⑤原位置ベーンせん断試験から求める方法：

ベーンせん断試験は、地盤工学会基準として制定されている原位置ベーンせん断試験方法（JGS 1411）により実施することができる。求められるせん断強さの平均を$c_{u(v)}$とすると、$c_{u(v)}$をそのまま性能照査に用いる非排水せん断強さc_uとしてよい[17]。原位置ベーンせん断試験は、現場で機動的に実施でき、一軸圧縮試験では供試体が自立しないような軟らかい粘性土のせん断強さも正確に求められることが長所である。したがって、例えばバーチカルドレーン工法で地盤改良する場合の施工管理に適している。試験方法や原理が簡単ではあるが、ロッドの摩擦などの影響に注意が必要であり、摩擦の影響のキャリブレーションや摩擦低減の工夫が必要である。ただし、港湾工事において実際にベーンせん断試験が実施された例はほとんどない。

⑥電気式コーン貫入試験から求める方法：

電気式コーン貫入試験は、地盤工学会基準として制定されている電気式コーン貫入試験方法（JGS 1435）により実施することができる。コーン貫入抵抗q_c、周面摩擦f_s、間隙水圧uの三成分を計測するが、貫入抵抗q_cについては、計測値に現れる間隙水圧の影響を補正した先端抵抗q_tとして報告する。粘性土の非排水せん断強さc_uは次式によって推定することができる。

$$c_u = \frac{q_t - \sigma_{v0}}{N_{kt}} \tag{2.3.23}$$

ここに、σ_{v0}は全応力としての土被り圧、N_{kt}はコーン係数と称される定数である。コーン係数N_{kt}の値は地盤ごとに異なり，8～16程度の範囲にある。このため、乱さない試料に対する再圧縮三軸試験等の信頼できる方法により別途求めた非排水せん断強さとの比較を行い、調査対象地盤のN_{kt}の値を適切に設定しておく必要がある。

電気式コーン貫入試験は、深さ方向に実質的に連続となる細かい間隔でデータを取得することができ、不均質な地盤に見られる薄層であっても捉えることができる。一方で、礫を含む地盤の場合には、コーンが礫に当たると過大な先端抵抗が得られたり、貫入不能になったりしてしまう。近年では、ロータリー式ボーリングの機能を有する貫入機が開発され、礫や強固な地層にコーンが当たった場合には、ロータリー式ボーリングに迅速に切り替えて、貫入再開可能な深度まで掘り進める方法も実用化されている。

コーン係数N_{kt}の値を設定するために、サンプリング試料に対して室内試験を実施する①～④の方法、あるいはベーンにより直接的にせん断強さを計測する⑤の方法のいずれかを実施なければならないが、調査地点間のデータを補間するために多くの調査地点を必要とする場合などには、より簡便に調査を実施できる電気式コーン貫入試験は有用な調査手法となる。

これら①～⑥の方法はそれぞれ特徴があるのでそれらに留意し、必要に応じて目的や対象とする土質により選択して用いなければならない。

粘性土の非排水せん断強さc_uは圧密の進行とともに増大し、圧密荷重が大きいほど圧密後のc_uは大きい。したがって、土被り圧が大きな深部ほど圧密圧力が大きくなっていることから、正規圧密粘性土地盤のc_uは深度とともに増大するのが一般的であり、性能照査に用いる式は次式で表すことが多い。

$$c_u = c_{u0} + kz \tag{2.3.24}$$

ここに、

c_u　：粘性土層表面からの深さzにおける非排水せん断強さ

c_{u0}　：粘性土層表面における非排水せん断強さ

k　：深さzに対するc_uの増加割合

z　：粘性土層表面からの深さ

令和2年3月18日　参議院　外交防衛委員会　沖縄の風　伊波洋一
出典：国土交通省港湾局監修「港湾の施設の技術上の基準・同解説」より伊波洋一事務所作成

技術的な論点①

（参考）

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）」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、３ｍのコーン貫入試験と１ｍの土の採取を交互に行っている。

□　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」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。

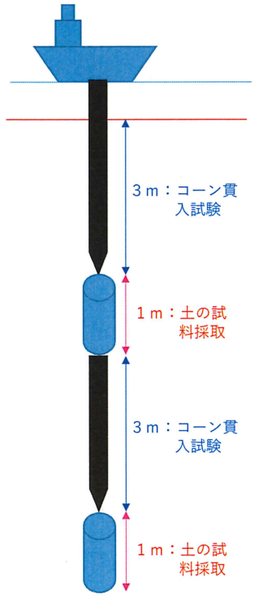
令和2年3月18日　参議院　外交防衛委員会　沖縄の風　伊波洋一

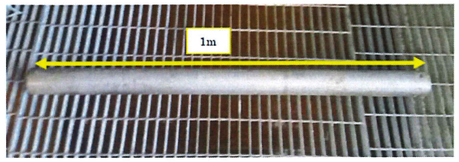
出典：沖縄防衛局「普天間飛行場代替施設建設事業に係る技術検討会（第５回）」「主な検討内容」より伊波洋一事務所作成
https://www.mod.go.jp/rdb/okinawa/07oshirase/chotatsu/Gijyutsukentoukai/kentoukai5/R2no5Kentonaiyo.pdf

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とのことだが、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。

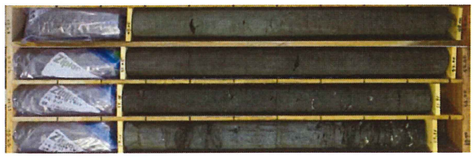
令和2年3月18日　参議院　外交防衛委員会　沖縄の風　伊波洋一
出典：沖縄防衛局「普天間飛行場代替施設建設事業に係る技術検討会（第５回）」「第５回技術検討会資料」より伊波洋一事務所作成
https://www.mod.go.jp/rdb/okinawa/07oshirase/chotatsu/Gijyutsukentoukai/kentoukai5/R1no5shiryo1-2.pdf

※2.1-3　コーン貫入試験地点での試料採取





土の試料採取用チューブ
（シェルビーチューブサンプラー）



土の試料の一例（Avf-c2）

※2.1-4

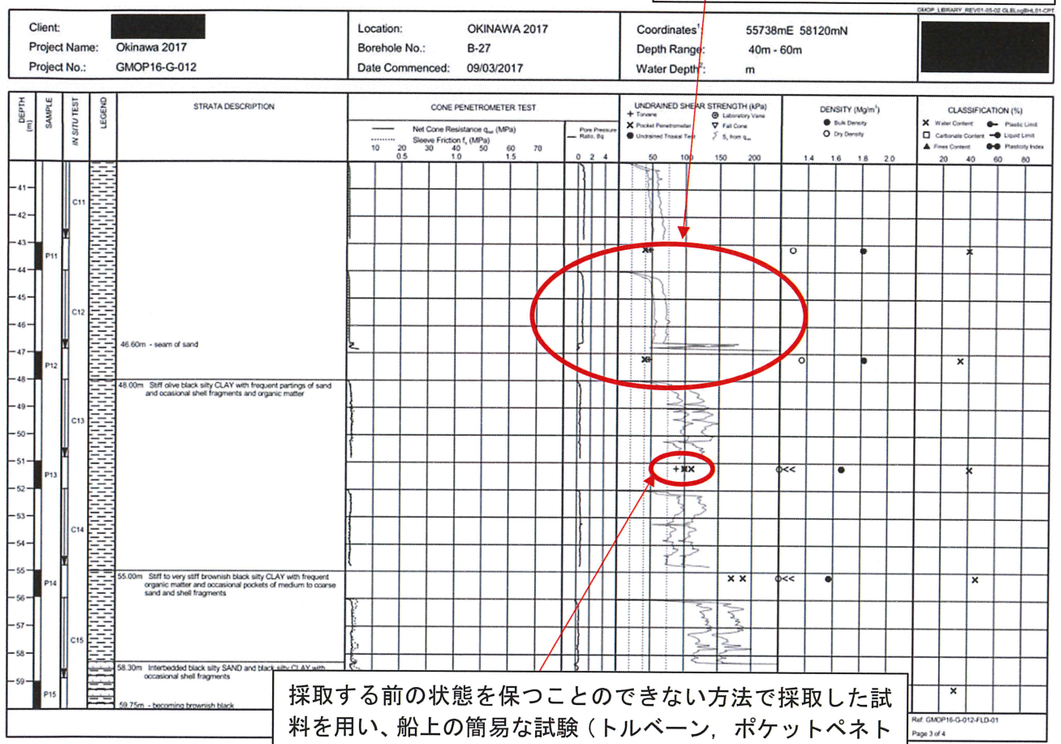
「地盤調査の方法と解説（平成 25 年 3 月）」P. 203 より抜粋

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	乱れた			
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　コンポジットサンプラー	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	追切り
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　サンゴ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	主としてサンゴ礫混じり土用
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　ワイヤー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

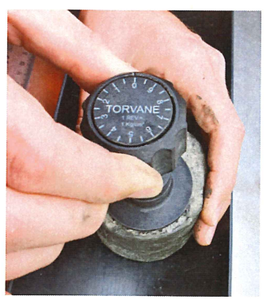
コーン貫入試験の測定値から換算される「非排水せん断強さ」



採取する前の状態を保つことのできない方法で採取した試料を用い、船上の簡易な試験（トルベーン，ポケットペネトロメーター）によって求められた「非排水せん断強さ」

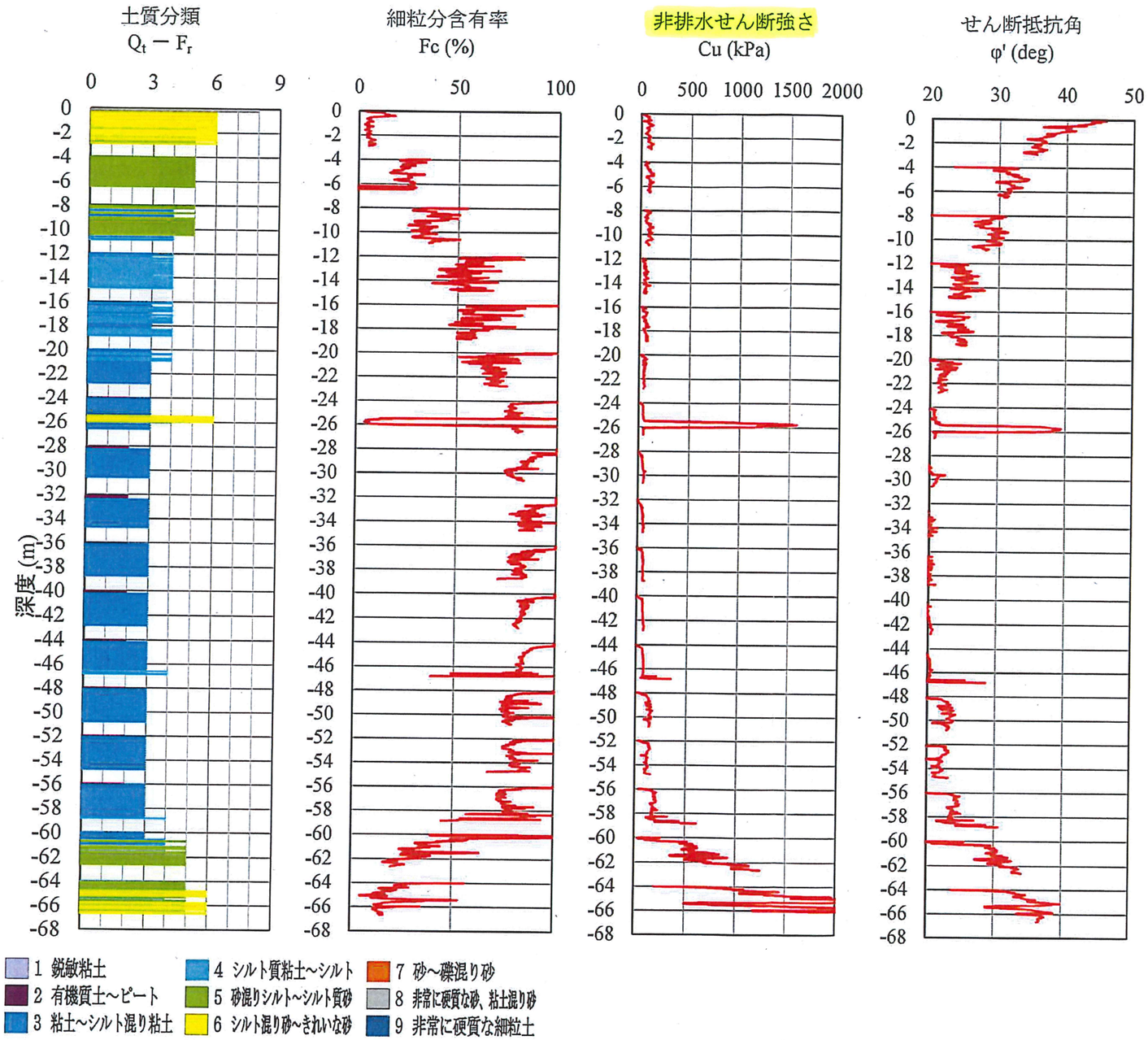
シュワブ（H26）ケーソン新設工事（１工区）　土質調査（２）巻末資料（抜粋）

Pocket Penetrometer 試験
（イメージ）



Torvane 試験
（イメージ）

令和2年3月18日　参議院　外交防衛委員会　沖縄の風　伊波洋一
出典：沖縄防衛局「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）」より伊波洋一事務所作成
https://www.mod.go.jp/rdb/okinawa/07oshirase/chotatsu/Gijyutsukentoukai/kentoukai5/R1no5shiryo1-2.pdf



令和2年3月18日　参議院　外交防衛委員会　沖縄の風　伊波洋一事務所作成
出典：防衛省提供「シュワブ（H26）ケーソン新設工事（１工区）　確認ボーリング報告　土質調査（２）」より伊波洋一事務所作成