

平成 27 年度原子力施設等防災対策等委託費
(野島断層における深部ボーリング調査) 事業

野島断層深部ボーリング調査

報 告 書

(5 / 6)

平成 29 年 3 月

国立大学法人京都大学

目次

1. 調査概要	1
1. 1. 業務名	1
1. 2. 目的	1
1. 3. 調査場所	1
1. 4. 調査内容及び数量	1
2. 調査地域の概要	2
2. 1. 調査地域の地形と活断層	2
2. 1. 1. 地形概要	2
2. 1. 2. 活断層の分布	2
2. 2. 調査地域の地質	3
2. 3. 1995年兵庫県南部地震の地表地震断層	5
2. 4. 参考文献	6
3. 調査手法	7
3. 1. 調査の流れ	7
3. 2. 測量	9
3. 2. 1. 基準点測量	9
3. 2. 2. 平面測量	9
3. 2. 3. 横断測量	10
3. 3. ボーリング掘削	11
3. 3. 1. 掘削方法（ワイヤーライン工法）	12
3. 3. 2. 掘削方法（コントロールボーリング）	14
3. 3. 3. 孔曲がり測定	17
3. 4. 物理検層	20
3. 4. 1. 孔径検層	21
3. 4. 2. 温度検層	22
3. 4. 3. 音波検層	23
3. 4. 4. 密度検層	24
3. 4. 5. 電気検層	27
3. 4. 6. 孔壁観察及び方位傾斜測定	28
3. 5. コアの処理・観察	32
3. 5. 1. 採取試料コアの処理方法	32
3. 5. 2. 採取試料コアの観察方法	34

3. 6. コア試料の搬入・保管方法.....	38
4. 野島断層深部ボーリング調査.....	39
4. 1. 調査経緯.....	39
4. 2. NFD-1 孔.....	42
4. 2. 1. 削孔結果.....	42
4. 2. 2. コア観察結果.....	49
4. 2. 3. 物理検層結果.....	82
4. 3. NFD-2 孔.....	87
4. 3. 1. 削孔結果.....	87
4. 3. 2. コア観察結果.....	96
4. 4. NFD-1-S2 孔.....	115
4. 4. 1. 削孔結果.....	115
4. 4. 2. コア観察結果.....	120
4. 5. NFD-1-S3 孔.....	126
4. 5. 1. 削孔結果.....	126
4. 5. 2. コア観察結果.....	130
4. 6. 野島断層の地質構造.....	138
5. 浅野断層深部ボーリング調査.....	139
5. 1. 調査経緯.....	139
5. 2. AFD-1 孔.....	141
5. 2. 1. 削孔結果.....	141
5. 2. 2. コア観察結果.....	147
5. 2. 3. 物理検層結果.....	175
5. 3. AFD-2 孔.....	179
5. 3. 1. 削孔結果.....	179
5. 3. 2. コア観察結果.....	186
5. 4. AFD-3 孔.....	224
5. 4. 1. 削孔結果.....	224
5. 4. 2. コア観察結果.....	229
5. 5. 浅野断層の地質構造.....	241
6. 地形測量結果.....	250
6. 1. 平板測量.....	250
6. 2. 横断測量.....	253

<巻末資料>

地形測量結果

0. 手法

0-1. 測量手法

0-2. 機器検定証明書 (VRS)

0-3 機器検定証明書 (TS) _28116

0-4 機器検定証明書 (TS) _29116

1. ボーリング地点座標

1-1. 野島断層ボーリング地点座標一覧

1-2. 逆トラバース計算 (ボーリング地点)

2. 基準点

2-1. 基準点成果表 (NFD)

2-2. RTK 手簿

2-3. RTK 記簿

2-4. 基準点成果表 (AFD)

2-5. RTK 手簿

2-6. RTK 記簿

2-7. 基準点写真

3. 図面

3-1. 平面図 (NFD-1 孔、NFD-2 孔)

3-2. 平面図 (AFD-1 孔)

3-3. 平面図 (AFD-2 孔)

3-4. 平面図 (AFD-3 孔)

3-5. 断面図 (NFD-1 孔、NFD-2 孔)

3-6. 断面図 (AFD-1 孔)

3-7. 断面図 (AFD-2 孔)

3-8. 断面図 (AFD-3 孔)

1. 調査概要

1.1. 業務名

野島断層深部ボーリング調査

1.2. 目的

1995年兵庫県南部地震の際に活動した野島断層において浅部-深部ボーリング調査を行い、断層破碎帯物質試料の採取、ボーリング孔を利用した物理検層などを実施し、地質構造を解析する。

1.3. 調査場所

兵庫県淡路市小倉字新小倉地内 調査地全体図を図 1.3.1 に示す。

1.4. 調査内容及び数量

本調査では、主にボーリング調査および孔内物理検層によって調査を行う。以下に調査内容と数量を示す。(深度はコア深度を指す。)

(1) ボーリング調査によるコア試料の採取

- 1) NFD-1 孔 : 1,000m、鉛直孔 (深度 350~1,000m コアリング)
- 2) NFD-2 孔 : 450m、斜め 77° 孔 (深度 210~450m コアリング)
- 3) AFD-1 孔 : 700m、鉛直孔 (深度 100~700m コアリング)
- 4) AFD-2 孔 : 300m、斜め 65° 孔 (オールコア)
- 5) AFD-3 孔 : 100m、斜め 45° 孔 (オールコア)
- 6) NFD-1-S2 孔 : NFD-1 枝孔 (深度 655~755m コアリング)
- 7) NFD-1-S3 孔 : NFD-1 枝孔 (深度 500~555m コアリング)

(2) ボーリングコア試料の詳細観察と地質構造解析

- 1) NFD-1 孔 : コア長 650m (深度 350~1,000m)
- 2) NFD-2 孔 : コア長 240m (深度 210~450m)
- 3) AFD-1 孔 : コア長 600m (深度 100~700m)
- 4) AFD-2 孔 : コア長 300m (深度 0~300m)
- 5) AFD-3 孔 : コア長 100m (深度 0~100m)
- 6) NFD-1-S2 孔 : コア長 100m (深度 655~755m)
- 7) NFD-1-S3 孔 : コア長 55m (深度 500~555m)

(3) コア試料の搬入・保管と試料調整

- 1) NFD-1 孔 : コア長 650m

- 2) NFD-2 孔 : コア長 240m
- 3) AFD-1 孔 : コア長 600m
- 4) AFD-2 孔 : コア長 300m
- 5) AFD-3 孔 : コア長 100m
- 6) NFD-1-S2 孔 : コア長 100m
- 7) NFD-1-S3 孔 : コア長 55m

(4) ボーリング孔を利用した物理検層

- 1) NFD-1 孔
 - ①孔径検層 (キャリパー検層) : 1,000m (深度 0~1,000m)
 - ②温度検層 : 1,000m (深度 0~1000m)
 - ③音波検層 (速度検層) : 1,000m (深度 0~1000m)
 - ④密度検層 (γ - γ 検層) : 650m (深度 350~1000m)
 - ⑤電気検層 (ノルマル検層) : 1,000m (深度 0~1000m)
 - ⑥方位傾斜測定 : 20 回 (深度 0~1000m)
 - ⑦孔壁観察 : ボアホールテレビュア 1,000m (深度 0~1000m)
- 2) NFD-2 孔
 - ①方位傾斜測定 : 9 回 (深度 0~450m)
- 3) AFD-1 孔
 - ①孔径検層 (キャリパー検層) : 700m (深度 0~700m)
 - ②温度検層 : 700m (深度 0~700m)
 - ③音波検層 (速度検層) : 700m (深度 0~700m)
 - ④密度検層 (γ - γ 検層) : 400m (深度 300~700m)
 - ⑤電気検層 (ノルマル検層) : 700m (深度 0~700m)
 - ⑥方位傾斜測定 : 14 回 (深度 0~700m)
 - ⑦孔壁観察 : ボアホールカメラ 665m (深度 35~700m)
ボアホールテレビュア 700m (深度 0~1000m)
- 4) AFD-2 孔
 - ①孔壁観察 : ボアホールカメラ 200m (深度 100~300m)
 - ②方位傾斜測定 : 6 回 (深度 0~300m)
- 5) AFD-3 孔
 - ①孔壁観察 : ボアホールカメラ 90m (深度 10~100m)
 - ②方位傾斜測定 : 2 回 (深度 0~100m)

(5) 地形測量

- 1) NFD-1 孔・NFD-2 孔

①平板測量（現地測量）：200m²

②断面測量（横断測量）：100m

2) AFD-1 孔

①平板測量（現地測量）：200m²

②断面測量（横断測量）：100m

3) AFD-2 孔

①平板測量（現地測量）：200m²

②断面測量（横断測量）：100m

4) AFD-3 孔

①平板測量（現地測量）：200m²

②断面測量（横断測量）：100m

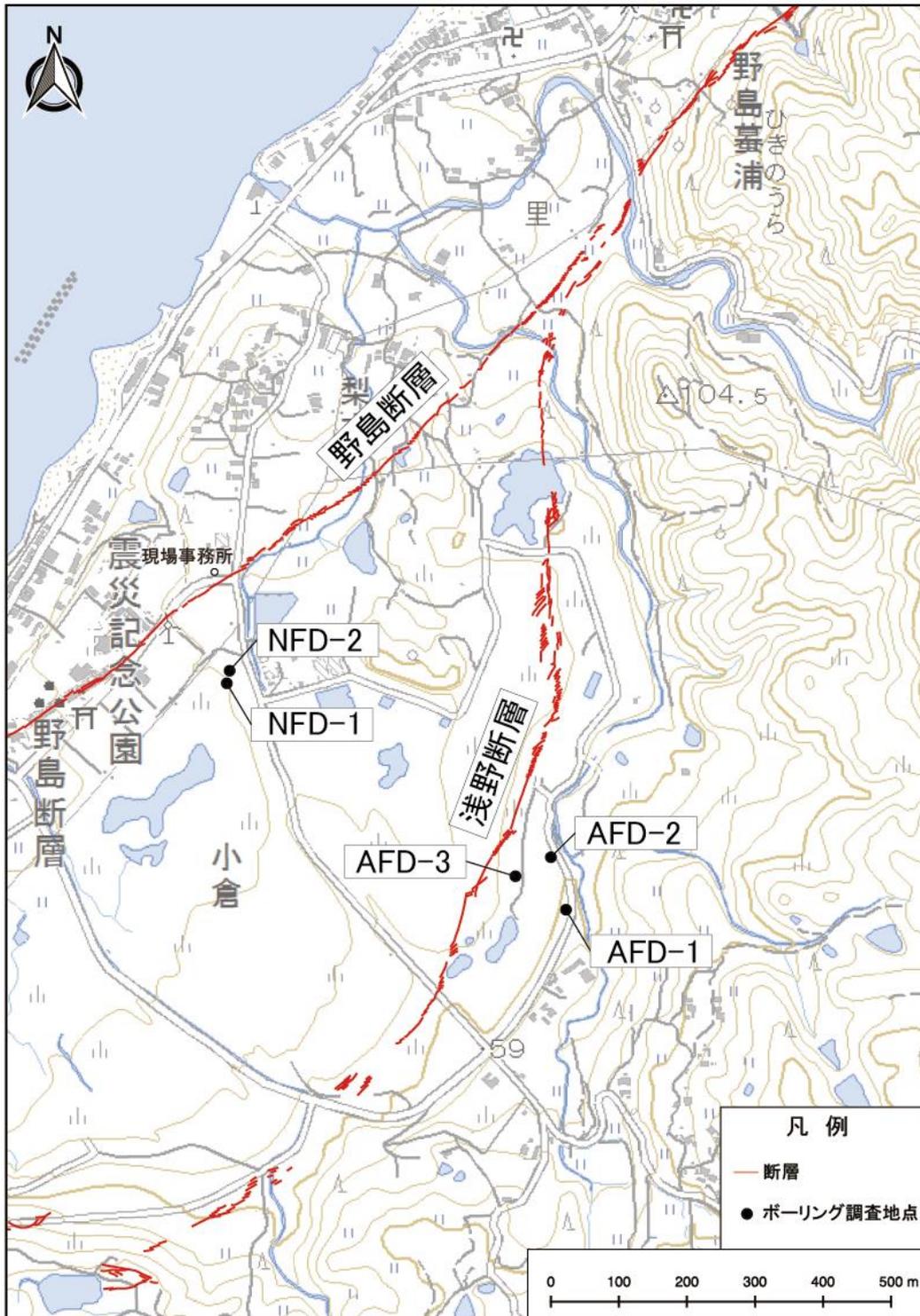


図 1.3.1 調査地全体図

2. 調査地域の概要

調査地域の地形、活断層分布、地質及び1995年兵庫県南部地震の地表地震断層の概要について以下に記す。調査地域の地形、地質、活断層及び地震断層の分布図を図2.1.1に、調査地域の地質層序を図2.2.1に示す。

2.1. 調査地域の地形と活断層

2.1.1. 地形概要

調査地域の位置する淡路島の北部は、北東—南西方向へ細長く伸びる標高200～500m程度の山地と、この両側の山麓に幅狭くみられる丘陵・台地・低地からなる。山地は地塁状の高まりをなし、山頂部に緩やかな定高性のある小起伏の地形が広がり、山地の東西両側は、比高200～300m程度の急斜面（断層崖）で限られている。

断層崖から海岸に至る区域には、東側では標高200m以下の丘陵と標高60～70m以下の台地・段丘面が分布し、西側では標高100m以下の丘陵と標高40m以下の段丘面が分布する。段丘面は中位面、低位面、最低位面からなり、中位面、低位面はそれぞれ2段、最低位面は3段に細分され、いずれも扇状地性で多くが淘汰不良の粗粒な河成堆積物より構成される（水野ほか，1990；栗田・水野，1998）。主として西側の断層崖沿いでは、地すべり・崩壊地が認められ、崩積土が段丘面を覆って山地と段丘の境界付近に沖積錐を形成している。段丘面を開析して流下する河川の谷底や海岸沿いには、氾濫原、後背湿地等の沖積低地が分布するものの、東側の浦川、西側の富島川沿いにやや広く分布するほかは、いずれも規模は小さい。

地形面の年代は、中位面から約42,000～43,000 y.B.P.、低位面から約30,000～43,000 y.B.P.、最低位面から約600～3,500 y.B.P.の¹⁴C年代が得られている。また、低位面の構成層には、始良Tn火山灰(AT)が挟まれている（水野ほか，1990；栗田・水野，1998）。

梨本付近から南西で山地西側の急崖は、海岸線に並行する北東—南西方向と、内陸に向かう北北西—南南東方向の2列に分岐する。調査地点はこの分岐した急崖に挟まれる地区に位置する。海岸線に並行する急崖の比高は20m程度以下であり、その西方には、低位面、最低位面及び沖積低地などが分布し、渡辺ほか（1996b）によって、一部が断層崖とされている。また、内陸に向かう急崖の比高は50m程度であり、東側の山地と西側の丘陵地（人工改変のために平坦化されている）の明瞭な地形境界をなしている。

本調査では、梨本付近から分岐した海岸と並行する急崖東方の標高20m付近を野島断層調査地点、内陸に向かう断層崖南西の標高50m付近を浅野断層調査地点と称する。

2.1.2. 活断層の分布

活断層は、前述した山地東西両側の急斜面の基部に発達しており、西側に野島断層・浅野断層、東側に楠本断層・東浦断層が分布する（水野ほか，1990；渡辺ほか，1996a，1996b；図2.1.1）。

野島断層は、山地西側の江崎付近から富島の南西まで北東—南西方向に長さ約 10km にわたって延びる。河谷や尾根の系統的な右屈曲が認められ、屈曲量は 20～190m である（吾妻，1997）。平林付近では、段丘面や段丘崖を横切る低断層崖がみられ、低位面に約 9.5m の上下変位と約 20m の右横ずれがあることが認められている（水野ほか，1990）。このことから、地震調査研究推進本部（2005）は、AT の降下年代から低位面の年代を約 2.8 万年前とすると、淡路島西岸の野島断層の上下変位速度は約 0.3m/千年、右横ずれ変位速度は約 0.7m/千年と推定されるとしている。

浅野断層は、山地西側の富島南西から原山南西の図 2.2.1 の範囲外まで北東—南西方向に長さ約 6km にわたって延び、花崗岩と堆積岩の境をなす山麓の傾斜変換線に位置している（水野ほか，1990）。河谷の系統的な屈曲は認められないが、断層に沿って断層崖の形態が保たれていること、断層崖から多量の礫が供給されて広い段丘面が形成されていることから、第四紀後期にも活動を続けているとされている（水野ほか，1990）。

楠本断層は、淡路島北部の山地の東側の楠本付近～馬場付近まで北東—南西方向に延び、長さは約 6km である。鞍部や直線谷の連続及び比高 150m 前後の断層崖が認められ、逆断層露頭が確認されている（水野ほか，1990；渡辺ほか，1996a，1996b）。河谷や尾根の右屈曲も認められ、屈曲量は 20～350m である（吾妻，1997）。

東浦断層は、山地東側の馬場付近～奥南西の図 2.2.1 の範囲外まで北東—南西方向に楠本断層と雁行するように延び、長さは約 5km である。鞍部の連続や河谷の右屈曲が認められ、屈曲量は 20～250m である（吾妻，1997）。馬場でのトレンチ調査結果から、1596 年慶長伏見地震（ $M \approx 7.6$ ）時に活動したとの指摘がある（栗田・角井，1996）が、地震調査研究推進本部（2005）は、東浦断層を含む六甲山地—淡路島東岸区間が 1596 年に活動したと限定できるだけの証拠に乏しいとしている。

地形概要で述べたように、調査地点は、海岸線に並行する北東—南西方向と内陸に向かう北北西—南南東方向の 2 列に分岐する急崖に挟まれる地点にある。海岸線に並行する急崖の一部は断層崖と一致し、断層を横断する河川に 200～300m の右屈曲が認められ、野島断層の延長とされている（渡辺ほか，1996b）。一方、内陸に向かう断層崖は、吾妻（1997）では山地と丘陵の明瞭な地形境界をなすリニアメントとされているが、段丘面の変位や河谷の系統的な屈曲などの明瞭な変位地形は認められず、吾妻（1997）や渡辺ほか（1996b）で推定活断層とされている。

野島断層調査地点は、梨本付近から分岐した海岸線と並行する野島断層東方の標高 20m 付近に位置し、浅野断層調査地点は、内陸に向かう急崖南西の標高 50m 付近に位置する。

2.2. 調査地域の地質

調査地域の地質は、下位より白亜紀の古期領家花崗岩類と新期領家花崗岩類及びこれらを貫くが貫入時期が明らでない岩脈類、後期始新世の神戸層群、後期鮮新世～中期更新世の大坂層群、後期更新世後期以降の段丘堆積物、完新世の沖積層及び現河床・海岸堆積物から構

成される（水野ほか，1990；栗田・水野，1998；図 2.1.1、図 2.2.1）。

調査地域周辺の古期領家花崗岩類は、都志川花崗岩、閃緑岩類、志筑トータル岩、塩基性岩類からなり、主として調査地域の山地中部や南東部に分布する。新期領家花崗岩類は、野島花崗閃緑岩、篝場山花崗岩、岩屋花崗岩、細粒花崗閃緑岩からなり、調査地域の山地に広く分布する。

都志川花崗岩は野島花崗閃緑岩中の捕獲岩であり、極めて粗粒の黒雲母花崗岩で、黒雲母の面状配列による弱いフォリエーションを作っており、カリ長石が一部斑状を呈し、石英とともに弱い面状配列をなすことがある。閃緑岩類は、細粒、緻密で塊状の暗灰色～黒色の岩石であり、志筑トータル岩中に塩基性捕獲岩として存在するとされているが、調査地域内には分布しない。志筑トータル岩は、梨本の北方で都志川花崗岩とともに小岩体をなし、中粒の暗灰色、角閃石に富むトータル岩を主体とし、一部に有色鉱物に乏しい花崗閃緑岩質岩石を含む。塩基性岩類は、黒色中粒の黒雲母角閃石石英斑れい岩のほか、暗灰色～黒色の細粒緻密なひん岩質岩石および塊状暗灰色の細粒角閃石黒雲母トータル岩等から構成される（藤田・前田，1984；水野ほか，1990）。

野島花崗閃緑岩は、乳白色の斜長石、カリ長石及びガラス光沢をもった淡灰色石英からなる珪長質鉱物中に、自形短柱状の黒色角閃石及び葉片状黒雲母が混じった、ごま塩状・暗灰色を呈する中粒・塊状で角閃石含有の黒雲母花崗閃緑岩である（水野ほか，1990）。野島花崗閃緑岩中の角閃石から、 $87.7 \pm 4.4\text{Ma}$ の K-Ar 年代が得られている（高橋，1992）。篝場山花崗岩は、東西 1.5km、南北 2km 程度の小岩体で、細～中粒、灰色、塊状均質な黒雲母花崗岩である。岩屋花崗岩は、中粒～粗粒、弱い斑状を示し、乳白色斜長石、ガラス光沢を持ち紫色を帯びた淡灰色石英及び淡紅色のカリ長石からなる珪長質鉱物中に黒雲母の混じる黒雲母花崗岩である。細粒花崗閃緑岩は、岩屋花崗岩と野島花崗閃緑岩を貫いて分布し、細粒緻密で有色鉱物に富み、暗灰色を呈する花崗閃緑岩である（藤田・前田，1984；水野ほか，1990）。

神戸層群は、神戸市西部やその北方の三田盆地及び淡路島北部に分布し、調査地域周辺には神戸層群岩屋累層が分布する。岩屋累層は、花崗岩類を不整合に覆って山地上や東西両岸側の断層沿いに分布し、亜炭層を挟む下部層、河川—海浜成の淘汰の良い砂岩・礫岩層からなる中部層、石灰質化石床に富む海成砂岩・泥岩層からなる上部層に区分される（水野ほか，1990）。水野ほか（1990）は、Tai（1959）、柴田・糸魚川（1980）などの小型有孔虫や貝化石群集の調査結果から、神戸層群岩屋累層の年代を新第三紀中新世とした。一方、尾崎ほか（1996）は、神戸市西部およびその周辺地域に分布する神戸層群の年代を、凝灰岩のフィッシュトラック（FT）年代（約 31～37Ma）から、古第三紀の後期始新世～前期漸新世とした。また、山本ほか（2000）は、岩屋（累）層から中期始新世後期～後期始新世を示す石灰質ナンノ化石と渦鞭毛藻化石を見出している。そこで本調査では、尾崎ほか（1996）、山本ほか（2000）の調査結果にもとづき、岩屋累層の年代を、後期始新世とした（図 2.2.1）。

大阪層群は、淡水成、デルタ成の礫層・砂層から構成され、神戸層群を不整合に覆って山

地および沿岸に分布し、調査地域周辺では、下位の富島累層と上位の仮屋累層に区分される（水野ほか，1990）。富島累層は、淡水成のシルト～粘土層、砂層及び礫層の互層からなり、全体として礫層が優勢であり、下部の舟木礫層・浅野互層と上部の小倉礫層に細分される。仮屋累層は、富島累層に整合に重なる。主として湖沼ないし河川成のシルト～粘土層と砂層との互層からなり、上部では砂層や砂礫層が発達する。仮屋累層は、下部の久留麻砂泥互層と、上部の松帆礫層・斗ノ内礫層に細分される（水野ほか，1990）。

大阪層群の年代は、調査地域では、浅野1、浅野2火山灰層等の火山灰層の対比のほか、フィッシュトラック年代、植物化石等から、後期鮮新世から中期更新世にあたると考えられている（市原編，1993；図2.2.1）。

調査地点周辺では、北西～南東方向に古期領家花崗岩類が分布する。また、新期領家花崗岩類の野島花崗閃緑岩が古期領家花崗岩類を取り囲むように分布し、北東～南西方向の山地を形成する。新期領家花崗岩類には、安山岩等の岩脈が貫入する。調査地点の南西部では、古期及び新期領家花崗岩類と神戸層群が地質断層で接しており、水野ほか（1990）はこの地質断層を浅野断層と称している。また、調査地点東部は浅野断層の延長に位置し、古期及び新期領家花崗岩類と大阪層群が接している（水野ほか，1990）。

野島断層調査地点には、大阪層群が分布し、浅野断層調査地点は、古期領家花崗岩類が分布する区域にある。後述するボーリング調査では、花崗岩、閃緑岩、花崗閃緑岩、砂岩泥岩互層、砂礫等が産出し、これらはそれぞれ古期領家花崗岩類の都志川花崗岩と閃緑岩類、新期領家花崗岩類の野島花崗閃緑岩、神戸層群岩屋累層の下部層及び中部層、大阪層群富島累層上部の小倉礫層及び下部の浅野互層等に相当すると考えられる。しかしながら、ボーリングコアやカッティングス試料のみの限られた観察結果であることから、以下では、古期及び新期領家花崗岩類は花崗岩、閃緑岩、花崗閃緑岩と岩相で表記し、神戸層群と大阪層群については、細分せずに神戸層群、大阪層群と称する。

2.3. 1995年兵庫県南部地震の地表地震断層

1995年（平成7年）の兵庫県南部地震の際に、六甲～淡路島断層帯の淡路島西岸区間と六甲山地南縁～淡路島東岸区間のうちの、西宮市から明石海峡にかけての総延長約30km区間で地表地震断層を生じた（地震調査研究推進本部，2005）。淡路島北部では、山地の東側で灘川地震断層、西側で野島地震断層、小倉地震断層が出現した（栗田・水野，1998など；図2.1.1）。

灘川地震断層は、花崗岩類中の既存の断層破碎帯に沿って形成された、右ずれを伴う南東側（海側）隆起の高角逆断層であり、長さ約1.6km、走向・傾斜はN25～45°E、60～75°SE、変位量は縦ずれ0.1～0.2m、右ずれ0.03～0.07mである（栗田・水野，1998）。灘川地震断層が出現した要因として、大規模な土地造成による荷重の除去によって地殻が隆起し、地震に伴って断層変位が誘発された可能性が指摘されている（栗田ほか，1995；岡田・鬼木，1995；岡田，1996）。

野島地震断層は、活断層研究会（1991）等によって活断層とされていた野島断層に沿って出現した、おおむね東側隆起の高角度逆断層成分を伴う右ずれ断層であり、長さ約8.8km、走向・傾斜はN35~45° E、75~85° SEを示し、南西端の約1.3km区間では、末端に向かって北東—南西から南—北、さらに北東—南西へと走向を変化させていた（栗田・水野，1998）。変位量は、縦ずれ0.5~1m、右ずれ1~2mであり、地表地震断層のほぼ中央よりやや北東側に位置する平林付近を最大値として両端方向に減少する（栗田・水野，1998；中田・岡田，1999）。地震断層線は、主として左雁行配列をなす開口亀裂帯、低断層崖、撓曲崖、小地溝、プレッシャーリッジ等の微地形によって構成されている（中田・岡田，1999）。

小倉地震断層は、梨本から富島の南西に至る主として東側隆起の鉛直変位を伴う右ずれ断層であり、長さ約3.0km、走向はN40° E、75~85° Eである（栗田・水野，1998）。変位量は、縦ずれ0~1m、右ずれ0.1~2mであり、地表地震断層のほぼ中央よりやや北東側の富島西方付近を最大値として両端方向に減少する（栗田・水野，1998）。

栗田・水野（1998）は、梨本付近から北東—南西方向に富島へと海岸線に並行に続く地震断層を小倉地震断層と呼び、梨本付近から山地西側の山麓を通過して北北西—南南東方向へと走向を変えて内陸に向かう地震断層を野島地震断層と呼んでいる。調査地点は、栗田・水野（1998）の定義に従えば、小倉地震断層と野島地震断層に挟まれる地区に位置し、野島断層調査地点は小倉地震断層の東方に、浅野断層調査地点は野島地震断層の北東に位置するものの、本調査では、前述した活断層の定義に従って、栗田・水野（1998）の小倉地震断層分布域を野島断層と称し、梨本から内陸に向かう野島地震断層分布域については、地質断層の定義に従い、浅野断層と称する。

2.4. 参考文献

- 栗田泰夫，水野清秀，杉山雄一，下川浩一，井村隆介，木村克己，1995. 1995年兵庫県南部地震に伴って出現した地震断層. 地質ニュース，486，16-20.
- 栗田泰夫，角井朝昭，1996. 淡路島北部，楠本・東浦・野田尾断層のトレンチ掘削等による活動履歴調査. 地質調査所研究資料集，228，138pp.
- 栗田泰夫，水野清秀，1998. 1万分の1兵庫県南部地震に伴う地震断層ストリップマップ—野島・小倉及び灘川地震断層—説明書. 構造図（12），地質調査所，74pp.
- 吾妻 崇，1997. 淡路島北部における活断層の活動度の再評価. 第四紀研究，36，29-42.
- 藤田和夫，前田保夫，1984. 須磨地域の地質. 地域研究報告（5万分の1地質図幅），地質調査所，101pp.
- 市原 実編，1993. 「大阪層群」. 創元社，340pp.
- 地震調査研究推進本部，2005. 六甲—淡路断層帯の長期評価について. 地震調査研究推進本部，59pp.
- 活断層研究会，1991. 新編 日本の活断層—分布図と資料. 東京大学出版会，437pp.

- 水野清秀, 服部 仁, 寒川 旭, 高橋 浩, 1990. 明石地域の地質. 地域研究報告 (5 万分の 1 地質図幅), 地質調査所, 90pp.
- 中田 高, 岡田篤正, 1999. 「野島断層【写真と解説】兵庫県南部地震の地震断層」. 東京大学出版会, 208pp.
- 尾崎正紀, 松浦浩久, 佐藤喜男, 1996. 神戸層群の地質年代. 地質学雑誌, 102, 73-83.
- 柴田 博, 糸魚川淳二, 1980. 瀬戸内区の中新世古地理. 瑞浪市化石博研報, no.7, 1-49.
- 岡田篤正, 1996. 兵庫県南部地震の地震断層と六甲—淡路島活断層系. 日本地形学連合編「兵庫県南部地震と地形災害」. 古今書院, 28-63.
- 岡田篤正, 鬼木史子, 1995, 兵庫県南部地震の地表地震断層. 藤田和夫, 岡田篤正編著「1995 年 (平成 7 年) 兵庫県南部地震の地震断層と六甲—淡路島活断層系」, 断層研究資料センター, 1-49.
- Tai, Y., 1959. Miocene microbiostratigraphy of west Honshu Japan, *Jour. Sci. Hiroshima Univ. Ser. C*, 2, 265-395.
- 高橋 博, 1992. 淡路島の花崗岩類の K-Ar 年代—特にマイロナイト化作用の時期について—. 岩鉱, 87, 291-299.
- 渡辺満久, 鈴木康弘, 岡田篤正, 1996a. 1:25,000 都市圏活断層図「須磨」. 国土地理院技術資料 D.1-No.333, 建設省国土地理院.
- 渡辺満久, 鈴木康弘, 中田 高, 1996b. 1:25,000 都市圏活断層図「明石」. 国土地理院技術資料 D.1-No.333, 建設省国土地理院.
- 山本裕雄, 栗田祐司, 松原尚志, 2000. 兵庫県淡路島北部の第三系岩屋層から産出した始新世石灰質ナンノ・渦鞭毛化石とその意義. 地質学雑誌, 106, 379-382.

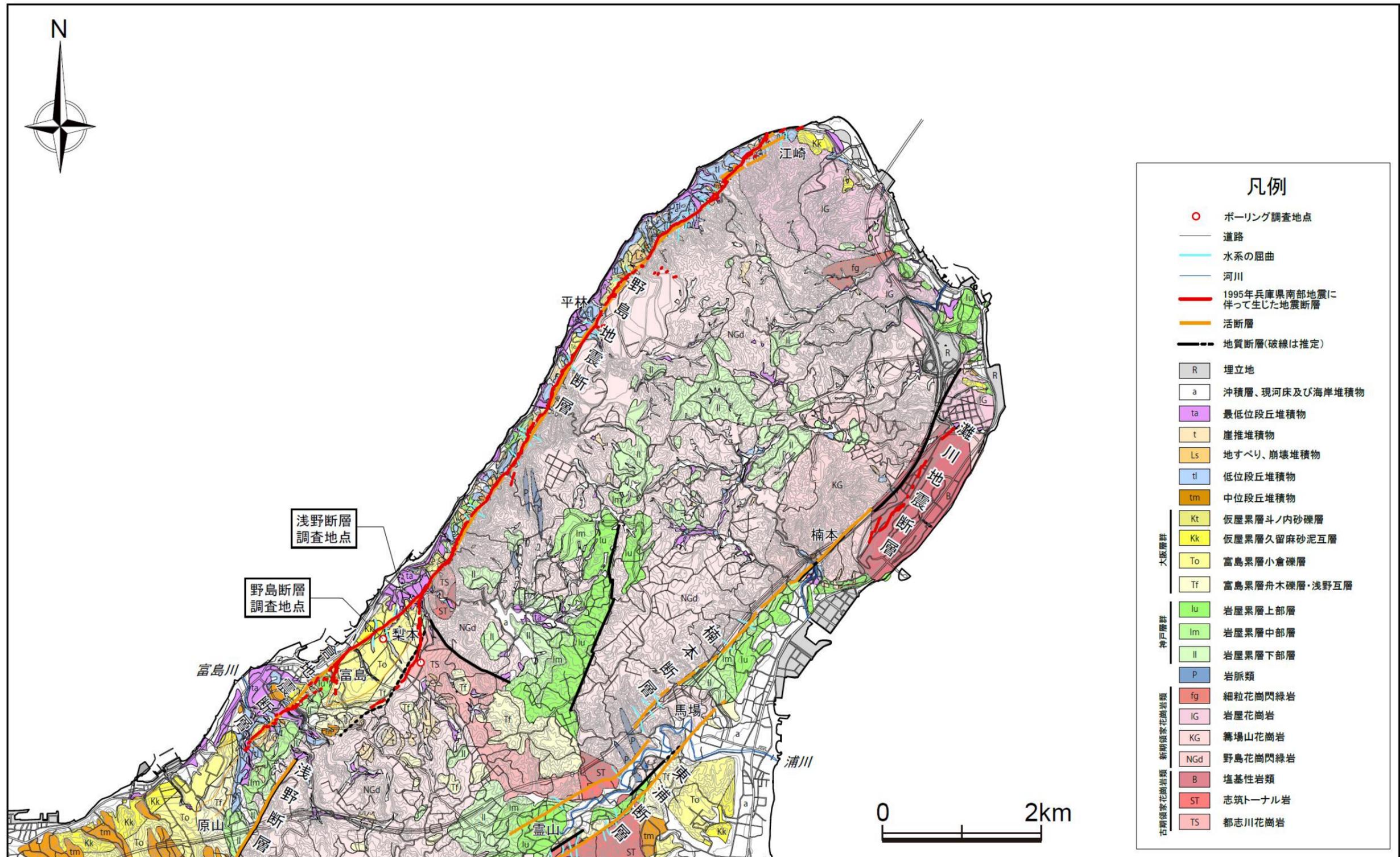


図 2.1.1 調査地域の地形・地質と活断層・地震断層の分布

地質図および地質断層の分布は、藤田・前田（1984）、水野ほか（1990）、栗田・水野（1998）を編集。
 活断層の分布は、水野ほか（1990）、渡辺ほか（1996a, 1996b）、1995年地表地震断層の分布は栗田・水野（1998）による。

地質系統		地層・堆積物名		岩相	年代値、火山灰層		
第 四 系	完 新 統	沖積層、現河床及び海岸堆積物		粘土・シルト・砂礫層			
		最低位段丘堆積物		砂～シルト層 礫層	610±50～1,950±60y.B.P.* ¹ 2,150±60～3,500±60y.B.P.* ¹		
	更 新 統	上 部	低位段丘堆積物		礫層	始良-Tn火山灰* ² 30,990±1,080y.B.P.* ³	
		下 部	中位段丘堆積物		礫層	41,550±700y.B.P.* ¹ 42,910±980y.B.P.* ¹	
第 三 系	鮮 新 統	上 部	大阪 層群	仮屋累層	斗ノ内砂礫層	久留麻火山灰(2.5±0.3Ma)* ²	
				富島累層	小倉礫層		シルト～粘土層及び 砂層を挟む礫層
	始 新 統	上 部	神 戸 層群	岩屋累層	舟木礫層 ・浅野互層	礫層及び シルト～粘土層と砂層の互層	浅野2火山灰* ² 浅野1火山灰* ² 釜口火山灰(3.6±0.4Ma)* ²
					上部層	海成砂岩・泥岩 貝殻石灰岩(カキ化石床)	33.5±1.5Ma(FT)* ⁴ 35～38Ma(微化石年代)* ⁵
					中部層	砂岩・礫岩	
					下部層	泥岩・角礫混じり砂岩 亜炭層挟む	
白 亜 系	上 部		新 期 領 家 花 崗 岩 類	岩脈類		ひん岩・花崗斑岩累・安山岩	
				細粒花崗閃緑岩	細粒黒雲母花崗閃緑岩	86.7±4.3Ma(K-Ar)* ²	
				岩屋花崗岩	中～粗粒黒雲母花崗岩	80.9±4.0Ma(K-Ar)* ²	
				篝場山花崗岩	中～細粒黒雲母花崗岩		
	野島花崗閃緑岩	中粒角閃石黒雲母花崗閃緑岩	87.7±4.4Ma(K-Ar)* ⁶				
	古 期 領 家 花 崗 岩 類	塩基性岩類	細粒黒雲母角閃石石英斑れい岩				
		志筑トーナル岩	中粒角閃石黒雲母トーナル岩	88.0±4.4Ma(K-Ar)* ⁶			
		閃緑岩類	細粒角閃石石英閃緑岩				
都志川花崗岩		斑状粗粒黒雲母花崗岩	84.0±4.2Ma(K-Ar)* ²				

*1 栗田・水野(1998)、*2 水野ほか(1990)、*3 栗田・角井(1996)、
*4 尾崎ほか(1996)、*5 山本ほか(2000)、*6 高橋(1992)

図 2.2.1 調査地域の地質層序表

水野ほか(1990)、栗田・水野(1998)を編集。

3. 調査手法

3.1. 調査の流れ

調査は、図 3.1.1 の調査フロー図に示したように、準備作業、測量、ボーリング掘削、物理検層、コア処理・観察、コア試料搬入・保管の順で行った。

準備作業は、ボーリング候補地点の地権者確認・用地交渉を行った。測量は、地権者の了承を得て正式にボーリング掘削位置を決定した後、掘削地点と調査用地周辺の測量（基準点測量・平面測量・横断測量）を行った。ボーリング掘削は、機材搬入、コアリング、拡孔、ケーシングの順で行い、掘削深度に応じて孔曲り測定（方位傾斜測定）を行った。物理検層は、調査の進捗に合わせ、複数の深度区間で行い、孔径検層、温度検層等に加え、ボアホールカメラ及びボアホールテレビュアー検層を行った。なお、物理検層は各調査地点の鉛直孔（NFD-1、AFD-1）で実施したが、断層の走向傾斜を確認するために、ボアホールカメラ検層を、孔壁崩壊の著しい NFD-2 以外の斜め孔（AFD-2 孔、AFD-3 孔）でも行った。

コア観察・解析は、掘削・コア試料採取の進捗に応じて並行して行い、ノンコア区間においては、カッティングス試料の採取・観察を行った。コアリング区間においては、暗室内で破砕帯の認定を行い、破砕帯が認定されたコアについては、暗室内の遮光管理下でコア観察及び写真撮影を行った。破砕帯のないコアについては、現場事務所内へコアを運搬し採光管理下で観察及び写真撮影を行った。観察の結果、断層破砕帯が認定された区間については、破砕帯及びせん断面の詳細観察を行った。コア観察及び破砕帯等の詳細観察が終了したコアは、年代測定及び薄片作成用の試料採取のために一時保管した後、コア棚を設計・設置した京都大学内のコア倉庫に搬入し保管した。

測量、ボーリング掘削、物理検層、コア処理・観察、コア試料搬入の詳細を以下に記す。

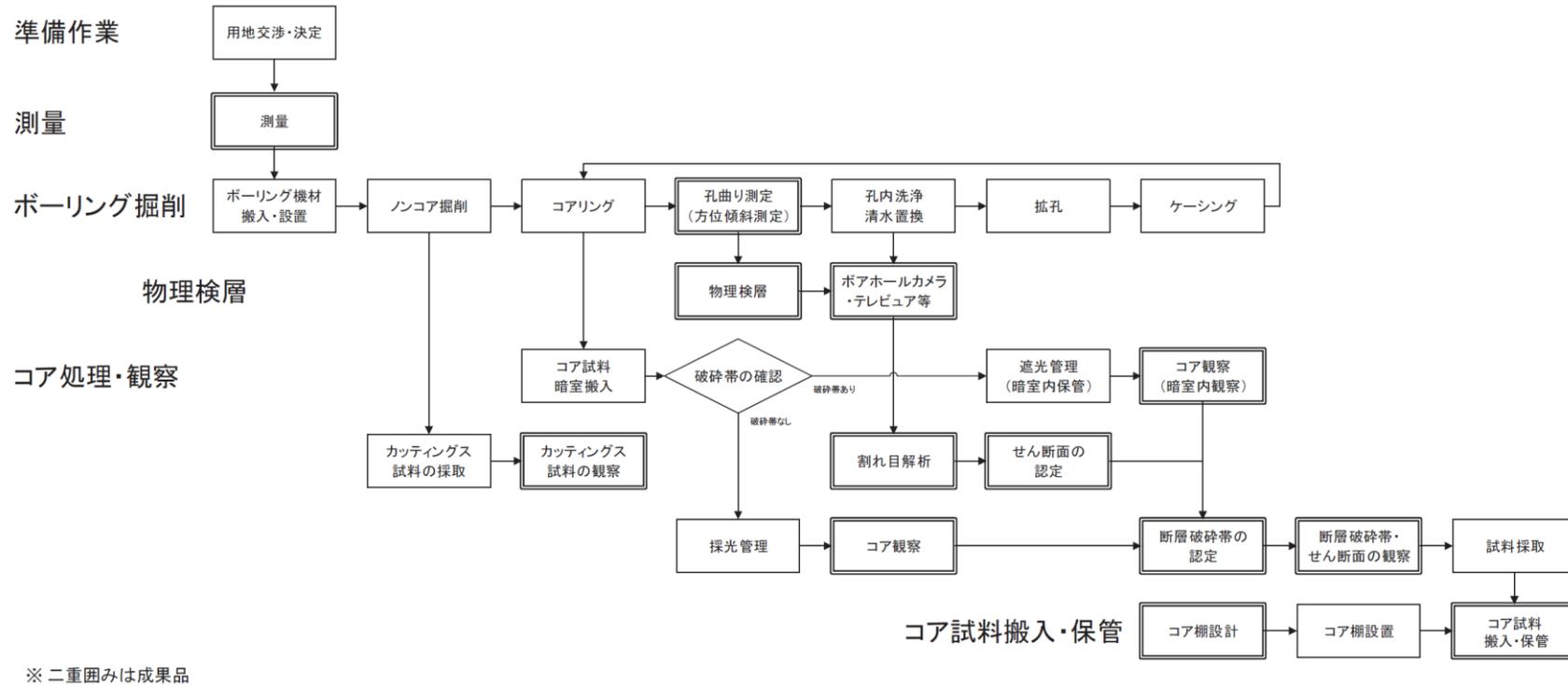


図 3.1.1 調査フロー図

3.2. 測量

ボーリング地点の位置座標と、ボーリング地点と周囲の地形や地物との関係を明らかにするために、野島断層調査地点と浅野断層調査地点において、基準点測量、平面測量、および横断測量を行った。測量実施一覧表を表 3.2.1 に、測量において使用した機材を表 3.2.2 に示す。

表 3.2.1 測量実施一覧表

項目	野島断層調査地点	浅野断層調査地点		
	NFD-1、NFD-2	AFD-1	AFD-2	AFD-3
基準点測量	2か所	2か所		
平板測量	200m ² 縮尺1/200	200m ² 縮尺1/200	200m ² 縮尺1/200	200m ² 縮尺1/200
断面測量	100m 縮尺1/200	100m 縮尺1/200	100m 縮尺1/200	100m 縮尺1/200

表 3.2.2 測量使用機材一覧表

項目	機器の名称	型番	仕様	製作会社名
基準点測量	GPS受信機	Viva GNSS GS08plus	水平精度: 5mm+0.5ppm(rms) 垂直精度: 10mm+0.5ppm(rms) 使用周波数: GPS&GLONASS L1,L2 電波受信レート: 1.0秒	ライカ
平面測量 横断測量	トータル ステーション	Viva TS15	水平精度: ±150mm 鉛直精度: 主曲線間隔の1/4以内	ライカ

3.2.1. 基準点測量

基準点測量は、位置座標（緯度 X、経度 Y、楕円体高 Z）が既知の固定局を基準として、移動局（測量基準点）の位置座標を求めるネットワーク型 RTK-GNSS 測量によって実施した。測量基準点は、野島断層調査地点付近に 2 か所（NT1、NT2）、浅野断層調査地点付近に 2 か所（AT1、AT2）設置した。

3.2.2. 平面測量

平面測量は、基準点等にトータルステーションを配置し、放射法等により地形・地物を測

定することにより実施した。測量範囲は、野島断層調査地点で約 200 m²、浅野断層調査地点で約 600 m²（AFD-1 孔周辺で約 200 m²、AFD-2 孔周辺で約 200 m²、AFD-3 孔周辺で約 200 m²）である。測量精度は、水平位置は±150mm、標高は主曲線間隔（1m）の4分の1以内である。測定終了後にデータ解析システムにデータを転送し、計算機の図面上で編集および点検を行った。平面測量の成果として縮尺 1/200 の平面図を作成した。

3.2.3. 横断測量

横断測量は、測点の接線に直角方向の地形・構造物などの変化点の位置と標高を直接法及び間接法（TS 法）により実施した。測量の測線長は、野島断層調査地点で約 100m、浅野断層調査地点で約 300m（AFD-1 孔周辺で約 100m、AFD-2 孔周辺で約 100m、AFD-3 孔周辺で約 100m）である。測量に際して、横断方向に原則として見通杭を設置した。見通杭は、高さ 45cm の木杭およびプラスチック杭を用いた。地盤がアスファルト・コンクリート等により杭の設置ができない箇所については、測量鋸を設置した。横断測量の成果として縮尺 1/200 の横断面図を作成した。

3.3. ボーリング掘削

ボーリング掘削は、ワイヤーラン工法で実施した。各調査地点において、鉛直ボーリングと斜めボーリングを実施し、野島断層調査地点のNFD-1孔では、既存孔から孔曲げを行って枝孔（サイドトラック）を掘削するコントロールボーリング（NFD-1-S2、NFD-1-S3孔）も実施した。表3.3.1にボーリング掘削一覧表を示す。また、表3.3.2にボーリング使用機材一覧表を示す。以下に、ワイヤーライン工法及びコントロールボーリングの掘削方法について記す。

表 3.3.1 ボーリング掘削一覧表

項目	野島断層調査地点				浅野断層調査地点		
	NFD-1孔	NFD-1-S2孔	NFD-1-S3孔	NFD-2孔	AFD-1孔	AFD-2孔	AFD-3孔
掘進長	1000m	255m	55m	450m	700m	300m	100m
掘進方向	鉛直	曲げ9°	曲げ4°	斜め下方77°	鉛直	斜め下方65°	斜め下方45°
ワイヤーライン 工法	ノンコア	0-350m	-	-	0-210m	0-100m	-
	PQコアリング	-	-	-	-	100-700m	0-300m
	HQコアリング	350-1,000m	-	-	210-399m	-	-
	NQコアリング	-	-	-	399-450m	-	-
コントロール ボーリング	ノンコア	-	500-655m	-	-	-	-
	HQコアリング	-	655-755m	500-555m	-	-	-

表 3.3.2 ボーリング使用機材一覧表

機材の名称	野島断層調査地点			浅野断層調査地点		
	NFD-1孔	NFD-1-S2,S3孔	NFD-2孔	AFD-1孔	AFD-2孔	AFD-3孔
試錐機	TSL-1 (株)東亜利根 ボーリング	TSL-2 (株)東亜利根 ボーリング Mud Motor+ SlimPluse Schlumberger	TBM-150 (株)東亜利根 ボーリング	リゾート21 (株)東亜利根 ボーリング	TBM-88 (株)東亜利根 ボーリング	TBM-88-150 (株)東亜利根 ボーリング
試錐ポンプ	350D ガードナー ・デンバー(株) NAS-4 (株)東亜利根 ボーリング	350D ガードナー ・デンバー(株) NAS-3 (株)東亜利根 ボーリング	NP-700 (株)東亜利根 ボーリング MG-15 鉱研工業(株)	NP-700T、 NAS-3 (株)東亜利根 ボーリング	NP-700T、 NAS-3 (株)東亜利根 ボーリング	NP-400 (株)東亜利根 ボーリング

3.3.1. 掘削方法（ワイヤーライン工法）

ワイヤーライン工法は、アウターチューブ（ケーシングを兼ねる）を回転させて掘進を行い、先端に接続されたインナーチューブでコアを採取する方法である。インナーチューブがコアで満たされるか、コアがつまるとインナーチューブが動き、掘削水を送るバルブが閉塞され、水圧が上昇する。こうしてインナーチューブの回収時期を察知することができる。コアで満たされたインナーチューブは、回収ツールをアウターチューブ内に投入、接続し、ワイヤーラインホイストで巻上げてアウターチューブ内から回収する。コアを取り出したのち、再びインナーチューブをアウターチューブ内に投入、接続し、掘進を再開する。ワイヤーラインホイストでインナーチューブを回収することで、掘進長が長くなると、普通工法と比較して、掘進と回収のサイクルが短くなり、効率的に作業が行える。また、ボーリング孔を保孔しながら掘進できるので、脆弱な地盤での孔壁崩壊によるリスクを低減できる。以上により、本調査では、ワイヤーライン工法を用いた掘削を実施した。ワイヤーライン工法の概要図を図 3.3.1 に示す。

なお、ノンコア区間については、トリコンビットを用いて掘削を行い、カッティングス試料を採取した。

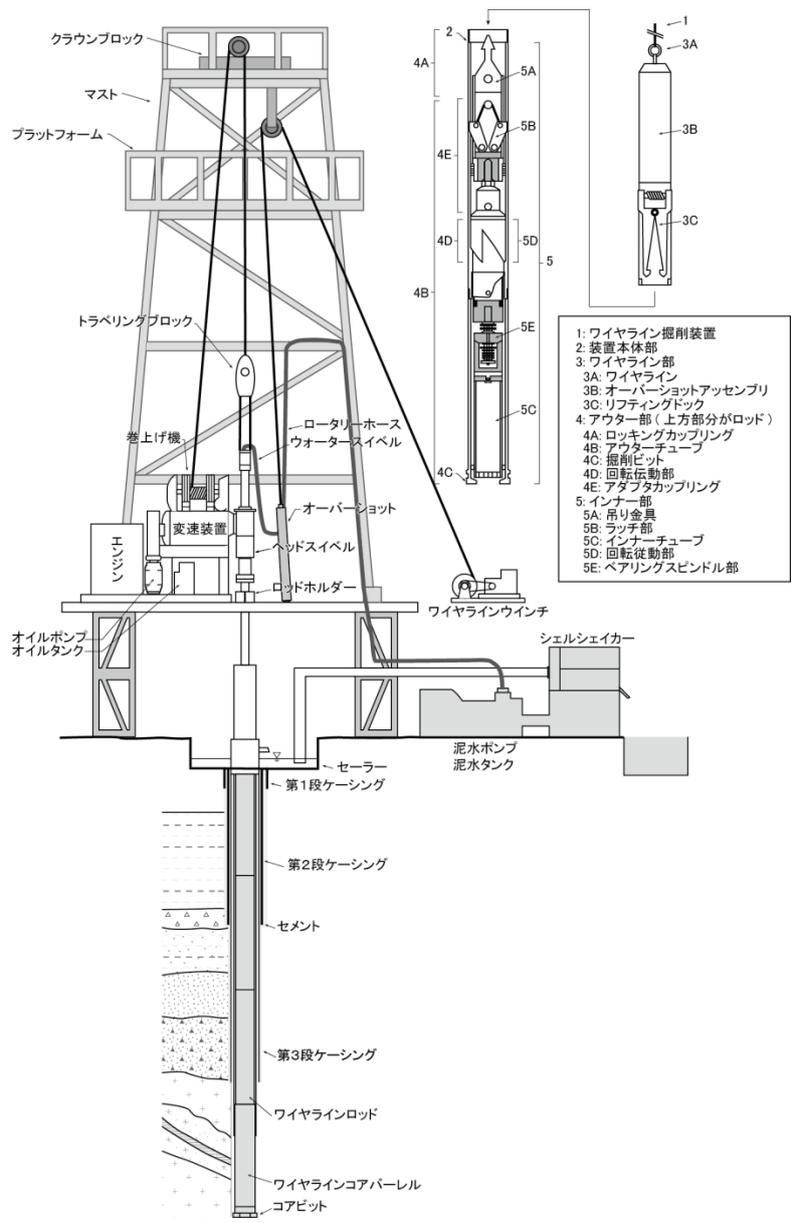


図 3.3.1 ワイヤライン工法概要図

3.3.2. 掘削方法（コントロールボーリング）

コントロールボーリングは、方向性の維持、孔曲がり測定、方向修正を実施し、孔井の方向・傾斜を自在にコントロールして目的位置のコアリングを行う方法である。本調査では、地下深部の複数の深度において断層岩試料を採取するために、NFD-1の鉛直孔から断層に向かってサイドトラック孔を掘削するコントロールボーリングを行った。コントロールボーリングのイメージ断面図を図 3.3.2 に示す。

コントロールボーリングに際しては、ダウンホールモーター（図 3.3.3）を使用した。ダウンホールモーターとは、泥水の流体エネルギーを回転エネルギーに変換する装置のことであり、地上から掘管を回すことなくビットを回転させることが可能で、モーターの屈曲した向きに沿って曲がるように掘削することが可能である。ダウンホールモーターは、パワーセクション、ベントハウジング、ベアリングセクション等から構成される。パワーセクションの形状や長さが、トルクや回転数を決定する。また、ベントハウジングの調整により、現場にてベント角を設定可能であり、ビットの方向を決定することができる。ベアリングセクションには、掘削時の荷重を支持するベアリングを内蔵している。

掘削は、複数のサイドトラック孔のうち最も深い深度のサイドトラック孔の掘削開始深度（孔曲げ開始深度）まで、トリコンビットにて既存鉛直孔の拡孔を行う。サイドトラック孔の掘削開始後、断層付近に到達するまではノンコア掘削を行った。その後ノンコア区間にガイド管を挿入した後、HQ コアリングを開始する。コアリング終了後、次のサイドトラック孔の掘削深度までの埋戻しを行い、埋戻し区間の硬化後、次のサイドトラック孔の掘削を開始する。

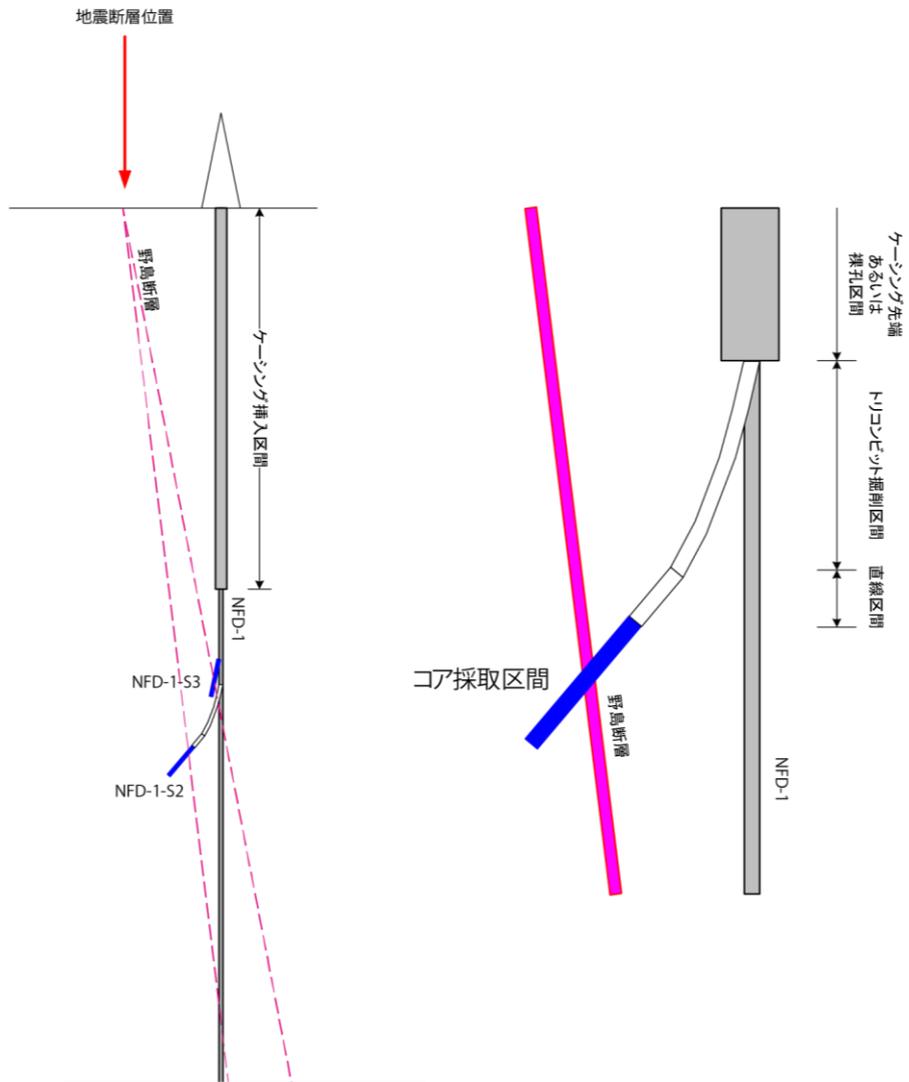


図 3.3.2 コントロールボーリングイメージ断面図

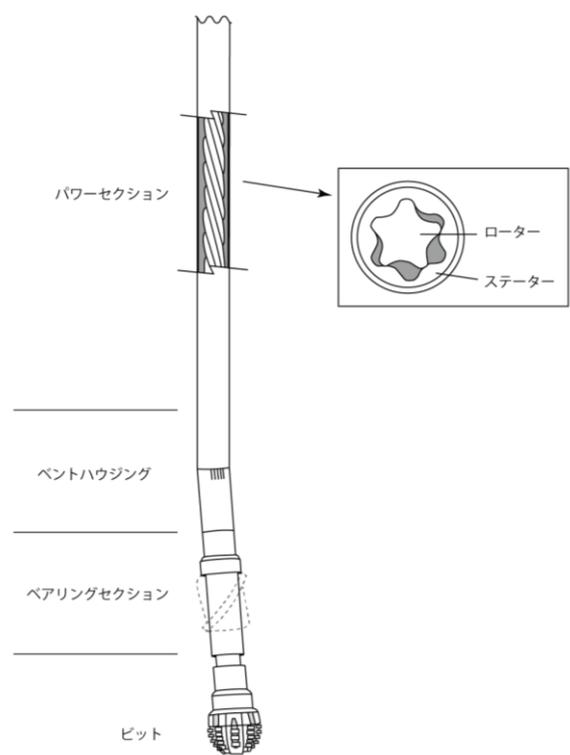


図 3.3.3 ダウンホールモーターの概要図
((株) クリステンセン・マイカイより提供)

3.3.3. 孔曲がり測定

孔曲がり測定は、ボーリング孔の掘進角度および掘進方位の確認を行うために実施した。測定器は村田式坑井記録傾斜儀（村田式孔曲がり測定器）のシングルショットタイプを用いた。孔曲がり測定の使用機材一覧表と孔曲がり測定深度一覧表を表 3.3.3、表 3.3.4 に、概要図を図 3.3.4 に、孔曲がり測定記録の読み方を図 3.3.5 に示す。

(1) 測定方法

測定は、50m ごとを基本として行った。測定手順を以下に記す。

- ①タイマー撮影機能を内蔵した孔曲がり器本体を計測用外管に入れ、撮影までに要する時間を考慮してタイマーをセットし、ボーリングロッドまたはウィンチケーブルに装着する。
- ②ボーリングロッドまたはウィンチを用いて測定深度まで挿入する。
- ③タイマー作動でフィルムに撮影した後、これを回収して、記録を読み取る。

(2) 測定記録の読み方

- ①フィルムに記録された角度目盛とヘアークロスの関係から、方位、掘進角度を測定する。
- ②傾斜は、ヘアークロスの中心が、角度目盛の何本目かを読み取る。
- ③方位は、ヘアークロスの中心と、角度目盛の N、S-E、W の交点を結び、外側へ延長した線から、方位を読み取る。

表 3.3.3 孔曲がり測定使用機材一覧表

機器の名称	型番	コンパス	製作会社名
村田式坑井記録傾斜儀 (シングルショット)	TYPE SS	0-5° 計	村田製作所
	TYPE SR	0-5° 計 0-130° 計	

表 3.3.4 孔曲がり測定深度一覧表

野島断層調査地点								浅野断層調査地点					
NFD-1孔		NFD-1-S2孔		NFD-1-S3孔		NFD-2孔		AFD-1孔		AFD-2孔		AFD-3孔	
測定深度	測定機器	測定深度	測定機器	測定深度	測定機器	測定深度	測定機器	測定深度	測定機器	測定深度	測定機器	測定深度	測定機器
60	TYPE SR 0-130° 計	700	TYPE	500	TYPE	10	TYPE SS 0-20° 計	56.97	TYPE SR 0-130° 計	60.4	TYPE SR 0-130° 計	50	TYPE
110		750	SR	550	SR	18		110.97		97.4		100	SR
150		-	0-130° 計	-	0-130° 計	24		147.9		151.4		-	0-130° 計
200		30	201.9	204.6	30	255.9		261.7		300			
250		35	290.9		40	346							
300		40	404		50	458							
350		50	512		70	543							
400		70	597		80	651							
450		80	700		90								
500		90			100								
550		100			108								
600		120			120								
650		130			130								
700		140			140								
750		150			150								
800	160			160									
850	170			170									
900	180			180									
950	190			190									
1,000	200			200									
				225									
				290	TYPE SR 0-130° 計								
				330									
				400									
				450									

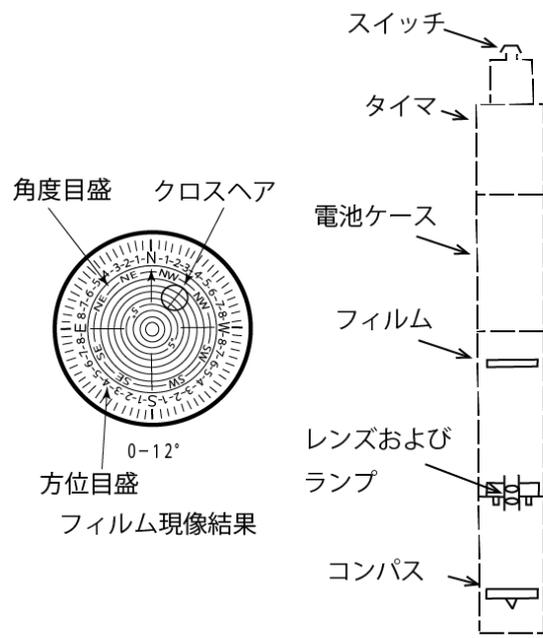


図 3.3.4 村田式高抗井記録傾斜儀概要図
 (『ボーリングポケットブック 第5版』(株) オーム社) より引用)

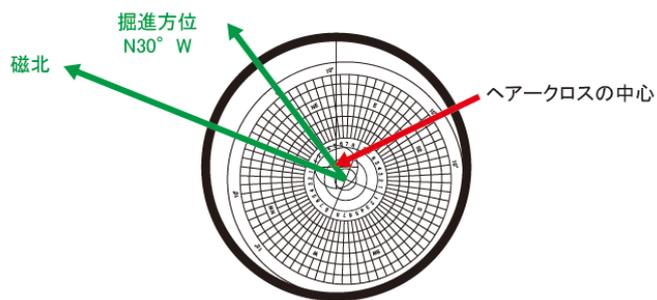


図 3.3.5 孔曲がり測定記録の読み方
 上図の場合、掘進方位は N30°W、掘進角度は 2.5°となる。

3.4. 物理検層

物理検層は、ボーリング調査地点近傍の地質状況や岩盤物性を確認するために、孔径検層、温度検層、音波検層、密度検層、電気検層、孔壁観察（XRMI 検層、ボアホールカメラ検層、ボアホールテレビュアー検層）、方位傾斜測定を実施した。物理検層の一覧表を表 3.4.1 に示した。

表 3.4.1 物理検層実施深度一覧表

項目	野島断層調査地点				浅野断層調査地点		
	NFD-1孔	NFD-1-S2孔	NFD-1-S3孔	NFD-2孔	AFD-1孔	AFD-2孔	AFD-3孔
孔径検層 (キャリバ検層)	①0-50m ②50-350m ③350-500m ④350-1,000m	-	-	-	①0-35m ②35-305m ③305-700m	-	-
温度検層	①0-50m ②50-350m ③350-500m ④350-1,000m	-	-	-	①0-35m ②35-305m ③305-700m	-	-
音波検層	①0-50m ②50-350m ③350-500m ④350-1,000m	-	-	-	①0-35m ②35-305m ③305-700m	-	-
密度検層 (γ — γ 検層)	④350-1,000m	-	-	-	③305-700m	-	-
電気検層	①0-50m ②50-350m ③350-500m ④350-1,000m	-	-	-	①0-35m ②35-305m ③305-700m	-	-
孔壁観察	XRMI検層	①0-50m	-	-	-	-	-
	ボアホール カメラ検層	-	-	-	-	②35-305m ③305-447m	①100-143m ②143-215m ③215-300m ①10-100m
	ボアホール テレビュアー検層	①0-50m ②50-350m ③350-470m ④470-1,000m	-	-	-	①0-35m ②35-305m ③305-700m	-
方位傾斜測定	①0-50m ②50-350m ③350-500m ④350-1,000m	-	-	-	①0-35m ②35-305m ③305-700m	-	-

3.4.1. 孔径検層

孔径検層は、深度に対して孔径の変化を連続的に測定記録し、孔内における空洞、崩壊の位置やその形状・程度を把握するために実施した。得られた結果は、孔径による補正を必要とする他の検層結果の解釈などに用いられた。孔径検層に用いられるゾンデは、内部に小型モーターを内蔵し、地上からの操作によりアームの開閉ができる。キャリパーアームの機械的な開き具合は電気パルスに変換され、地上に伝送される。孔径ゾンデの概要図を図 3.4.1 に示す。

測定は、ゾンデのアームを閉じた状態で孔内に降下し、測定区間の最深部となる箇所アームを開き、キャリパーアームを孔壁に密着させる。測定器を捲き上げながら、アームに記録される孔壁の凹凸から孔径の変化を測定する。

一般に破碎帯や断層、軟弱地質においては、孔壁が崩壊しやすく孔径拡大が顕著に認められるため、本調査では破碎帯の分布深度の目安として使用した。また、孔径検層から得られた測定値より孔内容量等を算出し、セメンチング作業の情報として利用した。

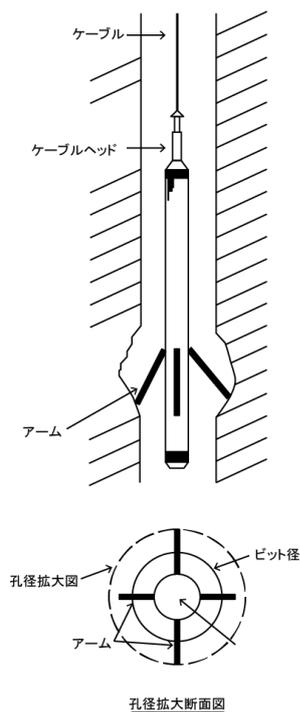


図 3.4.1 孔径ゾンデの概要図

((株) 物理計測コンサルタントより提供)

3.4.2. 温度検層

温度検層は、孔内の温度を深度に対して連続的に測定して地層の温度を決定する手法で、一般には逸水層、出水層および帯水層などの位置判定に利用されている。本調査では破碎帯の分布深度の目安として用いた。温度の測定においては、流体の流動により生ずる微細な温度変化を記録することが重要な要素となる。温度検層器の感熱素子には、抵抗式温度測定素子であるサーミスタを使用している。サーミスタは、温度が上昇すると抵抗値が小さくなる性質があり、この温度特性を利用して孔内水の温度を測定する。そのため、有効な測定記録は孔内水位以下となる。

測定の等価回路を図 3.4.2 に示す。図に示すように地上から 1mA の一定電流を供給し、サーミスタ両端の電位降下を孔内で測定して、その抵抗変化を求める。ケーブル抵抗 R1、R2 の抵抗が十分小さくサーミスタ R に比べて電位差計の入力インピーダンスが十分大きければ、測定電圧は $V=IR$ となりケーブル抵抗に関係なくサーミスタの抵抗を知ることができる。しかし、実際にはケーブル抵抗が存在するので、ケーブル補償回路が付加された機構になっている。

測定は、降下しながら行なうのが一般的であり、本調査でも降下しながら測定を行った。地層温度に近い測定値を得るためには孔井を長時間放置しておく必要がある。

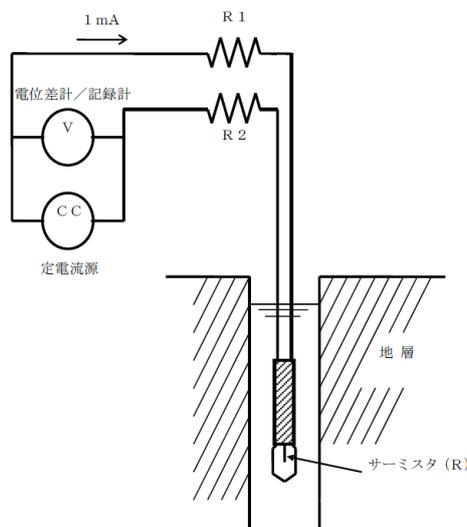


図 3.4.2 温度検層の測定原理

((株) 物理計測コンサルタントより提供)

3.4.3. 音波検層

音波検層に用いられる測定器は、電歪(または磁歪)発振器および受信器から構成される。発振器から発振した圧縮波は孔内水を伝播して孔壁に達する。エネルギーの一部は屈折して孔壁近傍を伝播し、再び孔内水に輻射された音波を受信器で測定する。温度検層と同様、有効な測定記録は孔内水位以下となる。

測定ツールは、マンドレル部とエレクトロニクス部で構成されている。マンドレル部には1つの発振器(T)とこれより3フィート(約90cm)と5フィート(約150cm)離れた位置に設置された2つの受信器(R1、R2)によりなる。

測定された区間走時(一定区間を伝播する音波の到達時間)から、地層の弾性波速度が算出できる。また、音波信号による地層情報にインテンシティーログ(VDL)がある。インテンシティーログは受信波形を濃淡表示し、深度に対応させたものである。この変化を連続的に記録することにより、振幅や区間走時の全体的な傾向を視覚的に表すことができる。

地層の弾性波速度は、屈折したP波が発信器から受信器までに要した伝播時間をもとに求められる。図3.4.3のように、受信間隔がそれぞれ3フィートと5フィート間の走行時間の差を取ることで、伝播速度を算出することができる。

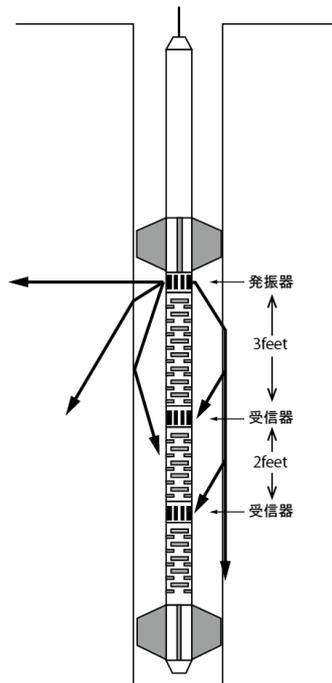


図 3.4.3 音波検層概要図

((株) 物理計測コンサルタントより提供)

3.4.4. 密度検層

密度検層は、地層に照射されたガンマ線の減衰状況から、周囲の岩盤密度を計測する検層種目である。線源を使用することから” γ - γ 検層”とも呼ばれる。図 3.4.4 に密度検層の概要図を示す。

一般に密度値は破碎帯等の岩盤弱部で減少し、基盤岩では大きく増加する。また、堆積岩では圧密による密度の増加具合も知ることができる。岩盤の密度値は、石油・ガス井では孔隙率を算出し貯留層評価に、土木・建設分野では岩盤の力学特性を算出して振動評価に利用されている。

$$I = I_0 \exp(-\rho_b \mu h)$$

ここで、

I	: 透過ガンマ線の強度
I ₀	: 入射ガンマ線の強度
ρ_b	: 物質の密度 (g/cm ³)
μ	: 質量減衰係数 (cm ² /g)
h	: 物質の厚さ (cm)

地層中にガンマ線を照射したとき、地層物質との相互作用は“コンプトン散乱”が支配的である。これはガンマ線が原子の軌道電子と衝突し、そのエネルギーの一部を軌道電子に与えて進路を変えながら減衰する現象である。密度検層は、このコンプトン散乱を利用した検層種目である。地層を透過したガンマ線強度（カウント数）と地層密度の関係は次式のようなになる。

μ は物質によらずほぼ一定で、 h は線源と検出器の距離で決まる値であるため、積 μh はツール固有の定数となる。このとき地層密度と検出器でのガンマ線カウント数は図 3.4.5 のように片対数上で直線になる。ガンマ線のカウント数は、重い物質ほど小さくなる。

孔井内にツールを降下する前にガンマ線の線源（セシウム（Cs）-137）を装着し、ガンマ線の強度（カウント数）を深度ごとに測定することにより連続的に地層密度（バルク密度）を記録する。

ツールはバックスプリングまたはアームによって孔壁に圧着（デセントライズ）され、線源と検出器を常に孔壁側に接触させることで、ガンマ線を効果的に照射するとともに孔内水の影響を小さくしている。また、補償型密度検層機は、ツール周囲の泥壁などの影響を補正する目的で、線源からの距離が短い検出器（ニアディテクタ）を備えている。

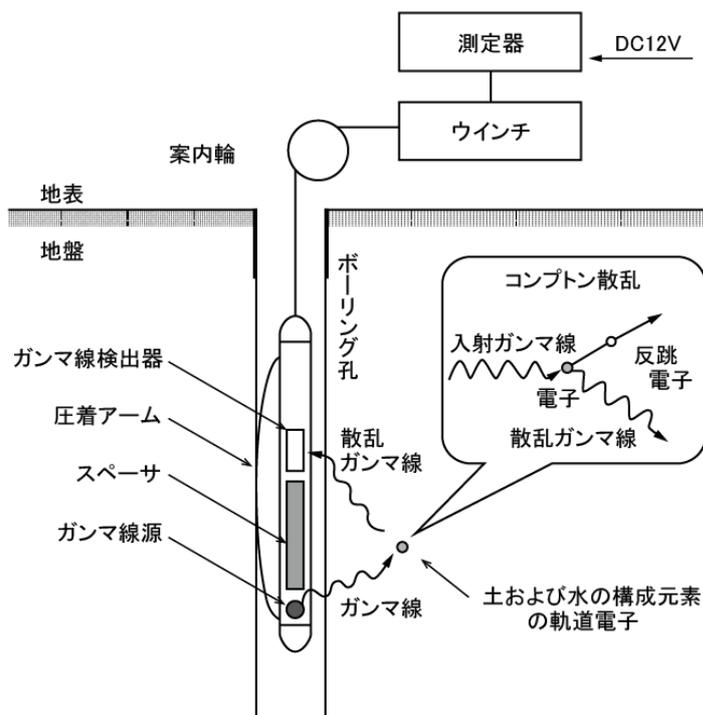


図 3.4.4 密度検層概要図

(『ボーリングポケットブック 第5版』(株) オーム社) より引用)

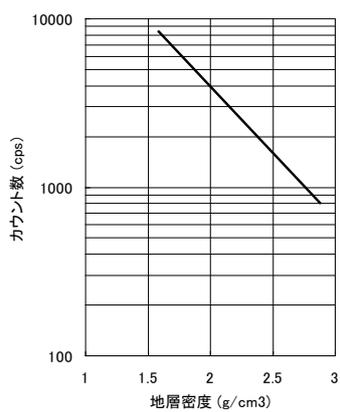


図 3.4.5 地層密度とガンマ線カウント数の関係

3.4.5. 電気検層

電気検層は、導電性の液体に満たされた坑井内で坑壁に電流を流して電位を測定し、坑壁周辺の岩盤の比抵抗データを連続して取得するものである。図 3.4.6 に測定システムの概略を示す。A、B が電流電極、N、M が電位電極である。電気検層も温度検層、音波検層と同様、有効な測定記録は孔内水位以下となる。

岩盤が等方均質の場合は、電流電極 A のまわりの等電位面は球面となり、比抵抗値 ρ は、電流 I と電位 V から次式で算出される。

$$\rho = 4\pi AM \cdot V / I$$

ここで、 AM は電極間隔またはスペーシングと呼ばれる。 AM を大きくすると探査深度が深くなり、坑壁から離れた岩盤までが測定対象となる。ただし、この場合は鉛直(坑井軸)方向の分解能が低くなる。一方、 AM を小さくとると、探査深度は浅くなり、測定対象は坑壁のごく周辺の岩盤に限られるが、鉛直方向の分解能は高くなる。

通常電気検層は 2 極法 (ノルマル法) を用い、2 種類の電極間隔 (25cm/100cm または 16inch/64inch) で測定している。電極間隔 25cm (16inch) の比抵抗をショートノルマル比抵抗、電極間隔 100 cm (64inch) の比抵抗をロングノルマル比抵抗と呼んで区別している。

実際の岩盤は等方均質でなく、また電位が坑径や坑内水の比抵抗の影響を受けるため、電流電極 A のまわりの等電位面は歪んで球面でなくなるため、上式から算出される ρ は見掛け比抵抗と呼ばれる。

電気検層では、比抵抗と同時に地層の自然電位 (SP) も連続的に測定する。自然電位は坑井内電極 M と地上の電極 N との間の電位差である。自然電位の発生機構としては、イオンを含む地層水が流動するときに生ずる流動電位と、塩分濃度の異なる地層水と掘削泥水によって生じる電気化学的電位があり、大部分が後者の効果であると考えられている。

電気化学的電位には、拡散電位と膜電位がある。砂岩などの浸透層と頁岩からなる堆積層では、浸透層である砂岩中で泥水濾過水と地層水が接触し、拡散電位が生じる。また、砂岩/頁岩境界部では頁岩が陽イオン膜として働くことにより膜電位が生じる。地層水の塩分濃度が掘削泥水よりも高い場合には、砂岩では自然電位が低く、頁岩の自然電位は高い。頁岩と砂岩の自然電位差を SP 偏差と呼び、SP 偏差から粘土成分の含有量を簡易的に算出する。通常、100%頁岩層が連続している地層の SP 曲線は高電位で測定され、その曲線を SP の 100%頁岩ベースラインと呼ぶ。

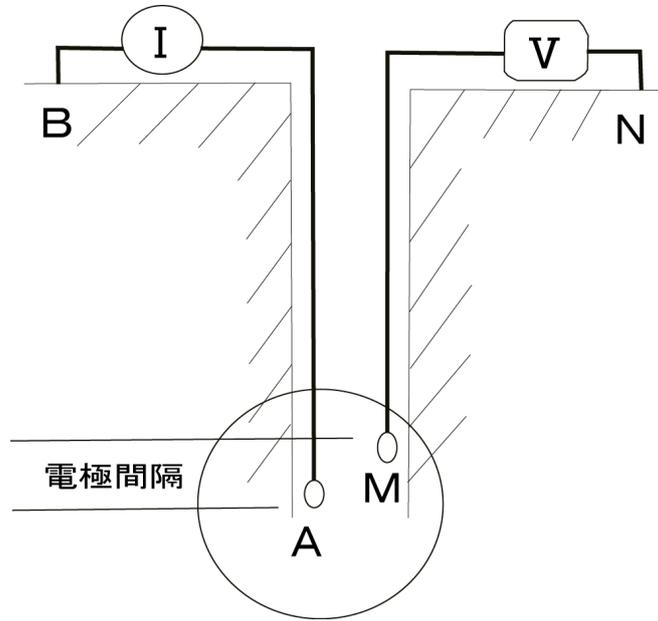


図 3.4.6 ((株) 物理計測コンサルタントより提供)

3.4.6. 孔壁観察及び方位傾斜測定

孔壁観察及び方位傾斜測定については、同一のプロープで計測・観察する。

(1) XRMI 検層

XRMI (X-tended Range Micro Imager) は、小さなボタン電極が埋め込まれたパッドを坑壁に押し当てることにより地層の導電率（比抵抗値の逆数）を測定する。その値を地上で画像処理してプロットするイメージング検層器の一種である。

パッド・アームは 6 本あり、各パッドには横 5mm、縦 7.6mm 間隔に直径約 4mm の電極が横 2 列に合計 25 個設置されている。ボタン電極の総数は 150 個で、坑壁イメージの分解能は約 5mm である。6 本のパッド・アームはモーターで開閉する。それぞれのアームは独立駆動構造なので、坑径が変化しても柔軟にパッドを坑壁に接触させることができる。

測定電流はツール下部より地層に流され、一部は電極より主電流として、残りは高解像度を保つためのフォーカス電流として使用される。各電極の電流値は地層の導電率変化に比例するため、電流変化を色調変化に変換することにより坑壁をイメージングする。一般に導電率の増加（比抵抗値の低下）につれて色調は淡色から濃色に変化する。カラースケールでは白～黄～茶～黒の色調を用いる。

測定した導電率（比抵抗値）は坑壁の導電率展開図として出力する。展開図は左端を基準に磁北（解析時、真北に修正）、東、南、西、北の順序に 360° 表示する。プロット図の黒帯はパッドとパッドの間の測定欠損部であり、黒帯中に白線を含む測定欠損部に挟まれたパッドが No.1 パッドである。パッド番号と坑径測定値の関係から坑井の断面形状を知ることができる。坑壁走査面積(カバレッジ)は坑径により変化する。例えば 6-1/4” (159mm) 坑では約 80% の坑壁情報を得ることが可能である。取得したデータはデジタル・テレメトリを通して地上の収録システムに伝送され、リアルタイムに測定結果を表示することができる。

また、ツールには方位・傾斜測定部として 3 軸フラックスゲート型磁力計と 3 軸サーボ型加速度計が組み込まれており、ツールの位置、方位、坑井の方位、傾斜を同時測定することができる。坑井の方位は、地磁気センサにて地磁気を検出して方位角を計算することで求められ、孔井の傾斜は、加速度センサにて重力を検出して重力の傾き具合からツールの傾斜角を計算することで求められる。

(2) ボアホールカメラ検層

ボアホールカメラ検層は、ボーリング孔内水位以下の光学的な壁面情報を連続的かつ詳細に取得・解析し、割れ目の位置・方向等の分布特性や割れ目の開口幅・形状に関する特性を調査する手法である。孔口付近に深度測定プーリーを設置して孔内にプロープを吊り下げ、プロープの自重降下により計測する。降下速度は 0.0～0.9m/min の範囲で調節することができ、割れ目からの湧水やガスの噴出状況などはプロープを停止させての計測が可能である。また、プロープに内蔵された地磁気センサで地磁気を検出して方位角を計算することで、プ

ロープの姿勢と向き及び孔井の方位を求めることができる。図 3.4.7 にボアホールカメラ検層概要図を示す。

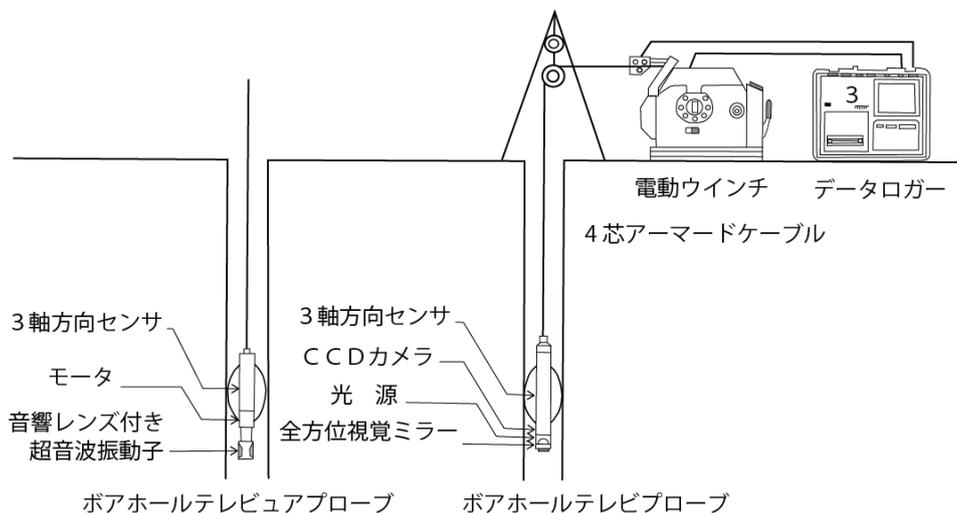


図 3.4.7 ボアホールカメラおよびボアホールテレビュア一検層概要図
 (『ボーリングポケットブック 第5版』(株) オーム社) より引用)

(3) ボアホールテレビュア一検層

ボアホールテレビュア一検層は、流体で満たされた孔井の孔壁を音波で走査することにより、孔壁の状態を画像として表す測定器である。図 3.4.7 にボアホールテレビュア一検層概要図を示す。

ボアホールテレビュア一検層ツールは、音波の送受信を行うことによって孔壁の状態を調べる圧電形トランスデューサーと、地磁気及び重力加速度を検出することによってツールの方位・傾斜を調べる 3 軸加速度・地磁気センサにより構成される。受信した孔壁からの反射波はツールの内蔵エレクトロニクスにより波形処理した後、地上の収録システムに伝送され、画像化される。

ツール内のミラーは毎秒 3~10 回転の速度で高回転しながら、トランスデューサー (基本周波数 1,200 kHz) から発振した音波エネルギーを非常に細いビーム状に収束して孔壁に向けて発射する。そして、音波エネルギーの一部が孔壁から反射し、ミラーを経由してトランスデューサーに受信される。

孔壁から反射される音波エネルギーの大きさは、孔壁の表面の物理的性質によって左右され、滑らかな表面は粗い表面よりもよく反射し、硬い表面は柔らかい表面よりもよく反射す

る。更にトランスデューサーに対して反射面が斜めの場合は、反射エネルギーは著しく減少する。一般に表面のどのような不規則さも、反射信号の振幅を減少させる（図 3.4.8）。波形処理した反射波は、アンプリチュード（反射波強度）とトラベルタイム（反射波到達時間）に分けられ、トラベルタイムはゾンデから孔壁までの距離に変換され、孔径（キャリパー）が算出される（図 3.4.9）。

XRMI 検層と同様に、坑井の方位は、地磁気センサにて地磁気を検出して方位角を計算することで求められ、孔井の傾斜は、加速度センサにて重力を検出して重力の傾き具合からツールの傾斜角を計算することで求められる。

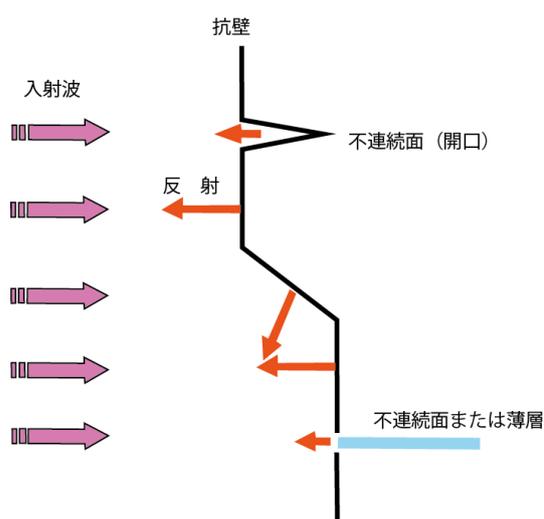


図 3.4.8 孔壁における反射波の概念図

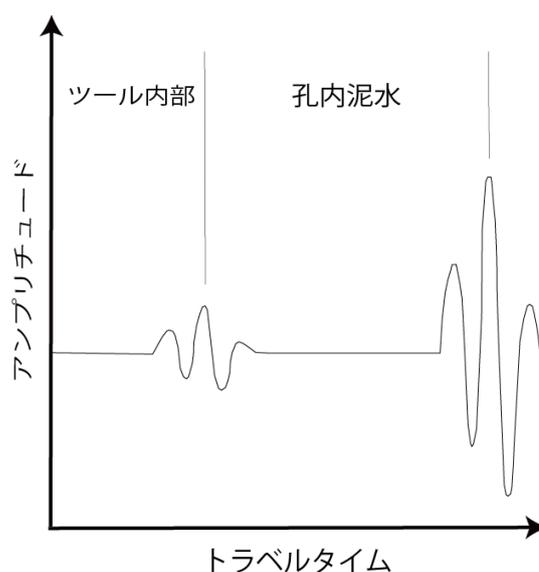


図 3.4.9 反射波のアンプリチュードと
トラベルタイム

3.5. コアの処理・観察

3.5.1. 採取試料コアの処理方法

(1) ノンコア区間

ノンコア区間については、カッティングス試料を処理・観察することで掘削深度における岩相及び地層区分を明らかにした。カッティングス試料は、深度 10m ごとの採取を基本とし、例えば深度 10~20m 区間の掘進中には 20m 試料として採取を行っている。試料は、採取量約 0.5l をめどに採取を行い、開口 1.7mm、500 μ m、125 μ m の 3 種類の篩を用いて洗浄・乾燥を行った。洗浄・乾燥後の残渣試料は、写真撮影を行った後に、約 0.1l をめどに標本瓶に保存した。

(2) コアリング区間

採取コアの処理方法は、コアに含まれる破砕帯の有無で異なる。ボーリングコアの処理フロー図を図 3.5.1 に示す。コアは、採取後すぐに暗室内に搬入し、暗室内でインナーチューブから内管の取り出しを行い、掘削深度を確認した。その後、コアの累計掘進長の確認を行い、累計掘進長と深度誤差が 10cm 未満のコアは、誤差を 3cm 以内に抑えて暗室内の遮光管理下で 1m ごとに切断してコア箱に入れた。掘進長と深度誤差が 10cm 以上のコアは、超過分を切断し別途保管した後、誤差を 3cm 以内に抑えて、1m ごとに切断した。つぎに、破砕帯の有無の確認を行い、30cm 以上の幅をもつ破砕帯が認められたコアは、赤色灯下で写真撮影と観察を行った。写真撮影・観察後は、乾燥を防ぐために真空パックに封入し、暗室内のコア置き場に遮光管理のまま保管した。30cm 以上の破砕帯が認められなかったコアは、現場事務所へ運搬し、暗室外の採光管理下で写真撮影と観察を行った。

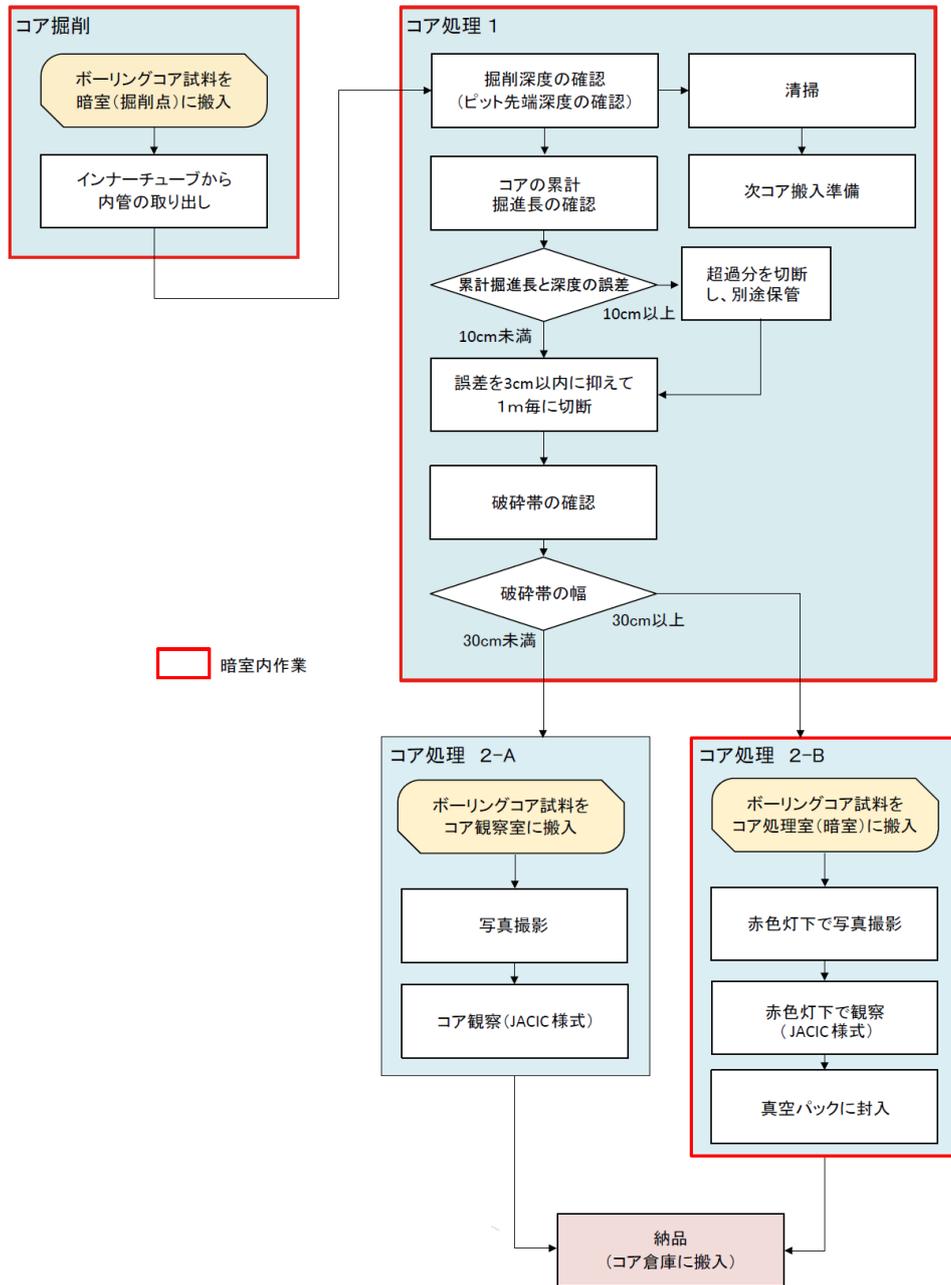


図 3.5.1 ボーリングコア処理フロー図

3.5.2. 採取試料コアの観察方法

(1) カッティングス試料

カッティングス試料の観察は、ルーペや顕微鏡を使用して行い、色調・硬さ・粒度・円磨度・淘汰・岩種・鉱物等を深度ごとにとりまとめた。その後、試料の観察結果のほか、物理検層記録を併せて検討し、岩相及び層序区分を決定した。なお、試料の名称は、例えば深度10~20m 区間を掘進中に得られたカッティングス試料を、20m 試料としている。また、礫等の硬さについては、カッターナイフで傷が付く程度のものを軟質、傷が付かないものを硬質とした。

(2) コア試料

採取したコアは、破砕帯の幅が30cm 以上のものについては、暗室内の遮光管理下で、破砕帯の幅が30cm 未満のものについては、暗室外の採光管理下で写真撮影を行った後、コア観察を実施した。コア観察は、日本建設情報総合センター（JACIC）形式のコア観察基準で行い、地質状況・岩盤状況及び割れ目状況をコア観察カードに記録した。図3.5.2(1)、(2)にコア観察基準を、図3.5.3にコア観察カードの様式の例を示す。また、破砕帯の幅が30cm 以上のものについては、破砕帯及びせん断面の認定とを行うと伴に詳細な観察・スケッチを行い、断層ガウジ、断層角礫および弱破砕部の破砕度区分を行った。図3.5.4に破砕度区分の定義を示す。

硬軟：ハンマー打撃によって岩片の硬軟を区分

記号	硬軟区分
A	極硬、ハンマーで容易に割れない
B	硬、ハンマーで金属音
C	中硬、ハンマーで容易に割れる
D	軟、ハンマーでボロボロに碎ける
E	極軟、マサ状、粘土状

○ コア形状：割れ目の間隔を区分

記号	模式図	コア形状
I		長さ 50cm 以上の棒状コア
II		長さが 50~15cm の棒状コア
III		長さが 15~5cm の棒状~片状コア
IV		長さが 5cm 以下の棒状~片状コアでかつコアの外周の一部が認められるもの
V		主として角礫状のもの
VI		主として砂状のもの
VII		主として粘土状のもの
VIII		コア採取ができないもの。スライムも含む

○ 割れ目の状態：割れ目の分離の程度を区分

記号	割れ目状態区分
a	密着している、あるいは分離しているが割れ目沿いの風化・変質は認められない
b	割れ目沿いの風化・変質は認められるが、岩片はほとんど風化・変質していない
c	割れ目沿いの岩片に風化・変質が認められ軟質となっている
d	割れ目として認識できない角礫状、砂状、粘土状コア

○ 風化：鉱物や割れ目沿いの風化程度を区分

記号	風化の程度
α	非常に新鮮である。造岩鉱物の変質はまったくない
β	新鮮である。有色鉱物の周辺に赤色化がある
γ	弱風化している。有色鉱物の酸化汚染がある
δ	風化している。有色鉱物が黄金色あるいは周辺が褐色粘土化している
ϵ	強風化し、ほとんどの原岩組織は失われている

図 3.5.2 (1) コア観察基準（硬軟、コア形状、割れ目の状態、風化）

○ **変質**：変質鉱物や原岩組織の有無で変質程度を区分

記号	変質区分	変質状況
1	非変質	肉眼的に変質鉱物の存在が認められないもの
2	弱変質	原岩組織を完全に残し、変質程度が低いもの（非変質部が50%以上）。
3	中変質	変質が進んでいると判定できるが、原岩組織を残し、原岩判定が容易なもの
4	強変質	構成鉱物、岩片等が変質鉱物で完全に置換され、原岩組織を残さないもの

○ **岩級区分**：硬軟、コア形状、割れ目状態、風化、変質、コア採取率、RQDなどの岩盤性状から判定

区分	色調	硬軟の程度	風化変質の程度	割れ目状態	コアの状態
A	青灰～乳灰	極硬	亀裂面ともおおむね新鮮。未風化	亀裂少なく、おおむね20～50cmで密着	棒状～長柱状でおおむね30cm以上
B	乳灰～褐灰	硬	おおむね新鮮であるが、亀裂面に沿って若干風化。変質褐色を帯びる	割れ目間隔5～15cmを主とし、一部開口している	短柱～棒状でおおむね20cm以下
CH	褐灰～灰褐	中硬	割れ目に沿って風化進行、長石等は一部変質	割れ目発達、開口部に一部粘土を挟む	大岩片状でおおむね10cm以下で5cm前後が多い
CM	灰褐～淡褐	やや軟～硬	岩内部の一部を除き風化進行、長石、雲母はおおむね変質	割れ目多く発達5cm以下、開口して粘土挟む	岩片～角礫状で砕けやすい
CL	淡黄褐～黄褐	軟	岩内部まで風化進行するも、岩構造残し石英未風化	割れ目多いが粘土化進行、土砂状で密着	細片状で岩片残り、指で砕けて粉状
D	黄褐	極軟	おおむね一様に風化進行、マサ土化している	粘土か進行のためクラックなし	土砂状

○ **RQD**：ボーリングコア1mごとの10cm以上の長さのコアの総延長。

$$RQD = \frac{\text{10cm以上のコアの総長 (1mごと)}}{1 \text{ 掘進長 (1m)}} \times 100$$

図 3.5.2 (2) コア観察基準（変質、岩級区分、RQD）

ボーリングコア観察カード(1/200)

その

ボーリング孔名		NFD-2		深度		GL- ~ m		観察日		年 月 日		コア観察者		コアの状況				
標尺 (m)	深度 (m)	柱状図	岩種区分	色調	深度 (m)	採取区分	コア形状区分	割れ目状態	風化区分	変質区分	岩脈区分	深度 (m)	記事			コア採取率 (%)	最大コア長 (cm)	RQD (%)
	5																	
	0																	
	5																	
	0																	
特記事項																		

図 3.5.3 コア観察カード様式の例

破碎度区分	定義	写真
断層ガウジ	断層運動による破碎により、コアが砂状～粘土状を呈するもの。	
断層角礫	断層運動による破碎により、コアが粘土～砂状の細粒な基質と角礫からなるもの。	
弱破碎部	断層運動によるせん断面が発達するもの。一部角礫化を伴う。	

図 3.5.4 破碎度区分の定義

3.6. コア試料の搬入・保管方法

コア試料の保管方法は、採取コアの処理方法によって異なる（図 3.5.1）。幅 30cm 以上の破砕帯を含むコアについては、暗室内の遮光管理下でコア処理・観察後、そのまま暗室内のコア置き場に保管した。その後、必要に応じて年代測定及び試料採取を行った後、現場事務所敷地内に設置したコア倉庫に運搬して一時保管した後、京都大学のコア倉庫へ搬入した。破砕帯を含まず、暗室外の採光管理下で処理されたコアについては、現場事務所敷地内のコア倉庫に一時保管した後、京都大学のコア倉庫へ搬入した。京都大学のコア倉庫では、コア保管棚を設計・設置し、ボーリング孔・深度で分類・整理し保管棚に納めた。コア保管棚の設計・配置図を図 3.6.1 に示した。

4. 野島断層深部ボーリング調査

4.1. 調査経緯

野島断層を対象としたボーリングは、当初深度 1,000m 付近での断層試料採取を目的として計画した。富島地区においては、既往のボーリング調査結果によって野島断層の傾斜が 83° であるため、地表地震断層から南東方向に 100~130m 程度離れた地点を調査対象とした。本業務では、断層の構造をより良く把握するため、掘進長 450m のパイロット孔と枝孔（サイドトラック孔）を追加で実施することとした。ここで、ボーリング孔名は、深度 1,000m で断層試料を採取する本孔を NFD-1 孔、パイロット孔を NFD-2 孔、枝孔を NFD-1-S2 孔及び NFD-1-S3 孔とそれぞれ決定した。各孔の掘削地点を図 4.1.1 に示す。

(1) NFD-1 孔（本孔）

NFD-1 孔は、既往ボーリング調査結果や地質踏査結果に基づき、断層ラクチャーの東側、約 130m から鉛直で掘進した。コアの採取深度については、調査地点付近で断層の傾斜が緩くなる場合を想定し、深度 350m からコア試料採取を開始、断層を貫く深度 1,000m 付近まで行った。NFD-1 孔のコア観察の結果、深度 350~1,000m 区間で 5 箇所の断層破碎帯が確認された。NFD-2 孔と本孔で確認された断層破碎帯について、深度・傾斜・性状などを比較、検討した結果、NFD-1 孔の深度 529m 付近と深度 789m 付近で確認された断層破碎帯が NFD-2 孔のものと接続することが分かった。これら 2 箇所の断層破碎帯について、異なる深度でコア試料を得るとともに、連続性を検証するため、2 本のサイドトラック孔（NFD-1-S2 孔、NFD-1-S3 孔）を実施することとした（図 4.1.2）。

(2) NFD-2 孔（パイロット孔）

NFD-2 孔は、断層ラクチャーの東側、約 115m から掘進し、深度 220m 付近で断層を貫く計画とした。掘進方向は、断層ラクチャーに対してほぼ直交する $N38^\circ W$ 、掘進角度は、 $75^\circ NW$ とした。しかしながら、基盤岩（花崗岩）の上載層（大阪層群）からの湧水や土圧による拘束圧が大きく、掘進が難航したため、掘進計画を見直し、掘直し孔を実施した。掘直し孔の掘進方向は当初孔と同じ、掘進角度は 77° とし、同時進行で実施していた本孔（NFD-1 孔）の掘進状況から、掘進長を 450m とした。

NFD-2 孔のコア観察の結果、深度 210~450m 間で 4 か所の断層破碎帯が確認された。

(3) NFD-1-S2 孔（サイドトラック孔）

NFD-1-S2 孔は、NFD-1 孔の深度 500m で断層方向に向かって $N38^\circ W$ 方向に深度 650m 付近までコントロール掘削、深度 650m 付近からコア採取を開始することとした。ターゲットとした断層破碎帯は深度 675m 付近で確認する計画とした。

(4) NFD-1-S3 孔（サイドトラック孔）

NFD-1-S3 孔は、NFD-1 孔の深度 450m で NFD-1-S2 孔と逆方向に向かって $S22^{\circ} W$ 方向に深度 500m 付近までコントロール掘削、深度 500m 付近からコア採取を開始することとした。ターゲットとした断層破碎帯は深度 530m 付近で確認する計画とした。

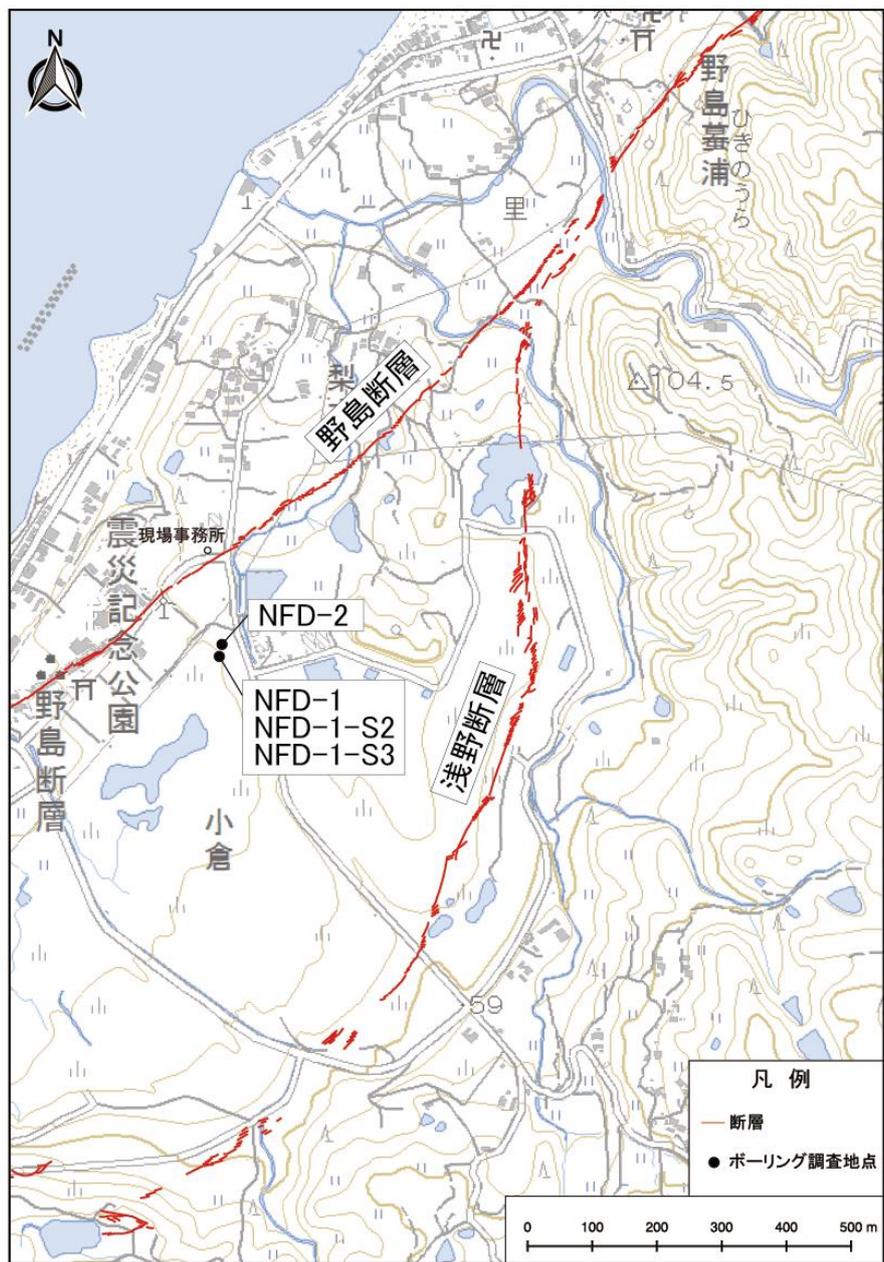


図 4.1.1 野島断層調査地点位置図

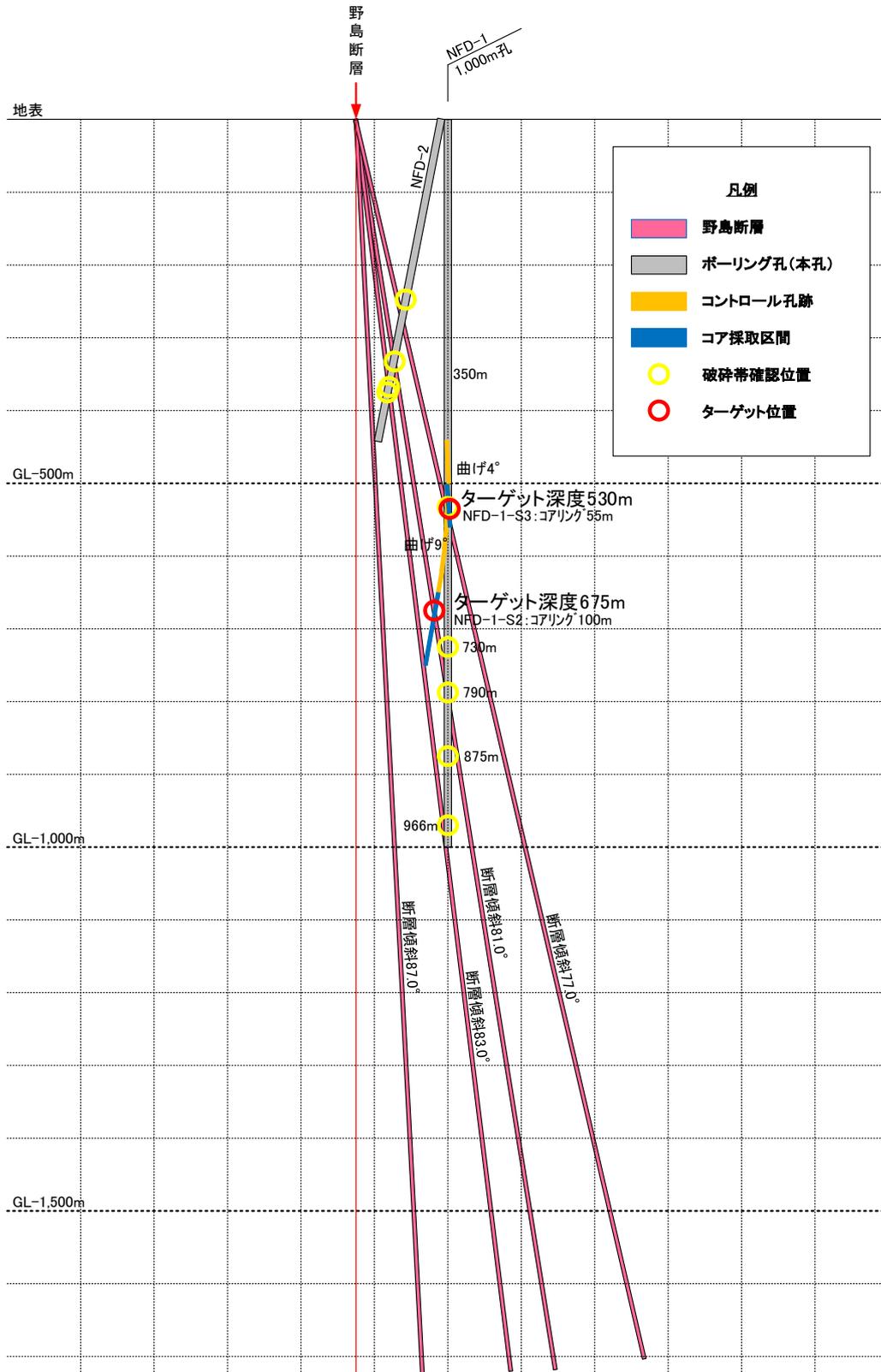


図 4.1.2 野島断層調査地点掘進計画概要図

4.2. NFD-1 孔

4.2.1. 削孔結果

NFD-1 孔は、野島断層を対象とした 1000m 鉛直孔である。野島断層のコア試料を深度 1,000m 付近で採取するため、当初、深度 1500m までコアリングを行う計画とした。しかし、NFD-2 孔（パイロット孔）および NFD-1 孔で採取されたコア試料で複数の断層破碎帯が確認され、これらの破碎帯の連続性を確認するための検証ボーリング（サイドトラック孔）を実施する必要性が生じた。このため、施工上の理由から NFD-1 孔の掘進を深度 1,000m で掘止とし、掘削区間で物理検層を実施した。

以下に、削孔結果を示す。

(1) ケーシングプログラム及び掘進状況

NFD-1 孔は、当初計画で野島断層の地表ラクチャーの南東約 125m の地点で掘進し、深度 1,000m 付近で野島断層を確認する計画とした。深度 500m まではノンコア掘削とし、深度 500m 以深では、孔径が 97mm の HQ ワイヤーラインのダブルコアチューブを用いて、深度 1,500m まで掘進する計画とした。図 4.2.1.1 に当初掘進計画概要図を示す。

当初掘進計画では、地表から深度 50m まで 12-1/4”トリコンビットを用いての掘削を行い、深度 50m まで 10”ケーシングを挿入することとした。深度 50～500m 区間は、9-5/8”トリコンビットを用いての掘削を行い、深度 500m まで 8”ケーシングを挿入する。深度 500～1,000m までは、HQ ダブルコアチューブを用いて掘進し、オールコア採取を行う。深度 1,000m まで掘進後は、この深度まで 7-5/8”トリコンビットで拡孔、6”ケーシングを挿入し、深度 1,000～1,500m でオールコア採取を行う計画とした。

掘進は平成 28 年 6 月 27 日から開始し、物理検層のための余掘りを含めて、地表から深度 56m まで 12-1/4”トリコンビットを用いて掘削した。物理検層実施後は、深度 50m まで 10”ケーシングを挿入した。深度 50～500m 区間においては、9-5/8”トリコンビットを用いての掘削を行い、8”ケーシングを挿入する計画であった。しかし、万が一野島断層の傾斜が想定（83° 東傾斜）より緩く 75° 東傾斜であった場合、深度 500m よりも浅い深度で断層を貫くこととなる。そのため、9-5/8”トリコンビットを用いての掘削は、深度 350m までとし、8”ケーシングを挿入した。結果、深度 230m 付近まで主に堆積層の掘削であったが、被圧した湧水や孔壁崩壊が確認され、8”ケーシング挿入完了まで約 3 か月半を要した。

深度 350m から深度 1,000m までは、HQ ワイヤーラインのダブルコアチューブを用いて掘進した。この区間の掘進は、平成 28 年 10 月 12 日から開始し、平成 29 年 2 月 3 日で掘進を完了した。常時、被圧した湧水が認められ、湧水対策のために泥水の比重を高くすると漏水するなど、透水性の高い岩盤状況であった。特に、深度 470～550m の区間で孔壁崩壊が多く確認された。深度 350～1,000m 区間では、深度 530m

付近、深度 733m 付近、深度 789m 付近、深度 874m 付近及び深度 967m 付近の計 5 箇所
で断層破碎帯を確認した。しかし、それぞれの破碎帯から野島断層の最新活動部
と判断する根拠が得られなかったため、これらを検証するために枝孔（サイドトラッ
ク孔：NFD-1-S2 及び NFD-1-S3）を掘進することとし、NFD-1 孔は、深度 1,000m
で掘止とした。図 4.2.1.2 に掘進実績概要図を示す。

なお、物理検層は、孔壁崩壊対策を行ったため、深度 0～1,000m 区間でトラブルな
く実施することができた。

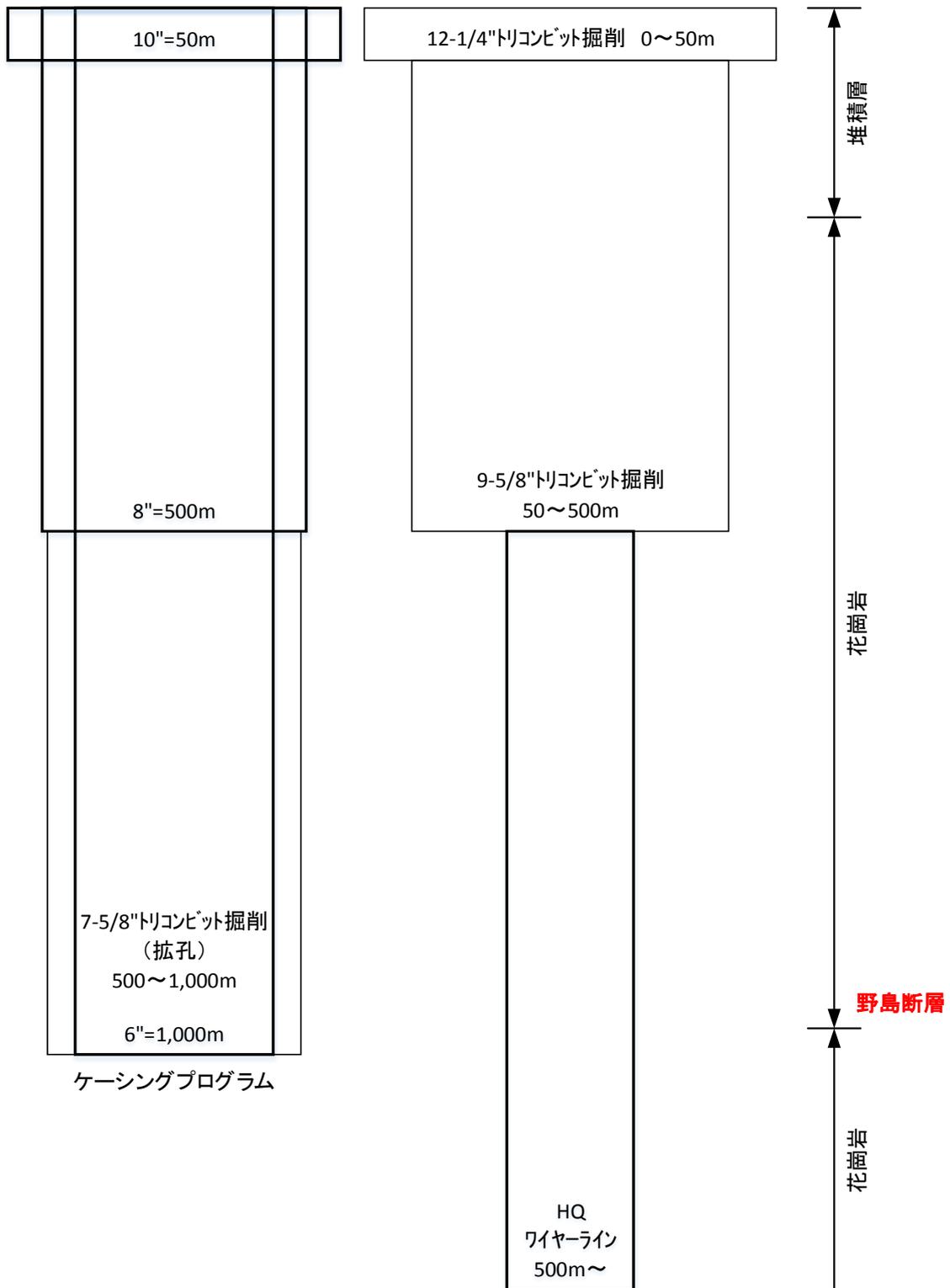


図 4.2.1.1 NFD-1 孔当初掘進計画概要図 (野島断層の深度を 1,000m と想定)

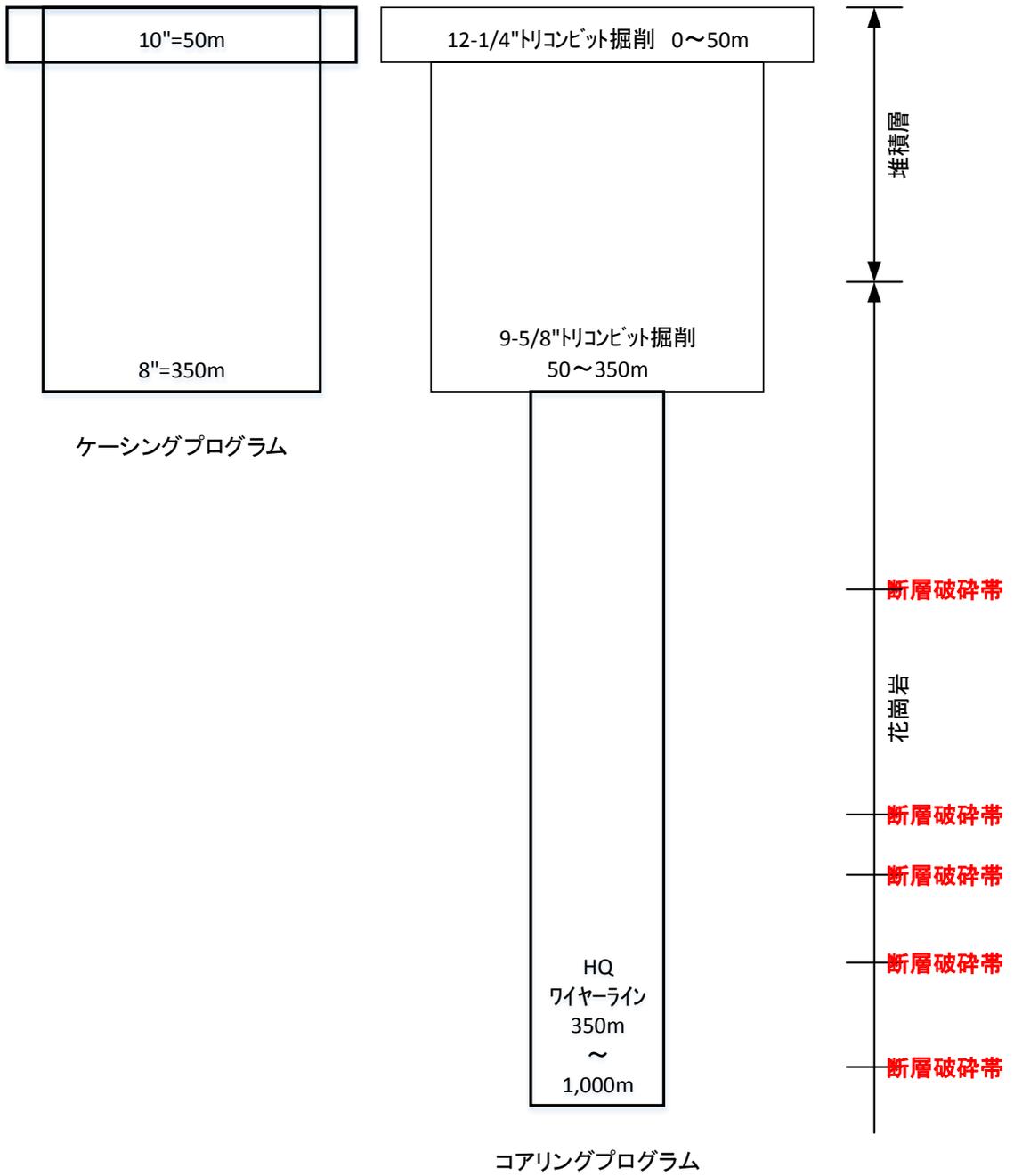


図 4.2.1.2 NFD-1 孔掘進実績概要図

(3) 孔井の方位及び傾斜

孔井の方位及び傾斜を確認するために、孔曲がり測定を実施した。測定は約 50m の掘進ごとに行われ、計 20 回実施した。表 4.2.1.2 に測定結果を示す。

方位は、掘進開始から深度 350m 付近までは北南から南南東方向 (S2~17° E)、深度 400~550m までは南~南南西方向 (S3~18° W) に変化し、深度 550~1,000m にかけて、徐々に南西方向 (S28~69° W) に偏芯した。

傾斜は、掘進開始から深度 250m 付近までは 1° 以下、深度 300~400m で 1.0~2.0°、深度 400m 以深では、2.1~3.2° の孔曲がりが生じ、深度 950m 付近で最大傾斜 3.2° であった。

孔跡を検討する代表断面として、NFD-2 孔の掘進方向断面図上に断層の走向方向に投影した断面図を用いて、孔跡解析結果断面図作成した (図 4.2.1.4)。孔口から孔底までの平均掘進角度は、約 89° であった。本報告書では、この平均掘進角度を用いて AFD-1 孔の垂直深度を算定することとした。

表 4.2.1.2 孔井の方位及び傾斜測定結果一覧表

回数	深度	磁針方位(M.N.)	真方位(T.N.)	鉛直からの角度(°)
1	60m	S5° W	S2° E	0.5°
2	110m	S	S7° E	1.0°
3	150m	S5° E	S12° E	1.0°
4	200m	S10° E	S17° E	1.0°
5	250m	S3° W	S4° E	1.0°
6	300m	S5° E	S12° E	1.5°
7	350m	S5° W	S2° E	2.0°
8	400m	S16° W	S3° W	2.0°
9	450m	S25° W	S18° W	2.8°
10	500m	S25° W	S18° W	2.8°
11	550m	S20° W	S13° W	2.8°
12	600m	S35° W	S28° W	2.5°
13	650m	S44° W	S37° W	2.2°
14	700m	S50° W	S43° W	2.1°
15	750m	S56° W	S49° W	2.2°
16	800m	S50° W	S43° W	2.4°
17	850m	S63° W	S56° W	2.6°
18	900m	S72° W	S65° W	2.8°
19	950m	S74° W	S67° W	3.2°
20	1000m	S76° W	S69° W	2.8°

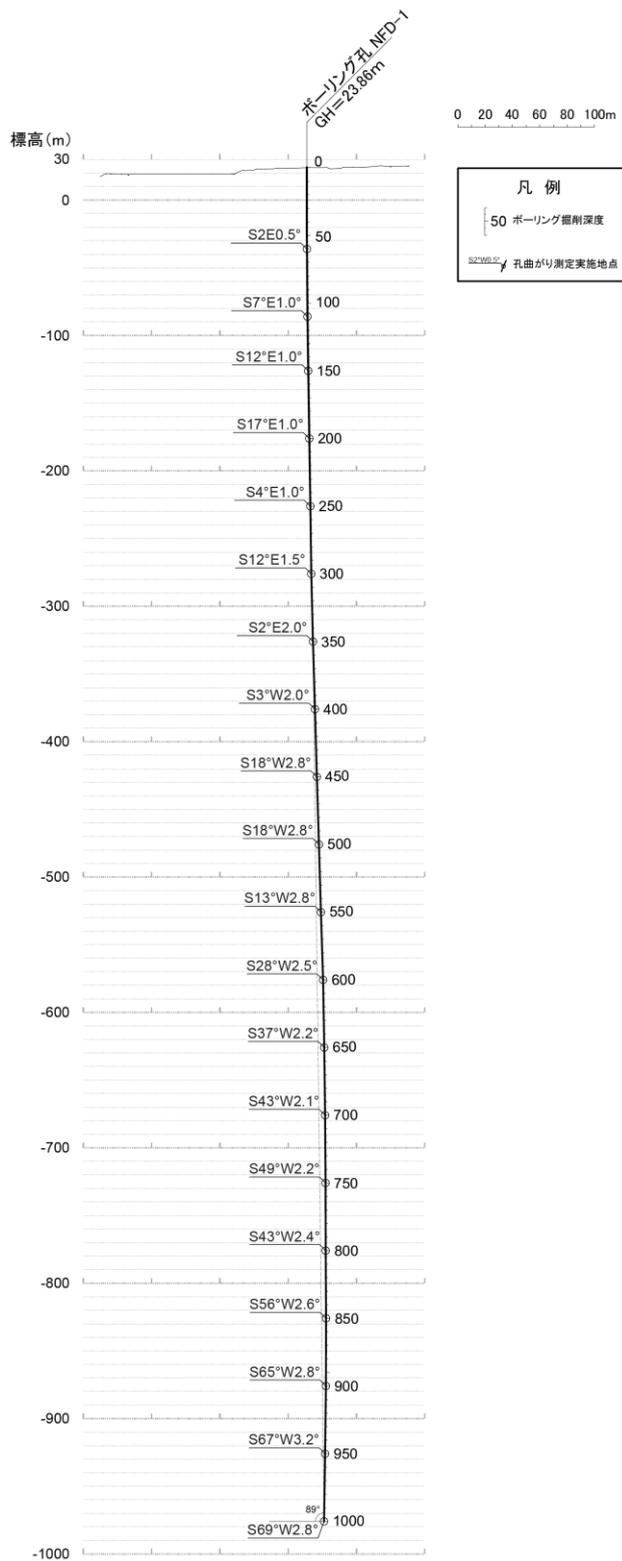


図 4.2.1.4 孔跡解析結果断面図

4.2.2. コア観察結果

NFD-1 孔の調査では、深度 0~350m の区間でカッティングス観察、物理検層、深度

350~1000m の区間でコア観察及び物理検層を実施した。なお、本項で示される「深度」については、特に記載がない限り「掘削深度」を指すこととする。

以下、(1) 地質、(2) 断層破碎帯、(3) せん断面の項目別に観察結果を示す。

(1) 地質

図 4.2.2.1 に NFD-1 孔柱状図を示す。カッティングス観察及びコア観察の結果、主な岩種は砂礫、砂岩泥岩互層、花崗岩から構成されることが分かった。地表から深度別に岩種区分を示すと、深度 0~50m までは砂優勢の砂礫、深度 50~90m までは礫優勢の砂礫、深度 90~160m までは砂礫・シルト互層、深度 160~190m までは砂礫が認められた。以上の地層は全体的に未固結のシルト~砂礫からなり、層相から大阪層群と推定される。深度 190~230m までは砂岩・泥岩からなり、神戸層群と推定される。深度 230m 以深は花崗岩が見られた。

各地層の詳細を以下に示す。

・大阪層群

本孔では深度 190m まで、大阪層群が確認された。カッティングス試料からは、黄灰色を中心としたシルト~砂礫が確認された。岩種は砂岩、安山岩、凝灰岩、花崗岩の割合が多く、礫は円磨されている。深度 20~50m では、礫及びシルトの混じる細~中粒砂からなり、砂優勢の砂礫層と推定される。深度 50~90m では、カッティングス中に礫が多く含まれていることから、礫優勢の砂礫層と思われる。深度 90~160m では、シルト及びシルト混じり細~粗粒砂及び礫が認められ、シルト層由来と推定される炭質物を含むことから砂礫・シルト互層と推定される。深度 160~190m では、シルト及び礫混じり細~中粒砂からなり、砂優勢の砂礫層と推定される。

・神戸層群

本孔では深度 190~230m まで、神戸層群が確認された。カッティングス試料からは、灰黄色のシルト混じり中粒砂が確認された。岩種は花崗岩、凝灰岩、軟質な砂岩・泥岩の割合が多く、円磨されている。軟質な砂岩、泥岩が上位の大阪層群より普遍的に含まれることから、砂岩・泥岩と推定される。

・花崗岩

本孔では、深度 230m 以深で花崗岩が確認された。色調は灰白~灰色を主とするが、一部試料でカリ長石の量比が増加し、淡橙~赤橙色を呈するものが認められる（例えば深度 782.33~799.07m）。粒径 2~8mm の鉱物を多く含み、等粒状組織を呈する。岩級は、深度 350~461.13m までは全体的に堅硬で C_H 級を主体としている。深度

461.13～578.53m までは割れ目沿いの変質が進み CL 級が主体となり、深度 578.53～928.29m は CM 級が主体となる。深度 928.29m 以深ではコアは全体的に堅硬で、CH 級が主体となる。

組織は一部でアプライト脈（例えば 913.30～914.63m）が認められるものの、概ね均質である。深度 350～461.13m は全体的に堅硬な花崗岩で、一部で変質が進んだ箇所が認められる程度である。深度 461.13～578.53m は、全体的に割れ目が発達し、一部角礫状コアが認められる。割れ目沿いに変質が進み、コア試料は軟質である。変質の程度が強い箇所では、有色鉱物の大部分が消失している（例えば 523.07～524.22m）。この区間では、せん断面が多く認められ、せん断面沿いに粘土状～砂状を呈する箇所が認められる。深度 578.53～928.29m は、コア状況は全体的に良くなるものの、局所的に破砕・変質が認められる。所々でせん断面が発達し、せん断面沿いには弱破砕部やカタクレサイト、断層角礫、断層ガウジが多く認められた。断層破砕帯の多くはこの区間で確認された。その間の区間は割れ目が多いものの、比較的堅硬なコアが認められる。深度 928.29m 以深では、コアは堅硬で、変質は一部の割れ目沿いで見られる程度である。

コア観察及びボアホールカメラ観察から、せん断性の割れ目や軟質化が進んだ割れ目、ガウジを挟在する割れ目など、断層運動に伴ってできたせん断面を確認した。このようなせん断面が卓越し、かつ、周囲に角礫や砂状～粘土状の試料が産する箇所を断層破砕帯として整理した。

観察の結果、5 か所の断層破砕帯が認められた。断層破砕帯は浅部から NFD-1-f1（深度 528.92～530.36m）、NFD-1-f2（深度 732.79～733.11m）、NFD-1-f3（深度 785.21～790.22m）、NFD-1-f4（深度 863.48～876.52m）、NFD-1-f5（深度 964.85～966.60m）とした。

以上の観察結果より作成した柱状図を図 4.2.2.1 に示した。

さらに、ボアホールカメラから観察されたせん断面、岩種境界及びその他割れ目の走向・傾斜を計測し、全体（図 4.2.2.2）、割れ目（図 4.2.2.3）、せん断面（図 4.2.2.4）に分けてシュミットネットに投影した。割れ目の姿勢は、北東走向（N0～60° E）の中～高角度南東傾斜（40～80° SE）のものが卓越し、現在の野島断層の姿勢に近い。せん断面の姿勢については、北東走向で南東傾斜のものが数多く見られる。

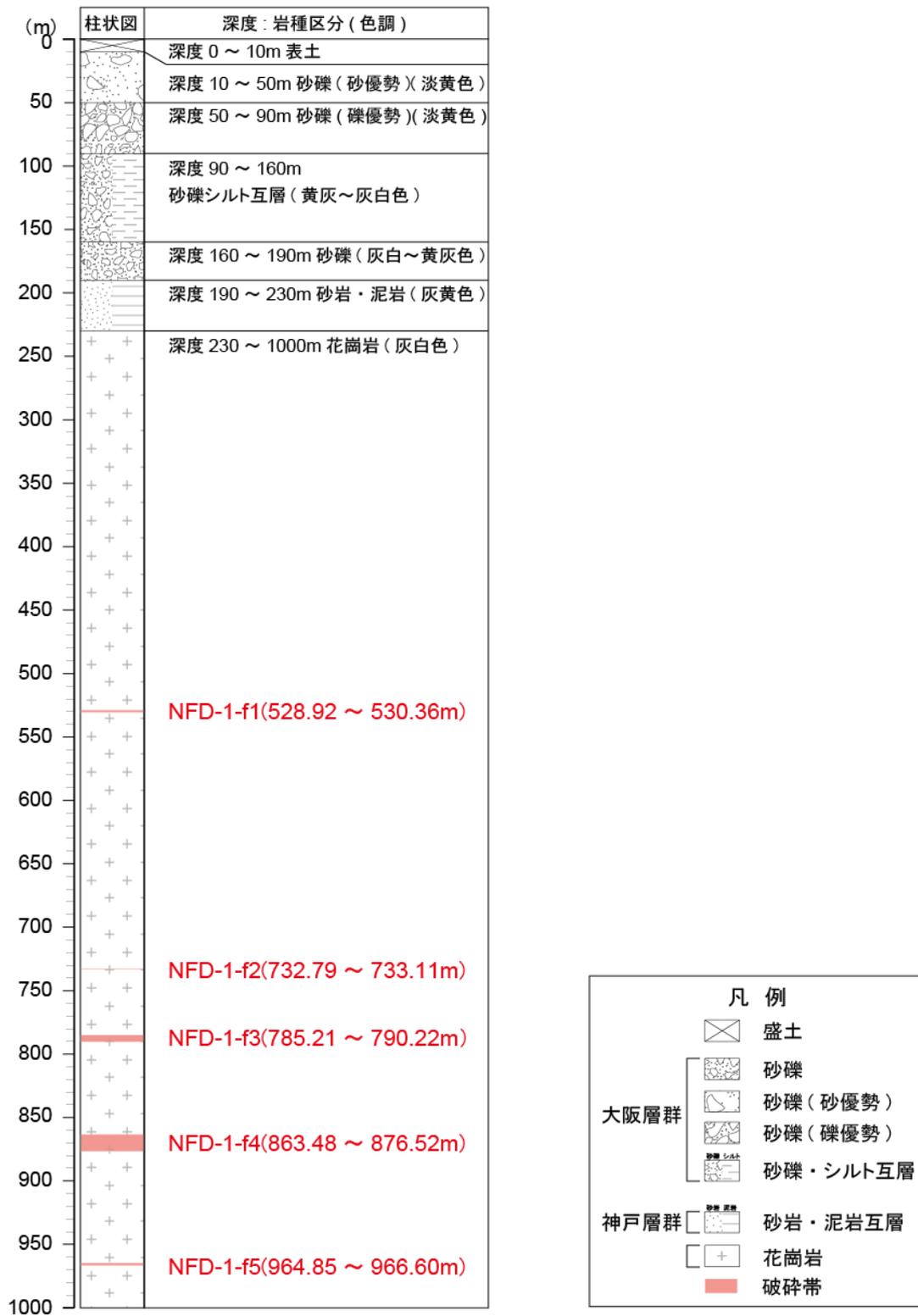


図 4.2.2.1 NFD-1 孔柱状図

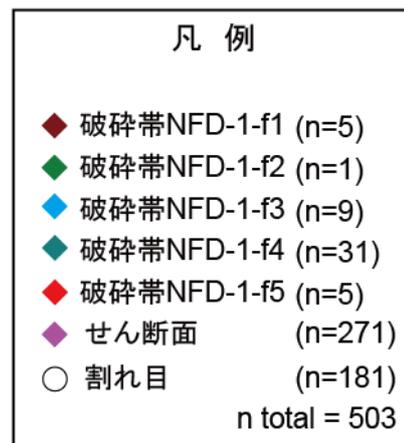
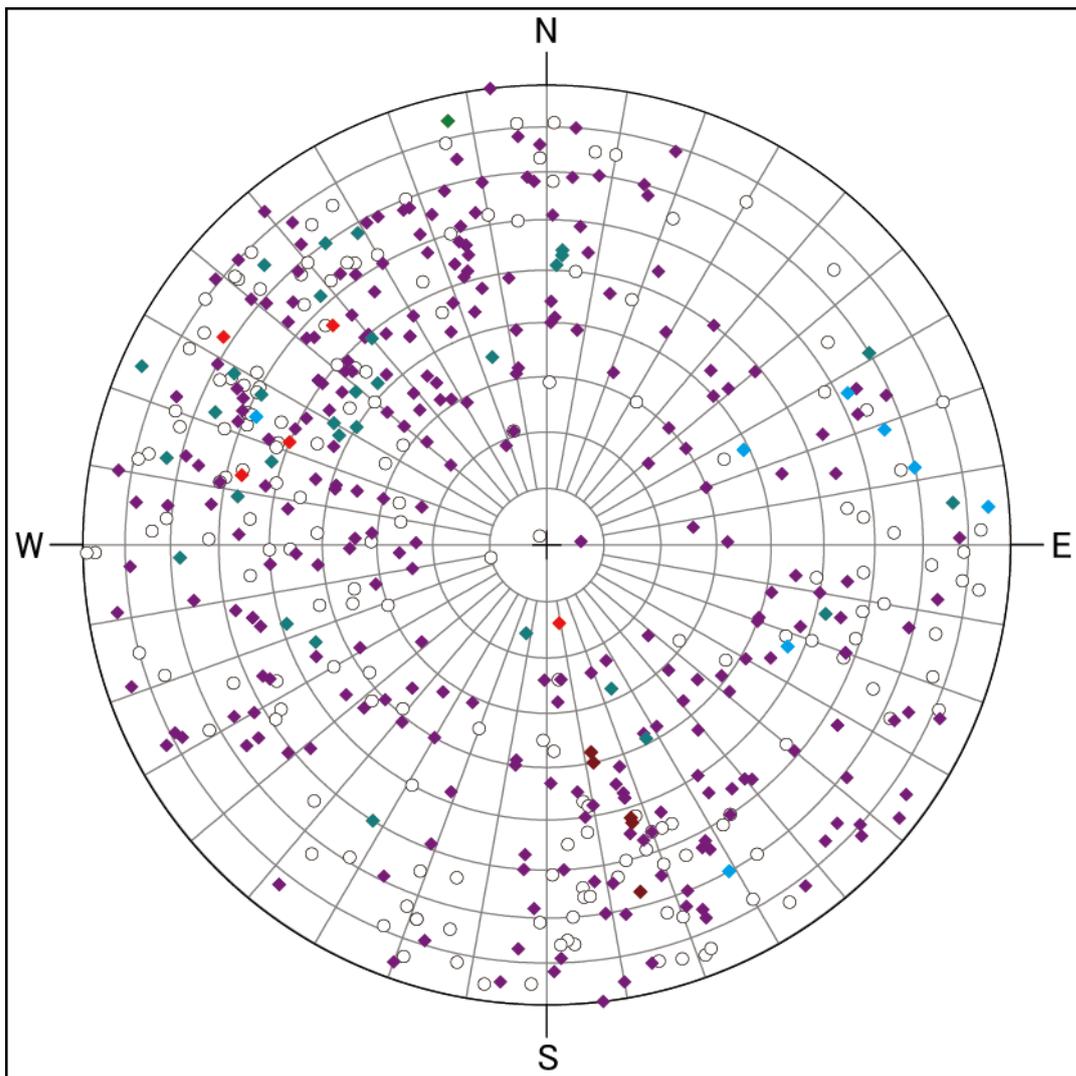


図 4.2.2.2 NFD-1 孔シュミットネット結果図

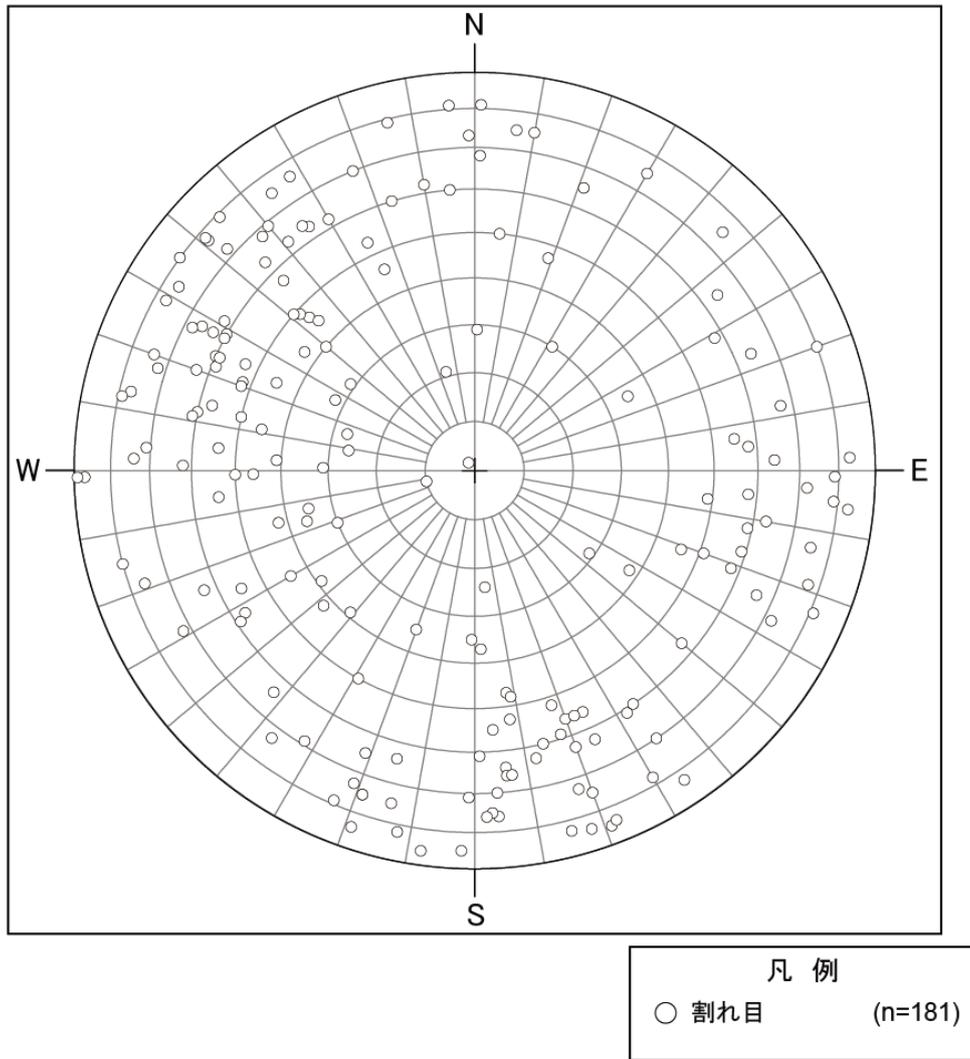


図 4.2.2.3 NFD-1 孔シュミットネット結果図 (割れ目)

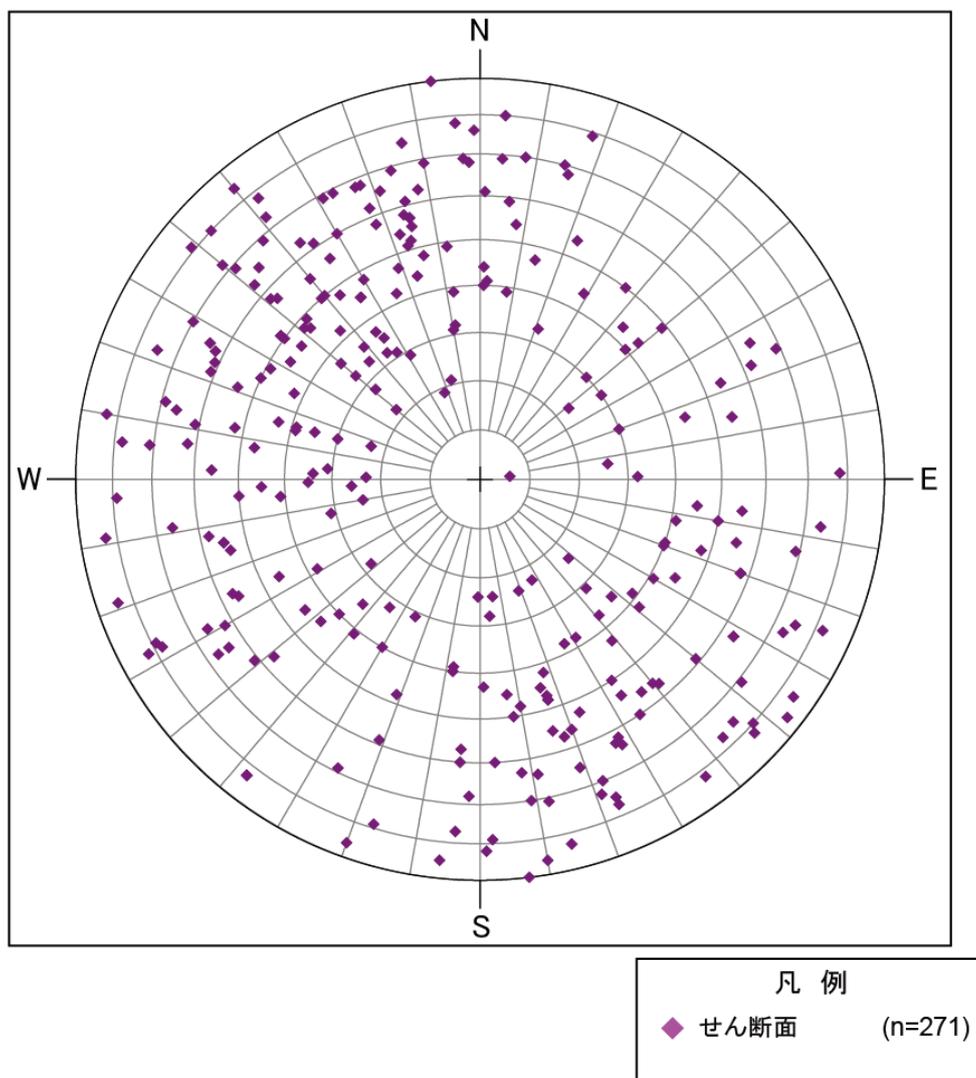


図 4.2.2.4 NFD-1 孔シュミットネット結果図 (せん断面)

(2) 断層破砕帯

上述の各断層破砕帯について詳細な観察を行い、破砕帯の幅、固結度、破砕の分布、せん断面の有無など、性状を確認した。

各断層破砕帯の特徴を表4.2.2.1に整理した。

表4.2.2.1 NFD-1孔の破砕帯一覧表

孔名	破砕帯							破砕帯及びせん断面の特徴
	破砕帯番号	上端深度 (m)	下端深度 (m)	破砕帯の 走向・傾斜	破砕帯の 固結度	見掛けの 破砕帯幅 (m)	断層ガウジ	
NFD-1	NFD-1-f1	528.92	530.36	N63° E63° NW N75° E67° N N73° E53° N N78° E40° N N78° E38° N	未固結/ 半固結	1.44	有	・深度529.00～529.36m間で細粒カタクレーサイト及び粘土状の断層ガウジが互層する。 ・細粒カタクレーサイトは固結しており、黒色と白色を呈するカタクレーサイトが互層する。 ・断層ガウジ中には葉片状組織が発達する。
	NFD-1-f2	732.79	733.11	N77° E84° S	未固結/ 半固結	0.32	有	・角度約85° の明瞭なせん断面沿い、幅約5mmが白色粘土状を呈し、上盤側は幅約10cmが角礫状を呈する。
	NFD-1-f3	785.21	790.22	N19° W66° W N24° E58° SE N12° W70° W N27° W62° SW N26° W39° SW N23° E47° NW N61° E70° NW N5° W85° W N2° W85° E	未固結/ 半固結	5.01	有	・角度70～80° の断層ガウジが発達し、周辺には断層角礫及び変質した弱破砕部を伴う。 ・深度786.64～786.67m間に角度約70°、幅約3cmの灰白色砂混じり粘土状断層ガウジが認められる。 ・深度789.22m付近に角度約80°、幅約1.4cmの灰白色粘土状断層ガウジが認められ、下盤側は角礫状を呈する。
	NFD-1-f4	863.48	876.52	N29° E66° SE N17° E52° E N28° E42° SE N30° E44° SE N22° E66° E N14° E52° W N44° E42° SE N48° E62° SE N23° W45° NE N17° W49° E N50° E49° SE N45° E75° SE N54° E70° SE N24° E85° SE N31° W70° SW N6° W77° W N28° E59° SE N63° E39° NW N58° W60° NE N88° W51° S N2° W68° E N39° E44° SE N87° W53° S N87° W54° S N59° E68° SE N74° E35° S N77° W16° N N66° E28° NW N9° E57° E	未固結/ 半固結	13.04	有	・深度863.55m付近に角度約40°、幅約1.2cmの淡緑灰色砂混じり粘土状断層ガウジが認められる。下盤側には角度60～80° のせん断面が発達した弱破砕部を伴う。 ・深度874.35m付近に角度約45° の灰色カタクレーサイト及び灰白色の粘土状断層ガウジが認められる。上盤及び下盤側には角度70～80° のせん断面が発達した弱破砕部を伴う。
	NFD-1-f5	964.85	966.60	N46° E56° SE N22° E50° E N13° E57° E N81° E14° N N33° E72° SE	未固結/ 半固結	1.75	有	・角度約70°、幅約1.2cmの灰白色角礫混り粘土状断層ガウジが認められ、下盤側に角度約70° の細粒な暗灰色カタクレーサイトがレンズ状に認められる。

・ NFD-1-f1 (深度528.92～530.36m)

花崗岩を原岩とした未固結～半固結の断層破砕帯。図 4.2.2.5 に調査結果図を示す。本破砕帯は、ボアホールカメラ観察によって4か所のせん断面が確認され、N73～78° E、38～67° N を中心としている。本破砕帯上部(深度 528.92～529.36m)は、2条の断層ガウジを伴うせん断面が認められ、その下位で、灰白色の割れ目及びせん断面が発達した弱破砕部と接している。深度 529.00～529.10m の断層ガウジは半固結白色粘土状で、その下端をみかけ角度約 70° のやや湾曲したせん断面によって切られている。このせん断面の下位には、幅 5～30mm の白色及び黒色の細粒カタクレーサイトが互層している。これらのカタクレーサイトの下位、深度 529.26～529.36m には暗灰色の未固結粘土状断層ガウジが存在し、下端では角度約 60° の平滑なせん断面が認められる。せん断面の下位では、灰白色の弱破砕部が接し、角度 45～50° の割れ目が発達した花崗岩が続いている。

破砕帯 NFD-1-f1 では、2条の断層ガウジを伴うせん断面の中で、より平滑で、軟質な断層ガウジを伴う深度 529.36m のせん断面を NFD-1-s1 とし、より詳細に観察することとした。

・ NFD-1-f2 (深度732.79～733.11m)

花崗岩を原岩とした未固結～半固結の断層破砕帯。図 4.2.2.6 に調査結果図を示す。本破砕帯は、ボアホールカメラ観察によって N77° E、84° S のせん断面が確認された。せん断面は湾曲した形状を示し、一部で砂混じり粘土状を呈している。せん断面の上位には灰白～白色の断層角礫が認められる。断層角礫は 2 層に分けられ、深度 732.84～732.96m の層では、半固結の砂～粘土混じり角礫状を呈している。礫径は 2～50mm、基質は砂～粘土状である。淘汰が悪く、礫支持である。深度 732.96～733.11m の層では未固結の粘土混じり角礫状を呈し、礫径は 2～50mm、基質は粘土状である。変質により、全体的に軟質となる。せん断面の下位には、灰白色を呈する花崗岩の健岩が認められる。

破砕帯 NFD-1-f2 では、断層角礫を伴う深度 733.11m のせん断面を NFD-1-s2 とし、より詳細に観察することとした。

・ NFD-1-f3 (深度 785.21～790.22m)

花崗岩を原岩とした未固結～半固結の断層破砕帯。図 4.2.2.7 に調査結果図を、図 4.2.2.8 にシュミットネット解析図を示す。本破砕帯は、ボアホールカメラ観察によって9か所のせん断面が確認され、N23～61° E～N2～27° W、39～85° W～58～85° E を中心としている。本破砕帯は花崗岩から構成され、割れ目及びせん断面が発達している。その中でも深度 786.30～786.67m、786.89～787.52m 及び 789.15～789.32m

の区間で特に強い破碎を受けている。

深度 786.30~786.67m では、灰白色の断層ガウジ、灰色の断層角礫、淡橙色の弱破碎部が認められる。深度 786.30~786.60m は、みかけ角度 30~70° のせん断面が発達する弱破碎部からなる。深度 786.67m 付近にあるせん断面に沿って、断層角礫と断層ガウジが認められる。深度 786.60~786.64m の断層角礫は粘土混じり砂状である。深度 786.64~786.67m の断層ガウジは、未固結砂混じり粘土状を呈し、みかけ角度は約 70°、幅は 30mm である。

深度 786.89~787.52m では、灰白色の断層角礫及び淡橙色の弱破碎部が認められる。深度 786.89~786.96m の断層角礫は粘土混じり角礫状を呈し、礫径は 5~12mm である。また、みかけ角度約 60° のせん断面が発達している。深度 786.98~787.52m の弱破碎部にはみかけ角度 45~60° のせん断面が発達する。弱破碎部の下端の深度 787.52m のせん断面沿いには、厚さ約 4mm の灰白色粘土状断層ガウジが認められる。

深度 789.15~789.32m では、コアを縦断するように、みかけ角度約 85° のせん断面が認められる。このせん断面沿いに幅 8~14mm の灰白色の断層ガウジが存在している。断層ガウジは未固結角礫混じり粘土状を呈し、礫径は 2~6mm である。

破碎帯 NFD-1-f3 では、断層ガウジ及び断層角礫を伴う深度 786.64m のせん断面と、灰白色の断層ガウジを伴う深度 789.23m のせん断面をそれぞれ NFD-1-s3①、②とし、より詳細に観察することとした。

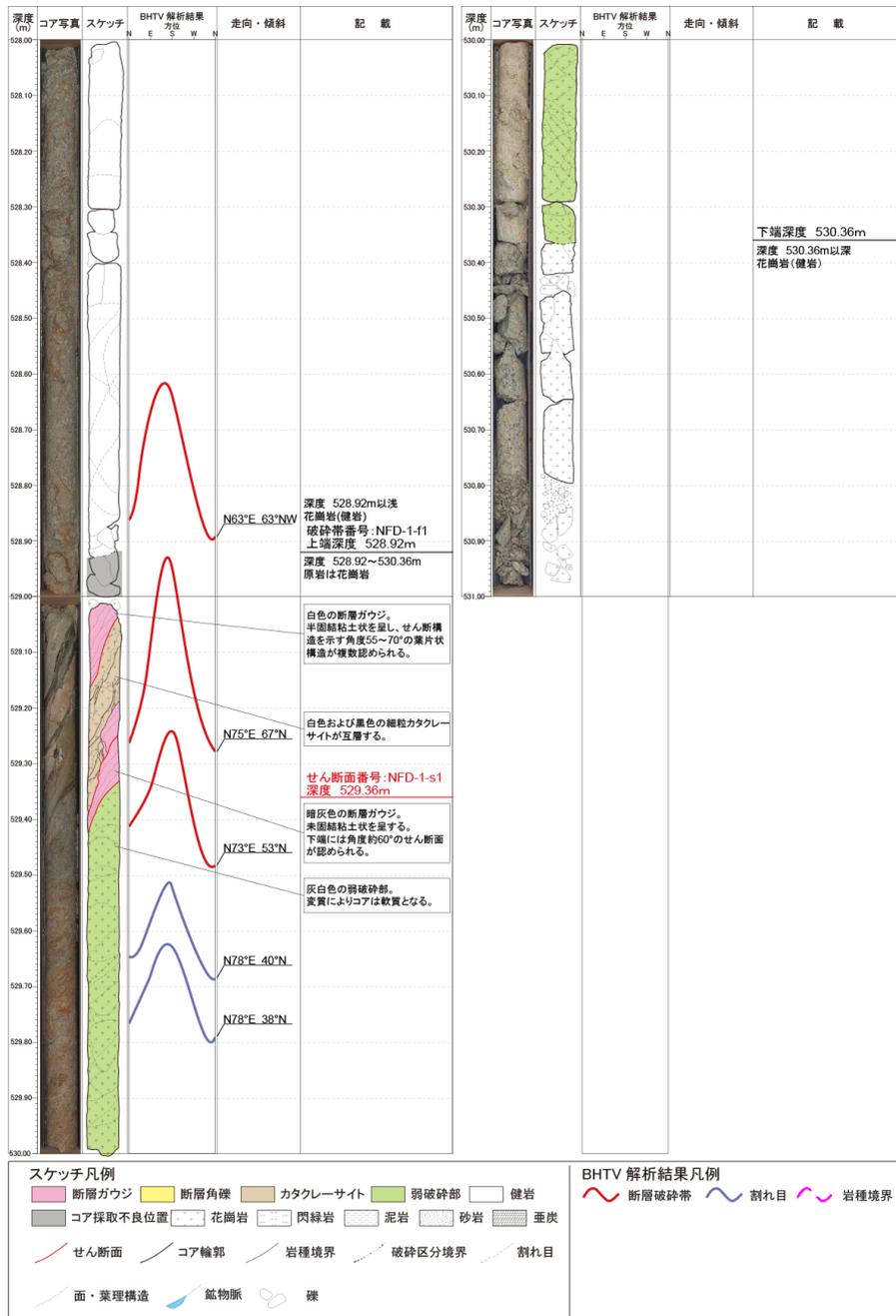


図4.2.2.5 破砕帯NFD-1-f1調査結果

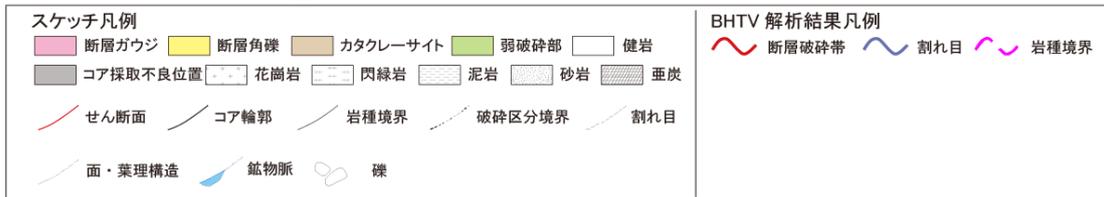
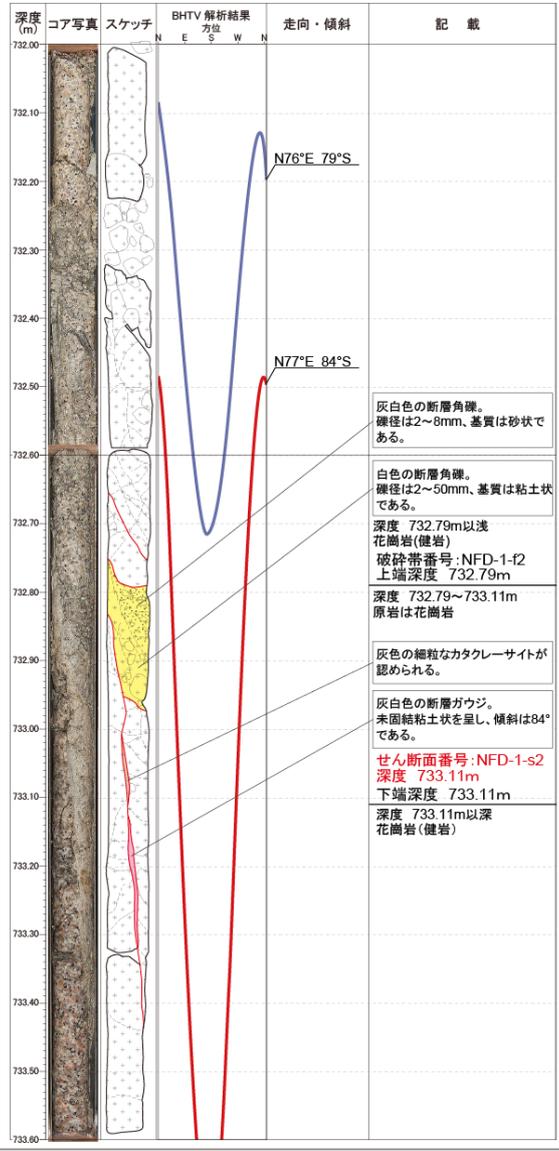


図4.2.2.6 破碎帯NFD-1-f2調査結果

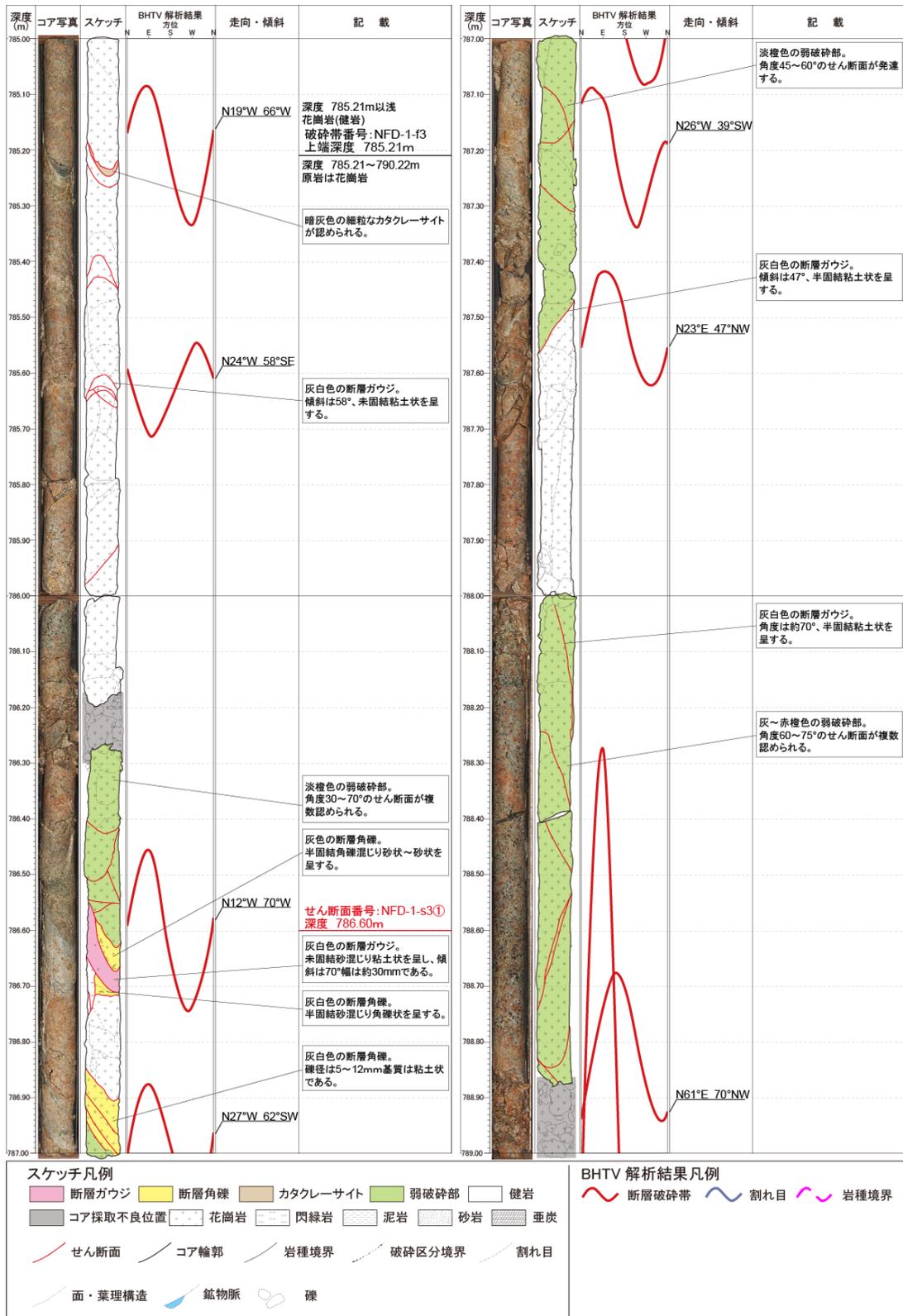


図4.2.2.7 (1) 破砕帯NFD-1-f3調査結果図

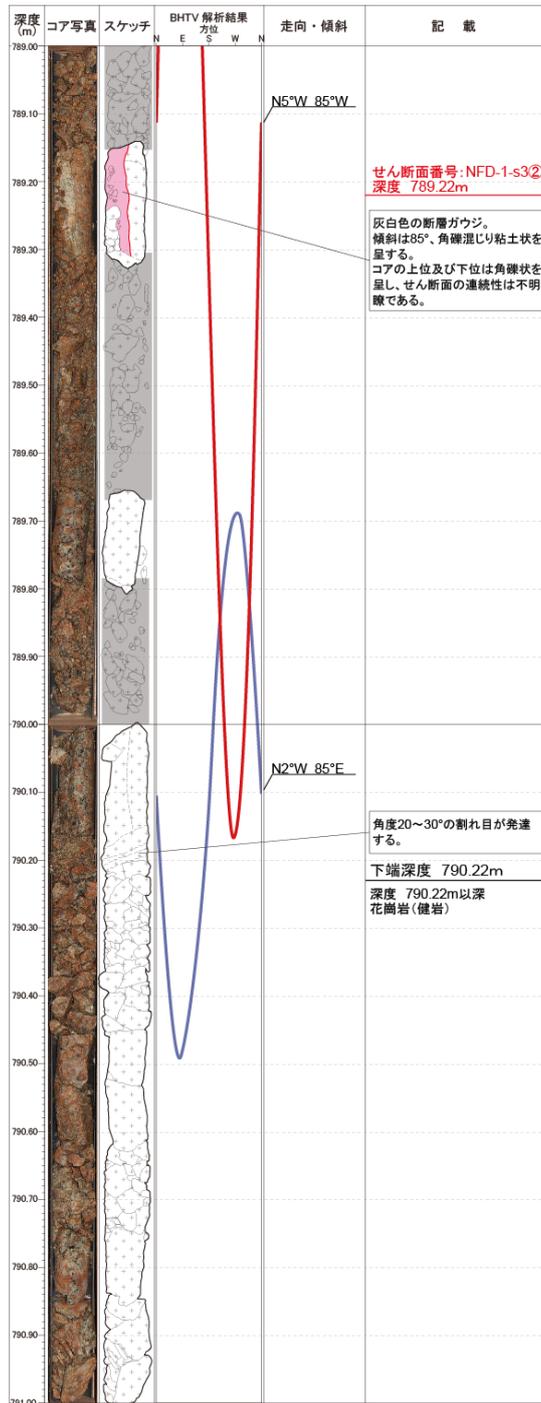


図4.2.2.7 (2) 破砕帯NFD-1-f3調査結果図

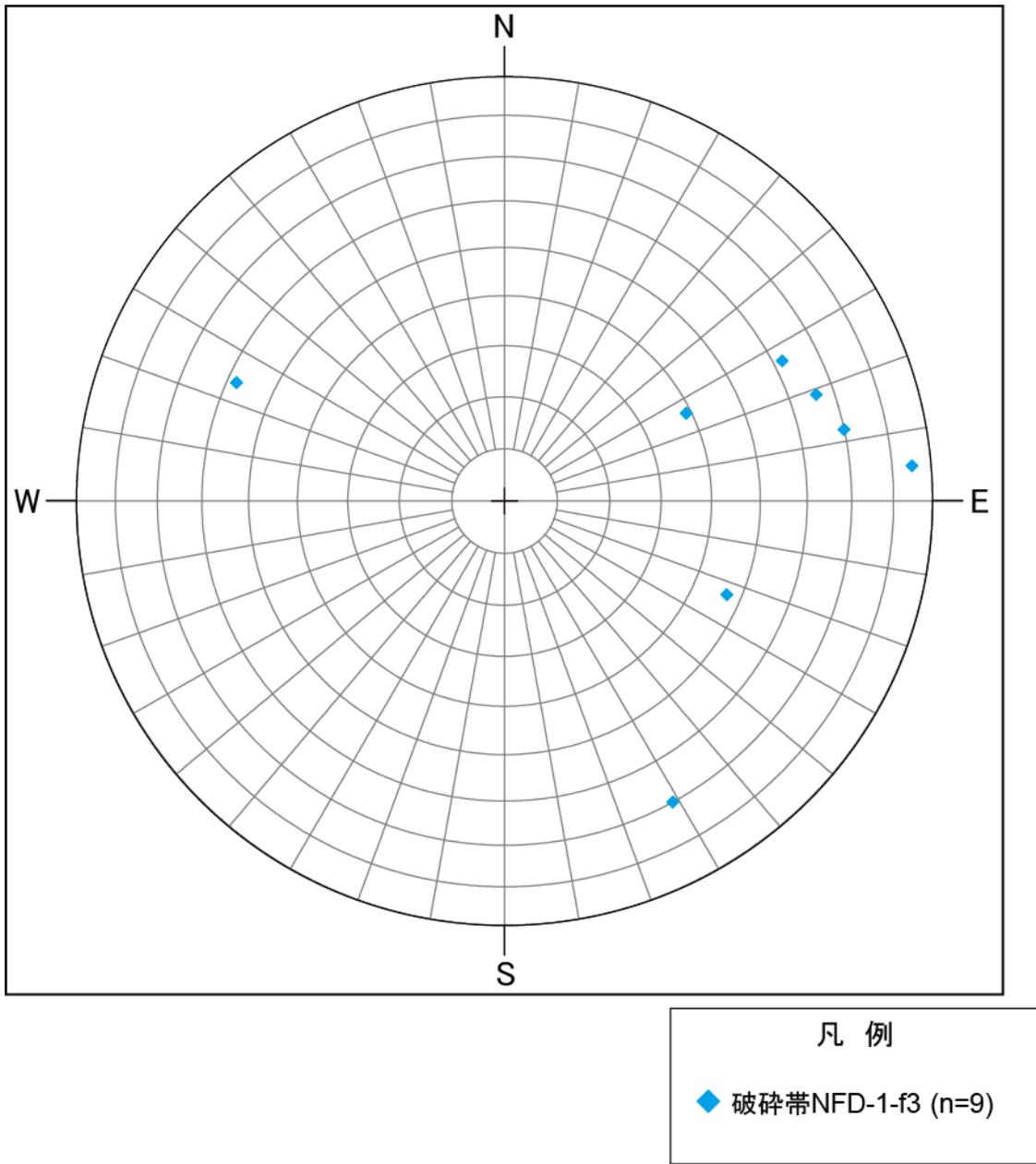


図 4.2.2.8 破碎帯 NFD-1-f3 シュミットネット解析結果

・ NFD-1-f4 (深度 863.48~876.52m)

花崗岩を原岩とした未固結~半固結の断層破碎帯。図 4.2.2.9 に調査結果図、図 4.2.2.10 にシュミットネット解析図を示す。本破碎帯は、ボアホールカメラ観察によって 30 か所のせん断面が確認された。せん断面の走向はばらついているが、概ね N10~60° E~N85° W に集中している。これらのせん断面の内、断層ガウジを伴うせん断面は 2 か所存在した。深度 864.55m では、見かけ角度 52° のせん断面に沿って灰白色の断層ガウジが発達し、上位で花崗岩の健岩部と接している。せん断面の下位では断層角礫が発達し、花崗岩の弱破碎部と接している。また、深度 874.35m では、花崗岩の弱破碎部の中にせん断面が見られ、上位でカタクレーサイトと断層ガウジが接している。

破碎帯 NFD-1-f4 では、これら深度 864.55m 及び 874.35m のせん断面を NFD-1-s4 ①、②とし、より詳細に観察することとした。

・ NFD-1-f5 (深度964.85~966.60m)

花崗岩を原岩とした未固結~半固結の断層破碎帯。図 4.2.2.11 に調査結果図を示す。本破碎帯は、ボアホールカメラ観察によって 5 か所のせん断面が確認され、N13~81° E、14° N~50~72° E を中心としている。本破碎帯は、深度 964.97m 付近のせん断面に沿うように幅 3~6mm の断層ガウジが認められる。断層ガウジは、灰色粘土状のものと白色粘土状のもの 2 層が認められ、上位の灰色断層ガウジは下位のものに切られる。

深度 966.55~966.58m においては、断層ガウジ、断層角礫、カタクレーサイトかなる箇所も見られる。ここでは、角度約 70° のせん断面が発達し、未固結の灰色礫混じり粘土状断層ガウジ、灰色未固結砂混じり角礫状の断層角礫、暗灰色細粒カタクレーサイトを伴う。断層ガウジの幅は 15~20mm、花崗岩の礫を取り込む。弱破碎部は灰白色の花崗岩中にせん断面及び割れ目が発達する。

破碎帯 NFD-1-f5 では、断層ガウジ及び断層角礫、カタクレーサイトを伴う深度 966.56m のせん断面を NFD-1-s5 とし、より詳細に観察することとした。

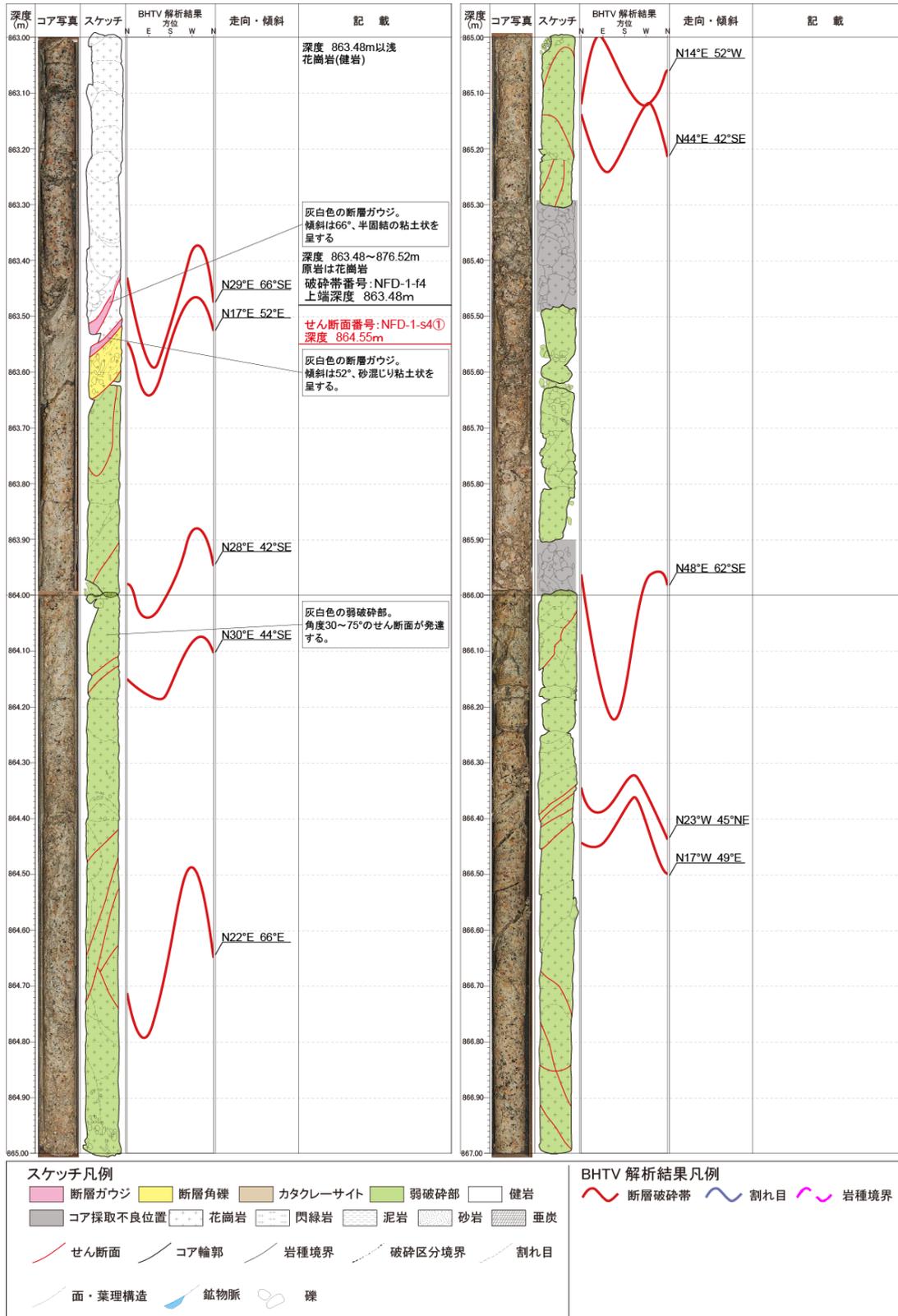


図 4.2.2.9 (1) 破碎帯 NFD-1-f4 調査結果図

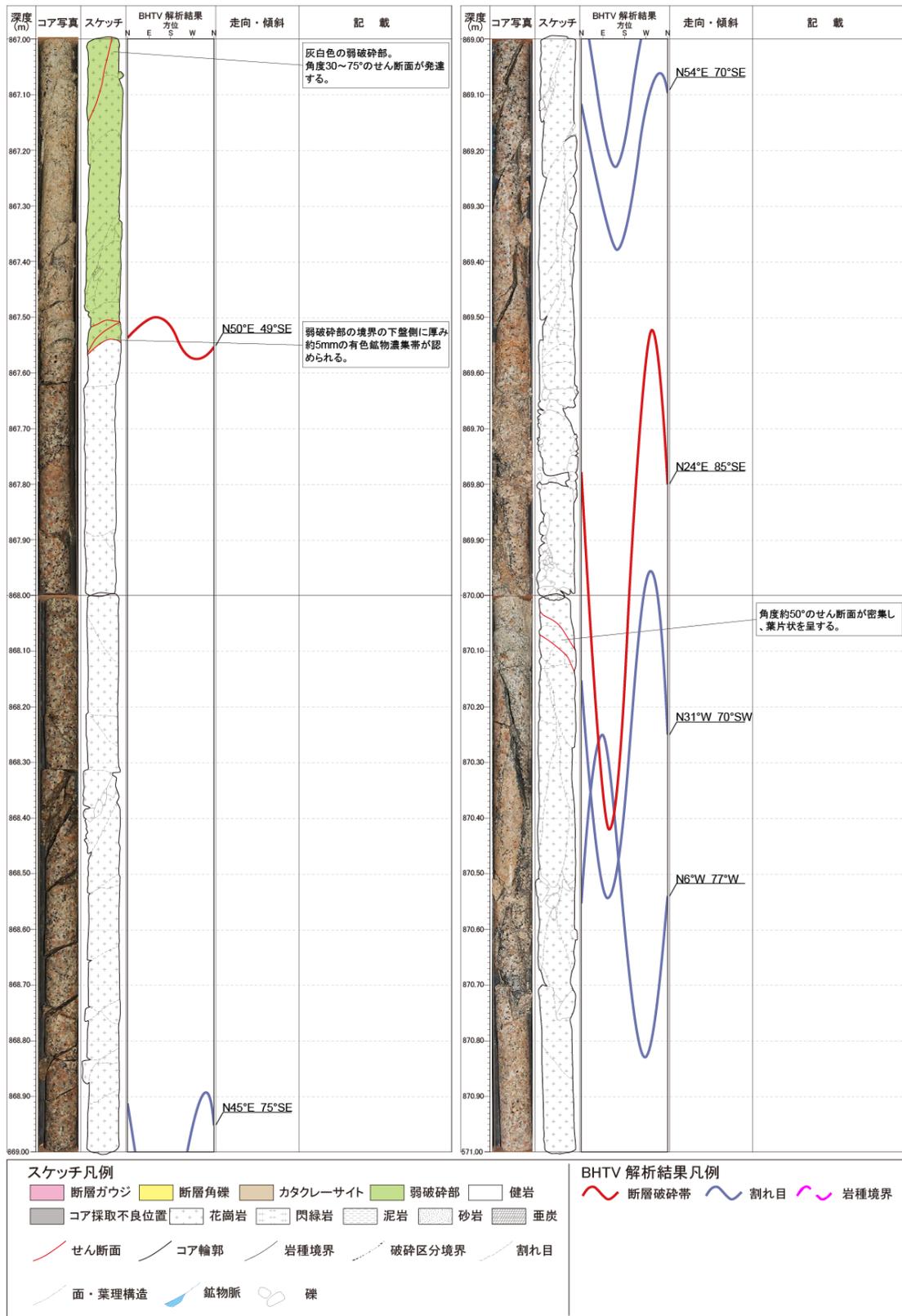


図 4.2.2.9 (2) 破碎帯 NFD-1-f4 調査結果図

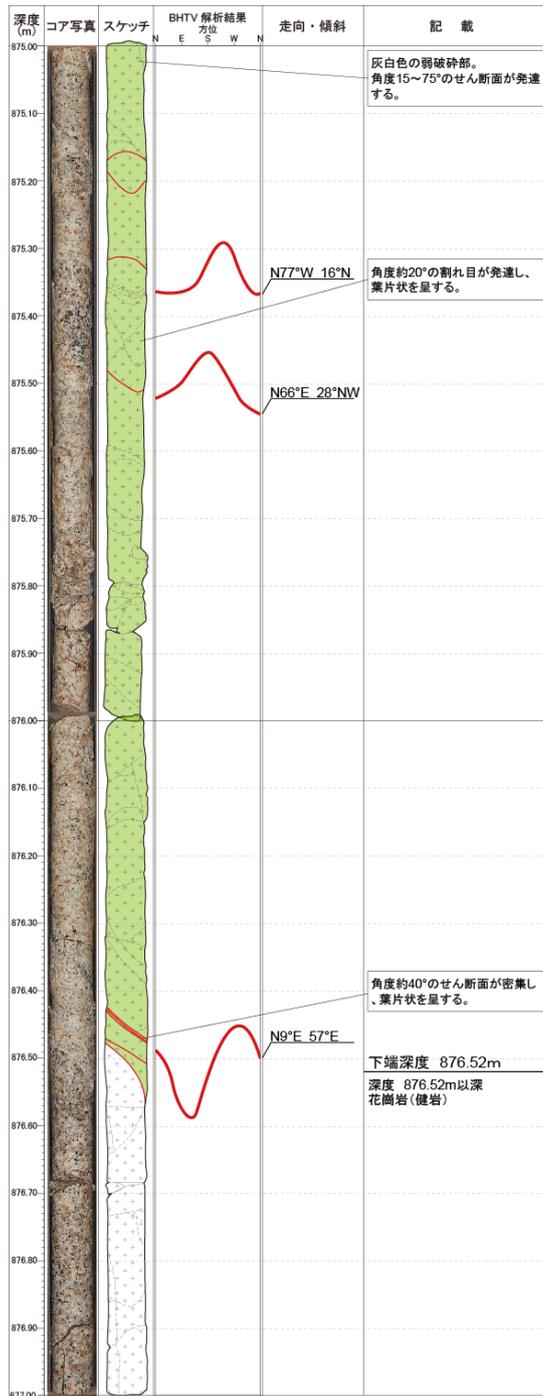


図 4.2.2.9 (4) 破砕帯 NFD-1-f4 調査結果図

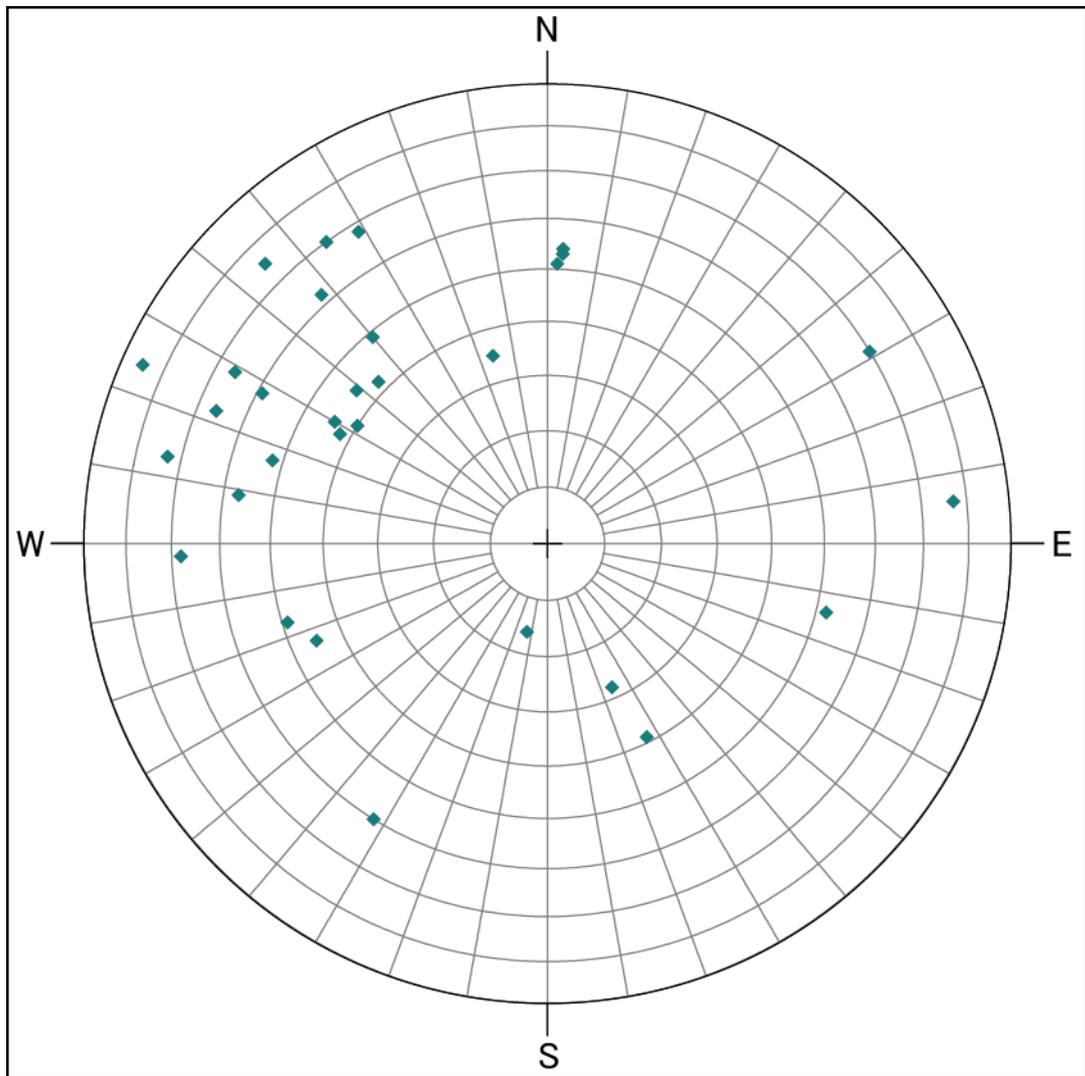


図4.2.2.10 破碎帯NFD-1-f4シュミットネット解析結果

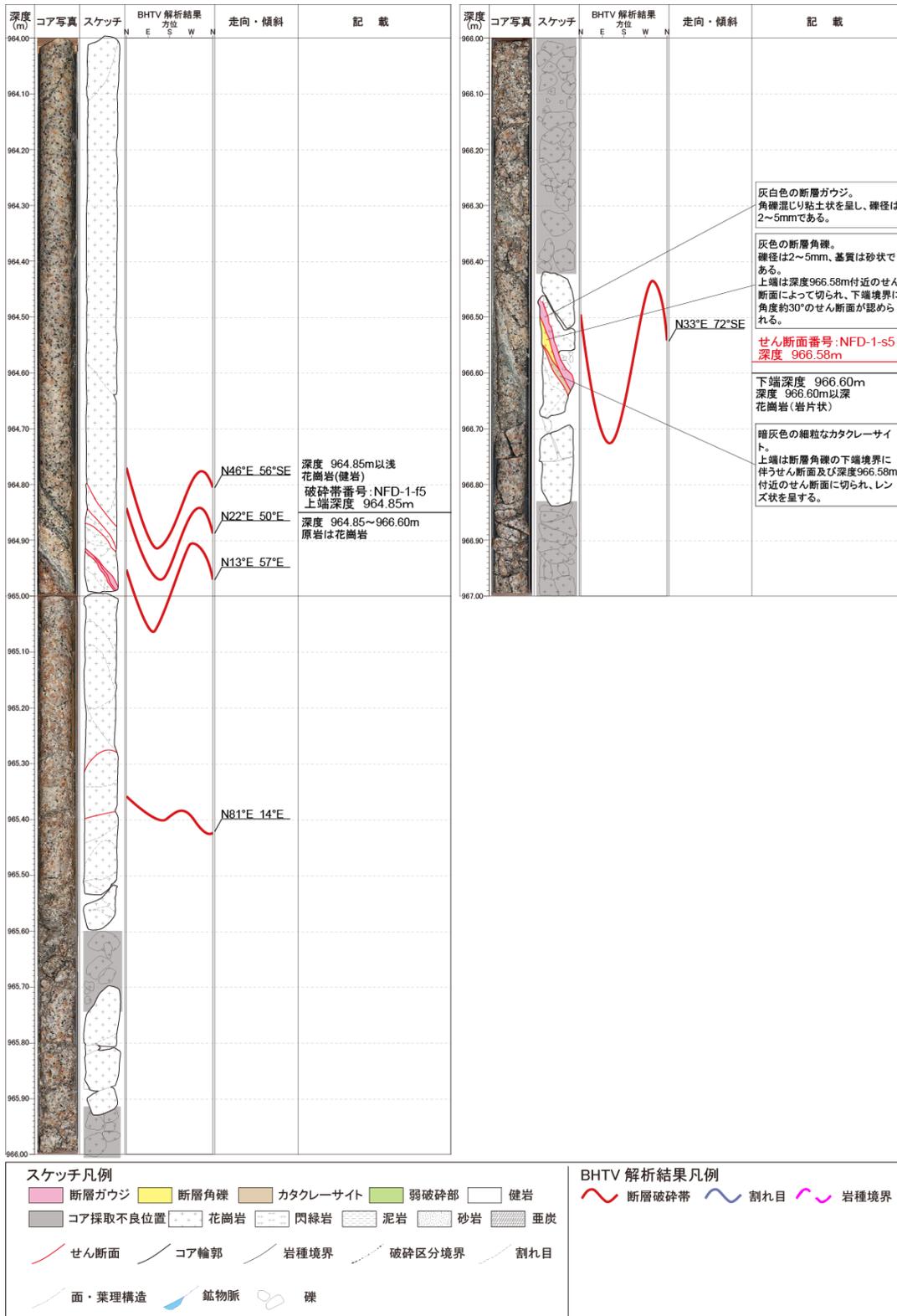


図4.2.2.11 破碎帯NFD-1-f5調査結果図

(3) せん断面

断層破碎帯の観察から、断層運動と関連性のあるせん断面を確認した。その中で、断層ガウジが発達したもの（ガウジ幅が厚い、葉片状構造が見られる等）や、周囲の岩石を著しく破碎し断層角礫を多く含んでいるものなど、特徴的なせん断面を5か所選定し、詳細な観察を行った。5か所のせん断面は浅部から順に、NFD-1-s1（深度529.36m）、NFD-1-s2（深度733.11m）、NFD-1-s3①（深度786.65m）、NFD-1-s3②（深度789.22m）、NFD-1-s4①（深度863.57m）、NFD-1-s4②（深度874.37m）、およびNFD-1-s5（深度966.58m）とした。各せん断面の特徴を表4.2.2.2に整理した。

表 4.2.2.2 せん断面一覧表

孔名	せん断面				破碎帯及びせん断面の特徴
	せん断面番号	深度 (m)	せん断面の走向・傾斜	せん断面の固結度	
NFD-1	NFD-1-s1	529.36	N73° E53° N	未固結／半固結	<ul style="list-style-type: none"> ・深度529.00～529.36m間で細粒カタクレーサイト及び粘土状の断層ガウジが互層する。 ・細粒カタクレーサイトは固結しており、黒色と白色を呈するカタクレーサイトが互層する。 ・断層ガウジ中には葉片状組織が発達する。
	NFD-1-s2	733.11	N77° E84° S	未固結	<ul style="list-style-type: none"> ・角度約85° の明瞭なせん断面沿い、幅約5mmが白色粘土状を呈し、上盤側は幅約10cmが角礫状を呈する。
	NFD-1-s3①	786.60	N12° W70° W	未固結	<ul style="list-style-type: none"> ・角度70～80° の断層ガウジが発達し、周辺には断層角礫及び変質した弱破碎部を伴う。
	NFD-1-s3②	789.22	N5° W85° W	未固結	<ul style="list-style-type: none"> ・深度786.64～786.67m間に角度約70°、幅約3cmの灰白色砂混じり粘土状断層ガウジが認められる。 ・深度789.22m付近に角度約80°、幅約1.4cmの灰白色粘土状断層ガウジが認められ、下盤側は角礫状を呈する。
	NFD-1-s4①	863.55	N17° E52° E	半固結	<ul style="list-style-type: none"> ・深度863.55m付近に角度約40°、幅約1.2cmの淡緑灰色砂混じり粘土状断層ガウジが認められる。下盤側には角度60～80° のせん断面が発達した弱破碎部を伴う。
	NFD-1-s4②	874.35	N87° W54° S	半固結	<ul style="list-style-type: none"> ・深度874.35m付近に角度約45° の灰色カタクレーサイト及び灰白色の粘土状断層ガウジが認められる。上盤及び下盤側には角度70～80° のせん断面が発達した弱破碎部を伴う。
	NFD-1-s5	966.58	N33° E72° SE	未固結／半固結	<ul style="list-style-type: none"> ・角度約70°、幅約1.2cmの灰白色角礫混り粘土状断層ガウジが認められ、下盤側に角度約70° の細粒な暗灰色カタクレーサイトがレンズ状に認められる。

各せん断面の詳細を以下に示す。

・せん断面NFD-1-s1（深度529.36m）

図 4.2.2.12 に観察結果を示す。ボアホールカメラの観察結果から、本せん断面の走向・傾斜は N73° E、53° N と求められた。せん断面の形状は平滑で、断層ガウジと弱破碎部の境界をなしている。せん断面の上位は、白色断層ガウジ（深度 529.00～529.10m）、細粒カタクレサイト（深度 529.10～529.22m）、暗灰色の断層ガウジ（深度 529.22～529.36m）が存在する。白色断層ガウジは半固結粘土状で、下端深度 529.10m に位置する角度約 70° のやや湾曲したせん断面に切られる。断層ガウジ中には下端のせん断面にやや斜交した葉片状構造が認められる。断層ガウジの下位には、黒色・白色の細粒カタクレサイトが認められる。細粒カタクレサイトは固結度が高く、上端の幅 10～30mm と下端の幅 5～10mm は黒色を呈し、その間の約 30mm は白色を呈する。流理状の構造も認められる。カタクレサイトの下位には暗灰色の断層ガウジが認められ、未固結粘土状を呈し、下端を深度 529.36m のせん断面に切られる。断層ガウジ中、下端のせん断面にほぼ平行に葉片状構造が幅 5～10mm 間隔で認められる。断層ガウジ上端には、カタクレサイトのブロックが取り込まれている。せん断面下位の弱破碎部は花崗岩中に角度 45～50° の割れ目が発達し、割れ目沿いが変質によりやや軟質になる。

・せん断面 NFD-1-s2（深度 733.11m）

図 4.2.2.13 に観察結果を示す。ボアホールカメラの観察結果から、本せん断面の走向・傾斜は N77° E、84° S と求められた。せん断面はコア試料を縦断するような形状で、断層角礫と花崗岩の健岩の境界に明瞭に観察され、やや湾曲する。深度 733.00～733.11m 間では、せん断面沿いに厚み約 6mm の灰色細粒カタクレサイトを伴う。せん断面上位には、断層角礫が 2 層認められ、深度 732.84～732.96m の断層角礫は、半固結灰白色砂混じり角礫状を呈し、礫径は 2～50mm、基質は砂混じり粘土状を呈する。礫の比率が多く、特に深度 732.90～732.96m は礫支持となっている。深度 732.96～733.11m の断層角礫は、未固結白色粘土混じり角礫状を呈し、礫径は 2～50mm、基質は粘土状である。全体的に変質が進み、礫が軟質となっているため、礫と基質の境界が不明瞭である。

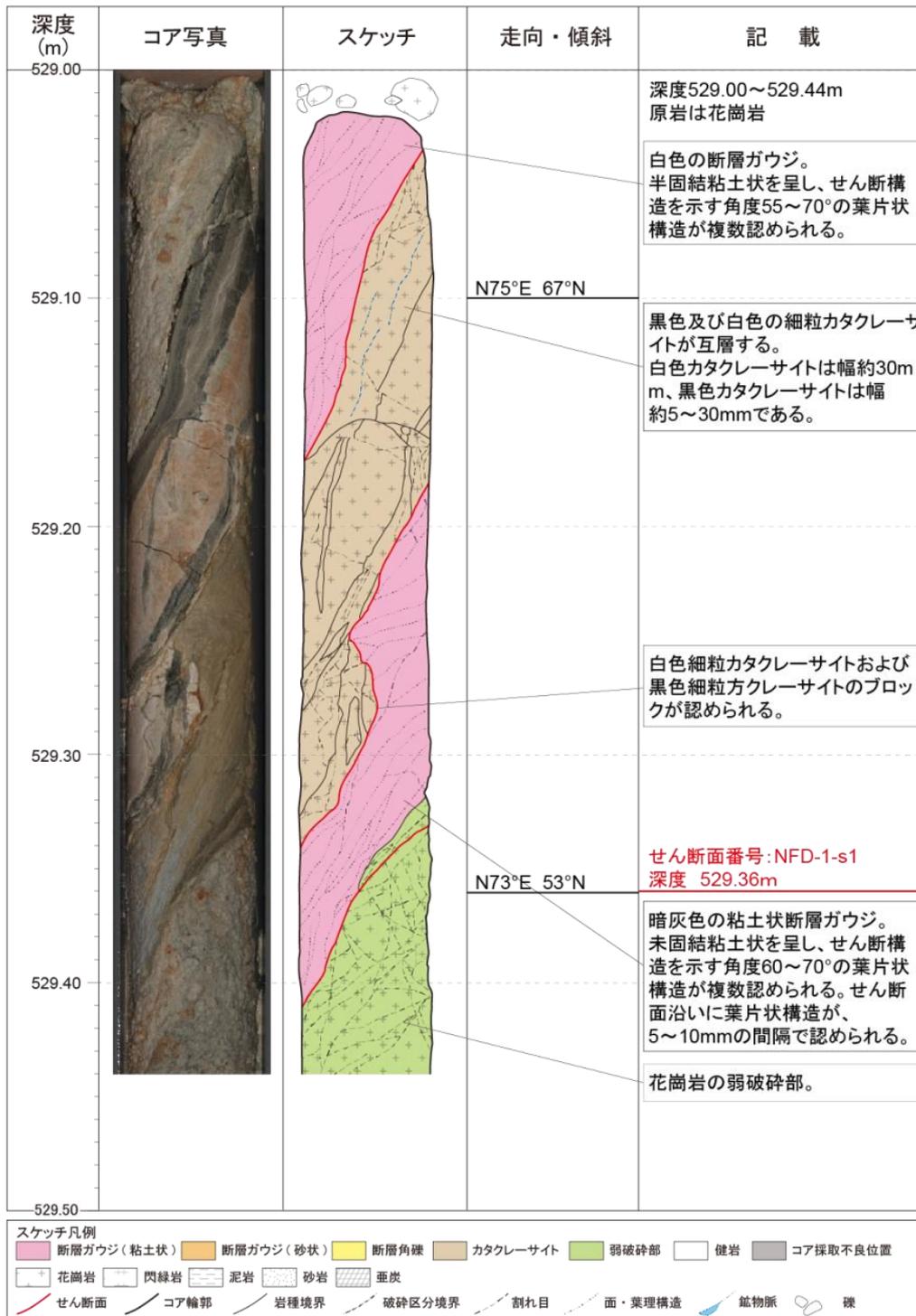


図 4.2.2.12 せん断面 NFD-1-s1 観察結果

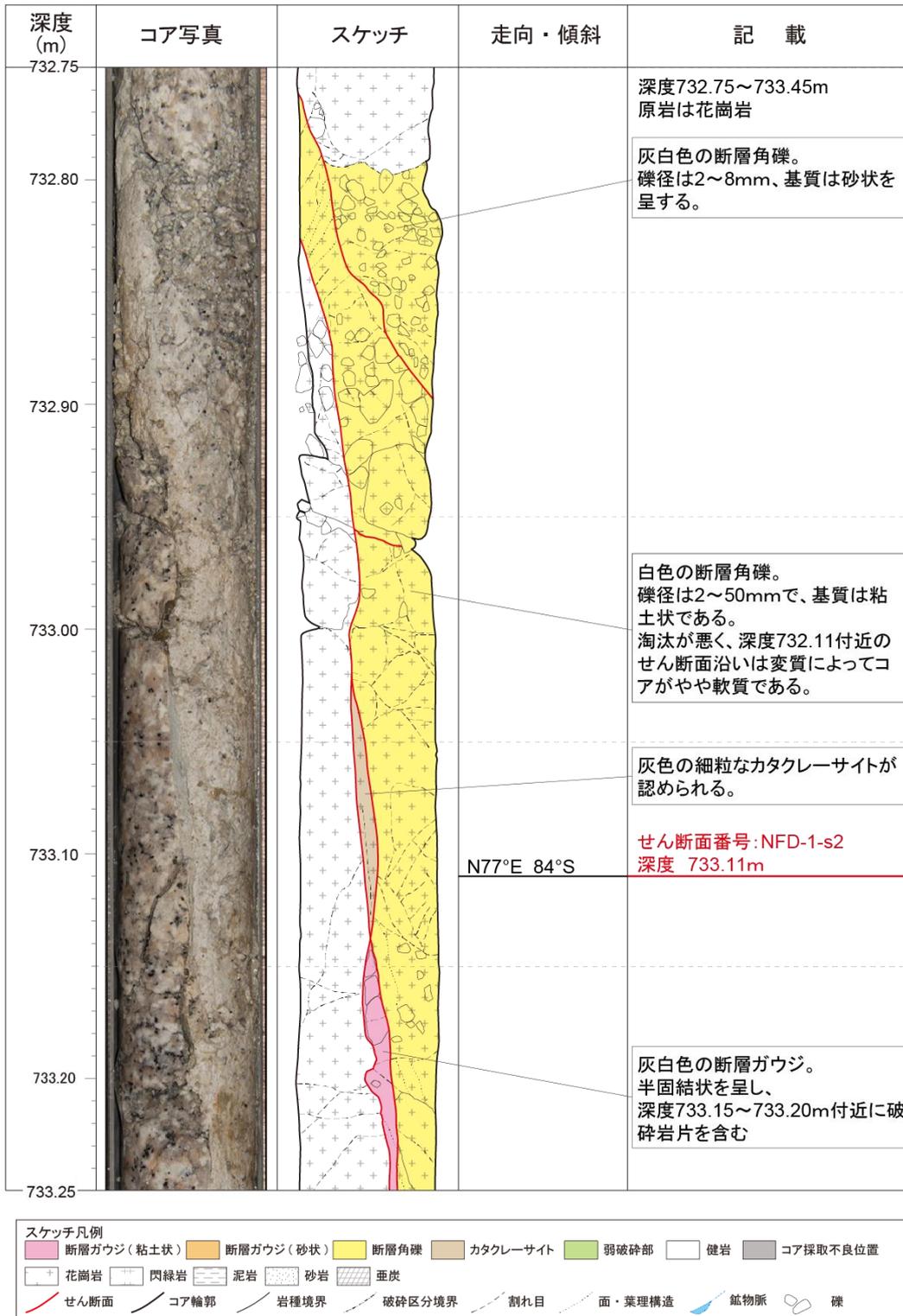
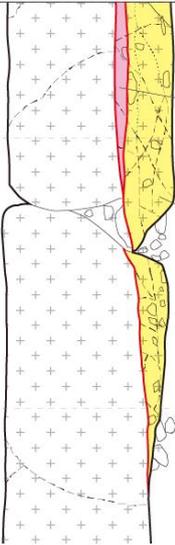


図 4.2.2.13 (1) せん断面 NFD-1-s2 観察結果

深度 (m)	コア写真	スケッチ	走向・傾斜	記 載
733.25				<p>深度732.75～733.45m 原岩は花崗岩</p>
733.30				<p>灰白色の断層ガウジ。 半固結状を呈し、 深度733.15～733.20m付近に破 碎岩片を含む</p>
733.40				<p>白色の断層角礫。 礫径は2～50mmで、基質は粘 土状である。 淘汰が悪く、深度732.11付近の せん断面沿いは変質によってコア がやや軟質である。</p>
733.50				
733.60				
733.70				
733.75				

スケッチ凡例										
断層ガウジ(粘土状)	断層ガウジ(砂状)	断層角礫	カタクレーサイト	弱破碎部	健岩	コア採取不良位置	花崗岩	閃緑岩	泥岩	砂岩
垂直炭	せん断面	コア輪郭	岩種境界	破碎区分境界	割れ目	面・葉理構造	鉱物脈	礫		

図 4.2.2.13 (2) せん断面 NFD-1-s2 観察結果

・せん断面 NFD-1-s3① (深度 786.60m)

図 4.2.2.14 に観察結果を示す。ボアホールカメラの観察結果から、本せん断面の走向・傾斜は N12° W、70° W と求められた。せん断面はやや湾曲するものの、明瞭に確認される。せん断面の上位には、淡橙色の弱破碎部が接し、間に断層角礫を挟んでいる。断層角礫は灰色で、せん断面と平行な方向に葉片状構造が発達している。せん断面の下位には灰白色の断層ガウジが接している。断層ガウジは未固結の砂混じり粘土状を呈し、下端では、せん断面とほぼ平行な方向に葉片状構造が発達している。

・せん断面 NFD-1-s3② (深度 789.22m)

図 4.2.2.15 に観察結果を示す。ボアホールカメラの観察結果から、本せん断面の走向・傾斜は N5° W、85° W と求められた。せん断面はやや湾曲するもの明瞭で、コア試料を縦断するような形状で、断層ガウジと花崗岩の健岩の境界に観察される。深度 789.24m 以深では不明瞭となる。せん断面は未固結の角礫混じり粘土状を呈する断層ガウジを伴い、断層ガウジの角度は 85°、幅 8~14mm で、色調は灰白色であった。断層ガウジ中の角礫は花崗岩からなり、礫径は 2~6mm である。せん断面周辺の深度 789.15m 以浅及び 789.32m 以深は角礫状コアとなり、せん断面の連続性は不明である。

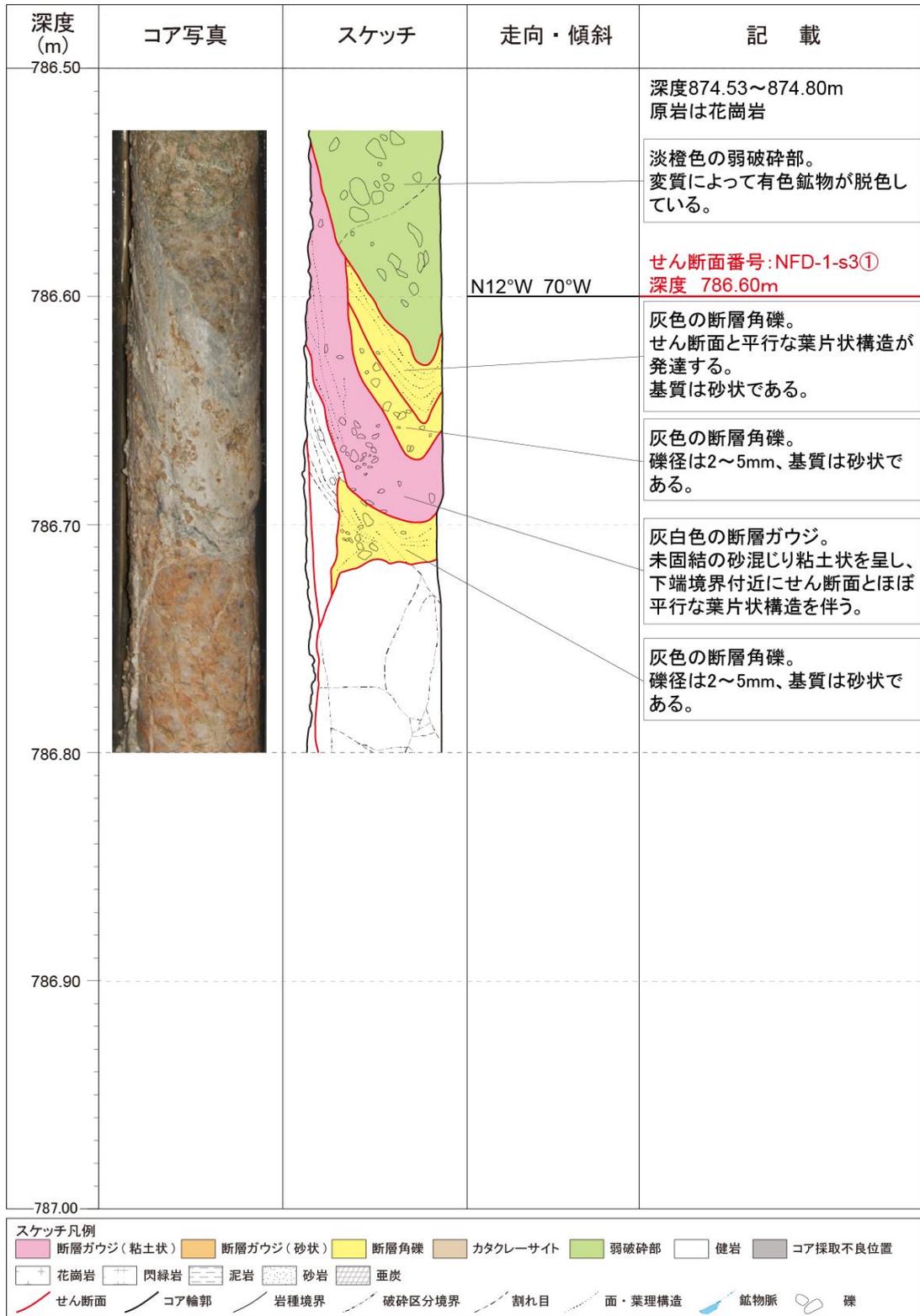


図 4.2.2.14 せん断面 NFD-1-s3①観察結果

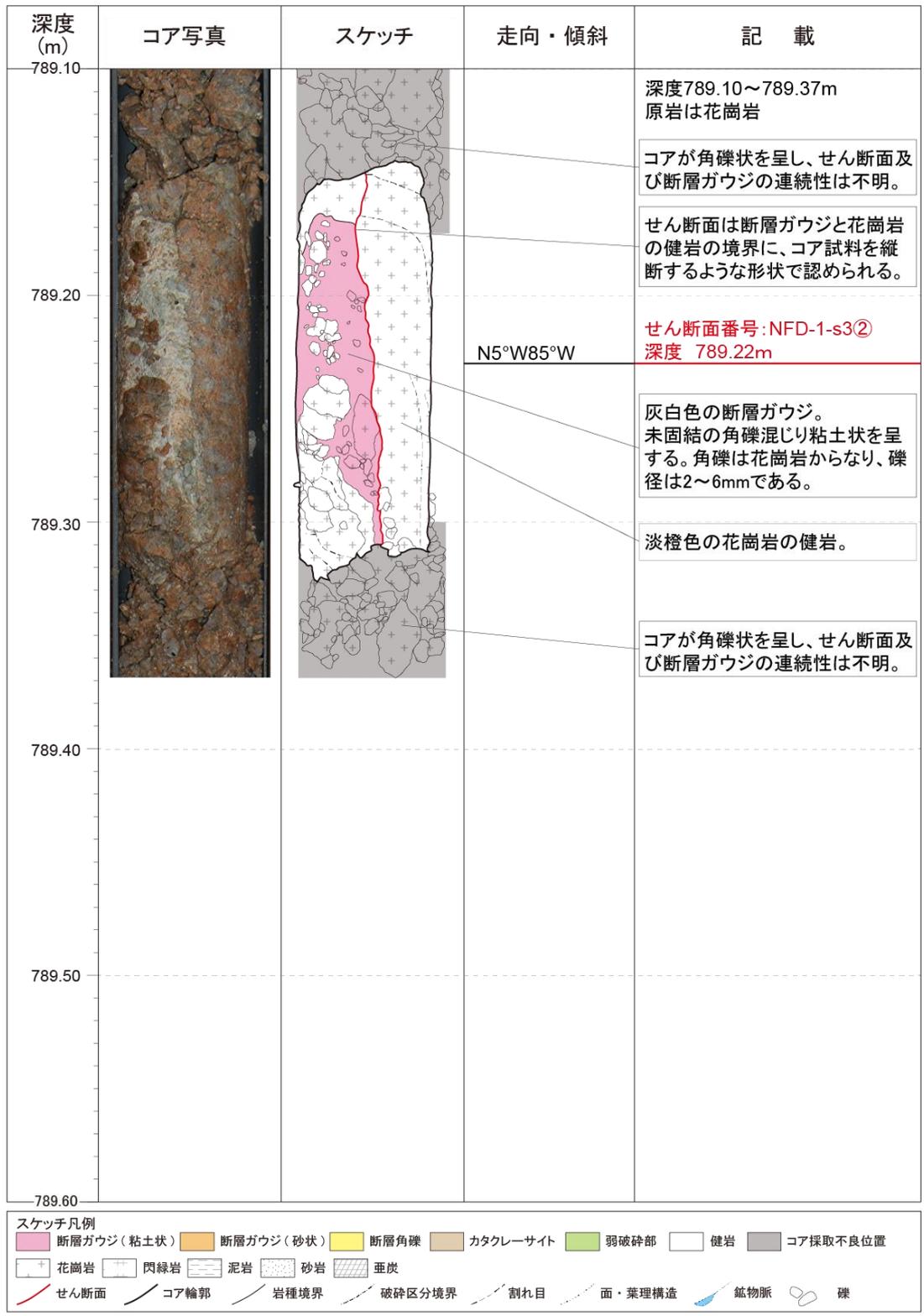


図 4.2.2.15 せん断面 NFD-1-s3②観察結果

・せん断面 NFD-1-s4① (深度 863.55m)

図 4.2.2.16 に観察結果を示す。ボアホールカメラの観察結果から、本せん断面の走向・傾斜は N17° E、52° E と求められた。せん断面はやや湾曲するものの、明瞭に確認される。せん断面の上位には、花崗岩の健岩部中に 2 層の断層ガウジが観察される。せん断面沿いの断層ガウジ中には、葉片状構造が発達し、厚み 0.5~1mm の暗灰色の粘土状ガウジの薄層を挟在する。せん断面の下位には断層角礫が接する。断層角礫は灰白色、未固結で、礫径は 2~10mm である。せん断面とはやや斜行した葉片状構造及び黒雲母の伸長が認められる。

・せん断面 NFD-1-s4② (深度 874.35m)

図 4.2.2.17 に観察結果を示す。ボアホールカメラの観察結果から、本せん断面の走向・傾斜は N87° W、54° S と求められた。せん断面はやや湾曲するものの、明瞭に確認される。せん断面の上位には、灰色のカタクレーサイトと灰白色の断層ガウジが観察される。カタクレーサイト中には破碎岩片を含み、その径は最大約 6cm、平均 5~10mm 程度である。礫径 6cm の破碎岩片の長軸は、せん断面に対して反時計回りに斜行し、左横ずれのせん断センスを示している。断層ガウジは、厚みが約 12mm、半固結粘土状を呈し、見かけ角度 45~50° の葉片状構造が認められる。

・せん断面 NFD-1-s5 (深度 966.58m)

図 4.2.2.18 に観察結果を示す。ボアホールカメラの観察結果から、本せん断面の走向・傾斜は N33° E、72° SE と求められた。せん断面は平滑で、上位に断層ガウジ、下位に断層角礫及びカタクレーサイトを伴い、カタクレーサイトと断層角礫を切る。

せん断面上位の断層ガウジは未固結の角礫混じり粘土状を呈し、礫径は 2~5mm、基質は粘土状、色調は灰白色である。断層ガウジ中、せん断面に低角度で斜交する方向に葉片状構造が認められる。せん断面下位の断層角礫は、未固結粘土混じり角礫状で、色調は灰色である。礫径は 2~5mm で基質は粘土状となる。基質中にせん断面にほぼ平行に葉片状構造が認められる。断層角礫の下位には、細粒のカタクレーサイトが認められる。カタクレーサイトの色調は暗灰色で、せん断面に切られてブロック状を呈し、せん断面と平行な葉片状構造が認められる。

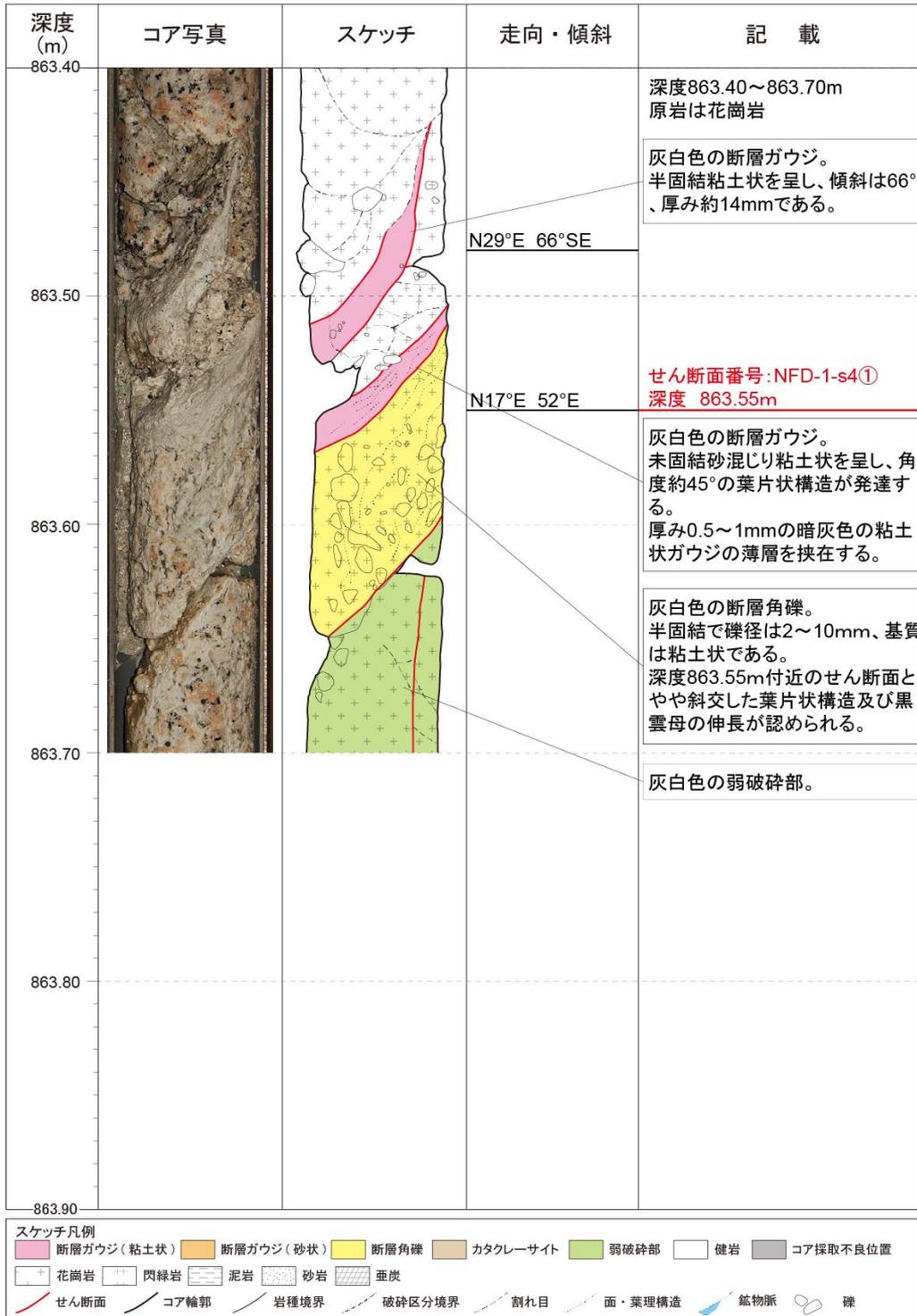


図 4.2.2.16 せん断面 NFD-1-s4①観察結果

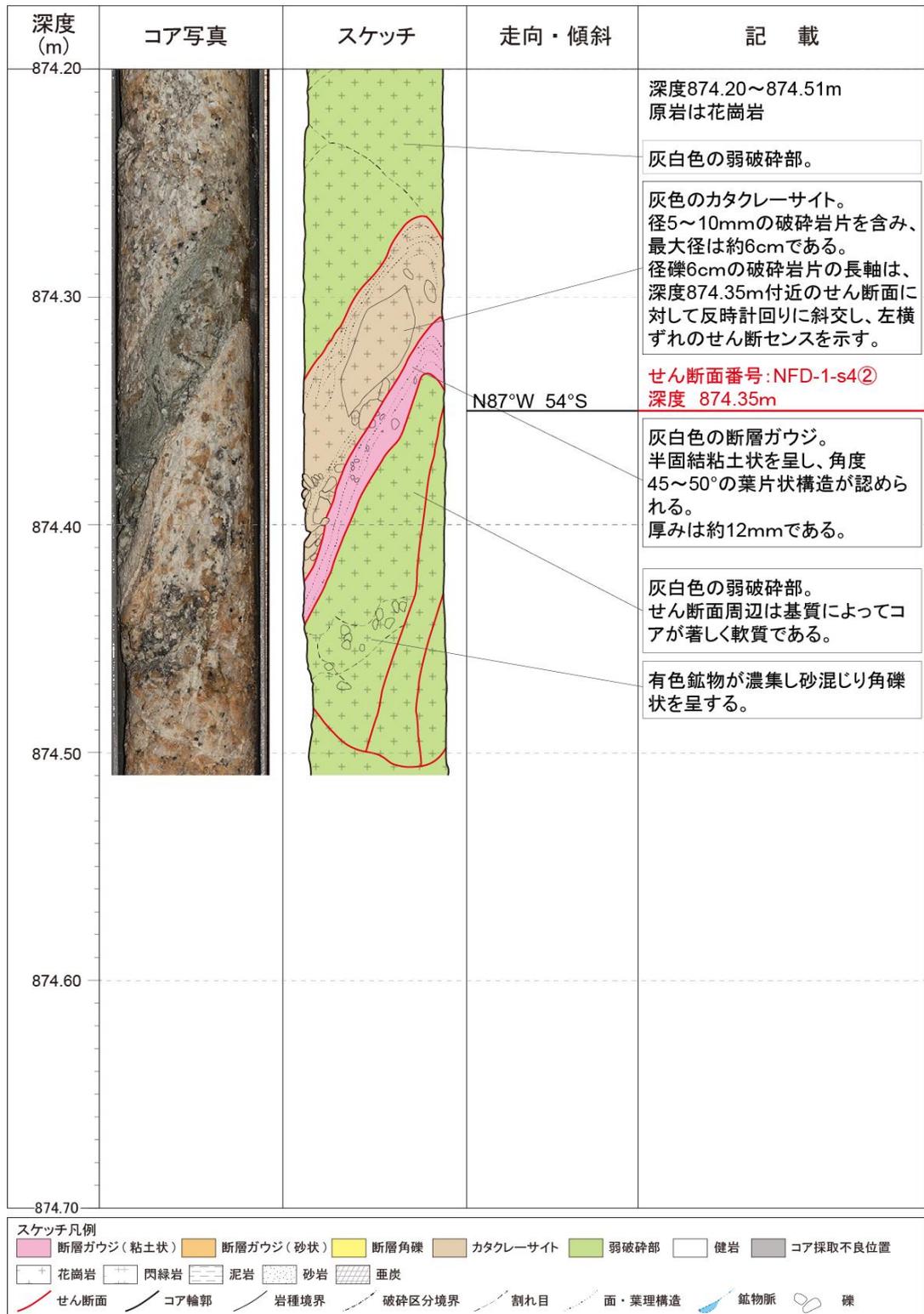


図 4.2.2.17 せん断面 NFD-1-s4②観察結果

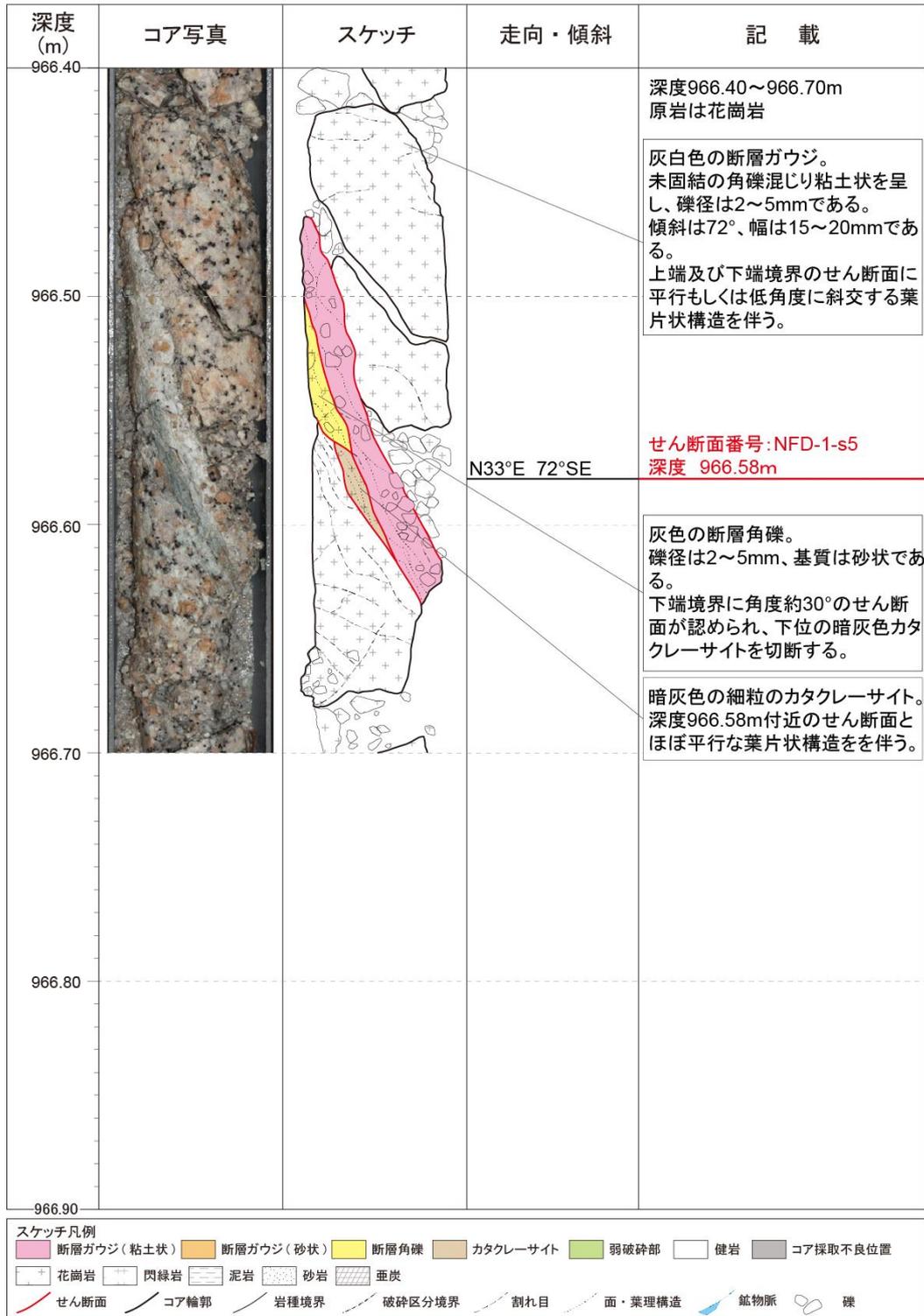


図 4.2.2.18 せん断面 NFD-1-s5 観察結果

4.2.3. 物理検層結果

NFD-1 孔の調査では、深度 0~1000m の区間で物理検層を実施した。図 4.2.3.1 に物理検層結果を示す。本孔では、孔径検層、温度検層、音波検層、密度検層、電気検層、方位傾斜測定及び孔壁観察を行った。孔壁観察は、ボアホールカメラ及びボアホールテレビュアで行った。地質と物性の関係については、図解 物理探査, 物理探査学会編(1989)を参考にした(図 4.2.3.2,及び図 4.2.3.3)。以下に各検層について結果を示す。

・孔径検層

孔径は、花崗岩の上端深度と推定される深度 230m 以浅で変化に富み、堆積層の深度と概ね対応している。深度 230m 以深では、孔径は深度とともに減少し、深度 260m 以深では孔径は 240mm で安定する。深度 350m 以深では、孔径の段落としにより、約 200mm の値を示すが、所々で 300~500mm 程度の変化が見られる。特に、深度 460~560m では孔径は、300~500mm の大きな値を示し、値は安定しない。この区間は、割れ目沿いの変質が顕著な区間であり、断層破碎帯 NFD-1-f1 に対応している。深度 650m 以深では、孔径約 200mm で安定している。

・温度検層

孔内の温度は、深度とともに増加し、孔口(深度 0m)で約 17°C、孔底(深度 1000m)で約 37°Cである。地温勾配は 2°C/100m 程度である。深度 530m 付近で、地温勾配よりも若干温度が低い箇所が見られる。この深度は、断層破碎帯 NFD-1-f1 に対応している。

・音波検層

弾性波速度は、深度 0~250m の区間で 2km/s 前後の値を示す。この区間は、大阪層群及び神戸層群が堆積する区間に相当し、堆積岩の一般的な弾性波速度の値と整合的である(図 4.2.3.2)。深度 250m 以深では、3~5km/s 程度で、花崗岩の一般的な弾性波速度の値と整合的であるが、深度 460~630m の区間では 1.6~4km/s と低速度になる。この区間は、割れ目沿いの変質が顕著な区間に対応する。特に深度 500~550m は、2km/s 以下と小さい値を示すが、この区間には断層破碎帯 NFD-1-f1 が認められている。深度 630m 以深では、破碎帯 NFD-1-f3、f4、f5 と対応する深度で、速度が 3km/s 以下となる箇所が見られるが、範囲は広くなく、限定的である。深度 880m 以深は、岩盤が堅硬となり、速度は 4.5km/s 以上の値を示す。

・密度検層

密度検層は、深度 340~1000m の区間で行われた。岩盤の密度は、概ね 2.6g/cm³で

あり、花崗岩の一般的な密度と調和的である（図 4.2.3.3）。深度 350~630m では、局所的に 2g/cm^3 以下の低い値を示す箇所が認められた。これらは割れ目が発達した箇所に対応する。特に、深度 460~570m では連続的に $2.2\sim 2.4\text{g/cm}^3$ の低い値を示し、局所的に 1.5g/cm^3 以下の低い値を示す。この区間は、割れ目沿いの変質が顕著な区間に対応する。深度 630m 以深は岩盤の密度は安定して約 2.6g/cm^3 を示す。深度 780m 付近と深度 860m 付近は局所的に低い値を示し、破碎帯 NFD-1-f3 と f4 の深度にそれぞれ対応している。

・電気検層

比抵抗値は、深度によって値が大きく異なる。大阪層群が分布する深度 190m 以浅では、16 インチの電極間隔で $10\ \Omega\cdot\text{m}$ 程度と $150\sim 200\ \Omega\cdot\text{m}$ の値が 5~20m 間隔で繰り返し認められ、礫の多い地層と細粒な地層が繰り返すことによるものと考えられる。神戸層群が分布する深度 190~230m 間では、 $10\sim 30\ \Omega\cdot\text{m}$ の低い値を安定して示す。この値は一般的な砂岩泥岩の比抵抗値と整合的である（図 4.2.3.3）。深度 230m 以深では、値が大きく上昇し、特に深度 270~350m 間では 8 インチの電極間隔では $100\sim 300\ \Omega\cdot\text{m}$ 、16 インチの電極間隔では、 $700\sim 1400\ \Omega\cdot\text{m}$ と電極間隔の違いによる値のバラつきが大きい。深度 350~460m、深度 610~1000m では値が $100\sim 400\ \Omega\cdot\text{m}$ の値を基本とし、局所的に $500\sim 800\ \Omega\cdot\text{m}$ の高い値を示す。深度 790m、830m、860m、960m 周辺では、局所的に $100\ \Omega\cdot\text{m}$ 程度の小さな値を示し、割れ目の発達する区間及び破碎帯が認められる区間に対応する。深度 460~610m では、 $100\ \Omega\cdot\text{m}$ 以下の値を連続的に示す。この区間は割れ目の多い変質した岩盤が分布する。

自然ガンマ線は、深度 0~110m にかけて、深度とともに増加し、40~80API の値を示す。この区間は、砂礫層が認められる区間に対応する。深度 110~200m にかけて、50~60API の値を示す。この区間は、砂礫・シルト互層及び砂礫層が分布する区間に対応する。深度 200~230m では、約 40API の低い値を安定して示す。この区間は神戸層群の砂岩泥岩が分布する区間に対応する。深度 230~260m では値が大きく上昇し、80~90m/s を示す。この変化は、本区間に花崗岩の上端が位置することと整合的である。深度 260~350m では、自然ガンマ線は約 90API の値を安定して示す。深度 350~460m では、自然ガンマ線は 110~120API のやや大きい値を取る。深度 460~540m では、値は深度とともに減少し、110~90API の値を示す。この区間は、割れ目の多い変質した岩盤が分布する。深度 540~630m では、自然ガンマ線はやや増加し、110API の値を安定して示す。深度 630 以深は 110~120API の値を安定して示し、深度とともに緩やかに減少する。

自然電位は、深度 0~50m にかけて $130\sim 140\text{mV}$ の高い値を示す。この区間は砂優勢の砂礫層が分布する区間に対応する。深度 50~200m にかけて、自然電位は深度とともに上昇し $40\sim 90\text{mV}$ の値を示す。この区間は砂礫層が分布する区間に対応する。

深度 200~460m では、自然電位は安定して 80~90 mV の値を示す。この区間は、神戸層群、花崗岩が分布する区間に相当する。深度 460~780m にかけて、自然電位は深度とともに減少し、80~60mV の値を示す。深度 780m 以深では、自然電位は 40~100mV の値を示し、安定しない。また、破砕帯 NFD-1-f3、f4、f5 の位置する深度の下位では局所的に低い値を示す。

・方位傾斜測定

本孔の方位は、深度 400m 付近までは 90~200° の値を示し、不安定な孔跡を示す。深度 550m 付近より方位が約 210° で安定し、1000m にかけて緩やかに回転し、深度 1000m では 270° の値を示す。傾斜は、深度 550m までは 0~3° に緩やかに傾斜し、深度 550m~800m では 2.5~3°、深度 800 以深では 3~3.5° の傾斜を示す。以上の結果から、本孔は当初の計画とほぼ一致した孔跡で掘進されたことが確認された。

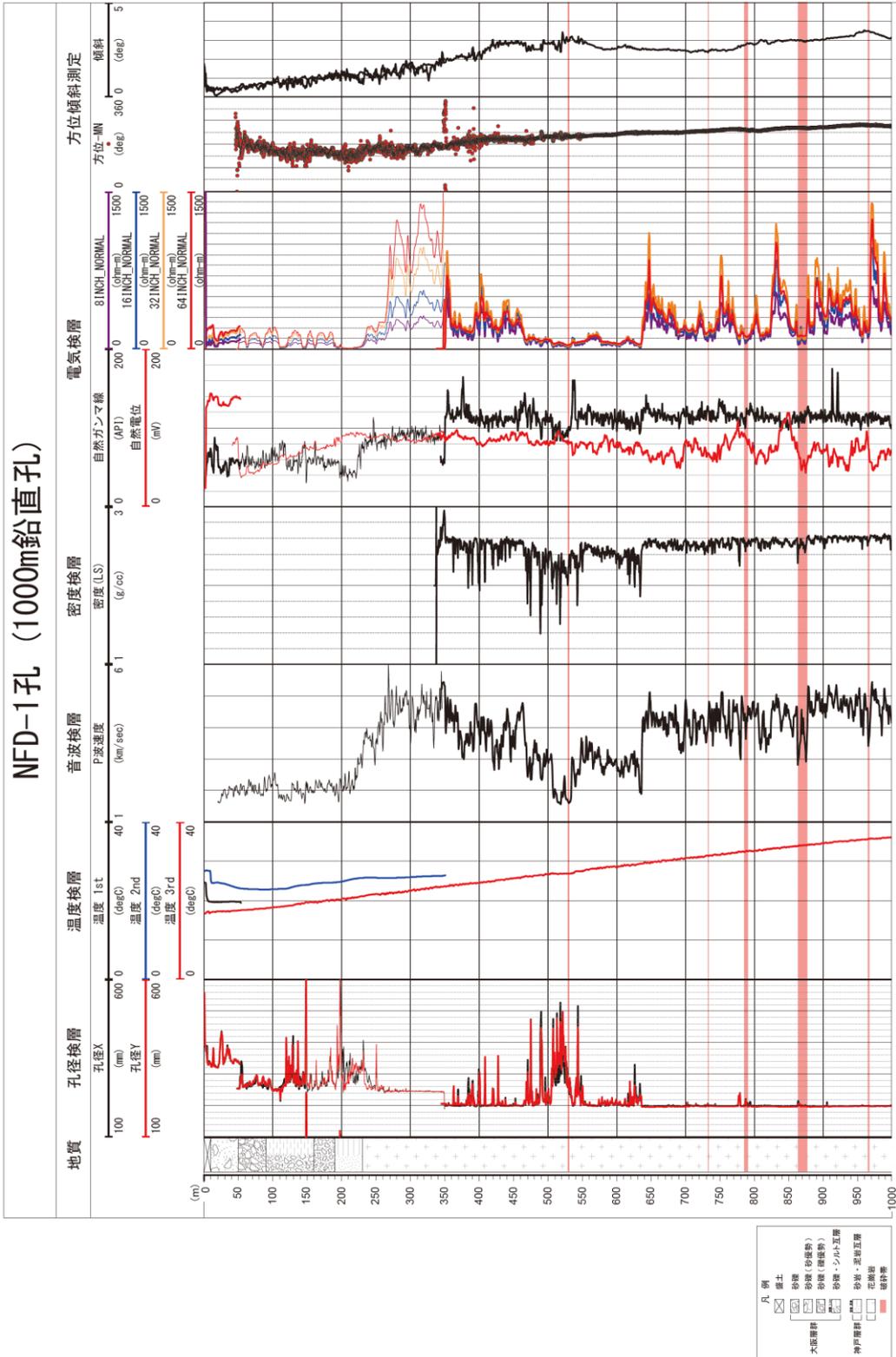


図 4.2.3.1 NFD-1孔

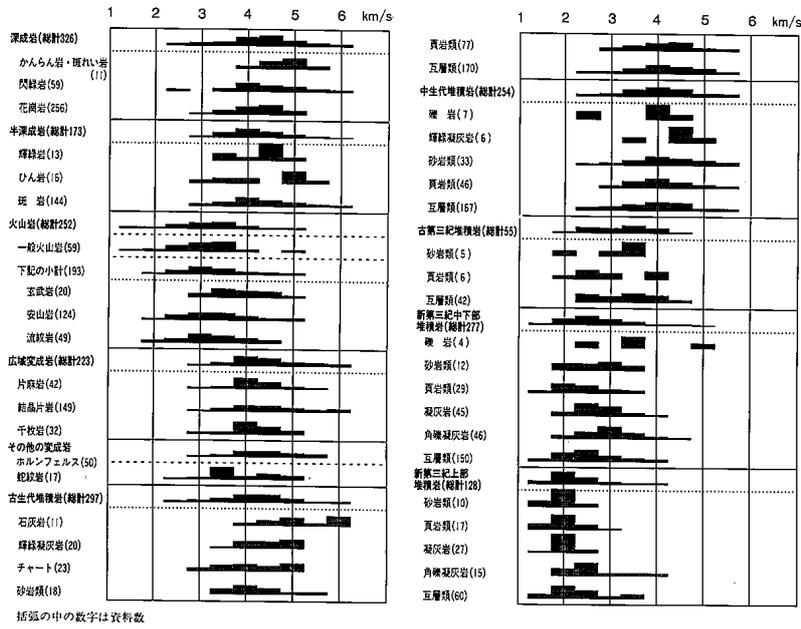


図 4.2.3.2 地質と物性値の関係 (1) 地質とP波速度
物理探査学会 編 (1989) 図解 物理探査

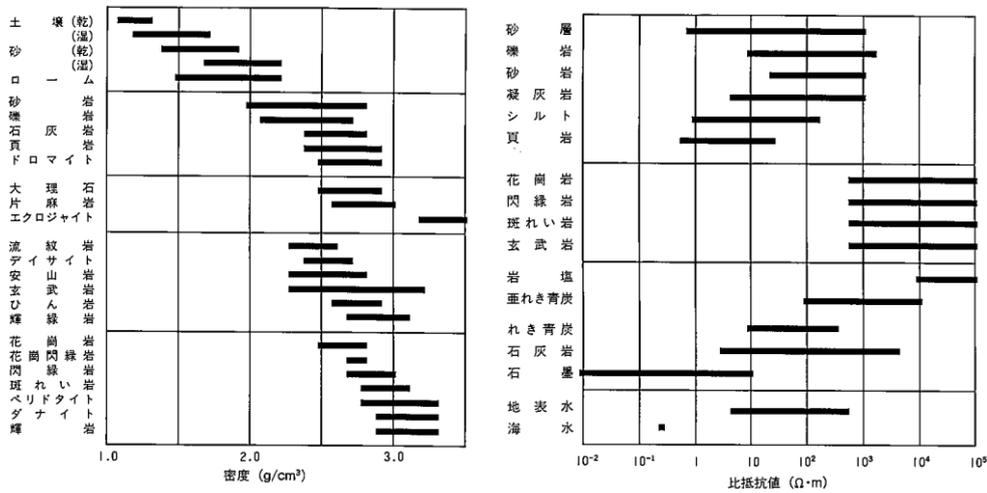


図 4.2.3.3 地質と物性値の関係 (2) 地質と密度、比抵抗
物理探査学会 編 (1989) 図解 物理探査

4.3. NFD-2 孔

4.3.1. 削孔結果

NFD-2 は、野島断層を対象とした 450m 傾斜孔である。斜め下方 77° で深度 450m までボーリングを実施した。

以下に、削孔結果を示す。

(1) ケーシングプログラム及び掘進状況

1) 当初掘進計画と実行

NFD-2 孔は、野島断層の地表ラクチャーの走向に対して、ほぼ直交する N38° W (T.N.) 方向、鉛直から角度 15° 北西方向に掘進し、深度 220m 付近で野島断層を確認する計画とした。深度 135m まではノンコア掘削とし、135m 以深では 4" ケーシングを挿入しながら HQ コアチューブ (径 97mm) で深度 300m までオールコア掘削とした。図 4.3.1.1 に当初掘進計画概要図を示す。

平成 28 年 5 月 26 日より掘進を開始したが、断層を確認するまでの掘進過程で、175m 付近で発生した大阪層群相当層からの湧水及び土圧が大きな妨げとなった。ケーシングプログラム、コア採取孔径及び掘進工法を見直し、当初計画に沿った掘進を再度試みたが、深度 180.9m (図 4.3.1.2) で工事不可能となった。このため、協議の結果、本計画での掘進を断念し、掘進計画を変更することとした。

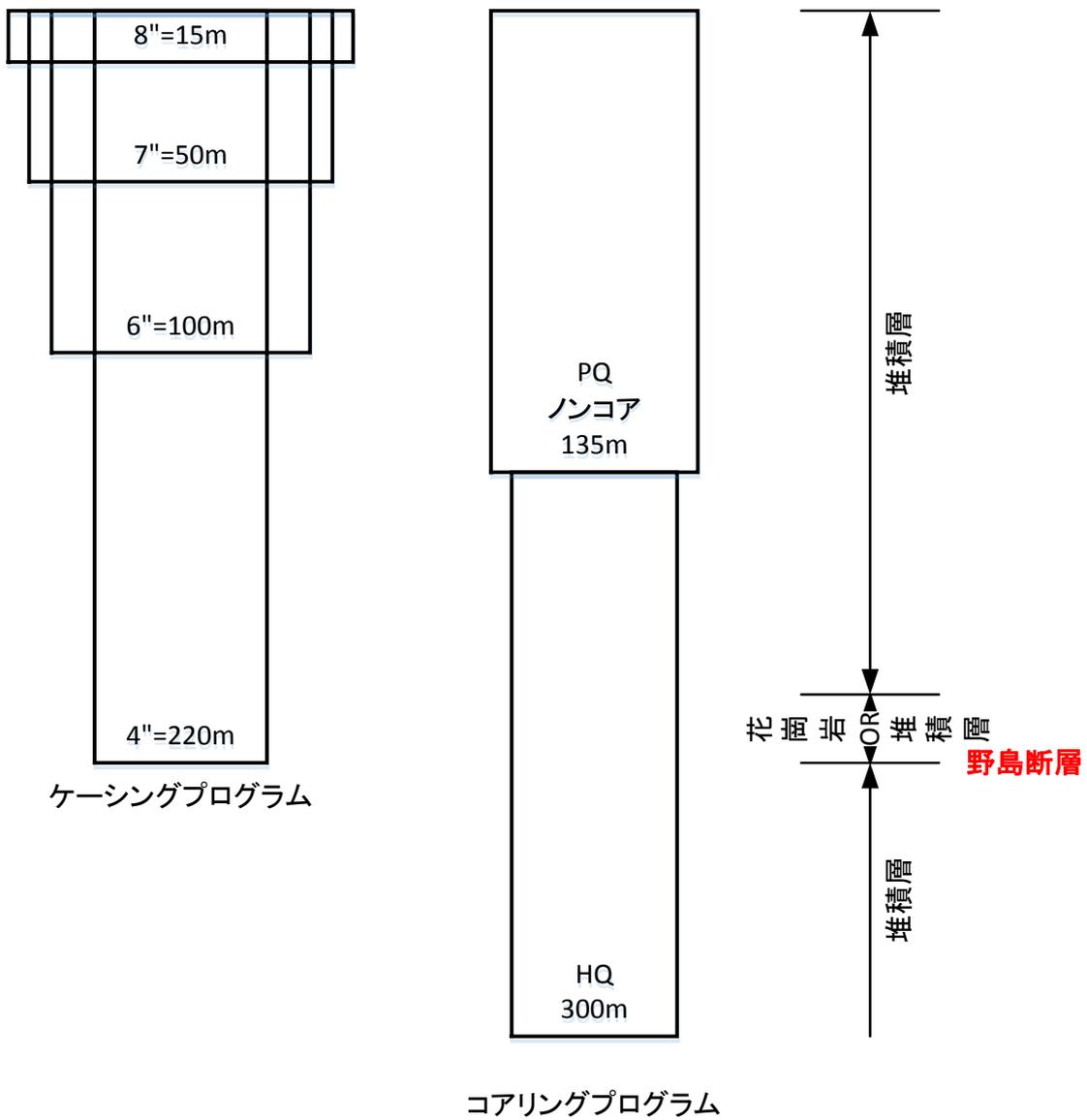


図 4.3.1.1 NFD-2 孔 当初掘進計画概要図 (野島断層の深度を 220m と想定)

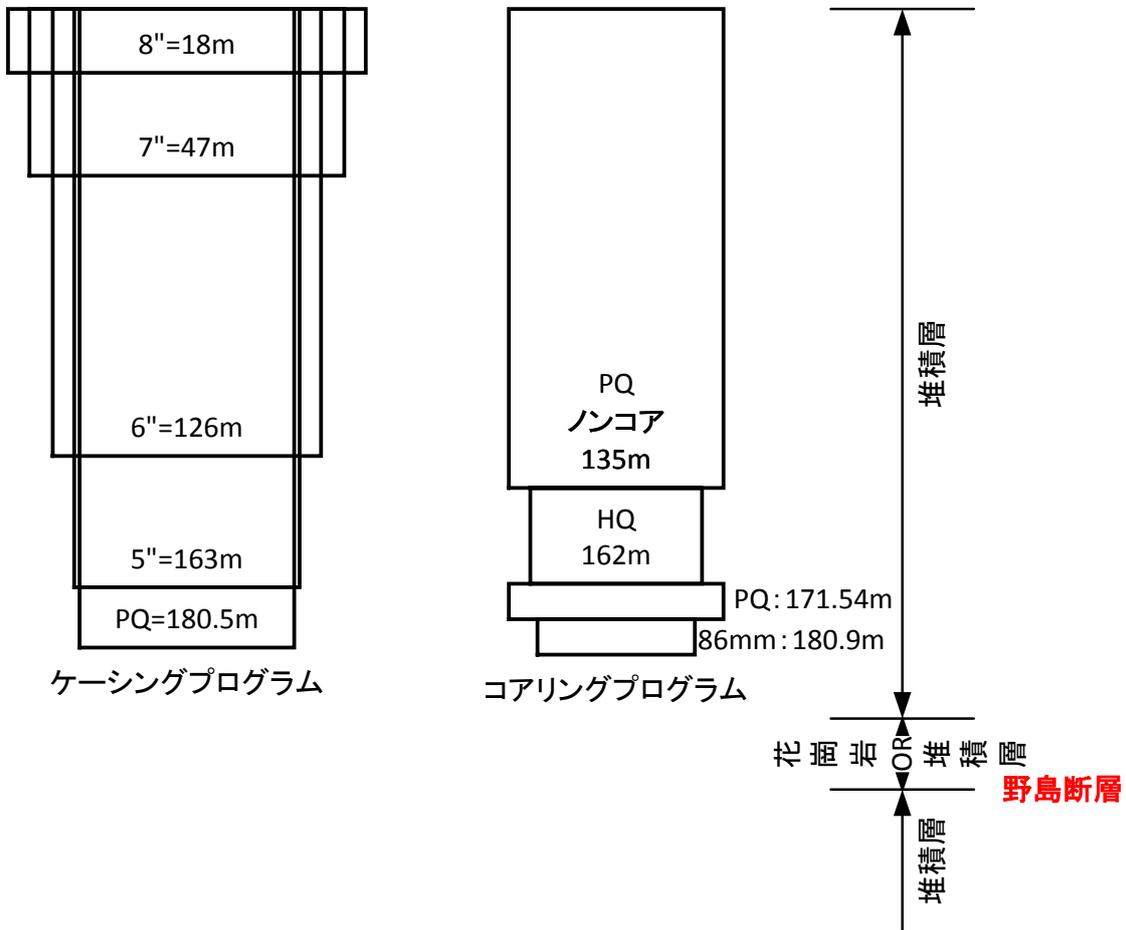


図 4.3.1.2 NFD-2 孔 当初掘進結果図 (野島断層の深度を 220m と想定)

2) 変更掘進計画と実行

掘進方向を N38° W (T.N.) 方向、鉛直から角度 13° 北西方向とし、再掘進することとした。ここで、野島断層の出現深度は、深度 360m 付近を想定し、より確実に野島断層を掘り抜くため、協議の上、深度 450m まで掘進することとした。図 4.3.1.3 に変更掘進計画概要図を示す。深度 200m 付近まで 7-5/8" トリコンビットを用いてノンコア掘削行い、大阪層群相当のルーズな堆積層を 6" ケーシングで保護する計画とした。コア採取は、深度 200m 付近から深度 400m までの区間を 5" ケーシング及び PQ ケーシングを挿入しながら、HQ ワイヤーラインのダブルコアチューブを用いてコア採取を行うこととした。深度 400m 以深は、HQ ロッドをケーシングとして挿入し、NQ ワイヤーラインのダブルコアチューブを用いてコア採取を実施することとした。

掘進は、概ね計画通りで推移した。深度 210～215m 間のルーズな堆積層（大阪層群相当）は、ワイヤーライン工法には適さないため、ほぼ採取不可能であったが、深度 215m 以深、神戸層群相当に着岩後からは、コア採取状況は改善し、HQ でのコア採取深度 399m まで概ね良好なコア試料を得た。深度 399m 以深、NQ でのコア採取は、HQ に比べ孔径が小さいため、流失による欠損箇所が所々で生じたものの、コア採取深度 210～450m 間で 4 か所の断層破碎帯を確認した。

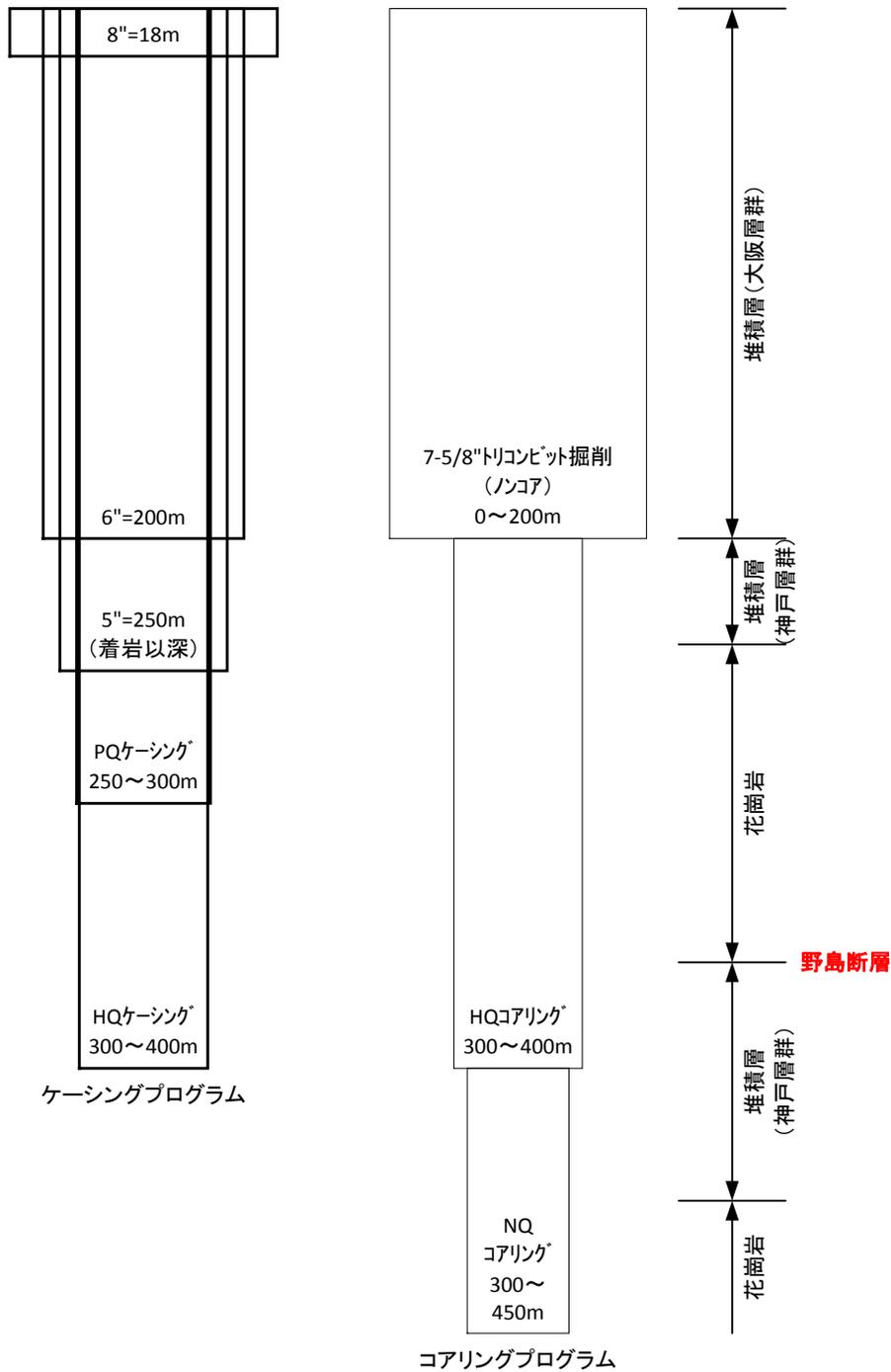


図 4.3.1.3 NFD-2 孔 掘直し掘進計画概要図 (断層深度 360m 付近)

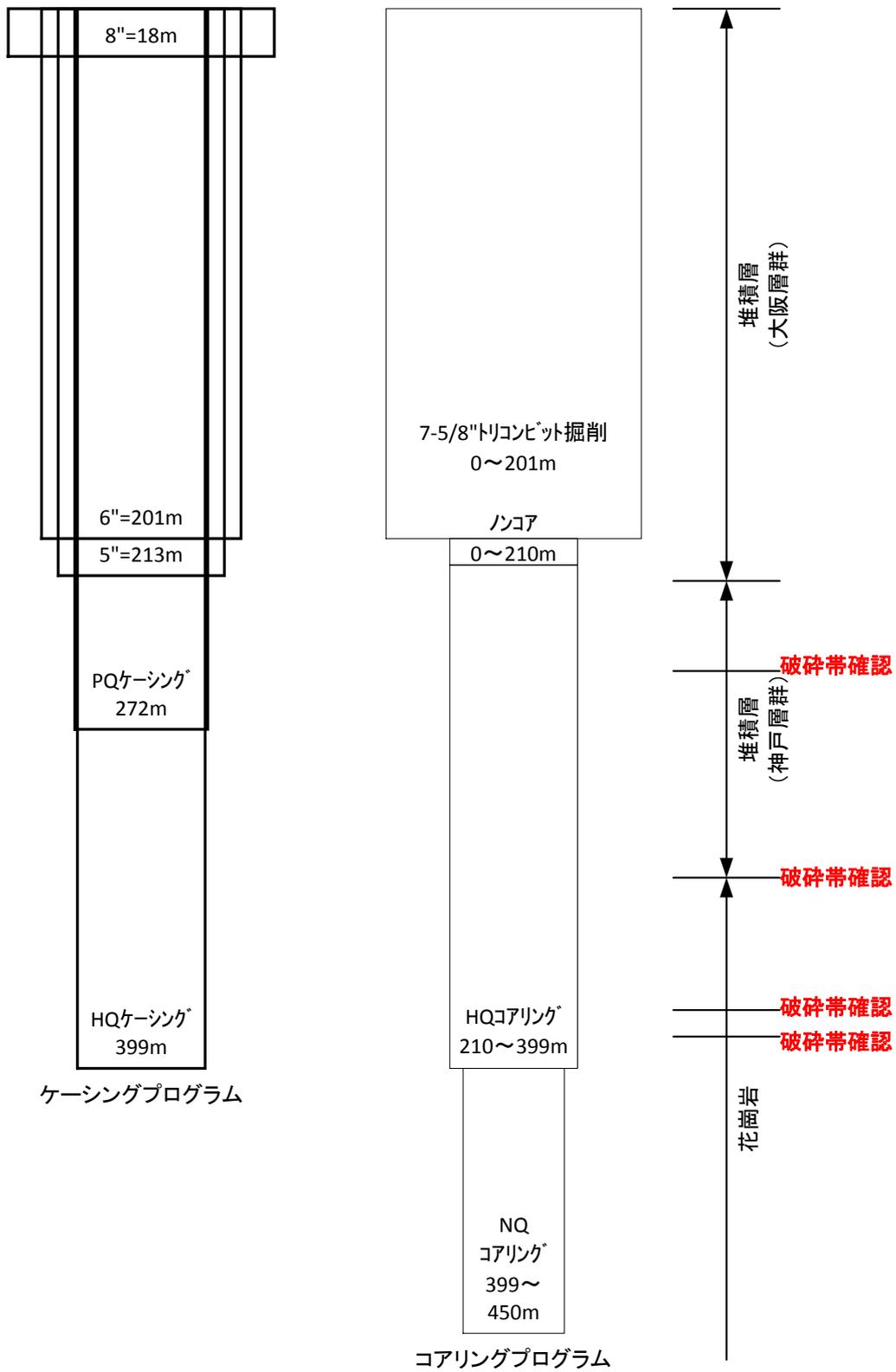


図 4.3.1.4 NFD-2 孔 掘直し掘進実績図

(2) 掘削工程

(1) の現場作業実績工程表を表 4.3.1.1 に、掘進推移を図 4.3.1.5 に示す。

表 4.3.1.1 NFD-2 孔 現場作業実績工程表

工種	孔名	項目	細目	実績数量	年																															備考				
					5月			6月			7月			8月			9月			10月			11月			12月														
					1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31					
ボーリング	NFD-2 (450m孔)	準備工事	資機材運搬・仮設・段取り替え																																					
			掘進	PQノック	139m																																			
			HQノック	27m																																				
			PQダブル	9.5m																																				
			86mmダブル	9.4m																																				
		当初	ケーシング	8"ケーシング	18m																																			
				7"ケーシング	29m																																			
				6"ケーシング	126m																																			
				5"ケーシング	163m																																			
				PQケーシング	180.5m																																			
		掘直し	ケーシング	7-5/8"トリコビット	201m																																			
				HQダブル	198m																																			
				NQダブル	51m																																			
				検尺	450m																																			
				8"ケーシング	18m																																			
				6"ケーシング	201m																																			
				5"ケーシング	213m																																			
				PQケーシング	272m																																			
				HQケーシング	399m																																			
				孔曲がり測定	9回																																			
撤去																																								
測定設置		1箇所																																						
測量		200m ²																																						
		100m																																						

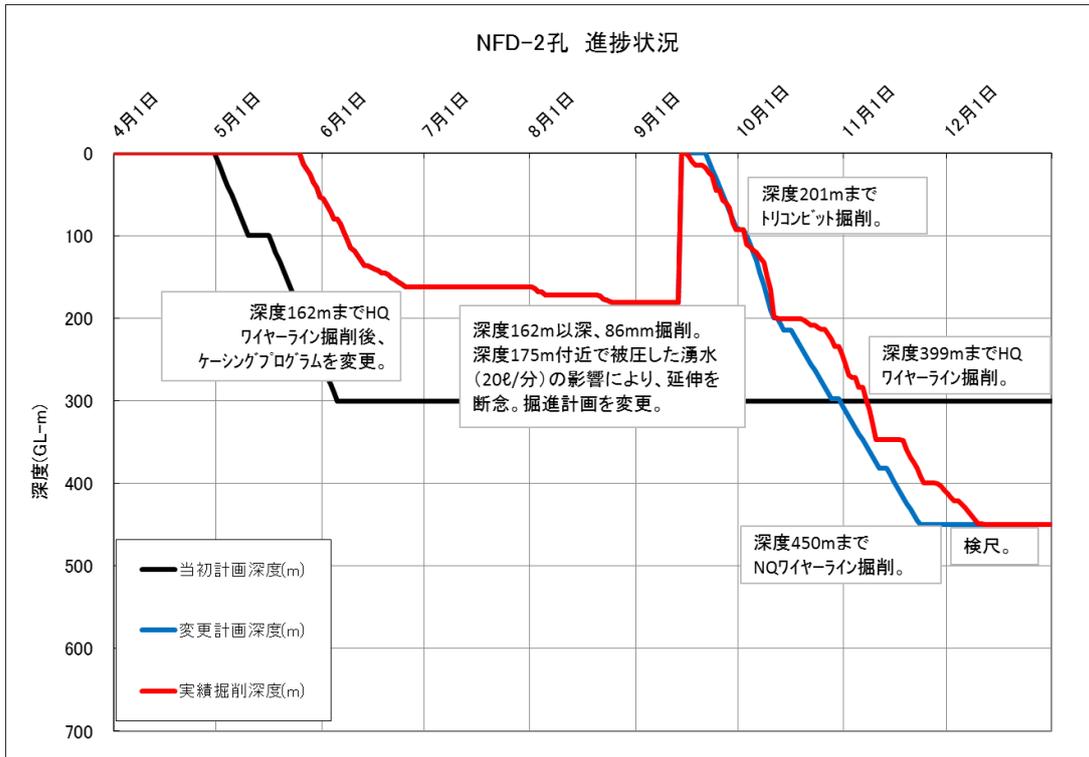


図 4.3.1.5 NFD-2 孔 当初計画と実績進捗の推移

(3) 孔井の方位及び傾斜

孔井の方位及び傾斜を確認するために、孔曲がり測定を実施した。測定は、50m 程度掘進ごとに延べ9回、実施した。図 4.3.1.2 に測定結果一覧表を示す。

深度 200m までは、掘進に使用したロッド内で傾斜を測定したため、方位は不明である。深度 225m 付近で掘進方向の N38° W に対して、2° 西方向の孔曲がりが生じ、深度 450m の掘進終了までに 1~4° 西方向に孔曲がりが生じた。傾斜は、掘進開始から深度 50m 付近までは変化なく掘進され、深度 50m 以深から、徐々に鉛直方向への傾きが大きくなり始め、深度 200m 付近で鉛直方向に 3.0° の孔曲がり収束し、深度 450m まで鉛直方向に 3.0° の孔曲がりを維持して掘削を終了した。

孔跡解析結果断面図を図 4.3.1.6 に示す。孔口から孔底までの平均掘進角度は、約 79° であった。本報告書では、この平均掘進角度を用いて NFD-2 孔の垂直深度を算定することとした。

表 4.3.1.2 孔井の方位及び傾斜測定結果一覧表

回数	深度	磁針方位(M.N.)	真方位(T.N.)	鉛直からの角度(°)	備考
1	50	—	—	13	ロッド内測定
2	100	—	—	11.2	ロッド内測定
3	150	—	—	11	ロッド内測定
4	200	—	—	10	ロッド内測定
5	225	N33° W	N40° W	10.3	
6	290	N35° W	N42° W	10	
7	330	N34° W	N41° W	10	
8	400	N32° W	N39° W	10	
9	450	N34° W	N41° W	10	
※深度200mまでロッド内測定のため、傾斜結果のみ					

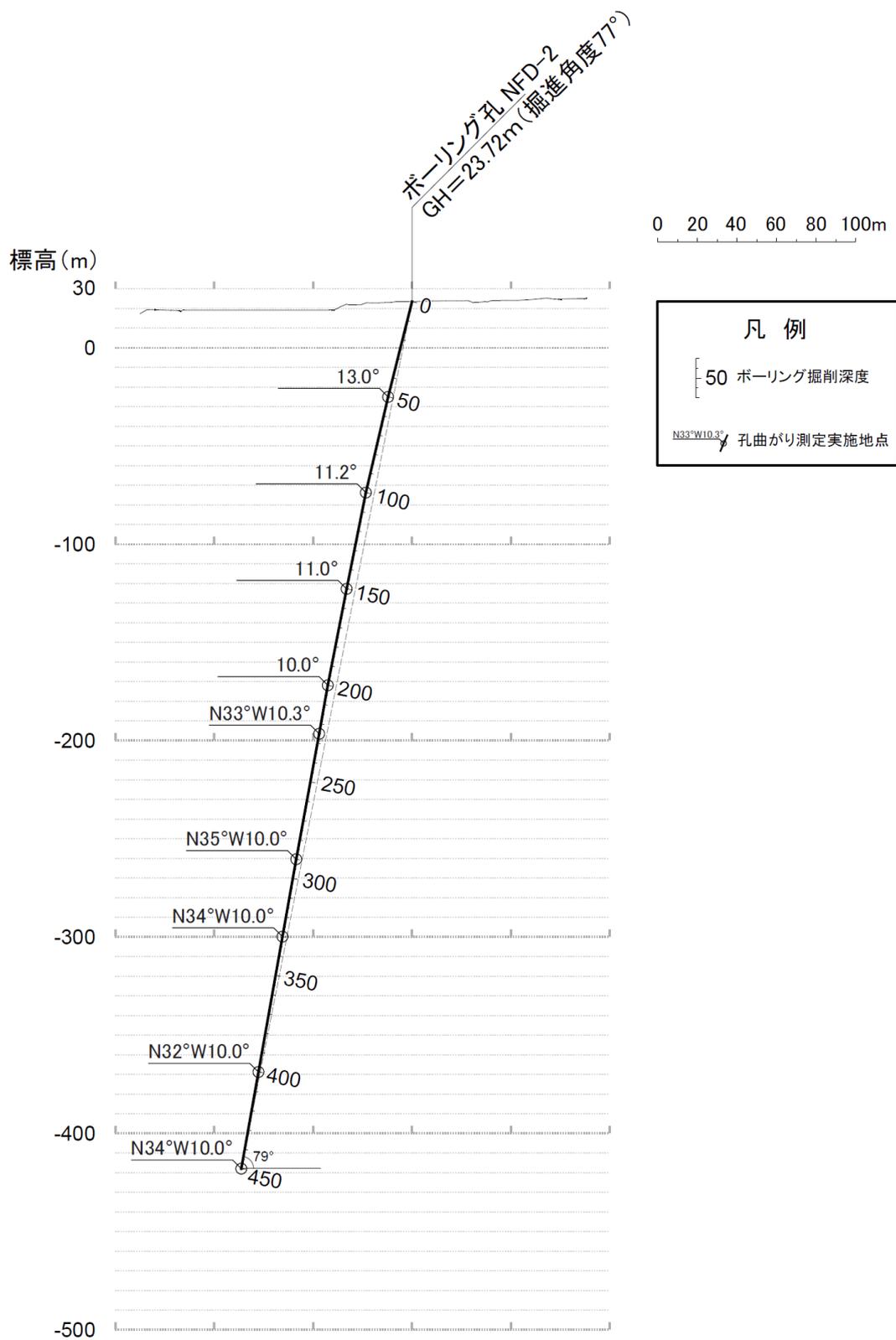


図 4.3.1.6 孔跡解析結果断面図

4.3.2. コア観察結果

NFD-2 孔の調査では、深度 0～200m の区間でカッティングス観察、深度 200～210m の区間でスポットコア的に採取されたコアの観察、深度 210～450m の区間でコア観察を実施した。なお、本項で示される「深度」については、特に記載がない限り「掘削深度」を指すこととする。

以下、(1) 地質、(2) 断層破碎帯、(3) せん断面の項目別に観察結果を示す。

(1) 地質

図 4.3.2.1 に NFD-2 孔柱状図を示す。カッティングス観察及びコア観察の結果、主な岩種は砂礫、砂岩泥岩互層および花崗岩から構成され、一部で暗灰色を示す閃緑岩の貫入が見られた。地表から深度別に岩種区分を示すと、深度 0～30m 間では細～粗粒砂、深度 30～50m 間は粗粒砂、深度 50～80m 間では砂優勢の砂礫、深度 80～100m 間では粗粒砂、深度 100～180m 間では砂優勢の砂礫、深度 180～200m 間は礫混じり中粒砂が認められた。200.00m 以深については、コア試料によって岩種区分の境界深度が求められ、200.00～214.90m 間では砂礫が続く。以上の地層は全体的に未固結の細粒砂～砂礫がからなり、層相から大阪層群と推定される。深度 214.90～327.33m 間は固結した砂岩泥岩互層を主体とし、神戸層群と考えられる。深度 327.33 以深は花崗岩が見られた。

各地層の詳細を以下に示す。

・大阪層群

本孔では深度 214.90m まで、大阪層群が確認された。全体的に黄灰色を呈する砂礫を有し、円磨されている。岩種は安山岩、凝灰岩、花崗岩の割合が多い。深度 0～200m の区間では、カッティングス試料から浅黄色を中心とした細～粗粒砂が確認された。

・神戸層群

本孔では深度 214.90～327.33m で神戸層群が確認された。全体に暗緑色泥岩が優勢である。砂岩は緑灰色細～中粒砂岩からなり、上方細粒化を示して泥岩へと漸移する。泥岩は、淡黄色の凝灰質薄層が厚み 2～10mm で認められ、深度 220～235m では 20～30°、深度 235～240m では 30～45°、240～252.74m では 40～50° の角度を示す。

深度 252.74m 以浅では、層厚 10～120cm の砂岩と、層厚 100～840cm の泥岩が繰り返し分布する。岩級は C_L 級を主体とし、全体に固結度が低く、やや軟質である。砂岩、泥岩中には、暗灰～黒色の亜炭及び炭質物が片状～ブロックで認められる。砂岩と泥岩の境界では一部泥岩の偽礫が認められる（例えば 246.18m）。深度 252.74m

以深では、緑灰色砂岩及び暗緑色泥岩を主体とし、一部で砂岩、亜炭、泥岩がブロック状を呈する構造を示す（例えば 258.14～260m）。

・花崗岩

本孔では深度 327.33～450m で花崗岩が確認された。色調は灰白色を呈している。粒径 1～6mm の鉱物を多く含み、等粒状組織をもつ。岩級は深度 404.92m 以浅で C_L 級、深度 404.92m 以深で C_M 級を主体とする。全体に変質を受け、割れ目沿いに軟質化する。一部で砂岩泥岩互層（深度 333.59～335.24m）のブロック及び暗灰色を呈する閃緑岩脈（深度 381.01～387.44m）が認められる。この閃緑岩脈より浅い深度では、灰色～暗灰色の粘土状断層ガウジが発達する。閃緑岩脈より深い深度では、変質がより進行し、黒雲母が一部消失もしくは緑泥石に置き換わる（例えば 420.75～422.05m）。一部ではさらに変質が進み、コアは軟質となる（例えば深度 395.14～409.48m）。

コア観察から、せん断性の割れ目や軟質化が進んだ割れ目、ガウジを挟在する割れ目など、断層運動に伴ってできたせん断面を確認した。このようなせん断面が卓越し、かつ、周囲に角礫や砂状～粘土状の試料が産する箇所を断層破碎帯として整理した。

観察の結果、4 か所の断層破碎帯が認められた。断層破碎帯は浅部から NFD-2-f1（深度 252.74～261.49m）、NFD-2-f2（深度 318.93～327.86m）、NFD-2-f3（深度 380.40～381.34m）、NFD-2-f4（深度 387.19～387.58m）、とした。

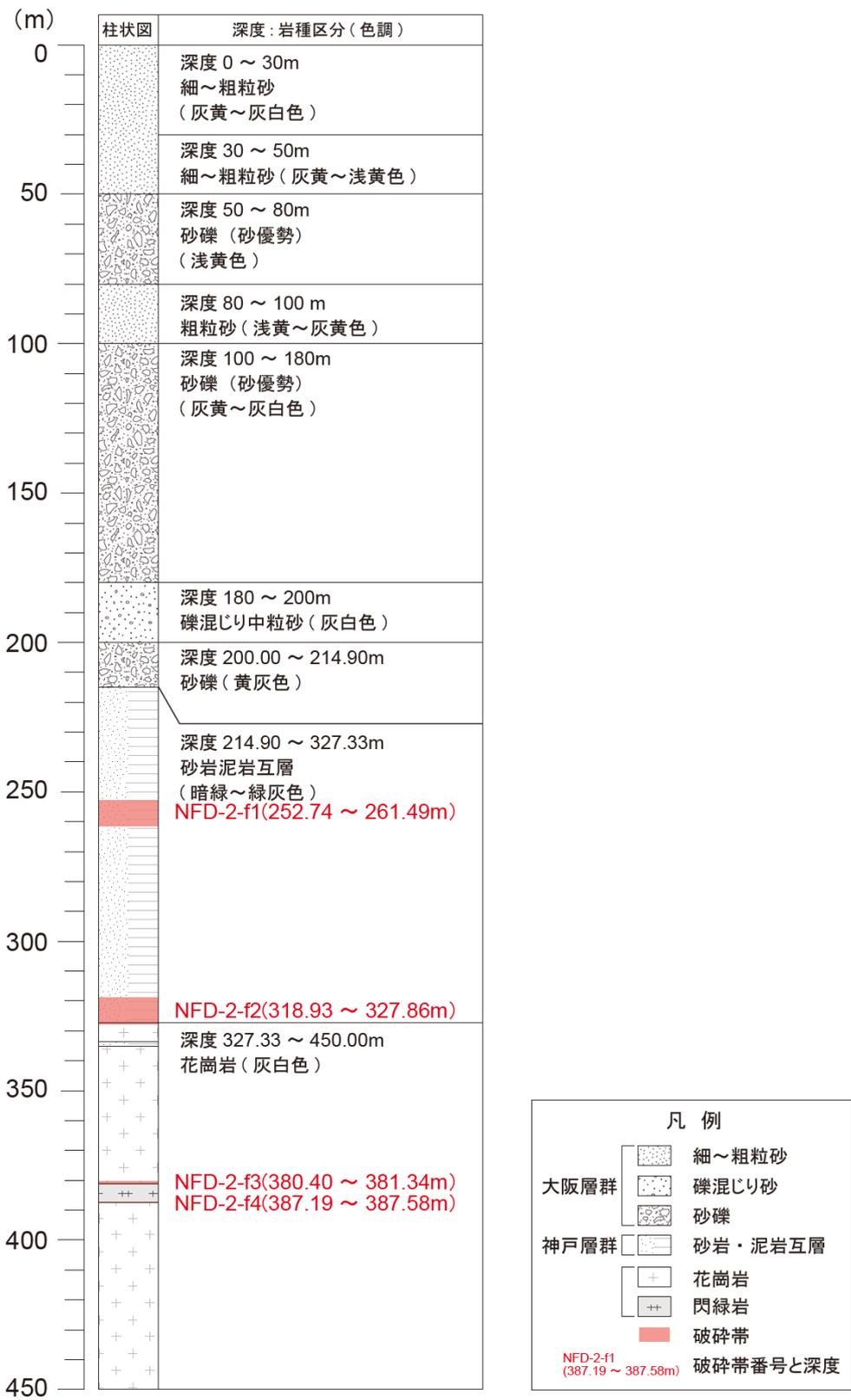


図 4.3.2.1 NFD-2 孔柱状図

(2) 断層破砕帯

上述の各断層破砕帯について詳細な観察を行い、破砕帯の幅、固結度、破砕の分布、せん断面の有無など、性状を確認した。

各断層破砕帯の特徴を表4.3.2.1に整理した。

表4.3.2.1 NFD-2孔の破砕帯一覧表

破砕帯							破砕帯及びせん断面の特徴
破砕帯番号	上端深度 (m) ¹⁾	下端深度 (m) ¹⁾	破砕帯の走向・傾斜 ¹⁾	破砕帯の固結度	破砕帯幅 (m)	断層ガウジ	
NFD-2-f1	252.74	261.49	-	未固結／半固結	8.75	有	・深度260.89m付近、幅10～20mm、角度約70°の湾曲した灰色粘土状を呈する断層ガウジが認められる。 ・一部で砂岩・泥岩互層がブロック状を呈する。
NFD-2-f2	318.93	327.86	-	未固結／半固結	8.93	有	・深度321.14m、322.89m付近に角度約70°の高角度なせん断面が認められ、周囲の変形構造が顕著である。 ・深度321.14m付近は平滑なせん断面沿い、幅2～15mmの灰色の粘土状を呈する断層ガウジが認められる。 ・深度322.89m付近は湾曲したせん断面沿い、幅15～20mmの灰色の粘土状を呈する断層ガウジが認められる。 ・一部で砂岩・泥岩互層がブロック状を呈する。
NFD-2-f3	380.40	381.34	-	未固結／半固結	0.94	有	・深度380.83～381.15mは、灰色の角礫混じり粘土状を呈する断層ガウジが認められ、381.01m付近に角度約70°のせん断面が認められる。 せん断面沿い、厚み約1～10mmに未固結の粘土状を呈する断層ガウジが認められる。
NFD-2-f4	387.19	387.58	-	未固結／半固結	0.39	有	・深度387.21～387.44m間、角礫混じり粘土状の断層ガウジが認められる。角礫は閃緑岩の垂角礫であり、深度387.44m付近のせん断面に近づくにつれて細粒化する。

1:本孔ではボアホールによる姿勢の測定を実施していない。

以下に各破砕帯の詳細を示す。

・NFD-2-f1 (深度252.74～261.49m)

砂岩泥岩互層を原岩とした未固結～半固結の断層破砕帯。図 4.3.2.2 に調査結果図を示す。本破砕帯は、砂岩及び泥岩がブロック状を呈し、所々暗灰～黒色垂炭を含む。一部のブロックでは変形を受け、伸長する。破砕帯中には、厚み1～20mmの断層ガウジが複数本見られ、せん断面や岩相境界に沿って表れる。深度260.89mの断層ガウジは、泥岩と垂炭の境界に位置するせん断面沿いに観察され、湾曲しながら約70°の角度を持って表れる。せん断面の上位には暗緑色の細粒砂岩～泥岩が認められ、垂炭や泥岩のブロックを取り込んでいる。せん断面の下部は泥岩のブロックが混在する暗灰色の垂炭からなる。

この深度260.89mのせん断面をNFD-2-s1とし、より詳細に観察することとした。

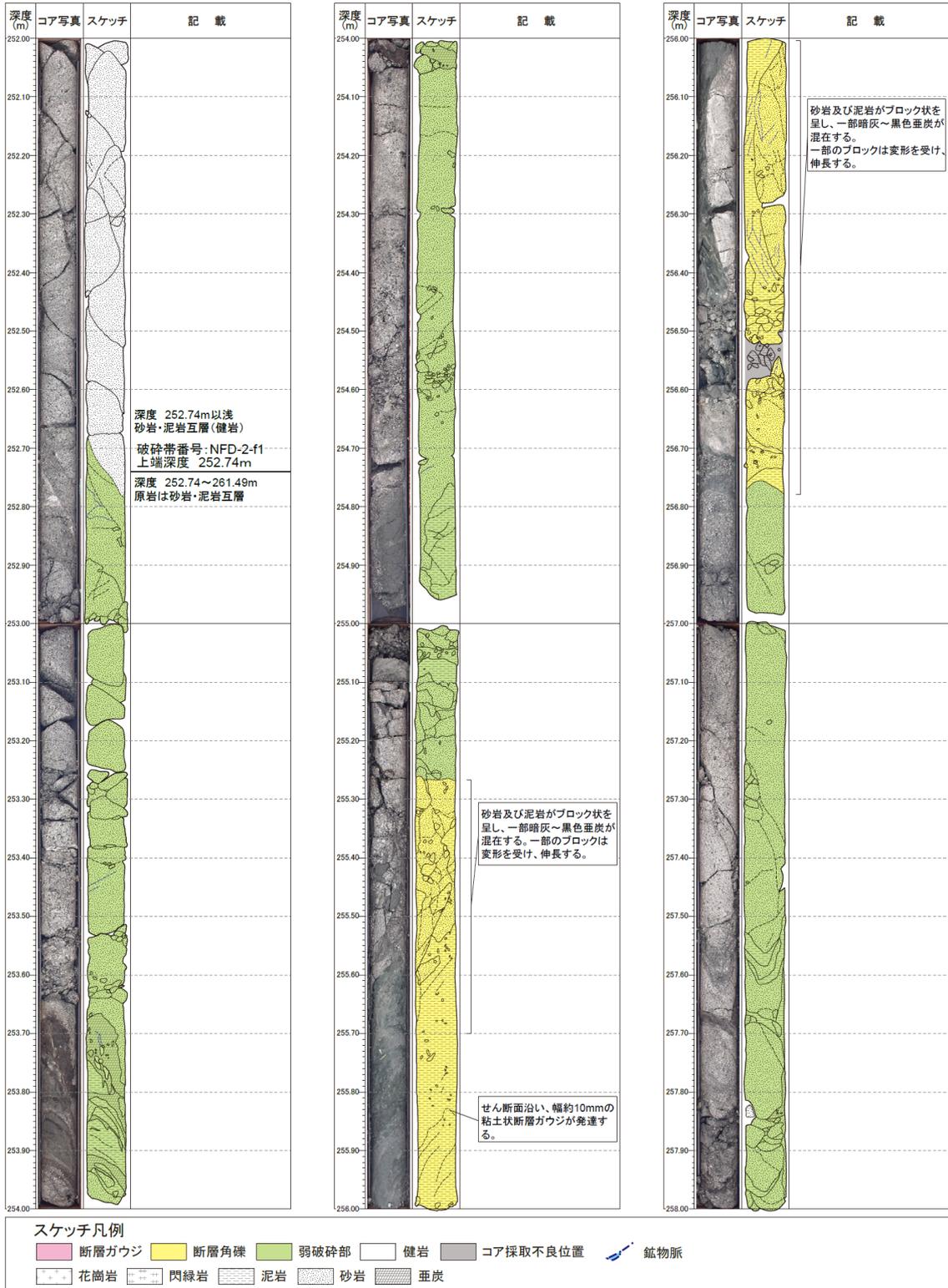
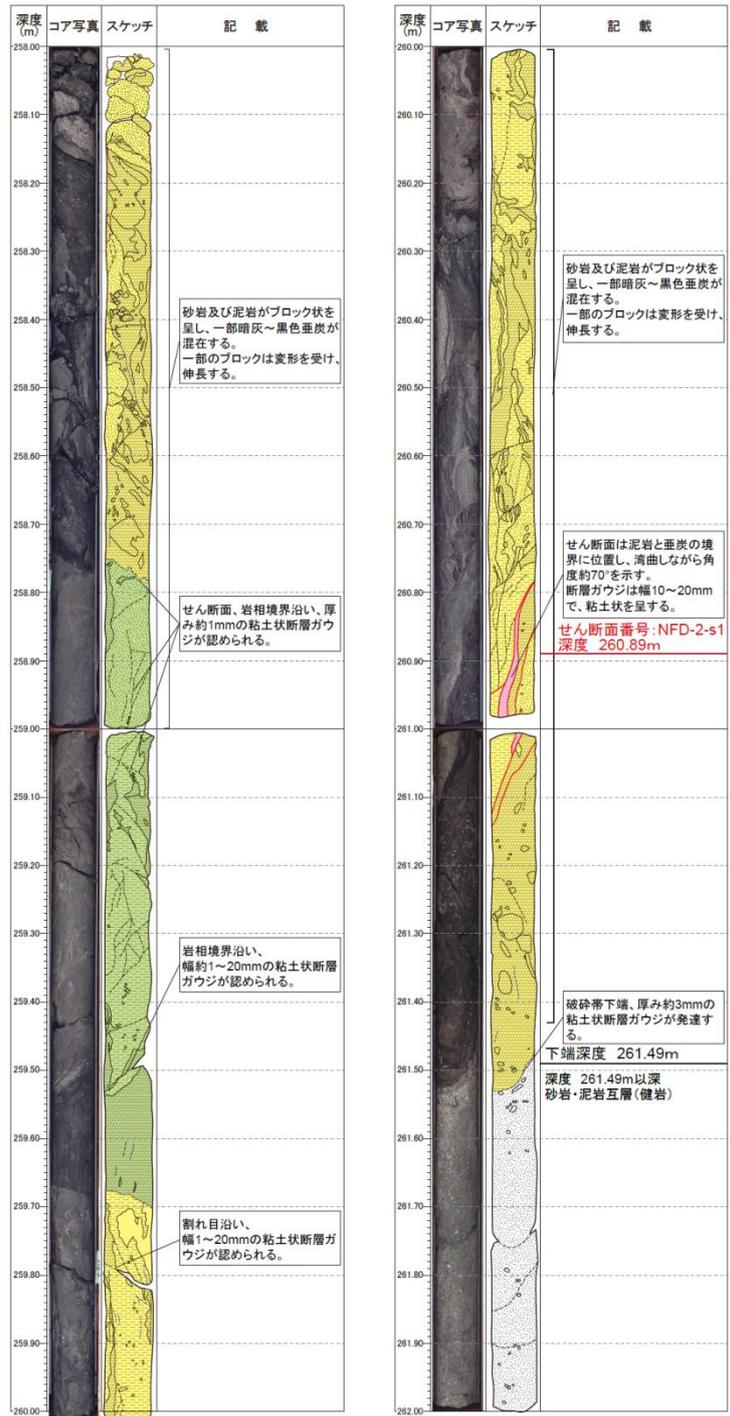


図4.3.2.2 破碎帯NFD-2-f1調査結果 (1)



スケッチ凡例											
	断層ガウジ		断層角礫		弱破碎部		健岩		コア採取不良位置		鉱物脈
	花崗岩		閃緑岩		泥岩		砂岩		亜炭		

図4.3.2.2 破碎帯NFD-2-f1調査結果 (2)

・ 破砕帯NFD-2-f2 (深度318.93～327.86m)

砂岩泥岩互層を原岩とした未固結～半固結の断層破砕帯。図4.3.2.3に調査結果図を示す。本破砕帯は、砂岩及び泥岩がブロック状を呈し、一部暗灰～黒色亜炭が混在する。破砕帯上部(深度318.93～324.34m)では各ブロックが変形を受け、伸長する。深度327.33m以深の破砕帯下部では、灰白色の花崗岩が認められ、変質を受け軟質となる。

破砕帯中には、断層ガウジを伴った明瞭なせん断面が深度321.14mと322.89mの二か所で認められた。深度321.14mのせん断面は、亜炭と泥岩の境界に存在し、角度約70°、厚み2～15mmの灰色粘土状断層ガウジを伴っている。せん断面は平滑で、下位には変形を受け伸長した暗緑色泥岩、亜炭が見られた。深度322.89mのせん断面は、亜炭と泥岩の境界に認められ、角度約70°、厚み10～20mmの暗緑色粘土状断層ガウジを伴っている。下位には葉片状構造が発達した暗緑色の泥岩が認められた。

これら、深度321.14mと深度322.89mのせん断面をNFD-2-s2①、②とし、より詳細に観察することとした。



図4.3.2.3 破碎帯NFD-2-f2調査結果図 (1)

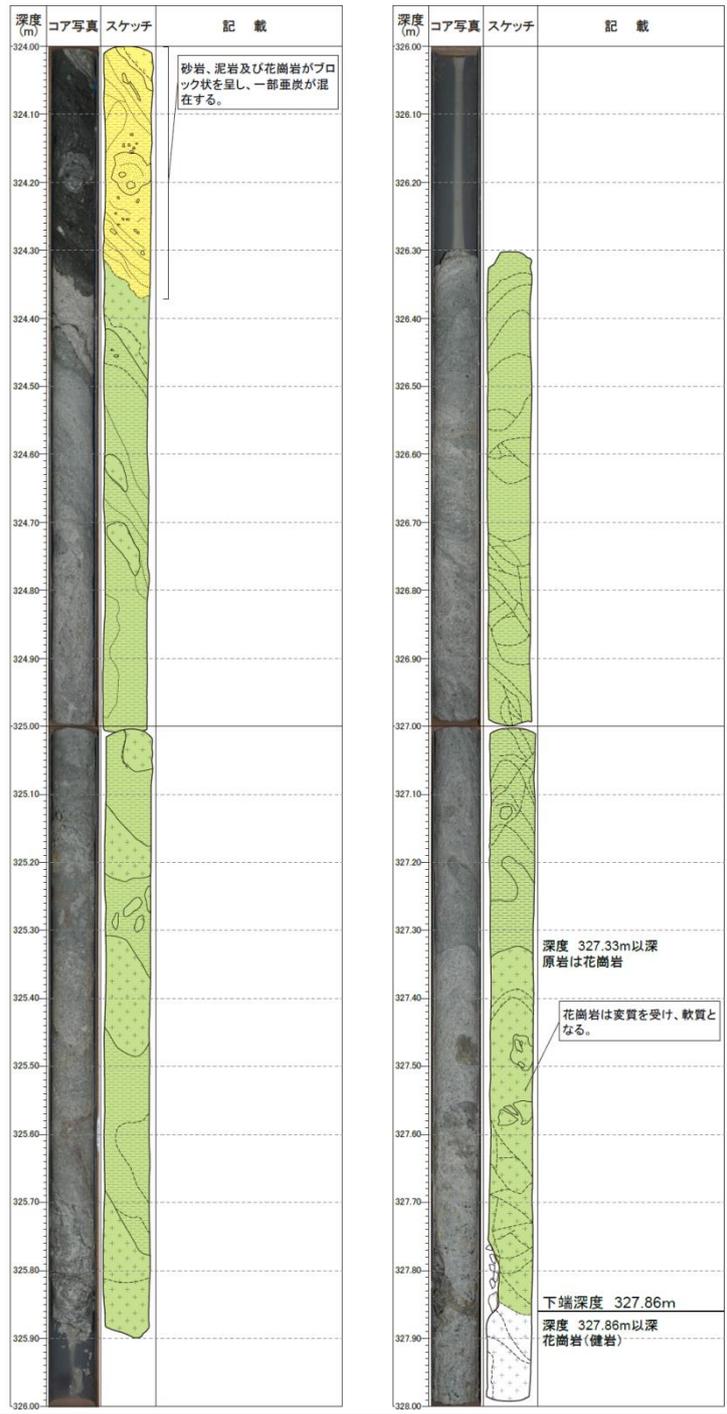


図4.3.2.3 破碎帯NFD-2-f2調査結果図 (2)

・ 破碎帯NFD-2-f3 (深度380.40～381.34m)

花崗岩及び閃緑岩を原岩とした半固結～未固結の断層破碎帯。図 4.3.2.4 に調査結果図を示す。破碎帯は、花崗岩と閃緑岩の岩種境界付近で発達し、半固結～未固結の断層ガウジと半固結の弱破碎部から構成されている。

深度 381.01m には、強い破碎を伴ったせん断面が傾斜約 70° と比較的高角度存在し、灰色礫混じり粘土状の断層ガウジを伴っている。断層ガウジは、厚み 1～10mm で、上端境界は角度約 70°、下端境界は角度約 50° を示す。断層ガウジに混じる礫は主に閃緑岩からなり、一部花崗岩も認められた。断層ガウジ上位には灰白色の花崗岩が弱破碎部を受け、割れ目が密に発達する。

この深度 381.01m のせん断面を NFD-2-s3 とし、より詳細に観察することとした。

・ 破碎帯NFD-2-f4 (深度387.19～387.58m)

閃緑岩及び花崗岩を原岩とした半固結の断層破碎帯。図4.3.2.4に調査結果図を示す。破碎帯下端は閃緑岩と花崗岩の岩種境界に対応する。深度387.21mにせん断面が認められ、角度約60°、厚み1～5mmの灰色粘土状断層ガウジを伴う。深度387.32～387.44mでも断層ガウジが認められ、10cm程度の厚みを持ち、灰色の角礫混じり粘土状を呈する。断層ガウジ中の礫は閃緑岩で礫径は2～5mmである。この2か所の断層ガウジの間には灰色の断層角礫が認められる。断層角礫は閃緑岩を原岩とする半固結の角礫状を呈し、礫径は2～30mm、基質は粘土状である。また、深度387.19～387.21m間は、閃緑岩がくさび状に弱破碎を受けている。

断層ガウジが最も発達した深度387.44mのせん断面をNFD-2-s4とし、より詳細に観察することとした。

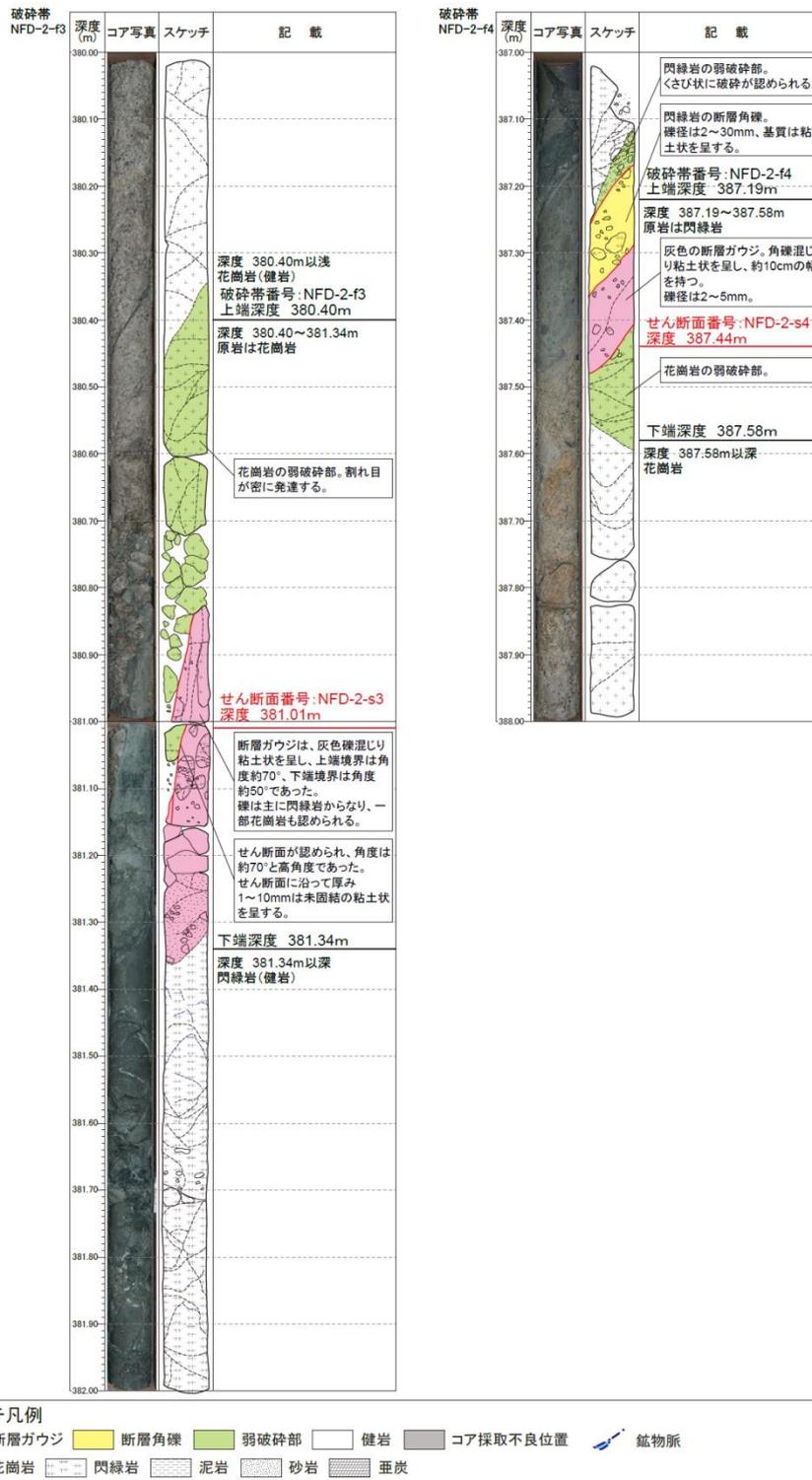


図4.3.2.4 破碎帯NFD-2-f3 (左)、f4 (右) 調査結果図

(3) せん断面

断層破碎帯の観察から、断層運動と関連性のあるせん断面を確認した。その中で、断層ガウジが発達したもの（ガウジ幅が厚い、葉片状構造が見られる等）や、周囲の岩石を著しく破碎し断層角礫を多く含んでいるものなど、特徴的なせん断面を5か所選定し、詳細な観察を行った。5か所のせん断面は浅部から順に、NFD-2-s1（深度260.89m）、NFD-2-s2①（深度321.14m）、NFD-2-s2②（深度322.89m）、NFD-2-s3（深度381.01m）、NFD-2-s4（深度387.44m）とした。各せん断面の特徴を表5-3-4に整理した。

表 4.3.2.2 せん断面一覧表

せん断面				破碎帯及びせん断面の特徴
せん断面番号	深度(m)	せん断面の走向傾斜 ¹	せん断面の固結度	
NFD-2-s1	260.89	-	未固結	・深度260.89m付近、幅10～20mm、角度約70°の湾曲した灰色粘土状を呈する断層ガウジが認められる。 ・一部で砂岩・泥岩互層がブロック状を呈する。
NFD-2-s2①	321.14	-	未固結	・深度321.14m、322.89m付近に角度約70°の高角度なせん断面が認められ、周囲の変形構造が顕著である。 ・深度321.14m付近は平滑なせん断面沿い、幅2～15mmの灰色の粘土状を呈する断層ガウジが認められる。
NFD-2-s2②	322.89	-	未固結	・深度322.89m付近は湾曲したせん断面沿い、幅15～20mmの灰色の粘土状を呈する断層ガウジが認められる。 ・一部で砂岩・泥岩互層がブロック状を呈する。
NFD-2-s3	381.01	-	未固結／半固結	・深度380.83～381.15mは、灰色の角礫混じり粘土状を呈する断層ガウジが認められ、381.01m付近に角度約70°のせん断面が認められる。せん断面沿い、厚み約1～10mmに未固結の粘土状を呈する断層ガウジが認められる。
NFD-2-s4	387.44	-	未固結	・深度387.21～387.44m間、角礫混じり粘土状の断層ガウジが認められる。角礫は閃緑岩の垂角礫であり、深度387.44m付近のせん断面に近づくにつれて細粒化する。

1:本孔ではボアホールによる姿勢の測定を実施していない。

各せん断面の詳細を以下に示す。

・せん断面NFD-2-s1（深度260.89m）

図 4.3.2.5 に観察結果を示す。せん断面の形状は明瞭で、湾曲しながらも角度約 70° で断層ガウジと断層角礫の境界をなしており、下位の亜炭と接している。

せん断面から上位には、灰色断層ガウジが存在する。この断層ガウジは、未固結の粘土状を呈し、最大幅は 20mm で徐々に薄くなり、深度 261.04m 付近でせん滅する。

断層ガウジ上位にはブロック化した砂岩及び亜炭を含む泥岩が認められる。泥岩中には複数の小せん断面が砂岩や亜炭のブロック境界沿いに発達している。せん断面の下位には、亜炭の薄層がせん断面に挟まれて狭在し、せん断面にほぼ平行な葉片状構造が発達する。その下位にはブロック化した泥岩及び亜炭を含む砂岩が認められ、せん断面沿いに角度 70～80° の弱い葉片状構造が認められる。

・せん断面 NFD-2-s2①（深度 321.14m）

図 4.3.2.6 に観察結果を示す。せん断面の形状は明瞭で平滑であり、幅約 2～15mm の未固結灰色粘土状断層ガウジの上端に位置し、泥岩及び砂岩のブロックを取り込む亜炭と接し、亜炭中の砂岩、亜炭のブロックを切る。せん断面周辺は変形構造が明瞭である。

せん断面の上位で接する亜炭中では泥岩及び砂岩、亜炭のブロックが変形、伸長し、一部がせん断面により切られる。また、上端（深度 321.00m）付近では幅約 30mm に渡って葉片状構造が認められる。一方、せん断面と下位で接する断層ガウジ中には、せん断面に低角に斜交する葉片状構造が認められ、構造中には亜炭の細礫が取り込まれている。この断層ガウジの下位には暗緑色泥岩が認められ、泥岩中の砂岩及び亜炭のブロックがせん断方向に変形、伸長する。

・せん断面 NFD-2-s2②（深度 322.89m）

図 4.3.2.7 に観察結果を示す。せん断面の形状はやや湾曲するが明瞭であり、幅約 2～15mm の灰色粘土状断層ガウジの上端に位置する。亜炭のブロックを取り込む細礫混じりの泥岩と接し、泥岩中の亜炭のブロックを切る。せん断面周辺は葉片状構造が発達する。

せん断面の上位（深度 322.89m 以浅）で接する泥岩中では亜炭のブロックが変形、伸長し、せん断面により切られる。亜炭のブロック中には、葉片状構造がせん断面とほぼ平行に認められる。一方、せん断面と下位で接する断層ガウジ中には、せん断面に低角に斜交する葉片状構造が認められる。断層ガウジの下位には軟質化した暗緑色泥岩が認められ、せん断面に平行及び低角に斜交する方向に葉片状構造が認められる。

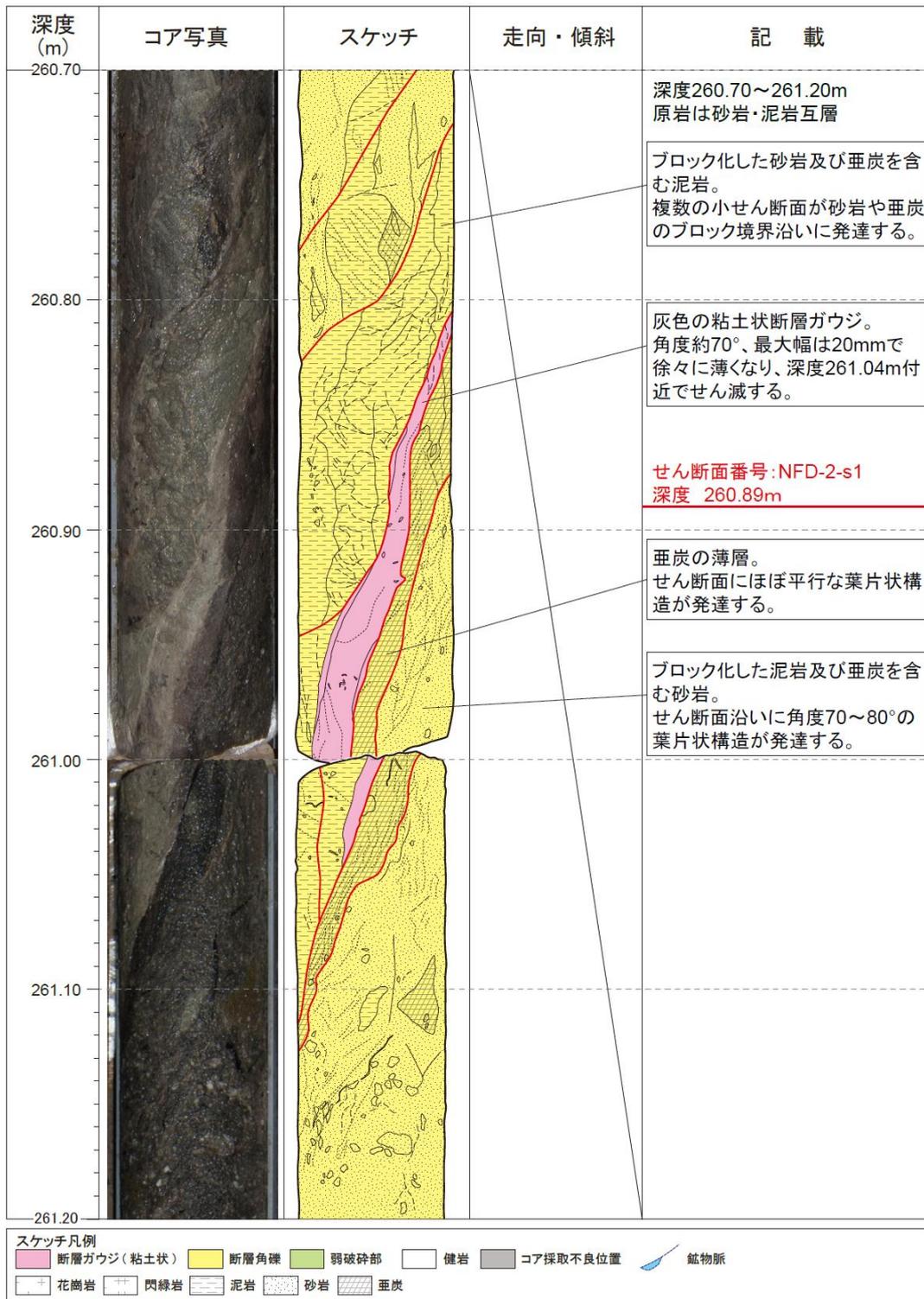


図 4.3.2.5 せん断面 NFD-2-s1 観察結果

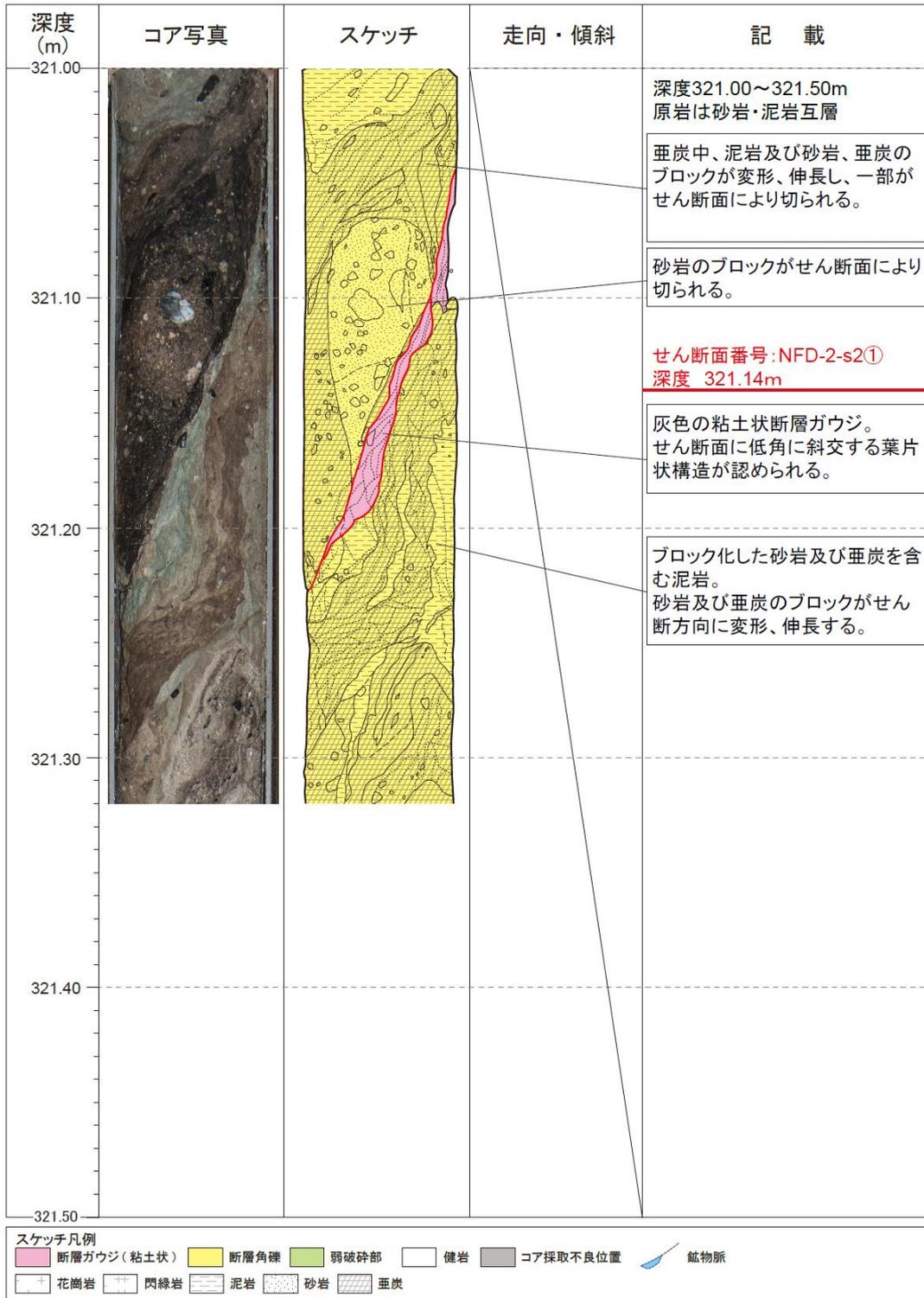


図 4.3.2.6 せん断面 NFD-2-s2①観察結果

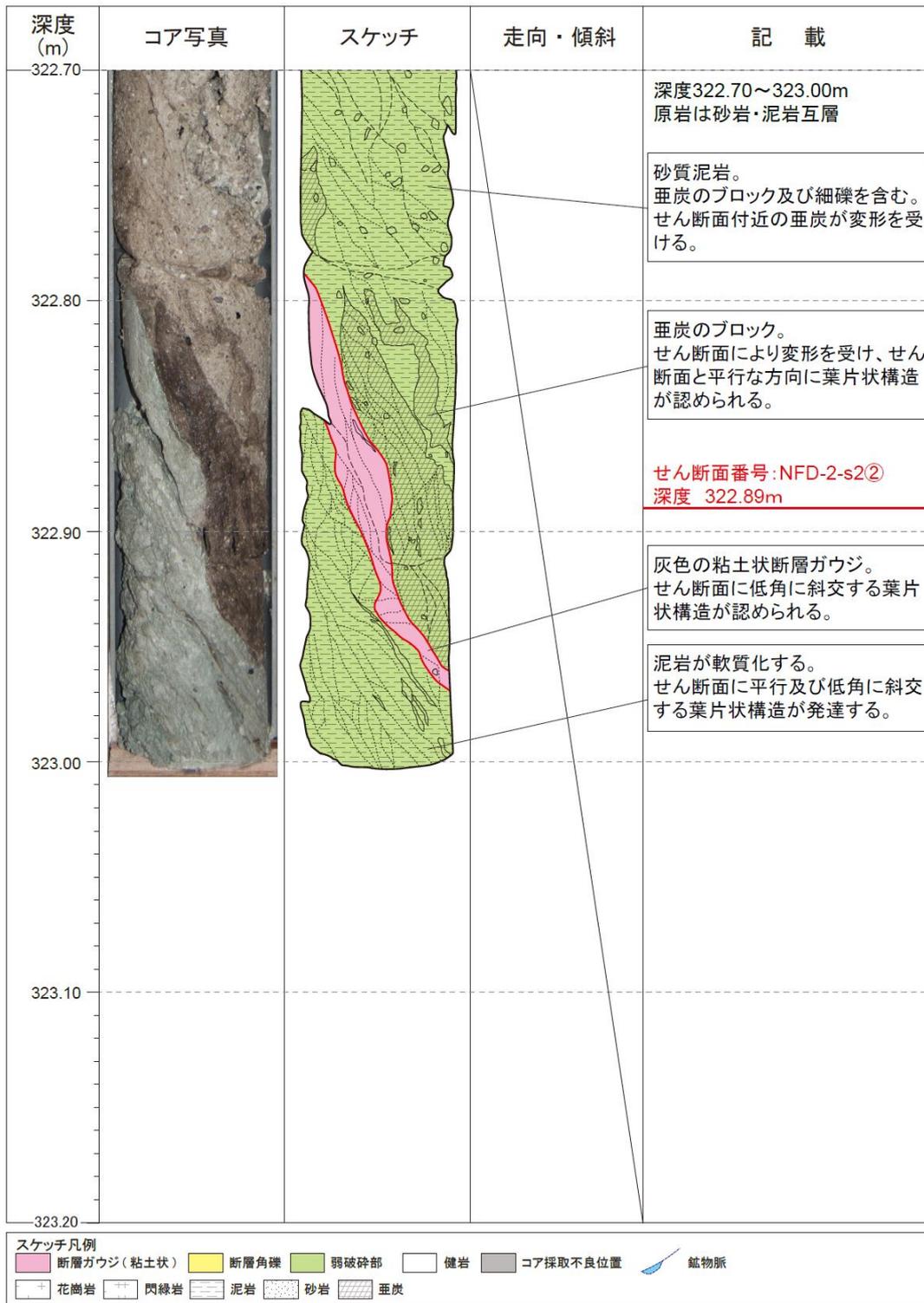


図 4.3.2.7 せん断面 NFD-2-s2②観察結果

・せん断面 NFD-2-s3 (深度 381.01m)

図 4.3.2.8 に観察結果を示す。せん断面は、花崗岩と閃緑岩の物質境界に位置し、灰色の断層ガウジの上端に認められる。せん断面はコア輪郭沿いに認められ、角度は約 70° 、せん断面沿い 1~10mm に未固結の粘土状断層ガウジを伴う。粘土状断層ガウジ中には、葉片状構造がせん断面に対して低角度で斜交して認められる。断層ガウジ中の礫は破碎を受け、一部が細粒となる。せん断面上位には、花崗岩の角礫及び弱破碎部が認められる。せん断面下位の断層ガウジは、灰色の角礫混じり粘土状で、半固結。角礫は径 2~70mm、礫種は閃緑岩及び花崗岩である。

・せん断面 NFD-2-s4 (深度 387.44m)

図 4.3.2.9 に観察結果を示す。せん断面は閃緑岩と花崗岩の物質境界に位置する。せん断面は明瞭で、見かけ角度は約 50° である。せん断面沿いに、閃緑岩の細礫が挟在して認められる。せん断面上位には半固結灰色角礫混じり粘土状の断層ガウジが認められる。角礫は径 2~5mm、礫種は閃緑岩である。断層ガウジ中には角度約 50° ~ 60° の葉片状構造が認められる。断層ガウジの上位には灰色の断層角礫が位置する。断層角礫は、半固結で、礫径 2~30mm の閃緑岩が認められ、基質は粘土状である。一方、せん断面の下位には、花崗岩の弱破碎部が認められる。

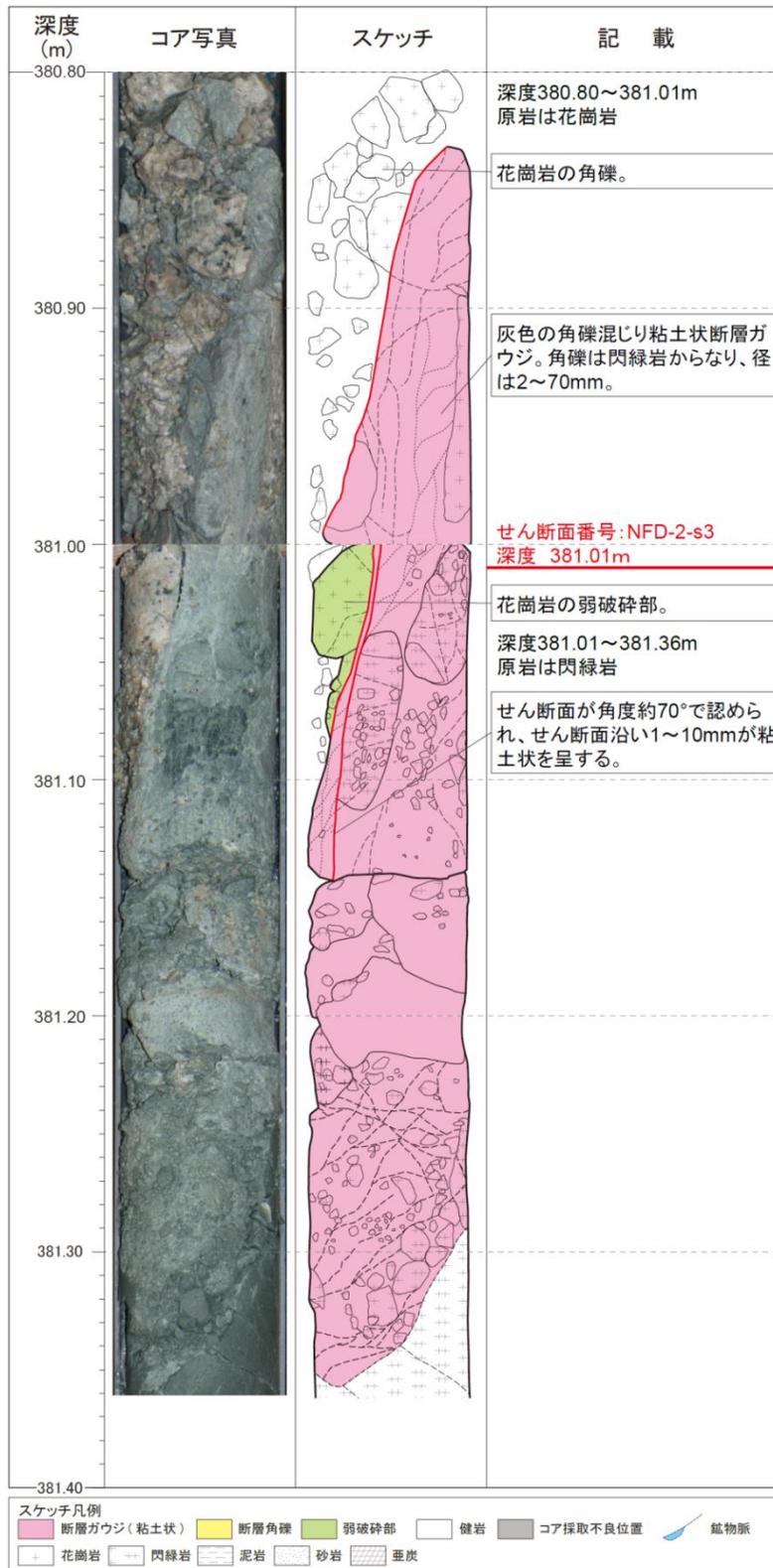


図 4.3.2.8 せん断面 NFD-2-s3 観察結果

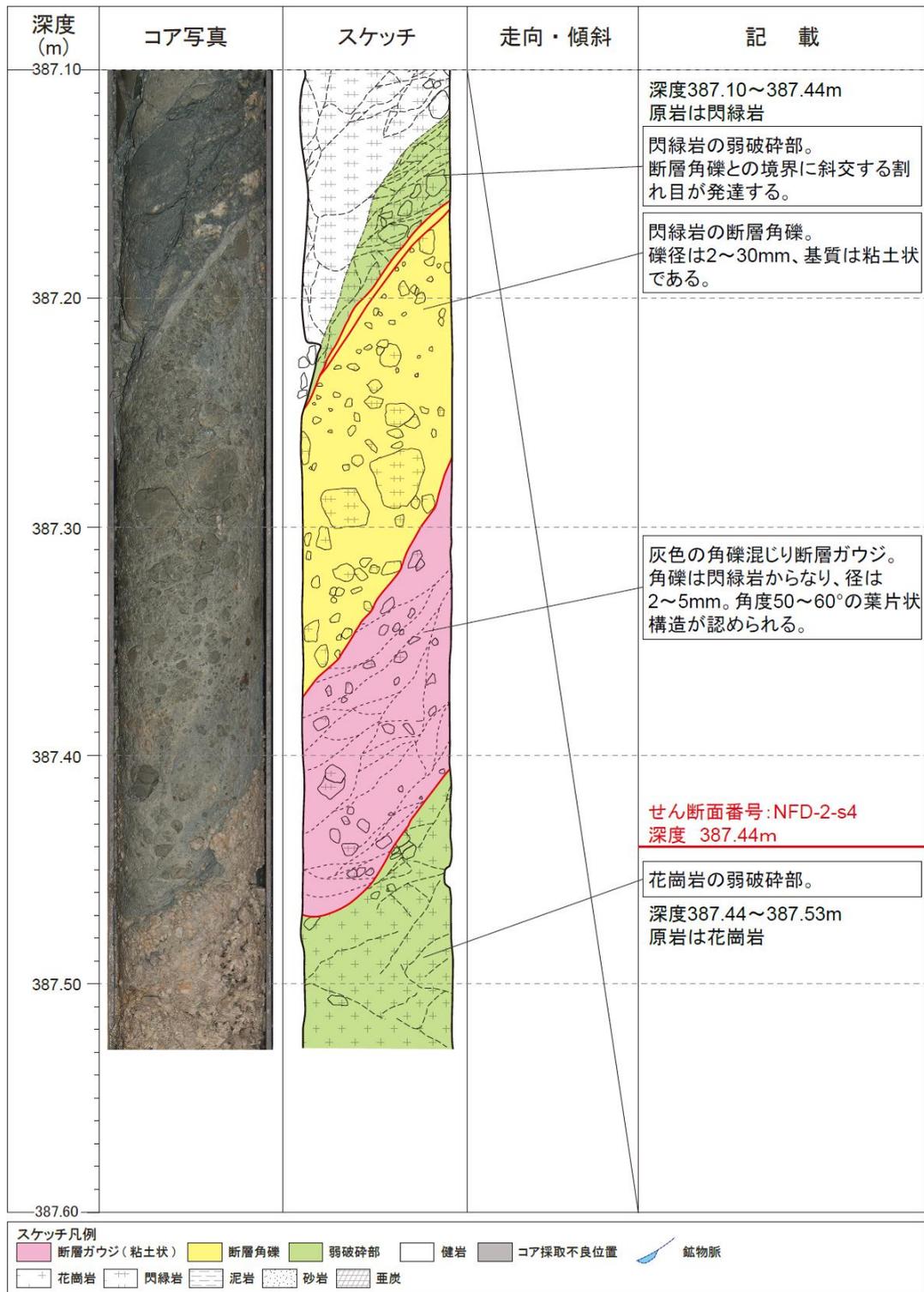


図 4.3.2.9 せん断面 NFD-2-s4 観察結果

4.4. NFD-1-S2 孔

4.4.1. 削孔結果

NFD-1-S2 孔は、NFD-1 孔の深度 500m からコントロール掘削し、NFD-1 孔の深度 789m 付近で確認された断層破碎帯の追加コア試料採取及び連続性を確認するために実施した。

以下に、削孔結果を示す。

(1) ケーシングプログラム及び掘進状況

NFD-1-S2 孔は、NFD-1 孔を深度 350～500m 間を径 7-5/8”トリコンビットを用いて拡孔した後、深度 500m から径 6-1/4”ダウンホールモーターを用いて、方位・傾斜のコントロールしながら深度 655m までの区間を掘削した。深度 655m からは、孔径が 97mm の HQ ワイヤーラインのダブルコアチューブを用いて、深度 755m まで掘進・コア採取を実施した。図 4.4.1.1 に掘進実績概要図を示す。

掘進は、平成 29 年 2 月 6 日に深度 350m から 7-5/8”トリコンビットで拡孔を開始し、2 月 12 日に深度 500m までの拡孔を完了した。深度 500～655m までの区間は、6-1/4”ノンコアコントロールボーリング掘削を実施、2 月 18 日に完了した。その後、4”ケーシングを挿入し、HQ ワイヤーラインにて深度 755m まで掘進・検尺後、孔曲がり測定を実施し、平成 29 年 3 月 3 日に掘進を完了した。深度 655～755m 区間では、深度 727m 付近で 1 箇所断層破碎帯を確認した。

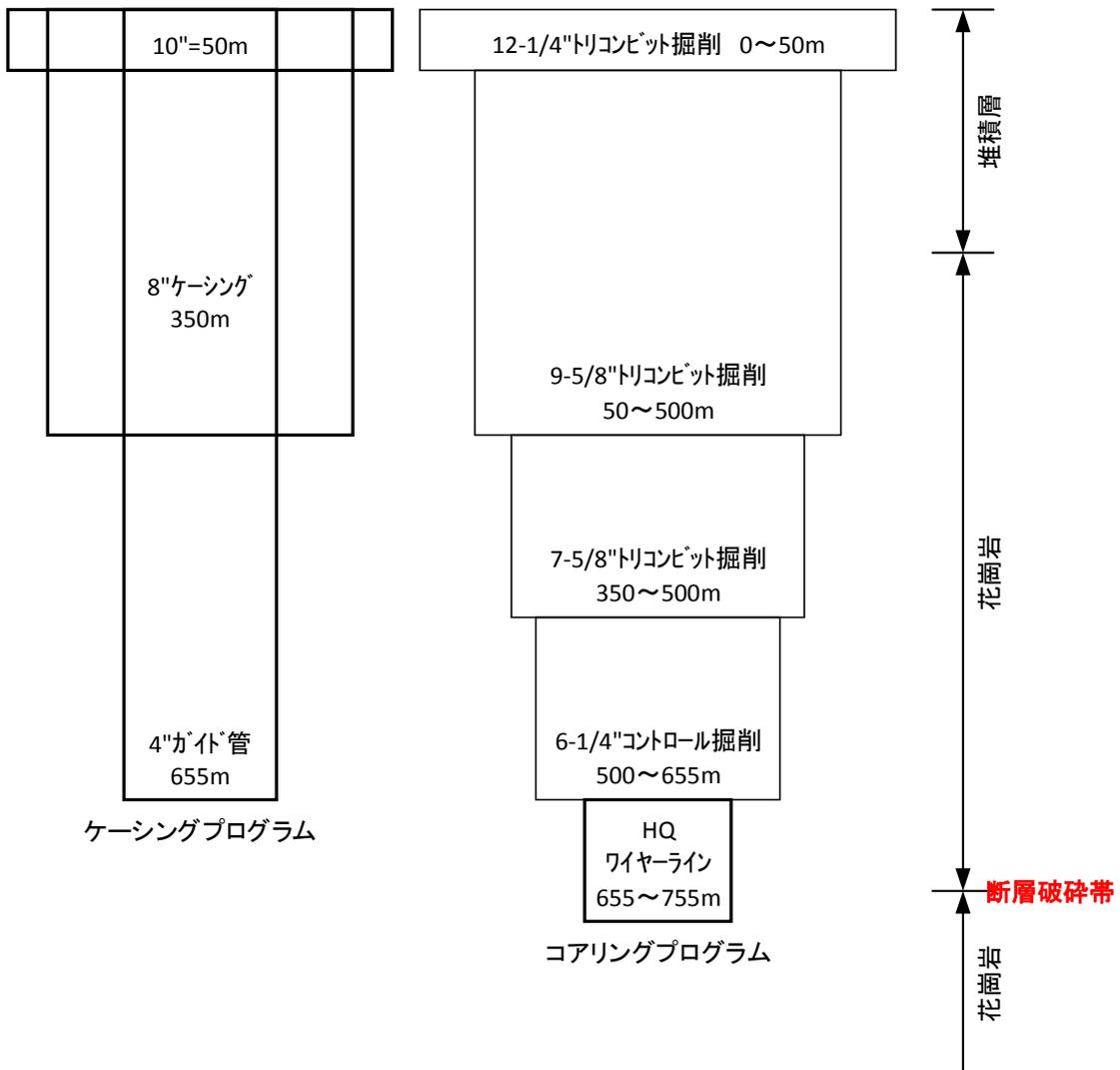


図 4.4.1.1 NFD-1-S2 孔掘進実績概要図 (断層破碎帯を深度 727m 付近で確認)

(2) 掘削工程

現場作業実績工程表を表 4.4.1.1 に、掘進推移を図 4.4.1.2 に示す。

表 4.4.1.1 NFD-1-S2 孔 現場作業実績工程表

工種	孔名	項目	細目	実績数量	2017年								備考				
					年	2月				3月							
					月	4	11	18	25	4	11	18		25			
ボーリング	NFD-1-S2	準備工事				■											
		資機材運搬・仮設					■										
		掘進	HQダブル	100m						■	■						
			検尺	100m							755						深度755mで検尺
		ケーシング 掘削	7-5/8" 掘削 (深度350~500m)	150m			■	■									
			6-1/4" コントロール掘削 (深度500~655m)	155m				■	■								
			4" ケーシング挿入	655m						■	■						孔口からコントロール掘削区間まで
		孔曲がり測定			2回						■						
		撤去											■				

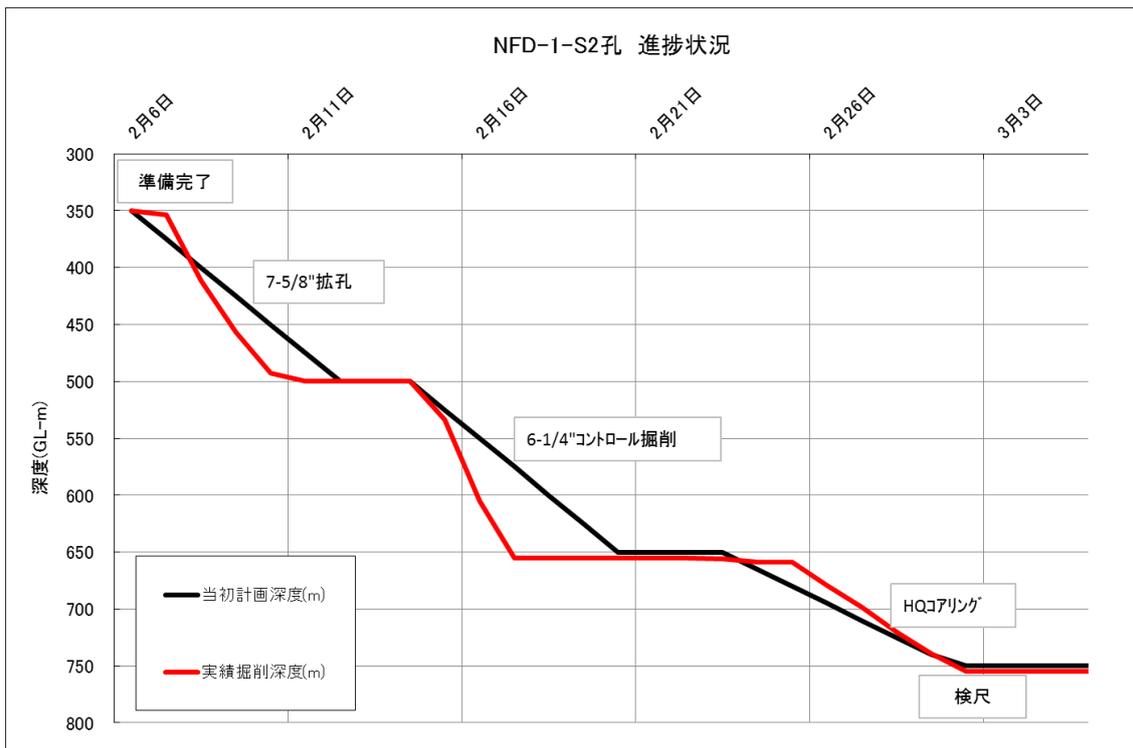


図 4.4.1.2 NFD-1-S2 孔 当初計画と実績進捗の推移

(3) 孔井の方位及び傾斜

NFD-1-S2 孔は、野島断層のラクチャー方向に対して、ほぼ直交する方向 (N38° W) に掘進するため、深度 500m 付近からコントロール掘削を実施した。表 4.4.1.2 に測定結果を示す。コントロール掘削開始前のボーリング孔は、S4.4° W3.3° 方向に向いた状況であったが、時計回りに徐々に曲げ、N38° W 方向に近づけ、深度 655m で N37.5° W9.0° 方向にボーリング孔をコントロールした。

HQ ワイヤラインによるコアボーリングを実施した区間は、孔曲がり測定を実施した。測定は約 50m の掘進ごとに行われ、計 2 回実施した。表 4.4.1.3 に測定結果を示す。

方位は、野島断層のラクチャー方向に対して、ほぼ直交する方向 (N39~43° W)、に掘進され、傾斜は、9.0~9.2° でコントロール掘削した傾斜をほぼ維持して掘進された。

孔跡を検討する代表断面として、NFD-2 孔の掘進方向断面図上に断層の走向方向に投影した断面図を用いて、孔跡解析結果断面図作成した (図 4.4.1.3)。

表 4.4.1.2 孔井の方位及び傾斜測定結果一覧表 (コントロール区間)

深度 (m)	真方位 (T.N.)	鉛直からの角度 (°)	備考
494.4	S4.4° W	3.3	7-5/8" 拡孔区間
525.1	S44.1° W	1.3	
553.7	N62.0° W	3.7	
582.1	N45.0° W	5.7	
610.6	N40.3° W	7.9	
639.0	N39.6° W	8.3	
655.0	N37.5° W	9.0	

表 4.4.1.3 孔井の方位及び傾斜測定結果一覧表

回数	深度	磁針方位 (M.N.)	真方位 (T.N.)	鉛直からの角度 (°)	備考
1	700m	N32° W	N39° W	9.2	
2	750m	N36° W	N43° W	9.0	

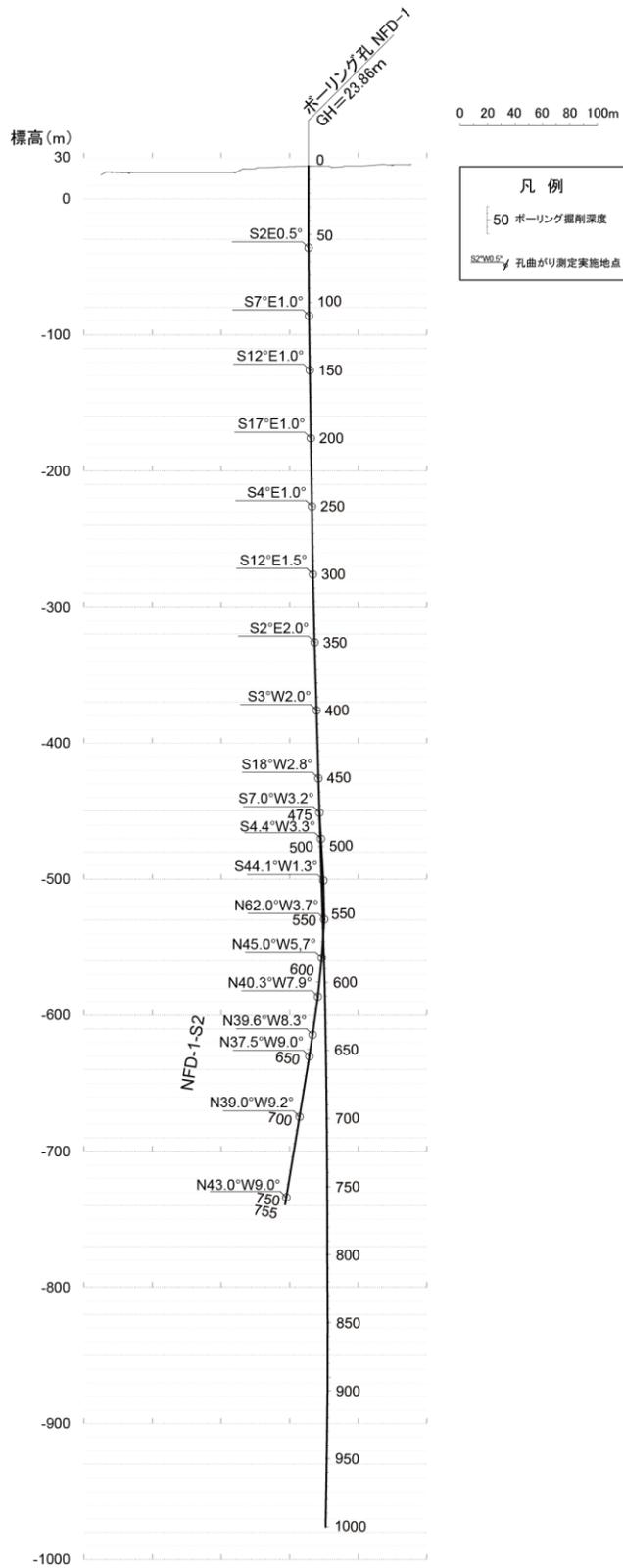


図 4.4.1.3 孔跡解析結果断面図

4.4.2. コア観察結果

NFD-1-S2 孔の調査では、深度 655～755m の区間でコア観察を実施した。なお、本項で示される「深度」については、特に記載がない限り「掘削深度」を指すこととする。

以下、(1) 地質、(2) 断層破碎帯、(3) せん断面の項目別に観察結果を示す。

(1) 地質

図 4.4.2.1 に NFD-1-S2 孔柱状図を示す。コア採取を行った深度 655～755m 間全て花崗岩であった。深度 726.27～729.82m 付近で破碎帯が確認された。

本孔深度 655～755m で確認された花崗岩は、灰白色を呈している。粒径 2～6mm の鉱物を多く含み、等粒状組織をもつ。岩級は C_H～C_M 級を主体とする。全体的に割れ目が発達し、一部角礫状コアが認められる。割れ目沿いに変質が進んでいる箇所では、有色鉱物の大部分が消失し、コア試料は軟質である。組織は一部でアプライト脈が認められるものの、概ね均質である。

コア観察から、せん断性の割れ目や軟質化が進んだ割れ目、ガウジを挟在する割れ目など、断層運動に伴ってできたせん断面を確認したところ、深度 726.27～729.82m 付近で断層破碎帯が認められた。この断層破碎帯を NFD-1-S2-f1 とした。

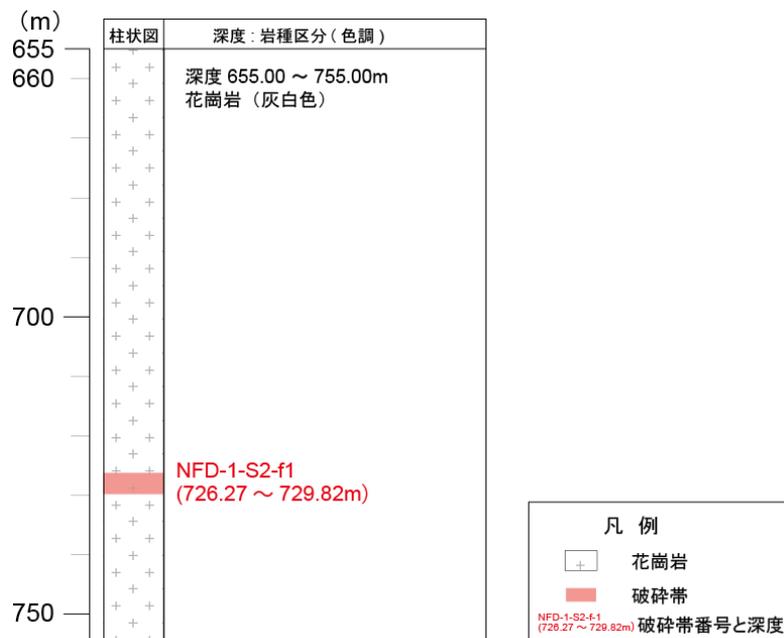


図 4.4.2.1 NFD-1-S2 孔柱状図

(2) 断層破砕帯

確認された1箇所の断層破砕帯について詳細な観察を行い、破砕帯の幅、固結度、破砕の分布、せん断面の有無など、性状を確認し、表4.4.2.1に取りまとめた。

表4.4.2.1 NFD-1-S2孔の破砕帯一覧表

孔名	破砕帯							破砕帯及びせん断面の特徴
	破砕帯番号	上端深度 (m)	下端深度 (m)	破砕帯の 走向・傾斜	破砕帯の 固結度	見掛けの 破砕帯幅 (m)	断層ガウジ	
NFD-1-S2	NFD-1-S2-f1	726.27	729.82	-	未固結/ 半固結	3.55	有	・深度727.58～727.61m間に角度約65°、幅1～1.2cmの砂混じり粘土状断層ガウジが認められ、上位に幅約1cmの細粒な暗灰色のカタクレサイトを伴う。

破砕帯NFD-1-S2-f1（深度726.27～729.82m）は、花崗岩を原岩とした未固結～半固結の断層破砕帯である。図4.4.2.2に調査結果図を示す。本破砕帯は、淡橙色の弱破砕部を中心として、断層ガウジとカタクレサイトを伴う。深度727.58m付近では、みかけ角度約65°のせん断面を含んでいる。このせん断面は湾曲した形状を示し、一部で砂混じり粘土状を呈している。せん断面の周辺には、変質が進んだ半固結の断層角礫が認められる。断層角礫の礫径は2～10mmである。破砕帯は変質により、全体的に軟質となる。

破砕帯 NFD-1-S2-f1 では、断層角礫を伴う深度 727.58m のせん断面を NFD-1-S2-1 とし、より詳細に観察することとした。

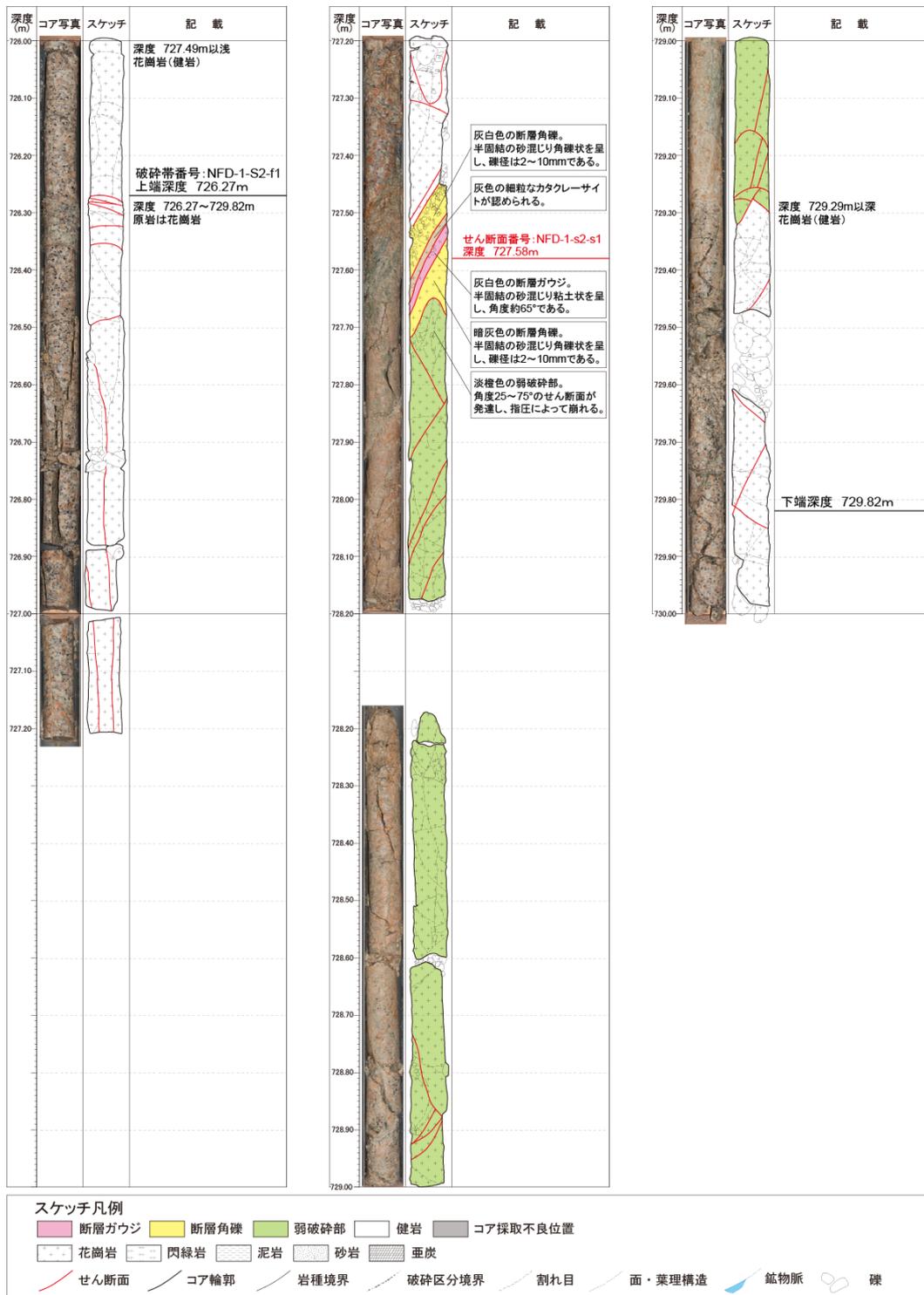


図4.4.2.2 破碎帯NFD-1-S2-f1調査結果

(3) せん断面

断層破碎帯の観察から、断層運動と関連性のあるせん断面NFD-1-S2-s1（深度727.58m）を確認した。せん断面の特徴を表4.4.2.2に整理した。

表 4.4.2.2 せん断面一覧表

孔名	せん断面				破碎帯及びせん断面の特徴
	せん断面番号	深度 (m)	せん断面の走向・傾斜	せん断面の固結度	
NFD-1-S2	NFD-1-S2-s1	727.58	-	未固結／半固結	・深度727.58～727.61m間に角度約65°、幅1～1.2cmの砂混じり粘土状断層ガウジが認められ、上位に幅約1cmの細粒な暗灰色のカタクレーサイトを伴う。

せん断面 NFD-1-S2-s1（深度727.58m）の観察結果を図4.4.2.3に示す。本せん断面は、上位（深度727.55～727.58m）に暗灰色のカタクレーサイトが、下位（深度727.58～727.61m）に灰白色断層ガウジが接している。いずれも、みかけ角度65°で、せん断面と平行に認められる。断層ガウジは半固結の角礫混じり粘土状を呈し、礫径は2～10mm、基質は粘土状である。断層ガウジより下位（深度727.61～727.66m）には、断層角礫が存在し、半固結粘土混じり角礫状である。礫径は2～10mmで基質は砂状～粘土状となる。断層角礫の下端境界に角度45～80°の湾曲したせん断面が認められる。

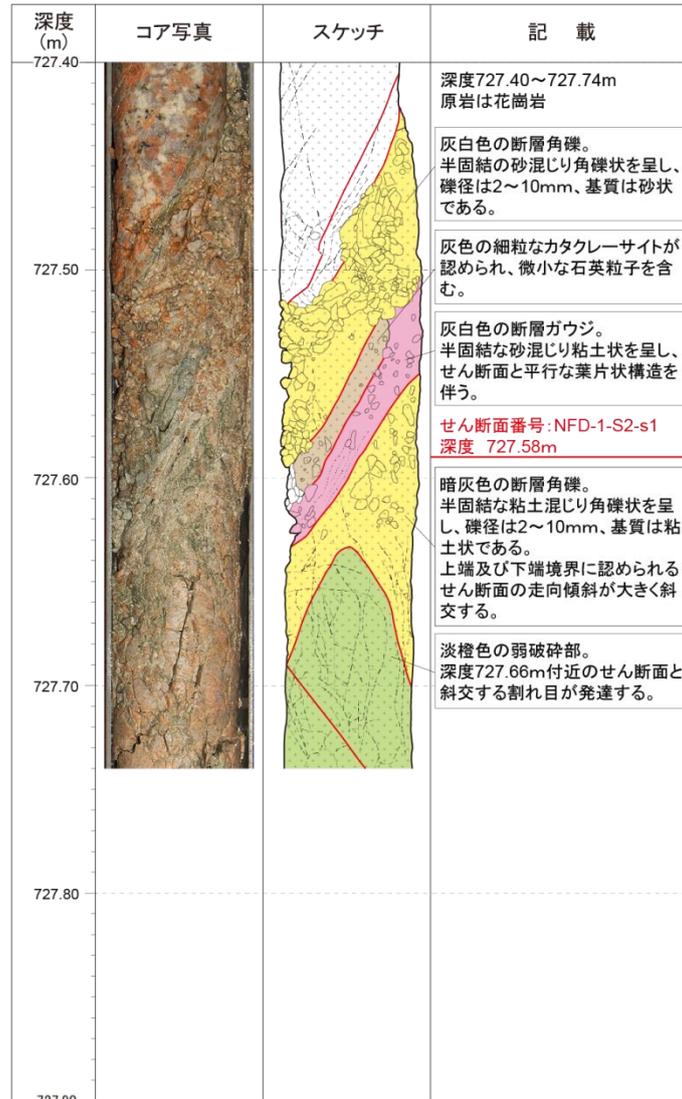


図 4.4.2.3 せん断面 NFD-1-S2-s1 観察結果

4.5. NFD-1-S3 孔

4.5.1. 削孔結果

NFD-1-S3 孔は、NFD-1 孔の深度 500m からコントロール掘削し、NFD-1 孔の深度 529m 付近で確認された断層破碎帯の追加コア試料採取及び連続性を確認するために実施した。

以下に、削孔結果を示す。

(1) ケーシングプログラム及び掘進状況

NFD-1-S3 孔は、NFD-1 孔及び NFD-1-S2 孔を掘進完了後、これらのボーリング孔と重なることのないように、コントロールしながら深度 500m から深度 555m までの区間を、孔径が 97mm の HQ ワイヤーラインのダブルコアチューブを用いて、掘進・コア採取を実施した。図 4.5.1.1 に掘進実績概要図を示す。

掘進は、平成 29 年 3 月 6 日に深度 500m から HQ ワイヤーラインのダブルコアチューブを用いて、掘進を開始し、深度 555m まで掘進・検尺後、孔曲がり測定を実施し、平成 29 年 3 月 12 日に掘進を完了し、ほぼ想定した深度 532m 付近で断層破碎帯を確認した。

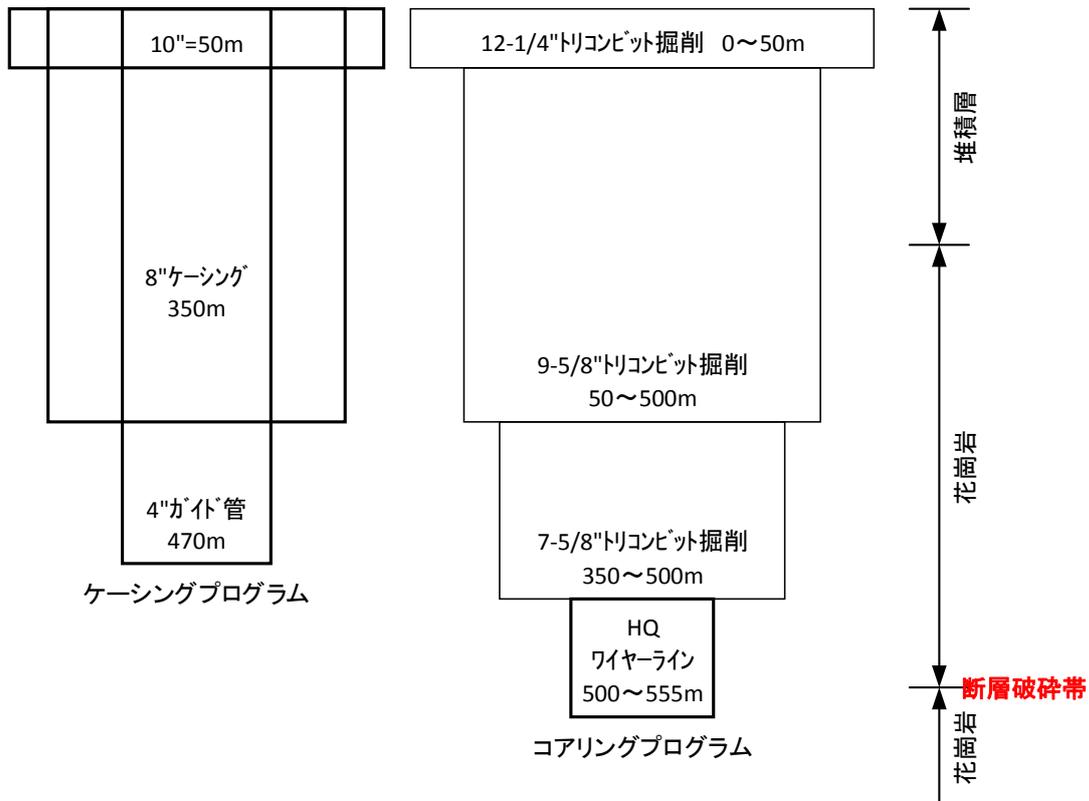


図 4.5.1.1 NFD-1-S3 孔掘進実績概要図（断層破碎帯を深度 532m 付近で確認）

(2) 掘削工程

現場作業実績工程表を表 4.5.1.1 に、掘進推移を図 4.5.1.2 に示す。

表 4.5.1.1 NFD-1-S3 孔 現場作業実績工程表

工種	孔名	項目	細目	実績数量	2017年					備考
					3月					
					週	4	11	18	25	
ボーリング	NFD-1-S3	準備工事								
		掘進	HQダブル	55m						HQコントロール掘進
			検尺	100m			555			深度555mで検尺
		ケーシング 拡孔	4"ケーシング挿入	500m						
		孔曲がり測定			2回					
		撤去								

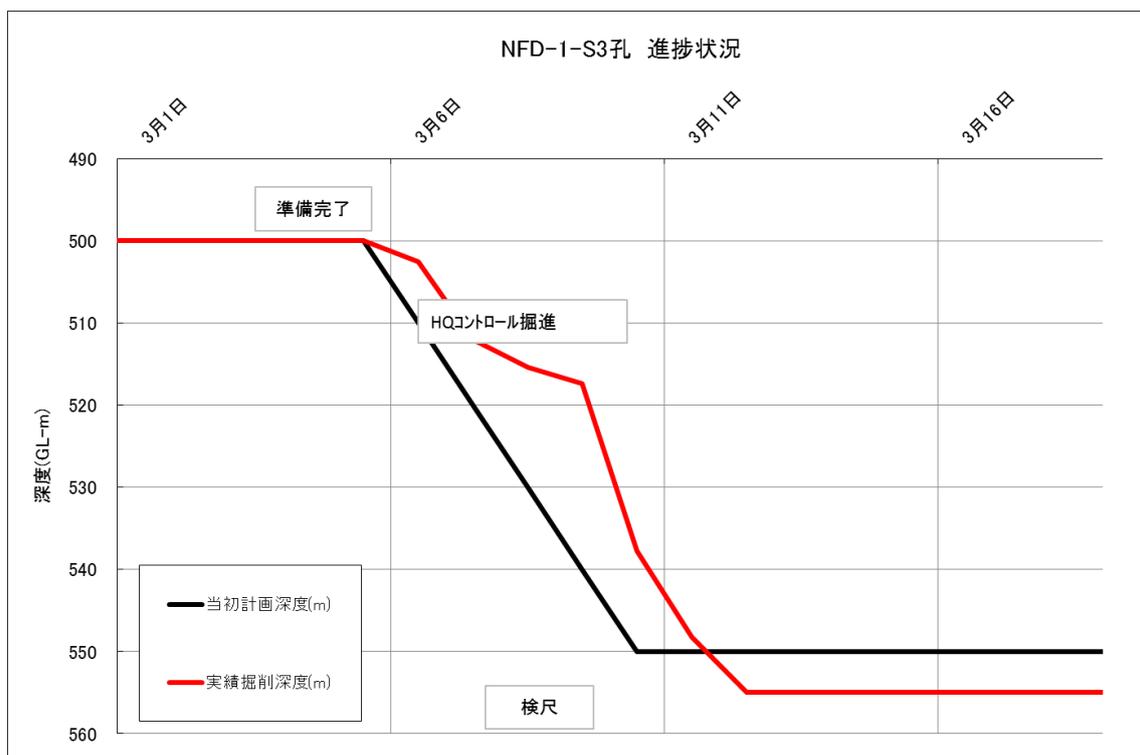


図 4.5.1.2 NFD-1-S3 孔 当初計画と実績進捗の推移

(3) 孔井の方位及び傾斜

NFD-1-S3 孔は、NFD-1 孔及び NFD-1-S2 孔と重ならないように、深度 500m 付近から HQ ダブルチューブを用いてコントロール掘進を実施した。

HQ ワイヤラインによるコアボーリングを実施した区間は、孔曲がり測定を実施した。測定は約 50m の掘進ごとに行われ、計 2 回実施した。表 4.5.1.2 に測定結果を示す。なお、鉛直を 0° として表記している。

方位は、ボーリング開始地点より、S22° W 方向に掘進され、傾斜は、3.9~4.1° で掘進された。

孔跡を検討する代表断面として、NFD-2 孔の掘進方向断面図上に断層の走向方向に投影した断面図を用いて、孔跡解析結果断面図作成した (図 4.2.1.3)。NFD-1 孔の深度 500m 付近の孔曲がり測定結果 (N18° W2.8°) に対して、1° 以上より南南西方向に緩く傾斜した方向で掘進された。

表 4.5.1.2 孔井の方位及び傾斜測定結果一覧表

回数	深度(m)	磁針方位 (M.N.)	真方位 (T.N.)	鉛直からの角度 (°)	備考
1	500	S15° W	S22° W	3.9	
2	550	S15° W	S22° W	4.1	

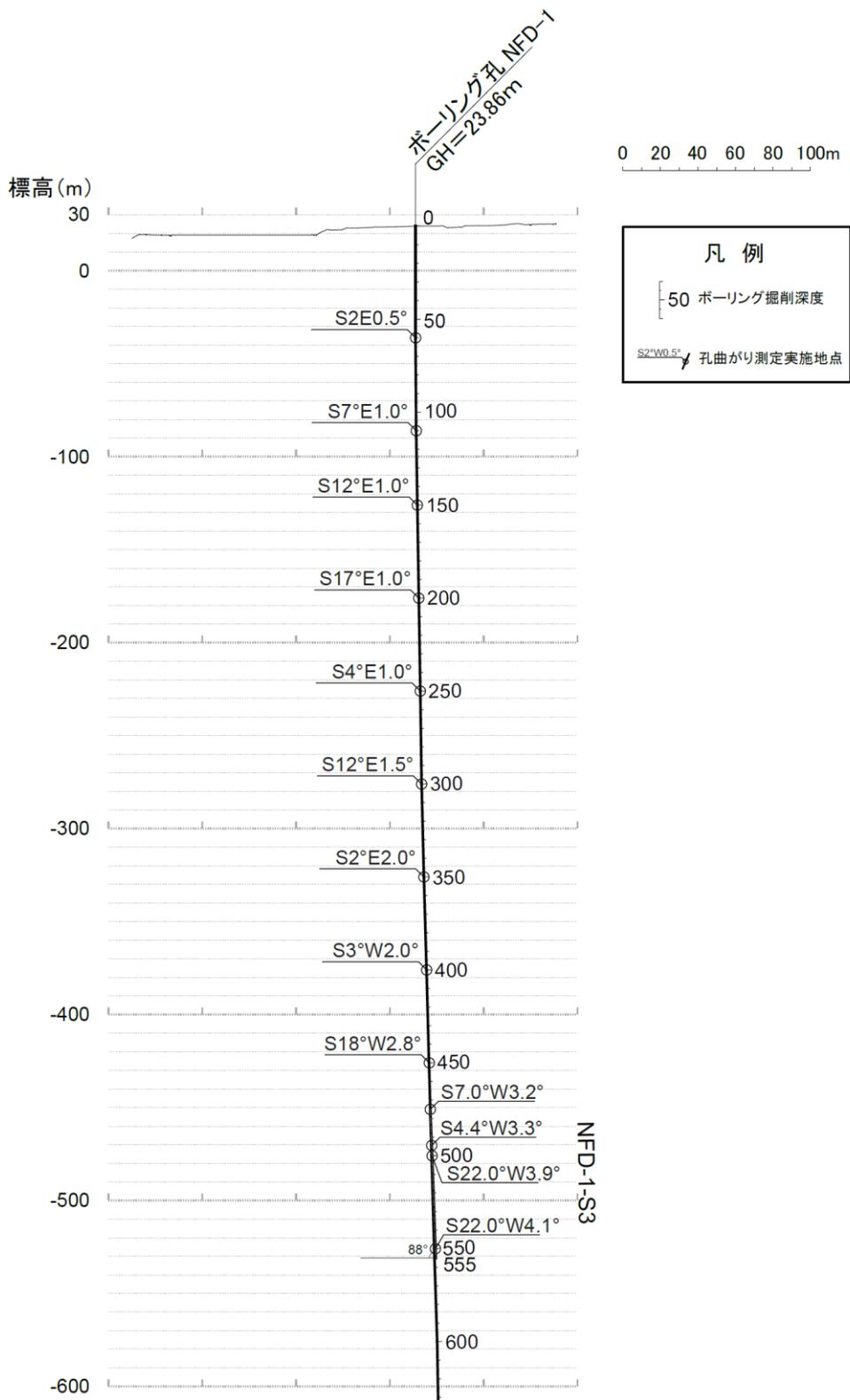


図 4.5.1.3 孔跡解析結果断面図

4.5.2. コア観察結果

NFD-1-S3 孔の調査では、深度 500～555m の区間でコア観察を実施した。なお、本項で示される「深度」については、特に記載がない限り「掘削深度」を指すこととする。

以下、(1) 地質、(2) 断層破碎帯、(3) せん断面の項目別に観察結果を示す。

(1) 地質

図 4.5.2.1 に NFD-1-S3 孔柱状図を示す。コア採取を行った深度 500～555m 間全て花崗岩であった。色調は灰白色を呈している。粒径 2～6mm の鉱物を多く含み、等粒状組織をもつ。岩級は CL～CM 級を主体とするが、後述の破碎帯付近では D 級も見られる。全体に変質の影響を受け、割れ目沿いに軟質化する。

コア観察から、せん断性の割れ目や軟質化が進んだ割れ目、ガウジを挟在する割れ目など、断層運動に伴ってできたせん断面を確認した。このようなせん断面が卓越し、かつ、周囲に角礫や砂状～粘土状の試料が産する箇所を断層破碎帯とした。観察の結果、NFD-1-S3 孔では、深度 518.26～519.52m および 531.55～532.68m で断層破碎帯が確認された。これらの断層破碎帯を NFD-1-S3-f1 および NFD-1-S3-f2 とした。

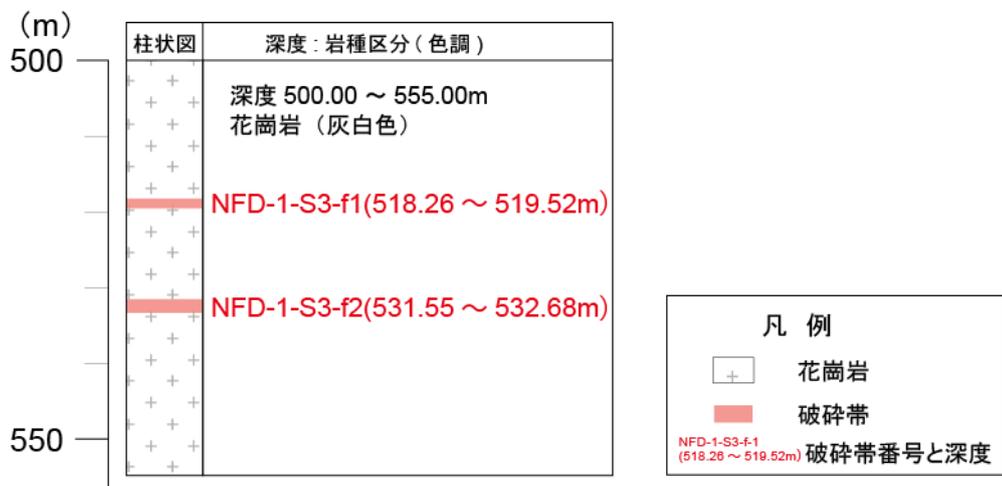


図 4.5.2.1 NFD-1-S3 孔柱状図

(2) 断層破砕帯

上述の断層破砕帯について詳細な観察を行い、破砕帯の幅、固結度、破砕の分布、せん断面の有無など、性状を確認した。

各断層破砕帯の特徴を表4.5.2.1に整理した。

表4.5.2.1 NFD-1-S3孔の破砕帯一覧表

孔名	破砕帯							破砕帯及びせん断面の特徴
	破砕帯番号	上端深度 (m)	下端深度 (m)	破砕帯の走向・傾斜	破砕帯の固結度	見掛けの破砕帯幅 (m)	断層ガウジ	
NFD-1-S3	NFD-1-S3-f1	518.26	519.52	-	半固結	1.26	有	・深度519.19～519.30m間に灰白色～赤褐色の粘土混じり角礫状～角礫状を呈する断層角礫が認められ、礫径は2～8mmである。 ・深度519.20m付近に角度約55°、幅約1mmの灰白色の粘土状断層ガウジを伴い、上位の角度約60°のせん断面を切る。
	NFD-1-S3-f2	531.55	532.68	-	未固結／半固結	1.13	有	・深度532.39～532.48m間に角度65～70°の暗灰色の粘土状断層ガウジが認められ、深度532.43m付近のせん断面を境にして僅かに色調が異なる。断層ガウジの上盤側には灰色の粘土混じり角礫状の断層角礫及び灰白～黒色の細粒なカタクレサイトを伴う。

以下に破砕帯の詳細を示す。

・ NFD-1-S3-f1 (深度518.26～519.52m)

花崗岩を原岩とした未固結～半固結の断層破砕帯。図 4.5.2.2 に調査結果図を示す。本破砕帯は、灰白色～赤褐色の弱破砕部を主体とし、所々で角度約 40°～60°のせん断面を伴う。せん断面や割れ目沿いでは試料が変質し、コア全体が赤褐色を呈している。深度 519.20m では、みかけ角度約 60°のせん断面がみられ、周辺に断層ガウジ、赤褐色のカタクレサイトや粘土混じりの断層角礫が認められる。断層ガウジは半固結の粘土状を呈し、幅は約 1mm である。破砕帯 NFD-1-S3-f1 では、このせん断面を NFD-1-S3-s1 とし、より詳細に観察することとした。

・ NFD-1-S3-f2 (深度531.55～532.68m)

花崗岩を原岩とした半固結の断層破砕帯。図 4.5.2.3 に調査結果図を示す。本破砕帯は、灰白色～赤褐色の弱破砕部を主体とし、所々で角度約 30°～75°のせん断面を伴う。せん断面や割れ目沿いでは試料が変質し、コア全体が赤褐色を呈している。深度 532.39m では、暗灰色の断層ガウジを伴ったせん断面がみられ、周囲にカタクレサイトや断層角礫も認められる。断層ガウジは半固結の粘土状を呈し、幅は約 30～40mm である。破砕帯 NFD-1-S3-f2 では、このせん断面を NFD-1-S3-s2 とし、より詳細に観察することとした。

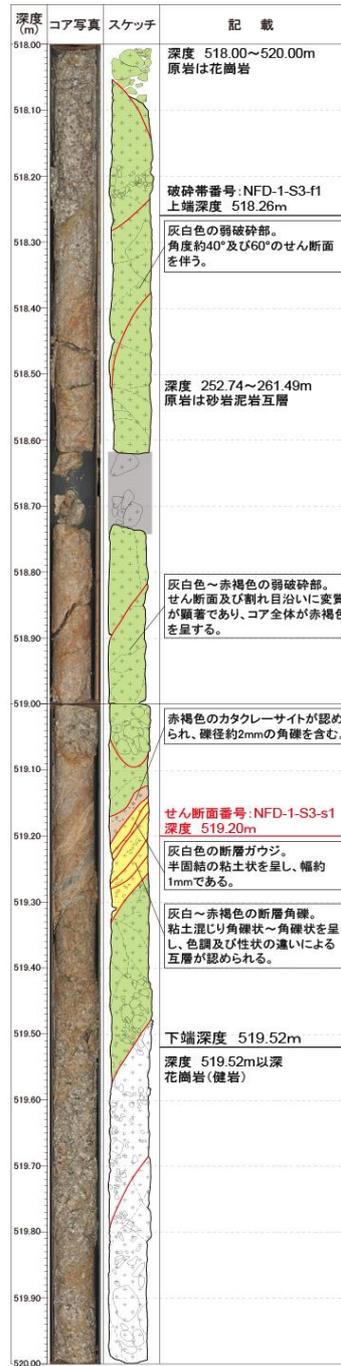


図 4.5.2.2 破砕帯 NFD-1-S3-f1 調査結果

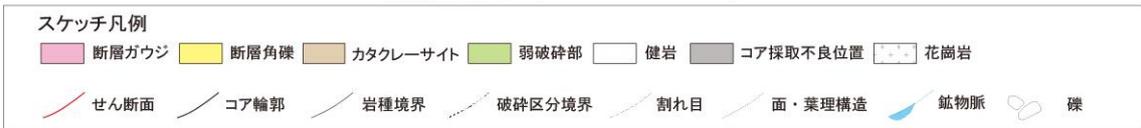
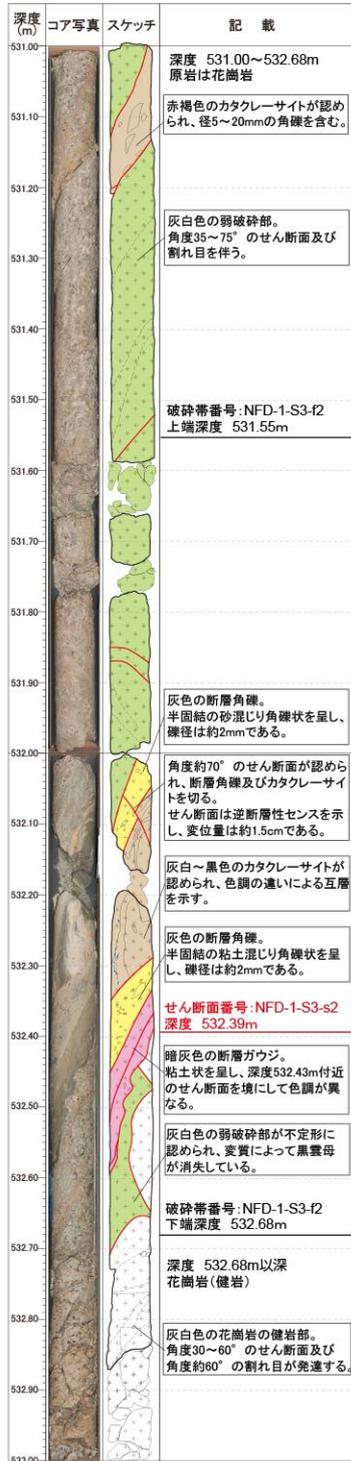


図 4.5.2.3 破砕帯 NFD-1-S3-f2 調査結果

(3) せん断面

断層破砕帯の観察から、断層運動と関連性のあるせん断面を確認した。その中で、断層ガウジが発達したもの（ガウジ幅が厚い、葉片状構造が見られる等）や、周囲の岩石を著しく破砕し断層角礫を多く含んでいるものなど、特徴的なせん断面を2か所選定し、詳細な観察を行った。2か所のせん断面は浅部から順に、NFD-1-S3-s1（深度519.20m）、NFD-1-S3-s2（深度532.39m）とした。各せん断面の特徴を表4.5.2.2に整理した。

表 4.5.2.2 せん断面一覧表

孔名				破砕帯及びせん断面の特徴
	深度 (m)	せん断面の 走向・傾斜	せん断面の 固結度	
NFD-1-S3	519.20	-	未固結/ 半固結	・深度519.19～519.30m間に灰白色～赤褐色の粘土混じり角礫状～角礫状を呈する断層角礫が認められ、礫径は2～4mmである。 ・深度519.20m付近に角度約55°、幅約1mmの灰白色の粘土状断層ガウジを伴う。
	532.39	-	未固結/ 半固結	・深度532.39～532.48m間に角度65～70°の暗灰色の粘土状断層ガウジが認められ、深度532.43m付近のせん断面を境にして僅かに色調が異なる。断層ガウジの上盤側には灰色の粘土混じり角礫状の断層角礫及び灰白～黒色の細粒なカタクレサイトを伴う。

各せん断面の詳細を以下に示す。

・せん断面NFD-1-S3-s1（深度519.20m）

図 4.5.2.4 に観察結果を示す。せん断面の形状は明瞭で、湾曲しながらも角度約 60° でカタクレサイトと断層角礫の境界をなしている。

せん断面の上位では、赤褐色のカタクレサイトと接している。このカタクレサイトは 20～30mm の幅を持ち、礫径約 2mm の角礫を内部に含んでいる。さらに上位には灰白～赤褐色の弱破碎部が認められる。弱破碎部内にはせん断面や細かい割れ目が見られ、割れ目沿いでは赤褐色に変色している。

せん断面の下位では、幅約 1mm の断層ガウジと接している。断層ガウジは灰白色で、半固結の粘土状を呈している。さらに下位には、灰白～赤褐色の断層角礫が認められる。断層角礫は半固結の粘土混じり角礫状～角礫状を呈し、礫径は 2～8mm、幅は約 10cm である。断層角礫の下位には赤褐色の弱破碎部が続く。

・せん断面 NFD-1-S3-s2（深度 532.39m）

図 4.5.2.5 に観察結果を示す。せん断面の形状は明瞭で平滑であり、暗灰色の断層ガウジと断層角礫の境界をなしている。

せん断面の上位では、灰色の断層角礫が接している。この断層角礫は、粘土混じり角礫状を呈し、礫径約 2mm の角礫を内部に含んでいる。さらに上位には過去に動いた断層と思われるせん断面が認められ、せん断面 NFD-1-S3-s2 によって切られていることが確認された。さらに上位には断層角礫や弱破碎部が続いている。

せん断面の下位では、幅約 30～40mm の断層ガウジと接している。断層ガウジは暗灰色で、粘土状を呈し、せん断面とやや斜交した葉片状構造が発達している。断層ガウジの下部では境界部分が湾曲し、灰白色の弱破碎部が続く。弱破碎部は変質によって黒雲母が消失し、原岩組織を残していない部分が不定形に認められる。

深度 (m)	コア写真	スケッチ	記 載
519.05			<p>深度519.05～519.35m 原岩は花崗岩</p>
519.10			<p>灰白～赤褐色の弱破碎部。 せん断面及び割れ目沿いは赤褐色を呈する。</p> <p>赤褐色のカタクレーサイトが認められ、礫径約2mmの角礫を含む。</p>
519.20			<p>せん断面番号:NFD-1-S3-s1 深度 519.20m</p> <p>灰白色の断層ガウジ。 半固結の粘土状を呈し、幅約1mmである。 上位の角度約60°のやや斜交したせん断面を切る。</p>
519.30			<p>灰白～赤褐色の断層角礫。 半固結の粘土混じり角礫状～角礫状を呈し、礫径は2～8mm、幅は約10cmである。</p>
519.35			<p>赤褐色の弱破碎部。 割れ目沿いは風化に変質が顕著で、コア全体が赤褐色を呈する。</p>

スケッチ凡例												
断層ガウジ(粘土状)	断層角礫	カタクレーサイト	弱破碎部	花崗岩	せん断面	コア輪郭	岩種境界	破碎区分境界	割れ目	面・葉理構造	鉱物脈	礫

図 4.5.2.4 せん断面 NFD-1-S3-s1 観察結果

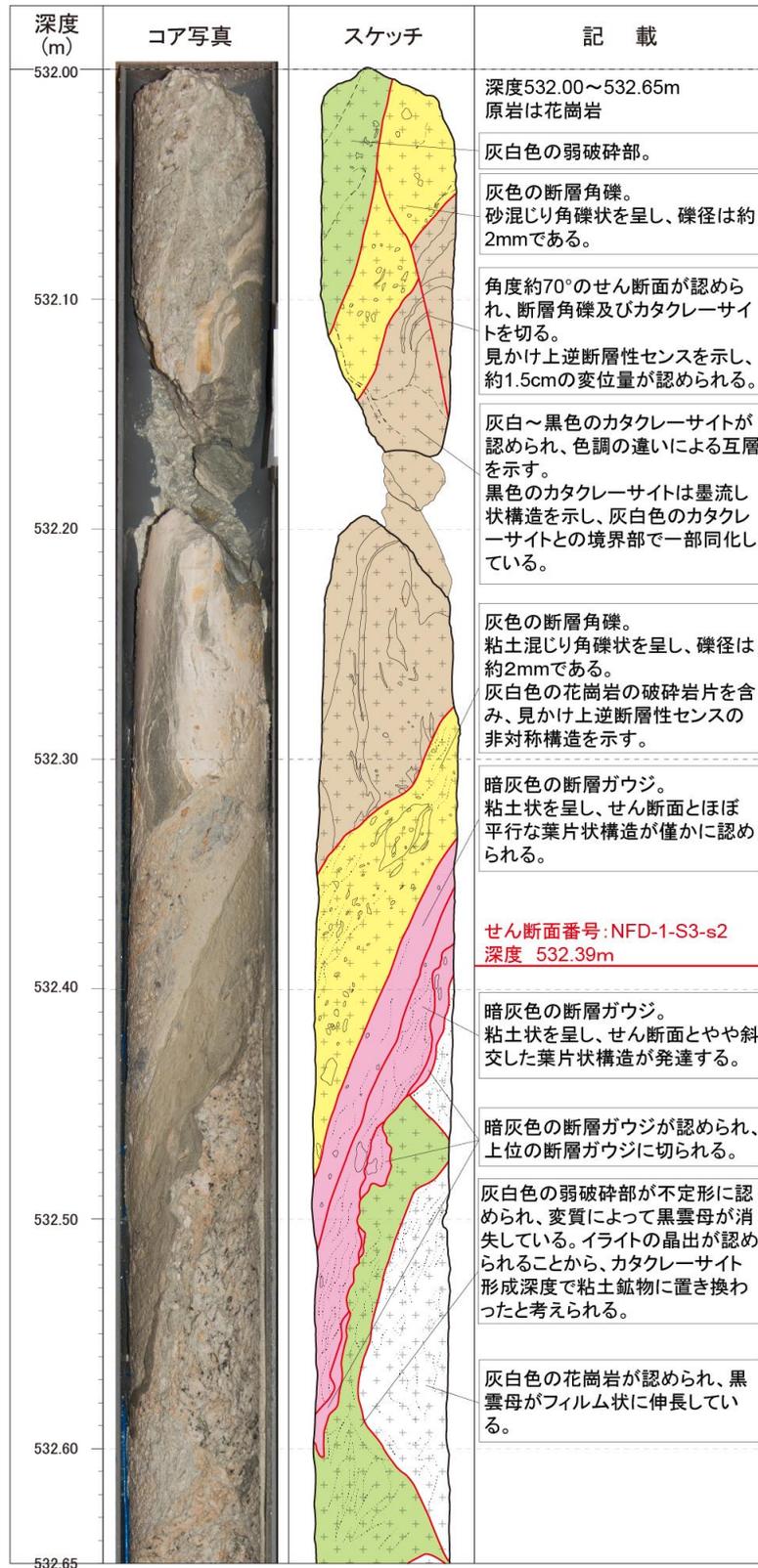


図 4.5.2.5 せん断面 NFD-1-S3-s2 観察結果

4.6. 野島断層の地質構造

野島断層を対象とした、NFD-1 孔、NFD-1-S2 孔、NFD-1-S3 孔及び NFD-2 孔のボーリング調査結果を受け、NFD 地質断面図を作成した（図 4.6.1）。ここで、NFD-1 孔の結果は、NFD-2 孔の掘進方向（N38° W）の断面図上に直交方向に投影した。投影距離は約 16m である。

NFD-1 孔及び NFD-2 孔は、共に断層上盤から掘進し、大阪層群、神戸層群を貫き、基盤岩である花崗岩類を確認した。基盤岩（花崗岩類）の上面標高について、上盤側は、NFD-1 孔の掘削および物理検層結果から標高-210m 付近であることが確認され、下盤側は、NFD-2 孔の掘進結果から標高-300m 付近であることが確認された。NFD 地点では、基盤岩上面標高が野島断層を挟んで約 90m の比高差が生じていることを確認した。堆積層については、上盤側の大阪層群の層厚は 190～210m、神戸層群の層厚は約 40m であった。下盤側の大阪層群と神戸層群の層厚は不明であるが、基盤岩の比高差から推定し、大阪層群の層厚が約 270m、神戸層群の層厚が約 60m と推定した。

NFD-1 孔では、5 箇所の断層破碎帯 NFD-1-f1～NFD-1-f5 が確認された。野島断層の特徴として、幅 1mm～数 mm の灰色～黒灰色～黄褐色の断層ガウジ、断層面の近傍に幅約 20～30cm で分布している断層角礫、および灰色～褐灰色のカタクレーサイトが互層状に存在し、黒色のシュードタキライトも部分的に存在することが挙げられる（重富・林、野島断層に産出する互層状の断層ガウジとシュードタキライトから推定される地震断層イベント、構造地質, 43 号, 33-42, 1999）。シュードタキライトの認定には、薄片観察などから摩擦溶融の証拠を確認しなければならないため、本業務では確認することができなかったが、断層破碎帯 NFD-1-f1 は、黒色～白色の断層ガウジとカタクレーサイトの互層が見られ、概ね野島断層の特徴を示していると思われる。その他の断層破碎帯については、灰色の断層ガウジ等が見られるものの、ガウジ層の厚さが薄い、互層状になっていない等、野島断層と認定できる十分な結果が得られなかった。また、物理検層結果については、野島断層を認定できる顕著な結果が得られた。孔径検層では、断層破碎帯 NFD-1-f1 に対応して孔径が広がっていることが確認された。温度検層では、断層破碎帯 NFD-1-f1 に対応して温度の低い箇所が見られた。音波検層では、断層破碎帯 NFD-1-f1 に対応して弾性波速度が低速になっていることが確認された。その他、密度検層、電気検層についても、断層破碎帯 NFD-1-f1 に対応した変化が見られた（4.2.3. 章を参照）。以上の結果から総合的に判断すると、断層破碎帯 NFD-1-f1 が野島断層本体であると考えられる。

次に、NFD-1 孔で観察された断層破碎帯と北淡震災記念公園（野島断層保存館）で見られる地表地震断層との連続性を確認するために、ボアホールテレビュアの解析結果によるそれぞれの断層破碎帯の見掛けの傾斜を求めた。求められた見掛けの傾斜は、NFD 地質断面図（図 4.6.1）において橙色の破線で示した。断層破碎帯 NFD-1-f1 については、ボアホールテレビュアの測定画像が孔壁崩壊により不鮮明であったため、見掛けの傾斜を求めることができなかった。そのため、NFD-1 孔と隣接する NFD-1-S3 孔で確認された断層

破砕帯 NFD-1-S3-f1 が、断層破砕帯 NFD-1-f1 と同一の断層破砕帯であるとして、せん断面の連続性から見掛けの傾斜を求めた。その結果、断層破砕帯 NFD-1-f1 は、見掛けの最大傾斜角度が地表地震断層の方向へ連続することが分かった。断層破砕帯 NFD-1-f2 も同様に、ボアホールテレビュアの解析結果から得られた見掛けの傾斜が地表地震断層の方向へ連続することが分かった。一方、断層破砕帯 NFD-1-f3 については、地表地震断層と反対方向に傾斜するため、地表地震断層と連続しない。また、断層破砕帯 NFD-1-f4 及び NFD-1-f5 については、見掛けの傾斜が低角度であるため、これらの破砕帯が地表地震断層と連続することは考えにくい。

NFD-1-S2 孔及び NFD-1-S3 孔では、それぞれ 1 箇所の断層破砕帯が確認された (NFD-1-S2-f1, NFD-1-S3-f1)。NFD-1-S2 孔は、断層破砕帯 NFD-1-f3 の連続性を確認するために実施したが、確認された断層破砕帯 NFD-1-S2-f1 は、地表地震断層と断層破砕帯 NFD-1-f3 の直線上付近にはないことから、断層破砕帯 NFD-1-f3 は、地表地震断層に連続しないと推定される。NFD-1-S3 孔は、断層破砕帯 NFD-1-f1 の連続性を確認するために実施したが、地表地震断層と断層破砕帯 NFD-1-f1 の延長線上で、ほぼ想定通りの深度で断層破砕帯 NFD-1-S3-f1 を確認した。

NFD-2 孔では、4 箇所の断層破砕帯 NFD-2-f1～NFD-2-f4 を確認した。NFD 地質断面図(図 4.6.1)にそれぞれの断層破砕帯の傾斜をコア観察結果から求めた最大傾斜で示した。断層破砕帯 NFD-2-f1 と NFD-2-f2 は、神戸層群中で確認した。これら 2 箇所の断層破砕帯で挟まれた区間は、初生的な堆積構造は大きく乱され、層理面の湾曲や小規模なせん断面の発達を確認した。断層破砕帯 NFD-2-f3 と NFD-2-f4 は、閃緑岩岩脈を境する上端と下端付近で確認した。これら NFD-2 孔で確認した 4 箇所の断層破砕帯について、ボーリング孔の孔曲がり (10°) を考慮した実傾斜は、断層破砕帯 NFD-2-f1～NFD-2-f3 が 60°～80°、断層破砕帯 NFD-2-f4 が 50°～70° であった。地表地震断層との連続性を考えると、断層破砕帯 NFD-2-f1 と NFD-2-f2 については、地表地震断層と無理ない連続性を説明できる一方、断層破砕帯 NFD-2-f3 と NFD-2-f4 については、地表地震断層と直接結ぶと、傾斜は約 84° 以上となるため、実傾斜を考慮した最大傾斜 (80°) よりも急傾斜となる。

以上の結果から野島断層の最新活動面を総合的に判断すると、地表地震断層から連続する最新活動面は、断層破砕帯 NFD-2-f1～NFD-2-f2 の間を通り、断層破砕帯 NFD-1-f1 及び NFD-1-S3-f1 を通ると推定される。

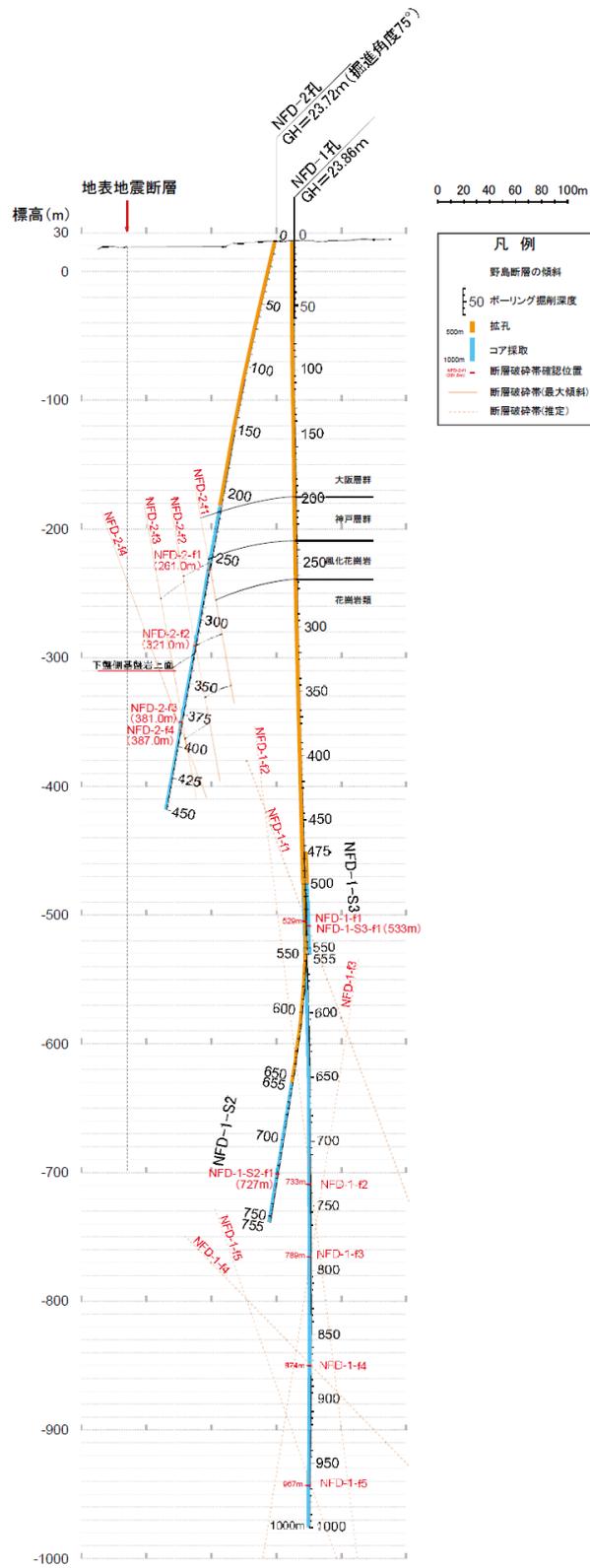


図 4.6.1 NFD 地質断面図

5. 浅野断層深部ボーリング調査

5.1. 調査経緯

浅野断層を対象としたボーリングは、実施地点における断層の傾斜が不明であったため、斜め掘進パイロット孔（掘進長 300m）と深度 500m 付近で断層試料を採取する本孔（掘進長 700m）を実施する計画とした（図 5.1.1）。ここで、ボーリング孔名を、本孔が AFD-1 孔、パイロット孔が AFD-2 孔とした。

（1）AFD-1 孔（本孔）

AFD-1 孔の調査位置は、電気・電磁探査の解析結果とパイロット孔（AFD-2 孔）の調査結果に基づいて決定された。断層ラクチャーの東側から鉛直で掘進し、低比抵抗帯の上端を深度 200m、下端を深度 500m 付近で貫く地点を調査地点とした。

AFD-1 孔のコア観察の結果、想定した区間で 5 箇所の断層破碎帯が確認された。ボアホールテレビュア及びボアホールカメラ観察の解析結果から、これらの断層破碎帯は、高角度東傾斜であることが確認された。電気・電磁探査の解析結果で確認された高角度東傾斜の低比抵抗帯は、断層破碎帯を中心とする割れ目の卓越した区間を反映していることが分かった。

（2）AFD-2 孔（パイロット孔）

ボーリング実施地点周辺では、浅野断層の傾斜が高角度東傾斜から西傾斜のものまでにバラつきがあったものの、電気・電磁探査の解析では、高角度東傾斜の低比抵抗帯が明瞭に見られた。そのため、AFD-2 孔では、この高角度東傾斜の低比抵抗帯を確認するために、断層ラクチャーの東側から掘進し、深度 100～200m 区間で低比抵抗帯を貫く計画とした。掘進方向は、断層ラクチャーに対してほぼ直交する N65° W、掘進角度は、65° NW とした。AFD-2 孔のコア観察およびボアホールカメラ観察の結果、想定した区間で 7 か所の断層破碎帯が確認された。これらの断層破碎帯をボアホールカメラで観察した結果、主な断層破碎帯が高角度東傾斜であることを確認した。AFD-2 孔の結果は、電気・電磁探査の解析結果と調和的であった。

（3）AFD-3 孔（追加調査孔）

AFD-2 孔と AFD-1 孔の調査結果から電気・電磁探査による低比抵抗帯は、断層破碎帯を示していると推定される。しかしながら、近接する断層露頭では、堆積層と花崗岩の境界断層が高角度西傾斜を示した。この結果は、電気・電磁探査の解析結果や、AFD-1 孔と AFD-2 孔で確認された断層破碎帯の傾向と整合しないことから、堆積層と花崗岩の境界断層の連続性を確認するため、追加調査孔（AFD-3 孔）を実施することとした。AFD-3 孔は掘進長 100m とし、調査地点は現存する断層露頭から東に約 30m とした。掘進方向は断層ラクチャーに対してほぼ直交する N65° W、掘進角度は、45° NW とした。堆積層と

花崗岩の境界断層を深度 60m 付近で捉え、断層の姿勢を確認することとした。

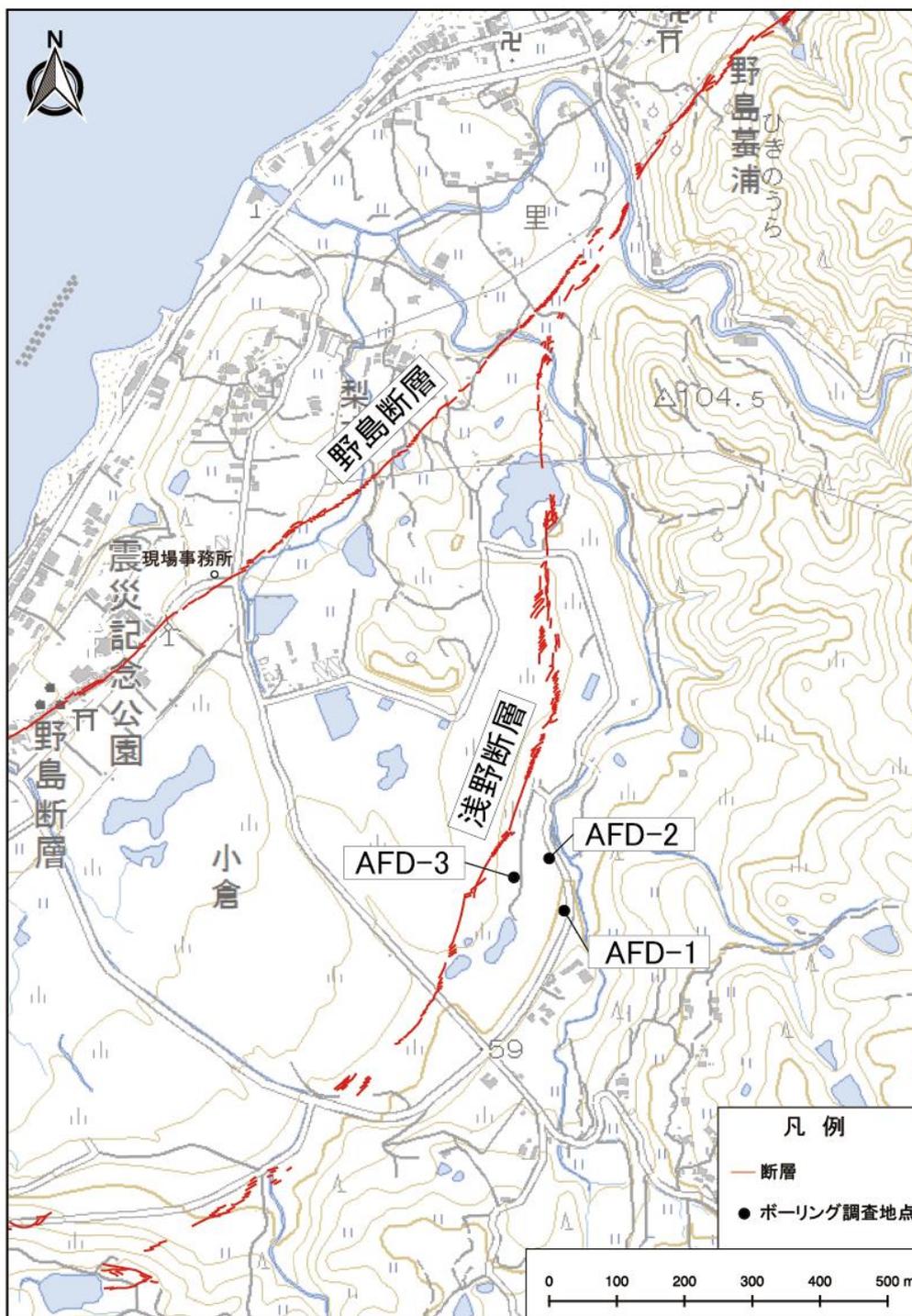


図 5.1.1 浅野断層調査地点位置図

5.2. AFD-1 孔

5.2.1. 削孔結果

AFD-1 孔は、浅野断層を対象とした 700m 鉛直孔である。浅野断層のコア試料を深度 500m 付近で採取するため、深度 100～700m までコアリングを行う計画とした。概ね計画通りに掘進され、全深度で物理検層が実施された。

以下に、削孔結果を示す。

(1) ケーシングプログラム及び掘進状況

AFD-1 孔は、浅野断層の地表ラクチャーの南東、約 120m の地点で掘進し、深度 500m 付近で浅野断層を確認する計画とした。深度 100m まではノンコア掘削とし、深度 100m からは、AFD-2 孔の実績を踏まえ、コア径が 122mm の PQ ワイヤーラインのダブルコアチューブを用いて、深度 700m まで掘進する計画とした。図 5.2.1.1 に当初掘進計画概要図を示す。

掘進は平成 28 年 9 月 23 日から開始し、地表から深度 35m まで 12-1/4”トリコンビットを用いての掘削を行い、深度 30m まで 10”ケーシングを挿入した。深度 35～100m 区間は、PQ コアチューブを用いたノンコア掘削とし、深度 100～305m 間、PQ ダブルコアチューブを用いて掘進し、オールコア採取を行った。この区間を掘進中、深度 251m 付近と深度 299m 付近の 2 箇所断層破砕帯を確認したが、掘進の支障となる湧水や逸水などが確認されなかったため、8-1/2”トリコンビットを用いた拡孔作業に移行した。ここで、深度 299m 付近で確認された断層破砕帯周辺の割れ目集中帯が深度 305m 付近まで連続していたことから、以降の掘進作業を考慮し、深度 305m まで 8-1/2”トリコンビット掘削を行い、7”ケーシングを挿入することとした。

深度 305m 以深は、PQ ワイヤーラインのダブルコアチューブで深度 700m まで掘進した。この間、深度 460m 付近、深度 535m 付近および深度 541m 付近で断層破砕帯が確認された。特に、深度 460m 付近の断層破砕帯前後の掘進中に原因不明の水圧上昇や一時的な掘削水の逸水などが確認された。また、ボアホールテレビュアの補足データとして、ボアホールカメラを用いて孔壁観察を実施した。清水を用いて孔内洗浄を行ったが、深度 460m 付近の断層破砕帯で孔壁が崩壊したため、孔壁を観察することができなかった。

AFD-1 孔の掘進は、断層破砕帯周辺でケーシング深度の変更を行った以外は、概ね計画通りに掘進が完了した。図 5.2.1.2 に掘進実績概要図を示す。

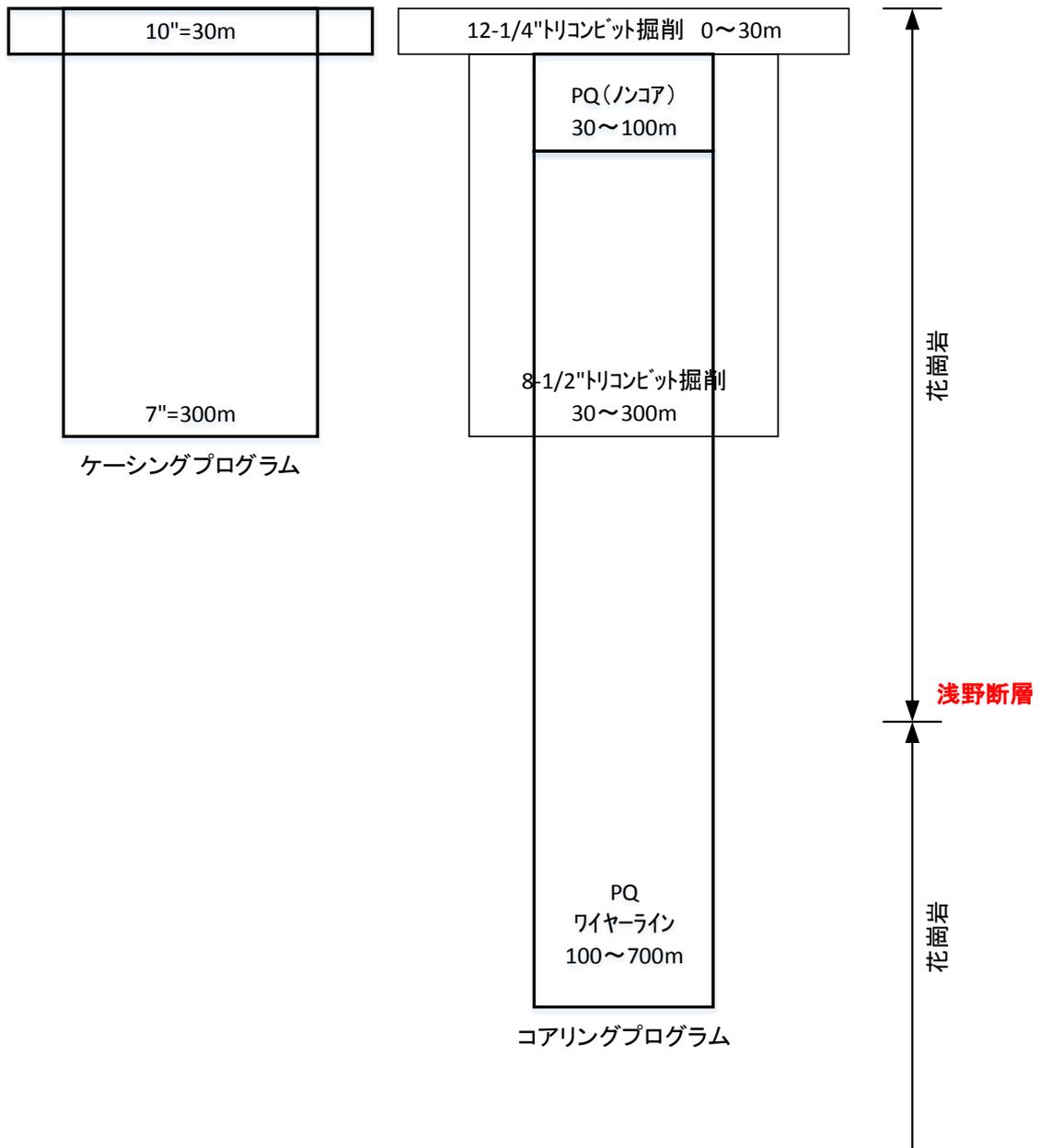


図 5.2.1.1 AFD-1 孔当初掘進計画概要図 (浅野断層の深度を 500m と想定)

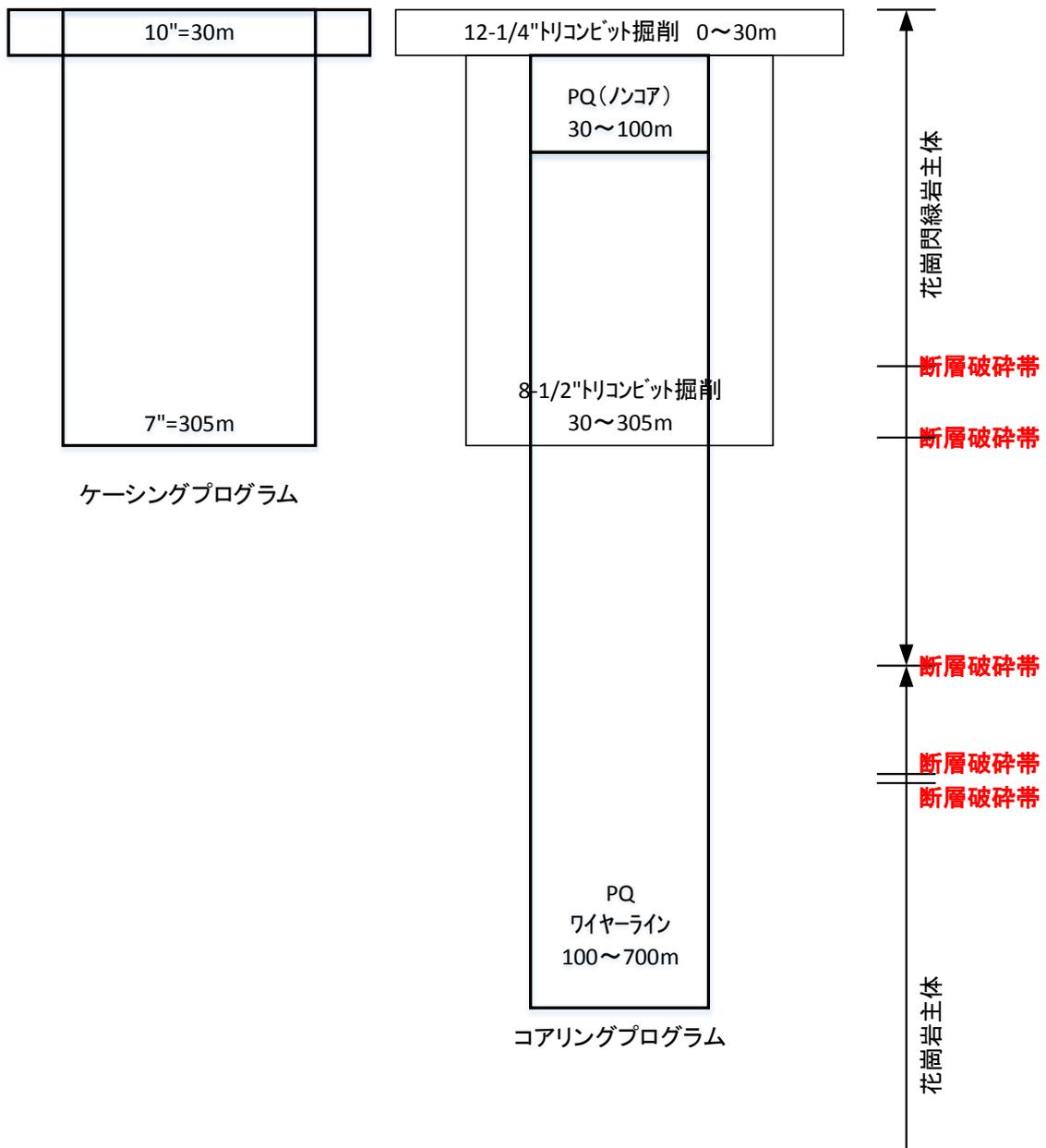


図 5.2.1.2 AFD-1 孔掘進実績概要図（浅野断層の深度を 500m と想定）

(3) 孔井の方位及び傾斜

孔井の方位及び傾斜を確認するために、孔曲がり測定を実施した。測定は約 50m の掘進ごとに行われ、計 14 回実施した。表 5.2.1.2 に測定結果を示す。

方位は、掘進開始から深度 110m 付近までは北東方向 (N33~38° E)、深度 110m 以深は東北東方向 (N68~83° E) であった。

傾斜は、掘進開始から深度 550m 付近までは 1° 以下、深度 550m 以深で 1.4° の孔曲がりが生じた。

孔跡を検討する代表断面として、AFD-1 孔と AFD-2 孔を直線で結んだ断面図を用いた孔跡解析結果断面図を図 5.2.1.4 に示す。孔口から孔底までの平均掘進角度は、約 89° であった。本報告書では、この平均掘進角度を用いて AFD-1 孔の垂直深度を算定することとした。

表 5.2.1.2 孔井の方位及び傾斜測定結果一覧表

回数	深度	磁針方位 (M.N.)	真方位 (T.N.)	鉛直からの角度 (°)
1	56.97m	N40° E	N33° E	1.0°
2	110.97m	N45° E	N38° E	1.0°
3	147.9m	N80° E	N73° E	1.0°
4	201.9m	(N90°)E	N83° E	0.5°
5	255.9m	N75° E	N68° E	1.0°
6	290.9m	N80° E	N73° E	0.8°
7	346m	S89° E	N84° E	1.0°
8	404m	N82° E	N75° E	0.8°
9	458m	N89° E	N82° E	1.0°
10	512m	N84° E	N77° E	1.0°
11	543m	N85° E	N78° E	1.0°
12	597m	N89° E	N82° E	1.4°
13	651m	N89° E	N82° E	1.4°
14	700m	(N90°)E	N83° E	1.4°

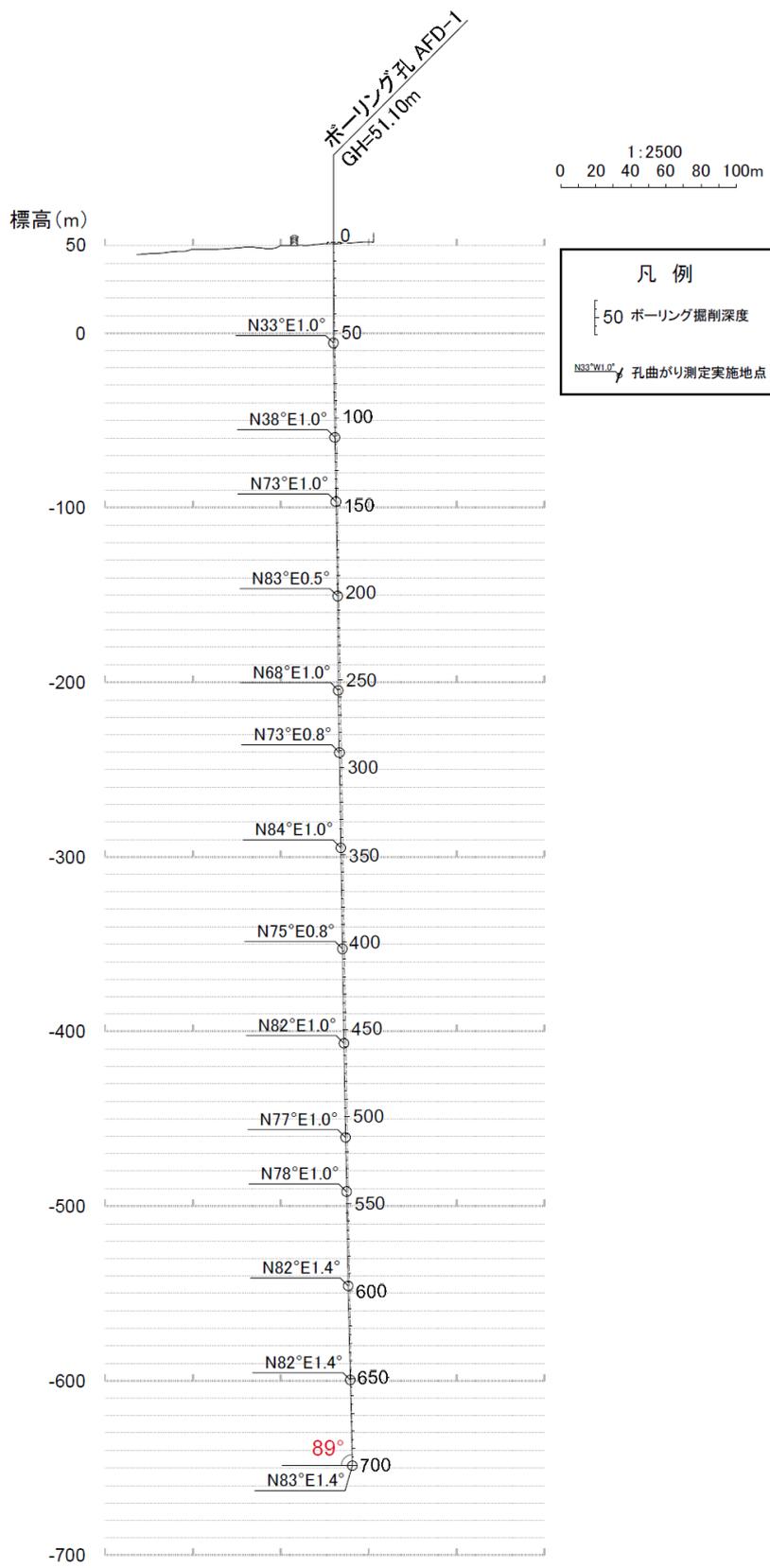


図 5.2.1.4 孔跡解析結果断面図

5.2.2. コア観察結果

AFD-1 孔の調査では、深度 100～700m の区間でコア観察を実施した。深度 0～100m 区間については、オールコアサンプリングを行っていないが、部分的に回収されたコアの観察や物理検層、掘進状況から地質構造を推定した。なお、本項で示される「深度」については、特に記載がない限り「掘削深度」を指すこととする。

以下、(1) 地質、(2) 断層破碎帯、(3) せん断面の項目別に観察結果を示す。

(1) 地質

図 5.2.2.1 に AFD-1 孔柱状図を示す。主な岩種は閃緑岩、花崗閃緑岩及び花崗岩である。深度 477.65m までは主に暗灰色中心の閃緑岩で構成されているが、深度 477.65m 以深では花崗岩及び花崗閃緑岩の割合が増え、灰～灰白色といった明るめの色調になる。地表から深度別に岩種区分を示すと、深度 0～52.77m 間では花崗閃緑岩、52.77～307.75m 間は閃緑岩、307.75～326.92m 間では花崗閃緑岩、326.92～368.23m 間では閃緑岩、368.23～379.53m 間では花崗閃緑岩、379.53～477.65m 間では閃緑岩と続く。さらに、主に花崗閃緑岩及び花崗岩から構成される深度 477.65m 以深は、深度 477.65～518.48m 間では花崗岩、518.48～575.96m 間では閃緑岩、575.96～583.50m 間では花崗閃緑岩、583.50～598.75m 間では花崗岩、598.75～611.48m 間では花崗閃緑岩、611.48～618.94m 間では安山岩、618.94～627.35m 間では花崗岩、627.35～652.58m 間では閃緑岩、652.58～659.06m 間では花崗閃緑岩、659.06～700.00m (孔底) までは花崗岩となる。

各地層の詳細を以下に示す。

・花崗閃緑岩

本孔では、深度 0～52.77m、307.75～326.92m、368.23～379.53m、575.96～583.50m、598.75～611.48m 及び 652.58～659.06m で花崗閃緑岩が確認された。色調は灰色を主とし、一部に青灰色、灰白色のものが認められる。粒径 2～4mm の鉱物を多く含み、等粒状組織を示す。岩級は C_M 級を主体とし、全体的に堅硬である。

組織は不均質で、所々で径 2～50cm の閃緑岩のゼノリスを含む (例えば 369.54～370.20m 間など)。また深度 307.55～326.92m では、白色の鉱物脈が多く認められ、鉱物脈の一部は変質を受け淡黄色を呈する。花崗閃緑岩は閃緑岩に貫入しており、閃緑岩との境界沿いでは局所的な細かい割れ目が発達している。境界部分では変質を受けている箇所も見られる (例えば、深度 307.75m 付近など)。深度 368.23～379.53m では全体的に割れ目及びせん断面が発達し、せん断面に沿って角礫状～粘土状を呈する箇所が認められる (例えば、374.39～374.86m)。また、深度 583.50m 及び深度 598.75m などのように、花崗閃緑岩と花崗岩が漸移的に変化している箇所も認められ

る。

・閃緑岩

本孔では、深度 52.77～307.75m、326.92～368.23m、379.53～477.65m、518.48～575.96m 及び 627.35～652.58m で閃緑岩が確認された。色調は暗灰色で、粒径 1～3mm の鉱物を多く含み、等粒状組織を示す。岩級は C_M～C_H 級を主体とし、全体的に堅硬である。

全深度に渡って、花崗閃緑岩及び花崗岩の貫入を受けており、一部の境界で同化が認められる。貫入する花崗閃緑岩及び花崗岩中には閃緑岩のゼノリスが含まれることが多い。また、安山岩（例えば、深度 438.53～443.03m）やアプライト（例えば、深度 400.39m 付近）の貫入も認められる。一部の安山岩とアプライトとの境界沿いは、せん断面や割れ目の発達による角礫状コアが認められる。深度 290m 以浅及び深度 627.35～652.58m では比較的堅硬であるものの、その間の区間では深くになるにつれて割れ目及びせん断面が多くなり、特に深度 440～460m にかけて割れ目及びせん断面の発達が著しい。せん断面沿いには弱破碎部やカタクレーサイト、断層角礫、断層ガウジが多く認められた。

・花崗岩

本孔では深度 477.65～518.48m、583.50～598.80m、618.94～627.35m 及び 659.06～700m で花崗岩が確認された。色調は灰白色で、粒径 2～6mm の鉱物を多く含み、一部では 15mm の粗粒な鉱物も認められる（深度 583.50～598.75m）。等粒状組織を示す。岩級は C_M～C_H 級を主体とするが、深度 681.41～700m では割れ目が発達し、C_L 級を主体とする。

深度 598.75m 以浅では、閃緑岩のゼノリスが径 1～100cm で認められる。深度 618.94 以深では安山岩が貫入し、一部の境界ではせん断面や割れ目の発達による角礫状コアが認められる。深度 681.41m 以浅は角度 5～35° の低角度のせん断面が多く認められ、せん断面沿いに幅数 mm に渡って葉片状～粘土状を呈する。深度 681.41m 以深は低角度のせん断面に加えて、角度約 60～85° の高角度の割れ目及びせん断面も認められ、一部のせん断面に沿って葉片状～角礫状を呈する。

・安山岩

本孔では深度 611.48～618.94m で安山岩が確認された。色調は暗緑灰色で、無斑晶組織を示す。岩級は C_M 級を主体とし、堅硬である。

花崗岩及び花崗閃緑岩のゼノリスが径 30～60cm で認められる。上位及び下位の花崗岩に貫入し、上位の花崗閃緑岩との境界には角度約 75° のせん断面が認められ、下位の花崗岩との境界には細かい割れ目が発達する。深度 616.42～616.82m にはカタ

クレーサイトが認められ、上端下端の角度は約 80° である。

コア観察及びボアホールカメラ観察から、せん断性の割れ目や軟質化が進んだ割れ目、ガウジを挟在する割れ目など、断層運動に伴ってできたせん断面を確認した。このようなせん断面が卓越し、かつ、周囲に角礫や砂状～粘土状の試料が産する箇所を断層破碎帯として整理した。

観察の結果、5 か所の断層破碎帯が認められた。断層破碎帯は浅部から AFD-1-f1 (深度 250.35～252.74m)、AFD-1-f2 (深度 298.17～299.71m)、AFD-1-f3 (深度 459.68～462.56m)、AFD-1-f4 (深度 534.18～537.47m)、AFD-1-f5 (深度 540.30～543.83m)、とした。

以上の観察結果より作成した柱状図を図 5.2.2.1 に示した。

さらに、ボアホールカメラから観察されたせん断面、岩種境界及びその他割れ目の走向・傾斜を計測し、全体 (図 5.2.2.2)、割れ目 (図 5.2.2.3)、せん断面 (図 5.2.2.4) に分けてシュミットネットに投影した。割れ目の姿勢は、北東走向 ($N10\sim50^{\circ} E$) の中～高角度南東傾斜 ($45\sim75^{\circ} SE$) のものと、東西走向の低角度傾斜のもの ($10\sim20^{\circ}$) が卓越し、前者は現在の浅野断層の姿勢に近い。せん断面の姿勢は、傾斜 $10\sim25^{\circ}$ の小円分布を示すものが卓越する。高角度を示すせん断面は、 $NS\sim N20^{\circ} E$ 、 $50\sim80^{\circ} SE$ のもの、 $N40\sim80^{\circ} E$ 、 $60\sim80^{\circ} SE$ 、 $N20\sim60^{\circ} E$ 、 $55\sim80^{\circ} NW$ のものが卓越する。

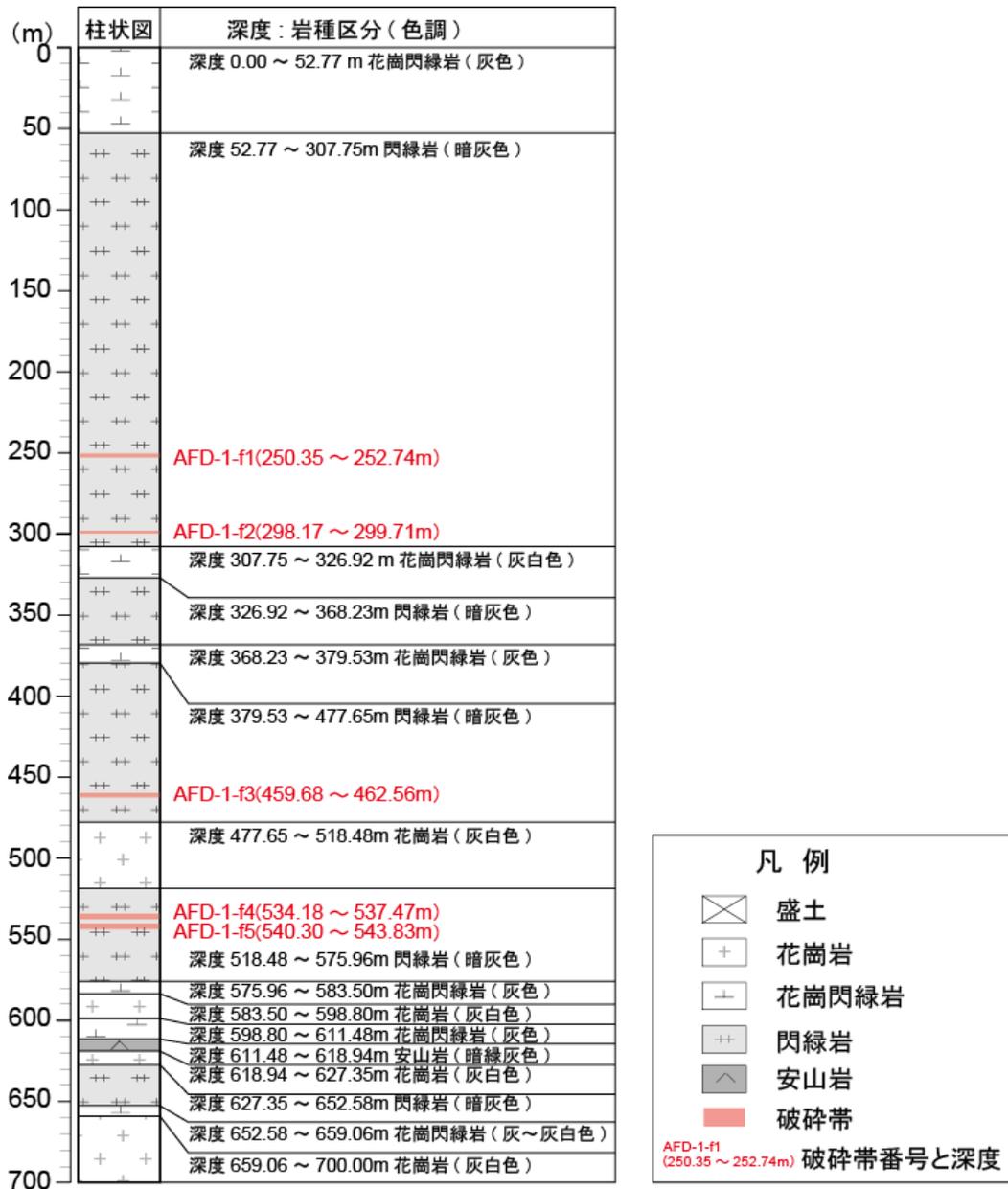


図 5.2.2.1 AFD-1 孔柱状図

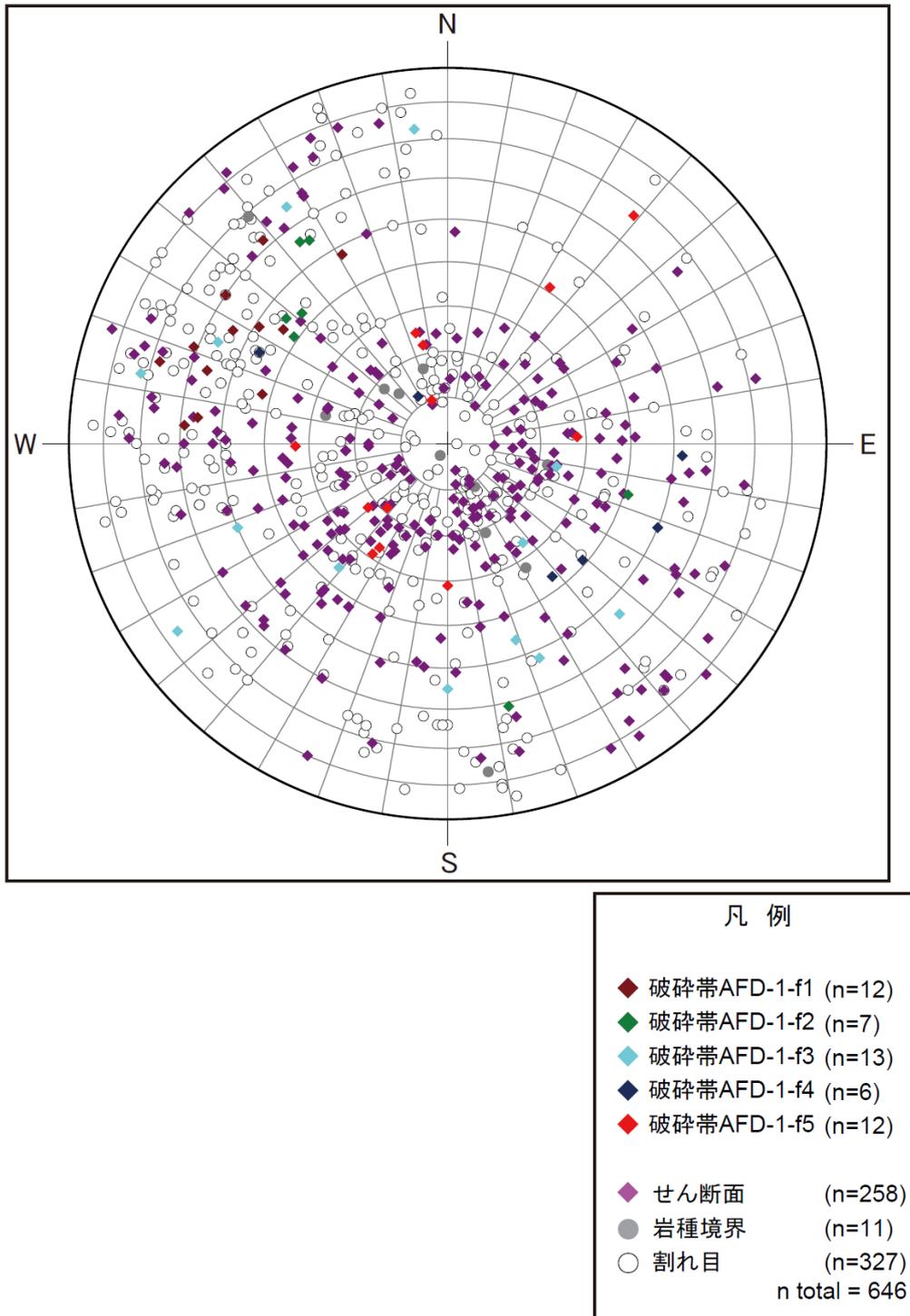


図 5.2.2.2 AFD-1 孔シュミットネット解析結果 (全体)

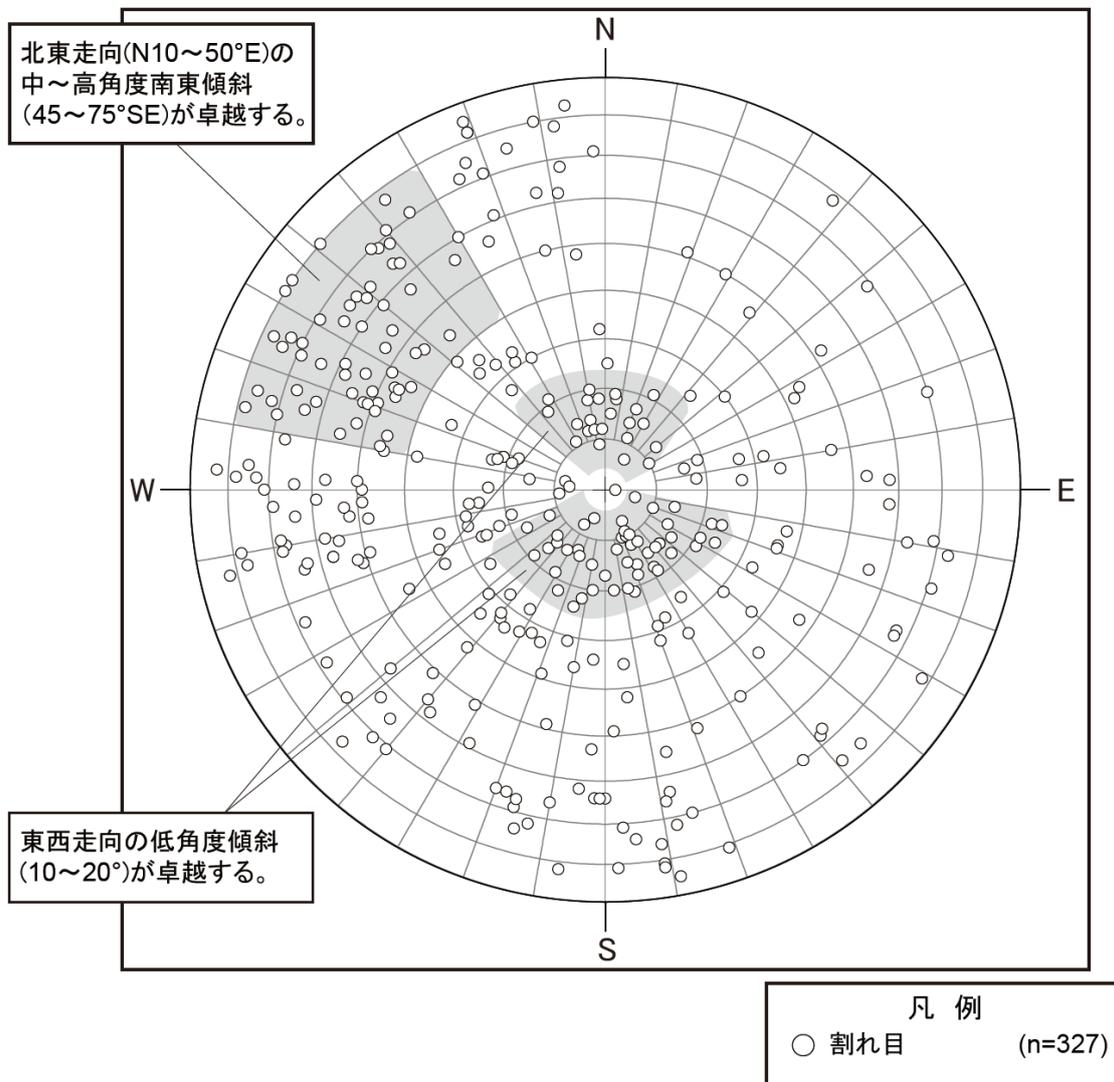


図 5.2.2.3 AFD-1 孔シュミットネット解析結果 (割れ目)

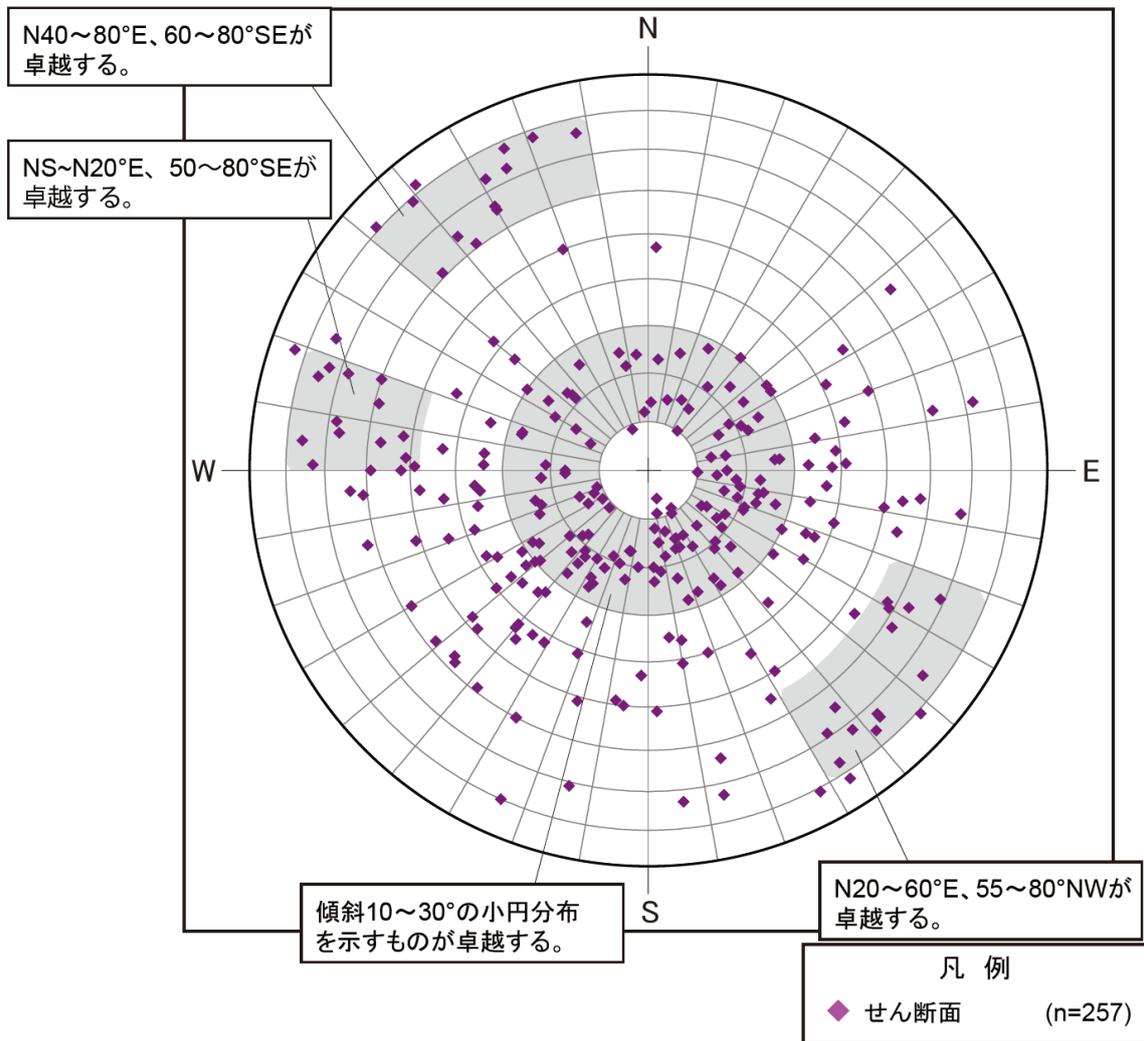


図 5.2.2.4 AFD-1 孔シュミットネット解析結果 (せん断面)

(2) 断層破砕帯

上述の各断層破砕帯について詳細な観察を行い、破砕帯の幅、固結度、破砕の分布、せん断面の有無など、性状を確認した。

各断層破砕帯の特徴を表5.2.2.1に整理した。

表5.2.2.1 AFD-1孔の破砕帯一覧表

孔名	破砕帯						破砕帯及びせん断面の特徴	
	破砕帯番号	上端深度 (m)	下端深度 (m)	破砕帯の走向・傾斜	破砕帯の固結度	見掛けの破砕帯幅 (m)		断層ガウジ
AFD-1孔	AFD-1-f1	250.35	252.74	N35° E44° SE N61° E48° S N48° E62° SE N15° E42° E N6° E56° E N4° E59° E N34° E60° SE N21° E61° E N16° E68° E N28° E54° E N17° E56° E N32° E49° SE	未固結/ 半固結	2.39	有	・深度251.32m付近に灰色粘土状断層ガウジが認められ、角度約45°のせん断面に切られている。 ・深度251.73及び251.76m付近に灰白色及び灰色砂混じり粘土状断層ガウジが認められる。断層ガウジは角度約40°のせん断面で接する。
	AFD-1-f2	298.17	299.71	N38° E45° SE N42° E43° SE N35° E41° SE N56° E55° SE N16° E41° W N54° E56° SE N77° E61° N	半固結	1.54	無	・断層角礫からなり、深度298.17～298.49m間は基質の割合が多く、角度40～50°のせん断面が複数認められる。
	AFD-1-f3	459.68	462.56	N53° E27° NW N24° E56° SE N13° E72° E EW55° N N35° W76° NE N84° E73° S N45° E54° NW N67° E52° NW N56° E65° SE N71° E46° N N22° W50° E N49° W36° NE N12° E24° W	半固結/ 固結	2.88	はさい	・深度460.33～460.54m間に灰色礫混じり粘土状断層ガウジが認められ、礫径は2～10mmである。 ・上盤側の深度459.65～459.97m間は湾曲した角度約85°の暗灰色カタクレーサイトが認められる
	AFD-1-f4	534.18	537.47	N22° E50° W N41° E39° NW N26° E46° SE N52° E37° NW N58° E12° SE N3° E52° W	半固結	3.29	有	・深度534.38m付近に角度約70°、幅約1.2cmの暗灰色粘土状断層ガウジが認められ、深度534.32m付近の角度約20°のせん断面を切る。断層ガウジ沿いは幅約3cmにわたって角礫状を呈する。 ・深度536.92m付近に角度約60°、幅約8mmの暗灰色粘土状断層ガウジが認められ、ガウジ沿いは幅約2cmにわたって楔状の割れ目が発達する。下盤側には角度約60°のせん断面が発達した灰白色のカタクレーサイトが認められる。
	AFD-1-f5	540.30	543.83	N74° E25° S N76° E22° S N51° W67° SW N57° W41° SW N56° W29° NE N70° E10° S N1° W33° E EW31° N N3° W28° W N57° W27° NE N39° W22° NE N47° W19° NE	半固結	3.53	有	・深度541.29～541.39m間は角礫状～砂混じり角礫状の断層角礫が認められるが、深度541.36m付近の角度約25°、幅約8mmの砂状の断層角礫によって切られている。

各破砕帯の詳細を以下に示す。

・ AFD-1-f1 (深度250.35～252.74m)

閃緑岩を原岩とした未固結～半固結の断層破砕帯。図 5.2.2.5 に調査結果図を、図 5.2.2.6 にシュミットネット解析結果を示す。本破砕帯は、ボアホールカメラ観察によって12か所のせん断面が確認され、走向・傾斜はN5～35° E、45～60° SEを中心

とする。これらのせん断面のうち、深度 251.35m 及び 251.74m の 2 条については厚い断層ガウジを伴っている。深度 251.35m のせん断面で発達した断層ガウジは、上下に異なる 2 層の粘土層が見られる。上位のガウジは、未固結の灰色粘土状を呈し、角度約 45°、幅 1~20mm で、上端を角度約 45° のせん断面によって切られ、くさび状を呈する。下位の断層ガウジは、半固結灰色粘土混じり砂状を呈し、角度約 45°、幅 20~25mm である。また、深度 251.73m のせん断面で発達した断層ガウジも同様に 2 層の粘土層が認められる。上位は未固結灰色砂混じり粘土状を呈し、角度約 40°、幅約 30mm である。下位は半固結の砂混じり粘土状を呈する。破碎帯 AFD-1-f1 では、厚みのある断層ガウジを伴う深度 251.32m 及び 251.73m のせん断面をそれぞれ AFD-1-s1①、②とし、詳細に観察することとした。

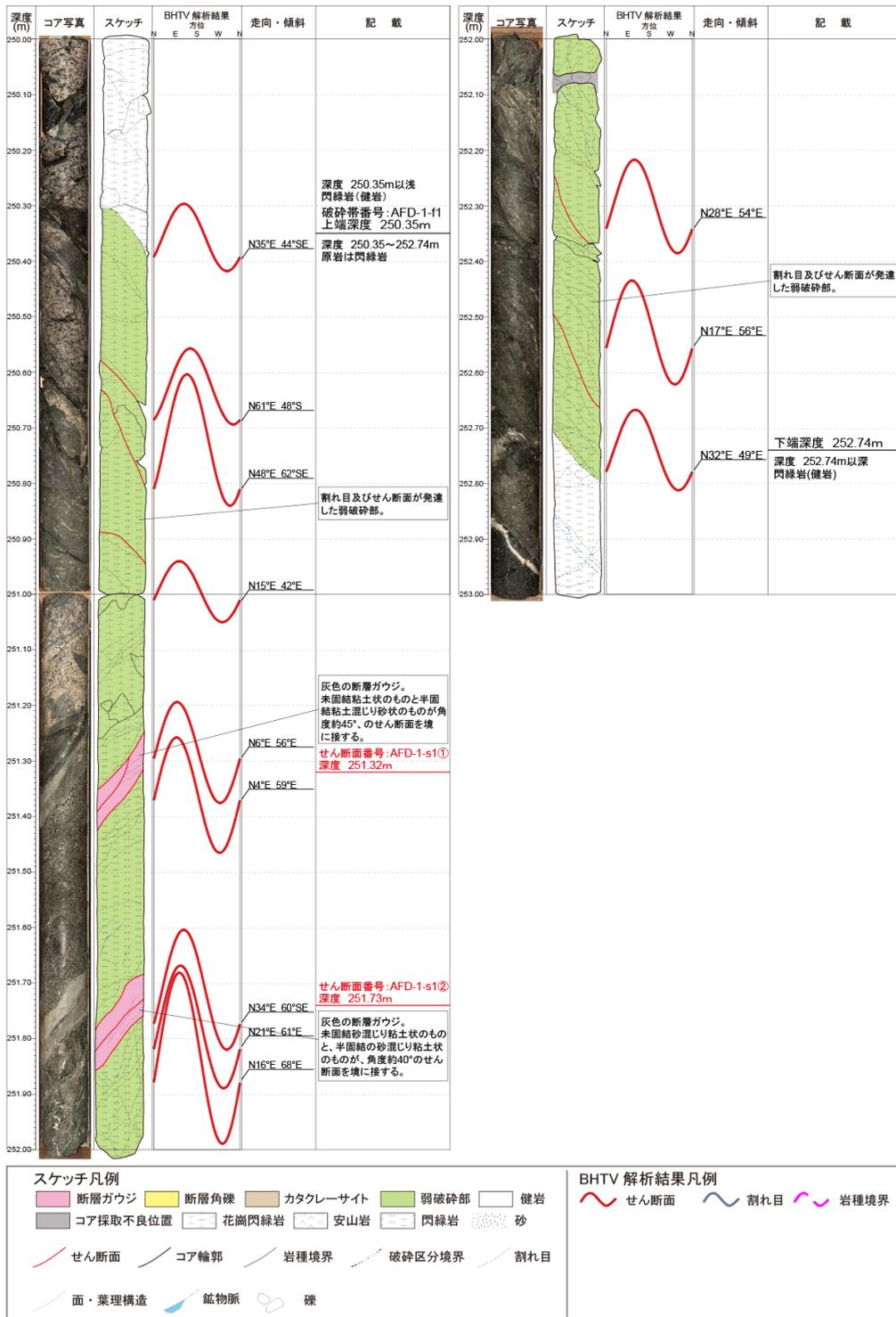


図5.2.2.5 破砕帯AFD-1-f1調査結果

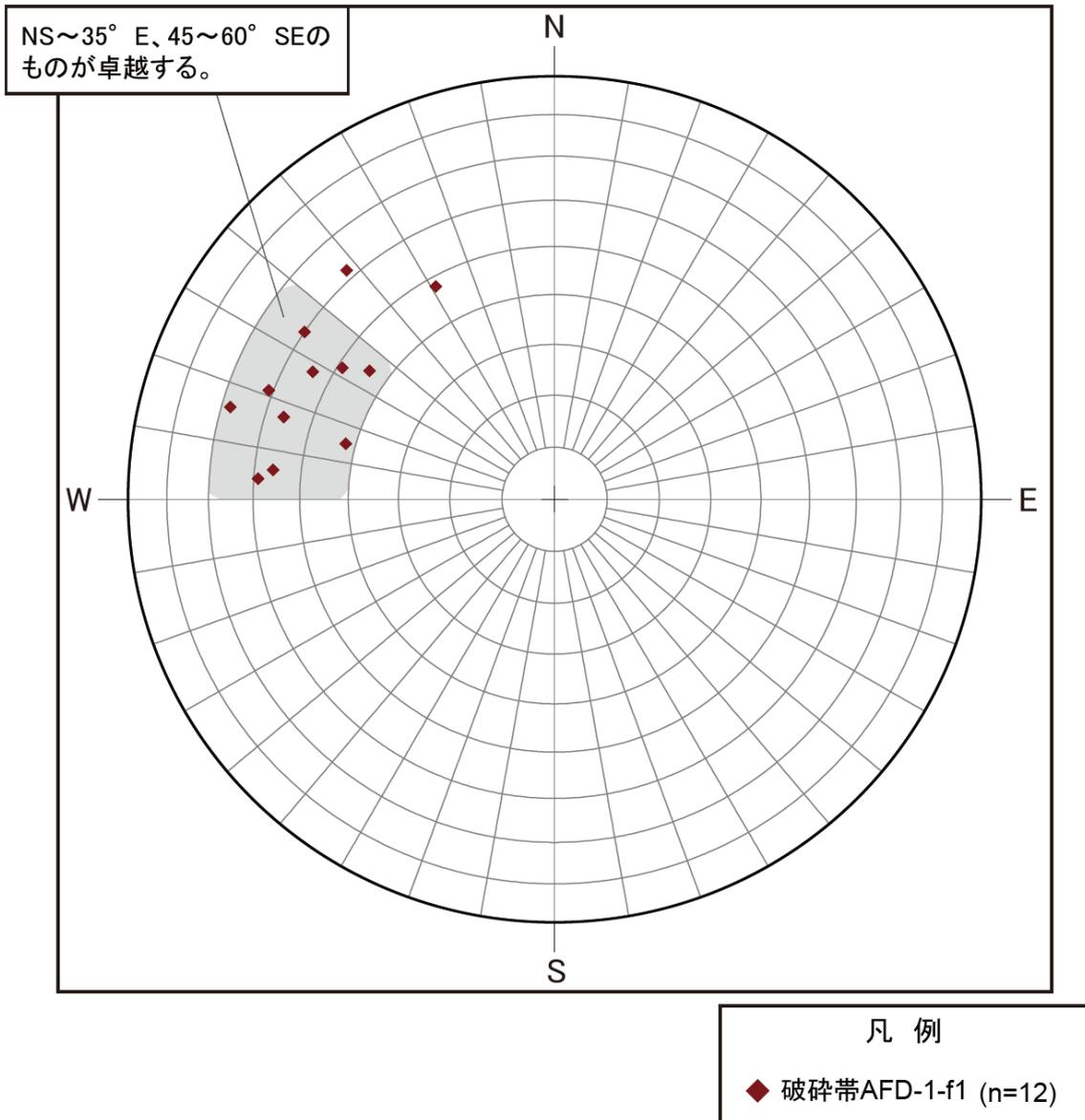


図5.2.2.6 破砕帯AFD-1-f1シュミットネット解析結果

・ AFD-1-f2 (深度298.17~299.71m)

暗灰色半固結の断層角礫からなる、閃緑岩を原岩とした半固結の断層破碎帯。図 5.2.2.7 に調査結果図を示す。本破碎帯は、ボアホールカメラ観察によって 7 か所のせん断面が確認され、走向・傾斜は N30~50° E、40~60E° を中心とする。断層角礫の礫径は 1~80mm、基質は砂状で淘汰が悪い。断層角礫中には破碎された白色鉍物脈の破片が認められる。深度 298.17~298.49m 間では、基質の割合が多く、基質は粘土混じり砂からなる。基質中には、葉片状構造が複数認められる。破碎帯下端では、角度約 60° のせん断面が認められ、せん断面沿いに白色鉍物脈が破碎されている。本破碎帯は全体に渡って断層角礫から構成されているが、明瞭な断層ガウジを伴うせん断面は認められなかった。

・ AFD-1-f3 (深度 459.68~462.56m)

緑灰色の断層ガウジ及び暗灰色の断層角礫からなる、閃緑岩を原岩とする断層破碎帯。図 5.2.2.8 に調査結果図を、図 5.2.2.9 にシュミットネット解析結果を示す。本破碎帯は、ボアホールカメラ観察によって 15 か所のせん断面が確認され、走向・はばらつくものの、高角度東傾斜 (65~75° E) のものが多い。全体的に割れ目が発達し、断層角礫を多く伴っている。深度 460.32m のせん断面沿いには、幅約 28mm の厚い断層ガウジが発達し、径 2~10mm の閃緑岩の角礫や石英の破碎岩片を取り込んでいいる。断層ガウジの上位には、半固結粘土混じり角礫状の断層角礫が認められる。この断層角礫は閃緑岩を原岩とし、礫径 5~12mm、基質は粘土状である。この深度 460.33m のせん断面を AFD-1-s3 とし、より詳細に観察することとした。

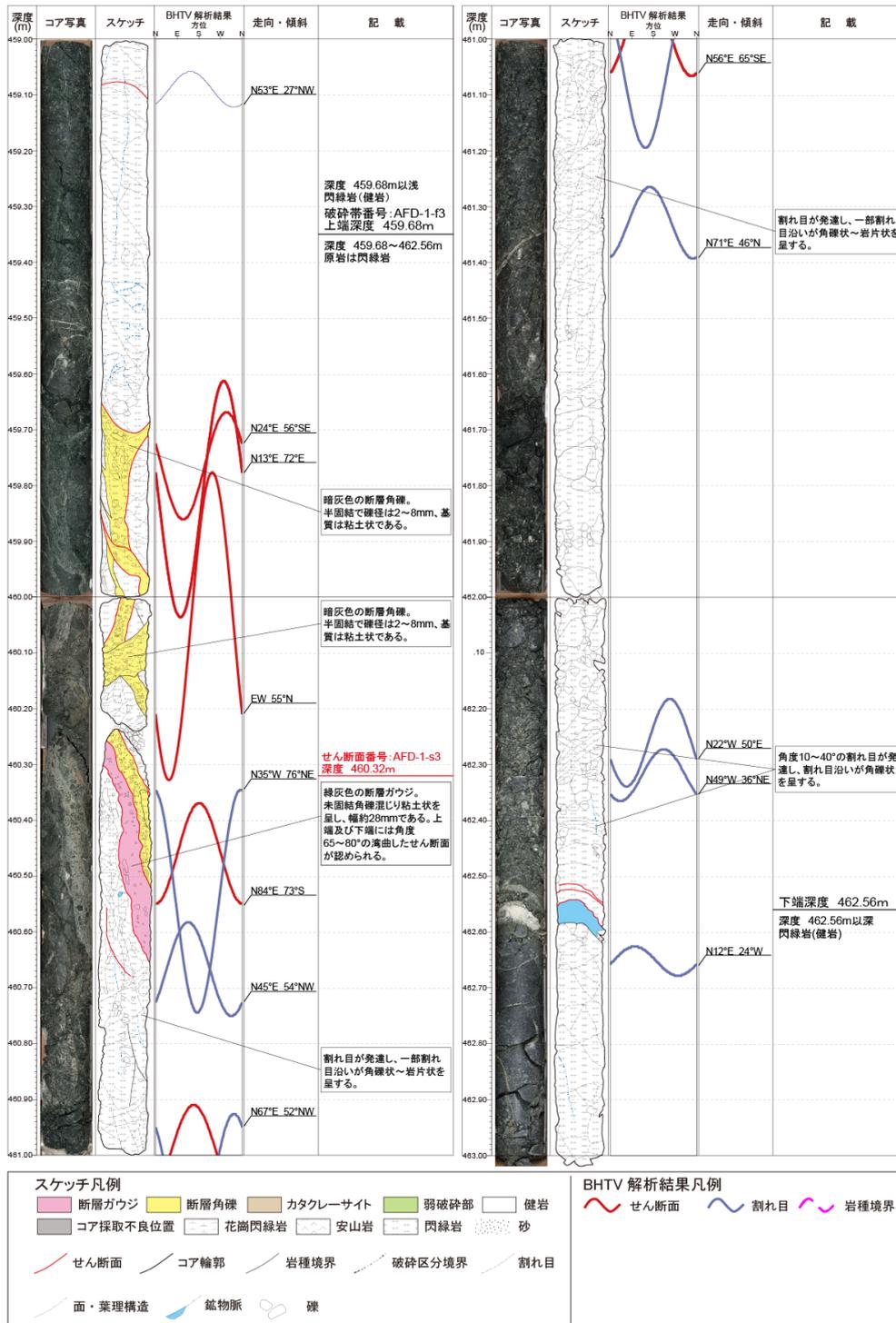


図5.2.2.8 破砕帯AFD-1-f3調査結果図

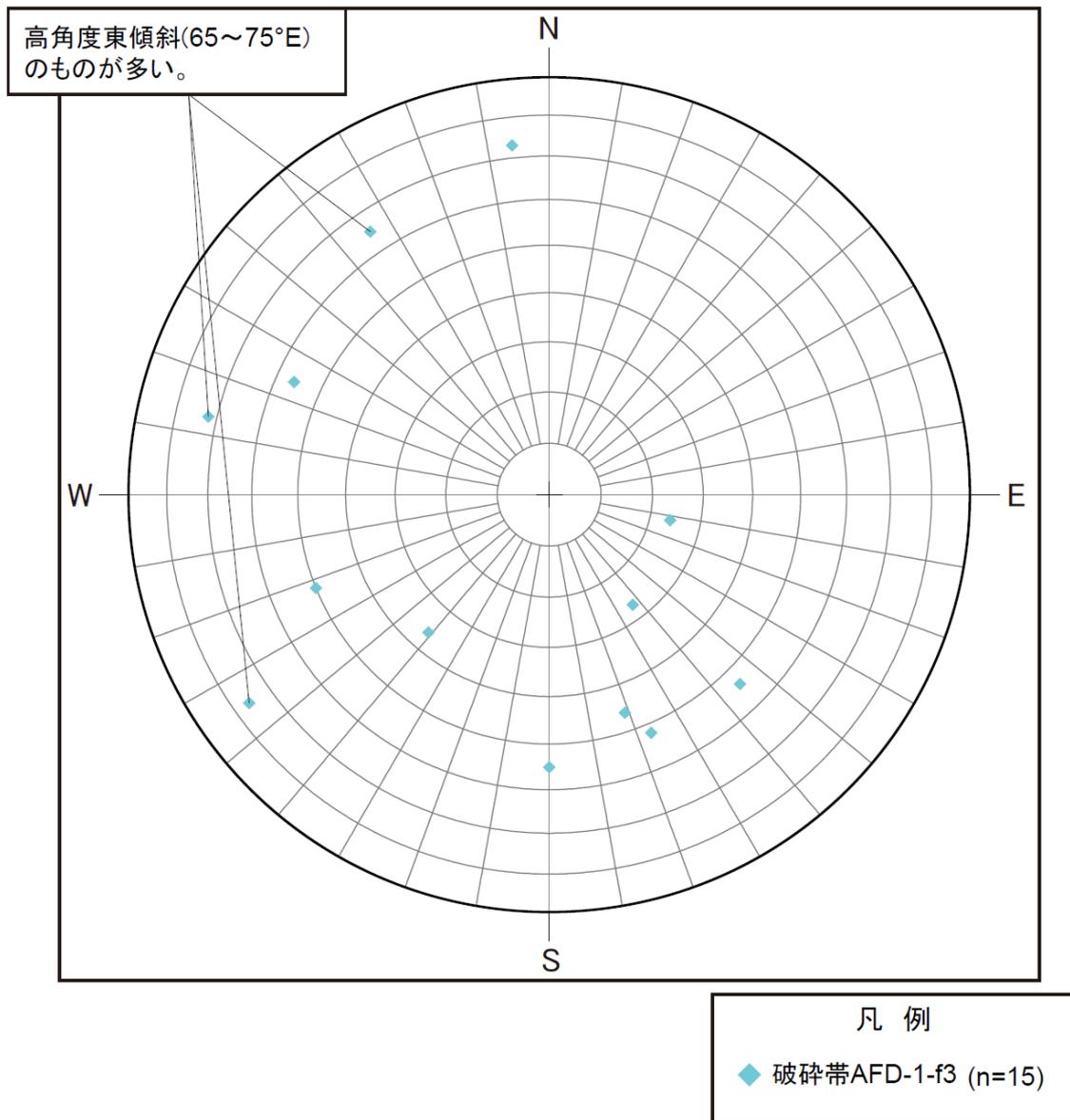


図 5.2.2.9 破砕帯 AFD-1-f3 シュミットネット解析結果

・ AFD-1-f4 (深度 534.18~537.47m)

閃緑岩を原岩とした半固結の断層破砕帯。図 5.2.2.10 に調査結果図を示す。本破砕帯では、ボアホールカメラ観察によって 6 か所のせん断面が確認された。せん断面の走向・傾斜は N5~50° E、40~50° NW を中心とする。深度 534.18~534.55m、535.11~535.27m 及び 536.51~537.47m 間では、破砕の影響が特に強く見られた。

深度 534.18~534.55m の破砕部では、明青灰色のカタクレースイト及び断層角礫が多くを占めている。カタクレースイトは細粒で、深度 534.26m 付近に見られる角度約 70° のせん断面で切られている。断層角礫は閃緑岩を原岩とし、礫径 2~6mm、基質は粘土状であった。断層角礫の下位には、明青灰色の閃緑岩の弱破砕部が認められる。深度 535.11~535.27m の破砕部では、青灰~黄灰色の断層角礫が多く認められる。断層角礫はその見た目から、さらに次の 3 層に区分することができる。角礫混じり砂状 (深度 535.11~535.15m)、粘土混じり角礫状 (深度 535.15~535.23m)、角礫状 (深度 535.23~535.27m)。深度 536.51~536.74m の破砕部では、暗灰色の断層角礫が多く、半固結の砂混じり角礫状を呈している。

深度 536.91m 付近では、角度約 60° のせん断面に沿って明青灰色の断層ガウジが認められる。断層ガウジは 2 層認められ、上位のものは半固結砂混じり粘土状、下位のものは未固結粘土状を呈する。これら断層ガウジの下位には湾曲したせん断面が認められ、下位の灰白色のカタクレースイトと接する。このカタクレースイト中には、角度約 50° のせん断面及び白色鉱物脈が発達している。

破砕帯 AFD-1-f4 では、深度 534.26m のカタクレースイトを切るせん断面と、深度 536.91m の断層ガウジを伴うせん断面をそれぞれ AFD-1-s4①、②とし、より詳細に観察することとした。

・ AFD-1-f5 (深度 540.30~543.83m)

閃緑岩を原岩とした半固結の断層破砕帯。図 5.2.2.11 に調査結果図を、図 5.2.2.12 にシュミットネット解析結果を示す。本破砕帯は、ボアホールカメラ観察によって 12 か所のせん断面が確認された。せん断面の走向はばらつくものの、低角度東傾斜のもの (10~30° E) が多い。所々でこれらのせん断面に挟まれるような形で断層角礫が観察される。深度 540.40~540.83m で見られる断層角礫は、暗灰色半固結砂混じり角礫状で、礫径 2~50mm である。深度 541.29~541.35m で見られる断層角礫は灰色の半固結砂状~砂混じり角礫状で、礫径 2~25mm である。下端は角度約 25° のせん断面によって切られている。深度 542.78~542.96m の断層角礫は暗灰色半固結砂混じり角礫状で、礫径 2~50mm、基質は砂状である。深度 543.50~543.83m では、灰白色のカタクレースイトが認められる。カタクレースイトは角度 10~15° の割れ目が認められ、白色鉱物脈に充填される。

破碎帯 AFD-1-f5 では、断層角礫を伴い、構造がはっきりと見える深度 541.35m のせん断面を AFD-1-s5 とし、より詳細に観察することとした。

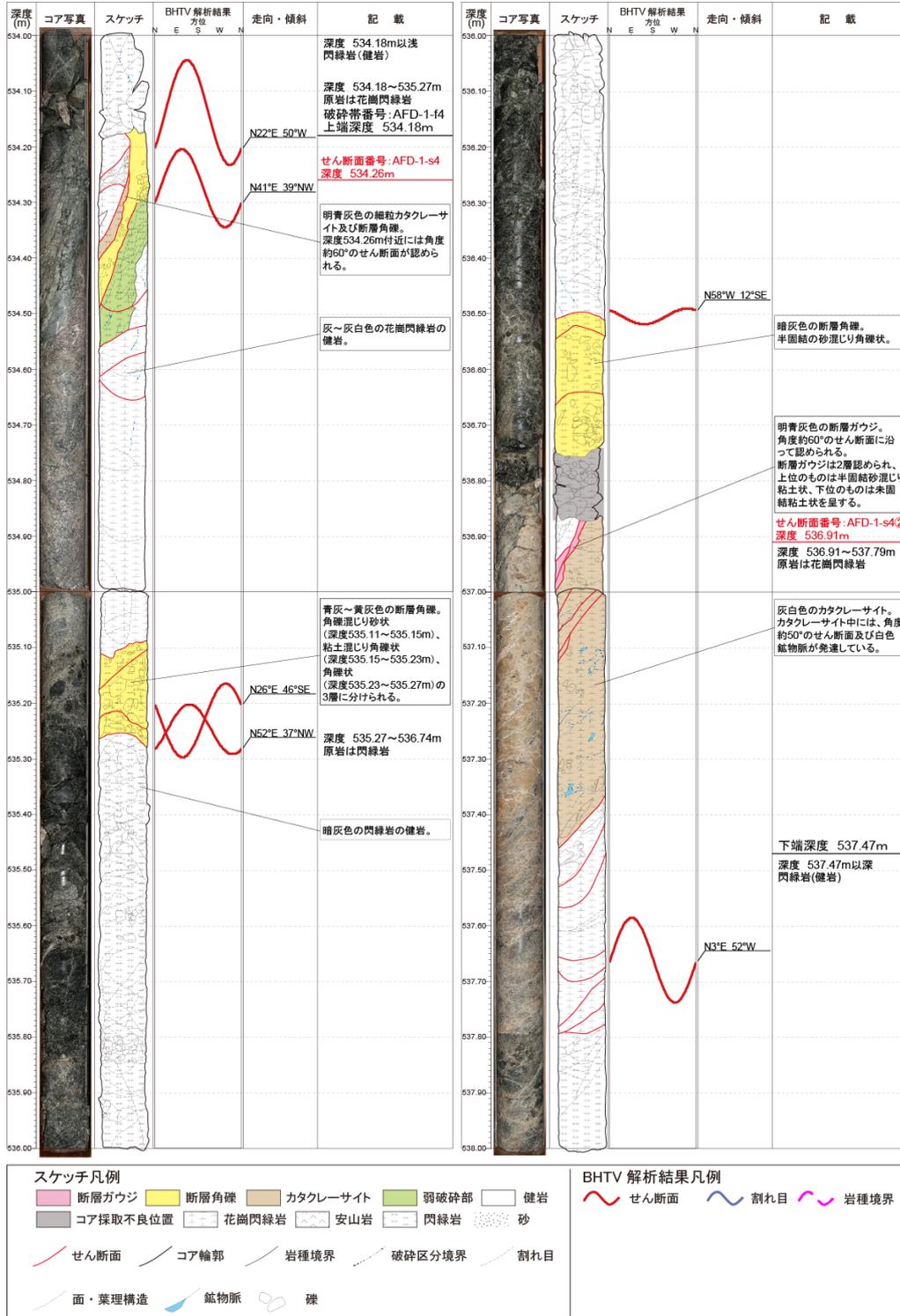


図 5.2.2.10 破碎帯 AFD-1-f4 調査結果図

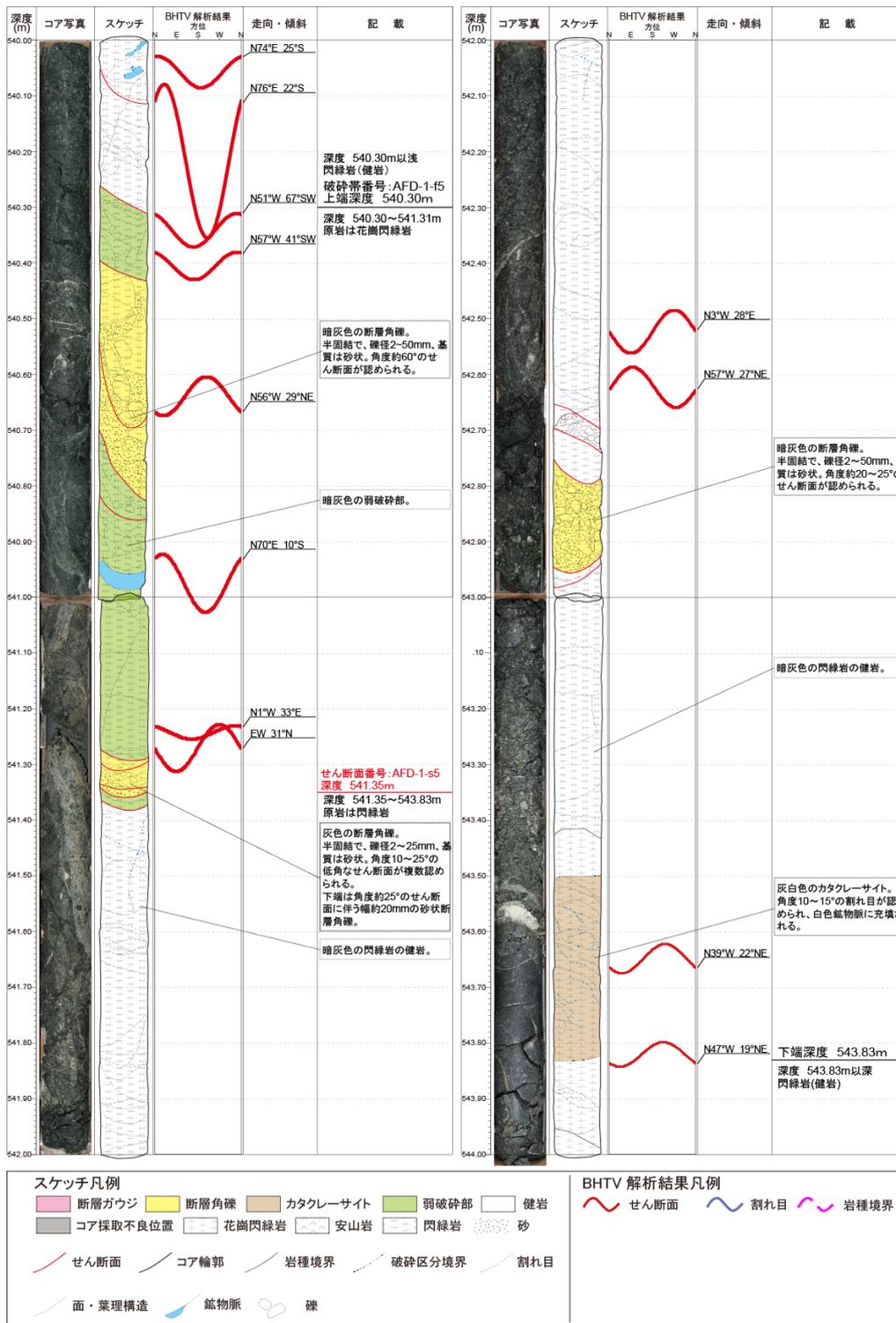


図5.2.2.11 破碎帯AFD-1-f5調査結果図

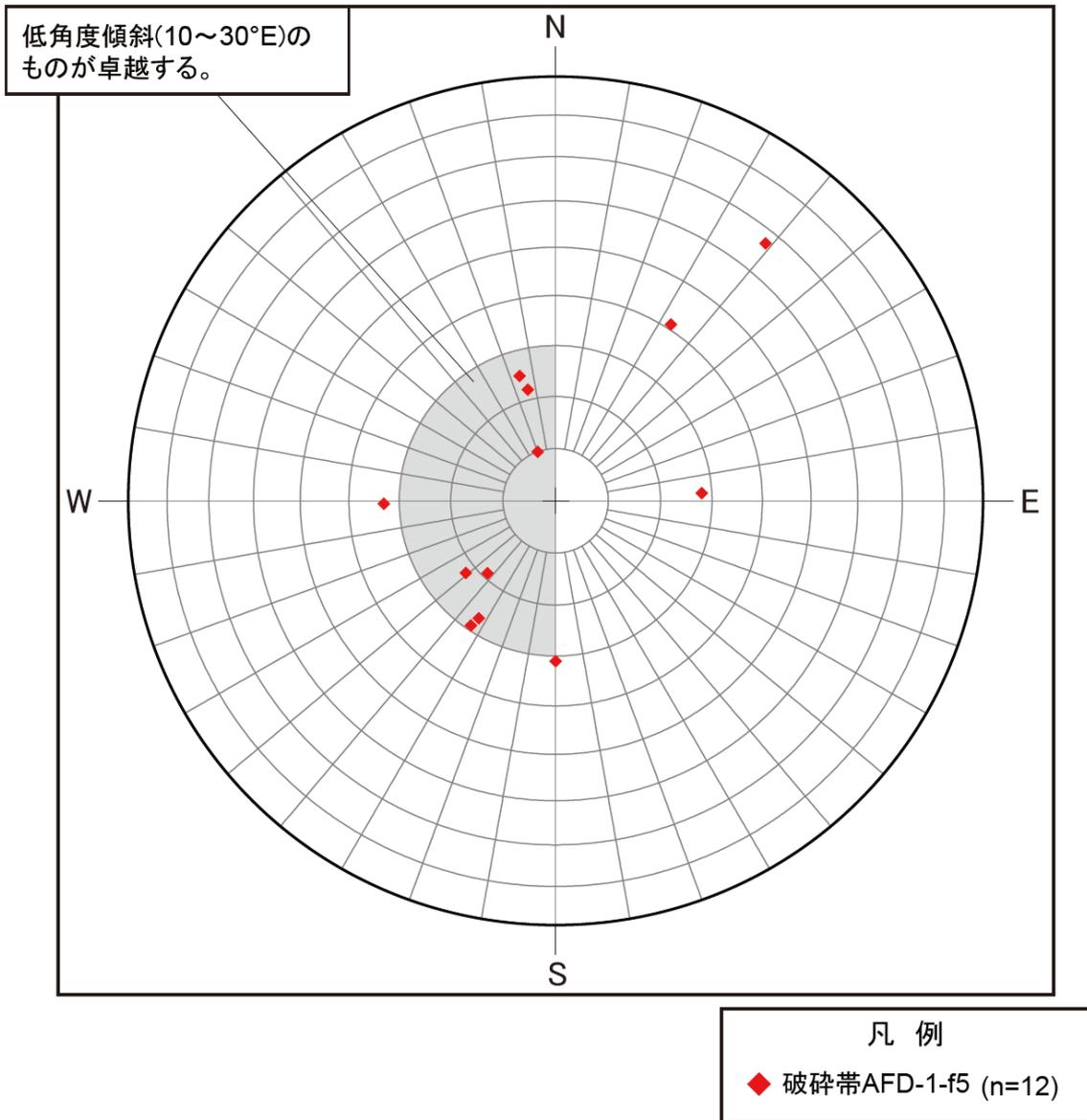


図 5.2.2.12 破砕帯 AFD-1-f5 シュミットネット解析結果

(3) せん断面

断層破碎帯の観察から、断層運動と関連性があるせん断面を確認した。その中で、断層ガウジが発達したもの（ガウジ幅が厚い、葉片状構造が見られる等）や、周囲の岩石を著しく破碎し断層角礫を多く含んでいるものなど、特徴的なせん断面を6か所選定し、詳細な観察を行った。6か所のせん断面は浅部から順に、AFD-1-s1①（深度251.32m）、AFD-1-s2①（深度251.74m）、AFD-1-s3（深度460.32m）、AFD-1-s4①（深度534.26m）、AFD-1-s4②（深度536.91m）、及びAFD-1-s5（深度541.35m）である。各せん断面の特徴を表5.2.2.2に整理した。

表 5.2.2.2 せん断面一覧表

孔名	せん断面				破碎帯及びせん断面の特徴
	せん断面番号	深度 (m)	せん断面の走向・傾斜	せん断面の固結度	
AFD-1孔	AFD-1-s1①	251.32	N6° E56° E	未固結	<ul style="list-style-type: none"> ・深度251.32m付近に灰色粘土状断層ガウジが認められ、角度約45°のせん断面に切られている。 ・深度251.73及び251.76m付近に灰白色及び灰色砂混じり粘土状断層ガウジが認められる。断層ガウジは角度約40°のせん断面で接する。
	AFD-1-s1②	251.74	N34° E60° E	未固結/ 半固結	
	AFD-1-s3	460.32	N35° W76° E	未固結	<ul style="list-style-type: none"> ・深度460.33～460.54m間に灰色礫混じり粘土状断層ガウジが認められ、礫径は2～10mmである。 ・上盤側の深度459.65～459.97m間は湾曲した角度約85°の暗灰色カタクレーサイトが認められる
	AFD-1-s4①	534.26	N22° E50° W	半固結	<ul style="list-style-type: none"> ・深度534.38m付近に角度約70°、幅約1.2cmの暗灰色粘土状断層ガウジが認められ、深度534.32m付近の角度約20°のせん断面を切る。断層ガウジ沿いは幅約3cmにわたって角礫状を呈する。 ・深度536.92m付近に角度約60°、幅約8mmの暗灰色粘土状断層ガウジが認められ、ガウジ沿いは幅約2cmにわたって楔状の割れ目が発達する。下盤側には角度約60°のせん断面が発達した灰白色のカタクレーサイトが認められる。
	AFD-1-s4②	536.91	解析不能	半固結	
	AFD-1-s5	541.35	N1° W33° E	半固結/ 固結	<ul style="list-style-type: none"> ・深度541.29～541.39m間は角礫状～砂混じり角礫状の断層角礫が認められるが、深度541.36m付近の角度約25°、幅約8mmの砂状の断層角礫によって切られている。

各せん断面の詳細を以下に示す。

・せん断面AFD-1-s1①（深度251.32m）

図 5.2.2.13 に観察結果を示す。ボアホールカメラの観察結果から、本せん断面の走向・傾斜は $N6^{\circ} E$ 、 $56^{\circ} E$ と求められた。せん断面の形状は平滑で、弱破碎部と断層ガウジの境界をなしている。

せん断面の上位（深度 251.32m 以浅）には、閃緑岩中に割れ目が部分的に密集した暗灰色の弱破碎部が存在する。せん断面の下位（深度 251.32～251.37m）には 2 層の断層ガウジが認められる。これらの断層ガウジ中には、せん断面に対して低角度に斜交する葉片状構造が認められ、構造内に閃緑岩の礫を取り込む。断層ガウジの下部では暗灰色の弱破碎部と接し、境界の見掛け角度は約 50° であった。

・せん断面 AFD-1-s1②（深度 251.74m）

図 5.2.2.14 に観察結果を示す。ボアホールカメラの観察結果から、本せん断面の走向・傾斜は $N34^{\circ} E$ 、 $60^{\circ} SE$ と求められた。せん断面の形状はやや湾曲するものの、境界は明瞭である。

せん断面の上位（深度 251.73 以浅）には閃緑岩の弱破碎部が認められる。この閃緑岩中、せん断面から幅約 40mm の範囲で割れ目が網目状に発達している。せん断面の下位では、断層ガウジと接している（深度 251.73～251.76m）。この断層ガウジは、未固結灰白色粘土状を呈し、幅は約 30mm である。断層ガウジ中には、せん断面に対して低角度で斜交する葉片状構造が認められる。さらに下位（深度 251.76～251.80m）には半固結灰色砂混じり粘土状を呈する別の断層ガウジが認められる。この断層ガウジ中にも、葉片状構造が 1～6mm の間隔で認められるが、構造はせん断面にほぼ平行である。これら 2 層の断層ガウジの下位で、暗灰色の弱破碎部と接している。

・せん断面 AFD-1-s3（深度 460.32m）

図 5.2.2.15 に観察結果を示す。ボアホールカメラの観察結果から、本せん断面の走向・傾斜は $N20^{\circ} W$ 、 $77^{\circ} E$ と求められた。せん断面の形状は湾曲するものの明瞭であり、断層角礫と断層ガウジとの境界に位置する。

せん断面の上位（深度 460.25～460.32m）には半固結の断層角礫が認められ、礫種は閃緑岩と石英脈からなり、礫径 5～12mm、基質は粘土状であった。せん断面の下位（深度 460.32～460.50m）には未固結角礫混じり粘土状を呈する断層ガウジが認められる。断層ガウジの角度は $65\sim 80^{\circ}$ 、幅 16～36mm と厚く、色調は灰色であった。断層ガウジ中には、せん断面沿い（幅約 10mm）に、葉片状構造がせん断面に対して低角度で斜交して 2～5mm 間隔で発達する。この構造中には閃緑岩、石英の角礫が取り込まれている。断層ガウジの下位には割れ目の発達した閃緑岩が認められ、一部割

れ目が密集し、岩片状～角礫状を呈する。

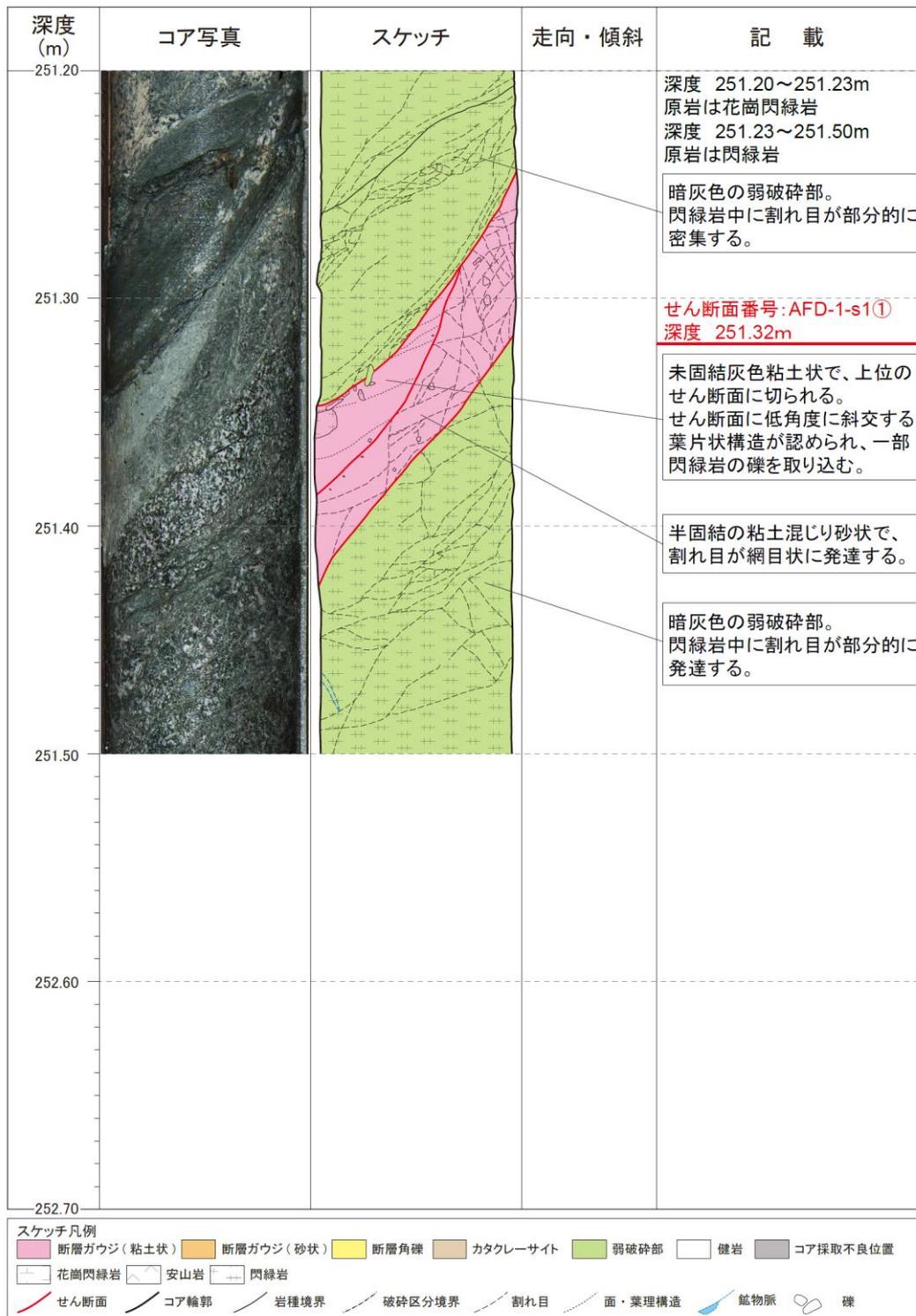


図 5.2.2.13 せん断面 AFD-1-s1①観察結果

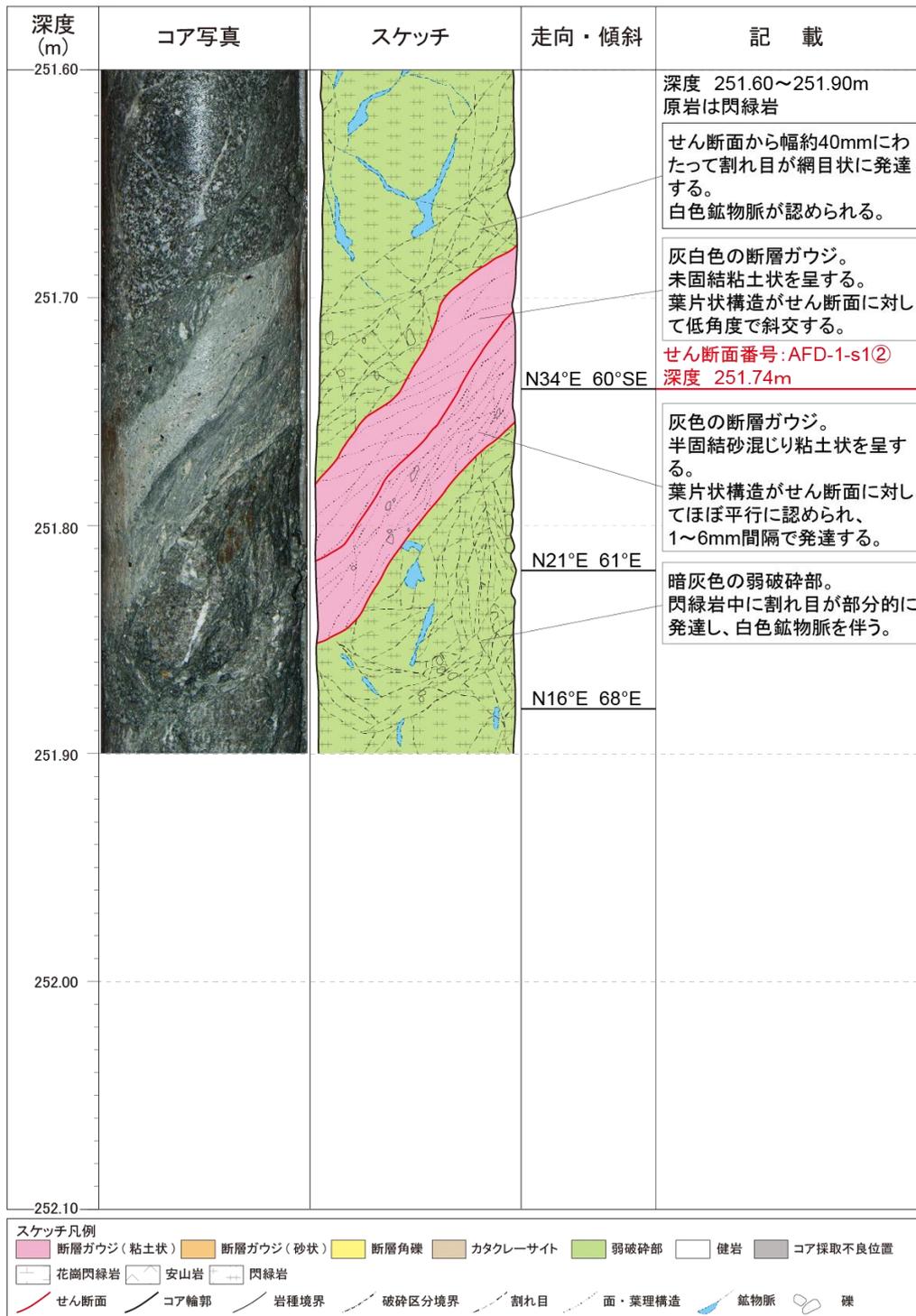


図 5.2.2.14 せん断面 AFD-1-s1②観察結果

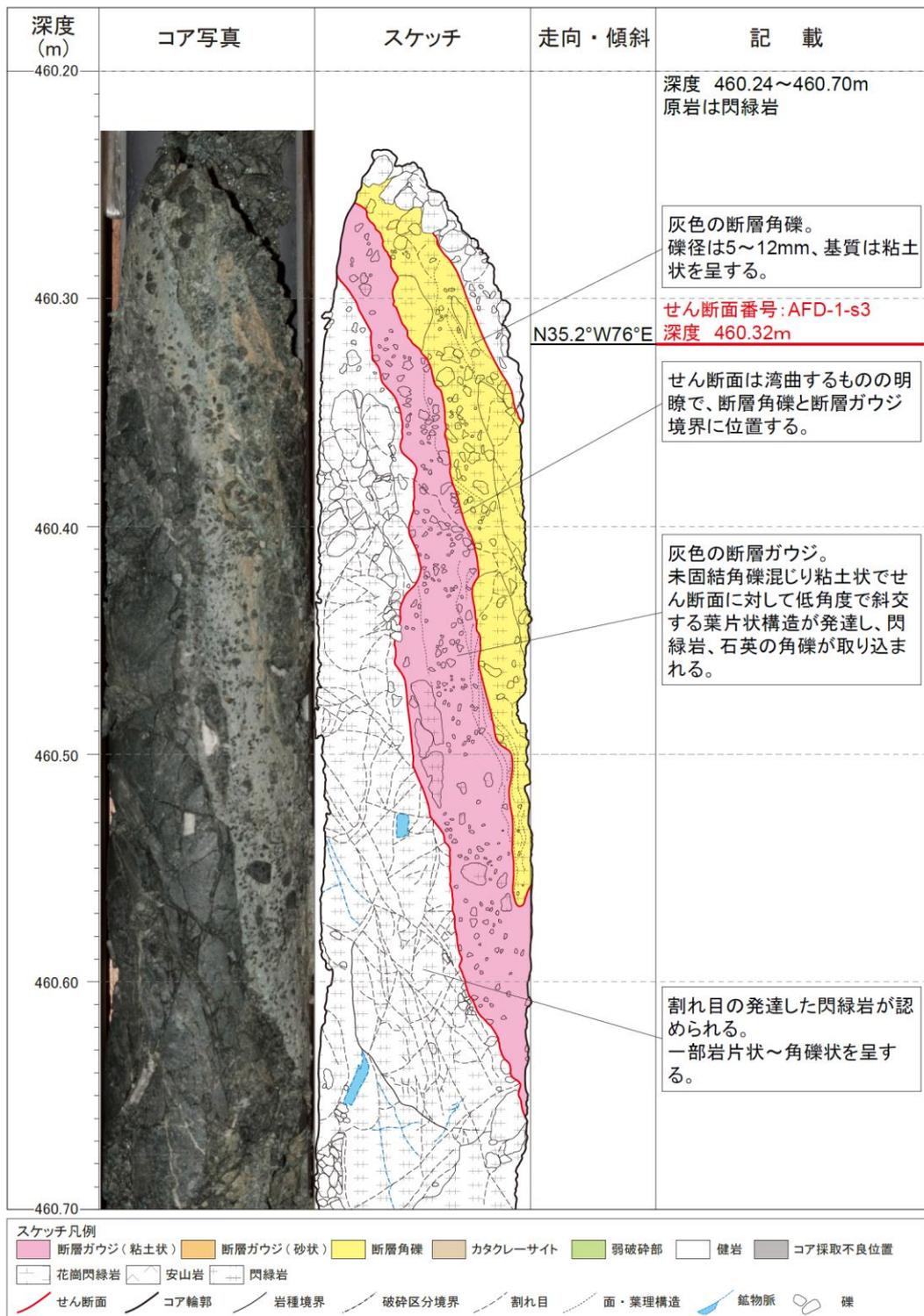


図 5.2.2.15 せん断面 AFD-1-s3 観察結果

・せん断面 AFD-1-s4① (深度 534.26m)

図 5.2.2.16 に観察結果を示す。ボアホールカメラの観察結果から、本せん断面の走向・傾斜は N22° E、50° W と求められた。せん断面は、やや湾曲し、上位では花崗閃緑岩の健岩と、下位では細粒カタクレサイト及び断層角礫と接している。

せん断面上位に位置する花崗閃緑岩中、深度 534.25m 付近では、角度約 45° のせん断面に挟まれるような形で幅約 30mm の割れ目が発達している。その周辺では、有色鉱物が深度 534.25m 付近の割れ目とほぼ平行（見掛け角度 45°）で弱い定向配列を示している。

せん断面の下位は、明青灰色のカタクレサイトと接している。このカタクレサイト中、角度約 70° の葉片状構造及びせん断面にほぼ平行な白色鉱物脈が認められる。カタクレサイトは上位のせん断面に切られ、深度 534.20m 付近でせん滅する。下端で、角度約 70° のやや湾曲したせん断面が認められ、深度 534.26m のせん断面に切られる。カタクレサイトの下位には明青灰色の断層角礫も認められる。この断層角礫は半固結の粘土混じり角礫状を呈し、礫径は 2~6mm、礫種は花崗閃緑岩で基質は粘土状ある。断層角礫の下位には、閃緑岩の弱破碎部が認められる。弱破碎部では、割れ目が発達し、割れ目沿いに角礫が認められる。

・せん断面 AFD-1-s4② (深度 536.91m)

図 5.2.2.17 に観察結果を示す。ボアホールカメラの観察では、面構造が不明瞭で走向・傾斜の測定が出来なかった。せん断面は、一部湾曲し、断層ガウジを切断するような形で存在している。せん断面の上位では割れ目が発達しやや軟質となる花崗閃緑岩及び断層ガウジと接し、下位では断層ガウジと接している。

せん断面上位と接している断層ガウジは、角度 45° のせん断面に切られてくさび状となり、半固結砂混じり粘土状を呈し、色調は明青灰色である。

せん断面下位と接している断層ガウジは、半固結の粘土状を呈し、角度約 60°、幅 2~10mm で色調は明青灰色である。この断層ガウジ中、せん断面とほぼ平行に葉片状構造が認められる。この断層ガウジの下端には、湾曲したせん断面が認められ、その下位（深度 536.91~537.00m）には、湾曲した青灰色の断層ガウジ及びカタクレサイトが認められる。この湾曲した断層ガウジ中にも、葉片状構造が認められる。カタクレサイトは青灰~灰色の花崗閃緑岩の角礫を伴っている。

・せん断面 AFD-1-s5 (深度 541.35m)

図 5.2.2.18 に観察結果を示す。ボアホールカメラの観察結果から、本せん断面の走向・傾斜は N1° W、33° E と求められた。せん断面は平滑で、閃緑岩と花崗閃緑岩の物質境界に位置し、上位に断層角礫を 2 層伴う。断層角礫は、礫径 2~25mm、基質は砂状を呈し、上端および下端のせん断面に低角に斜交する方向に割れ目が発達す

る。せん断面の下位には、閃緑岩の弱破碎部が認められ、低角度の割れ目が発達する。

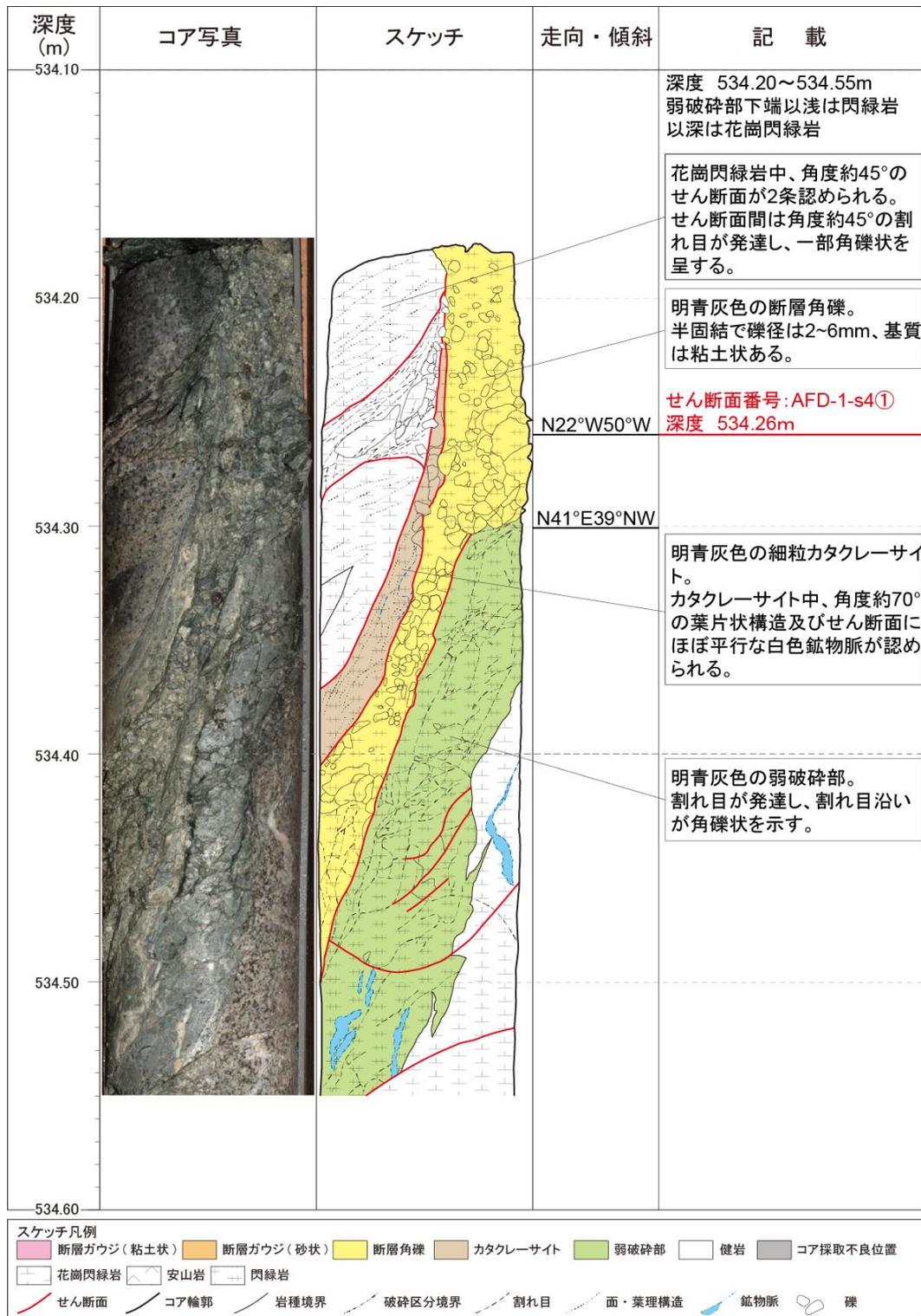
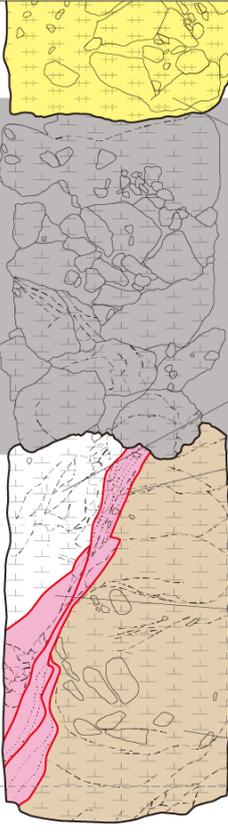


図 5.2.2.16 せん断面 AFD-1-s4①観察結果

深度 (m)	コア写真	スケッチ	走向・傾斜	記 載
536.70				深度 536.74m以浅 原岩は閃緑岩 深度 536.74m以深 原岩は花崗閃緑岩
536.80				暗灰色の断層角礫。 半固結で、礫径は約2mm、基 質は砂状である。
				灰白色の花崗閃緑岩。 割れ目が発達し、やや軟質で ある。
				明青灰色の断層ガウジ。 半固結の粘土状を呈する。 せん断面とほぼ平行な葉片状 構造が認められる。
536.90				せん断面番号: AFD-1-s4② 深度 536.91m
	明青灰色の断層ガウジ。 半固結の砂混じり粘土状を呈 し、深度536.91m付近のせん断 面に切られる。			
537.00	灰白色のカタクレーサイト。 青灰～灰色の花崗閃緑岩の角 礫を伴う。			
537.10				
537.20				

スケッチ凡例	断層ガウジ(粘土状)	断層ガウジ(砂状)	断層角礫	カタクレーサイト	弱破碎部	健岩	コア採取不良位置
	花崗閃緑岩	安山岩	閃緑岩				
	せん断面	コア輪郭	岩種境界	破碎区分境界	割れ目	面・葉理構造	鉱物脈
							礫

図 5.2.2.17 せん断面 AFD-1-s4②観察結果

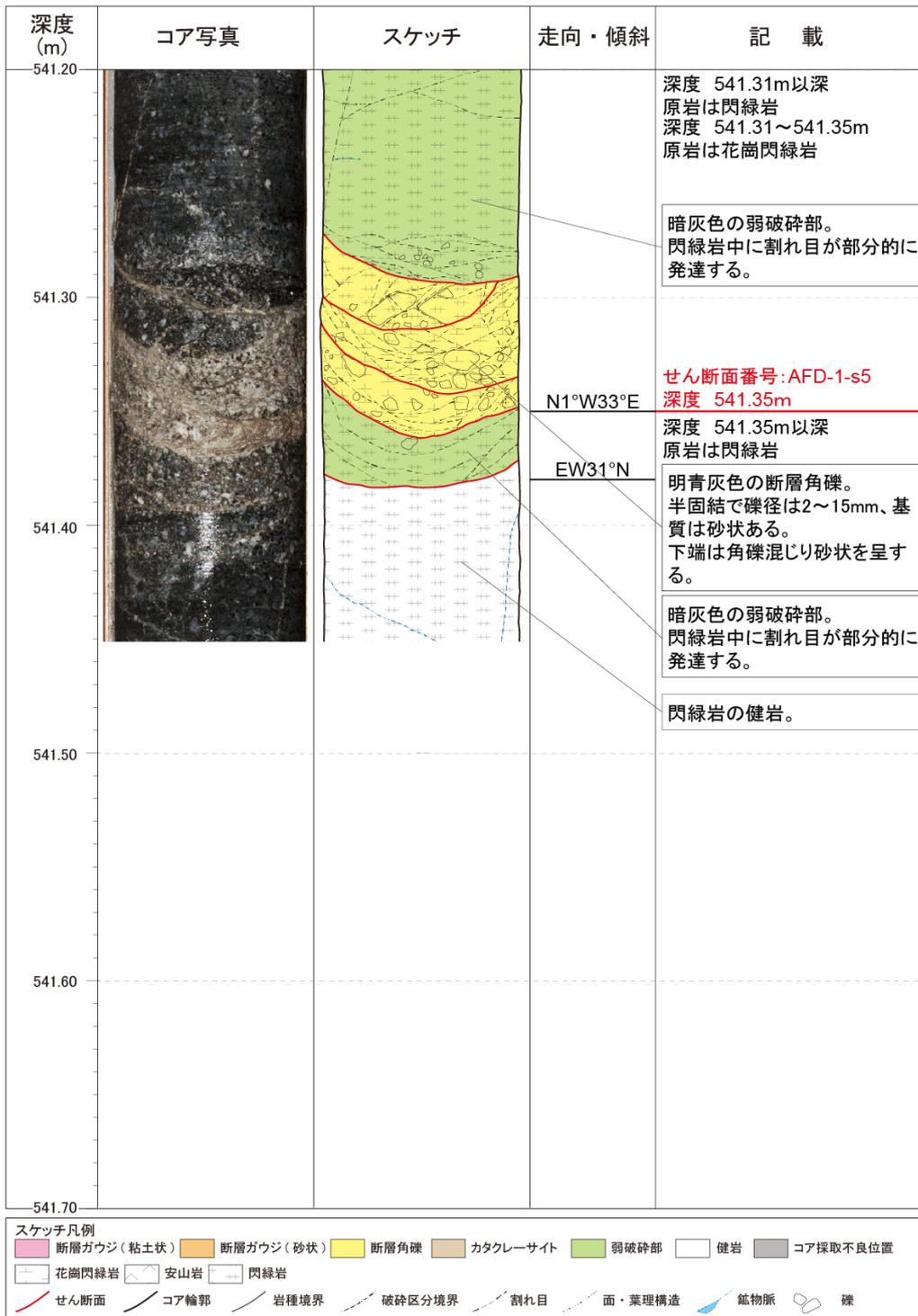


図 5.2.2.18 せん断面 AFD-1-s5 観察結果

5.2.3. 物理検層結果

AFD-1 孔の調査では、深度 100～700m の区間で物理検層を実施した。図 5.2.3.1 に物理検層結果を示す。本孔では、孔径検層、温度検層、音波検層、密度検層、電気検層、方位傾斜測定及び孔壁観察を行った。孔壁観察は、ボアホールカメラ及びボアホールテレビュアで行った。地質と物性の関係については、NFD-1 孔と同様に、図解物理探査、物理探査学会編(1989)を参考にした(図 4.2.3.2,及び図 4.2.3.3)。以下に各検層について結果を示す。

・孔径検層

孔径は、100～700m の全深度に渡って 122～124mm の安定した値を示す。ただし深度 440～460m では、孔径が 130～140mm と周囲より大きな値を示す。この深度は、破砕帯 AFD-1-f3 を含む断層ガウジや、角礫状コアが認められる区間に対応する。

・温度検層

孔内の温度は、深度とともに増加し、局所的に高温または低温となる箇所は認められなかった。孔口(深度 0m)で約 17℃、孔底(深度 700m)で約 31℃であり、地温勾配は約 2℃/100m である。

・音波検層

弾性波速度は、100～700m の全深度について 3～5km/s の値を示す。この値は、閃緑岩、花崗岩の一般的な値と調和的である(図 5.2.3.2)。値のバラつきは、亀裂や割れ目による影響が考えられる。大局的には 250m より浅部と 550m より深部で 3～5km/s の比較的高い速度を示す。250～550m の区間では、2～4km/s 程度と比較的低い速度を示す。特に深度 250m 付近で 2km/sec、300m 付近で 1.5km/s、460m 付近で 2km/sec、530～540m 付近で 2.2km/sec と顕著な破砕帯分布箇所では、おおむね低速度が検出されている。

・密度検層

密度検層は、深度 300～700m の区間で行った。岩盤の密度は、岩種の分布と良く対応し、閃緑岩の区間では概ね 2.6～2.8g/cm³ で値が細かく変化し、花崗岩と花崗閃緑岩の区間では、概ね 2.6g/cm³ の安定した値を示す。この値は、一般的な閃緑岩と花崗岩、花崗閃緑岩の値と整合的である(図 5.2.3.3)。深度 320～340m、370～380m、400～410m、440～460m 及び 570～590m では、局所的に低い値を示す。これらの箇所はコアに割れ目が発達し、断層破砕帯や角礫状コアが認められる区間に対応している。

・電気検層

比抵抗値は、100～700m の全深度について数百～5,000 $\Omega \cdot m$ の値を示す。この値は、一般的な閃緑岩、花崗岩の値と整合的である（図 5.2.3.3）。間隔が大きいチャンネルほど比抵抗の違いが強調されて認められる。深度 240～280m、300m、440～460m 及び 530～540m では、500 $\Omega \cdot m$ 以下の低い値を示す。各深度はそれぞれ破碎帯 AFD-1-f1、f2、f3、f4、f5 の周辺に相当する。

自然電位は、深度 100～300m までは 40mV、深度 300～550m では 80～90mV の値を安定して示し、深度 550m 以深では 70mV 程度から 60mV 程度へと深度とともに減少する。深度 300m で値が変わっているのは、日変動による影響と 2 回目の測定前に挿入したケーシングの影響の両方によるものと考えられる。

自然ガンマ線は、岩種の分布と良く対応し、閃緑岩の分布する区間では 20～30API の値を示し、花崗閃緑岩の区間では 60～130API の高い値を示す。閃緑岩の区間中、局所的に高い値を示す箇所は花崗閃緑岩の貫入箇所に対応する。深度 240～250m では周囲より大きな値を示し、破碎帯 AFD-1-f1 の深度に対応する。

・方位傾斜測定

本孔の方位傾斜は、深度 160m 付近までは 60～70°（N60°～70°）の方位に 0.5～1° の傾斜を示し、深度 160～200m では緩やかに方位を東方向（N90°）に変え、深度 200m 以深は安定して東方向の方位を示す。傾斜は深度とともに緩やかに増加し、深度 450～580m では 1.2° で安定する。深度 580～630m では傾斜は 1.2° から 1.5° へと増加するが、630m 以深では安定して 1.5° 程度の傾斜を示す。以上の結果から、本孔は当初の計画とほぼ一致した孔跡で掘進されたことが確認された。

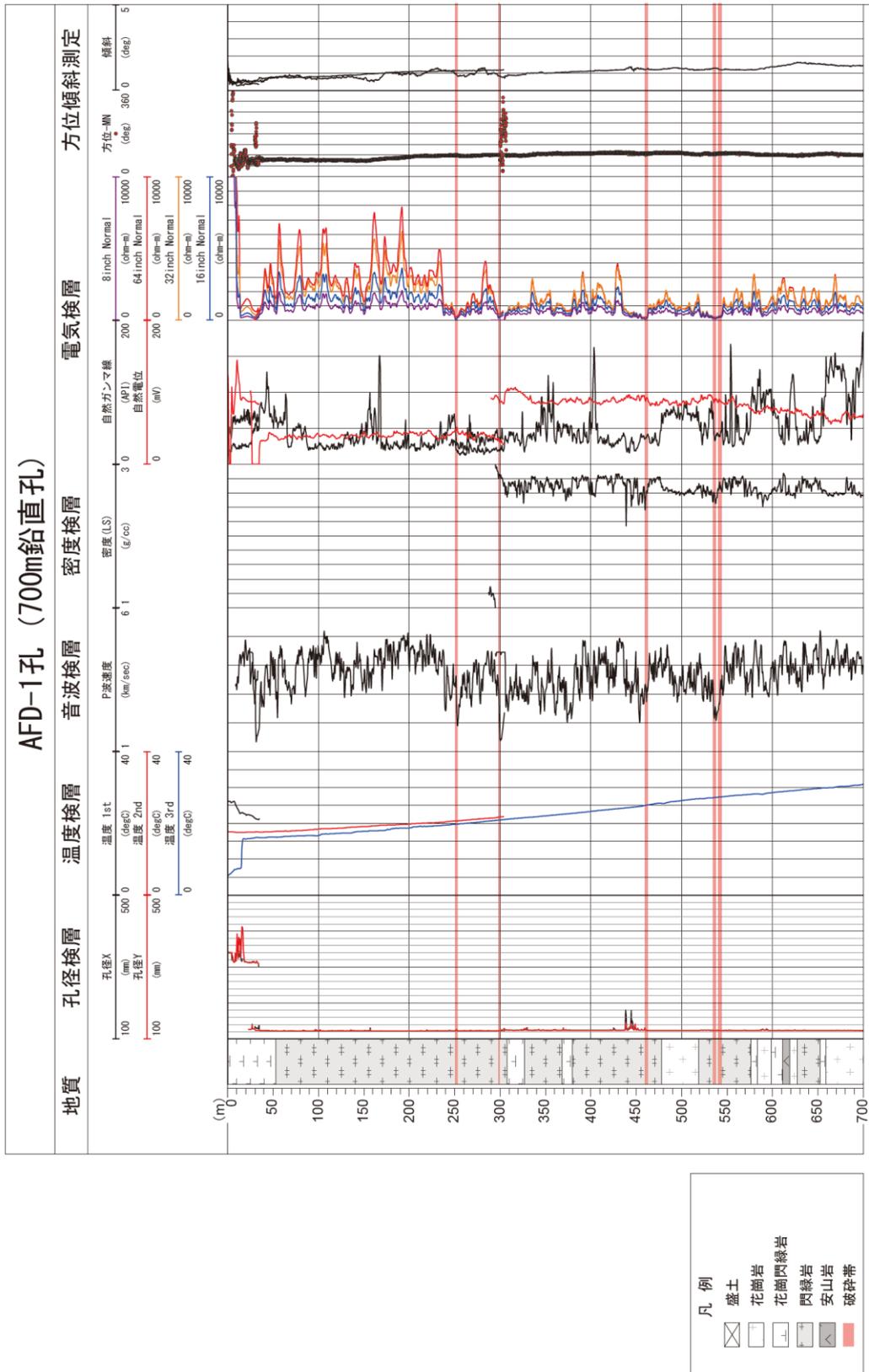


図 5.2.3.1 AFD-1 孔物理検層結果図

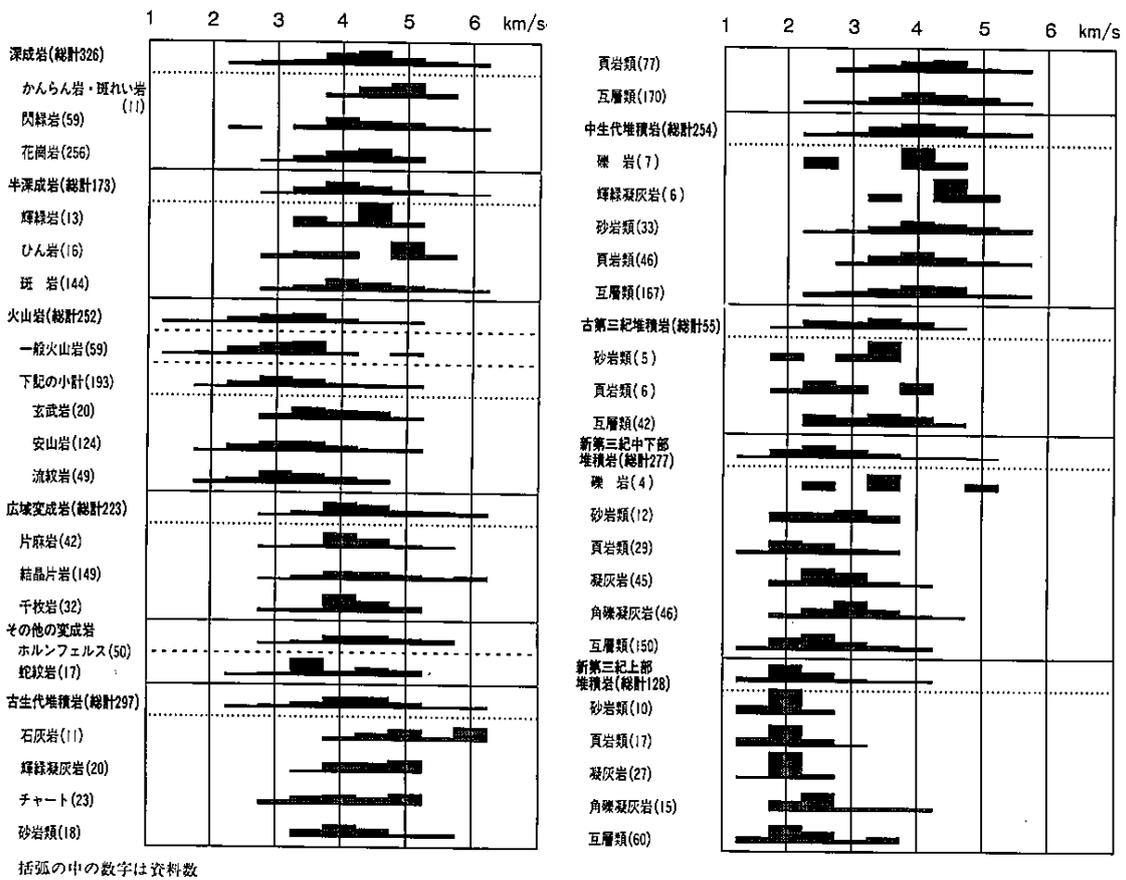


図 5.2.3.2 地質と物性値の関係 (1) 地質とP波速度
物理探査学会 編 (1989) 図解 物理探査

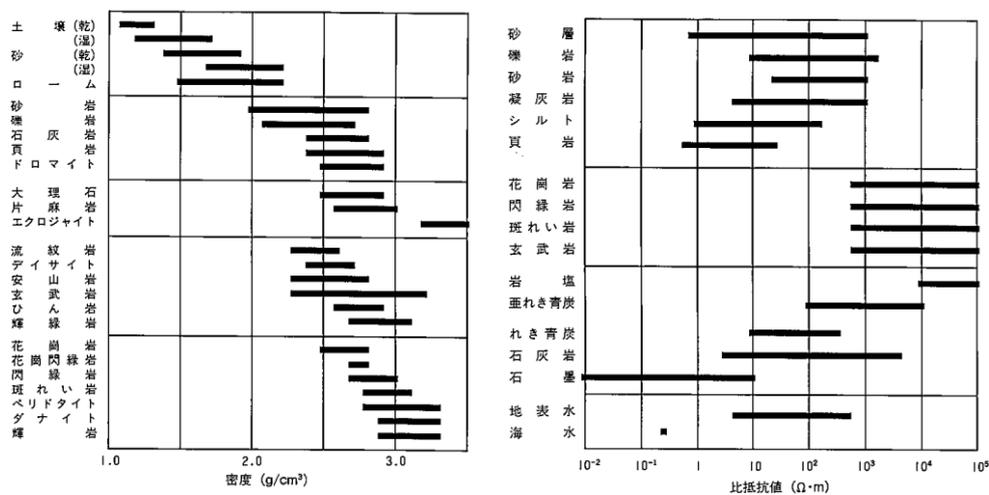


図 5.2.3.3 地質と物性値の関係 (2) 地質と密度、比抵抗
物理探査学会 編 (1989) 図解 物理探査

5.3. AFD-2 孔

5.3.1. 削孔結果

AFD-2 孔は、浅野断層を対象とした 300m 傾斜孔である。当初、斜め下方 65° で掘り始め、深度 300m までコアリングを行う計画とした。AFD-2 孔の掘削は、概ね計画通りに実施されたが、調査の対象とする浅野断層は、コア試料中の割れ目の姿勢から、時代の異なる複数の活動履歴を伴うような複雑な構造を持つと推定された。そのため、断層破碎帯やせん断面の姿勢を把握するため、ボアホールカメラによる観察、測定及び解析を追加で実施した。

以下に、削孔結果を示す。

(1) ケーシングプログラム及び掘進状況

1) 当初掘進計画と実行

AFD-2 孔は、浅野断層の地表ラクチャーの走向に対して、ほぼ直交する N65° W (T.N.) 方向、鉛直から角度 25° 北西方向に掘進し、深度 200m 付近で浅野断層を確認する計画とした。コア径に関しては、深度 100m まで PQ コアチューブ (径 122mm) で掘進し、深度 100~300m までを HQ コアチューブ (径 97mm) で掘進する計画とした。図 5.3.1.1 に当初掘進計画概要図を示す。

掘進は平成 28 年 4 月 16 日より開始し、地表から深度 100m まで PQ ワイヤラインのダブルコアチューブを用いた掘削を行った。深度 87m 付近掘進中に、逸水があったものの、ほぼ予定通りの進捗で推移した。概ね良好なコア試料が採取され、4"ケーシング挿入後、HQ ワイヤライン掘進に移行した。

同 5 月 4 日に深度 100m まで到達し、5 月 10 日より 100m 以深のコア採取を開始した。100m 以深では、断層試料の採取率を重視し、HQ ワイヤラインのトリプルコアチューブ (インナーチューブの内管はステンレス半割管) を用いた掘削を行った。深度 100~217.8m 区間では、ボアホールカメラで孔壁観察を実施しながら、5 箇所断層破碎帯を掘進した。

しかしながら、深度 213~215m 付近で掘削水が一時的に全量逸水するなど、深度 200m 以降で掘進が急激に難化した。協議の結果、孔壁保護なしでの掘進は、コアチューブの孔内滞留の危険性が高いと判断し、掘進計画を変更することとした。

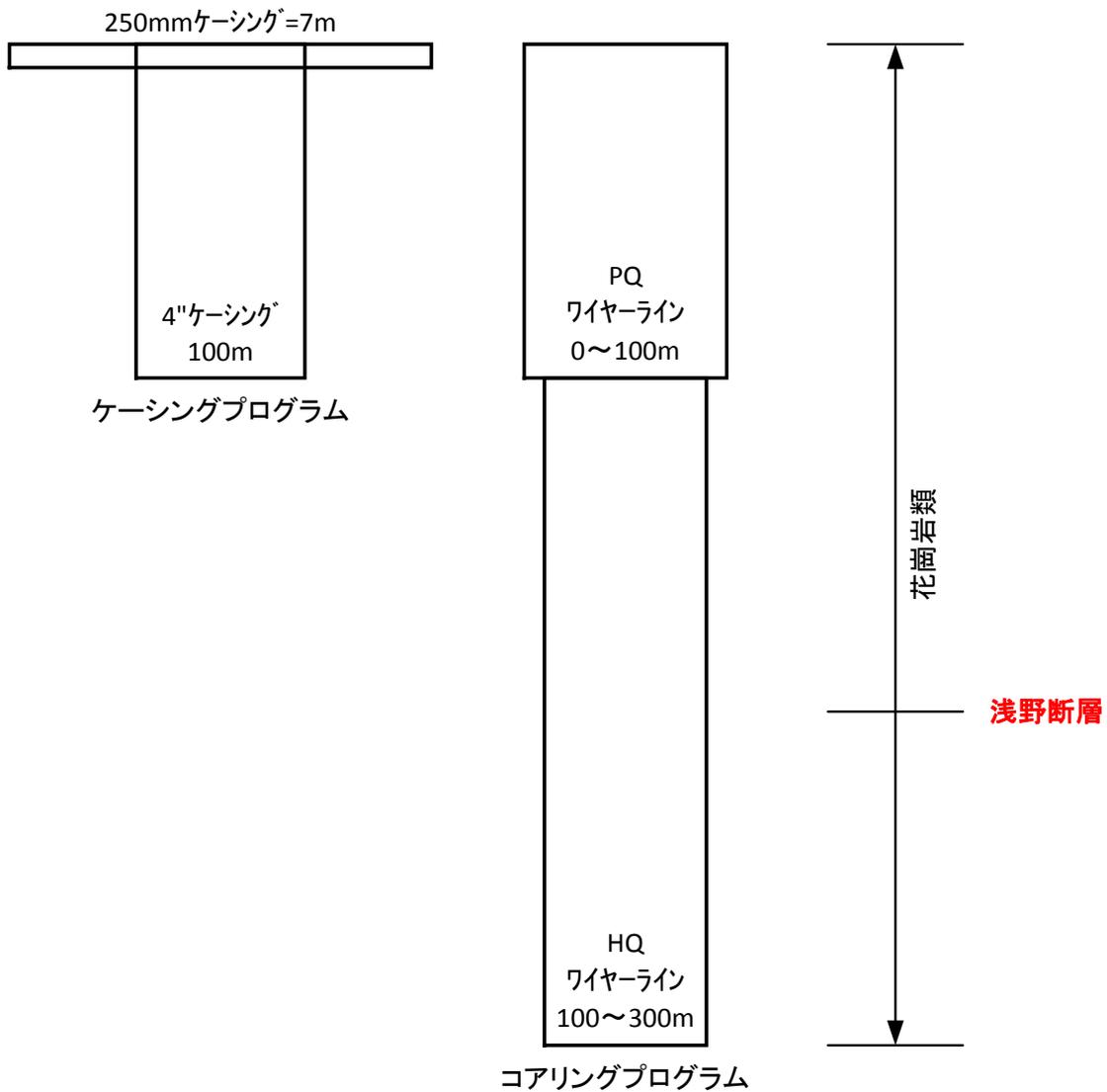


図 5.3.1.1 AFD-2 孔当初掘進計画概要図（浅野断層の深度を 200m と想定）

2) 第1回変更掘進計画と実行

深度 213~215m 付近での孔壁の安定化を図るため、当初の掘進計画を変更し、深度 216m まで PQ コアチューブを用いて拡孔後、拡孔深度まで 4" ケーシングを挿入し、HQ ワイヤーラインのトリプルコアチューブを用いて、深度 300m まで掘進する計画とした。図 5.3.1.2 に第1回変更掘進計画概要図を示す。

6月16日より、深度100mまで挿入した4"ケーシングを揚管。6月21日よりPQケーシングの挿入を開始したが、深度164m付近の断層破碎帯を掘進中に、PQロッドにかかる荷重が大きくなり、掘進ができない状況となった。そのため、改めて協議し、再度、掘進計画を変更した。

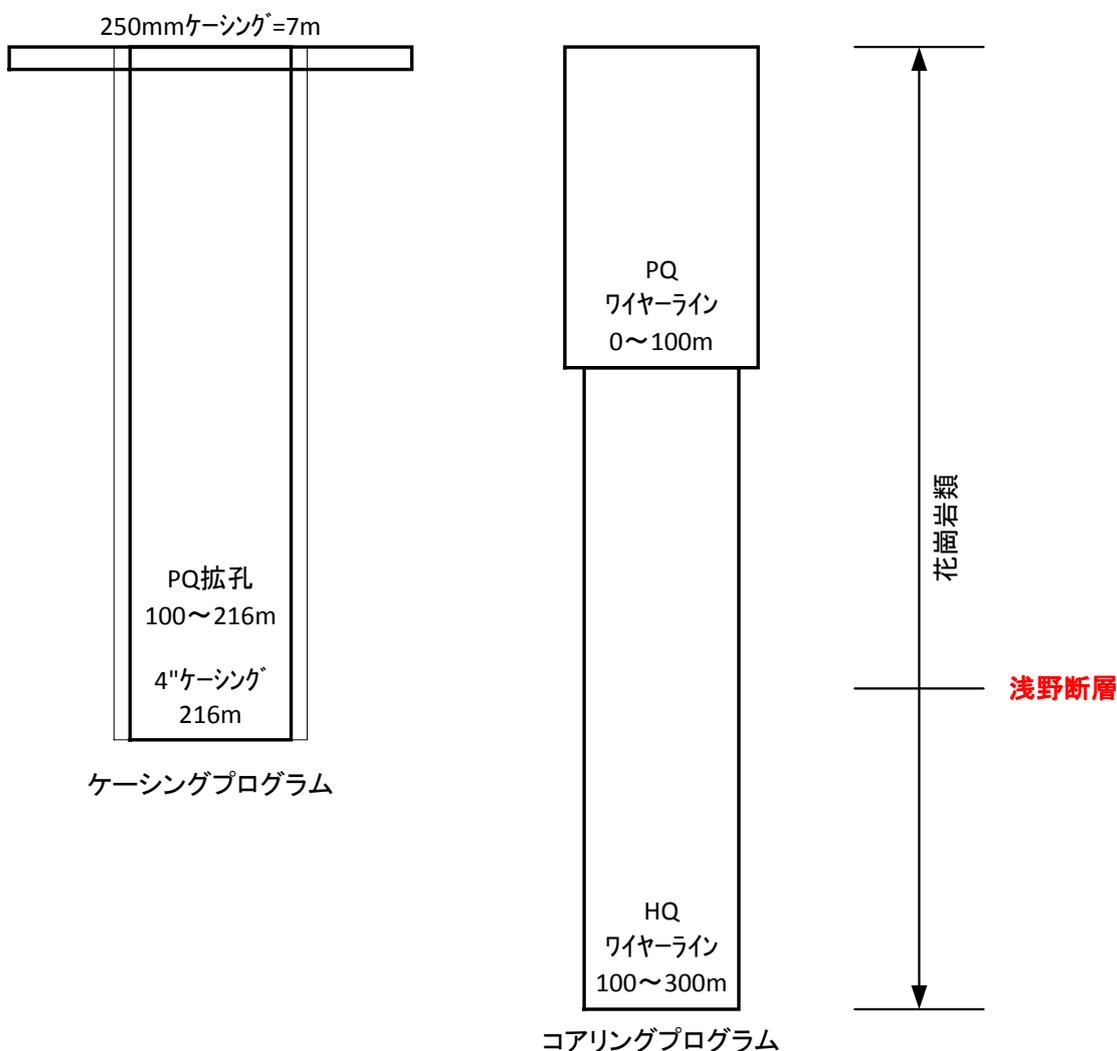


図 5.3.1.2 AFD-2 孔第1回変更掘進計画概要図（浅野断層の深度を 200m と想定）

3) 第2回変更掘進計画

2回目の掘進計画変更では、深度7mから深度216mまで6-1/4”トリコンビットで掘孔、掘孔深度まで5”ケーシングを挿入することとし、深度216～300m間、PQダブルコアチューブを用いて掘進することとした。ここで、PQ掘進が困難になる状況に備え、予備として、HQ掘進を考慮した。また、砂状～細礫状破碎部のコア採取が思わしくなかった深度100～217.8mでは、深度100m以浅でコア採取が良好であったPQダブルコアチューブを用いて掘進することとした。図5.3.1.3に第2回変更掘進計画概要図を示す。

6月28日より6-1/4”トリコンビット掘孔作業を開始した。深度216～300m間の掘進は、断層破碎帯が2箇所確認されたものの、概ね順調に掘進を遂行した。PQダブルコアチューブは、HQトリプルコアチューブに比べ、良好なコア試料を採取することができ、深度300mまで掘進を完了することができた。

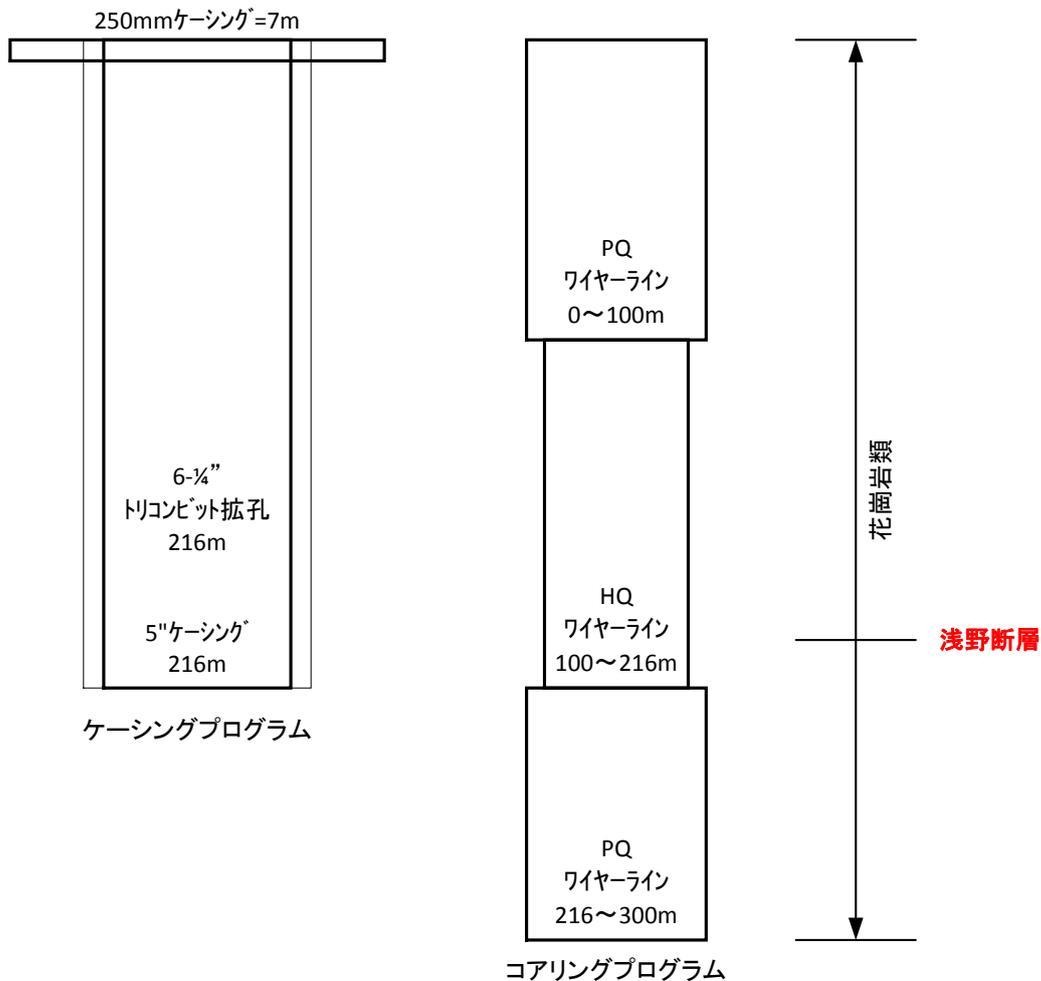


図 5.3.1.3 AFD-2 孔第2回変更掘進計画概要図（浅野断層の深度を200mと想定）

(3) 孔井の方位及び傾斜

孔井の方位及び傾斜を確認するために、孔曲がり測定を実施した。測定は約 50m の掘進ごとに行われ、計 6 回実施した。表 5.3.1.2 に測定結果を示す。

方位は、掘進開始から深度 100m 付近までは変化なく推移したが、断層破碎帯が確認された深度 100m 以深では、1~5° の孔曲がりが生じた。傾斜は、掘進開始から深度 100m 付近までは 1° 以下の変化に留まっていたが、断層破碎帯が確認された深度 100m 以深では、徐々に鉛直方向への傾きが大きくなり始め、深度 300m では、鉛直方向に 7.4° の孔曲がりが生じた。

孔跡解析結果断面図を図 5.3.1.5 に示す。孔口から孔底までの平均掘進角度は、約 68° であった。本報告書では、この平均掘進角度を用いて AFD-2 孔の垂直深度を算定することとした。

表 5.3.1.2 孔井の方位及び傾斜測定結果一覧表

回数	深度	磁針方位 (M.N.)	真方位 (T.N.)	鉛直からの角度 (°)
1	60.4	N58° W	N65° W	24.5
2	97.4	N58° W	N65° W	24
3	151.4	N59° W	N66° W	22.5
4	204.6	N53° W	N60° W	22
5	261.7	N59° W	N66° W	18.2
6	300	N61° W	N68° W	17.6

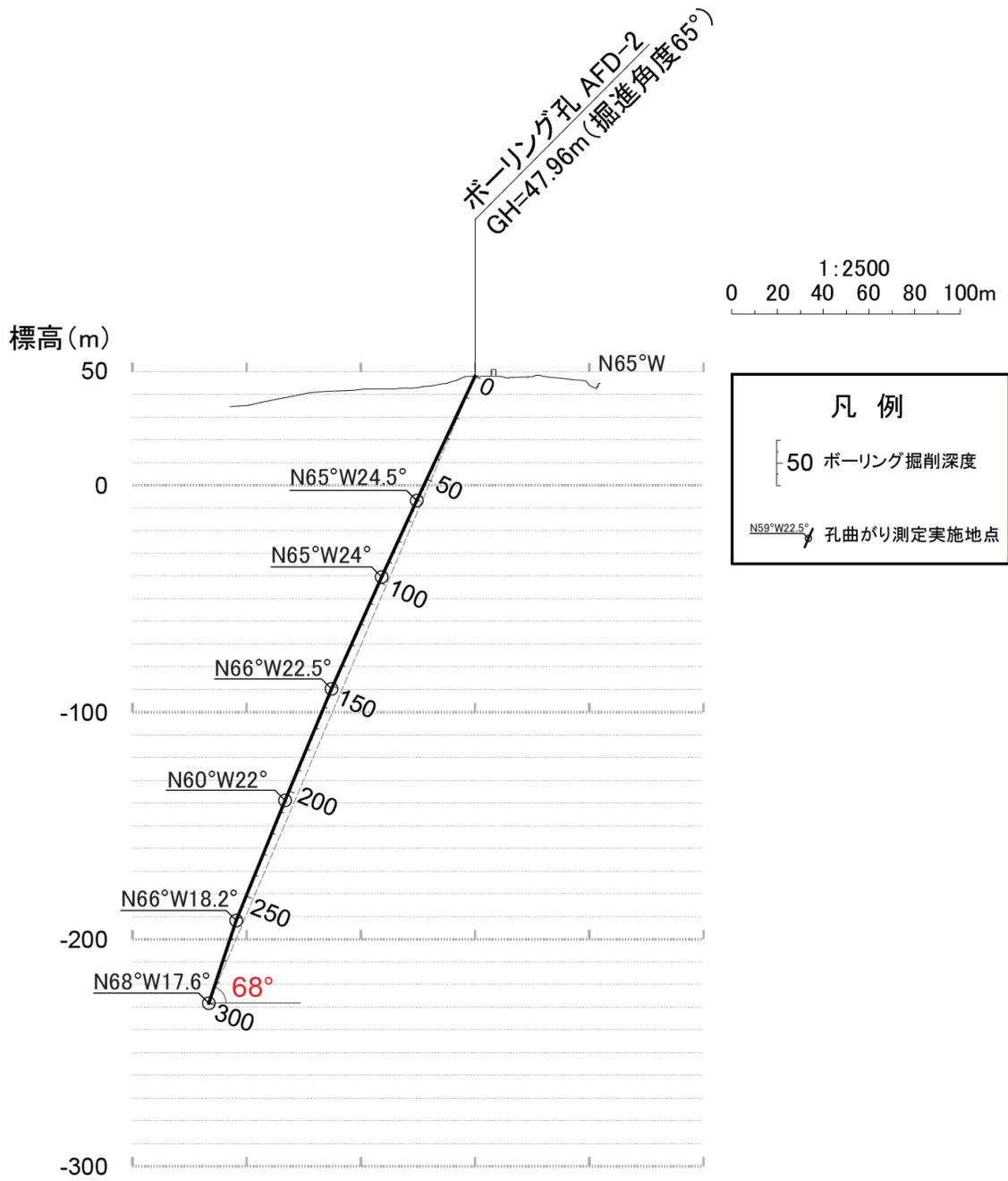


図 5.3.1.5 孔跡解析結果断面図

5.3.2. コア観察結果

AFD-2 孔の調査では、深度 0～300m の区間でコア観察を実施し、深度 100～300m の区間でボアホールカメラ観察を行った。なお、本項で示される「深度」については、特に記載がない限り「掘削深度」を指すこととする。

以下、(1) 地質、(2) 断層破碎帯、(3) せん断面の項目別に観察結果を示す。

(1) 地質

図 5.3.2.1 に AFD-2 孔柱状図を示す。コア観察の結果、主な岩種は花崗閃緑岩、閃緑岩から構成され、所々で黒～暗灰色を示す安山岩の貫入が見られた。地表から深度別に岩種区分を示すと、深度 0.00～2.30m 間に見られる盛土、深度 2.30～62.72m 間では花崗閃緑岩、深度 62.72～169.87m 間では閃緑岩、深度 169.87～207.28m 間では花崗閃緑岩、207.28～216.43m 間では安山岩と続く。その後、216.43～247.80m 間では再び花崗閃緑岩が表れ、247.80～267.97m 間は安山岩、深度 267.97～300.00m 間は閃緑岩 (AFD-2-VIII層) が見られた。

各地層の詳細を以下に示す。

・盛土 (深度 0.00～2.30m)

本孔では、深度 0.00～2.30m が盛土であった。中粒砂～シルトで構成されている。

・花崗閃緑岩

本孔では、深度 2.30～62.72m、169.87～207.28m 及び 216.43～247.80m で花崗閃緑岩が見られた。色調は灰～灰白色、粒径 1～5mm の鉱物を多く含み、等粒状組織を示す。岩級は C_M 級を主体とし、全体的に堅硬である。

所々で幅 4m 程度の暗灰色の安山岩脈も見られる (例えば、深度 11.14～15.12m、51.16～56.39m 及び 187.66～191.36m など)。花崗閃緑岩と安山岩との境界部分では接触変成が見られ、局所的な細かい割れ目が発達している (例えば深度 33.41m や深度 51.16m など)。さらに、深度 187.66～191.36m の安山岩脈から深部では割れ目が密集するようになり、淡黄灰色の断層ガウジ (例えば、深度 202.22～202.52m や深度 202.84～203.46m など) や断層角礫 (例えば、深度 205.00～205.38m など) も見られる。深部では、全体的に割れ目が発達し、角礫状～シルト状を呈する箇所が認められる (例えば、深度 236.71～237.24m)。

・閃緑岩

本孔では、深度 62.72～169.87m 及び 267.97～300.00m で閃緑岩が見られた。色調は暗灰～灰白色、粒径 1～3mm の鉱物を多く含み、等粒状組織を示す。岩級は C_M 級を主体とする。深度 104.07m までの浅部は比較的堅硬なものの、深くなるにつれ割れ目が発

達し、軟質になっていく傾向が見られる。深部では白色鉍物脈を多く含み、割れ目が脈を切る構造も所々見られる（例えば、深度287.00～295.00m）。深度290m以深では割れ目が発達し、岩片～角礫状を呈する。また、所々で10～50cm程度の安山岩脈が見られ、岩脈の境界部分では接触変成が見られる。

・安山岩

本孔では、深度207.28～216.43m及び247.80～267.97mで安山岩が見られた。色調は黒色～暗灰色で、粒径1～4mmの斑晶を含む斑状組織を示す。岩級はC_M級を主体とする。安山岩中に散見される花崗閃緑岩や閃緑岩は変質を受け、灰色を呈する（例えば、深度253.64～257.11m）。所々割れ目が発達し、角礫状～砂状になっている部分も確認される（例えば、深度249.69～249.74mなど）。

コア観察及びボアホールカメラ観察から、せん断性の割れ目や軟質化が進んだ割れ目、ガウジを挟在する割れ目など、断層運動に伴ってできたせん断面を確認した。このようなせん断面が卓越し、かつ、周囲に角礫や砂状～粘土状の試料が産する箇所を断層破碎帯として整理した。

観察の結果、7か所の断層破碎帯が認められた。断層破碎帯は浅部から fa-1（深度118.21～119.33m）、fa-2（深度147.84～148.92m）、fa-3（深度162.07～165.45m）、fa-4（深度170.73～171.08m）、fa-5（深度193.53～208.70m）、fa-6（深度246.22～248.41m）、fa-7（深度267.97～279.27m）とした。断層破碎帯の上端下端深度を決めるにあたって、コア観察からの認定が難しい箇所についてはボアホールカメラ画像から断層破碎帯を認定し、深度を決定した。

以上の観察結果より作成した柱状図を図 5.3.2.1 に示した。

さらに、ボアホールカメラから観察されたせん断面、岩種境界及びその他割れ目の走向・傾斜を計測し、シュミットネットに投影した（図 5.3.2.2）。割れ目の姿勢は、北東走向（N20～70° E）の高角度南東傾斜（60～70° SE）のものが卓越する。その他に北東走向、中～低角度北西傾斜（30～40°）の集中も認められる。

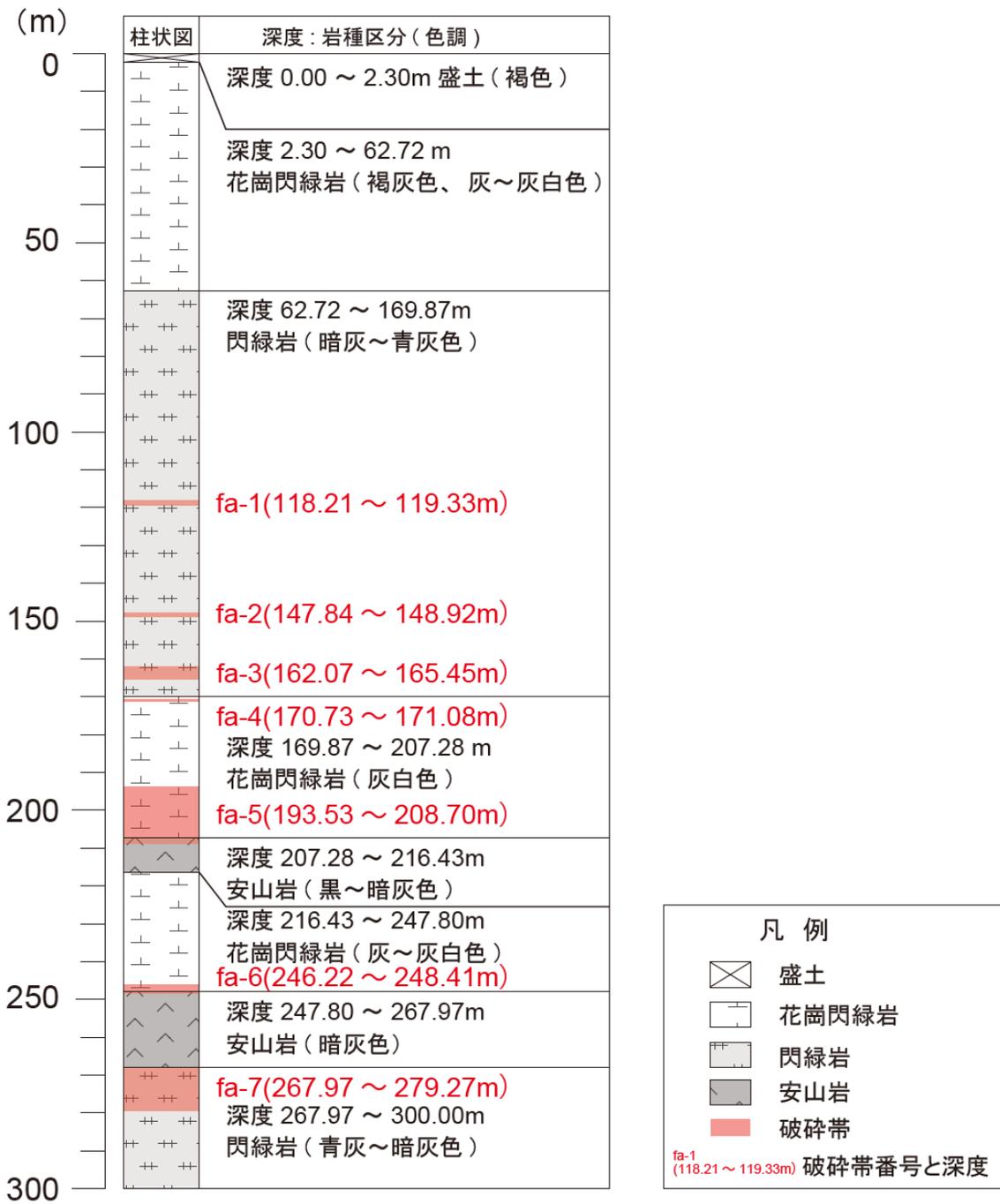


図 5.3.2.1 AFD-2 孔柱状図

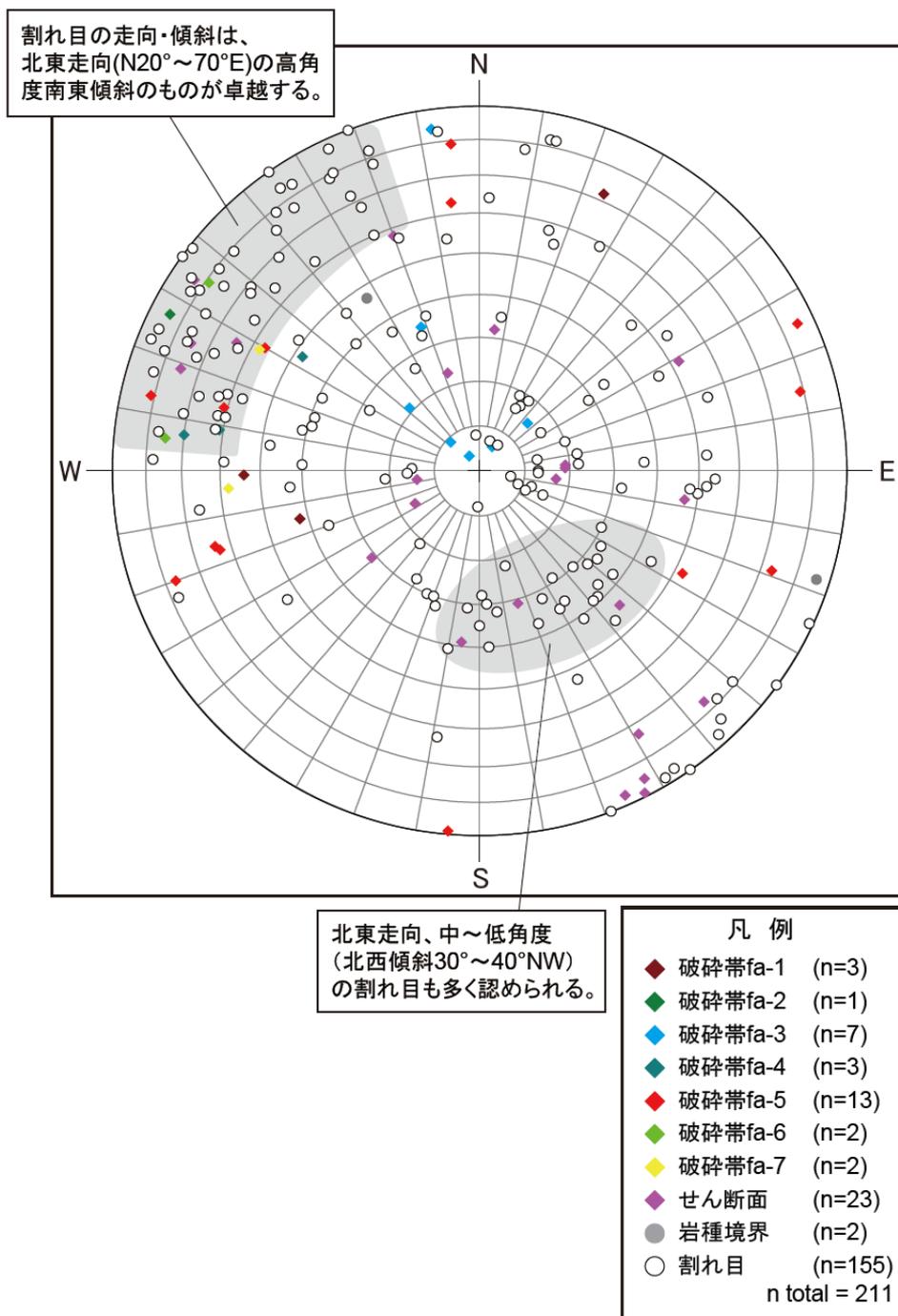


図 5.3.2.2 AFD-2 孔シュミットネット解析結果

(2) 断層破砕帯

上述の各断層破砕帯について詳細な観察を行い、破砕帯の幅、固結度、破砕の分布、せん断面の有無など、性状を確認した。また、ボアホールカメラで確認されたせん断面の走向・傾斜を測定した。

各断層破砕帯の特徴を表5.3.2.1に整理した。

表5.3.2.1 AFD-2孔の破砕帯一覧表

破砕帯番号	破砕帯		破砕帯の走向・傾斜	破砕帯の固結度	見掛けの破砕帯幅 (m)	断層ガウジ	破砕帯及びせん断面の特徴
	上端深度 (m)	下端深度 (m)					
fa-1	118.21	119.33	N8° E 47° W N6° E 17° W N1° W 54° E N15° W 42° E N66° W 72° SW	未固結/ 半固結	1.12	有	・深度118.49～118.64mに粘土～砂状を呈する断層ガウジが認められ、深度118.64mにせん断面が認められる。 ・断層ガウジには葉片状組織が複数認められる。
fa-2	147.84	148.92	N27° E 84° SE N59° E 73° NW N46° E 77° NW	半固結	1.08	無	・全体に割れ目が密に発達し、角礫状を呈する。断層ガウジを伴うせん断面は認められず、破砕帯の規模としても小規模である。
fa-3	162.07	165.45	N68° E 35° S N82° E 84° S N63° W 6° SW N55° E 4° SE N45° W 15° SW N42° E 21° SE N45° E 9° SE	半固結	3.38	有	・深度164.31mに砂混じり粘土状を呈する断層ガウジ、深度165.22～165.26mに礫混じり粘土～砂状を呈する断層ガウジが認められ、深度165.26mに角度約20°の平滑なせん断面が認められる。深度165.39mに幅約1cm、角度約5°の暗緑灰色の粘土状を呈する断層ガウジが認められる。 ・その他の区間は断層角礫及び弱破砕部である。
fa-4	170.73	171.08	N33° E 48° SE N9° E 61° E N7° E 70° E	半固結	0.35	有	・深度170.73～171.08mは灰白色の角礫状を呈し、深度170.79m付近に幅約1cm、角度約40°の淡緑色の粘土状を呈する断層ガウジが認められる。
fa-5	193.53	208.70	N30° E 57° SE N14° E 61° E N84° E 63° S N85° E 79° S N16° W 64° E N20° W 77° E N17° W 63° E N27° E 52° NW N85° W 89° N N19° E 73° W N25° W 85° SW N14° W 79° W N13° E 81° E	未固結/ 半固結	15.17	有	・破砕幅が広く、深度194.42m、深度198.60～199.00m、深度202.22～202.52m及び深度202.83～203.47m間は破砕が強く、粘土～砂混じり粘土状を呈する断層ガウジが認められる。 ・せん断面のうち、深度194.42m、深度202.22～202.52m、深度202.83～203.47mにはそれぞれ明黄灰、淡黄灰、及び淡黄灰色の砂混じり粘土状を呈する断層ガウジを伴う。 ・深度198.60～199.00mは暗黄灰色の粘土状を呈する断層ガウジを伴う。 その他の区間は断層角礫及び弱破砕部からなる。
fa-6	246.22	248.41	N6° E 75° E N35° E 79° SE	未固結/ 半固結	2.19	有	・深度247.84mに幅1～15mm、角度約70°の黄灰～黄褐色の砂混じり粘土状を呈する断層ガウジが認められる。周囲は断層角礫及び弱破砕部が帯状に認められる。
fa-7	267.97	279.27	N29° E 58° SE N4° W 58° E	未固結/ 半固結	11.30	不明瞭	・破砕幅が広く、深度269.19～269.50m、深度274.88～276.53m及び深度277.64～279.27m間は比較的破砕が強く、断層角礫が認められる。部分的に変質により砂状を呈するが、明瞭な断層ガウジを伴うせん断面は認められない。

BHTV解析値から得られた深度を斜体字で示す。

各破碎帯の詳細を以下に示す。

・ 破碎帯fa-1 (深度118.21～119.33m)

閃緑岩を原岩とした未固結～半固結の断層破碎帯。図 5.3.2.3 に調査結果図を示す。本破碎帯は、ボアホールカメラ観察によって 5 か所のせん断面が確認され、N15° W～N8° E、40～50° のものが中心だと思われる。この中でも、深度 118.64m で観察される物質境界は明瞭である。境界の上部 (深度 118.49～118.64m) は破碎の影響が強く、緑灰～暗灰黄色の断層ガウジが存在する。この断層ガウジは未固結～半固結の粘土～砂状を呈し、せん断構造を示す角度 30～50° の葉片状組織が複数認められた。また、断層ガウジ中には所々で花崗岩質の礫を取り込んでいる箇所があり、最大径 50mm に達する礫も見つかった。一方で、境界の下部 (深度 118.64～119.33m) は暗灰～灰緑色の断層角礫を中心に構成されている。断層角礫は閃緑岩を原岩とし、多くは半固結であった。礫径は 2～5mm、基質は砂～粘土状を呈する。以上の観察結果から、物質境界が明瞭で、周辺試料の破碎の影響が強く、せん断構造も明瞭な、深度 118.64m の境界をせん断面 sa-1 とし、より詳細に観察することとした。

・ 破碎帯fa-2 (深度147.84～148.92m)

閃緑岩を原岩とした半固結の断層破碎帯。図5.3.2.4に調査結果図を示す。本破碎帯は、ボアホールカメラ観察によって3か所のせん断面が確認され、それらの傾斜は70～80° と高角度であった。全体的に破碎の影響が強く、半固結の暗黄灰～暗緑灰色の断層角礫を中心に構成されている。礫径は2～10mm、基質は砂状を呈する。深度147.92mには強い変質を受けた幅約4cmの閃緑岩がくさび状に認められたものの、断層粘土を伴うようなせん断面は認められず、破碎帯の規模としては小規模であると考えられる。

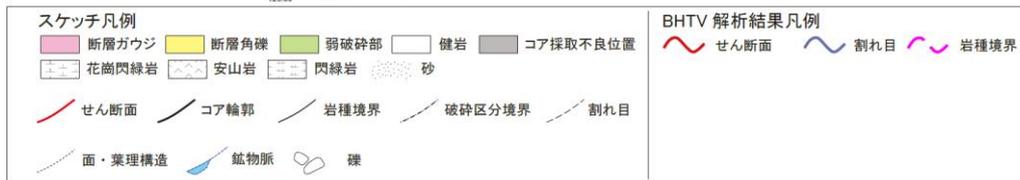
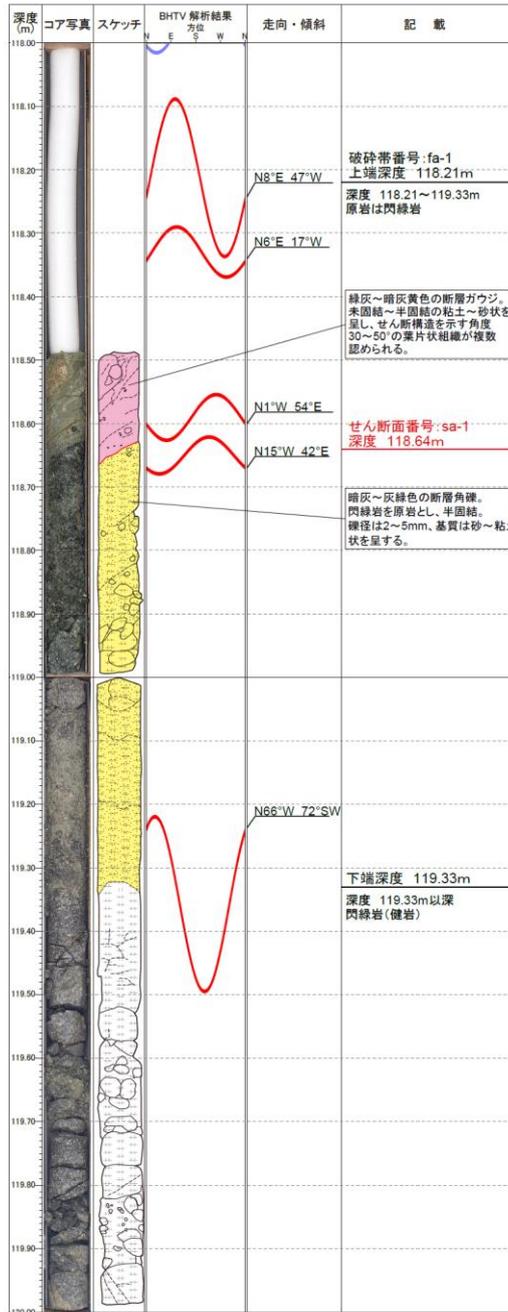


図5.3.2.3 破砕帯fa-1調査結果図

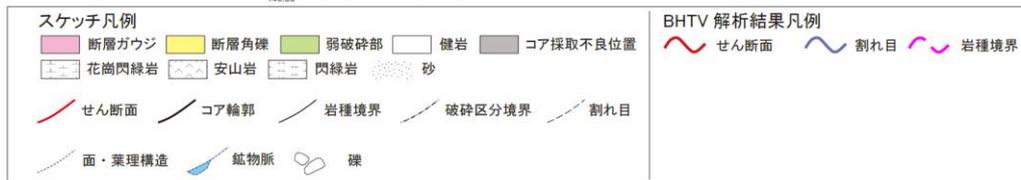
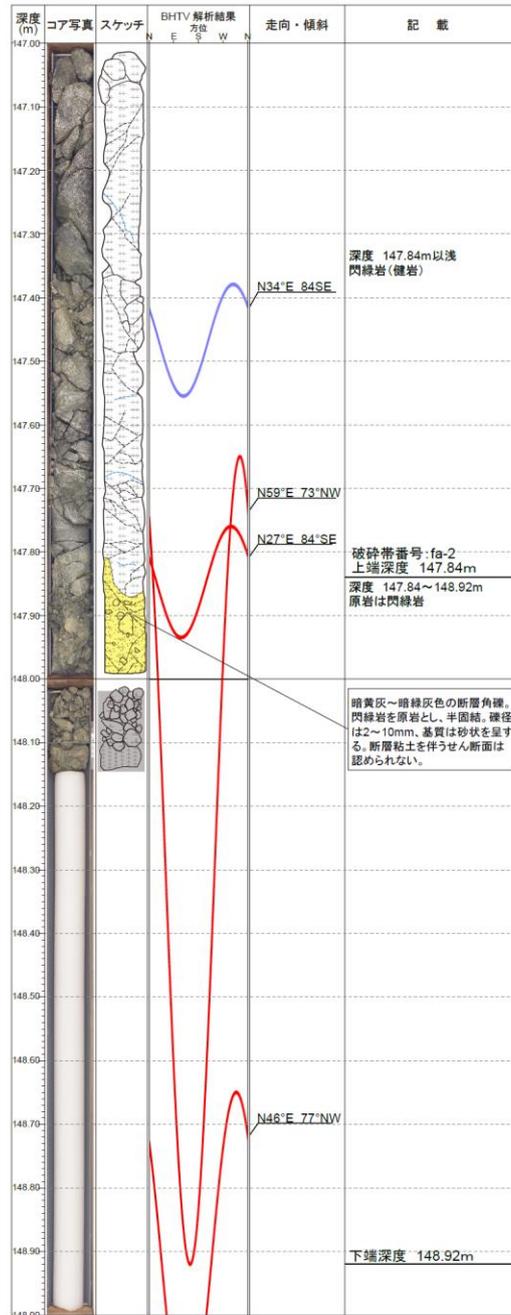


図5.3.2.4 破砕帯fa-2調査結果図

・ 破砕帯fa-3（深度162.07～165.45m）

閃緑岩を原岩とした半固結の断層破砕帯。図 5.3.2.5 に調査結果図を、図 5.3.2.6 にシュミットネット結果図を示す。本破砕帯は、ボアホールカメラ観察によって7か所のせん断面が確認された。せん断面は走向がばらつくが、低角度南傾斜（4～21° S）のものが多かった。コア観察とボアホールカメラ観察から、深度 164.31m、165.26m、165.39m の3か所の破砕が特に強く、半固結の断層ガウジが認められた。その他の区間については、半固結の断層角礫及び弱破砕の閃緑岩から構成されている。

深度 164.31m の断層ガウジは、灰色粘土混じり砂状を呈し、傾斜は 84° と比較的高角度であった。コア試料で確認された断層ガウジは長さ 10cm 程度とそれほど長くはなかったものの、厚さは 2～10mm と肉眼でも分かるほど不均一であった。深度 165.26m の断層ガウジは、3か所の断層ガウジの中で最も幅が厚く、その厚さは約 40mm であった。断層ガウジの傾斜は低角度で、ボアホールカメラの解析結果から 15° 程度と思われる。深度 165.39m の断層ガウジも同様に約 5° と低角度で、厚さは 10mm だった。深度 165.26m と 165.39m で産する低角度の断層ガウジは、周囲に存在する物質境界の傾斜がいずれも低角度（4～21°）であることから、これら断層ガウジを含めた破砕部（165.22～165.45m）は、高角度の傾斜を持つ現在の野島断層や浅野断層とは別の時代に生成されたものと考えられる。本調査では、この深度区間（165.22～165.45m）に着目し、その中で最も断層ガウジが発達した深度 165.26m の箇所をせん断面 sa-3 とし、より詳細に観察することとした。

・ 破砕帯fa-4（深度170.73～171.08m）

花崗閃緑岩を原岩とした半固結の断層破砕帯。図5.3.2.7に調査結果図を示す。本破砕帯は、ボアホールカメラ観察によって3か所のせん断面が確認され、中～高角度の傾斜（40～70°）を持つ。深度170.79mで淡緑灰色の断層ガウジが認められる。断層ガウジは角度約40°、厚さ約1cm、半固結の淡緑色粘土状を呈する。この断層ガウジを境に、上位には灰黄白色、下位層には暗黄灰色の断層角礫が認められる。断層角礫は花崗閃緑岩を原岩とする半固結の角礫状を呈し、礫径は2～10mm、基質は砂状である。深度170.82以深は、花崗閃緑岩が弱破砕を受け、暗灰～暗黄灰色を呈している。変質を受けたカタクレーサイトが産し、一部角礫状を呈している。この上位と下位の境界をなす深度170.79mの断層ガウジをせん断面sa-4とし、より詳細に観察することとした。

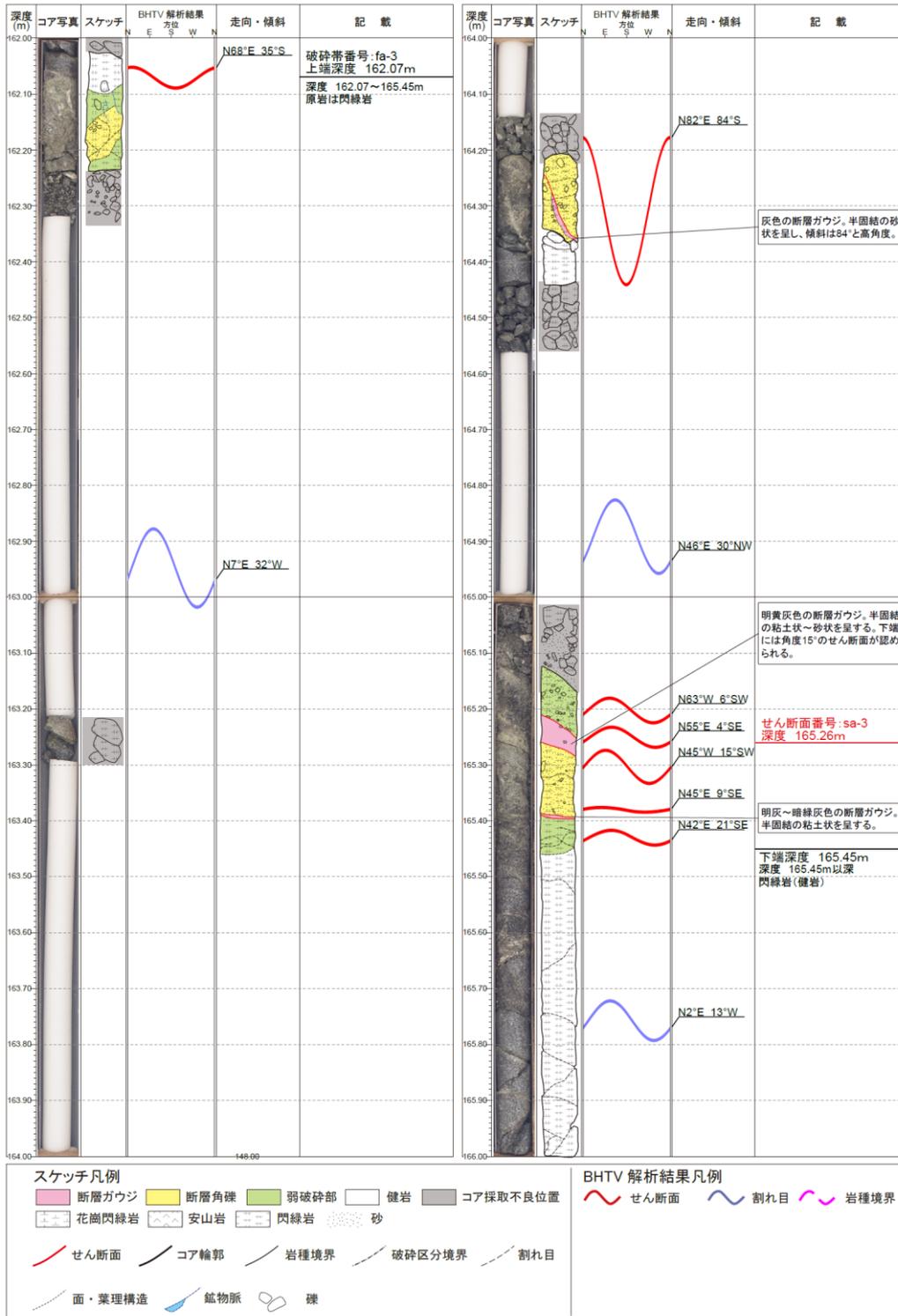


図5.3.2.5 破砕帯fa-3調査結果図

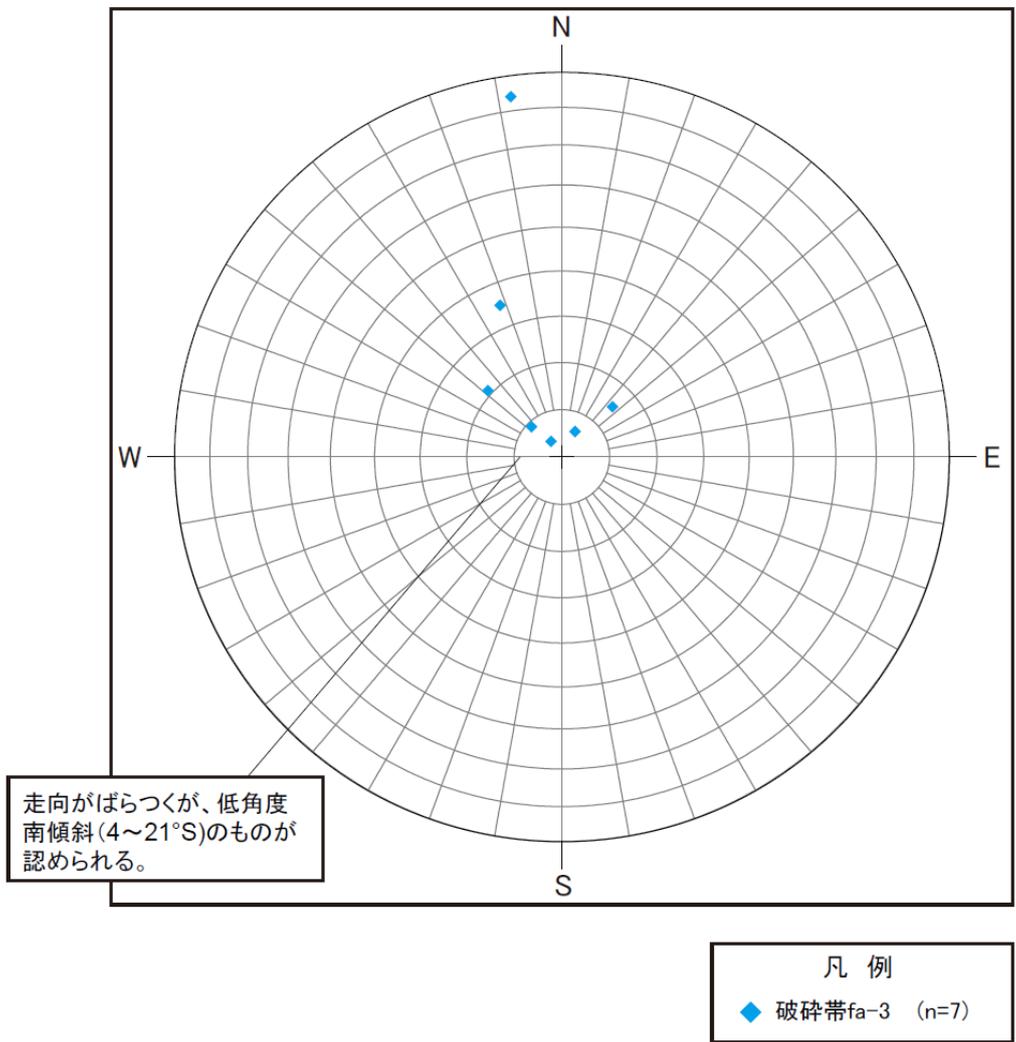


図5.3.2.6 破碎帯fa-3シュミットネット解析結果

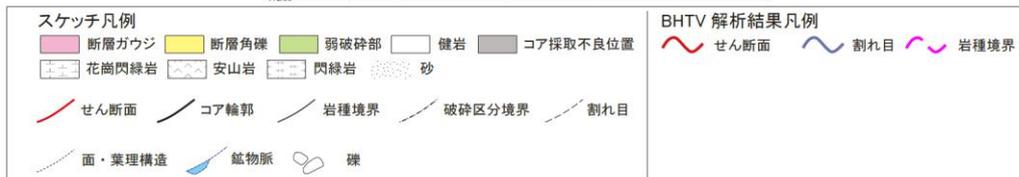
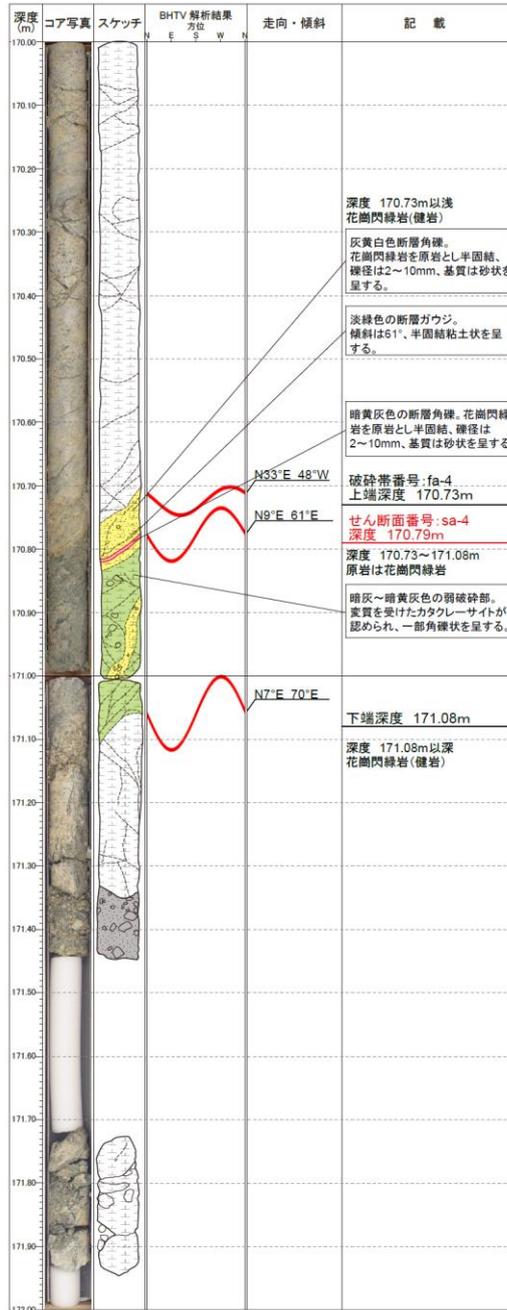


図5.3.2.7 破碎帯fa-4の調査結果

・ 破砕帯fa-5（深度193.53～208.70m）

花崗閃緑岩と安山岩を原岩とした未固結～半固結の断層破砕帯。図 5.3.2.8 に調査結果図を、図 5.3.2.9 にシュミットネット解析結果図を示す。本破砕帯は、AFD-2 孔で見られた断層破砕帯の中でも見かけ幅が 15m と最も厚く、ボアホールカメラによって観察されたせん断面も 13 か所と最も多い。これらせん断面の走向・傾斜は、北西走向（N14 W～N25° W）の高角度傾斜（64 E～85 SW）のものが多く、現在の浅野断層と姿勢が良く似ている。また、北東走向（N13° ～30° E）の高角度～中角度傾斜（52° NW～81° E）の走向・傾斜を示すものも認められる。本破砕帯は、花崗閃緑岩と安山岩が境界角度 60～85° で接し、0.3～2m ごとに両者が繰り返して表れる箇所も見られる。花崗閃緑岩と安山岩の境界沿いで破砕が集中し、一部の境界で断層ガウジが発達する。また、深度 195.76～195.95m に灰白色の花崗閃緑岩の健岩を挟む箇所も見られた。

本破砕帯は未固結～半固結の断層ガウジを 4 層狭在する。浅いものから順に、深度 194.42m、198.77m、202.39m 及び 203.26m。深度 194.42m の断層ガウジは明黄灰色を呈し、半固結の砂混じり粘土からなる。厚みは約 2mm と薄く、角度 65～70° と他の 3 つのガウジに比べて傾斜が緩い。変形構造も見られ、断層面が少し撓んでいる。深度 198.77m の断層ガウジは暗黄灰色を呈し、未固結～半固結の粘土からなる。厚みは 2～10mm、角度 75～85° と高角度である。この断層ガウジを境にして、上位が弱破砕を受けた花崗閃緑岩、下位が角礫状安山岩の物質境界となっている。深度 202.39m の断層ガウジは淡灰黄色を呈し、未固結～半固結の粘土からなる。厚みは 2～15mm と先行の断層ガウジと比べて厚く、角度 80～85° と高角度である。この断層ガウジを境にして、上位が角礫状の安山岩、下位が弱破砕を受けた花崗閃緑岩の物質境界となっている。深度 203.26m の断層ガウジは淡黄色を呈し、半固結の砂混じり粘土からなる。厚みは 4～14mm と 4 層の断層ガウジ中でも比較的厚い。角度は 85° と高角度をなす。

破砕帯中に見られる断層角礫は花崗閃緑岩と安山岩を原岩とするものが混在し、花崗閃緑岩は淡黄、明灰、灰白及び灰色、安山岩は灰～暗灰色を呈す。礫径は花崗閃緑岩で 2-50mm、安山岩で 2-30mm、基質は砂状である。弱破砕部では、明黄灰、明灰白、明灰、灰及び暗褐色の花崗閃緑岩や、灰～暗灰色の安山岩が見られる。割れ目が密に発達し、割れ目沿いに変質し軟質化したものも存在する。一部砂状となっているものもある。深度 197.74m では、角礫化した上位の安山岩と、弱破砕を受けた下位の花崗閃緑岩が接し、本破砕帯内で繰り返す特徴的な構造を持っている。

破砕帯 fa-5 では、深度 194.42m の断層ガウジをせん断面 sa-5①、特徴的な破砕構造を持つ深度 197.74m をせん断面 sa-5②、深度 198.77m の断層ガウジをせん断面 sa-5③、深度 202.39m の断層ガウジをせん断面 sa-5④、深度 203.26m の断層ガウジをせん断面 sa-5⑤とし、より詳細に観察を行った。

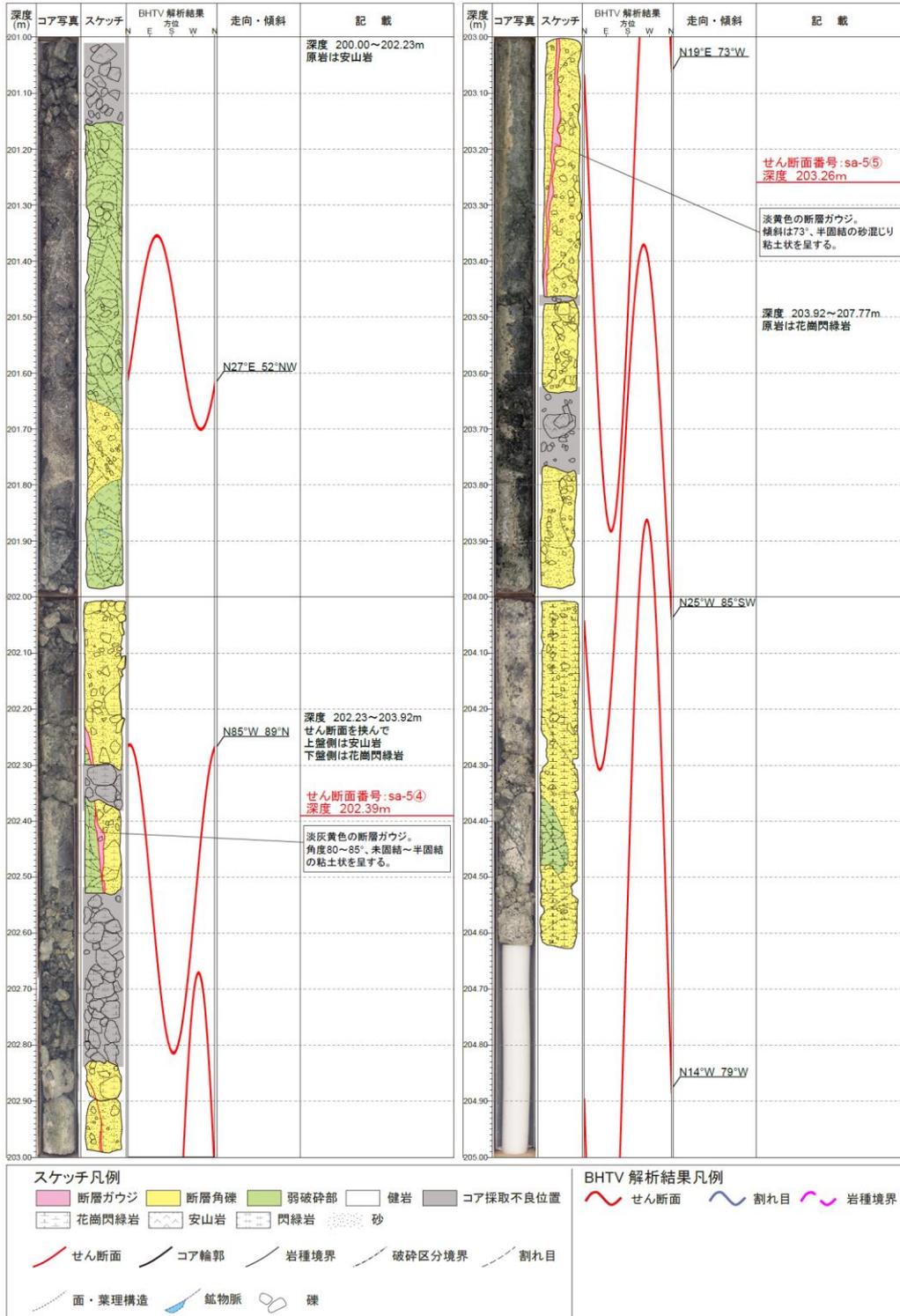


図5.3.2.8 破碎帯fa-5の調査結果 (3)

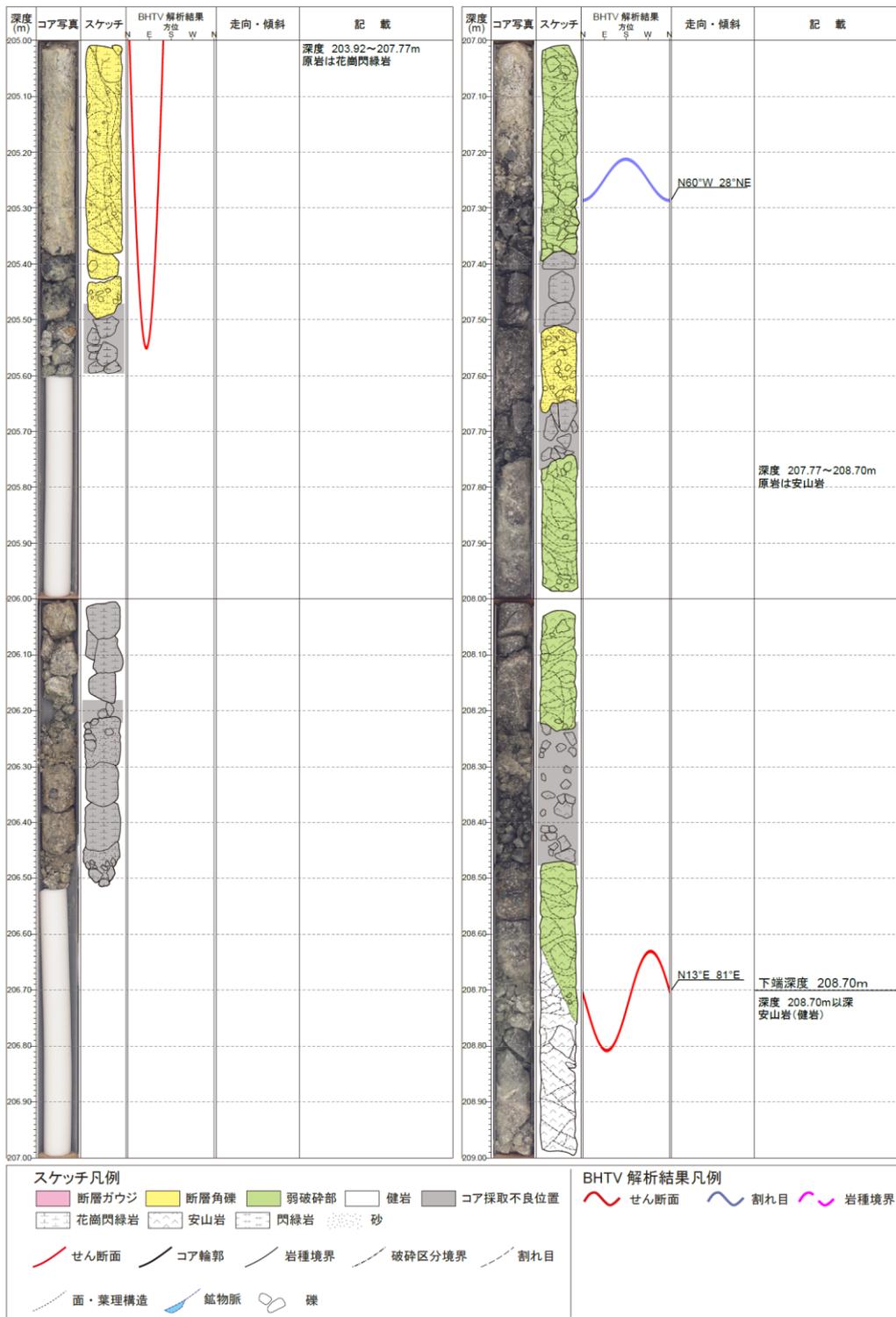


図5.3.2.8 破碎帯fa-5の調査結果 (4)

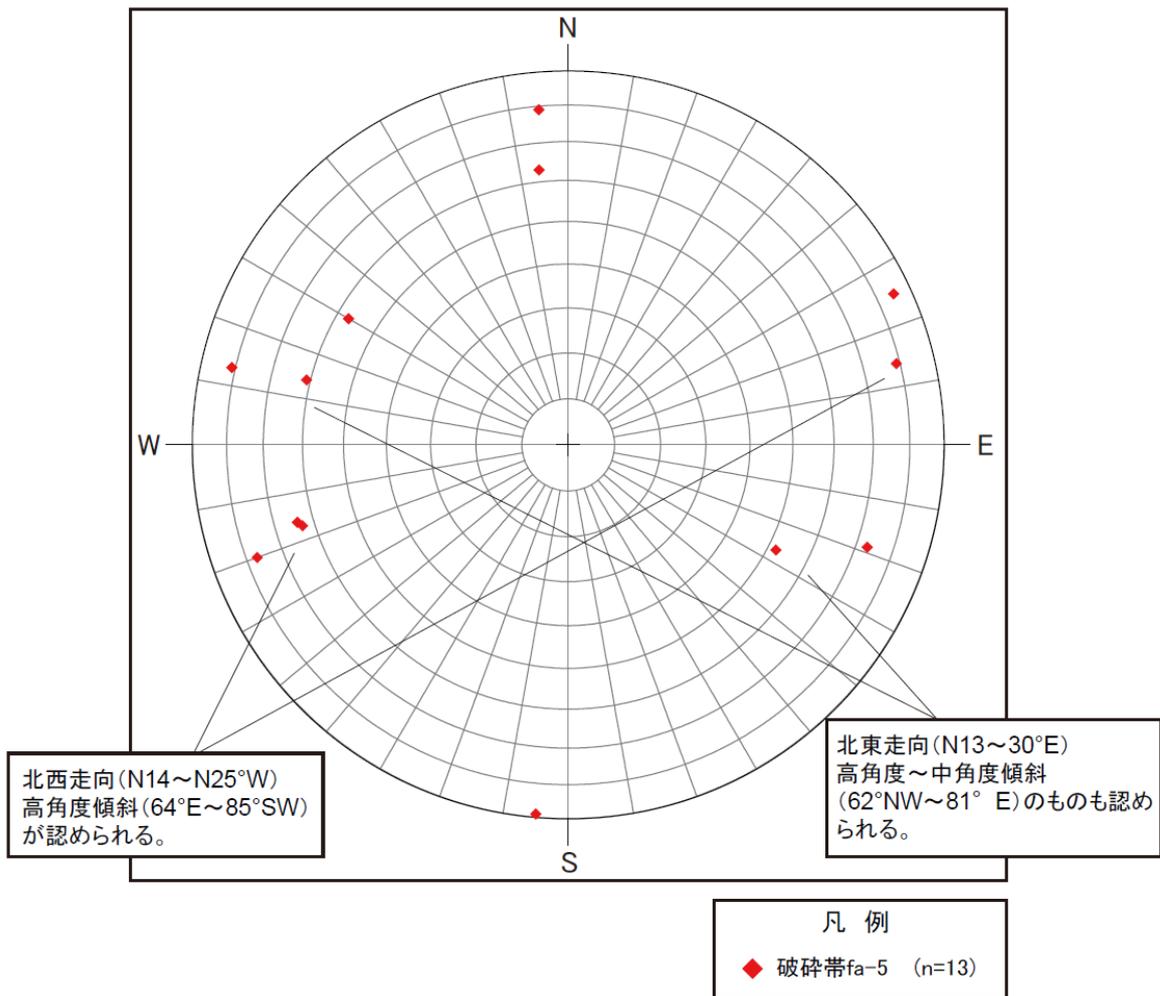


図5.3.2.9 破砕帯fa-5のシュミットネット解析結果

・ 破砕帯fa-6 (深度246.22～248.41m)

花崗閃緑岩と安山岩を原岩とし、岩種境界沿いに発達する未固結～半固結の断層破砕帯。図 5.3.2.10 に調査結果図を示す。本破砕帯は、ボアホールカメラ観察によって 2 か所のせん断面が確認され、北東走向 ($N6^{\circ} E \sim N35^{\circ} E$) の高角度東傾斜 ($75^{\circ} E \sim 79^{\circ} SE$) である。深度 247.84m 付近に黄灰～黄褐色の断層ガウジが認められる。断層ガウジを境界にして、上位は弱破砕を受けた花崗閃緑岩、下位は角礫化した安山岩が見られる。断層ガウジと上位の花崗閃緑岩の間には一部角礫化した安山岩も認められる。この深度 247.84 m の断層ガウジをせん断面 sa-6 とし、より詳細に観察することとした。

・ 破砕帯fa-7 (深度267.97～279.27m)

閃緑岩を原岩とした半固結の断層破砕帯。図 5.3.2.11 に調査結果図を示す。本破砕帯は、ボアホールカメラ観察によって 2 か所のせん断面が確認され、南北走向 ($N4^{\circ} W \sim N11^{\circ} E$) の中～高角度東傾斜 ($43^{\circ} E \sim 71^{\circ} E$) であった。全体的に弱破砕・変質を受け、半固結の断層角礫を 3 か所挟在している。浅い方から順に深度 269.19～269.50m、274.88～276.53m、277.64～279.27m。色調はそれぞれ暗灰色、灰色及び灰色～乳白色を呈する。礫径は 2～30mm、基質は砂状である。破砕帯 fa-7 は、破砕帯の幅が厚いものの、断層ガウジを伴うような明瞭なせん断面は認められなかった。

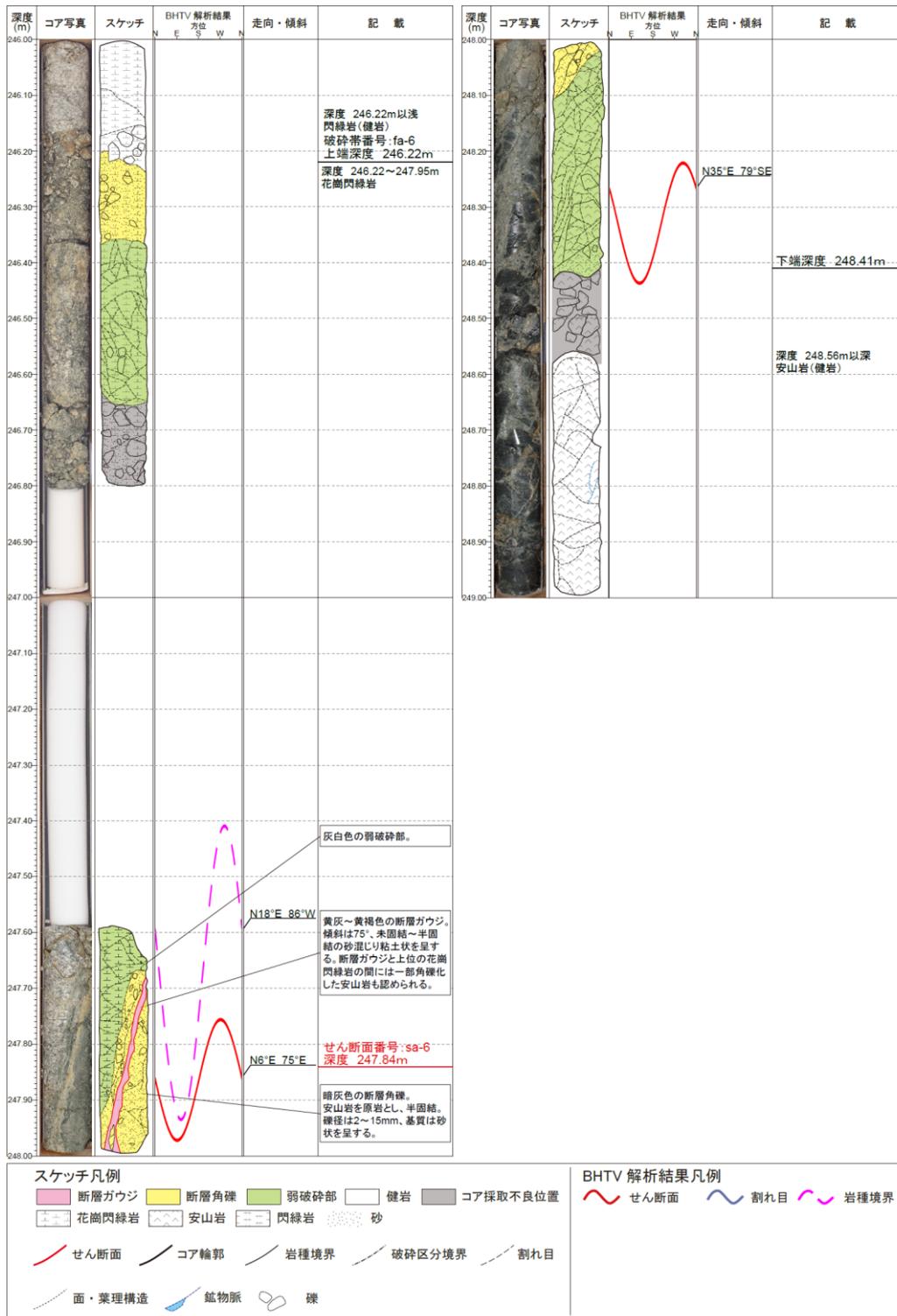


図5.3.2.10 破砕帯fa-6の調査結果

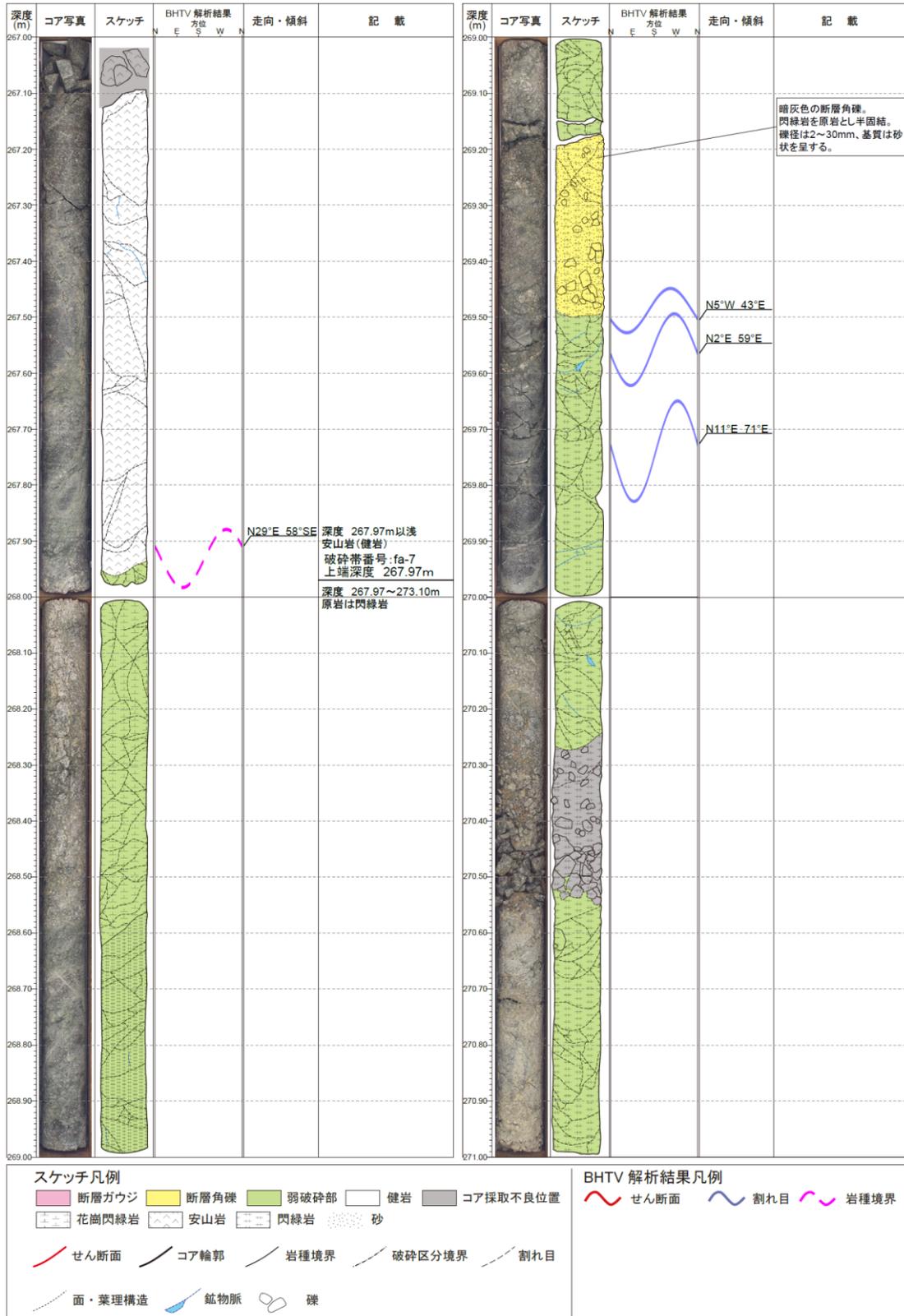




図5.3.2.11 破碎帯fa-7の調査結果 (2)



図5.3.2.11 破碎帯fa-7の調査結果 (3)

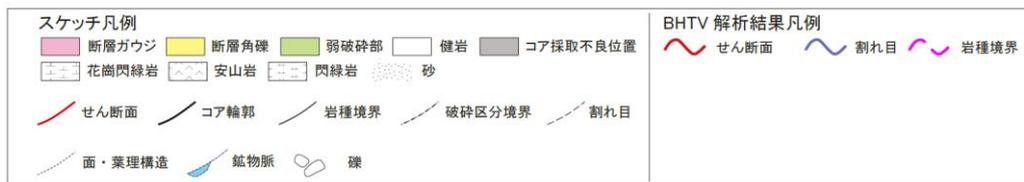
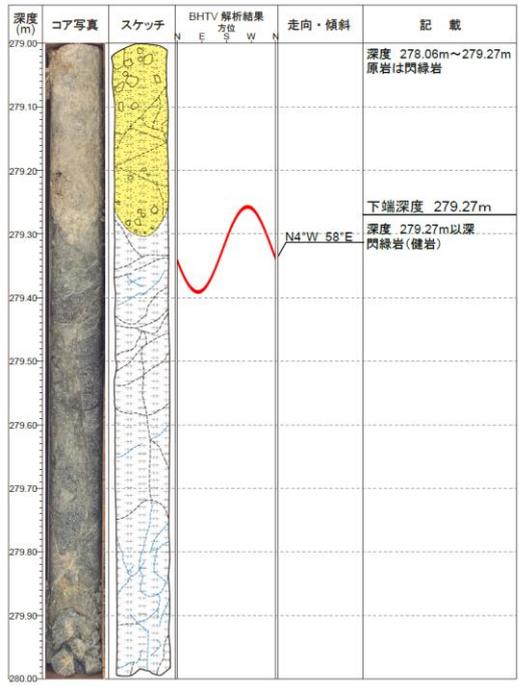


図5.3.2.11 破碎帯fa-7の調査結果 (4)

(3) せん断面

断層破碎帯の観察から、断層運動と関連性のあるせん断面の存在を確認した。その中で、断層ガウジが発達したもの（ガウジ幅が厚い、葉片状構造が見られる等）や、周囲の岩石を著しく破碎し断層角礫を多く含んでいるものなど、特徴的なせん断面を9か所選定し、詳細な観察を行った。9か所のせん断面は浅部から順に、sa-1（深度118.64m）、sa-3（深度165.26m）、sa-4（深度170.79m）、sa-5①（深度194.42m）、sa-5②（深度197.74m）、sa-5③（深度198.77m）、sa-5④（深度202.39m）、sa-5⑤（深度203.26m）、sa-6（深度247.84m）とした。各せん断面の特徴を表5.3.2.2に整理した。

表 5.3.2.2 せん断面一覧表

せん断面				破碎帯及びせん断面の特徴
せん断面番号	深度 (m)	せん断面の走向・傾斜	せん断面の固結度	
sa-1	118.64	N15° W 42° E	未固結／半固結	・深度118.49～118.64mに粘土～砂状を呈する断層ガウジが認められ、深度118.64mにせん断面が認められる。 ・断層ガウジには葉片状組織が複数認められる。
sa-3	165.26	N55° E 4° SE	半固結	・深度164.31mに砂混じり粘土状を呈する断層ガウジ、深度165.22～165.26mに礫混じり粘土～砂状を呈する断層ガウジが認められ、深度165.26mに角度約20°の平滑なせん断面が認められる。深度165.39mに幅約1cm、角度約5°の暗緑灰色の粘土状を呈する断層ガウジが認められる。 ・その他の区間は断層角礫及び弱破碎部である。
sa-4	170.79	N9° E 61° E	半固結	・深度170.73～171.08mは灰白色の角礫状を呈し、深度170.79m付近に幅約1cm、角度約40°の淡緑色の粘土状を呈する断層ガウジが認められる。
sa-5①	194.42	N85° E 79° S	半固結	・破碎幅が広く、深度194.42m、深度198.60～199.00m、深度202.22～202.52m及び深度202.83～203.47m間は破碎が強く、粘土～砂混じり粘土状を呈する断層ガウジが認められる。 ・せん断面のうち、深度194.42m、深度202.22～202.52m、深度202.83～203.47mにはそれぞれ明黄灰、淡黄灰、及び淡黄灰色の砂混じり粘土状を呈する断層ガウジを伴う。 ・深度198.60～199.00mは暗黄灰色の粘土状を呈する断層ガウジを伴う。 その他の区間は断層角礫及び弱破碎部からなる。
sa-5②	197.74	N16° W 64° E	半固結	
sa-5③	198.77	N20° W 77° E	未固結／半固結	
sa-5④	202.39	N85° W 89° N	半固結	
sa-5⑤	203.26	N19° E 73° W	半固結	
sa-6	247.84	N6° E 75° E	未固結／半固結	・深度247.84mに幅1～15mm、角度約70°の黄灰～黄褐色の砂混じり粘土状を呈する断層ガウジが認められる。周囲は断層角礫及び弱破碎部が帯状に認められる。

BHTV解析値から得られた深度を斜体字で示す。

各せん断面の詳細を以下に示す。

・せん断面sa-1（深度118.64m）

図 5.3.2.12 に観察結果を示す。ボアホールカメラの観察結果から、本せん断面の走向・傾斜は N15° W、42° E と求められた。せん断面の形状は明瞭で、断層ガウジと断層角礫の境界をなしている。

せん断面から上位（深度 118.50～118.64m）には、暗緑灰～暗灰黄色の断層ガウジが存在する。この断層ガウジは、未固結～半固結の粘土～砂状を呈し、せん断面沿い（<約 50mm）では、せん断面と平行に葉片状構造が発達する。この葉片状構造はせん断面から離れるにつれ徐々に傾斜し、見かけ角度が 50° から 30° まで変化している。葉片状構造の間隔は 2～10mm と変化に富み、構造に沿って花崗閃緑岩や安山岩の細礫が所々配列されていることが確認できる。

せん断面から下位（深度 118.64～118.82m）には、破碎が進んだ断層角礫が認められる。断層角礫は半固結で、暗灰～灰緑色の閃緑岩及び石英の細礫（礫径は 2～5mm）が見られ、基質には砂や粘土が混在する。

・せん断面 sa-3（深度 165.26m）

図 5.3.2.13 に観察結果を示す。ボアホールカメラの観察結果から、本せん断面の走向・傾斜は N55° E、4° SW と求められた。せん断面は幅約 40mm の明黄灰色の礫混り粘土状～砂状断層ガウジの下端に位置し、閃緑岩を原岩とする断層角礫と接している。

せん断面と上位で接する断層ガウジ中は、せん断面付近（<10mm）で低角に斜交する葉片状構造が認められる。構造中には細礫が取り込まれている。一方、せん断面と下位で接する断層角礫は原岩を閃緑岩とし、礫径は 2～3mm である。この断層角礫は 13cm 程度の幅を持ち、下端（深度 165.39m）では別の断層ガウジと接している。この断層ガウジは明灰～暗緑灰色で、半固結の粘土状を呈し、幅約 1cm、せん断面の角度は約 5° と低角度で湾曲する。下位で暗灰色の弱破碎部と接している（深度 165.39～165.45m）。

本せん断面は平滑で、幅のある断層ガウジを伴うが、ボアホールカメラで確認されたせん断面の傾斜は、周辺のせん断面も含め、いずれも低角度を示している。これは、高角度の傾斜を持つと考えられる現在の浅野断層の姿勢とは合わないため、古い時代に生成されたものと考えられる。

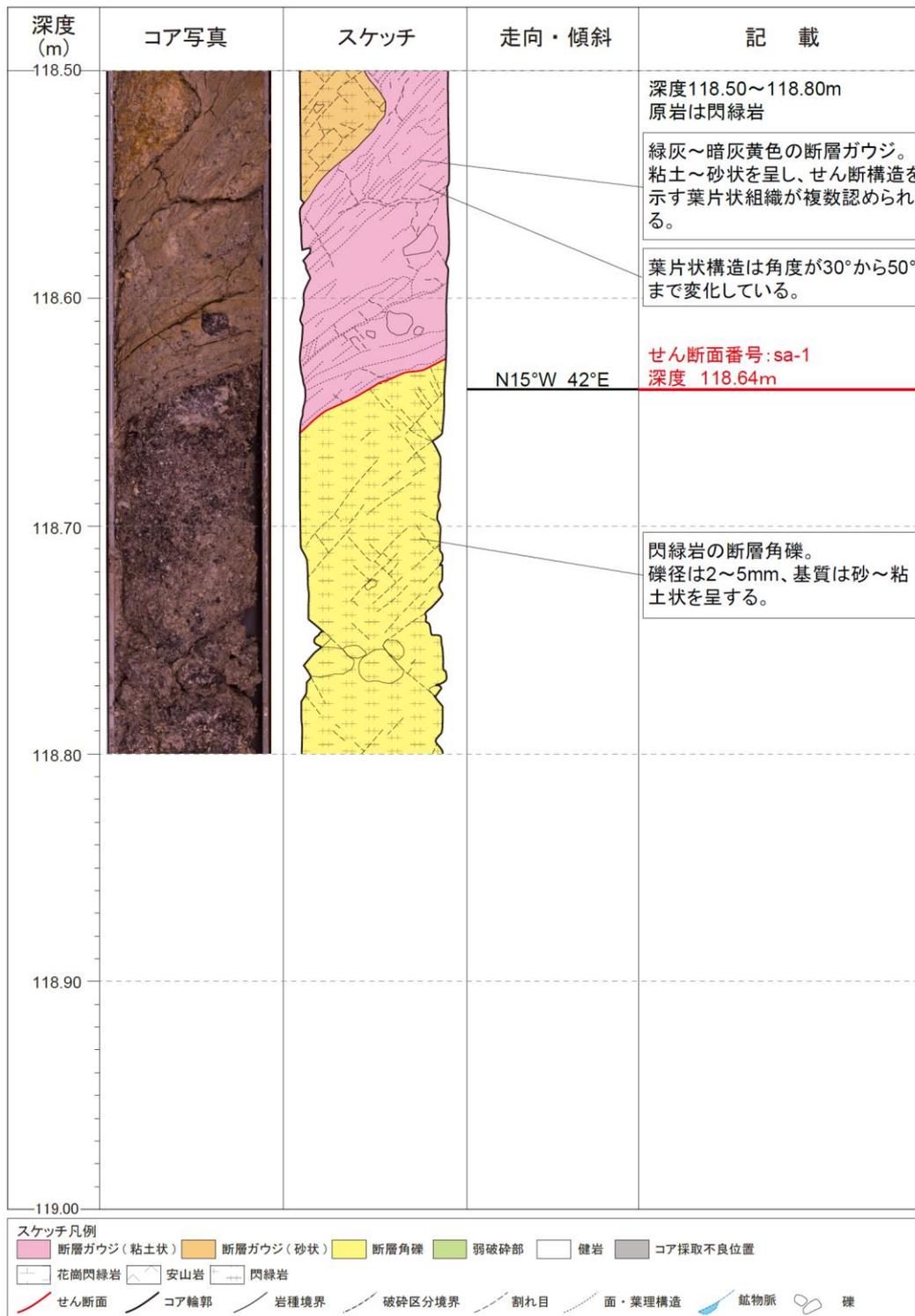


図 5.3.2.12 せん断面 sa-1 観察結果

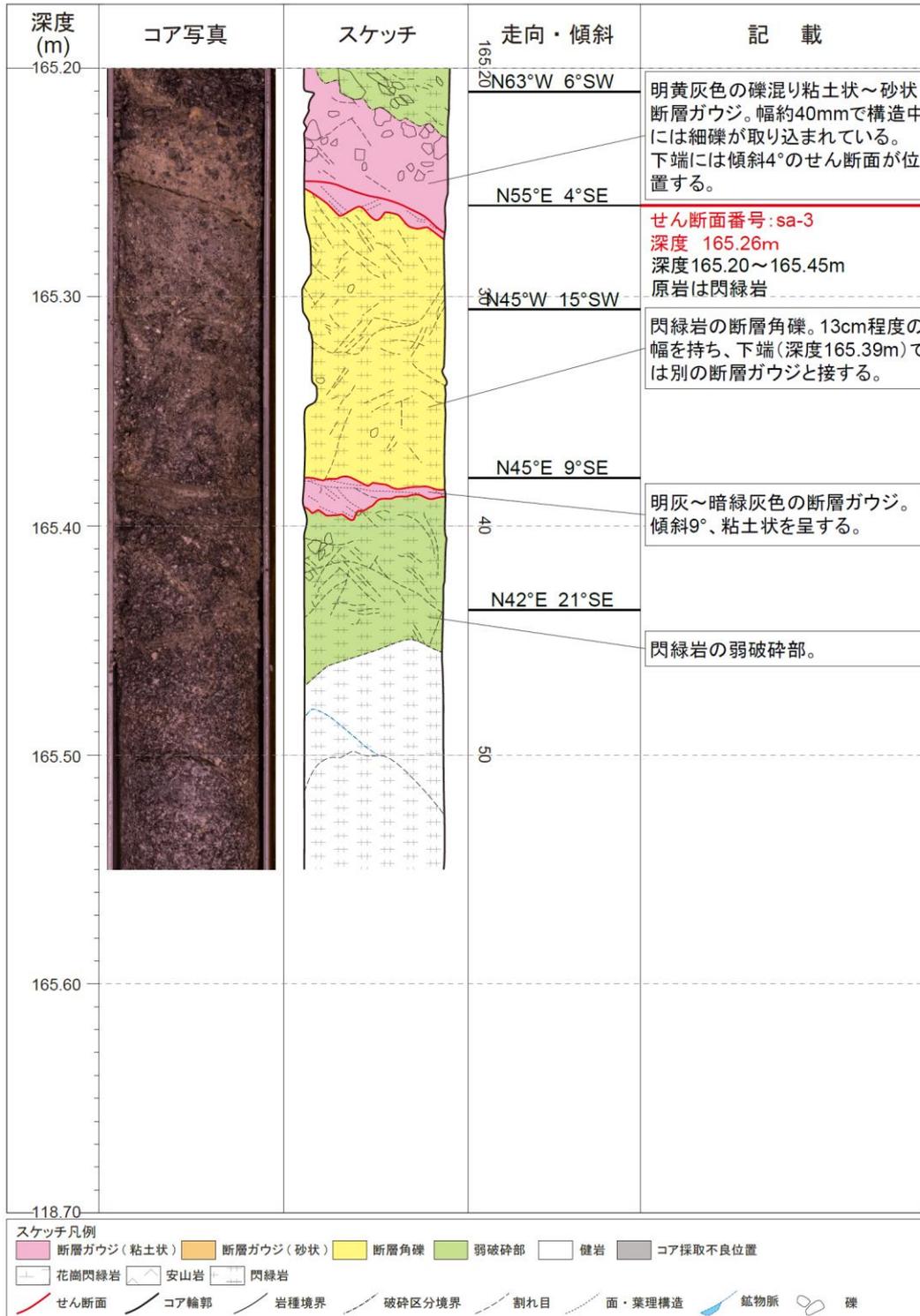


図 5.3.2.13 せん断面 sa-3 観察結果

・せん断面 sa-4 (深度 170.79m)

図 5.3.2.14 に観察結果を示す。ボアホールカメラの観察結果から、本せん断面の走向・傾斜は $N9^{\circ} E$ 、 $61^{\circ} E$ と求められた。せん断面は明瞭で、灰黄白～暗黄灰色の断層角礫中に断層ガウジを伴って表れている。断層ガウジの形状は平滑で、見かけ角度は約 40° 、幅は約 10mm で、色調は淡緑灰色であった。断層ガウジを挟み込むようにして存在する断層角礫は、礫径は 2～10mm、礫種は花崗閃緑岩であったが、上・下位の断層角礫が同一の原岩かどうかまでは肉眼で判別できなかった。

深度 170.82m 以深は、変質したカタクレーサイトからなり、その中に角度 $60\sim 70^{\circ}$ 、幅約 2cm の暗黄灰色の断層角礫が取り込まれていた。

本せん断面 sa-4 は明瞭で、小規模ながら断層ガウジを伴う。傾斜はやや緩いものの、推定される現在の浅野断層の姿勢に近い。

・せん断面 sa-5① (深度 194.42m)

図 5.3.2.15 に観察結果を示す。ボアホールカメラの観察結果から、本せん断面の走向・傾斜は $N85^{\circ} E$ 、 $79^{\circ} S$ と求められた。せん断面は花崗閃緑岩と安山岩の物質境界に位置する。せん断面はやや撓んでおり、見かけ角度は $65\sim 70^{\circ}$ である。明黄灰色で半固結の砂混り粘土状を呈し、厚みは約 2mm と薄く、内部の構造は不明瞭である。この断層ガウジを挟んで、上位に花崗閃緑岩、下位に安山岩の弱破碎部が分布する。弱破碎部中には網目状の割れ目が密集している。せん断面は平滑性が低く、厚みの薄い断層ガウジしか確認できない。走向・傾斜は東西方向の南傾斜であり、推定される現在の浅野断層の姿勢とは異なっている。

・せん断面 sa-5② (深度 197.74m)

図 5.3.2.16 に観察結果を示す。ボアホールカメラの観察から、安山岩と花崗閃緑岩との境界沿いに小規模なせん断面が確認され、走向・傾斜は $N16^{\circ} W$ 、 $64^{\circ} E$ と求められた。

深度 197.76m 以浅は暗灰色の安山岩からなる断層角礫、深度 197.76～197.78m で灰白色の花崗閃緑岩からなる断層角礫が見られた。角礫の径は約 2mm で、基質は砂状であった。197.78m 以深には明灰白色の花崗閃緑岩の弱破碎部が認められた。

本せん断面は破碎の程度が小規模であり、推定される現在の浅野断層の姿勢よりも傾斜が低角度であった。

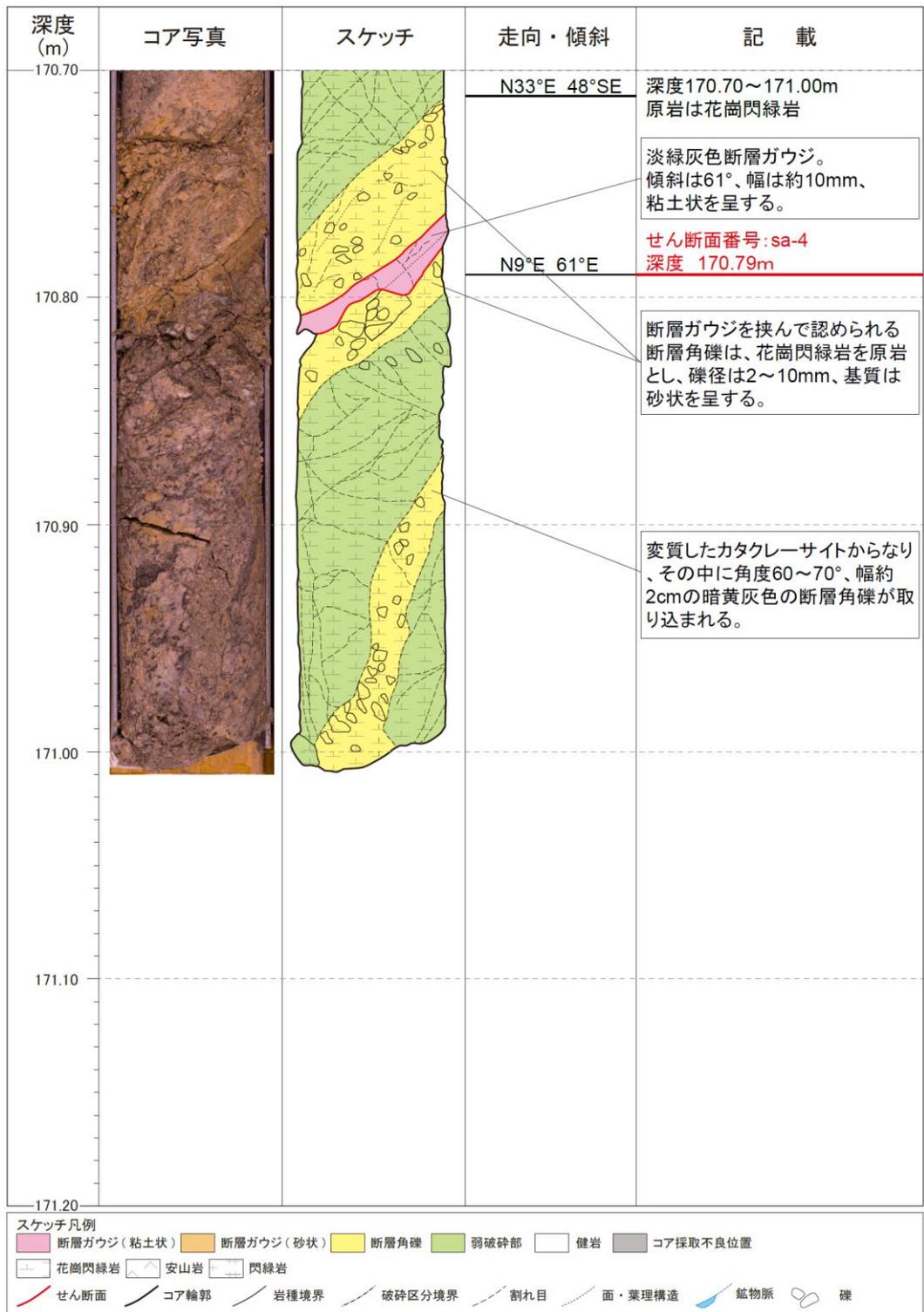


図 5.3.2.14 せん断面 sa-4 観察結果

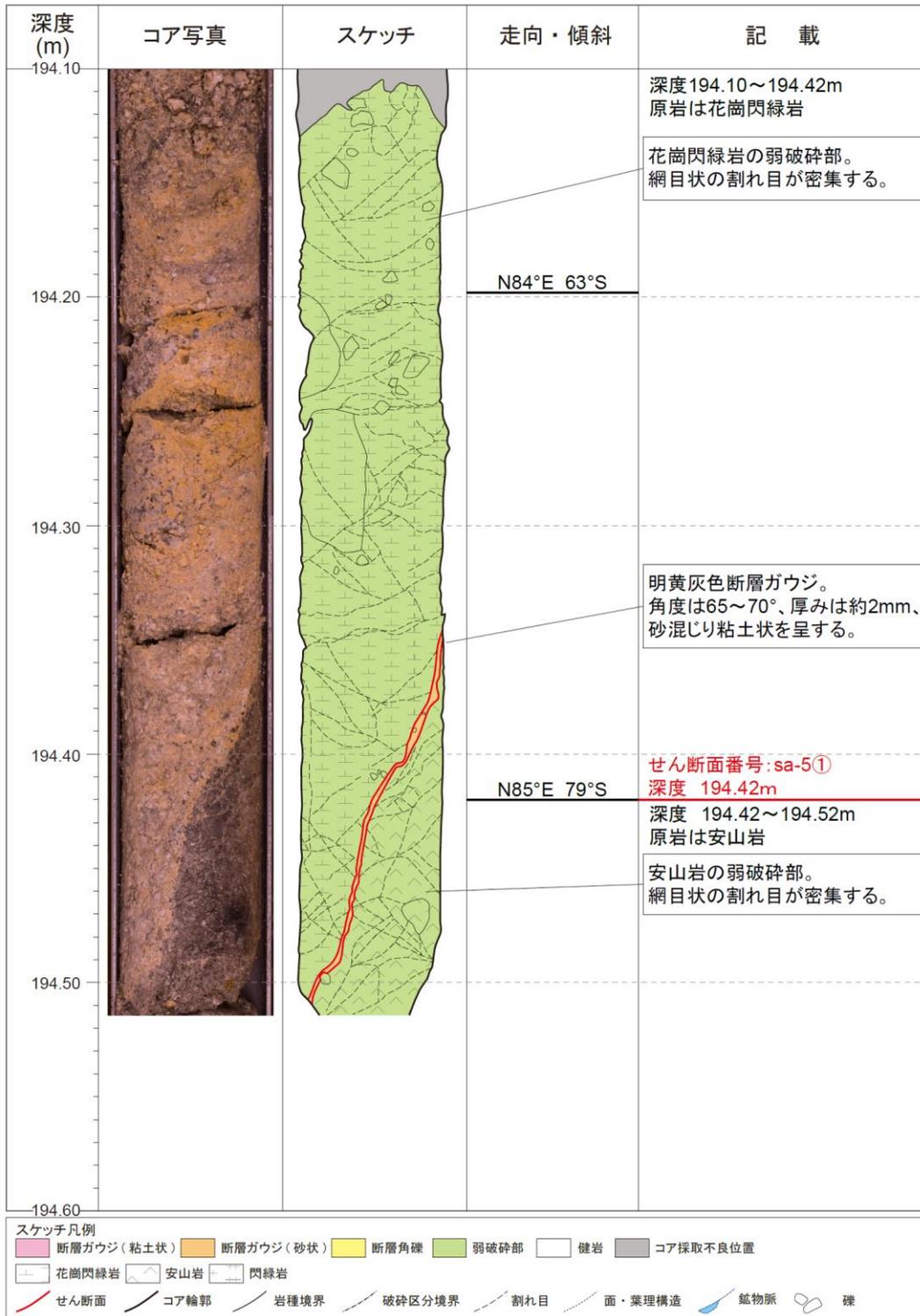


図 5.3.2.15 せん断面 sa-5①観察結果

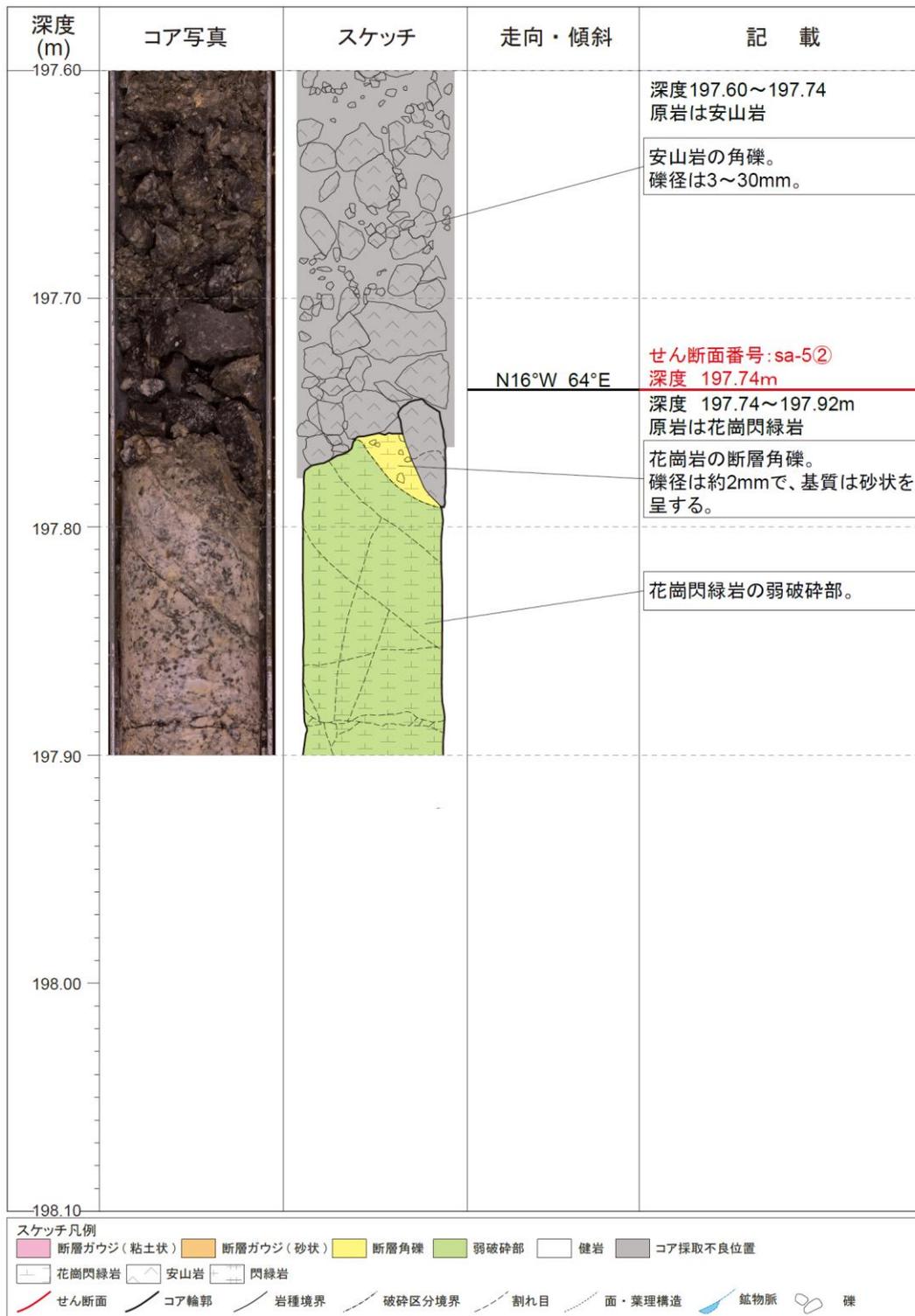


図 5.3.2.16 せん断面 sa-5②観察結果

・せん断面 sa-5③ (深度 198.77m)

図 5.3.2.17 に観察結果を示す。ボアホールカメラの観察結果から、本せん断面の走向・傾斜は N20° W、77° E と求められた。せん断面は明瞭で、花崗閃緑岩の弱破碎部と安山岩を原岩とする断層角礫との境界に位置する。せん断面の形状はやや湾曲し、面上には条線が認められた。せん断面は未固結～半固結の粘土状を呈する断層ガウジを伴い、断層ガウジの角度は 75～85°、幅 2～10mm で、色調は暗黄灰色であった。断層ガウジ中には葉片状構造が発達し、せん断面に対して平行なものと低角度で斜交するものが認められた。断層ガウジの下位には、深度 198.62～198.80m の区間で、強く破碎を受けた砂状の断層ガウジが見られた。同様の砂状断層ガウジは、せん断面の反対側でも一部認められた。

せん断面の上位に位置する花崗閃緑岩の弱破碎部は、灰白色で、網目状の割れ目が密集する。下位には暗灰色安山岩の断層角礫があり、礫径は 2-15mm、基質は砂状である。また、深度 198.95m では、幅 8mm の白色鉱物脈が認められた。

本せん断面 sa-5③は、明瞭で、湾曲しながらも断層ガウジを伴う。せん断面の傾斜はやや緩いものの、推定される現在の浅野断層の姿勢に近い。

・せん断面 sa-5④ (深度 202.39m)

図 5.3.2.18 に観察結果を示す。ボアホールカメラの観察結果から、本せん断面の走向・傾斜は N85° W、89° N と求められた。せん断面は明瞭で、安山岩を原岩とする断層角礫と灰白色の花崗閃緑岩の弱破碎部との境界に位置し、断層ガウジを伴っている。せん断面の形状はやや湾曲しており、深度 202.30～202.35m においては破碎によって岩片状になっているものの、その中でもせん断構造を確認することができる。断層ガウジは未固結の砂混り粘土状を呈し、角度は 80～85°、幅 2～15mm で、色調は淡灰黄色であった。断層ガウジ中には安山岩の垂角礫が取り込まれている。

断層ガウジの上位は、暗灰色安山岩の断層角礫が認められ、礫径は 2～50mm、基質は砂状であった。断層ガウジの下位は、灰白色花崗閃緑岩の弱破碎部が認められた。破碎部中の割れ目沿いには変質が見られ、一部砂状を呈している。

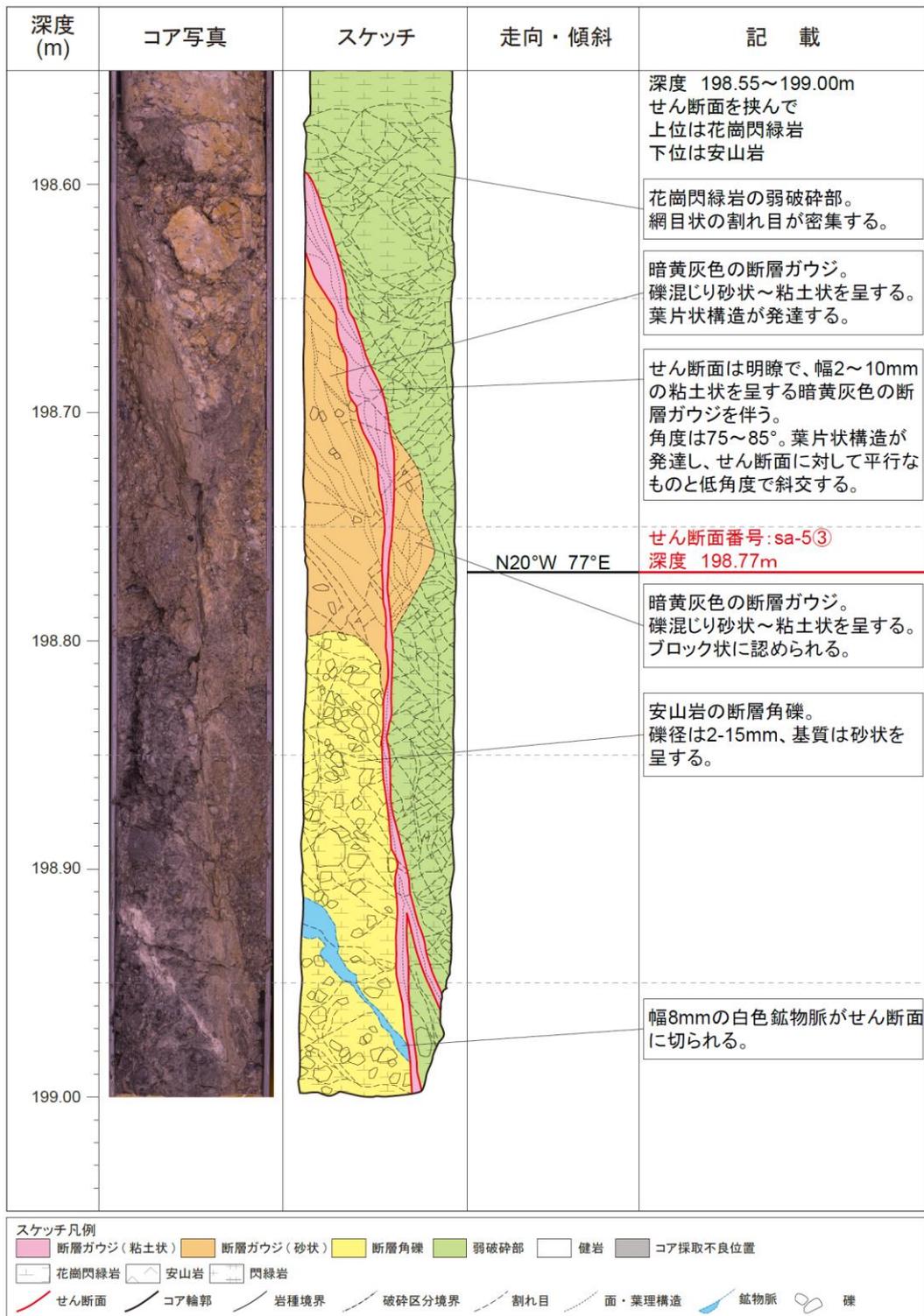


図 5.3.2.17 せん断面 sa-5③観察結果

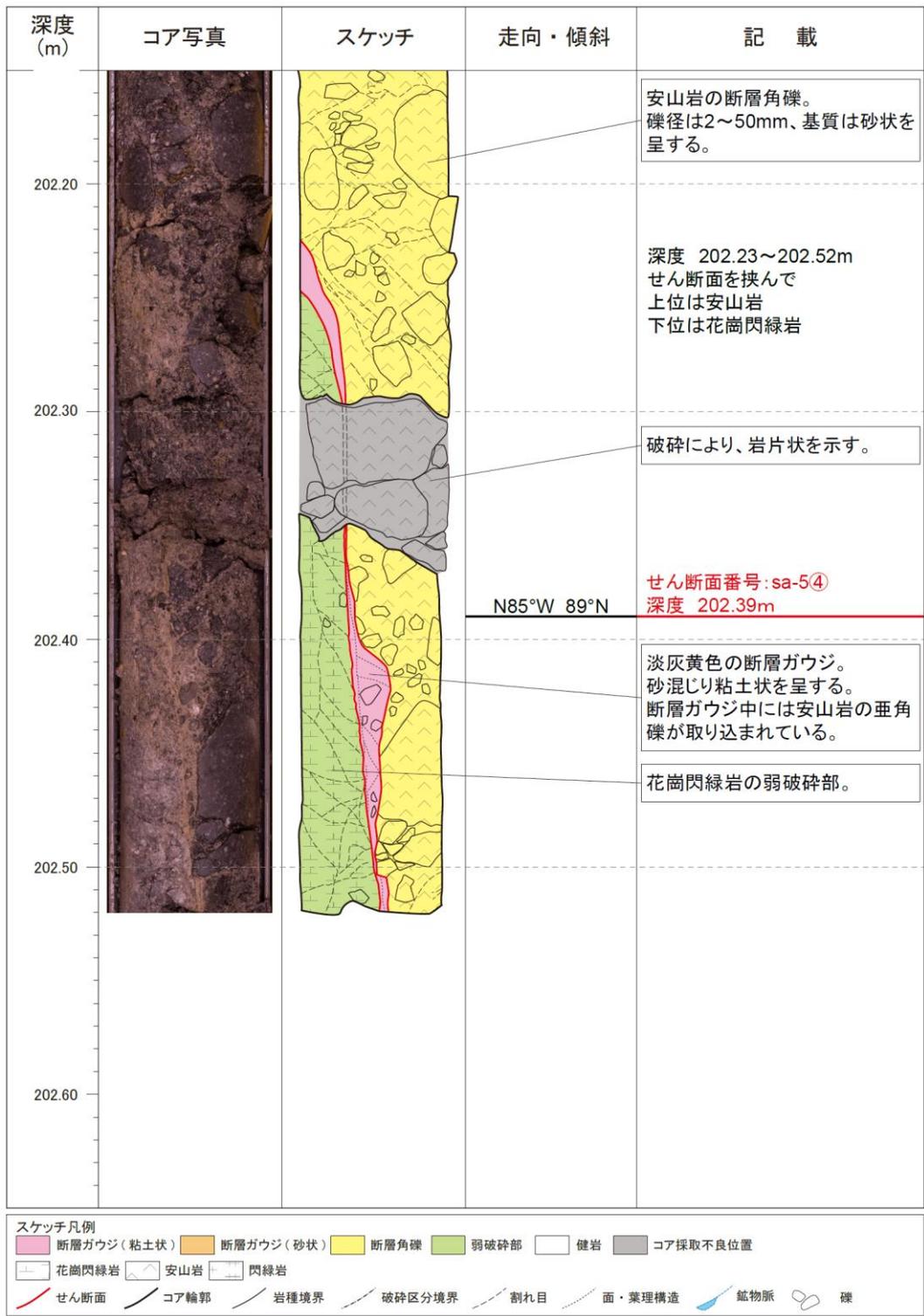


図 5.3.2.18 せん断面 sa-5④観察結果

・せん断面 sa-5⑤ (深度 203.26m)

図 5.3.2.19 に観察結果を示す。ボアホールカメラの観察結果から、本せん断面の走向・傾斜は $N19^{\circ} E$ 、 $73^{\circ} W$ と求められた。せん断面は明瞭で、コア試料を縦断するような形状で観察される。せん断面は、花崗閃緑岩を原岩とする断層角礫と安山岩を原岩とする断層角礫との境界に位置し、断層ガウジを伴う。断層ガウジは未固結～半固結の砂混り粘土状を呈し、角度は約 85° 、幅 $4\sim 14\text{mm}$ で、色調は淡黄色であった。断層ガウジ中には葉片状構造が認められた。

断層ガウジ沿いでは、灰白色の花崗閃緑岩を原岩とする断層角礫が密集し、礫径は $2\sim 5\text{mm}$ 、基質は砂状を呈する。ガウジ層を挟んで反対側には、暗灰色安山岩の断層角礫が見られ、礫径は $2\sim 36\text{mm}$ 、基質は砂状であった。

・せん断面 sa-6 (深度 247.84m)

図 5.3.2.20 に観察結果を示す。ボアホールカメラの観察結果から、本せん断面の走向・傾斜は $N6^{\circ} E$ 、 $75^{\circ} E$ と求められた。せん断面は明瞭で、花崗閃緑岩と安山岩の岩種境界沿いに表れている。せん断面の下位には、断層ガウジが見られる。断層ガウジは、未固結～半固結の砂混じりの粘土状を呈し、角度は約 70° 、幅 $1\sim 15\text{mm}$ で、色調は黄灰～黄褐色であった。断層ガウジ中には葉片状構造がせん断面に低角で斜交して発達している。一部で、安山岩角礫のブロックを取り込んでいる箇所も見られる。

断層ガウジを挟むようにして、安山岩を原岩とする断層角礫が見られる。礫径は $2\sim 15\text{mm}$ 、基質は砂状である。礫種は安山岩を主体とするが、一部灰白色の花崗閃緑岩が混入する。断層角礫の上端境界の角度は約 80° 、その上位には、破碎を受け、角度 $40\sim 50^{\circ}$ の割れ目が網目状に発達する花崗閃緑岩が認められた。

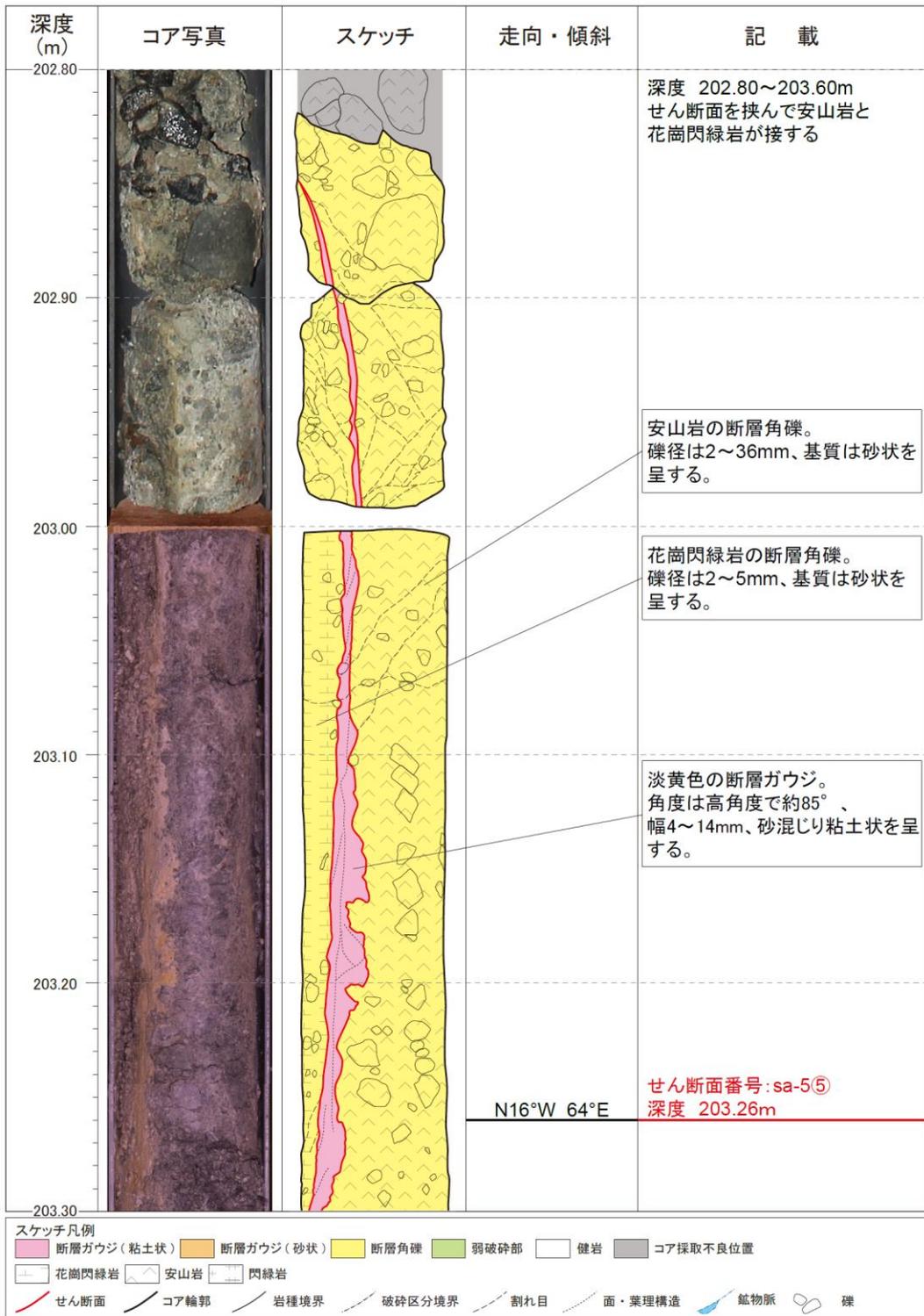


図 5.3.2.19 せん断面 sa-5⑤観察結果

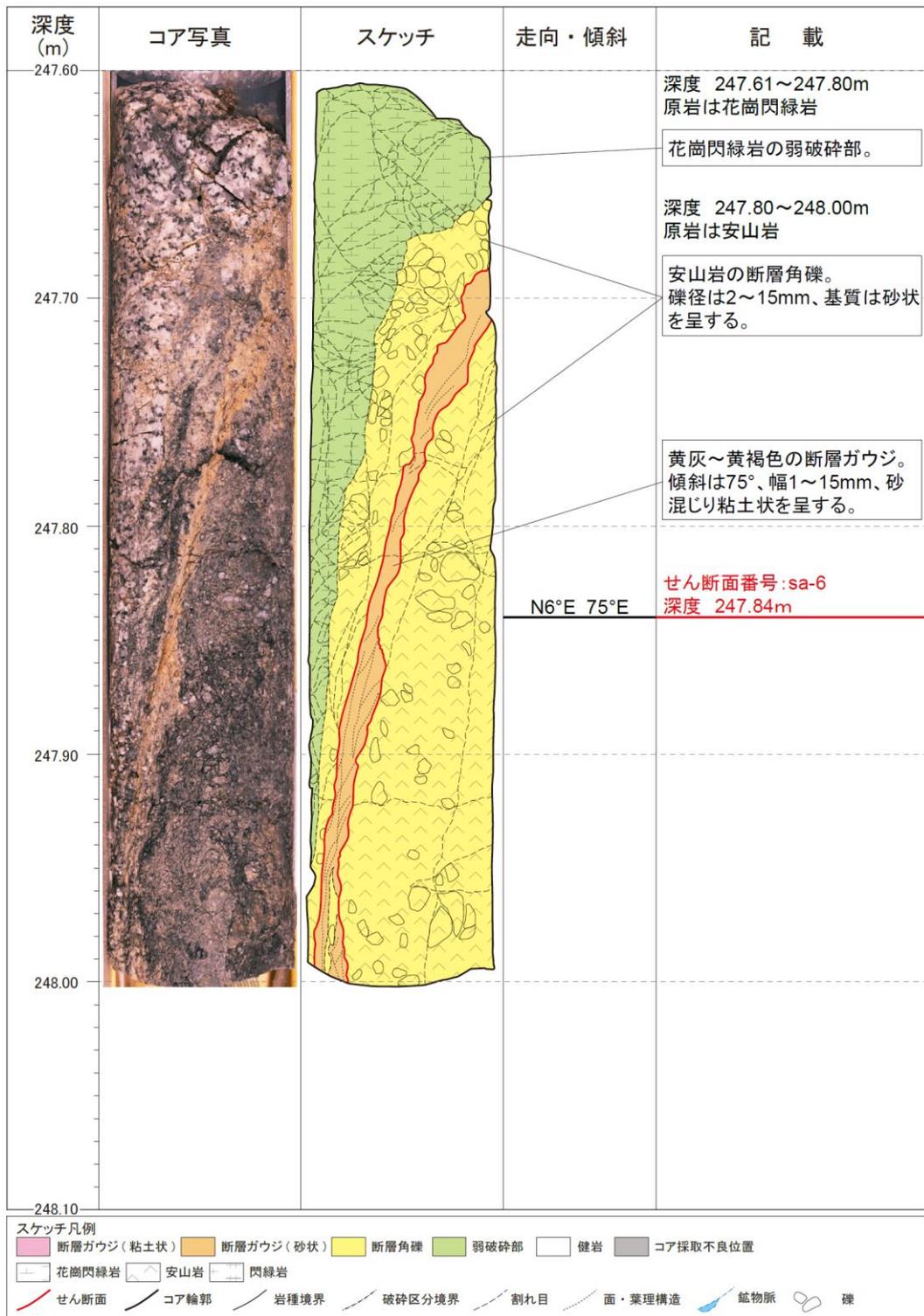


図 5.3.2.20 せん断面 sa-6 の観察結果

5.4. AFD-3 孔

5.4.1. 削孔結果

AFD-3 孔は、浅野断層を対象とした 100m 傾斜孔である。斜め下方 45° で掘り始め、深度 100m までコアリングを行う計画とした。AFD-3 孔の掘削は、概ね計画通りに実施された。

以下に、削孔結果を示す。

(1) ケーシングプログラム及び掘進状況

1) 当初掘進計画と実行

AFD-3 孔は、浅野断層の地表ラクチャーの走向に対して、ほぼ直交する N65° W (T.N.) 方向、鉛直から角度 45° 北西方向に掘進し、深度 60m 付近で浅野断層を確認する計画とした。コア径に関しては、深度 10m まで PQ コアチューブ (径 122mm) で掘進し、深度 10~100m までを HQ コアチューブ (径 97mm) で掘進する計画とした。図 5.4.1.1 に当初掘進計画概要図を示す。

掘進は平成 29 年 2 月 8 日より開始し、地表から深度 10m まで PQ ワイヤーラインのダブルコアチューブを用いた掘削を行った。深度 10m まで 114mm ケーシング挿入後、HQ ワイヤーライン掘進に移行した。

同 2 月 11 日に深度 10m まで到達し、10m 以深のコア採取を開始した。10m 以深は、HQ ワイヤーラインのダブルコアチューブを用いて掘進し、ほぼ想定した深度で断層破碎帯を確認した。断層通過後は、堆積層 (大阪層群) に変化する想定であったが、大阪層群ではなく、基盤岩 (花崗岩) であることを確認した。深度 88m 付近から孔底付近まで変質の著しい花崗岩が連続し、コア採取率が低下するとともに、ケーシング挿入を余儀なくされた。図 5.4.1.2 に掘進実績概要図を示す。

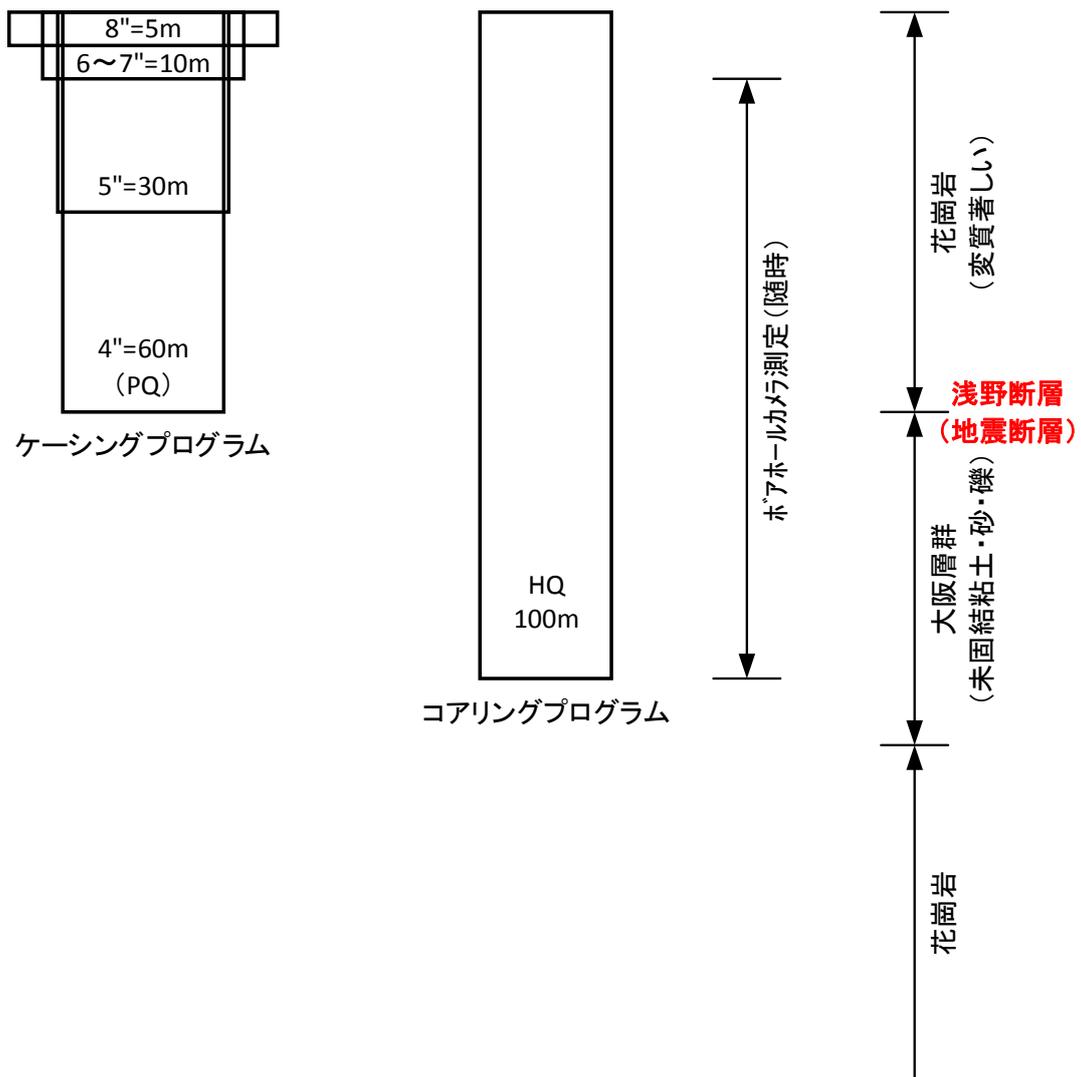


図 5.4.1.1 AFD-3 孔当初掘進計画概要図 (浅野断層の深度を 60m と想定)

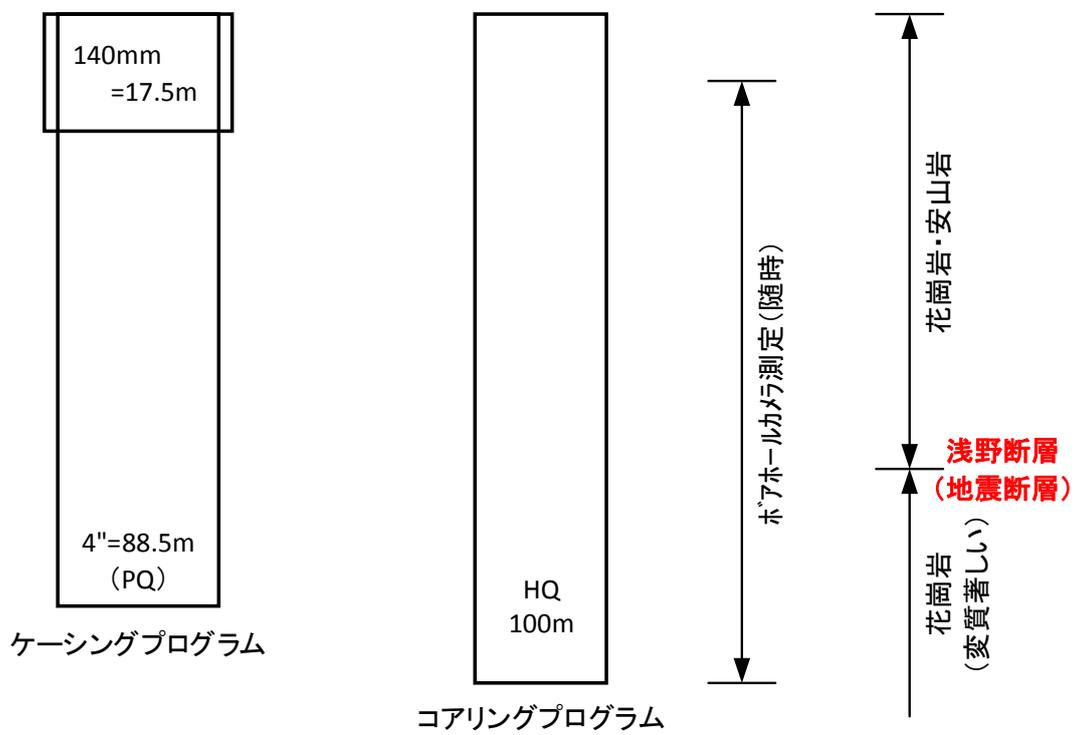


図 5.4.1.2 AFD-3 孔掘進実績概要図 (浅野断層の深度 66m)

(2) 掘削工程

(1) の現場作業実績工程表を表 5.4.1.1 に、掘進推移を図 5.4.1.3 に示す。

表 5.4.1.1 AFD-3 孔 現場作業実績工程表

工種	孔名	項目	細目	実績数量	2017年												備考			
					1月				2月				3月							
					週	6	13	20	27	4	11	18	25	4	11	18		25		
ボーリング	AFD-3 (100m孔)	準備工事																		
		資機材運搬・仮設																		
		掘進	PQダブル	10m																
			HQダブル	10-100m																
			検尺	100m																
		ケーシング 拡孔	140mmケーシング	17.5m																
			PQケーシング	88.5m																
		孔曲がり測定			2回															
		ホアホールカメラ			100m															
		撤去																		
測量	平板測量			200m ²																
	断面測量			100m																

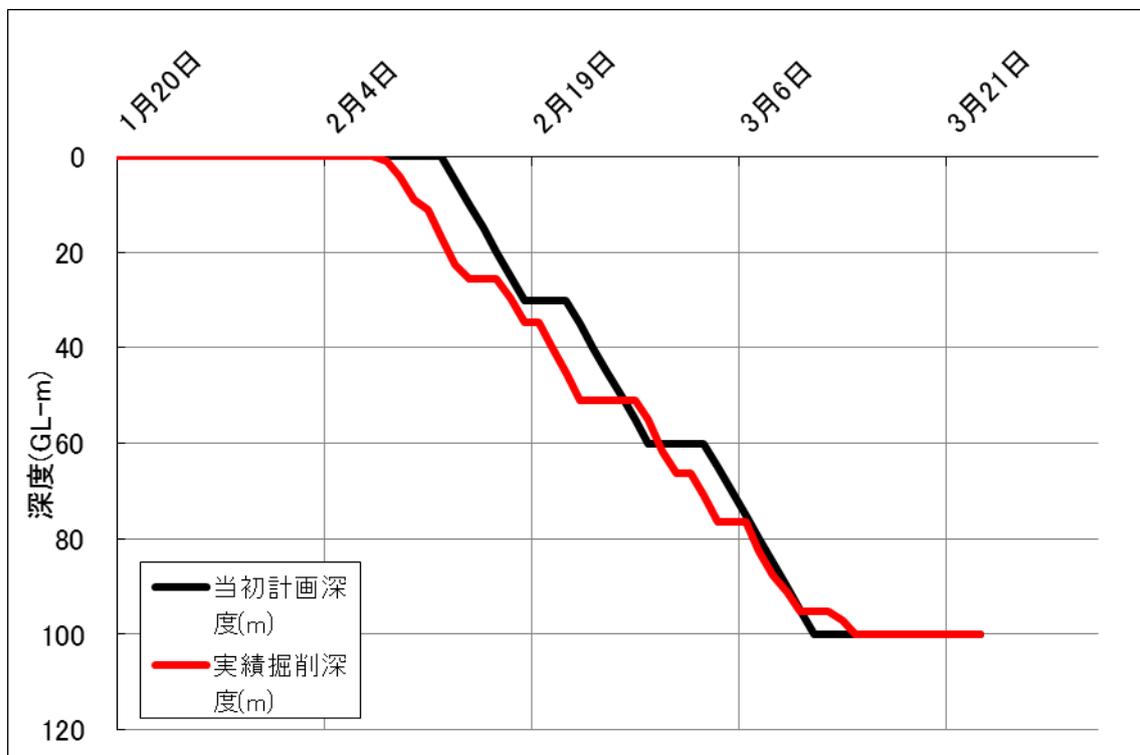


図 5.4.1.3 AFD-3 孔 当初計画と実績進捗の推移

(3) 孔井の方位及び傾斜

孔井の方位及び傾斜を確認するために、孔曲がり測定を実施した。測定は約 50m の掘進ごとに行われ、計 2 回実施した。表 5.4.1.2 に測定結果を示す。

方位は、掘進開始から孔底の深度 100m まで 1° 程度の変化に留まっていたが、傾斜は、断層通過後、変質した花崗岩が連続した区間で鉛直方向に偏芯し、深度 100m で 4° より延長方向に傾斜した。

孔跡解析結果断面図を図 5.4.1.4 に示す。孔口から孔底までの平均掘進角度を、鉛直を 90° に対して約 47° とし AFD-3 孔の垂直深度を算定することとした。

表 5.4.1.2 孔井の方位及び傾斜測定結果一覧表

回数	深度(m)	磁針方位(M.N.)	真方位(T.N.)	鉛直からの角度(°)
1	50	N58° W	N65° W	44
2	100	N57° W	N64° W	41

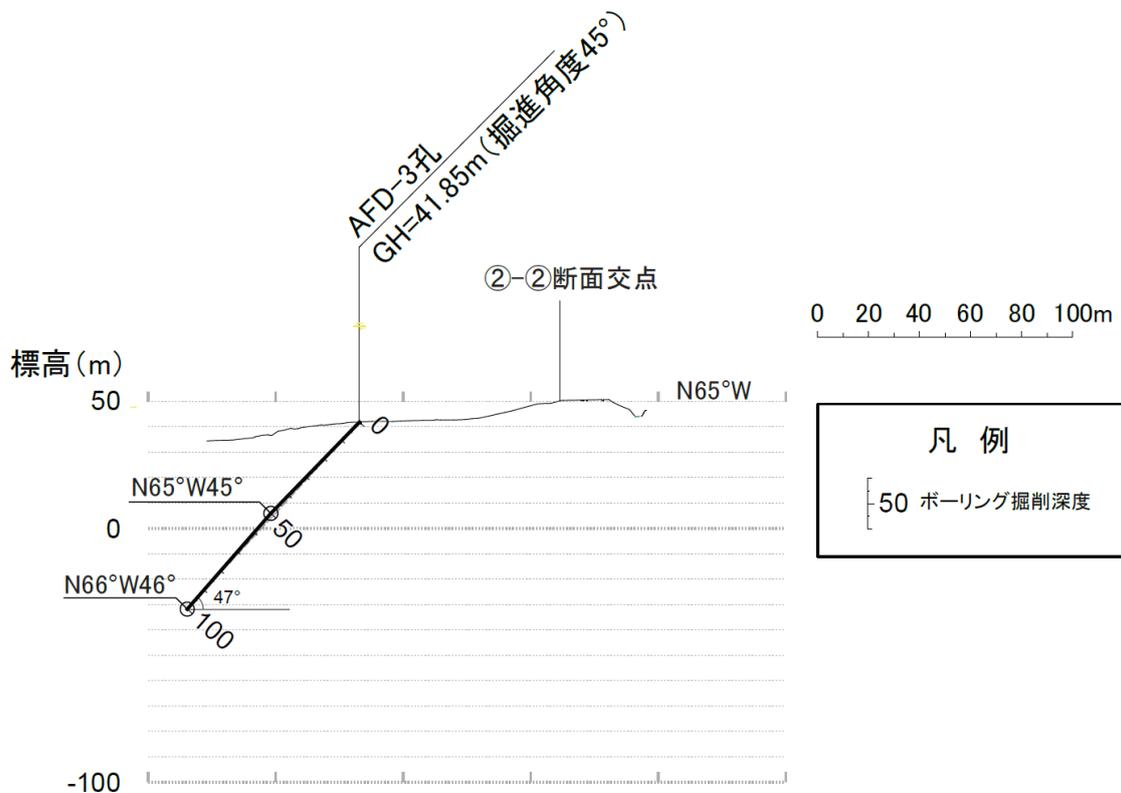


図 5.4.1.4 孔跡解析結果断面図

5.4.2. コア観察結果

AFD-3 孔の調査では、深度 0～100m の区間でコア観察を実施し、深度 10～80m の区間でボアホールカメラ観察を行った。なお、本項で示される「深度」については、特に記載がない限り「掘削深度」を指すこととする。

以下、(1) 地質、(2) 断層破碎帯、(3) せん断面の項目別に観察結果を示す。

(1) 地質

図 5.4.2.1 に AFD-3 孔柱状図を示す。コア観察の結果、深度 0.00～1.20m 間の盛土部分を除くと、1.20～100.00m までは花崗岩中心に構成されている。花崗岩中には、深度 15.11～23.00m 間、および深度 32.46～47.73m 間において安山岩の貫入が見られた。

各地層の詳細を以下に示す。

・盛土 (深度 0.00～1.20m)

本孔では、深度 0.00～1.20m が盛土であった。礫混じり砂質シルトで構成されている。

・花崗岩 (深度 1.20～15.11m、23.00～32.46m、47.73～100.00m)

本孔では、深度 1.20～15.11m、23.00～32.46m および 47.73～100.00m 間で花崗岩が見られた。色調は灰～灰白色、粒径 2～6mm の鉱物を多く含み、等粒状組織を示す。岩級は C_M～C_H 級を主体とし、後述する破碎帯部分を除いては、全体的に堅硬である。所々でアプライト脈、安山岩脈の貫入が見られ、安山岩脈との境界部では接触急冷縁が認められる。また、割れ目やせん断面も多く認められ、せん断面沿いに淡黄灰色のカタクレースイトや断層角礫が見られる。

・安山岩 (深度 15.11～23.00m、32.46～47.73m)

本孔では、深度 15.11～23.00m および 32.46～47.73m で安山岩が見られた。色調は暗灰色で、斑状組織を示す。岩級は C_M～C_H 級を主体とする。所々で割れ目が認められ、幅 0.5～2mm の白色鉱物脈を伴う。また、粘土混じり角礫状になっている部分も確認される。

コア観察及びボアホールカメラ観察から、せん断性の割れ目や軟質化が進んだ割れ目、ガウジを挟在する割れ目など、断層運動に伴ってできたせん断面を確認した。このようなせん断面が卓越し、かつ、周囲に角礫や砂状～粘土状の試料が産する箇所を断層破碎帯として整理した。

観察の結果、深度 63.89～69.18m において断層破碎帯が認められた。この断層破碎帯を AFD-3-f1 とした。断層破碎帯の上端下端深度を決めるにあたっては、コア観察からの認定が難しい場合、ボアホールカメラ画像から断層破碎帯を認定し、深度を決定した。

以上の観察結果より作成した柱状図を図 5.4.2.1 に示した。

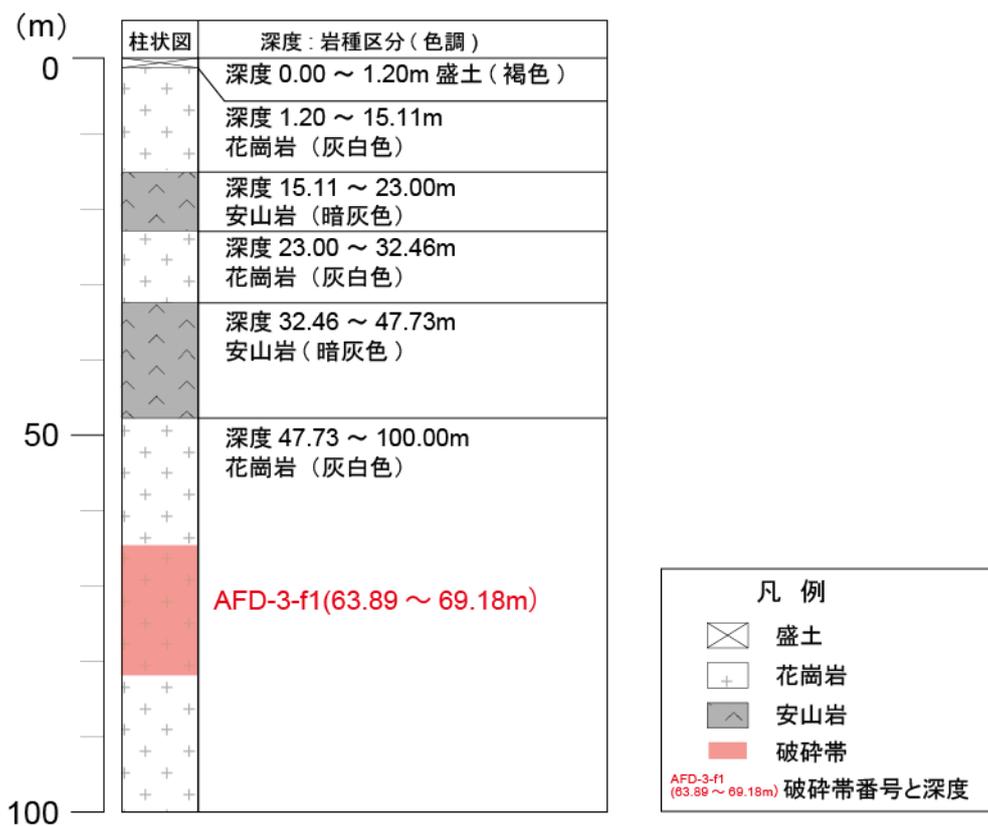


図 5.4.2.1 AFD-3 孔柱状図

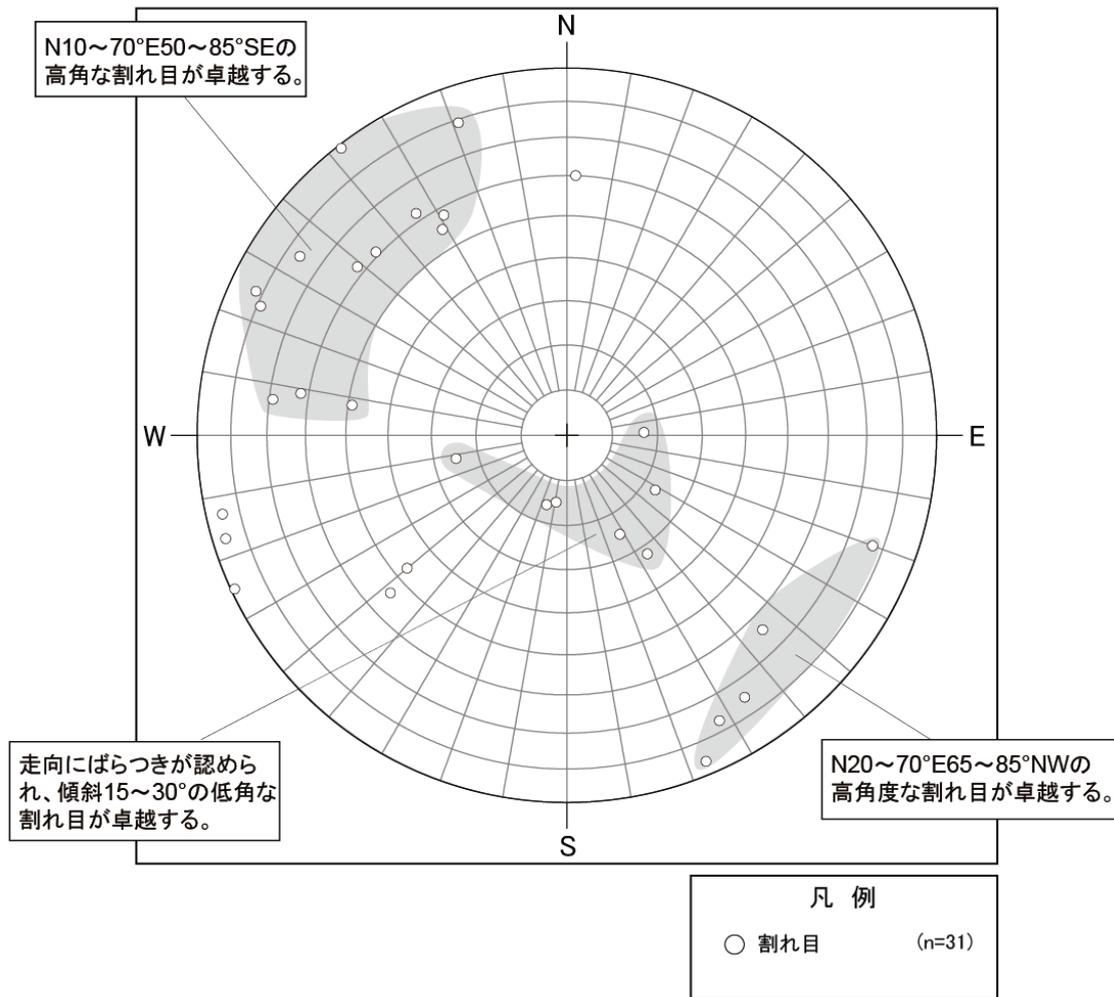


図 5.4.2.3 AFD-3 孔シュミットネット解析結果 (割れ目)

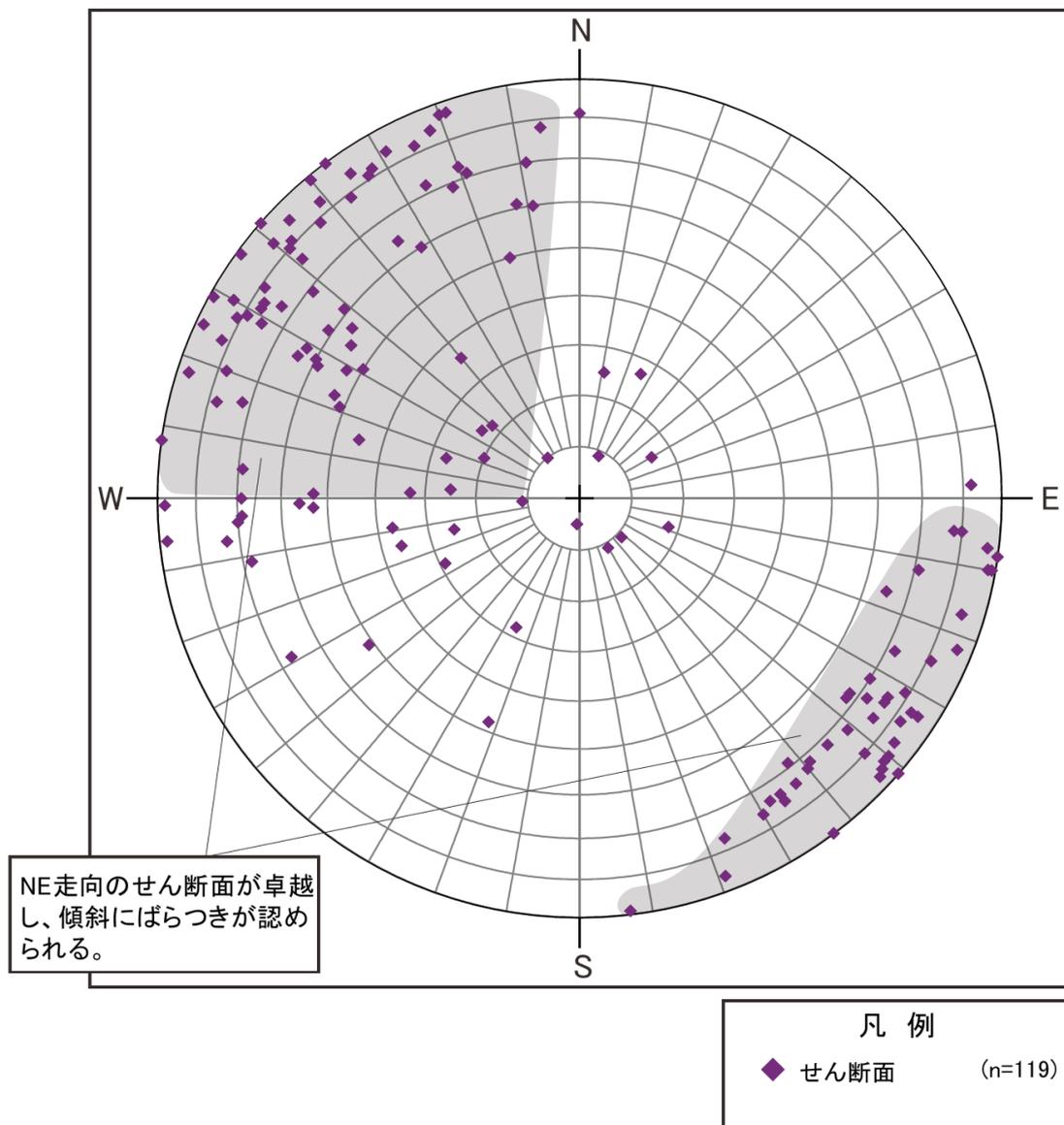


図 5.4.2.4 AFD-3 孔シュミットネット解析結果 (せん断面)

(2) 断層破砕帯

確認された断層破砕帯AFD-3-f1は、見掛けの破砕帯幅が5.29mで半固結であった。断層破砕帯の特徴を表5.4.2.1に整理した。

表5.4.2.1 AFD-3孔の破砕帯一覧表

孔名	破砕帯							破砕帯及びせん断面の特徴
	破砕帯番号	上端深度 (m)	下端深度 (m)	せん断面の 走向・傾斜	破砕帯の 固結度	見掛けの 破砕帯幅 (m)	断層ガウジ	
AFD-3	AFD-3-f1	63.89	69.18	N68° W 48° N N42° E 80° NW N36° E 68° NW N53° E 74° NW N56° E 74° NW N56° E 76° NW N50° E 73° NW N49° E 72° NW N45° E 72° NW N68° E 69° S N57° E 81° SE N53° E 90° SE N38° E 69° SE N4° W 70° E N40° E 85° NW N37° E 76° NW N52° E 10° SE N20° E 78° E N18° E 87° E N15° E 78° E N5° E 78° W N41° E 80° SE N37° E 68° NW	半固結	5.29	有	<ul style="list-style-type: none"> ・破砕帯の幅が広く、深度65.50～65.80m間は特にせん断面が発達し、砂混じり粘土～粘土状を呈する断層ガウジが認められる。断層ガウジの周囲は断層角礫及び弱破砕部から構成される。 ・深度65.50～65.80m間に角度約65°、幅1.2～4cmの砂混じり粘土～粘土状断層ガウジが認められ、断層ガウジの色調の違いによる層状構造を有する。径0.5mm以下の黄鉄鉱を伴う。

破碎帯の詳細を以下に示す。

・ **破碎帯AFD-3-f1**（深度63.89～69.18m）

花崗閃緑岩を原岩とした半固結の断層破碎帯。図 5.4.2.5 に調査結果図を示す。本破碎帯において確認されたせん断面は、 $N36^{\circ} \sim 56^{\circ} E$ 、 $72 \sim 85^{\circ}$ 西傾斜のものと、 $N4^{\circ} W \sim N57^{\circ} E$ 、 $69 \sim 81^{\circ}$ 東傾斜のものが混在していた。この中で、深度 65.50m で観察されるせん断面は、20～30cm の幅を持つ断層ガウジと断層角礫を伴うという特徴を持ち、断層運動に関連したせん断面だと思われる。断層ガウジは灰白色で半固結の砂混じり粘土状を呈し、せん断面と平行な葉片状構造を持つ。ガウジ内では、複数のせん断面が確認され、ボアホールカメラ観察により、走向は $N45^{\circ} \sim 56^{\circ} E$ 、傾斜は $71 \sim 75^{\circ}$ 西傾斜と、ほぼ一様であった。断層角礫は安山岩を原岩とし、礫径は 2～10mm で半固結の砂混じり角礫状を呈している。ここで確認された、深度 65.50m のせん断面を AFD-3-s1 とし、より詳細に観察することとした。

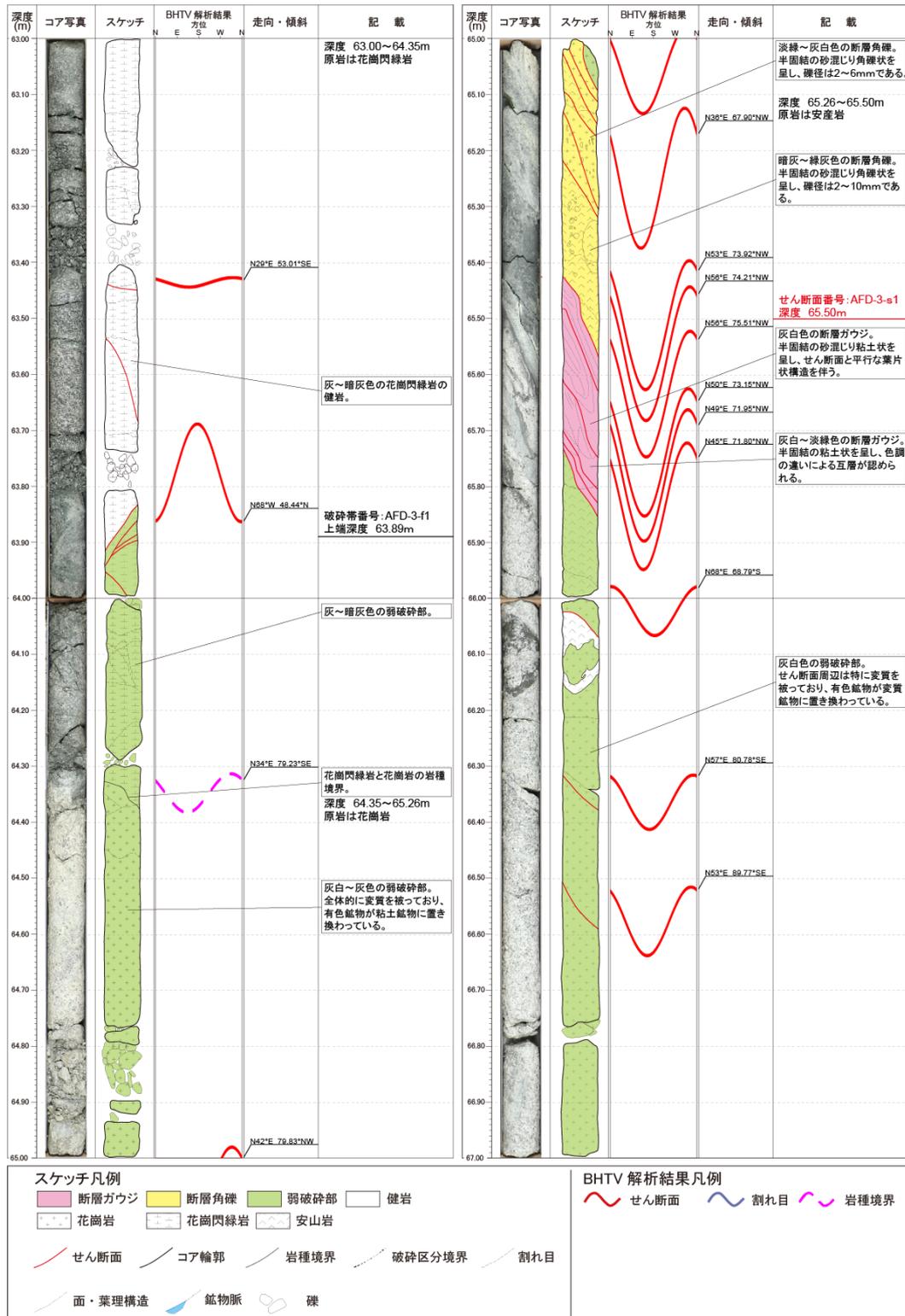


図5.4.2.5 (1) 破碎帯AFD-3-f1調査結果図

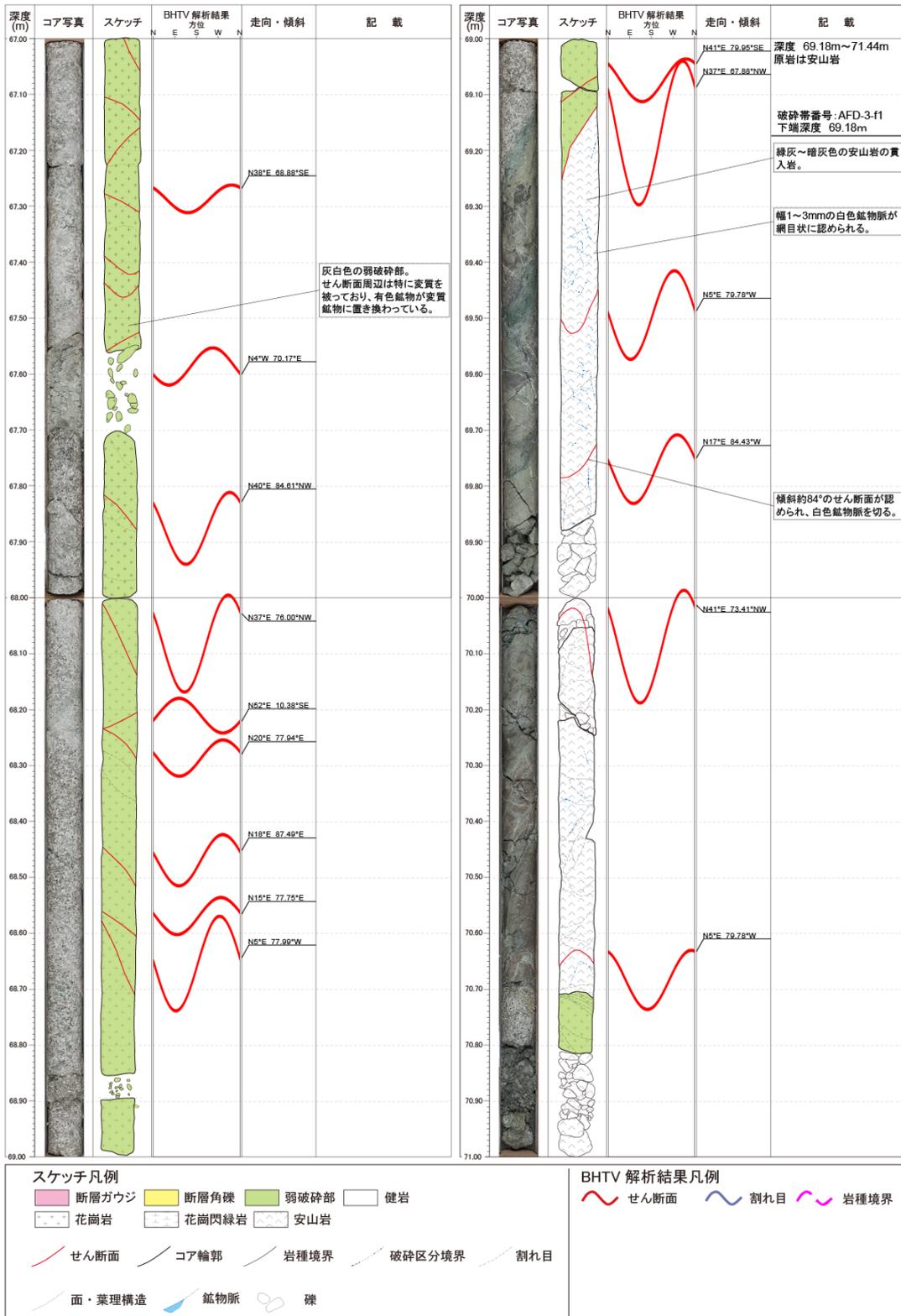


図5.4.2.5 (2) 破碎帯AFD-3-f1調査結果図

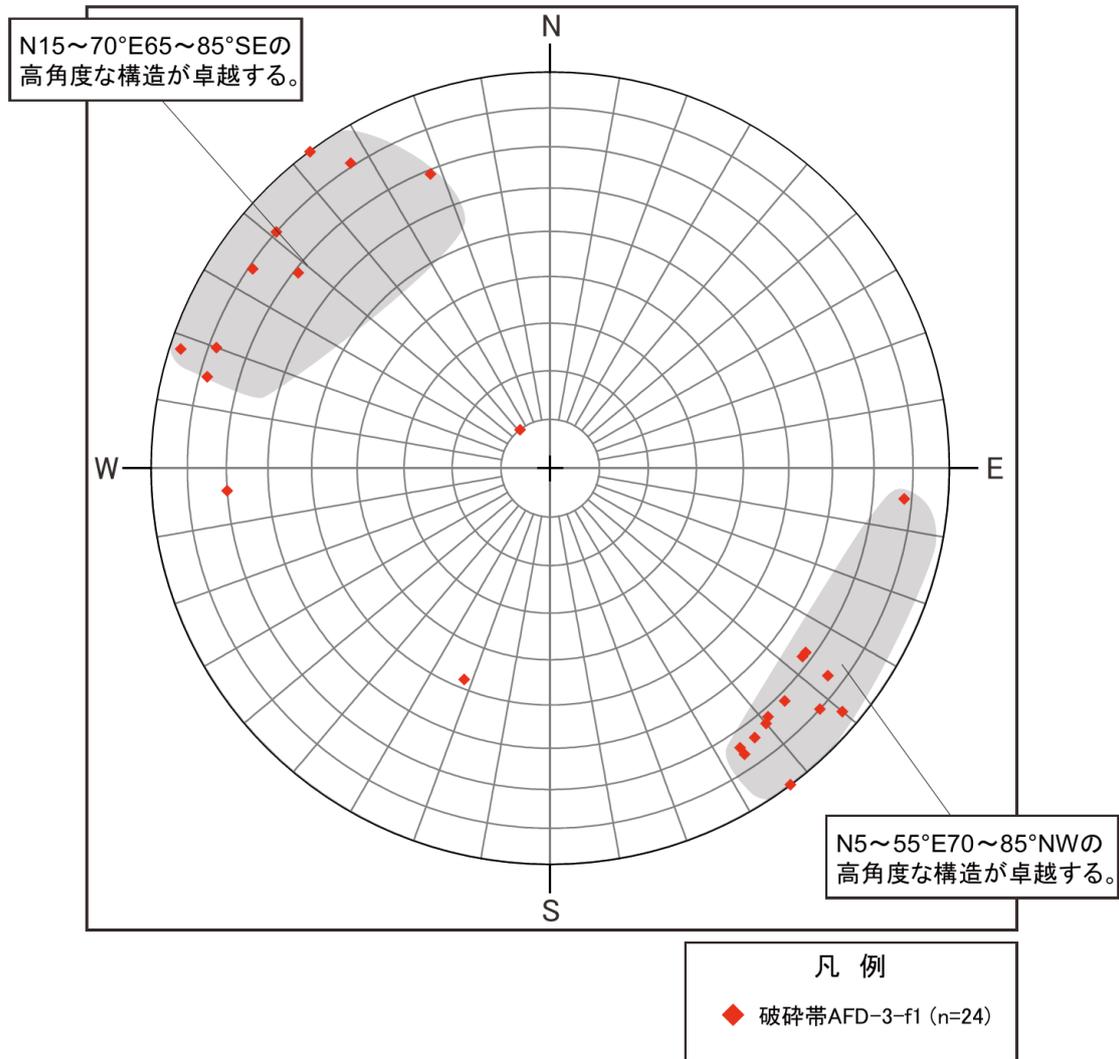


図 5.4.2.6 破砕帯 AFD-3-f1 シュミットネット解析結果

(3) せん断面

断層破碎帯の観察から、断層運動と関連性のあるせん断面AFD-3-s1の存在を確認した。せん断面の特徴を表5.4.2.2に整理し、詳細を以下に示す。

表 5.4.2.2 せん断面一覧表

孔名	せん断面				破碎帯及びせん断面の特徴
	せん断面番号	深度 (m)	せん断面の 走向・傾斜	せん断面の 固結度	
AFD-3	AFD-3-s1①	65.50	N53° E 74° NW	半固結	<ul style="list-style-type: none"> ・破碎帯の幅が広く、深度65.50～65.80m及び深度79.11～79.13m間は特にせん断面が発達し、砂混じり粘土～粘土状を呈する断層ガウジが認められる。断層ガウジの周囲は断層角礫及び弱破碎部から構成される。 ・深度65.50～65.80m間に角度約65°、幅12～4cmの砂混じり粘土～粘土状断層ガウジが認められ、断層ガウジの色調の違いによる層状構造を有する。径0.5mm以下の黄鉄鉱を伴う。

図 5.4.2.7 に観察結果を示す。ボアホールカメラの観察結果から、本せん断面の走向・傾斜は N53° E、74° NW と求められた。せん断面の形状は明瞭で、断層ガウジと断層角礫を伴っている。

せん断面の上位には、現岩を安山岩とする暗緑色の断層角礫が認められる。断層角礫は半固結の砂混じり粘土状を呈し、礫径は 2～10mm である。せん断面の下位には複数層の断層ガウジが認められる。せん断面 AFD-3-s1 と隣接した断層ガウジは淡緑色で半固結の砂混じり粘土状を呈し、せん断面と平行に伸長するレンズ状のガウジが見られる。このガウジの下位に 2 本のせん断面が存在し、その間には黒色の断層ガウジが認められる。半固結の粘土状を呈し、内部には黄鉄鉱や灰白色の破碎岩片を含んでいることが確認される。黒色断層ガウジの下位には、灰白色の断層ガウジが確認された。せん断面とやや斜行したようなローブ状の暗灰色の断層ガウジを伴っている。さらに下位には、淡橙色、灰白色、淡緑色の断層ガウジが続いている。これらの断層ガウジは下位で花崗岩の弱破碎部と接している。

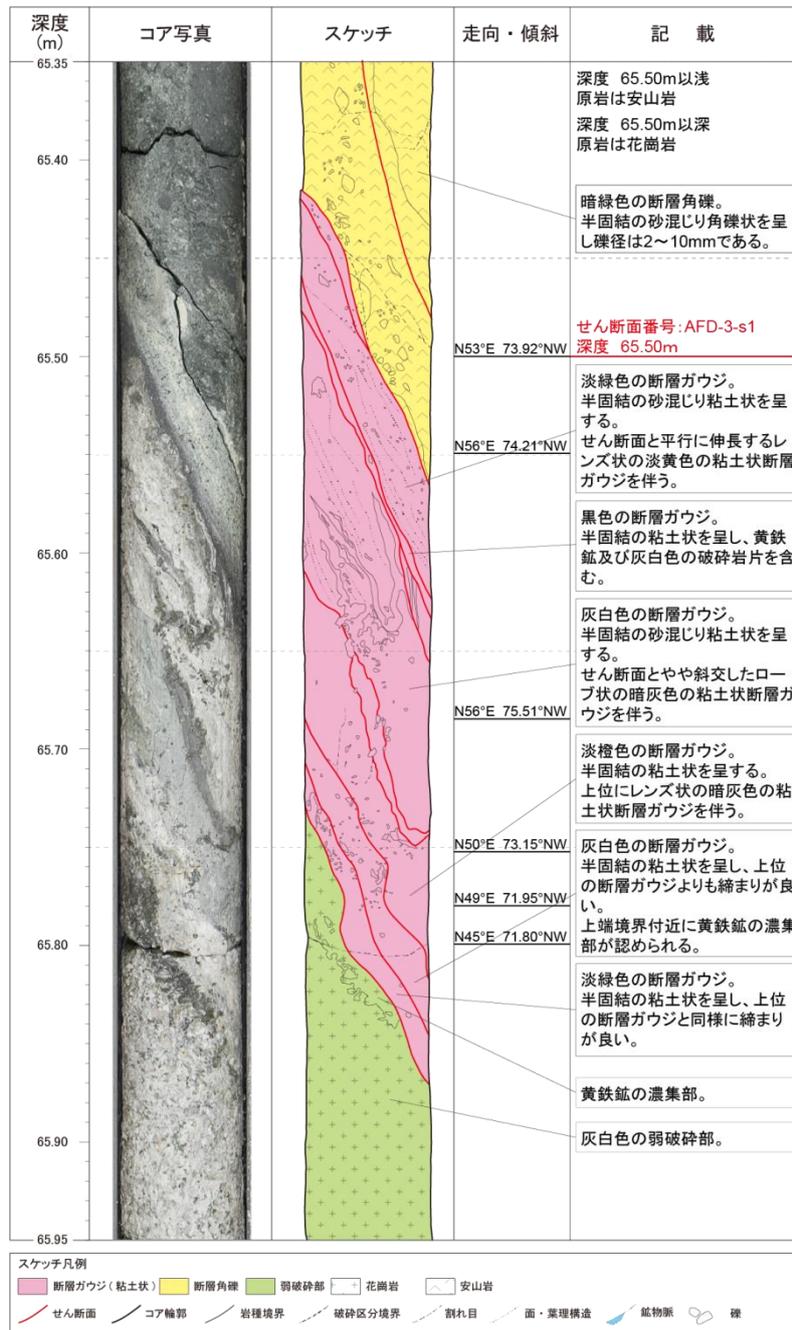


図 5.4.2.7 せん断面 AFD-3-s1 観察結果

5.5. 浅野断層の地質構造

浅野断層を対象とした、AFD-1 孔、AFD-2 孔及び AFD-3 孔のボーリング調査結果を受け、AFD 地質断面図を作成した(図 5.5.1)。ここで、AFD-1 孔と AFD-2 孔の結果は、AFD-3 孔の掘進方向 (N65° W) の断面図上に直交方向に投影した。投影距離は AFD-1 孔が約 11m、AFD-2 孔が約 46m である。

AFD-1 孔、AFD-2 孔及び AFD-3 孔は断層上盤から掘進し、基盤岩である花崗岩類を掘進した。

AFD 地点の基盤岩は、閃緑岩、花崗閃緑岩、花崗岩及び安山岩を確認した。閃緑岩は、AFD-1 孔で確認した割合が多く、規模の大きな岩体であると予想されたが、周辺の露頭、AFD-2 孔及び AFD-3 孔との連続性に乏しい。ボーリングコア観察では、閃緑岩が 1m 未満の大きさで捕獲岩状に存在することが確認されている。安山岩は岩脈として花崗岩類を貫き、貫入方向はボアホールカメラ解析結果から浅野断層の走向にほぼ平行で 70° 以上の高角度で西傾斜であることを確認した。

断層破砕帯について、AFD-1 孔で 5 箇所の断層破砕帯 AFD-1-f1～AFD-1-f5 を確認し、AFD-2 孔で 7 箇所の断層破砕帯 fa-1～fa-7 を確認した。また、AFD-3 孔では、断層破砕帯 AFD-3-f1 を確認した。主な断層破砕帯について、ボアホールカメラおよびボアホールテレビュアの解析結果に基づいて検討した見掛けの傾斜を AFD 地質断面図 (図 5.5.1) に示した。

それぞれの断層破砕帯の連続性については、より詳細に 3 次元的な検討が必要であるが、AFD-1 孔の深度 250～500m 間の断層破砕帯と AFD-2 孔の断層破砕帯の走向傾斜は、概ね傾向が一致し、南北走向で約 60° 東傾斜であった。特に、AFD-1 孔の断層破砕帯 AFD-1-f3 と AFD-2 孔の断層破砕帯 fa-5 については、規模、性状、走向傾斜など共通点が多く、この 2 箇所の断層破砕帯が連続すると推定される。一方で、AFD-3 孔で確認した断層破砕帯 AFD-3-f1 の走向傾斜は、南北走向で約 70° 西傾斜であった。

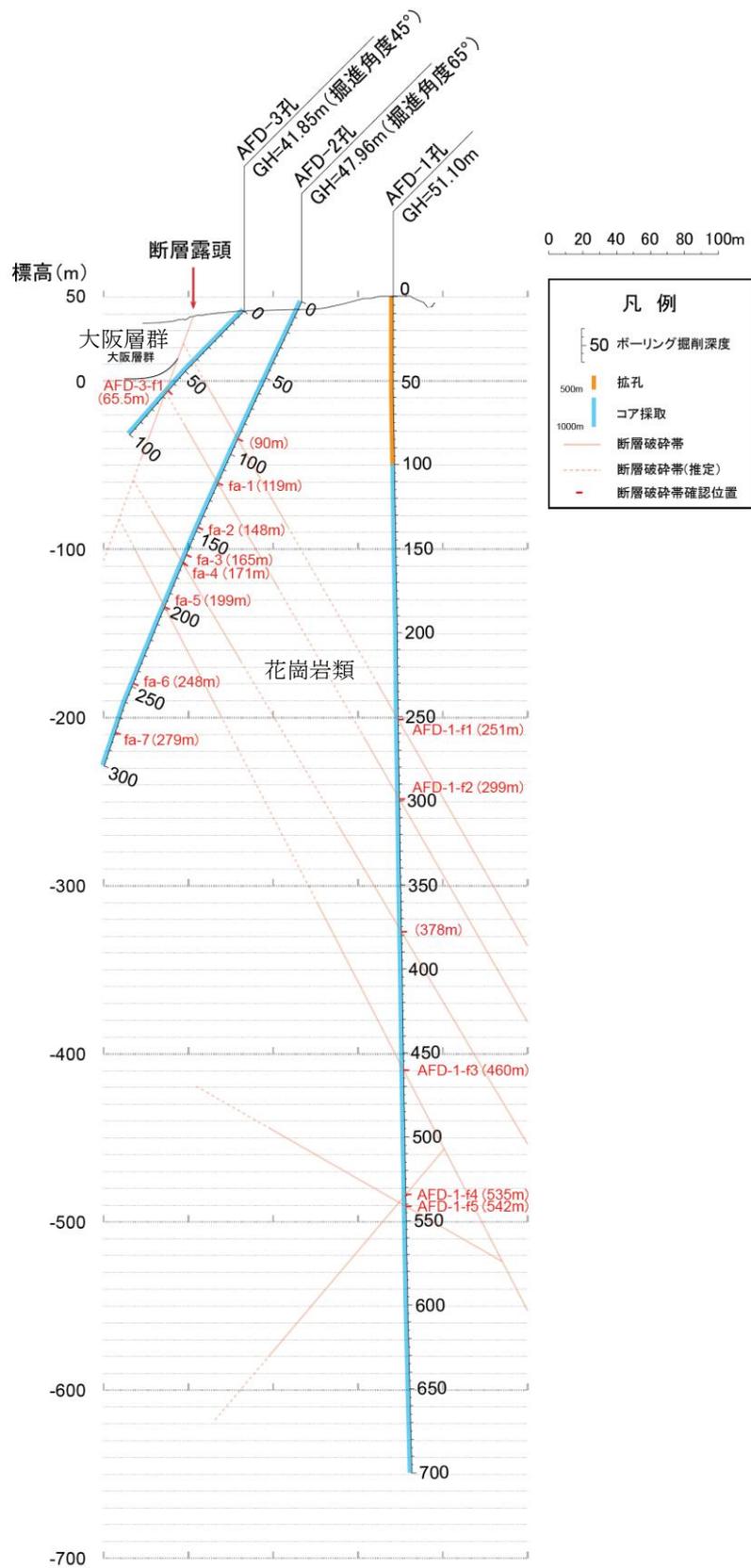


图 5.5.1 AFD 地質断面図