特 集

高 速 船

超細長双胴船型による高速フェリー*

野上 浩**, 佐々木治夫**, 長野 健***

Fast Ferry by Super Slender Twin Hull*

by Hiroshi Nogami**, Haruo Sasaki** and Takeshi Nagano***

キーワード：高速船，カーフェリー，双胴船，構造，加工，溶接

1. 緒 言

最近では、40 ノット以上の速力的高速旅客艇は数多く就航するようになったが、トラック、乗用車等も積載できて 40 ノット程度の速力で航海できる船は、その実績は非常に限られている。一方、内海や沿岸航路における乗客と乗用車の同時輸送に対する高速化の要求は顕著なものがあるし、貨物輸送の分野においても、海上輸送へのモーダルシフトという言葉が紙上でもよく取り上げられているごとく、陸上輸送の限界が話題となっている今、高速海上輸送への期待は緊急のものとなってきた。

こうしたニーズに対応するため、「乗り心地の良い高速フェリー」を目標に、1987 年より東京大学と共同で研究開発を進めてきた、超細長双胴船 (SSTH: Super Slender Twin Hull) に関して一連の基礎研究を終え、開発設計に見通しをつけることができた。

さらに製品の信頼性を揺るぎないものとするために、1991 年 10 月には全長 30 m の実験艇を建造・進水させ、実海域試験を行った¹⁾。これらの諸試験のデータは、例えば全長約 92 m の高速フェリー等の開発設計にフィードバックされた。

本報告では、高速フェリー-SSTH の開発に関して、主として設計、材料、施工の面から述べる。

2. SSTH のコンセプト

SSTH は車両等の輸送に最も適している船型として選択された。その主たる理由として、超細長浮力型船体は、高速船としては重量物となる車両等を搭載しても推進馬力の増加が他船型よりかなり小さいこと、および波浪中の縦揺れの性能の優秀性により高い就航率が保持できることをあげることができる。その SSTH とは競技用ボートのエイトのごとき極めて細長い船体を二つ並べて連結した、高い経済性を有する浮力支持型双胴船型である。他の重量支持方式船型に比べて、載貨重量が速力性能に与える影響が小さいことにより、小型船から大型船までさまざまな市場の要求に応えることが可能である。

3. 高速船の開発における構造の軽量化

一般的に高速船の開発は、その初期には船型的な開発がメインであるが、構造の軽量化も開発の重要なポイントとなる。構造重量を軽くできれば、必要主機馬力の低減あるいは積載重量の増加が可能になる。その一方で、船体構造の限界設計を試みるゆえに軽量化構造の設計、工作は十分な検討を行う必要がある。

4. SSTH 実験艇

4.1 実験艇建造の背景

本開発においては、まず理論検討そして水槽実験による検証と考証を反復しながら、概念設計を終了させた。しかし、SSTH はまったく新しい概念によ

*原稿受付 平成 4 年 8 月 24 日

** 石川島播磨重工業 (株) Ishikawajima-Harima Heavy Industries Co., Ltd

*** アイ・エイチ・アイ・アムテック IHI AMTEC Co., Ltd

図1 STH 30 航走状態

る高速船であるため、大型実船の建造の前にかかなりの大きさの実験艇を建造し、実際の海面で実験を行い、速力性能、耐航性能、操縦性能および構造強度を含めた総合評価を行い、実船の設計に反映させることにより、製品の信頼性を高めることが必要である。

この実験艇の主要目は以下の通りである。

全長	30.4 m
幅	5.6 m
総トン数	約 40 トン
最大速力	28.2 ノット
主機関	高速ディーゼル 2基 常用 約 440 KW×2
航続距離	約 200 海里
推進装置	プロペラ
船体材質	アルミ合金

SSTH 実験艇の航走状態を図1に示す。

4.2 実験艇の構造

高速船は船体重量の軽量化のためアルミニウム合金を使用することが多く、SSTH 実験艇も主船体・上部構造のすべてをアルミニウム合金で建造した。

SSTH は排水量型的高速船であり、浮力以外の支持力をもつ高速船や滑走型的高速船とは異り、構造強度の検討では通常の排水量型双胴船と基本的に同様な取扱ができる。SSTH の実験艇の構造設計は、運輸省の「軽構造船暫定基準」にしたがって行った。

4.2.1 船体構造材料

本船の船体構造は下記の JIS アルミニウム合金を使用した。上部構造部には π セクションと呼ばれる

大型押出材および船首部の一部にはアルミニウム合金の鍛造品も使用した。

板材 A5083P-O

型材 A5083S-H112

4.2.2 船体構造様式

本船は、主船体および上部構造とも縦式肋骨方式を採用し、縦通材の横肋骨貫通部は一般商船で用いられるスロット構造とせず、まわし溶接のないスリット方式とした。横置隔壁は船首隔壁を含めて左右舷各々4枚、縦通隔壁は船体中央部(連結部)に1条設置した。上部船体の横肋骨は適当な位置で支柱に支持されるとした。

4.2.3 構造強度

縦強度は、軽構造船暫定基準に示される縦曲げモーメントに対して検討した。本船は船長が30mと短いこと、限定沿海船であることから軽構造船暫定基準で決定される構造寸法で十分な縦強度を有していることを確認した。

双胴船に特有なスプリットフォースやピッチコネクティングモーメント等の波浪荷重に対しては、従来の推定法で荷重を推定し強度確認を行った。これらの荷重に対しては、実海域実験において双胴間の連結部応力を計測し、解析的な手法で求めた荷重との比較検討を行うこととした。

SSTH 船型の特長の1つであるDSB (Double Stair Bow: 二段船首形状) および船首連結部船底については衝撃荷重に対する検討を行い、十分な強度を有することを確認した。

4.3 実験艇の工作

4.3.1 建造要領

長さ 30 m 程度の船を建造する場合は、まず主要内部骨材で船の骨格を製作し、外板およびパネルを張り付けて建造するいわゆる建付け法が用いられるが、本船では鋼製大型船で用いられる立体ブロック建造方式を採用した。本船のブロック割は鋼船のブロック割と同様の思想で行い、合計 13 ブロックで建造した。

建造に当っては十分剛性のある本船専用架台を製作し、製作ブロックの保護および大組み立て時の精度を確保した。またアルミニウム合金の溶接品質の確保には万全の注意を払い、建造のすべてを工場建屋内において行った。建造の様子を図 2 に示す。進水作業についてはクレーンを用いた吊揚着水方式を採用した。

4.3.2 切 断

アルミの切断は、丸ノコ、帯ノコ、ジグソー等を用いて手切断を行った。問題点としては、切断時の騒音が大きいことがあげられる。

4.3.3 曲 げ

ローラー曲げとプレス曲げに線条加熱法を併用して曲げ加工した。シリーズ船の場合の三次元曲げには専用プレスが有効であると考えられる。

4.3.4 溶接施工

本船の溶接は、MIG 溶接および TIG 溶接を併用し、船体主構造部の溶接は主として MIG 溶接、繊装品の取り付けには主として TIG 溶接を使用した。

本船の双胴間連結部および DSB 部では内側からの溶接が不可能な箇所があり、栓溶接やチル溶接を

用いた。チルプレートによる立向、上向溶接、さらに船首骨材は、一体削り出し部品であり、栓溶接の孔加工も含めて溶接品質確保（ブローホール対策）を行った。

4.3.5 ひずみ取り

ひずみ取り方法は、線条加熱と冷却法によるもの、当てビシによる打ち出しによるものを併用した。

加熱法としては加熱バーナー、TIG アーク、誘導電流があり、冷却法としては水、冷却空気がある。TIG アーク誘導電流によるものは入熱コントロールが可能であり、冷却法は、冷却空気によるものが作業環境向上のため有効と考えられる。

4.4 実験概要

1991 年 10 月から 12 月にかけて、速力試験を瀬戸内海の家島沖及び横浜沖で、操縦性試験を東京湾で、耐航性試験を相模灘で行った。速力試験・操縦性試験の結果は良好であり、事前の推定値ともよく一致した。耐航性試験においては、実海象下における船体運動、波浪荷重、衝撃荷重及び船体構造応答等の諸特性を把握するために、以下の諸項目を船速及び波との出会い角度を変化させて計測をおこなった。

- (1) 波浪中での船体運動、速力、プロペラ回転数
- (2) 双胴連結部及び DSB 部にかかる衝撃圧力、船体構造ひずみ
- (3) 定点波高

SSTH 実験艇の双胴間衝撃圧力の推定値との比較を表 1 に示す。計測位置は操舵室付近である。この計測結果は KARMAN の式²⁾により推定した結果とほぼ一致している¹⁾。

図 2 SSTH 30 建造の様子

表1 双胴デッキの衝撃圧 (単位: kPa)

種別 \ 計測位置	FR.20	FR.21
予測値	147	203
計測値	150	163

主機関	高速ディーゼル 4基 最大約 5150 KW×4
推進器	ウォータージェット 2基
航続距離	約 200 海里
船体材質	アルミ合金

5.2 構造設計

アルミニウム合金製の高速船の大型化には近年目ざましいものがあり, 例えば英仏海峡には長さ 74 m のウェーブピアサー型カーフェリーが就航している。これらの大型高速船に対応すべく新しいルールがノルウェー船級協会, ロイド船級協会などから発行されている。

国内においても「軽構造船暫定基準」や「軽構造船基準 (案)」などがあるが, より大型の高速船に対応する基準を(社)日本造船研究協会において現在検討中である。

これらの新しいルールは, それぞれの高速船の運航条件に基づいた設計となっている。SSTH 90 においてもこれらのルールの考え方に従い, 運航条件に見合った荷重を設定し, 解析に基づいた構造設計を行っている。

5.2.1 荷重設計及び構造応答

小型船では外板の板厚は衝撃荷重などの局所荷重による強度が支配的であるが, 船体の大型化に伴い縦強度などの全体強度の重要度が高まってくる。また, 双胴船ではスプリットフォースやピッチコネクティングモーメントなどの荷重も重要となる。

SSTH 90 では, これらの波浪荷重を解析的に求め設計荷重を設定した。一例として, 縦曲げモーメントおよびスプリットフォースの応答関数を図 4, 図 5 に示す。横軸は波長 λ を船長 L で無次元化した値で

5. SSTH 船型の高速フェリーの設計の一例

5.1 SSTH 90

SSTH のコンセプトはその高い経済性と良好な乗り心地から, 車両及び旅客用の高速フェリーに適している。また, 排水量型であるゆえに, 50 m から 200 m クラスの高速フェリーにまで容易にスケールアップできる。

設計の一例として, 全長約 90 m の 80 台積み高速カーフェリーの完成予想図を図 3 に示す。本船は, 上甲板に約 80 台の乗用車用の車両甲板を, 2 層目甲板には 400 席の乗客スペースを配置した 2 層甲板の双胴船である。

船体材質はアルミ合金であり, 主機関は高速ディーゼル各二機を片胴内に配置している。推進器はウォータージェットを採用している。

この 90 m 型高速カーフェリーの主要目を以下に示す。

全長	92.4 m
幅 (型)	19.4 m
深さ (型)	5.6 m
総トン数	約 2,300 トン
旅客定員	400 人
乗用車	約 80 台
最大速度	約 40 ノット

図3 SSTH 90 完成予想図

図 4 船体中央における縦曲げモーメント

図 5 スプリットフォース

図 6 SSTH 90 FEM モデル

あり、縦軸はそれぞれの荷重を海水の比重 ρg 、船長 L 、船幅 B および波高 ζ で無次元化した値である。縦曲げモーメントは向い波中、スプリットフォースは横波中の船速 38 ノットの場合の計算結果である。これらの波浪荷重の応答関数と、航路や運航条件から決まる波浪条件を基に設計荷重を設定している。構造応答については、全体 FEM モデルを作成し、解析を実施している。これを図 6 に示す。

6. 結 言

本報告においては、SSTH の開発の経緯を設計、加工の面から述べた。

高速船型と言え、滑走型、半滑走型、水中翼型及び空気圧力型が直ちに連想されるが、本研究開発では、船舶の高速化の常識の範囲外にあった排水量型の船型を超細長双胴化することにより、優れた高

速燃費性能、耐航性能を備えた高速フェリーの出現の可能ならしめたことに最大の特徴を有する。

最近、高速船の開発の一環として実験艇を建造し、実海域試験を行う例が多い。本開発においても実験艇を建造したことによって、設計・製造の両面において数多くの知見を得られた。

最後に、本研究の当初から研究と開発の全般にわたってご指導とご協力を頂いた東京大学船舶海洋工学科宮田秀明教授に深く感謝申し上げます。

参 考 文 献

- 1) 野上 浩、溝口純敏：“超細長双胴型高速フェリーとその 30 m 実験艇による実海域実験”，石川島播磨技報第 32 巻第 4 号，1992
- 2) T. Vor. Karaman, “The Impact on Seaplane Floats During Landing”; NASA TN321, 1921