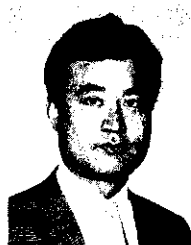


Construction of Jacket Type Steel Revetment for the Kisarazu Man-made Island of Trans-Tokyo-Bay Highway



古閑 桂吾

Keigo Koga
エンジニアリング事業
部 土木技術部鉄構海
洋技術室 主査(掛長)



平本 高志

Takashi Hiramoto
エンジニアリング事業
部 土木技術部鉄構海
洋技術室 主査(掛長)



古室 健史

Kenshi Furumuro
エンジニアリング事業
部 土木技術部鉄構海
洋技術室 主査(掛長)

要旨

神奈川県川崎市と千葉県木更津市を結ぶ東京湾横断道路は総延長15 kmの自動車専用道路である。この国家プロジェクトは1987年に着工し1997年完成予定で建設工事が進められている。1990年6月、当社は共同企業体の一員として木更津人工島中工事を受注した。この世界最大級の海洋土木工事は、鋼材重量19 000 tという規模の大きさに加えて、ジャケットを護岸構造物として用いる際の多岐にわたる技術的諸課題、すなわち①世界で初めて用いるジャケット式鋼製護岸の設計法の確立、②高品質かつ効率的な工場製作体制の構築、③大型鋼構造物の海上輸送における技術的、組織的な安全対策、④大水深における高精度なジャケット据付け工法の開発、を解決しながら遂行し完遂させた。

Synopsis:

The 15-km Trans-Tokyo-Bay Highway will span Tokyo Bay, linking Kawasaki City, Kanagawa Prefecture with Kisarazu City, Chiba Prefecture. This national project started in 1987 and is scheduled for completion in 1997, Kawasaki Steel was awarded contract as a member of a joint-venture in the construction of the middle section of Kisarazu Man-Made Island for this highway in June 1990. In the process of the execution of this one of the world biggest projects, the most remarkable exertion was, in addition to dealing with a total weight of about 19 000 metric-tons, to solve various technical problems of using jackets as revetment structures, such as, (1) establishment of the design method of the jacket-type steel revetment, which is the first attempt in the world, (2) establishment of the high-quality and efficient fabrication system, (3) consideration of safety in technical and managerial viewpoints for the transportation of large steel structures on the sea, and (4) development of the high-accuracy installation method of the jacket in the deep sea.

1 緒 言

東京湾横断道路は、川崎市と木更津市を結ぶ全長15.1 kmの自動車専用道路であり、船舶航行量のきわめて多い川崎側約10 kmがトンネル、残りが橋梁となる。人工島はトンネル区間の中央およびトンネルと橋梁の接続部の2箇所となるが^{1,2)}、後者にあたる木更津人工島は、木更津市沖合5 km、水深約25 mの地点に建設される。

水深、面積において世界でも有数の規模となるこの人工島 (Fig. 1) のうち、当社は同島中央部の護岸を、他の2社との共同企業体で東京湾横断道路³⁾より受注し、1992年8月に完成させた。

本論文では、当社の培った海洋構造物の設計・製作技術を活かしながら進めた斜路部のジャケット式護岸について述べる。

2 工事概要

木更津人工島の斜路部は盛土高さが0~30 mまで変化するが、

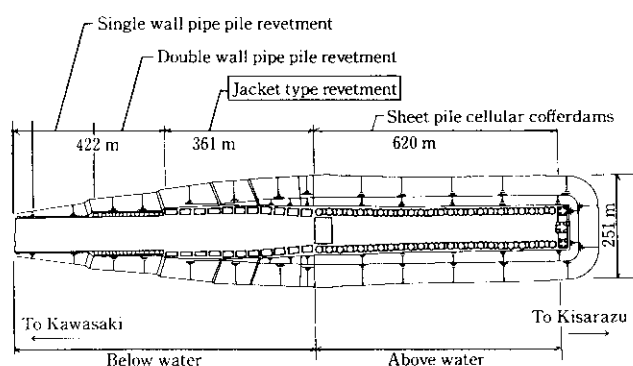


Fig. 1 Overview of Kisarazu man-made island

低盛土部は1重および2重鋼管矢板式護岸、盛土高さが20 mを超える高盛土部分ではFig. 2に示すジャケット式護岸が採用された。この護岸はFig. 3に示すように、トンネルおよびその周囲の盛土を両側から押さえ、これを長期間安定して保持する目的で建設された。

ジャケットは片側11基ずつ両側で合計22基に分けて製作、設置

* 平成5年4月22日原稿受付

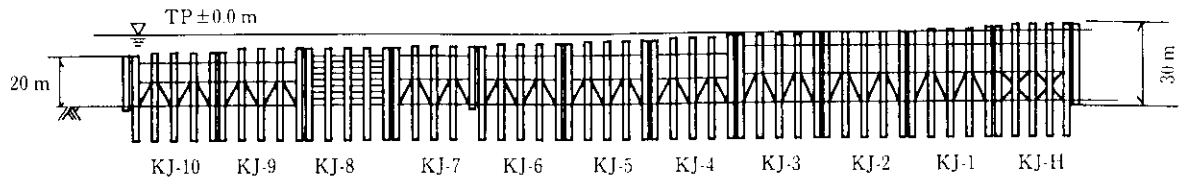


Fig. 2 Jacket type revetment (side view)

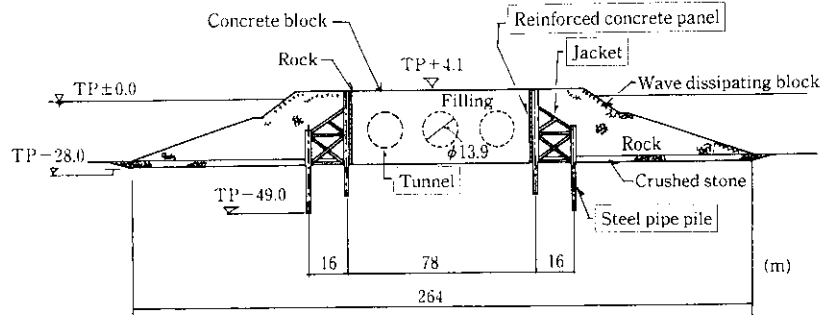


Fig. 3 Typical section of jacket type revetment

Table 1 Quantities of jacket works

	Quantity	Remarks
Jacket	(t) 10 640	22 Jackets
Steel pipe pile	(t) 8 620	220 pcs
Junction between jackets	(t) 640	24 pcs
Concrete wall	(pcs) 352	$d = 60$ cm
Temporary stage for installation	(t) 1 760	

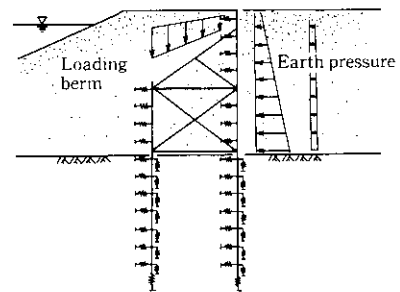


Fig. 4 Structural model

Table 2 Schedules

	1989	1990	1991	1992
Detailed design	—	—	—	—
Sea bed work	—	—	—	—
Fabrication of jackets	—	—	—	—
Installation of jackets	—	—	—	—
Miscellaneous site work	—	—	—	—

されたが、盛土高の変化に応じて基本サイズの異なる5タイプのジャケットを設計・製作した。Table 1 に施工数量を示す。

これらのジャケットは完成後ほぼ水没するため、仮設作業台をジャケット上部に取り付けて製作工場から出荷した。また、各ジャケットには土留壁体を構成するための鉄筋コンクリート板（土留板）が現地で取り付けられた他、隣接するジャケット間の壁体となるジャケット間結合材が取り付けられた。

なお、防食は、飛沫干満帯は厚さ15 mmの鋼板+135 mmのコンクリート巻、海水中は犠牲陽極を用いた。

本工事の工程をTable 2 に示す。

3 設 計

3.1 ジャケットの設計

ジャケットは完成時の荷重が面内で作用することから、Fig. 4 に示すように地盤バネに支持された2次元骨組構造モデルで解析し設計した³⁾。設計基準は、護岸用ジャケットが世界にその前例がない

Table 3 Analysis case for a main frame of the biggest jacket (t)

Condition	Installation	Normal	Settlement	Seismic
Dead weight	350.6	350.6	350.6	350.6
Loading berm	214.5	802.1	2406.2	791.9
Earth pressure	87.7	1307.9	1307.9	413.4
Wave force	286.7	—	—	—
Inertia force	—	—	—	913.2

ため体系的にまとめたものがなく、道路橋示方書、港湾の施設の技術上の基準等を原則としたが、それらに適切な記述がない項目については、海底油田用ジャケットの設計に使われるAPI-RP 2 A⁴⁾によることとした。設計作業には当社の設計システム Marine Jast を用いたが、浮力・波力計算、格点部設計などジャケット特有の解析作業は、この海洋構造物解析システムを用いることにより効率よく実施できた。Table 3 に主な解析ケースおよび荷重強度（最大ジャケットの1主構面あたり）を示す。

なお、ジャケット式の護岸はその構造詳細も前例がないため、土留板とジャケットの結合部や設置時の仮設構造部分などについても、製作性が良好でかつ現地施工も安全で容易となる構造を、製作や現地工事の担当者と共同で検討し、それを設計時から盛り込んだ。

3.2 杭の設計

杭は、東京湾横断道路橋の実施した載荷試験結果に基づき、先端閉塞効果を期待しない設計とした。作用最大押込力は、最大径（1900 mm）の杭の場合で1461tであった。なお、WEAP（wave equation analysis of pile driving）により杭の打ち込み解析を実施し、打設時の杭体発生応力、ハンマー選定等は設計段階からチェックした。

4 ジャケットの製作

4.1 製作概要と仕様

総鋼重7940t、14基のジャケットを当社の播磨および千葉鉄構加工センターで製作した⁹⁾。ジャケットは鋼管立体トラス構造で、10本のLEGとこれらをつなぐブレースとで構成され、格点部は主管に支管が相貫接合される。

品質仕様は、鋼材ではJISのほか格点部主管にWES仕様が付加され、溶接はJISおよび鋼道路橋示方書が基本となっている。また出来形管理仕様は、施主基準を基本にJISおよび鋼道路橋示方書等が適用された。

4.2 ジャケットの製作組立

製作では限られた時間、人的資源およびヤードの有効活用を図り、能率化を進めるためこれらの適正配置を図り、大量生産方式を採用した。これは平面組立10パネル、大組立2基の同時製作を基本におき、部材製作～平面組立～大組立の各工程で適正物量を逐次製作し、流れ作業的に次工程へ供給するものである。

格点部継手の品質確保には特に注意を払った。すなわち事前に数種の溶接性確認試験を行い、適切な鋼材仕様と溶接条件を決定するとともに継手部の健全性を確認した。この結果、格点部主管には耐溶接割れ性に優れたTMCP（thermo mechanical control process）鋼を使用した。特に炭素当量の制限を加えるなど成分設計面での配慮を加えた。また溶接は継手部品質と屋外作業性を考慮し、ノンガスタイプのフラックスコールド溶接法を採用した。

ジャケット組立ではFig. 5に示すように大ブロック工法を採用した。平面パネル製作は、Photo 1に示すように、あらかじめ土留

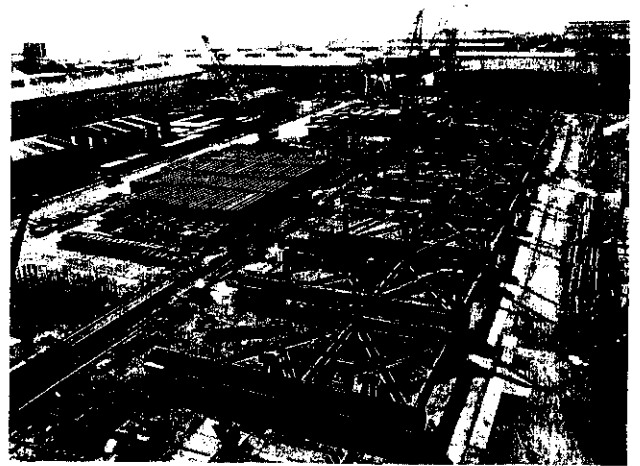


Photo 1 Panel assembly of jacket at Harima fabrication yard

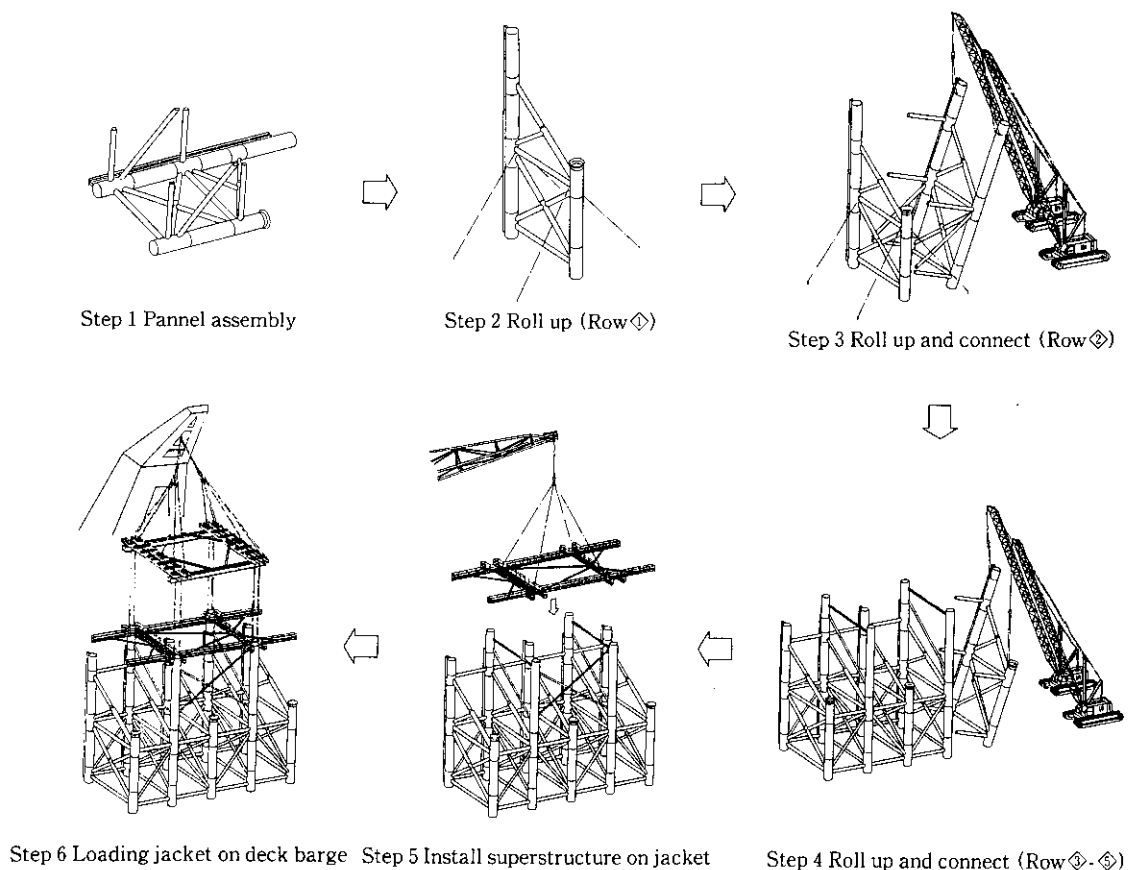


Fig. 5 Assembling procedure of jacket

Table 4 Tolerances and results of dimensional inspection after jacket fabrication (Jacket type KJ-5 and 6)

	Tolerance	Actual
Horizontal distance from any column to the column adjacent	$\pm 24 \text{ mm}$	$-9 \sim +9 \text{ mm}$
Diagonals of a rectangular plan layout	$\pm 32 \text{ mm}$	$-14 \sim +10 \text{ mm}$
Diagonals in the vertical	$\pm 32 \text{ mm}$	$-14 \sim +11 \text{ mm}$

板支持部材を取付けたレグに面内ブレースを取付け平面パネルを完成した後、面外ブレースを組立てた。また横持ちや大組立に支障のない付属品はこの段階で取付けるなど極力高所作業を避け安全性、作業性の向上に努めた。

平面パネルは2台の軌道台車を用いて大組立ヤードまで横持ちした。建て起こしは、事前配置した2基の回転治具上にパネルの下段ブレースを置き、レグ上部をクレーン2基で吊りあげる方法を採用した。組立中、重心位置の移動で不安定な状態が起こるため、パネル両側の惜しみワイヤーを制御しながら固定し安全の確保に努めた。

大組立時の管理ポイントは、格点溶接部のルート間隔管理と、溶接収縮量の予測と対策である。前者は溶接部品質確保の観点から実測管理を徹底した。また後者は過去の実績をもとにブレース切断時に収縮量を考慮することにより対処した。格点部の溶接に先立ちパネル間の寸法、傾斜、レベル等を計測し組立精度を確認した。

仮設作業台は地上で一体組立てを行い、本体部の大組立完了後これを搭載し、本体レグと溶接接合した。

溶接部非破壊検査は、鋼管の円周方向突合継手を放射線透過試験で、格点部は超音波探傷試験でそれぞれ溶接線全長にわたり行った。

Table 4 に立体組立寸法精度の一例を示す。

5 ジャケットの積込みと輸送

当社播磨鉄構加工センターで製作したジャケット10基は6000t積み輸送台船に搭載し、据付け現場まで5回に分けて海上輸送した(Photo 2)。輸送物が大型重量物であるため、積み込みおよび輸送時の安全性には特に留意した。ジャケット本体構造については、積み込み時の吊り解析と、有義波高5.9m、周期10sの波浪条件下における動揺解析など3次元骨組構造解析を行った。また輸送時の曳

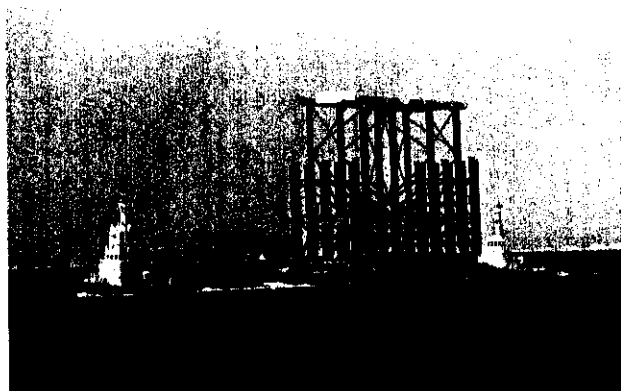


Photo 2 Transportation of jackets

船能力、曳航索強度、台船の復元性、ジャケットの安定性、固縛材強度などの技術的検討を実施するとともに、輸送経路、タイムスケジュール、荒天時の避泊港などの詳細な運搬計画を作成した。

輸送台船への搭載は3600t吊り起重機船を使用し、2基を直列に搭載した。輸送台船の曳航には3500PS級の曳船を使用し、全行程345マイルを平均速度6ノット、60時間弱で曳航した。

一方、当社千葉鉄構加工センター(東京湾内)製作分4基については、1800~3000t吊り起重機船で据付け現場まで4回に分けて1基ずつ吊り運搬した。

曳航にあたり明石海峡、浦賀水道等の狭水路通過時は、海上保安部ほか関係所管部署との協議に基づき補助曳船、警戒船等を配置した。また出港24時間前より共同企業体内に曳航管理室を設置し、24時間体制で輸送中の海象、気象、曳航状況を監視し、非常時の対応体制を敷くなど、徹底した航行安全対策をとった。

6 ジャケットの現地施工

6.1 施工概要と特徴

製作工場から海上運搬されたジャケットは、起重機船によって所定位置の海底に設置した後、レグ(10本/基)内部に鋼管杭を挿入してハンマーで打設した。さらにレグと鋼管杭の空隙にグラウトを注入して固結させ、ジャケットを海底地盤に固定した。

ここで特筆すべきことは、従来の油井掘削用ジャケットが海域に単体で設置されているのに対し、ジャケット式護岸の場合は複数(片側11基)のジャケットを連続して設置し互いに連結する必要があるため、下記に示す悪条件にもかかわらずきわめて高精度(水平変位、高さ、傾斜)で設置しなければならない点であった。

現場施工条件

- (1) 東京湾湾央部の大水深海域である(水深25~30m)
- (2) 沿岸域と比較して気象・海象条件が厳しい
- (3) 日本有数の船舶密集海域である(約1400隻/日)

このような厳しい制約の中、限られた工期内に経済的かつ安全な高精度施工法として適用したのが据付け支持鋼管工法⁹⁾である。

6.2 据付け支持鋼管工法

本工法はFig. 6に示すように、あらかじめジャケット1基あたり4本の仮受支持鋼管杭を海底地盤高さに高精度で打設し、その杭頭にジャケット本体をのせて仮支持させることによってジャケット本体の厳しい許容設置精度を確保するものである。その要点を下記に示す。

- (1) 打止め高さを $\pm 12 \text{ mm}$ (管理目標値は $\pm 5 \text{ mm}$)以内にするため、ラムストロークの微調整が可能な油圧ハンマー(MHH 250, 打撃エネルギー=25 t・m)を用いて最終貫入量

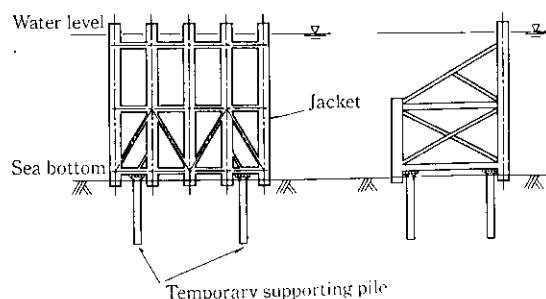


Fig. 6 Temporary supporting pile in water

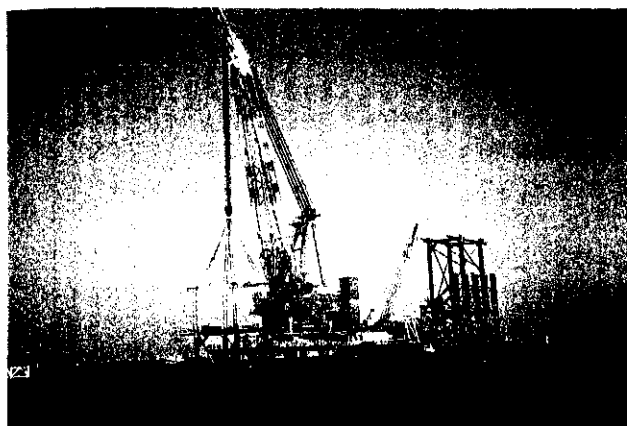


Photo 3 Installation work of the jacket

を制御した。

- (2) 大水深下での杭打工事であり、杭本体の平均長=11 mに対し、全長 38 m の長尺ヤットコを用いた。
- (3) 海底面での杭頭位置をヤットコ海上部の測量結果から瞬時に算出するため、座標計算をシステム化した。

6.3 ジャケット本体据付け

ジャケット本体の据付けは主に国内最大の 1800 トン吊海洋作業船を用いて行った (Photo 3)。大型の鋼構造物を大水深海域に設置するという本工事最大の山場であり、最も迅速かつ的確な判断が要求される局面であったため、事前に施工現場の風速・風向および波浪の局地的な詳細情報を収集、分析して作業可否の判断を行った。ジャケットの据付け作業は、偏荷重や衝撃荷重が最小となるように吊り天秤を用いて慎重に実施するとともに、次の方法を用いた。

- (1) 非対称形なジャケットに作用する浮力の変化にともなう水中重心の 3 次元移動量を求め、着底までのジャケット本体傾斜の変化を力学的に計算して施工管理に反映させた。
- (2) 2 台の光波測位器を用いて測量を行い、ジャケットの 3 次元座標をリアルタイムに算出して本船を無線誘導した。

Table 5 にジャケットの据付け結果を示すが、管理項目であった傾斜、水平方向および鉛直方向誤差いずれも許容値を充分満足する良い値であった。

Table 5 Results of jacket installation

	Tolerance	Actual
Inclination	1/200	1/522 (max.)
Horizontal displacement from normal line (mm)	100	53 (ave.)
Elevation (mm)	150	29 (ave.)

6.4 鋼管杭工

鋼管杭の打設は地盤特性を考慮し、比較的軟弱な表層部をバイブロハンマー (VM 2-2500 E, 2500 kg・cm) で一次打設した後、大型油圧ハンマー (IHC-S-500, 51 t・m) で支持層まで本打設した。施工実績が少なく支持力機構の解明が十分でない大口径杭の支持力に関しては、従来同様のリバウンド測定による手法と併せて PDA (pile driving analyser) による打撃時および再打撃によるその後の経時的な変化を代表的な複数の杭で計測し、載荷試験で導かれた設計支持力の発現を直接確認するとともに多くのデータを蓄積した。

7 まとめ

世界で初めてジャケットが本格的な護岸構造物として用いられた東京湾横断道路木更津人工島中工事は、1992 年 8 月に工期どおり無事故で竣工した。本工事の実施における主な技術的成果は以下のとおりである。

- (1) 国内、海外の関連技術基準に基づいたジャケット式鋼性護岸の設計法を初めて確立した。
- (2) 工場における高度な品質管理体制を構築するとともに、大ブロック工法、大量生産方式による短工期で効率的なジャケット製作手順を確立した。
- (3) 輸送時の 3 次元動揺解析等の技術検討、および 24 時間連続の運行管理体制によって安全なジャケット長距離運搬を実現した。
- (4) 大水深下での高精度なジャケット据付け工法を適用し、世界で初めてジャケット式護岸の構築に成功した。

最後に、本工事の実施に際し、発注者として多大なご指導を頂いた東京湾横断道路株式会社ならびに共同企業体のメンバーである前田建設工業株式会社、大都工業株式会社の関係各位に心から感謝の意を表す次第である。

参考文献

- 1) 藤野 徹, 小林将志, 藤森茂登: 「川崎人工島の設計と施工」, 橋梁と基礎, 25 (1991) 7, 2-9
- 2) 陌陌昭彦, 東 賢治, 石井 孝, 小杉博孝, 細野高泰, 田部俊博: NKK技報, No.140 (1992), 11-19
- 3) 日本道路公団: 「東京湾横断道路人工島設計基準」, (1987)
- 4) American Petroleum Institute: "Recommended Practice for Planning Designed and Constructing Fixed Offshore Platforms," April

(1987)

- 5) 神田泰太郎: 「東京湾横断道路木更津人工島ジャケット式護岸の製作」, 第 6 回東南アジア海洋セミナー論文集, (社)鋼材倶楽部, シンガポール・インドネシア, (1991), 77-87
- 6) 篠原浩史, 古室健史, 川瀬祥一郎, 西東十郎: 「東京湾横断道路ジャケット式鋼製護岸の据付け施工法」, 土木学会第 47 回年次学術講演会, (1993)