

結晶質岩を対象としたクラックテンソルによる 等価連続体モデル化手法に関する研究

Study on Equivalent Continuum Modeling with Crack Tensor on Crystalline Rock

丹野 剛男	佐藤 稔紀	真田 祐幸	引間 亮一
松井 裕哉	多田 浩幸	郷家 光男	熊坂 博夫
石井 卓			

Takeo TANNO, Toshinori SATO, Hiroyuki SANADA, Ryoichi HIKIMA Hiroya MATSUI, Hiroyuki TADA, Mitsuo GOHKE, Hiroo KUMASAKA and Takashi ISHII

> 地層処分研究開発部門 東濃地科学研究ユニット

Tono Geoscientific Research Unit Geological Isolation Research and Development Directorate **March 2012**

Japan Atomic Energy Agency

日本原子力研究開発機構

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

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

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

© Japan Atomic Energy Agency, 2012

結晶質岩を対象としたクラックテンソルによる等価連続体モデル化手法に関する研究

日本原子力研究開発機構 地層処分研究開発部門 東濃地科学研究ユニット 丹野 剛男*、佐藤 稔紀、真田 祐幸、引間 亮一*、松井 裕哉、多田 浩幸*、 郷家 光男*、熊坂 博夫*、石井 卓*

(2012年1月6日受理)

日本原子力研究開発機構では、超深地層研究所計画(以下、MIU計画)の岩盤力学研究の一環 として、結晶質岩を対象とし、坑道の掘削に伴って周辺岩盤中に生じる掘削影響の評価を地上か らの調査段階で実施する方法の構築を課題の一つとして設定している。この課題を達成するため に、岐阜県瑞浪市の瑞浪超深地層研究所において、割れ目の力学特性やその幾何学的分布が岩盤 の変形に支配的な影響を及ぼす結晶質岩について、クラックテンソルモデル(等価連続体モデル の一つ)による研究を進めている。あわせて、クラックテンソルによる相対誤差に基づいた REV

(Representative Elementary Volume:代表要素体積、寸法効果を定量的に表現する指標であり、 不連続体を等価な連続体とみなして解析・解釈する際の最小体積の意味)の検討を実施し、第3 段階における試験計画の策定や、モデル化の際の要素の大きさの設定にREVの検討結果を適用す ることを試みている。

2010年度は、クラックテンソルモデルに基づき、REVの検討を実施した。REVの検討は、今後、 MIU計画の第3段階において実施される施工対策影響試験に関して、調査位置・範囲・試験のサ ンプル数を決定する際の情報や、モデル化における要素の大きさを決定する際の情報として利用 される。また、クラックテンソルのトレースと電中研式岩盤等級との関係を調査し、設計時に設 定した岩盤等級に基づく物性分布評価の妥当性を検討した。

2010年度の研究では、以下のような成果が得られた。

- ①水平坑道では、岩盤等級とクラックテンソルのトレースに負の相関が認められた。これは、 岩盤等級とクラックテンソル理論に基づき算出された岩盤の等価剛性とが関連付けられる 可能性を示唆し、岩盤等級に基づく物性分布評価の理論的な根拠となり得ることを示すこと ができた。
- ②REVの検討の結果、瑞浪超深地層研究所では、換気立坑よりも割れ目の密度が大きい水平 坑道の方が基準領域の値への収束が速かった。小田らの数値実験¹⁾では収束の速さは割れ目 の密度に依存すると結論付けており、この結果は小田らの数値実験¹⁾を支持していると考え られる。
- ③曲面状の壁面に現れる割れ目について、割れ目のトレース長の算出方法を新たに提案した。 本研究で提案した算出方法に基づき割れ目のトレース長を算出することにより、原位置のデ ータを直接解析に反映することが可能となり、従来の研究よりも精度の高いクラックテンソ ルモデルに基づく岩盤の等価剛性の評価が可能になると考えられる。

東濃地科学センター(駐在):〒509-6132 岐阜県瑞浪市明世町山野内1-64

※ 技術開発協力員

* 清水建設株式会社

Study on Equivalent Continuum Modeling with Crack Tensor on Crystalline Rock

Takeo TANNO^{**}, Toshinori SATO, Hiroyuki SANADA, Ryoichi HIKIMA^{**}, Hiroya MATSUI, Hiroyuki TADA^{**}, Mitsuo GOHKE^{**}, Hiroo KUMASAKA^{**} and Takashi ISHII^{**}

Tono Geoscientific Research Unit Geological Isolation Research and Development Directorate Japan Atomic Energy Agency Akiyo-cho, Mizunami-shi, Gifu-ken

(Received January 6, 2012)

The Crack tensor model which is a kind of equivalent continuum model has been studied in rock mechanical investigation in the MIU. The fractured rock mass is modeled as the elastic continuum model with the crack tensor.

In this study, crack tensor based on the geological observation in the MIU project was calculated, and REV (Representative Elementary Volume) in the shafts and research galleries was studied based on the relative error of the crack tensor. The correlation between the crack density, the trace length of crack and the trace of crack tensor and the rock mass classification was also studied.

The results are as follows:

- 1) The correlation between the trace of the crack tensor and the rock mass classification was negative at the research gallery.
- 2) Some observance zones were set in the ventilation shaft and the research gallery, and the convergence of the relative error in the each observance zone was studied based on the crack tensor. The convergence of the relative error was faster in the research gallery than in the ventilation shaft.
- 3) The method of calculation of the trace length of the crack on curved wall was proposed. The further studies based on the crack tensor model will be more accurate than the past studies by the proposed method.

Keywords: Mizunami Underground Research Laboratory (MIU) Project, Crack Tensor Model, Equivalent Continuum Model, Rock Mass Classification

[※] Collaborating Engineer

^{*} SHIMIZU Corporation

1.はじめに	1
2. 実施内容	4
3. クラックテンソルの概要	5
3.1 クラックテンソルモデルの概要および力学的な意味	5
3.2 クラックテンソルの算出方法	6
3.2.1 割れ目の形状が明瞭な場合	6
3.2.2 割れ目の形状が不明瞭な場合	7
4. 本研究におけるクラックテンソルの算出方法の概要	9
4.1 割れ目のトレース長の概要	9
4.2 曲面状の壁面に現れる割れ目のトレース長の算出方法	9
4.2.1 接平面への割れ目の投影	9
4.2.2 割れ目のトレース長の算出方法	10
4.2.3 割れ目の単位法線ベクトル	10
4.3 クラックテンソルの算出手順	11
5. 算出対象領域の概要	13
5.1 算出対象領域	13
5.2 壁面観察図	13
5.2.1 换気立坑	13
5.2.2 水平坑道	17
6. クラックテンソルの算出結果	23
6.1 割れ目の方向分布	23
6.2 クラックテンソルの算出	24
6.2.1 换気立坑	24
6.2.2 水平坑道	41
6.3 算出結果のまとめ	57
6.3.1 換気立坑の 50m 区間および水平坑道ごとの算出結果	57
6.3.2 換気立坑および水平坑道の岩盤等級ごとの算出結果	59
6.4 考察	61
6.4.1 換気立坑の 50m 区間および水平坑道ごとの算出結果についての考察	61
6.4.2 岩盤等級ごとの算出結果についての考察	61
7. 瑞浪超深地層研究所におけるモデル化のための条件設定の検討	62
7.1 REV の概要	62
7.2 クラックテンソルの誤差テンソルと相対誤差	63
7.3 クラックテンソルモデルに基づく岩盤の等価なヤング率の算出方法	64
7.4 算出対象および区間長の設定	64
7.5 算出結果	66
7.6 モデル化のための条件設定の検討	75
7.6.1 相対誤差に基づく検討	75
7.6.2 岩盤の等価なヤング率に基づく検討	79
7.6.3 REV に基づくモデル化のための基準領域の検討	83
8. 本研究のまとめ	84
参考文献	

CONTENTS

1. Introduction	1				
2. Outline of studies	4				
3. Overview of crack tensor					
3.1 Stress-Strain relation based on crack tensor model	5				
3.2 Calculation method of crack tensor	6				
3.2.1 In case that shape of crack is sharply-defined	6				
3.2.2 In case that shape of crack is not sharply-defined	7				
4. Calculation method of crack tensor in this sudy	9				
4.1 Overview of trace length of crack	9				
4.2 Calculation method of trace length of crack on curved wall	9				
4.2.1 Projection of crack to tangent plane	9				
4.2.2 Calculation method of trace length of crack	10				
4.2.3 A normal unit vector of crack	10				
4.3 Calculation method of crack tensor	11				
5. Overview of observance area	13				
5.1 Observance area	13				
5.2 Geological investigation results	13				
5.2.1 Ventilation shaft	13				
5.2.2 Research gallery	17				
6. Results of calculation for crack tensor	23				
6.1 Direction distribution of cracks	23				
6.2 Calculation for crack tensor	24				
6.2.1 Ventilation shaft	24				
6.2.2 Research gallery	41				
6.3 Summary of calculation of crack tensor	57				
6.3.1 Calculation results at ventilation shaft and research gallery	57				
6.3.2 Calculation results every rock mass classification value	59				
6.4 Consideration	61				
6.4.1 Calculation results at ventilation shaft and research gallery	61				
6.4.2 Calculation results every rock mass classification value	61				
7. Study to set modeling conditions at MIU	62				
7.1 Overview of REV	62				
7.2 Error tensoru and relative error of crack tensor	63				
7.3 Calculation method of equivalent stiffness of rock mass	64				
7.4 Observation area and interval length	64				
7.5 Result of calculation	66				
7.6 Study to set modeling conditions	75				
7.6.1 Study on relative error of crack tensor	75				
7.6.2 Study on equivalent stiffness of rock mass	79				
7.6.3 Study on modeling conditions based on REV	83				
8. Summary					
Reference	86				

図目次

図 1.1 東濃地区の地質分布及び調査位置図	1
図 1.2 瑞浪超深地層研究所の概要図	2
図 2.1 瑞浪超深地層研究所における地質構造の概要	4
図 3.1.1 クラックテンソルモデルの概要	5
図 4.2.1 割れ目の投影のイメージ	9
図 4.2.2 曲面上に現れた割れ目の投影	
図 4.3.1 スキャンラインの位置	
図 4.3.2 クラックテンソルの算出手順	
図 5.2.1 換気立坑の掘削断面	13
図 5.2.2 換気立坑の壁面観察結果(深度 200.2m~300.2m)	
図 5.2.3 換気立坑の壁面観察結果(深度 300.2m~400.2m)	15
図 5.2.4 換気立坑の壁面観察結果(深度 400.2m~459.8m)	16
図 5.2.5 水平坑道の掘削断面	
図 5.2.6 200m 予備ステージの壁面観察結果	
図 5.2.7 300m 予備ステージの壁面観察結果	
図 5.2.8 400m 予備ステージの壁面観察結果	
図 5.2.9(1) 深度 300m 研究アクセス坑道の壁面観察結果(壁面に現れる割れ目).	21
図 5.2.9(2) 深度 300m 研究アクセス坑道の壁面観察結果(岩盤等級区分)	
図 6.1.1 割れ目のステレオネット(換気立坑)	23
図 6.1.2 割れ目のステレオネット(水平坑道)	
図 6.2.1 スキャンラインと交差した割れ目(換気立坑 深度 200.2m~250.2m)	25
図 6.2.2 割れ目のトレース長のヒストグラム(換気立坑 深度 200.2m~250.2m)	26
図 6.2.3 スキャンラインと交差した割れ目(200m 予備ステージ)	
図 6.2.4 割れ目のトレース長の分布(200m 予備ステージ)	
図 6.3.1 クラックテンソルのパラメータの算出結果	
図 6.3.2 クラックテンソルのパラメータと岩盤等級との関係	60
図 7.1.1 瑞浪超深地層研究所における REV 算出の概念	
図 7.2.1 クラックテンソルと誤差テンソルのベクトル表示	63
図 7.4.1 換気立坑における区間設定	65
図 7.4.2 深度 300m 研究アクセス坑道における区間設定	65
図 7.6.1 区間長と相対誤差との関係	
図 7.6.2 区間長と岩盤の等価なヤング率との関係	

表目次

表 6.2.1 (1)割れ目の幾何学特性(換気立坑 深度 200.2m~250.2m)	
表 6.2.1 (2)割れ目の幾何学特性(換気立坑 深度 250.2m~300.2m)	29
表 6.2.1 (3)割れ目の幾何学特性(換気立坑 深度 300.2m~350.2m)	30
表 6.2.1 (4)割れ目の幾何学特性(換気立坑 深度 350.2m~400.2m)	31
表 6.2.1 (5)割れ目の幾何学特性(換気立坑 深度 400.2m~459.8m)	32
表 6.2.2 クラックテンソルのトレースと2階のクラックテンソル(換気立坑)	33
表 6.2.3 4 階のクラックテンソル(換気立坑)	34
表 6.2.4 (1)岩盤等級ごとの割れ目の幾何学特性(換気立坑 深度 200.2m~350.2m)	35
表 6.2.4 (2)岩盤等級ごとの割れ目の幾何学特性(換気立坑 深度 350.2m~459.8m)	36
表 6.2.5 (1)岩盤等級ごとの2階のクラックテンソル(換気立坑 スキャンライン:S	SW)37
表 6.2.5 (2)岩盤等級ごとの2階のクラックテンソル(換気立坑 スキャンライン: N	√W)37
表 6.2.5 (3)岩盤等級ごとの2階のクラックテンソル(換気立坑 スキャンライン: N	JE)38
表 6.2.5 (4)岩盤等級ごとの2階のクラックテンソル(換気立坑 スキャンライン:S	SE)38
表 6.2.6 (1)岩盤等級ごとの4階のクラックテンソル(換気立坑 スキャンライン:S	\$W)39
表 6.2.6 (2) 岩盤等級ごとの4階のクラックテンソル(換気立坑 スキャンライン: N	JW)39
表 6.2.6 (3) 岩盤等級ごとの4階のクラックテンソル(換気立坑 スキャンライン: N	JE)40
表 6.2.6 (4) 岩盤等級ごとの 4 階のクラックテンソル (換気立坑 スキャンライン: S	SE)40
表 6.2.7 (1)割れ目の幾何学特性(200m 予備ステージ)	44
表 6.2.7 (2)割れ目の幾何学特性(300m 予備ステージ)	45
表 6.2.7 (3)割れ目の幾何学特性(400m 予備ステージ)	46
表 6.2.7 (4)割れ目の幾何学特性(深度 300m 研究アクセス坑道)	47
表 6.2.8 クラックテンソルのトレースと2階のクラックテンソル(水平坑道)	
表 6.2.9 クラックテンソルのトレースと4階のクラックテンソル(水平坑道)	
表 6.2.10 (1) 岩盤等級ごとの割れ目の幾何学特性(水平坑道)	
表 6.2.10 (2) 岩盤等級ごとの割れ目の幾何学特性(水平坑道)	50
表 6.2.11 (1)岩盤等級ごとの2階のクラックテンソル(水平坑道 スキャンライン:	左側壁).51
表 6.2.11 (2) 岩盤等級ごとの 2 階のクラックテンソル(水平坑道 スキャンライン:	アーチ左側)
	51
表 6.2.11 (3)岩盤等級ごとの2階のクラックテンソル(水平坑道 スキャンライン:	アーチ右側)
	52
表 6.2.11 (4) 岩盤等級ごとの 2 階のクラックテンソル(水平坑道 スキャンライン:	右側壁).52
表 6.2.12 (1) 岩盤等級ごとの4階のクラックテンソル(水平坑道 スキャンライン:	左側壁).53
表 6.2.12 (2) 岩盤等級ごとの4階のクラックテンソル(水平坑道 スキャンライン:	アーチ左側)
	54
表 6.2.12 (3) 岩盤等級ごとの4階のクラックテンソル(水平坑道 スキャンライン:	アーチ右側)
	55
表 6.2.12 (4) 岩盤等級ごとの4階のクラックテンソル(水平坑道 スキャンライン:	右側壁).56
表 7.5.1(1) 換気立坑の相対誤差と等価なヤング率(SW 方向)	67
表 7.5.1 (2) 換気立坑の相対誤差と等価なヤング率(NW 方向)	68
表 7.5.1 (3) 換気立坑の相対誤差と等価なヤング率(NE 方向)	69
表 7.5.1 (4) 換気立坑の相対誤差と等価なヤング率(SE 方向)	

表	7.5.2(1)	深度	300m	研究アク	クセス	亢道の	相対誤差	と等価な	ヤング率	(左側壁)		71
表	7.5.2 (2)) 深度	300m	研究ア	クセス	坑道の	相対誤差	と等価な	マヤング率	(アーチ左側	N)	72
表	7.5.2 (3)) 深度	300m	研究ア	クセス	坑道の	相対誤差	と等価な	マヤング率	(アーチ右側	则)	73
表	7.5.2 (4)) 深度	300m	研究ア	クセス	坑道の	相対誤差	と等価な	マヤング率	(右側壁).		74
表	7.6.1(1)	換気	立坑に	おける材	相対誤差	差(各[区間の平:	均値)…				76
表	7.6.1 (2)) 深度	300m	研究ア	クセス	坑道に	おける相	対誤差	(各区間の	平均值)		77
表	7.6.2(1)	換気	立坑に	おけるお	岩盤の箏	等価な	ヤング率	(各区間	の平均値)	•••••		80
表	7.6.2(2)	深度	300m	研究ア	クセス	亢道に:	おける岩	盤の等価	iなヤング	率(各区間の)平均値)	81

This is a blank page.

1. はじめに

日本原子力研究開発機構では、深部地質環境の調査・解析・評価技術の基盤の整備と、深地層 における工学技術の基盤の整備を目標として、岐阜県瑞浪市の瑞浪超深地層研究所(以下、研究 所)において超深地層研究所計画(以下、MIU計画)を進めている。

研究所周辺の地質は基盤をなす中世代~古第三紀の花崗岩(土岐花崗岩)およびその花崗岩に 被覆する堆積岩からなる。堆積岩は第三紀中新世の瑞浪層群と第三紀鮮新世の瀬戸層群からなる。 また、月吉断層とよばれる、ほぼ東西走向の高傾斜を有する断層が存在する(図 1.1 参照)。



図 1.1 東濃地区の地質分布及び調査位置図 (地質分布は糸魚川²⁾を一部修正)

研究所は2本の立坑(主立坑、換気立坑)および深度100mごとの水平坑道で構成され、全体 として1000mまで掘削する予定の地下研究施設である。2011年12月現在、立坑深度は500m に到達し、500mステージを建設中である(図1.2参照)。MIU計画は結晶質岩を対象とし、「第 1段階:地表からの調査予測研究段階」、「第2段階:研究坑道の掘削を伴う研究段階」、「第3段 階:研究坑道を利用した研究段階」の三つの段階に区分し、約20年をかけて進める計画であり、 現在は、「第2段階:研究坑道の掘削を伴う研究段階」と「第3段階:研究坑道を利用した研究 段階」を並行して実施している。



図 1.2 瑞浪超深地層研究所の概要図

MIU 計画の第1段階における岩盤力学研究では、研究坑道の掘削に伴い周辺岩盤中に生じる掘 削影響を評価できる方法の構築を課題の一つとして設定しており、割れ目の力学特性やその幾何 学的分布が岩盤の変形に支配的な影響を及ぼす硬岩系岩盤の力学挙動の評価手法の一つである等 価連続体モデル化手法(クラックテンソル)を利用した研究を実施した。

2004 年度、2005 年度は、地表からの調査結果(MIZ-1 号孔)に基づき深度 300m~600m を一 つの区間として設定してクラックテンソルを算出し、算出したクラックテンソルにより深度 500m および 1000m における主立坑と水平坑道および深度 500m の連接部の予察的変形解析を行 った^{3),4)}。

2009年度は、第1段階における地表からのボーリング調査結果に基づく等価連続体によるモ デル化³⁾の妥当性の評価を目的とし、2004年度に算出されたクラックテンソルを用いて換気立坑 の深度 350m における変形解析と、第2段階における立坑内での調査結果に基づいて算出された クラックテンソルによる同地点の変形解析結果と、当該地点の地中変位計測の実測値とを比較し、 各々の妥当性を検討した。さらに、これらの結果を用いて、地表からの調査段階におけるクラッ クテンソルを用いた評価に関する適用性について検討した⁵⁾。

2010年度は、今後、MIU計画の第3段階において実施される施工対策影響試験に関して、調査位置や調査範囲を決定する際の情報を得ることを目的として、瑞浪超深地層研究所の換気立坑と水平坑道の壁面観察結果を用いて、REV(Representative Elementary Volume:代表要素体積,寸法効果を定量的に表現する指標であり、不連続体を等価な連続体とみなして解析・解釈する際の最小体積)の検討を実施した。また、2009年度の研究で坑道軸の方向により検出される

割れ目の幾何学特性が異なることが分かっていたことから、2010年度では換気立坑と水平坑道の クラックテンソルの差異を検討した。また、曲面状の壁面に現れる割れ目のトレース長の算出方 法を新たに提案し、それに基づいて算出された割れ目の密度、割れ目のトレース長、クラックテ ンソルのトレースと電中研式岩盤等級との関係性を調査し、その関係性を明らかにした。

本報告書の構成は以下の通りである。

第2章: 実施内容

第3章:クラックテンソルの概要

第4章:本研究におけるクラックテンソルの算出方法の概要

第5章:算出対象領域の概要

第6章:クラックテンソルの算出結果

第7章:瑞浪超深地層研究所におけるモデル化のための条件設定の検討

第8章:本研究のまとめ

2. 実施内容

2010年度の実施内容は、以下の(1)、(2)である。

- (1) 研究坑道掘削時の壁面観察結果を用いたクラックテンソルの算出
 - ・ 調査対象は、MIU 計画に基づき結晶質岩(土岐花崗岩)を対象とする。換気立坑については、深度 200.2m~459.8mの区間(図 1.2 参照)である。水平坑道については、200m 予備ステージ、300m 予備ステージ、400m 予備ステージ、深度 300m 研究アクセス坑 道(図 1.2 参照)とする。なお、主立坑については、断層が地表から地下深部(深度 500m まで確認)まで続いているので対象外とした(図 2.1 参照)。
 - ・壁面観察結果に基づき結晶質岩を対象としてクラックテンソルを算出し、1)割れ目の密度、2)割れ目のトレース長、3)クラックテンソルのトレースの3項目について、深度に伴う変化および換気立坑と水平坑道との結果の比較を行う。
 - ・ 今後、MIU 計画の第3段階において実施される施工対策影響試験について、第1段階の調査研究結果を基に決定された電中研式岩盤等級が試験位置および試験数量の最適化に適用できる情報であるのかを評価するために、割れ目の密度、割れ目のトレース長、 クラックテンソルのトレースについて電中研式岩盤等級ごとの整理を行う。
- (2)研究坑道掘削時の壁面観察結果および力学試験データを用いた REV の検討
 - ・換気立坑に対して、対象区間の全長(200.2m~459.8m = 259.6m)を基準区間とし、観 測区間を10m、50m、100m、150m、200mと変化させたときの、観測区間ごとのクラ ックテンソルを算出し、基準区間のクラックテンソルに対する相対誤差を算出する。岩 盤の等価なヤング率についても同様に算出する。
 - ・ 深度 300m 研究アクセス坑道に対して、坑道の全長(95m)を基準区間とし、観測区間を、10m、50m、80m とした時のクラックテンソルからクラックテンソルの相対誤差を 算出する。岩盤の等価なヤング率についても同様に算出する。
 - ・ 観測区間長と相対誤差および岩盤の等価なヤング率との関係を整理しREVを検討する。



図 2.1 瑞浪超深地層研究所における地質構造の概要

(図 2.1 のモデルに示した断層や地層・岩相区分は、既存モデルに第 2 段階の深度 300m ステ ージの調査・試験結果を追加して更新した"Stage300"地質構造モデル70を用いた。)

3. クラックテンソルの概要

3.1 クラックテンソルモデルの概要および力学的な意味

Oda^{8),9)}によって提案されているクラックテンソルとは、割れ目が岩盤中に統計的な意味で均質 に分布していると仮定したときの割れ目の密度、大きさ、方向などの幾何学特性を表現するテン ソル量であり、クラックテンソルモデルとは、クラックテンソルを用いることによって、多数の 割れ目を含むある大きさの不連続性岩盤を、それと等価な連続体に置き換え、解析上、異方弾性 体としてモデル化するものである。クラックテンソルモデルの概要を図 3.1.1 に示す。



図 3.1.1 クラックテンソルモデルの概要

クラックテンソルモデルを用いた解析では、統計的な意味で割れ目が均質に分布する領域に対して、岩盤の巨視的な応力とひずみの関係を求め、モデルの変形解析を行う。多くの割れ目を含む岩盤が巨視的な応力 σ を受けて変形するとき、発生する巨視的なひずみ ε は、基質部に生じるひずみとの和から定式化され、式(3.1)のように表される。

$$\varepsilon_{ij} = (M_{ijkl} + C_{ijkl})\sigma_{kl}$$

(3.1)

 M_{ijkl} は基質部のコンプライアンステンソル、 C_{ijkl} は割れ目のコンプライアンステンソルである。 割れ目を図 3.1.1 のように、垂直剛性h、せん断剛性gの二つのスプリングa、bで連結された 平行平板でモデル化すると、割れ目に生じるひずみは、垂直および、せん断方向に発生する相対 変位の総和から得られ、割れ目による相対変位の総和はクラックテンソルを導入することで求め られる。

ここで岩盤の基質部のヤング係数およびポアソン比をE、v、割れ目の幾何学特性を表す2階 と 4 階のクラックテンソルをそれぞれ F_{ij} 、 F_{ijkl} 、割れ目の垂直剛性とせん断剛性をそれぞれh、 g、と表すと、式(3.1)は次式のようになる。

$$\varepsilon_{ij} = \left[\frac{1}{E}\left\{(1+\nu)\delta_{ik}\delta_{jl} - \nu\delta_{ij}\delta_{kl}\right\} + \left(\frac{1}{h} - \frac{1}{g}\right)F_{ijkl} + \frac{1}{4g}\left(\delta_{ik}F_{jl} + \delta_{jk}F_{il} + \delta_{il}F_{jk} + \delta_{jl}F_{ik}\right)\right]\sigma_{kl}$$

$$(3.2)$$

ただし、 δ_{ii} はクロネッカーのデルタを示す。

個々の割れ目が、図 3.1.1 のように二つのスプリングで連結された平行平板でモデル化され、 スプリングによって垂直応力*σn*とせん断応力*τ*が伝達されるものとすれば、割れ目の垂直剛性 *H*、 せん断剛性 *G*はそれぞれのスプリングの剛性で表され、次式のように表される。

$$H = \frac{1}{r} (h_0 + C\sigma_{ij} N_{ij}) = \frac{1}{r} h$$

$$G = \frac{1}{r} (g_0 + g_1 \sigma_{ij} N_{ij}) = \frac{1}{r} g$$
(3.3)
(3.4)

ここに、ho、go、およびg1は実験で求めるパラメータ、Cは割れ目のアスペクト比である。

式(3.3)、式(3.4)の垂直剛性 Hとせん断剛性 Gは、全割れ目について平均化した剛性であり、 割れ目の大きさrに反比例し垂直応力 onに依存するパラメータである。ただし、割れ目の剛性に 関して、その応力依存性を考慮しない場合、式(3.3)と式(3.4)中の h、gは応力の次元を持つ定数 であることが分かる。また、式(3.2)の右辺の式の[]内のクラックテンソルを含む応力 oの係数は、 ヤング率の逆数つまりコンプライアンスに相当するものであることが分かる。

3.2 クラックテンソルの算出方法

3.2.1 割れ目の形状が明瞭な場合

対象としている三次元空間に割れ目が任意に分布しており、割れ目の形状が明瞭な場合、面積 *S*を持つ割れ目を等価な円で置き換えたときの直径を*D*とすると、2階、4階のクラックテンソ ル*F_{ij}、F_{ijkl}*は、以下のように定義される。

(3.5)

(3.6)

$$F_{ij} = \frac{\pi\rho}{4} \int_0^{D_m} \int_{\Omega} D^3 n_i n_j E(\boldsymbol{n}, D) d\Omega dD$$

$$F_{ijkl} = \frac{\pi\rho}{4} \int_0^{D_m} \int_\Omega D^3 n_i n_j n_k n_l E(\boldsymbol{n}, D) d\Omega dD$$

ここに、 ρ は割れ目の密度、 D_m はDの最大値、 n_i は割れ目の単位法線ベクトルnの基準軸 x_i の成分、E(n, D)は単位法線ベクトルnと代表長さDの統計的分布を与える確率密度関数、 Ω は全立体角を示している。また、式(3.5)と式(3.6)を総和形式にて表すと以下のようになる。

$$F_{ij} = \frac{\pi}{4V} \sum_{L=1}^{M} \left(D^{(L)} \right)^3 n_i^{(L)} n_j^{(L)}$$
(3.7)

$$F_{ijkl} = \frac{\pi}{4V} \sum_{L=1}^{M} \left(D^{(L)} \right)^3 n_i^{(L)} n_j^{(L)} n_k^{(L)} n_l^{(L)}$$
(3.8)

ここに、Vは統計的に均一とみなせる領域の体積で、Mは割れ目の総数である。

また、割れ目の大きさと方向とが統計的な意味で独立しているとすると、E(n, D) = E(n)f(D)とすることができるので、2 階、4 階のクラックテンソル F_{ij} 、 F_{ijkl} は式(3.5)と式(3.6)より、以下のように表すことができる。

$$F_{ij} = F_0 N_{ij} \tag{3.9}$$

$$F_{ijkl} = F_0 N_{ijkl} \tag{3.10}$$

ただし、

$$F_{0} = \frac{\pi\rho}{4} \int_{0}^{D_{m}} D^{3} f(D) dD$$
(3.11)

$$N_{ij} = \int_{\Omega} n_i n_j E(\mathbf{n}) d\Omega \tag{3.12}$$

$$N_{ijkl} = \int_{\Omega} n_i n_j n_k n_l E(\mathbf{n}) d\Omega$$
(3.13)

である。

 F_0 は割れ目の密度と大きさに関わる量でクラックテンソルのトレースとよばれるもの、 N_{ij} および N_{ijkl} は割れ目の方向分布によって定まる 2 階および 4 階の割れ目の構造テンソルである。 f(D)は割れ目の代表長さ Dの確率密度関数、E(n)は単位法線ベクトル nの確率密度関数である。

クラックテンソルのトレース F_0 は 2 階のクラックテンソルの対角成分を足し合わせることで 求めることができる。つまり 3 次元の場合、以下の式のようになる。

$$F_0 = F_{11} + F_{22} + F_{33} \tag{3.14}$$

式(3.7)および式(3.8)より、クラックテンソル *F_{ij}、F_{ijkl}を*算出し、*F_{ij}より F*₀を算出することができる。クラックテンソルのトレース *F*₀は、式(3.11)より、割れ目の密度や形状が大きくなるに伴い値が大きくなるので、クラックテンソルモデルの剛性の指標とすることができる。

なお、式(3.9)および式(3.10)より、構造テンソル N_{ij}および N_{ijkl}を算出することもできる。

3.2.2 割れ目の形状が不明瞭な場合

割れ目の形状が不明瞭な場合、直径 *D*を測定することができず、式(3.7)、式(3.8)によりクラックテンソルを算出することができない。このような場合、Oda⁸は以下に示すような算出方法を提案している。

Oda⁸によると、三次元空間中にスキャンラインを設定して、それに平行な単位ベクトルを q、 この単位ベクトル qに交わる割れ目の個数を N^{q} 、ある観測平面に現れる qに交わる割れ目のト レース長を tとすると、式(3.11)は、以下のように表わされる。

$$F_{0} = \frac{3\pi}{8} \frac{\langle t^{2} \rangle}{\langle t \rangle} \frac{N^{(q)}}{\langle |\mathbf{n} \cdot \mathbf{q}| \rangle}$$
(3.15)

ただし、

$$\left\langle \left| \boldsymbol{n} \cdot \boldsymbol{q} \right| \right\rangle = \frac{1}{m} \sum_{k=1}^{m} \left| \boldsymbol{n}^{(k)} \cdot \boldsymbol{q}^{(k)} \right|$$
(3.16)

であり、 $\langle t'' \rangle$ は割れ目のトレース長 tの n 次のモーメントである。式(3.15)より、クラックテン ソルのトレース F_0 を算出することができる。式(3.15)では $\langle |n \cdot q| \rangle$ によって割れ目の密度を補正し ている。

また、式(3.12)と式(3.13)を総和形式にすると、次式のようになる。

$$N_{ij} = \frac{1}{M} \sum_{L=1}^{M} n_i^{(L)} n_j^{(L)}$$
(3.17)

$$N_{ijkl} = \frac{1}{M} \sum_{L=1}^{M} n_i^{(L)} n_j^{(L)} n_k^{(L)} n_l^{(L)}$$
(3.18)

以上、式(3.17)および式(3.18)より、構造テンソル *N_{ij}および N_{ijkl}を*算出することができる。 よって、式(3.9)、式(3.10)、式(3.15)、式(3.17)、式(3.18)より、クラックテンソル *F_{ij}、F_{ijkl}を* 算出することができる。

さらに、Oda⁸⁾は 2 次元のクラックテンソルのトレース $F_0^{(2)}$ と 3 次元のクラックテンソルのトレース F_0 の間に以下のような関係があることを示している。

$$F_0 \approx 1.5 F_0^{(2)} \tag{3.19}$$

よって、2次元のクラックテンソルのトレース F₀⁽²⁾は、以下のようになる。

$$F_0^{(2)} = \frac{\pi}{4} \frac{\langle t^2 \rangle}{\langle t \rangle} \frac{N^{(q)}}{\langle \boldsymbol{n} \cdot \boldsymbol{q} \rangle}$$
(3.20)

なお、割れ目のトレース長 t について、前年度までの調査研究 4).5)では、曲面状の壁面に現れ る割れ目のトレース長の算出方法がなく、他地点での割れ目のトレース長と累積割れ目頻度との 関係式および観測結果を参考にして瑞浪超深地層研究所での割れ目のトレース長 t を算出してい た。2010年度の調査研究では曲面状の壁面に現れる割れ目のトレース長の算出方法を新たに提案 し、瑞浪超深地層研究所の壁面観察結果からトレース長を算出した。

- 8 -

4. 本研究におけるクラックテンソルの算出方法の概要

2010年度の調査研究では、割れ目の代表長さと方向が統計的な意味で独立していると仮定し、 式(3.9)と式(3.10)を適用して、クラックテンソル*F_{ij}、F_{ijkl}*を算出した。また同式中のクラックテ ンソルのトレース *F*oについては、3次元空間中にスキャンラインを設定して、スキャンラインと 交差した割れ目に対して式(3.14)を適用し算出した。なお、曲面状の壁面に現れる割れ目のトレ ース長の算出方法について新たな方法を提案した。

4.1 割れ目のトレース長の概要

2010年度の調査研究では、換気立坑の壁面や水平坑道のアーチ部の曲面状の壁面にスキャンラ インを設定して、スキャンラインと交差した割れ目に対して、トレース長を計測した。ただし、 Oda^{8),9}は、割れ目のトレース長を平面状の壁面に現れた割れ目を基に算出している。よって、曲 面状の壁面に現れた割れ目からそのままトレース長を算出しても、それは Oda^{8),9}が設定した割 れ目のトレース長とは異なるものとなる。曲面状の壁面に現れた割れ目のトレース長に関して、 有効な算出方法は現在ないので、そのような割れ目のトレース長の算出方法について検討を行っ た。具体的には、曲面状の壁面に現れた割れ目に関して、スキャンラインの接平面が仮想の壁面 であるとし、この接平面に投影される割れ目のトレース長を算出することとした。

4.2 曲面状の壁面に現れる割れ目のトレース長の算出方法

4.2.1 接平面への割れ目の投影

曲面状の壁面に現れる割れ目の投影のイメージを図 4.2.1 に示す。坑道などの 3 次元的な壁面 (本研究では曲面状の壁面)に現れる割れ目は、スキャンラインの位置で坑道に接する平面(図 中の接平面)と割れ目の平面とが交わる直線上に現れると考えた。



図 4.2.1 割れ目の投影のイメージ

4.2.2 割れ目のトレース長の算出方法

接平面への割れ目の投影方法を図 4.2.2 に示す。割れ目の単位法線ベクトルを n、接平面の単 位法線ベクトルを m とすると、割れ目を含む平面と接平面との交線 Cの単位ベクトル lは、以下 のように求められる。

$$l = \frac{n \times m}{|n \times m|} \tag{4.1}$$

3次元空間中の割れ目のベクトルをpとすると、ベクトルpと単位ベクトルIとの内積が交線上に投影された割れ目の長さとなるので、トレース長tは、以下のように求められる。このとき、割れ目のベクトルpは、その投影された長さが最長になるように設定する。

 $t = |\boldsymbol{p} \cdot \boldsymbol{l}|$

(4.2)



図 4.2.2 曲面上に現れた割れ目の投影

本研究以前では、曲面状の壁面に現れた割れ目のトレース長に関して、有効な算出方法がなかったため、他の様々なサイトでの調査結果^{10,11}に基づいて割れ目のトレース長を算出していたが、 2010 年度の調査研究では原位置の調査結果に基づいて割れ目のトレース長を算出することを提 案した。これにより、当該サイトの割れ目状況をより忠実に反映した結果が得られるものと考え られる。

4.2.3 割れ目の単位法線ベクトル

スキャンラインによって抽出された割れ目について、走向・傾斜が壁面観察結果から得られる ものついては、その走向・傾斜から直接単位法線ベクトル nを求めることができるが、走向・傾 斜が不明なものに対しては、単位法線ベクトル nを求めることができない。このため、以前の調 査研究では、壁面観察図上で走向・傾斜が分からなかったものは算出から除外していた。しかし、 壁面観察図上の割れ目の座標から三次元空間の座標を求めて、最小自乗法により平面を近似する と、図 4.2.2 中の割れ目を含む平面において、前節までに示した方法によりその平面式から単位 法線ベクトル nを求めることができる。このため、壁面観察図上で走向・傾斜が分からなかった 割れ目に対しても単位法線ベクトル nを取得することが可能となり、スキャンラインと交差した 全ての割れ目に対して |n・q| を算出できるようになり、より多くの原位置の情報を反映することが 可能となった。構造テンソルの算出に関しても同様のことが言える。

4.3 クラックテンソルの算出手順

換気立坑および水平坑道のスキャンラインの設定について、図 4.3.1 に示す。

2009 年度の調査研究 5では、換気立坑の深度 335~360m の壁面観察図に対して、クラックテ ンソルの算出を行っている。このときの調査結果によると、SE 方向に設定されたスキャンライ ンが最も多くの割れ目と交差している。2010 年度の調査研究では、換気立坑におけるスキャンラ インの位置を SE 方向から 90°ごとに振り分けて、SW 方向、NW 方向、NE 方向、SE 方向につ いて坑道軸方向に平行に合計 4 本のスキャンラインを設定し、各々のスキャンラインについてク ラックテンソルを算出した。

水平坑道のスキャンラインの設定に関しては、両側壁部の中間高さとアーチ部を三等分する位 置について坑道軸方向に平行に合計4本のスキャンラインを設定し、各々のスキャンラインにつ いてクラックテンソルを算出した。以降、スキャンラインの名称について、主立坑側から換気立 坑側を望んだときの左側の側壁を左側壁、右側の側壁を右側側壁、アーチ部については主立坑側 から換気立坑側を見て左手側をアーチ左側、右手側をアーチ右側と称することとする。

割れ目のトレース長、クラックテンソルのトレース、クラックテンソルの算出手順を図 4.3.2 に示す。なお、2010 年度の調査研究において、クラックテンソル F_{ij} 、 F_{ijkl} (*i*, *j*, *k*, *l*=1, 2, 3) お よび構造テンソル N_{ij} 、 N_{ijkl} (*i*, *j*, *k*, *l*=1, 2, 3)の指標 1 は E 方向、指標 2 は N 方向、指標 3 は 鉛直上向きを示す。



図 4.3.1 スキャンラインの位置



図 4.3.2 クラックテンソルの算出手順

5. 算出対象領域の概要

4章までに示した方法論に基づき、深度 459.8m までの換気立坑、水平坑道の壁面観察結果に基づいて、土岐花崗岩を対象としたクラックテンソルの算出を行い、また割れ目の方向分布の整理 も行う。さらに、クラックテンソルについて、電中研式の岩盤等級ごとの整理も行う。

5.1 算出対象領域

算出対象領域は、以下の通りである。

- ・換気立坑(深度 200.2~459.8m の区間)
- ・水平坑道(200m 予備ステージ、300m 予備ステージ、400m 予備ステージ、深度 300m 研究 アクセス坑道)

換気立坑については、深度 200.2~250.2m、深度 250.2~300.2m、深度 300.2~350.2m、深度 350.2~400.2m、深度 400.2~459.8m、深度 400.2~459.8m に対してクラックテンソルを算出す る。また、水平坑道については、200m 予備ステージ、300m 予備ステージ、400m 予備ステージ、 深度 300m 研究アクセス坑道それぞれに対してクラックテンソルを算出する。

5.2 壁面観察図

5.2.1 換気立坑

換気立坑の掘削断面の形状を図 5.2.1 に示す。また、壁面に現れる割れ目と電中研式の岩盤等 級の区分を図 5.2.2~図 5.2.4 に示す。



図 5.2.1 換気立坑の掘削断面



図 5.2.2 換気立坑の壁面観察結果(深度 200.2m~300.2m)



図 5.2.3 換気立坑の壁面観察結果(深度 300.2m~400.2m)



(a)壁面に現れる割れ目

(b) 岩盤等級区分

図 5.2.4 換気立坑の壁面観察結果(深度 400.2m~459.8m)

5.2.2 水平坑道

各水平坑道の断面形状を図 5.2.5 に示す。なお、この図において、拡幅部とは主立坑と水平坑 道が連接している部分の断面形状を示している。

200m 予備ステージ、300m 予備ステージ、400m 予備ステージおよび深度 300m 研究アクセス 坑道の壁面に現れる割れ目と電中研式の岩盤等級の区分を図 5.2.6~図 5.2.9 に示す。なお、図 5.2.6 の 200m 予備ステージにおいては、測点 No.2+9.95~No.3+0.75 の区間については、壁面観 察によるデータが欠損しているために空白である。

200m 予備ステージ、300m 予備ステージ、400m 予備ステージの坑道軸の方向は、主立坑側から換気立坑側を望んだときに、S39°46'10" W 方向となっている。また、深度 300m 研究アクセス坑道の軸方向は、平面図から主立坑側から N39°46'50" E 方向に直進し、No.1+5.00 から 半径 40m で N 方向に 30°カーブして、No.3+8.20 からは N9°46'50" E 方向に直進している。



(b) 300m 予備ステージ, 400m 予備ステージ, 300m 研究アクセス坑道

図 5.2.5 水平坑道の掘削断面



図 5.2.6 200m 予備ステージの壁面観察結果







図 5.2.8 400m 予備ステージの壁面観察結果



図 5.2.9(1) 深度 300m 研究アクセス坑道の壁面観察結果(壁面に現れる割れ目)



6. クラックテンソルの算出結果

換気立坑の 50m 区間ごとおよび各深度における水平坑道ごとのクラックテンソルを算出する とともに、割れ目の方向の深度分布、および深度に伴う割れ目の密度、トレース長の平均値、ク ラックテンソルのトレースの変化を調べた。また、深度に伴う割れ目の密度、トレース長の平均 値、クラックテンソルのトレースについて岩盤等級ごとに算出した。

6.1 割れ目の方向分布

それぞれの区間について、壁面観察結果の記載に基づき割れ目の走向・傾斜を集計した。換気 立坑については 50m 区間ごと、水平坑道については坑道ごとの割れ目の集計結果を図 6.1.1 およ び図 6.1.2 に示す。



図 6.1.1 割れ目のステレオネット(換気立坑)





400m 予備ステージ

深度 300m 研究アクセス坑道

左図:プロット図 右図:コンター図(コンターは 1%ごと)

(下半球投影)

図 6.1.2 割れ目のステレオネット(水平坑道)

換気立坑について 50m 区間ごとに集計した結果(図 6.1.1 参照)から、深度 200.2m~250.2m では、NW 方向の走向で高傾斜の割れ目と、水平方向に近い傾斜の割れ目が卓越しており、深く なるにしたがって NE 方向の走向で高角度の傾斜の割れ目の頻度が多くなり、深度 400.2m~ 459.6m では、NE 方向の走向で高傾斜の割れ目が卓越する傾向になることが分かった。

水平坑道について各深度の坑道ごとに集計した結果(図 6.1.2 参照)から、200m 予備ステージ では、NW 方向の走向で高角度の傾斜の割れ目と、低角度の傾斜の割れ目が卓越しており、深く なるにしたがって NE 方向の走向で高角度の傾斜の割れ目の頻度が多くなることが分かった。

このように換気立坑と水平坑道では、卓越する割れ目の方向が、深度方向にほぼ同様の傾向を示すことが分かった。

6.2 クラックテンソルの算出

6.2.1 換気立坑

(1) 観測区間ごとのクラックテンソル

換気立坑の深度 200.2m~250.2m 区間の SE 方向の壁面に対して坑道軸方向に平行な方向にス キャンラインを設定したときのスキャンラインと交差した割れ目を図 6.2.1 に示す。同図におい て、スキャンラインは一点鎖線、交差した割れ目は実線で表わされている。



図 6.2.1 スキャンラインと交差した割れ目(換気立坑 深度 200.2m~250.2m)

スキャンラインと交差した割れ目について、構造テンソルを算出すると以下のようになる。

 $3.609E - 1 \quad 1.276E - 1 \quad 7.113E - 2^{-1}$ 3.021E - 1 2.538E - 2(6.1) $N_{ij} =$ 3.369E - 1sym. 2.605E - 1 7.926E - 2 2.118E - 2 7.910E - 2 6.151E - 3 $3.545E - 2^{-1}$ 1.935E - 1 2.943E - 2 3.983E - 2 -6.724E - 3 8.923E - 32.676E - 22.863E - 1 8.679E - 3 2.596E - 2 $N_{ijkl} =$ 7.926E - 2 8.923E - 36.151E - 32.943E - 28.679E - 32.118E - 2sym. (6.2)

上記の式(6.1)、式(6.2)の構造テンソルの算出については、壁面観察結果に走向・傾斜の記載が あった割れ目は記載された走向・傾斜のデータを使用し、割れ目は記載されているが走向・傾斜 の記載がないものは壁面に現れる割れ目をトレースし、最小自乗法より求めた割れ目の走向・傾 斜のデータを用いた。

スキャンラインと交差した割れ目の数は 101 本であったことから、深度 200.2m~250.2m の割 れ目の密度 *N*ゆは、

$$N^{(q)} = 2.020 \quad (\texttt{A}/\texttt{m}) \tag{6.3}$$

となった。

割れ目の単位法線ベクトル nと、スキャンラインの単位法線ベクトル qとの内積の絶対値の平均値 $\langle |n \cdot q| \rangle$ は、以下のようになった。ここでも、壁面観察結果に走向・傾斜の記載があった割れ目は記載された走向・傾斜のデータを使用し、割れ目は記載されているが走向・傾斜の記載がないものは壁面に現れる割れ目をトレースし、最小自乗法より求めた割れ目の走向・傾斜のデータを用いた。

 $\langle |\boldsymbol{n} \cdot \boldsymbol{q}| \rangle = 0.7355$

(6.4)

交差した割れ目に対して、4.2 節に記述した方法に基づき、割れ目のトレース長 *t*を算出した。 それらを集計した結果、換気立坑の深度 200.2m~250.2m における割れ目のトレース長のヒスト グラムは図 6.2.2 のようになった。



図 6.2.2 割れ目のトレース長のヒストグラム(換気立坑 深度 200.2m~250.2m)

割れ目のトレース長の平均値 $\langle t \rangle$ と、トレース長の2乗の平均値 $\langle t^2 \rangle$ は、以下のようになった。

$$\langle t \rangle = 2.302$$
 (m)

(6.5)

 $\langle t^2 \rangle = 9.213 \quad (m^2)$

(6.6)

同様にして、SW 方向、NW 方向、NE 方向のスキャンラインについても整理し、また換気立坑の深度 250.2~300.2m、深度 300.2~350.2m、深度 350.2~400.2m、深度 400.2~459.8m についてもスキャンラインと交差した割れ目の幾何学特性(割れ目の密度 N^{q} 、割れ目の単位法線ベクトル \mathbf{n} とスキャンラインの単位法線ベクトル \mathbf{q} との内積の絶対値の平均値 $\langle |\mathbf{n} \cdot \mathbf{q}| \rangle$ 、割れ目のトレース長の平均値 $\langle t \rangle$ 、トレース長の2乗の平均値 $\langle t^2 \rangle$ 、割れ目のトレース長のヒストグラム)を整理した。整理した結果を表 6.2.1(1)~(5)に示す。

整理した割れ目の幾何学特性を基にクラックテンソルを算出した。式(3.15)、式(6.3)~式(6.4) より、換気立坑の深度 200.2~250.2mの F₀は、以下のようになった。

 $F_0 = 12.95$

(6.7)

式(3.9)、式(3.10)、式(6.1)、式(6.2)、式(6.7)より、深度 200.2m~250.2m のクラックテンソル


同様にして、SW 方向、NW 方向、NE 方向のスキャンラインについてもクラックテンソルを算 出し、また換気立坑の深度 250.2~300.2m、深度 300.2~350.2m、深度 350.2~400.2m、深度 400.2~459.8m についてもクラックテンソルを算出した。これらの結果を表 6.2.2 および表 6.2.3 に示す。











<u> </u>	反 問(m)	a. (m)	FO		2	階のクラッ	ヮクテンソルト	-ij	
3. L.		~ (III)	ΓU	F11	F12	F13	F22	F23	F33
SW	200. 2 ~	250. 2	7.300	2. 726	1.014	0. 519	2. 249	0. 160	2. 325
	250. 2 ~	300. 2	5. 185	2. 189	0. 403	0. 320	1.691	-0. 110	1. 323
	300. 2 ~	350. 2	17. 778	9. 362	-0. 327	1.009	5. 664	-0. 960	2. 752
	350. 2 ~	400. 2	21. 451	9. 468	-4. 955	1. 327	9. 182	-2. 452	2.800
	400. 2~	459.8	15. 394	8. 560	-2. 192	1. 388	4. 864	-1.100	1. 981
NW	200. 2~	250. 2	9. 510	3. 464	1. 262	0. 714	2. 857	0. 290	3. 190
	250. 2 ~	300. 2	6. 581	2. 788	0. 482	0. 407	2. 140	-0. 138	1. 652
	300. 2~	350. 2	10. 149	5. 247	-0. 261	0. 597	3. 175	-0. 528	1. 727
	350. 2~	400. 2	7.910	3. 472	-1.907	0. 486	3. 392	-0. 912	1.046
	400. 2~	459.8	4. 647	2. 583	-0. 670	0. 423	1. 468	-0. 330	0. 596
NE	200. 2~	250. 2	7.569	2.803	1.065	0. 537	2. 287	0. 163	2. 479
	250. 2 ~	300. 2	4. 170	1. 731	0. 317	0. 240	1. 331	-0. 095	1. 107
	300. 2 ~	350. 2	7.179	3. 714	-0. 147	0. 430	2. 239	-0. 366	1. 227
	350. 2~	400. 2	12. 423	5. 349	-2.855	0. 762	5. 217	-1. 373	1.857
	400. 2~	459.8	13. 428	7. 408	-1.891	1. 216	4. 222	-0. 950	1. 798
SE	200. 2~	250. 2	12. 945	4. 672	1. 652	0. 921	3. 911	0. 329	4. 362
	250. 2 ~	300. 2	5. 934	2. 486	0. 409	0. 358	1. 923	-0. 130	1. 525
	300. 2~	350. 2	6. 536	3. 434	-0. 182	0. 380	2.073	-0. 360	1. 029
	350. 2~	400. 2	12. 922	5. 547	-3. 070	0. 830	5. 453	-1. 453	1. 923
	400. 2~	459.8	10. 022	5. 550	-1. 439	0. 906	3. 164	-0. 733	1. 309

表 6.2.2 クラックテンソルのトレースと2階のクラックテンソル(換気立坑)

S.L.: スキャンライン

						表 6	.2.3 4	階のクラ	ックテン) ハレン	換気立坑	(
-	(") 間 2	(m)							4 階のぐ	ゥラックテン	ソル Fijkl						
۔ ن			F1111	F1122	F1133	F1112	F1123	F1131	F2222	F2233	F2212	F2223	F2231	F3333	F3312	F3323	F3331
MS	200.2∼	250.2	1. 985	0. 592	0.149	0. 620	0.047	0.263	1. 447	0.210	0. 321	-0.057	0.066	1.966	0.073	0.170	0.190
	250. 2∼	300. 2	1.661	0.426	0.102	0. 251	-0. 012	0.198	1.170	0. 095	0.148	-0.090	0.066	1.126	0.005	-0. 007	0. 056
	300. 2∼	350. 2	6.971	2.037	0.354	0. 322	-0.300	0.501	3. 323	0. 304	-0. 541	-0.535	0.352	2. 093	-0.107	-0.125	0.156
	350. 2∼	400. 2	5.882	2.922	0.664	-2. 112	-0.841	0.559	5.482	0. 778	-2. 476	-1.375	0.734	1. 357	-0.368	-0. 236	0.034
	400. 2∼	459.8	6. 161	1.849	0.550	-1.496	-0. 485	0.846	2. 583	0.432	-0. 545	-0.390	0. 272	0. 999	-0. 151	-0. 226	0.271
MN	200.2∼	250.2	2. 500	0. 753	0.211	0. 773	0. 066	0.340	1.824	0. 280	0. 396	-0.058	0.083	2. 698	0.094	0. 282	0. 291
	250.2∼	300. 2	2.118	0.542	0.128	0. 305	-0. 016	0. 251	1. 481	0.117	0.175	-0.110	0.084	1.406	0.002	-0. 013	0.073
	300. 2∼	350. 2	3. 899	1.141	0.208	0. 148	-0. 175	0.287	1. 853	0. 181	-0.346	-0.299	0. 208	1. 337	-0.063	-0. 055	0.102
	350. 2∼	400. 2	2.146	1. 080	0.246	-0. 816	-0. 313	0.201	2. 020	0. 292	-0. 955	-0.510	0. 277	0. 507	-0.136	-0. 089	0.008
	400. 2 <i>∼</i>	459.8	1. 858	0.557	0.168	-0. 457	-0. 146	0. 255	0. 780	0.130	-0. 168	-0.116	0.081	0. 298	-0.044	-0. 069	0. 086
H	200.2∼	250.2	2.024	0.613	0.165	0.644	0. 051	0.278	1. 449	0. 225	0.340	-0.058	0.068	2. 090	0.080	0.170	0.190
	250. 2∼	300. 2	1. 314	0. 335	0.083	0. 197	-0. 011	0.154	0.919	0. 078	0.115	-0.071	0.051	0.946	0.005	-0. 014	0. 035
	300. 2∼	350. 2	2. 755	0.809	0.150	0. 115	-0. 116	0.209	1. 304	0.125	-0. 225	-0.207	0.145	0.952	-0.038	-0.043	0.076
	350. 2∼	400. 2	3. 301	1.658	0.390	-1. 215	-0. 473	0.313	3. 105	0. 454	-1. 429	-0.779	0.420	1.013	-0.211	-0. 122	0. 030
	400. 2 <i>∼</i>	459.8	5. 322	1.602	0.484	-1. 292	-0. 417	0. 730	2.243	0.376	-0. 473	-0.336	0. 235	0. 938	-0.126	-0. 198	0. 252
SE	200.2~	250.2	3. 372	1.026	0.274	1. 024	0. 080	0.459	2. 504	0. 381	0.516	-0. 087	0.116	3. 706	0.112	0. 336	0.346
	250. 2∼	300. 2	1. 881	0.487	0.118	0. 261	-0. 015	0. 223	1. 325	0. 111	0.149	-0. 098	0.075	1. 295	-0.001	-0. 017	0.059
	300. 2∼	350. 2	2.550	0. 750	0.133	0. 088	-0. 117	0.189	1. 208	0.115	-0. 228	-0.200	0. 137	0. 781	-0.043	-0. 043	0.054
	350. 2∼	400. 2	3.412	1.727	0.408	-1. 307	-0. 502	0.334	3. 252	0.474	-1. 535	-0.813	0.448	1.041	-0.228	-0. 138	0.049
	400. 2 <i>∼</i>	459.8	3. 989	1.199	0.362	-0. 981	-0. 318	0.549	1.679	0. 286	-0. 361	-0.257	0. 177	0. 660	-0. 096	-0. 158	0.179
															S.L	.: スキャ	ンサイ

(換気立坑
111
シン
トクト
ラン
いク
4 階
2.3

JAEA-Research 2012-002

(2) 岩盤等級ごとのクラックテンソル

割れ目の走向・傾斜やスキャンラインと交差した割れ目を岩盤等級ごとに集計し、それぞれの 岩盤等級ごとにクラックテンソルを算出した。岩盤等級ごとの割れ目の幾何学特性を表 6.2.4(1)、 (2)、岩盤等級ごとのクラックテンソルの算出結果を表 6.2.5(1)~(4)および表 6.2.6(1)~(4)に示す。 なお、B-CH-CM 級とは、一掘進長ごとに行っている壁面観察において、B 級、CH 級、CM 級の 3つの岩盤等級に判断された場所であることを示している。

表 6.2.4 (1)岩盤等級ごとの割れ目の幾何学特性(換気立坑 深度 200.2m~350.2m)

	() !		1				
立持深度	毕般 笙奶	反問長	皆山西日		スキャン	ライン	
立机床皮	石篮守极	医围肉	异山坝口	SW	NW	NE	SE
200.2m	B-CH-CM	8.6m	$N^{(q)}$	0.465	0.930	1.860	1.047
~			$< \mathbf{n} \cdot \mathbf{q} >$	0.948	0.828	0.834	0.517
250.2m			<t></t>	2.532	1.584	1.887	1.871
			$\langle t^2 \rangle$	6.617	3.167	4.810	5.551
	СН	5.0m	N ^(q)	0.600	1.000	1.400	0.800
			$< \boldsymbol{n} \cdot \boldsymbol{q} >$	0.748	0.815	0.724	0.980
			<t></t>	4.171	2.839	1.735	1.510
			$\langle t^2 \rangle$	21.850	12.332	5.789	2.741
	CH-CM	36.4m	N ^(q)	1.841	2.363	2.033	2.418
			$< \mathbf{n} \cdot \mathbf{q} >$	0.903	0.872	0.822	0.747
			<t></t>	2.852	2.861	2.031	2.383
			$\langle t^2 \rangle$	10.639	10.186	5.457	9.881
250.2m	B-CH	5.2m	$N^{(q)}$	1.346	1.154	0.385	1.154
~			$< \mathbf{n} \cdot \mathbf{q} >$	0.627	0.729	0.930	0.889
300.2m			<t></t>	2.475	1.346	0.889	1.743
			$\langle t^2 \rangle$	7.920	3.986	0.834	3.977
	B-CH-CM	35.9m	$N^{(q)}$	0.780	1.114	0.947	1.253
			$< \boldsymbol{n} \cdot \boldsymbol{q} >$	0.740	0.589	0.903	0.560
			<t></t>	2.049	2.045	1.776	1.566
			$\langle t^2 \rangle$	5.352	6.976	4.671	3.839
	CH-CM	8.9m	N ^(q)	3.371	1.011	3.258	1.798
			$< \boldsymbol{n} \cdot \boldsymbol{q} >$	0.775	0.789	0.822	0.691
			<t></t>	1.300	1.350	1.285	1.122
			<t²></t²>	2.698	3.015	2.566	2.143
300.2m	B-CH-CM	29.4m	N ^(q)	1.020	1.122	1.497	1.259
~			$< \mathbf{n} \cdot \mathbf{q} >$	0.419	0.758	0.707	0.396
350.2m			<t></t>	2.295	1.981	1.509	1.055
			$\langle t^2 \rangle$	9.947	11.261	3.677	1.601
	CH-CM	20.6m	N ^(q)	1.505	1.359	1.650	1.165
			$\langle \mathbf{n} \cdot \mathbf{q} \rangle$	0.449	0.513	0.535	0.521
			<t></t>	3.582	1.933	1.307	1.571
			<t²></t²>	21.523	6.180	3.288	4.003

表 6.2.4 (2)岩盤等級ごとの割れ目の幾何学特性	(換気立坑	深度 350.2m~459.8m)
-----------------------------	-------	-------------------

立持深度	毕般 笙纲	反問目	笛山西日		スキャン	ンライン	
立机床皮	石篮守被	区间衣	异山坝口	SW	NW	NE	SE
350.2m	B-CH	13.0m	N ^(q)	1.231	1.154	0.615	1.385
~			$< n \cdot q >$	0.292	0.275	0.446	0.557
400.2m			<t></t>	2.452	2.868	2.815	2.807
			$\langle t^2 \rangle$	9.169	10.816	19.096	10.895
	B-CH-CM	12.3m	N ^(q)	1.707	0.569	2.033	1.951
			$< n \cdot q >$	0.427	0.589	0.667	0.612
			<t></t>	2.256	2.645	1.294	1.906
			$\langle t^2 \rangle$	9.554	8.944	3.447	5.172
	СН	8.9m	N ^(q)	0.899	0.449	1.910	1.685
			$< \mathbf{n} \cdot \mathbf{q} >$	0.354	0.311	0.517	0.569
			<t></t>	1.971	1.445	0.931	1.865
			$\langle t^2 \rangle$	6.632	2.971	1.836	5.129
	CH-CM	15.8m	N ^(q)	1.266	0.696	0.949	1.266
			$< \mathbf{n} \cdot \mathbf{q} >$	0.256	0.435	0.459	0.477
			<t></t>	3.655	2.562	2.407	3.090
			$\langle t^2 \rangle$	20.773	8.893	13.887	16.972
400.2m	B-CH-CM	5.2m	N ^(q)	1.154	0.962	0.962	1.154
~			$< n \cdot q >$	0.424	0.138	0.271	0.622
459.8m			<t></t>	2.064	1.370	3.507	1.799
			$\langle t^2 \rangle$	9.973	2.405	35.904	3.819
	СН	23.2m	N ^(q)	0.991	0.388	1.034	0.991
			$< n \cdot q >$	0.256	0.361	0.559	0.177
			<t></t>	1.654	2.334	1.772	1.963
			$\langle t^2 \rangle$	5.490	7.033	9.857	6.650
	CH-CM	31.2m	N ^(q)	0.994	0.705	1.218	1.090
			$< n \cdot q >$	0.411	0.519	0.561	0.473
			<t></t>	2.254	1.992	1.787	1.764
			$\langle t^2 \rangle$	11.758	5.658	7.438	5.222

深度(m)	毕般 公粘	区間長	FO		2 階	のクラック	フ テンソル F	ij	
~ (m)	石盈刀規	(m)	10	F11	F12	F13	F22	F23	F33
200.2	B-CH-CM	8.6	1.509	0.639	0.108	0.123	0.503	0.067	0.368
~250.2	СН	5	4.949	2.564	1.053	1.148	1.311	-0.059	1.074
	CH-CM	36.4	8.955	3.128	1.352	0.592	2.728	0.167	3.099
250.2	B-CH	5.2	8.099	2.240	0.613	0.062	2.998	-0.440	2.860
~300.2	B-CH-CM	35.9	3.245	1.294	0.315	0.193	1.101	-0.049	0.849
	CH-CM	8.9	10.639	5.289	0.477	0.789	3.112	-0.254	2.343
300.2	B-CH-CM	29.4	12.448	6.979	-0.315	0.621	3.467	-0.510	2.002
∼350.2	CH-CM	20.6	23.733	11.651	-0.263	1.481	8.558	-1.607	3.524
350.2	B-CH	13	18.594	8.377	-3.418	0.283	7.934	-1.511	2.283
∼400.2	B-CH-CM	12.3	19.960	7.906	-3.821	1.350	9.103	-2.366	2.951
	СН	8.9	10.068	4.870	-2.931	1.015	3.778	-1.216	1.420
	CH-CM	15.8	33.113	14.736	-8.618	1.979	14.571	-4.346	3.807
400.2	B-CH-CM	5.2	15.487	7.813	-3.426	1.808	5.894	-1.159	1.780
∼459.8	СН	23.2	15.152	8.879	-2.050	1.333	4.736	-0.858	1.537
	CH-CM	31.2	14.871	7.987	-2.115	1.323	4.669	-1.227	2.235
200.2	B-CH	18.2	13.521	5.495	-1.596	0.180	5.575	-1.006	2.450
∼459.8	B-CH-CM	91.4	7.880	3.616	-0.055	0.486	2.676	-0.302	1.588
	CH	37.1	12.366	6.908	-1.938	1.101	4.023	-0.864	1.435
	CH-CM	112.9	13.397	6.324	-0.606	1.020	4.483	-0.764	2.614

表 6.2.5 (1)岩盤等級ごとの 2 階のクラックテンソル(換気立坑 スキャンライン:SW)

表 6.2.5 (2)岩盤等級ごとの 2 階のクラックテンソル(換気立坑 スキャンライン:NW)

深度(m)	任零公绪	区間長	FO		2 階	のクラック	フテンソル	Fij	
~ (m)	石盈刀規	(m)	10	F11	F12	F13	F22	F23	F33
200.2	B-CH-CM	8.6	2.648	1.095	0.183	0.211	0.867	0.124	0.687
~250.2	СН	5	6.277	3.016	1.260	2.193	1.581	0.102	1.681
	CH-CM	36.4	11.366	3.888	1.636	0.723	3.378	0.311	4.099
250.2	B-CH	5.2	5.525	1.492	0.390	0.042	2.024	-0.267	2.009
~300.2	B-CH-CM	35.9	7.599	3.002	0.680	0.440	2.565	-0.107	2.032
	CH-CM	8.9	3.372	1.736	0.148	0.260	0.986	-0.091	0.650
300.2	B-CH-CM	29.4	9.915	5.399	-0.318	0.492	2.676	-0.370	1.840
~350.2	CH-CM	20.6	9.985	4.874	-0.190	0.619	3.574	-0.673	1.537
350.2	B-CH	13	18.624	8.397	-3.867	0.286	7.928	-1.511	2.299
~400.2	B-CH-CM	12.3	3.849	1.519	-0.745	0.273	1.783	-0.465	0.547
	СН	8.9	3.502	1.676	-1.051	0.357	1.314	-0.434	0.512
	CH-CM	15.8	6.537	2.877	-1.741	0.399	2.866	-0.855	0.794
400.2	B-CH-CM	5.2	14.414	7.389	-3.522	1.823	5.794	-1.287	1.231
∼459.8	СН	23.2	3.809	2.237	-0.526	0.339	1.192	-0.212	0.380
	CH-CM	31.2	4.545	2.432	-0.646	0.406	1.420	-0.370	0.693
200.2	B-CH	18.2	12.233	4.951	-1.671	0.164	5.022	-0.890	2.260
∼459.8	B-CH-CM	91.4	7.527	3.396	-0.078	0.463	2.531	-0.273	1.601
	CH	37.1	4.007	2.229	-0.640	0.359	1.301	-0.274	0.477
	CH-CM	112.9	7.616	3.579	-0.360	0.597	2.524	-0.415	1.513

深度(m)	毕般 公粘	区間長	FO		2 階の	クラック	テンソルFi	j	
~ (m)	石盈刀預	(m)	FV	F11	F12	F13	F22	F23	F33
200.2	B-CH-CM	8.6	6.701	2.732	0.505	0.514	2.160	0.245	1.808
∼250.2	СН	5	7.608	3.754	1.598	2.501	1.961	0.054	1.893
	CH-CM	36.4	7.824	2.740	1.197	0.502	2.349	0.146	2.736
250.2	B-CH	5.2	0.457	0.128	0.033	0.004	0.175	-0.024	0.154
∼300.2	B-CH-CM	35.9	3.248	1.266	0.307	0.188	1.081	-0.049	0.902
	CH-CM	8.9	9.331	4.581	0.412	0.685	2.622	-0.279	2.128
300.2	B-CH-CM	29.4	6.081	3.300	-0.195	0.295	1.644	-0.233	1.137
∼350.2	CH-CM	20.6	9.137	4.481	-0.075	0.562	3.251	-0.588	1.405
350.2	B-CH	13	11.035	4.974	-2.136	0.171	4.698	-0.893	1.363
∼400.2	B-CH-CM	12.3	9.571	3.619	-1.753	0.629	4.220	-1.030	1.732
	СН	8.9	8.588	4.021	-2.456	0.830	3.158	-1.018	1.409
	CH-CM	15.8	14.052	6.117	-3.632	0.837	6.085	-1.817	1.849
400.2	B-CH-CM	5.2	42.810	22.069	-10.003	5.199	17.189	-4.178	3.552
∼459.8	СН	23.2	12.139	7.082	-1.621	1.066	3.756	-0.657	1.301
	CH-CM	31.2	10.643	5.645	-1.491	0.937	3.324	-0.867	1.674
200.2	B-CH	18.2	7.582	3.095	-0.964	0.103	3.146	-0.559	1.341
∼459.8	B-CH-CM	91.4	6.822	3.037	-0.057	0.409	2.262	-0.251	1.523
	CH	37.1	11.741	6.469	-1.811	1.029	3.771	-0.786	1.502
	CH-CM	112.9	9.244	4.321	-0.392	0.711	3.046	-0.519	1.877

表 6.2.5 (3)岩盤等級ごとの2階のクラックテンソル(換気立坑 スキャンライン:NE)

表 6.2.5 (4)岩盤等級ごとの2階のクラックテンソル(換気立坑 スキャンライン:SE)

深度(m)	坦般八新	区間長	ΕO		2階0	Dクラック	テンソルF	ij	
~ (m)	石盈刀預	(m)	FU	F11	F12	F13	F22	F23	F33
200.2	B-CH-CM	8.6	7.081	2.974	0.455	0.564	2.358	0.270	1.750
~250.2	СН	5	1.745	0.880	0.361	0.681	0.447	-0.006	0.419
	CH-CM	36.4	15.816	5.302	2.182	0.985	4.708	0.384	5.806
250.2	B-CH	5.2	3.487	0.952	0.247	0.027	1.294	-0.193	1.242
~300.2	B-CH-CM	35.9	6.458	2.528	0.555	0.369	2.170	-0.113	1.759
	CH-CM	8.9	5.852	2.948	0.221	0.437	1.704	-0.127	1.201
300.2	B-CH-CM	29.4	5.682	3.167	-0.222	0.285	1.575	-0.251	0.940
~350.2	CH-CM	20.6	6.716	3.302	-0.107	0.424	2.415	-0.447	0.999
350.2	B-CH	13	11.357	4.964	-2.261	0.170	4.732	-0.885	1.661
~400.2	B-CH-CM	12.3	10.187	3.887	-1.971	0.675	4.568	-1.162	1.732
	СН	8.9	9.597	4.539	-2.857	0.962	3.586	-1.167	1.472
	CH-CM	15.8	17.177	7.479	-4.550	1.023	7.470	-2.252	2.228
400.2	B-CH-CM	5.2	4.639	2.189	-1.084	0.526	1.867	-0.475	0.583
∼459.8	СН	23.2	22.391	13.412	-2.905	1.951	6.798	-1.172	2.180
	CH-CM	31.2	8.042	4.291	-1.136	0.712	2.514	-0.672	1.237
200.2	B-CH	18.2	8.749	3.468	-1.155	0.115	3.546	-0.633	1.736
∼459.8	B-CH-CM	91.4	7.032	3.167	-0.160	0.436	2.390	-0.301	1.474
	СН	37.1	10.315	5.799	-1.609	0.910	3.292	-0.697	1.224
	CH-CM	112.9	11.790	5.496	-0.569	0.918	3.905	-0.646	2.389

			表	6.2.6 (1)治虫乳	酸ニト	の4階0	りクラッ	ックテン	ソル(奥氖立坊	1 X +	オンゴ・	イン の	(M)		
深度(m)	と米ノノも手丁丁	区間長							4階のク	ラックテン	VJL Fijkl						
~ (m)	石笽汀洖	(m)	F1111	F1122	F1133	F1112	F1123	F1131	F22222	F2233	F2212	F2223	F2231	F3333	F3312	F3323	F3331
200.2	B-CH-CM	8.6	0.495	0.118	0.026	0.064	0.007	0.070	0.340	0.045	0.030	-0.005	0.020	0.297	0.014	0.064	0.033
~ 250.2	СН	5	1.898	0.586	0.080	0.664	-0.002	0.114	0.621	0.104	0.341	-0.092	-0.011	0.890	0.049	0.034	0.120
	CH-CM	36.4	2.226	0.708	0.193	0.827	0.067	0.307	1.761	0.260	0.434	-0.074	0.078	2.646	0.091	0.174	0.244
250.2	B-CH	5.2	1.558	0.506	0.177	0.308	-0.094	0.087	2.302	0.191	0.274	-0.349	-0.043	2.493	0.032	0.004	-0.017
~ 300.2	B-CH-CM	35.9	0.993	0.242	0.059	0.174	0.009	0.127	0.801	0.057	0.131	-0.033	0.035	0.733	0.010	-0.025	0.030
	CH-CM	8.9	3.994	1.064	0.231	0.443	-0.096	0.459	1.858	0.190	0.073	-0.252	0.217	1.922	-0.039	0.094	0.173
300.2	B-CH-CM	29.4	5.248	1.478	0.253	0.208	-0.196	0.269	1.824	0.166	-0.455	-0.280	0.218	1.583	-0.068	-0.034	0.141
\sim 350.2	CH-CM	20.6	8.574	2.615	0.463	0.463	-0.429	0.833	5.442	0.501	-0.568	-0.904	0.528	2.561	-0.158	-0.273	0.144
350.2	B-CH	13	5.716	2.199	0.462	-1.410	-0.459	-0.014	5.085	0.650	-1.738	-1.047	0.423	1.171	-0.270	-0.004	-0.158
~ 400.2	B-CH-CM	12.3	4.828	2.475	0.603	-1.370	-0.724	0.589	5.847	0.781	-2.111	-1.471	0.723	1.567	-0.340	-0.171	0.125
	СН	8.9	2.898	1.624	0.348	-1.439	-0.502	0.505	1.812	0.342	-1.266	-0.513	0.397	0.729	-0.226	-0.202	0.117
	CH-CM	15.8	8.861	4.755	1.120	-3.687	-1.511	0.912	8.611	1.205	-4.408	-2.331	1.247	1.483	-0.523	-0.504	-0.047
400.2	B-CH-CM	5.2	4.761	2.549	0.503	-1.916	-0.564	0.922	2.918	0.427	-1.251	-0.579	0.564	0.849	-0.259	-0.016	0.174
~ 459.8	СН	23.2	6.549	1.829	0.501	-1.484	-0.468	0.855	2.560	0.347	-0.451	-0.307	0.266	0.688	-0.115	-0.082	0.221
	CH-CM	31.2	5.689	1.733	0.565	-1.409	-0.470	0.796	2.460	0.476	-0.542	-0.421	0.244	1.194	-0.163	-0.336	0.301

≥
<i>о</i>
2
$\overline{\mathbf{x}}$
ΪŅ
ý
¥ L
T
17
坑
뉟
凤
蔹
د
3
5
ト
5
シ
١D
$\tilde{\nu}$
ぎ C
t 昭
é é
لد لد
٦Ĵ
袋
箒
魈
щ
Ľ
2.6
0.5
表

>
>
7
_
ン
\mathbf{r}
1
1,
~)
£
H
~
17
ふ
1,
1-1
气
πeν
刧
\sim
د
5
ン
2
~ 1
ト
5
-
:)
١Þ
5
Ġ
0
꿷
4
ò
0
J
۱J
褒
Ser Ser
籼
騊
ліг
щщ
N
č
2
N.
۵ ۵
表

			表	6.2.6 (2	5)岩盤等	「後」て	の4階(のクラン	ックーン	ンル(換気立ち	1 X +	オンラ	× 、 、	(M		
深度(m)	と来くてなる。	医間長							4 階のク	ラックテン	VJL Fijkl						
~ (m)	石笛刀視	(m)	F1111	F1122	F1133	F1112	F1123	F1131	F2222	F2233	F2212	F2223	F2231	F3333	F3312	F3323	F3331
200.2	B-CH-CM	8.6	0.847	0.202	0.045	0.110	0.013	0.120	0.584	0.081	0.051	-0.006	0.033	0.560	0.022	0.116	0.054
~ 250.2	СН	5	2.218	0.687	0.110	0.777	0.003	0.136	0.738	0.155	0.404	-0.081	-0.003	1.415	0.079	0.180	0.207
	CH-CM	36.4	2.736	0.881	0.272	1.003	0.090	0.390	2.161	0.336	0.519	-0.075	0.097	3.491	0.114	0.296	0.377
250.2	B-CH	5.2	1.035	0.329	0.129	0.189	-0.057	0.070	1.561	0.133	0.175	-0.235	-0.025	1.747	0.026	0.025	0.029
~ 300.2	B-CH-CM	35.9	2.295	0.568	0.139	0.383	0.020	0.291	1.862	0.135	0.278	-0.073	0.083	1.758	0.019	-0.054	0.081
	CH-CM	8.9	1.321	0.345	0.070	0.142	-0.033	0.148	0.586	0.055	0.023	-0.079	0.069	0.525	-0.017	0.020	0.044
300.2	B-CH-CM	29.4	4.061	1.132	0.206	0.125	-0.155	0.221	1.402	0.141	-0.393	-0.211	0.174	1.493	-0.051	-0.005	0.130
\sim 350.2	CH-CM	20.6	3.570	1.103	0.202	0.166	-0.189	0.345	2.254	0.217	-0.282	-0.379	0.235	1.118	-0.073	-0.106	0.068
350.2	B-CH	13	5.676	2.256	0.465	-1.602	-0.466	0.007	5.018	0.654	-1.965	-1.043	0.479	1.181	-0.300	-0.001	-0.145
~ 400.2	B-CH-CM	12.3	0.924	0.480	0.115	-0.265	-0.141	0.109	1.151	0.152	-0.416	-0.290	0.142	0.279	-0.063	-0.034	0.023
	СН	8.9	0.990	0.561	0.125	-0.521	-0.178	0.175	0.630	0.122	-0.453	-0.181	0.138	0.265	-0.077	-0.075	0.037
	CH-CM	15.8	1.726	0.929	0.221	-0.745	-0.298	0.169	1.691	0.245	-0.896	-0.459	0.245	0.328	-0.100	-0.098	-0.016
400.2	B-CH-CM	5.2	4.449	2.492	0.448	-1.954	-0.563	0.888	2.918	0.384	-1.358	-0.575	0.566	0.399	-0.211	-0.149	0.311
~ 459.8	СН	23.2	1.650	0.460	0.127	-0.378	-0.118	0.215	0.645	0.087	-0.118	-0.076	0.067	0.167	-0.030	-0.019	0.056
	CH-CM	31.2	1.731	0.526	0.176	-0.433	-0.142	0.243	0.748	0.146	-0.165	-0.126	0.073	0.371	-0.048	-0.102	0.097

		F3331	0.149	0.141	0.207	0.001	0.026	0.092	0.083	0.068	-0.092	0.067	0.109	-0.010	0.902	0.193	0.221
		F3323	0.233	0.199	0.148	0.002	-0.025	0.028	-0.011	-0.095	0.003	-0.032	-0.175	-0.218	-0.443	-0.054	-0.241
NE)		F3312	0.066	0.087	0.084	0.002	0.011	-0.035	-0.026	-0.058	-0.168	-0.148	-0.196	-0.220	-0.620	-0.087	-0.114
イン・		F3333	1.476	1.583	2.322	0.132	0.779	1.772	0.923	1.026	0.704	1.058	0.812	0.854	1.139	0.614	0.927
センラ		F2231	0.085	-0.028	0.071	-0.002	0.035	0.176	0.109	0.205	0.264	0.338	0.326	0.517	1.857	0.216	0.165
、スキ		F2223	-0.024	-0.130	-0.063	-0.020	-0.033	-0.213	-0.131	-0.333	-0.621	-0.674	-0.428	-0.975	-1.898	-0.237	-0.296
奥気立坊	JJL Fijki	F2212	0.144	0.523	0.387	0.015	0.126	0.064	-0.237	-0.212	-1.091	-0.976	-1.051	-1.871	-3.797	-0.362	-0.380
ソル(ラックテント	F2233	0.211	0.171	0.233	0.012	0.062	0.155	0.087	0.189	0.385	0.380	0.293	0.516	1.110	0.278	0.341
クテン	4階のクラ	F2222	1.437	0.917	1.493	0.135	0.784	1.551	0.857	2.054	3.000	2.707	1.516	3.588	8.586	2.028	1.754
のクラッ		F1131	0.306	0.142	0.279	0.006	0.124	0.381	0.140	0.325	-0.013	0.270	0.423	0.360	2.782	0.687	0.553
の4階0		F1123	0.036	-0.015	0.061	-0.005	0.009	-0.094	-0.091	-0.161	-0.275	-0.323	-0.414	-0.624	-1.837	-0.366	-0.329
級ごと		F1112	0.295	0.988	0.726	0.016	0.169	0.382	0.067	0.195	-0.876	-0.629	-1.209	-1.541	-5.585	-1.171	-0.997
)岩盤等		F1133	0.121	0.139	0.181	0.010	0.060	0.201	0.127	0.190	0.274	0.294	0.304	0.480	1.303	0.410	0.406
3.2.6 (3		F1122	0.511	0.874	0.623	0.028	0.235	0.915	00.700	1.008	1.312	1.133	1.349	1.981	7.493	1.450	1.229
表 (F1111	2.100	2.741	1.936	0.089	0.970	3.465	2.473	3.283	3.388	2.192	2.369	3.657	13.272	5.222	4.010
	区間長	(m)	8.6	2	36.4	5.2	35.9	8.9	29.4	20.6	13	12.3	8.9	15.8	5.2	23.2	31.2
	モンンギー	石笛刀渓	B-CH-CM	СН	CH-CM	B-CH	B-CH-CM	CH-CM	B-CH-CM	CH-CM	B-CH	B-CH-CM	СН	CH-CM	B-CH-CM	СН	CH-CM
	深度(m)	~ (m)	200.2	~ 250.2		250.2	~ 300.2	·	300.2	~ 350.2	350.2	~ 400.2		·	400.2	~ 459.8	

亗
~
5
\succ
ĺΓ
~)
£
\mathbb{H}
~
17
10
Ð
17
气
奐
t
、
=
ソ
2
iL.
j.
5
3
١D
7
Ŕ
影
22
4
6
رد
ĩĴ
汲
气
신
朝
詽
$\widehat{\mathfrak{C}}$
6
2
3
5
1112

3
• •
ン
\sim
ίŅ
ン
£
+
К
坑
17
١K
奥
<u>.</u>
۲
5
5
iL
ir N
5
<u>ري</u>
11
$\tilde{\nu}$
\tilde{e}
躨
4
6
JJ
٦J
級
眚
騊
聖
4
<u>ب</u>
S S
6
表

		F3331	0.150	0.040	0.451	-0.015	0.063	0.081	0.057	0.043	-0.076	0.076	0.136	0.030	0.103	0.314	0.160
		F3323	0.274	0.025	0.373	-0.003	-0.061	0.051	-0.015	-0.071	0.005	-0.075	-0.195	-0.269	-0.099	-0.084	-0.187
SE)		F3312	0.061	0.017	0.136	0.015	0.013	-0.028	-0.034	-0.048	-0.177	-0.177	-0.218	-0.274	-0.062	-0.170	-0.084
イン		F3333	1.403	0.358	4.980	1.078	1.518	0.971	0.742	0.723	0.987	1.018	0.802	0.984	0.296	0.931	0.665
キンラ		F2231	0.096	-0.004	0.136	-0.017	0.071	0.116	0.108	0.155	0.285	0.358	0.378	0.660	0.179	0.361	0.129
亢 スキ		F2223	-0.029	-0.031	-0.104	-0.151	-0.066	-0.124	-0.136	-0.253	-0.609	-0.731	-0.492	-1.205	-0.197	-0.406	-0.229
換気立ち	VJL Fijkl	F2212	0.118	0.117	0.692	0.112	0.229	0.027	-0.241	-0.180	-1.149	-1.086	-1.231	-2.340	-0.423	-0.574	-0.290
) 11 ()	ラックテン	F2233	0.217	0.033	0.473	0.084	0.120	0.104	0.080	0.142	0.392	0.404	0.326	0.645	0.151	0.493	0.262
ックテン	4 階のク	F22222	1.582	0.213	3.022	0.999	1.573	1.004	0.821	1.528	3.015	2.926	1.746	4.402	1.001	3.649	1.322
のクラ、		F1131	0.332	0.039	0.529	0.041	0.246	0.253	0.133	0.234	0.012	0.278	0.488	0.462	0.260	1.277	0.427
の4階		F1123	0.025	0.000	0.115	-0.039	0.015	-0.054	-0.099	-0.124	-0.282	-0.357	-0.480	-0.778	-0.178	-0.682	-0.256
手級ごと		F1112	0.276	0.228	1.353	0.120	0.314	0.222	0.053	0.121	-0.934	-0.707	-1.409	-1.935	-0.599	-2.161	-0.762
1)岩盤穹	E1129 E1133	F1133	0.129	0.028	0.353	0.080	0.121	0.126	0.118	0.134	0.282	0.310	0.344	0.599	0.136	0.756	0.311
表 6.2.6 (4		E1100	F1122	0.558	0.201	1.213	0.210	0.478	0.596	0.674	0.744	1.325	1.238	1.514	2.423	0.715	2.657
		F1111	2.286	0.651	3.736	0.661	1.929	2.227	2.375	2.424	3.358	2.339	2.681	4.456	1.338	666'6	3.049
	区間長	(m)	8.6	5	36.4	5.2	35.9	8.9	29.4	20.6	13	12.3	8.9	15.8	5.2	23.2	31.2
	おく、第一	石油万規	B-CH-CM	СН	CH-CM	B-CH	B-CH-CM	CH-CM	B-CH-CM	CH-CM	B-CH	B-CH-CM	СН	CH-CM	B-CH-CM	СН	CH-CM
	深度(m)	(ш) ~	200.2	~ 250.2	-	250.2	~ 300.2	-	300.2	\sim 350.2	350.2	~ 400.2	-		400.2	~ 459.8	

6.2.2 水平坑道

(1) 水平坑道ごとのクラックテンソル

200m 予備ステージにおいて、主立坑側から換気立坑側に向かって、左側の側壁(左側壁)の 中間の高さに対して坑道軸方向に平行な方向にスキャンラインを設定したとき、スキャンライン と交差した割れ目を図 6.2.3 に示す。この図において、スキャンラインは一点鎖線、交差した割 れ目は実線で表わされている。



主立坑側

図 6.2.3 スキャンラインと交差した割れ目(200m 予備ステージ)

スキャンラインと交差した割れ目について、構造テンソルを算出すると以下のようになる。

$$N_{ij} = \begin{vmatrix} 4.609E - 1 & 1.547E - 1 & 1.556E - 2 \\ 4.057E - 1 & 1.033E - 2 \\ sym. & 1.334E - 1 \end{vmatrix}$$
(6.10)

図 6.2.4 割れ目のトレース長の分布(200m 予備ステージ)

$\langle t \rangle = 1.926$ (m)	(6.14)
$\langle t^2 \rangle = 4.448 (m^2)$	(6.15)

同様にして、アーチ左側、アーチ右側、右側壁のスキャンラインについても整理し、また 300m 予備ステージ、400m 予備ステージ、深度 300m 研究アクセス坑道についても割れ目の幾何学特

- 42 -

200m 予備ステージ (左側壁)

9.436E - 2 4.865E - 36.384E - 32.163E - 2sym.

上記の式(6.10)、式(6.11)の構造テンソルの算出では、壁面観察結果および最小自乗法より求め た割れ目のデータを用いた。

スキャンラインと交差した割れ目の数は99本であったことから、200m予備ステージの割れ目 の密度 Ngは、

$$N^{(q)} = 3.300 \ (\text{$/$m$})$$

となった。

割れ目の単位法線ベクトル nと、スキャンラインの単位法線ベクトル qとの内積の絶対値の平 均値 $\langle |n \cdot q| \rangle$ は、以下のようになった。

川直
$$\langle |\mathbf{n} \cdot \mathbf{q}| \rangle$$
 は、上

 $\langle |\boldsymbol{n} \cdot \boldsymbol{q}| \rangle = 0.7089$

交差した割れ目に対して、4.2節に記述したように、スキャンラインに接する接平面上に投影し たときの割れ目の座標から、割れ目のトレース長 tを算出した。それらを集計した結果、200m予 備ステージにおける割れ目のトレース長の頻度分布は図 6.2.4 のようになった。



3.445E - 1 9.894E - 2 1.743E - 2 1.022E - 1 3.120E - 36.711E - 32.851E - 1 2.163E - 2 4.767E - 2 8.232E - 4 -1.747E - 31.060E - 2 $N_{ijkl} =$ 9.894E - 2 - 1.747E - 33.120E - 34.865E - 31.743E - 2

(6.12)

(6.11)

(6.13)

性(割れ目の密度 N^{q} 、割れ目の単位法線ベクトル \mathbf{n} とスキャンラインの単位法線ベクトル \mathbf{q} との内積の絶対値の平均値 $\langle |\mathbf{n} \cdot \mathbf{q} | \rangle$ 、割れ目のトレース長の平均値 $\langle t \rangle$ 、トレース長の2乗の平均値 $\langle t^{2} \rangle$ 、割れ目のトレース長のヒストグラム)を整理した。整理した結果を表 6.2.7(1)~(4)に示す。

整理した割れ目の幾何学特性を基にクラックテンソルを算出した。式(3.15)、式(6.12)~式(6.15) より、200m 予備ステージの Fotは、以下のようになった。

 $F_0 = 12.66$

(6.16)

式(3.9)、式(3.10)、式(6.10)、式(6.11)、式(6.16)より、200m 予備ステージのクラックテンソル F_{ij} 、 F_{ijkl} は、以下のようになった。

	5.837 <i>E</i> 0	1.960 <i>E</i> 0	1.971E - 1				
$F_{ij} =$		5.138 <i>E</i> 0	1.308E - 1			(6.17)	
	sym.		1.690 <i>E</i> 0				
	[4.363 <i>E</i> 0	1.253 <i>E</i> 0	2.208E - 1	1.294 <i>E</i> 0	3.952 <i>E</i> – 2	8.499 <i>E</i> − 2]	
		3.611 <i>E</i> 0	2.739E - 1	6.037E - 1	1.043E - 2	-2.213E-2	
F			1.195 <i>E</i> 0	6.161E - 2	8.085E - 2	1.342E - 1	
$\Gamma_{ijkl} =$				1.253E0	-2.213E-2	3.952E - 2	
					2.739E - 1	6.161 <i>E</i> – 2	
	sym.					2.208 <i>E</i> −1	
						$(6 18)^{-}$	

同様の方法により、アーチ左側、アーチ右側、右側壁のスキャンラインについてもクラックテンソルを算出し、さらに 300m 予備ステージ、400m 予備ステージ、深度 300m 研究アクセス坑 道についても同様にクラックテンソルを算出した。算出結果を表 6.2.8 および表 6.2.9 に示す。









亢道)		F33	1. 690	1.573	1.649	1.311	2.315	3.682	3.909	2.345	1. 206	1. 281	1.245	1.446	2. 028	2.524	2.049	1.956
、 (水平共		F23	0. 131	-0. 011	0. 131	0.117	-0. 032	-0. 025	0. 187	-0. 080	-0. 665	-0.499	-0.474	-0.846	0.191	0.171	0.143	0.191
テンソル	テンソルF	F22	5.138	4.053	4.413	4.265	4.982	6.952	6.184	5.507	6.778	5.358	5.119	7.690	5.802	6.426	5.635	5.766
ラック	- クーラック-	F13	0.197	0.128	0.029	0.192	0.806	0.966	0.932	0.775	0.599	0.662	0.455	0.647	0.344	0. 251	0.352	0.323
2 階のク	2 階の	F12	1.960	1.883	1.784	1.405	1.743	2.920	2.017	1.476	0.001	-0. 002	0.012	-0. 293	0.226	0.139	0.200	0.142
レースと		F11	5. 837	4.300	4.031	3. 881	7.769	11.104	9.105	7.112	7. 562	6. 666	5.943	8. 287	5. 107	5. 337	4.468	4.699
ソルのト	C L	2	12.665	9.926	10.093	9.457	15.065	21.738	19.198	14.964	15.546	13.305	12.307	17.423	12.937	14.287	12.152	12.422
ラックテン	- J	<u>ہ</u> . ۲	左側壁	アーチ左側	アーチ右側	左側壁	左側壁	アーチ左側	アーチ右側	左側壁	左側壁	アーチ左側	アーチ右側	左側壁	左側壁	アーチ左側	アーチ右側	左側壁
表 6.2.8 ク	米구	小通	200m 予備	ステージ			300m 予備	ステージ			400m 予備	ステージ			300m 研究	アクセス	坑道	

S.L.:スキャンライン

表 6.2.9 クラックテンソルのトレースと 4 階のクラックテンソル (水平坑道)

兆	-							4 階のク	ラックテン	ンル Fijkl						
が見	i o	F1111	F1122	F1133	F1112	F1123	F1131	F2222	F2233	F2212	F2223	F2231	F3333	F3312	F3323	F3331
200m 予備	左側壁	4.363	1.253	0.221	1.294	0.040	0.085	3.611	0.274	0.604	0.010	-0.022	1.195	0.062	0.081	0.134
ステージ	アーチ左側	3.096	0.979	0.225	1.203	-0.013	0.056	2.810	0.264	0.597	-0.046	-0.041	1.085	0.083	0.048	0.113
	アーチ右側	2.829	0.974	0.228	1.119	0.029	0.046	3.123	0.317	0.591	0.038	-0.041	1.104	0.074	0.063	0.024
	左側壁	2.821	0.895	0.164	0.968	0.038	0.099	3.149	0.222	0.392	0.018	-0.007	0.924	0.046	0.061	0.100
300m 予備	左側壁	5.730	1.724	0.314	1.414	0.020	0.544	2.988	0.269	0.355	-0.160	0.230	1.731	-0.026	0.108	0.033
ステージ	アーチ左側	8.076	2.355	0.673	2.371	-0.038	0.607	4.098	0.499	0.537	-0.084	0.260	2.510	0.012	0.097	0.100
	アーチ右側	6.558	1.959	0.588	1.745	0.099	0.587	3.756	0.469	0.259	-0.102	0.329	2.852	0.013	0.190	0.017
	左側壁	5.130	1.669	0.313	1.257	0.026	0.509	3.545	0.293	0.240	-0.204	0.240	1.740	-0.021	0.098	0.025
400m 予備	左側壁	5.394	1.794	0.374	0.045	-0.203	0.402	4.586	0.397	-0.029	-0.357	0.141	0.435	-0.015	-0.104	0.055
ステージ	アーチ左側	4.801	1.469	0.396	0.093	-0.142	0.409	3.494	0.395	-0.102	-0.277	0.166	0.491	0.007	-0.080	0.087
	アーチ右側	4.200	1.370	0.373	0.056	-0.133	0.334	3.361	0.387	-0.066	-0.279	0.116	0.486	0.022	-0.062	0.004
	左側壁	5.850	1.996	0.442	-0.102	-0.248	0.459	5.204	0.491	-0.205	-0.468	0.139	0.513	0.014	-0.129	0.048
300m 研究	左側壁	3.452	1.276	0.378	0.235	0.019	0.110	3.977	0.549	-0.051	0.098	0.173	1.101	0.041	0.074	0.060
アクセス	アーチ左側	3.513	1.344	0.480	0.253	0.029	0.060	4.426	0.656	-0.149	0.051	0.179	1.388	0.035	0.091	0.012
抗道	アーチ右側	2.903	1.185	0.379	0.225	0.004	0.099	3.899	0.551	-0.066	0.081	0.172	1.119	0.041	0.058	0.081
	左側壁	3.154	1.187	0.359	0.174	0.012	0.098	4.049	0.530	-0.074	0.107	0.167	1.067	0.043	0.072	0.058

(2) 岩盤等級ごとのクラックテンソル

割れ目の走向・傾斜やスキャンラインと交差した割れ目を岩盤等級ごとに集計し、それぞれの 岩盤等級ごとにクラックテンソルを算出した。岩盤等級ごとの割れ目の幾何学特性を表 6.2.10 (1)、 (2)、クラックテンソルの算出結果を表 6.2.11(1)~(4)および表 6.2.12(1)~(4)に示す。なお、 B-CH-CM 級とは、一掘進長ごとに行っている壁面観察において、B 級、CH 級、CM 級の3つの 岩盤等級に判断された場所であることを示している。

		豆田			スキャン	ノライン	
水平坑道	岩盤等級	長	算出項目	左側 壁	アーチ左側	アーチ右側	右側 壁
200m	B-CH-CM	4.90m	N ^(q)	1.633	2.245	5.714	2.245
予備ステージ			< <i>n</i> · <i>q</i> >	0.474	0.873	0.834	0.908
			<t></t>	1.499	1.991	1.727	2.476
			$\langle t^2 \rangle$	2.779	4.247	3.645	6.667
	СН	18.45m	$N^{(q)}$	3.306	2.710	2.602	2.710
			< <i>n</i> · <i>q</i> >	0.721	0.776	0.702	0.688
			<t></t>	2.001	1.783	1.518	1.779
			$\langle t^2 \rangle$	4.800	4.173	3.145	3.889
	CH-CM	5.25m	N ^(q)	4.381	3.810	2.095	1.714
			< <i>n</i> · <i>q</i> >	0.753	0.801	0.803	0.719
			<t></t>	1.963	1.940	1.672	1.907
			<t²></t²>	4.384	4.590	3.441	4.291
	CH-CL	1.40m	$N^{(q)}$	5.000	2.143	2.857	3.571
			< <i>n</i> · <i>q</i> >	0.609	0.589	0.989	0.688
			<t></t>	1.641	2.697	2.592	2.571
			<t²></t²>	3.500	9.088	8.552	7.392
300m	СН	3.90m	$N^{(q)}$	2.308	3.846	1.795	2.564
予備ステージ			< <i>n</i> · <i>q</i> >	0.829	0.858	0.930	0.926
			<t></t>	1.759	1.606	2.232	2.334
			$\langle t^2 \rangle$	3.828	3.845	6.107	5.993
	CH-CM	11.05m	$N^{(q)}$	4.887	5.249	3.258	3.348
			< <i>n</i> · <i>q</i> >	0.758	0.676	0.740	0.800
			<t></t>	1.817	1.651	2.048	1.857
			<t²></t²>	3.975	3.843	6.043	4.309
	СМ	7.20m	$N^{(q)}$	3.750	5.139	3.889	5.278
			< <i>n</i> · <i>q</i> >	0.722	0.720	0.572	0.688
			<t></t>	2.020	2.007	1.804	1.661
			<t²></t²>	4.746	6.076	5.330	3.476
	CM-CL	7.75m	$N^{(q)}$	4.516	5.161	5.290	5.677
			< <i>n</i> · <i>q</i> >	0.836	0.848	0.737	0.757
			<t></t>	2.246	2.248	2.324	1.868
			$\langle t^2 \rangle$	5.965	6.668	6.837	4.231
	CL-D	2.00m	N ^(q)	3.000	5.500	5.500	3.000
			< <i>n</i> · <i>q</i> >	0.929	0.906	0.773	0.946
			<t></t>	3.362	2.848	3.399	3.191
			$\langle t^2 \rangle$	11.314	9.616	12.108	10.334

表 6.2.10 (1) 岩盤等級ごとの割れ目の幾何学特性(水平坑道)

		1 7 88			スキャン	シライン	
水平坑道	岩盤等級	長	算出項目	左側 壁	アーチ左側	アーチ右側	右側 壁
400m	СН	13.65m	N ^(q)	1.978	2.051	1.465	2.564
予備ステージ			< <i>n</i> · <i>q</i> >	0.745	0.758	0.709	0.677
			<t></t>	2.175	2.184	2.390	2.171
			$\langle t^2 \rangle$	5.785	6.162	7.114	5.637
	CH-CM	4.20m	N ^(q)	2.143	2.143	2.381	3.095
			< <i>n</i> · <i>a</i> >	0.751	0.590	0.771	0.627
			<t></t>	1.877	1.840	1.664	1.704
			<t²></t²>	4.089	4.430	4.501	3.867
	СМ	1 55m	N ^(q)	6 452	3 2 2 6	2 581	3 2 2 6
	0111	1.00111	$\langle n \cdot a \rangle$	0.806	0.220	0.868	0.840
			<pre></pre>	1 521	1 057	1 933	1 523
			<+ ² >	3.010	1.800	5 285	2 995
		7 5 5		6,600	2,170	4 502	7.550
		7.55m		0.023	3.179	4.503	7.550
			< n · q >	0.800	0.820	0.890	0.733
			\L/ /+2\	2.017	2.800	2.031	2.420
			<t-></t->	5.022	9.829	6.002	3.420
	CM-CL-D	2.20m	N ^(q)	7.273	5.455	6.364	10.000
			< <i>n</i> · <i>q</i> >	0.789	0.744	0.741	0.797
			<t></t>	2.013	1.967	2.630	1.954
			<t²></t²>	4.716	5.301	8.259	4.379
	CL-D	2.75m	N ^(q)	8.000	5.455	2.909	5.818
			< <i>n</i> · <i>q</i> >	0.758	0.847	0.706	0.713
			<t></t>	2.475	2.532	2.180	2.243
			<t²></t²>	6.589	7.888	6.194	5.783
深度 300m	В	10.80m	N ^(q)	3.148	1.296	1.019	2.037
研究アクセス			< <i>n</i> · <i>q</i> >	0.712	0.572	0.692	0.836
坑道			<t></t>	1.743	2.100	2.892	2.007
			$\langle t^2 \rangle$	3.892	6.358	12.860	4.786
	B-CH	49.50m	N ^(q)	2.667	2.424	1.980	2.828
			< <i>n</i> · <i>a</i> >	0.701	0.721	0.745	0.689
			<t></t>	2.067	2.458	2.482	1.788
			$\langle t^2 \rangle$	5.368	8.522	8.661	4.088
	СН	1 10m	N ^(q)	4 545	3 636	0.909	3 636
	011	1.1011	$\langle n \cdot a \rangle$	0.906	0.613	0.348	0.000
			<pre></pre>	2 178	3 2 3 4	6 980	1 079
			<+ ² >	4 832	15 091	48 714	1.336
		27.65-	N(q)	2 201	2 146	2 957	2 402
		27.05m		0.600	3.140	2.007	0.701
			$\langle \boldsymbol{n} \cdot \boldsymbol{q} \rangle$	0.000	0.083	0.705	0.701
			\L/ /+2\	5 902	2.410	2.017	2.001
			<t-></t->	5.802	7.527	9.057	0.082
	CH-CM-CL	5.90m	N ^(q)	3.220	3.051	2.885	5.000
			< <i>n</i> · <i>q</i> >	0.685	0.667	0.780	0.704
			<t></t>	2.290	1.800	2.444	2.123
			<t-></t->	6.162	3.950	6.666	5.038
	СМ	1.20m	N ^(q)	5.000	3.333	4.167	3.333
			< <i>n</i> · <i>q</i> >	0.735	0.622	0.630	0.735
			<t></t>	2.248	2.141	2.641	1.664
			<t²></t²>	5.356	5.953	7.886	3.885

表 6.2.10 (2) 岩盤等級ごとの割れ目の幾何学特性(水平坑道)

· · · · · · · · · · · · · · · · · · · ·	电船八辆	区間長	FO		2階0) クラック	テンソル	Fij	
小十九道	石盈刀短	(m)	FV	F11	F12	F13	F22	F23	F33
200m 予備	B-CH-CM	4.90m	7.523	2.563	1.464	0.326	3.056	0.041	1.904
ステージ	СН	18.45m	12.954	6.284	1.934	0.238	5.189	0.142	1.481
	CH-CM	5.25m	15.315	6.256	2.375	-0.041	7.014	0.225	2.044
	CH-CL	1.40m	20.620	13.784	2.673	-0.961	4.138	-0.280	2.699
300m 予備	СН	3.90m	7.139	3.224	0.633	0.236	2.279	-0.008	1.636
ステージ	CH-CM	11.05m	16.610	8.777	1.338	1.276	4.825	-0.168	3.008
	СМ	7.20m	14.376	8.006	1.457	0.794	4.639	0.089	1.731
	CM-CL	7.75m	16.894	8.348	3.115	0.350	6.842	-0.082	1.705
	CL-D	2.00m	12.806	6.706	3.100	0.927	4.944	0.624	1.156
400m 予備	СН	13.65m	8.323	4.486	-0.829	0.449	3.244	-0.536	0.593
ステージ	CH-CM	4.20m	7.327	3.553	0.041	0.231	3.030	-0.652	0.744
	СМ	1.55m	18.668	9.030	1.181	-0.773	8.335	-1.340	1.303
	CM-CL	7.55m	22.716	9.541	1.956	0.323	11.228	-1.246	1.947
	CM-CL-D	2.20m	25.438	12.978	1.441	2.342	10.430	1.514	2.031
	CL-D	2.75m	33.114	14.597	2.375	1.093	16.525	0.983	1.992
深度 300m	В	10.80m	11.641	4.376	-0.049	0.205	5.437	0.293	1.828
研究アクセス	B-CH	49.50m	11.632	3.876	0.006	0.526	5.797	0.511	1.959
坑道	СН	1.10m	13.120	4.221	0.214	-0.532	5.900	-0.732	2.999
	CH-CM	27.65m	15.074	7.502	0.500	0.127	5.456	-0.503	2.117
	CH-CM-CL	5.90m	14.894	7.088	1.762	0.087	6.362	-0.219	1.444
	СМ	1.20m	19.100	11.206	1.762	-1.820	3.841	0.247	4.053

表 6.2.11 (1)岩盤等級ごとの2階のクラックテンソル(水平坑道 スキャンライン:左側壁)

表 6.2.11 (2)岩盤等級ごとの2階のクラックテンソル(水平坑道 スキャンライン:アーチ左側)

水亚结道	当般 公叛	区間長	FO		2階0) クラック	テンソル	Fij	
小十兆坦	石盆刀短	(m)	FU	F11	F12	F13	F22	F23	F33
200m 予備	B-CH-CM	4.90m	6.462	2.481	1.734	0.210	2.621	-0.004	1.359
ステージ	СН	18.45m	9.630	4.481	1.695	0.212	3.802	0.014	1.347
	CH-CM	5.25m	13.263	4.632	2.508	-0.394	6.291	-0.094	2.340
	CH-CL	1.40m	14.438	5.889	2.583	-0.363	4.325	-0.427	4.224
300m 予備	CH	3.90m	12.648	5.597	1.718	0.448	4.252	0.164	2.799
ステージ	CH-CM	11.05m	21.287	10.860	1.709	1.300	6.269	-0.134	4.158
	CM	7.20m	25.459	13.201	3.126	1.204	8.230	-0.006	4.029
	CM-CL	7.75m	21.274	11.529	4.453	0.527	7.260	-0.142	2.485
	CL-D	2.00m	24.163	13.199	6.655	0.363	8.737	0.465	2.227
400m 予備	CH	13.65m	8.992	4.878	-0.805	0.570	3.449	-0.513	0.664
ステージ	CH-CM	4.20m	10.300	4.951	-0.039	0.564	4.063	-0.677	1.286
	CM	1.55m	7.018	3.038	0.683	-0.263	3.455	-0.527	0.525
	CM-CL	7.55m	16.030	6.868	0.820	0.309	7.416	-0.876	1.745
	CM-CL-D	2.20m	23.286	11.963	1.760	2.129	7.909	1.372	3.414
	CL-D	2.75m	23.640	13.234	2.686	1.495	8.532	0.844	1.874
深度 300m	В	10.80m	8.090	2.899	0.044	0.028	3.672	0.148	1.519
研究アクセス	B-CH	49.50m	13.740	4.363	-0.076	0.512	6.883	0.584	2.494
坑道	CH	1.10m	32.596	12.161	-0.173	-1.233	12.319	-1.730	8.116
	CH-CM	27.65m	16.902	7.839	0.338	-0.060	6.311	-0.521	2.752
	CH-CM-CL	5.90m	11.826	5.099	1.158	0.120	4.920	-0.593	1.807
	CM	1.20m	17.550	9.864	1.094	-2.213	3.963	0.329	3.723

北 五柱,英	电船八粘	区間長	FO		2階0	D クラック	テンソル	Fij	
小平坑垣	石盛万短	(m)	FU	F11	F12	F13	F22	F23	F33
200m 予備	B-CH-CM	4.90m	17.046	5.250	3.632	0.291	8.667	0.835	3.130
ステージ	СН	18.45m	9.044	3.901	1.446	0.024	3.720	0.045	1.423
	CH-CM	5.25m	6.323	2.099	1.166	-0.058	3.128	0.061	1.095
	CH-CL	1.40m	11.224	5.837	3.981	-0.056	3.840	0.259	1.548
300m 予備	СН	3.90m	6.220	2.860	0.572	0.194	1.955	-0.003	1.405
ステージ	CH-CM	11.05m	15.304	7.147	1.259	1.447	4.570	0.152	3.587
	СМ	7.20m	23.656	10.879	2.065	0.568	7.474	0.382	5.303
	CM-CL	7.75m	24.878	12.421	3.783	0.348	8.741	0.123	3.715
	CL-D	2.00m	29.865	15.247	4.831	0.913	12.154	0.985	2.464
400m 予備	СН	13.65m	7.251	3.753	-0.745	0.351	2.885	-0.432	0.614
ステージ	CH-CM	4.20m	9.840	4.931	0.244	0.183	3.849	-0.918	1.060
	СМ	1.55m	9.579	4.581	0.501	-0.071	4.172	-0.525	0.826
	CM-CL	7.55m	17.506	7.465	1.787	0.215	8.210	-0.820	1.832
	CM-CL-D	2.20m	31.750	14.848	2.285	3.005	11.749	2.713	5.154
	CL-D	2.75m	13.803	6.927	0.296	0.525	5.629	0.352	1.247
深度 300m	В	10.80m	7.710	2.782	-0.040	0.136	3.600	0.177	1.328
研究アクセス	B-CH	49.50m	10.929	3.441	-0.016	0.567	5.542	0.425	1.946
坑道	СН	1.10m	21.477	8.057	0.117	-1.007	7.650	-0.968	5.770
	CH-CM	27.65m	15.216	6.745	0.534	0.074	6.147	-0.572	2.323
	CH-CM-CL	5.90m	11.880	5.280	1.384	-0.012	5.181	0.038	1.420
	СМ	1.20m	23.257	13.536	1.595	-1.867	4.636	0.236	5.085

表 6.2.11 (3)岩盤等級ごとの2階のクラックテンソル(水平坑道 スキャンライン:アーチ右側)

表 6.2.11 (4) 岩盤等級ごとの 2 階のクラックテンソル (水平坑道 スキャンライン:右側壁)

* 3 4 3	坦船八 桁	区間長	FO		2階0)クラック	テンソル	Fij	
小千坑垣	石盈万短	(m)	ΓU	F11	F12	F13	F22	F23	F33
200m 予備	B-CH-CM	4.90m	7.841	2.520	1.793	0.326	3.455	0.068	1.866
ステージ	CH	18.45m	10.144	4.515	1.409	0.249	4.429	0.157	1.200
	CH-CM	5.25m	6.315	1.925	0.839	-0.031	3.418	0.045	0.972
	CH-CL	1.40m	17.581	8.902	2.331	-0.642	6.378	-0.343	2.300
300m 予備	СН	3.90m	8.373	3.825	0.938	0.294	2.775	0.018	1.772
ステージ	CH-CM	11.05m	11.444	5.569	0.800	0.956	3.635	-0.111	2.240
	CM	7.20m	18.913	9.252	1.364	0.529	7.252	-0.109	2.409
	CM-CL	7.75m	20.013	9.302	2.651	0.671	8.737	-0.146	1.974
	CL-D	2.00m	12.095	5.229	2.943	0.648	5.798	0.219	1.068
400m 予備	CH	13.65m	11.579	5.991	-1.335	0.678	4.765	-0.739	0.824
ステージ	CH-CM	4.20m	13.193	6.449	-0.156	0.294	5.320	-1.207	1.423
	CM	1.55m	8.895	3.661	0.153	-0.307	4.563	-0.731	0.672
	CM-CL	7.55m	24.449	9.818	0.872	0.141	12.314	-1.669	2.317
	CM-CL-D	2.20m	33.124	16.961	3.282	2.941	13.412	2.322	2.751
	CL-D	2.75m	24.788	12.375	2.065	0.666	10.646	-0.039	1.768
深度 300m	В	10.80m	6.844	2.394	0.065	0.156	3.267	0.210	1.183
研究アクセス	B-CH	49.50m	11.063	3.726	-0.055	0.510	5.462	0.456	1.875
坑道	СН	1.10m	13.456	5.529	-0.034	-0.598	4.525	-0.570	3.403
	CH-CM	27.65m	15.106	6.548	0.257	0.054	6.496	-0.414	2.063
	CH-CM-CL	5.90m	19.841	9.430	2.383	0.164	8.544	-0.259	1.867
	CM	1.20m	12.479	6.890	0.673	-1.210	2.936	0.235	2.652

- ヤンライン:左側壁)	ijkl	12 F2223 F2231 F3333 F3312 F3323 F3331	501 -0.154 0.001 1.789 0.030 0.151 0.228	487 0.026 -0.006 0.984 0.065 0.064 0.132	002 0.151 -0.119 1.099 0.082 0.086 0.048	118 -0.022 -0.052 2.541 0.045 -0.157 -0.175	275 -0.060 0.109 1.346 -0.023 0.056 -0.029	D72 -0.267 0.406 2.428 -0.097 0.133 0.147	351 0.070 0.100 1.049 0.016 -0.013 -0.084	240 -0.308 0.096 1.061 0.053 0.169 0.026	495 0.007 0.267 0.779 0.036 0.278 0.034	375 -0.266 0.134 0.237 -0.039 -0.103 0.026	175 -0.427 0.074 0.256 0.029 -0.078 0.062	393 -0.657 -0.055 0.550 -0.038 -0.443 0.017	387 -0.901 0.002 0.848 0.017 -0.078 -0.007	424 1.088 0.415 0.343 -0.024 0.297 0.253	929 0.991 0.101 0.300 0.128 0.012 0.187	308 0.216 0.132 1.015 0.013 -0.052 0.046	199 0.284 0.287 1.021 0.048 0.155 0.083	D30 -0.359 -0.076 1.879 -0.151 -0.225 -0.130	344 -0.298 -0.021 1.244 0.065 -0.062 0.047	302 -0.269 -0.064 0.656 0.000 0.111 0.106	450 -0.232 -0.076 2.368 -0.112 0.308 -0.996
水平坑道	皆の <i>クラック</i> -	222 F22;	2.329 0.0	3.664 0.2	4.769 0.6	1.696 0.0	1.267 0.1	2.540 0.2	3.167 0.2	4.497 0.3	2.840 0.2	1.965 0.1	2.118 0.2	3.216 0.5	7.869 0.6	7.056 0.7	2.850 0.5	3.819 0.5	3.928 0.6	4.226 0.6	3.806 0.4	4.433 0.3	1.718 0.6
テンソル(4 B	F1131 F22	0.097	0.113	0.031 4	-0.735	0.156	0.723	0.778	0.228	0.626	0.289	0.095	-0.734 (0.329	1.674	0.805 12	0.028	0.157	-0.326	0.101	0.045	-0.748
ラック -		F1123	0.044	0.052	-0.012	-0.101	-0.004	-0.034	0.031	0.058	0.339	-0.167	-0.147	-0.240	-0.266	0.128	-0.020	0.129	0.072	-0.148	-0.143	-0.060	0.171
4 階のク		F1112	0.834	1.382	1.291	1.510	0.581	1.364	1.091	2.022	2.568	-0.415	0.188	0.826	0.853	1.041	1.317	0.246	0.157	0.335	0.091	1.459	1.424
によの		F1133	0.071	0.238	0.313	0.124	0.174	0.295	0.398	0.335	0.131	0.165	0.244	0.229	0.441	0.972	1.155	0.310	0.334	0.470	0.460	0.392	0.997
盤等級		F1122	0.684	1.267	1.613	2.409	0.897	2.000	1.189	2.036	1.857	1.087	0.668	1.596	2.701	2.658	3.137	1.115	1.264	1.024	1.238	1.533	1.436
2 (1)岩		F111	1.807	4.779	4.331	11.251	2.152	6.482	6.419	5.976	4.717	3.234	2.640	7.205	6.400	9.348	10.305	2.950	2.278	2.726	5.805	5.163	8.773
表 6.2.1	区間長	(m)	4.90m	18.45m	5.25m	1.40m	3.90m	11.05m	7.20m	7.75m	2.00m	13.65m	4.20m	1.55m	7.55m	2.20m	2.75m	10.80m	49.50m	1.10m	27.65m	5.90m	1.20m
	おくと書手	石笛万浪	B-CH-CM	СН	CH-CM	CH-CL	СН	CH-CM	CM	CM-CL	CL-D	СН	CH-CM	CM	CM-CL	CM-CL-D	CL-D	В	B-CH	СН	CH-CM	CH-CM-CL	CM
	光北方	小十兆退	200m 予備	ステージ			300m 予備	ステージ				400m 予備	ステージ					深度 300m	研究アクセス	坑道			

<u></u>
쀎
5
峺
1
14
1
1
\sim
1
ID
1.
.)
<u> </u>
F
++
1
ĸ
•
3ml
通
12
÷Ļ
1÷
1
¥
5
~
``
=
~
~
1
1
ᆂ
-Tr
5
2
ID
5
À
6
чñ
造
+
A
0
0
1
~
ĵΙ
5
100
詽
20-
知
壬
\sum
\sim
2
<u>_</u>
~ :
~ ~

ンライン:アーチ左側)		2 F2223 F2231 F3333 F3312 F3323 F3331	0 -0.130 -0.013 1.255 0.032 0.102 0.157	4 -0.021 -0.013 0.889 0.072 0.022 0.124	6 -0.022 -0.225 1.250 0.200 0.110 -0.032	7 -0.281 0.011 4.034 0.040 -0.056 0.099	0 -0.012 0.179 2.166 0.023 0.188 0.046	9 -0.145 0.414 3.092 -0.126 0.080 0.177	5 0.215 0.092 2.236 0.108 -0.093 0.058	2 -0.283 0.118 1.416 0.118 0.119 0.075	1 -0.006 0.271 1.258 0.230 0.244 -0.197	7 -0.262 0.163 0.260 -0.029 -0.099 0.042	7 -0.421 0.114 0.504 0.017 -0.110 0.200	4 -0.271 -0.014 0.196 0.008 -0.170 -0.001	9 -0.616 0.042 0.820 -0.013 -0.052 0.009	7 0.976 0.567 1.085 0.258 0.284 0.355	0 0.580 0.255 0.288 0.159 0.046 0.188	0 0.116 0.106 0.897 0.009 -0.042 -0.050	1 0.286 0.315 1.320 0.046 0.203 0.063	3 -0.551 -0.153 4.929 -0.507 -0.847 -0.246	9 -0.395 -0.056 1.600 0.059 -0.007 -0.032	8 -0.407 0.039 0.902 -0.025 -0.111 0.066	9 0.082 -0.127 2.049 -0.057 0.259 -0.925
クラックテンンル(水平坑道 7	4 階のクラックテン	112 F1123 F1131 F22222 F2233	.992 0.024 0.066 1.850 0.043	.180 0.013 0.100 2.671 0.227	262 -0.182 -0.137 4.132 0.714	.695 -0.090 -0.473 3.065 0.064	.196 -0.013 0.223 2.326 0.266	.903 -0.068 0.709 3.354 0.482	.463 -0.128 1.054 5.614 0.740	.092 0.022 0.334 4.525 0.423	.884 0.227 0.289 4.821 0.442	.389 -0.151 0.366 2.061 0.213	.281 -0.145 0.250 2.854 0.371	.360 -0.086 -0.248 2.572 0.239	.444 -0.207 0.257 5.173 0.547	.005 0.111 1.208 4.892 0.993	.837 0.218 1.052 5.556 0.460	.215 0.073 -0.028 2.574 0.356	.189 0.096 0.134 4.669 0.747	.187 -0.333 -0.834 7.519 1.980	.060 -0.119 0.029 4.556 0.508	.085 -0.074 0.015 3.296 0.549	.121 -0.011 -1.161 2.326 0.668
2)岩盤等級ごとの4階の		F1111 F1122 F1133 F1	1.691 0.728 0.061 0	3.347 0.904 0.230	2.810 1.445 0.377	4.568 1.196 0.125	3.573 1.659 0.366	7.842 2.434 0.584	10.273 1.875 1.052 2	8.570 2.313 0.646 3	9.198 3.474 0.527 4	3.512 1.176 0.191 -0	3.702 0.838 0.411 0	2.304 0.644 0.090 (4.795 1.696 0.378 (8.603 2.024 1.336	9.591 2.516 1.126	1.891 0.742 0.266 (2.470 1.467 0.427 (8.135 2.820 1.206	5.948 1.246 0.644 (3.668 1.075 0.356	7.888 0.970 1.007
表 6.2.12 (45.2 A A A A A A A A A A A A A A A A A A A		n 予備 B-CH-CM 4.90m	ージ CH 18.45m	CH-CM 5.25m	CH-CL 1.40m	n 予備 CH 3.90m	一ジ CH-CM 11.05m	CM 7.20m	CM-CL 7.75m	CL-D 2.00m	n 予備 CH 13.65m	一ジ CH-CM 4.20m	CM 1.55m	CM-CL 7.55m	CM-CL-D 2.20m	CL–D 2.75m	300m B 10.80m	アクセス B-CH 49.50m	CH 1.10m	CH-CM 27.65m	CH-CM-CL 5.90m	CM 1.20m

*
子在
۱ ۴
• •
ン
\succ
ιŅ
N
4
#
ĸ
坑道
盱
Ť
`
7
5
1
ъ
レー
ックト
ラックテ
クラックテ
のクラックテ
階のクラックテ
4 階のクラックテ
の4階のクラックテ
との4階のクラックテ
たごとの4階のクラックテ
いの4階のクラックナ
8等級ごとの4階のクラックテ
当盤等級ごとの4階のクラックテ
5) 岩盤等級ごとの4階のクラックテ
い(2) 岩盤等級ごとの4階のクラックテ
12 (2)岩盤等級ごとの 4 階のクラックテ

	表	6.2.12 ((3)岩盤	等級ごと	トの4降	雪のクラ	ックテ	イン	(水平坑	道ス	キャンラ	ライン:	アーチ:	右側)			
や に た	日晩く若	区間長							4 階のクラ	ラックテンン	JJL Fijkl						
小十礼退	有能力規	(m)	F1111	F1122	F1133	F1112	F1123	F1131	F22222	F2233	F2212	F2223	F2231	F3333	F3312	F3323	F3331
200m 予備	B-CH-CM	4.90m	3.252	1.841	0.157	1.997	0.114	0.092	6.519	0.307	1.625	0.379	-0.081	2.666	0.010	0.342	0.280
ステージ	СН	18.45m	2.870	0.801	0.230	0.999	0.028	0.061	2.643	0.276	0.377	-0.012	-0.035	0.917	0.070	0.029	-0.003
	CH-CM	5.25m	1.245	0.689	0.165	0.597	-0.020	-0.019	2.104	0.335	0.489	0.033	-0.048	0.595	0.080	0.049	0.010
	CH-CL	1.40m	3.943	1.793	0.101	2.070	0.125	-0.157	1.985	0.062	1.846	0.211	0.187	1.385	0.064	-0.076	-0.087
300m 予備	СН	3.90m	1.932	0.771	0.157	0.521	-0.003	0.123	1.084	0.100	0.067	-0.048	0.097	1.149	-0.016	0.048	-0.026
ステージ	CH-CM	11.05m	4.962	1.775	0.410	1.256	0.069	0.725	2.399	0.396	0.015	-0.156	0.515	2.781	-0.013	0.239	0.208
	CM	7.20m	8.330	1.520	1.029	1.470	0.067	0.758	5.276	0.678	0.539	0.194	0.072	3.595	0.056	0.121	-0.262
	CM-CL	7.75m	9.237	2.410	0.775	2.960	0.235	0.300	5.725	0.607	0.754	-0.244	0.168	2.333	0.069	0.132	-0.120
	CL-D	2.00m	10.950	3.859	0.438	5.030	0.465	0.588	7.766	0.528	-0.295	0.003	0.320	1.497	0.096	0.517	0.004
400m 予備	СН	13.65m	2.677	0.922	0.153	-0.392	-0.131	0.242	1.786	0.177	-0.311	-0.221	0.114	0.284	-0.042	-0.080	-0.005
ステージ	CH-CM	4.20m	3.703	0.843	0.384	0.365	-0.225	0.071	2.689	0.316	-0.171	-0.571	0.070	0.359	0.049	-0.121	0.041
	CM	1.55m	3.570	0.823	0.188	0.436	-0.020	-0.173	3.039	0.311	0.043	-0.289	0.046	0.327	0.021	-0.215	0.055
	CM-CL	7.55m	4.917	2.067	0.481	0.835	-0.147	0.260	5.548	0.595	0.829	-0.570	0.042	0.757	0.122	-0.103	-0.086
	CM-CL-D	2.20m	10.407	2.682	1.759	1.249	0.448	2.156	7.316	1.751	0.567	1.414	0.610	1.644	0.469	0.851	0.239
	CL-D	2.75m	5.019	1.257	0.651	0.556	-0.018	0.505	4.014	0.358	-0.255	0.283	-0.074	0.238	-0.006	0.087	0.094
深度 300m	В	10.80m	1.847	0.719	0.216	0.197	0.078	0.014	2.516	0.365	-0.230	0.117	0.099	0.747	-0.007	-0.019	0.023
研究アクセス	B-CH	49.50m	1.933	1.173	0.335	0.145	0.058	0.170	3.786	0.582	-0.215	0.240	0.286	1.028	0.053	0.128	0.111
坑道	СН	1.10m	5.294	1.850	0.913	0.633	-0.275	-0.632	4.595	1.205	-0.220	-0.265	-0.123	3.652	-0.297	-0.428	-0.253
	CH-CM	27.65m	4.991	1.261	0.493	0.123	-0.165	0.016	4.421	0.466	0.349	-0.313	-0.018	1.364	0.062	-0.095	0.077
	CH-CM-CL	5.90m	3.808	1.147	0.325	1.124	-0.048	0.031	3.557	0.477	0.251	-0.052	-0.103	0.617	0.008	0.137	0.060
	CM	1.20m	10.625	1.558	1.352	1.174	0.158	-0.580	2.244	0.835	0.559	-0.298	-0.120	2.898	-0.138	0.376	-1.167

包倉
Ť
ý
5
У
41
π
這道
1
Ŗ
2
2
シ
ゴフ
3
ΙŅ
もく
階
4
6
رد- ر آ
級
韂
地
(3)
2
<u>.</u>

2.12 (4)岩盤等級ごとの 4 階のクラックテンソル(水平坑道 スキャンライン:右側壁)	長	F1111 F1122 F1133 F1112 F1123 F1131 F22222 F2233 F2213 F2213 F2233 F2233 F2231 F2231 F3333 F3312 F3323 F3331 F3331	0.11/145 0.705 0.707 0.955 0.945 0.995 2.706 0.044 0.808 -0.125 0.008 1.752 0.030 0.148 0.223	5m 3.377 0.947 0.190 1.052 0.059 0.138 3.260 0.222 0.305 0.048 0.010 0.788 0.052 0.050 0.101	im 1.173 0.626 0.126 0.489 -0.023 0.014 2.484 0.308 0.317 0.029 -0.063 0.537 0.032 0.039 0.018	0m 6.687 2.113 0.103 2.112 -0.102 -0.496 4.235 0.031 0.181 -0.107 0.002 2.167 0.038 -0.134 -0.149	0. 2.557 1.075 0.193 0.757 0.007 0.199 1.574 0.126 0.203 -0.050 0.126 1.453 -0.022 0.061 -0.031	5m 3.940 1.412 0.217 0.928 -0.008 0.524 2.010 0.213 -0.054 -0.203 0.322 1.810 -0.074 0.099 0.110	0.158 1.529 0.525 0.972 -0.055 0.631 5.257 0.466 0.321 0.020 0.063 1.418 0.070 -0.073 -0.165	5m 6.846 2.086 0.370 1.962 0.141 0.432 6.272 0.379 0.651 -0.478 0.201 1.225 0.038 0.190 0.038	0.01 3.408 1.702 0.119 2.040 0.236 0.492 3.832 0.264 0.856 -0.250 0.131 0.686 0.048 0.233 0.025	im 4.261 1.507 0.223 -0.713 -0.224 0.438 2.989 0.270 -0.566 -0.372 0.200 0.331 -0.056 -0.143 0.040	0.060 0.117 0.1208 0.480 0.218 -0.288 0.117 3.663 0.449 -0.460 -0.749 0.117 0.494 0.086 -0.170 0.060	5m 2.980 0.576 0.105 0.150 -0.102 -0.288 3.701 0.286 0.021 -0.399 -0.028 0.280 -0.018 -0.229 0.009	5m 6.485 2.796 0.538 0.308 -0.382 0.275 8.693 0.825 0.445 -1.121 -0.053 0.954 0.118 -0.165 -0.080	0.11 0.11 0.11 0.11 0.11 0.11 0.11 0.11	im 8.564 2.780 1.032 1.454 -0.216 0.672 7.402 0.464 0.511 0.174 -0.203 0.272 0.100 0.003 0.197	0.1577 0.631 0.186 0.180 0.071 0.009 2.302 0.333 -0.133 0.141 0.110 0.664 0.018 -0.002 0.038	0.081 0.2212 1.190 0.323 0.120 0.062 0.160 3.704 0.568 -0.224 0.254 0.270 0.984 0.048 0.139 0.081	0m 3.886 1.104 0.538 0.273 -0.161 -0.376 2.710 0.711 -0.132 -0.156 -0.072 2.154 -0.175 -0.253 -0.149	5m 4.939 1.181 0.427 -0.049 -0.142 0.039 4.895 0.419 0.244 -0.217 -0.021 1.217 0.061 -0.055 0.036	0.134 0.134	
の4階のクラッ		33 F1112 F1123	0.055 0.04	190 1.052 0.05	126 0.489 -0.02;	103 2.112 -0.10	193 0.757 0.00	217 0.928 -0.00	525 0.972 -0.05	370 1.962 0.14	119 2.040 0.23	223 -0.713 -0.22	480 0.218 -0.28	105 0.150 -0.10	538 0.308 -0.38	250 2.095 0.28	032 1.454 -0.21	186 0.180 0.07	323 0.120 0.06	538 0.273 -0.16	427 -0.049 -0.14	496 1.774 -0.05	
2(4)岩盤等級ごと		F1111 F1122 F1	1.745 0.705 0.	3.377 0.947 0.	1.173 0.626 0.	6.687 2.113 0.	2.557 1.075 0.	3.940 1.412 0.	7.198 1.529 0.	6.846 2.086 0.	3.408 1.702 0.	4.261 1.507 0.	4.761 1.208 0.	2.980 0.576 0.	6.485 2.796 0.	12.372 3.340 1.	8.564 2.780 1.	1.577 0.631 0.	2.212 1.190 0.	3.886 1.104 0.	4.939 1.181 0.	7.119 1.815 0.	
表 6.2.1	^{山船八都} 区間長	石	B-CH-CM 4.90m	CH 18.45m	CH-CM 5.25m	CH-CL 1.40m	CH 3.90m	CH-CM 11.05m	CM 7.20m	CM-CL 7.75m	CL-D 2.00m	CH 13.65m	CH-CM 4.20m	CM 1.55m	CM-CL 7.55m	CM-CL-D 2.20m	CL-D 2.75m	B 10.80m	B-CH 49.50m	CH 1.10m	CH-CM 27.65m	CH-CM-CL 5.90m	
	* : : : :	小干扒退	200m 予備	ステージ			300m 予備	ステージ		·		400m 予備	ステージ					深度 300m	研究アクセス	坑道			-

スキャンライン:右側壁)
坑道 、
北水)
ソント
レナン
クラッ
4階の
ں لا
1)岩盤等級こ
.12 (4
N

6.3 算出結果のまとめ

6.3.1 換気立坑の 50m 区間および水平坑道ごとの算出結果

換気立坑の深度ごと、および水平坑道ごとの割れ目の密度 $N^{(q)}$ 、トレース長の平均値 $\langle t \rangle$ 、クラックテンソルのトレース F_0 の算出結果をそれぞれ、図 6.3.1(1)~(3)に示す。

(1) 割れ目の密度

換気立坑について 50m 区間ごとに集計した結果は、0.604~2.020(本/m)となった。スキャン ラインの位置による差異はほとんど認められず、深度が深くなるにつれて割れ目の密度 N^(q)は やや減少する傾向にあることが分かった。

水平坑道について各深度の坑道ごとに集計した結果は、2.194~5.047(本/m)となり、換気立 坑よりも割れ目の密度が大きいことが分かった。これは水平坑道の方が換気立坑よりも高傾斜 の割れ目を捉えやすいためであると考えられる。また、深度 300m 予備ステージの割れ目の密 度が他の水平坑道に比べて大きいことが分かった。スキャンラインの位置や深度に伴う変化に ついては、明瞭な関係は認められなかった。

(2) トレース長の平均値

換気立坑について 50m 区間ごとに集計した結果は、1.258~2.949(m)となった。スキャンラインの位置による差異について、SW、NW のスキャンラインの方が NE、SE に比べてやや大きいことが分かった。深度に伴う変化については、明確な傾向はほとんど認められない。

水平坑道について、各深度の坑道ごとに集計した結果は、1.648~2.578(m)となった。値の 変動幅は換気立坑部に比べ少なく、スキャンラインの位置や深度に伴う変化については、明瞭 な関係は認められなかった。

(3) クラックテンソルのトレース

換気立坑について 50m 区間ごとに集計した結果は、 F_0 =4.170~21.450 となった。SW のス キャンラインの深度 300m~350m、350m~400m、400m~450m で高い値を示し、それぞれ、 17.780、21.450、15.390 となった。この 3 区間を除けば、 F_0 =4.170~13.675 となった。

水平坑道について各深度の坑道ごとに集計した結果は、 F_0 =9.457~21.740 となった。300m 予備ステージでは大きな値を示し、200m 予備ステージでは相対的に小さな値を示した。水平 坑道の値は換気立坑に比べてやや高い値を示した。





6.3.2 換気立坑および水平坑道の岩盤等級ごとの算出結果

換気立坑および水平坑道の岩盤等級ごとの割れ目の密度、トレース長の平均値、クラックテン ソルのトレースの算出結果を図 6.3.2 に示す。

算出したクラックテンソルのパラメータと岩盤等級との関係を調査するために、岩盤等級を点数化し、グラフに表記している。具体的には、図中の横軸の岩盤等級は、B級=5点、CH級=3.5点、CM級=3点、CL級=2.5点、D級=1点と点数を割り当て、岩盤等級を点数化している(C級がCH、CM、CLと細分化されていることを考慮)。例えば、ある観測区間において、岩盤等級がB-CH-CM級と判断された場合、5×1/3 + 3.5×1/3 + 3×1/3 = 3.8(点)としている。グラフにおいて、割れ目の密度、トレース長、クラックテンソルのトレースは、岩盤等級が低いほど大きな値をとり、高いほど小さな値をとることが予想されるので、横軸を岩盤等級とした場合のグラフは右下がりになることが予想される。

(1) 割れ目の密度

換気立坑について、岩盤等級ごとに集計した結果は0.385~3.371(本/m)となった。岩盤等級が低くなると2(本/m)を越えるような値が認められ、岩盤等級が高くなると2(本/m)以下の値が大きな割合を示している。

水平坑道について、岩盤等級ごとに集計した結果は 0.909~10.000(本/m)となった。岩盤等 級が高くなるに伴い割れ目の密度が低下する傾向が認められ、想定通り右下がりのグラフとな った。

(2) トレース長の平均値

換気立坑について岩盤等級ごとに集計した結果は、0.889~4.171(m)となった。岩盤等級による差異はほとんど認められず、ほとんどの値が2±1(m)程度の値の範囲に収まっている。

水平坑道について岩盤等級ごとに集計した結果は、1.057~6.980(m)となった。岩盤等級に よる差異はほとんど認められず、ほとんどの値が 2±1(m)程度の値の範囲に収まっており、換 気立坑と同様の傾向が認められた。

(3) クラックテンソルのトレース

換気立坑について岩盤等級ごとに集計した結果は、 $F_0=0.457\sim 42.81$ となった。岩盤等級が低下するに伴い、わずかに増加する傾向が認められるが、等級間の差異はほとんど認められない。

水平坑道について岩盤等級ごとに集計した結果は、 $F_0 = 6.22 \sim 33.124$ となった。岩盤等級が 低下するに伴い、増大する傾向が認められ、想定通り右下がりのグラフとなった。





クラックテンソルのトレース

(左図:換気立坑、右図:水平坑道)

図 6.3.2 クラックテンソルのパラメータと岩盤等級との関係

6.4 考察

6.4.1 換気立坑の 50m 区間および水平坑道ごとの算出結果についての考察

クラックテンソルのトレース Fo について、換気立坑と水平坑道とを比較すると、水平坑道の方 がやや高い値を示した。クラックテンソルのトレースは割れ目の密度と割れ目のトレース長によ り決定され、割れ目を含む岩盤の等価剛性と負の相関がある(3.1 節参照)。割れ目のトレース長 は換気立坑と水平坑道とでは大きな差異はないが、割れ目の密度は水平坑道の方が換気立坑より も大きな値を示している(図 6.3.1 参照)。これは瑞浪超深地層研究所では高角度の傾斜の割れ目 が卓越し、そのような割れ目は幾何学的に換気立坑よりも水平坑道の方が交差しやすいため、水 平坑道での割れ目の密度が大きくなり、その結果クラックテンソルのトレースについても水平坑 道の方が大きくなったと考えられる。

また、2009 年度の調査研究 ⁵では、換気立坑の深度 335m~365m の壁面観察結果から算出し たクラックテンソルのトレースは、 F_0 =9.138 であった。2010 年度の調査研究では、深度 300.2m ~350.2m の平均値は F_0 =10.411、深度 350.2m~400.2m の平均値は F_0 =13.675 となり若干大き な値を示した。これは割れ目のトレース長の算出方法が異なるためであると考えられる。割れ目 のトレース長の算出方法について 2009 年度の調査研究 ⁵では、2004 年度の予察的解析結果 ³に て使用した値を引用したが、この値は、わが国の様々なサイトの調査から得られたトレース長と 累積頻度との関係を示す特性曲線 ¹⁰および累積頻度分布の結果 ¹¹を基に算出したものである。 2010 年度の調査研究では、坑道のような曲面状の壁面に現れる割れ目のトレース長の算出方法を 新たに提案し、原位置の割れ目の情報から割れ目のトレース長を算出した。これにより原位置の 割れ目の分布特性を直接解析にとりこめるようになり、より原位置のデータを反映した解析方法 が確立された。

6.4.2 岩盤等級ごとの算出結果についての考察

クラックテンソルのトレース F₀について、換気立坑では岩盤等級の低下に伴いクラックテンソ ルのトレースの増加は明確には認められなかったが、水平坑道では岩盤等級の低下に伴いクラッ クテンソルのトレースが明確に増加し、両者に負の相関が認められた。これは水平坑道では岩盤 等級の低下に伴い割れ目の密度の増大が認められるためであると考えられる(図 6.3.2 参照)。前 述のように水平坑道の方が、瑞浪超深地層研究所で卓越する高傾斜の割れ目をより捉えることが でき、割れ目密度の局所的な変化を明瞭に捉えることができたため、水平坑道では割れ目密度と 岩盤等級に明瞭な負の相関が認められたと考えられる。ただし換気立坑については、岩盤等級の 変化が少なかったため相関関係を確認することが困難であった可能性があり、引き続き検討が必 要である。

クラックテンソルのトレースと岩盤の等価剛性との間には負の相関があり、クラックテンソル のトレースが大きくなると、岩盤の等価剛性は小さくなる。よって瑞浪超深地層研究所の水平坑 道では、岩盤等級に基づき割れ目を含んだ岩盤の等価剛性をある程度推定することができる可能 性があることが分かった。今回の検討では、定性的な判断を含む岩盤等級を力学特性などの物性 分布と定量的に結び付けることができる可能性を示唆しており、地表からの計画段階で設定した 岩盤等級に基づく物性分布の理論的な根拠となり得ることを示すことができた。

7. 瑞浪超深地層研究所におけるモデル化のための条件設定の検討

本章では、6章の換気立坑および水平坑道のクラックテンソルの算出結果および力学試験デー タを用いて岩盤の等価なヤング率を算出し、区間長との関係を整理して、瑞浪超深地層研究所用 地における REV (Representative Elementary Volume:代表要素体積)⁶⁰の検討を実施する。 REV や関連する付帯情報は、今後実施される第3段階における調査研究の調査位置、範囲、試験 のサンプル数を決定する際の情報として活用される。

7.1 REV の概要

REV とは、寸法効果を定量的に表現する指標であり、不連続体を等価な連続体とみなして解 析・解釈する際の最小体積を意味する。

小田ら¹⁾を参考にすると REV は以下のように説明されている。

ある領域(V)の変形特性を調べたいとする。領域V全体を試験サンプルとし試験を実施した いが、それが困難な場合は領域Vから適当な部分領域V'(< V)をサンプリングし試験を実施する こととなる。このとき、V'の変形特性がVの変形特性を十分に代表しているか否かが重要である。 Vの変形特性を基準とし、ある許容誤差を設定する。V'の変形特性がVの変形特性と比較して、 常に許容誤差の範囲であればV'はVの変形特性を代表しているものとし、その時の領域を V_m と すると、その V_m は領域Vの変形特性について設定した許容誤差における REV であると言える。 許容誤差を大きく設定すれば V_m は小さくなり、いかなる誤差も許容しないのであれば $V_m = V$ と なる。

2010年度の調査研究では、以上の小田ら¹⁰の研究報告を考慮し、任意の区間長および基準となる最大区間長を設定し、それぞれの設定区間長でクラックテンソルを算出する。基準となる最大区間長におけるクラックテンソルと任意の区間長におけるクラックテンソルとの差を求め、区間長を変化させたときのクラックテンソルの差の変化から REV を算出する。さらに、クラックテンソル、および力学試験データを用いて、岩盤の等価なヤング率を算出し、区間長の変化に伴う岩盤の等価なヤング率の収束の様子から REV の検討を行う。

瑞浪超深地層研究所における REV 算出の概念を図 7.1.1 に示す。同図のように任意のいくつかの区間長を設定してクラックテンソルの相対誤差および岩盤の等価なヤング率を算出し、区間長とクラックテンソルの相対誤差および岩盤の等価なヤング率との関係を明らかにし、区間長を変化させたときの両者の値の基準値への収束の様子から REV の検討を行う。



図 7.1.1 瑞浪超深地層研究所における REV 算出の概念
7.2 クラックテンソルの誤差テンソルと相対誤差

Oda⁹はクラックテンソルの誤差テンソルと相対誤差について以下のように説明している。 直交座標系において、基準となるクラックテンソルを F_{ij} 、基準との差を求めたいクラックテン ソルを F_{ij} とする。クラックテンソル F_{ij} 、 F_{ij} の成分をベクトルで表すと、図 7.2.1 の \overrightarrow{OA} 、 \overrightarrow{OB} のようになり、誤差テンソル δF_{ij} は \overrightarrow{AB} と表される(図 7.2.1 は、二次元のクラックテンソルの 場合を表す)。このとき、クラックテンソルの誤差テンソル δF_{ij} は、以下のように定義される。

$$\delta F_{ij} = F_{ij} - F_{ij} \tag{7.1}$$

誤差テンソル *る*Fij の大きさは以下のようにして求められる。

$$\left|\overrightarrow{AB}\right| = \left(\delta F_{ij}\,\delta F_{ij}\,\right)^{\frac{1}{2}} \tag{7.2}$$

同様にして、基準となるクラックテンソルFijの大きさは、以下のようになる。

$$\left|\overrightarrow{OA}\right| = \left(F_{ij}F_{ij}\right)^{\frac{1}{2}} \tag{7.3}$$

相対誤差 REは、以下のように定義される。

. . . .

$$RE = \frac{|AB|}{|\overrightarrow{OA}|}$$

$$= \frac{(\delta F_{ij} \delta F_{ij})^{\frac{1}{2}}}{(F_{kl} F_{kl})^{\frac{1}{2}}}$$
(7.4)

RE=0の場合は、2つのクラックテンソルはまったく同じ値であることを示している。すなわち、 相対誤差が小さいほど、2つのクラックテンソルは近い成分を有していることになる。よって、 適当な *RE*を設定すれば、設定された *RE*の条件の下に、観測点のベクトル*OB* が基準点のベク トル*OA* と近似しているかどうかを判定することができる。



図 7.2.1 クラックテンソルと誤差テンソルのベクトル表示

7.3 クラックテンソルモデルに基づく岩盤の等価なヤング率の算出方法 式(3.2)を再掲する。

$$\varepsilon_{ij} = \left[\frac{1}{E}\left\{(1+\nu)\delta_{ik}\delta_{jl} - \nu\delta_{ij}\delta_{kl}\right\} + \left(\frac{1}{h} - \frac{1}{g}\right)F_{ijkl} + \frac{1}{4g}\left(\delta_{ik}F_{jl} + \delta_{jk}F_{il} + \delta_{il}F_{jk} + \delta_{jl}F_{ik}\right)\right]\sigma_{kl}$$
(3.2)

式(3.2)より、右辺の[]内の応力 σ の係数は、コンプライアンスに相当するものであることが分かる。よって岩盤の等価なヤング率を算出するには、この係数の逆数を計算すればよい。また、 任意の方向の岩盤の等価なヤング率を求める場合には一軸圧縮試験と同じ境界条件、つまり、求めたい方向以外の応力成分を 0 (拘束圧が 0) とすればよい。

ここで、それぞれ直交する方向についての岩盤の等価なヤング率を E_{11} 、 E_{22} 、 E_{33} とする。例 えば、 E_{11} については、式(3.2)において、 σ_{11} 以外に0を代入すると以下の式のようになる。

$$E_{11} = \frac{\sigma_{11}}{\varepsilon_{11}} = \frac{1}{\frac{1}{E} + \left(\frac{1}{h} - \frac{1}{g}\right)F_{1111} + \frac{1}{g}F_{11}}$$
(7.5)

同様にして、 E₂₂、 E₃₃について以下の式のようになる。

$$E_{22} = \frac{\sigma_{22}}{\varepsilon_{22}} = \frac{1}{\frac{1}{E} + \left(\frac{1}{h} - \frac{1}{g}\right) F_{2222} + \frac{1}{g} F_{22}}$$
(7.6)
$$E_{33} = \frac{\sigma_{33}}{\varepsilon_{33}} = \frac{1}{\frac{1}{E} + \left(\frac{1}{h} - \frac{1}{g}\right) F_{333} + \frac{1}{g} F_{33}}$$
(7.7)

以上より、岩盤の等価なヤング率を算出する。なお、式中の E は岩盤の基質部のヤング率、h、 g は、それぞれ割れ目の垂直剛性、せん断剛性に関するパラメータを表す。

クラックテンソルモデルに基づき岩盤の等価なヤング率を算出するには、ヤング率、割れ目の 剛性が必要であるが、区間長以外の影響を取り除くため、全ての区間において同一の値を用いた。 具体的には、2004年度の予察的な解析³⁾の立坑の深度 500mの CH 級のケースより、以下のよう に設定した。

- ・岩石のヤング率: E=55.8 (GPa)
- ・割れ目の垂直剛性に関するパラメータ: h=24.7 (GPa)
- ・割れ目のせん断剛性に関するパラメータ:g=11.5(GPa)

なお、2010年度の調査研究におけるテンソルの指標について1は東、2は北、3は鉛直上を示し、*E*₁₁、*E*₂₂、*E*₃₃は、それぞれ東西成分、南北成分、鉛直成分のクラックテンソルモデルに基づく岩盤の等価なヤング率を示す。

7.4 算出対象および区間長の設定

REV を算出する対象は、換気立坑および深度 300m 研究アクセス坑道とし、区間長の設定は図 7.4.1 および図 7.4.2 のとおりとする。



深度 300m 研究アクセス坑道の No. 0+4.3 から No. 10+0.5 をいくつかの区間に区分し、クラックテンソルの相対誤差、岩盤の等価なヤング率を算出する。

図 7.4.2 深度 300m 研究アクセス坑道における区間設定

7.5 算出結果

換気立坑のそれぞれのスキャンラインごとの相対誤差と等価なヤング率を表 7.5.1(1)~(4)、深度 300m 研究アクセス坑道のそれぞれのスキャンラインごとの相対誤差と等価なヤング率を表 7.5.2(1)~(4)に示す。相対誤差の基準は、最大区間長のクラックテンソルを用いた。

換気立坑について、

相対誤差は、

・0.083~3.039(基準区間長:259.6m、観測区間長:最小 9.2m~最大 209.6m) 岩盤の等価なヤング率は、

・E11:0.949~23.662(GPa)、E22:0.965~21.944(GPa)、E33:1.886~32.328(GPa) となった。

深度 300m 研究アクセス坑道について、

相対誤差は、

・0.032~0.842(基準区間長:96.15m、観測区間長:最小 9.00m~最大 77.60m) 岩盤の等価なヤング率は、

・E11:1.757~7.691(GPa)、E22:2.036~5.496(GPa)、E33:4.270~16.496(GPa) となった。

立坑深	度	区間		2	階のクラン	ックテンソ	ル		相対	等	価なヤン	ゲ率 (GPa	a)
区間 (m/	~ m)	L (m)	F11	F12	F13	F22	F23	F33	迴差 RF	F11	F22	F33	平均
200 2~	210 4	10.2	2 740	0 981	0 649	2 362	0 203	3 198	0 578	5 885	6 401	6 152	6 146
210.4~	220.8	10.4	2.860	1.646	0. 387	3. 214	0.173	2. 028	0.608	5, 515	5.039	8, 751	6, 435
220.8~	231.2	10.4	3. 527	1.518	0.832	2. 288	0. 426	3. 262	0.609	4.971	6. 521	5.725	5.739
231. 2~	241.6	10.4	2. 521	0. 933	0.400	2.117	-0.121	2.490	0.576	6.614	7.242	7.345	7.067
241.6~	252.0	10.4	0.797	0. 125	0.171	0.634	0.066	0.574	0.844	16.896	18.665	21.942	19.168
252. 0 ~	262.4	10.4	1.384	0. 269	0. 253	1.261	-0.121	1.214	0.712	10.806	11.460	13.073	11.780
262.4 ~	272.9	10.5	0.862	0. 478	0.078	2. 452	-0.115	1.393	0. 724	14.406	7.427	12. 120	11.317
272.9~	283. 4	10.5	1.670	0. 309	0.148	1.040	-0.112	0.836	0.715	10.113	13.614	17.802	13.843
283.4~	293. 9	10.5	3. 162	0. 718	0. 447	1.740	0.015	1.315	0.530	5.699	8. 554	12. 477	8.910
293.9 ~	305.2	11.3	8. 451	0. 522	1.332	5.515	-0.661	3.814	0. 627	2. 138	2.875	4. 798	3. 270
305. 2 ~	315.6	10.4	19.594	0.567	2.078	9.119	-1.687	5.802	2. 278	0.949	1.628	3.143	1.907
315.6~	326.0	10.4	10.624	-0.816	0.668	5. 305	-0.606	3. 443	0.815	1.767	2.885	5. 412	3.355
326. O~	336.4	10.4	0.949	-0.077	0.108	0.564	-0. 087	0. 258	0.837	14.863	19.479	32. 328	22. 223
336.4~	346.8	10.4	7.170	-0. 707	0.999	5. 301	-1.051	1.757	0.361	2.604	3. 232	8.832	4.889
346.8~	357.2	10.4	7.813	-1.325	0. 851	7.034	-1.555	1.949	0. 633	2. 211	2.367	7.503	4. 027
357. 2 ~	367.6	10.4	10.419	-4. 297	0. 338	9.852	-1.736	2. 711	1.378	1.690	1.719	5.206	2.872
367.6 ~	378.2	10.6	14.849	-8. 220	1.313	17.918	-4. 978	5. 101	3. 039	1.114	0.965	2. 740	1.606
378. 2~	388.7	10.5	9.068	-6.087	2.120	9.369	-2. 927	3. 087	1.565	1.805	1.743	4. 563	2. 704
388. 7 ~	398.6	9.9	7.131	-4. 153	1.383	5.353	-1.607	1.882	0.824	2. 281	2.746	7.364	4. 131
398.6 ~	407.8	9.2	5.698	-2. 780	0.891	4. 484	-1.011	1.123	0. 475	2.884	3. 365	11.062	5.770
407.8 ~	418.2	10.4	6.077	-3. 240	1.192	4. 524	-1.178	1. 582	0. 570	2. 752	3.311	8.680	4.914
418. 2~	428.6	10.4	11.127	-2. 320	1.198	6. 120	-1.379	2.868	0. 981	1.661	2. 474	5. 470	3. 202
428.6 ~	439.0	10.4	3. 243	-0.873	0. 403	1.409	-0.379	0. 597	0. 502	5. 447	9.310	17. 473	10. 743
439. 0 ~	449.4	10.4	9. 248	-1. 185	1.497	4. 982	-0.916	1.999	0.619	1.955	3.069	6.596	3.873
449.4~	459.8	10.4	8.218	-1.249	2.022	4.450	-1.017	2.215	0.517	2.191	3. 458	6.057	3.902
200. 2~	250. 2	50	2.726	1.014	0.519	2. 249	0.160	2. 325	0. 566	6.146	6.839	7.770	6.918
250. 2 ~	300.2	50	2.189	0. 403	0.320	1.691	-0.110	1.323	0. 598	7.630	9.045	12.405	9.693
300. 2~	350.2	50	9.362	-0.327	1.009	5.664	-0.960	2.752	0.654	1.968	2.809	6. 252	3.676
350. 2~	400.2	50	9.468	-4.955	1.327	9.182	-2. 452	2.800	1.368	1.761	1. 781	5.043	2.861
400.2~	459.8	59.6	8.560	-2.192	1.388	4.864	-1.100	1.981	0.603	2.101	3.117	6.954	4.057
200. 2~	300.2	100	2.655	0.678	0. 432	2.104	-0.023	1.855	0.537	6.385	7.403	9. 428	7.739
250. 2~	350.2	100	5.067	0.308	0.631	3.436	-0.404	2.176	0. 205	3.549	4.659	8.028	5. 412
300. 2~	400.2	100	9.447	-2. 428	1.157	7.282	-1.641	2.785	0.889	1.862	2.219	5. 621	3. 234
350. 2~	459.8	109.6	9.253	-3.238	1.429	6.562	-1.613	2.350	0.901	1.894	2.398	5.949	3.414
200. 2~	350.2	150	4.049	0. 511	0.560	2.871	-0. 204	2.100	0.332	4.354	5.490	8.343	6.062
250. 2~	400.2	150	6.079	-0.766	0.787	4.689	-0.833	2.350	0.185	2.889	3.447	7.043	4.460
300. 2~	459.8	159.6	9.308	-2.388	1.309	6.314	-1.425	2.475	0.791	1.911	2.500	6. 021	3.477
200. 2~	400.2	200	4. 777	-0.236	0.663	3.724	-0.511	2.189	0.116	3.634	4. 283	7.677	5.198
250. 2~	459.8	209.6	6.616	-1.153	0.937	4.604	-0.886	2.177	0. 254	2.674	3.436	7.198	4.436
200.2~	459.8	259.6	5. 310	-0. 629	0.779	3.765	-0.606	2.032	-	3. 297	4.162	7.862	5.107

表 7.5.1(1) 換気立坑の相対誤差と等価なヤング率(SW 方向)

立坑深	度	区間		2	階のクラ	ックテンソ	ル		相対	等	価なヤン	グ率 (GPa	a)
区間(m·	~ m)	L (m)	F11	F12	F13	F22	F23	F33	誤差 RE	E11	E22	E33	平均
200. 2~	210.4	10.2	3, 230	1, 188	0.971	2.824	0. 528	4. 662	0, 960	5.025	5, 399	4, 342	4, 922
210.4~	220.8	10.4	4.360	2, 396	0.847	4, 733	0, 383	3, 570	1, 196	3, 711	3, 486	5, 307	4.168
220.8~	231.2	10.4	3,960	1.665	0. 988	2. 587	0. 595	4, 158	0, 983	4, 431	5.824	4, 593	4, 949
231. 2~	241.6	10.4	2.856	1.032	0. 428	2. 420	-0.114	2.596	0. 558	5.923	6. 462	7.075	6. 487
241.6~	252.0	10.4	0.974	0.148	0. 207	0.777	0. 086	0.755	0.705	14.602	16. 188	18.467	16.419
252.0~	262.4	10.4	3.016	0.466	0.613	2.843	-0. 206	2.759	0.447	5.488	5.738	6.621	5.949
262.4~	272.9	10.5	1.152	0. 622	0.140	3. 304	-0.141	2.004	0.661	11.565	5.717	9.091	8.791
272. 9 ~	283.4	10.5	3.811	0. 683	0. 321	2.350	-0. 269	1.885	0. 389	4.938	6.967	9. 585	7.163
283. 4 ~	293. 9	10.5	2.559	0. 578	0.349	1.378	0. 021	1.087	0.454	6.877	10.336	14. 517	10. 577
293.9 ~	305.2	11.3	0. 720	0.040	0.110	0. 462	-0.060	0. 273	0.801	17.813	21.944	31. 384	23.714
305. 2 ~	315.6	10.4	10.048	0. 235	1.127	4. 607	-0.846	3.366	1.66	1.821	3. 121	5. 274	3. 405
315.6~	326.0	10.4	2.268	-0. 226	0.163	1.134	-0. 124	0.754	0. 423	7.414	11.335	18.373	12. 374
326. O~	336.4	10.4	3. 290	-0. 274	0.369	1.972	-0. 278	1.246	0. 122	5. 287	7.406	12. 818	8.504
336.4~	346.8	10.4	6.826	-0. 842	1.018	5.005	-0.990	1.910	1.015	2.713	3. 383	8. 333	4.810
346.8~	357.2	10.4	2.568	-0. 513	0. 285	2. 385	-0. 514	0.690	0. 248	6.203	6. 480	17.270	9.984
357. 2 ~	367.6	10.4	10.516	-4. 875	0. 408	9.976	-1.842	2. 788	2.77	1.661	1.683	5.051	2. 798
367.6~	378. 2	10.6	3.377	-1.969	0. 277	4. 105	-1. 152	1.151	0.67	4. 586	3. 985	10. 295	6. 288
378. 2~	388.7	10.5	0.888	-0. 595	0. 205	0.917	-0. 286	0.309	0.69	14. 231	13.816	26.345	18.130
388. 7 ~	398.6	9.9	2.114	-1.282	0. 409	1.603	-0. 494	0. 585	0.463	6.994	8. 227	18.360	11.193
398. 6 ~	407.8	9.2	1.519	-0. 754	0. 243	1.214	-0. 277	0.269	0. 563	9.449	10. 707	27.979	16.045
407.8 ~	418.2	10.4	2.516	-1.350	0. 498	1.865	-0. 492	0. 638	0. 402	6. 224	7.409	17.348	10. 327
418. 2~	428.6	10.4	2. 556	-0. 544	0.265	1.409	-0. 318	0. 680	0. 333	6.576	9.360	17.615	11. 184
428. 6 ~	439.0	10.4	2.822	-0. 777	0.347	1. 223	-0. 328	0. 501	0.366	6.171	10. 454	19.467	12.031
439. O~	449.4	10.4	2. 502	-0.312	0. 407	1.349	-0. 240	0. 540	0.359	6. 598	9.883	18.509	11.663
449.4 ~	459.8	10.4	3. 200	-0. 488	0.812	1.716	-0. 385	0.905	0. 209	5. 297	8. 159	12.895	8. 784
200. 2~	250. 2	50	3. 464	1.262	0.714	2.857	0. 290	3. 190	0.716	4. 928	5. 507	5.886	5.440
250. 2~	300. 2	50	2. 788	0. 482	0. 407	2.140	-0. 138	1.652	0. 337	6.174	7.396	10. 394	7.988
300. 2~	350. 2	50	5. 247	-0.261	0. 597	3.175	-0. 528	1.727	0.467	3. 413	4.810	9.440	5.888
350. 2~	400.2	50	3. 472	-1.907	0. 486	3. 392	-0.912	1.046	0.55	4. 543	4. 566	11. 728	6.946
400. 2~	459.8	59.6	2. 583	-0.670	0. 423	1.468	-0. 330	0. 596	0. 329	6. 402	9.150	17.879	11.144
200. 2~	300. 2	100	3. 184	0. 783	0. 538	2. 513	0.004	2. 285	0.455	5.419	6. 323	7.906	6.549
250. 2 ~	350. 2	100	3.964	0. 192	0. 507	2. 683	-0. 310	1.765	0. 262	4. 456	5.824	9.600	6.627
300. 2~	400.2	100	4. 127	-1.134	0. 518	3. 189	-0. 716	1.306	0. 348	4.080	4.814	10.867	6. 587
350. 2~	459.8	109.6	3.142	-1.130	0. 489	2. 230	-0. 549	0.802	0.266	5. 229	6.510	14.439	8.726
200. 2~	350. 2	150	3.737	0. 433	0. 541	2. 648	-0. 163	2.044	0. 335	4. 680	5.894	8. 555	6.376
250. 2 ~	400. 2	150	3. 642	-0. 508	0. 480	2.808	-0. 496	1.456	0. 122	4.659	5. 522	10. 588	6.923
300. 2~	459.8	159.6	3.695	-0. 989	0. 529	2. 508	-0. 564	1.024	0. 214	4. 571	5.888	12. 696	7.719
200. 2~	400. 2	200	3. 493	-0.211	0. 501	2. 723	-0. 355	1.682	0. 129	4.847	5.689	9. 628	6.722
250. 2 ~	459.8	209.6	3. 441	-0. 633	0. 494	2. 393	-0. 458	1.159	0. 083	4. 922	6. 250	12. 172	7. 781
200. 2 ~	459.8	259.6	3.375	-0. 427	0.507	2.393	-0.373	1.344	-	5.013	6.274	11. 131	7.473

表 7.5.1 (2) 換気立坑の相対誤差と等価なヤング率(NW 方向)

立坑深	度	区間長		2	階のクラッ	ックテンソ	ル		相対	等	価なヤン	ゲ率 (GPa	a)
区間(m~	~m)	L (m)	F11	F12	F13	F22	F23	F33	誤差 RE	E11	E22	E33	平均
200. 2~	210.4	10.2	2.047	0.795	0.474	1.709	0.219	2.819	0.610	7.558	8.360	6.896	7.605
210.4~	220.8	10.4	1.370	0.812	0.163	1, 495	0. 081	0.715	0. 698	10.375	9.717	18.684	12.926
220.8~	231.2	10.4	5.353	2.308	1.348	3. 487	0.641	5.883	1.180	3.350	4.415	3. 343	3.703
231. 2~	241.6	10.4	2.096	0.762	0. 323	1.733	-0. 105	1.864	0. 541	7.771	8.614	9. 328	8. 571
241.6~	252.0	10.4	2. 220	0.379	0.479	1.770	0. 162	1.725	0.479	7.498	8.459	9.913	8.623
252.0~	262.4	10.4	0.867	0.164	0.160	0.814	-0. 075	0.843	0.751	15.450	15.901	17.019	16.123
262.4~	272.9	10.5	0.407	0. 222	0.036	1.160	-0.050	0.689	0.809	23.662	13.659	19.987	19.103
272.9~	283.4	10.5	1.832	0. 338	0.159	1.141	-0. 135	0.963	0. 591	9.360	12.684	16.159	12. 734
283. 4 ~	293.9	10.5	2. 137	0. 497	0. 294	1.142	0.012	1.060	0.568	8.033	12.003	14. 928	11.655
293.9 ~	305.2	11.3	4. 580	0. 293	0.648	2.979	-0.399	1.919	0. 240	3.816	5.095	8.717	5.876
305. 2 ~	315.6	10.4	5. 420	0.064	0.619	2. 516	-0. 445	1.644	0.31	3. 275	5. 475	9.697	6.149
315.6 ~	326.0	10.4	2. 409	-0. 182	0.217	1. 211	-0.114	0.968	0. 470	6.993	10. 704	15. 488	11.062
326. 0 ~	336.4	10.4	2. 689	-0. 221	0.311	1. 583	-0. 256	0. 984	0. 378	6.348	8. 928	15. 249	10.175
336.4~	346.8	10.4	3. 368	-0.354	0. 483	2. 443	-0. 479	0. 921	0.199	5. 272	6. 553	15.035	8.953
346.8~	357.2	10.4	5.404	-1.034	0.645	4. 974	-0. 998	1. 748	0. 530	3.129	3. 297	8. 704	5.043
357. 2 ~	367.6	10.4	6.884	-2.919	0.192	6. 534	-1.203	1.827	1.13	2.511	2. 543	7.374	4.143
367.6~	378.2	10.6	4. 570	-2. 623	0. 381	5. 540	-1.508	1.839	0.83	3. 454	2.999	7. 245	4. 566
378. 2~	388.7	10.5	4. 340	-2.864	1.037	4. 466	-1. 405	1.812	0.77	3.643	3. 530	7.802	4. 992
388. 7 ~	398.6	9.9	5. 529	-3.311	1.086	4. 235	-1. 281	1. 782	0.893	2.891	3. 429	8.057	4. 792
398.6 ~	407.8	9.2	12.643	-6.098	2.123	9. 927	-2. 344	2. 245	2.673	1.338	1. 572	5.987	2.966
407.8 ~	418.2	10.4	1.973	-1.056	0.398	1. 493	-0. 395	0. 559	0. 526	7.672	8.972	19. 325	11.990
418. 2~	428.6	10.4	7.002	-1.512	0.746	3.865	-0. 842	1.971	0.675	2. 592	3.820	7.765	4. 726
428.6~	439.0	10.4	2. 028	-0. 537	0. 258	0.885	-0. 230	0. 439	0. 578	8. 202	13. 474	21.894	14. 523
439.0~	449.4	10.4	12.372	-1.469	2.003	6. 629	-1.166	2. 644	1.817	1. 475	2. 339	5. 138	2. 984
449.4~	459.8	10.4	6.587	-0. 984	1.610	3. 553	-0. 815	1. 780	0. 602	2.709	4. 264	7.346	4. 773
200. 2~	250. 2	50	2.803	1.065	0. 537	2. 287	0. 163	2. 479	0. 528	5.969	6. 692	7. 331	6.664
250. 2 ~	300. 2	50	1.731	0.317	0.240	1. 331	-0. 095	1.107	0. 576	9.309	10. 988	14. 237	11.512
300. 2~	350. 2	50	3.714	-0.147	0. 430	2. 239	-0.366	1.227	0.176	4. 698	6. 580	12. 448	7.909
350. 2~	400.2	50	5.349	-2.855	0.762	5. 217	-1.373	1.857	0.86	3.034	3.056	7.555	4. 548
400. 2~	459.8	59.6	7.408	-1.891	1.216	4. 222	-0.950	1.798	0.822	2. 411	3. 561	7.652	4. 541
200. 2~	300. 2	100	2.340	0.607	0.373	1.842	-0.026	1.719	0.479	7.122	8.266	10.044	8. 477
250. 2 ~	350. 2	100	2.576	0.147	0. 324	1.739	-0. 205	1.197	0. 395	6.568	8. 492	13.116	9. 392
300. 2~	400.2	100	4.634	-1.216	0.592	3. 572	-0. 787	1.566	0. 288	3.660	4. 336	9. 488	5.828
350. 2~	459.8	109.6	6.554	-2.310	1.027	4.662	-1.135	1.830	0.802	2.633	3.316	7.587	4.512
200. 2~	350.2	150	2.765	0.351	0.387	1.951	-0.138	1.536	0.372	6.141	7.694	10.841	8.225
250. 2~	400.2	150	3.399	-0. 442	0.446	2.618	-0.461	1.453	0.129	4.956	5.875	10.691	7.174
300. 2~	459.8	159.6	5.710	-1.480	0.825	3.877	-0.861	1.681	0.484	3.044	3.955	8.608	5.202
200. 2~	400.2	200	3.224	-0.159	0.453	2.507	-0.339	1.612	0.182	5.210	6.118	10.015	7.114
250.2~	459.8	209.6	4.411	-0. //9	0.632	3.069	-0.586	1.583	0.130	3.912	4.994	9.567	6.158
200. 2~	459.8	Z09. b	J. 985	I -U. 4/U	U. 592	Z. 823	I −U. 449	1.051	-	4.301	5, 405	9.461	0.389

表 7.5.1 (3) 換気立坑の相対誤差と等価なヤング率(NE 方向)

立坑深	度	区間長		2	階のクラッ	ックテンソ	ル		相対	等	価なヤン	グ率 (GPa	a)
区間(m~	~m)	L (m)	F11	F12	F13	F22	F23	F33	誤差 RE	E11	E22	E33	平均
200. 2~	210.4	10.2	2.505	0.899	0.657	2.170	0.351	3. 768	0.635	6.357	6.869	5.378	6. 201
210.4~	220.8	10.4	3. 442	1.877	0.500	3. 785	0. 302	2.376	0.636	4.647	4. 282	7.479	5.469
220.8~	231.2	10.4	9.127	3.841	2.270	6.083	1. 222	10.910	2.005	2.013	2.639	1.886	2.179
231. 2~	241.6	10.4	6.111	2. 081	0.950	5.356	-0. 283	5.543	0. 927	2. 921	3. 131	3.518	3.190
241.6~	252.0	10.4	2.969	0. 424	0.632	2.374	0. 219	2.120	0. 432	5.801	6. 583	8. 287	6.890
252.0~	262.4	10.4	2. 521	0.379	0. 485	2. 358	-0. 230	2. 297	0.456	6.464	6. 788	7.737	6.996
262.4~	272.9	10.5	0. 419	0. 219	0.051	1.200	-0.069	0.671	0.832	23. 298	13. 297	20. 233	18.943
272.9~	283.4	10.5	2. 544	0.465	0. 204	1.616	-0. 203	1.441	0. 529	7.071	9.611	11.997	9.560
283.4~	293.9	10.5	5.804	1.124	0.800	3. 128	0.053	2. 613	0.465	3. 234	5.046	7.132	5.137
293.9 ~	305.2	11.3	2. 425	0. 132	0.368	1.579	-0. 184	0. 993	0. 524	6.804	8.882	14.609	10.098
305. 2 ~	315.6	10.4	3. 526	0. 038	0.394	1.632	-0. 331	1.089	0.40	4.890	7.994	13. 407	8.763
315.6~	326.0	10.4	3.116	-0.335	0. 230	1.564	-0. 208	1.030	0. 432	5. 575	8.661	14.677	9.638
326. O~	336.4	10.4	3. 157	-0. 290	0.348	1.880	-0. 282	0. 928	0.396	5. 483	7.713	15.643	9.613
336.4~	346.8	10.4	6. 479	-0.711	0.896	4. 686	-0.897	1. 521	0.369	2.869	3. 618	9. 925	5. 471
346.8~	357.2	10.4	4. 563	-1.000	0. 553	4. 295	-0. 942	1. 491	0.210	3.645	3. 784	9. 933	5. 787
357. 2~	367.6	10.4	4. 712	-2.136	0.196	4. 518	-0. 804	1. 491	0. 41	3. 582	3.603	9.165	5.450
367.6~	378.2	10.6	8. 459	-4.979	0. 727	10. 323	-2. 913	2. 885	1.69	1.923	1.655	4.614	2. 731
378. 2~	388.7	10.5	3. 308	-2. 255	0. 791	3. 436	-1.066	1. 411	0.45	4.676	4. 501	9. 597	6. 258
388.7~	398.6	9.9	3.869	-2. 333	0. 821	2. 958	-0. 874	1. 232	0. 435	4.047	4. 799	10.860	6.569
398.6~	407.8	9.2	3. 001	-1.477	0.506	2. 392	-0. 601	0.607	0. 425	5. 228	5.988	17. 532	9. 583
407.8 ~	418.2	10.4	5.864	-3. 117	1.159	4. 383	-1.190	1.509	0. 642	2.849	3. 411	8.906	5.055
418. 2~	428.6	10.4	2. 640	-0.569	0. 271	1.459	-0. 338	0. 727	0. 498	6.378	9.084	16.893	10. 785
428.6 ~	439.0	10.4	8.167	-2. 232	1.029	3. 533	-0.957	1.503	0.673	2. 299	4. 127	8. 531	4. 986
439.0~	449.4	10.4	13. 486	-1.724	2.189	7.297	-1.291	2.904	1.603	1.353	2. 135	4. 718	2. 735
449.4~	459.8	10.4	6.184	-0.959	1.513	3. 341	-0. 748	1.696	0.312	2.872	4. 510	7.640	5.007
200. 2~	250. 2	50	4. 672	1.652	0. 921	3. 911	0. 329	4. 362	0.679	3. 738	4. 138	4. 445	4. 107
250. 2~	300. 2	50	2. 486	0.409	0.358	1. 923	-0. 130	1. 525	0.500	6.816	8.093	11.072	8.660
300. 2~	350. 2	50	3. 434	-0. 182	0. 380	2.073	-0.360	1.029	0.346	5.051	7.039	14.070	8.720
350. 2~	400. 2	50	5. 547	-3.070	0.830	5. 453	-1. 453	1.923	0.69	2. 927	2. 933	7.312	4. 390
400. 2~	459.8	59.6	5.550	-1.439	0.906	3.164	-0.733	1.309	0.257	3.173	4.651	9.897	5.907
200. 2~	300.2	100	3.969	0.939	0.651	3.166	-0. 022	2.918	0. 421	4. 426	5.136	6.392	5.318
250. 2~	350.2	100	2.916	0.126	0.366	1.979	-0. 238	1.277	0. 423	5.882	7.605	12. 404	8.630
300. 2~	400. 2	100	5.193	-1. 452	0.667	4. 027	-0.914	1.666	0. 247	3. 288	3. 882	8.906	5.359
350. 2~	459.8	109.6	5.737	-2.075	0.909	4.096	-1.017	1.574	0.406	2.987	3.744	8.566	5.099
200. 2~	350.2	150	4.116	0.450	0.579	2.933	-0. 202	2. 238	0. 284	4.279	5.374	7.907	5.853
250. 2~	400.2	150	4. 205	-0.612	0.560	3. 259	-0.583	1.721	0.094	4.073	4.823	9.239	6.045
300. 2~	459.8	159.6	5.325	-1.439	0.769	3. 628	-0.830	1.501	0. 233	3. 251	4. 207	9.356	5.605
200. 2~	400.2	200	4.506	-0.303	0.645	3.535	-0.477	2.213	0.098	3.827	4. 486	7.645	5.320
250. 2~	459.8	209.6	4.509	-0.847	0.650	3. 151	-0.614	1.554	0. 092	3.832	4.877	9.628	6.112
200.2~	459.8	259.6	4.711	-0.618	0.706	3.360	-0.540	1.914	-	3. 681	4.617	8.323	5.540

表 7.5.1 (4) 換気立坑の相対誤差と等価なヤング率(SE 方向)

	ड्ड (GPa)	533 平均	9.792 5.438	5.431 3.444	5.828 3.777	7.248 4.183	5.981 3.548	9.412 5.693	6.095 4.249	6.496 9.894	5.855 4.709	6.043 4.430	6.697 4.015	6.634 4.021	6.743 4.158	7.988 4.831	7.647 4.951	7.585 5.171	7.445 4.494	6.965 4.404	6.969 4.508	6.986 4.421
	雨なヤング ^国	E22 I	4.259	2.793	2.645	2.844	2.408	3.115	2.560	5.496 1	3.168	2.895	2.928	2.712	2.669	2.950	3.051	3.156	2.970	2.889	2.894	2.962
則壁)	()	E11	2.262	2.108	2.858	2.457	2.254	4.552	4.093	7.691	5.103	4.352	2.420	2.717	3.062	3.556	4.155	4.772	3.068	3.359	3.660	3.316
率(左(相対 誤差	RE	0.648	0.511	0. 284	0.308	0.378	0. 252	0.269	0.571	0.324	0.301	0.322	0.191	0.106	0.080	0.178	0. 257	0.084	0. 056	0.093	I
よヤング		F33	1.343	2.729	2.689	1.904	2.325	1. 265	2.367	0.556	2.875	2.368	2.145	2.121	2.078	1.624	1.807	1.834	1.830	2.041	2.033	2. 028
と等価が		F23	0.011	-0. 737	-0. 765	-0. 194	0. 061	0. 771	0.497	-0. 111	0.423	1.173	-0.312	-0. 062	0.155	0. 217	0.320	0. 522	-0. 002	0. 057	0. 287	0. 191
相対誤差	クテンソル	F22	3.856	5.823	6.991	5.935	6.731	5.773	6.783	3.006	5.574	5.773	5.770	6.366	6.532	5.816	5.665	5.495	5.786	5.990	5.984	5.802
ス坑道の	皆のクラッ	F13	-0. 597	0.194	0.586	-0. 018	0.464	0.142	0.987	0.138	0.368	0.866	0.126	0.265	0.422	0.333	0.390	0.472	0. 253	0.357	0.446	0.344
ミアクセ ご	2	F12	2.138	-0.411	-0.106	0. 789	-0. 593	0.430	0. 524	-0. 282	-0. 414	0.550	0.370	0. 089	0. 254	0.135	-0.079	0.115	0. 267	-0. 017	0.099	0. 226
00m 研梦		F11	8.793	8.808	6.193	7.310	7.719	3.477	3. 565	1.915	2.858	3.365	7.562	6.463	5.516	4.629	3. 789	3.148	5.669	4.990	4.436	5.107
深度 3	区間 長	L (m)	9.45	9. 2	10. 2	9.6	6	9.6	10. 2	9.4	10.4	9.1	47.45	47.6	48.6	47.8	48.6	48.7	76.65	77.6	77. 5	96. 15
7.5.2(1)			+3. 80	+3.00	+3. 20	+2. 80	+1.80	+1.40	+1. 60	+1.00	+1.40	+0. 50	+1.80	+1.40	+1.60	+1.00	+1.40	+0. 50	+1.00	+1.40	+0. 50	+0. 50
発	象		No. 1	No. 2	No. 3	No. 4	No. 5	No. 6	No. 7	No. 8	No. 9	No. 10	No. 5	No. 6	No. 7	No. 8	No. 9	No. 10	No. 8	No. 9	No. 10	No. 10
	算出対		٢	٢	٤	٤	٢	٤	٤	٤	٢	٢	٢	٢	٢	٢	٢	٢	٢	٢	٢	٢
			+4. 35	+3.80	+3.00	+3. 20	+2.80	+1.80	+1.40	+1.60	+1.00	+1.40	+4. 35	+3.80	+3.00	+3.20	+2.80	+1.80	+4.35	+3.80	+3.00	+4. 35
			No. 0	No. 1	No. 2	No. 3	No. 4	No. 5	No. 6	No. 7	No. 8	No. 9	No. 0	No. 1	No. 2	No. 3	No. 4	No. 5	No. 0	No. 1	No. 2	No. 0

	a)	中均	3.706	5.082	2.925	3.753	4.130	4.195	4.465	4.691	5.791	3.154	3.657	3.789	3.703	4.132	4.486	4.238	3.854	4.088	3.891	3.872
	·率 (GP	E33	6.070	7.275	4.349	5.747	6.682	6.895	5.861	7.486	6.996	4.270	5.667	5.881	5.647	6.381	6.610	5.988	5.961	6.078	5.723	5.783
	はセンク	E22	3.290	4.377	2.041	2.891	2.853	2.311	2.837	2.712	3.871	2.081	2.825	2.665	2.475	2.670	2.843	2.649	2.691	2.786	2.573	2.695
- 左側)	等	E11	1.757	3.592	2.385	2.621	2.855	3.380	4.696	3.874	6.506	3.111	2.478	2.820	2.989	3.345	4.005	4.075	2.910	3.399	3.376	3.137
(<i>F</i> − J	相対 誤差	RE	0.800	0.341	0. 505	0.230	0.137	0. 232	0.296	0.244	0.435	0.371	0.248	0.109	0.080	0.071	0.184	0.206	0.077	0.077	0.087	I
ング禅		F33	2.243	2.032	3.641	2.484	2.087	1.850	2.494	1. 622	2.357	3.494	2.590	2.458	2.552	2.145	2.159	2.421	2.381	2.402	2.552	2.524
筆曲なと、		F23	0. 072	-0.383	-0. 993	-0. 542	0.138	0.869	0. 568	-0. 222	0. 262	1.596	-0.356	-0.146	0.101	0.193	0.334	0. 585	-0.023	0. 020	0. 260	0. 171
誤差と等	テンソル	F22	5. 361	3.667	9. 234	5. 696	5.698	7.879	6. 045	6. 381	4. 531	8.131	6. 058	6. 502	7. 058	6.423	6.100	6.588	6.441	6. 227	6. 761	6.426
道の相対	カケラック	F13	-0.842	-0.123	0.469	-0.018	0.211	0.074	0.793	0.009	0. 293	1. 202	-0.034	0.100	0.335	0.243	0.301	0.471	0.121	0. 229	0.391	0. 251
ッセス坑	2 赌(F12	2.292	0. 235	-1.197	0.548	-0.268	0.412	0.406	-0.748	-0.369	0.660	0.259	0.012	0.055	0.077	-0.116	0.040	0.172	-0.090	-0.055	0.139
「研究アイ		F11	11.331	4.978	7. 333	6.756	5.947	4.731	2.987	4.019	2.132	4.815	7.293	6.128	5.558	4.852	3.868	3.678	5.902	4.841	4.755	5.337
程 300m	区間 長	L (m)	9.45	9. 2	10. 2	9.6	6	9.6	10. 2	9.4	10.4	9.1	47.45	47.6	48.6	47.8	48.6	48.7	76.65	77.6	77.5	96.15
2 (2) 浜			+3. 80	+3. 00	+3. 20	+2. 80	+1. 80	+1.40	+1.60	+1. 00	+1.40	+0. 50	+1. 80	+1.40	+1.60	+1.00	+1.40	+0. 50	+1.00	+1.40	+0. 50	+0. 50
表 7.5.	1 24		No. 1	No. 2	No. 3	No. 4	No. 5	No. 6	No. 7	No. 8	No. 9	No. 10	No. 5	No. 6	No. 7	No. 8	No. 9	No. 10	No. 8	No. 9	No. 10	No. 10
	算出对复		٤	٢	٤	٢	٢	٢	٢	٢	٢	٢	٢	٢	٢	٢	٢	٢	٢	٢	٢	٢
	*-P		+4. 35	+3.80	+3. 00	+3. 20	+2.80	+1.80	+1.40	+1.60	+1.00	+1.40	+4. 35	+3.80	+3.00	+3. 20	+2.80	+1.80	+4. 35	+3.80	+3. 00	+4. 35
			No. 0	No. 1	No. 2	No. 3	No. 4	No. 5	No. 6	No. 7	No. 8	No. 9	No. 0	No. 1	No. 2	No. 3	No. 4	No. 5	No. 0	No. 1	No. 2	No. 0

Й
*
Ι
P
<u>м</u>
達
1
Ä
10
直
箒
L-
嵳
影
-í×
い 本
画
晲
ĸ
4
5
P
꿃
C 1€
ő
30
度
烪
5
2

	a)	平均	4.473	3.942	3.578	4.207	4.243	5.374	7.300	5.877	6.221	4.383	3.996	4.171	4.566	5.062	5.469	5.497	4.500	4.690	4.760	4.561
	<i>i</i> 率 (GP	E33	8.011	5.836	5.428	6.647	6.806	8.932	9.815	9.838	7.381	5.942	6.361	6.573	7.079	7.986	8.153	7.862	7.149	7.092	7.094	6.940
	なヤング	E22	3.319	3.181	2.328	3.049	2.981	2.960	4.482	3.145	4.219	2.883	2.907	2.841	2.959	3.173	3.422	3.385	2.985	3.098	3.073	3.060
チ右側)	等	E11	2.088	2.810	2.977	2.925	2.941	4.229	7.604	4.647	7.064	4.325	2.721	3.100	3.659	4.025	4.833	5.244	3.366	3.881	4.112	3.683
Ĩ ►)	相対 誤差	RE	0.842	0. 292	0.515	0.219	0.203	0.196	0.453	0. 257	0.404	0.266	0. 293	0.164	0.051	0. 096	0. 206	0.244	0. 086	0.067	0. 096	I
ング単		F33	1. 703	2. 535	2.897	2. 101	2.044	1. 352	1. 358	1.106	2. 217	2.422	2. 279	2. 157	1.974	1. 638	1. 685	1. 763	1. 927	2.004	1. 997	2.049
手面なと		F23	-0. 081	-0.469	-1.060	-0.050	0.103	0.792	0.153	-0.129	0. 289	1.086	-0. 296	-0. 061	0.076	0.196	0.254	0.430	-0.027	0.031	0. 220	0.143
討差と会	テンソル	F22	5. 086	5.182	8.185	5.485	5.402	6.090	3. 773	5.461	4.116	5.805	5.887	6.113	5.904	5.385	5.024	5.106	5.793	5.597	5.640	5.635
道の相交	のクラック	F13	-0.969	0. 224	0.653	0.018	0.527	0. 202	0.516	0. 262	0.368	0.888	0.139	0.317	0.423	0.352	0.404	0.473	0. 263	0.381	0.462	0.352
クセス坑	2 階	F12	2.802	0. 254	-0.994	0.416	-0.372	0.440	0.271	-0.599	-0.253	0.591	0.322	-0.005	0.045	0.067	-0.062	0.105	0. 221	-0.066	-0.011	0.200
n研究ア		F11	9.194	6.361	5.800	5.975	5.708	3. 776	1.723	3. 308	1. 939	3. 390	6.520	5.521	4.472	3.976	3. 155	2.802	5.018	4. 188	3.844	4.468
度 300r	区間 長	L (m)	9.45	9.2	10. 2	9.6	6	9.6	10. 2	9.4	10.4	9.1	47.45	47.6	48.6	47.8	48.6	48.7	76. 65	77.6	77.5	96.15
2 (3)			+3.80	+3.00	+3. 20	+2. 80	+1.80	+1.40	+1.60	+1. 00	+1.40	+0. 50	+1.80	+1.40	+1.60	+1.00	+1.40	+0. 50	+1.00	+1.40	+0. 50	+0. 50
表 7.5.	綮		No. 1	No. 2	No. 3	No. 4	No. 5	No. 6	No. 7	No. 8	No. 9	No. 10	No. 5	No. 6	No. 7	No. 8	No. 9	No. 10	No. 8	No. 9	No. 10	No. 10
	算出対		٢	٢	٢	٢	٢	٢	٢	٢	٢	٢	٢	٢	٢	٢	٢	٢	٢	٢	٢	٢
	é		+4.35	+3.80	+3.00	+3.20	+2.80	+1.80	+1.40	+1.60	+1.00	+1.40	+4.35	+3.80	+3.00	+3.20	+2.80	+1.80	+4.35	+3.80	+3.00	+4.35
			No. 0	No. 1	No. 2	No. 3	No. 4	No. 5	No. 6	No. 7	No. 8	No. 9	No. 0	No. 1	No. 2	No. 3	No. 4	No. 5	No. 0	No. 1	No. 2	No. 0

	()	平均	5.512	3.032	5.249	3.999	4.009	5.749	5.534	7.698	4.993	4.843	4.126	4.202	4.788	5.082	5.327	5.512	4.631	4.586	4.990	4.605
	グ率 (GPa	E33	9.784	5.085	7.955	6.834	6.722	9.575	7.530	13.039	6.125	6.643	6.907	6.972	7.647	8.297	8.113	7.992	7.623	7.215	7.621	7.225
	面なオン	E22	4.133	2.036	3.306	2.807	2.762	3.180	3.400	4.136	3.354	3.252	2.833	2.717	3.072	3.163	3.326	3.411	2.970	2.941	3.211	3.020
側壁)	等	E11	2.620	1.977	4.487	2.355	2.542	4.493	5.671	5.920	5.500	4.633	2.638	2.917	3.645	3.786	4.541	5.132	3.300	3.603	4.138	3.571
·率(右·	相対 誤差	RE	0. 536	0.719	0. 228	0.423	0.310	0. 211	0.325	0.399	0.306	0.269	0.301	0.196	0.032	0.084	0.189	0.257	0.081	0.046	0.120	I
なセンク		F33	1. 348	2.931	1.893	2.029	2.049	1. 246	1.862	0.766	2.723	2.142	2.074	2.010	1.804	1. 558	1.691	1. 731	1. 784	1.963	1.839	1.956
きと等価フ		F23	-0. 013	-0. 480	-0. 536	-0. 156	0.019	0. 762	0.393	-0. 196	0.494	0.944	-0. 254	-0. 018	0.136	0.197	0.300	0.471	0.016	0. 088	0. 248	0. 191
相対誤患	クテンソル	F22	4.221	8.685	5.749	6. 035	5.829	5.633	5.017	4.120	5.263	5.098	6.178	6.487	5.686	5.405	5.173	5.060	5.892	5.957	5.396	5.766
ス坑道の	皆のクラッ	F13	-0. 695	0.178	0.352	0. 022	0.450	0.163	0.675	0. 222	0.403	0. 778	0. 097	0. 251	0.352	0. 327	0.377	0.448	0. 231	0.345	0.405	0.323
宅アクセ 、	21	F12	1. 606	0. 243	-0. 619	0. 792	-0.572	0.351	0.444	-0.363	-0. 277	0.341	0.199	0. 007	0.080	0.116	-0. 059	0.094	0.172	-0. 032	0.003	0. 142
:00m 研3		F11	7.507	9. 203	3.766	7.750	6.839	3. 538	2.422	2.574	2.654	3. 219	6.869	5.979	4.576	4.340	3.438	2.914	5.211	4.614	3.895	4.699
) 深度 3	区間 長	L (m)	9.45	9. 2	10. 2	9.6	6	9.6	10. 2	9.4	10.4	9.1	47.45	47.6	48.6	47.8	48.6	48.7	76.65	77.6	77. 5	96. 15
.5.2 (4)			+3.80	+3.00	+3. 20	+2. 80	+1.80	+1. 40	+1.60	+1.00	+1.40	+0. 50	+1.80	+1.40	+1.60	+1.00	+1.40	+0. 50	+1.00	+1.40	+0. 50	+0. 50
表 7	敎		No. 1	No. 2	No. 3	No. 4	No. 5	No. 6	No. 7	No. 8	No. 9	No. 10	No. 5	No. 6	No. 7	No. 8	No. 9	No. 10	No. 8	No. 9	No. 10	No. 10
	算出対		٢	٢	٢	٢	٢	٢	٢	٢	٢	٢	٢	٢	٢	٢	٢	٢	٢	٢	٢	٢
			+4. 35	+3.80	+3. 00	+3. 20	+2.80	+1.80	+1.40	+1.60	+1.00	+1.40	+4. 35	+3.80	+3.00	+3. 20	+2.80	+1.80	+4. 35	+3.80	+3.00	+4. 35
			No. 0	No. 1	No. 2	No. 3	No. 4	No. 5	No. 6	No. 7	No. 8	No. 9	No. 0	No. 1	No. 2	No. 3	No. 4	No. 5	No. 0	No. 1	No. 2	No. 0

<u></u>
側
垉
C
ы
漤
Ń
2
Ň.
+
10
甩
筆
111
-1
箑
ық
-f×
₩
6
ž
ß
玓
ĸ
Ľ
~
1
P
- <u></u>
Ŧ
μĘ.
E
2
ы
Ή₽Χ
泛
Ŧ
۲
~ .

7.6 モデル化のための条件設定の検討

7.6.1 相対誤差に基づく検討

換気立坑および深度 300m 研究アクセス坑道の相対誤差について、それぞれの同一観測区間に おいて4本のスキャンライン(換気立坑:SW、NW、NE、SE、深度300m 研究アクセス坑道: 左側壁、アーチ左側、アーチ右側、左側壁)の相対誤差を平均した値を表 7.6.1(1)、(2)に、それ ぞれを図化したものを図 7.6.1(1)、(2)に示す。なお同図において、観測区間長が基準区間長に近 づくにつれて、相対誤差が基準区間長の相対誤差=0 に収束する様子を調べるために、各観測区間 長における相対誤差の最大値を塗りつぶして表示してある。図 7.6.1(1)、(2)より、換気立坑、深 度300m 研究アクセス坑道とも区間長が長くなるに伴い相対誤差が0に近づく様子が認められる。

換気立坑と深度 300m 研究アクセス坑道の収束状況を比較するために、それぞれの観測区間長 を基準区間長で正規化し、両者を同一のグラフで表現した。データは、図 7.6.1(1)、(2)の塗りつ ぶしの点(各観測区間長の最大値)を用い、最小自乗法によりフィッティングを行った。これら の図を、図 7.6.1(3)に示す。フィッティングした関数形は対数関数(*y* = *a* ln *x* + *b*)とし、相対 誤差の性質および横軸を正規化していることにより、必ず(1,0)を通るので、フィッティングする 対数関数も(1,0)を通ること(*b*=0)を考慮してある。

図より、深度 300m 研究アクセス坑道の方が換気立坑よりも基準区間長の値への収束が速いこ とが分かる。例えば、相対誤差 0.5 では、相対区間長は、換気立坑については 0.36 (259.6m× 0.36=93.5m)、深度 300m 研究アクセス坑道については 0.21 (96.15m×0.21=20.2m) となり、 また相対誤差 0.2 では、相対区間長は、換気立坑については 0.66 (259.6m×0.66=171.3m)、深 度 300m 研究アクセス坑道については 0.54 (96.15m×0.54=51.9m) となる。小田ら¹⁾によれば、 相対誤差が 0 への収束は、割れ目の密度に大きく依存し、割れ目の密度が大きいほど収束が速い と結論付けている。図 7.6.1(3)を見ると、割れ目の密度が大きい方(深度 300m 研究アクセス坑 道) が割れ目の密度が小さい方(換気立坑)(図 6.3.1(1)参照)よりも基準区間長の値への収束が 速いという結果となっており、小田らの数値実験結果を支持していると考えられる。

区間長	相対			相対誤差		
L (m)	区間長	SW	NW	NE	SE	平均
9.2	0.035	0. 475	0.563	2.673	0. 425	1.034
9.9	0. 038	0.824	0.463	0.893	0. 435	0.654
10. 2	0.039	0. 578	0.960	0.610	0.635	0.696
10.4	0.040	0.608	1.196	0.698	0.636	0. 784
10.4	0.040	0.609	0. 983	1.180	2.005	1.194
10.4	0.040	0.815	0. 423	0. 470	0. 432	0. 535
10.4	0. 040	0. 633	0. 248	0. 530	0. 210	0. 405
10.4	0. 040	0. 570	0. 402	0. 526	0. 642	0. 535
10.4	0.040	0. 981	0. 333	0.675	0. 498	0. 622
10.4	0. 040	0.619	0.359	1.817	1.603	1.099
10.4	0. 040	0. 576	0. 558	0.541	0. 927	0.650
10. 4	0.040	0.844	0. 705	0. 479	0. 432	0. 615
10.4	0.040	0. 712	0. 447	0.751	0.456	0. 592
10.4	0.040	2. 278	1.664	0. 311	0.397	1.162
10.4	0.040	0.837	0. 122	0. 378	0.396	0. 433
10. 4	0.040	0. 361	1.015	0.199	0.369	0. 486
10.4	0.040	1.378	2. 773	1.126	0. 415	1. 423
10. 4	0.040	0. 502	0.366	0. 578	0. 673	0. 530
10.4	0.040	0. 517	0. 209	0.602	0. 312	0. 410
10.5	0. 040	0. 530	0. 454	0. 568	0. 465	0. 504
10.5	0. 040	0. 724	0. 661	0.809	0.832	0. 757
10.5	0. 040	0. 715	0. 389	0. 591	0. 529	0. 556
10.5	0. 040	1.565	0. 695	0.767	0. 455	0.870
10.6	0. 041	3. 039	0. 671	0.830	1.690	1. 557
11.3	0. 044	0. 627	0.801	0. 240	0. 524	0. 548
50	0. 193	0. 566	0.716	0. 528	0.679	0. 622
50	0. 193	0. 598	0. 337	0. 576	0.500	0. 503
50	0. 193	0. 654	0. 467	0.176	0.346	0. 411
50	0. 193	1.368	0. 549	0.860	0. 690	0.867
59.6	0. 230	0. 603	0. 329	0. 822	0. 257	0. 503
100	0. 385	0. 537	0. 455	0. 479	0. 421	0. 473
100	0. 385	0. 205	0. 262	0. 395	0. 423	0. 321
100	0. 385	0.889	0. 348	0. 288	0. 247	0. 443
109.6	0. 422	0. 901	0. 266	0.802	0. 406	0. 594
150	0. 578	0. 332	0. 335	0. 372	0. 284	0. 331
150	0. 578	0. 185	0. 122	0.129	0. 094	0. 133
159.6	0. 615	0. 791	0. 214	0. 484	0. 233	0. 430
200	0. 770	0.116	0. 129	0. 182	0. 098	0. 131
209.6	0.807	0. 254	0. 083	0.130	0. 092	0.140
259.6	1	-	-	-	-	-

表 7.6.1(1) 換気立坑における相対誤差(各区間の平均値)

区間長	相対			相対誤差		
L (m)	区間長	左側壁	アーチ左側	アーチ右側	右側壁	平均
9	0.094	0. 378	0. 137	0. 203	0.310	0. 257
9.1	0. 095	0. 301	0. 371	0. 266	0. 269	0. 302
9.2	0.096	0.511	0. 341	0. 292	0.719	0. 466
9.4	0. 098	0. 571	0. 244	0. 257	0.399	0. 368
9.45	0. 098	0. 648	0.800	0. 842	0. 536	0. 706
9.6	0.100	0. 308	0. 230	0. 219	0. 423	0. 295
9.6	0.100	0. 252	0. 232	0. 196	0. 211	0. 223
10. 2	0.106	0.269	0. 296	0. 453	0. 325	0. 336
10. 2	0. 106	0. 284	0. 505	0. 515	0. 228	0. 383
10.4	0. 108	0. 324	0. 435	0. 404	0. 306	0. 367
47.45	0. 493	0. 322	0. 248	0. 293	0. 301	0. 291
47.6	0. 495	0. 191	0. 109	0. 164	0. 196	0. 165
47.8	0. 497	0. 080	0. 071	0. 096	0. 084	0. 083
48.6	0. 505	0. 178	0. 184	0. 206	0. 189	0. 189
48.6	0.505	0.106	0. 080	0. 051	0. 032	0.067
48.7	0. 507	0. 257	0. 206	0. 244	0. 257	0. 241
76.65	0. 797	0. 084	0.077	0. 086	0. 081	0. 082
77.5	0.806	0. 093	0. 087	0. 096	0. 120	0. 099
77.6	0.807	0.056	0. 077	0.067	0.046	0. 061
96.15	1	-	-	-	-	-

表 7.6.1 (2) 深度 300m 研究アクセス坑道における相対誤差(各区間の平均値)



図 7.6.1 区間長と相対誤差との関係

7.6.2 岩盤の等価なヤング率に基づく検討

前述の相対誤差の場合と同様に岩盤の等価なヤング率を平均した値および E11、E22、E33 を 平均した値を表 7.6.2 の(1)、(2)、それぞれの表を図化したものを図 7.6.2 の(1)、(2)に示す。なお 同図において、観測区間長が基準区間長に近づくにつれて、岩盤の等価なヤング率が基準区間長 の値に収束する様子を調べるために、各観測区間長における岩盤の等価なヤング率の最大値を塗 りつぶして表示してある。図 7.6.2 の(1)、(2)より、換気立坑、深度 300m 研究アクセス坑道とも 区間長が長くなるに伴い、岩盤の等価なヤング率が基準区間長の値に近づく様子が認められる。

換気立坑と深度 300m 研究アクセス坑道の収束状況を比較するために、それぞれの観測区間長 を基準区間長で正規化し、両者を同一のグラフで表現した。データは、図 7.6.2 の(1)、(2)の塗り つぶしの点(各観測区間の最大値)を用い、最小自乗法によりフィッティングを行った。これら の図を、図 7.6.2 の(3)に示す。なお、縦軸の岩盤の等価なヤング率についても基準区間長の値を 用いて正規化を行っている。フィッティングした関数形は対数関数(*y* = *a* ln *x*+*b*)とし、縦軸 および横軸を正規化していることにより、必ず(1, 1)を通るので、フィッティングする対数関数も (1, 1)を通ること(*b* = 1)を考慮してある。

図より、クラックテンソルの相対誤差と同様に、深度 300m 研究アクセス坑道の方が換気立坑 よりも基準区間長の値への収束が速いことが分かる。例えば、正規化した岩盤の等価なヤング率 が1.5 となると収束したと判断すると、相対区間長は、換気立坑では0.27(259.6m×0.27=70.1m)、 深度 300m 研究アクセス坑道では0.15 (96.15m×0.15=14.4m) となり、また正規化した岩盤の 等価なヤング率が1.2 となると収束したと判断すると、相対区間長は、換気立坑では0.59(259.6m ×0.59=153.2m)、深度 300m 研究アクセス坑道では0.47 (96.15m×0.47=45.2m) となる。この 結果は岩盤の等価なヤング率についてもクラックテンソルの相対誤差と同様に、岩盤の等価なヤ ング率が収束する速さは割れ目の密度に大きく依存していると考えられる。

以上の結果より、瑞浪超深地層研究所においては、深度 300m 研究アクセス坑道の方が換気立 坑よりも基準区間長の値への収束が速いことがわかった。値の収束は割れ目の密度に大きく依存 する¹⁾ことから、幾何学的に坑道軸の方向により捉えやすい割れ目の方向が異なることを考慮し、 割れ目の分布特性と坑道軸との関係を考慮した検討が必要であることが分かった。

区間長	相対	等価なヤング率(GPa)				
L (m)	区間長	SW	NW	NE	SE	平均
9.2	0. 035	5.770	16.045	2.966	9. 583	8. 591
9.9	0. 038	4. 131	11.193	4. 792	6.569	6. 671
10. 2	0. 039	6.146	4. 922	7.605	6. 201	6. 218
10.4	0. 040	6. 435	4. 168	12. 926	5.469	7. 250
10. 4	0.040	5.739	4.949	3. 703	2.179	4. 142
10. 4	0.040	3.355	12. 374	11.062	9.638	9. 107
10.4	0.040	4. 027	9. 984	5.043	5. 787	6. 210
10. 4	0.040	4.914	10. 327	11.990	5.055	8.072
10.4	0.040	3. 202	11. 184	4. 726	10. 785	7.474
10. 4	0. 040	3.873	11.663	2. 984	2. 735	5. 314
10. 4	0.040	7.067	6. 487	8. 571	3. 190	6. 329
10. 4	0.040	19. 168	16. 419	8. 623	6.890	12. 775
10. 4	0.040	11. 780	5.949	16. 123	6.996	10. 212
10.4	0. 040	1.907	3. 405	6. 149	8.763	5.056
10. 4	0.040	22. 223	8. 504	10. 175	9.613	12. 629
10.4	0. 040	4. 889	4.810	8.953	5. 471	6. 031
10.4	0. 040	2. 872	2. 798	4. 143	5. 450	3.816
10.4	0. 040	10. 743	12.031	14. 523	4. 986	10. 571
10.4	0. 040	3. 902	8. 784	4. 773	5.007	5.616
10.5	0.040	8.910	10. 577	11.655	5. 137	9.070
10.5	0.040	11.317	8. 791	19. 103	18.943	14. 538
10.5	0.040	13.843	7.163	12. 734	9.560	10. 825
10.5	0.040	2. 704	18. 130	4. 992	6. 258	8. 021
10.6	0.041	1.606	6. 288	4. 566	2. 731	3. 798
11.3	0.044	3. 270	23. 714	5.876	10.098	10. 740
50	0. 193	6.918	5.440	6.664	4. 107	5. 782
50	0. 193	9.693	7.988	11. 512	8.660	9. 463
50	0. 193	3.676	5.888	7.909	8.720	6. 548
50	0. 193	2.861	6.946	4. 548	4. 390	4. 686
59.6	0. 230	4. 057	11.144	4. 541	5.907	6. 412
100	0. 385	7.739	6. 549	8. 477	5. 318	7. 021
100	0. 385	5. 412	6.627	9. 392	8.630	7. 515
100	0. 385	3. 234	6. 587	5. 828	5.359	5. 252
109.6	0. 422	3. 414	8. 726	4. 512	5.099	5. 438
150	0. 578	6.062	6.376	8. 225	5.853	6. 629
150	0. 578	4.460	6.923	7.174	6.045	6. 151
159.6	0.615	3. 477	7.719	5. 202	5.605	5. 501
200	0.770	5. 198	6. 722	7.114	5.320	6. 088
209.6	0.807	4. 436	7. 781	6. 158	6. 112	6. 122
259.6	1	5.107	7.473	6.389	5.540	6. 127

表 7.6.2(1) 換気立坑における岩盤の等価なヤング率(各区間の平均値)

区間長	相対	等価なヤング率(GPa)					
L (m)	区間長	左側壁	アーチ左側	アーチ右側	右側壁	平均	
9	0. 094	3. 548	4. 130	4. 243	4.009	3. 982	
9. 1	0. 095	4. 430	3. 154	4. 383	4.843	4. 202	
9. 2	0. 096	3. 444	5. 082	3.942	3. 032	3. 875	
9.4	0. 098	9.894	4. 691	5.877	7.698	7.040	
9.45	0. 098	5. 438	3. 706	4. 473	5. 512	4. 782	
9.6	0. 100	4. 183	3. 753	4. 207	3.999	4. 036	
9.6	0.100	5.693	4. 195	5. 374	5.749	5. 253	
10. 2	0. 106	4. 249	4. 465	7. 300	5. 534	5. 387	
10. 2	0.106	3.777	2. 925	3. 578	5.249	3. 882	
10.4	0. 108	4. 709	5. 791	6. 221	4. 993	5. 428	
47.45	0. 493	4.015	3. 657	3.996	4. 126	3. 948	
47.6	0. 495	4. 021	3. 789	4. 171	4. 202	4. 046	
47.8	0. 497	4. 831	4. 132	5.062	5. 082	4. 777	
48.6	0. 505	4. 951	4. 486	5. 469	5. 327	5. 058	
48.6	0. 505	4. 158	3. 703	4. 566	4. 788	4. 304	
48.7	0. 507	5. 171	4. 238	5. 497	5. 512	5. 104	
76.65	0.797	4. 494	3. 854	4. 500	4. 631	4. 370	
77.5	0.806	4. 508	3. 891	4. 760	4.990	4. 537	
77.6	0.807	4. 404	4. 088	4. 690	4. 586	4. 442	
96.15	1	4. 421	3.872	4. 561	4.605	4. 365	

表 7.6.2(2) 深度 300m 研究アクセス坑道における岩盤の等価なヤング率(各区間の平均値)



図 7.6.2 区間長と岩盤の等価なヤング率との関係

7.6.3 REV に基づくモデル化のための基準領域の検討

図7.6.1 および図7.6.2 より、REVの性質を考慮すると、基準領域が大きいとそれに伴いREV も大きくなることが想定される。例えば、同じように相対区間長が0.2のときに収束したと判断 されると、基準領域が1mの場合はREVは0.2mとなり、基準領域が100mの場合はREVは20m となる。つまり、REVを適用する目的によって、基準領域の大きさを考慮する必要があることが 言える。例えば、リージョナルスケール(数+km四方)やサイトスケール(数 km四方)など のスケールの解析領域をモデル化する際の要素分割の大きさ(数百 m~数 km程度)を目的とす るのであれば、基準領域も数百 m~数 km程度に設定し、原位置試験の影響範囲(数 cm~数 m 程度)を把握することを目的としているのであれば基準領域は数 m 程度に設定する必要があると 考えられる。試験の影響範囲の把握は、測点間隔、試験のサンプル数などの計測計画の策定に有 効であると考えられる。

8. 本研究のまとめ

2010 年度は、換気立坑(深度 200.2m~459.6m)および水平坑道(200m 予備ステージ、300m 予備ステージ、400m 予備ステージ、深度 300m 研究アクセス坑道)を対象として研究を実施し、 その結果 2010 年度に実施した研究の条件、場所において以下のことが明らかとなった。

様々な観測区間を設定して、壁面観察結果を基に割れ目の密度、トレース長の平均、クラック テンソルのトレースを算出し、換気立坑と水平坑道とを比較し、深度との関係を検討した。その 結果、以下の①~③のことが明らかとなった。

①割れ目の密度

- ・換気立坑では、50m 区間ごとの観測区間の結果について、深度が深くなるにつれて割れ目の 密度はやや減少する傾向にある。
- ・水平坑道では、各深度の水平坑道ごとの結果について、換気立坑よりも割れ目の密度が大きい。深度との明確な関係は認められない。
- ②トレース長の平均値
- ・換気立坑では、50m 区間ごとの観測区間の結果について、2±1(m)程度の値を示した。深度 との明確な関係は認められない。なお、水平坑道との明確な差異は認められない。
- ・水平坑道では、各深度の水平坑道ごとの結果について、2±1(m)程度の値を示した。深度との 明確な関係は認められない。
- なお、上記のように換気立坑および水平坑道とも 2m 程度の値を示した。
- ③クラックテンソルのトレース
- ・換気立坑では、50m区間ごとの観測区間の結果について、深度との明確な関係はほとんど認められない。
- ・水平坑道では、各深度の水平坑道ごとの結果について、換気立坑よりもやや高い値を示した。
 これは、水平坑道の方が換気立坑よりも割れ目の密度が大きいためであると考えられる。深度との明確な関係は認められない。

割れ目の密度、トレース長の平均、クラックテンソルのトレースと電中研式の岩盤等級との関係を検討した。その結果、以下の①~③のことが明らかとなった。

割れ目の密度

- ・換気立坑では、明瞭な関係は認められない。
- ・水平坑道では、岩盤等級が低下すると割れ目の密度は増大し、負の相関関係が認められる。 また水平坑道の割れ目の密度は、換気立坑の割れ目の密度よりも大きい値を示した。
- ②トレース長の平均値
- ・換気立坑では、岩盤等級に関わらず、ほとんどの値が2±1(m)程度の値を示した。
- ・水平坑道では、岩盤等級に関わらず、ほとんどの値が 2±1(m)程度の値を示し、換気立坑と 同様の傾向が認められた。
- ③クラックテンソルのトレース
- ・換気立坑では、明瞭な関係性はほとんど認められない。
- ・水平坑道では、岩盤等級が高くなると割れ目の密度は低下し、負の相関関係が認められる。

以上のように、割れ目の密度、トレース長の平均、クラックテンソルのトレースについて、深 度との明確な関係は認められなかったが、岩盤等級と割れ目密度およびクラックテンソルのトレ ースとの関係について、水平坑道では負の相関関係が認められた。換気立坑については岩盤等級 の変化が少なかったため相関関係を確認することが困難であった可能性があり、引き続き検討が 必要である。クラックテンソルのトレースは割れ目を含む岩盤の等価剛性と負の相関がある。よ って本研究の結果によれば、瑞浪超深地層研究所では、定性的な判断を含む岩盤等級を力学特性 などの物性分布と定量的に結び付けることができる可能性を示唆している。

瑞浪超深地層研究所用地におけるモデル化のための条件設定の検討を試みた。その結果、以下 のことが明らかとなった。

①クラックテンソルの相対誤差に基づく検討

深度 300m 研究アクセス坑道の方が収束が速いことが分かった。例えば、相対誤差が 0.2 と なると収束したと判断すると、相対区間長は、換気立坑では 0.66 (259.6m×0.66=171.3m)、 深度 300m 研究アクセス坑道では 0.54 (96.15m×0.54=51.9m) となった。これらの結果よ り、クラックテンソルの相対誤差において、換気立坑の方が寸法効果が大きいことが分かった。

②岩盤の等価なヤング率に基づく検討

深度 300m 研究アクセス坑道の方が収束が速いことが分かった。例えば、正規化した岩盤の 等価なヤング率が 1.2 となると収束したと判断すると、相対区間長は、換気立坑では 0.59 (259.6m×0.59=153.2m)、深度 300m 研究アクセス坑道では 0.47 (96.15m×0.47=45.2m) となる。これらの結果より、岩盤の等価なヤング率において、換気立坑の方が寸法効果が大 きいことが分かった。

以上より、割れ目の密度が大きい方(深度 300m 研究アクセス坑道)が割れ目の密度が小さい 方(換気立坑)よりも相対誤差が収束するのが速いことが分かった。この結果は、相対誤差が収 束する速さは、割れ目の密度に大きく依存するという小田らの数値実験結果 ¹⁾を支持するもので あった。

また、目的によって、基準領域の大きさを考慮する必要があることが分かった。例えばリージョナルスケール(数+km四方)やサイトスケール(数km四方)などのスケールの解析領域を モデル化する際の要素分割の大きさ(数百m~数km程度)を目的とするのであれば、基準領域 も数百m~数km程度に設定し、原位置試験の影響範囲(~数m程度)を把握することを目的と しているのであれば基準領域は数m程度に設定する必要があることが分かった。

また、坑道などの曲面状の壁面に現れる割れ目について、割れ目のトレース長の算出方法を新たに提案した。2004年度の研究³⁾では、わが国の様々なサイトの調査から得られたトレース長と 累積頻度との関係を示す近似曲線¹⁰⁾および累積頻度の分布結果¹¹⁾に基づき、瑞浪超深地層研究所 での割れ目のトレース長を算出していたが、新たに提案された方法に基づき割れ目のトレース長 を算出することにより、2004年度の調査研究よりも、より多くの原位置の情報を反映することが 可能となった。

参考文献

- 1) 小田匡寛, 亀村勝美, 羽出山吉裕: "不連続性岩盤の Representative Elementary Volume (REV) について", 埼玉大学工学部建設系研究報告, 第17巻 (1987)
- 2) 糸魚川淳二: "瑞浪地域の地質", 瑞浪市化石博物館専報, No.1, pp.1-50 (1980)
- 3) 郷家光男, 堀田政國, 若林成樹, 中谷篤史: "クラックテンソル・仮想割れ目モデルによる瑞浪 超深地層研究所研究坑道の掘削影響解析", サイクル機構技術資料(契約業務報告書 清水建 設株式会社), JNC-TJ7400 2005-058 (2004)
- 4) 瀬野康弘,中間茂雄,佐藤稔紀,郷家光男,多田浩幸,櫻井英行:"クラックテンソル・仮想割 れ目モデルによる瑞浪超深地層研究所研究坑道の掘削影響解析",JAEA-Research 2007-081 (2007)
- 5) 松井裕哉,丹野剛男,平野享,郷家光男,熊坂博夫,多田浩幸,石井卓:"クラックテンソルに よる瑞浪超深地層研究所研究坑道の掘削影響予測解析(2009年度)",日本原子力研究開発 機構,JAEA-Research 2010-043 (2010)
- 6) J. Bear: "Dynamics of fluids in porous media", American Elsevier, New York (1972)
- 7) 國丸貴紀, 見掛信一郎, 西尾和久, 鶴田忠彦, 松岡稔幸, 早野明, 竹内竜史, 三枝博光, 大山卓也, 水野 崇, 丹野剛男, 平野享, 竹内真司, 尾方伸久, 濱克 宏, 池田幸喜, 山本 勝, 弥富洋介, 島田 顕臣, 松井裕哉, 伊藤洋昭, 杉原弘造: "超深地層研究所計画 年度報告書(2009 年度)" JAEA-Review 2011-007(2011)
- 8) M. Oda: "An experimental study of the elasticity of mylonite rock with random cracks", International Journal of Rock Mechanics and Mining Science & Geomechanics Abstracts, Vol.25, No.2, pp.59-69 (1988)
- 9) M. Oda: "A method for evaluating the representative elementary volume based on joint survey of rock masses", Canadian Geotechnical Journal, Vol.25, pp.440-447 (1988)
- 10) 森孝之, 森川誠司, 田部井和人, 岩野圭太: "研究坑道掘削に伴う坑道周辺岩盤への力学的影響評価解析", サイクル機構技術資料(契約業務報告書 鹿島建設株式会社), JNC-TJ7400 2002-007 (2002)
- 11)大津宏康,西山哲,土山富広,中井亮太朗,澤田淳,山田直之,坂本和彦,内田雅大:"我が 国の岩盤における亀裂特性とそのモデル化に関する研究 ー亀裂モデルの信頼性評価手法の開 発-(先行基礎工学分野における共同研究 最終報告書)",サイクル機構技術資料(京都大学 大学院 核燃料サイクル開発機構共同研究), JNC-TY8400 2001-004 (2001)

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

表2. 基本甲位を用	いて表されるSI組立単位	立の例		
和辛雪	SI 基本単位			
和立里	名称	記号		
面 積平	方メートル	m^2		
体 積立	法メートル	m^3		
速さ,速度メ	ートル毎秒	m/s		
加速度メ	ートル毎秒毎秒	m/s^2		
波 数每	メートル	m ⁻¹		
密度,質量密度キ	ログラム毎立方メートル	kg/m ³		
面積密度キ	ログラム毎平方メートル	kg/m ²		
比 体 積立	方メートル毎キログラム	m ³ /kg		
電流密度ア	ンペア毎平方メートル	A/m^2		
磁界の強さア	ンペア毎メートル	A/m		
量 濃 度 ^(a) , 濃 度 モ	ル毎立方メートル	mol/m ³		
質量濃度キ	ログラム毎立法メートル	kg/m ³		
輝 度力	ンデラ毎平方メートル	cd/m^2		
屈 折 率 ^(b) (数字の) 1	1		
比透磁率(b)	数字の) 1	1		
(a) 量濃度 (amount concentra	ation)は臨床化学の分野では	物質濃度		
(substance concentration)	とも上げれる			

(substance concentration)ともよばれる。
 (b)これらは無次元量あるいは次元1をもつ量であるが、そのことを表す単位記号である数字の1は通常は表記しない。

表3. 固有の名称と記号で表されるSI組立単位

			SI 租立单位	
組立量	名称	記号	他のSI単位による 表し方	SI基本単位による 表し方
亚	5.37 v (b)	red	1 (b)	m/m
	() / / / / / / (b)	(c)	1 1 (b)	2/ 2
		sr II-	1	m m -1
同 仮 多		пг		S .
カ	ニュートン	N		m kg s ⁻²
E 力 , 応 力	パスカル	Pa	N/m ²	m ⁻¹ kg s ⁻²
エネルギー,仕事,熱量	ジュール	J	N m	$m^2 kg s^2$
仕事率, 工率, 放射束	ワット	W	J/s	m ² kg s ⁻³
電荷,電気量	クーロン	С		s A
電位差(電圧),起電力	ボルト	V	W/A	$m^2 kg s^{-3} A^{-1}$
静電容量	ファラド	F	C/V	$m^{-2} kg^{-1} s^4 A^2$
電気抵抗	オーム	Ω	V/A	$m^2 kg s^{\cdot 3} A^{\cdot 2}$
コンダクタンス	ジーメンス	s	A/V	$m^{-2} kg^{-1} s^3 A^2$
磁東	ウエーバ	Wb	Vs	$m^2 kg s^2 A^1$
磁束密度	テスラ	Т	Wb/m ²	$kg s^{2} A^{1}$
インダクタンス	ヘンリー	Н	Wb/A	$m^2 kg s^{-2} A^{-2}$
セルシウス温度	セルシウス度 ^(e)	°C		K
光東	ルーメン	lm	cd sr ^(c)	cd
照度	ルクス	lx	lm/m ²	m ⁻² cd
放射性核種の放射能 ^(f)	ベクレル ^(d)	Bq		s ⁻¹
吸収線量 比エネルギー分与				
カーマ	グレイ	Gy	J/kg	m ² s ²
線量当量,周辺線量当量,方向	2 2 2 1 (g)	C	T/la a	2 -2
性線量当量,個人線量当量		SV	J/Kg	ms
酸素活性	カタール	kat		s ⁻¹ mol

酸素活性(カタール) kat [s¹ mol]
 (a)SI接頭語は固有の名称と記号を持つ組立単位と組み合わせても使用できる。しかし接頭語を付した単位はもはや ュヒーレントではない。
 (b)ラジアンとステラジアンは数字の1に対する単位の特別な名称で、量についての情報をつたえるために使われる。 実際には、使用する時には記号rad及びsrが用いられるが、習慣として組立単位としての記号である数字の1は明 示されない。
 (a)測光学ではステラジアンという名称と記号srを単位の表し方の中に、そのまま維持している。
 (d)へルツは周崩現象についてのみ、ペシレルは抜焼性核種の統計的過程についてのみ使用される。
 (a)セルシウス度はケルビンの特別な名称で、セルシウス温度度を表すために使用される。
 (d)やレシウス度はケルビンの特別な名称で、セルシウス温度を表すために使用される。
 (d)かけ性核種の放射能(activity referred to a radionuclide) は、しばしば誤った用語で"radioactivity"と記される。
 (g)単位シーベルト(PV,2002,70,205) についてはCIPM勧告2 (CI-2002) を参照。

表4.単位の中に固有の名称と記号を含むSI組立単位の例

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

表 5. SI 接頭語							
乗数	接頭語	記号	乗数	接頭語	記号		
10^{24}	э 9	Y	10 ⁻¹	デシ	d		
10^{21}	ゼタ	Z	10 ⁻²	センチ	с		
10^{18}	エクサ	E	10 ⁻³	ミリ	m		
10^{15}	ペタ	Р	10 ⁻⁶	マイクロ	μ		
10^{12}	テラ	Т	10 ⁻⁹	ナノ	n		
10^{9}	ギガ	G	10^{-12}	ピコ	р		
10^{6}	メガ	M	10^{-15}	フェムト	f		
10^{3}	+ 1	k	10 ⁻¹⁸	アト	а		
10^{2}	ヘクト	h	10^{-21}	ゼプト	z		
10^{1}	デカ	da	10 ⁻²⁴	ヨクト	v		

表6.SIに属さないが、SIと併用される単位					
名称	記号	SI 単位による値			
分	min	1 min=60s			
時	h	1h =60 min=3600 s			
日	d	1 d=24 h=86 400 s			
度	٥	1°=(п/180) rad			
分	,	1'=(1/60)°=(п/10800) rad			
秒	"	1"=(1/60)'=(п/648000) rad			
ヘクタール	ha	1ha=1hm ² =10 ⁴ m ²			
リットル	L, 1	1L=11=1dm ³ =10 ³ cm ³ =10 ⁻³ m ³			
トン	t	$1t=10^{3}$ kg			

表7. SIに属さないが、SIと併用される単位で、SI単位で

衣される奴値が実験的に待られるもの						
名称 記号				記号	SI 単位で表される数値	
電	子 >	ボル	ŀ	eV	1eV=1.602 176 53(14)×10 ⁻¹⁹ J	
ダ	N	ŀ	\sim	Da	1Da=1.660 538 86(28)×10 ⁻²⁷ kg	
統-	一原子	質量単	单位	u	1u=1 Da	
天	文	単	位	ua	1ua=1.495 978 706 91(6)×10 ¹¹ m	

表8.SIに属さないが、SIと併用されるその他の単位

	名称		記号	SI 単位で表される数値
バ	-	ル	bar	1 bar=0.1MPa=100kPa=10 ⁵ Pa
水銀	柱ミリメー	トル	mmHg	1mmHg=133.322Pa
オン	グストロ・	- 4	Å	1 Å=0.1nm=100pm=10 ⁻¹⁰ m
海		里	М	1 M=1852m
バ	-	ン	b	1 b=100fm ² =(10 ⁻¹² cm)2=10 ⁻²⁸ m ²
1	ツ	ŀ	kn	1 kn=(1852/3600)m/s
ネ	-	パ	Np	CI単位しの粉値的な間接け
ベ		N	В	対数量の定義に依存。
デ	ジベ	ル	dB -	

表9. 固有の名称をもつCGS組立単位

名称	記号	SI 単位で表される数値			
エルグ	erg	1 erg=10 ⁻⁷ J			
ダイン	dyn	1 dyn=10 ⁻⁵ N			
ポアズ	Р	1 P=1 dyn s cm ⁻² =0.1Pa s			
ストークス	St	$1 \text{ St} = 1 \text{ cm}^2 \text{ s}^{-1} = 10^{-4} \text{ m}^2 \text{ s}^{-1}$			
スチルブ	sb	$1 \text{ sb} = 1 \text{ cd } \text{ cm}^{\cdot 2} = 10^4 \text{ cd } \text{m}^{\cdot 2}$			
フォト	ph	1 ph=1cd sr cm ⁻² 10 ⁴ lx			
ガ ル	Gal	1 Gal =1cm s ⁻² =10 ⁻² ms ⁻²			
マクスウェル	Mx	$1 \text{ Mx} = 1 \text{ G cm}^2 = 10^{-8} \text{Wb}$			
ガウス	G	1 G =1Mx cm ⁻² =10 ⁻⁴ T			
エルステッド ^(c)	Oe	1 Oe ≙ (10 ³ /4π)A m ^{·1}			
(c) 3元系のCGS単位系とSIでは直接比較できないため、等号「 🏠 」					

は対応関係を示すものである。

		表	(10.	SIに 尾	禹さないその他の単位の例
	名称			記号	SI 単位で表される数値
キ	ユ	IJ	ĺ	Ci	1 Ci=3.7×10 ¹⁰ Bq
$\scriptstyle u$	ン	トゲ	\sim	R	$1 \text{ R} = 2.58 \times 10^{-4} \text{C/kg}$
ラ			K	rad	1 rad=1cGy=10 ⁻² Gy
$\scriptstyle u$			ム	rem	1 rem=1 cSv=10 ⁻² Sv
ガ	:	\sim	7	γ	1 γ =1 nT=10-9T
フ	II.	N	"		1フェルミ=1 fm=10-15m
メー	ートルネ	系カラ:	ット		1メートル系カラット=200 mg=2×10-4kg
ŀ			N	Torr	1 Torr = (101 325/760) Pa
標	進	大気	圧	atm	1 atm = 101 325 Pa
力	П	IJ	ļ	cal	1cal=4.1858J(「15℃」カロリー), 4.1868J (「IT」カロリー) 4.184J(「熱化学」カロリー)
3	カ	17	~		$1 = 1 = 10^{-6} m$

この印刷物は再生紙を使用しています