

釜石鉱山における岩盤浸透流解析 に関する研究

(平成6年度)

(動力炉・核燃料開発事業団 契約業務報告書)

技 術 資 料		
開示区分	レポート No.	受領日
Σ	J1205 95-006	1996.3.12
この資料は技術管理室保存資料です 閲覧には技術資料閲覧票が必要です 動力炉・核燃料開発事業団 技術協力部技術管理室		

1995年3月

大成建設株式会社

この資料は、動燃事業団の開発業務を進めるため、特に限られた関係者だけに開示するものです。ついては、複製、転載、引用等を行わないよう、また第三者への開示又は内容漏洩がないよう管理して下さい。また今回の開示目的以外のことには使用しないよう特に注意して下さい。

本資料についての問い合わせは下記に願います。

〒107 東京都港区赤坂1-9-13
動力炉・核燃料開発事業団
環境技術開発本部
地層科学研究グループ

釜石鉱山における浸透流解析に関する研究

(平成6年度)

下茂道人*、井尻裕二*
上村佳司**、山本卓也***

要 旨

本研究の目標は、釜石原位置試験場周辺を対象として、複数の解析手法（連続体解析手法、不連続体解析手法）を用いて浸透流解析を実施し、亀裂性岩盤のモデル化手法および各解析手法の妥当性を確認するとともに、上記の解析を通じて原位置試験場周辺の水理地質学的環境を把握すること、である。

本年度は、その第一段階として次の2つの項目を主眼とした連続体による岩盤浸透流解析を実施した。

- ①既存データから構築した連続体モデルを用いた新規坑道掘削時の水理応答解析を行う。また、その結果と実測データとの比較より、構築した解析モデルの妥当性について検討し、連続体解析モデルの改良項目とその方法について考察した。
- ②連続体解析モデルの改良、不連続体解析モデルの構築、および解析モデルの検証を行う上で必要となるデータの項目・精度・数量・取得方法を明らかにした。

本報告書は、大成建設（株）が、動力炉・核燃料事業団の依託により実施した研究の成果である。

契約番号：060D0315

事業団担当部課室および担当者：環境技術開発本部、地層科学研究グループ、武田精悦

*：大成建設（株）技術研究所、 **：大成建設（株）土木設計部、

***：大成建設（株）エネルギー部

Groundwater Flow Analysis at Kamaishi Mine (H6)

Michito Shimo*, Yuji Ijiri*

Keiji Uemura**, Takuya Yamamoto***

Abstract

This research aims (1) to study the applicability of the existing modelling approach and the numerical method for the prediction of the Groundwater flow in fractured rocks and (2) to grasp the geohydrological environment around the Kamaishi in-situ test area. To meet these goals, a series of seepage flow analysis are planned to be conducted using different models such as a continuum model and a discontinuum model.

As a first step of the study, a seepage flow analysis was conducted using continuum models under the following two main purposes:

(1) To analyze the hydrological response using continuum models constructed by taking the existing geological and hydraulic data into account. To evaluate the capability of the constructed continuum model and to pick up the items and the methods required for further improvement of the models by comparing the numerical results and the observed data.

(2) To pick up the items, required accuracy, amount of data and the methods to obtain data to improve the constructed continuum model, for the construction of the discontinuum model and also to validate these numerical models.

Work performed by Taisei Corporation under contract with power Reactor and Nuclear Fuel Development Corporation

PNC Liaison :Seietsu Takeda, Geoscience Research Program, Power Reactor and Nuclear Fuel Corporation

* : Technology Research Center, Taisei Corporation, ** :Civil Engineering Department, Taisei Corporation,

***: Engineering Department, Taisei Corporation

目 次

1. はじめに	1
2. 解析概要	2
3. 既存データの整理	4
3.1 地形・地質データ	4
3.2 水理データ	13
4. 水理地質構造の推定	18
5. 連続体モデルの作成	21
5.1 解析領域の設定	21
5.1.1 側方境界	21
5.1.2 上部・下部境界	24
5.2 境界条件の設定	25
5.2.1 水理バリアを考慮しない場合	25
5.2.2 水理バリアを考慮した場合	25
5.3 透水特性の設定	26
5.3.1 水平方向の透水係数	26
5.3.2 深度方向の透水係数分布	34
5.3.3 透水異方性	37
5.4 解析モデルの作成	40
6. 定常3次元浸透流解析	41
6.1 解析手法	41
6.2 解析メッシュ	41
6.3 解析ケース	47
6.4 解析結果	48
6.4.1 解析領域全般の水理状況	49
6.4.2 KD-90坑道内への湧水量	82
6.4.3 試錐孔内の間隙水圧分布	84
6.5 まとめ	96

7. 原位置試験場周辺の水理地質学的環境の考察と	
解析モデルの改良に関する検討	97
7. 1 KD-90坑道への湧水量からみた水理地質構造の考察	97
7. 2 KD-90坑道周辺の間隙水圧分布からみた水理地質構造の考察	102
7. 3 次年度の解析に向けた連続体モデルの改良方法について	106
7. 4 次年度の解析の進め方について	107
8. おわりに	108
参考文献	109
打ち合せ議事録	

目 次

2 章

図 2. 1	釜石鉱山における岩盤浸透流解析フロー	2
--------	--------------------	---

3 章

図 3. 1. 1	釜石鉱山位置図	4
図 3. 1. 2	釜石鉱山地形図	5
図 3. 1. 3	釜石鉱山地質図	6
図 3. 1. 4	釜石鉱山坑道鳥瞰図	7
図 3. 1. 5	原位置試験場周辺詳細図	7
図 3. 1. 6	リニアメント解析により得られた亀裂ゾーン位置図 (長他、1994)	10
図 3. 1. 7	試錐孔内亀裂のシュミットネット下半球投影図 (岩崎他、1991)	10
図 3. 1. 8	坑道内亀裂マップ (野口他、1991)	11
図 3. 1. 9	NW坑道内の亀裂のシュミットネット下半球投影図 (野口他、1990)	11
図 3. 1. 10	NW、NE坑道内の亀裂のスキャンライン法補正後の シュミットネット下半球投影図 (野口他、1991)	11
図 3. 1. 11	レーダートモグラフィ実施位置 (仙波他、1992)	12
図 3. 1. 12	レーダートモグラフィにより得られた低速度帯と高速度帯 (仙波他、1992)	12
図 3. 2. 1	孔間透水試験区間配置図 (長他、1990)	16
図 3. 2. 2	坑道規模透水試験試験区間図 (長他、1991)	16
図 3. 2. 3	ベンチレーション試験概念図 (長他、1992)	17
図 3. 2. 4	地下水流下試験概念図 (新見他、1992)	17
図 3. 2. 5	トレーサー試験位置図 (内田他、1994)	17

4 章

図 4. 1	KH-19削孔時の間隙水圧と湧水量 (口元)	19
図 4. 2	水理バリア推定位置	19
図 4. 3	KH-19孔の間隙水圧計測結果 (1994年7月1日現在)	20

5 章

図 5. 1. 1	KG-1孔における間隙水圧計測結果	22
-----------	-------------------	----

図 5. 1. 2	KG-1孔における間隙水圧経時変化	23
図 5. 1. 3	解析領域平面図	23
図 5. 1. 4	解析領域鳥瞰図	24
図 5. 2. 1	定水位境界摸式図	25
図 5. 3. 1	透水係数分布（低圧ルジオン試験）	33
図 5. 3. 2	深度方向の透水係数分布	36
図 5. 3. 8	亀裂卓越方向と透水テンソル主軸方向の関係	38

6章

図 6. 2. 1	解析領域パース	42
図 6. 2. 2	KD-90坑道周辺鳥瞰図	43,44
図 6. 2. 3	解析メッシュ鳥瞰図	45
図 6. 2. 4	解析メッシュ	46
図 6. 4. 1	解析結果表示断面	48
図 6. 4. 2	間隙水圧分布（解析ケース 1、全体領域）	52
図 6. 4. 3	間隙水圧分布（解析ケース 1、拡大領域）	53,54
図 6. 4. 4	流速ベクトル分布（解析ケース 1、全体領域）	55
図 6. 4. 5	流速ベクトル分布（解析ケース 1、拡大領域）	56,57
図 6. 4. 6	間隙水圧分布（解析ケース 2、全体領域）	58
図 6. 4. 7	間隙水圧分布（解析ケース 2、拡大領域）	59,60
図 6. 4. 8	流速ベクトル分布（解析ケース 2、全体領域）	61
図 6. 4. 9	流速ベクトル分布（解析ケース 2、拡大領域）	62,63
図 6. 4. 10	間隙水圧分布（解析ケース 3、全体領域）	64
図 6. 4. 11	間隙水圧分布（解析ケース 3、拡大領域）	65,66
図 6. 4. 12	流速ベクトル分布（解析ケース 3、全体領域）	67
図 6. 4. 13	流速ベクトル分布（解析ケース 3、拡大領域）	68,69
図 6. 4. 14	間隙水圧分布（解析ケース 4、全体領域）	70
図 6. 4. 15	間隙水圧分布（解析ケース 4、拡大領域）	71,72
図 6. 4. 16	流速ベクトル分布（解析ケース 4、全体領域）	73
図 6. 4. 17	流速ベクトル分布（解析ケース 4、拡大領域）	74,75
図 6. 4. 18	間隙水圧分布（解析ケース 5、全体領域）	76
図 6. 4. 19	間隙水圧分布（解析ケース 5、拡大領域）	77,78
図 6. 4. 20	流速ベクトル分布（解析ケース 5、全体領域）	79
図 6. 4. 21	流速ベクトル分布（解析ケース 5、拡大領域）	80,81
図 6. 4. 22	KD-90坑道内各区間内への湧水量	83
図 6. 4. 23	間隙水圧の実測値と解析結果	86~95

7章

図7. 1. 1	坑道に向かう流れの模式図	97
図7. 1. 2	KD-90坑道における割れ目の分布 (長他、1991)	98
図7. 1. 3	KD-90坑道の3m以上の割れ目スケッチと湧水割れ目 (長他、1991)	99
図7. 1. 4	KD-90坑道への湧水量の分布と KH-5孔透水試験結果との対比	101
図7. 1. 5	KD-90坑道への湧水量の分布と KH-5孔内間隙水圧分布との対比	101
図7. 2. 1	不均一場と間隙水圧分布の模式図	103
図7. 2. 2	水理バリアとして考えられる水理地質構造と 連続体によるモデル化	105

表 目 次

3章

表3. 1. 1	坑道および試錐孔一覧	8
表3. 1. 2	構造関係データ一覧	8
表3. 2. 1	水理関係データ一覧	15

5章

表5. 1. 1	解析領域内に含まれる構造	21
表5. 1. 2	KG-1孔における間隙水圧計測結果 (1992年11月28日)	22
表5. 3. 1	単孔透水試験結果	27,28
表5. 3. 2	透水係数対数平均値 (低圧ルジオン試験)	29
表5. 3. 3	孔間透水試験により求められた透水テンソル	30
表5. 3. 4	坑道規模試験により求められた透水係数	30
表5. 3. 5	ベンチレーション試験により求められた透水係数	31
表5. 3. 6	1000m級透水試験 (Perm-10試験) 試験結果	34
表5. 3. 7	JFT試験結果	35
表5. 3. 8	坑道壁面の亀裂分布により求められた透水テンソル	38
表5. 4. 1	解析条件一覧	40

6章

表6. 3. 1	解析ケース一覧	47
表6. 4. 1	解析結果一覧表	49
表6. 4. 2	KD-90坑道内への総湧水量	83

1. はじめに

本研究の目標は、釜石原位置試験場周辺を対象として、複数の解析手法（連続体解析手法、不連続体解析手法）を用いて浸透流解析を実施し、亀裂性岩盤のモデル化手法としての各解析手法の妥当性を確認するとともに、解析を通じて原位置試験場周辺の水理地質学的環境を把握すること、である。

本年度は、その第一段階として次の2つの項目を主眼とした連続体による岩盤浸透流解析を実施する。

- (1) 既存データから構築した連続体モデルを用いた原位置試験場周辺の浸透流解析を行い、その解析結果と実測データとの比較より、構築した解析モデルの妥当性について検討するとともに、連続体解析モデルの改良項目とその方法について考察する。
- (2) 連続体解析モデルの改良、および、解析モデルの検証を行う上で必要となるデータの項目・精度・数量・取得方法を明らかにする。

具体的には、KD-90坑道を中心とした同坑道周辺の試錐孔を含む領域を対象とし、均質モデルおよび異方性モデルを用いた定常3次元浸透流解析を実施し、同領域内の水理状況の把握とこれまでに得られた間隙水圧や湧水量データの解釈に役立てることを目的とする。

2. 解析概要

釜石鉱山における岩盤浸透流解析のフローを図2.1に示す。今年度の実施項目は以下のとおりである。

- (1) 既存データの整理
- (2) 水理地質構造の推定
- (3) 連続体解析モデルの作成
- (4) 原位置試験場周辺を対象とした浸透流解析
- (5) 原位置試験場周辺の水理地質学的環境の考察と解析モデルの改良に関する検討

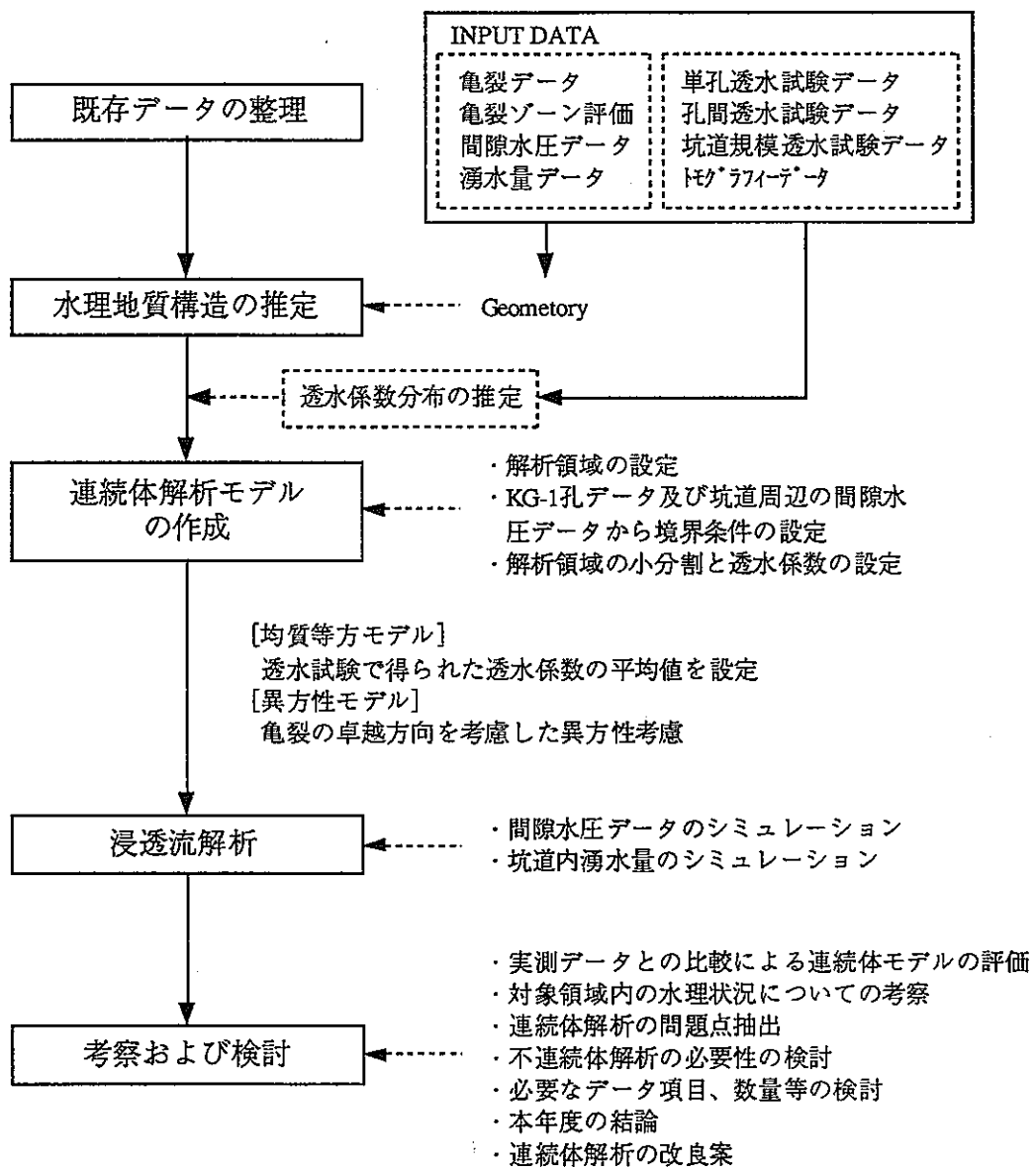


図2.1 釜石鉱山における岩盤浸透流解析フロー

解析にあたっては、まず、既存のデータを整理して、解析に必要となるデータの選定および抽出を行うとともに、原位置試験場周辺の水理地質構造を把握する。既存のデータには、釜石鉱山周辺の地形・地質データ、原位置試験場周辺で実施された調査試験データ、試錐孔における間隙水圧分布等があり、解析領域の水理境界の設定と解析領域内の水理特性を評価するために用いられる。

次に、地質データや水理データに基づいて連続体解析モデルを構築し、これを用いて定常3次元浸透流解析を実施する。ただし、今年度作成するモデルは、水理場の概況を捕らえることを主目的とするため、平成6年度に新たに掘削されるアクセス坑道や間隙水圧の計測が行われていないボーリング孔（KE孔）のモデル化は行わない。また、解析は定常解析とし、解析結果と実測値との対比に基づいて解析モデルの改良についての検討を行う。

今年度用いる解析モデルとしては、以下に示す均質モデルと異方性モデルの2つのモデルを用いることとする。

(1) 均質モデル

均質モデルは、原位置試験場周辺の水理状況を把握することを主たる目的とする。透水係数の不均一性や異方性を考慮せず、境界条件や坑道が水理場へ及ぼす影響について検討する。異方性モデルとの比較により、異方性を考慮した場合の影響について検討する際の参照モデルとなる。

(2) 異方性モデル

異方性モデルは、KD-90坑道北側に想定された水理バリアを再現することを主たる目的とする。透水係数の異方性の評価には、主として孔間透水試験結果や亀裂データを用いる。

3. 既存データの整理

ここでは、釜石鉱山で過去に実施された研究成果に基づいた地形・地質データおよび水理データから浸透流解析を実施するにあたって必要となるデータを選定および抽出し、解析に用いる際のその利用方法について述べる。解析に必要なデータとしては、解析モデルを構築する際に解析対象領域の水理境界の設定や解析対象領域内の水理特性を評価するために用いられるデータと、解析結果との対比に用いられる間隙水圧や湧水量データがある。

3. 1 地形・地質データ

釜石鉱山の位置を図3. 1. 1に、原位置試験場周辺の地形図を図3. 1. 2に示す。また、地質平面図および断面図を図3. 1. 3 (a)、(b)に示す。これらの地質図より、原位置試験場周辺は栗橋花崗閃緑岩帯に属している。地質の詳細については参考文献を参照されたい(例えば、動燃技報、1993¹⁾)。

釜石鉱山の坑道鳥瞰図を図3. 1. 4に示し、原位置試験場周辺の坑道、立坑、試錐座および試錐孔の詳細図を図3. 1. 5に、一覧を表3. 1. 1に示す。これらの坑道、立坑、試錐座および試錐孔の座標は、解析モデル作成の際に用いる。

地形・地質図以外にこれまでに得られている構造データとして、坑道壁面や試錐孔内で観察された亀裂データや坑道内の試錐孔間で実施されたトモグラフィデータ一覧を表3. 1. 2に示す。

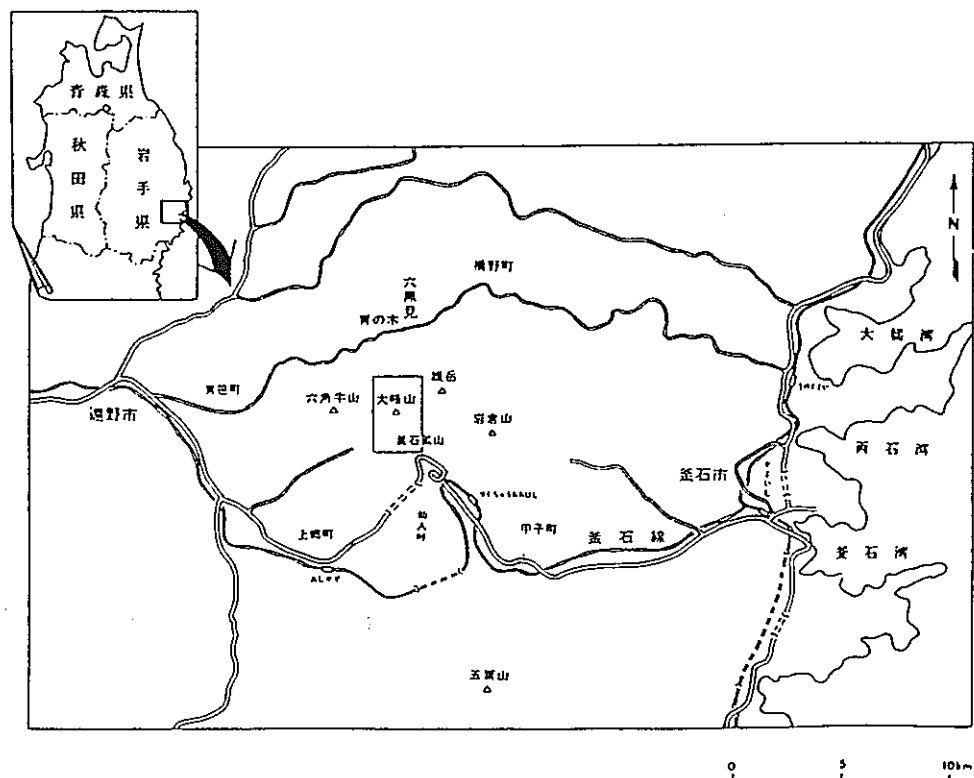
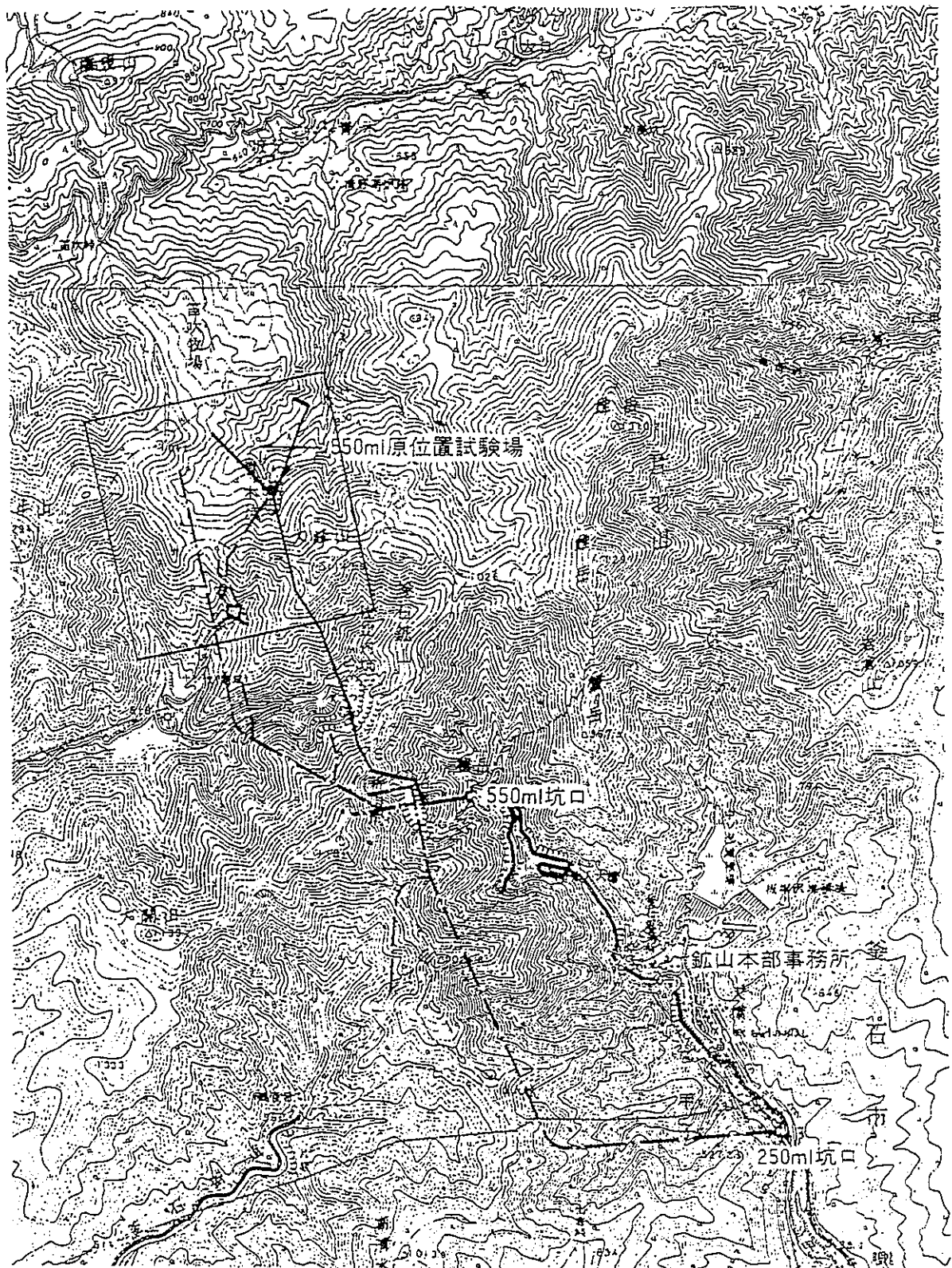


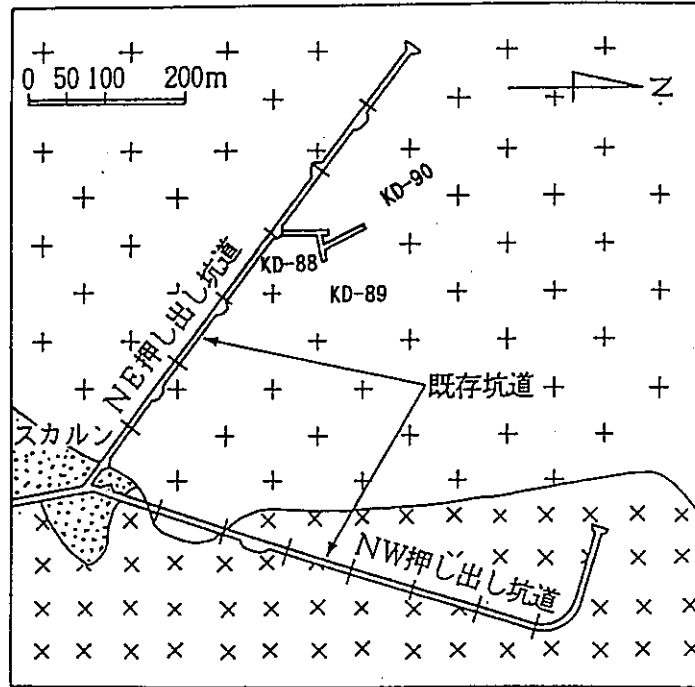
図3. 1. 1 釜石鉱山の位置図



—— 550ml坑道
 - - - 250ml坑道

1 : 50,000
 0 1 2km

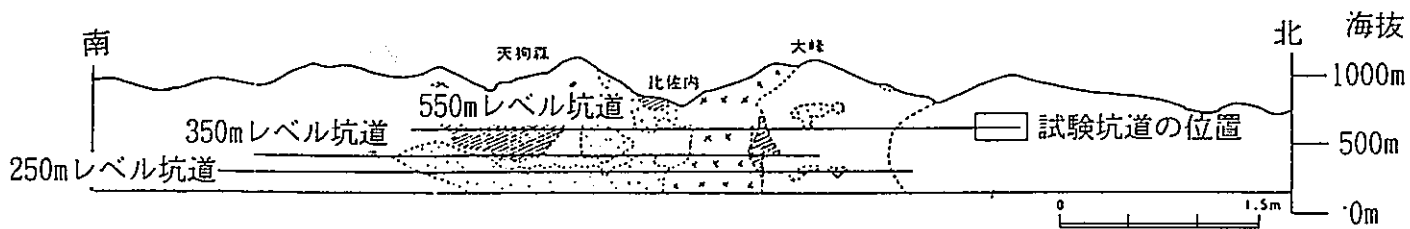
図 3. 1. 2 釜石鉦山地形図
 (図 3. 1. 1 中の矩形部を示す)



凡 例

- + + + 栗橋岩体 (花崗閃緑岩)
- x x x 蟹岳岩体 (花崗閃緑岩~閃緑岩)
- . . . スカルン

(a) 平面図



凡 例

- . . . 栗橋花崗閃緑岩
- x x 蟹岳花崗閃緑岩
- . . . 中・古生代堆積岩等
- / / / 鉄・銅鉱床
- . . . スカルン帯

(b) 断面図

図 3. 1. 3 釜石鉱山地質図

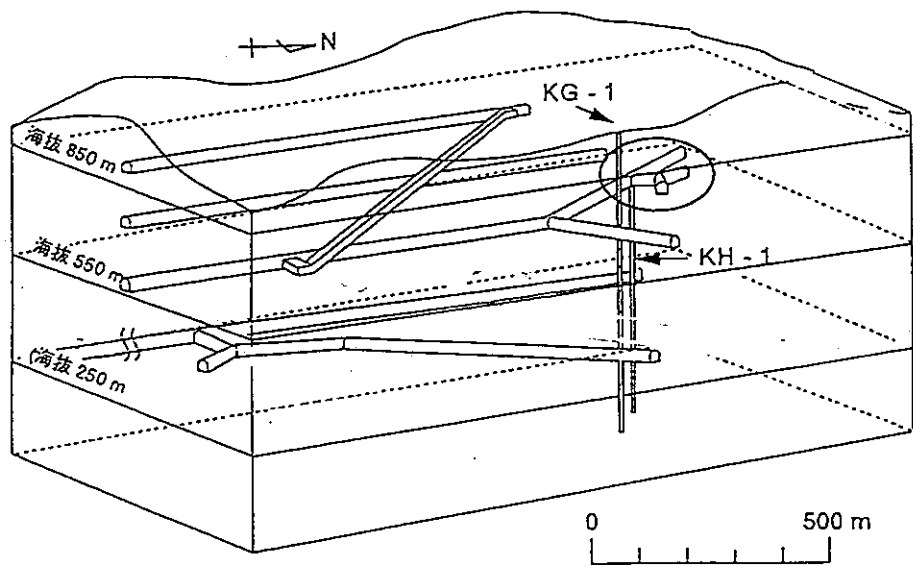


图 3. 1. 4 釜石鉱山坑道鳥瞰圖

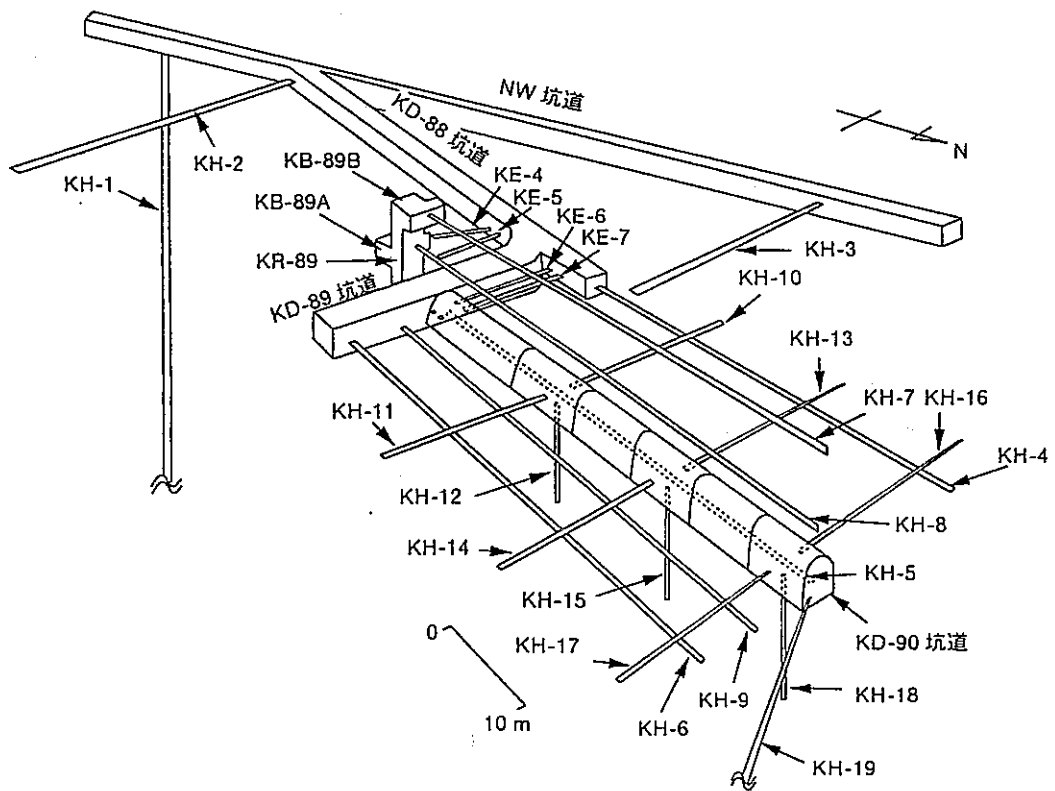


图 3. 1. 5 原位置試驗場周辺詳細圖

表3. 1. 1 坑道および試錐孔一覧

坑道	: NW坑道、KD-88、KD-89、KD-90
立坑、試錐座	: KR-89、KB-89A、KB-89B
試錐孔	: KH-1~20、KE-1~7

表3. 1. 2 構造関係データ一覧

	調査試験	調査対象	取得情報	利用方法
亀裂	リニアメント	KH-1、KG-1、坑道	550mレベルの亀裂ゾーン (A、B)	不均質異方性モデルに反映
	亀裂観察 坑道内亀裂観察 BTV亀裂観察	全坑道 KH-1~19	亀裂卓越方向 湧水亀裂	透水異方性に反映
トモグラフィ	レーダートモグラフィ	KH-4~7間の5断面 (4-5,5-6,5-7,4-7,6-7)	低速度帯 (4つ) 高速度帯 (2つ)	参考程度
	比抵抗トモグラフィ	KH-4~7間の3断面 (4-5、5-6、5-7)	低比抵抗領域 高比抵抗領域	参考程度

(1) リニアメント解析 (長他、1994²⁾)

地表のリニアメントと坑道内亀裂観察結果から推定された550mレベルにおける亀裂ゾーン (A、B) を図3. 1. 6に示す。これらの亀裂ゾーンは、不均質異方性モデルを考慮する際に反映される。

(2) ボアホールテレビ観察 (岩崎他、1991³⁾)

ボアホールテレビ観察は、試錐孔KH-4~18 (計15孔) において実施されている。ボアホールテレビ観察結果によると、各試錐孔とも削孔方向に拘らずほぼ同じような方向に亀裂の卓越方向が見られている。観察された試錐孔のうちの13孔 (KH-4~6、9~18) のシュミットネット下半球投影図を図3. 1. 7に示す。この図より、最も亀裂が卓越する方向は $N40^{\circ} E60^{\circ} NW$ で、ついで $N70^{\circ} E80^{\circ} NW$ 、 $N20^{\circ} W90^{\circ}$ の順となっている。これらの亀裂データは、透水係数の異方性を考慮する際に反映される。

(3) 坑道内亀裂観察 (野口他、1990⁴⁾、1991⁵⁾)

NW坑道内で観察された亀裂のマップを図3. 1. 8に示し、シュミットネット下半球投影図を図3. 1. 9に示す。この図より、NW坑道内で観察された亀裂の卓越方向は、 $N65^{\circ} E75^{\circ} NW$ である。また、NW坑道とNE坑道内で観察された亀裂のスキャンライン法による補正後のシュミットネット下半球投影図を図3. 1. 10示す。これらの亀裂データは、透水係数の異方性を考慮する際に反映される。

(4) レーダートモグラフィー (仙波他、1992⁶⁾)

レーダートモグラフィーは、図3. 1. 11示すKH-4~7間の5断面 (4-5、5-6、5-7、4-7、6-7) において実施され、図3. 1. 12示すような4つの低速度帯と2つの高速度帯が求められている。一般に、定性的な傾向として、低速度帯は高透水性領域に、高速度帯は低透水性領域に対応すると考えられているが、その定量的な評価は難しい。したがって、本解析では、レーダートモグラフィーの結果を解析モデルには反映しないこととする。

(5) 比抵抗トモグラフィー (浜辺他、1990⁷⁾)

比抵抗トモグラフィーは、KH-4~7間の3断面 (4-5、5-6、5-7) において実施され、これらの断面内に低比抵抗領域と高比抵抗領域の分布が求められている。一般に、定性的な傾向として、低比抵抗領域は低透水性領域に、高比抵抗領域は高透水性領域に対応すると考えられているが、その定量的な評価は難しい。したがって、本解析では、比抵抗トモグラフィーの結果を解析モデルには反映しないこととする。

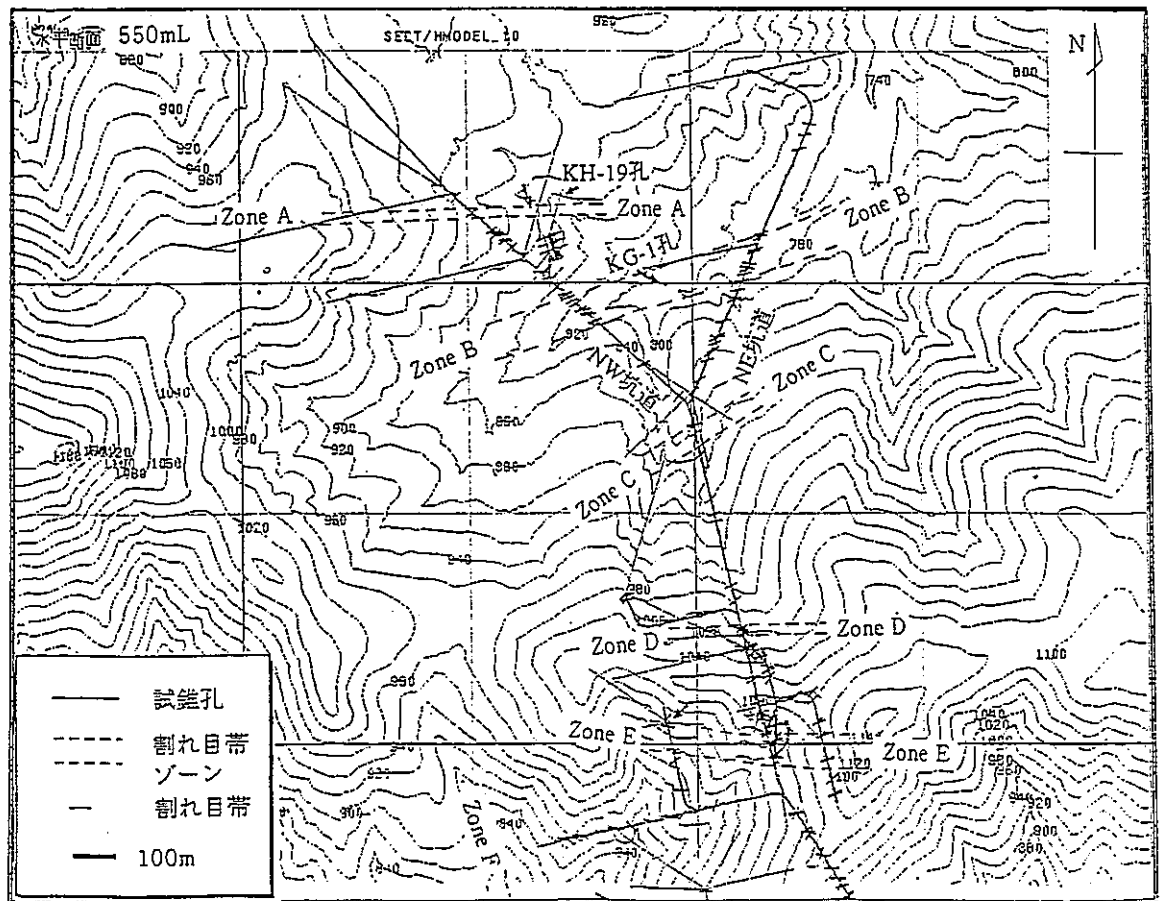


図3. 1. 6 リニアメント解析により得られた亀裂ゾーン位置図 (長他、1994)

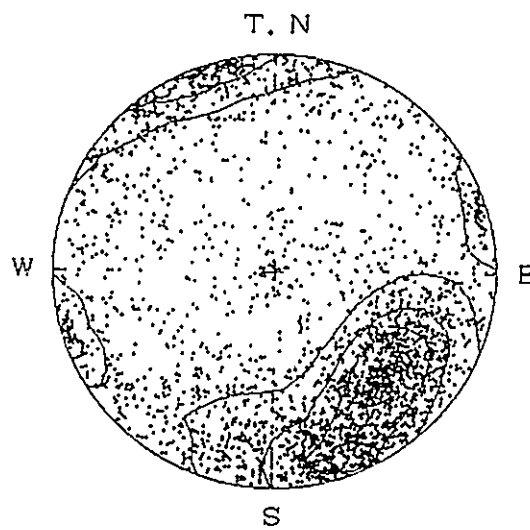


図3. 1. 7 試錐孔内亀裂のシュミットネット下半球投影図 (岩崎他、1991)
(BTV観察、KH-4~6、KH-9~18)

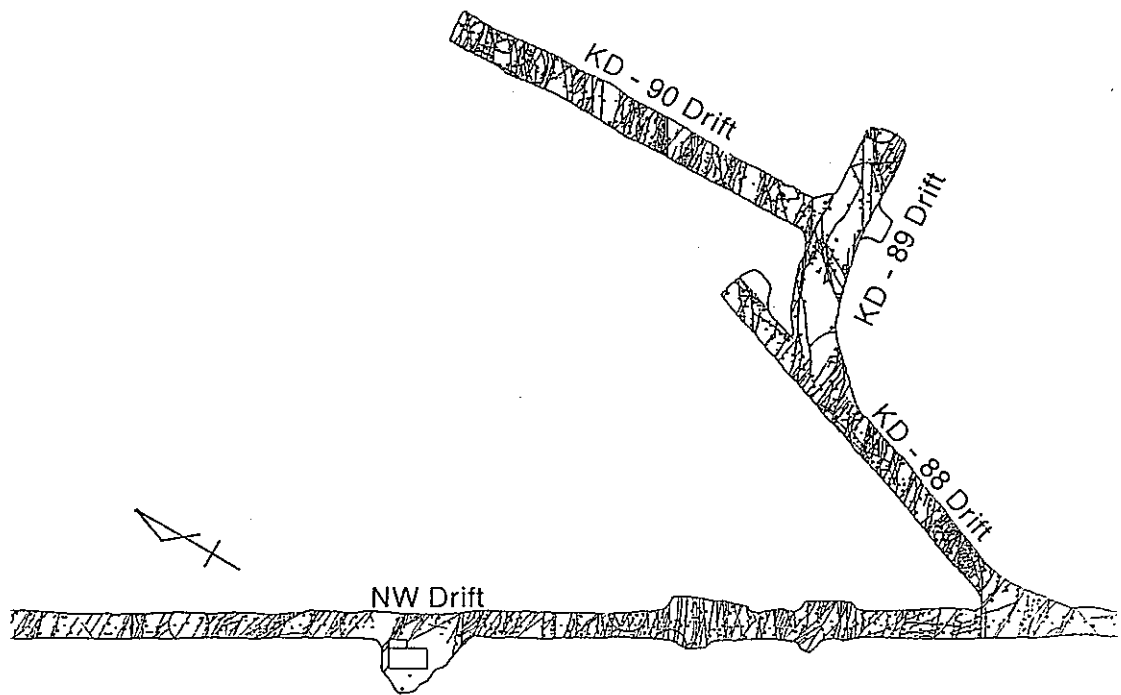


図 3. 1. 8 坑道内亀裂マップ (野口他、1991)

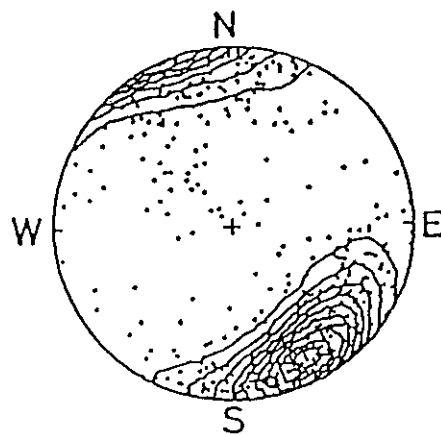


図 3. 1. 9 NW坑道内の亀裂のシュミットネット下半球投影図 (野口他、1990)

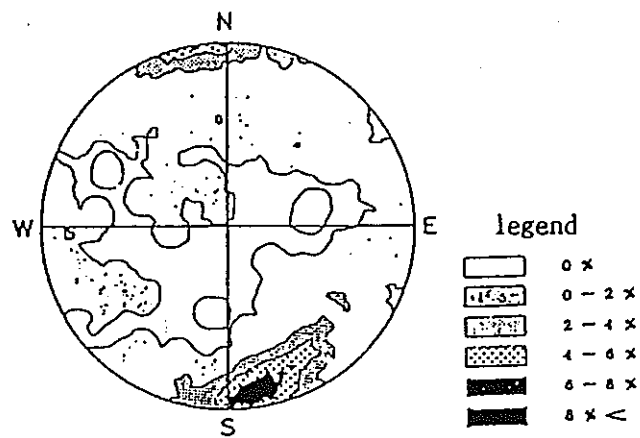


図 3. 1. 10 NW、NE坑道内の亀裂のスキャンライン法補正後のシュミットネット下半球投影図 (野口他、1991)

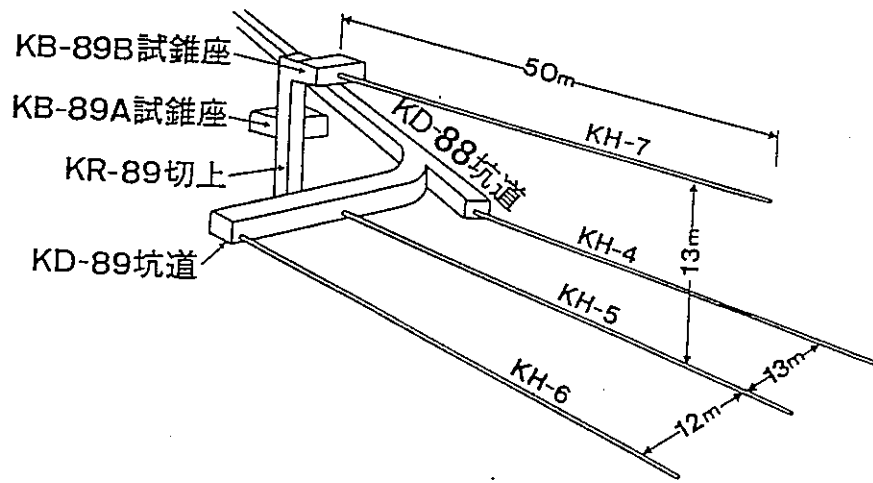


図 3. 1. 11 レーダートモグラフィー実施位置 (仙波他、1992)

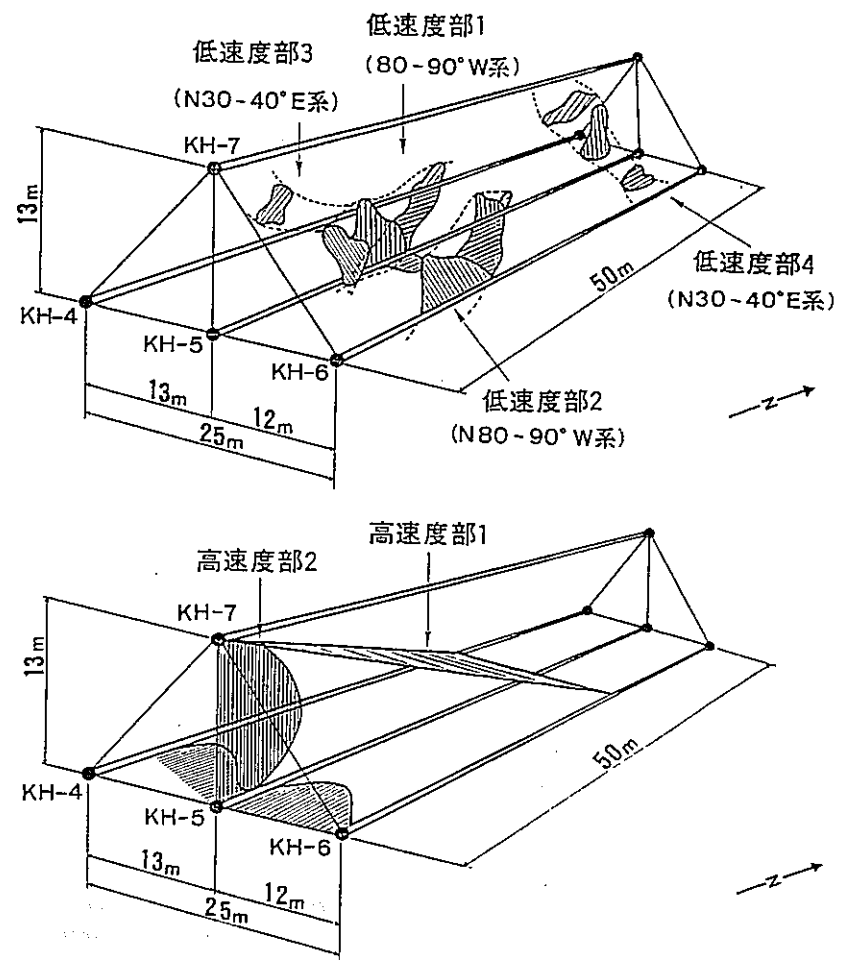


図 3. 1. 12 レーダートモグラフィーにより得られた低速度帯と高速度帯 (仙波他、1992)

3. 2 水理データ

これまでに得られている水理関係データの一覧を表3. 2. 1に示す。

(1) 単孔式透水試験 (浜辺他、1988⁸⁾、1989⁹⁾、1990⁷⁾、青山他、1992¹⁰⁾)

単孔式透水試験として、以下に示す試験が実施されている。

[定常法]

低圧ルジオン試験、湧水圧湧水量試験、1000m級透水試験 (Perm-10)

[非定常試験]

JFT試験、動燃式JFT試験、Perm-10試験

これらの試験により求められた透水係数は、解析に供する透水係数の設定に用いる。

(2) 孔間透水試験 (長他、1990¹¹⁾、福田他、1992¹²⁾)

孔間透水試験は、図3. 2. 1に示したKH-4~7孔内の湧水亀裂が観察された区間において実施され、透水テンソルが求められている。孔間透水試験により求められた透水テンソルは、異方性モデルの透水異方性の際に反映される。

(3) 坑道規模透水試験 (長他、1991¹³⁾)

坑道規模透水試験は、図3. 2. 2に示すようにKD-90坑道内の5つの区間 (区間長7.5m) において実施され、各区間の湧水量が計測された。湧水量計測結果より求められたKD-90坑道周辺の透水係数は、解析に供する透水係数の設定の際に用いる。また、湧水量計測結果は、解析結果との対比にも用いる。

(4) ベンチレーション試験 (長他、1992¹⁴⁾)

ベンチレーション試験は、坑道規模透水試験と同様にKD-90坑道内の5区間において実施され (図3. 2. 3参照)、各区間の湧水量と蒸発量が計測された。これらの計測結果より求められた透水係数は、解析に供する透水係数の設定の際に用いる。

(5) 単一亀裂の地下水流下試験 (新見他、1992¹⁵⁾)

地下水流下試験は、NW坑道内の単一亀裂面内で実施され、図3. 2. 4に示すような単一亀裂面内のチャンネルリング現象が確認されている。本年度は、連続体解析を主眼とし、亀裂面内の透水性は評価しないため、地下水流下試験の結果は解析モデルには反映しない。

(6) トレーサー試験 (内田他、1994¹⁶⁾¹⁷⁾)

トレーサー試験は、図3. 2. 5に示す試錐孔 (KH-7、8) 間の連結性の高い亀裂部において実施され、破過曲線が得られている。本年度は、連続体解析を主眼とし、亀裂面内の透水性は評価しないため、トレーサー試験の結果は解析モデルには反映しない。

(7) 間隙水圧モニタリング

間隙水圧のモニタリングは、全ての試錐孔 (KG-1、KH-1~20) において多連式パッカーにより区切られた各測定区間で実施され、KG-1孔はMPシステムにより、KH-1~20孔は孔口に設置したブルドン管および間隙水圧センサーにより計測されている。

KG-1孔の間隙水圧データは境界条件に反映され、KD-90坑道周辺の試錐孔 (KH-1~20) における間隙水圧データは解析結果との対比に用いる。

表3. 2. 1 水理関係データ一覧

	調査試験	調査対象	取得情報	利用方法
透水係数	単孔式透水試験 (定常法) 低圧ルジオン試験	KH-2(5m×9)、KH-3(5m×8)、 KH-5(2.5m×15)、KE-3(0.8m×6)、 KE-6、7(0.6m×5)	透水係数	透水係数の設定
	湧水圧湧水量試験 Perm-10 (非定常試験)	同上 KG-1 (5m×10)		
	JFT試験	KH-1 (10m×10)		
	動燃式JFT試験	KH-1 (10m×5)		
	Perm-10	KG-1 (5m×4)		
	孔間透水試験	KH-5、6、7		
坑道規模透水試験	KD-90坑道 (7.5m×5)	透水係数	透水係数の設定	
バンフレション試験	KD-90坑道 (7.5m×5)	透水係数	透水係数の設定	
地下水流下試験	亀裂面	亀裂面内のチャンネルリング	用いない	
トレーサー試験	KH-7、8間の亀裂	亀裂面内の透水係数	用いない	
間隙水圧	間隙水圧モニタリング	KH-1~20 KG-1 (MP間隙水圧)	間隙水圧 攪乱に対する水理応答	境界条件の設定 解析結果との対比
湧水量	坑道内湧水量計測	KD-90坑道 (7.5m×5)	透水係数分布 湧水量	透水係数の設定 解析結果との対比

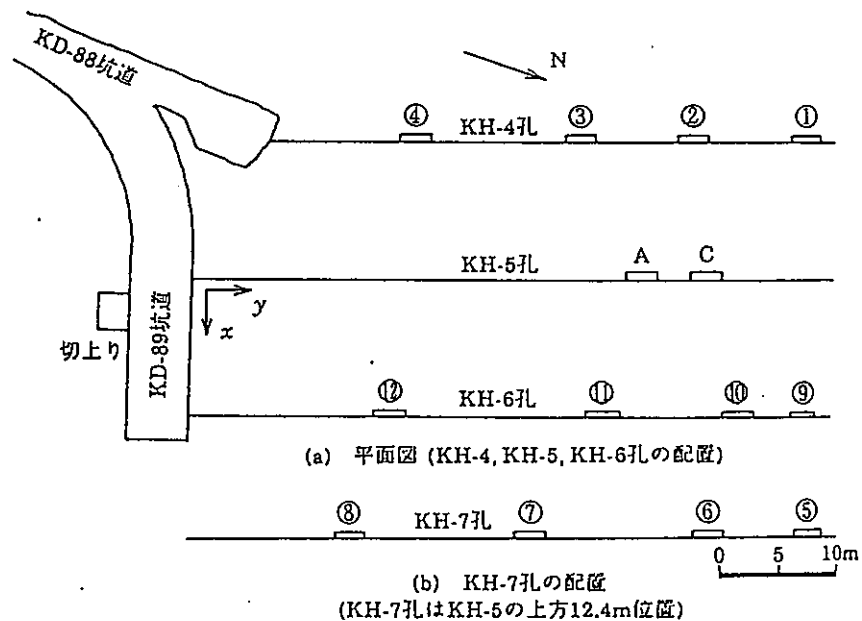


図 3. 2. 1 孔間透水試験区間配置図 (長他、1990)

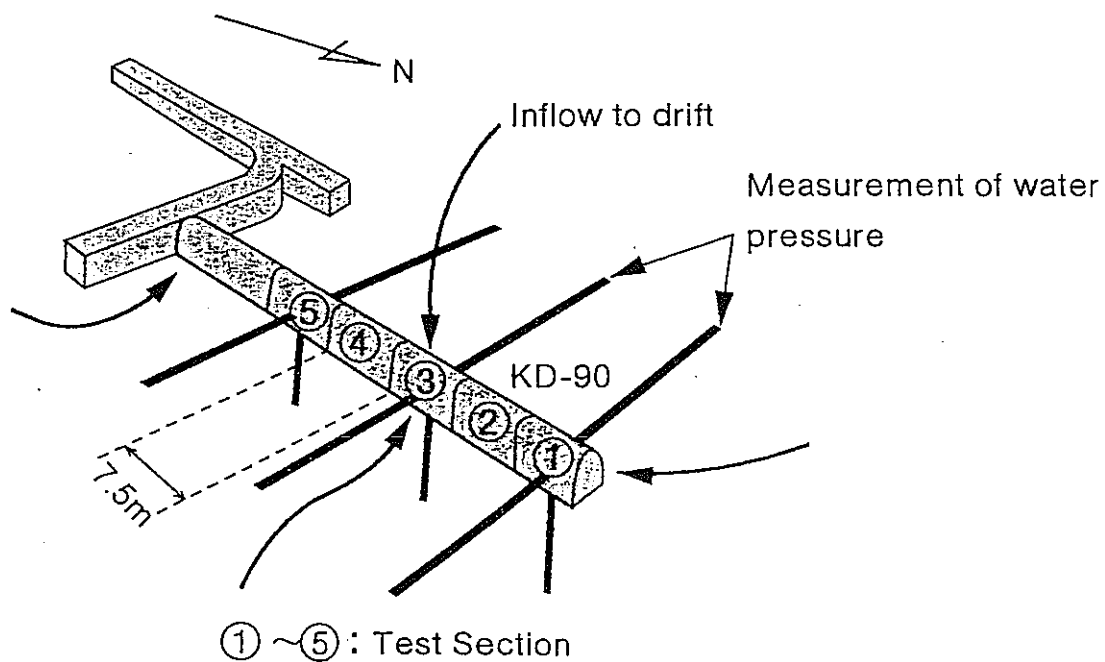


図 3. 2. 2 坑道規模透水試験試験区間図 (長他、1991)

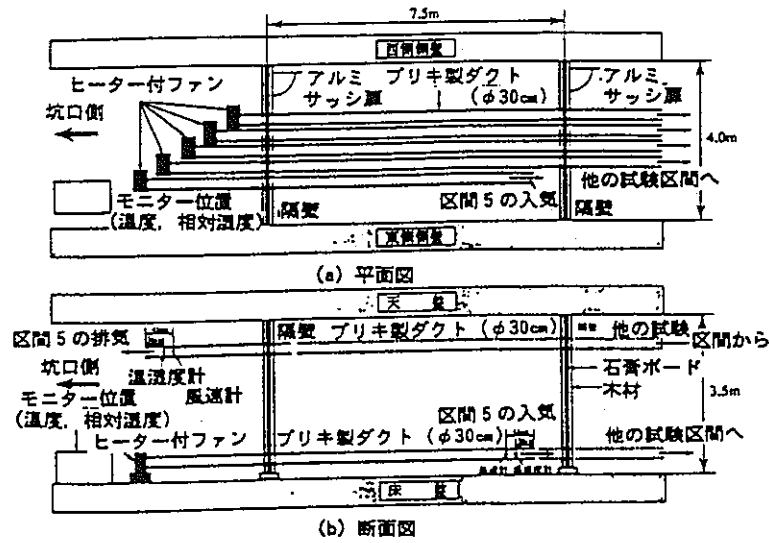


図 3. 2. 3 ベンチレーション試験概念図 (長他、1992)

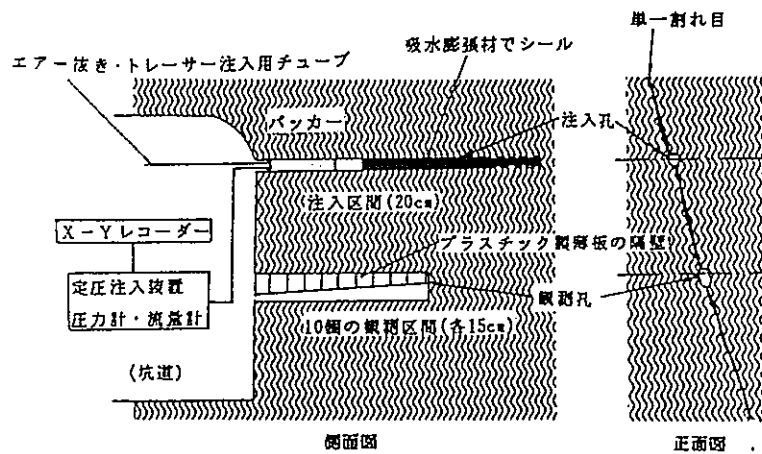


図 3. 2. 4 地下水流下試験概念図 (新見他、1992)

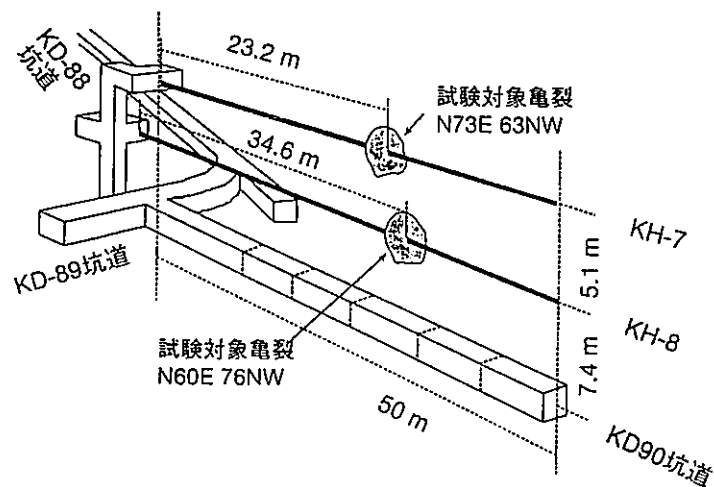


図 3. 2. 5 トレーサー試験位置図 (内田他、1994)

4. 水理地質構造の推定

ここでは、3章で整理した既存データを用いて、解析対象領域周辺の水理地質構造の推定を試みる。

原位置試験場周辺は、栗橋花崗閃緑岩帯に属し、結晶質岩特有の亀裂に依存した透水特性を有するものと考えられる。例えば、NW坑道内において多量の湧水が見られる箇所とそうでない箇所は明確で、NW坑道内のKD-90坑道北側で多量の湧水が見られる箇所は、リニアメント解析で得られた亀裂ゾーンと良く一致している。したがって、透水異方性を考慮する場合には、亀裂データからも吟味する必要がある。

原位置試験場周辺の特徴的な水理地質構造として、リニアメント解析で得られた亀裂ゾーンとKH-19孔で観察された高間隙水圧帯（水理バリア）について、以下にその特徴を述べる。

(1) 亀裂ゾーン

原位置試験場周辺には、図3. 1. 6に示したように地表のリニアメントと各坑道レベルの坑道内の亀裂観察結果から判断した2つの亀裂ゾーンAとBがある。亀裂ゾーンAは、KD-90坑道北側に位置し、ほぼ東西方向にある。亀裂ゾーンBは、KD-90坑道南側に位置し、N70° E方向にある。

(2) 水理バリア

KH-19孔削孔時の湧水量と口元での水圧の変化を図4. 1に示す。この図より、深度50m付近から湧水量と水圧が急激に増加し、この付近に高間隙水圧帯が想定される。この高間隙水圧帯とNW坑道内で多量の湧水が見られる区間を結ぶゾーン（図4. 2参照）は、図3. 1. 6に示したリニアメント解析で得られた亀裂ゾーンAの位置とほぼ一致する。したがって、KD-90坑道北側にほぼ東西方向に走る間隙水圧の高い亀裂ゾーンが存在すると考えられる。

図4. 3に示したKH-19孔の間隙水圧計測結果と先の図4. 1からもわかるように、間隙水圧は、この亀裂ゾーン北側で約20.0kgf/cm²と高く、南側で約2.0kgf/cm²と低くなっている。したがって、この亀裂ゾーンは、単に透水性が高いだけでなく、間隙水圧に変化が見られる水理境界となっている可能性が高い。すなわち、この境界部に非常に透水性の低いゾーンが存在するか、もしくは、東西方向に透水性が高く南北方向に透水性の低いゾーンと考えられる。現時点では、この亀裂ゾーンがKD-90坑道北側の高間隙水圧帯を説明するための手掛かりとなり、以後、水理バリアと呼ぶこととする。ただし、水理バリア周辺には試錐孔も少なく、その水理学的特徴が明らかにされていないため、今年度は異方性モデルによる水理バリアのモデル化を試みることにし、詳細は今後の調査に委ねるものとする。

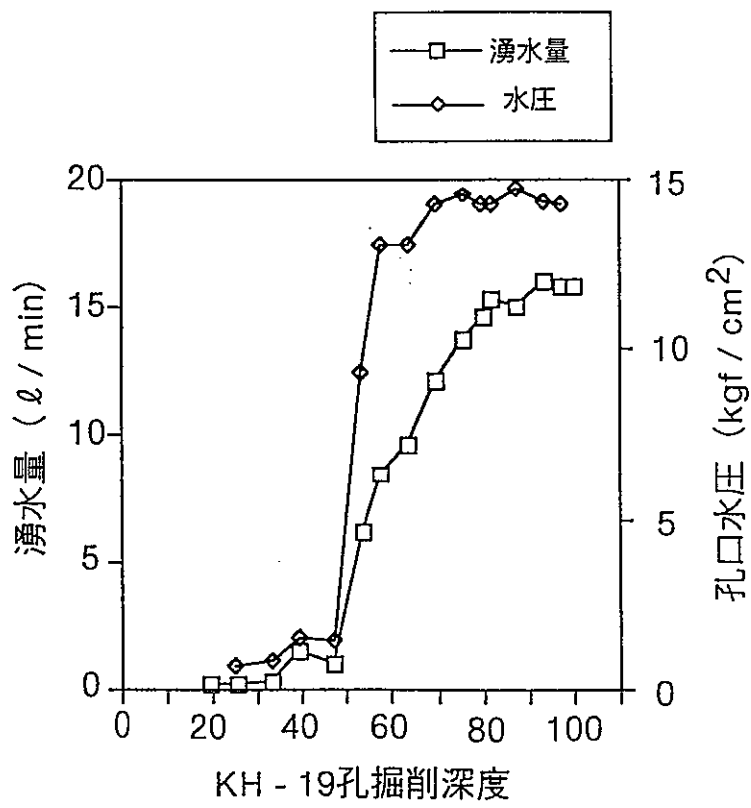


図 4. 1 KH-19削孔時の間隙水圧と湧水量 (口元)

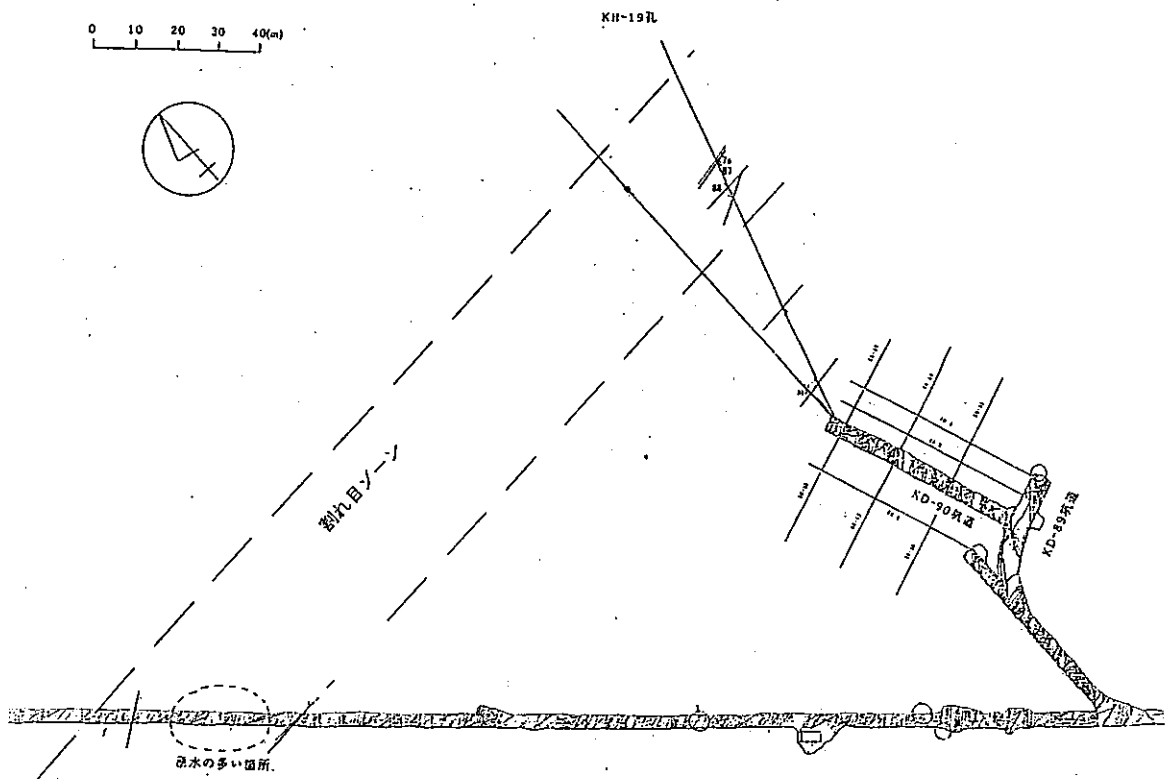


図 4. 2 水理バリア推定位置

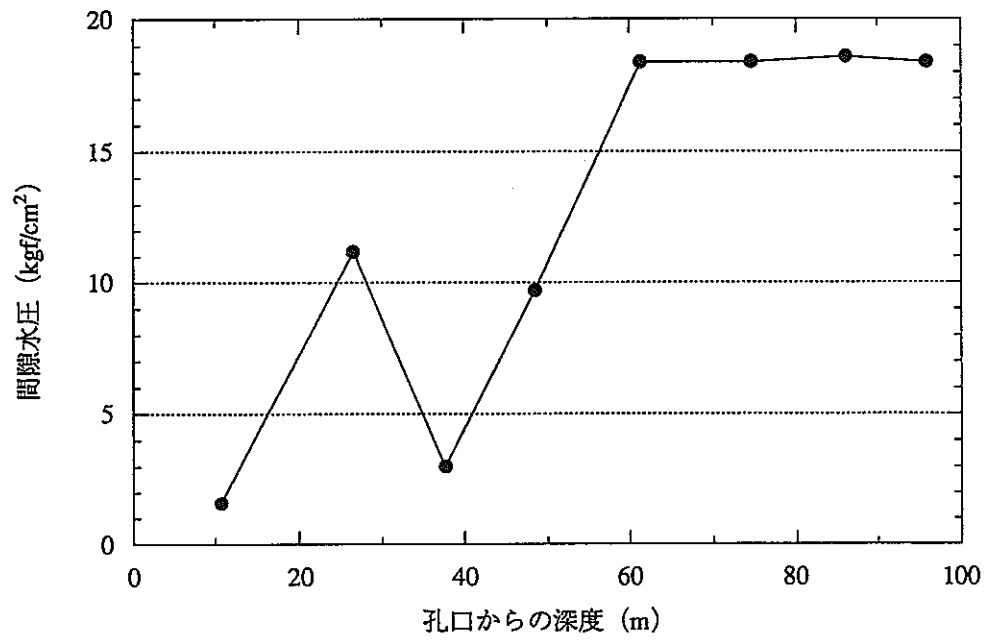


図 4. 3 KH-19孔の間隙水圧計測結果 (1994年7月1日現在)

5. 連続体モデルの作成

ここでは、解析領域、境界条件および透水係数を設定し、解析モデルの構築を行う。

具体的には、まず、間隙水圧測定結果から判断して、解析領域とともにその境界条件を設定する。次に、4章で推定された水理地質構造に基づいて、設定した解析領域内に亀裂ゾーンを設定し、水理試験データや亀裂特性データから解析に供する透水係数を設定して連続体による解析モデルを構築する。

5. 1 解析領域の設定

解析領域は、表5. 1. 1に示すようにKD-90坑道を中心にその周辺の坑道、立坑、試錐座、試錐孔を含む領域で、KH-19孔で観察された水理バリアを含む領域とする。

解析領域の設定にあたっては、地表から削孔されたKG-1孔における間隙水圧測定結果に基づいて、その側方境界と上下境界を設定する。

表5. 1. 1 解析領域内に含まれる構造

坑道	: NW坑道、KD-88、KD-89、KD-90
立坑、試錐座	: KR-89、KB-89A、KB-89B
試錐孔	: KH-1~20
亀裂ゾーン	: A (水理バリア)、B

5. 1. 1 側方境界

KD-90坑道入口から約250m離れたKG-1孔は、リニアメント解析により求められた亀裂ゾーンB内に位置している(図3. 1. 6参照)。図5. 1. 1と表5. 1. 2に示したKG-1孔における間隙水圧計測結果によると550mレベルにおける間隙水圧は、KD-90坑道掘削終了(1990年11月23日)2年後(1992年11月28日)に約10kgf/cm²で、図5. 1. 2に示すようにその後もあまり変化が見られない。また、KD-90坑道周辺の試錐孔における間隙水圧計測結果によると、KD-90坑道から30m範囲内での間隙水圧は最大でも3.0kgf/cm²程度で、KG-1孔とKD-90坑道の間で約7.0kgf/cm²の間隙水圧の低下が見られる。

したがって、解析領域は、間隙水圧が最も低下していると思われるKD-90坑道を中心に間隙水圧が唯一地表から計測されているKG-1孔をその側方境界とする図5. 1. 3に示すような1辺400mの正方形領域とする。

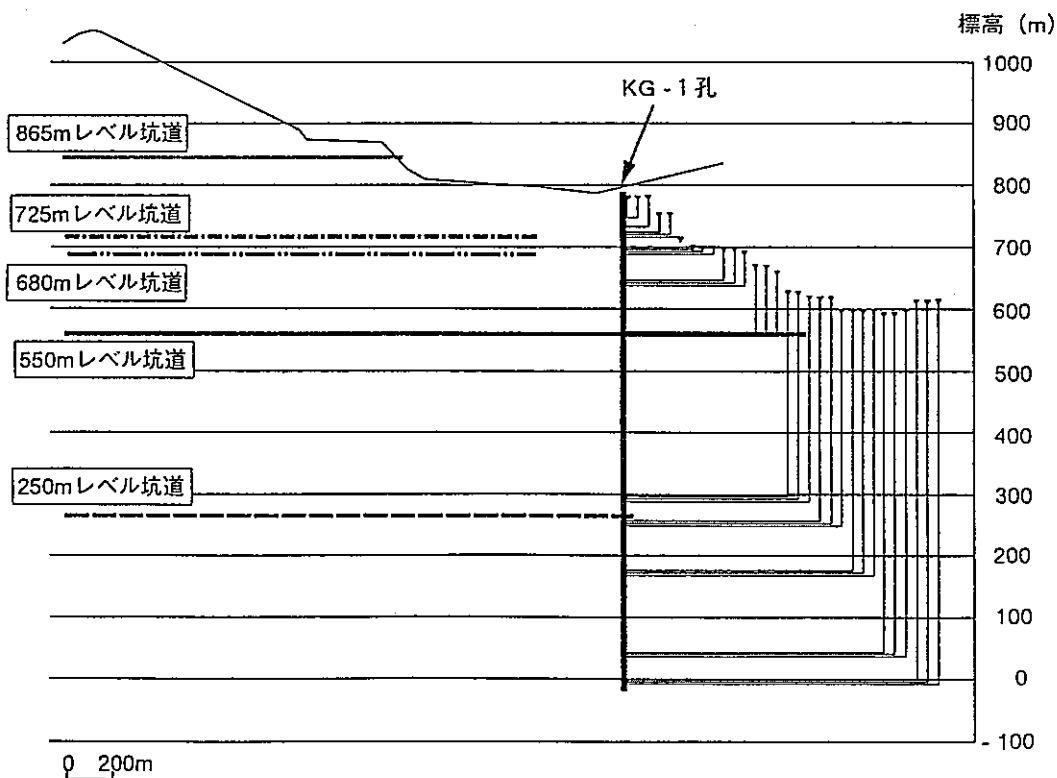


図 5. 1. 1 KG-1孔における間隙水圧計測結果

表 5. 1. 2 KG-1孔における間隙水圧計測結果 (1992年11月28日)

計測位置標高 (m)	水頭 (m)	間隙水圧 (kgf/cm ²)	平均値 (kgf/cm ²)
555.14	658.74	10.36	10.55
559.60	667.70	10.81	
562.73	667.63	10.49	

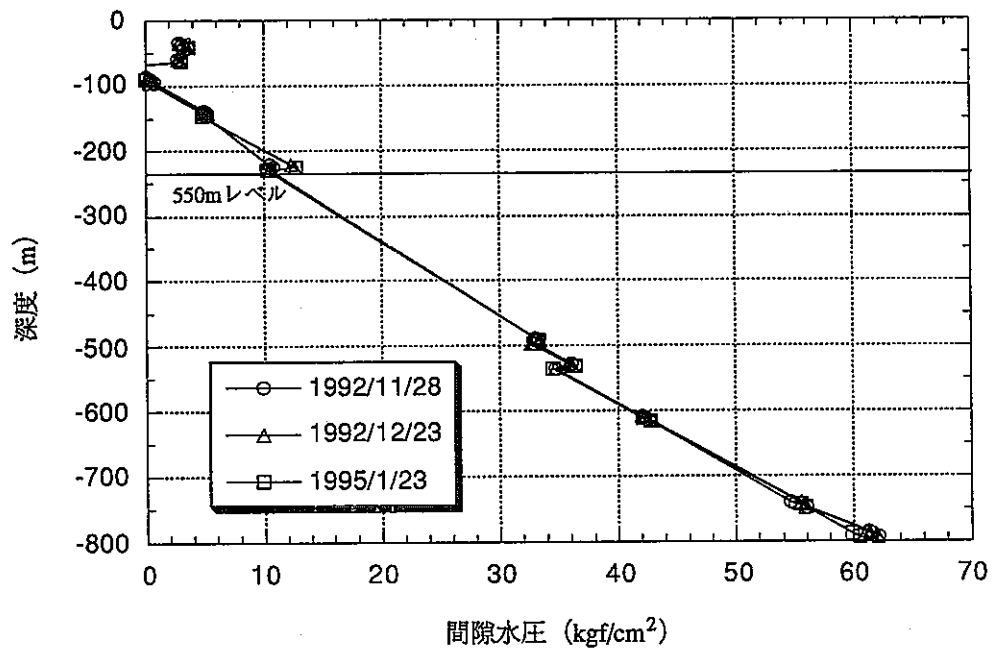


図 5. 1. 2 KG-1孔における間隙水圧経時変化

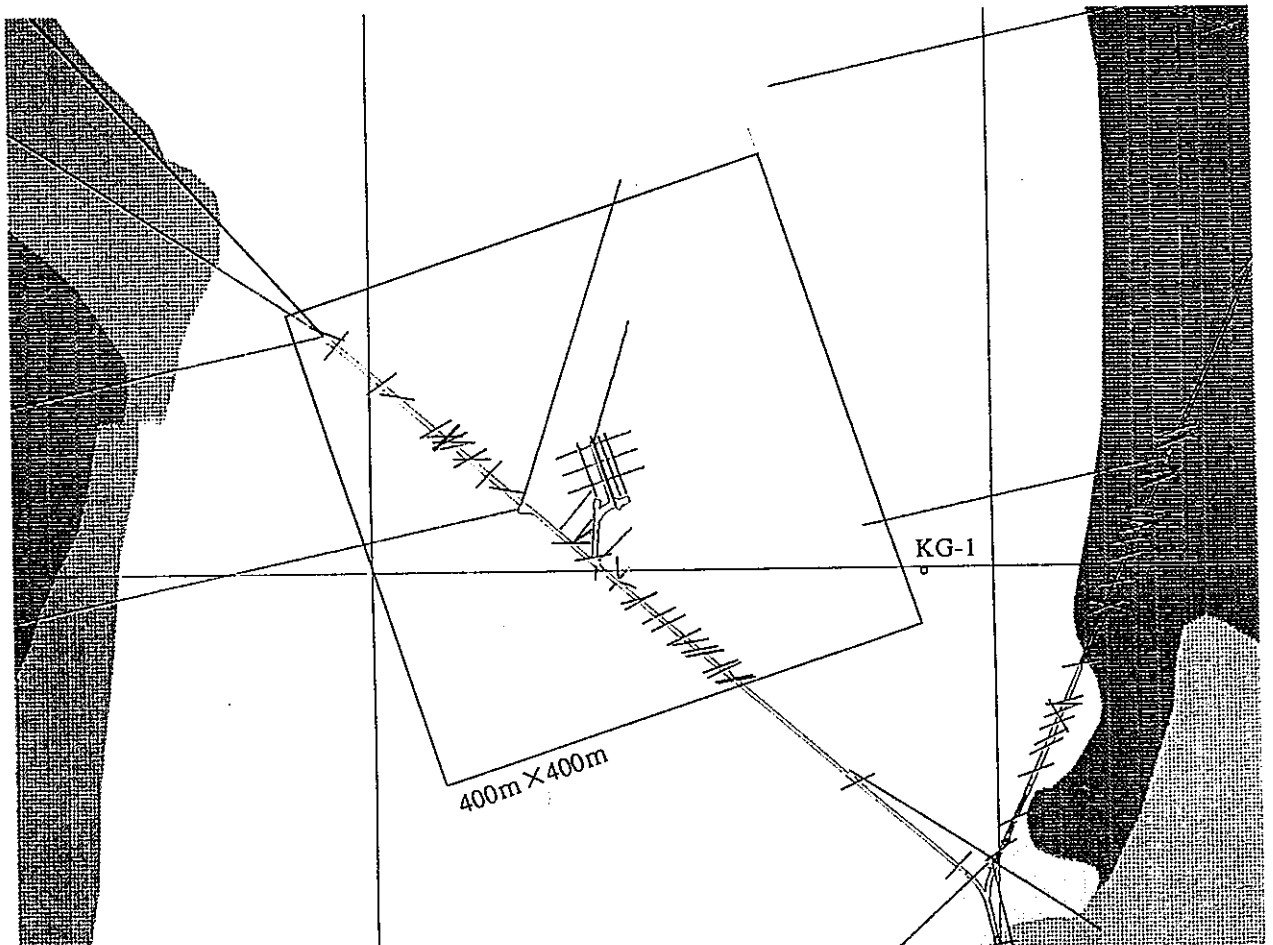


図 5. 1. 3 解析領域平面図

5. 1. 2 上部・下部境界

図5. 1. 1のKG-1孔における間隙水圧計測結果において、550mレベル坑道とその上下のレベルの坑道（680mレベル坑道、250mレベル坑道）における間隙水圧を比較して上部境界と下部境界について検討する。

550mレベル坑道上部の680mレベル坑道の全水頭は、その下にある標高640mにおける水頭とほぼ同じで、その間の間隙水圧の乱れはあまり見られない。したがって、上部境界はこの範囲内に設定することとし、次節の境界条件の設定より550mレベルにおける側方境界の間隙水圧は 10.0kgf/cm^2 であるため550mレベルから100m上方に上部境界を設定することとした。

550mレベル坑道下部の250mレベル坑道近傍における全水頭は、550mレベルに比較して低下しており、250mレベル坑道により乱されて間隙水圧が局所的に低下していると考えられる。したがって、下部境界は、250mレベル坑道を含まない位置、すなわち、550mレベルと250mレベルの間400mレベルに設定することとする。

したがって、上部境界は550mレベル坑道から上方100mの位置（標高650m）、下部境界は550mレベル坑道から下方150mの位置（標高400m）に設定した。

以上により、解析領域は、図5. 1. 4に示すようにKD-90坑道を中心に $400\text{m} \times 400\text{m} \times 250\text{m}$ の領域となる。

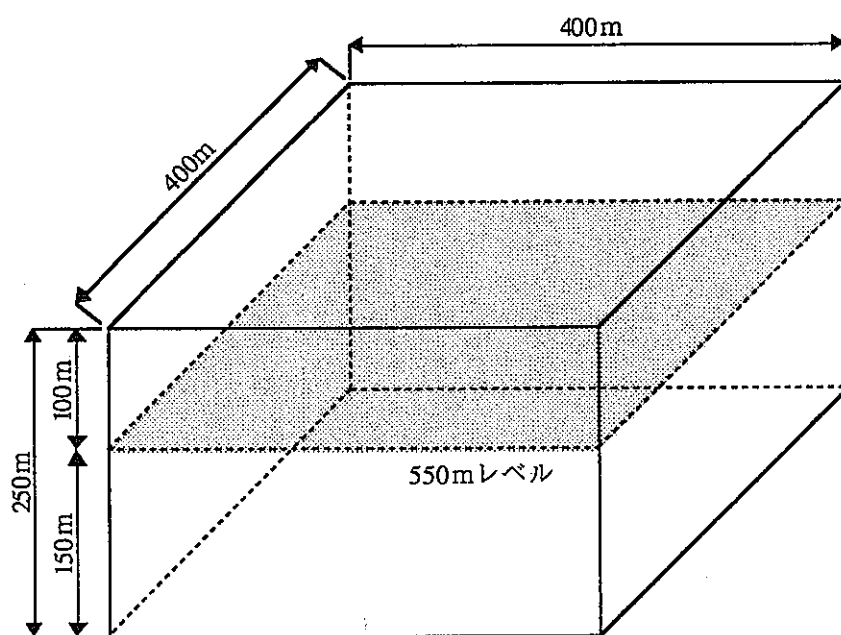


図5. 1. 4 解析領域鳥瞰図

5. 2 境界条件の設定

境界条件の設定にあたっては、水理バリアを考慮しない場合と考慮した場合についてそれぞれ検討する。

5. 2. 1 水理バリアを考慮しない場合

KG-1孔の間隙水圧計測結果によると、KD-90坑道掘削終了2年後（1992.11.28現在）の550mレベルの間隙水圧は約 10kgf/cm^2 である。したがって、水理バリアを考慮しない場合には、図5. 2. 1 (a) に示すように550mレベルの側方境界において間隙水圧 10kgf/cm^2 の定水位境界とし、鉛直方向は静水圧分布とする。

[全境界] 定水位境界： 10kgf/cm^2 (550mレベル)

5. 2. 2 水理バリアを考慮した場合

間隙水圧計測結果によると、KH-19孔奥で最大 20.0kgf/cm^2 の間隙水圧が観察され、KH-20孔でもほぼ同じ程度の間隙水圧が観察されている。したがって、水理バリアを考慮する場合には、図5. 2. 1 (b) に示すように550mレベルの水理バリア北側の側方境界において間隙水圧 20.0kgf/cm^2 の定水位境界とし、水理バリア南側は5. 2. 1と同じとする。

[水理バリア南側] 定水位境界： 10kgf/cm^2 (550mレベル)

[水理バリア北側] 定水位境界： 20kgf/cm^2 (550mレベル)

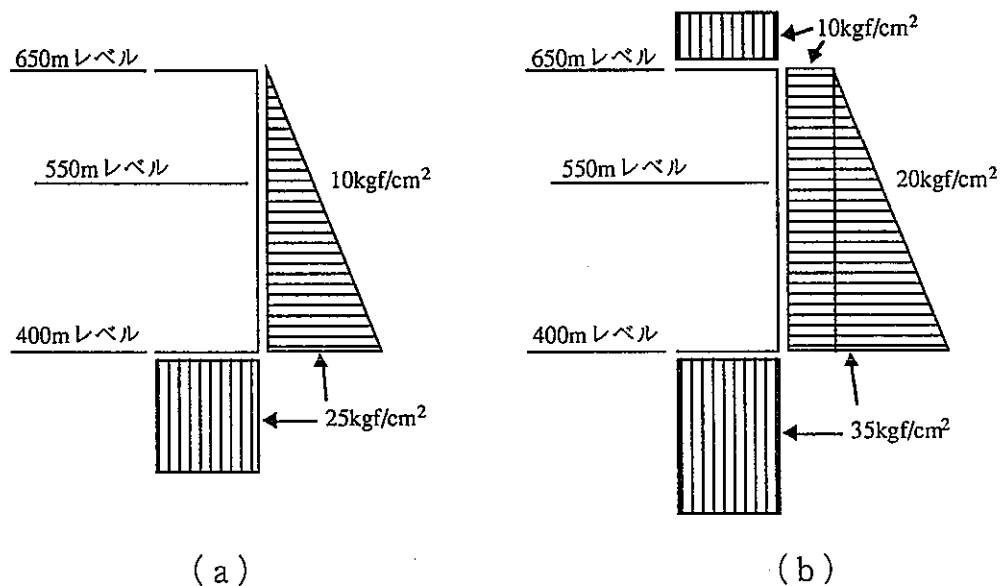


図5. 2. 1 定水位境界模式図

[(a) は水理バリアを考慮しない場合、または、考慮した場合の水理バリア南側、 (b) は水理バリアを考慮した場合の水理バリア北側]

5. 3 透水特性の設定

今年度は、原位置試験場周辺の水理状況を把握することを目的とした定常解析であるため、解析に必要な水理特性は透水係数のみとなる。透水係数の設定にあたっては、原位置で実施された水理試験（単孔透水試験、孔間透水試験、坑道規模透水試験、ベンチレーション試験、1000m級透水試験、JFT試験）の結果より、水平方向および深度方向の透水係数と透水異方性について評価する。

5. 3. 1 水平方向の透水係数

550mレベルにおける水平方向の透水係数は、KD-90坑道とKD-90坑道周辺の水平孔で実施された以下に示す水理試験結果より評価する。

- (1) 単孔透水試験 : KH-2、KH-3、KH-5、KE-3、KE-6、KE-7
- (2) 孔間透水試験 : KH-4、KH-5、KH-6、KH-7
- (3) 坑道規模透水試験 : KD-90坑道
- (4) ベンチレーション試験 : KD-90坑道

(1) 単孔透水試験（低圧ルジオン試験、湧水量湧水圧試験）

低圧ルジオン試験および湧水量湧水圧試験結果を表5. 3. 1に示す。この表に示すように、両試験により得られた透水係数はオーダー的に異なることもなく、ほぼ同じような値が得られていることから、より多くの試験孔で実施されている低圧ルジオン試験により得られた透水係数を用いることとする。

試験結果によると、KD-90坑道周辺の透水係数は、透水性が高いKH-2孔奥とKH-3孔奥を除けば 10^6 cm/sオーダーから 10^9 cm/sオーダーの範囲に分布している。また、表5. 3. 2に示す各孔の対数平均値によると、全6孔の対数平均値（45点）は 3.64×10^7 cm/s、KD-90坑道内に削孔されたKH-5孔の対数平均値は 7.74×10^7 cm/sとなっている。

次節で述べるように解析領域周辺の亀裂の卓越方向はほぼ東西方向であるが、これと同じ方向に削孔された2孔（KE-6、7）の透水係数の対数平均（ 4.35×10^8 cm/s、10点）と、亀裂の卓越方向に斜めまたは直交する方向に削孔された4孔（KH-2、3、5、KE-3）の透水係数の対数平均（ 6.67×10^7 cm/s、35点）には明確な差異が見られ、透水の異方性を示すことが伺える。

表5. 3. 1 単孔透水試験結果 (KE-3、KE-6、KE-7、KH-2)

孔名	試験区間 (深度、長さ:m)				透水係数 (cm/s)			間隙水圧 (kgf/cm ²)
	No.	始点	終点	長さ	低圧ルジオン	湧水圧試験	平均値	
KE-3	1	22.2	23.0	0.8	2.60×10^{-8}	2.09×10^{-8}	2.33×10^{-8}	0.93
	2	21.4	22.2	0.8	1.89×10^{-7}	1.33×10^{-7}	1.59×10^{-7}	1.27
	3	20.6	21.4	0.8	2.13×10^{-7}	2.06×10^{-7}	2.09×10^{-7}	1.48
	4	19.8	20.6	0.8	1.26×10^{-7}	1.41×10^{-7}	1.33×10^{-7}	1.41
	5	10.5	11.3	0.8	5.25×10^{-8}	7.01×10^{-8}	6.07×10^{-8}	2.2
	6	7.9	9.9	2.0	1.56×10^{-6}	3.25×10^{-6}	2.25×10^{-6}	0.46
					1.49×10^{-7}	1.62×10^{-7}	1.55×10^{-7}	
KE-6	1	13.55	14.15	0.6	8.82×10^{-9}	—	8.82×10^{-9}	0.21
	2	12.65	13.25	0.6	3.42×10^{-7}	—	3.42×10^{-7}	1.51
	3	11.55	12.15	0.6	1.15×10^{-8}	—	1.15×10^{-8}	0.7
	4	10.60	11.20	0.6	5.49×10^{-6}	—	5.49×10^{-6}	1.57
	5	9.20	9.80	0.6	1.08×10^{-9}	—	1.08×10^{-9}	0.01
					4.60×10^{-8}	—	4.60×10^{-8}	
KE-7	1	14.4	15.0	0.6	2.27×10^{-7}	—	2.27×10^{-7}	0.39
	2	12.9	13.5	0.6	2.98×10^{-9}	—	2.98×10^{-9}	0.03
	3	12.1	12.7	0.6	2.4×10^{-5}	—	2.4×10^{-5}	2.51
	4	10.6	11.2	0.6	2.57×10^{-9}	—	2.57×10^{-9}	0.18
	5	9.8	10.4	0.6	2.85×10^{-9}	—	2.85×10^{-9}	0.25
					4.12×10^{-8}	—	4.12×10^{-8}	
KH-2	1	1	6	5	9.06×10^{-8}	—	9.06×10^{-8}	
	2	5.5	10.5	5	4.16×10^{-8}	—	4.16×10^{-8}	0.07
	3	10.5	15.5	5	5.84×10^{-6}	8.43×10^{-6}	7.02×10^{-6}	0.42
	4	14	19	5	—	7.27×10^{-6}	7.27×10^{-6}	0.62
	5	19	24	5	—	5.51×10^{-6}	5.51×10^{-6}	0.33
	6	24	29	5	3.64×10^{-6}	3.32×10^{-6}	3.48×10^{-6}	0.57
	7	27.5	32.5	5	—	6.27×10^{-6}	6.27×10^{-6}	0.38
	8	31	36	5	3.57×10^{-5}	5.55×10^{-5}	4.45×10^{-5}	0.58
	9	34.4	39.4	5	2.46×10^{-4}	2.96×10^{-4}	2.70×10^{-4}	0.74
					2.98×10^{-6}	1.41×10^{-5}	4.03×10^{-6}	

表5. 3. 1 単孔透水試験結果(続き) (KH-3、KH-5)

孔名	試験区間(深度、長さ:m)				透水係数(cm/s)			間隙水圧(kgf/cm ²)
	No.	始点	終点	長さ	低圧ルジオン	湧水圧試験	平均値	
KH-3	1	2	5	3	2.23×10^{-7}	—	2.23×10^{-7}	—
	2	6.5	11.5	5	7.35×10^{-8}	—	7.35×10^{-8}	—
	3	11.5	16.5	5	7.25×10^{-8}	—	7.25×10^{-8}	—
	4	16.5	21.5	5	4.63×10^{-7}	4.71×10^{-7}	4.67×10^{-7}	1.85
	5	21.5	26.5	5	7.68×10^{-8}	—	7.68×10^{-8}	1.01
	6	25	30	5	1.83×10^{-7}	—	1.83×10^{-7}	0.66
	7	30	35	5	1.59×10^{-5}	1.42×10^{-5}	1.50×10^{-5}	3.59
	8	34.5	39.5	5	3.49×10^{-5}	3.22×10^{-5}	3.35×10^{-5}	1.48
					5.06×10^{-7}	5.99×10^{-6}	5.00×10^{-7}	
KH-5	1	48	50.5	2.5	8.54×10^{-9}	1.34×10^{-8}	1.07×10^{-8}	1.501
	2	47	49.5	2.5	1.63×10^{-8}	7.6×10^{-8}	3.52×10^{-8}	0.883
	3	44.5	47	2.5	5.35×10^{-6}	7.0×10^{-6}	6.12×10^{-6}	1.01
	4	42.8	45.3	2.5	7.37×10^{-6}	1.18×10^{-5}	9.33×10^{-6}	0.715
	5	40.3	42.8	2.5	8.0×10^{-6}	1.04×10^{-5}	9.12×10^{-6}	0.773
	6	37.8	40.3	2.5	2.17×10^{-6}	3.12×10^{-6}	2.60×10^{-6}	1.04
	7	35.3	37.8	2.5	3.64×10^{-6}	2.91×10^{-6}	3.25×10^{-6}	0.999
	8	32.8	35.3	2.5	5.72×10^{-7}	7.88×10^{-7}	6.71×10^{-7}	1.412
	9	30.3	32.8	2.5	8.25×10^{-8}	5.42×10^{-8}	6.69×10^{-8}	0.768
	10	27.8	30.3	2.5	8.24×10^{-7}	1.82×10^{-6}	1.22×10^{-6}	0.055
	11	25.3	27.8	2.5	1.25×10^{-6}	4.48×10^{-6}	2.37×10^{-6}	0.33
	12	22.8	25.3	2.5	8.91×10^{-7}	3.41×10^{-6}	1.74×10^{-6}	0.16
	13	20.3	22.8	2.5	6.94×10^{-8}	1.79×10^{-6}	3.52×10^{-7}	0.215
	14	17.8	20.3	2.5	3.88×10^{-6}	5.89×10^{-5}	1.51×10^{-5}	0.419
	15	15.3	17.8	2.5	5.38×10^{-6}	2.4×10^{-6}	3.59×10^{-6}	0.394
				7.74×10^{-7}	1.68×10^{-6}	1.14×10^{-6}		

表 5. 3. 2 透水係数対数平均値 (低圧ルジオン試験)

試錐孔	測定点数	透水係数 (cm/s)
KE-3	6	1.49×10^{-7}
KE-6	5	4.60×10^{-8}
KE-7	5	4.12×10^{-8}
KH-2	6	2.98×10^{-6}
KH-3	8	5.06×10^{-7}
KH-5	15	7.74×10^{-7}
平均値 (KE-6,7)	10	4.35×10^{-8}
平均値 (KE-3, KH-2,3,5)	35	6.67×10^{-7}
平均値 (全孔)	45	3.64×10^{-7}

(2) 孔間透水試験

孔間透水試験により求められた透水テンソルを表5. 3. 3に示す。最大主軸方向の透水係数はそれぞれ 10^5 オーダーであり、低圧ルジオン試験結果より1～2オーダー高い。これは、湧水の見られる比較的透水性の高い亀裂を含んだ区間で試験を実施したためと思われる。したがって、孔間透水試験により得られた透水係数は、主に高透水性亀裂の透水性を評価していると判断し、連続体を用いた本解析には用いないこととする。

表5. 3. 3 孔間透水試験により求められた透水テンソル

	透水係数 (cm/s)	主方向	
		方位角 (°)	傾斜 (°)
No.1	5.92×10^5	41	28
No.2	1.94×10^5	279	46
No.3	5.49×10^6	150	31

3) 坑道規模透水試験

坑道規模透水試験により求められた透水係数を表5. 3. 4に示す。この試験結果によると、坑道周辺の透水係数は $10^6 \sim 10^7$ オーダーに分布し、全体では 2.07×10^6 cm/sとなっており、低圧ルジオン試験結果（全孔）より1オーダー程度大きくなっている。

表5. 3. 4 坑道規模透水試験により求められた透水係数

区間長 (m)	試験区間	湧水量 (cc/min)	動水勾配	透水係数 (cm/s)
7.5	1	357.0	5.39	2.34×10^6
	2	548.0	5.09	3.81×10^6
	3	26.8	4.78	1.98×10^7
	4	29.4	4.58	2.27×10^7
	5	401.0	4.38	3.24×10^6
15.0	1,2	853.1	5.24	2.88×10^6
	3,4	56.2	4.68	2.12×10^7
	4,5	430.4	4.48	1.70×10^6
22.5	1,2,3	959.0	5.09	2.78×10^6
	3,4,5	457.2	4.58	1.18×10^6
30.0	1,2,3,4	1034.0	4.96	2.19×10^6
	2,3,4,5	1005.0	4.71	1.89×10^6
37.5	1,2,3,4,5	1416.0	4.85	2.07×10^6

(4) ベンチレーション試験

ベンチレーション試験により求められた透水係数を表5. 3. 5に示す。坑道規模透水試験結果と同様に、坑道周辺の透水係数は $10^6 \sim 10^7$ オーダーに分布し、全体では $2.38 \times 10^6 \text{ cm/s}$ となっており、坑道規模透水試験とほぼ同じで、低圧ルジオン試験結果(全孔)より1オーダー程度大きくなっている。

表5. 3. 5 ベンチレーション試験により求められた透水係数

区間長 (m)	試験区間	湧水量 (cc/min)	動水勾配	透水係数 (cm/s)
7.5	1	359.8	4.94	2.58×10^6
	2	582.2	4.68	4.40×10^6
	3	49.8	4.41	3.99×10^7
	4	28.0	4.42	2.24×10^7
	5	482.8	4.43	3.85×10^6
15.0	1,2	882.2	4.81	3.24×10^6
	3,4	77.8	4.42	3.12×10^7
	4,5	510.8	4.43	2.04×10^6
22.5	1,2,3	1009.2	4.68	2.54×10^6
	3,4,5	560.6	4.42	1.50×10^6
30.0	1,2,3,4	1085.7	4.61	2.08×10^6
	2,3,4,5	1142.8	4.49	2.25×10^6
37.5	1,2,3,4,5	1540.5	4.59	2.38×10^6

以上の(1)～(4)の結果より、均質等方モデルと異方性モデルにおける透水係数を設定する。透水係数の設定に際しては、連続体解析であるため、原位置試験場周辺の透水係数を平均化したようなマクロな透水係数を設定する必要があり、前述したように、亀裂の透水性を評価している孔間透水試験の結果は用いないこととする。

マクロな透水係数という点では、単孔透水試験の平均値を用いるか、または、坑道規模で透水係数が算定されている坑道規模透水試験やベンチレーション試験結果をそのまま用いることとなる。

[均質等方モデル]

低圧ルジオン試験の結果をその対数平均値とともに図5.3.1に示す。試験結果によると、KD-90坑道周辺の透水係数は、ほぼ $10^5 \sim 10^7 \text{ cm/s}$ オーダーの範囲に分布しており、各孔の対数平均値もこの範囲内にある。また、全6孔の対数平均値(45点)は $3.64 \times 10^7 \text{ cm/s}$ 、KD-90坑道内に削孔されたKH-5孔の対数平均値は $7.74 \times 10^7 \text{ cm/s}$ となっており、代表値としては $5.0 \times 10^7 \text{ cm/s}$ が妥当と思われる。

坑道規模試験やベンチレーション試験の結果によると、KD-90坑道全体の透水係数はそれぞれ 2.07×10^6 、 $2.38 \times 10^6 \text{ cm/s}$ で、上記の値よりも若干高めではあるが低圧ルジオン試験の結果にも 10^6 cm/s オーダーの値が多く見られており、オーダー的に不自然な値ではない。

以上に記した低圧ルジオン試験結果と坑道規模透水試験やベンチレーション試験の結果より、均質等方モデルに用いる透水係数として $5.0 \times 10^7 \text{ cm/s} \sim 1.0 \times 10^6 \text{ cm/s}$ が妥当と思われるが、本解析では $5.0 \times 10^7 \text{ cm/s}$ を採択する。なお、均質等方モデルでは、KD-90坑道内への湧水量は透水係数の大きさに比例するが、間隙水圧分布は透水係数の大きさに依存しない。

[異方性モデル]

異方性モデルに関しては、低圧ルジオン試験の結果から亀裂の卓越方向に削孔された2孔(KE-6、7)の透水係数の対数平均が $4.35 \times 10^8 \text{ cm/s}$ と、亀裂の卓越方向に斜めまたは直交する方向に削孔された4孔(KH-2、3、5、KE-3)の透水係数の対数平均($6.67 \times 10^7 \text{ cm/s}$ 、35点)より1オーダー小さいため、最小主軸方向の透水係数には $5.0 \times 10^8 \text{ cm/s}$ を用いることとする。なお、最大主軸方向の透水係数は、均質等方モデルと同じ値を用いる。

透水係数

(均質等方モデル、異方性モデルの亀裂卓越方向) : $5.0 \times 10^7 \text{ cm/s}$

(異方性モデルの亀裂卓越方向に直交方向) : $5.0 \times 10^8 \text{ cm/s}$

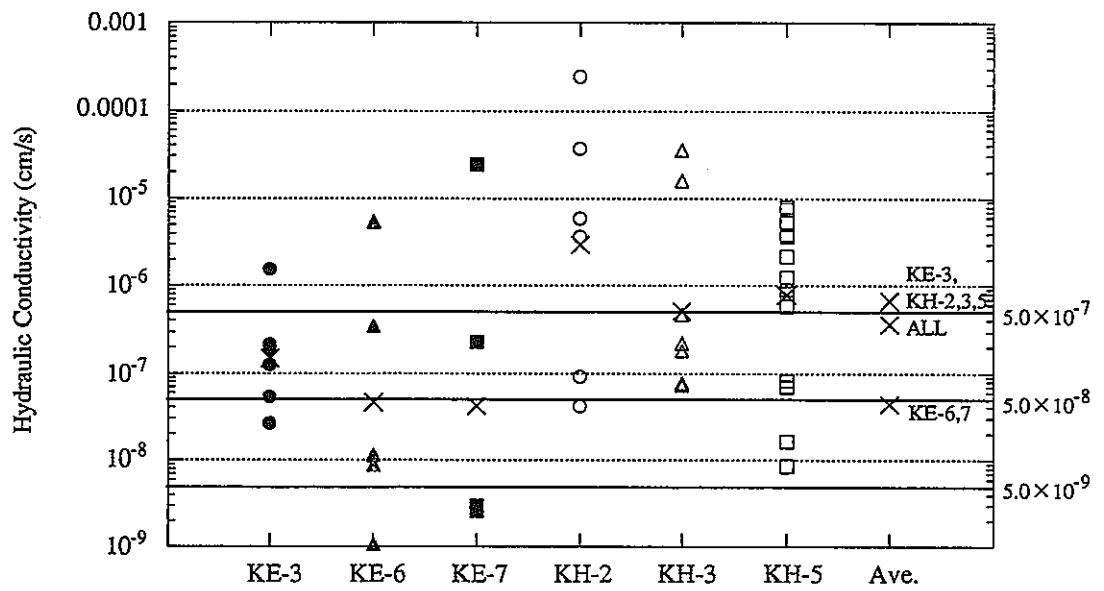


図 5. 3. 1 透水係数分布 (低圧ルジオン試験)
(×は対数平均値)

5. 3. 2 深度方向の透水係数

深度方向の透水係数は、鉛直方向に削孔されたKG-1孔で実施された1000m級透水試験 (Perm-10試験) とKH-1孔で実施されたJFT試験結果より評価する。

(1) 1000m級透水試験 : KG-1孔

(2) JFT試験 : KH-1孔

(1) 1000m級透水試験 (Perm-10試験)

地表から削孔されたKG-1孔 (孔口標高784.86m) で実施されたPerm-10試験結果を表5. 3. 6に示す。解析領域内 (標高400m~標高700m) の透水係数 (表中のNo. 2~4) は、 10^7 オーダーから 10^9 オーダーに分布している。

表5. 3. 6 1000m級透水試験 (Perm-10試験) 試験結果

No.	試験標高 (m)	試験深度 (m)	初期間隙水圧 (kgf/cm ²)	透水係数 (cm/s)	
				定常試験	非定常試験
1	722.86~727.86	57~62	4.95 (5.01)	8.0×10^9	2.2×10^9
2	692.86~697.86	87~92	0.18	1.7×10^7	—
3	638.86~643.86	141~146	5.52	3.8×10^8	—
4	556.86~561.86	223~228	10.87 (10.75)	6.2×10^9	5.4×10^7
5	289.86~294.86	490~495	34.91	1.7×10^7	—
6	250.86~255.86	529~534	36.07	1.7×10^8	—
7	169.86~174.86	610~615	48.95 (47.90)	3.0×10^{10} ~ 7.0×10^{10}	5.5×10^{10}
8	76.86~81.86	703~708	53.40	8.9×10^9	—
9	37.86~42.86	742~747	57.71	1.2×10^7	—
10	-5.14~-0.14	785~790	78.78 (72.21)	2.9×10^9 ~ 2.6×10^8	2.9×10^9

(2) JFT試験

550mレベル坑道内から削孔されたKH-1孔（孔口標高575.55m）で実施されたJFT試験および動燃式JFT試験結果を表5. 3. 7に示す。解析領域内の透水係数は、従来のJFT試験（表中のNo.1～4）では、孔口付近は 10^4 オーダーと高いが、 10^6 オーダーから 10^7 オーダーに分布している。動燃式JFT試験（表中のNo.1～3）では、 10^7 オーダーから 10^8 オーダーに分布している。従来のJFT試験結果でKH-1の孔口付近で透水係数が大きいのは、破碎帯の影響である。

表5. 3. 7 JFT試験結果（試験区間10m、KH-1のNo.3のみ5m）

試験名	No.	試験標高 (m)	試験深度 (m)	間隙水圧 (kgf/cm ²)	透水係数 (cm/s)
JFT試験	1	546.55～556.55	19.0～29.0	—	3.1×10^4
	2	496.05～506.05	69.5～79.5	—	4.3×10^7 9.8×10^7
	3	435.55～445.55	130.0～140.0	—	4.3×10^7
	4	406.55～416.55	159.0～169.0	—	3.4×10^6 6.4×10^6
	5	390.05～400.05	175.5～185.5	—	3.3×10^6 2.2×10^5
	6	377.05～387.05	188.5～198.5	—	2.4×10^7 2.8×10^7
	7	277.55～387.55	288.0～298.0	—	2.1×10^7 4.2×10^6
	8	223.55～233.55	342.0～352.0	—	7.4×10^6
	9	196.55～206.55	369.0～379.0	—	5.0×10^7 4.8×10^6
	10	90.55～91.55	475.0～485.0	—	1.8×10^6
動燃式 JFT試験	1	465.55～475.55	100.0～110.0	10.01	5.94×10^7
	2	467.55～472.55	103.0～108.0	10.31	2.77×10^8
	3	435.55～445.55	130.0～140.0	13.29	7.45×10^7
	4	330.55～340.55	235.0～245.0	23.60	1.66×10^6
	5	325.55～335.55	240.0～250.0	24.11	1.57×10^7

以上の（１）、（２）の結果より、深度方向の透水係数を設定する。

Perm-10試験、JFT試験、動燃式JFT試験より得られた深さ方向の透水係数分布を図5.3.2に示す。この図より、深度方向に透水係数が増加する傾向が見られるものの、550m以浅と以深で試験方法が異なるため一概には比較できない。また、Perm-10試験は、定常試験と非定常試験が実施されているが、試験結果には大きな相違が見られ、試験結果の信頼性に疑問が残る。JFT試験は、特に亀裂部をねらって透水係数が計測されており、従来のJFT試験結果でKH-1の孔口付近で透水係数が大きいのは、破碎帯の影響である。

以上により、解析領域全体の深度方向の透水性の傾向を評価するには十分なデータがないため、本解析では深度方向の透水係数の変化は考えないこととする。

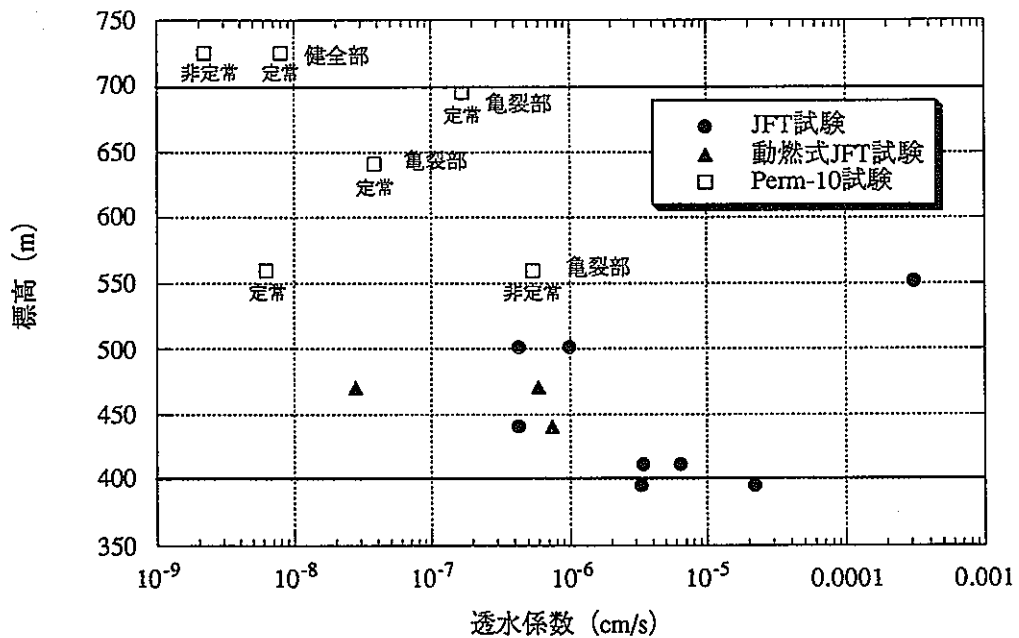


図5.3.2 深度方向の透水係数分布

5. 3. 3 透水異方性

透水異方性に関しては、亀裂解析および孔間透水試験結果より、透水テンソルの主軸方向を評価する。

(1) 亀裂解析 : リニアメント、坑道内亀裂、試錐孔内亀裂

(2) 孔間透水試験 : KH-4、KH-5、KH-6、KH-7

(1) 亀裂解析

4章に記したように、KH-19孔の高圧・高湧水帯とNW坑道で観測された湧水区間を結ぶ水理バリアは、リニアメント解析で得られた亀裂ゾーンAとほぼ一致し、KD-90坑道北側をほぼ東西方向に走る高透水性ゾーンが存在すると考えられる。また、坑道南側には、リニアメント解析よりほぼ同じような方向(N70° E)に亀裂が卓越しているゾーンBが認められている。

一方、KD-90坑道周辺の試錐孔におけるBTV観察結果によると、図3. 1. 7に示すようにN40° E60° NW、N70° E80° NW方向に亀裂の卓越方向があることがわかっている。また、NW坑道内での亀裂観察結果によると亀裂の卓越方向はN65° E75° NWにあり、NW坑道とNE坑道におけるスキャンライン法による亀裂観察結果によると、スキャンライン補正後の亀裂の卓越方向は、図-3. 1. 10に示すようにほぼ東西方向にある。

以上の結果より、解析領域周辺の亀裂は東西方向～N40° E方向に卓越しており、透水テンソルの最大主軸方向もほぼこの方向にあるものと考えられる。

亀裂ゾーン方向 : N70° E～EW

亀裂卓越方向 : N40° E60° NW、N70° E80° NW、N65° E75° NW

(2) 孔間透水試験

坑道壁面での亀裂観察により得られた亀裂の卓越方向(N65° E75° NW)と表5. 3. 3に示した孔間透水試験で求められた透水テンソルの主軸方向を図5. 3. 8に示す。図中には、表5. 3. 8に示したKD-90坑道壁面での亀裂分布から理論的に算定した透水テンソルの主軸方向(□印)も併せて示してある。この図より、透水テンソルの最大主軸方向(K₁)および中間主軸方向(K₂)は亀裂の卓越方向に一致し、最小主軸方向(K₃)は亀裂卓越方向に直交していることがわかる。

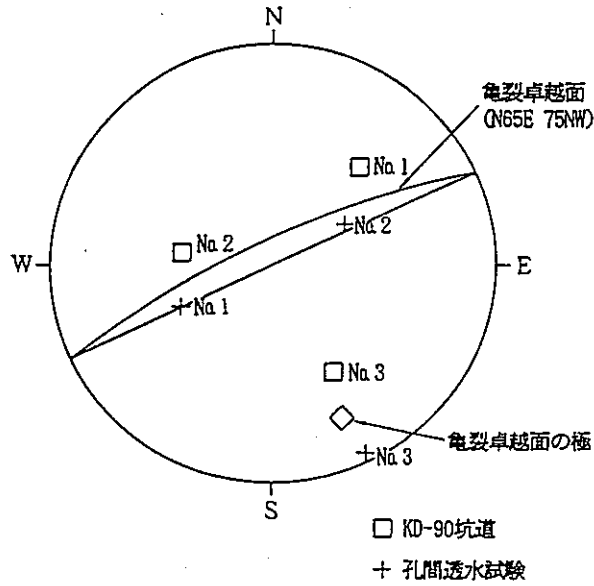


図 5. 3. 8 亀裂卓越方向と透水テンソル主軸方向の関係

表 5. 3. 8 坑道壁面の亀裂分布により求められた透水テンソル

	透水係数 (cm/s)	主方向	
		方位角 (°)	傾斜 (°)
No.1	6.03×10^{-7}	41	28
No.2	5.13×10^{-7}	279	46
No.3	2.70×10^{-7}	150	31

以上の結果より、リニアメント解析により求められた亀裂ゾーン方向、坑道内および試錐孔内で観察された亀裂の卓越方向、孔間透水試験により求められた透水テンソルの最大主軸方向は、ほぼ同じような方向にあることがわかる。

したがって、水平面内の透水異方性に関しては、孔間透水試験結果とも整合性の良い坑道内亀裂観察結果を用いて、透水テンソルの最大主軸をN65° E方向に、最小主軸をこれと直交する方向にとることとする。また、鉛直方向の透水異方性に関しては、亀裂の傾斜が立っていることと、図5. 3. 8に示した透水テンソルの最大主軸と中間主軸がほぼ斜め45° 下向きにあることから、中間主軸方向は、最大主軸方向と同じ方向とする。

透水係数に関しては、最大主軸方向と中間主軸方向はともに、5. 3. 1節で設定した亀裂卓越方向の透水係数を用い、最小主軸方向は亀裂卓越方向に直交した方向の透水係数を用いる。

最大主軸方向	:	N65° E
透水係数 (最大主軸方向)	:	5.0×10^{-7} cm/s
〳 (中間主軸方向)	:	5.0×10^{-7} cm/s
〳 (最小主軸方向)	:	5.0×10^{-8} cm/s

6. 定常3次元浸透流解析

ここでは、原位置試験場周辺を対象とした定常3次元浸透流解析の解析手法、解析メッシュの形状および解析ケースについて述べ、均質等方モデルと異方性モデルによる解析結果を示す。

6. 1 解析手法

本解析は、原位置試験場周辺の水理場の現況を把握することを主たる目的としているため、解析は3次元飽和-不飽和浸透流解析による定常解析とする。定常3次元飽和-不飽和浸透流解析の支配方程式を次式に示す。

$$\frac{\partial}{\partial x} \left(K(\psi) \frac{\partial \psi}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(K(\psi) \frac{\partial \psi}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(K(\psi) \frac{\partial \psi}{\partial z} + z \right) = 0$$

ここに、 $K(\psi)$ は透水係数 (cm/s)、 ψ は圧力水頭である。本解析では、解析領域は地表部を含まない原位置試験場周辺のみを対象とし、解析領域の境界面は定水位境界、坑道壁面は間隙水圧0の境界としているため、解析領域内部では不飽和領域が発生しない。したがって、本解析は、実質的には飽和浸透流解析となる。

6. 2 解析メッシュ

解析領域全体のパースを図6. 2. 1に、KD-90坑道周辺の鳥瞰図を図6. 2. 2に示す。また、解析メッシュの鳥瞰図を図6. 2. 3に、メッシュの平面図および断面図を図6. 2. 4 (a)、(b)に示す。

水平面内のメッシュ形状は各層共同じて、鉛直方向の層数は22である。水平面内のメッシュ形状は、試錐孔は5mピッチに、KD-90坑道は7.5mピッチに節点を設けた。また、亀裂ゾーンに関しては、リニアメントで得られたゾーンA (水理バリア) とゾーンBをメッシュに反映させている。ただし、ゾーンAはその幅が明らかでないため、約15m間隔毎に帯状のメッシュを設けてある。

鉛直方向の層位置に関しては、坑道上部は水平孔KH-7、8を設けるために5m間隔に2層、坑道下部は鉛直孔KH-12、15、18上に5mピッチに節点を設けるために5m間隔に6層設定した。それ以外の領域は、坑道から離れるに従い層幅を大きくしてある。

解析メッシュの総節点数は22784 [991 (ノ平面) × 23 (断面) - 9 (KD-90坑道内削除)]、総要素数は21270である。

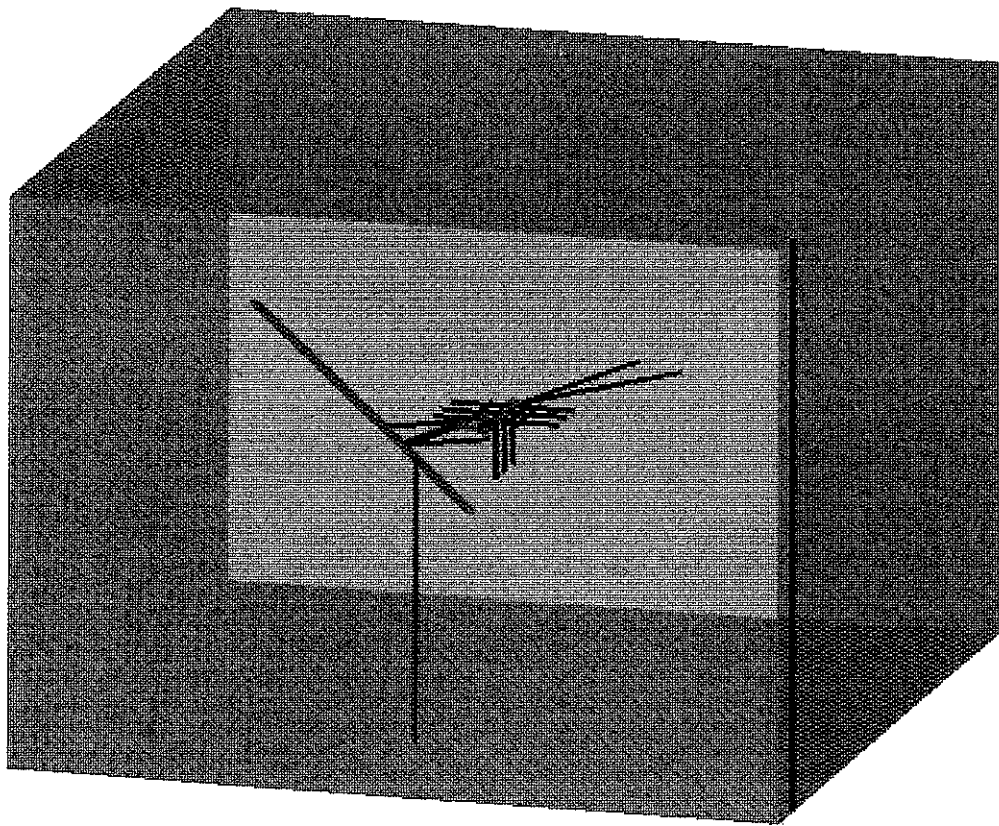


図 6. 2. 1 解析領域パース

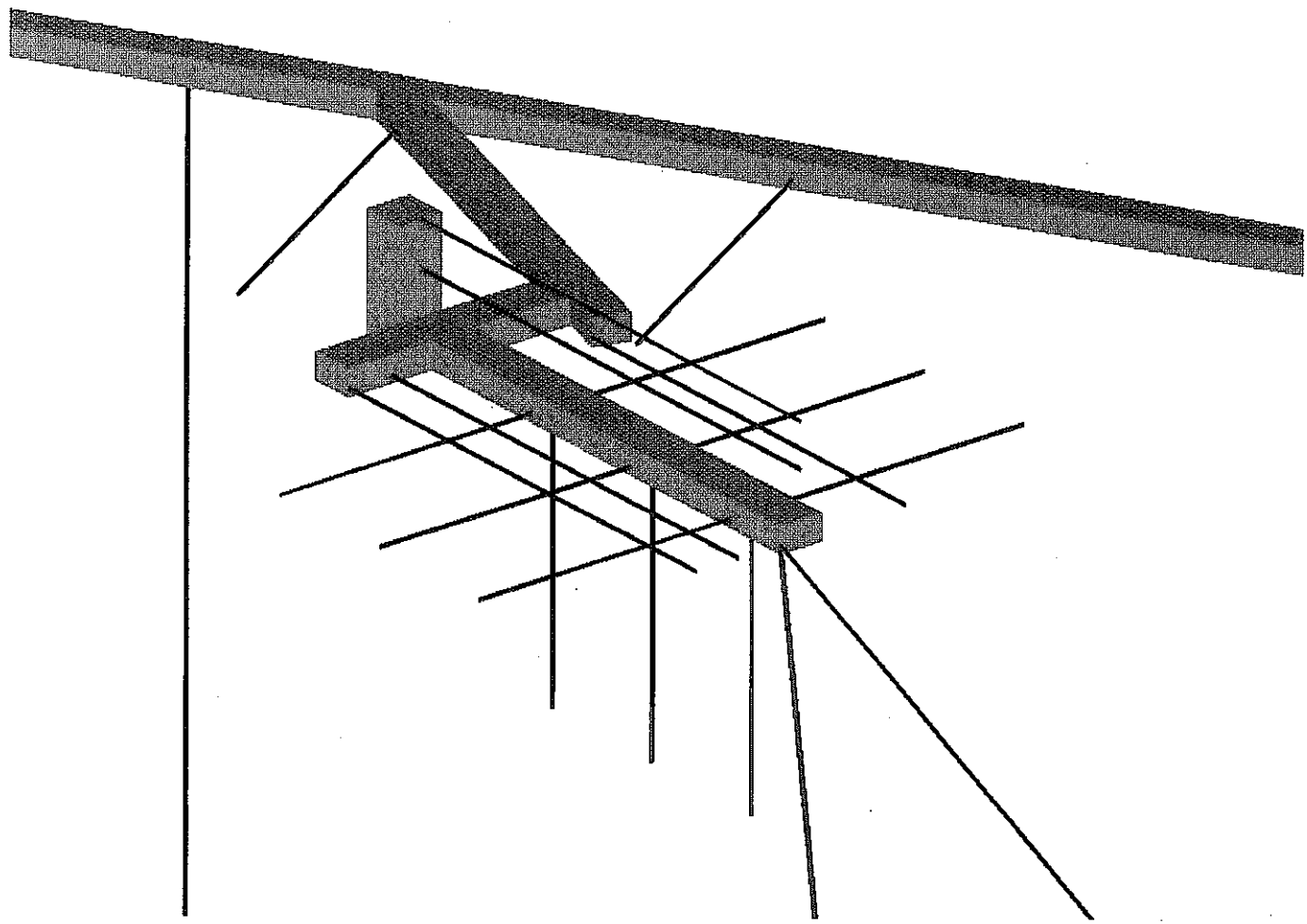


図 6. 2. 2 KD-90坑道周辺鳥瞰図 (北側より望む)

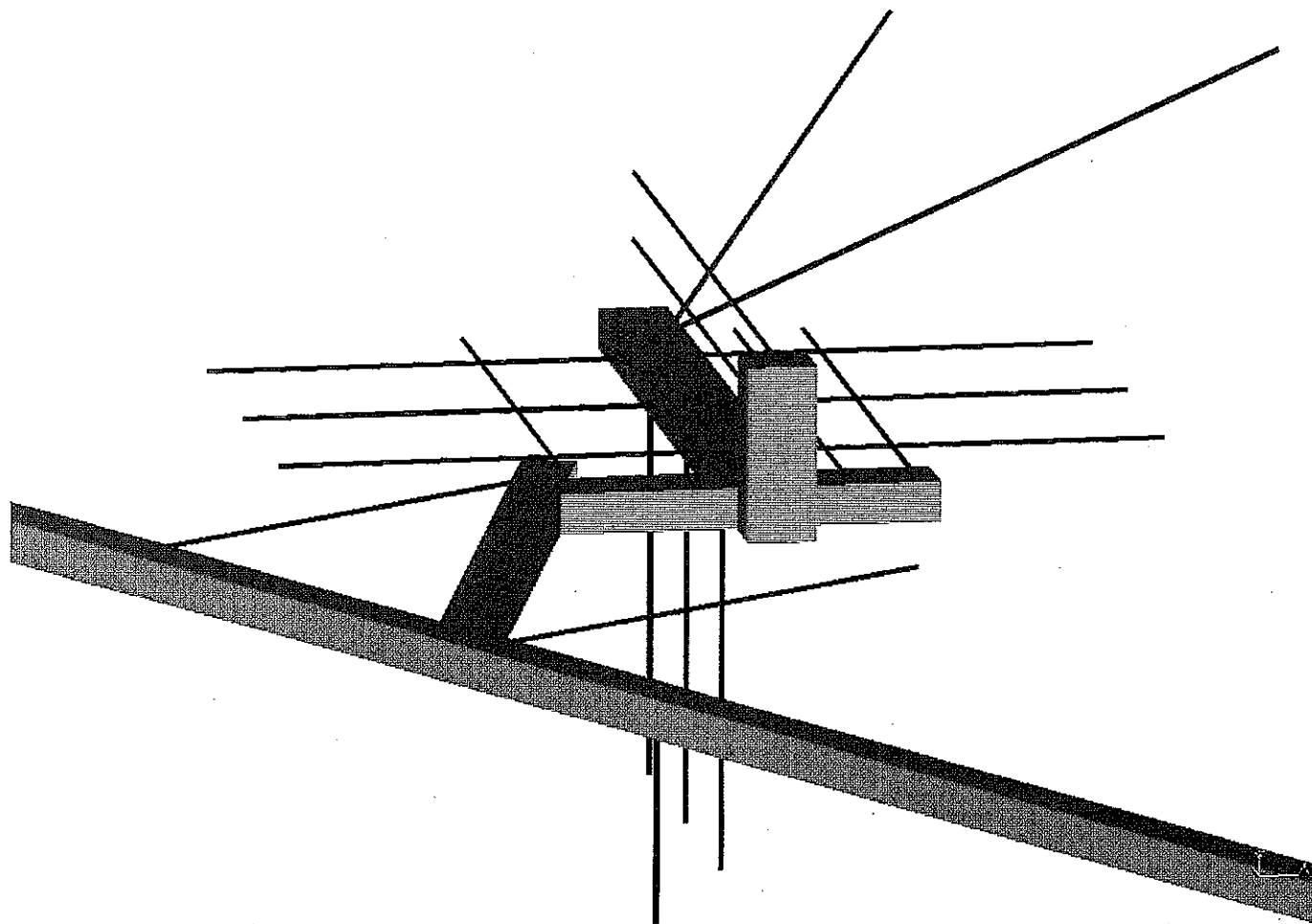


図 6 . 2 . 2 KD-90坑道周辺鳥瞰図 (南側より望む) (続き)

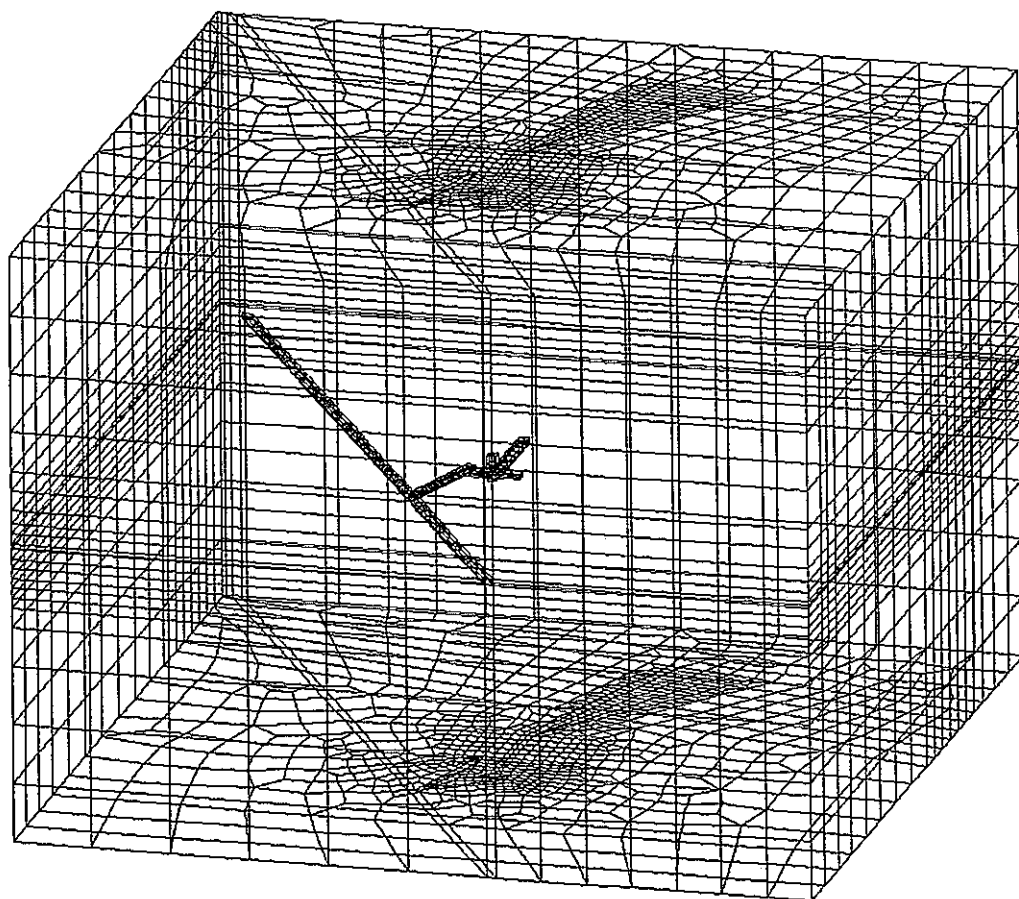
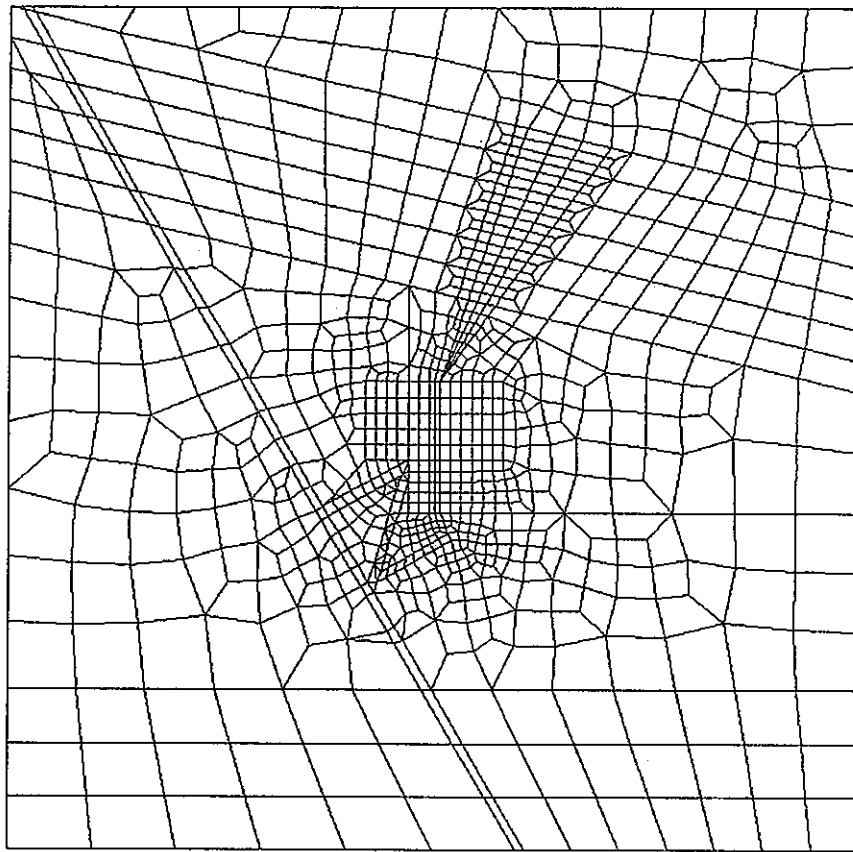
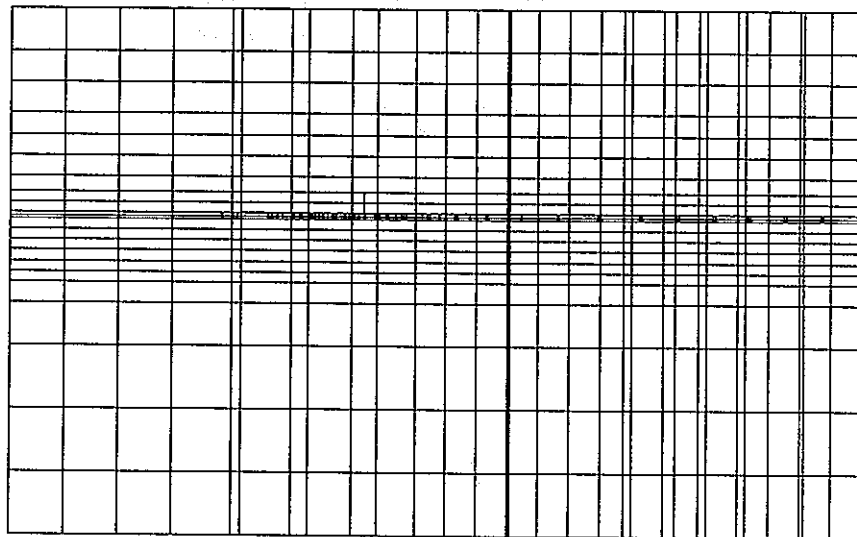


図6. 2. 3 解析メッシュ鳥瞰図
(境界部のみメッシュ表示)



(a) 平面図



(b) 断面図

図 6. 2. 4 解析メッシュ

6. 3 解析ケース

解析ケース一覧を表6. 3. 1に示す。解析ケース1と2は均質等方モデルで、解析ケース3～5は異方性モデルである。5. 2節に示したように、各ケースとも解析領域の境界面の境界条件は定水位境界とし、坑道壁面は間隙水圧0の境界とした。

解析ケース1は全ての境界とも定水位境界（550mレベルで間隙水圧10.0kgf/cm²）とし、解析ケース2は異方性モデルとの比較のためにゾーンA北側と南側で異なる境界条件（550mレベルでゾーンA北側の間隙水圧20.0kgf/cm²、南側で10.0kgf/cm²）を設定している。均質等方モデルの透水係数は、 5.0×10^{-7} cm/sを用いる。

異方性モデルは、水理バリアを表現することを前提にしているため、各ケースとも境界条件はゾーンA北側で間隙水圧20.0kgf/cm²、南側で10.0kgf/cm²としている。また、最大および中間主軸方向の透水係数は均質等方モデルと同じく 5.0×10^{-7} cm/sを用い、最小主軸方向の透水係数を低減することによって異方性モデルを構築している。解析ケース3は、最小主軸方向の透水係数に 5.0×10^{-8} cm/s（5. 3. 1節参照：最大・中間主軸方向の透水係数の1/10）を用いている。解析ケース4には、解析ケース3の結果と比較検討して透水異方性の大きさの影響を評価するために、最小主軸方向の透水係数を最大・中間主軸方向の透水係数の1/100に低減したケースを付け加えた。解析ケース5は、水理バリアに見られる間隙水圧の不連続性をより良く表現するために、ゾーンA北側のみ異方性を考慮したケースである。

表6. 3. 1 解析ケース一覧

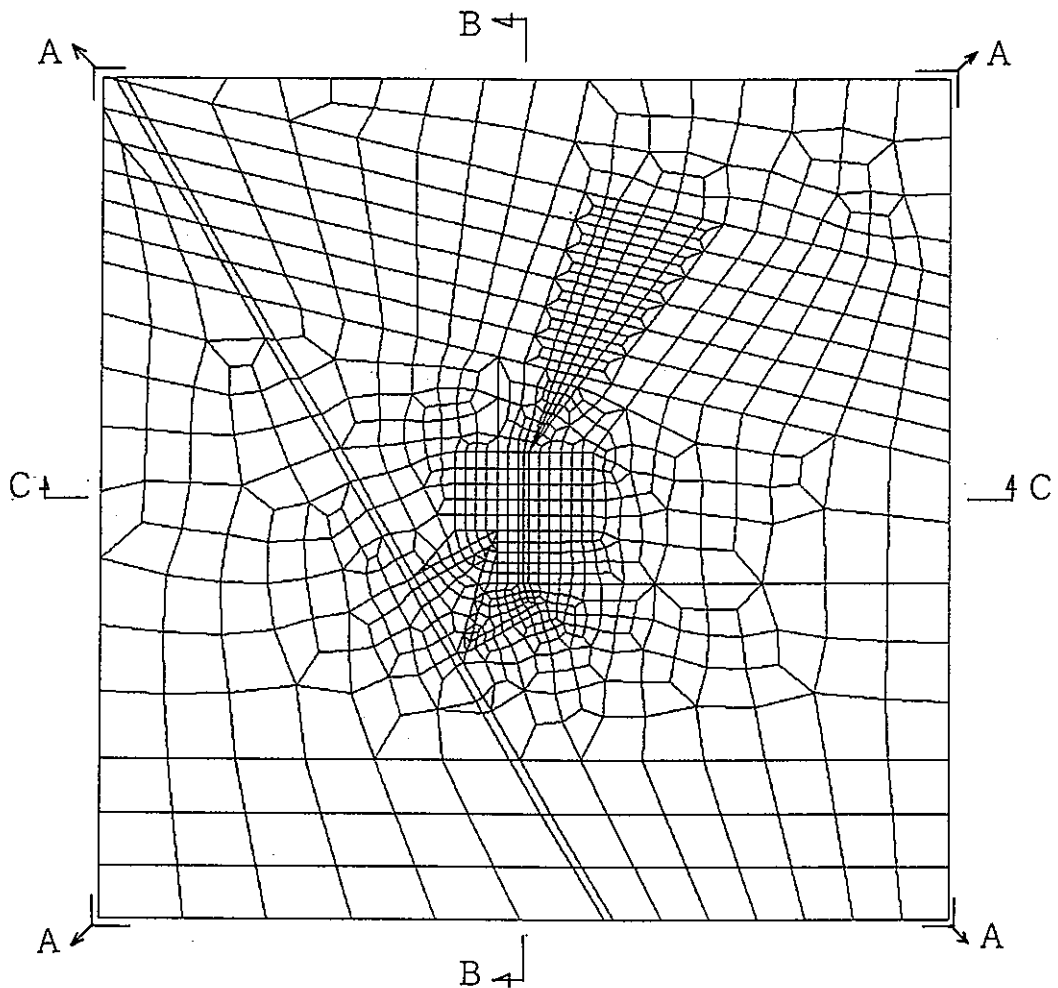
解析ケース	解析モデル	境界条件 (kgf/cm ²)		透水係数 (cm/s)	
		ゾーンA南側	ゾーンA北側	最大主軸方向 中間 "	最小主軸方向
1	均質等方	10.0		5.0×10^{-7}	
2	"				
3	異方性	10.0	20.0	5.0×10^{-7}	5.0×10^{-8}
4	"				5.0×10^{-9}
5	"				5.0×10^{-9} (ゾーンAのみ)

6. 4 解析結果

ここでは、KD-90坑道掘削後の坑道規模試験により得られたKD-90坑道内への湧水量、および、KD-90坑道周辺の試錐孔で計測されている間隙水圧分布と解析結果を比較検討し、解析結果に対する考察を行う。

- (1) 解析領域全般の水理状況
- (2) KD-90坑道内への湧水量
- (3) 試錐孔における間隙水圧分布

解析結果の間隙水圧コンターおよび流速ベクトルの表示に際しては、図6. 4. 1に示す断面を用いた。



A断面： 550mレベル水平断面

B断面： KD-90坑道軸線方向鉛直断面

C断面： KD-90坑道軸線直交方向鉛直断面 (KH-13、14、15)

図6. 4. 1 解析結果表示断面

6. 4. 1 解析領域全般の水理状況

全解析ケースの間隙水圧分布と流速ベクトル解析結果を図6. 4. 2～6. 4. 21に示し、その一覧を表6. 4. 1に示す。

表6. 4. 1 解析結果一覧表

解析結果	断面	解析ケース				
		1	2	3	4	5
間隙水圧分布	A (全体)	図6. 4. 2 (a)	図6. 4. 6 (a)	図6. 4. 10 (a)	図6. 4. 14 (a)	図6. 4. 18 (a)
	B (全体)	〃 (b)	〃 (b)	〃 (b)	〃 (b)	〃 (b)
	A (拡大)	図6. 4. 3 (a)	図6. 4. 7 (a)	図6. 4. 11 (a)	図6. 4. 15 (a)	図6. 4. 19 (a)
	B (拡大)	〃 (b)	〃 (b)	〃 (b)	〃 (b)	〃 (b)
	C (拡大)	〃 (c)	〃 (c)	〃 (c)	〃 (c)	〃 (c)
流速ベクトル	A (全体)	図6. 4. 4 (a)	図6. 4. 8 (a)	図6. 4. 12 (a)	図6. 4. 16 (a)	図6. 4. 20 (a)
	B (全体)	〃 (b)	〃 (b)	〃 (b)	〃 (b)	〃 (b)
	A (拡大)	図6. 4. 5 (a)	図6. 4. 9 (a)	図6. 4. 13 (a)	図6. 4. 17 (a)	図6. 4. 21 (a)
	B (拡大)	〃 (b)	〃 (b)	〃 (b)	〃 (b)	〃 (b)
	C (拡大)	〃 (c)	〃 (c)	〃 (c)	〃 (c)	〃 (c)

(1) 解析ケース1

解析ケース1は、境界条件一定 (10kgf/cm^2) で、透水性が均一なケースである。

図6. 4. 2～3に示した間隙水圧分布によると、間隙水圧は、境界部から坑道に向かって徐々に低下し、坑道壁面で0になっている。NW坑道の南北両端では、境界条件の影響で坑道周辺の間隙水圧の低下が急勾配になっている。KD-90坑道周辺は、坑道が密なため、間隙水圧の低下領域も広がっている。特に、坑道交差部周辺の間隙水圧は低く、原位置での状況と一致する。

図6. 4. 4～5に示した流速ベクトル分布によると、地下水の流れは、境界部から坑道に向かって流れ、特に、KD-90坑道周辺では、各坑道に周り込んでいる状況が良くわかる。

(2) 解析ケース2

解析ケース2も解析ケース1と同様に透水性が均一で、水理バリア北側と南側で境界条件が異なるケースである。 (10 および 20kgf/cm^2)

図6. 4. 6～7に示した間隙水圧分布によると、間隙水圧は、水理バリア北側では高く、NW坑道周辺の間隙水圧は低下しているものの、KH-19、20孔周辺では依然

20kgf/cm²近い圧力を有している。水理バリア北側での圧力が上昇した分、解析ケース1と比較して、KD-90坑道周辺の間隙水圧低下領域が小さくなっている。

図6. 4. 8～9に示した流速ベクトル分布によると、解析ケース1よりも水理バリア北側から南側へ向かう流れの方向がはっきりとしている。

(3) 解析ケース3

解析ケース3は、解析ケース2と同じ境界条件で、透水異方性（最小主軸方向の透水性を1オーダー小さくした）を考慮したケースである。

図6. 4. 10～11に示した間隙水圧分布によると、解析ケース2と比較して、水理バリア北側と南側の境界部での間隙水圧勾配が急になっており、KD-90坑道周辺の東西方向の間隙水圧低下領域が広がっている。

図6. 4. 12～13に示した流速ベクトル分布によると、解析ケース2と比較して、水理バリア北側では、東西方向の透水性が高いために、水理バリア南側へ向かう流れが小さくなり、NW坑道への流れが支配的となっている。水理バリア南側においても、東西方向の流れが支配的になっていることがわかる。

(4) 解析ケース4

解析ケース4は、解析ケース3の最小主軸方向の透水性をさらに1オーダー小さくしたケースである。

図6. 4. 14～15に示した間隙水圧分布によると、間隙水圧は、解析ケース3と比較して水理バリア北側と南側の境界部での間隙水圧勾配がさらに急になっており、KD-90坑道周辺の東西方向の間隙水圧低下領域もさらに広がっている。

図6. 4. 16～17に示した流速ベクトル分布によると、解析ケース3と比較して、水理バリア北側では、さらに、水理バリア南側へ向かう流れが小さくなり、NW坑道への流れが支配的となっている。

(5) 解析ケース5

解析ケース5は、解析ケース4の水理バリア北側のみ透水異方性を考慮し、水理バリア南側の透水性は均一としたケースである。

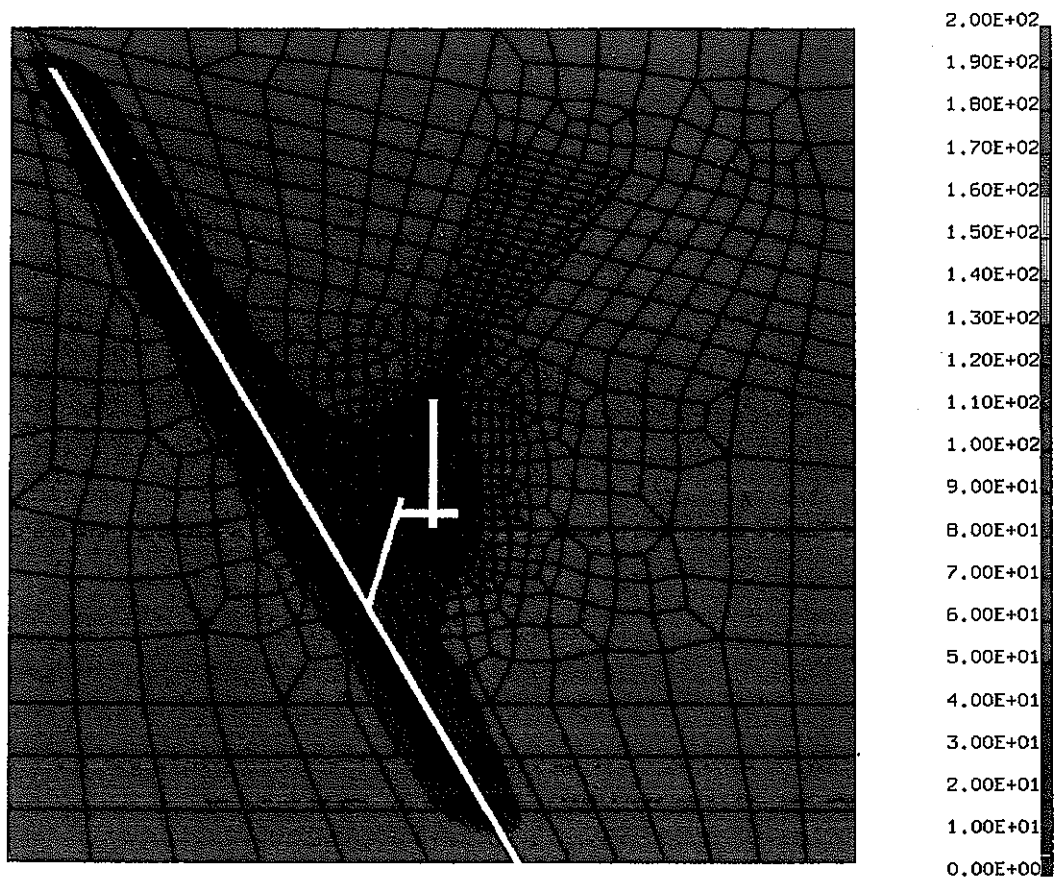
図6. 4. 18～19に示した間隙水圧分布によると、解析ケース4と比較して、水理バリア北側と南側の境界部での間隙水圧勾配がさらに急になっており、原位置で観測されたようにKH-19孔に沿って間隙水圧に大きな変化が見られる。水理バリア南側の透水性は均一なため、KD-90坑道周辺の東西方向の間隙水圧低下領域は小さくなっている。

図6. 4. 20～21に示した流速ベクトル分布によると、解析ケース4と比較して、水理バリア北側には余り変化が見られないが、水理バリア南側では解析ケース2で見

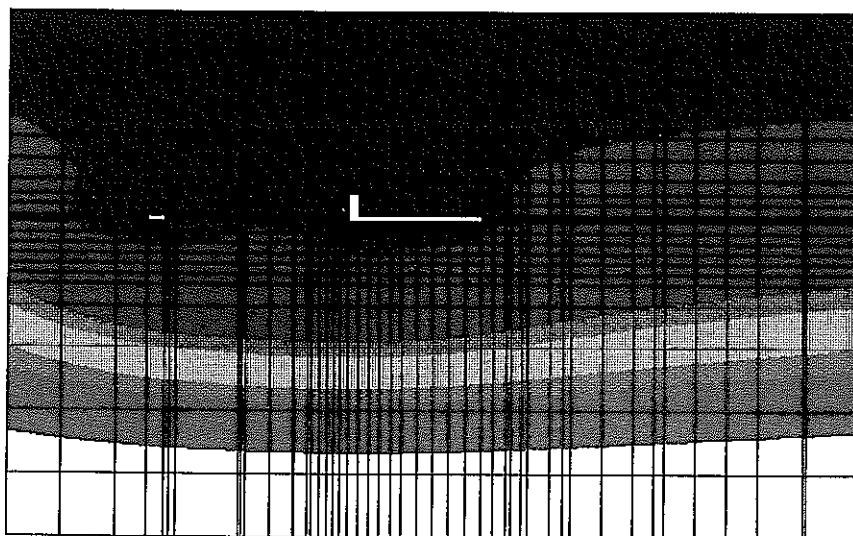
られたように各坑道に流れが周り込んでおり、東西方向の流れは支配的ではなくなる。

以上の解析結果を要約すると以下のようなになる。

- ・水理バリア北側の境界条件を大きくすると、水理バリア北側の間隙水圧が大きくなり、水理バリア南側への流れも大きくなる。
- ・透水異方性を考慮した場合には、最小主軸方向の間隙水圧の低下領域が拡大し、最小主軸方向の流れが支配的となる。また、最大主軸方向の透水性と最小主軸方向の透水性の比が大きくなればなるほど、この傾向は大きくなる。
- ・最大主軸方向の透水性と最小主軸方向の透水性の比が大きくなればなるほど、水理バリア北側と南側の境界部での間隙水圧の勾配が大きくなる。
- ・水理バリア北側領域のみ透水異方性を考慮した場合には、水理バリア北側と南側の境界部での間隙水圧の勾配が最も大きくなる。

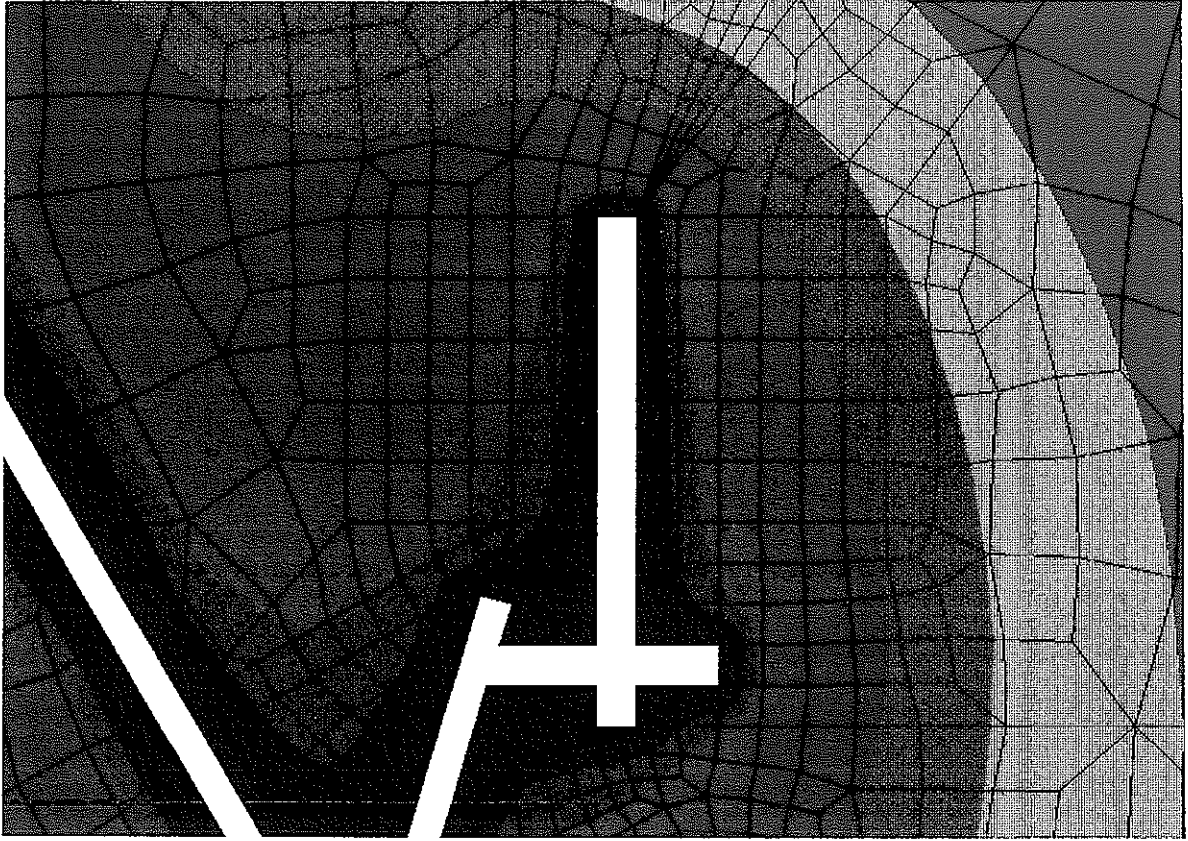


(a) A断面

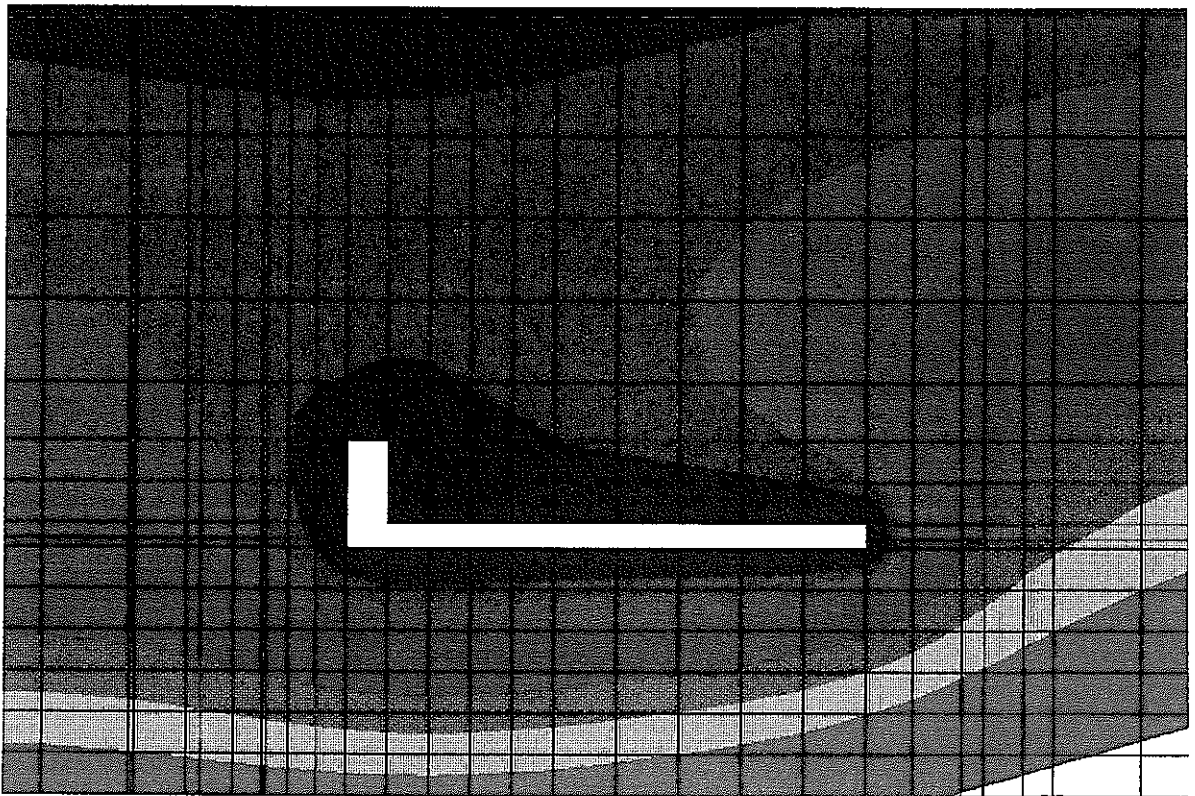


(b) B断面

図6.4.2 間隙水圧分布 (解析ケース1、全体領域)
(コンター単位：m、0~200mのみ表示)

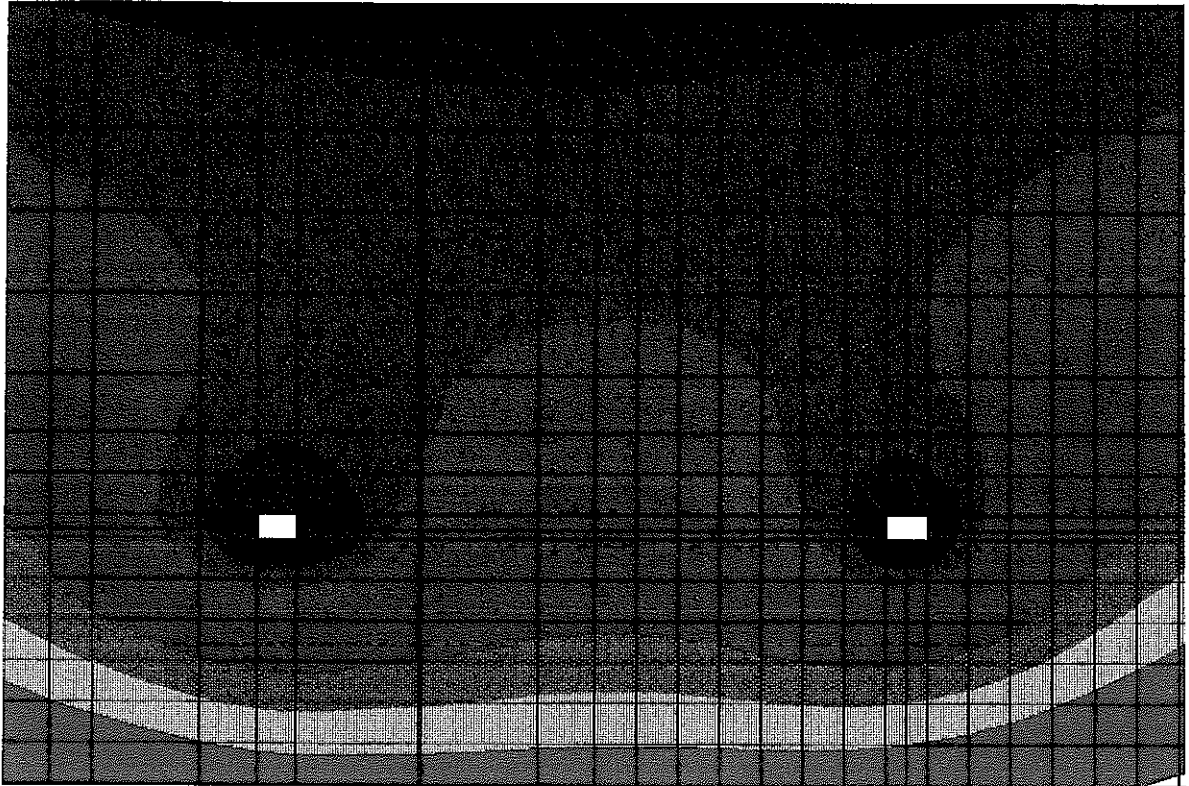


(a) A断面



(b) B断面

図6.4.3 間隙水圧分布 (解析ケース1、拡大領域)
(コンター次頁参照)

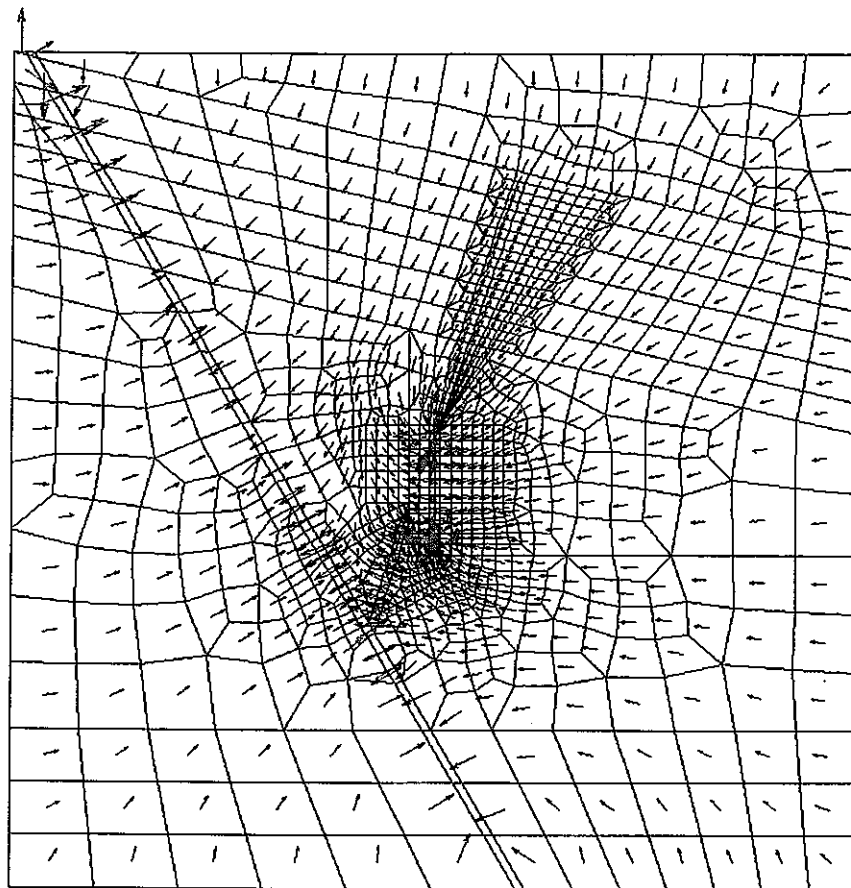


(c) C断面

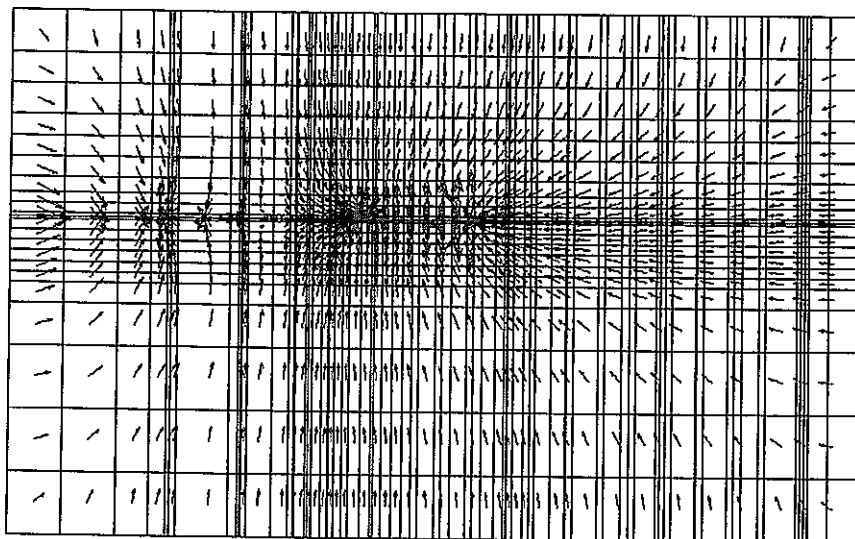
図6.4.3 間隙水圧分布(解析ケース1、拡大領域)(続き)



コンター (単位：m、0~100mのみ表示)

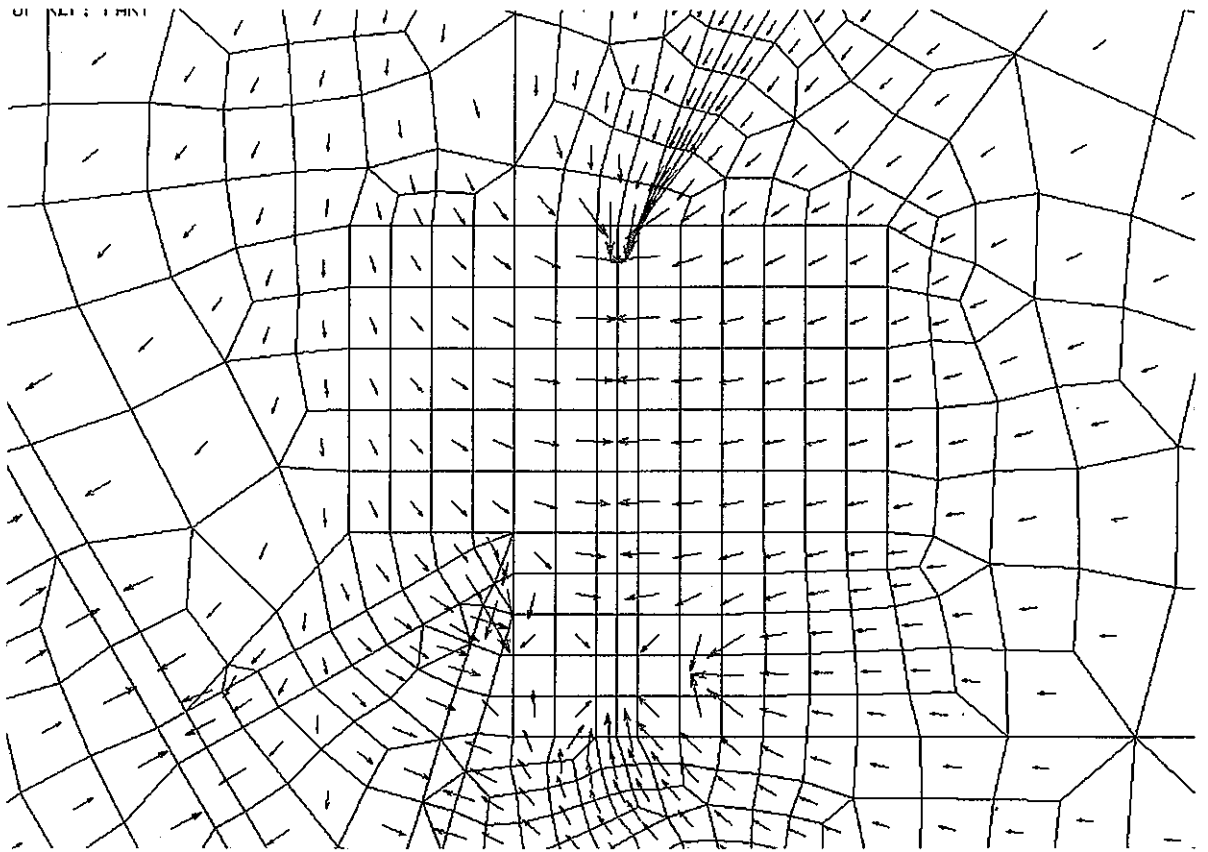


(a) A断面

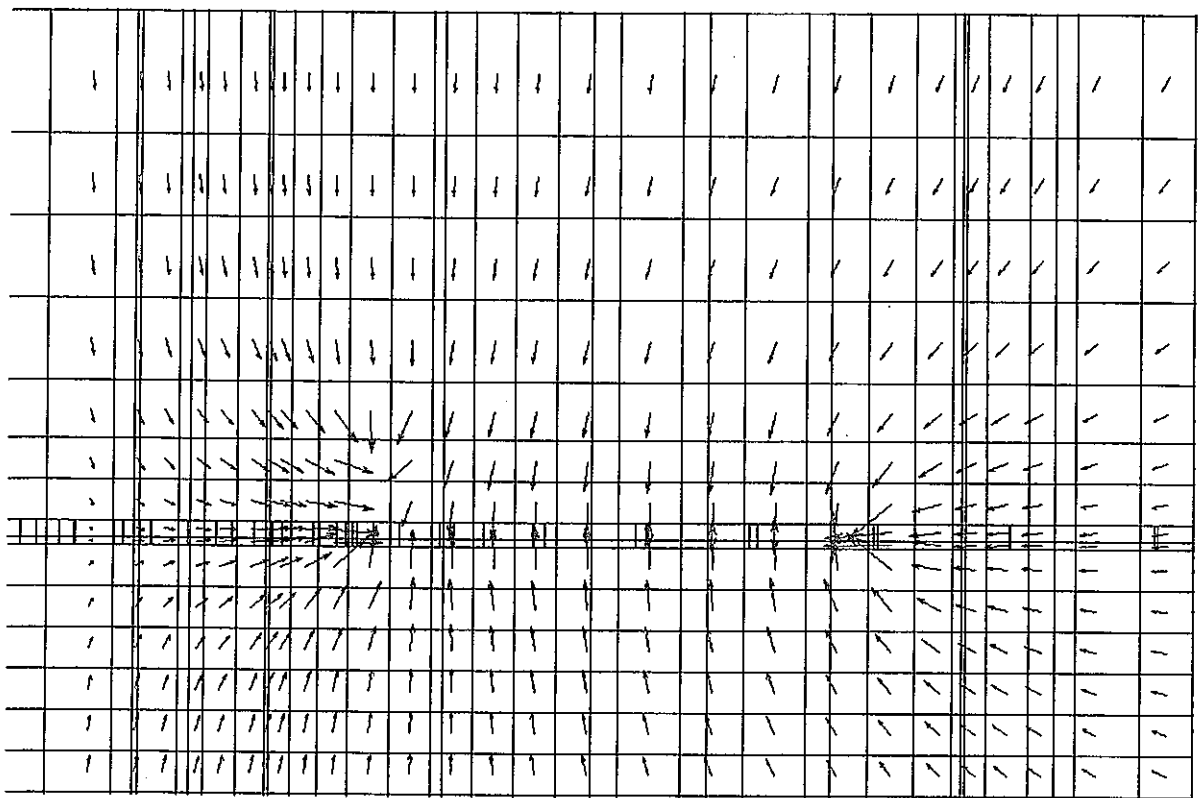


(b) B断面

図6.4.4 流速ベクトル分布 (解析ケース1、全体領域)

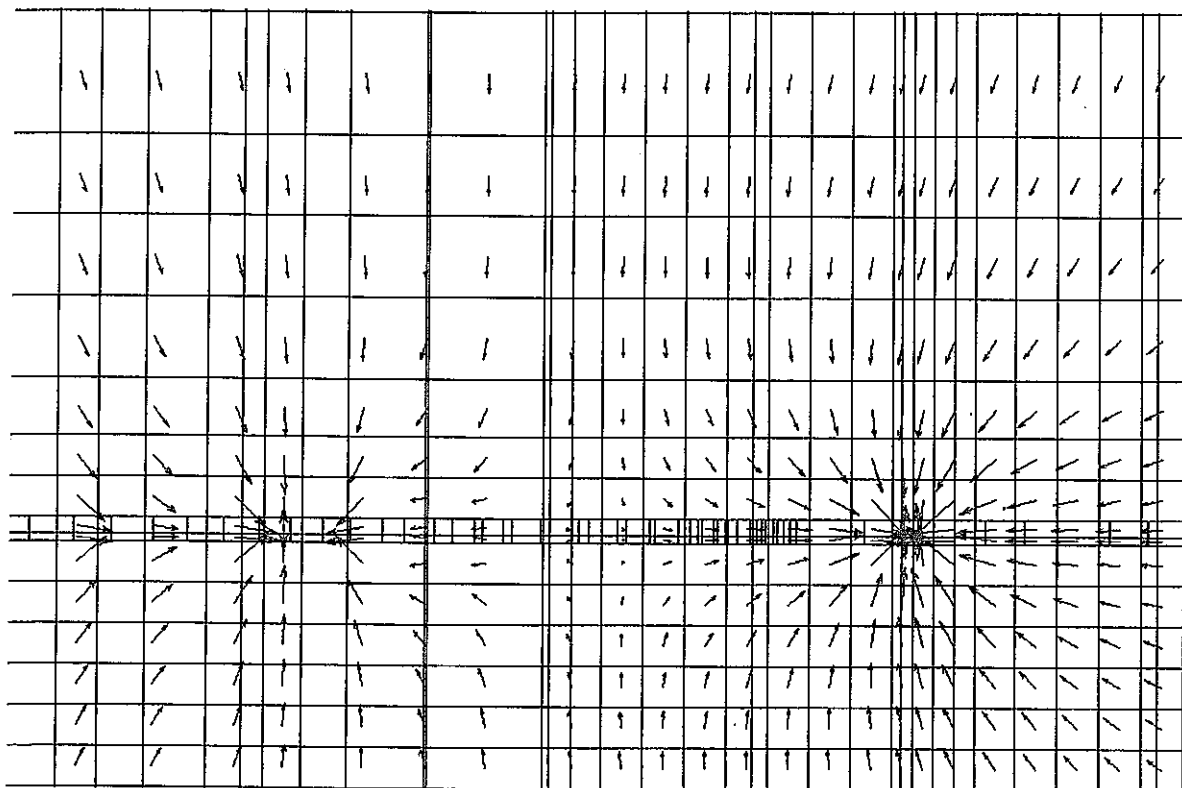


(a) A断面



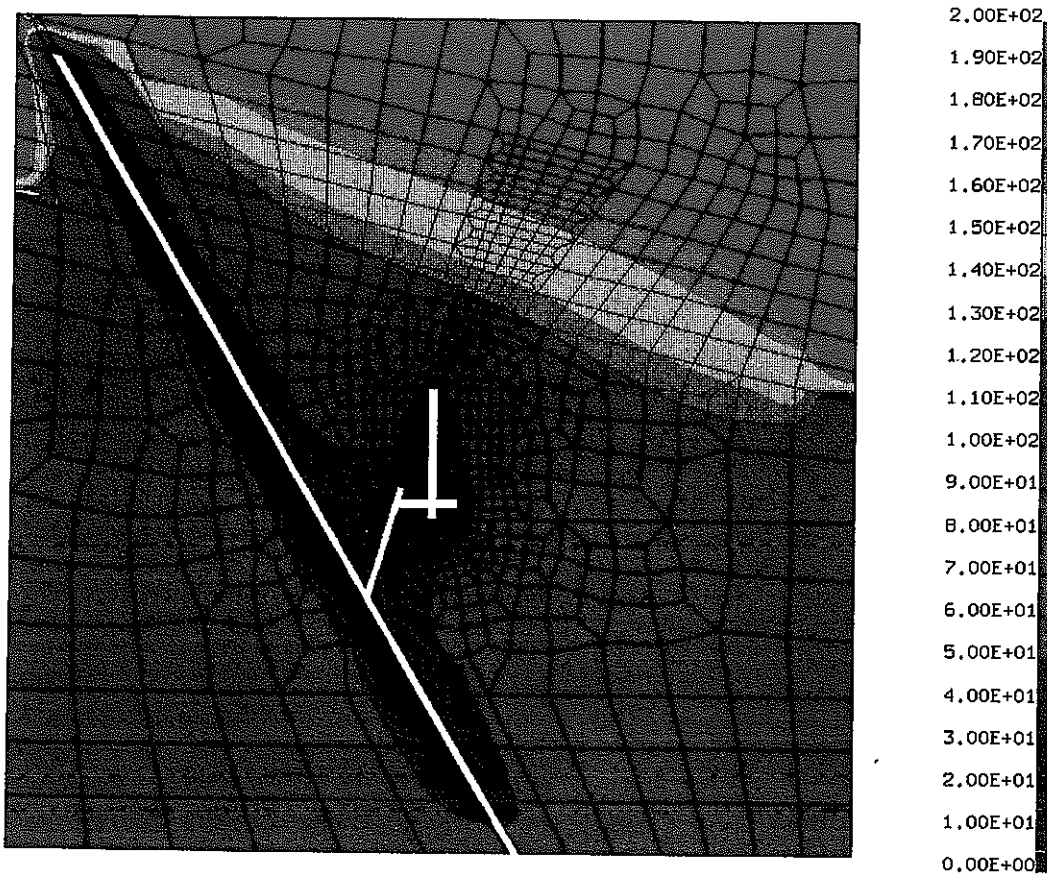
(b) B断面

図6. 4. 5 流速ベクトル分布 (解析ケース1、拡大領域)

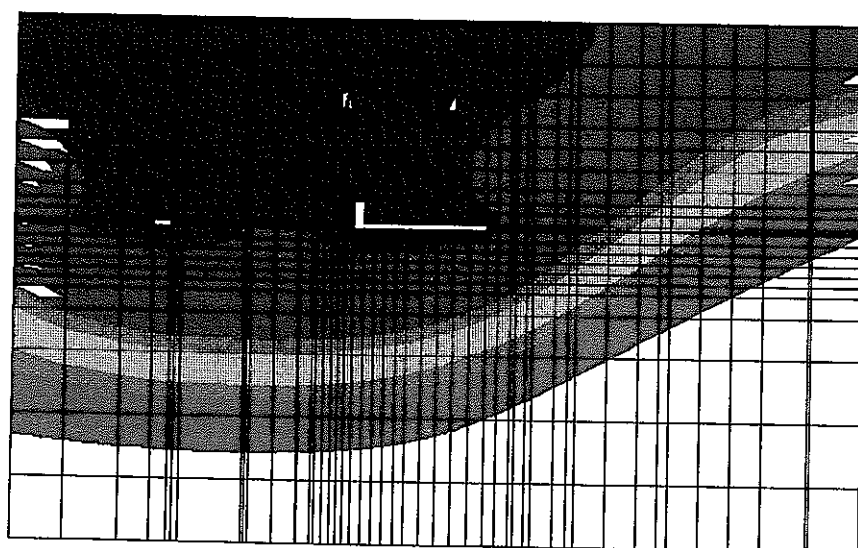


(c) C断面

図6. 4. 5 流速ベクトル分布 (解析ケース1、拡大領域) (続き)

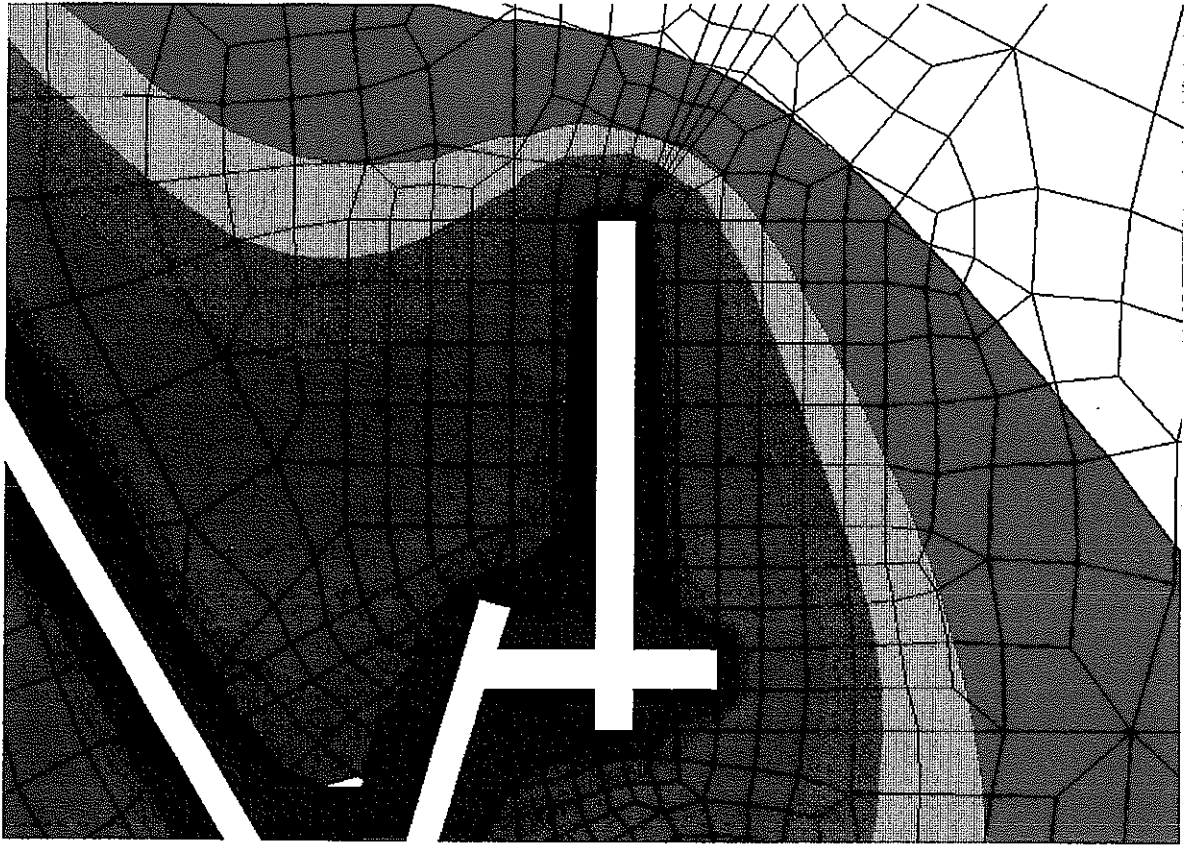


(a) A断面

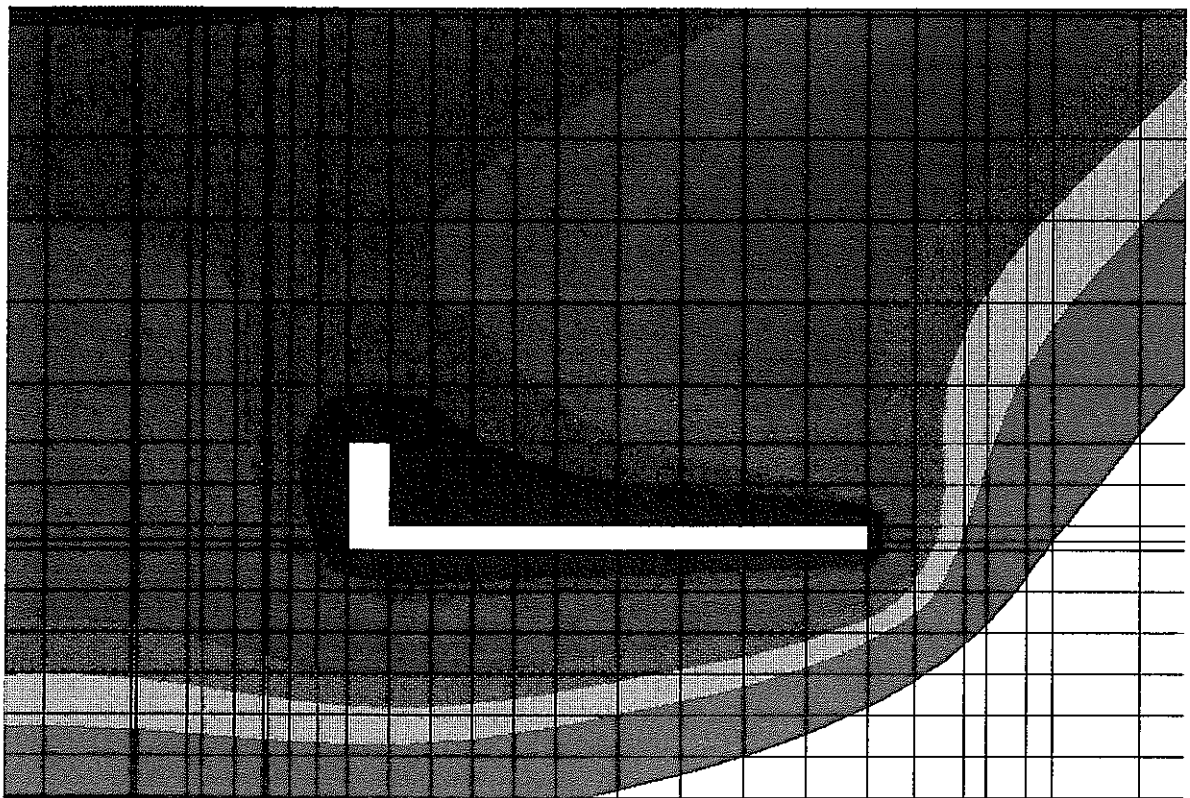


(b) B断面

図6. 4. 6 間隙水圧分布 (解析ケース2、全体領域)
(コンター単位：m、0~200mのみ表示)

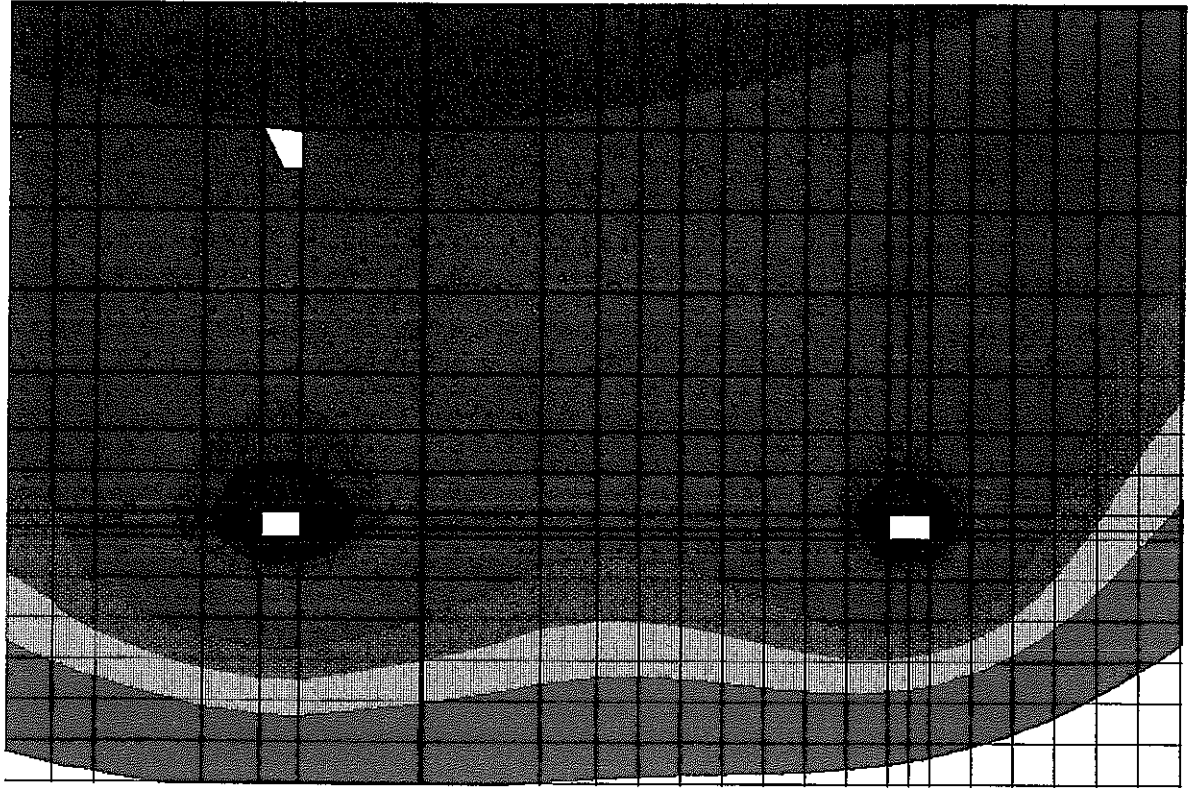


(a) A断面



(b) B断面

図6.4.7 間隙水圧分布 (解析ケース2、拡大領域)
(コンター次頁参照)

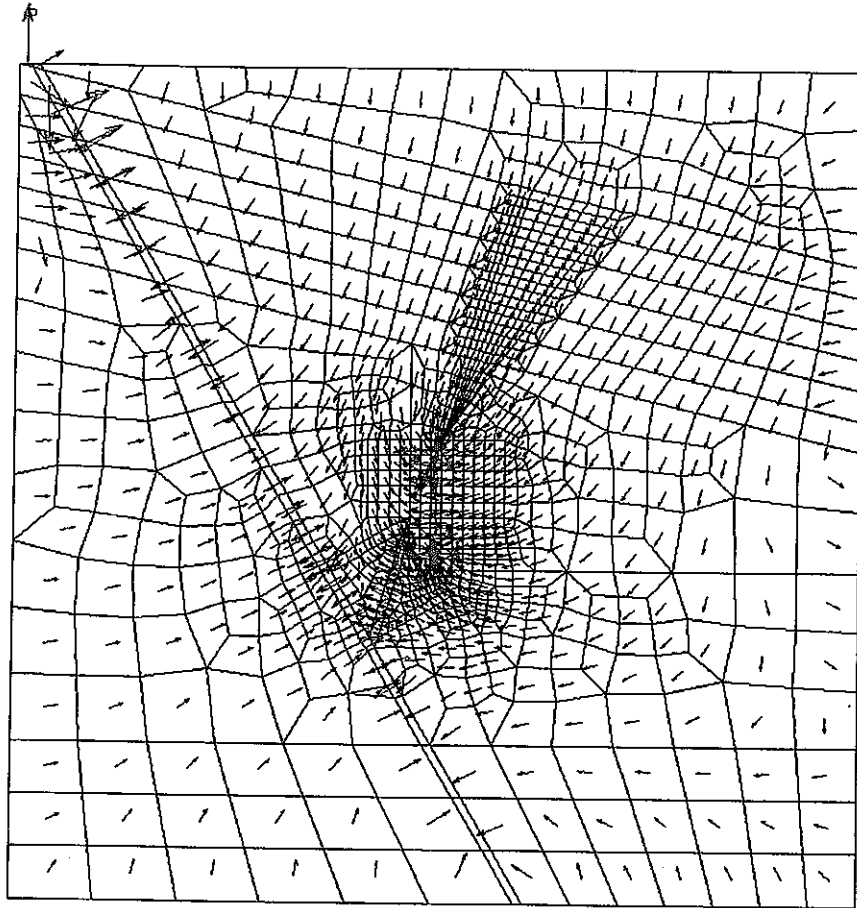


(c) C断面

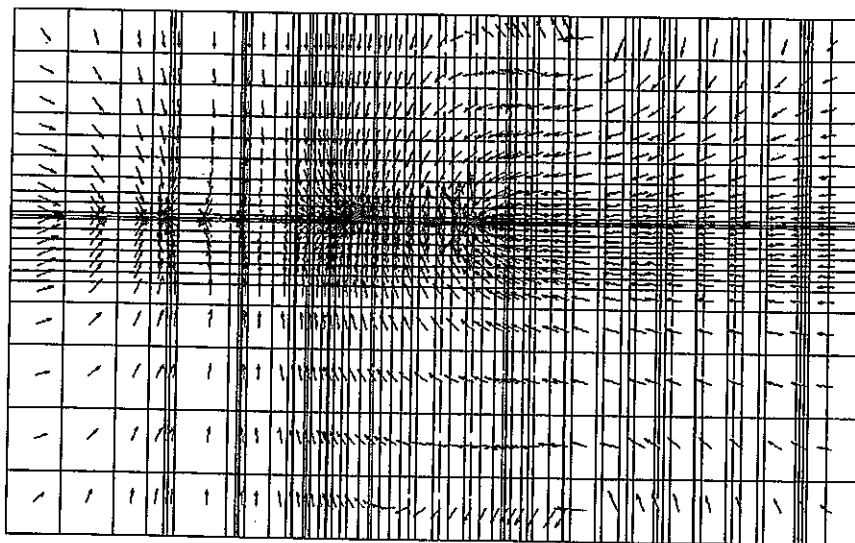
図6. 4. 7 間隙水圧分布 (解析ケース2、拡大領域) (続き)



コンター (単位：m、0~100mのみ表示)

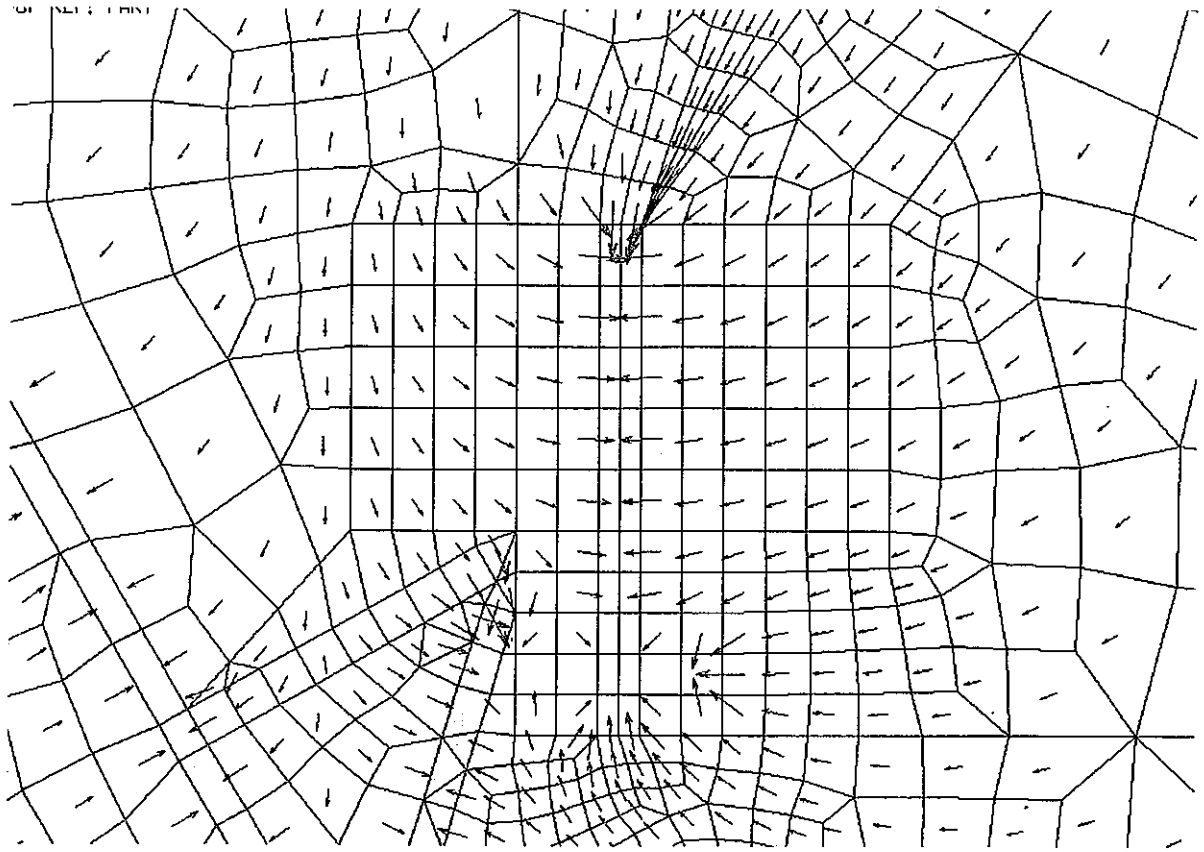


(a) A断面

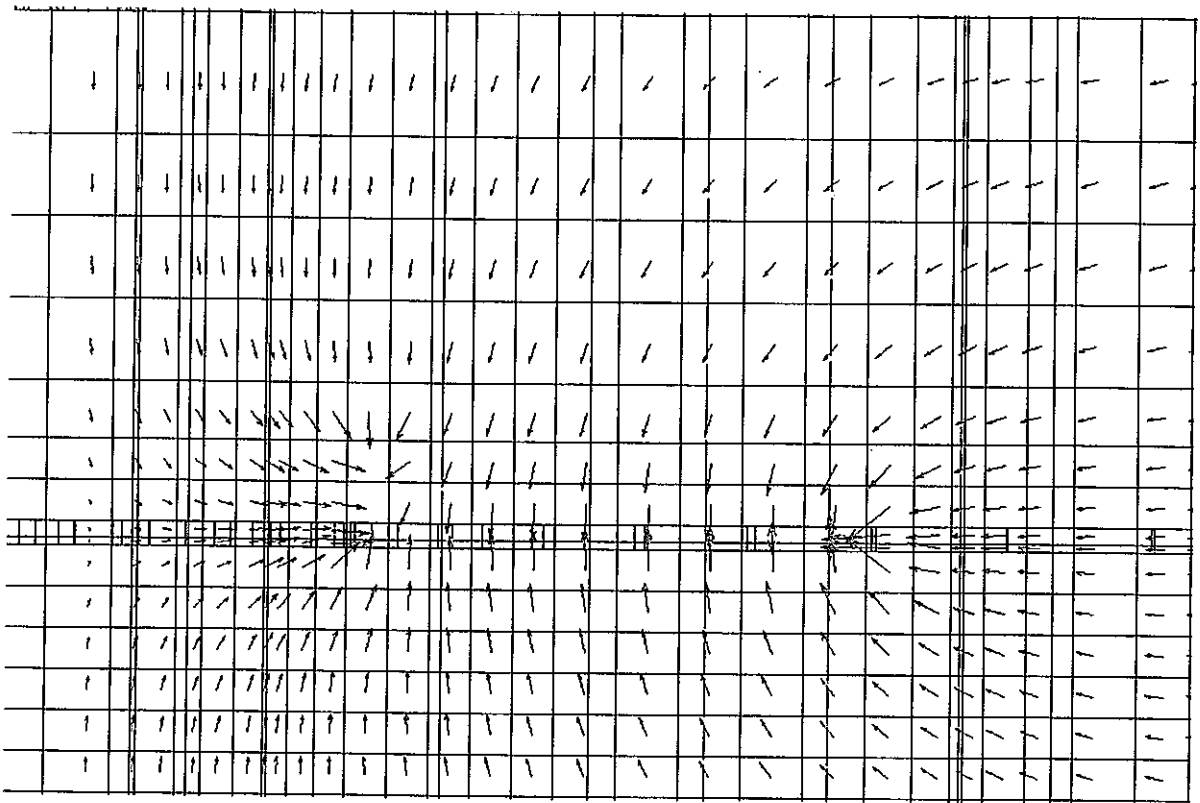


(b) B断面

図 6. 4. 8 流速ベクトル分布 (解析ケース 2、全体領域)

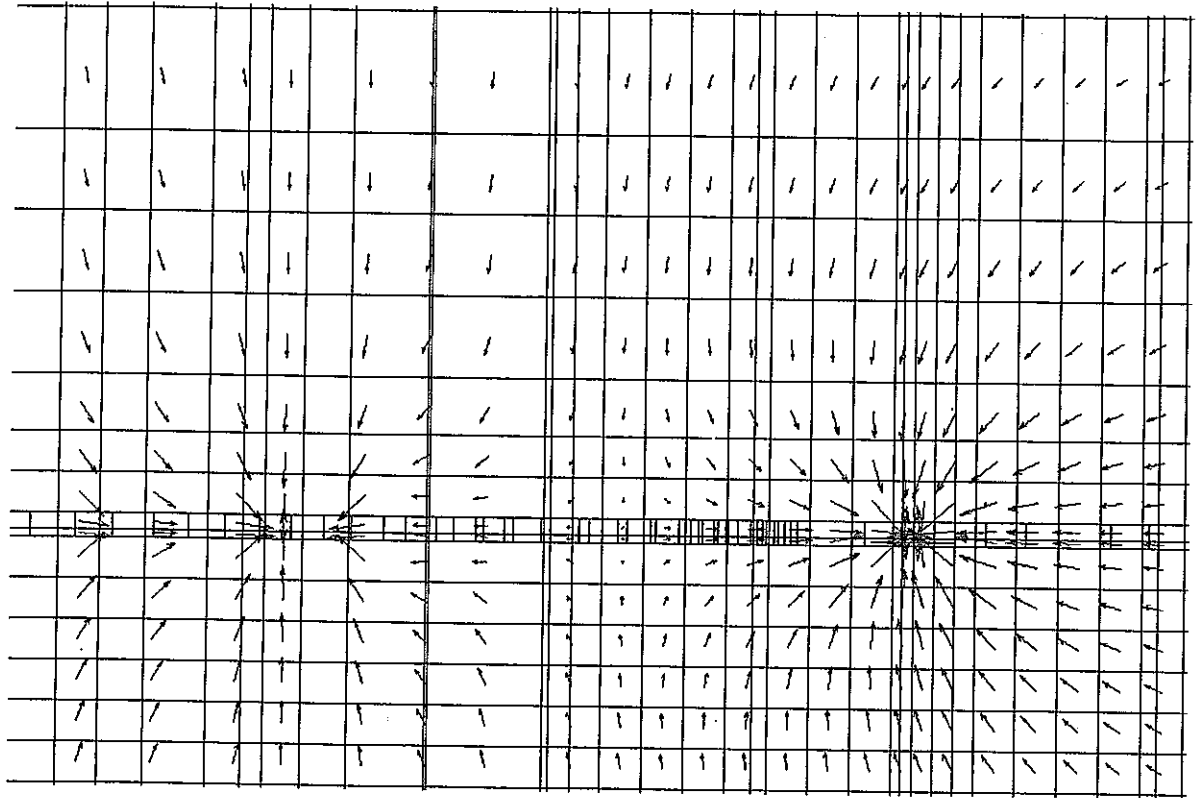


(a) A断面



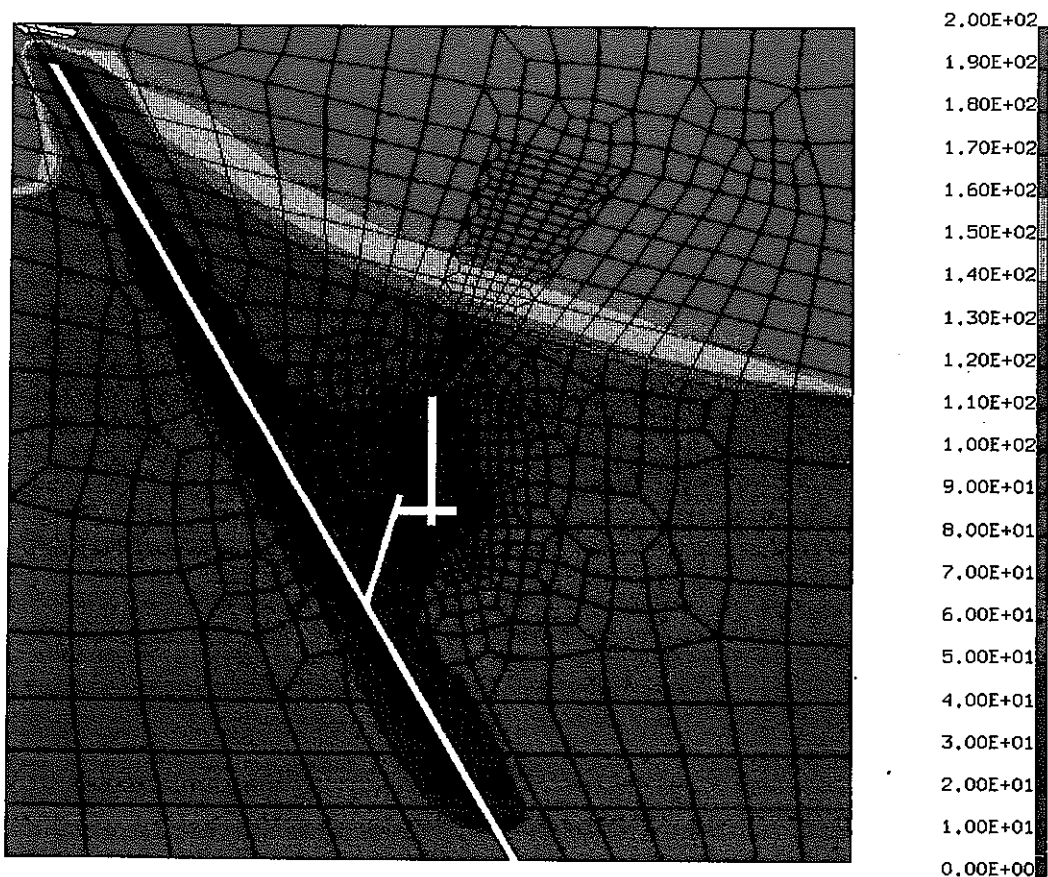
(b) B断面

図6. 4. 9 流速ベクトル分布 (解析ケース2、拡大領域)

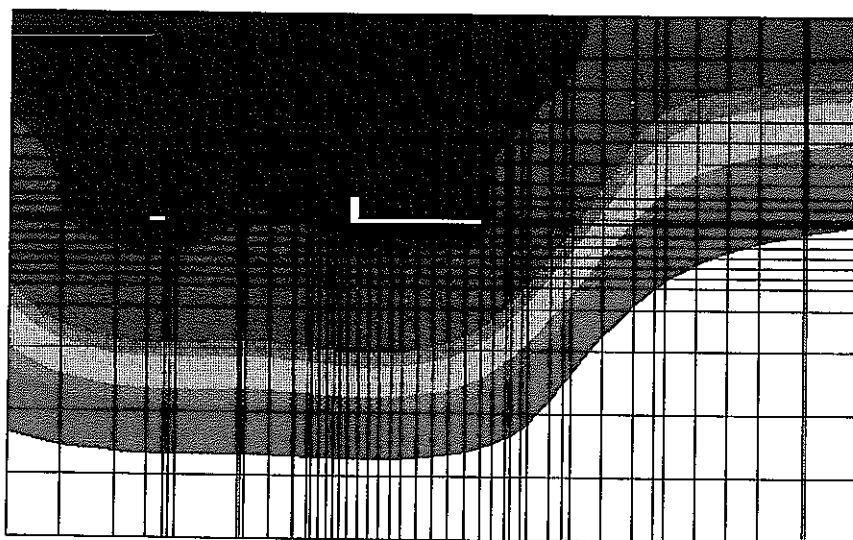


(c) C断面

図6. 4. 9 流速ベクトル分布 (解析ケース2、拡大領域) (続き)

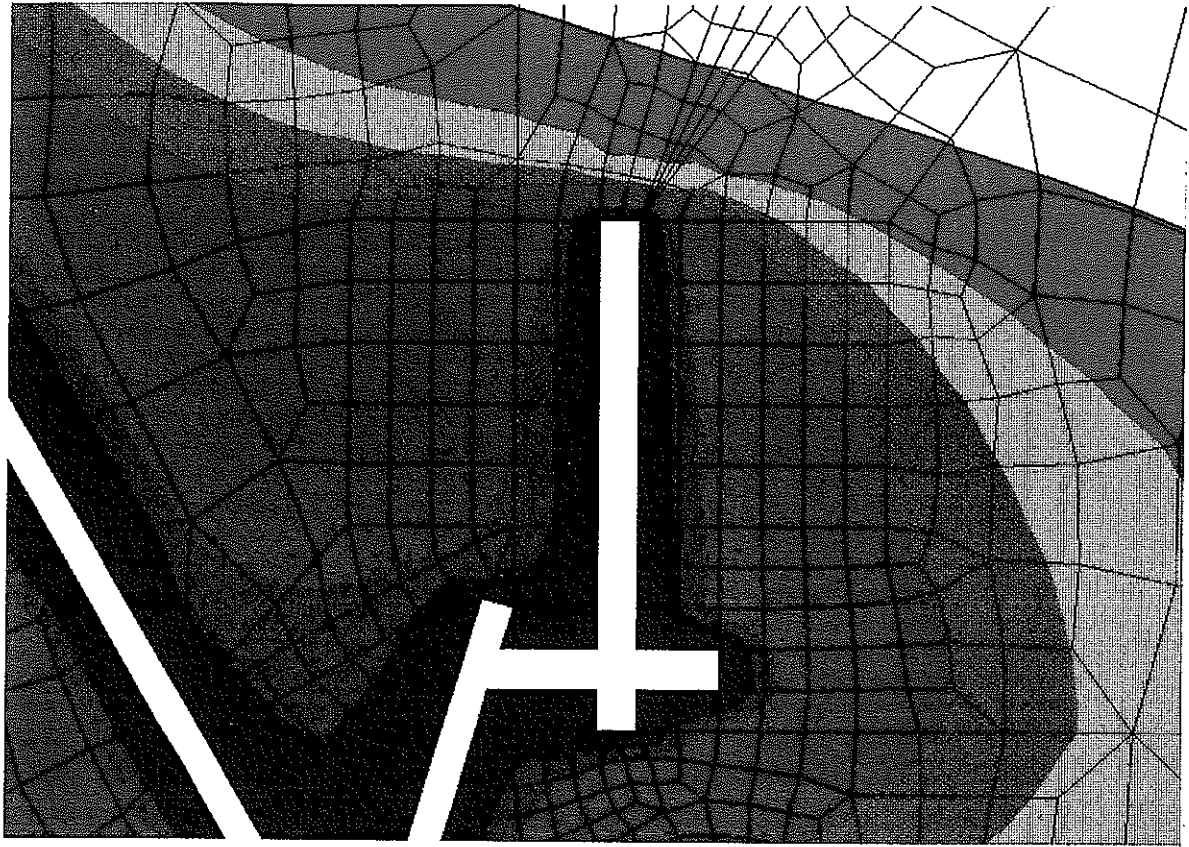


(a) A断面

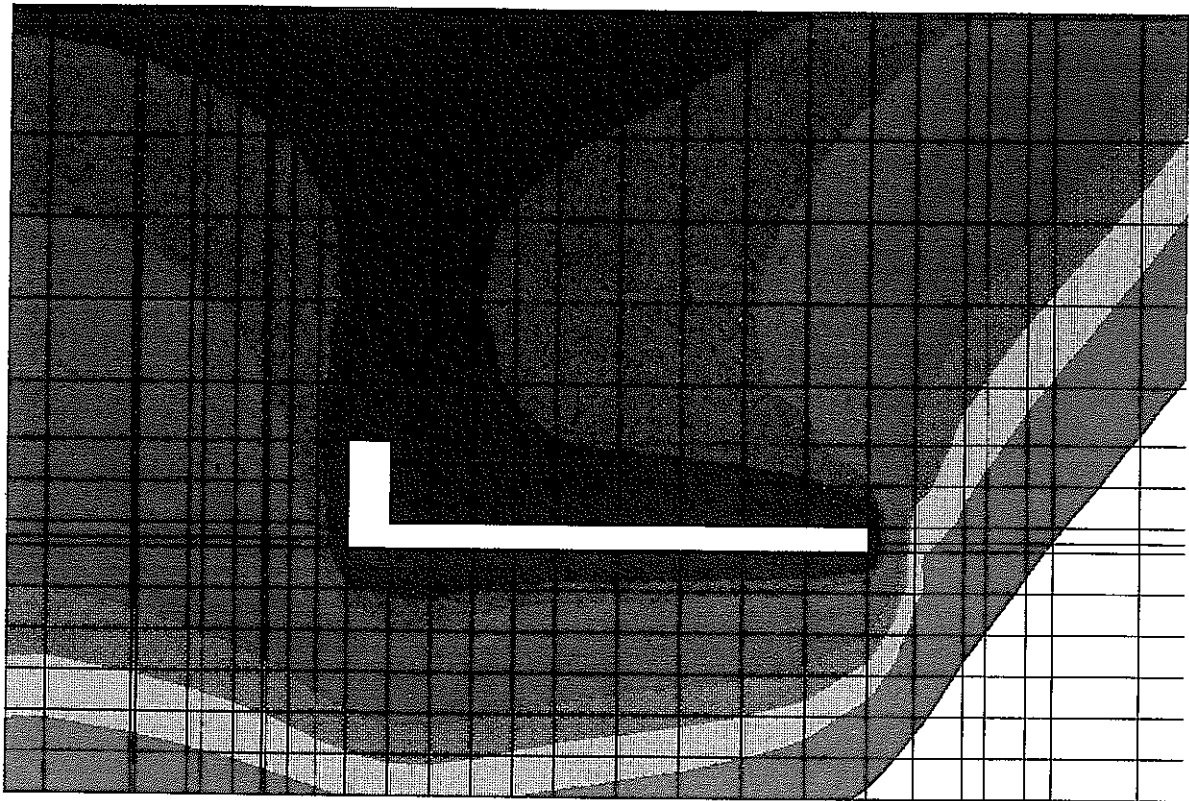


(b) B断面

図6. 4. 10 間隙水圧分布 (解析ケース3、全体領域)
(コンター単位：m、0~200mのみ表示)

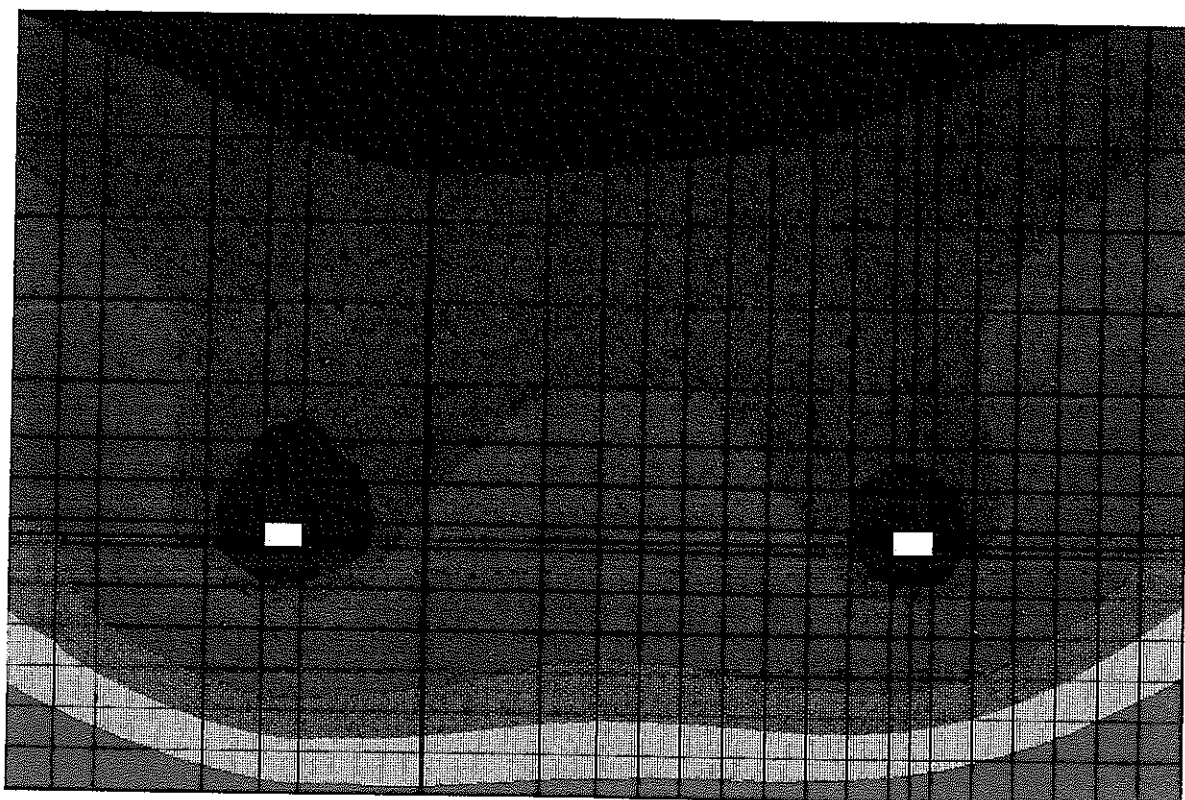


(a) A断面



(b) B断面

図6.4.11 間隙水圧分布 (解析ケース3、拡大領域)
(コンター次頁参照)

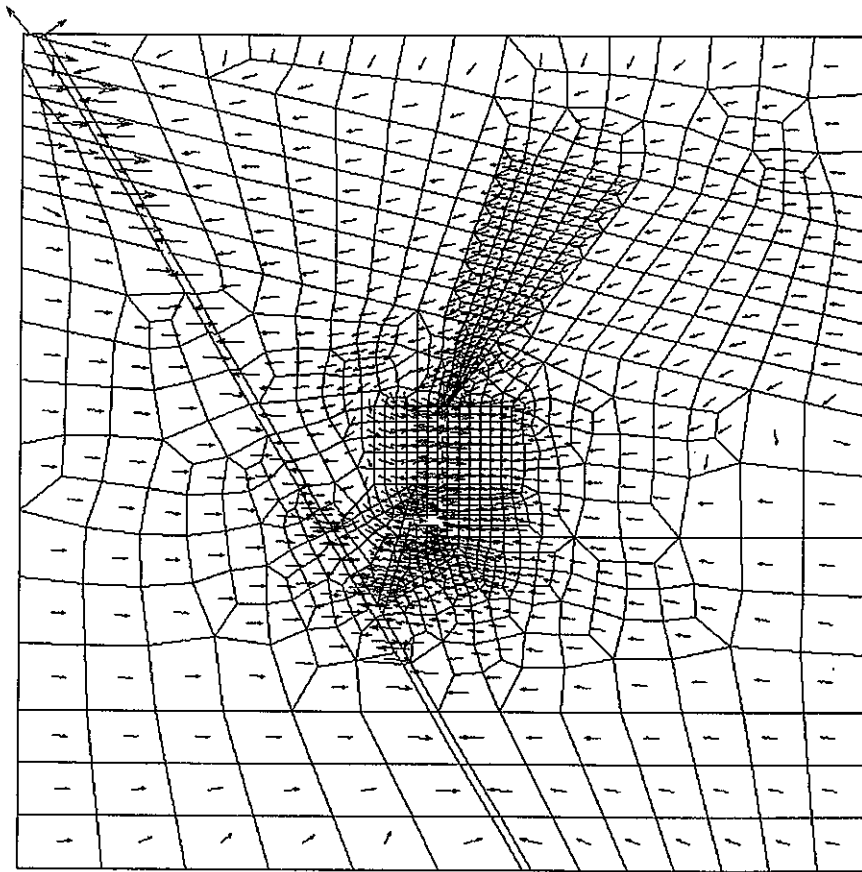


(c) C断面

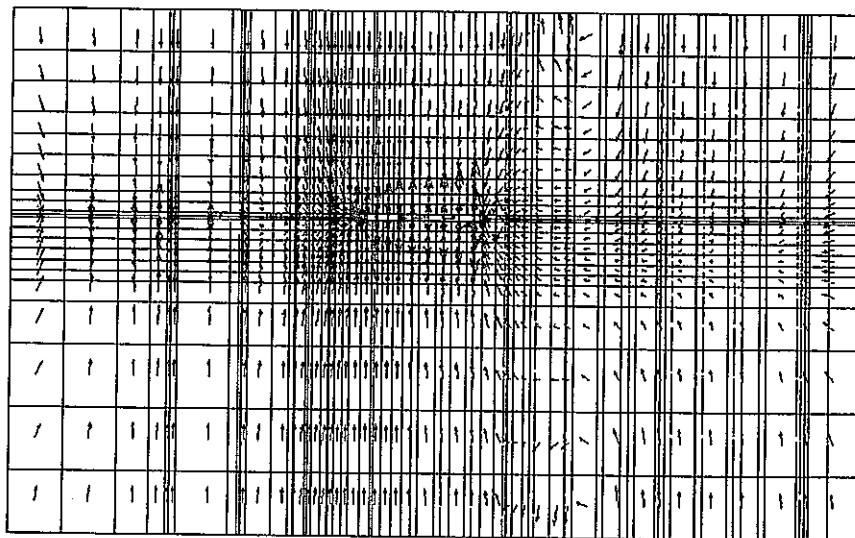
図6.4.11 間隙水圧分布 (解析ケース3、拡大領域) (続き)



コンター (単位：m、0~100mのみ表示)

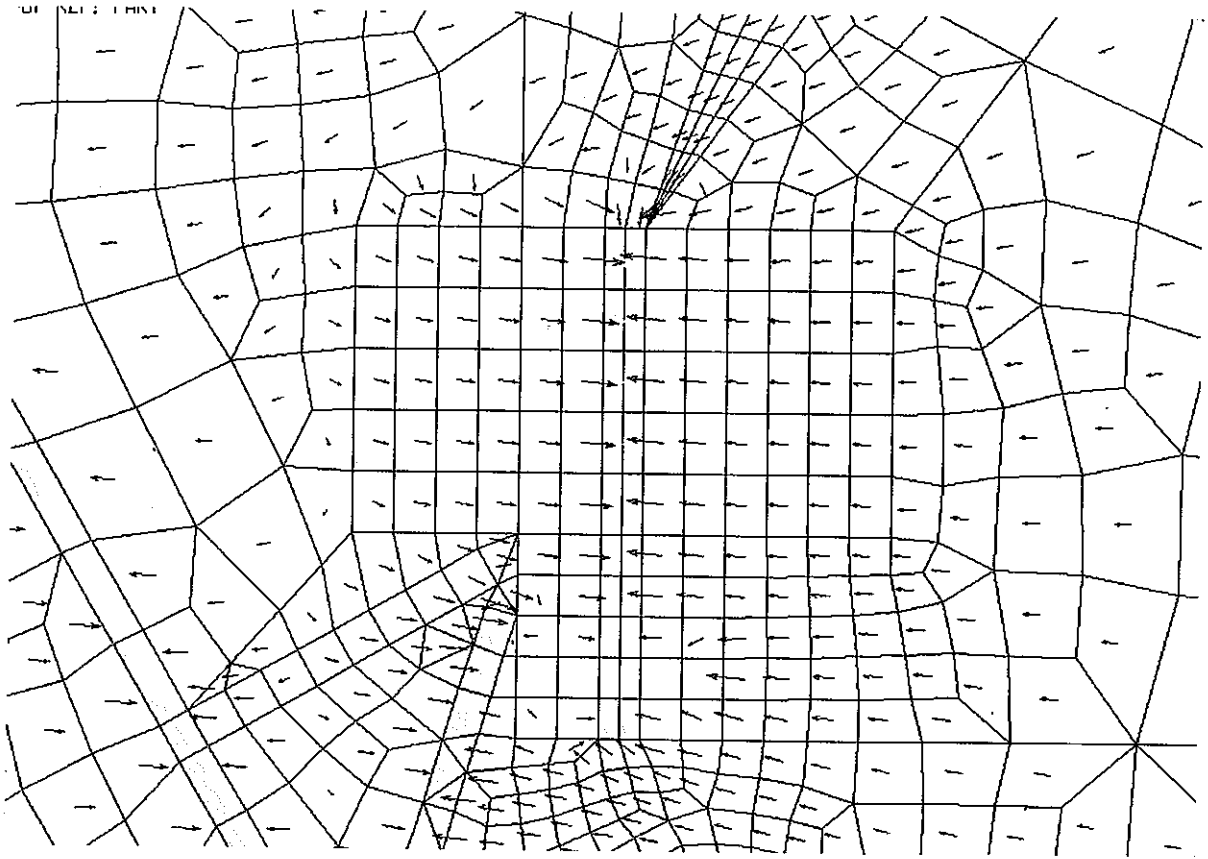


(a) A断面

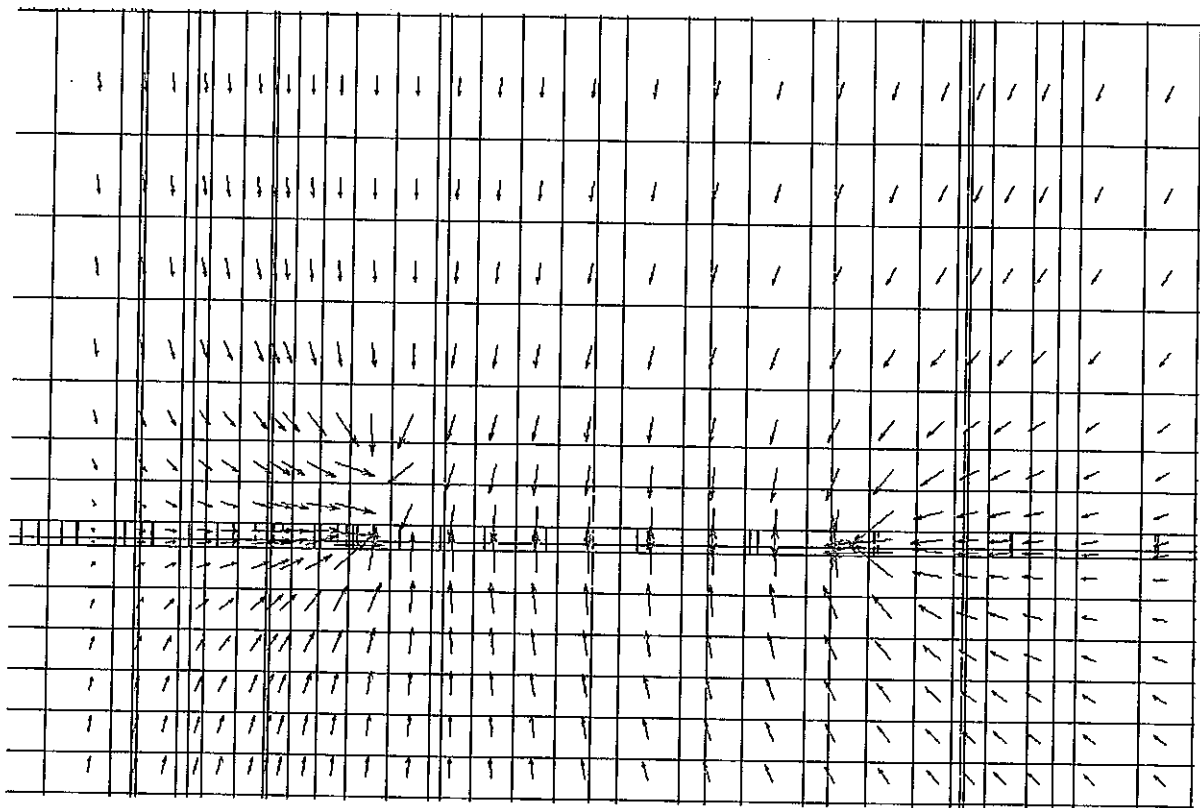


(b) B断面

図6. 4. 12 流速ベクトル分布 (解析ケース3、全体領域)

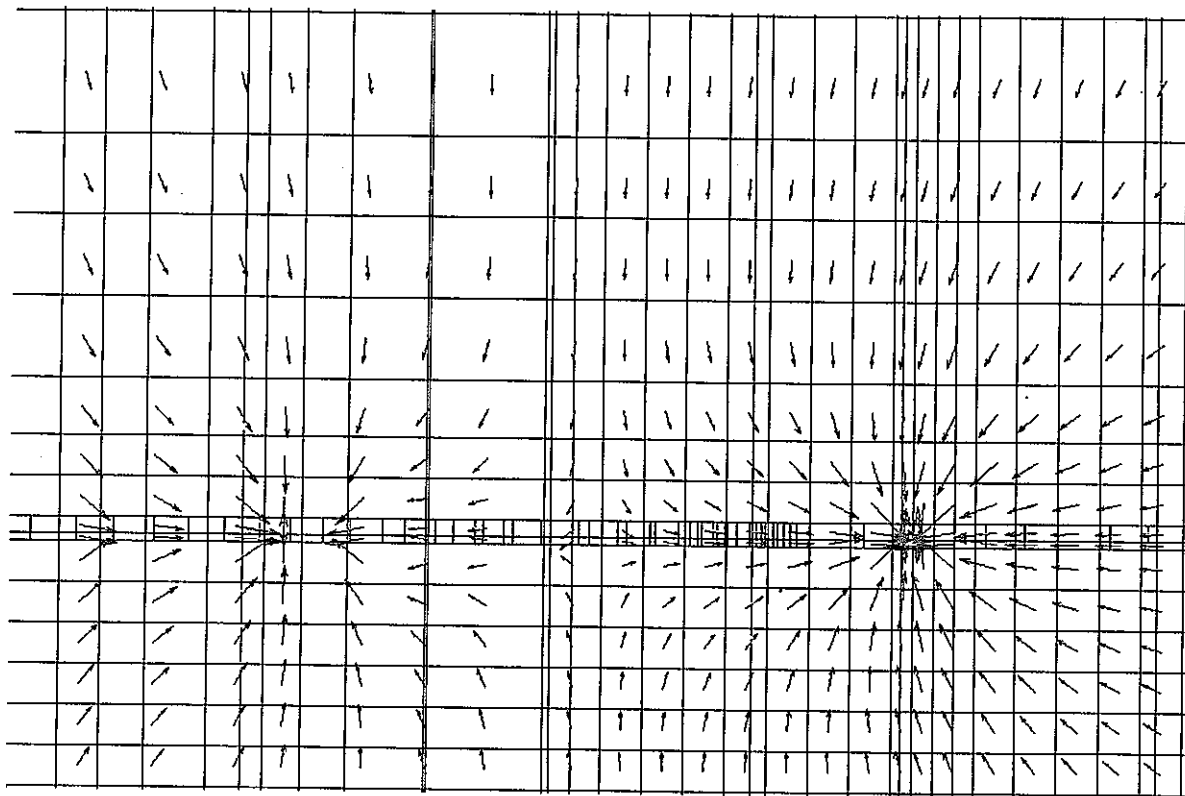


(a) A断面



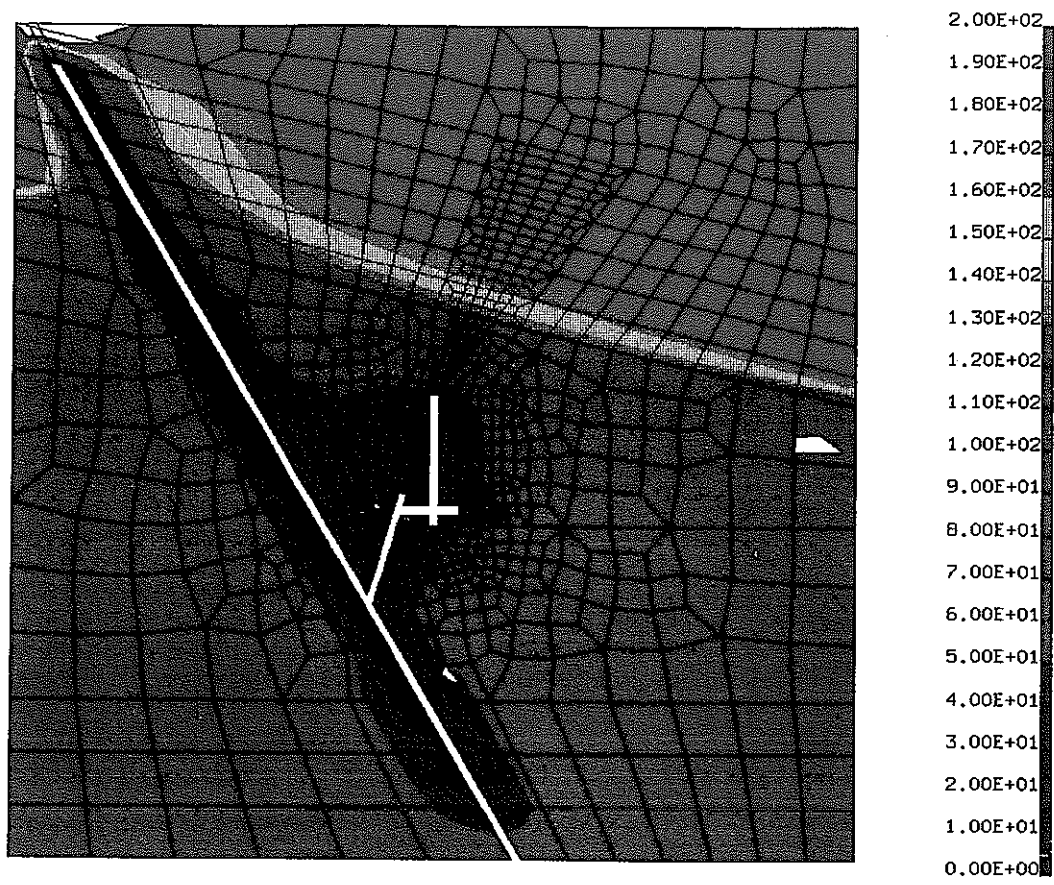
(b) B断面

図6. 4. 13 流速ベクトル分布 (解析ケース3、拡大領域)

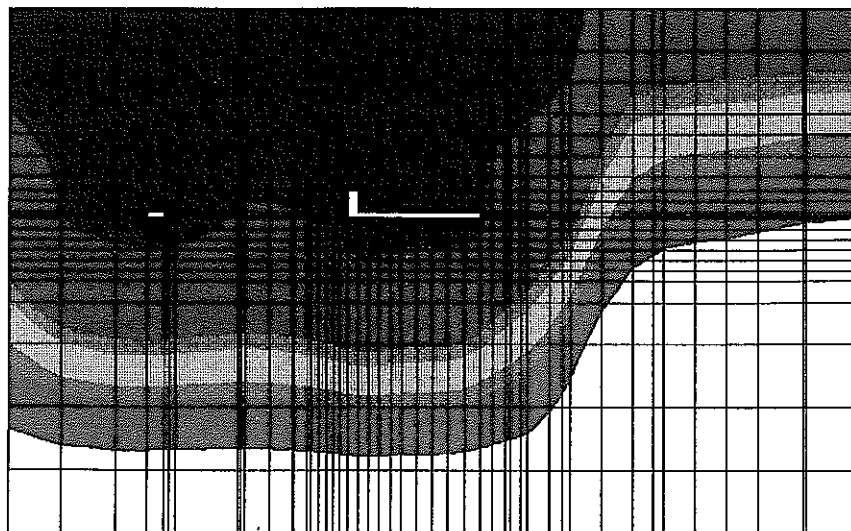


(c) C断面

図6. 4. 13 流速ベクトル分布 (解析ケース3、拡大領域) (続き)

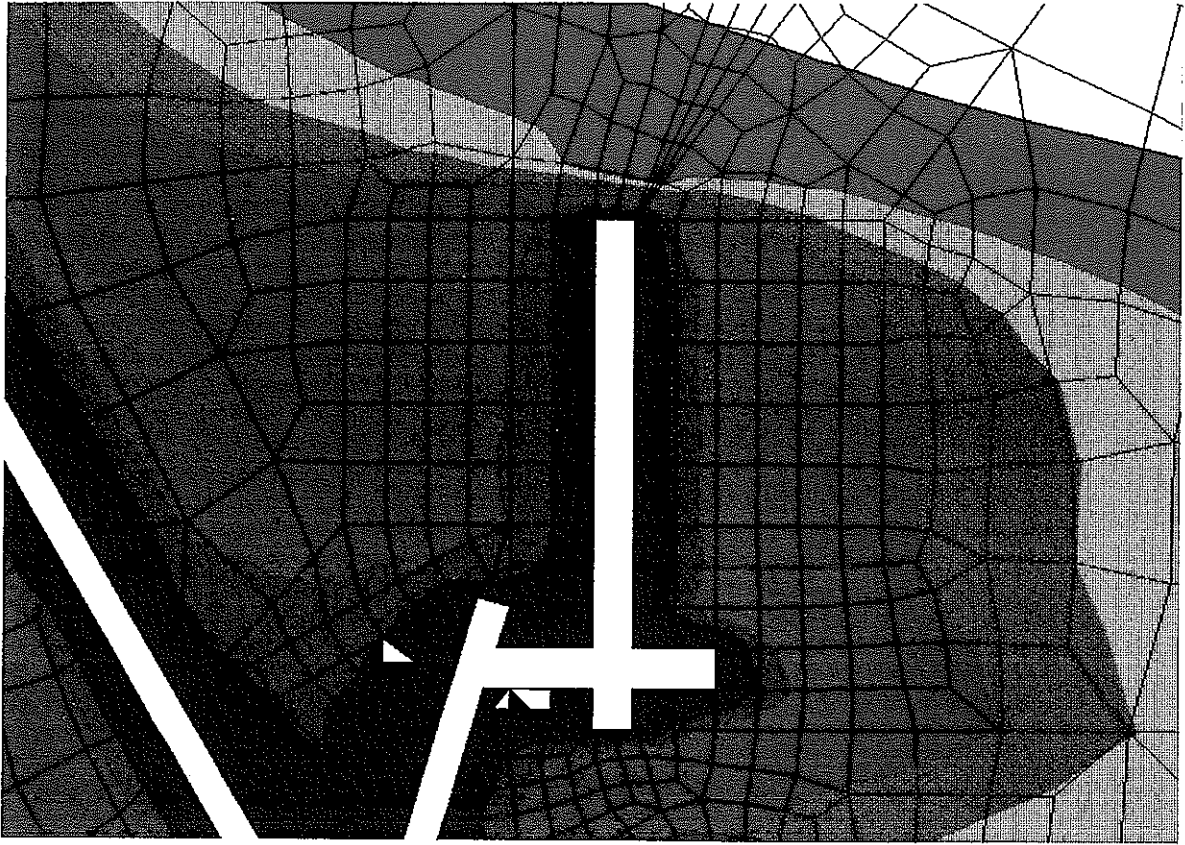


(a) A断面

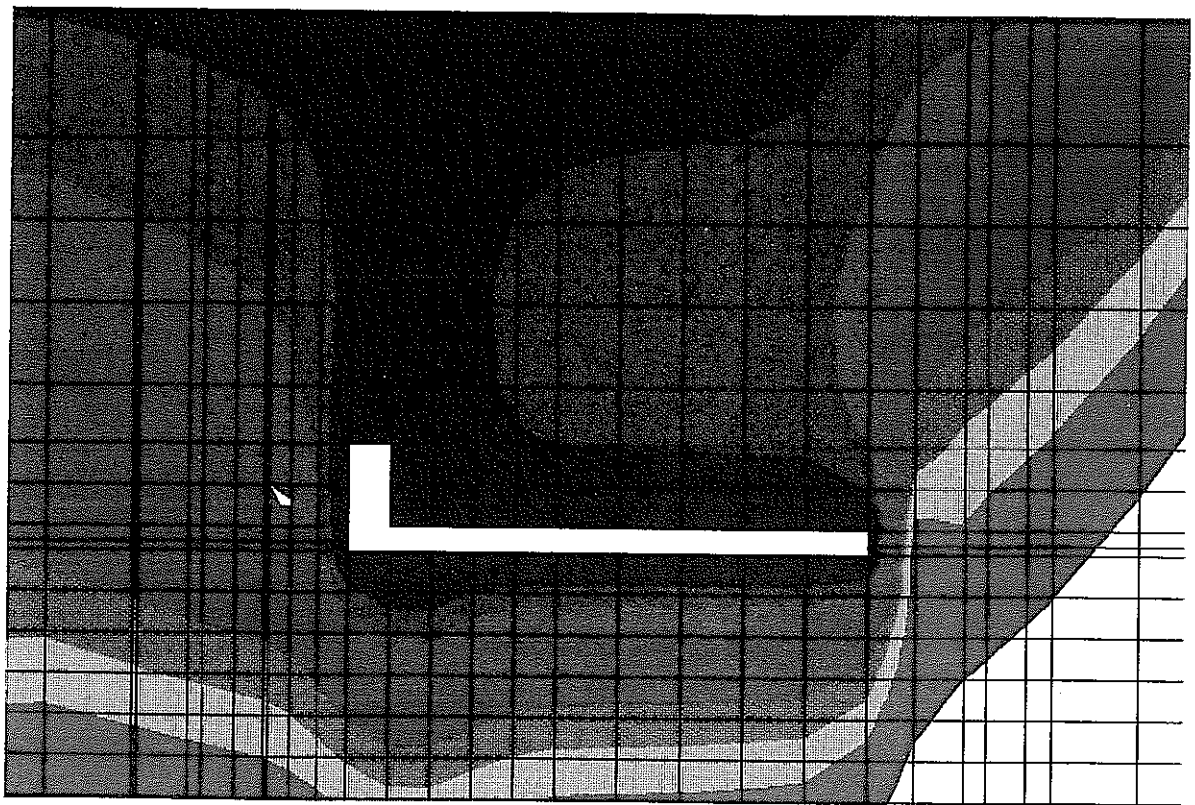


(b) B断面

図6. 4. 14 間隙水圧分布 (解析ケース4、全体領域)
(コンター単位：m、0~200mのみ表示)

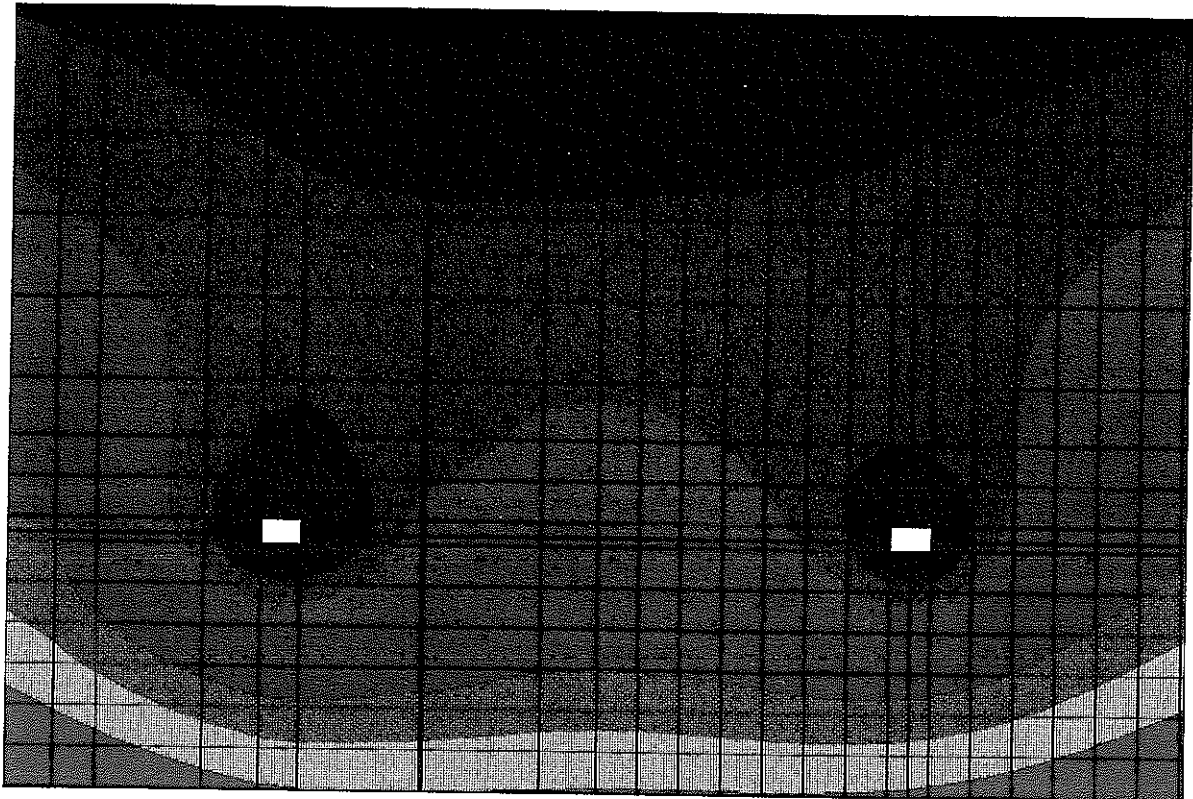


(a) A断面



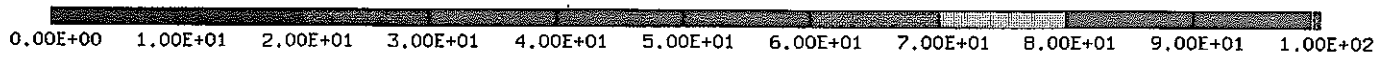
(b) B断面

図6. 4. 15 間隙水圧分布 (解析ケース4、拡大領域)
(コンター次頁参照)

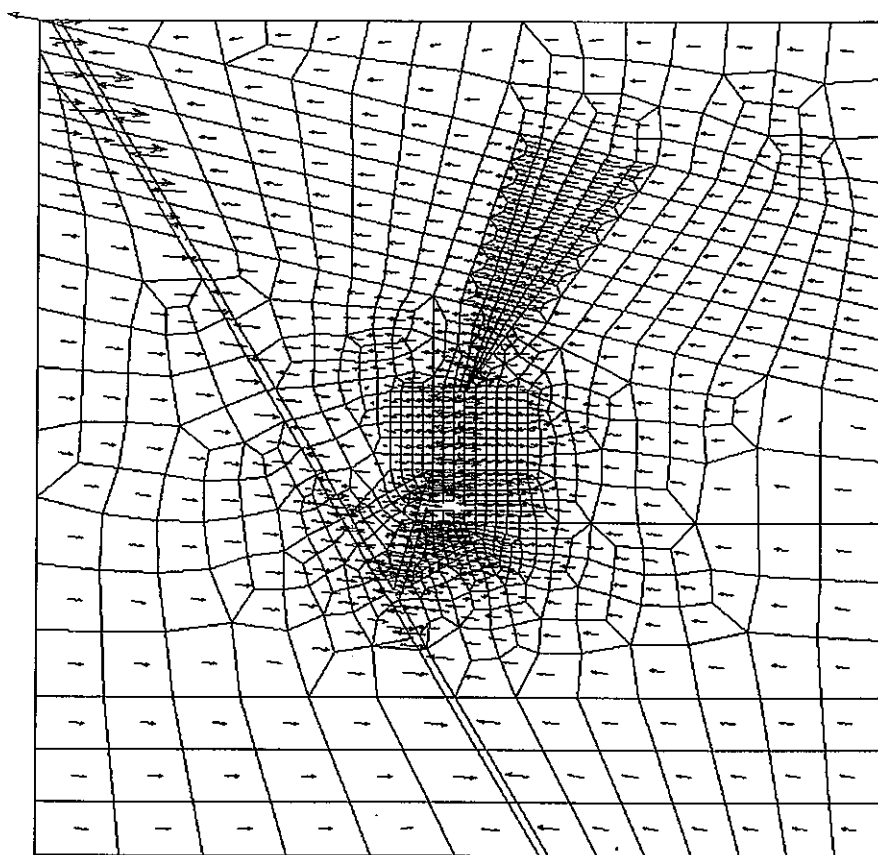


(c) C断面

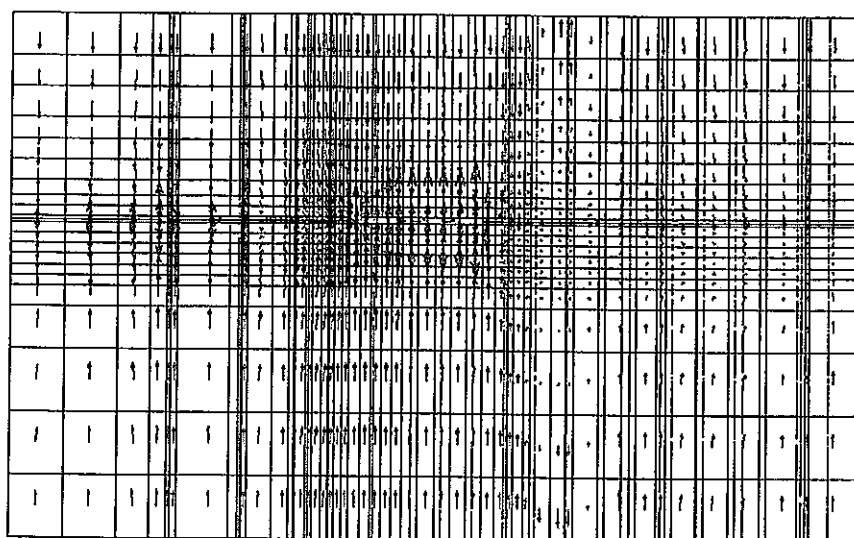
図6.4.15 間隙水圧分布 (解析ケース4、拡大領域) (続き)



コンター (単位：m、0~100mのみ表示)

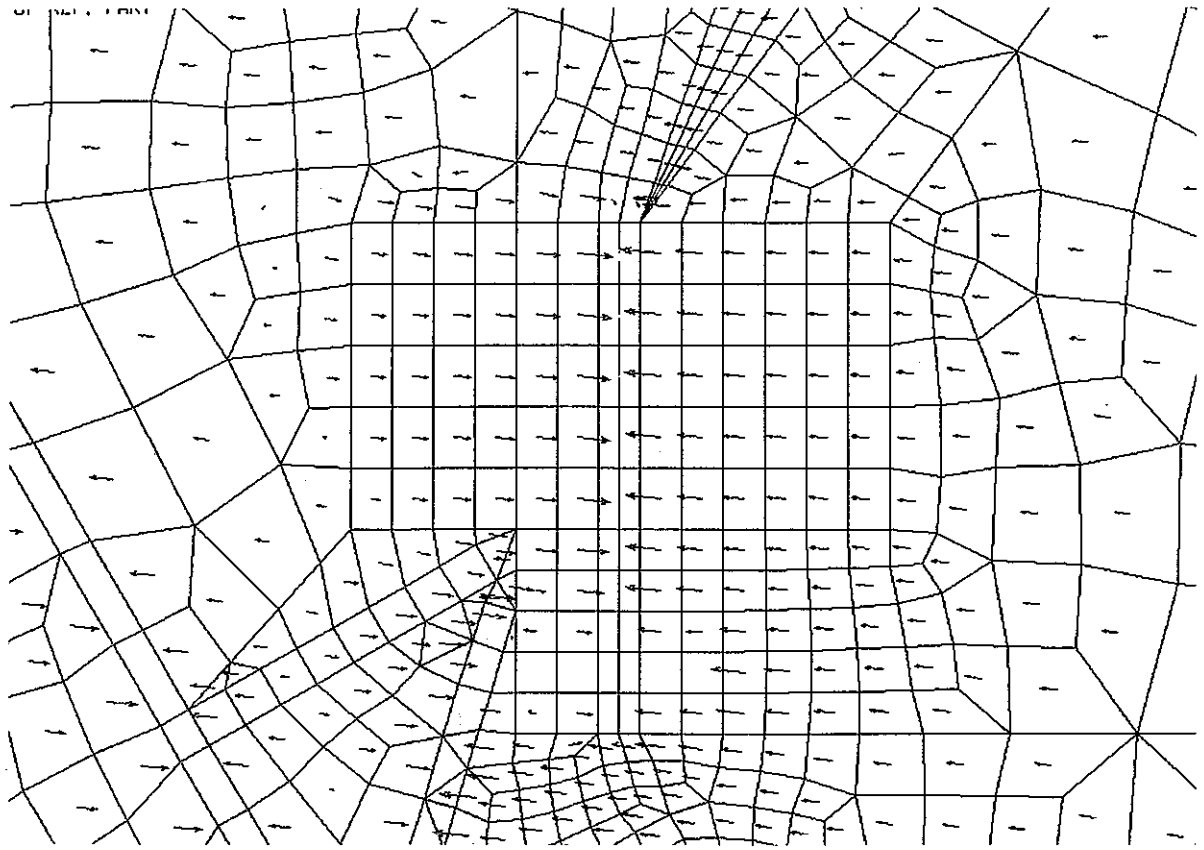


(a) A断面

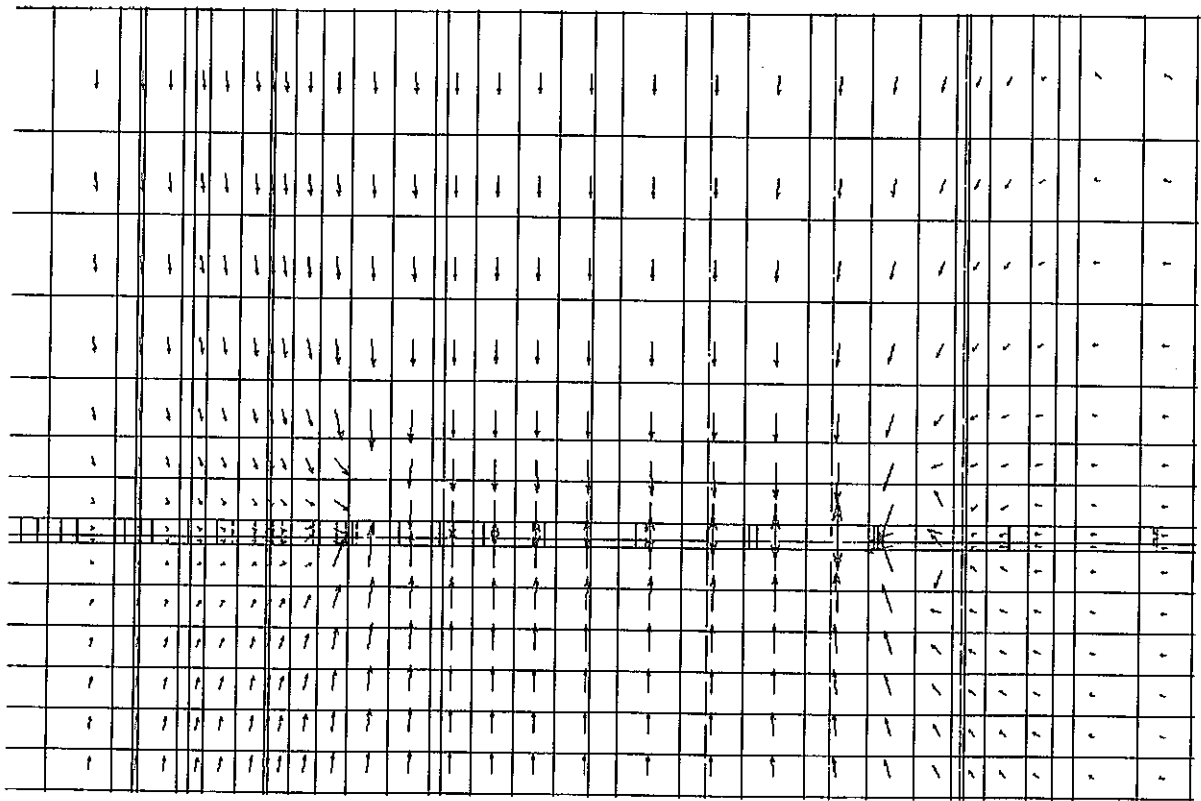


(b) B断面

図6. 4. 16 流速ベクトル分布 (解析ケース4、全体領域)

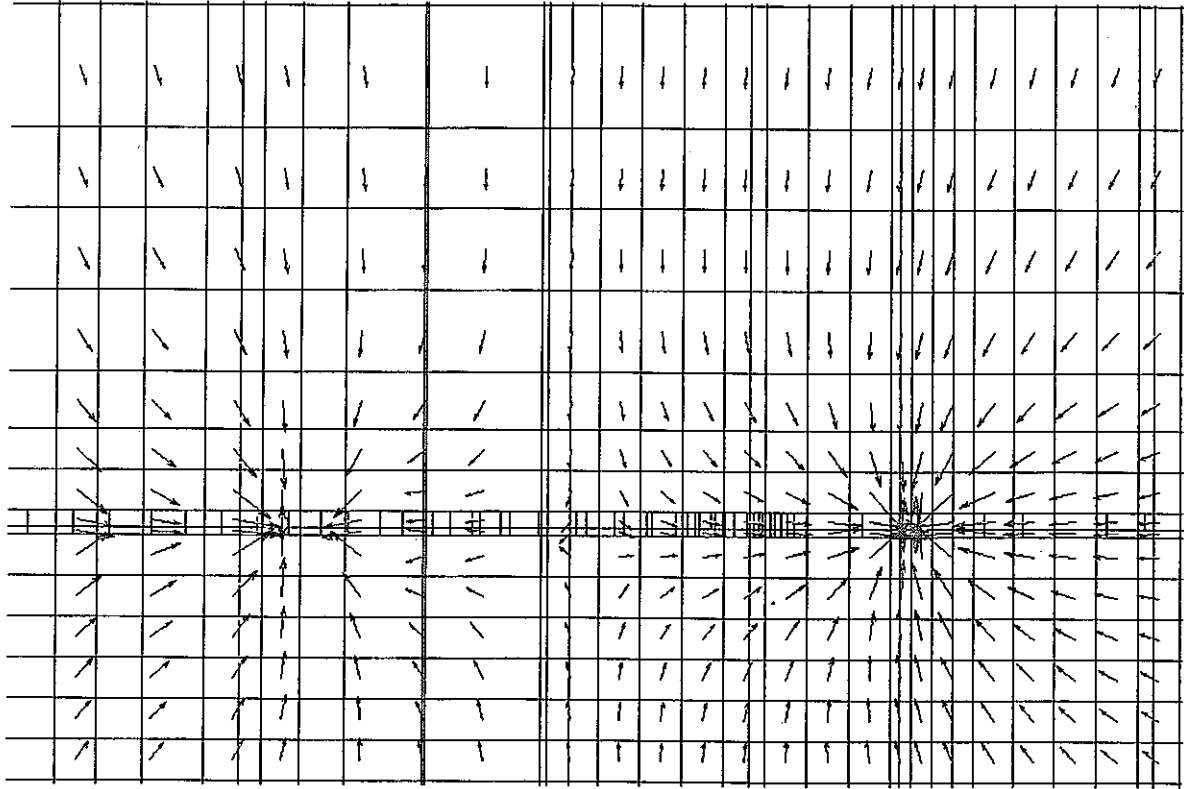


(a) A断面



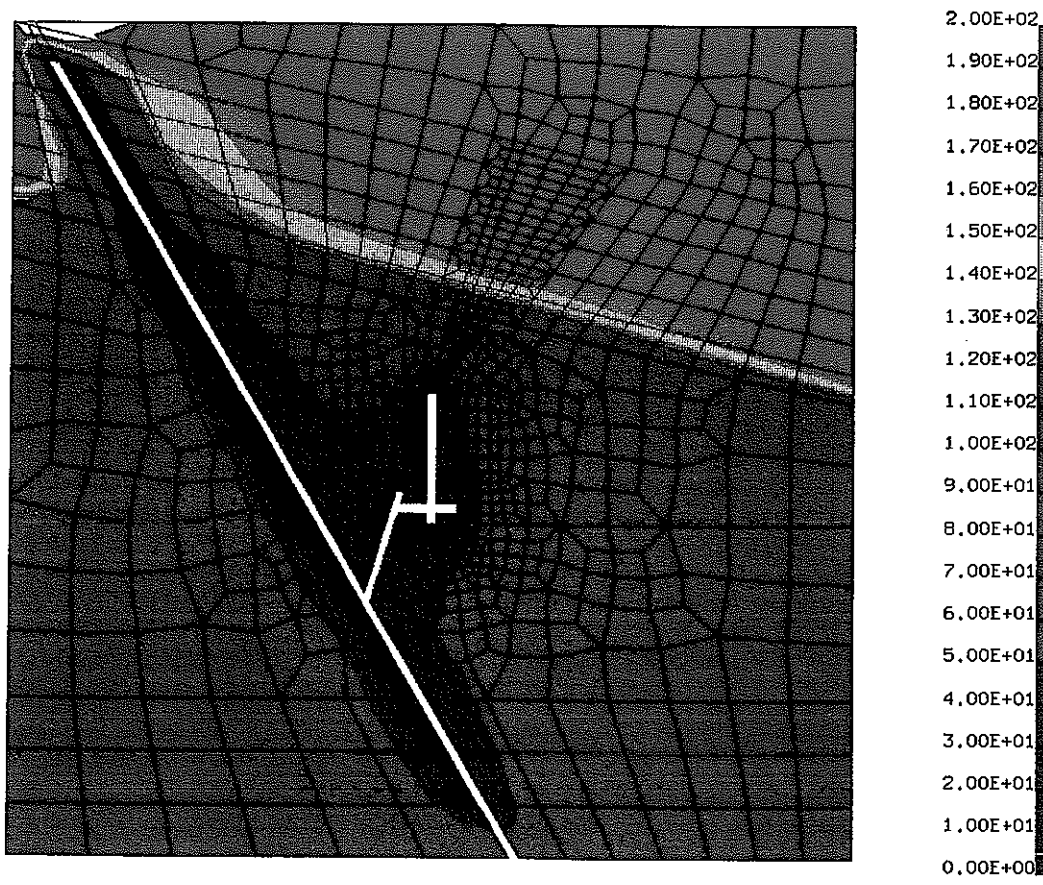
(b) B断面

図6. 4. 17 流速ベクトル分布 (解析ケース4、拡大領域)

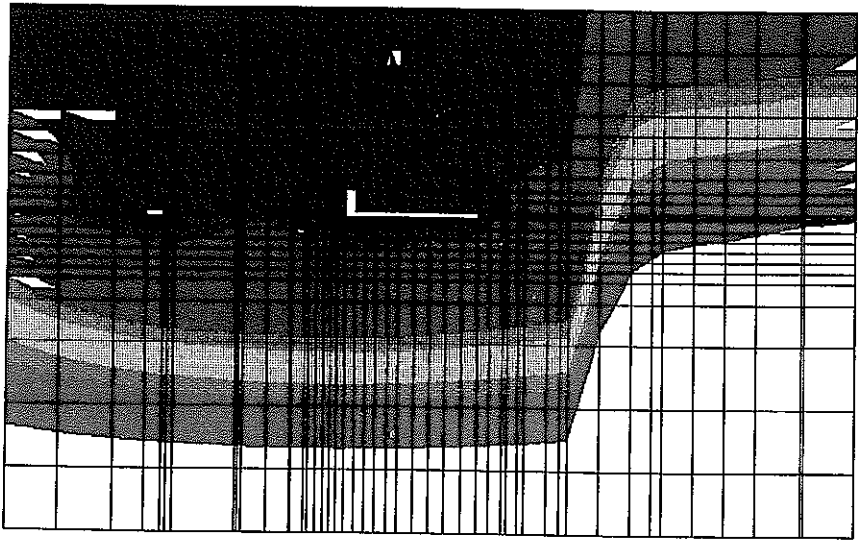


(c) C断面

図6. 4. 17 流速ベクトル分布 (解析ケース4、拡大領域) (続き)

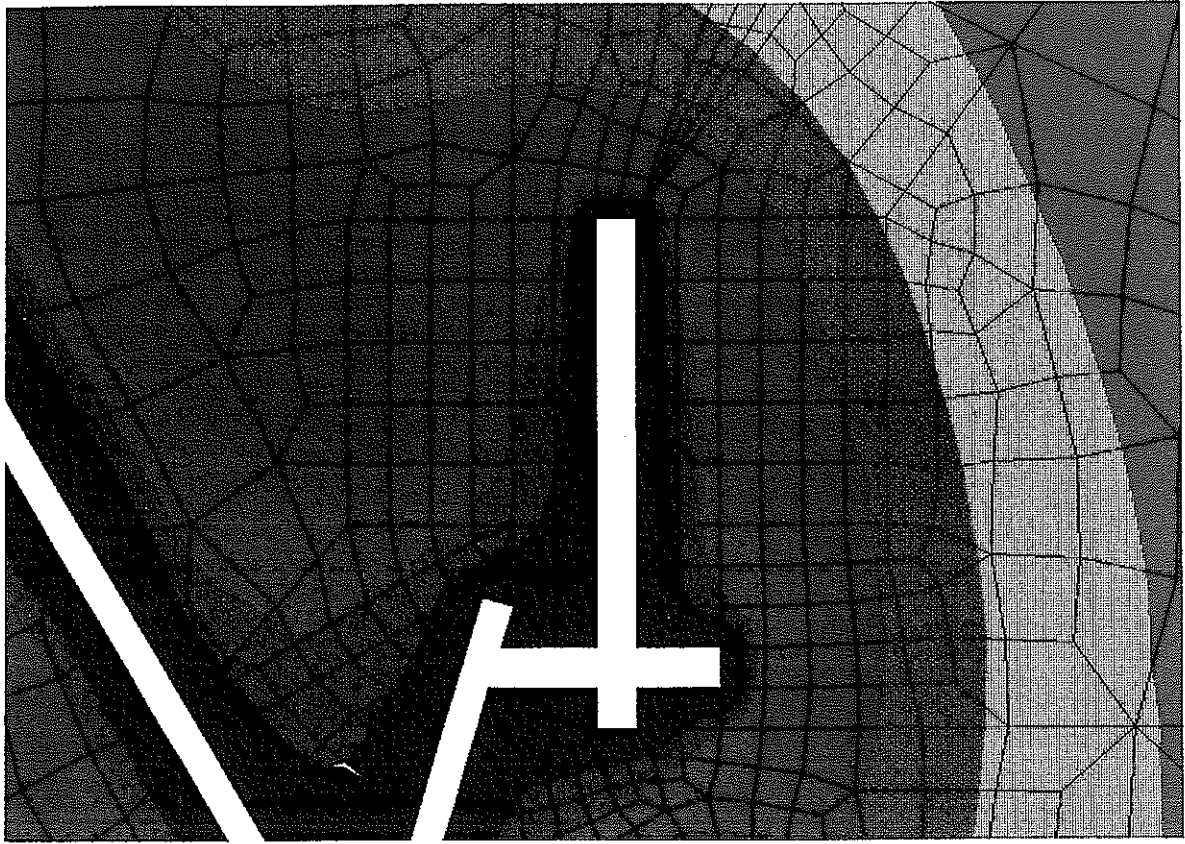


(a) A断面

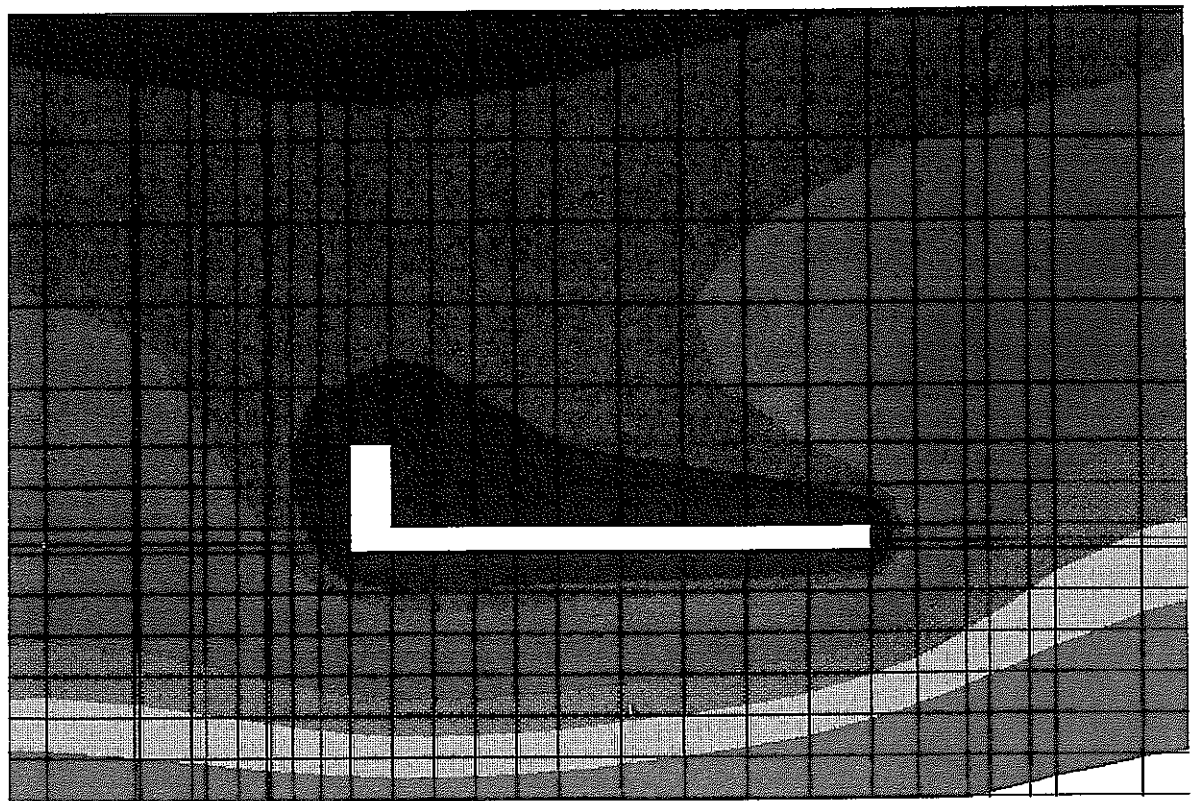


(b) B断面

図6. 4. 18 間隙水圧分布 (解析ケース5、全体領域)
 (コンター単位：m、0~200mのみ表示)

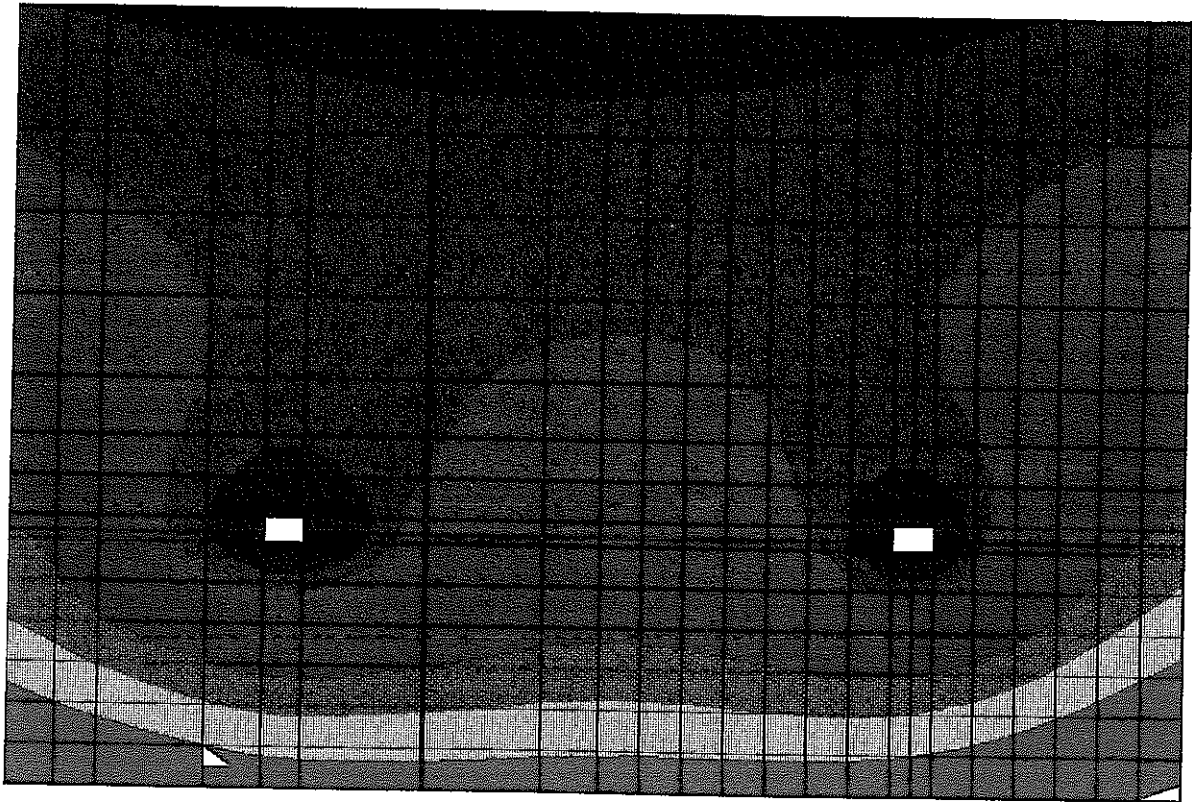


(a) A断面



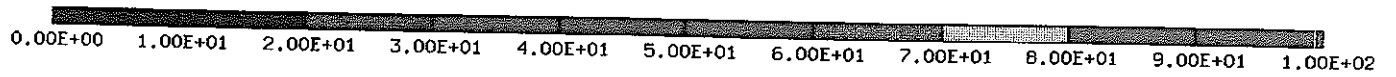
(b) B断面

図6.4.19 間隙水圧分布 (解析ケース5、拡大領域)
(コンター次頁参照)

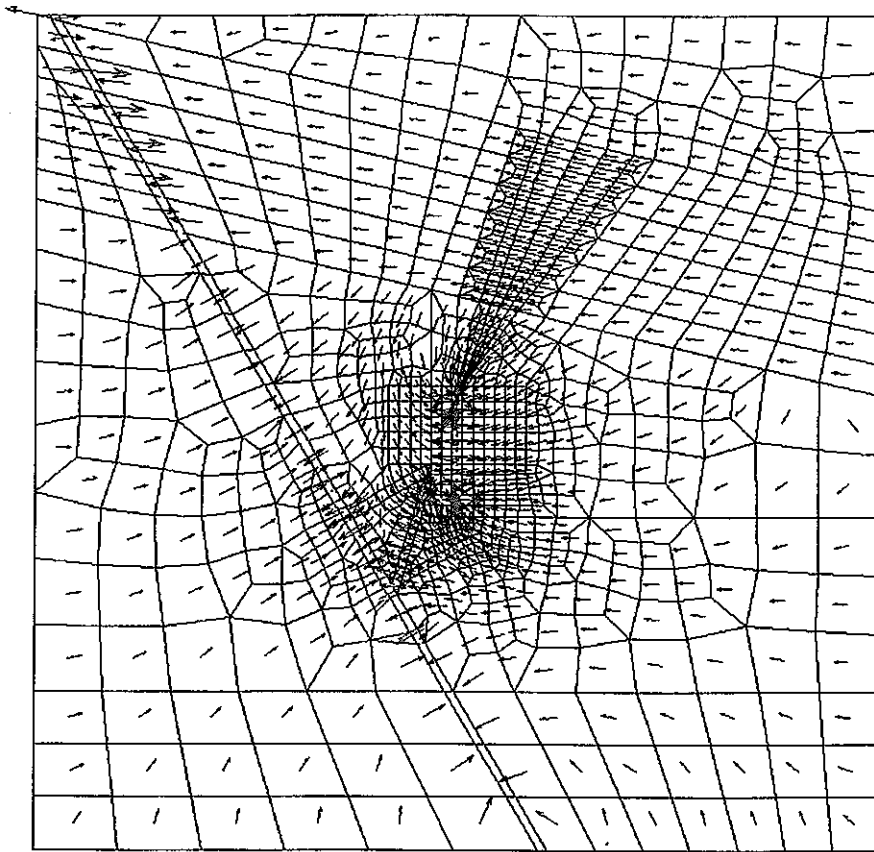


(c) C断面

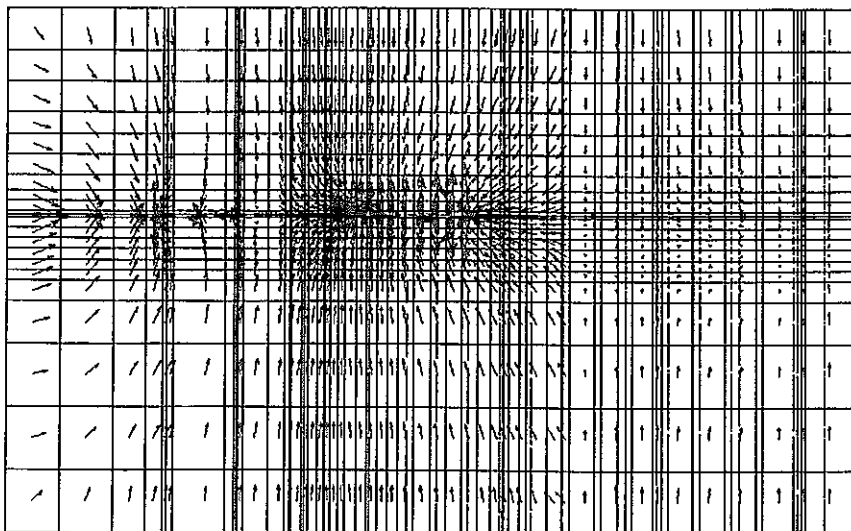
図6. 4. 19 間隙水圧分布 (解析ケース5、拡大領域) (続き)



コンター (単位：m、0~100mのみ表示)

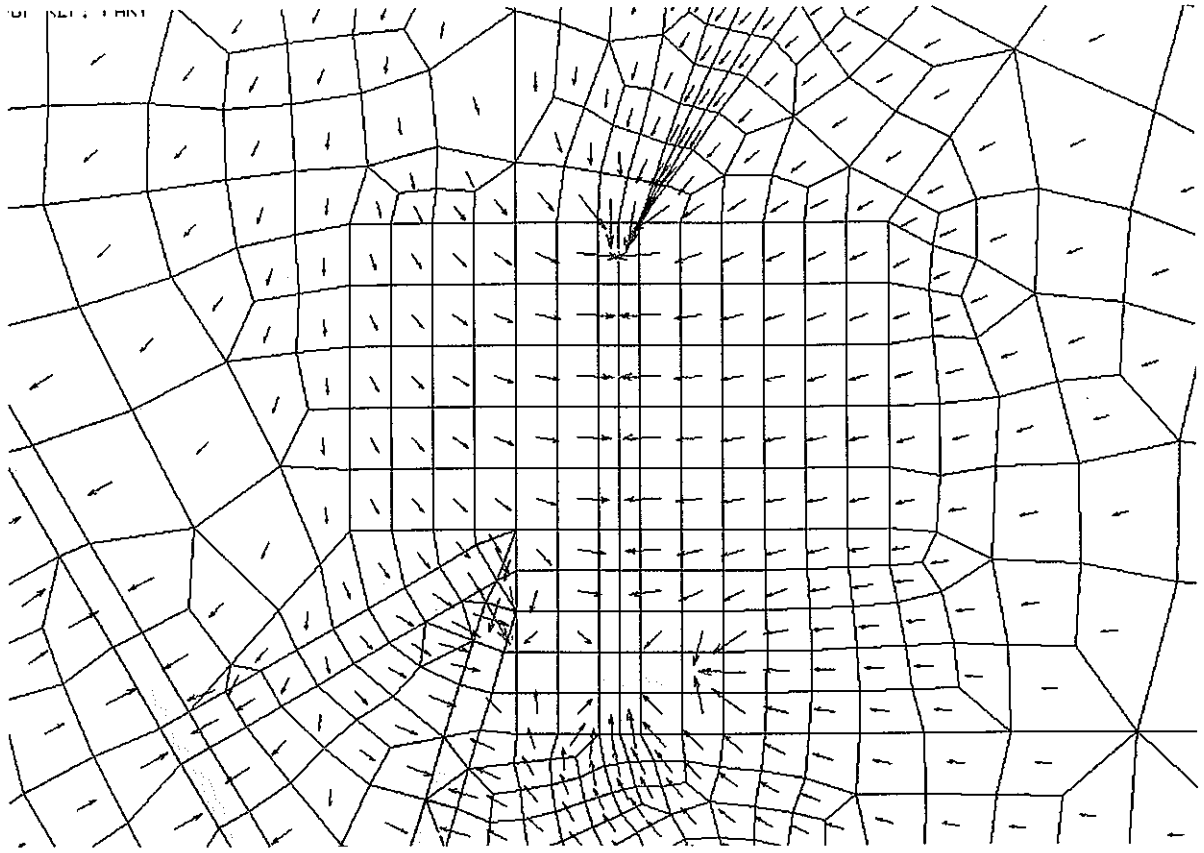


(a) A断面

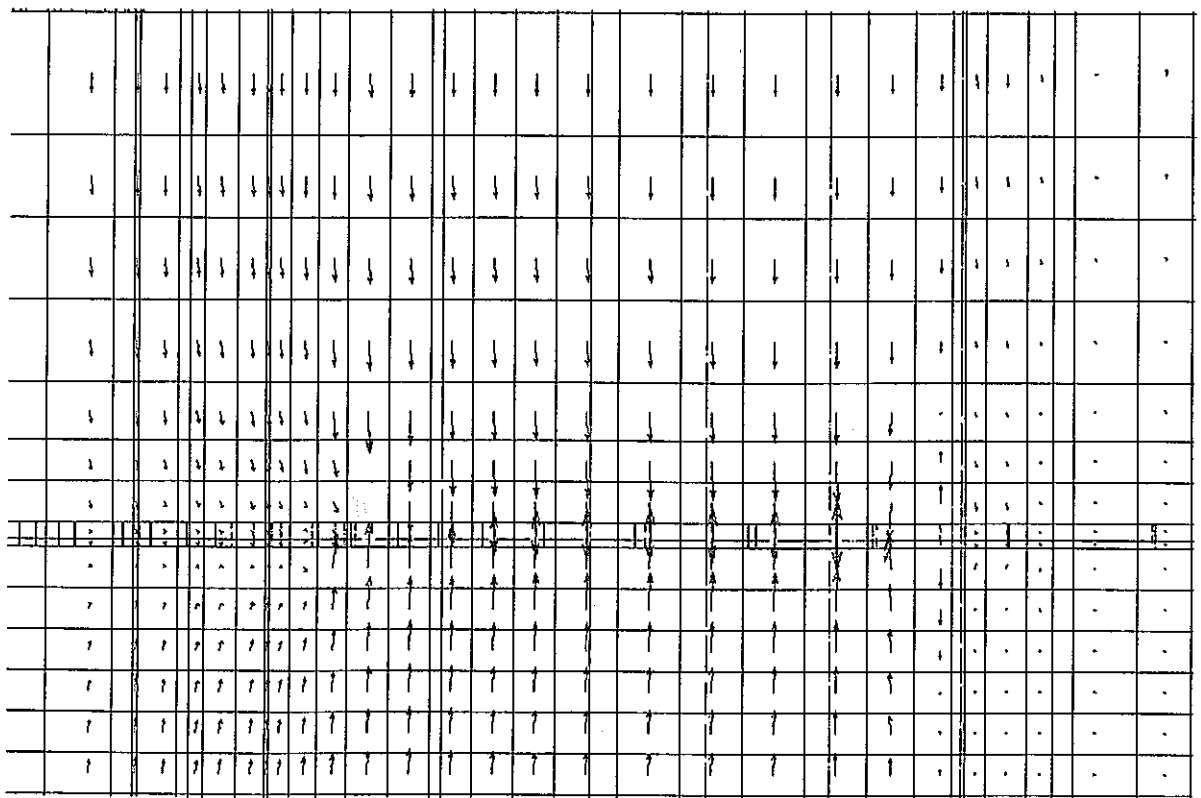


(b) B断面

図 6. 4. 20 流速ベクトル分布 (解析ケース 5、全体領域)

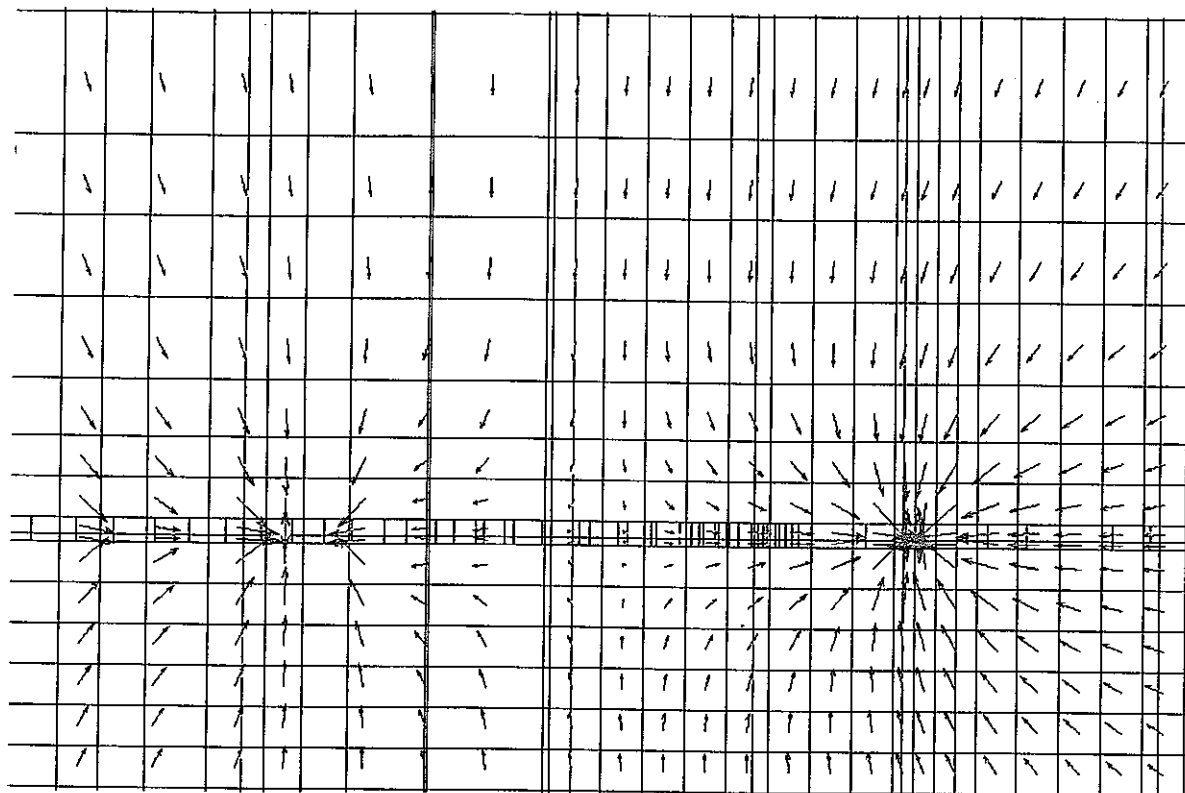


(a) A断面



(b) B断面

図6. 4. 21 流速ベクトル分布 (解析ケース5、拡大領域)



(c) C断面

図6. 4. 21 流速ベクトル分布 (解析ケース5、拡大領域) (続き)

6. 4. 2 KD-90坑道内への湧水量

坑道規模透水試験におけるKD-90坑道各区間内への湧水量の実測値と各解析ケースの解析結果を図6. 4. 22に、区間1～5への総湧水量を表6. 4. 1に示す。区間番号は、図3. 2. 2に示すように坑道北側から順に1～5である。なお、KD-90坑道内への湧水量実測値には、坑道規模透水試験での湧水量測定値を用い、温風の強制通気を行ったベンチレーション試験での湧水量測定値は用いない。

解析結果によると、坑道内への総湧水量および各区間への湧水量はともに、解析ケース2、1、5、3、4の順に小さくなっている。これは、以下のような理由が考えられる。

- ・異方性モデル（解析ケース3、4）は、均質等方モデル（解析ケース1、2）よりも南北方向の透水係数が小さいため、坑道内への湧水量も減少する。
- ・解析ケース2は、水理バリア北側の境界条件が大きいため、解析ケース1よりも湧水量が大きい。
- ・解析ケース4は、解析ケース3よりも南北方向の透水係数が小さいため、坑道内への湧水量も減少する。
- ・解析ケース5は、水理バリア南側のKD-90坑道周辺の透水性が均質であるため、解析ケース3、4よりも湧水量が多い。

各区間への湧水量に関しては、解析結果では各解析ケースとも坑道北側から順に減少しているものの、実測値ではその傾向は見られない。これは、解析が連続体を仮定しているのに対し、実際の坑道内への湧水量は坑道周辺の亀裂に依存しているためと考えられる。坑道内への総湧水量は、湧水量の最も少ない解析ケース4が実測値とほぼ同じ値となっているが、どの解析ケースともオーダー的には実測値によく合っている。

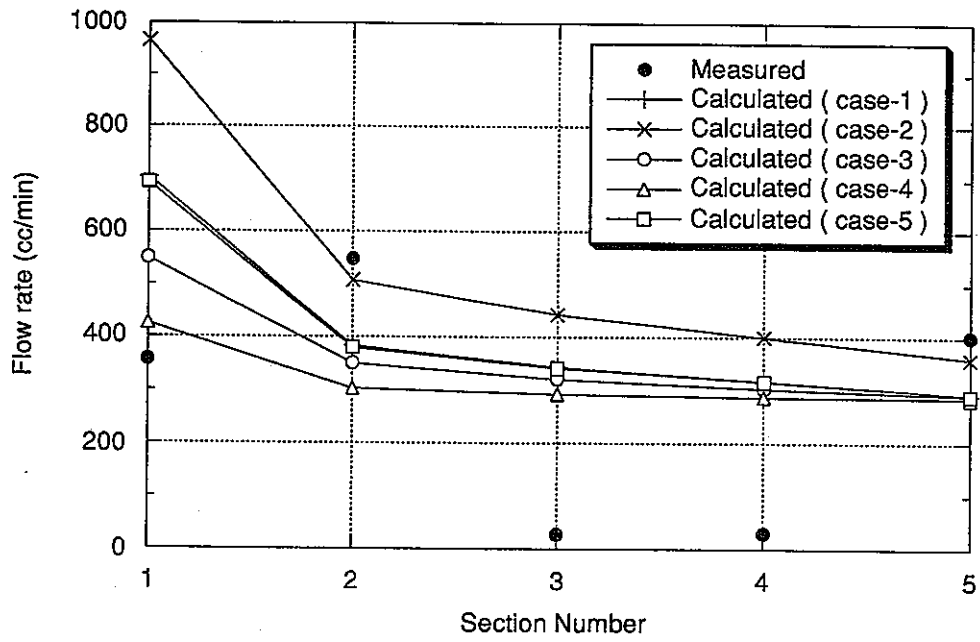


図 6. 4. 22 KD-90坑道各区間内への湧水量

表 6. 4. 2 KD-90坑道内への総湧水量

		湧水量 (cc/min)
実測値		1416
解析結果	解析ケース 1	2037
	〃 2	2676
	〃 3	1813
	〃 4	1594
	〃 5	2022

6. 4. 3 試錐孔内の間隙水圧分布

KD-90坑道周辺の試錐孔KH-1～19孔における間隙水圧分布の実測値と解析結果を図6. 4. 23 (a) ～ (r) に示す。各孔における間隙水圧実測値は、坑道規模透水試験時(1992年1月6日)の値を用いている。また、参考までに、図6. 4. 23 (s)にはKH-20孔削孔後(1994年12月11日)の間隙水圧実測値と解析結果を示す。

(1) KH-1孔

NW坑道から鉛直下向きに削孔されたKH-1孔における実測値は、550mレベルからほぼ静水圧分布に等しいものの、解析結果は実測値よりも高くなっている。

(2) KH-2、3孔

NW坑道からKD-90坑道側に削孔されたKH-2、3孔のうち、KH-2孔の実測値はほとんど0になっている。KH-3孔は、KD-90坑道とNW坑道に挟まれた領域にあるため、実測値、解析結果とも低い値になっている。

(3) KH-4、6、9孔

KD-90坑道に平行に削孔されたKH-4、6、9孔はともに、解析結果が実測値を上まわっているが、傾向は良く合っている。

(4) KH-7、8孔

KD-90坑道上方に削孔されたKH-7、8孔はともに、実測値と解析結果が良く一致している。

(5) KH-10、13、16孔

KD-90坑道西側に削孔されたKH-10、13、16孔は、KD-90坑道とNW坑道に挟まれた領域にあるため、実測値では 1.0kgf/cm^2 以下と低いものの、解析結果では実測値ほどの低下は見られない。

(6) KH-11、14、17孔

KD-90坑道東側に削孔されたKH-11、14、17孔における実測値は、KD-90坑道西側よりも若干高いものの 2.0kgf/cm^2 以下で、解析結果よりもかなり小さくなっている。

(7) KH-12、15、18孔

KD-90坑道から鉛直下向きに削孔されたKH-12、15、18孔における実測値は、KD-90坑道からの静水圧分布よりも大きいものの、解析結果はさらに大きくなっている。

(8) KH-19孔

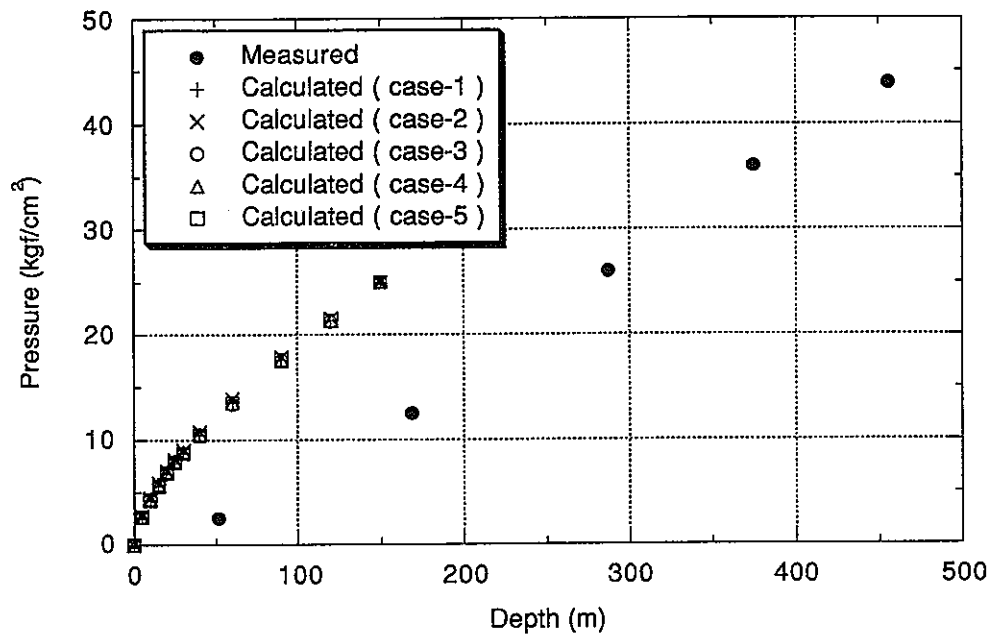
KD-90坑道から北向きに削孔されたKH-19孔における実測値は、深度40～60mの間で間隙水圧が2.5kgf/cm²から20.0kgf/cm²近くにまで上昇しており、この間に間隙水圧の大きな変化が見られる。解析結果によると、解析ケース1～4では深度とともに間隙水圧が漸増しており明確な間隙水圧の変化点は見られないが、解析ケース5では深度50m付近に間隙水圧の変化点が見られ、より原位置の状況に近い間隙水圧の変化を再現できている。

(9) KH-20孔

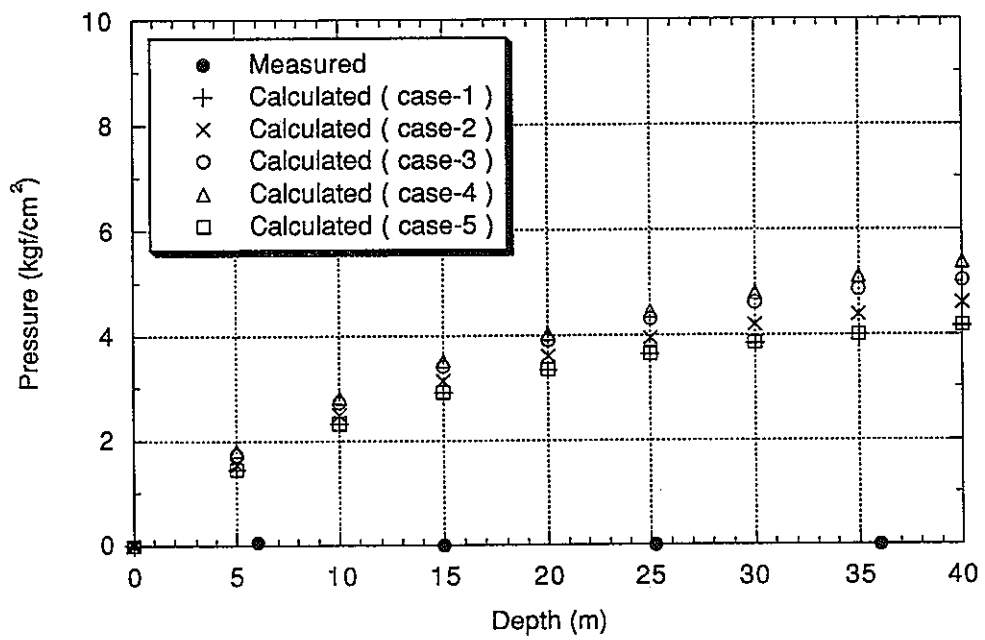
坑道規模透水試験後にKD-90坑道から北向きに削孔されたKH-20孔における実測値(1994年12月11日)は、KH-19孔とほぼ同じように深度50～60mの間で間隙水圧の上昇が見られる。解析結果もKH-19孔と同様に、解析ケース1～4では明確な間隙水圧の上昇部は見られないが、解析ケース5では深度40m付近から間隙水圧の上昇が見られ、より原位置の状況を再現できている。

以上より、KD-90坑道周辺の間隙水圧に関して以下のことが言える。

- ・KH-7、8を除いて、全般的に解析結果の方が実測値よりも高く、坑道周辺の間隙水圧は広い範囲にわたって低下しているものと考えられる。
- ・KH-19、20孔の深度50m付近で観察された間隙水圧の上昇は、この境界部に試錐孔方向の透水性の変化を与える(解析ケース5)ことによって、再現できる。

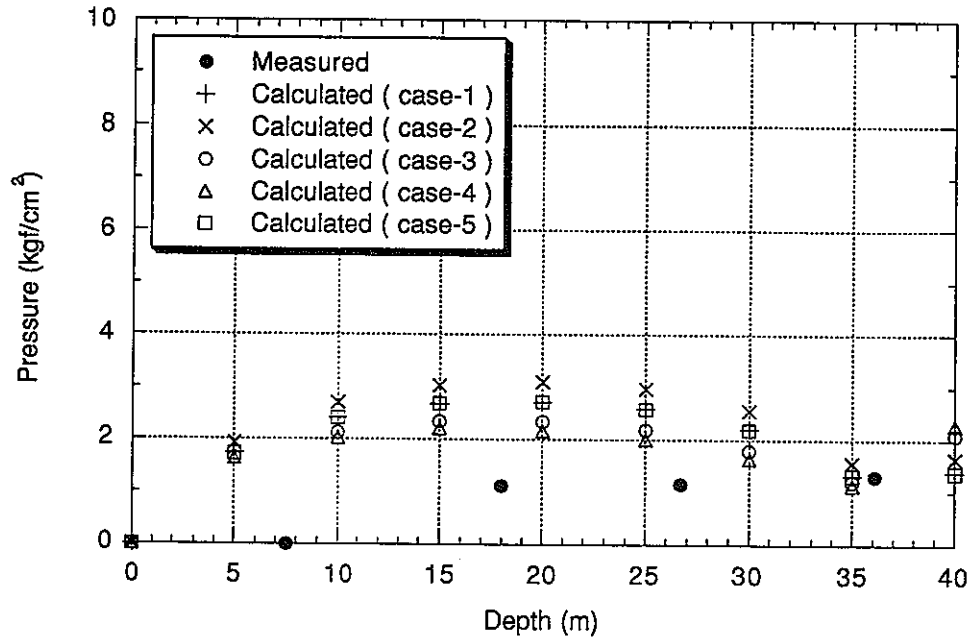


(a) KH-1

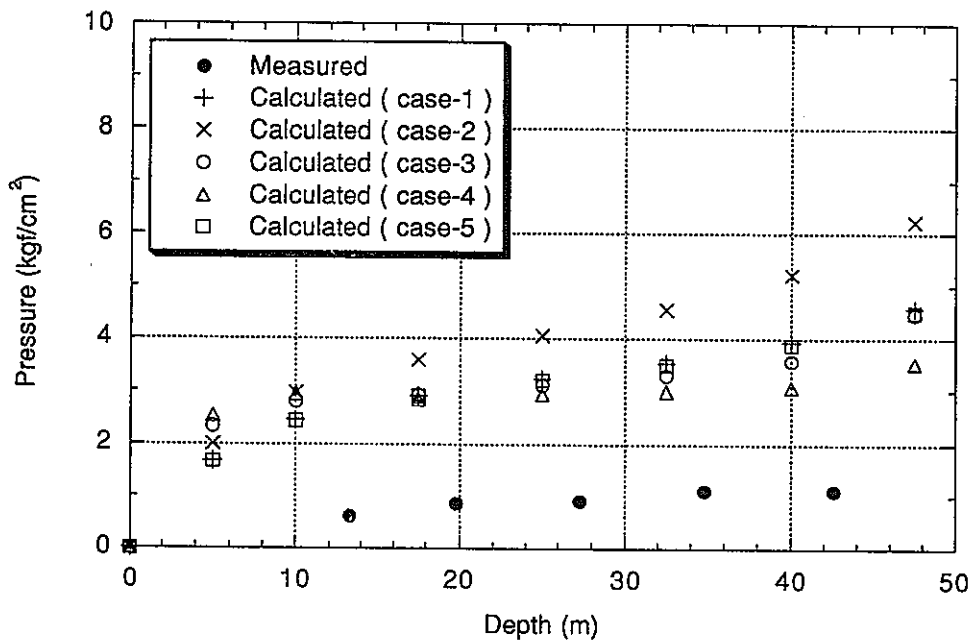


(b) KH-2

図 6. 4. 23 間隙水圧の実測値と解析結果

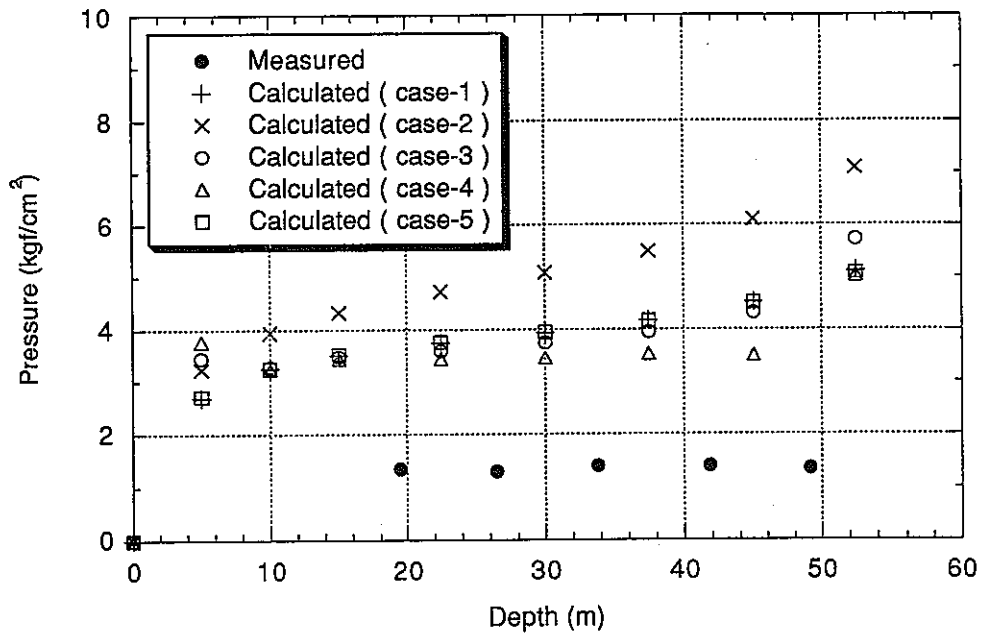


(c) KH-3

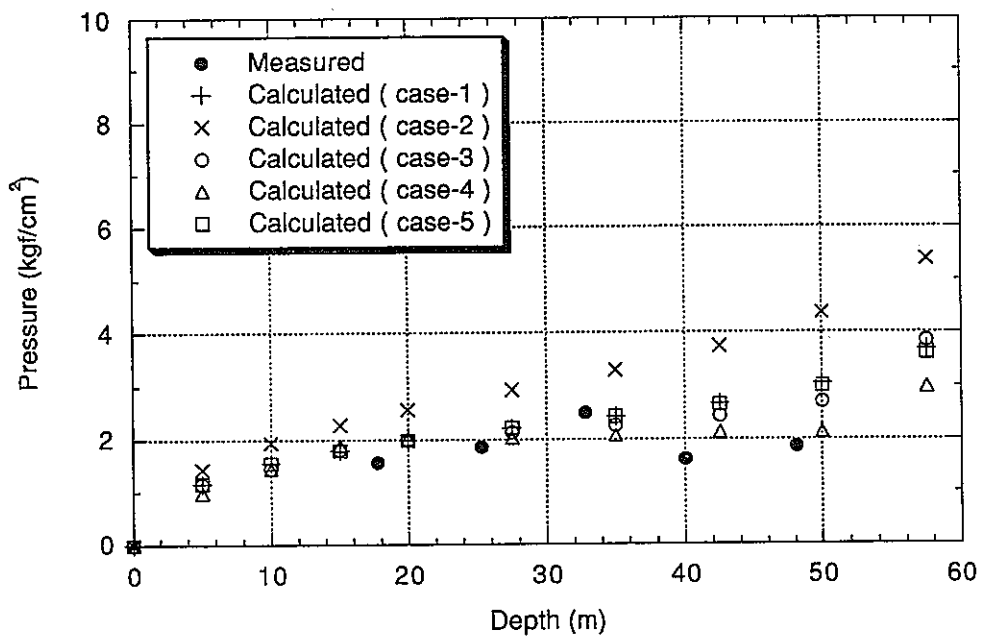


(d) KH-4

図 6. 4. 23 間隙水圧の実測値と解析結果 (続き)

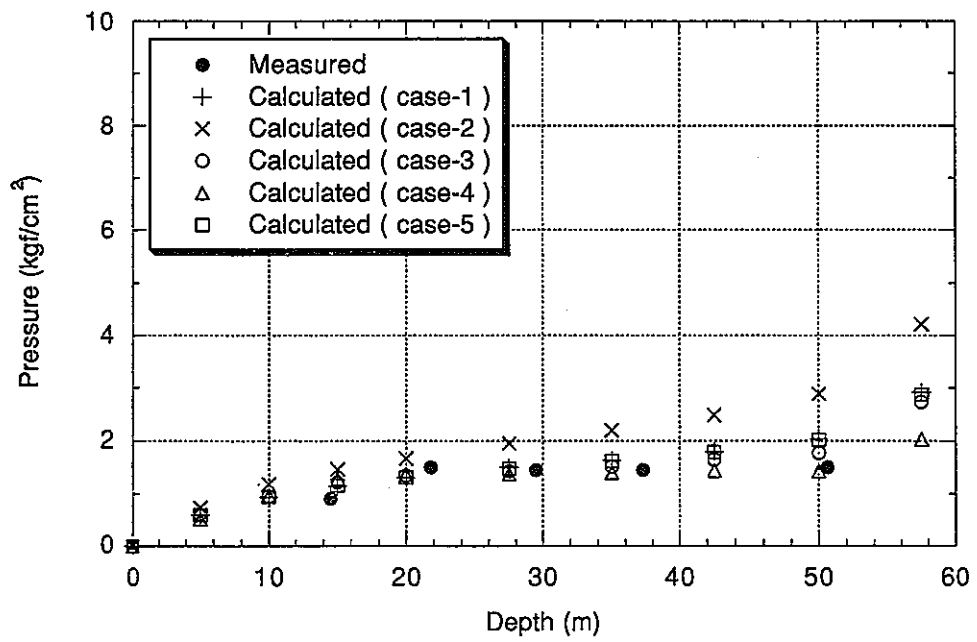


(e) KH-6

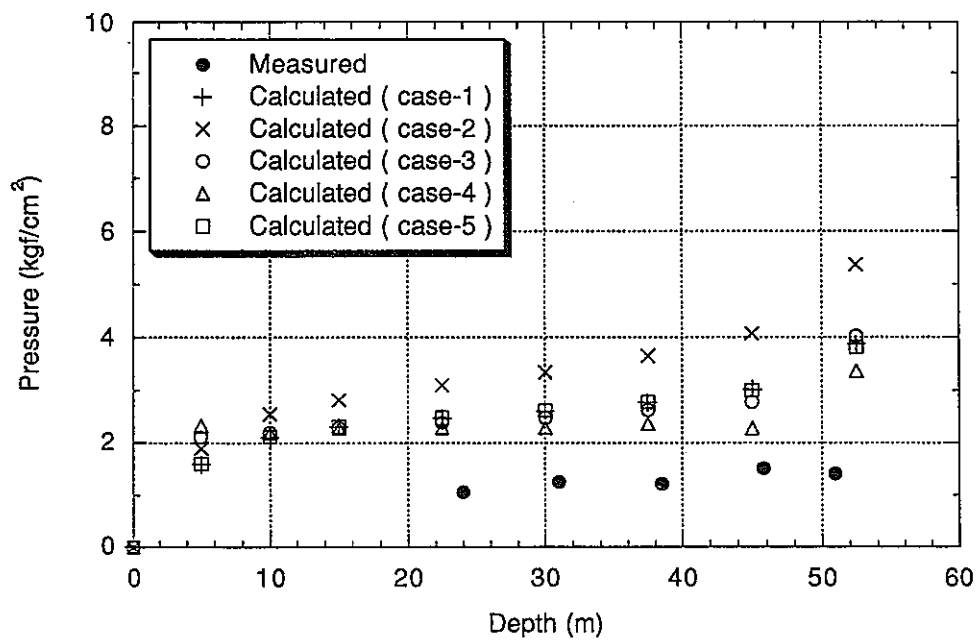


(f) KH-7

図 6. 4. 23 間隙水圧の実測値と解析結果 (続き)

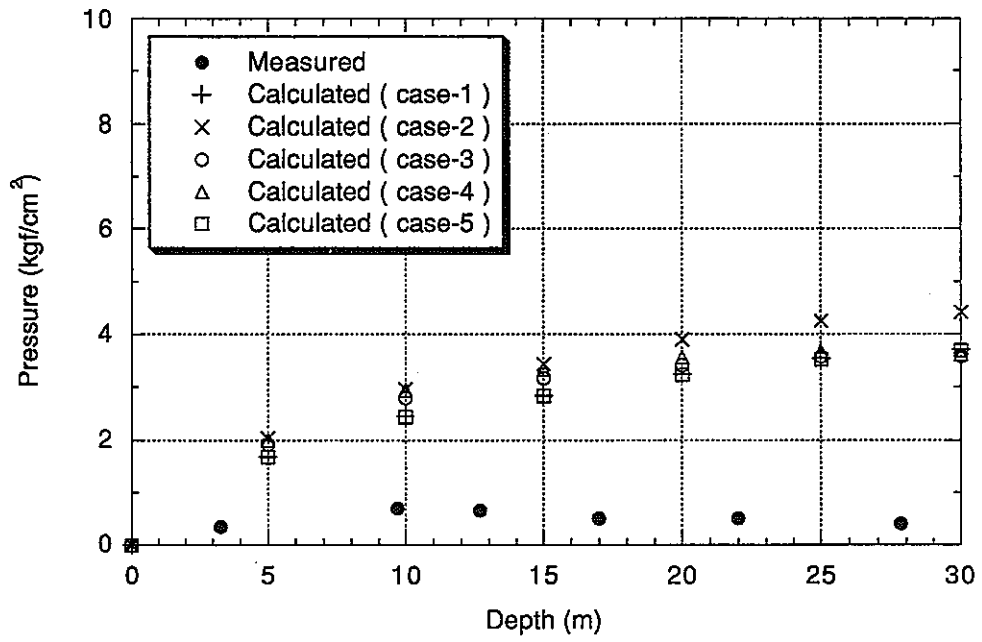


(g) KH-8

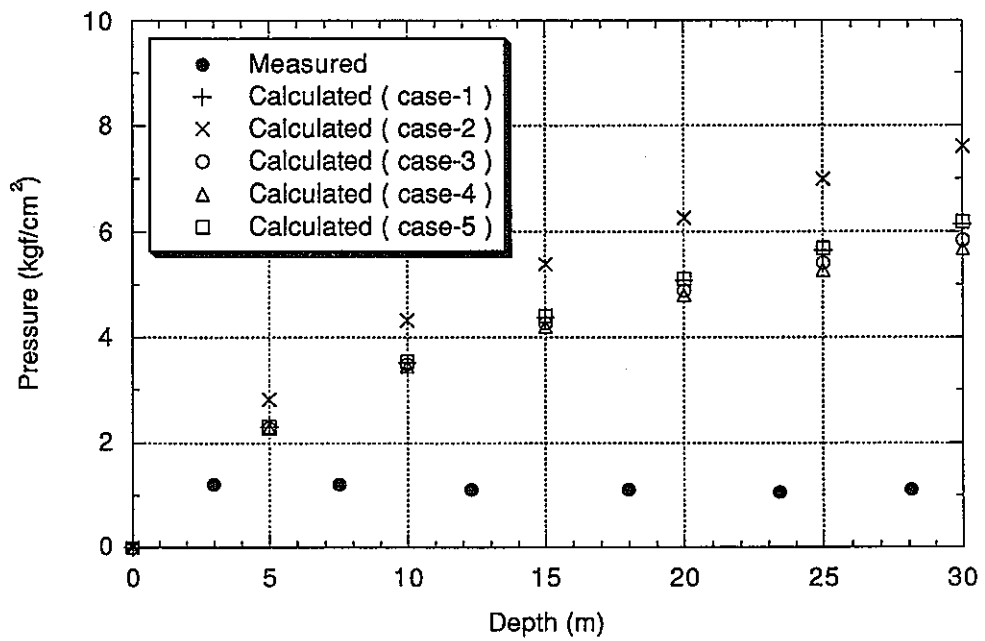


(h) KH-9

図 6. 4. 23 間隙水圧の実測値と解析結果 (続き)

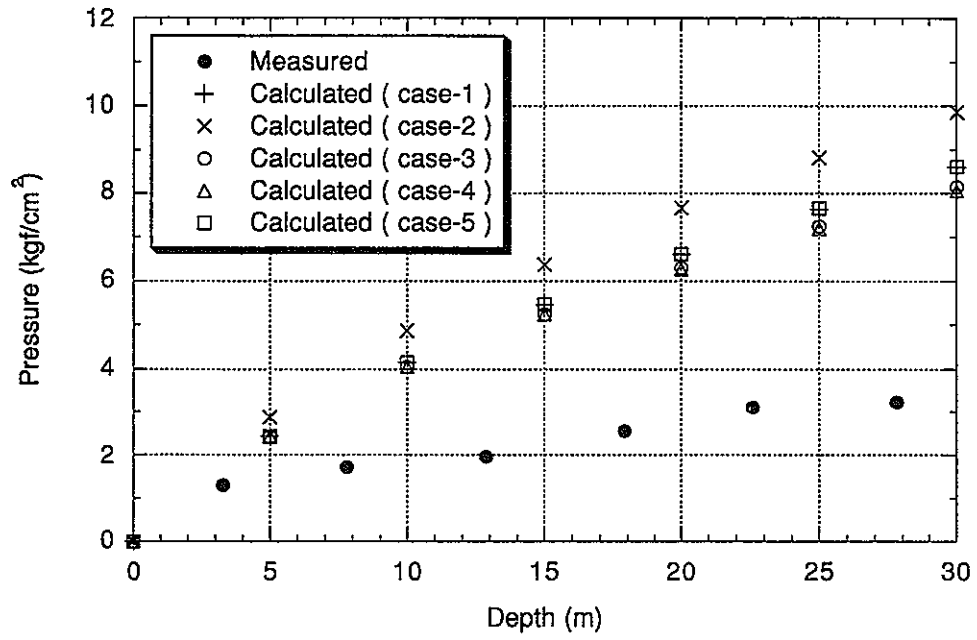


(i) KH-10

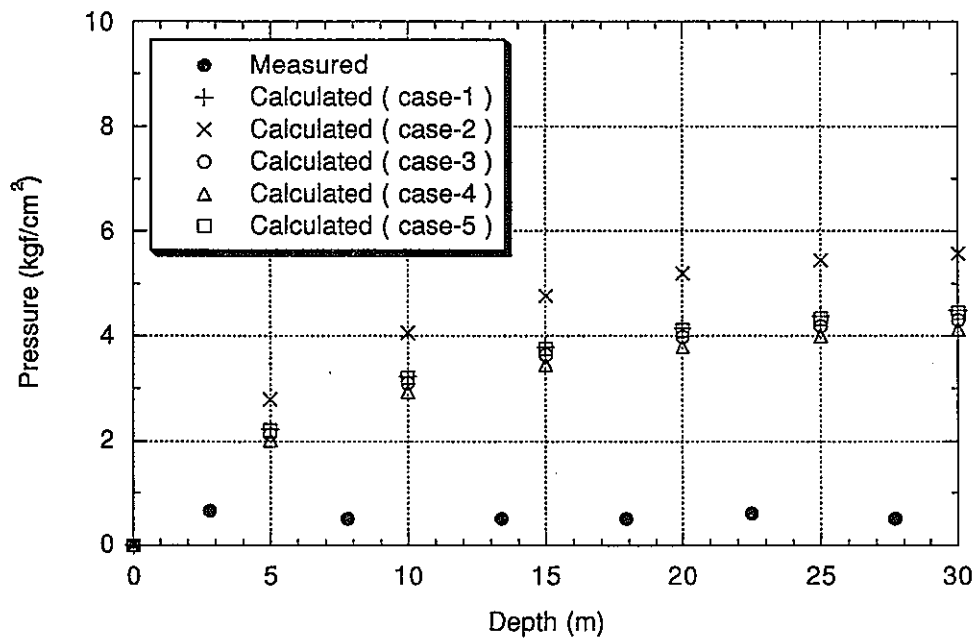


(j) KH-11

図 6. 4. 23 間隙水圧の実測値と解析結果 (続き)

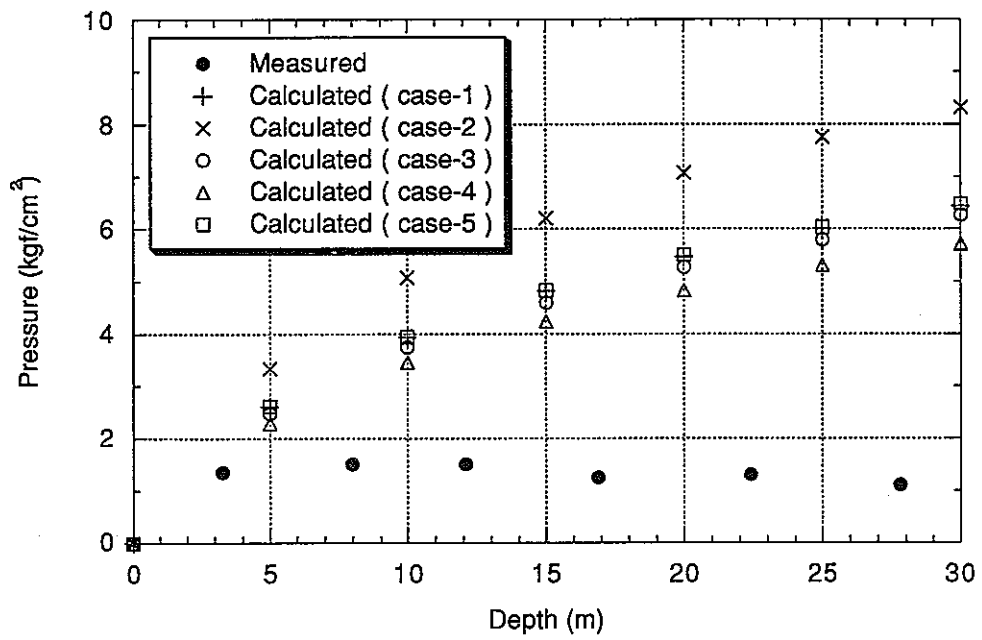


(k) KH-12

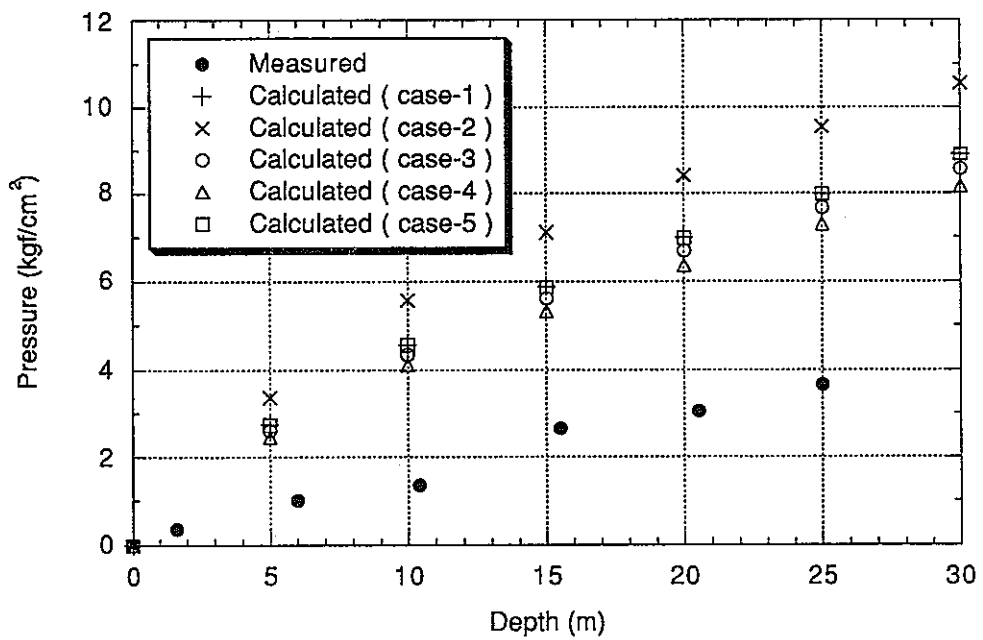


(l) KH-13

図6. 4. 23 間隙水圧の実測値と解析結果 (続き)

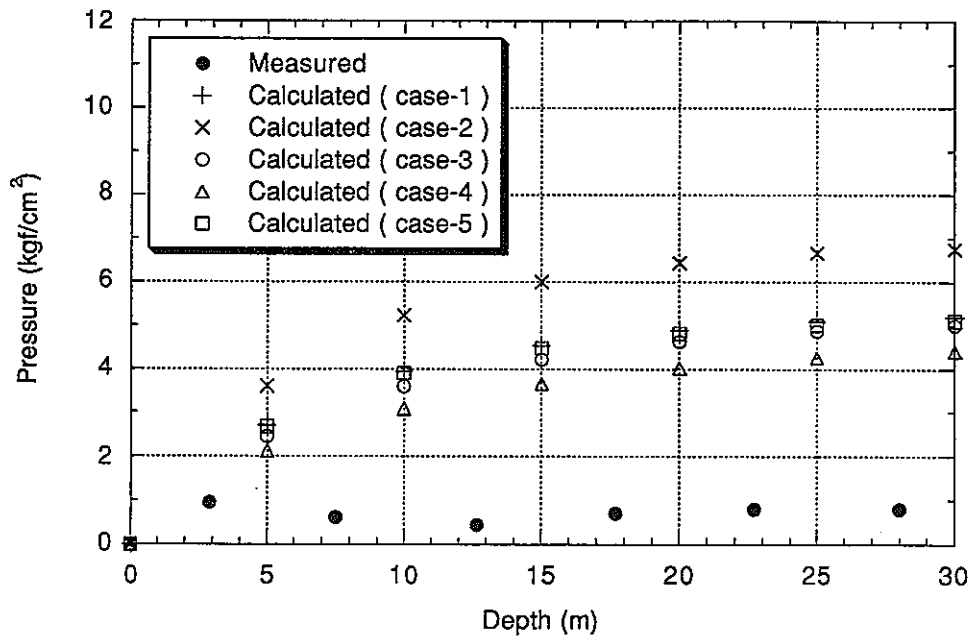


(m) KH-14

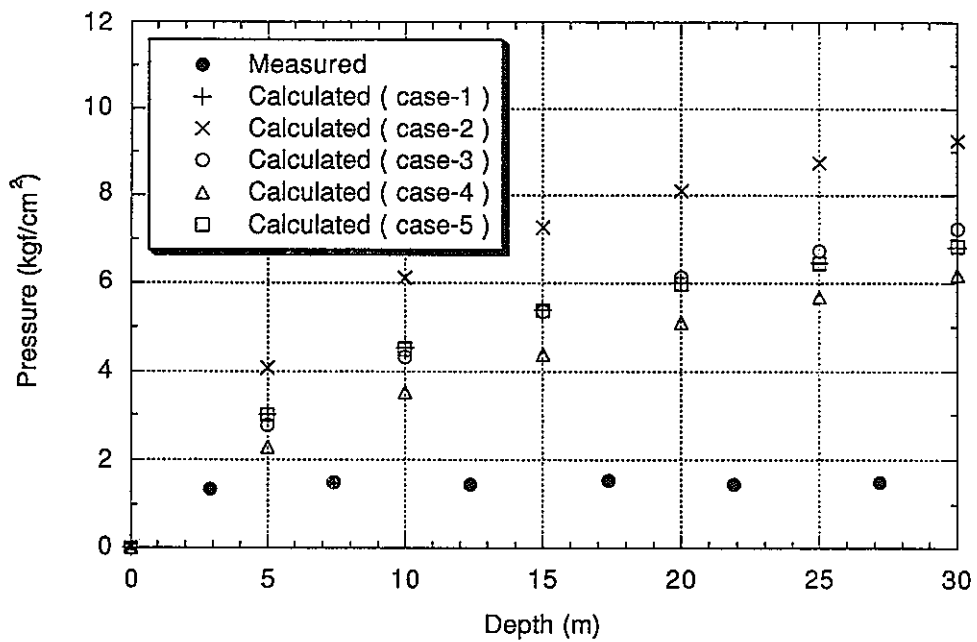


(n) KH-15

図6. 4. 23 間隙水圧の実測値と解析結果 (続き)

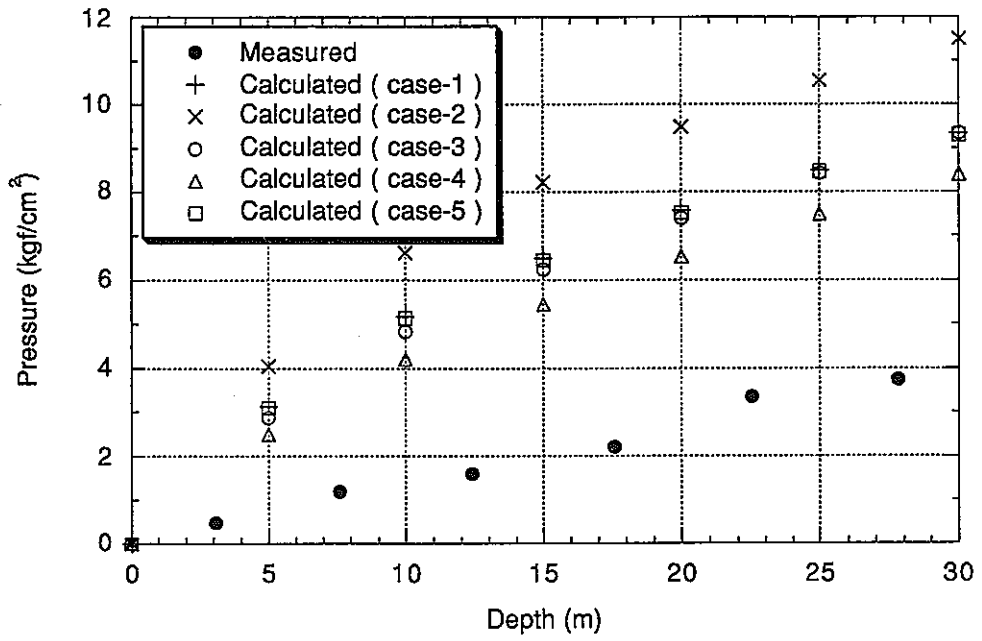


(o) KH-16

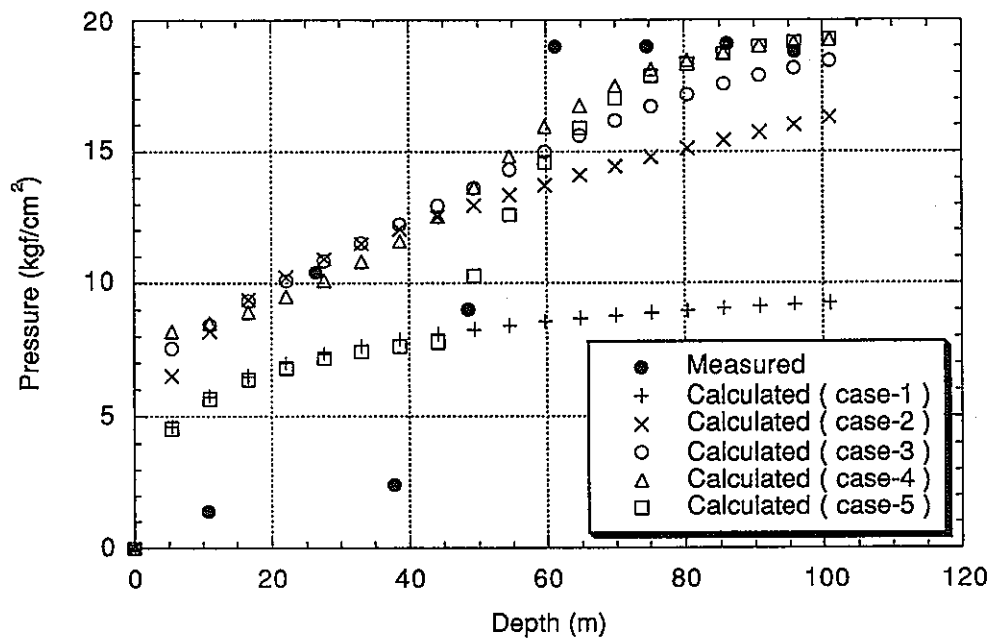


(p) KH-17

図6. 4. 23 間隙水圧の実測値と解析結果 (続き)

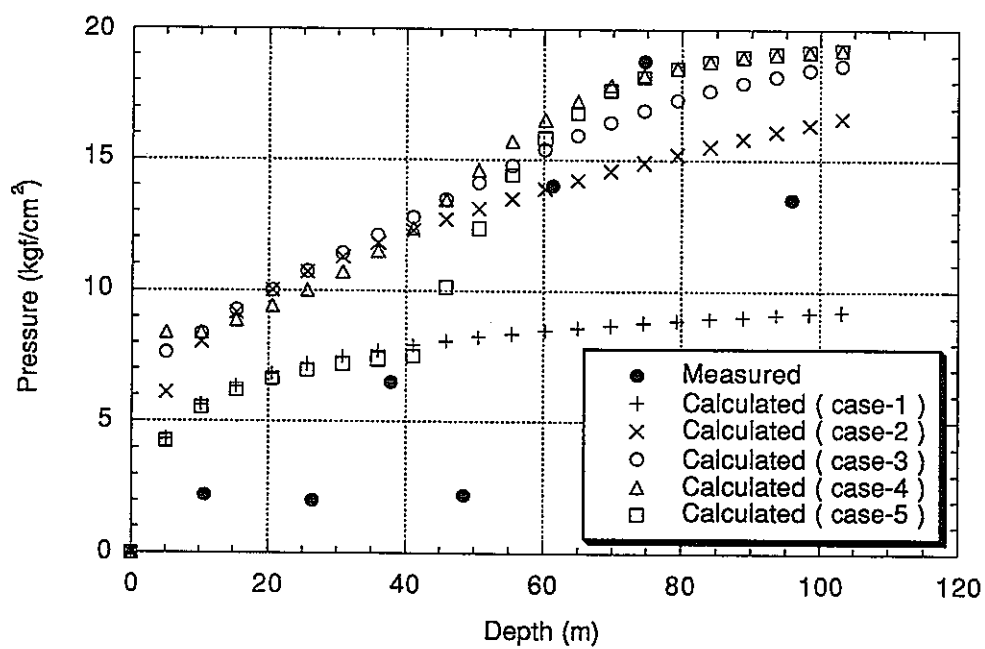


(q) KH-18



(r) KH-19

図 6. 4. 23 間隙水圧の実測値と解析結果 (続き)



(s) KH-20

図 6 . 4 . 23 間隙水圧の実測値と解析結果 (続き)

6. 5 まとめ

解析結果と実測値との対比により、以下のようなことが明らかとなった。

解析領域全般の水理状況に関しては、

- ・水理バリア北側の境界条件を大きくすると、水理バリア北側の間隙水圧が大きくなり、水理バリア南側への流れも大きくなる。
- ・透水異方性を考慮した場合には、最小主軸方向の間隙水圧の低下領域が拡大し、最小主軸方向の流れが支配的となる。また、最大主軸方向の透水性と最小主軸方向の透水性の比が大きくなればなるほど、この傾向は大きくなる。
- ・最大主軸方向の透水性と最小主軸方向の透水性の比が大きくなればなるほど、水理バリア北側と南側の境界部での間隙水圧の勾配が大きくなる。
- ・水理バリア北側領域のみ透水異方性を考慮した場合には、水理バリア北側と南側の境界部での間隙水圧の勾配が最も大きくなる。

KD-90坑道内への湧水量に関しては、

- ・KD-90坑道内の各区間への湧水量の実測値は、各区間間でのバラツキが大きいため、解析結果とはその傾向も一致しない。
- ・KD-90坑道内への総湧水量は、各解析ケースとも実測値とオーダー的には一致しており、その中でも湧水量の最も少ない解析ケース4が実測値に近い。

試錐孔内の間隙水圧分布に関しては、

- ・全般的に解析結果の方が実測値よりも高く、坑道周辺の間隙水圧は広い範囲にわたって低下しているものと考えられる。
- ・KH-19、20孔の深度50m付近で観察された間隙水圧の上昇は、試錐孔の方向に透水性の変化を与えることによって、ある程度再現できる。

7. 原位置試験場周辺の水理地質学的環境の考察と解析モデルの改良に関する検討

今年度は、均質等方モデルおよび均質異方モデルの2種類の連続体モデルにより、原位置試験場周辺の地下水挙動の解析を試みた。はじめに述べたように、今回の解析は実測値を詳細に再現することよりも、地下水挙動の概況を把握し、連続体モデルの適用性を検討することを主眼に置いた解析を行った。したがって、解析結果と実測値の間には、明らかな相違点がみられる。

しかし、この解析結果と実測値の相違点は、原位置試験場周辺の水理地質学的環境やモデルの改良を行う上で重要な示唆を与えるものと考えられる。そこで、本章では、特に解析結果と実測値の相違点に注目し、その原因を考察することにより、原位置試験場周辺の水理地質学的環境について想定されることがらを整理する。さらに、次年度以降の解析に向けて、今年度作成したモデルの改良点およびその際に必要となるデータについて考察する。

7. 1 KD-90坑道への湧水量からみた水理地質構造の考察

表6. 4. 1に示したように、5つのモデル（均質等方モデル2ケース、異方モデル3ケース）による総湧水量の解析結果は、1594～2676 cc/minの間にあり、実測値1416 cc/minより10～90%大きな値となった。解析で得られた総湧水量は、設定した透水係数に依存しており、適当な透水係数を設定しなおすことにより、実測値にあわせることは可能である。

しかし、KD-90坑道に沿った湧水量の分布については、このような操作により実測値を再現するのは困難である。すなわち、図6. 4. 22に示したように、湧水量分布の解析結果は、5つのモデルとも区間1（北端部）の湧水量が大きく、他の4区間はほぼ等しい分布を示す。坑道端部において湧水量が多い理由は、図7. 1. 1に模式的に示すように、切り羽に向かう放射状流れが生じているためである（例えば図6. 4. 21等の流速ベクトル図をみると、このような流れが生じていることがわかる）。

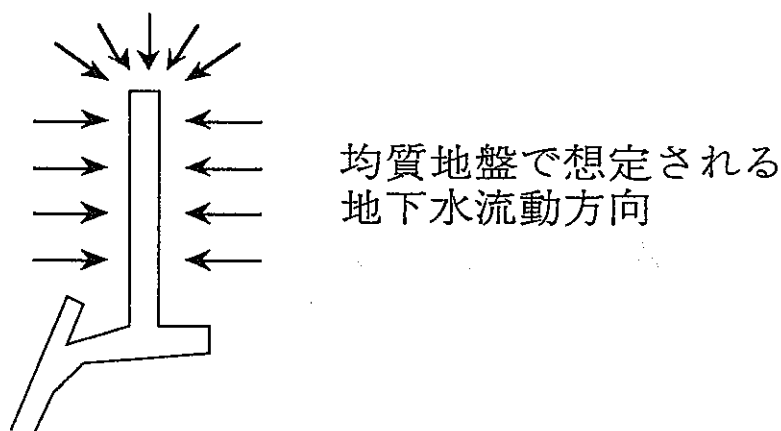


図7. 1. 1 坑道に向かう流れの模式図

これに対して、実測された各区間の湧水量は、区間1, 2および5が400～600 cc/minの値を示し、区間3, 4は、30 cc/min以下の小さな湧水量が得られており、解析結果とかなり異なっている。この差異が生じる原因としては、下記の要因が考えられる。

- (1)湧水割れ目の分布の不均一性
- (2)割れ目の透水性の不均一性
- (3)間隙水圧分布の不均一性

(1)については、「釜石鉱山における原位置試験（平成3年度）」（長他、1991¹⁾）においても、検討されている。報告書によると、ベンチレーション試験のSTAGE IIにおいて、蒸発量が定常状態に達した時期に実施した湧水割れ目調査では、調査対象とした長さ3 m以上の割れ目90本のうち、31本が湧水割れ目（坑道内で見かけ上少しでも濡れが残っていた割れ目）であった。湧水割れ目の分布は、図7. 1. 2および図7. 1. 3（いずれも上記報告書から抜粋）に示すように、湧水量測定区間ごとの明確な差異は認められない。すなわち、(1)は、湧水量のばらつきを説明する要因とは考えにくい。

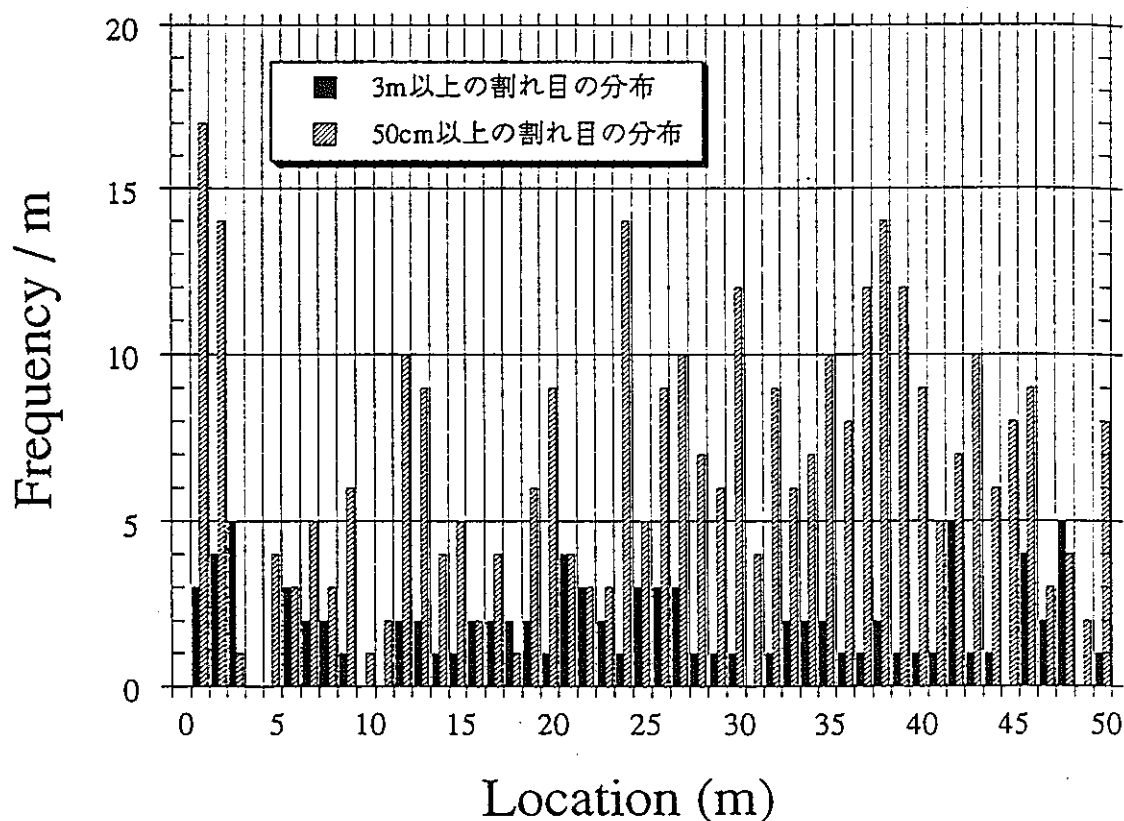


図7. 1. 2 KD-90坑道における割れ目の分布（長他、1991）

注) 50cm以上の割れ目は、KD-90坑道東側側面

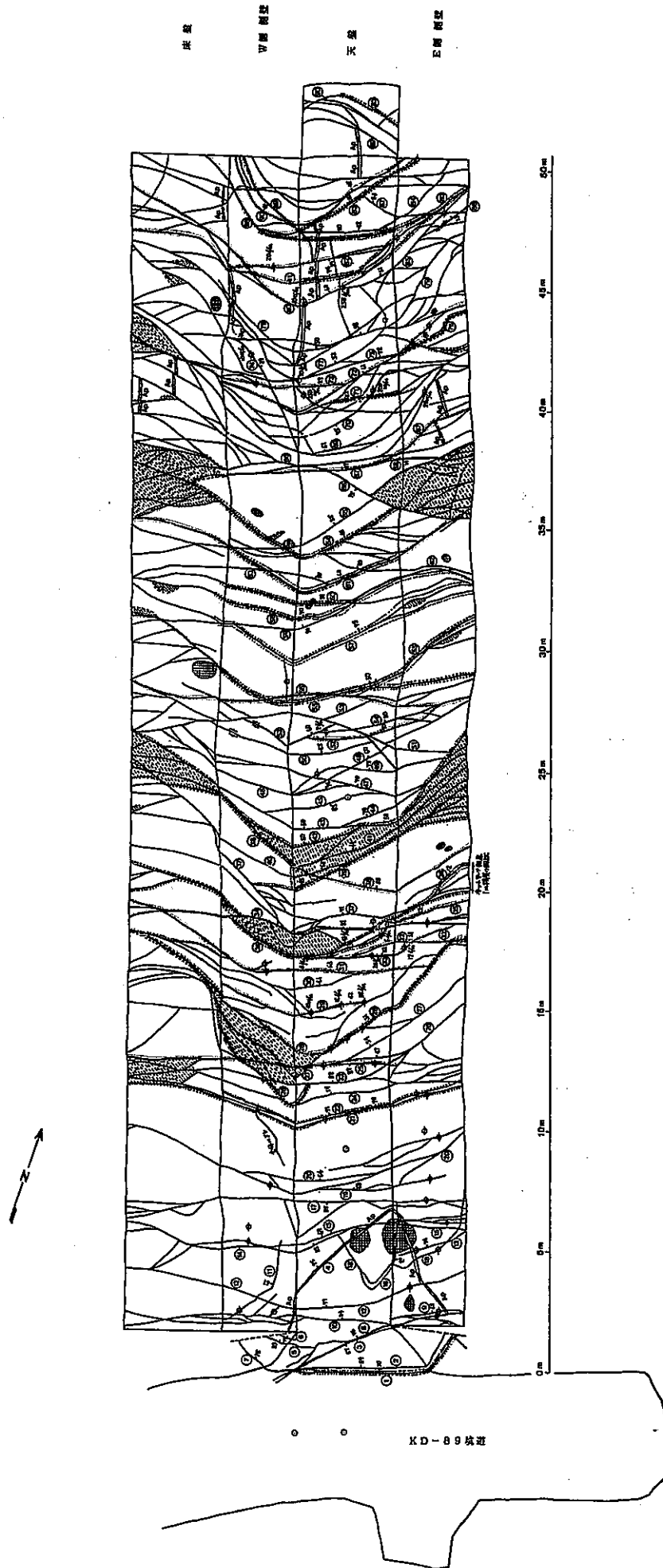


図7. 1. 3 KD-90坑道の3m以上の割れ目スケッチと湧水割れ目 (長他、1991)

(2)については、割れ目の開口幅や充填の度合により、個々の割れ目の透水性に差異がある場合が考えられる。図7. 1. 4は、KD-90坑道に沿って削孔されたKH-5孔で実施された透水試験（低圧ルジオン試験）の結果とKD-90坑道内の湧水量の分布を対比したものである。一般に、透水係数の表示には対数目盛が用いられるが、同図では、湧水量との比較のために通常目盛を用いた。この図より、KD-90坑道への区間湧水量と透水係数の間には、明瞭な相関がみられる。すなわち、個々の湧水割れ目の透水係数の違いが、湧水量に区間毎のばらつきがみられる要因となっていることが伺える。今回の均質モデルによる解析では、このような透水係数の分布は考慮していない。このことが、実測値を再現できなかつた一つの要因であると考えられる。

(3)の間隙水圧も、湧水量に影響する要因として考えられる。すなわち、同じ透水係数であっても、周辺の間隙水圧が高いほど湧水量は大きい。図7. 1. 5は、KH-5孔の透水試験時に測定された間隙水圧分布とKD-90坑道内の湧水量の分布を対比したものである。同図から、間隙水圧と湧水量の間にも相関がみられる。亀裂性岩盤では、高圧帯と連続した割れ目が多く存在する部分と、割れ目との連続性が低い部分では、間隙水圧に差異が生じると考えられる。また、透水性が高い割れ目ほど、削孔後の水圧回復が速く、パッカー設置後一定の測定時間内における間隙水圧の値は、透水性の低い区間に比べて高くなると考えられる。すなわち、間隙水圧の分布は、(1)の割れ目分布、(2)の透水性分布の結果として生じていると考えられる。間隙水圧の分布については、次節において詳しく述べる。

以上述べたKD-90坑道への湧水量の解析値と実測値の比較から、KD-90坑道周辺においては、割れ目の頻度に明確な差異がなくとも、個々の割れ目の透水係数に差異があり、これが空間的な地下水流動量の分布を生じていると考えられる。このような地下水流動量の分布を再現するためには、透水性の不均一性を考慮したモデルが不可欠である。

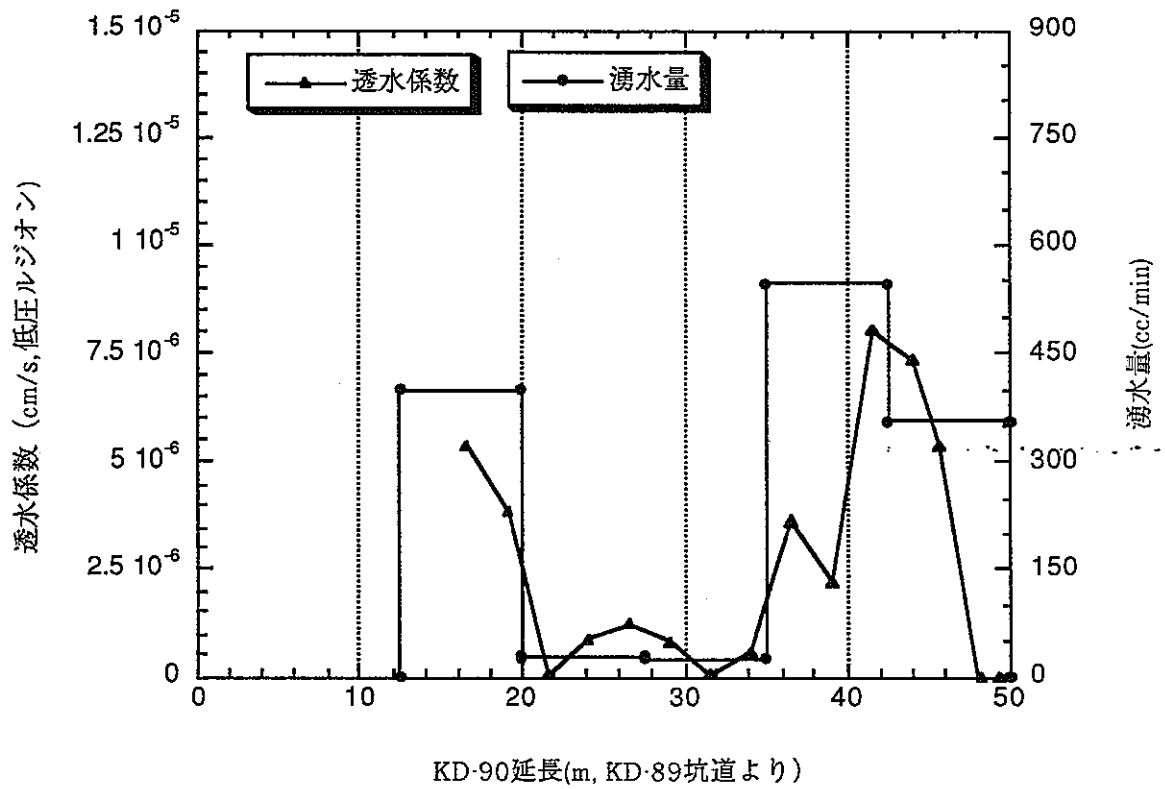


図7. 1. 4 KD-90坑道への湧水量の分布とKH-5孔透水試験結果との対比

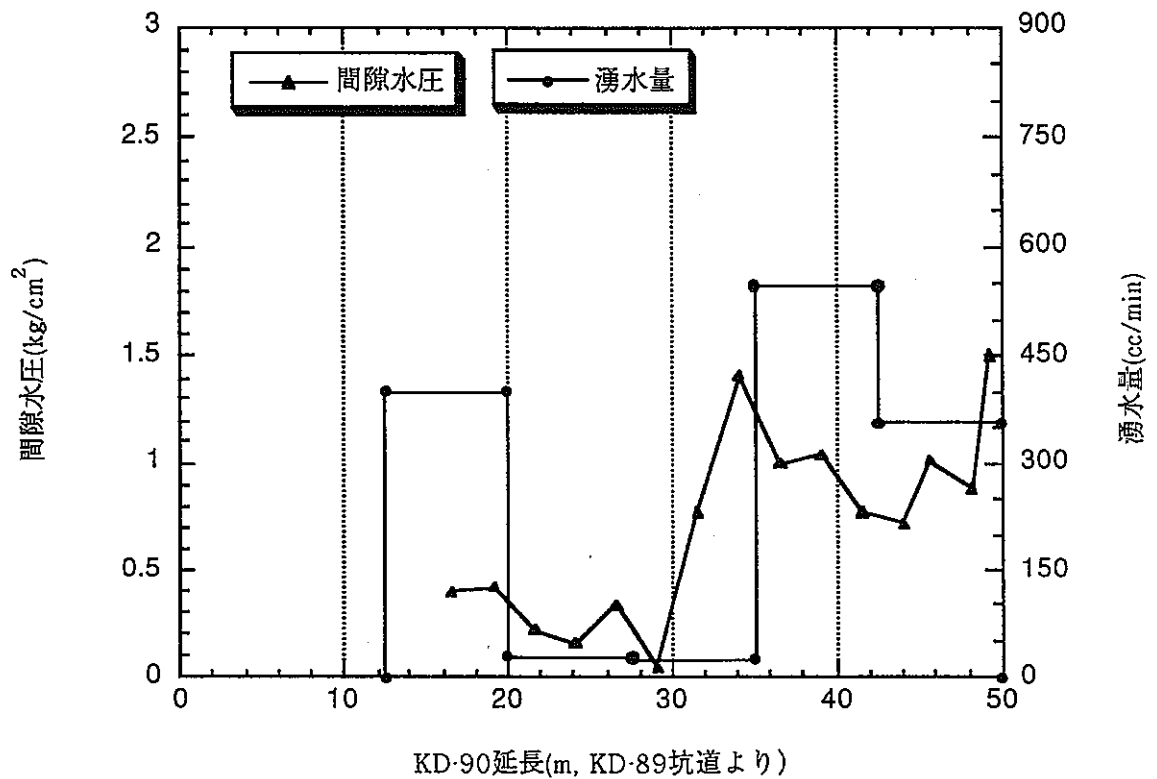


図7. 1. 5 KD-90坑道への湧水量の分布とKH-5孔内間隙水圧分布との対比

7. 2 KD-90坑道周辺の間隙水圧分布からみた水理地質構造の考察

KD-90坑道周辺の間隙水圧については、水理バリアを貫くボーリング孔(KH-19、KH-20)とそれ以外のボーリング孔の2グループに分けて考察する。

まず、後者のボーリング孔についての解析値と実測値を比較すると、

- (1)解析値と実測値により対応がみられるのは、KD-90坑道の直上に坑道に平行に削孔されたKE-7、KE-8の2本のみであり、他のボーリング孔については、解析値は実測値に比べて全体的に大きな値を示す。
- (2)KD-90坑道壁面から東側に向けて削孔されている水平ボーリング孔(KH-11、KH14、KH17)については、解析値では坑道から離れるに従って間隙水圧が上昇する傾向にあるのに対して、実測値ではほぼ平坦な水圧分布を呈する。
- (3)KD-90坑道壁面から西側に向けて削孔されている水平ボーリング孔(KH-10、KH13、KH16)については、解析値では坑道から離れるに従って間隙水圧が上昇し、NW坑道に近づくにつれ孔底付近で水圧上昇が鈍る傾向にある。これに対して、実測値ではほぼ平坦な水圧分布を呈する。

といった、定性的かつ定量的な差異がみられる。間隙水圧は、解析上設定した境界水位に、大きく左右される。すなわち、境界水位を下げれば間隙水圧は全体的に減少し、逆に水位を上げれば増大する。しかし、今回の解析では、境界水位をKG-1孔およびKH-19、KH-20孔の実測値を参考にして設定しており、それ以外に境界上ボーリングデータが無い現時点では、これを積極的に変える根拠がない。そこで、以下においては、水理地質構造(特に割れ目の分布)および透水性の分布を主要な要因として、解析結果と実測値との差異の要因を考察する。

均質地盤内の水圧分布は、解析領域、境界条件、構造物(坑道、立坑等)の形状により決定される(ただし、飽和解析の場合)。しかし、亀裂性岩盤では、割れ目の分布および個々の割れ目の透水性が、間隙水圧の分布に大きく影響を与える。例えば、図7. 2. 1の模式図に示すように、高透水性割れ目が坑道と交差する場合を考えると、これらの割れ目に沿って圧力低下領域が広がる。したがって、割れ目が岩盤内部まで連続して分布する場合ほど、広い範囲にわたって圧力低下が生じる。また、定常状態においては、坑道への割れ目からの湧水量と周辺岩盤からの地下水補給量とのバランスが保たれる必要があるので、割れ目の透水性と周辺岩盤の平均的な透水性の差異が大きいほど、圧力低下範囲も広がるもの考えられる。

現時点で、割れ目の分布および岩盤内部の透水性の不均一性が、間隙水圧の分布を支配する最大の要因と断定することはできないが、一つの可能性として述べた。

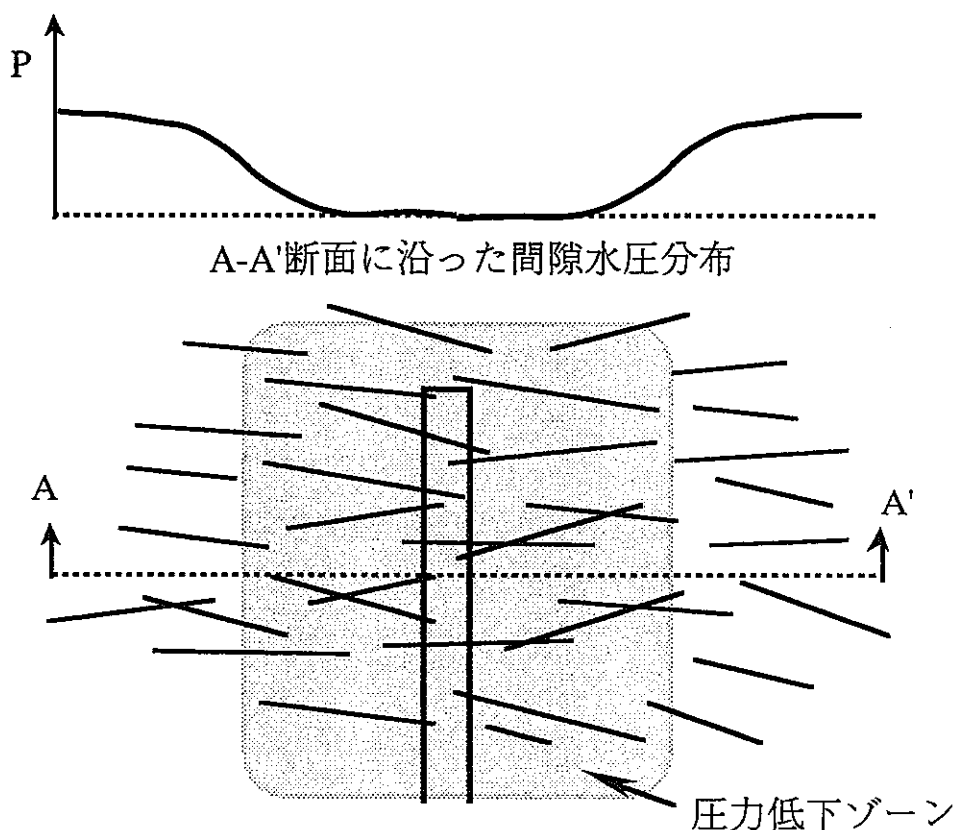


図7. 2. 1 不均一場と間隙水圧分布の模式図
(割れ目分布は実際の分布を表したものではない)

この他、間隙水圧と水理地質構造の関連を考える上で重要な測定結果として、平成4年9月から平成5年5月までの約9カ月間の間隙水圧計測データがある。この期間には、KH-19孔の削孔に引続き、同孔の口元閉塞、パッカー交換等の作業が行われている。KH-19孔では、 20kg/cm^2 の高間隙水圧を有する区間が存在しており、口元閉塞により周辺の間隙水圧が上昇し、口元を解放した際には再び低下している。この期間におけるKD-90坑道周辺の間隙水圧データをみると、各孔とも、KH-19孔内の水圧変動に対して、ほぼ一様に追従している。すなわち、原位置試験場周辺の岩盤は、水圧の応答が速く、高透水帯でつながっているように見える。これについては、今後予定されている圧力伝播試験により詳細な検討がなされる予定であり、現時点で結論を出すのは性急であるが、これまでの議論を踏まえて、あえて仮説として述べると、

「KD-90坑道周辺では、地下水の流動量および間隙水圧場に支配的な影響を及ぼす連続性の高い高透水性割れ目が分布する」という水理地質構造が考えられる。この仮説に従うと、主要な高透水性割れ目の分布により、坑道内の湧水量が不均一な分布を呈し、かつこの高透水部に沿った圧力低下により、間隙水圧が岩盤内部まで低下したと説明できる。さらに、高透水性割れ目の連続性が高いために、岩盤内の圧力伝播も速やかに行われるという解釈が成り立つ。いずれにしても、圧力伝播試験結果をもとに、

この仮説の妥当性をあらためて検討する必要がある。

次に水理バリアを貫く2つのボーリング孔内の圧力分布について考察する。KD-90坑道の北側に削孔されたKH-19、KH-20のボーリング孔内では、約50m以深において水圧が急激に上昇する部分が見られる。圧力急変部より坑道側の間隙水圧が、せいぜい数kg/cm²程度であるのに対して、その奥では20kg/cm²近い水圧が観測されている。この水圧の急変部は、水理学的な境界部となっており、“水理バリア”という言葉で表現されている。この水理バリアの水理地質学的な解明についても、釜石原位置試験のTASKの一つとして、別途調査が進められている。

ここでは、解析的な立場から、想定される状況とそのモデル化手法について検討する。

亀裂性岩盤において、このような水圧急変部が生じる原因として、いくつかのケースが想定される。そのいくつかを、図7.2.2に模式的に示した。

すなわち、

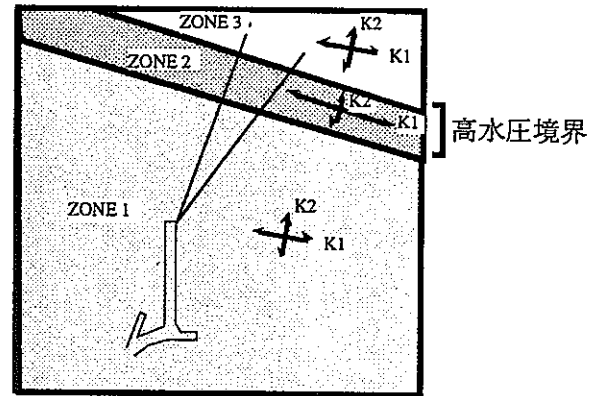
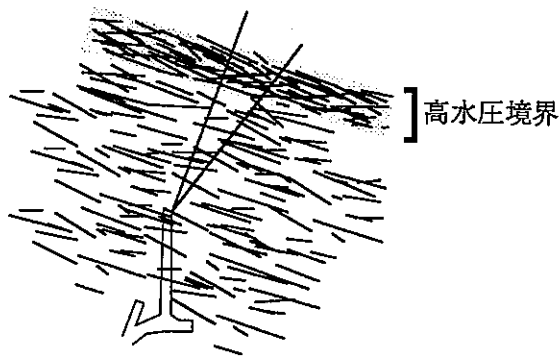
- (1)高間隙水圧境界につながる破碎部が湧水帯を形成している場合。
- (2)(1)の湧水帯が、破碎部というよりも少数の高透水割れ目からなり、これらの割れ目が高間隙水圧境界からの圧力を伝達している場合。
- (3)難透水層（薄い粘土層または亀裂の極少ない岩盤）が存在し地下水の流れを遮断している場合。

この他、上記以外の複数の状況が組合わされたケースも考え得る。図7.2.1の右欄には、対応する連続体モデルを示した。いずれの場合も、連続体モデルにより圧力急変部を表現するためには、異方性または不均一性を考慮する必要がある。ただし、(2)番目のケースは、数の少ない高透水割れ目が存在する場合で、連続体によるモデル化は困難であるが、あえてモデル化する場合には、(1)と同様、異方性+不均一モデルを用いる事になる。

今年度実施した解析のうち、異方性モデルは、(1)のケースを念頭に置き、異方性のみを考慮したモデルである。

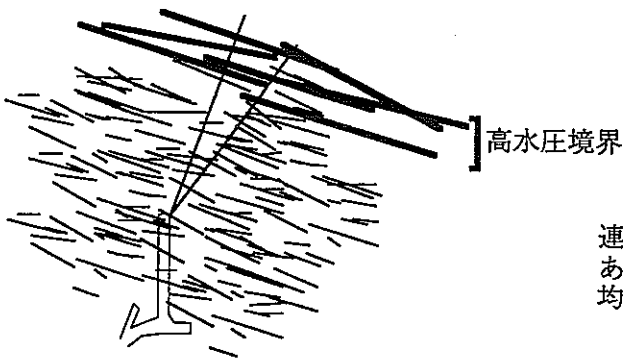
水理地質構造の模式的表示

連続体としてのモデル化



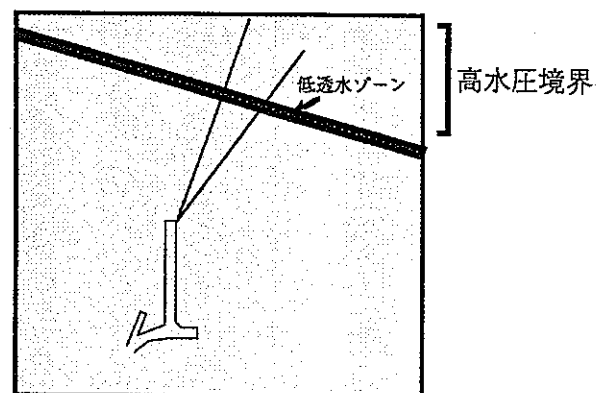
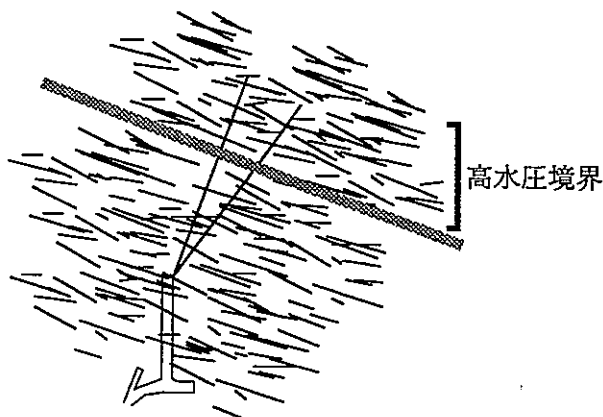
破碎ゾーンが存在

不均質+異方性モデル



連続体モデルでは、モデル化が困難。
あえてモデル化する場合には上記の不
均質+異方性モデルを採用する。

主要な高透水性割れ目の存在



難透水ゾーンの存在

不均質モデル

図7. 2. 1 水理バリアとして考えられる水理地質構造と連続体によるモデル化

7. 3 次年度の解析に向けた連続体モデルの改良方法について

前節に述べたように、今回の解析は、KD-90坑道への湧水量の分布やボーリング孔内で観測された間隙水圧分布を反映できているとは言い難い。本節では、解析結果と実測値の差異が生じる理由についても前節で述べたとおりであるが、次年度の解析に向けて、モデルの改良方法について述べる。

亀裂性岩盤内の地下水挙動は、本質的には岩盤の不連続性に大きく依存していると考えられるため、連続体でモデル化する場合にも、割れ目の分布や透水性を考慮する必要があることは明らかである。連続体モデルでは、このような不連続性に起因する地下水場を表現する方法は、不均一性または異方性のいずれかまたは両者の組み合わせによるアプローチを取らざるを得ない。しかし、ここで問題となるのは、原位置で測定されるデータから、どのようにして不均一性や異方性を決定するかということである。

その1アプローチとして、以下のような等価不均質モデルの採用を提案する。本モデルは、大成建設（株）で考案されたモデル化手法である。ただし、その原位置への適用性についての検証はなされていない。等価不均質モデルによる浸透解析手法とは、「亀裂分布観察データから亀裂ネットワークを発生させたのち、3次元有限要素法の各メッシュに含まれる個々の亀裂の透水性への寄与を足し合わせるによりメッシュ毎の透水テンソルを算定し、不均質性および異方性を有する等価な連続体としてモデル化」する方法である。

本解析モデルの利点は、

- (1)通常3次元有限要素法による浸透解析手法をそのまま用いることができる。
- (2)亀裂ネットワークモデルでは、亀裂の数が増大すると未知数の数が膨大となるが等価不均質モデルでは、要素数と亀裂の数とは無関係であるので、亀裂数が増大しても比較的容易に解くことができる。
- (3)亀裂部のみでなく、母岩のなかの地下水流れもモデル化することができる。この場合、母岩の透水係数は、透水割れ目の透水係数とは別途に設定することができる。

本解析手法は、現在、完成に向けて開発中であり、モデル化手法の詳細については次年度の報告書において、より詳しく述べる。

7. 4 次年度の解析の進め方について

以上の検討結果を踏まえて、次年度においては、下記の2モデルを中心とした連続体モデルによる解析的検討を行うことを提案する。

- (1)等価不連続体モデルによる不均一性・異方性を評価したモデル
- (2)水理バリアを難透水性ゾーンでモデル化した不均一モデル

また、これらのモデルに用いるパラメータの同定には、原位置での水理データ（湧水量、水圧データ）をもとに、逆解析的なアプローチを試みる。具体的には、解析領域を複数のブロック（10ブロック程度を目安とする）に分割し、湧水量および間隙水圧データを満足するような、各ブロックの透水性を逆解析により求める。

なお、本年度は、KG-1とKH-19、KH-20孔内の間隙水圧の実測値を参考にして境界水位を設定したが、その信頼性には疑問が残る。特に、解析領域の南北境界の間隙水圧の分布に関する情報が現在までに得られておらず、今回設定した境界水位はあくまでも推定の域を出ていない。したがって、次年度、より信頼性の高い解析を行うためには、南北境界の水圧データが不可欠と言ってよい。よって、今回設定した解析領域の境界に沿った水圧測定用ボーリングの削孔を提案する。

さらに、水理バリアの性状を確認するためのボーリングや水理試験データの取得も、モデルの改良を行う上で重要であるが、この点については、別途進められているTASKにおける原位置調査試験結果を本研究に反映していきたい。

8. おわりに

本報告書では、釜石原位置試験場周辺でこれまでに得られた調査試験データをもとに、連続体モデルを構築し、3次元浸透流解析を実施した。

今回実施した解析は、実測値の再現を目的としたものではなく、岩盤を水理学的にみて均質体または異方性媒体として捕らえたときの水圧分布や流量の違いを調べることに主眼をおいた。

得られた解析結果について、原位置試験データ（特にKH-90坑道への湧水量の分布および間隙水圧分布）との比較を行い、原位置試験場周辺の水理地質環境および本年度採用したモデルの改良すべき点等について考察を加えた。

次年度においては、本解析結果をもとに、不均一モデルを中心とした解析を実施する。これらの作業を通じて、本研究の最終目標である釜石原位置試験場周辺の水理地質環境の把握、ならびに亀裂性岩盤内の地下水解析への連続体モデルの適用性等について明らかにする予定である。

参考文献

3章

- 1) 動燃環境技術開発推進本部：3. 釜石における原位置試験、動燃技報、No.85、1993
- 2) 長久、横井浩一、野口義文、森田誠也、中村直昭、高原弘幸、守屋俊文：釜石鉾山における深部地質環境特性調査（平成5年度）、PNC ZJ1380 94-001、動力炉・核燃料開発事業団 委託研究成果報告書、日鉄鉱業株式会社、1994
- 3) 岩崎浩、中村直昭、野口義文、小池克明：亀裂データベースを利用した岩盤特性の評価、日本応用地質学会平成3年度研究発表会講演論文集、p.29-32、1991
- 4) 野口義文、飯島章夫、中村直昭：花崗岩体の深部における割れ目の評価と透水性、第11回西日本岩盤工学シンポジウム論文集、p.85-90、1990
- 5) 野口義文、飯島章夫、中村直昭、小池克明、金子勝比古：岩盤亀裂群の計測とモデリング、資源・素材学会誌、vol.107、No.7、p.428-433、1991
- 6) 仙波毅、尾方伸久、長谷川健、岩崎浩、渡辺邦夫：ボアホールレーダーによる花崗岩岩盤特性調査－釜石鉾山原位置試験場における調査結果について－、応用地質学会誌32巻6号、PP.34-42、1992
- 7) 浜辺修二、長久、横井浩一、野口義文、飯島章夫、森田誠也、中村直昭、飯塚友之助、福田和寛、穂刈利之：花崗岩における原位置試験（平成元年度）、PNC SJ4380 90-002、動力炉・核燃料開発事業団 委託研究成果報告書、日鉄鉱業株式会社、1990
- 8) 浜辺修二、長久、野口義文、飯島章夫、嶋田純、福田和寛：結晶質岩中の既存空洞における岩盤物性及び地下水状況調査（I）、PNC SJ4380 88-002、動力炉・核燃料開発事業団 委託研究成果報告書、日鉄鉱業株式会社、1988
- 9) 浜辺修二、長久、野口義文、山沢茂行、飯島章夫、宮下敦、森田誠也、飯塚友之助、福田和寛：花崗岩における原位置試験（昭和63年度）、PNC SJ4380 89-002、動力炉・核燃料開発事業団 委託研究成果報告書、日鉄鉱業株式会社、1989

- 10) 青山成夫、石井卓、山本勇、堀田政国、堀江芳博、穂刈利之：1000m級透水性試験装置の適用性試験、PNC ZJ1060 92-004、動力炉・核燃料開発事業団 委託研究成果報告書、清水建設株式会社、1992
- 11) 長久、野口義文、穂刈利之、奥野哲夫、日下部寧：孔間透水試験による岩盤透水係数の三次元異方性評価、第8回岩の力学国内シンポジウム講演論文集、p.447-452、1990
- 12) 福田和寛、野口義文、穂刈利之：花崗岩盤における巨視的透水係数の評価、第24回岩盤シンポジウム、1992
- 13) 長久、野口義文、森田誠也、中村直昭、岩崎浩、堀田政国、穂刈利之：花崗岩における原位置試験（平成2年度）、PNC PJ1380 91-001、動力炉・核燃料開発事業団 委託研究成果報告書、日鉄鉱業株式会社、1991
- 14) 長久、横井浩一、野口義文、森田誠也、中村直昭、岩崎浩、守屋俊文、堀田政国、穂刈利之：花崗岩における原位置試験（平成3年度）、PNC ZJ1380 92-001、動力炉・核燃料開発事業団 委託研究成果報告書、日鉄鉱業株式会社、1992
- 15) 新見健、野口義文、堀田政国：花崗岩における割れ目内流れに関する基礎的研究、第24回岩盤シンポジウム、p.21-25、1992
- 16) 内田雅大、澤田淳、高原弘幸、渡辺邦夫：釜石原位置試験場KH-7、KH-8孔間におけるトレーサー試験、第9回岩の力学国内シンポジウム講演論文集、p.181-186、1994
- 17) 内田雅大、澤田淳：亀裂ネットワーク水理物質移行モデルの開発、動燃技報、No.90、1994

7章

- 1) 長久、横井浩一、野口義文、森田誠也、中村直昭、岩崎浩、守屋俊文、堀田政国、穂刈利之：花崗岩における原位置試験（平成3年度）、PNC ZJ1380 92-001、動力炉・核燃料開発事業団 委託研究成果報告書、日鉄鉱業株式会社、1992

－ 打ち合せ議事録 －

目次

第1回打ち合せ	平成6年	12月20日
第2回打ち合せ	平成7年	1月30日
第3回打ち合せ	平成7年	2月24日

釜石鉱山における岩盤浸透流解析

(平成6年度)

第1回 打ち合せ議事録

日時： 平成6年12月20日 13:30～16:30

場所： 日鉄鉱業(株) 本社会議室

出席者： 動燃事業団 大澤、仙波

大成建設(株) 下茂、井尻、上村

議題： 本年度の作業の進め方について

配布資料：

動燃事業団：「釜石鉱山における岩盤浸透流解析(平成6年度)」仕様書

大成建設：「平成6年度の解析内容について」

内容：

1) 仕様書内容の確認：

・仕様書の内容について確認した。

2) 作業実施状況について：

既存データの整理状況について

・大成より、動燃殿から貸与された既存データの整理状況およびデータの可視化手法について説明した。また、追加で必要となるデータについて報告された。これらについては、後日、動燃殿から大成に送付することが確認された。

3) 坑道や試錐孔位置の確認：

・坑道や、試錐孔の位置データについて確認を行った。

釜石鉱山における岩盤浸透流解析

(平成6年度)

第2回 打ち合せ議事録

日 時： 平成7年 1月30日 13:30～16:30

場 所： 動力炉・核燃料開発事業団本社 会議室

出席者： 動燃事業団 大澤
大成建設(株) 下茂、井尻

議 題： 作業進行状況の報告、他

配布資料：

大成建設：「2次元メッシュ案」

内容：

- 1) 前回(1月)の打ち合せ内容の確認
- 2) 解析データ作成作業について(大成より)
 - ・3次元メッシュのもととなる2次元メッシュを提示した。
 - ・同メッシュデータの3次元メッシュへの拡張方針(特に、深さ方法の分割数、モデル化する坑道、ボーリング孔の選択)を提示した。
 - ・境界条件の設定方法案を提示した。
 - ・水理物性の設定案を提示した。上記内容が、動燃殿より基本的に了承された。
- 3) 今後の予定
 - ・次回の打ち合わせで、三次元浸透解析結果について説明する。

試錐孔間水理試験装置の製作
(計測装置と流量計測装置の製作)
第3回 打ち合せ議事録

日 時： 平成7年2月24日 13:30～17:30

場 所： 動力炉・核燃料開発事業団本社 会議室

出席者： 動燃事業団 大澤、仙波
大成建設(株) 下茂、井尻、上村

議 題： 作業進行状況の報告、他

配布資料：

大成建設：「三次元浸透解析結果」

内容：

- 1) 前回(平成7年1月)の打ち合せ内容の確認
- 2) 三次元浸透解析結果(大成)
 - ・均質モデルおよび異方性モデルの解析結果の説明をおこなった。
 - ・同結果と、計測データの比較検討結果について説明を行った。
- 3) 動燃殿よりの指摘事項
 - ・解析結果と計測結果の相違が生じる原因をさらに検討するように。
 - ・本年度の結果を、次年度の解析にいかに関係かについて、さらに検討するように。
- 4) 今後の予定について
本日の動燃殿からの指摘事項を含めて報告書にまとめ、平成7年3月15日に提出する。