

§ 1. はじめに 国民のレクリエーションのなかで、水泳、ヨット、モーターボートなどの海洋性レクリエーションが占める割合は今後急激に増大することが予想されている。新全国総合開発計画においても、昭和60年にわが国でレクリエーションに必要とされる海岸線延長1000Kmを整備するとともに、約10Kmに及ぶ人工海岸の造成を中心として、大規模海洋性レクリエーション基地を数ヶ地点建設することがうたわれている。在来の堤防、突堤、護岸などの固定施設では、自然環境の制約を受けやすいこと、レクリエーション需要の多様化と変化とに対して随時フォローできにくいこと、などが考えられる。そこで、自然環境を破壊しないこと、海上ブル、海上マリーナ、海からの景観など多様化する海洋性レジャーに対応できること、システムによる汎用化と高度利用化とが可能であること、などを目標としてポンツーンを開発したのでここに紹介したい。本文は、新材料であるレジンコンクリートの特色を生かした複合板を、ポンツーンの構成材として選定した経過を実験結果を中心として述べたものである。

§ 2. 多目的ポンツーンの要件 ポンツーンあるいはフロートには、すでに鋼、FRP(せんい強化プラスチック)、FRP+スチロフォーム、コンクリート、コンクリート+スチロフォームなどを用いたものが開発あるいは利用されている¹⁾²⁾。鋼製のものは比較的大型〔平面寸法(3~20)m×(5~25)m程度〕で浮桟橋や港湾工事用(ブイ、浮ドック)などに多く、一方FRPやコンクリートを用いたものは小型〔(1~2)m×(2~6)m程度〕で、マリーナ浮桟橋、浮ブルなどのレジャー用が主である。これらの価格は平面寸法1m²あたり2.5万~5万円程度である。このほか、FRP製浮消波堤、アルミ製観測ブイなども開発されている。今回、新しく多目的ポンツーンを開発するにさいしては、在来ものの調査のほか、図1のような各要件をも検討し、次のような方針を定めた。

(1) レジャー用途のほか、港湾工事などにも利用できること。このため、在来のレジャー用ポンツーンの上載荷重が $200 \frac{\text{kg}}{\text{m}^2}$ 以下と小さかったのに対し、これを $300 \frac{\text{kg}}{\text{m}^2}$ 以上とする。(2) ある程度の波に対しても動揺の小さいこと。鋼製やFRP製のポンツーンは薄板で構成されていて軽量であるため動揺しやすいのが普通である。この欠点を補うため、比重と厚さとをある程度自由に選定できるサンドイッチ板を構成材に用いること、さらにユニットを連結して安定性の増大をはかることを考える。(3) パネルの単価を5000円/m²程度以下とすること。FRP製パネル1万円/m²程度、鋼製パネル5000円/m²程度に比べて割安とする。(4) 製造・組立てが容易であること。板を接合して組立てる作業が容易であるために、ある程度の板厚とし、たとえば厚さ5cm程度の板を構成材とする。(5) 量産が可能なこと。このため工場組立てを標準とするが、大型のものは現地組立ても可能な工法とする。(6) 工場組立てのものは、トラックによる陸上輸送が可能なこと。このためポンツーンの幅は2.5m以下とし、重量は5トン以下とする。(7) 塗装・保守をできるだけ省きうること。このため、錆びない、汚れない、生物が付着しない材料とする。(8) 美麗で、彩色自在であること。

以上の要件を満足するものとして、ALC(オートクレーブ軽量コンクリート)などの気泡コンク

リートを芯材とし、これにレジンモルタルやFRPを被覆したサンドイッチ構造の複合パネルを構成材として、これらを組立てて製造するボンツーンを選んだのである。

§ 3. 複合板の実験結果 サンドイッチ構造の層構成を検討・選定するために、曲げおよび吸水の予備実験を行なった。層構成としては、図2に示す3層複合板および2層複合板の3種類を採った。芯材は比重が0.6程度のALCおよびSFC（スチレンフォームセメント）の軽量コンクリートとし、FRPの接着材およびレジンモルタルの結合材としてのレジンには、不飽和ポリエステル、エポキシおよびポリウレタンの3種類を用い、FRPのクロスにはロービングガラスクロスおよびビニロンクロスを利用した。芯材をSFCとし、ガラスクロスFRPを用いた2層複合板およびさらにこれにレジンモルタル層をも用いた3層複合板の曲げ供試体はいずれも、曲げ破壊せず、芯材がせん断破壊するのが認められた。この時の最大曲げ応力度は40～60 $\times 10^4$ であり、せん断応力度は4～6 $\times 10^4$ であって、層構成、クロス枚数およびレジンの種類による有意の差は認められなかった。芯材にALCを用いた場合、2層（FRP）供試体の破壊時の曲げ応力度は25～30 $\times 10^4$ であり、せん断応力度は1～2 $\times 10^4$ と小さかったが、3層供試体の強度は、芯材にSFCを用いた場合と同程度であつた。また、ビニロンクロスを用いた場合の強度は、ガラスクロスの場合の70～75%程度と小さかった。これらの結果から、芯材にSFC、ALCいずれを用いるにしても、ガラスクロスFRPおよびレジンモルタルを用いて3層とするのがよいと判断された。図3は層構成と吸水との実験結果を示したものである。これによると、接着材および結合材にエポキシを用いた場合、最も水密であり、ポリウレタンおよびポリエステルを用いた場合、FRPのみによる2層構成では水密が保てないことが認められる。また、ポリウレタンの場合は吸水によって変色した。これらの曲げおよび吸水の実験結果から、さらに不飽和ポリエステルが最も安価であることをも考慮して、ポリエステルを用いたレジンモルタルおよびガラスクロスFRPによる3層構成複合板を用いることとした。

厚さ6.5cmの3層複合板を各種寸法（幅10～60cm、長さ40～180cm）に製作し、これらについて曲げ実験を行なった結果が図4である。せん断スパン l と板厚 t との比が大きくなるに従って、破壊時の曲げ応力度が増大しており、また破壊のモードも変化して、せん断型破壊より曲げ型破壊へと移行するのが認められた。これらの結果を総合して、複合板の曲げ強度は、 l/t が約4に相当する場合の曲げ応力度60 $\times 10^4$ 程度であると判断し、許容曲げ応力度を $\sigma_{ba} = 20 \times 10^4$ とした。図5は、これらの曲げ実験の結果を、破壊時のせん断応力度と l/t との関係で整理したものである。これらの結果をALC板の結果と比較してみると、複合板のせん断強度はすなわちALC板のせん断強度にほかならないと考えてよいようである。これは、複合板の破壊が芯材のせん断破壊によって生じていたことからもうなづけるところである。これらの結果から判断して、複合板のせん断強度は3 $\times 10^4$ 程度であると考え、さらにボンツーンに作用する荷重は分布荷重が主であることも考え合わせて、許容せん断応力度は $\tau_a = 2 \times 10^4$ とした。また、これらの曲げ実験のたわみの結果から計算したヤング係数は $(5 \sim 6) \times 10^4$ 程度であつた。

曲げ応力度7.5 $\times 10^4$ （下限）～30 $\times 10^4$ （上限）の片振り繰返し载荷した疲労実験において、複合板には繰返し回数 $N = 10^6$ 回まで何らの異常も認められなかった。その後さらに上限応力度を45 $\times 10^4$ まで大きくしたとき供試体3本のうち1本は $N = 0$ 回で破壊し、他の2本は $N = (4 \sim 7) \times 10^4$ 回で

破壊した。これらの破壊はすべて芯材のせん断破壊であった。これらの疲労実験の結果から判断して、複合板の疲労限度は50%程度と考えた。これは、許容曲げ応力度 $\sigma_a = 2.0$ ㎏としたとき、複合板は疲労に対して $30/20 = 1.5$ の安全率を持っていることを意味していると考えることができる。

落錘による衝撃実験の結果は表1のようであった。板の裏面にひびわれが生じたときを破壊とし、これにいたるまで落錘の重量Wと高さHとを増しながら実験をN回繰返した。最大衝撃抵抗値 $W H_{max}$ および吸収エネルギー $S = \sum W_i H_j N_k / (B \times t)$ は曲げ応力度 σ_b のほかに、供試体の寸法(幅B, 厚さt, スパン l)に影響されるから、 $W H_{max}$ については B/l によって、 S については $1/l$ によって補整した結果を求め、同一実験条件のもとで他の材料と比較した。($\because W H \propto \sigma_b B t^2 l^{-1}$, $S \propto \sigma_b t l^{-1}$) これらの比較によると、複合板は、ヨットや漁船などに利用されているバルサコアFRPに比べて、数倍の衝撃エネルギーを吸収しうると考えることができる。

§ 4 継手の強度実験結果 複合板の組立ておよびボンツーンの連結のさいの継手構造として、図6のような4種類の継手を設計し、これらの強度実験を行なった。これらの継手は、力の伝達が単純であること、組立て・加工が簡便であること、治具や手間の少ないこと、などを考えて採用したものである。平継手板については、単板(一枚板)の場合と同様に、曲げ(図4, 図5)、疲労、衝撃の各実験を行なった。これらの結果から、平継手の強度は、継手のないものに比べて、同程度かそれ以上であることが認められた。このように継手の強度が向上するのはガラスクロス接着による補強の効果によるものと思われる。T型継手を用いて3枚の複合板を門形に組立て、その供試体の上部水平板に集中荷重を作用させた実験において、隅角部の破壊はまったく認められず、すべて載荷された板のせん断によって破壊した。この板の最大曲げ応力度は、単純ばりと計算したとき55~70 ㎏、ラーメンとして計算したとき35~45 ㎏であって、いずれの場合も許容曲げ応力度 $\sigma_a = 2.0$ ㎏より大きかった。また最大せん断応力度は3~4 ㎏であり、これも許容せん断応力度 $\tau_a = 2$ ㎏より大きかった。レジンモルタルを水平に後打ちしたT型継手門形供試体のレジンモルタル板に集中荷重を作用させたとき、すべての供試体はモルタル板の曲げ破壊によって破壊し、隅角部には異常は認められなかった。モルタル板の曲げ強度は230~290 ㎏であったので、レジンモルタル板の許容曲げ応力度を $\sigma_a = 7.0$ ㎏とした。上記の3種類の継手によって小型ボンツーン(4.9 m × 2.5 m × 1.2 m)を組立てて、その底板の両端で支持し、頂板に中央載荷した実験において、破壊荷重約190トンまでの間、継手部には異常が認められず、側板の斜せん断ひびわれ、FRPのはく離、底板の曲げ引張りひびわれのみが認められたにすぎなかった。複合板に孔 $\phi 50$ mmをあけ、これにジベル(鉄筋 $\phi 9$ mm)をレジンモルタルによってアンカーしたジベル継手は、ボンツーンを連結するさいに必要なフックや板を取りつける場合に用いられるものである。板と平行方向のせん断力をジベルが伝達する能力は、実験結果によれば、複合板にひびわれが生じたときに1本当り1トン強であり、破壊時で約3トンであつた。ジベルの許容せん断力を1トン/本とした。

§ 5. ボンツーンの設計 各種寸法のボンツーンのうち、工場組立ての標準的なボンツーン(4.9 m × 2.4 m)の寸法を図7に示した。3層複合板(65 ㎏/㎡)およびレジンモルタル(2.20 t/㎡)を用い、これらと、その他金物をも合計して、重量は5トンであり、将来は重量3.3トンの改良型とするよう計画している。複合板の最大応力度は、波圧1.5 t/㎡による局部曲げ応力度10.5 ㎏にすぎず、

やや強度が過大となっている。短辺方向の安定計算(表2)によると、 $300\frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}$ 満載時の安定性が過小であること、および安定性を向上すれば上載荷重を2倍まで増大可能であることが認められる。このため、このポンツーンは1ユニットのみでは使用せず、図8、図9のように数ユニットを連結して使用するのを原則としている。図10は、可動連続継手の構造を示したものである。

§6 今後の問題点 新材料であるサンドイッチ構造の複合板を用いたポンツーンを開発、製造、利用してみて、次の諸点に今後の問題点があると認められた。現在これらの問題を検討中であるので、その結果を発表できる機会に恵まれれば幸であると考えている。(1) 製造工程の簡素化のため、継手をできるだけ減らすこと、(2) 安定性および消波性の大きい形状とすること、(3) 現場打ち軽量気泡コンクリートを利用して、ポンツーンの大型化をはかること、(4) 連結方法を改良すること、(5) 貯蔵型ポンツーン(油、水など)、バージ型ポンツーン、自航型ポンツーンなどの開発。

参考文献 1) 波木 守：海洋構造物材料，コンクリートジャーナル，VOL 10，No. 8，1972年8月
 2) M. Noble：Concrete Pontoon For Marines，Symposium on Concrete Construction in Aqueous Environments，ACI，SP-8，1964

〔謝 辞〕

なお、本研究は、著者らの技術指導により運輸省の昭和47年度研究補助金を受けて株式会社クラレが実施したもので、ここに、関係者に対し、心から感謝の意を表わしたい。

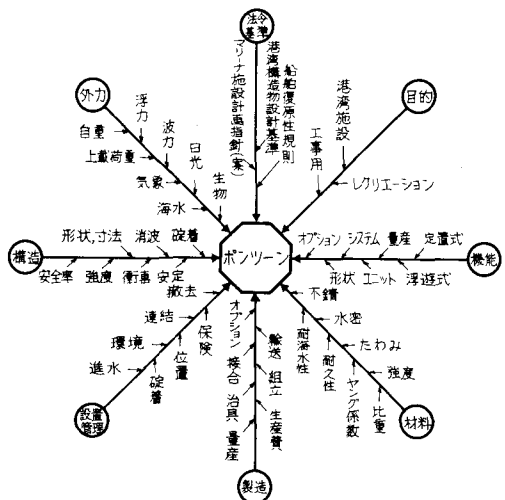


図1 多目的ポンツーンの要件

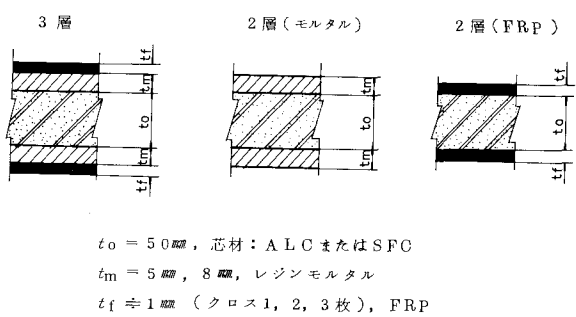


図2 複合板の層構成

図3 複合板の層構成と吸水との実験結果

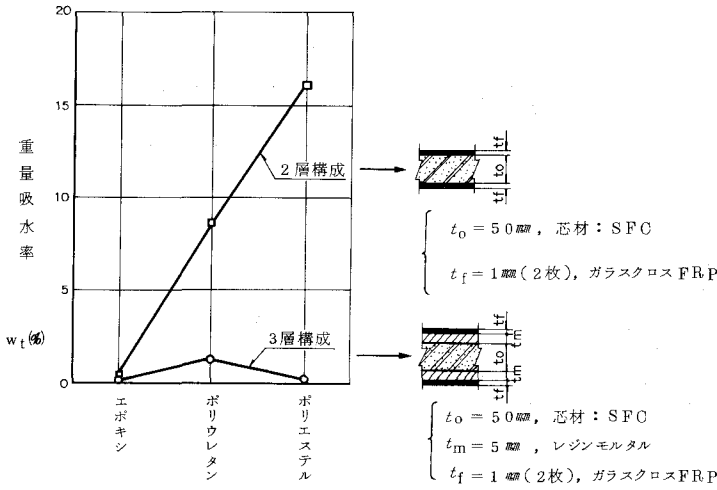


図4 複合板の曲げ実験結果 (1) [「継手」と示した以外は一枚板]

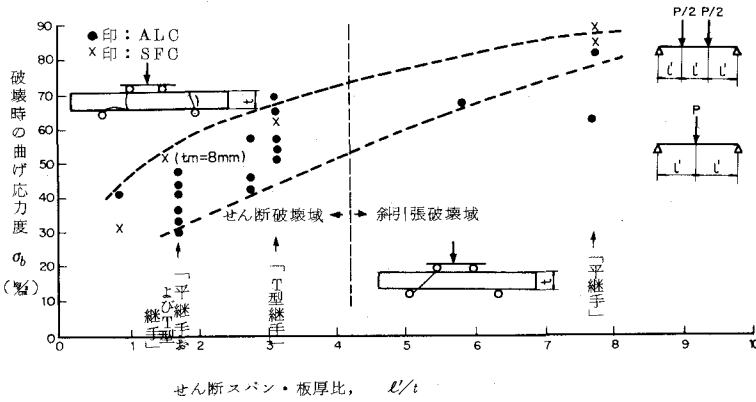


図5 複合板の曲げ実験結果 (2) [「継手」と示した以外は一枚板]

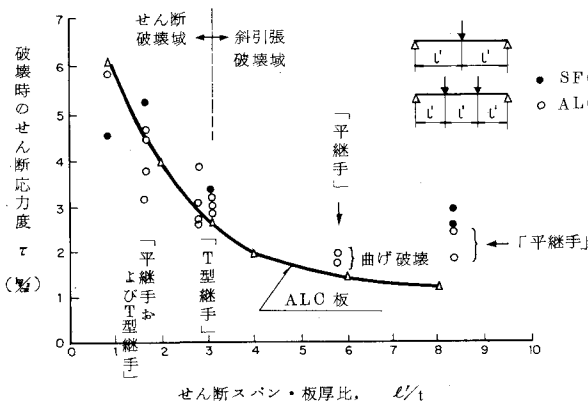


図6 複合板の各種継手

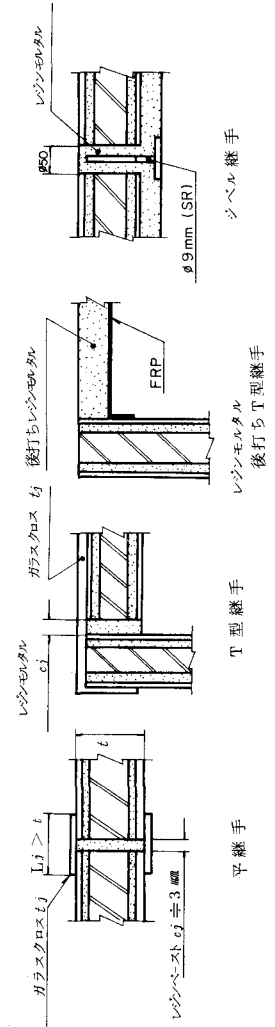


図7 ポンツンツーンの寸法例 (工場組立て型) (4.9m × 2.4m)

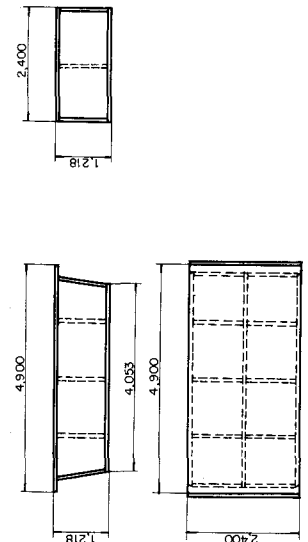


図 8 可動連結によるポンツーンの結合例

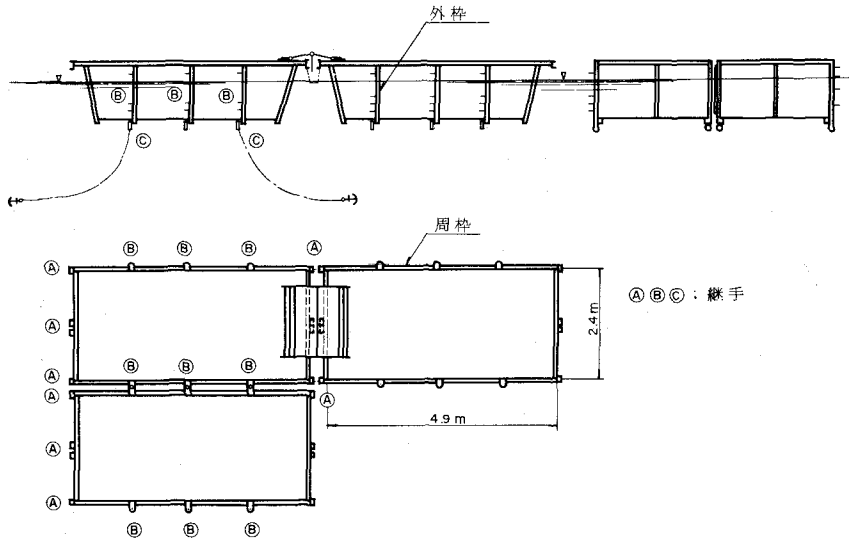


表 1 衝撃実験の結果

板の種類	供試体		最大衝撃抵抗値		吸収エネルギー	
	幅×厚さ $B \times t$ (cm)	スパン L (cm)	WH (kg・m)		S (kg・cm/cm ²)	
			試験値	補整値	試験値	補整値
ALC 芯複合板	60×6	80	7~9	7~9	21~27	21~27
バルサコアFRP	30×2	30	10~20	7.5~15	12~15	4.5~5.6
JISA-5701 FRP 波板	72×0.2	80	>1.2	>1.0	>8.3	>8.3

実験方法

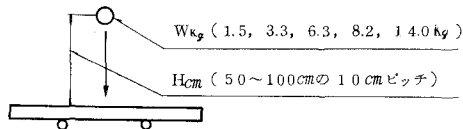


表 2 4.9m×2.4m ポンツーンの安定計算 (短辺方向)

	空 積 時	満 載 時 ($w=300 \text{ kg/m}^2$)
乾 舷	0.757 m	0.432 m
吃 水	0.461 m	0.786 m
傾 心 の 位 置 (重心の上方)	0.559 m	0.083 m
排 水 量	4.894 m ³	8.344 m ³
復 元 力	2.81 t・m	0.69 t・m