

追加ボーリング調査の計画について

1. 目的

基本地盤モデルにおいて、岩盤部分（建屋基礎底面レベル～解放基盤表面）に対して設定した減衰定数に対し、確度を高めることを目的として追加ボーリング調査によりデータを取得する。

岩盤部分の減衰定数については、JEAG4601-1987に示される3手法（三軸圧縮試験による方法、S波検層による方法、地震観測記録による方法）を用い、敷地における減衰定数の値を評価しているが、このうち、S波検層による方法については、現時点において、そのデータが敷地内で3ヶ所のみで実施されていること、また、一部データについてはばらつきが大きいことから、その確度の向上を目的として、追加調査を実施することとする。

本追加調査により得られたデータについては、地震観測記録による方法によって評価した岩盤部分（建屋基礎底面レベル～解放基盤表面）の減衰定数との比較・分析を行い、地震観測記録により評価された値の妥当性を確認することにより、基本地盤モデルに設定する岩盤部分の減衰定数について、確度の向上を図る。

2. 追加調査の項目

現地における追加調査の項目は、資料「岩盤部分の減衰定数の設定に係る今後の検討内容」（令和5年6月30日）の5頁に示す表の検討手法うち、「ボーリング孔内減衰測定による検討」と「岩石コアを用いた減衰測定による確認」に対応し、孔内検層によるQ値測定及び室内岩石試験を実施する。第2-1表に追加調査の考え方を示す。

第2-1表 追加調査の考え方

検討手法	これまでの当社実施状況	追加調査の考え方	(参考)実施サイト
ボーリング孔内減衰測定による検討	実施 (敷地内3地点)	<ul style="list-style-type: none"> 現時点のデータ(3地点)に基づき、施設の固有振動数よりも高振動数側をターゲットとした評価ではあるが、地震観測記録による方法により評価した減衰定数の妥当性を補完・補強する位置づけで測定結果を確認している。 ただし、現時点において敷地内で得られているデータは中央、西側、東側地盤の各1地点ずつ計3地点のみであること、また、東側地盤においては、ばらつきの大きいデータとなっていることから、さらなる確度の向上のためにデータの拡充を行う。 現時点のデータ+拡充したデータに基づき、測定結果に見られる周波数依存特性の特徴を踏まえ、地震観測記録を用いた評価により評価される施設の固有振動数帯における減衰定数との関係性について考察を行う。 	玄海3, 4号 東海第二 大間
岩石コアを用いた減衰測定による確認	未実施	<ul style="list-style-type: none"> 他サイト実績において、地震観測記録が得られていない深部における減衰定数を設定する上で、地震観測記録が得られている浅部との地下構造の相対関係の確認を目的として実施しているもの。 今回検討における減衰定数の評価範囲のうち、建屋基礎底面レベル～解放基盤表面の岩盤部分において、当社は地震観測記録を有しているほか、S波検層によるデータを有し、更に、確度向上のためデータの拡充を行うこととしていることから、建屋基礎底面レベル～解放基盤表面の岩盤部分における減衰定数の設定に用いるデータは有していると考えられる。 ただし、本測定において得られる値の物理的な意味(材料減衰を主として測定)を踏まえ、地震観測記録及びボーリング孔内減衰測定による検討により評価された減衰定数(材料減衰と散乱減衰の両方が含まれる)との比較・分析を行うことで、敷地において確度の高い減衰定数を設定することが可能となるため、今回の追加調査において新たなデータの取得を実施する。 	玄海3, 4号

3. 実施計画

2. に示した追加調査項目に対する実施計画を以下に示す。

(1) ボーリング調査位置

ボーリング調査位置及び断面を第 3-1 図及び第 3-2 図に示す。

ボーリングの仕様は、孔径 86mm (コア径 60~65mm) のオールコアボーリングとし、地質観察により岩盤の種別判定等を適切に行うとともに、採取したコアから室内岩石試験に供する供試体を切り出すものとする。

【平面的観点】

当社敷地は、建物・構築物が広範囲に拡がりを持って配置されるサイトであることを踏まえ、建屋の配置状況を踏まえ、既往のボーリング調査位置もあわせ、平面として網羅的にデータを採取できるよう配慮して調査位置を選定する。

具体的には、既往のボーリング調査において、西側地盤、中央地盤、東側地盤の各 1 地点でデータを取得していることから、建屋の配置状況を踏まえて敷地全体を網羅できる配置とする。

西側地盤：既往 J-T 孔に加え、E 施設周辺 Gr を南北で挟み込むように、R5-Q5 を追加

中央地盤：中央地盤は南北に広く建物が分布していることから、既往 L-T 孔に加え、R5-Q6, R5-Q2, R5-Q1 を追加することで、建物群を南北に縦断するように配置。

東側地盤：既往 E-T 孔は、建物から離れた位置で実施していること、また、東側地盤は南北に広く建物が分布していることから、R5-Q7 及び R5-Q3 を追加することで、建物群を南北に縦断するように追加。

さらに、敷地東側に新設建屋が設置される Gr がある (AZ 周辺及び G14 周辺) ことから、R5-Q8 及び R5-Q4 を追加。

【断面的観点】

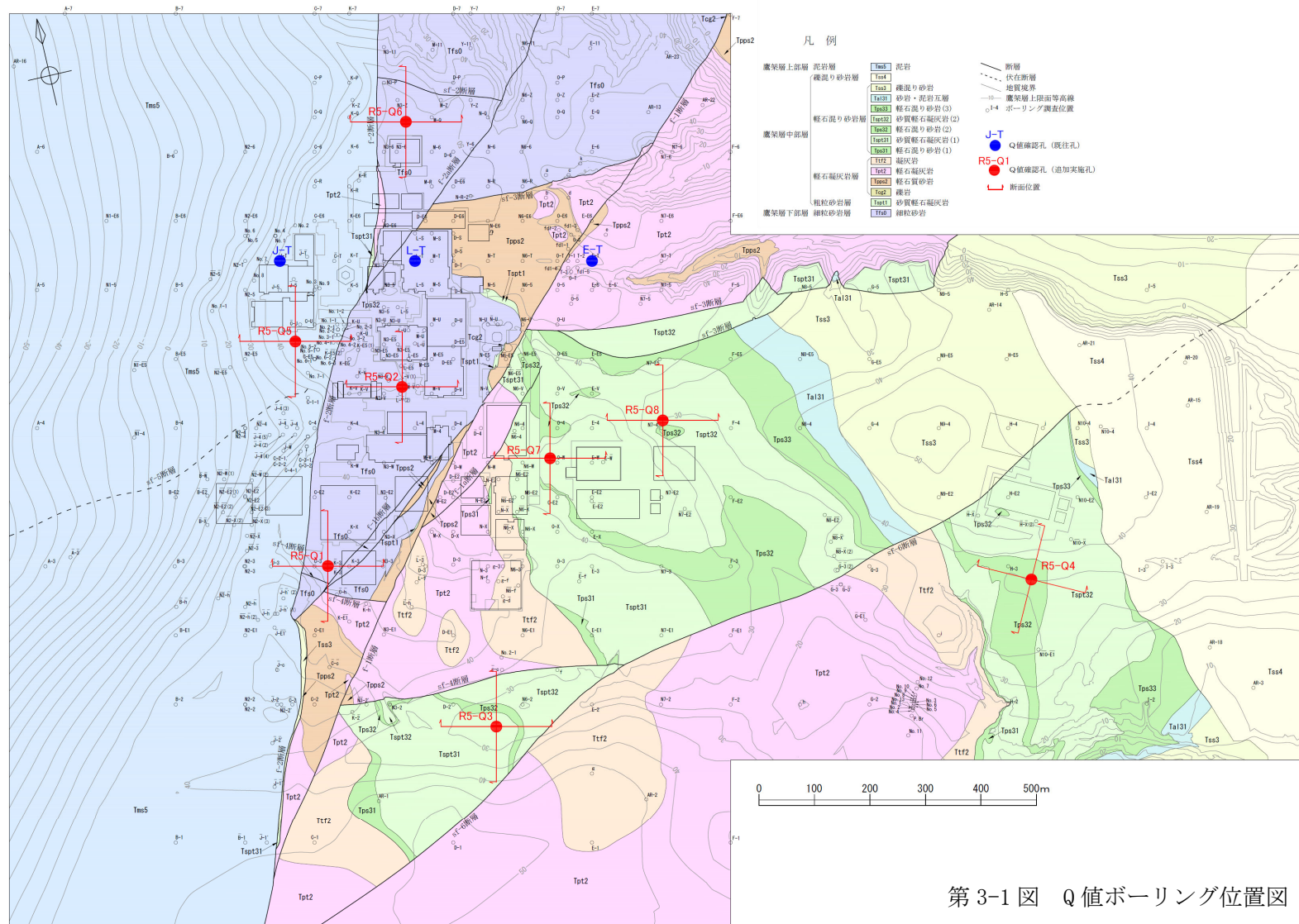
平面的観点から選定した調査位置のボーリング孔に出現する岩種を第 3-1 表に示す。動的変形特性 (特に、減衰特性) を設定する上で、敷地内における岩盤を構成する主要な鷹架層 (薄層等を除く 9 岩種) が採取できることを確認した。

第 3-1 表 ボーリング孔別に対象とする鷹架層区分

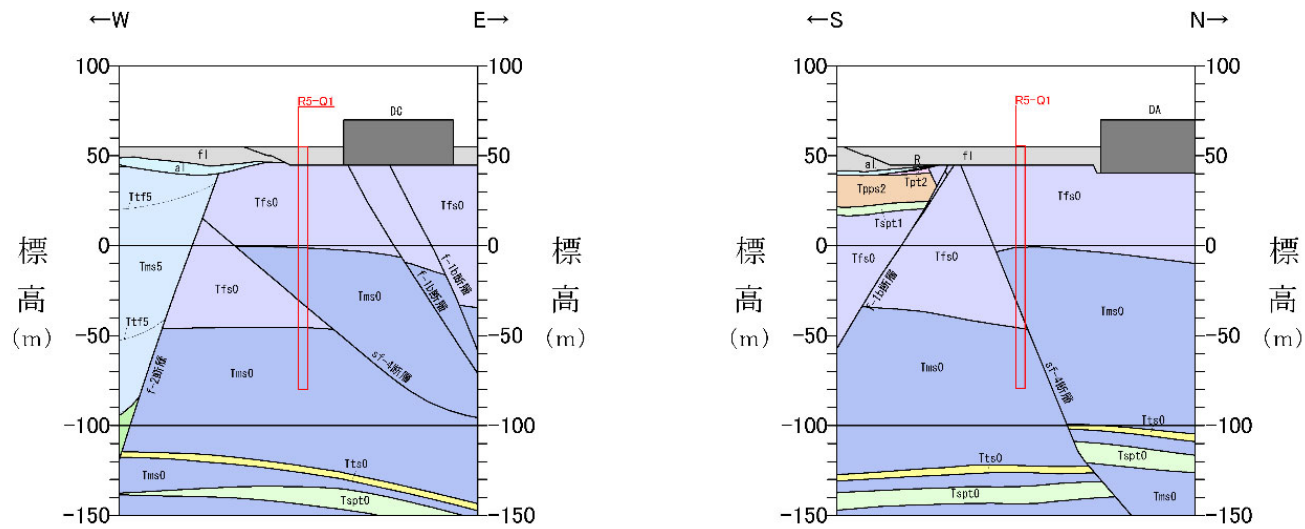
鷹架層 区分	泥岩 (上部層)	泥岩 (下部層)	細粒砂岩	凝灰質砂岩	軽石質砂岩	粗粒砂岩	砂岩・泥岩互層	砂岩・凝灰岩互層	凝灰岩	軽石凝灰岩	砂質軽石凝灰岩	礫混り砂岩	軽石混り砂岩	礫岩
	Tms	Tms	Tfs	Tts	Tpps	Tcs	Talsm	Talst	Ttf	Tpt	Tspt	Tss	Tps	Tcg
ボーリング孔名	R5-Q1		○	○										
	R5-Q2		○	○										
	R5-Q3					○			○	○	○			
	R5-Q4					○	×		○	○	○		○	×
	R5-Q5	○						○	×			×		
	R5-Q6		○	○										
	R5-Q7					○			○	○	○		○	×
	R5-Q8					×			○	○	○		○	

凡例 ○：採取可

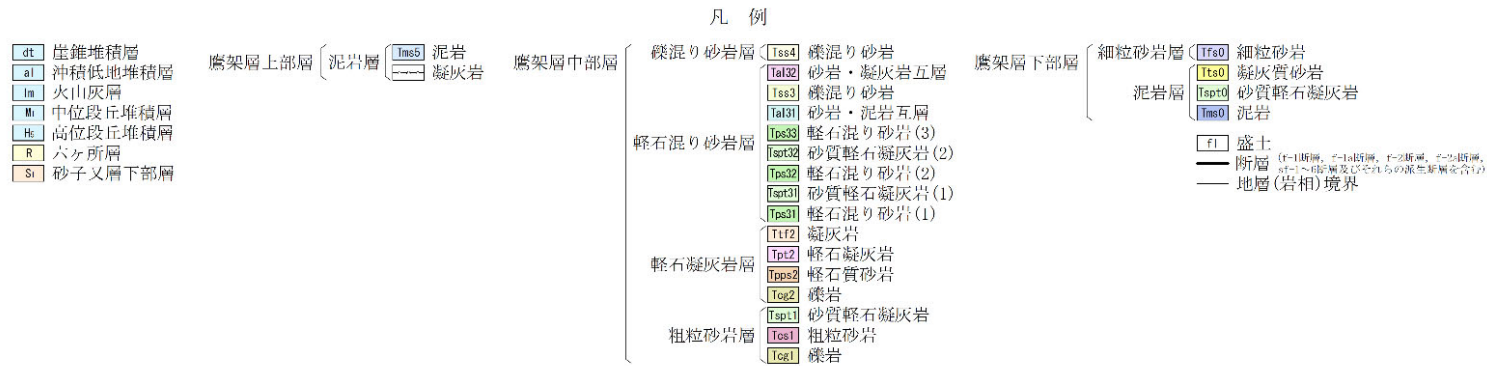
×：薄層又は深部のため、採取不可



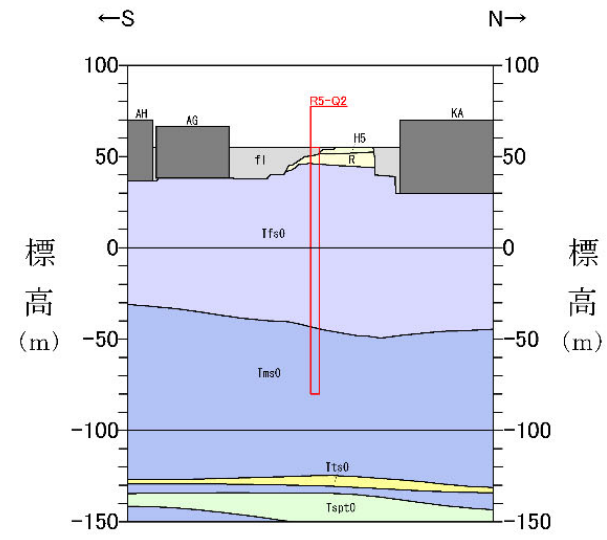
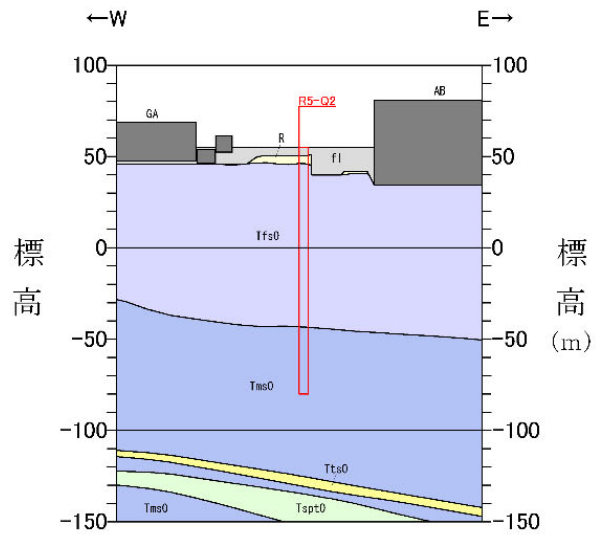
第 3-1 図 Q 値ボーリング位置図 (鷹架層上限面)



R5-Q1



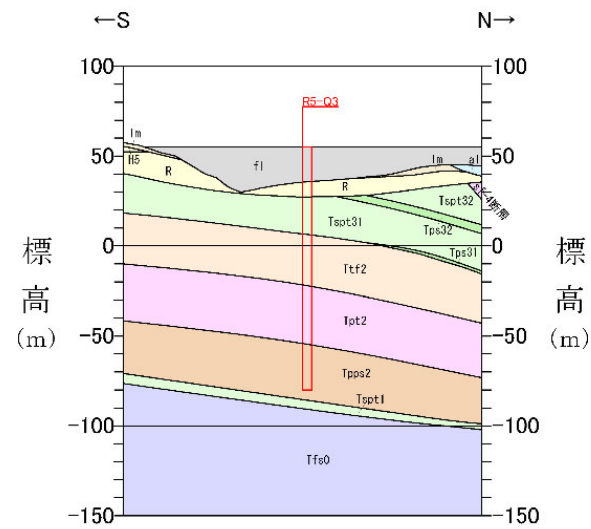
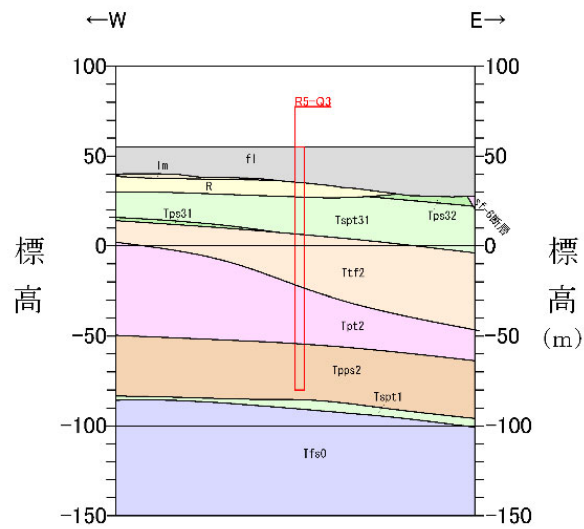
第3-2図 Q値ボーリング断面図 (1/8)



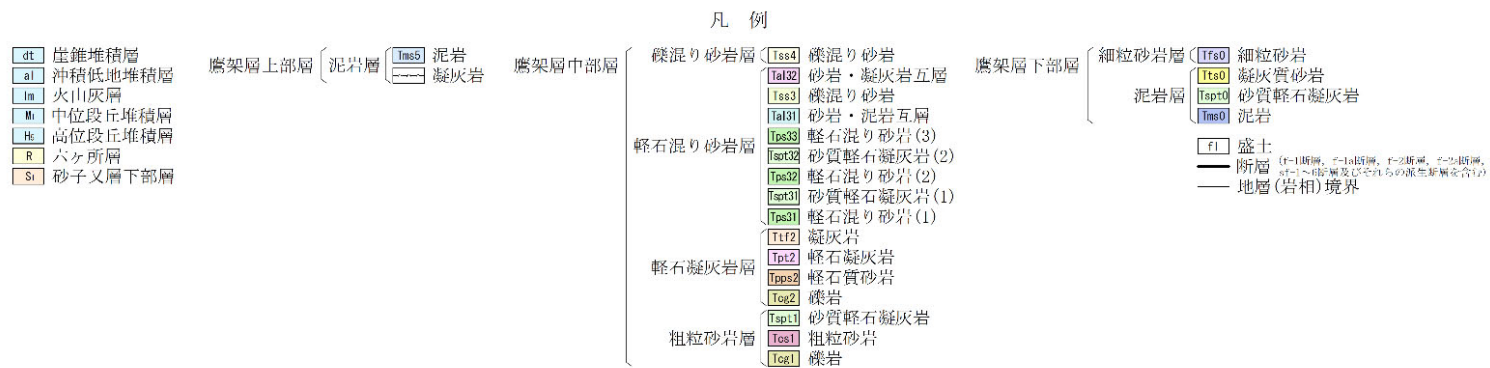
R5-Q2

- 凡 例
- | | | | |
|--|--|--|--|
| <ul style="list-style-type: none"> dt 崖堆積層 al 沖積低地堆積層 lm 火山灰層 Mt 中位段丘堆積層 Ht 高位段丘堆積層 R パケ所層 Sr 砂子叉層下部層 | 鷹架層上部層 <ul style="list-style-type: none"> 泥岩層 (Tmsb) 泥岩 (Tms0) 凝灰岩 (Tps0) | 鷹架層中部層 <ul style="list-style-type: none"> 鏝混り砂岩層 <ul style="list-style-type: none"> Tlss4 鏝混り砂岩 Tlal32 砂岩・凝灰岩五層 Tlss3 鏝混り砂岩 Tlal31 砂岩・泥岩互層 Tps33 軽石混り砂岩(3) Tps32 砂質軽石凝灰岩(2) Tps32 軽石混り砂岩(2) Tps31 砂質軽石凝灰岩(1) Tps31 軽石混り砂岩(1) 軽石混り砂岩層 <ul style="list-style-type: none"> Tlfs2 凝灰岩 Tlp22 軽石凝灰岩 Tlps2 軽石質砂岩 Tps2 礫岩 Tlps1 砂質軽石凝灰岩 粗粒砂岩層 <ul style="list-style-type: none"> Tlcs1 粗粒砂岩 Tlcs1 礫岩 | 鷹架層下部層 <ul style="list-style-type: none"> 細粒砂岩層 (Tlfs0) 細粒砂岩 (Tlfs0) 凝灰質砂岩 (Tlfs0) 泥岩層 <ul style="list-style-type: none"> Tspt0 砂質軽石凝灰岩 Tms0 泥岩 |
|--|--|--|--|
- f1 盛土
 (F-1層間, F-1a層間, F-2層間, F-2a層間, F-3層間, F-3a層間, F-4層間, F-4a層間, F-5層間, F-5a層間)
 断層
 地層(岩相)境界

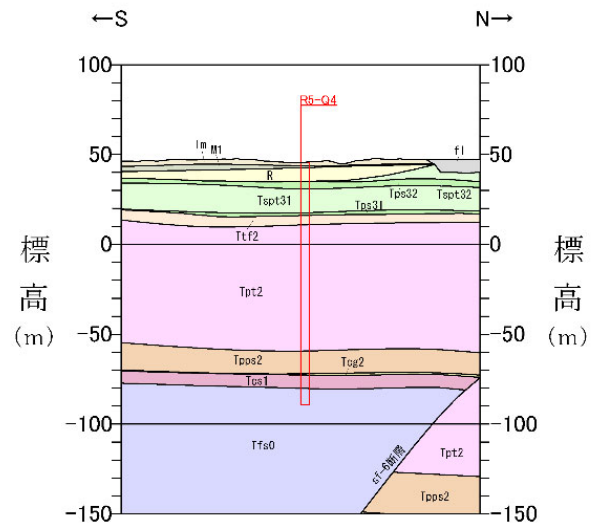
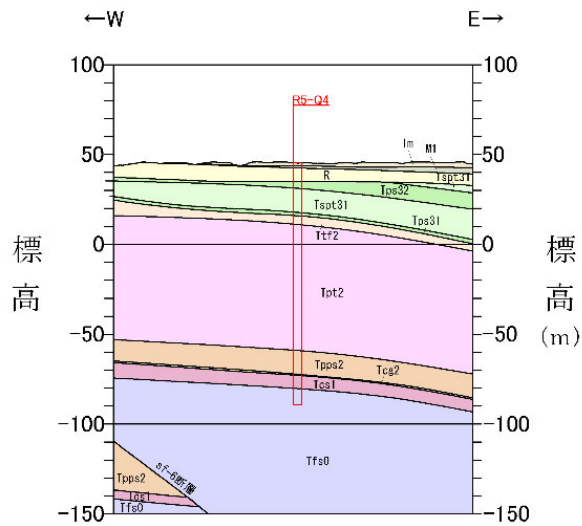
第3-2図 Q値ボーリング断面図 (2/8)



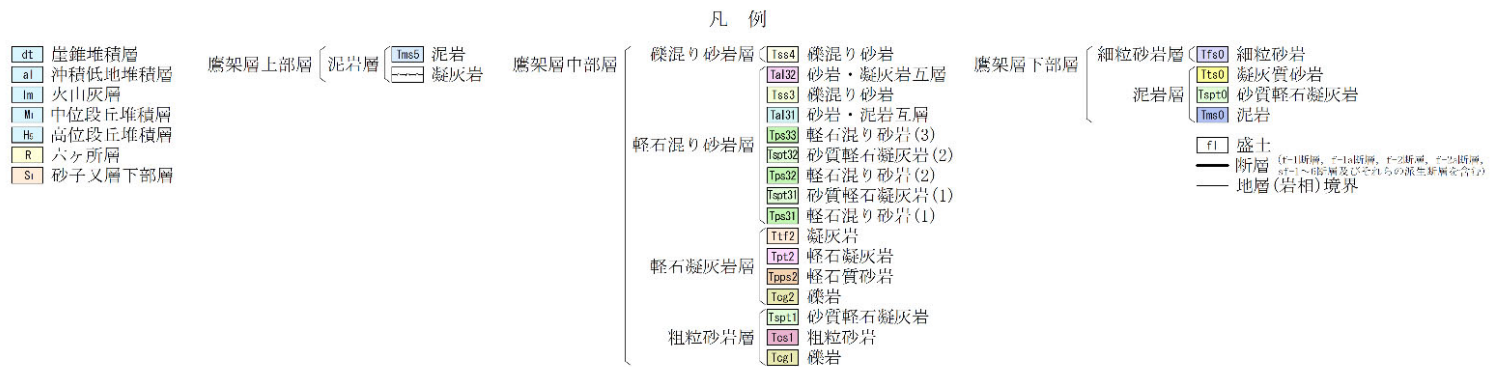
R5-Q3



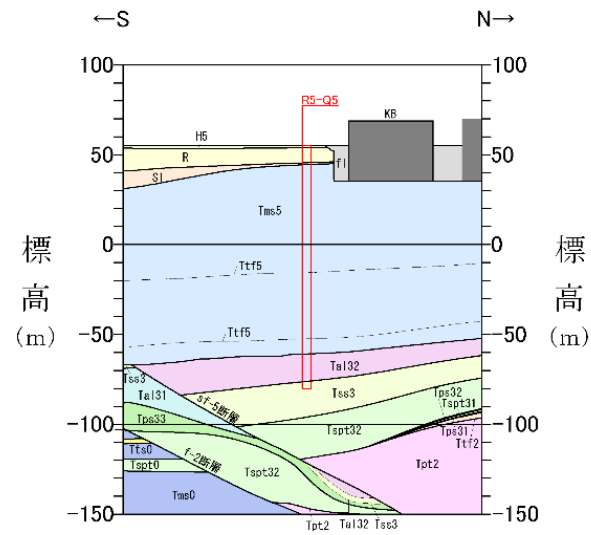
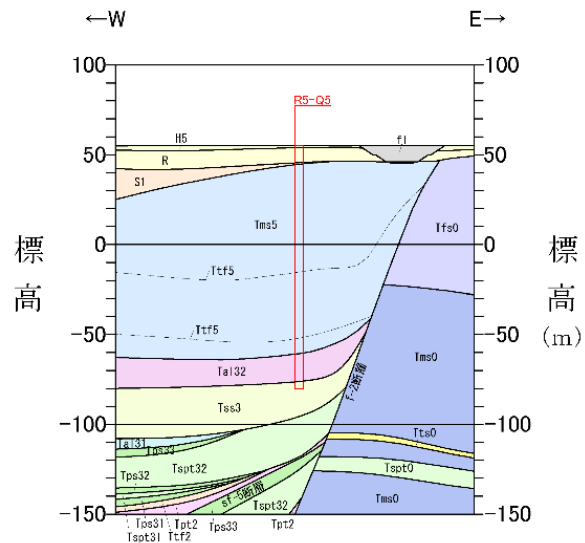
第3-2図 Q値ボーリング断面図 (3/8)



R5-Q4



第3-2図 Q値ボーリング断面図 (4/8)



R5-Q5

- | | |
|----|---------|
| dt | 崖堆積層 |
| al | 沖積低地堆積層 |
| lm | 火山灰層 |
| ml | 中位段丘堆積層 |
| hl | 高位段丘堆積層 |
| R | 六ヶ所層 |
| S1 | 砂子又層下部層 |

- | | | | |
|--------|-----|------|-----|
| 鷹架層上部層 | 泥岩層 | ImS5 | 泥岩 |
| | | | 凝灰岩 |

- 鷹架層中部層

- | | | |
|---------|-------|------------|
| 礫混り砂岩層 | Iss4 | 礫混り砂岩 |
| | Tal32 | 砂岩・凝灰岩五層 |
| | Ies3 | 礫混り砂岩 |
| | Tal31 | 砂岩・泥岩互層 |
| 軽石混り砂岩層 | Ips33 | 軽石混り砂岩(3) |
| | Ips32 | 砂質軽石凝灰岩(2) |
| | Ips32 | 軽石混り砂岩(2) |
| | Ips31 | 砂質軽石凝灰岩(1) |
| | Ips31 | 軽石混り砂岩(1) |
| 軽石凝灰岩層 | Ttf2 | 凝灰岩 |
| | Tpt2 | 軽石凝灰岩 |
| | Ips2 | 軽石質砂岩 |
| | Ics2 | 礫岩 |
| 粗粒砂岩層 | IspL1 | 砂質軽石凝灰岩 |
| | Ics1 | 粗粒砂岩 |
| | Ics1 | 礫岩 |

- 鷹架層下部層

- | | | |
|-------|-------|---------|
| 細粒砂岩層 | Irf80 | 細粒砂岩 |
| | Ira0 | 凝灰質砂岩 |
| 泥岩層 | IspT0 | 砂質軽石凝灰岩 |
| | Ims0 | 泥岩 |

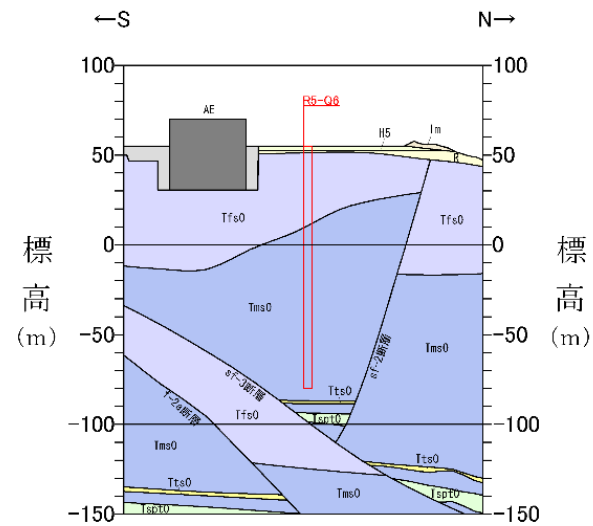
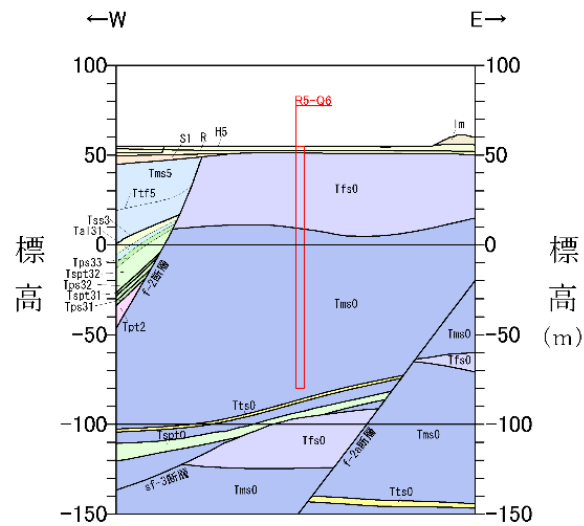
- f1 盛土

- 断層

- 地層(岩相)境界

(F-1断層、F-1a断層、F-2断層、F-2a断層、SF-5断層層及びそれらの派生断層を含む)

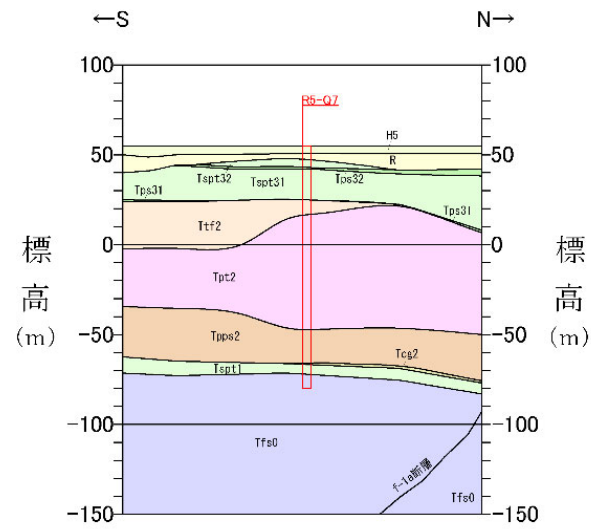
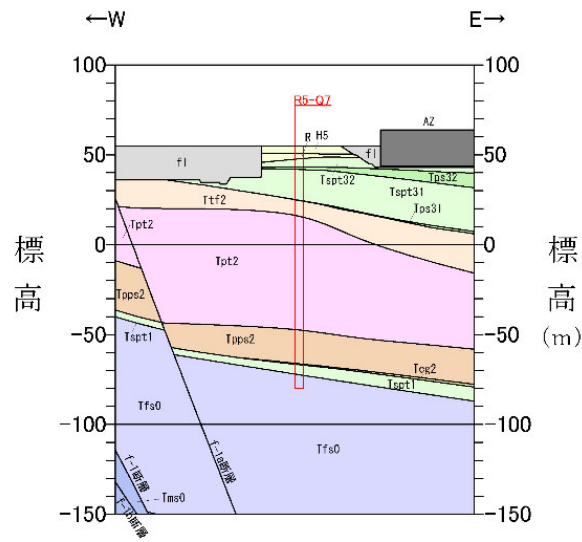
第3-2図 Q値ボーリング断面図 (5/8)



R5-Q6

- 凡例
- | | | | | |
|--|--|--|--|--|
| <ul style="list-style-type: none"> dt 崖錐堆積層 al 沖積低地堆積層 lm 火山灰層 M 中位段丘堆積層 Hs 高位段丘堆積層 R 六ヶ所層 S1 砂子又層下部層 | <ul style="list-style-type: none"> 泥岩層 凝灰岩 | <ul style="list-style-type: none"> 礫混り砂岩層 軽石混り砂岩層 軽石凝灰岩層 粗粒砂岩層 | <ul style="list-style-type: none"> Tss4 礫混り砂岩 Tal32 砂岩・凝灰岩五層 Tss3 礫混り砂岩 Tal31 砂岩・泥岩互層 Tps33 軽石混り砂岩(3) Tst32 砂質軽石凝灰岩(2) Tps32 軽石混り砂岩(2) Tst31 砂質軽石凝灰岩(1) Tps31 軽石混り砂岩(1) Tt2 凝灰岩 Tpt2 軽石凝灰岩 Tps2 軽石質砂岩 Tog2 礫岩 Tsp1 砂質軽石凝灰岩 Tos1 粗粒砂岩 Tog1 礫岩 | <ul style="list-style-type: none"> 細粒砂岩層 泥岩層 盛土 断層 (F-1断層, F-2断層, F-3断層, F-4断層, F-5断層, F-6断層, F-7断層, F-8断層, F-9断層, F-10断層, F-11断層, F-12断層, F-13断層, F-14断層, F-15断層, F-16断層, F-17断層, F-18断層, F-19断層, F-20断層, F-21断層, F-22断層, F-23断層, F-24断層, F-25断層, F-26断層, F-27断層, F-28断層, F-29断層, F-30断層, F-31断層, F-32断層, F-33断層, F-34断層, F-35断層, F-36断層, F-37断層, F-38断層, F-39断層, F-40断層, F-41断層, F-42断層, F-43断層, F-44断層, F-45断層, F-46断層, F-47断層, F-48断層, F-49断層, F-50断層) 地層(岩相)境界 |
|--|--|--|--|--|

第3-2図 Q値ボーリング断面図 (6/8)



R5-Q7

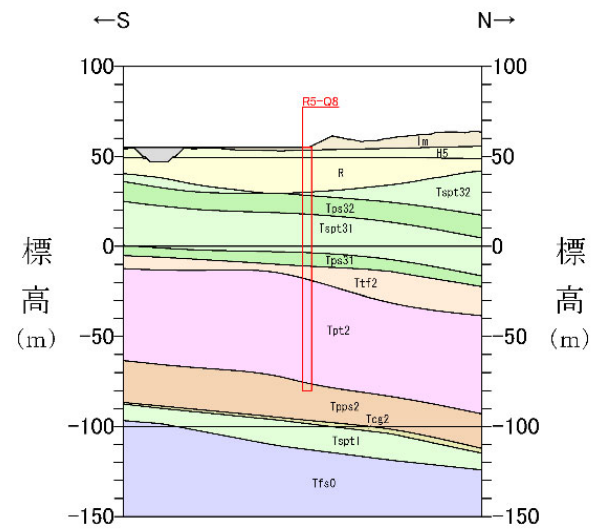
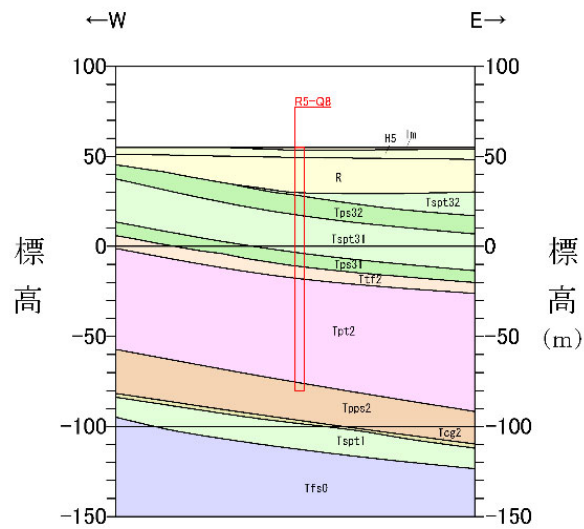
- dt 崖堆積層
- al 沖積低地堆積層
- lm 火山灰層
- Mi 中位段丘堆積層
- Hi 高位段丘堆積層
- R 六ヶ所層
- Si 砂子又層下部層

- 鷹架層上部層 (泥岩層) [Tmsb] 泥岩
- 鷹架層中部層 [Tmsc] 凝灰岩

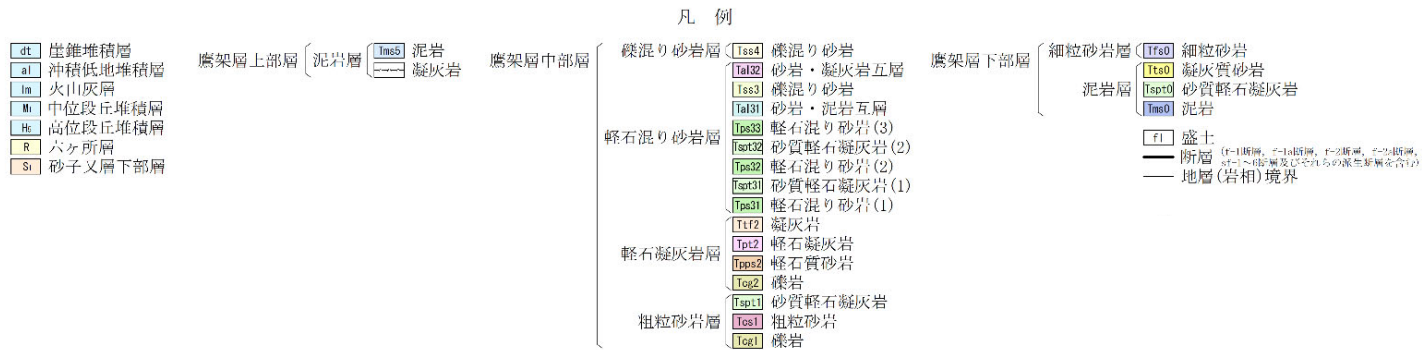
凡例

- 鷹架層下部層 (細粒砂岩層) [Tfs0] 細粒砂岩
- [Tts0] 凝灰質砂岩
- [Tps0] 砂質軽石凝灰岩
- [Tms0] 泥岩
- f1 盛土
- 断層 (F-1断層, F-1a断層, F-2断層, F-2a断層, F-3断層及びそれらの派生断層を含む)
- 地層(岩相)境界

第3-2図 Q値ボーリング断面図 (7/8)



R5-Q8



第3-2図 Q値ボーリング断面図 (8/8)

(2) 調査方法

a. 孔内検層による Q 値測定

P S 検層（ダウンホール法）により地盤の減衰特性を測定し、Q 値を求める。

P S 検層（ダウンホール法）は、地表で発生させた弾性波（P 波・S 波）をボーリング孔内に設置した受振器で受振し、ボーリング孔沿いの地盤の弾性波速度分布の把握を目的に実施するものであり、ここでは、特に、地盤の減衰特性の把握を目的とした Q 値測定を実施する。P S 検層（ダウンホール法）の測定装置と測定システムの使用機器の一覧を第 3-2 表に示し、模式図を第 3-3 図に示す。

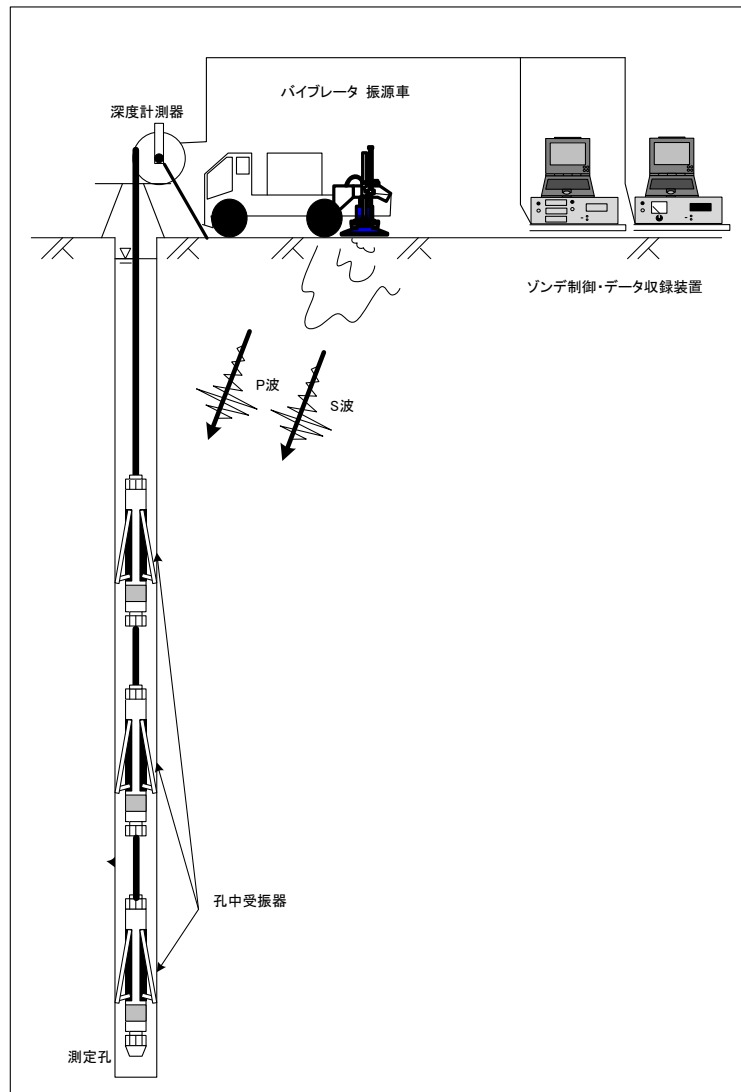
P S 検層（ダウンホール法）は、測定間隔を 1～2m とし、JGS 1122-2012「地盤の弾性波速度検層方法」を参考にして測定・解析を実施する。

測定系は、地表で弾性波を発生させる振源車、孔内に挿入するゾンデ、測定値の記録・表示を行う地上装置（ゾンデ制御・データ収録装置）から構成される。なお、ゾンデ数及び昇降方法については、現場の状況により設定する。

第 3-2 表 P S 検層（ダウンホール法）に使用する機器の仕様等一覧表

孔中受振器	G S R - 1 A S L 社製
固有周波数	15Hz
受振器成分	3 成分（上下動 1 成分，水平動 2 成分），速度型
適用孔径	50mm～140 mm
長さ、直径及び重量	長さ 1135 mm φ 43mm，4.5kg
耐熱温度	200℃
耐圧	約 600 気圧

起振装置	振源車
最大出力荷重	27,000N
積載荷重 (Hold down mass)	44,000N
発振周波数帯	10Hz～550Hz
車両寸法 (長さ，幅，高さ)	6.37m，2.13m，2.45m
車両重量	5,990kg

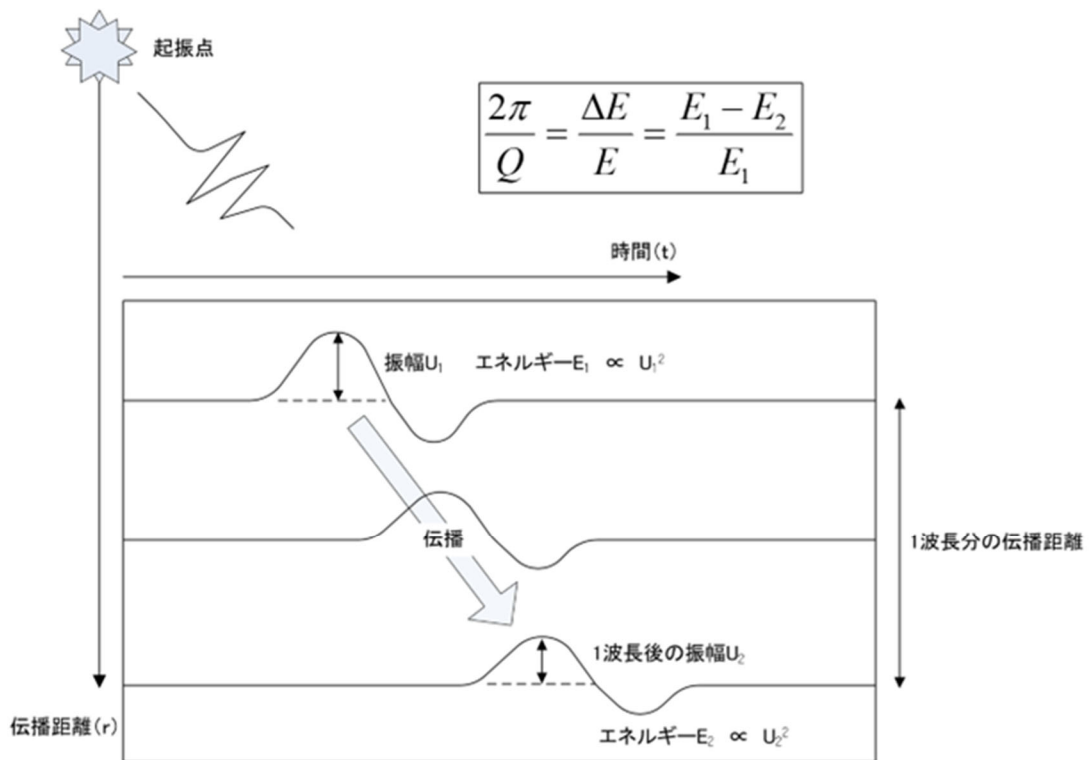


第 3-3 図 P S 検層（ダウンホール法）の測定装置と測定システムの模式図

Q 値測定時のバイブレータ振源からの加振パターンは、10Hz～100Hz の変調によるスイープ発振（10Hz から 10 秒程度で数段階変調）により実施する。

Q 値測定は、ボーリング孔内に設置した受振器に地表で発生させた弾性波（P 波・S 波）を受振させ、その波形の初動付近の振幅値の変化からボーリング孔沿いの地盤の減衰特性を把握する。

Q 値測定における振幅減衰の概念図を第 3-4 図に示す。



第 3-4 図 振幅減衰の概念図

b. 室内岩石試験

(a) 試料の準備、供試体整形

試験対象となるボーリングコア試料は、先に示した鷹架層の主要 9 岩種とし、乱れの少ない状態の良いものを選定して所定の寸法の供試体に整形し、脱気水槽に入れて飽和化を図る。

12 時間以上の水浸、飽和化後、直径、高さ、質量を測定し、密度を算定する。

(b) 弾性波速度測定

スペクトル比法での Q 値算定に使用するため、JGS 2564-2020「岩石の弾性波速度計測方法」に準拠し、P 波速度と S 波速度を測定する。

測定により得られた P 波速度 V_p と S 波速度 V_s から、次式でポアソン比 ν_d 、剛性率 G_d 、ヤング率 E_d を求める。

$$\nu_d = \frac{(V_p/V_s)^2 - 2}{2(V_p/V_s)^2 - 2}$$

$$G_d = \rho_t \cdot V_s^2$$

$$E_d = 2(1 + \nu_d) \cdot G_d$$

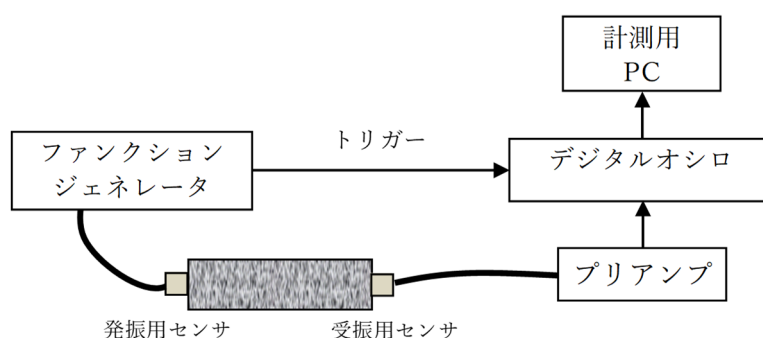
(c) 大気圧下における Q 値測定

コア Q 値測定装置の主な仕様を第 3-3 表に示し、測定装置の概要図を第 3-5 図に示す。超音波波形の収録は、JGS 2564-2020「岩石の弾性波速度計測方法」を参考にして大気圧下で行う。測定手順は以下のとおりである。

- ・ 供試体の上下端面に薄く石膏を塗布して振動子を接着する。
- ・ その際、上下の振動子の感度方向を一致させる。
- ・ S 波の伝播波形を収録する。S 波の発振、受振には同じ形式の振動子を用い、それぞれの透過波形の初動が明瞭になるよう励起電圧と波形収録時のゲインを調整する。

第3-3表 大気圧下のQ値測定装置の主な仕様

名称	主な仕様	型番	メーカー
振動子	名称：横波垂直探触子 共振周波数：1 MHz 質量・寸法：約21g、15×15×20mm	PY 1Z	ジャパンプローブ
ファンクションジェネレータ	周波数範囲：1 μ Hz～20MHz 出力電圧：10mVp-p～20Vp-p 出力波形：正弦波、矩形波他	33220A	アジレント・テクノロジー
プリアンプA	増幅率：55dB (200kHz) 周波数帯域：10kHz～5MHz (-3dB以内) 最大出力電圧：約7Vp-p	A1002	富士セラミックス
プリアンプB	増幅率：20、30、40dB 周波数帯域：2kHz～1.2MHz 最大出力：2Vp-p以上	9917	エヌエフ回路設計ブロック
デジタルオシロ (波形収録)	サンプリング速度：100 MHz アナログ入力：2 CH 垂直分解能：8 bits	NR-350	キーエンス



第3-5図 Q値測定装置の概要図

(d) 封圧下における Q 値測定

当該地点は、軟岩地盤であることから拘束圧の影響が考えられ、大気圧下での Q 値測定の補完として、封圧下での Q 値測定も準備し、状況に応じて、大気圧下による Q 値測定の代替とする。Q 値測定装置の主な仕様を第 3-4 表に示し、測定装置の概要図を第 3-6 図に示す。

封圧はシリンジポンプによって制御する。キャップとペDESTAL の中に振動子を組み込み、下端から超音波を発振し上端で透過波を受振する構造である。

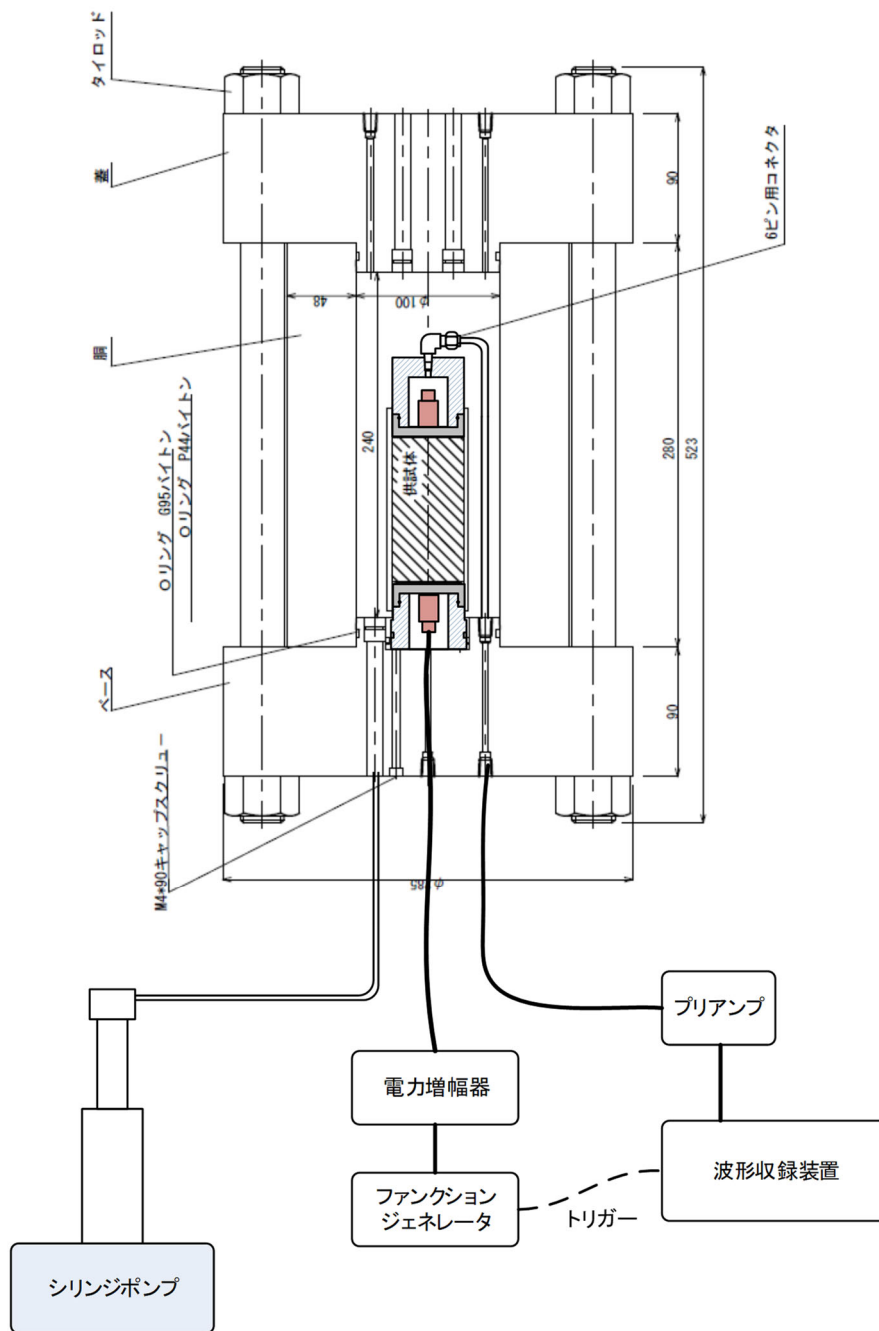
第 3-4 表 封圧下の Q 値測定装置の主な仕様

名称	主な仕様	型番	メーカー
高圧セル	耐圧：150MPa 寸法（内）：φ100×h240mm シリンジポンプによる加圧	—	汎高圧工業
シリンジポンプ	最大加圧力：51.7MPa シリンダ容量：266ml 制御方式：定圧力，定流量	260D	ISCO
振動子	名称：横波垂直探触子 共振周波数：1 MHz 質量・寸法：約 21g，15×15×20mm	PY 1Z	ジャパンプローブ
ファンクションジェネレータ	周波数範囲：1 μHz～20MHz 出力電圧：10mVp-p～20Vp-p 出力波形：正弦波，矩形波他	33220A	アジレント
電力増幅器	周波数帯域：DC～1 MHz 入力電圧：最大 10V 増幅率：10～100 倍	4005	NF 回路設計ブロック
プリアンプ A	増幅率：55dB (200kHz) 周波数帯域：10kHz～5MHz (-3dB 以内) 最大出力電圧：約 7Vp-p	A1002	富士セラミックス
プリアンプ B	増幅率：20, 30, 40dB 周波数帯域：2kHz～1.2MHz 最大出力：2Vp-p 以上	9917	NF 回路設計ブロック
デジタルオシロ (波形収録)	サンプリング速度：100 MHz アナログ入力：2 CH 垂直分解能：8 bits	NR-350	キーエンス

測定手順は以下のとおりである。

- 供試体の上下端面はペDESTALとキャップに薄く石膏を塗布して接着する。
- その際、上下のセンサの感度方向を一致させる。
- メンブレンを装着する。
- セルを組み立てて水を注入する。
- シリンジポンプにより原地盤を想定した所定の拘束圧を加えて一定に保つ。
- S波の伝播波形を収録する。

なお、S波の発振・受振には同じ振動子を用い、それぞれの透過波形の初動が明瞭になるよう励起電圧と波形収録時のゲインを調整する。



第 3-6 図 封圧下の Q 値測定装置の概要

(e) スペクトル比法による Q 値測定

スペクトル比法は、減衰が小さい (Q 値が大きい) 標準試料と岩石試料を透過した超音波波形を比較し、両者の FFT スペクトルの比から Q 値を評価する方法である (Toksoz et al., 1979)。

標準試料と対象とする試料の平面波の振幅は次のように表される。

$$A_1(f) = U_0 \cdot e^{-\alpha_1(f)x} \cdot e^{i(2\pi ft - k_1 x)} \cdot G_1 \quad 1) \text{ 式}$$

$$A_2(f) = U_0 \cdot e^{-\alpha_2(f)x} \cdot e^{i(2\pi ft - k_2 x)} \cdot G_2 \quad 2) \text{ 式}$$

$A(f)$: 振幅
 U_0 : 初期振幅
 f : 振動数
 x : 距離 , t : 伝播時間
 k : 波数 ($=2\pi f/\nu$)
 ν : 速度
 G : 拡散、反射等を含む幾何学的因子
 $\alpha(f)$: 振動数に依存する減衰係数
添字 1、2 : 標準試料(1)、対象試料(2)を表わす。

式中の $e^{-\alpha(f)x}$ が距離 x を伝播した波の減衰を示す。

いま、 α は振動数の線形関数であると考え、3)式で定義する。

$$\alpha(f) = \gamma f \quad 3) \text{ 式}$$

ここで γ は定数であり Q 値と次の関係がある。

$$Q = \pi/\gamma\nu \quad 4) \text{ 式}$$

対象試料と標準試料が幾何学的に同一 (同一寸法、同じ振動子、同じ配置) で、かつ G_1/G_2 が振動数に依存しないとすれば、フーリエ振幅比は 1)式を 2)式で除すことにより次式で示される。

$$\frac{A_1}{A_2} = \frac{G_1}{G_2} \cdot e^{-(\gamma_1 - \gamma_2) \cdot f \cdot x} \quad 5) \text{ 式}$$

上式の自然対数をとると次式となる。

$$\ln(A_1/A_2) = (\gamma_2 - \gamma_1) \cdot f \cdot x + \ln(G_1/G_2) \quad 6) \text{ 式}$$

6) 式で振幅比 $\ln(A_1/A_2)$ を振動数に対してプロットしたときの直線の傾きから $(\gamma_2 - \gamma_1)$ を求めることができる。標準試料の Q 値が非常に大きければ γ_1 を 0 とみなせるので対象試料の γ_2 は傾きから直接求めることができ 4)式から Q 値を導くことができる。

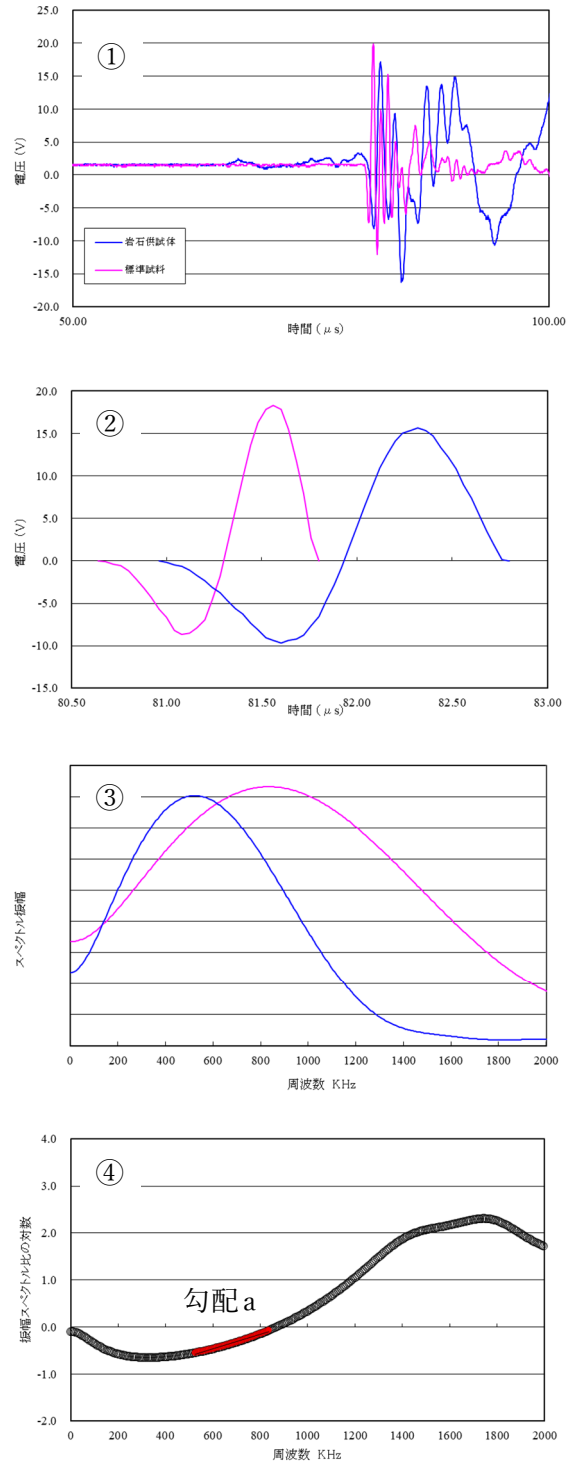
標準試料には岩石供試体と同じ形状のアルミ合金（A5056）を用い、岩石供試体と同様の方法で透過波形を収録する。なお、Zemanek（1961）によれば、アルミの Q 値は 15×10^4 という大きな値となっているので、 γ_1 は 0 とみなしても誤差はないことになる。

スペクトル比法による Q 値の解析は以下の手順で行う（第 3-7 図参照）。

- ① 標準試料と岩石供試体の波形データをそれぞれプロットし、全体傾向から外れるデータや異常なノイズなどが無いことを確認する。その際、初動が到達する前の信号の平均値を DC 成分として差し引く。
- ② 原則として初動後の 1 波長分のデータを切り出し、Q 値解析対象とする。
- ③ FFT (Fast Fourier Transform) をかけてフーリエスペクトルを計算する。
- ④ 各周波数においてアルミの標準試料に対する岩石供試体のスペクトル振幅比の対数を求め、周波数との関係でプロットする。佐藤（2012）を参考に、③で求めたフーリエスペクトルの振幅が、岩石供試体で最大となる周波数から標準試料で最大となる周波数までの区間の勾配 a を求め、次式で Q 値を解析する。（右図の着色プロット区間）

$$Q = \frac{\pi \cdot x}{a \cdot v} \quad 7) \text{ 式}$$

ここでは、 x には供試体の高さを、 v には弾性波速度測定で得られた S 波速度を用いる。



第 3-7 図 スペクトル比法による Q 値の解析

(f) パルスライズタイム法による Q 値測定

パルスライズタイム法は、岩石試料を透過した超音波パルス透過波形の立ち上がり時間(ライズタイム)から次式で Q 値を評価する方法である (Gladwin & Stacey, 1974)。

$$\tau = \tau_0 + \frac{C \cdot t}{Q} \quad \text{8) 式}$$

τ : 伝播波の初動のライズタイム

τ_0 : 入射波のライズタイム

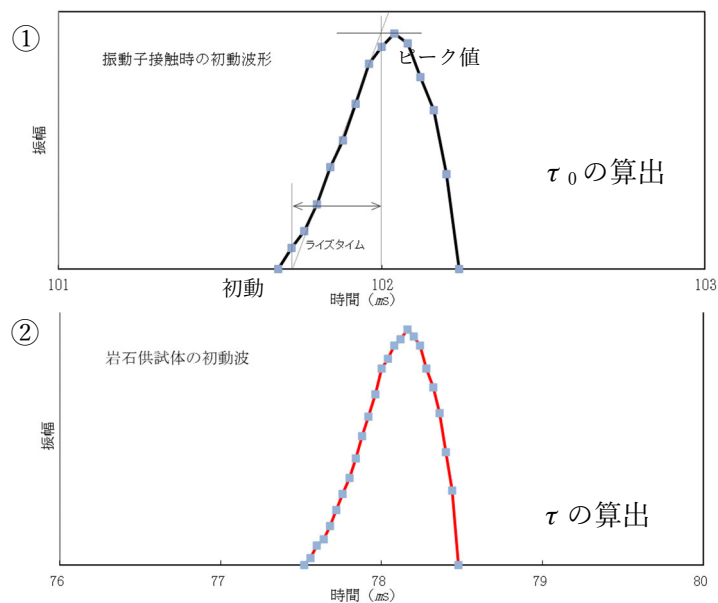
t : 伝播時間

C : 比例定数

比例定数 C については、Gladwin & Stacey (1974) は実験値として 0.53 ± 0.04 を提案しているが、今回は佐藤 (2012) が波形シミュレーションによって求めた 0.293 を採用する。

ライズタイム τ および τ_0 の算出方法については佐藤 (2012) を参考とする。伝播波の初動のライズタイム τ は、第 3-8 図のように初動後のピーク値をピークに至るまでの最急勾配で除して求める。なお最急勾配は、ノイズによる波形の乱れを考慮して、初動からピーク値までの合計データ数の半分 (第 3-8 図①の場合、5 データ) を範囲として求める。入射波のライズタイム τ_0 については、超音波振動子と受振子を直接接触させた場合の振源波形から τ と同様の方法で求める。

岩石試料を透過した伝播波のライズタイムは、前述のスペクトル比法で収録した超音波透過波の初動波形を用いる (第 3-8 図②に例を示す)。



第 3-8 図 パルスライズタイム法による解析

4. その他調査計画

上記は減衰定数についてのボーリング調査計画について述べたが、あわせて、表層地盤についての追加ボーリング調査についても実施する。調査目的は、埋戻し土に考慮する動的変形特性（動弾性係数）の深さ方向依存性について、現時点のデータに基づく深度依存性の設定の妥当性を確認することであり、基本地盤モデルに設定している表層地盤物性値の確度の向上を図る。

5. 予定工程

予定工程を第5-1表に示す。4.に示した表層地盤に係る追加ボーリング調査については、下記の減衰定数に係る調査工程の範囲内で実施する。

第5-1表 予定工程

項目					2023年																								2024年												
					7月					8月					9月					10月					11月					12月					1月						
					5	10	15	20	25	30	5	10	15	20	25	30	5	10	15	20	25	30	5	10	15	20	25	30	5	10	15	20	25	30	5	10	15	20	25	30	5
概要					着手準備																																				
フェーズ1	中央地盤	R5-Q1	145 m	φ86mm	A班										仮設	削孔	検層	Q値解析▼																							
	中央地盤	R5-Q2	145 m		D班												仮設	削孔	検層	Q値解析▼																					
	中央地盤	R5-Q6	145 m		C班													仮設	削孔	検層	Q値解析▼																				
	AZ	R5-Q8	145 m		B班														仮設	削孔	検層	Q値解析▼																			
フェーズ2	西側地盤	R5-Q5	145 m	φ86mm	A班													仮設	削孔	検層	Q値解析▼																				
	東側地盤	R5-Q3	145 m		B班														仮設	削孔	検層	Q値解析▼																			
	東側地盤	R5-Q7	145 m		C班															仮設	削孔	検層	Q値解析▼	Q値解析▼																	
	G14	R5-Q4	145 m		D班																仮設	削孔	検層	Q値解析▼	Q値解析▼	総合検討▼															
計測	孔曲り測定		25m ピッチ						■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■																					
室内試験	試料採取・試験室へ搬入																	Q1/Q8	Q2/Q6	Q5/Q3	Q7/Q4																				
	供試体作製・物理試験・弾性波速度計測																		Q1/Q8	Q2/Q6	Q5/Q3	Q7/Q4																			
	コア減衰測定																			Q1/Q8	Q2/Q6	Q5/Q3	Q7/Q4																		
	室内岩石試験によるQ値解析																				Q1/Q8▽	Q2/Q6▽	Q5/Q3▽	Q7/Q4▽	総合検討▼																
とりまとめ																																									

(注)解放基盤面(標高-70m)を超える深さにQ値用ダウンホールPS検層の余堀分を加えた深度

参考文献

- 1) Gladwin M. T. and F. D. Stacey: : Anelastic degradation of acoustic pulses in rock, *Physics of the Earth and Planetary Interiors*, No.2, pp. 133-151, 1974.
- 2) Toksoz M. N., D. H. Johnston, and A. Timur : Attenuation of seismic waves in dry and saturated rocks : I. Laboratory measurements, *GEOPHYSICS*. Vol.44, No.4, pp. 681-690, 1979.
- 3) Zemanek, J., Jr., and Rudnick, J : Attenuation and dispersion of elastic waves in a cylindrical bar, *J. Acoust. Soc. Am.*, Vol.33, No.10, pp. 1283-1288, 1961.
- 4) 佐藤浩章 : 地震動評価のための地表に近い岩盤における減衰の測定とそのモデル化, *物理探査* 第65巻第1&2号, pp. 37-51, 2012.