

II-76

苫小牧西港商港-14m岸壁の断面形状について

北海道開発局 室蘭開発建設部 苫小牧港湾建設事務所 正 員 佐野 透
正 員 菅沼 史典

はじめに

苫小牧西港区商港地区石炭岸壁は、昭和38年の苫小牧港開港以来、道央圏の石炭の積出港としてその役割を果たしてきたが、近年における国のエネルギー政策の転換等により空知・夕張炭坑が閉山し、苫小牧港における移出石炭量が減少してきたため、遊休化しはじめた。一方、苫小牧港におけるコンテナの貨物量は、昭和61年961千トンから平成4年1615千トンと飛躍的に増加し、今後のコンテナ貨物量の増加に対応した港湾の整備が望まれてきた。

このような背景から、平成4年11月、水深-9mの石炭岸壁を水深-14mを有する外貿コンテナ岸壁に改良する計画が位置付けられ、来年度から本格的な事業にとりかかることとなった。

本岸壁の構造選定にあたっては、消波機能の付加、既設石炭岸壁の撤去の軽減等が配慮されており、その結果、鋼管矢板土留壁（部分的に鋼管スリット）およびストラットを導入した栈橋構造を採用した。

本報文は、商港-14m岸壁が新しい形状の栈橋として選定された経緯や、その設計概要等を紹介するとともに、前面に鋼管スリットがある栈橋の法面という今までにない形状の波浪反射特性を確認するために実施した水理模型実験の結果を報告するものである。

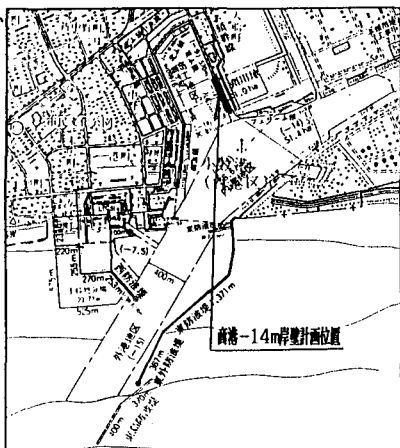


図-1 位置図

1. 設計の概要

本岸壁は、これから細部設計に入る段階であり、ここで紹介する断面形状については、今後、多少の変更があると考えられる。

1. 現況

石炭岸壁の現況図を図-2に示す。本岸壁の基礎構造は、直径4.0mの鉄筋コンクリート製井筒ケーソンとなっている。また、法面は、海底面から波打ち際付近まで捨石斜面が続く形状となっている。

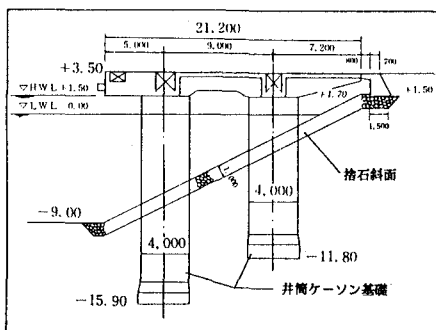


図-2 石炭岸壁断面図

2. 構造形式選定のための基本方針と選定の概要

(1) 基本方針

構造形式の選定にあたっては下記の項目について配慮した。

1) 岸壁の消波性能について

既設石炭岸壁は、波打ち際付近に法面を有する栈橋式岸壁であり、一般に捨石斜面での波浪反射率は比較的低いと推定され、消波性能は高いと考えられる。また、商港-14m岸壁は港口

から侵入してくる波浪を直接受ける可能性の高い本石炭岸壁の位置に計画された。これらのことから、港内の静穏度が現況より悪化することのないように、商港－14m岸壁の機能として現況程度の消波性能を付加することとなった。

2) 既設石炭岸壁の取扱いについて

改良にあたっては、既設の井筒基礎を－14m岸壁の構造部材として活用できないかを検討した。
その結果、岸壁の増深により基礎の補強が必要となり、井筒ケーソンは補強部材に対して重量の負担となるばかりで、商港－14m岸壁の構造部材としては活用できないことが確認された。このため、既設石炭岸壁は、商港－14m岸壁の整備に支障を来さない程度に撤去することとなった。

(2) 構造形式の選定

考えられる構造形式について、①消波性能、②既設岸壁の撤去の程度、③経済性等の観点から比較検討を行い、構造形式を選定した。なお、経済性の点については、本岸壁にコンテナクレーンが設置されるため、クレーン基礎杭の工費を含めた全体事業費についても配慮した。

その比較・検討の概要を表－1に示す。

①の矢板式岸壁については、消波性能が現況程度を望めないため、また、②の消波ケーソン式岸壁は、土工量が大規模になり経済的でないため却下された。

栈橋式については、栈橋背後に土留を有するもの、また、新しい形状として栈橋前面に土留めを有するものの2通りについて検討した。

背後に土留を有するものとしては、消波性能を高めるため直積消波ブロックの護岸を栈橋と組み合わせたところ(表中③)、既設岸壁の全面撤去が必要となり、また、土工量も比較的大きなものとなった。

栈橋前面に土留を有するものとして、土留を栈橋本体から独立させた自立型のもの(表中④)、土留を栈橋本体の上部工まで伸ばし土留と栈橋を一体構造とし、かつ、現況程度の消波性能を得るために土留として必要ない区間である海中部の継手ははずし鋼管スリットを形成させたもの(表中⑤)の2通りを検討した。

これらの案は、既設岸壁の捨石斜面をそのまま活用できるため、現況程度の消波効果を有することが期待され、また、既設岸壁の撤去についても捨石斜面から海中に突出した部分を対象とすればよく、井筒基礎の根入れの部分については撤去する必要がないため、撤去の程度が軽減されるものである。

このうち、④については、自立型の土留壁は変位量が大きく、自立壁で土留めされている地盤の変位が栈橋に与える影響が不明確であるため却下された。

以上の検討結果から、岸壁前面には鋼管矢板土留壁を構築して既設の捨石斜面を既設岸壁撤去の低減・消波特性の付加に活用しつつ増深に対処し、土留の水中部については継手ははずして隙間をつくり鋼管スリットを形成させ、また、ストラット部材を取り入れて杭の本数を低減させる⑤の案が採用された。

表－1 構造形式の比較・検討の概要

構 造 形 式	消波性能	既設岸壁撤去	経済性	評価
矢板式 ①矢板式岸壁	低い	ほぼなし	◎	
重力式 ②消波ケーソン式岸壁	高い	全面撤去	△	
栈橋式 ③栈橋式岸壁＋直積消波ブロック護岸	高い	全面撤去	△	
④自立型土留壁＋栈橋式岸壁	高い	部分撤去	○	
⑤鋼管スリット土留壁付き栈橋	高い	部分撤去	○	○

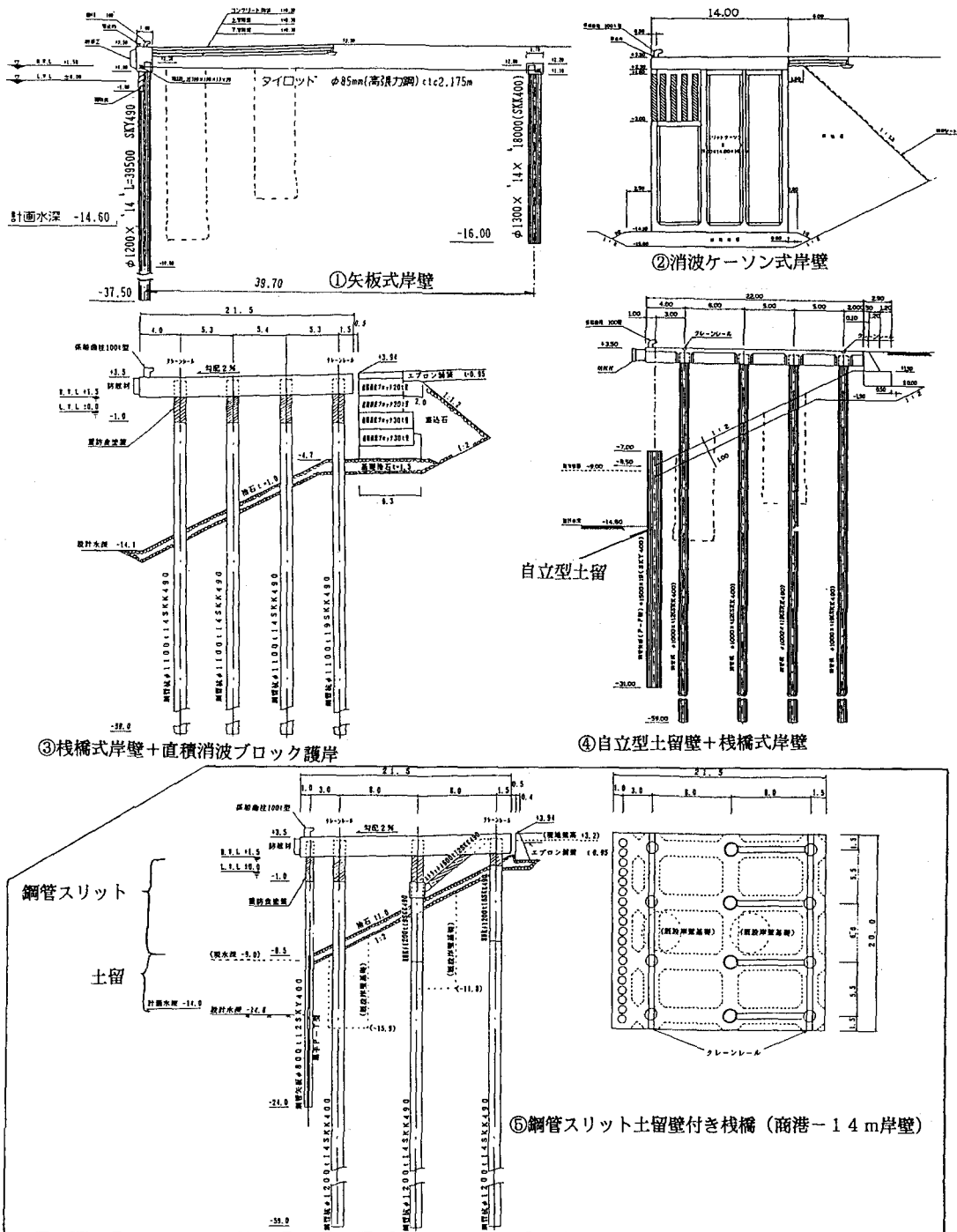


図-3 構造形式の比較・検討断面

3. 断面設計の概要

(1) 設計条件

設計条件の概要を表-2に示す。

(2) 前面矢板の設計

栈橋本体の基礎の設計に入る前に、前面矢板の断面形状を以下のように設定した。

設計外力については、常時において鋼管スリット部に引波、土留部に土圧が作用するものとし、地震時においては鋼管スリットに動水圧が作用するものとした。

矢板の断面形状および根入深度の算定は、通常の矢板の設計と同様に、仮想ばり法およびフリーアースサポート法により行い、また、矢板が栈橋本体と接続されるため栈橋の杭の横抵抗に必要な根入れ長として $3/\beta$ についても考慮した。

算定の結果、自立型の土留壁と比較して、杭径が半分程度となり、また、杭の根入れ深度を7m浅くできた。

(3) 本体の設計

設計荷重の作用状態について地震時の場合を図-4に示す。

前面に土留スリットがあるために、通常の栈橋と異なり、土圧および水圧等の水平方向の荷重が作用している。

部材力の算定は平面骨組構造解析により行った。その結果について地震時の場合を図-5に示す。算定の結果、一般にクレーンが載る栈橋岸壁においては、スパン中央付近の上部工で杭基礎がある箇所において多大なモーメントが発生するが、本断面ではストラットの取付けによりこの応力集中を半分程度に低減できた。また、前面に鋼管土留スリットがあり、これにかかる荷重に抵抗するため、杭径等が一般の栈橋に比較して若干大きくなった。さらに、中央の基礎杭とストラットの定着箇所付近、また、陸側杭頭付近において局所的に杭に応力が集中しているため、この箇所においては杭の肉厚を部分的に増やす変断面を採用した。

表-2 設計条件の概要

設計水深	: -14.6m
天端高	: +3.5m
バース延長	: 330m
対象船舶	: 50,000DW
接岸速度	: 0.10m/s
船舶の牽引力	: 100t/35m
設計震度	: kh=0.15, kh'=見掛けの震度
クレーン条件	: 総重量820t、輪荷重19~64t/輪
土質条件	: 下記の通り

深 高	N値	泥留部単位体積重量 γ (tf/m ³)	水中単位体積重量 γ' (tf/m ³)	内部摩擦角 ϕ (°)	粘着力 C (tf/m ²)	横方向単位反力係数 kh (tf/cm ²)
+3.50~-19.00	15	2.0	1.0	30		2.25
-19.00~-23.50	50	1.5	0.5	40		7.50
-23.50~-37.00	11	1.5	0.5	30		1.65
-37.00~-40.00	28	2.0	1.0	40		4.20
-40.00~-47.00	20	1.7	0.7		20	3.00
-47.00~-58.00	30	1.9	0.9		30	4.50
-58.00~	50	2.0	1.0	40		7.50

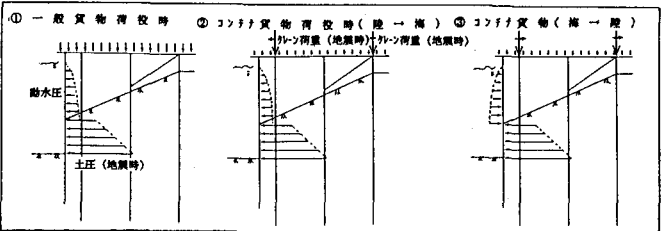


図-4 設計荷重の作用状態 (地震時の場合)

の場合を図-5に示す。算定の結果、一般にクレーンが載る栈橋岸壁においては、スパン中央付近の上部工で杭基礎がある箇所において多大なモーメントが発生するが、本断面ではストラットの取付けによりこの応力集中を半分程度に低減できた。また、前面に鋼管土留スリットがあり、これにかかる荷重に抵抗するため、杭径等が一般の栈橋に比較して若干大きくなった。さらに、中央の基礎杭とストラットの定着箇所付近、また、陸側杭頭付近において局所的に杭に応力が集中しているため、この箇所においては杭の肉厚を部分的に増やす変断面を採用した。

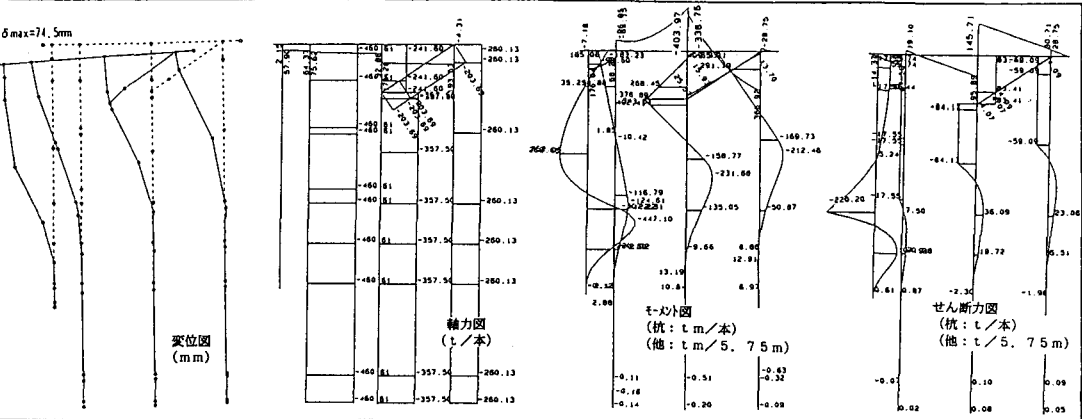


図-5 構造解析結果 (地震時 (クレーンあり、陸→海) の場合)

II. 岸壁の消波性能について

商港-14m岸壁の消波性能が、現況の石炭岸壁と比較して同等程度を確保できるかを確認するため、2次元水路および平面水槽による水理模型実験を実施した。なお、岸壁の消波性能の評価に際しては、平成4年1月に石炭岸壁前面において実施した波浪観測の結果を併せて検討を行った。

1. 2次元水路による模型実験

(1) 実験概要

直入射波に対する岸壁の改良前後の反射特性の違いを検討するため、2次元水路により以下の2種類の模型を対象として実験を行った。なお、模型Bは、-9mから-14mまで段差となり、法面の形状が現況と多少異なるが、水深が深いため反射率に及ぼす影響は少ないと考えられる。実験概要については図-6に示す。

模型A：-14m岸壁モデル（捨石斜面と前面に鋼管スリットを開口率 $\varepsilon=22\%$ で取付けたもの）

模型B：現況モデル（捨石斜面のみのもの、開口率 $\varepsilon=100\%$ ）

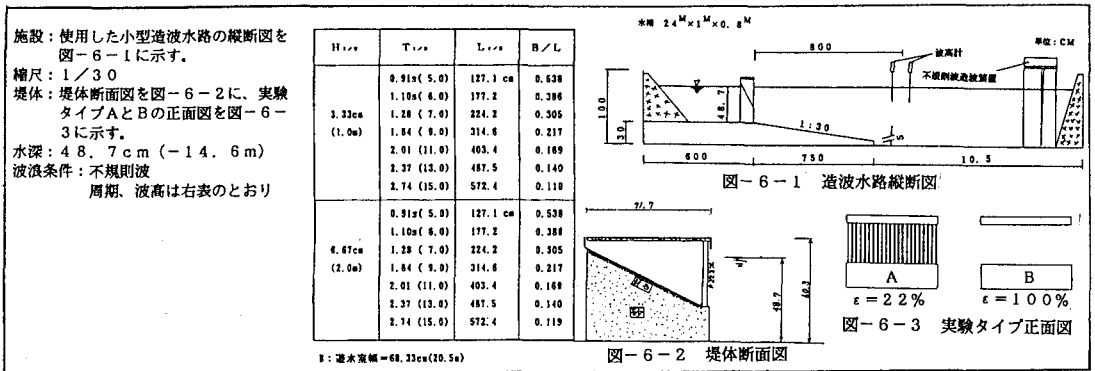


図-6 2次元水路による模型実験の概要

(2) 実験結果

得られた反射率のデータを波長に対する堤体幅($B=20.5m$)の比で整理したのが、図-7である。この図から以下の点が読みとれる。

①周期5秒および6秒の波に対しては、AとBの反射率は0.3~0.4の範囲で、ほぼ同じ値を示す。

②周期7秒以上の波に対しては、周期が大きくなるとBの反射率が高くなる一方、Aの反射率は0.5程度に押さえられている。

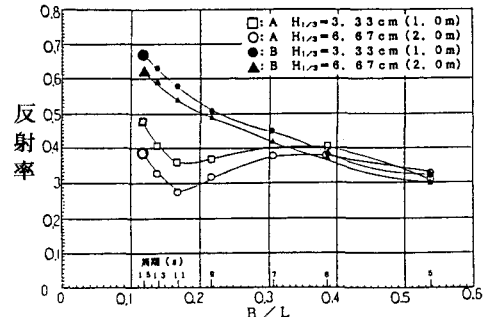


図-7 反射率測定結果

2. 平面水槽による模型実験

(1) 実験概要

斜め入射波に対する商港-14m岸壁の反射率を明らかにするため、0度、22.5度、45度の3方向の入射角を対象に平面水槽による実験を行った。その概要を図-8に示す。

施設：使用した大型平面水槽の平面図を図-8-1に示す。
縮尺：1/40
堤体：Aのみを対象 模型延長 0.98m×10=9.8m
波高計設置位置（反射率測定位置）：1）堤体中央 2）中央から2m堤尾側
反射率は上記2地点における測定値の平均値とした
波浪条件：不規則波
周期、波高は以下のとおり

波向(°)	H _{1/2} (m)	T _{1/2} (s)	H/L
0	1.0	④4.0 ⑤5.0 ⑥7.0	0.040~0.015
22.5	2.0	④6.0 ⑤8.0 ⑥9.0	0.038~0.020
45			

図-8 平面水槽による模型実験の概要

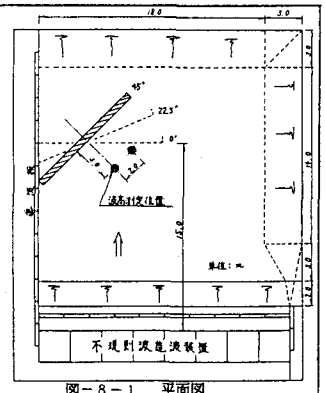


図-8-1 平面図

(2) 実験結果

22.5度、45度の入射角における反射率のデータを0度の反射率に対しての比で表し、入射角および波形勾配で整理したのが図-9である。この図から以下の点を読みとれる。

- ①波形勾配が0.026~0.040の場合、入射角が22.5度で最大2割程度、45度で5割程度、反射率が増加している。
- 0.025以下の場合、反射率は増加していない。

3. 石炭岸壁前面の波浪観測の結果

(1) 波浪観測の概要

石炭岸壁バース中央の岸壁法線から10m前（水深-12.7m）の地点に、水圧式波高計付電磁流速計を設置し、平成5年1月27日から2月10日の2週間の期間にわたり、毎偶数時10分前から10分間（サンプリグ間隔0.5秒）の観測を行った。

(2) 観測結果

波高・周期頻度表、波形勾配頻度表、有義波高・周期・主波向・方向集中度の時系列変化図を図-9に示す。この結果から以下の点を読みとれる。

- ①波高の測定を水圧式波高計により行ったため、波高・周期が小さい波浪のデータが確実にとれているか若干心配は残されるものの、波高・周期頻度表においては明らかにH1/3で0.1m以下、T1/3で10秒程度の頻度が高く分布している。また、波形勾配では0.001以下の頻度が高い。
- ②有義波の波形勾配が0.02以上の波浪は観測されなかった。
- ③主波向は、岸壁への入射角でほぼ±20度の範囲内にある。

4. 岸壁の消波性能についての検討結果

- ①直入射に対しては、2次元水路の実験結果から現況に比較して改良後の方が消波性能が高まると考えられる。
- ②一般に捨石斜面では入射角によらず反射率は一定であると考えられるので、平面水槽の実験結果から、入射角および波形勾配がある程度大きい斜め入射波に対しては、現況に比較して数割程度反射率が増加すると考えられる。しかしながら、上述のような入射角および波形勾配がある程度大きい斜め入射波の出現頻度は、現地観測の結果からほとんどないと考えられるので、実際には全体として現況程度の消波性能が得られると考えられる。

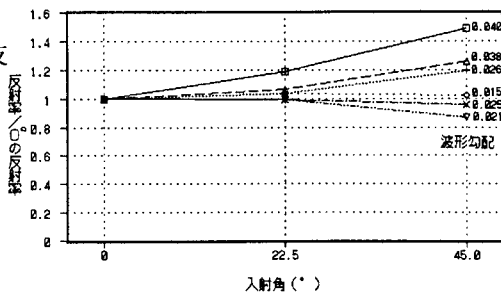


図-9 反射率測定結果

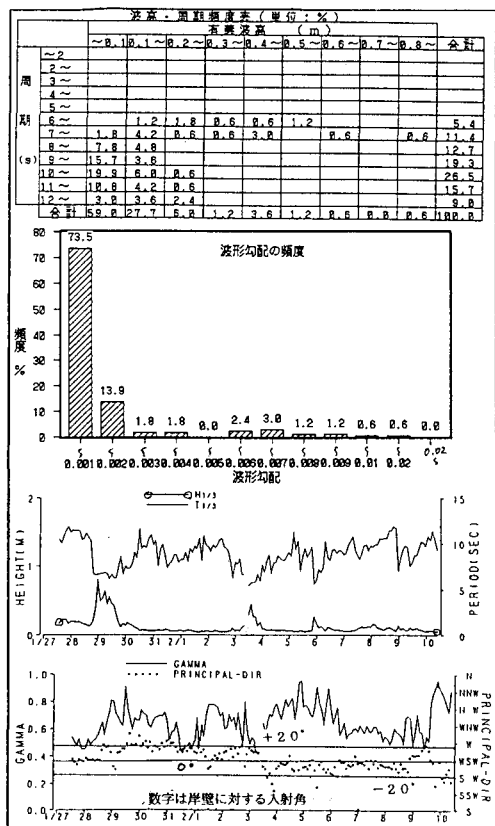


図-10 波浪現地観測結果

あとがき

商港-14m岸壁の断面設計においては、鋼管矢板の継手を部分的にはずすことにより、土留兼スリットという鋼管矢板を提案し、これを栈橋本体の上部工の前面に取付けることで、現況程度の消波性能の確保および既設岸壁の撤去の軽減といった課題にある程度対処できたと考えている。

また、鋼管スリット+捨石斜面という新しい形状での消波性能に関する実験に関しては、直入射の波であれば広範囲の周期に対して高い消波性能を発揮し、斜め入射波に対する反射特性を含め、全体として現況程度の消波性能は確保できたという結果が得られた。