

1. 地形地質

1-1. 地形概要

- 司令部壕の位置する首里城周辺は標高165mを最高峰とする弁ヶ岳西方に広がる100m以上の台地上に存在する。北側には真嘉比川、南側には安里川が西に流下する。台地の縁辺部は切り立った急崖地形となっている。
- 首里城はこのような急崖地形を利用して城砦が築かれているが、これらの急崖地形は地殻変動の構造運動により形成された断層に起因している可能性が大きく、32軍司令部壕内においても各所で断層や亀裂が確認されている。

1-2. 広域的な地質概要

- 標高100m以上を示す首里城一帯の台地の高台には、第四紀更新世の琉球石灰岩が分布している。一方、真嘉比川や安里川、龍潭池等には島尻層群与那原層が幅広く分布しており、当地域の基盤岩を構成している。
- 当地域の与那原層には、連続性の良い中城砂岩部層の分布が確認されている。

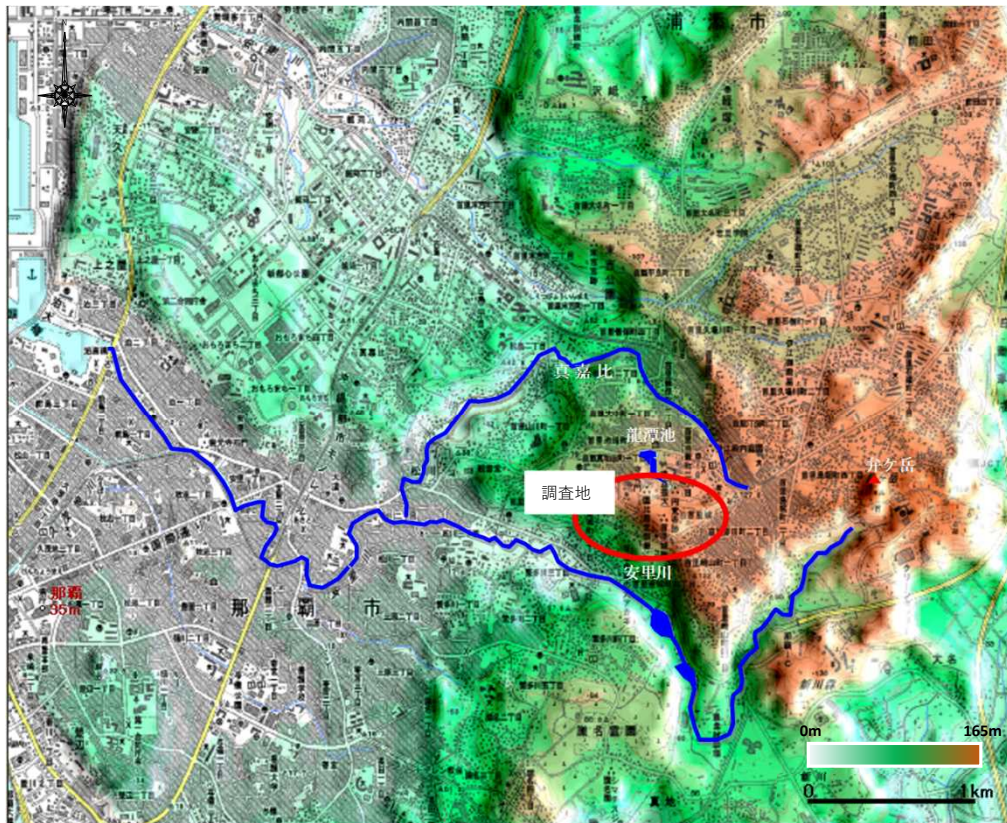


図 II -1-1 地形概要図 (国土地理院数値地図使用)

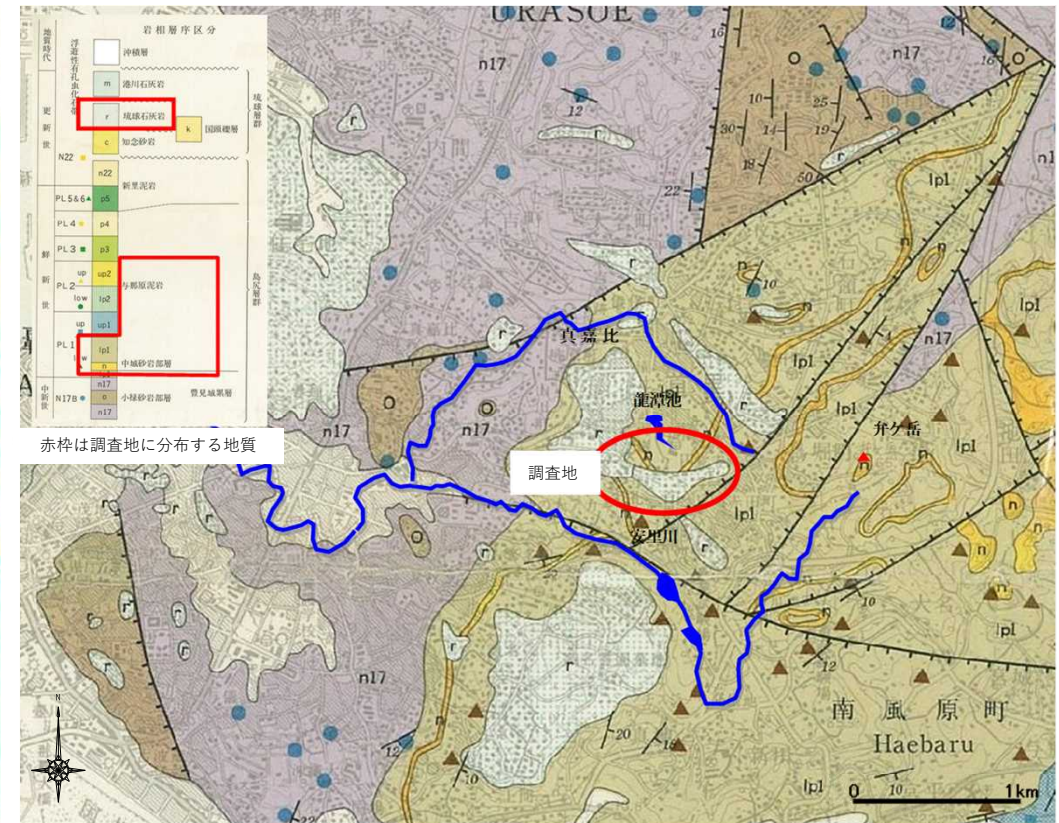


図 II -1-2 広域地質図 (氏家,1988)

1. 地形地質

1-3. 調査地付近の地質概要

- 首里城を構成する台地高台は、琉球石灰岩が分布し、その周囲は新第三紀鮮新世の島尻層群与那原層が分布している。
- F-1からF-5までの推定断層が存在し、安里川にはF-1断層、第5坑道坑口の沢にはF-2断層が推定される（F-3断層は第5坑道の試掘調査時に確認されたもので、延長は地形により判定している）。

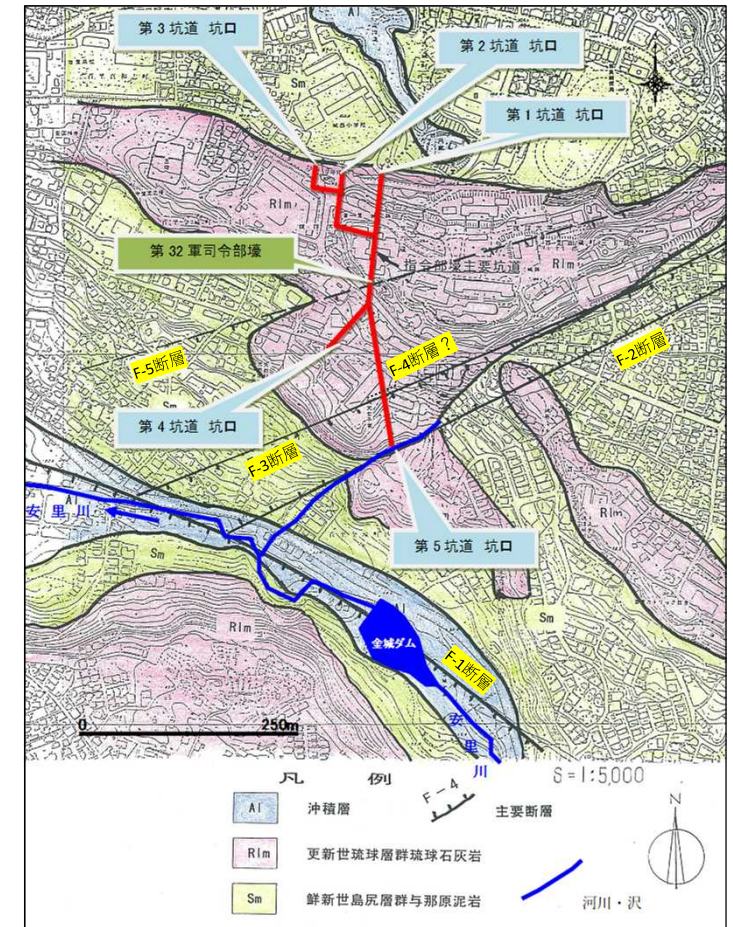
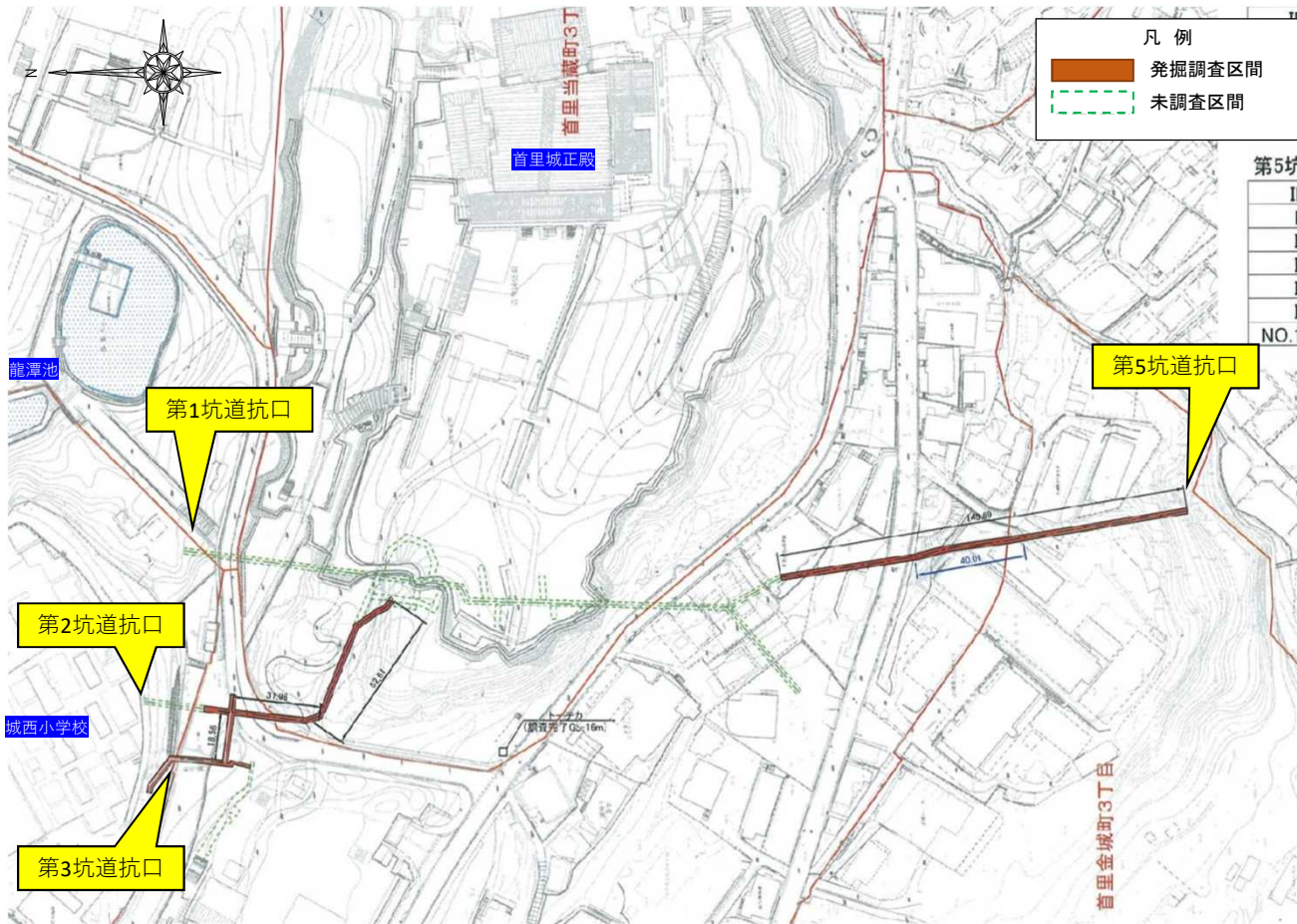


図 II-1-3 首里城周辺の地質平面図

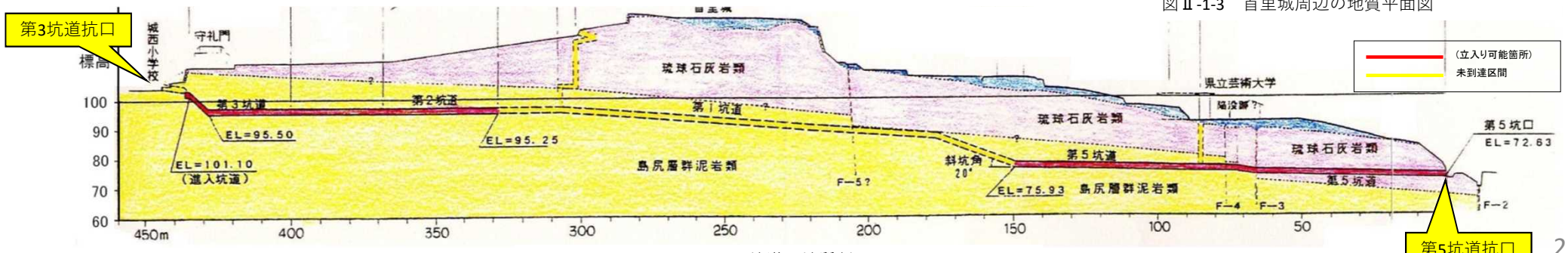


図 II-1-4 坑道の地質断面図

1. 地形地質

1-4. 発掘調査時の壕内の地質状況

●発掘調査時に確認された地質は、埋土・崩積土 (F-tl)、琉球石灰岩 (rlm)、砂岩 (Ss)、泥岩 (T) である。

表 II-1-1 坑道の地質断面図

| 地質時代 | | 地層区分 | | 記号 | 層相 | 記事 |
|------|-----|--------------|--------|------|-------|--|
| 第四紀 | 完新世 | 被覆層 | 埋土・崩積土 | F-Tl | 礫混り粘土 | 中～高含水比の粘性土を主体とする。軟質である。進入坑道や第5坑道の一部に分布 |
| | 更新世 | 琉球層群 | 琉球石灰岩 | rlm | 礫質土 | 石灰岩礫を数cm～十数cmで含む礫質土。全体的に不均質であるが、坑壁では比較的安定する。第5坑道に分布。 |
| 新第三期 | 鮮新世 | 島尻層群 与那原層 | 砂岩 | Ss | 砂岩 | 細粒砂岩。均質な岩相を示す。坑壁では比較的安定な状態を示す。第3坑道に分布。 |
| | | | 泥岩 | T | 泥岩 | 均質な泥岩。比較的良く固結し硬い。劣化が早く、亀裂が生じ緩みやすい。第2坑道、第5坑道に分布する。 |



表 II-1-2 坑道の地質断面図

| 坑道名 | 構成地質 | 地質的特徴 | これまでの崩落の状況 | 対策など |
|------|-------------------|-----------------------|---------------------------------|-----------------------|
| 進入坑道 | 埋土 琉球石灰岩 泥岩 | 埋土は軟質。 | 埋土部の崩壊が多数。 | モルタル吹付 鋼製矢板 |
| 第2坑道 | 泥岩 | 一部に砂岩があるが、大部分が泥岩。 | 岩塊の抜け落ちや肌落ちの発生が多い。 | EPS 鋼製矢板 |
| 第3坑道 | 砂岩 | 水はけが良い坑壁は比較的安定する。 | 岩石崩壊は比較的少ない。 | EPS 鋼製矢板 |
| 第5坑道 | 琉球石灰岩 泥岩 | 両者の地質境界は断層で接する。湧水を伴う。 | 断層箇所は極めて地山悪い。岩塊の抜け落ちや肌落ちの発生が多い。 | コルゲート管 EPS 鋼製矢板 |

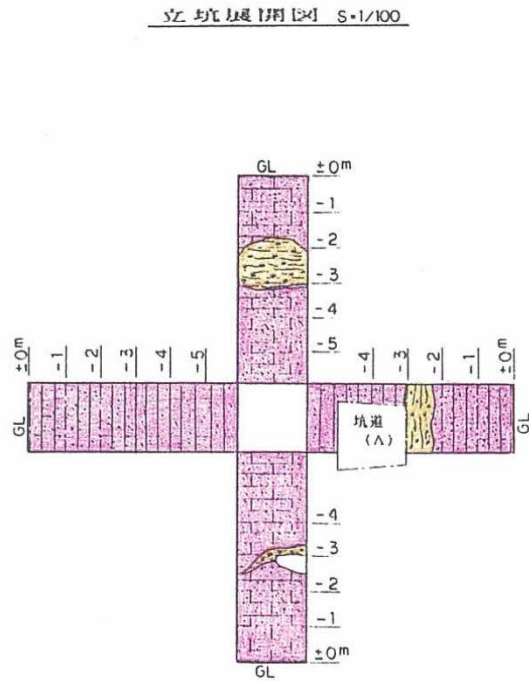


写真 II-1-3 上位：泥岩 下位：砂岩の境界

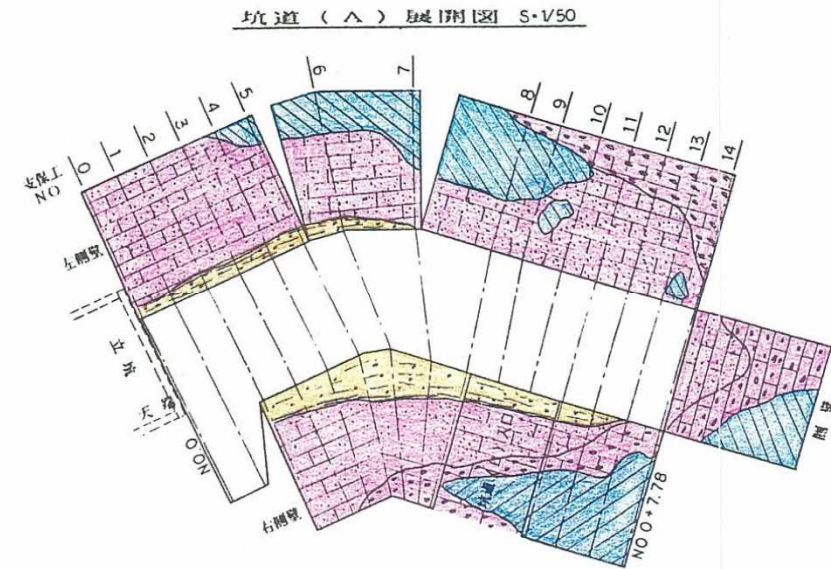
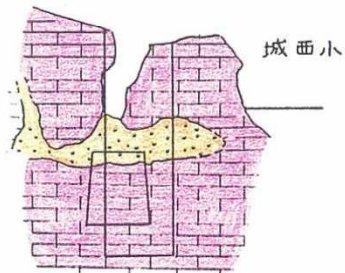
1. 地形地質

1-4. 発掘調査時の壕内の地質状況

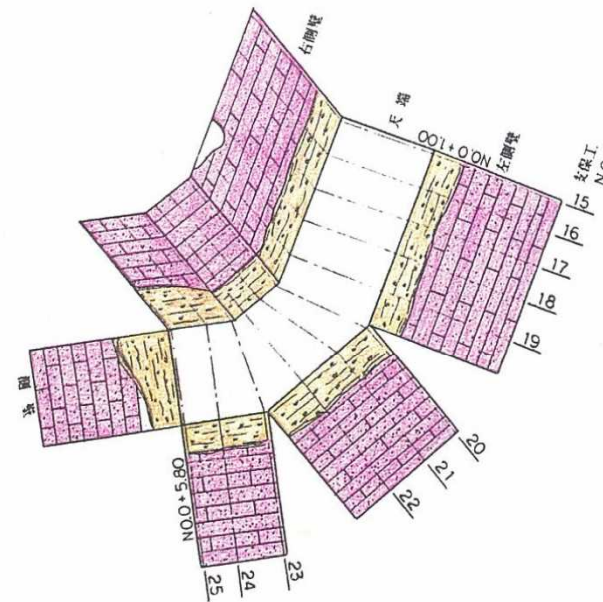
進入坑道 地質展開図



立坑地点地質概念図



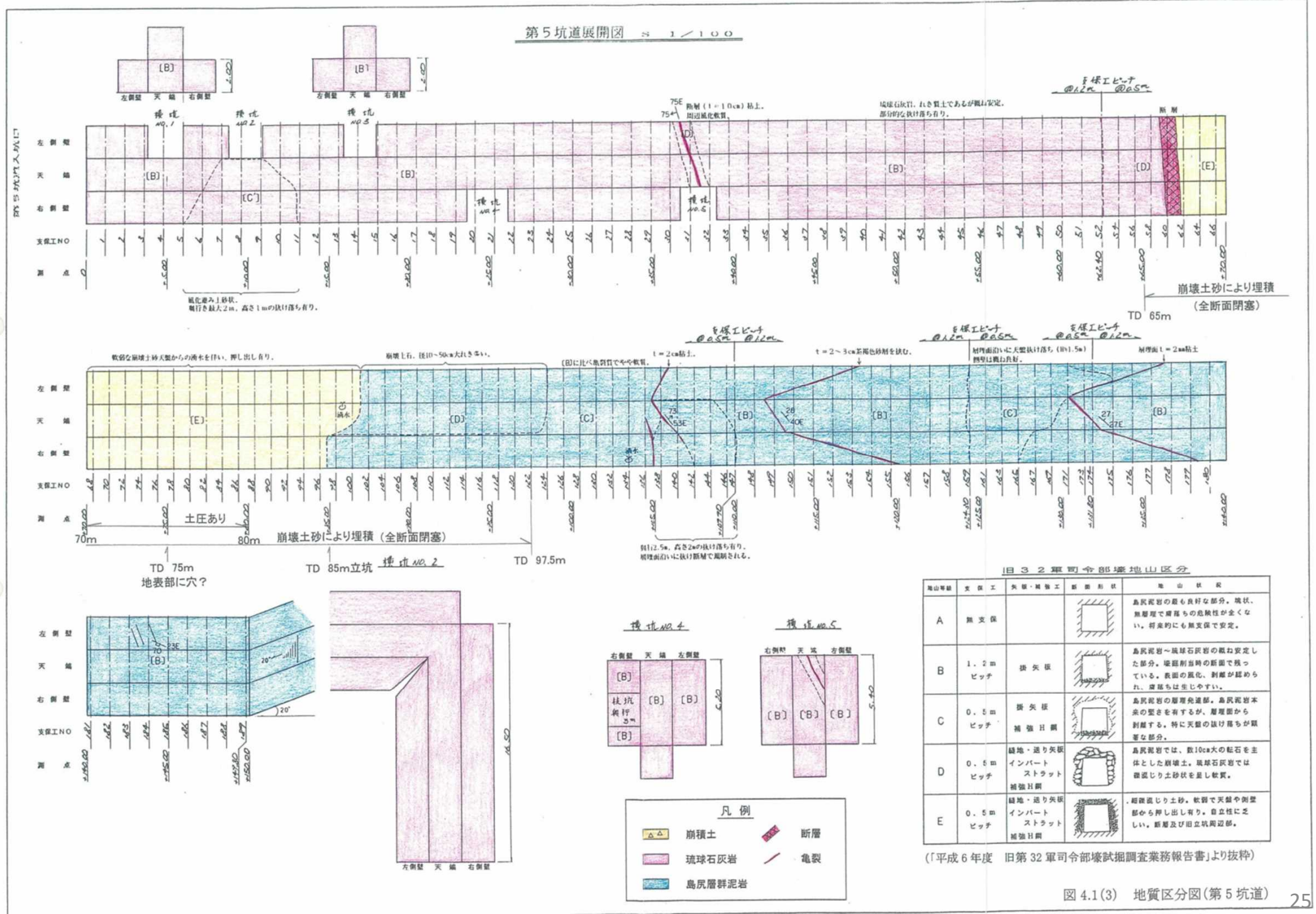
坑道 (B) 展開図 S-1/50



地質凡例

| | |
|--|-----------|
| | 石灰岩 |
| | 石灰岩(空隙質部) |
| | 烏尻泥岩 |
| | 埋土 |

1-4. 発掘調査時の壕内の地質状況



1. 地形地質

1-5. 発掘調査時の壕内の地山状況

- 発掘調査時には、安全確保の観点から鋼製支保工（H鋼）の立て込みを行っており、支保工は0.5m間隔から無支保まで、壁面の岩盤状況の良し悪しに応じて採用している。
- 岩盤状況の良し悪しは、目視観察による地山等級により、A～Eの5段階に分類されている。
- 第3坑道と第2坑道はA等級が比較的多く、第5坑道はD等級やE等級が多いことが確認されている。
- 第5坑道のD等級、E等級の分布箇所については、平成10年にコルゲートパイプとコンクリートにより補強がなされている。

表 II-1-3 調査当時の地山分類表

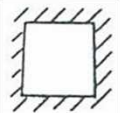

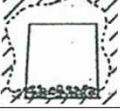

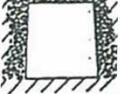
| 地山等級 | 支保工 | 矢板・補強工 | 断面形状 | 地山状況 |
|------|-------------|------------------------------|---|---|
| A | 無支保 | - |  | 島尻泥岩の最も良好な部分。塊状、無層理で肌落ちの危険性がない、あるいは少ない。将来的にも無支保で安定すると考えられる。 |
| B | 1.2m ピッチ | 掛矢板 |  | 島尻泥岩および琉球石灰岩で概ね安定している部分。掘削当時の断面が残る。表面の風化や剥離があり、肌落ちは生じやすい。 |
| C | 0.5m ピッチ | 掛矢板 補強H鋼 |  | 島尻泥岩の層理発達部。島尻泥岩の本来の固さを有するが、層理面や亀裂面などから剥離する。特に天端の抜け落ちが顕著である。 |
| D | 0.5m ピッチ | 縫地、送り矢板 インパーストラット 補強H鋼 |  | 島尻泥岩では数10cm大の転石を主とした崩積土からなる。琉球石灰岩では礫混り土砂状呈し軟質である。 |
| E | 0.5m ピッチ | 縫地、送り矢板 インパーストラット 補強H鋼 |  | 細礫混り土砂。軟弱で天端や側壁部から押し出しがあり、自立性に乏しい。断層周辺や旧立坑周辺部。 |



写真 II-1-4 地山等級 A

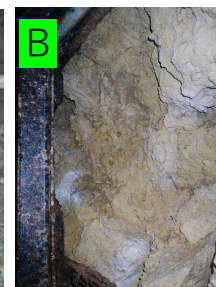


写真 II-1-5 地山等級 B



写真 II-1-6 地山等級 C



写真 II-1-7 地山等級 D

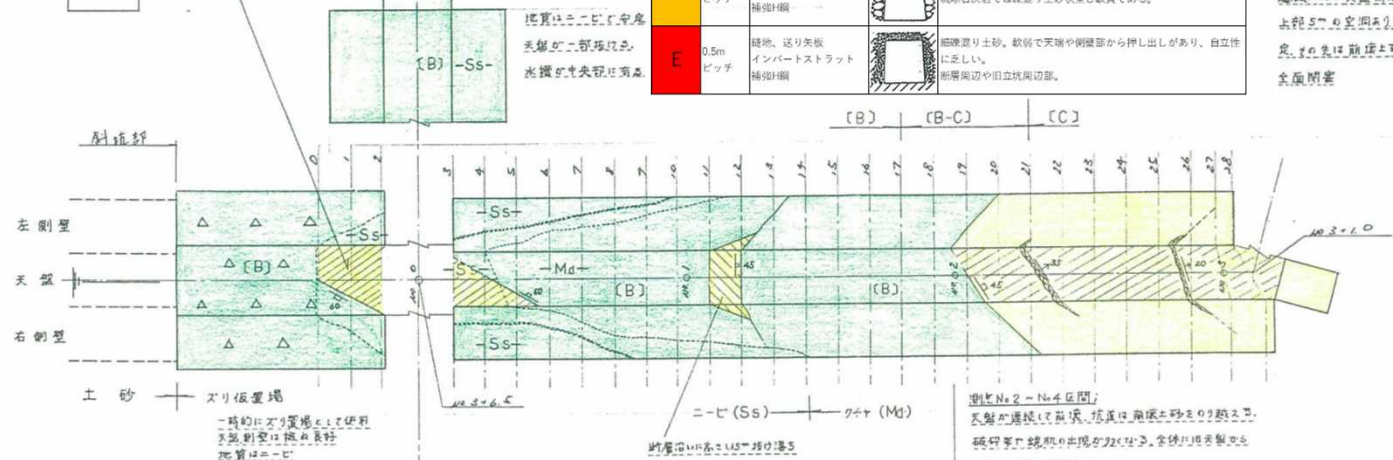
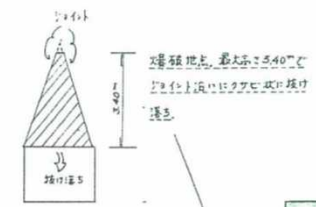


写真 II-1-8 地山等級 E

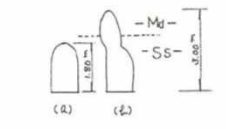
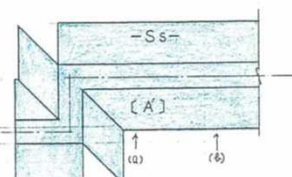
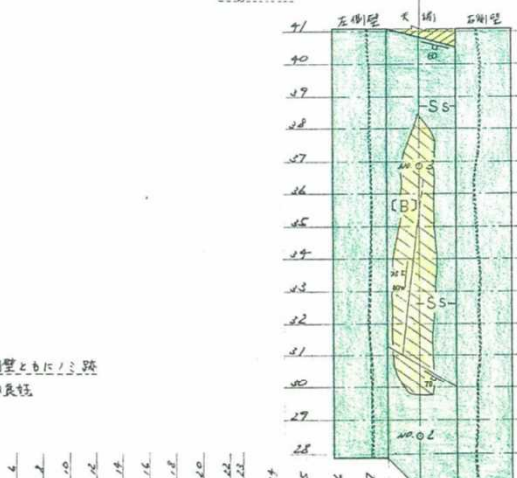
1-5. 発掘調査時の壕内の地山状況

| 地山等級 | 支保工 | 矢板・補強工 | 断面形状 | 地山状況 |
|------|-------------|-----------------------------|------|---|
| A | 無支保 | - | | 島尻泥岩の最も良好な部分。塊状、無層理で崩落の危険性がない、あるいは少ない。 将来的にも無支保で安定すると考えられる。 |
| B | 1.2m ピッチ | 掛矢板 | | 島尻泥岩および琉球石灰岩で概ね安定している部分。掘削当時の断面が残る。 表面の風化や割罫があり、崩落は生じやすい。 |
| C | 0.5m ピッチ | 掛矢板 補強欄 | | 島尻泥岩の層理発達部。島尻泥岩の本次の固さを有するが、層理面や亀裂面などから割離する。 特に矢板の抜け落ちが顕著である。 |
| D | 0.5m ピッチ | 柱地、送り矢板 インパーストラット 補強欄 | | 島尻泥岩では数10cm大の転石を主とした崩壊土からなる。 琉球石灰岩では礫混り土砂状崩壊土である。 |
| E | 0.5m ピッチ | 柱地、送り矢板 インパーストラット 補強欄 | | 細礫混り土砂。軟弱で天端や側壁部から押し出しがあり、自立性に乏しい。 折層周辺や旧立坑周辺部。 |

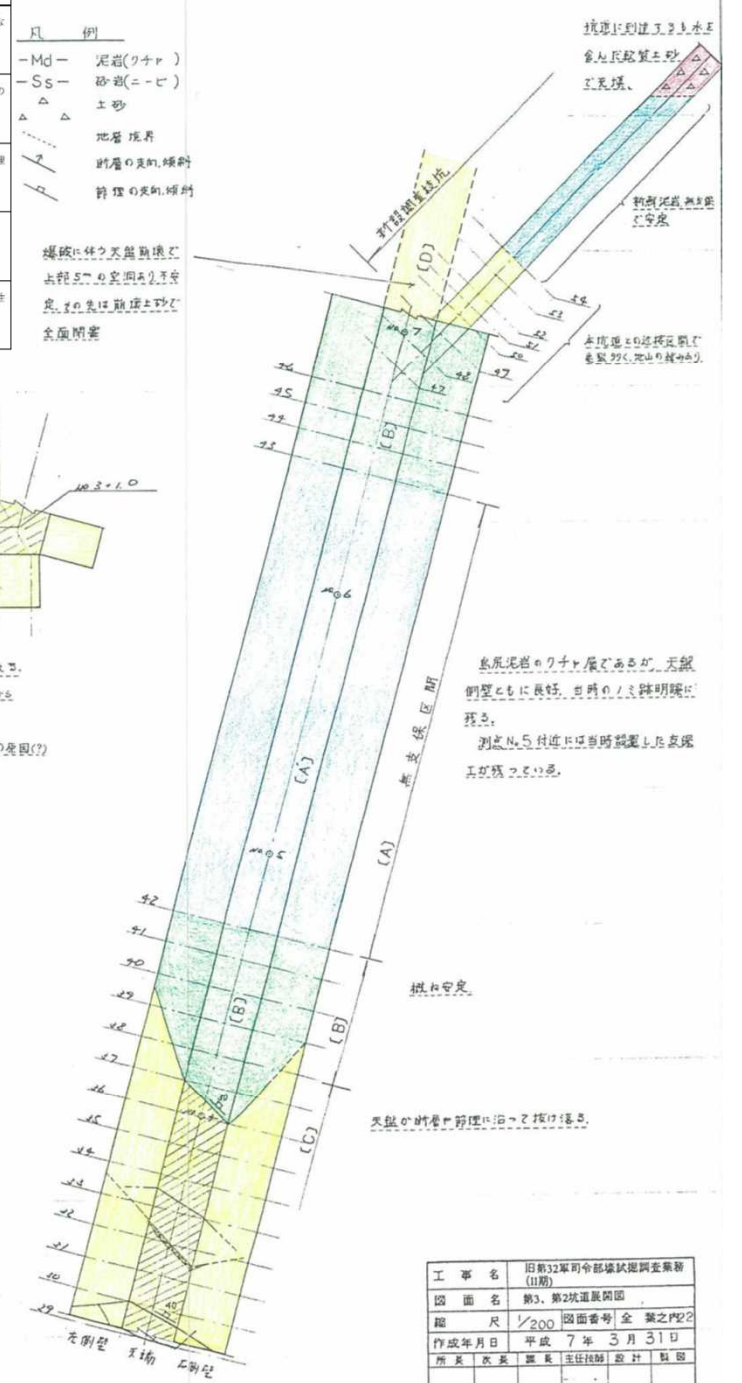
凡例
 -Md- 泥岩(クナト)
 -Ss- 砂岩(ニヒ)
 △ 土砂
 地層境界
 折層の方向、傾斜
 折層の方向、傾斜



掘削No.2~No.4区間
 天盤が連続して崩壊。原因は崩壊土砂をり越える。
 破砕等による崩壊の出現が2ヶ所。全体は崩壊土砂
 1~2mの厚みで発生。
 右側壁に食料庫(柱状断面)の存在が崩壊の原因(?)



工シフト2ヶ所
 掘削1ヶ所は封鎖される。
 現在は無支保で安定。
 坑壁側は下り掘削土砂より
 水道。



| | |
|-------|--------------------|
| 工事名 | 旧第32軍司令部壕試掘調査集積 |
| 図面名 | 第3・第2坑道展開図 |
| 縮尺 | 1/200 図面番号 全葉之1422 |
| 作成年月日 | 平成7年3月31日 |
| 所長 | 次長 |
| 課長 | 主任技師 |
| 設計 | 監図 |

地山区分図(第3、第2坑道)

2. 物性値ほか諸状況

2-1. 基本物性値（湿潤重量、含水比、一軸圧縮強度）

① 湿潤重量

- 泥岩は既往文献値の範囲内（中～高位）にあり、一般値とみなすことができる。
- 砂岩は既往文献より低い値となった。これは第3坑道に露出する砂岩は褐色化しているため風化の違いが差として表れたものと考えられる。
- 司令部壕で見られる砂岩は、泥岩や文献値と比較すると単位体積重量が小さい。（砂岩のほうが軽い）

② 含水比

- 泥岩は既往文献値の範囲内（中～低位）にあり、一般値とみなすことができる。
- 砂岩は既往文献よりはるかに低い値が得られた。この原因としては第3坑道に露出する砂岩は褐色化しているため風化の違いが差として表れたものと考えられる。
- 司令部壕で見られる砂岩は、泥岩や文献値と比較すると含水比が小さい。（水があまり含まれていない）

③ 一軸圧縮強度

- 泥岩は文献値と比較して、ほぼその範囲内であるが、非常に高い値が得られた。泥岩そのものは良好な状況を示すデータといえる。
- 砂岩においても、文献値の範囲内の値が得られている。泥岩と比較すると砂岩の強度は泥岩の1/10～1/8程度の値となっている。
- 泥岩の強度は高く、砂岩は普通程度。

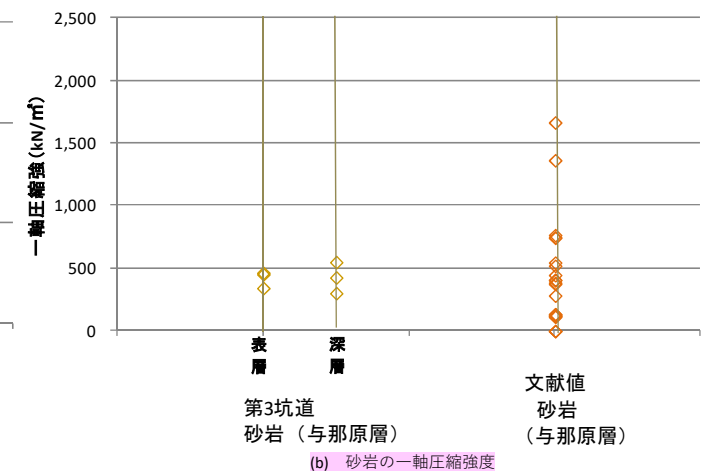
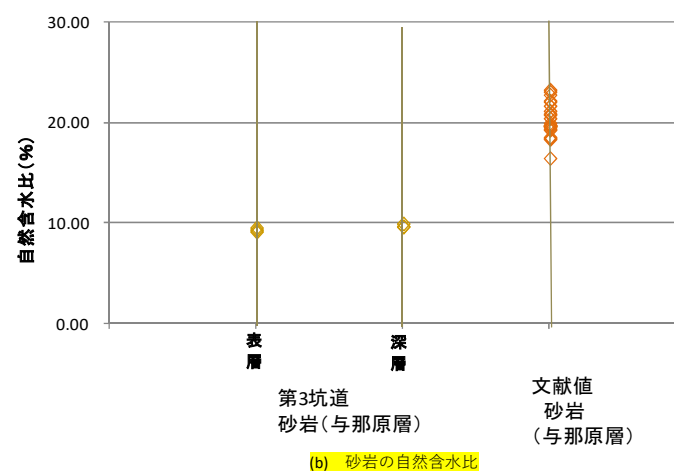
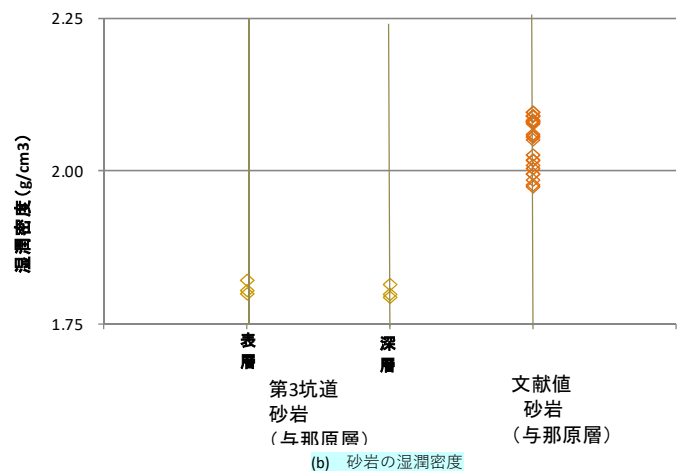
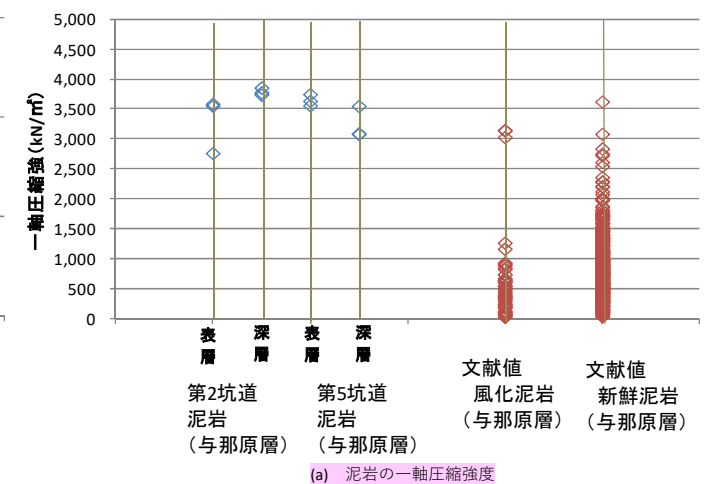
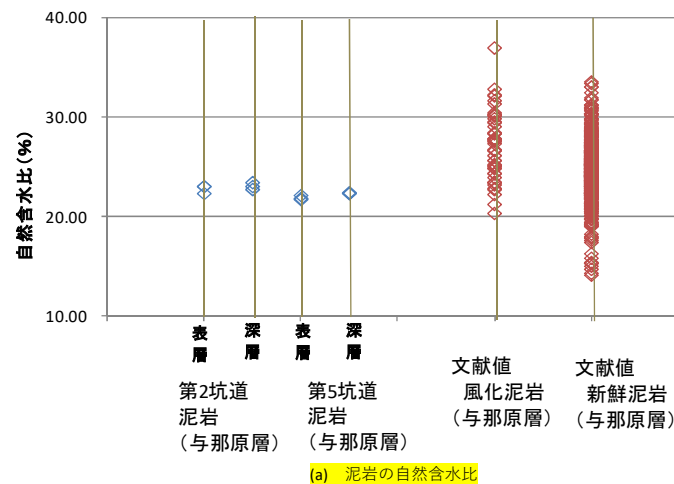
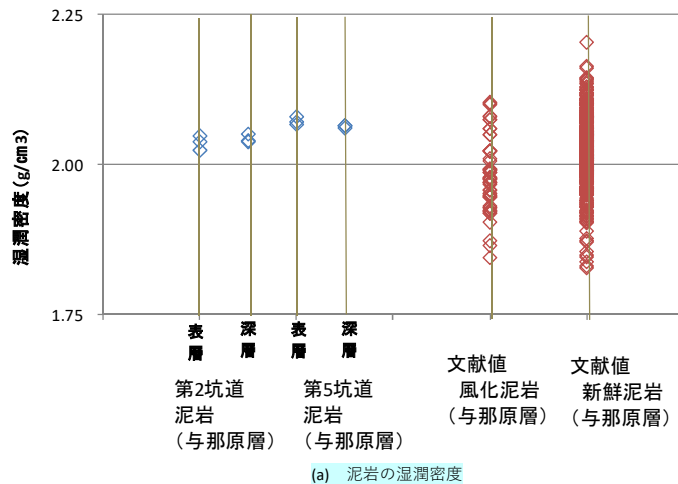


図 II-2-1 湿潤密度の文献値との比較

図 II-2-2 自然含水比の文献値との比較

図 II-2-3 一軸圧縮強度の文献値との比較

2. 物性値ほか諸状況

2-2. 針貫入試験

- 泥岩、砂岩いずれも針貫入抵抗の範囲は概ね2~8N/mmの範囲であった。
- 針貫入勾配と一軸圧縮強度の相関図に当てはめると、一軸圧縮強度の範囲は、800~3000kN/m²となる。
- 現場での簡易試験（針貫入試験）でデータ数を増やしても、室内試験（4-1③）と同等の強度となることが確認された。

表 II-2-1 針貫入試験結果概要

| 岩種 | 第2坑道(泥岩) | 第5坑道(泥岩) | 第3坑道(砂岩) |
|------|----------|----------|----------|
| | 与那原層(泥岩) | 与那原層(泥岩) | 与那原層(砂岩) |
| データ数 | 59.0 | 56.0 | 64.0 |
| 最大値 | 6.70 | 7.70 | 7.70 |
| 最小値 | 2.10 | 2.00 | 2.50 |
| 平均値 | 4.00 | 4.70 | 4.70 |

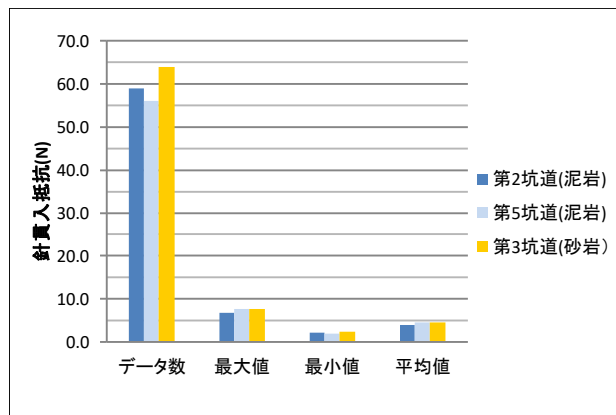


図 II-2-4 坑道別 針貫入試験結果

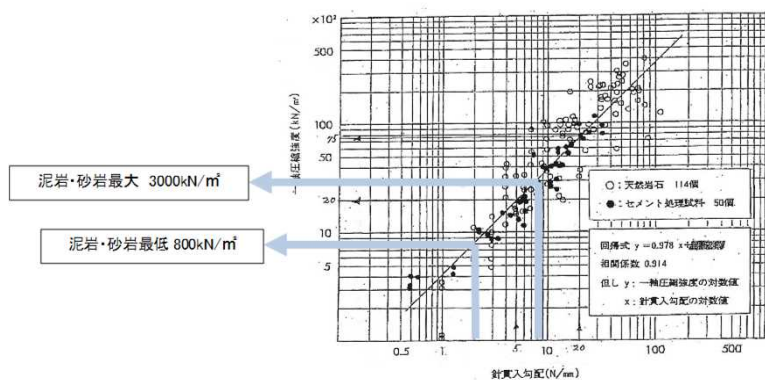


図 II-2-5 針貫入抵抗と一軸圧縮強度の関係

2-3. スレーキング試験

- 泥岩ではスレーキング指数3もしくは4、砂岩ではスレーキング指数4の値が得られた。この結果、いずれの岩種も表層部分においてはスレーキングが激しいことが分かった。
- 司令部壕内の砂岩と泥岩は、乾燥と湿潤を繰り返すとばらばらになりやすい。

表 II-2-2 スレーキング試験結果概要

| 試料名 | 採取位置 | 採取後の含水率 (%) | 水浸前含水率 (%) | 水浸24時間後含水率 (%) | スレーキング指数 |
|--------|------------|-------------|------------|----------------|----------|
| 第5坑道泥岩 | No.183-185 | 25.88 | 2.81 | 66.37 | 4 |
| 第3坑道砂岩 | No.27-27-1 | 18.74 | 1.25 | 54.15 | 4 |
| 第2坑道泥岩 | No.12-13 | 25.12 | 4.58 | 54.42 | 3 |

表 II-2-3 スレーキング指数

| 区分 | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 |
|----|------|--------------|--------------------|------------------|--------|
| 形状 | | | | | |
| 状態 | 変化無し | 割れ目が入るが原形を保つ | 全体に割れ目が多数できるが片が壊れる | 全体が細粒化原形の判別ができない | 全体が泥状化 |

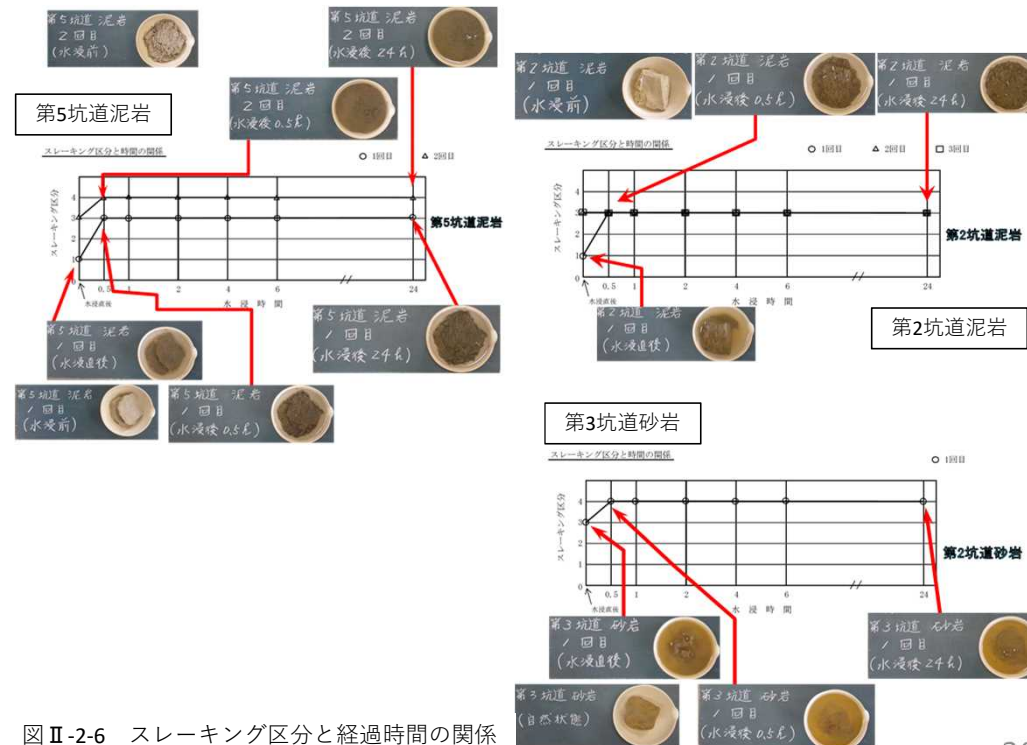


図 II-2-6 スレーキング区分と経過時間の関係

2. 物性値ほか諸状況

2-4. X線回折試験

- 泥岩の構成鉱物の特徴は、中量の石英 (Qz) を含み、方解石 (Cal) が少量、斜長石 (Pl)、雲母類 (Mc)、緑泥石 (Chl) を微量に含んでいる。また、吸水膨張を起こす鉱物であるスメクタイトについても微量に含むことが確認された (スレーキングしやすい)。
- 砂岩の構成鉱物の特徴は、石英 (Qz) を極多量に含んでおり、斜長石 (Pl) を中量、方解石 (Cal)、ドロマイト (Dol)、雲母類 (Mc)、緑泥石 (Chl) を少量含んでいる。

表 II-2-4 X線回折試験結果

| サンプルNo. | Qz | Pl | Cal | Dol | Mc | Chl | Sm |
|---------|----|----|-----|-----|----|-----|----|
| 第2坑道泥岩 | △ | - | + | | - | - | - |
| 第3坑道砂岩 | ◎ | + | + | + | + | + | |
| 第5坑道泥岩 | △ | - | + | | - | - | - |

凡 例

◎: 極多量 ○: 多量 △: 中量 +: 少量 -: 微量

Qz: 石 英 Pl: 斜長石 Cal: 方解石 Dol: ドロマイト

Mc: 雲母類 Chl: 緑泥石 Sm: スメクタイト

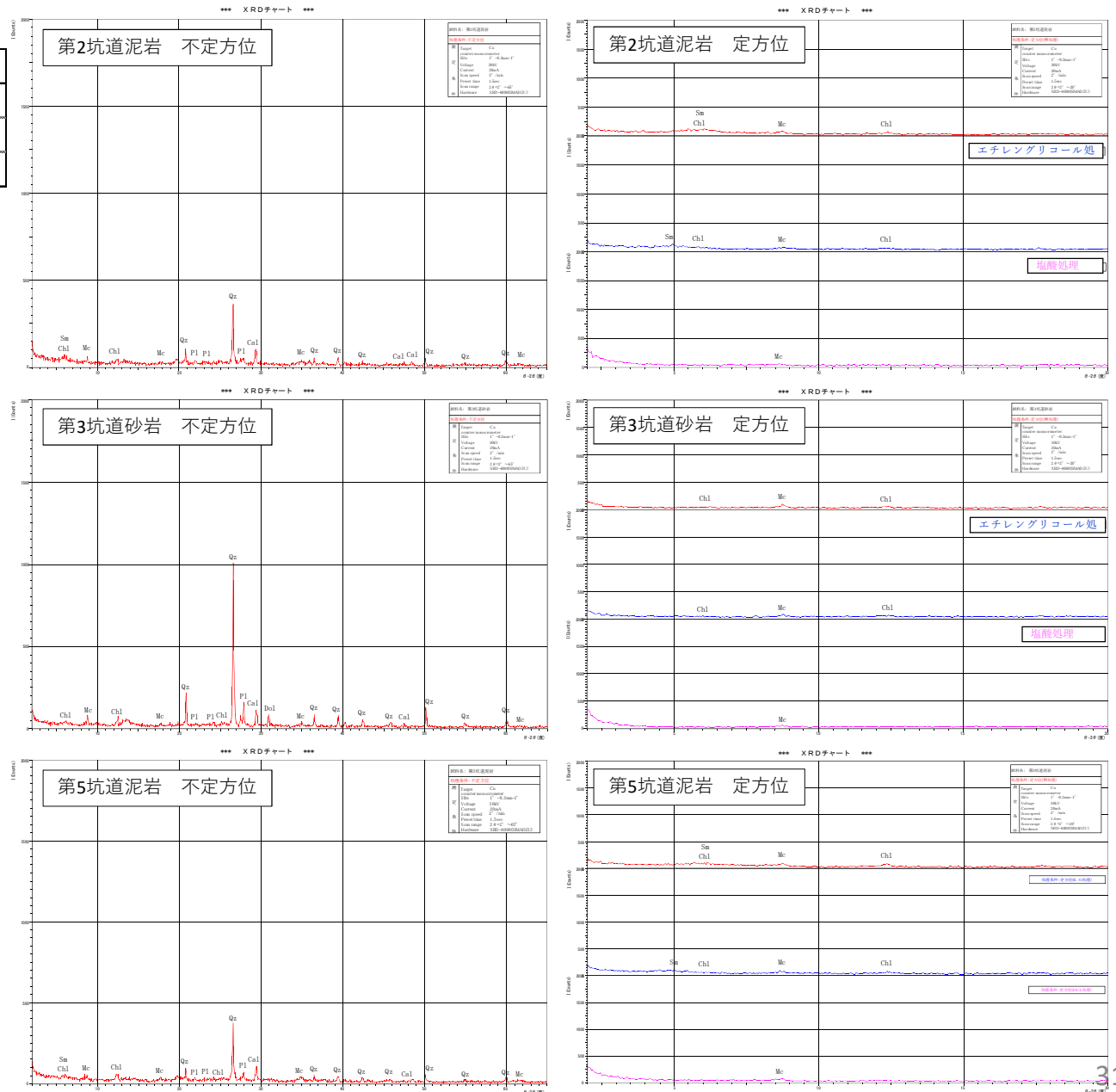


図 II-2-7 X線回折チャート