



Marine



海域地盤調査の最前線



～川崎地質のラインナップ～

Laboratory



R&D



Disaster

加盟団体

JWEA(一般社団法人日本風力エネルギー学会)

JWPA(一般社団法人日本風力発電協会)



Ground

➤川崎地質のソリューション

➤計画

➤調査技術

➤物理探査

➤海上ボーリング

➤原位置試験

➤土質試験

➤施工管理

➤データ解析

➤付録

➤ 経験とノウハウを駆使

- 川崎地質には永年にわたる海域地盤調査の経験があります。様々な構造物建設に係る海上ボーリング調査だけでなく、深淺測量、資源探査や活断層調査に係る音波探査など、これまで培ってきた調査経験を総動員して最適なソリューションを提供します。
- 音波探査と海上ボーリング等の海洋調査技術の融合により経済的で精度の高い成果をお約束します。
- 継続的な研究開発による技術革新に努めており、常に最新の調査技術を提供します。



■ 海域の地盤調査技術

※各項目をクリックするとリンクに飛びます

➤ 地盤の2次元情報

- ✓ 深淺測量
- ✓ サイドスキャンソナー
- ✓ 音波探査
- ✓ 様々な調査機器
- ✓ 海底微動アレイ
- ✓ 3D音波探査

➤ 多彩な仮設足場

- ✓ パイプ足場
- ✓ SEP足場
- ✓ 鋼製檣
- ✓ 傾動自在型
- ✓ 大型SEP足場

➤ 地盤物性値の把握

- ✓ CPT・HISS
- ✓ SPT(エネルギー補正)
- ✓ 孔内検層
- ✓ 孔内載荷試験

➤ 最適な調査計画

- ✓ ゾーニングによる調査数量・配置
- ✓ 地質リスクを考慮した調査内容

➤ 豊富な知識を駆使

- ✓ 地質総合解析
- ✓ 試験データ分析・解釈
- ✓ 各種地盤解析
- ✓ 既往データ再解析

➤ 海象条件/荒天率

- ✓ 各種調整
- ✓ 安全管理
- ✓ 工程管理

➤ 様々な地盤条件を再現

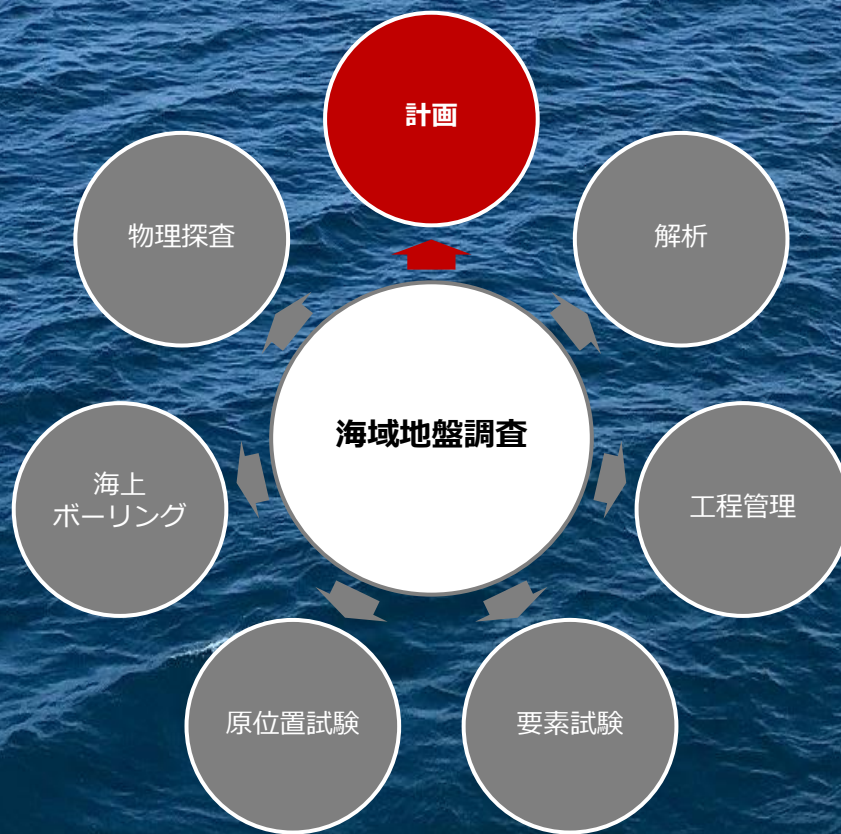
- ✓ 物理試験
- ✓ 力学試験
- ✓ 動的変形試験
- ✓ 液状化試験
- ✓ 特殊試験



※各項目をクリックするとリンクに飛びます

計 画

＜ 最適な調査計画をご提案 ＞



■土質調査で何を調べているか？



➤項目と方向性

< 調べていること >

①杭基礎の支持力

- ・ N値
- ・ 内部摩擦角 ϕ
- ・ 粘着力C

②バネ定数

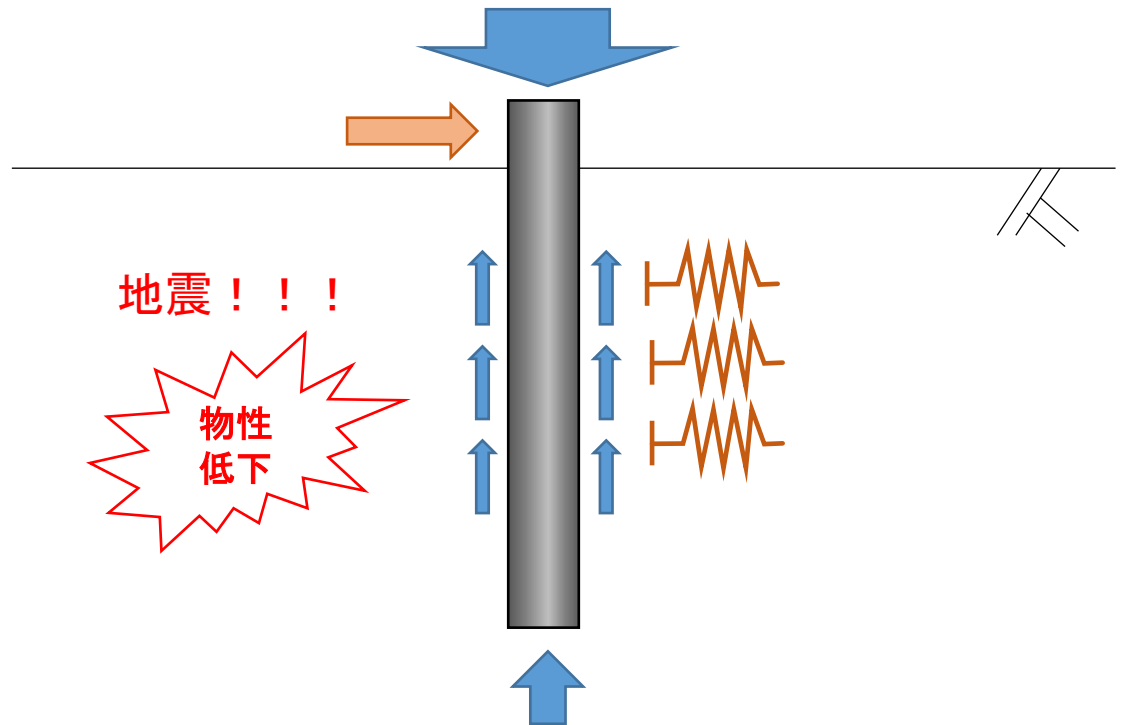
- ・ 変形係数E

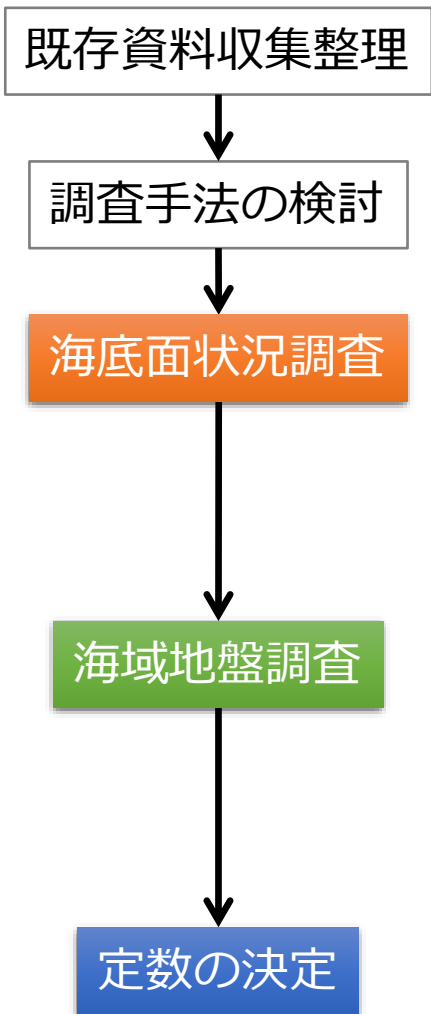
③地震応答解析

- ・ S波速度構造
- ・ 強度低下特性

< 方向性 >

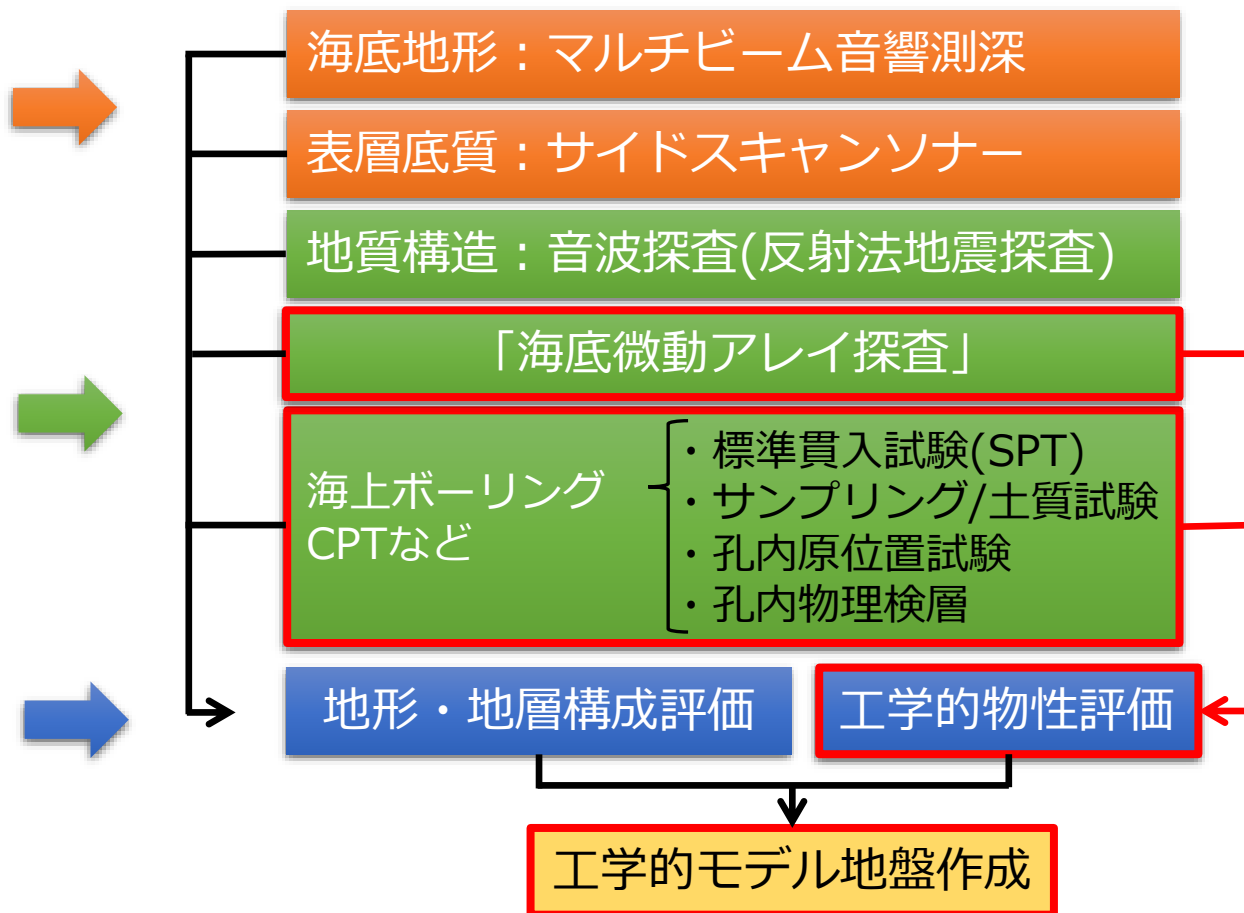
- ①『地層構成』や『各種物性値』はボーリング(直接詳細調査)により確認
- ②各種物理探査(音波探査,海底微動アレイ探査)でボーリング孔間の『地層や支持層の連続性』を確認しサイト全体の地層特性を考察
- ③物理探査で地層構成が予測できる風車箇所はCPT(間接調査)で工程短縮





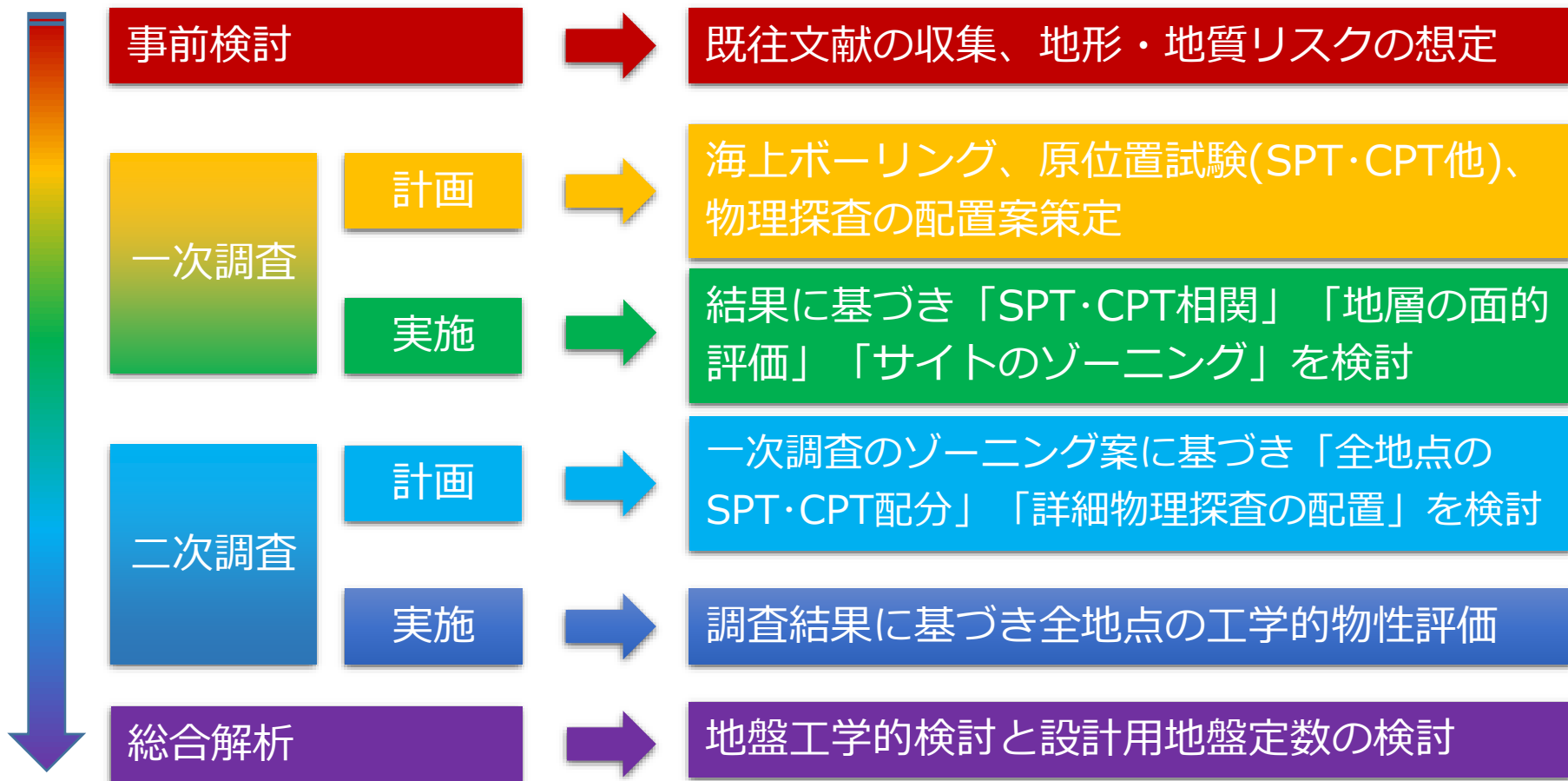
様々な調査手法の組合せにより、地層構造の評価に留まらず、工学的地盤モデルの作成に寄与します。

「海底微動アレイ探査」で得られるS波構造は、海上ボーリングでのPS検層結果やサンプリング試料による力学試験結果を面的に補完する技術として活用が期待されています。



➤ 一次(概略)調査から二次(詳細)調査へ

➤ キーワードは『ゾーニング』にあり



▶ 海域地盤調査技術のラインナップ

✓ 物理探査（物性値の連続性を2次元で評価）

✓ 深浅測量・海底面状況把握

→ マルチビーム音響測深, サイドスキャンソナー

✓ 音波探査

→ 最適な使用音源, 受振方式（シングル/マルチチャンネル）の選択

✓ 海底微動アレイ探査

→ 工学的基盤層までのS波構造を概略的に把握

✓ 海上ボーリング、原位置試験、土質試験（物性値を直接把握する強み！）

✓ 海上ボーリング調査

→ 水深5mから50m, 掘削深度は100~150mにも対応

✓ 原位置試験

→ 標準貫入試験（SPT）, 原位置試験, サンプリングなど大部分を網羅

✓ コーン貫入試験

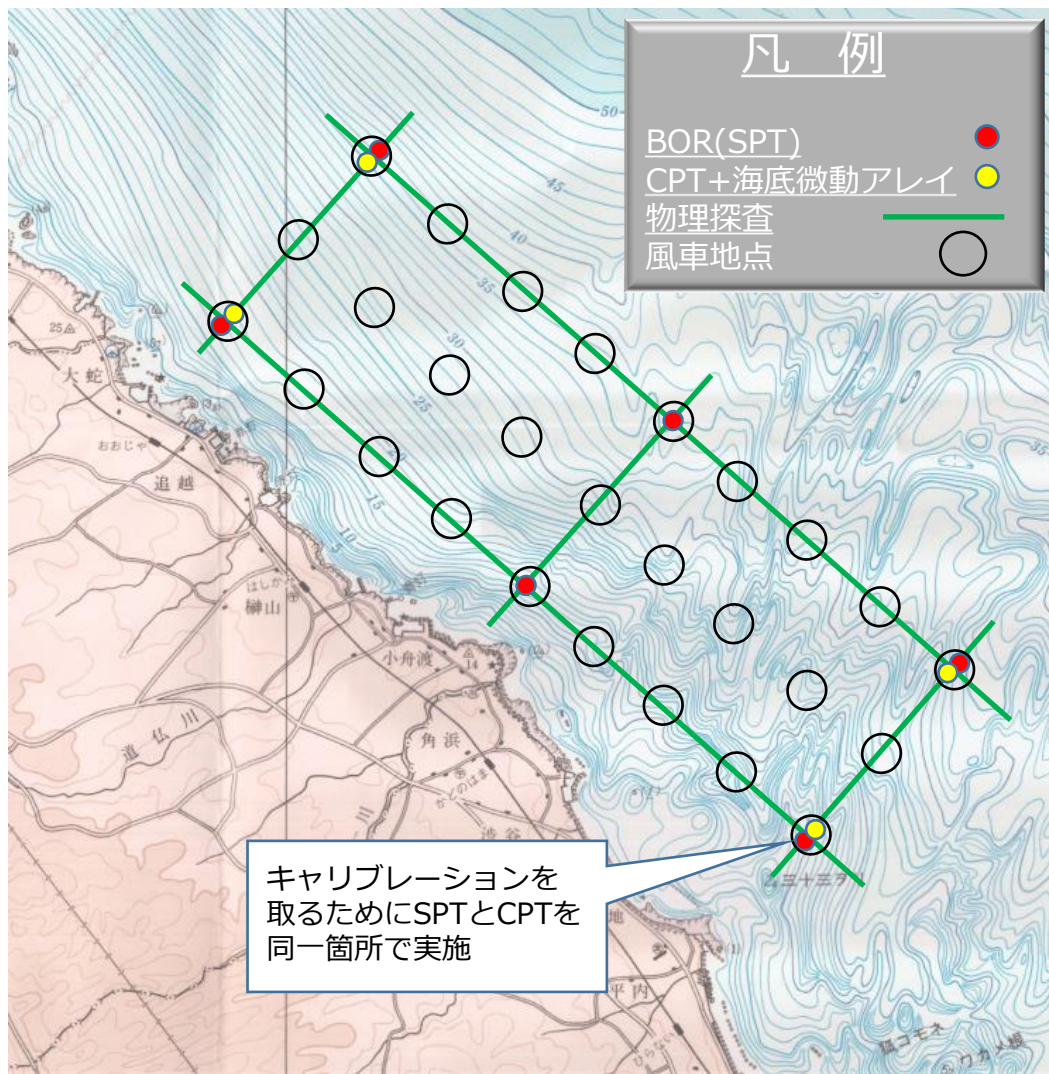
→ CPTを実施する場合はキャリブレーションが必要

✓ 土質試験

→ 物理試験, 力学試験, 動的試験, 特殊試験など様々

▶ 手法の組合せにより最適なソリューションを提供します。

一次調査の平面配置の例 ⇒ 概略調査を実施してサイトのゾーニングを実施



<計画>

配置案

- ・海上ボーリング
- ・原位置試験(SPT・CPT他)
- ・物理探査



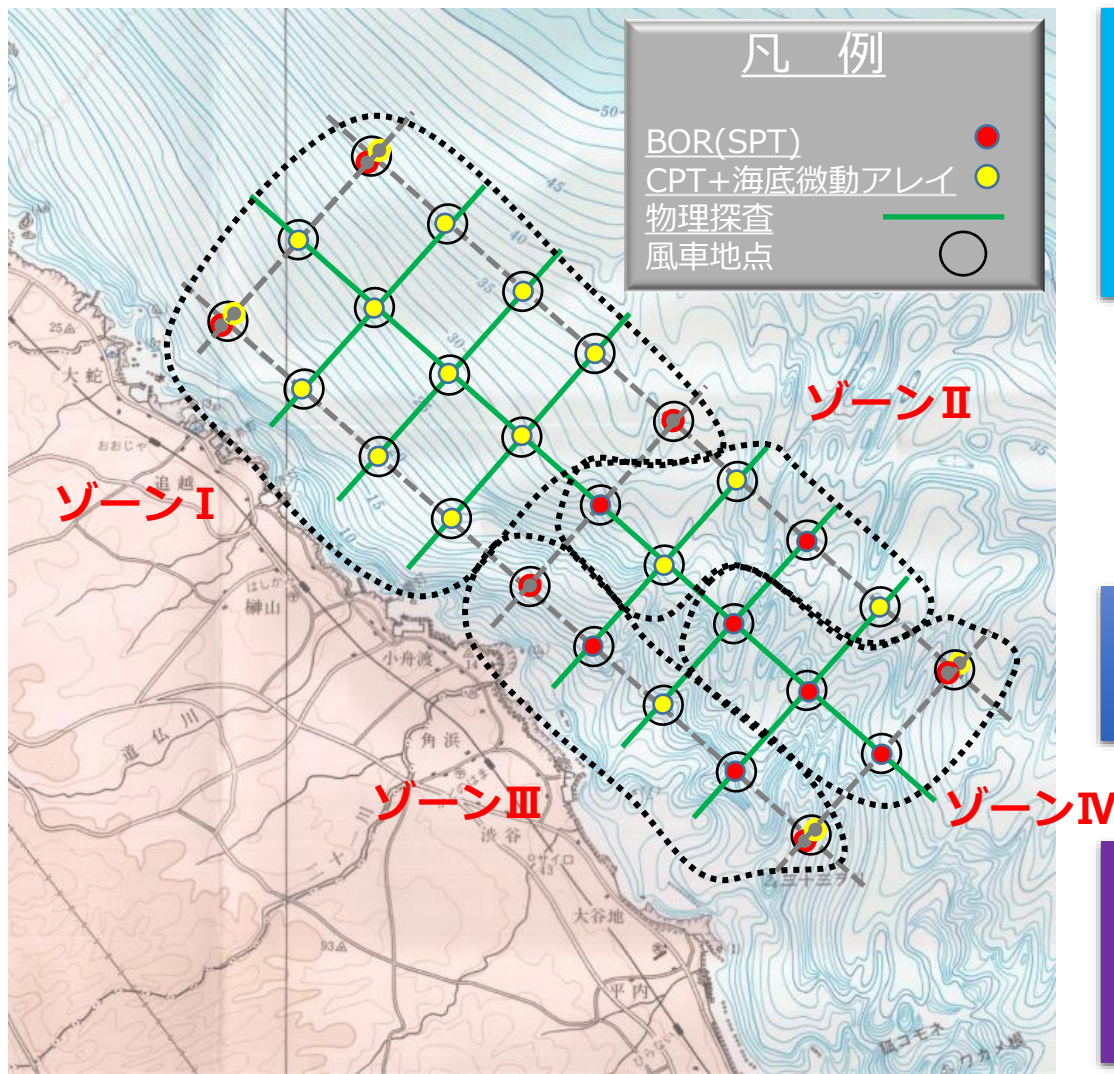
一次調査の実施



<検討>

- ・SPT・CPT相関
- ・地層の面的評価
- ・サイトのゾーニング

二次調査の平面配置の例 ⇒ ゾーニング結果に基づくメリハリのある調査案



<計画>

ゾーニングに基づく配置案

- ・全地点のSPT・CPT配分
- ・物理探査の配置



二次調査の実施



<検討>

- ・全地点の工学的物性評価



<総合解析>

- ・地盤工学的検討
- ・設計用地盤定数の検討

➤ 海上ボーリング/コーン/物理探査の組合せ例

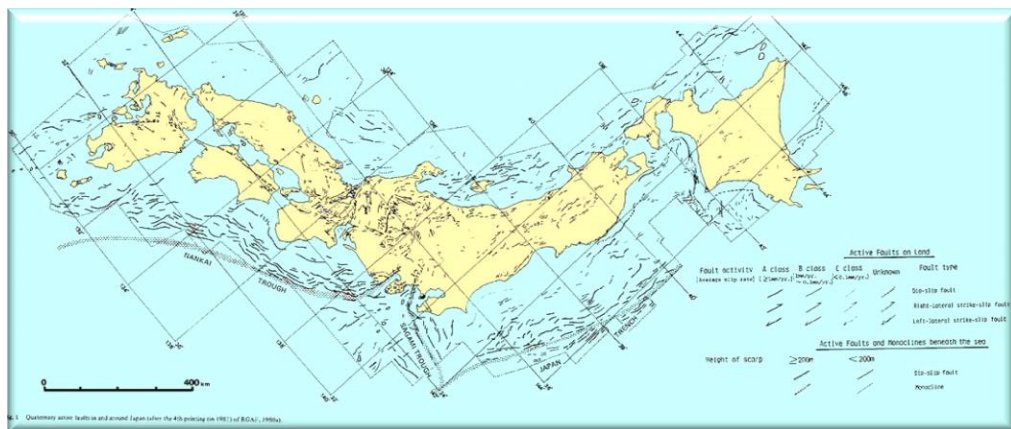
- ① 調査結果の根幹をなす『地層構成』や『各種物性値』は海上ボーリング(直接詳細調査)により確認して品質を確保
- ② 各種物理探査(音波探査, 海底微動アレイ探査)でボーリング孔間の『地層や支持層の連続性』を確認しサイト全体の地層特性を考察
- ③ 物理探査で地層構成が予測できる風車箇所は各種コーン貫入試験(間接調査)で工程短縮(荒天リスクも排除)

➤ 地盤タイプごとにゾーニングし、各ゾーンへ効果的に①～③の調査技術を投入

▶ 計画段階で地質リスクの洗出しと最適計画の立案

✓ ハザードマップ作成とリスクおよび対策の検討が必要

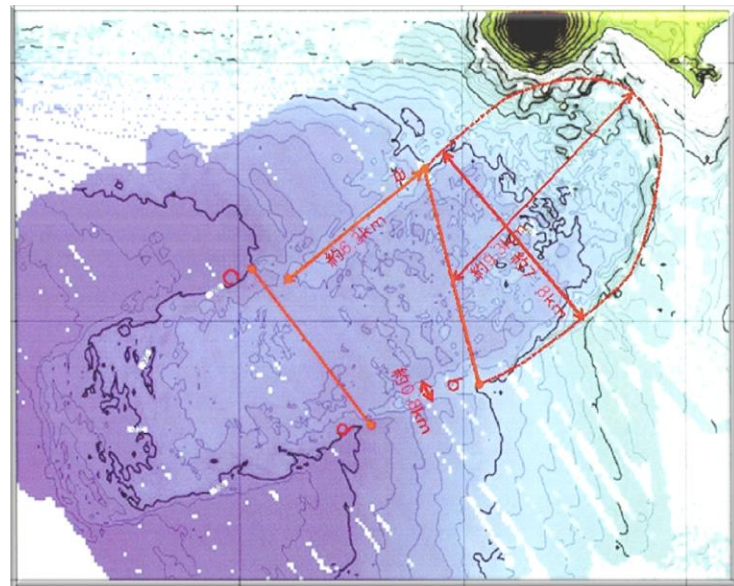
→ 海域ロケーション内の防災地理情報が表示されている主題図（沿岸海域土地条件図・沿岸海域地形図など）をもとに地震・海底地すべり・海底面傾斜等に関するハザードマップを作成し、リスクおよび対策を検討する。



『日本の活断層』（活断層研究会,1980）より



『沿岸の海の基本図』（日本水路協会）より

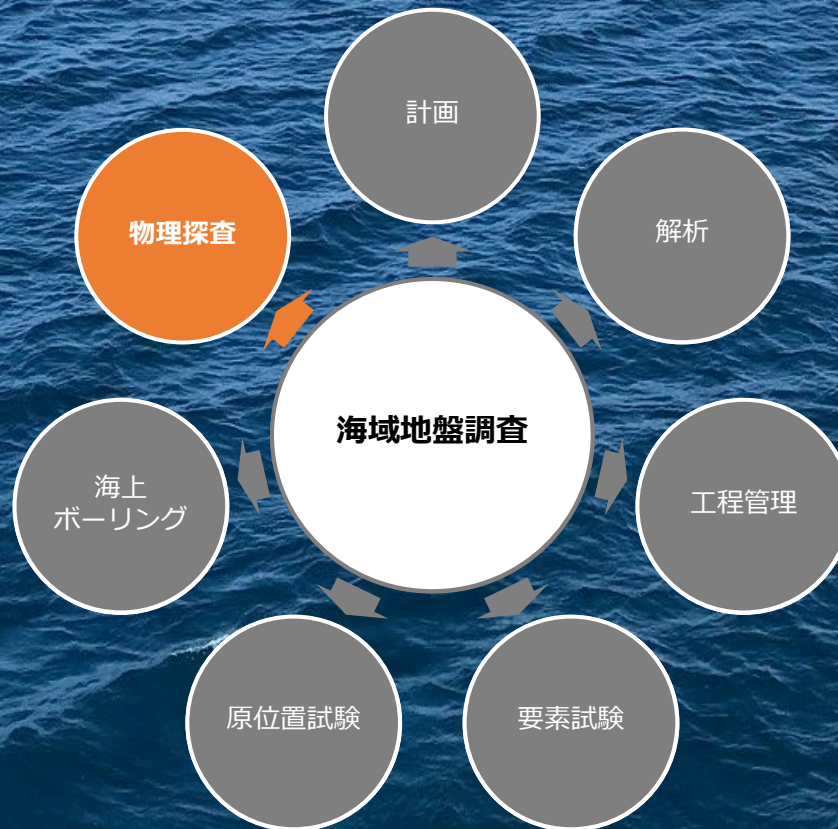


『海底地すべり地形』（火山予知連絡会会報）より

調査技術

物理探査

< 地盤の2次元情報 >



▶深浅測量：マルチビーム音響測深調査 ✓海底地形の把握

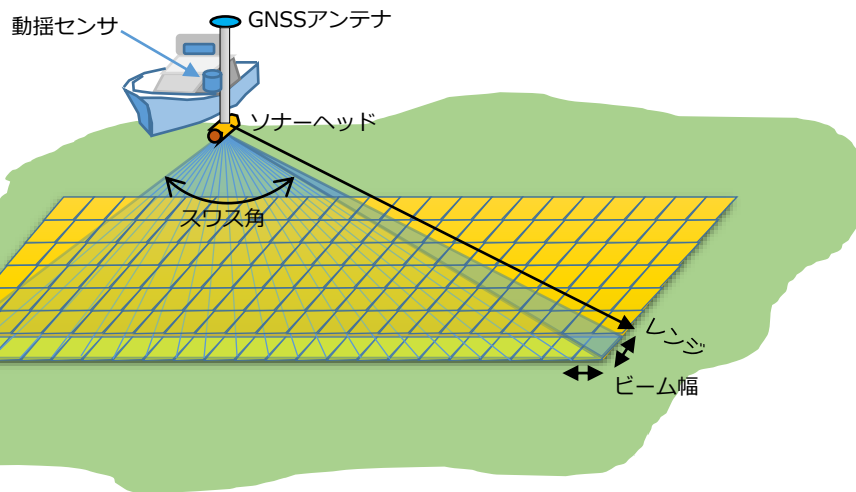
海底に向け指向性の強い音響ビームを数百本配列して、船の進行方向と共に一度に多数点の水深を計測する。精密な海底地形図を効率よく作成できる。海域地質調査の最も基本となる調査である。



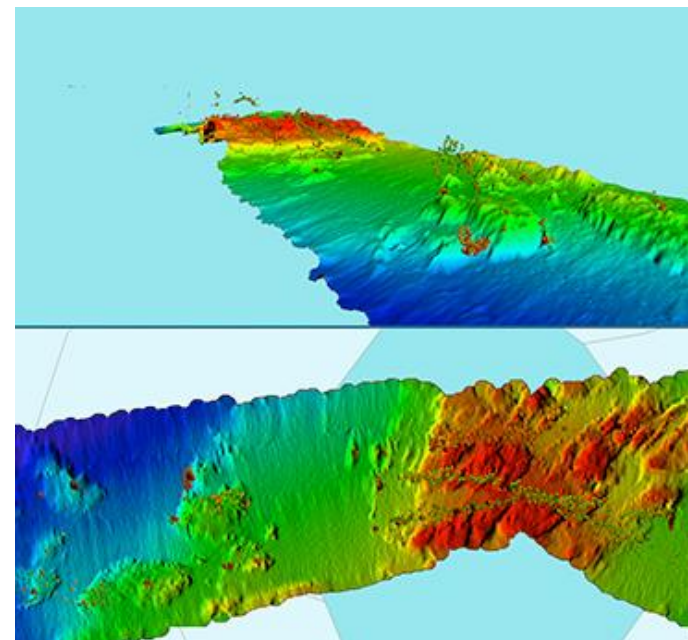
送受信部



船上モニター部



マルチビーム音響測深調査概念図



マルチビーム測深結果(例)

▶サイドスキャンソナー調査

✓海底面の底質の把握

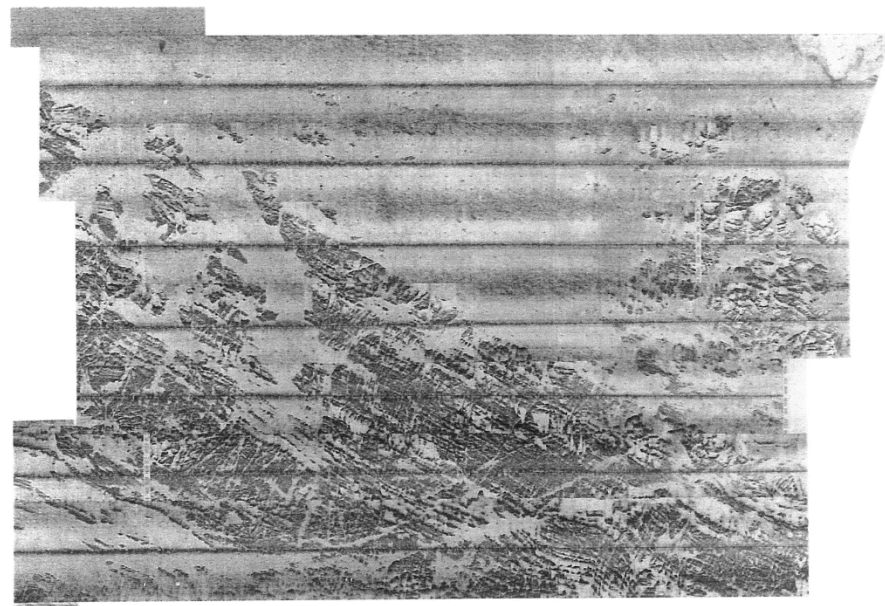
海底に向け一定時間間隔で扇形の音響ビームを発信し，海底面から戻ってくる反射・散乱波を受振する。底質の違いや海底面の凹凸により受信信号の強さが異なることから，海底面の底質や微細地形の把握を行うことができる。



サイドスキャンソナー



測定状況

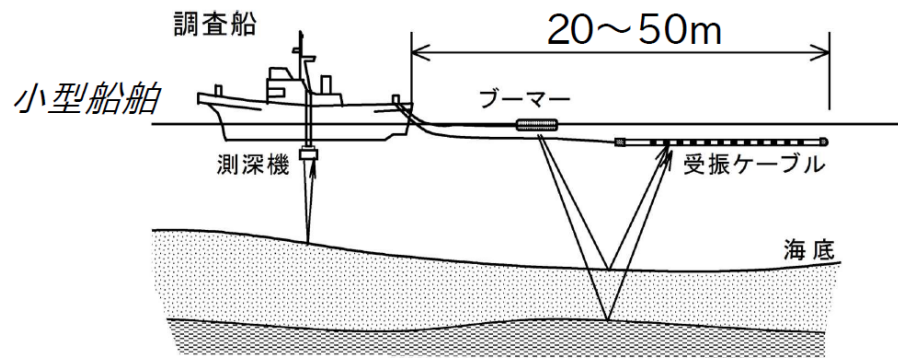


サイドスキャンソナー記録(例)

▶音波探査（反射法地震探査）

✓調査海域の地質構造を明らかにできる

音波探査は調査船から音源と受振ケーブルを曳航し、海底下の地層境界からの反射波をとらえて、連続に測定する調査手法である。音波探査は地質構造をイメージングする手法で、地質構造が連続的な断面上の記録として得られ、断層や地層の褶曲などを直観的に把握できる。また、航行調査のため作業効率が高く、密度の高い大量の地質情報が低コストで得られる。しかし、音波探査では実際に海底下にある“物”は分からないため、音波探査測線上のボーリング結果との対比が必須である。



観測風景(船内)



ブーマー投入状況



測定状況



調査船 (小型船舶)

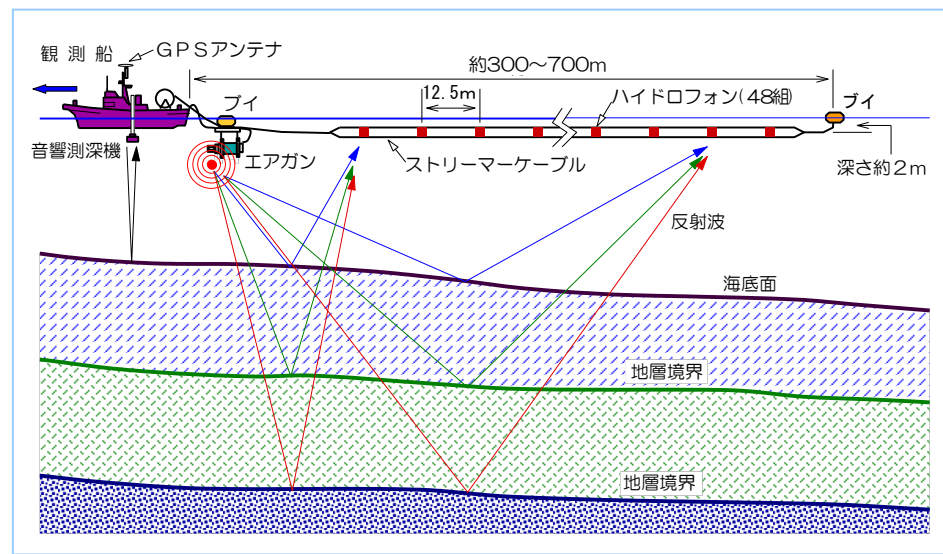
★規模の大きな音波探査の例



➤音波探査(大深度探査≒200m以上)の場合は調査規模も大掛かりとなる

音波探査は探査深度等によって、適切な音源と受振ケーブルの組み合わせを決める必要がある。より深い情報を得るためには調査機材も大型化する

堆積層が厚く、工学的基盤($V_s \approx 400\text{m/s}$)が深いと想定される場合には、エネルギーが大きな音源の選定が必要となる。また受振ケーブルもストリーマケーブルを用いマルチチャンネルでの探査が有効となる。



ストリーマ投入状況



エアガン投入状況



測定状況



調査船
(200t級タグボート)







★音波探査の種類（使用機器の選定）



▶音波探査

✓ 調査目的（探査深度など）によって、
適切な音源と受振ケーブルの組み合わせを決めることが重要

所有音源の種類とその特性

音源		エネルギー	周波数	解像度	船の大きさ	探査深度
表層探査機		少	高	優	小型	浅
ブーマー						
スパーカー						
ウォーターガン						
エアガン	GIガン 	大	低	劣	大型	深
	エアガン 					

所有受振ケーブルの種類とその特性

受振ケーブル (ストリーマー)	チャンネル数	チャンネル 間隔	ケーブル長	船の大きさ	探査深度
シングルチャンネル	1ch	—	短	小型	浅
マルチチャンネル	12ch	2.5m			
	24ch	3.125m	長	大型	深
	48ch	6.25m			
	48ch	12.5m			



ストリーマーケーブル
(12チャンネル、2.5m間隔)



ストリーマーケーブル
(48チャンネル、12.5m間隔)

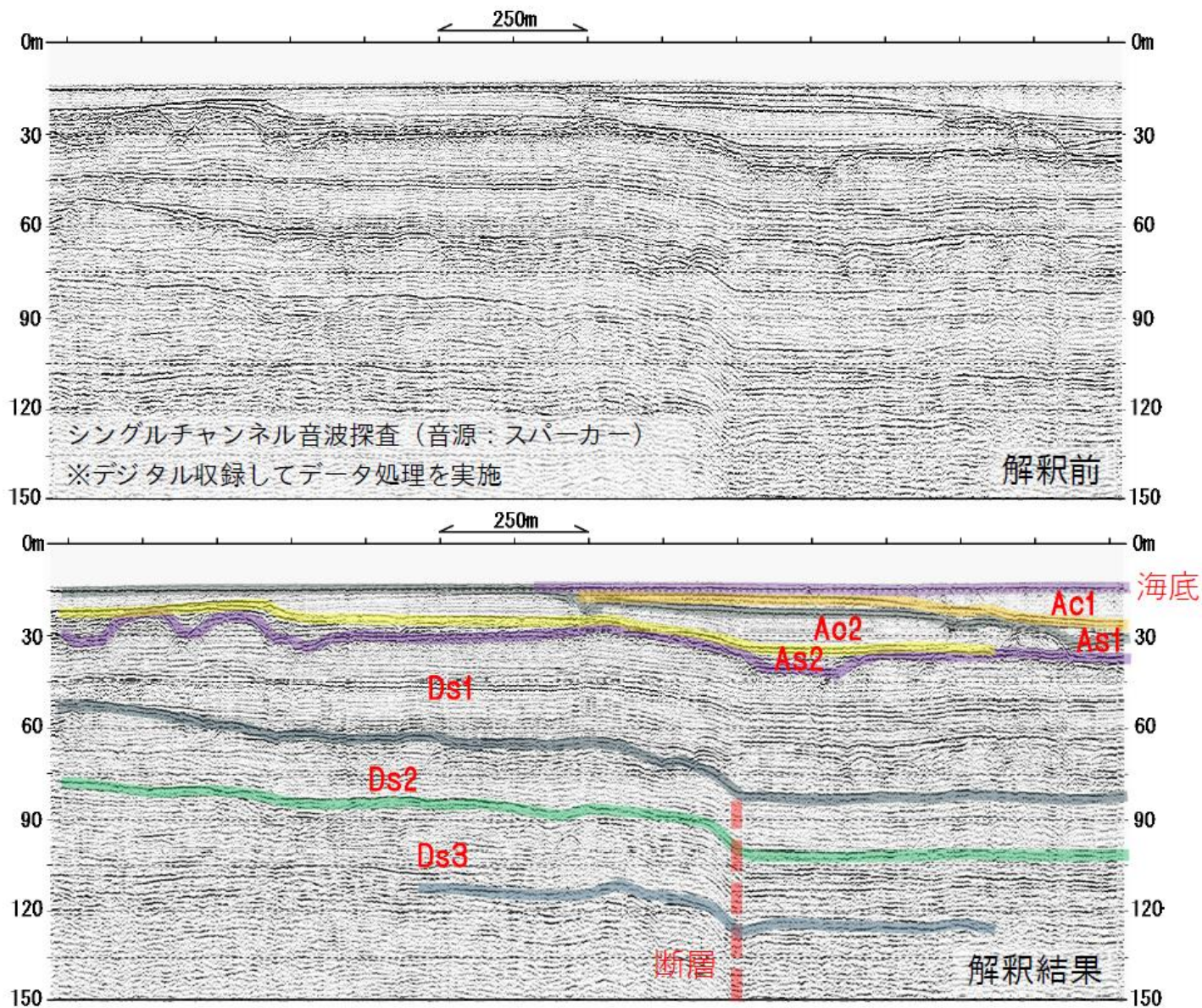
- 1) ハイドロフォン：圧力変化を電気信号に変える(≒水中マイク)
- 2) チャンネル：ハイドロフォンからの信号を一つにまとめたもの。チャンネルが一つだとシングルチャンネル、複数だとマルチチャンネルと呼ばれる。
- 3) ストリーマー：複数の受振チャンネル(ハイドロフォン)を等間隔に配置したケーブル
- 4) 海底下の数mの探査には、表層探査機(サブボトムプロファイラー:SBP)を用いる
- 5) SBPの製品名：ソノプローブ、チャープソナー、サブスキャン、SES2000など

★音波探査の音源と適応性



発震音源 地質・土質		表層探査機 (SBP)	ブーマー	スパーカー	ウォーター ガン	エアガン GIガン
沖積地盤	粘性土	◎	◎	◎	◎	◎
	砂質土	○	◎	◎	◎	◎
	砂礫	×	◎	◎	◎	◎
洪積地盤	粘性土	△	◎	◎	◎	◎
	砂質土	×	○	○	◎	◎
	砂礫	×	△	○	◎	◎
軟 岩	堆積岩(半固結)	×	△	△	○	◎
	堆積岩(固結)	×	×	△	△	○
	火成岩	×	×	×	×	×
硬 岩	堆積岩	×	×	×	△	△
	火成岩	×	×	×	×	×
探査深度	シングル チャンネル	10m	50m	150m	200m	>450m
	マルチ チャンネル	—	120m	—	600m	>750m
垂直分解能		0.1m	0.5-1.0m	1-2m	3-5m	>15m
探査精度 (機器や手法による誤差)		±0.3m	±0.6m	±1m	±1.5m	>±2m

★音波探査で得られる記録（P波の反射画像）



➤音波探査の計画立案時の留意点

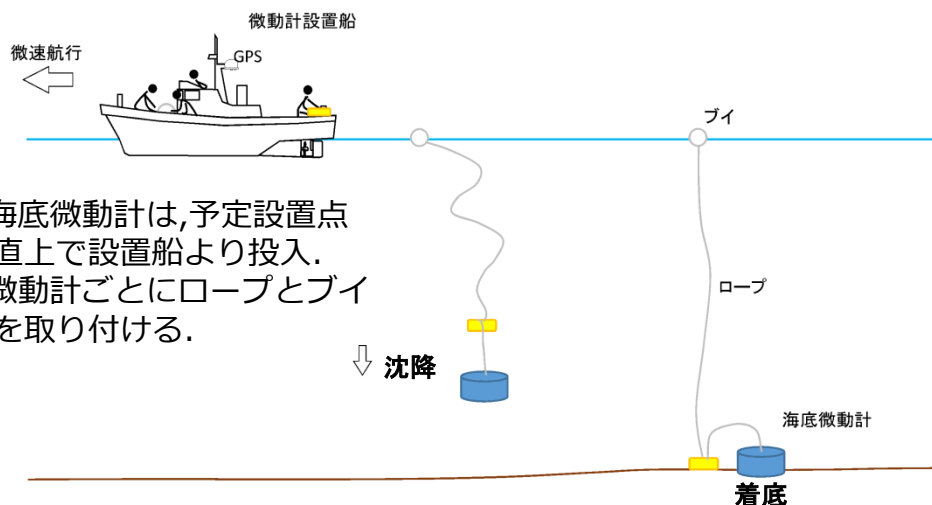
- 音源と受振ケーブルの組合せの選定が重要
- データ処理の有無などの検討
- 調査測線のレイアウト(測定距離,測線密度,航行障害域)
- 測定距離の目安：15～20km/日
- 調査計画には、既存資料も参考に検討する
 - 沿岸の海の基本図（海上保安庁海洋情報部）
 - 沿岸海域基礎調査（国土地理院）
 - 海洋地質図（産総研地質調査総合センター）

➤音波探査の短所

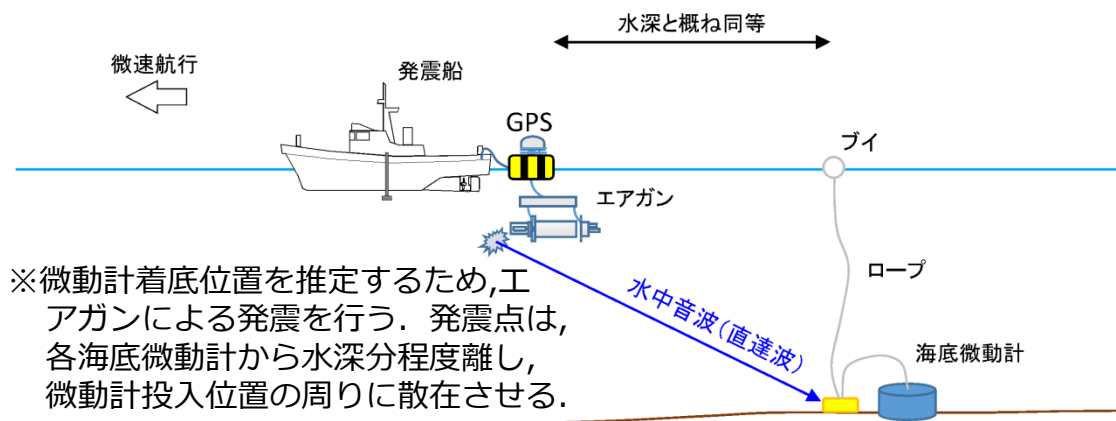
- 音波探査だけでは、土質の物性はわからない
→ボーリング掘削による地質の直接観測と対比が必要
- 音波散乱層（主に空隙の多い層,ガスなどの内在）があると、音波探査記録が不鮮明になり、記録断面を解釈する妨げとなる

▶地盤のS波構造を推定

【海底微動計 設置作業のイメージ】



- ※海底微動計は、予定設置点直上で設置船より投入。
- ※微動計ごとにロープとブイを取り付ける。



- ※微動計着底位置を推定するため、エアガンによる発震を行う。発震点は、各海底微動計から水深分程度離し、微動計投入位置の周りに散在させる。

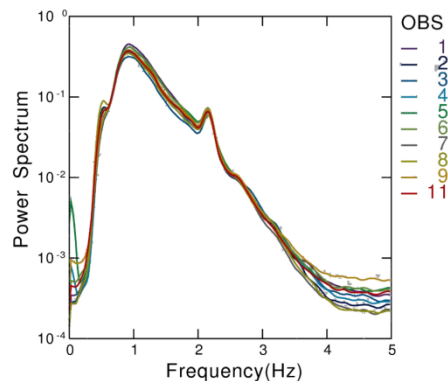
S波構造の推定方法

- ①微動の測定結果から振動数に対する表面波(レイリー波)の伝播速度(分散曲線)を求める。
- ②測定データから求めた分散曲線と、地盤構造を仮定して計算上求めた分散曲線(理論分散曲線)が一致するように地盤構造のモデルを修正を加えて最適なS波速度構造を求める。
解析は、SPAC法およびH/Vスペクトル法により行う。



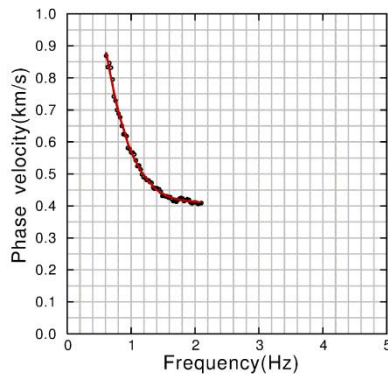
海底微動計
(直径50cm, 耐圧水深200m)

▶ 振動特性から地盤の構造を逆解析



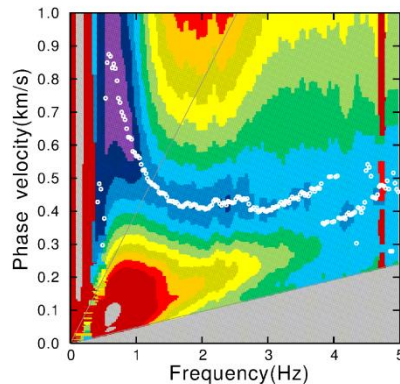
① パワースペクトル

数値はA/D変換のデジタル単位による。概ね 10^0 以下。

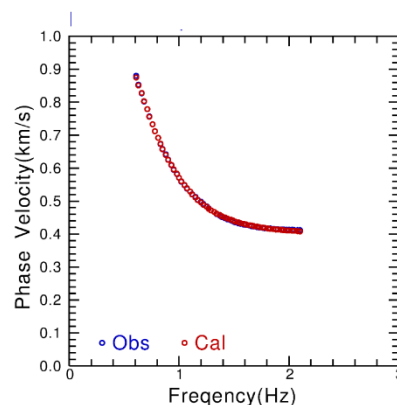


③ 分散曲線

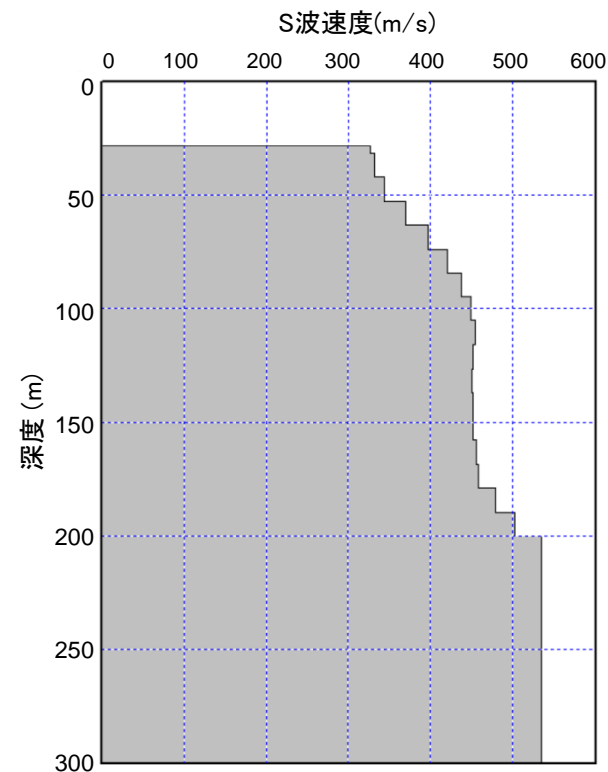
周波数範囲はパワースペクトルを参考
○ 抽出された位相速度
— フィルタリング後の分散曲線



② SPAC法による位相速度



④ フィルタリング後の観測分散曲線によるインバージョン結果.
○ 観測分散曲線
○ インバージョンによる計算分散曲線

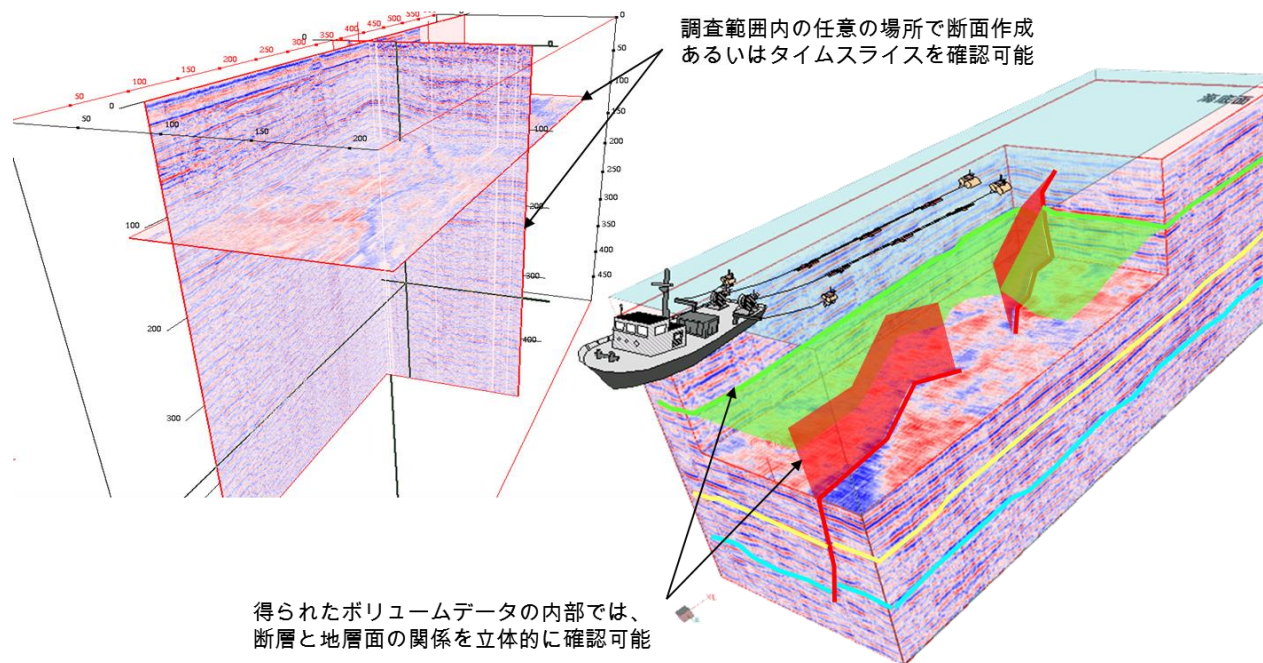


⑤ S波速度構造モデル

初期モデルは音波探査で得られた地質構造から設定

➤ 3D音波探査

✓ 調査海域の地質構造を空間的に明らかにできる



通常の音波探査ではそれぞれ1つの音源と受振ケーブルを使用するのに対し、3D音波探査では、それらを複数個使用する。通常の二次元音波探査が2次元断面で示されるのに対して、3D音波探査では3次元のボリュームデータとして得られることが最大の特徴である。3次元データは任意の断面や層準で自由に切り出せるため、平面的に地質構造を連続的に把握できる。2次元断面では把握しにくい横ズレ断層の形態など、複雑な地質構造の把握には最適であり、海底地盤の地質リスク低減に寄与します。

■ 調査技術：海上ボーリング

海上ボーリング

< 多彩な足場仮設 >



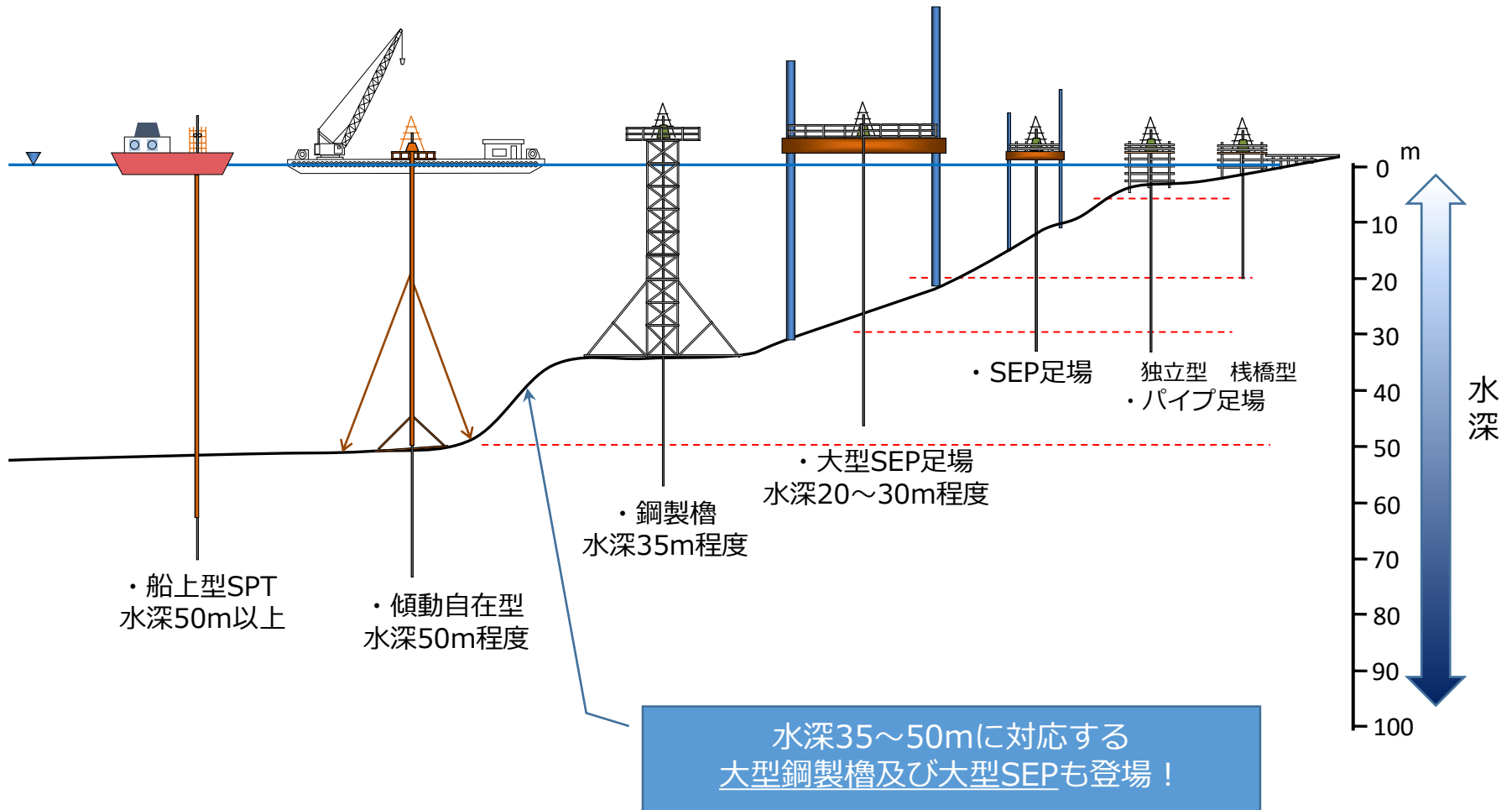
■ 海上ボーリング：仮設

▶ 多彩な海上ボーリング作業足場 ✓ 現場条件に応じた足場を用意

	パイプ足場	SEP足場	鋼製檣	傾動自在型(船上)	大型SEP足場
形状					
水深	5m以浅	20m以浅	35m以浅	50m以浅	40m以浅
現場海域の流速	3ノット程度以下	1~2ノット程度以下	3ノット程度以下	3ノット程度以下	8ノット程度以下
現場海底の不陸	水深範囲で追従可能	2~3m程度まで	1m程度まで(檣高による)	傾斜10°以下	水深範囲で追従可能
仮設時間の目安	半日程度	2日程度	3日程度	9日(艀装+設置)程度	15日程度
仮設費用	数十万/基	数百万/基	数百~数千万/基	起重機船50~100万/日程度	数千万/基
備考	仮設及び設置：小型クレーン船による曳航と現地組み立て作業	仮設：作業ヤードと50t級ラフタークレーンが必要 設置：200hp級作業船による曳航	仮設：作業ヤードと50t吊以上のラフタークレーンが必要 設置：200t吊以上の起重機船による曳航 ※檣高によってブーム長や釣り荷重の制約あり	仮設・設置：足場用起重機船で実施 作業：重機船上の張出し足場掘削：ケーシングパイプと一体型の掘削機構	仮設：作業ヤードと120t級ラフタークレーンが必要 設置：500hp級作業船による曳航

■ボーリング調査の対応

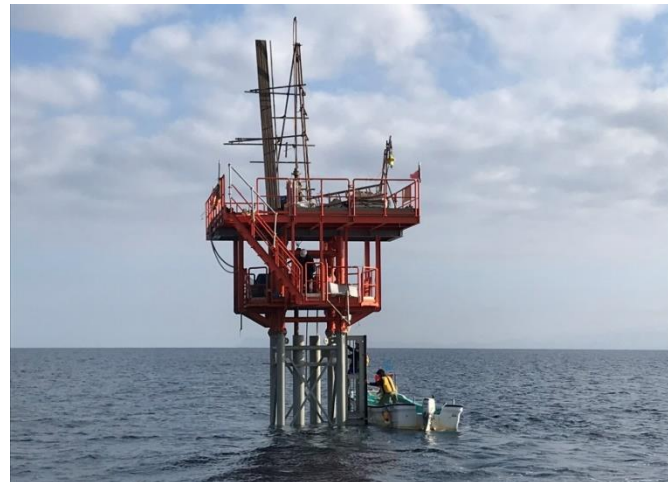
▶水深と海上ボーリング作業足場



■海上ボーリング：仮設



➤鋼製櫓(水深35m程度まで → さらに大型化も！)



➤大型SEP足場(水深40m程度まで)



■ 海上ボーリング：仮設

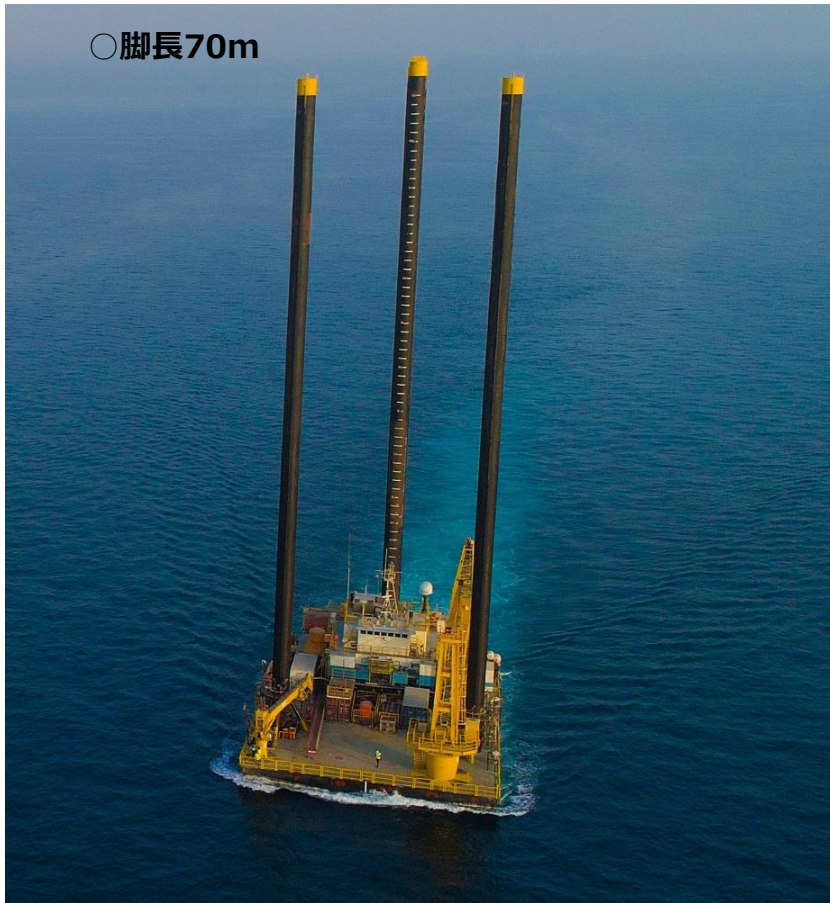


▶ 傾動自在型(水深50m程度まで)

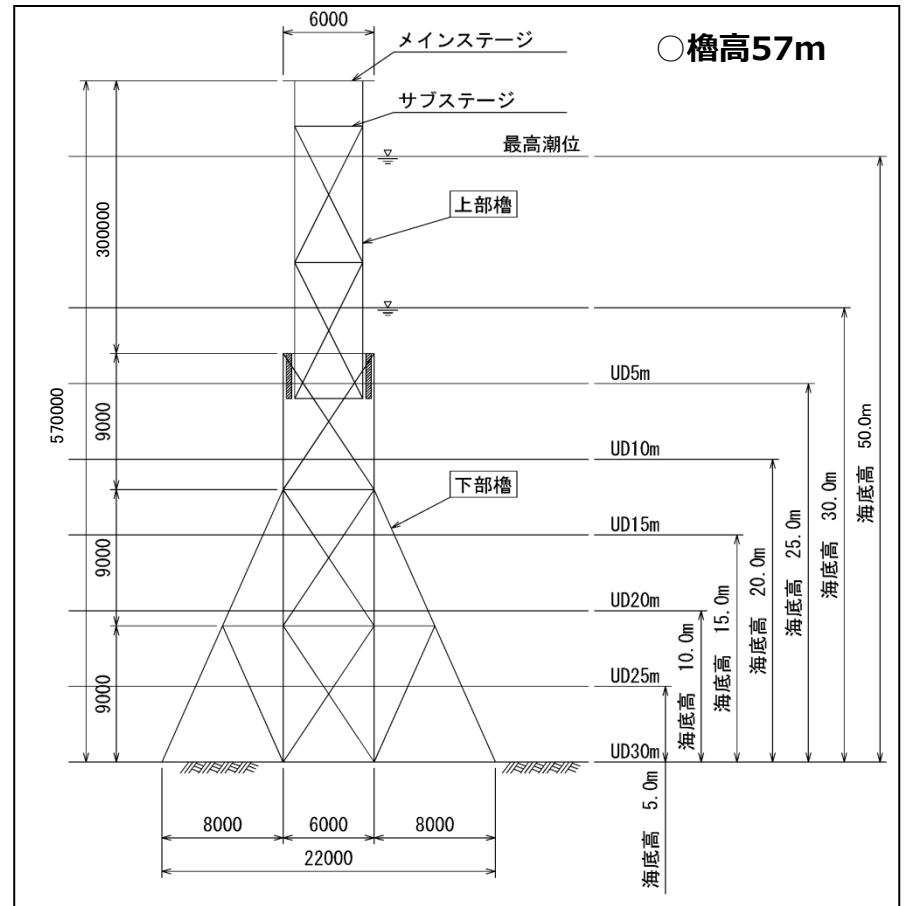


■ボーリング調査の対応

➤最近のトピックス(水深50m対応へ)



大型SEP(大水深対応)



大型鋼製櫓(伸縮自在)

■ボーリング調査の対応

➤ 自社保有の鋼製櫓は7基

大型櫓 or 通常櫓
の境界
水深35m

大型櫓・傾動の領域

船上調査の領域

仮設による
調査の限界
水深50m

鋼製櫓の領域

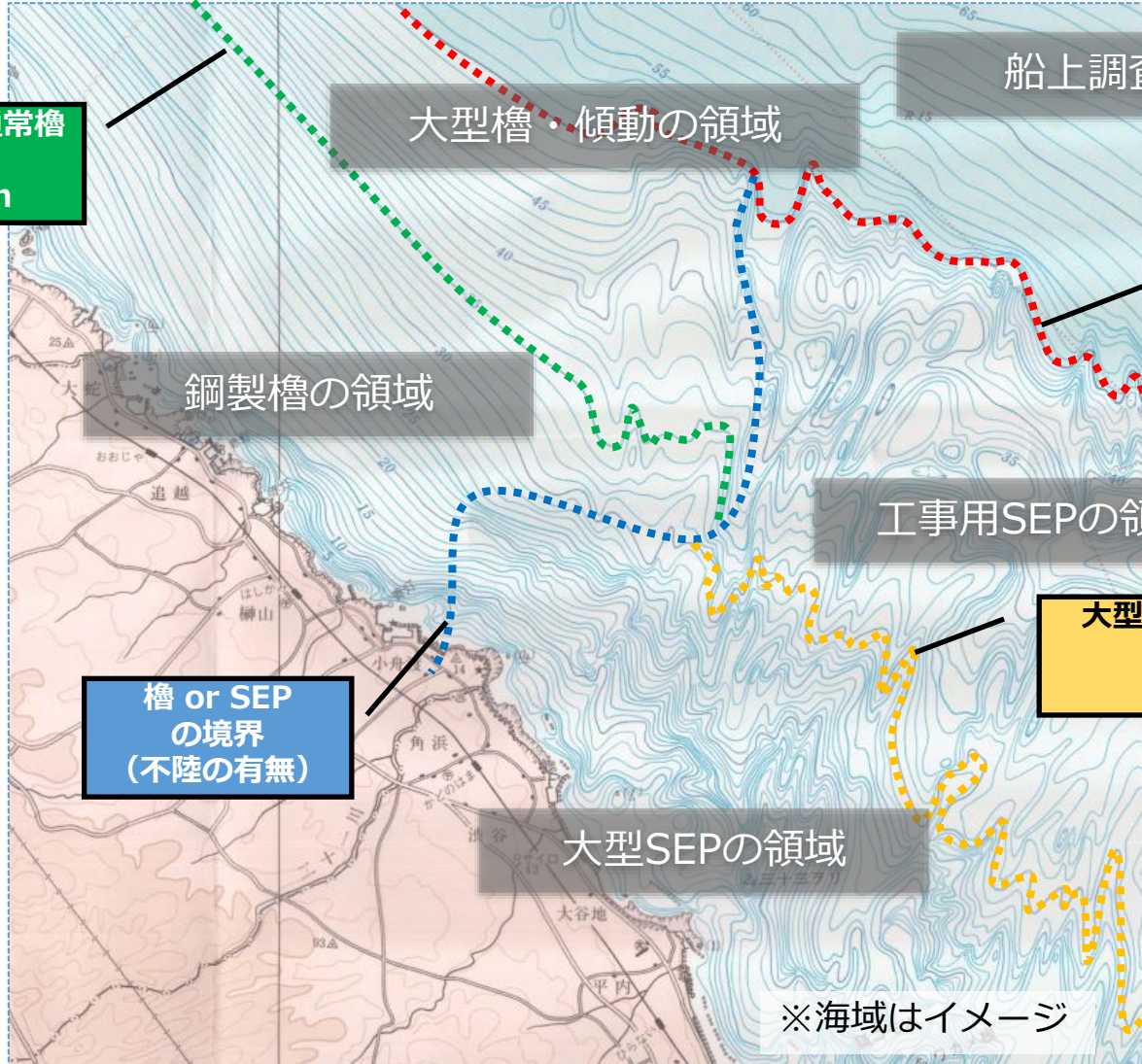
工事用SEPの領域

櫓 or SEP
の境界
(不陸の有無)

大型SEP or 工事用SEP
の境界
水深30m

大型SEPの領域

※海域はイメージ



原位置試験

< 地盤物性値の把握 >



■土質調査で何を調べているか？



➤土質調査で調べたいこと

①杭基礎の支持力計算式

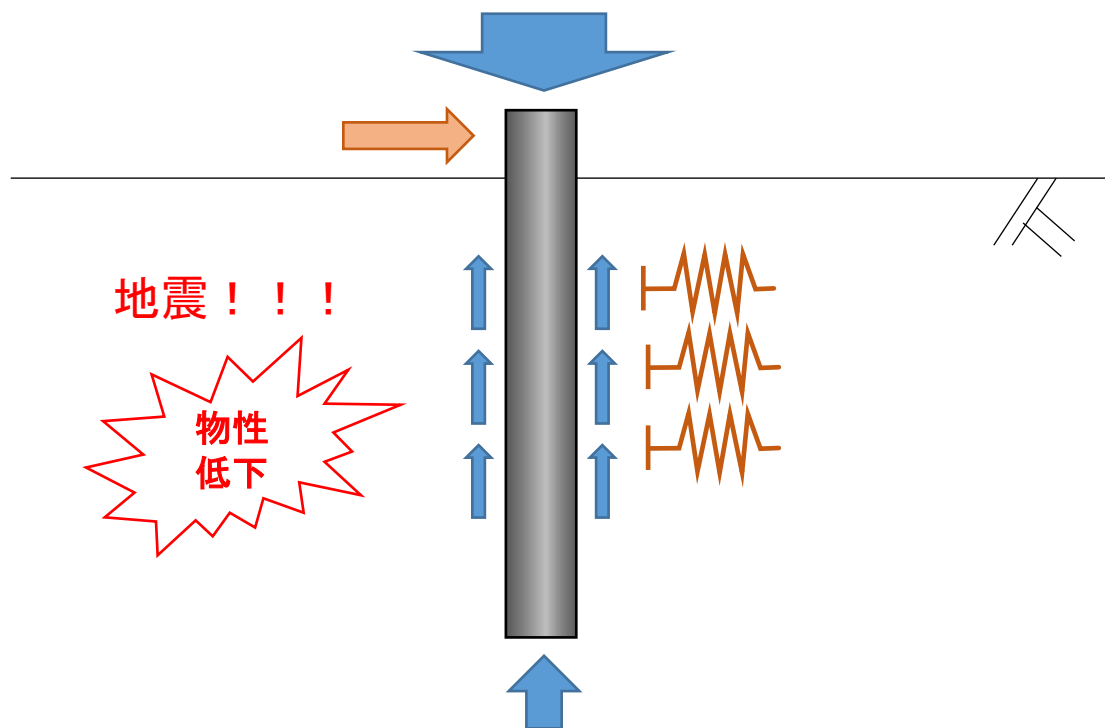
- ・ N値
- ・ 内部摩擦角 ϕ
- ・ 粘着力C

②バネ定数算定式

- ・ 変形係数E

③地震応答解析

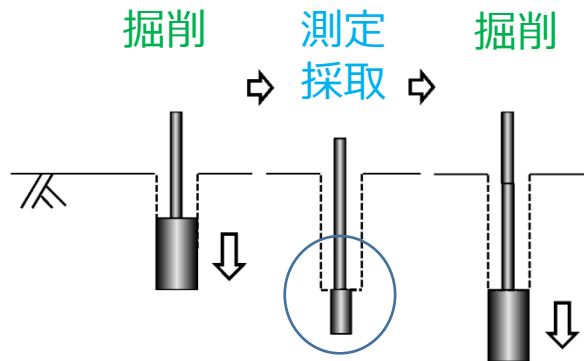
- ・ S波速度構造
- ・ 強度低下特性



▶調査方法の概念比較

✓ボーリング掘削

◎掘削と試験の繰り返し



- N値(SPT)
- 変形係数
- 試料採取

現地測定

- N値(SPT) : N
- 変形係数 : E
- S波速度など : Vs

採取試料(室内土質試験)

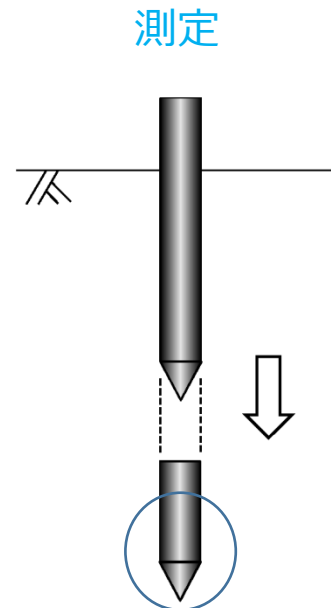
- 粘着力 : c
- 内部摩擦角 : ϕ

その他

→ 現地測定や土質試験で設計定数を直接計測する。

✓コーン貫入(CPT)

◎静的にコーンを連続貫入させる



- 貫入抵抗
- 間隙水圧
- 周面摩擦力

測定項目

- 貫入抵抗 : qt
- 間隙水圧 : u
- 周面摩擦力 : fs

↓
測定結果から換算式を用いて設計定数を推定する。

- N値 : N
- 土質区分 : Ic
- 粘着力 : c
- 内部摩擦角 : ϕ
- 変形係数 : E
- S波速度 : Vs

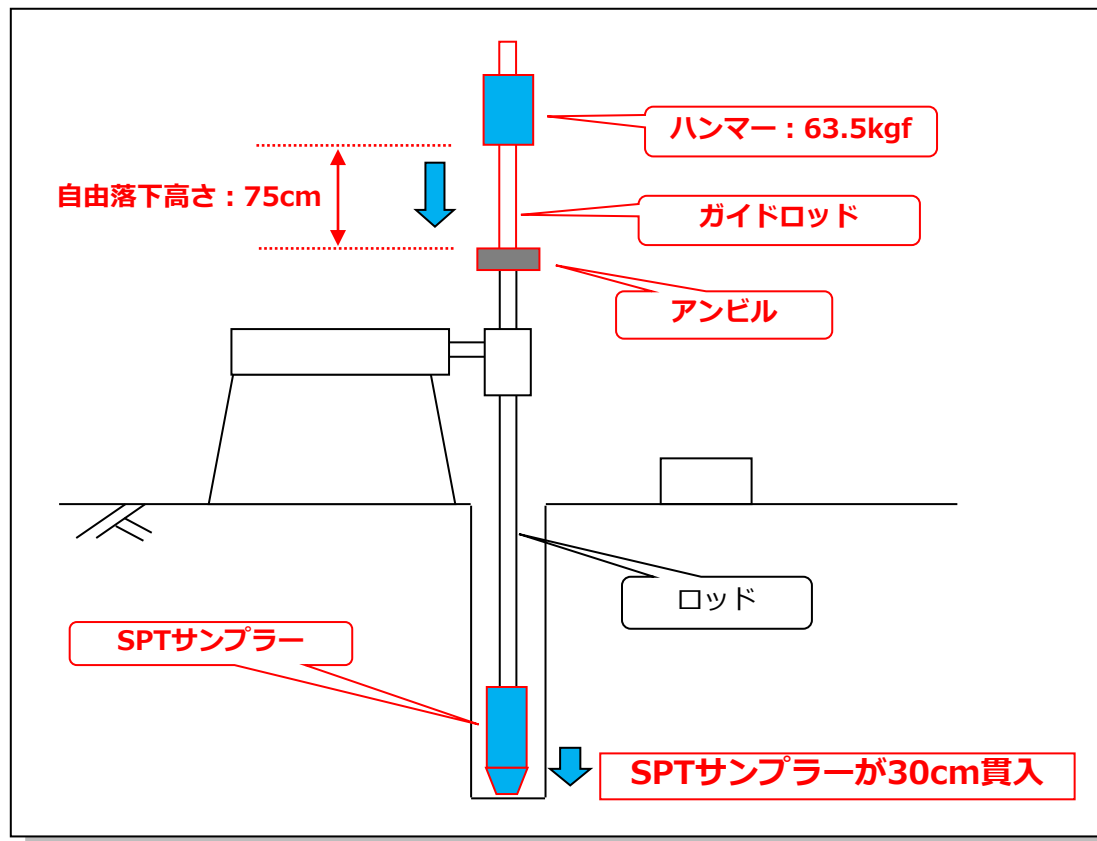
■土の物性値：N値とは



▶標準貫入試験(Standard Penetration Test)

N値の定義：JIS A 1219

→63.5kgfの重りを75cm自由落下させ、
先端が土に30cm貫入するまでの打撃回数



<N値の特徴>

- ・最も普及した土の試験
- ・土の硬さの指標値
- ・打撃回数が大きいほど固い
- ・0回の軟弱土も存在
- ・支持層は50回以上が目安
- ・設計に多く用いられる
- ・いろいろな換算式がある

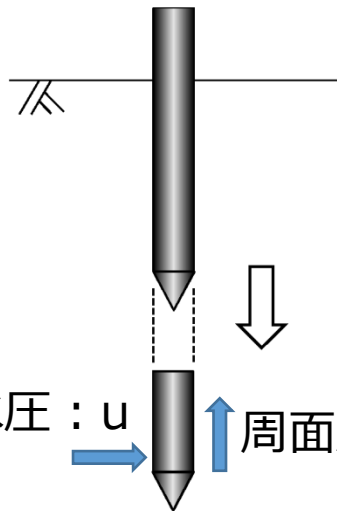
<ボーリングと標準貫入試験>
ボーリングは孔を掘削する行為で、標準貫入試験(SPT)は試験、その結果 = 打撃回数がN値

➤ CPT (Cone Penetration Test)

✓現場測定値から土質定数へ換算

測定項目

押し込み速度 : 20mm/s



間隙水圧 : u

周面摩擦力 : f_s

貫入抵抗 : q_t

一次換算値等

- 土質判別 : Q_t, F_r, I_c (Robertson他)
- 換算N値 : N_c (Robertson他)
- 非排水せん断強さ : S_u (港湾式他)
- 内部摩擦角 : ϕ (風力指針)
- 圧密降伏応力 : P_c (深沢2004)
- S波速度 : V_s (Robertson他)

など



二次換算値等(換算N値 : N_c から)

- 変形係数 : E (JGS他)
- S波速度 : V_s (道示)
- 粘着力 : c (JGS他)
- 内部摩擦角など : ϕ (建築指針他)
- 初期剛性率 : G_0 (V_s より換算)

他多数

■土の物性値と相互換算関係



ボーリング = 現地測定

- 土質区分 : I_c
- 変形係数 : E
- S波速度など : V_s
- 採取試料(室内土質試験)
 - 粘着力 : c
 - 内部摩擦角 : ϕ

相互



- N値(SPT) : N

CPT

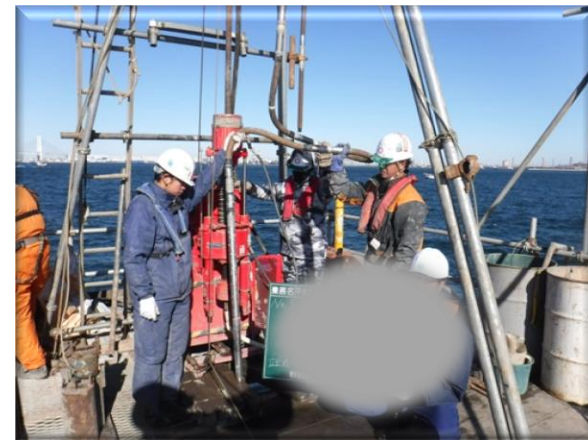
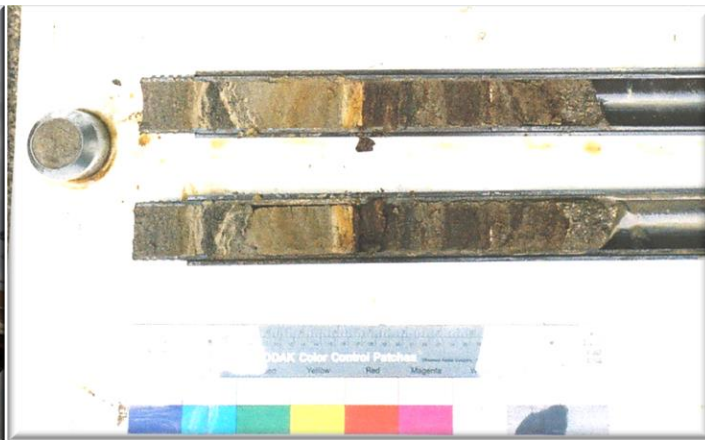
- 貫入抵抗 : q_t
- 間隙水圧 : u
- 周面摩擦力 : f_s

一方通行

■ 原位置試験



- ▶ 原位置試験：工学的評価のための指標(JIS,JGS他)
 - ✓ 基礎構造設計のための地盤定数を直接計測



標準貫入試験:N値

PS検層：S波速度Vs

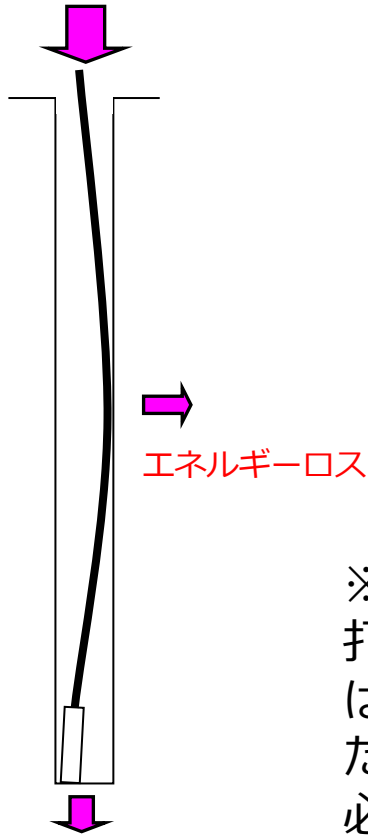


孔内載荷試験:変形係数E

■ 原位置試験

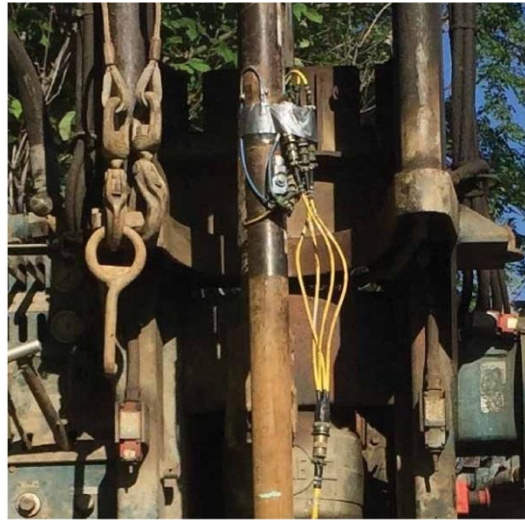


- ▶ 標準貫入試験(SPT)：エネルギー伝達効率を検討
 - ✓ 海上特有の長尺ボーリングによるエネルギーロスを評価

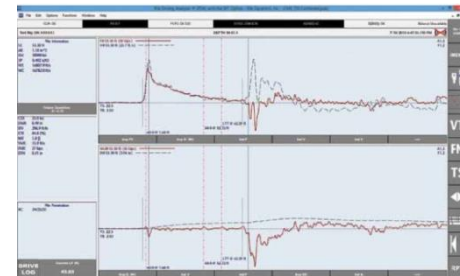
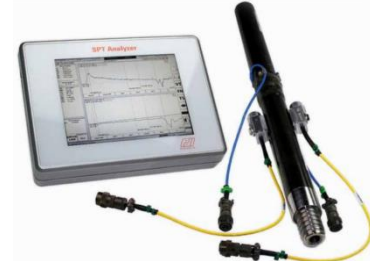


エネルギー過小

→ N値を過大評価




Pile Dynamics, Inc.
30725 Aurora Road
Cleveland, OH 44139 USA



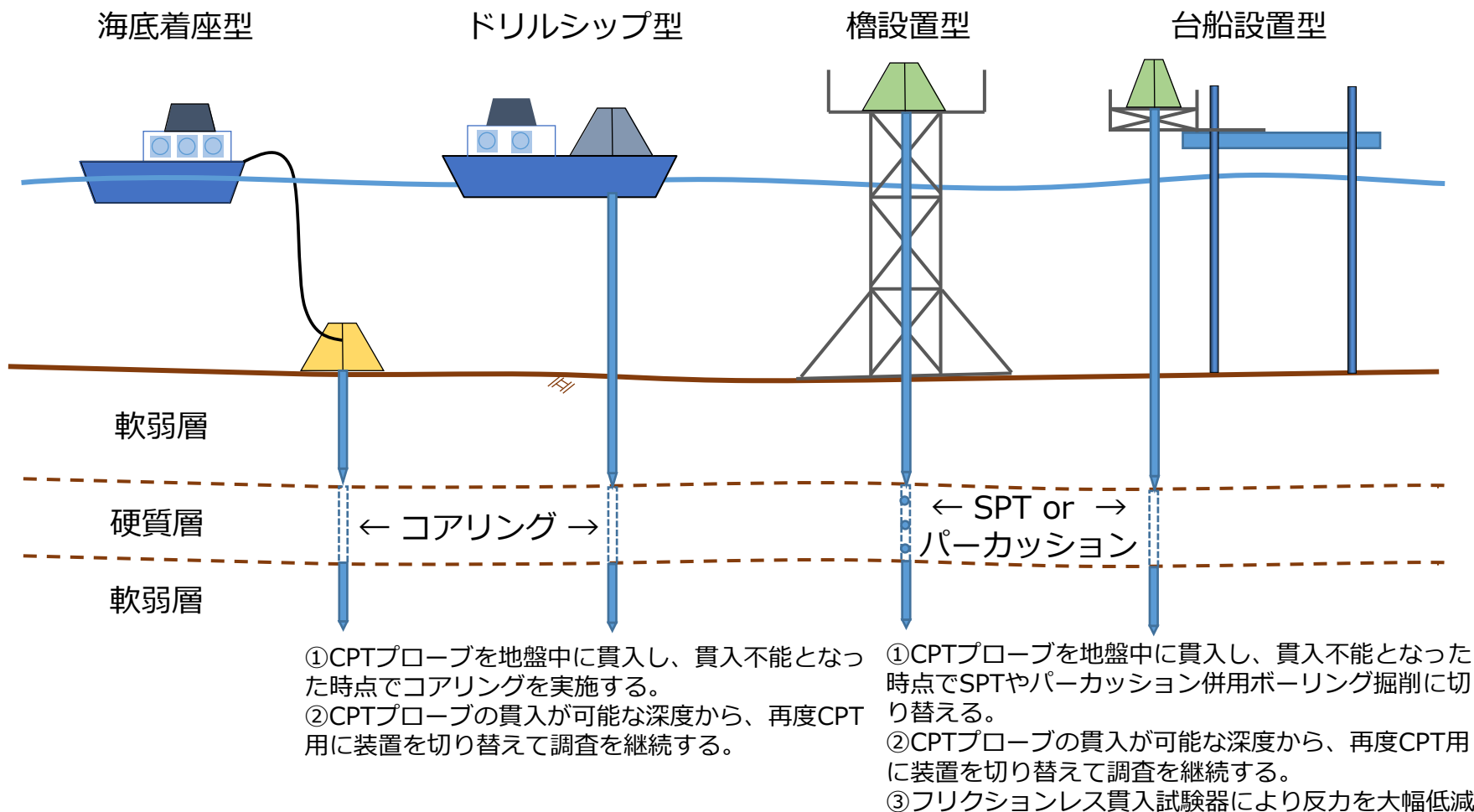
※モノパイル基礎は鋼管杭を打ち込み工法により打設するが、打ち込みによる貫入抵抗を測定する標準貫入試験結果のN値は測定の機構が酷似しており、支持層評価の際に有効となる。ただし、海上ボーリングでは水深分のロット長が加算され、必然的に長尺ボーリングとなるため、ハンマーによる打撃エネルギーの伝達効率を一定に保つ必要がある。

■ 原位置試験



➤ CPT：欧米ではスタンダードの調査手法

✓ 静的なコーン貫入試験結果から地盤定数を推定



■ 調査技術：原位置試験(CPT：船上型及び海底着座型)



- ▶ 大水深作業が可能かつ作業期間が短く幅広い適用性
- ✓ コーン貫入(CPT)はCPT実施各社との連携

- ・ ドリルシップ型(windpal社提供)



- ・ 台船設置型



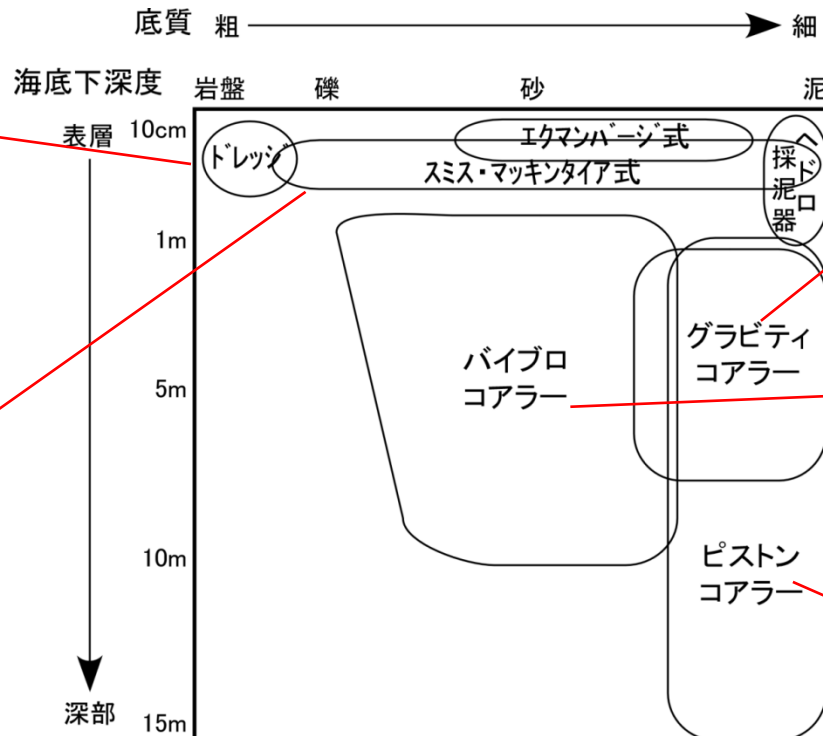
《CPTの特徴》

- ◎ 貫入不能区間は
コアリング
- ◎ 経済性の面で不利
になる可能性も
- ◎ SPTの併用が可能

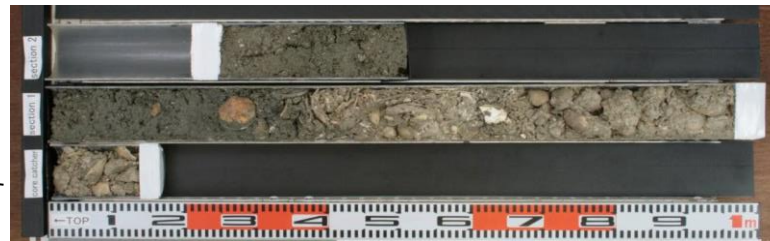
■底質試料採取(船上からの採取：浮体式向け)



- ▶ 海底下15m程度までの試料を採取
 - 対象により多彩なラインナップ



バイブロコアラーによる採取試料
→試料は土質試験に用いることができる。



■ 底質試料採取(船上からの採取：浮体式向け)



▶ 柱状採取の例：グラビティコーアラ

パイロットウェイトが着底すると、
天秤が作動して採泥器が底質に貫入する

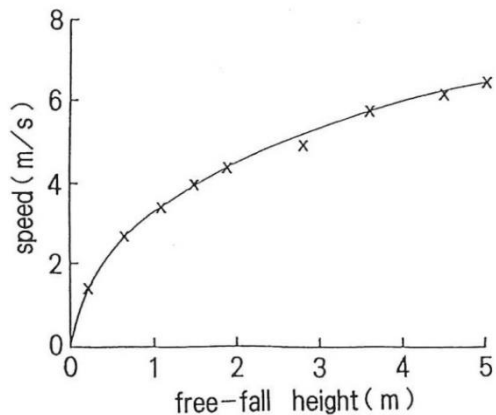
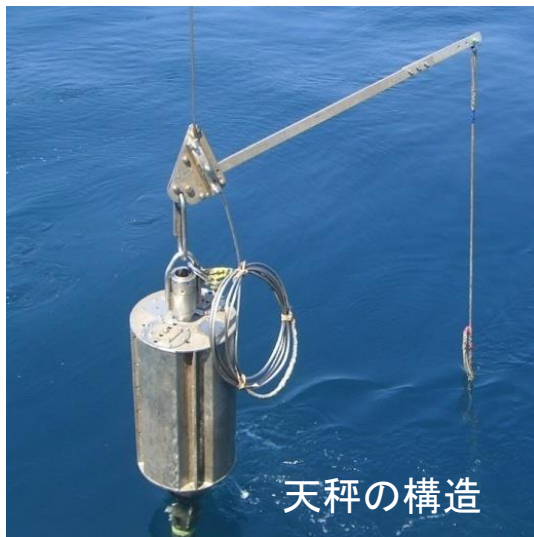
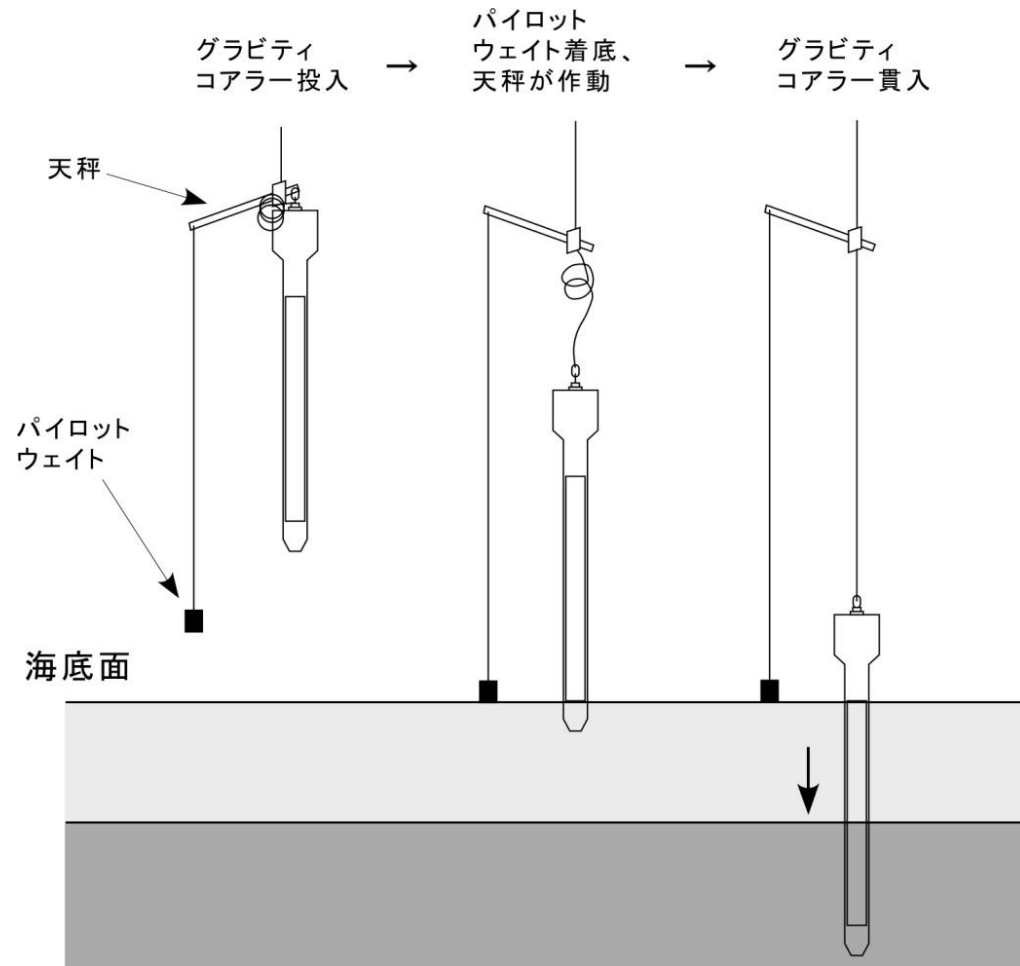


図-2 水槽実験により得られたある重力式コーアラの自由落下距離と貫入時の速度との関係 (Yamazaki et al., 1995 による)



要素試験

＜ 様々な地盤条件を再現 ＞



➤ 土質試験：さまざまな試験条件を再現

✓ 載荷方向

✓ 三軸 or ねじり？

✓ 応力条件

✓ 等方 or 異方？

✓ 排水条件

✓ 排水 or 非排水？

✓ 圧密条件

✓ 圧密 or 非圧密？

✓ 載荷条件

✓ 急速 or 緩速？

✓ 静的 or 動的(繰り返し)？

✓ 圧縮 or 引張り？

例①

非圧密・非排水(UU:Unconsolidated - Undrained)

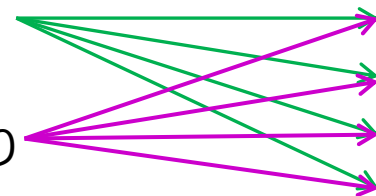
圧密・非排水(CU-:Consolidated - Undrained)

圧密・排水(CD:Consolidated - Drained)

例②

三軸

ねじり

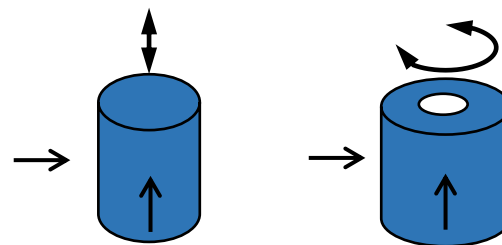


静的強度

液状化

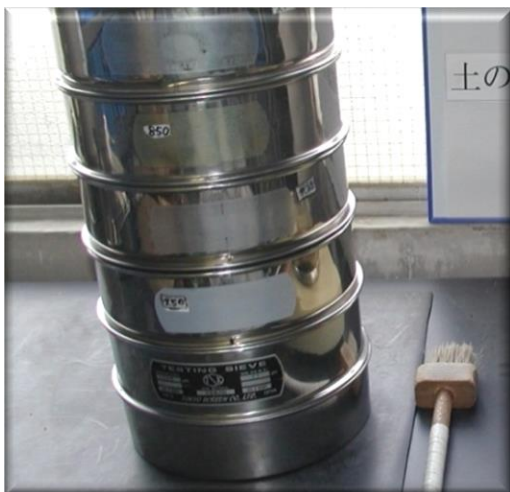
動的変形特性

強度低下



▶ 土質試験：サンプリング試料による試験(JIS,JGS他)

✓ 物理試験, 力学試験



物理特性:

- 粒度塑性 D10, D50, Fc
- 自然含水比 Wn
- 液性塑性限界 WL, WP, IP
- 湿潤密度 ρ_t

etc



力学特性

- 一軸圧縮強さ q_u
- 三軸圧縮強さ C_u, Φ_u
 $, C', \Phi'$

etc

▶ 土質試験：サンプリング試料による試験(JIS,JGS他)

✓ 物理試験, 力学試験



圧密特性:

- ・ 圧密降伏応力 P_c
- ・ 圧縮指数 C_c

※ 試験方法は、
段階載荷と定ひずみ

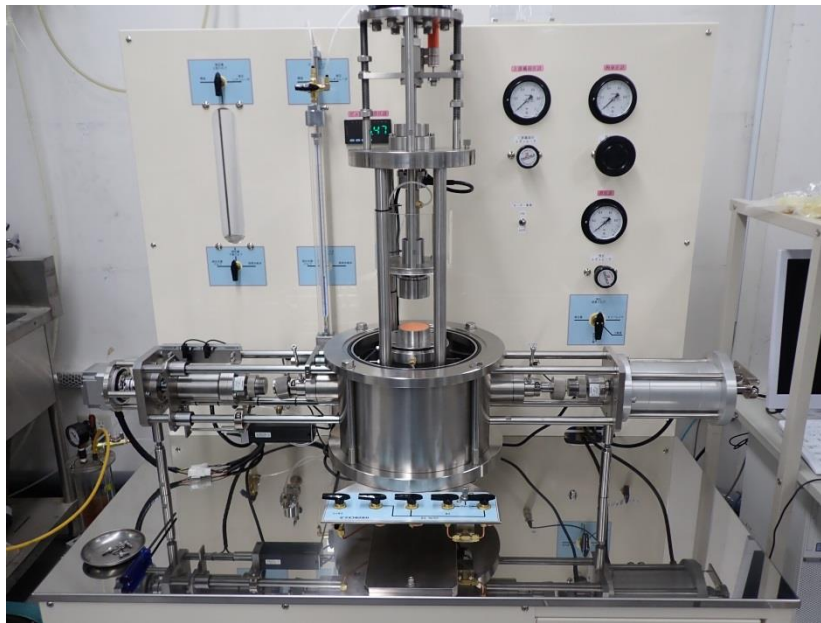
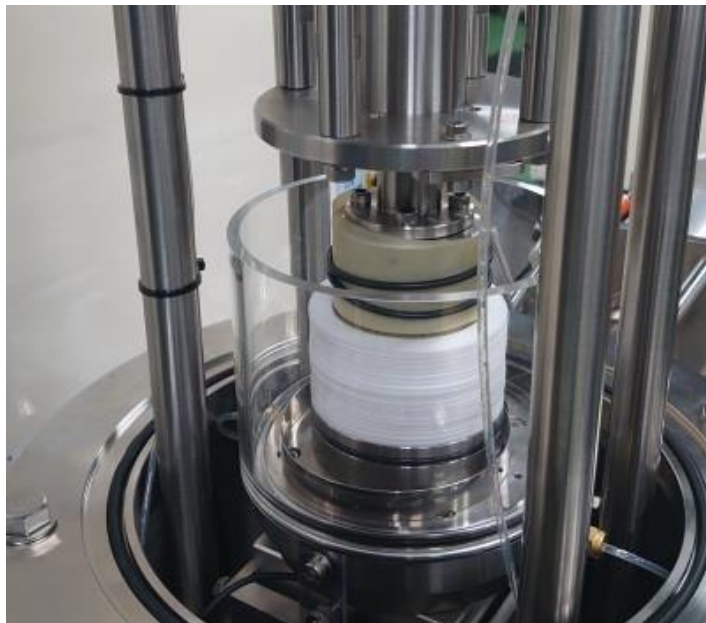


動的特性

- ・ 剛性率のひずみ特性 $G/\gamma, G/G_0$
- ・ 液状化特性 RI_{20}

※ 試験方法は、
軸方向と中空ねじり

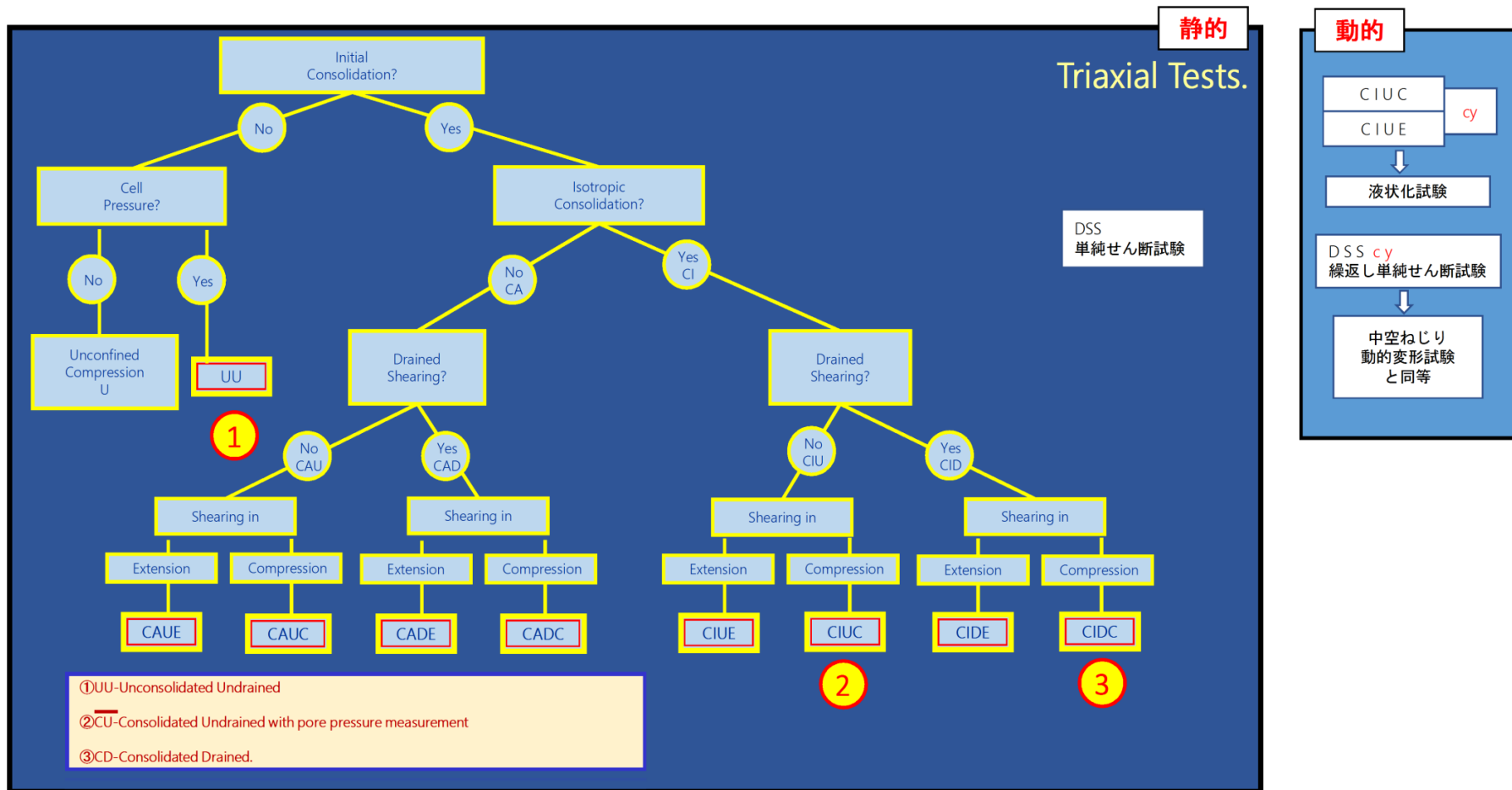
➤ 単純せん断試験機(DSS)を導入



本試験機の特徴

- SGI型の積層リングを用い試験中は側方変位を拘束可能(K_0 状態)
- モーター制御、エアー制御、2つの载荷制御ユニットにより種々の応力、ひずみ制御が可能（静的载荷、正弦波形载荷、不規則波形载荷）
- セル圧、背圧を供試体へ作用させることが出来るので、载荷中の間隙水圧変動を測定可能

➤ 土質試験：海外における主な試験名称との整合



工程管理

< 海象条件/荒天率改善 >



➤ 工程管理：天候リスクを事前分析

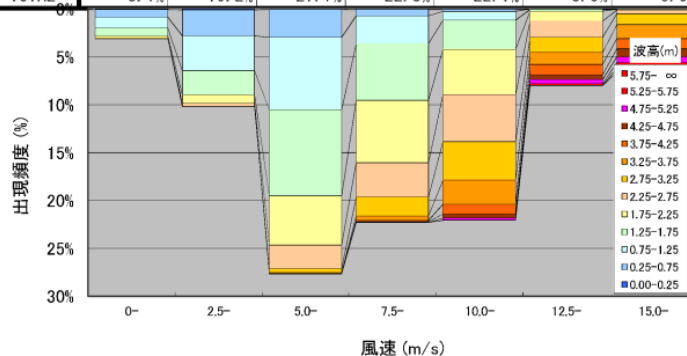
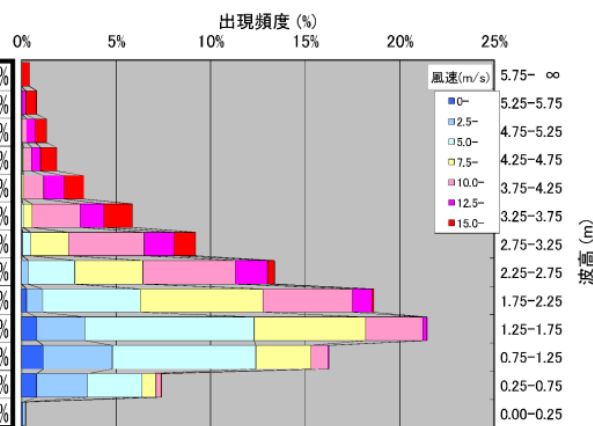
・ 月毎の荒天率予測

海域：[秋田港海域]	平均波高 2.06 [m]	待機率 = 59.2%
期間： 1月	平均風速 8.55 [m/s]	稼働率 = 40.8%

波高-風速 相関出現頻度 一覧表

波高 [m]	風速 [m/s]							TOTAL
	0-	2.5-	5.0-	7.5-	10.0-	12.5-	15.0-	
5.75-∞					0.0%	0.2%	0.4%	0.4%
5.25-5.75					0.3%	0.4%	0.6%	0.8%
4.75-5.25			0.0%	0.0%	0.3%	0.4%	0.6%	1.3%
4.25-4.75			0.0%	0.1%	0.4%	0.5%	0.9%	1.9%
3.75-4.25			0.0%	0.1%	1.0%	1.1%	1.0%	3.3%
3.25-3.75	0.0%		0.1%	0.5%	2.5%	1.3%	1.5%	5.9%
2.75-3.25	0.0%	0.0%	0.4%	2.0%	4.0%	1.6%	1.1%	9.2%
2.25-2.75	0.0%	0.4%	2.5%	3.6%	4.9%	1.7%	0.4%	13.4%
1.75-2.25	0.2%	0.9%	5.2%	6.5%	4.7%	1.0%	0.1%	18.6%
1.25-1.75	0.8%	2.5%	9.0%	5.9%	3.0%	0.2%	0.0%	21.5%
0.75-1.25	1.2%	3.6%	7.6%	2.9%	0.9%	0.0%	0.0%	16.3%
0.25-0.75	0.8%	2.7%	2.9%	0.7%	0.3%	0.0%	0.0%	7.4%
0.00-0.25	0.1%	0.1%	0.1%					0.2%
TOTAL	3.1%	10.2%	27.7%	22.3%	22.1%	8.0%	6.6%	100.0%

“波高”出現 頻度グラフ (風速別 色分け表示)



“風速”出現 頻度グラフ (波高別 色分け表示)

— = 作業基準範囲*

※波高1.75m未満 かつ 風速10.0m未満の場合

待機率 = 59.2% : 稼働率 = 40.8%

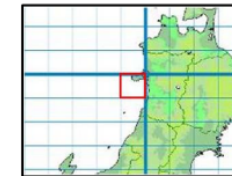
対象範囲:

Lon. = 39.5 ~ 40.0° N

Lat. = 139.5 ~ 140.0° E

対象時期:

1月



データ出典：日本近海の波と風のデータベース 詳細版 [(独)海上技術安全研究所]

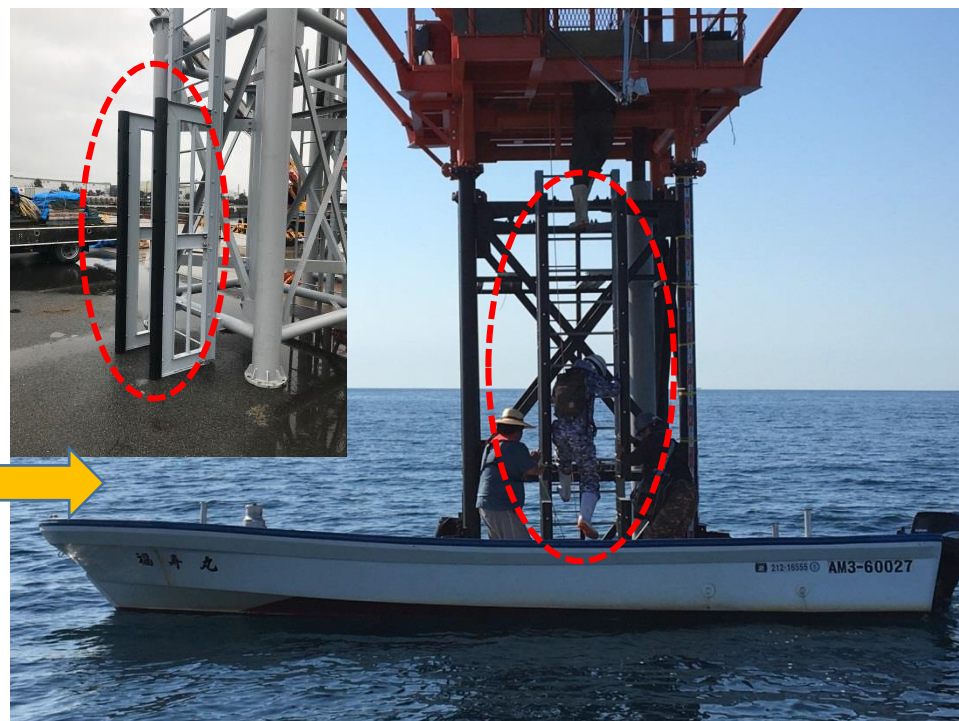
http://www.nmri.go.jp/wjapan/namikaze_main.html

▶ ボートフェンダーの設置：アクセス手段の改良



◎ ボートフェンダーの新設

- ・ アクセス可能な波高条件を緩和 ⇒ 荒天率改善
- ・ 作業員の安全性を向上



◎ 交通船は海象に合わせて選択

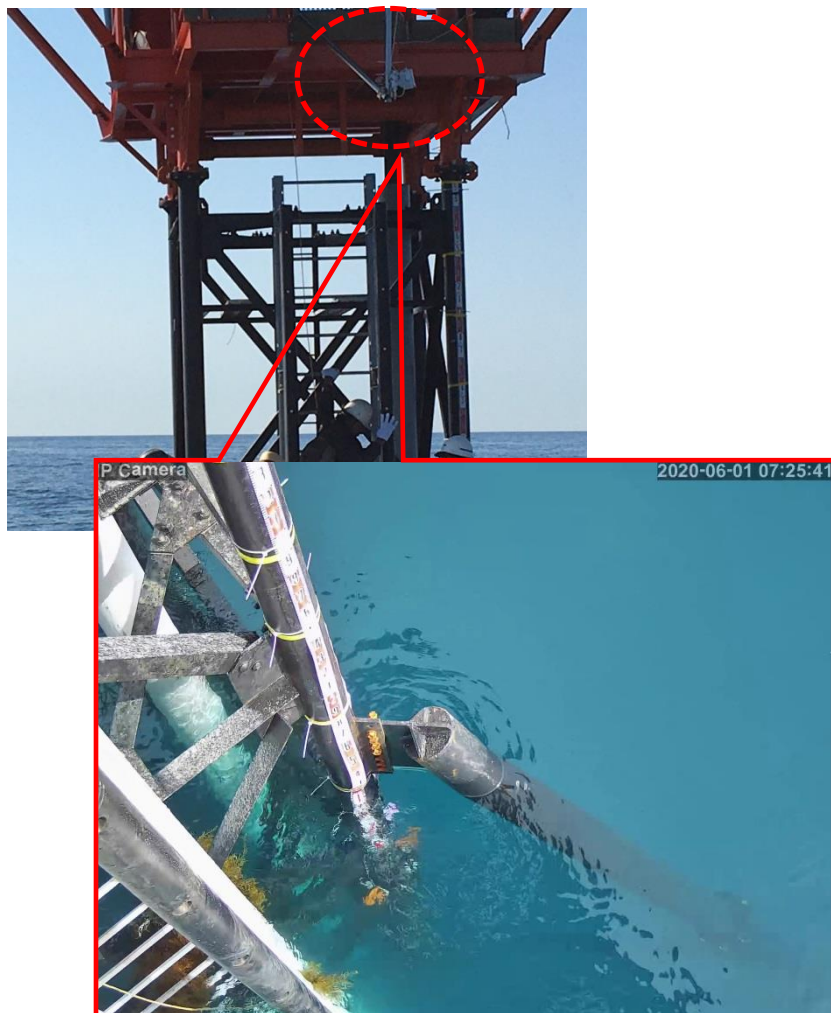
- ・ 海象条件により小型FRP船,船外機,小型作業船から選択

■ 工程管理：工程遅延リスクの排除

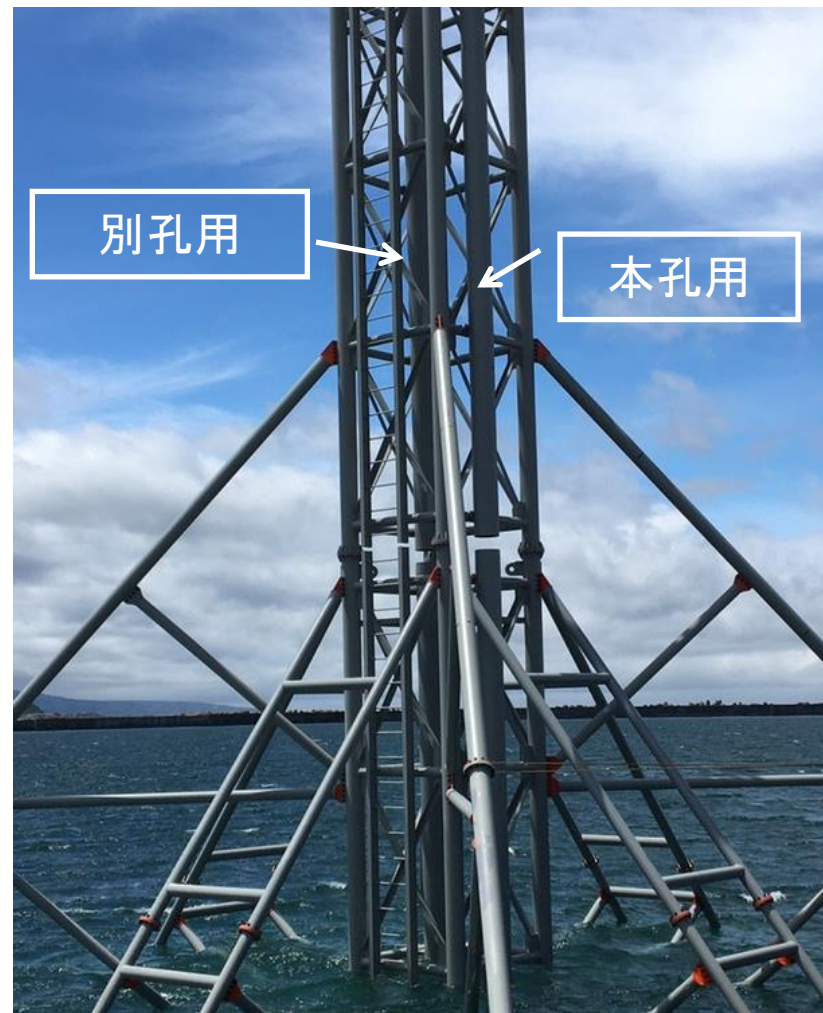


▶ 現場設備の改善：荒天遅延リスクへの対応

・ Webカメラによる波高の常時監視



・ プレケーシングによる別孔移動手間の排除



解析

＜ 豊富な知識を駆使 ＞

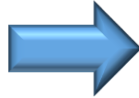


➤CPT結果からの主な物性値の推定

✓現場測定値から土質定数へ換算

測定項目

- ・貫入抵抗 : q_t
- ・間隙水圧 : u
- ・周面摩擦力 : f_s



一次換算値等

- ・土質判別 : q_t, f_r, I_c (Robertson他)
- ・換算N値 : N_c (Robertson他)
- ・非排水せん断強さ : S_u (港湾式他)
- ・内部摩擦角 : ϕ (風力指針)
- ・圧密降伏応力 : P_c (深沢2004)
- ・S波速度 : V_s (Robertson他)

など



二次換算値等(換算N値 : N_c から)

- ・変形係数 : E (JGS他)
- ・S波速度 : V_s (道示)
- ・粘着力 : c (JGS他)
- ・内部摩擦角など : ϕ (建築指針他)
- ・初期剛性率 : G_0 (V_s より換算)

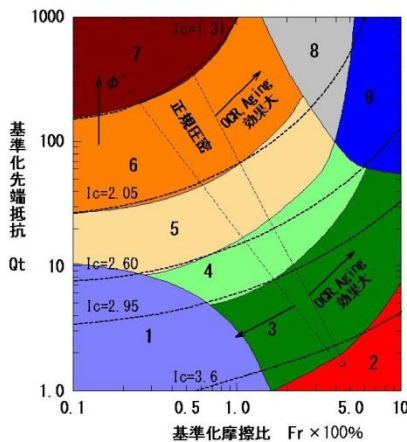
他多数

土質性状タイプ I_c 値

1	鋭敏性の高い粘性土	適用せず
2	有機質土	>3.6
3	粘土	$2.95 \sim 3.60$
4	粘土質シルト	$2.60 \sim 2.95$
5	砂質シルト	$2.05 \sim 2.60$
6	砂	$1.31 \sim 2.05$
7	砂礫	<1.31
8	密な砂*	適用せず
9	固結粘土	適用せず

* 高度な過圧密または固結状態

ロバートソンによる土質性状分類図



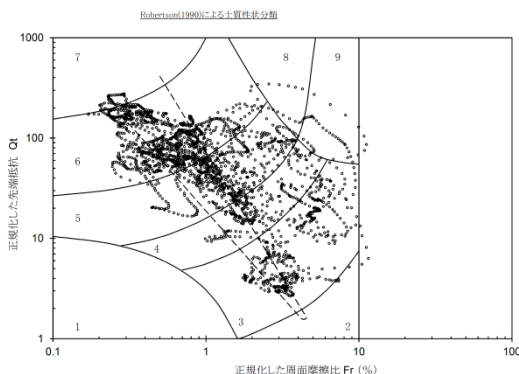
➤ CPT結果の解析結果事例

✓一次データから物性値に換算

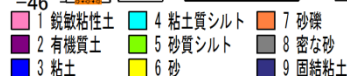
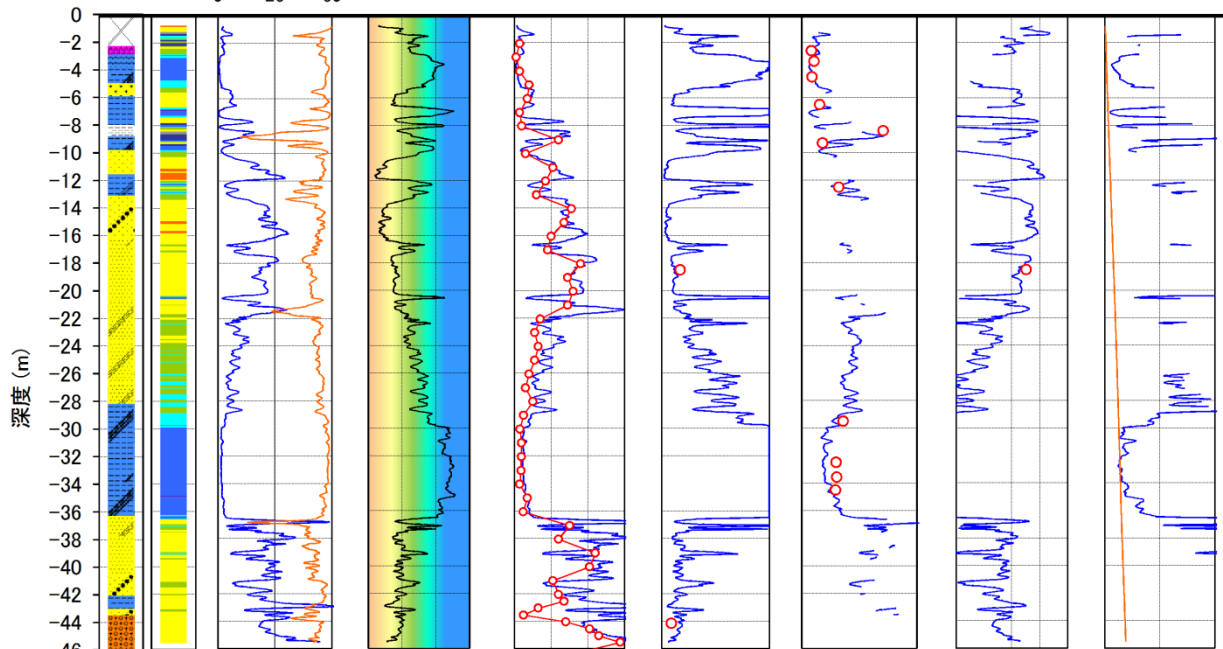
一次換算値等

・土質判別：Qt, Fr, Ic (Robertson他)

・換算N値：Nc (Robertson他)



柱状図	土質性状分類	周面摩擦(MPa) 先端抵抗(MPa)	土質性状指数 Ic	N値	細粒含有率 (%)	粘着力 (MPa)	せん断抵抗角 (deg)	先行圧密応力 (MPa)
		0.8 0.4 0	砂 シルト 粘土	0 20 40 60	0 50 100	0 0.10 20 30 4	30 35 40 45 50	0 1 2



二次換算値等

(換算N値：Ncから)

・変形係数：E (JGS他)

・S波速度：Vs (道示)

・粘着力：c (JGS他)

・内部摩擦角など：
Φ (建築指針他)

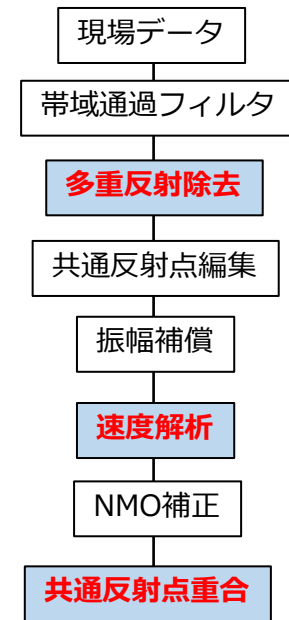
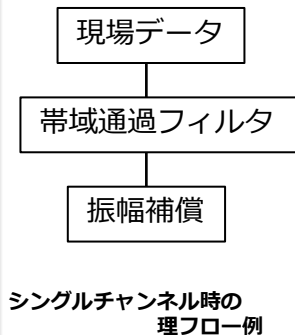
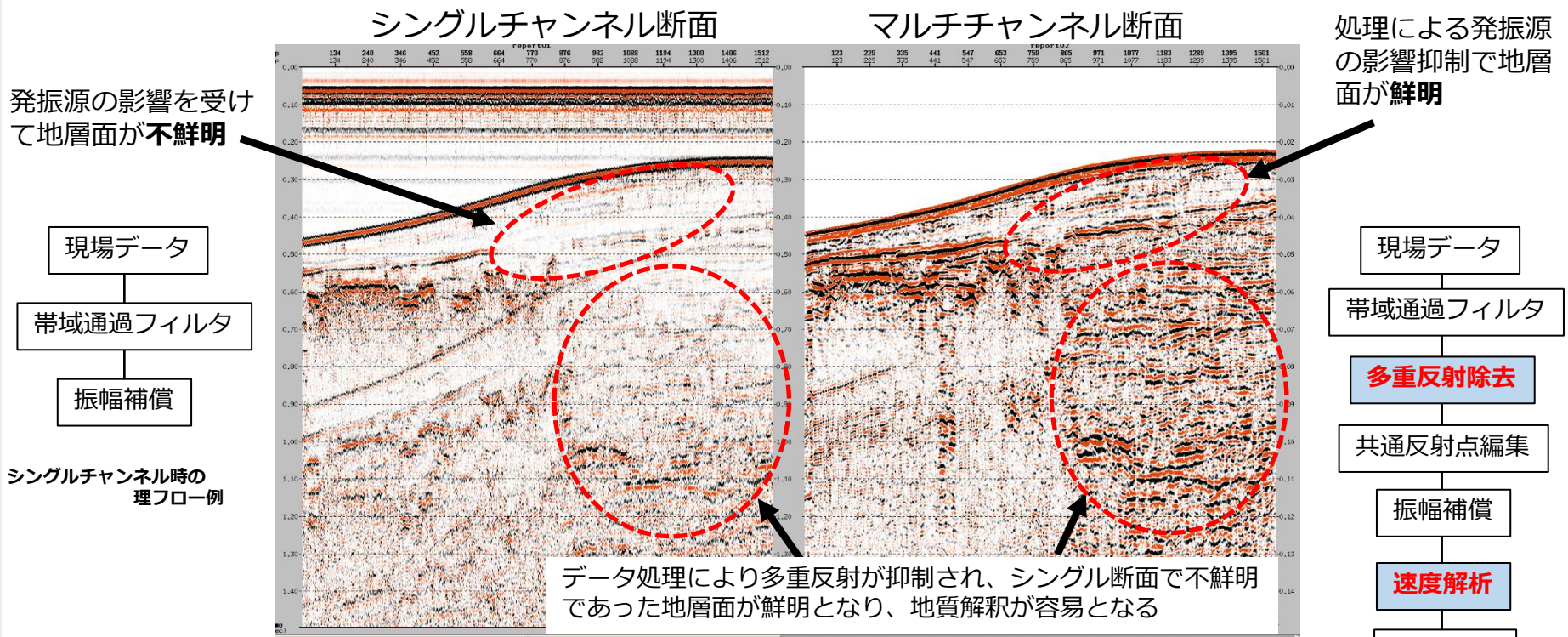
・初期剛性率：
Go (Vsより換算)
他多数

■データ解析



▶音波探査のデータ処理・解析事例

✓多彩なデータ処理による鮮明な地層断面



※マルチチャンネル音波探査では、多彩なデータ処理が選択できるので様々な方法で記録品質向上が可能となり、そのため解析の信頼度が向上し地質リスクの低減につながります。

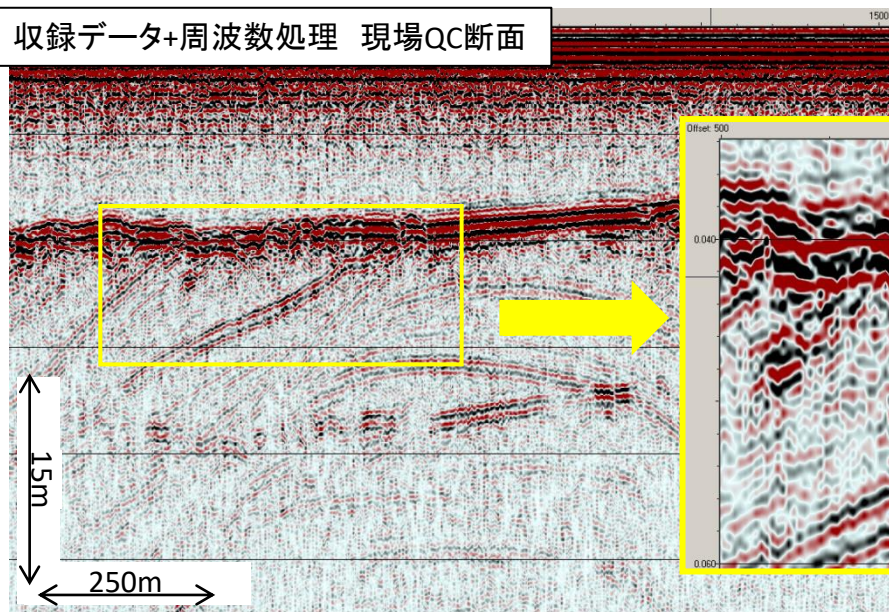
赤字はマルチチャンネル特有の処理

マルチチャンネル時の
処理フロー例

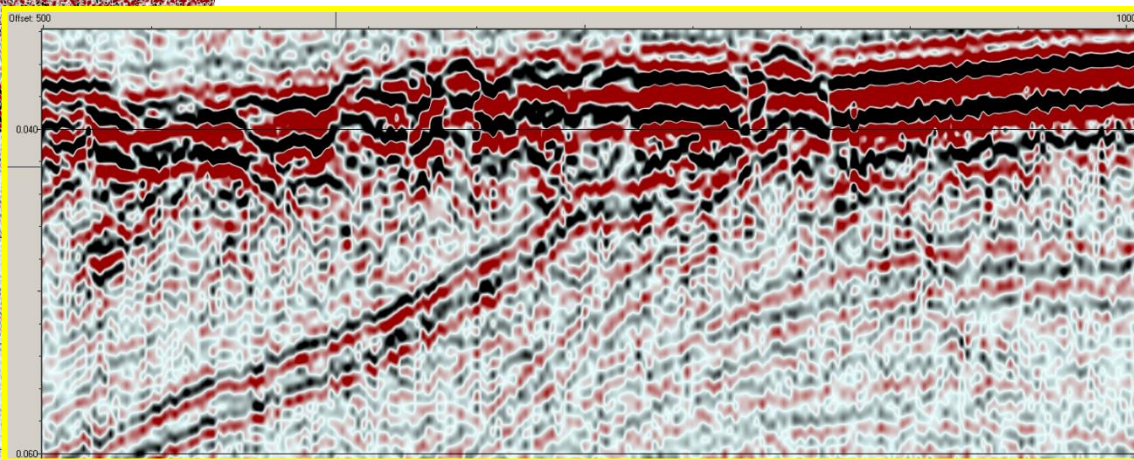
■データ解析



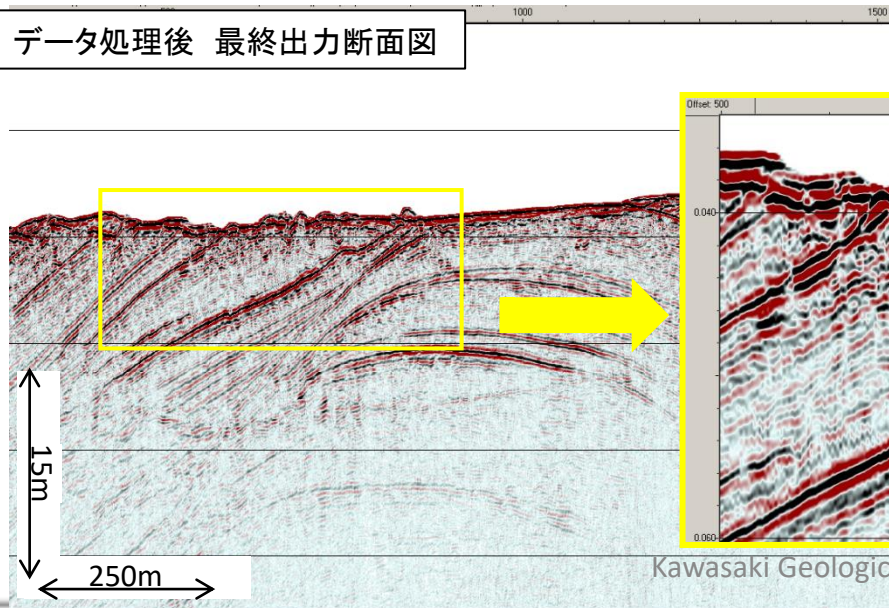
収録データ+周波数処理 現場QC断面



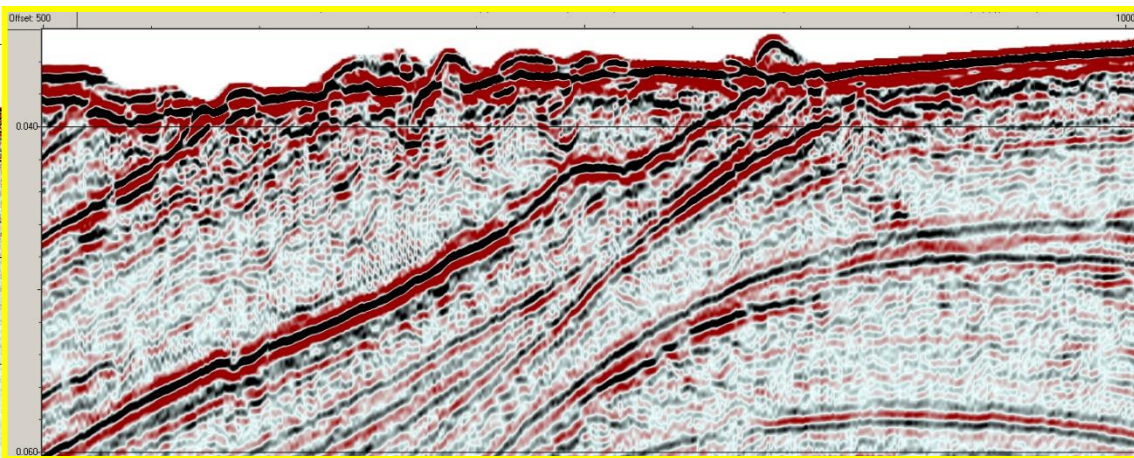
処理前(拡大図)



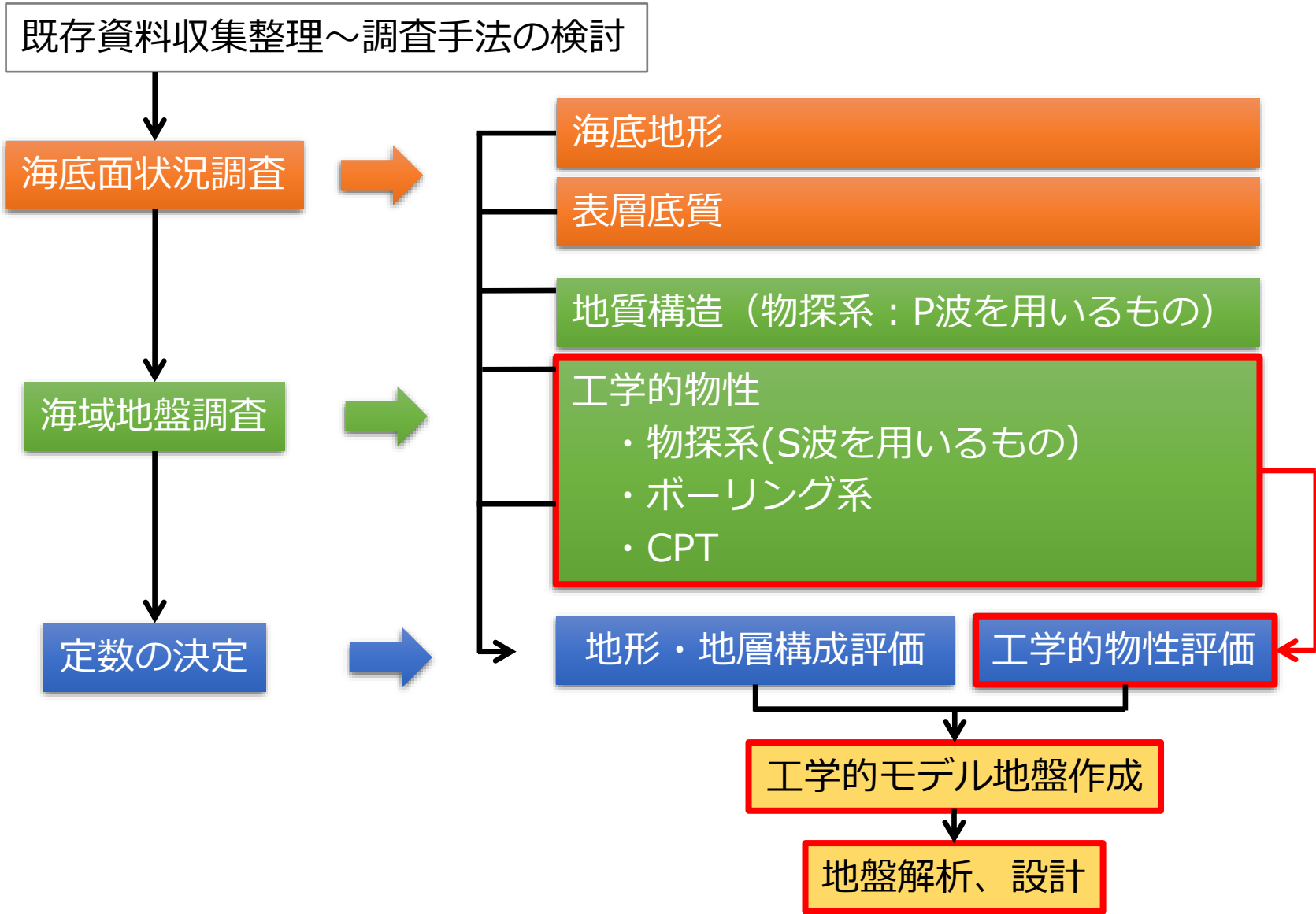
データ処理後 最終出力断面図



処理後(拡大図)



■ 地質総合解析



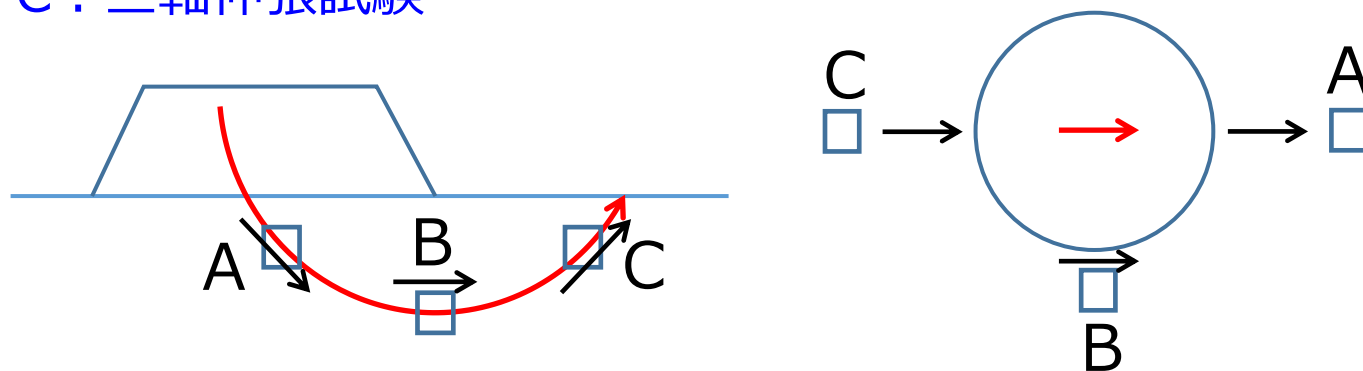
■地盤解析：土質試験との関係



▶すべり線上の地盤要素と力学試験の対応

- ✓ A：三軸圧縮試験
- ✓ B：一面せん断試験、単純せん断試験(DSS)
- ✓ C：三軸伸張試験

欧州では洋上風力等の地盤評価で多用
(日本には基準無し)



▶地盤に作用する繰返し荷重を評価する土質試験

- ✓ 繰返し非排水三軸試験
 - ✓ 繰返し中空ねじり試験
- 液状化強度曲線、いわゆる「S-N曲線」が得られる

- ✓ 変形特性を求めるための繰返し三軸試験
- ✓ 変形特性を求めるための繰返し中空ねじり試験

変形特性が得られる
(等価剛性とせん断ひずみ(Geq- γ 曲線)、履歴減衰率とせん断ひずみ(h- γ 曲線))

■地盤解析：荷重条件と課題



▶モノパイル式風車基礎と周辺地盤の関係

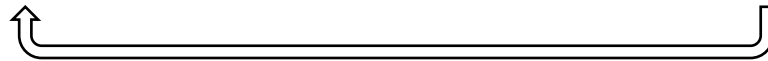
✓地盤への繰返し荷重

地震動	数十秒程度	広範囲、半無限	非排水繰り返しを適用できる
暴風	数時間	局所的、杭周辺	杭近傍→非排水→徐々に排水

✓モノパイル評価の課題

- 簡易な評価手法の確立

本来の流れ： 施工事例 ⇒ 数値解析 ⇒ 簡易な設計手法



ただし、国内では施工事例がほとんどないため、海外手法から学ぶ必要がある

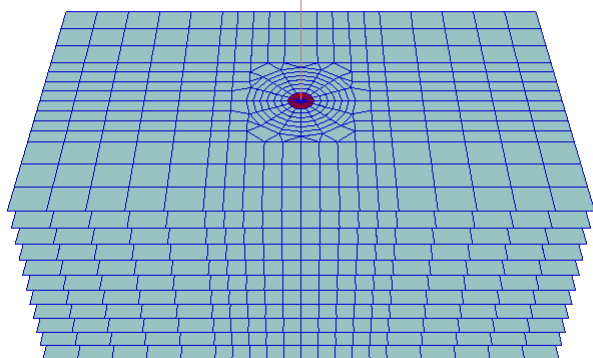
- 土質試験の活用

力学試験データを用いる場合、A,B,Cの試験のうち最適試験法を検討が必要

- 日本特有の外力条件を検討する必要がある ⇒ 台風、地震

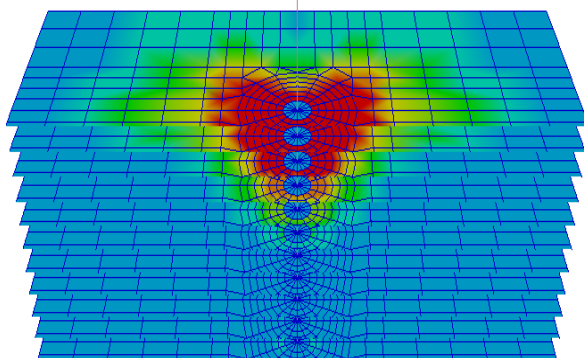
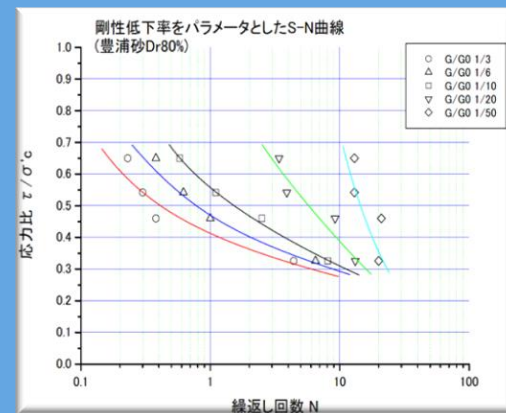
➤モノパイルにおける地盤ばねの設定手法 ✓繰返し荷重による地盤の強度低下を考慮

モノパイル
(3次元梁)
強制変位

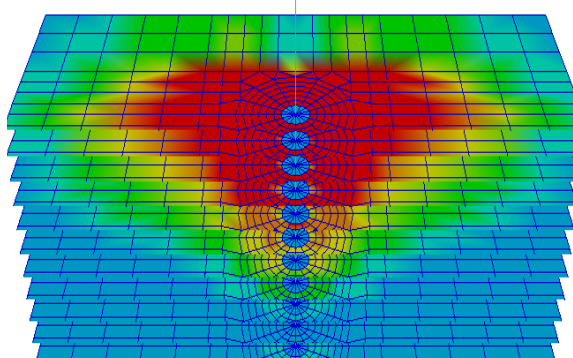


『特徴』

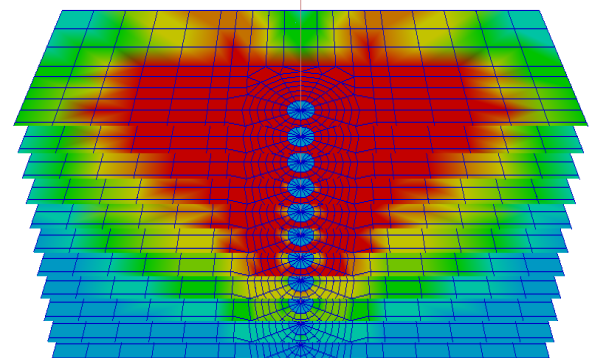
- ・繰返し荷重による地盤疲労を評価
- ・レイヤーモデルによる解析
- ・構成則：GHE-Sモデル
- ・地盤要素：マルチスプリングモデル
- ・最大せん断応力比を再現
- ・国内既往試験により剛性低下を評価



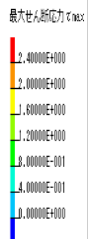
繰返し回数「少」



最大せん断ひずみの変化」



繰返し回数「多」



卷末資料

▶ 川崎地質の洋上地質調査

年度	海域	内容	発注者	各年度のトピックス
2017	秋田・能代沖	地質調査	A社	・洋上風力調査に本格参入
2018	能代沖	地質調査	A社	<ul style="list-style-type: none"> ・大型SEPでの24時間調査を実施 ・ボーリングと音波探査のコラボ ・40m級鋼製櫓2基体制へ
	銚子沖	地質調査・音波探査	B社	
	つがる沖	音波探査	C社	
2019	能代沖	地質調査・音波探査	D社	<ul style="list-style-type: none"> ・40m級鋼製櫓3基体制へ ・中央開発株式会社との連携(傾動自在型足場)
	八竜沖	地質調査・音波探査	E社	
2020	つがる沖	地質調査・音波探査・微動アレイ	C社	<ul style="list-style-type: none"> ・40m級鋼製櫓7基体制へ ・海底微動アレイ探査の導入 ・繰返し単純せん断試験機の導入 ・SPT併用型CPTの導入 <p>※2021年度は水深50m対応の調査を目指す！</p>
	あわら沖	地質調査・微動アレイ	F社	
	石狩沖	地質調査・微動アレイ	D社	
	いすみ沖	地質調査	C社	
	いすみ・海匠沖	地質調査	G社	

➤ 仮設方法の長所と短所

仮設方法		長所	短所
足場仮設	パイプ足場	<ul style="list-style-type: none"> ・軽量のため取扱いが容易 ・海底面の不陸に対応可能 ・現場での直接組立てが可能 ・海上移動は小型船によるため作業性が良好 	<ul style="list-style-type: none"> ・流速の速い場所では足元の洗掘が発生する可能性有り ・海底面が粘性土の場合は脚の沈下が継続 ・荒天退避の際は再掘削が必要 ・水深5m以上は構造的に不安定
	SEP足場	<ul style="list-style-type: none"> ・海底面の不陸に対応可能 ・海上移動は小型船によるため作業性が良好 ・設置後にフロート部の上げ下げ調整が可能 	<ul style="list-style-type: none"> ・組立て解体作業のためヤードが必要 ・流速の速い場所では脚がねじれて不安定 ・フロート式のため下からの波の跳ね上げに弱い ・荒天退避の際は再掘削が必要
	鋼製檣	<ul style="list-style-type: none"> ・重量構造物(50～100t程度)かつ底盤が広がっているため波浪や風に対して相対的に強い ・水深は30m程度以浅であれば最も安定 	<ul style="list-style-type: none"> ・海底面の不陸に追従不能 ・海上移動に起重機船が必要など、作業性・経済性で不利 ・天退避のリスクが最も大きく荒天退避後は再掘削が必要
	大型SEP足場	<ul style="list-style-type: none"> ・海底面の不陸に対応可能 ・移動は起重機船の必要なし ・設置後にフロート部の上げ下げ調整が可能 ・重量構造物(400t程度)のため荒天に強く台風時の残置実績もあり 	<ul style="list-style-type: none"> ・組立て解体作業のためヤードが必要 ・仮設費が高額かつ組立て時間が長く経済性不利 ・長距離曳航の際は1500HP級の大型曳船が必要
船舶使用	傾動自在型	<ul style="list-style-type: none"> ・水深30mを超える場合の足場として最も有利 ・荒天時はケーシング残置して退避のため再掘削のリスクなし ・掘削部と駆動部が分かれており、海象の影響を受け難い 	<ul style="list-style-type: none"> ・起重機船を連続的に使用するため経済性で不利
	海底着座型 or 船上掘削	<ul style="list-style-type: none"> ・足場仮設の必要がなく大水深も可能 	<ul style="list-style-type: none"> ・作業船を連続的に使用するため経済性で不利 ・船上掘削は海象による船舶の動揺が調査品質に直結

➤ 仮設方法の長所と短所

仮設方法		機動性	作業スペース	海底の不陸	気象海象の影響	大水深対応	経済性	安定性	評価
足場仮設	パイプ足場	×	◎	○	△	×	○	◎	・静穏かつ浅海域では最も有利
	SEP足場	◎	○	◎	×	△	○	◎	・うねりの影響を受けやすいが作業性が良い ・海底面の不陸に有利
	鋼製櫓	×～△	○	×	○	○	△	◎	・台風等でなければ荒天時の対応が可能 ・海底面の不陸に対応不可
	大型SEP足場	○	◎	◎	◎	◎	×	◎	・経済性で劣るものの海象による影響の面では最も有利 ・台風時も残置実績あり ・海底面の不陸に有利
船舶使用	傾動自在型	○	△	△	○	◎	×～△	○	・経済性で劣るものの大水深では有利 ・荒天時の作業性も良い
	海底着座型 or 船上掘削	△	○	○	○	◎	×	×～○	・経済性で劣るものの大水深では有利 ・荒天時の作業性も良い ・不攪乱試料の採取ができない

➤ 調査方法の長所と短所

調査方法		長所	短所
原位置試験	海上ボーリング 原位置試験 土質試験	<ul style="list-style-type: none"> ・工学的特性の評価が可能 ・調査により直接値が得られる ・調査実績が多い 	<ul style="list-style-type: none"> ・面的な評価(連続性の確認)には複数本(調査間隔を密に)行う必要あり ・作業時間が相対的に長い
	コーン貫入試験	<ul style="list-style-type: none"> ・作業時間が相対的に短い ・欧米での調査実績が多い 	<ul style="list-style-type: none"> ・面的な評価(連続性の確認)には複数本(調査間隔を密に)行う必要あり ・工学的特性は調査結果から換算する必要あり ・硬質層への貫入力に難がある
物理探査	深浅測量	<ul style="list-style-type: none"> ・海底地形を精度良く測定可能 ・調査実績は多い 	<ul style="list-style-type: none"> ・測量手法であり、工学的特性の評価はできない
	音波探査	<ul style="list-style-type: none"> ・基盤層までの地層の連続性確認に有利 ・調査実績は多い 	<ul style="list-style-type: none"> ・物性値はP波速度のみ
	海底微動アレイ	<ul style="list-style-type: none"> ・ボーリングを伴わずに工学的基盤の推定が可能 	<ul style="list-style-type: none"> ・逆解析結果であり、単独での評価は難しい

➤ 各手法の特徴を考慮し組合せることで最適な調査計画を立案

➤ 調査方法の時間的な条件

調査方法		標準的作業時間	工程遅延要素
原位置試験	海上ボーリング 原位置試験 土質試験	<ul style="list-style-type: none"> ・櫓方式では5～8m/day ・大型SEPでは櫓の1.5～2.0倍程度 	<ul style="list-style-type: none"> ・荒天(波高条件) →作業員の櫓等へのアクセス →設置/移設/撤去
	コーン貫入試験	<ul style="list-style-type: none"> ・貫入は20mm/sec ・30m/24h程度の実績が多い 	<ul style="list-style-type: none"> ・硬質層への貫入力に難がある ・貫入不能の場合はコアリング+再貫入
・物理探査	深浅測量	<ul style="list-style-type: none"> ・5km²/day: 水深20m程度 ・10km²/day: 水深40m程度 ※サイドスキャンイメージ同時取得可能 	<ul style="list-style-type: none"> ・荒天(波高条件) →測定精度 →作業性
	音波探査	<ul style="list-style-type: none"> ・20～25km/day 	<ul style="list-style-type: none"> ・荒天(波高条件) →測定精度 →作業性
	海底微動アレイ	<ul style="list-style-type: none"> ・1か所/day 	<ul style="list-style-type: none"> ・荒天(波高条件) →測定精度 →作業性

➤ 各手法の特徴を考慮し組合せることで最適な調査計画を立案

➤ 調査方法の長所と短所

調査方法		工学的特性	面的評価 (連続性)	物性値の信頼性	能力・実績	作業時間	評価
原位置試験	海上ボーリング 原位置試験 土質試験	◎	△	◎ (直接値)	◎ (実績多数)	× ~ △	・工学的特性評価には必須であるが作業時間が長く面的評価も難あり
	コーン貫入試験	○	△	△ (間接値)	△ (貫入力に難)	◎	・作業時間は短い貫入力に難がありかつ間接値
物理探査	深浅測量	×	◎	○ (直接値)	◎ (実績多数)	◎	・海底地形の把握
	音波探査	△ (P波速度のみ)	◎	○ (直接値)	◎ (実績多数)	○	・基盤層までの地層の連続性確認に有利
	海底微動アレイ	○	△	△ (間接値) (逆解析)	○	◎	・工学的基盤層相の評価には非常に有益

➤ 海上ボーリング

- 退避：掘削を中止し海上足場を港内等まで退避
→ ケーシング撤去、起重機船の使用(約1日)
- 再設置：波浪が収まったのちに足場を調査地点へ再設置
→ 起重機船の使用、ケーシング再設置(約1日)
- 再掘削：退避時の深度までは掘削し、調査再開
→ 再掘削区間は素掘り掘削(数日程度)

➤ コーン貫入試験（船上型の場合）

- 退避：試験を中止し作業船を退避
→ コーン揚収(約半日)
- 再設置：波浪が収まったのちに作業船を調査海域へ
- 再貫入：退避時の深度まで貫入し、計測再開
→ 再貫入区間は貫入のみ(計測無し)(約半日)

➤ 海上ボーリング/コーン/物理探査

① 海上ボーリング(SPT)

- ・ 調査結果の根幹をなす『地層構成』や『各種物性値』は直接詳細調査により確認して品質を確保

② 物理探査：音波探査

- ・ 調査結果は音の反射画像
- ・ ボーリング孔間の『地層や支持層の連続性』を確認しサイト全体の地層特性を考察

③ 物理探査：海底微動アレイ探査

- ・ 初期モデルを与え逆解析をして求めた、S波速度の分布
- ・ ボーリング孔間の『工学的基盤層の連続性』を考察

④ 各種コーン貫入試験(CPT)

物理探査で地層構成が予測できる風車箇所は間接調査で工程短縮(荒天リスクも排除)

法令と基準類

➤ 関連法

- 電気事業法
- 港湾法
- 再エネ海域利用法

↓ 共通の技術的審査基準

◎ 洋上風力発電設備
に関する技術基準
の統一的解説
(R2.3改訂)

➤ 港湾区域

- 電気事業法
- 港湾法37条関連
- 港湾法56条関連

➤ 一般海域

- 電気事業法
- 港湾法56条関連
- 再エネ海域利用法

※ 港湾法37条

⇒ 港湾区域内の工事等の許可

※ 港湾法56条

⇒ 港湾区域の定めのない港湾

➤ 関係法令

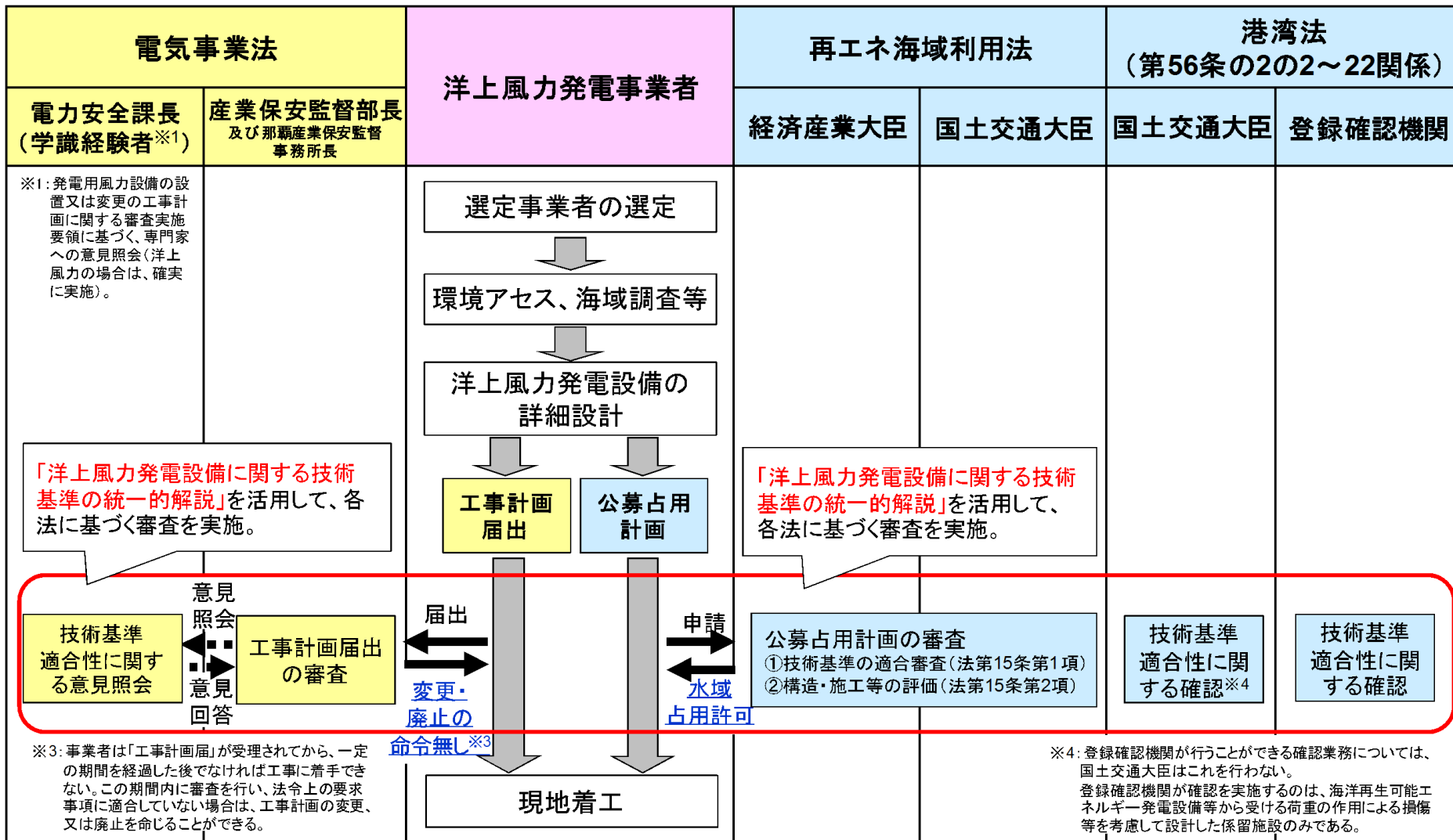
- 発電用風力設備に関する技術基準を定める省令（平成九年通商産業省令第五十三号）
- 電気設備に関する技術基準を定める省令（平成九年通商産業省第五十二号）
- 港湾法施行規則（昭和二十六年運輸省令第九十八号）（抄）
- 港湾の施設の技術上の基準を定める省令（平成十九年国土交通省令第十五号）（抄）
- 公募対象施設等又はその維持管理の方法の基準に関し必要な事項を定める告示（平成二十八年国土交通省告示第八百五十八号）（抄）
- 港湾の施設の技術上の基準の細目を定める告示（平成十九年国土交通省告示第三百九十五号）（抄）
- 海洋再生可能エネルギー発電設備の整備に係る海域の利用の促進に関する法律施行規則（平成三十一年経済産業省・国土交通省令第一号）（抄）
- 海洋再生可能エネルギー発電設備又はその維持管理の方法の基準に関し必要な事項を定める告示（令和二年国土交通省告示第三百八十八号）

『令和2年3月版』より

■ 基準類と審査の流れは？



➤ 洋上風力発電設備に関する技術基準の統一的解説



※一般海域の場合

■ 洋上風力発電設備に関する技術基準の統一的解説



➤ 【洋上風力発電施設検討委員会 委員名簿】

- 牛山 泉 足利大学 理事長
- 清宮 理 早稲田大学 名誉教授
- 石原 孟 東京大学大学院 工学系研究科 社会基盤学専攻 教授
- 田上 博道 経済産業省 商務情報政策局 産業保安グループ 電力安全課長
- 清水 淳太郎 経済産業省 資源エネルギー庁 省エネルギー・新エネルギー部 新エネルギー課長
- 遠藤 仁彦 国土交通省 港湾局 技術企画課長
- 松良 精三 国土交通省 港湾局 海洋・環境課長
- * 国土交通省 海事局 海洋・環境政策課
- ※ ◎は委員長、*はオブザーバーを表す。

➤ 【洋上風力発電施設検討委員会 設計技術ワーキンググループ 委員名簿】

- ◎ 清宮 理 早稲田大学 名誉教授
- 鈴木 英之 東京大学大学院 工学系研究科 システム創成学専攻 教授
- 菊池 喜昭 東京理科大学 理工学部 土木工学科 教授
- 白石 悟 北海道科学大学 工学部 都市環境学科 教授
- 善 功 九州大学大学院 名誉教授
- 吉田 茂雄 九州大学 応用力学研究所 教授
- 関田 欣治 (一財)沿岸技術研究センター 顧問
- 高橋 重雄 (一財)沿岸技術研究センター 理事長
- 山本 修司 (一財)沿岸技術研究センター 参与・洋上風力研究室長
- 下迫 健一郎 (国研)海上・港湾・航空技術研究所 港湾空港技術研究所 海洋インフラ・洋上風力技術センター長
- 宮田 正史 国土交通省 国土技術政策総合研究所 港湾施設研究室長
- * 電源開発(株) 土木建築部 土木技術室
- * 東京電力ホールディングス(株) 風力事業推進室
- * (一社)日本風力発電協会
- * (一財)日本海事協会 事業開発本部
- * (国研)新エネルギー・産業技術総合開発機構 新エネルギー部
- * (国研)海上・港湾・航空技術研究所 海上技術安全研究所
- * 経済産業省 資源エネルギー庁 新エネルギー課
- * 国土交通省 海事局 安全政策課
- * 国土交通省 海事局 海洋・環境政策課
- * 国土交通省 港湾局 技術企画課 技術監理室
- ※ ◎は委員長、*はオブザーバーを表す。

➤ 【洋上風力発電施設検討委員会・同設計技術ワーキンググループ 事務局】

- 経済産業省 商務情報政策局 産業保安グループ 電力安全課
- 国土交通省 港湾局 海洋・環境課
- (一財)沿岸技術研究センター 洋上風力研究室
- (一社)寒地港湾技術研究センター

『令和2年3月版』より

■ 基準類の内容は？

➤ 洋上風力発電設備に関する技術基準の統一的解説

- 技術基準解説は、総則、要求性能、作用する自然条件、設計・照査で構成。
- 第2章では、電気事業法と港湾法のそれぞれの基準で求められる要求性能等について規定。
- 第3章では、上記の要求性能を満たす設計を行うための自然条件等の作用の設定方法について規定。
- 第4章では、洋上風力発電設備の設計と、要求性能への適合性を確認する照査について解説。

第1章 総則

第2章 洋上風力発電設備等の要求性能

- 2.1 外力に対して安全な構造
- 2.2 風車の構造
- 2.3 風車の安全な状態の確保(発電中の安全対策、落雷対策)
- 2.4 取扱者以外の者の接近の防止
- 2.5 圧油装置及び圧縮空気装置の危険の防止
- 2.6 公害等の防止
- 2.7 電気システムの設置
- 2.8 送電線等の敷設
- 2.9 腐食・洗掘等の防止
- 2.10 港湾機能及び周辺海域の利用等に影響を与えない洋上風力発電設備等の設置
- 2.11 航行船舶からの視認性の向上
- 2.12 船舶等との接触の防止
- 2.13 施工及び維持管理への対応

付属書

- 付属書 1 発電時における終局強度解析のための気象海象パラメータの統計的外挿
- 付属書 2 コーン貫入試験 (CPT) による地盤評価
- 付属書 3 洗掘の検討
- 付属書 4 氷荷重に対する洋上風力発電設備等の支持構造物の設計
- 付属書 5 抵抗係数の設定例
- 付属書 6 安全性照査に関する許容応力度の設定例
- 付属書 7 安定性照査に関する許容支持力及び安全率の設定例
- 付属書 8 疲労設計
- 付属書 9 熱帯性低気圧地域での安全レベルの調整

第3章 洋上風力発電設備等に作用する自然条件等

- 3.1 風荷重
- 3.2 潮位
- 3.3 波浪荷重
- 3.4 津波荷重
- 3.5 水の流れによる荷重
- 3.6 洗掘
- 3.7 地盤
- 3.8 地震荷重
- 3.9 地盤の液状化・沈下
- 3.10 接岸荷重
- 3.11 固定荷重
- 3.12 その他の荷重
- 3.13 腐食作用
- 3.14 材料

第4章 洋上風力発電設備等の設計

- 4.1 構造解析
- 4.2 荷重抵抗係数設計法による設計
- 4.3 許容応力度設計法による設計
- 4.4 タワーの設計
- 4.5 モノパイル構造の設計
- 4.6 ジャケット構造の設計
- 4.7 重力式基礎の設計
- 4.8 浮体構造の設計
- 4.9 接合部の設計
- 4.10 運転や維持管理に必要な設備の設計
- 4.11 防食設計

■地盤関連の内容は？



➤洋上風力発電設備に関する技術基準の統一的解説

検討事項

確認事項

調査手法

本文

2.8 送電線等の敷設

3.6 洗掘

3.7 地盤

3.8 地震荷重

3.9 地盤の液状化・沈下

4.5 モノパイル構造の設計

4.6 ジャケット構造の設計

4.7 重力式基礎の設計

4.8 浮体構造の設計

海底地形・底質

海底地形
地盤構成
物理特性
力学特性
圧密特性
動的特性

工学的基盤
地盤ばね
強度低下
要求性能(風,波浪,地震,津
波荷重の組合せを想定)
表層地盤

<地盤調査>
ボーリング
原位置試験
サンプリング
<要素試験>
土質試験
<コーン試験>
CPT
<物理探査>
深浅測量
音波探査
海底微動アレイ探査

付属書

付属書 2 コーン貫入試験 (CPT) による地盤評価

各種物性値

➤ 洋上風力発電設備に関する技術基準の統一的解説

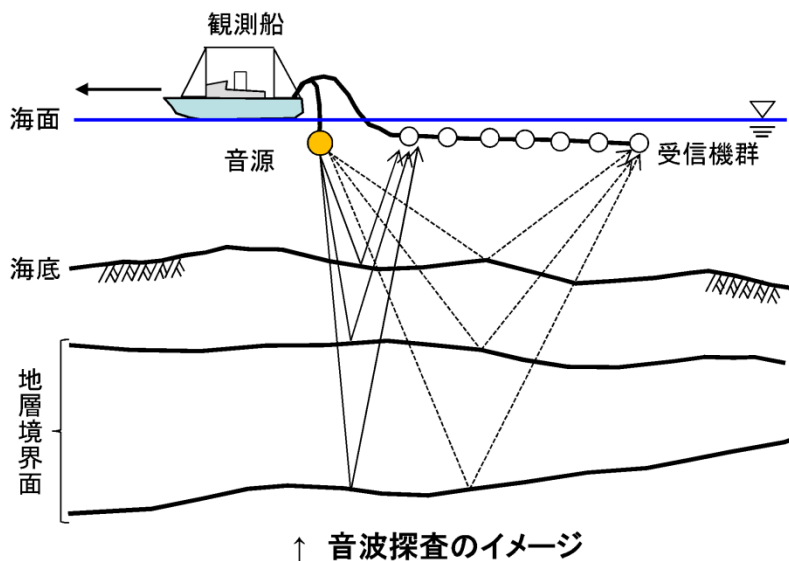
3.7 地盤

○ 地盤調査に当たっては、洋上風力発電設備の構造や規模に応じて、当該設備を設置する地点周辺の地盤の性状を適切に評価、地盤の物理的性質、力学的特性、工学的基盤面等を設定する。

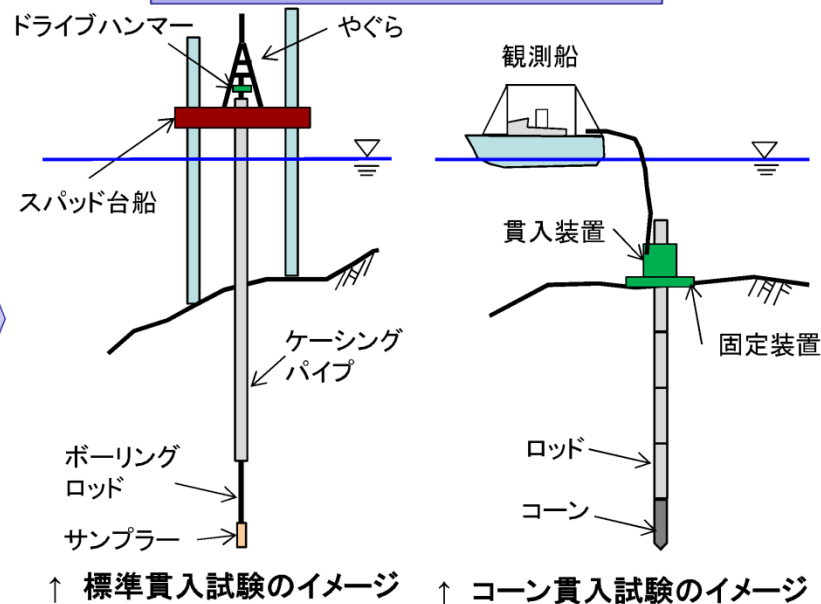
【解説】

- 原位置試験や室内試験を実施するために地盤ボーリングを実施する必要があり、調査位置や間隔について、予備調査や音波探査結果等を踏まえ、地層の均一性・一様性を考慮して決定することが望ましい。
- 原位置試験については、洋上風車設置位置ごとに行うこととし、標準貫入試験(SPT)及びコーン貫入試験(CPT)を併用してもよいが、CPTを用いる場合、SPTによるデータとの突き合わせを実施することが望ましい。
- また、CPTにより地盤の物理的性質、力学的特性を設定する際には、サンプリングによる室内試験の結果と突き合わせを実施することが望ましい。

音波探査による海底地盤面下の地層探査



地盤ボーリング、原位置試験の実施



↑ コーン貫入試験のイメージ

お問い合わせ

- 川崎地質株式会社 (<http://www.kge.co.jp/>)
事業企画部 再生可能エネルギープロジェクト室
- 連絡先
 - 〒108-8337
 - 東京都港区三田2-11-15 三田川崎ビル
 - TEL 03-5445-2071
 - 見積り関係担当：赤澤
 - Mail akazawam@kge.co.jp
 - 物理探査関係担当：向山
 - Mail mukaiyamak@kge.co.jp
 - 地盤調査関係担当：川井
 - Mail kawaiy@kge.co.jp



私たち、アースドクターです。

 川崎地質株式会社
Kawasaki Geological Engineering Co., Ltd.



Marine



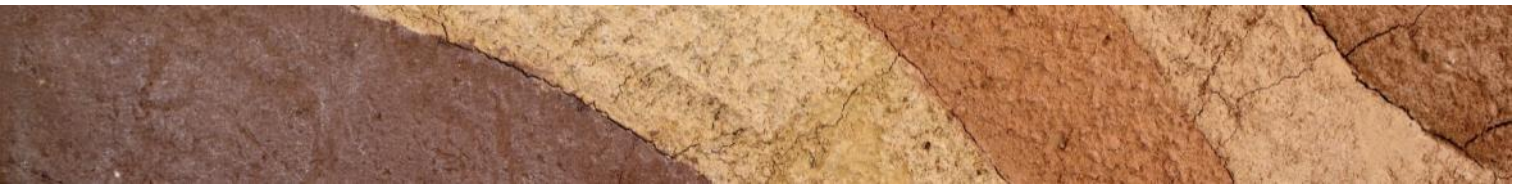
Maintenance

Laboratory



R&D

Disaster



Ground