

浦河港水中荷捌場における海水交換特性について

明田 定満* ・山本 泰司**・谷野 賢二***
木村 克俊****・小野寺利治*****

1. 緒 言

近年、北海道の沿岸漁業は北洋漁業の衰退に伴い、採る漁業から資源管理型漁業、いわゆる栽培漁業への転換が図られており、道内の漁港は漁船漁業の根拠地としての機能以外に、活魚流通や資源管理型漁業の拠点としての機能強化が要望されている(明田ら、1995)。

一方、消費者の高鮮度志向に対応するとともに、漁獲物の付加価値を高め、魚価の維持を図ろうとする活魚流通が積極的に展開されており、消費地の需要動向に対応した活魚の出荷調整施設として、「蓄養水面施設」の整備が行われるようになってきた。北海道では、北海道開発局所管の抜海漁港、雄冬漁港、追直漁港の3漁港、北海道所管の札前漁港、前浜漁港の2漁港で蓄養水面施設の整備が行われている。また、港湾整備においても、香深港、浦河港の2港で、活魚の荷捌及び一時保管のための「水中荷捌場」の整備が行われ始めた。道内において、蓄養水面施設または水中荷捌場を整備中の港湾漁港を図-1に示す。

蓄養水面施設及び水中荷捌場は、陸上の荷捌場との近接性が重視され、活魚管理が行い易く、出荷作業の効率が良い比較的静穏な泊地奥部に整備される。そのため、蓄養水面施設及び水中荷捌場には、海水交換を促進し水

質保全を図る海水交換施設が併設される場合が多い。

本論では、浦河港水中荷捌場内の水質を保全し、海水交換を促進するために建設された消波ブロック被覆型有孔堤の海水交換特性を現地調査に基づいて確認するとともに、水中荷捌場供用時に問題となる魚介類飼育に及ぼす流動条件等の影響について検討した。

2. 海水交換工法に関する既往知見

波エネルギーを利用した海水交換工法の代表的な構造形式として、消波ブロック被覆型有孔堤(開発土木研究所他、1991-1995)と潜堤付孔空き防波堤(山本ら、1992)がある。

消波ブロック被覆型有孔堤は、防波堤前面の消波工内で水位上昇が起こることを利用して、港内外の水位差により海水導入を図るものである。その水理特性、海水交換特性については、柳瀬ら(1991)、水野ら(1992)、猿川ら(1993)により系統的な水理実験が行われ、①有孔堤より消波ブロック被覆型有孔堤の方が海水交換が優れていること、②消波ブロック内の水位上昇高は波高に比例し、周期による差は小さいこと、③波向の影響は入射角60度でも直入射の50%程度の水位上昇高が期待できること、④開口部からの波高伝達率は開口率程度になること、等が明らかにされている。

潜堤付孔空き防波堤は、防波堤前面に設置した潜堤上で砕波させることにより、防波堤と潜堤間の遊水部で水位上昇を起こさせ、港内外の水位差により海水導入を図るものであり、四方漁港(富山県)、志賀島漁港(福岡県)で施工されている。その水理特性、海水交換特性については、森口ら(1993)、山本ら(1994、1995)により現地調査が行われている。

3. 浦河港水中荷捌場の概要

浦河港ではアイナメ、ケガニ、ナマコ、タコ類、貝類(ホッキガイ、ツブ類)、ウニ類、カレイ類、ソイ類等を対象に、港内外の船舶航行上支障の無い水面を利用して、3～7日程度の短期蓄養を行い、年平均で約5.6 ton、約1,000万円の活魚を出荷している。水面利用上の問題点として、①波浪による影響を受け易く、静穏度を充分確

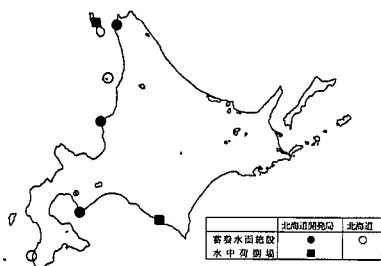


図-1 蓄養水面施設と水中荷捌場の建設場所

* 正会員	北海道開発局開発土木研究所	港湾研究室長
** 正会員	工修	北海道開発局開発土木研究所 水産土木研究室副室長
*** 正会員	工博	北海道開発局開発土木研究所 水産土木研究室長
**** 正会員	工博	北海道開発局開発土木研究所 港湾研究室副室長
*****		北海道開発局浦河港湾建設事務所 所長

保できない, ②安定出荷ができない, ③荷捌場から遠い, ④作業効率が悪い, 等の課題を抱えていた。そこで, 活魚の定期的安定的な出荷調整保管を行い, 活魚取扱量の増加を図るために水中荷捌場が計画され, 平成6年度より建設が開始された。浦河港水中荷捌場の平面図を図-2に示すとともに, 水中荷捌場の海水交換施設として建設された消波ブロック被覆型有孔堤の断面図を図-3に示す。なお, 導水孔の断面積は $2.5 \times 2.5 \text{ m}$ (6.25 m^2) である。

4. 消波ブロック被覆型有孔堤の現地検証試験

(1) 調査方法

消波ブロック被覆型有孔堤の水理特性, 海水交換特性を現地実証するために, ①堤体前面(導水孔から沖合150 m, 水深8 mの位置)波浪, ②導水孔前後の水位, ③導水孔内(測定水深1.75 m)の流況, ④水中荷捌場内(導水孔から5 m, 70 mの位置, 測定水深2 m)の流況, ⑤港内の水質底質, 等の現地調査(平成7年10月26日~11月16日)を行ない, 堤体前面波浪と導水孔前後の水位差, 導水孔内の通過流速と流量の関係について, 既往の不規則波実験結果と現地調査結果を比較検討した。また, 平成6年度調査において, 比較的静穏な波浪条件において, 導水孔を通じて港内水が港外に流出することが観測されたことから, 水中荷捌場の海水交換に及ぼす港内副振動の影響についても検討した。

(2) 海水交換の概況

平成7年11月6~16日に観測された堤体前面波浪の

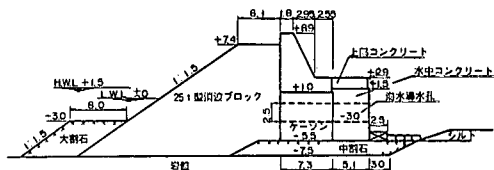


図-3 消波ブロック被覆型有孔堤(浦河港)

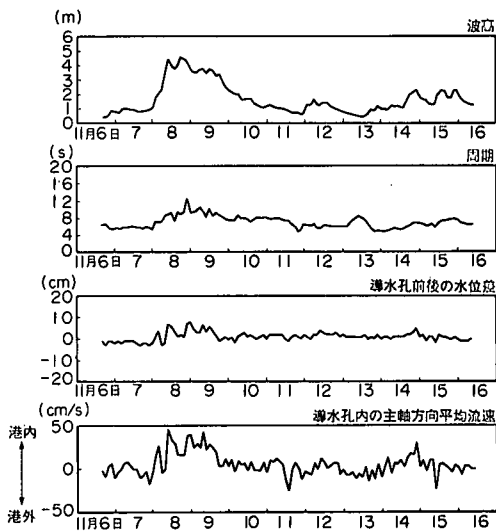


図-4 波浪, 導水孔前後の水位差, 導水孔内流速の時系列

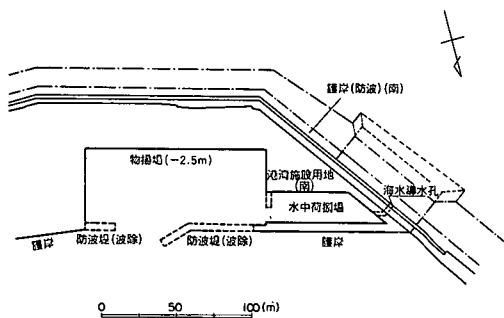
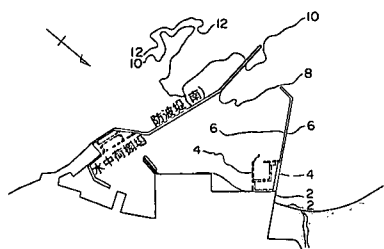


図-2 浦河港水中荷捌場の平面図

有義波高 $H_{1/3}$, 有義波周期 $T_{1/3}$, 導水孔前後の水位差 $\Delta\eta$, 導水孔内の平均流速 U_{mean} の時系列を図-4に示す。以後, 水位差 $\Delta\eta$ は, 導水孔前後で観測された10分間の平均水位の差を意味し, 平均流速 U_{mean} は10分間の平均流速を意味する。浦河港水中荷捌場では, 周期の長いうねり性の波浪や高波浪な波浪条件では, 導水孔を通じて港外水が港内に導入される。しかしながら, 周期 $T_{1/3}$ が6~7秒以下で波高 $H_{1/3}$ が1.5 m以下となる比較的静穏な波浪条件では, 導水孔を通じて港内水が港外に流出することが観測されている。

観測期間中の最大波浪にほぼ相当する波高 $H_{1/3} = 4.40 \text{ m}$, 周期 $T_{1/3} = 8.6 \text{ s}$ の波浪が作用した平成7年11月8日8時に, 導水孔前後の水位差 $\Delta\eta = 6.9 \text{ cm}$, 導水孔内の平均流速 $U_{\text{mean}} = 46.1 \text{ cm/s}$ が観測されており, これは時間当たり約10,000 tonの外海水の導入に相当する。一方, 前述の比較的静穏な波浪条件においても, 図-4に示すように, 導入孔を通じて時間当たり数百トンの流入流出に相当する流速が観測されている。

水中荷捌場に建設された導水孔による海水交換を評価検討するために, 浦河港全体及び水中荷捌場内の海水交換について, マルチレベル密度流モデル(藤原ら, 1992)

を用いて数値解析を行った。海水交換率の推定は、指標物質の挙動をラグランジェ的に追跡する方法が分かり易いが、本論では港口及び導水孔に検査断面を設け、単位時間当たりの検査断面通過流量 Q と検査断面で囲まれた水容積 V の比で表される指標、海水交換回数 Q/V で評価した。海水交換回数は厳密な意味では海水交換率を表していないが、港内の水替わりの指標として良く利用されている。導水孔の有無、副振動による流出、静穏時、荒天時における海水導入を考慮した計5ケースについて、海水交換回数を表-1に示す。表-1に示すように、水中荷捌場内の海水交換回数は、導水孔の建設により10倍以上改善し、荒天時には100倍以上となる。また、浦河港全体の海水交換回数は、導水孔の建設により港口での環流が弱まるため、静穏時は導水孔建設前より下回るが、荒天時に10%以上向上することから、導水孔からの流入流出は水中荷捌場内のみならず、浦河港全体の海水交換に少なからず寄与していることが分かる。

(3) 堤体前面波浪と導水孔前後の水位差

堤体前面波高 $H_{1/3}$ と導水孔前後の水位差 $\Delta\eta$ の関係を図-5に示す。猿川ら(1993)の不規則波実験から、消波ブロック内の水位上昇は堤体前面波高の増加に伴い増加すること、水位上昇に及ぼす入射波周期の影響は小さいことが明らかにされている。現地調査結果では、不規則波実験結果と異なり、堤体前面波高 $H_{1/3}$ が2~3m程度までは水位上昇が余り見られず、周期 $T_{1/3}$ が8秒より長く、波高 $H_{1/3}$ が3mを越すような波浪条件になると、導水孔前後の水位差 $\Delta\eta$ が急激に大きくなった。長周期波浪の来襲時に導水孔前後の水位差 $\Delta\eta$ が大きくなる理由として、浦河港が位置する日高沿岸域では、高波浪は長周期波浪の来襲時に発生することが多いためと考えられる。不規則波実験結果を参考にして、浦河港に建設された消波ブロック被覆型有孔堤の導水孔前後の水位差 $\Delta\eta$ と堤体前面波高 $H_{1/3}$ の関係は、図-5に図示する(1)式で推定することができる。

$$\Delta\eta = 0.004 \times (H_{1/3})^2 \dots\dots\dots (1)$$

斜め入射時の消波ブロック内の水位上昇は、直入射の水位上昇高に $\cos^2\theta$ を乗じて算定されるが(開発土木研究所他, 1994)、現地調査結果では、観測波向が防波堤に対して直入射に近いこと、導水孔前面岩礁域の局所的な凸凹のため波浪変形が一樣でないこと、入射波自体に方向分散があること等の理由から、導水孔前後の水位差 $\Delta\eta$ に波向の影響は見られなかった。

無次元水位上昇高 $\Delta\eta/H_{1/3}$ と無次元消波ブロック被覆幅 $B_e/L_{1/3}$ の関係を図-6に示す。ここで、 B_e は静水面における消波工幅である。なお、図-6には開発土木研究所他(1994)による不規則波実験結果も併せて図示している。不規則波実験結果では、 $\Delta\eta/H_{1/3}$ は $B_e/L_{1/3}=0.15$ 前後

表-1 浦河港の海水交換回数

計 算 条 件	浦河港全体	水中荷捌場	検討内容
導水孔無+潮汐流	0.11	0.03	潮汐流
導水孔有+潮汐流	0.10	0.40	〃
導水孔有+潮汐流+0.1 m ³ /s 流出	0.10	0.42	副振動による流出
導水孔有+潮汐流+0.1 m ³ /s 流入	0.10	0.43	静穏時
導水孔有+潮汐流+3.0 m ³ /s 流入	0.13	25.04	荒天時(高波浪)

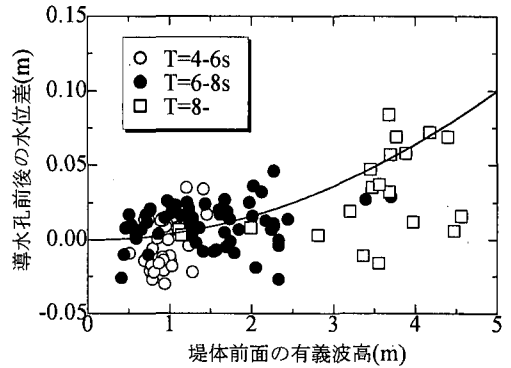


図-5 堤体前面波高と導水孔前後の水位差の関係

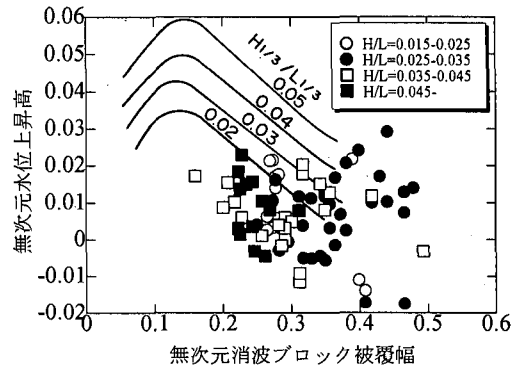


図-6 無次元水位上昇高と無次元消波ブロック被覆幅の関係

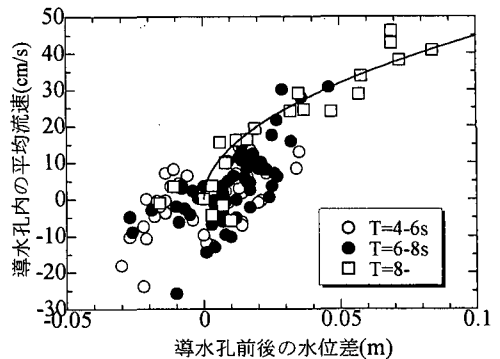


図-7 有孔堤前後の水位差と導水孔内流速の関係

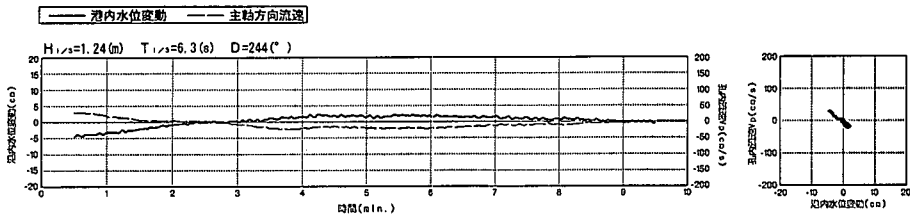


図-8 港内副振動と導水孔内流速の関係

で最大値を取り、 $B_e/L_{1/3} > 0.15$ では $B_e/L_{1/3}$ が増加すると $\Delta\eta/H_{1/3}$ が低下することが明らかにされている。現地調査結果では、 $\Delta\eta/H_{1/3}$ は $B_e/L_{1/3}$ 及び波形勾配 $H_{1/3}/L_{1/3}$ の影響は見られず、どの波形勾配においても $\Delta\eta/H_{1/3}$ は $0.02 \sim 0.25$ 程度で上限となった。

(4) 導水孔前後の水位差と導水孔内流速

導水孔前後の水位差 $\Delta\eta$ と導入孔内の平均流速 U_{mean} の関係を図-7 に示す。導入孔内流速 U_{mean} は、導水孔前後の水位差 $\Delta\eta$ と相関が見られ、導水孔前後の水位差 $\Delta\eta$ が 10 cm で、概ね 50 cm/s の流速が発生することが分かる。森口ら (1992) は、潜堤付孔空き防波堤の水理機能の指標である流速係数 $C = U_{\text{mean}} / (2g\Delta\eta)^{0.5}$ を四方漁港における現地調査結果から求めている。ここで、 g は重力加速度である。同様に、浦河港に建設された消波ブロック被覆型有孔堤の流速係数を求め、 $C = 0.32$ を得た。比較的静穏な波浪条件を除いて、導水孔内の平均流速 U_{mean} と導水孔前後の水位差 $\Delta\eta$ 関係は、図-7 に図示する (2) 式により推定することができる。

$$U_{\text{mean}} = 0.32 \times (2g\Delta\eta)^{0.5} \dots \dots \dots (2)$$

(5) 海水交換に及ぼす港内副振動の影響

水中荷捌場内には、数分から十数分周期の港内副振動と考えられる水位変動に伴い、導水孔内の流向が転向することが観測されており、水中荷捌場内の海水交換に対する寄与が推測されている。そこで、海水交換に及ぼす港内副振動の影響を明らかにするために、水中荷捌場内の水位変動と導水孔内流速の関係を検討した。水中荷捌場内の水位変動と導水孔内の平均流速の観測記録の一例として、平成 7 年 11 月 12 日 0 時 ($H_{1/3} = 1.24$ m, $T_{1/3} = 6.3$ s) の水中荷捌場内の水位変動 $\Delta\eta$ と導水孔内の平均流速 U_{mean} の時系列 (60 秒の移動平均処理を施し波浪の影響を除去) を図-8 に示す。図-8 に示すように、水中荷捌場内の水位変動には数分から十数分の周期、数 cm 程度の振幅を持つ副振動が観察されており、導水孔内には副振動の周期に対応した 20~40 cm/s 程度の流速振幅を持つ振動流が発生している。波浪による海水導入が期待できない比較的静穏な波浪条件においては、港内副振動が水中荷捌場の海水交換に少なからず寄与していることが明らかとなった。

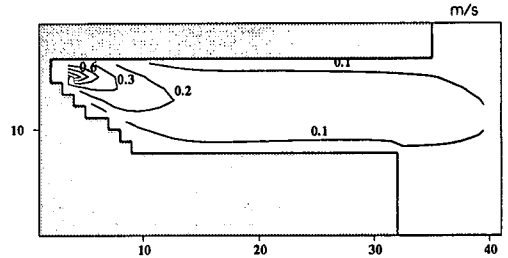


図-9 水中荷捌場内の流速分布

(6) 水中荷捌場内の流況

荒天時には導水孔内の最大流速が 2 m/s を越し、噴流状に水中荷捌場内に流入することが観測されている。そこで、マルチレベル密度流モデル (藤原ら, 1992) を用いて、水中荷捌場内の流速分布について数値解析を行った。観測期間中の最大波浪来襲時に相当する流入流速 2 m/s の場合について、水中荷捌場内の流速分布を図-9 に示す。数値解析結果から、導水孔内の最大流速が 2 m/s を越える荒天時においても、導水孔近傍で顕著な流速低減が起るため、水中荷捌場内では導水孔近傍を除くと、平均流速は 20 cm/s 以下となることが示された。導水孔近傍での流速低減は現地調査結果からも確認されており、計算値は概ね妥当な流速分布を与えている。

(7) 魚介類飼育に対する課題

荒天時に、水中荷捌場を蓄養等に利用する上で、①施設の耐水性 (係留ロープの切断、生簀の破損や岸壁や海底との接触)、②魚介類に生理的な問題発生 (ストレス、摂餌しなくなる、漁網との接触により魚体に傷)、③飼育管理 (給餌作業、水揚げ作業の効率低下、投餌効率が低下)、④低泥の巻き上げ、等の問題点が指摘されている。これらの諸問題を解決するために必要な静穏度は、漁業者に対する聞き取り調査から、波高を 1 m 以下、出来れば 50 cm 以下に制御することが求められている (明田ら, 1996)。

水中荷捌場内で蓄養される魚介類の生残や施設の維持管理に対しては、水中荷捌場内での擾乱、特に擾乱 (水位変動) に伴う施設 (生簀、網、籠等) の動揺が問題となる。水中荷捌場内での擾乱の指標となる導水孔内と水

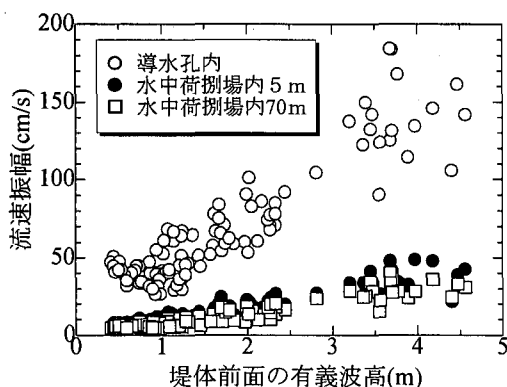


図-10 水中荷捌場内の流速振幅

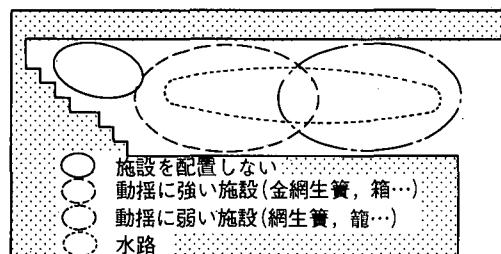


図-11 水中荷捌場内の施設配置案

水中荷捌場内の流速振幅 $U_{1/3}$ と堤体前面波高 $H_{1/3}$ の関係を図-10 に示す。水中荷捌場内の流速振幅 $U_{1/3}$ は、導水孔内の流速振幅 $U_{1/3}$ の $1/3 \sim 1/5$ 程度であり、前述の導水孔からの噴流の場合と同様に、導水孔近傍で急激に減衰する。また、水中荷捌場内の流速振幅 $U_{1/3}$ は導水孔から遠ざかるに従い減衰し、観測期間中のほぼ最大波浪に相当する $H_{1/3} = 4\text{ m}$ を越えない限り、また、導水孔近傍を除いて、流速振幅から推算した擾乱の大きさは波高 1 m を越えないことが分かった。以上のことから、飼育魚介類の生残や施設の維持管理に悪影響を及ぼす擾乱は、導水孔近傍を除いて発生することは極めて少ないことが分かった。

水面利用上の問題点、導水孔からの噴流状に流入する流れの減衰、施設の動揺を引き起こす擾乱の発生場所等を検討した結果、水中荷捌場内の施設配置については、①施設を配置しない場所、②動揺に比較的弱い施設（例えば、網生簀）を配置、③動揺に比較的強い施設（例え

ば、金網生簀）を配置、の3区分すると、図-11 に示すような施設配置案が望ましいと考えられる。

5. 結 言

浦河港水中荷捌場の海水交換施設として建設された消波ブロック被覆型有孔堤の水理特性、海水交換特性について現地調査を行い、堤体前面波高と導水孔前後の水位差の関係及び導水孔内流速の関係、海水交換に及ぼす港内副振動の影響、荒天時の流況や擾乱を考慮した施設配置等明らかにした。本論の最後に当たり、観測記録の解析に当たり、三洋テクノマリン株式会社佐藤峰雄氏、日本データサービス株式会社袖野宏樹氏に多大なる協力を戴いたことを記して謝意を表します。

参 考 文 献

- 明田定満・長野 章・中内 勲・谷野賢二 (1995): 北海道における漁港水面の多目的利用について、開発土木研究所月報, No. 509, pp. 2-10.
- 明田定満・古屋温美・長野 章・中内 勲 (1996): 漁港水面の多目的利用とその課題について、海洋開発論文集, Vol. 12, pp. 309-314.
- 開発土木研究所他 (1991~1995): 海水交換型防波堤の開発研究 (I~V), 第34~38 回北海道開発局技術研究発表会発表概要集 (4).
- 猿川 弦・水野雄三・笹島隆彦・木村克俊・高橋哲美 (1993): 消波ブロック被覆型有孔堤の海水交換特性に関する研究, 海岸工学論文集, 第40巻 (2), pp. 971-975.
- 藤原正幸・明田定満・武内智行 (1992): マルチレベル密度流モデルの開発と人工湧昇流への適用, 水産工学研究所技報, 水産土木, 第14号, pp. 13-35.
- 水野雄三・谷野賢二・木村克俊 (1992): 海水交換型防波堤に関する水理特性について, 海洋開発論文集, Vol. 8, pp. 253-258.
- 森口朗彦・藤原正幸・山本正昭・田中輝男 (1992): 潜堤付き孔空き防波堤の実海域での導水特性と泊地内水環境予測, 海岸工学論文集, 第39巻 (2), pp. 886-890.
- 柳瀬知之・谷野賢二・水野雄三・梅沢信敏・桑原伸司 (1991): 有孔堤の海水交換機能に関する研究, 海岸工学論文集, 第38巻 (2), pp. 856-860.
- 山本 潤・武内智行・中山哲蔵・田畑真一 (1995): 漁港内における溶存酸素濃度の変動機構の解明のための現地調査, 海岸工学論文集, 第42巻 (2), pp. 1186-1190.
- 山本 潤・武内智行・中山哲蔵・田畑真一・池田正信 (1994): 志賀島漁港外港の導水工による環境改善効果に関する現地調査, 海岸工学論文集, 第41巻 (2), pp. 1096-1100.
- 山本正昭・中泉昌光・岡田本文・森口朗彦 (1992): 海水導入を目的とした潜堤付孔空き防波堤の開発, 水産工学研究所研究報告, 第13号, pp. 11-30.