

野島断層における深層掘削調査の概要と 岩石物性試験結果(平林・岩屋・甲山)

Deep Borehole Drilling Surveys Along the Nojima Fault, Central Japan – Hirabayashi, Iwaya, Kabutoyama Sites



防災科学技術研究所研究資料

- 第300号 強震ネットワーク 強震データ Vol. 21 (平成18年 No.1) (CD-ROM). 2007年3月発行
- 第301号 強震ネットワーク 強震データ Vol. 22 (平成18年 No.2) (CD-ROM). 2007年3月発行
- 第302号 長岡における積雪観測資料(30) (2005.11～2006.3) 37pp. 2007年3月発行
- 第303号 2003年十勝沖地震の観測記録を用いた強震動予測手法の検証 (CD-ROM版). 2007年3月発行
- 第304号 アジア・太平洋国際地震・火山観測網構築計画に関する事前調査 96pp. 2007年3月発行
- 第305号 新庄における気象と降積雪の観測(2005/06年冬期) 45pp. 2007年3月発行
- 第306号 地震荷重を受ける減肉配管の破壊過程解明に関する研究報告書 78pp. 2007年3月発行
- 第307号 根尾谷断層水鳥地区における深層ボーリング調査と地殻応力測定 (付録 CD-ROM) 33pp. 2007年8月発行
- 第308号 地すべり地形分布図 第32集「松山・宇和島」26葉 (5万分の1). 2007年9月発行
- 第309号 地すべり地形分布図 第33集「大分」18葉 (5万分の1). 2007年11月発行
- 第310号 Geological and Logging Data of the NIED wells, Japan -Active fault, Seismogenic zone, Hingeline – 29pp. 2008年3月発行
- 第311号 新庄における気象と降積雪の観測(2006/07年冬期) 35pp. 2007年11月発行
- 第312号 地すべり地形分布図 第34集「延岡・宮崎」19葉 (5万分の1). 2008年3月発行
- 第313号 微動探査観測ツールの開発 その1ー常時微動解析ツールー (付録 CD-ROM) 133pp. 2008年3月発行
- 第314号 距離減衰式による地震動予測ツールの開発 (付録 CD-ROM) 66pp. 2008年3月発行
- 第315号 地すべり地形分布図 第35集「八代」18葉 (5万分の1). 2008年3月発行
- 第316号 地すべり地形分布図 第36集「熊本」15葉 (5万分の1). 2008年3月発行
- 第317号 2004年新潟県中越地震による斜面変動分布図 (付録 CD-ROM) 37pp. 2008年3月発行
- 第318号 強震ネットワーク 強震データ Vol. 23 (平成19年 No.1) (CD-ROM版). 2008年3月発行
- 第319号 強震ネットワーク 強震データ Vol. 24 (平成19年 No.2) (CD-ROM版). 2008年3月発行
- 第320号 平成17年度大都市大震災軽減化特別プロジェクトII 木造建物実験-震動台活用による構造物の耐震性向上研究- (付録 CD-ROM) 152pp. 2008年3月発行
- 第321号 平成17年度大都市大震災軽減化特別プロジェクト 実大6層RC建物実験報告書 (付録 CD-ROM) 46pp. 2008年3月発行
- 第322号 地すべり地形分布図 第37集「福岡・中津」24葉 (5万分の1). 2008年8月発行
- 第323号 地すべり地形分布図 第38集「長崎・唐津」29葉 (5万分の1). 2008年9月発行
- 第324号 地すべり地形分布図 第39集「鹿児島」24葉 (5万分の1). 2008年11月発行
- 第325号 地すべり地形分布図 第40集「一関・石巻」19葉 (5万分の1). 2009年2月発行
- 第326号 新庄における気象と降積雪の観測(2007/08年冬期) 33pp. 2008年12月発行
- 第327号 防災科学技術研究所45年のあゆみ (付録 DVD) 224pp. 2009年3月発行
- 第328号 地すべり地形分布図 第41集「盛岡」18葉 (5万分の1). 2009年3月発行
- 第329号 地すべり地形分布図 第42集「野辺地・八戸」24葉 (5万分の1). 2009年3月発行
- 第330号 地域リスクとローカルガバナンスに関する調査報告 53pp. 2009年3月発行
- 第331号 E-Defenseを用いた実大RC橋脚(C1-1橋脚)震動破壊実験研究報告書-1970年代に建設された基部曲げ破壊タイプのRC橋脚震動台実験- (付録 DVD) 107pp. 2009年1月発行
- 第332号 強震ネットワーク 強震データ Vol. 25 (平成20年 No.1) (CD-ROM版). 2009年3月発行
- 第333号 強震ネットワーク 強震データ Vol. 26 (平成20年 No.2) (CD-ROM版). 2009年3月発行
- 第334号 平成17年度大都市大震災軽減化特別プロジェクトII 地盤基礎実験-震動台活用による構造物の耐震性向上研究- (付録 CD-ROM) 62pp. 2009年10月発行
- 第335号 地すべり地形分布図 第43集「函館」14葉 (5万分の1). 2009年12月発行
- 第336号 全国地震動予測地図作成手法の検討 (7分冊+ CD-ROM版). 2009年11月発行
- 第337号 強震動評価のための全国深部地盤構造モデル作成手法の検討 (付録 DVD). 2009年12月発行
- 第338号 地すべり地形分布図 第44集「室蘭・久遠」21葉 (5万分の1). 2010年3月発行
- 第339号 地すべり地形分布図 第45集「岩内」14葉 (5万分の1). 2010年3月発行
- 第340号 新庄における気象と降積雪の観測(2008/09年冬期) 33pp. 2010年3月発行
- 第341号 強震ネットワーク 強震データ Vol. 27 (平成21年 No.1) (CD-ROM版). 2010年3月発行
- 第342号 強震ネットワーク 強震データ Vol. 28 (平成21年 No.2) (CD-ROM版). 2010年3月発行
- 第343号 阿寺断層系における深層ボーリング調査の概要と岩石物性試験結果 (付録 CD-ROM) 15pp. 2010年3月発行

防災科学技術研究所研究資料

- 第344号 地すべり地形分布図 第46集「札幌・苫小牧」19葉 (5万分の1). 2010年7月発行
- 第345号 地すべり地形分布図 第47集「夕張岳」16葉 (5万分の1). 2010年8月発行
- 第346号 長岡における積雪観測資料 (31) (2006/07,2007/08,2008/09冬期) 47pp. 2010年9月発行
- 第347号 地すべり地形分布図 第48集「羽幌・留萌」17葉 (5万分の1). 2010年11月発行
- 第348号 平成18年度大都市大震災軽減化特別プロジェクト実大3層RC建物実験報告書 (付録 DVD) 68pp. 2010年8月発行
- 第349号 防災科学技術研究所による深層掘削調査の概要と岩石物性試験結果 (足尾・新宮・牛伏寺) (付録 CD-ROM) 12pp. 2010年8月発行
- 第350号 アジア防災科学技術情報基盤 (DRH-Asia) コンテンツ集 266pp. 2010年12月発行
- 第351号 新庄における気象と降積雪の観測 (2009/10年冬期) 31pp. 2010年12月発行
- 第352号 平成18年度大都市大震災軽減化特別プロジェクトII 木造建物実験-震動台活用による構造物の耐震性向上研究- (付録 CD-ROM) 120pp. 2011年1月発行
- 第353号 地形・地盤分類および常時微動のH/Vスペクトル比を用いた地震動のスペクトル増幅率の推定 242pp. 2011年1月発行
- 第354号 地震動予測地図作成ツールの開発 (付録 DVD) 155pp. 2011年5月発行
- 第355号 ARTSにより計測した浅間山の火口内温度分布 (2007年4月から2010年3月) 28pp. 2011年1月発行
- 第356号 長岡における積雪観測資料 (32) (2009/10冬期) 29pp. 2011年2月発行
- 第357号 浅間山鬼押出火山観測井コア試料の岩相と層序 (付録 DVD) 32pp. 2011年2月発行
- 第358号 強震ネットワーク 強震データ Vol. 29 (平成22年 No.1) (CD-ROM版). 2011年2月発行
- 第359号 強震ネットワーク 強震データ Vol. 30 (平成22年 No.2) (CD-ROM版). 2011年2月発行
- 第360号 K-NET・KiK-net 強震データ (1996～2010) (DVD版 6枚組). 2011年3月発行
- 第361号 統合化地下構造データベースの構築 <地下構造データベース構築ワーキンググループ報告書> 平成23年3月 238pp. 2011年3月発行
- 第362号 地すべり地形分布図 第49集「旭川」16葉 (5万分の1). 2011年11月発行
- 第363号 長岡における積雪観測資料 (33) (2010/11冬期) 29pp. 2012年2月発行
- 第364号 新庄における気象と降積雪の観測 (2010/11年冬期) 45pp. 2012年2月発行
- 第365号 地すべり地形分布図 第50集「名寄」16葉 (5万分の1). 2012年3月発行
- 第366号 浅間山高峰火山観測井コア試料の岩相と層序 30pp. 2012年2月発行
- 第367号 防災科学技術研究所による関東・東海地域における水圧破碎井の孔井検層データ 29pp. 2012年3月発行
- 第368号 台風災害被害データの比較について(1951年～2008年, 都道府県別資料) (付録 CD-ROM)19pp. 2012年5月発行
- 第369号 E-Defenseを用いた実大RC橋脚(C1-5橋脚)震動破壊実験研究報告書-実在の技術基準で設計したRC橋脚の耐震性に関する震動台実験及びその解析- (付録 DVD) 64pp. 2012年10月発行
- 第370号 強震動評価のための千葉県・茨城県における浅部・深部地盤統合モデルの検討 (付録 DVD) 300pp. 発行予定

- 編集委員会 -		防災科学技術研究所研究資料 第371号
(委員長)	納口恭明	
(委員)		平成24年12月20日発行
實渕哲也	鈴木真一	編集兼 独立行政法人
本吉弘岐	田原健一	発行者 防災科学技術研究所
橋本俊幸		〒305-0006
(事務局)		茨城県つくば市天王台3-1
吉田則夫	根岸弘明	電話(029)863-7635
鈴木比奈子		http://www.bosai.go.jp/
(編集・校正)	樋山信子	印刷所 前田印刷株式会社
		茨城県つくば市山中152-4

© National Research Institute for Earth Science and Disaster Prevention 2012

※防災科学技術研究所の刊行物については、ホームページ (<http://dil-opac.bosai.go.jp/publication/index.html>) をご覧ください。

野島断層における深層掘削調査の概要と岩石物性試験結果（平林・岩屋・甲山）

山田隆二*・小村健太郎*・池田隆司**

Deep Borehole Drilling Surveys Along the Nojima Fault, Central Japan – Hirabayashi, Iwaya, Kabutoyama Sites

Ryuji YAMADA*, Kentaro OMURA*, and Ryuji IKEDA**

**Earthquake and Volcano Research Unit,
National Research Institute for Earth Science and Disaster Prevention, Japan
ryamada@bosai.go.jp, omura@bosai.go.jp*

***Earth and Planetary Dynamics, Natural History Science, Hokkaido University, Japan
ikeryu@mail.sci.hokudai.ac.jp*

Abstract

This report documents the outline of the deep borehole drilling survey conducted by NIED at three locations along the Nojima Fault, central Japan; Hirabayashi site (1,839 m deep), Iwaya site (1,002 m) in Awaji Island and Kabutoyama site (1,313 m) in Nishinomiya. Rock core samples were collected at different depths along the each borehole, and served for various laboratory tests, such as rock density and coefficient of water absorption measurement, ultrasonic velocity measurement, unconfined compression and splitting test, thermal conductivity measurement, permeability measurement, triaxial compression test, mineral composition analysis, whole rock chemical composition determination of major and trace elements, X-ray diffraction analysis, and K-Ar radiometric age determination.

Key words: Nojima fault, Active fault, Borehole drilling, Rock tests

1. はじめに

防災科学技術研究所では、内陸地震の発生を支配しているメカニズムの解明など、災害の軽減につながる地球科学的な課題の解決を目的として、日本各地で深層掘削調査を進めている。特に、活断層の内部・周辺における掘削による原位置試験およびコアリングは、断層岩の構造や物性、活断層や島弧地殻の物理状態をよりよく理解するために必要である。

本稿では、平成7年度に実施した兵庫県淡路市および兵庫県西宮市における掘削調査の概要、および岩石物性試験の結果について報告する。兵庫県南部地震を起こした断層周辺においてドリリング（掘削）

を行い、活断層周辺の応力状態および断層構成岩石の物性や強度等を測定し、活断層の危険度評価に関する研究のため基礎的データを取得する。また、今回の地震断層に隣接する地域の断層についても同様の各種調査を行い、断層の強度分布や応力の空間的・時間的な蓄積プロセスの解明に資することを目的とする。

なお、この調査の科学的意義については池田ほか(2001)で述べられている。また、掘削調査における物理検層結果(Matsuda *et al.*, 2008)および、同時に行った水圧破砕法による地殻応力測定と電磁気探査等の結果については別稿にて報告する。

* 独立行政法人 防災科学技術研究所 地震・火山防災研究ユニット

** 北海道大学 大学院理学研究院 自然史科学部門

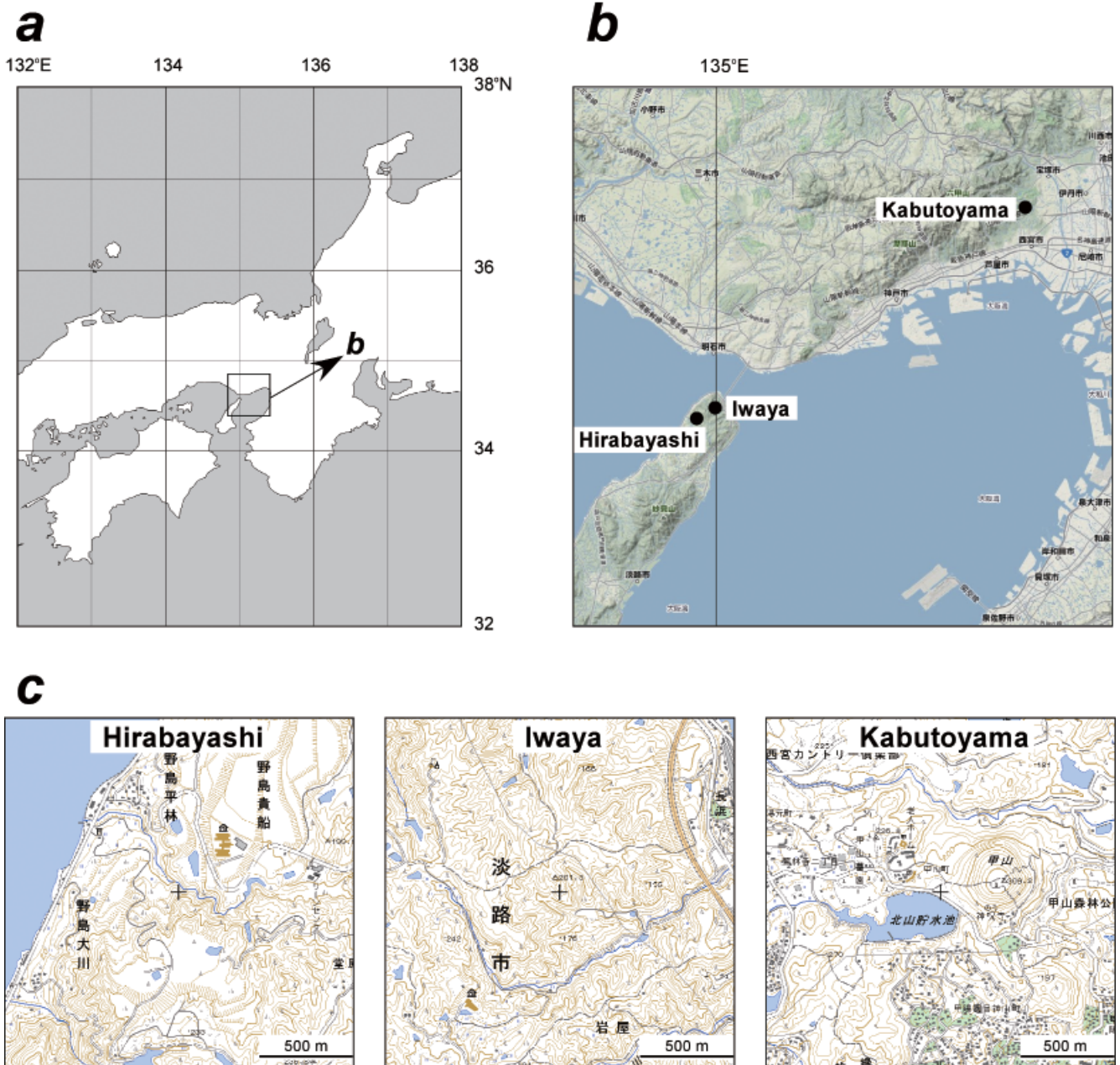


図1 掘削調査孔地点図
Fig. 1 Location map of the drilling sites.

2. 深層掘削調査

2.1 掘削地点

深層掘削調査地点を図1に示す。3つの掘削点の所在地、緯度、経度、標高は以下の通りである。

- 平林：掘削深度 1838.8 m
兵庫県淡路市平林
緯度経度 北緯 34°34'54.6" 東経 134°58'13.7"
(世界測地系、以下同じ.)
- 岩屋：掘削深度 1001.5 m
兵庫県淡路市岩屋
緯度経度 北緯 34°35'26.9" 東経 135°0'3.3"
孔口標高：海拔約 120 m
- 甲山：掘削深度 1313.2 m
兵庫県西宮市甲山(兵庫県立甲山森林公園内)
緯度経度 北緯 34°46'27.7" 東経 135°19'32.7"
孔口標高：海拔約 222 m

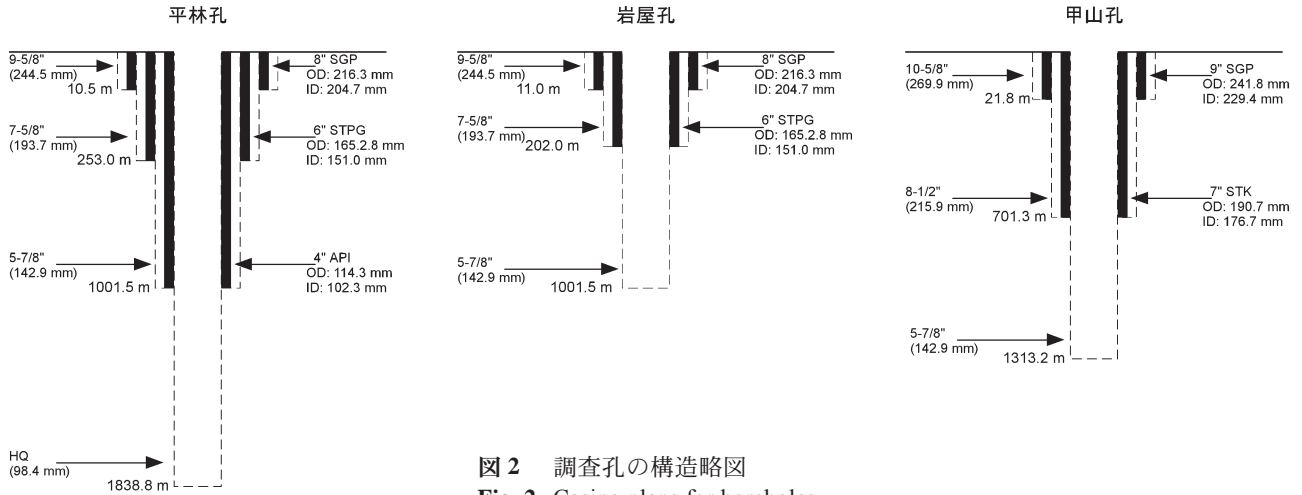


図2 調査孔の構造略図
Fig. 2 Casing plans for boreholes.

表1 掘削の概要
Table 1 Outlines of the borehole drilling.

	平林孔		岩屋孔		甲山孔	
掘削 (深度 m, 径)	0.0 - 10.5 10.5 - 253.0 253.0 - 1001.5 1001.5 - 1838.8	9-5/8" 7-5/8" 5-7/8" HQ-WL	0.0 - 11.0 11.0 - 202.0 202.2 - 1001.5	9-5/8" 7-5/8" 5-7/8"	0.0 - 21.8 21.8 - 1313.2 (21.8 - 701.3)	10-5/8" 5-7/8" (8-1/2" 拡堀)
ケーシング (深度 m, 径)	0.0 - 10.3 0.0 - 251.3 0.0 - 1000.3	8" SGP 6" STPG 4" STPG	0.0 - 11.0 0.0 - 200.0	8" SGP 6" STPG	0.0 - 21.8 0.0 - 701.0	9" SGP 7" STK
水圧破壊応力 測定 (深度 m)	253.1 - 1001.5 1001.5 - 1838.8	10 カ所 10 カ所	202.0 - 1001.5	10 カ所	21.8 - 703.0 703.0 - 1313.2	10 カ所 10 カ所
間隙水圧測定 (深度 m)	253.1 - 1001.5 1001.5 - 1838.8	3 カ所 3 カ所	202.0 - 1001.5	3 カ所	21.8 - 703.0 703.0 - 1313.2	3 カ所 3 カ所
コアリング (深度 m, 径)	98.6 - 103.0 201.0 - 205.1 448.1 - 467.7 658.5 - 673.7 830.2 - 845.5	131.0 mm 131.0 mm HQ HQ HQ	98.6 - 102.6 248.2 - 264.2 435.3 - 459.7 637.1 - 653.0 836.8 - 840.5 953.3 - 984.3	131.0 mm HQ HQ HQ HQ HQ	200.0 - 222.6 400.0 - 422.0 631.5 - 646.5 801.0 - 819.3 1042.5 - 1058.0 1234.0 - 1239.7	HQ HQ HQ HQ HQ HQ
孔芯傾斜測定 (深度 m)	50.0, 100.0, 150.0 200.0, 250.0, 300.0, 350.0, 400.0, 463.8, 465.4, 466.9, 500.0, 515.7, 555.0, 571.3, 600.0, 626.8, 650.0, 663.4, 667.3, 669.4, 682.2, 700.0, 730.0, 750.0, 773.0, 800.0, 822.0, 832.7, 833.8, 837.9, 842.6, 850.0, 877.1, 900.0, 926.1, 950.0, 975.7, 993.9, 1050.0, 1107.1, 1150.0, 1250.0, 1300.0, 1340.0, 1350.0, 1450.0, 1500.0, 1550.0, 1600.0, 1649.6, 1650.0, 1700.0, 1734.6, 1750.0, 1769.1, 1782.3	57 回	50.0, 100.0, 150.0, 200.0, 250.1, 257.5, 300.0, 350.0, 400.0, 450.0, 454.6, 455.9, 458.4, 500.0, 550.0, 600.0, 643.4, 644.7, 646.8, 650.0, 650.6, 700.0, 750.0, 800.0, 850.0, 900.0, 950.0, 959.3, 962.8, 971.2, 975.6, 977.3, 981.0, 983.4, 1001.5	35 回	50.0, 100.0, 150.0 200.0, 222.6, 250.0, 300.0, 350.0, 400.0, 415.5, 417.0, 418.6, 420.1, 420.8, 450.0, 500.0, 550.0, 600.0, 614.0, 639.7, 640.7, 645.9, 650.0, 700.0, 750.0, 800.0, 805.9, 817.3, 818.7, 850.0, 885.0, 934.0, 946.0, 952.0, 958.0, 970.0, 977.0, 989.0, 996.0, 1007.0, 1020.0, 1038.0, 1045.4, 1051.0, 1056.0, 1057.0, 1062.0, 1075.0, 1087.0, 1112.0, 1137.0, 1161.0, 1174.0, 1186.0, 1204.0, 1219.0, 1247.0, 1279.0, 1303.0	59 回

※ 10-5/8" = 269.9 mm, 9-5/8" = 244.5 mm, 8-1/2" = 215.9 mm, 7-5/8" = 193.7 mm, 5-7/8" = 142.9 mm, HQ = 98.4 mm

平林調査孔および岩屋調査孔はそれぞれ、淡路島北部西海岸より直線最短距離で 540 m、淡路島北部海岸より直線最短距離で約 1,200 m に位置する。淡路島北部の地形は、野島断層 (NE-SW) と東浦断層に挟まれた地域が標高約 180 m あるいは 290 m の準平原的地形を成し東へ緩傾斜 (約 3 km で約 50 m の標高差) しており、全体的な傾動、あるいは両断層の垂直変位量の差を示していると考えられる。

甲山調査孔は特徴的な円錐形をした標高 309.4m の甲山山頂の西約 300 m に位置する。周辺の地形は大まかに六甲山山頂から武庫川までの東へ傾斜し、NE-SW 系統の活断層 (五助橋断層、芦屋断層、甲陽断層) によって四段の段丘を成す。掘削地点の西側約 1.5 km の芦屋断層と東側約 1.5 km の甲陽断層によってそれぞれ約 200 m ~ 250 m、約 100 m の高低差が生じている。

2.2 調査孔の構造

3 地点の調査孔の構造略図を図 2 に示す。また、各地点の掘削、ケーシング、コアリングにより採取したコアの直径と深度および孔芯傾斜測定を行った深度を表 1 に示す。

孔芯の方位と傾斜角を測定する孔芯傾斜測定は、村田式孔芯傾斜測定器を使用して行った。各深度で測定した孔芯傾斜・方位測定の結果を表 2 に、それに基づく孔跡断面図と平面投影図を図 3 に示す。鉛直からの傾斜角は、平林孔では最大 7°20'、岩屋孔では 4°00' である。甲山では深度 885 m で 11°20' となったが、修正を施し最終深度 1,303 m で 9°20' となった。

2.3 物理検層項目および現位置試験

物理検層は、自然電位、比抵抗、音波速度、地層密度、中性子、自然ガンマ線、孔径、温度の 8 項目について行った。これらの検層方法および結果については Matsuda *et al.* (2008) に報告した。また、調査孔を用いて、岩盤の現場透水試験および水圧破砕法による応力測定を行った。水圧破砕によってできた孔内の亀裂を識別するため、型取りパッカー、BHTV 検層、ポアホールレーダー検層も合わせて行った。この結果については別稿で報告する。

3. 孔井と周辺の地質

3.1 調査地域の地質概略

この地域の基盤岩は主として花崗岩類で、第三系の堆積岩である神戸総群が花崗岩類を不整合に覆っ

表 2 孔芯傾斜・方位測定値

Table 2 Results of deviation angle and azimuth measurements of the boreholes.

平林			岩屋			甲山		
深さ	傾斜角	方位角	深さ	傾斜角	方位角	深さ	傾斜角	方位角
50.0	0°50'		50.0	0°30'		50.0	0°52'	
100.0	1°25'		100.0	0°45'		100.0	1°20'	
150.0	2°00'		150.0	0°45'		150.0	2°38'	
200.0	1°50'		200.0	0°45'		200.0	2°30'	
250.0	1°32'		250.1	0°45'	SE75°	222.6	2°40'	SW82°
300.0	1°52'		257.5	1°00'	SE73°	250.0	3°25'	
350.0	2°12'		300.0	1°00'		300.0	4°10'	
400.0	1°41'		350.0	2°19'		350.0	3°28'	
463.8	2°05'	NW45°	400.0	2°20'		400.0	3°35'	
465.4	2°05'	NW45°	450.0	1°55'		415.5	3°25'	SW76°
466.9	2°05'	NW45°	454.6	2°35'	SE60°	417.0	4°10'	SW70°
500.0	2°35'		455.9	2°50'	SE50°	418.6	3°35'	SW70°
515.7	2°50'	NW40°	458.4	2°10'	SE56°	420.1	3°25'	SW65°
555.0	3°00'		500.0	3°00'		420.8	3°50'	SW70°
571.3	2°45'	NW50°	550.0	2°40'		450.0	4°40'	
600.0	2°50'		600.0	2°40'		500.0	4°25'	
626.8	2°50'	NW54°	643.4	3°05'	SE75°	550.0	4°40'	
650.0	2°50'		644.7	3°10'	SE78°	600.0	5°25'	
663.4	3°30'	NW55°	646.8	3°10'	SE77°	614.0	5°30'	
667.3	3°05'	NW57°	650.0	3°40'		639.7	6°30'	SW74°
669.4	3°00'	NW55°	650.6	3°05'		640.7	6°10'	SW63°
682.2	4°05'	NW60°	700.0	3°50'	SE08°	645.9	6°07'	SW61°
700.0	3°45'		750.0	3°40'		650.0	6°50'	
730.0	3°35'	NW55°	800.0	4°00'		700.0	7°00'	
750.0	4°05'		850.0	3°20'		750.0	7°40'	
773.0	4°35'		900.0	3°50'		800.0	8°00'	
800.0	4°30'		950.0	3°50'		805.9	9°55'	SW60°
822.0	4°45'	NW66°	959.3	4°00'	SE43°	817.3	10°00'	SW63°
832.7	5°10'	NW57°	962.8	3°20'	SE35°	818.7	10°10'	SW61°
833.8	4°50'	NW60°	971.2	3°20'	SE30°	850.0	10°00'	
837.9	4°05'	NW60°	975.6	3°30'	SE25°	885.0	11°00'	
842.6	4°40'	NW62°	977.3	3°00'	SE37°	934.0	11°20'	SW60°
850.0	5°20'		981.0	3°55'	SE27°	946.0	10°55'	SW63°
877.1	6°20'	NW66°	983.4	3°00'	SE30°	952.0	10°20'	SW65°
900.0	6°35'		1001.5	4°00'		958.0	10°10'	SW73°
926.1	6°50'	NW70°				970.0	9°10'	
950.0	6°40'					977.0	10°20'	
975.7	6°50'	NW75°				989.0	10°00'	
993.9	7°20'	NW76°				996.0	9°10'	
1050.0	6°30'	NW76°				1007.0	9°20'	
1107.1	4°50'	NW85°				1020.0	9°30'	
1150.0	3°50'	NW82°				1038.0	9°50'	
1250.0	2°50'	NW63°				1045.4	9°50'	SW84°
1300.0	2°40'	NW70°				1051.0	9°50'	SW80°
1340.0	1°50'	NW66°				1056.0	10°10'	
1350.0	2°00'	NW56°				1057.0	9°40'	SW80°
1450.0	0°55'	SW68°				1062.0	10°10'	
1500.0	0°36'	SW30°				1075.0	9°30'	
1550.0	0°50'	SW40°				1087.0	9°20'	
1600.0	0°35'	SE05°				1112.0	10°05'	
1649.6	0°30'	SW83°				1137.0	10°00'	
1650.0	1°00'	SW35°				1161.0	10°15'	
1700.0	0°40'	SW70°				1174.0	10°00'	
1734.6	1°00'	SW26°				1186.0	9°50'	
1750.0	1°20'	SW33°				1204.0	9°45'	
1769.1	1°00'	SW33°				1219.0	10°00'	
1782.3	0°45'	SW43°				1247.0	9°55'	
						1279.0	10°00'	
						1303.0	9°20'	

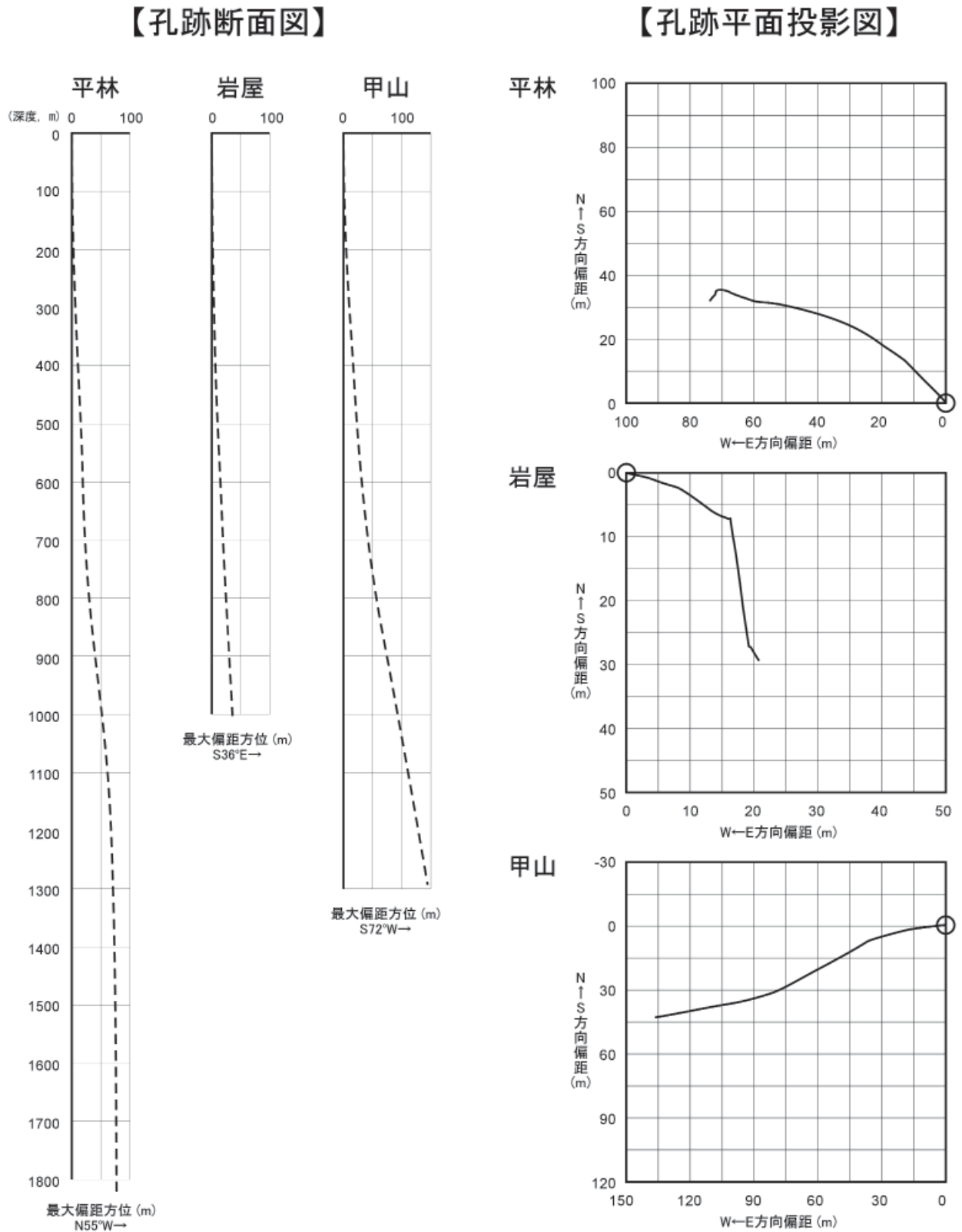


図3 孔跡断面図と平面投影図. 平面投影図中の○は掘削開始点.
 Fig. 3 Sectional profiles and horizontal plane projections of boreholes. Open circles in the plane projections indicate initial points of drilling.

ている。淡路島の東西の海岸に分布する鮮新統・更新統の大阪総群は一部が断層と接し、段丘層・沖積層に不整合に覆われる(市原編, 1993)。淡路島北部の北西側には野島断層と浅野断層が、また南東側には楠本断層と東浦野島断層が、それぞれ山地と丘陵の境界に沿って北東-南西方向に延びている。

3.2 調査孔の地質

掘削コアの観察によって得られた地質柱状図の概略を図4に示す(Matsuda *et al.*, 2008)。部分的にオールコアリングあるいはスポットコアリングによって岩石を回収した。採取したコア試料の写真を付録に示す。地質柱状図の地質区分は、主としてカッティングス、コアによる岩相記載および物理検層図に基づいて行った。コアリング部を除いて掘削カッティングスからの推定地質である。

4. ボーリングコア試料を用いた岩石物性試験

掘削した岩石コア試料の力学的特性および化学的特性などを把握するために、各種の室内試験を行った。試料は主として岩種の違いに着目し、掘削コアの各深度から選んだ。試験項目は、比重・吸水比測定、超音波伝搬速度測定、一軸圧縮・圧裂引張試験、三軸圧縮試験、熱伝導率測定、透水係数、全岩化学分析、X線回析分析、K-Ar法による放射年代測定である。

4.1 比重・吸水比測定

比重吸水試験はJIS A5003および日本鉄道建設公団地質調査標準示方書(日本鉄道建設公団, 1991)に従った。見かけ比重(密度)、含水比、吸水比、有効間隙率の各値を次式により計算した。表3.1に測定結果を示す。

$$\rho_n = W_n / (W_1 - W_2) \quad (1)$$

$$\rho_d = W_3 / (W_1 - W_2)$$

$$\rho_w = W_1 / (W_1 - W_2)$$

$$w = (W_n - W_3) / W_3 \times 100$$

$$Q = (W_1 - W_3) / W_3 \times 100$$

$$n = (W_1 - W_3) / (W_1 - W_2) \times 100$$

ここに、

ρ_n : 自然含水状態における密度(g/cm³)

ρ_d : 強制乾燥状態における密度(g/cm³)

ρ_w : 強制湿潤(飽和含水)状態における密度(g/cm³)

w : 自然状態における含水比(%)

Q : 吸水比(飽和状態における含水比)(%)

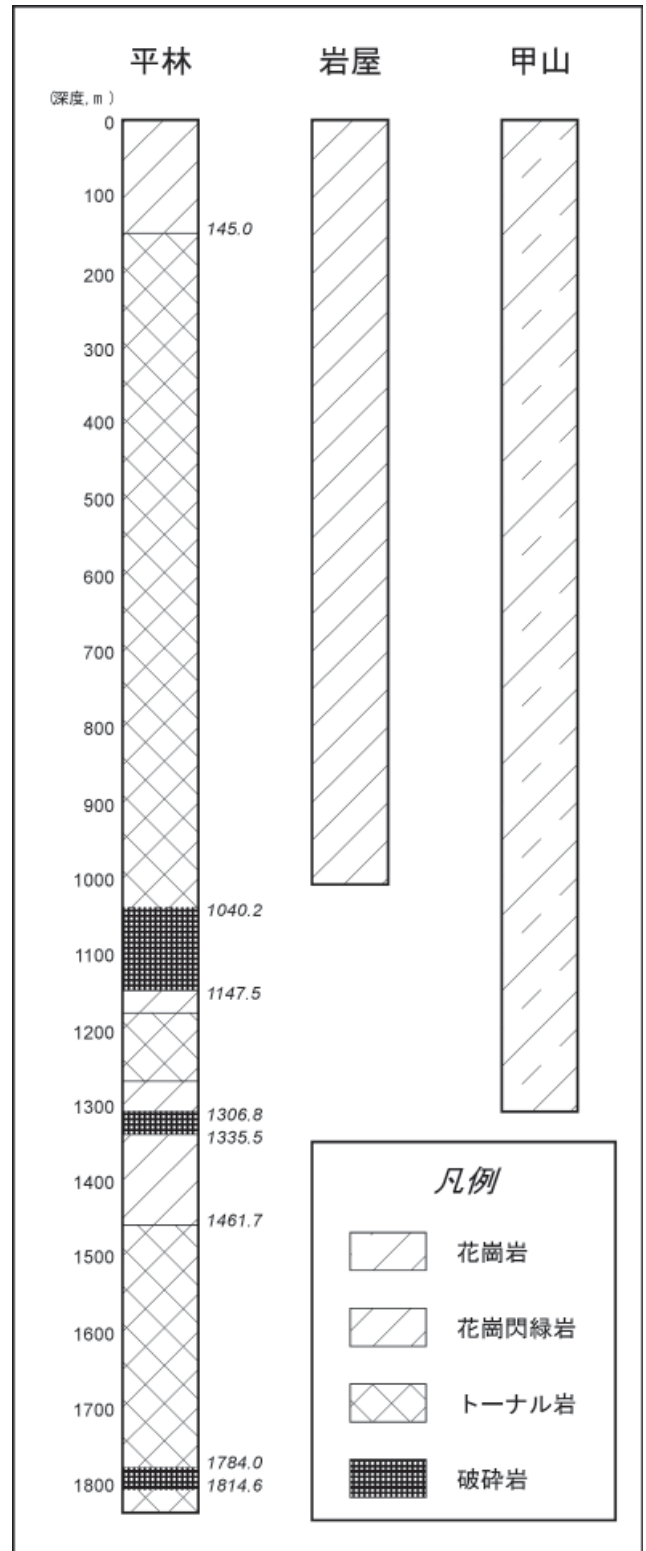


図4 簡略化した地質柱状図(Matsuda *et al.*, 2008 を修正)
 Fig. 4 Geological columns of the boreholes (modified after Matsuda *et al.*, 2008).

表 3.1 岩石物性試験結果. 比重・吸水比, 超音波速度, 一軸圧縮・引張試験, 熱伝導率および透水係数. 一軸圧縮試験の静弾性係数はデジタルセンサー(D)とワイヤストレーンゲージ(S)を用いて求めた.

Table 3.1 Results of the rock property test. Rock density and coefficient of water absorption, ultrasonic velocity, unconfined compression and splitting tensile strength tests, thermal conductivity and rock permeability measurements. Modulus of static elasticity in the unconfined compression test are obtained by using a digital strain sensor (D) and wire strain gauges (S).

コア深度 (m)	岩石名	自然密度 (g/cm ³)	湿潤密度 (g/cm ³)	乾燥密度 (g/cm ³)	含水比 (%)	吸水比 (%)	有効間隙 率 (%)	P波速度 (km/s)	S波速度 (km/s)	動弾性係数 (kgf/cm ²)	動ポアソ ン比	圧縮強度 (kgf/cm ²)	静弾性係数D (kgf/cm ²)	静弾性係数S (kgf/cm ²)	静ポアソ ン比	圧裂引張強度 (kgf/cm ²)	熱伝導率 (cal/cm ² ・sec ² ・°C)	透水係数 (cm/sec)
【平林】																		
460.70-461.70	トータル岩	2.74	2.74	2.74	0.14	0.21	0.56	4.50	1.45	1.71E+05	0.442	764	1.97E+05	5.93E+05	0.200	55		2.65E-11
464.85-465.02	トータル岩	2.74	2.74	2.74	0.17	0.23	0.63	5.02	1.64	2.18E+05	0.440						6.64E-03	
664.92-665.35	トータル岩	2.68	2.68	2.67	0.30	0.32	0.85	5.35	1.98	3.04E+05	0.421						8.33E-03	
840.85-841.18	(破碎岩)	2.67	2.68	2.65	0.91	1.26	3.35	4.03	1.65	2.08E+05	0.399						8.26E-03	
1337.40-1337.90	花崗閃緑岩	2.70	2.70	2.68	0.88	1.06	2.83	4.73	1.39	1.54E+05	0.453	511	1.72E+05	3.89E+05	0.188	45		9.54E-12
1339.10-1339.40	花崗閃緑岩	2.69	2.69	2.67	0.82	0.96	2.57	4.54	1.50	1.79E+05	0.437						6.60E-03	
1341.90-1342.30	花崗閃緑岩	2.64	2.65	2.61	1.05	1.32	3.44	4.30	1.70	2.19E+05	0.405						5.63E-03	
1541.70-1543.25	花崗閃緑岩	2.71	2.71	2.70	0.34	0.40	1.09	5.04	1.71	2.32E+05	0.435						4.26E-03	
1696.26-1696.40	はん岩	2.63	2.64	2.63	0.33	0.34	0.89	5.30	1.69	2.21E+05	0.442						7.92E-03	
1704.80-1705.50	ひん岩	2.65	2.65	2.65	0.09	0.10	0.27	5.67	1.45	1.67E+05	0.465	1826	3.96E+05	1.06E+05	0.236	87		4.67E-09
1753.02-1754.21	トータル岩	2.73	2.74	2.73	0.24	0.33	0.91	4.72	1.55	1.92E+05	0.440						3.96E-03	
1752.60-1753.00	トータル岩	2.76	2.76	2.75	0.30	0.40	1.09	4.01	1.40	1.58E+05	0.431	758	2.17E+05	5.30E+05	0.156	43		3.89E-12
1766.00-1767.30	安山岩	2.86	2.86	2.86	0.06	0.07	0.21	5.88	1.37	1.61E+05	0.471	1509	2.90E+05	1.04E+05	0.247	75		2.27E-11
1766.78-1767.03	安山岩	2.86	2.86	2.85	0.35	0.45	1.27	5.31	1.72	2.51E+05	0.440						5.29E-03	
1786.80-1787.32	(破碎岩)	2.38	2.41	2.30	3.20	4.62	10.64	3.82	1.09	8.45E+04	0.455						3.76E-03	
【岩屋】																		
446.10-446.50	花崗閃緑岩	2.62	2.62	2.62	0.20	0.29	0.75	4.62	1.35	1.41E+05	0.454	1399	2.92E+05	7.91E+05	0.153	50		3.79E-11
447.24-447.52	花崗閃緑岩	2.62	2.63	2.62	0.17	0.24	0.63	4.88	1.79	2.44E+05	0.422						8.97E-03	
457.34-457.66	花崗閃緑岩	2.62	2.62	2.62	0.22	0.29	0.75	5.04	1.87	2.66E+05	0.420						8.55E-03	
644.20-644.70	花崗閃緑岩	2.82	2.82	2.81	0.13	0.16	0.44	5.46	1.32	1.47E+05	0.469	1234	2.12E+05	1.08E+05	0.234	90		1.84E-11
644.70-645.00	花崗閃緑岩	2.81	2.81	2.81	0.16	0.19	0.52	5.62	1.86	2.84E+05	0.439						6.45E-03	
962.90-971.70	花崗閃緑岩	2.70	2.70	2.69	0.24	0.31	0.83	4.47	1.86	2.69E+05	0.395						8.59E-03	
977.40-978.30	花崗閃緑岩	2.69	2.69	2.68	0.19	0.25	0.67	4.87	1.32	1.40E+05	0.460	1010	2.62E+05	7.70E+05	0.237	61		3.61E-12
978.45-978.69	花崗閃緑岩	2.68	2.68	2.67	0.21	0.28	0.75	4.73	1.69	2.23E+05	0.427						7.83E-03	
【甲山】																		
405.32-405.75	花崗岩	2.59	2.59	2.58	0.38	0.43	1.12	3.80	1.47	1.62E+05	0.411						8.48E-03	
420.10-420.50	花崗岩	2.59	2.59	2.57	0.65	0.84	2.16	4.52	1.30	1.30E+05	0.455	692	1.66E+05	3.48E+05	0.289	37		3.34E-11
420.53-420.80	花崗岩	2.60	2.60	2.59	0.50	0.69	1.79	4.64	1.69	2.16E+05	0.422						9.58E-03	
641.83-642.17	花崗岩	2.61	2.62	2.60	0.52	0.62	1.60	5.05	1.81	2.49E+05	0.425						9.97E-03	
807.10-807.60	花崗岩	2.62	2.62	2.61	0.56	0.67	1.74	4.71	1.41	1.55E+05	0.451	736	1.50E+05	5.10E+05	0.226	47		6.70E-13
806.79-807.13	花崗岩	2.61	2.61	2.59	0.56	0.77	1.99	4.91	1.75	2.33E+05	0.427						7.92E-02	
817.63-817.90	花崗岩	2.61	2.62	2.60	0.49	0.65	1.68	4.76	1.94	2.81E+05	0.401						9.12E-03	
1050.19-1050.43	花崗岩	2.61	2.62	2.60	0.58	0.68	1.77	5.19	1.91	2.75E+05	0.422						7.29E-03	

- n : 有効間隙率(%)
- W_n : 自然含水状態における空气中質量(g)
- W_1 : 強制湿潤状態における空气中質量(g)
- W_2 : 強制湿潤状態における水中質量(g)
- W_3 : 強制乾燥状態における空气中質量(g)

とする。

4.2 超音波伝搬速度測定

超音波伝搬速度測定試験は、日本鉄道建設公団地質調査標準示方書(日本鉄道建設公団, 1991)に従った。岩石コア試料から長さ約 50 mm の試験片を切り出し、円柱の両端面が互いに平行かつ側面に垂直になるよう研磨・整形した。表 3.1 に測定結果を示す。超音波速度試験結果は、自然乾燥状態でのものである。

超音波伝搬速度測定において、音波の透過時間は測定装置の送受信素子を試験片の両端面に圧着してオシロスコープ上で 0.1 μ s まで測定した。超音波速度等の各値を次式により計算した。

$$\begin{aligned} V_p &= (L / T_p) \times 10 & (2) \\ V_s &= (L / T_s) \times 10 \\ v_d &= 0.5 \{ (V_p / V_s)^2 - 2 \} / \{ (V_p / V_s)^2 - 1 \} \\ E_d &= 2 \{ (1 + v_d) \rho V_s^2 / g \} 10^7 \end{aligned}$$

ここに、

- V_p : P 波超音波速度 (km/s)
- V_s : S 波超音波速度 (km/s)
- v_d : 動ポアソン比
- E_d : 動弾性係数 (kgf/cm²)
- L : 試験片の長さ (cm)
- T_p : P 波が透過に要した時間 (μ s)
- T_s : S 波が透過に要した時間 (ms)
- ρ : 試験片の密度 (g/cm³)
- g : 重力加速度 (= 980 cm/s²)

とする。

4.3 一軸圧縮・圧裂引張強度試験

試験片の作製方法は JIS M0301 に、試験方法は JIS M0302, JIS M0303 にそれぞれ準拠した。静弾性係数および静ポアソン比の測定方法は、地質調査標準示方書(日本鉄道建設公団, 1991)に従った。表 3.1 に試験結果を示す。

岩石コア試料から長さ約 100 mm の試験片を切り出し、円柱の両端面が互いに平行かつ側面に垂直に

なるよう研磨・整形した。試験は全て強制湿潤状態で実施した。一軸圧縮試験では、試験機を用いて試験片に荷重をかけ、試験片の側面 2 カ所にひずみゲージを貼り付け、自動歪み測定器に接続する。加重とひずみの値を読み取り、加重-ひずみ曲線を作製し、一軸圧縮強度、静弾性係数、静ポアソン比の各値を次式により計算した。ひずみはデジタルひずみ測定器とワイヤストレインゲージを用いて計測した。

$$\sigma_c = 4 F / \pi D^2, E_s = \sigma / \varepsilon_v, \nu_s = \varepsilon_H / \varepsilon_v \quad (3)$$

ここに、

- σ_c : 圧縮強度 (kgf/cm²)
- F : 試験片が破壊するまでに示した最大荷重 (kgf)
- D : 円柱試験片の直径 (cm)
- E_s : 静弾性係数 (kgf/cm²)
- σ : 応力-ひずみ曲線上での直線部分の応力差 (kgf/cm²)
- ε_v : 応力-ひずみ曲線上での σ に対する縦ひずみ
- ε_H : 応力-ひずみ曲線上での σ に対する横ひずみ
- ν_s : 静ポアソン比

とする。

圧裂引張試験では、試験機を用いて試験片が破壊するまで徐々に荷重をかけ、試験器が示した最大荷重を読み取る。圧裂引張強度を次式により計算した。

$$\sigma_t = 2 S_t / \pi D L \quad (4)$$

ここに、

- σ_t : 圧裂引張強度 (kgf/cm²)
- S_t : 試験片が破壊するまでに示した最大荷重 (kgf)
- D : 円柱試験片の直径 (cm)
- L : 試験片の長さ (cm²)

とする。

4.4 熱伝導率測定

熱伝導率測定は、JIS R2618 に準拠し、非定常熱線法によって行った。熱伝導率は、熱伝導率計(昭和電工(株)製 Shotherm QTM-D2)によって測定した。測定結果を表 3.1 に示す。本測定装置は、ヒーター線を組み込んだプローブを試験体表面に押し当て、温度上昇値から熱伝導率を算出するものである。コアカッターを用いて掘進方向に試料を半裁し、測定面(コア中心縦断面)を研磨して平滑になるようにする。試験片の含水状態はいずれも室温乾燥状態で、1 試料につき 5 回繰り返し測定を行った。

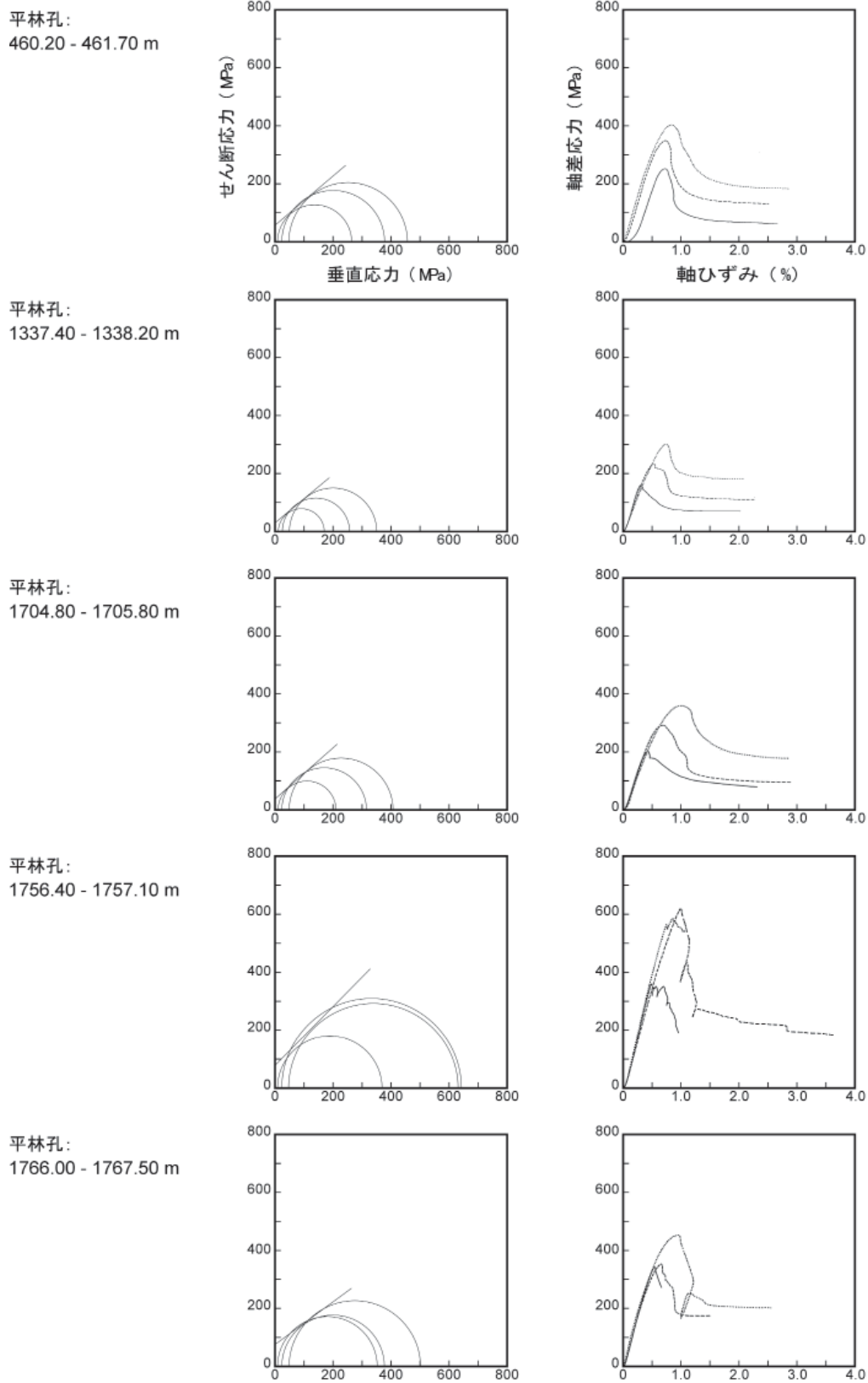
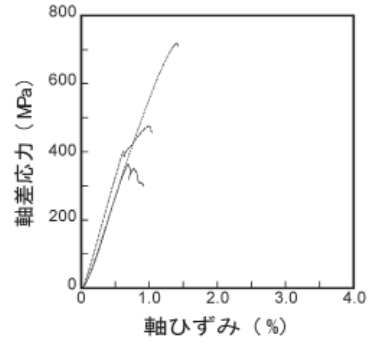
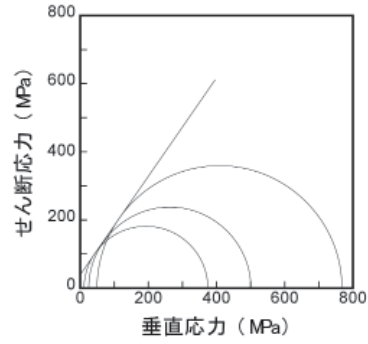
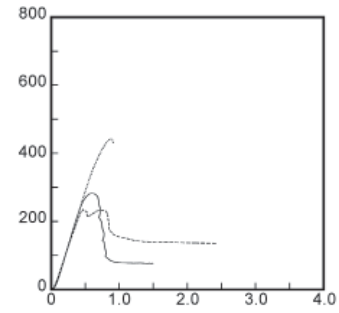
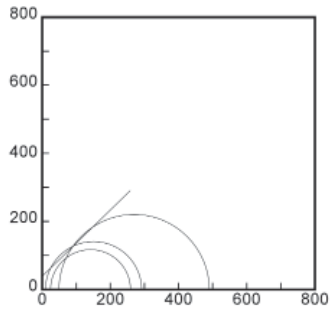


図5 三軸圧縮強度試験結果を示すモール円図および軸差応力－軸ひずみ線図
Fig. 5 Mohr's stress circles and stress-strain curves showing the results of the triaxial compression test.

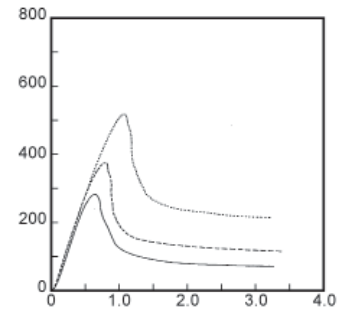
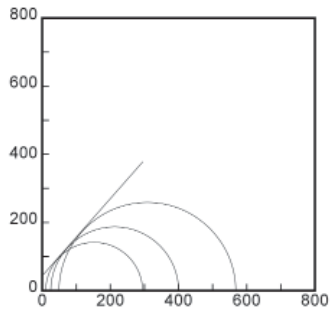
岩屋孔:
443.50 - 444.80 m



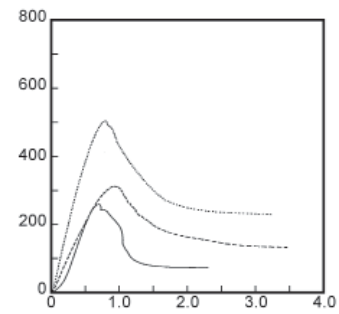
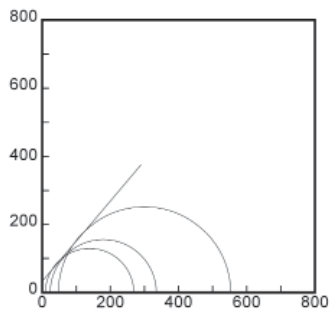
岩屋孔:
644.20 - 647.60 m



岩屋孔:
977.40 - 978.30 m



甲山孔:
407.00 - 420.60 m



甲山孔:
806.30 - 807.70 m

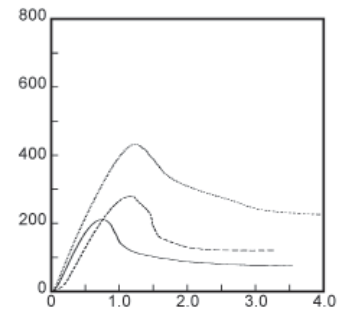
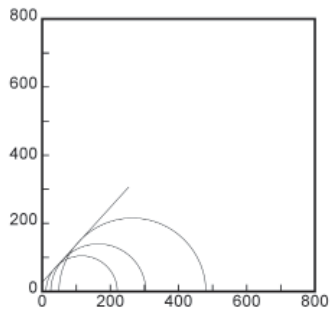


図5 三軸圧縮強度試験結果を示すモール円図および軸差応力-軸ひずみ線図 (つづき)
Fig. 5 Mohr's stress circles and stress-strain curves showing the results of the triaxial compression test.
(continued)

4.5 透水係数測定

透水係数測定は、三軸圧縮試験機を用いた定水位法で行った。測定結果を表 3.1 に示す。

岩石コア試料から、直径約 50 mm、長さ約 50 mm の円柱状試験片を切り出した。岩石供試体の両端間に一定の差圧を与え、定常状態に達した後の一定時間当たりの流量を測定することにより透水係数を評価した。

4.6 三軸圧縮試験

三軸圧縮強度試験を非圧密非排水条件(UU法)で行った。図 5 にモール円図および軸差応力－軸ひずみ線図を、表 3.2 に試験結果を示す。

岩石コア試料から、直径約 29 mm、長さ約 60 mm の円柱状試験片を切り出した。残留強度を測定するために、試験片の側面にシリコンラバーを塗布・乾燥し、上下端面にエンドピースを取り付けた。三軸圧縮試験機における軸載荷では、破壊後の制御が不安定にならぬよう、軸ひずみ速度一定の制御を行い、0.1－0.2 %/min(最大軸差応力の 50 % 付近における

応力速度が 0.5－1.0 MPa/s を目安)とした。1 試料につき 3 レベルの封圧を設定して実施した試験の結果からモール円図を作成し、最大軸差応力と封圧の関係を最小二乗法で線形近似することにより、最大軸差応力における粘着力および内部摩擦角の各値を次式により計算した。これらの値は、モールの破壊包絡線を直線近似した結果となる。

$$C = f_0 / \{2(1 + m_0)^{1/2}\} \quad (5)$$

$$\sin \phi = m_0 / (2 + m_0)$$

ただし

C : 粘着力

ϕ : 内部摩擦角

m_0 : 最小二乗線形近似式の勾配

f_0 : 最小二乗線形近似式の縦軸切片

とする。

4.7 鉱物組成分析

コア試料を成形して作成した研磨薄片を用いて、各試料約 1,000 点の全鉱物モード測定を行った。分析結果を表 3.3 に示す。

4.8 全岩化学分析

分析は、主要成分については蛍光 X 線分析法、微量成分は誘導結合プラズマ発光分析法によって行った。分析結果を表 3.4 に示す。

4.9 X 線回折分析

断層コア試料中で確認された粘土中に含まれる鉱物を同定した。分析の結果確認された鉱物と存在量を表 3.5 に示す。分析に際して、バルク、水ひ、エチレングリコール、加熱、塩酸の各処理を行った。バルク処理では、自然乾燥させた試料を乳鉢で微粉砕し、不定方位分析を行う。水ひ処理では、試験管内の純水中で粉碎試料を攪拌し、上澄み液の遠心分離沈殿物をガラス板に塗布し自然乾燥し、定方位分析を行う。エチレングリコール処理では、水ひ処理に加えエチレングリコール溶液を吹き付ける。加熱処理では、水ひ処理に加え 105 °C で 1 時間加熱する。塩酸処理では、粉碎試料を 6 規定の塩酸に浸し 1 時間加熱・冷却後攪拌し、懸濁液の遠心分離沈殿物をガラス板に塗布し自然乾燥する。

表 3.2 岩石物性試験結果. 三軸圧縮試験.
Table 3.2 Results of the rock property test.
Triaxial compression test.

深度 (m)	側方向応力 (kgf/cm ²)	圧縮強さ (kgf/cm ²)	破壊ひずみ (%)	粘着力 (kgf/cm ²)	内部摩擦角 (°)
【平林】					
460.70-461.70	99	2672	0.72	552	40.3
	249	3824	0.73		
1337.40-1337.90	499	4629	0.83	320	39.6
	92	1723	0.31		
	244	2610	0.52		
1704.80-1705.50	493	3579	0.74	805	45.4
	102	3763	0.49		
	249	6567	1.00		
	500	6465	0.85		
1752.60-1753.00	98	2141	0.42	408	41.3
	248	3222	0.68		
	500	4150	1.01		
1766.00-1767.30	100	3600	0.53	779	36.3
	251	3854	0.65		
	499	5119	0.95		
【岩屋】					
446.10-446.50	101	3814	0.69	437	55.0
	251	5098	0.99		
	498	7811	1.40		
644.20-644.70	98	2967	0.59	425	43.9
	250	2641	0.46		
	497	5007	0.89		
977.70-978.30	100	2978	0.64	442	48.5
	249	4069	0.79		
	499	5782	1.07		
【甲山】					
420.10-420.50	1283	4042	0.708	317	34.15
	1483	4495	0.791		
	1683	4947	0.875		
807.10-807.60	683	2685	0.457	470	41.16
	883	3138	0.541		
	1083	3590	0.624		

表 3.3 岩石物性試験結果. 鉱物組成分析.

Table 3.3 Results of the rock property test. Mineral composition analysis.

コア深度 (m)	Quartz	Plagioclase	K-feldspar	Biotite	Muscovite	Hornblende	Amphibole	Epidote	Apatite	Zircon	Sphene	Allanite	Opaque	Clino-pyroxene	Calcite vein	Carbonate	Matrix	Total
【平林】																		
464.85-465.02	231	549	78	108		61			3	2	2		2					1032
664.92-665.35	349	413	165	89		29				2			2					1046
840.85-841.18	181	146	48	112		83			2	4			4		32	155	368	1052
1339.10-1339.40	245	419	93	150	3	125			1	1	1		2		7			1038
1341.90-1342.30	180	510	111	156	2	63				1					35			1055
1541.70-1543.25	273	466	88	126	4	80			2	1			1					1036
1696.26-1696.40	415	496	73	41		18							2					1038
1753.02-1754.21	196	596	82	109	6	53			1	2	1		1					1041
1766.78-1767.03		544					407						39	78	4			1069
1786.80-1787.32	63	78	4	6					1	1			5		143		747	1037
【岩屋】																		
447.24-447.52	363	364	246	45						2			3		1			1020
457.34-457.66	395	398	190	45						1	1		7					1033
644.70-645.00	126	540		170		187			3	1			10					1036
962.90-971.70	377	429	80	128	3	29			2	2	1		2					1047
978.45-978.69	366	482	94	78		20			1	2					1			1041
【甲山】																		
405.32-405.75	424	313	303	23	1							2	3					1068
420.53-420.80	371	253	389	35									2					1050
641.83-642.17	302	370	338	43						1		1						1053
806.79-807.13	360	373	234	64		4		3		1			4					1038
817.63-817.90	331	321	336	49						3								1037
1050.19-1050.43	321	248	452	37						1			1					1059

表 3.4 岩石物性試験結果. 主要元素 (wt%) と微量元素 (ppm) の全岩化学分析.
 Table 3.4 Results of the rock property test. Whole rock chemical composition analysis of major elements (wt%) and trace elements (ppm).

【主要元素 (wt%)】

コア深度 (m)	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	FeO	MnO	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	P ₂ O ₅	LOI	備考
【平林】													
462.47 - 462.52	63.91	0.67	16.72	0.71	4.79	0.11	1.62	4.87	3.64	2.29	0.16	0.51	
1119.10 - 1119.40	59.03	0.60	14.35	0.69	4.49	0.10	1.59	3.94	3.75	1.91	0.15	9.40	断層上盤粘土
1121.60 - 1121.90	65.51	0.28	15.40	0.19	2.11	0.05	0.85	2.16	3.23	2.91	0.06	7.26	断層上盤砂混じり粘土
1128.00 - 1128.30	50.25	1.01	15.78	0.46	5.09	0.10	2.05	6.15	3.25	1.74	0.20	13.91	断層上盤粘土
1139.40 - 1139.50	64.81	0.30	12.72	0.60	2.62	0.07	1.47	3.52	3.46	2.69	0.07	7.68	断層暗灰色粘土
1140.45 - 1140.50	56.25	0.51	13.89	0.42	3.58	0.08	2.31	5.53	2.82	2.21	0.11	12.29	断層直下白色粘土
1144.80 - 1145.20	74.68	0.08	12.38	0.04	0.94	0.03	0.41	1.77	3.25	4.13	0.03	2.26	断層下盤母岩
1146.20 - 1147.60	71.08	0.12	12.96	0.10	2.03	0.06	0.50	2.26	3.16	3.76	0.04	3.91	断層下盤原岩組織残存
1156.00 - 1156.30	69.87	0.34	13.52	0.31	2.90	0.08	0.57	2.51	3.19	3.20	0.07	3.43	断層下盤母岩
1313.80 - 1114.10	63.58	0.57	15.91	0.62	3.24	0.07	1.08	3.72	3.71	2.36	0.14	5.00	断層下盤母岩
1339.10 - 1339.40	63.54	0.74	16.05	0.85	4.62	0.10	1.30	3.67	3.42	2.67	0.17	2.85	
1753.96 - 1754.11	63.73	0.70	16.25	0.70	4.85	0.10	1.72	4.88	3.24	2.41	0.14	1.28	
1813.20 - 1813.23 a	40.76	0.39	9.76	5.18	5.12	0.26	4.16	9.37	2.47	1.26	0.10	21.17	断層明灰色粘土
1813.20 - 1813.23 b	62.52	0.43	15.92	0.36	2.59	0.07	0.77	2.85	3.87	1.95	0.12	8.55	断層下盤断層角礫部
【岩屋】													
447.52 - 447.78	75.17	0.12	13.22	0.14	1.41	0.05	0.19	1.43	3.37	4.23	0.03	0.63	
644.81 - 644.87	57.87	1.14	17.40	0.99	7.34	0.17	2.35	6.47	3.32	1.53	0.30	1.10	
954.45 - 954.46	51.25	0.38	17.86	0.87	2.02	0.06	0.73	10.25	0.95	1.21	0.10	14.31	破碎岩
966.00 - 966.01	53.86	1.05	16.86	2.00	4.74	0.12	1.93	5.43	3.11	1.53	0.26	9.10	断層破碎帯
978.32 - 978.45	70.51	0.37	14.73	0.37	2.68	0.08	0.88	2.99	3.48	3.38	0.08	0.47	
【甲山】													
421.40 - 421.43	76.84	0.07	12.41	0.49	0.80	0.05	0.14	0.73	3.61	4.25	0.01	0.61	
645.00 - 645.01	72.40	0.12	12.78	1.10	1.20	0.05	0.41	1.73	2.42	4.12	0.03	3.65	破碎岩
806.72 - 806.79	74.15	0.16	13.75	0.36	1.60	0.06	0.25	1.34	3.54	4.13	0.04	0.60	
1050.00 - 1050.72	74.69	0.16	13.46	0.25	1.40	0.05	0.25	1.30	3.70	3.98	0.04	0.73	
1058.00 - 1058.13	65.67	0.13	11.93	1.19	5.74	0.23	0.76	0.97	2.44	3.59	0.04	7.32	風化花崗岩
1237.40 - 1237.41	72.30	0.16	13.58	0.27	2.03	0.06	0.14	0.63	4.04	4.04	0.05	2.68	風化花崗岩

【微量元素 (ppm)】

コア深度 (m)	Cr	Co	Ni	Cu	Zn	Ga	Rb	Sr	Y	Zr	Nb	Ba	Pb	Th	U	Ag	As	Mo	Sb
【平林】																			
462.47 - 462.52	82	8	3	9	67	18	70	316	26	168	12	700	<1	13	1.2	<2	1	1	0.6
1119.10 - 1119.40	74	8	3	8	87	14	72	204	26	192	10	595	6	10	1	<2	1	1	0.4
1121.60 - 1121.90	110	3	1	9	38	14	66	114	14	114	12	580	8	16	1.8	<2	1	2	0.2
1128.00 - 1128.30	48	7	5	13	50	16	62	186	16	114	10	495	2	4	0.4	<2	2	1	<2
1139.40 - 1139.50	100	8	3	4	50	12	62	114	14	120	10	675	6	9	1.2	<2	2	1	0.2
1140.45 - 1140.50	45	9	4	11	49	14	64	136	18	111	10	535	4	8	0.4	<2	1	<1	0.4
1144.80 - 1145.20	104	<1	5	20	18	13	118	82	16	66	8	545	7	23	2.2	<2	2	1	0.2
1146.20 - 1147.60	200	1	4	9	37	10	98	138	16	81	8	545	7	14	3.2	<2	2	2	<2
1156.00 - 1156.30	158	4	3	9	55	13	98	170	22	126	10	615	3	14	2	<2	1	<1	<2
1313.80 - 1114.10	120	11	5	12	63	15	88	296	22	189	10	765	2	14	1	<2	1	1	<2
1339.10 - 1339.40	130	9	3	13	83	16	98	282	24	222	16	870	<1	19	1.4	<2	2	1	0.2
1753.96 - 1754.11	84	9	3	8	68	17	84	308	24	177	10	675	2	12	1.6	<2	1	1	0.2
1813.20 - 1813.23 a	4	4	440	177	100	15	72	184	30	162	16	380	8	10	1	<2	2	3	0.2
1813.20 - 1813.23 b	50	10	3	28	47	17	64	180	16	153	16	315	7	13	0.6	<2	1	3	<2
【岩屋】																			
447.52 - 447.78	116	1	2	37	34	14	126	84	36	114	12	550	5	17	4.2	<2	1	<1	<2
644.81 - 644.87	64	9	2	16	83	17	48	398	30	219	14	415	1	6	0.6	<2	2	<1	0.2
954.45 - 954.46	20	5	1	9	57	22	36	276	18	126	12	140	5	10	1	<2	28	2	0.2
966.00 - 966.01	18	11	2	21	105	21	46	250	32	228	14	385	6	7	0.6	<2	4	1	<2
978.32 - 978.45	62	4	<1	6	50	14	86	210	18	108	10	930	3	12	1	<2	2	<1	0.2
【甲山】																			
421.40 - 421.43	100	2	4	4	31	15	198	32	38	81	10	240	3	23	4.2	<2	2	<1	0.2
421.40 - 421.43	100	2	4	4	31	15	198	32	38	81	10	240	3	23	4.2	<2	2	<1	0.2
645.00 - 645.01	166	5	3	6	50	14	208	66	38	141	10	625	8	16	8.6	<2	1	<1	0.4
806.72 - 806.79	88	5	2	4	40	14	146	120	28	123	10	820	2	18	2.8	<2	2	<1	0.2
1050.00 - 1050.72	98	5	<1	5	33	14	130	120	30	126	10	820	4	17	2.4	<2	2	<1	<2
1058.00 - 1058.13	240	3	4	8	112	13	116	104	64	150	6	780	10	19	14.2	<2	1	<1	0.2
1237.40 - 1237.41	186	4	3	4	45	14	130	124	32	138	8	815	11	17	2.4	<2	2	<1	0.2

表 3.5 岩石物性試験結果. X線回折分析.
 Table 3.5 Results of the rock property test. X-ray diffraction analysis.

コア深度 (m)	濁沸石	石英	カリ長石	曹長石	斜長石	角閃石	モンモリロ ナイト	緑泥石/モンモリロ ナイト	緑泥石	セリサイト	方解石	シデライト	備考
【平林】													
462.47 - 462.52		◎	△		◎	△	+		-				
1119.10 - 1119.40	△	◎	◎	◎			+		-				断層上盤粘土
1121.60 - 1121.90	△	◎	◎	◎			+		△				断層上盤砂混じり粘土
1128.00 - 1128.30	○	◎	△	◎			+		-		△		断層上盤粘土
1139.40 - 1139.50	△	◎	◎	◎			+		-		△		断層暗灰色粘土
1140.45 - 1140.50	△	◎	○	◎			+		△		○		断層直下白色粘土
1144.80 - 1145.20	+	◎	◎	◎			+		+		+		断層下盤母岩
1146.20 - 1147.60	-	◎	◎	◎			+		+				断層下盤原岩組織残存
1156.00 - 1156.30	△	◎	◎	◎			+		-				断層下盤母岩
1313.80 - 1114.10	○	◎	○	◎			+		△	○	◎		断層下盤母岩
1339.10 - 1339.40		◎	○		◎		+		-				
1753.96 - 1754.11		◎	○		◎	○	+		-				
1813.20 - 1813.23 a	△	◎	○	◎			+		△	△	○		断層明灰色粘土
1813.20 - 1813.23 b	○	◎	○	◎			+		-				断層下盤断層角礫部
【岩屋】													
447.52 - 447.78		◎	◎	◎						△			
644.81 - 644.87		◎			◎	○	+	-	△	○			
954.45 - 954.46	○						+	-					破碎岩
966.00 - 966.01	○	◎	△	◎		△	+	△					断層破碎帯
978.32 - 978.45		◎	◎		◎	△	+	-	-	○			
【甲山】													
421.40 - 421.43		◎	○	◎			+		-				
645.00 - 645.01	-	◎	◎	◎			+	-	-				破碎岩
806.72 - 806.79		◎	◎	◎			+		-				
1050.00 - 1050.72		◎	◎	◎			+		+				
1058.00 - 1058.13		◎	◎	◎			-		-			○	風化花崗岩
1237.40 - 1237.41	△	◎	◎	◎			+		-				風化花崗岩

◎ : 多量, ○ : 中量, △ : 少量, + : 微量, - : 極微量

分析条件は以下の通りである。

X線管球	: Cu
フィルター	: モノクロメータ
電圧	: 40 kv
電流	: 30 mA
スリット系	: 1°, 1°, 0.15 mm, 0.45 mm
時定数	: 1 sec
走査速度	: 4°/min
フルスケール	: 800 cps(バルク) 2,000 cps(水ひ, 加熱, 塩酸およびエチレングリコール処理)
走査範囲	: 2°-70°(バルク) 2°-40°(水ひ) 2°-40°(加熱, 塩酸およびエチレングリコール処理)

4.10 K-Ar 年代測定

今回対象としたコア試料は主として花崗岩類から構成されるため、黒雲母、角閃石、カリ長石および全岩試料の年代測定を行った。各試料を二分し、アルゴン測定用試料を石英-パイレックスガラス製の高真空装置内にて高周波加熱・溶解し、発生したガス中のアルゴン同位体比を連結した質量分析計で測定する。カリウム濃度は炎光高度計にて測定する。K-Ar 年代値を次式により計算した。

$$T = 1804.08 \log\{({}^{40}\text{Ar}^* / K) + 1\}$$

ここに、

T : 年代(10^6 年)

${}^{40}\text{Ar}^*$: 放射性 ${}^{40}\text{Ar}$ (see/gm $\times 10^{-5}$)

K : カリウムの重量比(%)

とする。

表 3.6 岩石物性試験結果. K-Ar 年代測定.

Table 3.6 Results of the rock property test. K-Ar radiometric age determination.

コア深度 (m)	黒雲母	角閃石	カリ長石	全岩
【平林】				
461.20-462.20	79.0±4.0	70.4±4.0	66.9±3.3	68.0±3.4
1339.40-1340.40	77.0±3.8		74.2±3.7	71.7±3.6
1696.10-1696.40				68.3±3.4
1753.11-1753.96	71.7±3.6	76.8±3.8	87.5±3.9	71.0±3.6
1766.36-1766.69				67.7±3.4
【岩屋】				
446.45-447.24	78.0±3.9		70.8±3.5	65.0±3.2
645.58-646.80	75.6±3.8	74.6±3.7		70.0±3.5
987.69-979.69	79.1±4.0		73.2±3.7	71.1±3.6
【甲山】				
419.45-419.73	68.2±3.4			
420.80-421.40	68.3±3.4		67.9±3.4	72.2±3.6
807.64-808.66	78.9±3.9		70.0±3.5	70.2±3.5

単位 Ma, 誤差は 1σ .

参考文献

- 1) 池田隆司・小村健太郎・飯尾能久・新井崇史・小林健太・松田達生・島田耕史・田中秀実・富田倫明・平野 聡 (2001): 1995 年兵庫県南部地震に伴う野島断層を貫くドリリング調査. 防災科学技術研究所研究報告, **61**, 141-153.
- 2) 市原実編 (1993): 『大阪層群』. 創元社.
- 3) Matsuda, T., Omura, K., and Ikeda, R. (2008): Geological and logging data of the NIED wells, Japan – active fault, seismogenic zone, hingeline –. Technical Note of the National Research Institute for Earth Science and Disaster Prevention, **310**, 29 pp.
- 4) 日本鉄道建設公団 (1991): 地質調査標準示方書.
- 5) Omura, K., Ikeda, R., Matsuda, T., Arai, T., Kobayashi, K., Shimada, K., Tanaka, H., Tomita, T., and Hirano, T. (2002): Photographs of NIED Nojima Fault drilling cores at Hirabayashi borehole. Technical Note of the National Research Institute for Earth Science and Disaster Prevention, **229**, 7 pp.

(2012年9月25日原稿受付,
2012年9月25日原稿受理)

要 旨

本稿では、防災科学技術研究所が平成7年度に実施した兵庫県淡路市平林(深度1,839 m)、岩屋(深度1,002 m)および西宮市甲山(深度1,313 m)の各地域における掘削調査の概要を報告する。各調査孔の様々な深度においてコアサンプルを採取し、それを用いて比重・吸水比測定、超音波伝搬速度測定、一軸圧縮・圧裂引張試験、熱伝導率測定、透水係数測定、三軸圧縮試験、鉱物組成分析、全岩化学分析、X線回析分析、K-Ar年代測定といった各種の室内物性試験を行った。

キーワード：野島断層，活断層，深層掘削，岩石試験

付 録

Appendix

掘削コア写真
(平林調査孔は Omura *et al.* (2002) を参照)

Photographs of drill cores.
(Refer Omura *et al.* (2002) for the Hirabayashi site.)

岩屋

Iwaya

掘削深度 1001.5 m



















兵庫県淡路市岩屋




















緯度経度 北緯 34°35'26.9"

東経 135°0'3.3"

孔口標高：海拔約 120 m

岩屋 Iwaya

深度 (m)	コア写真 core photographs	depth (m)	地質 descriptions
98.6		98.6	98.6 - 101.6 m 花崗閃緑岩 granodiorite
99.6		99.6	
100.6		100.6	
101.6		101.6	
248.2		249.2	248.2 - 261.7 m 花崗閃緑岩 granodiorite
249.2		250.2	
250.2		251.2	
251.2		252.1	
252.1		253.1	
253.1		254.1	
254.1		255.0	
255.0		255.9	
255.9		256.8	
256.8		257.7	
257.7		258.8	
258.8		259.8	
259.8		260.7	
260.7		261.7	

深度 (m)	コア写真 core photographs	depth (m)	地質 descriptions
261.7		262.7	261.7 - 264.2 m 花崗閃緑岩 granodiorite
262.7		263.7	
263.7		264.2	
435.3		435.6	435.3 - 450.2 m 花崗閃緑岩 granodiorite
435.6		436.6	
436.6		437.6	
437.6		438.6	
438.6		439.6	
439.6		440.6	
440.6		441.6	
441.6		442.5	
442.5		443.5	
443.5		444.5	
444.5		445.4	
445.4		446.3	
446.3		447.3	
447.3		448.3	
448.3		449.3	
449.3		450.2	

岩屋 Iwaya

深度 (m)	コア写真 core photographs	depth (m)	地質 descriptions
450.2		451.1	450.2 - 459.7 m 花崗閃緑岩 granodiorite
451.1		452.0	
452.0		453.0	
453.0		453.7	
453.7		454.6	
454.6		455.3	
455.3		456.2	
456.2		457.2	
457.2		458.3	
458.3		459.3	
459.3		459.7	
637.1		637.7	637.1 - 644.2 m 花崗閃緑岩 granodiorite
637.7		638.7	
638.7		639.7	
639.7		640.6	
640.6		641.5	
641.5		642.4	
642.4		643.3	
643.3		644.2	

深度 (m)	コア写真 core photographs	depth (m)	地質 descriptions
644.2		645.2	644.2 - 652.7 m 花崗閃緑岩 granodiorite
645.2		646.2	
646.2		647.2	
647.2		648.2	
648.2		649.1	
649.1		650.0	
650.0		650.9	
650.9		651.8	
651.8		652.7	
652.7		653.0	
836.8		837.1	
837.1		838.0	
838.0		838.9	
838.9		839.8	
839.8		840.5	
953.3		953.6	953.3 - 955.6 m 花崗閃緑岩 granodiorite
953.6		954.6	
954.6		955.6	

甲山

Kabutoyama

掘削深度 1313.2 m

兵庫県西宮市甲山
















(兵庫県立甲山森林公園内)



















緯度経度 北緯 34°46'27.7"

東経 135°19'32.7"

孔口標高：海拔約 222 m

甲山 Kabutoyama

深度 (m)	コア写真 core photographs	depth (m)	地質 descriptions
200.3		201.3	200.3 - 206.6 m 花崗岩 granite
201.3		201.6	
201.6		206.6	
206.6		210.6	206.6 - 222.6 m 花崗岩 granite
210.6		213.6	
213.6		214.9	
213.9		215.9	
214.9		216.9	
215.9		217.9	
216.9		218.9	
217.9		219.9	
218.9		220.7	
219.7		221.7	
220.7		222.6	
221.7			

深度 (m)	コア写真 core photographs	depth (m)	地質 descriptions
400.0		401.0	400.0 - 419.3 m 花崗岩 granite
401.0		402.0	
402.0		403.0	
403.0		404.0	
404.0		405.0	
405.0		406.0	
406.0		407.0	
407.0		408.0	
408.0		409.0	
409.0		410.7	
409.7		411.7	
410.7		412.7	
411.7		413.7	
412.7		414.7	
413.7		415.3	
414.3		416.3	
415.3		417.3	
416.3			

甲山 Kabutoyama

深度 (m)	コア写真 core photographs	depth (m)	地質 descriptions
417.2		418.2	417.2 - 422.0 m 花崗岩 granite
418.2		419.2	
418.6		419.6	417.2 - 422.0 m 花崗岩 granite
419.6		420.1	
420.1		421.1	417.2 - 422.0 m 花崗岩 granite
421.1		422.0	
631.3		632.3	631.3 - 640.8 m 花崗岩 granite
632.3		633.3	
633.3		634.3	
634.3		635.3	
635.3		636.2	
635.5		636.6	
636.6		637.7	
637.7		638.8	
638.8		639.7	
639.7		640.8	

深度 (m)	コア写真 core photographs	depth (m)	地質 descriptions
640.6		641.6	640.6 - 646.5 m 花崗岩 granite
641.6		642.6	
642.6		643.7	
643.7		644.7	
644.7		645.7	
645.6		646.5	640.6 - 646.5 m 花崗岩 granite
801.0		801.7	
801.7		802.7	
802.7		803.7	
803.7		804.7	
803.2		804.2	
804.2		804.4	
805.9		806.6	801.0 - 809.6 m 花崗岩 granite
806.6		807.6	
807.6		808.6	
808.6		809.6	

甲山 Kabutoyama

深度 (m)	コア写真 core photographs	depth (m)	地質 descriptions
809.3		810.2	809.3 - 818.3 m
810.2		811.1	花崗岩 granite
811.1		812.0	
812.0		813.0	
813.0		814.0	
814.0		815.0	
815.0		816.0	
816.0		817.0	
817.0		817.8	
817.8		818.7	
817.7		818.3	
1042.5		1043.5	1042.5 - 1050.2 m
1043.5		1044.5	花崗岩 granite
1044.5		1045.4	
1045.4		1046.5	
1046.5		1047.5	
1047.5		1048.4	
1048.4		1049.3	
1049.3		1050.2	

深度 (m)	コア写真 core photographs	depth (m)	地質 descriptions
1050.2		1051.1	1050.2 - 1058.0 m
1051.1		1052.1	花崗岩 granite
1052.1		1053.0	
1053.0		1054.0	
1054.0		1055.0	
1055.0		1056.0	
1056.0		1057.0	
1057.0		1058.0	
1233.0		1234.0	1233.0 - 1239.7 m
1234.0		1234.9	花崗岩 granite
1234.9		1235.8	
1235.8		1236.7	
1236.7		1237.6	
1237.6		1238.5	
1238.5		1239.4	
1239.4		1239.7	