

(58) ハイブリッド構造のケーソン等、
港湾構造物への適用

APPLICATIONS OF STEEL CONCRETE HYBRID STRUCTURES TO COASTAL STRUCTURES

田中征登 植村俊郎 若菜弘之 綿引 透
Yukitaka Tanaka. Shunrou Uemura. Hiroyuki Wakana. Toru Watabiki.

A steel concrete hybrid structure inherits high strength from steel and high durability from concrete.

Recently, various steel concrete hybrid coastal structures have been developed and some of them have been already put into practical use.

In this paper, applications of hybrid structures to caissons, pontoons and underwater tunnel segments are described.

These structures are composed of steel concrete composite slabs and considered as being advantageous compared with conventional ones.

1. はじめに

沿岸域において、種々の構造物が構築されるが、軟弱地盤等、土質条件の悪い場所や、大水深域に代表される据付条件の厳しい場所での施工のように、近年、構造物がより厳しい条件下に設置されるようになってきた。また、製作についてもヤードの確保の問題や、製作技能工の高齢化や人手不足等、今後、懸念すべき問題も多い。こうした施工条件の変化に対応して、従来の港湾構造物の見直しを含め、新形式構造の提案や新材料の使用などの研究開発が各方面で精力的に行われている。

当社ではこれらの研究開発の一環として、鋼-コンクリート ハイブリッド構造の港湾構造物への応用を検討し、これまでに種々の構造物を提案し、また実施工事も行ってきた。本報告では、主に鋼板-コンクリート合成版の応用例として、ケーソン等の構造物をとりあげ、その構造概要と特長を紹介する。

2. 港湾・沿岸構造物への適用

ケーソンや杭、矢板等、在来の構造物に対するハイブリッド構造物の位置づけを図-1に示す。コンクリート構造物は、使用材料が安価であるが、大型化する構造物に対しては、製作ヤードの確保や、製作・運搬・据付等、施工性が問題となる。鋼構造物は、高強度であるが、海中構造物として常に防食の問題が生じる。このような問題の解決策として、鋼とコンクリートの使い分けを行う「構造のハイブリッド化」が考えられる。

ハイブリッド構造を考える場合、単に在来のコンクリート構造物の部材と同じ寸法、版厚の合成部材に置き換えても、一般的には、経済的ではない。構造物をハイブリッド化する場合、高強度の部材の特性や全体剛性が大いことを活用し構造要素や部材諸元を改変し、基礎工費等を含めた総工費の低廉化が一つの方向と考えられる。また、施工面においては、鋼部材がコンクリートを打設するための型枠・支保工機能をもつ

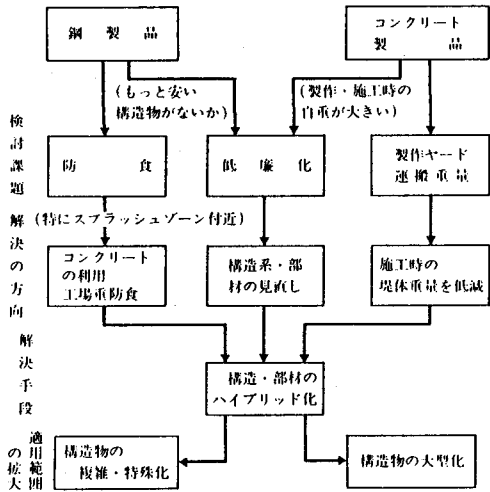
ことや、構造物の施工重量を軽減させること等、施工方法を改善させることもハイブリッド化の一つの目的と考えられる。

以上の観点より、港湾・沿岸域の構造物を検討してみると、表－１に示す構造物がハイブリッド構造の特徴を生かし得る構造物であると思われる。

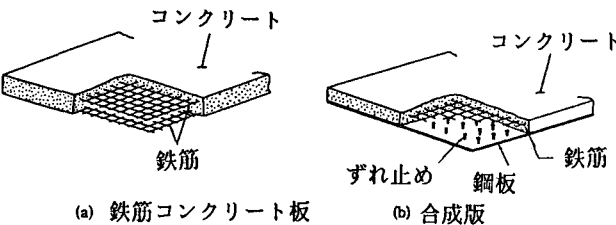
3. 合成版構造

本報告で取り上げる構造物には、共通して鋼版-コンクリート合成版を使用している。この基本構造を図－2に示す。合成版は片側に鋼板を有し、スタッドジベルで鉄筋コンクリート（以下、RCと呼ぶ）と一体化したものである。図に示すように、鋼板が鉄筋の代わりとして機能するため版厚は薄く、曲げ耐力は大きくなる。この種のタイプの合成版は、合成床版橋や建築構造物のスラブとして多くの実績を持ち、設計方法も確立されている。片側にのみ鋼板を使用しているのは、後述するケーソン等の構造物では、スブラッシュゾーン付近の防食の為、コンクリートが防食上有効であることも理由の一つである。この合成版は壁を製作する場合、片側の鋼板が型枠・支保工として機能することとなる。図－3に壁を製作する場合のRC構造物との比較図を示す。合成版を壁に使用する場合、コンクリートの打設の為に鋼板はリブ等で補強し、セパレーターを取り付けておく。図に示すように、配筋量、型枠面積はRC構造の約半分となる。また、壁体の製作時には、鋼板にあらかじめ地上で配筋しておくことにより、高所作業量を減らし、作業能率と共に安全性の向上も期待出来る。

以下、この合成版構造を使用した、ケーソン、ポンツーン及び沈埋函を説明する。



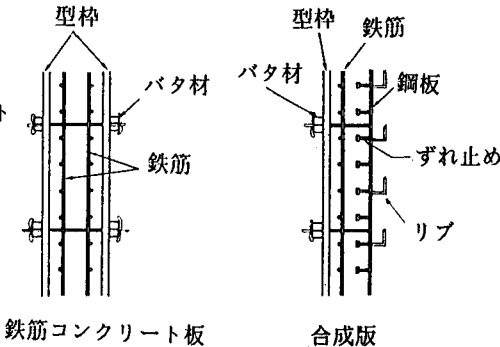
図－1 ハイブリッド構造物の位置づけ



図－2 合成版概略構造

表－1 沿岸構造物のハイブリッド構造化

通用構造物		ハイブリッド化による構造・施工法の特徴
防波・消波 構造物	ハイブリッド ケーソン	フーチングの長大化、台形 ケーソンの製作
	防波版付 骨組構造	鋼骨組、コンクリート混合構造
	ハイブリッド 浮消波堤	合成版による防水、防食性の確保、 剛性大による堤体の長大化
岸壁・護岸 構造物	ハイブリッド ケーソン	フーチングの長大化、堤体断面の 縮小化
	L型ブロック	ブロックの長大化
	ハイブリッド ポンツーン	合成版による防水、防食性の確保、 剛性大による堤体の長大化
土中・基礎 構造物	鉄橋	床構造の剛性床版化による 施工性の改善
	ハイブリッド 沈埋函	浮体施工化、配筋量の低減
	水中基礎	鋼製型枠とSRC構造による 基礎製作
	人工島	混合構造による施工性の改善



図－3 壁体製作概略図

4. ハイブリッドケーソン

(1) 構造概要

ハイブリッドケーソンの構造概要を図-4に示す。本ケーソンは防波堤、岸壁に使用するケーソンである。在来のRCケーソンに対し、側壁、底板、フーチングに合成版を使用し、隔壁を鋼製としたものである。

以下、各部材について構造の特徴を簡単に述べる。

1) 側 壁

鋼板はケーソンの内側へ配される。これは、鋼板が直接外海水と接触しないようにするという防食上の理由が主であるが、側壁の内側に大きな引張力が生じるので鋼板が内側の方が断面効率が良い、鋼板が内型枠・支保工として機能するなどの利点もあり合理的な配置となっている。

2) 底板、フーチング

鋼板は部材下面に配される。鋼板の防食と基礎マウンドとの滑動抵抗増大のために、鋼板はアスファルトマットもしくはコンクリートによってコーティングされる。フーチング張出し長さが、在来のケーソンと比べて長いことが、本ケーソンの基本断面としての特徴である。

3) 隔 壁

RCケーソンの隔壁は通常20Cm厚程度のRC版であるが、ケーソンの隔壁は完成後において主に内面引張力を受け、面外曲げはほとんど受けないので、ハイブリッドケーソンでは隔壁として、鋼板をL形鋼もしくはH形鋼で補剛した鋼補剛板構造を適用することを標準としている。隔壁を鋼構造とすることにより、ケーソンの内側の型枠が一切不要となる他、施工自重が軽量化できる。

(2) 特 長

ハイブリッドケーソンは、主部材に合成版を使用し、隔壁に鋼補剛板を使用した混合構造である。この高強度部材の使用と構造の混合化により、ケーソンは幾つの特長を有する。これらを模式的に図-5に示す。以下主な特長を述べる。

1) 据付地盤が軟弱である場合

フーチングを大きく張出すことにより底面反力を在来ケーソンと比べて効果的に小さくすることができ、地盤改良を大幅に縮小できる。

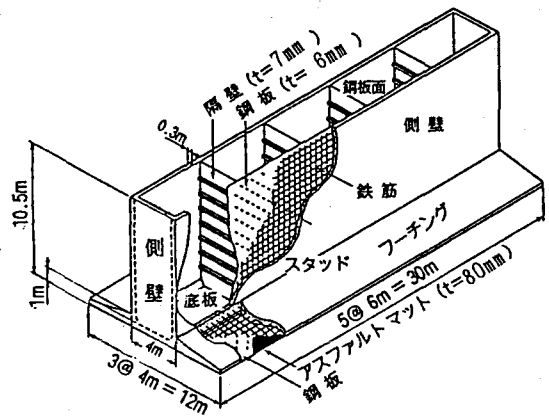


図-4 ハイブリッドケーソン

	防 波 堤	岸 壁	吃 水	台形ケーソン
RCケーソン				
ハイブリッドケーソン				

図-5 ハイブリッドケーソンの特長

2) 掘付現地までの吃水制限の厳しい場合

同一外形寸法であれば、吃水を在来ケーソンの50%~70%程度にすることができる。

3) 大水深域である場合

(a) 函体が軽量、高強度であるので、函体の大型化、長大化に伴う施工上の問題点が少ない。

(b) 函体の大型化が可能であるため基礎マウンド高を低くすることができ、防波堤の場合は衝撃碎波域を避けることができる。

(c) 大水深域でのマウンドにおいて高いならし精度を得ることは一般に容易ではない。ハイブリッドケーソンでは底版の強度が大きいのでならし精度を粗くすることができる。

4) 現地施工可能期間が短い場合

ケーソンの函体を長くすることができるので、掘付函数を減じることができ、現地施工工期の短縮が図れる。

5) 異形ケーソンを製作する場合

例えば、台形ケーソンは水理的に有利な形状であるが、斜面壁となるためRC版では、内外型枠、支保工の建込み、展開が容易ではない。ハイブリッドケーソンでは、既に述べたように、鋼殻が内型枠・支保工機能を有するため、斜面壁の製作は在来ケーソンのそれに比べかなり容易となる。

(3) 製作法

図-6にケーソンの製作フローの例を示す。ハイブリッドケーソンの場合、鋼殻の製作が先行して行われる。本例では、鋼殻を幾つかの大ブロックに組立て、これを順次搭載し組立てている。底部ブロックについては、反転して底版の鋼板にアスファルトを溶着させている。側壁の配筋は、図に示すように大組立までに、配筋を行うこともできる。側壁ブロック搭載後は、外型枠のみ施工するだけでコンクリートの打設ができる。実施例として写真-1に底部ブロック製作状況を示す。

5. ハイブリッドボンツーン

(1) 構造概要

ハイブリッドボンツーンは図-7に示すように床版、底版、側壁、隔壁などで構成されている。床版、底版、側壁に合成版を、隔壁に補剛鋼板を使用している。合成版は、鋼板が全て内側になるように使用している。本構造物は主として係船岸、浮消波堤として使用される。係留は主としてチェーン係留あるいは杭係留方式等が適用される。

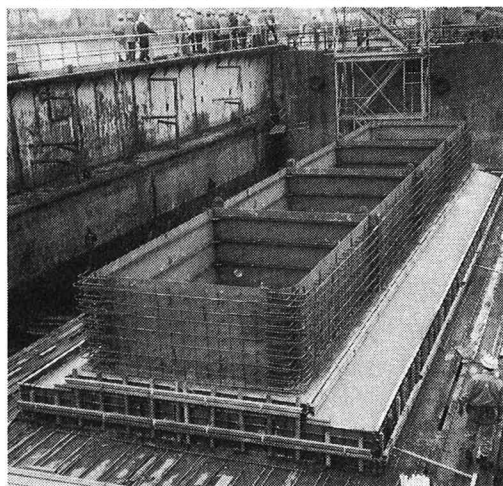


写真-1 底部ブロック製作状況

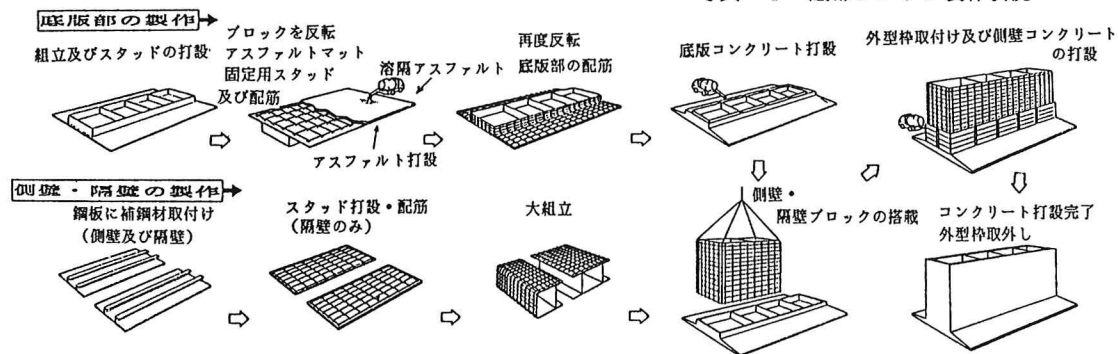


図-6 ケーソン製作フロー

(2) 特長

ハイブリッドポンツーンの特長について、その主要なものを述べる。

- 1) ポンツーンの版厚を小さくできることおよび内部隔壁が鋼製であるため自重が軽くなり、吃水を小さくできる。そのため製作ヤードの選定、曳航に有利となり、水深の浅い立地条件にも対応できる。
- 2) 鋼とコンクリートの合成構造であるため、断面性能、剛性が大きい。従って浮体長が長い場合あるいは大きな設計波高に対しても、ポンツーンの高さをそれほど大きくしなくても、十分、設計が可能である。
- 3) 内面は全て鋼板で覆われているため、完全水密（遮水）である。また内部鋼板は、鉄筋コンクリートで被覆されているため防食の必要がない。
- 4) 合成版を工場内で製作でき、内部鋼板が函体製作コンクリート打設時の内型枠となるため、製作が容易であり、ドックなどの製作ヤードの専有期間を短縮できる。
- 5) 内部が鋼板であるため、係留装置、係船柱などの附属物の設計、構造選定が容易となる。

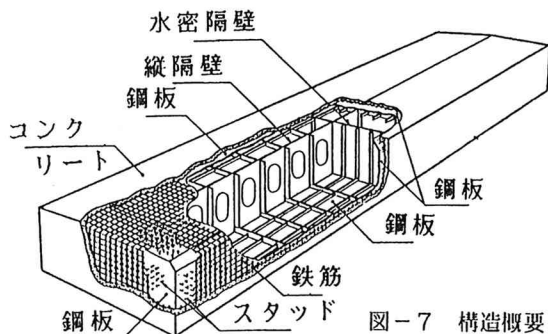


図-7 構造概要

(3) 製作法

製作法については、ケーソンとほぼ同様である。ポンツーンの場合、鋼殻は一体物として作り、鋼殻のそれぞれの面に対してコンクリートを施工することになる。写真-2に配筋状況を示す。本工事例では、底版のコンクリートを打設するため、工場クレーンにて反転作業を行っている。

6. ハイブリッド沈埋函

(1) 構造概要

ハイブリッド沈埋函エレメントの構造概念図を図-8に示す。

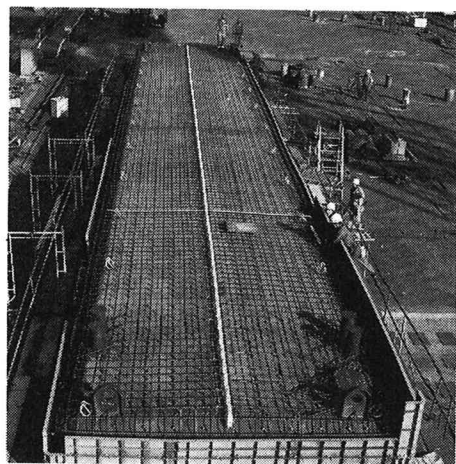


写真-2 配筋状況

1) 下床版

下床版は下側に鋼板を配し、上側に鉄筋を配置した合成版である。鋼板とコンクリートはずれ止めによって付着力が伝達され一体として挙動する。鋼板にはハンドリング用の補剛桁、リブを設ける。

2) 側壁

側壁は外側に鋼板を配し内側に鉄筋を配置した合成版である。コンクリート打設時の荷重に対する補剛のために鋼板には水平方向にリブが取り付けられる。リブは一定間隔に鋼板に取り付けられたラチス構造の柱材とその中間に設けるH鋼の柱により支持される。

3) 内壁

内壁はRC構造である。但し、施工

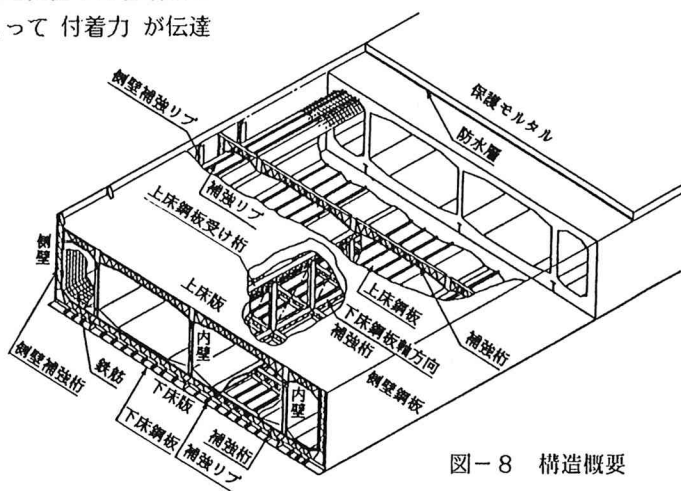


図-8 構造概要

時上床版の鋼板を支持する受梁を内壁上端に設けるため、柱材を一定間隔に設ける。

4) 上床版

上床版は下側に鋼板を配し、上側に鉄筋を配置した合成版である。コンクリート打設時の荷重に対する補剛のために鋼板にはラチス構造の補剛桁とリブを設ける。

(2) 製作法

沈埋函の製作方法には、大きく二つの方法がある。一つは、RC方式と呼ばれるものでドライドックを造成し、函体を陸上で施工し完成後ドライドック内に注水し出渠させる方式を言う。もう一つは、鋼殻方式と呼ばれるもので、鋼殻を製作し、浮上状態でコンクリートを打設し函体を完成させる方法である。ハイブリッド沈埋函の場合、鋼殻を作ることは鋼殻方式と変わらないが、床版コンクリートの打設時には、ドック内で打設し、鋼殻に過大な力が残らないように製作し、かつ部材の合成を行うものである。この場合、最後までドック内で施工することも可能であるが、底版等一定量のコンクリートを打設すれば、進水させてから、残りのコンクリートが打設できることも特長である。鋼殻の製作能力や底版コンクリートの打設を考えると、本工法では、造船所のドックや船台での製作が適当と考えられる。これは、製作ヤード不足の問題解消にもつながる工法とも言える。

(3) 特長

沈埋函の部材断面は、使用目的によって決定される内空間に対して、浮上り防止のための重量付け、ドック出渠及び曳航可能吃水・所要乾弦、及び外荷重に対する耐力を考慮して決定される。従って、合成構造を適用したとしても必ずしも壁厚が薄く出来る訳ではなく、一般的には、RC沈埋函と同程度になる。しかしながら大水深等、大きな外力をうける場合では経済的な構造断面形状をつくることのできる他、沈埋函の安全性の向上や、函体作業方法の合理化の点では、ハイブリッド沈埋函は以下に示す特長がある。

1) 耐力力の向上

合成構造を用いているので、縦強度、横強度共RC沈埋函よりも耐力的に余裕のある構造となっている。また、RC沈埋函に比較して、鋼材量が大であるためじん性が大きく、地震外力の影響を低減できる。

2) 配筋作業性の向上

RC沈埋函では、D41やD50の太径鉄筋が用いられることが多く、また、せん断補強筋が多数入るため配筋の作業性が悪い。ハイブリッド沈埋函では、鉄筋量の大きな鋼板が複鉄筋の片側鉄筋として機能するため配筋量を約半分に減らし、配筋作業の負担を軽減できる。このことは、今後我国において熟練鉄筋工が不足することが想定されるということからも、重要であろう。

3) 函体の製作法

RC沈埋函の製作にはドライドックの使用が不可欠であるが、ハイブリッド沈埋函は造船所等のドックで製作が可能である。ハイブリッド沈埋函では造船所は全国各地にあるため、トンネル工事地点に近い所で製作が行える可能性が高い。また、造船所は多数あるため各地に製作を分散することにより、多量の函体を同時に製作することができる。

6. おわりに

港湾・沿岸域における構造物のハイブリッド化は、単に部材強度を高めるだけでなく、鋼構造をうまく活用してコンクリート施工や堤体の据付等、いわゆる現場作業を改善する技術とも言える。今後は、関係者の指導をうけながら、技術をより高めていく所存である。

参考文献

- 1) (財)沿岸開発技術研究センター、ハイブリッド港湾構造物に関する調査研究報告書 S62.3
- 2) 田中他、ハイブリッドケーソンの設計・施工、日本鋼管技報 NO.122,P114,1988.7