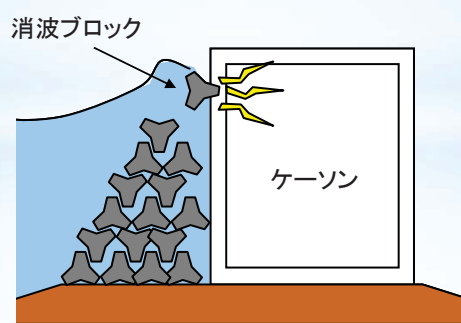


防波堤ケーソンの穴開き 研究事例の紹介

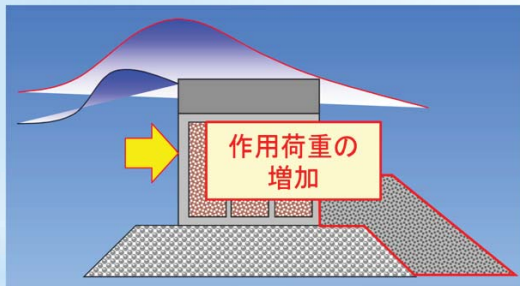


国立研究開発法人 海上・港湾・港空技術研究所
港湾空港技術研究所 構造研究領域 構造研究グループ
宇野 健司

目 次

1. 背 景
2. 過去の被災事例の紹介
3. 穴開きの原因と発生メカニズム
4. 耐衝撃性に優れたケーソン設計・実験
5. ケーソン穴開き対策と点検方法
6. 最近の研究事例の紹介
7. まとめ

粘り強い構造



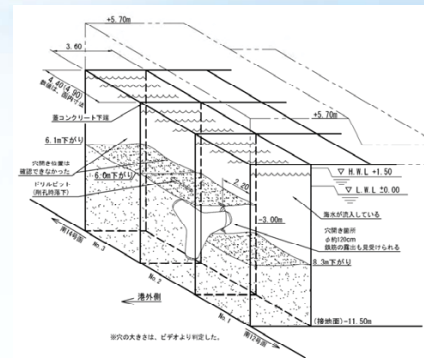
消波ブロックの衝突



消波ブロックの沈下

問題点

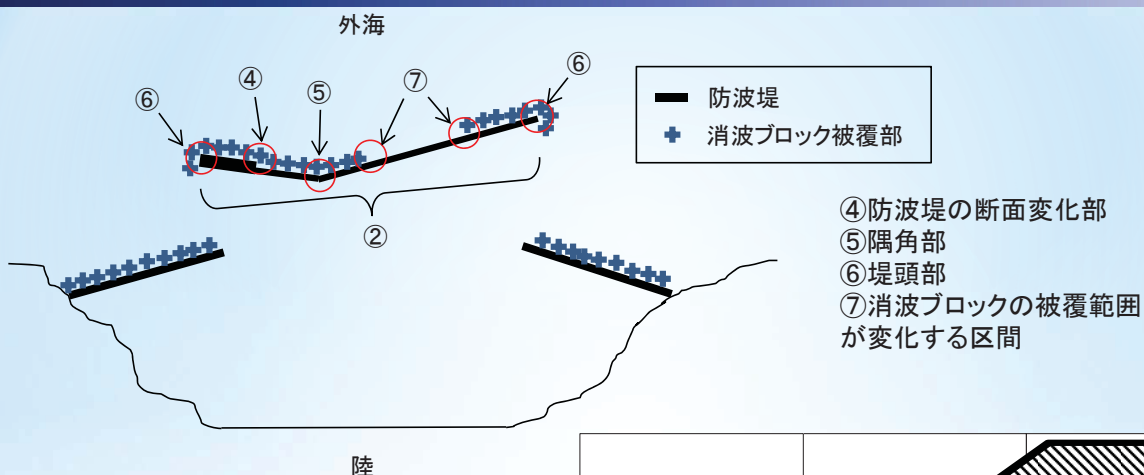
- ・中詰砂の流出 ⇒ 「重量の減少」 ⇒ 「安定性の低下」
- ・台風の大型化 ⇒ 「被災の拡大」



中詰砂の流出

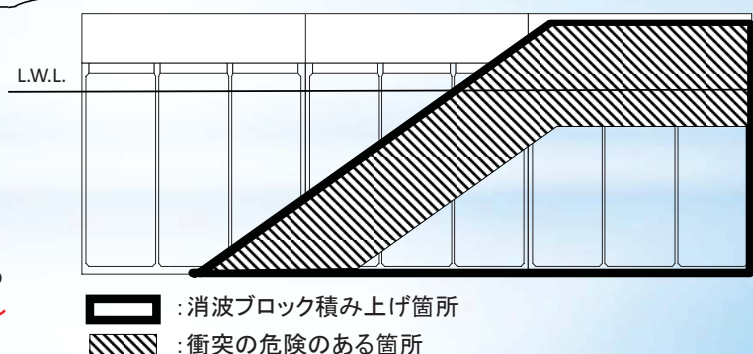
2

穴開き被災部位

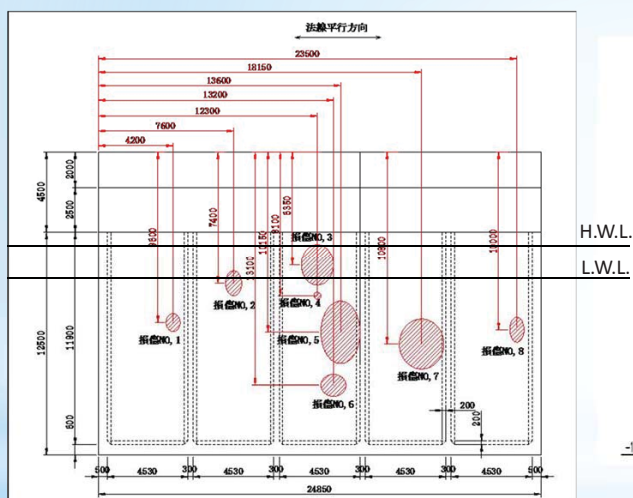


【耐衝撃性が必要とされる範囲】

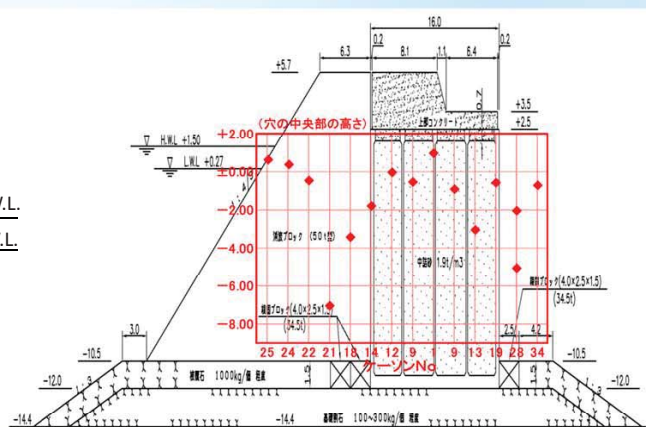
- ・ケーソン天端から下方に静水面 (L.W.L.) 以下、消波ブロック1個分の高さ
- ・ただし、被覆範囲が変化する区間では転落やロッキングにより衝突する可能性があるため、ケーソン壁全面とすることが望ましい。



K港の被災事例



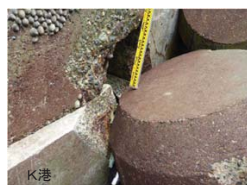
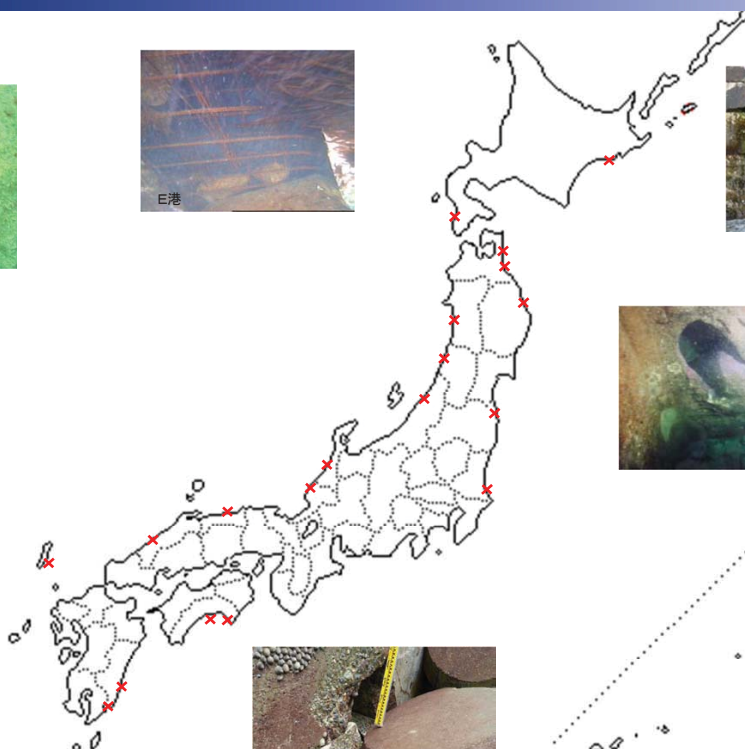
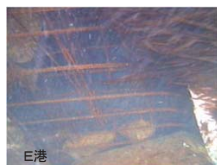
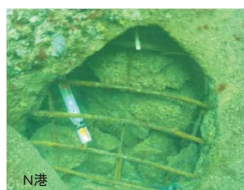
H港の被災事例



※水面付近だけではなく、前壁全体に穴あき発生リスクがある。

※ 消波ブロック衝突による防波堤ケーソンの損傷対策技術の開発より(沿岸センター研究論文集No.5,H17)

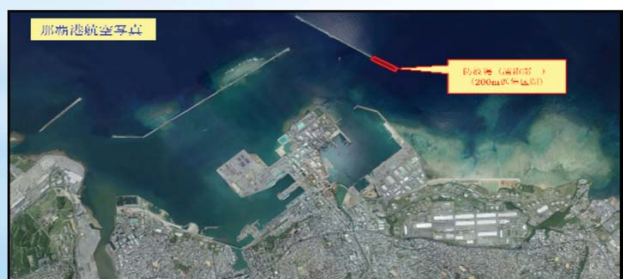
ケーソン穴開き事例



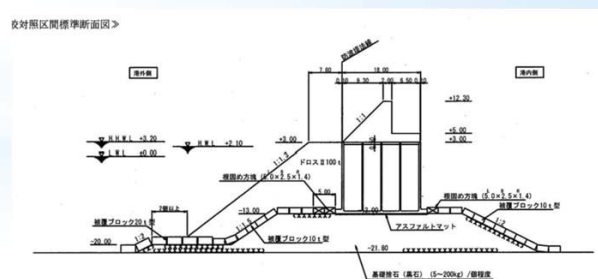
※ 防波堤ケーソンの穴開き被災の実態調査より(港空研:H24.7)
国有港湾施設の集中点検結果等より(港湾局:H25.12)

那覇港の被災事例紹介

被災発生日: 平成26年10月11日～13日
 施設名: 浦添ふ頭地区 浦添第一防波堤
 整備年次: 平成24年～平成27年
 構造形式: 消波ブロック被覆のケーソン式混成堤上部斜面堤
 海象条件: 台風19号 最大瞬間風速38.3m/s、波高Hmax=10.64m(設計波の1.2倍)
 被災状況: ケーソン2、4、5号函の側壁の損傷(穴開き)による中詰材の流出、消波ブロックの脚損壊
 被災原因: 消波ブロックの噛み合わせが悪い一番上の層に高波浪が作用したことや上部工斜面からの戻り水流が原因で、消波ブロックが大きく動揺し、その際の衝撃でケーソン側壁が破損



位置図



標準断面図

那覇港の被災事例紹介

(2) 外観調査結果

図2-6に当該防波堤の外観調査結果(2・4・5号函)を示す。調査結果より、側壁損傷部は貫通した状態であり中詰材が流出していることが確認されている。なお、欠損箇所は外観調査により確認されたものであり、海中における損傷の有無については不明である。

●: 施工済ケーソン
 ○: 未施工ケーソン

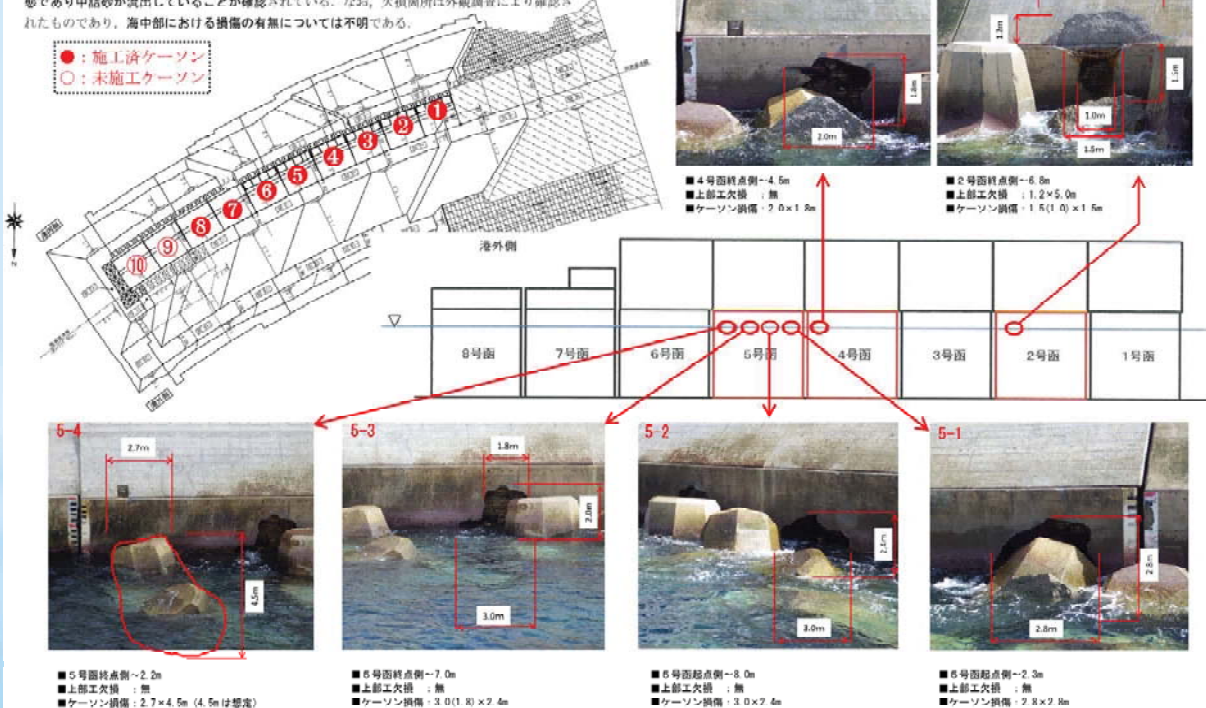
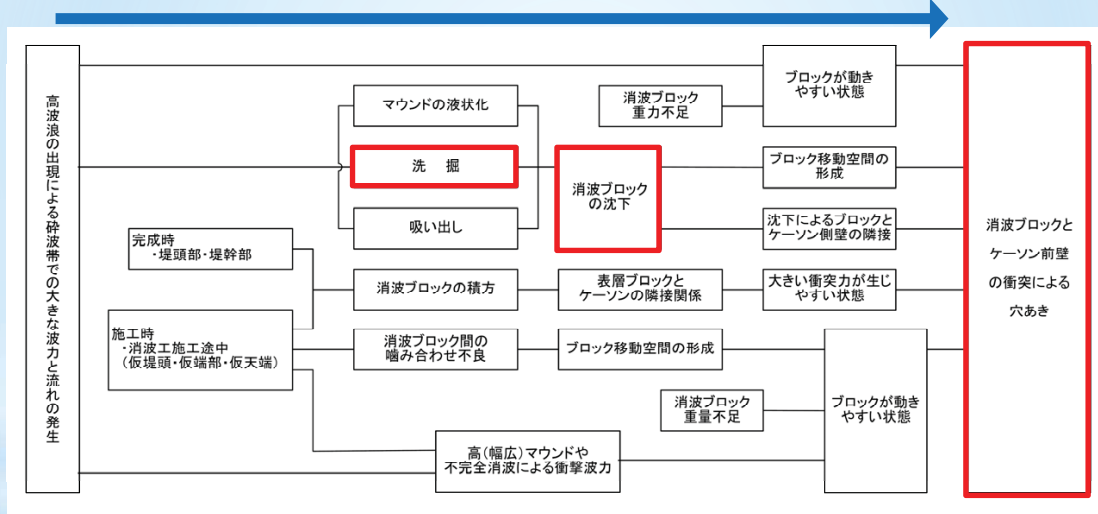


図2-6 外観調査結果(2・4・5号函)

穴開きの原因と発生メカニズム

消波工の衝突による本体工側壁の損傷に関する変状連鎖

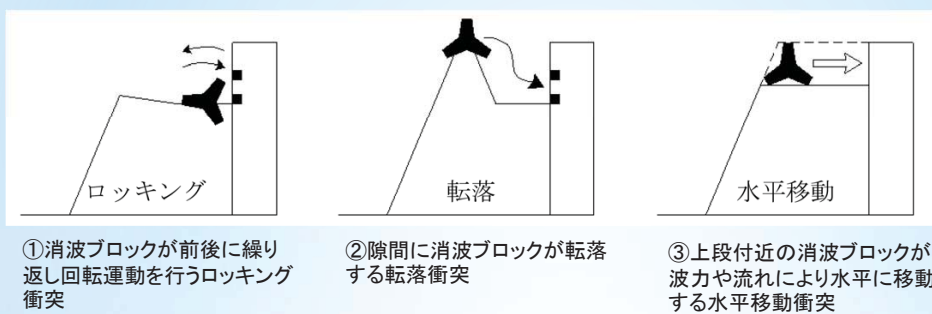


- 点検診断で劣化度判定される海底地盤の洗掘、消波工の沈下、本体工側壁の損傷が連鎖している。

※ 点検診断の劣化度判定結果による消波ブロック被覆本体工側壁の変状傾向に関する一考察より(国総研資料No.918,H28.6) 8

破壊モード

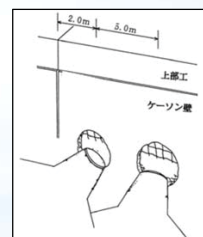
消波ブロックとケーソンの衝突パターン



No.1(H=1.0m×W=0.8m)
(7月30日撮影)



No.6(H=1.2m×W=1.4m)
(7月30日撮影)



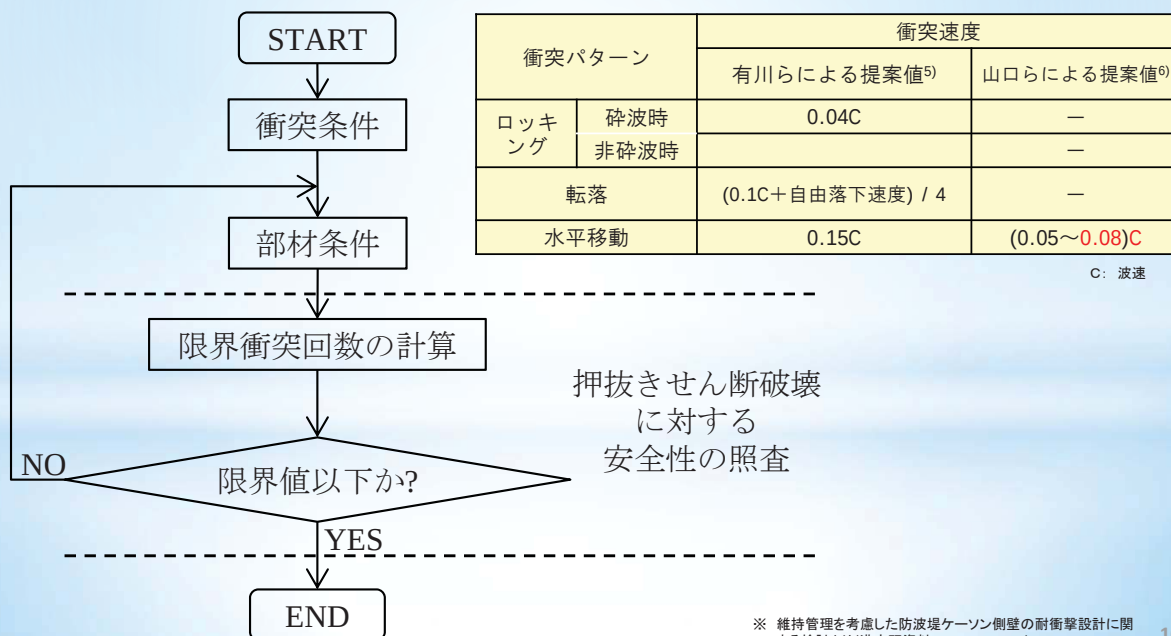
乱積み施工で消波ブロックの脚部1本がケーソン側壁面に接触しているパターン

押抜きせん断破壊
局所的なコンクリートの圧壊

※ 防波堤ケーソンの損傷対策に関する技術マニュアル(案)ー消波ブロック衝突による側壁損傷対策ーより(国土交通省東北地方整備局仙台港湾空港技術調査事務所,H19.1)

➤ 港外側を耐衝撃性に優れた前壁にするために

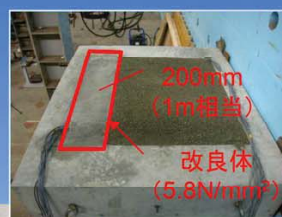
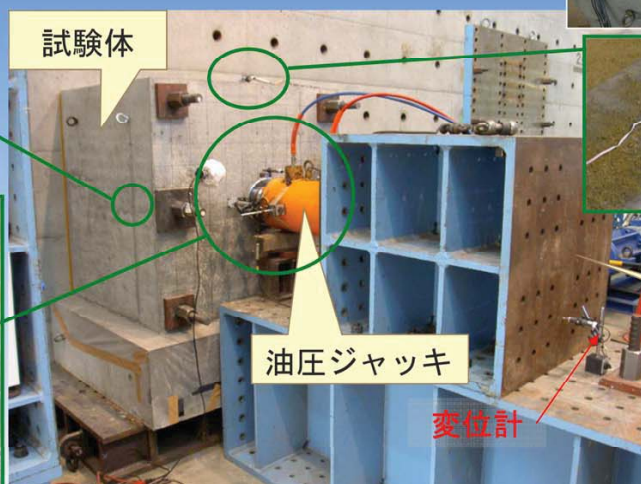
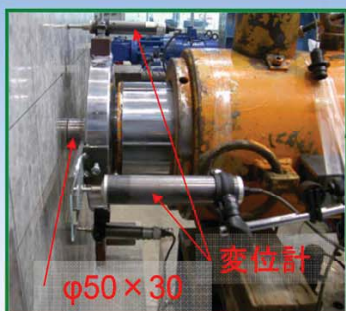
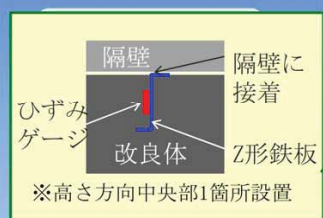
設定したRC版に対し、**押抜きせん断破壊**に対する安全性を照査



①静的載荷試験

目的

静的な耐荷性能の向上効果の確認
耐衝撃補強メカニズムの検討



フレーム

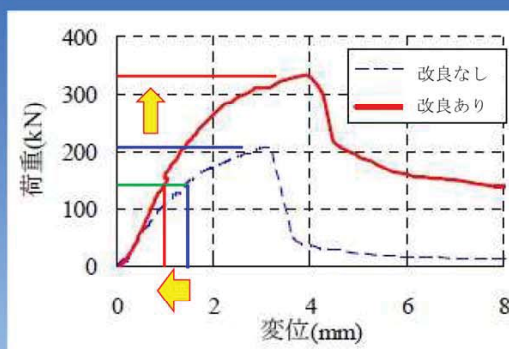
ケーソンの側壁補強工法の実験①結果(港空研)

①静的載荷試験

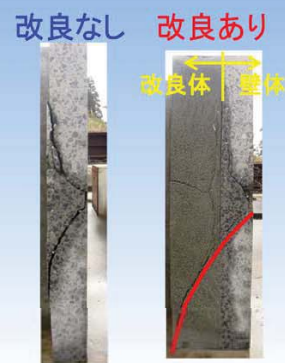
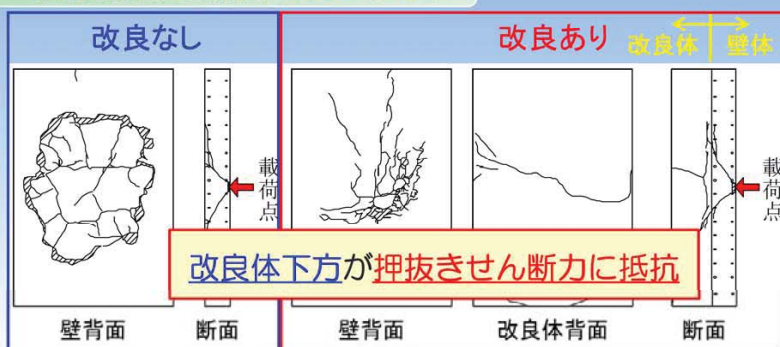
静的な耐荷性能の向上効果

1.5倍以上の耐力向上を確認

変形抑制効果を確認



破壊状況と補強メカニズム



※ 既設防波堤ケーソンの側壁補強工法の実験的研究(コンクリート構造物の補修、補強、アップグレード論文報告集, Vol.12, 2012)

12

ケーソンの側壁補強工法の実験②(港空研)

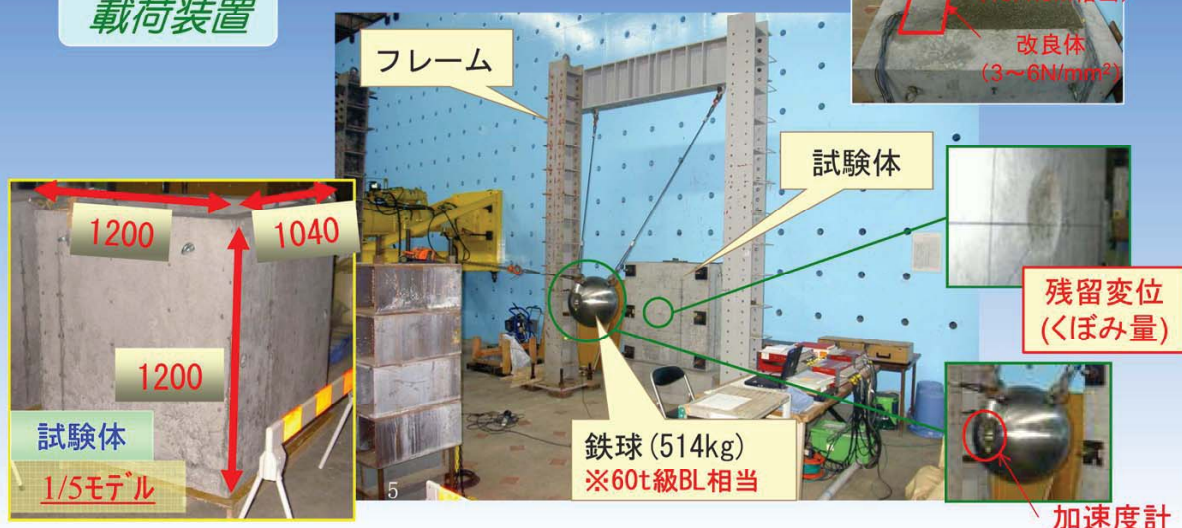
②繰返し衝撃載荷試験

目的

耐衝撃補強効果の確認

衝突速度・改良厚の影響把握

載荷装置

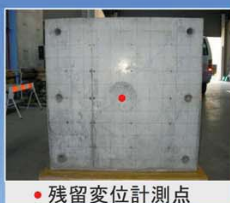


※ 既設防波堤ケーソンの側壁補強工法の実験的研究(コンクリート構造物の補修、補強、アップグレード論文報告集, Vol.12, 2012)

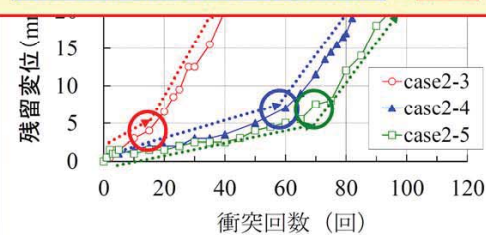
13

②繰返し衝撃载荷試験

破壊状況と破壊判定基準



残留変位の増加量の変化点を破壊



衝突点における残留変位と衝突回数の関係

破壊回数への衝突速度・改良厚の影響

せん断破壊に至る衝突回数

エネルギー 小 大	衝突速度	改良厚(mm)		
		300	200	0
	1.5(m/s)	70回	60回	15回
	2.0(m/s)	-	16回	7回

4倍
2倍

衝突速度が遅い程、改良の効果
が**大きい**ことを確認

改良厚が厚い程、改良の効果
が**大きい**ことを確認
※隔壁の40%以下の範囲

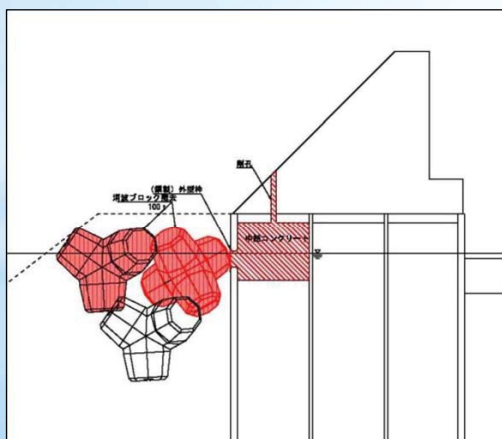
※ 既設防波堤ケーソンの側壁補強工法の実験的研究(コンクリート
構造物の補修、補強、アップグレード論文報告集, Vol.12, 2012)

14

那覇港の復旧工法の事例紹介

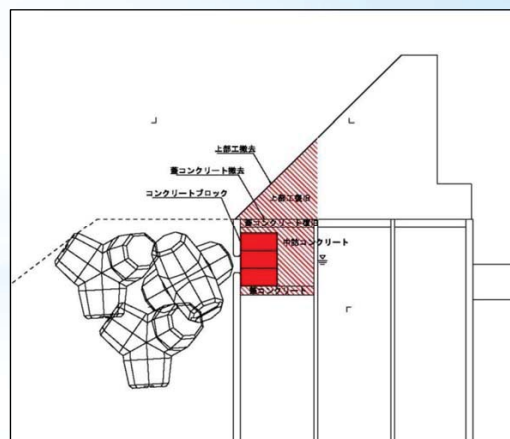
■外型枠工法

前面の消波ブロックを一部撤去した後、損壊部側壁に鋼製型枠をアンカーにて固定し、上部工からケーソン内部まで削孔した箇所からコンクリートを充填する。



■内型枠工法

消波ブロックの撤去が困難な箇所においては、上部工及び蓋コンクリートの撤去を行い、側壁損傷部を内側からコンクリートブロック等において穴埋めを行った後、中詰コンクリートを打設する。

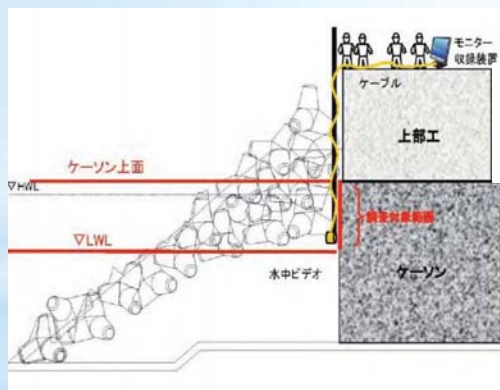


15

本体工側壁調査の概要

- 水中ビデオカメラを用いて本体工上端～L.W.Lの範囲を目視調査（一般定期点検診断）
- 消波工端部などの潜水可能な範囲を潜水目視（詳細定期点検診断）

・水中ビデオカメラによる目視

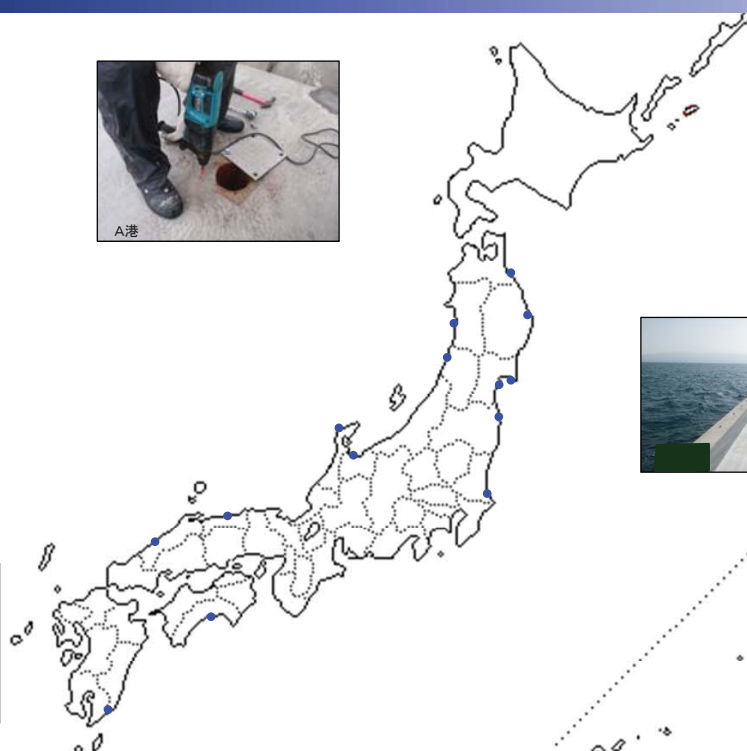


・潜水目視



16

ケーソン観測孔設置事例



研究論文

国総研資料 No.918 H28.6

点検診断の劣化度判定結果による
消波ブロック被覆堤本体工側壁の変状傾向に関する一考察

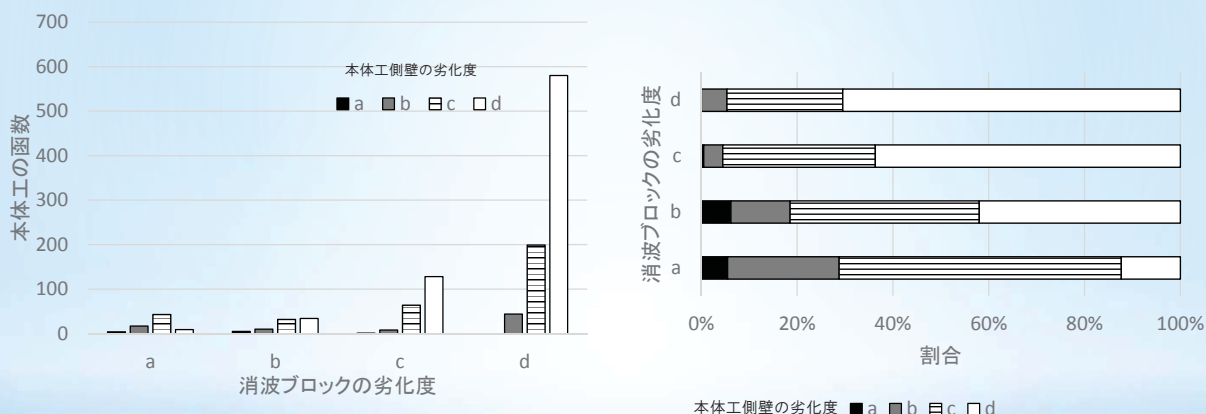


研究背景・目的

- 消波ブロック被覆堤では、波浪等の他、消波工の衝突によって本体工側壁に穴あき損傷が生じ、防波堤の機能低下に至るケースがある。
- 点検診断等を通じ、早期に発見し、対策することが重要。
- 一方、点検スペース等の問題から、変状を発見するのは容易でない。
- したがって、**変状連鎖等を考慮し、効率的に点検診断していくことが重要。**
- しかし、必ずしも変状連鎖等を考慮した点検診断が実施されていない。
- また、劣化度a(穴あき損傷等)に関する既往分析は様々あるが、劣化度b～dも含めた変状の発生傾向に関する分析はほとんどない。
- したがって、本研究では、**実際の劣化度判定結果を用いて本体工側壁とその他部材の変状の関連性や変状位置・大きさの発生傾向等を示す事で、効率的な点検診断に資することを目的とする。**

18

分析1: 本体工の劣化度と消波工の劣化度(移動、沈下)の関連性(1函単位)

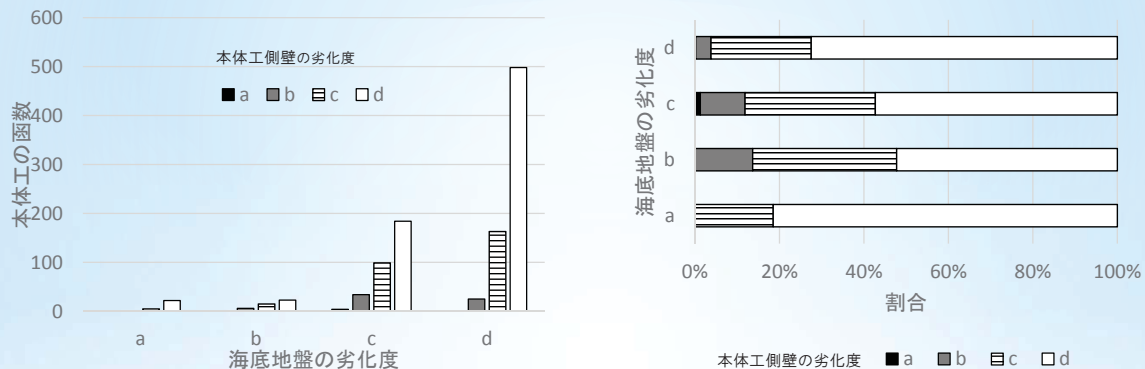


- ・本体工側壁の劣化度と消波工の劣化度に正の相関関係があることがわかる。
 - ・具体的には、本体工側壁の劣化度aの割合が、消波工の変状が大きくなるに伴い増加する。
 - ・逆に、本体工側壁の劣化度dの割合が、消波工の変状が大きくなるに伴い減少する。
- ⇒消波工の変状が本体工側壁の変状に影響を及ぼしている。

19

最近の研究事例の紹介①

分析2: 本体工の劣化度と海底地盤の劣化度(洗掘、堆積)の関連性(1函単位)

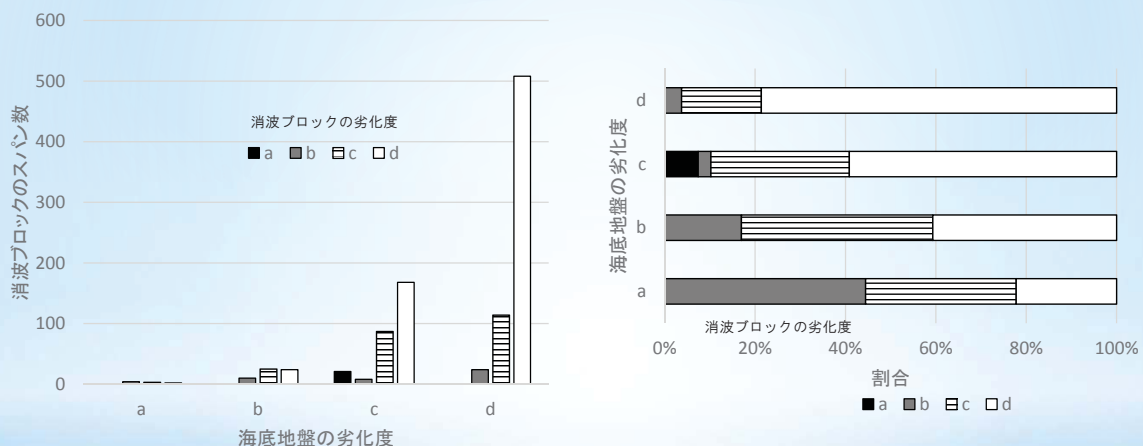


- ・本体工側壁の劣化度と海底地盤の劣化度に正の相関関係の可能性があることがわかる。
 - ・具体的には、(海底地盤の劣化度aを除いて)本体工の劣化度bの割合は、海底地盤の変状が大きくなるに伴い増加する。
 - ・逆に、本体工の劣化度dの割合は、海底地盤の変状が大きくなるに伴い減少する。
- ⇒海底地盤の変状が本体工の変状に影響を及ぼしている可能性がある。

20

最近の研究事例の紹介①

分析3: 海底地盤の劣化度と消波工の劣化度の関連性(1スパン単位)

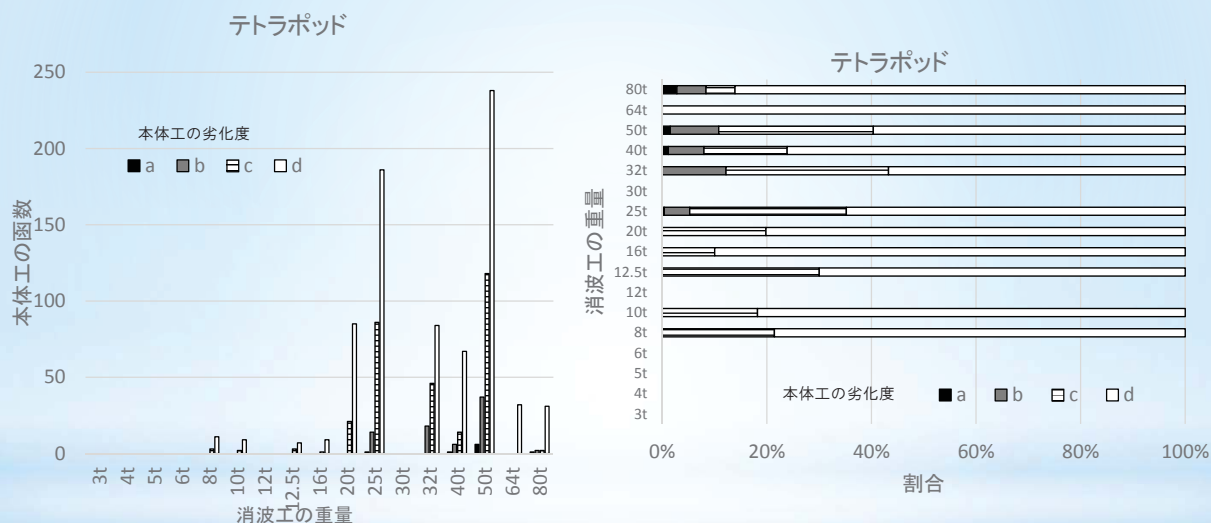


- ・消波工の劣化度と海底地盤の劣化度に正の相関関係の可能性があることがわかる。
 - ・具体的には、消波工の劣化度bの割合は、海底地盤の変状が大きくなるに伴い増加する。
 - ・逆に、消波工の劣化度dの割合は、海底地盤の変状が大きくなるに伴い減少する。
- ⇒海底地盤の変状が消波工の変状に影響を及ぼしている可能性がある。

21

最近の研究事例の紹介①

分析4: 本体工の劣化度と消波工(テトラポッド)の重量の関連性(1函単位)



- ・本体工の劣化度a,bの割合は、テトラポッド重量32t～80tの本体工で10%前後ある。
 - ・一方、テトラポッド重量8t～20tの本体工では、本体工の劣化度a,bはみられない。
- ⇒海洋環境が厳しく、消波工が大きい箇所で、本体工の変状が生じやすい。

22

最近の研究事例の紹介②

研究論文

国総研資料 No.921 H28.6

港湾施設の点検診断結果を踏まえた維持管理における配慮事項に関する検討

研究背景・目的

<背景>

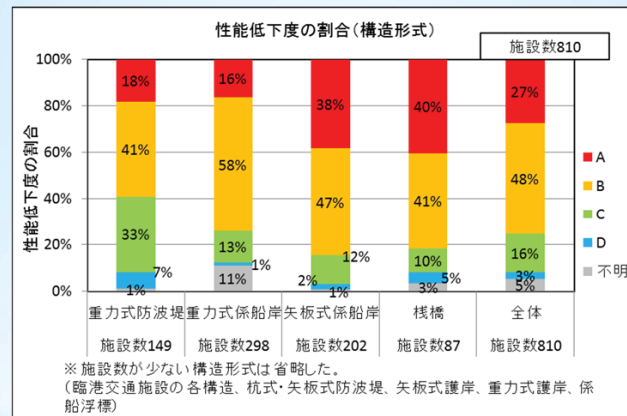
平成25年度に行われた**国有港湾施設の全国一斉緊急点検**において多数の施設の点検が実施されたが、緊急かつ短期に実施されたことから、港湾施設全体としての整理や変状傾向に対する分析が十分とは言えない状況であった。

<目的>

本研究は、効果的な維持管理に資することを目的に、緊急点検結果の整理および分析結果から、**設計・施工・点検時の維持管理における配慮事項について検討**を行った。

23

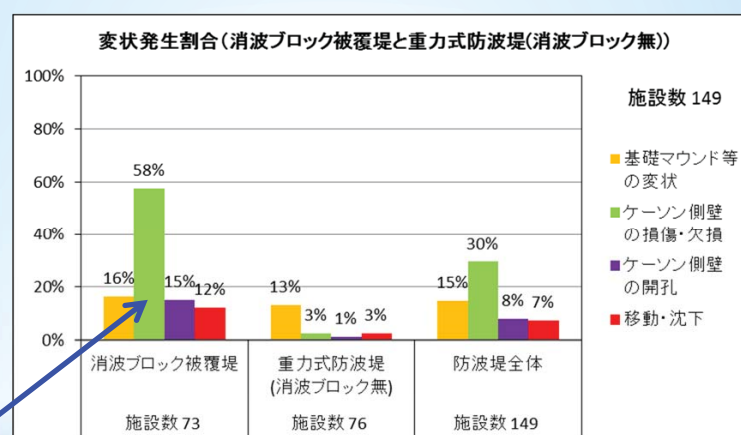
(1) 緊急点検施設の性能低下度



- ・点検施設全体の性能低下度Aの割合は27%であった。
- ・構造形式別では重力式防波堤および重力式係船岸に比べて**矢板式係船岸および栈橋の方が性能低下度Aの割合が大きい**(約40%)。
- ⇒ 鋼材(防食工を含む)が用いられる構造や栈橋構造では海水やその他の要因によって変状が発生しやすい傾向が表れた。

24

(2) 防波堤の変状傾向



発生割合が大きい。

※施設数が少ない杭式・矢板式防波堤(施設数6)については省略。
1施設に対して複数の変状が発生している場合もある。

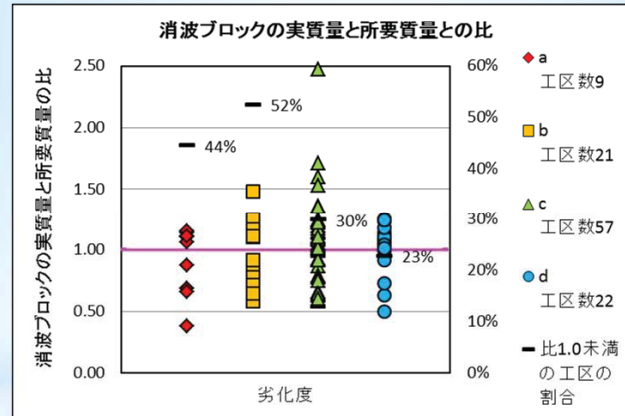
- ・消波ブロック被覆堤では重力式防波堤(消波ブロック無)に比べて、「ケーソン側壁の損傷・欠損」の発生割合が大きい。

25

最近の研究事例の紹介②

(3) 防波堤の変状傾向の分析(消波ブロックの実質量と所要質量の比)

- ・分析はケーソン側壁の損傷に対して、19施設、109工区を対象
- ・工区によって波浪条件等が異なるため、工区毎に整理



※所要質量が下回る消波ブロックが採用されているのは、実験結果または被害率5%を許容していることによるものである。

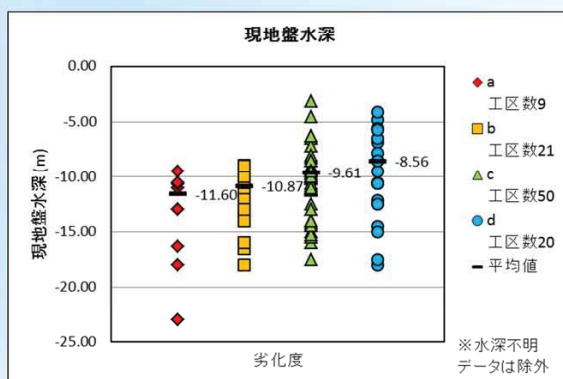
- ・劣化度c,dに比べて劣化度a,bの方が消波ブロックの実質量が所要質量を下回る工区の割合が大きい。

⇒ ケーソン側壁の損傷は所要質量を下回る工区で発生している。
このことから、消波ブロックの散乱が変状の要因と考えられる。

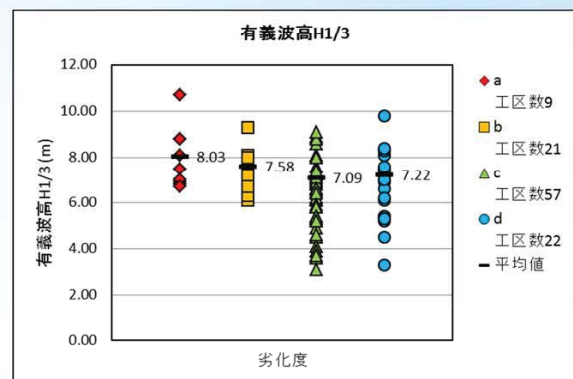
26

最近の研究事例の紹介②

(4) 防波堤の変状傾向の分析(現地盤水深と有義波高)



※水深不明データは除外



- ・劣化度c、dに比べて劣化度a、bの方が現地盤水深が深く、波高が大きい傾向にある。

⇒ 現地盤水深が深く、波高が高いなど厳しい環境下にある第一線防波堤ではケーソン側壁の損傷が発生しやすい。

波高7.0~8.0m以上の海域における消波ブロック被覆堤ではケーソン側壁の損傷が発生しやすい傾向にある。

27

消波ブロック被覆堤のケーソン穴開きに係る配慮事項等の整理

【設計時】

- 側壁の耐衝撃設計及び予防工法（側壁厚の増加等）の検討
- 観測孔の設置の検討（中詰材流出の確認）

【施工時】

- 確実な消波ブロックの設置（噛み合わせや側壁との接触面）
- 消波ブロックが施工途中で不安定になる状態の回避
- 基礎マウンドや海底面の洗掘防止対策

【点検時】

- 観測孔を用いた常時監視
- 消波ブロックの沈下や側壁との隙間等に注意した点検の実施
- 堤頭部、隅角部など断面変化点や消波ブロックの被覆範囲の変化する区間の重点点検の実施