カヌー番号-30

コンクリートカヌー製作の概要

代表者氏名	所属	カヌーの愛称
大津　政康	熊本大学自然科学研究科	**どぎゃん**

○設計のコンセプトおよび構造上の工夫

基本コンセプト

21 世紀のテクノロジーは，人のみならず自然に対する配慮と調和の技術といえる．人とカヌーとの長い歴史において，生活の道具としての役割を果たしたカヌーは，遊びや趣味的要素の強い道具として，今なお人や自然に対して配慮と調和の取れたエコロジックな乗り物のひとつとして愛用されている．そこで，我々はコンクリートカヌーにも生産スピードやコストに主眼をおいた量産品ではできない，手作りならではの配慮と調和をコンセプトに，我々が持つ技術力やアイデアで製作に取り組んだ．具体的には，製作を逆の手順から考え，廃棄の際に解体と分別が容易にできる船体を目指した．また，船体の基本構造となるフレームには各部位に最も適した性質を持つ材料を用い，素材として特性の違う複合材料をうまく組み合わせることで全体の剛性を出した．さらに，使用する材料の選定（詳細は次項）では，再利用を主眼に，再生細骨材，有機性資源である木材および竹材を積極的に使用した．

構造の特徴

本艇は，キールを中心に船体の長さ・幅方向に対称形の躯体で，キールと各リブ（船体中央リブをリブ①とし，船首・船尾方向に各 4 本使用）を 50cm おきに溶接したが，解体を容易にするためにこれ以外はすべて組立にビスと結束線（金網張り用）を用いた．構造上では，ガンネルとキールの 3 点で固定したリブ材を基本躯体とし，補強はキール材の穴付きアングル（シート取り付け時にも利用）と杉材の曲げに反発した内側への力をデッキとヨークで受けた．また，本躯体の弱点である捩れ（杉材のたわみによる）の補強は，フェロセメントによって行った．

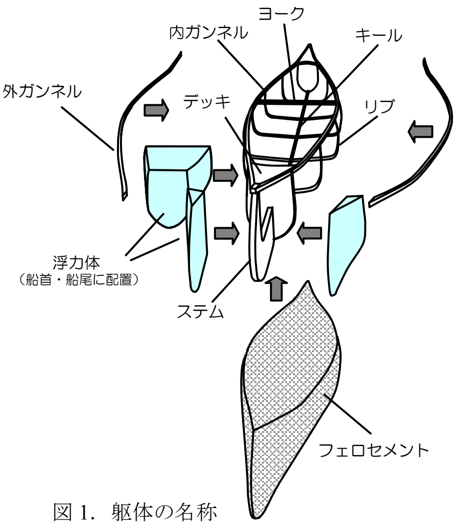


図 1．躯体の名称

カヌーの見掛け容積と浮力体の算出

作図した図 2 をもとに，画像処理により図 3 のリブ断面積をそれぞれ求め，式（1）により躯体体積 V を見積り，船体の最終的な寸法を決定した．表 1 に各区間の見掛け容積を示す．

浮力体はカヌー重量を最大 100kg とし，表 1 より船首－リブ③間，および船尾－リブ③間を合計した見掛け容積が 141ℓとなり条件を十分に満たすことから，浮力体の発泡スチロールをこの間に設置した．

$$V=\frac{h_i}{3}(a_i+a_{i+1}+\sqrt{a_i\cdot a_{i+1}})\quad,\quad i=1,2,\cdots,n-1\qquad 式（1）$$

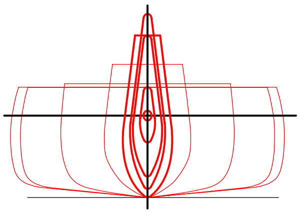


図 2．躯体の断面図

表1. 各リブ間の見掛け容積

区　間	見掛け容積 [ℓ]	見掛け体積 [cm³]
船首ーリブ④	20.2	70500
リブ④ーリブ③	50.3	
リブ③ーリブ②	80.5	
リブ②ーリブ①	99.3	
リブ①ーリブ②	99.3	
リブ②ーリブ③	80.5	
リブ③ーリブ④	50.3	70500
リブ④ー船尾	20.2	
躯体見掛け容積	500.6	

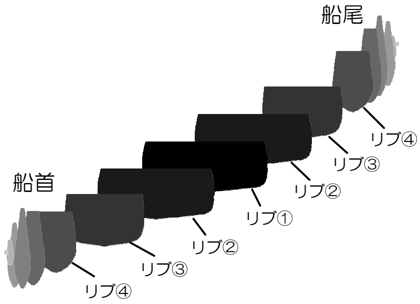


図 3．カヌーの各断面

○使用材料の工夫

躯体の主材料

○フェロセメント（使用材料）

・再生細骨材

新しい骨材再生技術として，「水中パルス放電法」による研究が，熊本大学 21 世紀 COE（Center of Excellence）プログラム**衝撃エネルギー科学の深化と応用の一つとして**進められている．

その成果は，産業実用化に対する有効性を証明することを目標として，水中パルス放電の衝撃波による実験結果より再生骨材が非常に高品質であることが証明された．

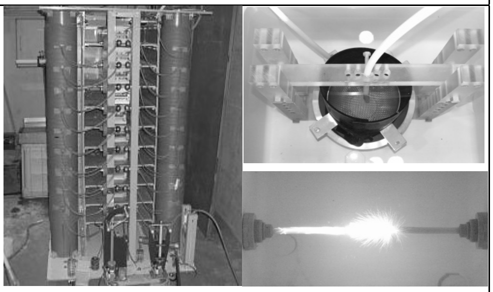


図4　パルスパワー電源と放電

パルスパワー電源と放電電極を図 4 に示す．破砕実験においては電気容量 0.8 μ のコンデンサ 10 基にそれぞれ 40kV 充電した後，印加回数 100 回でコンクリート供試体にパルスパワーを印加した．パルス放電 1 回あたりのエネルギーは，6.4kJ（0.026 円）である．その結果を図 5 に示す．しかし，5mm 以上の取り出された骨材を再生骨材と位置付けており，パルスパワーによって破砕された粒経 5mm 以下の破砕片は除外している．

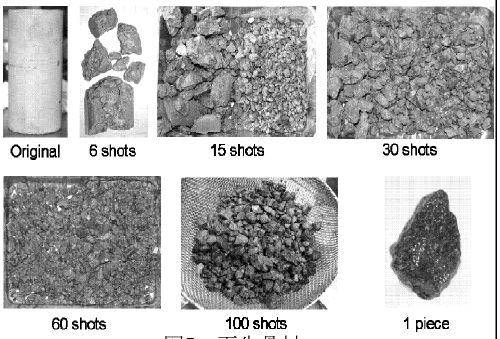


図5　再生骨材

5mm 以下の粉砕片についてはこれからの研究課題となっていることから，今回のフェロセメントに用いる細骨材は， 2.5mm ふるいを 100%通過した全ての粉砕片を細骨材として使用した．これは，これまでのパルス放電による実験結果より鉄筋コンクリートを鉄筋とコンクリートに分別が可能であることからフェロセメントでも，モルタルと金網を分離でき，しかも，モルタルの細骨材と金網をリサイクルできる可能性がある．

・軽量骨材：㈱ｱｸｼｰｽﾞｹﾐｶﾙ社製 ｳｲﾝﾗｲﾄ SB－9011．軽量化を図るために使用．
・セメントおよび水：ｾﾒﾝﾄは養生期間の短縮を図るため早強ﾎﾟﾙﾄﾗﾝﾄﾞｾﾒﾝﾄを使用．水は水道水．

＜配合表と基本条件 ＞

表．2　配合表

	水	ｾﾒﾝﾄ	再生細骨材	軽量骨材
L/m^3	296	235	103	366
kg/m^3	296	740	220	110

各材料の比重

ｾﾒﾝﾄ　：3.15
再生細骨材：2.14
軽量骨材　：0.3

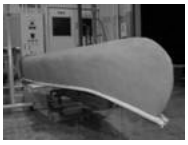
・ W/C＝40%　［モルタル強度および乾燥収縮ひび割れを考慮し決定］
・ セメント：{ 再生細骨材＋軽量骨材 } ＝ 1：2 (容積比)　［金網への付着性を考慮し決定］
・ 再生細骨材：軽量骨材 ＝ 2：1 (重量比)　［再生細骨材の使用率および塗り易さを考慮し決定］

＜モルタルの材料試験結果※およびカヌー本塗り時 Photo＞　※本練り前に同一配合にて行った試験結果

表．3　材料試験結果

28 日圧縮強度(N/mm^2)	46.9
フロー値	156

練り上がり直後の状態



船体塗り終了時

躯体の補強材料

○キール：キールラインの直線性および剛性を確保するために，丸鋼（ϕ9）と穴つきアングルを使用．
○リブ　：捩れに対する剛性の確保，補強材による躯体体積の増加を抑え，躯体の形を整えるために木材ではなく平鋼(3×38)を使用．
○ステム：カヌーの船首および船尾の形状確保と剛性を上げるため，合板を使用．
○ガンネル・デッキ・ヨーク：他の部材と異なり外観上の美しさも要求されるためスギ材を使用．
○ハル　：主材料のフェロセメントでは金網（5mm ﾒｯｼｭ）を使用．

浮力体

○主浮力体　：曲面加工が容易な発泡スチロールを使用．
○補助浮力体：竹を使用．主たる使用目的はモルタルを塗るための内枠兼内装材であるが，竹特有の内部空洞を利用し，補助浮力体として活用した．

カヌー番号-30

○製作過程の工夫

製作方法に関する特徴として，４つのキーワードをもとに紹介する.

製作担当：熊本大学工学部技術部　　製作期間：45 日　製作人数：4 人（打設時：7 名）

曲げる

リブの曲げ加工

各リブの形状は曲線が不確なうえに, 平鋼のスプリングバックを考慮した曲げ加工が必要となるために機械による曲げ加工が難しい. そこで，7 本のリブすべてを手作業によって作製した．曲げ作業は，キールからガンネルへ向けて平鋼を型に当て, 曲げ角を確認しながら慎重に行った結果，各リブのラインを精度よく作製することができた（写真①）.

ガンネルの曲げ加工

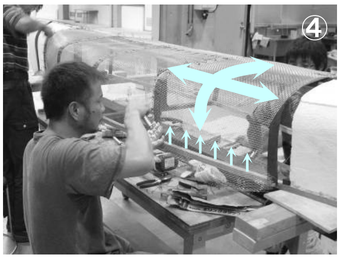
ガンネルの曲げは, 横方向では合板にカヌーと同じ実寸幅の角材をリブと同じ 50cm 間隔に配置し，これを支点に 1 時間ほど水に浸した内・外ガンネル材を曲げながら固定した．次に，ガンネル縦方向への曲げは, 杉材のスプリングバックを考慮して任意の位置での高さよりやや高めに 2 つの支点を設け， 2 点間で最も曲がりの大きい箇所に重しを置いた（写真②）．乾燥も含め 5 日程で形ができた.

削る

浮力体の加工

本艇に組み込む浮力体（発泡スチロール）は，フェロセメント打設時の内枠としても利用するため, 船首に向かってのラインは実際の船体のラインになるように仕上げる必要があった．そこで，各リブ間のアウトラインに沿って発泡スチロールを削り, 船首までの形状を作り出した．船体に打設する W/C=40%（フロー値約 160）フェロセメントの作業性を考慮した場合, 結果的に船首部分の形状を短時間で仕上げることができ作業効率の短縮に繋がった.

張る



金網の装着

金網は，本艇の構造的な弱点である捩れに対する補強も兼ねた．捩れは，50cm 間隔で配置したリブをガンネルとキールの 3 点で固定したフレームのうち, ガンネルに用いた杉材の剛性面での弱さ（たわみ）によって生じる．そこで，船体の縦方向は，キールからガンネルに向けた方向にテンションを掛けながら金網を張ることでガンネル材をキール方向へ引きつけ, よりフレームに一体感を持たせることを狙った（写真④）．ガンネル方向への金網はタッカーで内ガンネルに仮止めし，最後に外ガンネルによる挟み込みで固定した.

竹材内枠

竹は, 節を削った同じ形状のものを 2 本船体中央から径の細いほうを船首に向かって対称に張ることにした．これは，竹の径の違いを利用し, 船首に向かって細くなる船体の形にうまく竹をはめ込むためである．また，船首に向かう曲線には竹のほぼ中央にあたる図 3 のリブ②に，結束線により竹をしならせることで船体に取り付けた．内枠として用いた竹はそのまま船体に残すことで, 浮力体の補助としても活用し，天然素材ならではの風合ある船内になった（写真⑤）.

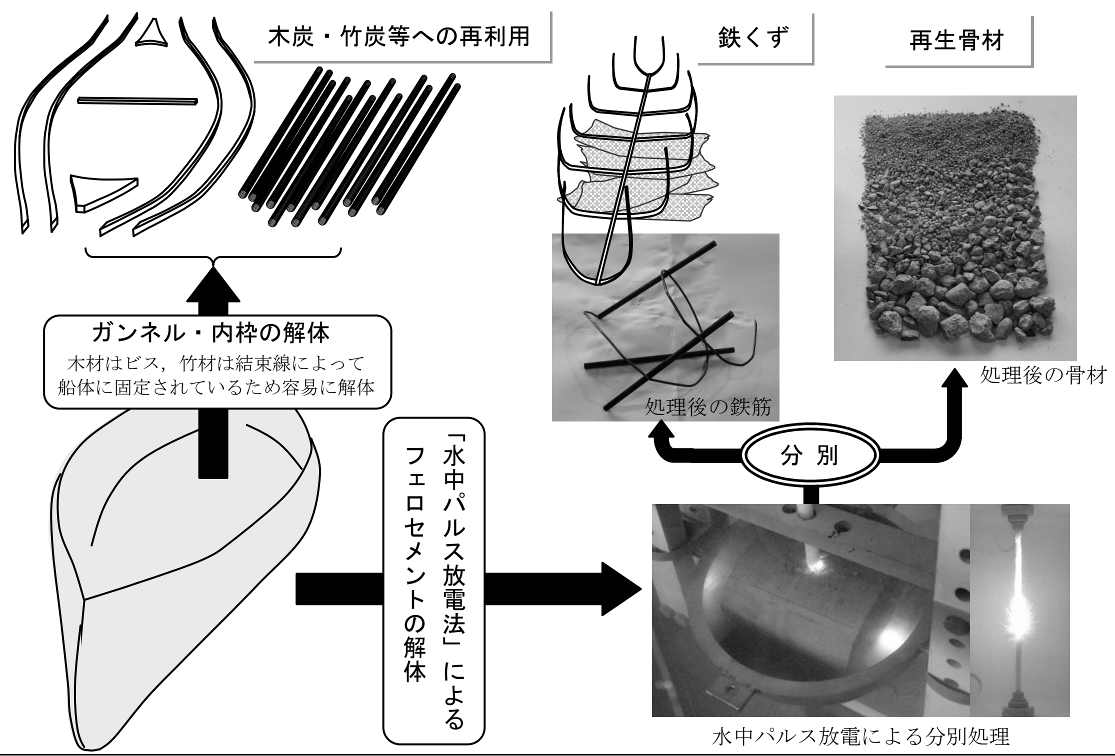
打つ

フェロセメントの打設

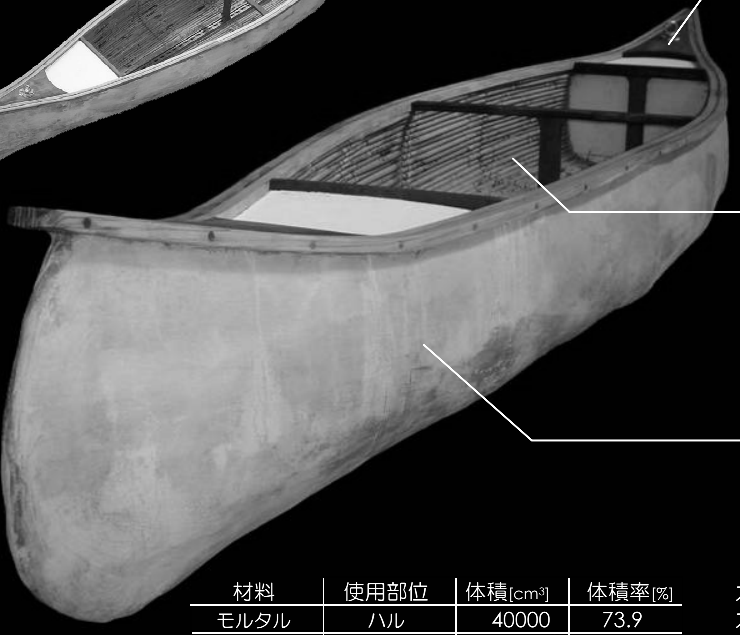
打設当日は気温が高く，フェロセメントの配合（W/C=40%，フロー値約 160）上，乾燥による流動性の低下をどうするかが重要なポイントとなる．そこで，打設前に役割分担，作業方法などをスタッフ全員で入念に打合せを行い，かつ，1 バッチの打設量を作業の進行状況を見ながらその都度決定した．船体への塗り作業は時間との闘いであったため，薄く広く塗ること，空隙などの欠陥を少なくするよう細心の注意をはらい無事打設を終了させた.

○その他

ここでは，我々が考える船体の解体と分別法についての概略を図に示す.



○完成写真



● ブイ取付金具

● 船内

● バウ

材料	使用部位	体積[cm³]	体積率[%]
モルタル	ハル	40000	73.9
平鋼	リブ	821	1.5
アングル	キール	759	1.4
丸鋼	キール	382.4	0.7
金網	ハル	1052.2	1.9
杉材・合板	ガンネル他	11144.8	20.6
合計		54159.4	100

カヌー全長 : 3960mm
ガンネル幅 : 700mm
バウ高 : 500mm
中心高 : 320mm
カヌー体積 : 0.5m³
カヌー重量 : 93kg
クルー体重 : 130kg
喫水ライン高 : 150ｍｍ