



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

[川崎地質は一般社団法人日本風力エネルギー学会に加盟しています](#)



Ground

- 目次      ～川崎地質のラインナップ～
  - 川崎地質の技術
  - 計画
  - 調査技術
    - 物理探査
    - 海上ボーリング
    - 原位置試験
    - 室内試験
  - 施工管理
  - データ解析
  - 海洋調査技術の比較
  - 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。



## ➤ 最新技術を提供

- ✓ 深浅測量
- ✓ サイドスキャンソナー
- ✓ ベイケーブル探査
- ✓ PS変換波探査
- ✓ 3D音波探査

物理探査

## ➤ 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

海上  
ボーリング

## ➤ こだわりの品質

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

原位置試験

## ➤ 最適な調査計画をご提案

- ✓ 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

計画

## ➤ 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

データ解析

## ➤ 現場の目付け役

- ✓ 各種調整
- ✓ 安全管理
- ✓ 工程管理

施工管理

## ➤ 一貫した自社施工

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

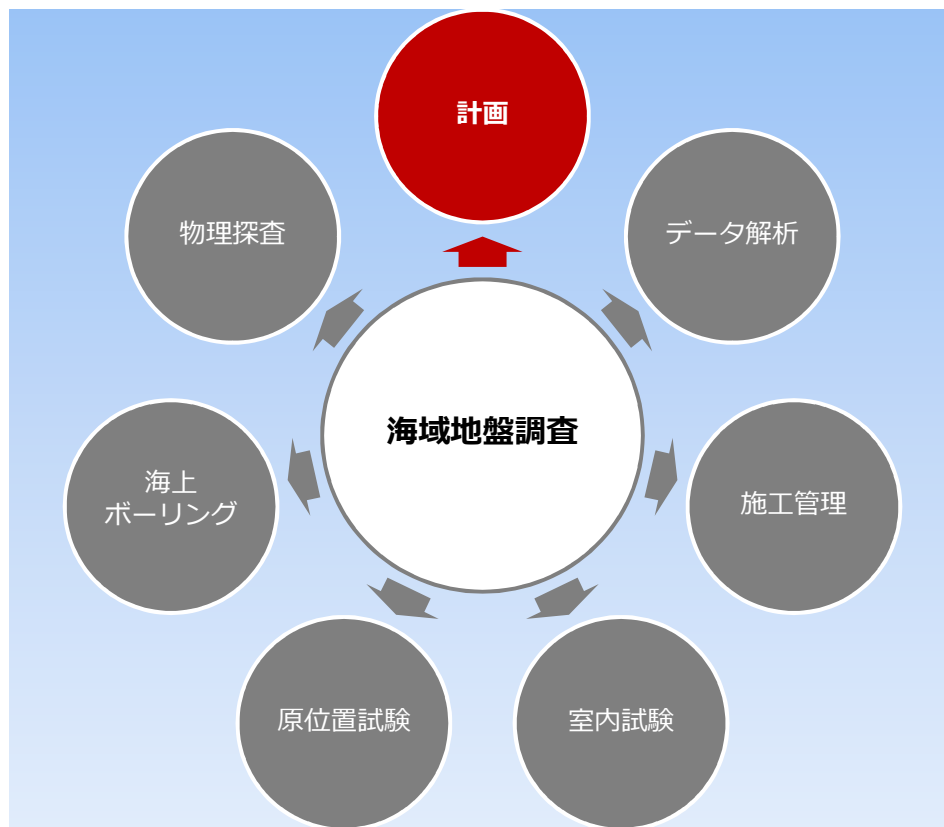
室内試験

海域地盤調査

➤ 海域地盤調査の様々なフィールドで皆様をサポートします。

# 計 画

< 最適な調査計画をご提案 >



## ➤ 一次(概略)調査から二次(詳細)調査へ

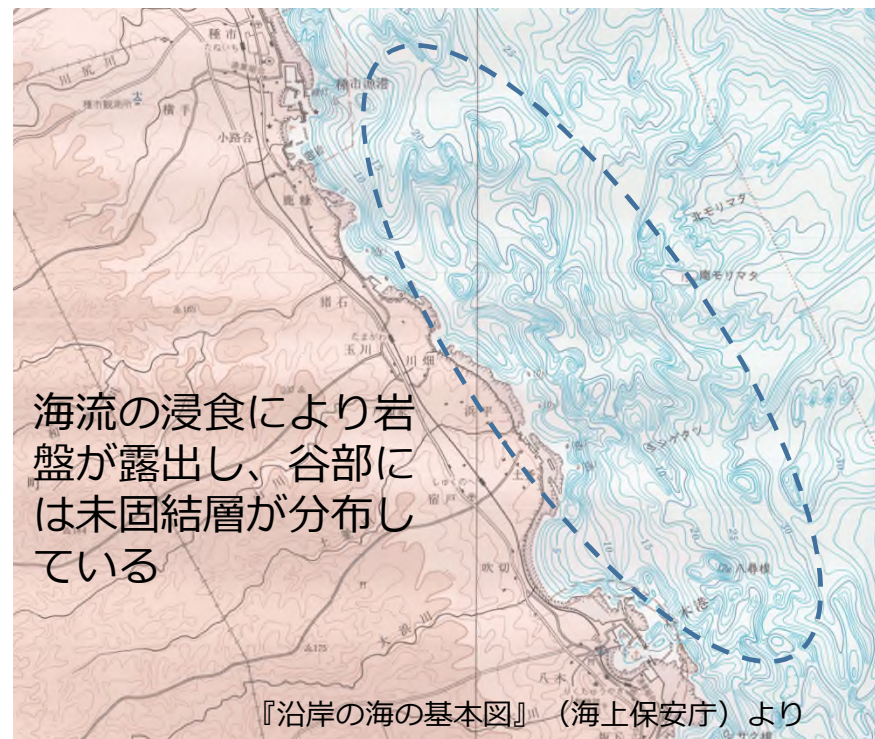
➤ キーワードは『ゾーニング』にあり



## ▶ 海底地形図から読み解く海底下の地質

✓ 沖合に向かって緩傾斜

✓ 複雑な海底地形



沖合に向かって緩傾斜が続いており、地層は水平成層構造が想定される。

⇒ ゾーニングが比較的容易

⇒ SPTに代えてCPTを増やすことが可能

海岸線の地形からは想定できない海底面の変化があり、複雑な海底地形が混在している。

⇒ 部分的にゾーニングが困難

⇒ 地層を直接確認するSPTが優位

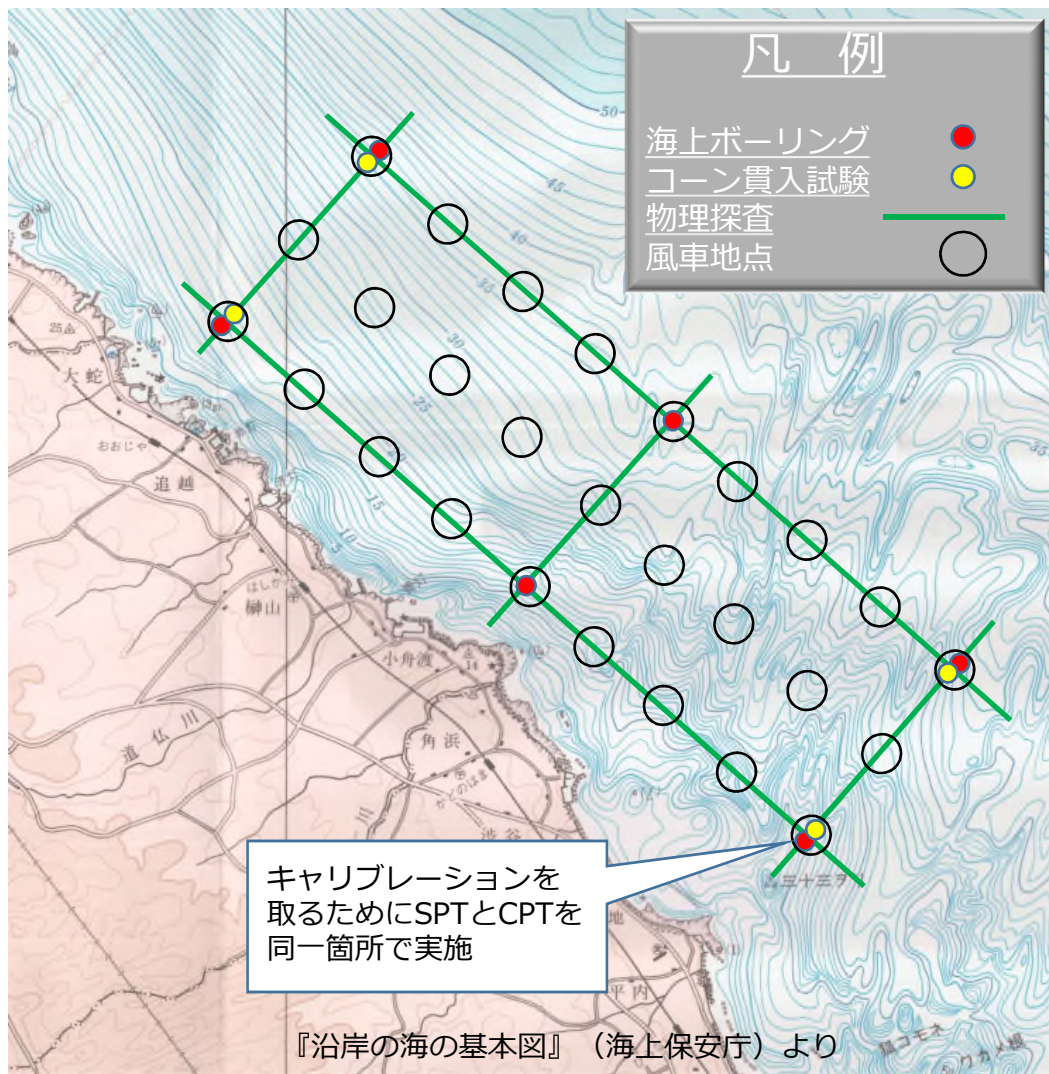
## ➤ 海上ボーリング/コーン/物理探査の組合せ例

- 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(音探,PS変換波)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



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



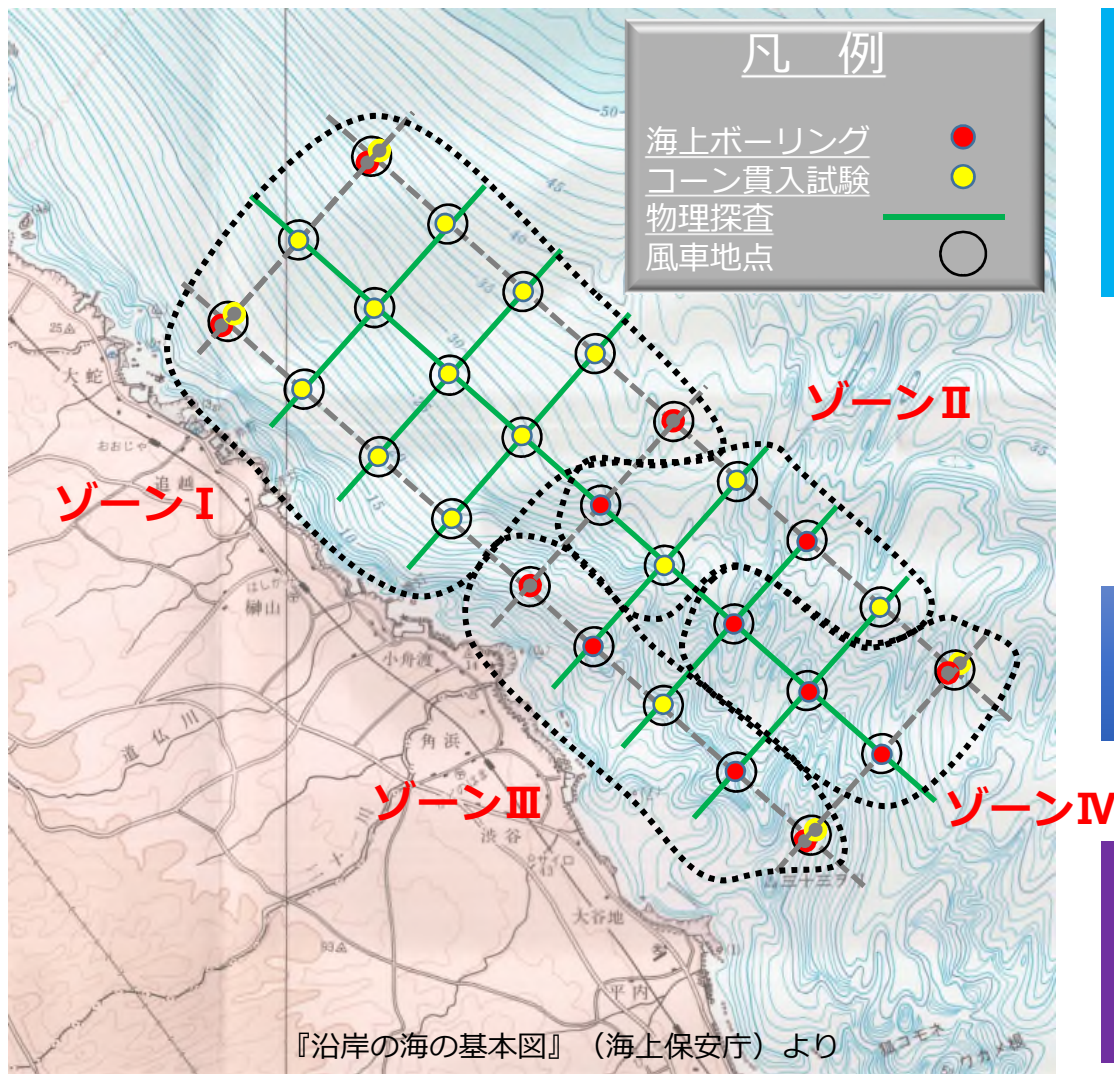
一次調査の実施



<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>

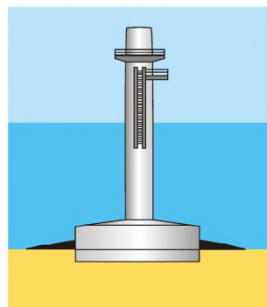
- ・全地点の工学的物性評価



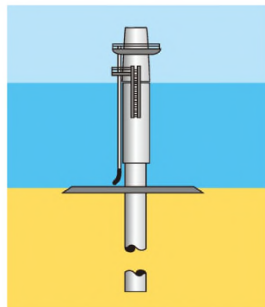
<総合解析>

- ・地盤工学的検討
- ・設計定数の検討

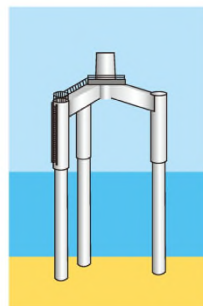
## ➤ 基礎形式と適用地盤



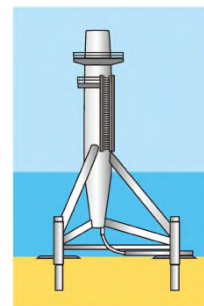
重力式 (Gravity-based Structure:GBS)



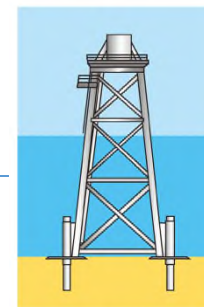
モノパイル式 (Monopile)



トリパイル式 (Tri-pile)



トライポッド式 (Tripod)

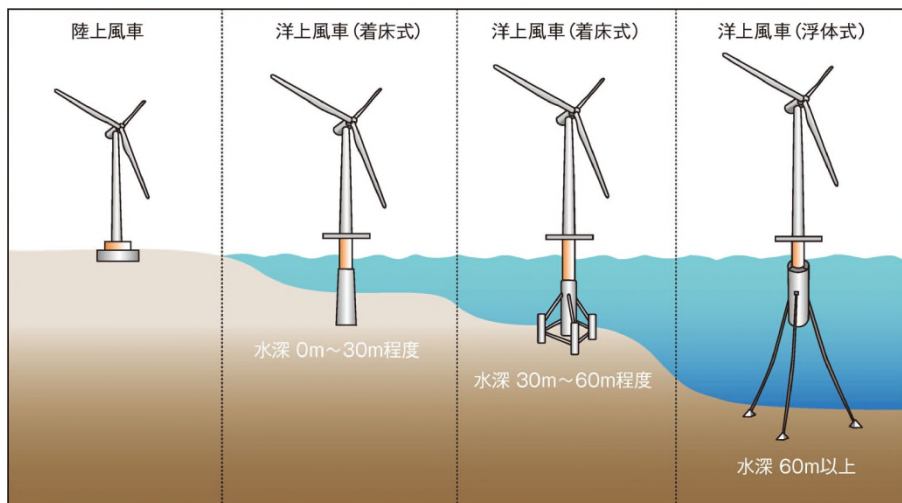


ジャケット式 (Jacket)

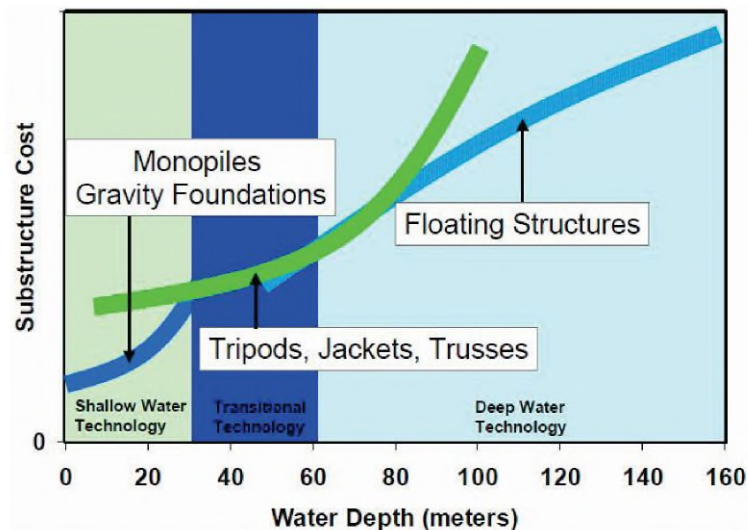
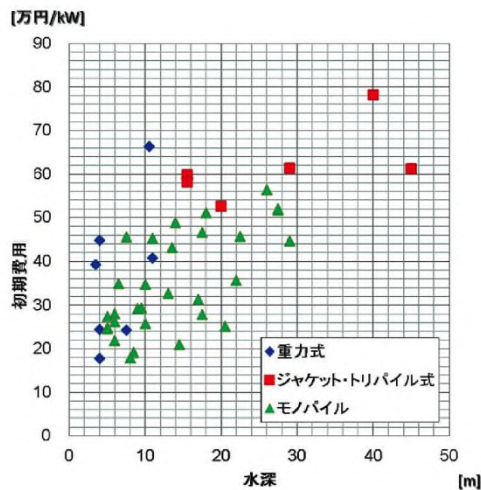
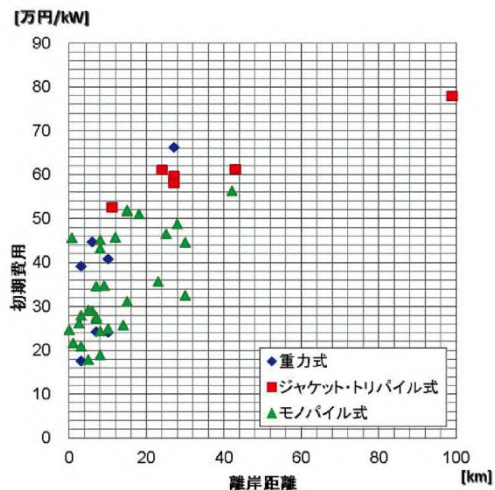
形状	重力式	モノパイル	トリパイル	トライポッド	ジャケット
形式	直接基礎	杭基礎(大口径)	杭基礎(小口径)	杭基礎(小口径)	杭基礎(小口径)
海底傾斜	不可	可	可	可	可
適用地盤/水深	軟弱層不可/20~30mまで	軟弱層可/20~30mまで	軟弱層可/45m程度まで	軟弱層可/45m程度まで	軟弱層可/45m程度まで
調査項目	<ul style="list-style-type: none"> <li>・基礎底面下の地盤支持力</li> <li>・圧密層有無</li> <li>・液状化層有無</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・支持層深度、支持力</li> <li>・中間層周面摩擦力</li> <li>・引抜き耐力</li> <li>・液状化層有無</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・支持層深度、支持力</li> <li>・中間層周面摩擦力</li> <li>・引抜き耐力</li> <li>・液状化層有無</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・支持層深度、支持力</li> <li>・中間層周面摩擦力</li> <li>・引抜き耐力</li> <li>・液状化層有無</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・支持層深度、支持力</li> <li>・中間層周面摩擦力</li> <li>・引抜き耐力</li> <li>・液状化層有無</li> </ul>

『NEDO 再生可能エネルギー技術白書』他より

## ➤ 基礎形式と建設コスト



モノパイルおよび重力式は水深30m以下、ジャケット、トリポッドおよびトリパイルは30mから60mの範囲に適用できる。水深60m以上になると、着床式のコストが高くなり、浮体式が優位になる



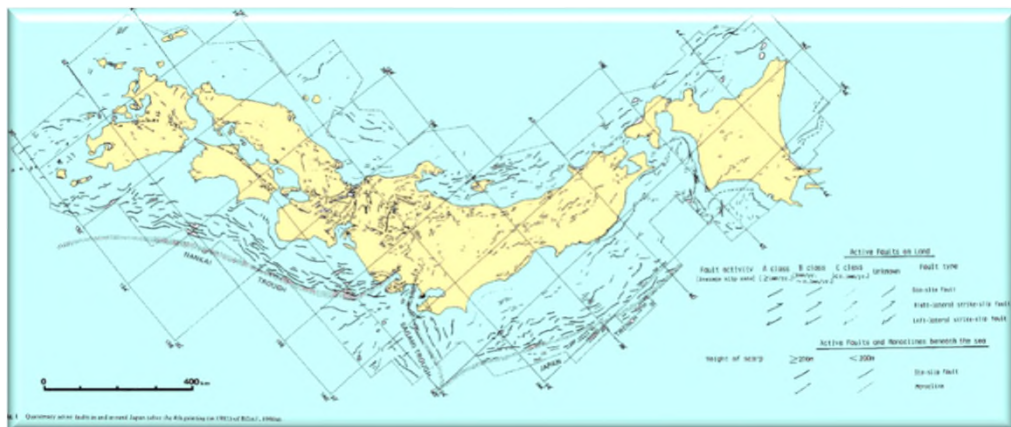
『着床式洋上風力発電技術の現状と課題』 石原より

『NEDO 再生可能エネルギー技術白書』 他より

## ➤ 計画段階で地質リスクの洗出しと最適計画の立案

地質リスクの例

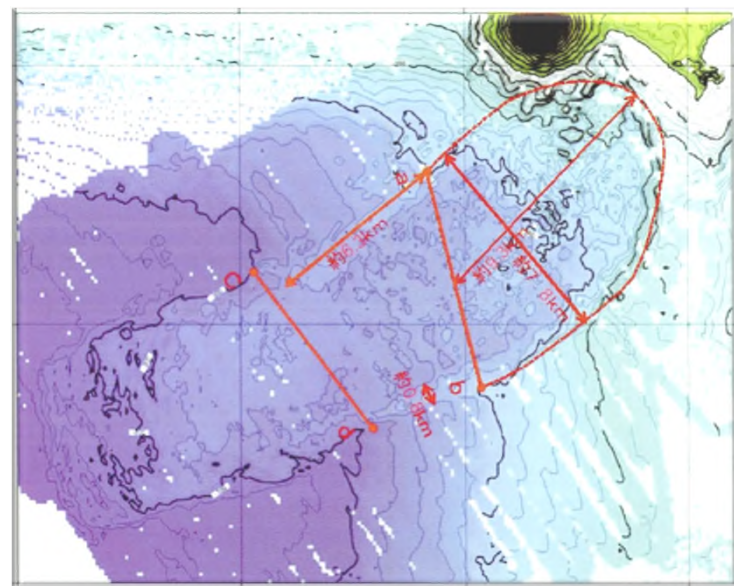
- 活断層分布：地震
- 海底地形：海底地すべり、埋没谷、海底面傾斜
- 海底地質：支持力、液状化、圧密沈下、支持層不陸



『日本の活断層』（活断層研究会,1980）より



『沿岸の海の基本図』（海上保安庁）より



『海底地すべり地形』（火山予知連絡会会報）より

## ➤ 複雑な地質リスクを数値化して比較

✓ 発生確率を確認

✓ リスクアセスメントの思想

発生確率	確率 (資産改善のような短期間の活動)	頻度 (資産管理や法人企業などの長期的活動に関連)	記述	評価点
可能性が高い	>50%	1年に1度以上	危機の発生が予想される。あるいは危機に関する知識が非常に貧弱な状態。	5
普通	20%-50%	1~5年に1度	危機が発生するかもしれない。あるいは危機に関する知識が貧弱な状態。	4
可能性が低い	10%-20%	5~10年に1度	危機が稀に発生する。あるいは危機に関する知識が中庸な状態。	3
少ない	1%-10%	10~50年に1度	危機が極めて稀に発生する。あるいは危機に関する知識が良好な状態。	2
希少	<1%	50年に1度以下	危機が例外的な状況で発生する可能性がある。あるいは危機に関する知識が非常に良好な状態。	1

リスクアセスメントの手法を用い、概略のリスクスコアの大きさによって措置の優先度を判断する

⇒ 調査内容に反映

発生確率	重大さ (損失)				
	無視できる (1)	小 (10)	中 (40)	大 (70)	多大 (100)
可能性が高い (5)	5 低い: 主動的な受け入れ ■ 可能性を最小限にするためのシステム強化 ■ 許容 ■ 補修	50 中位: 主動的な受け入れ ■ 可能性を最小限にするためのシステム強化	200 非常に高い: 回避 ■ 緊急行動 ■ 可能性を最小限にするためのシステム強化	350 極めて高い: 回避 ■ 緊急行動 ■ 活動停止	500 極めて高い: 回避 ■ 緊急行動 ■ 活動停止
普通 (4)	4 低い: 主動的な受け入れ ■ 可能性を最小限にするためのシステム強化 ■ 許容 ■ 補修	40 中位: 主動的な受け入れ ■ 可能性を最小限にするためのシステム強化	160 非常に高い: 回避 ■ 緊急行動 ■ 可能性を最小限にするためのシステム強化	280 極めて高い: 回避 ■ 緊急行動 ■ 緊急時対策	400 極めて高い: 回避 ■ 緊急行動 ■ 活動停止
可能性が低い (3)	3 無視できる: 受動的な受け入れ ■ 補修	30 中位: 主動的な受け入れ ■ 可能性を最小限にするためのシステム強化 ■ 保険 ■ 緊急時対策	120 高い: 主動的な受け入れまたは移転 ■ 緊急行動 ■ 回避 ■ 緊急時対策	210 極めて高い: 回避 ■ 緊急行動 ■ 回避 ■ 緊急時対策	300 極めて高い: 回避 ■ 緊急行動 ■ 回避 ■ 緊急時対策
少ない (2)	2 無視できる: 受動的な受け入れ ■ 補修	20 低い: 主動的な受け入れまたは移転 ■ 補修	80 高い: 主動的な受け入れまたは移転 ■ モニタリング ■ 保険 ■ 緊急時対策	140 高い: 回避または移転 ■ モニタリング ■ 保険 ■ 緊急時対策および災害対策	200 極めて高い: 回避または移転 ■ モニタリング ■ 保険 ■ 緊急時対策および災害対策
希少 (1)	1 無視できる: 受動的な受け入れ ■ 補修	10 低い: 主動的な受け入れまたは移転 ■ 補修	40 中位: 主動的な受け入れまたは移転 ■ モニタリング ■ 保険 ■ 緊急時対策	70 高い: 回避および移転 ■ モニタリング ■ 緊急時対策および災害対策	100 高い: 回避または移転 ■ モニタリング ■ 保険 ■ 緊急時対策および災害対策

『地質リスク分析のためのデータ収集様式の研究』地質リスク学会より

# 調査技術

## ➤ 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

#### ✓ 海洋P-S変換波探査(新技術)

→ 音源のP波が海底下で変換したS波を利用する海底屈折法地震探査

### ✓ 海上ボーリング、原位置試験、室内試験（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60m, 掘削深度は100mにも対応

#### ✓ 原位置試験

→ 標準貫入試験（SPT）, 原位置試験, サンプルングなど大部分を網羅

#### ✓ コーン貫入試験

→ 自社ブランドのHISSに加え, CPTは他社との連携により多彩な提案

#### ✓ 室内試験

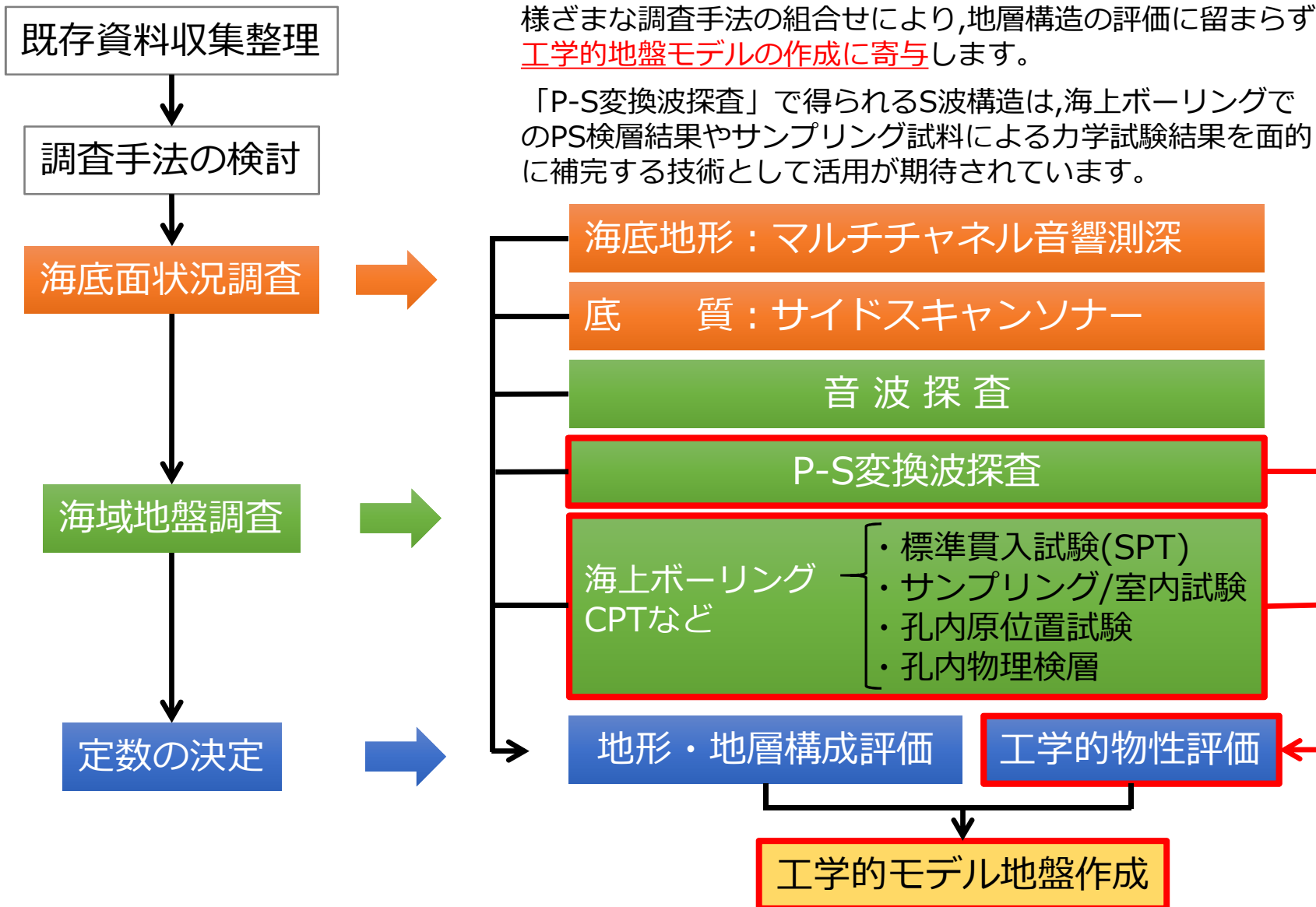
→ 物理試験, 力学試験, 動的試験, 特殊試験など様々なオプションを提供

➤ 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。



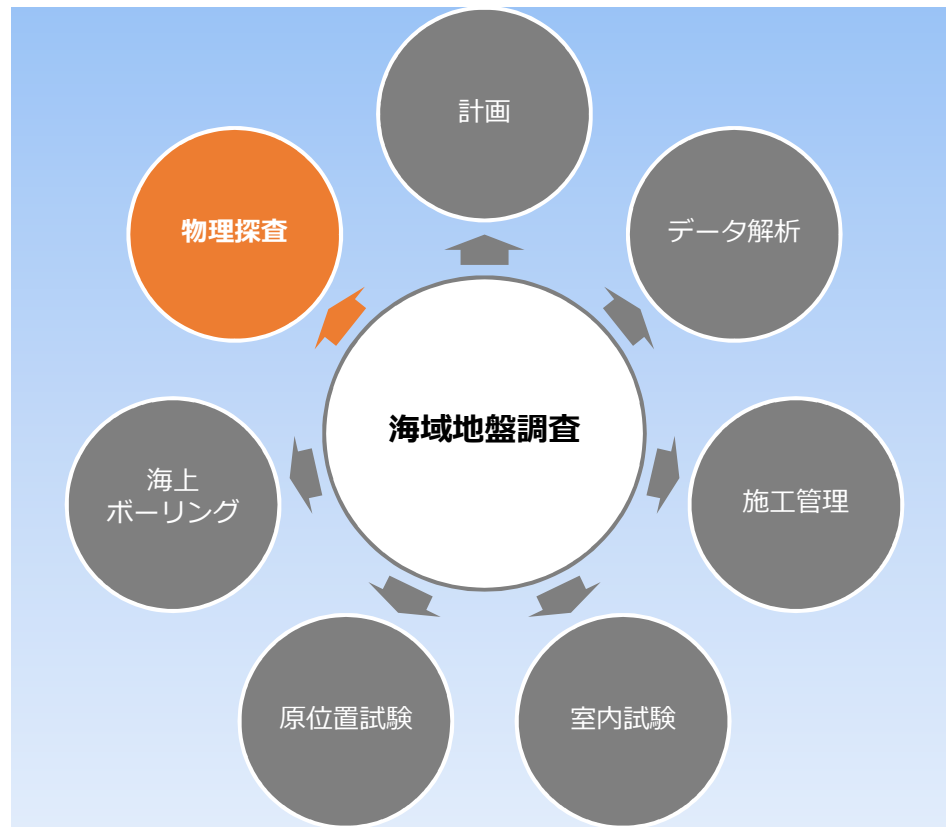
様ざまな調査手法の組合せにより、地層構造の評価に留まらず、工学的地盤モデルの作成に寄与します。

「P-S変換波探査」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。



# 物理探査

< 最新技術を提供 >



## ▶ 深浅測量：マルチビーム音響測深調査 ✓ 海底地形の把握

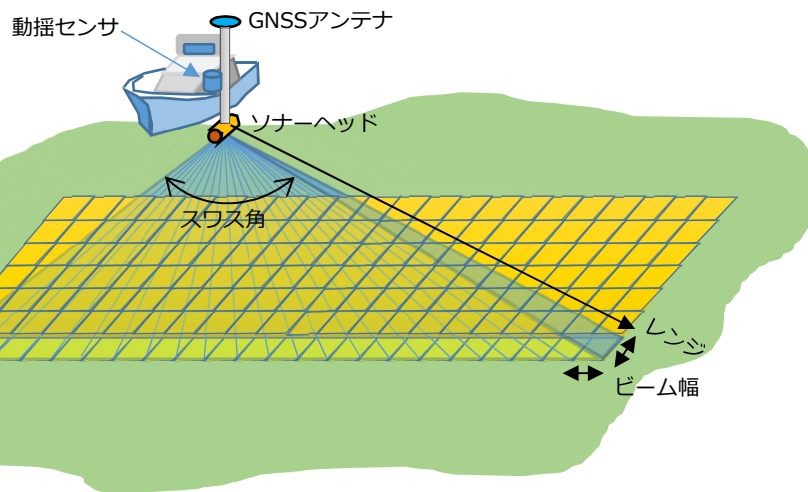
海底に向け左右放射状に指向性の強い音響ビームを数百本配列して、船の進行方向と共に一度に多数点の水深を計測する。精密な海底地形図を効率よく作成できる。海域地質調査の最も基本となる調査である。



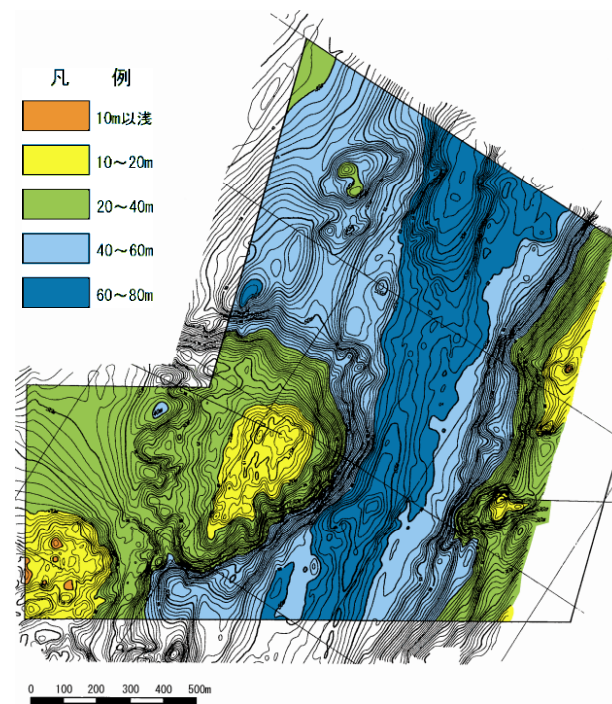
送受信部



船上モニター部



マルチビーム音響測深調査概念図



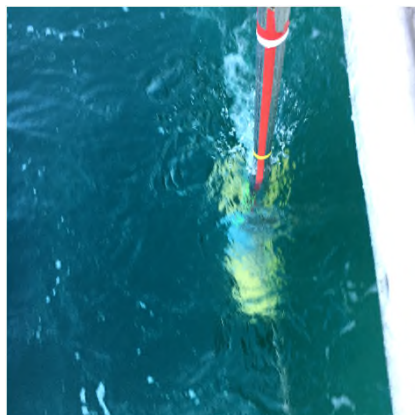
## ▶ サイドスキャンソナー調査

### ✓ 海底面の底質の把握

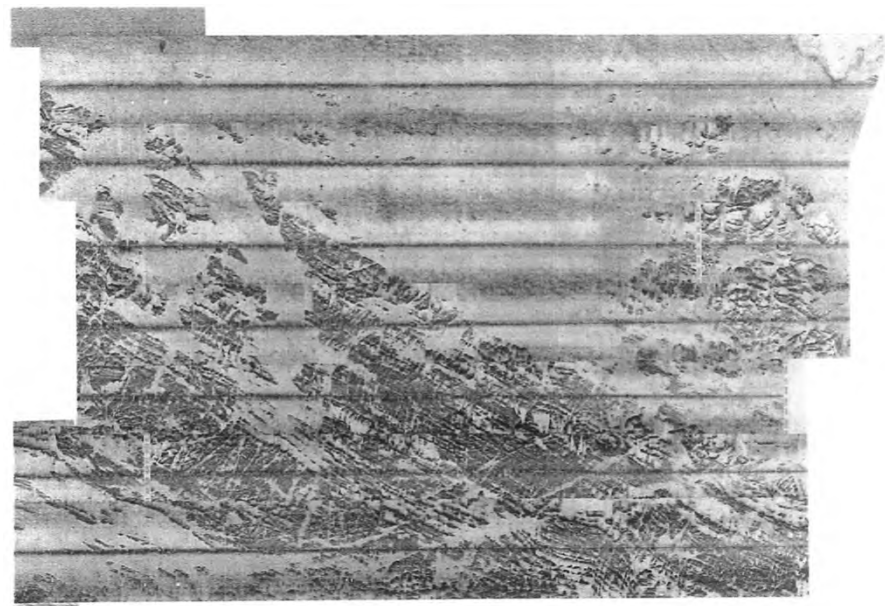
海底に向け一定時間間隔で扇形の音響ビームを発信し，海底面から戻ってくる反射・散乱波を受振する。底質の違いや海底面の凹凸により受信信号の強さが異なることから，海底面の底質や微細地形の把握を行うことができる。



サイドスキャンソナー



測定状況



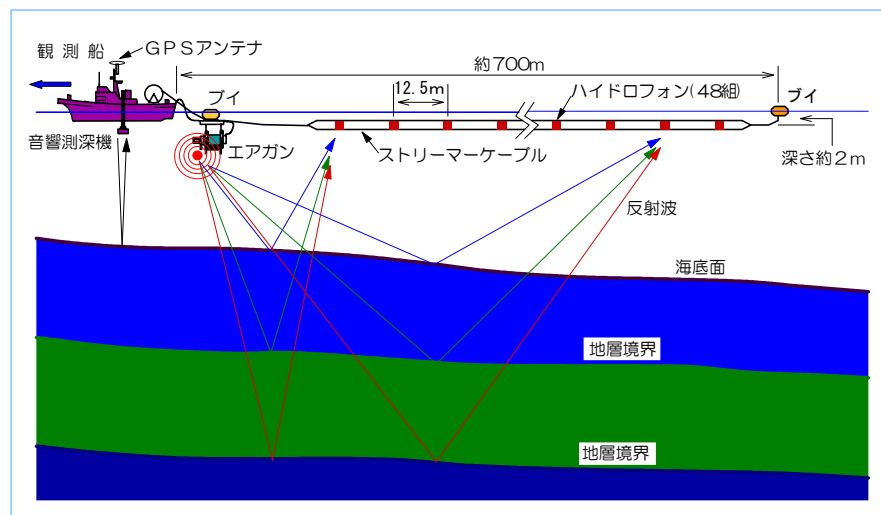
サイドスキャンソナー記録(例)

## ➤ 音波探査

✓ 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、連続的な地層境界の変化を調べようとするものである。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。



ストリーマ投入状況



エアガン投入状況



測定状況






調査船（測定中）

## ➤ 音波探査

✓ 調査目的（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

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
ブーマー		少	高	優	小型	浅
スピーカー						
ウォーターガン						
エアガン						
GIガン		大	低	劣	大型	深
エアガン						

受振ケーブルの種類とその特性

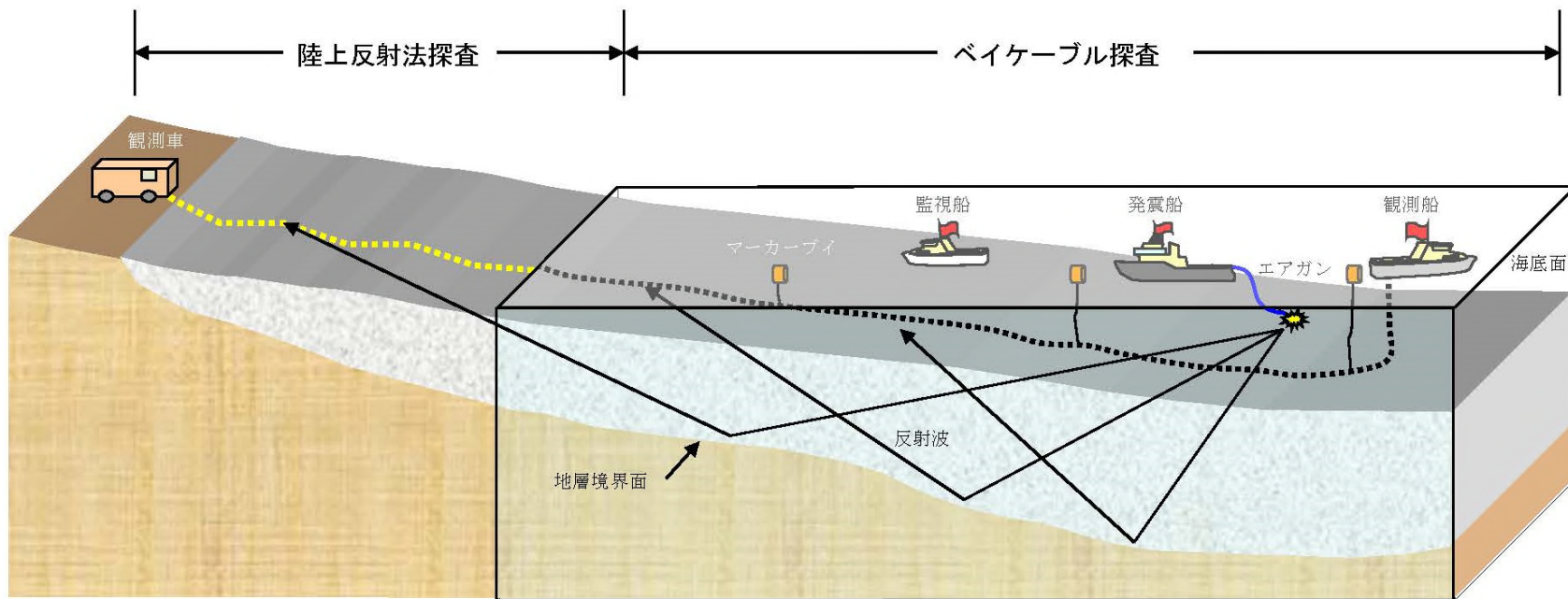
受振ケーブル (ストリーマー)	チャンネル数	チャンネル間隔	ケーブル長	船の大きさ	探査深度
シングルチャンネル	1ch	—	短	小型	浅
マルチチャンネル	12ch	2.5m		大型	深
	48ch	6.25m			
	48ch	12.5m			



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 ストリーマーケーブル：複数のハイドロフォン(≒水中マイク)を等間隔で配置した受振ケーブル。
- ② チャンネル：一定数の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。

## ▶ バイケーブル探査



### 海域部から陸域部までの地質構造データを把握

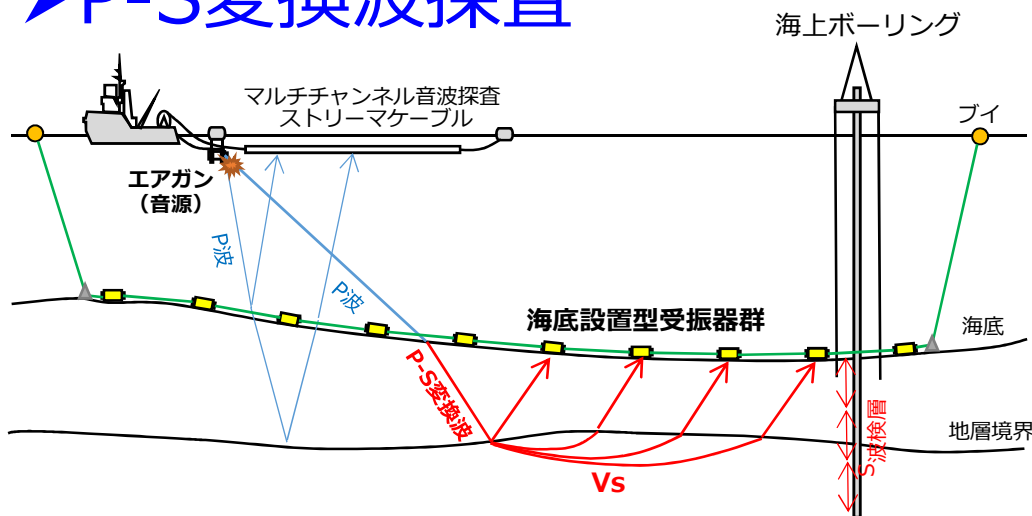
大型船での海上音波探査が難しい極浅海部では、海底面に受振器（ハイドロフォン）群を敷設するバイケーブル探査が地質構造探査に有効である。陸上反射法探査，バイケーブル探査，海上音波探査を同一測線上で実施すれば，陸海境界域の地質構造をシームレスに明らかにすることが可能である。

なお、当社では10m間隔で60チャンネル分の受振器が接続された全長600mのバイケーブルを2本保有しており，一度に最大1,200mの範囲で観測を行うことが可能。機器の最大使用可能水深は50m。



バイケーブル受振器（1200m）

## ➤ P-S変換波探査

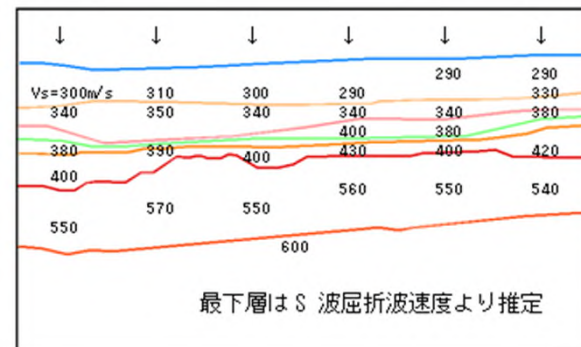
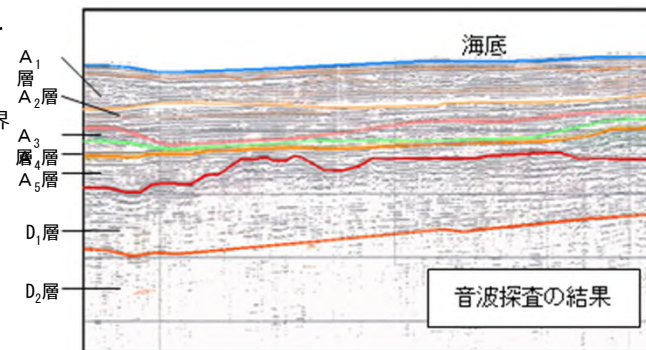


海底設置型受振器 (OBX)

## 海洋調査における「P-S変換波探査」の活用

P波を扱う通常の反射法地震探査に加えて、S波を利用した地震探査が注目を浴びている。S波速度は地盤強度の評価指標となるN値との相関性が良く、工学的地震基盤の指標としてS波速度400m/s以上と定められている。S波速度構造を求めることが地盤の強度分布をも求めることにつながる。ただし、S波は流体（海水）中を伝播しないことから海域での適用は困難であった。

「P-S変換波探査」は、発震点から変換点まではP波で伝わり、変換点から受振点まではS波として伝播することから、データ処理や解析の時点で非常に複雑となるものの、通常の反射法地震探査の震源を活用して、海底設置型受振器にてデータを収集し海底地盤のS波速度構造を求める事ができる。

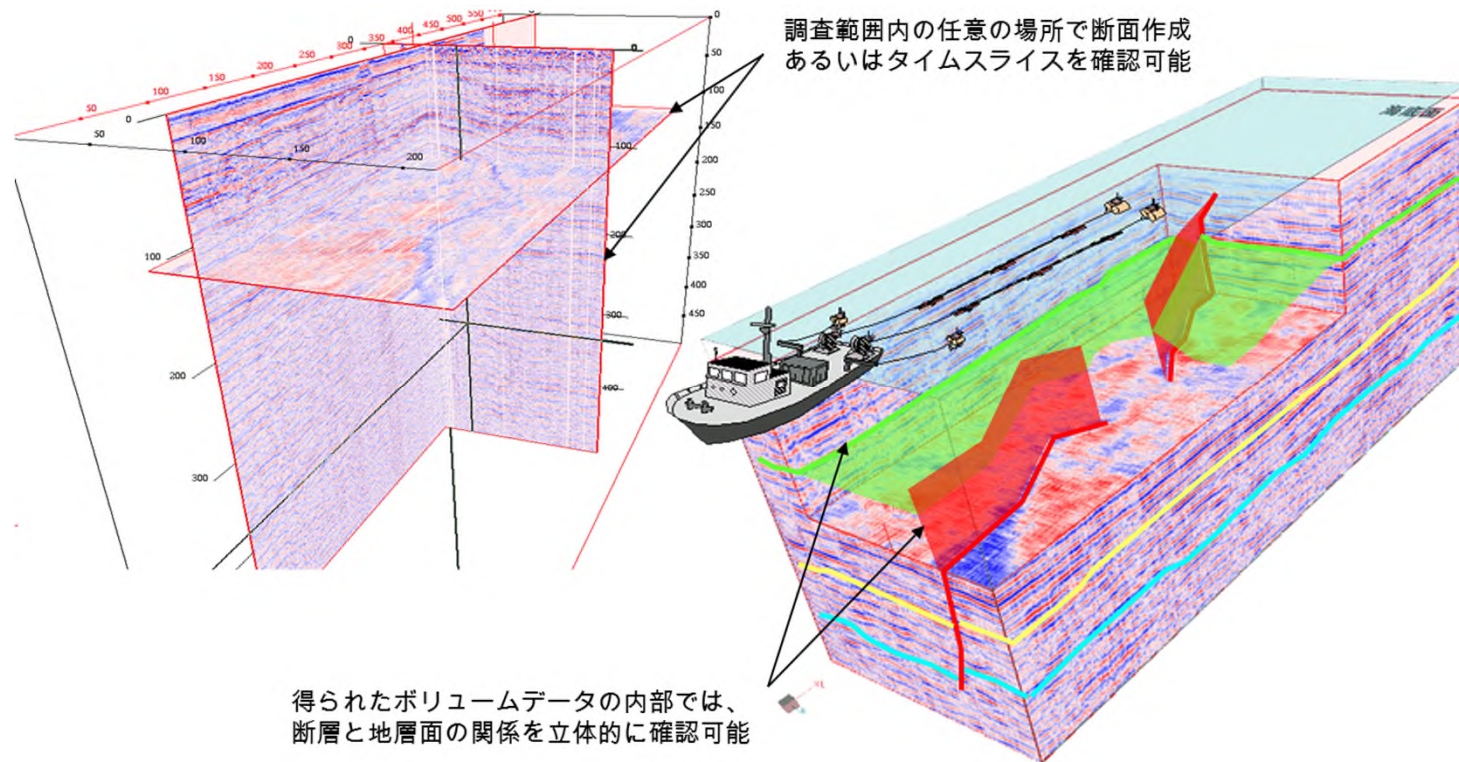


P-S変換波解析結果イメージ：音波探査断面上でS波速度構造を重ねることができる。



## ➤ 3D音波探査

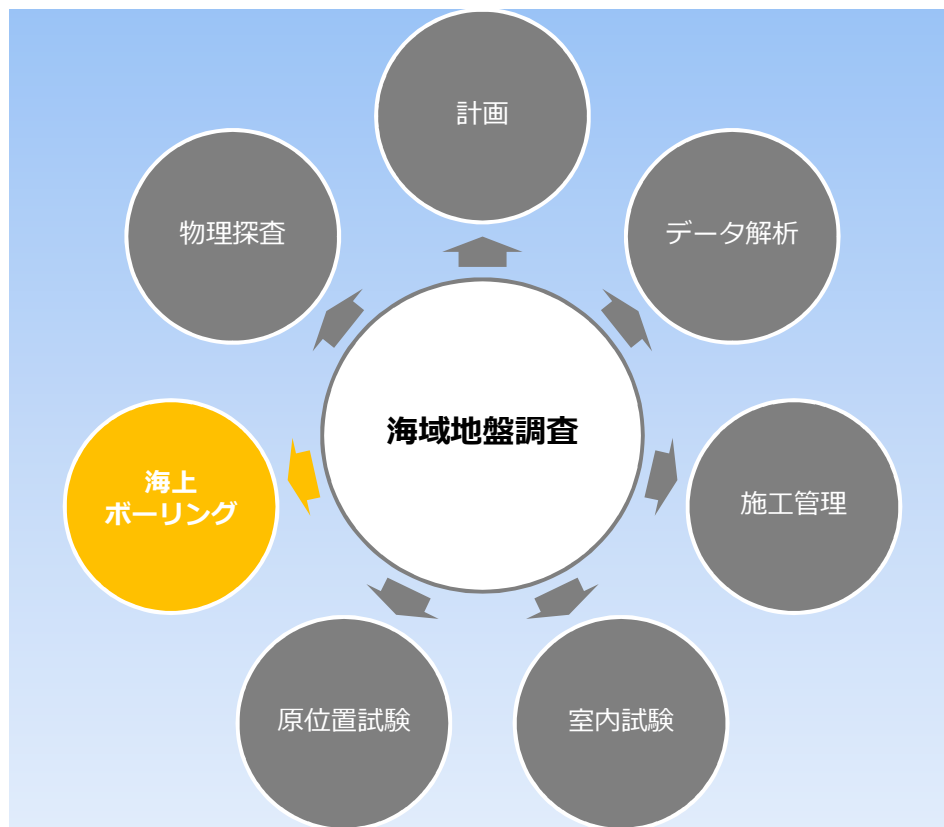
✓ 調査海域の地質構造を空間的に明らかにできる



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2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。ボリューム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る。

# 海上ボーリング

< 多彩な足場仮設 >



# ■ 調査技術：海上ボーリング



## ➤ 多彩な海上ボーリング作業足場

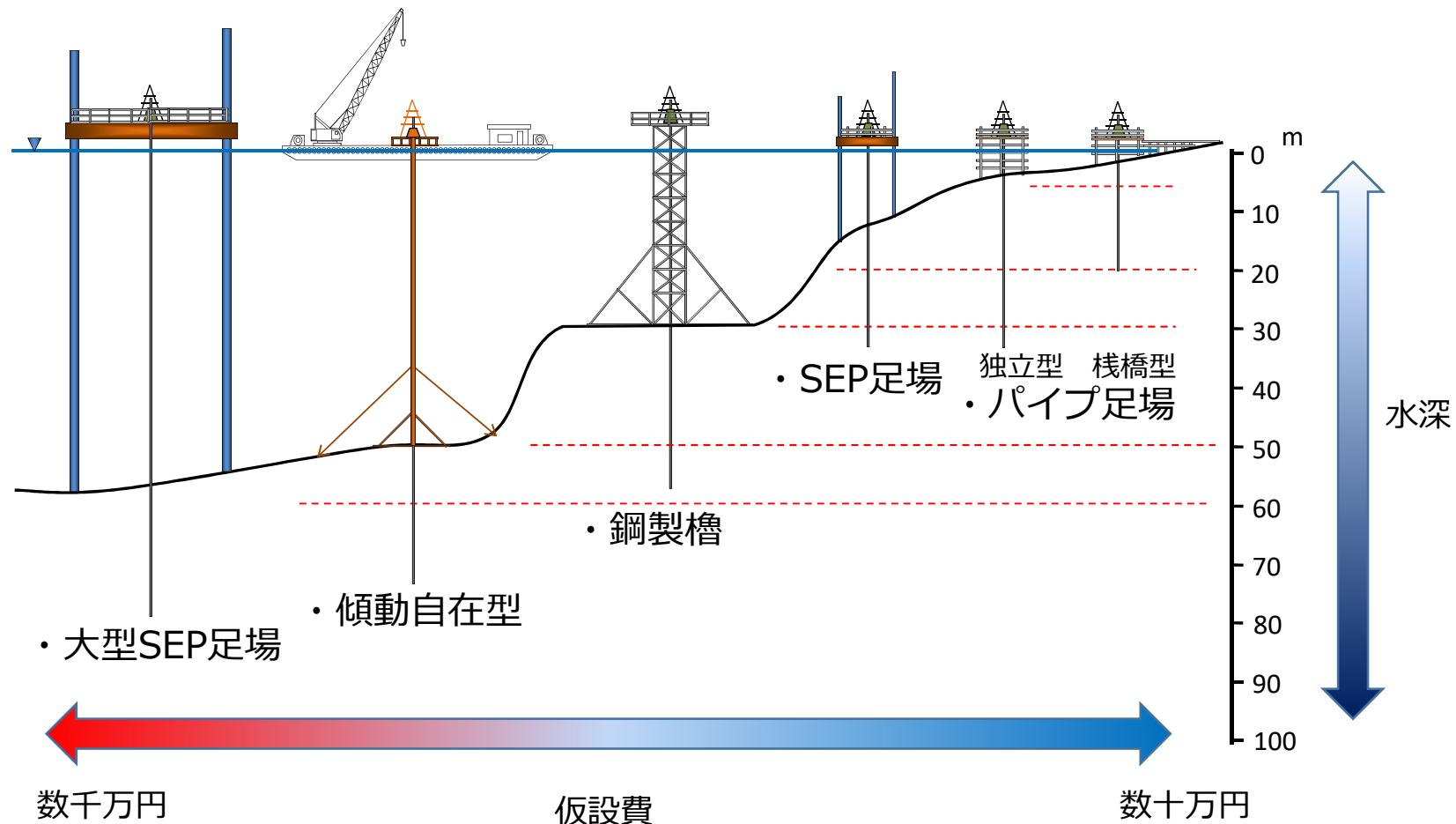
✓ 現場条件に応じた足場を用意

	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	30m以浅	50m以浅	60m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	5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70t級ラフタークレーンが必要 設置：200t吊起重機船による曳航(檣高による)	仮設・設置：足場用起重機船で実施 掘削：重機船上の張出し足場 ※中央開発(株)との連携	仮設：作業ヤードと120t級ラフタークレーンが必要 設置：200hp級作業船による曳航

# ■ 調査技術：海上ボーリング

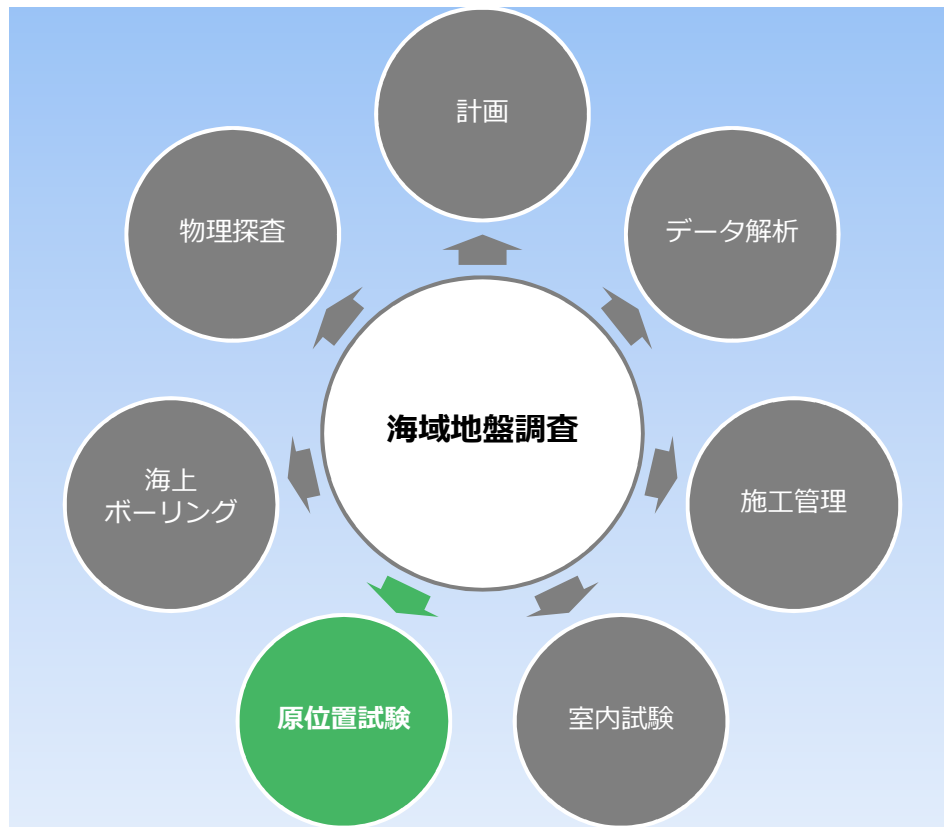


## ➤ 水深と海上ボーリング作業足場



# 原位置試験

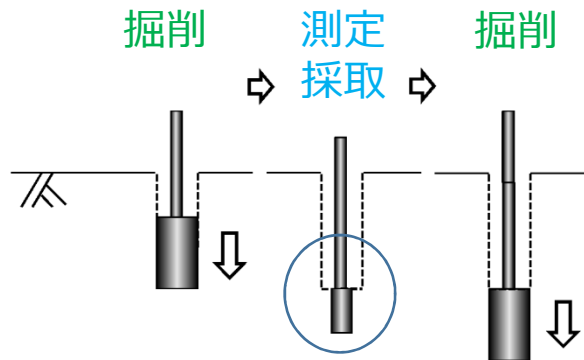
## < こだわりの品質 >



## ➤ 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)

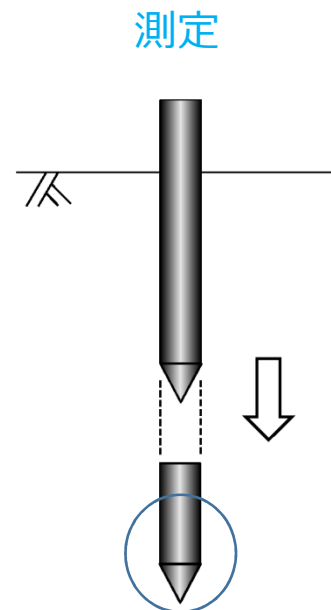
- 粘着力 : c
- 内部摩擦角 :  $\phi$

その他

→ 現地測定や室内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

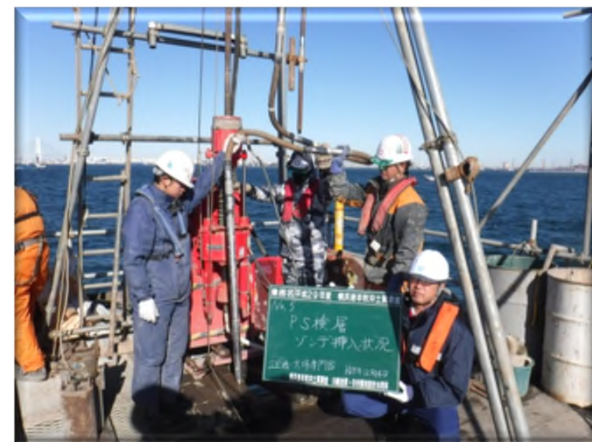
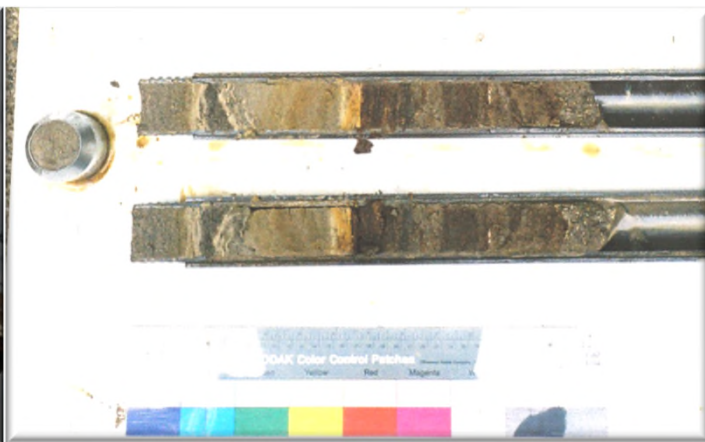
測定結果から換算式を用いて設計定数を推定する。

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

# ■ 調査技術：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

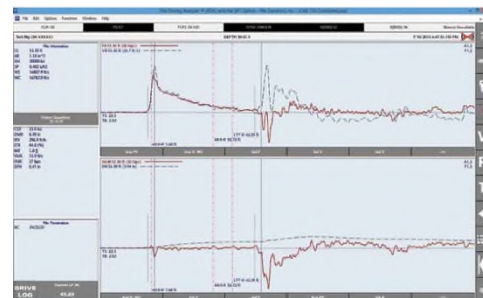
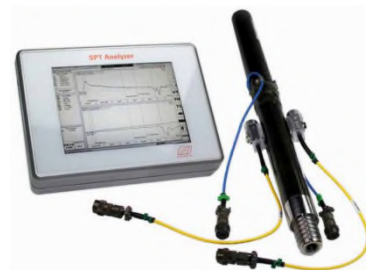
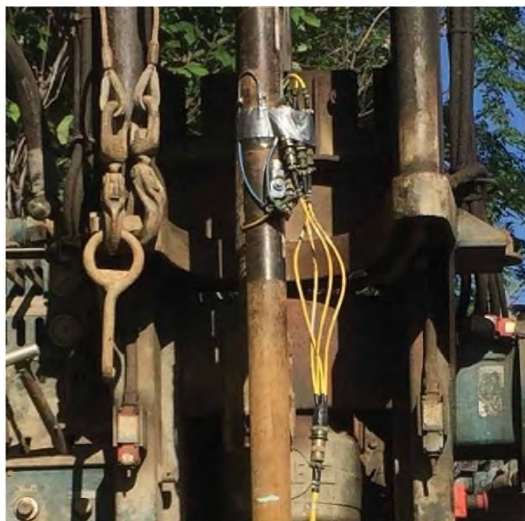
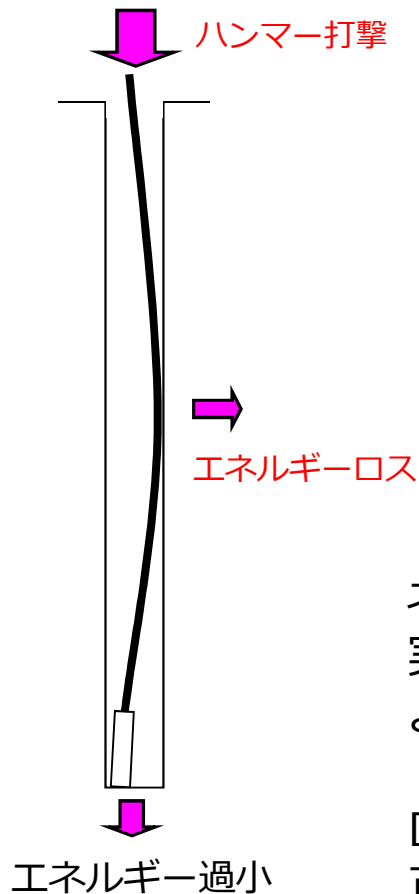


孔内載荷試験:変形係数E

# ■ 調査技術：原位置試験



- ▶ 標準貫入試験：エネルギー伝達効率を評価
  - ✓ 正確なエネルギーによるN値測定



N値の信頼性を確保するためには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ります。しかし実際にはロッドの長さの違いやハンマー落下時の摩擦等により伝達効率は異なります。

SPTアナライザーは標準貫入試験のハンマー落下時にロッドに伝達される打撃力と加速度を測定することにより正確な伝達エネルギーを得ることができます。

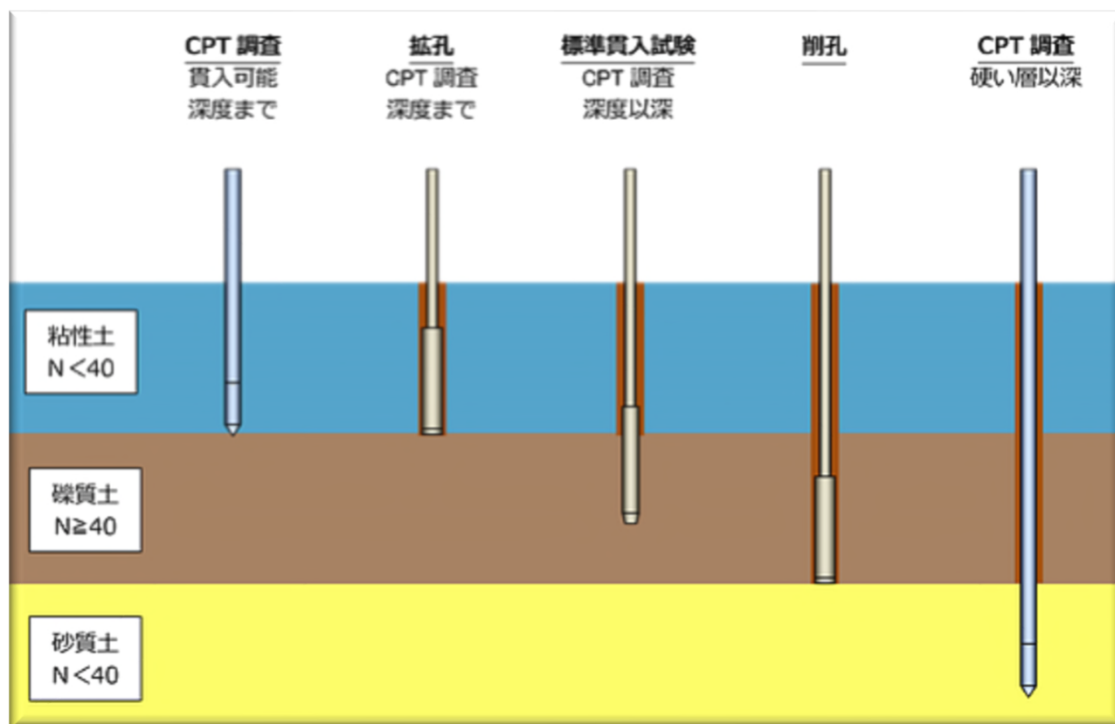


# ■ 調査技術：原位置試験



## ➤ CPT：SPT併用機 ダブルサウンディング

✓コーン貫入と標準貫入試験の併用により未測定区間排除



- ① CPTプローブを地盤中に貫入し、CPT試験を実施
- ② 貫入不能となった時点でボーリング掘削用に装置を切り替え、泥水循環により削孔し、CPT貫入深度以深よりSPTを実施
- ③ CPTプローブの貫入が可能な深度から、再度CPT用に装置を切り替えて調査を継続

(CPT技術協会資料より)



・ 檣上での事例



・ 張出し足場での事例

# ■ 調査技術：原位置試験



- CPT：船上型もしくは海底設置型貫入装置の適用
- ✓ コーン貫入(CPT)はCPT実施各社との連携

- ◎ 大水深域での作業が可能
- ◎ 作業工期が短い
- ◎ 天候による作業限界が比較的高い



写真提供：深田サルベージ建設(株)・(株)ウインドパル

・ 海底着座型



水深3,000m対応



船上から遠隔操作



先端コーン(飽和済み)

## ➤ HISS(High Speed Sounding)：川崎オリジナル



### ■ 高速サウンディングの概要

地盤強度を連続的に測定する動的円錐貫入試験機です。

- 強力な貫入能力：岩塊などを含む盛土でも貫入試験が可能
- 調査深度：最大50m
- 測定間隔：10cm(連続的評価)
- 測定項目：打撃回数, ロッド回転圧力
  - 周面摩擦の影響を除いた地盤の強度評価が可能
- 能力
 

打撃	: 2400回/分
押込み	: 520kgf
回転	: 33rpm

$$Nb = \left( Nh - \frac{RP - R0}{R0} \times Cn \right) / Cd$$

### ■ 結果の利用

測定結果から10cm貫入毎のNb値が求められます。

Nb値とN値には、経験的に

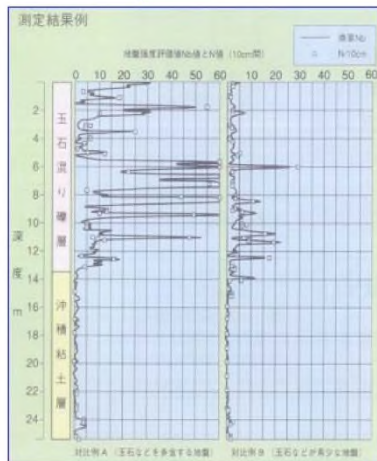
$$N \approx 3 \times Nb$$

の関係があります。

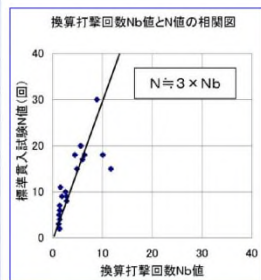
求められたN値から様々な物性値を推定可能

- 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

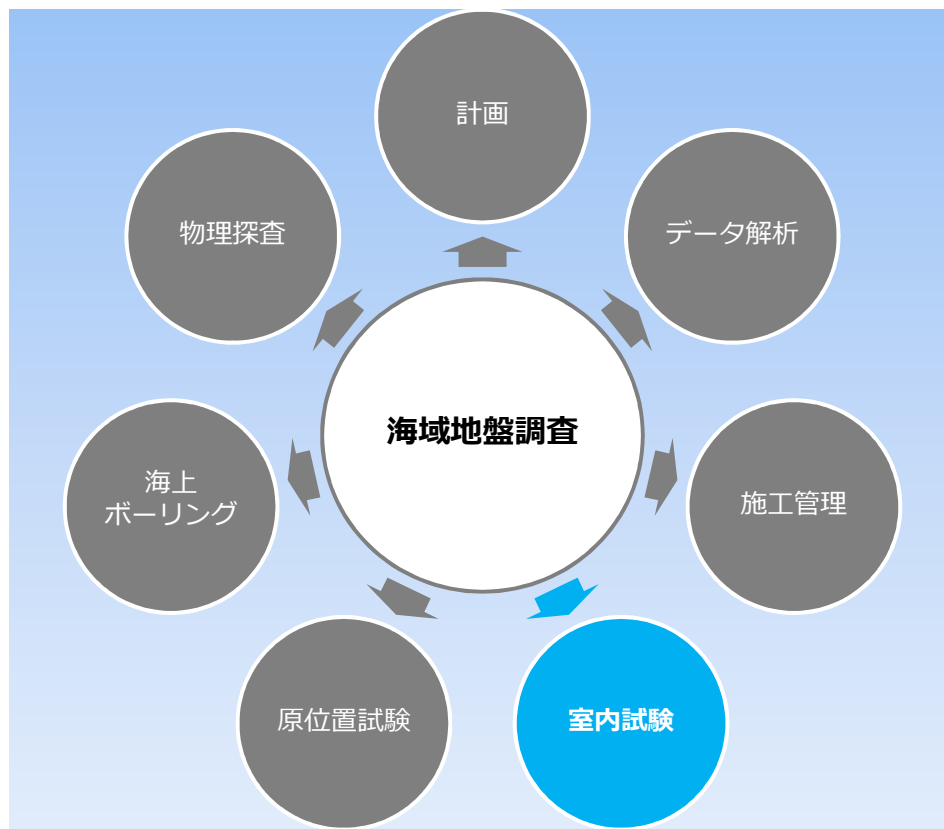


Nb: 換算打撃回数 (回/10cm)、  
周面摩擦に伴う抵抗を考慮し補正された貫入抵抗  
N値への概算は、『 $N \approx 3 \times Nb$  (経験式)』  
Nh: 実測打撃回数 (回/10cm)、  
10cm 貫入するのに要する打撃回数  
RP: 回転圧力 (10cm 区間の代表値)  
R0: 周面摩擦が作用しないときの基準回転圧力  
Cn: 回転圧力換算係数  
Cd: 打撃回数換算係数



# 室内試験

< 一貫した自社施工 >

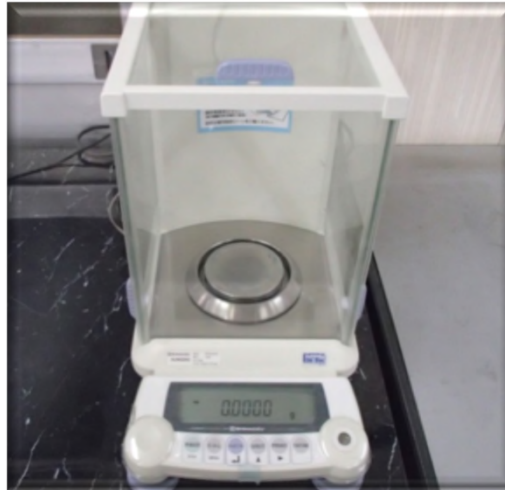


# ■ 調査技術：室内試験(自社試験室での施工)



## ➤ 室内試験：サンプリング試料による試験(JIS,JGS他)

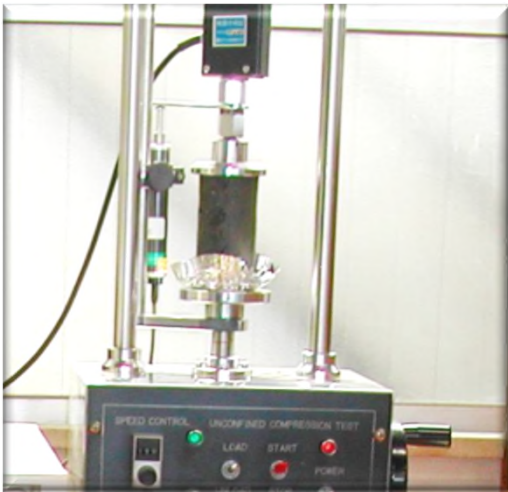
✓ 物理試験, 力学試験



物理特性:

- 粒度塑性 D10, D50, Fc
- 自然含水比  $W_n$
- 液性塑性限界 WL, WP, IP
- 湿潤密度  $\rho_t$

etc



力学特性

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

etc

# ■ 調査技術：室内試験(自社試験室での施工)



## ➤ 室内試験：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



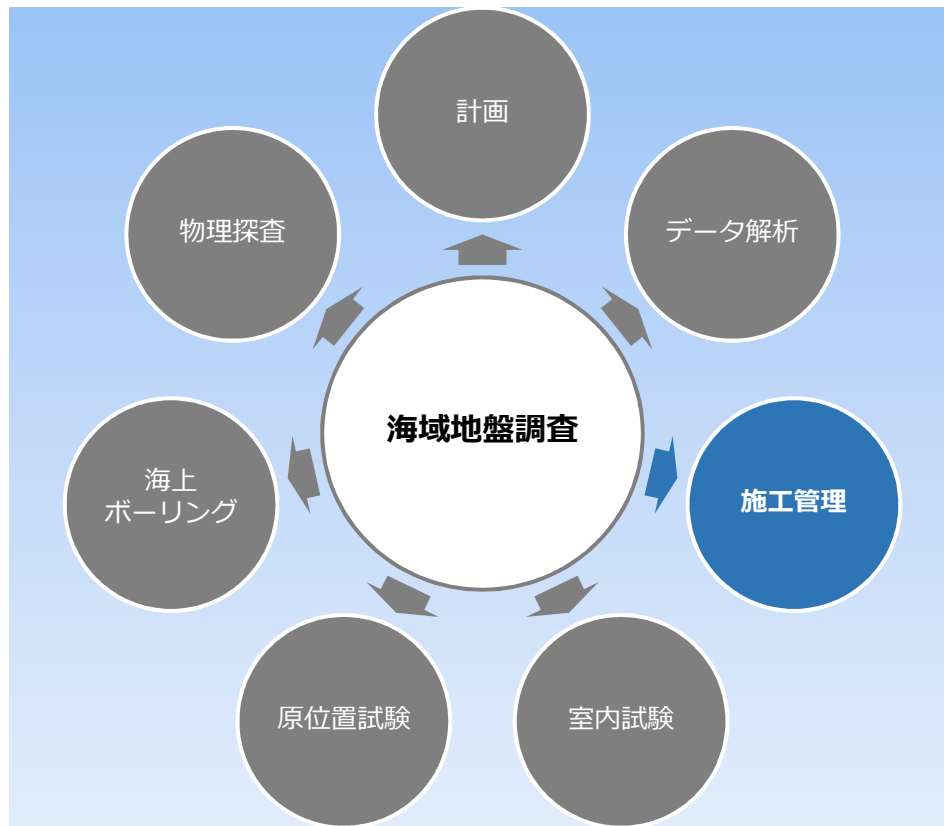
動的特性

- ・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

# 施工管理

## < 現場の目付け役 >



# ■ 施工管理：安全管理



## ➤ 安全管理：無事故・無災害を目指して

・日々のKY活動(リスクアセス)

・店社安全パトロール(啓蒙活動)

作業指示・安全指示書及び現地KY記録表

平成 年 月 日( ) 昼勤：夜勤 天候：晴・曇・雨・雪

〇〇洋上風力発電事業地盤調査

工事

協力業者名：川崎地質(株)

責任者

番号	指示書	作業箇所	作業実施内容	使用機械	使用保護具	予定員数	実績員数	安全衛生指示事項
①			位置測定	GPS	ヘルメット 作業服	1		セップに乗る時足元を確認すること
②								
③								
④								
⑤								

安全巡視点検結果報告書  
(事業主自主安全パトロール報告書)

工事名：

地盤調査工事

平成29年6月28日

自社作業に関する点検結果及び指導事項	指導事項の処置			
1. sepのスターはどの開口部で養生確認し、常時航行禁止。ヤコも同様に行動禁止	1. 今後の作業も初行した時			
2. 交通船とsep、RAS及び岩盤(石)乗り降り時、足場安全確保を行う事。特に波が高い時はあせりず冷静に行動禁止	2. 指導喚呼を実施しています「足元!!!」			
3. 海上作業エリアにおいて、特にコアの取出し時等KYK(と)安全作業を徹底する事	3. 作業員にも教育して安全作業を徹底しています。			
上位会社又は他職種に関する検討、要望事項等	点検着眼点			
上記の作業を指摘したことで、JVCとの変更指導を徹底しています。	1. 墜落災害防止対策 (水圧ホト、作業床、開口部、昇降機) 2. 重機車両災害防止策 (人と重機の分離、資格、法定点検) 3. 安全運動推進状況 (安全等使用、ヒヤット、KYK) 4. 保護具使用状況 (安全靴、安全帯、保護帽、他) 5. 揚重機作業 (移動式クレーン、LSEV、ウィンチ他) 6. 作業が作業標準とおり行われているか。			
点検結果	① 〇 百 ② 〇 百 ③ 〇 百 ④ 〇 百 ⑤ 〇 百			
工種	協力会社名	点検者	元確認権	鹿島建設株式会社

\*記入要領は裏面参照のこと

リスクの見積表	リスクの見積	リスクの見積																																								
<table border="1"> <tr> <th>可能性(発生)</th> <th>重大性(結果)</th> <th>発生頻度</th> <th>重大性(結果)</th> </tr> <tr> <td>高</td> <td>高</td> <td>高</td> <td>高</td> </tr> <tr> <td>中</td> <td>中</td> <td>中</td> <td>中</td> </tr> <tr> <td>低</td> <td>低</td> <td>低</td> <td>低</td> </tr> </table>	可能性(発生)	重大性(結果)	発生頻度	重大性(結果)	高	高	高	高	中	中	中	中	低	低	低	低	<table border="1"> <tr> <th>重大性</th> <th>可能性</th> <th>発生頻度</th> </tr> <tr> <td>高</td> <td>高</td> <td>高</td> </tr> <tr> <td>中</td> <td>中</td> <td>中</td> </tr> <tr> <td>低</td> <td>低</td> <td>低</td> </tr> </table>	重大性	可能性	発生頻度	高	高	高	中	中	中	低	低	低	<table border="1"> <tr> <th>重大性</th> <th>可能性</th> <th>発生頻度</th> </tr> <tr> <td>高</td> <td>高</td> <td>高</td> </tr> <tr> <td>中</td> <td>中</td> <td>中</td> </tr> <tr> <td>低</td> <td>低</td> <td>低</td> </tr> </table>	重大性	可能性	発生頻度	高	高	高	中	中	中	低	低	低
可能性(発生)	重大性(結果)	発生頻度	重大性(結果)																																							
高	高	高	高																																							
中	中	中	中																																							
低	低	低	低																																							
重大性	可能性	発生頻度																																								
高	高	高																																								
中	中	中																																								
低	低	低																																								
重大性	可能性	発生頻度																																								
高	高	高																																								
中	中	中																																								
低	低	低																																								

リスク低減対策  
(安全対策)

上記項目	危険と思われる事項 (…なので【原因】、…になる【結果】)	重大性	可能性	発生頻度	重大性	可能性	発生頻度
①	セップに乗る時海に転落する。	1	2	4	1	1	2
②							
③							
④							
⑤							

10:00健康状態 13:00健康状態 14:00健康状態 15:00健康状態	水分塩分補給 水分塩分補給 水分塩分補給 水分塩分補給	行動目標(ワンポイント)： 終業時確認 〇火元 〇電源 〇施錠 〇整理整頓 〇機械器具 〇健康状態	ヒヤリハット報告 件
--	--------------------------------------	--	------------

サインの朝礼時 朝礼時 体調 終了時 朝礼時 体調 終了時	朝礼時 私は作業実施内容を理解し、安全衛生指示事項に従って作業します。健康状態も問題ありません。未報告の前日のケガはありません。終了時 私は作業中にケガをしませんでした。健康状態も問題ありません。(ケガをした、体調悪くなった場合は右の異常有の欄に記入)	異常有： 作業チーム長 報告者 協力会社 報告を受けた者がサインする
---	--	--





# ■ 施工管理：工程管理

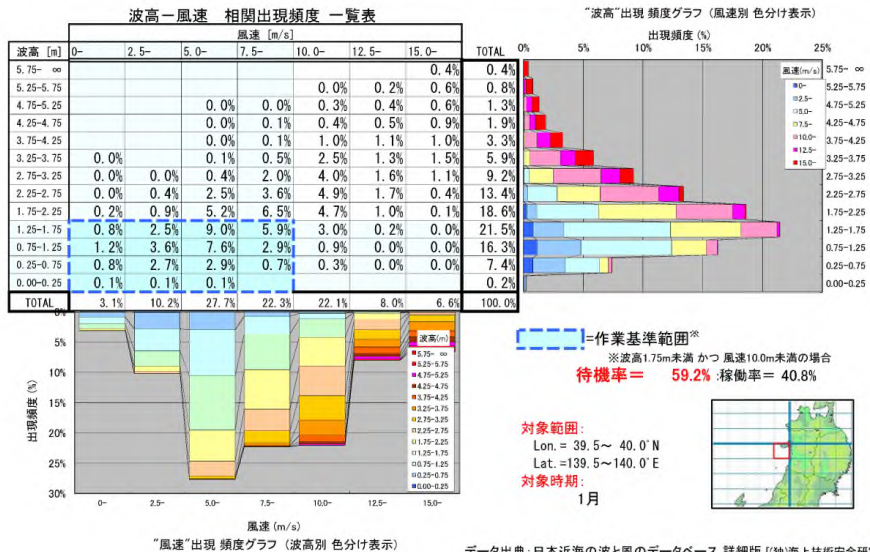


## ➤ 工程管理：天候リスクをいち早くキャッチ

・ 月毎の荒天率予測

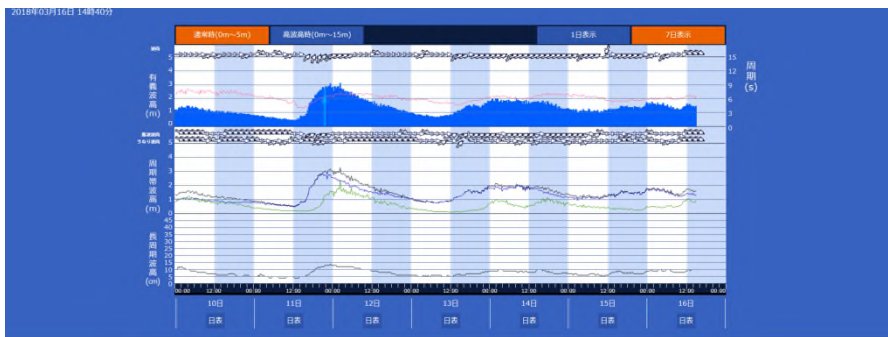
・ 実際の工程管理

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%



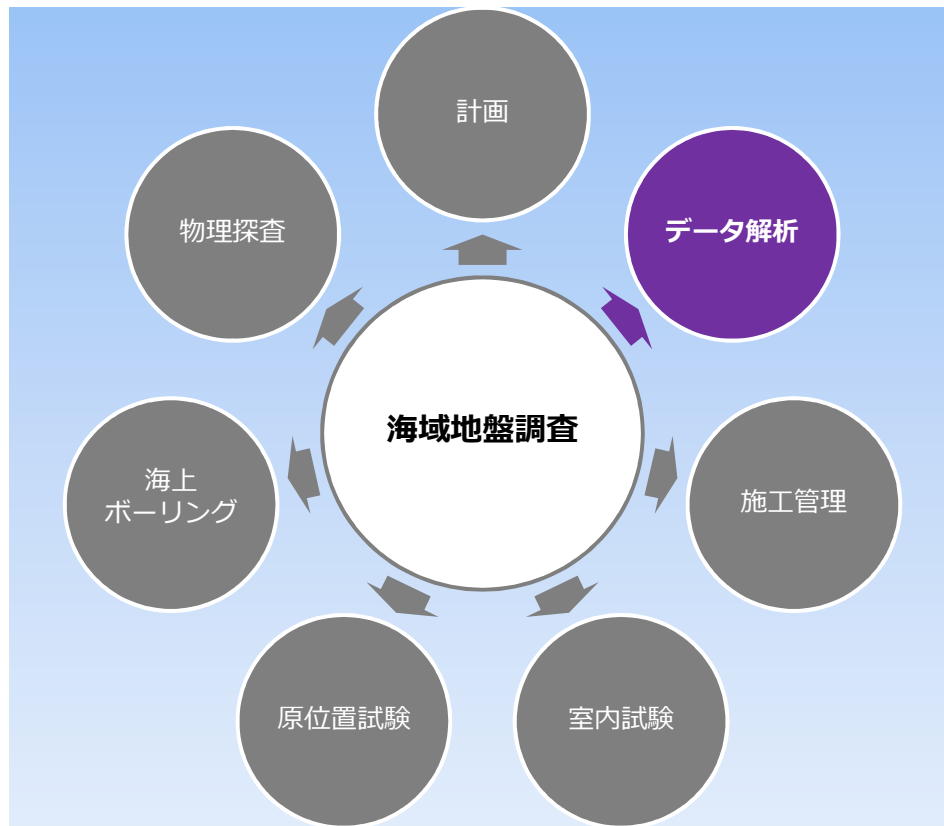
日付	調査実績(累計DATA)												備考			
	能代港															
	A社		B社				C社									
	音波探査		ボーリング		ボーリング		ボーリング									
	ウオーターガン	ブーマー	観測長m	S回	K回	観測長m	S回	K回	観測長m	S回	K回	観測長m	S回	K回		
5月22日 (月)																
5月23日 (火)																
5月24日 (水)																
5月25日 (木)																キックオフ会議
5月26日 (金)																
5月27日 (土)																
5月28日 (日)																
5月29日 (月)																バリケード・ハウス撤入
5月30日 (火)																バリケード設置
5月31日 (水)																
6月1日 (木)																
6月2日 (金)																
6月3日 (土)																機装
6月4日 (日)																機装
6月5日 (月)																テスト+1鋼橋 撤入・組立
6月6日 (火)																組立
6月7日 (水)																8側線 機装 撤入・組立 進水・bor機装
6月8日 (木)																機装 撤入・組立
6月9日 (金)																機装 撤入・組立
6月10日 (土)																機装 撤入・組立
6月11日 (日)																機装 撤入・組立
6月12日 (月)																機装 撤入・組立
6月13日 (火)																秋田→回航 9側線 N1セッパ設置完了 C1セッパ仮置き
6月14日 (水)																完了 2.00 C1セッパ設置
6月15日 (木)																秋田→回航 5.00 2 3.50 1
6月16日 (金)																完了 荒天中止 荒天中止 荒天中止 荒天中止
6月17日 (土)																完了 8.00 1 N2セッパ仮設置 4.50 2
6月18日 (日)																
6月19日 (月)																10.00 N2セッパ設置完了
6月20日 (火)																11.00 2 10.00 8.50 2 1.50 鋼セッパ機装
6月21日 (水)																13.00 4 16.00 12.50 3 6.50
6月22日 (木)																荒天中止 荒天中止 荒天中止 荒天中止
6月23日 (金)																15.00 27.00 16.00 4 13.50
6月24日 (土)																20.00 3 36.00 20.00 18.50
6月25日 (日)																
6月26日 (月)																荒天中止 荒天中止 荒天中止 荒天中止 波2.0m
6月27日 (火)																25.00 39.00 21.50 4 22.50 鋼セッパ機装 N1+18時 N2 波高で12.50で中止 N2+18時30 N3 波高で12.50で中止
6月28日 (水)																26.00 5 4 46.00 25.50 27.50 鋼セッパ機装 N2+18時30 N3 波高で12.50で中止 N2+18時30 N3 波高で12.50で中止
6月29日 (木)																32.00 6 5 54.00 25.50 33.50 N2+18時30 N3 波高で12.50で中止
6月30日 (金)																37.65 7 60.00 27.00 5 41.00 N2+18時30 N3 波高で12.50で中止
7月1日 (土)																42.45 7 61.00 荒天中止 荒天中止 荒天中止 荒天中止 鋼セッパ機装 N1+18時 N2 波高で12.50で中止
7月2日 (日)																42.45 7 61.00 鋼セッパ機装 N1+18時 N2 波高で12.50で中止
7月3日 (月)																荒天中止 荒天中止 荒天中止 荒天中止 鋼セッパ機装 N1+18時 N2 波高で12.50で中止
7月4日 (火)																荒天中止 荒天中止 荒天中止 荒天中止 鋼セッパ機装 N1+18時 N2 波高で12.50で中止
7月5日 (水)																44.00 8 61.00 鋼風速測機機装 中止 N2+12.30作業中止 N1+13時中止
7月6日 (木)																52.45 10 65.27 32.00 6 5 47.45 鋼風速測機機装 中止
7月7日 (金)																57.45 68.45 34.50 7 6 48.28
7月8日 (土)																61.24 PS 39.00 9 カメラ
7月9日 (日)																64.36 鋼風速測機機装 中止
7月10日 (月)																67.15 2.50 1 47.50 11 カメラ
7月11日 (火)																73.00 8.00 2 3 50.00 13 カメラ

## ・ 日々の気象海象管理



# データ解析

< 豊富な知識を駆使 >

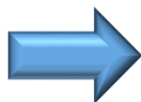


## ➤CPT結果からの主な物性値の推定

✓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 :  $\Phi$  (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



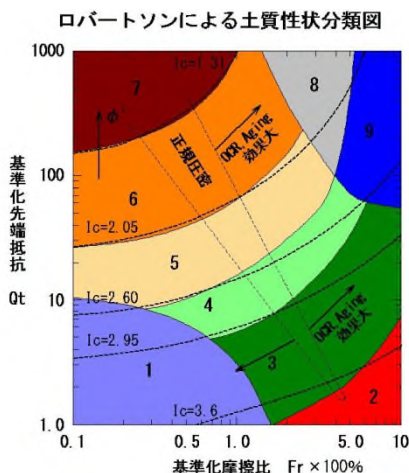
### 二次換算値等(換算N値 : $N_c$ から)

- ・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 :  $\Phi$  (建築指針他)
- ・初期剛性率 :  $G_0$  ( $V_s$ より換算)

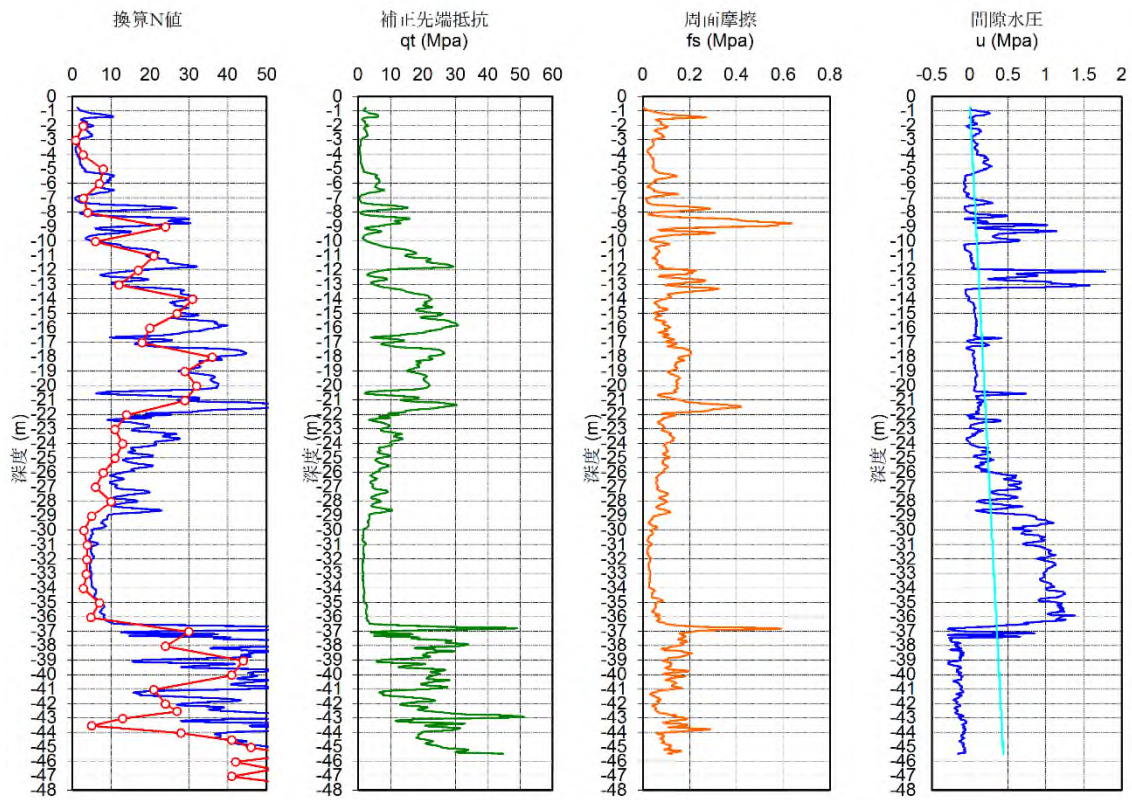
他多数

土質性状タイプ	$I_c$ 値	適用
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

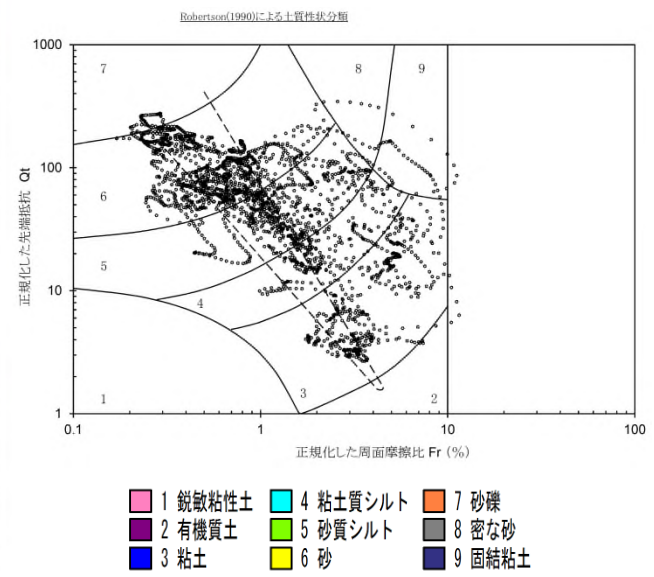


## ➤ CPTデータの解析事例 ✓一次データ



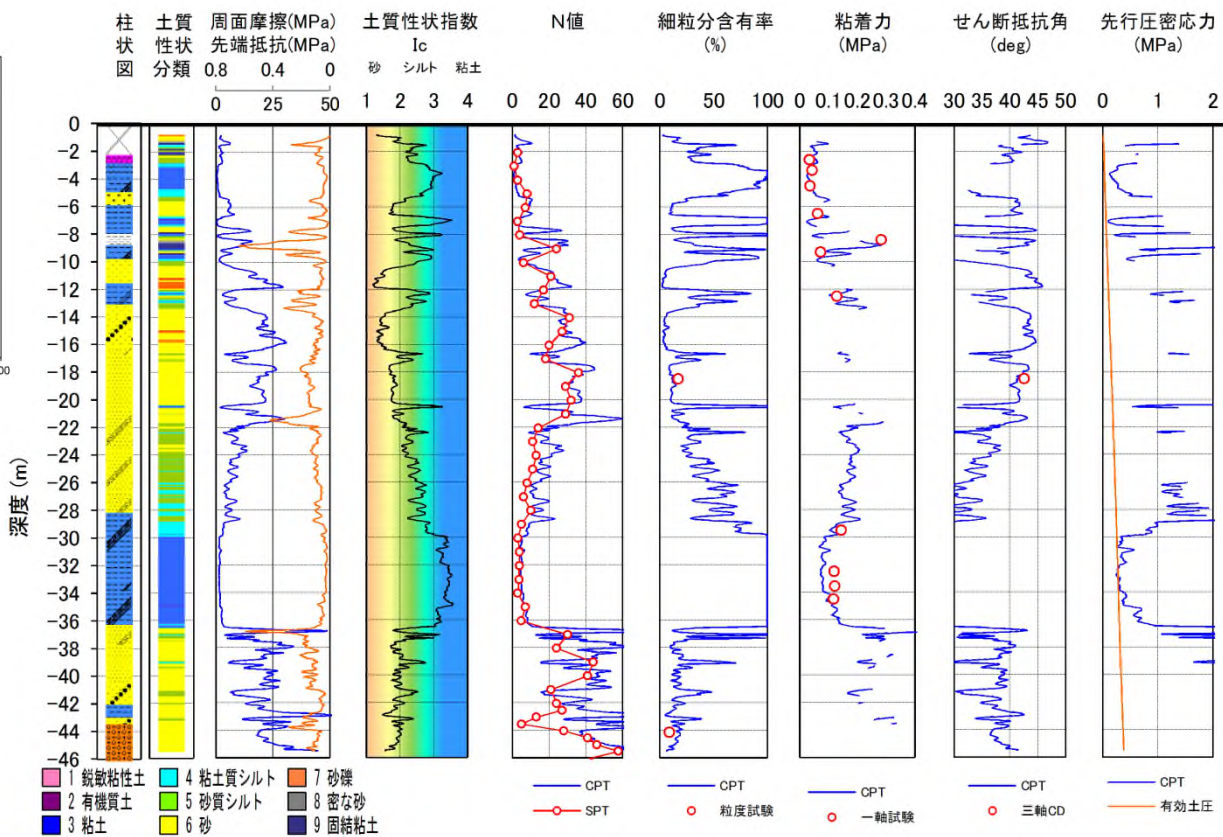
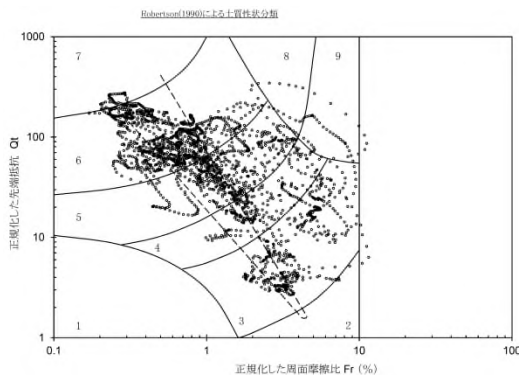
### 一次換算値等

- 土質判別：  
Qt, Fr, Ic (Robertson他)
- 換算N値：  
Nc (Robertson他)



## ➤CPT結果の解析結果事例

✓一次データから物性値に換算



### 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 :

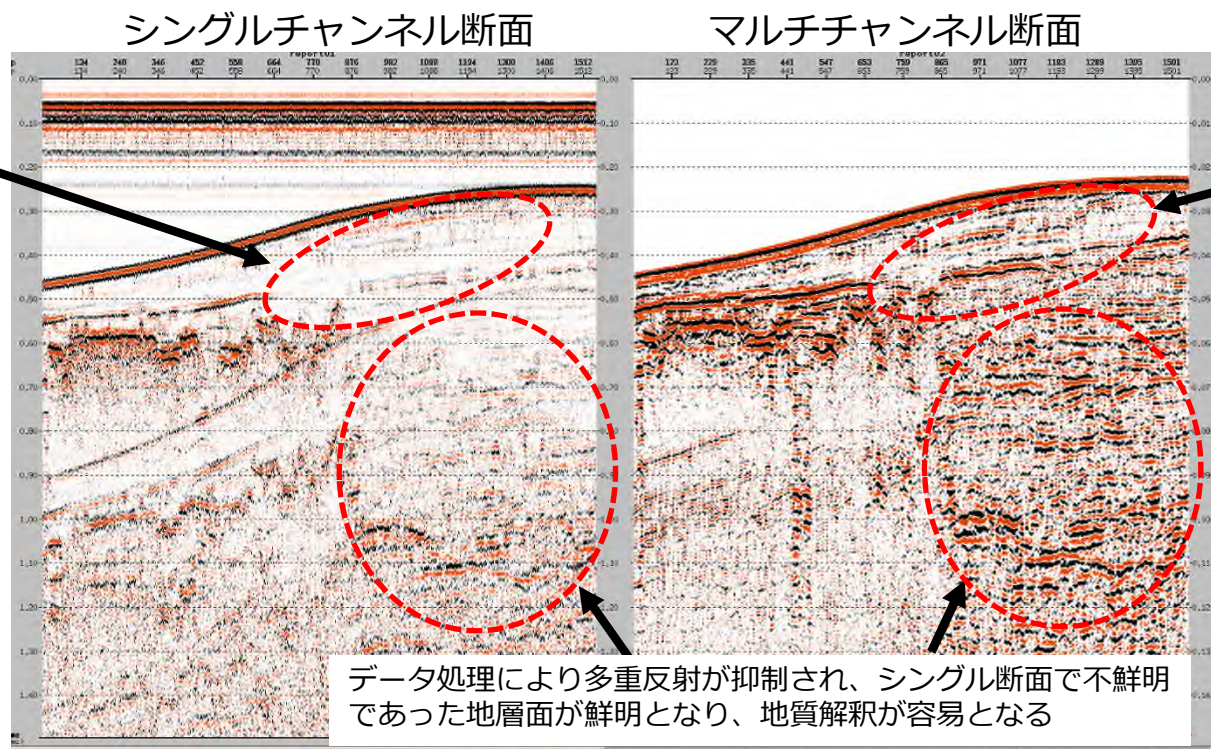
Go(Vsより換算)  
他多数

# ■データ処理・解析



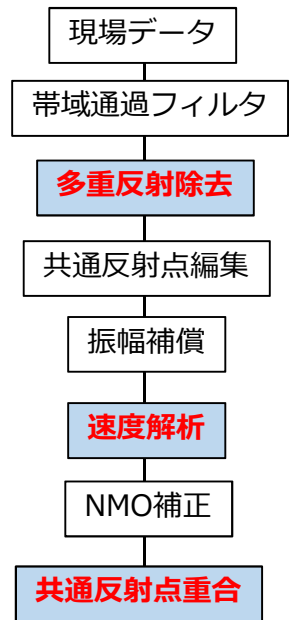
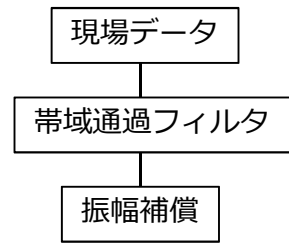
## ➤音波探査のデータ処理・解析事例

✓多彩なデータ処理による鮮明な地層断面



発振源の影響を受けて地層面が**不鮮明**

処理による発振源の影響抑制で地層面が**鮮明**



データ処理により多重反射が抑制され、シングル断面で不鮮明であった地層面が鮮明となり、地質解釈が容易となる

※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

# 海洋調査技術の比較

## < 長所と短所 >

## 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"> <li>・軽量のため取扱いが容易</li> <li>・海底面の不陸に対応可能</li> <li>・現場での直接組立てが可能</li> <li>・海上移動は小型船によるため作業性が良好</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・流速の速い場所では足元の洗掘が発生する可能性有り</li> <li>・海底面が粘性土の場合は脚の沈下が継続</li> <li>・荒天退避の際は再掘削が必要</li> <li>・水深5m以上は構造的に不安定</li> </ul>
	SEP足場	<ul style="list-style-type: none"> <li>・海底面の不陸に対応可能</li> <li>・海上移動は小型船によるため作業性が良好</li> <li>・設置後にフロート部の上げ下げ調整が可能</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・組立て解体作業のためヤードが必要</li> <li>・流速の速い場所では脚がねじれて不安定</li> <li>・フロート式のため下からの波の跳ね上げに弱い</li> <li>・荒天退避の際は再掘削が必要</li> </ul>
	鋼製檣	<ul style="list-style-type: none"> <li>・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</li> <li>・水深は30m程度以浅であれば最も安定</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・海底面の不陸に追従不能</li> <li>・海上移動に起重機船が必要など、作業性・経済性で不利</li> <li>・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</li> </ul>
	大型SEP足場	<ul style="list-style-type: none"> <li>・海底面の不陸に対応可能</li> <li>・移動は起重機船の必要なし</li> <li>・設置後にフロート部の上げ下げ調整が可能</li> <li>・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</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・組立て解体作業のためヤードが必要</li> <li>・仮設費が高額かつ組立て時間が長く経済性不利</li> <li>・長距離曳航の際は1500HP級の大型曳船が必要</li> </ul>
船舶使用	傾動自在型	<ul style="list-style-type: none"> <li>・水深30mを超える場合の足場として最も有利</li> <li>・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</li> <li>・掘削部と駆動部が分かれており、海象の影響を受け難い</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・起重機船を連続的に使用するため経済性で不利</li> </ul>
	海底着座型 or 船上掘削	<ul style="list-style-type: none"> <li>・足場仮設の必要がなく大水深も可能</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・作業船を連続的に使用するため経済性で不利</li> <li>・船上掘削は海象による船舶の動揺が調査品質に直結</li> </ul>



## ➤ 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
	鋼製檣	×～△	○	×	○	○	△	◎	・ 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 室内試験	<ul style="list-style-type: none"> <li>工学的特性の評価が可能</li> <li>調査により直接値が得られる</li> <li>調査実績が多い</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>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</li> <li>作業時間が相対的に長い</li> </ul>
	コーン貫入試験	<ul style="list-style-type: none"> <li>作業時間が相対的に短い</li> <li>欧米での調査実績が多い</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>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</li> <li>工学的特性は調査結果から換算する必要あり</li> <li>硬質層への貫入力に難がある</li> </ul>
物理探査	深浅測量	<ul style="list-style-type: none"> <li>海底地形を精度良く測定可能</li> <li>調査実績は多い</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>測量手法であり、工学的特性の評価はできない</li> </ul>
	音波探査	<ul style="list-style-type: none"> <li>基盤層までの地層の連続性確認に有利</li> <li>調査実績は多い</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>物性値はP波速度のみ</li> </ul>
	P-S変換波探査	<ul style="list-style-type: none"> <li>音源からのP波の変換波(S波)を測定し工学的特性の評価が可能</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>実績が少ない</li> </ul>

▶ 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 室内試験	◎	△	◎ (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
	P-S変換波探査	○	◎	△ (変換波)	×～△ (適用検証中)	△～○	・地層の連続性と工学的評価を兼ね備えており、非常に有益

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

# ■お問い合わせ



## ➤ 川崎地質株式会社(<http://www.kge.co.jp/>)

### ➤ 連絡先

➤ 〒108-8337

➤ 東京都港区三田2-11-15 三田川崎ビル

### ➤ 見積り関係

➤ 首都圏事業本部 営業2部

➤ 担当者：赤澤

➤ TEL 03-5445-2081

➤ Mail akazawam@kge.co.jp



### ➤ 物理探査関係

➤ 首都圏事業本部 探査部

➤ 担当者：押田

➤ TEL 03-5445-2090

➤ Mail oshidaa@kge.co.jp



### ➤ 地盤調査関係

➤ 首都圏事業本部 地盤2部

➤ 担当者：川井

➤ TEL 03-5445-2082

➤ Mail kawaiy@kge.co.jp



➤ 川崎地質は一般社団法人日本風力エネルギー学会に加盟しています。



*Marine*



*Maintenance*

*Laboratory*



*R&D*

*Disaster*



*Ground*