

ケーソンマウンド基礎防護ネットの 安定性および耐久性に関する研究

STUDIES ON STABILITY AND DURABILITY OF A NET FOR A CAISSON FOUNDATION

佐藤 孝夫¹・今井 誠²・北村 卓也²

Takao SATO, Makoto IMAI, Takuya KITAMURA

1 正会員 運輸省第二港湾建設局 鹿島港湾工事事務所 所長

2 正会員 住友金属工業株式会社 土木・橋梁技術部 (〒100-8113 東京都千代田区大手町 1-1-3)

In long-time extension works of a breakwater and a wharf facing the open sea, there have been many cases where some ends and corners of the base of structure are damaged before the next work starts.

This was also the case with the extension work of the East Breakwater of Hitachi-Naka Port that faces the Pacific Ocean in a severe construction. Under such circumstances, a study meeting was established in 1994 by the Kashima Harbor Construction Office, No.2 Harbor Construction Bureau of the Construction Ministry. The meeting is composed of learned men of experience and businessmen concerned with the port and harbor works to study and discuss some structures that may replace the concrete apron block. As a result, "protective equipment of steel frame with chain net (hereinafter called a net for foundation)", which is lighter and larger in covering area than the concrete apron block, etc., was devised and used for the actual construction.

This paper describes the construction status, results of followup investigation and those of hydraulic model experiments of the net for a foundation at East Breakwater of Hitachi-Naka Port.

Key Words : East breakwater of hitachi-naka port, caisson foundation, net for foundation

1. はじめに

外海に面した長期にわたる防波堤、岸壁の延伸工事において、次期工事との間に堤体基礎の先端部及び隅角部等に被災を受けるケースが多数発生している。その対策としてコンクリート製の根固ブロック等による被覆、補強工を行っている。しかし、その据付作業に時間がかかり、また次期工事を施工する際の撤去、移動に相当期間がかかってしまう。

太平洋に面した厳しい現場条件下にある常陸那珂港東防波堤延伸工事においても、同様の問題が発生していた。そこで、運輸省第二港湾建設局鹿島港湾工事事務所は平成6年に港湾工事の学識経験者および実務経験者からなる検討会を設置し、コンクリート製の根固ブロックに変わる構造を検討、審議した。その結果、コンクリート製の根固ブロックより軽量でかつ被覆範囲の大きい「鋼製の枠にチェーンの網を取り付けた防護工（以後、基礎防護ネットと表記）」を考案し、実施工に採

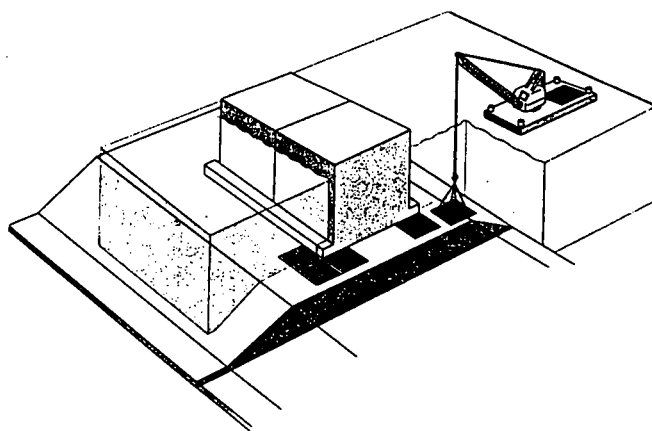


図-1 基礎防護ネット設置状況図

本論文では、常陸那珂港東防波堤における基礎防護ネットの施工状況、追跡調査結果、および水理模型実験結果について報告する。

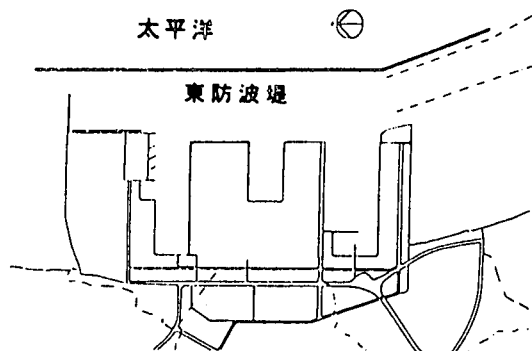


図-2 常陸那珂港東防波堤位置図

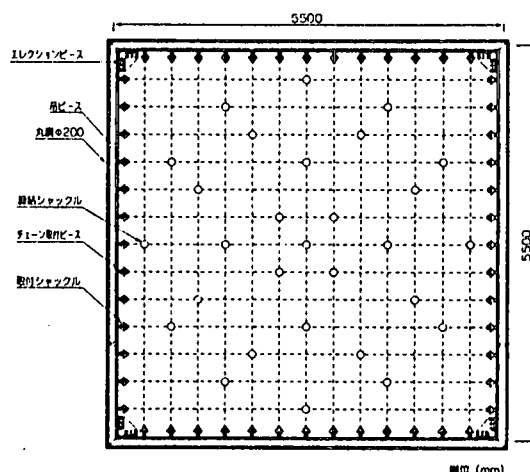
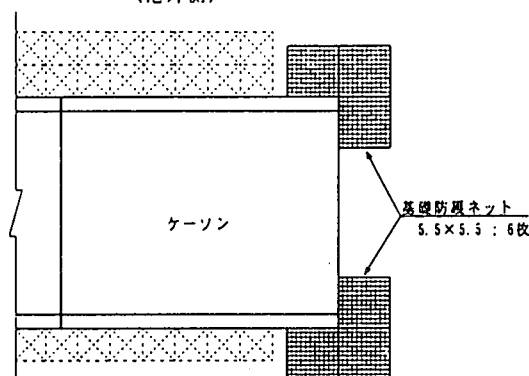


図-4 構造図
(港外側)



(港内側)
図-5 平面配置図(基礎防護ネット)

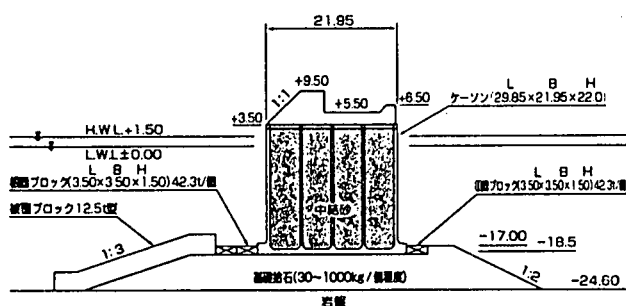


図-3 防波堤標準断面図

2. 施工状況

(1) 構造形式選定の経緯

常陸那珂港東防波堤は、図-2に示すように太平洋に直接面した厳しい海象条件下にある。(設計波浪条件: $H_{1/3}=7.6\text{ m}$, $T=14.0\text{ sec}$) 常陸那珂港東防波堤は、図-3に示すようなケーソン式混成堤断面で施工中である。厳しい海象条件の下、ケーソン据付工事の施工途中に台風の襲来等の異常気象を受け、据付ケーソンの港外側隅角部の基礎捨石がえぐり取られ根固ブロックが飛散する等の被災を受けていた。そして、その復旧作業(捨石の補充、均し等)が度々必要となっていた。

そこで、平成6年に運輸省第二港湾建設局鹿島港湾工事事務所でその対策を、安定性、急速施工性、経済性の観点から取りまとめた¹⁾。その結果、「ケーソンマウンド基礎防護ネット」を対策工として選定した。

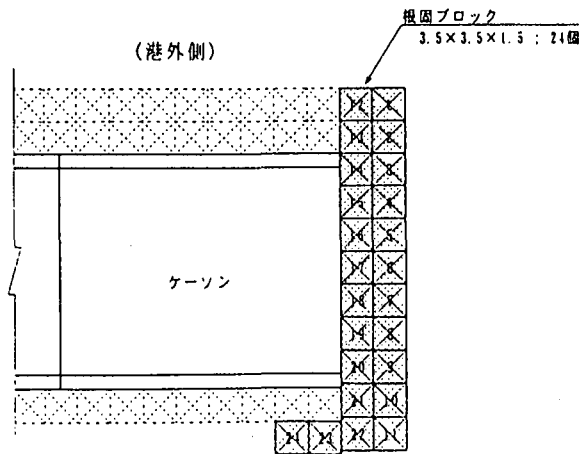
(2) 構造形式

図-4に常陸那珂港東防波堤に施工された基礎防護ネットの構造図を示す。 $\phi 200$ の極太の棒鋼を平面的に組んで外枠とし、その中にチェーンを網目状に取り付けた構造となっている。また、チェーンの絡み防止として締結シャックルを適宜チェーンに配置、取付けている。また、設置撤去用に吊ピースを4ヶ所取付けている。基礎防護ネットの総重量は、約9.0tf/基である。

図-5に基礎防護ネットの平面配置図を示す。基礎防護ネットは、防波堤の延伸端部のケーソンの隅角部に各々3基、計6基/ヶ所設置した。ケーソンの設置の進行状況にあわせて、基礎防護ネットの設置・撤去を行った。

(3) 施工状況

基礎防護ネットは、あらかじめ工場にて加工された部材を常陸那珂港のケーソンヤード内の一部を利用して組立てた。組立は、まず外枠となる棒鋼を4辺形に溶接し、チェーンを網目状に縦・横交互に取り付けた。製作に使用する機材は、棒鋼吊上げ用のトラッククレーンと溶接関係機材だけであり、非常に軽微である。また、完成した基礎



図－6 平面配置図（根固ブロック）

表－1 所要時間の比較

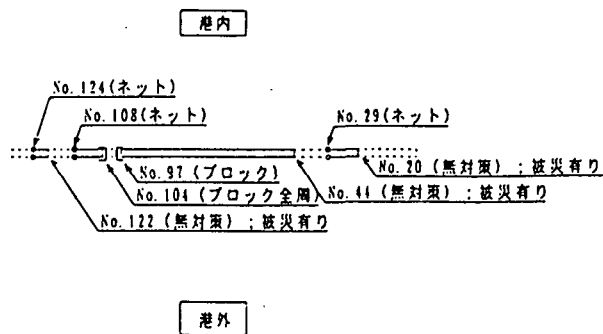
	基礎防護ネット (6基当り)	根固ブロック (24個当り)
積込	60 min	260 min
据付	20 min	390 min
撤去	90 min	390 min

防護ネットは段積みが可能であるため広い製作・仮置きスペースを必要としない。

陸上で製作された基礎防護ネットを台船により設置位置まで海上運搬し、起重機船によって設置し、ダイバーによって設置状況の確認を行った。運搬時にも段積み運搬が可能である。また、基礎防護ネットは9.0t/基であるため、非常に軽微な起重機船で設置可能である。（常陸那珂港東防波堤の場合は、在港船の使用の観点から基礎防護ネットの据付に150t吊起重機船を使用した。が、吊り能力から決定されたものではない。）基礎防護ネットの設置にあたってのマウンドの均しは、通常の根固ブロックの均し精度程度であった。

図－6に、当地にて施工された根固めブロックの平面配置図を示す。根固ブロックは、基礎防護ネットに比べ高さが大きいのでケーソン端部に隙間なく設置する必要がある。一方、基礎防護ネットは平面的な形状であるためその必要性がない。（後述の保護に必要な最小範囲を覆う基数を設置すればよい。）

表－1に、図－5で示した基礎防護ネットと図－6で示した根固めブロックの積込、据付および撤去に必要な時間の比較を示す。この表から、基礎防護ネットは根固ブロックに比べ各々の所要時間が非常に短い事がわかる。これは、基礎防護ネットは必要範囲だけを被覆すれば良いうえ、根固めブロックに比べ1基当たりの捨石被覆面積が広い。そのため、設置数量が圧倒的に少ないことによる。



図－7 被災防止対策状況（台風17号時点）

3. 追跡調査

(1) 調査内容

常陸那珂港東防波堤付近は、平成8年9月22日に台風17号の襲来を受けている。その時の波浪条件は、 $H_{1/3}=6.77\text{m}$ 、 $T=10.6\text{sec}$ （出典：NOWPHS 1996）であり、最高波は1.2m程度と推測される。鹿島港工事事務所では、この時のマウンドの被災状況を整理し基礎防護ネットの効果を追跡調査した²⁾。

台風17号の襲来時には、常陸那珂港東防波堤には4つのケーソン島堤があり、図－7のようにマウンドには被災防止対策が設置されている所と設置されていない所があった。そこで無対策部、根固ブロック部、基礎防護ネット部の3種類の地点についてその被災状況を比較し、基礎防護ネットの効果を考察した。また、基礎防護ネットの腐食および摩耗量の測定を行い、その耐久性について調査を行った。

(2) 被災状況の整理

表－2に防護効果の比較を示す。この表から次のことが言える。

- ・無対策部はケーソン堤頭部の被災に多く見られる偶角下部の洗堀を受けており、この波浪状況下では被災防止対策工（根固ブロック及び基礎防護ネット）の効果は明らかである。

- ・根固ブロックと基礎防護ネットの被災状況の比較では、NO.124号函の基礎防護ネット端部において、捨石の流出（約0.2m³程度）が見られたが、主目的であるケーソン堤頭偶角下部の洗堀は防いでいる。その他は基礎防護ネット内の捨石の立ち上がりや枠の多少のズレ程度であり、この波浪条件下で基礎防護ネットは、当地域で実績のある根固ブロックとほぼ同等の防護効果があると認められる。

表-2 防護効果の比較

	ケーソン No	堤頭 方向	対策工 の種類	被災状況	被害 被災数
無対策部	20	北	—	進行方向側ケーソン間隅角下部の積石が深さ 40~50cm 程度流出した。	約 6m ³
	44	北	—	進行方向側ケーソン間隅角下部の積石が深さ 60cm 程度、更に隣接して両マウンド法附近の積石が深さ 1.3m 程度流失した。又、流出した積石と思われるものが堤頭全面と港内側面に堆積していた。	約 55m ³
	122	北	—	ケーソンが港内側に平行に押し込まれたような形で数 m 移動した。その影響により、港内側全面と港外側堤頭前部に積石の盛上りが生じた。他に見られる隅角下部の洗掘はなかった。	約 67m ³
被災防止対策工設置部	97	南	根固めブロック	目立った被災はなかった。	—
	104	北	根固めブロック	目立った被災はなかった。	—
	29	南	基礎防護ネット	ネット内の積石が立ち上がる程度で、目立った被災はなかった。	—
	108	南	基礎防護ネット	ネット内の積石が立ち上がり、枠が多少ズレる程度で、目立った被災はなかった。	—
	124	南	基礎防護ネット	ネット進行方向隅隅角端部の積石が深さ 50cm 程度流出した程度で、目立った被災はなかった。	約 0.2m ³

表-3 耐久性調査結果

	部材	チェーン	ワイヤ取付 ピース	吊りピース	締結 シャックル
腐食量測定	殆ど無し	0mm	2.3mm	2.05mm	殆ど無し
外傷調査	・変形や外傷は見られない。 ・目立った腐食箇所も見られない。				

※設計腐食量 $t=0.2\text{mm}/\text{年} \times 3\text{年}=0.6\text{mm}$ (両面で計 $t=1.2\text{mm}$ の腐食量となる。)

(3) 耐久性調査

陸揚げされた基礎防護ネットについて、腐食および摩耗量を測定した。また、併せて外観検査を行い、その耐久性を調査した。今回対象とした基礎防護ネットは1セットで、使用期間は約3年経過したものである。

表-3に調査結果一覧を示す。

外観調査結果は、いずれの部材においても目立った外傷は見られず、心配されていた捨石及びケーソンとの接触による鋼材およびチェーンの摩耗や変形に現段階では問題はないと思われる。

腐食測定結果は、設計腐食量 ($t=0.2\text{mm}/\text{年} \times 3\text{年}$) と比べると若干腐食量が多くなっている。この腐食量は、設置前の部材の実寸法からの差ではなく、あくまで設計寸法からの差であり、腐食前の材料の実寸法のばらつき、すなわち J I S 公差精度 (プレートの場合、 $\pm 0.7\text{mm} \sim \pm 1.2\text{mm}$) から判断すると、特に腐食が大きく進行している量ではないと判断される。

4. 水理模型実験

(1) 目的

実験は、常陸那珂港東防波堤に施工された基礎防護ネットの、波浪に対する安定性を照査することを目的とした。

表-4 水路諸元

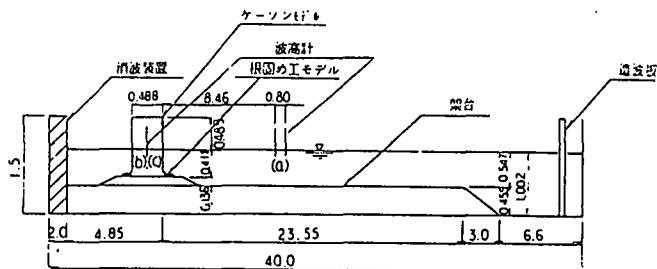
寸法	幅 2.0m × 高さ 1.5m × 長さ 40m
最大波高	40cm (水深 1m の時)
周期	0.5 ~ 4.0sec
波形	規則波、不規則波

表-5 模型諸元

	寸 法	投影面積	重量
基礎防護ネット	模型 122.2 × 122.2mm φ 4.0mm	9.78cm ²	87.0gf
	実物 5.5 × 5.5m φ 0.2mm	2.20m ²	7.08tf
マウンド石	模型 1.0 ~ 1.2g/個	平均粒径 7.5mm	
	実物 100kg/個	平均粒径 34cm	

※基礎防護ネットの重量は腐食後の重量をモデル化した。

(腐食 $t=0.1\text{mm}/\text{年} \times 10\text{年}$)



断面図

図-8 実験概要図(その1)

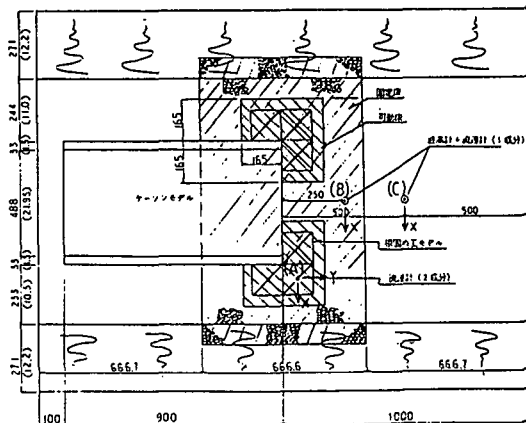


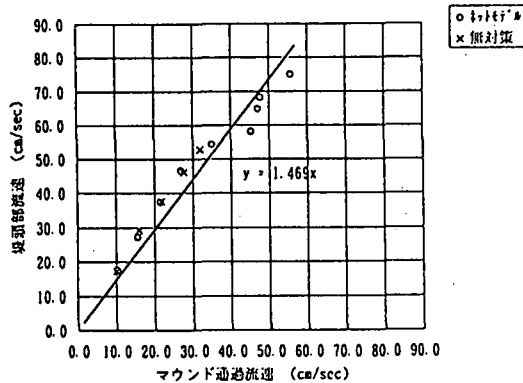
図-9 実験概要図(その2)

(2) 実験モデル

実験には、二次元水路を用いた。表-4に水路諸元を示す。模型は実験水路幅、水路の造波性能、収容される堤体延長等を勘案し、常陸那珂港東防波堤の1/45縮尺に設定した。表-5に模型諸元を示す。模型諸元は谷本等の研究結果³⁾に基づき、波向方向の投影面積および体積(重量)を実物に相似させた。図-8および図-9に実験概要図を示す。

表－6 波浪条件

	実験条件	実物条件
周期 T (sec)	2.09	14.0
マウンド天端水深 h' (m)	0.411	18.5
波長 L (m)	3.93	176.5
水深波長比 h'/L	0.105	0.105
波高 (cm)	3.23 (1.5) → 5.37 (2.4) → 7.43 (3.3)	
(実スケール : m)	→ 9.60 (4.3) → 11.67 (5.3) → 13.8	
	(6.2) → 16.07 (7.2) → 18.30 (8.2)	
	20.53 (9.2) → 23.03 (10.4)	



図－10 堤頭部流速とマウンド通過流速

(3) 実験内容

実験に不規則波を用いた場合、波の統計的性質を知るためには多数の波を作用させる必要がある。一方、本実験は二次元水路において行われ、かつ堤頭部を対象とした実験であることより、模型堤体は水路の一部に設置される。従って、長時間波を作用させた場合、模型堤体～造波板間に波の多重反射が生じ、水路横断方向に不均一な波が形成されて実験の有意性が損なわれることが予測される。以上より、実験には規則波を用いた。

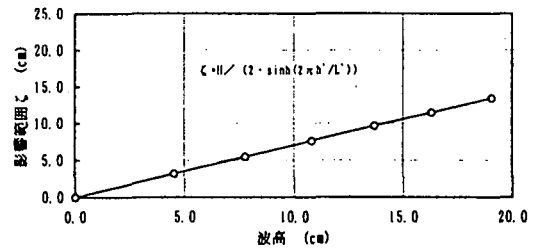
表－6に実験波浪条件を示す。波は、波高を漸増させて基礎防護ネット模型が移動するまで作用させた。波数は各波浪条件毎に20波とした。ただし、造波板始動時の影響および造波板からの反射波の影響を考慮し、実験値には第9～13波の平均値を採用した。

なお、実験は防護ネット設置の有り、無しの2ケースについて行った。

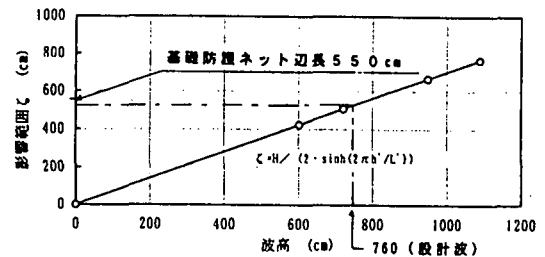
(4) 実験結果および考察

a) 流速

図－10に 堤頭部流速（測点A）とマウンド通過流速（測点B）の比較を示す。この図から、堤頭部の流速は堤体の影響を受け、マウンド通過流速の約1.47になることがわかる。



図－11 流速影響範囲（模型）



図－12 流速影響範囲（実構造）

表－6 捨石の移動限界波高

	模型スケール(cm)	実物スケール(m)
基礎防護ネット	24.0	10.6
無対策	14.0	6.0

b) 堤頭部の流速影響範囲

図－11および図－12に、式（1）より求まる測堤頭部の流速影響範囲⁴⁾を模型スケールと実構造スケールとで示す。

図－11より、測点B（堤体から39.4cm）は堤頭部の流速影響範囲より十分外にあることがわかる。また、図－12より、実構造スケールで常陸那珂港の基礎防護ネットの辺長5.5mは設計波高7.6mに対する ζ をカバーしていることがわかる。

$$\zeta = H / \{2 \times \sinh(2 \pi h' / L')\} \quad (1)$$

ここに、 ζ ：堤頭部の流速影響範囲 (m)

h' ：マウンド水深 (m)

L' ：マウンド水深における波長 (m)

c) 移動限界波高

表－6に基礎防護ネットの有無による捨石の移動限界波高を示す。この表から、基礎防護ネットの効果は十分に発揮されており、基礎防護ネットありのケースでは、常陸那珂港の設計波 $H=7.6$ m に対しても捨石は安定していることがわかる。

d) 安定数

マウンド被覆構造物の必要重量は、式(2)により計算される。

$$W = \frac{\gamma_r H^3}{N_s^3 (S_r - 1)^3} \quad (2)$$

ここに、

W : マウンド被覆構造物の必要重量

H : 波高

N_s : 安定数

S_r : 構造物と海水との単重比

式(2)に表-6に示した移動限界波高、および常陸那珂港の実構造物重量を代入すると、基礎防護ネットの安定数は $N_s = 1.20$ となる。

5. まとめ

本研究の成果を以下にまとめる。

- (1) 常陸那珂港東防波堤の施工状況を整理した結果、基礎防護ネットは従来の根固ブロック方式より、積込、据付、撤去に関する時間が大幅に短縮されることがわかった。
- (2) 常陸那珂港東防波堤の被災追跡調査を行った結果、捨石の移動に対して基礎防護ネットは根固ブロックと同等の防護効果があると認められた。
- (3) 施工後の基礎防護ネットの外観検査および腐食調査を行い、耐久性に関して問題ないことを確認した。

(4) 水理模型実験を行い、基礎防護ネットの安定性を確認した。その結果、常陸那珂港東防波堤の基礎防護ネットは、設計波に対する安定性、堤頭部の被覆範囲ともに必要を満足していることがわかった。また、基礎防護ネットの安定数は、 $N_s = 1.20$ であることがわかった。

本研究成果により、常陸那珂港東防波堤における基礎防護ネットの有効性が確認された。今後、基礎防護ネットの他港への展開を進めていきたい。

謝辞：本論文をまとめるにあたり、(社)日本海上起重技術協会、および(財)港湾空港建設技術サービスセンターより多大なデータ提供頂いた。ここに深勘なる謝意を表する。

参考文献

- 1) 平成6年度鹿島港及び常陸那珂港の構造物検討調査報告書、運輸省第二港湾建設局鹿島港湾工事事務所(社)日本海上起重技術協会、1993
- 2) 常陸那珂港基礎防護ネット効果調査業務実施報告書、運輸省第二港湾建設局鹿島港湾工事事務所、(財)港湾空港建設技術サービスセンター、1997
- 3) 谷本勝利・柳生忠彦・村長努・柴田鋼三・合田良実 不規則波による混成堤マウンド被覆材に関する安定性の研究、港湾技術研究所報告、第21巻、第3号、1982
- 4) 高橋重雄・木村勝俊・谷本勝利、斜め入射波による混成堤マウンド被覆材の安定性に関する実験的研究、港湾技術研究所報告、第29巻第2号、1990

(1999.4.19受付)