

津波対応型救命艇の開発

Development of a Prototype Tsunami Lifeboat

島田 貴弘	技術開発本部総合開発センター機械技術開発部 主査 技術士（機械部門）
島村 和夫	技術開発本部基盤技術研究所構造研究部 主幹
齊藤 宏幸	技術開発本部総合開発センター機械技術開発部
山岸 謙二郎	技術開発本部生産技術センター加工技術部 主査 博士（工学）
伊東 章雄	技術開発本部総合開発センター 所長

2011年3月11日に発生した東日本大震災における津波被害を教訓として、政府の中央防災会議では、約5分以内に安全な場所に徒歩で避難できるよう市街地整備などを進めるとの方針が示された。しかし、近くに高台や津波避難ビルといった大規模な避難設備のない地域や、保育園児、幼稚園児、高齢者などのいわゆる避難弱者の避難設備に関しては、立地やコスト面の課題もあり、打開策がないというのが現状であった。このようななか、国土交通省四国運輸局が中心となり、船舶用の救命艇を津波襲来時に想定される事象（がれき・建造物への衝突、動揺・転覆など）に耐え得るように改良する津波対応型救命艇に関する検討会が発足した。この一環の調査業務としてIHIグループは津波対応型救命艇のプロトタイプを設計・製作し、要求性能確認のための試験を実施した。本稿ではその結果について紹介する。

The lesson learned from the tsunami disaster of the Great East Japan Earthquake (March 11, 2011) prompted the Central Disaster Prevention Council to present a guideline that city planning should be improved to the extent that a place of refuge can be accessed within about 5 minutes on foot. However, no effective way of implementing this guideline has been found for areas that do not have large-scale refuge accommodations such as hills or tsunami refuge buildings, or for nursery schools, kindergartens, or elderly people. Given this situation, Shikoku Transport & Tourism Bureau organized an investigation committee to study the possibility of creating a tsunami lifeboat. This paper describes the development and design process of the prototype tsunami lifeboat carried out as a part of the research of this investigation committee. The results of some examinations for proving that the prototype tsunami lifeboat has sufficient structural strength to withstand collisions and is sufficiently stable are included in this paper.

1. 緒 言

2011年3月11日に発生した東北地方太平洋沖地震（いわゆる東日本大震災）では、震度7にも及ぶ地震動に加えて巨大な津波が発生し、東北地方の太平洋側を中心に甚大な被害をもたらした。この震災を教訓として、政府の中央防災会議の専門調査会における2011年9月の報告では、「津波対策として約5分以内に安全な場所に徒歩で避難できるよう市街地整備などを進めるべき」との方針が示された⁽¹⁾。また、2012年3月には、内閣府の有識者会議によって、今後30年以内に発生する確率が約60～70%と予想されている南海トラフで起こる最大級の地震において、最悪のケースでは高知県で最大波高34mを超える巨大津波が襲うとの推計結果が公表された⁽²⁾。これはそれまでの想定を大きく超えた高さであり、それまでに建造された津波避難施設や海岸保全施設には新たな対応が迫られている。

これらの方針や現状を踏まえると、今後の津波防災対策としては、海岸保全施設などの整備によって津波を「食い止める」対策だけでなく、想定を超えた高さの津波が襲来しても人命が失われないことを最重視した、安全な場所に「逃げる」という住民の避難を軸とした対策の強化も必要と考えられ、これらを組み合わせた総合的な津波対策の確立が急務である。

このようななか、2012年2月に国土交通省四国運輸局を中心とした津波対応型救命艇に関する検討会が発足した。同検討会では大型船舶に搭載が義務付けられ、すでに技術も確立している救命艇を応用した避難システムが提案され、その運用に必要な制度設計が検討され始めた⁽³⁾。

船舶用の救命艇は、SOLAS条約（海上における人命の安全のための国際条約）に基づく型式承認規則によって、①自己復原性（転覆しても自らの復原性によって元に戻る性能）②浸水時の不沈性③一定の耐衝撃性（3.5 m/sの速度での本船の船側への衝突や3.0 mの高さからの水

面落下に耐える構造強度), などの救命艇としての基本性能が確保されている。このため, 津波時に想定される事象(がれきや建造物との衝突, 激しい動揺・転覆)に対しても追加の補強や改良が比較的容易であると考えられる。また, 救命艇による津波対策は, ①ほかの対策(防潮堤, 津波避難タワー, 津波避難ビルなど)に対して避難者1名当たりの対策コストが比較的安価になる点 ②設置場所の選択が比較的自由である点 ③基本的な救命のための機能は既存の船舶用救命艇の技術が流用できる点, なども特長となり得る。

国土交通省四国運輸局では, さらに具体的な調査を行うため, 2012年8月に企画競争方式による「津波対応型救命艇の実用化に関する調査業務」の公募が行われた。IHIグループはプロジェクト体制でこれに応募し, その提案が採用され2013年春を目指して実用化に関する調査に当たることになった。

本調査業務では, がれきや建造物への衝突を想定した耐衝撃性の設計および動揺・転覆に対する自己復原性設計を行って津波対応型救命艇のプロトタイプ艇を試作し, これらの性能確認試験を行った。また, 避難中の居住性や心理面に配慮した内装の効果を調査するための社会実験として, 津波救命艇の導入が想定される自治体関係者や一般市民の試乗会およびアンケート調査を行った。本稿ではこれらの成果について紹介する。

2. プロトタイプ艇の概要

本調査業務において試作したプロトタイプ艇を第1図に示し, 外観(- (a))と内部の状況(- (b))を示す。本プロトタイプ艇の設計条件および主な仕様(要目表)を第1表に示す。これらは委託元の国土交通省四国運輸局と同局が組織した有識者で構成された津波対応型救命艇に関する検討会および津波対応型救命艇の実用化に関する技術委員会での議論をとおして策定された^{(3)~(5)}。

3. 強度設計・安全性設計と確認試験

3.1 設計において想定する事象

艇が陸上を遡上する津波によって流され, ビルなどの建造物と衝突する状況を第2図に示す。図に示す-(a)~-(d)のようなケースが想定される。本調査業務では何らかの理由で建造物を回り込めずに船首部から衝突する第2図-(a)のようなケースを想定した。

艇は流線型であることから, 船首部を前にした正面衝突

(a) 外観



(b) 内部状況



第1図 試作したプロトタイプ艇
Fig. 1 The prototype tsunami lifeboat

状態での速度が最も大きいと考えられる。また, 正面衝突の場合は艇が転回して衝突エネルギーが逃げることもないため, この方向が最も厳しい条件であると考えられた。したがって, 本調査業務では船首方向の正面衝突に対し, 設計津波流速である10 m/sを考慮した設計を行った。また, 船側部からの衝突も考えられるが, この場合は艇体の流れに垂直な面への投影面積が大きいので, 設計津波流速の1/2の5 m/sでの衝突を考える。

3.2 補強方法

プロトタイプ艇への耐衝撃性付与の方法を第3図に示す。衝突時のエネルギーを吸収し衝突力を低減するための緩衝材(第3図-(a), -(b))と, 荷重を艇体に面内力として伝達させるリング状の鋼製部材(補強材:- (c))を取り付けた。緩衝材および補強材は船首, 船側, 船尾の全周に取り付け, どの部位で衝突しても緩衝機能を果たすようにした。

3.3 強度評価の方法

強度評価方法の検討フローを第4図に示す。強度評価のための計算は主として有限要素解析によって行う。有限要素モデルは事前の基礎試験(緩衝材の圧縮試験)に基づいて作成した。また, 計算や評価方法の妥当性は実艇による衝突試験(3.6節)によって確認した。

第 1 表 プロトタイプ艇 要目表
Table 1 Main specifications of the prototype tsunami lifeboat

項 目		単 位	内 容	
設計条件	想 定 漂 流 範 囲	-	津波が遡上する領域～引き波によって流される沖合まで	
	想 定 漂 流 日 数	d	7	
	設計津波速度	対 船 首 衝 突	m/s	10
		対 船 側 衝 突	m/s	5
	許 容 加 速 度	G	15	
主 要 目	全 長 (含 む 緩 衝 材)	m	8.4 (長さ) × 3.0 (幅) × 3.1 (高さ)	
	質 量	満 載 時	t	7.1
		空 載 時	t	5.1
	喫 水	満 載 時	m	0.62
		空 載 時	m	0.47
	搭 載 人 員	定 員	人	25
		最 大	人	35 (含む 10 人立乗り時)
主要設備	居 住 空 間	座 席 数	席	25
		座 席 仕 様	-	全席リクライニング (大人・子供両対応機能) 10 人以上立乗り時または 2 人以上横臥可能
	ト イ レ 設 備	設 置 位 置	-	左舷後方
		大 き さ	mm	900 (奥行き) × 640 (幅) × 1 900 (高さ)
		概 要	-	居住空間とは壁で区画・扉付き
	通 風 装 置	自 然 通 風	-	居住区 2 系統
		強 制 換 気	-	トイレ 1 系統
	備 蓄 品	水	l / 人	7
		食 糧	kcal / 人	5 600
		そ の 他	-	医薬品, 保温・保冷具, 電池, トイレ処理資材, 充電器など
	照 明 装 置	ラ ン タ ン	個	12
		型 式	-	LED 可搬式
	採 光 (窓)	前 部	箇所	2
		側 面 部	箇所	4
		後 部	箇所	2
	救 命 器 具	レ ー ダ 反 射 器	式	1
		救 命 胴 衣	式	1
		信 号 火 器 類	式	1
	消 火 設 備	消 火 器	基	1 (10 型)
		艇 外 散 水 装 置	式	1
無 線 通 信 装 置	-	-	GPS 機能付き携帯 (乗艇者が持参)	
位 置 通 報 装 置	-	-	AIS-SART (船舶自動識別装置)	
扉	箇所	-	5 (前後左右および天蓋部)	
外 装 塗 装	-	-	インターナショナルオレンジ	
内 装 色 調	-	-	ベージュ・ブラウン系	

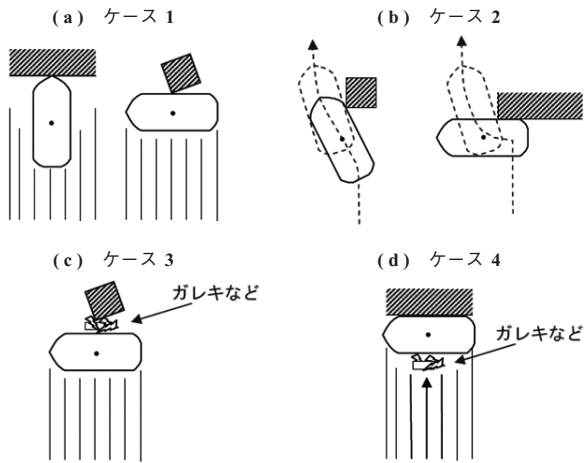
3.4 緩衝材の選定

プロトタイプ艇における緩衝材の材質には、巡視船用の防舷材や自動車の車体や座席用の緩衝材として用いられているポリプロピレンの発泡樹脂を選定した。緩衝材の大きさと発泡倍率については、設計に先立って実施した動的圧縮試験 (供試体に錘を落とす試験) によって応力-ひずみ線図を取得し、この結果を用いて適切な厚さと発泡倍率の組み合わせを決定した。この結果、船首衝突の条件では発泡倍率 20 倍、厚さ 1.25 m 程度、船側衝突の条件では発泡倍率 20 倍、厚さ 0.35 m 程度とすれば、実用的なひずみ範囲内 (70%程度以下) になる見通しが得られた。

3.5 強度評価結果

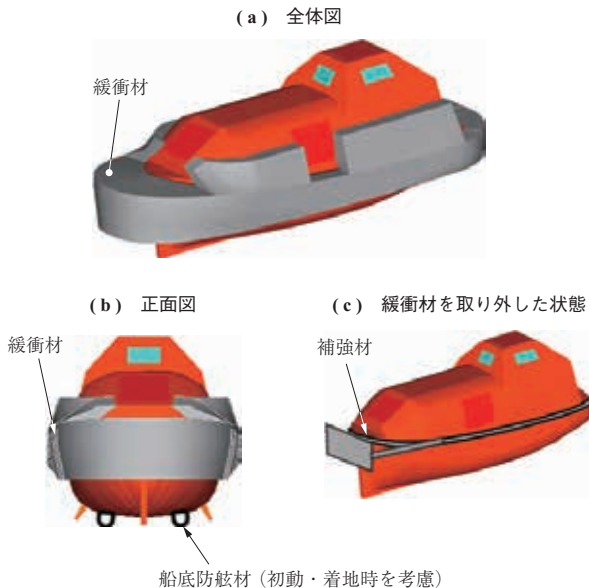
有限要素モデルによる衝突解析によって発生加速度と発生応力を求め、それぞれ最大発生加速度が 15 G 以下になることと、発生応力が既存の船舶救命艇の設計条件 (速度 3.5 m/s での船側衝突) における発生応力以下であることを確認することによって、構造強度の評価を行った。

プロトタイプ艇の解析モデルを第 5 図に示す。緩衝材のモデルは材料の基礎試験 (圧縮試験) から得られた特性を用いた。艇体に関しては外殻のみモデル化し、GFRP (Glass Fiber Reinforced Plastics) のヤング率を内殻と外殻のサンドイッチ板と仮定して入力した。



(注) 出典：第2回津波対応型救命艇に関する検討会資料

第2図 救命艇が構造物と衝突する状況
Fig. 2 Various collisions of a lifeboat with structures



第3図 プロトタイプ艇への耐衝撃性付与の方法
Fig. 3 The concept behind the shock-proof system of the boat hull

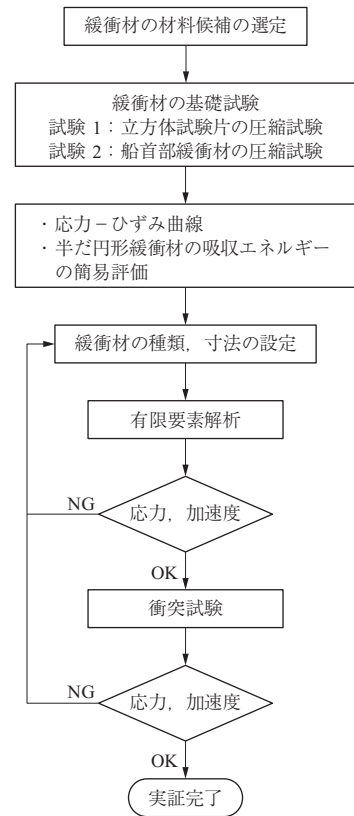
解析結果を第2表に示す。なお、応力に関しては既存の船舶用救命艇での解析結果との相対評価となるため、プロトタイプ艇の解析で得られた最大応力値を既存艇の解析によって算出された最大応力値を基準とした比で示す。第2表から、プロトタイプ艇では、いずれの場合も加速度は15 G 以下、応力比は1.0 以下になっており、求められた基準を満足すると評価された。

3.6 衝突試験

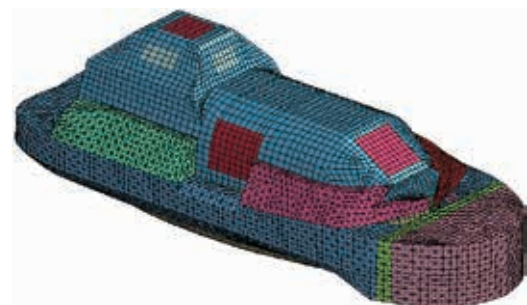
以上述べてきた設計手法の妥当性と試作した艇体の強度を実証するため、船首衝突を模擬した衝突試験を実施した。

3.6.1 試験方法

試験は一般財団法人電力中央研究所赤城試験センターの



第4図 強度評価フロー
Fig. 4 Strength evaluation flowchart



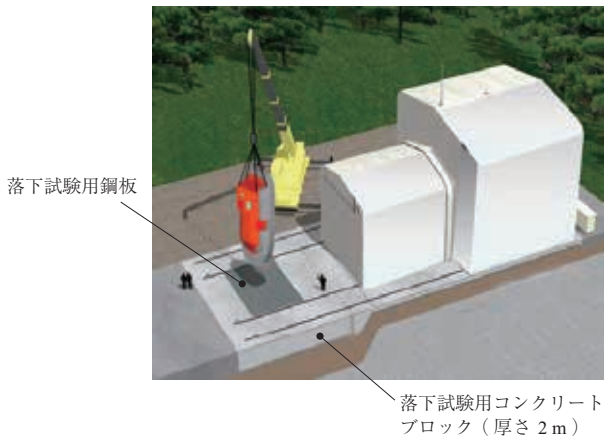
第5図 解析モデル
Fig. 5 Simulation model

第2表 解析結果一覧
Table 2 Simulation results

解析条件			解析結果	
艇の種類	衝突位置	衝突速度 (m/s)	最大加速度 (G)	最大応力の比*1 (-)
既存艇	船側	3.5	18.5	1.00
プロトタイプ艇	船側	5.0	11.7	0.88
プロトタイプ艇	船首	10.0	12.4	0.43

(注) *1: Mises の相当応力比を示す。

落下試験設備で実施した。第6図に同試験設備を用いた落下試験のイメージを示す。供試艇の船尾側をクレーンで吊り上げ、落下試験用のコンクリートブロック上に落下させる。同試験設備の落下面は100 tクラスの鋼製容器を9 mの高さから落下させた場合にも、落下面を剛体面



第 6 図 落下試験のイメージ
Fig. 6 Diagram of the drop test

と近似できるものである。今回の津波対応型救命艇の質量は 7 t と十分に小さく、落下高さも約 5 m と比較的低いため、十分な仕様の設備である。

3.6.2 試験条件

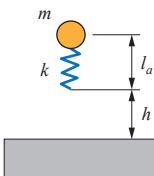
落下試験は 2 回実施した。落下試験の条件を第 3 表に示す。1 回目の試験は比較的低い高さで計測系の確認や落下試験装置の作動確認などを行い、2 回目で設計津波流速 10 m/s 相当の試験を行った。1 回目の試験は予備的な意味もあり速度も小さいことから落下試験時の速度を 5.0 m/s に設定した。2 回目の試験では、可能な限り想定津波流速である 10 m/s での水平衝突と同じ条件になるように試験条件を設定する必要がある。このため第 7 図に

第 3 表 落下試験の条件
Table 3 Drop test conditions

条 件 項 目	単 位	1 回 目	2 回 目
衝突速度	水平衝突時*1	m/s (5.70)	10.0
	落下試験時	m/s 5.00	9.37
推 定 つ ぶ れ 量	m	(0.39)	0.65
吊 り 上 げ 高 さ	m	1.27	4.47

(注) *1: 水平衝突は想定
(): 試験結果から計算

(a) 簡易モデル



(注) m : 艇体の質量
 k : 緩衝材のばね定数
 l_a : 緩衝材の厚さ
 h : 吊り上げ高さ
 g : 重力加速度
 δ : 緩衝材の圧縮量
 ϵ : 緩衝材のひずみ
 E_{ab} : 緩衝材の吸収エネルギー
 v : 水平衝突速度

第 7 図 衝突の簡易モデル
Fig. 7 The simple model of a collision

(b) 計算式

$$mg(h + l_a) = mg(l_a - \delta) + E_{ab}$$

から

$$E_{ab} = mg(h + \delta)$$

これを運動エネルギーと等値すると、

$$mg(h + \delta) = \frac{1}{2}mv^2 \rightarrow h = \frac{v^2}{2g} - \delta = \frac{v^2}{2g} - l_a \epsilon$$

示すような簡易物理モデルを考え、本来想定している水平衝突時の衝突直前の速度 (10 m/s) による運動エネルギーと、落下試験における緩衝材のつぶれ量が最大になった時の吸収エネルギーを等値して求めた。落下試験における緩衝材の吸収エネルギーは、吊り高さのほかに緩衝材自体の圧縮量にも依存する。そこで、事前の解析結果に基づき緩衝材の圧縮ひずみを 50% に設定し、簡易モデルから求められた吊り高さ (4.47 m) および衝突速度 (9.37 m/s) を試験条件として設定した。

3.6.3 試験結果

2 回目の試験の落下前後の状況を第 8 図に示す。開始後、艇体はほぼ完全に垂直に落下し、3 回程度のバウンドを繰り返した後、ゆっくりと転倒防止用のフレームにもたれかかるようにして停止した。落下ないしバウンド中に転倒防止フレームなどのほかの構造物への接触はなく、純粋な落下試験として成立したといえる。

落下試験の結果および解析結果との比較を第 4 表に示す。また、2 回目の試験において艇体の各部分で計測された鉛直方向の加速度の時系列データを第 9 図に示す。本調査業務で想定している設計津波流速 10 m/s での衝突に相当する 2 回目の試験結果において、艇体に発生した最大加速度は約 11 G になり、許容加速度である 15 G を十分に下回った。また、試験完了後には緩衝材を取り外し、目視およびサンプル採取による点検などを行ったが、特に損傷は発見されず、試作したプロトタイプ艇が十分な強度をもつことが実証された。

第 4 表では事前および事後に行った解析結果を併せて示す。ここで、事前解析とは第 4 表の試験条件で解析を行ったもの、事後解析とは試験結果に合わせて実測された速度を入力し、さらに重力加速度を考慮したものを指す。第 4 表に示すとおり、試験結果と解析結果は良く一致し

(a) 落下前



(b) 落下後



第 8 図 落下試験前後の状況 (2 回目)
Fig. 8 Photograph before and after the drop test (2nd test)

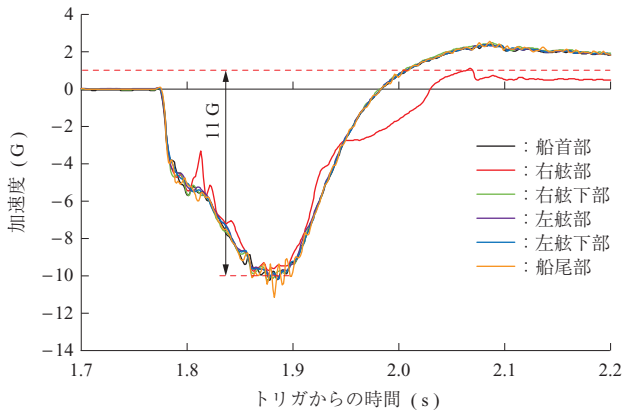
第 4 表 落下試験の結果および解析結果との比較

Table 4 Comparison between the results of a drop test and a simulation

項目	単位	1 回目試験			2 回目試験		
		事前解析	試験	事後解析	事前解析	試験	事後解析
衝突速度	m/s	5	5.03	5.03	10	9.26	9.26
重力加速度	m/s ²	なし	9.81	9.81	なし	9.81	9.81
最大加速度*1	G	6.1	6.5	6.9	12.4	11*2	12.4
緩衝材最大ひずみ	%	27	30	31	55	57	55
緩衝材残留ひずみ	%		0			上: 4.2 下: 3.1	

(注) *1: 衝突力を加速度で表現した値である。

*2: 計測された最大値は 12.2 G 相当であるが、船尾で高周波成分によるものであるため、平均的値で表した。



第 9 図 各部の鉛直方向加速度 (2 回目試験)

Fig. 9 Acceleration in the vertical direction of each part (2nd test)

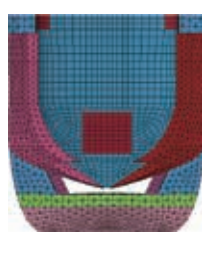
た。また、船首部の緩衝材のひずみが最大の時の緩衝材の状態を高速カメラで撮影した写真と、同タイミングでの解析の結果を第 10 図に示す。変形形状は両者で良く一致し、解析において緩衝材の特性を表現できていることが確認できる。

以上の結果、製作したプロトタイプ艇が 10 m/s での船首衝突に耐え得る強度をもち、発生加速度も設計加速度である 15 G 以下に抑えられることが実証された。また、落下試験を精度良く解析できたことから設計手法の妥当性も確認された。

(a) 試験結果



(b) 解析結果



第 10 図 変形量の試験結果と解析結果の比較 (2 回目)

Fig. 10 Comparison of the deformation between the test and the simulation (2nd test)

4. 復原性評価と確認試験

津波に流されている間の艇の動揺・転覆といった事象に対しては、自己復原性 (転覆しても自然に元に戻る性能) をもつことが要求される。プロトタイプ艇のベースになっている船舶用救命艇は、自己復原性をもつように設計されているが、プロトタイプ艇では補強リングや緩衝材を取り付けたため、あらためて設計・確認することが必要になった。

4.1 復原性の設計

プロトタイプ艇の自己復原性の設計は、主に緩衝材の形状変更によって行った。まず、補強リングと緩衝材の基本寸法を強度設計の観点から決定し、その形状に対して計算で復原性 (GZ カーブ) を確認した。次に、自己復原性をもつこと (GZ カーブ上で復原力が全域で正であること) が確認できれば設計は完了するが、もたないことが分かった場合 (すなわち、GZ カーブ上で負の復原力が生じる場合) には、強度評価との関係が小さい部位の緩衝材の形状を変更し、復原性を再計算する。これを繰り返すことによって、形状を取れんさせていった。

さらに、プロトタイプ艇の製作後の質量・重心の計測結果を反映すると、プロトタイプ艇の最終的な GZ カーブは第 11 図に示すようになった。第 11 図から、設計上は 0 ~ 180° までの全角度で正の復原力 (戻ろうとする力) をもつ形状になっていることが確認できた。

4.2 自己復原性の確認試験 (海上試験)

設計された自己復原性を確認するため、海上での確認試験を行った。プロトタイプ艇では満載時の方が復原力は小さくなるため、より厳しい条件になる。したがって、艇体内の座席に乗艇員の質量を模したダミーウェイト (25 人分) を取り付け、満載の状態で行った。試験では、あらかじめ艇体にスリングを巻き付けておいた状態で海上に浮かべ、そのスリングを岸壁からクレーンで引き上げる

5. 艇内の居住性設計

既存の船舶用救命艇は、訓練された船舶の乗員が使用することを前提に設計されている。しかし、津波対応型救命艇は、一般人およびいわゆる避難弱者（幼児・高齢者、障がい者など）の避難に使用されるため、その用途にふさわしい居住性・安全性を備えた内装や備品を計画する必要がある。

また、巨大な津波が生じた場合、被害は広域にわたることが考えられ、艇の中で大人数が数日間の共同生活をしなければならない状況も発生する。したがって、津波対応型救命艇の内装には乗艇者の心理面に配慮した設計も必要になる。

本調査業務では、最大7日間の乗艇を想定し、それに耐え得るための内装や備品を計画し、プロトタイプ艇に施工した。

5.1 漂流中の各種事象に対する乗艇者の保護

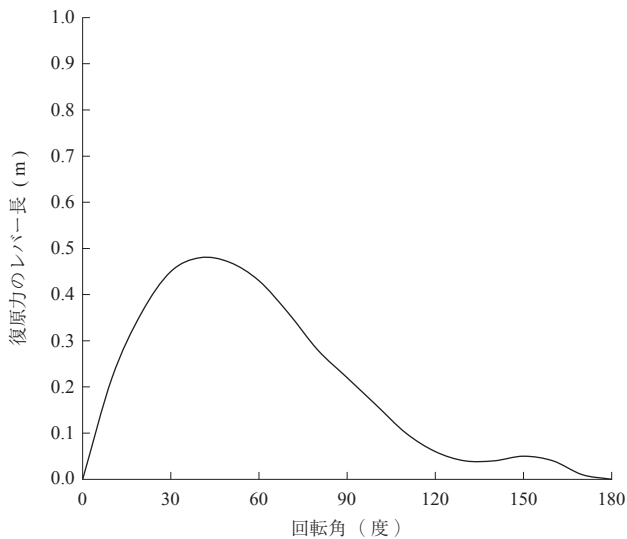
津波による漂流中、艇は激しく動揺し、がれきやビル・橋脚などに衝突する事象が考えられる。これらの事象による艇内の乗艇者の受傷を避けるため、以下のような対策を講じた。

5.1.1 衝突・動揺による乗艇者の受傷対策

座席クッション性のシートとし、4点式シートベルトなどで胴体を固定するようにした。胴体のみの固定ではむち打ちによる頸部や衝突による頭部へ受傷が考えられるため、ヘッドレストは第13図に示すようなホールド型（頭部を囲むような型）にした。また、艇内の手すりや天井には発泡材などのクッションを巻き付け、動揺や転覆の際の不意の打撲を防止する。



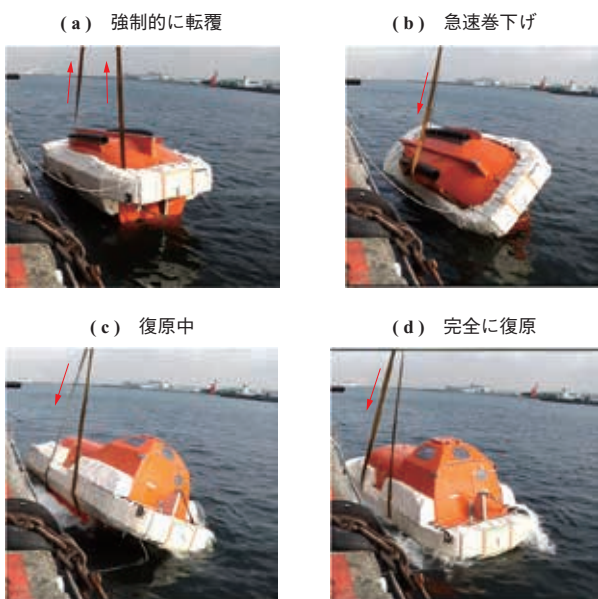
第13図 ホールド型ヘッドレスト
Fig. 13 Hold-type headrest



第11図 プロトタイプ艇のGZカーブ
Fig. 11 GZ-curve of prototype tsunami lifeboat

ことによって、艇体を強制的に転覆させた。その状態から急速にスリングを巻き下げた。海上試験の状況を第12図に示す。艇は自然に正立位置に復原し、プロトタイプ艇が自己復原性をもつことが確認された。

ただし、第11図のGZカーブからも推察されるとおり、約120～150°付近（ほぼ転覆している状態）での復原性が弱く、波の状態によっては復原しにくい状態になることが確認された。より、安定した復原性を確保するためには、艇体下部へのバラストの追加による重心低下、緩衝材の厚さの削減、艇体上部への緩衝材の付加などの対策が考えられる。



第12図 自己復原性確認試験
Fig. 12 Self-stability check on the sea

衝突時の頭部損傷を判定する指標としては、事故時に頭部の受ける衝撃の程度を表現するのに一般的に使われている頭部性能基準 HPC (Head Performance Criterion) がある。これを次の (1) 式に示す。

$$HPC = \left\{ (t_2 - t_1) \left(\frac{1}{t_2 - t_1} \int_{t_1}^{t_2} a dt \right)^{2.5} \right\}_{\max} \dots\dots (1)$$

ここで、 a は頭部重心の合成加速度 (単位 : G)、 t_1 と t_2 は衝突中の任意の二つの時間 (間隔は 36 ms 以下) である。

HPC は 1 000 未満であれば頭部のけがが致命的ではないと言われている^{(6) (7)}。そこで、本調査でもこの値を参照し、ヘッドレストの効果を調べるための試計算を行った。この結果、頭部とヘッドレストのクッションとのクリアランスを 50 mm に設けた場合、15 G の荷重に対してヘッドレストのクッションが 20 mm 以上圧縮される程度の柔軟があれば、HPC は約 330 以下に抑えられることが分かった。

5.1.2 鉄筋などの貫通への対策

地震・津波によって発生するがれきには建物や鉄骨構造物の破片など、鋭利なものも多数含まれる。特に、倒壊した建物の柱や折れた電柱などの中の鉄筋は脅威である。緩衝材や GFRP の艇体もある程度の耐貫通性を持っているが、最悪の場合は艇内部まで貫通する可能性があり、貫通場所によっては乗艇者を受傷させる可能性がある。そこで、鋭利な衝突物の貫通に対する最後の盾として、乗艇者の身体部分 (座席の座面と背面部分) に、耐貫通性の高いポリカーボネートの板を貼り付けた。

5.1.3 艇外・艇内での火災への対策

艇内で万が一火災が発生した場合には速やかに消火活動を行えるよう、消火器を搭載した。また、内装には極力、防炎性・難燃性をもつ素材を採用した。

さらに、艇外の火災に対する艇体への着火防止のため、手動の散水ポンプと散水口を設置した。また、外殻の GFRP 自体は自己消火性をもつ。

5.2 乗艇者の心理面に配慮した居住空間・設備

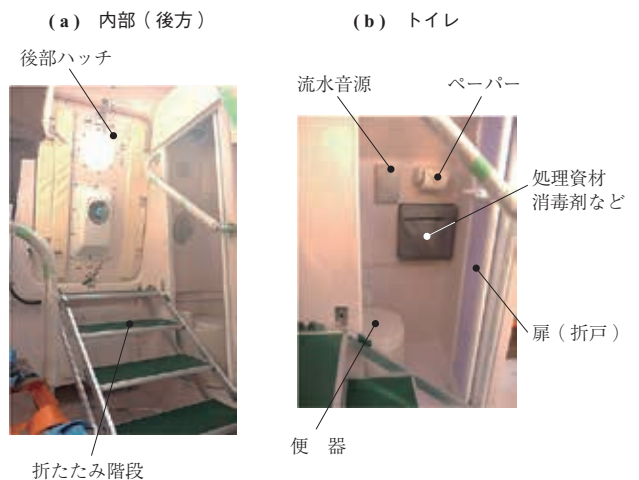
(第 14 図, 第 15 図)

5.2.1 配置およびスペース

ベースとなる船舶用救命艇の中央列の座席を削除し、フラットな床面と広い区間を確保した。フラット化した床面は横臥者やリラックスのための足伸ばしスペースとして利用できるほか、床下に収納庫を設け飲料水を格納した。



第 14 図 プロトタイプ艇の内部前方
Fig. 14 Internal view of the fore of the prototype tsunami lifeboat



第 15 図 プロトタイプ艇の内部後方およびトイレ
Fig. 15 Internal view of the aft and toilet space of the prototype tsunami lifeboat

このほか、座席の下には乗艇者一人ごとに一つの収納スペースを設けた。また、既存の船舶用救命艇でエンジンルームになっていた空間も収納スペースとして活用した。

5.2.2 艇内の色調・明るさ

艇内はベージュ・ブラウン系を基調として落ち着いた印象としつつも、窓からの光の拡散効果を生かす明るい色調とした。ただし、非常時に視認・識別が必要なもの (シートベルトなど) については、既存の船舶用救命艇と同じ原色系 (オレンジとブルー) のままにした。

採光窓はキャノピー部に前後左右 4 か所、各扉上 (前部・後部・船側) に丸窓 4 か所、合計 8 か所に設けた。照明器具は LED 照明 (電池式) とし、艇外への脱出時にも利用できるような、可搬式の LED ランタンとした。LED ランタンは 2 名当たり一つとし、合計 12 個を設置した。

5.2.3 トイレ

既存の船舶用救命艇では基本的に訓練された船員のみ乗艇を前提としていることや、食糧も排せつ物が生じにくいよう工夫されていることから、トイレ設備はない。しかし、津波対応型救命艇の場合は女性の乗艇も想定され、トイレは必須の設備である。

プロトタイプ艇では左舷後方にトイレスペースを設けた。居住空間とは15mmの壁で区画した。排せつ音を聞こえにくくするための音源も設置し、太陽電池で駆動する強制換気装置（ソーラパワーベンチレータ）も設置した。

5.2.4 座席の機能性・快適性の向上

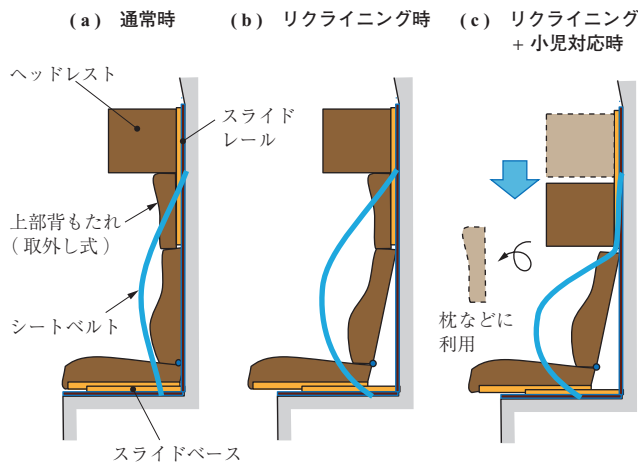
津波対応型救命艇では、小児から高齢者までさまざまな体格の乗艇者が想定される。そこで、第16図に示すような大人・子供両対応でリクライニングも可能な座席を考案し、プロトタイプ艇の全席に採用した。

5.2.5 漂流中の通信手段

巨大津波は広域の災害になるため、一度に多数の津波対応型救命艇が海上および内陸部に散開し、救助を待つことになると考えられる。このような想定のもとで迅速な救助活動を行うためには、以下のような通信手段が必要になると考えられる。

- (1) 双方向の通話が可能なこと（携帯電話、無線機）。
- (2) 自らの位置が把握できること（GPS機能）。
- (3) 艇の識別が可能なこと（登録した識別信号を発信）。
- (4) 探査側の信号への反応が可能なこと（レーダなど）。

これらの機能を一つの装置で実現できる装置として、国



第16図 プロトタイプ艇に採用した座席の機構

Fig. 16 Structural design of the seats in the prototype tsunami lifeboat

際 VHF トランシーバがあるが、使用には第三級海上特殊無線技士の資格が必要になる。また、使用方法も一般人向けではなく、事前の訓練が必要である。

津波対応型救命艇では通信機能と識別については免許が必要になる機器の搭載は避け、通常の携帯電話のほか、衛星携帯電話、AIS-SART（Automatic Identification System - Search And Rescue Transponder：船舶自動識別装置とレーダトランスポンダが一体になったもの）などの設置が望ましい。

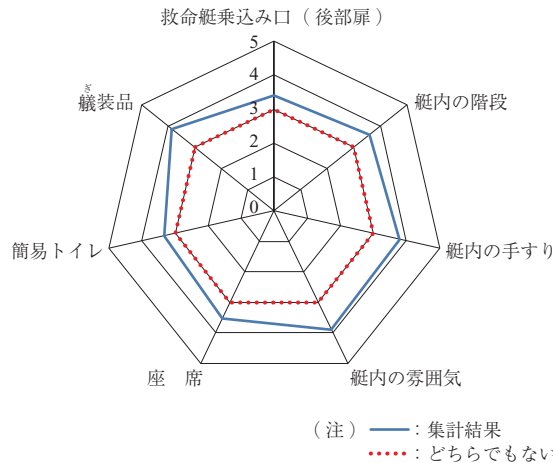
6. 一般公開および社会実験

一連の確認試験および内装の施工の完了後、本調査業務委託元の国土交通省四国運輸局の主催で、試作したプロトタイプ艇の一般公開が行われた。一般公開は合計3か所で開催され、導入が想定される地方自治体関係者や報道機関を招致して意見を聴取したほか、社会実験として幼稚園児・高齢者など、いわゆる避難弱者の団体試乗会も行われた。

一般公開では、試乗者へのアンケート調査が行われ、第17図に示すようにおおむね好評が得られた。また同アンケートでは辛口のコメントもあり、普及に向けた改善へのヒントが得られた。また、一般市民や幼稚園の教諭や高齢者などからは、普段は意識することのない貴重な意見を得ることができた。

7. 結 言

津波対応型救命艇のプロトタイプ艇を試作し、がれきや建造物への衝突を想定した耐衝撃性設計の有効性の確認のための衝突試験（落下試験）、動揺・転覆に対する自己復



第17図 アンケート調査の結果

Fig. 17 The results of a questionnaire about the prototype tsunami lifeboat

原性の設計の有効性を確認する海上での試験を行った。以上の結果、設計と確認試験結果および解析結果は良く整合し、設計手法の妥当性を確認することができた。

また、津波対応型として求められる内装の改良ポイントを抽出してプロトタイプ艇の施工に反映し、この効果を調査するための社会実験として、自治体関係者や一般市民の試乗会およびアンケート調査が行われた。この結果、おおむね良好な反応を得ることができたと同時に、辛口のコメントからは改善のヒントも得られた。

以上の結果、津波対応型救命艇の強度・復原性・居住性などの主要な性能が確認できた。これらの成果を基に津波救命艇のガイドラインが策定される予定であり、その後は普及段階に入る。プロトタイプ艇の試作で得られた改善課題に対応しつつ、生産・供給体制を構築していく。

— 謝 辞 —

本調査業務は、国土交通省四国運輸局から受託した「津波対応型救命艇の実用化に関する調査業務」の一環で実施されたものである。同局局長はじめ担当官各位、さらに同局に組織いただいた技術委員会の委員各位には業務を進めるに当たり貴重なご助言・ご指導を賜り大変お世話になりました。

また、ジャパン マリンユナイテッド株式会社磯子工場クラフト部の関係各位のご協力もいただき、半年弱という短い開発期間にもかかわらずプロトタイプ艇を完成させ、一般公開を安全に好評裏に終えることができました。ここに記し、深く感謝いたします。

参 考 文 献

- (1) 内閣府：東北地方太平洋沖地震を教訓とした地震・津波対策に関する専門調査会 報告 2011年9月
- (2) 内閣府：「南海トラフの巨大地震モデル検討会」の検討結果 第1次報告 2011年3月
- (3) 国土交通省四国運輸局：第1回津波対応型救命艇に関する検討会 資料 2012年2月（オンライン）入手先<<http://www.tb.mlit.go.jp/shikoku/kyumei/index.html>>（参照 2012-10-06）
- (4) 国土交通省四国運輸局：第2回津波対応型救命艇に関する検討会 資料 2012年5月（オンライン）入手先<<http://www.tb.mlit.go.jp/shikoku/kyumei/index.html>>（参照 2012-10-06）
- (5) 国土交通省四国運輸局：第3回津波対応型救命艇に関する検討会 資料 2012年10月（オンライン）入手先<<http://www.tb.mlit.go.jp/shikoku/kyumei/index.html>>（参照 2012-11-01）
- (6) 国土交通省：道路運送車両の保安基準の細目を定める告示 別添 24 側面衝突時の乗員保護の技術基準 2005年11月（オンライン）入手先<http://www.mlit.go.jp/jidosha/kijyun/saimokubetten/saibet_024_00.pdf>（参照 2013-02-12）
- (7) 産業技術総合研究所デジタルヒューマン研究センター 乳幼児の人体寸法計測に関する調査と提言 2005年9月（オンライン）入手先<<https://www.dh.aist.go.jp/database/kids/pdf/all.pdf>>（参照 2013-02-12）