GETFLOWS 検証例題データセット集 GETFLOWS V&V CATEGORY-I

Geosphere Environmental Technology, Corp.

@Copyright ,2023

GEOSHPERE ENVIRONMENTAL TECHNOLOGY CORP,

ALL RIGHTS RESERVED.

内容

1	はじめ		1
2	GETFL	OWS V&V テストケースについて	2
3	地表流	h	
C-I-1	1 1次	元定常開水路流れ	
C-	I-1.1	概要	3
C-	I-1.2	テストケース	3
C-	I-1.3	解析モデル	3
C-	I-1.4	解析条件	4
C-	I-1.5	結果	5
C-	I-1.6	誤差評価	5
C-	I-1.7	検証対象機能(チェックシート)	6
C-I-2	2 米国	地質調査所 USGS 公開コード FourPt とのベンチマーク計算	7
C-	I-2.1	概要	7
C-	I-2.2	テストケース	7
C-	I-2.3	解析モデル	
C-	I-2.4	解析条件	
C-	I-2.5	結果	9
C-	I-2.6	誤差評価	10
C-	I-2.7	検証対象機能(チェックシート)	11
4	飽和・	不飽和地下水流れ(水・空気2相流れ)	
C-I-3	3 1次	元飽和地下水流れ	
C-	I-3.1	概要	12
C-	I-3.2	テストケース	12
C-	I-3.3	解析モデル	13
C-	I-3.4	解析条件	14
C-	I-3.5	結果	14
C-	I-3.6	誤差評価	15
C-	I-3.7	検証対象機能(チェックシート)	16
C-I-4	1 室内]変水位試験	
C-	I-4.1	概要	17
C-	I-4.2	テストケース	17
C-	I-4.3	解析モデル	
C-	I-4.4	解析条件	

C-I-4.5	結果	19
C-I-4.6	誤差評価	20
C-I-4.7	検証対象機能(チェックシート)	21
C-I-5 揚水	<試験	22
C-I-5.1	概要	22
C-I-5.2	テストケース	22
C-I-5.3	解析モデル	23
C-I-5.4	解析条件	24
C-I-5.5	結果	25
C-I-5.6	誤差評価	26
C-I-5.7	検証対象機能(チェックシート)	27
C-I-6 潮位	立変動問題(水頭拡散問題)	28
C-I-6.1	概要	28
C-I-6.2	テストケース	28
C-I-6.3	解析モデル	29
C-I-6.4	解析条件	29
C-I-6.5	結果	31
C-I-6.6	誤差評価	33
C-I-6.7	検証対象機能(チェックシート)	34
C-I-7 不能	回和地盤の毛管圧帯	35
C-I-7.1	概要	35
C-I-7.2	テストケース	35
C-I-7.3	解析モデル	36
C-I-7.4	解析条件	36
C-I-7.5	結果	37
C-I-7.6	誤差評価	38
C-I-7.7	検証対象機能(チェックシート)	39
C-I-8 多相	目流解析コード TOUGH2 とのベンチマーク計算	40
C-I-8.1	概要	40
C-I-8.2	テストケース	40
C-I-8.3	解析モデル	41
C-I-8.4	解析条件	41
C-I-8.5	結果	42
C-I-8.6	誤差評価	44
C-I-8.7	検証対象機能(チェックシート)	46

表目次

表	1	格子モデルの諸元 (C-I-1)
表	2	流体物性(C-I-1)4
表	3	地層物性(C-I-1)
表	4	解析結果と理論値との比較(C-I-1)5
表	5	解析結果と理論値の誤差(C-I-1)5
表	6	格子モデルの諸元 (C-I-2)
表	7	流体物性(C-I-2)8
表	8	地層物性(C-I-2)
表	9	GETFLOWS と FourPt の誤差 (C-I-2)10
表	10	格子モデルの諸元(C-I-3)13
表	11	流体物性(C-I-3)14
表	12	地層物性(C-I-3)14
表	13	ケース設定(C-I-3)14
表	14	各ケースの解析結果と理論解との比較(C-I-3)14
表	15	水平モデルでの誤差(C-I-3)15
表	16	鉛直モデルでの誤差(C-I-3)15
表	17	格子モデルの諸元(C-I-4)18
表	18	流体物性(C-I-4)18
表	19	地層物性(C-I-4)19
表	20	ケース設定(C-I-4)19
表	21	各ケースにおける誤差(C-I-4)20
表	22	格子モデルの諸元(C-I-5)24
表	23	流体物性(C-I-5)24
表	24	地層物性(C-I-5)24
表	25	20.5 日後の揚水井からの距離と圧力での誤差(C-I-5)
表	26	39.6 m 地点での圧力経時変化での誤差(C-I-5)
表	27	格子モデルの諸元(C-I-6)29
表	28	流体物性(C-I-6)29
表	29	地層物性(C-I-6)
表	30	潮位変動条件(C-I-6)
表	31	海岸からの距離と水位の関係による誤差(C-I-6)
表	32	任意地点の水位応答による誤差(C-I-6)33
表	33	格子モデルの諸元(C-I-7)36
表	34	流体物性(C-I-7)

表 35	地層物性(C-I-7)	37
表 36	解析結果と理論値の誤差(C-I-7)	38
表 37	格子モデルの諸元(C-I-8)	41
表 38	流体物性(C-I-8)	41
表 39	地層物性(C-I-8)	42
表 40	解析結果の誤差(C-I-8)	45

図目次

义	1	対象とする矩形断面開水路(C-I-1)
义	2	格子モデル図 (C-I-1)
义	3	C-I-1の検証対象機能(チェックシート)
义	4	対象とする矩形断面開水路(C-I-2)7
义	5	GETFLOWS と FourPt の解析結果比較(C-I-2)9
义	6	C-I-2の検証対象機能(チェックシート)11
义	7	対象とする1次元多孔質媒体(C-I-3)12
义	8	水平方向浸透流を対象とした格子モデル図(C-I-3)13
义	9	鉛直方向浸透流を対象とした格子モデル図(C-I-3)13
义	10	C-I-3の検証対象機能(チェックシート)16
义	11	変水位試験系の概念図(C-I-4)17
义	12	格子モデル図(C-I-4)18
义	13	解析結果と理論解の比較(C-I-4, Case1)19
义	14	解析結果と理論解の比較(C-I-4, Case2)
义	15	解析結果と理論解の比較(C-I-4, Case3)
义	16	C-I-4 の検証対象機能(チェックシート)
义	17	水平被圧帯水層からの揚水の概念図(C-I-5)22
义	18	格子モデル図 (C-I-5)
义	19	非定常解析における解析結果と理論解の比較(C-I-5, 20.5 日後の揚水井からの
	跙	離と圧力)
义	20	非定常解析における解析結果と理論解の比較(C-I-5, 39.6m地点での圧力経時
	変	(化)
义	21	C-I-5 の検証対象機能(チェックシート)
义	22	潮位変動による帯水層中の水頭拡散の概念(C-I-6)
义	23	格子モデル図(C-I-6)29
义	24	海岸からの距離と水位の関係による解析結果と理論解との比較(C-I-6) 31
义	25	任意地点の水位応答による解析結果と理論解との比較(C-I-6)
义	26	C-I-6の検証対象機能(チェックシート)34
义	27	格子モデル図(C-I-7)36
义	28	相対浸透率曲線および毛細管圧力曲線(C-I-7)37
义	29	解析結果と理論値の比較(C-I-7)37
义	30	C-I-7の検証対象機能(チェックシート)
汊	31	解析対象とする不均質地盤系(C-I-8)40
义	32	格子モデル図(C-I-8)41

図 33	相対浸透率曲線と毛細管圧力曲線(C-I-8)	42
図 34	飽和率分布による解析結果の比較(C-I-8)	43
図 35	圧力と飽和率の時間変化による解析結果の比較(C-I-8)	44
図 36	C-I-8 の検証対象機能(チェックシート)	46

1 はじめに

GETFLOWS (General purpose Terrestrial fluid-FLOW Simulator) は、陸域における流体流動、物質及び熱輸 送挙動を解析する 3 次元汎用数値シミュレータです。本シミュレータは、等温、非等温状態における多相 多成分流体システムを対象とし、実験室スケールから流域スケールの 3 次元問題を安定かつ高速に解くこ とが可能です。また、独自の地表水・地下水連成解析手法を採用し、従来困難であった河川水の伏没や地 下水の湧水等の相互交換挙動を解析する点に特徴をもち、気象条件や人間活動等の地上条件の変化が地下 流体に与える影響、トンネル掘削や地下構造物の建設等の地下条件の変化が地上流体へ与える影響を一体 化し、実用精度の解析評価を行うことが可能です。

GETFLOWSの適用分野は、一般的な地下水解析、河川流出解析、洪水・はん濫解析、地表水・地下水の 相互作用解析、汚染物質を含む移流分散解析、油層解析、熱解析など多岐にわたります。このような多様 な解析を行うにあたって、頻繁に使われる典型的な問題のための例題集のようなものがあれば、これを入 カテンプレートとして活用することができます。解析者は、一部の入力データを修正するのみで目的とす る解析を迅速に行うことができます。私たちはテンプレートとなるデータセット集をできるだけ充実させ、 ご提供したいと考えております。

その最初の試みとして、これまでに GETFLOWS の開発・保守作業を通じて用意されたテストケースの 中から、その一部をデータセット集として取りまとめました。GETFLOWS は、継続的にシミュレータの正 確性や機能性等を診断するための V&V (Verification & Validation) が実施されています。本資料は、この V&V で設定されたテストケースのうち、水、空気 2 相流解析の標準的問題を例に GETFLOWS のサンプル データセットを提供するものです。なお、本資料作成に用いた GETFLOWS のバージョンは、GETFLOWS Ver.7.2023JAN4 なります。

2 GETFLOWS V&V テストケースについて

GETFLOWS の品質保証プログラムの一環として進められている V&V¹では、テストケースを以下の3つの CATEGORY に分類しています。

CATEGORY-I-0:解析種別によらない共通機能の検証及びコードの基本特性の把握 CATEGORY-I-1:解析種別に応じたシミュレータ機能の検証 (Verification) CATEGORY-I-2:シミュレータに搭載されているモデルとデータの確証 (Validation)

本データセット集では、このうちの CATEGORY-1 に含まれる一部のテストケースについて、理論解との 比較や他コードとのベンチマーク計算に用いた検証例題を収録しました。また、各テストケースの主な検 討対象を示したチェックシートを添付しています。

現時点では、GETFLOWSの最も基本的な解析機能である水・空気2相流解析を中心にデータセットを取りまとめています。これらは、いずれも規模の小さい単純系を対象としたものですが、今後、流域スケールの実務的なテンプレートや CATEGORY-I-2 の確証の中で実施されたテストケースを収録してゆく予定です。

¹ Verification (検証)は、「独立なベンチマーク問題を解き、コードの機能上、操作上の特性を評価し、また、組込まれたアルゴリズムや内部のデータ処理をテストすることによって、その設計規準に対するコードの一貫性、完全性、正確性を提示すること」と定義されます。Validation (確証)は、「実システムの挙動を記述するコードの理論的基礎とモデリングが如何に妥当であるかを、独立に観測された地下水システムの応答と計算結果との比較を通じて決定するプロセス」と定義されます。両者の違いは、前者が不確実性を排除した閉じた系を対象とし、後者は実システムの不確実性を含む開いた系を対象とする点にあります(田原康博、山下紘司ほか:水・物質循環を解析する汎用数値シミュレータの V&V(検証と確証)、日本地下水学会 2010 年春季講演会講演要旨より)

3 地表流れ

C-I-1 1 次元定常開水路流れ

C-I-1.1 概要

テスト分類:	■理論解	ロベンチマーク	□試験データ	
流体系:	■等温	□非等温		
	■水	■ガス(空気)	□NAPL	□化学種成分
解析種別:	水・空気2相流解析	斤		
次元:	■1 次元	□2 次元	□3 次元	
入力リスト名:	ci11.dat			
出典文献:	登坂博行(2007): 地圏水循環の数理, 86-89, 東京大学出版会			

C-I-1.2 テストケース

幅W[m],長さL[m],傾斜角θ[-],水深h[m]の矩形断面内の一次元開水路流れを対象とする(図1)。水路両端は水位固定境界とし,定常状態における流量Q[m³/s]を理論解と比較する。水路内の平均流速は,次に示すマニングの平均流速公式により求める。

 $v = \frac{R^{2/3}}{n} \cdot \sqrt{\sin \theta}$ $R = \frac{Wh}{W+2h}$

ここで, v は平均流速 [m/s], R は径深 [m], n は等価粗度係数 [m^{-1/3}s]である。



図 1 対象とする矩形断面開水路(C-I-1)

C-I-1.3 解析モデル

水路長 100 [m]を1 [m]の格子幅に分割した。水路両端には境界条件を与える格子をそれぞれ加えた。水路を表す格子は第2層とし、第1層および第3層は、それぞれ大気圧条件、および不浸透条件を与える層とした。格子数は(水路100分割+水路両端の境界条件格子2)×3層の全306格子となった。構築した格子モデルを図2に示す。



図 2 格子モデル図 (C-I-1)

	記号	単位	設定値
格子数	NNBLK	[-]	306
X 方向分割数	NX	[-]	102
Y 方向分割数	NY	[-]	1
Z方向分割数	NZ	[-]	3
流路幅	W	[m]	100.0
流路高	Н	[m]	0.10
流路長	L	[m]	100
水深	h	[m]	0.10

表 1 格子モデルの諸元 (C-I-1)

C-I-1.4 解析条件

表 2 流体物性(C-I-1)

	記号	単位	設定値
水相密度	$ ho_{w}$	[kg/m ³]	998.2
水相圧縮率	C_{f}	[1/Pa]	0
水相粘性係数	μ	[Pa•s]	0.001
水相粘性増加率	C_{μ}	[1/Pa]	0

表 3 地層物性(C-I-1)

	記号 単位	친미	出任		設定値	
		第1層	第2層	第3層		
密度	ρ	[kg/m ³]	2500	2500	2500	
間隙率	φ	[-]	1.0×10^{30}	1.0	1.0	
等価粗度係数	n	$[m^{-1/3}s]$	-	0.03	-	

C-I-1.5 結果

表 4 解析結果と理論値との比較(C-I-1)

	流量 [m ³ /s]
理論解	2.2679501
GETFLOWS	2.2679486

C-I-1.6 誤差評価

誤差評価は RMSE(平均二乗平方根誤差)で行った。理論解を T,GETFLOWS の数値解を A とすると,RMSE は次式で表わされる。

$RMSE = \sqrt{(T - A)^2}$

表 5 解析結果と理論値の誤差(C-I-1)

RMSE [m ³ /s]	
1.46×10^{-6}	

C-I-1.7 検証対象機能(チェックシート)

流体システム	地下流体流動	物質輸送	熱輸送	数値解法・ソルバー	出力
広化担化 正人生 〒-1:水相 〒-2:気相 「-3:非水相液体(NAPL) 流体特性 ■F-3:北皮 ■F-4:密度 ■F-5:粘皮 ■F-6:三力体存性 □F-7:温度依存性 □F-7:二次正 □R-7:※ □R-7:※ □R-7:ジェシーの式 □R-7:ジェシーの式 □R-7:ジェシーの式 □R-6:マングの式 □R-7:ジェシーの式 □R-6:マングの式 □R-1:運動が延近似 □R-1:運動が延近似 □R-1:運動が近し似 □R-14: 近部とのamitWave □R-12:貯留関数法 □R-13:客シクモデル □R-14:公布型モデル ■R-14:読券牧 □R-15:陸雨時間変化 □R-17:積雪融融置 □R-17:積雪時酸置 □R-18:陸和時間 □R-21:桂生 □R-22:桂生 □R-22:桂生<		IDX.tmix2 保存的輸送過程 IT-1: 格流 IT-2: 機械的分散 IT-3: 分子試散 IT-4: 多成分系 1日:4: 多成分系 1日:5: 公子:該該 IT-5: 吸着(気相成分一固相) IT-5: 吸着(気相成分一固相) IT-7: 脱着(固相一夜相成分) IT-8: 脱着(回相一夜相成分) IT-8: 脱着(回相-一夜相成分) IT-8: 脱着(回相-一夜相成分) IT-10: 凝縮 IT-11: 線形(遅延効果) IT-11: 線形(遅延効果) IT-12: ラングミュア IT-12: ラングミュア IT-13: フロイントリッヒ IT-14: 速度論的吸着 11: 15: イオン交換 IT-16: 置操(力加水分解 IT-16: 活解(気相成分一水相) IT-18: 溶解(気相成分一水相) IT-18: 溶解(気相成分一水相) IT-18: 溶解(気相成分一水相) IT-19: 溶解(個和成分一水相) IT-19: 溶解(個和成分一水相) IT-19: 溶解(IDA IT-10: 試験 IT-21: 酸化/ 還元 IT-22: 砂水目摘 IT-22: 砂水目摘 IT-23: 場本形成 IT-24: 微生物分解 IT-25: 成射性崩壊 IT-26: 0次反応 IT-27: 1次反応 IT-27: 1次反応 IT-28: 2次反応応 IT-29: 連鎖反応 MB論法/5/5メーク IT-30: 7.1 以際率 >分散長 IT-31: 等方性 IT-31: 等方性 IT-32: 三次元異方性 IT-33: 三次元異方性 IT-33: 三次元異方性 IT-33: 三次元異方性 IT-39: 多成分 > 遅延係数 IT-40: 均質 IT-43: 反応速度定数 IT-41: 本均質 IT-43: 反応速度定数 IT-41: 本均質 IT-43: 完添成 IT-41: 時間 IT-43: 濃度正人 IT-47: 時間可要流量, 濃度正人		XMERTAX Spetial orientation N-1 - 次元水平 N-2: -次元裕直 N-3: 三次元放射状 ON-5: 三次元放射状 ON-7: 三次元成制 ON-13: 局所高解像度格子(LGR) J-14: 一次元撮影 ON-15: 二次元三角形 ON-16: 二次元三角形 ON-17: 二次元満曲三角形 ON-17: 二次元満曲三角形 ON-17: 二次元満曲回辺形 ON-21: 二次元満市曲回辺形 ON-22: 二次元声角形 ON-21: 二次元満市曲四辺形 ON-22: 二次元声角形 ON-22: 二次元市本 ON-21: 二次元満市 ON-22: 二次元市本 ON-22: 二次元市本 ON-21: 二次元満本 ON-22: 二次元市本 ON-22: 二次元市本 ON-23: 局所高度後述 ON-24: 三次元市本 ON-25: 三次元市本 ON-27: 三次元市本 ON-28: 青原	エコーバック ● 0-1: 入力値のエコー 計算結果出力(形式) ● 0-2: バイナリ形式 ● 0-3: ASCI形式 ● 0-4: 空間分布 ● 0-5: 時系列 ● 0-6: 直接画面表示(テキスト) □ 0-7: 直接画面表示(グラフ) □ 0-8: 画像ファイル 計算結果出力(種類) ■ 0-9: 正力 □ 0-1: ボランシャル ● 0-1: 読和率 □ 0-1: ボランシャル ● 0-1: 読和率変化量 □ 0-1: ボラックス □ 0-1: 読予助フラックス □ 0-1: 読券数フラックス □ 0-1: 読券数フラックス □ 0-1: 読録画の変化量 □ 0-1: 読録 □ 0-2: 読録 □ 0-2: 読録 □ 0-2: 読録 □ 0-2: 反復計算誤 □ 0-2: ② □ 0-2: ③ □ 0-2: □ □ 0-2: □ □ 0-2: □ □ 0-2: □ □ 0-2: □ □ 0-2: □ □ 0-2: □ □ 0-2: □ □ 0-2:
		□T-49: 線源(浸透溝) □T-50: 水平面源(飼育場,埋立地) □T-51: 植物吸収	□ D-11: 応力依存型浸透率 □ D-12: 地盤圧縮率 □ D-13: 圧密係数		

図 3 C-I-1の検証対象機能(チェックシート)

C-I-2 米国地質調査所 USGS 公開コード FourPt とのベンチマーク計算

C-I-2.1 概要				
テスト分類:	□理論解	■ベンチマーク	□試験データ	
流体系:	■等温	□非等温		
	■水	■ガス(空気)	□NAPL	□化学種成分
解析種別:	水・空気2相流解	沂		
次元:	■1 次元	□2 次元	□3 次元	
入力リスト名:	ci12.dat			
出典文献:	Lewis L. DeLong, D	David B. Thompson, ar	nd Jonathan K. Lee: T	he Computer Program
	FourPt (Version 95.	01), A Model for Sim	ulating One-Dimensio	onal, Unsteady, Open-
	Channel Flow, U.S.	Geological Survey, Wa	ter-Resources Investig	ations Report 97-4016

C-I-2.2 テストケース

概要

本テストケースは、米国 USGS の公開コード FourPt²とのベンチマーク計算である。1 次元開水路の上流 端に任意の流量変化を与えたときの流出量変化を解析する。図 4に示すように,開水路は長さ100,000 [m], 幅 100 [m], 水路勾配 0.001 [-]を対象とし, 上流端より Pete's Hydorograph と呼ばれる流量変化を与える。 FourPt コードでは、ダイナミックウェーブ法 (Dynamic Wave), 拡散波近似 (Diffusion Wave) を用いる。 GETFLOWS は、拡散波近似と線形化拡散波近似(Linearized Diffusion Wave)を用い、両コードと運動方程 式の近似方法の違いを比較する。



図 4 対象とする矩形断面開水路 (C-I-2)

² FourPt は開水路中の非定常一次元流れを対象とし、枝分かれした水路等を扱うことができる。非定常開 水路流れの運動方程式に対しては、拡散波(Diffusion Wave)、運動波(Kinematic Wave)及びダイナミックウ ェーブ(Dynamic Wave)の3パターンを考慮することができる。また、液相の密度変化についても考慮す ることができる。非線形解法には Newton 法, 行列の求解法は Gauss の消去法を用いる。境界条件は流 量,水位,水位勾配により,水路横断面の形状は長方形,台形または4つの点から定義される不規則形状 である。

C-I-2.3 解析モデル

	記号	単位	設定値		
格子数	NNBLK	[-]	303		
X 方向分割数	NX	[-]	101		
Y 方向分割数	NY	[-]	1		
Z方向分割数	NZ	[-]	3		
流路幅	W	[m]	100		
流路高	Н	[m]	100		
流路長	L	[m]	100,000		
初期水深	h	[m]	1.5		

表 6 格子モデルの諸元 (C-I-2)

C-I-2.4 解析条件

表 7 流体物性(C-I-2)

	記号	単位	設定値
水相密度	$\rho_{\rm w}$	[kg/m ³]	998.2
水相圧縮率	C_{f}	[1/Pa]	0
水相粘性係数	μ	[Pa · s]	0.001
水相粘性増加率	C_{μ}	[1/Pa]	0

表 8 地層物性(C-I-2)

	記号	単位	第1層	第2層	第3層
密度	ρ	[kg/m ³]	2500	2500	2500
間隙率	φ	[-]	1.0×10 ³⁰	1.0	1.0
等価粗度係数	n	$[m^{-1/3}s]$	-	0.026	-

C-I-2.5

結果





C-I-2.6 誤差評価

誤差評価は RMSE(平均二乗平方根誤差)で行った。データ数を N, FourPt の数値解を T_i(i=1...N), GETFLOWS の数値解を A_i(i=1...N)とすると RMSE は次式で表わされる。

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{N}\sum_{i}(T_{i} - A_{i})^{2}}$$

上流端からの	水位の RMSE [m]			
距離 [km]	FourPt (Dynamic Wave)	FourPt (Diffusion Wave)		
0.5	0.0701	0.0566		
10.5	0.0772	0.0850		
30.5	0.1545	0.1740		
50.5	0.2386	0.2366		

表 9 GETFLOWS と FourPtの誤差 (C-I-2)

上流端からの	流量の RMSE [m ³ /s]				
距離 [km]	FourPt (Dynamic Wave)	FourPt (Diffusion Wave)			
0.5	31.35	31.29			
10.5	31.76	33.29			
30.5	50.03	52.07			
50.5	80.07	74.38			

C-I-2.7 検証対象機能(チェックシート)

流体システム	地下流体流動	物質輸送	熱輸送	数値解法・ソルバー	出力
<u>流体相</u>	<u>流動特性</u>	<u></u> <u>保存的輸送過程</u>	<u>熱輸送過程</u>	Spatial orientation	<u>エコーバック</u>
■F-1: 水相			□H-1:移流	■N-1: 一次元水平	■0-1:入力値のエコー
■ F-2: 元相 □ F-3: 非水相液体(NAPI)	□G-2:1172	□ 1-2:	□H-2: 熟伝導 □H-3· 熱分散	□N→2: 一次元鉛直	 計算結果出力(形式)
	□G-4:水蒸気	□ T-4: 多成分系	□H-4: 固相一液相間熱拡散	□N-4:二次元鉛直	■ 0-2: バイナリ形式
流体特性	□G-5:塩水(密度流)	相間物質移動	□H-5:放射	□N-5:二次元放射状	■O-3: ASCII形式
■F-4: 密度 ■F-5· 粘度	□G-6:ダルシー流れ	□T-5 : 吸着(気相成分→固相)	□H-6:相変化	□N-6: 完全三次元 □N-7: 三次元□箇形	┃ ■0-4: 空間分布 ■0-5:時系列
□F-6: 圧力依存性		□T-6:吸着(液相成分→固相)			■0-6:直接画面表示(テキスト)
□F-7:温度依存性	水文地質学的媒体特性	□ T-7 : 脱者(固相気相成分) □ T-9 · 昭善(因相			0-7:直接画面表示(グラフ)
□F-8: 超臨界状態			熱輸送パラメータ		□0-8:画像ファイル
	□ G-10:二重孔隙モデル	□T-10:凝縮		□N=9 : 離散1になし ■N=10: 等間隔グリッド	 計算結果出力(種類)
地表水流動	口G-11:均質水力学特性	<u>吸着式</u>	□H-10:等方性	□N-11: 可変間隔グリッド	■0-9:圧力
	□G-12: 不均質水力学特性	> 平衡等温吸着	□H-11: 異方性	□N-12: 可動グリッド (焼きの声和学)	■0-10:ポテンシャル
流動特性	口G-14、地盤圧縮性	□ T=11: 線形(遅延効果) □ T=12: ラングミュア	日日-12: 均貝 日日-13: 不均質	「DN-13・局所高解像度格子(IGR)	□□□1: 胞和学
□R-1:等流	口G-15: 膨潤	DT-13: フロイントリッヒ	▶ 固相熱伝導率		□ □ □ □ □ □ □ □ □ □ □ □ □ □ □ □ □ □ □
■R-2: 不守流 ■R-3: 不定流	□G-16: 収縮	□T-14:速度論的吸着	□H-14:均質	グリッド形状	■0-14:格子間フラックス
□R-4:浸透	□G-1/: 傾斜地層 □G-18: 複数種地層	化学反応	□H-15: 个均貨	□N-14: 一次元線形 □N-15: 一次元曲線	□0−15: 浸透ノフツクス □0−16: 蒸発数フラックス
□R-5: 湧出		ロT-15: イオン交換	Sink/Source	□N-16: 二次元三角形	□0-17:境界面フラックス
開水路流れ	<u>媒体パラメータ</u>	□T-16: 直換/加水分解 □T-17, 溶解(复相成分→水相)	≻ 点源(井戸)	□N-17:二次元湾曲三角形	■O-18: 流速
➤ 平均流速公式	□G-19: 孔隙率	□T-18:溶解(非水相成分→水相)	□ H-16: 定流量・定温度圧入		□0-19: 流線・流跡線(画像)
■ R-6:マニングの式	□G-22: 浸透率(透水係数)	□T-19:溶解(固相成分→水相)	□ H-18: 地下水揚水		
□R-7:ジェシーの式 ≥ 運動方程式解決	□G-23:浸透率変化	□T-20: 沈殿 □T-21: 梵化 /==	□H-19:線源	□N-21:二次元湾曲四辺形	<u>計算情報出力</u>
□ R-8 : Dynamic Wave	□G-24: 圧縮率	□ 1-21: 酸化 / 遠元 □ T-22: 酸・塩基反応	□H-20:水平面源	□N-22: 二次元多角形	■O-21: 反復計算の進捗
□ R-9 : 拡散波近似	□G-25: 残留即和半 ▶ 飼和座 vs 毛管圧力(サクション)	□T-23: 錯体形成		□N-23: 二次元円同形 □N-24·三次元立方体	■0-22: 反復計算誤差 □0-23· 質量収支誤差
■ R-10:線形化拡散波近似	ロG-26:モデル選択	□T-24: 微生物分解	土砂輸送	□N-25: 三次元直方体	口O-24: CPU時間
	□ G-27:表形式入力(任意の関数)	□1-25: 放射性崩壊		■N-26: 三次元六面体	□ 0-25:割り当てメモリ量
<u>流出モデル</u>	□ G-28: ヒステリンス ▶ 約和率 vo 相対浸添率(不約和添水	反応形式	<u>土砂輸送過程</u>	□ □ N - 27: 二次元四面体	
□R-12: 貯留関数法	係数)	□T-26:0次反応 □T-27:1次反応			
□R-13: タンクモテル ■R-14: 分布型モデル	□G-29:モデル選択	□T-28: 2次反応	□S-3:斜面崩壊	数值解法	
	□ G-30: 表形式入力(任意の関数)	□T-29: 連鎖反応	□S-4: 地形変化	□N-29: 有限差分法 ■N-20, 巷公刑方阻差公法	
	□G-32: 三相相対浸透率モデル	物質輸送パラメータ	□S→: 地形孤散	□N-31: 有限要素法	
□R-15: 降雨分布 □R-16: 降雨時間変化		□T-30: 孔隙率	土砂輸送パラメータ	□N-32: 粒子追跡法	
□R-17:積雪•融雪	流動関連過程	▶ 万取長 □ T-31 · 等方性	□S-6: 粒径分布		
□R-18:蒸発散	□G-33: 地衣小皮透 □G-34: 蒸発散	□ T-32: 二次元異方性	□S-7: 粒子密度 □S-8: 従順化係数	□N-33: 陽解法	
□R-19: 海水位変化 □R-20: 土地利田	□G-35:毛管帯形成	□ T-33: 三次元異方性		■N-34:完全陰解法	
□R-21:植生	Sinh Cauna	□ T-34: 均質 □ T-35: 不均質		□N-35: Crank-Nicholson法	
□R-22: 樹冠遮断	Sink/Source > 点源(井戸)	□ T-36: スケール依存性	亦形	Time Stepping Scheme	
□R-23: リター遮断	□G-36:定流量	≻ 拡散係数		■N-36:固定タイムステップ	
地表流パラメータ	□G-37:可変流量	□ 1-3/: 均貨	<u>変形過程</u>	□N-37:オートタイムステップ	
■R-24:等価粗度係数	□G-38: 定庄 □G-39: 井戸損失	□ T-39: 多成分	▶ 一次元	非線形解法	
1 工 排 法 施	□ G-40: グリッド —半径補正	▶ 遅延係数		□N-38: Picardの逐次反復法	
□R-25:水門・樋門・樋管	□ G-41 : Well-bore storage	□ T-40: 均質 □ T-41: 不均質	□□-3:媒体膨張	■N-39: Newton-Raphson法	
□R-26:堰	□ G-42: 多層仕上げ > 線酒	□T-42: 屈曲度	▶ 二次元	マトリックスソルバー	
□R-27:ダム □R-20: 東北浸添施派	□ G-43: 定流量	□T-43:反応速度定数	□□□-4:鉛直	■N-40:反復法	
□R-29:人工涵養施設	□G-44:可変流量	□T-44: Henry定数 □T-45: 半減期	□ D-6: 三次元	□N-41:直接法	
	□ G-45:定圧	山1-45:干減期	□ D-7:流体連成	□ □ N -42: 逐次陽化手法(SLP)	
		SinkSource 医	□ D-8: 温度・流体連成 □ D-9: 弾性変形		-
		 「二〇〇〇〇〇〇〇〇〇〇〇〇〇〇〇〇〇〇〇〇〇〇〇〇〇〇〇〇〇〇〇〇〇〇〇〇	□ D→10:非弾性変形		
		ロ T-47:時間可変流量・濃度圧入			
		□ T-48: 地下水揚水	<u>変形パラメータ</u> □ □ □ 1 · 広力佐方刑浸添率		
		□ □ □ □ □ □ □ □ □ □ □ □ □ □ □ □ □ □ □	□ D-12: 地盤圧縮率		
		□T-51:植物吸収	□ D-13: 圧密係数		

図 6 C-I-2の検証対象機能(チェックシート)

4 飽和・不飽和地下水流れ(水・空気2相流れ)

C-I-3 1次元飽和地下水流れ

C-I-3.1 概要

テスト分類:	■理論解	ロベンチマーク	□試験データ	
流体系:	■等温	□非等温		
	■水	■ガス(空気)	□NAPL	□化学種成分
解析種別:	水・空気2相流解	折		
次元:	■1 次元	□2 次元	□3 次元	
入力リスト名:	ci13.dat			
出典文献:	登坂博行(2007): 地	圏水循環の数理,130)-132 , 東京大学出版	

C-I-3.2 テストケース

本テストケースは、断面積 A[m²]、長さ L[m]の一次元多孔質媒体中の浸透流に関するものである。カラ ムの両端は圧力固定境界とし、媒体中の動水勾配を一定とした時の定常状態における流量 Q [m³/s]を求め る。圧力差と媒体の絶対浸透率の組み合わせで 5 ケースを設定する。また、流動方向に関して、水平方向 と鉛直方向のそれぞれについて計算を行い、理論解と比較する。



図 7 対象とする1次元多孔質媒体(C-I-3)

C-I-3.3 解析モデル



図 8 水平方向浸透流を対象とした格子モデル図(C-I-3)



図 9 鉛直方向浸透流を対象とした格子モデル図(C-I-3)

	記号	単位	水平	鉛直
格子数	NNBLK	[-]	48	15
X 方向分割数	NX	[-]	12	1
Y 方向分割数	NY	[-]	1	1
Z方向分割数	NZ	[-]	4	15
カラム長	L	[m]	1	0
断面積	А	[m ²]	-	1
重力加速度	g	[m/s ²]	9.80)665

表 10 格子モデルの諸元 (C-I-3)

C-I-3.4 解析条件

	記号	単位	設定値			
水相密度	$ ho_{w}$	[kg/m ³]	998.2			
水相圧縮率	C_{f}	[1/Pa]	0			
水相粘性係数	μ	[Pa · s]	1.002×10 ⁻³			
水相粘性増加率	C_{μ}	[1/Pa]	0			

表 11 流体物性(C-I-3)

表 12 地層物性(C-I-3)

	記号	単位	Atmosphere	Surface	Permeable Stratum	Impervious Stratum	Upstream Downstream
密度	ρ	[kg/m ³]	2500	2500	2500	2500	2500
間隙率	φ	[-]	1.0×10^{30}	1.0×10^{30}	0.4	1.0×10^{30}	1.0×10^{30}
浸透率	K	[m ²]	9.87×10 ³⁴	9.87×10 ³⁴	表 13 参照	0	9.87×10 ³⁴
圧縮率	Cr	[1/Pa]	0	0	0	0	0

表 13 ケース設定 (C-I-3)

	記号	単位	Case1	Case2	Case3	Case4	Case5
			Case6	Case7	Case8	Case9	Case10
圧力差	P1-P2	[MPa]	9.80665×10 ⁻²	4.903325×10 ⁻²	1.96133×10 ⁻¹	9.80665×10 ⁻²	9.80665×10 ⁻²
絶対浸透率	K	[m ²]	1.0×10 ⁻¹²	1.0×10 ⁻¹²	1.0×10 ⁻¹²	1.0×10 ⁻¹⁵	1.0×10 ⁻⁹

C-I-3.5 結果

表 14 各ケースの解析結果と理論解との比較(C-I-3)

水平モデル	単位	Case1	Case2	Case3	Case4	Case5
理論解	[m ³ /day]	8.4560×10 ⁻¹	4.2280×10 ⁻¹	1.6912	8.4560×10 ⁻⁴	8.4560×10 ²
GETFLOWS	[m ³ /day]	8.4560×10 ⁻¹	4.2280×10 ⁻¹	1.6912	8.4560×10 ⁻⁴	8.4560×10 ²

鉛直モデル	単位	Case6	Case7	Case8	Case9	Case10
理論解	[m ³ /day]	1.7741	1.3513	2.6197	1.7741×10 ⁻³	1.7741×10^{3}
GETFLOWS	[m ³ /day]	1.7741	1.3513	2.6197	1.7741×10 ⁻³	1.7741×10^{3}

C-I-3.6 誤差評価

誤差評価は RMSE(平均二乗平方根誤差)で行った。理論解を T,GETFLOWS の数値解を A とすると、 RMSE は次式で表わされる。

 $RMSE = \sqrt{(T - A)^2}$

表 15 水平モデルでの誤差 (C-I-3)

	RMSE [m ³ /day]
Case1	0.000
Case2	0.000
Case3	0.000
Case4	0.000
Case5	0.000

表 16 鉛度モケルでの誤去 (C-

	RMSE [m ³ /day]
Case6	0.000
Case7	0.000
Case8	0.000
Case9	0.000
Case10	0.000

C-I-3.7 検証対象機能(チェックシート)

流体システム	地下流体流動	物質輸送	熱輸送	数値解法・ソルバー	出力
<u>流休相</u> ■F-1: 水相 □F-2: 気相 □F-3: 非水相液体(NAPL) <u>流体特性</u> ■F-4: 密度 ■F-5: 粘度 □F-6: 正力依存性 □F-7: 温度依存性 □F-7: 温度依存性 □F-6: 起臨界状態	<u>流動特性</u> ■G-1:単相流 G-2:二相流 □G-3:多相流 □G-5:多相流 □G-5:塩水(密度流) ■G-6:ダルシー流れ □G-7:非ダルシー流れ <u>x文地質学的媒体特性</u> ■G-8:多孔質媒体 ■G-9:離散的フラクチャー	保存的輸送過程 □T-1: 移流 □T-2: 機械的分散 □T-3: 分子拡散 □T-4: 多成分系 相間物質移動 □T-5: 吸着(気相成分一固相) □T-6: 吸着(気相成分一固相) □T-7: 脱着(固相-気相成分) □T-9: 揮発	熱輸送過程 日H-1:移流 H-2:熟伝導 日-3:熱分散 日-4: 固相一液相間熱拡散 日-5: 放射 日-6: 相変化 日-7: 相間熱交換 日-8: 熱生成 熟金送パラメータ 日-9: 孔隙率	Spatial orientation ■N-1: -次元水平 ■N-2: -次元沿直 □N-3: 二次元沿面 □N-4: 二次元鉛面 □N-5: 二次元於明 □N-6: 完全三次元 □N-7: 三次元以前状 □N-8: 三次元以前状 □N-9: 三次元以前状 □N-9: 建数元内前形 □N-9: 離散化 □N-9: 離散化なし	<u>エコーパック</u> ■ 0-1:入力値のエコー <u>計算結果出力(形式)</u> ■ 0-2:パイナリ形式 ■ 0-3: ASCI形式 ■ 0-4:空間分布 ■ 0-5:時系列 ■ 0-6: 直接画面表示(テキスト) □ 0-7: 直接画面表示(グラフ) □ 0-8:画像ファイル
地表水流動 流動结性 R-1:等流 R-2:不等流 R-3:不定流 R-4:浸透 R-7:ジェングの式 R-7:ジェッングの式 R-7:ジョンジングの式 R-7:ジェッングの式 R-7:ジョンジンジン(R-13: タンクモデル R-14: 分布型モデル R-7: 読み散 R-8: 際局分布 R-7: 読み散 R-7: 読み数 R-7: 読み R-8: 「日 R-7: 「メー R-7: 「シン R-2: 小別温遮斯 R-2: 「ア・ R-2: 「ア・	□G-9: 離散的フラクチャー □G-10: 二重孔腺モデル ■G-11: 均質水力学特性 □G-13: 異方的水力学特性 □G-13: 異方的水力学特性 □G-14: 地盤圧縮性 □G-15: 膨潤 □G-16: 収縮 □G-17: 傾斜地層 □G-18: 複数種地層 <u>度体パラメータ</u> ■G-19: 孔腺率変化 □G-21: 孔腺率変化 □G-22: 浸透率(透水係数) □G-23: 浸透率(透水係数) □G-23: 浸透率(透水係数) □G-24: 仁縮率 □G-25: 残留飽和率 > 飽和率vs.档対浸透率(不飽和透水 (G-26: モデル選択 □G-26: モデル選択 □G-27: 表形式入力(任意の関数) □G-28: ヒステリシス > 飽和率 vs.相対浸透率(不飽和透水 係数) □G-29: モデル選択 □G-30: 表形式入力(任意の関数) □G-31: ヒステリシス ○ 飽和率 vs.相対浸透率(不飽和透水 係数) □G-32: 三相相対浸透率モデル <u>赤動間違過程</u> □G-33: 地表水浸透 □G-34: 蒸発散 □G-35: 毛管幣形成 SinkSource > 点源(井戸) □G-36: 定流量 □G-37: 可変流量 □G-37: 可変流量 □G-38: 定圧 □G-39: 非戸損失 □G-41: Ø1ッド→半径補正 □G-42: 多層仕上げ > 縁源 □G-45: 定圧	 □ T-10: 液縮 ○ 小像等温吸着 ○ 小像等温吸着 □ T-11: 線形(遅延効果) □ T-12: ラングミュア □ T-13: フィノン リッヒ □ T-16: 二方ングミュア □ T-16: 二方ングミュア □ T-16: 二方ン交換 □ T-17: 溶解(ショル和成分一水相) □ T-19: 溶解(ショル和成分一水相) □ T-19: 溶解(ショル和成分一水相) □ T-19: 溶解(ショル和成分一水相) □ T-20: 沈服 □ T-21: 該次に □ T-22: 酸化 上還元 □ T-22: 酸化 上還元 □ T-22: 酸化 上還元 □ T-22: 酸化 上還元 □ T-22: 酸水 加成分一水相) □ T-22: 酸化 上還元 □ T-24: 微生物分解 □ T-25: 放射性 崩壊 ○ 広形式 □ T-26: ○次反応 □ T-29: 連鎖反応 物質 鶴道 バラス - 本 □ T-30: 孔隙率 > > 分散長 □ T-31: 常方性 □ T-32: 二次元異方性 □ T-32: 二次元異方性 □ T-33: 三次元異方性 □ T-34: 均質 □ T-35: 不均質 □ T-36: 不均質 □ T-37: 均質 □ T-38: 多成分 > 遅延係数 □ T-41: 不均質 □ T-42: 屈曲度 □ T-42: 屈曲度 □ T-43: 二次元 □ T-44: Henv定数 □ T-45: 洋減期 ○ Sind= 定流量 ・定濃度圧入 □ T-47: 時間 可変流量 ・濃度圧入 	□ H-9: 1/08 [±] > 約分数係数 □ H-10: 等方性 □ H-11: 異方性 □ H-12: 均質 □ H-13: 不均質 > 回相影伝導率 □ H-14: 均質 □ H-15: 不均質 > 点源(井戸) □ H-16: 完流量・定温度圧入 □ H-18: 地下水揚水 □ H-18: 地下水揚水 □ H-18: 地下水揚水 □ H-19: 線源 □ H-20: 水平面源 □ H-19: 線源 □ H-20: 水平面源 □ H-19: 線源 □ H-20: 水平面源 □ H-20: 水平面源 □ H-38 □ S-5: 約3月 ○ S-6: 約3月 □ S-5: 地形拡散 □ S-5: 地形拡散 ① S-5: 約459 □ S-5: 地形拡散 □ D-7: 粒盤沈下 □ D-7: 二、地盤沈下 □ D-7: 二、水平面 □ D-7: 二、水平正 □ D-10: 非弾性変形 □ D-10: 非弾性変形	 ■N-9: 離散化なし ■N-10: 等間隔グリッド ■N-11: 可変間隔グリッド (節点の再配置) ■N-13: 局所高解像度格子(LGR) グリッド (市点の再配置) ■N-13: 局所高解像度格子(LGR) グリッド (下点の再配置) ■N-13: 局所高解像度格子(LGR) グリッド (下点の再配置) ■N-13: 元次元線形 ■N-16: 二次元三角形 ■N-17: 二次元清曲三角形 ■N-18: 二次元長方形 ■N-19: 二次元元方形 ■N-20: 二次元三角形 ■N-21: 二次元清曲四辺形 ■N-22: 二次元多角形 ■N-23: 二次元二方体 ■N-23: 二次元二方体 ■N-23: 二次元二方体 ■N-24: 三次元立方体 ■N-25: 三次元直方体 ■N-26: 三次元立方体 ■N-27: 三次元元面体 ■N-28: 三次元式本 ■N-29: 有限差分法 ■N-31: 有限要素法 ■N-32: 粒子追踪法 <u>時間諸数化</u> ■N-32: 粒子追踪法 <u>時間諸数化</u> ■N-34: 完全陰解法 ■N-35: Crank-Nicholson法 <u>Ime Steoping Scheme</u> ■N-36: 国定タイムステッブ <u>非続彩電法</u> ■N-37: オートタイムステッブ <u>非続彩電法</u> ■N-38: Picardの逐次反復法 ■N-39: Newton-Raphson法 マトリックスソレバー ■N-40: 反復法 =N-41: 直接法 =N-42: 遂次陽化手法(SLP)	<u>計算結果出力(理範)</u> ○0-0: 圧力 ○0-1: 飽和率 ○0-1: 飽和率変化量 ○0-1: 飽和中変化量 ○0-4: 格子間フラックス ○0-6: 蒸発散フラックス ○0-6: 蒸発散フラックス ○0-7: 境界面フラックス ○0-8: 流速 ○0-9: 洗線・洗跡線(画像) ○0-20: 物質収支 <u>計算情報出力</u> ○0-21: 反復計算誤差 ○0-22: 反復計算誤差 ○0-23: 質量収支誤差 ○0-23: 罰り当てメモリ量
		□ T-47:時間可変流量・濃度圧入 □ T-48:地下水場水 □ T-49:線源(浸透溝) □ T-50:水平面源(飼育場,埋立地) □ T-51:植物吸収	<u>変形パラメータ</u> □ D-11: 応力依存型浸透率 □ D-12: 地盤圧縮率 □ D-13: 圧密係数		

図 10 C-I-3の検証対象機能(チェックシート)

C-I-4 室内変水位試験

概更

C-I-4.1	概要				
テスト分類:		■理論解	ロベンチマーク	□試験データ	
流体系:		■等温	□非等温		
		■水	■ガス(空気)	□NAPL	□化学種成分
解析種別:		水・空気2相流解れ	斤		
次元:		■1 次元	□2 次元	□3 次元	
入力リスト名:		ci14.dat			
出典文献:		登坂博行(2007): 地	圏水循環の数理, 142	,東京大学出版会	

C-I-4.2 テストケース

断面積 A[m²],長さ L[m]の試料の変水位試験系を対象とし、ある初期水頭差与えた際の変水位の経時変 化を求め、理論解と比較する。流出側は標大気圧条件で定圧境界とする。



図 11 変水位試験系の概念図 (C-I-4)

変水位試験系の水頭差h[m]の経時変化の理論解は次式によって与えられる。

$$\ln h = -\frac{kA}{aL}t + \ln h_o$$

ここで, k は透水係数 [m/s], A は試料断面積 [m²], L はカラム長 [m], a はカラム上部の管面積 [m²], hoは初期水頭差 [m]である。

C-I-4.3 解析モデル



図 12 格子モデル図 (C-I-4)

	記号	単位	設定値
格子数	NNBLK	[-]	13
X 方向分割数	NX	[-]	1
Y 方向分割数	NY	[-]	1
Z方向分割数	NZ	[-]	13
カラム長	L	[m]	1.05
試料断面積	А	[m ²]	1
管断面積	а	[m ²]	1
重力加速度	g	[m/s ²]	9.80665

表 17 格子モデルの諸元 (C-I-4)

C-I-4.4 解析条件

表 18 流体物性(C-I-4)

	記号	単位	設定値
水相密度	$\rho_{\rm w}$	[kg/m ³]	998.2
水相圧縮率	C_{f}	[1/Pa]	0
水相粘性係数	μ	[Pa · s]	1.002×10 ⁻³
水相粘性増加率	C_{μ}	[1/Pa]	0

	記号	単位	Atmosphere	Surface	Permeable Stratum	Downstream
密度	ρ	[kg/m ³]	2500	2500	2500	2500
間隙率	φ	[-]	1.0×10^{30}	1.0×10^{30}	0.3	1.0×10 ³⁰
絶対浸透率	K	[m ²]	9.87×10 ³⁴	9.87×10 ³⁴	1.00×10 ⁻¹²	1.00×10 ⁻¹²
圧縮率	Cr	[1/Pa]	0	0	0	0

表 19 地層物性(C-I-4)

表 20 ケース設定 (C-I-4)

	記号	単位	Case1	Case2	Case3
初期水頭差	ho	[m]	2.05	11.05	1.15





図 13 解析結果と理論解の比較(C-I-4, Case1)



図 15 解析結果と理論解の比較(C-I-4, Case3)

C-I-4.6 誤差評価

誤差評価は RMSE(平均二乗平方根誤差)で行った。データ数を N,理論解を T_i (i=1...N), GETFLOWS の数値解を A_i (i=1...N)とすると RMSE は次式で表わされる。

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{N}\sum_{i}(T_i - A_i)^2}$$

	初期水頭差 [m]	比較期間 [day]	水位の RMSE [m]
Case1	2.05	0.8	8.6902×10^{-4}
Case2	11.05	2.25	2.4384×10 ⁻²
Case3	1.15	0.058	2.4797×10^{-5}

表 21 各ケースにおける誤差(C-I-4)

C-I-4.7 検証対象機能(チェックシート)

流体システム	地下流体流動	物質輸送	熱輸送	数値解法・ソルバー	出力
流体却 画子:水相 F-2:気相 「子3:非水相液体(NAPL) 流体指型 ●F4:密度 ●F5:粘度 ●F4:密度 ●F4:空で、粘度 ●F5:差臨界状態 地表水流動 血目:日本: ●F6:差臨界状態 地表水流動 ●F6:差臨界状態 地表水流動 ●F6:差臨界状態 地表水流動 ●F6:美強品 ●F6:美強品 ●F7:等流 ●F7:等流 ●F8: ●F8: ●F8: ●F8: ●F8: ●F8: ●F8: ●F7: ●F8: ●F8: ●F8: ●F8: ●F8: ●F8:	地下流体流動 <u> 市動特性</u> G-1: 単相流 G-2: 二相流 G-3: 多相流 G-3: 多相流 G-6: 水蒸気 G-6: 生水蒸気 G-6: 生水、蒸気 G-6: 「小心一流れ <u> 水文地質学的媒体特性</u> G-6: 多孔賀媒体 G-9: 連載散的フラクチャー G-10: 二重孔酸モデル G-11: 均質水力学特性 G-12: 不均質水力学特性 G-13: 異方的水力学特性 G-14: 地盤圧縮性 G-15: 膨潤 G-15: 膨潤 G-16: 収縮 G-17: 傾斜地層 G-18: 複数種地層 <u> 媒体パラメータ</u> G-0: 孔隙率率の化	物質輸送 <u>保存的輸送過程</u> □T-1: 移流 □T-2: 機械的分散 □T-3: 分子拡散 □T-4: 多成分系 <u>相間物質移動</u> □T-5: 吸着(気相成分一固相) □T-6: 吸着(気相成分一固相) □T-7: 脱着(固相一気相成分) □T-8: 脱着(固相一気相成分) □T-8: 脱着(固相一成相成分) □T-8: 脱着(固相一成相成分) □T-9: 凝縮 <u>吸着式</u> > 平衡等温吸着 □T-10: 凝縮 <u>吸着式</u> > 平衡等温吸着 □T-11: 線形(遅延効果) □T-12: ラングミュア □T-13: フロイントリッヒ □T-14: 速度論的吸着 <u>化学反応</u> □T-15: イオン交換 □T-17: 溶解(気相成分一水相) □T-17: 溶解(気相成分-水相)	熱輸送 熱輸送過程 日十:約流 日4:約 日4:約 日4:1 日4:1 四日,3 日4:1 四日,3 日4:1 四日,3 日4:1 四日,7 日日,1 四日,1 四日,1 四日,2 日日,1 夏方性 日-11: 日-11: 四日,11: 四日,11: 四日,11: 四日,11: 四日,11: 四日,11: 四日,11: 四日,11: 四日,12: 四日,12: 四日,13: 田H,12: 四日,13: 四日,14: 四日,12:	数値解法・ソルバー Soatal orientation N-1: -次元松車 N-2: -次元鉛直 N-3: 二次元松車 N-4: 二次元鉛直 N-5: 二次元放射状 N-6: 完全三次元 N-7: 三次元放射状 N-7: 三次元放射状 Sender State N-7: 三次元前勝形 N-1: 可数可以ッド N-1: 可数可以ッド N-1: 可数可以ッド N-1: 可数可以ッド N-1: 可数可以のよ (節点の再配置) N-13: 局所高解像度格子(LGR) グリッド形は N-14: 一次元線形 N-15: 二次元三額形 N-16: 二次元三方部 N-16: 二次元三方部 N-17: 二次元清細胞 N-16: 二次元三方部 N-17: 二次元清細胞	出力
 → 平均流速公式 □ R-6: マニングの式 □ R-7: ジェシーの式 □ 国方程式解法 □ R-8: DynamicWave □ R-9: 拡散波近似 □ R-10: 線形化拡散波近似 □ R-10: 線形化拡散波近似 □ R-11: 運動波近似 □ R-12: 貯冒関数法 □ R-13: タンクモデル □ R-13: タンクモデル □ R-14: 分布型モデル □ R-14: 公布型モデル □ R-16: 降雨時間変化 □ R-17: 積雪・融雪 □ R-16: 落発散 □ R-19: 満水位変化 □ R-21: 補生 □ R-22: 梯辺遮断 □ R-23: リター遮断 □ R-23: リター遮断 □ R-23: リター遮断 □ ア	 G-9: 10座半 G-21: 入阪車変化 G-22: 浸透車変化 G-24: 浸透車変化 G-25: 浸透電和車 G-25: 浸留箇和車 (カーマン) G-26: モデル選択 G-27: 表形式入力(任意の関数) G-26: ヒステリシス か 鮑和車 vs.相対浸透車(不飽和透水係数) G-20: モデル選択 G-20: モデル選択 G-20: モデル選択 G-20: モデル選択 G-20: モデル選択 G-30: 表形式入力(任意の関数) G-31: ヒステリシス G-32: 三相相対浸透車モデル 流動間連過程 G-31: 地表水浸透 G-32: 三智相対浸透車モデル 流動間連過程 G-31: 地表水浸透 G-32: 三智帯形成 Sink.Source > 点源(井戸) □ G-36: 定流量 □ G-37: 可容差異 	□ T-18: 溶解(非水相成分→水相) □ T-19: 溶解(非水相成分→水相) □ T-19: 溶解(固相成分→水相) □ T-20: 沈殿 □ T-21: 酸化/還元 □ T-22: 酸・塩基反応 □ T-22: 酸・塩基反応 □ T-23: 蜡体形成 □ T-24: 微生物分解 □ T-26: 0次反応 □ T-27: 1次反応 □ T-26: 0次反応 □ T-27: 1次反応 □ T-28: 2次反応 □ T-29: 連鎖反応 物質輸送パラメータ □ T-30: 孔隙率 > 分散長 □ T-31: 等方性 □ T-32: 二次元異方性 □ T-32: 二次元異方性 □ T-32: 二次元異方性 □ T-33: 三次元異方性 □ T-36: スケール依存性 > 拡散係数 □ T-37: 均質	□ H→6: 定派達, 定温度圧入 □ H→7: 時間可変流量, 温度圧入 □ H→18: 地下水揚水 □ H→19: 線源 □ H→20: 水平面源 □ H→20: 水平面源 □ H→20: 水平面源 □ S→1: 掃流砂 □ S→2: 浮遊砂 □ S→3: 斜面崩壊 □ S→1: 掃流砂 □ S→3: 斜面崩壊 □ S→1: 地形変化 □ S→5: 地形拡散 <u>+ 砂輪送/(ラ → - 久</u> □ S→1: 粒形変化 □ S→1: 粒子密度 □ S→1: 従順化係数 □ S→1: 従順化係数	□N→8: →次元長方形 □N→8: →次元五方形 □N-20: 二次元二方形 □N-21: 二次元湾曲四辺形 □N-22: 二次元多角形 □N-23: 二次元内筒形 □N-23: 二次元可有本 □N-25: 三次元直方体 □N-25: 三次元直方体 □N-26: 三次元六面体 □N-28: 三次元球形 <u>数値程法</u> □N-29: 有限差分法 □N-29: 有限差分法 □N-30: 積分型有限差分法 □N-31: 有限要素法 □N-32: 粒子追跡法 <u>時間離散化</u> □N-33: 陽解法 □N-35: Crank-Nicholson法 <u>Time Steoping Scheme</u> □N-96: 固定タイムステップ ■N-96: 固定タイムステップ	□ 0-9: 流緑: 流跡緑(画像) □ 0-20: 物質収支 <u>計算情報出力</u> ■ 0-21: 反復計算の進捗 ■ 0-22: 反復計算誤差 □ 0-23: 気量収支誤差 □ 0-24: CPU時間 □ 0-25: 割り当てメモリ量
<u>地表流パラメータ</u> R-24:等価相度係数 <u>人工程25</u> R-25:水門・樋門・樋管 R-26:堰 R-27:ダム R-22:雨水浸透施設 R-29:人工涵養施設	□ G-37: 可変流量 ■ G-38: 定圧 □ G-39: 井戸損失 □ G-40: グリッド平径補正 □ G-41: Wellbore storage □ G-42: 多層仕上げ > 線源 □ G-43: 定流量 □ G-43: 定流量 □ G-45: 定圧	□ 1-3 /: 約員 □ T-38 : 不均質 □ T-39 : 多成分 > 遅延係数 □ T-40 :: 均質 □ T-41 :: 不均質 □ T-42 :: 屈由度 □ T-43 : 反応速度定数 □ T-43 : 反応速度定数 □ T-45 : 半減期 <u>SinkSource</u> > 点源(井戸) □ T-46 : 定流量・定濃度圧入 □ T-47 : 時間可変流量・濃度圧入 □ T-48 : 地下×振水 □ T-49 : 線源(浸透溝) □ T-50 : 水平面源(飼育場,埋立地) □ T-51 : 植物吸収	<u>変形過程</u> → 次元 □ D -1: 地盤沈下 □ D -2: 圧密 □ D -3: 媒体膨張 シ ニ次元 □ D -4: 鉛直 □ D -4: 鉛直 □ D -4: 鉛直 □ D -4: 鉛直 □ D -4: 二次元 □ D -4: 三次元 □ D -4: 三次元 □ D -4: 二次元 □ D -9: 弾性変形 □ D -9: 弾性変形 □ D -9: 非弾性変形 <u>変形パラメータ</u> □ D -11: 応力依存型浸透率 □ D -12: 地盤圧縮率 □ D -13: 圧密係数	■N-37:オートタイムステップ <u>非結形幅法</u> ■N-36: Picardの逐次反復法 ■N-39: Newton-Raphson法 マトリックスソルバー ■N-40: 反復法 ■N-41: 直接法 □N-42: 逐次陽化手法(SLP)	

図 16 C-I-4の検証対象機能(チェックシート)

C-I-5 揚水試験

C-I-5.1	概要				
テスト分類:		□理論解	ロベンチマーク	■試験データ	
流体系:		■等温	□非等温		
		■水	■ガス(空気)	□NAPL	□化学種成分
解析種別:		水・空気2相流解	斤		
次元:		□1 次元	□2 次元	■3 次元	
入力リスト名	:	ci15.dat			
出典文献:		登坂博行(2007): 地	圏水循環の数理,218	-226, 東京大学出版会	

C-I-5.2 テストケース

飽和した厚さ H [m]の一様な被圧帯水層を想定し、一定流量 Q [m³/s]で揚水した際の非定常状態の圧力 P [Pa]を求め、数値解と比較する。非定常水位の理論解では流体圧縮性が考慮されているので、計算もそれに 準じた。



図 17 水平被圧帯水層からの揚水の概念図(C-I-5)

非定常状態における、任意の時間における任意の地点での圧力の理論解は次式で表される。

$$P_i - P(t, r) = \frac{QB\mu}{2\pi KH} P_D[t_D, r_D]$$
$$P_D[t_D, r_D] = -\frac{1}{2} E_i(-\frac{r_D^2}{4t_D})$$
$$t_D = \frac{Kt}{\varphi \mu C_t r_w}, r_D = \frac{r}{r_w}$$

ここで,

$$E_i(-x) = -\int_x^\infty \frac{e^{-u}}{u} du = \ln(x) - \frac{x}{1!} + \frac{x^2}{2 \cdot 2!} - \frac{x^3}{3 \cdot 3!} + \cdots$$

Piは初期圧力 [Pa], Bは容積係数 [-], tは時間 [s], φは間隙率 [-], Ctは合算圧縮率 [1/Pa], rwは坑井半 径 [m]である。



	記号	単位	設定値
格子数	NNBLK	[-]	132,613
X 方向分割数	NX	[-]	101
Y 方向分割数	NY	[-]	101
Z方向分割数	NZ	[-]	13
重力加速度	g	[m/s ²]	9.80665
層の厚さ	Н	[m]	10
揚水量	Q	[m ³ /s]	1.736×10 ⁻⁴
坑井半径	rw	[m]	0.01
影響半径	re	[m]	10000
初期圧力	Pi	[MPa]	0.106372
影響半径圧力	P 0	[MPa]	0.106372

表 22 格子モデルの諸元 (C-I-5)

C-I-5.4 解析条件

表 23 流体物性(C-I-5)

	記号	単位	設定値
水相密度	$\rho_{\rm w}$	[kg/m ³]	998.2
水相圧縮率	C_{f}	[1/Pa]	4.59×10 ⁻¹⁰
水相粘性係数	μ	[Pa • s]	1.002×10 ⁻³
水相粘性増加率	C_{μ}	[1/Pa]	0

表 24 地層物性(C-I-5)

	記号	単位	Atmosphere	Surface	Underground	Impervious Stratum	Boundary
密度	ρ	[kg/m ³]	2500	2500	2500	2500	2500
間隙率	φ	[-]	1.0×10^{30}	1	0.5	0	1.0×10 ³⁰
浸透率	K	[m ²]	9.87×10 ⁻⁶	9.87×10 ⁻⁶	1.0×10 ⁻¹²	0	1.0×10 ⁻¹²
圧縮率	Cr	[1/Pa]	4.59×10 ⁻¹⁰				



C-I-5.5

結果

図 19 非定常解析における解析結果と理論解の比較(C-I-5, 20.5 日後の揚水井からの距離と圧力)



図 20 非定常解析における解析結果と理論解の比較(C-I-5, 39.6 m 地点での圧力経時変化)

C-I-5.6 誤差評価

誤差評価は RMSE(平均二乗平方根誤差)で行った。データ数を N,理論解を T_i (i=1...N), GETFLOWS の数値解を A_i (i=1...N)とすると RMSE は次式で表わされる。

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{N}\sum_{i}(T_i - A_i)^2}$$

表 25 20.5 日後の揚水井からの距離と圧力での誤差(C-I-5)

時間 [day]	距離 [m]	RMSE [MPa]
20.5	0~1000	5.59331×10 ⁻³

表 26 39.6 m 地点での圧力経時変化での誤差 (C-I-5)

時間 [day]	距離 [m]	RMSE [MPa]
0~100	39.6	8.22956×10 ⁻⁴

C-I-5.7 検証対象機能(チェックシート)

流体システム	地下流体流動	物質輸送	熱輸送	数値解法・ソルバー	出力
<u>流体相</u>				Spatial orientation	<u></u> <u></u>
■F-1: 水相	■G-1:単相流	□T-1:移流	□H-1:移流	□N-1: 一次元水平	■0-1:入力値のエコー
□F-2: 気相	□ G-2: 二相流	□T-2: 機械的分散	□H-2:熱伝導	□N-2: 一次元鉛直	
□F-3:非水相液体(NAPL)		□T-3:分子拡散			
流体特性	□G-5・塩水(密度流)	山1~4: 多风分茶	□ □ □ □ -4: 回相一波相间恐拡散 □ □ □ -5·放射	□N-4: — 次元鉛直 □N-5: □ 次元放射状	■0-2:ハイナリ形式 ■0-3:ASCII形式
■ F-4:密度	■G-6:ダルシー流れ	相間物質移動	□H-6:相変化	■N-6:完全三次元	■0-4:空間分布
■F-5:粘度	ロG-7:非ダルシー流れ	□ T-5 : 吸着(気相成分→固相)	□H-7:相間熱交換	□N-7: 三次元円筒形	■O-5:時系列
■F-6: 圧力依存性		□ T-7 · 脱着(周相→気相成分)	□H-8:熱生成	□N-8:三次元放射状	■O-6: 直接画面表示(テキスト)
	<u>水文地質学的媒体特性</u>	□T-8 : 脱着(固相一液相成分)	あた、そパニュ ケ	の思めせん	□0-7: 直接画面表示(グラフ)
山下る. 道師非代感	■Gつ : 多九貝妹14 □ G-9 · 離散的フラクチャー	□T-9 : 揮発		<u> </u>	
	□G-10: 二重孔隙モデル	□T-10:凝縮		ロN-10: 等間隔グリッド	↓ 計算結果出力(種類)
地表水流動	■G-11:均質水力学特性	<u>吸着式</u>	□H-10: 等方性	■N-11:可変間隔グリッド	■0-9 : 圧力
-04247496240	□G-12: 不均質水力学特性	▶ 平衡等温吸着	□H-11: 異方性	□N-12: 可動グリッド	■0-10:ポテンシャル
流動特性		□T-11:線形(遅延効果)			■0-11: 飽和率
□R-1: 等流	■G-14: 地盛圧縮性		□ H=13: 不均負 ▶ 固相執伝導率	山NH3: 向所高解像度格于(LGR)	□□□□□2: 圧刀変化重 □□□□13: 鉤和座変化量
	□G-16: 収縮	□ □ □ □ □ □ □ □ □ □ □ □ □ □ □ □ □ □ □	□H-14:均質	グリッド 形状	■0-14:格子間フラックス
	□G-17: 傾斜地層		□H-15:不均質	□N-14:一次元線形	ロロ-15:浸透フラックス
□R-5: 湧出	□G-18:複数種地層	<u>16イル心</u> □T-15・イオン交換		□N-15: 一次元曲線	□0-16: 蒸発散フラックス
		□T-16:置換/加水分解	Sink/Source 医占须(共同)	□N→16:次元三角形 □N→17: □次元 ☆曲三角形	⊔∪⊣/: 現芥面フラックス
開水路流れ	■G-19: 孔隙率	□T-17:溶解(気相成分→水相)	/ □ H→16: 定流量・定温度圧入	□ □ □ □ · · · - < 元/5 □ 二 円 // □ N -18: 二次元長方形	■0-19: 流線・流跡線(画像)
	□G-21: 孔隙率変化	□T-18:溶解(非水相成分→水相)	□H-17:時間可変流量・温度圧入	□N-19:二次元正方形	□ □ □ □ □ □ □ □ □ □ □ □ □ □ □ □ □ □ □
ロローマンジェシーの式	■G-22:浸透率(透水係数)	□T-19: 溶解(固相成分→水相)	□H-18: 地下水揚水	□N-20:二次元四辺形	
▶ 運動方程式解法	□G-23: 浸透率変化	□1-20. 元版 □1-21: 酸化/還元		□N-21: 二次元湾曲四辺形	
□ R-8 : DynamicWave	■G-24: 上稻平 □G-25: 建羽鉤和來	ロT-22: 酸・塩基反応		□N-22: 二次元多用形 □N-23: 二次元田筒形	■0-21: 反復計算の進捗 ■0-22: 反復計管調美
□ R-9 : 拡散波近似	▶ 飽和率 vs.毛管圧力(サクション)	□T-23: 錯体形成			□0-23: 質量収支誤差
□ R=10: 線形化払散波近似 □ R=11: 運動波近似	□ G-26: モデル選択	□T-24: 微生物分解	土砂輸送	□N-25:三次元直方体	□O-24: CPU時間
	□ G-27:表形式入力(任意の関数)	山1-25: 放射性崩壊		■N-26: 三次元六面体	□ 0-25:割り当てメモリ量
流出モデル	□G-28:ヒステリシス > 約55	反応形式	土砂輸送過程		
□R-12: 貯留関数法	▶ 胞相坐 VS.相对皮透坐(不飽相透水 係数)	□T-26:0次反応 □T-97:1次反応	□ S-1: 掃流砂 □ S-2, 浮游功	山下之8: 三次元球形	
□R-13:タンクモデル □R-14:八左刑エデル	□ G-29: モデル選択	□1-27.1次反心 □T-28·2次反応	□ 3-2. <i>丹班</i> 砂 □ S-3. 斜面崩撞	数值解法	
ロR-14: 万布型モデル	 □ G-30:表形式入力(任意の関数) 	□T-29: 連鎖反応	□S-4:地形変化	□N-29: 有限差分法	
陸面特性	□ G-31: ヒステリシス	物質給洋パラメータ	□S-5: 地形拡散	■N-30:積分型有限差分法	
□R-15:降雨分布	□G-32: 三相相対浸透率モテル	□T-30: 孔隙率		│ □N→31: 有限要素法 □N→22: 粒子追跡法	
□R-16:降雨時間変化	流動関連過程	▶ 分散長			
□R-1/: 積雪・離雪	□G-33: 地表水浸透	□ T-31: 等方性		時間離散化	
□R-19: 海水位変化	□G-34:蒸発散		□S-8:従順化係数	□N-33:陽解法	
□R-20:土地利用	□G-35: 毛管帯形成	□ 1~33. 二次九英方任 □ T-34. 均質		」 ■N-34: 完全陰解法	
□R-21:植生	Sink/Source	□ T-35: 不均質		LIN 55. Grank-Micholson/Z	
□ R-22: 樹冠遮断	▶ 点源(井戸)	ロT-36:スケール依存性	変形	Time Stepping Scheme	
	■ G-36: 定流量	▶ 拡散係数		□N-36:固定タイムステップ	
地表流パラメータ	□ □ □ □ □ □ □ □ □ □ □ □ □ □ □ □ □ □ □	□ T-38: 不均質	変形過程	│ ┃ ■N−37:オートタイムステップ	
□R-24: 等価粗度係数	□ G-30: 定圧 □ G-39: 井戸損失	□ T-39: 多成分		↓ 非線形解法	
1 丁株) 牛物	■ G-40: グリッド半径補正	▶ 遅延係数		□N-38: Picardの逐次反復法	
<u>∧ 上価 戸初</u> □ R-25 水門・樋門・樋管	□ G-41 : Well-bore storage	□ T-40: 均質	□□□-3:媒体膨張	■N-39: Newton-Raphson法	
□R-26: 堰	■ G-42:多層仕上げ	□ □ □ 1 → 1 : 个均頁 □ T → 4 2 · 屈曲度	▶ 二次元		
□R-27:ダム	/ 稼源 □ G-43・定流量	□T-43:反応速度定数	□ D-4:鉛直	<u>マトリックスソルハー</u> ■N-40・反復法	
□ R-28: 雨水浸透施設	□ G-44: 可変流量	□T-44: Henry定数		│ □N-41:直接法	
□ ℝ-29: 人工泅套施設	□ G-45:定圧	□T-45: 半減期	□ D -7:流体連成	□N-42:逐次陽化手法(SLP)	
L		Sink/Source	□ D-8:温度·流体連成	L	
			□ D-9:弾性変形		
		□ T-46: 定流量・定濃度圧入	□ □ □ □ : 非弾性変形		
		□ 1 ⁻⁴ /: 时间可変流量• 辰度庄入 □ T-48: 地下水揚水	変形パラメータ		
		□T-49:線源(浸透溝)	□ D-11: 応力依存型浸透率		
		□T-50:水平面源(飼育場,埋立地)	□ D-12: 地盤圧縮率		
		□[-51: 稙物吸収	凵 凵 凵 3: 辻密係釵	1	

図 21 C-I-5の検証対象機能(チェックシート)

C-I-6 潮位変動問題(水頭拡散問題)

概要

C - I - 6.1

テスト分類:	■理論解	ロベンチマーク	□試験データ	
流体系:	■等温	□非等温		
	■水	■ガス(空気)	□NAPL	□化学種成分
解析種別:	水・空気2相流解	折		
次元:	□1 次元	■2 次元	□3 次元	
入力リスト名:	ci16.dat			
出典文献:	土木学会(1999): 水	、理公式集, 350-351.		

C-I-6.2 テストケース

周期的に変動する水面(潮汐運動を行う海域など)に隣接する被圧帯水層の水位応答を求め,理論解と比較する。水面変動に対する被圧帯水層内の水位応答の理論解は以下の式で表される。

h

$$\begin{aligned} \varsigma_i(t, x) &= a \cdot \exp(-mx)\cos(\sigma t - mx) + \sigma \\ \sigma &= 2\pi/T \\ m &= \sqrt{\sigma S/(2kb)} \\ S &= \rho_w g \phi b(C_f + C_r) \end{aligned}$$

ここで, a は潮位振幅 [m], x は海岸部からの距離 [m], t は時間 [s], T は周期 [s], S は貯留係数 [-], k は透水係数 [m/s],bは被圧帯水層厚 [m],φは有効間隙率 [-],h は平均海水位 [m],ρwは液相密度 [kg/m³], g は重力加速度 [m/s²], C_f は液相圧縮率 [1/Pa], C_r は地層圧縮率 [1/Pa]である。



図 22 潮位変動による帯水層中の水頭拡散の概念(C-I-6)

C-I-6.3 解析モデル



図 23 格子モデル図 (C-I-6)

	記号	単位	設定値
格子数	NNBLK	[-]	3417
X 方向分割数	NX	[-]	201
Y 方向分割数	NY	[-]	1
Z方向分割数	NZ	[-]	17

表 27 格子モデルの諸元 (C-I-6)

C-I-6.4 解析条件

	記号	単位	設定値
水相密度	$\rho_{\rm W}$	[kg/m ³]	1.0
水相圧縮率	C_{f}	[1/Pa]	4.59×10 ⁻¹⁰
水相粘性係数	μ	[Pa•s]	1.002×10 ⁻³
水相粘性増加率	C_{μ}	[1/Pa]	0

表 28 流体物性(C-I-6)

表 29 地層物性 (C-I-6)

	記号	単位	Aquiclude	Confined Aquifer	Boundary	Sea
密度	ρ	[kg/m ³]	2500	2500	2500	2500
間隙率	φ	[-]	0.2	0.2	1.0×10 ³⁰	1.0×10^{30}
浸透率	K	[m ²]	0	1.0×10 ⁻¹²	9.87×10 ³⁴	9.87×10 ³⁴
圧縮率	Cr	[1/Pa]	1.02×10 ⁻¹⁰	1.02×10 ⁻¹⁰	1.02×10 ⁻¹⁰	1.02×10 ⁻¹⁰

	記号	単位	設定値
初期水位	ho	[m]	-5
潮位振幅	а	[m]	1
周期	Т	[s]	86400
被圧帯水層厚	b	[m]	5
平均海水位	h	[m]	-5

表 30 潮位変動条件 (C-I-6)







図 24 海岸からの距離と水位の関係による解析結果と理論解との比較(C-I-6)



図 25 任意地点の水位応答による解析結果と理論解との比較(C-I-6)

C-I-6.6 誤差評価

誤差評価は RMSE(平均二乗平方根誤差)で行った。データ数を N,理論解を T_i (i=1...N), GETFLOWS の数値解を A_i (i=1...N)とすると RMSE は次式で表わされる。

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{N}\sum_{i}(T_{i} - A_{i})^{2}}$$

表 31 海岸か	らの距離と水位の	の関係による	5誤差(C-I-6)

経過日数 [day]	比較区間 [m]	RMSE [m]
0.5	0~2500	5.019×10 ⁻³
1	0~2500	5.655×10 ⁻³
1.25	0~2500	3.852×10 ⁻³
1.75	0~2500	2.979×10 ⁻³

表 32 任意地点の水位応答による誤差(C-I-6)

地点	比較区間 [day]	RMSE [m]
Point1	0~2	1.193×10 ⁻⁴
Point2	0~2	5.709×10 ⁻³
Point3	0~2	4.378×10 ⁻³

C-I-6.7 検証対象機能(チェックシート)

流体システム	地下流体流動	物質輸送	熱輸送	数値解法・ソルバー	出力
流体相	流動特性	保存的輸送過程	熱輸送過程	Spatial orientation	エコーバック
■F-1: 水相	■G-1: 単相流	□T-1:移流	□H-1:移流	□N-1: 一次元水平	■0-1:入力値のエコー
		□T-2: 機械的分散			
UP3: 非水相液体(NAPL)	□Gつ: 多相派 □G-4·水蒸気	□ □ □ □ □ □ □ □ □ □ □ □ □ □ □ □ □ □ □	□□□□□: 恐刀取 □□-3: 恐刀取	□N-3:次元小平 ■N-4: □次元鉛直	
流体特性	□G-5:塩水(密度流)	日期物質な新	□H-5:放射	□N-5:二次元放射状	■O-3: ASCII形式
■F-4:密度	■G-6:ダルシー流れ	<u>相间初見移動</u> ロT-5 ・吸着(気相成分→周相)	□H-6:相変化	□N-6: 完全三次元	■0-4:空間分布
■F-5: 粘度	□G-7:非ダルシー流れ	□T-6:吸着(液相成分→固相)			■0-5:時系列
■F-7: 温度依存性	水文地質学的媒体特性	□T-7 : 脱着(固相→気相成分)	山田市: 照生成	山N-8: 二次元放射 祆	■0つ: 直接画面表示(アイスト)
□F-8: 超臨界状態	■G-8 : 多孔質媒体	□T-8:脱着(固相→液相成分)	<u>熱輸送パラメータ</u>	空間離散化	□0-8: 画像ファイル
	□G-9 : 離散的フラクチャー		□H-9: 孔隙率	□N-9 : 離散化なし	
	□G-10: 二重孔隙モデル		▶ 熱分散係数	□N-10: 等間隔グリッド	
地表水流動	□G-12·不均質水力学特性	<u> </u>		■N=1: 可変间隔クリット □N=12: 可動グリッド	■0-10・ポテンシャル
(本新)社社	□G-13: 異方的水力学特性	□T-11:線形(遅延効果)	□H-12:均質	(節点の再配置)	■0-11: 飽和率
	■G-14: 地盤圧縮性	ロT-12: ラングミュア	□H-13: 不均質	□N-13:局所高解像度格子(LGR)	□O-12: 圧力変化量
□R-2: 不等流	□G-15: 膨潤	□T-13: フロイントリッヒ	▶ 固相熱伝導率	APTIL IN TRADE	
□R-3: 不定流	□G-15: 収縮 □G-17: 傾斜地層	□1-14: 速度論的吸着	□ H-14: 均頁 □ H-15: 不均質	<u>クリット 形状</u> □N-14·一次元線形	■0-14: 恰士面ノフツクス □0-15:浸透フラックス
□R-4: 浸透 □P-5. 通出	■G-18:複数種地層			□N-15: 一次元曲線	00-16:蒸発散フラックス
		□ □ T-15: イオン交換 □ T-16: 置換 / 加水公解	Sink/Source	□N-16:二次元三角形	ロロー17:境界面フラックス
開水路流れ	<u> 媒体バラメータ</u>	□T-17:溶解(気相成分→水相)	▶ 点源(井戸)	□ □ N -17:二次元湾曲三角形	■0-18: 流速
▶ 平均流速公式	■G-19: 北原半 □G-21: 孔隙率変化	□T-18:溶解(非水相成分→水相)	□H=10: 定流量・定温度圧入 □H=17:時間可変流量・温度圧入	□N→18: 二次元長万形 □N→19: 二次元正方形	□ □ □ □ □ 9: 流線・流跡線(画像) □ □ 0-20: 物質収支
□R-6:マニンクの式 □R-2:ジェシーのず	■G-22:浸透率(透水係数)	□T-19:溶解(固相成分→水相)	□H-18:地下水揚水	□N-20:二次元四辺形	
	□G-23: 浸透率変化	□□-20: 沈殿 □□-21: 融化 / 滞示	□H-19:線源	□N-21:二次元湾曲四辺形	計算情報出力
□ R-8 : DynamicWave	■G-24: 圧縮率	ロT-22:酸・塩基反応	□H-20:水平面源		■ 0-21:反復計算の進捗
□ R-9 : 拡散波近似	□G-25: 残宙胞和学 ▶ 韵和率 vs.毛管圧力(サクション)	□T-23: 錯体形成		□N-23: 二次元日同形 □N-24: 三次元立方体	□ 0-23: 質量収支誤差
□ R-10: 線形化拡散波近似	□ G-26: モデル選択	□T-24: 微生物分解	土砂輸送	□N-25: 三次元直方体	□ 0-24: CPU時間
	□G-27:表形式入力(任意の関数)	□T-25: 放射性崩壊		■N-26:三次元六面体	□ 0-25:割り当てメモリ量
流出モデル	□ G-28: ヒステリシス ● 6-28: ヒステリシス	反応形式	土砂輸送過程		
□R-12: 貯留関数法	》 即和半 vs. 相对 皮 选 半 (不 即 和 选 水 係 数)	□T-26:0次反応		山N-28:三次元球形	
□R-13:タンクモデル □R-14:八左刑エデリ	□ G-29: モデル選択	□1-27:1次反応 □T-28·2次反応	□ 5-2: 浮班砂 □ 5-3: 斜面崩撞	数值解法	
ロR-14: 万市空モナル	□G-30:表形式入力(任意の関数)	□T-29:連鎖反応	□S-4:地形変化	□N-29: 有限差分法	
陸面特性	□ G-31: ヒステリシス □ C-30: □ □ □ □ □ □ □ □ □ □ □ □ □ □ □ □ □ □ □	物質輸送パラメータ	□S-5: 地形拡散	■N-30:積分型有限差分法	
□R-15:降雨分布	□G32: 三相相対反透率モテル	□T-30: 孔隙率		□N-31: 有限委条法 □N-32: 粒子追跡法	
□R-16: 降雨時間変化	流動関連過程	▶ 分散長			
□R=18: 基発散	□G-33: 地表水浸透	□T-31:等方性 □T-30:二次二甲十件	□S-7: 粒子密度	時間離散化	
■R-19:海水位変化	□G-34: 杰発散	□ 1-32: 二次元共力注 □ T-33: 三次元異方性	□S-8:従順化係数	□N-33: 陽解法	
□R-20:土地利用	口口35:七官带形成	□T-34:均質		」 ■N-34:元主陸府法 □N-35: Crank-Nicholson法	
□R-21: 稙生	Sink/Source	□T-35:不均質			
□R-23: リター遮断	▶ 点源(井戸)	□ 1 1−36:スケール依存性	変形	Time Stepping Scheme	
	□G-36: 定流重 □C-37: 可亦法景	□ T-37:均質		_ □N→36: 固定ダイム人ナツノ ■N→37: オートタイルステップ	
	□G-38:定圧	□T-38: 不均質	<u>変形迥样</u> 医一次元		
□R-24: 寺恤祖度係剱	□ G-39: 井戸損失	□T-39: 多成分	□ D-1: 地盤沈下	非線形解法	
人工構造物	□ G-40: グリッド —半径補正	➢ 運進係数 □ T-40: 均質	□D-2: 圧密	□N-38: Picardの逐次反復法	
□R-25:水門・樋門・樋管	ロ G-41: Well-bore storage ロ G-42・ 多層什 トげ	□ T-41: 不均質	□ D-3: 媒体膨張	■N-39: Newton-Raphson法	
□R-26:堰	> 線源	□T-42: 屈曲度		<u>マトリックスソルバー</u>	
□R-27: ダム □R-28: 雨水浸透施設	□ G-43:定流量	□T-43:反応速度定数	□D-5:水平	■N-40:反復法	
DR-29:人工涵養施設	□ G-44: 可変流量	□ I-44: Henry 定数 □ T-45: 半減期	□ D-6: 三次元		
	■ G-45: 疋庄			□N-42: 透火陽1℃手法(SLP)	
		SinkSource > 占酒(共石)	□ □ □ ∪ づ: 温度・流体建成 □ □ □ -9 · 弾性変形		
		□ T-46: 定流量・定濃度圧入	□ D-10:非弹性変形		
		□ T-47:時間可変流量・濃度圧入			
		□ T-48: 地下水揚水	<u>変形パラメータ</u> ロロ11, 内力体存刑浸透率		
		凵 ~43: 粽源() 次辺溝/ □ T-50: 水平両酒(飼杏埕 畑立地)			
		□T-51:植物吸収	□ D-13: 圧密係数		

図 26 C-I-6の検証対象機能(チェックシート)

C-I-7 不飽和地盤の毛管圧帯

概更

C-I-7.1	概要				
テスト分類:		■理論解	ロベンチマーク	□試験データ	
流体系:		■等温	□非等温		
		■水	■ガス(空気)	□NAPL	□化学種成分
解析種別:		水・空気2相流解れ	沂		
次元:		■1 次元	□2 次元	□3 次元	
入力リスト名:		ci17.dat			
出典文献:					

C-I-7.2 テストケース

地下水面上の一様な不圧帯水層を想定し、平衡状態における毛管帯水分量を求め、理論値と比較する。 地下水面上の不飽和地盤は厚さ100[m]の範囲を対象とする。

GETFLOWS による計算では、水、空気2相流体系を基本とするが、ここでは空気相の移動自体は考慮し ない。水-空気2相系の水相飽和率-毛細管圧力との関係は、次に示す van-Genuchten 式に基づいた。

$$S_e = \left\{\frac{1}{1 + (\alpha |h_c|)^n}\right\}^m$$

ここに、Seは有効飽和度 [-]、hcは毛管水頭 [m]、αは非濡れ相流体(空気相)の浸入圧の逆数 [1/Pa]、 nは多孔体の均一性(大きくなるほど均一度が高い)を示す土壌に固有のパラメータであり m=1-1/nの関 係を持つ。

C-I-7.3 解析モデル



図 27 格子モデル図 (C-I-7)

	記号	単位	設定値
格子数	NNBLK	[-]	203
X 方向分割数	NX	[-]	1
Y 方向分割数	NY	[-]	1
Z方向分割数	NZ	[-]	203
カラム長	L	[m]	100
断面積	А	[m ²]	1
重力加速度	g	[m/s ²]	9.80665

表 33 格子モデルの諸元 (C-I-7)

C-I-7.4 解析条件

表 34 流体物性(C-I-7)

	記号	単位	設定値
水相密度	$\rho_{\rm w}$	[kg/m ³]	1000.0
ガス相密度	$ ho_{g}$	[kg/m ³]	0.0
水相圧縮率	C_{f}	[1/Pa]	0
水相粘性係数	μ	[Pa • s]	0.001
水相粘性増加率	C_{μ}	[1/Pa]	0

表 35 地層物性 (C-I-7) 記号 単位 Atmosphere Surface Underground Upstream 密度 $[kg/m^3]$ 2500 2500 2500 2500 ρ 1.0×10^{30} 1.0×10^{30} 1.0×10^{30} 間隙率 [-] 0.2 φ 浸透率 9.87×10⁻⁶ 9.87×10⁻⁶ 9.87×10⁻¹³ 9.87×10⁻¹³ $[m^2]$ Κ 圧縮率 0.0 0.0 C_r [1/Pa] 0.0 0.0







C-I-7.6 誤差評価

誤差評価は RMSE(平均二乗平方根誤差)で行った。データ数を N,理論解を T_i (i=1...N), GETFLOWS の数値解を A_i (i=1...N)とすると RMSE は次式で表わされる。

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{N}\sum_{i}(T_{i} - A_{i})^{2}}$$

表 36 解析結果と理論値の誤差(C-I-7)

比較深度区間 [m]	RMSE [-]
0~100	4.275×10 ⁻³

C-I-7.7 検証対象機能(チェックシート)

流体システム	地下流体流動	物質輸送	熱輸送	数値解法・ソルバー	出力
<u>流体相</u> ■ F-1: 水相 ■ F-2: 気相 □ F-3: 非水相液体(NAPL) <u>流体特性</u> ■ F-4: 密度 ■ F-6: 粘度 □ F-6: 圧力依存性 □ F-7: 温度依存性 □ F-6: 超臨界状態	流動特性 □G-1:単相流 □G-2:二相流 □G-3:多相流 □G-4:水蒸気 □G-5:塩水(密度流) □G-6:ダルシー流れ □G-7:非ダルシー流れ □G-7:非ダルシー流れ □G-7:非ダルシー流れ □G-7:非ダルシー流れ □G-7:非ダルシー流れ □G-7:ホ * ジャンー流れ	保存的輸送過程 □T-1:務流 □T-2:機械的分散 □T-3:分子拡散 □T-4:多成分系 相間物質移動 □T-5:吸着(気相成分一固相) □T-6:吸着(液相成分一固相) □T-7:脱着(固相一気相成分) □T-8:脱着(固相一気相成分) □T-9:揮発 □T-9:減縮	<u>熱輸送過程</u> 日-1:移流 日-2: 粉伝導 日-3: 熱分散 日-3: 熱分散 日-4: 固相 液相間熱拡散 日-5: 成射 日-6: 相変化 日-7: 相間熱交換 日-6: 熱生成 <u>熱輪送パラメータ</u> 日-9: 孔隙率 トゥシルをあ	Spatial orientation N-1: 一次元水平 N-2: 一次元裕直 N-3: 二次元松車 N-4: 二次元裕直 N-5: 二次元松申 N-6: 完全三次元 N-7: 三次元放射状 N-8: 三次元放射状 N-9: 三次元放射状 N-9: 三次元放射状 N-9: 離散化 DN-9: 離散化 DN-9: 離散化	<u>エコーパック</u> ■ 0-1:入力値のエコー <u>計算結果出力(形式)</u> ■ 0-2:パイナリ形式 ■ 0-3:ASCI形式 ■ 0-4:空間分布 ■ 0-4:空間分布 ■ 0-5:時系列 ■ 0-6:直接画面表示(グラフ) □ 0-7:直接画面表示(グラフ) □ 0-6:画像ファイル 計算結果出力(福和)
地表水流動 <u>流動特性</u> □R-1:等流 □R-2:不等流 □R-3:不定流 □R-4:浸透 □R-5:湧出	■G-11: 均質水力学特性 □G-12: 不均質水力学特性 □G-13: 具方)水力学特性 □G-14: 地盤圧縮性 □G-15: 膨潤 □G-16: 収縮 □G-17: 傾斜地層 □G-18: 複数種地層 堆化パニメーク	<u>吸着式</u> > 平衡等温吸着 □T-11:線形(遅延効果) □T-12:ラングミュア □T-13:フロイントリッヒ □T-14:速度論的吸着 <u>化学反応</u> □T-15:イオン交換 □T-16:置換/加水分解	 ★ M7 取休3级 □ H -10:等方性 □ H -11: 異方性 □ H -13: 不均質 > 固相熱伝導率 □ H -14: 均質 □ H -15: 不均質 SinkSource > 古徑(世市) 	■N¬0: 守両順がグッド N¬1: 可変間隔グリッド (節点の再配置) N¬12: 可動グリッド (節点の再配置) N¬13: 局所高解像度格子(LGR) <u>グリッド形状</u> N¬15: 一次元曲線 N¬15: 一次元曲線 N¬16: 二次元=角形 N¬10: 二次一声地=角形	1 日日本1017 (7月30) ■ 0-9 : 圧力 ■ 0-10: ポテンシャル ■ 0-12: 圧力変化量 □ 0-12: 圧力変化量 ■ 0-14: 格子間フラックス □ 0-15: 浸透フラックス □ 0-16: 蒸発散フラックス □ 0-17: 境界面フラックス ■ 0-19: 英油
<u>開水路流れ</u> ▶ 平均流速公式 □R-6:マニングの式 □R-7:ジェシーの式 ▶ 運動方程式解法 □R-8: DynamicWave □R-9: 拡散波近似 □R-10:緑形化拡散波近似 □R-11: 運動波近似 □R-11: 運動波近似	<u>www.V-2 /></u> ■ G-19: 孔腺率 □ G-21: 孔腺率変化 ■ G-22: 浸透率(透水係数) □ G-23: 浸透率変化 □ G-24: 圧縮率 □ G-25: 残智飽和率 > 飽和率 vs.毛管圧力(サクション) □ G-26: モデル選択 ■ G-27: 表形式入力(任意の関数) □ G-28: ヒステリシス	□T-17:溶解(気相成分→水相) □T-18:溶解(気相成分→水相) □T-18:溶解(固相成分→水相) □T-20:沈殿 □T-21:酸化/還元 □T-22:酸+塩基反応 □T-23: 鑓体形成 □T-23: 鑓体形成 □T-24:微生物分解 □T-25:放射性崩壊 反応形式	▶ 屈源(サ戸) □ H→16:定流量・定温度圧入 □ H→17:時間可変流量・温度圧入 □ H→18:地下水揚水 □ H→19:線源 □ H→20:水平面源 上砂輸送	□N-17: 二次元清田三月形 □N-18: 二次元是方形 □N-19: 二次元正方形 □N-20: 二次元四辺形 □N-21: 二次元清曲四辺形 □N-22: 二次元多角形 □N-23: 二次元为体 □N-24: 三次元立方体 □N-25: 三次元直方体 □N-26: 三次元六面体 □N-27: 三次元四面体	 ● 0-8: 流迷 □ 0-9: 流緑・流跡線(画像) □ 0-20: 物質収支 計算信報出力 ■ 0-21: 反復計算誤差 □ 0-23: 質量収支誤差 □ 0-24: CPU時間 □ 0-25: 割り当てメモリ量
<u> □ </u>	> 飽和率 vs.相対浸透率(不飽和透水 係数) □ G-29:モデル選択 ■ G-30:表形式入力(任意の関数) □ G-31:ヒステリシス □ G-32:三相相対浸透率モデル <u>流動間違過程</u> □ G-33:地表水浸透 □ G-34: 蒸発散 ■ G-35:手管常形成	□ T-26: 0次反応 □ T-27: 1次反応 □ T-28: 2次反応 □ T-29: 連鎖反応 <u>物質輸送パラォータ</u> □ T-30: 孔隙率 > 分散長 □ T-31: 等方性 □ T-32: 二次元異方性 □ T-32: 三次元異方性	□S-1: 掃流砂 □S-2: 浮遊砂 □S-2: 浮遊砂 □S-4: 地形変化 □S-5: 地形拡散 <u>土砂輪送パラメータ</u> □S-6: 粒径分布 □S-7: 粒子密度 □S-8: 従順化係数	□ N-28: 三次元球形 <u>数值程法</u> □ N-29: 有限差分法 ■ N-30: 積分型有限差分法 □ N-31: 有限要素法 □ N-32: 粒子追跡法 <u>時間離散化</u> □ N-33: 陽解法 ■ N-34: 完全路解法	
□R-20: 土地利用 □R-21: 植生 □R-22: 樹冠遮断 □R-23: リター遮断 <u>地表流パラメータ</u> □R-24: 等価粗度係数 <u>人工構造物</u> □R-25: 水門・樋門・樋管	SinkSource > 点源(井戸) □ G-36:定流量 □ G-37:可変流量 ■ G-38:定圧 □ G-39:井戸損失 □ G-40:グリッド→半径補正 □ G-41:Well-bore storage □ G-42:多層仕上げ	□ T-34: 均質 □ T-35: 不均質 □ T-35: スケール依存性 > 拡散係数 □ T-37: 均質 □ T-38: 不均質 □ T-39: 多成分 > 遅延係数 □ T-40: 均質 □ T-41: 不均質	変形 <u>変形過程</u> > 一次元 □ D-1: 地盤沈下 □ D-3: 圧密 □ D-3: 圧密 □ D-3: 実体膨張 > 一次元	■N-35: Crank-Nicholson法 <u>Time Steoping Scheme</u> ■N-36: 固定タイムステップ ■N-37: オートタイムステップ <u>非線形解法</u> ■N-38: Picardの逐次反復法 ■N-39: Newton-Raphson法	
□ R*22:ダム □ R-22:ダム □ R-22:雨水浸透施設 □ R-29:人工酒養施設	▶ 線源 □ G-43:定流量 □ G-44:可変流量 □ G-45:定圧	□ T-42: 屈曲度 □ T-43: 反応速度定数 □ T-44: Henry定数 □ T-45: 半減期 SinkSource □ T-45: 定流量・定濃度圧入 □ T-46: 定流量・定濃度圧入 □ T-47: 時間可変流量・濃度圧入 □ T-47: 時間可変流量・濃度圧入 □ T-48: 地下水揚水 □ T-49: 線源(浸透溝) □ T-50: 水平面源(飼育場,埋立地) □ T-51: 植物吸収	□ D-4: 鉛直 □ D-5: 水平 □ D-5: 水平 □ D-7: 流体連成 □ D-7: 流体連成 □ D-9: 温使·流体連成 □ D-9: 弾性変形 <u>変形パラメータ</u> □ D-10: 非弾性変形 <u>変形パラメータ</u> □ D-11: 応力依存型浸透率 □ D-13: 圧密係数	<u>マトリックスソルバー</u> ■N-40:反復法 □N-41:直接法 □N-42:逐次陽化手法(SLP)	

図 30 C-I-7の検証対象機能(チェックシート)

C-I-8 多相流解析コード TOUGH2 とのベンチマーク計算

C-I-8.1 概要				
テスト分類:	■理論解	ロベンチマーク	□試験データ	
流体系:	■等温	□非等温		
	■水	■ガス(空気)	\Box NAPL	□化学種成分
解析種別:	水・空気2相流解	析		
次元:	□1 次元	■2 次元	□3 次元	
入力リスト名:	ci18.dat			
出典文献:	Thunvik,R., 1987. C	alculation on HYDRO	COIN level 1 using the	GWHRT flow model,
	SKB Technical Repo	ort 87-03.		

C-I-8.2 テストケース

透水性の異なる不均質地盤中の水,空気置換問題を対象とし,汎用多相流動シミュレータ TOUGH2 の解 析結果と比較する。対象とする不均質地盤系は,層厚の異なる透水層の間に不透水層を挟む2次元系とす る(図 31)。領域内のある地点から流入した水相が移動し,空気相を排除(置換)しながら別の地点から流 出する間の非定常過程を解析する。



図 31 解析対象とする不均質地盤系(C-I-8)

C-I-8.3 解析モデル



図 32 格子モデル図 (C-I-8)

	記号	単位	設定値
格子数	NNBLK	[-]	286
X 方向分割数	NX	[-]	22
Y 方向分割数	NY	[-]	1
Z方向分割数	NZ	[-]	13
L	L	[m]	20
Н	Н	[m]	10
А	А	[m]	3
В	В	[m]	1
重力加速度	g	[m/s ²]	9.80665

表 37 格子モデルの諸元 (C-I-8)

C-I-8.4 解析条件

流入境界圧力は 0.297436 [MPa],流出境界圧力は 0.101303 [MPa]とした。

	記号	単位	設定値	
水相密度	$\rho_{\rm W}$	[kg/m ³]	998.2	
ガス相密度	$ ho_{g}$	[kg/m ³]	0.0	
水相圧縮率	C_{f}	[1/Pa]	4.59×10 ⁻¹⁰	
水相粘性係数	$\mu_{\rm w}$	[Pa · s]	1.002×10^{-3}	
水相粘性増加率	C_{μ}	[1/Pa]	0.0	

表 38 流体物性(C-I-8)

	却是	畄⇔	Atmograhara	Surface	Permeable	Impervious	Injection	Outflow
	百二万	中位	Aunosphere	Surface	Stratum	Stratum	Point	Boundary
密度	ρ	[kg/m ³]	2500	2500	2500	2500	2500	2500
間隙率	φ	[-]	1.0×10^{30}	1.0×10 ³⁰	0.2	1.0×10^{30}	1.0×10^{30}	1.0×10^{30}
浸透率	K	[m ²]	9.87×10 ⁻⁶	0	1.00×10 ⁻¹¹	0	1.00×10 ⁻¹¹	1.00×10 ⁻¹¹
圧縮率	Cr	[1/Pa]	1.02×10 ⁻⁵	1.02×10 ⁻¹⁰				

表 39 地層物性(C-I-8)







図 34 飽和率分布による解析結果の比較(C-I-8)



図 35 圧力と飽和率の時間変化による解析結果の比較(C-I-8)

C-I-8.6 誤差評価

誤差評価は RMSE(平均二乗平方根誤差)で行った。データ数を N,理論解を T_i (i=1...N), GETFLOWS の数値解を A_i (i=1...N)とすると RMSE は次式で表わされる。

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{N}\sum_{i}(T_i - A_i)^2}$$

表 40 解析結果の誤差 (C-I-8)

바 두	以志地胆 [1]	RMSE		
地尽	比較新同 [day]	圧力 [MPa]	飽和率 [-]	
Point1	0.0~1.0	9.8636×10 ⁻⁴	5.8975×10 ⁻³	
Point2	0.0~1.0	5.4307×10 ⁻⁴	6.5300×10 ⁻³	

C-I-8.7 検証対象機能(チェックシート)

Zash H::: A dig C:: Statistic C:: S	流体システム	地下流体流動	物質輸送	熱輸送	数値解法・ソルバー	出力
□G-44:可変流量 ■G-44:可変流量 ■G-45:定任 □T-45: 洋減期 □T-45: 半減期 □D-7:流体連成 □D-7:流体連成 □D-7:流体連成 □D-9:弾性変形 □D-9:弾性変形 □T-46:定流量・定濃度圧入 □T-47:時間可変流量・濃度圧入 □T-47:時間可変流量・濃度圧入 □T-49:線源(浸透溝) □D-11:応力依存型浸透率	流体システム	地下流体流動 流動特性 G-1:単相流 G-2:二相流 G-3:多相流 G-4:水蒸気 G-5:塩水(密度流) G-5:塩水(密度流) G-6:ダルシー流れ M. (安市)ご単水蒸気 G-7:非ダルシー流れ M. (安市)ご単水(小学校性) G-1:二水均寛水力学特性 G-1:二水均寛水力学特性 G-1:二水均寛水力学特性 G-1:二水均寛水力学特性 G-1:二水均寛水力学特性 G-1:二水均寛水力学特性 G-1:二水均寛水力学特性 G-1:二水均寛水力学特性 G-1:1:均賀水力学特性 G-1:1:1< G-1:1:1 G-1:1:1 G-1:2:1 G-1:2:1 G-1:1:1 G-1:2:1 G-1:2:1 G-2:2:2 J-1:1 G-2:1:2 G-2:2:2 J-2 G-2:1:1 G-2:1:2 G-2:2:2 J-2 G-2:2:2 J-2 G-2:2:2 J-2 G-2:2:2 J-3 G-2:2:2	物質輸送 CFGP的電送過程 □T-1: 移流 □T-2: 機械的分散 □T-3: 分子拡散 □T-3: 分子拡散 □T-5: 吸着(気相成分一固相) □T-5: 吸着(気相成分一固相) □T-6: 脱着(固相一気相成分) □T-6: 脱着(固相一気相成分) □T-8: 脱着(固相一気相成分) □T-7: 脱着(固相一成相成分) □T-7: 脱着(固相一成相成分) □T-7: 脱着(固相一次相成分) □T-8: 肥着(固相一次相成分) □T-8: 肥着(回和一次相) □T-10: 凝縮 吸着式 □T-10: 凝縮 UT-11: 線形(遅延効果) □T-12: ラングミュア □T-13: フロイントリッヒ □T-14: 速度論的吸着 UT-15: イオン交換 □T-16: 置換/加水分解 □T-17: 溶解(電和成分一水相) □T-19: 溶解(個相成分一水相) □T-19: 溶解(個相成分一水相) □T-19: 溶解(個相成分一水相) □T-19: 溶解(個和成分一水相) □T-19: 溶解(個和成分一水相) □T-22: 酸化/還元 □T-22: 酸化/還元 □T-23: 當体形成 □T-24: 微生物分解 □T-25: 放射性崩壊 <u>反応形式</u> □T-26: 0次反応 □T-27: 1次反応 □T-27: 2次反応 □T-28: 連鎖反応 <u>物質輸送パラノーク</u> □T-30: 3(点 □T-38: 二、大クール依存性 ○ 大動策(数) □T-31: 与方性 □T-31: 与方性 □T-32: 二、大クール依存性 ○ 大動策(数) □T-31: 与方性 □T-32: 三次元異方性 □T-32: 二、大力-ル依存性 ○ 扩散版係数 □T-31: 与背質 □T-38: 不均質 □T-38: 不均質 □T-38: 不均質 □T-31: 与式 ○ T-42: 屈曲度 □T-42: 屈曲度 □T-42: 屈曲度	熱輸送 熱売湯 日-1: 都流 日-2: 熱伝導 日-3: 熱分散 日-4: 副相-液相間熱拡散 日-5: 放射 日-7: 相間整交換 日-7: 相間整交換 日-7: 相間整次換 日-8: 熟生成 熟輸法/:5ノータ 日-1: 異方性 日-1: 素添い 三点腹(井戸) 日-1: 防衛商売売金 日-1: 膝筒下洗量を完置金 日-1: 膝筒下洗量を完置金 日-1: 膝高 日-2: 水平面源 日-1: 掃洗砂 日-2: 浮遊砂 日-3: 熱子酸度 日-4: 総設 夏下: 総合布 日-5: 地形拡散 安形 変形 夏市 夏市 日-1: 地燈次下 日-3: 北市 日-3: 北市 夏市<	数値解法・ソルバー N-1: 一次元水平 N-2: 一次元鉛直 N-3: 二次元水平 N-4: 二次元約直 N-5: 二次元放射状 N-6: 完全三次元 N-7: 三次元材射 N-8: 三次元放射状 マロ: N-7: 三次元日前形 N-7: 三次元日前形 N-7: 三次元日前形 N-7: 三次元日前形 N-7: 三次元日前形 N-7: 三次元二時形 N-1: 可酸「リッド N-1: 可酸「リッド N-1: 可酸「リッド N-1: 可酸「リッド N-1: 可酸「リッド N-1: 三次元三時形 N-1: 三次元清細形 N-1: 二次元清曲三角形 N-1: 二次元清曲三角形 N-1: 二次元清曲三角形 N-1: 二次元清曲三角形 N-1: 二次元清曲三角形 N-2: 二次元支角形 N-2: 二次元支内市 N-2: 二次元支内市 N-2: 二次元支内市 N-2: 二次元支内市 N-2: 二次元支内市 N-2: 二次元 <th>出力 エコーバッグ ● ○ -1: 入力値のエコー ● ○ 2: バイナリ形式 ● ○ 3: ASCI形式 ● ○ 4: などの方面 ■ ○ 5: 時系列 ■ ○ 6: 店後面面表示(テキスト) ● ○ 7: 店後面面表示(テキスト) ● ○ 9: 正力 ■ ○ 9: 正力 ■ ○ 11: 診和率 ■ ○ 12: 正力変化量 ■ ○ 13: 節和率変化量 ■ ○ 14: 格子間フラックス ■ ○ 15: 浸透フラックス ■ ○ 16: 流速 ■ ○ 17: 以家田マラックス ■ ○ 18: 流速 ■ ○ 19: 流縁・流跡線(画像) ■ ○ 20: 防復取支 ■ ○ 21: 反復計算誤差 ■ ○ 22: 京貴量収支誤差 ■ ○ 22: 記引り当てメモリ量 ■ ○ 25: 割り当てメモリ量 ■ ○ 25: 割り当てメモリ量 ■ ○ ○ ○ ■ ○ ○ ■ ○ ○ ■ ○ ○ ○ ○ ■ ○ ○ ○ ■ ○ ○ ○ ○ ■ ○ ○ ○ ○ ○ ■ ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○ ■ ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○</th>	出力 エ コーバッグ ● ○ -1: 入力値のエコー ● ○ 2: バイナリ形式 ● ○ 3: ASCI形式 ● ○ 4: などの方面 ■ ○ 5: 時系列 ■ ○ 6: 店後面面表示(テキスト) ● ○ 7: 店後面面表示(テキスト) ● ○ 9: 正力 ■ ○ 9: 正力 ■ ○ 11: 診和率 ■ ○ 12: 正力変化量 ■ ○ 13: 節和率変化量 ■ ○ 14: 格子間フラックス ■ ○ 15: 浸透フラックス ■ ○ 16: 流速 ■ ○ 17: 以家田マラックス ■ ○ 18: 流速 ■ ○ 19: 流縁・流跡線(画像) ■ ○ 20: 防復取支 ■ ○ 21: 反復計算誤差 ■ ○ 22: 京貴量収支誤差 ■ ○ 22: 記引り当てメモリ量 ■ ○ 25: 割り当てメモリ量 ■ ○ 25: 割り当てメモリ量 ■ ○ ○ ○ ■ ○ ○ ■ ○ ○ ■ ○ ○ ○ ○ ■ ○ ○ ○ ■ ○ ○ ○ ○ ■ ○ ○ ○ ○ ○ ■ ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○ ■ ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○
□ □ 1-50: 水平面源(飼育場,埋立地) □ □ 0-12: 地盤圧縮率 □ □ 0-13: 市密係数	<u>人工種活物</u> □ R-25: 水門・樋門・樋管 □ R-26: 堰 □ R-27: ダム □ R-29: 雨水浸透施設 □ R-29: 人工涵養施設	□ G-41 : Well+bore storage □ G-42 : 多層仕上げ > 線源 □ G-43 : 定流量 □ G-44 : 可変流量 ■ G-45 : 定任	□ T-40: 約賀 □ T-41: 不均賀 □ T-42: 屈曲度 □ T-43: 反応速度定数 □ T-44: Henry定数 □ T-45: 半減期 <u>Sink Source</u> > 点源(井戸) □ T-46: 定流量・定濃度圧入 □ T-46: 定流量・定濃度圧入 □ T-46: 定流量・定濃度圧入 □ T-48: 総下水揚水 □ T-49: 総源(浸透溝) □ T-50: 水平面源(飼育場,埋立地) □ T-51: 植物吸収	□ D ⁻² : 生産 □ D ⁻³ : 蝶体能張 > 二次元 □ D ⁻⁴ : 鉛直 □ D ⁻⁵ : 水平 □ D ⁻⁶ : 三次元 □ D ⁻⁶ : 三次元 □ D ⁻⁸ : 温度: 流体連成 □ D ⁻⁸ : 温度: 流体速成 □ D ⁻⁹ : 弾性変形 <u>変形パラメ-9</u> □ D ⁻¹ : 応力依存型浸透率 □ D ⁻¹ : 地勤性稻率 □ D ⁻¹ : 地勤性稻率 □ D ⁻¹ : 地勤性稻率	■N-39: Newton-Raphson法 マトリックスソルバー ■N-40: 反復法 □N-41: 直接法 □N-42: 逐次陽化手法(SLP)	

図 36 C-I-8の検証対象機能(チェックシート)

©GETFLOWS Ver 7.2023JAN4 検証例題データセット

2023年2月27日 初版

株式会社 地圏環境テクノロジー

〒101-0063 東京都千代田区神田淡路町 2-1 NCO 神田淡路町 3F

電話: 03-5297-3811(代表), <u>https://www.getc.co.jp</u>

@Copyright ,2023 GEOSHPERE ENVIRONMENTAL TECHNOLOGY CORP, ALL RIGHTS RESERVED.

GETFLOWS V&V results validation report

Geosphere Environmental Technology Corp.

Wed Feb 22 00:03:12 2023

version: GETFLOWS2023JAN4.p.mpi

Contents

1	C-I-1: Surface flow - One dimensional steady state open channel flow	1
2	 C-I-2: FourPt benchmark calculation 2.1 Compare with FourPt Diffusion Wave (DFW)	1 1 2
3	C-I-3: One dimensional saturated groundwater flow	2
4	C-I-4: Falling head test	2
5	C-I-5: Pumping test	2
6	C-I-6: Tidal effect - hydraulic head diffusion problem	3
7	C-I-7: Unsaturated zone capillary pressure curves	3
8	C-I-8: Calculation of a benchmark of multiphase flow simulator -TOUGH2	3

1 C-I-1: Surface flow - One dimensional steady state open channel flow

Table 1: Error comparison between GETFLOWS and the analytical solution (C-I-1).

Nb of data points	RMSE of flow rate $[m^3/s]$
1	1.4583293E-06

2 C-I-2: FourPt benchmark calculation

2.1 Compare with FourPt Diffusion Wave (DFW)

Table 2: Error comparison between FourPT and GETFLOWS (C-I-2).

Distance from upstream end [km]	Nb of data points	RMSE of water level [m]	RMSE of flow rate $[m^3/s]$
0.5	8640	5.6575543E-02	3.1287522E+01
10.5	8640	8.4960740E-02	3.3293006E+01

Distance from upstream end [km]	Nb of data points	RMSE of water level [m]	RMSE of flow rate $[\mathrm{m}^3/\mathrm{s}]$
30.5	8640	1.7399046E-01	5.2072962E+01
50.5	8640	2.3658288E-01	7.4382816E+01

2.2 Compare with FourPt Dynamic Wave (DYW)

Table 3: Error comparison between FourPT and GETFLOWS (C-I-2).

Distance from upstream end [km]	Nb of data points	RMSE of water level [m]	RMSE of flow rate $[m^3/s]$
0.5	8640	7.0077648E-02	3.1346514E + 01
10.5	8640	7.7193466 E-02	3.1758541E + 01
30.5	8640	1.5453369E-01	5.0034331E + 01
50.5	8640	2.3859334E-01	8.0074203E + 01

3 C-I-3: One dimensional saturated groundwater flow

Cases (horizontal model)	No of data points	RMSE of flow rate $[m^3/day]$
Case 1	1	0.00000000E+00
Case 2	1	0.00000000E + 00
Case 3	1	0.00000000E + 00
Case 4	1	0.00000000E + 00
Case 5	1	$0.00000000 \text{E}{+}00$

Table 4: Error in horizontal models (C-I-3).

Table 5: Error in vertical models (C-I-3).

Cases (vertical model)	No of data points	RMSE of flow rate $[m^3/day]$
Case 6	1	0.00000000E+00
Case 7	1	$0.00000000 \text{E}{+}00$
Case 8	1	$0.00000000 \text{E}{+}00$
Case 9	1	$0.00000000 \text{E}{+}00$
Case 10	1	0.00000000E + 00

4 C-I-4: Falling head test

Table 6: RMSE of each case (C-I-4).

Cases	Initial water head difference [m]	Time range	No of data points	RMSE of water height [m]
Case 1	2.05	0.8	100	8.6901805E-04
Case 2	11.05	2.25	100	2.4384453 E-02
Case 3	1.15	0.058	100	2.4796728E-05

5 C-I-5: Pumping test

Table 7: RMSE of pressure as a function of distance (at time 20.5 days) and as a function of time (at distance 39.6m from the well) (C-I-5).

Time [day]	distance [m]	No of data points	RMSE of pressure [MPa]
20.5	0 to 1000m	16	8.2295615E-04
0 to 100day	39.6	42	5.5933107E-03

6 C-I-6: Tidal effect - hydraulic head diffusion problem

Elapsed time [day]	Interval [m]	No. of data points	RMSE [m]
0.5day	0 to $2500\mathrm{m}$	120	5.0190750E-03
1day	0 to $2500\mathrm{m}$	120	5.6551788E-03
1.25day	0 to $2500\mathrm{m}$	120	3.8515084E-03
1.75day	0 to $2500\mathrm{m}$	120	2.9786987E-03

Table 8: RMSE of water level at different time intervals (C-I-6).

Table 9: RMSE of water levels at three locations (C-I-6).

Location	Interval [day]	No. of data points	RMSE [m]
Point1	0 to 2 day	201	1.1931703E-04
Point2	0 to 2 day	201	5.7093403E-03
Point3	0 to 2 day	201	4.3779078E-03

7 C-I-7: Unsaturated zone capillary pressure curves

Table 10: RMSE estimation for analytical and numerical solutions(C-I-7).

Compared depth [m]	No of data points	RMSE [m]
[0,100]	201	4.2751083E-03

8 C-I-8: Calculation of a benchmark of multiphase flow simulator – TOUGH2

Table 11:	RMSE error	analysis ((C-I-8))
-----------	------------	------------	---------	---

LocationTime duration [s]Nb of data pointsRMSE of PressurePoint10 to 86400s 3876 $9.8636276E-04$ Point20 to 86400s 3876 $5.4306941E-04$ LocationTime duration [s]Nb of data pointsRMSE of saturationPoint10 to 86400s 3876 $5.8974573E-03$ Point20 to 86400s 3876 $6.5300409E-03$				
Point1 0 to 86400s 3876 9.8636276E-04 Point2 0 to 86400s 3876 5.4306941E-04 Location Time duration [s] Nb of data points RMSE of saturation Point1 0 to 86400s 3876 5.8974573E-03 Point2 0 to 86400s 3876 6.5300409E-03	Location	Time duration [s]	Nb of data points	RMSE of Pressure [MPa]
LocationTime duration [s]Nb of data pointsRMSE of saturationPoint10 to 86400s38765.8974573E-03Point20 to 86400s38766.5300409E-03	Point1 Point2	0 to 86400s 0 to 86400s	3876 3876	9.8636276E-04 5.4306941E-04
LocationTime duration [s]Nb of data pointsRMSE of saturationPoint10 to 86400s38765.8974573E-03Point20 to 86400s38766.5300409E-03				
Point1 0 to 86400s 3876 5.8974573E-03 Point2 0 to 86400s 3876 6.5300409E-03	Location	Time duration [s]	Nb of data points	RMSE of saturation [-]
	Point1 Point2	0 to 86400s 0 to 86400s	3876 3876	5.8974573E-03 6.5300409E-03