

# マングローブを利用した自然共生型漁港整備 (ジャカルタ漁港の事例)

## NATURAL SYMBIOSIS TYPE FISHING PORT REHABILITATION USING THE MANGROVE (EXAMPLE OF THE JAKARTA FISHING PORT)

岡貞行<sup>1</sup>・折下定夫<sup>2</sup>・長野章<sup>3</sup>

Sadayuki OKA, Sadao ORISHIMO and Akira NAGANO

<sup>1</sup>正会員 水産庁 漁港漁場整備部 (〒100-0816 東京都千代田区霞が関 1-2-1)

<sup>2</sup>正会員 (株) パシフィック コンサルタンツ インターナショナル 港湾開発部 (〒206-8550 東京都多摩市関戸 1-7-5)

<sup>3</sup>正会員 工博 公立はこだて未来大学教授 情報アーキテクチャ学科 (〒041-8655 函館市亀田中野町 116 番 2)

The Jakarta Fishing Port Complex, known in Indonesia as the largest producing fishery products for local and international customer. The area is located in an important natural ecosystem where mangrove grown abundantly along the coastline. In order to keep JFP CLEAN and HYGIENIC, the harmony with its environment was the key factor in fulfilling the project needs. For this reason, introduction of the natural symbiosis type facilities were constructed in the rehabilitation of the western side revetment and sea-water purification system in the harbor basin by utilizing MANGROVE and its effectiveness has been monitored and researched.

Consequently, it was proven that following effects were discovered in Mangrove species a) Work as reinforcement for soil wherein the roots anchored deep in the soil preventing it to erode. b) Protective mangrove Buffer Zone against Wind and salt-water. c) Recovered New Ecosystems such as fish, crabs, shrimps and mollusks due to the nursery effects of the roots. Also, migratory sites for bird species. d) Improvement in the amenity nature by formation of beautiful scene.

**Key Words:** Mangrove, reinforcement of foundation, amenity, recovered new ecosystem, fishing port

### 1. はじめに

インドネシアは米国、豪州に次ぐ世界第3位の経済水域 (541 万 km<sup>2</sup>) を有し、かつ 17,000 余りの島々からなる世界最大の群島国家である。漁業の開発ポテンシャルは高く、自国経済の発展において水産業が国民への食糧の安定供給、雇用機会の提供、輸出による外貨獲得などの面で重要な位置づけを有していた。このため、同国では我が国からの ODA も得つつ漁業生産の根拠地である漁港の整備を進めている。

ジャカルタ漁港 (写真-1) は、1973 年に海外技術協力事業団 (現 JICA) のフィービリティ調査の後、海外経済協力基金 (現 JBIC) の円借款など日本の ODA による支援を受けて建設されたインドネシア最大の漁港であり、1984 年に供用開始された。しかし、ジャカルタ漁港の建設サイトは、もともと遠浅かつ軟弱な地盤という厳しい条件下にあったことから、埋め立て後 20 年を経た 1990 年代後半には、地盤沈下等による影響が現れ、早急な機能回復の必要に迫られていた。

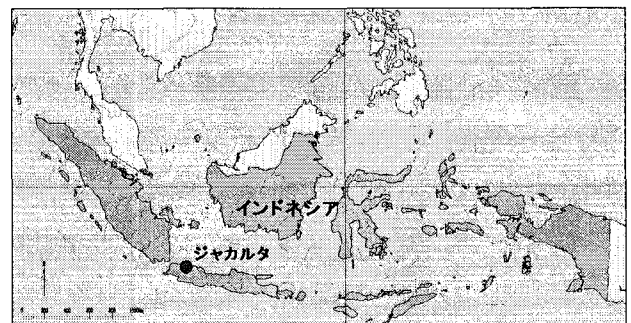


図-1 ジャカルタ位置図

一方、インドネシアは国土のすべてが熱帯雨林地帯に属し、ブラジルと並んで世界で最大級のマングローブ生息地域を有する。その面積は約 250 万 ha で全世界の約 14%、全アジアの約 30% を占める。ジャカルタをはじめジャワ海沿岸もマングローブ林が繁茂する自然生態系上重要なエリアであった。よって、漁港の機能回復にあたっては、これら環境との調和への配慮が最も重要な課題となった。また、インドネシアへの技術支援という観点からは、インドネシ

ア側の技術レベル、財政事情等を勘案した場合、高度な技術の使用や高価かつ入手困難な施設・材料等の使用は不適であることから、これら現地の事情に即した解決策の導入が求められた。

このため、整備後約20年が経過したジャカルタ漁港の西護岸の沈下対策に加え、新たな課題としてのジャカルタ漁港の水域環境改善対策を講じるにあたって、現地に豊富に存在するマングローブを活用した簡易かつ経済的な手法による自然共生型の護岸施設及び港内水質交換システムの導入を試み、その効果を把握することとした。



写真-1 ジャカルタ漁港全体写真

## 2. マングローブの特性把握調査

ジャカルタ漁港西護岸の改良及び港内水質交換システムへのマングローブの適用に当たり、現地に多種類存在するマングローブの特性を把握した上で、各施設に求められる機能への適用性から効果的なマングローブの選定を行う必要があった。このため、当時 JICA によるバリ島でのマングローブプロジェクトの調査結果、文献調査並びにジャカルタ周辺におけるマングローブ林踏査等を通じ、個々のマングローブの特性と構造物等への適用性を調査した。

インドネシアに生息する主な種類のマングローブ及び漁港施設への適用にあたっての特性を整理したものを表-1 に示す。

また、ジャカルタ漁港周辺のマングローブ踏査の結果から、常時水没する環境に適したフタゴヒルギ（写真-2、学名 *Rhizophora apiculata*、現地名 Bakau）と数時間水没する環境に適したヒルギダマシ（写真-3、学名 *Avicennia marina*、現地名 Api-api）が当地においては勢力種であるとともに、今回の護岸施設及び海水交換システムへの適用種として、前者は深く根（支柱根）を張ることから地盤の強化に適する一方、後者は広く浅く根（筍根）を張ることから表土流出防止に適するという特性が明らかになった。

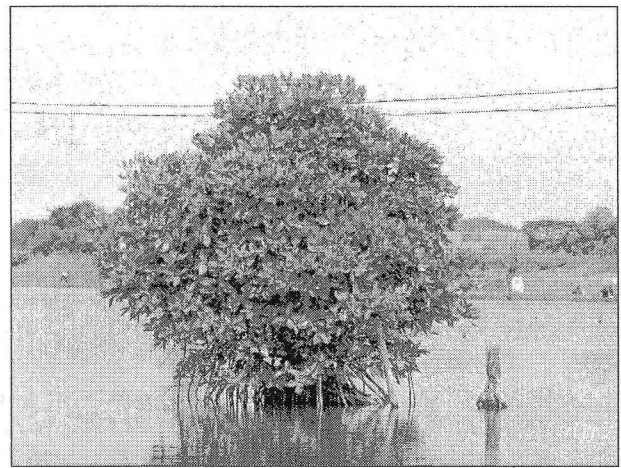


写真-2 フタゴヒルギ (Bakau)

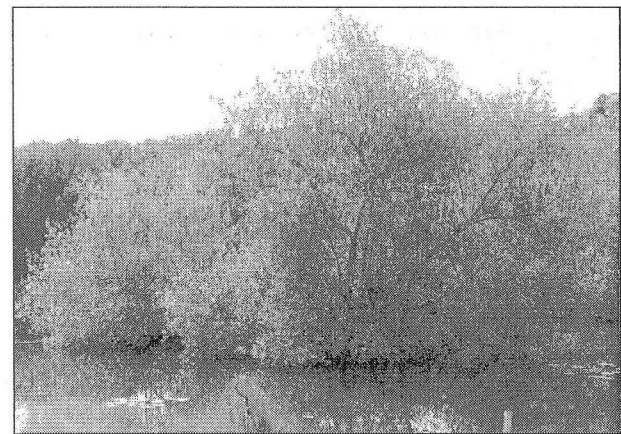


写真-3 ヒルギダマシ (Api-api)

表-1 インドネシアにおける主なマングローブの特性比較

| 種類(学名)                      | 現地名(和名)           | 適する生息環境                     | 根の特性                                             |
|-----------------------------|-------------------|-----------------------------|--------------------------------------------------|
| <i>Avicennia marina</i>     | Api-api<br>ヒルギダマシ | 比較的乾燥域な河川の土手等で、粘性土の土地に生息。   | 地中浅く地面と平行に横に走る根から、筍のように垂直に伸びる細長い円錐形の直立根が、何本も生える。 |
| <i>Rhizophora-apiculata</i> | Bakau<br>フタゴヒルギ   | 水没環境下で、淡水混じりの汽水域の粘性土に生息。    | 空中の幹から蛸足状に四方に根を出し、自重を支えるため地中に深く根を張る。             |
| <i>Sonneratia alba</i>      | Pupat<br>ヤマブシキ    | 比較的海水密度の高い所で、砂混じり粘性土の土地に生息。 | <i>Avicennia marina</i> に同じ。                     |
| <i>Nypa fruitcans</i>       | Nipah<br>ニッパ      | 水没環境下で、淡水濃度の高い河口域等に群生して生息。  | 一般的な樹木と同様の根を持ち、マングローブには珍しく、空中に根を出さない。            |

### 3. ジャカルタ漁港西護岸への適用実験調査

#### (1) マングローブの選定

ジャカルタ漁港では、軟弱地盤の埋め立て後約20年以上が経過していたことから、西護岸(竹杭・竹マット基礎工の捨石傾斜堤)の約1 kmの不等沈下及び護岸堤体の部分的なひび割れによる裏込土の流出により、その直背後が浸水していた。当該対策として、当初は、コンクリート製護岸の腹付けによる嵩上げが検討されていたが、基礎地盤支持力が不足すること、また、新しく護岸を整備するには多大な経費がかかるなどの問題点があった。このため、これに代わる方法として、既存の護岸を活用しつつ、表土流出対策に効果があるとされていたマングローブ護岸を採用することにした。護岸工へのマングローブ植栽適用にあたっては、2.での調査結果を踏まえ、一日の大半が水没している護岸直背後には、裏込土安定の観点から支柱根を深く張るフタゴヒルギ、また、数時間水没するその背後には、表土の流出防止観点から筍根を浅く広く張るヒルギダマシが良いと判断し、これを採用した。

#### (2) 護岸断面の検討及び植栽(図-2)

断面の検討にあたっては、西護岸の既存の堤体はそのまま活用する一方、その背後を中等潮位から緩やかな斜面(1:5)で陸側に盛土することにより当初の埋め立て地盤高に復旧し、斜面部分をマングローブが生育しやすい感潮帯とした。これを踏まえ2000年12月、近傍のマングローブ林からフタゴヒルギの胎生種子及びヒルギダマシの種子を採取し、フタゴヒルギの胎生種子は護岸法線に沿って約2 m間隔で植林し、ヒルギダマシの種子は斜面一面に蒔いた(写真-4)。数日後フタゴヒルギは、2枚の葉が出て成長を始めるとともに、ヒルギダマシは芽が出て、茎となり、葉が伸びて見る見る成長した。

#### (3) 結果

マングローブはもともと自生力が強く、また、成長力も早い植物である。特に、ヒルギダマシは2年後には、自ら種子を落下させ自然繁殖を繰り返し、

約3年後の2003年には5 mに成長し1 kmのほぼ全体にわたりマングローブが生い茂る自然の護岸となった(写真-5)。



写真-4 マングローブ植栽直後の西護岸 (2000年12月)

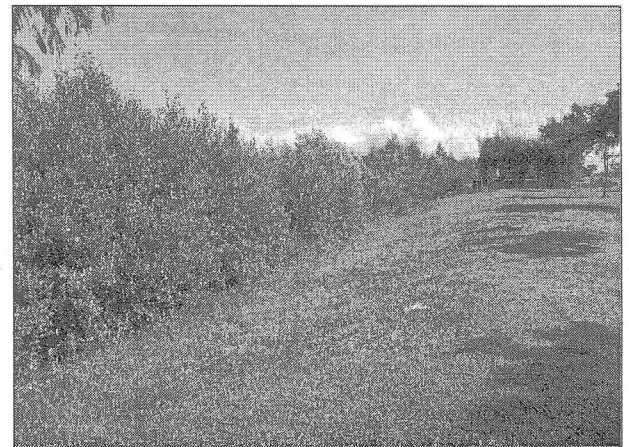


写真-5 マングローブ成長後の西護岸 (2003年12月)

その結果、以下のことが明らかとなった。

- ① 2種類のマングローブによる無数の支柱根、筍根(写真-6)が土中に根付くことにより、護岸背後の地盤補強と表土流出防止機能が生まれ、所要の地盤沈下の影響を受けない護岸機能が確保された。
- ② 成長したマングローブ林の5 m程度にもなる自然の壁により、防風・塩害防止の機能が増す。

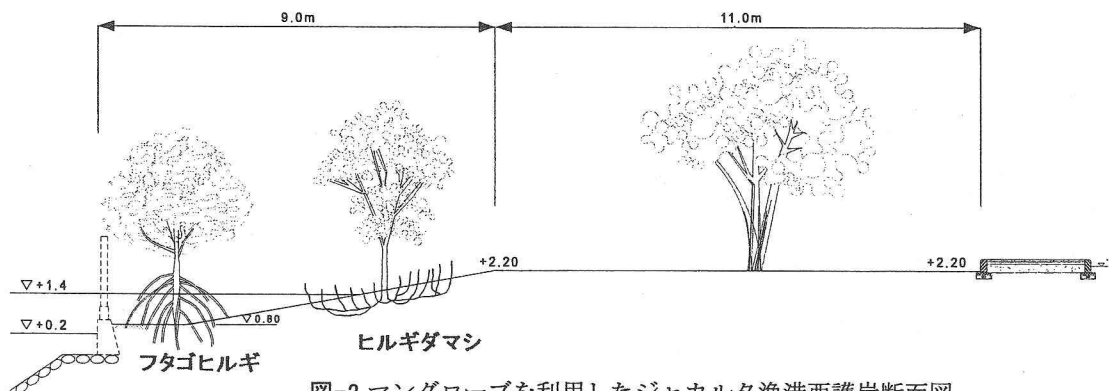


図-2 マングローブを利用したジャカルタ漁港西護岸断面図

- ③ 密生した支柱根、筍根等のナーサリー効果により、エビ・カニ、稚魚など新たな生態系が回復する。
- ④ マングローブの緑の壁が、漁港の中に柔らかな潤いのある景観と環境を提供する。
- ⑤ 建設費が、ほとんど不要である。
- ⑥ 人々が身近にマングローブと接することができ、その役割を理解する学習の場を提供する（写真-7）。



写真-6 密生するヒルギダマシの筍根



写真-7 ジャカルタ日本人小学校の授業風景

#### 4. 海水交換システムへの適用実験調査

##### (1) 海水交換システムの考え方（図-3～図-4、写真-8）

ジャカルタ漁港の港内は閉鎖性が強く、また、潮の干満が通常約 60cm と小さいことからそのままでは港内の海水約 200 万トンが自然交換しにくい環境にあった。このため、長年の漁業活動等により、港内はゴミや油で汚れ、水質も悪化の傾向にあった。このため、漁港内における環境用地として計画された親水公園（池の面積：約 1 万  $\text{m}^2$ 、容積：満潮時最大 1 万  $\text{m}^3$ ）を利用しつつ、潮位差を活用した港内海水の浄化システムを考案した。システムは、潮位差を利用しつつ港内から当該池を経由し一旦海水を貯

留し、マングローブやこれに付随して発生する生物等による浄化作用を経て、海水を港外へ排出するものである。また、港内と池の間には、油やゴミを回収するインレットを設けている。当該施設へのマングローブの選定にあたっては、大半が海水中にあり主に海水浄化を期待することから、もともとジャカルタ漁港の周辺に繁殖していたフタゴヒルギを主として採用した。

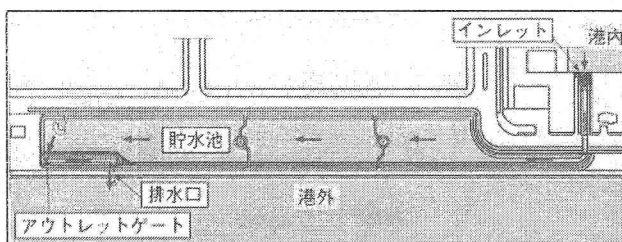


図-3 海水交換システム配置図

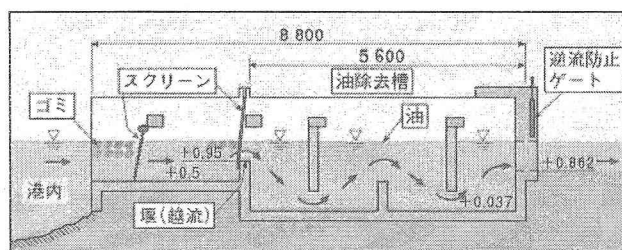


図-4 インレット断面図



写真-8 港内海水交換システム全景写真

##### (2) 海水交換システムの仕組み

海水交換システムの仕組みの詳細は、下記のとおりである。（図-5）

- 港内の海水を一時的に貯水する池を設ける。池の港内側に堰、港外側に排水用のカルバートを設ける。またそれぞれに逆流防止ゲートを設置する。
- 干潮時に池の出口側のゲートを閉鎖する。この

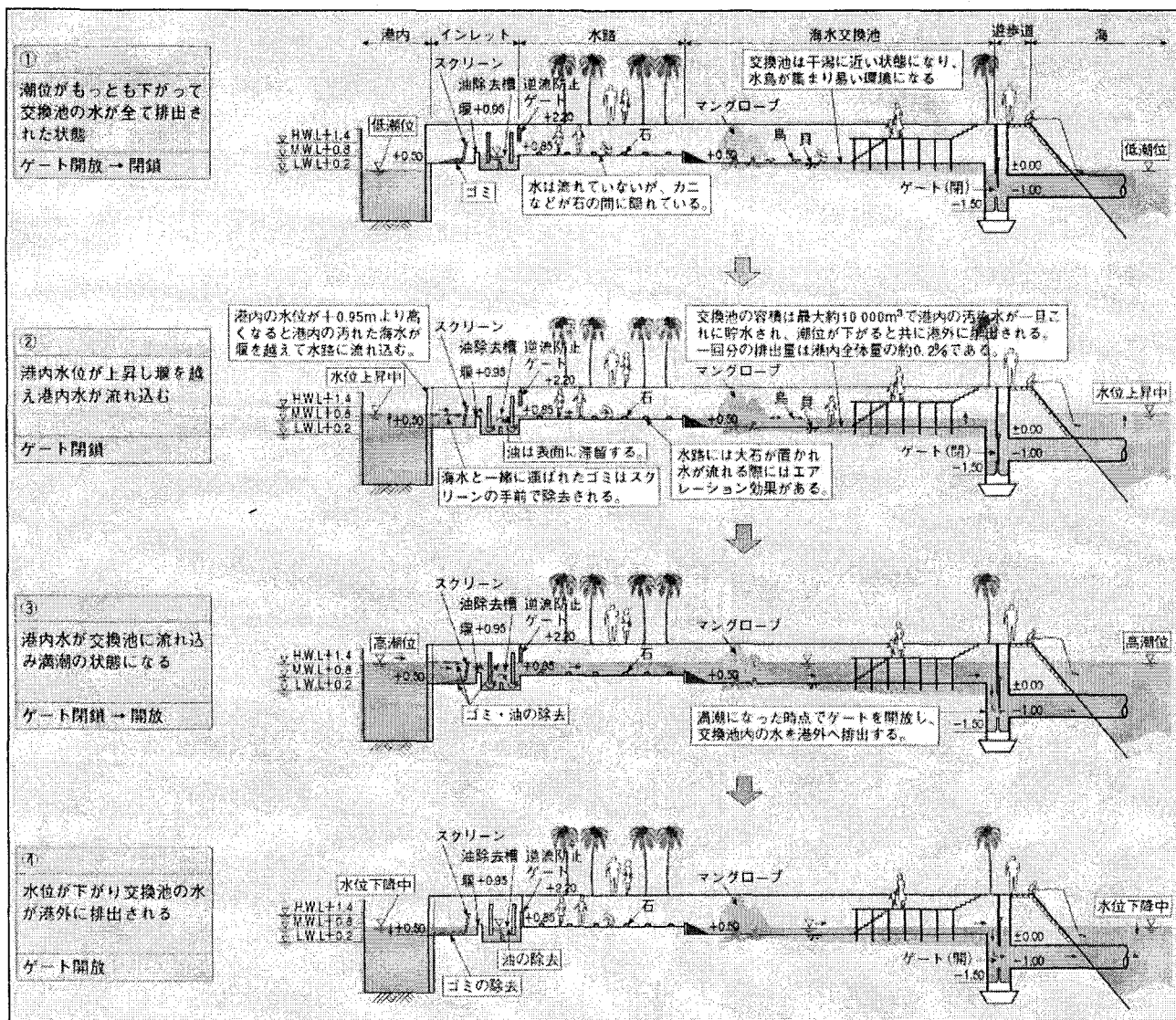


図-5 ジャカルタ漁港港内海水交換システム概念図

時点で池は空の状態である。潮位が上昇し堰を超え港内の海水が池に流れ込む。この際、海水は堰の手前に設けられたスクリーンで浮遊しているゴミを除去されたのち、油除去装置で油が除去され、一旦貯水池に貯められる。

- 一旦貯水された海水は、マングローブやこれに伴って成長する生態系による自然の能力により、海水浄化を図る。
- 潮位が最高になり潮位が下がり始める時に、池の水が港内へ逆流するのを防ぐため堰のところのゲートを閉める。そして出口側のゲートを開き、池の水を港外に排出する。
- 潮位が下がり、池が空になった状態で、同じ作業を繰り返す。この一連の作業で毎日約 6,000 トンの港内の海水が港外に排出される。

### (3) 結果

当該施設の追跡調査を試みた結果、以下のことが明らかとなった。

- ① 所要の機能である油やゴミ回収効果の他、水

質の透明度が向上した。

- 密生した支柱根・筍根周辺に発生する動植物プランクトンや支柱根によるナーサリー効果により新たなエビ・カニ等の生態系が回復する。
- マングローブの繁殖とインドネシア最古の灯台とが良好な景観を生み出し、市民への散策の場を提供するとともに、池そのものがよい釣り場を提供するなど、漁港空間のアメニティーが向上する (写真-9)。

なお、マングローブによる水質浄化機能については、マングローブの密生した支柱根・筍根やその周辺に発生する新たな生物により海水に含まれる有機物の分解・吸収に役立つことが期待されているが、現在漁港内における工場廃水の一部が混入していることから、これら防止等施設の維持管理を確かにした上で、今後定量効果を計測する必要がある。

### 5. 主要な結論

- ① マングローブの漁港施設への適用に当たっては、

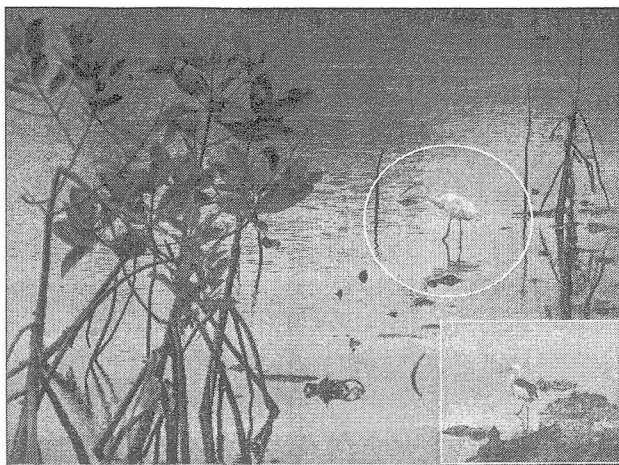


写真-9 マングロープ周辺の小魚を餌に集まる水鳥

現地マングロープの植生や特性を把握した上で漁港施設に求められる機能に適合した種類を採用することが重要であり、護岸の侵食防止機能を確保する上においては、一日の大半が水没し地盤補強の必要性が高い場合には根を深く張るフタゴヒルギ、また、一日数時間水没し、表土の流出防止の必要性が高い場合には根を浅く広く張るヒルギダマシを配置することで効果が上がる。

- ② ジャカルタ漁港の西護岸の改良ケースにおいては、2種類のマングロープによる無数の気根が土中に根付くことにより、護岸背後の地盤補強と表土流出防止効果が生まれ、これまでの沈下に対しても所要の護岸機能が確保されるとともに建設費用が殆ど不要であった。また、成長した緑の壁が防風・塩害防止機能を発揮すること、

小さな根が密生した気根周辺にエビなどの新たな生態系が回復すること、さらには、緑のベルト地帯が柔らかな景観を生み出す等の効果が得られた。

- ③ 港内海水交換施設のケースにおいては、所要の機能である油やゴミ等の回収効果の他、水質の透明度の向上効果が確認された。また、マングロープの気根周辺にエビなどの新たな生態系が回復すること、良好な景観を生み出すこと、池そのものがよい釣り場を提供する等の効果が得られた。なお、マングロープの水質浄化機能については、今後定量効果を計測する必要がある。
- ④ 漁港護岸の改良及び港内海水交換システムの整備において、マングロープには、護岸が侵食されにくくなる機能（支柱根および筒根による地盤の補強及び表土流出防止機能）、防風・塩害防止機能、生態系の回復、景観等アメニティー性の向上等の効果がある。
- ⑤ 今後は、マングロープの特性と漁港施設に求められる機能への適合性にかかる実証事例を増やすことにより、より効率的・効果的な対策の実施が可能となる。

#### 参考文献

- 1) JICA, ISME: Handbook of Mangroves in Indonesia - Bali & Lombok-, 1999.
- 2) 折下定夫:潮位差を利用した港の水質浄化システム, 土木学会誌, Vol. 88, pp.50-53, 2003.