

3章. 平成13年度事業

3-1 平成13年度事業の概要

平成13年度は、崩落対策検討のための基礎調査として、岩盤のボーリング調査、ボアホールカメラによる孔内観察および採取したコアを用いた室内岩石試験（単位堆積重量測定、飽和度測定、一軸圧縮試験、簡易スレーキング試験）を実施した。これらの調査の目的は以下の通りである。

- ① ボーリングコア観察により、岩盤の地質状況、風化の進行程度、割目の状態や密度について把握する。
- ② ボアホールカメラ画像により、地層や割目の走向・傾斜、割目の開口幅を計測する。
- ③ 室内試験により、岩盤強度および劣化状況の変化を把握する。
 - ・強度に関する試験は、ロックボルト等で力学的に岩盤を補強する際の岩盤の強度を求めることを目的として実施する。
 - ・劣化状況に関する試験は、岩盤の表面を処理する際の施工管理手法を検討するために実施する。

表 3-1-1 に平成13年度の調査内容を示す。

表 3-1-1 平成13年度調査内容一覧

調査内容	実施場所	対象地質	調査項目	目的
①オールコア ボーリング	現地	池子層砂岩 逗子層泥岩	3地点 総掘進長24m	・岩盤の地質状況、風化の進行程度、割目の状態や密度を把握する。
②ボアホール カメラ観察	室内	池子層砂岩 逗子層泥岩	3地点 延長24m	・地層や割目の走向・傾斜を解析する。 ・割目の開口幅を計測する。
③室内岩石試験	室内	池子層砂岩 逗子層泥岩	物理試験 24供試体 ・単位体積重量測定 ・飽和度測定 強度試験 24供試体 ・一軸圧縮試験 劣化試験 10供試体 ・簡易スレーキング試験	・岩盤強度および劣化状況の変化を把握する。 ・ロックボルト等で力学的に岩盤を補強する際の岩盤の強度を求める。 ・岩盤の表面処理の施工管理手法を検討する。

3-2 ボーリング調査

3-2-1 調査数量および位置

図3-2-1にボーリング調査地点位置図を示す。切通の北側（逗子市から切通に入って右側）にNo.3を配置し、南側にNo.1およびNo.2を配置した。調査位置の選定に際しては、調査地に分布する地質を代表する地点であること、かつ将来対策を実施する必要がある箇所背後である点に配慮した。

委員会での指摘により、振動・掘削水による切通壁面の不安定部分による崩落の危険性が懸念されたため、ボーリング地点は切通壁面の直上で実施することを避けて設定した。ボーリング掘削位置および数量の一覧表を表3-2-1に示す。

いずれの地点も、樹木の伐採を伴わない箇所を選定した。ボーリング掘削中は、振動が著しくないかを確認するとともに、掘削水が壁面へ漏水していないかどうかを十分に監視しながら作業を行った。

ボーリング掘削中に新たな崩壊は発生せず、安全に作業を終了した。

表3-2-1 ボーリング数量一覧表

ボーリング No.	切通との位置関係	壁面からの離れ	孔径	掘進方法	掘進深度	ボアホールカメラ
No.1	南側	5.0m	φ 66mm	オールコア	9.0m	9.0m
No.2	南側	4.0m	φ 66mm	オールコア	6.0m	6.0m
No.3	北側	4.0m	φ 66mm	オールコア	9.0m	9.0m

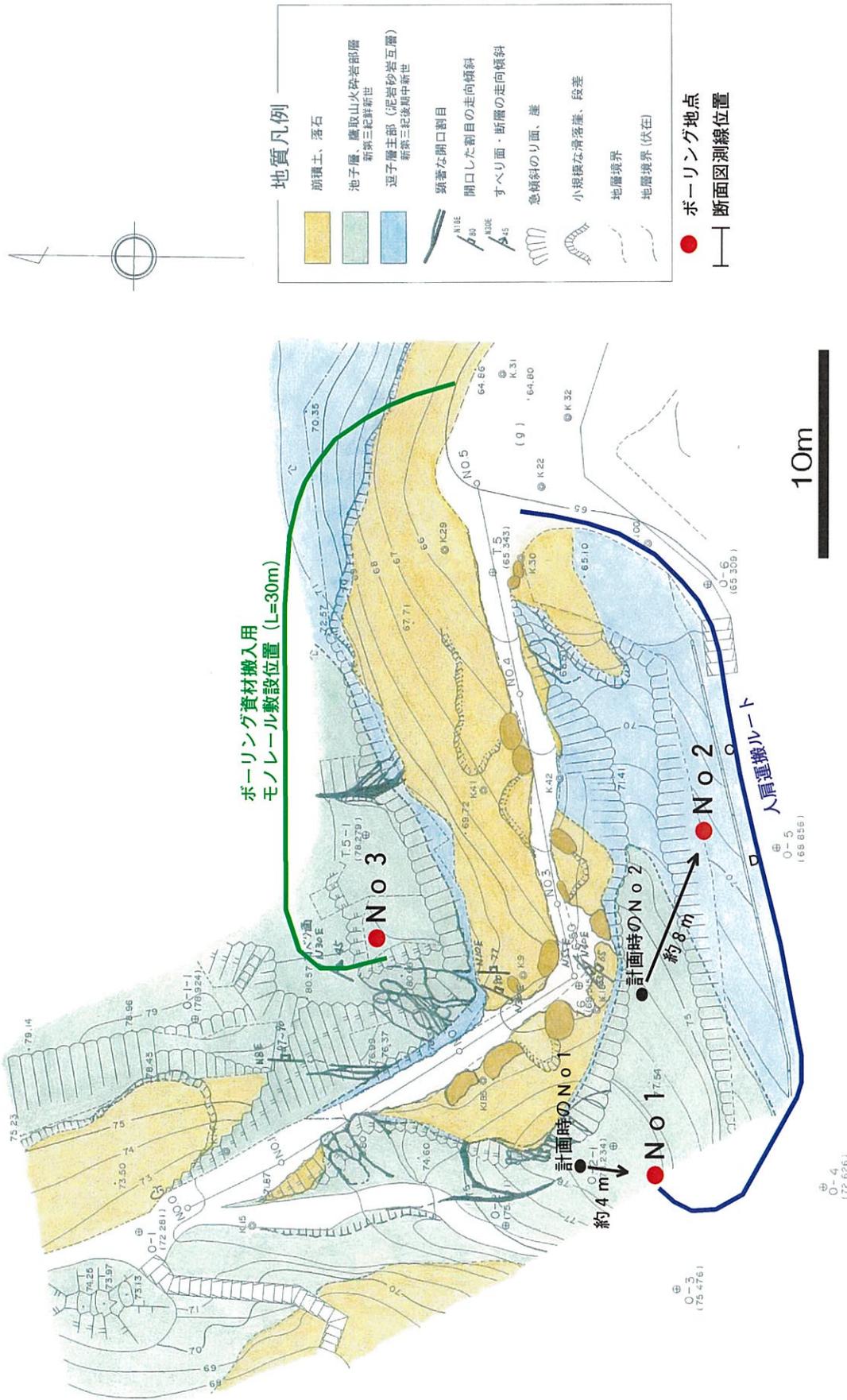


図 3-2-1 ボーリング調査地点位置図（別紙）

3-2-2 調査方法

(1) 機械ボーリングの概要

ボーリング調査地点および搬入ルート位置図を図3-2-1に示し、ボーリングマシン概要図を図3-2-2に示す。以下に、搬入・仮設からボーリングコア処理までの手順に沿って記述する。全ての作業は、史跡を損傷することが無いよう、十分に配慮して作業を行い、影響無く作業を終了した。

1) 搬入・仮設

ボーリングの仮設手順を以下に示す。

- ・ボーリング資機材は2tユニック車に積載し、駐車・積替スペースまで運搬した。搬入からマシン仮設までの手順は、次のとおりである。
 - ①資材搬入
 - ②足場組立
 - ③マシン等の重量物はユニックまたはチェーンブロックで吊り上げ、足場上に降ろす。
 - ④マシンをボーリング地点直上に据え付けて仮設完了。
- ・ボーリングに用いる足場は、図3-2-3に示すように足場パイプおよび足場材を材料に組み立てた。次に、掘進時に使用する三又ヤグラを取り付けた。

ボーリングの資材搬入については、当該箇所の植生を破壊する恐れのある方法は避けることを原則とした。人肩での搬入は、人が80kg程度の資材を担いで安全に通行できる搬入路の確保が必要であることから、切通迂回ルート（付替え市道）沿いのボーリング地点No.1およびNo.2に適用した。一方、ボーリング地点No.3については、人肩搬入では搬入路確保の際に植生をいためる可能性が高いことから、モノレールを仮設して搬入した。モノレールは図3-2-1に示すルートに設置した。モノレールの概要を図3-2-4に示す。



図3-2-4 モノレールの概要

2) コアボーリング

掘進中は、地質状況の変化、孔内状況の変化、掘削水について十分留意し、慎重に掘進を行った。ボーリングは、図3-2-2に示す小型の hidroリックフィード型ボーリングマシンを用いて掘削した。切通の崖の上部で掘進を行うことから、小型で重量の小さいボーリングマシンを用いた。図3-2-5にコアの採取に用いる削孔用具（コアパッキングチューブ）の構造を示す。

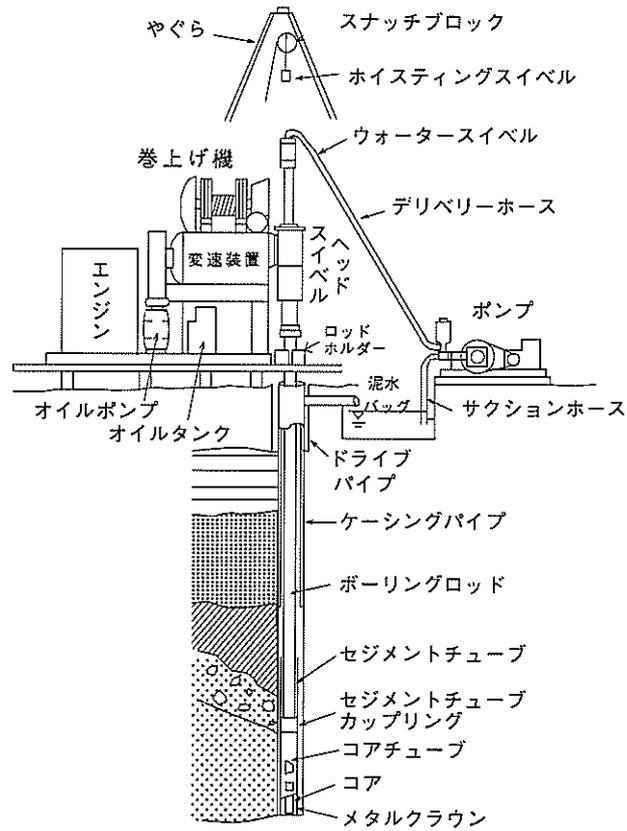


図 3-2-2 ボーリングマシン概要図

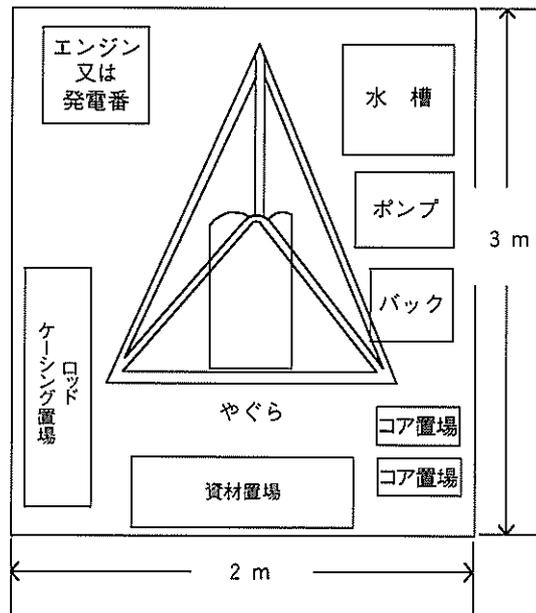


図 3-2-3 ボーリング足場仮設概要

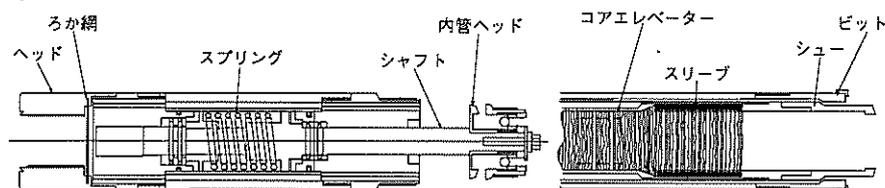


図 3-2-5 軟岩用トリプルコアチューブ (コアパッケチューブS型)

3) 掘削中の測定記録

ボーリング掘削中に次の事項について観察または測定し、ボーリング日報に記録した。

①孔内水位の測定

1日の削孔終了時と毎日の削孔開始前に孔内水位を測定した。

②削孔中の排水

排水は、地層の変化やボーリング孔の孔壁の状況を示す重要な指標であることから、削孔時に排水の色や量を観察した。

③削孔作業に伴うボーリング孔の保孔

削孔に伴いボーリング孔の孔壁状況が悪化すると判断したときには、ケーシングを用いて保孔を行い、保孔に要した機材および作業内容をボーリング日報に記録した。

④その他

削孔の難易、雑作業の状況等気づいた点を記録した。

4) ボーリングコアの整理

図 3-2-6 にボーリングコアの整理の手順について示す。

①コアの整理

採取したコアは、1m5列のコアを格納できる蓋付き木箱に格納した。格納の際にコア端部が硬質な場合にはコアカッターを用い、コアを損傷しないよう取り扱った。また、コアは乾燥すると色調等の性状が変わるので、含水状態が変化しないようにビニールで包装して格納に注意した。

コア箱の蓋と側面には図 3-2-7 に示すように、ボーリング孔番およびコアを採取した区間深度を記載し、内面の木枠には深さ10cmごとに目印の線を付けた。

②コア写真

コア写真は、コア箱の枠にコアが漏れないようにコア箱の真上から、深度表示板および色見本を添えて1箱ごとに撮影した。

5) コア観察および柱状図の作成

コアボーリングでコア試料を採取し、コアの詳細観察を行い、①地質状況、②風化の進行の程度、③割れ目の状態や密度について観察し、観察結果を記載した。柱状図の作成に当たっては、ボーリングの掘削条件とコアの詳細な観察に基づく地質情報を正しく記載した。柱状図は、地質調査標準示方書に準じて「土質柱状図」を作成した。

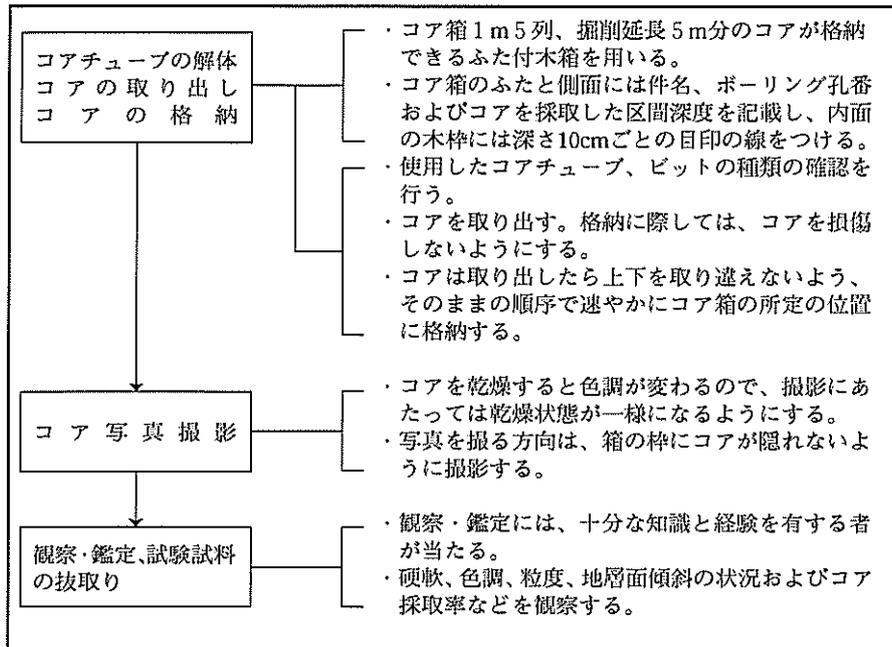


図 3 - 2 - 6 コアの整理・保存の手順

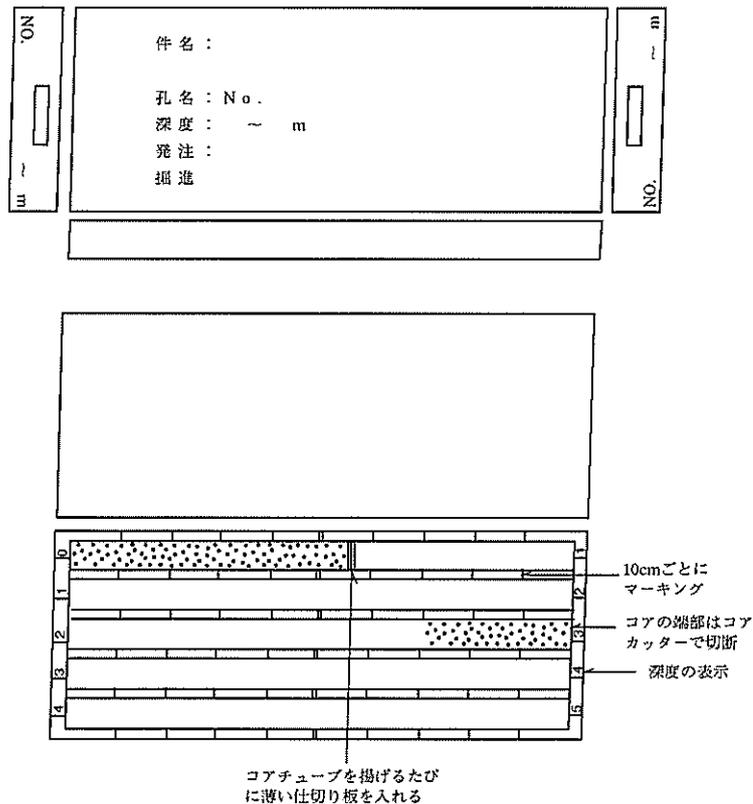
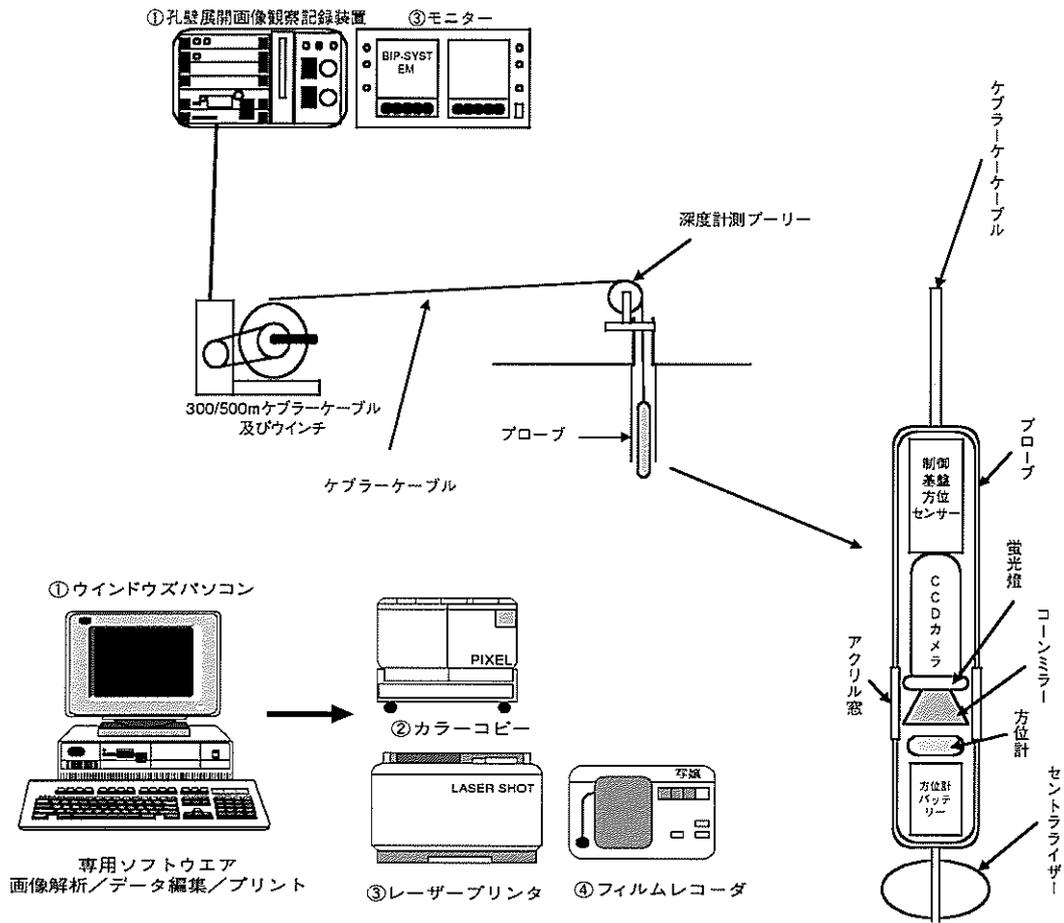


図 3 - 2 - 7 ボーリングコア箱の処理方法

(2) ボアホールカメラによる孔壁観察の概要

掘進したボーリング孔の孔壁をボアホールカメラで撮影し、デジタル画像を記録した。記録されたデジタル画像から地層や割れ目の走向・傾斜を解析した。また、割れ目の開口幅を計測した。

ボアホールカメラは、デジタルビデオカメラで孔壁の写真を記録する装置である。資材の概要を図3-2-8に示す。



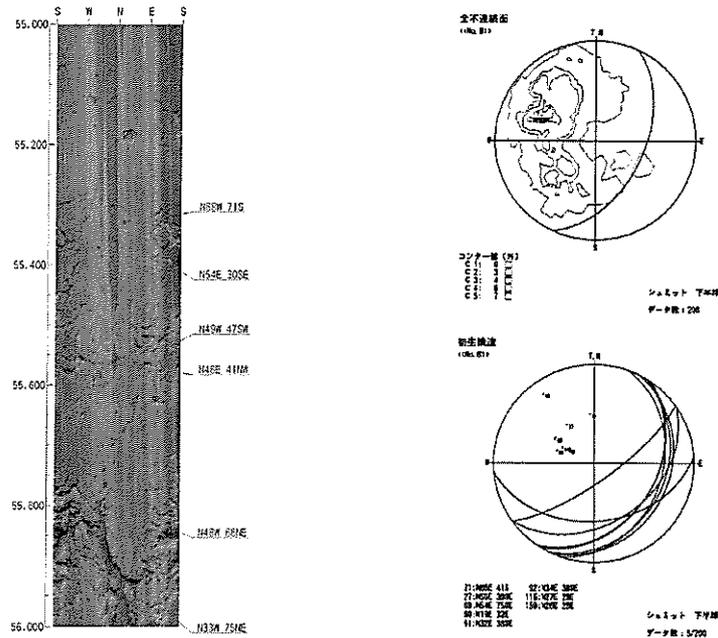
プローブ	φ 50mm×2.20m 計測ボーリング孔径に合わせて アクリル窓を交換することで大 口径にも対応可能 重量 10 kg
ケーブル	5 芯ケーブル
ウインチ	330m ケブラー 昇降速度 0~11m/s リモートコントロール対応
孔壁画像作成 記録装置	230/640MBMO ディスク フルカラー表示 計測速度 0~54m/h

図3-2-8 ボアホールカメラ概要図

1) ボアホールカメラ観察結果

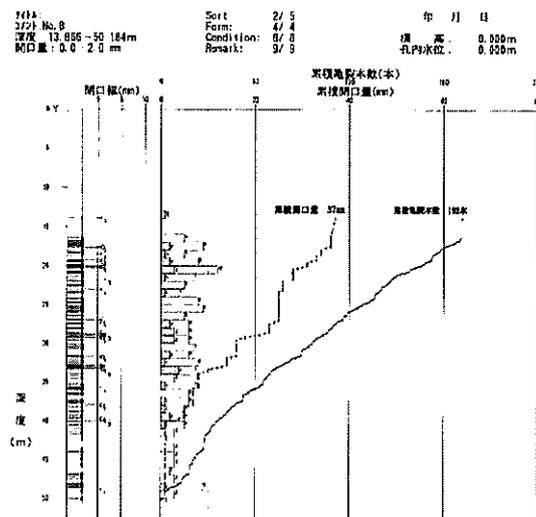
ボアホールカメラで観察した孔壁の画像から、層理面の角度・方向・密度、割れ目の角度・方向・密度、および割れ目が開口しているかどうかの判断を行った。

観察結果は図3-2-9のようにまとめて示す。



a 孔壁のデジタル画像

b. 割目の方向のシュミットネット投影



c. 深度と割目密度の関係図

図3-2-9 ボアホールカメラ観察結果のまとめ方

2) 走向・傾斜

走向・傾斜は、地層や割れ目などの向き（走向）と傾き（傾斜）を表す。図3-2-10に走向・傾斜の説明図を示す。

走向は、水平面と地層や割れ目が交わる交線が、真北から何度の方向にあるかを示し、北から離れた角度を α とすると、 $N\alpha W$ または $N\alpha E$ のように表す（Wは西への角度、Eは東への角度）。

傾斜は、地層または割れ目の最大傾斜角度で、傾斜の方向が南側か北側か（走向が南北の場合には、東か西）わかるような添え字を付けて表す。下図のように、割れ目の傾斜角度が θ で傾斜の方向が南側のときには、 θS と表現する。下図の割れ目の走向・傾斜は、 $N\alpha W$ 、 θS である。

ボアホールカメラは、ボーリング孔壁をデジタル画像で記録するカメラである。撮影された記録は、コンピュータで下図右側のような展開図として出力される。この展開図には、割れ目や地層も写るが、その形状はサインカーブとなる。このカーブの高さから割れ目や地層の傾斜角度が求まり、ピークの位置から90度離れた位置（水平線と交わる位置）が走向の角度を示す。

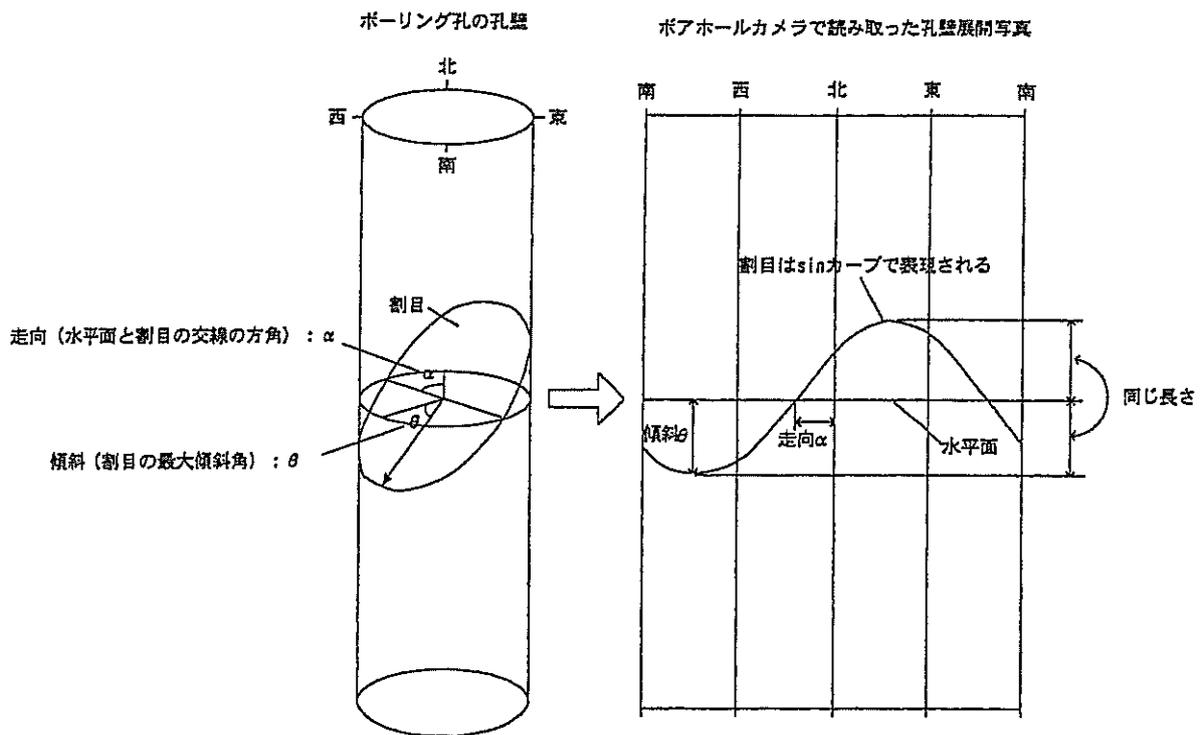


図3-2-10 走向・傾斜の説明図

3-2-3 ボーリング調査結果

(1) 各孔の地質状況

- ・ボーリングコアでの地質は、切通壁面で観察される池子層砂岩と逗子層泥岩が明瞭に区別でき、地層境界はボーリングコアで確認されたものと掘削面で観察されるものと整合的で、平面的な連続性が良い。
- ・岩盤の劣化・風化の程度は、コアの色変化と割れ目の密度分布を観察することで把握することができる。
- ・岩盤の色の変化を見ると、岩芯まで風化して褐色となった強風化部が、切通の底盤付近の深度まで進行していることがわかった。これは、当初予想した風化深度よりも深い。
- ・割れ目密度はポアホールカメラの観察により得られる。割れ目密度は池子層砂岩では少なく、池子層砂岩直下の逗子層泥岩上部で著しく高くなっている。また、逗子層泥岩中には割れ目密度が中程度に高い部分があり、これと割れ目密度の少ない部分との境界は、ほぼ割れ目沿いに褐色化が見られる深度の1 m程度下位に存在する。

各孔の観察結果の概要は以下の通りである。

1) No.1 孔

①地層区分

- 0.00～0.20m 表土
- 0.20～3.83m 池子層 砂岩
- 3.83～9.00m 逗子層 泥岩

②褐色化の区分

- 0.00～7.25m 岩芯まで褐色化
- 7.25～8.60m 割れ目沿いに褐色化
- 8.60～9.00m 新鮮

③割れ目状態、密度の区分

- 0.00～4.50m 割れ目少ない（割れ目間隔15cm以上）
- 4.50～6.60m 割れ目発達、開口（割れ目間隔5 cm以下）
- 6.60～9.00m 割れ目やや発達、密着（割れ目間隔5～15cm程度）

2) No.2 孔

①地層区分

- 0.00～0.30m 表土
- 0.30～6.00m 逗子層 泥岩

②褐色化の区分

- 0.00～2.43m 岩芯まで褐色化
- 2.43～3.60m 割れ目沿いに褐色化
- 3.60～6.00m 新鮮

③割れ目状態、密度の区分

- 0.00～1.00m 割れ目がはっきりしない程度に密に入る（土砂状）
1.00～3.60m 割れ目発達、開口（割れ目間隔5cm以下）
3.60～4.50m 割れ目やや発達、密着（割れ目間隔5～15cm程度）
4.50～6.00m 割れ目少ない（割れ目間隔15cm以上）

3) No. 3 孔

①地層区分

- 0.00～0.20m 表土
0.20～6.90m 池子層 砂岩
6.90～9.00m 逗子層 泥岩

②褐色化の区分

- 0.00～6.55m 岩芯まで褐色化
6.55～7.70m 割れ目沿いに褐色化
7.70～9.00m 新鮮

③割れ目状態、密度の区分

- 0.00～6.90m 割れ目少ない（割れ目間隔15cm以上）
6.90～9.00m 割れ目やや発達、密着（割れ目間隔5～15cm程度）

(2) 地層・割れ目の方向

- ・ボアホールカメラでは、ボーリング孔を横切る面構造として、地層の層理面と割れ目が観察される。
- ・層理面は、東西走向、北に8°の傾斜を示す。
- ・割れ目は、池子層砂岩ではN80E,61SとN82E,18Nという面間角度が80°で交わる2系統割れ目が認められる。
- ・逗子層泥岩の割れ目は、N17E,55Eの割れ目が卓越するが、No. 2 に関しては他の孔に比較して割れ目の方向がばらついている。

ボアホールカメラ観察結果（展開画像）を各孔毎に章末資料3-1～3-3に示す。また、章末資料3-4にボアホールカメラ観察により抽出した地層、割れ目の走向傾斜のシュミットネット投影図（下半球投影図）を示す。

(3) 地質断面図における地質状況

- ・切通の北側の部分は、壁面の状況と同様に岩盤の状況は比較的良い。
- ・切通の南側は、岩盤の芯の部分においても、壁面の状況と同様に岩盤状況が悪く、岩芯まで褐色化し、割れ目の密度が高くなっている。
- ・岩盤が褐色に変色した部分は、地表線とほぼ平行であり、切通の底盤程度の深度まで風化が進行している。この風化線は地層境界と斜交している。
- ・風化深度は、当初想定よりも深く、想像以上に風化が進行していることがわかった。
- ・風化は切通の壁面からも進行しているが、さほど著しくは無く、切通を掘削したために岩盤の風化が急激に進んだというよりは、岩盤が風化していて人力で掘削できる深さまで切通を掘削したという印象を受ける。
- ・岩盤の割れ目は、逗子層で多く、特に切通南側の池子層直下の部分に割れ目が著しく発達している。
- ・割れ目がやや発達した岩盤の下端深度は、褐色変色を示す岩盤の下端深度と平行しており、深度的には褐色変色を示す岩盤の下位約1m程度下位に位置している。
- ・各断面における割れ目の卓越方向は、割れ目密度分布図に灰色線で示した。

章末資料3-5の位置図に断面の位置を示し、章末資料3-6～3-12にA～Gの各断面図を示す。測線ごとに、地質断面図、褐色化の及ぶ範囲を示した風化区分図、割れ目密度を示す割れ目区分図の3種類の断面図を示している。割れ目密度の図面には、ボアホールカメラの結果から各断面における割れ目の偽傾斜を灰色線で示す。

ボーリング調査結果から明らかになった切通部の地質状況をまとめ、各断面毎に表3-2-2に示す。

表3-2-2 各断面における特徴

断面位置	特徴
A—A' 断面	<p>No.1とNo.2を結んだ断面。層理面の見掛傾斜は北に6°程度である。南側の切通面には、崩積土が70cm程度の層厚で分布する。北側の切通面は、岩盤状況は比較的良好であるが、上部の池子層に流れ目の浮いた岩塊が存在する。南側の切通面は、岩盤の芯の部分においても切通の路盤標高付近まで褐色化が及んでおり、逗子層の泥岩部は割れ目も密に発達している。</p>
B—B' 断面	<p>切通の南側には池子層は分布しない。層理面の見掛傾斜は北に7°程度である。北側の切通面には、崩積土が1m弱程度の層厚で分布する。池子層が上位に分布しない南側は、上部の風化が著しく一部は土砂化している。両側ともに比較的深部まで褐色化が及び、泥岩部は割れ目も密に発達していると想定される。</p>
C—C' 断面	<p>切通の南側には池子層は分布しない。層理面の見掛傾斜は北に7°程度である。切通しの路盤部には全体に崩積土が分布する。池子層が上位に分布しない南側は、上部の風化が著しく一部は土砂化している。また、深部まで褐色化が及び、割れ目も発達する。</p>
D—D' 断面	<p>層理面の見掛傾斜は北に7°程度である。切通しの路盤部には全体に崩積土が分布する。北側の切通面は、岩盤状況は比較的良好であるが、上部の池子層に流れ目の割れ目が分布する。南側の切通面は、岩盤の芯の部分においても切通の路盤標高付近まで褐色化が及んでおり、逗子層の泥岩部は割れ目も密に発達している。</p>
E—E' 断面	<p>層理面の見掛傾斜は北に8°程度である。北側の切通面に崩積土が分布する。北側の切通面は、下部の泥岩部は表層付近に割れ目が発達する。上部の池子層には流れ目の浮いた岩塊が存在する。南側の切通面は、岩盤の芯の部分においても切通の路盤標高付近まで褐色化が及んでおり、逗子層の泥岩部は割れ目も密に発達している。</p>
F—F' 断面	<p>層理面の見掛傾斜は東に3°程度である。南側の切通面に崩積土が分布する。東側の切通面は、岩盤状況は比較的良好であるが、上部の池子層に流れ目の浮いた岩塊が存在する。西側の切通面は、岩盤の芯の部分においても切通の路盤標高付近まで褐色化が及んでおり、逗子層の泥岩部は割れ目も密に発達している。</p>
G—G' 断面	<p>切通の幅が非常に狭くなっている箇所である。層理面の見掛傾斜は東に2°程度である。西側の岩盤には最大50cm程度の開口割れ目が発達している。地層境界に段差が生じており、西側の岩塊は移動土塊であると判断される。東側の切通面は、岩盤状況は比較的良好である。</p>

(4) 地下水状況

- ・ ボーリング掘進中においては、泥水を用いて掘削を行った。泥水では、孔内水の逸水は生じなかった。
- ・ ボアホールカメラを撮影のため、泥水を清水に置き換えて、孔内の洗浄を行った。
- ・ 清水では孔内水は、孔底の溜り水を除いて孔底付近まで低下した。
- ・ このことから、切通付近の地下水面はボーリング孔の孔底以下、すなわち切通の路盤以下である。
- ・ 地山の透水性については、清水における孔内水の低下速度を測定した。孔内水は、孔口からGL-6.7mまで30分程度で低下した。

ボーリングを掘削した翌朝の孔内水位（清水時）を図3-2-11（左）に示す。No.1、No.2孔では、翌朝水位以下には割れ目が無いが、割れ目に粘土を挟在しており、翌朝水位以下の孔内水は孔底の溜り水であると考えられる。No.3孔では、翌朝水位は孔底付近であった。このことから、調査地の地下水面は、今回掘削したボーリング孔の孔底以下であると判断される。

地山の透水性については、No.1孔において孔口からの孔内水の低下速度を測定した。測定結果を図3-2-11（右）に示す。孔内水は、孔口からGL-6.7mまで30分程度で低下した。

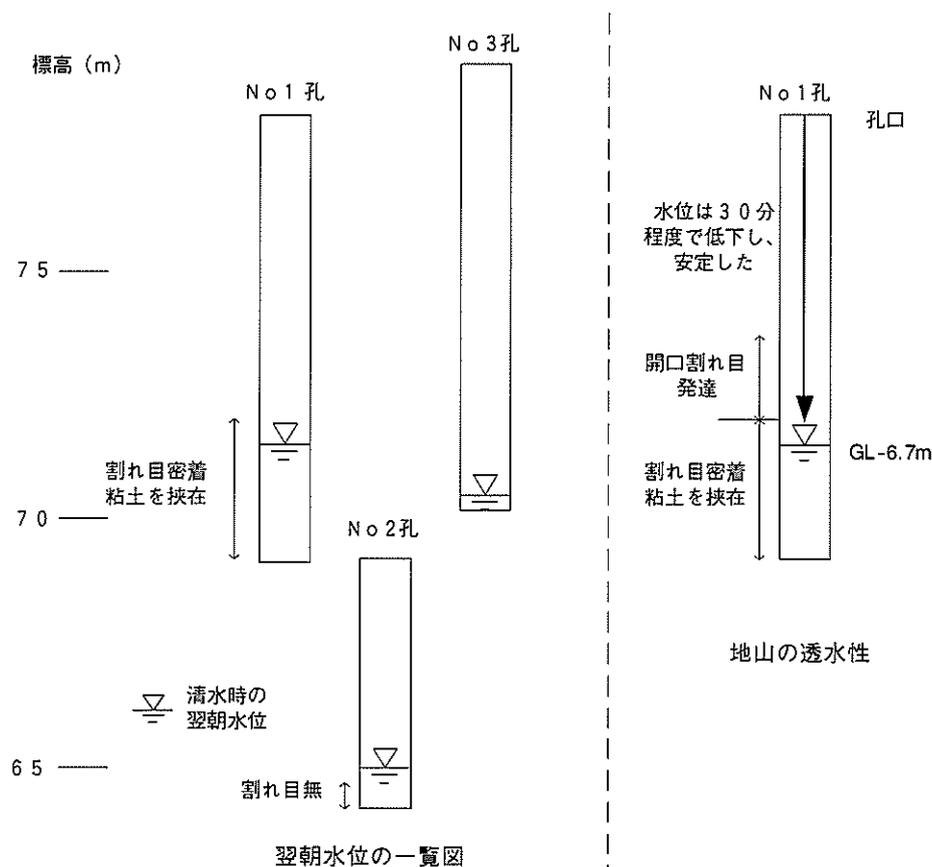


図3-2-11 地下水状況一覧

3-3 ボーリングコアを用いた室内岩石試験

3-3-1 調査数量

ボーリングコアを用いて以下の室内試験を実施した。室内試験は岩盤の強度および劣化状況の変化を見ることを目的として実施した。

このうち、物理試験・強度試験は、「①ロックボルト等で力学的に岩盤を補強する際の基礎資料として岩盤の強度を求める」、「②岩盤の含水状態を一定化する保存管理手法を適応する上で最適な含水状態を決定するための基礎資料として、最も強度を発揮する含水比を求める」、以上の2点を目的として実施した。

また、劣化状況に関する試験は、岩盤のスレーキング特性、表面処理に際しての保存管理手法を検討するための基礎資料を得ることを目的として実施した。室内試験項目および数量の一覧表を表3-3-1に示す。

表3-3-1 室内試験項目および数量表

試験種類	試験項目	試験項目	試験項目
物理試験	単位体積重量測定	24供試体	ボーリング孔1孔あたり4供試体とし、各地層2供試体を採取。
	飽和度測定	24供試体	ボーリング孔1孔あたり4供試体とし、各地層2供試体を採取。
強度試験	一軸圧縮試験	24供試体	ボーリング孔1孔あたり4供試体とし、各地層2供試体を採取。
劣化状況	簡易スレーキング試験	10供試体	各地層毎に3供試体を60℃24時間炉乾燥した試料について試験を実施。 各地層毎に2供試体を自然状態の試料について試験を実施する。

3-3-2 調査方法

(1) 物理試験

1) 単位体積重量測定

湿潤密度の他、乾燥密度、土粒子の密度について試験を実施した。ノギス法により試料の体積を求め、試料の質量を測定することにより求めた。

2) 含水比試験

含水比試験は粒度試験において沈降分析を行う場合に必要となる。土の含水比(W)は、土塊を構成している土粒子・水・空気の三要素のうち、水と土粒子重量比を百分率で表したものである。試験基準は、JSF T 121に準じた。

$$W = \frac{m_w}{m_s} \times 100 (\%)$$

m_w : 水の重さ

m_s : 土粒子の重さ

(2) 強度試験 (一軸圧縮試験)

強度試験は一軸圧縮試験を実施した。一軸圧縮試験の装置の概要図を図3-3-1に示す。

1) 試験方法

調査地から試験室内に搬入された自然状態の試料を用い、JIS-A1216に準じて実施した。なお、供試体成形時には湿潤密度 ρ_t の測定を併せて実施した。

試験条件は、次の通りである。

載荷方法：ひずみ制御法

載荷速度：0.1 %/min

試験終了後は、供試体の破断面の状態を観察記録した。

2) 試験装置

一軸圧縮試験機は、最大軸荷重が5tonfまたは50tonfのものを使用した。また、応力～ひずみ関係 ($\sigma \sim \epsilon$ 曲線) は、データロガーで自動収録したデータをパソコンで演算し、X-Yプロッターに作図した。

3) 解析方法

$\sigma \sim \epsilon$ 曲線から、次のようにして各物性値を求めた。

- ・一軸圧縮強度 q_u : $\sigma \sim \epsilon$ 曲線上の最大応力値
- ・破壊ひずみ ϵ_f : q_u に対応するひずみ
- ・静弾性係数 E_{50} : $\sigma \sim \epsilon$ 曲線において $\sigma = q_u / 2$ 時の接線勾配で定義する。

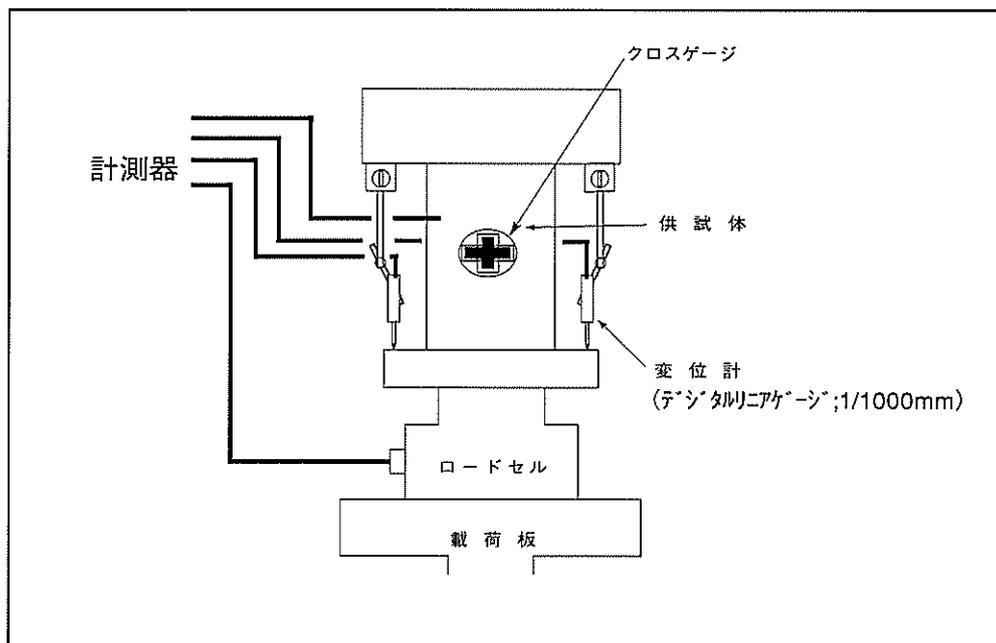


図3-3-1 一軸圧縮試験の計測概念図 (50tonfタイプ)

(3) 簡易スレーキング試験

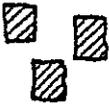
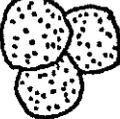
簡易スレーキング試験は、乾湿の繰り返しによる岩の劣化し易さの程度を知ることが目的として、以下に示す2種類の方法で実施した。

①60℃24時間炉乾燥した試料を水中に浸水し、浸水直後から24時間後までの形状の変化を定期的に観察する。(各地層毎に3試料の計6試料で実施)

②自然状態の試料を水中に浸水し、浸水直後から24時間後までの形状の変化を定期的に観察する。(各地層毎に2試料の計4試料で実施)

試験は、土木学会の基準(簡易スレーキング法)に準拠した。試験結果の整理は、表3-3-2の形状区分から評価した。

表3-3-2 スレーキングの形状区分

区分	0	1	2	3	4
形状					
状態	変化しない	亀裂が入る程度	細片化するが泥状化しない	細片化と部分的泥状化	完全に泥状化

3-3-3 室内岩石試験結果

- ・一軸圧縮試験は、自然・湿潤・乾燥と含水状態を変化させて試験を実施した。
- ・池子層砂岩（強風化部）の一軸圧縮強さは、2000～4000 kN/m²程度であった。
逗子層泥岩（新鮮部）の一軸圧縮強さは、4200～6500 kN/m²程度であった。
- ・一軸圧縮強さは、自然状態では池子層砂岩（強風化部）2470 kN/m²（平均値）、逗子層泥岩（新鮮部）6210 kN/m²（平均値）であった。
- ・ボーリングコアを利用した今回の試料数では、含水状態の変化に対する強度変化の有意な傾向を把握するには至らなかった。
- ・スレーキング試験の結果、逗子層泥岩は乾湿の繰り返しによりクラックを生じることが確認された。

物理試験（湿潤密度、乾燥密度、土粒子の密度、含水比、飽和度）、一軸圧縮試験（飽和度を変化させて実施）、スレーキング試験を実施した結果の一覧表を表3-3-3に示す。

表 3-3-3 室内試験結果一覧表

地質	ボーリング孔	採取深度 (m)	中心深度 (m)	湿潤密度 ρ_1 (g/cm ³)	含水比 (%)	乾燥密度 ρ_d (g/cm ³)	土粒子の密度	自然状態の飽和度 (%)	加圧後の飽和度 (%)	一般圧縮係数 q_u (kN/m ²)	破壊ひずみ (%)	E_{50} (MN/m ²)	備考	
池子層 砂岩	No.1	1.63 ~ 1.78	1.71	1.707	36.8	1.248		85.3	85.3	1950	0.60	444	自然状態	
		2.20 ~ 2.36	2.28	1.659	37.6	1.206	2.701	81.9	89.1	4010	0.40	1210	湿潤状態	
		2.60 ~ 2.75	2.68	1.708	22.3	1.397		64.5	30.4	2740	0.53	674	乾燥状態	
	No.3	2.10 ~ 2.22	2.16	1.579	39.4	1.192		78.3	78.3	2440	0.51	659	自然状態	
		2.34 ~ 2.46	2.40	1.515	34.7	1.124	2.698	68.1	76.3	2240	0.52	589	湿潤状態	
		2.22 ~ 2.34	2.28	1.646	33.1	1.237		77.1	21.3	2960	0.70	517	乾燥状態	
	No.3	5.45 ~ 5.57	5.51	1.578	48.0	1.066		86.0	86.0	3020	0.46	830	自然状態	
		5.69 ~ 5.81	5.75	1.507	49.2	1.010	2.636	90.3	87.5	2340	0.54	571	湿潤状態	
		5.57 ~ 5.69	5.63	1.663	43.9	1.156		80.6	34.6	3000	0.76	520	乾燥状態	
	No.3	4.32 ~ 4.43	4.38	1.749	31.4	1.331		82.4	59.2	2860	0.74	498	半乾燥状態	
		4.50 ~ 4.60	4.55	1.778	27.6	1.394	2.701	79.4	58.4	3300	0.76	547		
		4.76 ~ 4.96	4.86	1.670	35.5	1.232		80.4	58.1	3270	0.78	560		
	選子層 泥岩	No.2	0.77 ~ 0.88	0.83	1.672	14.0	1.467		44.9	44.9	4020	0.52	996	3ヶ月程度保管後
			0.88 ~ 0.99	0.94	1.585	13.1	1.401		38.2	38.2	3230	1.02	371	
			1.04 ~ 1.15	1.10	1.594	19.8	1.594		51.9	51.9	2410	0.81	439	
No.3		1.15 ~ 1.26	1.21	1.627	22.8	1.627		59.3	59.3	2150	0.51	626		
		1.26 ~ 1.37	1.32	1.566	23.2	1.566	2.682	55.7	55.7	2250	0.57	550		
		1.37 ~ 1.48	1.43	1.494	20.2	1.494		46.5	46.5	2880	0.44	753		
No.3		1.48 ~ 1.59	1.53	1.544	19.7	1.544		48.6	48.6	2650	0.67	608		
		1.59 ~ 1.74	1.665	1.256	21.4	1.256		35.9	35.9	1780	0.70	302		
		3.10 ~ 3.20	3.15	1.392	19.3	1.167		39.7	39.7	2090	0.59	464		
No.3		3.36 ~ 3.46	3.41	1.490	32.9	1.121		63.1	63.1	2110	0.60	421		
		4.85 ~ 4.94	4.895	1.467	8.7	1.350		23.4	23.4	3910	0.75	6		
		4.15 ~ 4.25	4.20	1.726	44.4	1.182		99.0	98.0	6660	0.72	1190		
No.2		4.05 ~ 4.15	4.10	1.706	43.1	1.195	2.576	95.6	96.4	5770	0.66	933	自然状態	
		4.40 ~ 4.50	4.45	1.753	45.9	1.202		103.3	37.7	5170	0.76	906	湿潤状態	
		5.45 ~ 5.56	5.51	1.737	48.0	1.200		100.6	100.6	5840	0.61	1220	乾燥状態	
No.2	5.56 ~ 5.67	5.62	1.734	42.9	1.213	2.576	98.5	99.8	4180	0.79	953	自然状態		
	5.67 ~ 5.78	5.73	1.747	43.6	1.217		100.5	35.2	6300	0.69	1100	湿潤状態		
	7.10 ~ 7.20	7.15	1.846	31.9	1.399		94.6	94.6	6130	0.45	1530	乾燥状態		
No.3	8.90 ~ 9.00	8.95	1.759	44.3	1.219	2.650	100.0	101.8	5750	0.60	1010	自然状態		
	7.20 ~ 7.30	7.25	1.853	32.5	1.398		96.3	37.9	4610	0.95	668	湿潤状態		
	6.02 ~ 6.13	6.08	1.747	38.8	1.259		95.5	70.0	7280	0.72	1180	乾燥状態		
No.3	6.13 ~ 6.24	6.185	1.726	46.0	1.182	2.576	100.5	70.6	3890	0.95	622	自然状態		
	7.70 ~ 7.80	7.75	1.719	45.8	1.179		99.5	70.3	3510	0.94	497	湿潤状態		
	3.90 ~ 4.00	3.95	1.384	27.8	1.083	2.646	50.9	50.9	(10900) ^{※2}	-	-	半乾燥状態		
No.1	5.00 ~ 5.10	5.05	1.632	37.4	1.182	2.653	79.6	79.6	(3590) ^{※2}	-	-	3ヶ月程度保管後		
	4.80 ~ 5.80	5.30	1.566	32.8	1.179	2.642	69.8	69.8	(11600) ^{※2}	-	-	3ヶ月程度保管後		
	5.00 ~ 5.10	5.05	1.560	30.4	1.186	2.638	66.6	66.6	(9990) ^{※2}	-	-			
No.2	6.00 ~ 6.50	6.45	1.348	15.0	1.172	2.630	31.7	31.7	(2900) ^{※2}	-	-	3ヶ月程度保管後		
	9.00 ~ 9.10	9.05	1.416	9.1	1.298	2.667	23.0	23.0	(11800) ^{※2}	-	-			

*1: 処理後の飽和度とは、乾燥用供試体については、3日間風乾させた状態。

湿潤用供試体については、3日間水中につけた状態。

*2 試料長が足りなかったため、点荷試験を実施し、推定一軸圧縮強度として示した。

*3 網目部は、国指定基準を越え前通商部委託等業務委託その2にて実施分、3ヶ月保管後の試料を用いた。
(3ヶ月保管後の試料は、自然状態において、ある程度乾燥している試料である。)

(1) 物理試験結果

物理試験は、「池子層砂岩（強風化部）（12試料）」、「逗子層泥岩（新鮮部）（12試料）」において実施した。試験結果を表3-3-4、図3-3-2に示す。

表3-3-4 物理試験結果一覧表

○物理特性

	池子層	逗子層
湿潤密度 g/cm^3	1.507~1.778	1.706~1.853
乾燥密度 g/cm^3	1.010~1.397	1.179~1.399
土粒子の密度	2.636~2.701	2.576~2.650
含水比 %	22.3~49.2	31.9~48.0
飽和度 %	64.5~90.3	94.6~100.6

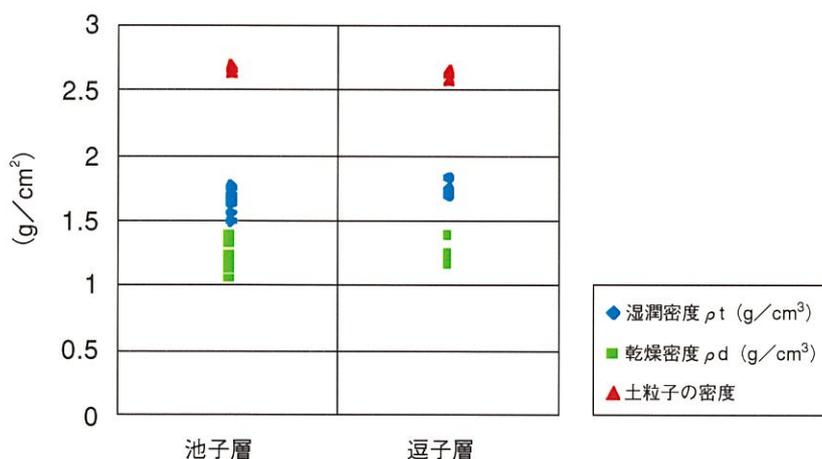


図3-3-2 (1) 物理試験結果 (密度)

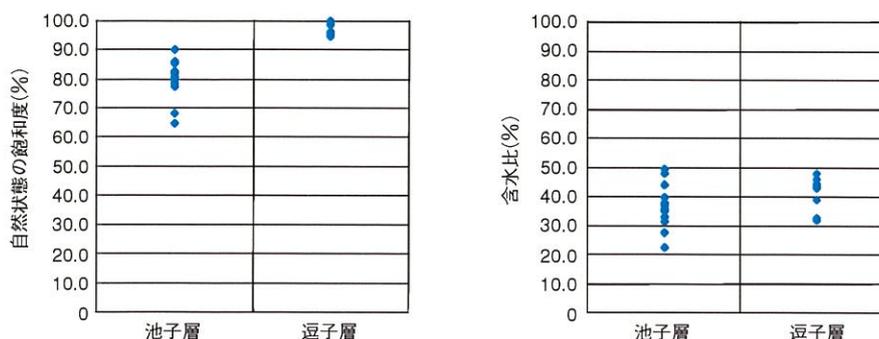


図3-3-2 (2) 物理試験結果 (含水比、飽和度)

(2) 一軸圧縮試験結果

一軸圧縮試験は、「池子層砂岩（強風化部）（24試料）」、「逗子層泥岩（新鮮部）（24試料）」について、乾燥、自然、湿潤状態のそれぞれ3試料を用いた。乾燥状態は3日間風乾させた状態、湿潤状態は3日間水中につけた状態である。

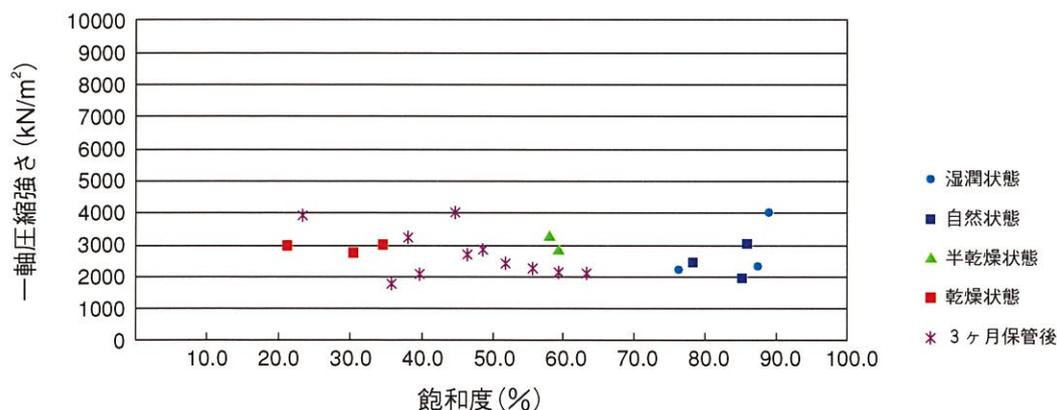
試験結果を表3-3-5に示す。また、飽和度と一軸圧縮強さの相対図を図3-3-3に、一軸圧縮試験結果写真を図3-3-4に示す。

表3-3-5 一軸圧縮試験結果一覧表

地質	一軸圧縮強さ kN/m ²	飽和度による強度の変化
池子層砂岩 (強風化部)	1780 ~ 4020 (平均2766kN/m ²)	ほぼ同程度の値の範囲内であり、有意な変化は認められなかった。
逗子層泥岩 (新鮮部)	3510 ~ 7280 (平均5424kN/m ²)	ほぼ同程度の値の範囲内であり、有意な変化は認められなかった。 自然状態で若干大きく、乾燥、湿潤状態で若干小さくなる傾向が認められた。

()内は、平均値

飽和度と一軸圧縮強さの関係(池子層砂岩)



飽和度と一軸圧縮強さの関係(逗子層泥岩)

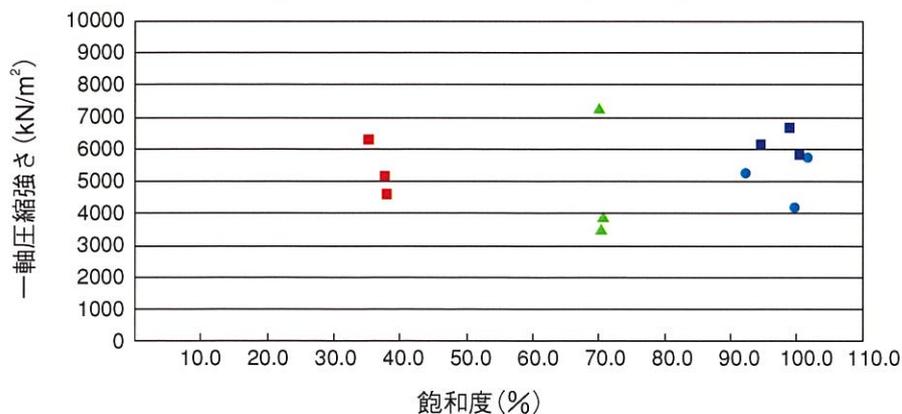


図3-3-3 飽和度と一軸圧縮強さの関係図



図 3-3-4 一軸圧縮試験結果写真

(3) 簡易スレーキング試験

簡易スレーキング試験は、乾湿の繰り返しによる岩の劣化し易さの程度を知ることを目的として、以下に示す2種類の方法で実施した。

①60℃24時間炉乾燥した試料を水中に浸水し、浸水直後から24時間後までの形状の変化を定期的に観察する。②自然状態の試料を水中に浸水し、浸水直後から24時間後までの形状の変化を定期的に観察する。

①の試験法で「強風化した池子層の砂岩（2試料）」、「新鮮な逗子層の泥岩（3試料）」、②の試験法で「強風化した池子層の砂岩（2試料）」、「新鮮な逗子層の泥岩（3試料）」について実施した。

結果一覧表を表3-3-6に示し、試験結果写真を章末資料3-13～3-14に示す。

表3-3-6 簡易スレーキング試験結果

試料	①の試験法	②の試験法
池子層砂岩 (強風化部)	<ul style="list-style-type: none">・浸水直後気泡を生じる・供試体の周囲が若干崩れる変化	<ul style="list-style-type: none">・供試体の周囲が若干崩れる変化
逗子層泥岩 (新鮮部)	<ul style="list-style-type: none">・浸水直後気泡を生じる・少数の割れ目を生じ、数個の岩片に分かれる (既存のヘアークラックが顕在化し、割れ目を生じた可能性がある)	<ul style="list-style-type: none">・変化なし

3-4 まとめと考察

3-4-1 平成13年度調査のまとめ

(1) 岩盤内部の状況

風化深度は当初想定していたよりも深く、地表線とほぼ平行に切通の底盤付近まで風化が進行している。特に切通南側の池子層砂岩は、岩盤の芯の部分においても、壁面の状況と同様に岩盤状況が悪く、岩芯まで褐色化し、割れ目密度が非常に高くなっている。

- ・切通の北側部分は、壁面の状況と同様に割れ目は少なく岩盤状況は比較的良好である。
- ・切通の南側部分は、壁面から4～5m内部の池子層砂岩においても、壁面の状況と同様に岩盤状況が悪く、岩芯まで褐色化し、割れ目密度が高くなっている。岩盤が褐色に変色した部分は地表線とほぼ平行なレベルまで達しており、切通の底盤程度の深度まで風化が進行している。
- ・岩盤の割れ目は、逗子層泥岩では細かなクラックが多く、池子層砂岩では比較的大きな割れ目が多く発達している。割れ目の方向は、「地層の傾いている方向」、「地層の面に対して高角度で交わる割れ目」の2系統が分布する。
- ・切通付近の地下水面はボーリング孔の孔底以下、すなわち切通の路盤以下である。池子層、逗子層ともに高角度の割れ目が発達しており、岩盤内の浸透水は重力の作用で下方へ流下するものと考えられる。

(2) 岩盤強度および劣化状況

切通に分布する池子層砂岩及び逗子層泥岩の岩盤分類は、強度試験結果によれば「軟岩」に分類される。また、飽和度の変化による強度には優位な差は見られない。

乾湿繰り返しによる岩盤劣化のメカニズムは、池子層砂岩が表面から砂状に若干崩れる程度であるに対し、逗子層泥岩は内部のヘアークラックが発達して小岩片に分離する。

- ・岩盤強度は、自然・湿潤・乾燥と含水状態を変化させて試験を実施した。その結果、池子層砂岩の強風化部の一軸圧縮強さは2000～4000kN/m²、逗子層泥岩の新鮮部の一軸圧縮強さは4200～6500kN/m²の範囲であった。この値は、岩盤の不均一性によるばらつきの範囲内であり、飽和度の変化による有意な差は見られなかった。強度そのものの評価（岩盤分類）は「軟岩」に分類される。
- ・スレーキング試験の結果、池子層砂岩は供試体の表面が砂状に崩れるような変化を示したのに対し、逗子層泥岩は供試体に割れ目が生じて数個の小岩片チップに分離するような変化が確認された。このことから、逗子層泥岩の劣化には乾湿繰り返しの影響が大きいことが判明した。

3-4-2 今後の課題

- ・岩盤が最も強度を発揮する飽和度を把握し、その状態を保つための保存処置を検討する必要がある。そのためには、現状の岩盤状況を把握するための環境計測が必要である。
- ・切通の南側部分は、岩盤の芯部まで風化が進行し割れ目が多く発達していることから、南側斜面（尾根全体）の安定性を向上するために岩盤全体を強化する方法を検討する必要がある。
- ・対策に関しては、室内試験での強度は尾根全体を代表するものでなく、岩石強度として捉えて検討することが望ましい。その強度からは「軟岩」に分類され、尾根全体の安定性を損なうまでの強度ではない。多く発達した割れ目が尾根の弱部と考えられ、この割れ目充填が強化対策の基本と考える。
- ・泥岩表面（表層）は自然環境として降雨や日照り（乾湿繰り返し）の影響により割れ目が生じて小岩片チップに分離することが特徴である。この表層崩落の繰り返しが当該地の逗子層泥岩の崩落のメカニズムである。この乾湿繰り返しの影響による表層崩落を防ぐための対策として、化学的な手法による強化や撥水処理が有効と考えられる。
- ・対策に関しては、表層崩落の要因となる乾湿繰り返しの影響を小さくすることである。すなわち、風化が進行している表層部の強度を増加させ、雨水の浸透を防ぐことが全体の崩落防止になると考えられる。
- ・具体的には、泥岩は間隙率^注が大きいいため、①間隙充填による基質の強化、②土粒子間の接着強化さらに③雨水浸透の防止となる撥水処理などが対策の基本と考える。
- ・そのためには、現地の岩盤に適した薬剤の検討やその有効性（施工性、浸透性など）を把握する必要がある。

注) 泥岩はシルト岩とも呼ばれ、一般的な土質分類による間隙率（全体土塊（土粒子+水+空気）に対しての空気+水の割合）は、シルト・粘土：50～60%、凝灰岩：30%、砂岩：5～30%とされている（地下水ハンドブック：建設調査会）。