

新長崎漁港の流動構造に及ぼす流況制御ブロックの影響について

多田 彰秀* ・野中 寛之** ・矢野真一郎*** ・中村 武弘****
神山 泰***** ・小橋 乃子***** ・西ノ首英之***** ・小松 利光*****

新長崎漁港では、近隣の水産加工工場からの排水、水産物の蓄養筏増設に起因する底質汚濁および防波堤による港内外の海水交換の阻害などによって、将来の水質悪化が懸念されている。そのような中、小松ら (1997) が提案している流況制御ブロックを用いた海水交換促進技術に関する実証実験が 2001 年 5 月に実施され、60 基の流況制御ブロックが沈設された。本論文では、ブロック沈設前の 2000 年 5 月から沈設後の 2002 年 12 月にかけて実施された流動構造の現地観測について報告する。その結果、ブロック設置前後の残差流の鉛直断面分布、潮流槽門および残差環流等の変化から、流況制御ブロックは海水交換促進効果を有することが確認された。

1. はじめに

新長崎漁港は、長崎県西彼杵半島の南西部に位置し、東洋一の施設規模を有する特定第 3 種漁港である。2 つの港口部は、それぞれ 100 m および 300 m の幅を有しており、港内の空間スケール (幅: 約 1.6 km, 奥行: 約 1.2 km) と比較して小さく、閉鎖性の強い水域といえる。このような新長崎漁港では、背後地の都市化に伴う多良川からの流入負荷量の増加とともに、近隣の水産加工工場からの排水や水産物の蓄養筏増設に起因する底質汚濁などによって栄養塩負荷の増大が問題となっている。さらに、港内の静穏度を高めるために建設された南・沖防波堤によって港内外の海水交換が阻害されていることから、将来的に水質悪化が懸念されている。そのような中、小松ら (1997) が提案している流況制御ブロックを用いた海水交換促進技術に関する実証実験が 2001 年 5 月末に開始され、60 基の流況制御ブロックが新長崎漁港の東西 2 ヶ所の港口部に沈設された。本研究では、流況制御ブロックの有する海水交換促進効果について検証するため、流況制御ブロック沈設前後の 2000 年 5 月から 2002 年 12 月までの約 2.5 年間に渡って実施された流動構造に関する現地観測結果について報告する。

2. 流況制御ブロックによる海水交換促進技術

今回採用した海水交換促進技術とは、流れの方向によって抵抗特性の異なる非対称 3 次元形状の流況制御ブロックの設置個数、主流に対する設置角度および設置海域を調整して沈設することにより平面的な潮汐残差流のパターンを制御し、海水交換の促進を狙ったものである。

- | | | | |
|-------|------|--|------------|
| ・正会員 | 博(工) | 長崎大学助教授 | 工学部社会開発工学科 |
| ・正会員 | 修(工) | 鋼建設技術研究所 | 大阪支社河川部 |
| ・正会員 | 博(工) | 九州大学大学院学術研究員 | 工学研究院 |
| ・正会員 | 博(工) | 長崎大学教授 | 環境科学部環境科学科 |
| ・学生会員 | 修(工) | 九州大学大学院博士後期課程 | 工学研究府 |
| ・正会員 | 博(工) | Loughborough University Academic Visitor | |
| ・フェロー | 水 博 | 長崎大学教授 | 水産学部漁業管理講座 |
| ・フェロー | 工 博 | 九州大学大学院教授 | 工学研究院 |

本研究では、図-1 に示すような高さ 4.0 m、上部構造が鋼鉄製の 1/4 球形、下部構造がコンクリート製の 1/2 円筒形から成るハイブリッド形状の流況制御ブロックを東西 2 ヶ所の港口部に 60 基沈設した (図-2 参照)。なお、東西 2 ヶ所の港口部へのブロックの配分率は、東側に 15 基、西側に 45 基であった (小橋ら, 2003)。このような配置によって南防波堤を中心に反時計回りの潮汐残差流が増強され、新長崎漁港内の海水交換が促進されるものと考えた。

3. 現地観測の概要

新長崎漁港の流動構造と水質動態を総合的に把握する

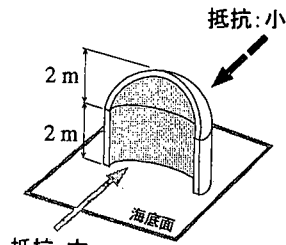


図-1 流況制御ブロックの概要

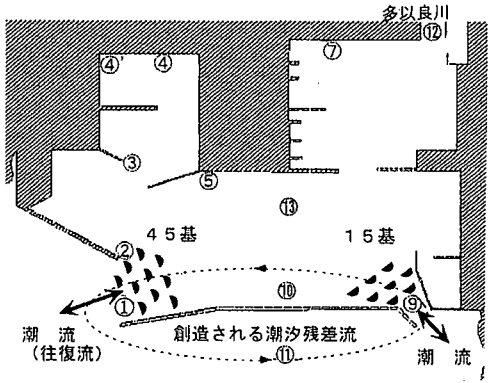


図-2 流況制御ブロックの配置および観測点

表-1 現地観測項目および実施頻度

観測点	観測項目	実施頻度
②, ③, ④, ⑤, ⑦, ⑩, ⑪, ⑫, ⑬	COD, 全リン, 全窒素, リン酸塩リン, アンモニア性窒素, 硝酸性窒素, 亜硝酸性窒素, 懸濁物質	毎月1回 (⑫と⑬を除き表層・中層・底層から採水)
全観測点	水温, 塩分, DO, pH 等 (ADR-1000 および U-22 を使用)	毎週1回並びに採水時 (2000 度) 隔週1回並びに採水時 (2001 度) 毎週1回並びに採水時 (2002 度)
①, ⑨, ⑩, ⑬	潮流流速, 流向 (Workhorse-ADCP および電磁流速計 ACM-8M を使用)	夏季および冬季にそれぞれ 40 日間
①, ⑩【夏季】 ①, ⑨【冬季】	波浪 (流速, 波向, 波高) (多目的観測計 Wave Hunter ACM-8M を使用)	夏季および冬季にそれぞれ 40 日間
⑩, ⑪, ⑬ほか港内数地点	底泥調査 (COD, ペントス, 全リン, 全窒素など)	夏季および冬季に各 1 回

ために, 図-2 に示す 12ヶ所の観測点で表-1 の観測項目について 2000 年 5 月から 2002 年 12 月までの約 2.5 年間に渡って現地観測が実施された。

(1) 流動構造に関する現地観測

流況制御ブロック設置前後の新長崎漁港における流動構造の変化を明らかにするため, 潮流流速に関する長期連続観測および超音波ドップラー流速計 (以降, ADCP と略記する) による曳航観測を毎年夏季と冬季に実施した。すなわち, 図-2 に示す港内 4 地点 (St. ⑩ & St. ⑬ および St. ① & St. ⑨) に電磁流速計 (ACM-8M, アレック電子(株)製) 3 台と Workhorse-ADCP (RD Instruments 社製) 2 台を沈設して, 潮流流速の長期連続観測を行った。電磁流速計については, 観測点 St. ⑩ に 2 連 (海底面上 5.0 m と 14.0 m) を, 観測点 St. ⑬ に 1 連 (海底面上 5.0 m) を係留して計測した。さらに, ADCP は港口部の St. ① および St. ⑨ に海底設置された。なお, St. ① および港外の St. ⑪ の 2 地点には多目的観測計 (Wave Hunter 99, (有)アイオーテック製) を海底設置し, 波浪観測も同時に実施された。一方, ADCP を用いた曳航観測では, 図-3 に示す A1 → A2 (100 m), B1 → B2 (150 m), C1 → C3 (550 m) および D1 → D2 (250 m) の 4 測線上を 1 時間毎に計 13 回走行し, 潮流流速の鉛直断面分布をリアルタイムに計測した。

4. 観測結果およびその考察

ここでは, 2000 年度から 2002 年度にかけて実施された潮流流速の長期連続観測および ADCP 曳航観測の結果に基づいて, 新長崎漁港における空間的な流動構造とその季節変化などについて考察を加える。

(1) 港口部における残差流の鉛直分布

図-4 は, 港口部 (St. ① と St. ⑨) における夏季の残差流の鉛直分布と観測期間 (ブロック設置前; 2000 年 7 月 13 日 ~ 8 月 29 日, ブロック設置後; 2001 年 7 月 19 日 ~ 8 月 30 日) 中の風速ベクトルを併記したものである。残差流は海底設置式 ADCP より得られた全観測データの平均値, 風速ベクトルは長崎海洋気象台で観測された日平均風速と最多風向より算定されたものである。観測期間中の平均風速は 2000 年度が 2.0 m/s, 2001 年度が

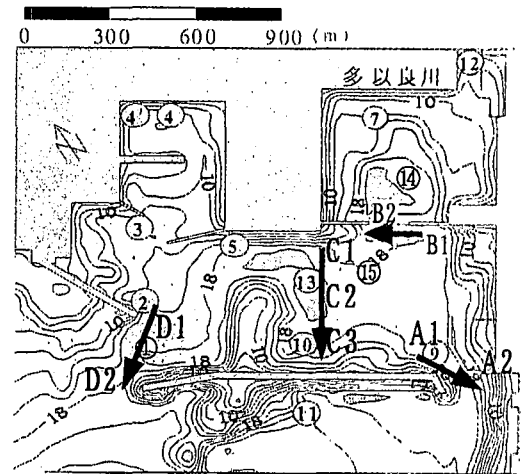


図-3 新長崎漁港の等深線図と ADCP 曳航観測の測線

2.1 m/s と同程度であった。また, 最多風向は両年度ともに SW であり, 港外から港内へ吹く方向の風が卓越していた。

2000 年度の St. ① では, 上層で西方成分が卓越しており, 港内から港外へ流出する傾向にある。下層では弱い東方成分が見られ exchange flow が存在していることも分かる。ブロック設置後の 2001 年度においては, 同様の exchange flow が出現し, その規模が大きくなっている。

一方, St. ⑨ の 2000 年度には顕著な残差流は見られないものの, 2001 年度においては中層から下層にかけて北方成分が卓越しており, 港外からの流入傾向が強くなっていることも確認できる。また, 2001 年度の St. ⑨ における上層では南方成分の増大で流出傾向となっている。これは 2001 年度の観測期間後半に N 方向および NNE 方向からの風速が卓越していたことに起因するものと考えられる。

循環期の残差流の鉛直分布を示したものが図-5 である。ブロック設置前の 2001 年度春季 (2001 年 3 月 25 日 ~ 5 月 7 日) の St. ⑨ においては, 上層で南方成分が大きく流出傾向にあるものの, 下層では北方成分が出現しており, 流入傾向となっている。一方, 2001 年度冬季 (2001 年 12 月 20 日 ~ 2002 年 2 月 2 日) の St. ① における残差

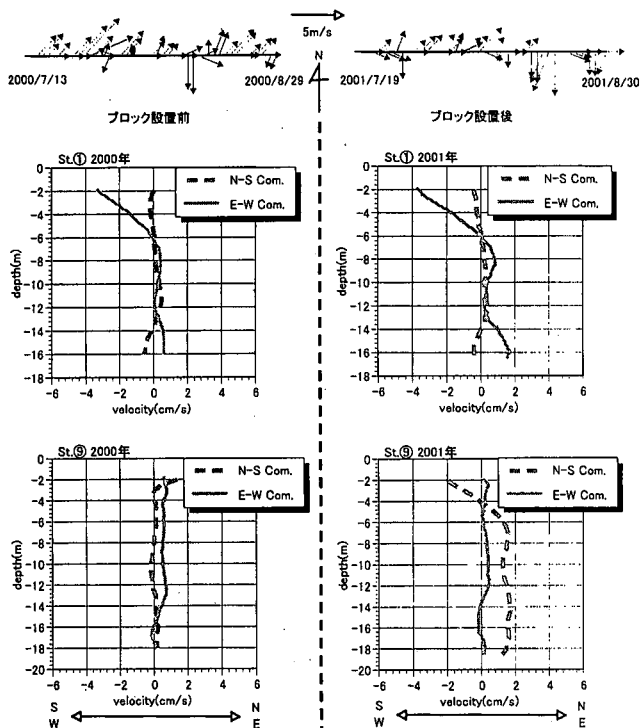


図-4 St. ①, St. ⑨の夏季における残差流の鉛直分布

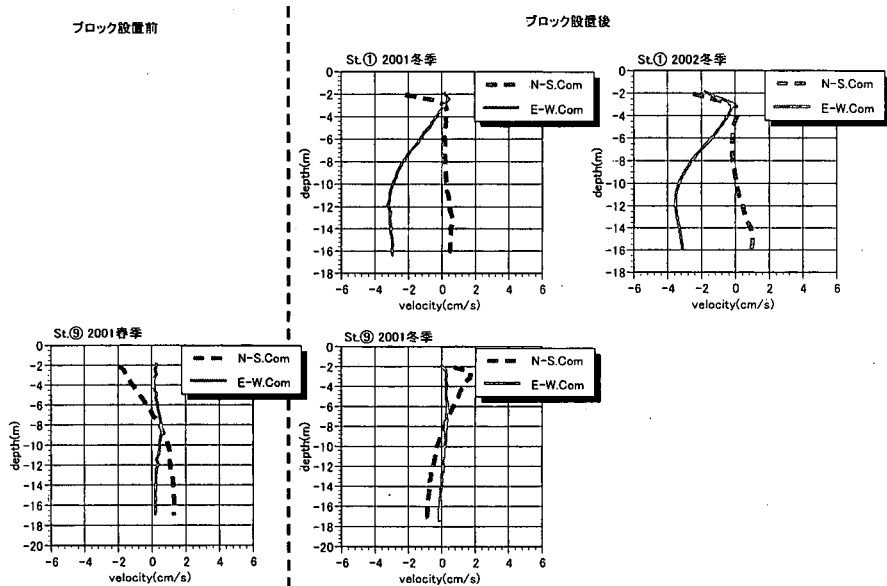


図-5 St. ①, St. ⑨の循環期における残差流の鉛直分布

流の鉛直分布は、下層で西方成分が卓越し、港内から港外へ流出傾向にある。東側港口部 St. ⑨では弱いがらも上層で流入傾向、下層で流出傾向が確認できる。また、2002 年度冬季（2002 年 12 月 21 日～2003 年 1 月 25 日）

の St. ①においては、中層から下層にかけて西方成分が卓越しており、2001 年度冬季の鉛直分布に類似している。このような中層から下層にかけての西方成分の卓越は、2000 年度夏季（ブロック設置前）の St. ①での鉛直分布

にも認められない。したがって、流況制御ブロック設置に伴って港内から港外への流出傾向が強められた結果と判断される。

なお、ADCP から放射されるビームの反射強度 (Echo Intensity) は、海面近傍と海水中では著しく異なる値を示す。この点に着目し、全観測期間を通して反射強度の異なる値を示す層を抽出し、その中心線を観測期間中の平均海面と特定した。測定水深については、海底面から ADCP のプローブ先端までの高さ (約 0.50 m) および ADCP の測定不能域 (ADCP のプローブ先端から約 2.5 m の高さまでの領域) を考慮に入れて、海面から算定した。

(2) 港央部 St. ⑩および St. ⑬における潮流楕円

港央に位置する St. ⑩および St. ⑬の夏季における潮流楕円 (M_2 潮) を図-6 に示す。図中の実線は 2001 年、破線は 2000 年の解析結果に対応している。なお、調和解析に際しては、2000 年 7 月 13 日～8 月 29 日と 2001 年 7 月 19 日～8 月 30 日に観測された流速データが用いられた。これらより St. ⑩の上層 (海底面上 14.0 m) では、潮流楕円の長軸が流況制御ブロック設置後に約 1.9 倍 (多田ら, 2002), St. ⑬の下層 (海底面上 5.0 m) においては約 3.6 倍となっていることが分かる。さらに、両地点とも潮流楕円の長軸方向が NW と SE とを結ぶ方向に拡大しており、後述する ADCP 曳航観測時の測線 C 上 (図-3 参照) で得られた結果と一致していることも明らかとなった。

(3) ブロック設置前後の残差環流の変化

上述の海底設置型 ADCP および電磁流速計の観測結

果より、夏季成層期における残差流成分を平面的にプロットしたものが図-7 である。ブロック設置前の 2000 年度が上図、ブロック設置後の 2001 年度が下図である。図中の実線 (上層) および破線 (下層) は、それぞれ海底面上 14.0 m および 5.0 m における残差流の流速ベクトルである。西側港口部の St. ①の下層で逆の流れが見られるものの、南防波堤の周囲に反時計回りの残差環流が形成されており、流況制御ブロック設置後にその流れが増強されていることも窺われる。

(4) ADCP 曳航観測の測線上における流動構造

ADCP 曳航観測によって得られた流速データは、流況制御ブロック設置前の 2001 年 4 月 10 日およびブロック設置後の 2002 年 7 月 11 日の大潮時に計測されたものである。前者の日平均風速は 2.7 m/s, 最大風速が 5.8 m/s であり、その時の最多風向は N であった。一方、後者では、日平均風速が 2.4 m/s, 最大風速が 4.6 m/s, 最多風向が SW 方向であった。東側港口の測線 A (図-3 参照) における流速の北方成分に関する鉛直断面分布を図-8 に示す。2001 年 4 月 10 日の下げ潮最強時には、全層で強い流出 (図中の (一) 部分) がみられる。また、上げ潮最強時においても A2 側で強い流出傾向が確認できる。吹送流の影響とも考えられるが、この日の流れは潮

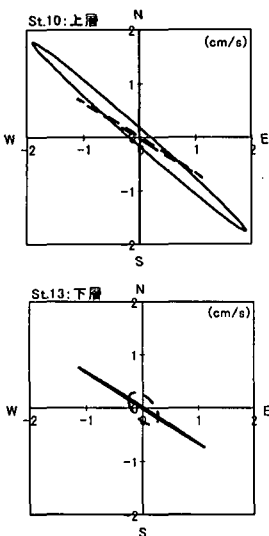


図-6 St. ⑩, St. ⑬の夏季における潮流楕円
(破線: 2000 年, 実線: 2001 年)

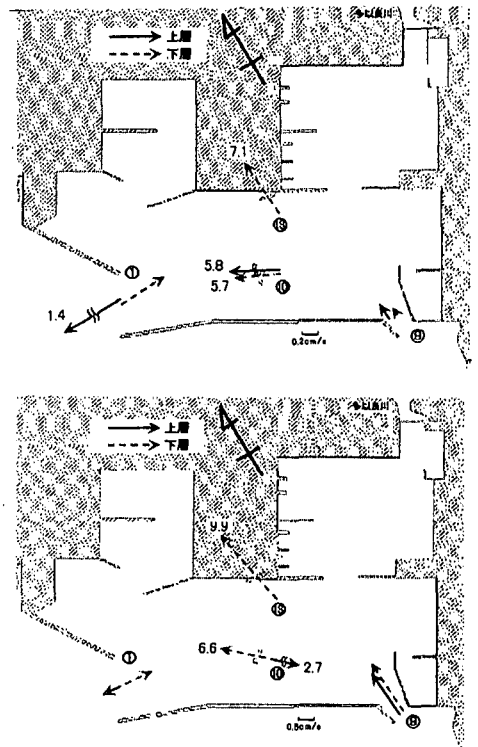
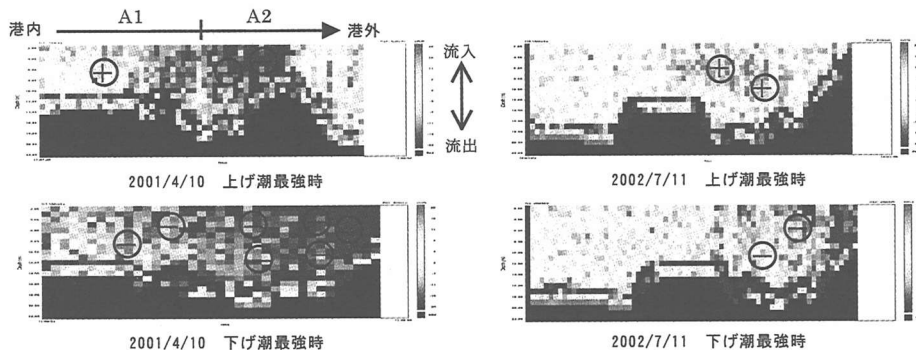


図-7 ブロック設置前後の夏季残差環流の変化
(上図: 2000 年, 下図: 2001 年)



図—8 測線 A (東側港口) 上の流速北方成分

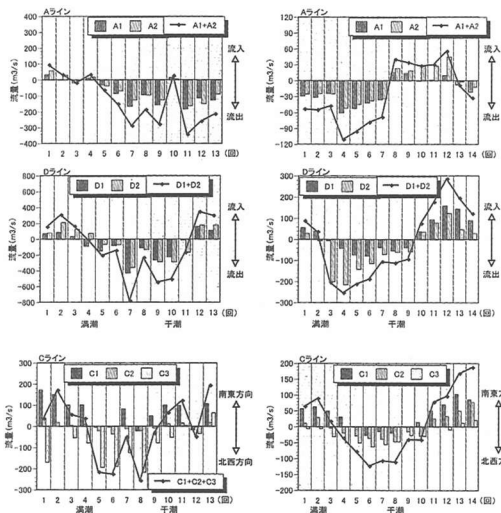
汐運動に関係なく、大半の観測時に流出傾向となっていることが分かった。一方、流況制御ブロック設置後の 2002 年 7 月 11 日においては、上げ潮最強時に A2 側からの流入 (図中の (+) 部分) が見られるばかりでなく、ブロック設置前に観測された下げ潮最強時の流出傾向が弱まっていることも確認できる。

これらのことを定量的に把握するため、各測線上の断面を通過する流量の計算結果を図—9 に示す。2001 年 4 月 10 日の流量変化を見ると、測線 A 上では 11 回目からの上げ潮時においても港外への流出が卓越している。さらに、測線 D においても港外へ流出する流量の方が大きい。また、測線 C 上においては C1 側で南東方向、C3 側で北西方向への流量が卓越しており、1 潮汐間で港内を時計回りの循環流が形成しているものと推測できる。一方、2002 年 7 月 11 日においては、各測線で潮汐運動に追従した流量の変動傾向が窺える。しかし、測線 A 上においては依然として満潮時直前に港外への流出が存在している。また、測線 D 上では下げ潮時に D2 側から流出し、上げ潮時に D1 側から流入する流動構造が確認できる。

5. おわりに

本研究では、新長崎漁港で実証実験された流況制御ブロックの有する海水交換促進効果について検証するため、ブロック沈設前後の 2000 年 5 月から 2002 年 12 月までの約 2.5 年間に渡って流動構造に関する現地観測を実施した。その結果、東西港口部における残差流の鉛直断面分布、港央部 St. ⑩および St. ⑬における平均流速 (M_0 潮) や潮流槽内 (M_2 潮)、南防波堤の周囲に形成される残差環流の変化等から、流況制御ブロックは海水交換促進効果を有しているものと判断される。

謝辞：本研究で行った現地観測は、中小企業総合事業団の「課題対応新技術研究開発事業」の支援下で実施されたものである。また、本研究を遂行するにあたり、長崎県臨海開発局、長崎県総合水産試験場、(社)長崎県水



図—9 曳航観測の測線断面上を通過する流量の変化 (左図：2001 年 4 月 10 日、右図：2001 年 7 月 11 日)

産開発協会、新三重漁業協同組合、五洋建設(株)、須田建設工業(株)、(有)フィールド環境リサーチ、東栄商興(株)、九州大学大学院工学研究院の藤田和夫技官並びに長崎大学の元学生であった石崎 剛君、佐藤忠信君、桐原真奈美さんおよび近藤由布さんから多大なご協力を得た。ここに記して深甚なる謝意を表します。

参考文献

- 小松利光・矢野真一郎・鞠 承洪・小橋乃子 (1997): 方向性を持つ底面粗度を用いた潮汐残差流の創造と制御, 水工学論文集, 第 41 巻, pp. 323-328.
- 小橋乃子・安達貴浩・多田彰秀・矢野真一郎・神山 泰・小松利光 (2003): 流況制御ブロックを用いた水質改善技術の適用事例, 海洋開発論文集, 第 19 巻, pp. 297-302.
- 多田彰秀・矢野真一郎・中村武弘・野中寛之・小橋乃子・西ノ首英之・藤田和夫・小松利光 (2002): 新長崎漁港における流況制御ブロック沈設に伴う水質動態について, 海岸工学論文集, 第 49 巻, pp. 1266-1270.