

透過式両面スリット構造式ケーソンの水理特性

HYDROLOGIC CHARACTERISTICS OF CAISSON WITH A PERMEABLE DOUBLE SLIT STRUCTURE

早川篤¹・加藤幸輝²・湯口雄司³・伊東公人⁴・戀塚貴⁵

Atsushi HAYAKAWA, Takaki KATO, Yuji YUGUCHI, Kimihito ITO and Takashi KOIZUKA

¹非会員 北海道開発局 小樽港湾事務所 (〒047-0008 小樽市築港2番2号)

²非会員 石狩湾新港管理組合 (〒061-3242 石狩市新港中央1丁目202番地)

³非会員 北海道開発局 小樽港湾事務所 (〒047-0008 小樽市築港2番2号)

⁴正会員 北海道開発局 小樽港湾事務所 (〒047-0008 小樽市築港2番2号)

⁵非会員 北海道開発局 小樽港湾事務所 (〒047-0008 小樽市築港2番2号)

To increase calmness at Furubira Fishery Port in Hokkaido, Japan, construction of an east groin was planned. One requirement for the groin was to efficiently controls invading waves from the outside of the port and reflected waves from inside. A permeable double slit-caisson structure was selected for its permeability and ability to dissipate waves on both sides. A groin with such a structure dissipates waves on both its seaward-facing and portward-facing sides, allowing it to reduce reflective waves and increase calmness inside the port. A hydraulic model test using a two-dimensional wave channel revealed that incorporation of holes in the internal wall of the caisson affords wave-dissipating ability against long-period waves.

Key Words : slit caisson, transmission coefficient, reflection coefficient, harbor tranquility

1. はじめに

静穏度向上や反射波対策を目的として開発されたスリットケーソンは、港外から来襲する波や岸壁前面の波高を低減させることに着目しているため、通常、スリット部は港外側のみとなっている。

一方、港内反射波の低減を図る目的として、防波堤港内側にも消波機能を有した両面スリット構造のケーソンも開発された事例もある。

本研究は、古平漁港東突堤の構造形式を決定するために行った現地波浪観測による静穏度解析の検討内容や採用された透過式両面スリット構造式ケーソン(図-1)の水理特性を把握するために実施した水理模型実験を取りまとめたものである。

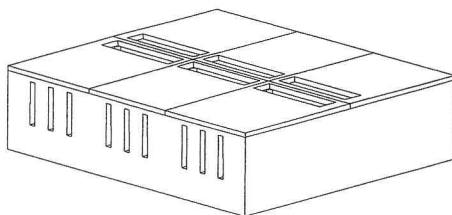


図-1 透過式両面スリットケーソン

2. 施設概要

(1) 静穏度解析による現況の確認

古平漁港に計画された東突堤の整備目的は、図-2に示すように防風雪施設が整備された-4.0m岸壁周辺の静穏度向上である。

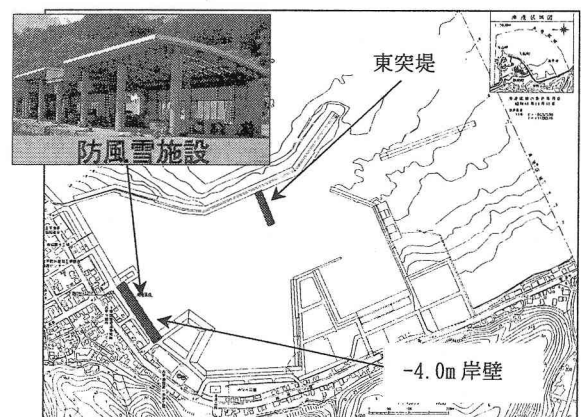


図-2 古平漁港-4.0m岸壁位置図

設計に先立ち、-4.0m岸壁の利用率の改善が図られるよう、静穏度解析(緩勾配方程式を有限要素法で

解く手法)を用いて東突堤の最適構造を検討した。

図-3, 4, 5 は、静穏度解析結果を示しており、図中の数値は利用率(%)である。図-3 は現況の静穏度解析図であり、-4.0m岸壁の利用率は93.2%であり、目標利用率95%を満足しないことがわかった。

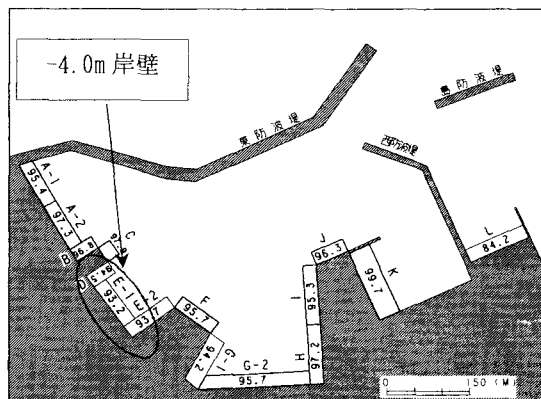


図-3 静穏度解析図(現況)

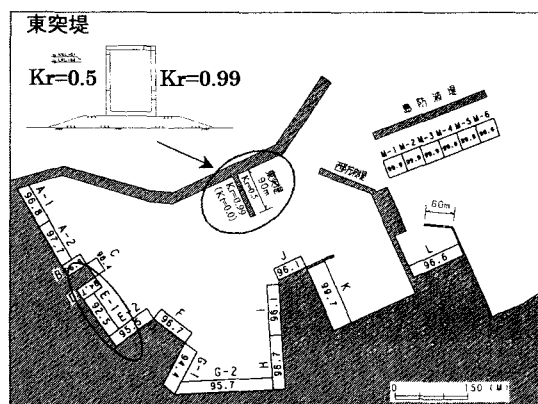


図-4 静穏度解析図(港外側のみ消波構造)

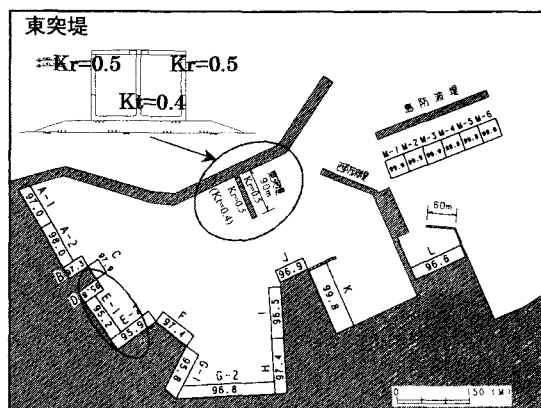


図-5 静穏度解析図(港外・港内側を消波構造)

(2) 施設配置と構造形式の決定

利用率を向上させる新規施設配置を検討した結果、①沖合に防波堤を建設する場合は割高である、②航路幅を狭めない箇所に突堤を設置して欲しいと

の地元要望を考慮し、島防波堤を建設する案や、港口付近で突堤を建設する案は不適と判断された。

また、地元要望に応じて港内に突堤を設置する場合には港口からの侵入波を消散させるため、消波機能が必要となった。

このため、①直立消波ブロック堤、②消波ブロック傾斜堤の案などが考えられたが、傾斜堤案では消波ブロック法足が船舶航行の障害となることから不適と判断した。

よって、港内に東突堤を設置し、その構造形式は船舶の航行に支障をきたさない直立消波構造を選定した。

(3) 水理特性の決定

検討当初においては、港口から侵入する波を消散させることにのみ着目し、図-4 に示すように港外側を消波構造(反射率 $K_r=0.5$)、港内側を直立構造(反射率 $K_r=0.99$)とし、直立消波堤(伝達率 $K_t=0$)を想定し静穏度解析を行った。[ここで、 K_r : H_r (反射波高)/ H_i (入射波高)]

しかし、このケースでは全ての係留施設の利用率を95%以上満足することができなく、むしろ東突堤を設置することにより-4.0m岸壁(E-1岸壁)の利用率が、現況と比較すると0.7%低下する結果となった。

これは、新規に東突堤を設置することによって、直立部の反射面が追加された結果、港内の反射波が増大したためによると考えられた。

そこで、港内の反射波を消散させるため、東突堤の港内側にも消波構造(港外・港内側の反射率 $K_r=0.5$)とし、同時に懸念されている閉鎖水域を解消できるかどうか確認するため、東突堤を透過壁と設定し、再度、伝達率を $K_t=0.2, 0.4, 0.5$ の3ケースで静穏度解析を行った。[ここで、 K_t : H_t (伝達波高)/ H_i (入射波高)]

その結果、東突堤の両面に消波機能を設け(反射率 $K_r=0.5$)、且つ伝達率 $K_t=0.4$ 以下の場合で、図-5 に示すとおり全ての係留施設の利用率を95%以上満足する結果を得られた。

これらのシミュレーションにより検討した結果、東突堤に必要な水理特性を下記のとおりと定めた。

- ①堤体の港外・港内側の反射率 $K_r=0.5$ 以下となる構造であること。
- ②堤体の伝達率 $K_t=0.4$ 以下となる構造であること。

これらの条件を満足する構造形式は、直立消波ブロック堤と透過式両面スリットケーソン堤が考えられ、経済比較の結果、透過式両面スリットケーソン堤を基本に検討を進めることとした。

3. 水理模型実験

スリットケーソンの試験・研究は、数多く実施さ

れており、現在では理論及び実験を基にした設計法が確立されている^{1),2)}。

しかし、反射率、伝達率及び設計波力の特性は、遊水室の幅や構造形式、波長、周期等の水理条件により大きく変化するため、その手法を適用する場合には適用限界が定められている場合が多い。

また、設計に当たっては十分に信頼に足る算定手法が提案されているもの以外は、水理模型実験を行って検討しなければならない³⁾としている。

さらに、今回採用した透過式両面スリットケーソンは過去に設計事例がなく設計法が確立されていないことから、スリットケーソン(片面側のみスリット)の研究成果を参考にし、水理模型実験により、堤体の水理特性(反射率・伝達率等)及び波力特性を把握することとした。

(1) 水理模型実験の概要

水理模型実験は、模型縮尺を 1/20 とし、図-6 に示すように二次元造波水路内に模型を設置して、表-1 に示す実験条件で実施した。

また、図-7 は実験断面を示している。

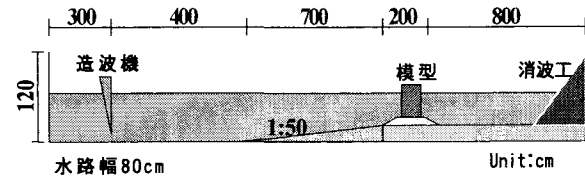


図-6 水理模型実験水槽

表-1 水理模型実験条件

実験1：反射率・伝達率の測定 (不規則波実験) 導水口開口率 $\varepsilon = 0, 5, 10\%$	$H_{1/3} = 1.0\text{m}$ $T_{1/3} = 7 \sim 13\text{sec}$ H.W.L. & L.W.L.
実験2：流速の測定 (不規則波実験) 導水口開口率 $\varepsilon = 10\%$	$H_{1/3} = 1.0\text{m}$ $T_{1/3} = 7 \sim 13\text{sec}$ H.W.L. & L.W.L.
実験3：波力の測定 (規則波実験) 導水口開口率 $\varepsilon = 10\%$	$H_{\text{max}} = 1.8\text{m}$ $T_{\text{max}} = 13.1\text{sec}$ H.W.L. & L.W.L.

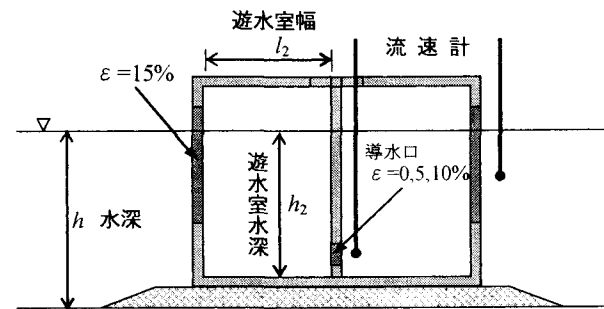


図-7 実験断面

なお、遊水室幅 l_2 は、図-8 に示す谷本・吉本¹⁾の遊水室幅算定図表より反射率 $K_r < 0.5$ にするには、 $l_2/L_2 = 0.09 \sim 0.35$ の範囲となる。

この時、遊水室幅 l_2 を 5.7m と仮定すると、消波対象となる周期 8sec の場合には $l_2/L_2 = 0.091 \sim 0.093$ となり条件をほぼ満足することから、 $l_2 = 5.7\text{m}$ として実験を行った。[ここで、 l_2 ：遊水室幅、 L_2 ：遊水室水深における波長]

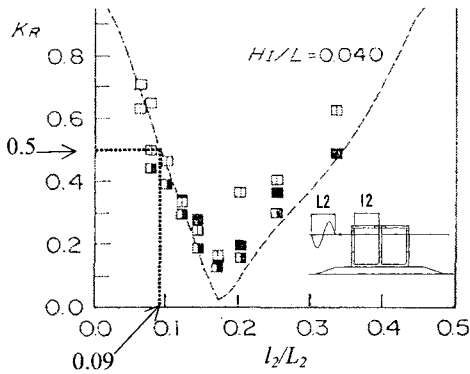


図-8 遊水室幅算定図表

実験1は、模型内にある導水口の開口率(水中に没している部分のケーソン隔壁面積に対する導水口の面積)を 0%, 5%, 10% の場合で実験を行い、透過式両面スリットケーソンの反射率及び伝達率特性を調べるものである。また、反射率は水槽内の造波機前面に設置した波高計により測定し、伝達率は模型前面及び背後に設置した波高計により測定した。

実験2は、模型内の導水口と港内側スリット部背後に流速計を設置し、各箇所における流速の大きさ及びその方向を明らかにするものである。

実験3は、模型に圧力計を設置し、各部材に作用する波圧特性を明らかにするとともに、上床版に作用する揚圧力を測定するものである。

また、既往の研究^{4),5)}によれば、上床版に作用する圧力は一般的な算定式を提示するまでには至っていないが、上床版に開口部を設けることにより揚圧力を軽減できるとしている。

よって、本実験ではその圧力特性を把握し、上床版に開口部がある場合とない場合とを比較し、その有効性を検討した。

(2) 実験結果

a) 反射率 K_r 特性と遊水室幅の決定

図-9 は、実験1の条件で実施した H.W.L. における反射率 K_r の特性を示している。

実験の結果、同じ遊水室幅比 l_2/L_2 の導水口開口率 ε 毎に比較すると、波長が長い波になるほど K_r の差が広がっていくことがわかる。

一方、波長が短い波については、開口率 ε に依らず反射率 0.5 以下を確保できることがわかる。

また、消波機能を発揮させるためには、導水口を設置することが有効であると考えられる。

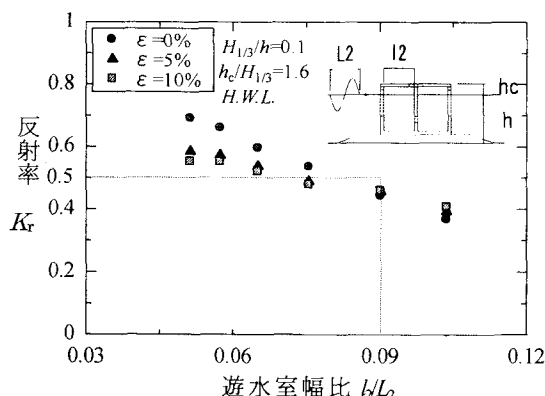


図-9 反射率 K_r の特性

これは、図-7に示すように、導水口の上端高さが、前面スリット部の下端高さよりも下側にあることによって、侵入する波を後壁で反射させると同時に、侵入波により発生する水塊の流れの一部を導水口から解放することによって、反射率を低減させたものと推測される。

さらに、導水口の開口率が5%と10%の場合の K_r を比較すると、両者の差はほとんどなく、開口率の大きさが反射特性に与える影響はほとんどないものと考えられる。

この実験結果より、谷本らの遊水室幅算定図表を参考にして定めた遊水室幅 $l_2=5.7\text{m}$ において、水理条件で必要とする $K_r=0.5$ をほぼ満足することが確認できたため、遊水室幅を 5.7m と決定した。

b) 伝達率 K_t 特性と導水口開口率の決定

図-10は、実験1の条件で実施したH.W.L.における伝達率 K_t の特性を示している。

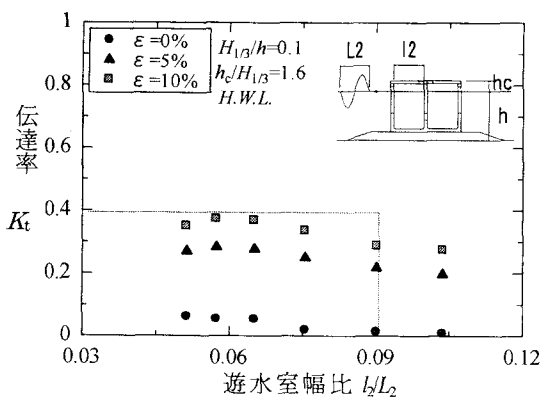


図-10 伝達率 K_t の特性

実験の結果、どの導水口開口率 ε でも遊水室幅波長比に関係なく K_t がほぼ一様であり、同じ遊水室幅波長比 l_2/L_2 における K_t を ε 毎に比較すると、導水口を設けることによって K_t は増大する傾向にあることがわかる。

また、本実験では東突堤の有義波高 ($H_{1/3}=1.0\text{m}$) が比較的小さいことを考慮し、非越波条件で実施していることから、 K_t の差異は導水口開口率 ε の差異のみによるものと考えられる。

なお、水理条件で必要となる K_t は静穏度解析結果より0.4以下であり、どの ε でも遊水室幅波長比 l_2/L_2 に関係なく0.4以下を満足していることを確認できる。東突堤の建設による水域閉鎖の影響を小さくするため、開口率を $\varepsilon=10\%$ と決定した。

c) 有義流速 $U_{1/3}$ の特性

図-11は、実験2の条件で実施した有義流速の測定結果を示している。

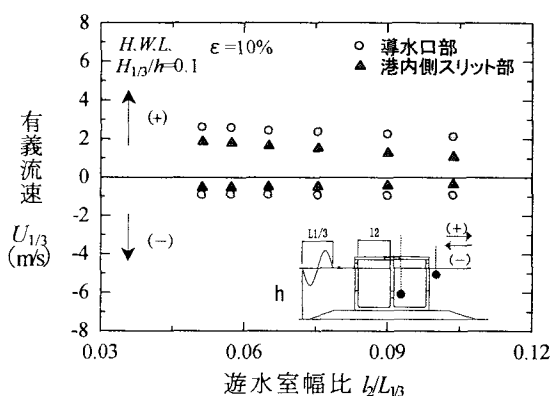


図-11 有義流速 $U_{1/3}$ の特性

実験1の結果より、導水口開口率を $\varepsilon=10\%$ の場合で実験した。流速計は、堤体内の導水口部と港内側スリット部に設置し、流速の符号は港内向きに流れる方向を正、港外向きに流れる方向を負とした。

この図より、港内側スリット部で発生する流速は、港内向きへ流れる方が大きく、港内向きが 2.0m/s 程度、港外向きが 0.5m/s 程度であり、その平均値は港内向きで $+1.0\text{m/s}$ 程度で流れることがわかる。

これより、透過式両面スリットケーソンは、港外から港内への流れを発生させることが確認できた。

また、導水口部と港内側スリット部の有義流速を比較すると、導水口で発生した流速が20～50%程度減衰された後、港内側へ流出していることがわかる。

d) 波力特性

図-12は、実験3の条件で実施した床版に作用する揚圧力の結果を示している。遊水部を上床版で全て覆う場合(グレーチングなし)では、 100kN/m^2 程度の揚圧力が作用することがわかる。この揚圧力を軽減させる目的で開口率10%の開口部(グレーチングあり)を設けた場合では、開口部がない場合よりも80%以上低減できることがわかった。

図-13、14は、実験3の条件で実施した各部材に作用する波力を示している。これらの図より測定された波力は、合田準用式⁶⁾による波圧分布とほぼ一致することを示している。

これより、透過式両面スリットケーソンの各部材

の応力計算には、合田準用式が適用可能であると考えられる。

なお、これらの水理模型実験結果より検討し決定した古平漁港東突堤の透過式両面スリットケーソンの標準断面は、図-15 に示すとおりである。

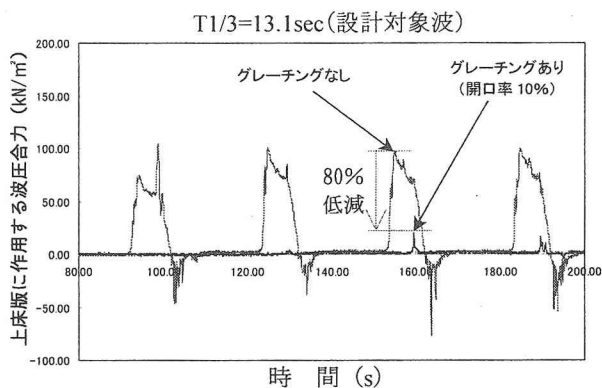


図-12 上床版に作用する揚圧力

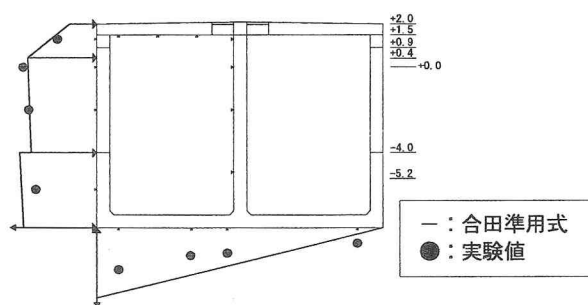


図-13 波力分布図(スリット前面波圧最大時)

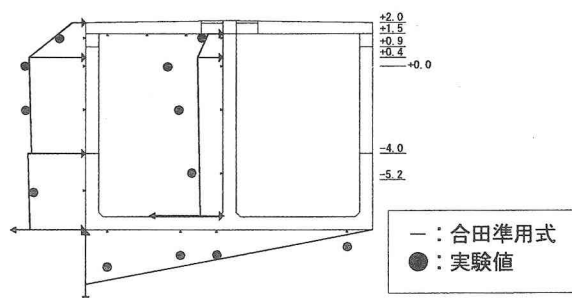


図-14 波力分布図(後壁波圧最大時)

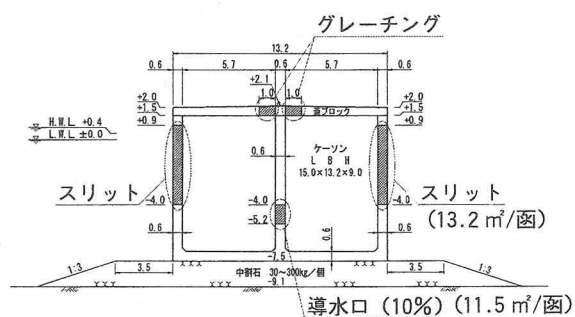


図-15 東突堤標準断面図

4. まとめ

古平漁港の静穏度向上を目的として開発された透過式両面スリット構造式ケーソンの水理特性は、以下のとおりである。

- 1) 港内側に消波機能を設けることにより、港内反射波を低減し、静穏度の更なる向上が図れる。
- 2) 堤体内に導水口を設置し、その開口率を 10% とすることにより、比較的長い周期 (13 s 程度) に対しても消波効果が図れる。
- 3) 堤体内に導水口を設置することにより、港外側から港内側への流れを発生させる。

今回報告した古平漁港東突堤は、計画延長 90m の内、平成 15 年度に 30m を整備し、平成 17 年度の完成を目指している(写真-1、写真-2)。

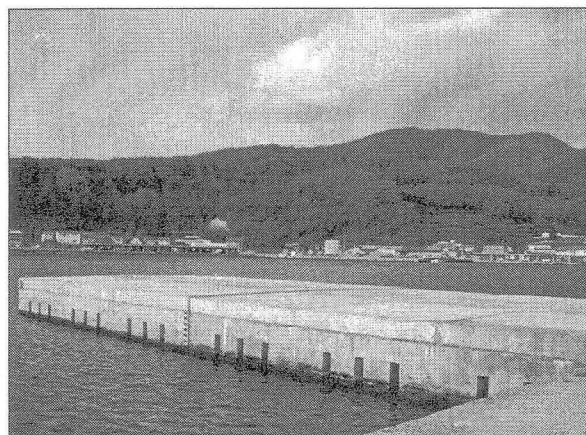


写真-1 東突堤(施工延長 30m : 港外側)

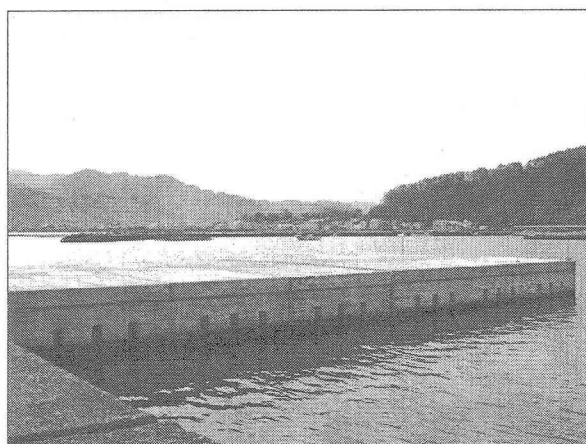


写真-2 東突堤(施工延長 30m : 港内側)

本施設の整備目的は、静穏度向上を目的としており、長周期波や副振動対策の効果を期待するものではないが、比較的長い周期に対しても消波効果が得られることがわかった。

したがって、東突堤の整備が完了した段階で船体動揺や波浪等の現地調査を行い、長周期波に対して

の効果及び有効性の検討を行う必要があると考えている。

謝辞：本報告の実験の実施においては、(独法)北海道開発土木研究所港湾研究室のご協力を得た、ここに記して謝意を表します。

参考文献

- 1) 谷本勝利, 吉本靖俊: 直立消波ケーソンの反射率に関する理論及び実験的研究, 港湾技術研究所報告第 21 巻第 3 号, pp. 43-77, 1982.
- 2) 高橋重雄, 下迫健一郎, 佐々木均: 直立消波ケーソンの部材波力特性と耐波設計法, 港湾技術研究所報告, 第 30 巻第 4 号, pp. 3-34, 1991.
- 3) 日本港湾協会: 港湾の施設の技術上の基準・同解説(上巻), pp. 150-151, 1999.
- 4) 谷本勝利, 高橋重雄: 直立消波ケーソンの上床版に働く空気圧縮揚圧力, 第 27 回海岸工学講演会論文集, pp. 315-319, 1980.
- 5) 小川達彦, 時川和夫: 多孔型ケーソンタイプ消波防波堤の特性, 第 23 回海岸工学講演会論文集, pp. 106-111, 1976.
- 6) 谷本勝利, 本浩司, 石塚修次, 合田良美: 防波堤の設計波力算定についての検討, 第 23 回海岸工学講演会論文集, pp. 11-16, 1976.