

# 普天間飛行場代替施設建設事業に係る技術検討会

## 第5回

### 資料目次

1. 環境監視等委員会の報告	1
2. 技術的な論点	2
3. その他	4
4. 注釈説明集	6

1. 環境監視等委員会の報告

別添資料参照。

## 2. 技術的な論点

### 2.1 設計で用いる粘性土のせん断強さの設定について

設計に用いる粘性土のせん断強さは、「港湾の施設の技術上の基準・同解説（平成 30 年 5 月）」<sup>※2.1-1</sup>に記載されている力学試験の項目に則り、採取する前の状態をできる限り保つことができる専用の器材<sup>※2.1-2</sup>で採取した試料を用いた三軸圧縮試験等の力学試験により求めている。

一方、コーン貫入試験は、地層構成の把握を目的に、地層境界の確認及び土の種類を確認する物理試験のため、3 mのコーン貫入試験と1 mの土の採取を交互に行っている<sup>※2.1-3</sup>。

このため、コーン貫入試験の各種測定値は、土の採取時の応力解放の影響を受けており、原地盤の状態（土の強度）を正確に測定したものとなっておらず、このような測定値から設計に用いるせん断強さを推定することは適切ではない。

（注）トルベーン試験及びポケットペネトロメータ試験<sup>※2.1-5</sup>は、あくまで、コーン貫入試験の実施者が、その試験を異常なく行うことができているかを補助的に確認するとともに、物理試験に用いる土の試料採取を適切に行うため補助的に簡易的な方法で実施したものである。

いずれの試験も採取する前の状態を保つことができない方法<sup>※2.1-4</sup>で採取された試料で行われたものであり、土の強度を正確に求めることはできず、「港湾の施設の技術上の基準・同解説（平成 30 年 5 月）」に記載されている力学試験でもない。したがって、設計に用いることができない試験結果である。

### 2.2 設計で用いるAvf-c2層のせん断強さの設定について

「港湾の施設の技術上の基準・同解説（平成 30 年 5 月）」において、地層を区分する際には、土の力学的特性に着目し、砂質土又は、粘性土（シルト、粘土）に分類<sup>※2.2-1</sup>される。

このうち、粘性土は、「港湾の施設の技術上の基準・同解説（平成 30 年 5 月）」<sup>※2.2-2</sup>における土の工学的分類体系では、細粒分が50%以上の細粒土からなり、液性限界に基づき、さらに分類（低液性限界、高液性限界）される。

この方法によれば、B-27、S-3、S-20、B-58、B-59、S-13の土質調査地点の下層で確認された土は、いずれも粘性土に分類され、液性限界に基づく分類も同様の傾向を示している。

さらに、土粒子の密度など物理試験の結果<sup>※2.2-4</sup>、採取した土の試料の目視観察による色や植物片の混入などの特徴から、6地点の下層で確認された粘性土は同じ地層（Avf-c2層）であることを確認している。

一般的に、同じ地層であれば、同じ強度特性を有しており、S-3、S-20、B-58の土質調査地点の三軸圧縮試験等の力学試験からB-27地点を含めた6地点のAvf-c2層のせん断強さを設定することは適切であり、追加のボーリング調査は必要ない

（注1）米国土壌局の砂、シルト、粘土のみで分類する三角座標<sup>※2.2-3</sup>によればAvf-c2層の粒度分布にバラツキが見られるものの、設計で用いるせん断強さの設定においては、「港湾の施設の技術上の基準・同解説（平成 30 年 5 月）」に基づく土の力学特性等による分類において同一の地層（すなわち同一の土質）であることを確認している。

（注2）S-20の土質柱状図には、Avf-c2層の一部に「粘土質砂」等と砂質系の土である旨の記載<sup>※2.2-5</sup>があるが、この部分の土については、力学試験の結果、粘性土の挙動を示すことを確認<sup>※2.2-6</sup>し、Avf-c2層の一部としている。また、S-3の土質柱状図にも、Avf-c2層の一部に「礫混じり砂」と砂質系の土である旨の記載<sup>※2.2-5</sup>があるが、この部分の土については力学試験が行われていないため、より安全側の設計とするため、砂質土より強度の低い粘性土に分類し、直上のAvf-c2層に含めている。

この部分の土については、Avf-c2層のせん断強さの設定では考慮していない。

（注3）「地盤調査の方法と解説」の「N値と粘土のコンシステンシー、一軸圧縮強さの関係(Terzaghi and Peck)」<sup>※2.2-6</sup>によれば、quが196.2～392.4kN/m<sup>2</sup>は「非常に硬い」に分類され、Avf-c2層はこれにあたる。

### 2.3 地震動の設定について

空港土木施設において、地震動に関し求められる性能は、レベル1地震動による損傷等が当該施設の機能を損なわず継続して使用することに影響を及ぼさないことである<sup>※2.3-1</sup>。

その上で、特定の施設（※1）についてのみ、レベル2地震動（※2）に対して空港の機能を確保する必要があると空港の設置者又は管理者が判断する場合にあっては、レベル2地震動の性能が求められる<sup>※2.3-2</sup>。また、レベル1地震動の性能を求められる施設であっても、高盛土で構成される盛土地盤などについては、必要に応じ、レベル2地震動の性能を求められるが（※3）<sup>※2.3-1</sup>、これはその立地から被災による修復が長期間にわたる可能性があることや、高盛土の崩壊によって周辺の民家等に重大な被害が及ぶ可能性を考慮してのことである。

一方、本事業の飛行場施設については、使用者である米側と調整の上、護岸等の設計対象地震動は、レベル1地震動と設定している。

なお、国土交通省の空港土木施設設計要領に記載のある高盛土は、広大かつ平坦な空港用地を確保するために丘陵地を切盛りすることによって生じる高い盛土であり、海上を埋め立てることで整備される本事業については埋立地盤であることから、この要領に示す高盛土に当たらず、レベル2地震動の性能を求める必要はない。

- ※1 当該施設の被災に伴い、人命、財産又は社会経済活動に重大な影響を及ぼす可能性のある施設等
- ※2 「最大規模の強さ」を有する地震動
- ※3 「空港土木施設設計要領（耐震設計編）（平成 31 年 4 月）」。広島空港及び釧路空港において、レベル1で設計後（当時、レベル2地震動の概念はない）、レベル2での耐震性を検証した事例はある。

本事業におけるレベル1地震動の設定の方法<sup>※2.3-5</sup>は、以下のとおり。

- ① レベル1地震動が設定されており、サイト増幅特性が類似している近隣の場所を選定（運天港）
- ② 上記の場所と対象地点のサイト増幅特性の違いを考慮し、工学的基盤面におけるレベル1地震動を設定

(注1) 航空法施行規則第79条では、空港の施設<sup>\*2.3-3</sup>について、地震動等に対する要求性能を定めている。

ただし、空港の機能上必要な土木施設のうち、埋立地盤や護岸といった空港の施設以外の施設についての地震動等の要求性能は、「空港土木施設設計要領（施設設計編）（平成31年4月）」において記載されており、埋立地盤及び護岸の設計は「港湾の施設の技術上の基準・同解説（平成30年5月）」を参考とすることができると記述されている<sup>\*2.3-4</sup>。

そのため、埋立地盤及び護岸の設計は、「港湾の施設の技術上の基準・同解説（平成30年5月）」に準拠している。

(注2) レベル1地震動については、本事業と那覇空港滑走路増設事業（以下「那覇空港」という。）で同様の手順により設定している。

なお、那覇空港の最大加速度（約230gal）は、本事業（約40gal）より大きいですが、設計に際しては、最大加速度の値を直接用いるものではなく、工学的基盤面での加速度波形をもとに各構造物に対する設計外力すなわち照査用震度を定めることにより照査が行われる。

このため、最大加速度の違いが必ずしも設計外力の違いを意味するものでなく、設計外力に対応する照査用震度は、本事業では0.05～0.11、那覇空港では0.05～0.07となる。

( 白 紙 )

3. その他

■第1回～第4回技術検討会における意見等を踏まえた資料の対応等

第1回～第4回技術検討会における意見等を踏まえた資料の対応等を以下に示す。

技術検討会	資料頁	意見等	対応等
第1回 第4回技術検討会で提示済	53	沖縄におけるサンドコンパクションパイル工法、サンドドレーン工法の施工実績の確認。	第4回技術検討会の巻末資料（P76）に、沖縄におけるサンドコンパクションパイル工法、サンドドレーン工法の施工実績を掲載。
	53	4.地盤改良工法の候補の提示において、深層混合処理（CDM）工法の総合評価を「×」としている理由について、沖縄の気象特性等を踏まえた表現にしてはどうか。	第1回技術検討会資料の表4.1-2の当該地域の特殊性において、SD工法及びSCP工法は「24時間連続作業は不要であり適用可」を「台風等により長期間作業が中断しても適用可」、CDM工法は「24時間連続が必要であり適用は困難」を「台風等により長期間作業が中断した場合、セメントスラリーが固化し重複施工が困難となるため、台風が常襲する沖縄では不利。」と表現を改める。
第2回 第4回技術検討会で提示済	26	2.5.5 地盤の安定性能照査・軽量盛土工法における「最小改良幅」の定義の明確化。	第2回技術検討会資料の2.5.5 地盤の安定性能照査・軽量盛土工法における「最小改良幅」を「最小改良幅（構造物から荷重分散角30°を考慮した幅）」と定義を明確化。
第3回 第4回技術検討会で提示済	56	7.1 海上ヤード（ケーソン仮置マウンド）の検討 7.1.4 検討条件（2）土質条件の設定にあたり、中間土・粘性土の簡易CUbar試験で極端に大きな負の間隙水圧が発生していないことの確認。	第4回技術検討会の巻末資料（P77）に、簡易CUbar試験結果（応力～ひずみ）のグラフを掲載。
	68,74,76,77	8.3.2 変形照査結果、10.3.1 滑走路縦断の沈下の検討等における残留沈下量を示す位置の明確化。	第3回技術検討会資料の8.3 FEM解析による変形照査 図8.3-3の縦軸を「残留沈下量[埋立天端](cm)、10.1 埋立地における地盤改良の考え方 図10.2-1の縦軸を「沈下量S[埋立天端](cm)、10.3 滑走路のメンテナンス方法の検討 図10.3-3及び図10.3-4の縦軸を「残留沈下量[埋立天端](cm)と位置を明確化。
	70	9.2.1 壁体の安定性能照査において、ネガティブ・フリクションの検討対象となる地盤の特性の明確化。	第3回技術検討会資料の9.2.1 壁体の安定性能照査の②軸方向力において、「中間土は、砂質土としての特性も有するが、粘性土としてより安全な検討を行った。」と対象となる地盤特性を明確化。
	79	11.埋立柱の液状化の検討において、「粒径加積曲線のうち極一部分が「液状化の可能性あり」の範囲に掛かることから、」との表現を変更してはどうか。	第3回技術検討会資料の11.埋立柱の液状化の検討における「粒径加積曲線のうち極一部分が「液状化の可能性あり」の範囲に掛かることから、」の表現を「念のため」と表現を改める。

技術検討会	資料頁	意見等	対応等
第4回	2, 3	動態観測の基本的な考え方はこれで良いが、観測項目や観測方法等は本技術検討会で示した内容で決定とせずに、実際に設置する時期において新しい観測項目や観測方法等が提案されていれば、柔軟に採用したほうが良い。	動態観測機器の設置段階において、新たな観測項目及び観測方法が提案されていれば採用を検討。
	2, 3	観測機器の配置については、施工への影響を配慮し決定することだが、逆に施工から観測値が受ける影響、例えば中途半端な荷重がかかったままの計測等も配慮して配置を決定する必要がある。 また、早く一次圧密が終了するようなところや、後の施工の参考となる早く陸地化する場所等を見越して配置する必要がある。	工事の施工段階において、動態観測機器の設置による施工への影響及び動態観測機器が受ける施工からの影響を考慮した配置を検討すると共に、後の施工の参考となる動態観測器の配置を検討。
	2, 3	可能ならば、海域における海象（潮位、波高、潮流）を観測し、施工時の安全性等の確認に用いてはどうか。	工事の施工前段階において、波浪観測機器の設置について検討。
	3	滑走路とエプロンの部分について計画されている観測の内容、用いる計器等についてはこれで良いが、実際に観測を行う地点、配置については供用後の使用方法、例えば滑走路でのタッチダウンが頻繁に起きる付近、エプロンでの長時間の駐機が予想される地域を考慮したうえで、重点的に観測したほうが良い。 また、基礎地盤支持力等は舗装の設計のもとになる値となるので計測する間隔も検討した方が良い。	動態観測機器の設置段階において、滑走路とエプロンの部分について供用後の使用方法を考慮した動態観測機器の配置を検討すると共に、基礎地盤支持力の計測を行う間隔を検討。
	2	今回取得したCPTデータを初期値として、そこからの土の強度増加の過程をしっかりと評価したほうが良い。	動態観測の実施前段階において検討。
	2, 3	観測結果を設計・施工へのフィードバック、維持管理に用いるためには、どれくらいの期間で計測を行うか考える必要がある。特に二次圧密沈下は長期的に沈下特性が変わるところがあることから、それらも踏まえしっかりと計測期間を考えること。	動態観測の観測期間は、特に二次圧密沈下に係る計測は維持管理段階で必要となるため、沈下状況を踏まえ長期的な観測を検討。
	2, 3	施工の進展に伴って、動態観測の時間的、空間的な密度を変えていくような計画を立てるべきである。 また、施工が進んでいくと観測値の変化が小さくなることから、最終的には目視などの初歩的であるが確実な計測方法を導入するのも良い。	施工段階の動態観測において、観測値の変化を踏まえつつ観測時間的、空間的な密度を変える検討を行うと共に、機器による計測から測量による計測への変更も検討。
	2, 3	沈下計測の方法において、例えば電池式の沈下計は電池の寿命があって計測できる期限がきてしまうが、埋立地の圧密もある時期が来ると落ち着くことから、時期を見て海底面の沈下を直接測る方法から、天端計測に移行する等、沈下計測の方法を少し簡略化していく方法もある。 また、配置において施工中は重要で配置したが、その上に舗装が出来てしまう等で計測出来なくなることが無いように配置を考えるべき。	動態観測の実施段階において、観測値の変化と観測機器が計測できる期限を踏まえ、観測機器による計測を継続するか、測量による計測に移行するか検討すると共に、動態観測機器の設置段階において、動態観測機器の設置後に構造物等が築造され計測ができなくならないよう動態観測機器の配置を検討。
	2, 3	長期的な沈下を予測するには、どの地層がどれだけ沈下しているのか、沈下が止まっているのか、まだ沈下が続くのかといったところが重要である為、層別沈下計は地盤調査を踏まえ丁寧に設置すべき。	動態観測の設置前段階において、中間土層、粘性土層を対象として地盤調査結果を基に、層境界、層厚等を踏まえた配置計画を検討。
	2, 3	表 2.3-1 及び表 2.3-2 において、観測項目の「その他」の観測する方法が「潮位」及び「地下水位」となっているが、これらは観測する方法ではないため、表現を変えてはどうか。	表 2.3-1 及び表 2.3-2 の観測項目の「その他」を「潮位」及び「地下水位」に、観測する方法の「潮位」及び「地下水位」を「潮位計」及び「水位計」に表現を改める。また、表 2.3-3 の観測項目の「その他」を「地下水位」に表現を改める。
2, 3	パラメータの同定には、施工順序の施工履歴に加えて、土量もしくは層厚も必要になるため、工事を発注する際の管理項目として念頭に置いておくべきである。	工事の発注段階において、管理項目として施工履歴及び埋立材の投入量やそれに伴う層厚確認を加えるよう検討。	

4. 注釈説明集

※2.1-1

「港湾の施設の技術上の基準・同解説（平成30年5月）」P.1664より抜粋

表-3.7.1 採取試料について実施する土質別の室内土質試験項目

区分	試験方法	規格・基準	乱した試料		乱さない試料		
			砂質土	粘性土	砂質土	粘性土	
物理試験	土粒子の密度	JIS A 1202 JGS 0111	○	○	○	○	
	含水比	JIS A 1203 JGS 0121	△*1	○	○	○	
	粒度（ふるい分け）	JIS A 1204 JGS 0131	○		○		
	粒度（ふるい分け+沈降分析）	JIS A 1204 JGS 0131	△*1	○	△*1	○	
	液性・塑性限界	JIS A 1205 JGS 0141	△*1	○	△*1	○	
	湿潤密度	JIS A 1225 JGS 0191			○	○	
	一軸圧縮	JIS A 1216 JGS 0511				○*2	
力学試験	簡易CU試験					○	
	三軸圧縮・伸張（UU・CU・CD条件等）	JGS 0521~6			○*3	○*4	
	繰返し振動三軸	液状化特性	JGS 0541			○*5	○*5
		動的変形特性	JGS 0542			○*6	○*6
	繰返し中空ねじりせん断（動的変形特性）	JGS 0543			○	○	
	圧密（段階載荷）	JIS A 1217 JGS 0411				○*7	
	圧密（定ひずみ速度載荷）	JIS A 1227 JGS 0412				○*7	

○：標準的に実施、△：必要に応じて実施

注) \*1 液状化の予測・判定において、均等係数の算定に必要な $D_{10}$ を沈降分析試験で求める必要が生じた場合は、含水比試験及び沈降分析試験を実施する。また、細粒含有率15%以上の土質は、塑性指数を用いて等価 $N$ 値の補正を行うため、液性・塑性限界試験を行う必要がある。  
 \*2 一軸圧縮試験は、1試料に対して2から3供試体を行う。  
 \*3 砂質土の三軸圧縮試験は、地盤を構成する各砂質土層の代表的な試料を対象とし、1試料に対して3から4供試体を用いて実施する。  
 \*4 粘性土の三軸圧縮試験は、地盤を構成する各粘性土層の代表的な試料を対象とし、1試料に対して3から4供試体を用いて実施する。異方性を考慮する必要がある場合は、三軸圧縮試験に加えて三軸伸張試験を実施する。  
 \*5 FLIP解析や繰返し振動三軸による液状化判定を行う場合、対象層について1試料に対して4供試体以上実施する。  
 \*6 地震応答解析等に必要ない地盤の非線形特性を把握するため、各土層の代表的な試料を対象とし、通常1試料に対して1供試体実施する。  
 \*7 複雑な地盤あるいは圧密沈下が特に問題になるような地盤の場合には、実施頻度を増やすべきである。なお、通常は1試料に対して1供試体で試験を実施するが、各土層におけるデータのばらつきを評価するのに十分な試験数量が得られるように、必要があれば1試料に対して複数の供試体に対して試験を実施する。また、中間土（低塑性粘性土）、疑似過圧密粘土、大深度試料については段階載荷と定ひずみ速度載荷を併用すべきである。

三軸圧縮試験（イメージ）



一軸圧縮試験（イメージ）



※2.1-2

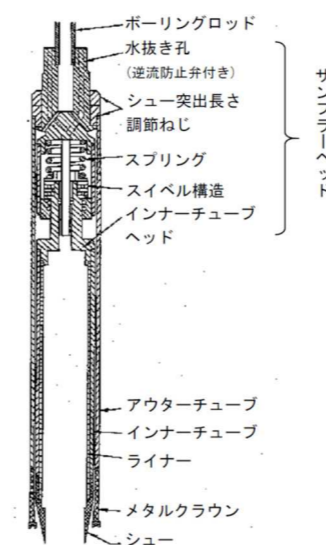
「地盤調査の方法と解説（平成25年3月）」P.202、204より抜粋

表-1.2.1 標準化されたサンプリング法におけるサンプラーの構造と適用地盤の関係

サンプリング法	サンプラー カテゴリー	構造	地盤の種類														
			粘性土			砂質土			砂礫		岩盤						
			軟質	中くらい	硬質	ゆるい	中くらい	密な	ゆるい	密な	軟岩	中硬岩	硬岩				
			N値の目安														
固定ピストン式シンウォールサンプラー（JGS 1221）	水圧式 ニキステンションロッド式	A	単管	◎	◎	○	◎ <sup>1)</sup>	◎	◎ <sup>1)</sup>	◎ <sup>1)</sup>	◎ <sup>1)</sup>						
ロータリー式二重管サンプラー（JGS 1222）		A	二重管		◎	○											
ロータリー式三重管サンプラー（JGS 1223）		A	三重管		◎	◎	○	◎	◎			○					
ロータリー式スリーブ内蔵二重管サンプラー（JGS 1224）		A, B	二重管	○	○	○	○	○	○	○	○	○	◎	◎	◎		
ブロックサンプリング（JGS 1231）		A	-	◎	◎	◎	○	○	◎			○	○				
ロータリー式チューブサンプリング（JGS 3211）		A	多重管			○								◎	○		

◎：通している、○：適用可能、1) 小径倍圧型水圧式サンプラー

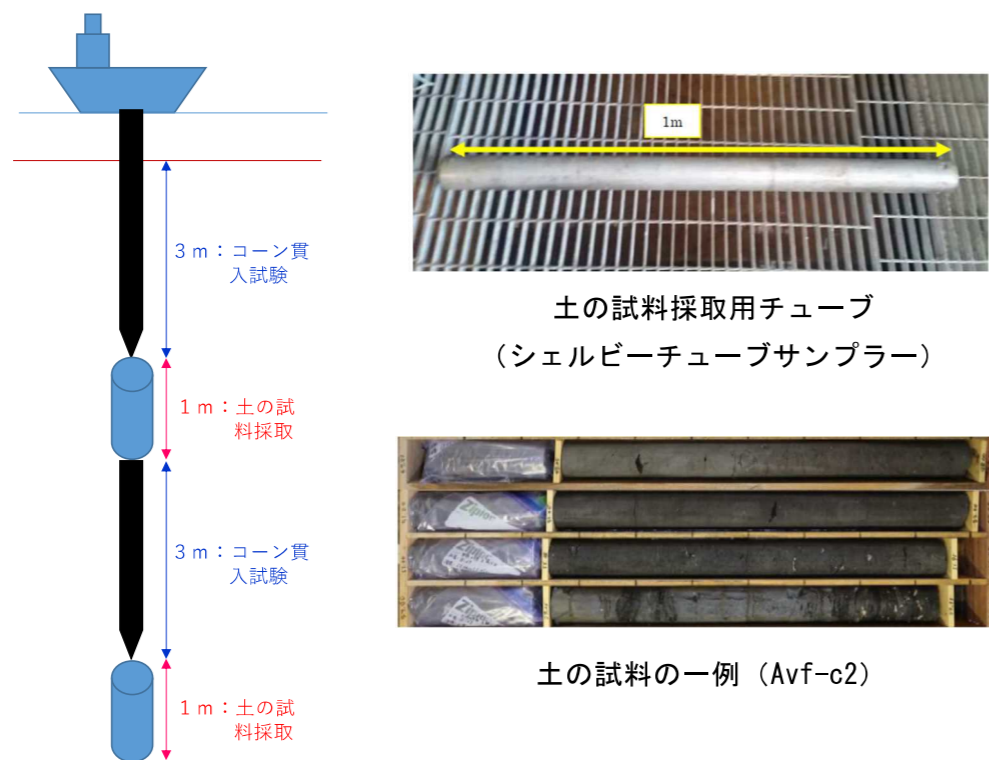
- ・カテゴリーA：試料採取や土試料を扱う中で土の構造の乱れがほとんど無いか、無いもの。そして、含水比や間隙比が原位置のそれと等しい。土の構成や化学成分の変化が無い。
- ・カテゴリーB：土の構造は乱れているが含水比や構成は原位置のそれと同じである。土層やその構成は特定できる。
- ・カテゴリーC：土の構造が全体的に変化している。土層やその構成が原位置の状態から変化して正確に特定できない。含水比も原位置のそれを反映していない。



土の試料の一例（Avf-c）

土の試料採取用機器の例（トリプルサンプラー）

※2.1-3 コーン貫入試験地点での試料採取



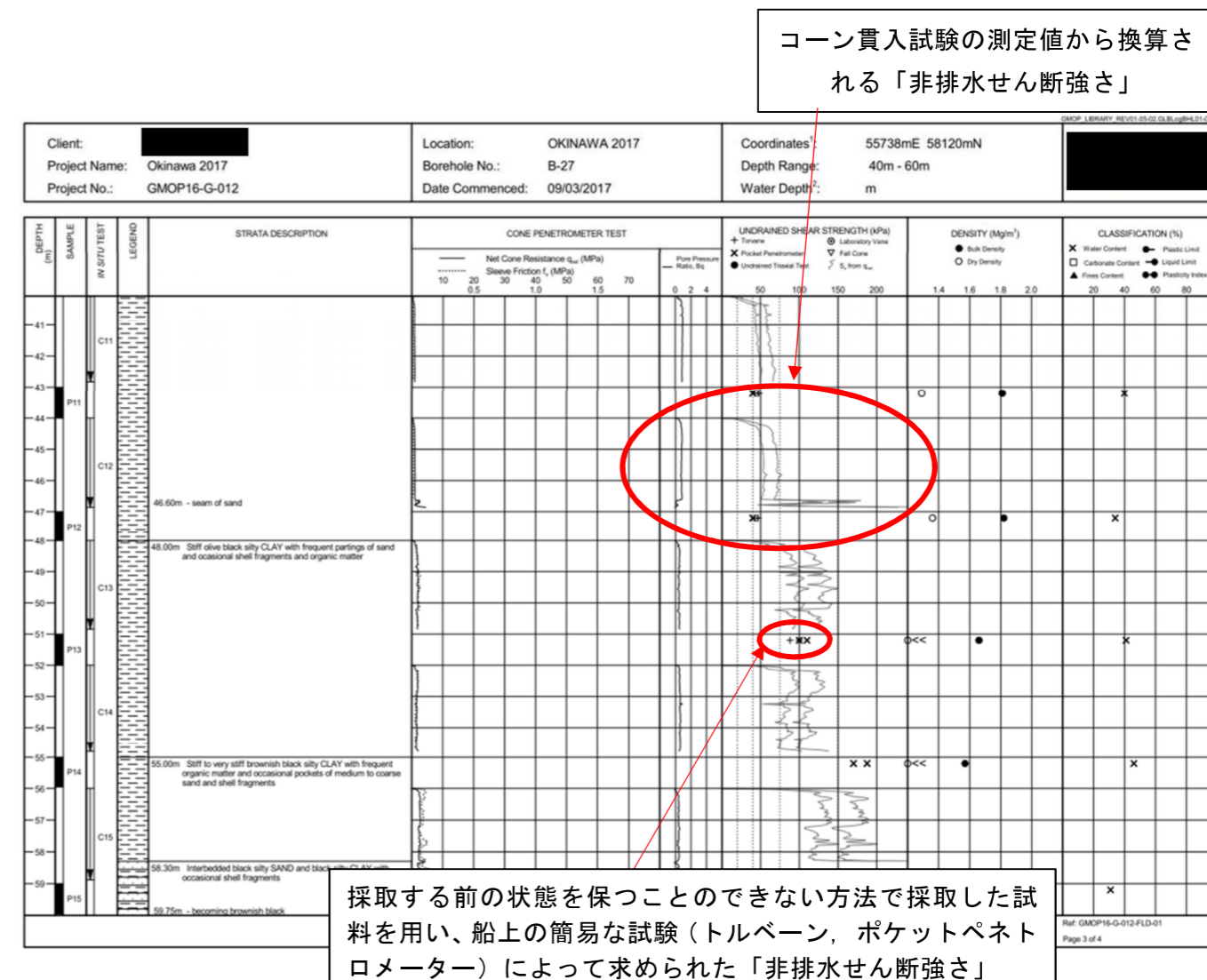
※2.1-4

「地盤調査の方法と解説 (平成 25 年 3 月)」 P. 203 より抜粋

表-1.2.2 基準に含まれないサンプラー・サンプリング方法の仕様

サンプラーの種類	構造	ピストン		押込方式		地盤の種類	試料の状況		試料径 (mm)	ボーリング孔径 (mm)	備考
		有	無	静的	打撃式		ロータリー	乱れが少ない			
1 NGI サンプラー	単管	○	○	○	○	粘性土	○	○	54	86	
2 シェルビーチューブサンプラー	単管	○	○	○	○	粘性土	○	○	72	86	
3 自由ピストン式シンウォールサンプラー	単管	○	○	○	○	粘性土	○	○	75	86	
4 コンボジットサンプラー	二重管	○	○	○	○	粘性土	○	○	75	116	
5 シェルブルックサンプラー	..	..	..	..	..	粘性土	○	○	250		孔底でのブロックサンプリング
6 ラバルサンプラー	単管	○	○	○	○	粘性土	○	○	208	300	造切り
7 土圧バランス式サンプラー	三重管	○	○	○	○	粘性土 砂質土	○	○	120	180	
8 地層抜き取り装置	-	○	○	○	○	粘性土 砂質土	○	○	幅 0.3~0.4 m 厚 0.05~0.1 m 長さ 3~6 m	-	サイズのバリエーション有
9 凍結サンプリング	-	-	-	-	-	砂・砂礫	○	○	任意	-	
10 ツイストサンプラー	二重管	○	○	○	○	砂質土 超軟弱土	○	○	50, 70	86	
11 GP サンプラー	単管	○	○	○	○	礫質土	○	○	100	127	大口径もある
12 遊星歯車機構を有するロータリー式スリーブ内蔵二重管サンプラー	二重管	○	○	○	○	軟岩	○	○	65	86	他にサンプラーのバリエーション有
13 サング礫混じり土用のサンプラー	単管	○	○	○	○	砂質土 礫混じり土	○	○	68, 81	86, 116	主としてサング礫混じり土用
14 固定ピストン式二重管サンプラー	二重管	○	○	○	○	廃棄物	○	○	70	116	
15 超軟弱粘性土用サンプラー	二重管	○	○	○	○	超軟弱土	○	○	50	-	
16 ワイヤライン式サンプラー	単管 二重管	○	○	○	○	岩盤を除く地盤	○	○	75, 90	135, 146	

※2.1-5 コーン貫入試験、トルベーン試験、ポケットペネトロメータ試験結果の例



シュワブ (H26) ケーソン新設工事 (1 工区) 土質調査 (2) 巻末資料 (抜粋)



Pocket Penetrometer 試験 (イメージ)



Torvane 試験 (イメージ)

※2.2-1

「港湾の施設の技術上の基準・同解説（平成30年5月）」P.326～334より抜粋

2.3.3 せん断特性

(1) 土のせん断強さは、一般に、砂質土と粘性土に分けて設定する。この場合において、砂質土のせん断強さは排水条件で設定し、粘性土のせん断強さは非排水条件で設定することができる。

(2) 一般に、砂質土の透水係数は粘性土の $10^3 \sim 10^5$ 倍あり、砂質土地盤においては施工中に間隙の水が完全に排水していると考えられる。したがって、砂質土地盤のせん断強さは、排水条件におけるせん断抵抗角 $\phi_D$ と粘着力 $c_D$ によって評価されるが、通常 $c_D$ は十分に小さいので $c_D=0$ とし、 $\phi_D$ のみを強度定数とする場合が多い。

一方、粘性土地盤では透水性が低いため施工中に排水が生じず、せん断強さは施工前後でほとんど変化しない。したがって、施工前における非排水せん断強さを強度定数として用いる。

砂と粘土の中間的な透水性を有する中間土地盤では、透水係数や施工の条件から砂質土あるいは粘性土とみなし、適切な試験方法でせん断強さを算定する。

1) 粘性土地盤（砂の含有量が50%未満のもの）

$$\tau = c_u \quad (2.3.18)$$

ここに、

$\tau$  : せん断強さ (kN/m<sup>2</sup>)

$c_u$  : 非排水せん断強さ (kN/m<sup>2</sup>)

2) 砂質土地盤（砂の含有量が80%以上のもの）

$$\tau = (\sigma - u) \tan \phi_D \quad (2.3.19)$$

ここに、

$\tau$  : せん断強さ (kN/m<sup>2</sup>)

$\sigma$  : せん断面上の直応力 (kN/m<sup>2</sup>)

$u$  : 現位置における定常水圧（主に静水圧）(kN/m<sup>2</sup>)

$\phi_D$  : 排水条件におけるせん断抵抗角 (°)

なお、砂分が50～80%のものは砂質土と粘性土の中間的な性質を示すので中間土と呼ばれる。中間土のせん断強度の評価は砂質土や粘性土に比べて難しいので、最新の研究成果や調査・設計・施工事例を参考にして慎重に行うべきである。粘性土として取り扱える中間土の場合には、一軸圧縮強さからせん断強さを評価すると著しく過小評価してしまうことも多く、三軸CU試験等の結果を活用することが望ましい。ただし、後述するように、せん断に伴うダイレーション（体積膨張）が著しい場合には、強度の設定は慎重に行わなければならない。

※2.2-2

「港湾の施設の技術上の基準・同解説（平成30年5月）」P.311～313より抜粋

2.2.2 土の分類

(1) 土の分類は、粗粒土については粒度によって、細粒土については、一般に、含水比によって変化する土の硬さや軟らかさの程度を表すコンシステンシーによって行う。

(2) 土の強度や変形などの力学特性は、粗粒土の場合はその粒度、細粒土の場合はそのコンシステンシー特性と密接な関係がある。

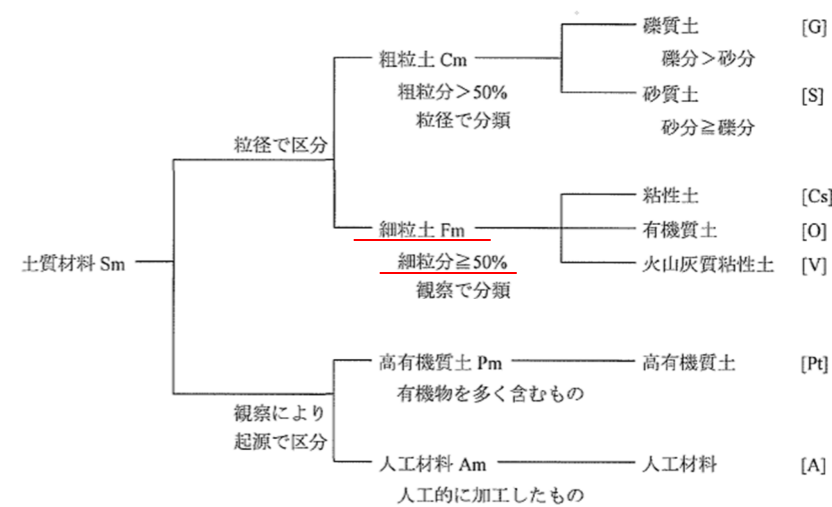
(3) 地盤材料の工学的分類方法（日本統一分類法）

上及び岩石を分類する方法、その分類結果を表示する方法は、地盤材料の工学的分類方法（JGS 0051）（日本統一分類法）に従うことができる。地盤材料の粒径区分とその呼び名を図-2.2.5に示す。粗粒土とは、主として粗粒分すなわち粒径75 $\mu$ m以上75mm未満の粒度成分からなる土をいい、細粒土とは主として細粒分すなわち粒径75 $\mu$ m未満の粒度成分からなる土をいう。図-2.2.6と図-2.2.7に土の工学的分類体系を、図-2.2.8には細粒土の分類に用いられる塑性図を示す。

		粒 径 (mm)									
		0.005	0.075	0.250	0.850	2	4.75	19	75	300	
粘 土	シルト	細砂	中砂	粗砂	細礫	中礫	粗礫	粗石 (コブル)	巨石 (ボルダー)		
		砂			礫			石			
細 粒 分		粗 粒 分						石 分			

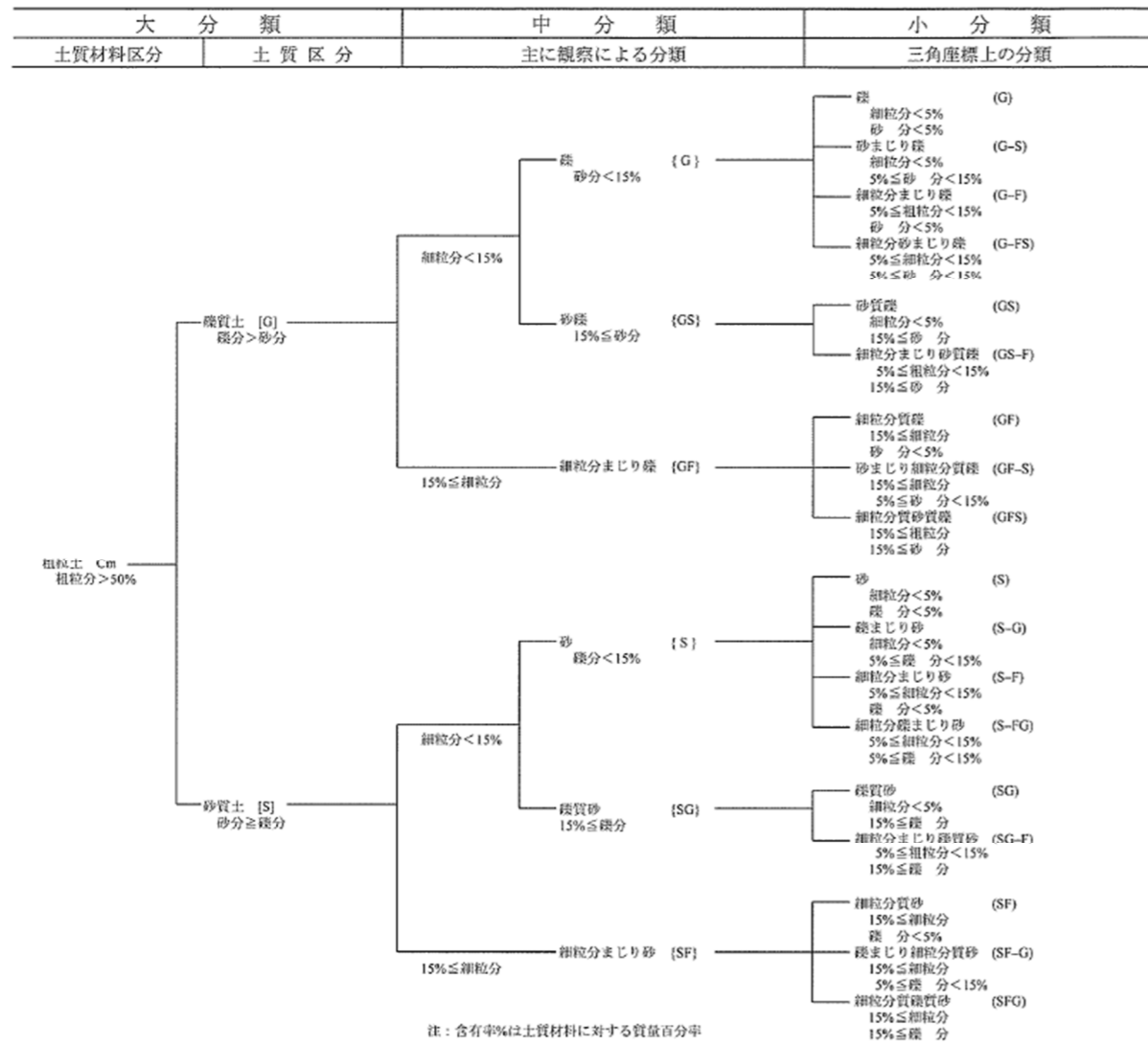
(注) ある区分に属する構成粒子を意味するときは、各呼び名にそれぞれ「粒子」という言葉をつけ、ある区分に属する構成成分を意味するときは、各呼び名にそれぞれ「分」という言葉をつけて表す。

図-2.2.5 粒径区分とその呼び名 (JGS 0051)

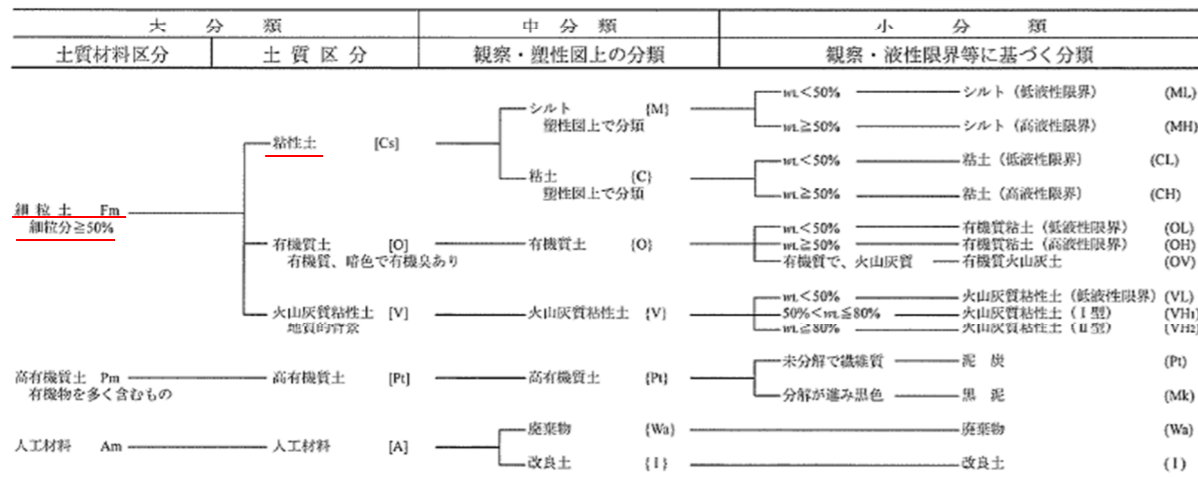


注：含有率は土質材料に対する質量百分率

図-2.2.6 土の工学的分類体系（大分類）(JGS 0051)



(a)粗粒土の工学的分類体系



(b)主に細粒土の工学的分類体系

図-2.2.7 土質材料の工学的分類体系 (JGS 0051)

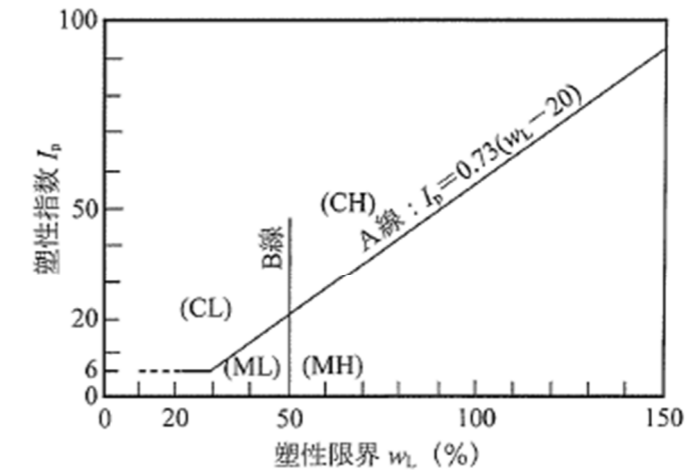


図-2.2.8 細粒土の分類に用いられる塑性図 (JGS 0051)

※2.2-3

「土の見分け方入門（平成9年4月）（社）地盤工学会」P.65より抜粋

土粒子の大きさを定めるための研究は、当然のこととして、粒度組成を基にした土の分類へと進展する。粒度組成に基づく土の分類として知られているのが三角座標分類法である。図-2は、米国土壌局、米国道路局、ミシシッピ河管理委員会の三角座標分類法である。三角座標分類法では、粘土・シルト・砂粒子の含有割合のみによって土を分類することになる。しかし、土の力学的性質を支配する素材特性が粒度組成だけではないことがわかるにつれて、この分類法は土質工学の分野ではあまり用いられなくなってきた。

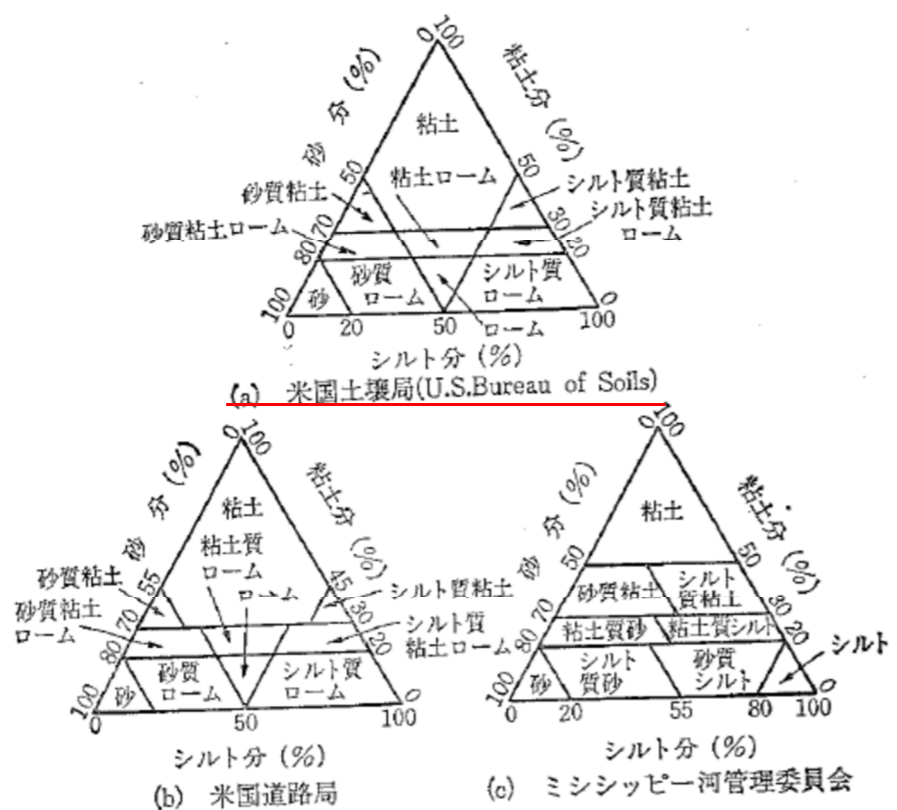
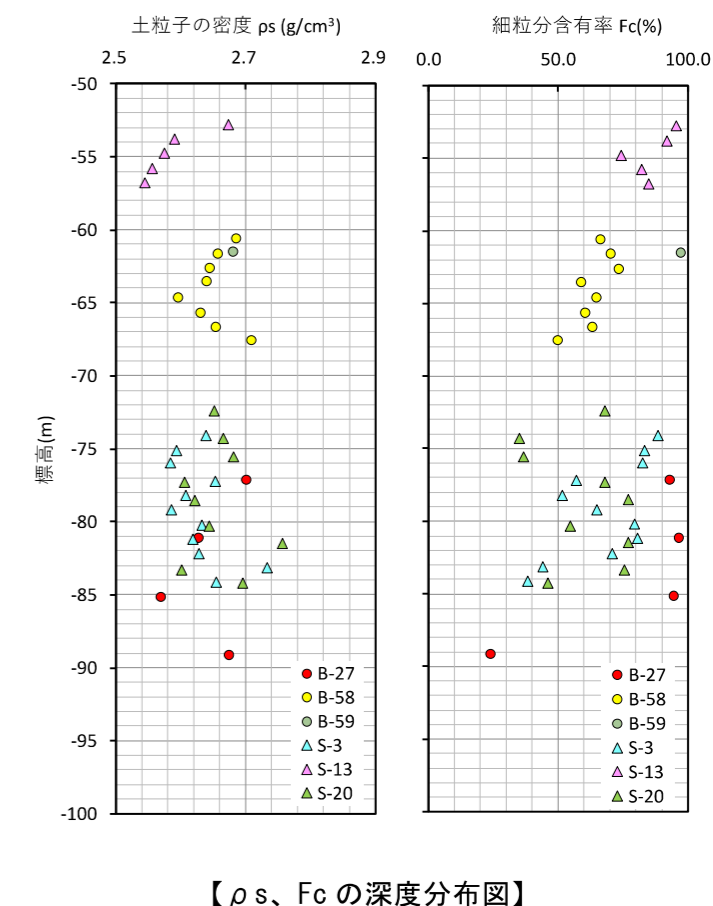
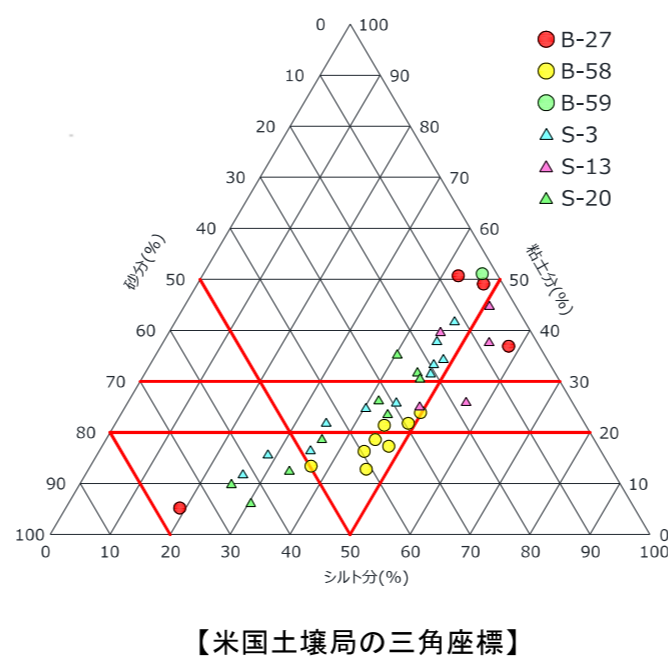
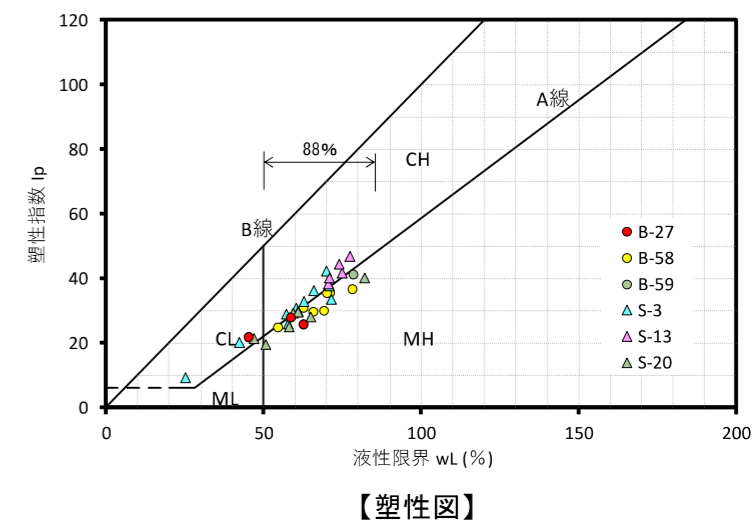
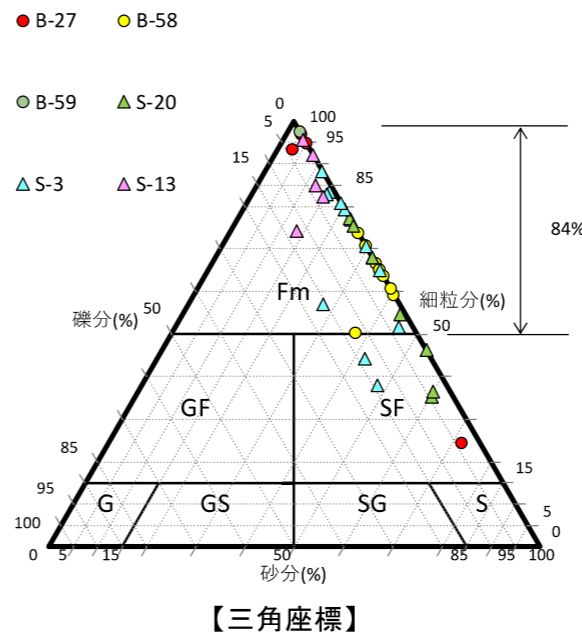


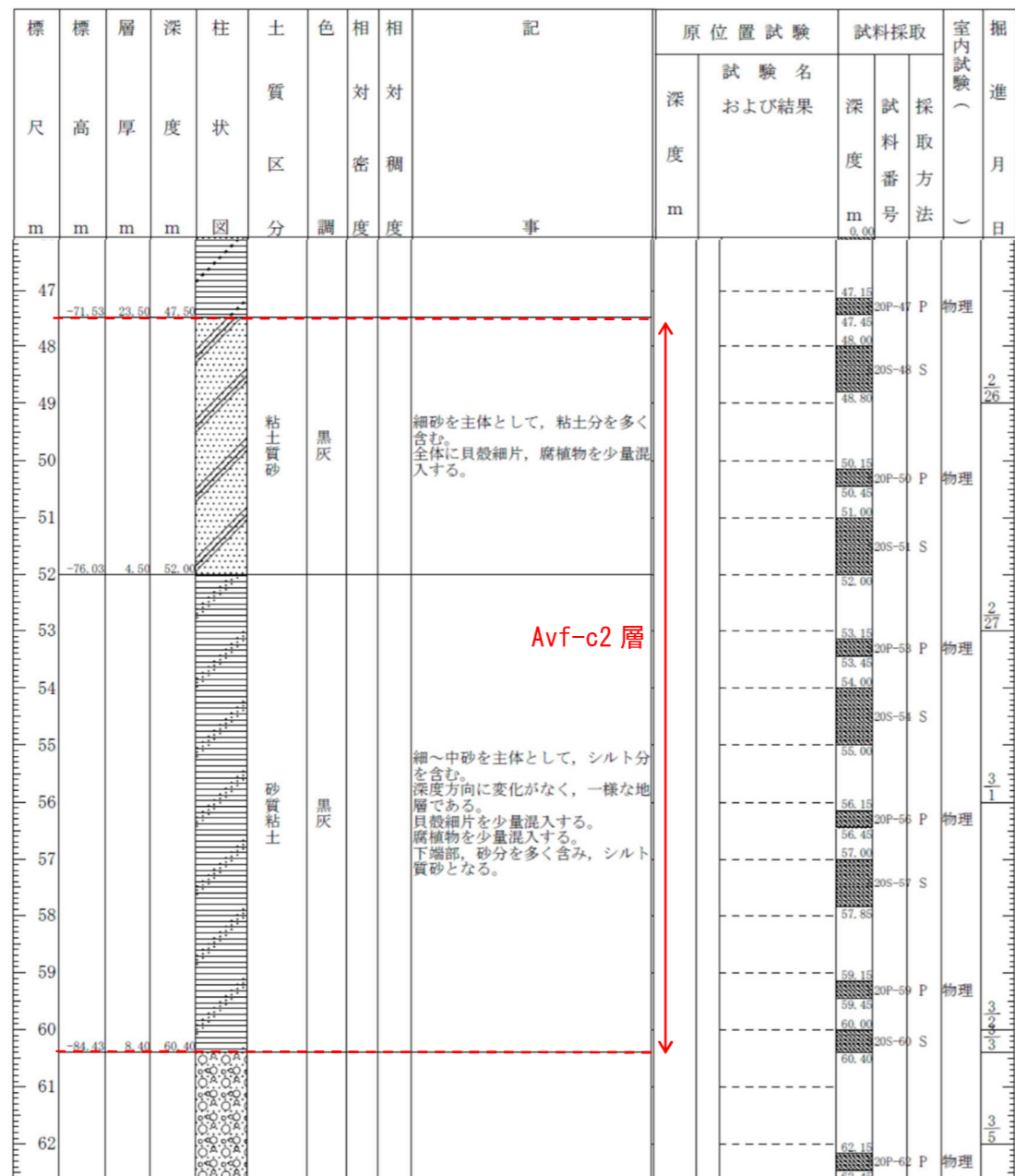
図-2 米国土壌局，米国道路局，ミシシッピ河管理委員会の三角座標分類法

※2.2-4 Avf-c2層の工学的分類、物理的特性



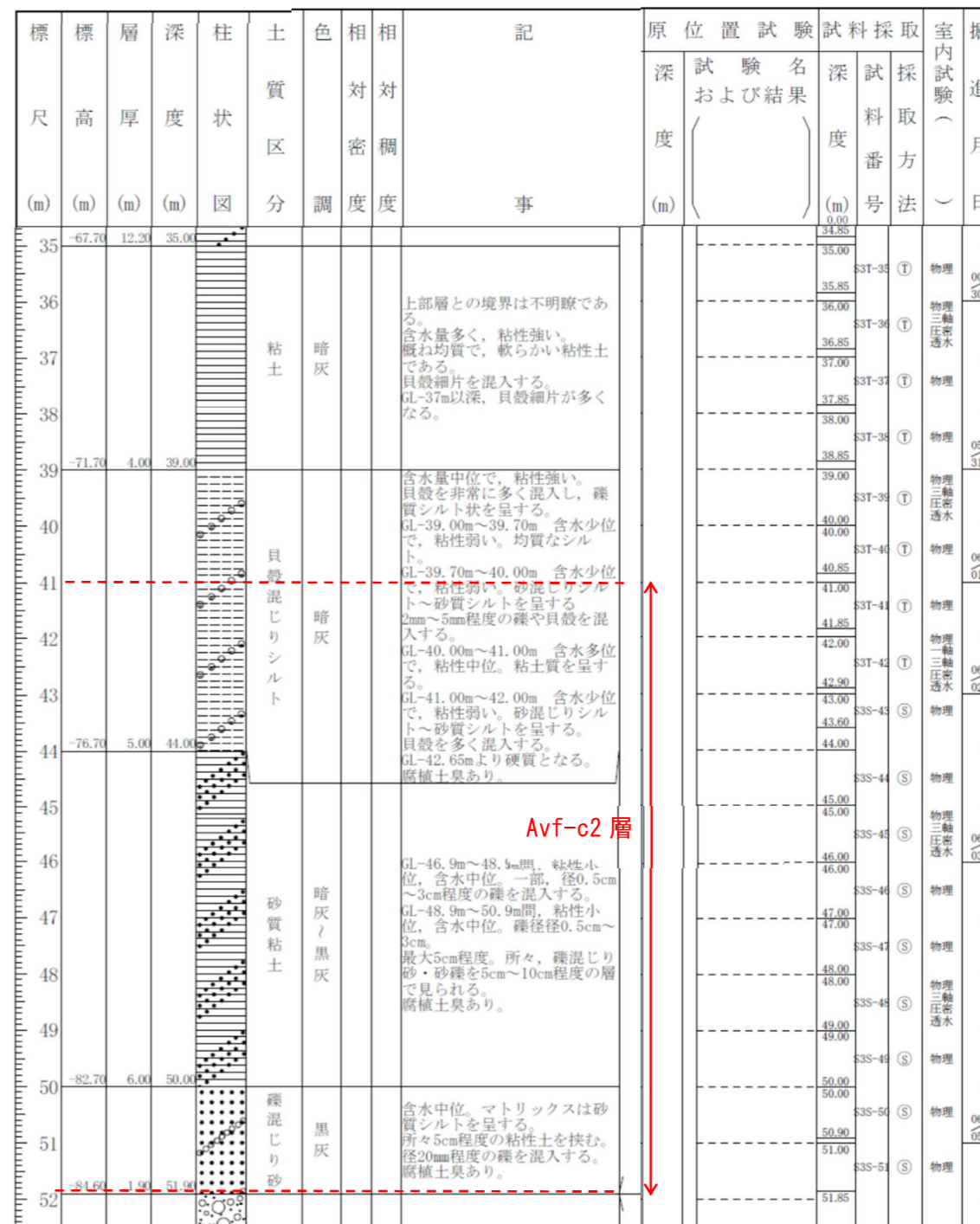
※2.2-5 S-20、S-3 地点の Avf-c2 層の柱状図抜粋

柱状図 (S-20)



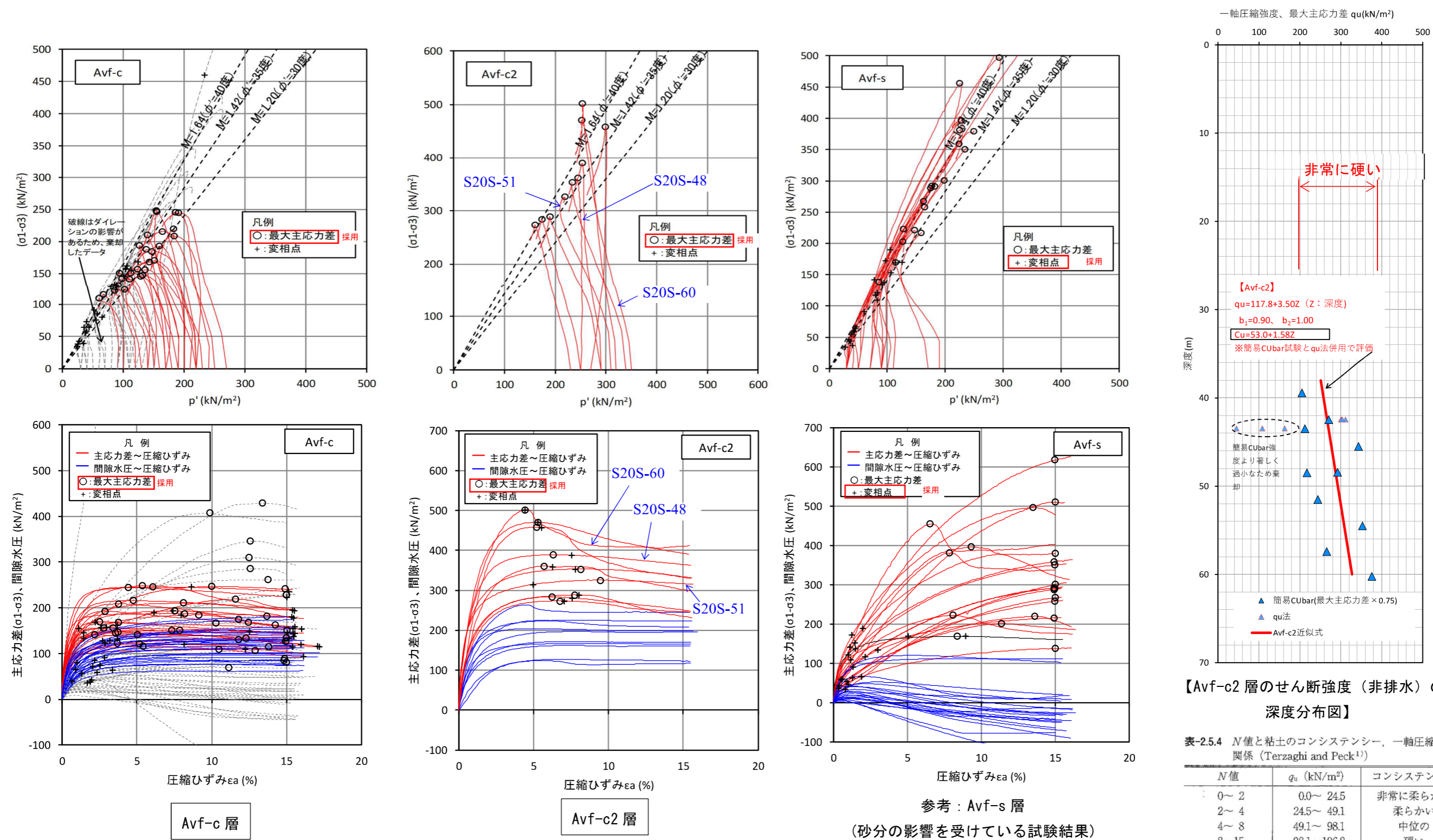
柱状図 (S-20 の Avf-c2 層)

柱状図 (S-3)



柱状図 (S-3 の Avf-c2 層)

※2.2-6 Avf-c2 層の簡易 CUbar 試験結果



【簡易 CUbar 試験結果（上段：ストレスパス、下段：応力～ひずみ）】

表-2.5.4 N値と粘土のコンシステンシー、一軸圧縮強さの関係 (Terzaghi and Peck<sup>1)</sup>)

N値	$q_u$ (kN/m <sup>2</sup> )	コンシステンシー
0~2	0.0~24.5	非常に柔らかい
2~4	24.5~49.1	柔らかい
4~8	49.1~98.1	中位の
8~15	98.1~196.2	硬い
15~30	196.2~392.4	非常に硬い
30~	392.4~	固結した

「地盤調査の方法と解説（平成25年3月）」P.308より

※2.3-1

「空港土木施設設計要領（耐震設計編）（平成31年4月）」P.2～3より抜粋

**第2章 耐震設計の基本**

**2.1 総説**

空港土木施設の設計にあたっては、空港に求められる機能に応じた耐震性能を確保するとともに、この機能に拘わらず、レベル一地震動、レベル二地震動それぞれに対し、以下の基本的な耐震性能を有するものとする。

- (1) レベル一地震動に対して、航空機の運航に必要な機能に影響を与えないこと。
- (2) レベル二地震動に対して、人命、財産又は社会経済活動に重大な影響を与えないこと。

- (1) 空港の主な機能としては、公共交通機関として果たす本来の機能の他、大規模地震発生時における緊急物資・人員等の輸送や救急・救命活動の拠点としての機能がある。地震災害時においてどの程度の輸送機能を確保すべきかは、航空ネットワークにおける役割、背後圏経済活動における役割及び緊急物資輸送形態等を踏まえて総合的に検討する必要がある。
- (2) 空港土木施設は、レベル一地震動による損傷等が当該施設の機能を損なわず継続して使用することに影響を及ぼさない使用性を確保するものとする。
- (3) 空港土木施設は、基本施設の被災に伴い空港の運用を停止する場合や、施設上に滑走路等の基本施設が存在する場合には、当該施設の被災が滑走路等の施設にも影響を与え、緊急救命活動や緊急物資等輸送の拠点としての役割が損なわれ、周辺地域の人命や財産の損失に重大な影響を及ぼす可能性がある。また、当該空港が航空ネットワークや背後圏経済活動において重要な役割を果たしている場合には、当該施設の被災に伴う空港の運用停止により、緊急救命活動や緊急物資等輸送の拠点としての役割が損なわれるだけでなく、社会経済活動に重大な影響を及ぼす可能性があることから、レベル二地震動に対しても小規模な修復による施設機能の迅速な回復が求められる。なお、地下道及び橋梁等、人、車両が通行する施設は、被災により構造の安定性が損なわれた場合に、人命に重大な影響を及ぼす可能性があることから、レベル二地震動に対しても構造の安定性を確保するものとする。この他、空港の施設でレベル一地震動のみの性能を示している施設であっても、高盛土で構成される盛土地盤のように、被災による修復が長期間にわたる可能性がある、又は高盛土の崩壊によって空港周辺の民家等に重大な被害が及ぶ可能性がある等、当該施設の被災によって、その影響が長期又は広範に及ぶ可能性がある場合には、レベル二地震動等に対する安全性についても確保するものとする。
- (4) 空港の施設において、その基礎となる地盤及び地下構造物は、空港の施設に求められる機能を損なわない性能を有する必要がある。
- (5) 空港土木施設は、地震動以外にも様々な作用が複合的に働く場合があり、この場合には、耐震性能を含めた総合的な性能を適切に設定する必要がある。
- (6) 耐震設計編は、「施設設計編」<sup>19)</sup>を適用する施設の耐震性能の考え方を示しているため、空港機器関係の耐震性能の考え方を示すものではない。ただし、空港機器関係（管制機器等）が設置されている基礎等の土木施設は、空港機器関係の機能確保の観点から、耐震設計編で示す以上の耐震性能が求められる場合もある。

※2.3-2

陸上空港の基準対象施設の性能の照査に必要な事項等を定める告示（平成二十年六月三十日国土交通省告示第八百号）（抄）

**第四章 偶発状態に対応するための滑走路、誘導路及びエプロン等の性能の向上**

**（性能の向上のための性能規定の基本）**

**第二十二條** レベル二地震動、偶発波浪、津波等に対して空港の機能を確保する必要があると空港の設置者又は管理者が判断する場合にあっては、この章に定めるところによるものとする。

**第二十三條** 被災時における当該空港の機能を確保するために必要な滑走路、誘導路及びエプロン等について、レベル二地震動、偶発波浪、津波等による損傷等が軽微な修復による当該施設の機能の回復に影響を及ぼさないものとする。

※2.3-3

陸上空港の基準対象施設の性能の照査に必要な事項等を定める告示（平成二十年六月三十日国土交通省告示第八百号）（抄）

**第一章 総則**

**（用語の定義）**

**第一條** この告示において使用する用語は、航空法施行規則（昭和二十七年運輸省令第五十六号。以下「規則」という。）において使用する用語の例によるほか、次の各号に掲げる用語の定義は、それぞれ当該各号に定めるところによる。

- 一 基準対象施設 規則第七十九条第二項に規定する陸上空港の滑走路、着陸帯、過走帯、滑走路端安全区域、誘導路、誘導路帯、エプロン及びショルダー並びに滑走路、誘導路及びエプロンの強度に影響を及ぼす地下の工作物をいう。
- 二 レベル一地震動 規則第七十九条第一項第十号イ(1)に規定する地震動をいう。
- 三 レベル二地震動 当該施設を設置する地点において発生するものと想定される地震動のうち、最大規模の強さを有するものをいう。

※2.3-4

「空港土木施設設計要領（施設設計編）（平成31年4月）」P.128より抜粋

- (7) 埋立地盤の設計については、「港湾の施設の技術上の基準・同解説」<sup>24)</sup>を参考とすることができ、また、同基準に定めのない事項については「海岸保全施設の技術上の基準・同解説」<sup>25)</sup>を参考とすることができる。

「空港土木施設設計要領（施設設計編）（平成31年4月）」P.131より抜粋

- (1) 護岸は、埋立土の流出を防止し、かつ安定な土留め工であるとともに、波浪に対しても安定で、かつ越波及び高潮から背後の空港の施設を防護できるように設計する必要がある。
- (2) 護岸の設計については、「港湾の施設の技術上の基準・同解説」<sup>24)</sup>を参考とすることができる。

※2.3-5 地震動の設定

(1) レベル1地震動の補正

「港湾の施設の技術上の基準・同解説（平成30年5月）」P.384より抜粋

1.2.4 レベル1地震動の補正

国土技術政策総合研究所のホームページ (<http://www.y.sk.nilim.go.jp/kakubu/kouwan/sisetu/sisetu.html>) で公開されているレベル1地震動の算定に用いられたサイト増幅特性と対象施設設置地点でのサイト増幅特性が同等でないとは判断される場合は、地震観測（本章1.2.2 サイト増幅特性の評価(1) 参照）または常時微動観測（本章1.2.2 サイト増幅特性の評価(2) 参照）に基づいて評価された対象施設設置地点でのサイト増幅特性を用い、公開されているレベル1地震動を補正してから用いる必要がある。ここではその方法について述べる。

まず、補正前の工学的基盤におけるレベル1地震動(①)を入手し、加速度フーリエスペクトル(②)に変換する。次に、同じ地点のサイト増幅特性（地震基盤～工学的基盤）(③)を入手し、②を③で除すことにより、地震基盤におけるレベル1地震動の加速度フーリエスペクトル(④)を求める。①と③はいずれも国土技術政策総合研究所のホームページから入手できる。

次に、地震基盤におけるレベル1地震動の加速度フーリエスペクトル(④)に、新たに評価した対象施設設置地点のサイト増幅特性（地震基盤～工学的基盤）を乗じ、対象施設設置地点の工学的基盤におけるレベル1地震動の加速度フーリエスペクトルを求める。

レベル1地震動の位相特性を決めるための地震波データは、対象施設設置地点の特性を考慮するため、対象施設設置地点のサイト増幅特性を地震観測結果に基づいて評価したときは、対象施設設置地点における中小地震観測記録から選定して使用する。複数のデータが利用可能な場合は、群遅延時間が平均的となるようなデータを選択する。選定した地震波を地震観測点での土質データにより工学的基盤の2E波に変換し、その位相特性を用いる。対象施設設置地点のサイト増幅特性を常時微動観測結果に基づいて評価したときは、もとのレベル1地震動の位相特性をそのまま用いても良い。

対象施設設置地点の工学的基盤におけるレベル1地震動の加速度フーリエスペクトルと上記の位相特性を組み合わせ、フーリエ逆変換し、工学的基盤におけるレベル1地震動の加速度波形を求める。

(2) 地震動の設定

辺野古地先のレベル1地震動を設定した概要を以下に示す。

1. 地震動の設定

1.1 レベル1地震動

レベル1地震動は、一般に、震源特性、伝播経路特性、サイト増幅特性（地震基盤～工学的基盤）を考慮した確率論的地震危険度解析により設定される。（下図参照）

国内の重要港湾等においては、上記を考慮したレベル1地震動が、国土技術政策総合研究所により設定されており、当該地におけるレベル1地震動は設定されていない。

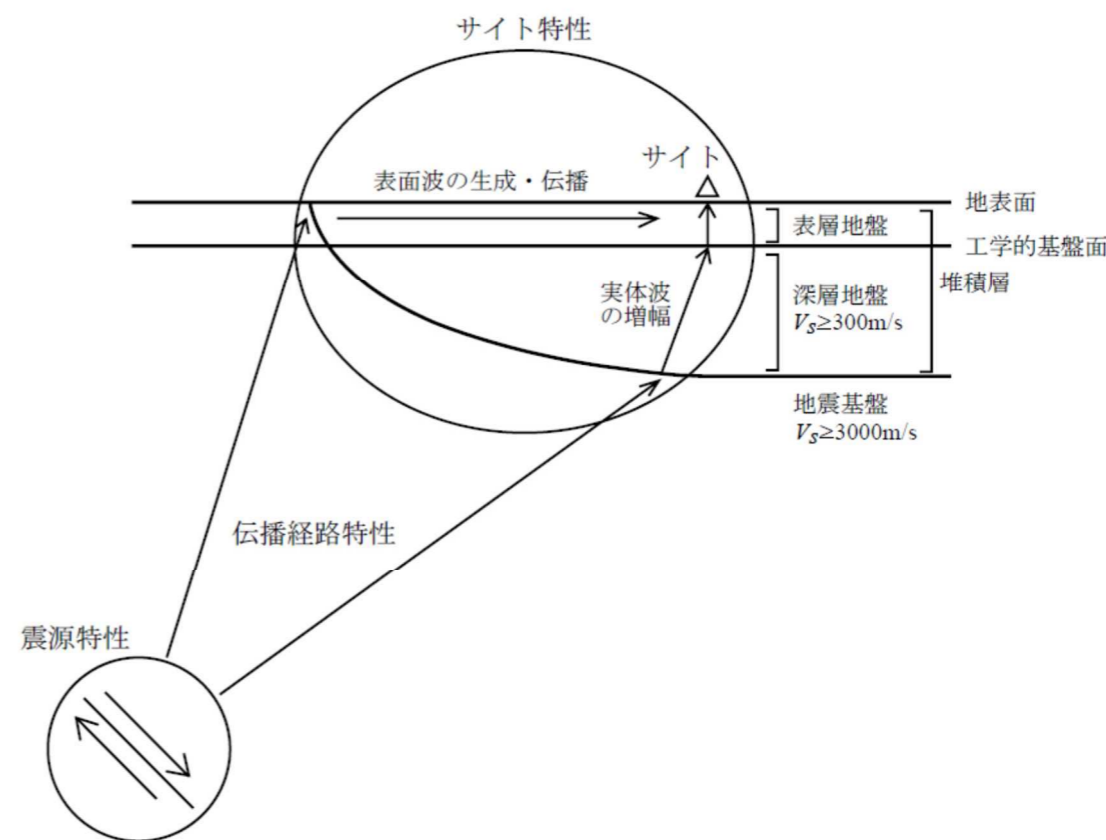


図 1-1 震源特性・伝播経路特性・サイト特性

出典：「港湾の施設の技術上の基準・同解説（平成30年5月）」P.365

そこで、過年度に実施された業務において、当該地周辺を対象とした、常時微動計測、地震観測等を行い、適切に当該地（辺野古地先）におけるレベル1地震動を設定した。

## 1.2 レベル1地震動の設定

### 1.2.1 検討内容・フロー

辺野古地先におけるレベル1地震動の設定フロー、主な検討内容を以下に示す。

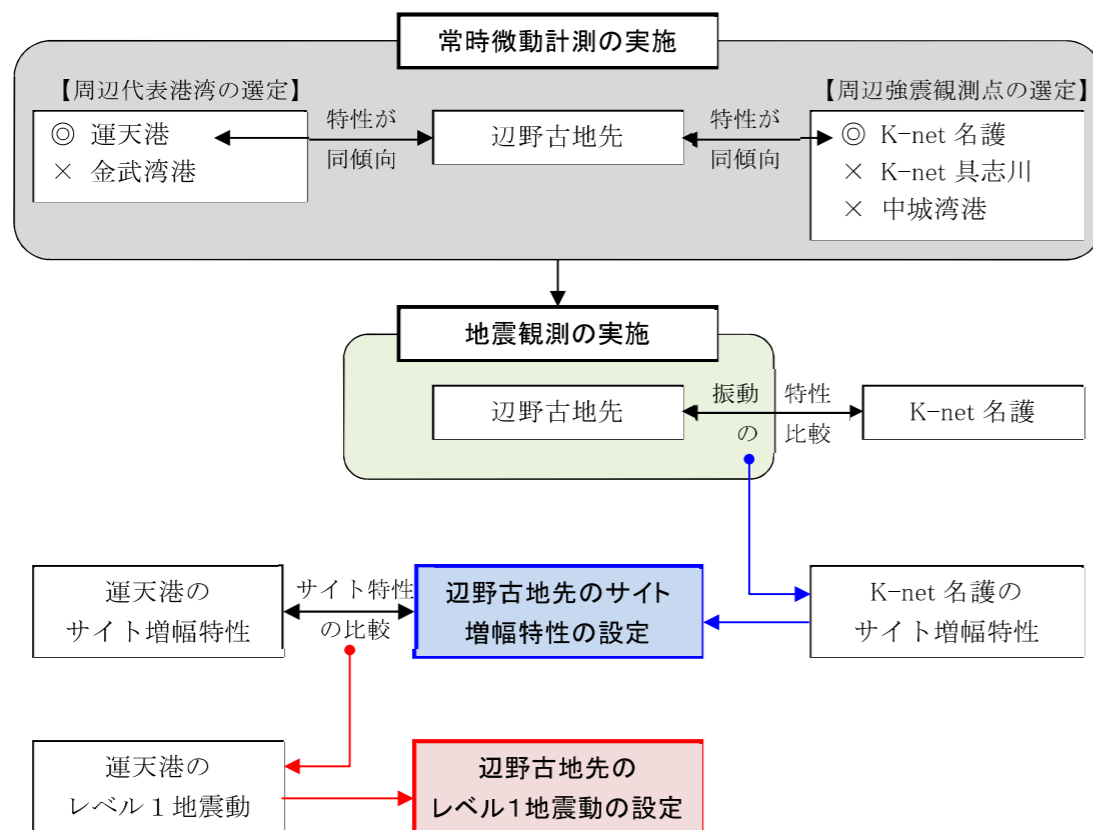


図 1-2 レベル1地震動の設定フロー

- ① 辺野古地先及び周辺港湾、強震観測点を対象に、「常時微動計測（現地観測）」を実施する。
- ② ①を基に、辺野古地先と振動特性が同傾向にある地点を選定する。  
（周辺代表港：運天港を選定、周辺強震観測点：K-net 名護を選定）
- ③ ②で選定した K-net 名護と辺野古地先を対象に、「地震観測（現地観測）」を実施する。
- ④ ③の振動特性の比較により、辺野古地先の「サイト増幅特性」を設定する。
- ⑤ 辺野古地先と運天港のサイト増幅特性の差異による補正により、辺野古地先の「レベル1地震動」を設定する。

### 1.2.2 常時微動計測

辺野古地先及びその周辺の強震観測点や代表港湾において常時微動計測を実施し、得られた計測結果に基づいて辺野古地先とその周辺における地盤震動特性を把握し、辺野古地先と同様の傾向を示す強震観測点及び代表港湾を選定した。

常時微動計測の対象箇所及び選定した強震観測点・代表港湾を下図に示す。

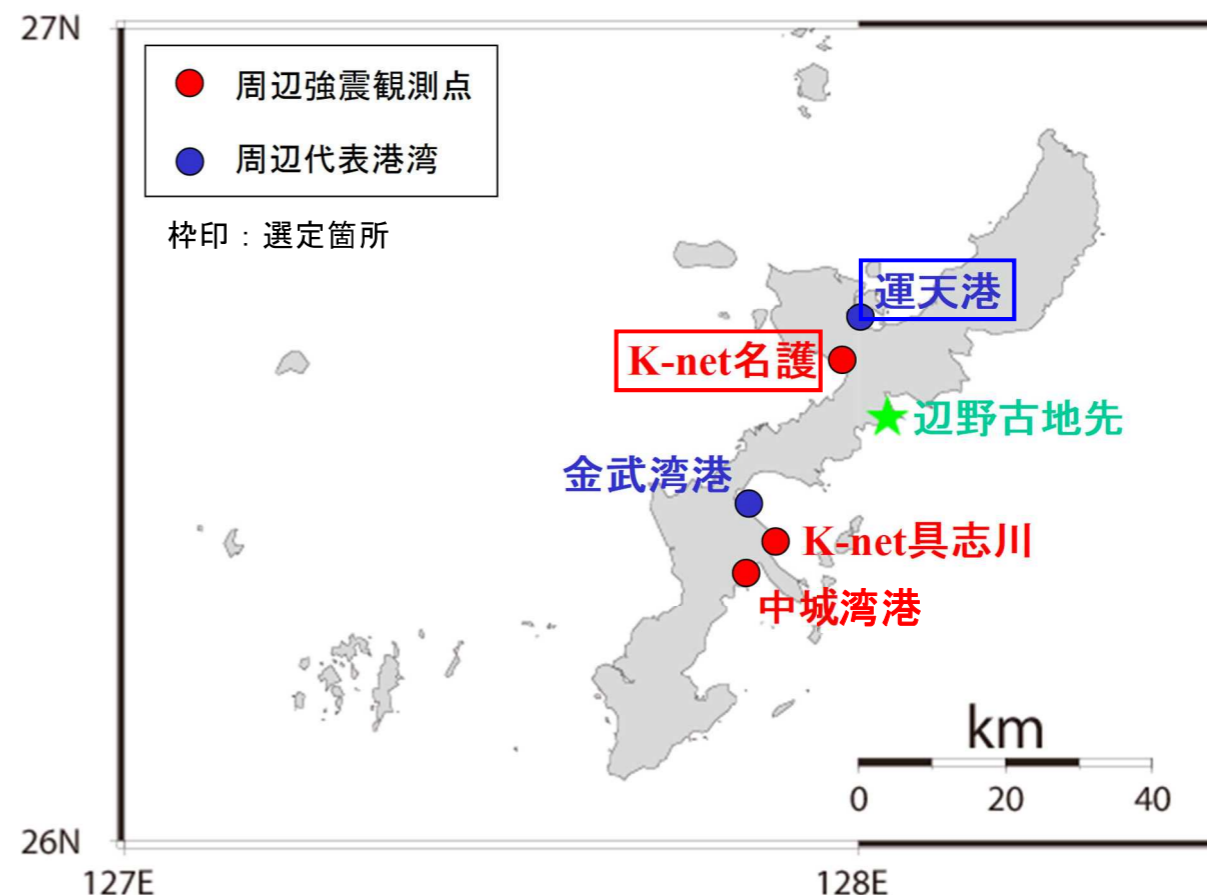


図 1-3 常時微動計測の対象箇所

### 1.2.3 地震観測

辺野古地先における地震動を想定するにあたり、「港湾の施設の技術上の基準・同解説（平成30年5月）」P.374では、「公開されているレベル1地震動の算定に用いられたサイト増幅特性と対象施設設置地点でのサイト増幅特性が同等であるかは確認されていない場合もあり、その場合、これが同等であるかを常時微動観測結果に基づいて判断する必要がある。（～中略～）同等と判断される場合は公開されているレベル1地震動をそのまま使用できるが、同等でないとは判断される場合は、地震観測に基づいて対象施設設置地点でのサイト増幅特性を評価し、これに基づいて、公開されているレベル1地震動を補正してから用いる必要がある。」とされている。

辺野古地先は、上述の后者に当たることから、次頁の左図に示す箇所を対象として地震観測を実施し、辺野古地先におけるサイト増幅特性を設定することとした。



図 1-4 地震観測地点

辺野古地先における地震観測は、平成 20 年 10 月 1 日（水）から平成 21 年 2 月 27 日（金）までの約 5 ヶ月間であり、同期間に以下の地震を観測した。

表 1-1 地震観測記録

No.	観測年月日	観測地点	地震の規模 M	K-net 名護での観測 <sup>注1)</sup> の有無
①	2008 年 10 月 01 日	宮古島北西沖	4.9	無し
②	2008 年 11 月 15 日	沖縄本島近海	3.4	無し
③	2008 年 12 月 11 日	沖縄本島近海	4.8	有り
④	2009 年 01 月 01 日	沖縄本島近海	3.1	無し
⑤	2009 年 02 月 08 日	沖縄本島北西沖	4.9	有り

注 1) (独)防災科学技術研究所強震観測網(K-net.Kik-net)のホームページより

### 1.2.4 辺野古地先のサイト増幅特性

地震観測記録を基に、辺野古地先と K-net 名護の振動特性を比較し、振動特性の相違（比率）を K-net 名護のサイト増幅特性<sup>注 2)</sup>に乗じることにより、辺野古地先のサイト増幅特性を以下のとおり設定した。

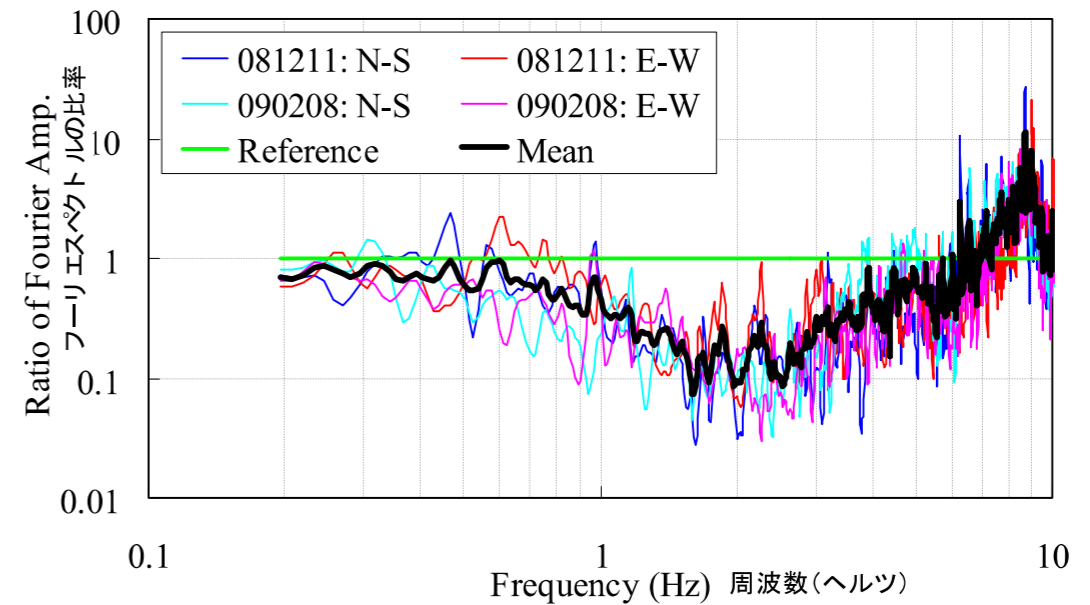


図 1-5 フーリエスペクトルの比率(辺野古地先/K-net 名護)

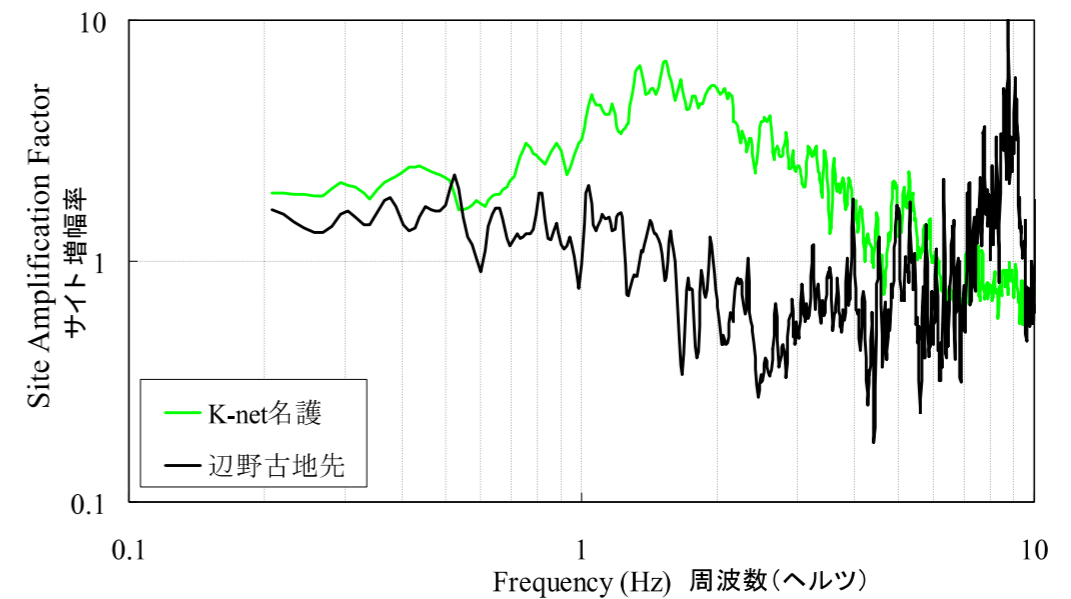


図 1-6 辺野古地先のサイト増幅特性の設定(地震基盤～地表)

注 2) 国土技術政策総合研究所のホームページより

1.2.5 辺野古地先のレベル1地震動の設定

辺野古地先と運天港のサイト増幅特性<sup>注3)</sup>を比較し、両サイト増幅特性の差異により運天港のレベル1地震動<sup>注4)</sup>を補正することにより、辺野古地先のレベル1地震動を設定した。

その結果を以下に示す。

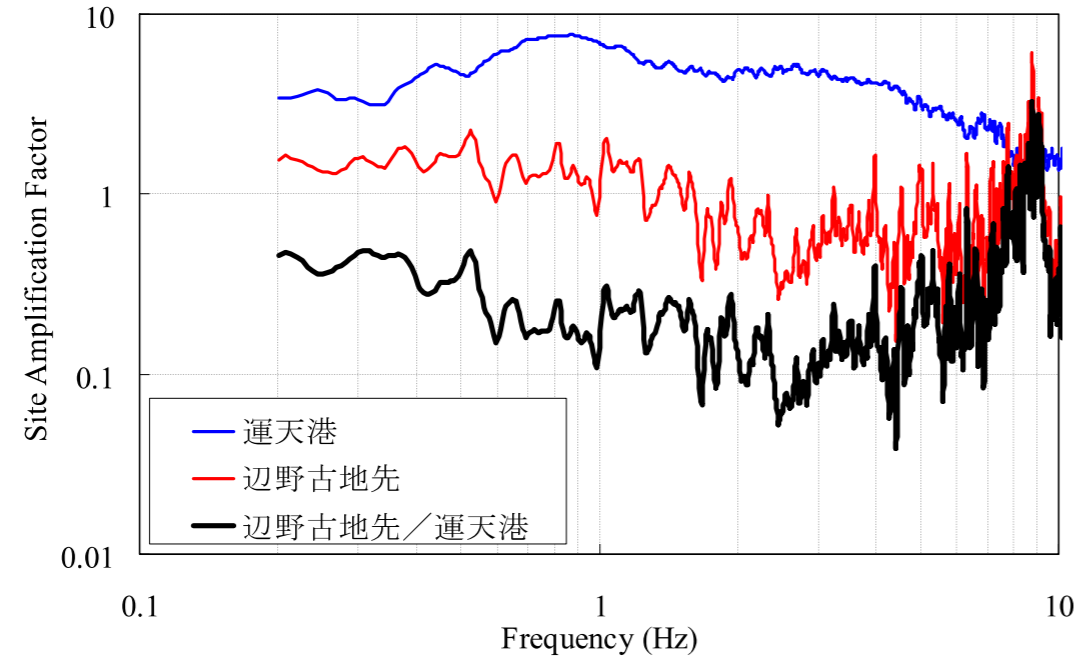


図 1-7 サイト増幅特性の比較(辺野古地先 — 運天港)

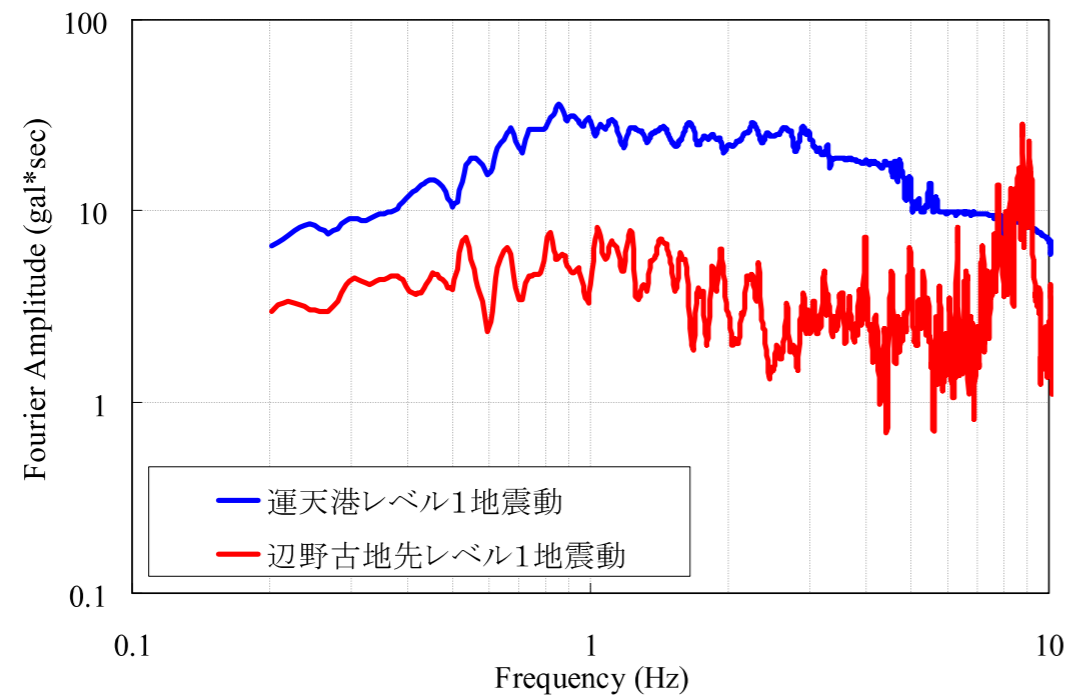


図 1-8 レベル1地震動のフーリエ振幅スペクトルの設定

注3) 国土技術政策総合研究所のホームページより

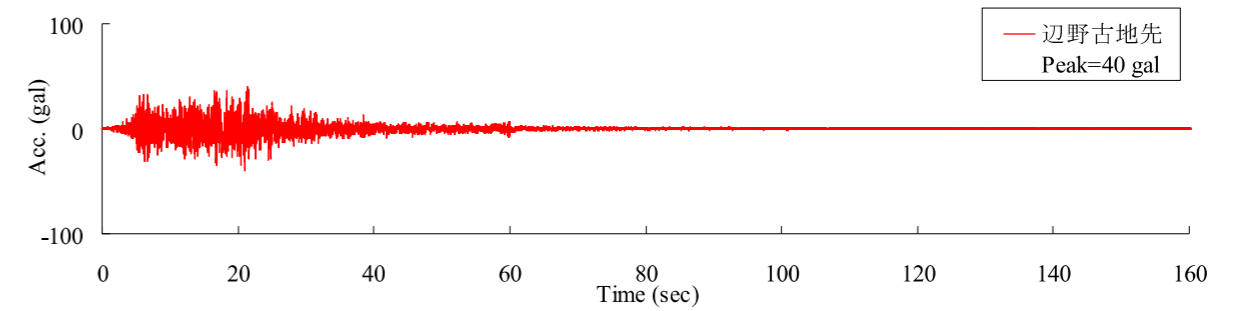
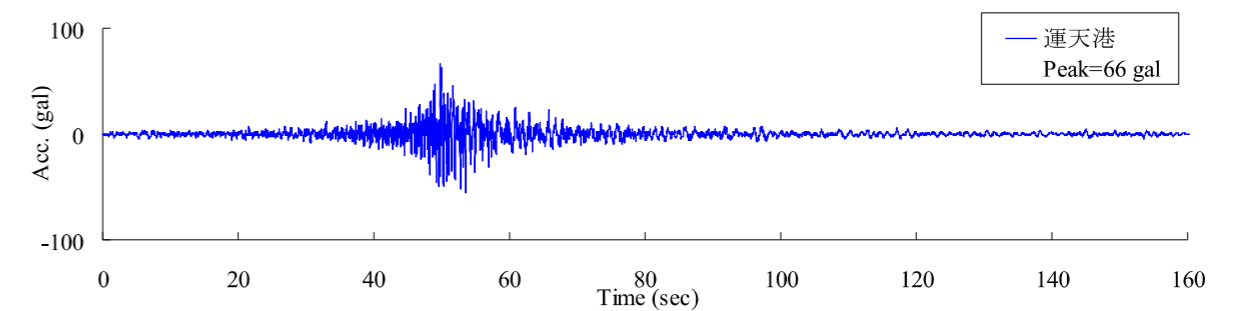


図 1-9 辺野古地先のレベル1地震動(加速度波形)



注4) 国土技術政策総合研究所のホームページより

図 1-10 運天港のレベル1地震動(加速度波形)参考