

地盤研究領域 動土質研究グループの概要

グループ長	佐々 真志 (さっさ しんじ)
研究官	村田 一城 (むらた かずき)
専任研究員	梁 順普 (やん すんぼ)
研究員	小林 千紘 (こばやし ちひろ)
事務	宮本 礼子 (みやもと れいこ)
共同研究者	永島 幸夫 (ながしま ゆきお)
出向中	工代 健太 (くだい けんた) 関東地整 羽田空港 専門官

「沿岸地盤動態に関わる防災・環境研究」

キーワード: 地震・津波・高波による地盤のリスク・防災減災・地盤流動ダイナミクス・環境保全・生態系

動土質研究グループでは、主に土の動的特性について研究を行っています。地震・津波等の多様な動的外力を受ける沿岸地盤の安定性や変形挙動について、実験的、解析的な検討を行い、設計法の高度化や新しい地盤の対策工法の開発を行っています。

地盤の液状化とともに、波・流れや津波を含む多様な水理外力に対する地盤の動的安定性、洗掘・侵食、及び、海底地すべりなど、防災・環境保全の双方に資することを念頭においた沿岸域の地盤動態に関わる包括的な学際融合研究を推進しています。

「沿岸地盤動態に関わる防災・環境研究」

Keywords: 地震・津波・高波による地盤のリスク・防災減災・地盤流動ダイナミクス・環境保全・生態系

4つの柱・テーマと最近の主な成果 (ジャーナル論文・報告・資料)

直近5年間のジャーナル論文 90編 (国際ジャーナル26編、和文ジャーナル64編)

1. 液状化予測判定技術の高度化と対策

港空研資料3編、土木学会論文集15編、国際ジャーナル4編

Top-Read Paper 2017 in ASCE (米国土木学会)

「世界に先駆けた
研究開発・実用化」

2. 沿岸海洋施設の安定性評価・対策: 水—地盤—構造物系 ダイナミクス: 防波堤・護岸・岸壁・洋上風力基礎等

港空研報告2編、土木学会論文集24編、国際ジャーナル9編

平成26年度地盤工学会論文賞 (英文部門)

平成28年度地盤工学会技術開発賞; 令和3年度海岸工学論文賞

港湾基準・
ガイドライン
等へ反映

3. 生態地盤学と環境保全・再生: 干潟・砂浜海岸

港空研報告2編、土木学会論文集22編、国際ジャーナル9編

平成25年度地盤工学会論文賞 (英文部門)

平成24年度地盤工学会技術開発賞

- ・ 防災功労者
内閣総理大臣
表彰
- ・ インフラメンテナ
ンス大賞
- ・ 国土技術開発賞
- ・ 研究業績賞

4. 海底地すべりの理論・実験・現地解析研究

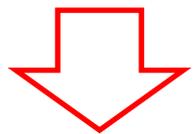
港空研報告1編、和文・国際ジャーナル8編 (国際招待論文含)

平成22年度地盤工学会論文賞, Top Altmetric Score in Landslides

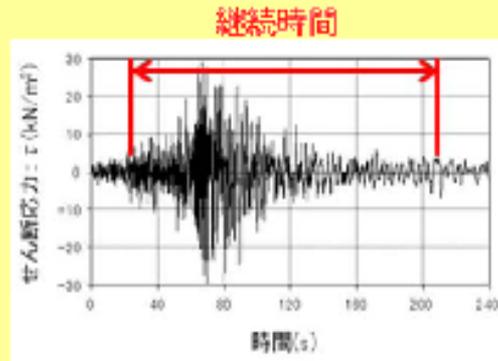
動土質研究グループの研究成果の活用

- ・東日本大震災では、地震動の継続時間が長かったため、震源から遠く離れた臨海部においても液状化が発生

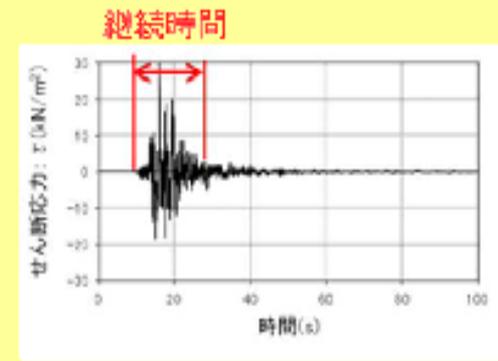
地震動波形と継続時間を同時に考慮した液状化予測判定



新たな液状化予測判定手法に関する研究成果を港湾の施設の技術基準・同解説に反映



地震動の継続時間が長い波形
(東日本大震災)



地震動の継続時間が短い波形
(阪神大震災)

これまでの予測・判定法では、地盤に加わる最大せん断応力が同値の場合、地震動の継続時間に差があっても、地盤の特性が同じであれば液状化の予測・判定結果は同じであった。



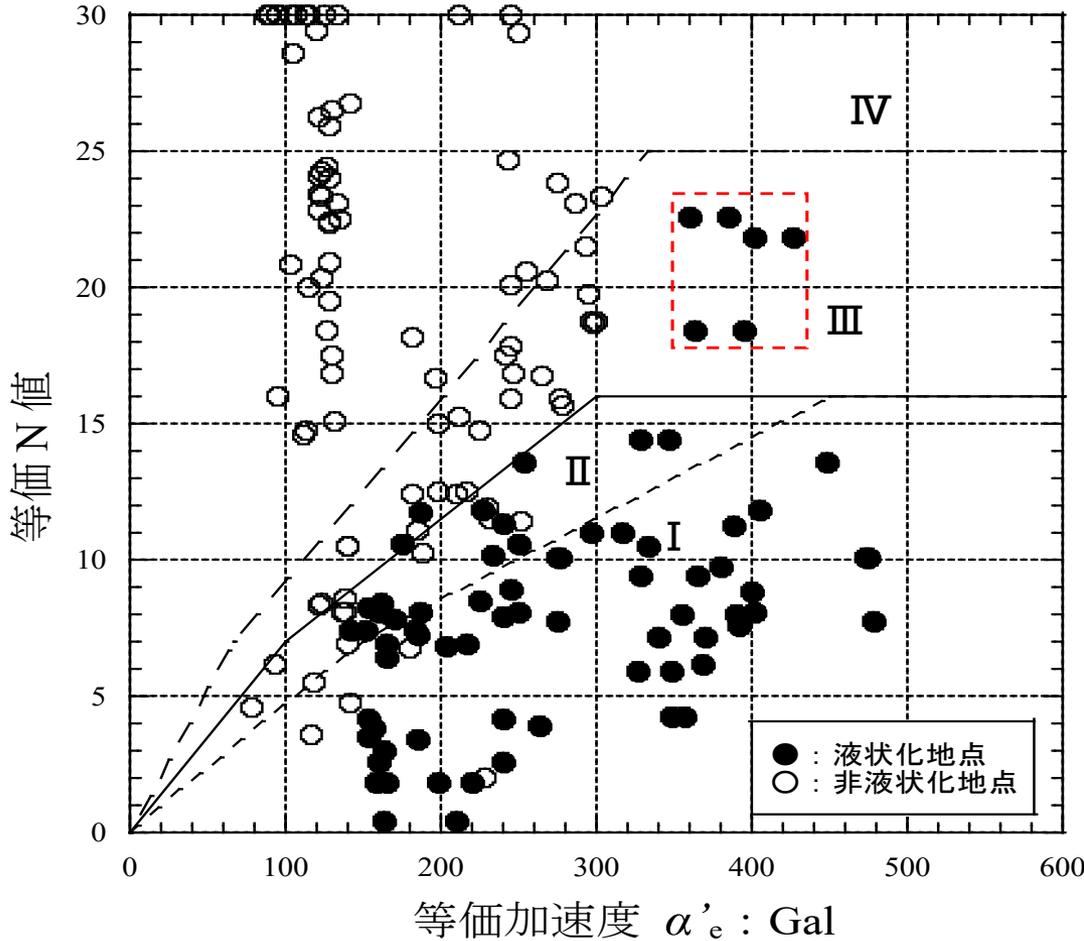
地震動の継続時間を考慮した新たな液状化予測・判定法を確立した。

新たな予測・判定法については、「港湾の施設の技術上の基準・同解説」を一部改訂し、8月29日(水)より、国土交通省ホームページにおいて公表している。

ホームページ http://www.mlit.go.jp/kowan/kowan_tk5_000017.html

これにより、港湾における液状化の予測・判定精度の向上を図る。

東日本大震災での数多くの液状化・非液状化事例 (仙台港・小名浜港・千葉港・羽田空港) に対する液状化予測判定の検証結果



液状化する又は液状化する可能性
が大きい領域(I,II)

→液状化地点の大半がプロット

液状化しない領域 (IV)

→ 非液状化地点のみがプロット



液状化・非液状化事例と良く整合

本液状化予測判定法の
レベル2地震動に対する
有効性を明示

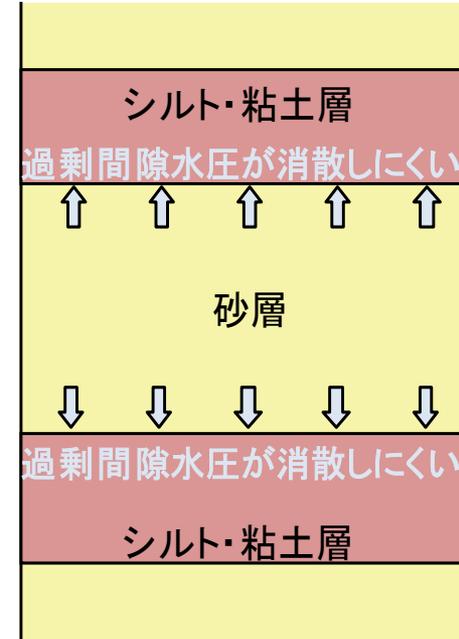
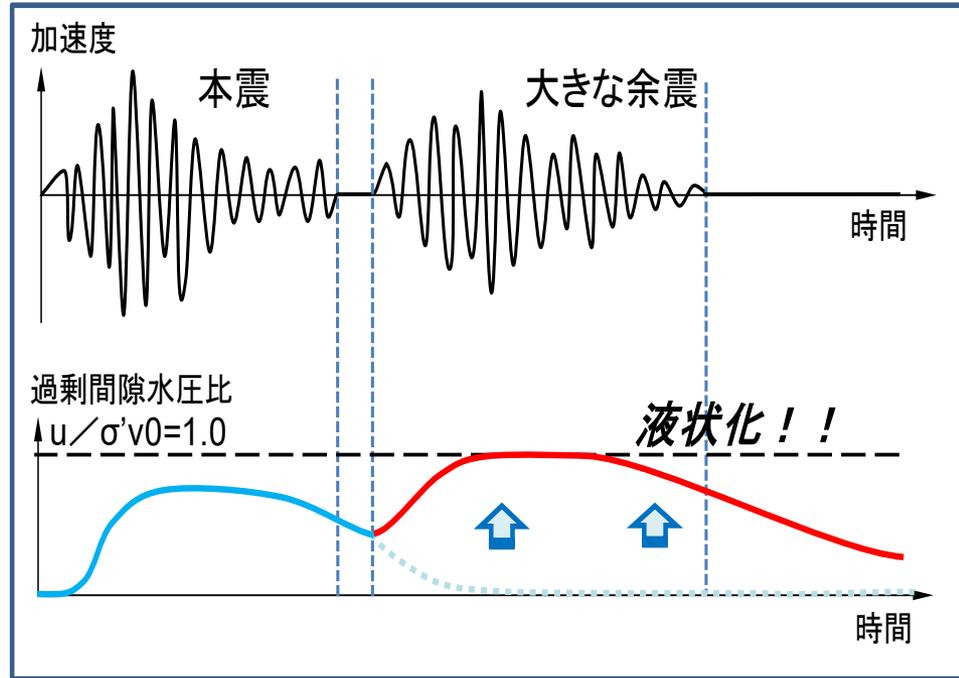
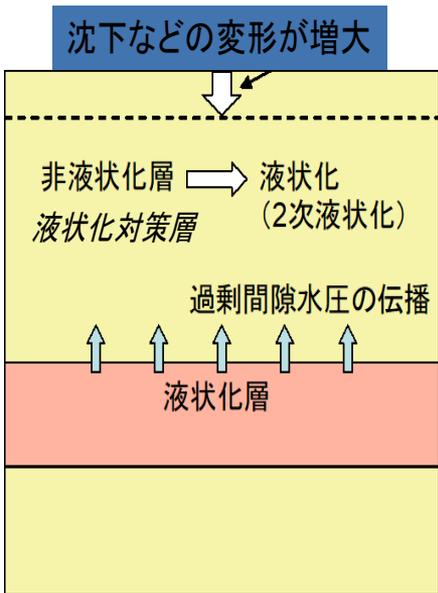
赤点線の地点:比較的密な当該層 (III) が緩い砂層 (I) に
挟まれた地層

このような地盤構成で地震外力 (等価加速度) が大きい
場合には, 隣接する砂の液状化の影響を受けうる

液状化予測判定技術の高度化：連続地震の考慮

本震により砂層に発生した過剰間隙水圧が消散しないまま、余震を受け液状化に至る

互層地盤のイメージ



地震動の連成作用下における砂層地盤ならびに液状化層が非液状化層に挟まれた互層地盤の液状化特性・メカニズムを明らかにし、液状化予測判定手法の高度化を図るとともに、これらの外力・地盤条件に対する液状化対策の有効性を明らかにした。

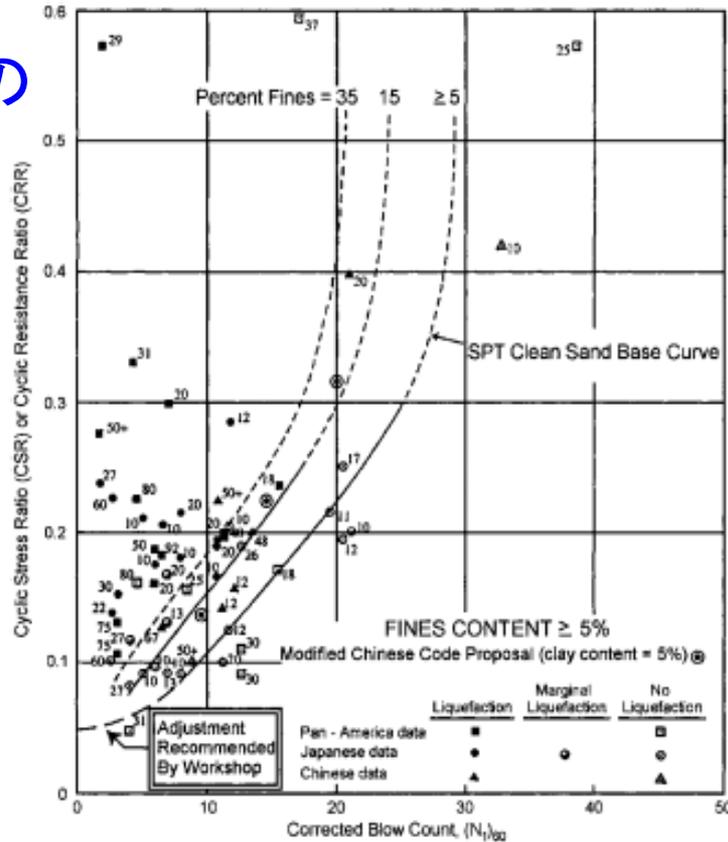
世界共通で活用できる新たな液状化予測判定法

Top-Read Paper in ASCE Most Read Articles 2017: 最も読まれた論文

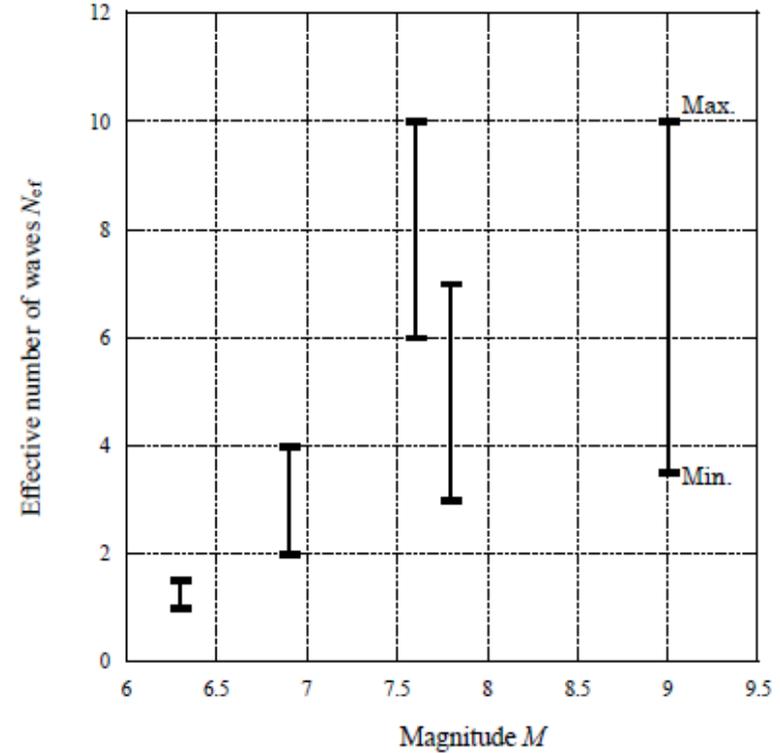
Sassa and Yamazaki (2017), 米国土木学会

Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering

米国の
基準

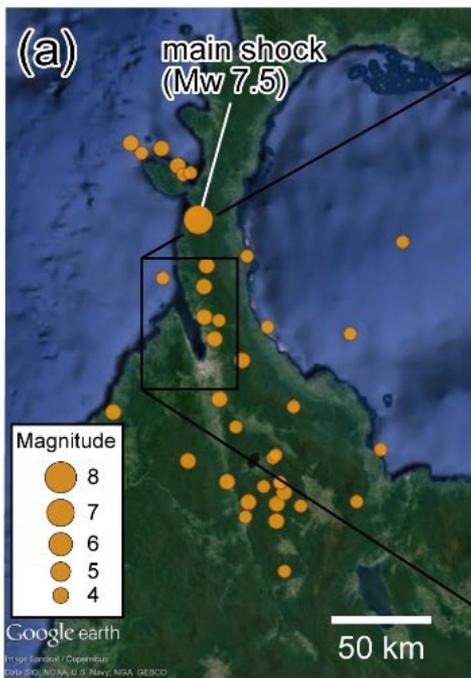


有効波数



モーメントマグニチュード

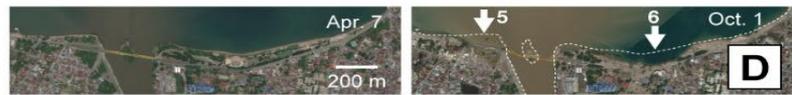
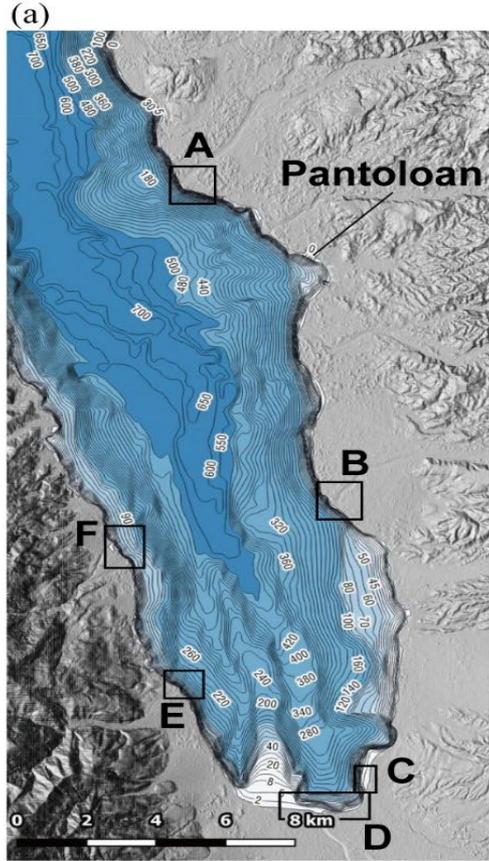
従来は困難であった地震動波形の不規則性と継続時間の影響評価及び予測を同時に実現した実用的な手法であり、世界各国で用いられている地盤N値、コーン貫入抵抗値、表面波探査によるせん断波速度値などを採用した様々なタイプの液状化予測判定チャートに活用できるよう一般化



2018年インドネシア・スラウェシ地震
大規模な液状化：死者4000名超

数百メートル～kmオーダー
の流動距離

Sassa and Takagawa,
Landslides, 2019



A

B

C

D

E

F

広範囲の液状化による沿岸国土の崩落と流動が、湾内の複数の地点で同時多発的に津波をもたらした！

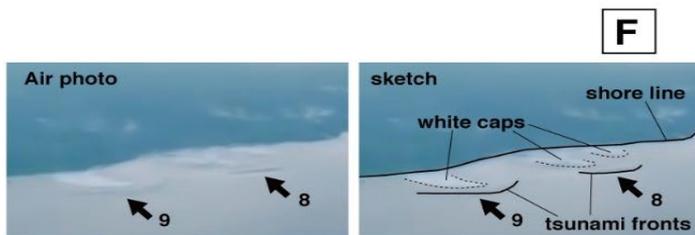
地点 面積 (m²)

1	59593
2	13508
3	28447
4	14866
5	11661
6	22961
7	35183
8	55211
9	9452

計250,000以上

ハイチ地震の際の10倍の崩落面積

Sassa and Takagawa, Landslides, 2019



動土質研究グループ:国内外の大規模災害調査・分析と 災害復旧支援 —地震液状化・沿岸・海底地すべり・津波の連鎖機構—

北海道胆振東部地震緊急災害対策派遣隊:液状化による広域の噴砂・ 陥没・沈下・隆起メカニズムの解明と復旧対策・管理指針の構築提示

令和元年度防災功労者内閣総理大臣表彰

日本経済新聞

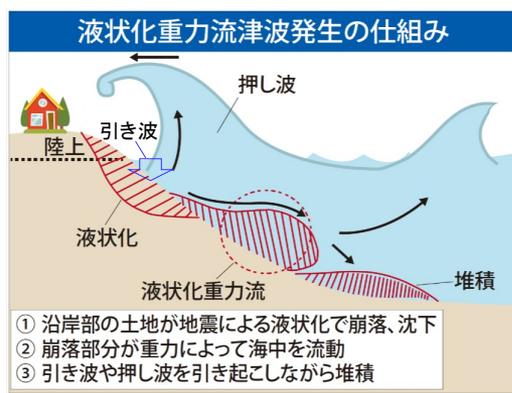
【ジャカルタ=共同】インドネシア・スラウェシ島中部で9月28日に起きた地震と津波で、日本の国際協力機構（JICA）が派遣した防災専門家や研究者らの現地調査団が23日、ジャカルタで報告会を開き、最大被災地、中スラウェシ州の州都パレの内陸部だけでなく、沿岸部でも広範囲に液状化現象が起きていたとする調査結果を明らかにした。

調査に参加した国立研究開発法人海上・港湾・航空技術研究所の佐々真志動土質研究グループ長によると、液状化は少なくともバル湾の5カ所での発生を確認。液状化に起因する海中への土砂の崩落が沿岸部で起き、津波を引き起こしたとの見方を示した。



調査結果を発表する国立研究開発法人海上・港湾・航空技術研究所の佐々真志動土質研究グループ長(手前左)とメンバーら。23日、ジャカルタ=共同

東日本大震災などを経験した日本はインドネシア政府からの要請で、被災地の復興基本計画策定を支援。約25人が17～19日にパレとその周辺で調査した。



NHK World, ジャカルタ新聞

PICK UP
ピックアップ

沿岸の崩落で大津波に
インドネシア地震 9地点同時多発

昨年10月にあったインドネシアの東部、スラウェシ島で起きた、マグニチュード7.0の地震。その結果、沿岸部で液状化現象が起きた。液状化現象は、土砂の隙間に水が入り、土砂同士が離れ、土砂が流動する。この現象が、津波を引き起こした。また、液状化現象が起きた地域では、土砂が崩落し、海中に落下した。この落下した土砂が、津波を引き起こした。また、液状化現象が起きた地域では、土砂が崩落し、海中に落下した。この落下した土砂が、津波を引き起こした。

毎日新聞朝刊

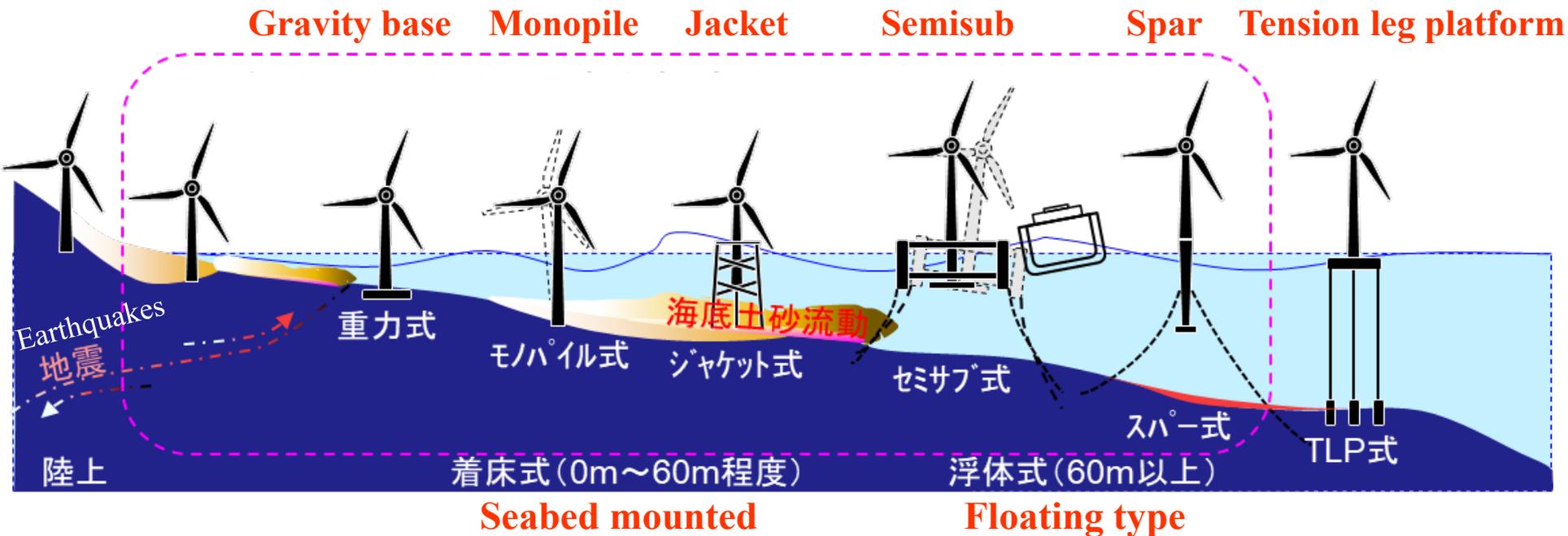


科学の扉 「想定外」土砂流入がもたらす津波

山崩れなどで発生する津波
地震による沿岸部の液状化
地震による海底地すべり
噴火や地震による山体崩壊

NHKニュース

朝日新聞朝刊



Diverse types of Offshore Wind Foundations (Seabed mounted and Floating type) subject to Submarine Liquefied Flows

海底液状化流動が多様な洋上風力基礎(着床式・浮体式)に及ぼすインパクト・影響評価の重要性

Submarine liquefied sediment flows can have a substantial impact on both seabed-mounted and floating type offshore wind structures causing significant consequences

地震時繰返しせん断に伴う岩ずり地盤のリスク: 体積収縮評価

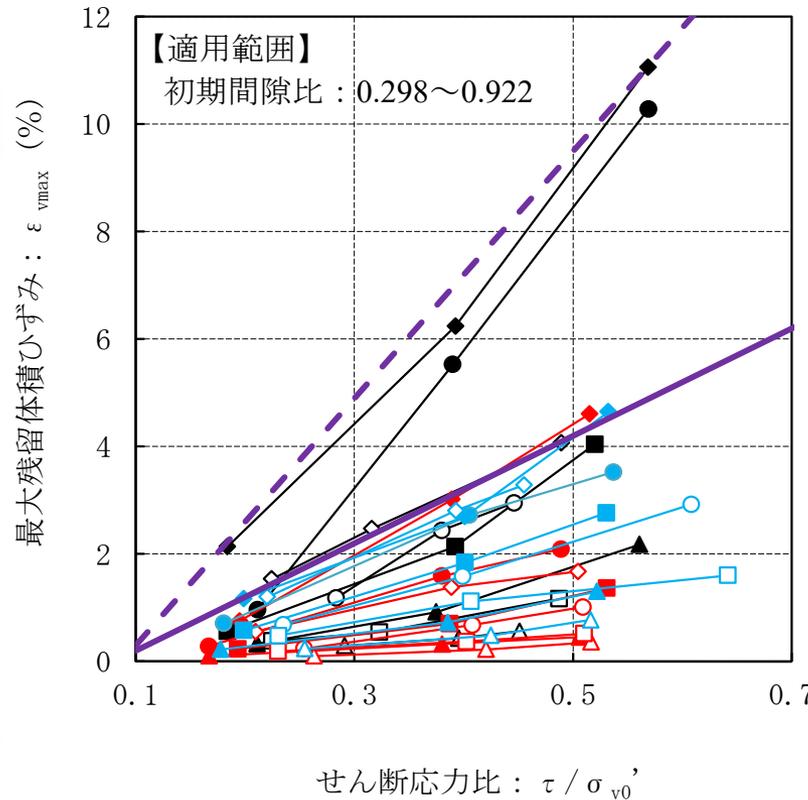
残留体積ひずみの評価・予測チャート



沈下

常陸那珂港の被災状況

様々な起源の岩ずりを用いた大型繰返し単純せん断試験と計算結果



- A_Dr=35%_σ v0' = 49kN/m2_正弦波
- ◆ A_Dr=35%_σ v0' = 98kN/m2_正弦波
- ▲ A_Dr=70%_σ v0' = 49kN/m2_正弦波
- A_Dr=70%_σ v0' = 98kN/m2_正弦波
- A_Dr=35%_σ v0' = 84kN/m2_不規則波A
- ◇ A_Dr=35%_σ v0' = 144kN/m2_不規則波B
- ▽ A_Dr=70%_σ v0' = 84kN/m2_不規則波A
- A_Dr=70%_σ v0' = 144kN/m2_不規則波B
- B_Dr=35%_σ v0' = 49kN/m2_正弦波
- ◆ B_Dr=35%_σ v0' = 98kN/m2_正弦波
- ▲ B_Dr=70%_σ v0' = 49kN/m2_正弦波
- B_Dr=70%_σ v0' = 98kN/m2_正弦波
- B_Dr=35%_σ v0' = 84kN/m2_不規則波A
- ◇ B_Dr=35%_σ v0' = 144kN/m2_不規則波B
- ▽ B_Dr=70%_σ v0' = 84kN/m2_不規則波A
- B_Dr=70%_σ v0' = 144kN/m2_不規則波B
- C_Dr=35%_σ v0' = 49kN/m2_正弦波
- ◆ C_Dr=35%_σ v0' = 98kN/m2_正弦波
- ▲ C_Dr=70%_σ v0' = 49kN/m2_正弦波
- C_Dr=70%_σ v0' = 98kN/m2_正弦波
- C_Dr=35%_σ v0' = 84kN/m2_不規則波A
- ◇ C_Dr=35%_σ v0' = 144kN/m2_不規則波B
- ▽ C_Dr=70%_σ v0' = 84kN/m2_不規則波A
- C_Dr=70%_σ v0' = 144kN/m2_不規則波B
- $\epsilon_{vmax}=23(\tau / \sigma_{v0}')-2$
- $\epsilon_{vmax}=10(\tau / \sigma_{v0}')-0.8$

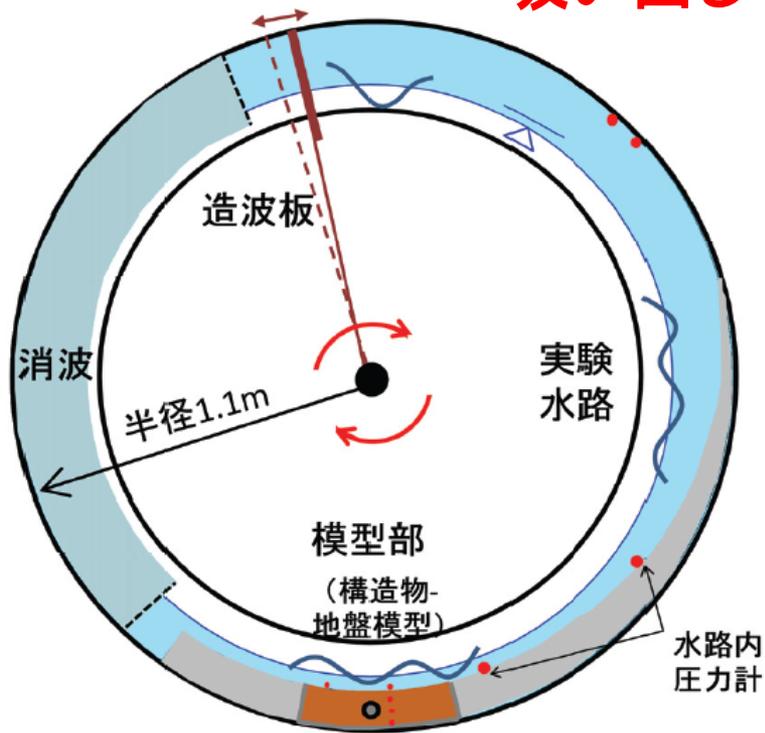
不規則波を載荷したときのせん断応力比に対する最大残留体積ひずみの上限

想定する地震動の下で発達しうる残留体積ひずみの基準値として活用。

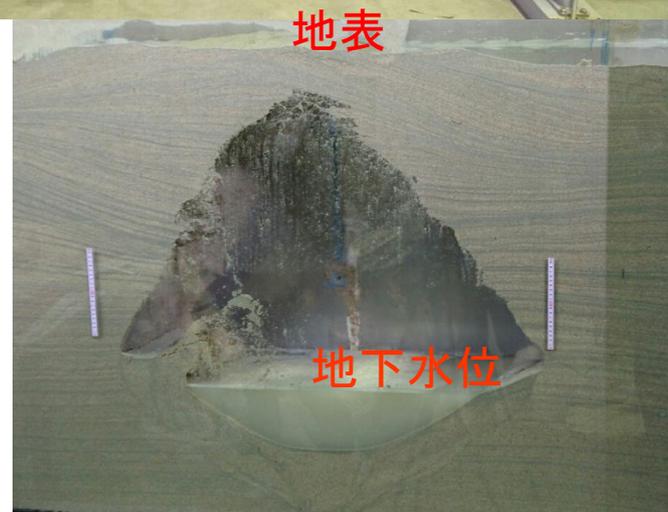
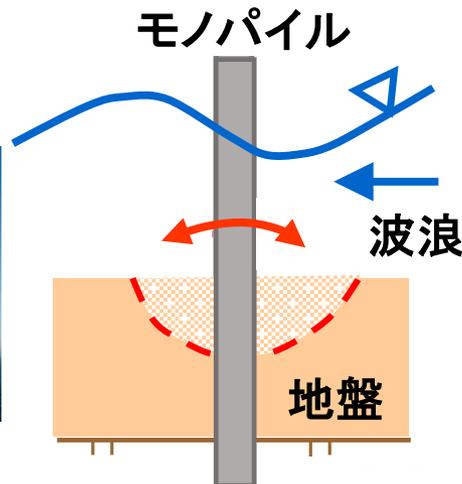
正弦波を載荷したときのせん断応力比に対する推定最大残留体積ひずみの上限

岩ずり地盤の供用期間中において本震・余震を含めて何度も地震動が作用した際に発達しうる終局状態の最大残留体積ひずみの評価予測の基準値として活用。

吸い出し・空洞発達・陥没過程の実物大可視化模型



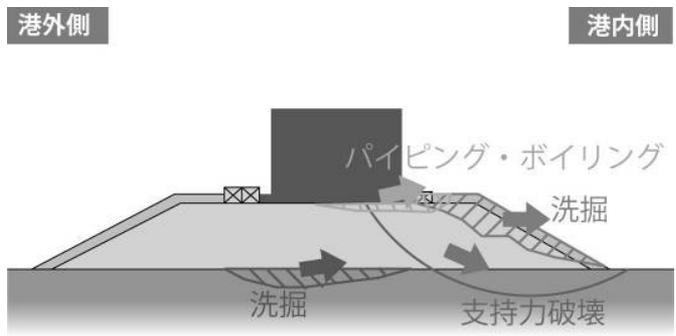
ドラム型遠心力場実験



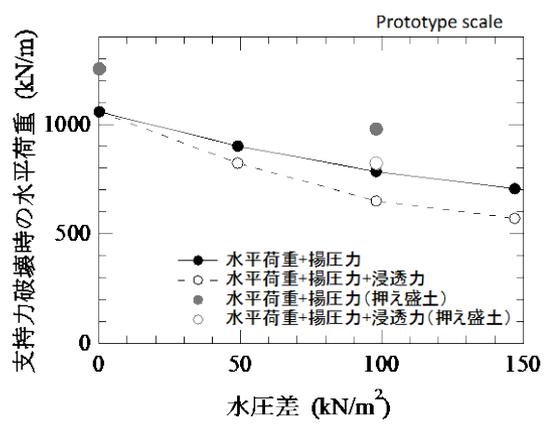
パイプラインや洋上風力発電基礎モノパイルの安定性評価と対策技術

吸い出しに伴う地下水位上の大規模空洞の形成・発達

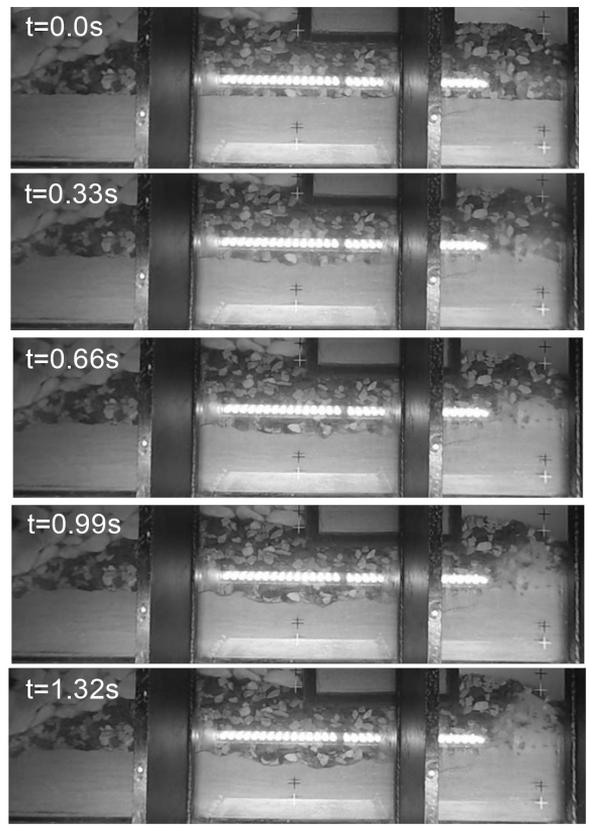
津波による浸透作用下の防波堤基礎マウンド・地盤の安定性評価



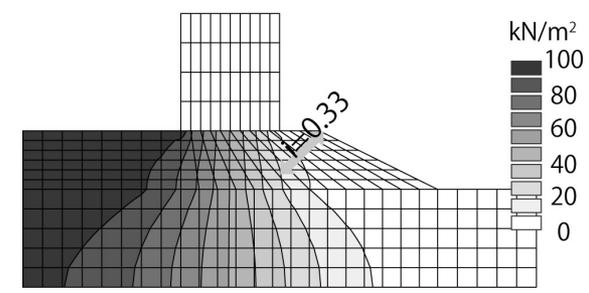
津波による防波堤基礎マウンド・地盤の不安定化



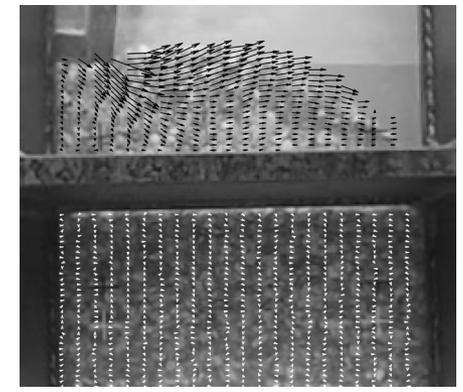
津波浸透による支持力低下機構と安定性照査法の構築



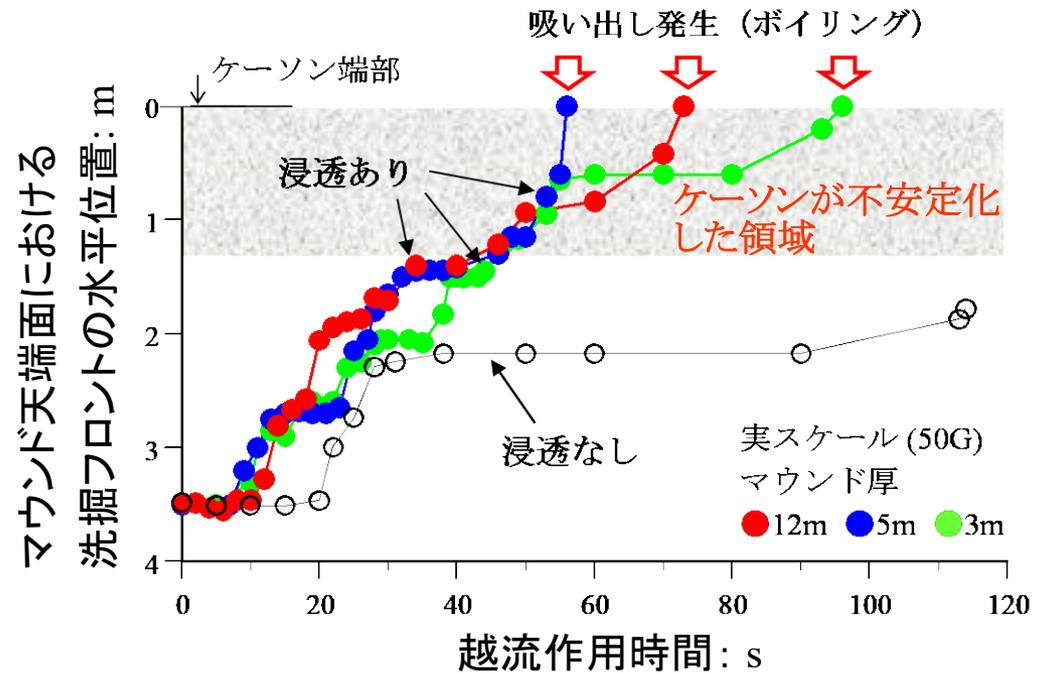
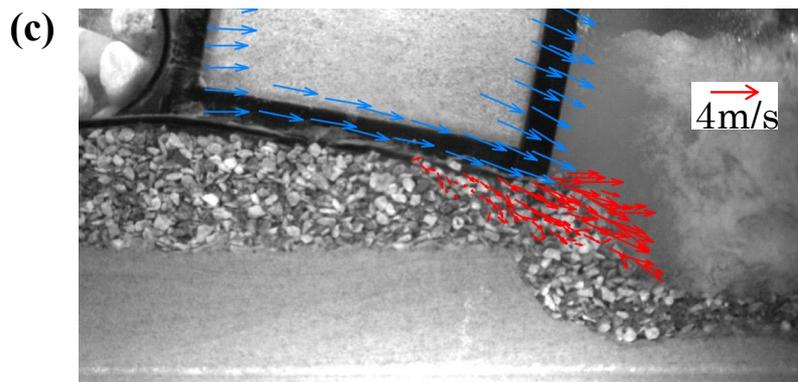
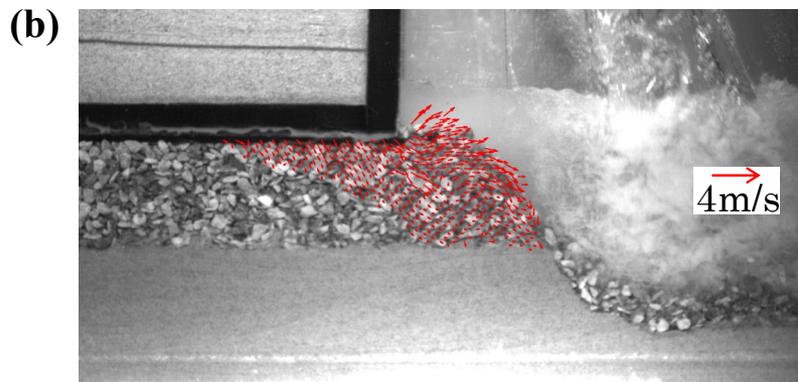
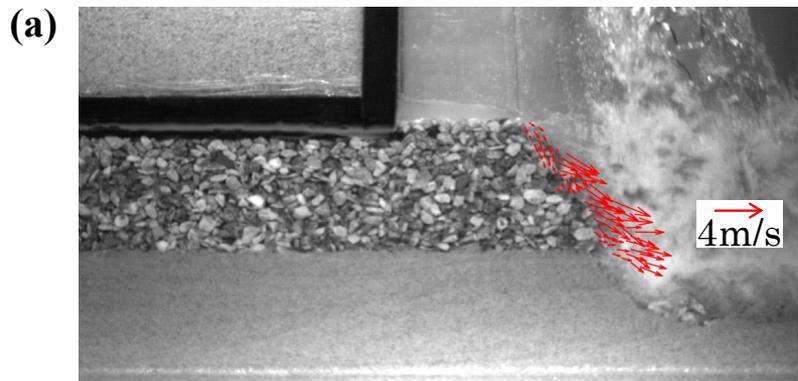
津波による浸透流に伴う原地盤の洗掘過程



津波による過剰間隙水圧の分布



マウンドの流動機構



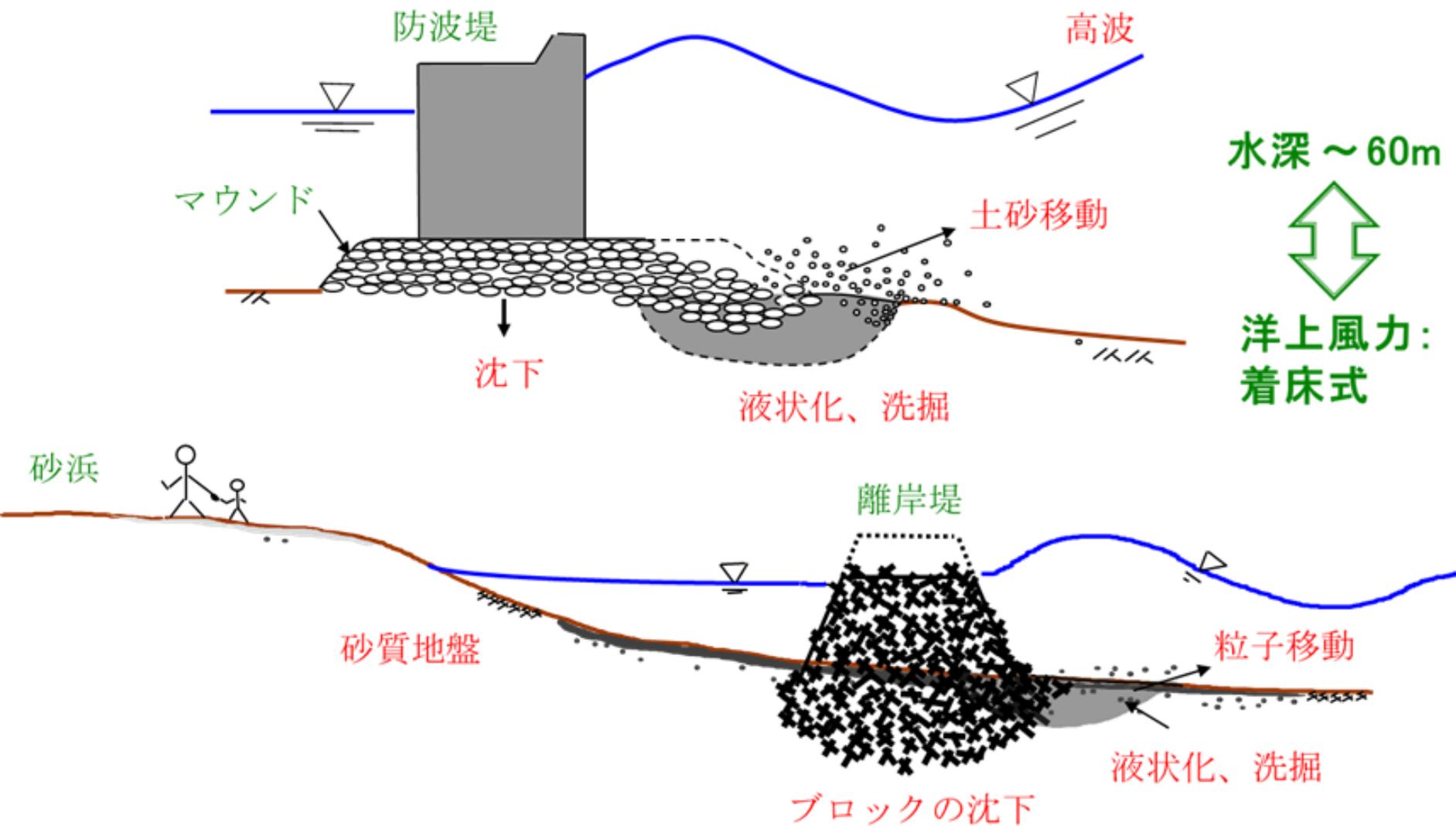
津波越流－浸透連成作用による

(a) マウンド・基礎地盤洗掘、

(b) マウンド支持力破壊、

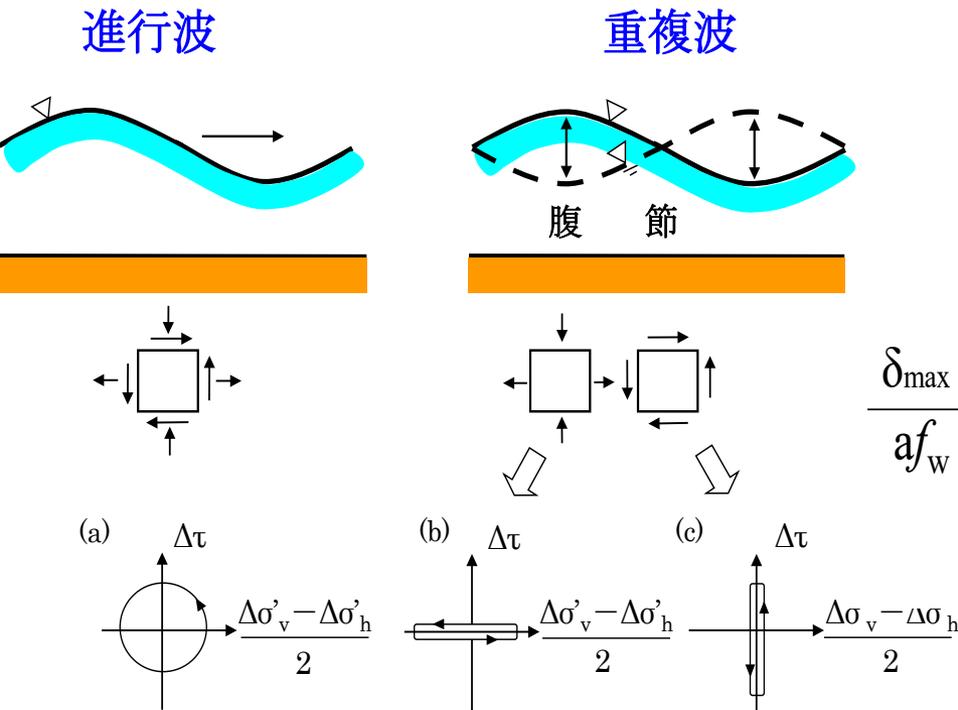
(c) マウンド流動過程

ケーソン不安定化に及ぼす津波
越流－浸透連成効果の解明



高波による海底地盤のダイナミクス

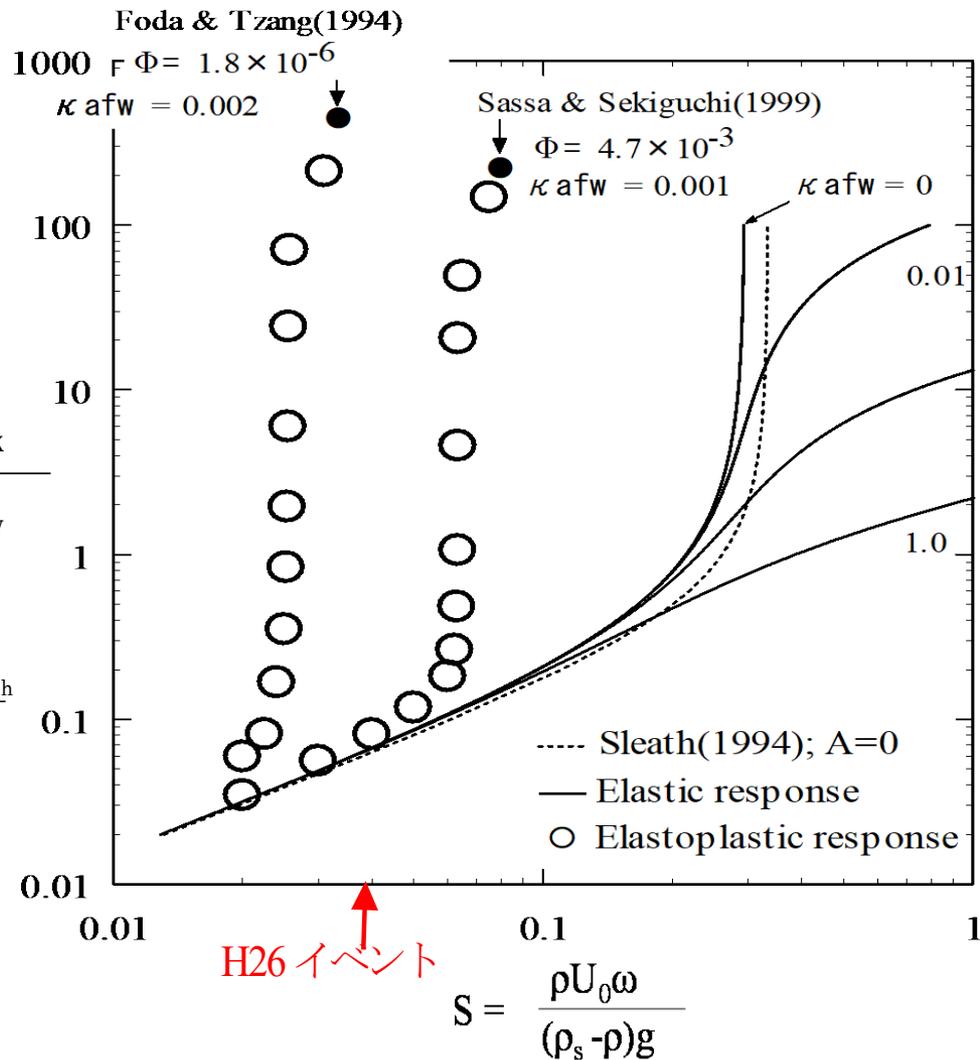
波浪作用下の海底地盤に誘起される応力経路



$\Delta\sigma'_v$: 鉛直有効応力増分

$\Delta\sigma'_h$: 水平有効応力増分

$\Delta\tau$: せん断応力増分



波による液状化と土砂流動厚：理論・実験・現地挙動分析

予測結果 ⇨ 現地挙動と良く整合する！

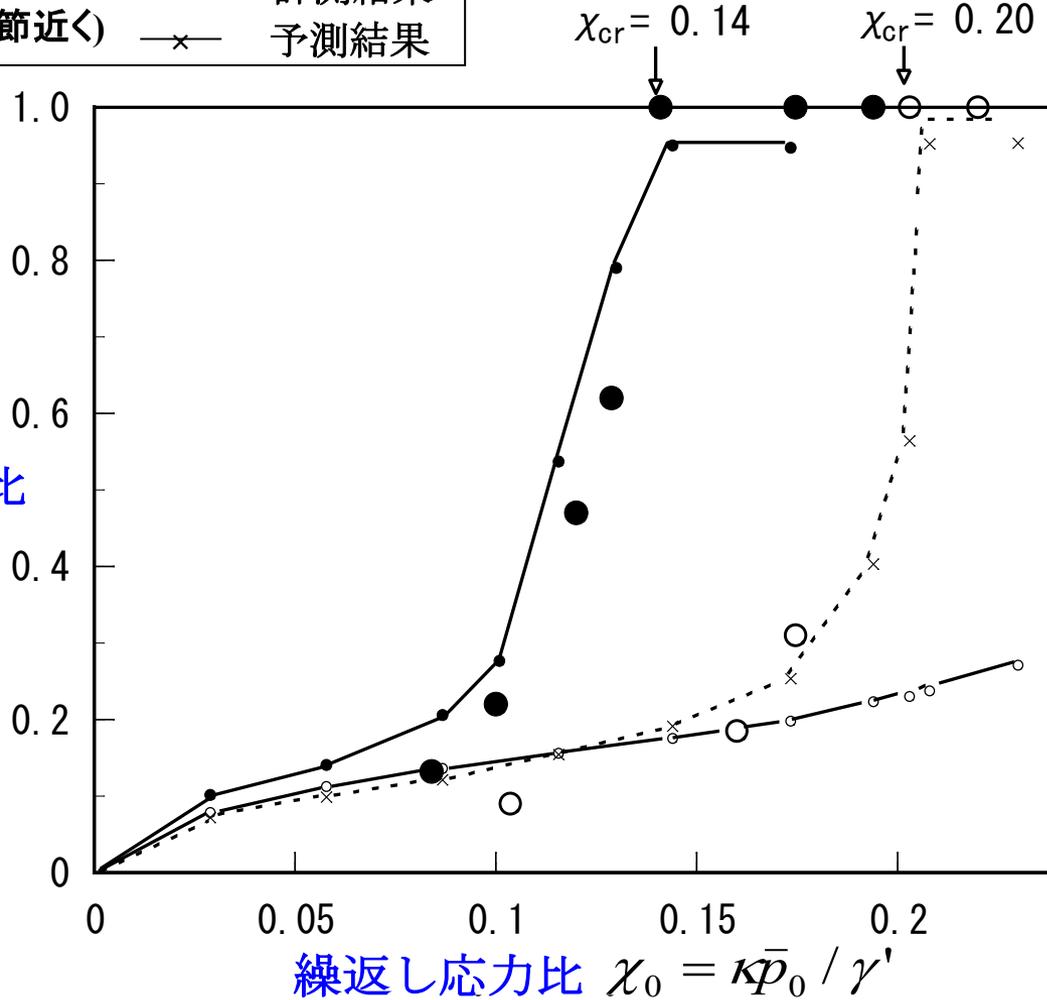
波浪様式によって液状化抵抗は顕著に異なる。

進行波	{ ●	予測結果
	{ ●	計測結果
重複波 (腹)	{ ○	予測結果
	{ ○	計測結果
重複波 (節近く)	{ ×	予測結果

χ_{cr} : 波による液状化発生に関わる限界繰返し応力比

残留間隙水圧比

$$p_{max} / \sigma'_{v0}$$



近年の高波による液状化被災・リスク評価事例

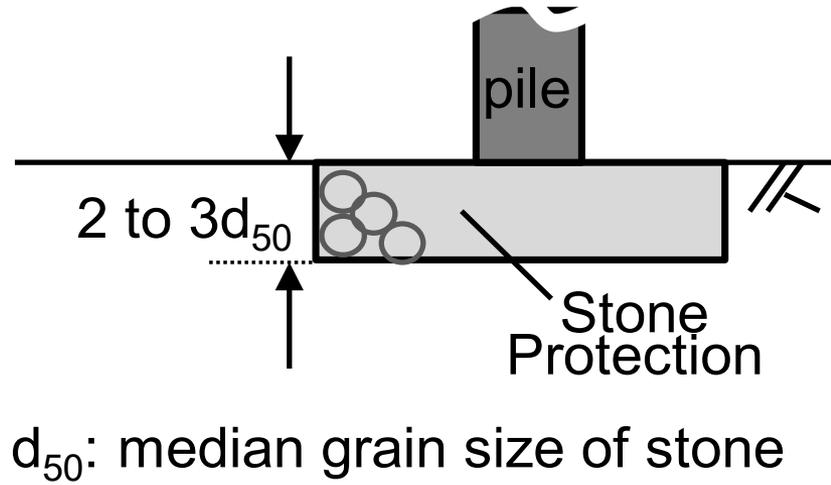
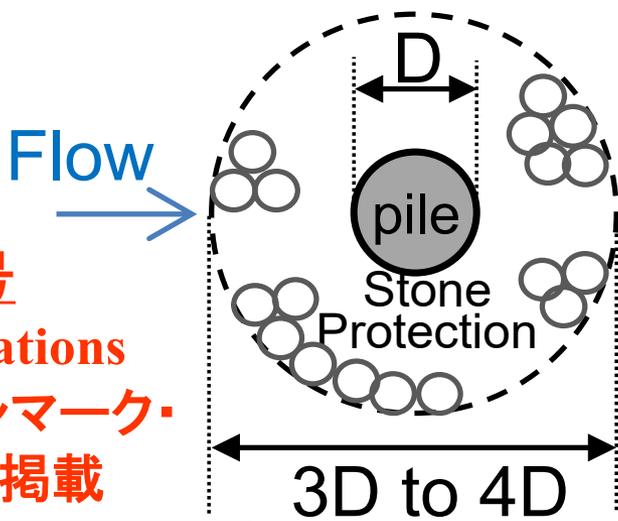


- 潜堤の沈下
- 浅海底斜面の崩壊・流動
- パイプライン浮上損傷

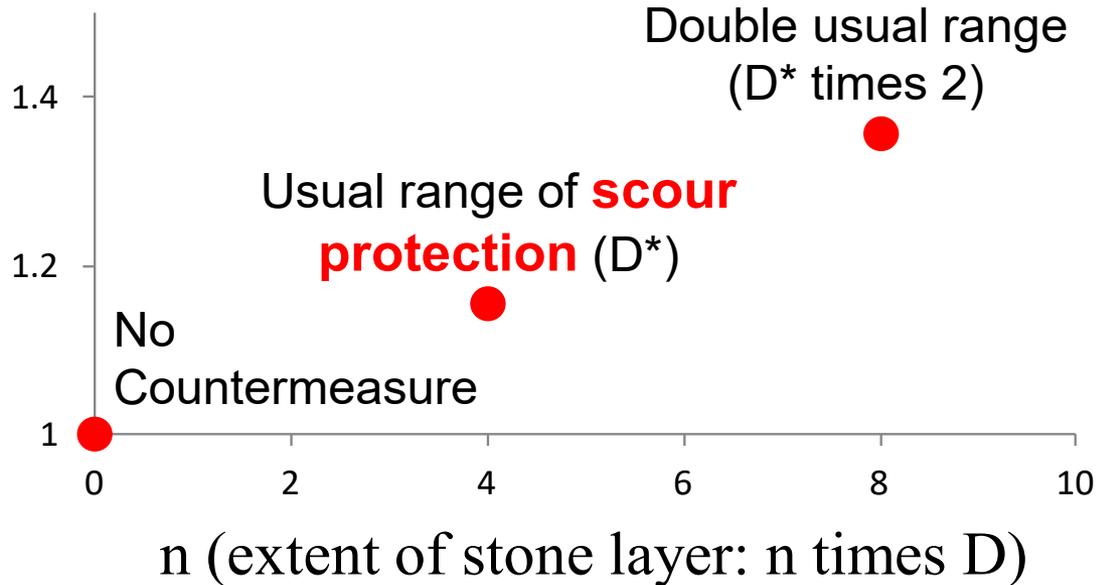
進行波および重複波に対する液状化特性の比較

洋上風力発電基礎と波による液状化と洗掘抑止工の関係

洋上風力特集号
 Soils and Foundations
 英国・ドイツ・デンマーク・
 日本の選抜論文掲載



波による液状化抵抗比



洗掘抑止工の対策範囲

吸い出し・空洞形成・陥没メカニズムと対策



大蔵海岸

崩壊現場：ケーソン目地背後の陥没後の状況

吸い出し・空洞形成・陥没のプロセスと要因

1. 吸い出し

2. 空洞の生成

3. 空洞の発達

4. 崩壊



水際かつ不飽和状態の土砂内部に生成された空洞は、水の外力下で本質的に不安定！

波浪、潮汐、地下水位変動

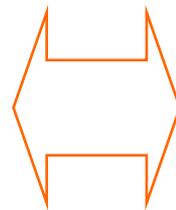
鍵となる要因とプロセス

◎ 水圧変動

◎ 土粒子輸送

◎ アーチ効果

◎ サクシヨンの役割

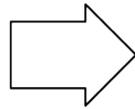
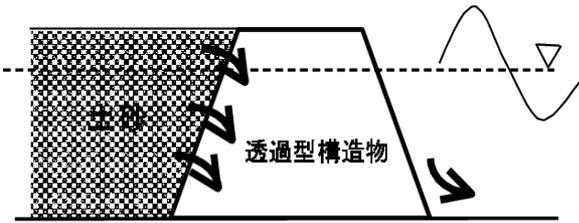


乾燥又は飽和状態の砂では空洞は生成しない！

間隙流体の流れ（空気と水）

吸い出し対策の 概念

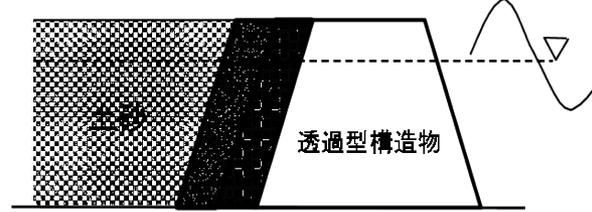
メンテナンスフリー



防砂シート・防砂マットの設置

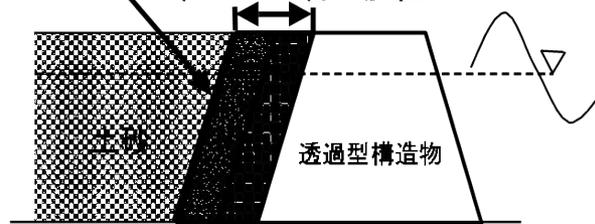


フィルター層の設置



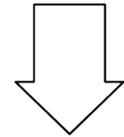
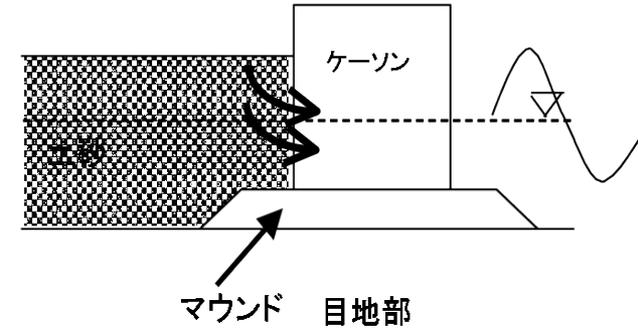
防砂シート・防砂マットの設置

フィルター層



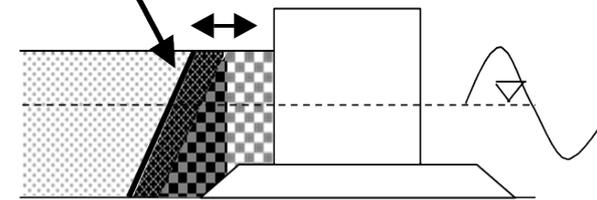
二重防御: 防砂シートが損傷しても吸い出し・空洞・陥没を防ぐ!

水の外力のみでなく地震動などの動的外力下でも安定
変形追随性が重要



防砂シート・防砂マットの設置

フィルター層



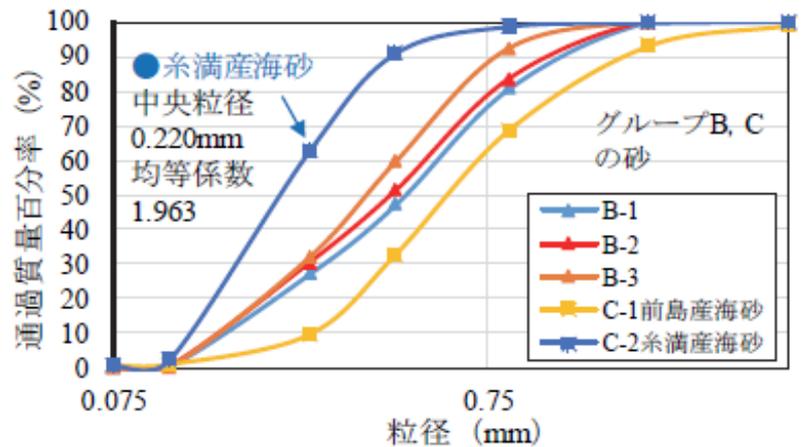
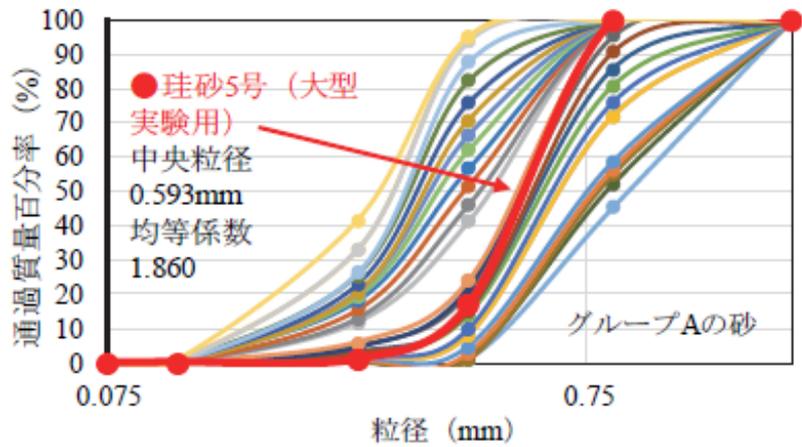
多様な対策: 選択肢

マウンド上にアスファルトマット

防砂シート上にセメント固化処理土

土砂を岩ずりに置換

フィルター層の分類



裏埋め砂の粒径加積曲線

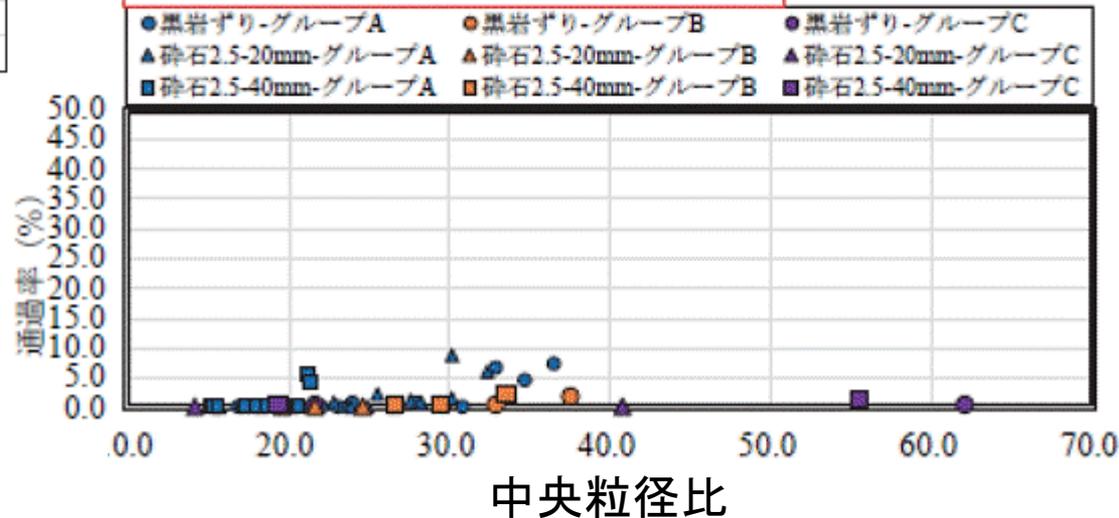
多様な裏埋砂に応じた
フィルター層の設計指針



実用化(那覇空港増設滑走路、那覇港クルーズバース岸壁)

均等係数	種類 [物性]
均等係数 3.0以上	<ul style="list-style-type: none"> ・白砕石 (2.5-40mm) [中央粒径12.239mm, 均等係数 3.369] ・白砕石 (2.5-20mm) [中央粒径8.982mm, 均等係数 3.286] ・黒岩ずり [中央粒径13.691mm, 均等係数 3.740]
均等係数 2.0~2.5	<ul style="list-style-type: none"> ・白砕石 (5-40mm) [中央粒径14.799mm, 均等係数2.475] ・白砕石 (5-20mm) [中央粒径10.812mm, 均等係数2.187] ・緑色砕石 (5-13mm) [中央粒径10.743mm, 均等係数2.117]

均等係数が3.0以上のフィルター材を用いた結果



中央粒径比

吸い出し・陥没抑止技術

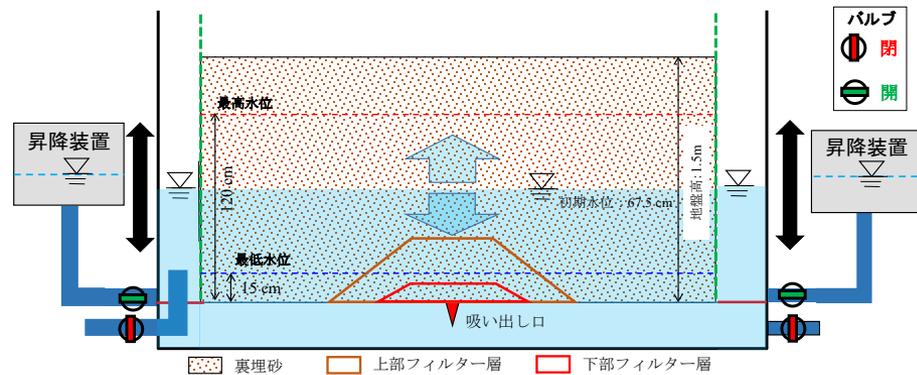
臨海部における地震・波・流れなどの
多様な外力下で安定的に吸い出し・陥没
を抑止できる新技術を開発・実用化

- ・二層構造のフィルター層
- ・目地透過波低減法

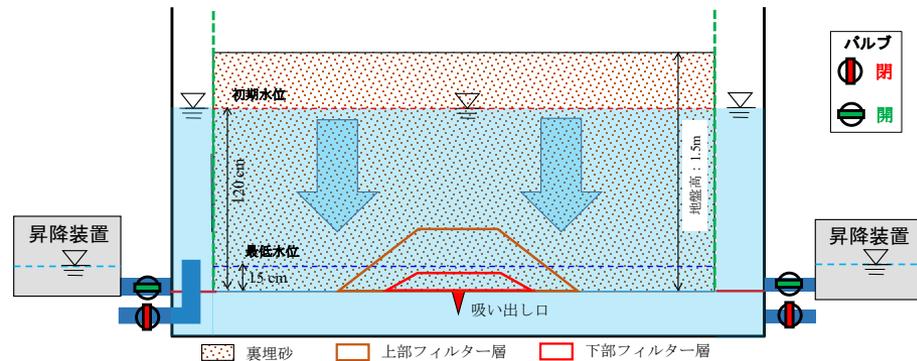


技術基準改訂

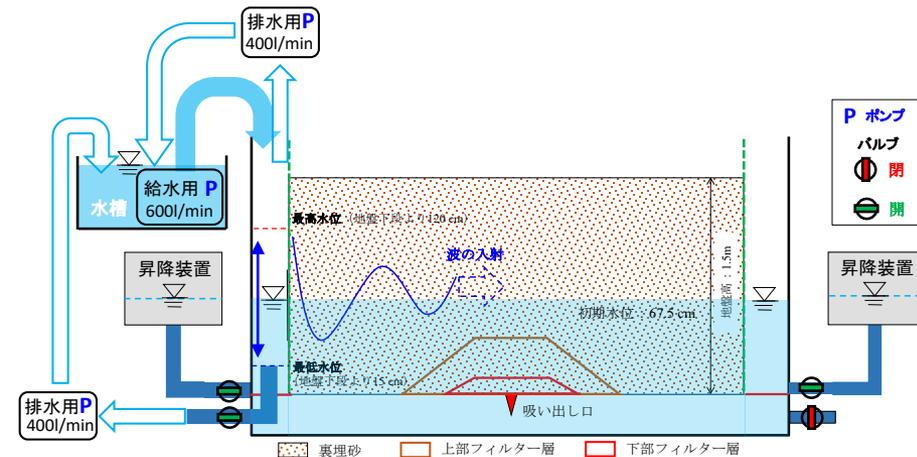
令和4年4月1日施行



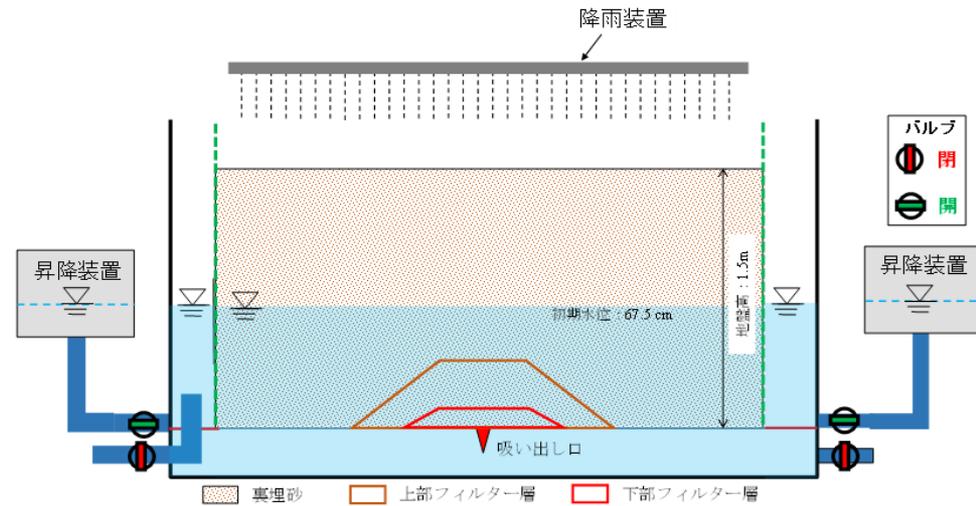
(a) 外力1(潮汐)



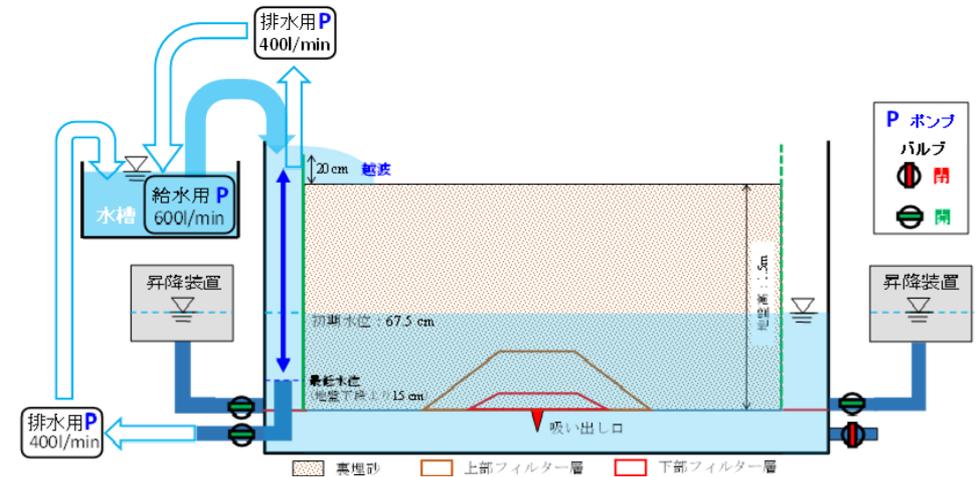
(b) 外力2(引き波)



(c) 外力3(風波)



(d) 外力4(降雨:排水条件)

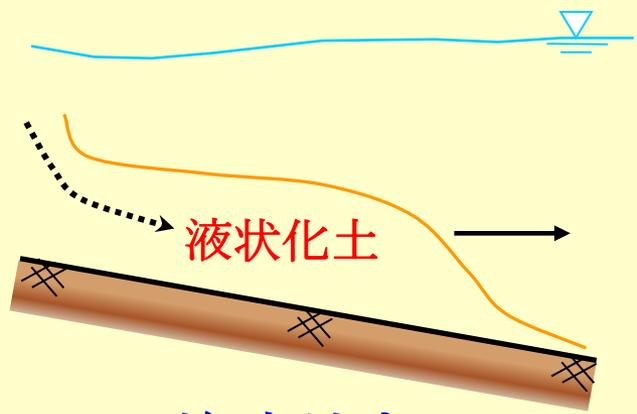


(e) 外力5(越波)

**大型吸い出し抑止試験における各外力
 (潮汐・引き波・風波・降雨・越波)の再現方法**

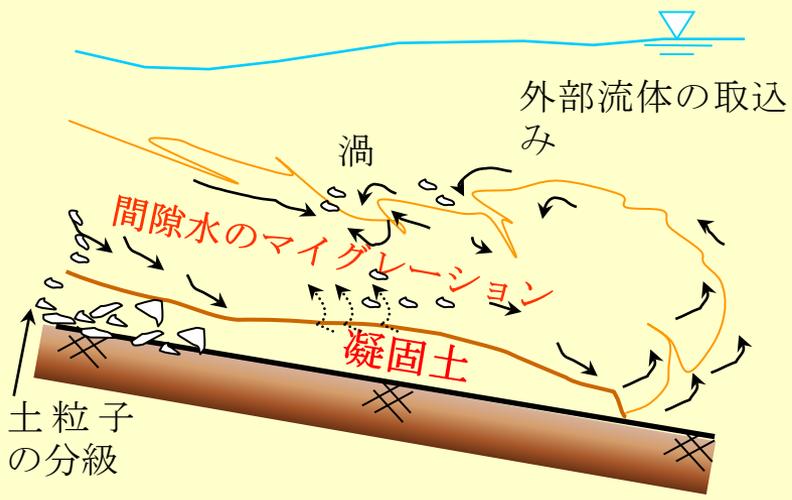
動土質研究グループ 最近の研究成果から

地震・波浪・他の
環境外力誘因

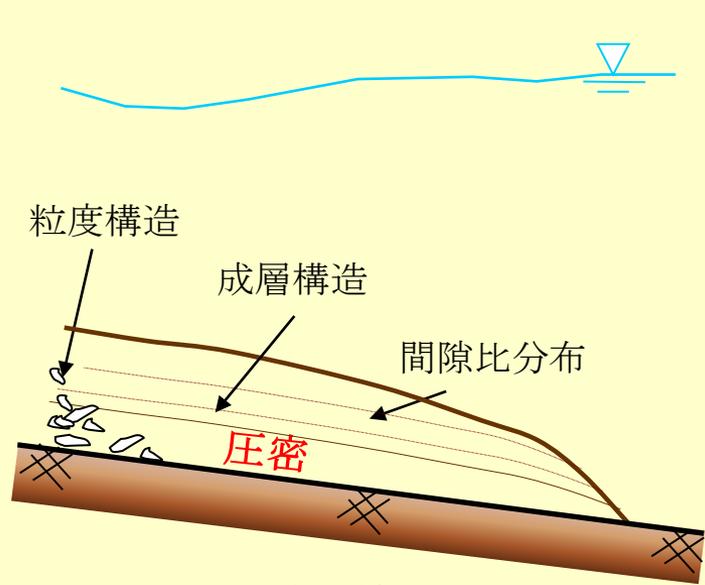


(a) 海底地すべり

- ・沿岸・海洋構造物へのインパクト
- ・海底地すべり津波
- ・海底資源の利活用分野における
リスクアセスメント



(b) 高濃度堆積物重力流

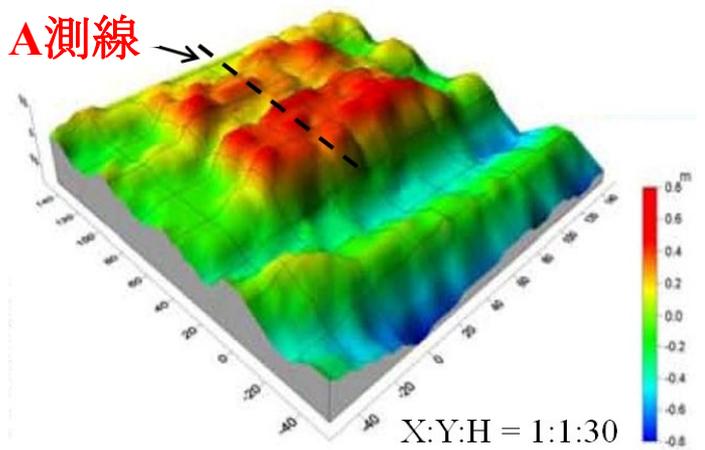
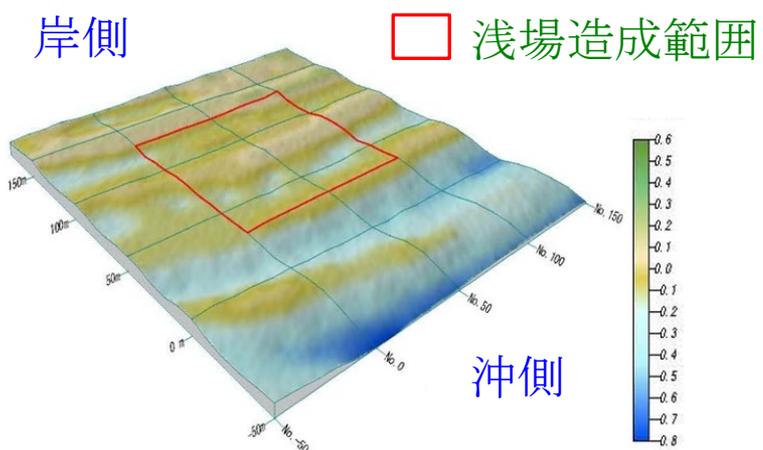


(c) 再堆積

LIQSEDFLOW
によって整合的
に予測・解析で
きる！

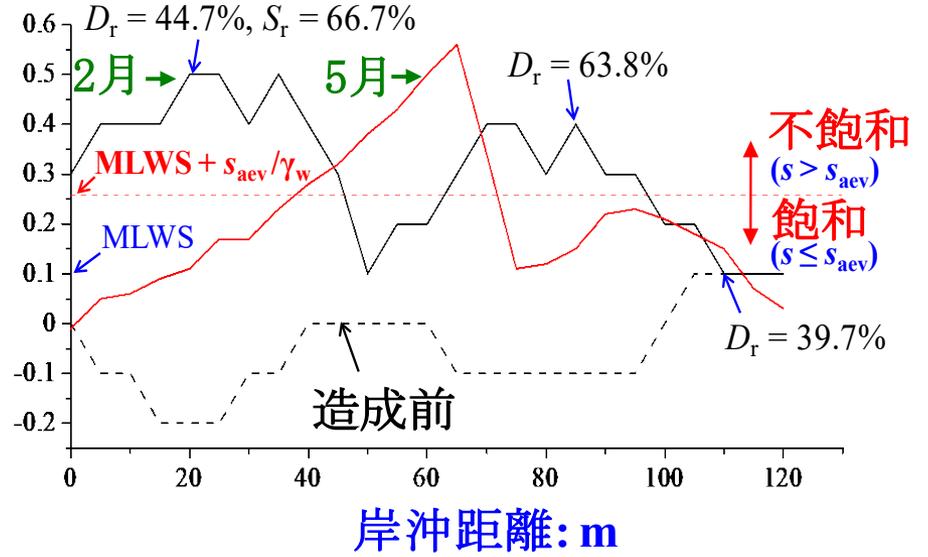
海底液状化土砂流動のダイナミクスと解析法及び実験・現地検証

新たに見出した沿岸地盤の動的安定原理の浅場造成事業による検証：東京湾葛西沖

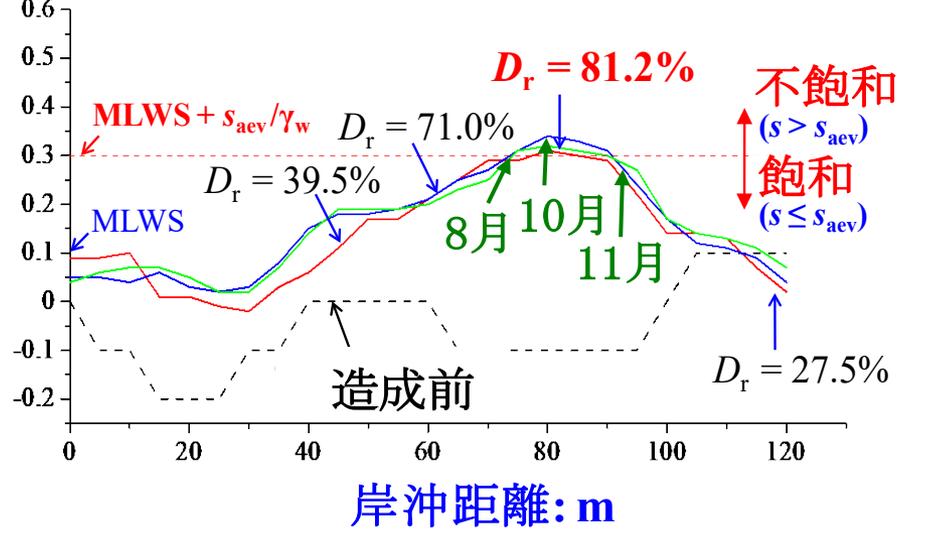


浅場造成高・覆砂の最適設計

標高: m 造成直後の3ヶ月



標高: m その後の3ヶ月

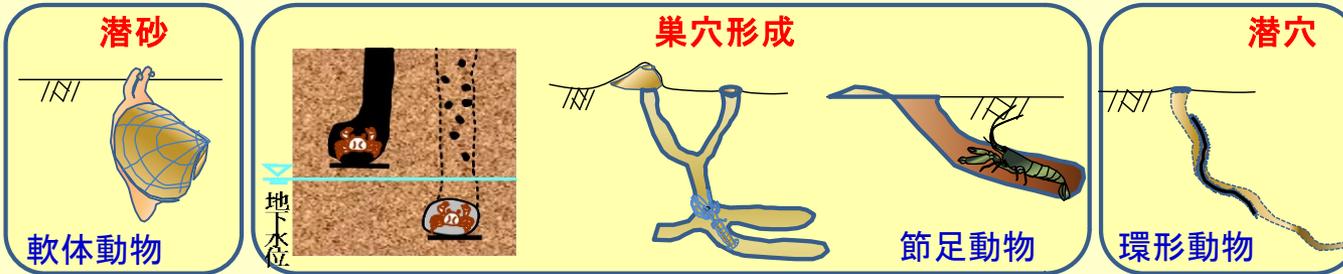


MLWS: 大潮平均低潮位, s_{aev} : 空気侵入サクシオン
赤点線は、予測安定地盤高を示す。

動土質研究グループ 最近の研究成果から

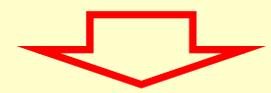
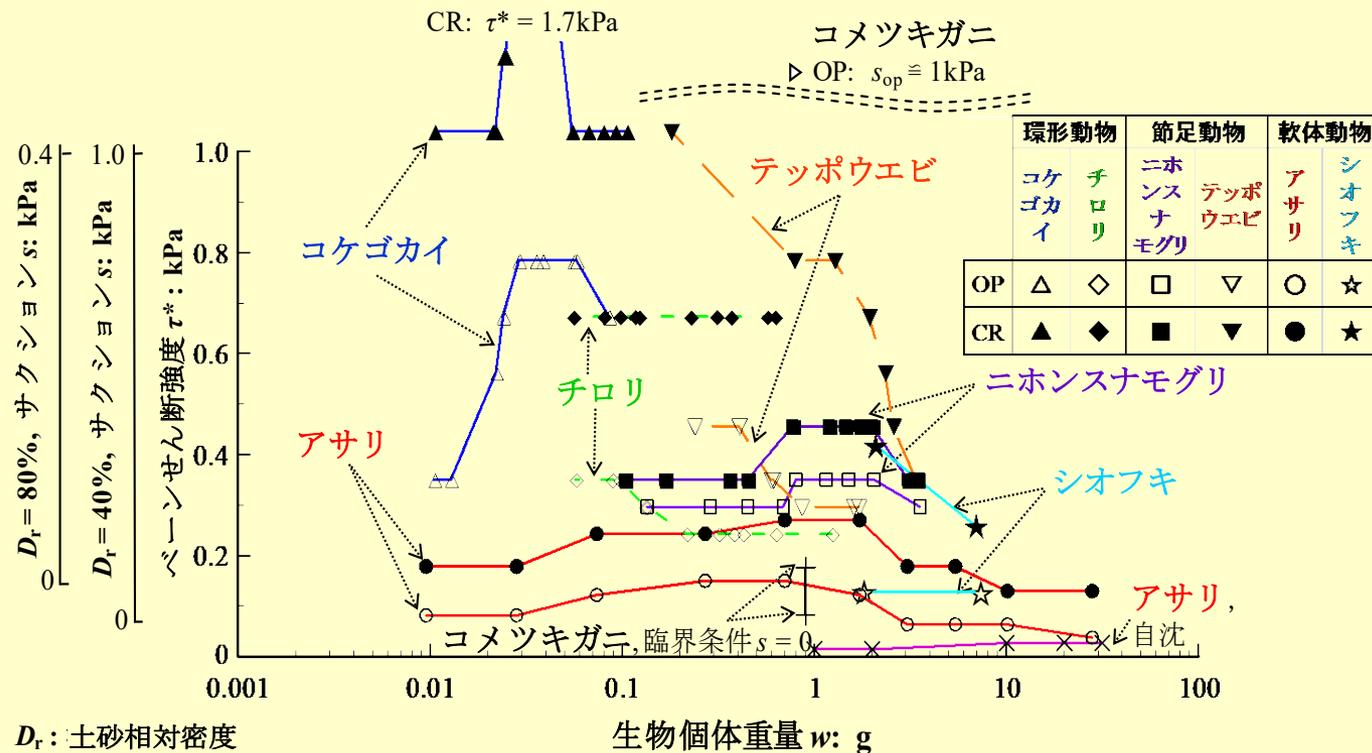


多様な生物住活動



生態地盤学の展開
による多種多様な
生物住環境診断
チャートの開発と
検証

多様な生物住活動
の適合土砂環境場
と限界土砂環境場
の相互関係の解明



全国各地の生物生息
分布と良く整合
複数の干潟造成事業
での検証を通じて
有効性を実証

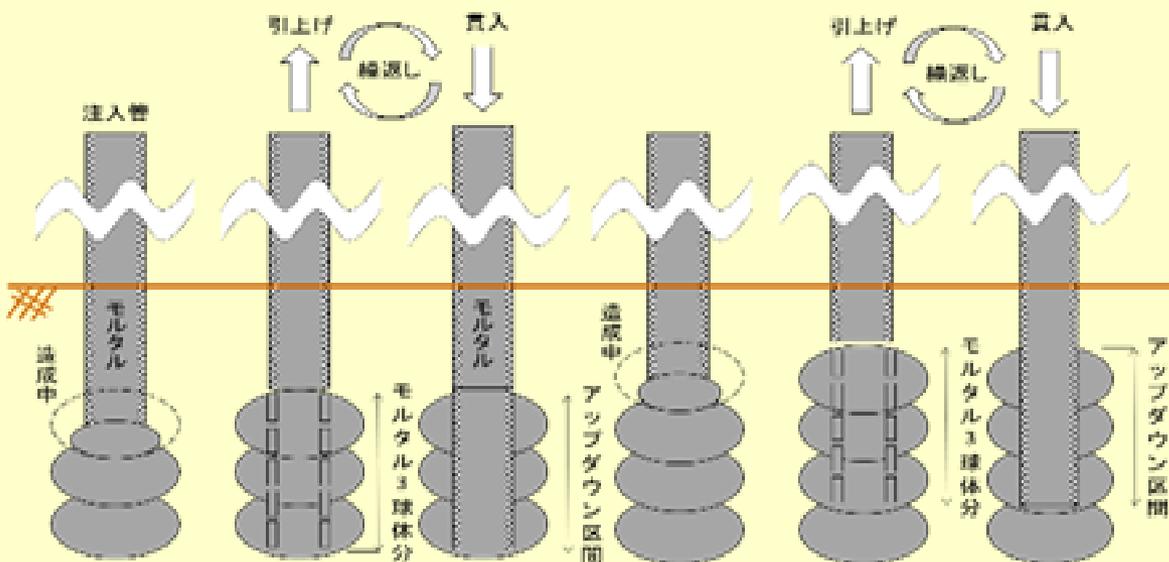
新たな技術開発事例

防災減災分野：液状化対策

技術開発の背景

静的圧入締固め工法 (CPG工法) は、注入管より低流動性のモルタルを地盤に静的に圧入して地盤の密度を増大させる液状化対策工法であり、既設構造物の直下や近傍での適応が可能なることから、羽田空港をはじめ様々な空港・港湾域で活用されている。しかし、CPG工法は、施工に伴う地盤隆起が問題となっており、その抑制が課題である。本技術は、従来のCPG工法に比べて、地盤の隆起を大幅に抑制しつつ、かつ、改良効果及び液状化対策効果を大きく向上させた新たなCPG工法であり、コスト縮減とともに増大する液状化リスクの低減ならびに安全性向上に大きく資するものである。

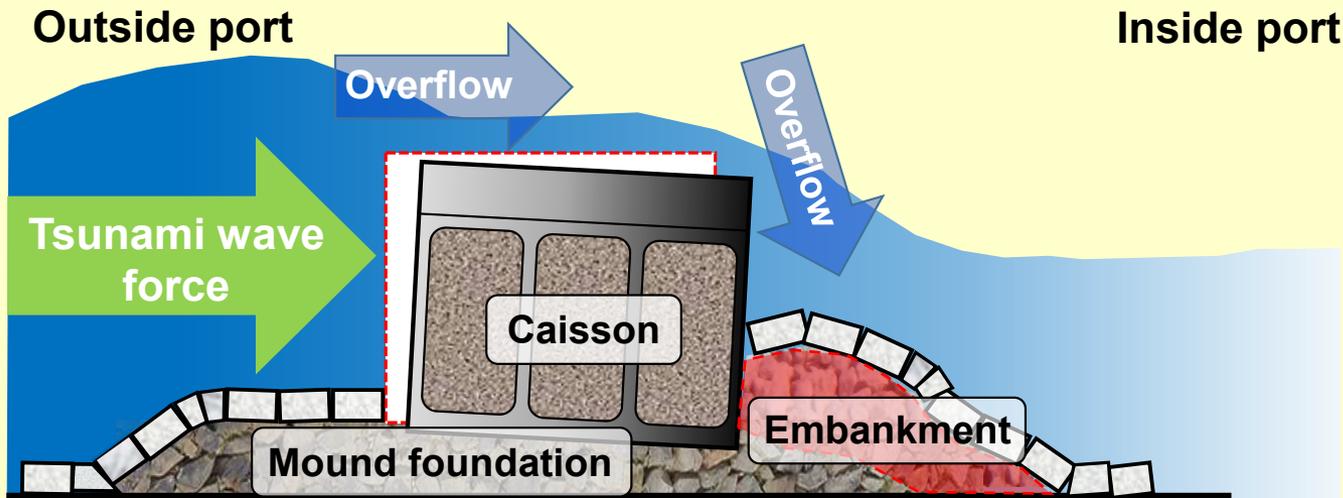
従来課題の克服・解決とさらなる機能向上



隆起抑制効果と
液状化対策効果が
大幅に向上した
新たなCPG工法

新たな技術開発事例

防災減災分野：耐津波対策



腹付け盛土を伴う
耐津波防波堤

MLIT (2015)



腹付け盛土は、津波波力
に対する安定性を強化し、
洗掘に対する越流—浸透
流の連成効果を抑制する

高知須崎港

南海トラフ地震津波に
対する対策

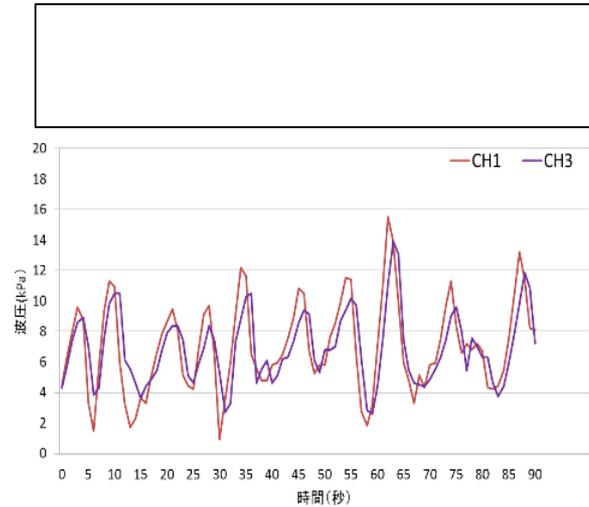
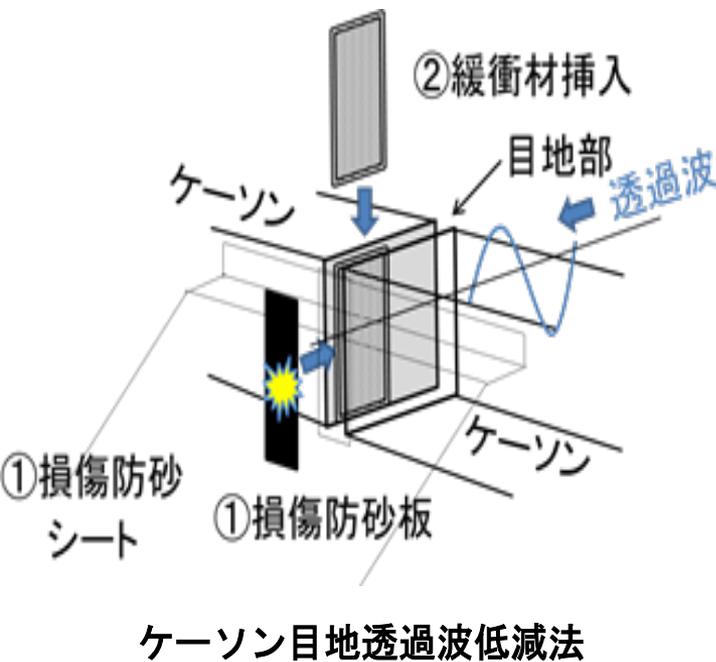
新たな技術開発事例

防災減災分野：陥没対策

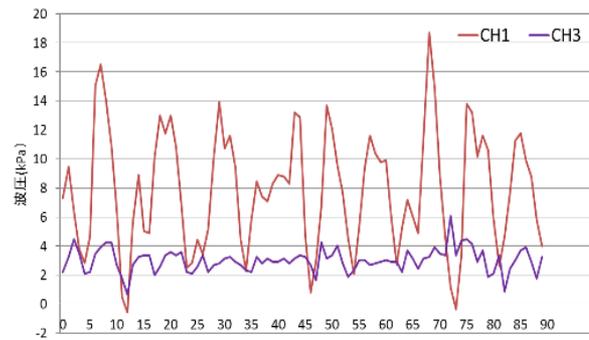
吸い出し・陥没リスク抑制と港湾構造物の長寿命化に向けた
ケーソン目地透過波低減法

全国5つの国際戦略港湾・重要港湾・空港で実用化

インフラメンテナンス大賞
& 国土技術開発賞 受賞



目地透過波低減法あり：透過波
伝達率20%以下



陥没再発生なし

新たな技術開発事例

環境保全分野

技術開発の背景

干潟・浅場造成の整備目標の一つとして、アサリ成育場の維持・管理があげられるが、食害等により安定したアサリの成育環境が維持されないことがある。造成直後より魚類やツメタガイ(巻貝)によるアサリの食害が続くため、食害防止対策として被覆網を設置するのが通常である。しかし、被覆網は、潮下帯近傍に生息するツメタガイのような食害生物に対しては効果が低いことが分かっており、維持管理の手間も大変であることが課題である。本技術は、地盤環境を考慮したアサリ成育場の新たな維持管理手法を開発したものであり、ツメタガイによる食害を有効に防ぐとともに、砂による埋没を避け、維持管理の手間を大幅に低減させたもので、アサリ成育場の維持管理及び生物生産性の向上に資する。

「地盤環境を考慮したアサリ成育場の新たな維持・管理手法」は、潮下帯近傍を覆礫することによって、アサリの成育環境を確保しつつ、ツメタガイ等の外敵生物による食害を大幅に抑制する技術である。通常の被覆網に比べて、倍以上の食害防止効果を有している。また、礫帯の存在による多様な生物生息環境の創出により、砂泥干潟で一般に出現しないような稚ナマコやミノガイの一種等の大型底生生物も出現するため、アサリのみでなく、生物多様性の効果という点からも有用である。

瀬戸内海 造成干潟で実用化

干潟・砂浜海岸における底生生態系及び地盤環境の統合評価・ 管理手法の開発

研究成果の活用イメージ

干潟の設計から施工・モニタリング・
管理までの全ての行程を含めた
成果活用フローチャート

生物種による適合・限界土砂
環境場の違い



外敵生物 を避け、



有用種 を育む！

多種多様な生物住環境診断
チャートを活用した新たな
維持管理

設計



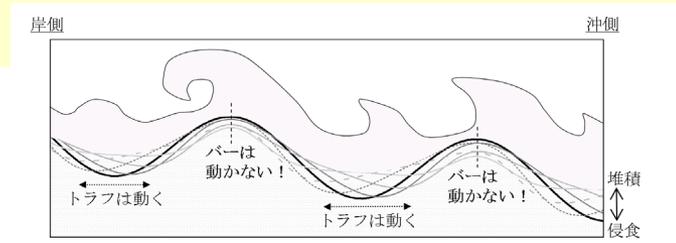
施工



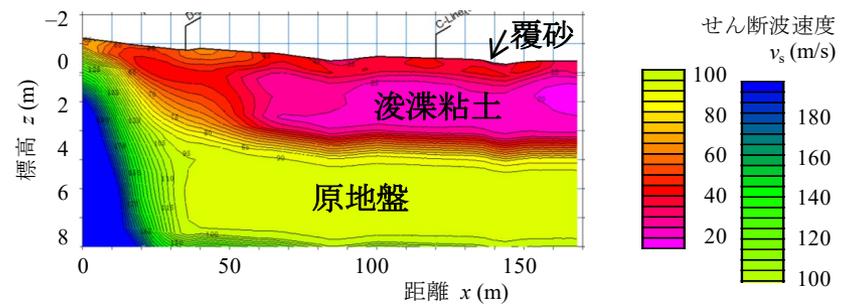
モニタリング



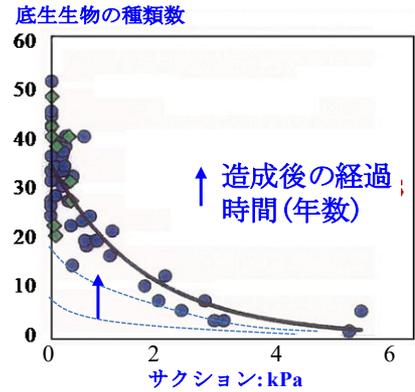
管理



干潟砂州の動的安定原理を活用した
覆砂・造成高の最適設計



多チャンネル型表面波探査を活用した
施工時及び施工後の安全性評価



生態地盤環境モニタ
リングを活用した
生物多様性の
発達予測

国立研究開発法人海上・港湾・航空技術研究所

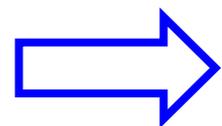
港湾空港技術研究所

地盤研究領域 動土質研究グループ

沿岸地盤動態に関わる包括的研究：防災・減災・環境保全の横断研究

PARIホームページより

- 地震・津波に対する沿岸地盤の安定性
- 液状化評価・予測・対策
- 高波による液状化と沿岸・海洋構造物の安定性
- 津波－地盤－構造物の相互作用、洗掘・侵食
- 吸い出し・空洞形成・陥没と対策
- 干潟・砂浜の地盤環境、生態地盤学
- 海底地すべりダイナミクスと地すべり津波



現実的かつ合理的な新しい評価予測・設計法・対策