

護岸の目地と裏込内に働く波圧と
陥没穴の発生過程、材料評価の課題



耐波研究チーム

1996年1月 護岸シンポジウム(吸い出しのメカニズムと対策)

2001年12月 大蔵海岸陥没事故

2012年12月 笹子トンネル天井板落下事故
→ インフラの緊急点検
→ 全国の岸壁で陥没穴の発生が顕著

護岸シンポジウム(吸い出しのメカニズムと対策)

1996年1月30～31日

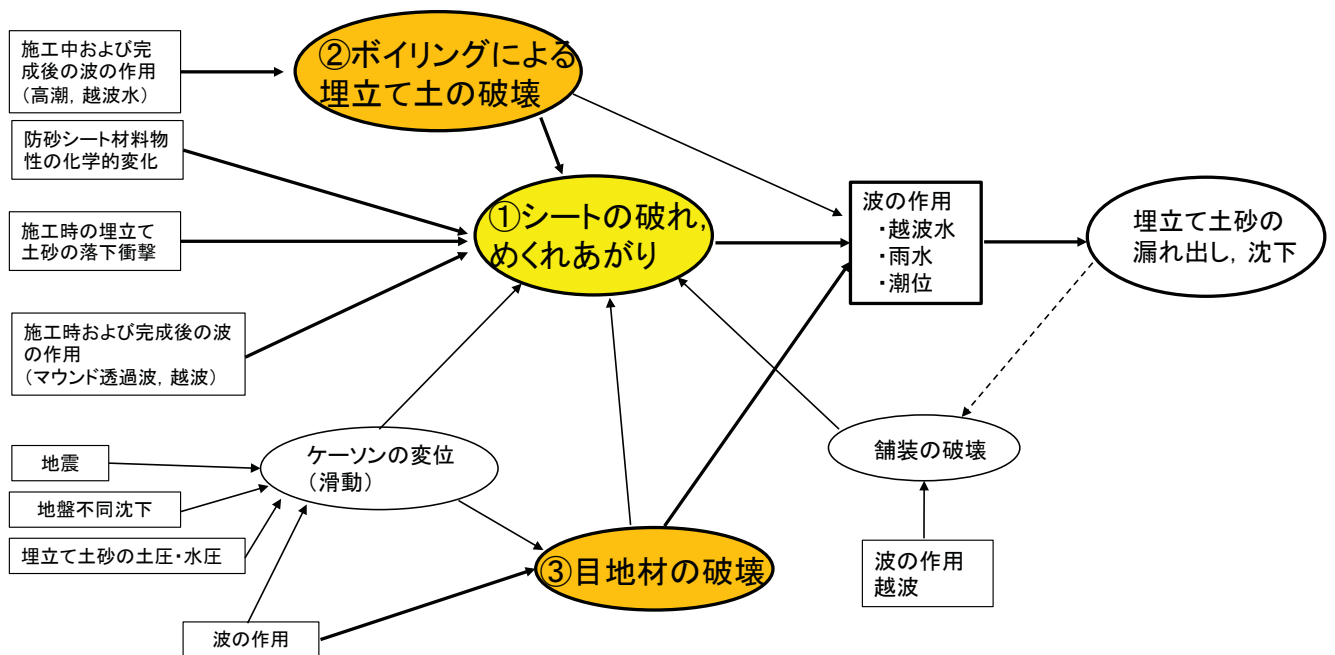
埋立地: 宇登呂漁港, 岩内港, 宮崎空港,
新潟空港...

人工島: 志布志石油備蓄基地, 関西空港,
荏田沖合処分場, 神戸ポートアイランド,
南本牧...

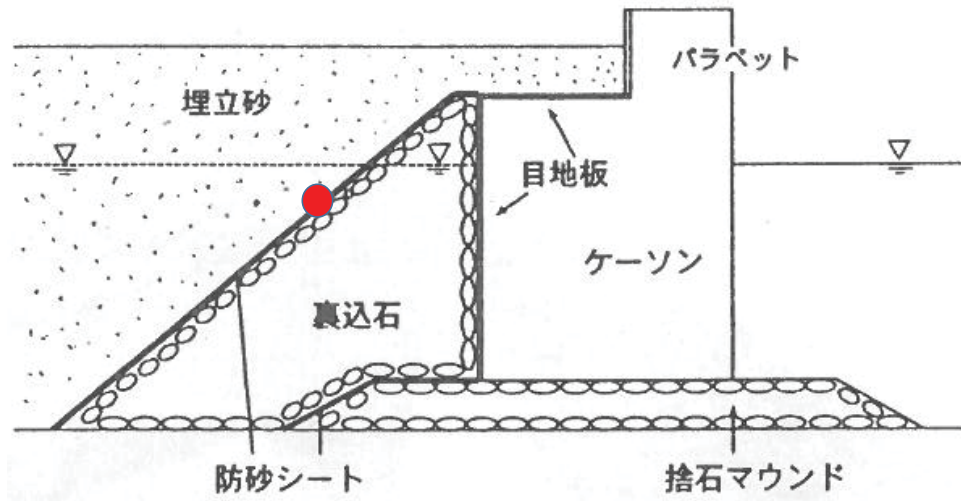


設計・施工時に発生した課題 → どのように解決したか?
今後の課題は?

吸い出しのメカニズム

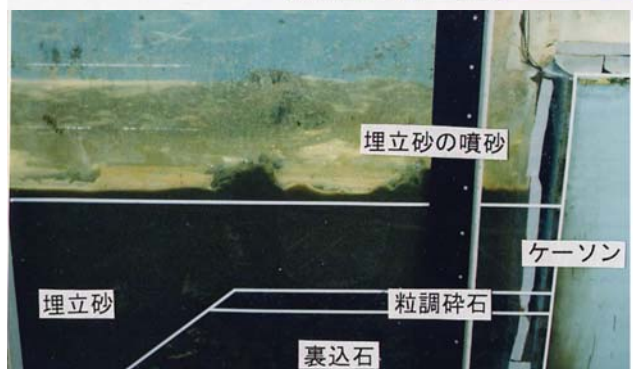
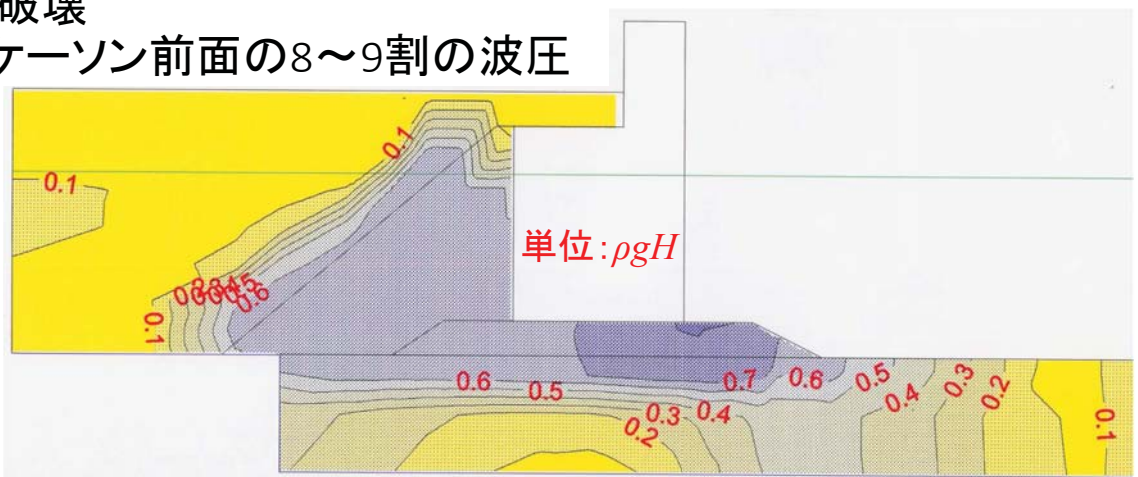


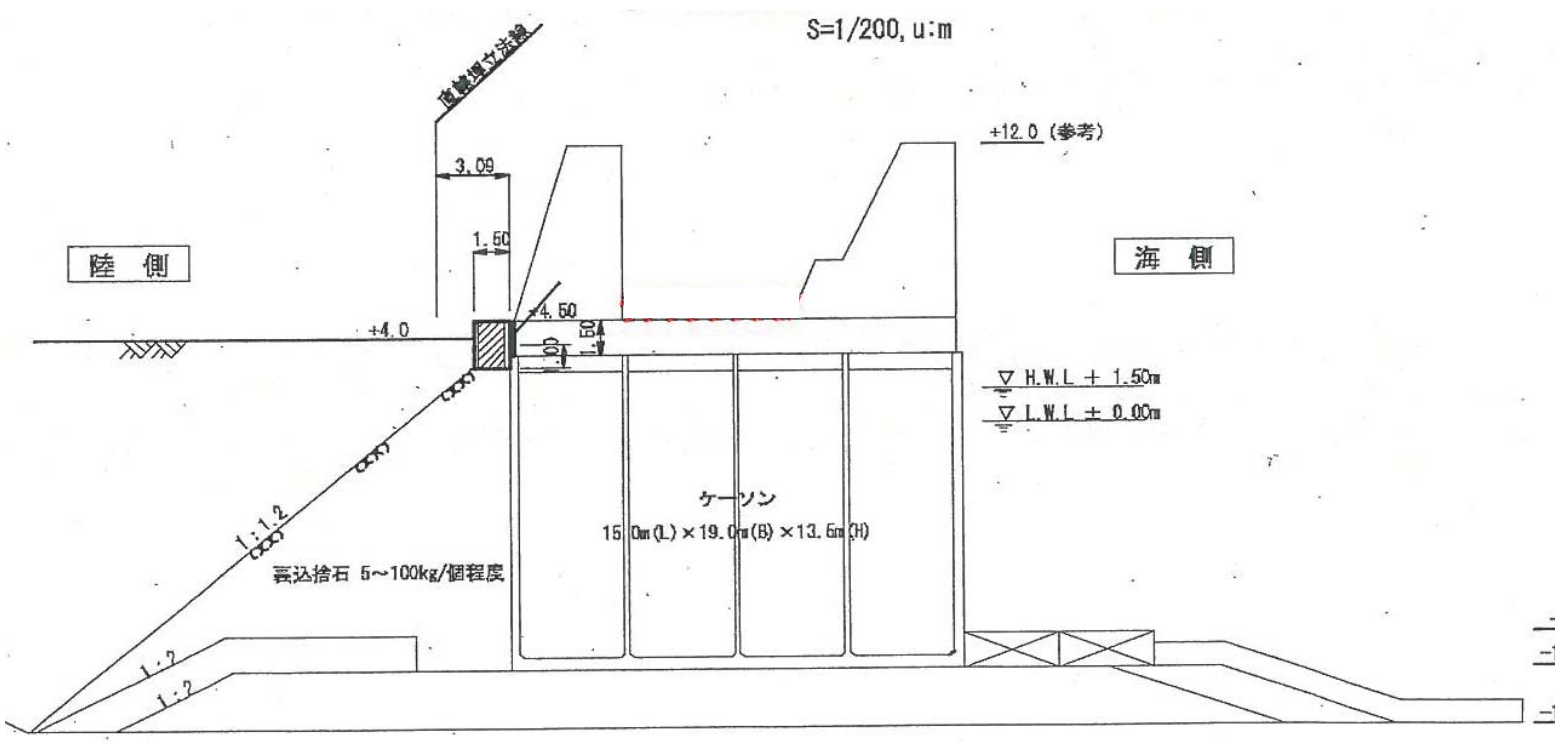
①シートの破れによる土砂の吸い出しと陥没穴の発生

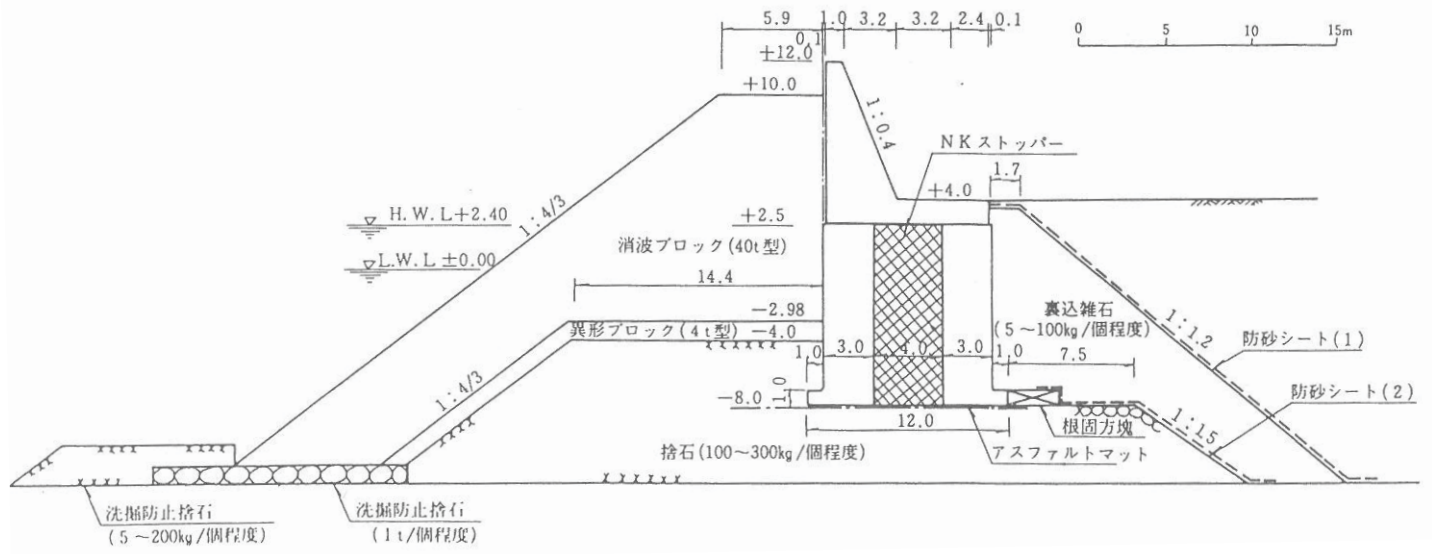


②ボイリングによる破壊

マウンド透過波 ケーソン前面の8~9割の波圧









施工時のシートの破れ
陸上実験の状況



法面 上



法面 上



法面 中



法面 中

織布 0.5~1.0mm
不織布 3~5mm

雑石 5~100kg/個
栗石 5~15cm/個



写真-1 南護岸（上げ潮時の吹き上げ）



写真-4 南護岸（土砂の吸い出し穴）



写真-7 土のう投入箇所周辺に発生した穴



写真-2 南護岸（裏込めからの土砂の流失）



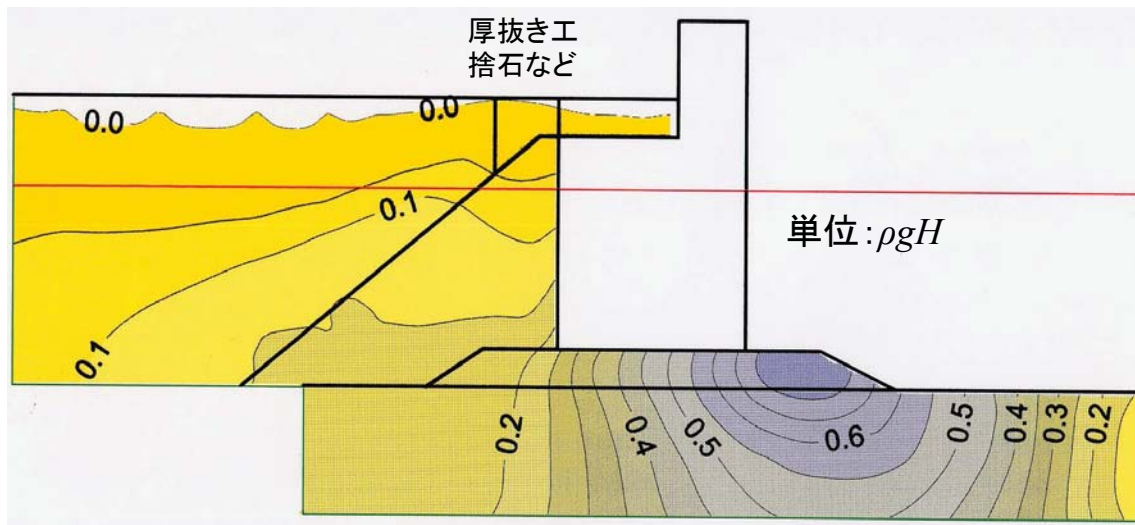
写真-5 東護岸（土砂の吸い出し穴）



写真-8 対策後の汚濁拡散状況

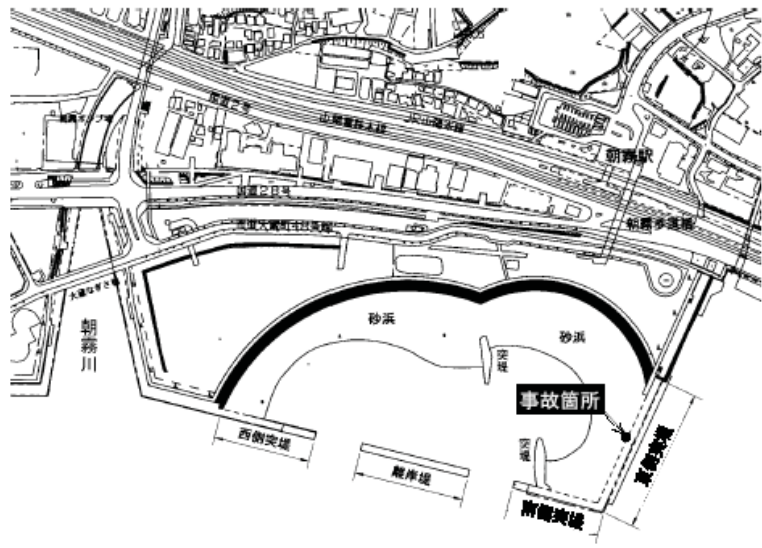


マウンド透過波 圧抜工により圧力が1~2割に低減

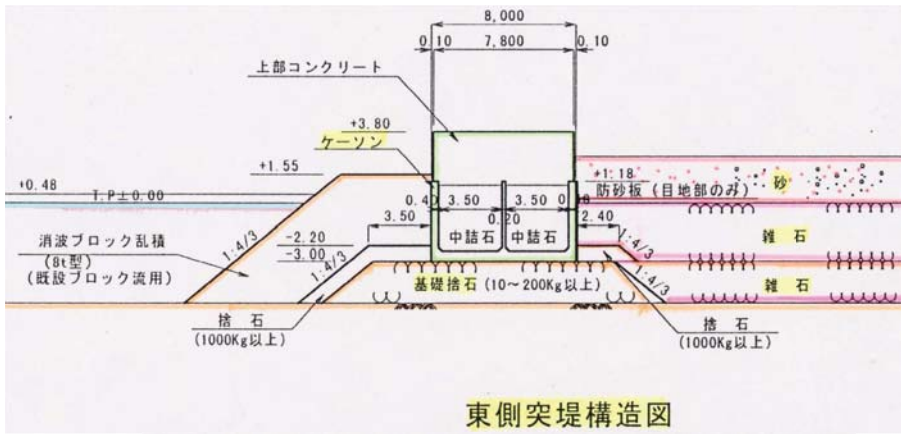


圧力が流速に変換された
流れが悪影響を及ぼさないか？

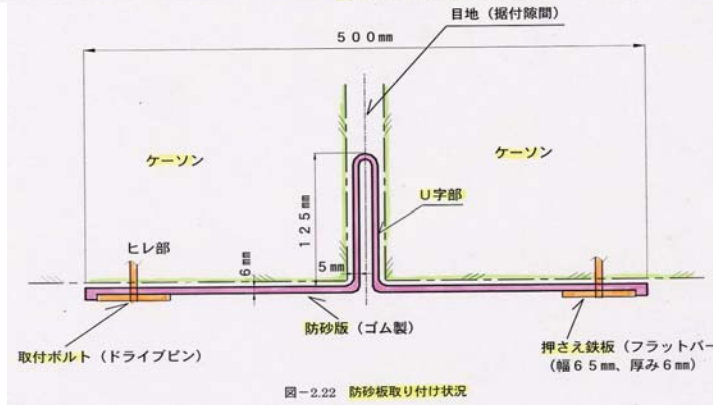
③目地材の破損 大蔵海岸



大蔵海岸
事故発生位置



大蔵海岸断面図

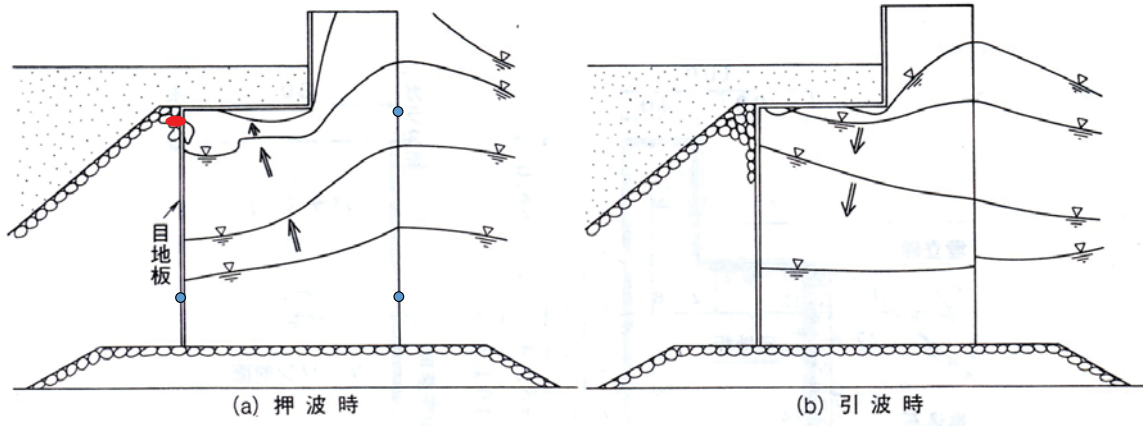


目地部

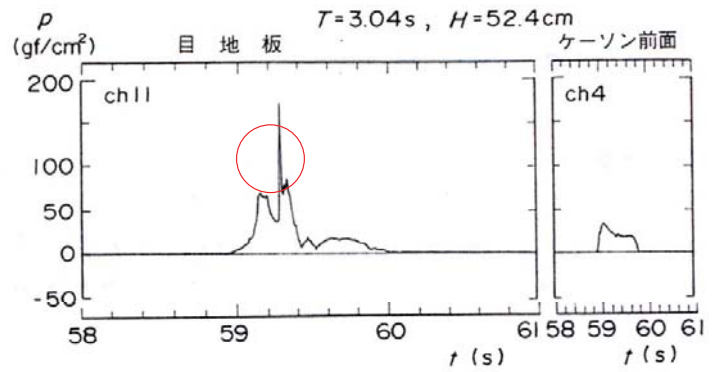
図-2.22 防砂板取り付け状況



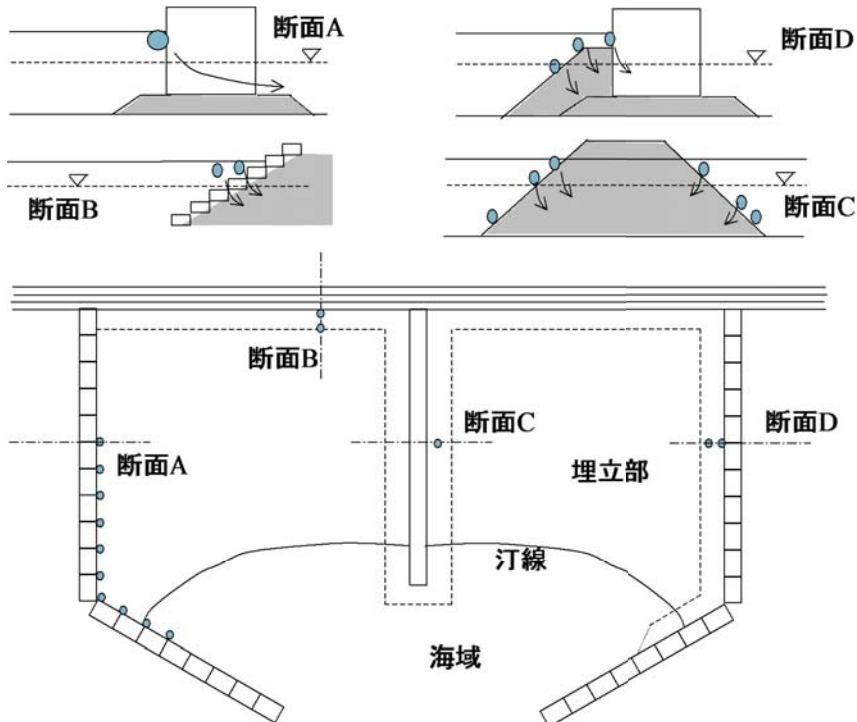
大蔵海岸目地

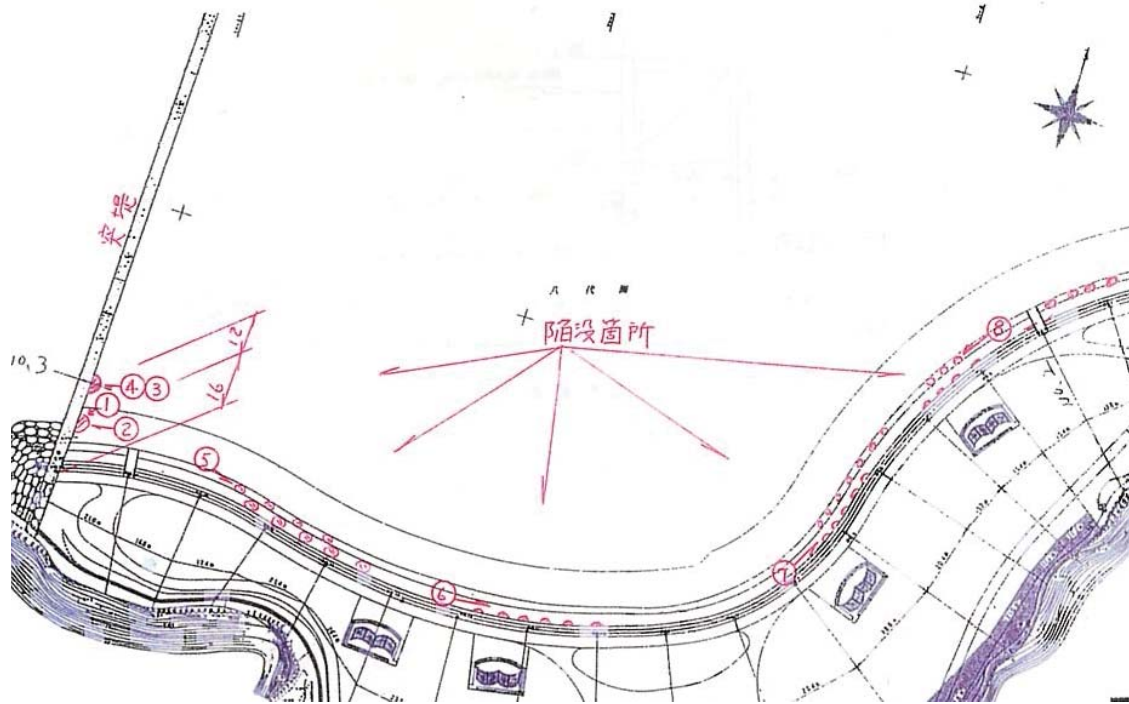


目地に働く波圧は強大
 $p = 2 \sim 3\rho gH$

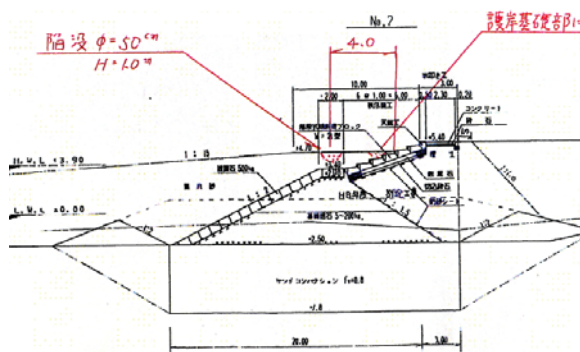


人工海浜の陥没の発生場所





事例



事例



事例



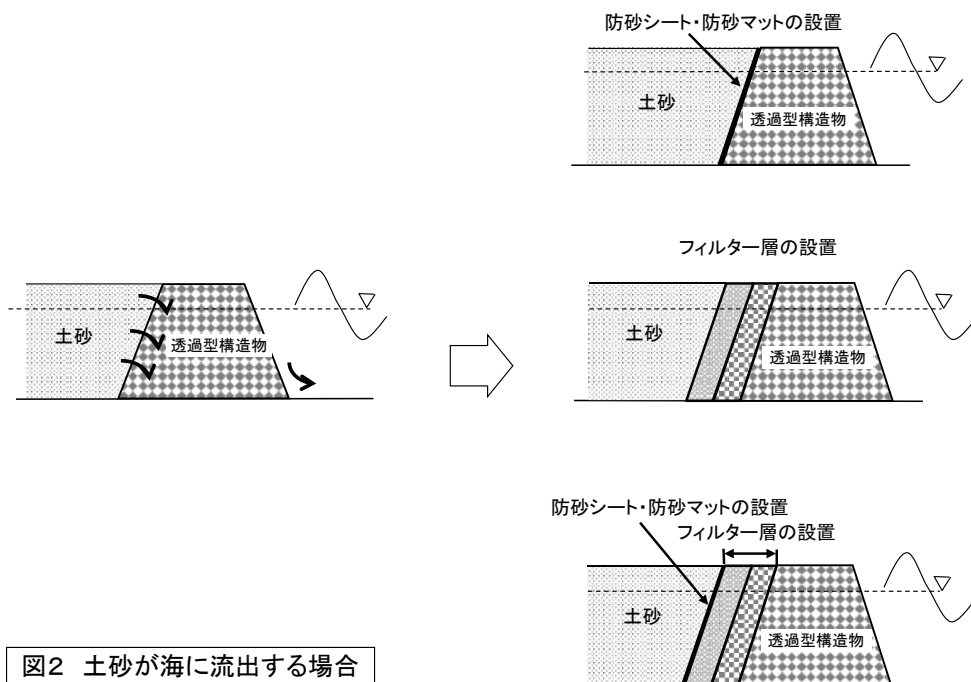
今後の課題

洗掘・吸い出し防止工は各局で様々

- ① ジオテキスタイル:織布, 不織布
- ② ゴム系マット, アスファルト系マット, 防砂板
- ③ 岩ずり

メカニズムと外力を提示できるか?

- ① 目地に働く波圧 $2 \sim 3\rho gH$
- ② マウンド透過波 ケーソン前面波圧の8~9割
→ 圧抜き工により1~2割まで低減
- ③ シートの破れ?
施工時の港内発生波 → すり切れ
埋立土砂投入時の破れ
紫外線



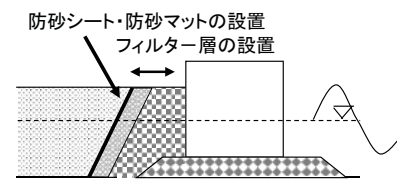
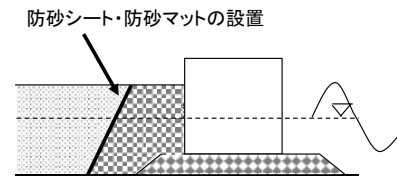
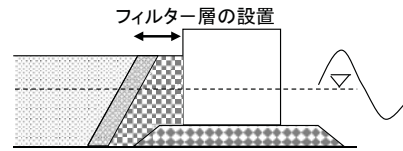
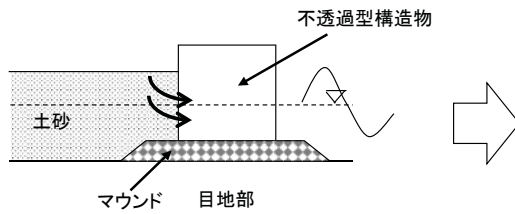


図3 目地部から土砂が海に流出する場合

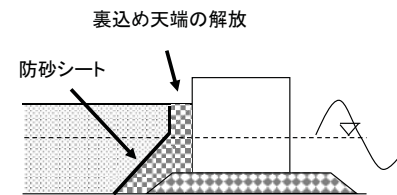
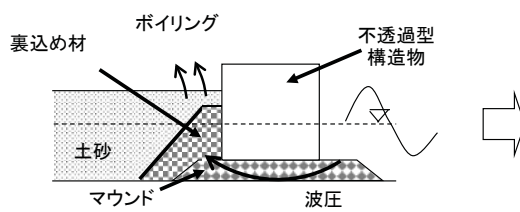


図4 裏込め材設置に伴うボイリングの防止対策

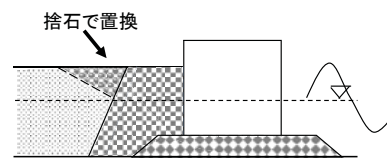
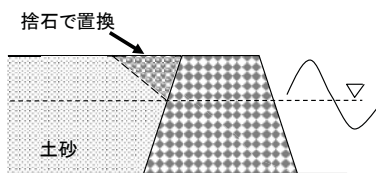


図5 天端置換捨石による陥没孔防止対策

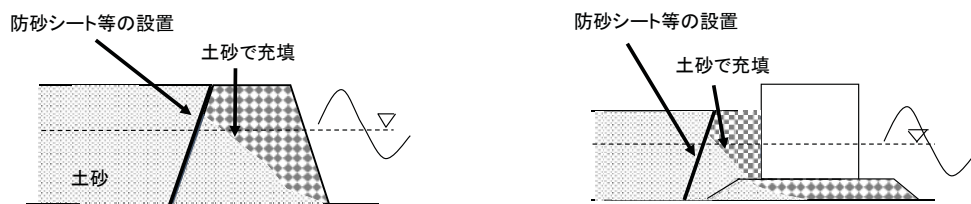


図6 空隙の充填による陥没孔防止対策

防砂目地板の材料評価 に関する課題と検討事例



海洋研究領域
耐波研究チーム

1. 目地板設計における課題

技術基準では最低規格および標準的な形状（幅・厚み）が記述されるが、強度検討の根拠に関する具体的な記述がない。

様々な設計条件に適した目地板を選定・検討するための指標がない。

<検討に必要な項目>

◇作用外力

- ・目地部を通る波力
- ・背面外力
- ・地震時外力など

◇性能を発揮するための材料強度

- ・作用外力に応じた強度検討
- ・経時的な性能低下を考慮した許容値
- ・各工期での目地板の損耗に関する注意点など

1. 目地板設計における課題 各種目地板の製品例

<塩化ビニルタイプ>



標準タイプ



変位追従タイプ

<繊維補強ゴムタイプ>



標準タイプ
(厚さ3.0~数十mm)



変位追従タイプ

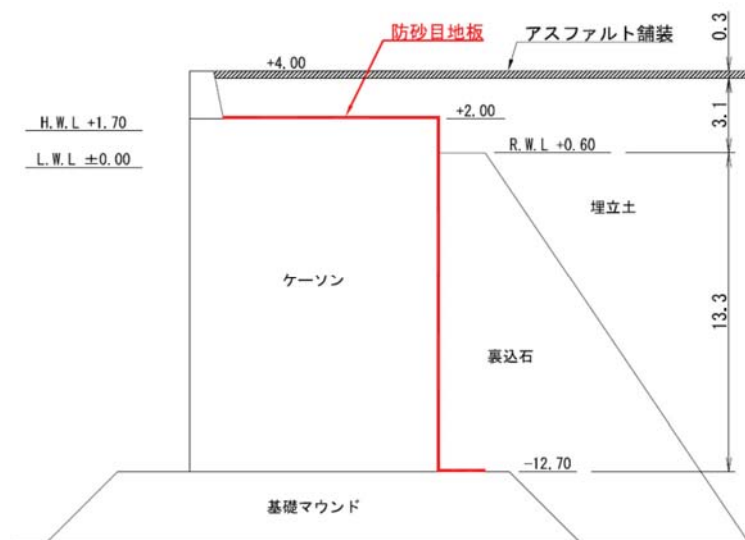


特殊タイプ
(片側固定など)



製品断面例

2. 目地板の強度検討例



設計条件例

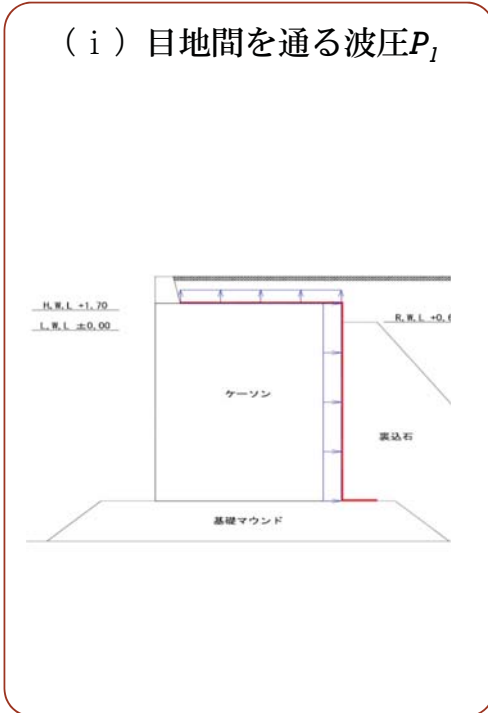
最大波高	潮位		残留水位	目地間距離
H_{max}	H.W.L	L.W.L	R.W.L	B'
1.0m	+1.70m	±0.00m	+0.60m	10 c m

2. 目地板の強度検討例

手順① 目地板に作用する外力の検討

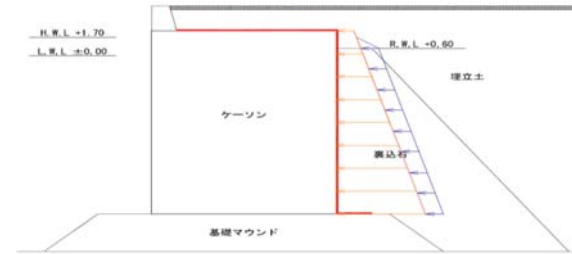
(I) 前面から作用する外力

(i) 目地間を通る波圧 P_I

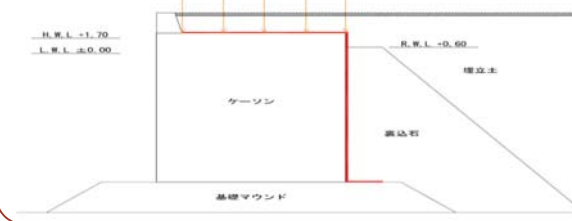


(II) 背面から作用する外力

(ii) 背面外力(鉛直面) P_{4V}



(iii) 背面外力(水平面) P_{4H}



5

2. 目地板の強度検討例

手順② 外力作用時のモデル化

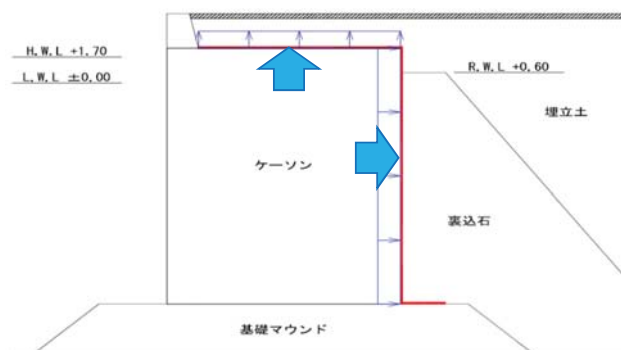
(I) 前面から作用する外力

(i) 目地間を通る波圧 P_I

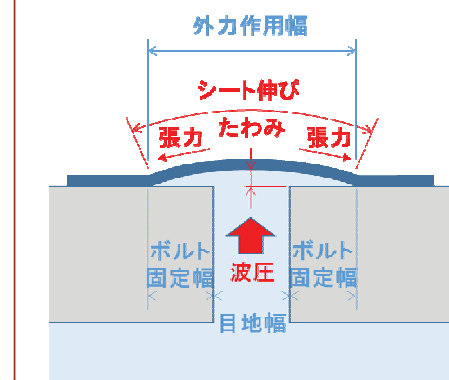
$$P_I = 2\rho g H_{max}$$

ρ : 海水単位体積重量(kN/m³)
 g : 重力加速度(m/s²)
 H_{max} : 最大波高(m)

港湾技術研究所報告書VOL.35.No.2 June1996
 「1.護岸の吸い出しに関する水理模型実験」より



<外力作用時のモデル>



6

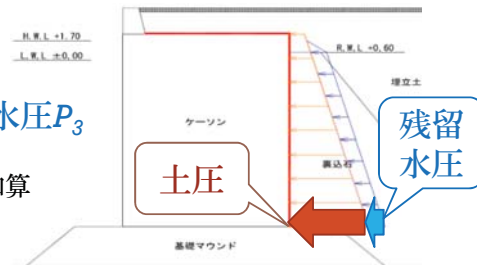
2. 目地板の強度検討例 手順② 外力作用時のモデル化

(II) 背面外力の作用状況

(ii) 背面外力(鉛直面) P_{4V}

$$P_{4V} = \text{※土圧} P_2 + \text{残留水圧} P_3$$

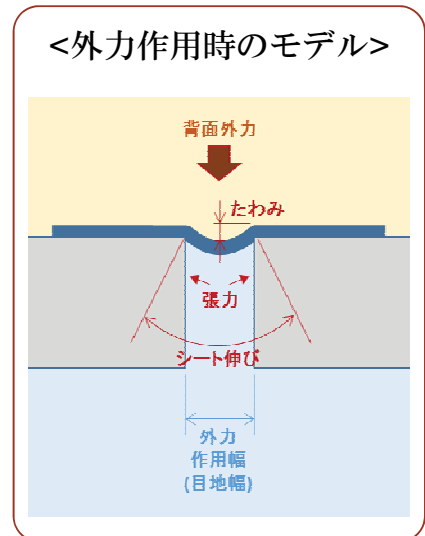
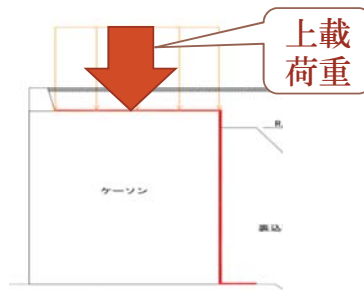
※必要に応じて載荷重を加算する



(iii) 背面外力(水平面) P_{4H}

$$P_{4H} = \text{上載荷重(自重など)}$$

※必要に応じて載荷重を加算する



7

2. 目地板の強度検討例 手順③ 製品強度の検討

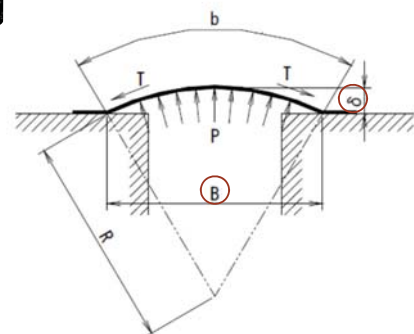
たわんだ状態の断面が
円弧形状になる

↓ 外力作用幅 B
たわみ量 δ

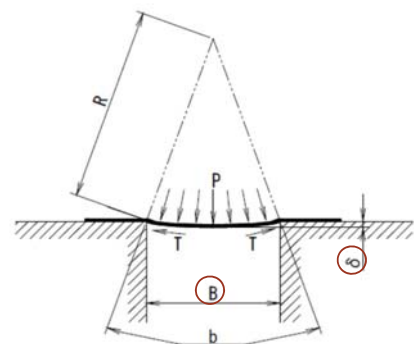
外力 P 作用時の変形による張力 T を求める
($T = P \cdot R$)



発生張力 $T <$ 目地板強度
⇒ 使用可能と判断



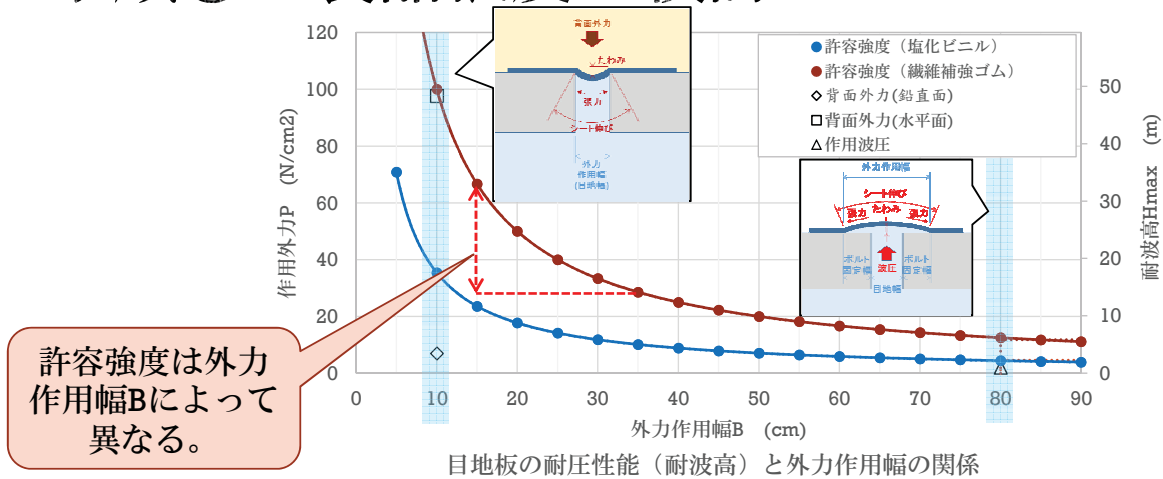
(A) 波圧作用時



(B) 背面外力作用時

8

2. 目地板の強度検討例 手順③ 製品強度の検討



作用外力	外力作用幅B	外力P	※許容強度の検討結果	
			塩化ビニル	繊維補強ゴム
目地間を通る波圧 P_l	80cm	2.02N/cm ²	使用可能	使用可能
背面外力(鉛直面) P_{4V}	10cm	7.38N/cm ²	使用可能	使用可能
背面外力(水平面) P_{4H}	10cm	97.7N/cm ²	使用不可	使用可能

※許容強度は性能低下を見込んだ安全係数を設定して算出した。

9

3. 耐久性の検討について 性能低下要因の整理（高分子材料）

性能低下要因

① 化学的な劣化・老化<外力作用なし>

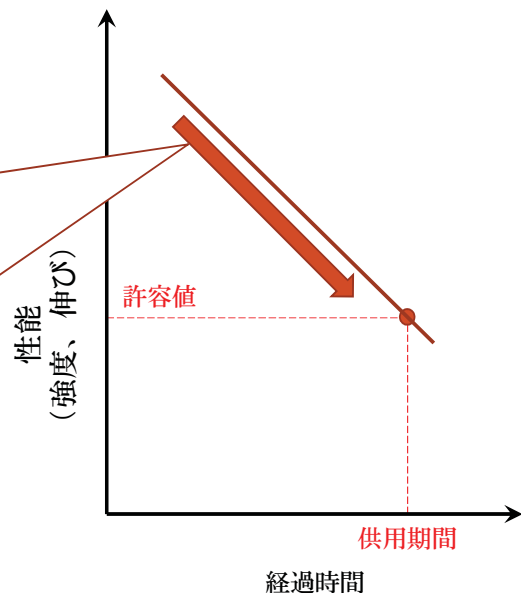
- ・酸素・オゾンによる酸化劣化
- ・熱による分子切断
- ・放射線(光、X線等)による化学作用

② 機械的な疲労<外力作用あり>

- ・繰り返し変形による疲労
- ・塑性流動（へたり）
- ・摩耗による肉厚減少



②は検討事例がほとんどなく、外力の繰り返し作用の影響は大きい
ため、検証が必要と考える



10

4. 検討が必要な項目について

- 外力作用時の目地板の変形挙動の確認
ex) 埋立前のモデル、埋立後のモデル
→ 水理模型実験
- 目地板設置～埋立までの期間の調査

実験・調査
による確認

- 波浪の作用による繰り返し屈曲(変形)による性能変化
ex) 屈曲疲労、許容変形領域(残留ひずみ)の確認
→ 材料面からの検討
- 摩耗現象の検討
→ 材料面からの検討

指標となる
試験方法の
確立

すり合わせ
が必要