

JNC TJ7440 2002-001

長期揚水試験の実施

(核燃料サイクル開発機構契約業務報告書)

2002 年 3 月

大成建設株式会社

本資料の全部または一部を複写・複製・転載する場合は、下記にお問い合わせください。

〒509-51 岐阜県土岐市泉町定林寺園戸 959-31
核燃料サイクル機構東濃地科学センター
技術展開部、技術協力課

Inquiries about copyright and reproduction should be addressed to:
Technology Development Division, Technical Cooperation Group,
Tono Geoscience Center, Japan Nuclear Cycle Development Institute
Jyourinji, Izumi, Tokishi, 509-5102, Gifu, Japan

長期揚水試験の実施

下茂道人*、山本肇*、西寫望*、文村賢一*

要旨

東濃地科学センターにおける超深地層研究所計画では、これまで、深度約1,000mの試錐孔を用いた各種試験が実施され、それらの調査結果をもとに深部地下の水理・地質構造の評価ならびにモデル化が進められている。しかし、試錐調査結果は平面的には点のデータであることから、構築された水理地質構造モデルの妥当性を検証するためには、周辺地盤の3次元的な場における水理的連続性の情報が不可欠である。

平成11年度には、孔間の水理定数および連続性を直接把握することを目的とし、MIU-2、MIU-3号孔において孔間水理試験を実施した。その結果、大深度、広領域を対象とした圧力干渉試験の適用性が確認されるとともに、断層の遮水性能及び透水性に関する重要な知見が得られた。

本年度は、前回試験の成果を踏まえ、さらに広い領域での水理的連続性および透水性に関する情報を取得することを目的とし、超深地層研究所計画用地内（以下、試験サイト）に削孔された深度約1000mのMIU-2号孔において、長期（10日間～2週間程度）の揚水試験を行なった。

本試験結果により、試験サイト内の各試錐孔で検出されている透水性割れ目の孔間での連続性が確認されたとともに、既に構築された水理地質構造モデルの妥当性の検証ならびに改良のための貴重なデータを取得することができた。

本報告書は、大成建設(株)が、核燃料サイクル開発機構の依託により実施した研究の成果である。

契約番号:1306A00539

核燃料サイクル開発機構担当部課室:東濃地科学センター、地層科学研究グループ、竹内真司

*:大成建設(株)技術センター、土木技術研究所

Long Term Pumping Test at MIU-2 Hole

Michito Shimo*、Hajime Yamamoto*、Nozomu Nishijima* Kenichi Fumimura*

abstract

One of the most important tasks in Geoscience Research Program currently ongoing at Tono Geoscience Center is to develop rational techniques to obtain accurate information on geological environment using limited number of boreholes.

As a part of Geoscience Research activities, hydraulic and geological structure at deep underground has been evaluated based on the hydraulic tests conducted at 1000 m boreholes. It has been recognized, however, that one should check if these point-wise information obtained from borehole exploration successfully provided us a reliable three dimensional connection of strata within the study area especially from hydraulic point of view.

The long term pumping test was planed and conducted to check the validity of the concept of the hydrogeologic model based on the borehole exploration and also to evaluate hydraulic parameters and connections between the above two boreholes.

Clear responses from pumping well (MIU-2) were obtained at multiple sections in observation wells located in the test area and the hydraulic properties of these zones were evaluated.

Finally, it was confirmed that the long term pumping test or hydraulic interference test is applicable for evaluating hydraulic parameters of rock formations in regional scale.

Work performed by Taisei Corporation under contract with Japan Nuclear Cycle Development Institute

JNC Liaison: Geoscience Research Execution Group, Japan Nuclear Cycle Development Institute, Tono Geoscience Center

*:Technology Center, Taisei Corporation

目 次

1. はじめに-----	1
2. 試験概要	
2.1 試験目的-----	2
2.2 試験位置-----	2
2.3 試験サイトの地形・地質概要-----	5
2.4 試験項目・数量-----	7
2.5 試験設備-----	8
2.6 試験工程-----	9
3. 試験方法	
3.1 試験区間-----	10
3.2 試験装置-----	11
3.3 試験手順-----	21
3.4 解析方法-----	26
4. 試験状況	
4.1 水理試験装置の設置-----	32
4.2 揚水量の決定-----	36
4.3 揚水ポンプと地上設備及び水質モニタリング装置の設置-----	39
4.4 揚水試験時の状況-----	41
4.5 作業工程-----	51
4.6 作業状況-----	53
5. 試験結果	
5.1 観測水圧の経時変化-----	64
5.2 トレンド成分及び地球潮汐成分の除去-----	97
5.3 解析結果-----	118
6. 考察-----	144
7. おわりに-----	145

目 次

2. 試験概要		
2.2 試験位置		
図-2.2.1 試験位置		3
図-2.2.2 MIU サイト平面図および断面模式図 (MIU サイト外一部含む)		4
2.3 試験サイトの地形・地質概要		
図-2.3.1 試験サイト周辺地質図		6
3. 試験方法		
3.1 試験区間		
図-3.1.1 MIU-2 号孔の概略図		10
3.2 試験装置		
図-3.2.1 1,000m 対応水理試験装置(type 1.0 改)の構成図		11
図-3.2.2 1,000m 対応水理試験装置(type 1.0 改)のパッカー編成図		12
図-3.2.3 MP システムと MOXDAX データロガーの概要		14
3.3 試験手順		
図-3.3.1 揚水試験の手順フロー		21
図-3.3.2 ポンプの概略図		23
図-3.3.3 浮動式流量制御装置の概略図		24
図-3.3.4 ギヤ式流量制御装置の概略図		24
3.4 解析方法		
図-3.4.1 デリバティブプロットグラフの説明図		27
図-3.4.2 揚水試験解析説明図		28
図-3.4.3 揚水過程(RW)の $\text{Log } t - s$ グラフ		29
図-3.4.5 回復過程(RWS)の $\text{Log } (tp \times \Delta t / (tp + \Delta t)) - Sr$ グラフ		30
図-3.4.6 段階揚水試験解析説明図		31
図-3.4.7 Eden-Hazel の $H_n - s$ グラフ		31
4. 試験状況		
4.1 水理試験装置の設置		
図-4.1.1 パッカー編成図		32
4.2 揚水量の決定		
図-4.2.1 段階揚水試験結果図 (第一回試験)		36
図-4.2.2 スラッグ試験解析結果 (第二回試験)		37

4.3	揚水ポンプと地上揚水設備および水質モニタリング装置の設置	
図 4.3.1	地上揚水設備配置図	39
4.4	揚水試験時の状況	
図 4.4.1	第一回試験の水位－パッカー圧力変化図	41
図 4.4.2	第一回試験の平均揚水量－積算揚水量変化図	42
図 4.4.3	第一回試験の平均揚水量－P2 圧力変化図	42
図 4.4.4	メインバルブからのリーク量測定結果	44
図 4.4.5	2 回目リーク流量測定 of 積算流量	45
図 4.4.6	第二回試験の水位－パッカー圧力変化図	48
図-4.4.7	第二回試験の平均揚水量－積算揚水量変化図	49
図-4.4.8	第二回試験の平均揚水量－P2 圧力変化図	49
5.	試験結果	
5.1	観測水圧の経時変化	
図-5.1.1	区間水位変化図（第一回及び第二回試験、MIU-2 号孔）	65
図-5.1.2	揚水孔内の圧力変化図（第一回試験、MIU-2 号孔）	66
図-5.1.3	揚水孔内の圧力変化図（第二回試験、MIU-2 号孔）	67
図-5.1.4	平均揚水量－積算揚水量変化図（第一回試験）	68
図-5.1.5	平均揚水量－揚水区間圧力変化（第一回試験）	68
図-5.1.6	平均揚水量－積算揚水量変化図（第二回試験）	69
図-5.1.7	平均揚水量－揚水区間圧力変化（第二回試験）	69
図-5.1.8	MIU-1 孔における水圧観測結果(RPB-1)	72
図-5.1.9	MIU-1 孔における水圧観測結果(RPB-2)	72
図-5.1.10	MIU-1 孔における水圧観測結果(RPB-3)	73
図-5.1.11	MIU-1 孔における水圧観測結果(RPB-4)	73
図-5.1.12	MIU-1 孔における水圧観測結果(RPB-5)	74
図-5.1.13	MIU-1 孔における水圧観測結果(RPB-6)	74
図-5.1.14	MIU-1 孔における水圧観測結果(RPB-7)	75
図-5.1.15	MIU-1 孔における水圧観測結果(RPB-8)	75
図-5.1.16	MIU-1 孔における水圧観測結果(RPB-9)	76
図-5.1.17	MIU-3 孔における水圧観測結果(RPB-1)	77
図-5.1.18	MIU-3 孔における水圧観測結果(RPB-2)	77
図-5.1.19	MIU-3 孔における水圧観測結果(RPB-3)	78
図-5.1.20	MIU-3 孔における水圧観測結果(RPB-4)	78
図-5.1.21	MIU-3 孔における水圧観測結果(RPB-5)	79
図-5.1.22	MIU-3 孔における水圧観測結果(RPB-6)	79
図-5.1.23	MIU-3 孔における水圧観測結果(RPB-7)	80

図-5.1.24	MIU-3 孔における水圧観測結果(RPB-8)	80
図-5.1.25	MIU-4 孔における水圧測定結果(PRB-1)	81
図-5.1.26	MIU-4 孔における水圧測定結果(PRB-2)	81
図-5.1.27	MIU-4 孔における水圧測定結果(PRB-3)	82
図-5.1.28	MIU-4 孔における水圧測定結果(PRB-4)	82
図-5.1.29	MIU-4 孔における水圧測定結果(PRB-5)	83
図-5.1.30	MIU-4 孔における水圧測定結果(PRB-6)	83
図-5.1.31	MIU-4 孔における水圧測定結果(PRB-7)	84
図-5.1.32	MIU-4 孔における水圧測定結果(PRB-8)	84
図-5.1.33	MIU-4 孔における水圧測定結果(PRB-9)	85
図-5.1.34	MIU-4 孔における水圧測定結果(PRB-10)	85
図-5.1.35	AN-1 孔における水圧測定結果(PRB-1)	86
図-5.1.36	AN-1 孔における水圧測定結果(PRB-2)	86
図-5.1.37	AN-1 孔における水圧測定結果(PRB-3)	87
図-5.1.38	AN-1 孔における水圧測定結果(PRB-4)	87
図-5.1.39	AN-1 孔における水圧測定結果(PRB-5)	88
図-5.1.40	AN-1 孔における水圧測定結果(PRB-6)	88
図-5.1.41	AN-1 孔における水圧測定結果(PRB-7)	89
図-5.1.42	AN-1 孔における水圧測定結果(PRB-8)	89
図-5.1.43	AN-1 孔における水圧測定結果(PRB-9)	90
図-5.1.44	AN-1 孔における水圧測定結果(PRB-10)	90
図-5.1.45	AN-1 孔における水圧測定結果(PRB-11)	91
図-5.1.46	AN-1 孔における水圧測定結果(PRB-12)	91
図-5.1.47	AN-3 孔における水圧測定結果(PRB-1)	92
図-5.1.48	AN-3 孔における水圧測定結果(PRB-2)	92
図-5.1.49	AN-3 孔における水圧測定結果(PRB-3)	93
図-5.1.50	AN-3 孔における水圧測定結果(PRB-4)	93
図-5.1.51	AN-3 孔における水圧測定結果(PRB-5)	94
図-5.1.52	AI-7 孔における水圧測定結果	95
図-5.1.53	AI-10 孔における水圧測定結果	95
図-5.1.54	MS99-05 孔における水圧測定結果	96
5.2	トレンド成分および地球潮汐による水圧変動の除去	
図-5.2.1	トレンド成分、潮汐成分の除去結果図（第一回試験、揚水時：MIU-2）	98
図-5.2.2	トレンド成分、潮汐成分の除去結果図（第一回試験、回復時：MIU-2）	99
図-5.2.3	トレンド成分、潮汐成分の除去結果図 （第一回試験、揚水時：MIU-3、PRB-5）	100

図-5.2.4	トント [®] 成分、潮汐成分の除去結果図 (第一回試験、回復時：MIU-3、PRB-5)	101
図-5.2.5	トント [®] 成分、潮汐成分の除去結果図 (第一回試験、揚水時：MIU-3、PRB-6)	102
図-5.2.6	トント [®] 成分、潮汐成分の除去結果図 (第一回試験、回復時：MIU-3、PRB-6)	103
図-5.2.7	トント [®] 成分、潮汐成分の除去結果図 (第一回試験、揚水時：MIU-3、PRB-7)	104
図-5.2.8	トント [®] 成分、潮汐成分の除去結果図 (第一回試験、回復時：MIU-3、PRB-7)	105
図-5.2.9	トント [®] 成分、潮汐成分の除去結果図 (第一回試験、揚水時：MIU-3、PRB-8)	106
図-5.2.10	トント [®] 成分、潮汐成分の除去結果図 (第一回試験、回復時：MIU-3、PRB-8)	107
図-5.2.11	トント [®] 成分、潮汐成分の除去結果図 (第二回試験、揚水時:MIU-2)	108
図-5.2.12	トント [®] 成分、潮汐成分の除去結果図 (第二回試験、回復時:MIU-2)	109
図-5.2.13	トント [®] 成分、潮汐成分の除去結果図 (第二回試験、揚水時：MIU-1、PRB-6)	110
図-5.2.14	トント [®] 成分、潮汐成分の除去結果図 (第二回試験、回復時：MIU-1、PRB-6)	111
図-5.2.15	トント [®] 成分、潮汐成分の除去結果図 (第二回試験、揚水時：MIU-1、PRB-7)	112
図-5.2.16	トント [®] 成分、潮汐成分の除去結果図 (第二回試験、回復時：MIU-1、PRB-7)	113
図-5.2.17	トント [®] 成分、潮汐成分の除去結果図 (第二回試験、揚水時：MIU-1、PRB-8)	114
図-5.2.18	トント [®] 成分、潮汐成分の除去結果図 (第二回試験、回復時：MIU-1、PRB-8)	115
図-5.2.19	トント [®] 成分、潮汐成分の除去結果図 (第二回試験、揚水時：MIU-1、PRB-9)	116
図-5.2.20	トント [®] 成分、潮汐成分の除去結果図 (第二回試験、回復時：MIU-1、PRB-9)	117
5.3	解析結果	
図-5.3.1	試験結果より想定される水位低下のモデル図	121
図 5.3.2	解析結果図[Jacob] (第一回試験、揚水時：MIU-2)	123
図 5.3.3	解析結果図[Jacob(Agarwal)] (第一回試験、回復時：MIU-2)	124

図 5.3.4	解析結果図[Eden-Hazel] (第一回試験、段階揚水試験 : MIU-2)	125
図 5.3.5	解析結果図[Jacob] (第一回試験、揚水時 : MIU-3、PRB-5)	126
図 5.3.6	解析結果図[Jacob(Agarwal)] (第一回試験、回復時:MIU-3、PRB-5)	127
図 5.3.7	解析結果図[Jacob] (第一回試験、揚水時 : MIU-3、PRB-6)	128
図 5.3.8	解析結果図[Jacob(Agarwal)] (第一回試験、回復時:MIU-3、PRB-6)	129
図 5.3.9	解析結果図[Jacob] (第一回試験、揚水時 : MIU-3、PRB-7)	130
図 5.3.10	解析結果図[Jacob(Agarwal)] (第一回試験、回復時:MIU-3、PRB-7)	131
図 5.3.11	解析結果図[Jacob] (第一回試験、揚水時 : MIU-3、PRB-8)	132
図 5.3.12	解析結果図[Jacob(Agarwal)] (第一回試験、回復時:MIU-3、PRB-8)	133
図 5.3.13	解析結果図[Jacob] (第二回試験、揚水時 : MIU-2)	134
図 5.3.14	解析結果図[Jacob(Agarwal)] (第二回試験、回復時 : MIU-2)	135
図 5.3.15	解析結果図[Jacob] (第二回試験、揚水時 : MIU-1、PRB-6)	136
図 5.3.16	解析結果図[Jacob(Agarwal)] (第二回試験、回復時:MIU-1、PRB-6)	137
図 5.3.17	解析結果図[Jacob] (第二回試験、揚水時 : MIU-1、PRB-7)	138
図 5.3.18	解析結果図[Jacob(Agarwal)] (第二回試験、回復時:MIU-1、PRB-7)	139
図 5.3.19	解析結果図[Jacob] (第二回試験、揚水時 : MIU-1、PRB-8)	140
図 5.3.20	解析結果図[Jacob(Agarwal)] (第二回試験、回復時:MIU-1、PRB-8)	141
図 5.3.21	解析結果図[Jacob] (第二回試験、揚水時 : MIU-1、PRB-9)	142
図 5.3.22	解析結果図[Jacob(Agarwal)] (第二回試験、回復時:MIU-1、PRB-9)	143

6. 考察

図 6.1	長期揚水試験で確認された水圧応答経路	144
-------	--------------------	-----

表 目 次

2. 試験概要		
2.2 試験位置		
表-2.2.1 MIU-2号孔の孔口座標（国家7系座標）及び諸元		2
2.5 試験設備		
表-2.5.1 試験設備一覧		8
2.6 試験工程		
表-2.6.1 全体工程表		9
3. 試験方法		
3.1 試験概要		
表-3.1.1 揚水試験区間一覧表		10
3.2 試験装置		
表-3.2.1 観測ポート設置位置（MIU-1号孔）		15
表-3.2.2 観測ポート設置位置（MIU-3号孔）		16
表-3.2.3 観測ポート設置位置（MIU-4号孔）		17
表-3.2.4 観測ポート設置位置（AN-1号孔）		18
表-3.2.5 観測ポート設置位置（AN-3号孔）		19
表-3.2.6 観測孔諸元（水圧計による1区間測定）		20
3.3 試験手順		
表-3.3.1 ポンプの仕様一覧		23
4. 試験状況		
4.1 水理試験装置の設置		
表-4.1.1 パッカー設置深度一覧		33
表-4.1.2 孔内装置設置深度（第一回試験）		34
表-4.1.3 孔内装置設置深度（第二回試験）		35
表-4.1.4 圧力計深度（孔内部ユニット）		36
4.2 揚水量の決定		
表-4.2.1 事前水位低下量予測計算（第二回試験）		38
4.3 揚水ポンプと地上揚水設備および水質モニタリング装置の設置		
表-4.3.1 揚水ポンプ設置深度一覧		39
4.4 揚水試験時の状況		
表-4.4.1 解析結果		45

4.5	作業工程	
表-4.5.1	第一回試験における揚水試験作業工程表	51
表-4.5.2	第二回試験における揚水試験作業工程表	52
5.	試験結果	
5.1	観測水圧の経時変化	
表-5.1.1	揚水試験期間中における応答の有無	71
5.3	解析結果	
表-5.3.1	透水量係数、貯留係数一覧	118
表-5.3.2	間隙水圧一覧	119
表-5.3.3	代表値の一覧	122

写 真 目 次

4. 試験状況

4.6 作業状況

写真-4.6.1	搬入作業（土岐倉庫）	54
写真-4.6.2	搬入作業（MIU-2 サイト）	54
写真-4.6.3	パッカー組立（第1回試験）	55
写真-4.6.4	ゾンデ組立（第1回試験）	55
写真-4.6.5	ゾンデ組み立て（第2回試験）	56
写真-4.6.6	パッカー挿入（第1回試験）	57
写真-4.6.7	パッカー挿入（第2回試験）	57
写真-4.6.8	ゾンデ挿入（第1回試験）	58
写真-4.6.9	ゾンデ挿入（第2回試験）	58
写真-4.6.10	ロッド挿入（第1回試験）	59
写真-4.6.11	揚水試験状況（第1回試験）	60
写真-4.6.12	揚水試験状況（第2回試験）	60
写真-4.6.13	MPデータ回収	61
写真-4.6.14	揚水後の河川放流状況	61
写真-4.6.15	水質検査	61
写真-4.6.16	ゾンデ回収（第2回試験）	62
写真-4.6.17	パッカー回収（第2回試験）	62
写真-4.6.18	搬出作業	63
写真-4.6.19	搬出作業（土岐倉庫）	63
写真-4.6.20	完了状況	63

1 はじめに

東濃地科学センターにおける超深地層研究所計画では、これまで、深度約 1,000m の試錐孔を用いた各種試験が実施され、それらの調査結果をもとに深部地下の水理・地質構造の評価ならびにモデル化が進められている。しかし、試錐調査結果は平面的には点のデータであることから、構築された水理地質構造モデルの妥当性を検証するためには、周辺地盤の 3 次元的な場における水理的連続性の情報が不可欠である。

平成 11 年度には、孔間の水理定数および連続性を直接把握することを目的とし、MIU-2、MIU-3 号孔において孔間水理試験を実施した。その結果、大深度、広領域を対象とした圧力干渉試験の適用性が確認されるとともに、断層の遮水性能及び透水性に関する貴重な知見が得られた。

本年度は、前回試験の成果を踏まえ、さらに広い領域での水理的連続性および透水性に関する情報を取得することを目的とし、超深地層研究所計画用地内（以下、試験サイト）に削孔された深度約 1000m の MIU-2 号孔において、長期（10 日間～14 日間程度）の揚水試験を行なった。本試験結果は、試験サイト内の各試錐孔で検出されている透水性割れ目の孔間での連続性の理解や、既に構築された水理地質構造モデルの妥当性の検証ならびに改良のための貴重なデータとなる。

試験期間中の揚水孔ならびに観測孔内における水圧（水位）変動は、既設の地下水水圧長期観測システム（以下、MP システム）または水圧計により観測した。

本報告書は、長期揚水試験データを取りまとめると共に、データ解析により得られた知見について述べる。

2 試験概要

2.1 試験目的

本試験は、岐阜県瑞浪市にある超深地層研究所計画用地内に削孔された深度約 1000m の MIU-2 号孔において、長期の揚水試験を行うものである。超深地層研究所計画地内の各試験孔で検出されている透水性割れ目の孔間での連続性の理解や、既に構築された水理地質構造モデルの妥当性の検証ならびに改良に資する、広領域内における水理的連続性および透水性に関する情報の取得を目的として実施する。

2.2 試験位置

本試験は、岐阜県瑞浪市にある超深地層研究所計画用地内において行った。同計画用地内の MIU-2 号孔(削孔長 1012.0m、鉛直孔)を揚水孔とし、MIU-1/3/4、AN-1/3、AI-/7/10、99MS-05 を観測孔とした。試験サイト周辺の広域図を図-2.2.1 に示す。

MIU-2 号孔は同用地内の北側に位置し、ボーリング沿いの深度約 700m~900m で月吉断層を貫いている。MIU-2 号孔の孔口座標および標高を表-2.1.1 に示す。

表-2.2.1 MIU-2 号孔の孔口座標（国家 7 系座標）及び諸元

MIU-2 号孔：

X 座標(m)	5433.295
Y 座標(m)	-68552.402
Z 座標(m)	223.275
削孔長(m)	1012
傾斜角	鉛直（孔曲がり：孔底付近で 1° 30'）

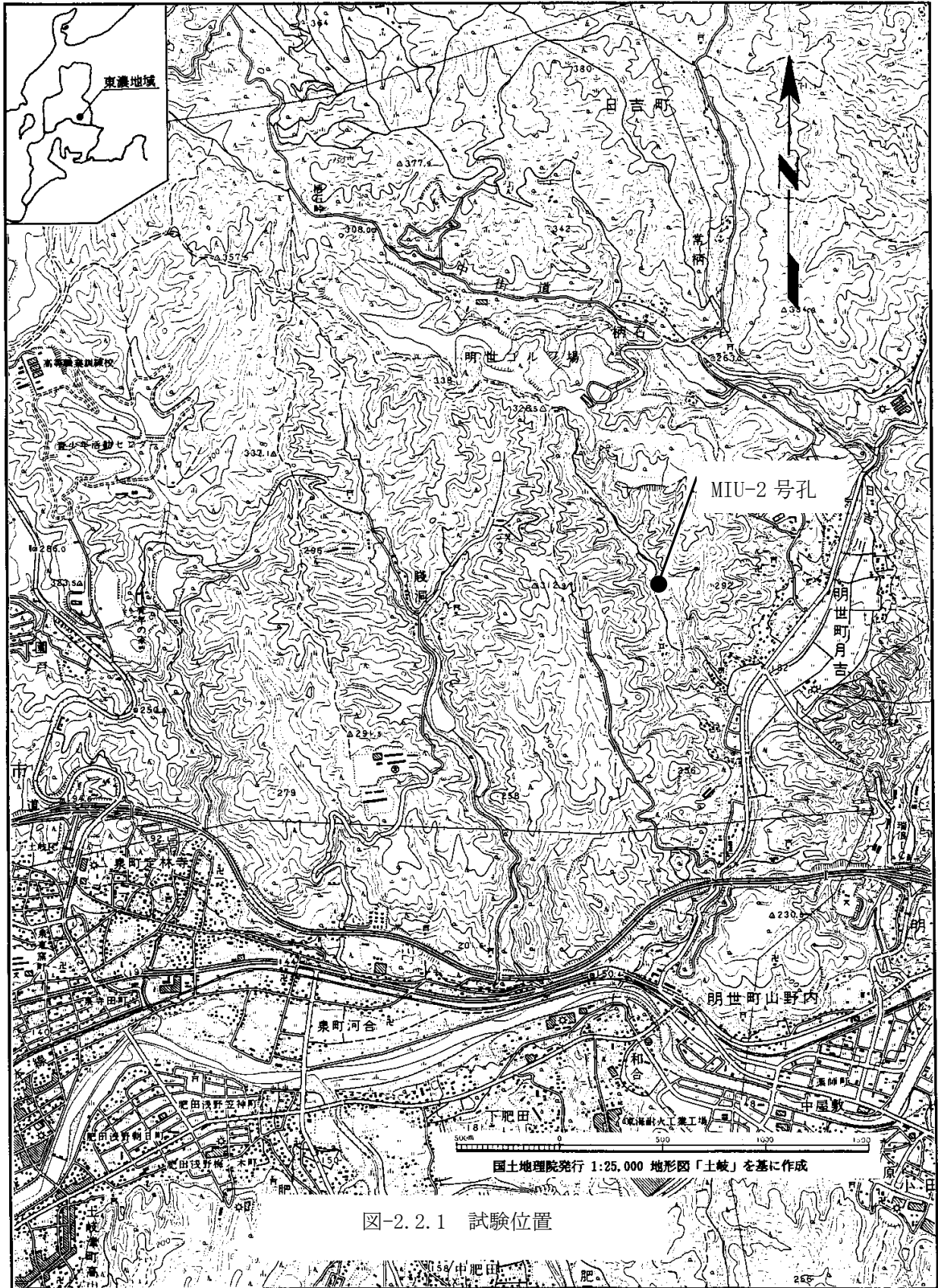
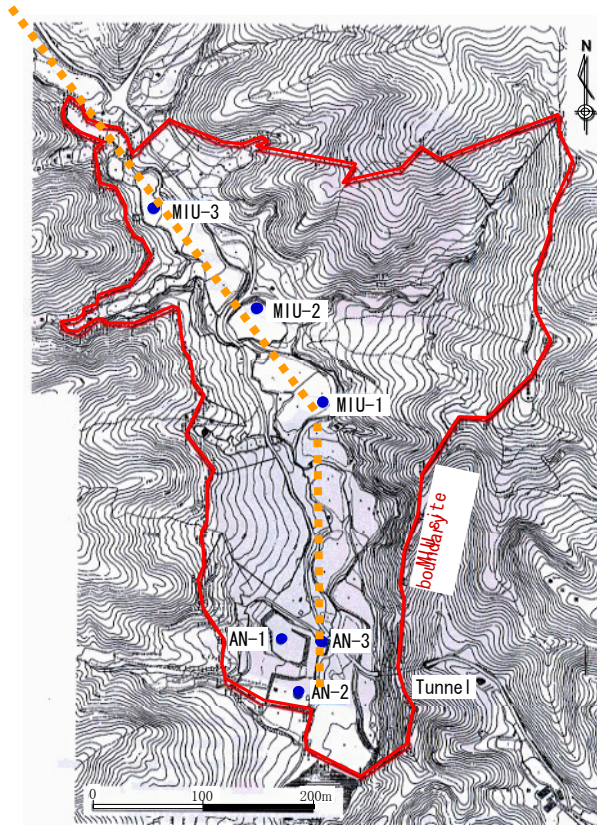
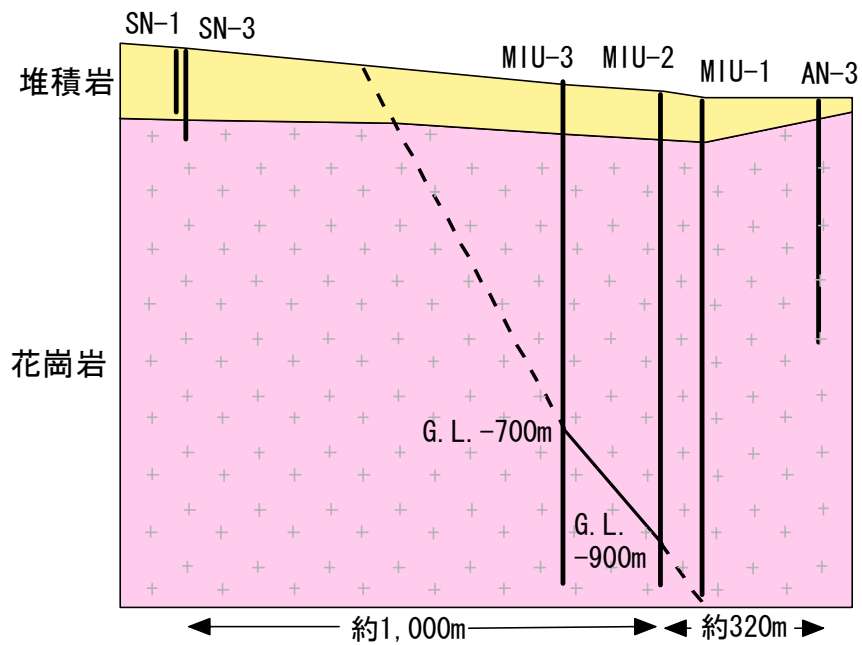


図-2.2.1 試験位置



a. 試験サイト平面図



b. 断面模式図(a. 図内の破線に沿う)

図-2.2.2 MIUサイト平面図および断面模式図 (MIU サイト外一部含む)

2.3 試験サイトの地形・地質概要

試験サイト南部には土岐川が西流し、土岐市、瑞浪市の市街地が土岐川沿いに発達している。同地域は、土岐川北側の標高 200～300m の丘陵地帯であり、土岐川に注ぐ小河川によって形成された比高 50～60m の北西～南東に伸びる尾根が発達している。

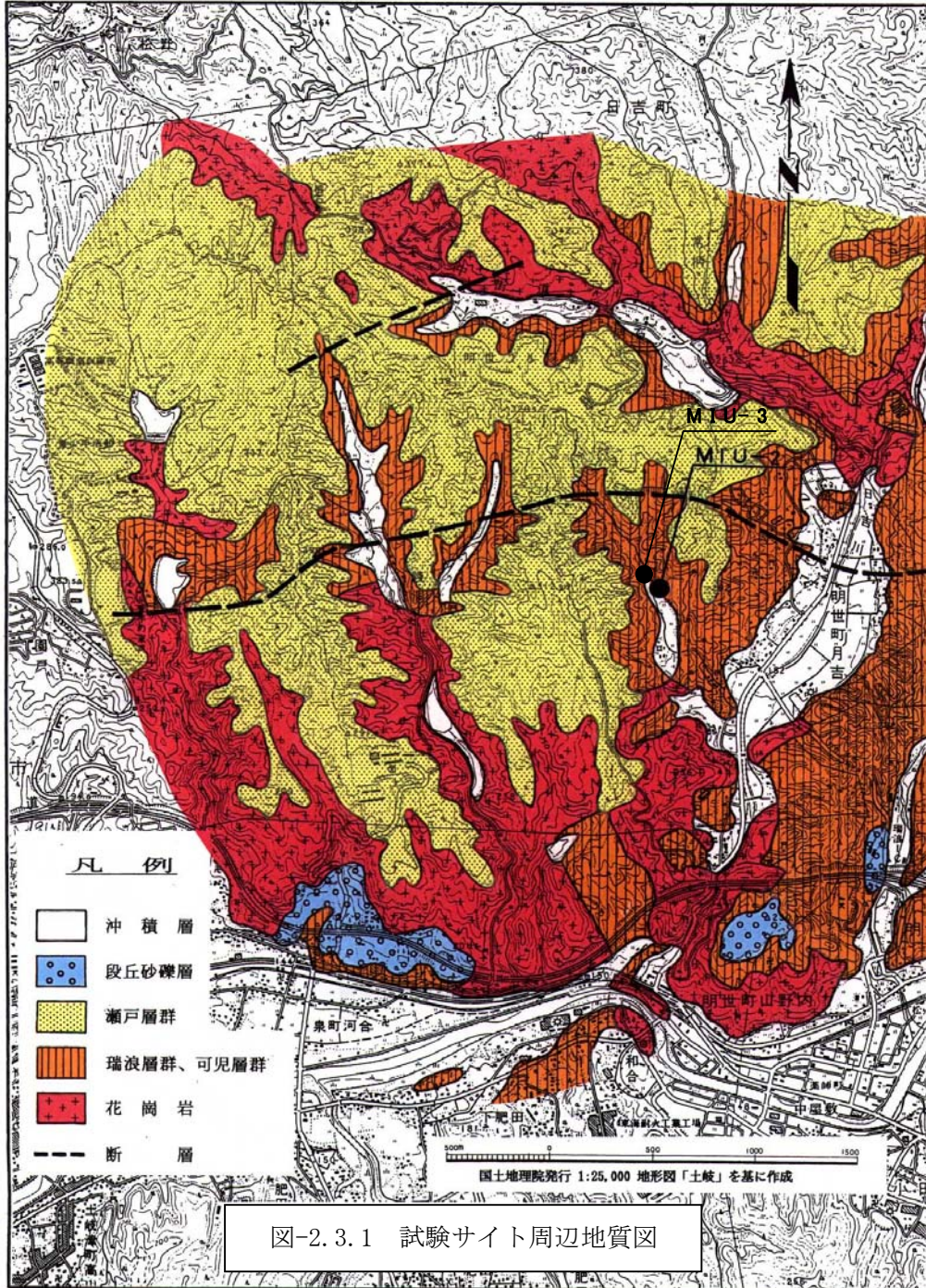
試験サイト周辺には、当地域の基盤をなす領家帯の花崗岩、花崗岩を被覆する新第三紀中新世の瑞浪層群と鮮新世の瀬戸層群、ならびに沖積層からなる。瑞浪層群は、下位から土岐挾炭累層、明世累層、生俵累層に区分されており、主としてシルト岩、泥岩、砂岩、礫岩およびこれらの互層からなり、亜炭層、凝灰岩層を挟む。瀬戸層群は花崗岩、瑞浪層群を不整合に覆って分布する。花崗岩類は領家帯の苗木～上松型花崗岩類に属し、土岐花崗岩と呼ばれている。石原・鈴木 (1969)¹⁾によれば、土岐花崗岩は次の6岩相からなるとされている。

1. 細粒角閃石含有黒雲母花崗閃緑岩
2. 中粒角閃石含有黒雲母花崗閃緑岩
3. 中粒黒雲母花崗岩
4. 粗粒黒雲母花崗岩
5. 斑状黒雲母花崗岩
6. 細粒黒雲母花崗岩

掘削地点の土岐花崗岩は中粒～粗粒黒雲母花崗岩からなる。

試験サイトの北方には東西走向、南落ちの月吉断層が分布し、東濃鉦山の坑内および地表部で認められる。同断層は、MIU-2 号孔位置においては地表面下約 900m、MIU-3 号孔位置においては、地表面下約 700m に存在する。

試験サイトの周辺地質図を図-2.3.1 に示す。



2.4 試験項目・数量

2.4.1 長期揚水試験

MIU-2 号孔を揚水孔とし、月吉断層の下盤または上盤を揚水対象として、2回の長期揚水試験を実施した。

(1) 第1回目試験

- ・ 対象区間：月吉断層下盤側（深度：970.72m～1012.00m（孔底））
- ・ 揚水時間：10日間
- ・ 揚水流量：10～16リットル／分

(2) 第2回目試験

- ・ 対象区間：月吉断層上盤側（深度：844.0m～867.5m）
- ・ 揚水時間：14日間
- ・ 揚水流量：2.3～4リットル／分

揚水孔における測定項目は次の通りである。

- ・ 揚水孔内水圧測定：3区間（揚水区間、揚水区間上部、揚水区間下部）
- ・ 揚水流量測定：1区間（揚水区間）

2.4.2 周辺水圧（水位）測定

長期揚水試験期間中の周辺水圧（水位）測定は、以下の既設の観測孔において行った。

観測孔名	測定装置名	測定区間数	測定間隔	備考
MIU-1	MPシステム	9	5分*	
MIU-3	MPシステム	8	5分*	
MIU-4	MPシステム	10	5分*	
AN-1	MPシステム	12	5分	
AN-3	MPシステム	5	5分	
AI-7	水圧計	1	10分	
AI-10	水圧計	1	10分	
99MS-05	水圧計	1	10分	

*：第1回目試験の揚水期間初期は、MIU-1/3/4孔の測定間隔を1分間隔とした。

2.5 試験設備

試験に用いた主要設備を下表に示す。

表-2.5.1 試験設備一覧

名 称	仕 様	単 位	数 量	備 考
試験設備				
揚水試験装置		式	1	
揚水ポンプ	SQE-1	台	1	
揚水流量制御装置		式	1	
配管資材		式	1	
水質モニタリング装置		台	1	
槽		台	1	
ウインチ		台	1	ボーリング機械付属
仮設備				
計測室		台	2	
排水タンク	13m ³	台	2	
排水用配管		式	1	
仮設トイレ		台	1	
照明設備		式	1	
発電機	90kVA(60Hz) 、三相 (4線式)	台	1	

2.6 試験工程

試験の全体工程表を表-2.6.1に示す。

表-2.6.1 全体工程表

	2001年 12月															
	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20	22	24	26	28	30	31
資材搬入																
地上部設営																
挿入																
パッカー拡張																
間隙水圧測定																
揚水試験																
回復試験																
水圧測定																
パッカー収縮																

	2002年 1月															
	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20	22	24	26	28	30	31
資材搬入																
地上部設営																
挿入																
回復試験																
水圧測定																
パッカー収縮																
回収																
搬出																

	2002年 2月															
	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20	22	24	26	28		
資材搬入																
地上部設営																
挿入																
ユニット回収/修理																
パッカー拡張																
間隙水圧測定																
揚水試験																
回復試験																
水圧測定																
パッカー収縮																

	2002年 3月															
	2	4	6	8	10	12	14									
ユニット回収/修理																
間隙水圧測定																
揚水試験																
回復試験																
パッカー収縮																
回収																
搬出																

3. 試験方法

3.1 試験区間

図 3.1.1 に MIU-2 号孔の概略図を示す。MIU-2 号孔における深度の基準 (0m) は、図-3.1.1 に示す孔口保護用マンホール面とした。揚水試験区間を表-3.1.1 に示す。

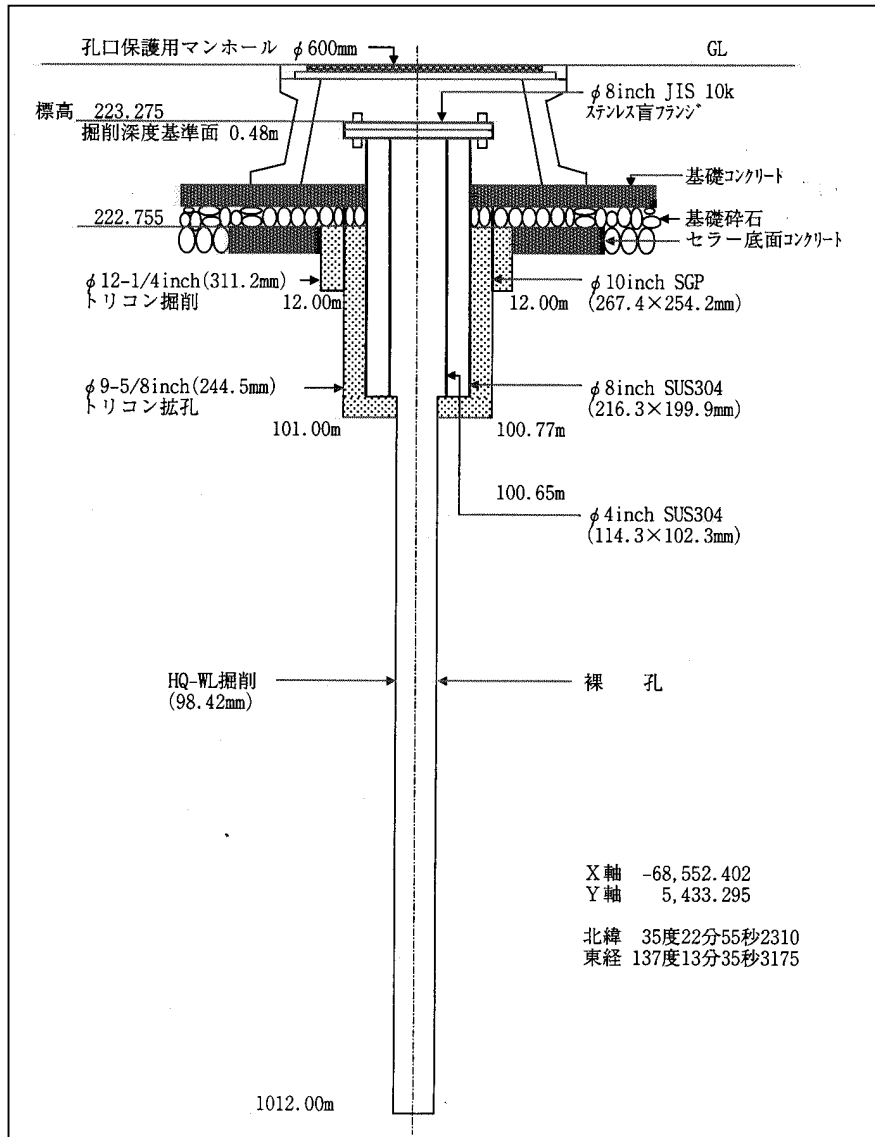


図-3.1.1 MIU-2号孔の概略図

表-3.1.1 揚水試験区間一覧表

試験番号	試験区間	区間長	パッカー構成	試験対象
第1回	970.72 ~1012.00 mabh	41.28 m	シングルパッカー	月吉断層下盤側
第2回	844.00 ~867.50 mabh	23.50 m	ダブルパッカー	月吉断層上盤側

3.2 試験装置

揚水孔装置と観測孔装置に分けて、以下に述べる。

3.2.1 揚水孔装置

MIU-2号孔における長期揚水試験は、核燃料サイクル開発機構が開発した1,000m対応水理試験装置(type 1.0改) (以下、水理試験装置) の貸与を受けて実施した。試験装置は、孔内部、中継部、地上部によって構成されている (図 3.2.1)。今回の試験では、高揚程揚水ポンプ SQE1-140 (外径74mm) を挿入するため、通常のステンレス製3インチ管 (内径73mm) は使用せず、これより内径の大きい鉄製の3インチ管 (内径79mm) を使用した。試験に先立ち、鉄製の3インチ管を酸で洗浄してさびを除去した。挿入時には、浸水防止のためネジ部にシールテープと自己融着テープを巻いた。

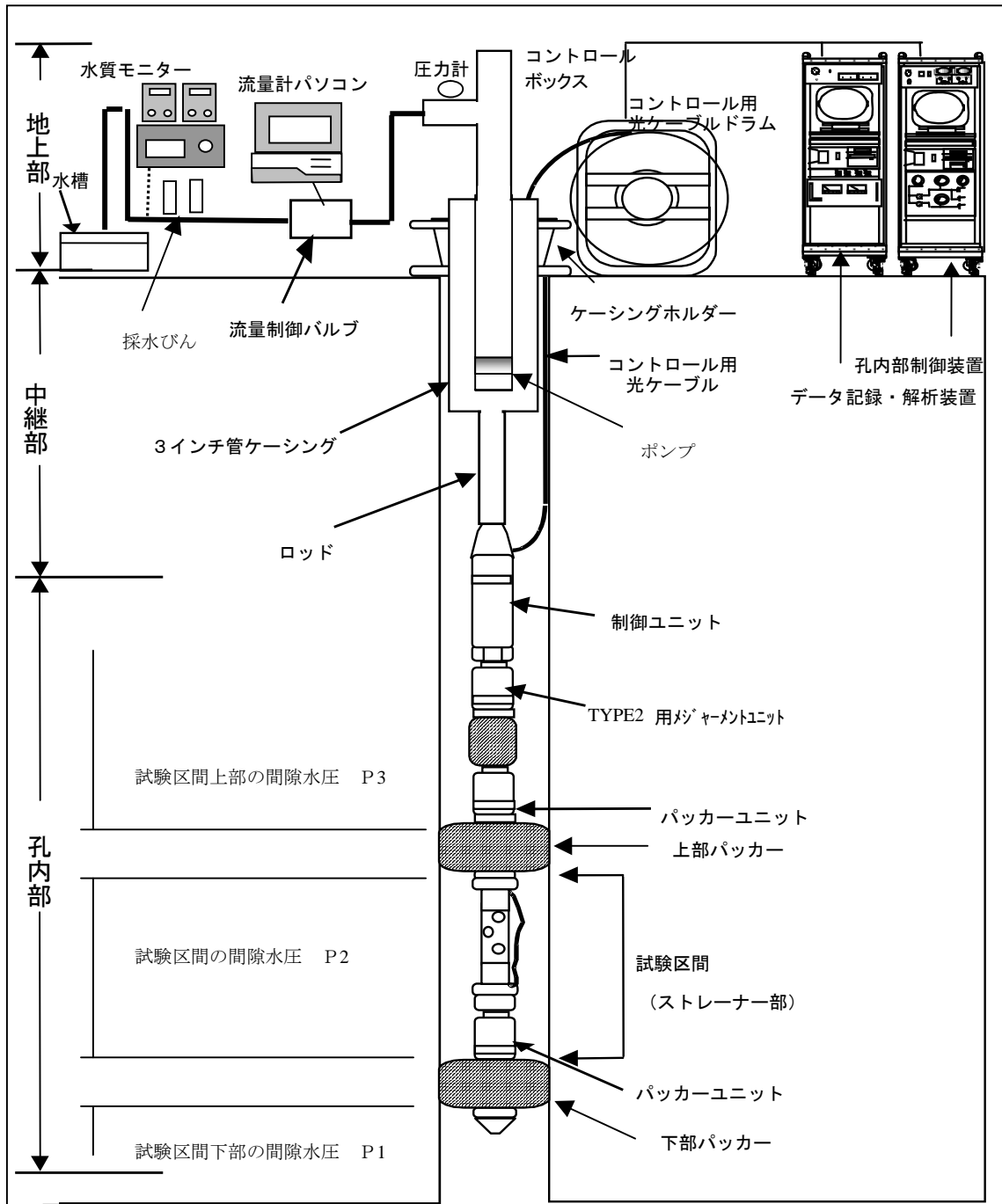


図 3.2.1 1,000m 対応水理試験装置 (type 1.0 改) の構成図

今回の揚水試験では、揚水区間を月吉断層下部（第一回試験）または同断層上部（第二回試験）に設定した。第一回試験では、揚水区間上部をシングルパッカーで区切り、パッカーから孔底までを揚水区間とした。第二回試験では、揚水区間の上下をダブルパッカーにより区切った（4.1 参照）。なお、前者のように、試験区間をシングルパッカーで形成した場合は、パッカーから孔底までの試験区間の水圧を P2、パッカー以浅の水圧を P3 と記す。また後者のように、試験区間をダブルパッカーで形成する場合には、下部パッカー以深の水圧を P1、試験区間の水圧を P2、上部パッカー以浅の水圧を P3 と記す。

また、揚水区間を区切るパッカー以外にも、月吉断層をより確実に遮断する目的で、月吉断層の上下部にもパッカーを配置した。水理試験装置(Type1.0 改)は、基本的には試験区間形成以外のパッカーを連結する構造となっていないため、新規にレデューサーを製作し、多連装パッカーの構成を可能とした。多連装パッカーは、核燃料サイクル開発機構の所有する 1,000m 対応揚水試験装置（以下、揚水試験装置と称す）のパッカーを使用した。揚水試験装置のパッカーは、任意の本数を連結することが可能であり、今回の試験では、2 連結あるいは 4 連結のパッカーをロッドで中継して任意の深度に設置した。図-3.2.2 に、水理試験装置のパッカー構成図を示す。

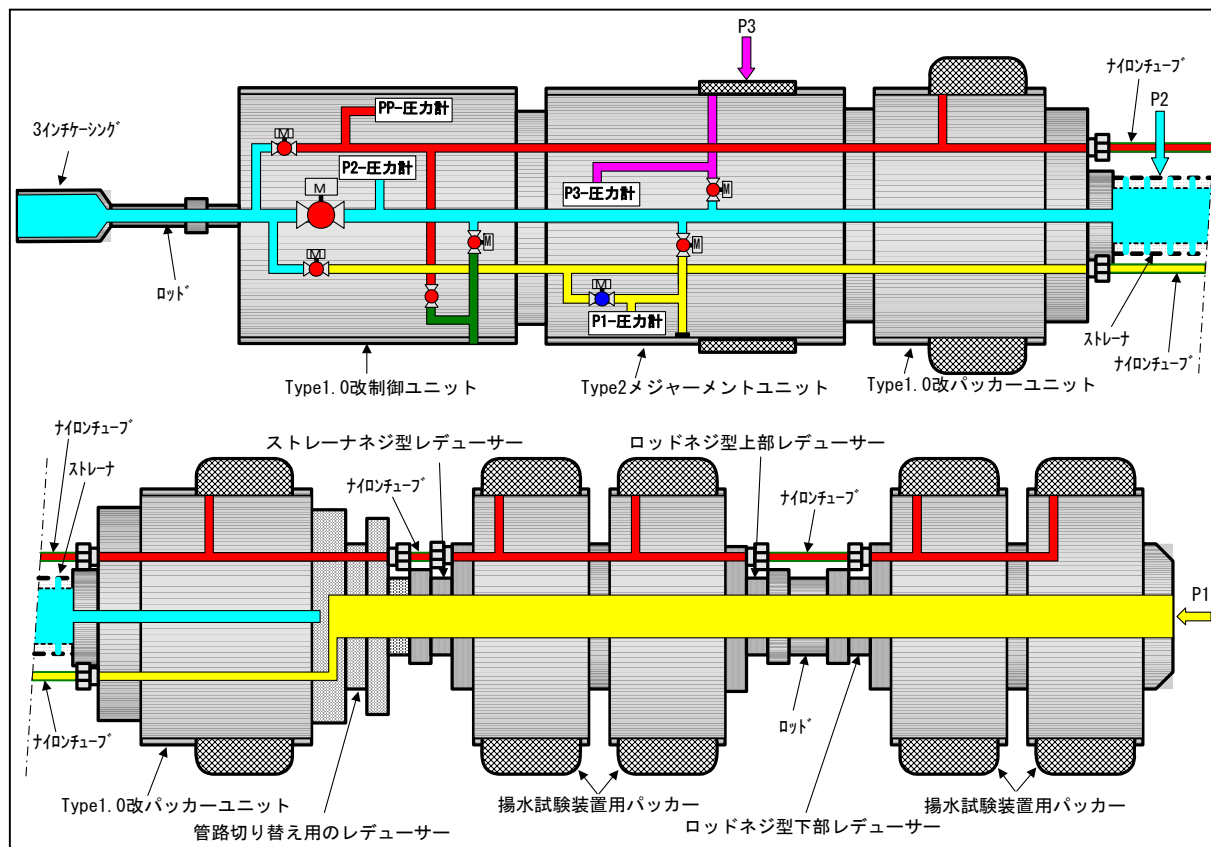


図-3.2.2 1,000m 対応水理試験装置 (Type 1.0 改) のパッカー構成図

揚水区間をシングルパッカーで形成した第一回試験では、2台の Type1.0 改用パッカーユニットを連結し、以深はロッドを中継して複数のパッカーを配置した。P2 の圧力は、最下部にあるパッカーの下端からロッドを中継して受圧し、Type1.0 改制御ユニットの P2 圧力計で観測した。揚水区間をダブルパッカーで形成した第二回試験では、2台の Type1.0 改用パッカーユニットで揚水区間を形成し、P2 の圧力は、図 2.3 に示すように、2台のパッカーユニットを中継したストレーナより受圧して Type1.0 改制御ユニットの P2 圧力計で観測した。また、P1 は、図 2.3 に示すように、最下部にあるパッカーの下端からロッドを中継して受圧し、新規に製作したレデューサーで管路を切り替えて Type2 メジャーメントユニットの P1 圧力計で観測した。P3 の圧力は、Type2 メジャーメントユニットのパッカーを介して、メジャーメントユニットの P3 圧力計で観測した。試験中、メジャーメントユニットのパッカーは拡張させず、受圧盤とした。

3.2.2 観測孔装置

今回の試験で観測の対象となる試錐孔は、揚水孔である MIU-2 号孔の他、観測孔として超深地層研究所計画用地内にある MIU-1/3/4、AN-1/3、AI-7/10、99MS-05 である。これらのうち、MIU-1/3/4、AN-1/3 号孔では MP システムによる水圧観測を行った。また、AI-7/10 号孔及び 99MS-05 には特定の 1 区間を測定対象として水圧計が設置されている。

(MIU-1/3/4、 AN-1/3 号孔)

今回の観測孔である MIU-1,3,4 号孔ならびに AN-1, 3 号孔に設置された、孔内装置およびデータ記録装置の概念図を図-3.2.3 に示す。地上部には MOSDAX データロガーが、孔内には MP (Multi-level Groundwater Monitoring) システムが設置されている。各観測孔について、センサーポート位置を表-3.2.1～3.2.5 に示す。



MOSDAX Data Logger と制御用パソコン

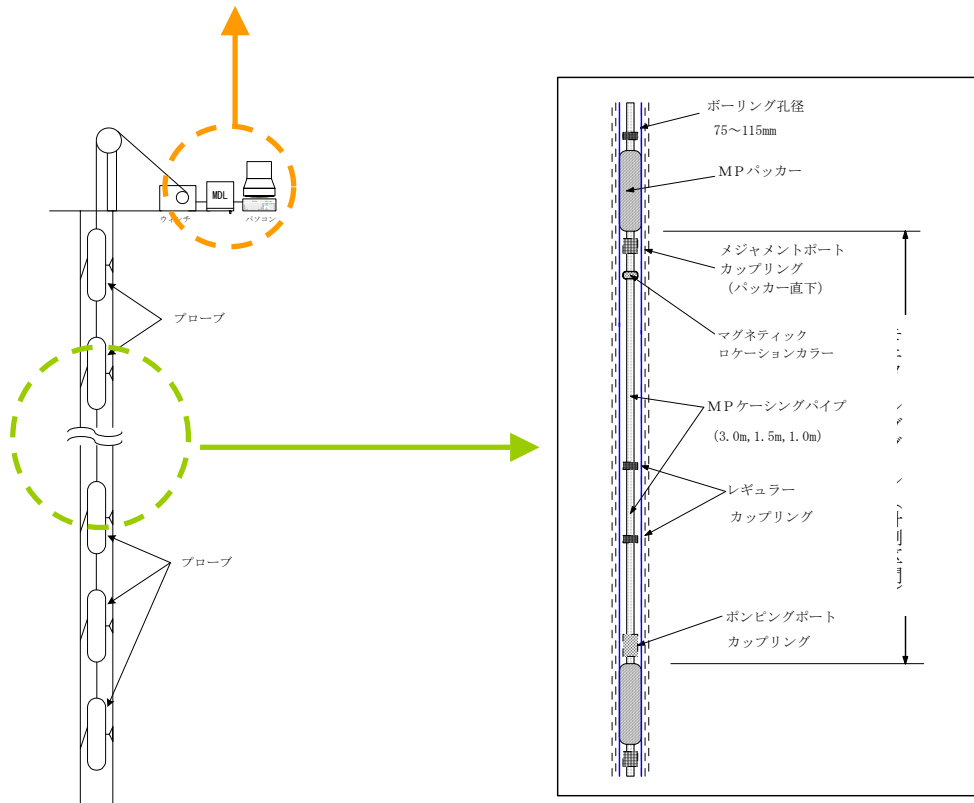


図-3.2.3 MP システムと MOXDAX データロガーの概要

表-3.2.1 観測ポート設置位置 (MIU-1 号孔)

MIU-1号孔におけるMPシステム設置区間

孔口標高 EL(m); 220.074

観測区間 番号	区間深度(m)		区間長 (m)	メジメントポート設置深度		ホセックポート設置深度		MOSDAX7ポート設置箇所		備 考
	G.L(-m)	EL(m)		G.L(-m)	EL(m)	G.L(-m)	EL(m)	新規設置 2000/5/29	再設置1 2001/1/17	
-	0.0 ~ 23.1	220.1 ~ 197.0	23.1	-	-	-	-	-	-	仮ケーシング内(MP55ケーシング)
1	24.0 ~ 81.3	196.1 ~ 138.8	57.3	27.3	192.8	-	-	-	-	仮ケーシング内(MP55ケーシング)
2	82.2 ~ 120.4	137.9 ~ 99.7	38.2	85.5	134.6	-	-	-	-	仮ケーシング内(MP55ケーシング)
3	121.3 ~ 194.0	98.8 ~ 26.1	72.7	121.6	98.5	154.6	65.5	-	-	(以下、MP38ケーシング)
4	194.9 ~ 205.2	25.2 ~ 14.9	10.3	195.2	24.9	199.7	20.4	Probe-1 2581	Probe-1 2581	掘削中に80l/minの逸水(201m)
5	206.1 ~ 233.3	14.0 ~ -13.2	27.2	206.4	13.7	217.9	2.2			
6	234.2 ~ 262.0	-14.1 ~ -41.9	27.8	234.5	-14.4	246.6	-26.5	Probe-2 2577	Probe-2 2577	物理検層異常(250m)
7	262.9 ~ 328.1	-42.8 ~ -108.0	65.2	263.2	-43.1	294.7	-74.6	-	-	
8	329.0 ~ 349.3	-108.9 ~ -129.2	20.3	329.3	-109.2	336.9	-116.8	Probe-3 2578	Probe-3 2578	物理検層異常(340m)
9	350.2 ~ 377.0	-130.1 ~ -156.9	26.8	350.5	-130.4	361.6	-141.5			
10	377.9 ~ 390.7	-157.8 ~ -170.6	12.8	378.2	-158.1	384.6	-164.5	Probe-4 2579	Probe-4 2579	物理検層異常(380m)
11	391.6 ~ 457.3	-171.5 ~ -237.2	65.7	391.9	-171.8	418.0	-197.9			
12	458.2 ~ 468.1	-238.1 ~ -248.0	9.9	458.5	-238.4	461.6	-241.5	Probe-5 2580	Probe-5 2580	物理検層異常(460m)
13	469.0 ~ 544.2	-248.9 ~ -324.1	75.2	469.3	-249.2	501.8	-281.7			
14	545.1 ~ 620.3	-325.0 ~ -400.2	75.2	545.4	-325.3	580.9	-360.8	-	-	
15	621.6 ~ 695.5	-401.5 ~ -475.4	73.9	621.5	-401.4	653.1	-433.0			
16	696.4 ~ 771.7	-476.3 ~ -551.6	75.3	696.7	-476.6	729.3	-509.2	-	-	
17	772.6 ~ 834.8	-552.5 ~ -614.7	62.2	772.9	-552.8	801.4	-581.3	-	-	
18	835.7 ~ 869.6	-615.6 ~ -649.5	33.9	836.0	-615.9	848.1	-628.0	Probe-6 2576	Probe-6 2179	物理検層異常(840m)
19	872.1 ~ 923.9	-652.0 ~ -703.8	51.8	872.4	-652.3	896.4	-676.3	Probe-7 2582	Probe-7 2582	フローメータ異常(882/910m)
20	926.4 ~ 948.7	-706.3 ~ -728.6	22.3	926.7	-706.6	935.8	-715.7	-	-	
21	951.2 ~ 971.6	-731.1 ~ -751.5	20.4	951.5	-731.4	960.6	-740.5	Probe-8 2583	Probe-8 2583	フローメータ異常(960m)
22	974.1 ~ 1014.0	-754.0 ~ -793.9	39.9	974.4	-754.3	986.5	-766.4	Probe-9 2584	Probe-9 2584	掘削中に100リットル/minの逸水(980m)

再設置1; Pr.6(2000/8/10~)の欠測およびPr.7のシル性能低下対応。

表-3.2.2 観測ポート設置位置 (MIU-3 号孔)

MIU-3号孔におけるMPシステム設置区間

孔口標高 EL(m); 230.476

観測区間 番号	区間深度(m)		区間長 (m)	メジャメントポート設置深度		ホントクポート設置深度		MOSDAX7ポート設置箇所		備 考
	G.L(-m)	EL(m)		G.L(-m)	EL(m)	G.L(-m)	EL(m)	新規設置 2000/12/5	リナンリング 2001/4/2	
1	0.0 ~ 30.8	230.5 ~ 199.7	30.8	-	-	-	-	-	-	仮ケーシング内(MP55ケーシング)
2	31.7 ~ 105.8	198.8 ~ 124.7	74.1	35.0	195.4	-	-	-	-	仮ケーシング内(MP55ケーシング)
3	106.7 ~ 182.4	123.8 ~ 48.1	75.7	107.0	123.5	110.1	120.4	-	-	
4	183.3 ~ 239.6	47.2 ~ -9.1	56.3	183.7	46.8	186.8	43.7	Probe-8 2154	Probe-1 2154	MIU-2 G.L-220m透水性割れ目延長部、透水係数 $k=1.0\sim 3.0\times 10^{-6}$ m/s
5	240.5 ~ 319.3	-10.0 ~ -88.8	78.8	240.8	-10.4	243.9	-13.5	Probe-7 2156	Probe-2 2156	深度320mlは上部割れ目帯境界、透水係数 $k=1.0\times 10^{-6}$ m/s
6	320.2 ~ 389.3	-89.7 ~ -158.8	69.1	320.5	-90.0	-	-	-	-	
7	390.2 ~ 465.9	-159.7 ~ -235.4	75.7	390.5	-160.1	-	-	-	-	深度466mlは岩相境界部
9	531.3 ~ 604.0	-300.8 ~ -373.5	72.7	531.62	-301.1	-	-	-	-	健岩部(割れ目低密度帯)、透水係数 $k=1.5\times 10^{-9}$ m/s
				558.7	-328.2			Probe-6 2157	Probe-3 2157	
10	604.9 ~ 690.8	-374.4 ~ -460.3	85.9	605.26	-374.8	651.4	-421.0	-	-	月吉断層上部割れ目帯、透水係数 $k=4.0\times 10^{-9}$ m/s
				648.3	-417.9			Probe-5 2158	Probe-4 2158	
11	691.7 ~ 723.7	-461.2 ~ -493.2	32.0	692.06	-461.6	708.3	-477.8	-	-	月吉断層主要部、透水係数 $k=1.5\times 10^{-9}$ m/s この区間の上下にスティフナーハッカーを設置した
				705.2	-474.7			Probe-4 2159	Probe-5 2159	
12	724.6 ~ 780.5	-494.1 ~ -550.0	55.9	724.90	-494.4	749.1	-518.6	-	-	月吉断層下部割れ目帯、透水係数 $k=5.5\times 10^{-7}$ m/s
				746.0	-515.5			Probe-3 2162	Probe-6 2162	
13	781.4 ~ 832.4	-550.9 ~ -601.9	51.0	781.73	-551.3	821.9	-591.4	-	-	月吉断層下部割れ目帯、透水係数 $k=9.0\times 10^{-7}$ m/s
				818.8	-588.3			Probe-2 2173	Probe-7 2173	
14	833.3 ~ 875.2	-602.8 ~ -644.7	41.9	833.57	-603.1	868.8	-	-	-	低透水路
				865.7	-635.2			-	-	
15	876.1 ~ 941.5	-645.6 ~ -711.0	65.4	876.4	-645.9	879.5	-	Probe-1 2175	Probe-8 2175	高透水路、透水係数 $k=1.0\times 10^{-7}$ m/s
16	942.4 ~ 1014.0	-711.9 ~ -783.5	71.6	942.7	-712.2	947.8	-717.3	-	-	高透水路

データの月別ksファイルのポートNo.; 2001年3月までが深部から1,2,3..., 4月以降が浅部から1,2,3...

表-3.2.3 観測ポート設置位置 (MIU-4号孔)

MIU-4号孔におけるMPシステム設置区間 (パッカー拡張後)

孔口標高 EL(m); 216.994

区間番号	区間深度	区間長	メジャメント ポート	ホントウク ポート	区間深度(m)		メジャメントポート設置深度		ホントウクポート設置深度		MOSDAX プローブ	備 考 数値は掘削深度(mabh)
	mabh	m	mabh	mabh	G.L(-m)	EL(m)	G.L(-m)	EL(m)	G.L(-m)	EL(m)		
1	0.0 ~ 73.6	73.6	-	-	0.0 ~ 64.2	217.0 ~ 152.8	-	-	-	-	-	仮ケーシング内
2	74.5 ~ 150.0	75.5	78.0	-	65.0 ~ 131.5	152.0 ~ 85.5	68.1	148.9	-	-	-	~133.7m 仮ケーシング 93.1~130.8m 風化花崗岩 130.8~ m 上部割れ目帯 138付近 逸水
3	150.9 ~ 213.7	62.8	154.4	157.6	132.3 ~ 187.3	84.7 ~ 29.7	135.4	81.6	138.2	78.8	Probe-1 3041	上部割れ目帯
4	214.6 ~ 285.4	70.8	218.1	221.3	188.1 ~ 250.2	28.9 ~ -33.2	191.2	25.8	194.0	23.0	-	上部割れ目帯
5	286.3 ~ 316.2	29.9	289.8	292.9	251.0 ~ 277.4	-34.0 ~ -60.4	254.1	-37.1	256.8	-39.8	Probe-2 2996	~310.0m 上部割れ目帯 310.0m~ 健岩部 297.0~338.1m 逸水区間 Plugging
6	317.1 ~ 412.3	95.2	320.5	323.7	278.2 ~ 362.4	-61.2 ~ -145.4	281.2	-64.2	284.0	-67.0	Probe-3 3044	310.0m~ 健岩部 逸水区間 297.0~338.1m Plugging 327.0~352.0m Cementing
7	413.2 ~ 490.6	77.4	416.7	419.9	363.2 ~ 431.5	-146.2 ~ -214.5	366.3	-149.3	369.1	-152.1	Probe-4 3034	健岩部
8	491.5 ~ 575.1	83.6	495.0	498.1	432.3 ~ 505.4	-215.3 ~ -288.4	435.4	-218.4	438.1	-221.1	Probe-5 3033	健岩部 455.6~488.9m Cementing
9	576.0 ~ 659.8	83.8	579.5	582.6	506.2 ~ 578.5	-289.2 ~ -361.5	509.3	-292.3	512.0	-295.0	Probe-6 3009	~587.0m 健岩部 587.0m~ 月吉断層上盤割れ目帯
10	660.7 ~ 667.4	6.7	664.2	-	579.3 ~ 585.1	-362.3 ~ -368.1	582.3	-365.3	-	-	Probe-7 3040	月吉断層上盤割れ目帯 580.0~673.3m 逸水区間 Plugging
11	668.3 ~ 689.1	20.8	671.8	674.9	585.8 ~ 603.7	-368.8 ~ -386.7	588.8	-371.8	591.5	-374.5	Probe-8 3004	670.0~677.4m 月吉断層
12	690.0 ~ 753.9	63.9	693.5	696.7	604.4 ~ 658.8	-387.4 ~ -441.8	607.4	-390.4	610.2	-393.2	Probe-9 3000	677.4~m 月吉断層下盤割れ目帯
13	754.8 ~ 790.0	35.2	758.3	761.4	659.6 ~ 689.3	-442.6 ~ -472.3	662.5	-445.5	665.2	-448.2	Probe-10 3042	月吉断層下盤割れ目帯

表-3.2.4 観測ポート設置位置 (AN-1 号孔)

AN-1号孔におけるMPシステム設置区間

孔口標高 EL(m): 216.38

観測区間 番号	区間深度(m)		区間長 (m)	メジャーポート設置深度		ホックポート設置深度		MOSDAX7ポート設置箇所			備 考
	GL(-m)	EL(m)		GL(-m)	EL(m)	GL(-m)	EL(m)	新規設置 1999/9/2	再設置1 2000/11/15	再設置2 2001/3/7	
1	0.0 ~ 21.8	216.4 ~ 194.6	21.8	-	-	-	-				(全てMP55ケーシング)
2	22.8 ~ 47.3	193.6 ~ 169.1	24.5	26.0	190.4	35.0	181.4				
3	48.3 ~ 96.8	168.1 ~ 119.6	48.5	51.5	164.9	60.5	155.9	Probe-20 2153	Probe-3 2176	Probe-1 2153	70-メータ検層異常
4	97.8 ~ 149.7	118.6 ~ 66.7	51.9	101.0	115.4	110.0	106.4	Probe-19 2154	Probe-2 2471	Probe-2 2155	70-メータ検層異常
5	150.7 ~ 200.7	65.7 ~ 15.7	50.0	153.9	62.5	162.9	53.5	Probe-18 2155			
6	201.7 ~ 250.2	14.7 ~ -33.8	48.5	204.9	11.5	213.9	2.5	Probe-17 2156		Probe-3 2177	検層異常
7	251.2 ~ 268.2	-34.8 ~ -51.8	17.0	254.4	-38.0	263.4	-47.0	Probe-16 2157		Probe-4 2180	検層異常
8	275.2 ~ 281.7	-58.8 ~ -65.3	6.5	278.4	-62.0	279.9	-63.5	Probe-15 2158			
8	282.7 ~ 287.9	-66.3 ~ -71.5	5.2	285.9	-69.5	-	-				
9	288.9 ~ 300.4	-72.5 ~ -84.0	11.5	291.9	-75.5	294.9	-78.5				
10	301.2 ~ 349.7	-84.8 ~ -133.3	48.5	304.4	-88.0	313.4	-97.0	Probe-14 2159		Probe-5 2160	検層異常
11	350.7 ~ 399.6	-134.3 ~ -183.2	48.9	353.9	-137.5	362.9	-146.5	Probe-13 2160			
12	400.6 ~ 450.1	-184.2 ~ -233.7	49.5	403.8	-187.4	412.8	-196.4	Probe-12 2161			
13	451.1 ~ 508.0	-234.7 ~ -292.6	57.9	454.3	-237.9	463.3	-246.9	Probe-11 2162		Probe-6 2161	検層異常
14	510.0 ~ 538.5	-293.6 ~ -322.1	28.5	513.2	-296.8	522.2	-305.8	Probe-10 2173		Probe-7 2181	検層異常
15	539.5 ~ 544.5	-323.1 ~ -328.1	5.0	542.7	-326.3	-	-				
16	545.5 ~ 552.0	-329.1 ~ -335.6	6.5	548.7	-332.3	550.2	-333.8	Probe-9 2174		Probe-8 2174	検層異常
17	553.0 ~ 558.0	-336.6 ~ -341.6	5.0	556.2	-339.8	-	-				
18	559.0 ~ 600.0	-342.6 ~ -383.6	41.0	562.2	-345.8	571.2	-354.8	Probe-8 2175			
19	601.0 ~ 650.5	-384.6 ~ -434.1	49.5	604.2	-387.8	613.2	-396.8	Probe-7 2176		Probe-9 2176	検層異常
20	651.5 ~ 700.0	-435.1 ~ -483.6	48.5	654.7	-438.3	663.7	-447.3	Probe-6 2177			
21	701.0 ~ 749.4	-484.6 ~ -533.0	48.4	704.1	-487.7	-	-				
22	750.4 ~ 800.3	-534.0 ~ -583.9	49.9	753.6	-537.2	762.6	-546.2	Probe-5 2178		Probe-10 2178	検層異常
23	801.3 ~ 849.8	-584.9 ~ -633.4	48.5	804.5	-588.1	813.5	-597.1	Probe-4 2471		Probe-11 2471	検層異常
24	850.8 ~ 902.3	-634.4 ~ -685.9	51.5	854.0	-637.6	863.0	-646.6	Probe-3 2180			
25	903.3 ~ 947.3	-686.9 ~ -730.9	44.0	906.5	-690.1	915.5	-699.1	Probe-2 2181			
26	948.3 ~ 1010.0	-731.9 ~ -783.6	61.8	951.5	-735.1	960.5	-744.1	Probe-1 2182		Probe-12 2182	検層異常

再設置1: Pr5(1999/12/26~)、Pr1~4(2000/7/20~)の欠測対応、およびMIU-3孔への7ポート供給のため。浅部の2区間のみ7ポート設置。

再設置2: 12区間に修理済7ポートの再設置。

7ポートの月別xlsファイルの7ポートNo.: 2001年3月6日まで(AN1_0103月.xls)までが深部から1,2,3...、3月7日以降(AN1_0103月S.xls)が浅部から1,2,3...

表-3.2.5 観測ポート設置位置 (AN-3 号孔)

AN-3号孔におけるMPシステム設置区間

孔口標高 EL(m); 214.09

観測区間 番号	区間深度(m)		区間長 (m)	メジャーポート設置深度		ホッピングポート設置深度		MOSDAX700-フ'	備 考
	G.L(-m)	EL(m)		G.L(-m)	EL(m)	G.L(-m)	EL(m)	新規設置 2000/4/10	
-	0.0 ~ 36.0	214.1 ~ 178.1	36.0	-	-	-	-		仮ケーシング内(MP55ケーシング、以下同様のシステム)
1	36.9 ~ 76.5	177.2 ~ 137.6	39.6	40.0	174.1	43.0	-		
2	77.4 ~ 93.0	136.7 ~ 121.1	15.6	80.5	133.6	83.5	-		
3	93.9 ~ 103.5	120.2 ~ 110.6	9.6	97.1	117.0	100.1	114.0	Probe-1 2528	フローメータ異常*(98.1-98.6m)
4	104.4 ~ 117.1	109.7 ~ 97.0	12.7	107.6	106.5	110.6	103.5		
5	118.0 ~ 130.6	96.1 ~ 83.5	12.6	121.1	93.0	124.1	90.0	Probe-2 2526	フローメータ異常(120.9-121.4m/126.3-126.5m/127.3m)
6	131.5 ~ 148.6	82.6 ~ 65.5	17.1	134.7	79.4	137.7	76.4		
7	149.5 ~ 159.1	64.6 ~ 55.0	9.6	152.7	61.4	155.7	58.4	Probe-3 2529	フローメータ異常(154.2-155.0m)
8	160.0 ~ 208.6	54.1 ~ 5.5	48.6	163.2	50.9	166.2	47.9		
9	209.5 ~ 222.1	4.6 ~ -8.0	12.6	212.6	1.5	215.6	-1.5		
10	223.0 ~ 253.6	-8.9 ~ -39.5	30.6	226.1	-12.0	229.1	-15.0		
11	254.5 ~ 274.6	-40.4 ~ -60.5	20.1	257.6	-43.5	260.6	-46.5	Probe-4 2542	フローメータ異常(262.3-262.7m/266.5-267.6m)
12	275.5 ~ 294.1	-61.4 ~ -80.0	18.6	278.6	-64.5	281.6	-67.5		
13	295.0 ~ 304.6	-80.9 ~ -90.5	9.6	298.2	-84.1	301.2	-87.1	Probe-5 2543	フローメータ異常(297.5-297.9m/298.5-298.6m)
14	305.5 ~ 370.0	-91.4 ~ -155.9	64.5	308.7	-94.6	311.7	-97.6		
15	370.9 ~ 408.0	-156.8 ~ -193.9	37.1	374.1	-160.0	377.1	-163.0		

* フローメータ検層はいずれも電中研式を使用

(AI-7/10、99MS-05 号孔)

各孔の掘削深度およびストレーナ区間の岩相を表-3.2.6 に示す。

表-3.2.6 観測孔諸元 (水圧計による1区間測定)

試錐孔	掘進長	ストレーナ深度	ストレーナ区間の岩相
AI-7	92.5m	深度 79.5m～88m(計画)	瑞浪層群土岐夾炭累層基底礫岩
AI-10	96.6m	深度 87.2～孔底 (計画)	花崗岩 (風化部)
99MS-05	45.0m	深度 28.85～33.40m	瑞浪層群明世累層基底礫岩

3.3 試験手順

揚水試験の手順フローを図 3.3.1 に示す。

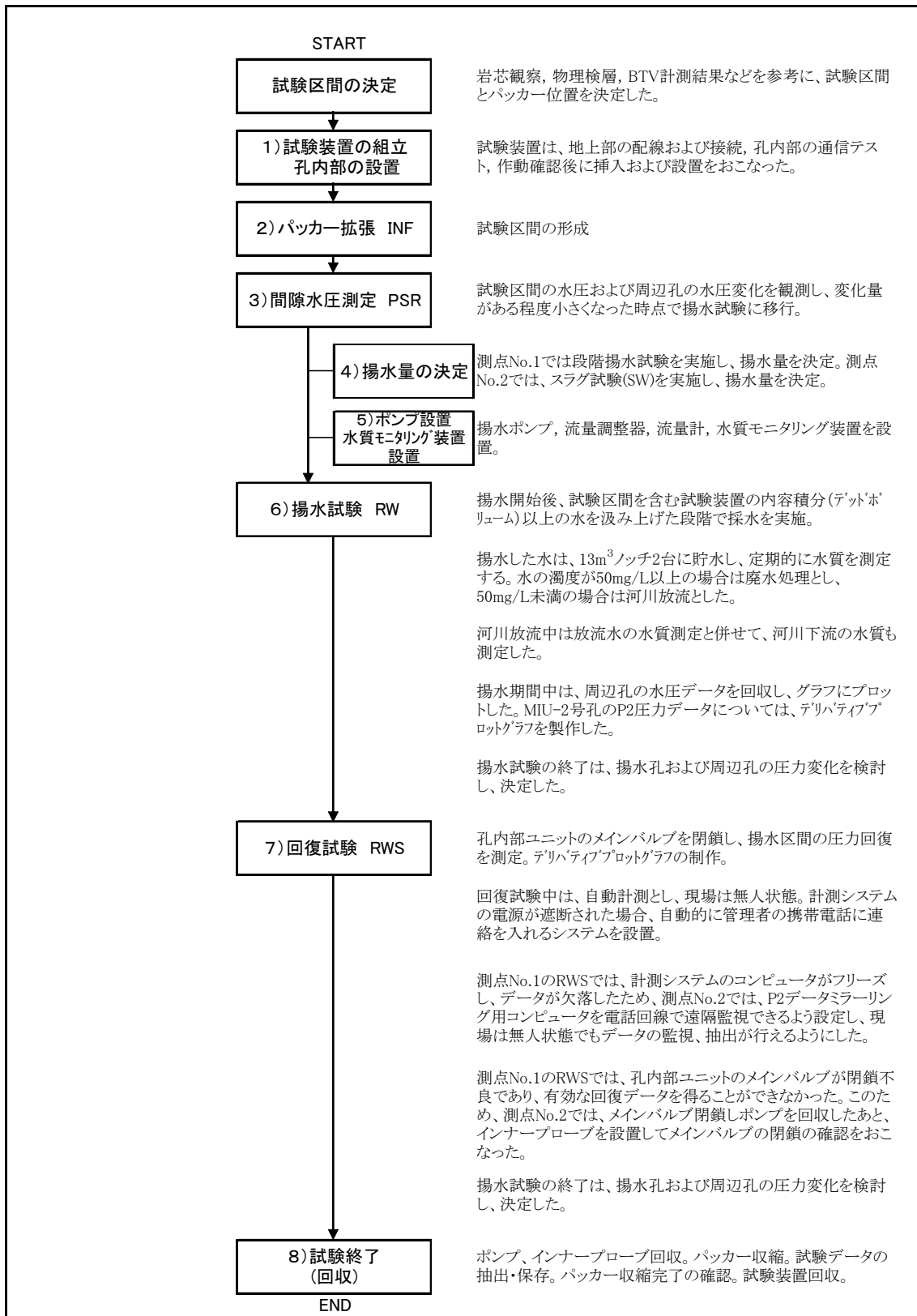


図 3.3.1 揚水試験の手順フロー

1) 試験装置の組立てと設置

試験装置を組立て、地上作動検査および点検整備を行った後、試験区間に設置した。

2) パッカー拡張 (INF)

パッカー拡張は、地上に設置したコンプレッサーあるいは窒素ガスにより 3 インチケーシング内を加圧し、3 インチケーシング内の水をパッカー内に送り込むことにより行なった。パッカー圧力は、パッカー圧計で監視し、試験終了（パッカー収縮）まで計測を継続した。パッカー拡張中に測定区間の圧力 P_2 が過剰に増加する場合は、バルブの操作により区間圧力 P_2 を P_3 へ開放した。パッカー圧力が所定圧力に達した後、パッカーバルブを閉鎖してパッカー圧力の低下傾向を確認し、発注者の確認を得た上でパッカー拡張作業を終了して次の作業へ移行した。

3) 間隙水圧測定 (PSR)

初期間隙水圧の把握を目的とし、間隙水圧測定 (PSR) を行った。パッカー拡張後、試験区間水圧 P_2 の変動量が、その後に実施する揚水試験の設定水頭差に対して十分に小さいこと、試験装置の内部温度が十分安定していること、を確認するとともに、周辺孔の水圧変化の状態などを検討した上で PSR を終了した。

4) 揚水量の決定

第一回試験では、段階揚水試験を実施して揚水量を決定した。第二回試験では、間隙水圧測定 (PSR) の間にスラグ試験を実施して透水量係数を求め、Hvorslev の定常式により揚水量を決定した。

5) 揚水ポンプ・水質モニタリング装置設置

①揚水ポンプ設置

揚水試験 (RW) を実施する際は、使用するポンプの能力を考慮して適切な深度に揚水ポンプを設置した。

ポンプは、グランドフォス社製 SQE1-140 を使用した。図 3.3.2 に、ポンプの概略図を示す。また、表 3.3.1 にポンプの仕様一覧を示す。

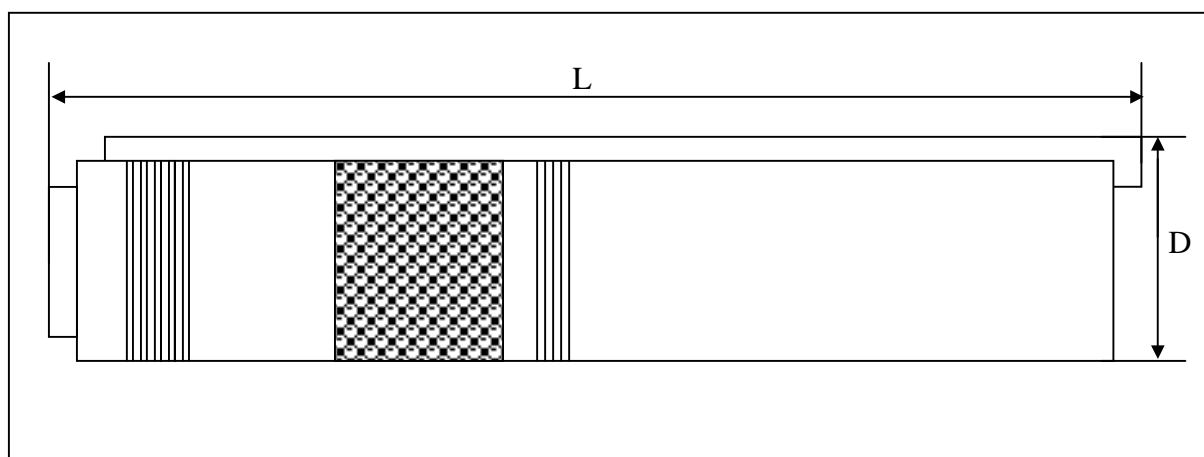


図 3.3.2 ポンプの概略図

表 3.3.1 ポンプの仕様一覧

項目	内容
型式	グランドフォス製 SQE1-140
吐出し量範囲	2.5~27 L/min
揚程範囲	190~80m
ポンプ径	D=74mm
ポンプ長	L=945mm
重量	6.5kg

揚水ポンプの挿入・設置後は、地上配管設備を設営し、流量制御器を設置した。地上配管設備は、水質モニタリング装置へ 500~800cc/min の安定した流量での送水ができるように配管を分岐し、流量制御器を設置した。

揚水量の制御は、2種類の流量制御器を使用した。水質モニタリング装置への流量制御には、株式会社ギヤ式流量制御装置を使用し、その他は 1,000m 対応揚水試験装置に付属する浮動式流量制御装置で揚水量を制御・観測した。

浮動式流量制御装置ならびにギヤ式流量制御装置の概略図を、図 3.3.3 と図 3.3.4 に示す。

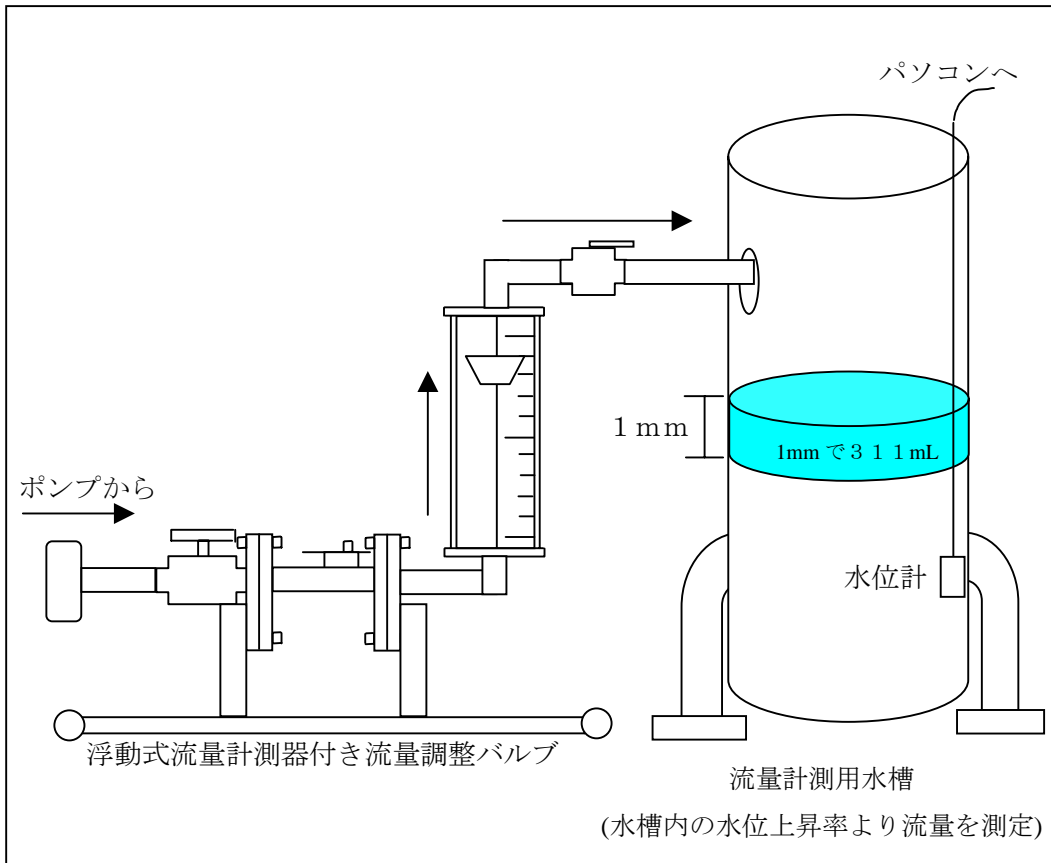


図 3.3.3 浮動式流量制御装置の概略図

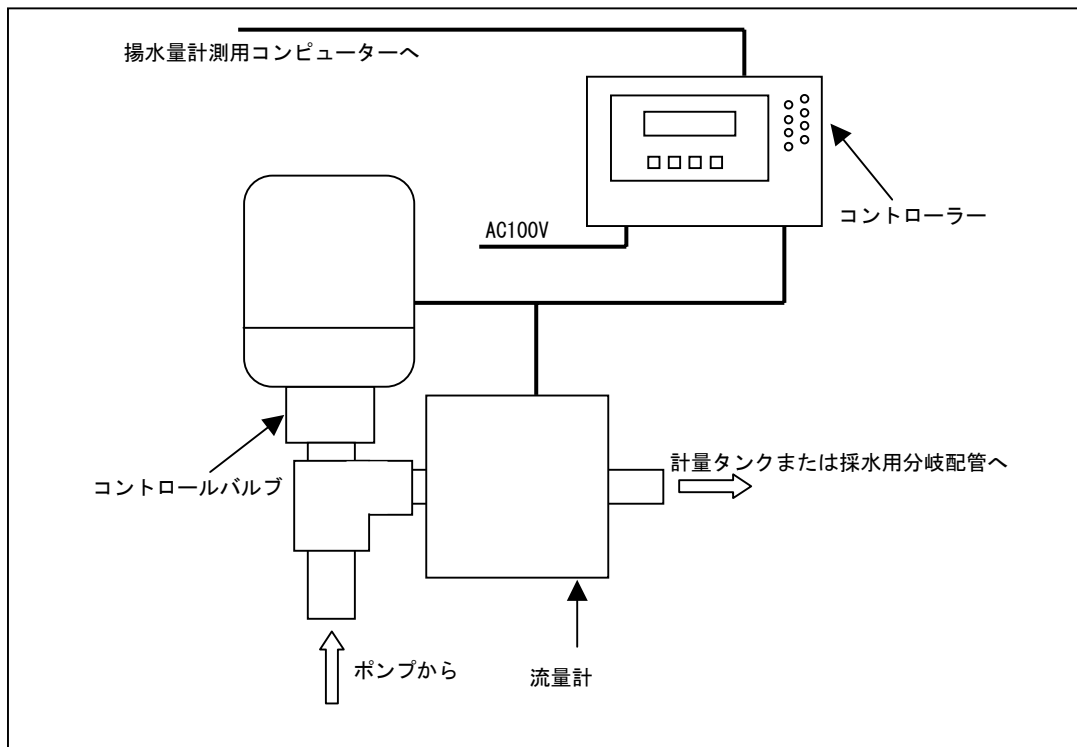


図 3.3.4 ギヤ式流量制御装置の概略図

②水質モニタリング装置設置

水質モニタリング装置は、揚水時の水質を連続でモニターするために設置した。

6) 揚水過程 (RW)

揚水過程(RW)では、揚水区間の地下水をポンプで汲み上げ、揚水区間の圧力と揚水量の経時変化を測定した。併せて、周辺孔の水圧変化を MP システムにより測定した。

揚水中は、水質モニタリング装置を用いて、MIU-2 号孔の揚水区間から汲み上げられる地下水の水質を連続的にモニタリングした。揚水開始後、揚水区間を含む試験装置の内容積分以上の水を汲み上げた時点で、水質の化学分析用に地下水を採取した。

7) 回復過程 (RWS)

回復過程(RWS)では、揚水過程(RW)終了後メインバルブを閉鎖し、閉鎖系における揚水区間の圧力回復を計測した。併せて、周辺孔の水圧変化を MP システムにより測定した。

8) 試験終了

試験データを抽出・保存し、パッカーの収縮して試験の完了を確認し、試験装置を回収した。

3.4 解析方法

1) 測定データの補正

揚水試験期間中に得られた水圧の経時変化には、揚水による水圧変化分だけでなく、気圧や地球潮汐による水圧変化が含まれている。特に、今回の試験では、月吉断層の上下で水圧が著しく異なっているため、試験開始後のバッカー拡張による月吉断層の分離に伴い、各々の水圧場への回復成分（トレンド成分）が含まれる。

従って、試験結果の解析にあたっては、揚水試験による水圧変化のデータから、トレンド成分と気圧・地球潮汐による水圧変化を除去する必要がある。気圧に関しては、気圧計により補正した。トレンド成分と地球潮汐成分については、以下のようにして求め、揚水試験時の水圧より差し引く。

・トレンド成分

基本的には、揚水の影響が少ないと考えられる揚水試験開始前後の水圧変化の近似式からトレンド成分を求めた。つまり、間隙水圧測定時(PSR)と、回復過程(RWS)の後半部分の水圧変化に多項式近似曲線をフィットさせてトレンド成分を求める。

・地球潮汐成分

観測孔のように水圧変化量が小さい場合、地球潮汐の影響による水圧変動のノイズが解析結果に大きく影響する。そこで、統計数理研究所と緯度観測所が共同開発した潮汐解析プログラム「BAYTAP-G」を使用して、地球潮汐による水圧変化を除去する。

2) デリバティブプロット

デリバティブプロット(derivative plot)の概念を図 3.4.1 に示す。デリバティブは、単位対数時刻当りの水圧変化量 ($dp/d(\ln t)$) であり、同図中に示した式で計算する。デリバティブプロットは、デリバティブと経過時間 t の関係をプロットしたものである。通常は、両対数グラフ上に水圧変化量 ΔP と併せてプロットする。今回、回復過程(RWS)の場合は、 t を Agarwal の等価時間($t_p \times \Delta t / (t_p + \Delta t)$)とする。

デリバティブプロットを用いることにより、揚水試験開始初期において現れる井戸貯留効果や遠方の水理的境界による効果などの流れの状態を判別できる。水理定数値（透水量係数、貯留係数）の解析では、岩盤の透水性を表している IARF 領域のデータを用いることで、より信頼性の高い結果が得られるものと考えられる。

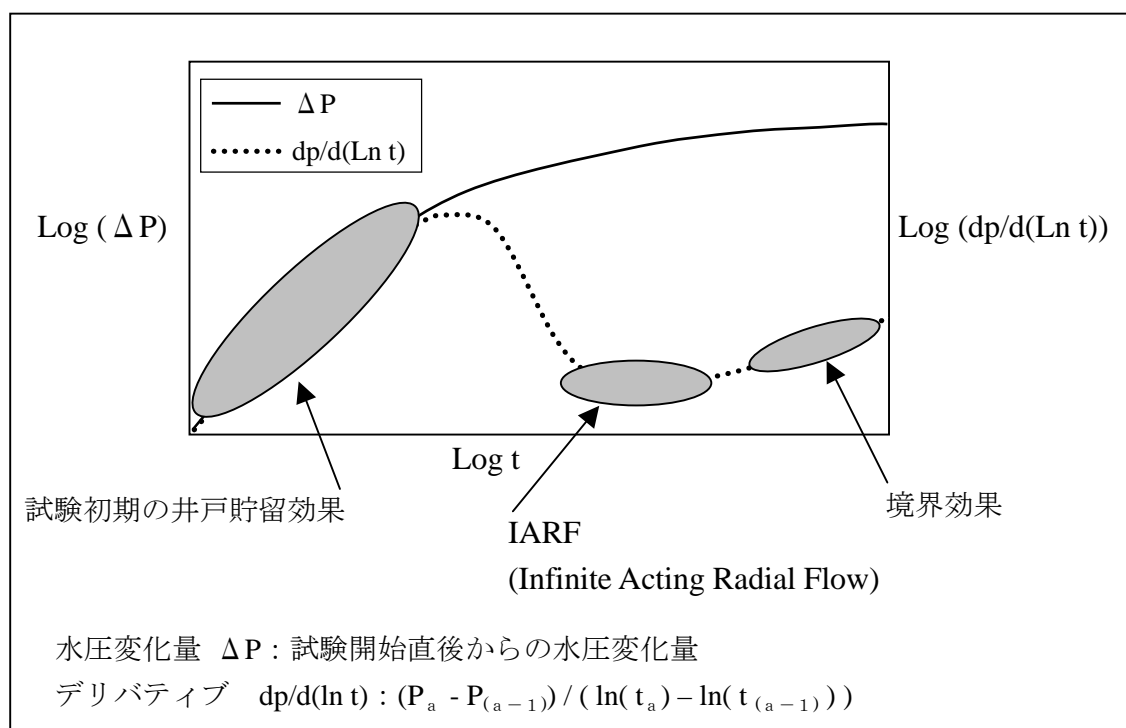


図 3.4.1 デリバティブプロットグラフの説明図

3) 揚水試験/回復試験 (RW/RWS) の解析方法

RW/RWS の解析では、2) のデリバティブプロットから見出した IARF 領域のデータに対し、非平衡式 (Jacob 法) を適用して水理定数を求めた。今回の揚水試験では、試験中に揚水量を変化させている (変量揚水) が、揚水過程の解析では、揚水開始から揚水量を変化させるまでのデータを使用した。一方、回復過程の解析では、変量揚水を考慮し、RWS の開始時間 t_p を Q/q とした Agarwal の等価時間を用いて解析した (図-3.4.2)。

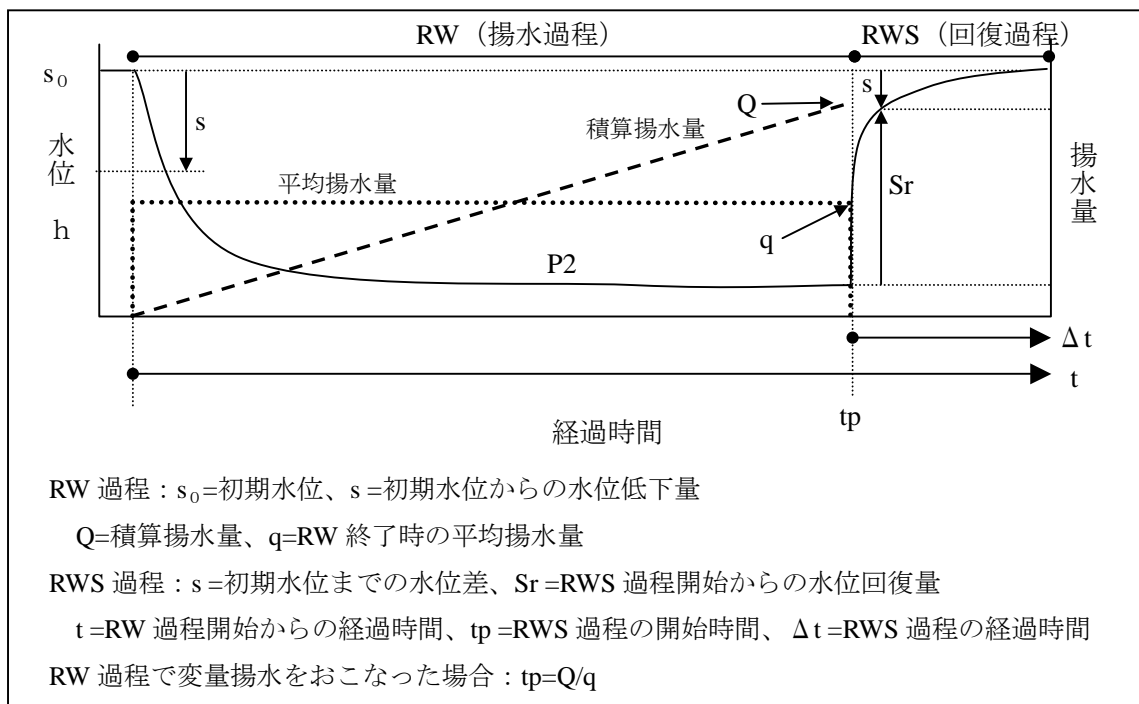


図-3.4.2 揚水試験解析説明図

① 揚水過程 (RW) の解析手順

以下に、解析手順を示す。

- 片対数グラフの対数目盛りに 経過時間 t を、算術目盛りに初期水位からの水位低下量 s をとり、 $\text{Log } t - s$ 曲線を作成する。
- $\text{Log } t - s$ 曲線に近似する直線を引き、 $\text{Log } t$ の 1 サイクル間における水位差 Δs を求め、透水量係数 T を算出する。
- $\text{Log } t - s$ 曲線の直線部分は、デリバティブプロットグラフの IARF 領域とする。
- $\text{Log } t - s$ 曲線の直線部分の延長が、 $s = 0$ と交わる点 t_0 を求め、貯留係数 S を算出する。

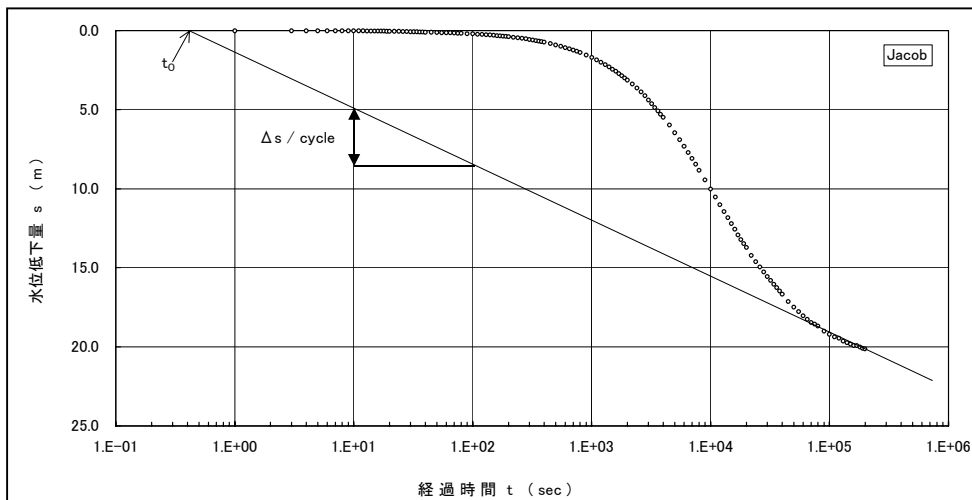


図-3.4.3 揚水過程(RW)の $\text{Log } t - s$ グラフ

解析式は以下の通りである。

$$T = \frac{0.183 q}{\Delta s}$$

$$S = \frac{2.25 T}{r^2} \cdot t_0$$

ここに、 T : 透水量係数 (m^2/s)

S : 貯留係数

s : 水位低下量(m)

Δs : $\text{Log } t$ の 1 サイクル間における水位降下量(m)

r : 試錐孔半径 (m)

q : 平均揚水量 (m^3/s)

t_0 : $s=0$ における経過時間 t (s)

② 回復過程 (RWS) の解析手順

以下に、解析手順を示す。

- 片対数グラフの対数目盛りに Agarwal の等価時間 $(tp \times \Delta t / (tp + \Delta t))$ を、算術目盛りに水位回復量 Sr をとり、 $\text{Log}(tp \times \Delta t / (tp + \Delta t)) - Sr$ 曲線を作成する。
- $\text{Log}(tp \times \Delta t / (tp + \Delta t)) - Sr$ 曲線に近似する直線を引き、 $\text{Log}(tp \times \Delta t / (tp + \Delta t))$ の1サイクル間における水位差 ΔSr を求め、透水量係数 T を算出する。
- $\text{Log}(tp \times \Delta t / (tp + \Delta t)) - Sr$ 曲線の直線部分は、デリバティブプロットグラフの IARF 領域とする。デリバティブプロットグラフの作成は、 t を $(tp \times \Delta t / (tp + \Delta t))$ とする。
- $\text{Log}(tp \times \Delta t / (tp + \Delta t)) - Sr$ 曲線の直線部分の延長が、 $Sr = 0$ と交わる点 $(tp \times \Delta t / (tp + \Delta t))_0$ を求め、貯留係数 S を算出する。

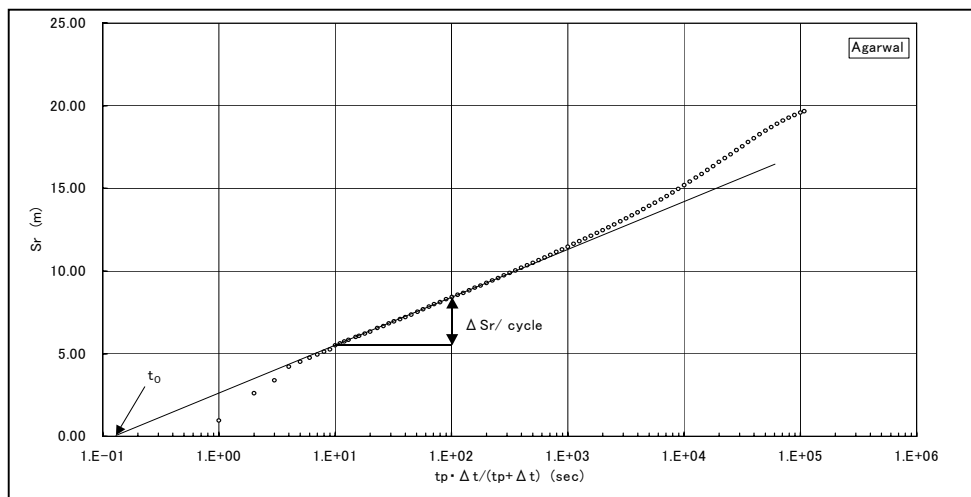


図-3.4.5 回復過程(RWS)の $\text{Log}(tp \times \Delta t / (tp + \Delta t)) - Sr$ グラフ

解析式は、以下のとおりである。

$$T = \frac{0.183 q}{\Delta Sr}$$

$$S = \frac{2.25 T}{r^2} \cdot (tp \times \Delta t / (tp + \Delta t))_0$$

ここに、 T : 透水量係数 (m^2/sec)

S : 貯留係数

s : 水位低下量(m)

ΔSr : $\text{Log}(tp \times \Delta t / (tp + \Delta t))$ の1サイクル間における水位降下量(m)

r : 試錐孔半径 (m)

q : 平均揚水量 (m^3/sec)

$(tp \times \Delta t / (tp + \Delta t))_0$: $s=0$ における $(tp \times \Delta t / (tp + \Delta t))$ (sec)

4) 段階揚水試験の解析方法

段階揚水試験の結果は、Eden-Hazelの方法で解析し、透水量係数を求めた。

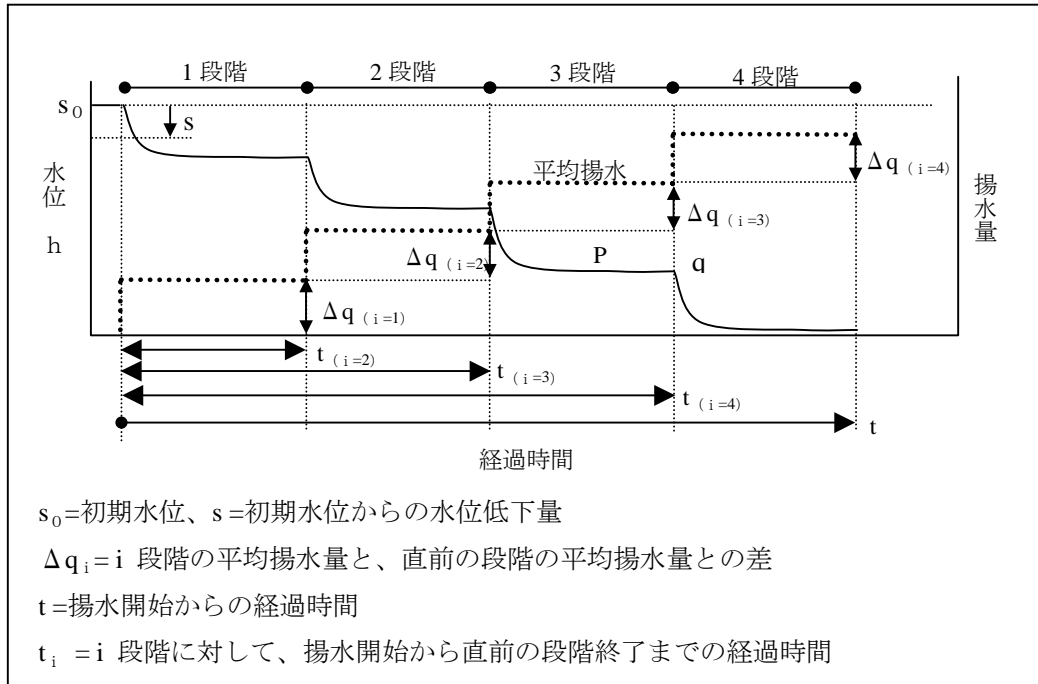


図-3.4.6 段階揚水試験解析説明図

手順は以下に示す通りである。

- a) 測定した揚水量と時間を用いて、下式により H_n の値を計算する。

$$H_n = \sum_{i=1}^n \Delta q_i \times \text{Log}(t - t_i)$$

- b) 算術紙に水位低下 s に対する H_n 値をプロットし、 $H_n - s$ グラフを作成する。
 c) 各段階の $H_n - s$ 曲線に共通する平行線を決め、その傾きを b とする (図-3.1.14)。
 d) 求めた b の値を用いて、下式より透水量係数 T を求める。

$$T = \frac{2.30}{4\pi \times b}$$

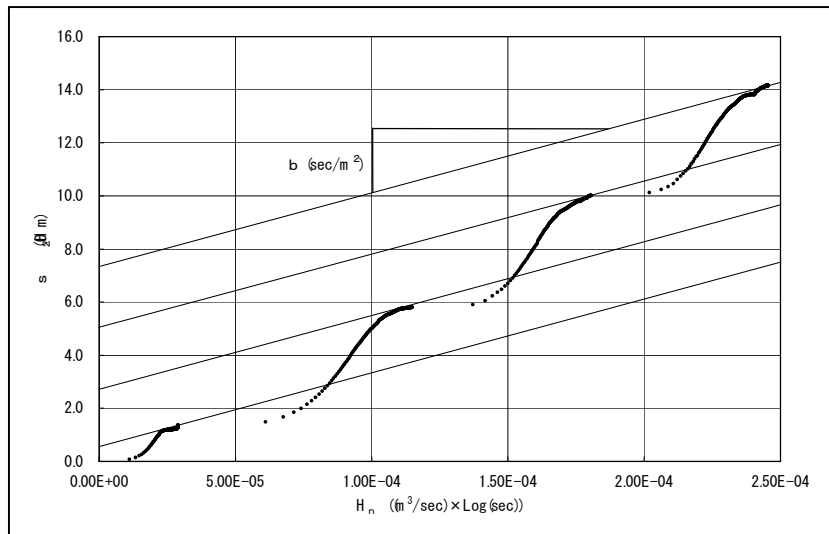


図-3.4.7 Eden-Hazel の $H_n - s$ グラフ

4 試験状況

4.1 水理試験装置の設置

1) パッカーの編成と設置深度

MIU-2 号孔に水理試験装置を挿入・設置するにあたっては、月吉断層の上下をより確実に遮断するため、揚水区間を形成するパッカー以外に、月吉断層を挟む形でパッカーを配置した。パッカー配置を図 4.1.1 に示す。

第一回試験では、図中④の 2 連パッカーを上部パッカーとし、以深孔底までを揚水区間とするシングルパッカー構成とした。第二回試験では、図中①、②とした孔内部のパッカーユニットをそれぞれ上部パッカー、下部パッカーとして揚水区間を形成するダブルパッカー構成とした。

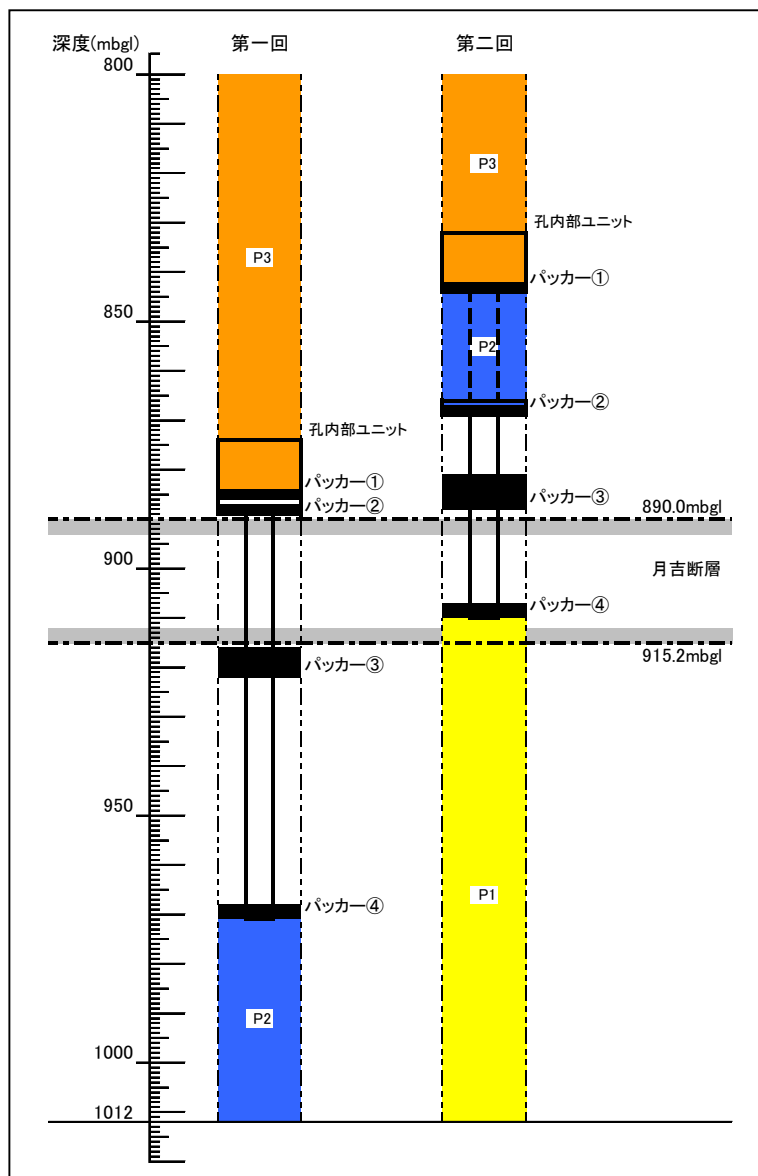


図 4.1.1 パッカー編成図

パッカーの設置深度は、既存のキャリパー検層結果より著しく孔径拡大が生じていない区間とした。表 4.1.1 に各パッカーの設置深度一覧を示す。

表 4.1.1 パッカー設置深度一覧

番 号	パッカー	長さ(m)	パッカー設置深度(mbgl)	
			第一回試験	第二回試験
①	上部パッカーユニット	1.5	885.44～886.94	842.50～844.00
②	下部パッカーユニット	1.5	887.94～889.44	867.50～869.00
③	4 連パッカー	6.6	915.50～922.10	881.18～887.78
④	2 連パッカー	3.2	967.52～970.72	907.20～910.40

※パッカー1 本あたりの拡張有効長は 1.5m である。

※網掛けは、揚水区間用パッカーの設置深度を示す。

なお、第一回試験では、表 4.1.1 中の②のパッカーラバーが異常変形していた。その原因として、パッカー設置深度付近の孔径拡大の可能性が高いと考えられる。第二回試験では、上記区間を避けてパッカー③の深度を 2m 程度浅い深度に設定したところ、パッカーラバーの異常変形は生じなかった。

2) 孔内装置の編成

孔内部ユニットおよびパッカー間を 3 インチ管、ロッド等で中継し、所定の設定深度に設置した。表 4.1.2 に、第一回試験の孔内装置編成表を、表 4.1.3 に第二回試験の孔内装置編成表を示す。

表 4.1.2 孔内装置設置深度（第一回試験）

MIU-2号孔長期揚水試験 第一回試験 970.72~1012.00mbgl						
3インチホルダー高さ	1.13	magl				
ホルダー残尺	0.61	m				
3インチ管残尺	1.74	magl				
	数量	定尺	合計	累計	深度(mbgl)	
3インチ鉄管	16	6.000	96.000			
レギュレーター	1	0.180	0.180			
JFT1000ロッド	156	5.000	780.000			
JFT1000ロッド	0	4.000	0.000			
JFT1000ロッド	0	3.000	0.000	876.180	874.440	
制御ユニット	1	6.135	6.135			
マネジメントユニット	1	3.995	3.995			
上部パッカーユニット	1	0.870	0.870	887.180	885.440	パッカー①上端
パッカーラバー	1	1.500	1.500	888.680	886.940	パッカー①下端
上部パッカーユニット	1	0.130	0.130			
下部パッカーユニット	1	0.870	0.870	889.680	887.940	パッカー②上端
パッカーラバー	1	1.500	1.500	891.180	889.440	パッカー②下端
下部パッカーユニット	1	0.130	0.130			ユニット全長 15.130
レギュレーター	1	0.530	0.530			
JFT500ロッド	8	3.000	24.000			
JFT500ロッド	1	1.000	1.000			
パッカーレギュレーター	1	0.310	0.310			
パッカーNo.1有効部まで	1	0.090	0.090	917.240	915.500	パッカー③上端
4連パッカーNo.1	1	1.560	1.560			
4連パッカーNo.2	1	1.700	1.700			
4連パッカーNo.3	1	1.700	1.700			
4連パッカーNo.4	1	1.640	1.640	923.840	922.100	パッカー③下端
パッカーNo.4有効部以下	1	0.060	0.060			
パッカーレギュレーター	1	0.115	0.115			
JFT1000ロッド	8	5.000	40.000			
JFT1000ロッド	1	3.000	3.000			
JFT1000ロッド	1	2.000	2.000			
レギュレーター	1	0.155	0.155			
パッカーNo.1有効部まで	1	0.090	0.090	969.260	967.520	パッカー④上端
2連パッカーNo.1	1	1.560	1.560			
2連パッカーNo.2	1	1.640	1.640	972.460	970.720	パッカー④下端(P2上端)
パッカーNo.2有効部以下	1	0.060	0.060			
エンドキャップ	1	0.070	0.070	972.590	970.850	水理試験装置下端
MIU-2孔底					1012.000	P2下端 区間長 41.280

表 4.1.3 孔内装置設置深度 (第二回試験)

MIU-2号孔長期揚水試験 第二回試験 844.00~867.50mbgl					
3インチホルダー高さ	0.79	magl			
ホルダー残尺	0.89	m			
3インチ管残尺	1.68	magl			
	数量	定尺	合計	累計	深度(mbgl)
3インチ管	16	6.000	96.000		
レギュレーター	1	0.180	0.180		
JFT1000ロッド	146	5.000	730.000		
JFT1000ロッド	1	4.000	4.000		
JFT1000ロッド	1	3.000	3.000	833.180	831.500
制御ユニット	1	6.135	6.135		
メンテユニット	1	3.995	3.995		
上部パッカーユニット	1	0.870	0.870	844.180	842.500
パッカーラバー	1	1.500	1.500	845.680	844.000
下部パッカーユニット	1	0.130	0.130		
レギュレーター	1	0.425	0.425		
ストレーナー	7	3.000	21.000		
ストレーナー	1	0.500	0.500		
レギュレーター	1	0.575	0.575		
パッカーユニット	1	0.870	0.870	869.180	867.500
パッカーラバー	1	1.500	1.500	870.680	869.000
パッカーユニット	1	0.130	0.130		
レギュレーター	1	0.610	0.610		
JFT1000ロッド	2	5.000	10.000		
JFT1000ロッド	1	1.000	1.000		
パッカーレギュレーター	1	0.345	0.345		
パッカーNo.1有効部まで	1	0.090	0.090	882.855	881.175
4連パッカーNo.1	1	1.560	1.560		
4連パッカーNo.2	1	1.700	1.700		
4連パッカーNo.3	1	1.700	1.700		
4連パッカーNo.4	1	1.640	1.640	889.455	887.775
パッカーNo.4有効部以下	1	0.060	0.060		
パッカーレギュレーター	1	0.115	0.115		
JFT1000ロッド	3	5.000	15.000		
JFT1000ロッド	2	2.000	4.000		
レギュレーター	1	0.155	0.155		
パッカーNo.1有効部まで	1	0.090	0.090	908.875	907.195
2連パッカーNo.1	1	1.560	1.560		
2連パッカーNo.2	1	1.640	1.640	912.075	910.395
パッカーNo.2有効部以下	1	0.060	0.060		
エンドキャップ	1	0.070	0.070	912.205	910.525

圧力計深度(mbgl)

M(P):P2 837.050

PP3:P3 839.073

PM3:P1 839.473

パッカー①上端

パッカー①下端(P2上端)

パッカー②上端(P2下端)

パッカー②下端

パッカー③上端

パッカー③下端

パッカー④上端

パッカー④下端

水理試験装置下端

区間長 23.500

ユニット全長 12.630

3) 孔内部ユニットの圧力計深度

孔内部ユニットの圧力計深度を表 4.1.4 に示す。

圧力値より求められる水位は、地下水温度による密度の違い等の影響により、実際の地下水位と異なる場合がある。そこで、触針式水位計により手動測定した地下水位と圧力計の観測値から、水位換算用の補正値を計算した。第一回試験の P2 圧力計の補正値は、段階揚水結果より推定される揚水量 0 での地下水位から求めた。第二回試験の P2 圧力計の補正値は、スラグ試験後（メインバルブは開放状態）に手動測定した P2 の地下水位から求めた。

表 4.1.4 圧力計深度（孔内部ユニット）

	第一回試験		第二回試験	
	設置深度(mbgl)	水位換算用補正値(m)	設置深度(mbgl)	水位換算用補正値(m)
P1 圧力計			839.47	-2.25
P2 圧力計	879.99	-3.97	837.05	-2.58
P3 圧力計	882.01	-1.88	839.07	-2.17

4.2 揚水量の決定

1) 第一回試験

第一回試験の揚水量は、段階揚水試験を実施して決定した。

図 4.2.1 に段階揚水試験結果を示す。この図から、各段階の揚水量と水位低下量との間に直線関係が見られる。第一回試験の揚水試験は最終段階の揚水量 16.8L/min を継続する形で実施した。

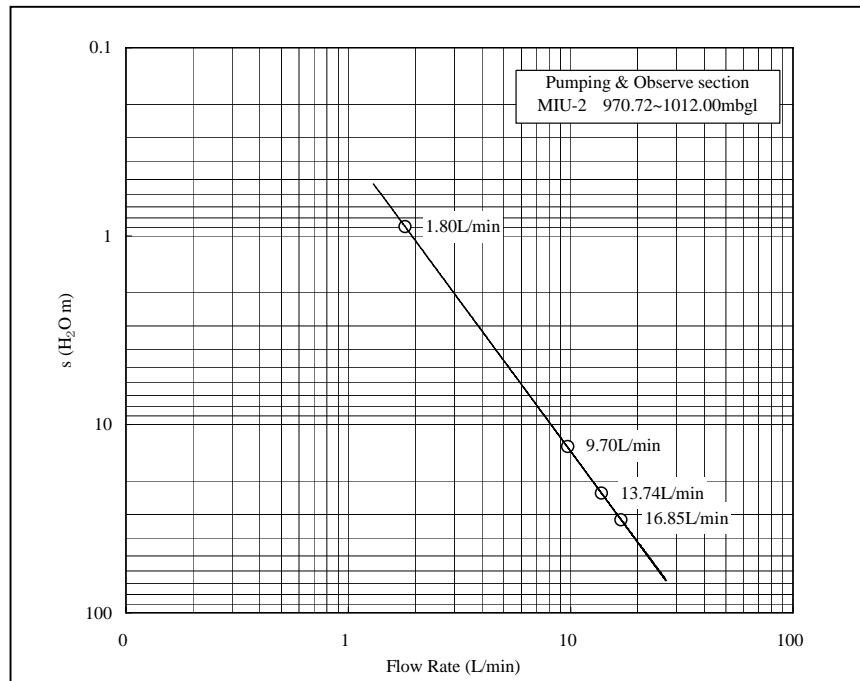


図 4.2.1 段階揚水試験結果図（第一回試験）

2) 第二回試験

第二回試験の揚水量は、スラグ試験を実施して求めた透水量係数により推定した。図 4.2.2 にスラグ試験の解析結果を示す。この結果より、揚水区間の透水量係数は $T=1 \times 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$ と求められる。

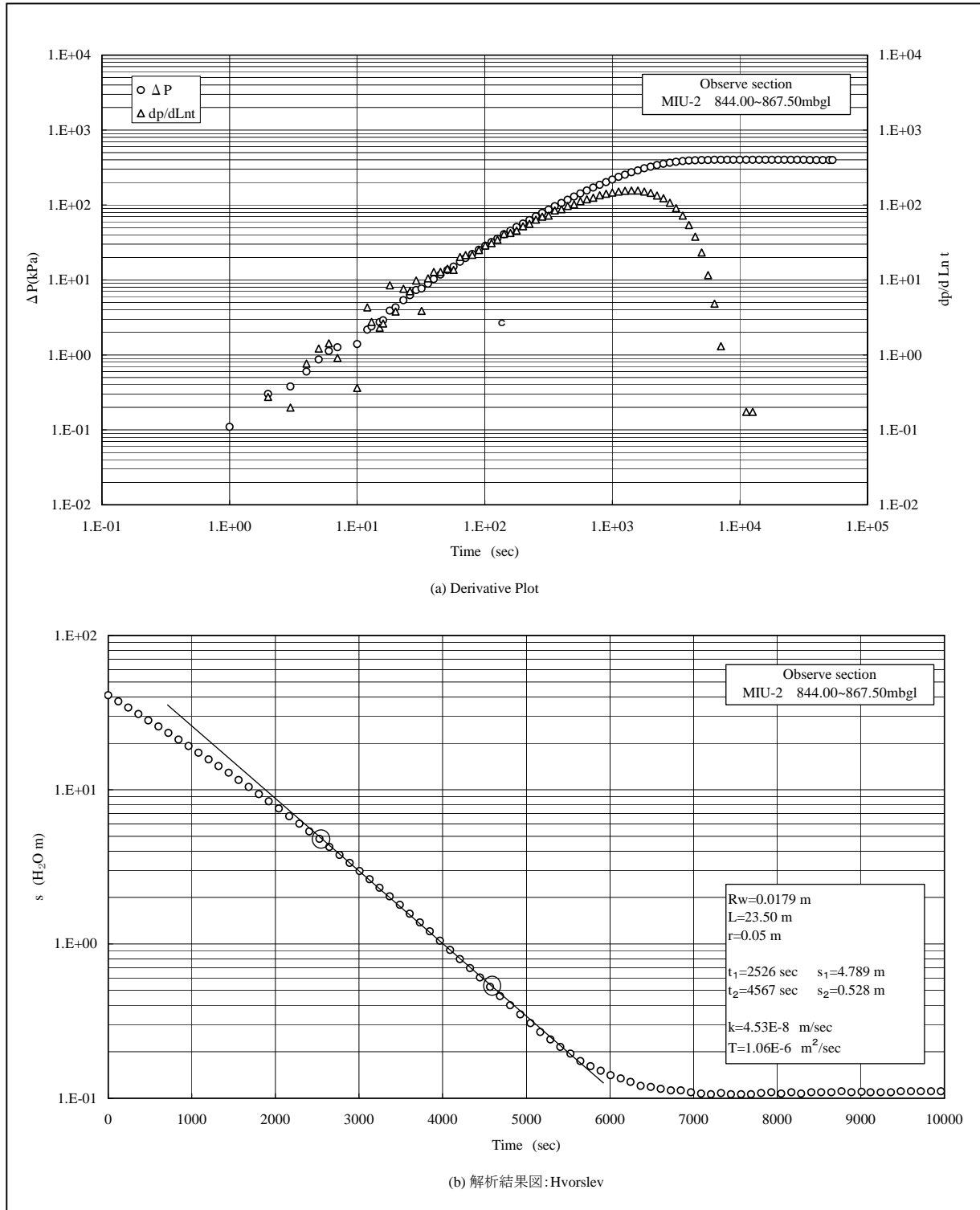


図 4.2.2 スラグ試験解析結果 (第二回試験)

揚水量は、スラグ試験で得られた透水量係数 T と水位低下量 S_w から、次に示す Hvorslev の定常式で計算される。

$$q = \frac{2\pi \times T \times S_w}{\ln(L/r)}$$

ここに、 q : 平均揚水量 (m^3/s)、 T : 透水量係数 (m^2/s)、 S_w : 水位低下量 (m)、 L : 試験区間長 (m)、 r : 試験孔半径 (m)、である。

揚水量の設定に当たっては、3インチ管内の水位がポンプ設置深度を下回らないようにすることが必要である。揚水量と孔内水圧の関係は上式により求められるが、3インチ管内の水位と孔内水圧の間には、試験装置の流路抵抗による圧力損失差が生じる。この圧力損失を第一回試験時の段階揚水試験結果より推定した結果を表 4.2.1 中の①に示す。

圧力損失分を考慮し、いくつかの揚水量に対する水位低下量を算定した結果を表 4.2.1 中の②に示す。この結果から、第二回試験における揚水過程(RW)の揚水量を、ポンプの性能等も考慮し、4.0L/min に設定した。

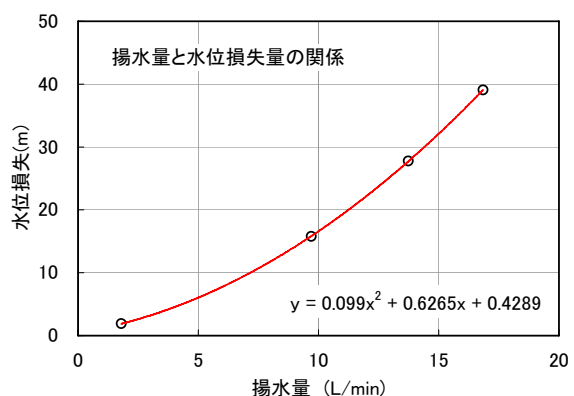
表 4.2.1 事前水位低下量予測計算 (第二回試験)

① 段階揚水試験 (第1回試験) の結果による水位損失の推定

孔内水圧計P2

設置深度	879.99 mbgl
水位換算上の補正深度	876.02 mbgl

揚水量 (L/min)	水 位			水位低下量		水位損失 (m) ①-②
	3インチ管内 水位計 (GL-m)	孔内水圧計P2		①3インチ管内水位 計 (m)	②孔内水圧計 P2(m)	
		水圧 (MPa)	換算水位 (GL-m)			
0	-4.41	8.637	-0.439			
1.8	-1.74	8.629	0.348	2.67	0.79	1.88
9.695	24.23	8.511	12.424	28.64	12.86	15.78
13.738	46.10	8.414	22.292	50.51	22.73	27.78
16.848	67.42	8.316	32.319	71.83	32.76	39.07



② 第2回揚水試験時の水位低下量予測

設定値	揚水量 (L/min)	P2低下水位 (mbgl)	水位損失 (m)	管内低下水位 (mbgl)	ポンプ-水位差 (m)
透水量係数 $T(m^2/s)$: 1.06E-06	4.50	85.74	5.25	90.99	1.42
揚水区間長 $L(m)$: 23.50	4.00	78.04	4.52	82.55	9.86
揚水孔半径 $r(m)$: 0.05	3.80	74.95	4.24	79.19	13.22
初期水位(mbgl): 16.42	3.50	70.33	3.83	74.17	18.24
ポンプ深度(mbgl): 92.41	3.00	62.63	3.20	65.83	26.58

4.3 揚水ポンプと地上揚水設備および水質モニタリング装置の設置

揚水ポンプの設置深度を表 4.3.1 に示す。

表 4.3.1 揚水ポンプ設置深度一覧

試 験	ポンプ 設置深度 (mbgl)	設定揚水量 (L/min)	揚水量実績 (L/min)	RW 開始時 の水位 (mbgl)	RW 終了時 の水位 (mbgl)	水位低下量 (mbgl)
第一回	92.44	16.8	16.41	-4.41	28.35	32.76
第二回	92.41	4.0	2.26	16.41	86.57	70.16

※水位低下量は、RW 開始時と終了時との水位差

図 4.3.1 に、地上揚水設備の配置図を示す。揚水設備は、夜間や休日等で無人状態であっても、計測・排水管理が自動でおこなえるよう配慮した。

揚水量は、核燃料サイクル開発機構が開発した揚水試験装置の流量制御・観測システムにより制御、観測した。揚水試験装置の流量制御・観測システムは、浮動式流量制御装置、流量計測用水槽、排水バルブ、制御・計測用コンピュータからなり、流量計測用水槽に流入する水は、排水バルブにより一定量たまった時点で自動排水される。ここで排水された水は、1.5m³ノッチタンクに一時貯水され、一定量貯水した時点でフロート式自動ポンプが作動し、自動的に13m³ノッチタンクに送水する仕組みとした。それぞれの装置は、ステンレス管材や塩ビ管、ホース等で接続した。

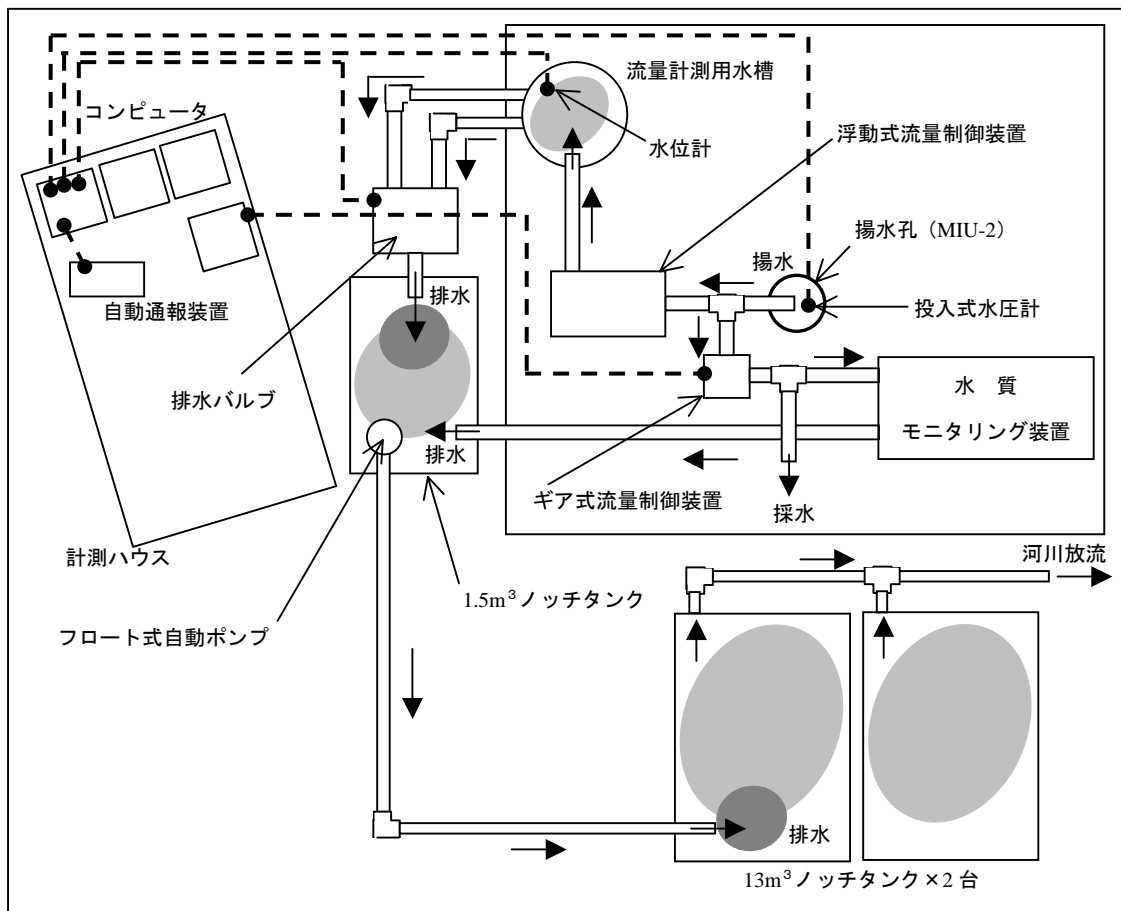


図 4.3.1 地上揚水設備配置図

水質モニタリング装置への送水は、浮動式流量制御装置までの配管を分岐させ、ギア式流量制御装置で制御した。送水量は、全揚水量の内、800cc/minとした。ただし、第二回試験では、揚水量を2.3L/minまで絞り込まなければならない事態が生じたため、この段階で500cc/minに減少させた。水質モニタリング装置への送水量は、計測ハウス内のコンピュータで記録した。

制御用コンピュータには自動通報装置を設置し、夜間や休日等で現場に計測員がいないときに停電が発生した場合、設定した携帯電話に自動通報するシステムとした。また、揚水試験装置の制御コンピュータの水位計リレー回路を利用して、揚水により地下水水位が異常に低下、上昇した場合も自動通報するよう設定した。

4.4 揚水試験時の状況

MIU-2 号孔における試験状況について以下に述べる。

1) 第一回試験

(a) 試験状況

図 4.4.1 に、第一回試験中の水位－パッカー圧力変化図を示す。図中、地表面より高い位置 (magl) の水位は、マイナス側にプロットした。

第一回試験では、INF～PSR～段階揚水試験～RW/RWS～DEF を実施した。

P2 の水圧は、水位に換算して地表面より高い位置にあったため、段階揚水試験は、まずメインバルブを開放して自噴する流量を計測し、以降は揚水ポンプを運転して段階的に揚水量を変化させ、それぞれの水圧変化を測定した。RW は、段階揚水試験の設定揚水量 16L/min の段階から継続しておこなった。

図 4.4.2 に、第一回試験の平均揚水量－積算揚水量変化図を、図 4.4.3 に平均揚水量－P2 圧力変化図を示す。

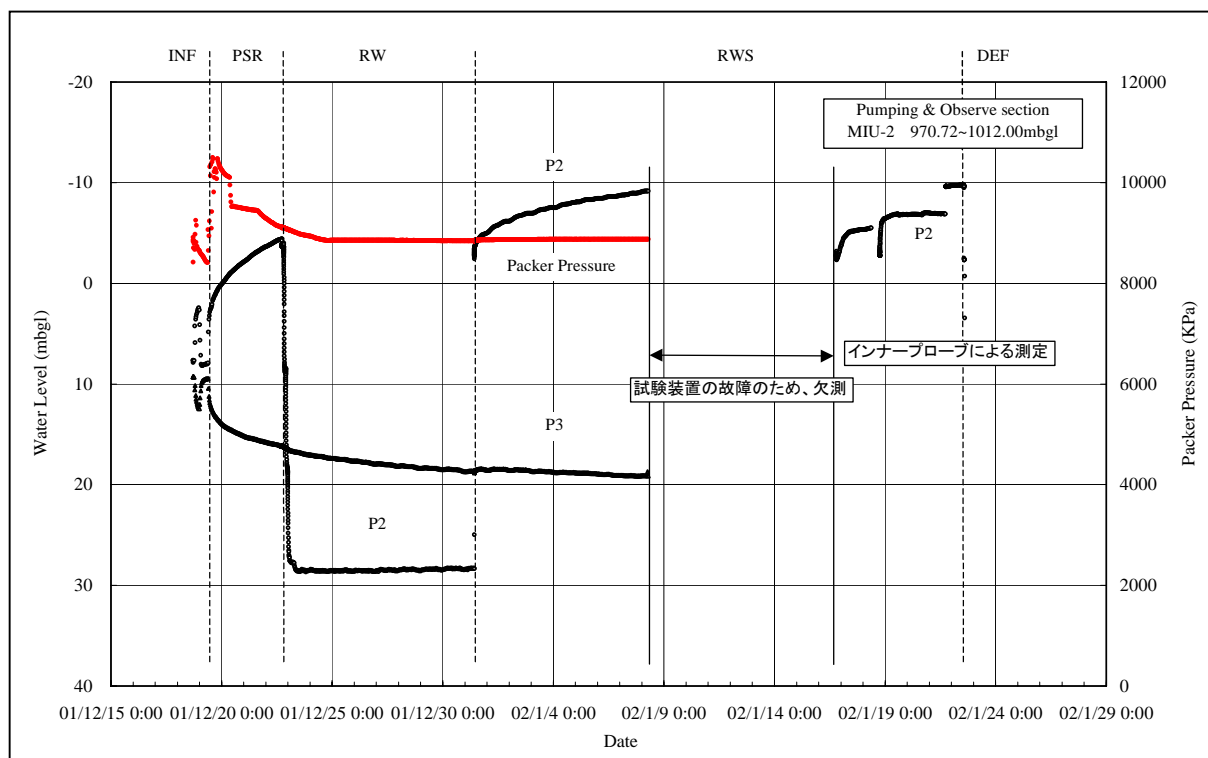


図 4.4.1 第一回試験の水位－パッカー圧力変化図

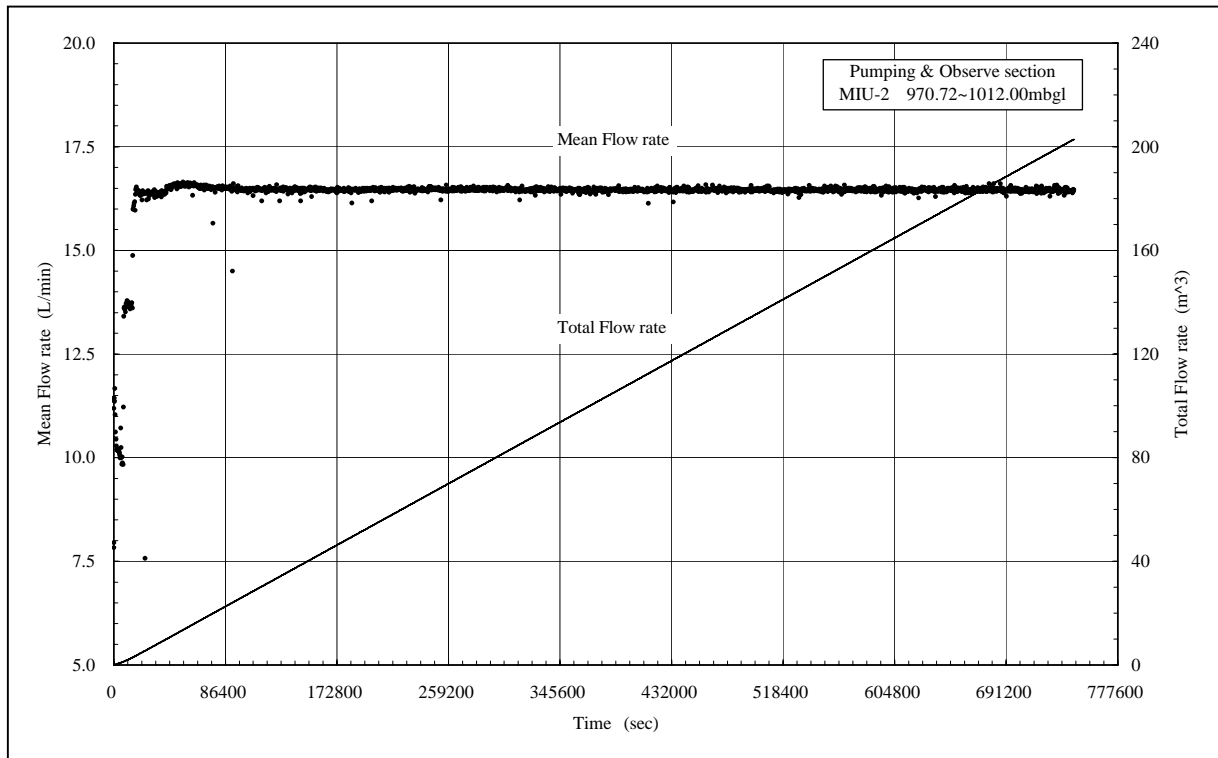


図 4.4.2 第一回試験の平均揚水量－積算揚水量変化図

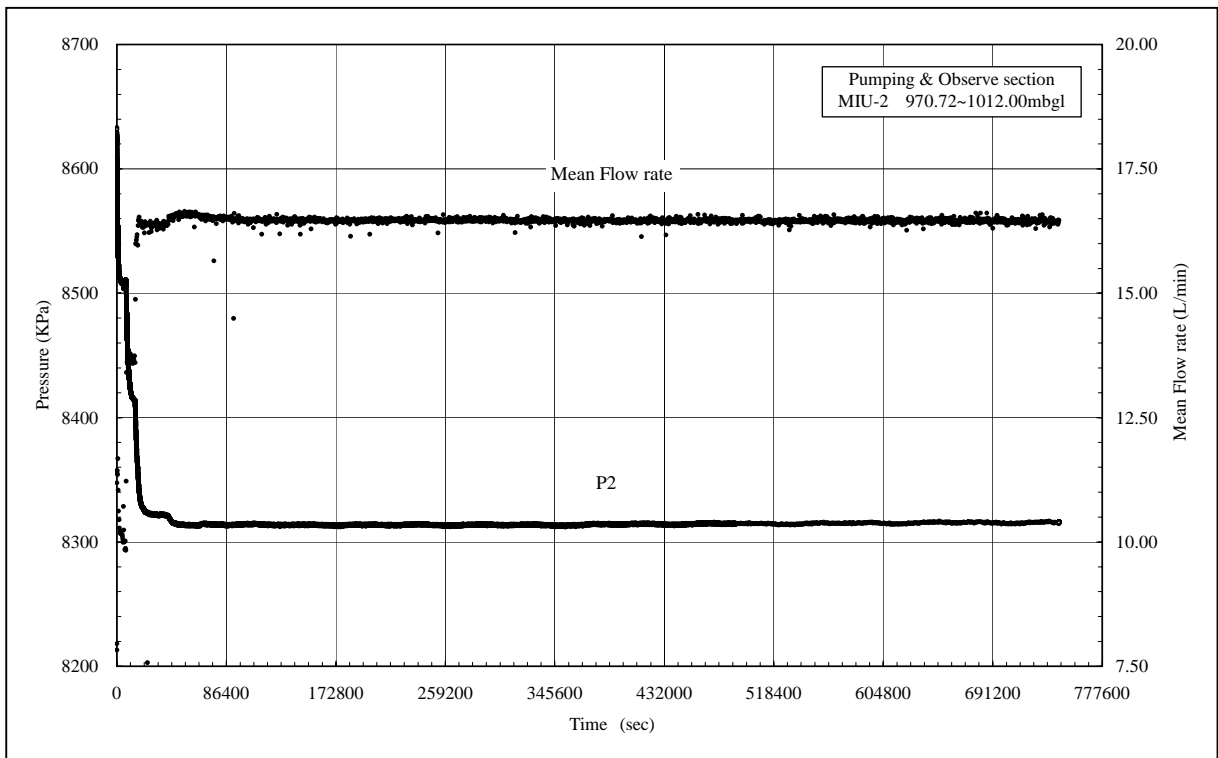


図 4.4.3 第一回試験の平均揚水量－P2 圧力変化図

(b) 試験中の異常について

①パッカー圧の維持不良

・状 況

パッカー圧は、通常、差圧で 1000kPa 程度を維持させるが、第一回試験では、500kPa 程度しか維持されなかった。パッカーの拡張作業中は、孔内部ユニットの出力電流が不安定な状態であり、また、電磁バルブの温度変化から、パッカーの緊急収縮用電磁バルブの閉鎖不良が考えられた。

パッカーの遮水能力には問題ないので、試験は続行した。

・原 因

第一回試験終了後の分解検査では、電磁バルブの内部に細粒物が詰まっており、バルブコアが動きにくい状態であった。

・対 策

第一回試験後の修理の際、電磁バルブは、主要部品を新品と交換し、正常に機能することを確認した。

電磁バルブ内部に詰まっていた細粒物はさび状の異物であり、鉄製 3 インチ管のさびであることが考えられたため、第二回試験では、3 インチ管の内側を金属ブラシで洗浄した。また、孔内部ユニット内に細粒物が混入しないよう、ユニットのフィルターには、観賞魚用の濾過材を巻き付けた。パッカー拡張等に使用する水は、酸素イオンを多く含む河川水を避け、孔内水を利用した。

②メインバルブのリーク

・状 況

平成 13 年 12 月 31 日 10:15 に揚水過程(RW)を終了後、メインバルブを閉鎖し、回復過程(RWS)へ移行した。その後、平成 14 年 1 月 1 日～1 月 15 日の期間は、年末年始休暇等のため、現場を無人状態とし、自動計測による水圧観測を継続していた。

平成 14 年 1 月 15 日 22:30 頃、3 インチ管内の水位が管頂 (1.74magl) まで満たされていることが確認された。この日の試験孔内の水位 P3 は 19.62mbgl であったため、試験区間を閉鎖するメインバルブがリークしているものと判断した。

・原 因

第一回試験終了後の点検により、メインバルブの遮水 O リングに損傷が確認され、リークの原因が判明した。

O リングの損傷の原因は、①の電磁バルブと同様、細粒物によるものと考えられる。

・対 応

1 月 16 日 19:10 よりインナープローブのパッカーで試験区間を閉鎖した。

1 月 18 日、インナープローブによる水圧測定を一時中断し、メインバルブからのリーク量を測定した。

第一回試験後の修理の際に、ユニットの配管の洗浄および損傷した O リングの交換をおこなった。この後、正常に機能することを確認した。

細粒物の侵入に対する対策は、①の電磁バルブの場合と同様である。

・メインバルブのリーク量測定結果

リーク量測定は、3インチ管内の水をポンプにより任意の位置まで低下させ、その後の水位上昇量を計測した。図 4.4.4 にメインバルブからのリーク量測定結果を示す。また、表 4.7 に解析結果を示す。

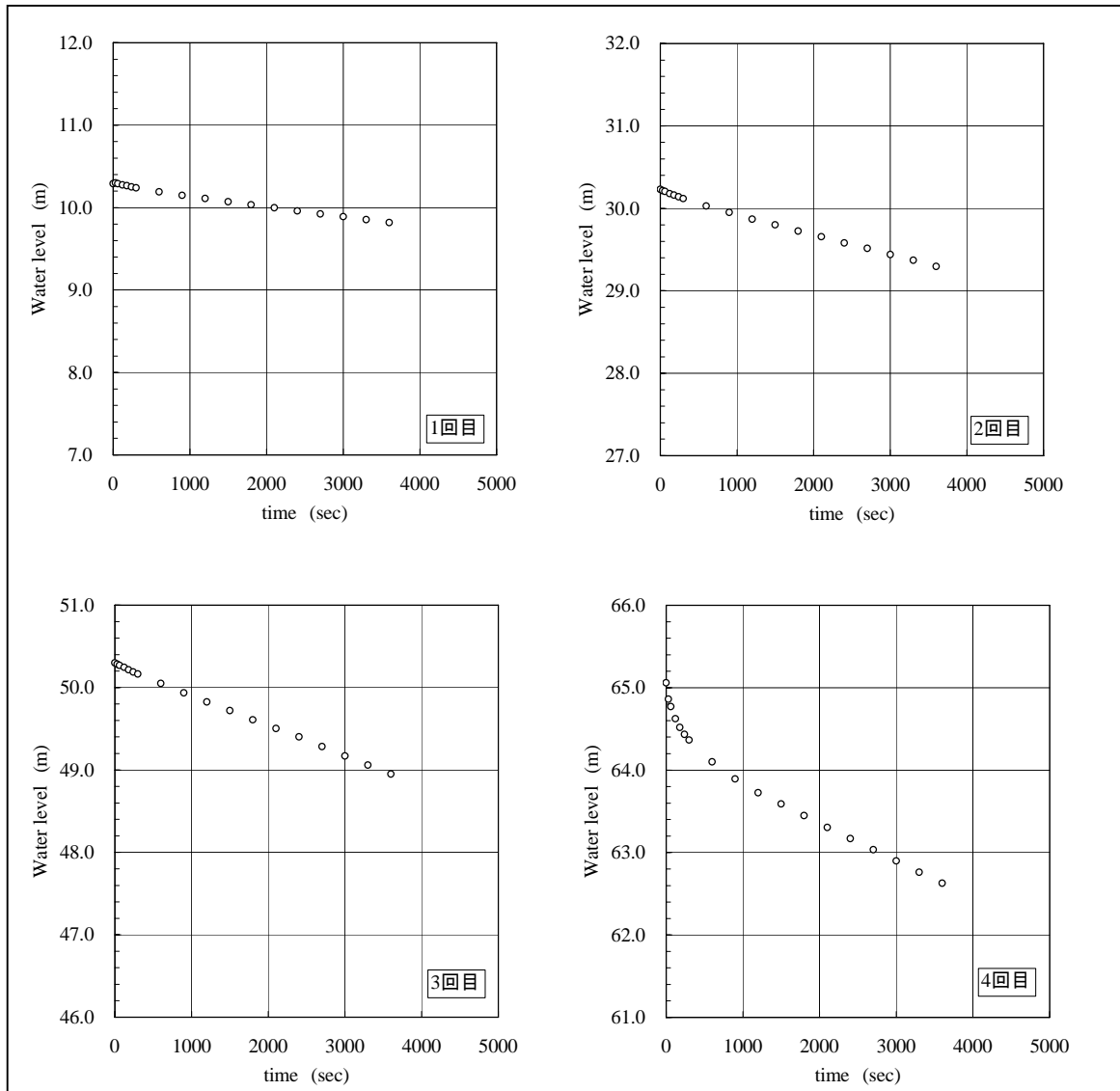


図 4.4.4 メインバルブからのリーク量測定結果

表 4.4.1 解析結果

	水位差(m)	平均流量(cc/min)	透水係数 k (m/sec)	透水量係数 T (m ² /sec)
1 回目	18.26	26.4	5.88E-10	2.43E-8
2 回目	38.19	52.6	5.61E-10	2.32E-8
3 回目	58.26	75.9	5.66E-10	2.34E-8
4 回目	73.02	136.6	5.75E-10	2.37E-8

回復過程(RWS)の初期からの水位差は、2回目のリーク量測定結果と同等なので、メインバルブの閉鎖不良によってロスした流量を2回目の結果より推定した。

図 4.4.5 は、2回目のリーク量測定の積算流量である。この近似曲線から推定した回復過程(RWS)期間中(1415400 秒)のリーク流量は 1.33m³である。リーク流量は、初期勾配からの推定なので、実際よりも過大であると考えられる。揚水過程(RW)での積算揚水量は 203m³であるので、リーク流量は、揚水過程(RW)の積算揚水量の 0.7%程度であった。

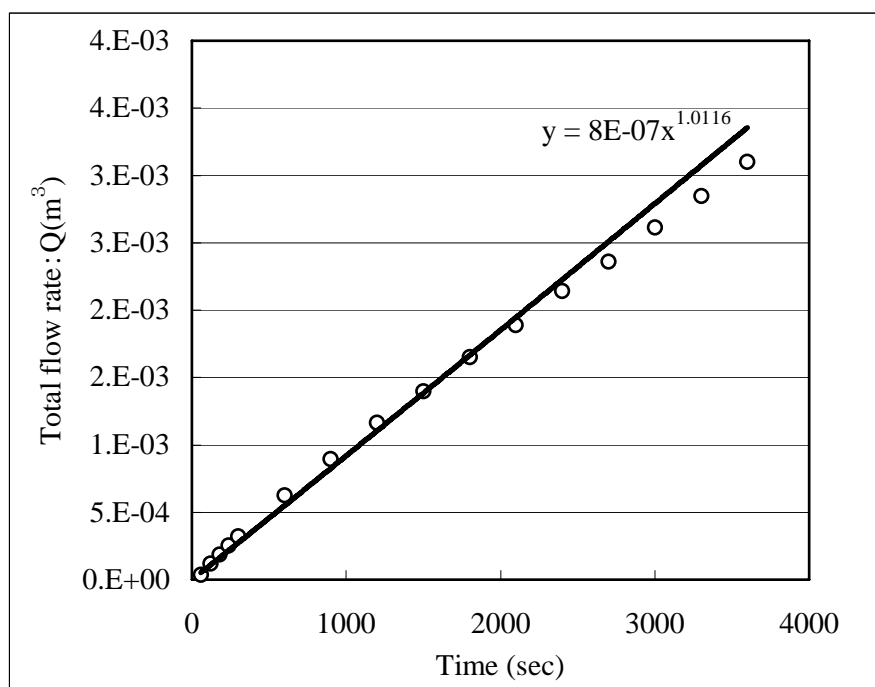


図 4.4.5 2 回目リーク流量測定の積算流量

③通信異常によるデータ欠損

・状 況

孔内部ユニットからの通信異常は、回復過程(RWS)測定中の平成 14 年 1 月 8 日 6:40 に発生した。回復過程(RWS)測定中は、年末年始休暇で現場は無人状態であった。通信異常によってデータが欠損した期間は、平成 14 年 1 月 8 日 6:40～1 月 16 日 19:10 である。

通信異常は、平成 14 年 1 月 15 日 14:30 に確認した。孔内部制御用と、データ記録用の 2 台のコンピュータは正常に作動していたが、圧力データと温度データに変化はなく、通信異常発生時のデータを表示、記録していた。

孔内部への電力供給、出力電流値に異常はなかったため、パッカーの拡張等、測定状況は維持していると判断した。

コンピュータの再起動等をおこなって復旧を試みたが、復旧しなかった。

地上の制御コンピュータから孔内装置のバルブ類の操作はできるが、孔内装置からの計測データおよびバルブ類のステータスは受信できないことが判明した。

・原 因

第一回試験終了後の点検により、異常の原因は、孔内部制御用コンピュータの RS232C 通信部の受信側が故障であることが判明した。故障の原因は不明であるが、雷等による異常電流が地上配線を伝達してコンピュータに侵入した可能性が考えられる。

・対 応

メインバルブがリークしていたため、P2 の水圧測定は可能であることが判明した。通信異常を発見した翌日の 1 月 16 日に揚水試験装置のインナープローブを準備し、同日 19:10 よりインナープローブのパッカーを拡張させて試験区間を閉鎖し、P2 圧力の測定を開始した。1 月 21 日には、制御ユニットのバルブは操作できることが判明したため、同日 18:00 にメインバルブを完全に解放して P2 圧力を測定した。

第一回試験後の修理では、故障した孔内部制御用コンピュータの RS232C 通信部と、正常であるデータ記録用コンピュータの RS232C 通信部とを入れ替えた。

RS232C の故障原因の可能性として、雷等による異常電流の侵入が考えられたため、第二回試験では、コンピュータと孔内部のコントロールケーブルドラムとを接続する RS232C 通信用ケーブルの空中配線をやめて地表に配線し、さらにそのケーブルを鉄管内に通してシールドを強化する対策を施した。鉄管に通せない部分はアルミ箔で包んだ。

第二回試験では、現場が無人である時に異常が発生した場合、対応できるように、現場のデータミラーリング用コンピュータと社内のコンピュータとを電話回線で接続し、Net Support Manager Ver.6 を使って P2 データの確認と回収を社内でおこなえるよう設定した。

④孔内部ユニットの漏水と圧力計の破損

・状 況

第一回試験終了後、孔内装置を回収し検査した結果、メジャーメントユニットとパッカーユニットの接続コネクタに水による電蝕が認められた。また、制御ユニットの先端ブロック内部に漏水が認められた。

メジャーメントユニットの P3 用圧力計は壊れていた。P3 用圧力計は、孔内部の通信異常までは正常に機能していた。

・原 因

制御ユニットの先端ブロックの漏水は、漏水量が多い割にはコネクタの電蝕の程度が低いため、先端ブロック内部の配管ピンが揚水過程(RW)の水圧で抜けかけ、試験終了後、孔内装置を地上に回収した後に抜けて漏水したものと考えられる。圧力計の破損は、このとき発生した電気のショートによるものと考えられる。

メジャーメントユニットとパッカーユニットの接続コネクタでの漏水は、コネクタ部の耐圧検査では発生せず、原因は不明である。

・原 因

先端ブロックの漏水対策としては、配管ピンの抜け防止用金具を取り付け、配管ピンを固定した。

メジャーメントユニットとパッカーユニットの接続コネクタは、マルチコネクタの Oリング交換をおこなった。また、Oリングの当たり面は、傷が確認されたため、研磨をおこなった。

破損した圧力計は、新品と交換した。

対策後は耐圧検査をおこない、異常のないことを確認した。

2) 第二回試験

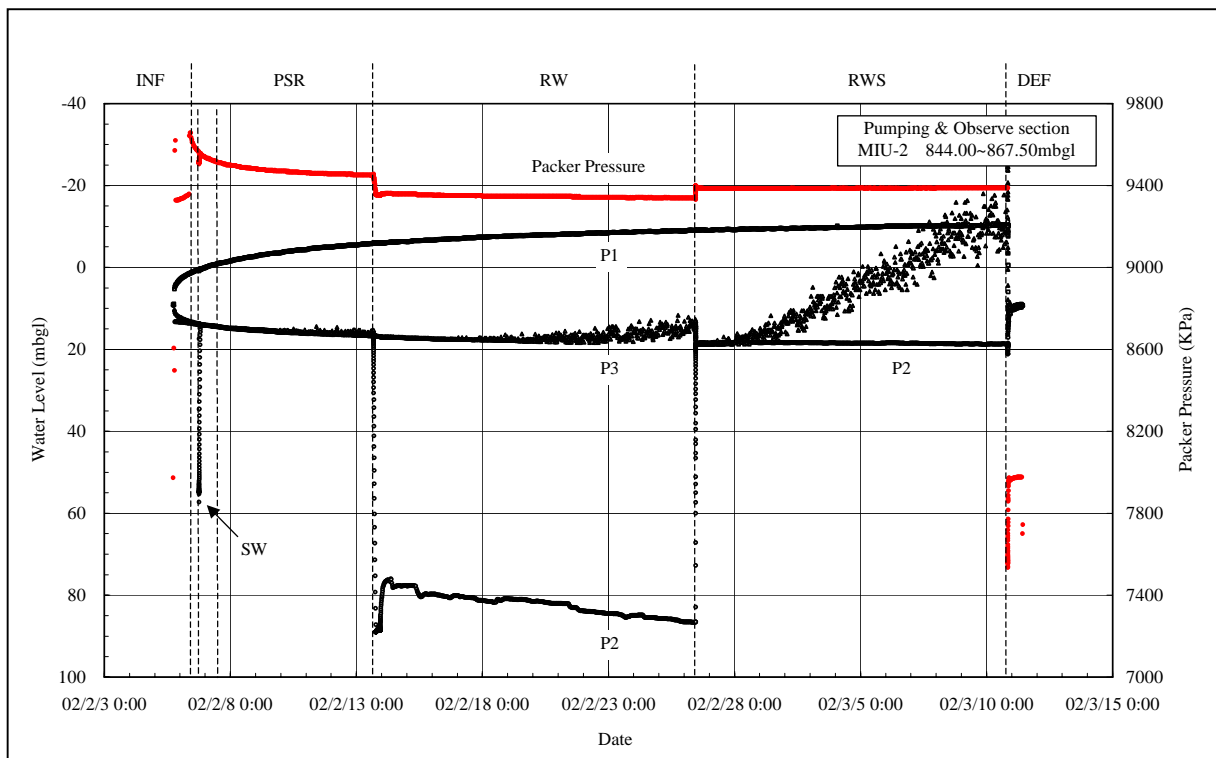
(a) 試験状況

図 4.4.6 に、第二回試験中の水位－パッカー圧力変化図を示す。第二回試験では、INF～PSR～(SW)～RW/RWS～DEF を実施した。

揚水過程(RW)は、設定揚水量 4L/min で開始したが、水位は、約 2 時間後までにポンプの設置深度の上位 2m 付近まで低下したため、揚水量を 3L/min に減少させた。揚水量の減少により、水位はポンプの上位 2m 付近でほぼ安定したが、長時間の揚水に対しては危険であったため、揚水開始から約 6 時間 20 分後に揚水量を 2.3L/min に減じた。図 4.4.7 に第二回試験の平均揚水量－積算揚水量変化図を、図 4.4.8 に、平均揚水量－P2 圧力変化図を示す。

第二回試験では、回復過程(RWS)期間中現場を無人とし、この間は、現場のデータミラーリング用コンピュータと社内のコンピュータとを電話回線により接続して、社内でデータの回収と整理をおこなった。また、メインバルブの遮水性を確認するため、第一回試験と同様に、インナープローブを設置した。この結果、メインバルブからのリークは生じていないことが確認された。

図 4.4.6 第二回試験の水位－パッカー圧力変化図



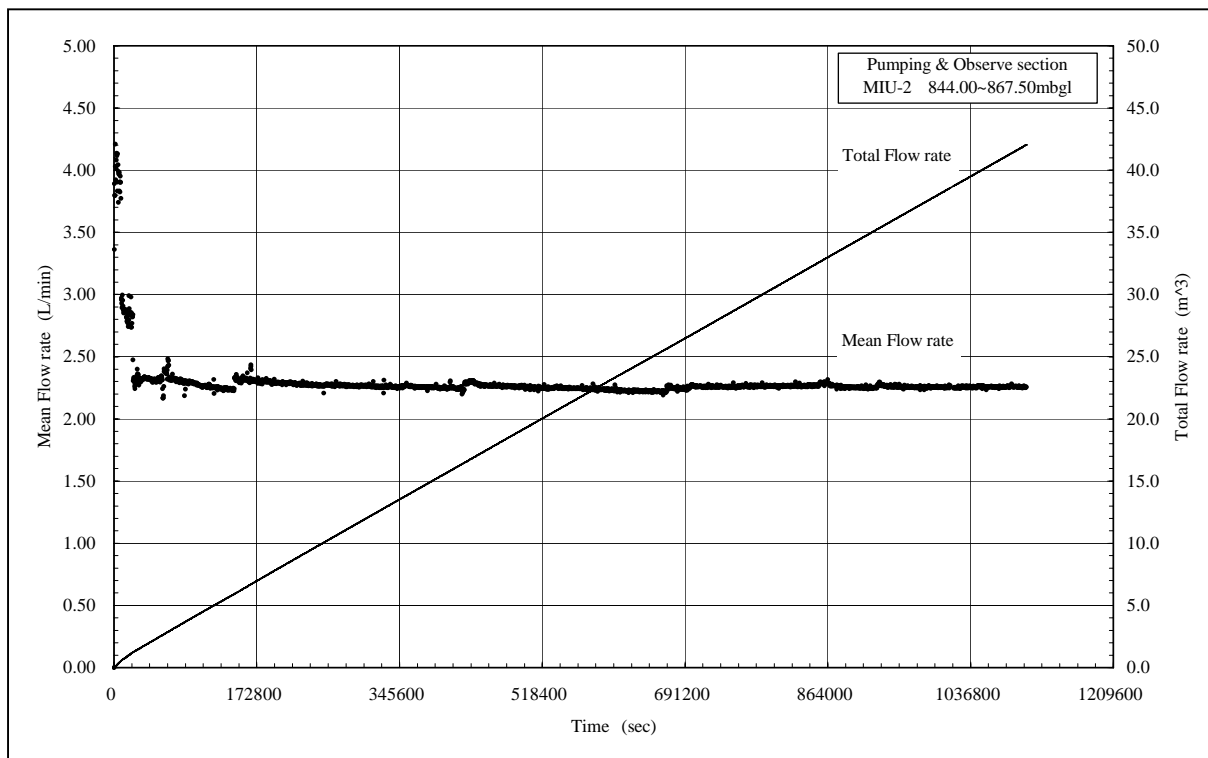


図 4.4.7 第二回試験の平均揚水量－積算揚水量変化図

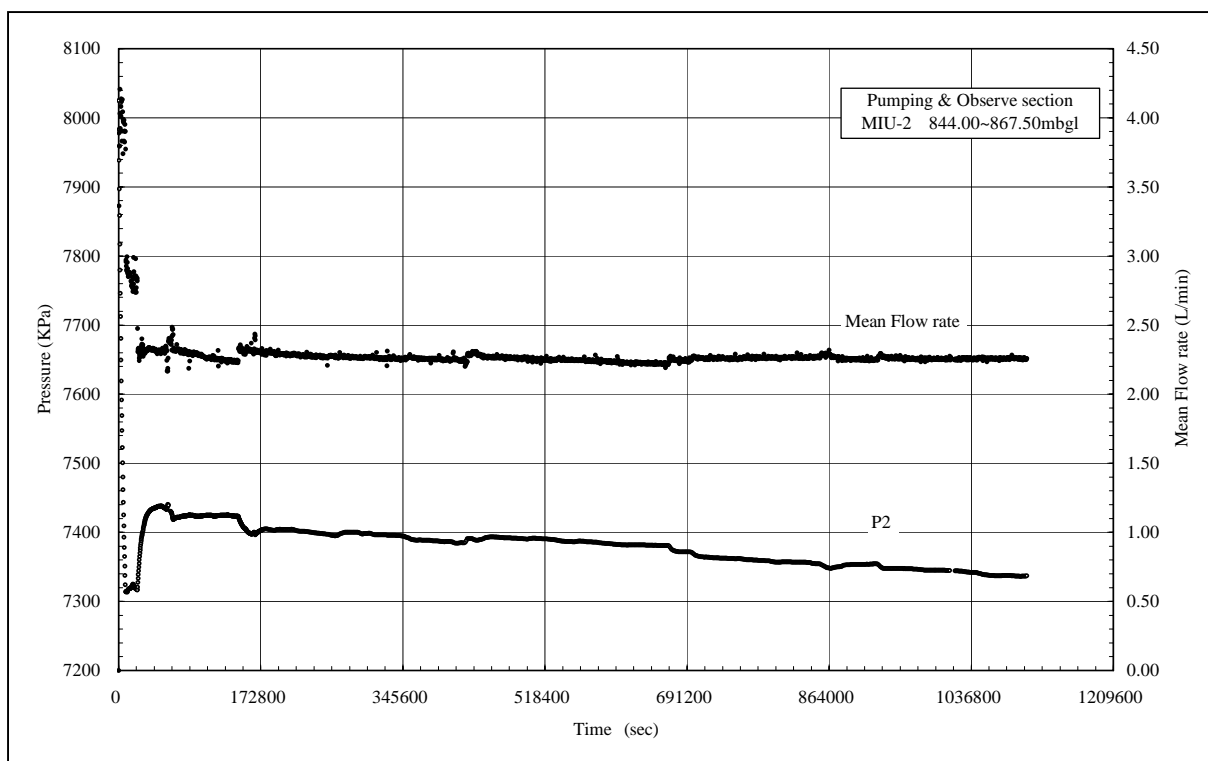


図 4.4.8 第二回試験平均揚水量－P2 圧力変化図

(b) 試験中の異常について

①圧力計のノイズ

第二回試験では、孔内部のメジャーメントユニットの圧力計にノイズが発生した。

核燃料サイクル開発機構は、複数のメジャーメントユニットを所有しており、第二回試験では、2 台のメジャーメントユニットの圧力計にノイズの発生がみられたので、区別して説明する。

・ 状 況

a.メジャーメントユニット（アドレス 13）

2月2日 9:00 ユニットの挿入開始。12:00 頃、ユニットを 100mbgl 付近まで降下させた時点で P1 用圧力計にノイズが発生。ノイズは不定期的に発生した。

2月3日 9:30、ユニットは回収した。

b.メジャーメントユニット（アドレス 9）

アドレス 13 のノイズの原因が現場では特定できなかったため、ユニットを交換することになった。他のユニットは、アドレス 13 とは内部配管の構造が異なるため、アドレス 9 の圧力計と電装部品をアドレス 13 のものと入れ替えた。

2月5日 17:42 パッカー拡張開始。2月8日には、P3 の圧力にノイズがみられるようになった。ノイズは、日毎に大きくなった。

ノイズは、水圧の安定期に大きく発生する傾向にあり、揚水開始や Shut-in 時には消失した。

・ 対 応

P3 の水位は、核燃料サイクル開発機構所有の自記水位計で観測した。

・ 原 因

第二回終了後の分解検査では、ユニットの帯電がノイズの原因の一つであることが判明した。

4.5 作業工程

第1回試験における揚水試験の作業工程を表4.5.1に示し、第2回試験における揚水試験の作業工程を表4.5.2に示す。

表 4.5.1 第1回試験における揚水試験作業工程表

試験番号	工種	期間	備考
No.1	搬入	2001年11月29日、12月11日～12月12日	
	地上部設営・調整	2001年12月13日～12月15日	
	挿入	2001年12月15日～12月18日	
	パッカー拡張(INF)	2001年12月18日～12月20日	12月18日17:45パッカー拡張開始
	間隙水圧測定(PSR)	2001年12月20日～12月22日	12月20日9:05パッカー拡張作業終了
	揚水試験(RW)	2001年12月22日～12月31日	12月22日17:35より自噴流量測定 19:42より揚水開始 10L/min 21:42より流量変更 13L/min 23:42より流量変更 16L/min
	回復試験(RWS)	2001年12月31日～2002年1月15日	12月31日10:15 RWS開始 年末年始休暇中は自動計測
	水圧測定	2002年1月16日～1月22日	休暇中、試験装置に異常が発生。インナープローブにて水圧を測定
	パッカー収縮(DEF)	2002年1月22日～1月23日	1月22日13:33収縮開始
	回収	2002年1月23日～1月24日	
搬出	2002年1月25日	水理試験装置の修理のため装置を搬出	

表 4.5.2 第 2 回試験における揚水試験作業工程表

試験 番号	工種	期間	備考
No.2	搬入	2002 年 1 月 30 日	
	地上部設営・調整	2002 年 1 月 30 日～2 月 1 日	
	挿入	2002 年 1 月 31 日～2 月 2 日	
	ユニット回収・ 修理	2002 年 2 月 3 日	挿入中、ユニットの圧 力計に異常が認められ た為、回収・修理
	挿入	2002 年 2 月 4 日～2 月 5 日	
	パッカー拡張 (INF)	2002 年 2 月 5 日～2 月 6 日	2 月 5 日 17:42 パッカー 拡張開始
	間隙水圧測定 (PSR)	2002 年 2 月 6 日～2 月 13 日	2 月 6 日 10:08 パッカー 拡張作業終了 18:00～7 日 10:35 揚水 量決定の資料とするた め、スラグ試験を実施
	揚水試験(RW)	2002 年 2 月 13 日～2 月 26 日	2 月 13 日 16:15 設定流 量 4L/min で揚水開始 18:35 水位低下が大き いため、流量変更 3L/min 22:36 流量変更 2.3L/min
	回復試験(RWS)	2002 年 2 月 26 日～3 月 10 日	2 月 26 日 11:00 RWS 開始
	パッカー収縮 (DEF)	2002 年 3 月 10 日～3 月 11 日	3 月 10 日 20:12 DEF 開始
	回収	2002 年 3 月 11 日～3 月 12 日	
搬出	2002 年 3 月 13 日～3 月 14 日		

4.6 作業状況

(1) 装置搬入

写真-4.6.1～2 に装置搬入状況を示す。MIU-2 孔で用いる揚水試験装置一式を4 t ユニックにて搬入した。写真-4.6.2 中の櫓の左側に計測小屋を配置し、揚水試験用の地上装置（孔内部制御装置、データ記録・解析装置等）を設置した。

(2) 孔内装置組立

写真-4.6.3～5 に孔内装置の組立状況を示す。倉庫内にて組立後、通信テスト、パッカー拡張チェックを行った後、孔内へ挿入した。

(3) 孔内装置挿入

写真-3.5.6～3.5.10 に孔内装置の挿入状況を示す。

(4) 揚水試験

写真-3.5.11～3.5.12 に揚水試験状況を示す。揚水中の流量、水圧等は、櫓脇に設置した計測室内にて監視した。揚水した地下水はロッド上端を経由し、櫓の横に設けたタンクに一旦貯水し、その後、(6)で述べるように河川へ排水した。なお、揚水した地下水のうち一定量は、水質分析機器を経由する仕組みとなっている。

(5) MP データ回収

写真-3.5.13 に MIU-1, 2, 3 および AN-1, 3 孔の MP データ回収状況を示す。基本的に、揚水期間中は毎日1回の頻度でデータ回収を行い、データ整理後に納入した。

(6) 排水状況

写真-3.5.14 に揚水した地下水の排水状況を示す。揚水した地下水は、2基の排水タンク（各13m³）に貯水し、ある一定量まで貯まった時点で、pH および濁度を確認後、河川へ放流した。河川水の水質が環境基準を超えていないことを確認するため、下流側にて放流中30分おきに採水して水質（pH、濁度他）を測定した。

(7) 孔内装置回収

写真-3.5.16～18 に孔内装置の回収状況を示す。

(8) 装置搬出

写真-3.5.19～21 に揚水試験装置の搬出状況及び撤去完了状況を示す。搬出は4 t ユニックにて行った。



写真-4.6.1 搬入作業（土岐倉庫）



写真-4.6.2 搬入作業（MIU-2 サイト）



写真-4.6.3 パッカー組立（第1回試験）



写真-4.6.4 ゾンデ組立（第1回試験）

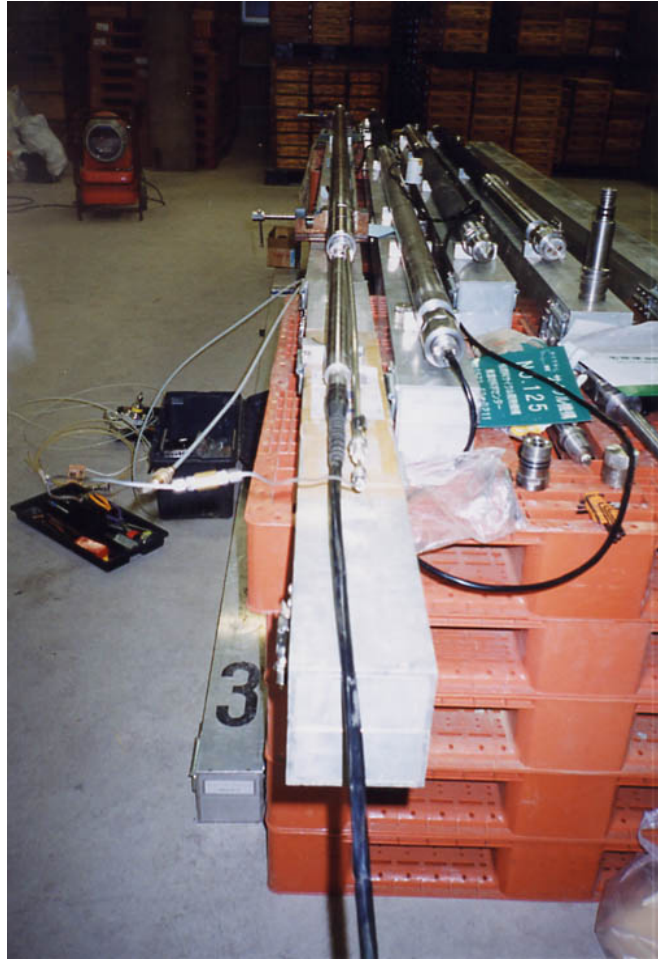


写真-4.6.5 ゾンデ組み立て（第2回試験）



写真-4.6.6 パッカー挿入（第1回試験）

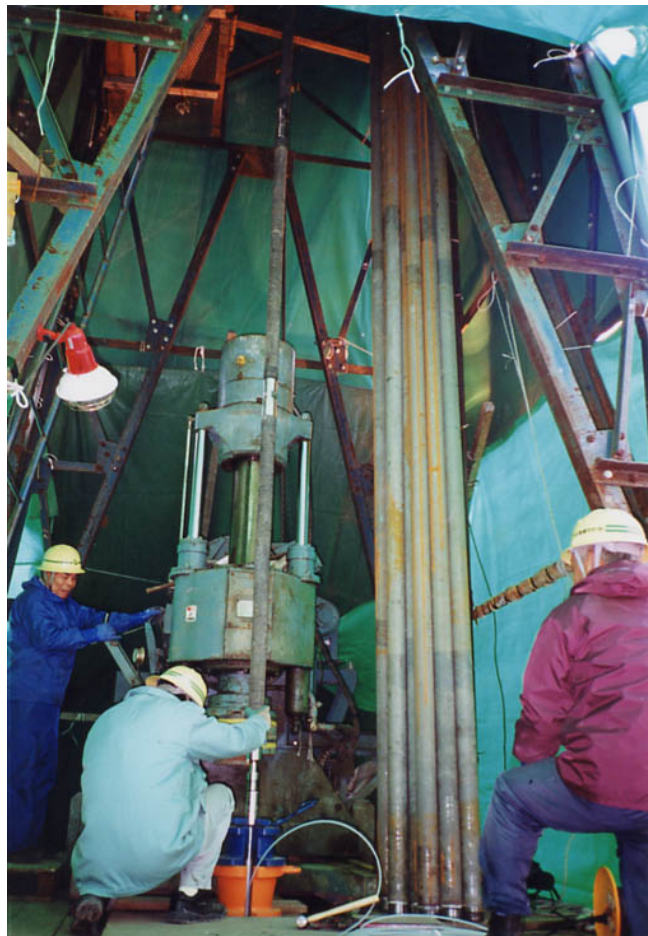


写真-4.6.7 パッカー挿入（第2回試験）

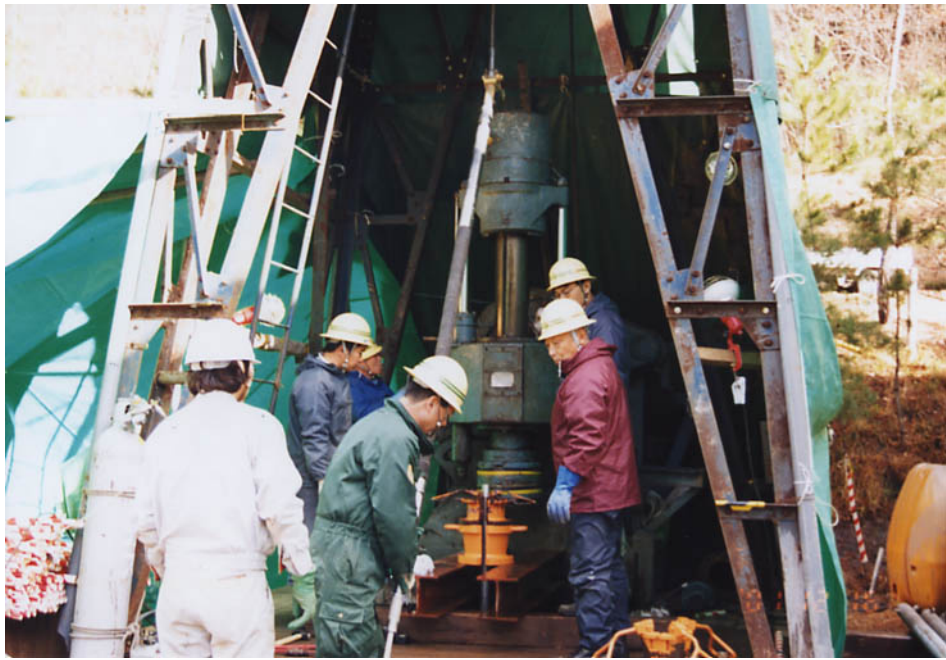


写真-4.6.8 ゾンデ挿入（第1回試験）



写真-4.6.9 ゾンデ挿入（第2回試験）



写真-4.6.10 ロッド挿入（第1回試験）



写真-4.6.11 揚水試験状況（第1回試験）



写真-4.6.12 揚水試験状況（第2回試験）



写真-4.6.13 MPデータ回収



写真-4.6.14 揚水後の河川放流状況



写真-4.6.15 水質検査

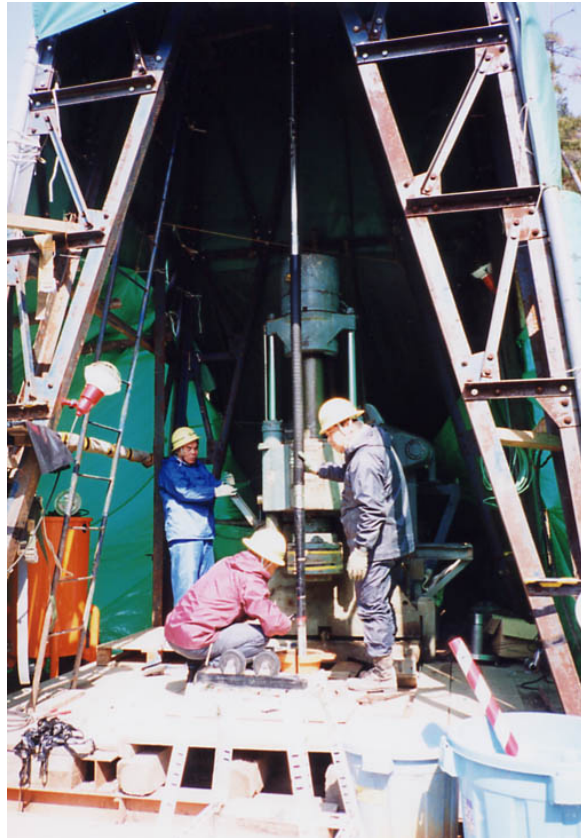


写真-4.6.16 ゾンデ回収（第2回試験）

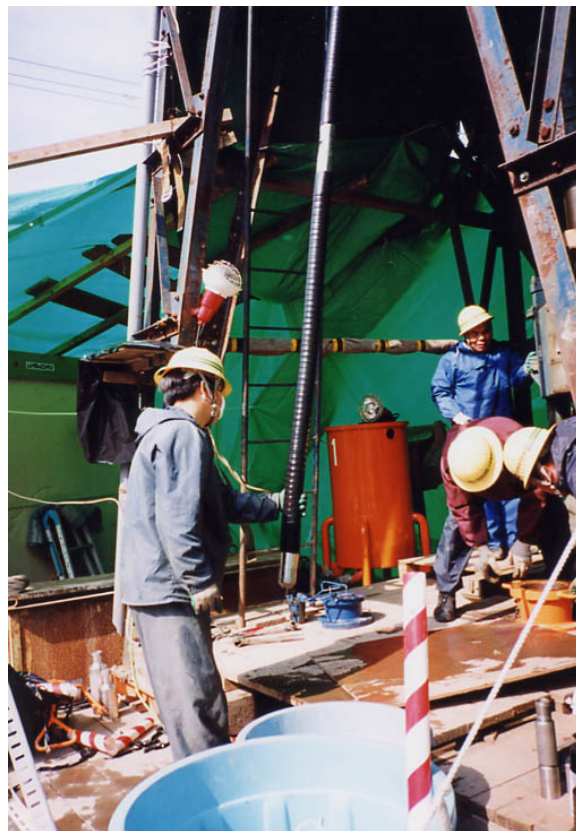


写真-4.6.17 パッカー回収（第2回試験）



写真-4.6.18 搬出作業



写真-4.6.19 搬出作業（土岐倉庫）



写真-4.6.20 完了状況

5 試験結果

5.1 観測水圧の経時変化

(1) 揚水孔における水圧・揚水量の経時変化

MIU-2号孔（揚水孔）における水圧及び揚水量の経時変化を以下に示す。

① 第1回試験（深度 970.72 ～1012.00 mabh）

第1回の水理試験は、月吉断層の下盤を揚水対象とし、シングルパッカーで実施した。本区間での試験手順は、INF～PSR～段階揚水試験～RW/RWS～DEFとした。

図 5.1.2 に揚水試験時における揚水孔内の区間水圧ならびにパッカー圧力の経時変化図を示す。図 5.1.4 および図 5.1.5 に揚水試験時の揚水量変化図を示す。

ただし、RWS 過程ではメインバルブの閉鎖不良が生じている。

② 第2回試験（深度 844.00 ～867.50 mabh）

第2回の水理試験は、月吉断層の上盤を揚水対象とし、ダブルパッカーで実施した。本区間での試験手順は、INF～PSR～(SW)～RW/RWS～DEFとした。

図 5.1.3 に揚水試験時における揚水孔内の区間水圧ならびにパッカー圧力の経時変化図を示す。図 5.1.6 および図 5.1.7 に揚水試験時の揚水量変化図を示す。

RW では、設定した揚水量に対して水位低下量が大きく、揚水開始から2時間程度で揚水量を減少させた。

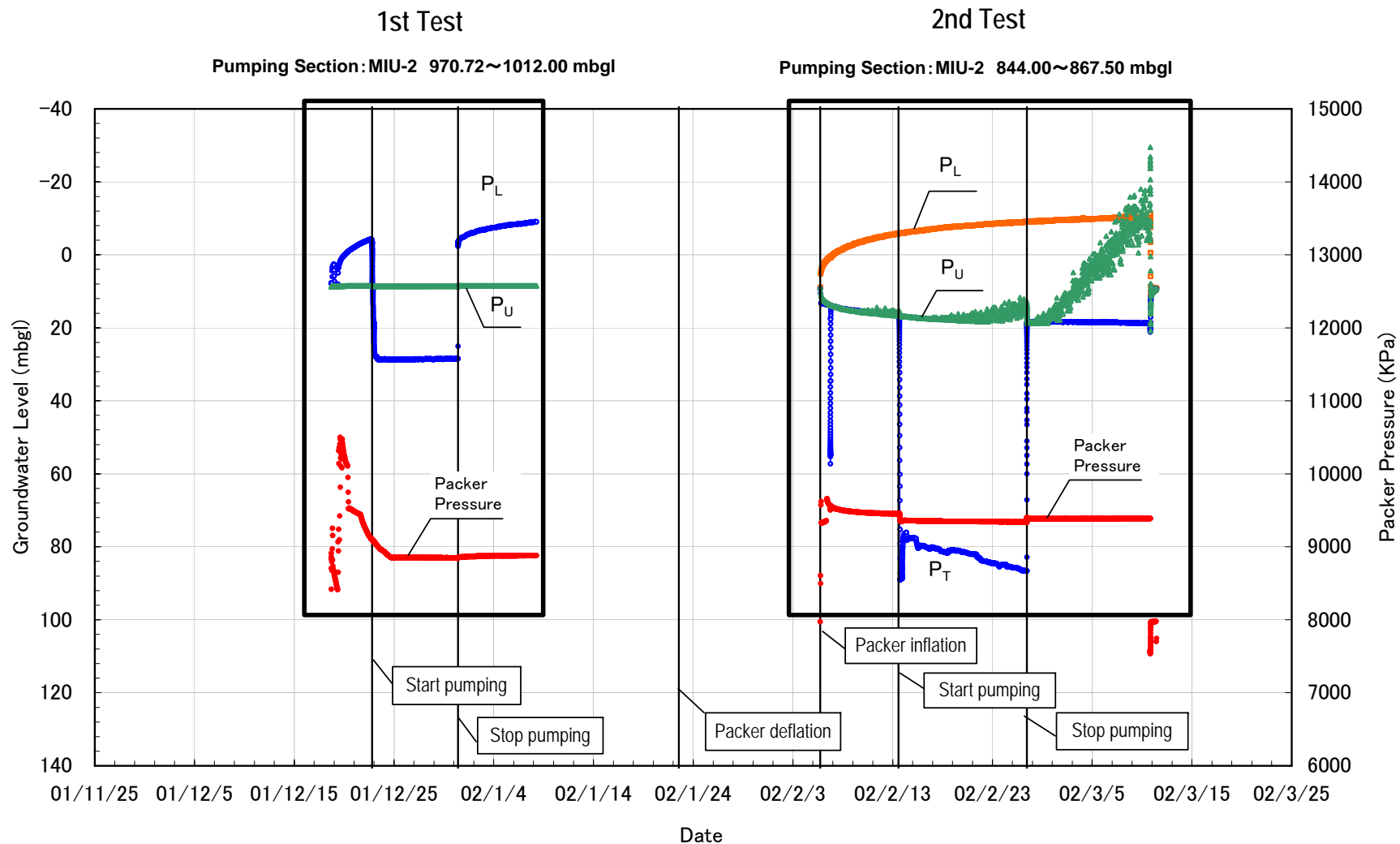


図-5.1.1 区間水位変化図 (第1回及び第2回試験、MIU-2号孔)

P_U : 上部区間水位、P_T : 試験区間水位、P_L : 下部区間水位

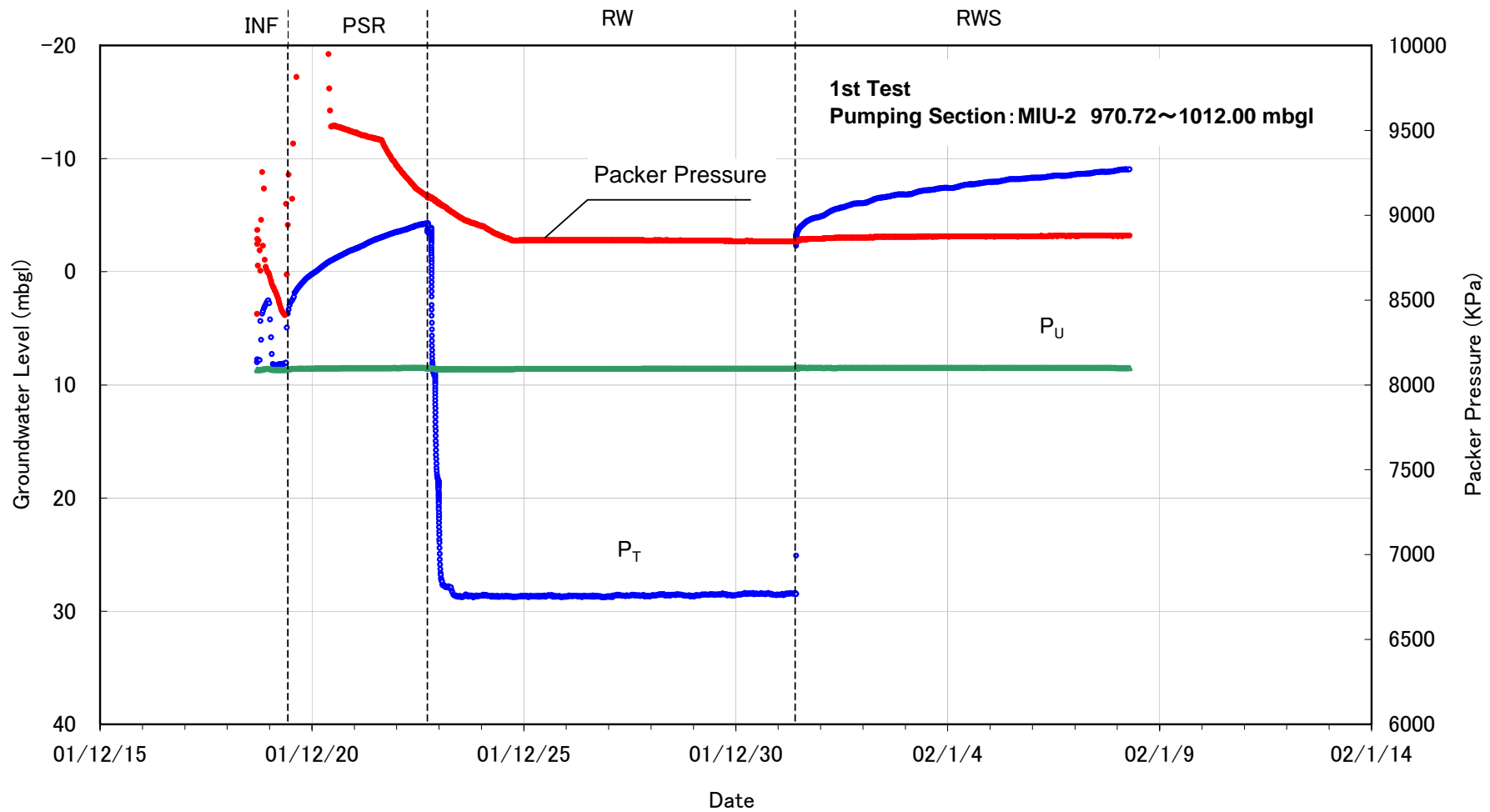


図-5.1.2 揚水孔内の圧力変化図 (第1回試験、MIU-2 孔)

P_U : 上部区間水圧、 P_T : 試験区間水圧

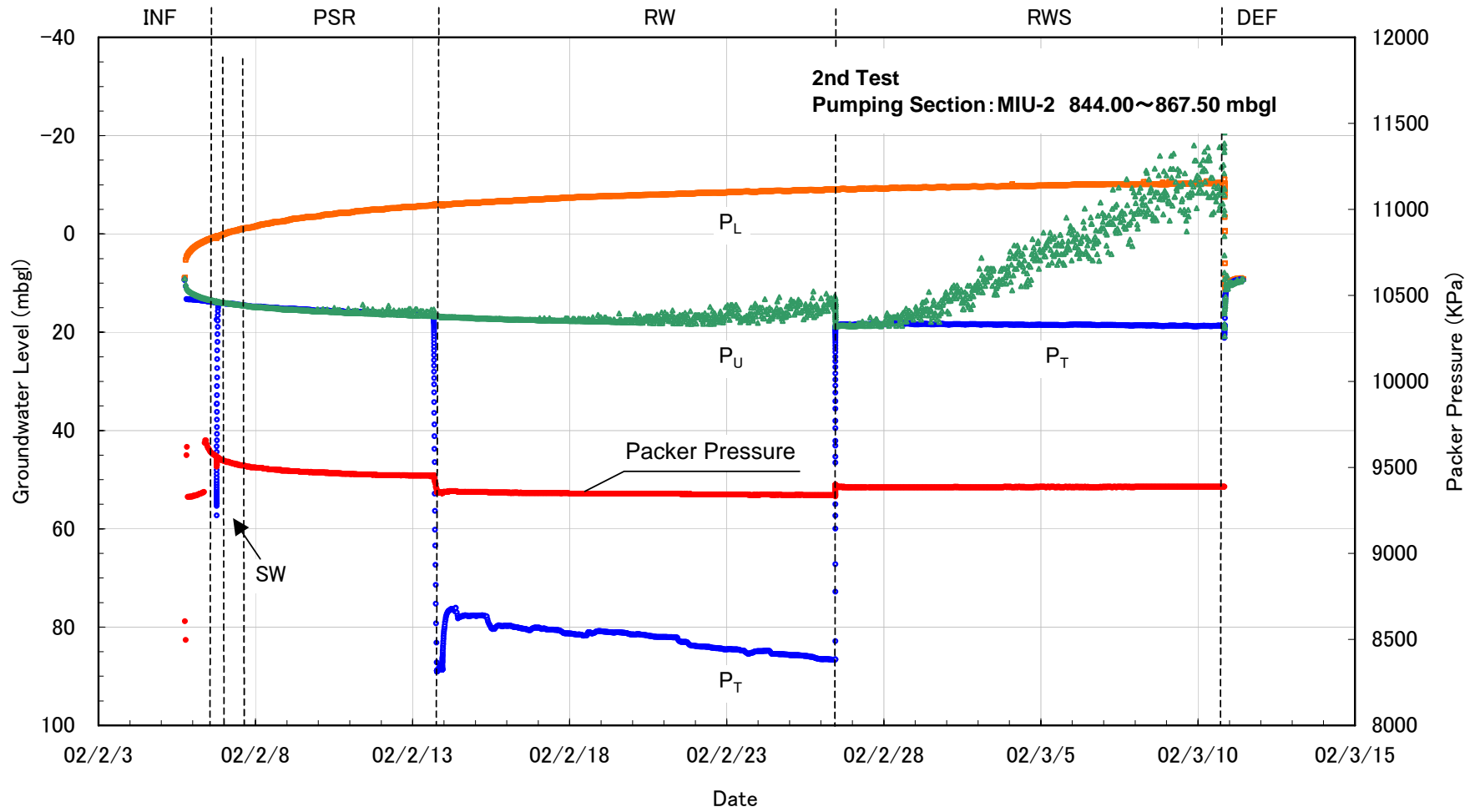


図-5.1.3 揚水孔内の圧力変化図（第2回試験、MIU-2孔）

P_U ：上部区間水圧、 P_T ：試験区間水圧、 P_L ：下部区間水圧

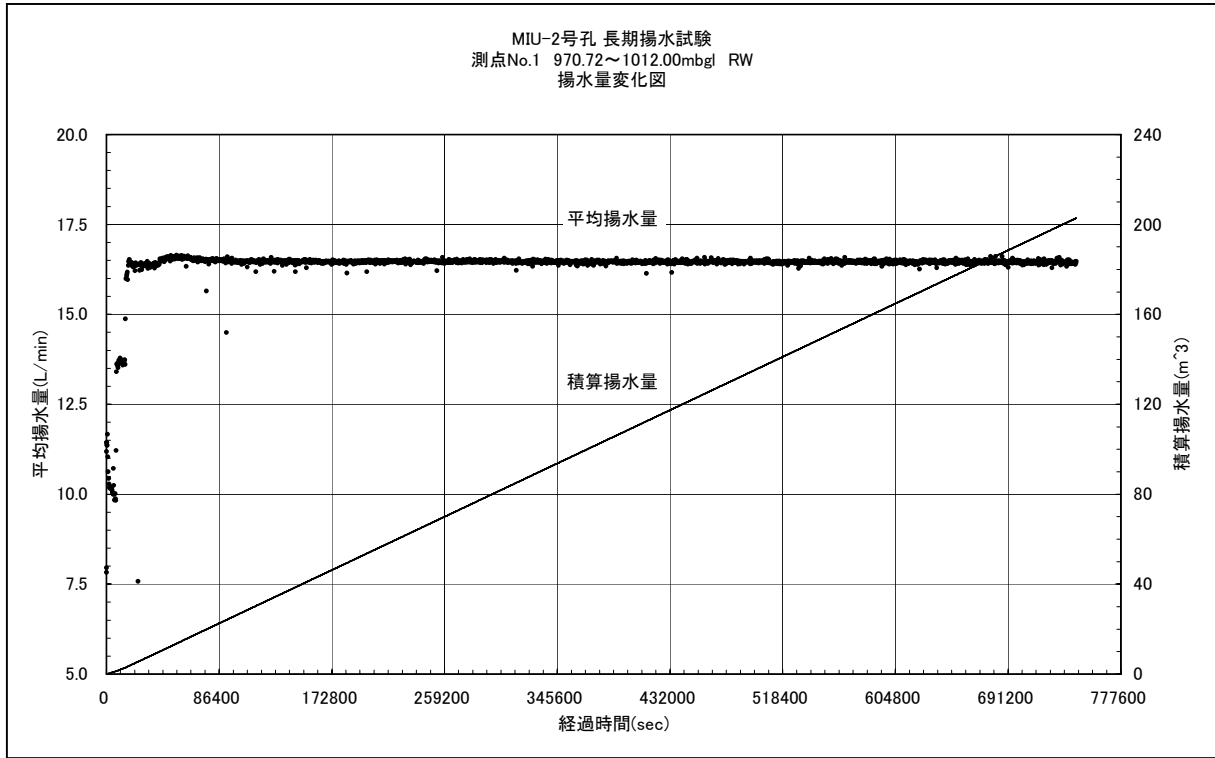


図 5.1.4 平均揚水量—積算揚水量変化図 (第 1 回試験)

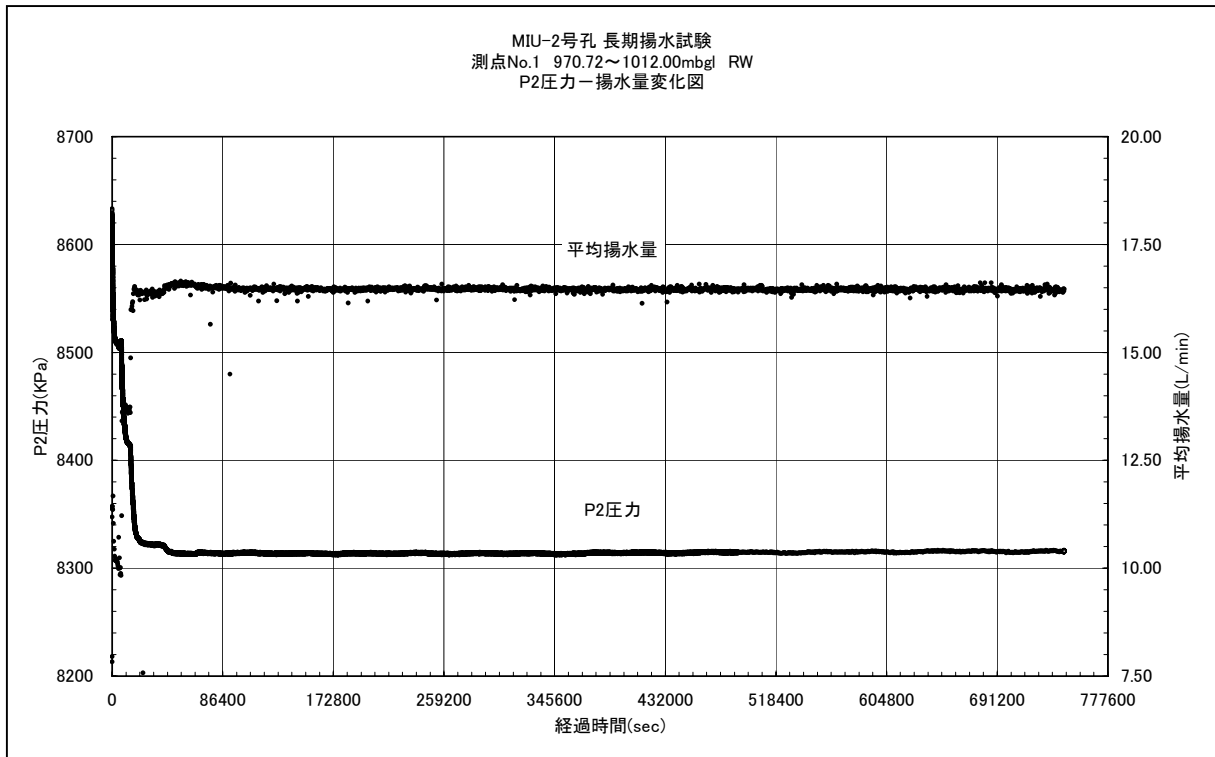


図 5.1.5 平均揚水量—揚水区間圧力変化図 (第 1 回試験)

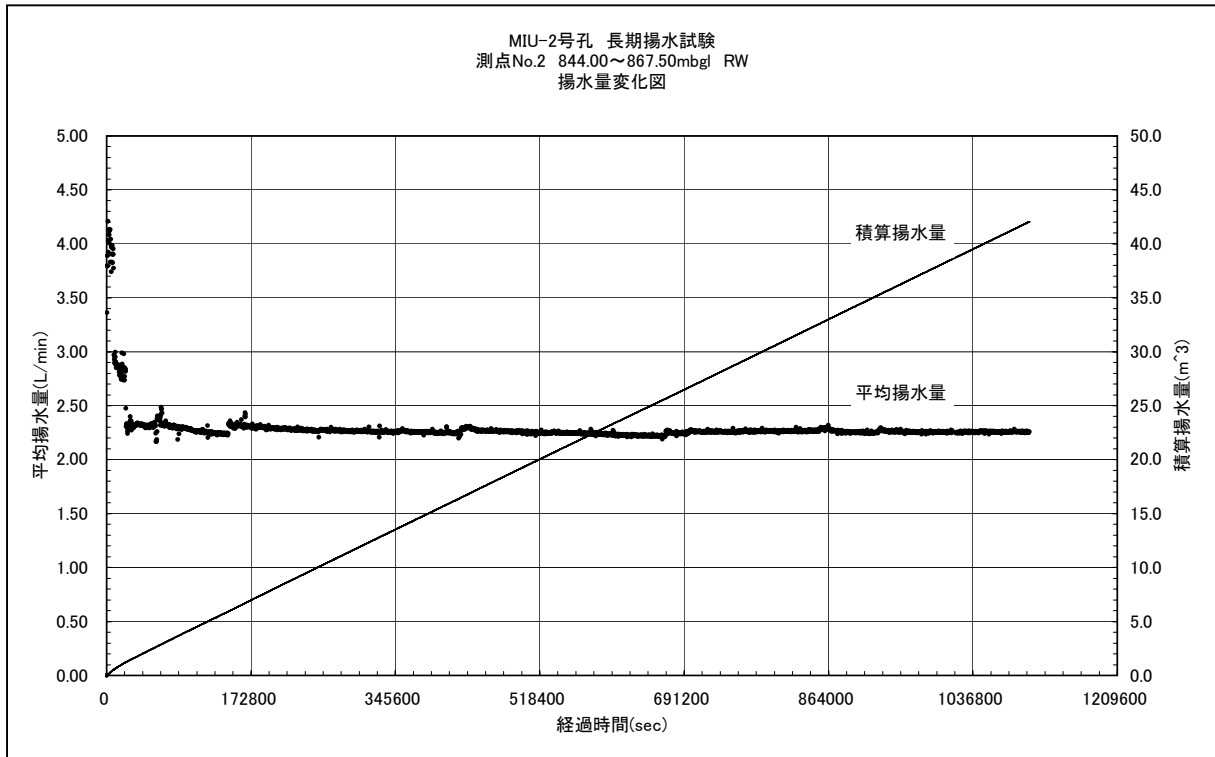


図 5.1.6 平均揚水量—積算揚水量変化図 (第2回試験)

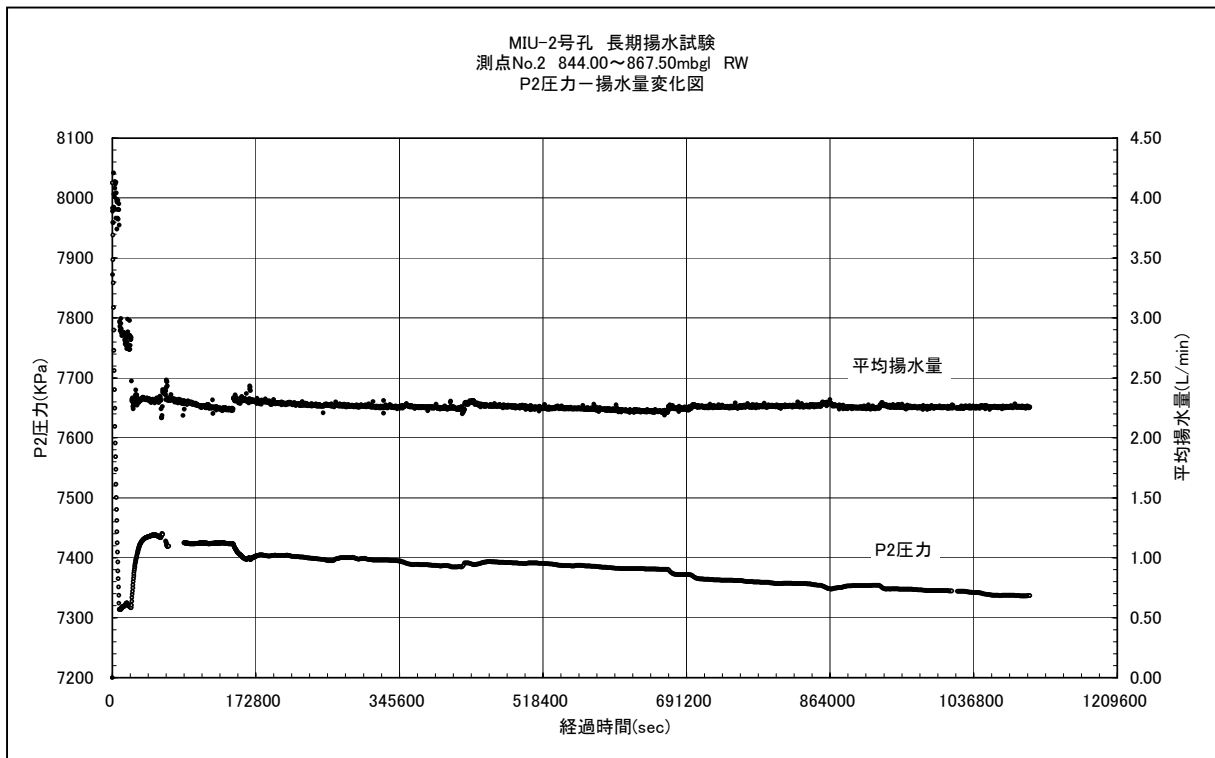


図 5.1.7 平均揚水量—揚水区間圧力変化図 (第2回試験)

(2) 観測孔における水圧経時変化

MP システムにより測定された MIU-1, MIU-3, AN-1, AN-3 各号孔における水圧変化を図-5.1.8～図-5.1.58 に示す。図中には、パッカー拡張及び収縮、ならびに揚水試験の開始・終了時刻を示した。

これらの水圧変化グラフにおいて、試験直前の変化を見ると、月吉断層の上盤側に位置する観測区間では明瞭な上昇傾向を示しており、下盤側では逆に水圧低下傾向が見られる（各区間の上下盤の区分については表-5.1.1 を参照）。

この傾向は、MIU-2 号孔内装置の設置中、同孔が透水経路となって断層上下部の水圧が同一値に漸近していたものが、パッカーの拡張による断層上下部の分離によって初期の水圧場に回復しつつあるものと解釈できる。

本来であれば、水圧場が安定した後に水理試験を開始することが望ましいが、工程上の制約から、やむを得ず非定常状態から試験を開始した。そこで、試験結果の解釈及び解析にあたっては、水理場の応答が線形であり重ね合わせの原理が成立することを仮定し、上記の非定常過程を除去することとした。

揚水試験期間中における水圧変化において、明瞭な応答が認められた区間を表-5.1.1 に示す。この表から、第 1 回試験（下盤揚水試験）では下盤側に位置する MIU-3 号孔の PRB-5,6,7,8 区間、第 2 回試験（上盤揚水試験）では上盤側に位置する MIU-1 号孔の PRB-6,7,8,9 区間、において明瞭な応答が認められた。この結果は、当初想定された水理地質構造、すなわち、月吉断層による水理的な隔離構造と整合的である。

表-5.1.1 揚水試験期間中における応答の有無

Borehole	Prb #	Interval (mabh)	1st Test Pumping at Footwall	2nd Test Pumping at Footwall	Remarks
MIU-1	1	194.9-205.2	-	-	Hangingwall
	2	234.2-262.0	-	-	Hangingwall
	3	329.0-349.3	-	-	Hangingwall
	4	377.9-390.7	-	-	Hangingwall
	5	458.2-468.1	Data loss		Hangingwall
	6	835.7-869.6	-	○	Hangingwall
	7	872.1-923.9	-	○	Hangingwall
	8	951.2-971.6	-	○	Hangingwall
	9	974.1-#####	-	○	Hangingwall
MIU-3	1	183.3-239.6	-	-	Hangingwall
	2	240.5-319.3	-	-	Hangingwall
	3	531.3-604.0	-	-	Hangingwall
	4	604.9-690.8	-	-	Hangingwall
	5	691.7-723.7	○	-	Tsukiyoshi Fault
	6	724.6-780.5	○	-	Footwall
	7	781.4-832.4	○	-	Footwall
	8	876.1-941.5	○	-	Footwall
MIU-4	1	150.6-213.5	-	-	Footwall
	2	286.1-316.0	-	-	Footwall
	3	316.9-412.2	-	-	Footwall
	4	413.1-490.5	-	-	Footwall
	5	491.4-575.1	-	-	Footwall
	6	576.0-659.8	-	-	Footwall
	7	660.7-667.4	-	-	Footwall
	8	668.3-689.1	-	-	Footwall
	9	690.0-759.3	-	-	Footwall
	10	754.8-790.1	-	-	Footwall
AN-1	1	49.2-97.7	-	-	Hangingwall
	2	98.7-150.4	-	-	Hangingwall
	3	202.3-250.7	-	-	Hangingwall
	4	251.7-268.5	-	-	Hangingwall
	5	301.5-349.7	-	-	Hangingwall
	6	450.1-507.2	-	-	Hangingwall
	7	508.2-536.4	-	-	Hangingwall
	8	543.3-549.7	-	-	Hangingwall
	9	597.8-646.5	No Data		Hangingwall
	10	743.7-792.8	-	-	Hangingwall
	11	793.8-840.5	Data loss		Hangingwall
	12	934.0-994.1	Data loss		Hangingwall
AN-3	1	93.9-103.5	-	-	Hangingwall
	2	118.0-130.6	-	-	Hangingwall
	3	149.5-159.1	-	-	Hangingwall
	4	254.5-274.6	No Data		Hangingwall
	5	295.0-304.6	-	-	Hangingwall

○：明瞭な応答有り、－：応答無し

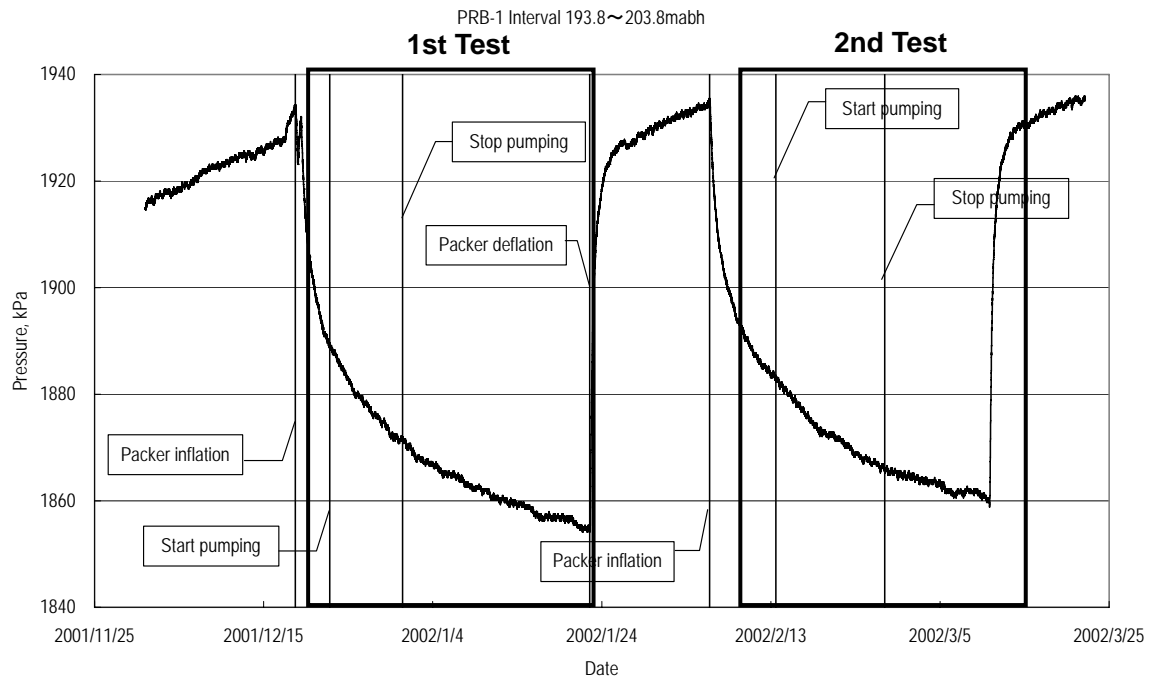


図-5.1.8 MIU-1 孔における水圧測定結果 (PRB-1)

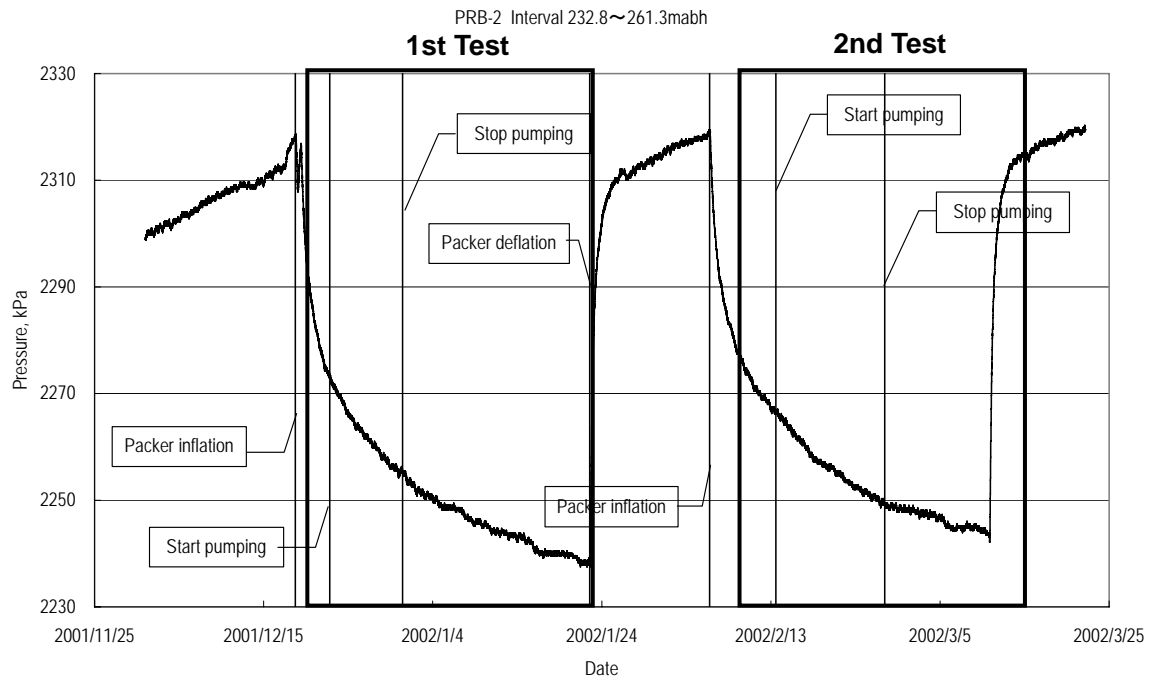


図-5.1.9 MIU-1 孔における水圧測定結果 (PRB-2)

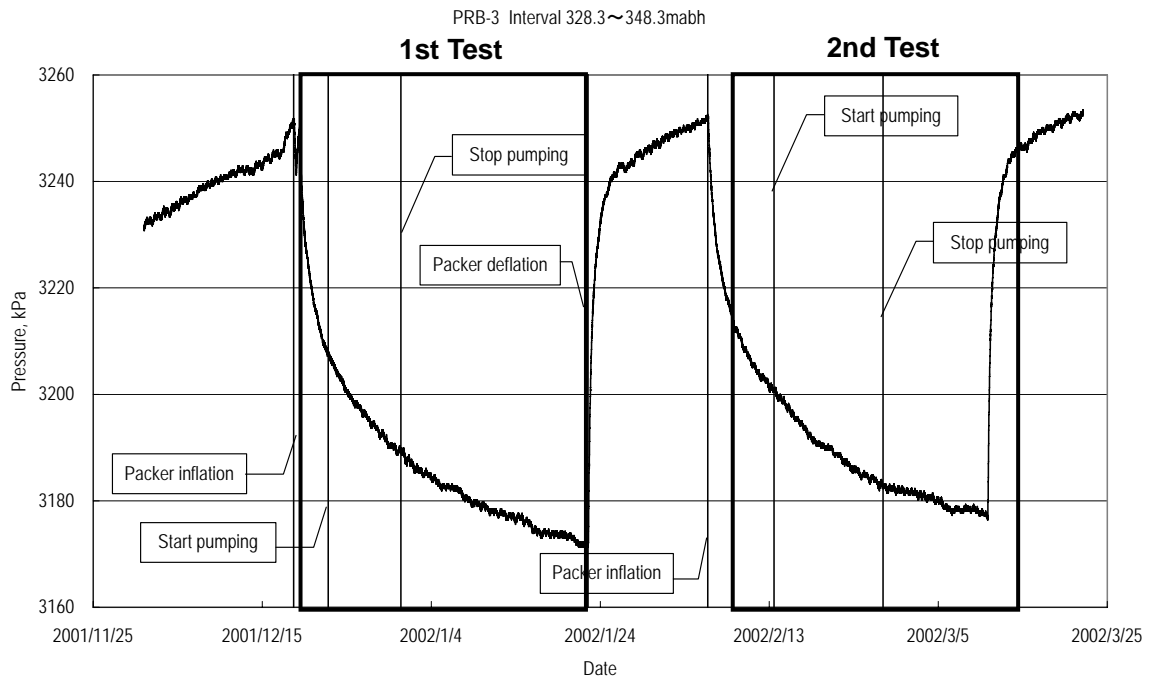


図-5.1.10 MIU-1 孔における水圧測定結果 (PRB-3)

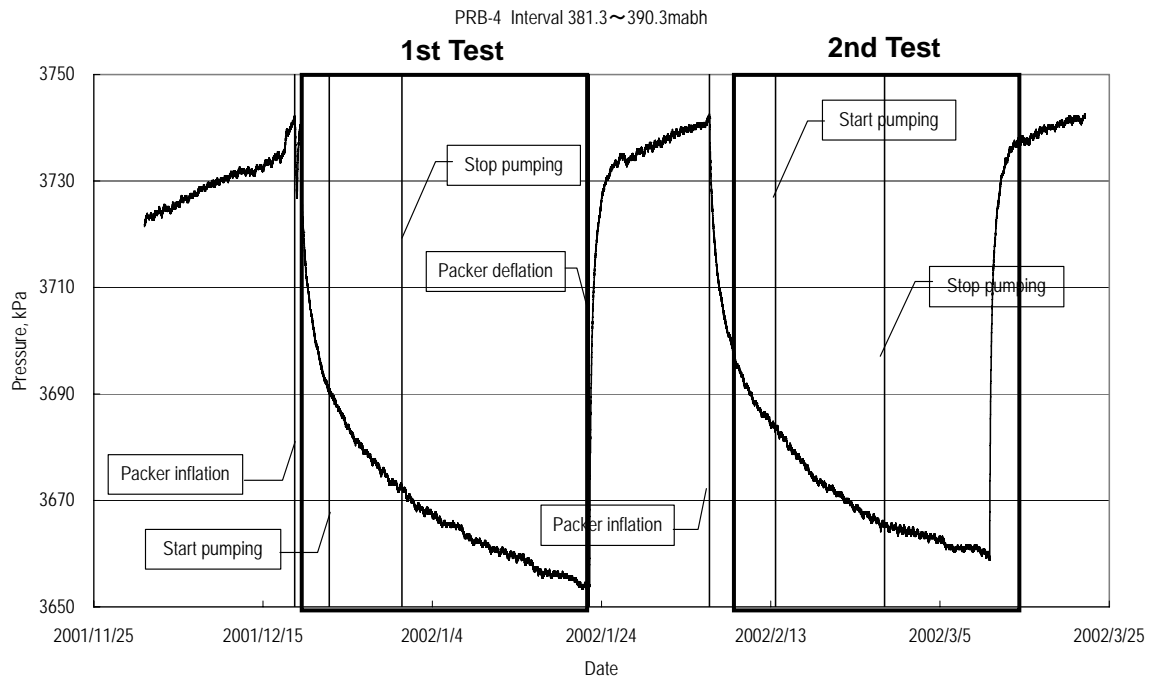


図-5.1.11 MIU-1 孔における水圧測定結果 (PRB-4)

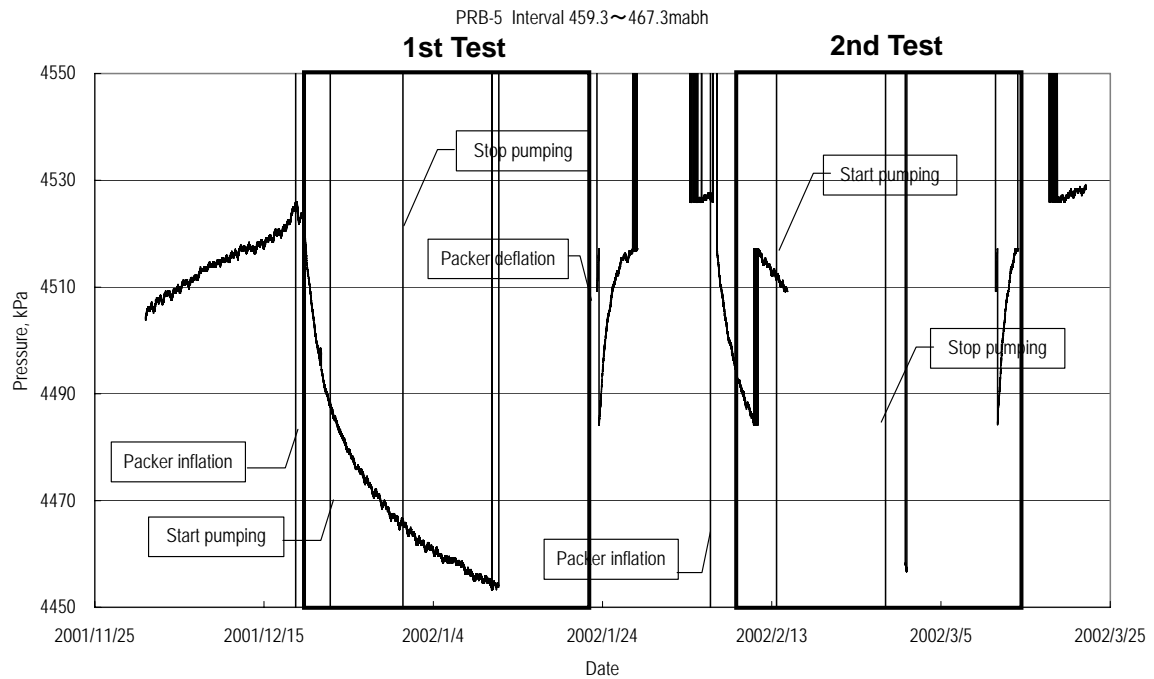


図-5.1.12 MIU-1 孔における水圧測定結果 (PRB-5)

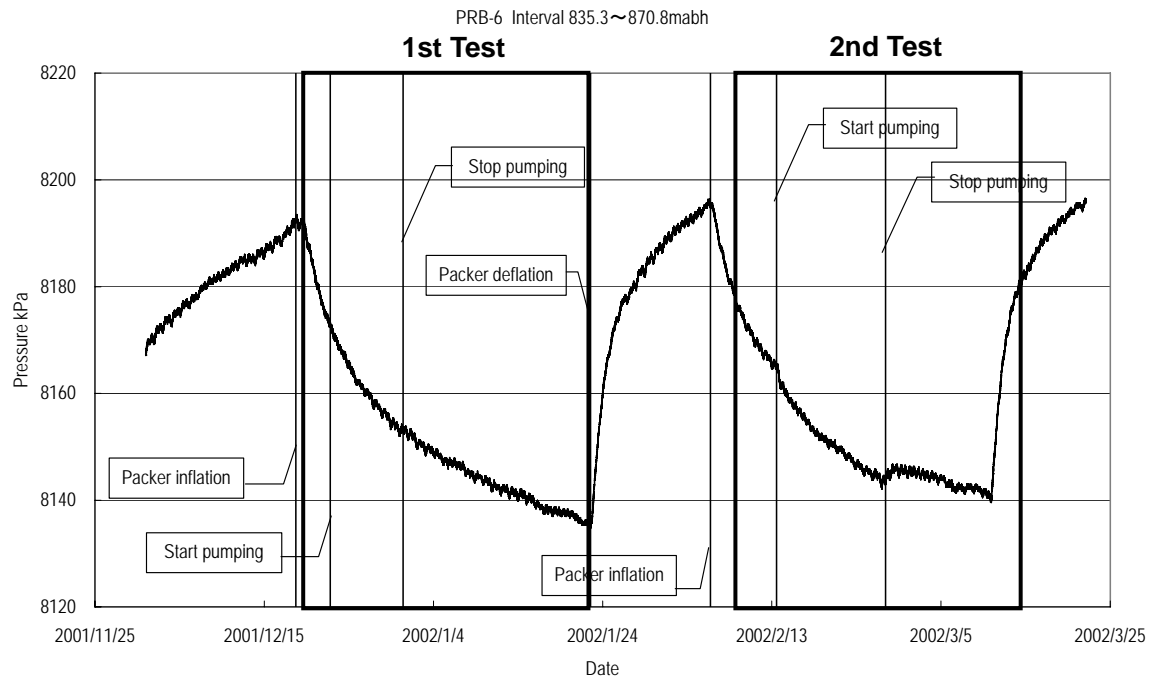


図-5.1.13 MIU-1 孔における水圧測定結果 (PRB-6)

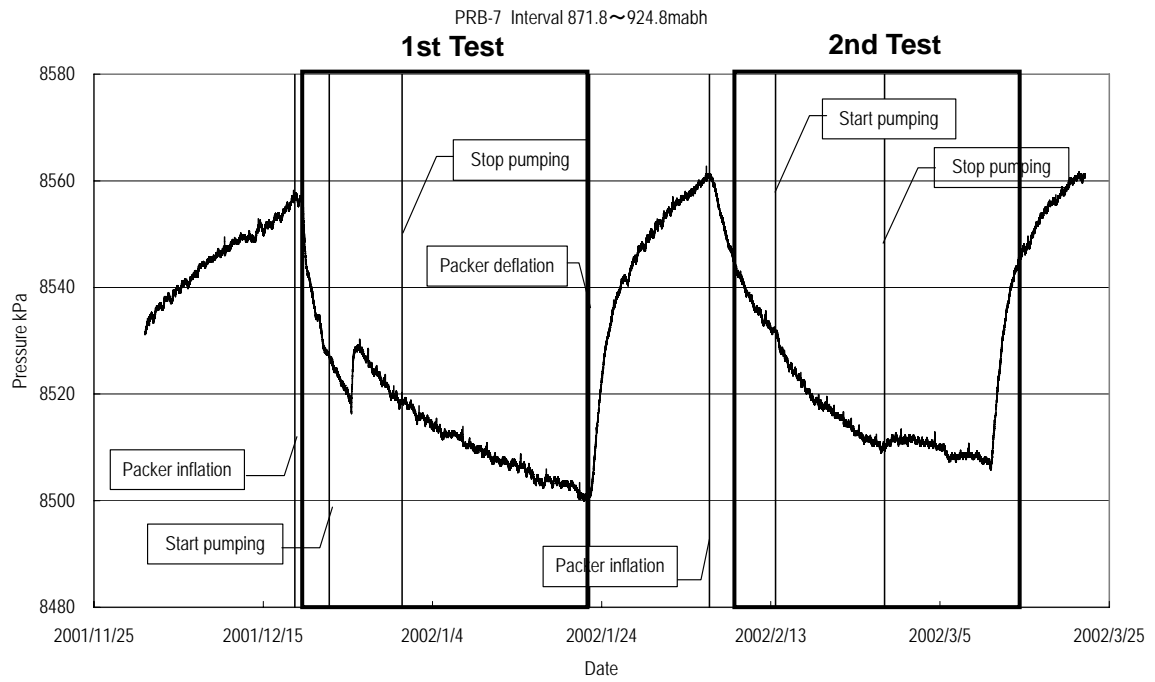


図-5.1.14 MIU-1 孔における水圧測定結果 (PRB-7)

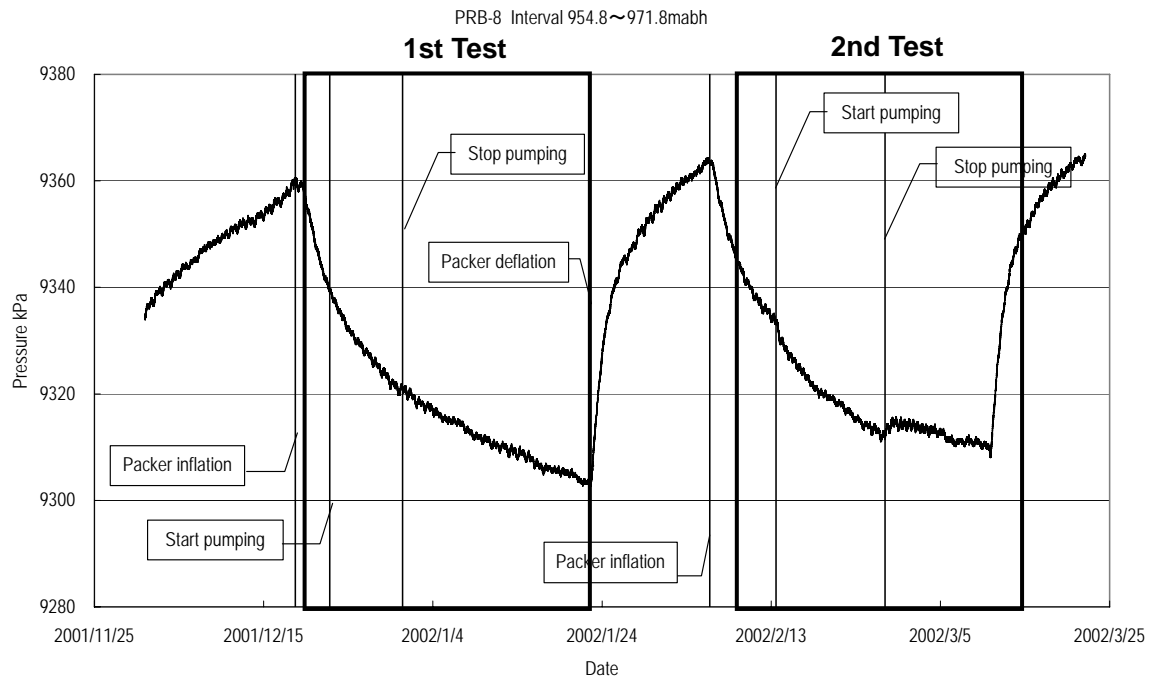


図-5.1.15 MIU-1 孔における水圧測定結果 (PRB-8)

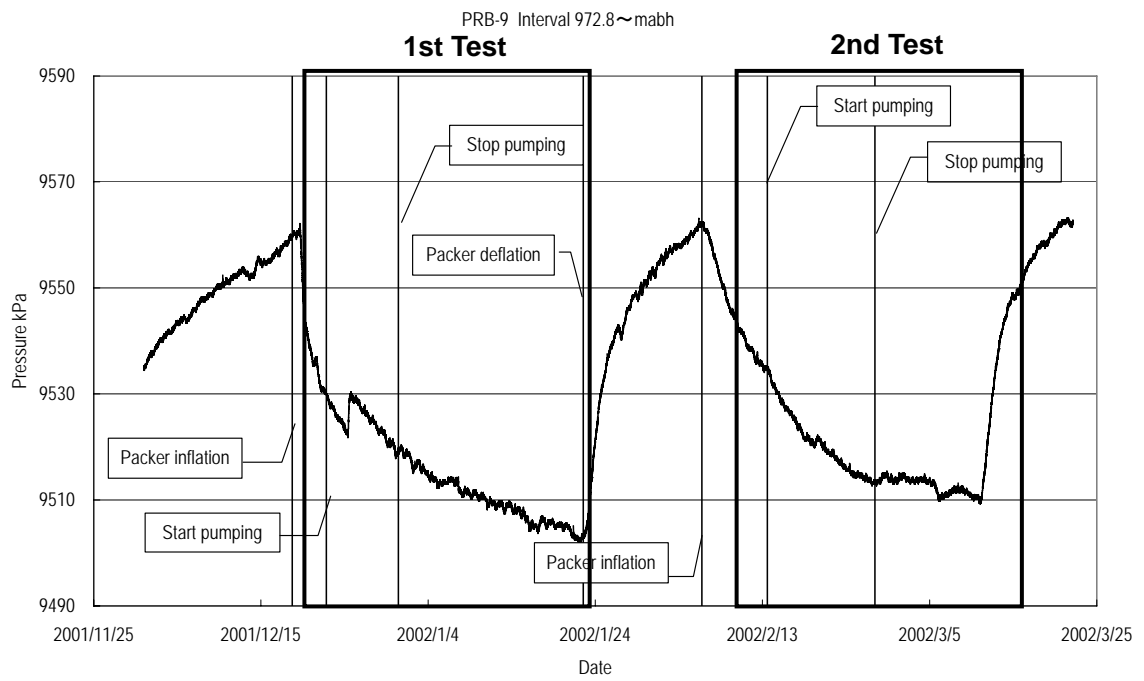


図-5.1.16 MIU-1 孔における水圧測定結果 (PRB-9)

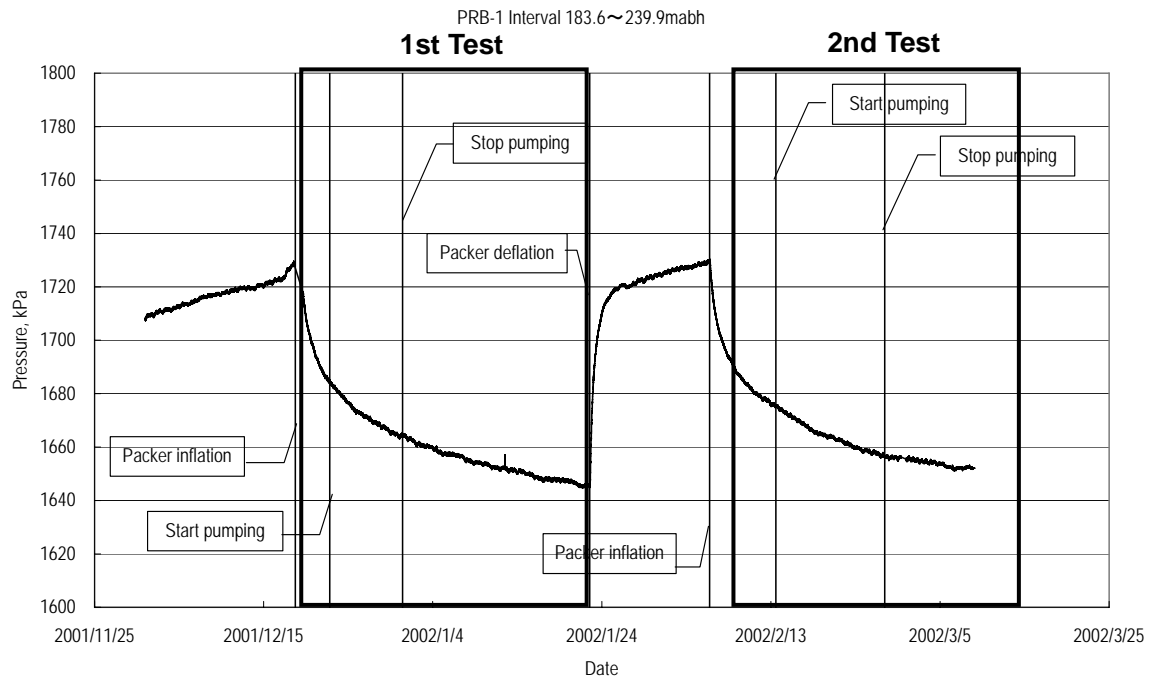


図-5.1.17 MIU-3 孔における水圧測定結果 (PRB-1)

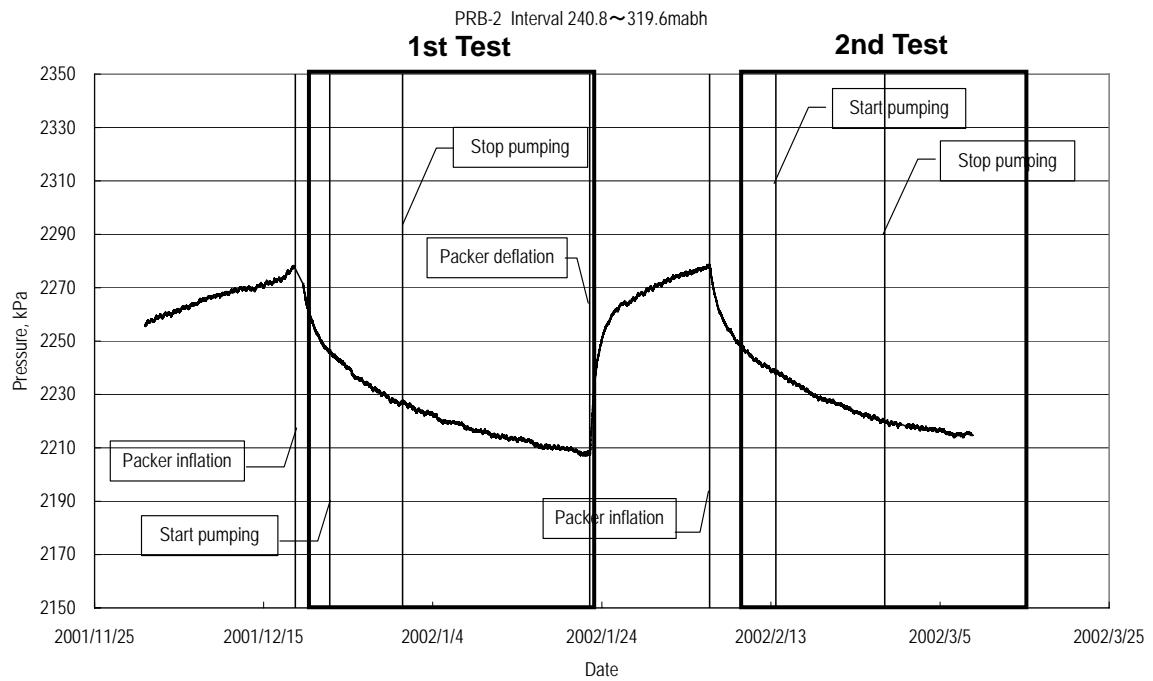


図-5.1.18 MIU-3 孔における水圧測定結果 (PRB-2)

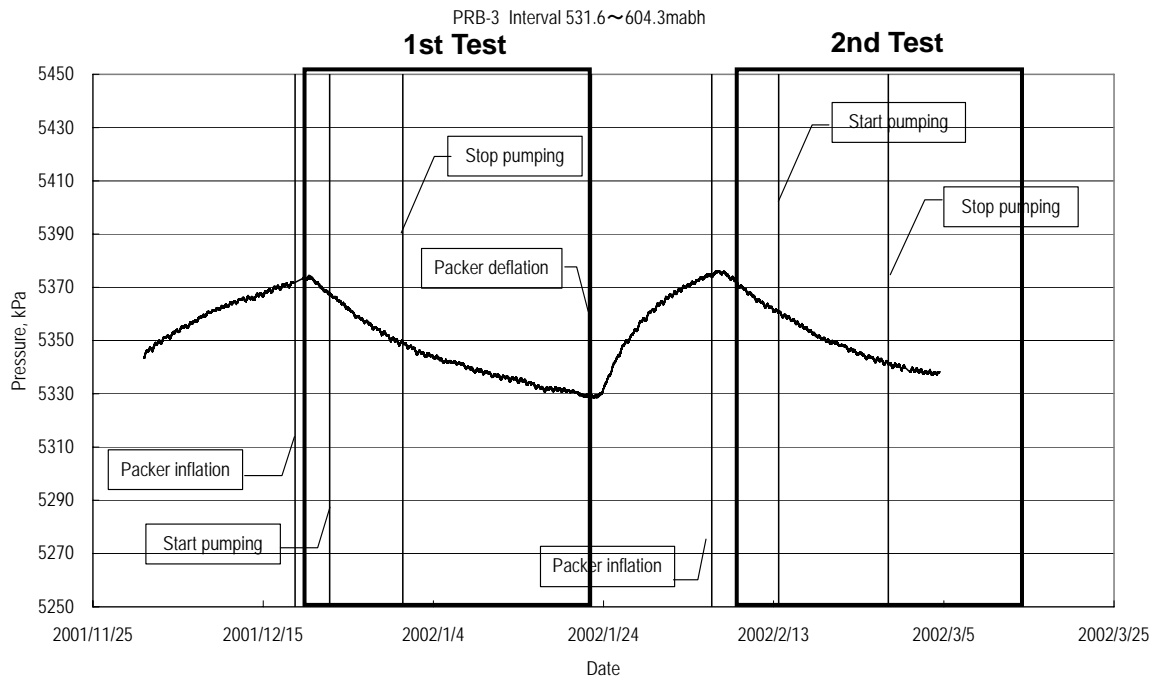


図-5.1.19 MIU-3 孔における水圧測定結果 (PRB-3)

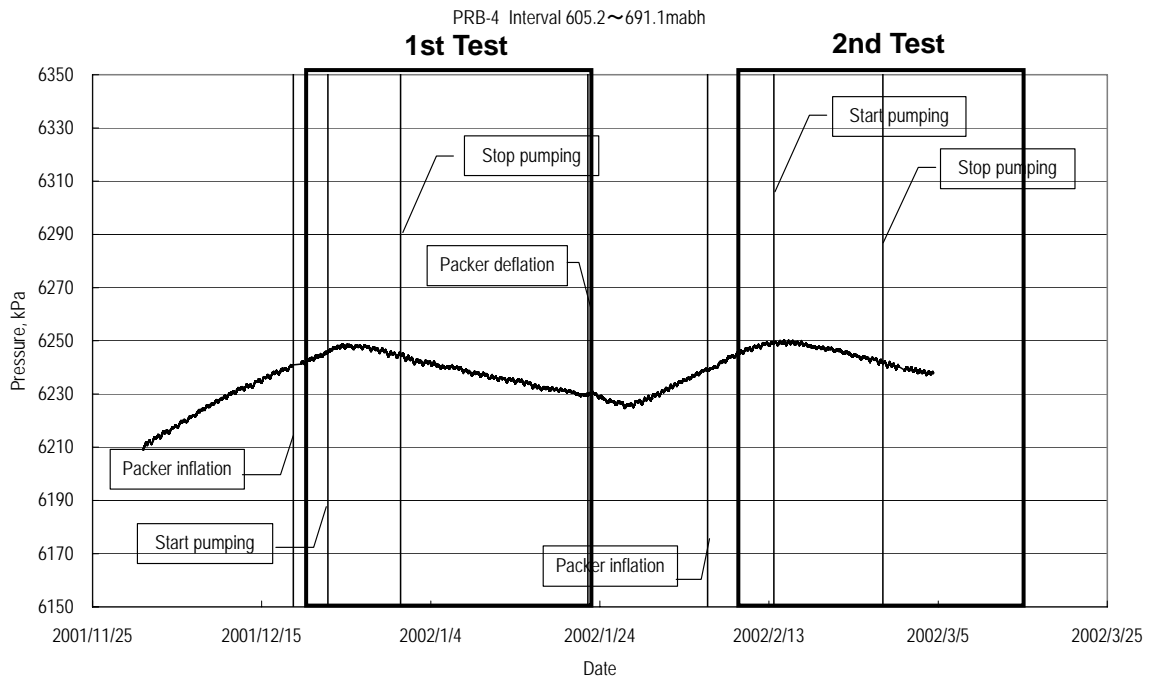


図-5.1.20 MIU-3 孔における水圧測定結果 (PRB-4)

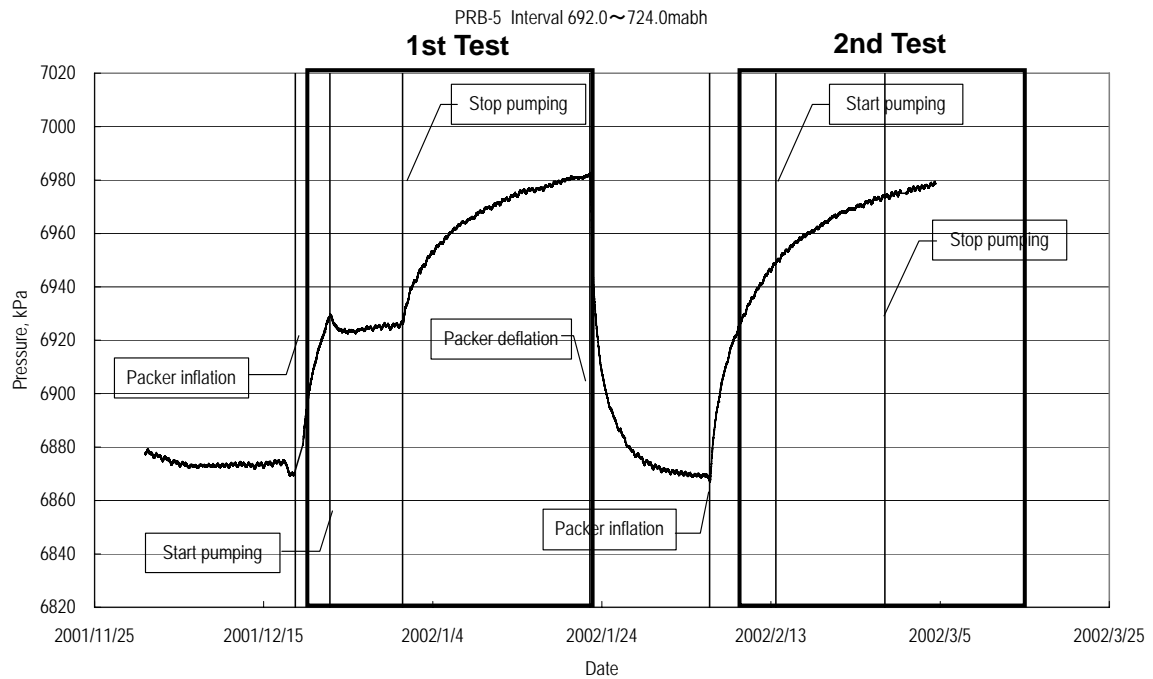


図-5.1.21 MIU-3 孔における水圧測定結果 (PRB-5)

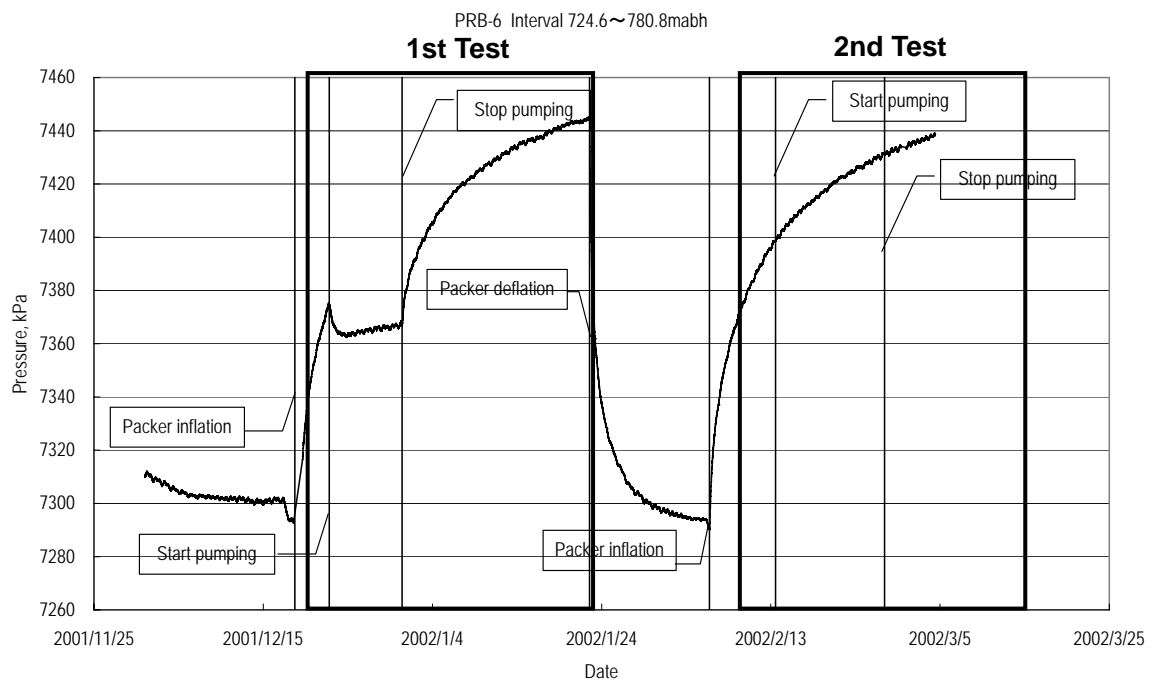


図-5.1.22 MIU-3 孔における水圧測定結果 (PRB-6)

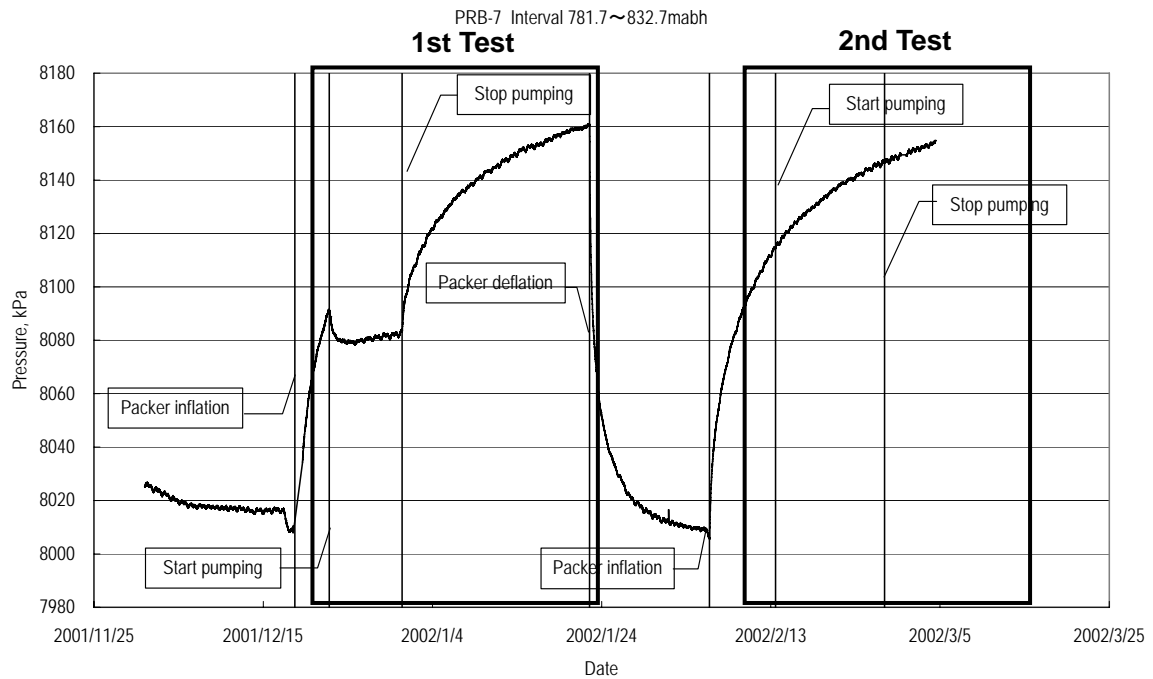


図-5.1.23 MIU-3 孔における水圧測定結果 (PRB-7)

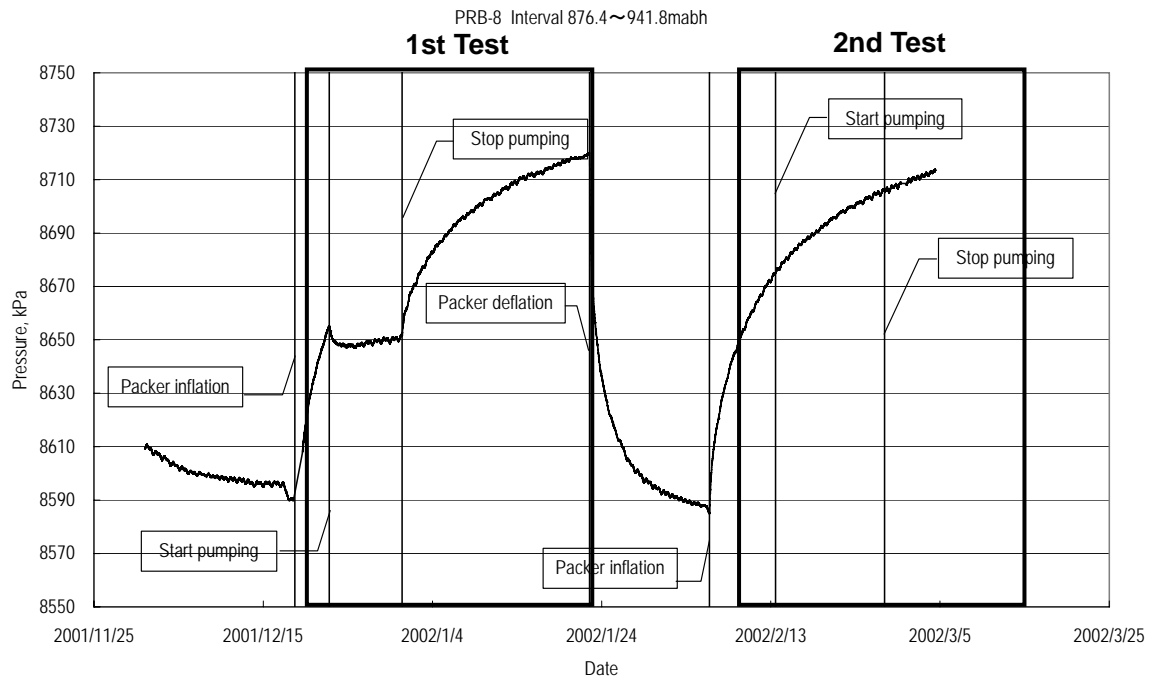


図-5.1.24 MIU-3 孔における水圧測定結果 (PRB-8)

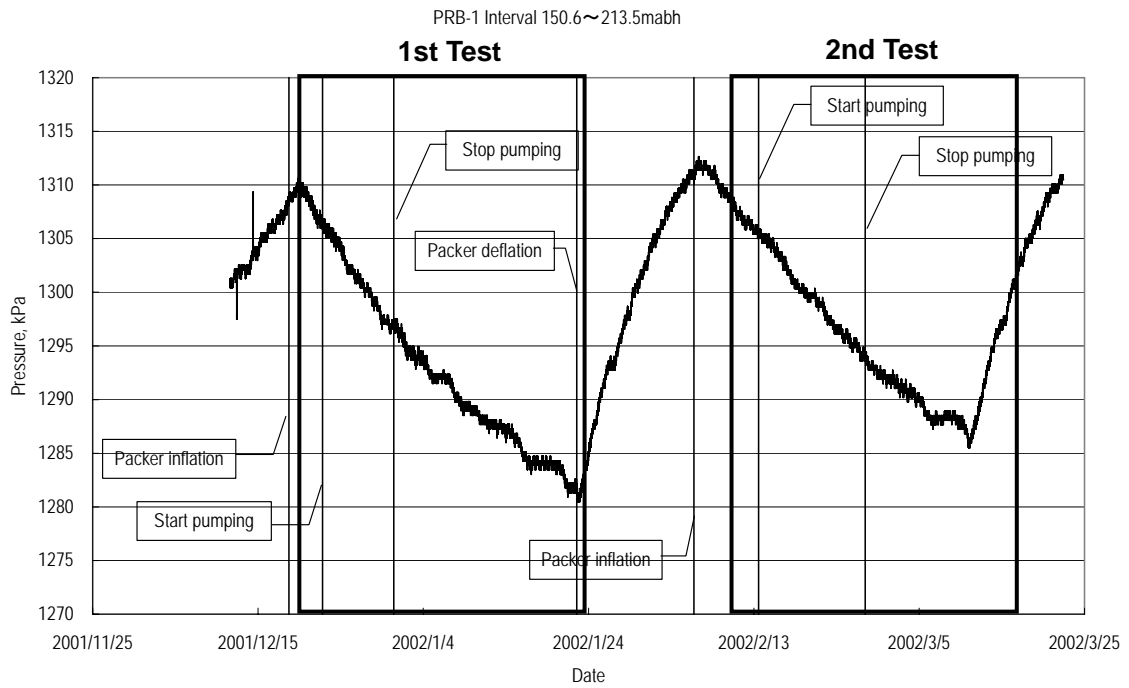


図-5.1.25 MIU-4 孔における水圧測定結果 (PRB-1)

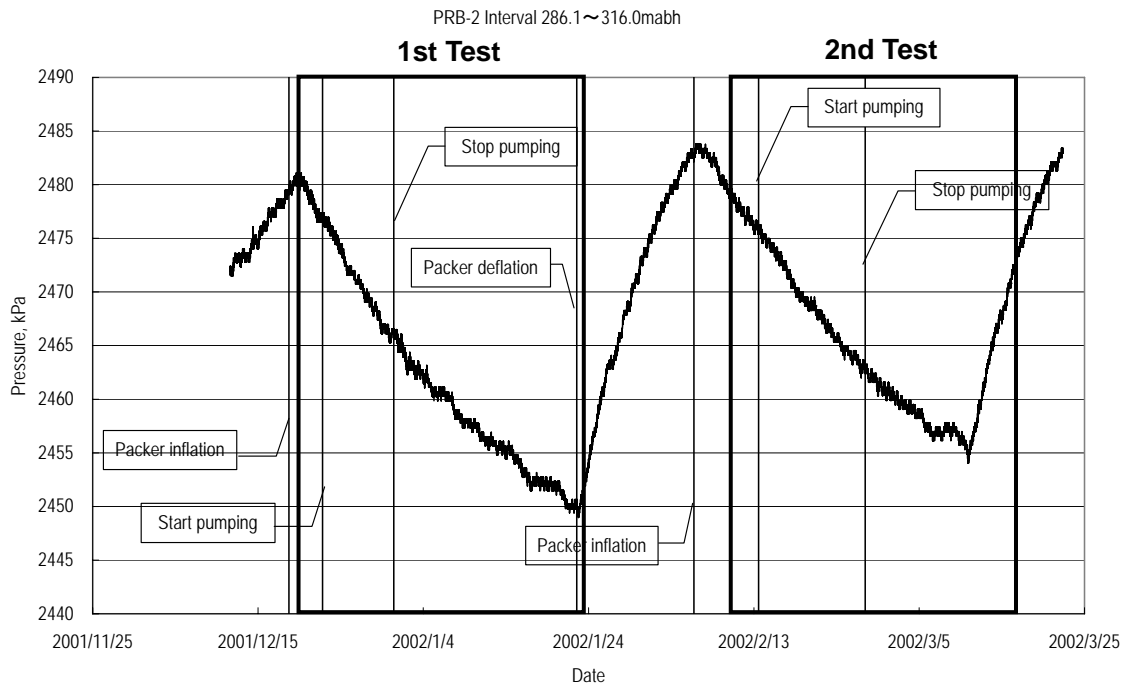


図-5.1.26 MIU-4 孔における水圧測定結果 (PRB-2)

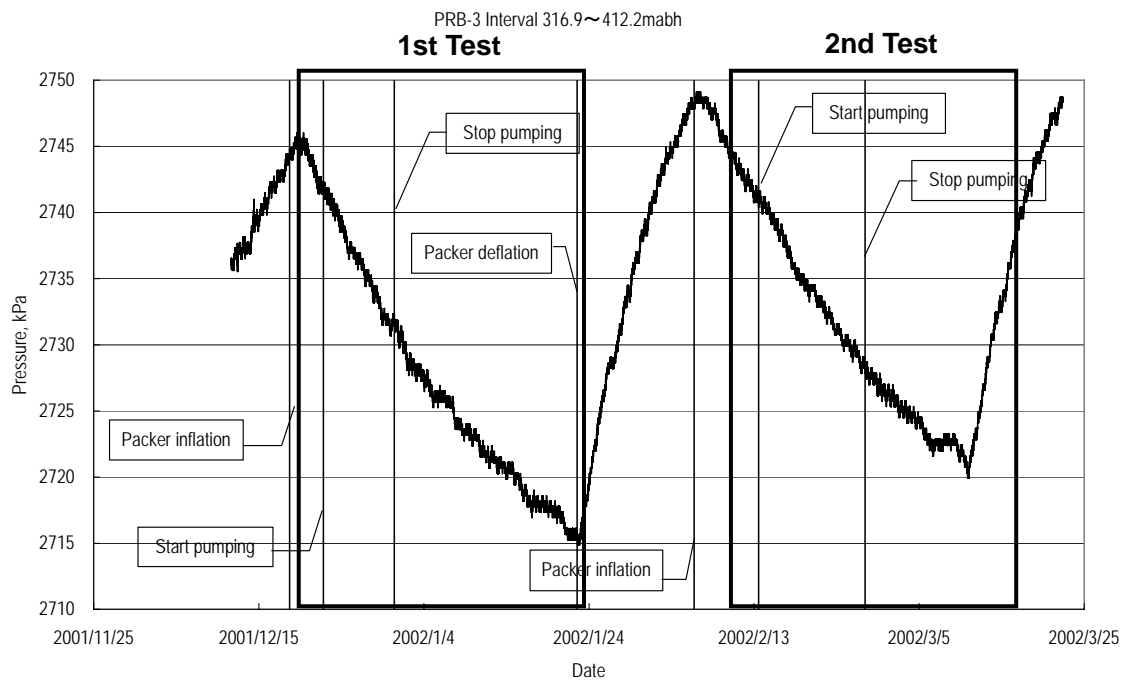


図-5.1.27 MIU-4 孔における水圧測定結果 (PRB-3)

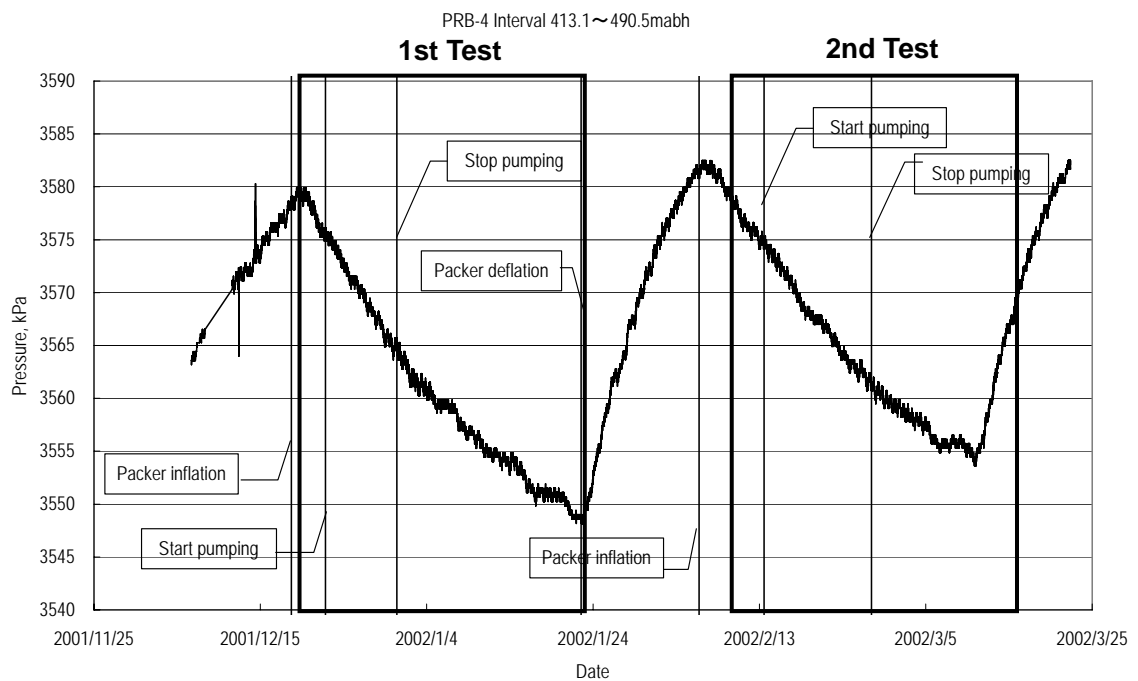


図-5.1.28 MIU-4 孔における水圧測定結果 (PRB-4)

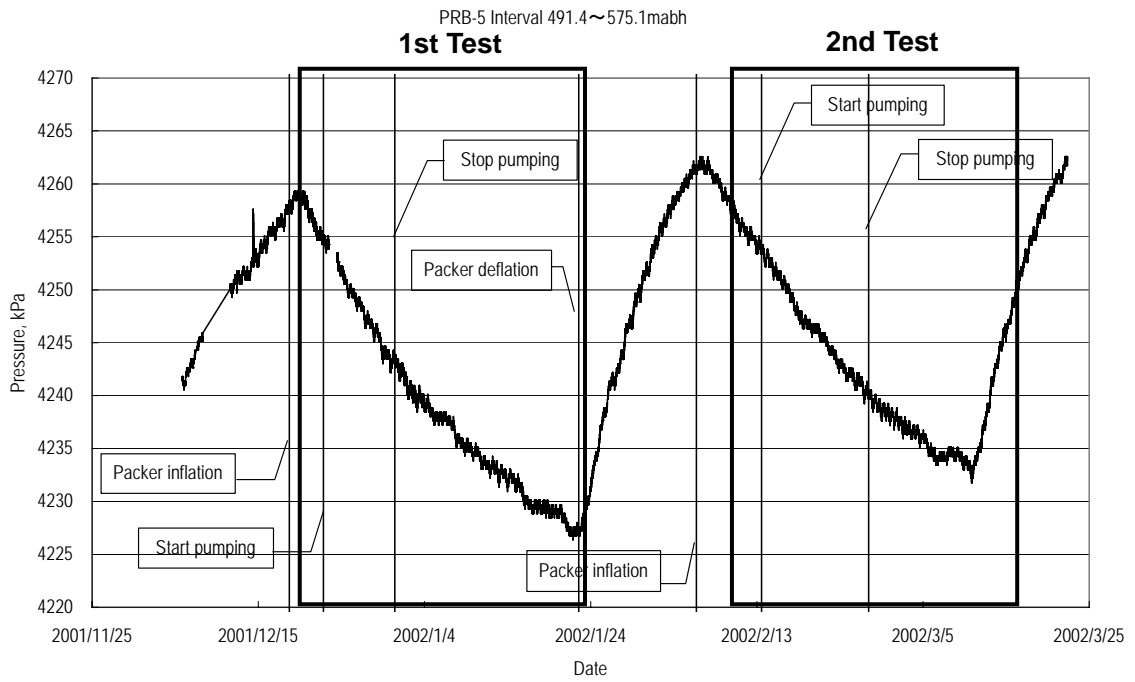


図-5.1.29 MIU-4 孔における水圧測定結果 (PRB-5)

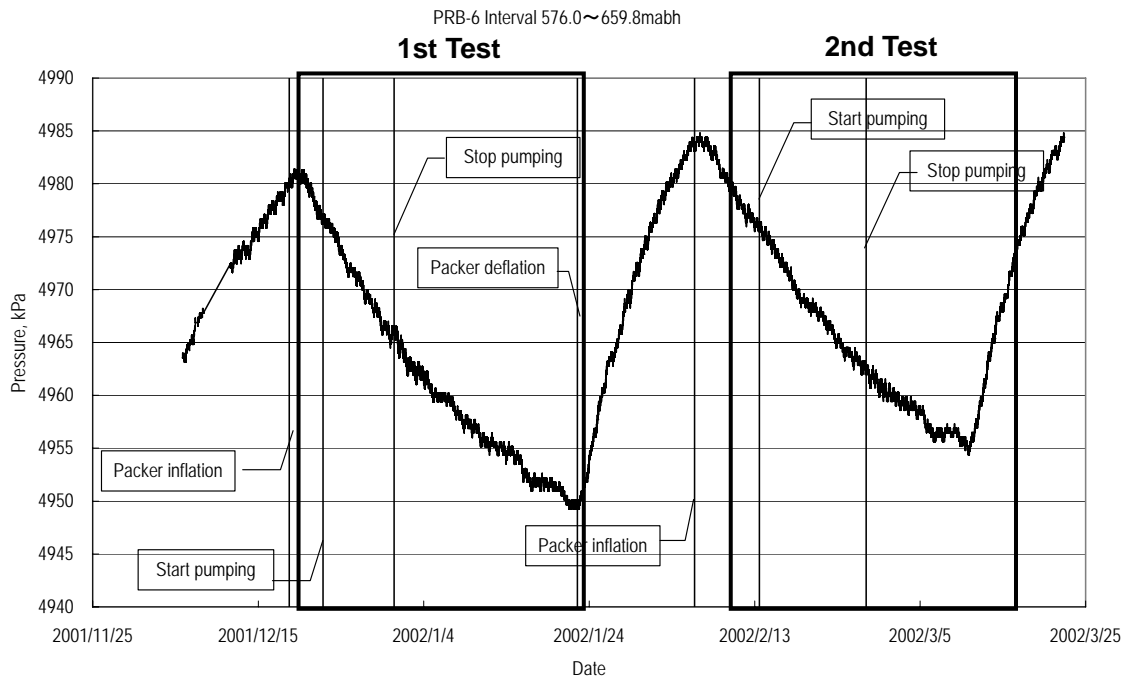


図-5.1.30 MIU-4 孔における水圧測定結果 (PRB-6)

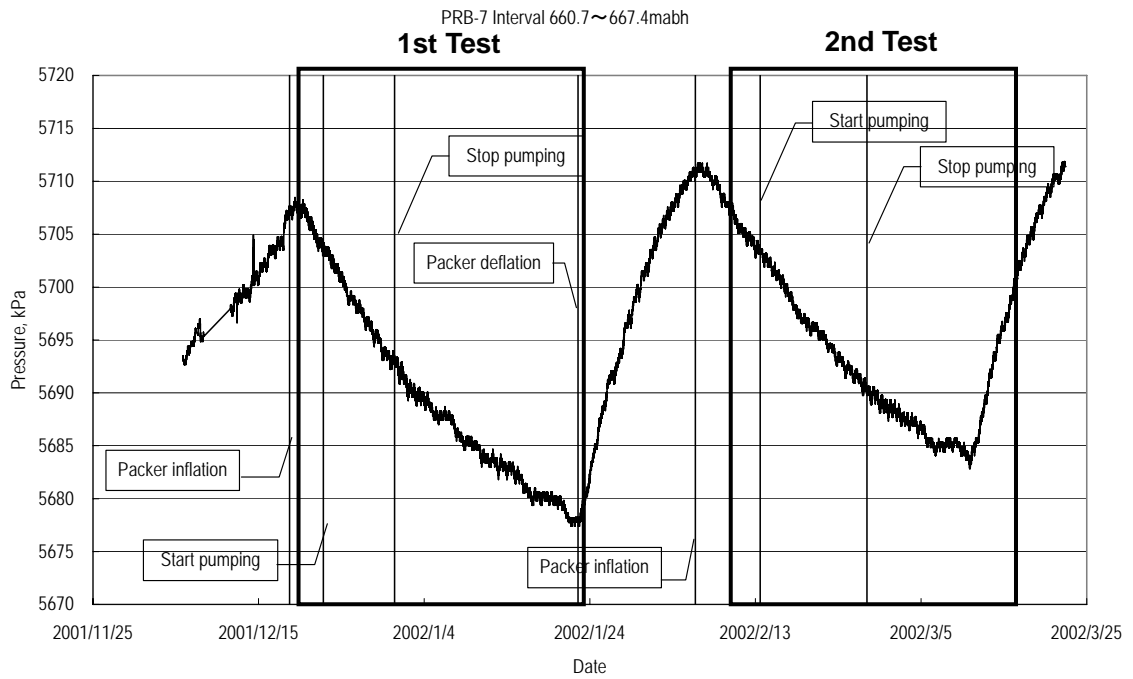


図-5.1.31 MIU-4 孔における水圧測定結果 (PRB-7)

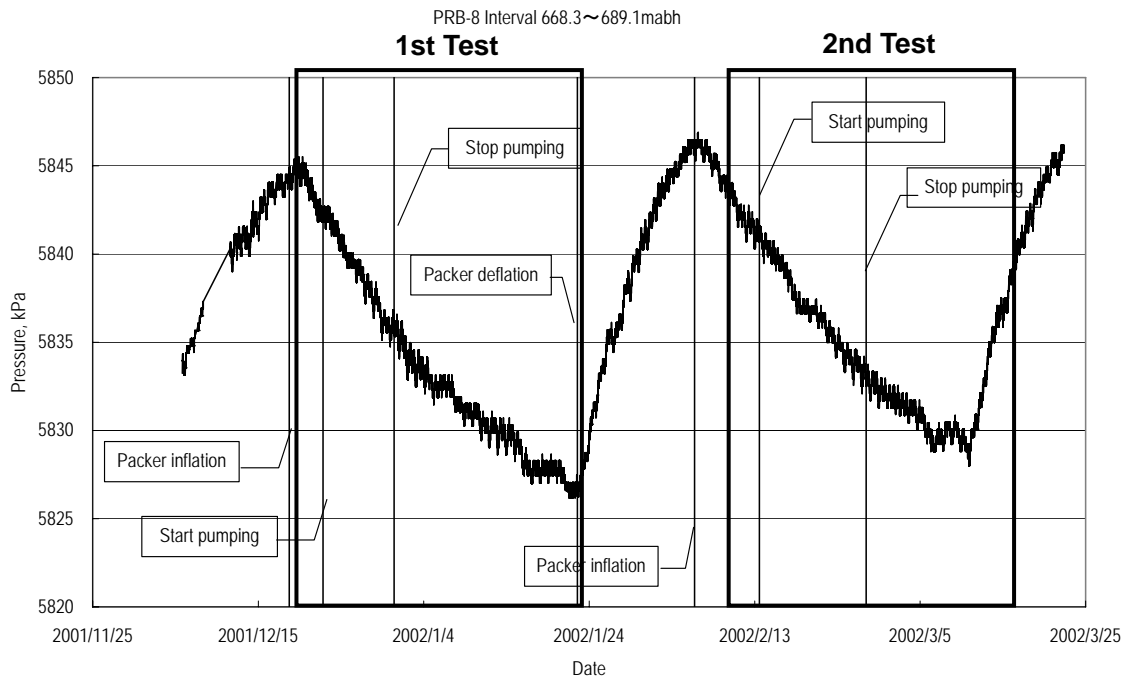


図-5.1.32 MIU-4 孔における水圧測定結果 (PRB-8)

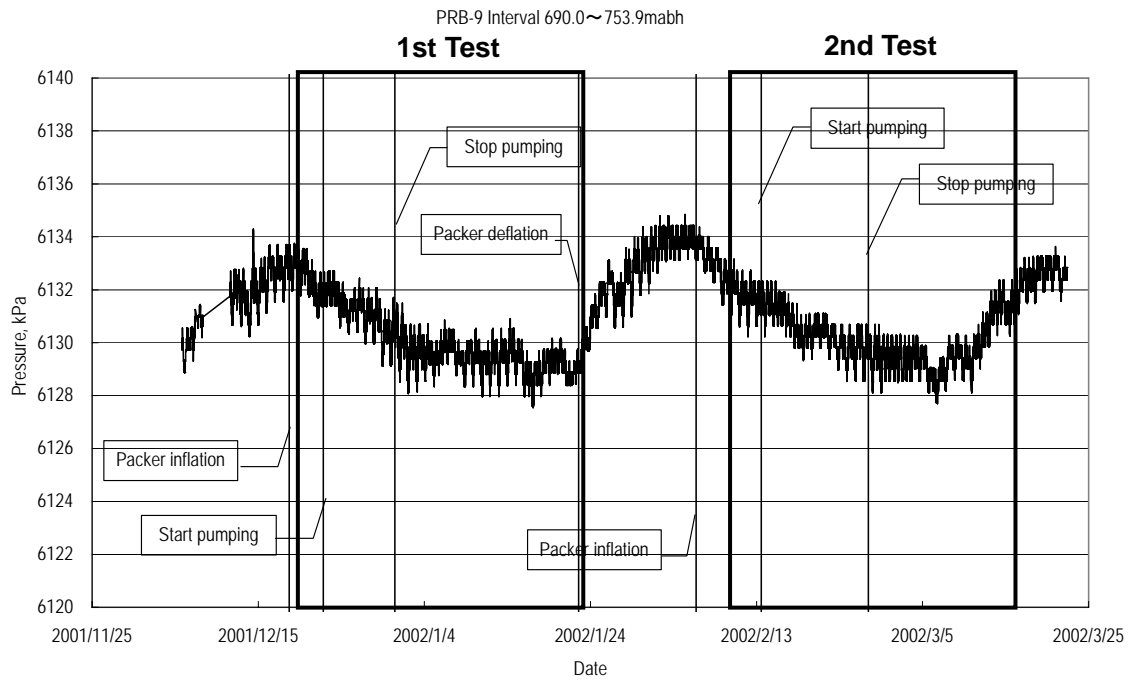


図-5.1.33 MIU-4 孔における水圧測定結果 (PRB-9)

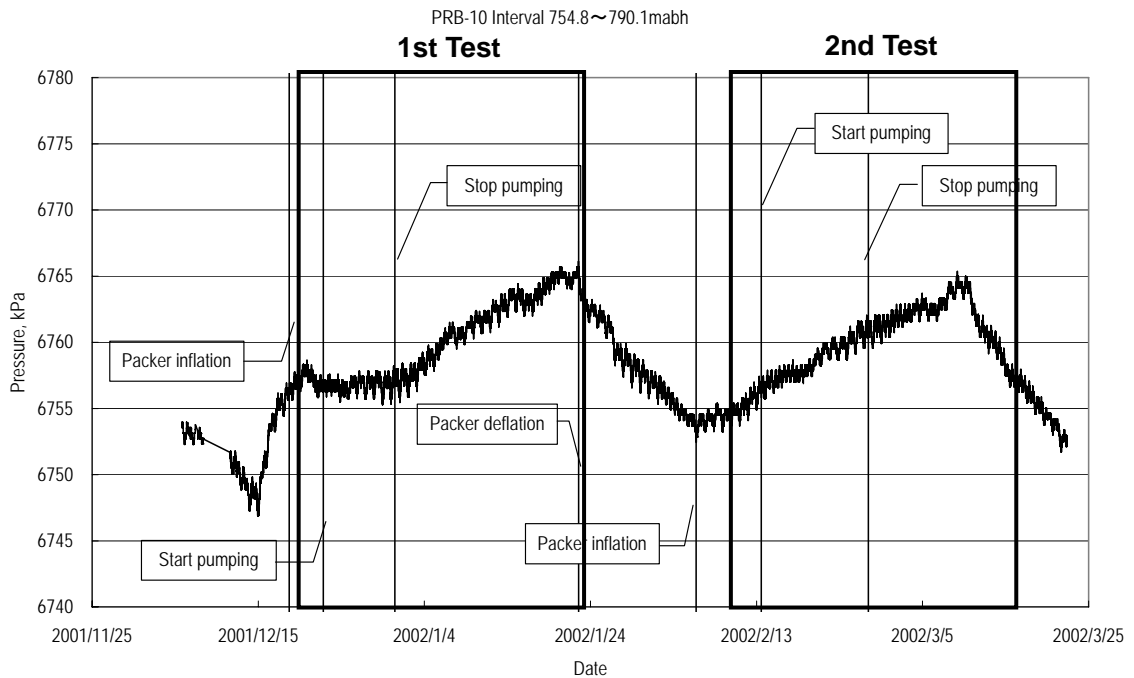


図-5.1.34 MIU-4 孔における水圧測定結果 (PRB-10)

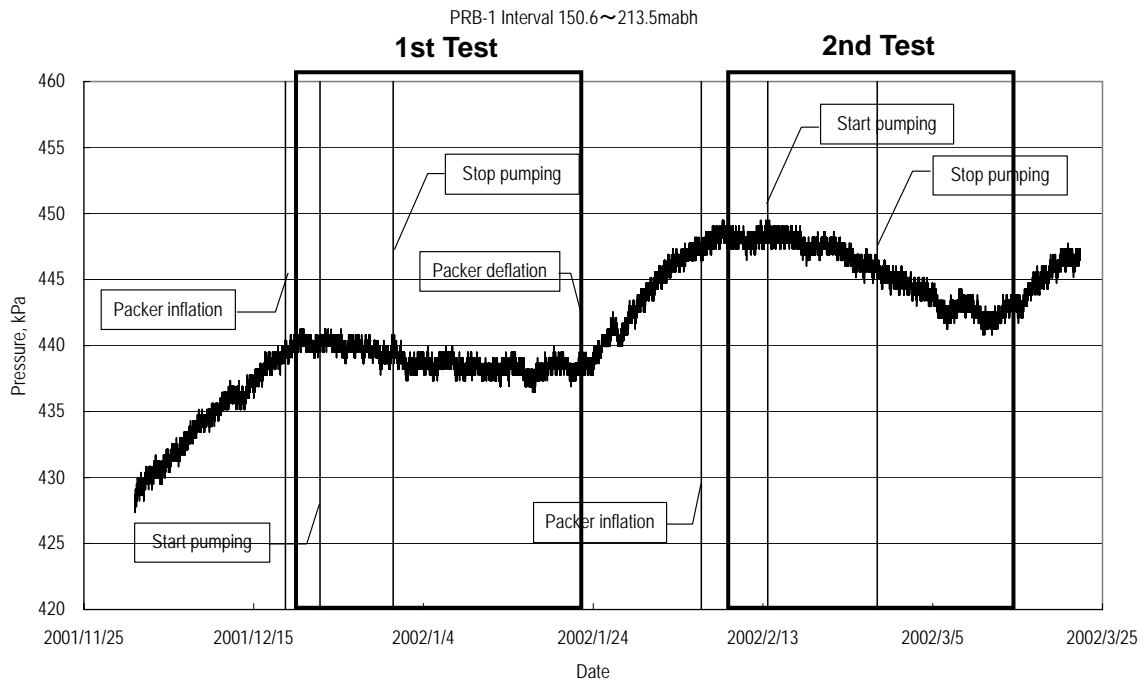


図-5.1.35 AN-1 孔における水圧測定結果(PRB-1)

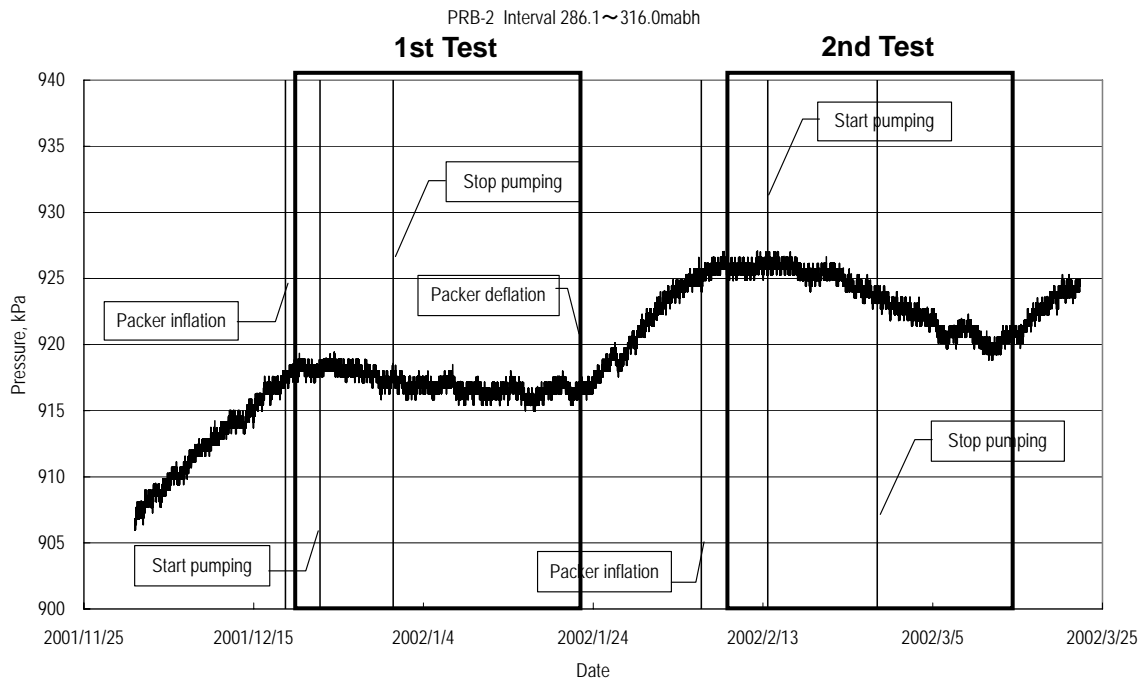


図-5.1.36 AN-1 孔における水圧測定結果(PRB-2)

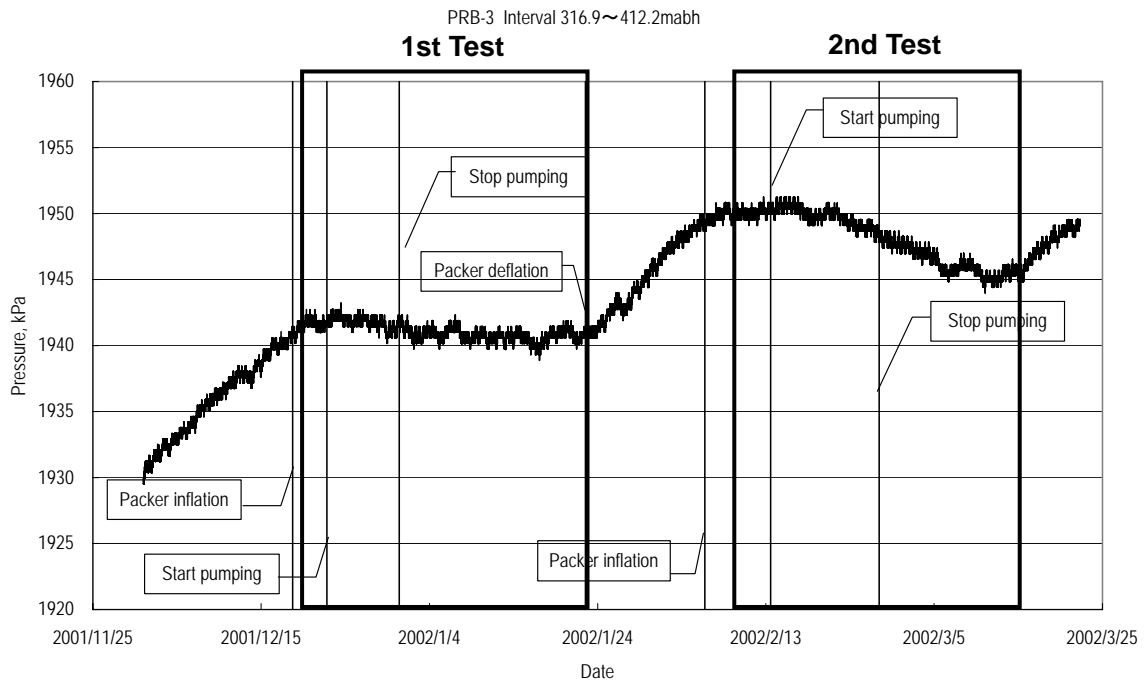


図-5.1.37 AN-1 孔における水圧測定結果(PRB-3)

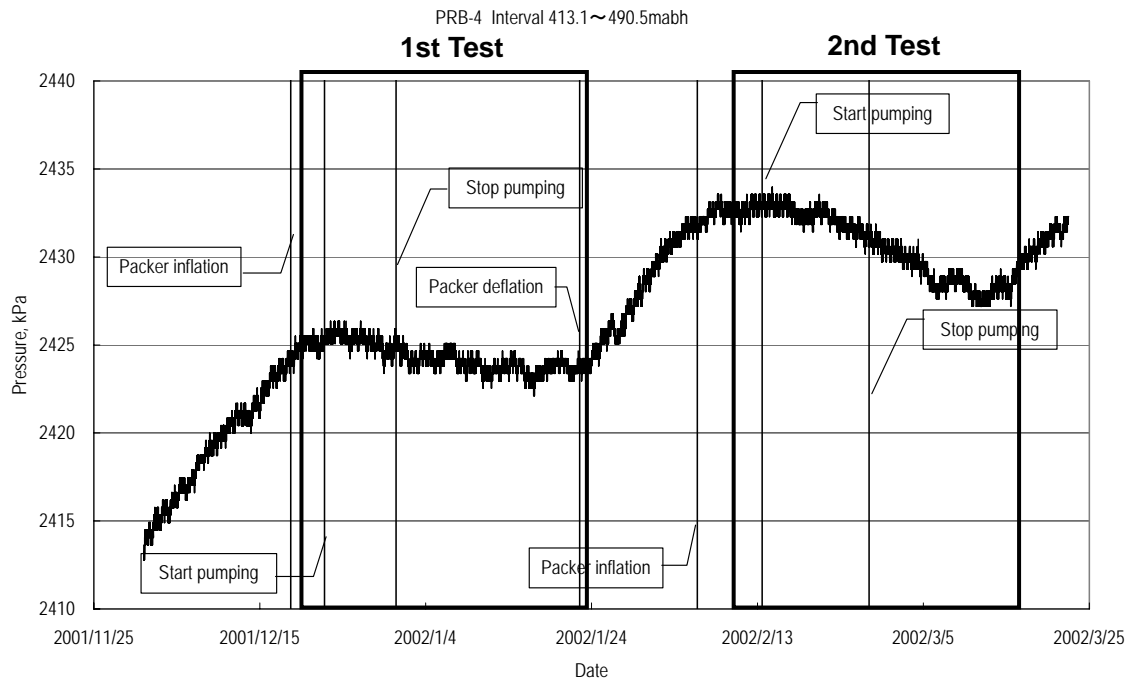


図-5.1.38 AN-1 孔における水圧測定結果(PRB-4)

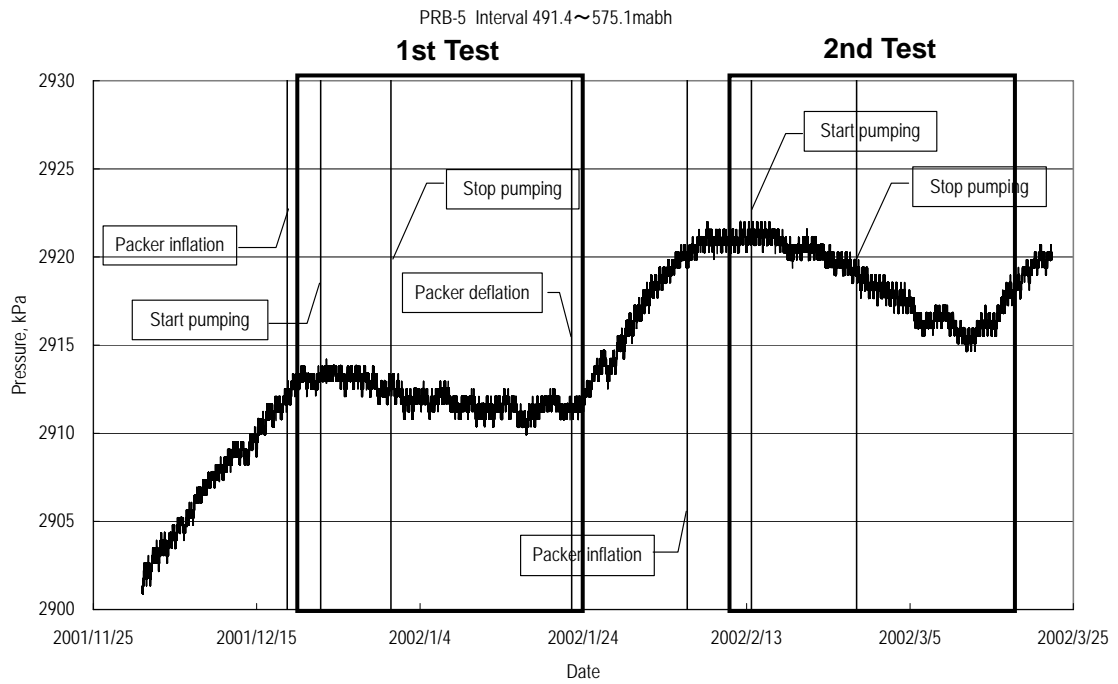


図-5.1.39 AN-1 孔における水圧測定結果(PRB-5)

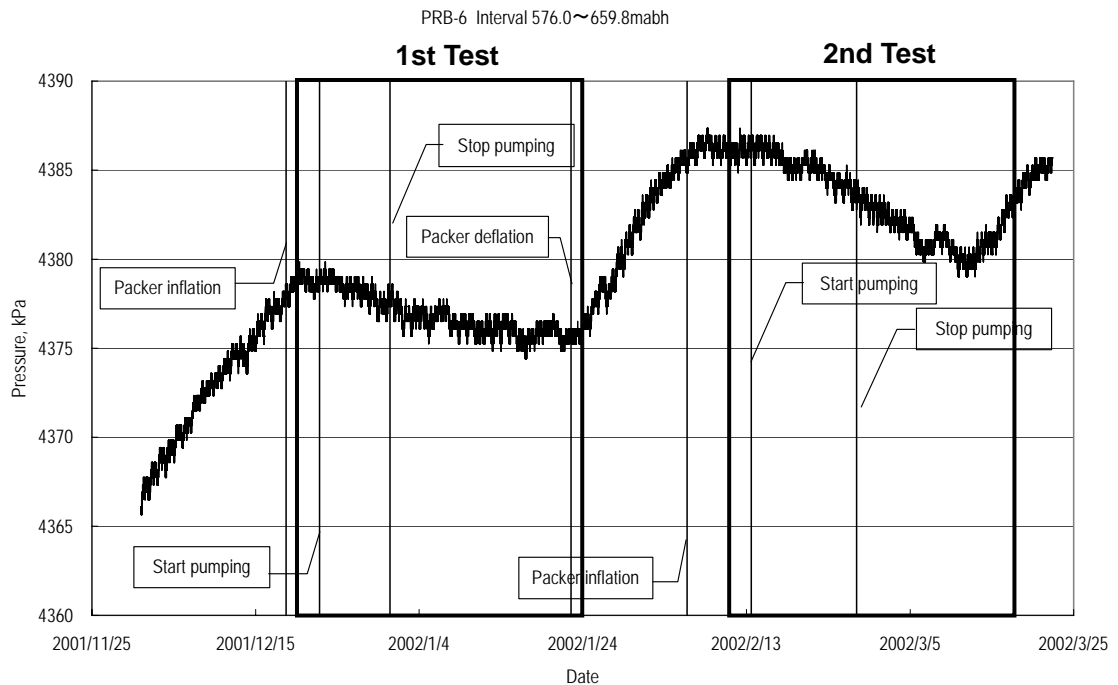


図-5.1.40 AN-1 孔における水圧測定結果(PRB-6)

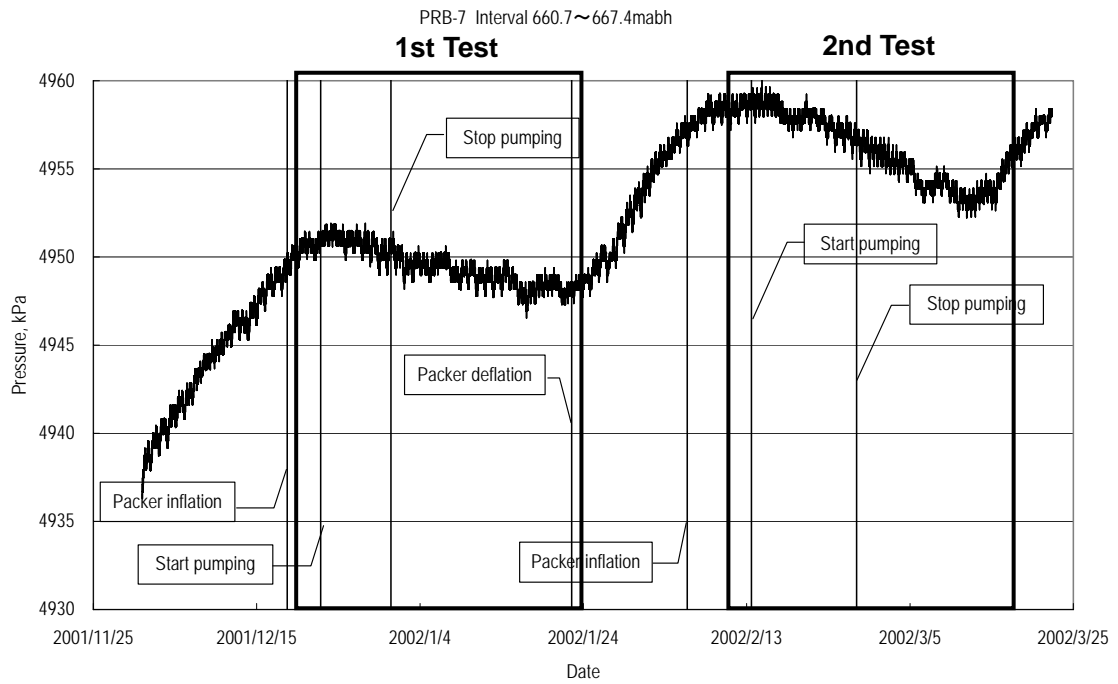


図-5.1.41 AN-1 孔における水圧測定結果(PRB-7)

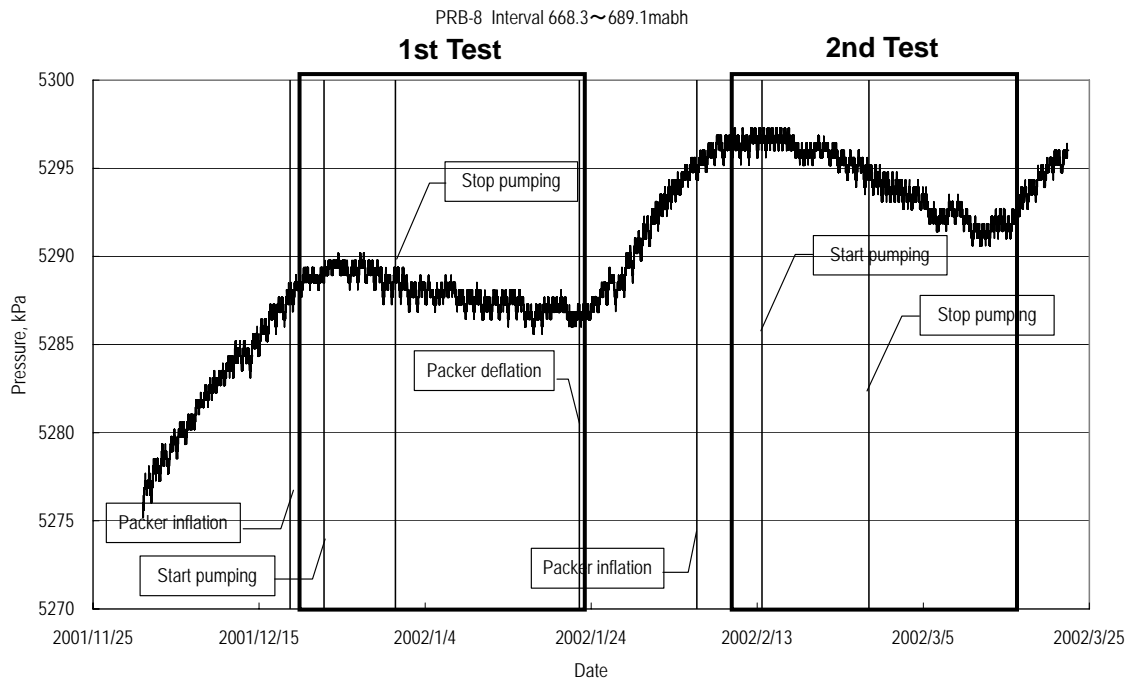


図-5.1.42 AN-1 孔における水圧測定結果(PRB-8)

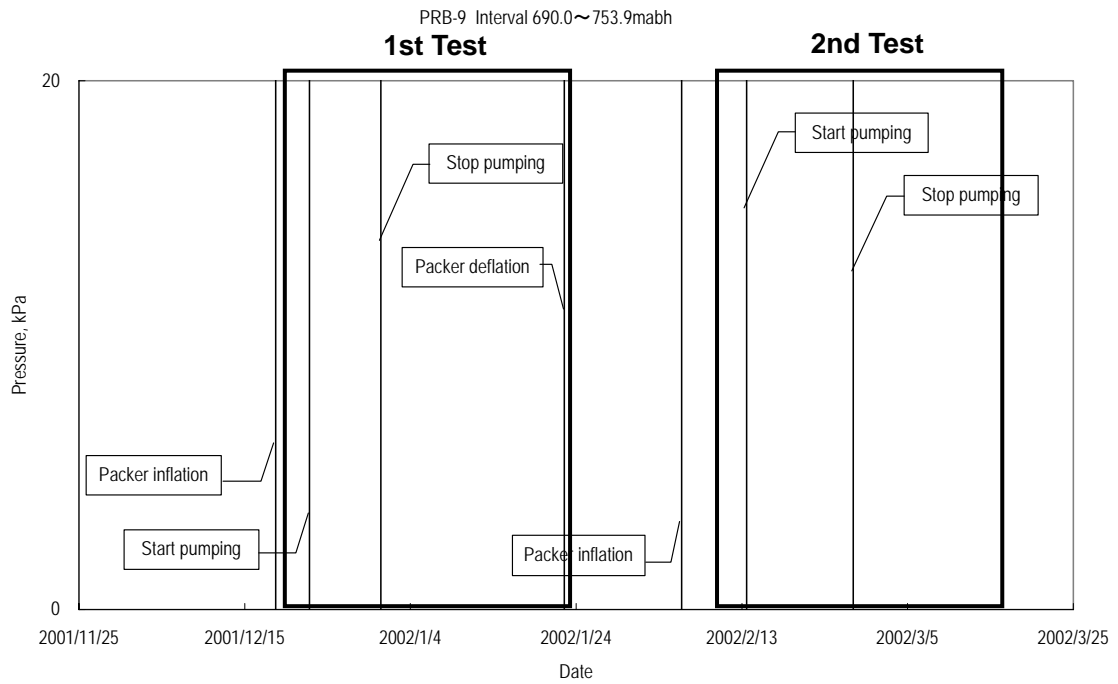


図-5.1.43 AN-1 孔における水圧測定結果(PRB-9)

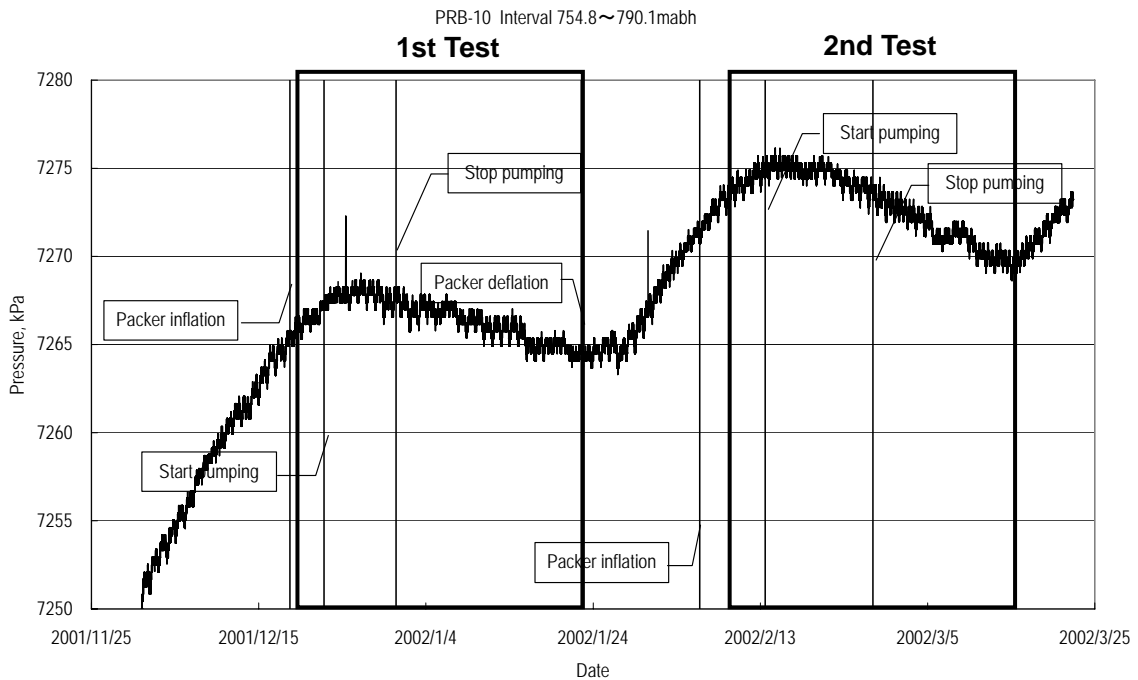


図-5.1.44 AN-1 孔における水圧測定結果(PRB-10)

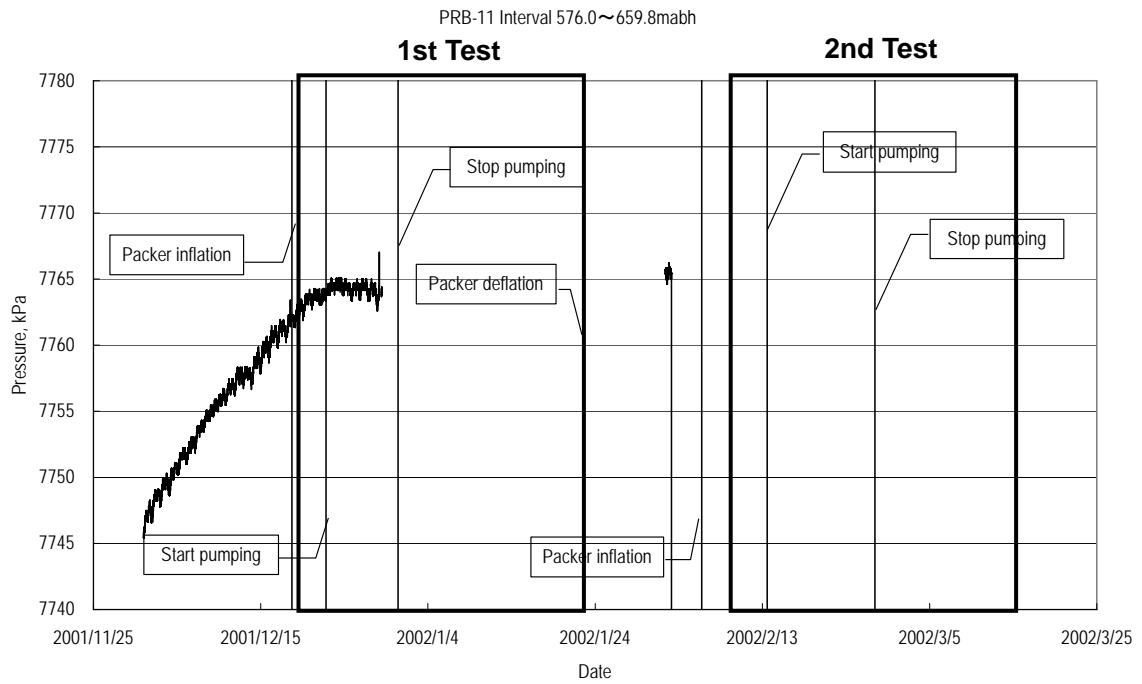


図-5.1.45 AN-1 孔における水圧測定結果(PRB-11)

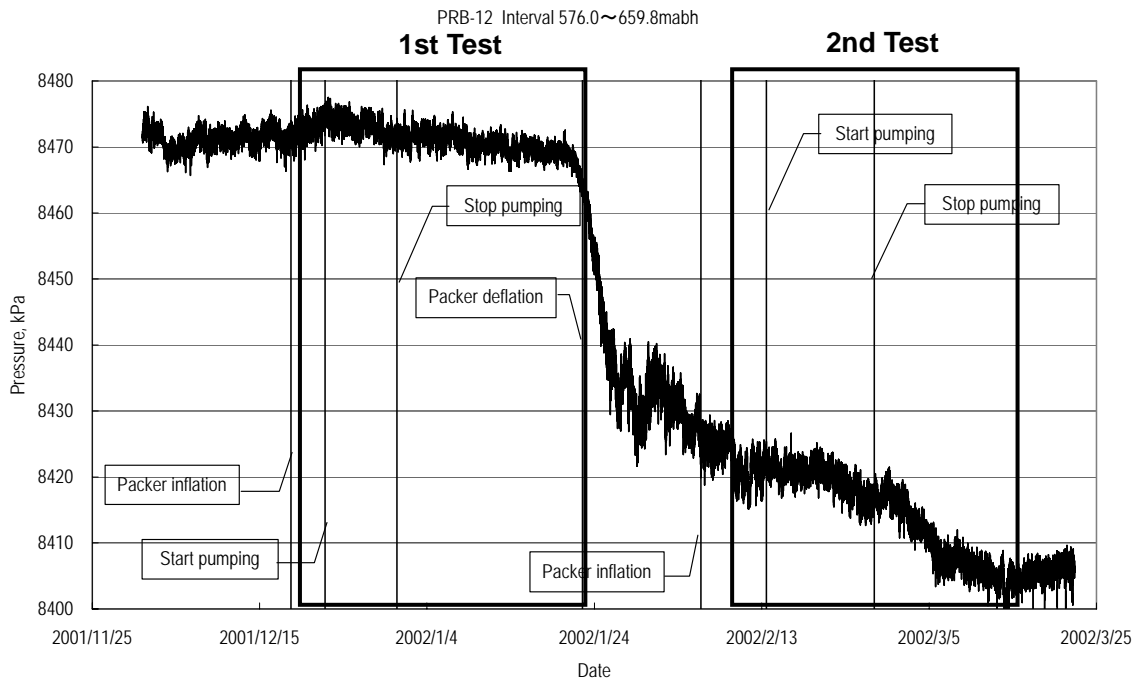


図-5.1.46 AN-1 孔における水圧測定結果(PRB-12)

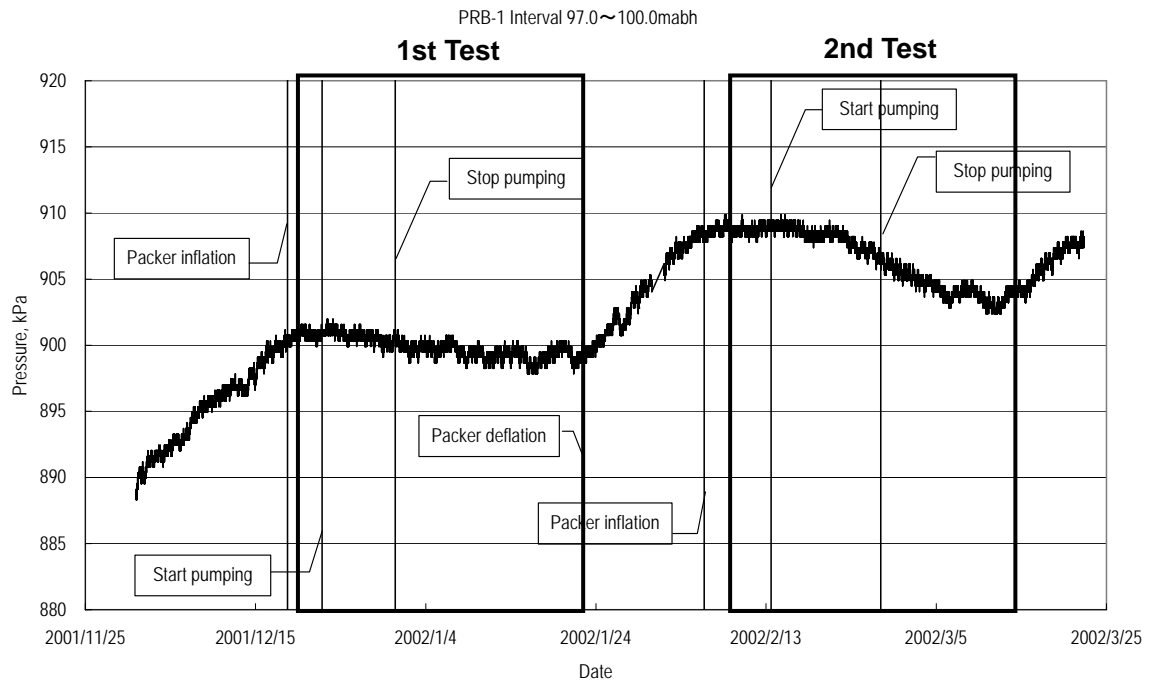


図-5.1.47 AN-3 孔における水圧測定結果(PRB-1)

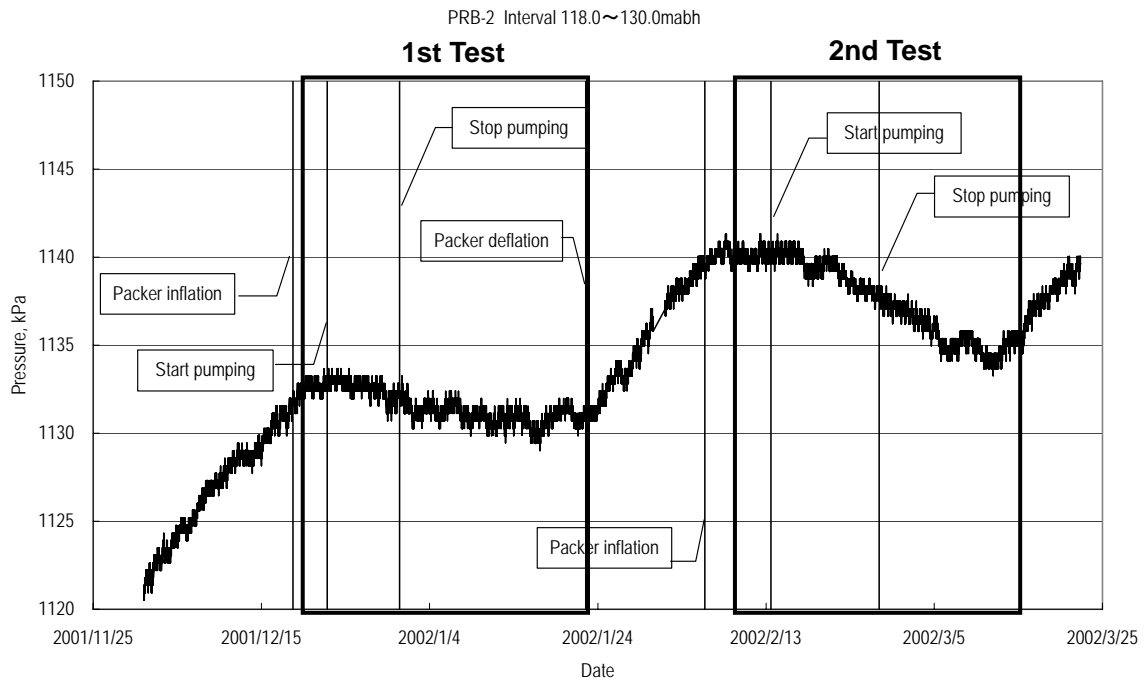


図-5.1.48 AN-3 孔における水圧測定結果(PRB-2)

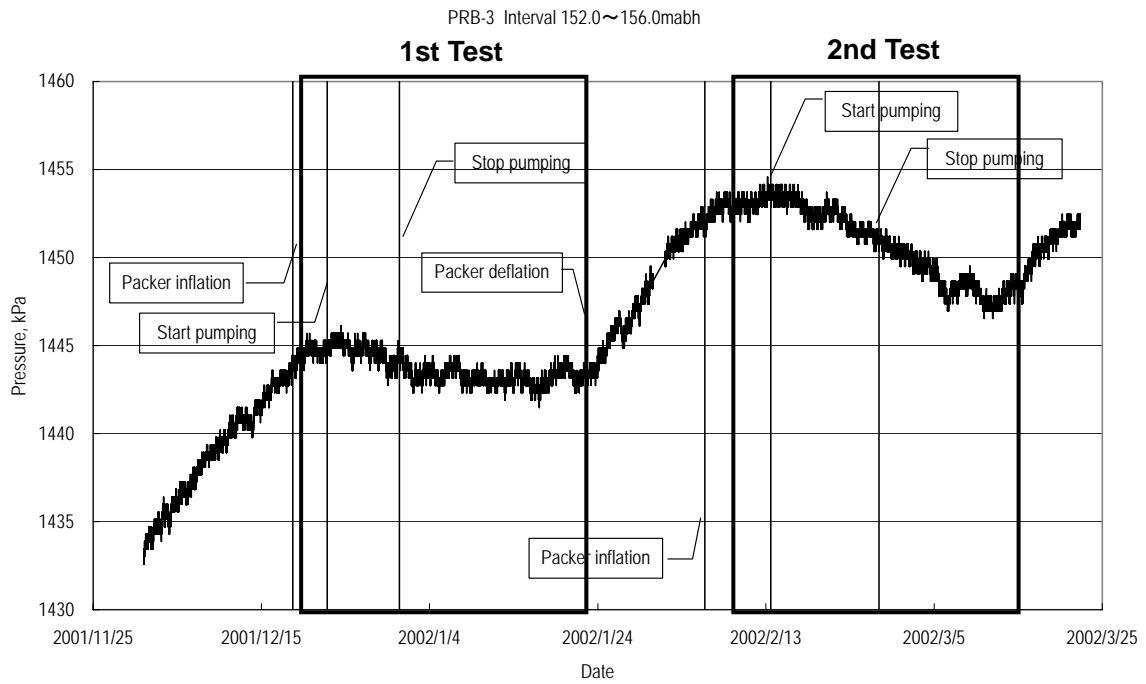


図-5.1.49 AN-3 孔における水圧測定結果(PRB-3)

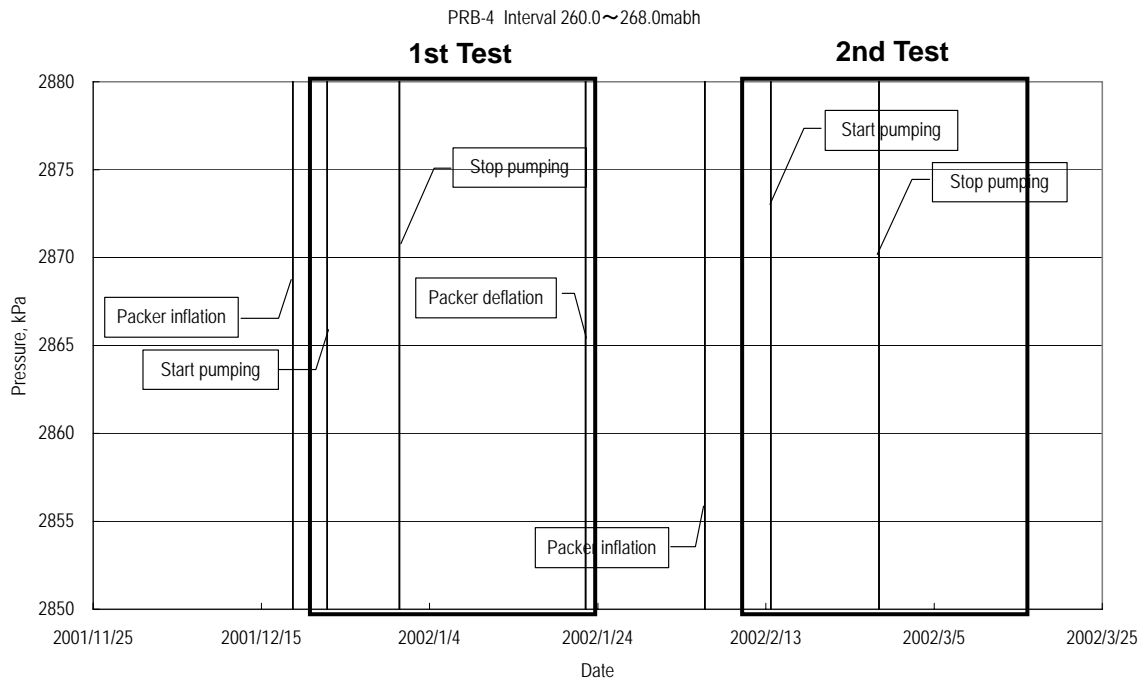


図-5.1.50 AN-3 孔における水圧測定結果(PRB-4)

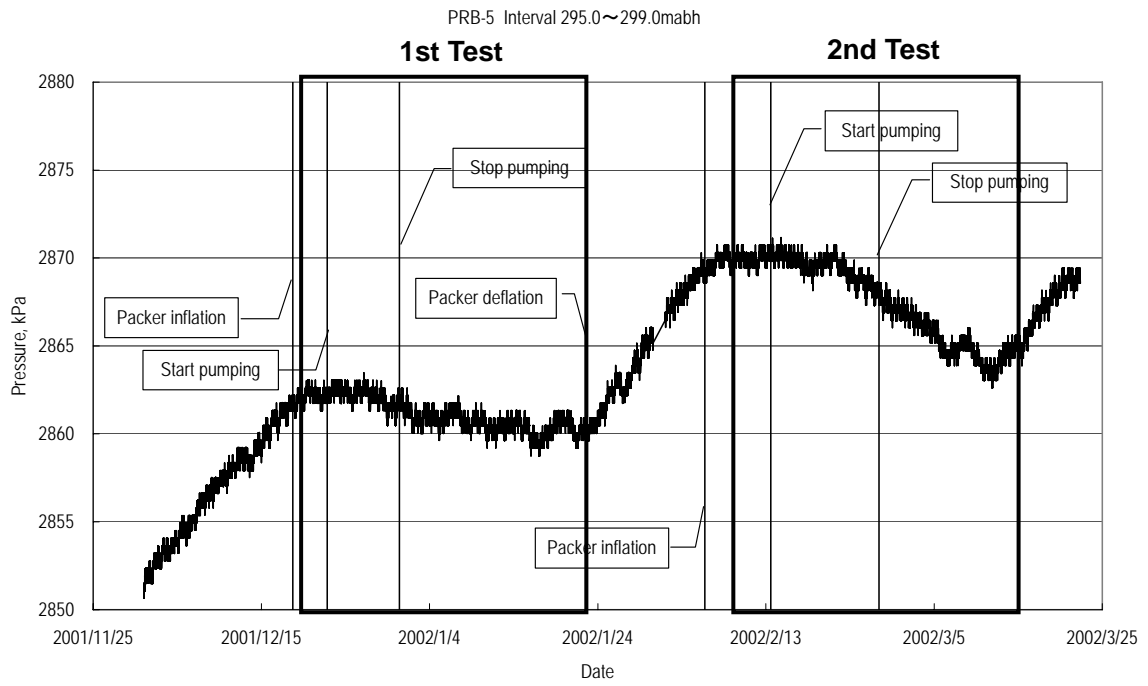


図-5.1.51 AN-3 孔における水圧測定結果(PRB-5)

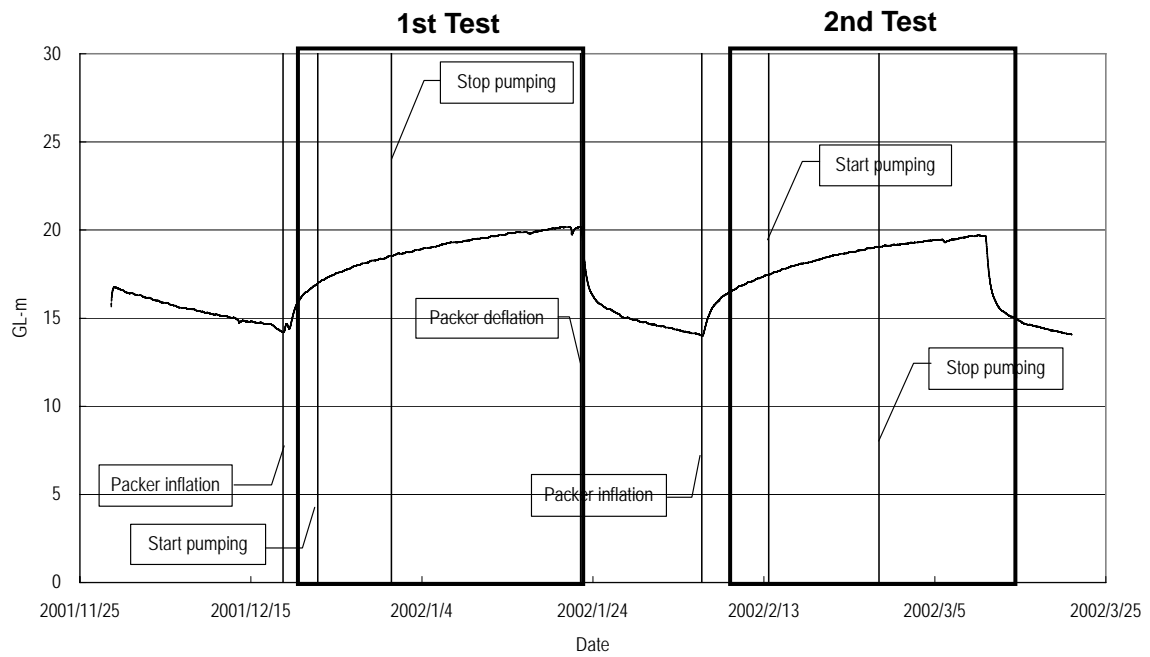


図-5.1.52 AI-7 孔における水圧測定結果

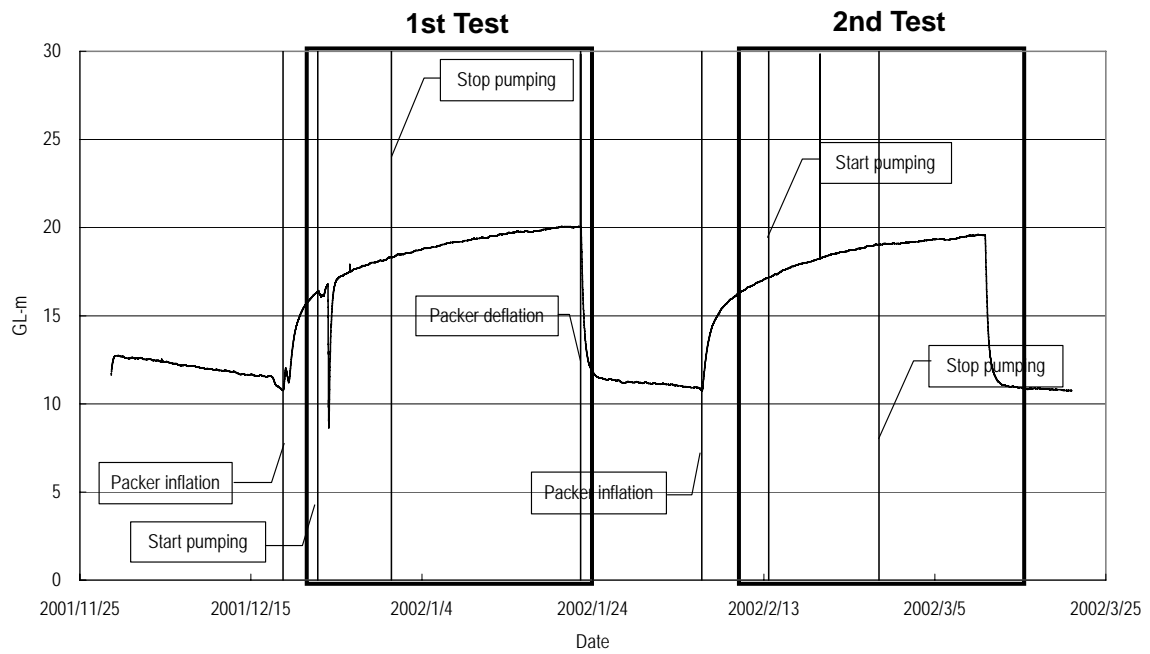


図-5.1.53 AI-10 孔における水圧測定結果

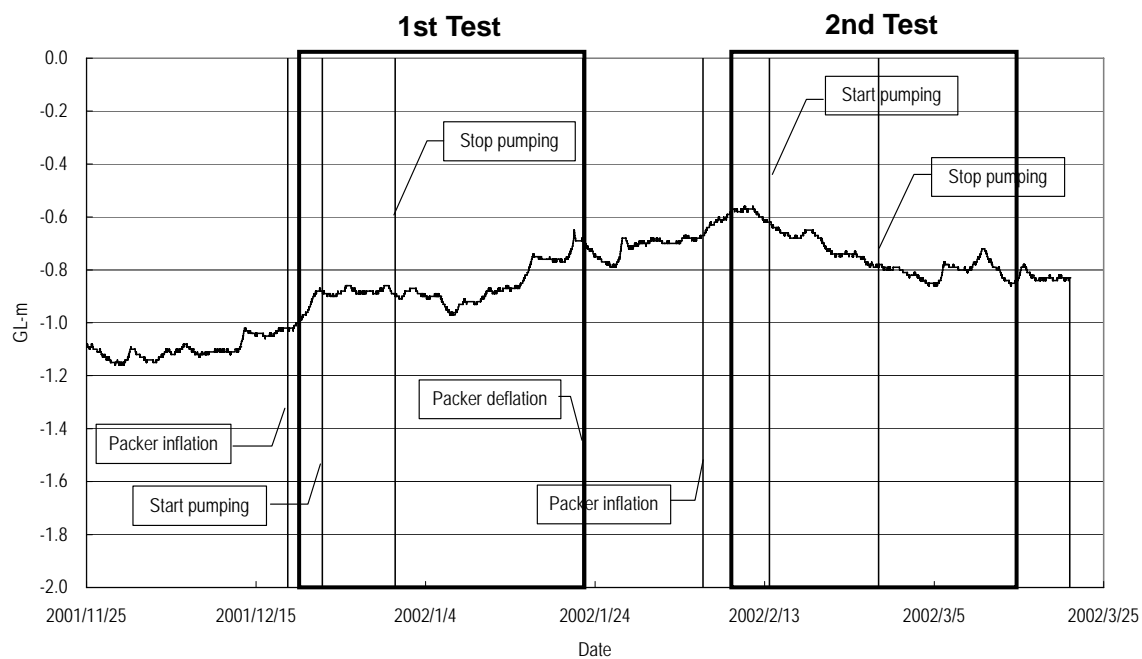


図-5.1.54 MS99-05 孔における水圧測定結果

5.2 トレンド成分および地球潮汐による水圧変動の除去

MIU-2号孔を揚水井とした揚水試験では、第一回試験ではMIU-3号孔のPRB-5～PRB-8に、第二回試験ではMIU-1号孔のPRB-6～PRB-9にそれぞれ応答が認められた。試験結果の解析にあたっては、3.4で述べた方法により、試験結果からトレンド成分および地球潮汐による水圧変動を除去した。

トレンド成分の除去にあたっては、具体的に以下のようにした。

- ① 揚水孔 (MIU-2号孔) : 間隙水圧測定時(PSR)と、回復過程(RWS)の後半部分の水圧変化を多項式近似曲線 (4次式) でフィットしてトレンド成分を求め、揚水試験時の水圧より差し引いた。
- ② 観測孔応答 (第一回試験、MIU-3号孔) : 回復過程のデータの期間が十分でなく、揚水の影響を無視できなかった。そこで、①、③と異なり、第二回試験での回復期間の水圧変化には揚水の影響がないものと仮定して、第二回試験中の水圧変化に多項式近似曲線をフィットさせてトレンド成分を求め、第一回試験中の水圧より差し引いた。
- ③ 観測孔応答 (第二回試験、MIU-1号孔) : 間隙水圧測定時(PSR)と、回復過程(RWS)の後半部分の水圧変化に多項式近似曲線をフィットさせてトレンド成分を求め、揚水試験時の水圧より差し引いた。

図 5.2.13～5.2.32 にトレンド成分および潮汐成分の除去結果図を示す。

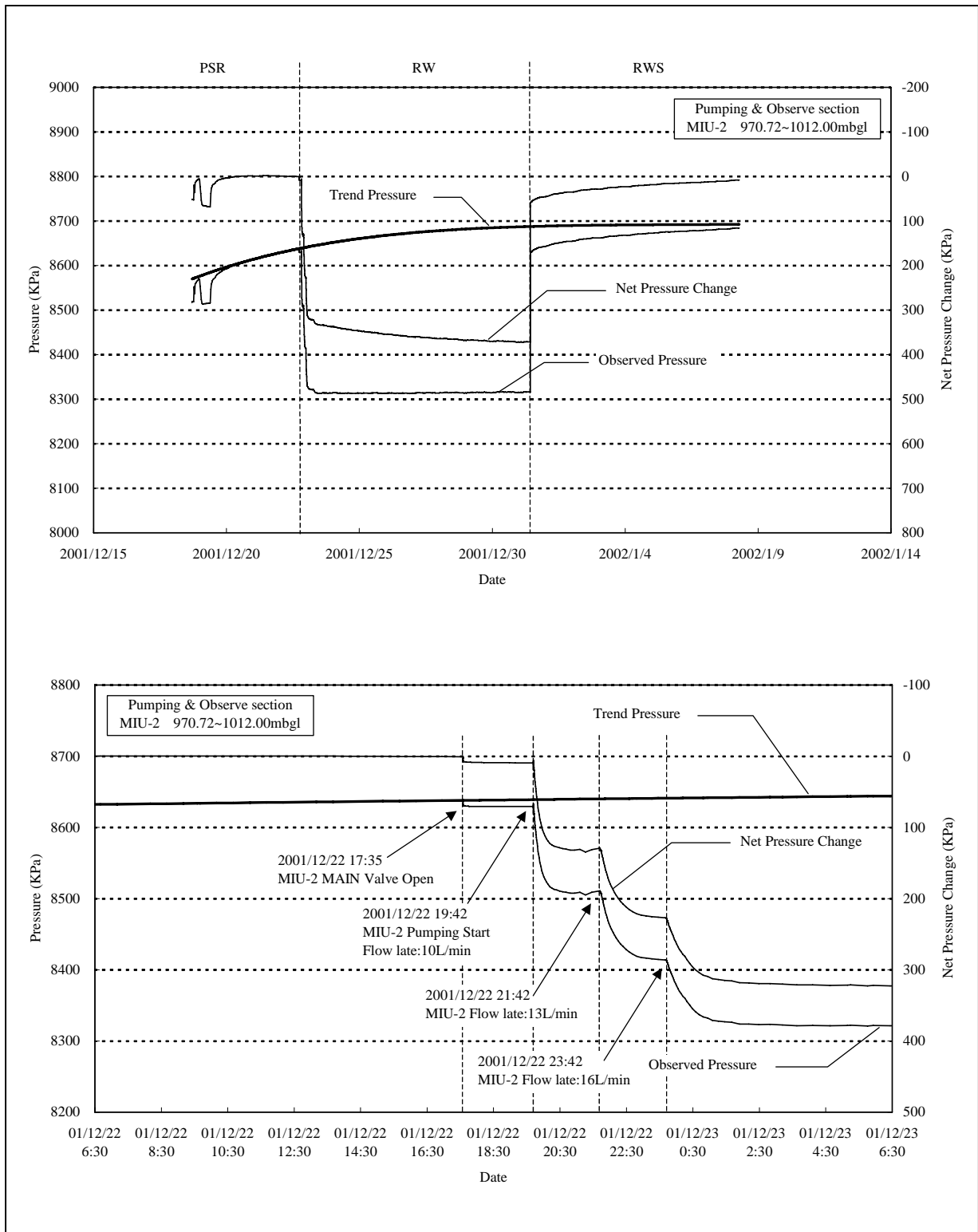


図 5.2.1 トレンド成分、潮汐成分の除去結果図 (第一回試験、揚水過程 : MIU-2)

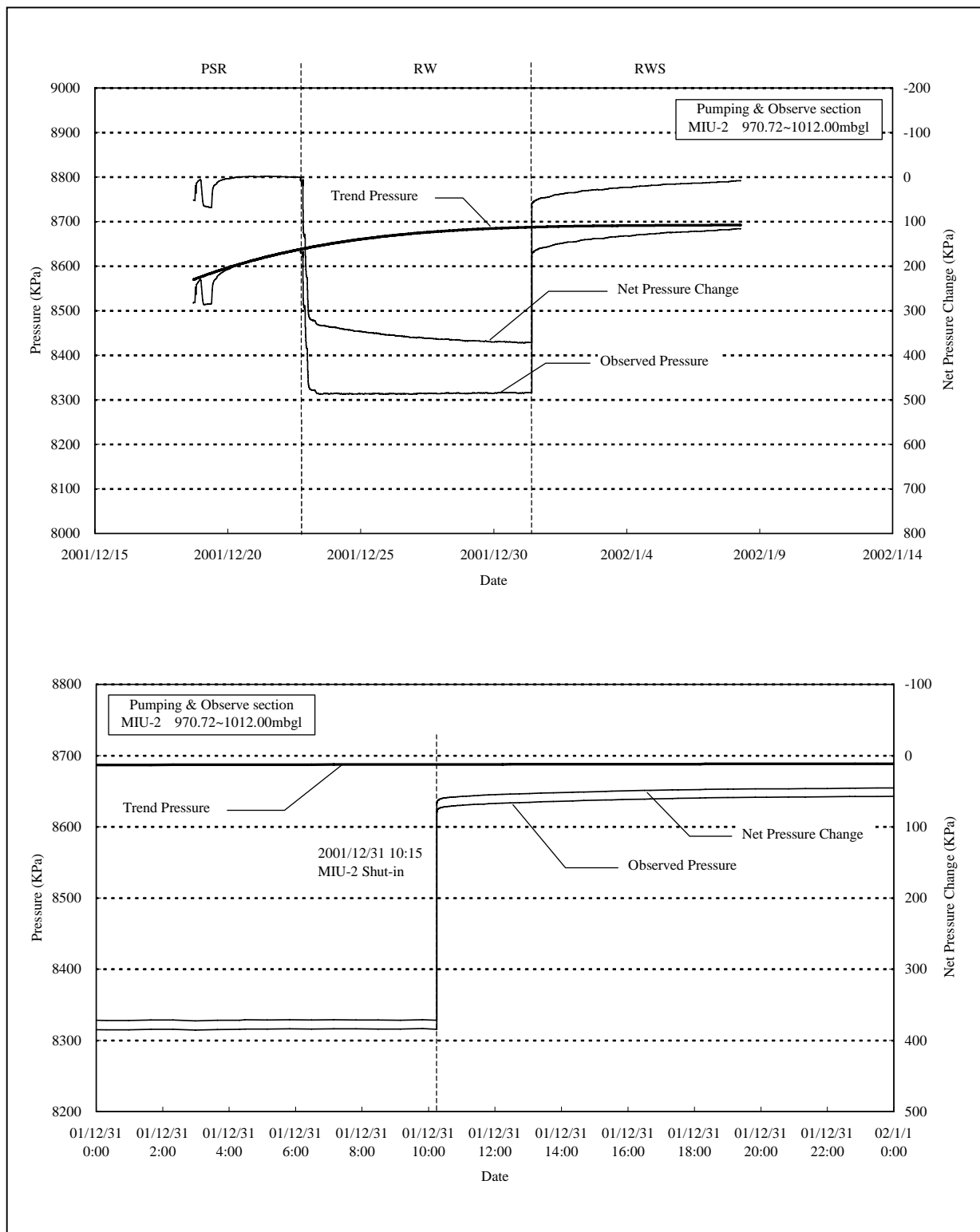


図 5.2.2 トレンド成分、潮汐成分の除去結果図（第一回試験、回復過程：MIU-2）

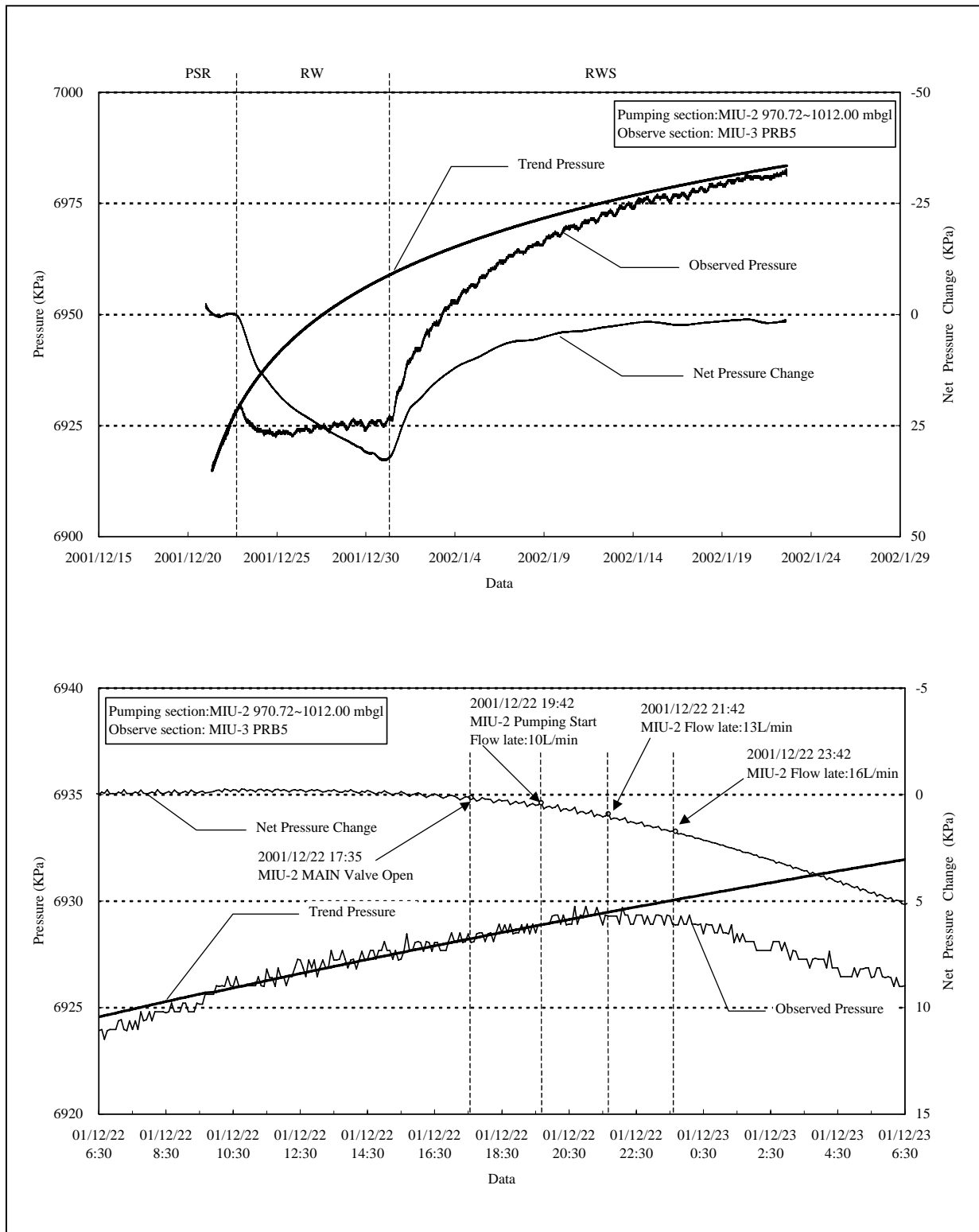


図 5.2.3 トレンド成分、潮汐成分の除去結果図

(第一回試験、揚水過程 : MIU-3, PRB-5)

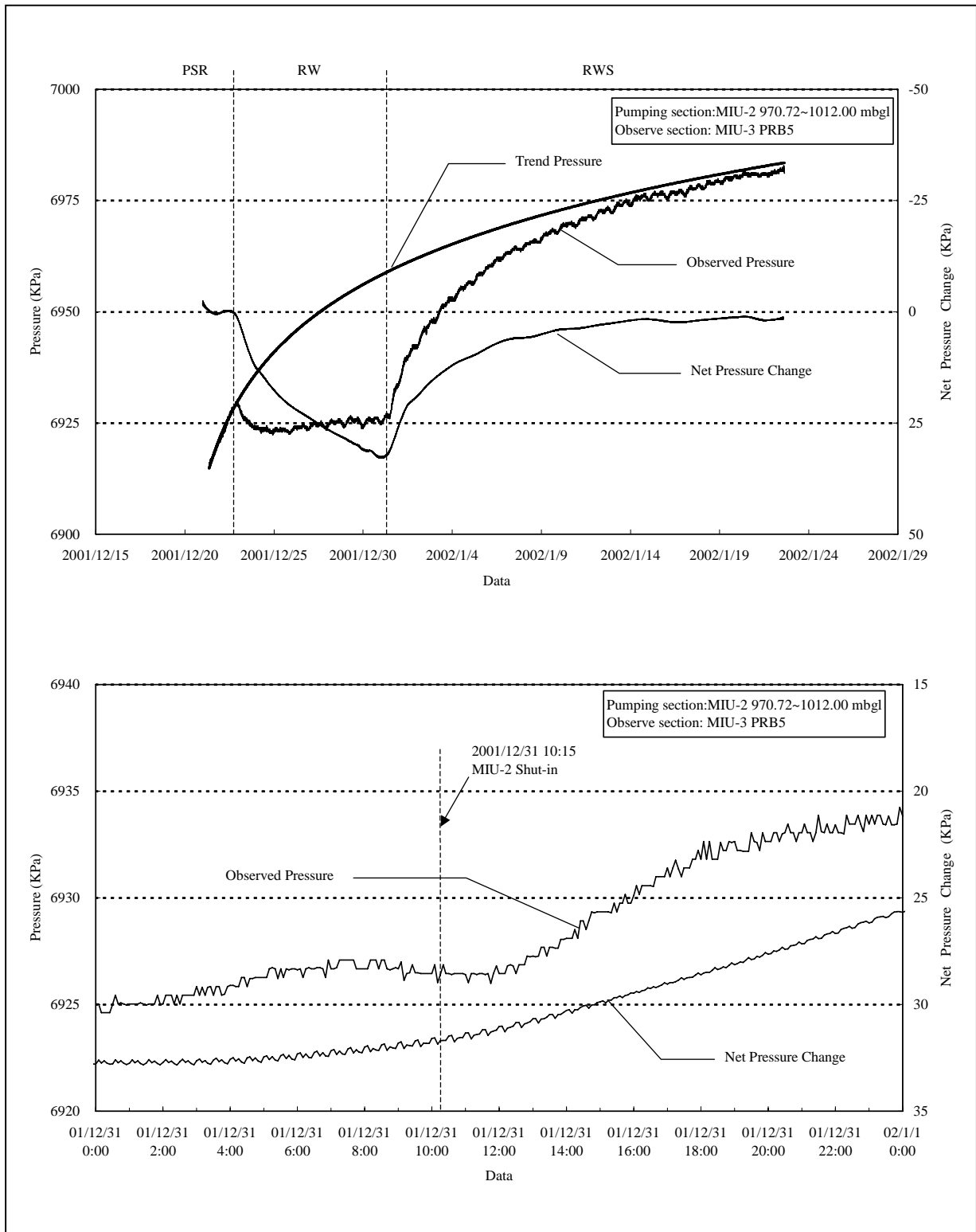


図 5.2.4 トレンド成分、潮汐成分の除去結果図

(第一回試験、回復過程 : MIU-3, PRB-5)

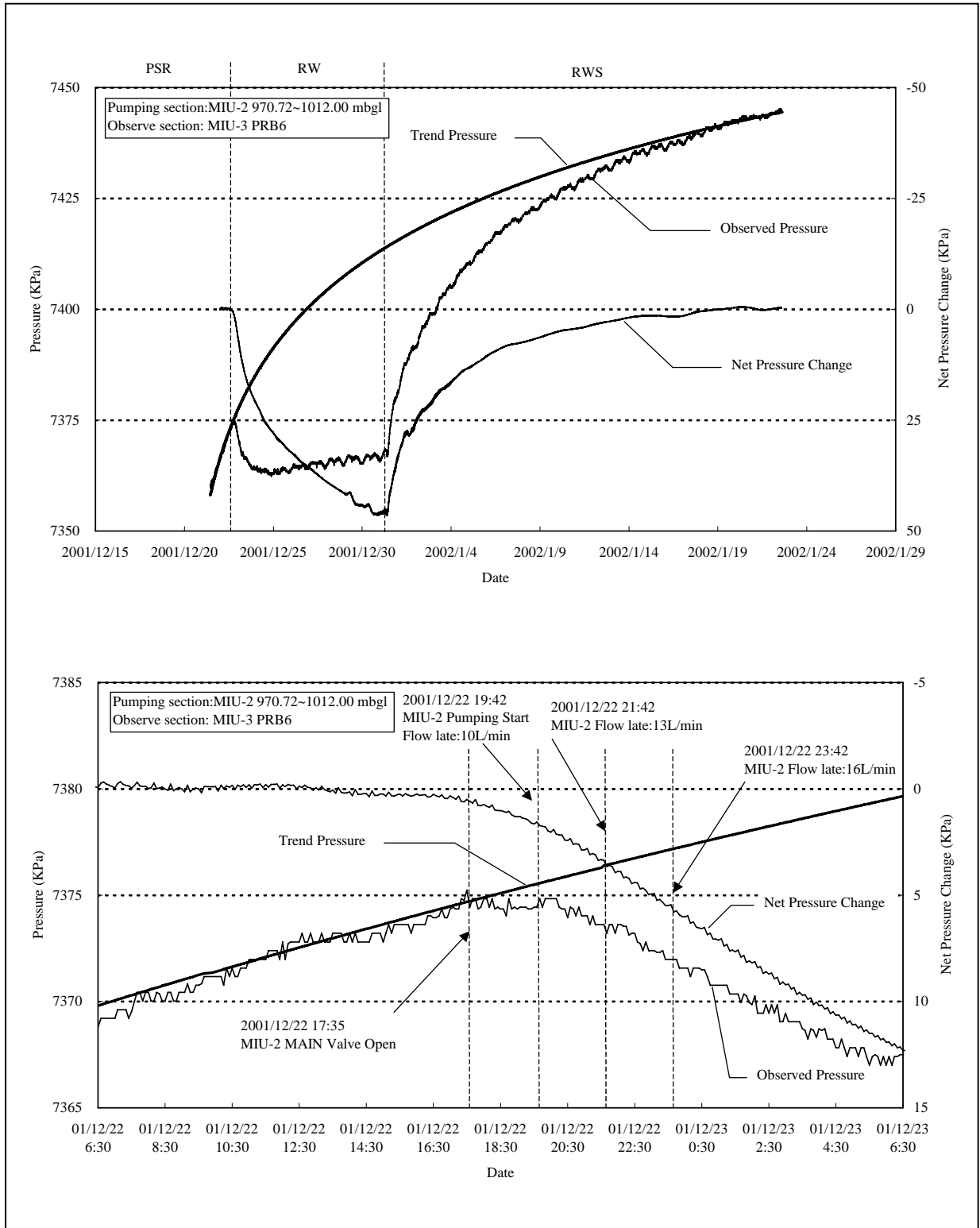


図 5.2.5 トレンド成分、潮汐成分の除去結果図

(第一回試験、揚水過程：MIU-3, PRB-6)

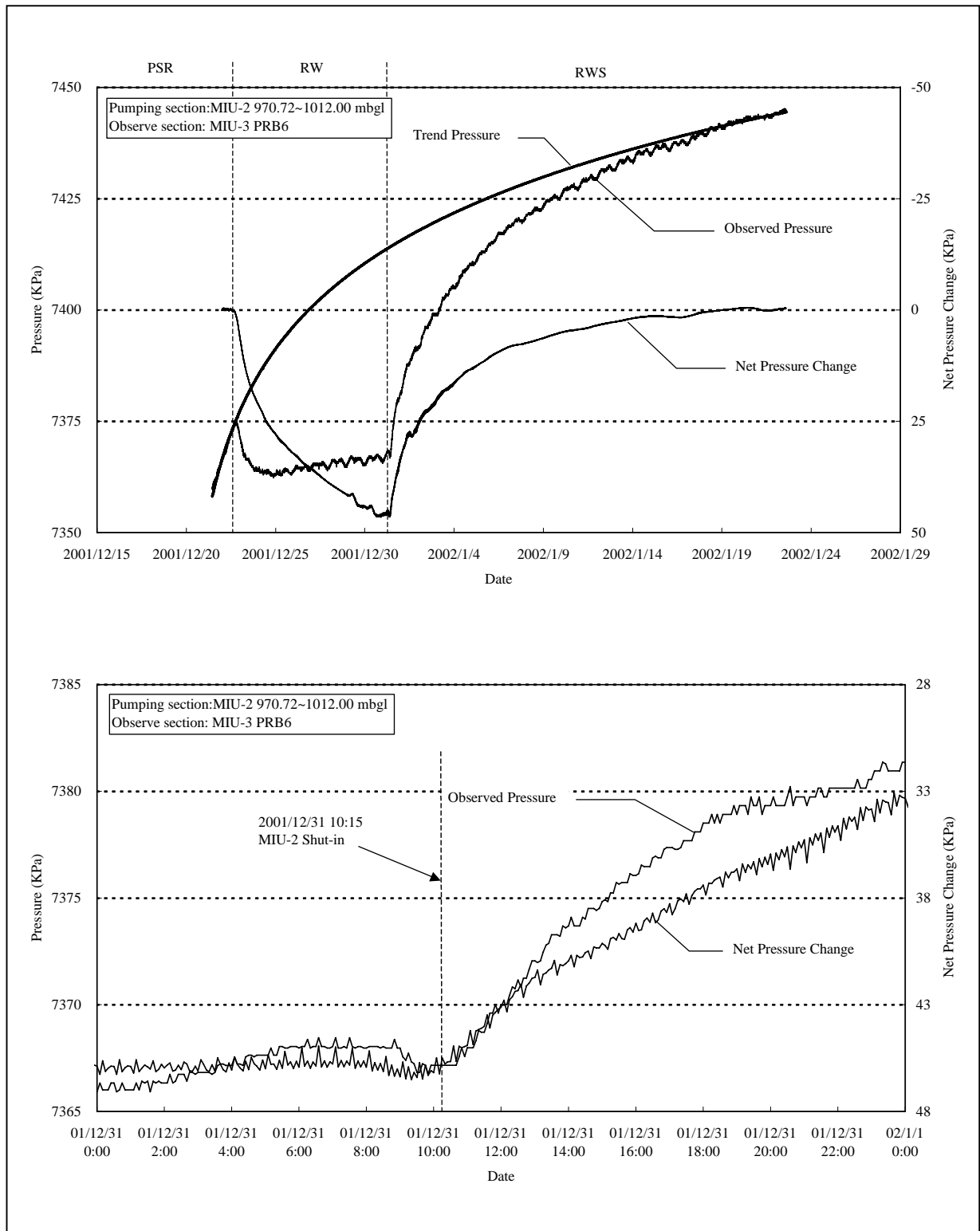


図 5.2.6 トレンド成分、潮汐成分の除去結果図

(第一回試験、回復過程：MIU-3, PRB-6)

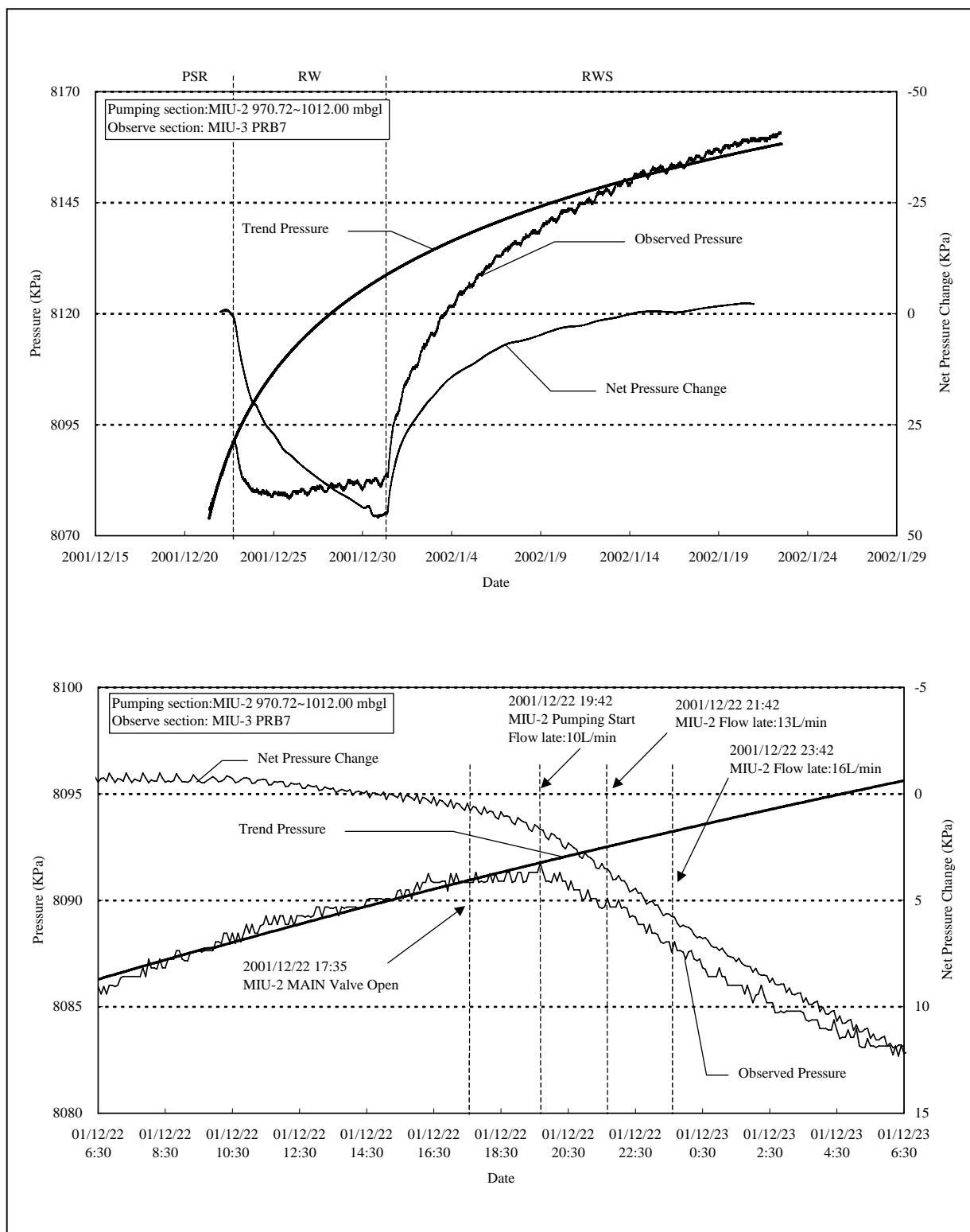


図 5.2.7 トレンド成分、潮汐成分の除去結果図

(第一回試験、揚水過程：MIU-3, PRB-7)

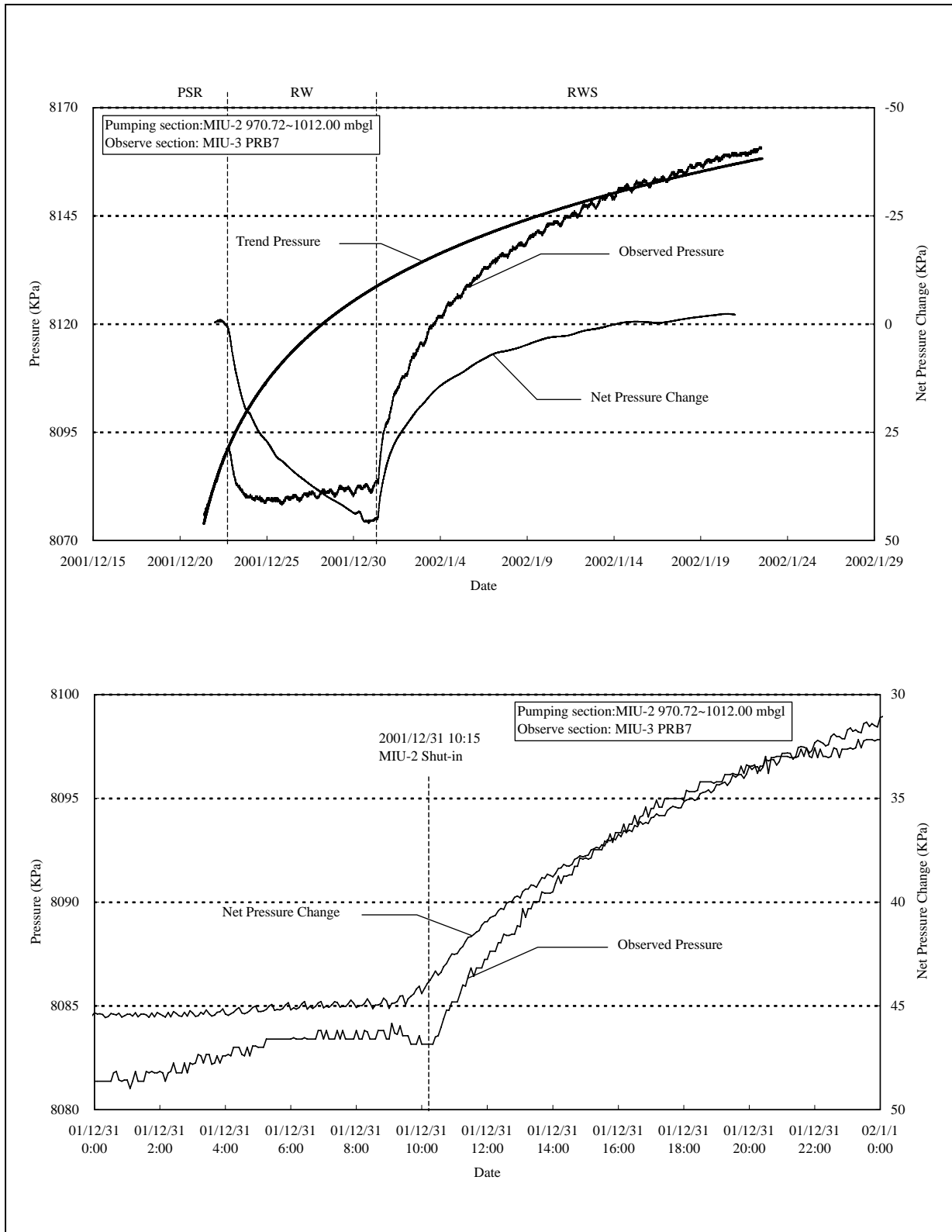


図 5.2.8 トレンド成分、潮汐成分の除去結果図

(第一回試験、回復過程：MIU-3, PRB-7)

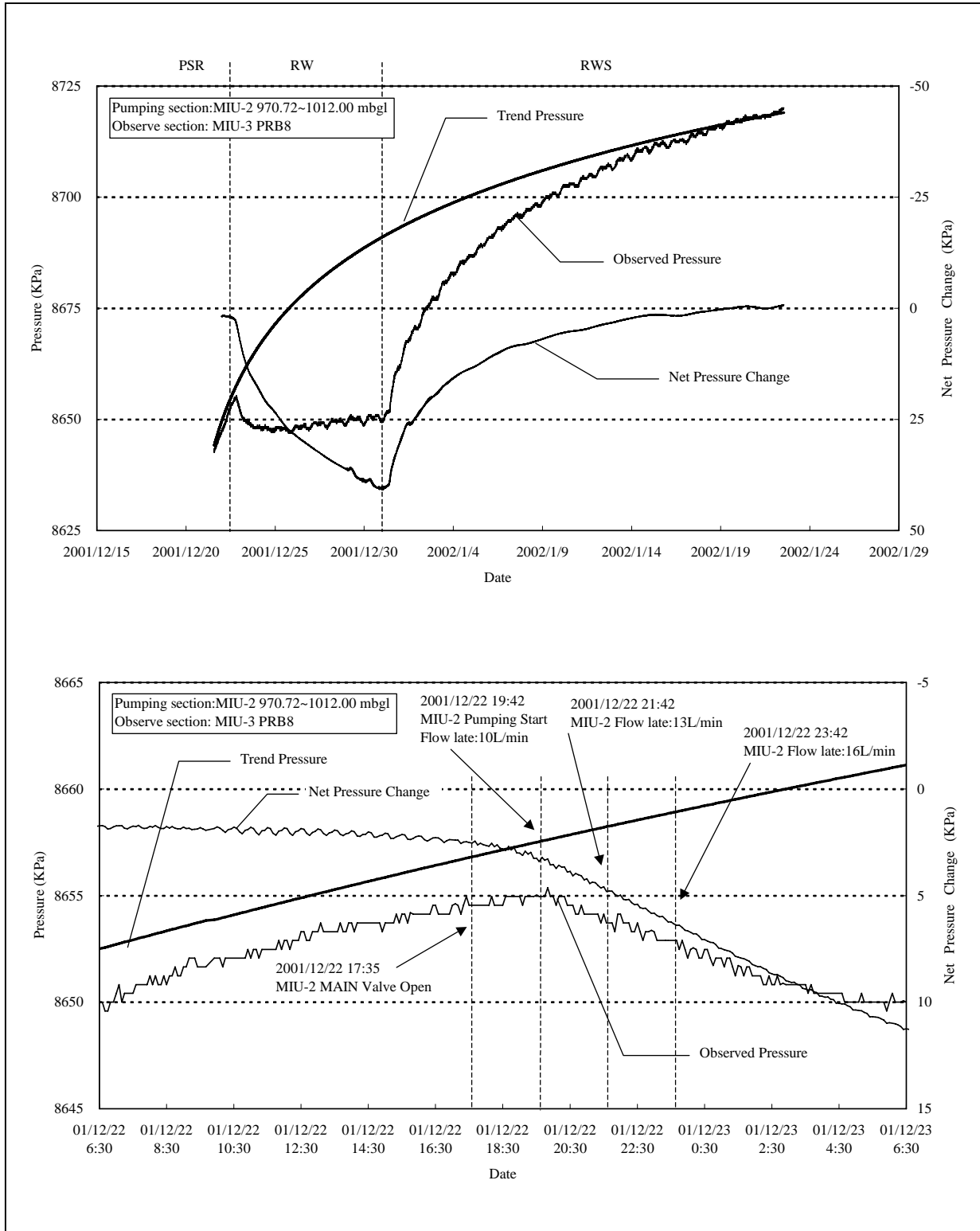


図 5.2.9 トレンド成分、潮汐成分の除去結果図

(第一回試験、揚水過程：MIU-3, PRB-8)

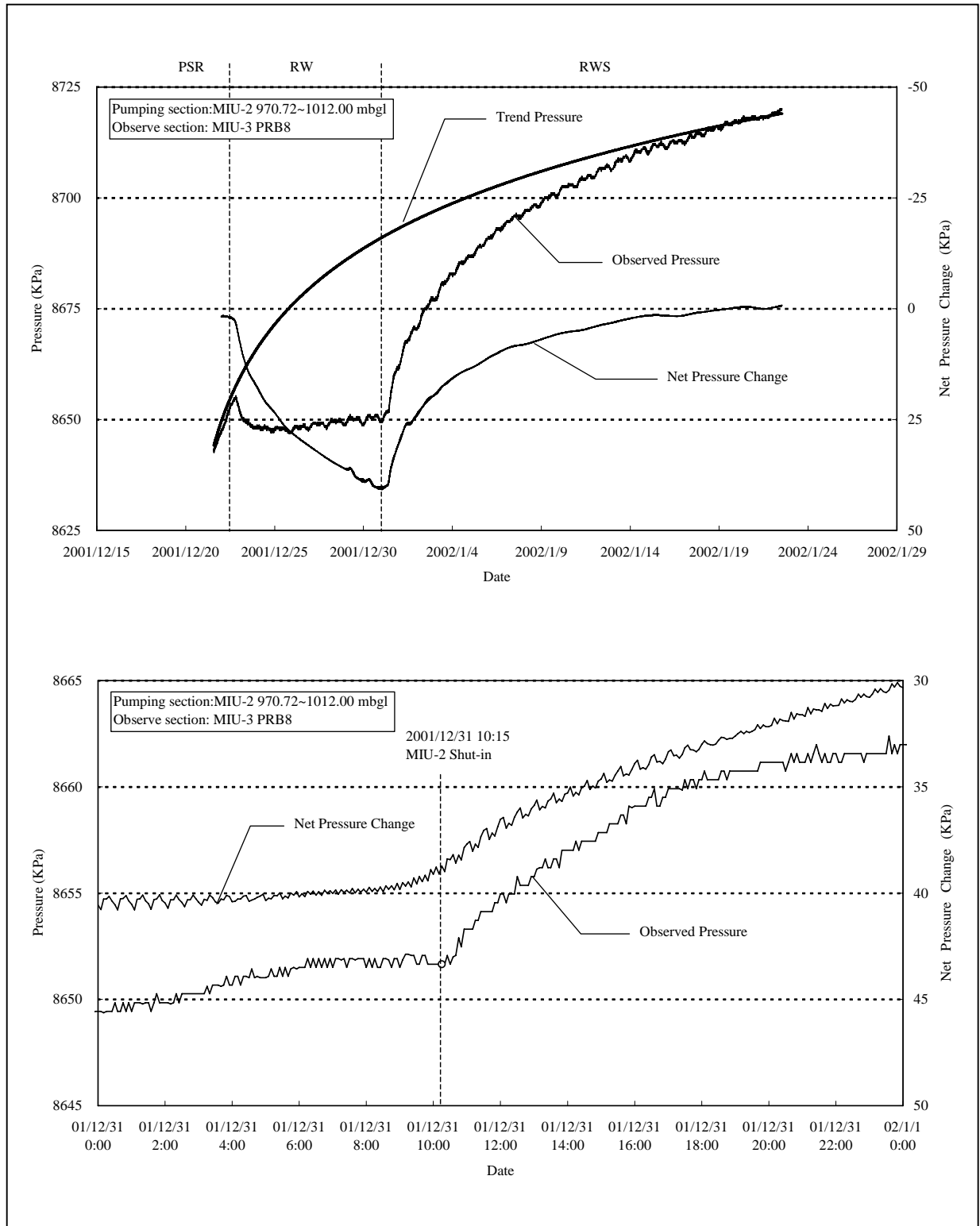


図 5.2.10 トレンド成分、潮汐成分の除去結果図

(第一回試験、回復過程：MIU-3, PRB-8)

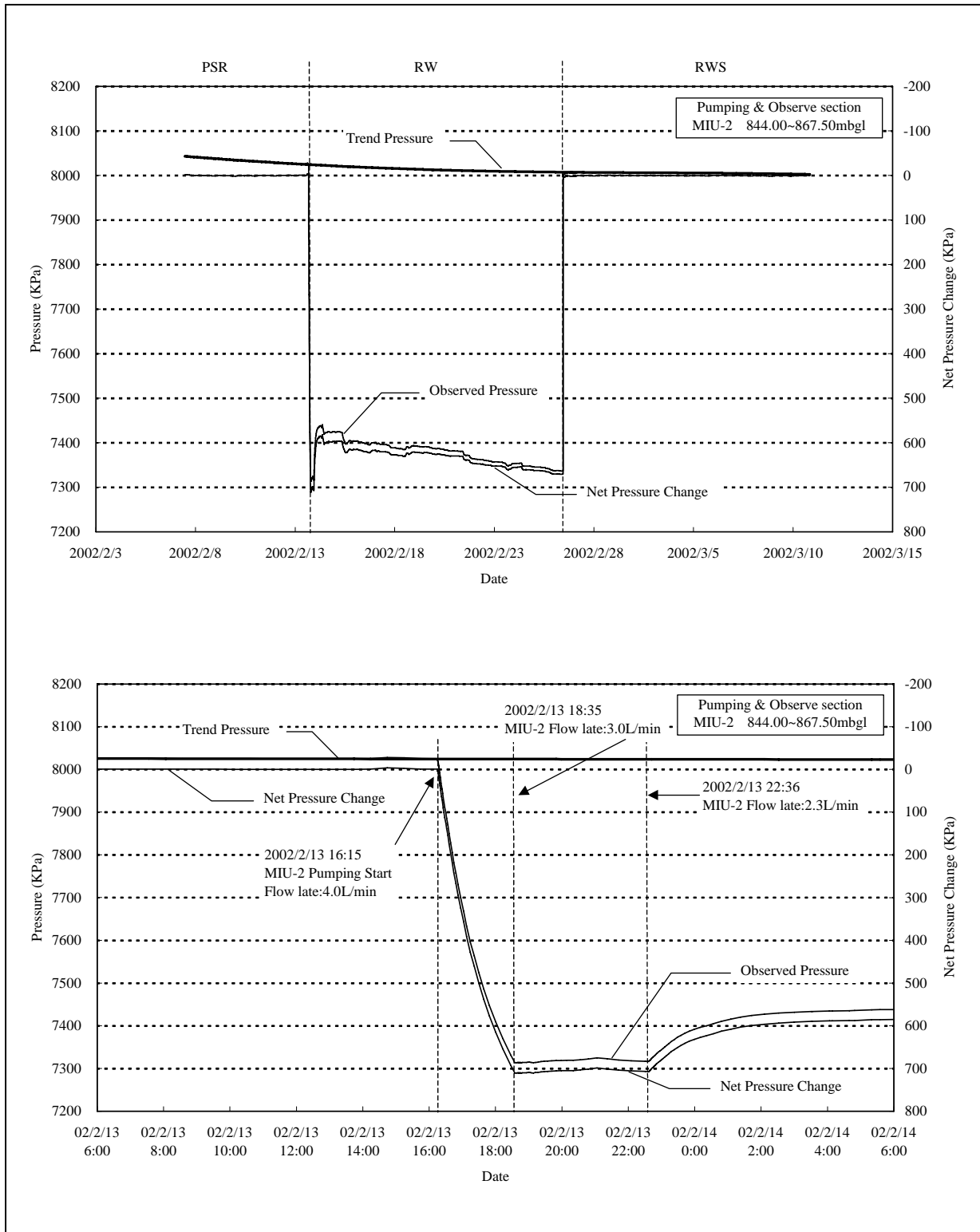


図 5.2.11 トレンド成分、潮汐成分の除去結果図（第二回試験、揚水過程：MIU-2）

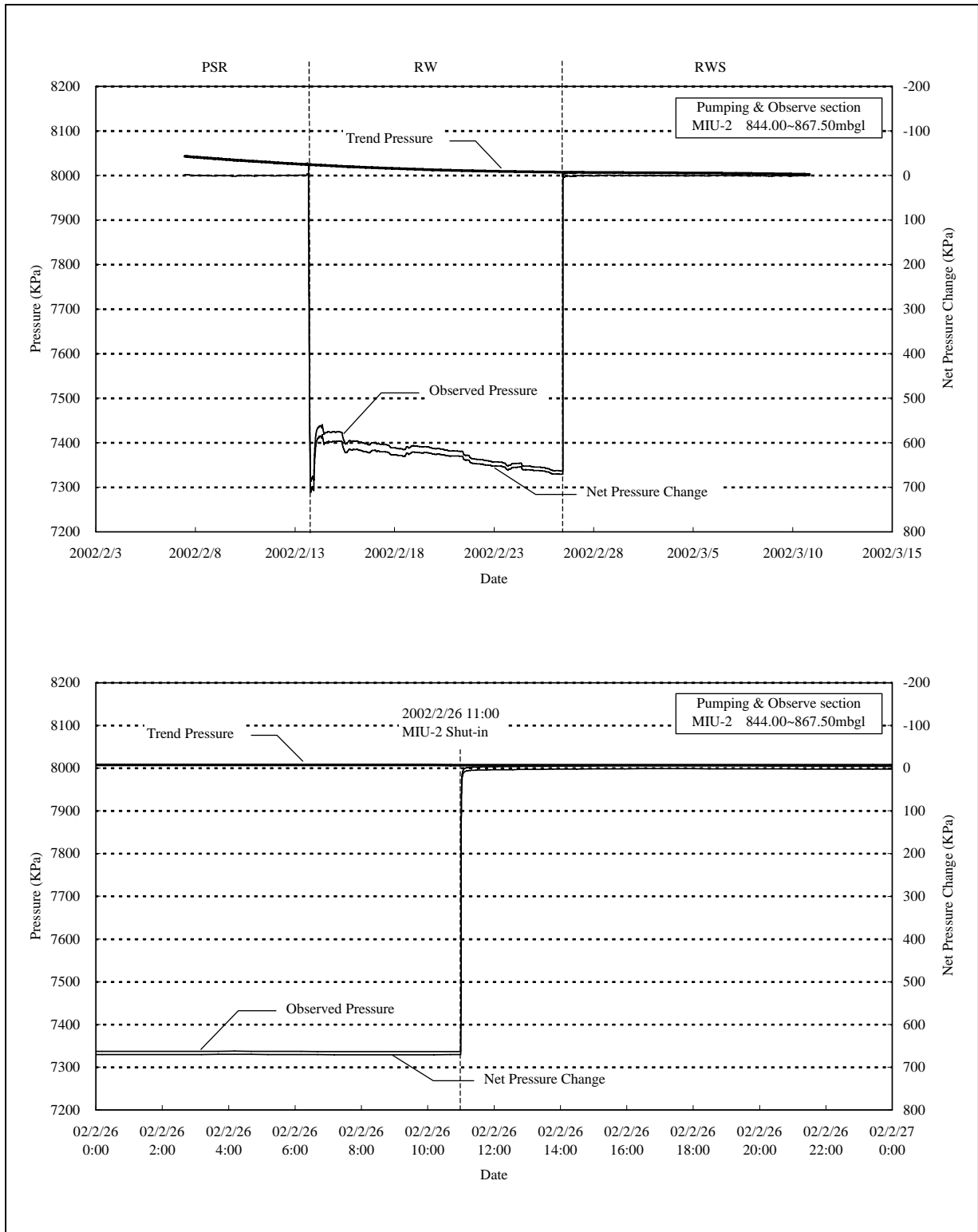


図 5.2.12 トレンド成分、潮汐成分の除去結果図（第二回試験、回復過程：MIU-2）

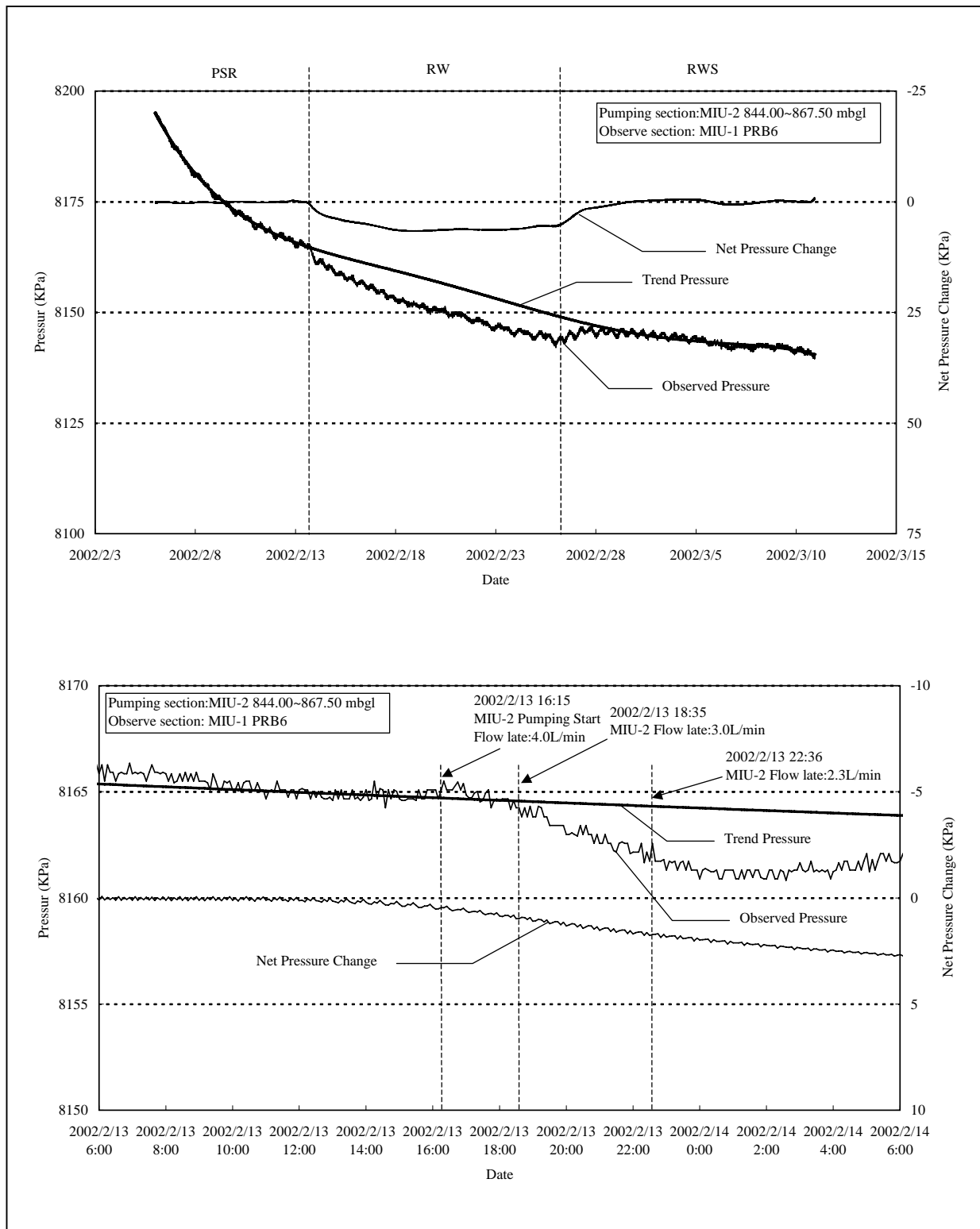


図 5.2.13 トレンド成分、潮汐成分の除去結果図

(第二回試験、揚水過程：MIU-1, PRB-6)

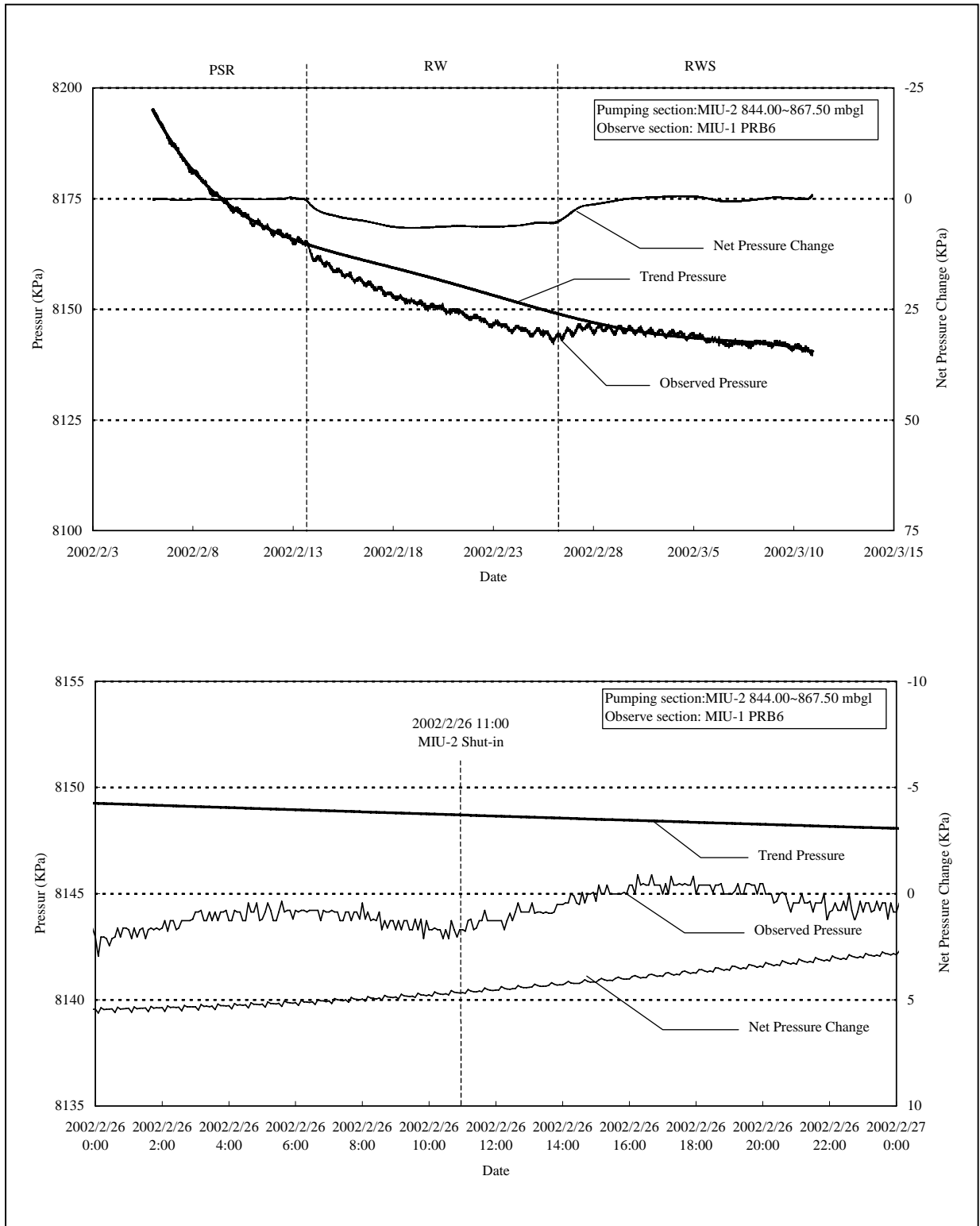


図 5.2.14 トレンド成分、潮汐成分の除去結果図

(第二回試験、回復過程：MIU-1, PRB-6)

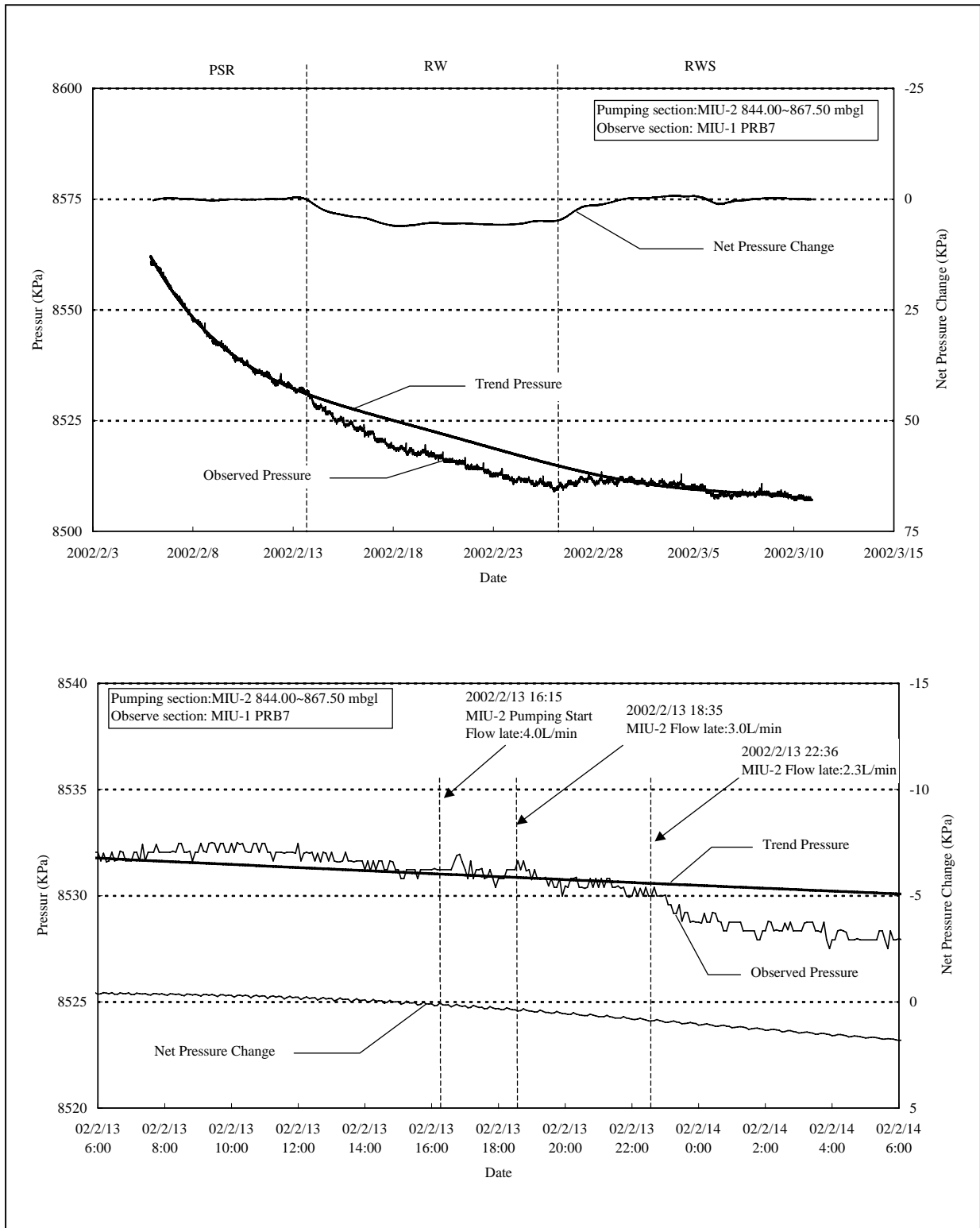


図 5.2.15 トレンド成分、潮汐成分の除去結果図

(第二回試験、揚水過程：MIU-1, PRB-7)

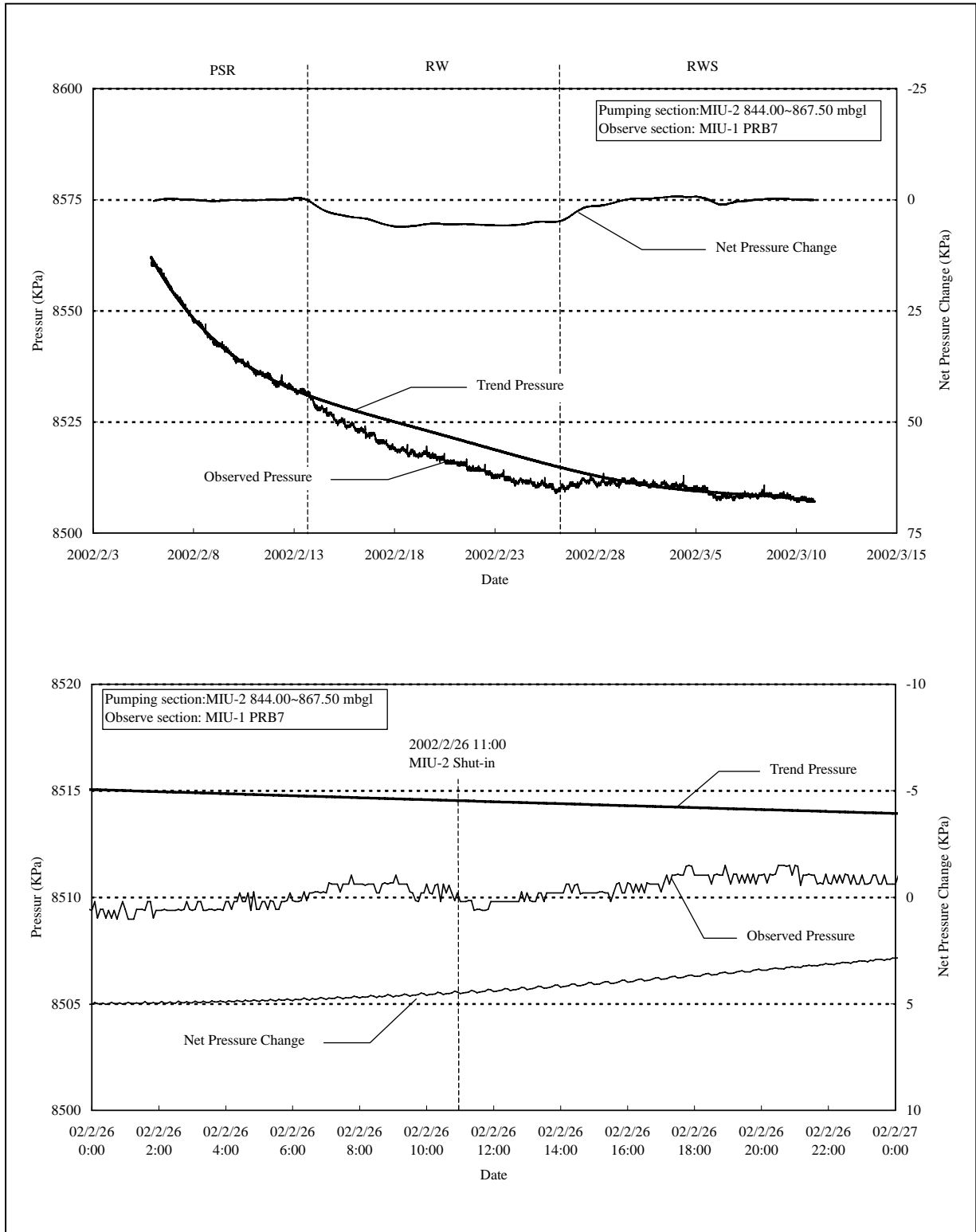


図 5.2.16 トレンド成分、潮汐成分の除去結果図

(第二回試験、回復過程 : MIU-1, PRB-7)

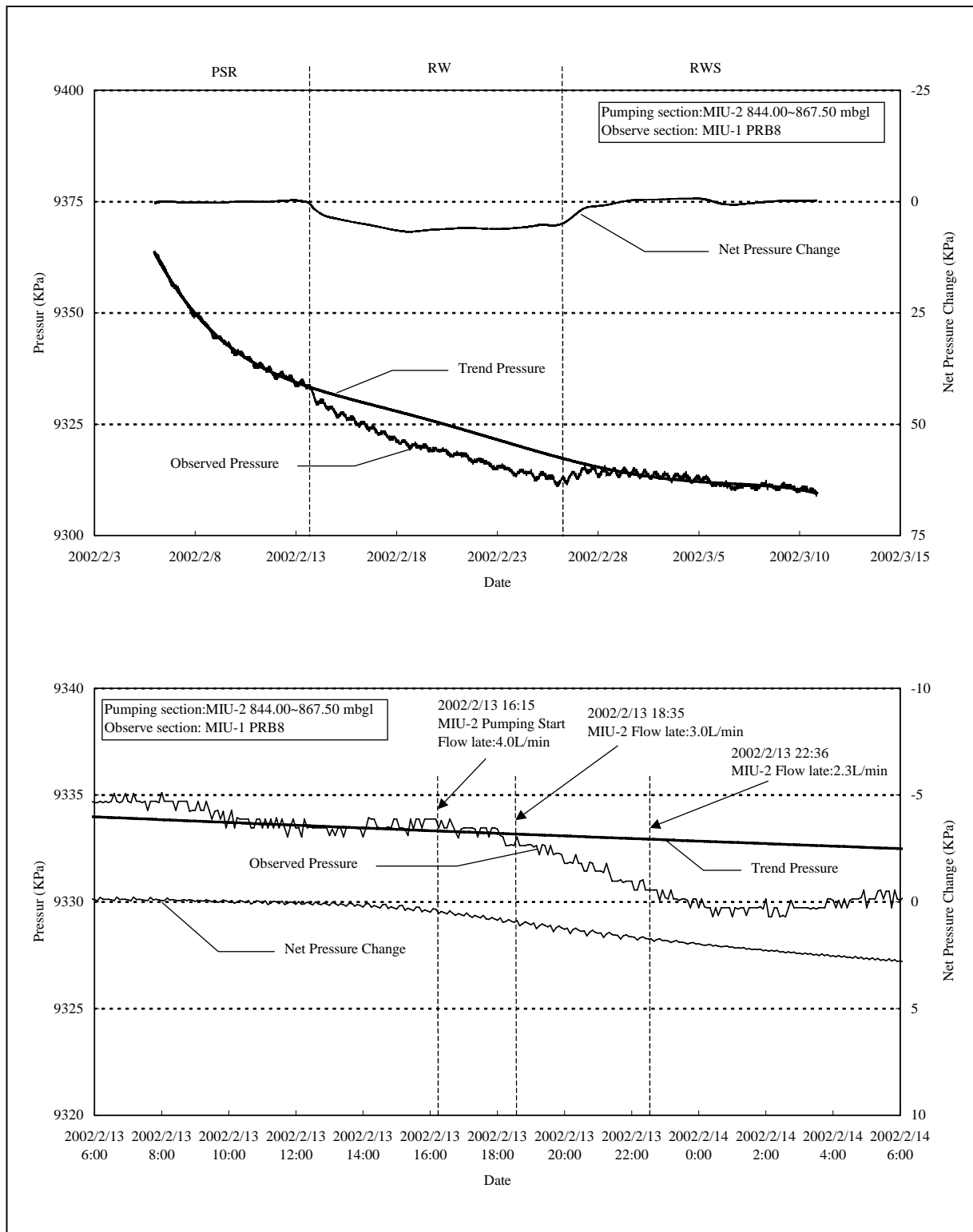


図 5.2.17 トレンド成分、潮汐成分の除去結果図

(第二回試験、揚水過程：MIU-1, PRB-8)

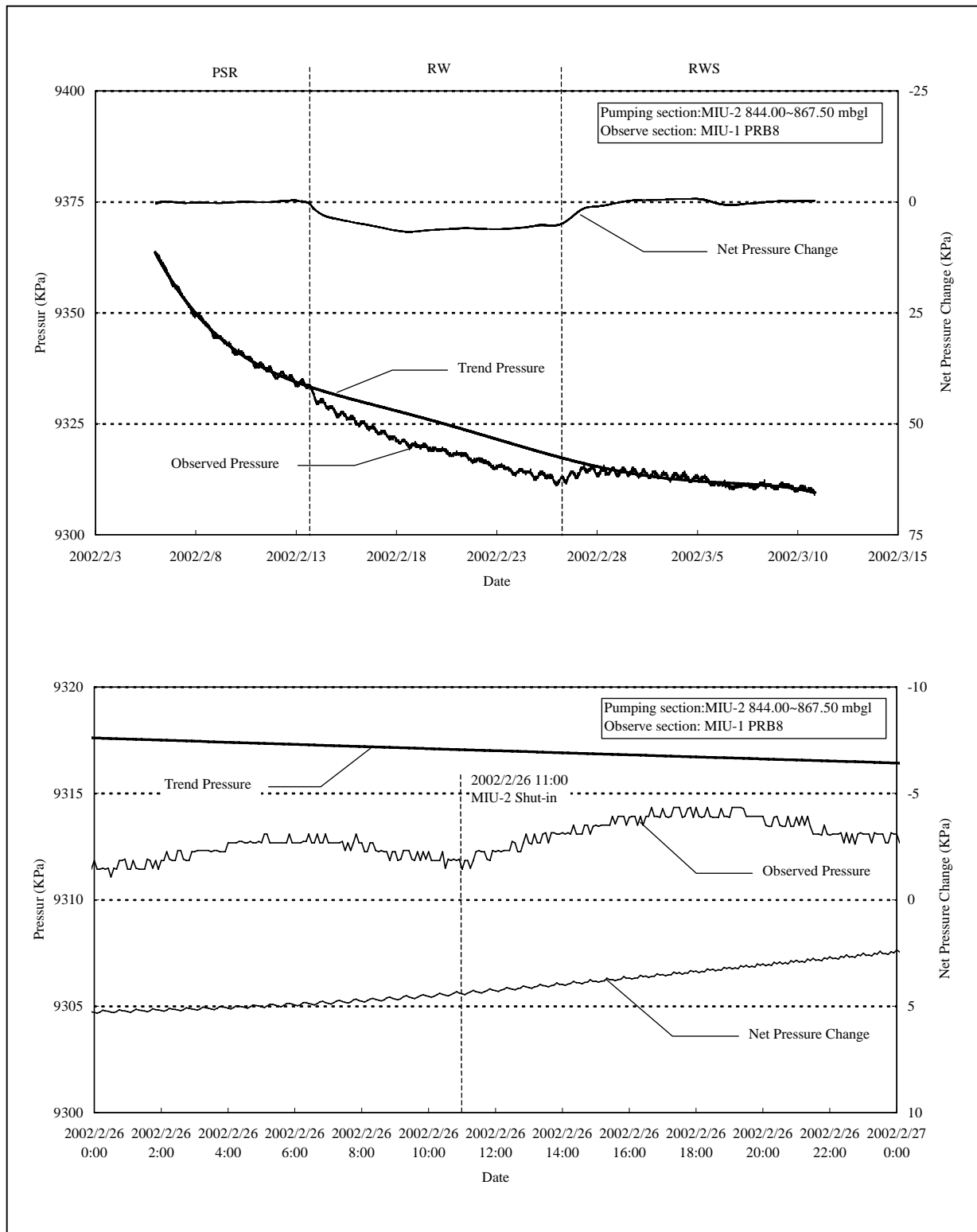


図 5.2.18 トレンド成分、潮汐成分の除去結果図

(第二回試験、回復過程：MIU-1, PRB-8)

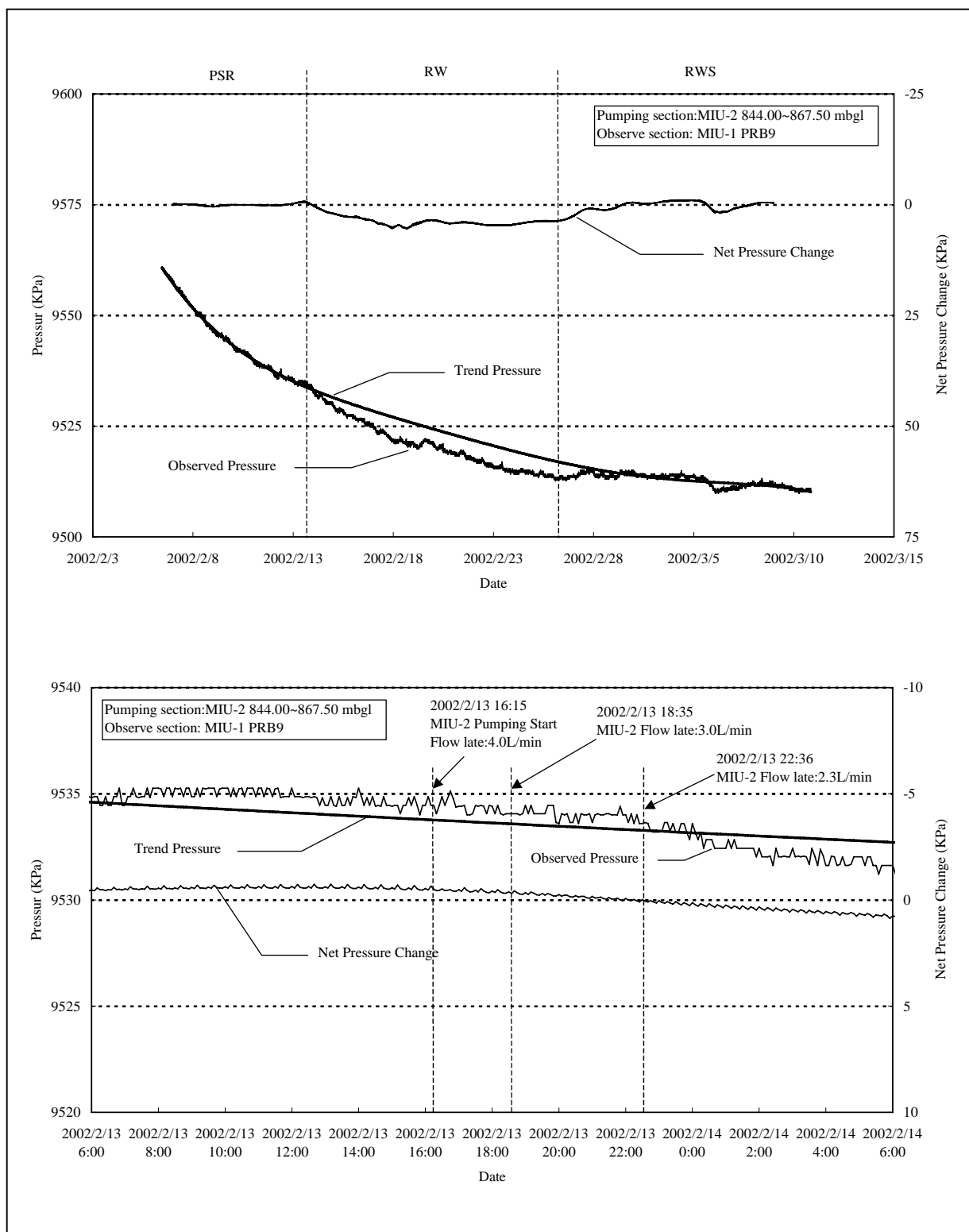


図 5.2.19 トレンド成分、潮汐成分の除去結果図

(第二回試験、揚水過程：MIU-1, PRB-9)

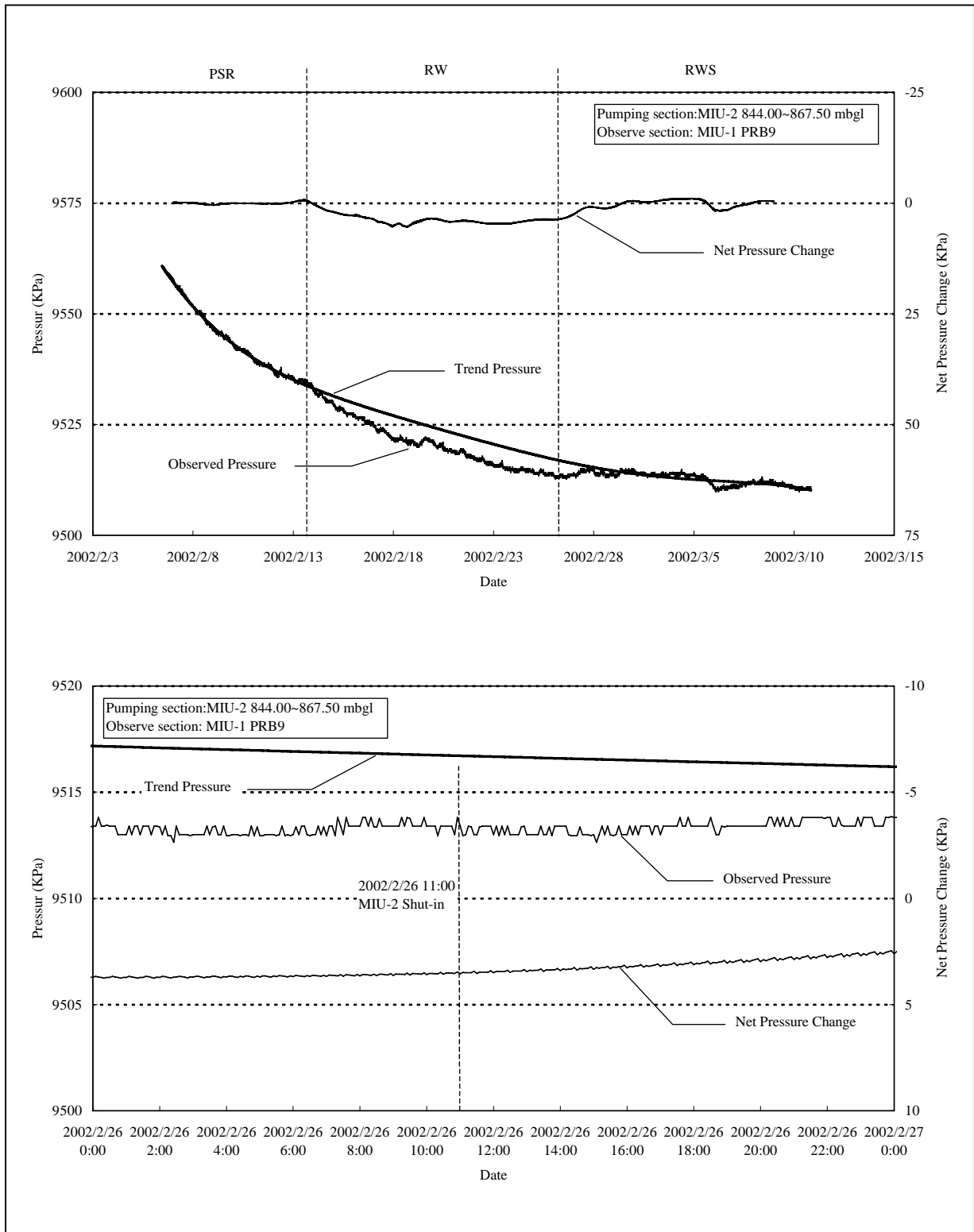


図 5.2.20 トレンド成分、潮汐成分の除去結果図

(第二回試験、回復過程 : MIU-1, PRB-9)

5.3 解析結果

揚水試験の解析から得られた透水量係数および貯留係数を表-5.3.1 に示す。解析では、揚水孔（MIU-2 号孔）の揚水区間ならびに圧力応答の認められた観測区間を対象とした。なお、圧力応答の認められた区間は、5.1 節で示したように、第一回試験の MIU-3 号孔の PRB-5～PRB8 と、第二回試験の MIU-1 号孔の PRB-6～PRB-9 である。各区間の間隙水圧一覧を表 5.3.2 に示す。各区間の水理定数の算出に用いた解析図を、図 5.3.1～5.3.22 に示した。

表 5.3.1 透水量係数、貯留係数一覧

第一回試験								
試験	試錐孔	MIU-2			MIU-3			
	対象区間	970.72～1012.00mbgl			PRB-5	PRB-6	PRB-7	PRB-8
	解析方法	Jacob	Eden-Hazel	Hvorslev 定常解	Jacob			
段階揚水	透水量係数： T (m^2/s)		8.78E-6					
揚水過程 (RW)	透水量係数： T (m^2/s)	1.09E-5		7.75E-6	1.97E-5	1.72E-5	1.59E-5	1.78E-5
	貯留係数：S	5.20E-4			9.46E-5	4.51E-5	5.36E-5	7.53E-5
回復過程 (RWS)	透水量係数： T (m^2/s)	1.30E-4			1.67E-5	1.18E-5	1.13E-5	1.24E-5
	貯留係数：S	—			9.69E-5	6.16E-5	6.42E-5	8.63E-5
第二回試験								
試験	試錐孔	MIU-2			MIU-1			
	対象区間	844.00～867.50mbgl			PRB-6	PRB-7	PRB-8	PRB-9
	解析方法	Jacob	Hvorslev 非定常解	Hvorslev 定常解	Jacob			
スラグ	透水量係数： T (m^2/s)		1.06E-6					
揚水過程 (RW)	透水量係数： T (m^2/s)	1.51E-7		5.40E-7	2.25E-5	1.90E-5	2.21E-5	1.71E-5
	貯留係数：S	1.37E-1			3.71E-5	5.72E-5	3.87E-5	8.12E-5
回復過程 (RWS)	透水量係数： T (m^2/s)	a: 2.65E-5 b: 2.03E-7			1.86E-5	1.72E-5	1.52E-5	1.34E-5
	貯留係数：S	b:1.28E-4			4.65E-5	5.36E-5	4.73E-5	7.25E-5

表 5.3.2 間隙水圧一覧

第一回試験 (MIU-2 号孔 : 深度 970.72~1012.00mbgl)						
		MIU-2	MIU-3			
			PRB-5	PRB-6	PRB-7	PRB-8
間隙水圧 (換算水位)	揚水前 01/12/22 17:35	8637.01kPa (4.41magl)	6928.05kPa	7374.43kPa	8090.84kPa	8654.54kPa
	パッカ-収縮前 02/1/22 13:30	8689.70kPa (9.78magl)	6981.97kPa	7444.72kPa	8160.87kPa	8719.67kPa
第二回試験 (MIU-2 号孔 : 深度 844.00~867.50mbgl)						
		MIU-2	MIU-1			
			PRB-6	PRB-7	PRB-8	PRB-9
間隙水圧 (換算水位)	揚水前 02/2/13 16:15	8025.09kPa (16.41mbgl)	8165.08kPa	8531.22kPa	9333.46kPa	9534.46kPa
	パッカ-収縮前 02/3/10 20:00	8002.12kPa (18.76mbgl)	8140.44kPa	8507.69kPa	9308.94kPa	9510.97kPa

※間隙水圧は圧力計の深度にかかる水圧。換算水位は補正值。

5.3.1 第一回試験の解析結果

(1) 揚水孔 (MIU-2 号孔)

以下の複数の手法を用いて水理定数値を算出した。

段階揚水試験	Eden-Hazel 法
揚水過程	Jacob 法および Hvorslev の定常式
回復過程	Jacob 法

まず、揚水過程および回復過程の Jacob 法による解析結果について述べる (図-5.3.2~図-5.3.3)。揚水過程の Jacob による解析は、段階揚水試験の 2 段階目($q=9.8\text{L}/\text{min}$)を対象におこなった。その結果を図 5.3.2 に示す。デリバティブプロットを見ると、井戸貯留効果の領域は十分に越えているものの、岩盤の透水性を反映すると考えられる IARF 領域に十分に達していない。次に、回復過程における解析結果を図 5.3.3 に示すが、他と比べて非常に大きな透水量係数 ($1.3 \times 10^{-4} \text{m}^2/\text{s}$) が得られた。その原因として、4.4 で述べたように、メインバルブからの水のリークが生じたために圧力の回復量が小さいことが考えられる。以上から、揚水過程および回復過程の Jacob 法による解析結果の信頼性は低いと考えられる。

次に、段階揚水試験の解析結果を図-5.3.4 に示す。同図中、各揚水段階を通じて理論直線との良い適合が見られ、透水量係数として $T=8.8 \times 10^{-6} (\text{m}^2/\text{s})$ が得られた。この結果を全水位低下量と平均流量を用いた揚水過程の Hvorslev の定常式による解析を行ったところ、ほぼ同一の値が得られた (透水量係数 $T=7.8 \times 10^{-6} (\text{m}^2/\text{s})$)。

以上から、段階揚水試験の Eden-Hazel による解析値が最も信頼性が高いと考えられる。

(2) 観測孔 (MIU-3 号孔 PRB-5～PRB-8)

揚水による圧力応答が認められた観測区間 (MIU-3 号孔の PRB-5～PRB-8) を対象とし、Jacob 法による解析を行った。その結果を図-5.3.5～図-5.3.12 示し、得られた透水量係数と貯留係数を表 5.3.1 中に示した。各観測区間の解析結果には大きな差は見られていないが、揚水過程と回復過程で若干の違いが見られる。ここで、デリバティブプロット (図-5.3.5～図-5.3.12) を見ると、揚水過程ではデリバティブがほぼ一定値 (IARF 領域) に達しているのに対して、回復過程では明瞭な IARF 領域に達するものが少ない。従って、揚水過程の解析結果の方がより信頼性が高いものと考えられる。

なお、MIU-2 号孔における回復過程では、メインバルブ閉鎖 (Shut-in) から 2 秒で、低下した水位の 84% が回復している。したがって、第一回試験では、図 5.3.1 のモデルに示すように、試験孔壁に薄く集中した抵抗体 (スキン) による水頭損失があったものと考えられる。

5.3.2 第二回試験の解析結果

(1) 揚水孔 (MIU-2 号孔)

以下の複数の手法を用いて水理定数値を算出した。

スラグ試験 (揚水開始前) Hvorslev の非定常解析

揚水過程 Jacob 法および Hvorslev の定常式

回復過程 Jacob 法

揚水過程の Jacob 法による解析では、揚水開始から揚水量を変更するまでの期間 (約 160 分間) を対象とした。デリバティブプロット (図 5.3.13) を見ると、その後期にデリバティブがほぼ一定になりつつあるように見える。これを IARF 領域と考えて透水量係数を求めると $1.5 \times 10^{-7} \text{ m}^2/\text{s}$ が得られる。

一方、回復過程では、図 5.3.14 のデリバティブプロットから Agarwal 時間 ($t_p \cdot \Delta t / (t_p + \Delta t)$) で 1000 以降において IARF 領域が認められ、 $\Delta P - \log t$ の傾き (図中の傾き a) から Jacob 法により透水量係数を求めると $2.65 \times 10^{-5} \text{ m}^2/\text{s}$ が得られる。この値は、揚水過程で得られた値に比べて 2 オーダー大きい。ここで、井戸貯留効果の領域を越えた直後の傾き b から透水量係数を求めてみると、 $2.03 \times 10^{-7} \text{ m}^2/\text{s}$ であり、揚水過程の Jacob 法による解析結果と同程度である。このことから、揚水過程の解析で求めた透水量係数値は、IARF 領域に至る前の揚水孔近傍の透水性を反映している可能性が高い。

表-5.3.1 中に、揚水量を決定するために揚水試験前に実施したスラグ試験結果や Hvorslev の定常式による解析値を示した。いずれも 10^{-6} オーダーであり、上記の a 値と b 値から求めた値の中間的な値となっている。

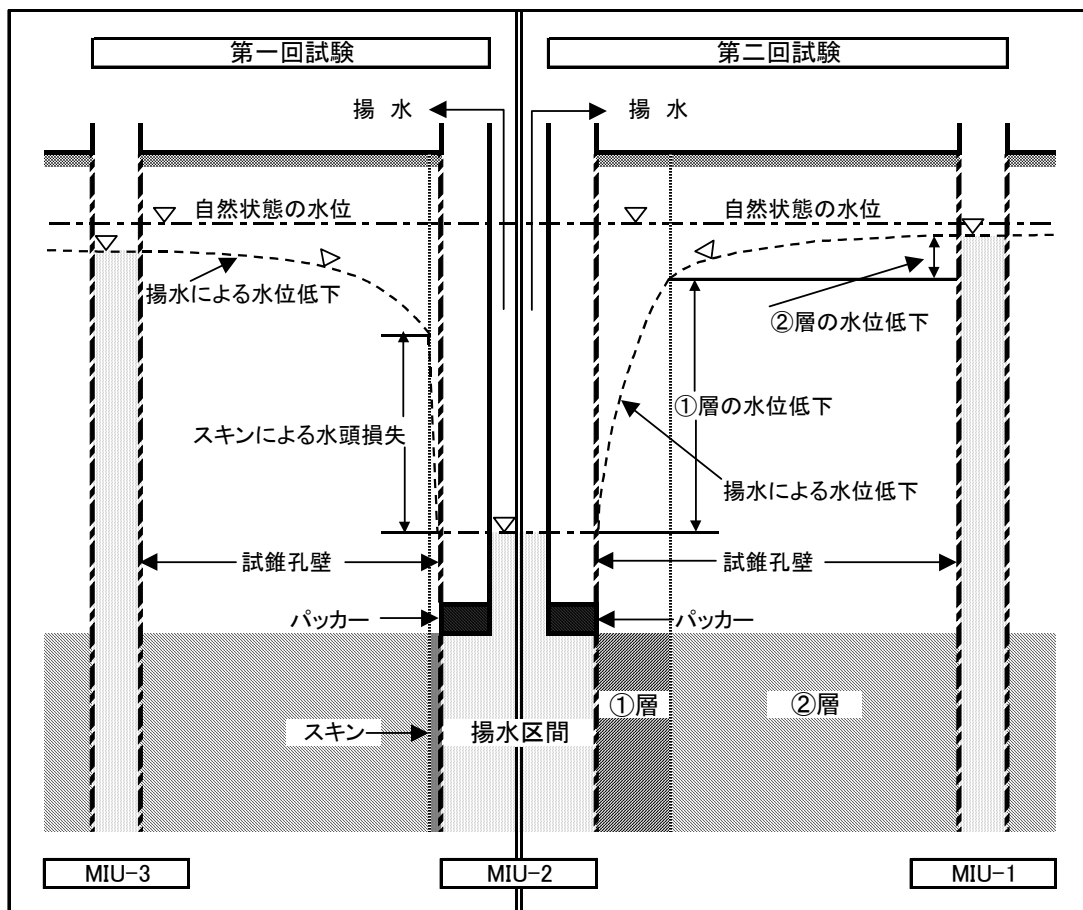
(2) 観測孔 (MIU-1 号孔 PRB-6～PRB-9)

揚水による圧力応答が認められた観測区間 (MIU-1 号孔の PRB-6～PRB-9) を対象とし、Jacob 法による解析を行った。その結果を図-5.3.15～図-5.3.22 および表 5.3.1 中に示した。第一回目試験の MIU-3 号孔の解析結果と同様、回復過程で得られた透水量係数の方が揚水過程と比べて若干小さくなっているものの、大きな差ではない。なお、図-5.3.15～図-5.3.22 中に示したデリバティブプロットにおいてばらつきが大きいのは、水圧計の解像度に対して水圧低下量が小さいためである。

以上から、第二回試験結果を解釈すると次のようである。揚水孔の回復過程の a 値から求めた透水量係数は、揚水孔周囲の比較的広い領域の透水性を反映したものと考えられる。このことは、観測孔の解析による透水量係数が同程度であることと整合的である。一方、回復過程の b 値から求めた低い透水量係数は、揚水孔近傍に存在する低透水性領域を強く反映したものと考えられる。特に、IARF 領域に至るまでに数 1000 秒を要していることから、揚水孔近傍の低透水領域は孔壁面の泥膜のような、一般に言われるスキンよりも大きな規模であるものと推察される。

これをモデル的に表現したものが、図 5.3.1 に示すような 2 層型のモデルである。回復過程の初期においては①層から揚水孔への排水が卓越する。MIU-2 号孔の水圧回復過程で見られた初期の傾き b は①層の透水性を反映していると考えられる。その後、より広い領域からの排水が生じ、回復過程の後期（傾き a）では、②層の透水性をより強く反映するようになると考えられる。

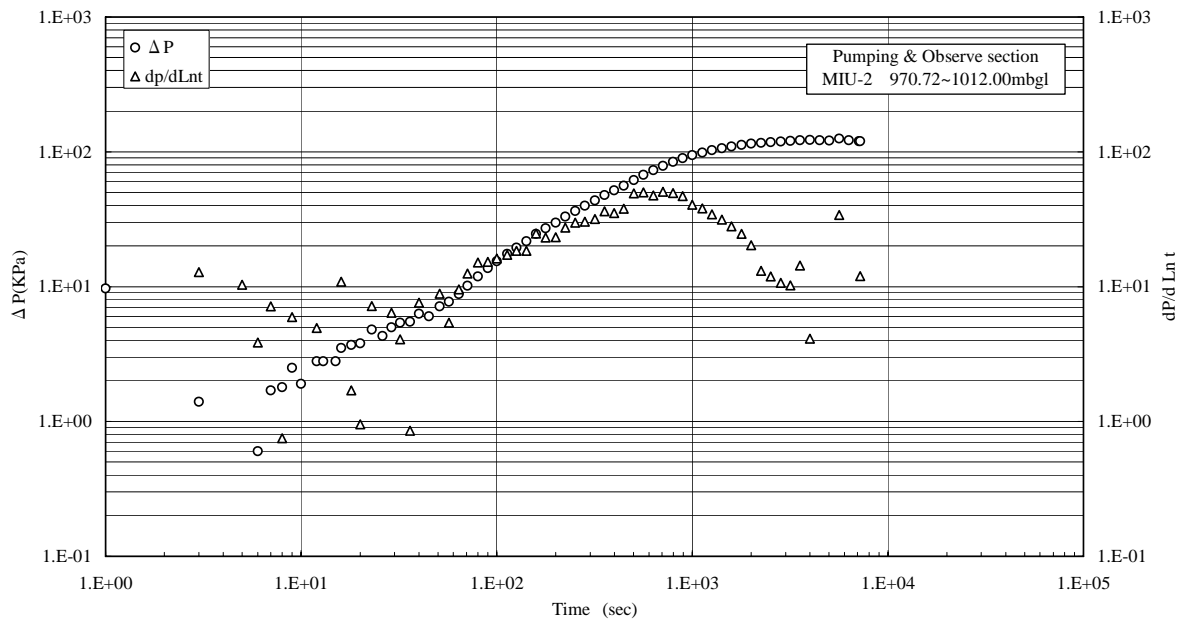
図 5.3.1 試験結果より想定される水位低下のモデル図



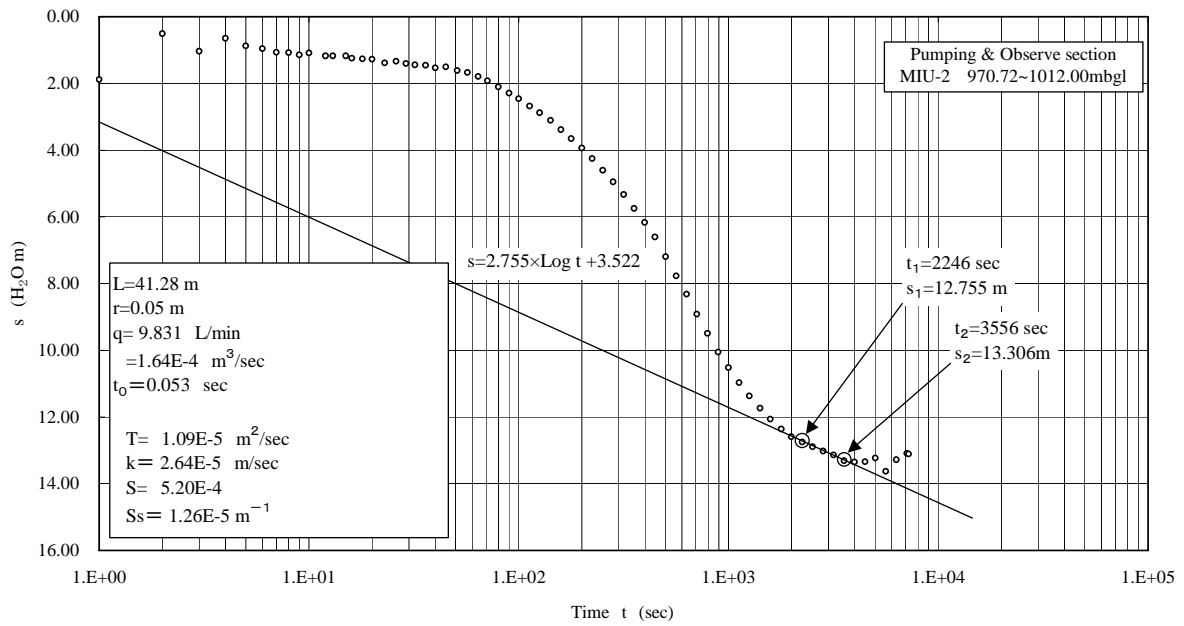
選定した代表値を、表 5.3.3 に示す。

表 5.3.3 代表値の一覧

第一回試験					
試錐孔	MIU-2	MIU-3			
対象区間	970.72~1012.00mbgl	PRB-5	PRB-6	PRB-7	PRB-8
試験／解析方法	段階揚水試験／Eden-Hazel	揚水過程／Jacob			
透水量係数：T (m ³ /sec)	8.78E-6	1.97E-5	1.72E-5	1.59E-5	1.78E-5
貯留係数：S	—	9.46E-5	4.51E-5	5.36E-5	7.53E-5
第二回試験					
試錐孔	MIU-2	MIU-1			
対象区間	844.00~867.50mbgl	PRB-6	PRB-7	PRB-8	PRB-9
試験／解析方法	回復過程／Jacob	揚水過程／Jacob			
透水量係数：T (m ³ /sec)	2.65E-5	2.25E-5	1.90E-5	2.21E-5	1.71E-5
貯留係数：S	—	3.71E-5	5.72E-5	3.87E-5	8.12E-5

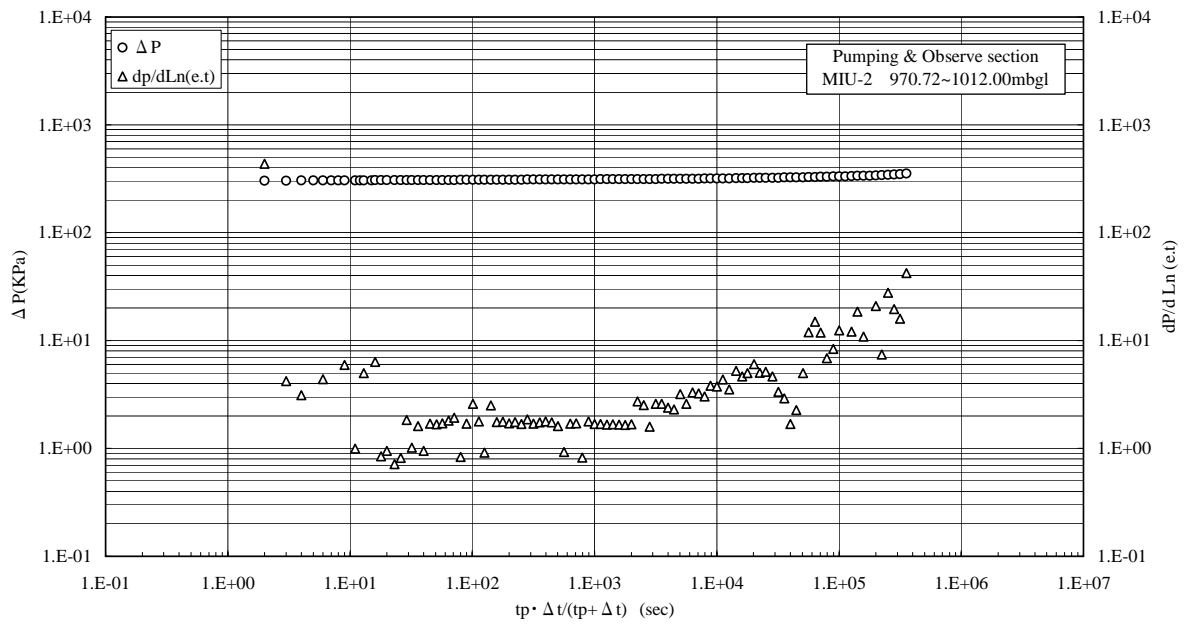


(a) Derivative Plot

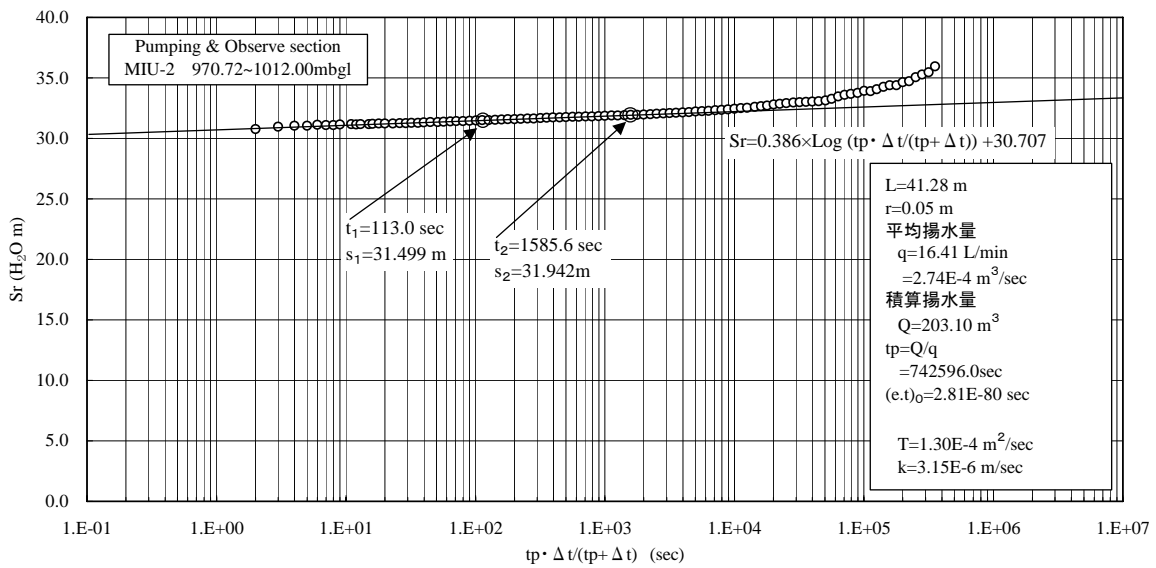


(b) 解析結果図:Jacob

図 5.3.2 解析結果図[Jacob] (第一回試験、揚水過程 : MIU-2)



(a) Derivative Plot



(b) 解析結果図: Agarwal

図 5.3.3 解析結果図[Jacob(Agarwal)] (第一回試験、回復過程: MIU-2)

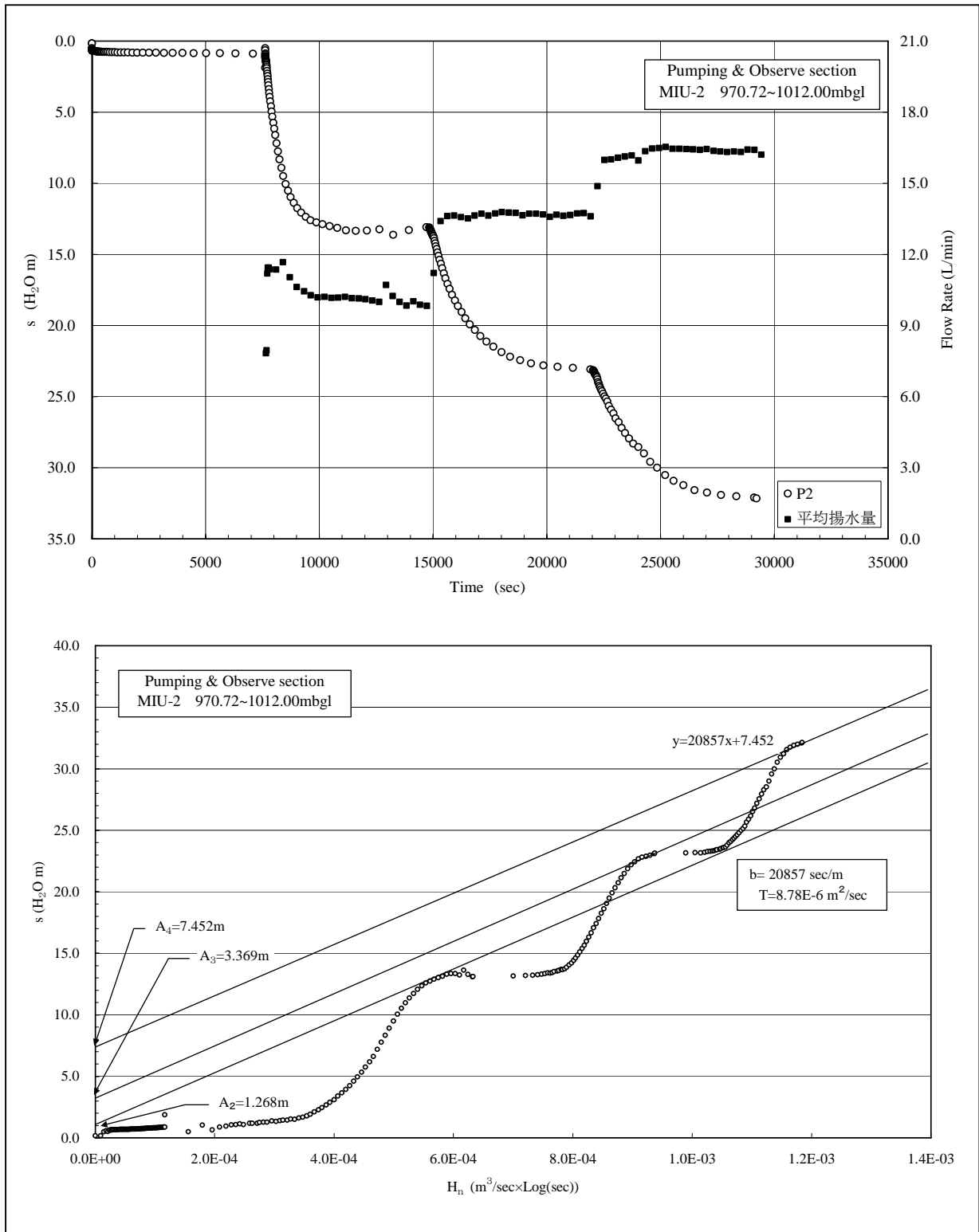


図 5.3.4 解析結果図[Eden-Hazel] (第一回試験、段階揚水試験 : MIU-2)

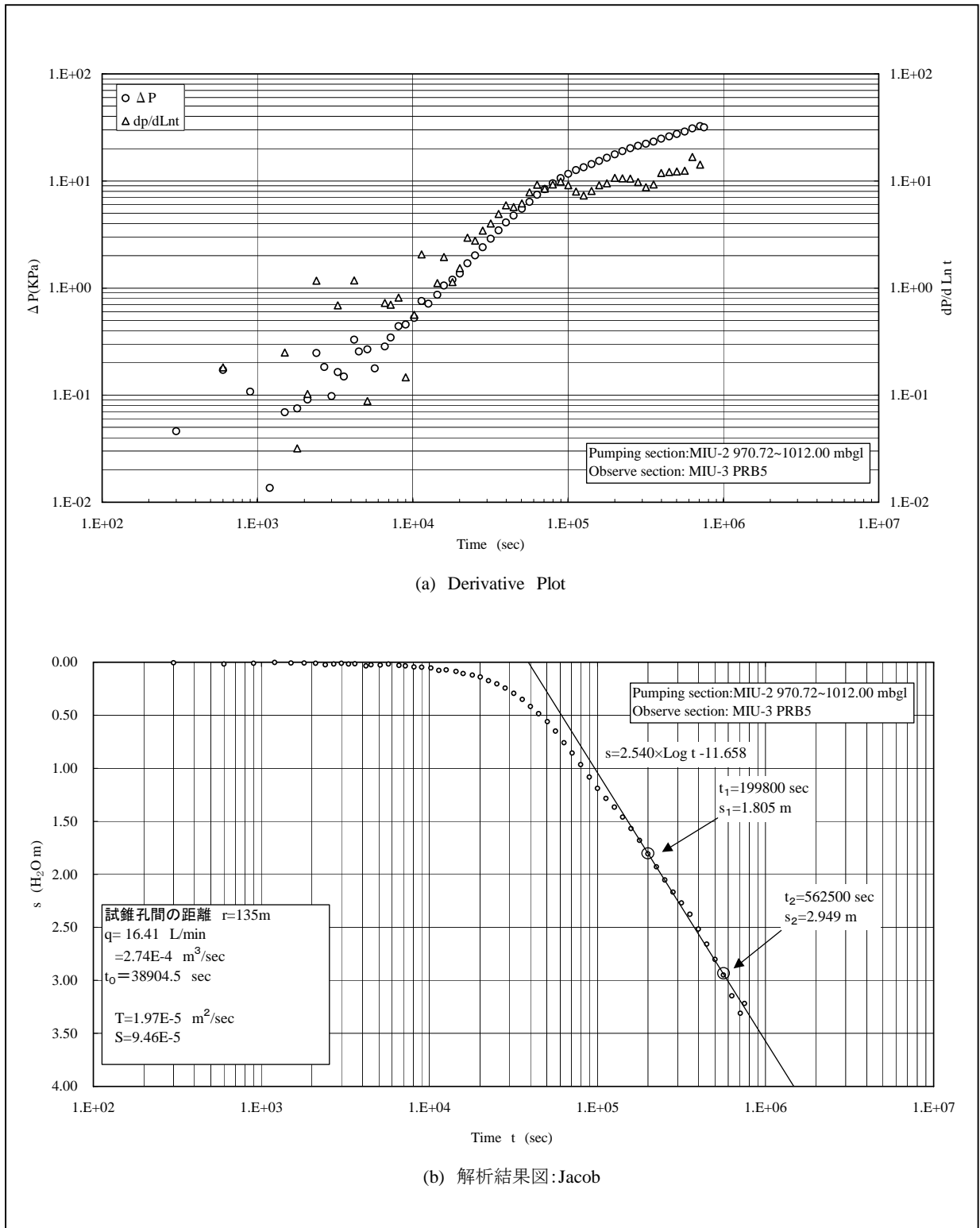
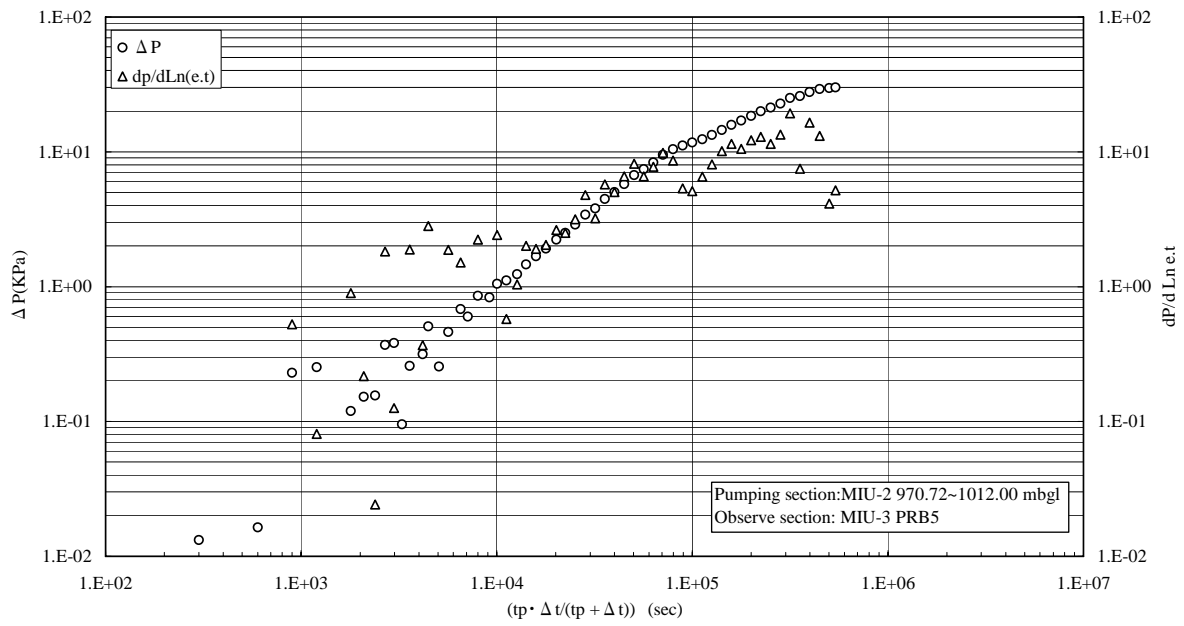
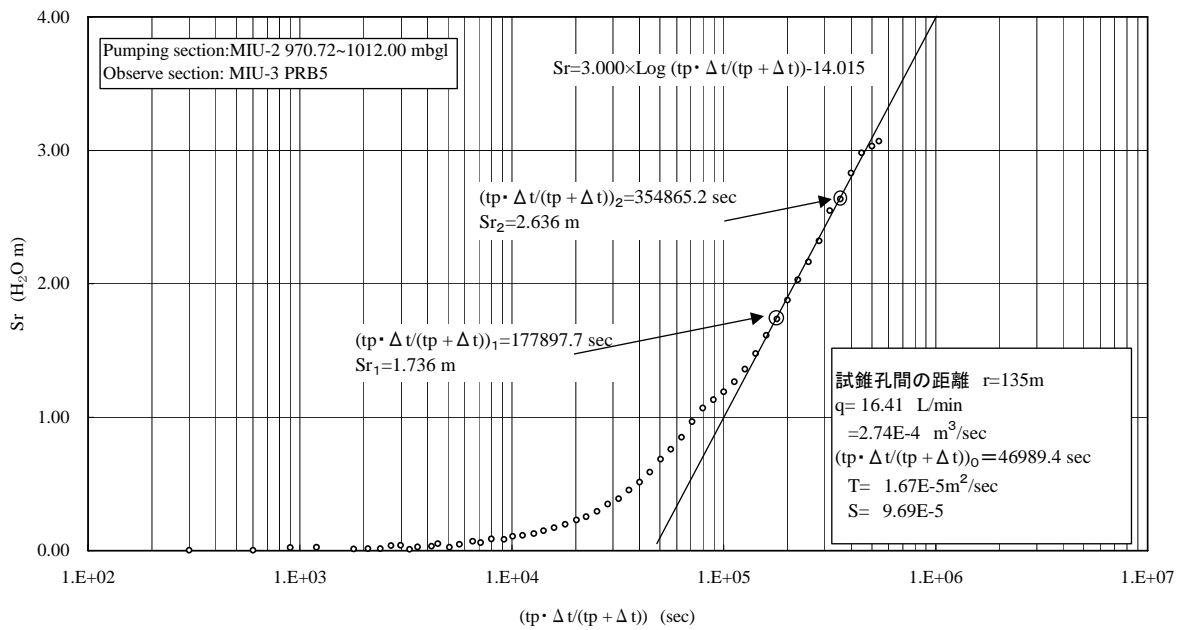


図 5.3.5 解析結果図[Jacob] (第一回試験、揚水過程 : MIU-3, PRB-5)



(a) Derivative Plot



(b) 解析結果図: Agarwal

図 5.3.6 解析結果図[Jacob(Agarwal)] (第一回試験、回復過程: MIU-3, PRB-5)

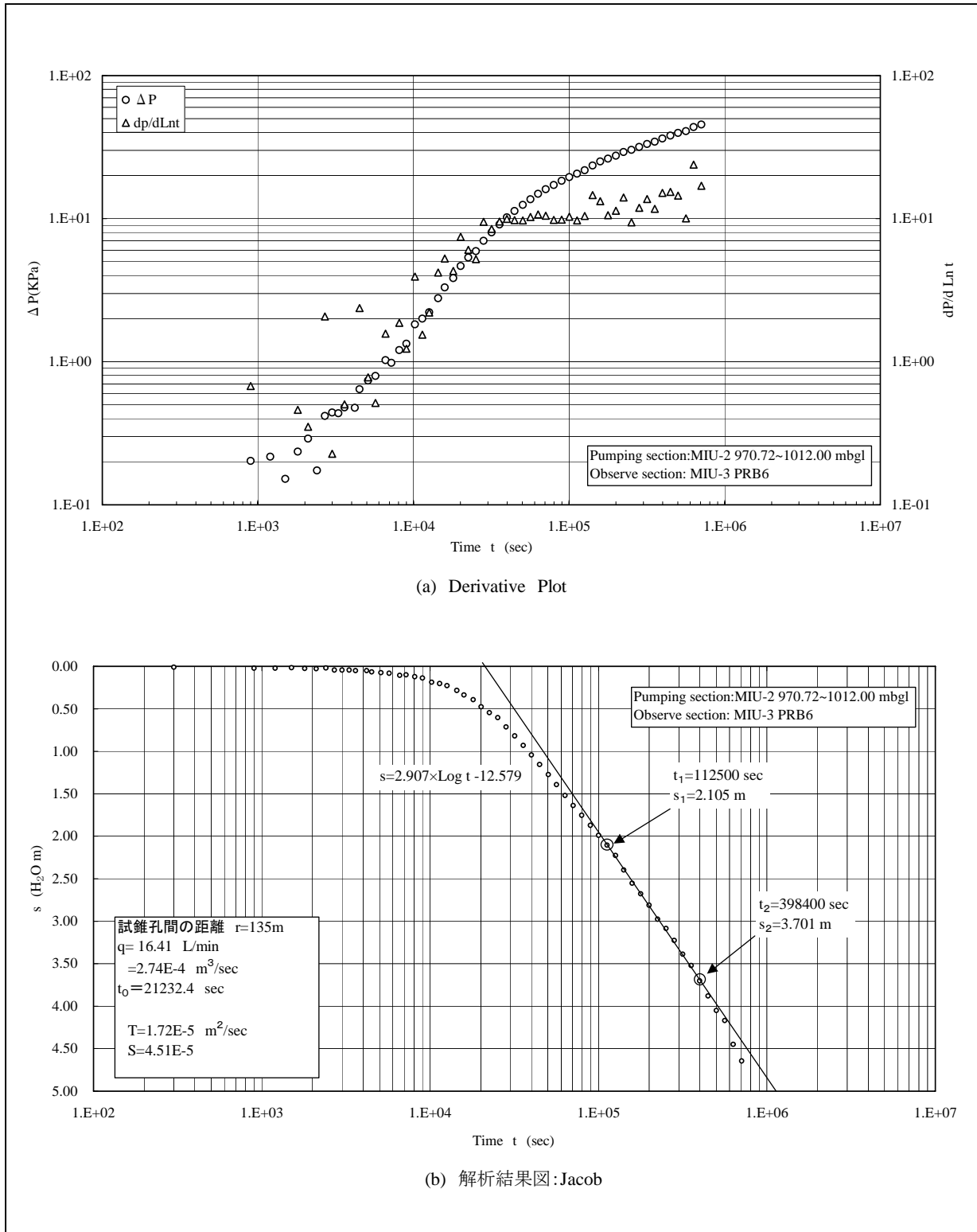


図 5.3.7 解析結果図[Jacob] (第一回試験、揚水過程 : MIU-3, PRB-6)

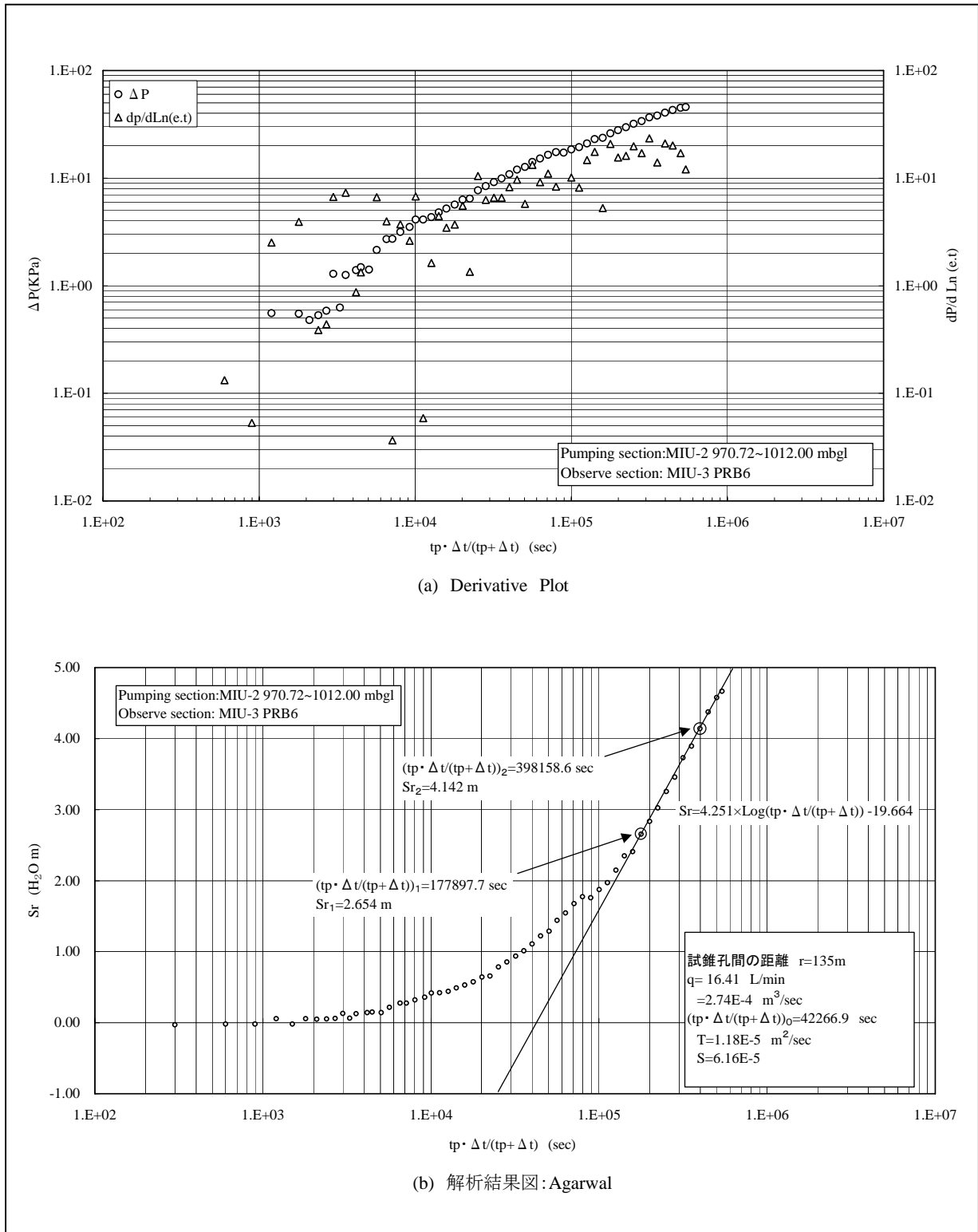
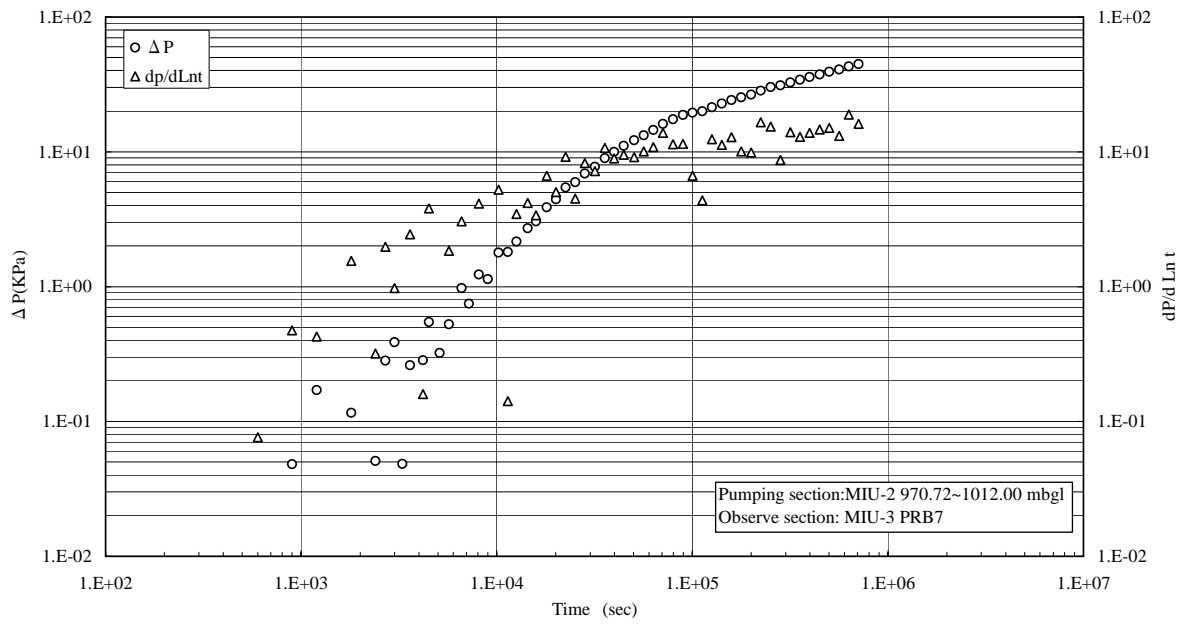
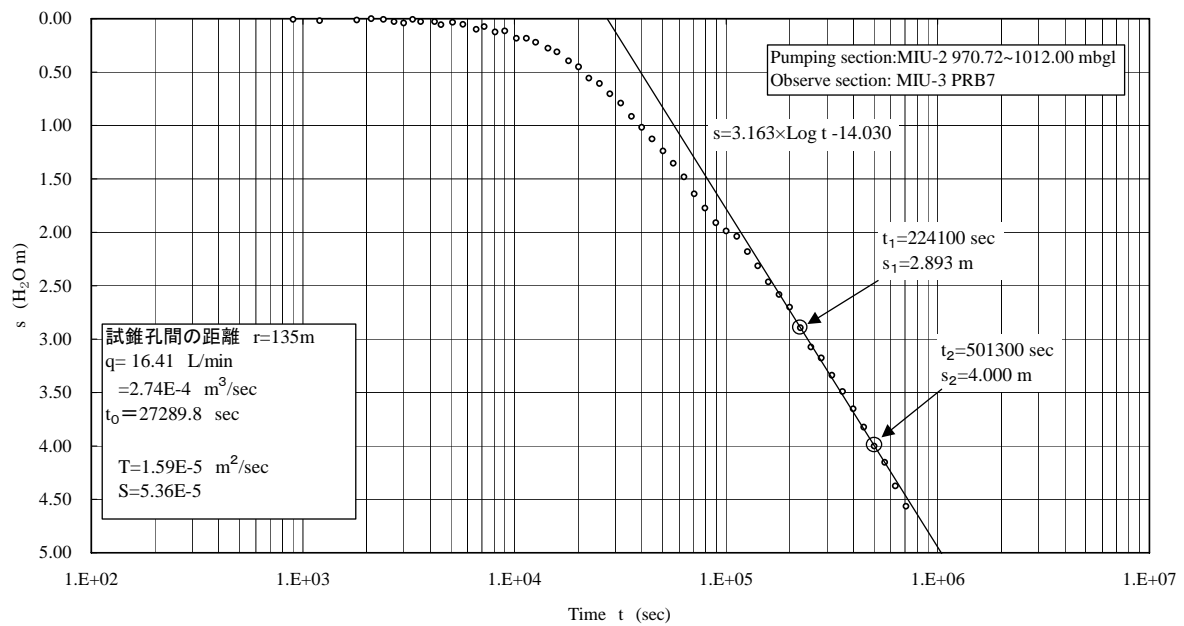


図 5.3.8 解析結果図[Jacob(Agarwal)] (第一回試験、回復過程: MIU-3, PRB-6)



(a) Derivative Plot



(b) 解析結果図: Jacob

図 5.3.9 解析結果図[Jacob] (第一回試験、揚水過程: MIU-3, PRB-7)

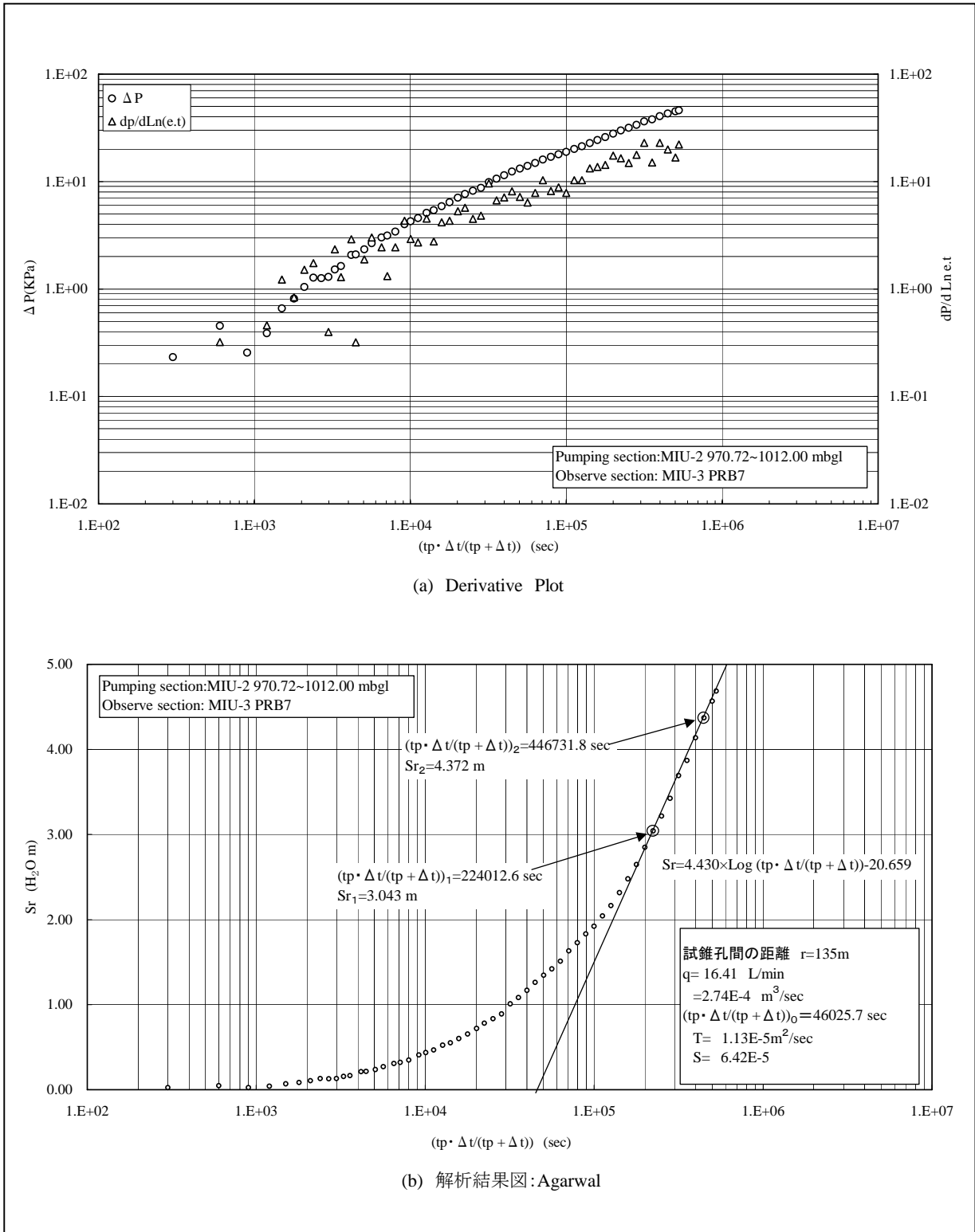
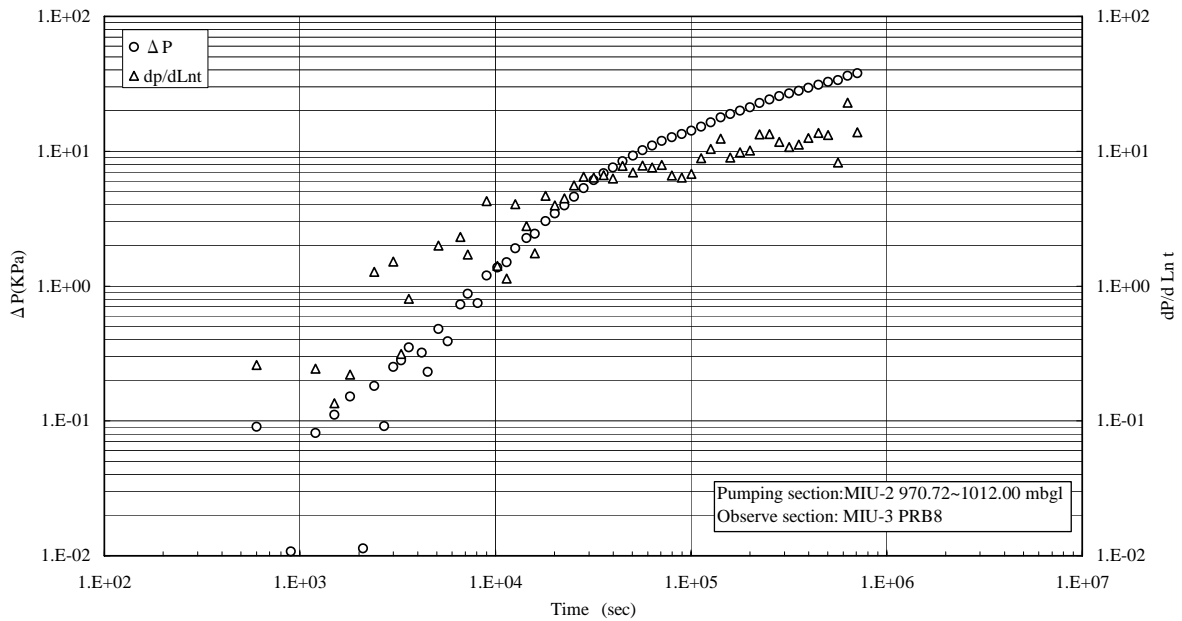
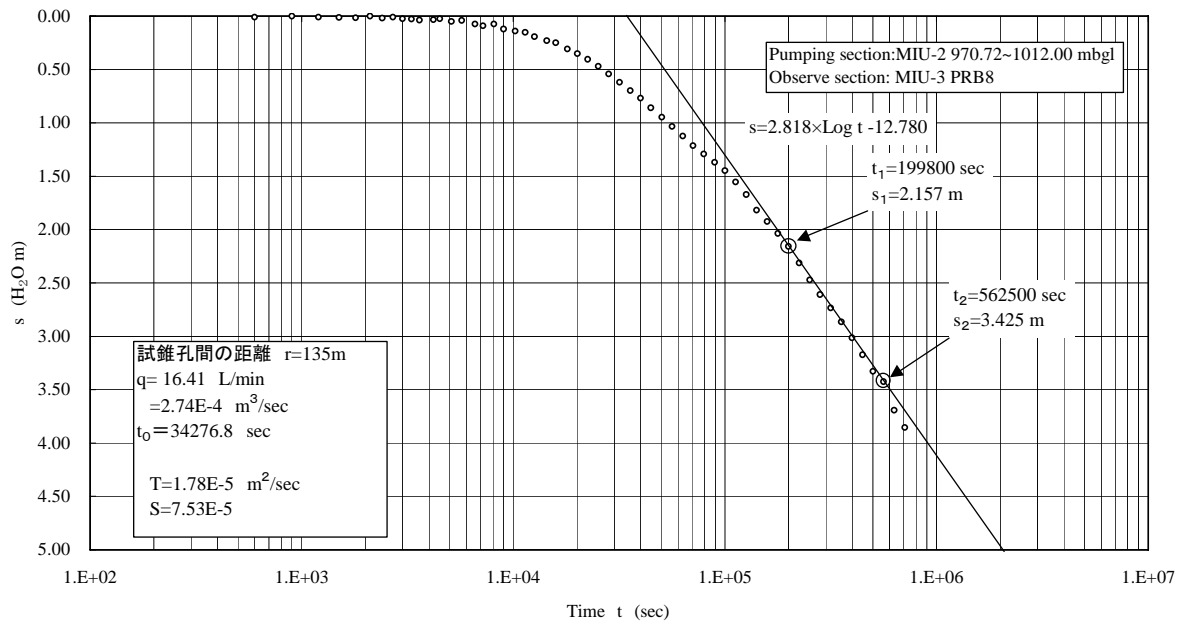


図 5.3.10 解析結果図[Jacob(Agarwal)] (第一回試験、回復過程: MIU-3, PRB-7)

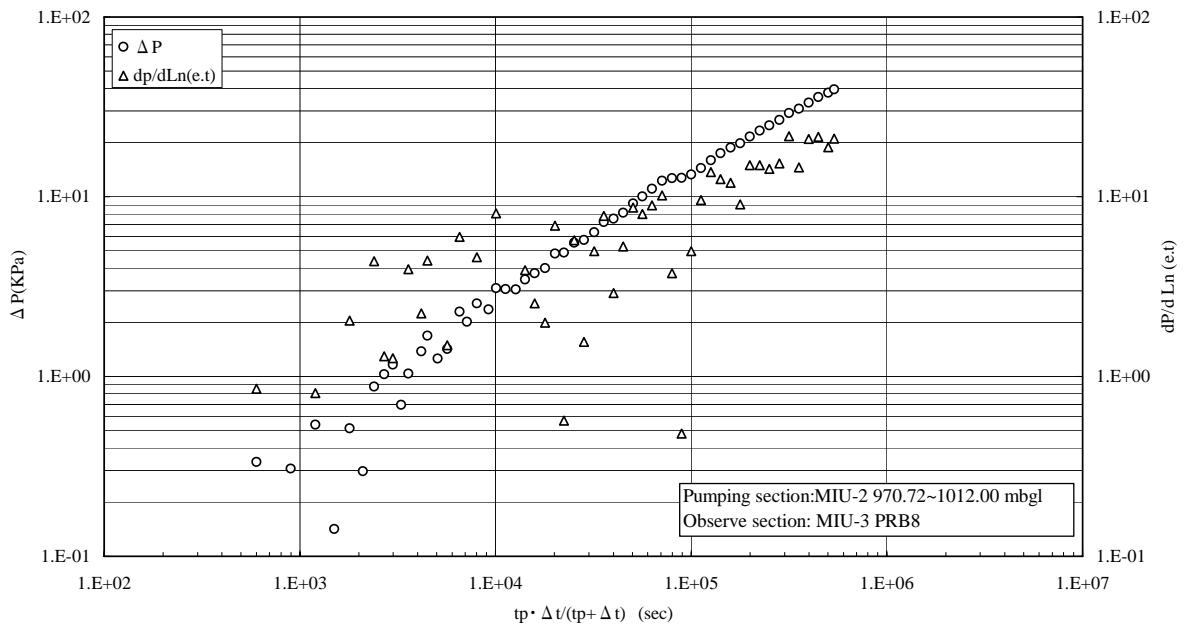


(a) Derivative Plot

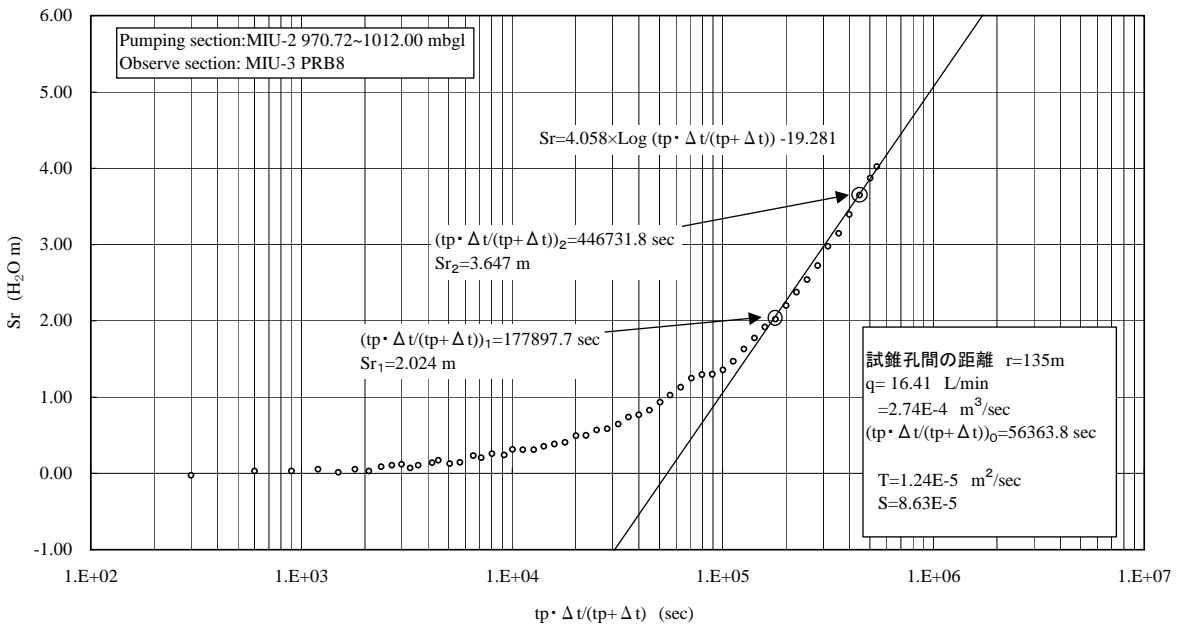


(b) 解析結果図:Jacob

図 5.3.11 解析結果図[Jacob] (第一回試験、揚水過程 : MIU-3, PRB-8)

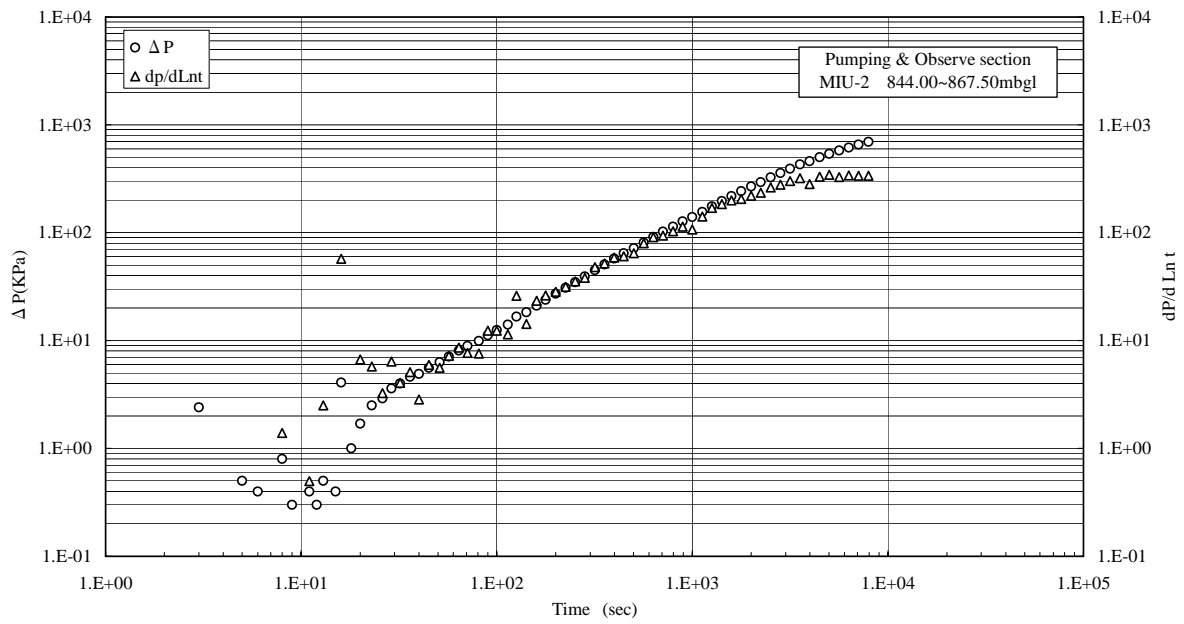


(a) Derivative Plot

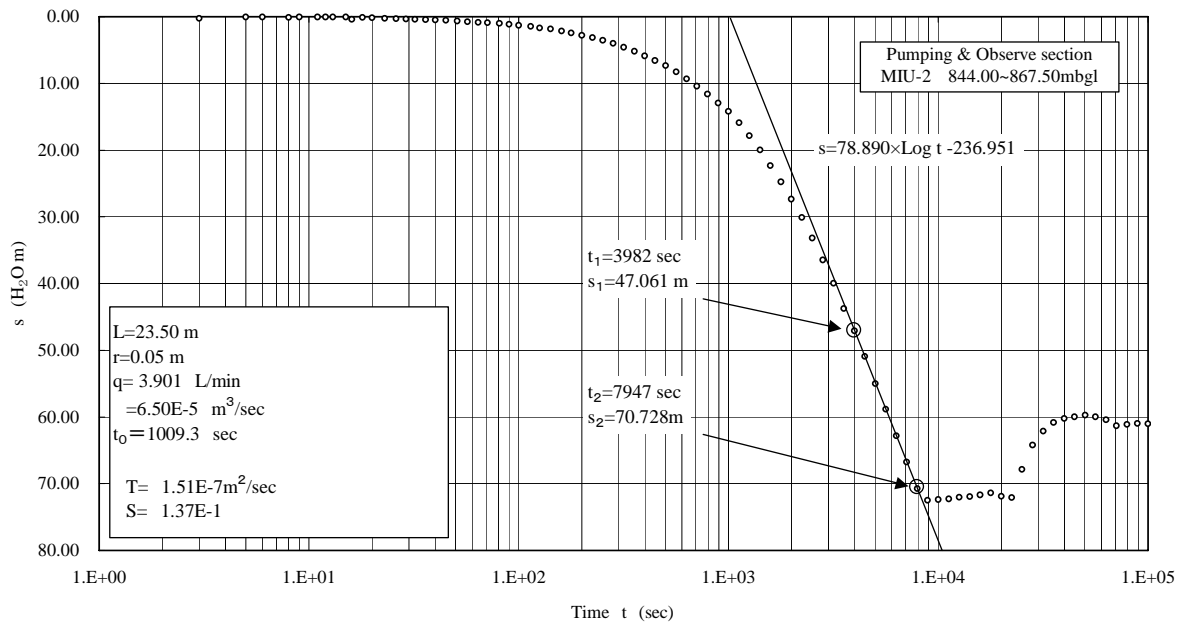


(b) 解析結果図: Agarwal

図 5.3.12 解析結果図[Jacob(Agarwal)] (第一回試験、回復過程: MIU-3, PRB-8)

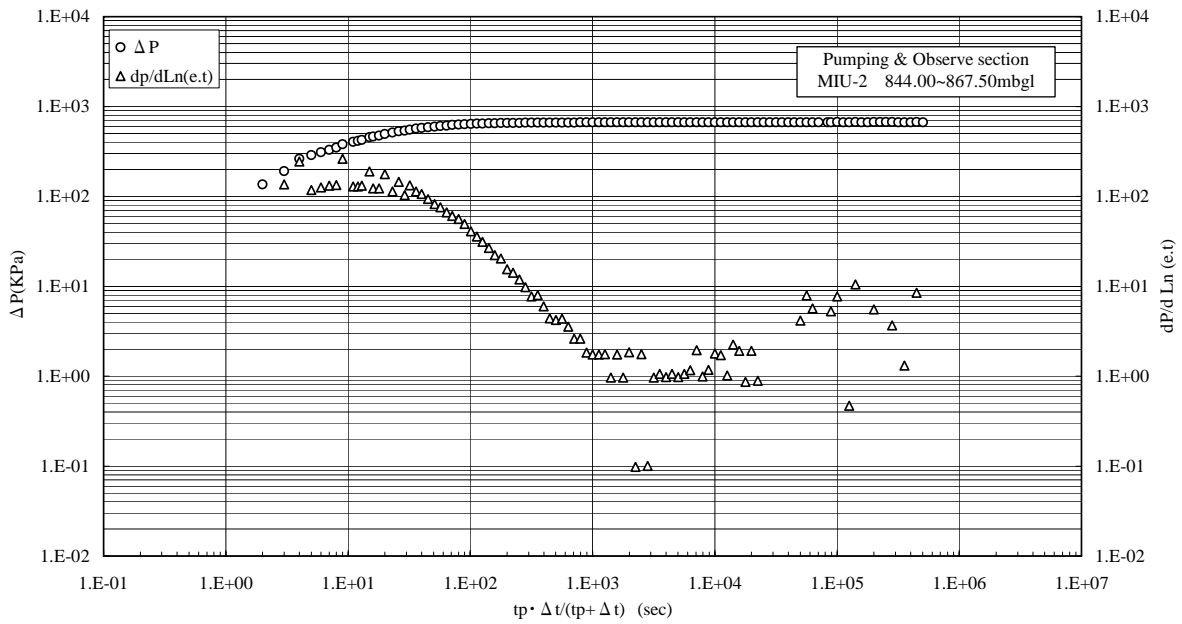


(a) Derivative Plot

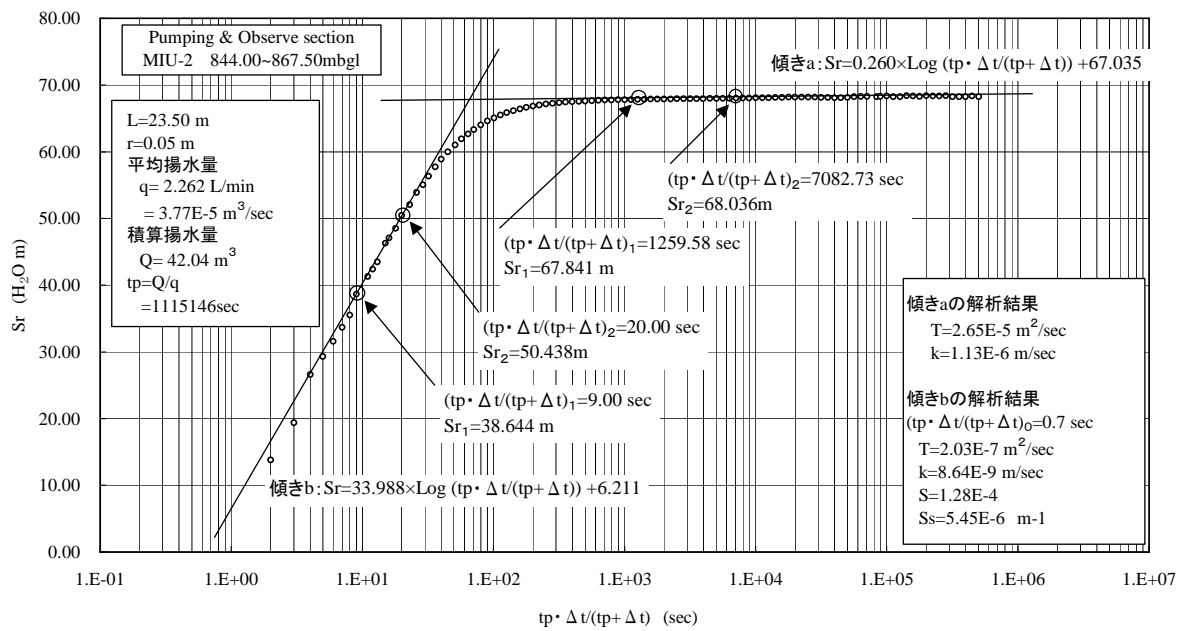


(b) 解析結果図: Jacob

図 5.3.13 解析結果図[Jacob] (第二回試験、揚水過程: MIU-2)

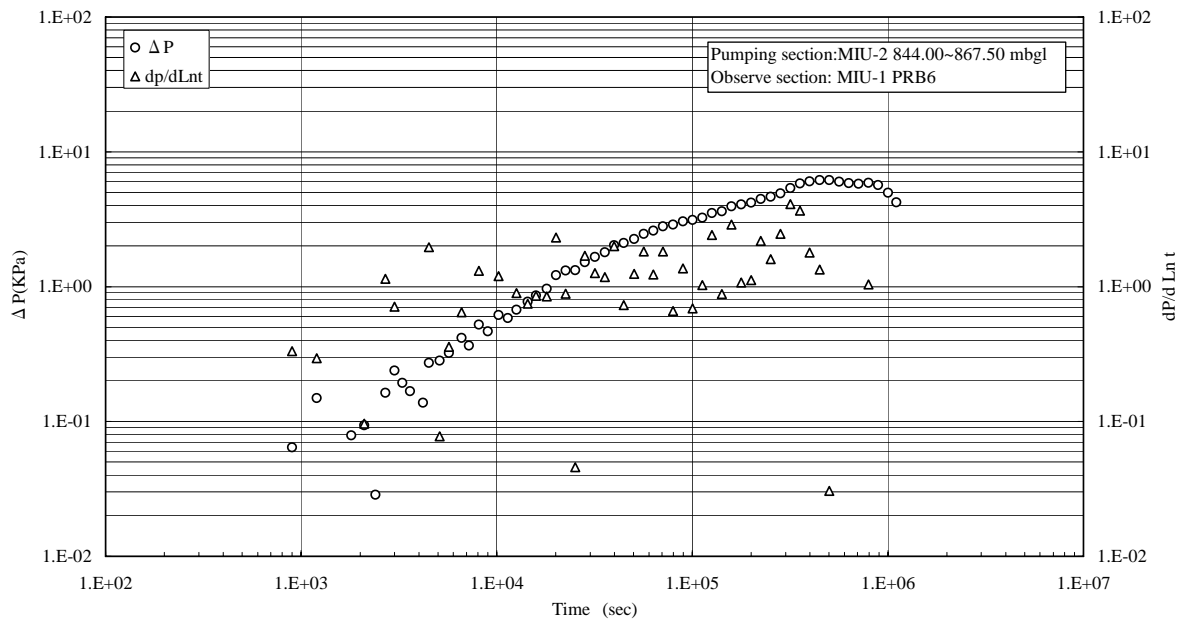


(a) Derivative Plot

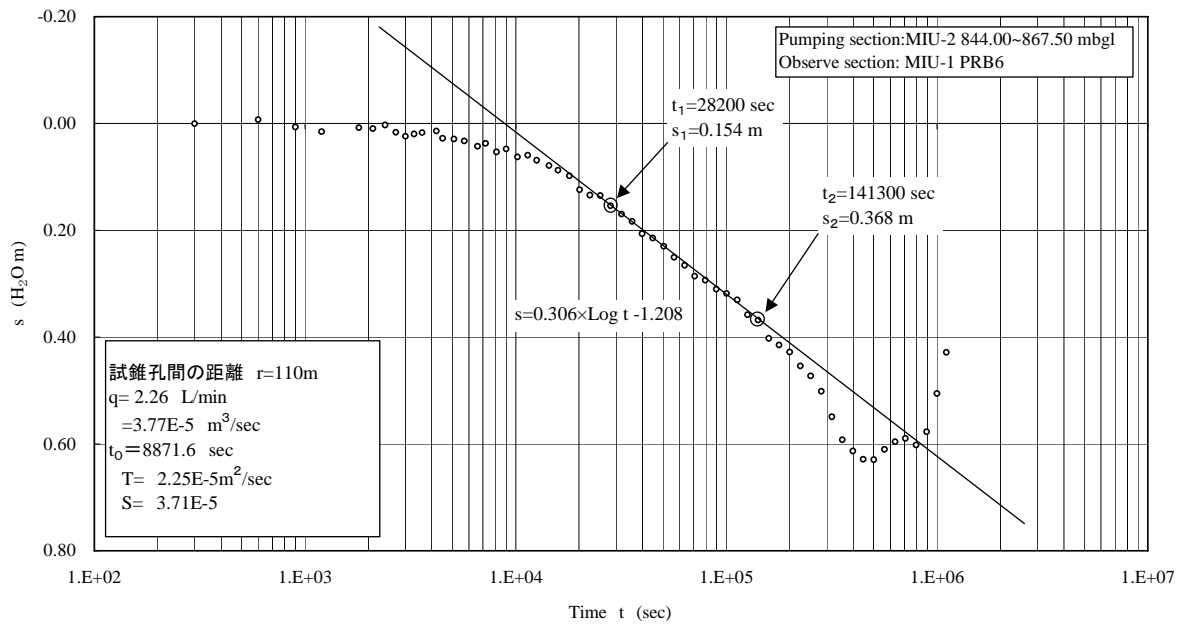


(b) 解析結果図: Agarwal

図 5.3.14 解析結果図[Jacob(Agarwal)] (第二回試験、回復過程: MIU-2)



(a) Derivative Plot



(b) 解析結果図: Jacob

図 5.3.15 解析結果図[Jacob] (第二回試験、揚水過程: MIU-1, PRB-6)

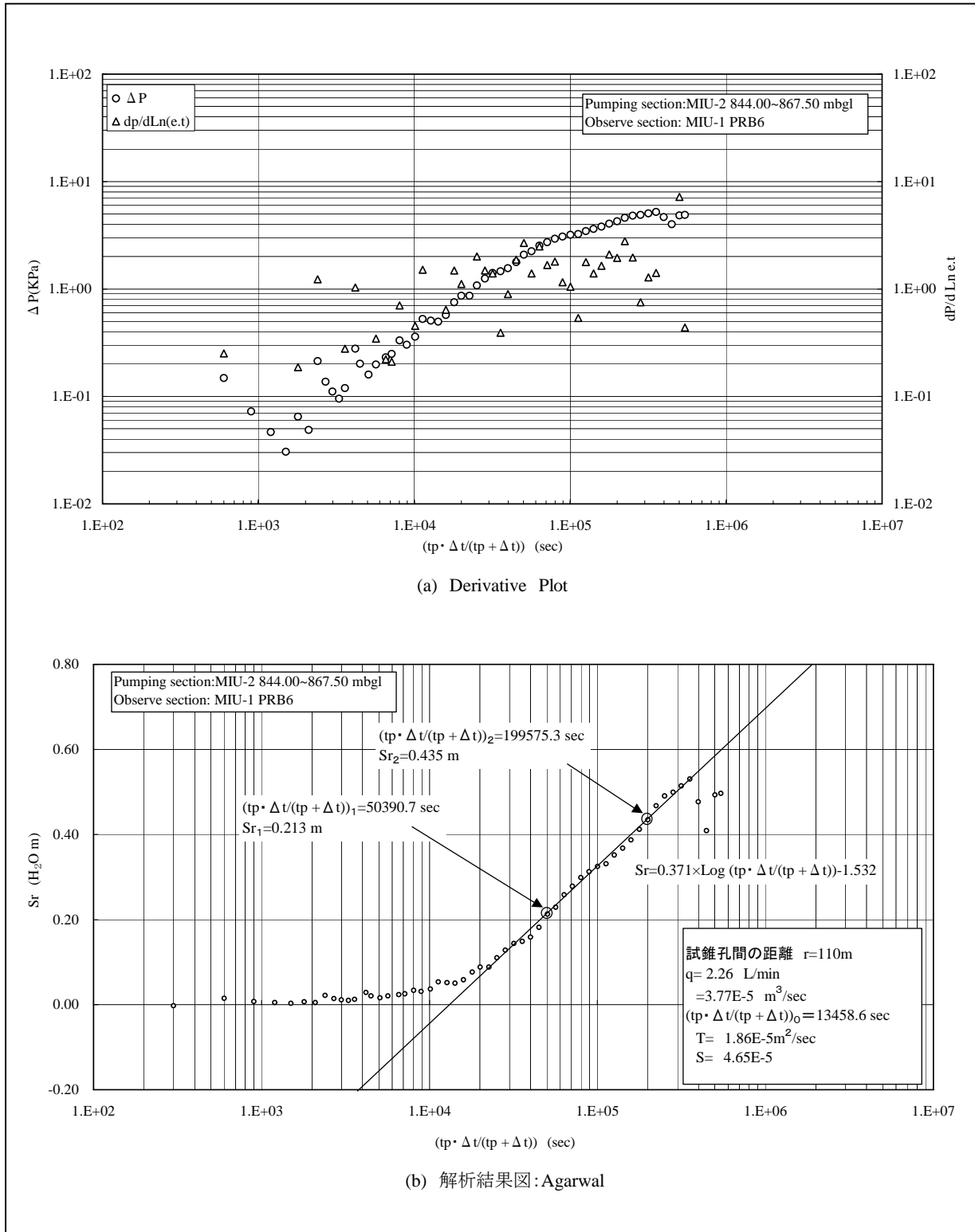


図 5.3.16 解析結果図[Jacob(Agarwal)] (第二回試験、回復過程: MIU-1, PRB-6)

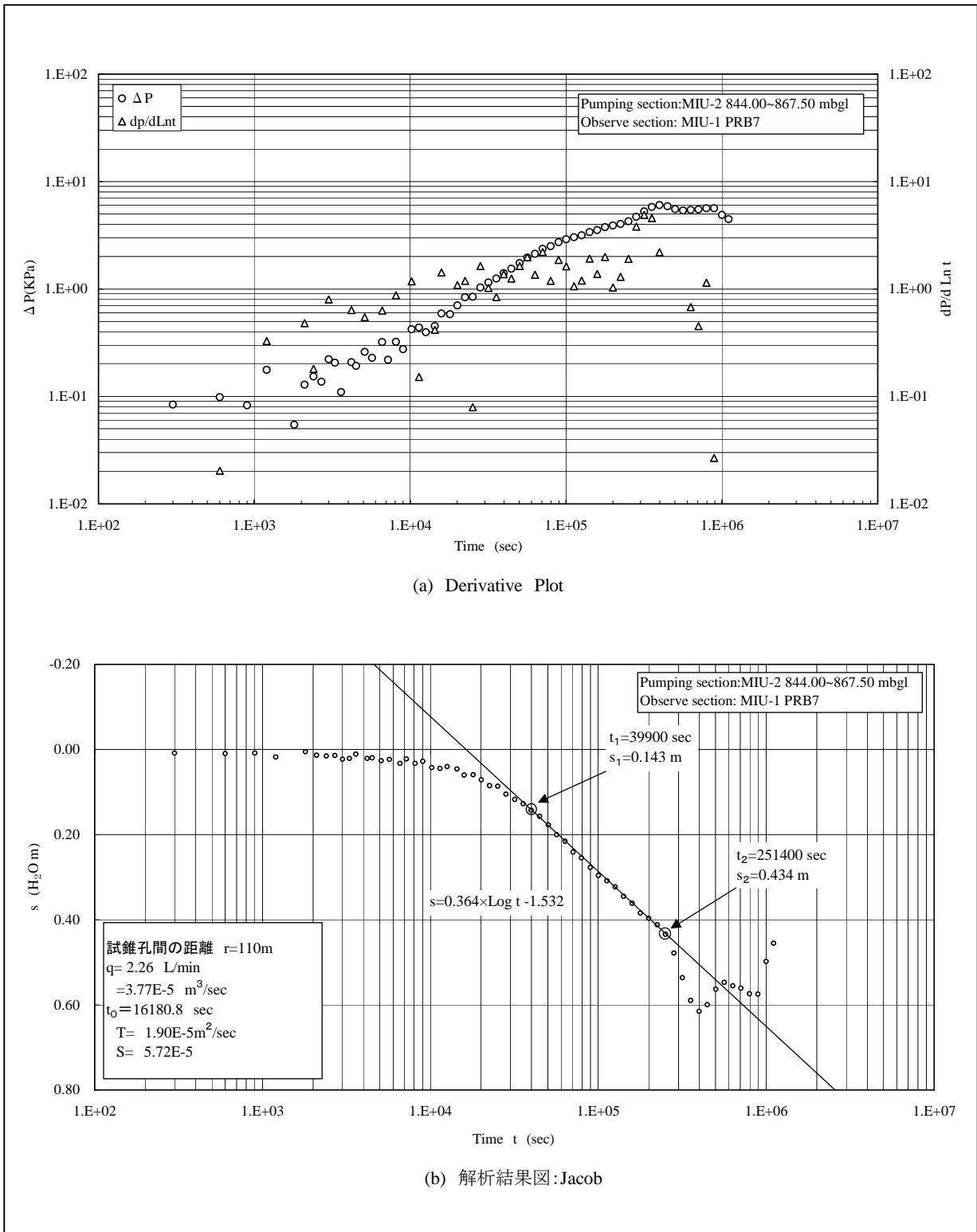


図 5.3.17 解析結果図[Jacob] (第二回試験、揚水過程 : MIU-1, PRB-7)

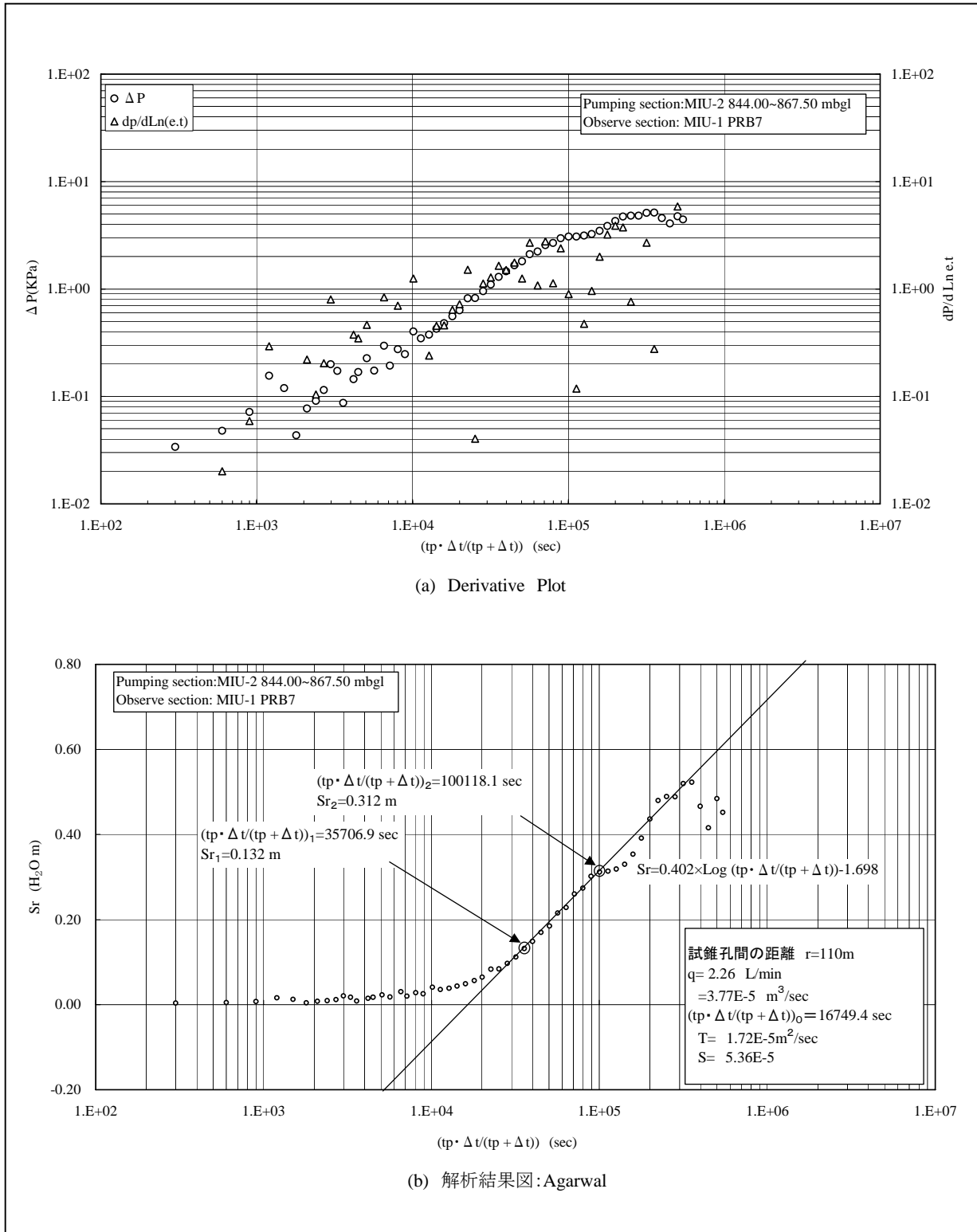


図 5.3.18 解析結果図[Jacob(Agarwal)] (第二回試験、回復過程 : MIU-1, PRB-7)

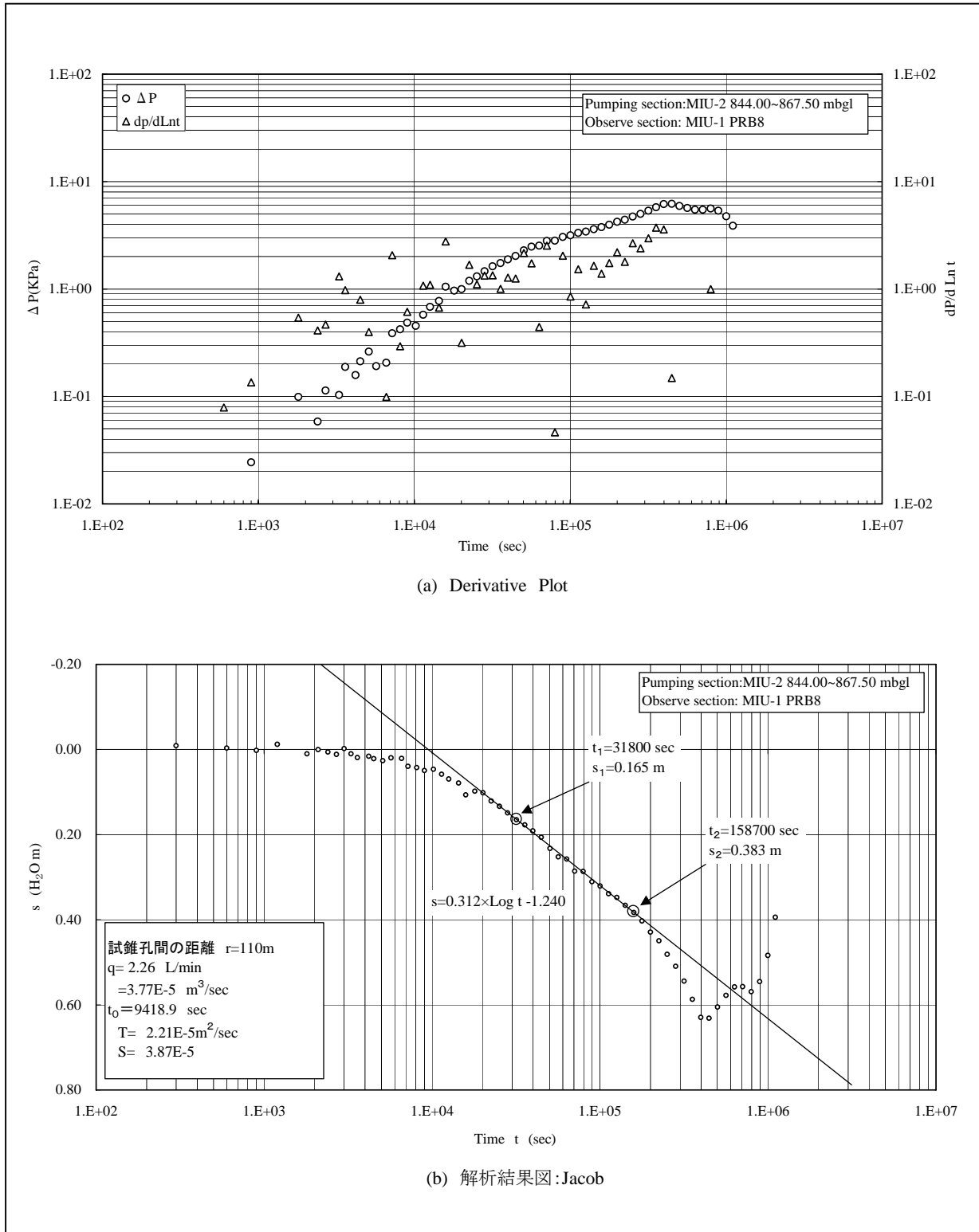


図 5.3.19 解析結果図[Jacob] (第二回試験、揚水過程 : MIU-1, PRB-8)

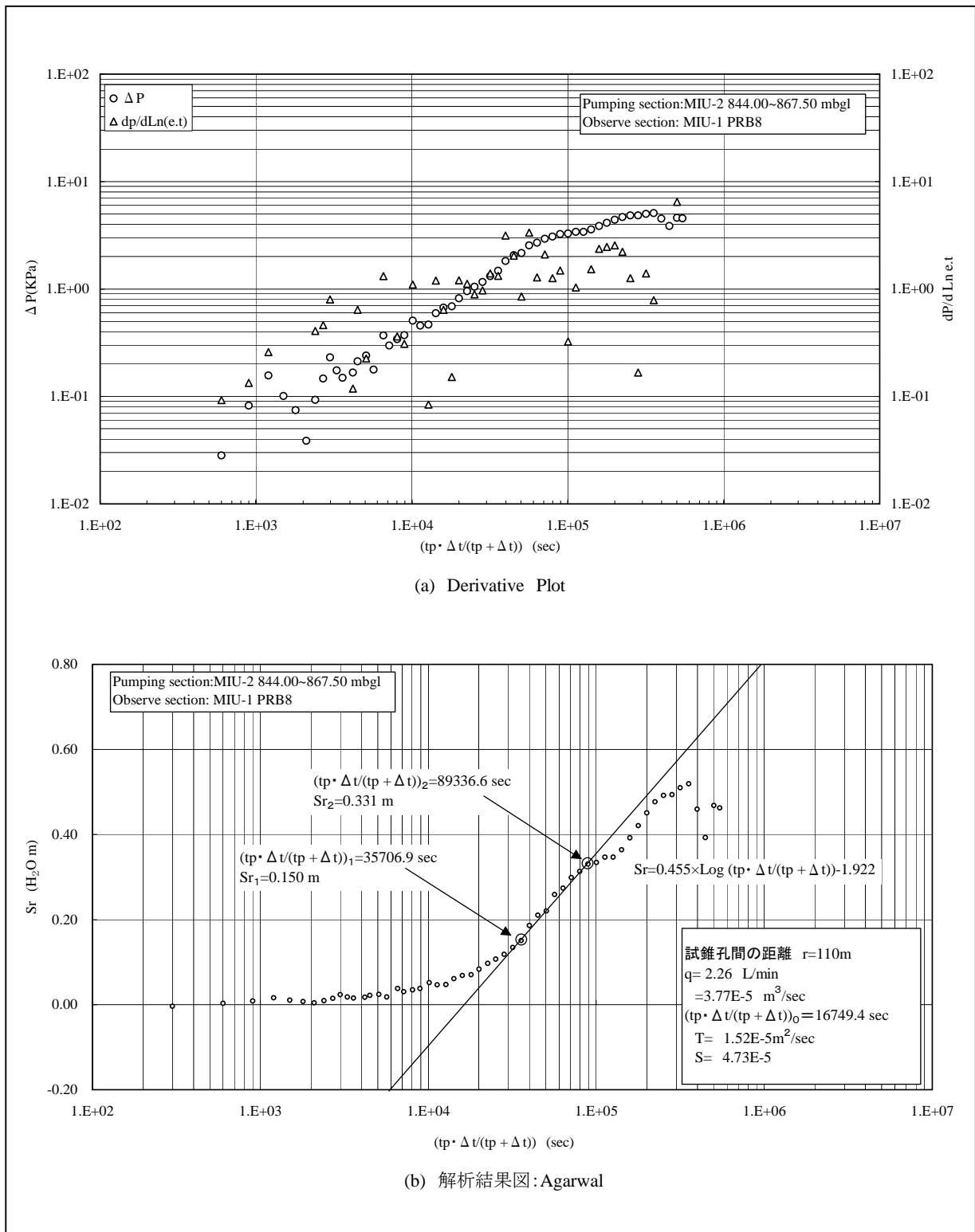


図 5.3.20 解析結果図[Jacob(Agarwal)] (第二回試験、回復過程: MIU-1, PRB-8)

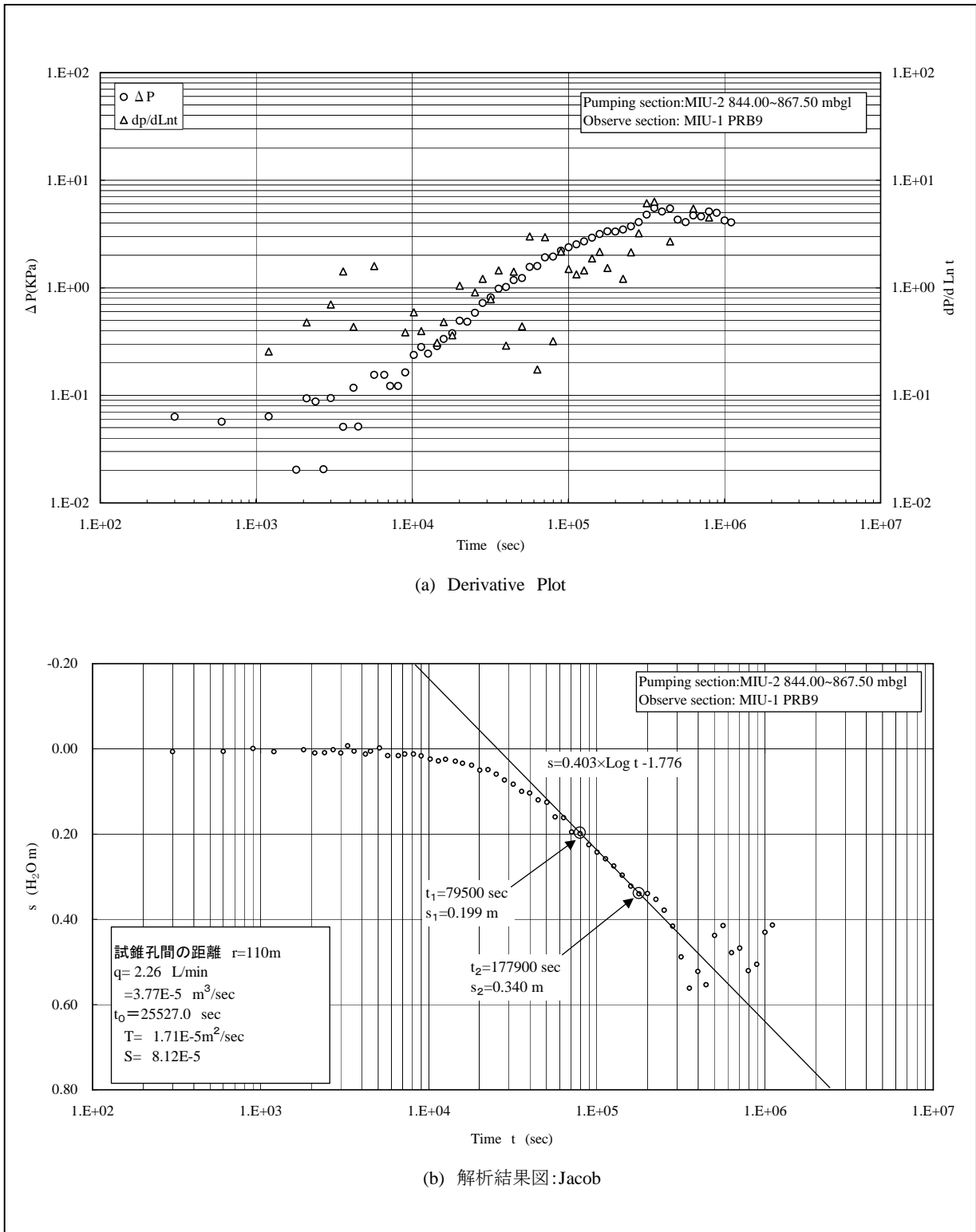


図 5.3.21 解析結果図[Jacob] (第二回試験、揚水過程 : MIU-1, PRB-9)

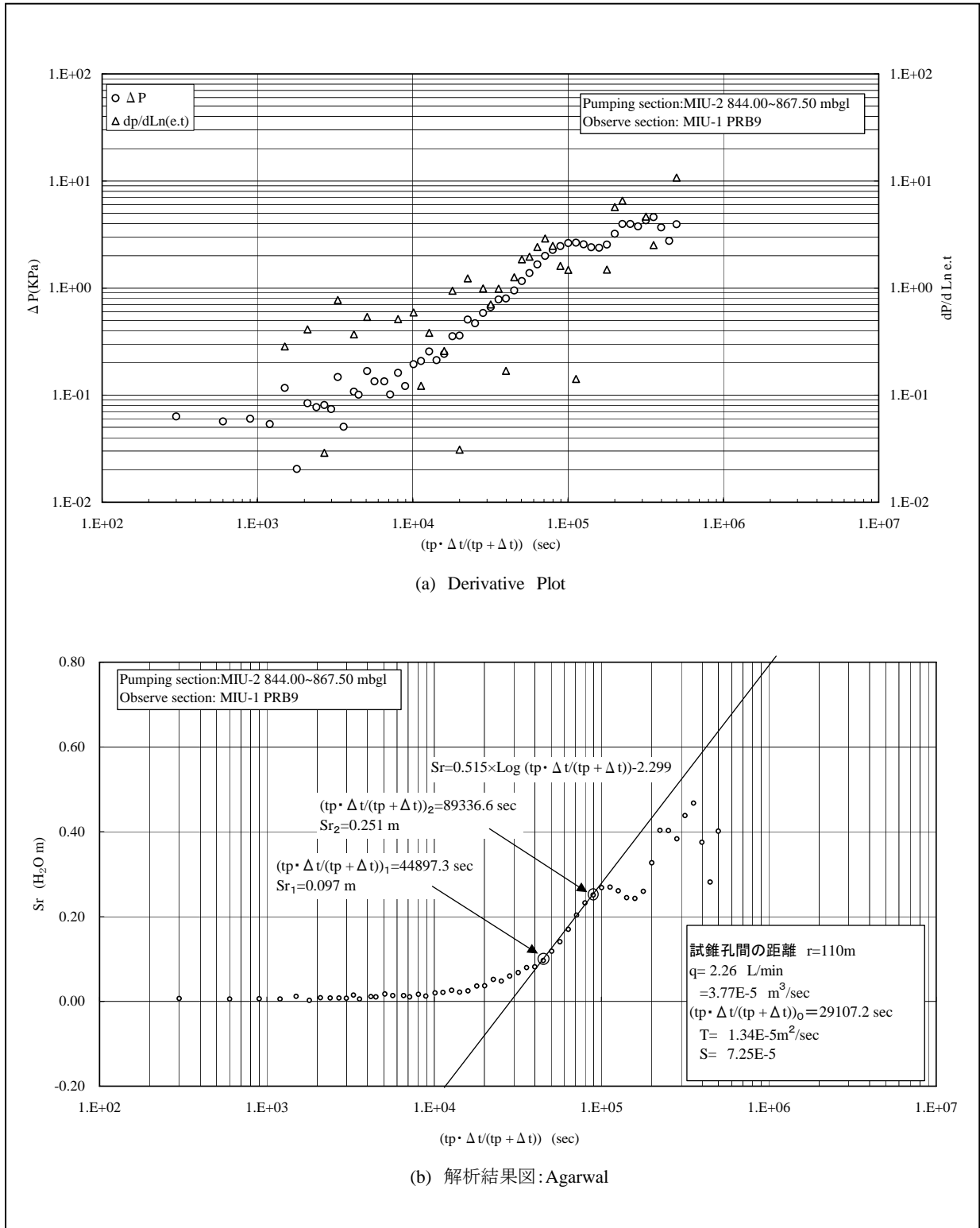


図 5.3.22 解析結果図[Jacob(Agarwal)] (第二回試験、回復過程: MIU-1, PRB-9)

6 考察

長期揚水試験で得られた水圧応答経路を下図に示す。

第1回試験（断層下盤揚水）では、月吉断層下盤に存在する MIU-3 号孔の PRB-6~8 に応答が見られた。同時に、月吉断層本体の水圧を測定している MIU-3 号孔の PRB5 においても応答が見られた。このことから、断層下盤における MIU-2 号孔と MIU-3 号孔間の水理的連続性が高いことが確認された。

なお、試験結果の解析により得られた透水量係数から透水係数に換算すると $8 \times 10^{-7} \text{m/s}$ に相当し、単孔透水試験結果と同程度である。

第2回試験（断層上盤揚水）では、月吉断層の上盤のうち、断層に沿った割れ目ゾーンに存在する観測区間 MIU-1 号孔の PRB-6~9 において水圧応答が観測され、断層上盤の割れ目ゾーン内における MIU-2 号孔と MIU-1 号孔の水理的連続性が確認された。一方、MIU-3 号孔の上盤では明らかな応答は観測されなかった。

以上のいずれの試験からも、月吉断層が水理的な遮水構造として機能していることが再度確認された。

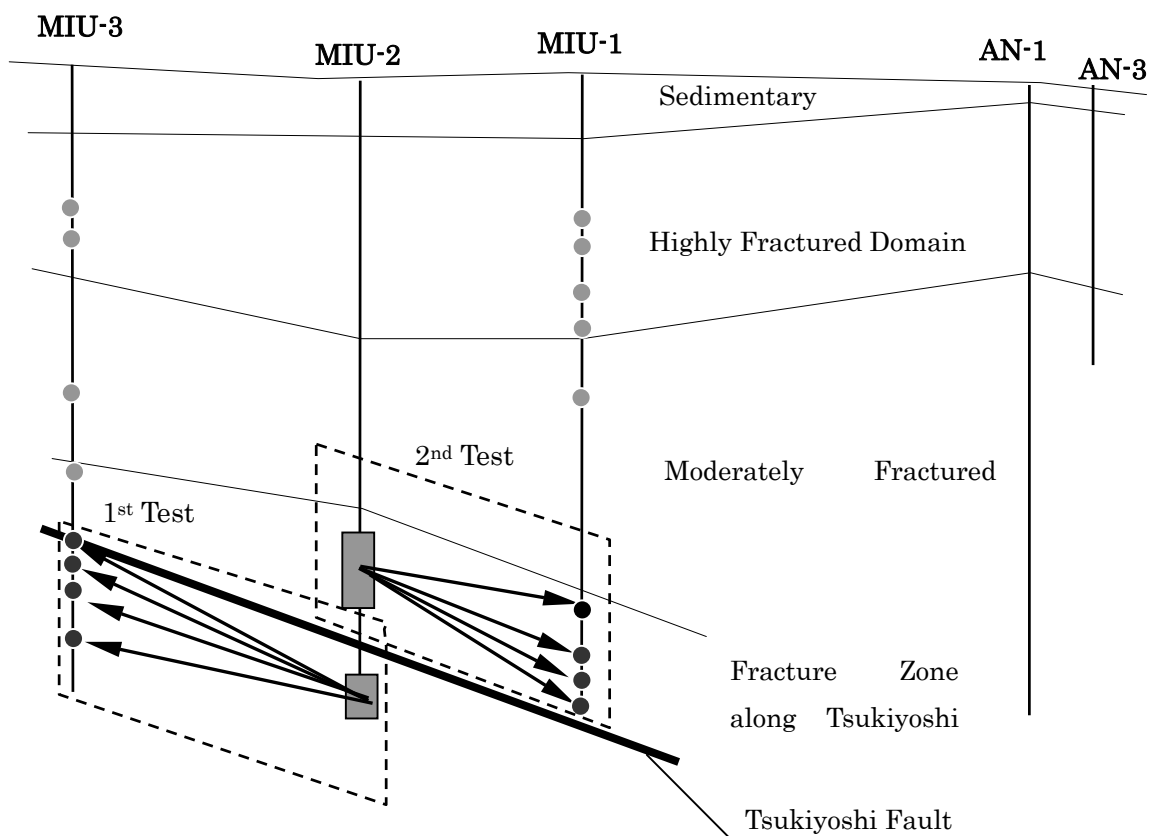


図-6.1 長期揚水試験で確認された水圧応答経路

7 おわりに

本報告書では、MIU-2号孔において実施した長期揚水試験結果について取りまとめた。本試験により、大深度、広域における長期揚水試験の適用性が確認されるとともに、超深地層研究所計画用地内における水理的連続性に関する貴重なデータが得られた。