

下関市庁舎等整備基本計画策定に伴う地質調査業務

地質調査報告書

平成 22 年 11 月

《 目 次 》

1. 業 務 概 要	1
1-1. 業 務 の 目 的	1
1-2. 業 務 の 概 要	1
2. 調 査 地 概 要	
2-1. 地 形 概 要	3
2-2. 地 質 概 要	4
3. 調 査 方 法	
3-1. 調 査 位 置	5
3-2. 調 査 ボーリング	6
3-3. P S 速 度 検 層	12
3-4. 室 内 岩 石 試 験	16
4. 調 査 結 果	
4-1. 調 査 ボーリング	19
4-2. 地 下 水 位	22
4-3. P S 速 度 検 層	23
4-4. 室 内 岩 石 試 験	26
5. 考 察	31

巻 末 資 料

調 査 位 置 平 面 図
地 質 断 面 図
ボーリング柱状図
P S 検 層 結 果
岩 石 試 験 結 果

写 真 集

コ ア 写 真
調査ボーリング工事写真
P S 検 層 試 験 写 真
岩 石 試 験 写 真

《 参 考 文 献 》

1. 「地盤調査の方法と解説」
地盤工学会：平成16年6月
2. 「ボーリング柱状図作成要領（案）解説書（改訂版）」
建設大臣官房技術調査室監修：平成11年5月
3. 建築構造設計指針21年度版
文部科学省大臣官房文教施設企画部
4. 「設計要領 第一集，第二集」
日本道路公団：平成10年8月
5. 「土地分類基本調査」
小倉(1973年 福岡県)
6. 日本の地質7「中国地方」
日本の地質「中国地方」編集委員会
7. 軟岩 ー調査・設計・施工の基本と事例
土木学会：平成11年3月

調査位置図

S = 1 : 25,000



1. 業務概要

1-1 業務の目的

本業務は、下関市庁舎等策定計画に伴い、基礎工の設計に必要な基礎資料を得ること目的として、オールコア調査ボーリング、P S 検層および室内岩石試験を実施したものである。

1-2 業務の概要

(1) 業務名称：下関市庁舎等整備基本計画策定に伴う地質調査業務

(2) 業務場所：下関市南部町 1 番 3 号 教育委員会棟前駐車場内

(3) 業務内容：

【地質調査業務】

(調査ボーリング)

・ オールコア，孔径,66mm 2 箇所 : 20.0m

(原位置試験)

・ P S 検層 : 20m

(室内試験)

・ 岩石試験 : 1 式

(調査数量の詳細は、表 1.1.1 に示す。)

(4) 工 期：平成 22 年 9 月 日
平成 22 年 11 月 26 日

(5) 委 託 者：山口県 下関市建設部建築住宅課

(6) 施 工：株式会社 千代田コンサルタント 山口営業所
〒750-0006 下関市南部町 25-3

TEL 083-228-2736

FAX 083-228-2737

監理技術者 福岡弘文

担当技術者 古賀智利

須本宏幸

表 1.1.1 調査数量

Bor No	ボーリング (m) ϕ 66mm			P S 検層 (回)	一軸圧縮試験 (試料)	超音波伝播 速度試験 (試料)
	礫 混 じり 土	軟岩	計			
Bor No. 1	1.1	8.9	10.0	10	3	3
Bor No. 2	0.5	9.5	10.0	10	3	3
合計	1.6	18.4	20.0	20	6	3

2. 調査地概要

2-1 地形概要

調査地は海岸低地との境に当り、唐泊漁港から約 300m 北方に上った標高約 10m の教育委員会棟前駐車場内（下関市南部町 1 番 3 号）である。

調査地のある下関市は、ほとんどが丘陵地で占められており、低地は小河川によって解析された小さな谷底平野と海岸沿いに広がる狭小な海岸平野のみで、関門海峡に面した平野部は、そのほとんどが市街地となっている。

調査地の周辺にある下関丘陵は、標高 100m 前後の丘陵で、彦島丘陵とともに下関市街の大部分を占めている。下関丘陵地の西側には古第三紀層を基盤とする標高 30m 程度の垢田台地が分布し、下関丘陵に周りを囲まれている。

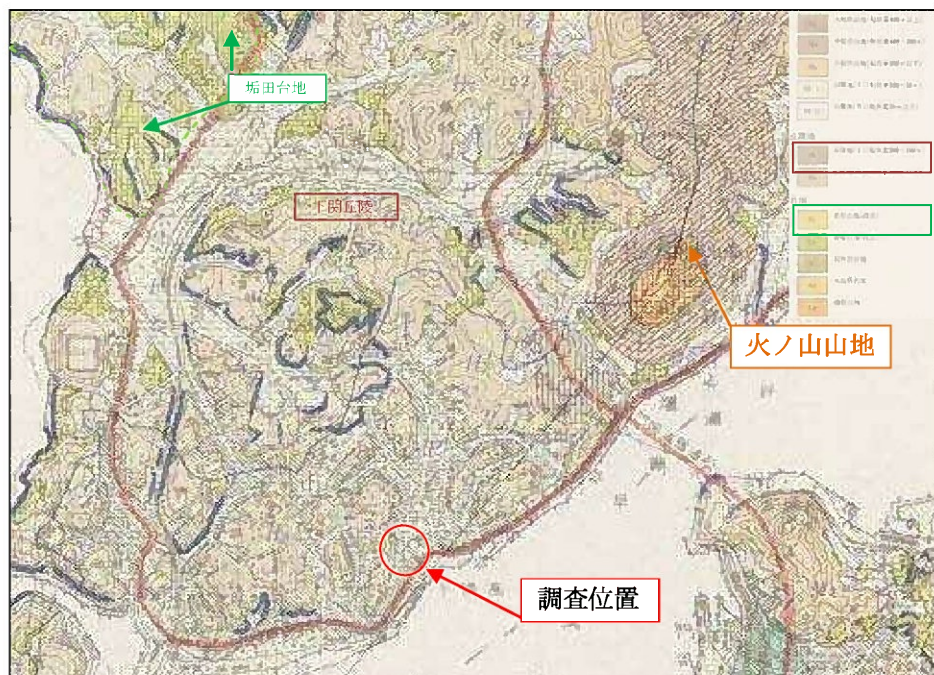


図 2.1.1 調査地周辺の地形



図 2.1.2 調査地周辺の地勢図

2-2 地質概要

調査地のある下関丘陵は古第三系や中生代の地層で形成され、調査地周辺では中生代の関門層群が分布する。関門層群は、層序・岩相・化石などの著しい相違により下位の脇野亜層群、上位の下関亜層群に分けられ、両者は不整合関係で接している。

脇野亜層群は主に湖成層からなり、含まれる化石は貝が多く、植物化石は極めて少ない。本層は主に層理の発達した砂岩、泥岩、礫岩よりなり、脇野湖と呼ばれる湖水成の堆積物と考えられ、4つの堆積サイクル（下位より千石層・如来田層・下部若宮層・上部若宮層）がみられる。

調査地のボーリングによって確認された下関亜層群は山口県の北西部の豊浦郡豊田町・豊北町から長門市・太津郡三隅町・萩市にかけても連続的に分布しており、下位から塩浜層・北彦島層・筋ヶ浜層・福江層に分けられている。脇野亜層群との大きな違いは火山岩類が発達し、礫岩、砂岩、泥岩のほかに安山岩～デイサイト質の火砕岩や溶岩が多く挟まれるようになり、岩相の変化が顕著となる。また、火山物質の富む下関亜層群では層理があまり発達せず塊状の外観を示すことがある。

ボーリングコア観察によると、1m前後の表層部には赤色や黒色の雑多な礫を含む凝灰角礫岩が分布しており、その下位には不規則な節理により硬い小塊状にブロック化された輝緑凝灰岩が認められた。潜在的な亀裂により容易に岩片～半割状に分離する箇所があり、亀裂の密着度により岩盤の強度が規制される岩盤と推察される。

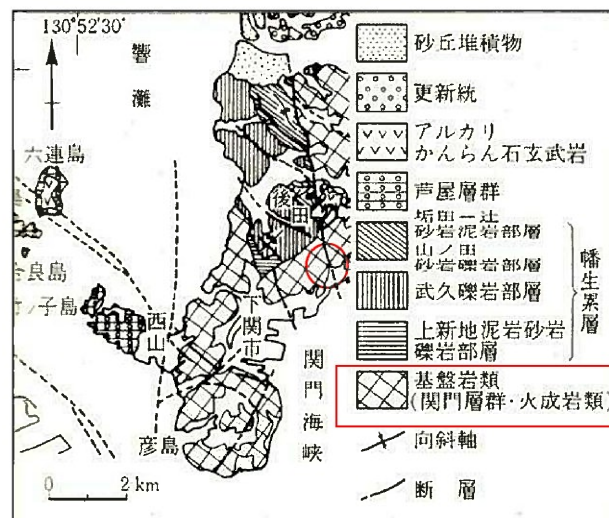


図 2.2.1 下関付近の地質分布

3. 調査方法

3-1 調査位置

調査位置については、監督員との協議・結果に基づき、巻末の「調査位置図」に示す2箇所において調査ボーリングを実施した。

以下、ボーリング地点の孔口標高及び掘削深度を表3.1.1に示す。

表3.1.1 調査地点一覧表

Bor No.	地盤標高 (m)	調査深度 (GL-m)
1	12.25	10.0
2	12.33	10.0

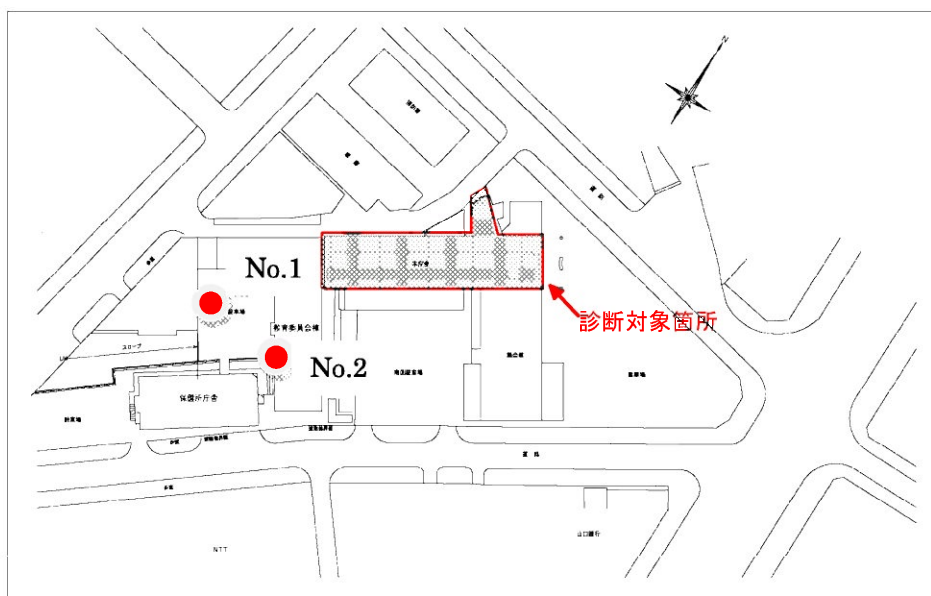


図 3.1.1 ボーリング調査位置

3-2 調査ボーリング

オールコア調査ボーリングの標準掘削孔径は $\phi 66\text{mm}$ とし、地盤状況に応じて無水・送水掘りの併用で実施した。崩壊性地盤に対しては、主に $\phi 86\text{mm}$ のケーシングパイプを地層中に挿入し、孔壁の保護に努めるとともに、掘削に際しては、スライムの種類、排水色の変化、掘削速度、ロッドの感触、掘削器材などの反応をできるだけ詳細に観察・記録し、地層の変化に注意しながら所定の深度まで掘削した。また、掘進中は、地下水位の変化、湧水の有無、漏水量などを測定・記録した。

調査地点の調査終了深度は、調査目的を十分理解・把握し、発注者との打合わせ、承諾を得た上で終了し、過不足のないようにした。

図 3.2.1 にボーリング装置一般図を、図 3.2.2 に足場仮設状況概略図を示す。

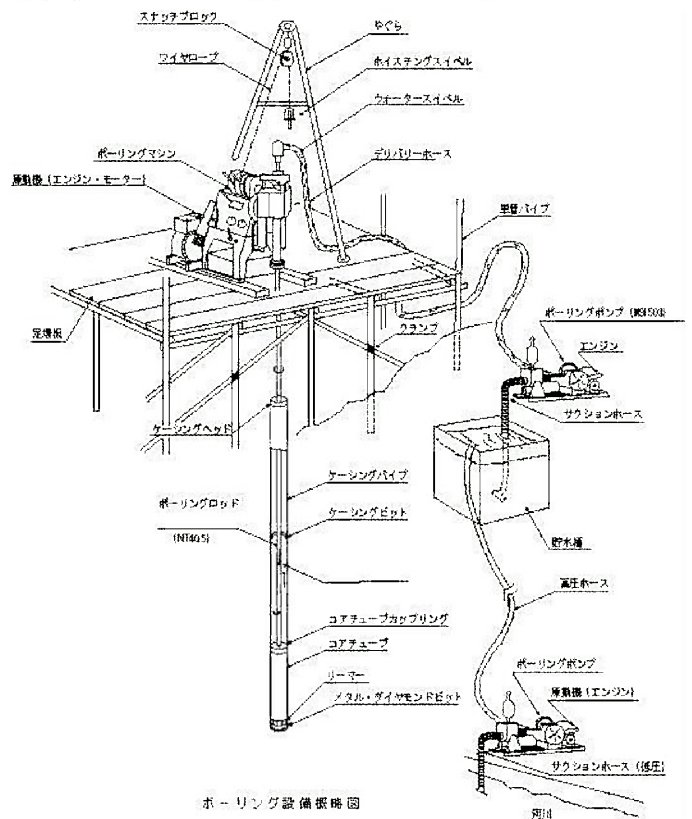
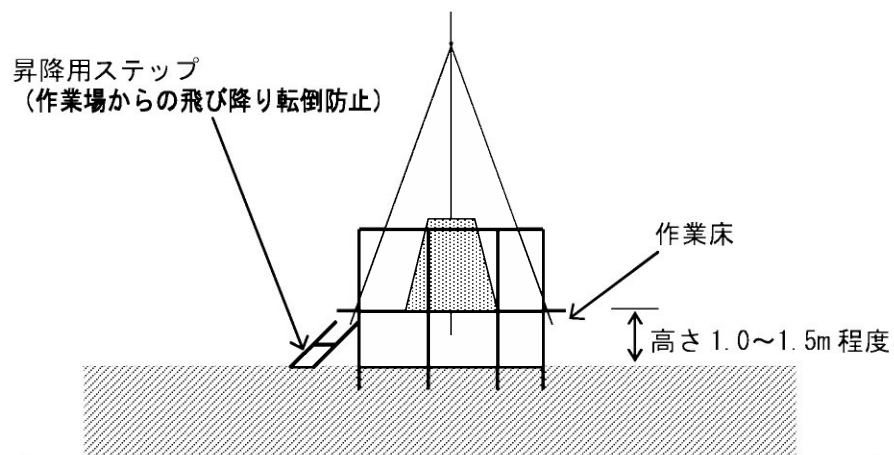


図 3.2.1 ボーリング装置一般図



- ・ 足場を十分固定させる。
- ・ クランプ（締め付け部）にはカバーを設置する。
- ・ 作業場からの転落防止策として、手すりを設置する。
- ・ 作業場から飛び降り転倒ないように昇降用ステップを設置する。

鉛直下方ボーリング

図 3.2.2 足場仮設状況

ボーリング試料整理

調査ボーリングにより採取されたコアサンプルは、1m×5列=5m分を一箱に入れて整理を行った。

また、採取試料は、所定の様式(JACIC)に沿って岩盤の性状及び掘進時の状況をまとめ、コアの区分及び判定については次の基準に従って実施した。

観察結果を巻末の柱状図と断面図に示す。

① 硬 軟

コアの硬軟については、それぞれのコアの代表部分についてのハンマー打撃によって岩片の硬軟を判定するもので、表 3.2.1 の基準をもとに判定し、記号で記入する。

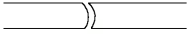
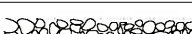
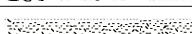
表 3.2.1 コア硬軟区分判定表

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。

② コアの形状

コア形状については、主に割れ目頻度を表現するもので、表 3.2.2 の判定表によって区分し、記号で記入する。

表 3.2.2 コア形状区分判定表

記号	模 式 図	コ ア 形 状
I		長さ50cm以上の棒状コア
II		長さ50～15cmの棒状コア
III		長さ15～5cmの棒状～片状コア
IV		長さ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		コアの採取ができないもの。スライムも含む（記事欄に理由を書く）

③ コア割れ目状態

コア割れ目状態については、表 3.2.3 の判定によって区分し、記号で記入する。

表 3.2.3 コア割れ目状態判定表

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。

④ 風化の程度

風化については、岩種，風化時の環境条件によって風化状況が異なり一律に区分することができないので、以下に示す区分表に基づき、区分記号を記入した。

表 3.2.4 風化区分表(泥質岩)

記号	泥質岩の風化区分
α	非常に新鮮である。造岩鉱物の変質は全くない。
β	新鮮である。層理面・片理面に沿って僅かに変色があり割れやすい。
γ	弱風化している。層理面・片理面に沿って風化している。
δ	風化している。岩芯まで風化している。ハンマーで簡単に崩せる。
ε	強風化している。黄褐色化し、指先で簡単に崩せる。

⑤ 変質

変質については、変質が認められる場合に記入するが、変質を被った岩種，変質作用の種類によって、変質状況が著しく異なることが多く一律に区分することは難しいので、表 3.6.5 に示す区分表に基づき、区分記号を柱状図に記入した。

表 3.2.5 変質区分表

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	源岩組織を完全に残し，変質程度（脱色）が低いもの。あるいは非変質部の割合が高いもの（肉眼で 50%以上）。
3	中変質	肉眼で変質が進んでいると判定できるが，原岩組織を明らかに残し，原岩判定が容易なもの。または非変質部を残すもの及び網状変質部。
4	強変質	構成鉱物，岩片等が変質鉱物で完全置換され，源岩組織を全く～殆ど残さないもの。

⑥ コア採取率，最大コア長，RQD

コア採取率はサンプラー引き上げ毎，最大コア長・RQD は1m区間での値をグラフに示し、数値を併記する。個々のコアの長さはコアの中心線上で測定する。

コア採取率は、掘削水の種類，給圧，回転数，特に岩盤ボーリングの場合サンプラーの種類によって異なるが、近年ダブルコアチューブの内側に薄いビニール製の筒を装着することによって、コア詰まりをなくすことにより、大幅なコア採取率の上昇が認められるようになって来た。従って、コア採取率はサンプラーの種類，掘削方法に大きく影響されることに注意しなければならない。

最大コア長は、長いほど良好なコアといえる。ここではとりあえず1 m毎の最大コア長としたが、これはコア箱収納時にコアを分断するため、1掘進長当たりの最大コア長でもよいとされている。

RQD は、岩盤の良否を示す指数で、次のようにして求められる。

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

表 3.2.6 RQDによる岩盤の分類(Deer 他, 1967)

RQD (%) の範囲	岩盤の良好度区分
0～25	非常に悪い
25～50	悪 い
50～75	大体良好
75～90	良 好
90～100	非常に良好

ボーリング柱状図作成要領（案）解説書「建設大臣官房技術調査室監修
（財）日本建設情報総合センター」p17

⑦ 岩級区分

支持地盤その他の良否を判定する基準として下表の岩級区分があり、ここではこの分類に沿って、各ボーリングコアの評価を行った。

表 3.4.7 岩級区分(電研式岩盤等級区分基準：田中，1964)

「岩級分類（日本応用地質学会）」

岩盤等級	特 徴
A	きわめて新鮮なもので造岩鉱物及び粒子は、風化，変質を受けていない。キレツ，節理はよく密着し，それらの面に沿って風化の跡は見られないもの。ハンマーによって打診すれば澄んだ音を出す。
B	岩質堅硬で開口した（たとえ 1 mm でも）キレツあるいは節理はなく，よく密着している。ただし造岩鉱物および粒子は部分的に多少風化，変質が見られる。ハンマーによって打診すれば澄んだ音を出す。
C _H	造岩鉱物および粒子は石英を除けば風化作用を受けてはいるが岩質は比較的堅硬である。一般に褐鉄鉱などに汚染せられ，節理あるいはキレツの間の粘着力はわずかに減少しており，ハンマーの強打によって割れ目に沿って岩塊が剥脱し，剥脱面には粘土質物質の薄層が残留することがある。ハンマーによって打診すれば少し濁った音を出す。造岩鉱物および粒子は石英を除けば風化作用を受けて多少軟質化しており，岩質も多少軟らかくなっている。
C _M	節理あるいはキレツの間の粘着力は多少減少しておりハンマーの普通程度の打撃によって，割れ目に沿って岩塊が剥脱し，剥脱面には粘土質物質の層が残留することがある。ハンマーによって打診すれば多少濁った音を出す。
C _L	造岩鉱物および粒子は風化作用を受けて軟質化しており岩質も軟らかくなっている。節理あるいはキレツの間の粘着力は減少しており，ハンマーの軽打によって割れ目に沿って岩塊が剥脱し，剥脱面には粘土質物質が残留する。ハンマーによって打診すれば濁った音を出す。
D	造岩鉱物および粒子は風化作用を受けて著しく軟質化しており岩質も著しく軟らかい節理あるいはキレツの間の粘着力はほとんどなく，ハンマーによってわずかな打撃を与えるだけでくずれ落ちる。剥脱面には粘土質物質が残留する。ハンマーによって打診すれば著しく濁った音を出す。

3-3 P S速度検層（板たたき法）

(1) 測定原理

ボーリング孔内付近の地表でP波及びS波を発生させ、孔内にセットした受信器に到達する時間を測定してそれぞれP波速度 V_p とS波速度 V_s を求める。通常、地盤は層状をなしているので各層の速度が異なることが予想され、これを求めるためには、孔中の受信器を順次深さ方向に移動させながら波の到達時間を求め、走時曲線を作成することで得られる。

(2) 使用機器

使用機器は起振装置、測定・記録装置及び補助用具等を用いる。

① 起振装置

P波用—重錐又はカケヤ等

S波用—板(150*30*20cm)とカケヤ

② 受信器

地上でのショットマーク用及び孔中受信器（ボアホールピックアップ）

③ 増幅器及び記録器

増幅器（3成分以上）、記録器（フロッピディスク、電磁磁 オシログラフ等）

④ 補助用具

電源（バッテリー）、窒素ボンベ等

上記の使用機器を表 3.3.1 に示す。また、P S検層実施模式図を図 3.3.1 に示す。

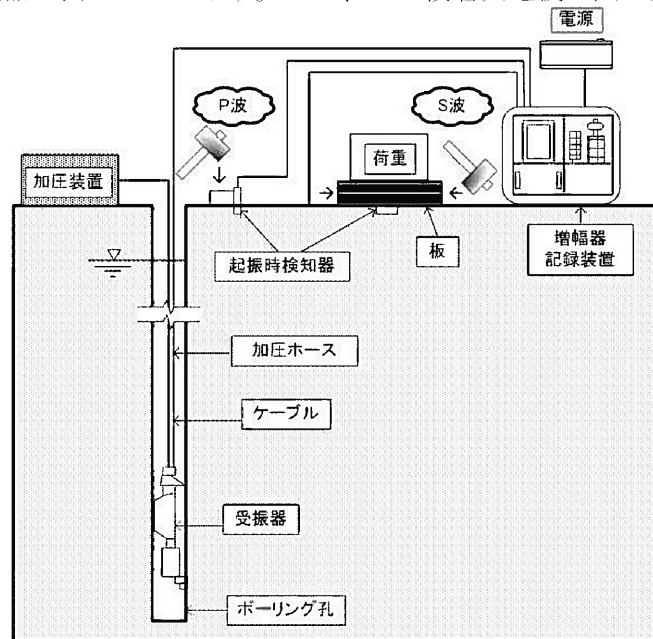


図 3.3.1 P S検層実施模式図

表 3.3.1 P S 速度検層使用機器一覧表

用 途	名 称	メーカ	型 式	規 格・性 能
起振位置	カケヤ	市販物		重量約 5 k g
	板			サイズ 150cm*30cm*20cm
測定・起振装置	孔内受信器	応用地質	MODEL-3315	上下1成分、水平動2成分 固有振動数 28Hz ゴムパッカー圧着式 適応孔径 56mm120mm
	増幅器 及び 記録装置	応用地質	McSeis170f	測定 ch： 1ch～24ch 帯域幅： 5Hz～1KHz 記録長：50.100.200.500.1000msec 周波数：20K.10K.5K.2K.1KHz 記録方式：フロッピーディスク
その他		市販物		バッテリー 窒素ポンペ。記録紙 フロッピーディスク、他

(3) 測定方法

測定手順の概略を以下に示す。

- ① 孔内受信器（ボアホルピックアップ）を所定の深度にセットする。受信器を孔内で固定するには地上から窒素ガスを供給し、ゴムパッカーを膨らませて孔壁に圧着することで行う。
- ② P波の起振はカケヤ又は重錐等で地表に衝撃を与えることで行う。受信器で受信された信号（波形）が小さい場合はスタキングを使い明瞭な波形が得られるまで起振を続ける。
- ③ S波の起振はボーリング孔付近の地面に設置した板をカケヤで水平にたたくことで行い、受信器で受信された信号（波形）が小さい場合はスタキングを使い明瞭な波形が得られるまで起振を続ける。
- ④ 孔内受信器を次の深度にセットして①からの手順を繰り返す。

(4) 解析方法

通常以下の図表に整理される。

- ① 速度深度別のP波とS波の波形
「記録波形図」として整理する。
- ② P波とS波の読み取り表
「記録波形図」からP波の初動、S波の反転している波形の中心の時間を読み取り、震源距離を補正する補正係数を乗じたものを算出する。「PS 検層読み取り表」として整理する。

③ 走時曲線

②で算出された補正走時を深度毎に作図したもので、この傾きがすなわちP波速度 V_p 、S波速度 V_s として得られ、最少二乗法によって速度を求める。

(5) 記録波形の作図

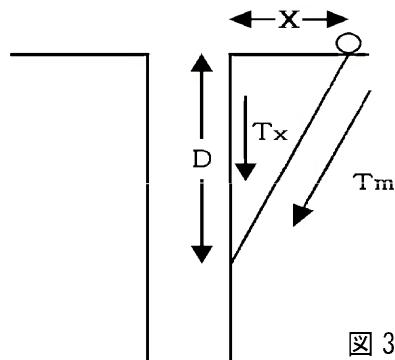
各深度毎に測定されたP波及びS波の波形はフロッピーディスクに記録されており、ここから専用のプログラムを用いて記録波形を作成する。

(6) 波形の読み取り

P波は PrimarWave の略で一番最初に到達する波としていられている。したがって、記録波形の最初の初動を見つけこれをP波の到達時間とする。S波は SecondarWave の略で二番目に到達するという意味だが、P波と違って判別が難しい、そこで測定時に起振方向が180度異なる（右たたき、左たたき等という）波形を測定しておき、これを重ね合わせることで、反転している場所を特定し、S波を判別している。

(7) 走時の補正

起振を孔口で行えば、記録波形から読み取った走時そのまま使用して走時曲線を作図できるが、実際には現場での作業スペースの問題で起振点を孔口から1～3m程度離して行うのが一般的である（図3.3.2に示す）。したがって、次の走時の補正が必要となる。パス計算の手法は色々あるが、最もシンプルで実用性の高い単純パス（斜距離補正）で補正を行っている。補正式を以下に示す。



$$T_x = \frac{D}{\sqrt{D^2 + X^2}} \times T_m$$

T_x = 補正走時

T_m = 測定走時

X = 振源距離

D = 測定深度

(8) 走時曲線の作成

得られた補正走時を、縦軸に深度、横軸に時間として図化することで走時曲線が得られる。この走時曲線からボーリング柱状図を参考して、各層毎に速度層を区分する。区間速度の計算は以下のように2通であり、当結果は最小に乘法によって計算している。

① 平均計算法

簡単な計算方法ですが、走時曲線を直線近似できる部分毎に分割する、これらの直線の勾配から各速度層毎の弾性波速度が求まる。

② 最小二乗法

最小二乗法によって速度決めた場合は

D : 測定深度 m

T_x : 補正走時 m s e c

$$\diamond = \frac{n \sum (D T_x) - \sum D \sum T_x}{n \sum D^2 - (\sum D)^2}$$

としたときの直線 $T_x = v D + b$ を最小二乗法で計算する。この式の v (単位 msec/m) を一回逆数して、区間速度 $V = 1 / v$ (単位 m/msec $\rightarrow$ km/sec) となる。

「P S 検層走時曲線走時読み取り時間表」では走時の表示桁数が 2 行になっているため、走時補正を行うので、計算機内部では、有効 6 桁で扱うものとして、小数 4 桁程度の値を持つことになる。そのため、時間表に出力されている走時で速度を手計算すると、結果図で示される速度とは、若干異なる場合がある。

また、走時は地盤状況、測定状況、初動読み取り誤差などにより、ある程度の誤差を含むことになる。そこで、最小二乗法を用いることにより走時の残差を最小するように計算するが、より正確な値を求めることができる。

3-4 室内岩石試験

(1) 岩石の一軸圧縮試験 (JISM 0302)

円柱や角柱に整形した岩石供試体に、軸方向のみ圧縮力を加えて試験を行う最も頻繁に行われる試験の一つである。

供試体の形状は、円柱あるいは正四角柱とし、縦横比を **2** 前後とする。円柱供試体の直径は **20～100mm** とし、正四角柱供試体の一辺の長さは **20～70mm** とする。

試験は、供試体を試験機加圧板の中央に置き、供試体、加圧板、試験機を中心線が一致するように注意し、加圧板と供試体の端面が一樣に接するようにする。荷重は、滑らかに増加するように加え、破壊するまでの時間は、**1～15 分間** とする。供試体が破壊するまでに試験機が示した最大荷重を有効数字 **3** 桁まで測定する。

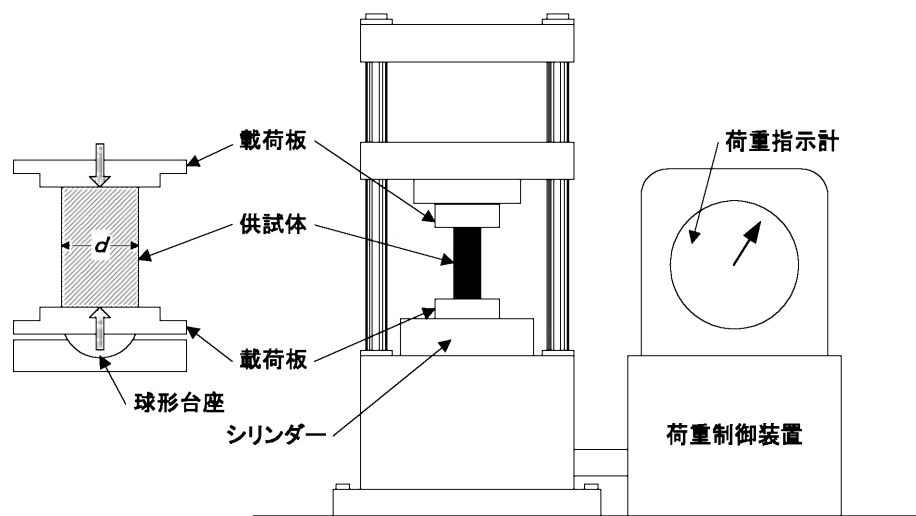


図 3.4.1 岩石の一軸圧縮試験装置図

供試体の一軸圧縮強度 σ_c は、次式より求められる。

a) 円柱供試体の場合

$$\sigma_c = \frac{4P}{\pi d^2} \quad (\text{kN/m}^2) \{ \text{kgf/cm}^2 \}$$

b) 正四角柱供試体の場合

$$\sigma_c = \frac{P}{a^2} \quad (\text{kN/m}^2) \{ \text{kgf/cm}^2 \}$$

ここに、
 σ_c : 一軸圧縮強度 $(\text{kN/m}^2) \{ \text{kgf/cm}^2 \}$
 P : 試験機が示した最大荷重 $(\text{N}) \{ \text{kgf} \}$
 d : 円柱供試体の直径 $(\text{m}) \{ \text{cm} \}$
 a : 正四角柱供試体の一辺の長さ $(\text{m}) \{ \text{cm} \}$

(2) 超音波速度試験 (KDK S 0503)

超音波速度試験は、岩石の動的な特性を把握するために、超音波を利用して伝播速度を求めることを目的としている。岩石の内部を伝播する弾性波には、P波とS波があり、その速度は岩石のヤング率、剛性率、動ポアソン比および密度に大きく依存している。

この試験は、超音波パルスを岩石試料端で発振し、他端で透過したパルスを受振するもので、パルスの伝播(透過)時間から速度を算出する。

1) 試験方法

- ノギスなどを用いて岩石供試体の長さを **0.1mm** 以下まで計測する。
- 発振子と受振子を直接接触させ、零位置を決める。
- 発振子と受振子との間に岩石供試体を挟み、P波の測定では、振動子と供試体がよく密着するように、少量のグリースなどを塗布する。透過時間は少なくとも **0.1 μ s** までは読みとる。
- 振動子と供試体との接着圧は **49kN/m²{0.5kgf/cm²}**以下とする。
- 測定においては、同一供試体に対し、発振と受振の位置を正逆 **2** 通りに入れ替え、両者の測定値が **5%**以上相違するときには、再度測定を行う。

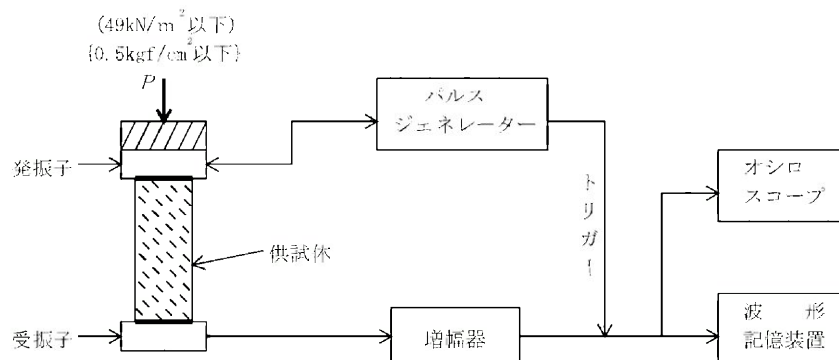


図 3.4.2 透過式超音波速度試験システム図

2) 試験結果の整理

試験結果は、供試体の長さ L (cm)と透過時間 t (μ s)から次式によりP波およびS波の速度 V_p , V_s (cm/s)を有効数字3桁まで求める。

$$V_p, V_s = \frac{L}{t} \times 10^6 \quad (\text{cm/s})$$

ここに、
 V_p : P波速度 (cm/s)
 V_s : S波速度 (cm/s)
 L : 供試体の長さ (cm)
 t : 透過時間 (μ s)

また、弾性体の理論では、速度と弾性定数(ヤング率 E_d ，剛性率 G_d ，動ポアソン比 ν_d)とは次の関係にある。

$$\text{P波速度 } V_p^2 = \frac{E_d}{\rho_t} \cdot \frac{(1 - \nu_d)}{(1 + \nu_d)(1 - 2\nu_d)}$$

$$\text{S波速度 } V_s^2 = \frac{G_d}{\rho_t}$$

ここに、

ν_d : 動ポアソン比	
G_d : 剛性率	(kN/m ²) {kgf/cm ² }
E_d : ヤング率	(kN/m ²) {kgf/cm ² }
ρ_t : 供試体の密度	(g/cm ³)

したがって、動的な弾性定数は測定から得られる V_p 、 V_s (cm/s)を用い、密度を ρ_t (g/cm³)とすると、次式から求められる。

$$\text{動ポアソン比 } \nu_d = \frac{(V_p^2 / V_s^2) - 2}{2(V_p^2 / V_s^2 - 1)}$$

$$\begin{aligned} \text{剛性率 } G_d &= \frac{\rho_t \cdot V_s^2}{1.0 \times 10^4} && (\text{kN/m}^2) \\ &= \frac{\rho_t \cdot V_s^2}{9.8 \times 10^5} && \{\text{kgf/cm}^2\} \end{aligned}$$

$$\text{ヤング率 } E_d = 2(1 + \nu_d) \cdot G_d \quad (\text{kN/m}^2) \{\text{kgf/cm}^2\}$$

4 調査・試験結果

4-1 調査ボーリング結果

今回実施した調査ボーリングのコア鑑定結果は、巻末の「ボーリング柱状図」に記載し、巻末に添付する。今回のボーリング調査で確認した地質は、上位より表 4.1.1 のように区分される。

表 4.1.1 調査地の地質区分

地質時代	地層	記号		土・岩質区分	記 事
現 世	盛 土	b		砂 礫	簡易舗装の路盤・碎石 φ 30～50mm の硬質角礫含む。
中生代 白亜紀	関門層群	下関亜層群	Tb	土砂～軟岩	表層部に 1m 前後の厚さで分布する。 一部は礫混じりシルト状に風化している。
			Schal	軟 岩	見かけ上は長柱状～棒状のコアをなす部分もあるが、潜在する不規則な節理によりハンマー軽打で容易に岩片状に分離される箇所がある。

以下、各地層について説明する。

BorNo. 1

(1) 盛土層 b 0.0~0.50m

上部 30cm は簡易舗装。

深さ 0.30~0.50m まではφ50mm の硬質礫主体。

(2) 凝灰角礫岩 Tb (土砂~軟岩) 0.50~2.00m

上部 50cm 程度は、礫混じり土砂状に風化している箇所がある。

全体に基質部分はやや風化され、褐色味を帯びている。

(3) 輝緑凝灰岩 Schal (軟岩) 2.0~10.0m

長柱状コアで採取され、所によっては棒状コアをなすが、全体に不規則な節理により硬い角礫状にブロック化している。開口した亀裂には赤褐色の粘土を挟む。

表 4.1.2 No. 1 孔の RQD

地層	深さ (m)	RQD (%)		岩盤の良好度区分 表 3.2.6 より
		各深度の値	平均値	
凝灰角礫岩	1~2	15	15	非常に悪い
輝緑凝灰岩	2~3	38	39	悪い
	3~4	52		大体良好
	4~5	36		悪い
	5~6	0		非常に悪い
	6~7	36		悪い
	7~8	37		悪い
	8~9	58		大体良好
	9~10	59		大体良好



BorNo. 2

(1) 盛土層 b 0.0～0.50m

深さ 0.30～0.50m まではφ50mm の硬質礫主体。

(2) 凝灰角礫岩 Tb(土砂～軟岩) 0.50～1.20m

棒状コアをなすが、基質の火山灰はコア表面が採取時に洗われて角礫が表面に突出したようになっている。

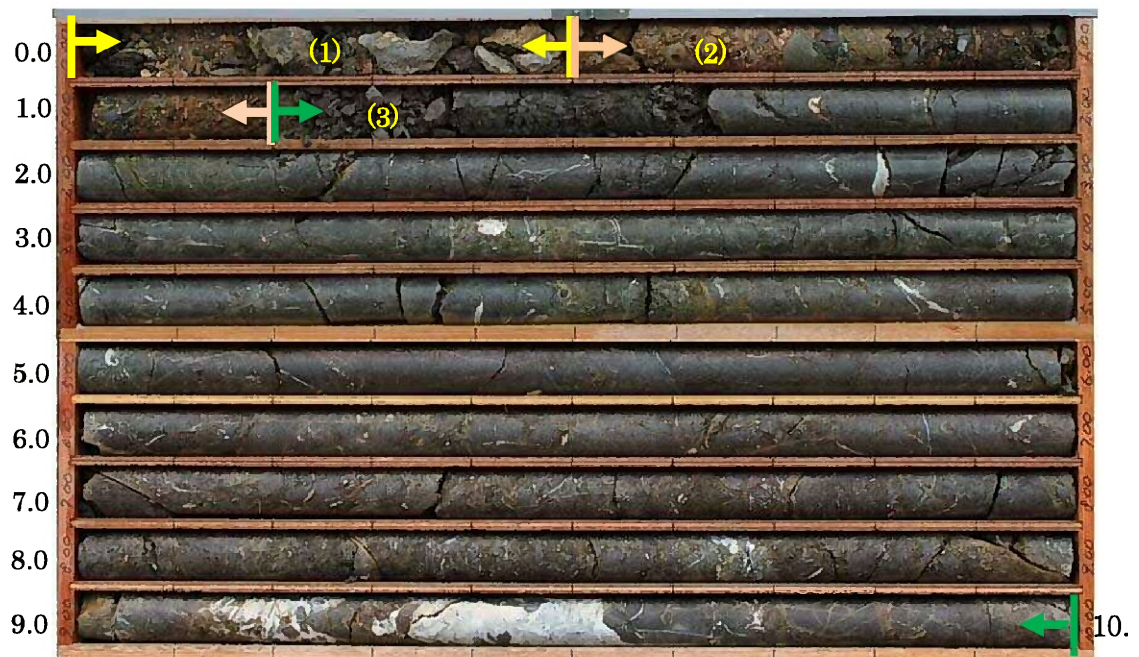
(3) 輝緑凝灰岩 Schal(軟岩) 1.20～10.0m

1.2～1.6m 間は、亀裂が発達し、角礫状にほぐれやすくなっている。

不規則に分布する節理により角礫状にブロック化している。コア肌滑らかな硬い部分があるが、亀裂沿いに褐色風化が進行している部分では、コア肌が粗く、脆くなっている。節理沿いに方解石や石英の充填物が白い筋模様や小塊状に分布する。9～10m 間は、棒状コアで採取されるも不規則な節理に沿って褐色風化が進み、ハンマー打撃で角礫状に分離しやすくなっている。

表 4.1.3 No. 2 孔の RQD

地層	深さ(m)	RQD (%)		岩盤の良好度区分 表 3.2.6 より
		各深度の値	平均値	
凝灰角礫岩	0.5～1	44	44	悪い
輝緑凝灰岩	1～2	11	43	非常に悪い
	2～3	17		非常に悪い
	3～4	23		非常に悪い
	4～5	77		良好
	5～6	85		良好
	6～7	21		非常に悪い
	7～8	77		良好
	8～9	61		大体良好
	9～10	23		非常に悪い



4－2．地下水位

孔内水位測定結果を表 4. 2. 1 に示す。

2 孔ともに上部 1 m 前後に凝灰角礫岩がのり、下位に輝緑凝灰岩が分布する地層構成で岩盤の亀裂もほぼ同様の状況である。開口した亀裂の分布や量ともに似た性状であるため、地下水位の分布状況も似に通ったものとなっている。

表 4. 2. 1 孔内水位測定結果 (H. 22. 10/8～14)

Bor No	作業期間	孔口標高 m	掘削完了後の水位 GL- m
1	10/8～10/11	+12. 25	4. 70
2	10/11～10/14	+12. 33	4. 70

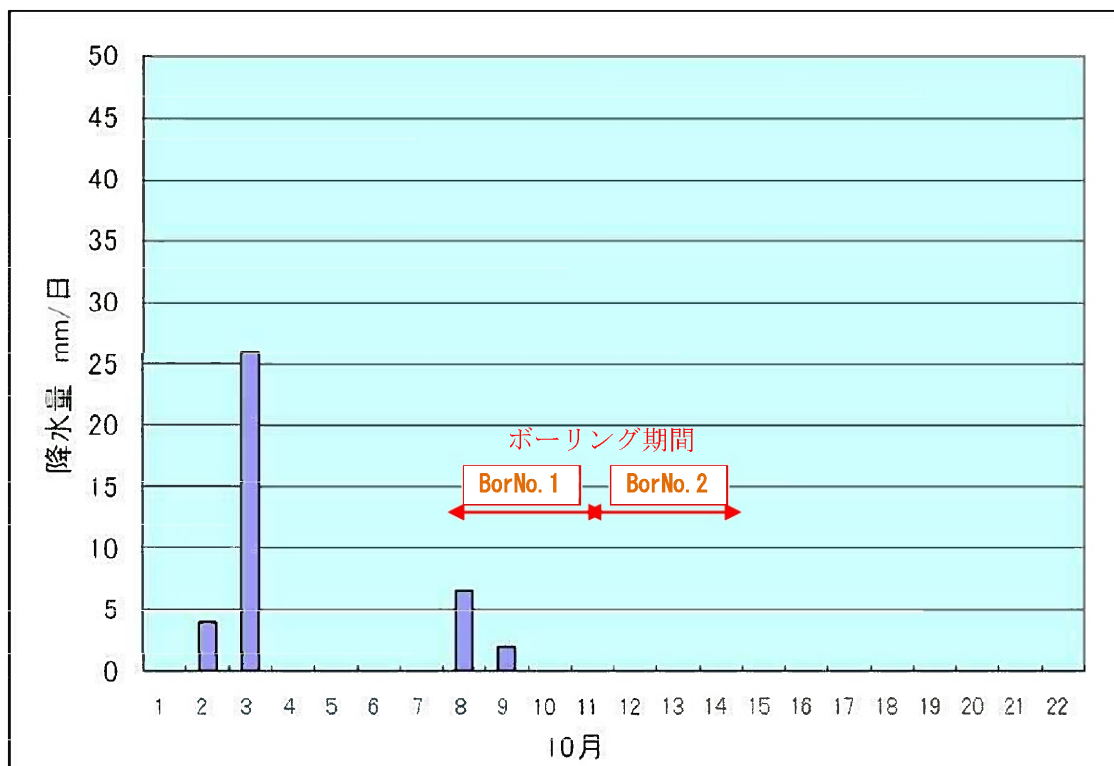


図 4. 2. 1 下関（気象庁）の平成 22 年 10 月降水量

4-3. P S 速度検層

図 4.3.1 と図 4.3.2 にボーリングコアと併せて速度検層結果図を示す。

P 波速度 (V_p) は、両孔ともに深さ 5 m 付近で値が変化している。これは P 波が水の影響を受け、過大な値となるためで、深さ 5 m は孔内水位の分布する深さである。S 波 (V_s) は水の影響を受けないため、孔内水位付近で値は変化せず、柱状図区分に整合した値を示している。表 4.3.3 に示す輝緑凝灰岩の参考値よりも小さな値を示すのは割れ目が多く脆弱な岩質となっていることが原因と思われる。

以上のことから速度検層結果は柱状図区分と整合した結果を示しており、妥当な速度検層結果と判断される。

表 4.3.1 No. 1 孔の試験結果

各層の平均			土質性状	Vp	Vs	密度	動ポアソン比	剛性率	ヤング率
(m)				(m/s)	(m/s)	(g/cm ³)	(ν)	(kN/m ²)	(kN/m ²)
0.00	-	1.10	強風化凝灰角礫岩など	530	220	—	0.396	—	—
1.10	-	2.00	風化凝灰角礫岩	890	490	—	0.283	—	—
2.00	-	5.00	輝緑凝灰岩	1600	770	2.67	0.349	1580100	4264000
5.00	-	10.00	輝緑凝灰岩	2070	770	2.67	0.420		4486600

表 4.3.2 No. 2 孔の試験結果

各層の平均			土質性状	Vp	Vs	密度	動ポアソン比	剛性率	ヤング率
(m)				(m/s)	(m/s)	(g/cm³)	(ν)	(kN/m²)	(kN/m²)
0.00	－	1.20	強風化凝灰角礫岩など	420	230	－	0.286	－	－
1.20	－	4.70	輝緑凝灰岩	1670	820	2.67	0.341	1791900	4806400
4.70	－	10.00	輝緑凝灰岩	2180	820	2.67	0.418		5080400

表 4.3.3 輝緑凝灰岩の弾性波測度(参考)

名 称			速 度 (km/sec)							名 称			速 度 (km/sec)						
			1	2	3	4	5	6	7				1	2	3	4	5	6	7
火 成 岩	深成岩	花崗岩								沖積層・洪積層	表土								
		閃緑岩									堆積層								
	成岩	花崗岩								第三紀層	頁岩								
		輝緑岩									砂岩								
変 成 岩	火山岩	玄武岩								中生層・古生層	凝灰岩								
		流紋岩									砂岩								
	変成岩	千枚岩									硬砂岩								
		片麻岩									輝緑凝灰岩								

—— 硬岩およびやや割れ目がある場合

----- 普通程度に割れ目が多いか、または風化した場合

岩石・岩盤図鑑「三木幸蔵、古谷正和」 1997

P S 検層結果柱状図

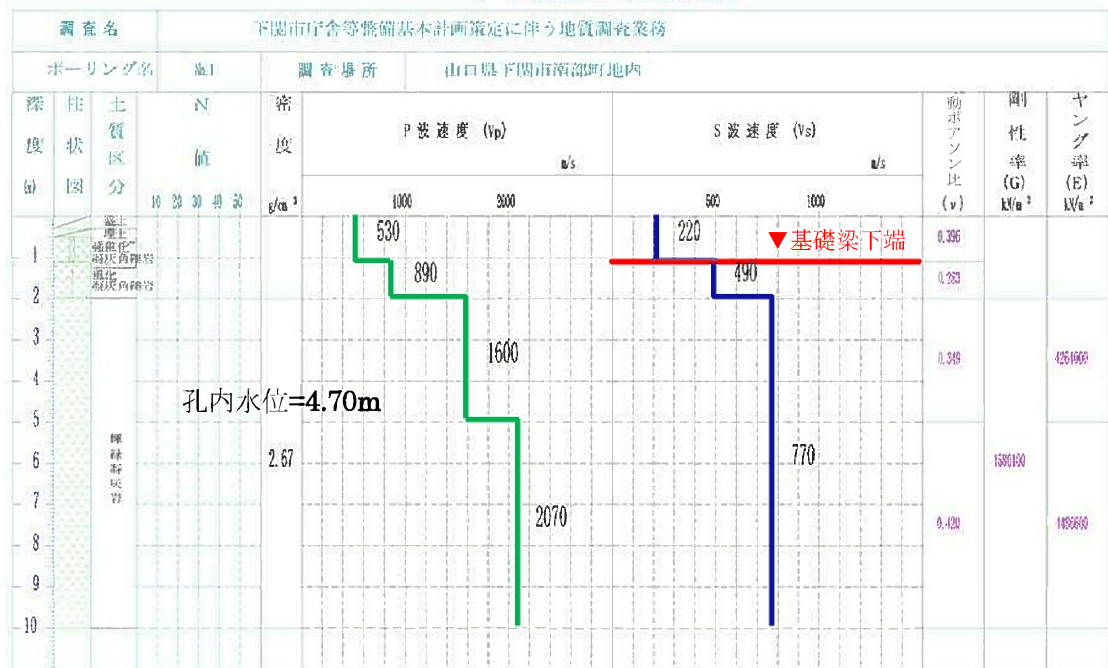


図 4.3.1 No. 1 孔 速度検層結果図

P S 検層結果柱状図

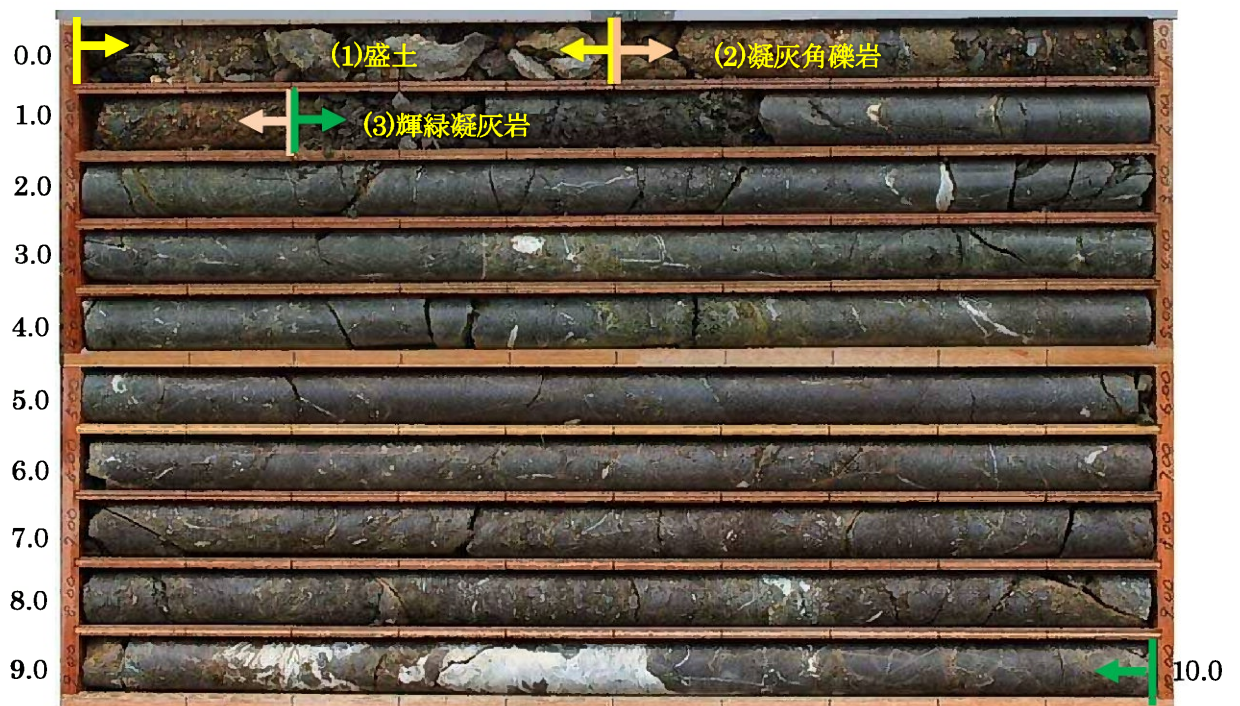
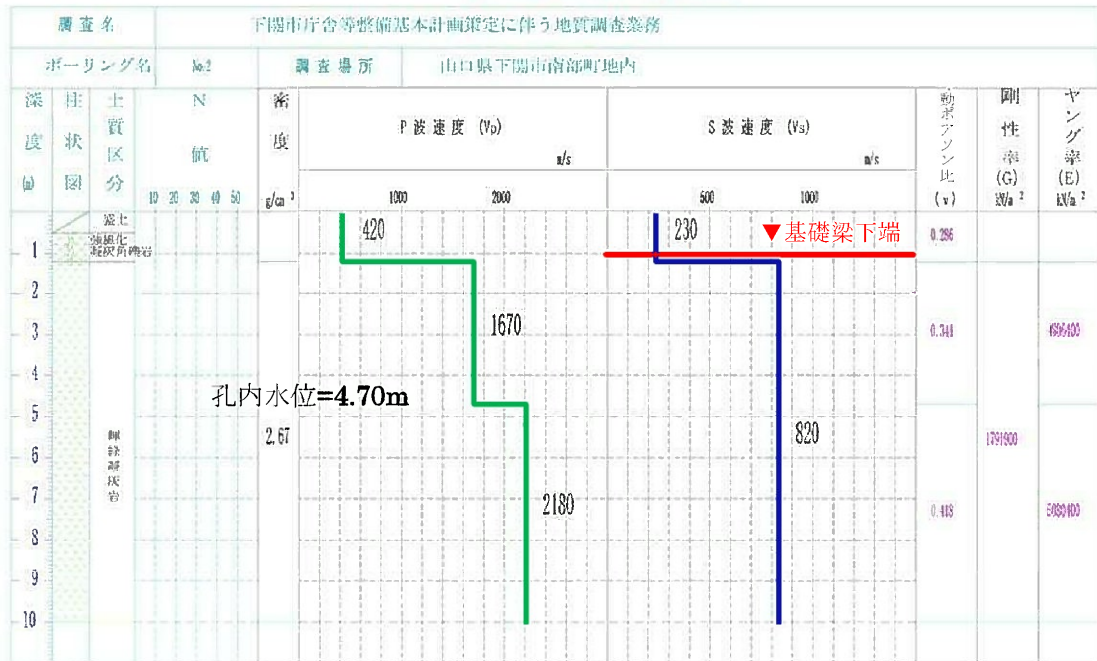


図 4. 3. 2 No. 2 孔 速度検層結果図

4-4. 室内岩石試験

本調査地には凝灰角礫岩と輝緑凝灰岩が分布しているが、凝灰角礫岩は表層部に 1m 前後分布するのみであるため、今回の岩石試験は輝緑凝灰岩を対象に実施したものである。

(1) 圧縮試験

表 4.4.3 に圧縮試験結果一覧表を示す。

各試料（輝緑凝灰岩）の圧縮強さは $\sigma_c = 8.12 \sim 72.43 \text{ MN/m}^2$ の範囲にあり、軟岩～中硬岩の岩質を表している。大きなバラツキの原因は潜在する亀裂によるもので、潜在する亀裂の多少や密着度に応じて圧縮強さは変化していると推察される。

岩石試験後の供試体を観察すると、No. 1 孔 (3.20～3.40m) と No. 2 孔の (2.60～2.80m) の試料の破断面には褐色化した部分があり、潜在する亀裂面に沿う風化によって緩みが生じていたものである。

(2) 超音波伝播速度

図 4.4.1 は圧縮強さと超音波伝播速度の関係を示したものである。

超音波伝播速度は、岩石の密度、剛性および強度に比例するもので、今回の試験結果でも圧縮強さと比例関係が認められた。また、潜在する亀裂を含むものは圧縮強度も超音波速度も小さいため、超音波伝播速度の値は亀裂性状の情報も含んでいることがわかる。

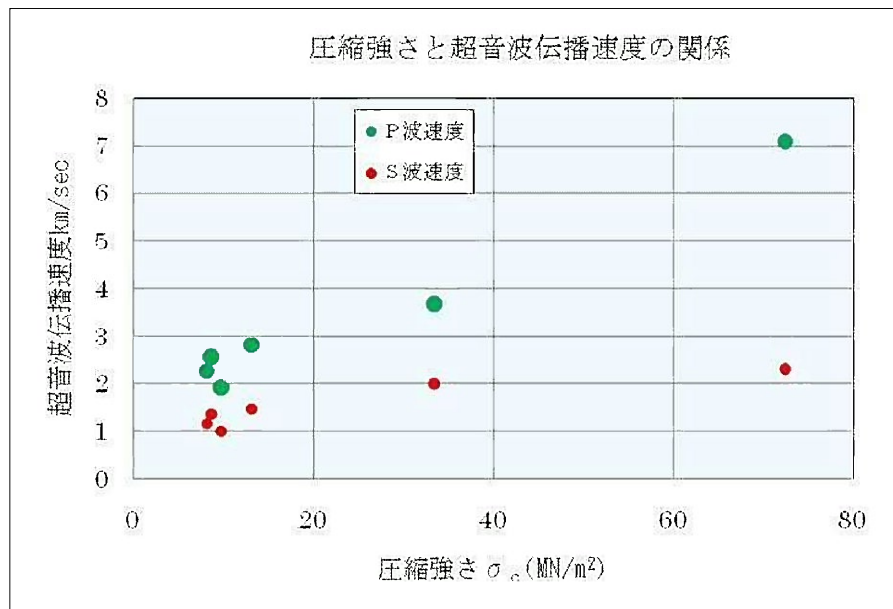


図 4.4.1 圧縮強さと超音波伝播速度の関係

(2) 岩石の密度

岩石の密度は $2.573 \sim 2.733 \text{ g/cm}^3$ の範囲にある。

図 4.4.2 のように岩石の密度も圧縮強さや超音波伝播速度に比例していることがわかる。

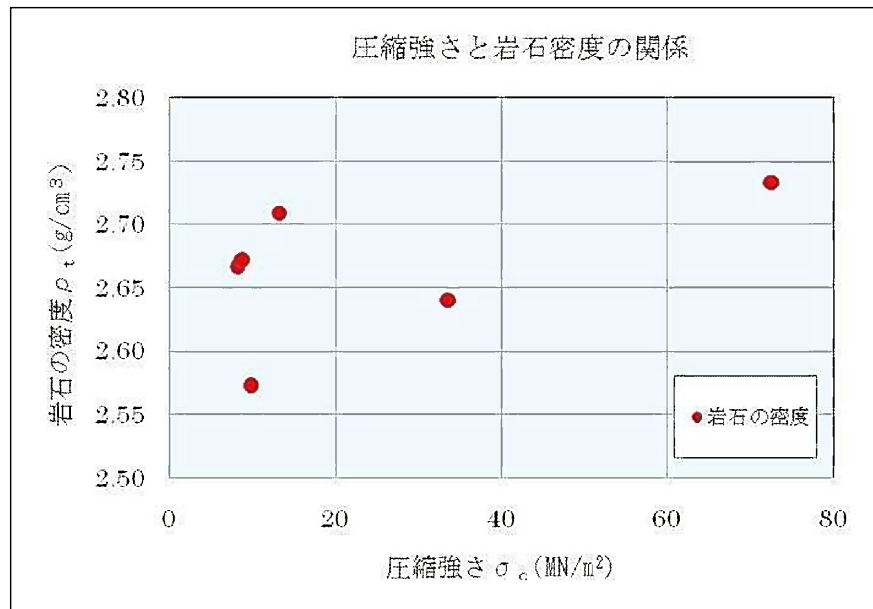


図 4.4.2 圧縮強さと岩石密度の関係

(3) 亀裂係数による岩盤評価

岩石での P 波速度値を V_L 、地山での P 波速度値を V_i と表すと割れ目係数 k は以下の式から求まり、

$$k = V_i / V_L$$

また、亀裂係数 K は以下の式から求まる

$$K = 1 - \left(\frac{V_i}{V_L} \right)^2 = 1 - k^2$$

共に地山での割れ目の発達状況を示す目安となり、亀裂係数は一般に表 4.4.1 のように評価され、亀裂係数が大きくなるに従い岩盤は悪く判断される。

今回の試験結果から、地下水位上面の輝緑凝灰岩の場合、
割れ目係数 k は、

$$k = 1.635 / 2.88 = 0.567$$

となり、

亀裂係数 K は

$$K = 1 - (1.635 / 2.88)^2 = 0.678$$

となる。

同様に地下水位下面についても計算した結果を表 4.4.2 に示す。

表 4.4.1 亀裂係数と岩質・等級区分

亀裂係数	岩質	等級
0.25 以下	きわめて良質	A
0.25～0.50	良質堅岩	B
0.50～0.65	堅岩	C
0.65～0.80	やや不良	D
0.80 以上	不良	E

表 4.4.2 のように速度検層による P 波は、地下水位 (GL-4.7m) 下面では地下水位上面の値よりも約 1.3 倍の値を示し、亀裂係数による岩盤評価では良質堅岩の判定となっている。これは速度検層による P 波が地下水の影響により過大な値を示していることが原因となり、岩盤を過大評価していることになる。

したがって、

本調査地の岩盤を地下水位より上の亀裂係数により評価することとし、やや不良の岩質 D と判定する。

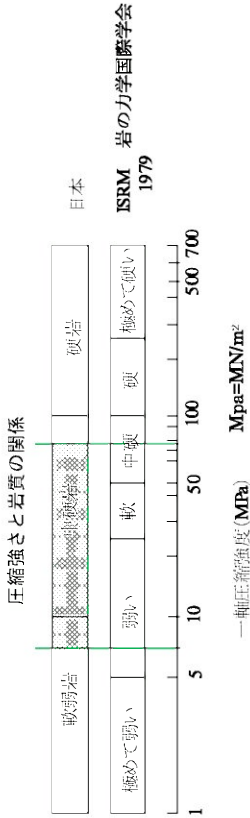
表 4.4.2 本調査地（輝緑凝灰岩）の亀裂係数による岩盤評価

速度検層による P 波速度 Vi (km/sec)		超音波伝播速度 P 波 V _u (km/sec)	割れ目係数 k	亀裂係数 K	岩質	等級
地下水位より上	1.600 (No. 1) 1.670 (No. 2) 平均値 1.635	2.88※	0.567	0.678	やや不良	D
地下水位より下	2.070 (No. 1) 2.180 (No. 2) 平均値 2.125	2.88※	0.737	0.456	良質堅岩	B

※超音波試験結果より求めた P 波速度 V_p の平均値 (表 4.4.3 参照)

表 4.4.3 室内岩石試験結果一覧表

Bor.	供 試 体 形 状				供試体 密 度 ρ_t g/cm ³	超 音 波 伝 播 速 度 試 験						圧 縮 試 験	
	試験深度 H cm	直 径 ϕ cm	質 量 m g	断面積 A cm ²		P波		S波		動ポア ソン比 μ_n	破壊荷重 Q kN	圧縮強さ σ_c MPa(Mgf/cm ²)	
						伝播時間 T μ sec	伝播速度 Vp km/sec	伝播時間 T μ sec	伝播速度 Vs km/sec				
No.1	3.20～3.40	10.30	4.93	505.84	19.09	2.573	23.6	1.922	103.5	0.995	0.32	18.5	9.69(99)
	6.30～6.50	10.81	4.93	558.97	19.09	2.709	38.5	2.808	73.4	1.473	0.31	25.0	13.10(134)
	9.60～9.70	10.67	4.93	543.26	19.09	2.667	47.2	2.261	92.2	1.157	0.32	15.5	8.12(83)
No.2	2.60～2.80	10.42	4.93	531.41	19.09	2.672	40.6	2.567	76.6	1.360	0.30	16.5	8.64(88)
	5.80～5.95	8.68	4.92	451.04	19.01	2.733	21.2	4.094	37.6	2.309	0.27	※、 140.0	72.43(738)
	9.30～9.70	10.62	4.92	532.95	19.01	2.640	28.9	3.675	53.2	1.996	0.29	63.5	33.40(341)
試験試料は輝緑凝灰岩													
備考: ※、直径Dと高さHの(1/2)関係より強度補正後の値を示す。 —軸圧縮強度補正 $\sigma_0=\sigma_c \times 0.989 / 0.778-0.222D/H$													



No. 1 圧縮試験後供試体



No. 2 圧縮試験後供試体

5. 考 察

(1) 地形・地質

調査地の周辺にある下関丘陵は、標高 100m 前後の丘陵で、彦島丘陵とともに下関市街の大部分を占めている。調査地は海岸低地との境に当り、唐泊漁港から約 300m 北方に上った標高約 10m の教育委員会棟前駐車場内（下関市南部町 1 番 3 号）である。

調査地のある下関丘陵は古第三系や中生代の地層で形成され、調査地周辺では中生代の関門層群が分布する。関門層群は、層序・岩相・化石などの著しい相違により下位の脇野亜層群、上位の下関亜層群に分けられ、両者は不整合関係で接している。

脇野亜層群は主に湖成層からなり、含まれる化石は貝が多く、植物化石は極めて少ない。本層は主に層理の発達した砂岩、泥岩、礫岩よりなり、脇野湖と呼ばれる湖水成の堆積物と考えられ、4つの堆積サイクル（下位より千石層・如来田層・下部若宮層・上部若宮層）がみられる。

調査地のボーリングによって確認された下関亜層群は山口県の北西部の豊浦郡豊田町・豊北町から長門市・大津郡三隅町・萩市にかけても連続的に分布しており、下位から塩浜層・北彦島層・筋ヶ浜層・福江層に分けられている。脇野亜層群との大きな違いは火山岩類が発達し、礫岩、砂岩、泥岩のほかに安山岩～デイサイト質の火砕岩や溶岩が多く挟まれるようになり、岩相の変化が顕著となる。また、火山物質の富む下関亜層群では層理があまり発達せず塊状の外観を示すことがある。

(2) 岩盤評価

ボーリングコア観察、速度検層および室内岩石試験による岩盤評価を表 5.1 に示す。

表 5.1 本調査地の岩盤評価

地 層	コア観察による岩級区分	RQD平均値 (%)	RQDによる岩盤の良好度区分※1	亀裂係数 K ※2	亀裂係数による岩質・等級※2
凝灰角礫岩	D～CL	29	悪い	—	—
輝緑凝灰岩	CL～CM	41	悪い	0.678	やや不良 D

※1 表 3.2.6 参照 ※2 表 4.4.1 参照

関門層群の溶岩類は一般に玄武岩質で、枕状溶岩の他に塊状溶岩、水中自破砕溶岩様のものがみられ、水中に流出したものは急冷によって岩石は一様に細かく粉砕されている。本調査地で採取されたコアも破断と変成により細かく粉砕された痕跡があり、方解石脈や石英脈がみられる。

ボーリングコア観察によると、1m 前後の表層部には赤色や黒色の雑多な礫を含む凝灰角礫岩が分布しており、その下位には不規則な節理により硬い小塊状にブロック化された輝緑凝灰岩が認められた。輝緑凝灰岩は潜在的な亀裂により容易に岩片～半割状に分離する箇所があり、亀裂の密着度により岩盤の強度が規制される岩盤である。

(3) 岩盤定数の提案

調査ボーリングにおけるコア状況、速度検層および室内岩石試験結果に基づき、下表の値を提案する。

表 5.2 地盤定数の提案

地 質 名	地質記号	土 質 岩 質	単位 体積 重量 (KN/m ³)	粘着力 (KN/m ²)	内 部 摩擦角 Φ (°)	地盤の 変形係数 (KN/m ²)
凝灰角礫岩	Tb	土砂 D ～ 軟岩 CL	—	—	—	—
輝緑凝灰岩	Schal	軟岩 CL～CM	2.67※	1350× 0.678=915 ≒900	45× 0.678=30.5 ≒30	700000× 0.678=474600 ≒470000

※岩石試験(密度試験)結果の平均値

花崗岩の測定例を参考にして輝緑凝灰岩の地盤定数を提案する。ただし、花崗岩は均質等方な岩質であるため、本調査で求めた亀裂係数で減じた値を地盤定数として提案する。

表 5.3 花崗岩の測定例

表 3.5.7 セン断定数の測定例 ¹⁸⁾								
岩 級	粘板岩 (某ダムサイトの例)					花崗岩 (本四連吊橋基礎の例)		
	c (kgf/cm ²)		φ (°)			c (kgf/cm ²)		φ (°)
	範 囲	平 均	範 囲	平 均		範 囲	平 均	平 均
硬 岩	B	22.5～27.5	25	40～50	45	35 以上	35	50
	C _H	17.5～22.5	20	35～45	40	27.0～35.0	31	50
	C _K	7.5～17.5	12.5	35～45	40	19.0～27.0	23	45～50
軟 岩	C _L	2.5～7.5	5	30～40	35	8.0～19.0	13.5	45
	D	1 以下	0	20～30	25	0～8.0	4	45

112

表 3.5.9 変形係数の測定例 ¹⁸⁾ (単位 kgf/cm ²)				
岩級	粘 板 岩 (某ダムサイトの例)		花 崗 岩 (本四連吊橋基礎の例)	
	範 囲	平 均	範 囲	平 均
B	30 000 以上	*30 000	40 000～100 000	70 000
C _H	10 000～30 000	20 000	20 000～35 000	27 500
C _K	5 000～10 000	7 500	10 000～20 000	15 000
C _L	1 000～5 000	3 000	5 000～9 000	7 000
D	1 000 以下	—	3 000～5 000	4 000

* 最小値を示す