

(45) 鋼とコンクリートのハイブリッド波除堤の設計及び施工

横須賀市 港湾部 施設課	川野 辺 力
同	阿 部 久
同	○ 鈴 木 栄一郎
日本鋼管㈱ 鋼構造建設部	田 中 征 登
同	若 菜 弘 之
国土総合建設㈱	野 沢 栄 造

1 まえがき

横須賀市では市の第3次5ヵ年計画の一環として、昭和59年度から60年度にかけて横須賀港（久里浜地区）に、船揚場前面水域の静穏度の確保を目的とした防波堤の築造工事を行なった。この防波堤は、延長30mと規模は小さいが、構造に鋼部材とコンクリート部材の使い分けを行なったハイブリッド構造物であり、設計及び施工面において幾つの特徴をもつものであった。

防波堤が設置された地点は深さ-40mまでN値が5程度の軟弱地盤であり、また、設置される構造物は港内の有効利用を図るために堤体幅の狭い構造が要求されていた。防波堤の一般的な形式として、捨石堤あるいは、ケーソン式混成堤、杭式構造物があるが、総合的な検討を行ない表記のハイブリッド構造物が採用されたものである。

この防波堤は、斜防波版と2列の帯状フーチング基礎を構造要素に持っている。斜防波版は発生する波力の鉛直下向き力を堤体の滑動抵抗として利用して堤体自重を減らし構造物の低廉化を図るものであり、帯状フーチング基礎は、10t/m程度に底面反力を低く押え、地盤改良範囲の低減を目的としている。本構造物は、これらの特性を実現化するために、構造の複合化を行なったものである。

以下に本工事の設計・施工の概要を説明する。

2 構造概要

構造物の横断面図を図-1に示す。この図に示すように本構造物は、防波版、鋼トラス骨組、フーチング基礎、上部工から構成されている。本形式は、波力等の水平力に対し重量で抵抗する、いわゆる重力式構造物であるが、従来のケーソン、ブロック等の構造物と比べて、次に説明する構造の特徴と機能を有している。

1) 防波版

波力を受ける防波版は、法線方向5m間隔に配置される鋼トラス骨組の前面斜材と上部工に支持されている。鉄筋コンクリート製の防波版は、I断面の鋼斜材と、SRC構造のように一体化し、力の伝達を行なっている。防波版は斜に傾けているが、これは波の鉛直下向き成分の力を発生させ、滑動抵抗の重み付けとして利用し、堤体自重の低減による経済効果を目としたものである。

2) 鋼トラス骨組

波力等の外力を基礎フーチングに伝えるためにトラス主構面を法線直角方向に向けている。本構

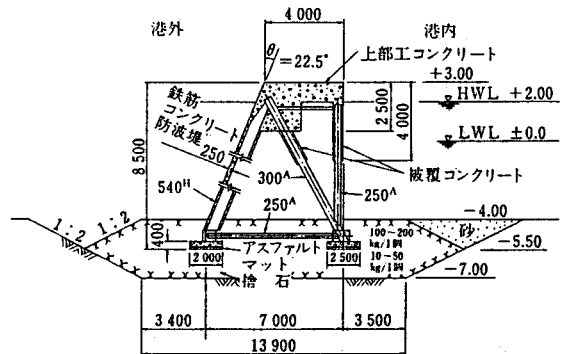


図-1 標準横断面図

造は、この主構トラスを法線方向に5m間隔に配置している。また、法線方向への力の分散や、不等沈下等に抵抗するために、法線方向にも横つなぎ材や斜材を配置し、全体として立体トラス構造を形成している。鋼トラスの底辺は所要の位置まで広げることによって、格点に設けられた2つのフーチング基礎に生ずる反力を低減させて地盤改良範囲を小さくすることができる。

3) フーチング基礎

鋼トラス骨組からの力を地盤へ伝達するために鉄筋コンクリート製のフーチングを法線方向に配置している。鋼骨組からの力は、5m間隔の集中荷重としてフーチングに作用するために、フーチングの剛性を高め、法線方向への力の伝達を図る目的でフーチングの上に鋼箱桁を配置している。鋼箱桁の下フランジにはスタッドジベルを溶植しフーチングコンクリートとの一体化を図ると共にせん断力の伝達を行なっている。フーチングの幅は任意に設定し得るため、必要な幅まで広げ底面反力を低減させて地盤反力を小さくすることができる。

このように、本形式は斜面壁の角度、上部工の自重、フーチングの間隔と幅等、設計自由度が多いために、与えられた設計条件に合わせて合理的な断面を設計し経済化を図ることができる。特に前後のフーチング間隔と幅を調整し容易に底面反力を小さくし得ることは、地盤条件の悪い場所においても効果的な形式と考えられる。本構造は、各構造要素に特徴ある機能を持たせており、鋼の高強度の特長と、コンクリートの剛性と重量づけの特長が活かされるように、構造をハイブリッド化している。

3 設計概要

設計条件を表-1に示す。以下に設計の概要を説明する。

(1) 安定計算

本防波堤が設置された地盤は、N値5程度のシルト分の多い砂地盤であり、表層の3mは浮泥層で覆われていた。そのため浮泥層を取り除いた7mを基礎地盤とし、浮泥層を捨石に置換した構造として、先に述べた図-1に示す基本断面を考えた。

設計外力として、波浪時は、合田式による波圧を、地震時は、堤体の慣性力とウェスターガードの近似式で与えられる動水圧を考えた。安定計算は、従来の重力式構造物と同様に行なった。計算結果を表-2に示す。本設計では、底面反力は約10t/mと小さい値となっている。

(2) 部材の設計

本構造は、図-2に示すように5m間隔に主構面が配置された立体トラス構造が防波版やフーチング等の板構造と一体化された構造であるが、次のように各部材を独立な系として設計を行なった。

1) 防波版

主構面と上部工で支持される3辺固定一辺自由版として、鉄筋コンクリート版の設計を行なった。

2) 鋼骨組部材

表-1 設計条件

水深	-4.00m
潮位	HWL+2.00m LWL±0.00m
設計波	H1/3 = 1.1m T1/3 = 11.4sec
設計震度	KII = 0.2
土質条件	-4.0m ~ -7.0m 浮泥層 7-1.83 -7.0m ~ φ=25° 7-1.83

表-2 安定計算結果

		波浪時	地震時
滑動安全率		1.33 > 1.20	1.18 > 1.00 (港内より作用)
転倒安全率		2.05 > 1.20	1.91 > 1.10 (")
支持力	捨石上	9.9 < 40 t/m	9.9 < 40 t/m (港外より作用)
	基礎地盤上	8.1 < 10.1 "	8.4 < 10.1 " (")
円形すべり安全率		1.02 > 1.00	—

常時円形すべり安全率は1.54 (>1.30)である。

1つの主構面をとり出し、この面が分担する法線方向5mあたりの荷重を作用させた平面骨組解析を行ない、それぞれの部材の断面を算定した。

3) フーチング部

フーチングコンクリート版は、箱桁から張り出す片持ち版として、鋼箱桁は主構位置で支持された連続桁として設計した。箱桁とフーチングコンクリートの一体化のために溶植されたスタッドジベルは、波力の水平成分を設計せん断力として断面と所要本数を決めた。

4) 防食

LWL-1m以上のスプラッシュゾーンを含む範囲については、鋼部材はすべてコンクリート被覆か、上部工に埋まるようにした。海中部分については、50年の耐用を考慮し20年電防、30年腐食代とした。設計数量を表-3に示す。

4 施工概要

防波堤の施工場所を図-3に示す。鋼骨組構造については工場製作とし、図中に示すヤードまでバージ輸送を行った。このヤードで天端から1m厚の上部工を除くすべてのコンクリートの施工を行ない、これを1000tフローティングクレーンで設置地点に沈設し、残りの上部を施工した。構造物延長30mは一体物として製作し、堤体の分割は行なわなかった。

本工事は鋼骨組製作工、コンクリート工、基礎工、据付工及び上部工から成り、これらを表-4に示すように、昭和59年度と昭和60年度の2年度で実施した。以下に施工概要を説明する。

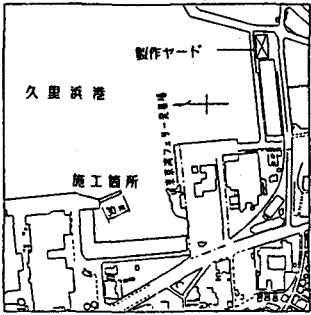


図-3 位置図

表-3 設計数量

(30m全長分)			
	項目	数量	備考
本体	鋼 重	47.6 t	SS41, SM50Y
	コンクリート	362.0 ㎡	$\sigma_{CK}=240 \text{ kg/cm}^2$
	鉄 筋	19.1 t	SD30, SD35
	型 枠	976.0 ㎡	
工	アスファルトマット	135.0 ㎡	8 cm 厚
	アルミニウム陽極	12 個	2.5A/個
基礎工	床 盤	3724 ㎡	
	捨 石	net 829 ㎡	10~50 kg/個
	被 覆 石	net 805 ㎡	100~200
	埋戻し砂	net 405 ㎡	

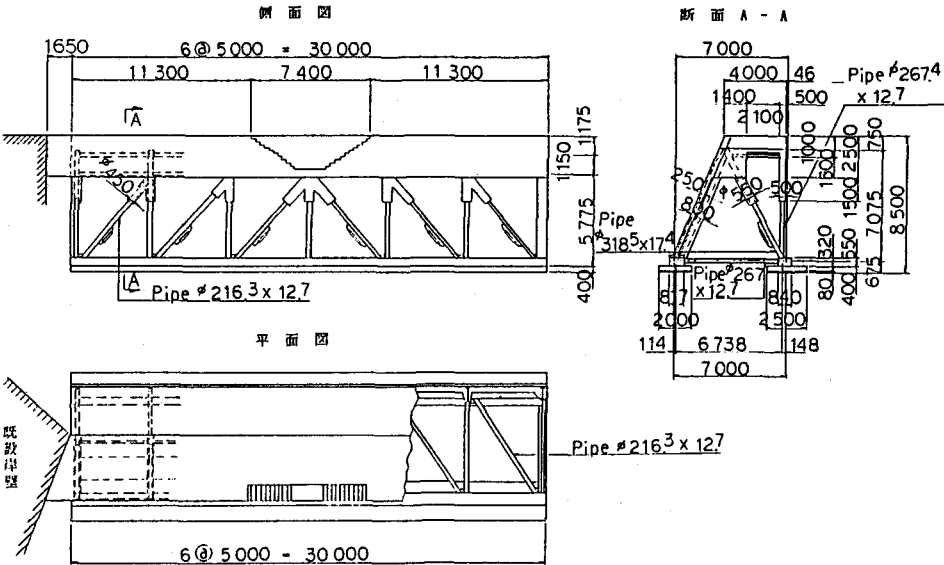


図-2 構造一般図

1) 鋼骨組製作工

鋼骨組構造は、パイプ、I 桁、箱桁、型钢から構成されている。大組立ては、バージ輸送を考慮して工場岸壁で行なった。底面の部材を先に組立て、あらかじめ地組み立てを行なった主構面トラスを順次横つなぎ材で結合しながら建て込みを行なった。主構造の結合は全て溶接で行なっている。製作精度は、全長30m、高さ7m、幅7m対する許容値±25mmに対し、±10mm以内に収まった。

2) コンクリート堤体製作工

ヤードでは、鋼骨組の吊り下ろしに先がけてアスファルトマットの施工を行なった。アスファルトマットは全長30mを5分割して搬入し、敷設した合板上に据え付けた。このマット上に、バージ輸送された鋼骨組を70t フローティングクレーンで吊り下ろした。鋼骨組は、マット上に配置された埋殺しのコンクリートブロックによって仮支持し、フーチングコンクリートの施工厚さを保持した。写真-1は、この状況を示している。この後、写真-2及び3に示すようにフーチング部の配筋を行い、コンクリートを施工した。斜防波版は、写真-4に示すように鋼製型枠と木製型枠を併用し施工を行なった。2期施工では、堤体の中にビディ足場を組み立てて防波版と上部工の1部及びパイプの被覆コンクリートを施工した。パイプの被覆部は、あらかじめ溶接してあるL形の鉄筋を台にして4φのメッシュ筋を巻き、鋼製型枠を使用して12.5mm厚のコンクリートを施工した。写真-5にコンクリートの施工が完了した堤体の内部の状況を示す。写真-6及び7に外観を示す。

3) 仮設工および基礎工

既設の鋼矢板岸壁の前面を掘削するために、床掘り施工に先がけて仮設矢板を岸壁前面に打設した。床掘りは、スパッド形式のバックホウ船(3㎡級)および120㎡積土運船を使用した。基礎捨石には安山岩を使用し、ガ

表-4 実 施 工 程

	昭和 59 年度				昭和 60 年度			
	1ヵ月	2ヵ月	3ヵ月		1ヵ月	2ヵ月	3ヵ月	4ヵ月
別 図 造 作 工				—				
バ ー ジ 輸 送								
ヤ ー ド 敷 地 工								
アスファルトマット工								
フーチングコンクリート工				—				
防波版等、コンクリート工								
仮 設 工								
床 掘 工								
捨 石 工								
運 搬 装 付 工								
捨 埋 石 工、埋 戻 し 工								
上 部 工、片 付 工								

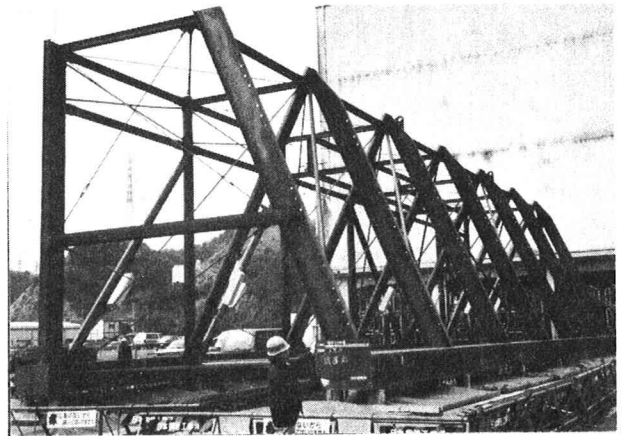
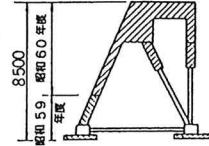


写真-1 鋼骨組構造

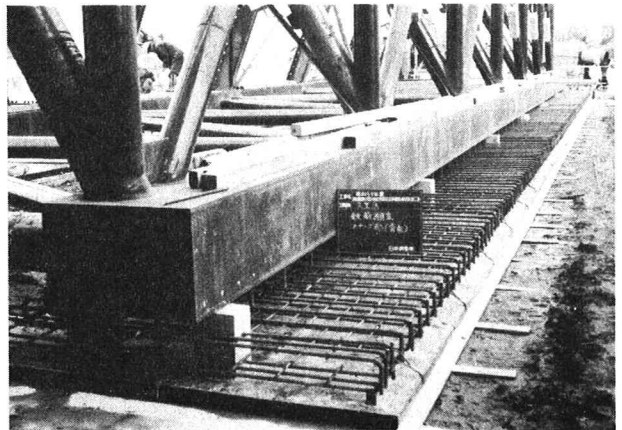


写真-2 フーチング部配筋

ット船にて運搬、投入を行なった。

4) 据付けおよび上部工

ヤード製作による本体自重は約670tであった。これを1000t フローティングクレーンで吊り上げ、現地までつり移動して据付けを行なった。本体は長い構造であるため法線方向に1列に12ヵ所の位置で吊ることとし、この列より離れた位置に吊りビースを2ヵ所設け、クレーンの補巻(200t)を使用して回転を制御した。堤体は、鋼を使用により曲げ及びねじり強度が高いため、通常のコンクリートケーソンで使用される天秤等の吊治具は不要であった。

設置地点の海域は、昼間はフェリー等の船舶が運航するため、据付け作業は夜間に行なった。作業は、当初6時間を予定したが、各作業が順調に進み、約3時間で完了した。設置精度は法線の出入りが堤体の両端で20mmとなり、良好な結果を取めた。被覆石の施工後、上部コンクリートを打設し、無事完工した。写真-8に完成状態を示す。

5 あとがき

本工事は、規模は小さいが、鋼とコンクリートが複合した場合の部材の設計における手順とその製法、そして、鋼とコンクリートの継手部の設計と施工を含み、ハイブリッド構造物の一つの形式として種々の検討項目及び工種を含む工事であった。製作面から考えた場合、この種の工事は、個々のすでに確立された施工法で十分対処し得るものであり、それらの組み合わせで十分成立し得るものであるが、鋼部材は施工中にも十分な強度を有しているため、コンクリート打設時の型枠・支保工等、施工外力に対する仮設材としても利用する、より進んだ施工法を検討してゆくことも今後必要かと思われる。

鋼とコンクリートの合成構造は、建築や橋梁等では、SRC構造や合成桁のように、完成された設計法をもつ構造物を中心にその他陸上構造物にもその適用範囲が広がりつつあり、近年、港湾構造物にもこの形式を検討す

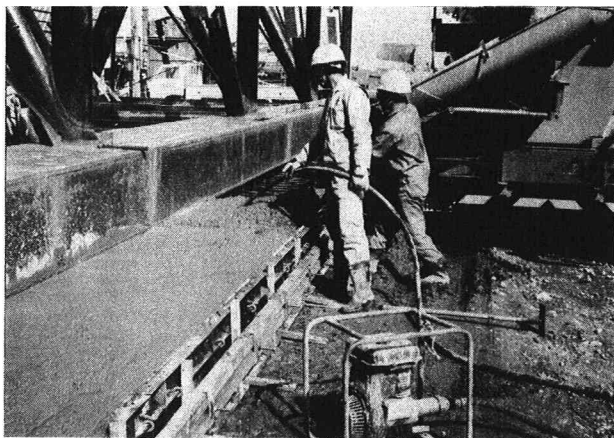


写真-3 フーチング部コンクリート打設

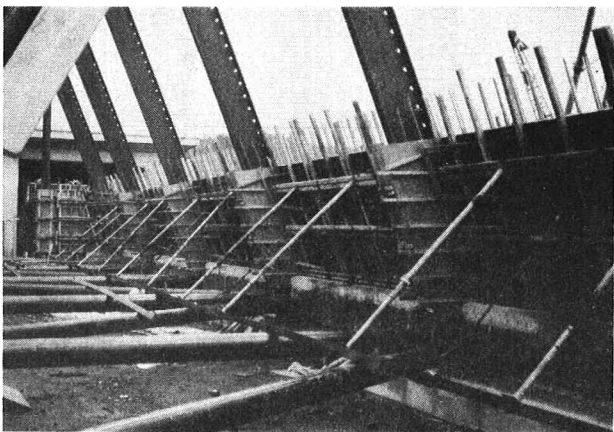


写真-4 防波版コンクリートの施工

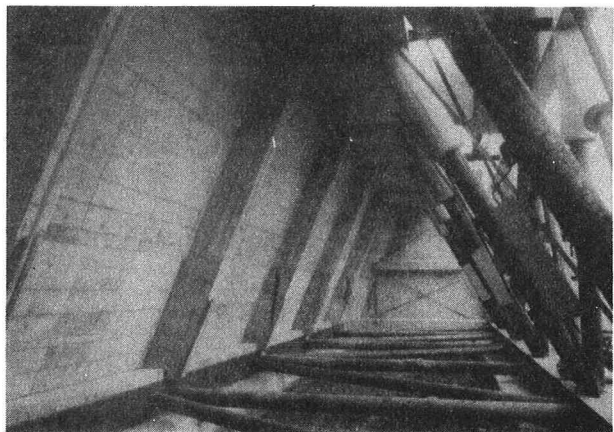


写真-5 堤体の内部

る試みがなされている。本構造物は鋼とコンクリートを使い分けた混合構造物としての位置づけが強いが、今後は合成梁や合成版等、部材の複合化を含めた部材、継手及び構造の開発が進められてゆくものと思われ、本工事が今後のハイブリッド構造物の設計、施工に参考になれば幸いである。

本工事は、構造物を設計するにあたり、運輸省第2港湾建設局横浜調査設計事務所より多くの助言をいただいた。深く感謝の意を表する次第であります。

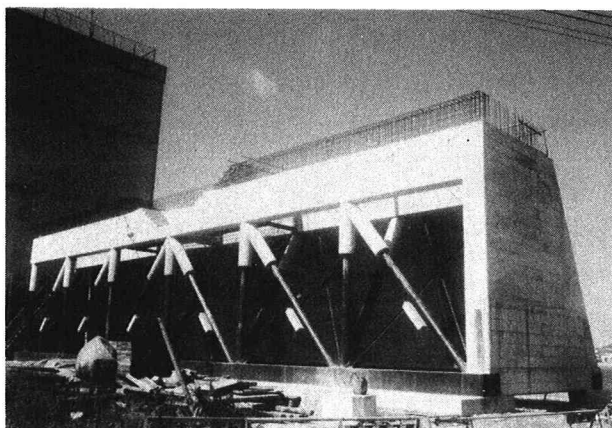


写真-6 ヤード製作完了（背面）

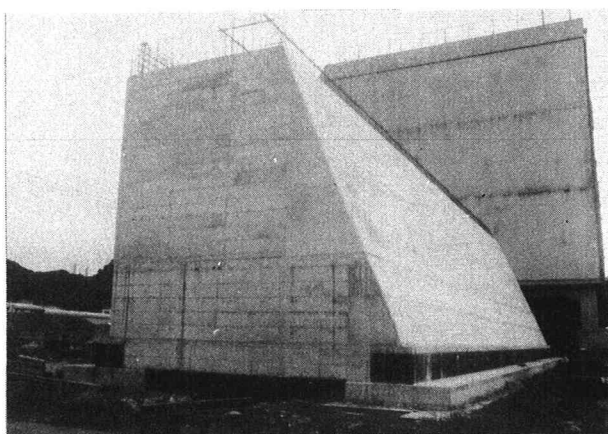


写真-7 ヤード製作完了（前面）

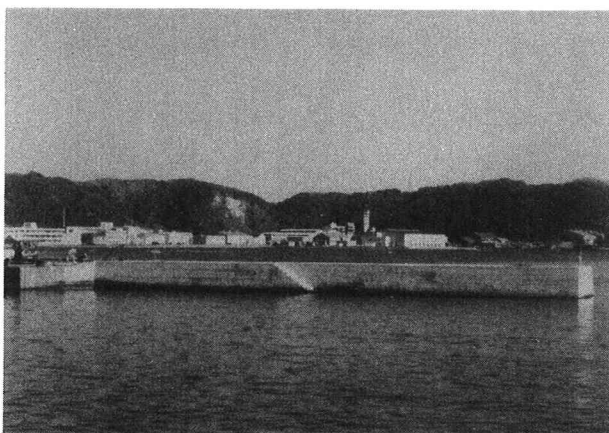


写真-8 完 成