技術資料

半没水双胴形船舶について*

大 島 正 直**

Semi-Submerged Catamaran

By Masanao Oshima

The Semi-Submerged Catamaran (SSC) has been expected as a new type of promising marine vehicle to break the various performance limitations imposed by the conventional monohull or the conventional catamaran vessel.

This paper introduces the outline about the characteristics of SSC performance and the design conceptions on her propulsion system in addition to the outline of the commercial prototype of SSC ferry for 446 passengers, which had been completed for the first time in the world at the end of August, 1979 at Chiba Yard of Mitsui Engineering & Shipbuilding Co., Ltd.

1. ま え が き

近年の交通機関の発達には目覚ましいものがあるが、海上においても、高速、安全、経済性はもちろん、気象、海象に煩わされない安定した船舶としての需要が、離島航路における旅客船、海洋開発事業に関連した調査、作業、観測等を目的とした船舶に対して高まってきている。

三井造船では、この点に着目し、最もこれらの要求を満たす船形として、1970年より半没水双胴形船舶(SSC)の研究開発に着手した。初期段階における各種性能の基礎研究、模形試験の実施に基づき、理論計算式を確立し、更に、(財)日本船用機器開発協会のご協力により、1977年には全長12mの実験艇“マリンエース”を完成、海上運転による諸性能および船体構造強度試験を行い、SSCの持つ諸特性が、予期された通りであることが実証された。

これらの技術的要素の蓄積を基礎として、1978年には、(財)日本船用機器開発協会融資による、世界最初の446人乗り実用旅客船“めいさ80”の建造に踏み切り、昨年9月その完成を見た。これを機会にSSCの一般特性および機関部設計に関する留意点、並びに“めいさ80”の概要を記す。

2. SSCの概要および特徴

2.1 SSCの概要 SSCの概念は19世紀末、既にあったとされ、20世紀初頭より半ばにかけて特許が出されているが、実用化には至らなかった。1970年前後に

図1 “めいさ 80”海上試運転

なって米海軍を中心に研究が始められ、1973年には排水量190tの実験艇“KAIMALINO”号が建造され、海洋実験研究に活躍している。

SSCの外形は図2に示すごとく排水量の大部分を受け持つローハルおよび、これと上部構造を結びつける幅の狭いストラットより構成されており、水線面積は極端に小さく、ローハルは完全に水面下に没するようになっている。

2.2 SSCの特徴 このようにSSCは一般船舶に見られない特異な形状をしているため、下記のごとき特徴を有している。

2.2.1 波浪中の運動性能 他の船舶と比較して、SSCが最も顕著にその特性を現わすのが、波浪中の運動である。これは長さ30mのSSCと単胴船の波浪中の運動比較を行った図3の特性曲線から明らかであるように、単胴船に比べ非常に優れた性能を有している。その

* 原稿受付 昭和55年2月20日

** 三井造船(株)(東京都中央区築地5-6-4)

図2 半没水形双胴船外形図

図3 波浪中運動性能比較
(長さ30m, 船速24ノット船)

理由としては、

- (1) 水線面積が小さく、動揺固有周期が非常に長くなり、通常遭遇する波周期との同調を避けることができる。
- (2) 魚雷形をしたローハル上下面に作用する波浪外力が、打消し合い、垂直波浪荷重を小さくし、運動変位、加速度共減少する。

等が挙げられる。又、SSCでは更に波浪中の運動性能を高めるため、船の前後左右に運動制御用フィンが設けられるが、船速や想定海象条件等により、自動制御、手動制御、固定又はこれらの組み合わせられた方式が採用される。

2.2.2 推進性能 通常の排水量形単胴船の場合、フルード数0.4以上の高速域では造波抵抗の増加により、経済的な船舶の設計は不可能であるが、SSCでは図4の単胴船との剰余抵抗係数比較曲線に示されるごとく、狭いストラット、深度を保ったローハルの配置により、高速域での造波抵抗が少ない。又、前述のごとくSSCでは波浪外力を受けにくいため、波浪中での速力低下も少ない。図5には波浪中での速力低下について長

図4 剰余抵抗係数比較

図5 波浪中速力低下比較
(長さ30m船)

さ30m級の単胴船とSSCの比較を行っている。これらの特徴は比較的小形船舶でも波浪中の高速走航を可能にし、運航スケジュールの確保が重要な中小形高速旅客船、カーフェリー等に有効に働き、経済性の向上が期待される。又、荒天時の救難艇、巡視艇の役割をも確かなものとするであろう。

2.2.3 有効な広い甲板面積 SSCでは、船の長さ幅比(L/B)が、約2前後となり、排水量をベースとして甲板面積を単胴船と比較している図6からも分るように、充分広い有効な甲板面積を確保することができる。従って、SSCは大きなスペースが要求される旅客船、各種作業船、に適合する船形であるといえる。更に、甲

図6 甲板面積比較

板中央部に開口を設けて、動揺、波浪を回避した場所での器材の上げ下ろしが可能で、海洋調査船、潜水支援船等の作業効率改善に寄与するものと思われる。

2.2.4 低速時の操縦性能 SSCは幅広船形のため、低速時両舷機の differential thrust を使用しての操船が効率よく行われ、その場旋回はもちろん、狭水路、港内においても、サイドスラスタを必要とせず、安全に操船することができる。

3. SSCの主機について

3.1 SSCの主機配置について SSCは、特異な船形により、その主機の配置は、ローハル内又は、連結甲板 (Connecting deck) 上の2通りが考えられる。要求船速が比較的低い大形のSSCでは、通常ローハル内に配置され、又、高速小形のSSCでは、連結甲板上に配置されることになる。保守点検上は主機が連結甲板上に配置されることが、より望ましいが、主機をローハル内に配置する場合にも、保守点検用通路、空間、監視操縦場所等を適切に配することにより、実用上、支障のない配置が可能である。又、主機がローハルに配置できるようなSSCの場合でも海洋調査作業船等で、特に水中騒音が問題となる場合には、主機は連結甲板上に配置し、騒音源を出来るだけ水面から遠ざけるような配慮も必要であろう。

3.2 SSC用主機の適性 前述のような、SSCの特長である運動性能と、推進性能を向上するためには、ストラット、ローハルの寸法は出来るだけ小さい方が望ましい。従って、その主機は、小形軽量であることが望まれる。

主機を連結甲板上に配置する場合、SSCの特長である広い甲板面積を有効に利用できるようにするためには、機関室スペースはできるだけ小さい方が望ましい。一方、主機をローハル内に配置する場合にも、要求性能上決定されたローハル寸法内で広い保守点検用空間を確保するため、主機はできるだけ小形が望ましい。

このようにSSCは良好な運動性能、推進性能を得てその船形の特長を有効に利用するために、その主機のみ

ならず各機器も、小形軽量化が必要となる。このため、機関部重量、スペースの大部分は主機によって決まるため、その主機としては小形、軽量、大出力の高速ディーゼルエンジンが、専ら選定の対象となっている。特に速度性能の重視される艦艇、高速旅客船の一部には、航空転用ガスタービンの採用も考えられる。4000 PS級の各種機関について、馬力当りの重量を比較した一例では、航空転用ガスタービンが、約0.25kg/PS、高速ディーゼルが、約2.7kg/PS、中速ディーゼルが、約11.5kg/PS、低速ディーゼルが、約20.5kg/PS、となり、高速ディーゼル機関を採用することにより、SSCの広い甲板面積の有効利用のみならず、載荷重量も大幅に増加できるため、より経済的なSSCとなることが分るのである。

従来、高速ディーゼルの燃料としては、A重油が一部使用されていただけで、ほとんど軽油が使用されていた。しかし、最近の原油価格の高騰による、船用燃料の低質化の要求に対して、低速および中速ディーゼルエンジン並みとはいかぬが、ある高速ディーゼルエンジンメーカーでは、単筒当りの出力を若干犠牲にして、その定格出力を設定し、又、操船上、低質重油の使用制限を設けることによって、低質重油の使用を認めているものもあり、他の船で実績も徐々に出つつある。このことは、将来SSCでも、時代の要請に充分応じられることを示している。

4. SSCの動力伝達装置

主機がローハルに配置される場合には、主機、減速機、軸系等の配置は、通常の船舶と変わらない。しかし、それらが配置される、ローハル、ストラット内のスペースは、通常の船舶に比べ狭いので、それら周囲の保守点検用スペース、監視、操縦場所等の配置は充分の検討が必要であろう。本項では、通常の船舶と異なるところの、主機が連結甲板上に配置される場合の動力伝達装置について述べる。

主機を連結甲板上に配置する場合、その動力をローハルに配置されるプロペラ軸へ伝達する方法として、機械式と電気式の2通りが考えられる。

4.1 機械式動力伝達装置 機械式動力伝達装置としては、かき歯車伝導によるもの、チェーン伝導によるものが考えられる。

三井造船では、“マリンエース”、“めいさ80”のいずれにも、かき歯車伝導による動力伝達装置を採用している。一方、米国海軍の“KAIMALINO”号では、チェーン伝導を使用している。図7に“めいさ80”におけるかき歯車動力伝達装置の例を、図8に“KAIMALINO”号の動力伝達装置の例を示す。機械式動力伝達装置の場合、いずれも、狭いストラット内にその伝達装置の一部を配置することになるため、その中に配置される装置の寸法は、出来る限り、小形が望ましい。又、ストラットは船の左右方向に対して、剛性が低いので、その中に配

図7 “めいさ 80”におけるかさ歯車動力伝達装置

置される装置は、ストラットの変形に対して無理なく追従し、その機能を減することなく、確実に動力を伝達し得るものでなければならない。

4.1.1 かさ歯車伝導 この種の動力伝達装置は、Tドライブ、又はZドライブと呼称され、従来より、船外推進器、一部の水中翼船およびホバークラフト等の軸系装置に採用され、多くの実績を持っている。“めいさ 80”の建造に当っては、各種動力伝達装置につき、比較検討の結果、最も軽量・小形であり、伝達効率が高く、信頼性の高い伝導システムとして、かさ歯車伝導が選定された。それを“めいさ 80”の船形に最も適したかさ歯車伝導装置として、三井造船が開発したものが図7に示すDSD(Dual Shaft Drive)と呼ばれるシステムである。DSDシステムの概念図を図9に示す。これは、図に示すように、上部および下部かさ歯車装置内に、それぞれローラーベアリングによって支えられたフローティング軸である水平軸上に、互にかさ歯車の反力が打ち消し合うような方向に配置された、2対のかさ歯車を内蔵しているもので、かさ歯車の反力をバランスさせることにより、水平軸のスラスト軸受を省略したものである。これによって、主機からの動力は上部かさ歯車装置で均等に2本の出力軸により分担、伝達され、又下部かさ歯車装置により、その動力は、1本の出力軸にまとめられる。この装置は次のような特長を持っている。

(1) 1対のかさ歯車の伝達馬力が、1/2となるので、装置としての許容伝達馬力を増すことができ、大容量のかさ歯車装置として適する。

図8 “KAIMALINO”号の動力伝達装置

図9 DSDシステム概念図

- (2) 水平のかさ傘歯軸に、スラスト軸受が不要である。
- (3) たての中間軸径は、その伝達動力が半分となるので、小さくなり、狭いストラット内に配置することが容易である。
- (4) たての中間軸系に可撓継手を配置したので、ストラットの変形に対して、無理なく追従できる。
- (5) 中間軸は中空、溶接軸を採用しているので、軽量化がはかれる。
- (6) かさ歯車での減速比は1:1として、プロペラ直前に配置される逆転減速機にてすべて減速することにより、各中間軸、かさ歯車の伝達トルクを小さくし、軽量化がはかれる。

4.1.2 チェーン伝導 上記の“KAIMALINO”号

表1 かさ歯車伝導とチェーン伝導の比較の一例

比較項目		かさ歯車伝導	チェーン伝導
項目	単位		
効率	%	98~97	98~97
伝達動力の限界	PS	10,000	3,700
寿命を持つ要素		軸受部	軸受部
ケーシング胴の直径 (2,000PSの場合)	mm	φ800	φ1,200
逆転・変速		不可	不可
騒音		チェーン伝導の方が大きい。	
振動		同上	
長所		(1) 大動力伝達可能 (2) 効率が高い (3) 小形・軽量	(1) 効率が高い (2) 可撓性がある (3) 軸間距離の大きいところへの適用が容易
欠点		(1) 配置に拘束がある	(1) 配置に拘束がある (2) 中間軸受に大きい反モーメントが発生する (3) 油封を必要とする範囲が広い

のチェーン伝導の公称伝達馬力は、2,000PSといわれ、これは現在市販されているサイレントチェーンの内の最大級のものである。チェーンのスプロケット軸間の距離は、チェーンの張力の調整等の問題から、適当量に制限されるため、SSCのように、距離の比較の長いストラット内に配置されるような場合には、図8に示すように、途中にも別のスプロケットを2~3個設ける必要がある。又、サイレントチェーンの場合、チェーンを構成する各エレメントに均一に動力を分担させるために、各スプロケット軸間には厳密な平行度が要求される。これが確保されない場合には、スプロケットおよびチェーンに片当たりを生じ、それらに異常摩耗を生ずることとなる。又、チェーン伝達の場合にも通常スプロケットのチェーンの嚙込側に給油ノズルを設け、強制給油が要求される。

このように、SSCにチェーン伝導を用いる場合には、運転中のストラットの複雑な変形によって、各スプロケット軸の平行度が損なわれたり、又、チェーンのスプロケット軸への反力が、スプロケット軸へ反モーメントとして作用して、その平行度等が損なわれたりすることのないよう、チェーンの配置、スプロケット軸の配置には十分な検討が必要である。

表1にかさ歯車伝導とチェーン伝導の比較の一例を示す。

4.2 電気推進装置 SSCの推進装置として考えた場合には、現状の技術での電気推進装置は、機械式動力伝達装置に比べて、伝達効率、重量、外形寸法等いずれも劣り、メリットはないが、調査観測船、作業船用のSSCで、作業中の電力需要が大きい場合には、電気推進とすることが有効である。又、それらの船は、そのほとんどが、低速航行を要求するので、ディーゼル主機の場合、低負荷運転の問題が生ずることがある。電気推進の場合には、主発電機を複数基設置し、低速航行時には、主発電機の運転台数を、適当に減ずることにより、問題解決のための対策が取りやすい等のメリットも有る。

又、前述の機械式動力伝達装置の許容伝達馬力を越えるような大容量の出力を要求されるSSCの場合で、その主機がローハルに配置できない場合にも電気推進となる。現在進行中の米海軍SWATH(Small Water-Plane-Area Twin Hull)計画によれば、最終的に片舷当たり、40,000 PSを要するという。これに向けて、現在、超電導駆動装置を開発中であり、1980年には、3,000 PS形の試作システムが完成することになっている。図10に同計画によるローハル船尾部の概念図を示す。表2には本計画の概略要目を示す。片舷当たり巡航タービン(5,000 PS)1台、および、ブースタータービン(20,000 PS)2台、合計

SWATH Propulsion Motor Installation

The 40,000-hp propulsion drive specs for the 4000-ton design require that the machinery package fit inside a cylindrical space about 10 feet in diameter and 15 feet long.

図 10 SWATH計画によるローハル船尾部の概念図

表 2 SWATH計画の概要要目

項 目	要 目
船 体 (L × B)	350ft × 150 ft (170m × 46m)
原 動 機	5,000 PS (GTP 990) × 2 台
ブースタービン	20,000 PS (LM 2,500) × 4 台
プロペラ	40,000 PS / 200 rpm × 2 基
超電導システム	モーターの大きさ φ10ft × L12ft (φ3m × L3.7m)
	モーターの重量 61 ton
	モーター出力 / 回転数 40,000 PS / 200 rpm
	発電機 × モーターの効率 95.4 %
	ヘリウム圧縮機の動力 90kW × 2 台

表 3 超電導システムの効率

要 素	効 率 (%)	損 失 (%)	必要なパワー (%)
発 電 機	98~99	2.0~1.0	—
モーター	97.5~98.5	2.5~1.5	—
ケーブル	99.5~99.8	0.5~0.2	—
小 計	95~97.3	5.0~2.7	—
励磁発電機	—	—	0.3~0.2
冷却・保冷	—	—	0.8~0.6
全システム合計	93.9~96.5	6.1~3.5	—

3 台の原動機から成り、40,000PS、200rpm の超電導モーターで直接プロペラを駆動する計画といわれる。表 3 には超電導を使った推進システムの効率を示す。本表によれば冷却システムを含む全システムで比較しても、従来の電気推進に比較して格段と向上しているばかりでなく、機械式に比較してもそんな色はない。

5. 実用旅客船“めいさ 80”

5.1 基本計画 本船の建造に当たっては、過去に蓄積した SSC に関する技術を有効に生かし、又、実用船として、操船、運航、保守整備等の問題を充分考慮して、下記のように、初期設計条件を選定した。

(1) 比較的近距离であるが、海象条件の厳しい航路を対象とし、有義波高 3.5m までに対して充分航行できるものとする。

(2) 航行区域は、救命艇設備仕様の面から、限定沿海

とするが、構造、機関、その他については沿海仕様とする。

(3) 航海速力は 22 節以上とし、航続距離は 10 時間程度とする。

(4) 港内水深を考慮して、喫水は 4m 以下とする。

(5) 重量軽減、燃費節減の点から、船体主構造は全て耐食アルミ合金とし、主機関としては高速ディーゼル機関を使用する。

(6) 推進性能および保守整備作業向上の観点から、主機関は下部連結甲板 (Lower Connecting Deck) 上に設置し、DSD システム (4.1.1 項参照) で、推進器を駆動する。

(7) 旅客室は、1 室に集めたモノクラスとし、旅客定員は 400 名以上とする。

これら設計諸条件をもとに、最適化船とするための検討を繰り返した結果、最終的に次に示す主要目を得るに至った。

5.2 主要目および配置

主構造材質	耐食アルミ合金製
船 級	JG (限定沿海)
垂線間長	31.50 m
幅 (形)	17.10 m
深さ (形)	5.845 m
計画満載喫水	3.15 m
強力喫水	3.80 m
排水量 (計画喫水にて)	343 t
総トン数	692.84 t
乗船定員	旅客 446 名
	乗組員 7 名
	合 計 453 名
主 機 関	富士—ピールステック “18PA4V-200DS” 2 基
連続最大出力	4,050 PS / 1,475 rpm / 基
常用出力	3,600 PS / 1,425 rpm / 基
逆転減速機	新潟コンバータ MGN4100 Z (特) 2 基

図11 “めいさ80”一般配置図

減速比 約3:1

補助機関 GM“8V-71(N)” 2基
定格出力

244 PS/1,800 rpm/基

発電機 補助機関駆動, 自己通風, 防滴保護
形, 206.25 kVA, AC 450 V, 3φ,
60 Hz 2基

プロペラ 4翼 一体固定ピッチ形 2基

最大速力 27.1 kt

航海速力 23.6 kt

図11の一般配置に示すごとく, 主機関, 補機関等を装備した機関室区画の大部分を連結甲板間に配置し, 上部連結甲板上のスペースを客室として広く有効利用できるよう配慮すると共に, 機関室頂部の客室床は, 浮体構造にし, 又, 中央部船側の主機関に面するところには, 手洗所, ロビー等を配置して, 騒音対策を施し, 優れた動揺性能と合せて, 旅客の乗心地を少しでも良くするよう考慮している。

5.3 機関部概要 主機関としては, 高速ディーゼル機関を各舷1基装備し, 2基2軸としている。主機関は, 下部連結甲板上に配置され, その動力はDSD方式の動力伝達装置により, ロワーハルに配置される逆転減速機に伝達される。逆転減速機により, 約1/3にその回転数が減速され, プロペラを駆動する。軸系の必要箇所には可撓継手を配置し, 船体の変位による影響を吸収するよう考慮している。推進補機のうち, 冷却海水ポンプ, 燃料移送ポンプ以外は, 機付ポンプとし, 重量軽減をはかっている。

本船の機関部計画に当たっては, 客船であることから, 客室内の騒音, 振動レベルの低減に留意して, 主機関および補助機関には防振マウントを使用し, 主機関, 補助機関および歯車室の各区画には, その周囲にグラスウールの吸音および防音を施している。

主機関は操縦室にて左右舷独立に遠隔操作され, 押ボタンによる発停および, 操縦レバーにより速度制御, 逆転減速機の正逆転が空気制御方式により行われる。また, 上記の制御は, 機関室においても機械式に行うことができる。

補助機関として, ニサイクルディーゼル機関を2台装備し, 機関1台につき165 kW/1,800 rpmの交流発電機1台が直結されている。又, 2台のうち, 1台の補助機関はベルト, クラッチを介して, 空気圧縮機を駆動している。

空気圧縮機は上記補助機関駆動によるもののほか, 自動発停式電動空気圧縮機を1台装備している。

ローワーハル船首部のポンプ室には, ビルジ, 消火兼バラストポンプのほか, オイリービルジポンプ, 各種冷却海水ポンプを配置している。油分を含んだビルジは連結甲板上に装備されたビルジセパレータを経て船外へ排出される。

機関室の通風は, 主機区画, 補助機関区画, ポンプ室, 歯車室, 軸室にそれぞれ独立の軸流ファンを設けている。

5.4 特殊装置

5.4.1 フィンスタビライザー ロワーハルの前後左右4箇所, フィンスタビライザーを装備, これらはそれぞれ独立に自動又は手動によりコントロールが可能で, 乗心地に対する一層の向上を図っている。自動制御の場合, センサーとして波高計, 加速度計, ジャイロを設置し, これらから得られた情報が操縦室に設けられたマイクロコンピュータに送られて制御指令が出される。

自動制御による操縦モードとしては,

- (1) レベルモード; 波浪が比較的小さい場合, 水平にする。
- (2) ハイトモード; 長周期を有する大波高の波面に沿って航行する。
- (3) バンクモード; 旋回時内傾して航行する。

の3種類が準備されている。

5.4.2 船体姿勢制御システム 下船時乗客の片舷への異常片寄り等によって生ずる横傾斜を制御するため、横傾斜を自動的に検知して、バラストタンクに海水を重力注水するヒール自動調整装置を備えており、操縦室からコントロールされる。更に操縦室には、ニューマケーターによる喫水、タンク容量の指示盤および各バラストライン用バルブ開閉遠隔装置が装備されており、バラスト水による姿勢制御により、最適状態での航行が容易に行える。

6. あとがき

SSCは優れた諸性能を有するため、一般の海上輸送だけでなく、海洋作業を含み広く海洋開発の諸分野に有効に利用される可能性を有している。

海洋調査船、海洋開発用支援船として海水への機器の投下揚収作業、あるいは、潜水調査のための支援活動には、安定したプラットフォームが重要な役割を果たすであ

ろう。また、ヘリコプターハンガーも備え得る広い甲板面積、甲板中央の開口など大いに役立つであろう。これらの好条件の下で、高い作業性とか動率の確保あるいは乗員の居住性、安全性の向上も魅力ある点である。

また、海洋石油開発の分野においても、サプライボート、リグ、又は生産用プラットフォームの作業員の交替のための輸送手段等SSCの応用分野は非常に広く、今後の発展が期待される。

終りに“マリンエース”、“めいさ80”の建造や種々の研究開発に多大の御援助をいただいた(財)日本船用機器開発協会殿始め、種々御協力いただいた関係各位に深く感謝したい。

文 献

- 1) T. G. LANG ほか2名, an ASME publication, Paper No. 73-WA/OCT-2, (1973-12)
- 2) GAS TURBINE WORLD, (1975-3), 12