のモデル化手 法に関するフローダイアグラム	変更なし	
構造	小規模不連続構造のモデル化手 法に関するフローダイアグラム	変更なし	
モデル	大規模不連続構造部のメッシュ 作成に関するフローダイアグラ ム	変更なし	
	モデル化領域全体のメッシュ作 成に関するフローダイアグラム	変更なし	

表 5-1 本研究で拡張・更新した作業フローと瑞浪事例における作業フローの差異

表 5-1 2	本研究で拡張・	更新した作業フロー	と瑞浪事例におけ	る作業フローの差	異(つづき)
---------	---------	-----------	----------	----------	--------

作業フロー、タスク		瑞浪事例との差異	備考
地下水流動解析 (移流・分散問題)	地下水の大局的な 流動方向の推定に 関するフローダイ アグラム	「水圧」の記述を「水頭」に変更	多相流,密度流に対応で きるより一般的な表現と して採用
	不連続構造に起因 する流束コントラ ストの推定に関す るフローダイアグ ラム	変化なし	
	濃度境界に起因す る流東コントラス トの推定に関する フローダイアグラ ム	新設	移流・分散解析特有の項 目(沿岸域の特徴と言え る)
	定常/非定常解析 手法の選択に関す る意思決定フロー ダイアグラム	新設	塩分濃度分布が定常に至 っている状況は少ないこ とから非定常解析を実施 するケースを考慮
	解析手法選択に関 するフローダイア グラム	溶質考慮の有無,密度差考慮の有無についての 項目を追加。	移流・分散解析特有の項 目(沿岸域の特徴と言え る)
	数値計算手法選択 に関するフローダ イアグラム	新設(真理表)	移流・分散問題では数値 分散が問題となり,数値 分散は数値計算手法によ ってその特徴が異なるた め
	初期状態設定に関 するフローダイア グラム	新設(真理表)	非定常解析特有
	空間の離散化	「地下水流動解析」タスク内のサブタスクとし て新設。手法は「水理地質構造モデル」タスク 内のメッシュ作成関連と同じ。	
	上部境界条件設定 に関するフローダ イアグラム	「水圧」を「水頭」に変更。	多相流,密度流に対応で きるより一般的な表現と して採用
	側方境界条件に関 するフローダイア グラム	「水圧」を「水頭」に変更。	多相流,密度流に対応で きるより一般的な表現と して採用
	下部境界条件設定 に関するフローダ イアグラム	「水圧」を「水頭」に変更。	多相流,密度流に対応で きるより一般的な表現と して採用
	濃度境界条件設定 に関するフローダ イアグラム	新設	移流・分散解析特有(沿 岸域の特徴)
	解析実施に関する フローダイアグラ ム	解析が正常に終了する前段階に入力ミス確認, 要素分割の適切性の確認のタスクボックスを追 加。	事前にヒューマンエラー を見つけ出し効率をよく するため
	解析結果の妥当性 に関するフローダ イアグラム	濃度に関する記述を追加。また,実測値が得ら れていない段階での妥当性評価に言及。	入力パラメータのミス等 のエラーのチェックを強 化するため
	解析結果の考察に 関するフローダイ アグラム	濃度に関する記述を追加。また、全体的な傾向 だけでなく局所的な違いについても感度解析ケ ース設定に起因するものかどうかの判断を行う こととした。	
5.2 幌延地域の沿岸域における既存の調査試験結果に基づく地下水流動の把握

幌延地域の沿岸域における既存の調査試験結果に基づく地質構造等に関する情報による 地下水流動の把握を目的とした地下水流動解析(移流・分散解析)を実施した。その結果 幌延地域沿岸域の地下水流動に関して以下のことが明らかとなった。

- 断層の形状および透水性の不確実性が水頭分布へ与える影響は小さい。
- ・ 断層の形状および透水性の不確実性が濃度分布,流速分布に与える影響は,地表から標高-2000m程度までの領域において大きい。
- 複数の断面位置で解析を実施し比較した結果、大局的な流動方向は各断面とも同じであるが、断層の形状および透水性の不確実性の影響の度合いが異なる。
- ・ 幌延沿岸域における地質環境概念モデルと比較した結果,淡水域の範囲は概ね解析結果 と概念図で一致するが,不連続構造沿いに淡水がより深部へ侵入する現象は解析では得られなかった。
- キャリブレーション後の塩分濃度分布はより地質環境概念モデルと整合するものとなり、キャリブレーションを行った項目(更別層の透水異方性設定、勇知層の透水性低減) は妥当な判断であったと考えられる。

今後,水頭あるいは濃度実測値との比較によりモデルの妥当性を検討し,モデルを更新 する必要がある。また,不連続構造沿いの淡水侵入については,不連続構造沿いに深部へ 淡水が侵入するメカニズムの解明を行う必要がある。

さらに定量的な評価を行い、モデルの精度を向上するためには、以下の検討を行う必要 があると考えられる。

- ・ 三次元水理地質構造モデルの構築
- ・ 三次元水理地質構造モデルを用いた移流・分散解析
- ・ 上記解析結果と実測値の比較,モデルキャリブレーション
- 第四紀における幌延地域の詳細な地史の検討および水理地質構造モデルへの影響の把 握,必要に応じたモデルへの取り込み
- ・ 第四紀における海水準変動の詳細な調査および水理地質構造モデルへの影響の把握, 必要に応じたモデルへの取り込み
- ・ 第四紀における気候変動の詳細な調査および水理地質構造モデルへの影響の把握, 必要 に応じたモデルへの取り込み
- ・ 第四紀における地形変動の水理地質構造モデルへの影響の把握,必要に応じたモデルへの取り込み

塩分濃度分布の影響はモデル浅部,特に標高-2,000m以浅に現れること,更別/第四紀層 の影響が特に大きいことから,特に浅部の水理特性の詳細なデータの取得が重要であると 考えられる。それに応じて深部の水理特性とのコントラストの度合いを把握することも重 要であろう。

塩分濃度分布は定常にいたる過渡期にあり、二次元モデルにより解析上では10万年程度 の塩水洗い出し解析結果と現況とが整合したことから、数万年~数十万年程度の詳細な地 史、気候変化、海水準変化を調査し、それらの影響を考慮したモデル化・解析を今後行う 必要がある。また定量的な評価を行っていくためには、三次元モデルによる検討が重要で ある。

謝 辞

本件は、平成20年度地層処分技術調査等委託費(地層処分共通技術調査:地質環境総合 評価技術高度化開発)として、経済産業省資源エネルギー庁から独立行政法人日本原子力 研究開発機構が受託したものである。

ここに深く感謝いたします。

参考文献

- 資源エネルギー庁・日本原子力研究開発機構: "高レベル放射性廃棄物の地層処分基盤研究 開発に関する全体計画",資源エネルギー庁・日本原子力研究開発機構(2006).
- 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 (2007).
- 三枝博光,瀬野康弘,中間茂雄,鶴田忠彦,岩月輝希,天野健治,竹内竜史,松岡稔幸, 尾上博則,水野崇,大山卓也,濱克宏,佐藤稔紀,久慈雅栄,黒田英高,仙波毅,内田雅 大,杉原弘造,坂巻昌工: "超深地層研究所計画における地表からの調査予測研究段階(第 1段階)研究成果報告書", JAEA-Research 2007-043 (2007).
- 大澤英昭,太田久仁雄,濱克宏,澤田淳,竹内真司,天野健治,三枝博光,松岡稔幸,宮本哲雄,豊田岳司,岩月輝希,前川恵輔,國丸貴紀,新里忠史,浅森浩一,平賀正人,山中義彰,重廣道子,島田顕臣,阿部寛信,梅木博之:"「地質環境総合評価技術高度化開発;次世代型サイト特性調査情報統合システムの開発」平成 19 年度成果報告書(受託研究)", JAEA-Research 2008-085 (2008).
- 5. P.S.フヤコーン, G.F.ピンダー: "地下水解析の基礎と応用(上巻)",現代工学社(1987).
- 6. P.S.フヤコーン, G.F.ピンダー: "地下水解析の基礎と応用(下巻)",現代工学社(1988).
- 7. 棚橋隆彦: "CFD 数值流体力学",株式会社 IPC (1993).
- 8. 藤井孝蔵: "流体力学の数値計算手法", 東京大学出版会(1994).
- 9. 牧野仁史,澤田淳,前川恵輔,柴田雅博,笹本広,吉川英樹,若杉圭一郎,小尾繁,濱克 宏,操上広志,國丸貴紀,石井英一,竹内竜史,中野勝志,三枝博光,竹内真司,岩月輝 希,太田久仁雄,瀬尾俊弘:"地質環境の調査から物質移行解析にいたる一連の調査・解析 技術—2つの深地層研究施設計画の地上からの調査研究段階(第1段階)における地質環境 情報に基づく検討—",JNC TN1400 2005-021 (2005).
- 間組: "幌延深地層研究所計画における地下水流動解析に関する検討(核燃料サイクル開発 機構 委託研究成果報告書)", JNC TJ1400 2002-004 (2002).
- 11. 松井裕哉: "幌延深地層研究計画 地上からの調査研究段階における深層ボーリング調査計 画とその実績", JAEA-Technology 2006-054 (2007).
- 12. 石油公団: "国内石油・天然ガス基礎調査基礎試錐「天北」調査報告書" (1995).
- 13. 独立行政法人 産業技術総合研究所: "サロベツ断層帯の活動性および活動履歴調査",「基盤的調査観測対象断層帯の追加・補完調査」成果報告書, No.H17-1 (2006).
- 14. 新エネルギー・産業技術総合開発機構(委託先石油資源開発): "二酸化炭素削減等地球環 境産業技術研究開発事業 地球環境産業技術に係る先導研究 平成16年度成果報告書「堆 積盆の地質学的複雑系に依存した CO2 地中溶解(隔離)技術に関する先導研究」",新エネ ルギー・産業技術総合開発機構(2005).

- 15. 地球環境産業技術研究機構: "平成 16 年度「二酸化炭素地中貯留技術研究開発」成果報告書" (2004).
- 地球環境産業技術研究機構: "平成 17 年度「二酸化炭素地中貯留技術研究開発」成果報告書" (2005).
- 17. 産業創造研究所:"地下水流動調査総括報告書"(2002).
- 18. 稲葉薫, 三枝博光, M. J. White, P. Robinson: "地下水流動の予測解析統合システム (GEOMASS システム)の概要と東濃地域への適用事例",地下水学会誌, 第44巻第2号, pp.105-123 (2002).
- 19. 流域水物質循環モデル・ソフトウェア博覧会 2005 CD-ROM,水文・水資源学会(2005).
- 20. 地盤工学会編: "土壌・地下水汚染の調査・予測・対策", pp.80-81, 地盤工学会 (2002).
- 21. 原子力安全基盤機構: "放射性廃棄物処分安全解析及びコード改良整備等事業一次元安全解 析コード及び多次元詳細現象解析コードの改良整備に関する報告書"(2008).
- 22. 登坂博行: "地質時間にわたる淡塩遷移帯の形成過程と形態変化に関する数値解析的検討 (その1) 一静的境界条件下における検討—",応用地質,43,5,pp.293-305 (2002a).
- 23. 登坂博行: "地質時間にわたる淡塩遷移帯の形成過程と形態変化に関する数値解析的検討 (その2) 一動的境界条件下における検討―",応用地質,43,5,pp.306-315 (2002b).
- 24. 仲田崇志:地質年代表(2008).
 http://www2.tba.t-com.ne.jp/nakada/takashi/strat-chart/strat-chart.html
- 国際層序委員会(International commission on Stratigraphy):地質年代表(2008). <u>http://www.stratigraphy.org/cheu.pdf</u>
- 26. 資源エネルギー庁: "資源エネルギー庁地層処分技術調査等における研究開発成果~平成17 年度までの取り組みと成果の概要~"(2007).
- 27. 徳永朋祥,谷口真人,嶋田純,長勁,稲葉薫,三枝博光,岩月輝希: "沿岸部および沿岸海 底地下水の水理・地球化学環境の評価に関する研究", JNC-TY7400 2003-003 (2003).
- 28. 西垣誠, 三菱マテリアル株式会社,株式会社ダイヤコンサルタント:"オイラリアン・ラグ ランジアン飽和・不飽和浸透流一移流・分散解析プログラムデータ入力マニュアル Dtransu2D・EL" (2004).
- 29. J. Bear : "Dynamics of Fluids in Porous Media", Dover Publications Inc. (1972).
- L.W. Gelhar, C. Welty, K.R. Rehfeldt : "A Critical Review of Data on Field-Scale Dispersion in Aquifers", *Water Resources Research*, Vol.28, No.7, pp.1955-1974 (1992).
- 31. P.A.ドミニコ, F.W.シュワルツ: "地下水の科学 (I~III)", 土木工学社 (1995).
- K. Spitz and J.Moreno (岡山地下水研究会訳): "実務者のための地下水環境モデリング", 技報堂出版 (2003).
- 33. K. Meling, V. Taivassalo : "Three Dimensional Groundwater Flow Modelling for a Potential Repository Site, High Level Radioactive Waste Management", Proc. of the Second Annual International Conference, Vol.2, pp.1299-1306 (1991).

- 34. J. Lofman: "Site Scale Groundwater Flow in Hastholmen", POSIVA Report 99-12 (1999).
- J. Löfman: "Site Scale Groundwater Flow in Olkiluoto, Posiova Report, POSIVA 99-03 (1999).
- J. Palmen, T. Vaittinen, H. Ahokas, J. Nummela and E. Heikkinen: "3D-model of salinity of bedrock groundwater at Olkiluoto", POSIVA Working Report 2004-53 (2004).
- J. Löfman and F. Meszaros: "Simulation of hydraulic disturbances caused by the underground rock characterisation facility in Olkiluoto", POSIVA Report 2005-08 (2005).
- J. Andersson, B. Dverstorp, F. Kautsky, C. Lilja, R. Sjoblom, B. Sundstrom, O. Toverud and S. Wingefors: "SKI SITE-94 Deep Repository Performance Assessment Project Summary", SKI Report 97:5 (1997).
- J. Andersson, B. Dverstorp, F. Kautsky, C. Lilja, R. Sjoblom, B. Sundstrom, O. Toverud, and S. Wingefors: "SKI SITE-94 Deep Repository Performance Assessment Project Volume1,2", SKI Report 96:36 (1996).
- 40. Svensk Kärnbränslehantering AB: "SR 97 Deep repository for spent nuclear fuel. SR 97
 Post-closure safety. Main report Vol. I, Vol. II and Summary", SKB Technical Report TR-99-06 (1999).
- Svensk Kärnbränslehantering AB: "SR 97 Waste, repository design and sites. Background report to SR 97", SKB Technical Report TR-99-08 (1999).
- J. Andersson: "SR97 Data and data uncertainties Compilation of data and data uncertainties for radionuclide transport calculations", SKB Technical Report TR-99-09 (1999).
- U. Svensson: "A regional analysis of groundwater flow and salinity distribution in the Äspö", SKB Technical Report TR97-09 (1997).
- 44. D. Walker, B. Gylling: "Site-scale groudnwater flow modelling of Averg", SKB Technical Report TR98-23 (1998).
- L. Hartley, A. Boghammar, B. Grundfelt: "Investigation of the large scale regional hydrogeological situation at Beberg", SKB Technical Report, TR-98-24 (1998).
- B. Gylling, D. Walder, L.Hartley: "Site-scale groundwater flow modelling of Bberg", SKB Technical Report TR99-18 (1999).
- O. Jaquet and P. Siegel: "Groundwater flow and transport modelling during a glaciation period", R-03-04, SKB Report (2003).
- O. Jaquet and P. Siegel: "Regional groundwaer flow model for a glaciation scenario Simpervarp subarea –version 1.2", R-06-100, SKB Report (2006).

Appendix

- A. 作業フロー一覧
- B. 類似事例調査文献リスト
- C. 類似事例詳細情報
- D. 非定常解析結果(塩分濃度分布)の時系列情報

A. 作業フロー一覧

- A-1 地下水の大局的な流動方向の推定に関するフローダイアグラム
- A-2 不連続構造に起因する流束コントラストの推定に関するフローダイアグラム
- A-3 濃度境界に起因する流束コントラストの推定に関するフローダイアグラム
- A-4 定常/非定常解析手法の選択に関する意思決定フローダイアグラム
- A-5 解析手法の選択に関するフローダイアグラム
- A-6 数値計算手法の選択に関する真理表
- A-7 初期条件設定に関する真理表
- A-8 上部水頭境界条件設定に関するフローダイアグラム
- A-9 側方境界条件設定に関するフローダイアグラム
- A-10 下部境界条件設定に関するフローダイアグラム
- A-11 濃度境界条件設定に関するフローダイアグラム
- A-12 解析実施に関するフローダイアグラム
- A-13 解析結果の妥当性評価に関するフローダイアグラム
- A-14 解析結果の考察に関するフローダイアグラム





X







図 A-4 定常/非定常解析手法の選択に関する意思決定フローダイアグラム

		4.4		* 解析とするか	i 慮する場合に	溶質を考慮しない		境界条件の時間的 境界条件の時間的	変化を考慮する 変化を考慮しない	飽和非定常解析 飽和定常解析			飽和/不飽和非定 飽和/不飽和定常	常解析解析	
		三次元解		トる解析とするか, 定岸	かしないか、溶質を考 判断		き慮しない	境界条件の時間的	変化を考慮しない	飽和定常移流・分	散解析		飽和/不飽和定常	移流・分散解析	
No]	包和/不飽和状態に。	多流・分散を考慮する はマトリクス表により	持慮する	密度差をま	境界条件の時間的	変化を考慮する	飽和非定常移流·	分散解析		飽和/不飽和非定	常移流・分散解析	
表示可能	Yes	二次元解析		ミによる解析とするか飲	諸析とするか、溶質の₹ ・考慮するかしないか,	溶質を考	考慮する	境界条件の時間的	変化を考慮しない	飽和定常移流・分	散(密度流)解析		飽和/不飽和定常	移流・分散(密度	流)解析
				節和状態	帯に記録を		密度差を	境界条件の時間的	変化を考慮する	飽和非定常移流·	分散(密度流)解	析	飽和/不飽和非定	常移流・分散(密	度流)解析
										地下水面を解析領	域の上部境界面と	して設定可能	地下水面形状が推	定されていない	

地下水流動が二次元断面内で

図 A-5 解析手法の選択に関するフローダイアグラム

			候補となる数値計算	ロードを真理表を、	用いて判断		
		コ — ド名	地下水中の値分を	地質構造等の	数値分散の影響	計算時間が短い	メッシュ作成
			考慮できる	表現の自由度	が小さい		等の作業量が
				が高い			少ない
	差分法			٩		0	Ø
	有限体積法			0		0	0
	有限要素法			Ø		\bigtriangledown	4
© C	要求事項に対する	機能を有する, ^幽 能を右する,	あるいは経済性が高い。 (制限がまえ、まろいけを	8.这姓 <i>长</i> (山积府			
) ⊲	<u>要求事項に対する</u> ;	機能がない、あ	るいは経済性が低い。	ᅇᅑᅧᆍᄔᅶᆞᄵᆍᅵᄡᆧ			
 	要求事項とならな	۲۱. د ا					

ー:要求事項とならない。 ※評価は候補となるコード間における相対評価である。

数値計算手法の選択に関する真理表 9-6 A X



図 A-7 初期条件設定に関する真理表

JAEA-Research 2010-001





図 A-9 側方境界条件設定に関するフローダイアグラム



図 A-10 下部境界条件設定に関するフローダイアグラム











解析結果の妥当性評価に関するフローダイアグラム

A-13

X



- B. 類似事例調査文献リスト
- B-1 類似事例調査文献リスト (フィンランド)
- B-2 類似事例調査文献リスト (スウェーデン)
- B-3 類似事例調査文献リスト(英国)
- B-4 類似事例調査文献リスト(日本)

対象サイト	文献	概要・参照内容等
Olkiluoto (フィンランド)	J. Löfman : Site Scale Groundwater Flow in Olkiluoto, Posiova Report, POSIVA 99-03 (1999)	6.3×4.1×1.5km の三次元 モデルによる密度流解析 (FEM)。水理特性設定手 法,境界条件設定手法,解 析結果評価手法について参 照。
Hästholmen (フィンランド)	J. Löfman : Site Scale Groundwater Flow in Hästholmen,Posiova Report, POSIVA 99-12 (1999)	5×6×1.5km の三次元モ デルによる密度流解析 (FEM)。水理特性設定手 法,境界条件設定手法,解 析結果評価手法について参 照。
Olkiluoto (フィンランド)	J. Palmen, T. Vaittinen, H. Ahokas, J. Nummela and E. Heikkinen : 3D-model of salinity of bedrock groundwater at Olkiluoto, POSIVA Working Report 2004-53 (2004)	 2×1km の二次元モデル (概念モデルの構築のみ)。 段階的アプローチ事例として参照。
Olkiluoto (フィンランド)	J. Löfman and F. Meszaros : Simulation of hydraulic disturbances caused by the underground rock characterisation facility in Olkiluoto, POSIVA Report 2005-08 (2005)	6.3×4.1×1.5km の三次元 モデルによる密度流解析 (FEM)。水理特性設定手 法,境界条件設定手法,感 度解析ケース設定手法につ いて参照。

表 B-1 類似事例調査文献リスト(フィンランド)

対象サイト	文献	概要
Simpevarp 半島周辺 (スウェーデン)	Johan Andersson, Björn Dverstorp, Rolf Sjöblom, and Stig Wingefors : SKI SITE-94 Deep Repository Performance Assessment Project Summary, SKI Report 97:5 (1997)	1200×10km の二次元モデ ル に よ る 密 度 流 解 析 (FEM)。段階的アプロー チ事例および各種パラメー タ,境界条件設定事例とし て参照。
Aspo 島 (スウェーデン)	Johan Andersson, Björn Dverstorp, Rolf Sjöblom, and Stig Wingefors : SKI SITE-94 Deep Repository Performance Assessment Project Volume1,2, SKI Report 96:36, 1996 (1997)	7×1.6km の二次元モデル による地下水流動解析。水 輸送問題事例として,また, 感度解析設定手法について 参照。
Aspo 島 (スウェーデン)	U. Svensson : A regional analysis of groundwater flow and salinity distribution in the Äspö, SKB Technical Report TR-97-09	10×10×3km の三次元モ デルによる密度流解析 (FDM)。各種パラメータ 設定手法,感度解析ケース 設定事例として参照。
Aspo 島 (スウェーデン)	D. Walker, B. Gylling : Site-scale groundwater flow modelling of Aberg, SKB Technical Report TR-98-23	2.4×2.2×1.25km の三次 元モデルによる移流・分散 解析 (FDM)。各種パラメ ータ設定手法,感度解析ケ ース設定手法を参照。
Finnjon サイト (スウェーデン)	L. Hartley, A. Boghammar, B. Grundfelt : Investigation of large scale regional hydrogeological situation at Beberg, SKB Technical Report TR-98-24	 16×10×2kmの三次元モ デルによる密度流解析 (FEM)。各種パラメータ 設定手法のほか,洗い出し 解析事例として参照。
Finnjon サイト (スウェーデン)	B. Gylling, D. Walker, L. Hartley : Site-scale groundwater flow modelling of Beberg, SKB Technical Report TR-99-18	4.13×5.355×1.505km の 三次元モデルによる移流・ 分散解析 (FDM)。各種パ ラメータ設定手法として参 照。
Simpevarp 半島 (スウェーデン)	Jaquet, O; Siegel, P : Regional groundwater flow model for a glaciation scenario, Simpevarp subarea – version 1.2, SKB R-06-100, Oct., 2006	21.6×13×2.3km の三次 元モデルによる水輸送解析 および密度流解析。各種パ ラメータ設定のほか,水輸 送問題→移流・分散問題へ の段階的アプローチ事例と して参照。
Aspo 島 (スウェーデン)	Jaquet, O; Siegel, P : Groundwater flow and transport modeling during a glaciation period, SKB R-03-04, Jan., 2003.	250×10×4kmの三次元モ デルによる水輸送問題およ び密度流解析。各種パラメ ータ設定のほか,水輸送問 題→移流・分散問題への段 階的アプローチ事例および 洗い出し解析事例として参 照。
Aspo 島 (スウェーデン)	Vidstrand, Patrik; Svensson, Urban; Follin, Sven : Simulation of hydrodynamic effects of salt rejection due to permafrost, Hydrogeological numerical model of density-driven mixing, at a regional scale, due to a high salinity pulse, SKB R-06-101, Oct., 2006	21×13×2.1km の三次元 モデルによる密度流解析 (FVM)。各種パラメータ 設定について参照。

表 B-2 類似事例調査文献リスト(スウェーデン)

対象サイト	文献	概要
Sellafield	J. D. Portre : Post-closure performance	
(英国)	assessment	
	Nirex95: A Preliminary Analysis of the	
	Groundwater Pathway for a Deep Repository	
	at Sellafield	
	Volume1-Development of the Hydrogeological	
	Conceptual Model, United Kingdom Nirex	
	Limited, Science Report, S/95/012	
Sellafield	P. J. Degnan and A. K. Littleboy : Nirex97: An	
(英国)	Assessment of the Post-closure Performance of	
	a Deep Waste Repository at Sellafield	
	Volume1: Hydrogeological Model Development-	
	Conceptual Basis and Data, United Kingdom	
	Nirex Limited, Science Report, S/97/012	
Sellafield	C. P. Jackson and S. P. Watson : Nirex97: An	
(英国)	Assessment of the Post-closure Performance of	
	a Deep Waste Repository at Sellafield	
	Volume2: Hydrogeological Model Development-	
	Effective parameters and Calibration, United	
	Kingdom Nirex Limited, Science Report,	
	S/97/012	
Sellafield	A. J. Baker, A. V. Chambers, C. P. Jackson, J.	
(英国)	D. Porter, J. E. Sinclair, P. J. Sumner, M. C.	
	Thorne, S. P. Watson : Nirex97: An Assessment	
	of the Post-closure Performance of a Deep	
	Waste Repository at Sellafield	
	Volume3: Groundwater Pathway, United	
	Kingdom Nirex Limited, Science Report,	
	S/97/012	

表 B-3 類似事例調査文献リスト(英国)

表 B-4 類似事例調査文献リスト(日本)

対象サイト	文献	概要
黒部扇状地	徳永朋祥, 谷口真人, 後藤純治, 嶋田純, 岩月輝	黒部川流域全体の三次元モ
	希, 張勁, 鈴木麻衣, 小山祐樹, 亀山宗彦, 蒲生	デルにおける地下水流動解
	俊敬, 稲葉薫, 三枝博光, 登坂博行:沿岸部およ	析および扇状地の二次元/
	び沿岸海底地下水の水理・地球化学環境の評価に	三次元モデルによる密度流
	関する研究(公募型研究に関する共同研究報告	解析。段階的アプローチ事
	書),核燃料サイクル公募型研究に関する平成14	例として参照。
	年度報告書(2003)	
日本沿岸部	産業創造研究所:地下水流動調査総括報告書	二次元/三次元モデルによ
	(2002)	る密度流解析。段階的アプ
		ローチ事例および感度解析
		設定手法を参照。
幌延陸域~沿岸域	間組:幌延深地層研究所計画における地下水流動	二次元/三次元モデルによ
	解析に関する検討(核燃料サイクル開発機構 委	る水輸送問題および移流・
	託研究成果報告書), JNC TJ1400 2002-004	分散問題解析事例。当該サ
	(2002)	イトにおける物理パラメー
		タや地史などの背景情報も
		参照。

C. 類似事例詳細情報

```
フィンランド Hästholmen サイトにおける類似事例詳細
C-1
C-2
     フィンランド Olkiluoto サイトにおける類似事例詳細(その1)
C-3
     フィンランド Olkiluoto サイトにおける類似事例詳細(その2)
C-4
     フィンランド Olkiluoto サイトにおける類似事例詳細(その3)
     スウェーデン Äspö サイトにおける類似事例詳細 (その1)
C-5
     スウェーデン Äspö サイトにおける類似事例詳細(その2)
C-6
C-7
     スウェーデン Äspö サイトにおける類似事例詳細(その3)
     スウェーデン Äspö サイトにおける類似事例詳細(その4)
C-8
C-9
     スウェーデンÄspöサイトにおける類似事例詳細(その5)
     スウェーデンÄspöサイトにおける類似事例詳細(その6)
C-10
     スウェーデン Äspö サイトにおける類似事例詳細(その7)
C-11
     スウェーデン Finnsjön サイトにおける類似事例詳細(その1)
C-12
C-13
     スウェーデン Finnsjön サイトにおける類似事例詳細 (その2)
     英国 Sellafield サイトにおける類似事例詳細(その1)
C-14
     英国 Sellafield サイトにおける類似事例詳細(その2)
C-15
C-16
     英国 Sellafield サイトにおける類似事例詳細(その3)
```

表	C-1	フィン	ノラン	ド Hästholmen サイ	トにおける類似事例詳細
---	-----	-----	------------	-----------------	-------------

		表 C-1 フィンランド Hästholmen サイトにおける類似事例詳細
対象サ	ረ ኑ	フィンランドHästholmen サイト文献番号1
対象サ	イトの所有機関	
対象サ	イトの概要	ヘルシンキの約 80km 東方でフィンランドの南海岸の Loviisa の都市に位置する。島の大きさは 1.5km×0.5km。Loviisa 原子力発電所が島の北部に位置し、中低レベル廃棄物処分施設が島の南西部の深さ 110~120m に建設されている。
報地質	地質概要	全調査サイトにおいては、亀裂が典型的に規則的で立方体な rapakivi 花崗岩に位置する。地勢は比較的平坦でエリアのほとんどが海抜 10m 未満である。島の最も高い地形上の位置は海抜 16m である。 氷床の溶融により、年数 mm の隆起が生じている。
環	水理学的環境	地下水面は地表に近い。地下水流動の Driving force は、地下水面高さの違いによる圧力差、塩分濃度差による密度差。
境 情	地球化学的環境	塩性地下水が広く存在しており、その濃度は位置によって変わり、また、深さ方向に増加する。計測された最も高い全溶解固形物(total dissolved solids;以下「TDS」)の濃度は 24g/l(深さ約 800m)。これは、バルト海の海水濃度 5g/よりはるかに高い。地下水は、異なるタイプの起源の水の混合物である。
.T.	実施機関	POSIVA
モデル	目的	放射性廃棄物処分のための調査サイトおよび必須条件を評価するにあたって、地下水条件の特徴付けに使用することが出来る結果を提供すること。また、キャニスタースケール地下水流動のモデル化、安全評価に必要なサイトスペシフィックなデータの結果を供給すること。
化	対象領域	【サイトスケール】5.0×6.0km、深さ 1.5km。
・解析の概要	使用データ	1987-92 年に取得された、原子力発電所や中低レベルの建設時に集められた 20~30 本、50~200m 深さの試錐孔データ 1996 年のサイト選定プログラムにあたって取得された 4 本、700~900m 深さの試錐孔データ 空中探査データ、一般的な地質構造上のマップ
要	モデル化・解析手法	FEFTRA:地下水流動解析のための有限要素プログラムパッケージ 複合現象として、また個別現象として流れ、熱移動、溶質移行がモデル化可能。定常状態および過渡現象問題をシミュレート可能。
	モデル化概念	等価連続体モデル(流動方程式、輸送方程式) モデル化されたボリュームは、水理ユニット、インタクトな岩盤、破砕帯に分割される。 クラス II、III に属する破砕帯をモデル化し、その数は 39 で、幅は 10m 厚さ一定と仮定。
		インタクトな岩盤は三次元六面体要素で、破砕帯は平面形状で四角形、三角形要素により構成。破砕帯の流動方程式中の厚さは、透水量係数に含まれる。 処分場は、深さ 500m、600mの位置にそれぞれ 2 枚のパネルから成り、面積は 580000m2、厚さ 5m と仮定。処分場には 5 つの破砕帯が横切る。 60000 の 3 次元六面体要素 21000 の 2 次元四角形 三角形要素
		物影響は考慮しない。氷河期後の継続している隆起および世界的な海水面の上昇を地下水位の経時変化として考慮。(島の隆起は 10000 年後に約 17m、地下水面は 10000 年後に 8m 上昇と仮定) キャリブレーションは実施せず。
	物性値の空間分布の推定方法	 (透水性) 破砕帯の透水量係数[m2/s]は深さ方向の関数として設定。これは試錐孔の 2m 間隔のパッカー試験の流量計測に基づく実験則より設定。破砕帯は透水量係数の異なる 3 つのカテゴリーに分けられる。 処分場要素の透水量係数は、5×10*[m2/s]。(500m 深さのインタクトな岩より 1 オーダー高い) インタクトな岩盤の透水係数は[m/s] は深さ方向の関数として設定。これは 2m 間隔の試錐孔パッカー試験より得られたデータに基づき upscale された、より大きなスケール単位における平均透水係数であり、実測値とは必ずし も一致しない。 (空隙率) 破砕間隔、(体積)破砕間隔、透水量係数、透水係数より深さ依存性の関数として割り当てる。ただし不確実性は大きい。 (塩分濃度) フィールドデータに基づく深さ依存性関係式により設定。(地表面 0g/l、800m 以深 24g/l) (その他の定数) 淡水密度、塩化物濃度の密度依存係数は計測された密度と塩分の相関性に基づく。水の粘性、塩の分子拡散係数は既知のパラメータを使用。"Longitudinal dispersion length"は移行経路長の約 10%、"Transversal dispersion length"は、"Longitudinal dispersion length"の 25%と仮定。
	境界条件	(地下水位面)初期条件は現在の地表レベルと地下水位レベル比が一定として設定。(隆起、海水面上昇を経時的に考慮) (側部)塩濃度の深さ依存性関係を考慮し、質量保存則およびダルシーの法則を解くことによって得られる残留圧力境界。この境界条件を満たすために、各時間ステップで境界を通って流れを許可する。 (底部) 不透水境界
	解析ケース	
	モデル化・解析結果	 ・全体的な地下水流動パターン 全体的な地下水流動パターンは、地勢の局所変化によってほとんど支配される。表面近くで流れは沖や地勢の低いエリアに島から遠ざかる方向に広がる。海岸線の近くと海水域下の流れが水平かつまたは上方への流れでいる間は、 Hästholmen 島の直下の流れの向きはほとんど下向きである。海域下の流れは透水係数の高い水平方向の破砕帯に支配される。1000年間は水理条件にあまり変化がない。しかし、10000年後では、海岸線が隆起によって移動し続けるに 伴い、深部の流れ方向は垂直方向からから水平方向に変わる。 ・処分場近辺の流れ
		処分場北側パネルの近くの地下水地下水流動は、初期の段階で R10AB 破砕帯に向かって北東に、また R12 破砕帯に向かって南東に下方へ傾斜して流れ、南側パネルでは R17,R12 破砕帯に向かって北東に流れる。10000 年後、隆起によ って水理条件が変わり、R10AB、R14_L25 破砕帯が処分場から生物圏への流れ経路として最も重要な影響を及ぼす。また、北側パネルでは、ほとんどの水が処分場に上から流れ込み、底面から出て行くが、南側パネルでは、水平に流れ る。ほとんどの水はインタクトな岩と 2 オーダー異なる透水係数の影響で、処分場を横切る R22_P に沿って流れる。水交換が処分場を横断する破砕帯と処分場のトンネル・システムの間に生じないと仮定すると、インタクトな岩を通る 水の流れは、トンネルの中で流れる水の実際量を表わすと解釈することができる。ドライビングフォースの範囲と貯蔵所の近くのインタクトな岩の平均値は、それぞれ約 0.0041-0.16%および 0.034-0.090%であり、1000 年後間あまり変わ らない。しかし、隆起の影響で 10000 年後には 10 倍程度増加する。モデル内への水の流入量は 34.4mm/a で、年間降水量(680mm/a)の約 5%。推測値(年間降水量の 1%)よりかなり大きい。
		岩盤中の地下水の塩分は、Hästholmen 島が氷河期後の隆起により海から徐々に上昇する時間とともに変化する。 隆起は、島のエリアが広くなるにつれて下部で、塩水から淡水への交換を引き起こす。淡水は、岩盤深部だけでなく、島の外側でより低い部分の水平方向にも塩水を押し出す。結局、10000 年後に岩盤中の塩水は、現在の島のエリアの約 1000 メートル以深まで淡水によってフラッシングされる。したがって、貯蔵所エリアおよび近くの岩盤の地下水化学は、将来的に変わると考えられる。
結果の 結果の	妥当性確認方法	処分場、処分場近傍のインタクトな岩盤、流れ経路に沿ったドライビングフォースをキャニスタースケール地下水流動のモデル化に資する。

表 C-2	フィンランド Olk	uoto サイトにおける類似事例詳細(その 1)
-------	------------	--------------------------

対象サイ	イト	フィンランド Olkiluoto サイト 文献番号
対象サ	イトの所有機関	テオリスーデン・ヴォイマ社(TVO)、フォルツム・パワー・アンド・ヒート社(FPHO)、森林公園サービス
対象サイ	イトの概要	フィンランドの西海岸 Eurajoki に位置する。島の面積は 12km²。TVO の原子力プラントがその島の西部に位置する。
倍 ±h	地質概要	主要構成岩盤は結晶質岩である。地勢は比較的平坦でエリアのほとんどが海抜 5m 未満である。島の最も高い地形上の位置は海抜 18m の Liikankallio の丘である。氷床の溶融により、
情质	水理学的環境	地下水面は地表に近い。地下水流動の Driving force は、地下水面高さの違いによる圧力差、塩分濃度差による密度差。
報員環	地球化学的環境	塩性地下水が広く存在しており、その濃度は位置によって変わり、また、深さ方向に増加する。計測された最も高い全溶解固形物(total dissolved solids;以下「TDS」)の濃度は72g/5g/1よりはるかに高い。地下水は、少なくとも5つの異なるタイプの水の混合物である。
.T.	実施機関	POSIVA
モデル	目的	放射性廃棄物処分のための調査サイトおよび必須条件を評価するにあたって、地下水条件の特徴付けに使用することが出来る結果を提供すること。また、キャニスタースケール地下水液 クなデータの結果を供給すること。
化	対象領域	【サイトスケール】6.3×4.1km、深さ 1.5km。
解析	使用データ	1987~92 年の予備サイト調査、1993~96 年の詳細サイト調査時に掘削した 10 箇所のボーリングデータ(1000m 深さ;3 地点、300~600m 深さ;7 地点) 地球化学的フィールドデータ
の概要	モデル化・解析手法	FEFTRA:地下水流動解析のための有限要素プログラムパッケージ 複合現象として、また個別現象として流れ、熱移動、溶質移行がモデル化可能。定常状態および過渡現象問題をシミュレート可能。
	モデル化概念	等価連続体モデル(流動方程式、輸送方程式) モデル化されたボリュームは、水理ユニット、インタクトな岩盤、破砕帯に分割される。
		破砕帯の数は 33 で、ほぼ全てが垂直で、モデル底部に達し、幅は 10m 厚さ一定と仮定。
		インタクトな岩盤は三次元六面体要素で、破砕帯は平面形状で四角形、三角形要素により構成。破砕帯の流動方程式中の厚さは、透過率などに含まれる。 処分場は、深さ 500m に位置し、面積は 767000m2、厚さ 5m と仮定。処分場には 2 つの破砕帯が横切る。
		47000 の 3 次元六面体要素、18000 の 2 次元四角形、三角形要素
		熱影響は考慮しない。氷河期後の継続している隆起および世界的な海水面の上昇を地下水位の経時変化として考慮。(島の隆起は10000年後に約40m、地下水面は10000年後に24m」 キャリブレーションは実施せず。
	物性値の空間分布の推定方法	(透水性) 破砕帯の透水量係数[m2/s]は深さ方向の関数として設定。これは試錐孔の 30,10,2m 間隔のパッカー試験の流量計測に基づく実験則より設定。破砕帯は透水量係数の異なる 2 処分場要素の透水量係数は、5×10 [*] [m ² /s]。(500m 深さのインタクトな岩より 3 オーダー高い)
		インタクトな岩盤の透水係数は[m/s] は深さ方向の関数として設定。これは試錐孔パッカー試験より得られたデータに基づき upscale された、より大きなスケール単位におけい。
		(空隙率) 破砕間隔、(体積)破砕間隔、透水量係数、透水係数より深さ依存性の関数として割り当てる。ただし不確実性は大きい。 (塩公濃度) フィールドデータに基づく深さ佐存姓間係式により設定。(地表面 0g/l_000m) 以深 72g/l)
		(この) しのです。 パーマーンドマーンになって、ほどは行任国がれにより設定。(記な面 0gi、 500ml 気味 72gi) (その他の定数) 淡水密度、塩化物濃度の密度依存係数は計測された密度と塩分の相関性に基づく。水の粘性、塩の分子拡散係数は既知のパラメータを使用。"Longitudinal dispersion le length"は、"Longitudinal dispersion length"の 25%と仮定。
		(地下水位面) 初期条件は現在の地表レベルと地下水位レベル比が一定として設定 (降起 海水面上昇を経時的に考慮)
		(側部) 塩濃度の深さ依存性関係を考慮し、質量保存則およびダルシーの法則を解くことによって得られる残留圧力境界。この境界条件を満たすために、各時間ステップで境界を通って (底部) 不透水境界
	解析ケース	
	モデル化・解析結果	 ・全体的な地下水流動パターン 全体的な地下水流動パターンは、地勢の局所変化によってほとんど支配される。海岸線の近くと海水域下の流れが水平かつまたは上方への流れでいる間は、Olkiluotoの島の直下の流って移動し続けるため、流れ方向は上向きから水平に変わり、流出エリアはモデル化されたエリアの境界に接近して移動する。しかし、境界での流れ方向は、内向きから外向きに徐々側の全体的な水平流れは、境界を通って強く導かれる。 ・ 如分場近辺の流れ
		処分場の近くの地下水地下水流動は、地勢のより高い高さの直下である島の中心に位置するため、主として垂直である。海岸線が隆起によりさらに移動し続ける場合、処分場からの別 とんどの水が処分場に上から流れ込み、そのほとんどが底面から出て行く。ほとんどの水はインタクトな岩と3オーダー異なる透水係数の影響で、処分場を横切る破砕パーン R10HY る破砕帯と処分場のトンネル・システムの間に生じないと仮定すると、インタクトな岩(約 12-18 m³/a)を通る水の流れは、トンネルの中で流れる水の実際量を表わすと解釈することか のインタクトな岩の平均値は、それぞれ約 0.1-2.0%および 0.6-0.8%である。また、それらは 10000 年後間でも本質的に同じままである。 処分施設から主な流れ経路に沿って表面に3 ドライビングフォースは、約 0.7-1%。しかし、別の地下水移行経路に沿った処分場からの南西方向の対応値は、わずかに低く約 0.5-0.6%である。水理条件の変化(塩分フィールドおよ およぼさない。モデル内の水の流入量は 44.4mm/a で、年間降水量(550mm/a)の約 8%。推測値(年間降水量の 1-2%)よりかなり大きい。
		岩盤中の地下水の塩分は、Olkiluoto 島が氷河期後の隆起により海から徐々に上昇する時間とともに変化する。 隆起は、広くなる島のエリアの下で、塩水から淡水への交換を引き起こす。淡水は、岩盤深部だけでなく、島の外側でより低い部分の水平方向にも塩水を押し出す。結局、10000 年後 ル以深まで淡水によってフラッシングされる。したがって、貯蔵所エリアおよび近くの岩盤の地下水化学は、将来的に変わると考えられる。
結果の多	妥当性確認方法	
結果の月		

年数 mm の隆起が生じている。 g/l(深さ約 800~900m)。これは、バルト海の海水濃度

2

流動のモデル化、安全評価に必要なサイトスペシフィッ

:昇と仮定)

こつのカテゴリーに分けられる。

ける平均透水係数であり、実測値とは必ずしも一致しな

ength"は移行経路長の約 10%、"Transversal dispersion

て流れを許可する。

ћれの向きはほとんど下向きである。海岸線が隆起によ 々に変わる。結局、10000 年後において、現在の島の外

川の流れ経路は、西の R18L ゾーンに沿って生じる。 ほ 【および R16 に沿って流れる。水交換が処分場を横断す ができる。ドライビングフォースの範囲と貯蔵所の近く 至る北西方向および下向きのインタクトな岩盤中の平均 よび隆起の進展)は、処分場近傍の駆動力にあまり影響を

後に岩盤中の塩水は、現在の島のエリアの約 600 メート

表 C-3	フィンランド Olkiluoto サ	ナイトにおける類似事例詳細(その 2)
-------	--------------------	---------------------

対象サイ	۲	フィンランド Olkiluoto サイト 文献番号	
対象サイ	イトの所有機関	テオリスーデン・ヴォイマ社(TVO)、フォルツム・パワー・アンド・ヒート社(FPHO)、森林公園サービス	
対象サイ	イトの概要	フィンランドの西海岸 Eurajoki に位置する。島の面積は 12km²。TVO の原子力プラントがその島の西部に位置する。	
倍 拙	地質概要	主要構成岩盤は結晶質岩である。地勢は比較的平坦でエリアのほとんどが海抜5m未満である。島の最も高い地形上の位置は海抜18mのLiikankallioの丘である。氷床の溶融に。	より、
情质	水理学的環境	地下水面は地表に近い。地下水流動の Driving force は、地下水面高さの違いによる圧力差、塩分濃度差による密度差。	
報員	地球化学的環境	塩性地下水が広く存在しており、その濃度は位置によって変わり、また、深さ方向に増加する。計測された最も高い全溶解固形物(total dissolved solids;以下「TDS」)の濃度に	t 72g/
尿		5g/l よりはるかに高い。地下水は、少なくとも 5 つの異なるタイプの水の混合物である。	
干	実施機関	POSIVA	
デ	目的	これまでに取得された塩分に関する空間データを集約し,表示すること。そのための三次元モデルを構築すること。	
ル化・解析の	対象領域	【サイトスケール】 2.5×2×1km	
	使用データ	地球化学データ:1991~2003(ボーリング KR1~KR14),水理データ:1999~2002(ボーリング KR1~KR23),地球物理データ:1995~2004(電磁探査)	
	モデル化・解析手法	ROCK-CAD(CAD によるモデリングシステム): モデル構築のみで解析は行っていない	
	モデル化概念	TDS(Total Dissolved Solids)の観測データを用いて空間分布を作成しモデル化・可視化を行っている。	
概		TDS の大きさに応じて、0.1 未満、0.1~0.3、0.3~1、1~3、3~10、10~30、30~100、100以上のクラスに分けて観測位置にデータをプロットし、クラス境界面を推測する。	
女	物性値の空間分布の推定方法	上記 TDS クラス境界面に囲まれた領域についての TDS 分布については言及無し。	
		対象領域内の3つの側線(約2km×深さ1km)において概念図を表示しており、概念図ではさらに簡略化してTDS1g/L未満、1~10g/L、10g/L以上の3クラスを色分けして示し	してい
	境界条件	モデル上部境界面(地表面)では最も TDS が小さくなり,モデル底面では最も TDS が大きくなる。これは expert judgement による。	
	解析ケース	_	
	モデル化・解析結果	クラス境界面を推測し,代表的な3つの側線における TDS 分布概念図を表示。	
結果の	妥当性確認方法		
結果の	 	塩分の変化を考慮した地下水流動シミュレーションやモニタリングデータの確認の基礎情報として使用。	

表 C-4 フィンランド Olkiluoto サイトにおける類似事例詳細(その 3)

対象サイト		フィンランド Olkiluoto サイト 文献番号
対象サイトの所有機関		テオリスーデン・ヴォイマ社(TVO)、フォルツム・パワー・アンド・ヒート社(FPHO)、森林公園サービス
対象サイ	イトの概要	フィンランドの西海岸 Eurajoki に位置する。島の面積は 12km²。TVO の原子力プラントがその島の西部に位置する。
▲ 本 小	地質概要	主要構成岩盤は結晶質岩である。地勢は比較的平坦でエリアのほとんどが海抜 5m 未満である。島の最も高い地形上の位置は海抜 18m の Liikankallio の丘である。氷床の溶融により、
児 情 て 環 環	水理学的環境	地下水面は地表に近い。地下水流動の Driving force は、地下水面高さの違いによる圧力差、塩分濃度差による密度差。
	地球化学的環境	塩性地下水が広く存在しており、その濃度は位置によって変わり、また、深さ方向に増加する。計測された最も高い全溶解固形物(total dissolved solids;以下「TDS」)の濃度は72g
		5g/l よりはるかに高い。地下水は、少なくとも5つの異なるタイプの水の混合物である。
푸	実施機関	POSIVA
デル化・	目的	地下施設建設および操業による地下水流動への影響(流動阻害)評価。
	対象領域	【サイトスケール】 6.3×4.3×1.5km
	使用データ	サイトボーリング調査試験結果、コア試験結果
解	モデル化・解析手法	① 地下水位低下予測解析:塩分の影響は無視した淡水のみの解析を実施している。FEFTRA(FEM)により計算。
析		② 流量パターン,塩分濃度変化予測解析:初期塩分濃度分布を推定し,①で用いた地下水位を用いて移流・分散非定常解析を実施。
概	モデル化概念	等価連続体。飽和領域のみモデル化(飽和解析)。
要	物性値の空間分布の推定方法	透水係数:ボーリング調査で得られた実測値を基に設定。
		間隙率:透水係数と間隙率の関係(既存文献, Taivassalo & Saarenheimo, 1991; Valkiainen, 1992)を用いて透水係数から算出。
		分散長:縦50m, 横12.5m (縦の25%)を設定。
		地下水位:観測値を基に設定。観測値がないところは、WT=0.56×topographyで補完して与える。この補完式は観測値の統計処理による。
		初期塩分濃度分布:観測値から得られる塩分濃度と深度の関係式を用いて深度から算出。
	境界条件	上部:地下水位低下予測解析結果で得られた地下水面
		その他, 地下水位低下ア測解研で昇出されに地下施設への携出重をモアルに与えた。 地工体部の1-6
	解析ケース	地下施設なしクース (natural state) ガニウエンズガンンのケース (0 1)
		$\int \int \int \int \int \int dx = x + x = x + x = x + x = x = x = x = $
		「クラットをするワーム(Case2 4) Case1~4 に対して「圧力低下を考慮したいケース(Case1~4)」圧力低下を考慮するケース(Case1d~4d)を設定
	モデル化・解析結果	Casel 4 に対して、江方民中で勾思しないが ス (Casel 4)、江方民中で勾思するが ス (Casel 40) を設定 条解析ケースの比較に上ろ相対評価
エノル1L・胜忉 柿木		
2017、シタヨビ唯美の14		施設建設計画お上び地下水流動場の理解の促進に反映
帕不可以吹儿		

2

年数 mm の隆起が生じている。

1(深さ約 800~900m)。これは、バルト海の海水濃度

5. .

2	
年数 mm の隆起が生じている。	
l(深さ約 800~900m)。これは、バルト海の海水濃度	

対象サイト		Äspö (SITE-94) 文献番号
対象サイトの所有機関		SKB
対象サ	イトの概要	Äspö 島は、ストックホルムの約 330km 南のスウェーデン東海岸に位置する。サイトは Oskarshamn 市の北東約 25km にある Simpevarp 半島の原子力発電所に近接している。最も
地質環境情報	地質概要	スウェーデンの結晶質基礎岩盤は Fennoscandian Shield の一部。Shield は、Trans-scandinavian Igneous Belt(TIB)に属する、主に花崗岩からなる、東 Smaland の基礎岩盤の5つの は、より古い変成岩の介在物を含んでおり、より新しい花崗岩(1352Ma)、粗粒玄武岩岩脈(900Ma)が貫入している。 Äspö 地域の地質的環境は、貫入岩に属する種々の火成 TIB 花崗岩系に支配されている。母岩タイプ(緑色岩)は、花崗岩と関係している。せん断帯に関連して生じる低い角度に沈 と関係していると仮定されている。 エリアの構造パターンは、ブロックの断層と連結した多数の貫入、押出しを含む造山の典型的な複雑な火成作用を示す。脆い構造は、単一で広範囲な亀裂の広域、地域的せん断帯、 北西)では、主な逆断層がわずかに南西方向に沈み込んでいる。しかし、緩やかに傾斜したせん断帯が、北西方向に沈んでいるように見える。
	水理学的環境	Simpevarp エリアは、バルト海に流れる2つの主な河川を伴う大きな2つの排水流域を含んでいる。そのエリアの平均年間降水量は675mm。潜在的なそして実際の蒸発量は616mr
	地球化学的環境	バルト海海岸の Äspö 研究所では、500~1000m 深さで塩水(5000ppm~12,300ppm の Cl)であり、1705m 深さで 46,000ppm 以上に達する所もある。
Ŧ	実施機関	SKI
デル化	目的	 ・現在の広域流れシステムの分析 ・サイトスケールモデルのための境界条件の評価 ・地域変遷シナリオのための時間依存広域水理の評価
解	対象領域	【広域スケール】1,200km×1,000km×深さ10km (2次元平面モデル)
の概	使用データ	1,500kmへ保さ10km(2次元前面モブル)西ブルウェー海岸伴音いからAspo、バルド海を復切ってホーランドまでの前面 1986~1990年まで実施されたトンネル掘削前のフェーズで得られた調査データ。
要		リモートセンシンク・調査テータ、地球物理学テータ(空中採査、地表調査、試錐扎物理検層)、地質字調査(露頭マッピンク、試錐扎地質検層)、水理地球化学的分析(地下水サン ーサーテスト)、水理データ(試錐孔水圧データ、水位データ)等 SKB の GEOTAB データベースに基づくデータ。
	モデル化・解析手法	(平面モデル)二次元連続体定常流解析 (断面モデル)SUTRA;二次元連続体解析;圧力影響および密度勾配下の可変密度地下水流動、溶解物質の移行が表現可能
	モデル化概念	 (断面モデル) ・塩水の生成率は、Shield 中の任意の地下水の TDS (total dissolved solid)と飽和した塩水中の TDS 間の濃度差に依存して直線的に変化する単純な運動モデルによって生じる。 ・透水係数は岩種のグループ毎に設定 ・破砕帯の影響は、均質な透水性分配によって考慮 ・水平方向が鉛直方向より 10 倍大きな透水係数
	物性値の空間分布の推定方法	
	境界条件	(平面モデル)地勢と地下水面が一致 (断面モデル)地勢と地下水面が一致。地表面は大気圧境界。海底部分は、海水の重量を考慮
	解析ケース	
	モデル化・解析結果	 (平面モデル) ・ 2000 年後に氷床が覆い、涵養が停止した時点の流れ場は、局所的な流れが滑らかになり、大規模な特徴だけが明確になる。 ・ Äspö は広域システムにおいて、南スウェーデン高原からバルト海海岸に向かう東方流れ内に位置する。 (断面モデル)

・現在の状況は、断面の浅い部分では、速度場は地勢の高い涵養と地勢の低い流出の典型的なパターンを示す。

サイトスケールモデルのための境界条件

・その結果、淡水は、南スウェーデン高原と Caledonides で発達する。Äspö は、南スウェーデン高原からの自然な流出エリアに位置する。 地下水濃度のフィールドデータとの比較ではパターンが一致。

結果の妥当性確認方法 結果の反映先

表 C-5 スウェーデン Äspö サイトにおける類似事例詳細(その 1)

い部分は海抜 13m
要な構造領域に分割される。1650~1810Ma 前の TIB
んだペグマタイトは、Rapakivi タイプ花崗岩 diapirs
所的な小規模亀裂に及ぶ。内陸領域(Äspö の西および
490mm と計算される。
レ成分分析)、水理地質的測定(試錐孔揚水試験、トレ

対象サイト		Åspö (SITE-94)	文献番号
対象サイトの所有機関		SKB	
対象サイトの概要		Äspö 島は、ストックホルムの約 330km 南のスウェーデン東海岸に位置する。サイトは Oskarshamn 市の北東約 25km にある Simpeva	arp 半島の原子力発電所に近接している。最も高
地質環境情報	地質概要	スウェーデンの結晶質基岩は Fennoscandian Shield の一部。Shield は、Trans-scandinavian Igneous Belt(TIB)に属する、主に花崗岩 り古い変成岩の介在物を含んでおり、より新しい花崗岩(1352Ma)、粗粒玄武岩岩脈(900Ma)が貫入している。 Äspö 地域の地質的環境は、貫入岩に属する種々の火成 TIB 花崗岩系に支配されている。塩基性岩(緑色岩)は、一般的に花崗岩と似た 岩 diapirs と関係していると仮定されている。 エリアの構造パターンは、ブロックの断層と連結した多数の貫入、押出しを含む造山の典型的な複雑な火成作用を示す。脆い構造は、単 北西) では、主な逆断層がわずかに南西方向に沈み込んでいる。しかし、緩やかに傾斜したせん断帯が、北西方向に沈んでいるように見 Simnayarn エリアは、バルト海に流れる2つの主な河川を伴うままな2つの排水流域を含んでいる。そのエリアの平均年間降水量は 670	からなる、東 Smaland の基岩の5つの主要な構 特性を有する。せん断帯に関連して生じる低い角 ーで広範囲な亀裂の広域、地域的せん断帯、局 える。
	地球化学的環境	バルト海海岸の Äspö 研究所では 500~1000m 深さで塩水 (5000nnm~12,300nnm の Cl) であり 1705m 深さで 46,000nnm 以上に達	する所もある。
モデル化・解析の概要	宝施機関	SKI	
	目的		
	対象領域	【準広域スケール】7km×深さ1.6km(2次元断面モデル)Äspöを中心とした北西-南東方向	
	使用データ	1986~1990年まで実施されたトンネル掘削前のフェーズで得られた調査データ。	
		リモートセンシングデータ、地球物理学データ(空中探査、地表調査、試錐孔物理検層)、地質学調査(露頭マッピング、試錐孔調査)、 錐孔水圧データ、水位データ)等 SKB の GEOTAB データベースに基づくデータ。	地下水サンプルの成分分析、水理地質データ(
	モデル化・解析手法	(断面モデル)二次元連続体解析	
	モデル化概念	主要な垂直破砕帯9本を考慮 塩分濃度による密度差は考慮せず	
	物性値の空間分布の推定方法		
	境界条件	地表面と一致する地下水面と海水面の差を0.83 倍減じた固定水頭境界とし、地表面での水の浸透を考慮。 地表面は大気圧境界。海底部分は、海水の重量を考慮	
	解析ケース	種々の感度解析(破砕帯の位置・水理特性、水理境界条件)を実施	
	モデル化・解析結果	 (感度解析の一例)深さ-600mの地点に、全長に延びる高透水性水平破砕帯の影響 ・ 処分場エリアを通る水の流れは、破砕帯を通って Äspö 南東の海峡に流出する。 ・ より深い所では一般的に、大規模な地下水流動の方向は水平に近づき、小さい領域ではドライビングフォースによって北東バルト海 ・ 処分場深さで計算された過剰間隙水圧は、数メーターオーダーである。 ・ Äspö 上流のほぼ垂直な破砕帯によって本土からの高い水頭は減じられるので、流出パターンに水平方向の破砕帯は影響しない。 	毎方向に流れる。
結果の	妥当性確認方法		
結果の反映先			

表 C-6 スウェーデン Äspö サイトにおける類似事例詳細(その 2)

(3)-ST2
い部分は海抜 13m
造領域に分割される。1650~1810Ma 前の TIB は、よ
度に沈み込んだペグマタイトは、Rapakivi タイプ花崗
······
所的な小規模亀裂に及ぶ。内陸領域(Aspö の西および
490mm と計算される。
試錐孔揚水試験、トレーサーテスト)、水理データ(試
対象サイ

対象サイ
対象サイ
地質環境情報
.T.
モデル化・解
析
の輝
一一一一一一一一一一一一一一一一一一一一一一一一一一一一一一一一一一一一一一一
結果の発
結果の反映先

表 C-7 スウェーデン Äspö サイトにおける類似事例詳細(その 3)

(3)-SR1
高い部分は海抜 13m
構造領域に分割される。1650~1810Ma 前の TIB は、よ
角度に沈み込んだペグマタイトは、Rapakivi タイプ花崗
所的な小規模亀裂に及ぶ。内陸領域(Äspö の西および
中心大力相合
、割合を規止。
ニットノを考慮して設定。
Mistraån と Laxemarån における流量データ、④自然 5ようにキャリブレーションを実施。
び北部の高い地勢エリア下で、淡水との境界が下方に移
n 深さの地下水流動パターンが修正後の透水性場に敏感
重要な影響を持つが、拡散は結果に大きく影響しない。

対象サイト		スウェーデン Äspö サイト(Aberg) (3)-SR2
対象サ	イトの所有機関	
対象サ	イトの概要	Äspö 島は、ストックホルムの約 330km 南のスウェーデン東海岸に位置する。サイトは Oskarshamn 市の北東約 25km にある Simpevarp 半島の原子力発電所に近接している。最も高い部分は海抜 13m
地質環境情報	地質概要	スウェーデンの結晶質基岩は Fennoscandian Shield の一部。Shield は、Trans-scandinavian Igneous Belt(TIB)に属する、主に花崗岩からなる、東 Smaland の基岩の5つの主要な構造領域に分割される。1650~1810Ma 前の TIB は、よ り古い変成岩の介在物を含んでおり、より新しい花崗岩(1352Ma)、粗粒玄武岩岩脈(900Ma)が貫入している。 Äspö 地域の地質的環境は、貫入岩に属する種々の火成 TIB 花崗岩系に支配されている。塩基性岩(緑色岩)は、一般的に花崗岩と似た特性を有する。せん断帯に関連して生じる低い角度に沈み込んだペグマタイトは、Rapakivi タイプ花崗 岩 diapirs と関係していると仮定されている。 エリアの構造パターンは、ブロックの断層と連結した多数の貫入、押出しを含む造山の典型的な複雑な火成作用を示す。脆い構造は、単一で広範囲な亀裂の広域、地域的せん断帯、局所的な小規模亀裂に及ぶ。内陸領域(Äspö の西および
	水 理学的理控	1.四月では、土な辺断増かわりかに用四方回にれみ込んでいる。しかし、綾やかに頃斜したセん断帯が、北四方回にれんでいるように見える。
	小庄子的泉堤	Simpevarp エリアは、ハルド供に流れる 2-209 主体内川(Laxemaran, Mistraan/を行り入さな 2-200 排水流域を含ん Cいる。半均降雨重から然免散重を引いた値は、約 200mm/y。
	地球化子的現現	/パルト海海岸の Aspo 研先所では、500~1000m 保さで塩水(5000ppm~12,300ppm の CI/ であり、1705m 保さで 46,000ppm 以上に達する所もある。
Ŧ	夫旭機則	SKB kt#tp/cmt/c/x-hz1-hill / / / / / / / / / / / / / / / / / /
デル	日的	
化	対象限域 たので ち	
•	使用アータ	(水理特性) 試難れアータ ; は右は 3m ハッソルーアスト、 吸炉帯は、 interference アスト
解	モテル化・解析手法	HYDRASTAR Ver.1.72 (SKB 有限差分離率的連続体地下水流動モアル) このモアルは密度依存性を表現することができない。
析の概要	モテル化概念	3 (次元モテル。25m の一定のクリット間隔。97×89×49 即点 モデル表面を平面としているため、地勢を考慮できない。そのため、モデル化領域は、海面以下とする。 破砕帯、母岩をモデル深さ全体に拡張した地質モデルより、「物性値の空間分布の推定方法」で示すように透水係数を決定論的に表現し、透水係数 variogram モデルにより統計処理を実施。(ブロック透水性の対数の段階的変化として透水性 を変化させる)
	物性値の空間分布の推定方法	 (破砕帯透水量係数) 測定された各破砕帯透水量係数をモデルグリッド 25m 幅に対応するように再設定 (母岩透水量係数) 6 つの領域における 3m パッカーテスト結果をモデルグリッド 25m 幅に対応するように upscale。ただし、海抜 600m 以深は 1/10 減少させる (流れ空隙率) サイトデータに基づき 1×10⁴一定 (F-ratio[y/m]) 移行のためのドライビングフォースに抵抗する割合。F(F-ratio) =t_w⋅a_r / ε_f (t_w[y]: 移動時間、a_r[m-1]: 移動経路のための岩の体積と特定のぬれた表面との比、ε_f[-]:流れ空隙率) a_r=1.0 と設定したため、F-ratio は、移動時間の倍数となる。
	境界条件	広域スケールモデルより設定された一定水頭境界。ただし、HYDRASTAR は密度依存性を表現することができないため、淡水条件による広域スケール解析を再実行して設定。
結果の	解析ケース	 (基本ケース)上記条件によるケース (感度解析1)境界条件変化ケース(1.1決定論的な有効透水係数と淡水条件による広域スケール解析より設定、1.2透水係数の一回の統計的実行および観察された塩分濃度条件による広域スケール解析より設定し、圧力、塩分濃度分布を淡水水頭に変換、1.3 透水係数および淡水条件の単一の統計的実行による広域スケール解析より設定、1.4 広域モデルを使用せず、ローカルスケールで観測された地下水面/海水面および静水圧を直接使用) (感度解析2)モデルグリッドを 50m にアップスケールしたケース。透水係数場を再設定。 (感度解析3)異方性 variogram 使用ケース(3.1variogram 非等方性 1:2:1、3.2 variogram 非等方性 1:10:1) (感度解析4)破砕帯をモデル化せず、透水係数場の条件を変えたケース(4.1確率的な水理場の設定に条件をつけないシミュレーション、4.2確率的な水理場の設定に条件をつけるシミュレーション) (感度解析5)唯一の決定論的な水理場によるケース
	モデル化・解析結果	 100回の実行による移動時間、キャニスター位置での地下水流速(ダルシー流速)「以下、キャニスター流速」の中央値のモンテカルロ安定性を確認した結果、30回以上で、偏差が3%以下となり、100回の実行が適切であることを確認。 (基本ケース) 120のリリース位置からモデル表面までの移動時間の中央値は、3.4~37年の四分位数間領域において10年である。 120のリリース位置のキャニスター流速は、3.7×10⁴~7.8×10³m/yの四分位数間領域において1.9×10³m/yである。 120のリリース位置でのキャニスター流速は、3.7×10⁴~7.8×10³m/yの四分位数間領域において1.9×10³m/yである。 100回の実行による移動時間とlog10キャニスター流速の関係は、エリア南部の比較的高い透水性によって、負の相関を持つ。 移行経路および地表の湧水点は、サイトの全体地下水流動パターンと互換性を持つ。試錐孔により得られた水頭データとほぼ一致している。 リリース位置の差による挙動の可変性を調べるために個々の3つの開始位置において100回実行した結果、比較的感水性の低い母岩にキャニスターを置いたケースが、移動時間が増加する。 (感度解析) 感度解析1は、1回の実行だけであったので、全体値を比較することはできないが、境界条件の変化には、比較的感度が低かった。 感度解析1は、1回の実行だけであったので、全体値を比較することはできないが、境界条件の変化には、比較的感度が低かった。 基本ケース100回の実行に対する変動性(移動時間の中央値は、3.4~37年の四分位数間領域)の方が、感度解析による中央値の範囲の変動性(3.2~12年)よりはるかに大きい。よって、基本ケースのパラメータの変動による移動時間の変動が、不確実性を考慮した感音解析による移動時間の変動が、不確実性を考慮した感音解析による移動時間の強い強いよい。
	妥当性確認方法	
結果の反映先		particle tracking の結果→一次元移行計算

表 C-8 スウェーデン Äspö サイトにおける類似事例詳細(その 4)

(3)-SR2
い部分は海抜 13m
造領域に分割される。1650~1810Ma 前の TIB は、よ
度に沈み込んだペグマタイトは、Rapakivi タイプ花崗
所的な小規模亀裂に及ぶ。内陸領域(Äspö の西および
施。(ブロック透水性の対数の段階的変化として透水性
: 流れ空隙率) ar=1.0 と設定したため、F-ratio は、移
広域スケール解析より設定し、圧力、塩分濃度分布を淡 毎水面および静水圧を直接使用)
ミュレーション)
以下となり、100回の実行が適切であることを確認。
増加する。

表 C-9 スウェーテン Aspo サイトにおける類似事例評細(その

対象サイト		スウェーデン Äspö サイト(Aberg)文献番号	
対象サイ	イトの所有機関		
対象サイ	イトの概要	Äspö 島は、ストックホルムの約 330km 南のスウェーデン東海岸に位置する。サイトは Oskarshamn 市の北東約 25km にある Simpevarp 半島の原子力発電所に近接している	る。最も高
地質環境情報	地質概要	スウェーデンの結晶質基岩は Fennoscandian Shield の一部。Shield は、Trans-scandinavian Igneous Belt(TIB)に属する、主に花崗岩からなる、東 Smaland の基岩の5つの り古い変成岩の介在物を含んでおり、より新しい花崗岩(1352Ma)、粗粒玄武岩岩脈(900Ma)が貫入している。 Äspö 地域の地質的環境は、貫入岩に属する種々の火成 TIB 花崗岩系に支配されている。塩基性岩(緑色岩)は、一般的に花崗岩と似た特性を有する。せん断帯に関連して生し 岩 diapirs と関係していると仮定されている。 エリアの構造パターンは、ブロックの断層と連結した多数の貫入、押出しを含む造山の典型的な複雑な火成作用を示す。脆い構造は、単一で広範囲な亀裂の広域、地域的せん 北西) では、主な逆断層がわずかに南西方向に沈み込んでいる。しかし、緩やかに傾斜したせん断帯が、北西方向に沈んでいるように見える。)主要な構 じる低い角, 」断帯、局所
	水理学的環境	Simpevarp エリアは、バルト海に流れる2つの主な河川(Laxemarån, Mistraån)を伴う大きな2つの排水流域を含んでいる。平均降雨量から蒸発散量を引いた値は、約200m	ım/y₀
	地球化学的環境	バルト海海岸の Äspö 研究所では、500~1000m 深さで塩水(5000ppm~12,300ppm の Cl)であり、1705m 深さで 46,000ppm 以上に達する所もある。	
Ŧ	実施機関	SKB	
デ	目的	氷河期における地下水流速・塩分濃度分布の評価、処分場性能の評価およびそのための数理モデルの構築	
ル	対象領域	21.6 x 13 x 2.3km	
化	使用データ	既存研究よりパラメータ設定	-
・解析の概要	モデル化・解析手法	三次元モデル 3265920 要素 (a) 流れの解析(水頭変化&密度変化計算)→(b)移流・分散解析 NAMMU-GMRES 約 2 万年の非定常解析を実施	
	モデル化概念	氷床の重量による地盤への変化(それに伴う地下水流動場の変化)はなしと仮定 氷床の発達・後退は非定常の境界条件として与える バルト海は無視	
	物性値の空間分布の推定方法	地層ごとに平均パラメータ、分散設定→確率論的にパラメータ設定 初期塩分濃度:地表~-500m 淡水、以下線形に塩分増加、-2100m で 10%固定 初期状態(水頭)は塩分濃度分布(上記)を考慮した定常解析結果	
	境界条件	上部境界 -30900 年前 氷床なし -30900~-25100 年前 氷床発達期、徐々に表面を氷床が覆うようにモデル化 -25100~-14100 年前 氷床安定期 -14100~-11400 年前 氷床後退期 -11400 年前 氷床なし 氷床の厚さ→圧力、氷床からの融解量(涵養量)を境界条件で与える(氷床の厚さ・融解量については既存研究 Naslund and Fastook,2005 を用いる) 下流 5km の範囲は大気圧固定 側部・底部境界:不透水	
	解析ケース		
	モデル化・解析結果	氷床が発達・後退する際の地下水流動への影響が大きく数千年継続する。氷床の融解水は処分場まで達する。氷床が処分場に近づくほど移流の効果が支配的。全ての塩分濃度 パーティクルトラッキングの結果、移行時間は氷床後退期に従来の研究結果より1~2オーダー減少する結果となった。	は氷期の終
結果の多	妥当性確認方法		
結果の反	 		

い部分は海抜 13m
造領域に分割される。1650~1810Ma 前の TIB は、よ
度に沈み込んだペグマタイトは、Rapakivi タイプ花崗
所的な小規模亀裂に及ぶ。内陸領域(Äspö の西および
冬了時点で洗い出される。

対象サイト		スウェーデン Äspö サイト(Aberg)	文献番号
対象サイ	イトの所有機関		· · · · ·
対象サイ	イトの概要	Äspö 島は、ストックホルムの約 330km 南のスウェーデン東海岸に位置する。サイトは Oskarshamn 市の北東約 25km にある Simpeva	urp 半島の原子力発電所に近接している。最も高
地質環境情報	地質概要	スウェーデンの結晶質基岩は Fennoscandian Shield の一部。Shield は、Trans-scandinavian Igneous Belt(TIB)に属する、主に花崗岩 り古い変成岩の介在物を含んでおり、より新しい花崗岩(1352Ma)、粗粒玄武岩岩脈(900Ma)が貫入している。 Äspö 地域の地質的環境は、貫入岩に属する種々の火成 TIB 花崗岩系に支配されている。塩基性岩(緑色岩)は、一般的に花崗岩と似た料 岩 diapirs と関係していると仮定されている。 エリアの構造パターンは、ブロックの断層と連結した多数の貫入、押出しを含む造山の典型的な複雑な火成作用を示す。脆い構造は、単 北西) では、主な逆断層がわずかに南西方向に沈み込んでいる。しかし、緩やかに傾斜したせん断帯が、北西方向に沈んでいるように見 Simporang エリアには、ブロックのまた河凹(Gayamangan Mistanga)を伴うまたな2つの地本流域を含んでいる。 平均降雨号	からなる、東 Smaland の基岩の 5 つの主要な構 特性を有する。せん断帯に関連して生じる低い角 一で広範囲な亀裂の広域、地域的せん断帯、局所 える。 から素茶散量を引いた値は、約 200mm(y
	小星子の疾免	Simplevarp エアア ね、アルト 中海に加れる 2 500 \pm なが 小山 axematan, wist daily e ドア 人 e な 2 500 $\#$ 小加吸 e 170 C V る。 中均体 雨重 バルト海海岸の \ddot{A}_{enc} 研究 研究 研究 T 200~1000m 深まで 拒水 (5000 mm~12 200 mm の Cl) で あり 1705m 深まで 46 000 mm じ トレ 凄	たる話をある。
	宝庙桃围	CKB	
モ	日的	り出り 氷皮下の地下水添動地の理解/密度を考慮したナ相指わ三次元解析が実行可能かどうかについての評研	
テル	(1) (1) (1) (1) (1) (1) (1) (1) (1) (1)	- 250km v 10km v /km	
化	使用データ	パラメータ設定け Bhen et al 1997 に進じる	
・解析の概要	モデル化・解析手法	 NAMMU(FEM) 三次元モデル 491416 節点、467532 要素 x 方向: 5~200m ピッチ、y 方向: 200m ピッチ、z 方向: 上から 10,10,10,10,20,30,40,60、その下 100m ピッチ 初期条件 塩分濃度ゼロ(~GL-1000m)、以下線形増加、・4000m で 1200kg/m3 確率論的モデル構築→Freshwater simulation→Salt simulation と段階的に実施 	
	モデル化概念	三次元確率論的モデル	
	物性値の空間分布の推定方法	岩体を 4 つのユニットにわけ、確率論的にパラメータ(透水係数)を設定。間隙率は透水係数の関数(Rhen et al.1997) 縦分散長 100m、横分散長 50m、分子拡散係数 3e-9m2/s	
	境界条件	上部 氷床(北側)からの融解涵養量 50mm/y、氷床がない所(南側)は圧力水頭ゼロ境界 北側の涵養塩分はゼロ、南側は no dispersive flux conditions 側部・底部は不透水境界(no flow)	
	解析ケース		
	モデル化・解析結果	氷床下の氷融解に伴う ice tunnel が重要な役割を示し、塩分濃度分布、移行時間に明らかな影響を及ぼす。 計算では数千年で塩分が洗い出されるが、深部に見られる滞留塩水は 100 万年以上の年代を示す。モデルの深部の透水係数を大きく設定 いくつかのパラメータ・境界条件は最新のデータを用いたので Svensson,1999 と違うところがあり、この影響が評価された。間隙率が塩 NAMMU による大規模三次元シミュレーション(密度流)が実施された。その結果は納得のいくものであった。しかし塩分の境界条件の	したため洗い出しが速過ぎたのだと考えられる。 気の移行時間を減少させるのに大きな影響をも つ扱いについては改善を要する。
結果の多	妥当性確認方法	Svennson,1999 との比較を実施	
結果の周	反映先		

表 C-10 スウェーデン Äspö サイトにおける類似事例詳細(その 6)

い部分は海抜 13m
造領域に分割される。1650~1810Ma 前の TIB は、よ
度に沈み込んだペグマタイトは、Rapakivi タイプ花崗
所的な小規模亀裂に及ぶ。内陸領域(Äspö の西および
っていた。

対象サイト		スウェーデン Äspö サイト(Aberg) 文献番号
対象サイ	イトの所有機関	
対象サイ	イトの概要	Äspö 島は、ストックホルムの約 330km 南のスウェーデン東海岸に位置する。サイトは Oskarshamn 市の北東約 25km にある Simpevarp 半島の原子力発電所に近接している。最も高
地質環境情報	地質概要	スウェーデンの結晶質基岩は Fennoscandian Shield の一部。Shield は、Trans-scandinavian Igneous Belt(TIB)に属する、主に花崗岩からなる、東 Smaland の基岩の5つの主要な構 り古い変成岩の介在物を含んでおり、より新しい花崗岩(1352Ma)、粗粒玄武岩岩脈(900Ma)が貫入している。 Äspö 地域の地質的環境は、貫入岩に属する種々の火成 TIB 花崗岩系に支配されている。塩基性岩(緑色岩)は、一般的に花崗岩と似た特性を有する。せん断帯に関連して生じる低い 岩 diapirs と関係していると仮定されている。 エリアの構造パターンは、ブロックの断層と連結した多数の貫入、押出しを含む造山の典型的な複雑な火成作用を示す。脆い構造は、単一で広範囲な亀裂の広域、地域的せん断帯、局 北西) では、主な逆断層がわずかに南西方向に沈み込んでいる。しかし、緩やかに傾斜したせん断帯が、北西方向に沈んでいるように見える。
	水理字的環境	Simpevarp エリアは、バルト海に流れる2つの主な河川(Laxemarǎn, Mistraǎn)を伴う大きな2つの排水流域を含んでいる。平均降雨量から蒸発散量を引いた値は、約200mm/y。
	地球化学的環境	バルト海海岸の Aspö 研究所では、500~1000m 深さで塩水(5000ppm~12,300ppm の Cl)であり、1705m 深さで 46,000ppm 以上に達する所もある。
モ	美施機関	
デ	目的	永久凍土層に関する水理地質学的・水理地球化学的課題に関連した調査候補地の安全評価に貸するデータの提供
IL AL	対象領域	21 x 13 x 2.1km
16	使用データ	Hagerty and Gorelick(1995), Svensson et al.(2004)
解	モデル化・解析手法	DarcyTools(有限体積法)
の概要		日岩(均質連続体 or フラクチャーベッドロック)+フラクチャーゾーン 日岩がフラクチャーゾーンによって横切られるような数値実験用のモデルを作成し、このモデルを用いて塩分混合に対する地質構造の水理特性等の影響度を調べる。 本解析 Rhen et al. (2003) による水理地質モデリング手法を適用。地圏を 3 つのタイプに分類 (Hydraulic Soil Domains (HSD), the fracture zones (Hydraulic Conductor Domains;HCD),
	物性値の空間分布の推定方法	初期塩分濃度 地表ゼロ~EL-2100m で海水の 10%で線形増加すると仮定。 地温勾配 2.57℃/100m(上部)、2.46℃/100m(下部)←SKB 2006
	境界条件	基本的に全て no flow。(解析ケースに応じて適宜変更) 上部に固定圧力境界を設定。地上の永久凍土の厚さに応じて設定する。 永久凍土層の下に高濃度塩水をパルスとして入力。
	解析ケース	塩水源の与え方(点境界,面境界,面境界(パルス))による広域流動への影響評価 予備的解析第一シリーズ:均質媒体中のフラクチャーゾーンの影響評価。均質媒体中に x=300m, x=700m に鉛直なフラクチャーゾーンを配置。透水係数 1E-8m/s,間隙率 1E-5。フラ 予備的解析第二シリーズ:モデル領域を横切るような広域流動の影響評価。フラクチャーベッドロック+フラクチャーゾーンモデル。フラクチャーゾーン 1E-4m/s。フラクチャーベッ え,透水係数・間隙率は Vidstrand (2004)による。結果として均質媒体に比べていくらか大きい透水係数・間隙率となった。広域流動は左側に in-flux 境界設定。in-flux 境界での塩
	モデル化・解析結果	塩水源の与え方の影響評価:塩分の移流によるミキシングに対しては大規模不連続構造の影響の方が母岩に比べて大きい 第一シリーズ:フラクチャーゾーンの存在により塩分のミキシングは均質媒体のみの場合に比べて速くなる。 第二シリーズ:広域流動は塩水洗い出しの効果をより深部にまで到達させる。なお、与えられた境界条件は上昇流に伴う塩水フラッシングの影響は無視することとなるが、高濃度塩水
結果の	妥当性確認方法	
結果の反映先		

表 C-11 スウェーデン Äspö サイトにおける類似事例詳細(その 7)

高い部分は海抜 13m 陸道領域に分割される。1650~1810Ma 前の TIB は、よ 角度に沈み込んだペグマタイトは、Rapakivi タイプ花崗 所的な小規模亀裂に及ぶ。内陸領域(Äspö の西および

・クチャーゾーンの透水係数は1オーダー大きく設定。 ドロックには Darcel (2003) による指数関数分布を与 分濃度は初期濃度依存とした。

領域においてはこれは無視できるものと期待される。

		表 C-12 スウェーデン Finnsjön サイトにおける類似事例詳細(その 1)
対象サ	イト	スウェーデン Finnsjön サイト(Beberg) 文献番号 (3)-SR3
対象サ	イトの所有機関	
対象サ	イトの概要	Beberg サイトは海岸から約 15km 離れた低い地形上の起伏を有する領域で、北 Uppland に位置する。サイト標高は海抜約 35m である。エリア内の最も高い起伏は、南東によりなだらかな尾根を持つサイトの西および南西である。Finns 湖は、それらの高い標高エリアとサイト真南の間に位置する。いくつかの小さな湖が北東にある。
報 地 質	地質概要	領域内の地表面は、平坦な露頭、湖、湿原、ぬかるみによって特徴付けられる。地質は、約20億年前の花崗岩ときめの細かいレプタイトによって支配される。最近の氷河作用の結果として、5.7mm/yの割合でエリア全体に平行に土地の 起が継続中している。第四紀層は氷河のtillによって支配されている。くぼ地はぬかるみと泥炭地でほとんど占められている。砂、小石、氷河粘土がまばらにある。少なくとも2セットのリニアメント(北、北東に延びるリニアメント) 西に延びるリニアメント)がある。
境	水理学的環境	サイトの動水勾配は約 0.2~0.3%。涵養は Finnsjön 湖近くの高台で生じ、北東のより低地の流出エリアに流れ込む。
情	地球化学的環境	90~300m 深さに 0.8%以内の塩水を含む破砕帯がある。サイトは氷河期と氷河期後の土地のリバウンドにより、塩水の分布は過渡的な状況にある。
~	実施機関	SKB
モデル化・	目的	 ・自然条件下での広域スケールエリア内の地下水流と塩分濃度パターンを把握。重要な涵養および流出エリアの識別 ・試錐孔塩分濃度データに基づく水理特性のキャリブレーション ・サイト近辺の地下水流を予測するのに必要な地域モデルの空間範囲の決定 ・ローカルスケールモデルの位置を選択し、モデルに適切た管界条件を設定
所	対象領域	「広城スケール」 東西 16km×南北 10km 深さ 2km
Ø	使用データ	(地勢) コンターマップ (地質 破砕帯) 地質マップ (地質特性) 試錐孔データ等
機要	モデル化・解析手法	連続体多孔質媒体モデル(NAMMU) 有限要素法による多孔質媒体の解析コード。熱と地下水流動に関する連成問題を1~3次元で解くことが出来る。
	モデル化概念	3次元モデル。 サイト内の破砕帯は、14の広域破砕帯と2つのローカルスケール破砕帯をモデル化。破砕帯は、リニアメントのパターンに一致する不規則な有限要素メッシュの作成により、明示的に表現。大多数の破砕帯は垂直であるが、2本の破砕 は、それぞれ SW 方向に 16°(ほぼ水平破砕帯;ゾーン2と呼ぶ)、SW 方向に 60°の傾斜を持つ。 岩塊は、水理特性の異なる4つのユニットに分割。 Finnsjön 湖を涵養源、Skalsjon と Assjon を流出エリアと設定。 4000 年前はサイト周辺は一定の海水密度であったと予想されることから、4000 年前の一定海水密度(1006.3kg·m ⁻³)を初期条件とし、現在の過渡的な状況を評価する。 リニアメントマップより地勢をモデル化、六面体要素、要素数 3.478
	物性値の空間分布の推定方法	(岩塊の透水係数) 試錐孔データより、設定された岩塊ユニットの対数正規分布 95%信頼区間より設定。700m 以下はデータがないので、-850m 以下の透水係数は、-400m 以下の値の半分と設定。 (破砕帯の透水係数) 岩塊の透水係数に比して 3 オーダーまで異なる。(推定方法は記述なし) (間隙率の合計) 室内試験より設定。(母岩 0.5~3%、亀裂性材料 1~5%)
	境界条件	指分濃度境界条件、压力境界条件
	解析ケース	上記条件による基本ケースに加え、塩分濃度パターンに関する11ケースの感度解析を実施。 基本ケースは、種々の感度解析の内の合理的な結果を与えた1ケースであり、他の感度解析は、選択パラメータの影響の例証であるという位置付け。
	モデル化・解析結果	 (基本ケース) 10-100 年のタイムスケールで破砕帯上部からフラッシングされ、母岩で塩分濃度が数千年といったより長い時間保持されるため、塩分濃度は破砕帯で急速に変化する。 塩分濃度は、ゾーン2を横切って、およびそのゾーン下で急速に変化する。これのプロファイルは、北ブロックの試錐孔測定でおおむねー致している。 上層では、淡水が塩水に置き換わるため、水頭コンターが斜めまたは水平から垂直に、時間と共に大きく変化する。 ・ゾーン 412.14 を広能まで延長したケース (Zdeep) では、ゾーン2を横切る塩分濃度(95%以上の部分)の上昇がかなり縮小し、ゾーン2 以深の塩分濃度の遷移領域がより拡散している。これは、基本ケースよりも実測値に適合しな (塩分濃度パターンの感度解析) ・メニン 412.14 を広能まで延長したケース (Zdeep) では、ゾーン2 を横切る塩分濃度(95%以上の部分)の上昇がかなり縮小し、ゾーン2 以深の塩分濃度の遷移領域がより拡散している。これは、基本ケースよりも実測値に適合しな (塩分濃度パターンの感度解析) ・メニン 20中間層を高速水係数に増加したケース (ZabeipKK) では、ゾーン2 を横切る塩分濃度の上昇は見られず、塩分濃度が変化する深度が上流測でより深くなる。しかし、この Finnsion 岩ブロックの塩分濃度の影響は現れていない。 ・ソニン 20中間層を高速水係数に増加したケース (ZlowK) では、基本ケースとわたり見なり、淡水が十分に浸透しないので塩分濃度が変化する深度はカなり洗い。 ・ 伊岩と破砕帯の筒水とセントラストをより低くしたケース (ZlowK) では、基本ケースとわたり見なり、淡水が十分に浸透しないので塩分濃度が変化する深度はカなり洗い。 ・ 伊岩 (200KK-ZlowK 4) では、塩分濃度に薄にブーン2、11 周辺で沈くなるが、ゾーン2 以没でまだ有為な塩分濃度が残っており、実測データを再現していない。 ・ ソーン 11 を透水性破壊的に帯にと下み(ZlowK) では、基本ケースとかなり鼻皮が気がしていっ、 ・ ウニ 2011では、レン 11 周辺で沈くなるが、ゾーン2 以没でまだ有為な塩分濃度が吸が取っており、実測データを再現していない。 ・ ウェ 2014時間をキャンの間を、0-0.8%に直線的に変化とたすへ (ClowK) では、塩分洗度に加らたたちへス (South) では、塩分濃度の遷移火したが、 ・ 母部から 750mm までの間を、0-0.8%に直線的に変化とせたケース (South) では、塩分濃度の遷移火ーンが、Grasbo の南に拡散している。 ・ 母部から 750mm までの間を、0-0.8%に直線的に変化さるを3000 年間実行した結果に相当し、塩分濃度の遷移ノンが、Grasbo の南に拡散している。 ・ 母かやつの間上、塩分移行にとって基本ケースとたきく異ならない。 ・ 安樹市の一間隙率や分にしたケース (Dlow) では、結果は基本ケースと大きく異ならない。 ・ 実測データイに基本ケースの目隙が生またかっスを5000 年間実行した結果に相当し、塩分濃度が変化する深度は相当深くなり、ほどとんどのエリアで1km 深さまで塩分変化に遭遇が歩くなり。 ・ 皮砕砕ーの10kgの増気が少なくなる。 ・ ※調データークに数量が集中し、ノーン 211 以及り濃くがなかっへたたる ・ 定却から発展がかかくなる。 ・ 定却からする ・ 定却からする ・ これを知るのまたがったまたかっス (PRD3) では、基本ケースと大きく変わらない。 ・ 実測データにないため、地方の主な焼きたがっため、1 から転告の回転したケース (PDD3) では、基本ケースとたるくがしなかいになるが、メモンたち、1 の差に換かれたも、2 の結果がかりてるる ・ これらの壊壊が集めのし、レイン200×1 (1 再致度なたちい)
結果の	妥当性確認方法	基本ケースモデルによって、涵養、流出量および試錐孔塩分プロファイルを解析結果と比較し、妥当性を確認。
結果の	反映先	ローカルスケールモデルへの近似境界条件の適用(AltK ケース、基本ケース)

対象サ	イト	スウェーデン Finnsjön サイト(Beberg) (3)-SR4
対象サ	イトの所有機関	
対象サ	イトの概要	Beberg サイトは海岸から約 15km 離れた低い地形上の起伏を有する領域で、北 Uppland に位置する。サイト標高は海抜約 35m である。エリア内の最も高い起伏は、南東によりなだらかな尾根を持つサイトの西および南西である。Finnsjön 湖は、それらの高い標高エリアとサイト真南の間に位置する。いくつかの小さな湖が北東にある。
報地 質環	地質概要	領域内の地表面は、平坦な露頭、湖、湿原、ぬかるみによって特徴付けられる。地質は、約20億年前の花崗岩ときめの細かいレプタイトによって支配される。最近の氷河作用の結果として、5.7mm/yの割合でエリア全体に平行に土地の隆 起が継続中している。第四紀層は氷河の till によって支配されている。くぼ地はぬかるみと泥炭地でほとんど占められている。砂、小石、氷河粘土がまばらにある。少なくとも2セットのリニアメント(北、北東に延びるリニアメントと北 西に延びるリニアメント)がある。
境	水理学的環境	サイトの動水勾配は約 0.2~0.3%。涵養は Finnsjön 湖近くの高台で生じ、北東のより低地の流出エリアに流れ込む。
情	地球化学的環境	90~300m 深さに 0.8%以内の塩水を含む破砕帯がある。土地の隆起より、塩水の分布は過渡的な状況にある。
.T.	実施機関	SKB
モデ	目的	核種移行解析に資する入力データ、パラメータの設定。
N	対象領域	【ローカルスケール】4,130m×5,355m×深さ 1,505m
化	使用データ	(水理特性)試錐孔データ;母岩は3mパッカーテスト、破砕帯は、3mパッカーテスト(ゾーン2は、interferenceテスト)
解	モデル化・解析手法	HYDRASTAR Ver.1.72(SKB 有限差分確率的連続体地下水流動モデル) このモデルは密度依存性を表現することができない。
析	モデル化概念	3 次元モデル。35m の一定のグリッド間隔。119×154×44 節点。
の 概 要		モデル表面を平面としているため、地勢を考慮できない。そのため、モデル化領域は、海面以下とする。 「物性値の空間分布の推定方法」で求めた水理特性に基づき、母岩とほぼ同じ透水性を持つ破砕帯を除外した地質モデルより、透水係数を決定論的に表現し、透水係数 variogram モデルにより統計処理を実施。(ブロック透水性の対数の段 時的変化として透水性を変化させる)
	物性値の空間公布の推定支注	旧切友化として短水住を友化させる) (
	初注他の空间为和の推定力法	(取件市)例だこれに合物件市地小車床気をモブルクラット boll 幅に内心するように特成だ (丹学) 3 つの領域における 3m パッカーテスト結果をモデルガリッド 35m 幅に対応するように unscala ただし 海抜 100m 以深け一定に段階的に減少させる
		(海石) 5 500 限級における 5m パラガー アスト福米をビアルア アラト 55m 幅に対応するように upscale、たたじ、海波 100m 妖米は一定に及相手に成少させる (流れ空間索) サイトデータに基づき 1×104 一定
		(F-ratio[y/m]) 移行のためのドライビングフォースに抵抗する割合 $F(F-ratio)=t_{-}\cdota_{-}/s_{e}$ (t_[y]:移動時間 $a_{e}[m_{v}]:移動経路のための岩の休積と特定のわれた表面との比 s_{e}[-]:流れ空隙率) a=10 と設定したため 移動時間の倍数$
	境界条件	広域スケールモデル(Altk ケース)より設定された一定水頭境界ただし、AltK ケースを、定常状態淡水条件下で再計算。
	解析ケース	(基本ケース)上記条件によるケース
		 (感度解析1)境界条件変化ケース。ただし、HYDRASTARは密度依存性を表現することができないため、塩分濃度依存条件下で境界の圧力および塩分濃度を淡水条件環境的水頭に変換して設定。 (感度解析2)破砕帯構造追加ケース。基本ケースにおいて低透水性として除外した破砕帯および新たに破砕帯(計11)を追加モデル化したケース。追加破砕帯は、調査より得られた位置および配向性を備え、基本ケースの透水係数の平均と等しい透水係数を有すると仮定。境界条件は追加破砕帯を備えた広域モデルより基本ケースと同様のアプローチで再設定。 (感度解析3)代替水理地質解釈ケース。広域スケールモデル基本ケースの塩分濃度依存条件下で境界の圧力および塩分濃度を淡水条件環境的水頭に変換して設定。 (感度解析4)唯一の決定論的な水理場によるケース
	モデル化・解析結果	100回の実行による移動時間、キャニスター流速(ダルシー流速)の中央値のモンテカルロ安定性を確認した結果、35回以上で、偏差が1%以下となり、100回の実行が適切であることを確認。
		 (基本ケース) ・ 120 のリリース位置からモデル表面までの移動時間の中央値は、29~104年の四分位数間領域において 56年である。 ・ 120 のリリース位置でのキャニスター流速は、4.8×10⁴~3.0×10³m/y の四分位数間領域において 1.2×10³m/y である。 ・ log10・移動時間と log10・キャニスター流速の関係は、エリア南部の比較的高い透水性によって、負の相関を持つ。 ・ 移行経路お上び地表の通水点は、サイトの全体地下水流動パターンと互換性を持つ。
		 ・リリース位置の差による挙動の可変性を調べるために個々の3つのリリース位置において 100 回実行した結果、例え一部のエリアの母岩がより高い透水係数を有していても、いくつかのエリアがより短い移動時間を示す(例えば南部 岩ブロック中の処分施設位置)。これは、移動時間が母岩の特性ではなく、仮想処分施設を横切る動水勾配の変化に支配されるためである。 (感度解析)
		・感度解析1では、移動時間中央値が、33年まで減少。キャニスター流速は1.8×10 ⁻³ m/yまで増加。
		・感度解析2では、移動時間中央値が、53年までやや減少。キャニスター流速は1.1×10 ³ m/yまでわずかに減少。基本ケースとの違いは少ない。
		・感度解析3では、移動時間中央値が、86年まで増加。キャニスター流速は5.8×104m/yまで減少。処分施設での流動パターンが下向きであり、感度解析1と似ていることから、現代の塩分濃度状況が重要であることが確認された。
		・感度解析4では、移動時間中央値が、27年に減少。キャニスター流速は1.9×10 ³ m/yまで増加。これは、透水係数の upscaling がほぼ正確であることを示唆する。
		 ・以上のことから、広域モデルによる塩分濃度依存性境界条件を用いたケース(感度解析3)が最も感度が高い結果となった。
結果の	妥当性確認方法	
結果の	反映先	particle tracking の結果→一次元移行計算

表 C-13 スウェーデン Finnsjön サイトにおける類似事例詳細(その 2)

表 C-14	英国 Sellafield サイ	トにおけ	る類似事例詳細	(その 1)
--------	------------------	------	---------	--------

対象サイ	イト	イギリス Sellafield Site 文献番号
対象サイ	イトの所有機関	UK NIREX Ltd. (Nuclear Industry Radioactive Waste Executive, Limited)
対象サイ	イトの概要	中低レベル放射性廃棄物の処分候補地として Nirex が 1991 年以来成立性の確認のため地質環境特性評価を含む研究プログラムを実施。地下研究施設(RCF)の建設を予定していたが、
地質環境情報	地質概要	処分施設予定地(Potential Repository Zone; PRZ))の母岩は Borrowdale Volcanic Group (BVG); 浅部に貫入した、主に火砕性堆積物と火成岩から成るオルドビス紀の凝灰岩基盤岩。 石炭紀から三畳紀の堆積物が BVG の上に重なる。PRZ では、不完全に区分される二畳紀角礫石(Brockram)が BVG の上に直接重なり、次に河成砂岩(St Bees Sandstone Formation) が重なる。PRZ 西部に向かって、地層の傾斜や断層によって BVG 頂部はかなり深くなる。沖合いでは、広範囲な岩塩鉱床を含む三畳紀マーシア泥岩グループ(Triassic Mercia Mudsto んどのエリアを未固結第四期堆積物が覆っている。 また、数 cm~数 km オーダーの断層が全般に存在し、モデル化可能た1 km 以上の断層を主た断層として識別している。
辛戊	水理学的環境	地下水流は主に重力、地下水面水位差や塩分の濃度差や温度差による地下水密度差により動く。エリアの西側は塩性が非常に高く、濃度差で内陸に流れる。エリア東部の深部では沖合い 位高低差により海岸方向へ流れる。涵養は東部の丘で生じ、流出は河谷、海岸に近い陸部、海岸沖数キロメーターの範囲で生じる。
	地球化学的環境	
千	実施機関	NIREX
デ	目的	自然な流出および井戸からの放射性核種移行によるリスク計算の根拠を提供するため。
ル	対象領域	【広域スケール】水理地質構造的に影響が大きいと思われる断面ラインを設定(延長約24×深さ2.2km)
・解析の	使用データ	【REGION;約60km×65km】既存の公開情報、商用の地震調査データ、その他サイトに関わる関連データ 【DISTRICT;約20km×30km】地球物理学およびマッピング技術に基づく新規調査、過去の採鉱活動データ 【SITE;候補地点周辺5000ha】深部試錐孔データ 【POTENTIAL REPOSITORY ZONE】詳細な地球科学的調査データ
成要	モデル化・解析手法	二次元連続体多孔質媒体モデル(NAMMU)
X		有限要素法による多孔質媒体の解析コード。熱と地下水の流動に関する連成問題を1~3次元で解くことが出来る。
	モデル化概念	地質調査データを基に、水理地質構造上の特性が本質的に類似していて、モデル化の目的に対して一体のブロックとして取り扱うことができる岩塊を水理地質構造上のユニットとして角 ニットは、それぞれ異なる特性を持つ。 地素約 200m 以下の深い砂岩中の流れは主に母岩中を通り、表面に近い砂岩は開いた層理面が地下水流動に重要な役割を思たす。
		BVG 中の流れは、主に連続している水理地質構造ネットワークを通ると考えられている。その他、各ユニットも、地質構造上の特性に応じて亀裂ネットワーク中を流れるか、マトリッ 46,598 要素、140,663 節点、188,131 自由度
	物性値の空間分布の推定方法	モデル化にあたって、適切な水準で測定データと一致する「有効パラメータ」を設定するために、詳細な局所レベルでの収集データを基に「upscaling」を実施。「upscaling」の実施に ルを使用し、不確実性を考慮した有効パラメータの幅を確率密度関数(PDF)によって設定。
	境界条件	温度境界:底面・・・指定されたフラックス、側面・・・フラックスなし、海底地表面・・・11℃一定、陸の地表面・・・標高によって方程式で与える 塩分濃度境界:底面・・・フラックスなし、側面・・・測定データにより設定、海底地表面・・・地下水流流入箇所と流出箇所で場合分け指定、陸の地表面・・・ゼロ 地下水境界:底部・・・不透水境界、側面・・・静水圧条件、水平流あり、海底地表面・・・大気圧+海水圧、陸の地表面・・・大気圧
	解析ケース	upscalingに用いたデータと無関係な試錐孔中の温度、温度勾配データ、塩分濃度データ、水頭データ、砂岩帯水層の涵養、流出データを用いて全ての試錐孔データに一致するようにモ キャリブレーションは2段階 (第1ステージ)モデルパラメータをキャリブレーションデータに合理的に一致するように系統的に変化させる。(参照ケースとして設定) (第2ステージ)第1ステージの参照ケースを基本としてパラメータを振り、観察データとよく一致するパラメータ空間の範囲を系統的に求める。 upscalingにより派生する有効パラメータの不確実性を特徴付ける確立密度関数(PDF)と、正規分布によるキャリブレーションからの制約条件を近づける方法により、最新のPDFを upscalingの過程において、異なるパラメータ組合せを備えた以下の4ケースのモデルを設定。 i) Connected Model: BVG 中の亀裂が十分に接続したネットワークを形成する概念モデルの upscaling から推定される PDF の中央値を用いたモデル ii) Combined Model: BVG 中の亀裂が十分に接続したネットワークを形成するかどうかに関する不確実性を考慮した概念モデルの upscaling から推定される PDF の中央値を用いたモ iii) Reference Two-dimensional Model: 第1ステージのキャリブレーションモデル iv) Central Model: 先の組み合わされた PDF を考慮に入れたキャリブレーションからのパラメータ拘束後、水理地質構造パラメータが PDF の中央値をとる変化モデル(第2ステー)
	モデル化・解析結果	 Reference Model による温度場は、熱伝導および熱移動のみに支配され、深さ方向に直線的に増加。 Reference Model による地下水濃度は、PRZの東の深部では、地下水がまだ塩性であり、塩分濃度は海水のそれと非常に近い。モデル上部では、地下水塩分濃度が低い。 Reference Model による流れ場は、沖合い海底下数百メーター以上の深さでは、高い塩性の地下水が陸側の地下水との濃度差による重力の作用によってゆっくり内陸に流れる。また、 界を通って西方に流れ込み、東方の高い地勢と海岸平野の間の高さの違いが作用することにより、遷移ゾーンに沿って上向き流れが生じる。 また、各モデルによって particle tracking を実施した結果、Reference Model と他のモデルとの間の主な差は、BVG の透水性であり、これが BVG 中の移動時間を支配する。また、砂 Reference Model、Combined Model、Connected Model、Central Model それぞれの処分場における地下水フラックスはそれぞれ、240m³/y、31m³/y、490m³/y、159m³/y であり、この
結果の	送当性確認方法	
結果の <u>[</u>	又映先	

計画を断念。

H。BVG 頂部は海抜約-450m(処分場予定エリア近傍)。 と風成および河成砂岩(Calder Sandstone Formation) one Group)が、砂岩の上に重なっている。また、ほと

いほど塩分濃度が高くない。陸の浅部は真水で、地下水

解析対象領域を適切に細分。個々の水理地質構造上のユ

ックス中を流れるか等を設定。

こあたっては、各水理地質ユニット毎に簡単な解析モデ

デルのキャリブレーションを実施。

設定。

モデル

ジ終了後の中央値)

同じ深さを塩性の低い地下水が、重力によって東部境

)岩を通る移動経路も各モデル間で異なる。 の差も BVG の透水性の違いが大きな支配要因である。

表 C-15	英国 Sellafield サイ	トにおけ	る類似事例詳細	(その 2)
--------	------------------	------	---------	--------

対象サイト		イギリス Sellafield Site 文献番号
対象サイ	イトの所有機関	UK NIREX Ltd. (Nuclear Industry Radioactive Waste Executive, Limited)
対象サイ	イトの概要	中低レベル放射性廃棄物の処分候補地として Nirex が 1991 年以来成立性の確認のため地質環境特性評価を含む研究プログラムを実施。地下研究施設(RCF)の建設を予定していたが、
地質環境情	地質概要	処分施設予定地(Potential Repository Zone; PRZ))の母岩は Borrowdale Volcanic Group (BVG); 浅部に貫入した、主に火砕性堆積物と火成岩から成るオルドビス紀の凝灰岩基盤岩 石炭紀から三畳紀の堆積物が BVG の上に重なる。PRZ では、不完全に区分される二畳紀角礫石(Brockram)が BVG の上に直接重なり、次に河成砂岩(St Bees Sandstone Formation) が重なる。PRZ 西部に向かって、地層の傾斜や断層によって BVG 頂部はかなり深くなる。沖合いでは、広範囲な岩塩鉱床を含む三畳紀マーシア泥岩グループ(Triassic Mercia Mudst んどのエリアを未固結第四期堆積物が覆っている。 また、数 amへ数 km オーダーの断層が全般に存在し、モデル化可能な 1 km 以上の断層を主な断層として識別している。
報	水理学的環境	なた、鉄ビ師 鉄ビ師 スープ の間値が主殿に住住し、ビアルに小記な工ビ師が上の間値を上な時間として識別している。 地下水流は主に重力 地下水面水位差や塩分の濃度差や温度差によろ地下水密度差により動く、エリアの西側は塩性が非常に高く 濃度差で内陸に流れる。エリア東部の深部では沖合し
		位高低差により海岸方向へ流れる。涵養は東部の丘で生じ、流出は河谷、海岸に近い陸部、海岸沖数キロメーターの範囲で生じる。
	地球化学的環境	
	実施機関	NIREX
モデ	目的	自然な流出および井戸からの放射性核種移行によるリスク計算の根拠を提供するため。
N	対象領域	【広域スケール】10km×15km×深さ2.2~2.6kmの範囲(地下水流および核種移行に重要な影響を及ぼすと考えられる特徴を全て含む領域をモデル化)
化	使用データ	【REGION;約 60km×65km】既存の公開情報、商用の地震調査データ、その他サイトに関わる関連データ
解		【DISTRICT;約20km×30km】地球物理学およびマッピング技術に基づく新規調査、過去の採鉱活動データ
析		【SITE;候補地点周辺5000ha】深部試錐孔データ
の概		【POTENTIAL REPOSITORY ZONE】詳細な地球科学的調査データ
要	モデル化・解析手法	三次元連続体多孔質媒体モデル(NAMMU)
		モデル化は、対話型の三次元地質構造モデリングパッケージ(VULCAN)およびビジュアル化パッケージ(EarthVision)を用いて実施。
	モデル化概念	地質調査データを基に、水理地質構造上の特性が本質的に類似していて、モデル化の目的に対して一体のブロックとして取り扱うことができる岩塊を水理地質構造上のユニットとして ニットは、それぞれ異なる特性を持つ。
		地表約 200m 以下の深い砂岩中の流れは主に母岩中を通り、表面に近い砂岩は開いた層理面が地下水流動に重要な役割を果たす。 BVG 中の流れは、主に連続している水理地質構造ネットワークを通ると考えられている。その他、各ユニットも、地質構造上の特性に応じて亀裂ネットワーク中を流れるか、マトリッ 18.378 要素。60.418 節点。68.094 自由度
	物性値の空間分布の推定方法	モデル化にあたって、適切な水準で測定データと一致する「有効パラメータ」を設定するために、詳細な局所レベルでの収集データを基に「upscaling」を実施。「upscaling」の実施に ルを使用し、不確実性を考慮した有効パラメータの幅を確率密度関数(PDF)によって設定。
	境界条件	二次元モデルの境界条件と基本的には同じ
	解析ケース	upscalingに用いたデータと無関係な試錐孔中の温度、温度勾配データ、塩分濃度データ、水頭データ、砂岩帯水層の涵養、流出データを用いて全ての試錐孔データに一致するようにモキャリプレーションは1段階
		(第1ステージ)モデルパラメータをキャリブレーションデータに合理的に一致するように系統的に変化させる。(参照ケースとして設定)
		upccaling により派生する有効パラメータの不確実性を特徴付ける PDF と、正規分布によるキャリブレーションからの制約条件を近づける方法により、最新の PDF を設定。
		Reference Three-dimensional Model:観察された温度、塩分濃度、水頭、砂岩帯水層表面近傍における涵養、流出データへ最も全体的に一致すると判断されたキャリブレーションデー
	モデル化・解析結果	・温度場は、2次元モデル同様、熱伝導および熱移動のみに支配され、深さ方向に直線的に増加。
		・地下水濃度は、塩水と低塩分濃度の水による遷移ゾーンが領域北部の海岸線にほぼ並行になっている。
		 ・流れ場は、2次元モデルと同様な傾向を示す。また、二次元による解析結果を、二次元モデルの鉛直断面フイン選択時に支援材料として利用。
		また、particle tracking を実施した結果、2次元 Combined Model との比較では移動時間、経路長の値が合理的な一致を示していることから、2次元モデルが地質構造を適切にモデル 如分場における地下水フラックスは26m3/x で、Combined Model の31m3/x と良く一致している
結果の	■ 妥当性確認方法	■ C. A WARCHART WA
結果の	 	「二次元モデルのリスク計算への使用に当たっての重要な傾向が導入されたかどうかを評価

(5)-2

計画を断念。

。BVG 頂部は海抜約-450m(処分場予定エリア近傍)。 と風成および河成砂岩(Calder Sandstone Formation) one Group)が、砂岩の上に重なっている。また、ほと

いほど塩分濃度が高くない。陸の浅部は真水で、地下水

¥析対象領域を適切に細分。個々の水理地質構造上のユ

・クス中を流れるか等を設定。

こあたっては、各水理地質ユニット毎に簡単な解析モデ

デルのキャリブレーションを実施。

タを考慮したモデルを設定。

化しているといえる。

マ

表 C-16	英国 Sellafield サイ	トにおける類似事	■例詳細(その 3)
--------	------------------	----------	------------

対象サイト		イギリス Sellafield Site	文献番号		
対象サイトの所有機関		UK NIREX Ltd. (Nuclear Industry Radioactive Waste Executive, Limited)			
対象サイ	イトの概要	中低レベル放射性廃棄物の処分候補地として Nirex が 1991 年以来成立性の確認のため地質環境特性評価を含む研究プログラムを実施。	也下研究施設	(RCF)の建設を予定していたが、計画を	
地質環境情報	地質概要	処分施設予定地(Potential Repository Zone; PRZ))の母岩は Borrowdale Volcanic Group (BVG); 浅部に貫入した、主に火砕性堆積物 石炭紀から三畳紀の堆積物が BVG の上に重なる。PRZ では、不完全に区分される二畳紀角礫石(Brockram)が BVG の上に直接重なり、 が重なる。PRZ 西部に向かって、地層の傾斜や断層によって BVG 頂部はかなり深くなる。沖合いでは、広範囲な岩塩鉱床を含む三畳紀 んどのエリアを未固結第四期堆積物が覆っている。 また、数 cm~数 km オーダーの断層が全般に存在し、モデル化可能な1km 以上の断層を主な断層として識別している。	りと火成岩から。 次に河成砂岩 マーシア泥岩ク	成るオルドビス紀の凝灰岩基盤岩。BVG (St Bees Sandstone Formation)と風成‡ ブループ(Triassic Mercia Mudstone Gro	
	水理学的環境	地下水流は王に重刀、地下水面水位差や塩分の濃度差や温度差による地下水密度差により動く。エリアの西側は塩性が非常に高く、濃度差で内陸に流れる。エリア東部の深部では沖合いほど塩 位高低差により海岸方向へ流れる。涵養は東部の丘で生じ、流出は河谷、海岸に近い陸部、海岸沖数キロメーターの範囲で生じる。			
	地球化学的環境				
千	実施機関	NIREX			
デ	目的	自然な流出および井戸からの放射性核種移行によるリスク計算の根拠を提供するため。			
ル	対象領域	【サイトスケール】北東-南西方向約 2km、北西-南東方向約 3km×深さ 750m の範囲			
化・解析の	使用データ	【REGION;約 60km×65km】既存の公開情報、商用の地震調査データ、その他サイトに関わる関連データ 【DISTRICT;約 20km×30km】地球物理学およびマッピング技術に基づく新規調査、過去の採鉱活動データ 【SITE;候補地点周辺 5000ha】深部試錐孔データ 【POTENTIAL REPOSITORY ZONE】詳細な地球科学的調査データ			
城要	モデル化・解析手法	三次元亀裂ネットワークモデル (NAPSAC) 亀裂ネットワーク中の確率的な地下水流を検討するための亀裂ネットワークモデル			
	モデル化概念	亀裂は、薄い平面として表現。 本モデルのみ、処分施設を高い透水性を備えた一次元の特徴として明示的に表現。 モデルをに示す。			
	物性値の空間分布の推定方法	モデル化にあたって、適切な水準で測定データと一致する「有効パラメータ」を設定するために、詳細な局所レベルでの収集データを基	に「upscaling	」を実施。「upscaling」された亀裂透水係	
	境界条件	地下水濃度一定(モデル化範囲が狭いため影響少) 側面:海岸に向かって約0.025の水平動水勾配。0.005の鉛直動水勾配 底面および南西の側面(断層部分):不透水境界			
	解析ケース				
	モデル化・解析結果	10回の particle tracking を実施。 2次元モデルとの比較の結果、合理的な一致を示している。3次元ネットワークモデルによる移動時間は、2次元モデルに比して大きい。 子の平均経路を表現し、平均の経路変化がばらつきを代表するからである。 処分場における地下水フラックスは、145m ³ /y~671 m ³ /y であり、平均は 352 m ³ /y である。これは、2次元 Connected Model の 490m ³	が、これは、 ^メ /y とよく一致	ネットワークモデルでは、粒子が移動する している。	
結果の	妥当性確認方法		-		
結果の別	 	適切で有効なパラメータを備えた二次元連続体多孔質媒体モデルとしての BVG の表現が、三次元ネットワークモデルの不連続体の代わり	りとして重要な	傾向が導入されているかどうかを評価	

(5)-3	

計画を断念。

。BVG 頂部は海抜約-450m(処分場予定エリア近傍)。 と風成および河成砂岩 (Calder Sandstone Formation) one Group) が、砂岩の上に重なっている。また、ほと

いほど塩分濃度が高くない。陸の浅部は真水で、地下水

裂透水係数、長さ、配向性分布を使用

多動する経路を明示的に表現するが、連続体モデルは粒

D. 非定常解析結果(塩分濃度分布)の時系列情報

CaseA1-1	(モデルA,	断面 1,密度流・断層透水異方性あり)
CaseA1-2	(モデルA,	断面1,密度流・断層透水異方性なし)
CaseA1-3	(モデルA,	断面1,移流・分散(密度差なし)・断層透水異方性あり)
CaseA1-4	(モデルA,	断面1,移流・分散(密度差なし)・断層透水異方性なし)
CaseB1-1	(モデル B,	断面 1, 密度流・断層透水異方性あり)
CaseB1-2	(モデル B,	断面1,密度流・断層透水異方性なし)
CaseB1-3	(モデル B,	断面1,移流・分散(密度差なし)・断層透水異方性あり)
CaseB1-4	(モデル B,	断面1,移流・分散(密度差なし)・断層透水異方性なし)
CaseA2-1	(モデルA,	断面2,密度流・断層透水異方性あり)
CaseA2-2	(モデルA,	断面2,密度流・断層透水異方性なし)
CaseA2-3	(モデルA,	断面2,移流・分散(密度差なし)・断層透水異方性あり)
CaseA2-4	(モデルA,	断面2,移流・分散(密度差なし)・断層透水異方性なし)
CaseB2-1	(モデル B,	断面2,密度流・断層透水異方性あり)
CaseB2-2	(モデル B,	断面2,密度流・断層透水異方性なし)
CaseB2-3	(モデル B,	断面2,移流・分散(密度差なし)・断層透水異方性あり)
CaseB2-4	(モデルB	所面2,移流・分散(密度差なし)・断層透水異方性なし)
CaseA3-1	(モデル A,	断面3,密度流・断層透水異方性あり)
CaseA3-1 CaseA3-2	(モデル A, (モデル A,	断面3,密度流・断層透水異方性あり) 断面3,密度流・断層透水異方性なし)
CaseA3-1 CaseA3-2 CaseA3-3	(モデル A, (モデル A, (モデル A,	断面3,密度流・断層透水異方性あり) 断面3,密度流・断層透水異方性なし) 断面3,移流・分散(密度差なし)・断層透水異方性あり)
CaseA3·1 CaseA3·2 CaseA3·3 CaseA3·4	(モデル A, (モデル A, (モデル A, (モデル A,	断面3,密度流・断層透水異方性あり) 断面3,密度流・断層透水異方性なし) 断面3,移流・分散(密度差なし)・断層透水異方性あり) 断面3,移流・分散(密度差なし)・断層透水異方性なし)
CaseA3-1 CaseA3-2 CaseA3-3 CaseA3-4 CaseB3-1	 (モデル A, (モデル A, (モデル A, (モデル A, (モデル B, 	断面3,密度流・断層透水異方性あり) 断面3,密度流・断層透水異方性なし) 断面3,移流・分散(密度差なし)・断層透水異方性あり) 断面3,移流・分散(密度差なし)・断層透水異方性なし) 断面3,密度流・断層透水異方性あり)
CaseA3-1 CaseA3-2 CaseA3-3 CaseA3-4 CaseB3-1 CaseB3-2	 (モデル A, (モデル A, (モデル A, (モデル B, (モデル B, 	断面3,密度流・断層透水異方性あり) 断面3,密度流・断層透水異方性なし) 断面3,移流・分散(密度差なし)・断層透水異方性あり) 断面3,移流・分散(密度差なし)・断層透水異方性なし) 断面3,密度流・断層透水異方性あり) 断面3,密度流・断層透水異方性なし)
CaseA3-1 CaseA3-2 CaseA3-3 CaseA3-4 CaseB3-1 CaseB3-2 CaseB3-3	 (モデル A, (モデル A, (モデル A, (モデル B, (モデル B, (モデル B, 	断面3,密度流・断層透水異方性あり) 断面3,密度流・断層透水異方性なし) 断面3,移流・分散(密度差なし)・断層透水異方性あり) 断面3,移流・分散(密度差なし)・断層透水異方性なし) 断面3,密度流・断層透水異方性あり) 断面3,密度流・断層透水異方性なし) 断面3,移流・分散(密度差なし)・断層透水異方性あり)
CaseA3-1 CaseA3-2 CaseA3-3 CaseA3-4 CaseB3-1 CaseB3-2 CaseB3-3 CaseB3-4	 (モデル A, (モデル A, (モデル A, (モデル B, (モデル B, (モデル B, (モデル B, 	断面3,密度流・断層透水異方性あり) 断面3,密度流・断層透水異方性なし) 断面3,移流・分散(密度差なし)・断層透水異方性あり) 断面3,移流・分散(密度差なし)・断層透水異方性なし) 断面3,密度流・断層透水異方性あり) 断面3,密度流・断層透水異方性なし) 断面3,移流・分散(密度差なし)・断層透水異方性あり) 断面3,移流・分散(密度差なし)・断層透水異方性なし)
CaseA3-1 CaseA3-2 CaseA3-3 CaseA3-4 CaseB3-1 CaseB3-2 CaseB3-3 CaseB3-4 CaseCA1-1	 (モデル A, (モデル A, (モデル A, (モデル B, (モデル B, (モデル B, (モデル A, 	断面3,密度流・断層透水異方性あり) 断面3,密度流・断層透水異方性なし) 断面3,移流・分散(密度差なし)・断層透水異方性あり) 断面3,移流・分散(密度差なし)・断層透水異方性なし) 断面3,密度流・断層透水異方性あり) 断面3,移流・分散(密度差なし)・断層透水異方性あり) 断面3,移流・分散(密度差なし)・断層透水異方性あり) 断面1,密度流・断層透水異方性あり,較正後)
CaseA3-1 CaseA3-2 CaseA3-3 CaseA3-4 CaseB3-1 CaseB3-2 CaseB3-3 CaseB3-4 CaseCA1-1 CaseCA1-2	 (モデル A, (モデル A, (モデル A, (モデル B, (モデル B, (モデル B, (モデル A, (モデル A, 	断面3,密度流・断層透水異方性あり) 断面3,密度流・断層透水異方性なし) 断面3,移流・分散(密度差なし)・断層透水異方性あり) 断面3,移流・分散(密度差なし)・断層透水異方性なし) 断面3,密度流・断層透水異方性あり) 断面3,移流・分散(密度差なし)・断層透水異方性あり) 断面3,移流・分散(密度差なし)・断層透水異方性あり) 断面1,密度流・断層透水異方性あり,較正後)
CaseA3-1 CaseA3-2 CaseA3-3 CaseA3-4 CaseB3-1 CaseB3-2 CaseB3-3 CaseB3-4 CaseCA1-1 CaseCA1-2 CaseCA2-1	 (モデル A, (モデル A, (モデル A, (モデル B, (モデル B, (モデル B, (モデル A, (モデル A, (モデル A, 	断面3,密度流・断層透水異方性あり) 断面3,密度流・断層透水異方性なし) 断面3,移流・分散(密度差なし)・断層透水異方性あり) 断面3,移流・分散(密度差なし)・断層透水異方性なし) 断面3,密度流・断層透水異方性なし) 断面3,移流・分散(密度差なし)・断層透水異方性あり) 断面3,移流・分散(密度差なし)・断層透水異方性なし) 断面1,密度流・断層透水異方性あり,較正後) 断面1,移流・分散(密度差なし)・断層透水異方性あり,較正後)
CaseA3-1 CaseA3-2 CaseA3-3 CaseA3-4 CaseB3-1 CaseB3-2 CaseB3-3 CaseB3-4 CaseCA1-1 CaseCA1-2 CaseCA2-1 CaseCA2-2	 (モデル A, (モデル A, (モデル A, (モデル B, (モデル B, (モデル B, (モデル A, (モデル A, (モデル A, (モデル A, 	断面3,密度流・断層透水異方性なし) 断面3,密度流・断層透水異方性なし) 断面3,移流・分散(密度差なし)・断層透水異方性あり) 断面3,移流・分散(密度差なし)・断層透水異方性なし) 断面3,密度流・断層透水異方性なし) 断面3,移流・分散(密度差なし)・断層透水異方性あり) 断面3,移流・分散(密度差なし)・断層透水異方性なし) 断面1,密度流・断層透水異方性あり,較正後) 断面1,移流・分散(密度差なし)・断層透水異方性あり,較正後) 断面2,密度流・断層透水異方性あり,較正後)
CaseA3-1 CaseA3-2 CaseA3-3 CaseA3-4 CaseB3-1 CaseB3-2 CaseB3-3 CaseB3-4 CaseCA1-1 CaseCA1-2 CaseCA2-1 CaseCA2-1 CaseCA2-2 CaseCA3-1	 (モデル A, (モデル A, (モデル A, (モデル B, (モデル B, (モデル B, (モデル A, (モデル A, (モデル A, (モデル A, (モデル A, 	断面3,密度流・断層透水異方性なし) 断面3,密度流・断層透水異方性なし) 断面3,移流・分散(密度差なし)・断層透水異方性あり) 断面3,移流・分散(密度差なし)・断層透水異方性なし) 断面3,密度流・断層透水異方性なし) 断面3,移流・分散(密度差なし)・断層透水異方性あり) 断面3,移流・分散(密度差なし)・断層透水異方性なし) 断面1,密度流・断層透水異方性あり,較正後) 断面1,移流・分散(密度差なし)・断層透水異方性あり,較正後) 断面2,密度流・断層透水異方性あり,較正後) 断面2,移流・分散(密度差なし)・断層透水異方性あり,較正後)

<※各ケースについて、以下の図を配置した。>

計算開始から1年後	計算開始から 1,000 年後
計算開始から1万年後	計算開始から 10 万年後

This is a blank page.



CaseA1-1 (モデルA, 断面1, 密度流・断層透水異方性あり)





CaseA1-3(モデルA,断面1,移流・分散(密度差なし)・断層透水異方性あり)



CaseA1-4 (モデルA, 断面1, 移流・分散(密度差なし)・断層透水異方性なし)





CaseB1-1 (モデルB, 断面1, 密度流・断層透水異方性あり)



CaseA2-1 (モデルA, 断面2, 密度流・断層透水異方性あり)

CaseA2-2(モデルA,断面2,密度流・断層透水異方性なし)



CaseA2-3(モデルA,断面2,移流・分散(密度差なし)・断層透水異方性あり)



CaseA2-4(モデルA、断面2、移流・分散(密度差なし)・断層透水異方性なし)





CaseB2-1(モデルB,断面2,密度流・断層透水異方性あり)



CaseA3-1(モデルA,断面3,密度流・断層透水異方性あり)



CaseB3-1 (モデルB, 断面3, 密度流・断層透水異方性あり)





CaseB3-4 (モデルB, 断面3, 移流・分散(密度差なし)・断層透水異方性なし)





Case CA1-1 (モデルA, 断面 1, 密度流・断層透水異方性あり, 較正後)

00 02 04 06 08 10 00 02 04 06 08 10 00 02 04 06 08 10 00 02 04 06 08 10 00 02 04 06 08 10

Case CA2-2(モデルA, 断面2, 移流・分散(密度差なし)・断層透水異方性あり, 較正後)





Case CA3-1 (モデルA, 断面3, 密度流・断層透水異方性あり, 較正後)

表 1. SI 基本単位				
甘大昌	SI 基本ì	単位		
巫平里	名称	記号		
長さ	メートル	m		
質 量	キログラム	kg		
時 間	秒	s		
電 流	アンペア	А		
熱力学温度	ケルビン	Κ		
物質量	モル	mol		
光度	カンデラ	cd		

表2. 基本単位を用いて表されるSI組立単位の例					
如女母 SI 表	SI 基本単位				
和立重 名称	記号				
面 積 平方メートル	m ²				
体 積 立法メートル	m ³				
速 さ , 速 度 メートル毎秒	m/s				
加速 度メートル毎秒毎	秒 m/s ²				
波 数 毎メートル	m ⁻¹				
密度,質量密度キログラム毎立方	メートル kg/m ³				
面 積 密 度キログラム毎平方	メートル kg/m ²				
比体積 立方メートル毎キ	ログラム m ³ /kg				
電 流 密 度 アンペア毎平方	メートル A/m^2				
磁界の強さアンペア毎メー	トル A/m				
量濃度(a),濃度モル毎立方メー	トル mol/m ³				
質量濃度 キログラム毎立法	メートル kg/m ³				
輝 度 カンデラ毎平方	メートル cd/m^2				
屈 折 率 ^(b) (数字の) 1	1				
比 透 磁 率 (b) (数字の) 1	1				

(a) 量濃度(amount concentration)は臨床化学の分野では物質濃度(substance concentration)ともよばれる。
 (b) これらは無次元量あるいは次元1をもつ量であるが、そのことを表す単位記号である数字の1は通常は表記しない。

表3. 固有の名称と記号で表されるSI組立単位

			SI 組立里位	
組立量	名称	記号	他のSI単位による 表し方	SI基本単位による 表し方
平 面 隹	ラジアン ^(b)	rad	1 ^(b)	m/m
· 体 催	ステラジア、(b)	er ^(c)	1 (b)	m^{2/m^2}
周 波 数	ヘルツ ^(d)	Hz	1	s ¹
力 力	ニュートン	N		m kg s ⁻²
压力, 応力	パスカル	Pa	N/m ²	m ⁻¹ kg s ⁻²
エネルギー、仕事,熱量	ジュール	J	N m	$m^2 kg s^2$
仕事率,工率,放射束	ワット	w	J/s	m ² kg s ⁻³
電荷,電気量	クーロン	С		s A
電位差(電圧),起電力	ボルト	V	W/A	$m^2 kg s^{-3} A^{-1}$
静電容量	ファラド	F	C/V	$m^{-2} kg^{-1} s^4 A^2$
電気抵抗	オーム	Ω	V/A	$m^2 kg s^{-3} A^{-2}$
コンダクタンス	ジーメンス	s	A/V	$m^{-2} kg^{-1} s^3 A^2$
磁東	ウエーバ	Wb	Vs	$m^2 kg s^{-2} A^{-1}$
磁束密度	テスラ	Т	Wb/m ²	$kg s^{2} A^{1}$
インダクタンス	ヘンリー	Н	Wb/A	$m^2 kg s^2 A^2$
セルシウス温度	セルシウス度 ^(e)	°C		K
光東	ルーメン	lm	cd sr ^(c)	cd
照度	ルクス	lx	lm/m^2	m ⁻² cd
放射性核種の放射能 ^(f)	ベクレル ^(d)	Bq		s ⁻¹
吸収線量,比エネルギー分与,	グレイ	Gv	J/kg	m ² s ⁻²
カーマ		, and	0.115	
線量当量,周辺線量当量,方向	SUNCE (g)	Sv	J/kg	m ² a ⁻²
性線量当量, 個人線量当量		50	orkg	III 8
酸素活性	カタール	kat		s ⁻¹ mol

(a)SI接頭語は固有の名称と記号を持つ組立単位と組み合わせても使用できる。しかし接頭語を付した単位はもはや

(a)SI接頭語は固有の名称と記号を持つ組立単位と組み合わせても使用できる。しかし接頭語を付した単位はもはや コヒーレントではない。
 (b)ラジアンとステラジアンは数字の1に対する単位の特別な名称で、量についての情報をつたえるために使われる。 実際には、使用する時には記号rad及びsrが用いられるが、習慣として組立単位としての記号である数字の1は明示されない。
 (c)測光学ではステラジアンという名称と記号srを単位の表し方の中に、そのまま維持している。
 (d)ヘルツは周期現象についてのみ、ベクレルは放射性抜種の統計的過程についてのみ使用される。
 (e)セルシウス度はケルビンの特別な名称で、セルシウス温度を表すために使用される。
 (e)セルシウス度はケルビンの特別な名称で、セルシウス温度で表すために使用される。
 (f)数単位を通の大きさは同一である。したがって、温度差や温度問隔を表す数値はとちらの単位で表しても同じである。
 (f)数単性核種の放射能(activity referred to a radionuclide)は、しばしば誤った用語で"radioactivity"と記される。
 (g)単位シーベルト(PV,2002,70,205)についてはCIPM勧告2(CI-2002)を参照。

表4.単位の中に固有の名称と記号を含むSI組立単位の例

	S	I 組立単位	
組立量	名称	記号	SI 基本単位による 表し方
粘质	パスカル秒	Pa s	m ⁻¹ kg s ⁻¹
カのモーメント	ニュートンメートル	N m	$m^2 kg s^2$
表 面 張 九	ニュートン毎メートル	N/m	kg s ⁻²
角 速 度	ラジアン毎秒	rad/s	m m ⁻¹ s ⁻¹ =s ⁻¹
角 加 速 度	ラジアン毎秒毎秒	rad/s^2	$m m^{-1} s^{-2} = s^{-2}$
熱流密度,放射照度	ワット毎平方メートル	W/m ²	kg s ⁻³
熱容量、エントロピー	ジュール毎ケルビン	J/K	$m^2 kg s^{2} K^{1}$
比熱容量, 比エントロピー	ジュール毎キログラム毎ケルビン	J/(kg K)	$m^2 s^{-2} K^{-1}$
比エネルギー	ジュール毎キログラム	J/kg	$m^{2} s^{-2}$
熱伝導率	ワット毎メートル毎ケルビン	W/(m K)	m kg s ⁻³ K ⁻¹
体積エネルギー	ジュール毎立方メートル	J/m ³	m ⁻¹ kg s ⁻²
電界の強さ	ボルト毎メートル	V/m	m kg s ⁻³ A ⁻¹
電 荷 密 度	クーロン毎立方メートル	C/m ³	m ⁻³ sA
表 面 電 荷	クーロン毎平方メートル	C/m ²	m ⁻² sA
電 束 密 度 , 電 気 変 位	クーロン毎平方メートル	C/m^2	m ⁻² sA
誘 電 率	ファラド毎メートル	F/m	$m^{-3} kg^{-1} s^4 A^2$
透 磁 率	ヘンリー毎メートル	H/m	m kg s ⁻² A ⁻²
モルエネルギー	ジュール毎モル	J/mol	$m^2 kg s^2 mol^1$
モルエントロピー,モル熱容量	ジュール毎モル毎ケルビン	J/(mol K)	$m^{2} kg s^{2} K^{1} mol^{1}$
照射線量(X線及びγ線)	クーロン毎キログラム	C/kg	kg ⁻¹ sA
吸収線量率	グレイ毎秒	Gy/s	$m^{2} s^{-3}$
放射 強度	ワット毎ステラジアン	W/sr	$m^4 m^{-2} kg s^{-3} = m^2 kg s^{-3}$
放射輝 度	ワット毎平方メートル毎ステラジアン	$W/(m^2 sr)$	m ² m ⁻² kg s ⁻³ =kg s ⁻³
酵素活性濃度	カタール毎立方メートル	kat/m ³	m ⁻³ s ⁻¹ mol

表 5. SI 接頭語					
乗数	接頭語	記号	乗数	接頭語	記号
10^{24}	э 9	Y	10^{-1}	デシ	d
10^{21}	ゼタ	Z	10^{-2}	センチ	с
10^{18}	エクサ	Е	10^{-3}	ミリ	m
10^{15}	ペタ	Р	10^{-6}	マイクロ	μ
10^{12}	テラ	Т	10^{-9}	ナーノ	n
10^{9}	ギガ	G	10^{-12}	ピョ	р
10^{6}	メガ	М	10^{-15}	フェムト	f
10^{3}	キロ	k	10^{-18}	アト	а
10^{2}	ヘクト	h	10^{-21}	ゼプト	z
10^{1}	デ カ	da	10^{-24}	ヨクト	У

表6.SIに属さないが、SIと併用される単位					
名称	記号	SI 単位による値			
分	min	1 min=60s			
時	h	1h =60 min=3600 s			
日	d	1 d=24 h=86 400 s			
度	۰	1°=(п/180) rad			
分	,	1'=(1/60)°=(п/10800) rad			
秒	"	1"=(1/60)'=(п/648000) rad			
ヘクタール	ha	1ha=1hm ² =10 ⁴ m ²			
リットル	L, 1	1L=11=1dm ³ =10 ³ cm ³ =10 ⁻³ m ³			
トン	t	$1t=10^{3}$ kg			

_

表7.	SIに属さないが、	SIと併用される単位で、	SI単位で
	まとわて粉は	ぶ 中 瞬時 ほう や て そ の	

衣される剱旭が夫厥的に待られるもの				
名称	記号	SI 単位で表される数値		
電子ボルト	eV	1eV=1.602 176 53(14)×10 ⁻¹⁹ J		
ダルトン	Da	1Da=1.660 538 86(28)×10 ⁻²⁷ kg		
統一原子質量単位	u	1u=1 Da		
天 文 単 位	ua	1ua=1.495 978 706 91(6)×10 ¹¹ m		

表8.SIに属さないが、SIと併用されるその他の単位					
	名称		記号	SI 単位で表される数値	
バ	1	ル	bar	1 bar=0.1MPa=100kPa=10 ⁵ Pa	
水銀	柱ミリメー	トル	mmHg	1mmHg=133.322Pa	
オン	グストロー	- 4	Å	1 Å=0.1nm=100pm=10 ⁻¹⁰ m	
海		里	М	1 M=1852m	
バ	-	\sim	b	1 b=100fm ² =(10 ⁻¹² cm)2=10 ⁻²⁸ m ²	
1	ツ	ŀ	kn	1 kn=(1852/3600)m/s	
ネ	-	パ	Np		
ベ		N	В	▶ 51 単位との 叙 値的 な 阕徐 は 、 対 数 量の 定 義 に 依 存.	
デ	ジベ	N	dB -		

表9. 固有の名称をもつCGS組立単位						
名称	記号	SI 単位で表される数値				
エルグ	erg	1 erg=10 ⁻⁷ J				
ダイン	dyn	1 dyn=10 ⁻⁵ N				
ポアズ	Р	1 P=1 dyn s cm ⁻² =0.1Pa s				
ストークス	St	$1 \text{ St} = 1 \text{ cm}^2 \text{ s}^{\cdot 1} = 10^{\cdot 4} \text{ m}^2 \text{ s}^{\cdot 1}$				
スチルブ	$^{\mathrm{sb}}$	$1 \text{ sb} = 1 \text{ cd} \text{ cm}^{-2} = 10^4 \text{ cd} \text{ m}^{-2}$				
フォト	ph	1 ph=1cd sr cm ⁻² 10 ⁴ lx				
ガル	Gal	$1 \text{ Gal} = 1 \text{ cm s}^{-2} = 10^{-2} \text{ ms}^{-2}$				
マクスウェル	Mx	$1 \text{ Mx} = 1 \text{ G cm}^2 = 10^{-8} \text{Wb}$				
ガウス	G	$1 \text{ G} = 1 \text{Mx cm}^{2} = 10^{4} \text{T}$				
エルステッド ^(c)	Oe	1 Oe ≙ (10 ³ /4π)A m ⁻¹				

(c) 3元系のCGS単位系とSIでは直接比較できないため、等号「 ▲ 」 は対応関係を示すものである。

	表10. SIに属さないその他の単位の例					
	3	名利	尓		記号	SI 単位で表される数値
キ	ユ		IJ	ĺ	Ci	1 Ci=3.7×10 ¹⁰ Bq
$\scriptstyle u$	\sim	ŀ	ゲ	\sim	R	$1 \text{ R} = 2.58 \times 10^{-4} \text{C/kg}$
ラ				ド	rad	1 rad=1cGy=10 ⁻² Gy
$\scriptstyle u$				ム	rem	1 rem=1 cSv=10 ⁻² Sv
ガ		$\boldsymbol{\mathcal{V}}$		7	γ	1 γ =1 nT=10-9T
フ	I		N	11		1フェルミ=1 fm=10-15m
メー	- トル	系	カラゞ	ット		1メートル系カラット = 200 mg = 2×10-4kg
ŀ				ル	Torr	1 Torr = (101 325/760) Pa
標	準	大	気	圧	atm	1 atm = 101 325 Pa
力			IJ	ļ	cal	1cal=4.1858J(「15℃」カロリー), 4.1868J (「IT」カロリー)4.184J(「熱化学」カロリー)
Ξ	ク			ン	μ	$1 \mu = 1 \mu m = 10^{-6} m$

この印刷物は再生紙を使用しています