

カヌー製作の概要

所属校・チーム名	カヌーの名称	代表者氏名
ふりがな (とうきょうこうぎょうだいがく にわけんきゅうしつ) 東京工業大学 二羽研究室	ふりがな (つばくろうお) 燕黒魚	山本 剛史

○ 構造上の工夫

【設計コンセプト】

大会で好成績を残すためには、他のチームの走行による波等の揺れに対して抵抗し、ゴールまで辿り着く踏破性、他のチームより速くゴールするためのスピードが求められる。我々のチームは、2次安定性の向上による**踏破性**の確保と、軽量化による**スピード**の増加を大きな目標として掲げ、本カヌーの設計を行った。

【形状の決定】

コンセプトの踏破性を実現するために、船体底面の形状は**2次安定性に優れるシャローアーチ**を採用した。また、**キール**及び**バルジ**を設置しさらなる安定性の向上を図り、傾きを物ともしないカヌーを実現した。キール・バルジの設置により、安定性が確保できるため、船体本体の最大幅は55cmとし、軽量化を図った。キールラインは直進性とスピードを重視し、直線と楕円を組み合わせロッカーが小さい形状とした。側面形状は、施工性を重視しストレートサイドとした。また、直進性と操作性・重量及び大会レギュレーションを総合的に勘案した結果、カヌーの全長は3.8mに決定した。

【船体の補強】

コンクリートは引張に弱く、レース中や運搬時に曲げ等の外力を受けてひび割れが生じ、それが拡幅することで破壊するリスクがある。そこで、今回はカヌーに使用するコンクリートを短繊維補強コンクリートとして、その架橋効果によって破壊を防ぐことを試みた。それに加えて、後述のビニロン繊維メッシュを船体に埋め込むことで、さらなる耐力の確保を図った。

【浮力計算】

船体の設計はCADソフトで行った。結果を表1に示す。

ハルの厚さを10mmとして体積を計算したところ、カヌー(ハル)の体積は31.6Lとなった。使用したコンクリートの密度は後述の通り2.01g/cm³であるため、ハルの総重量は63.5kgとなる。クルー2名の体重は合わせて120kgであり、計算した結果喫水高さは**15~16cm**となった。

船首及び船尾の先端から700mmの位置まで発泡スチロールを浮力体として設置し、この体積を計算したところ42Lとなった。また、両側面に設置したバルジの体積を計算したところ36Lであった。その結果水の密度を1g/cm³とすると、カヌー全体の浮力は109.6kgfとなり、補強材等の重量を考慮しても十分な浮力が得られることがわかった。

カヌー完成後にプールに浮かべて、クルーが乗船した結果、カヌーが沈まないことを確認した。また、カヌー内に水を満水まで入れても沈まないことも確認した。

表1 喫水高さ及び浮力計算結果

ハル厚さ(mm)	10	
カヌー(ハル)の体積(L)	31.6	
コンクリート密度(g/cm ³)	2.01	
カヌー(ハル)重量(kg)	63.5	
喫水高さ(cm)	15~16	
浮力体体積(L)	船首・船尾	42.0
	バルジ	36.0
カヌー全体の浮力(kgf)	109.6	

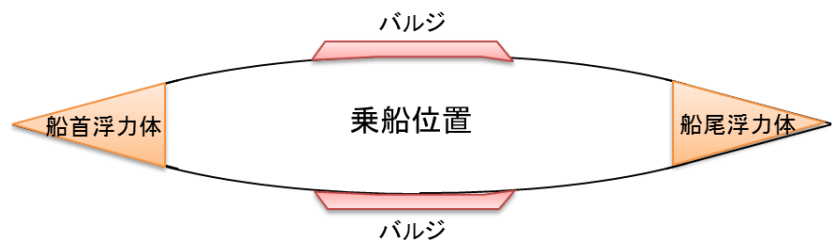


図1 浮力体(船首・船尾およびバルジ)の設置位置

○ 材料の工夫

【船体の主材料】

船体の主材料を決定する上で、**高い曲げ強度**を持ち、**軽量**なコンクリートを目指して様々な配合を検討した。今回検討の対象としたのは、①炭素繊維(CF)1%混入の高強度コンクリート、②炭素繊維2%混入の高強度コンクリート、③ポリプロピレン繊維(PP)1%混入の高強度コンクリート、④ダクタル用粉体を用い、鋼繊維を炭素繊維2%に置換したUFC(Ultra High Strength Fiber Reinforced Concrete)、⑤炭素繊維2%混入で細骨材を全量軽量骨材に置換した高強度コンクリートの5種類の配合である。なお、高強度コンクリートにはシリカフェームと高性能減水剤を、UFCにはブレミックス粉体と専用減水剤をそれぞれ用いた。

曲げ強度に対して、繊維の混入量や種類、セメント・混和材の種類がどのように影響するか、また、軽量化のために骨材を変更するとどの程度の影響が出るかを検討するため、上記の配合の供試体を作製し、7日間の水中養生の後、一軸圧縮試験及び3点曲げ載荷試験を行った。表2に載荷試験の結果を示す。試験の結果、曲げ強度密度比が最も大きい⑤の配合が軽くて強い配合であると結論づけ、この配合を主材料として決定した。

その後、カヌーの打設に最適なワーカビリティが得られる配合を高性能減水剤の量を変更して検討し、最終的に表3の配合を使用した。

表2 載荷試験結果

配合	使用繊維	繊維混入量 (%)	使用骨材	圧縮強度 (MPa)	曲げ強度 (MPa)	密度 (g/cm ³)	曲げ強度密度比
①	CF	1	普通	100.8	13.6	2.27	5.99
②	CF	2	普通	107.8	14.6	2.29	6.35
③	PP	1	普通	78.1	9.6	2.29	4.18
④	CF	2	ダクタル粉体	132.3	14.1	2.31	6.09
⑤	CF	2	軽量骨材	108.3	13.4	2.01	6.66

【補強材】

カヌーの曲げに対する補強のために補強材としてビニロン繊維メッシュ(図2)を埋め込んだ。ビニロン繊維は**高強度**、**高弾性率**、**低伸度**かつ**軽量**な材料で、今回使用したメッシュ状に加工されたものは、**屈曲面への作業性が非常に優れており**、カヌーの補強材として相性が良いと判断した。コンクリート中に配合した炭素短繊維による架橋効果と、ビニロン繊維メッシュによる補強効果で曲げに対する大きな耐力を確保した。

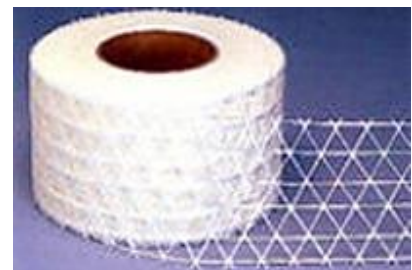


図2 ビニロン繊維メッシュ

【引き上げ用金具】

引き上げ用の金具として直径2mmの鋼製ワイヤー(図3)を打設時に船体に埋め込んだ。ワイヤーはねじ込み式の金具と違って**自在に変形**するため、コンクリートカヌー打設時に容易に埋め込むことができ、打設後に金具を設置するよりカヌーを損傷するおそれが少ない。ワイヤーの引き抜けを防止するために、ワイヤーは船首・船尾で分割せず、船底を通して1本のワイヤーで船首と船尾を結び定着を確保した。



図3 引き上げ用ワイヤー

○ 主材料の配合など

表3 炭素繊維2%混入軽量高強度コンクリートの示方配合

W/B (%)	セメント (kg/m ³)	水 (kg/m ³)	シリカフェーム (kg/m ³)	軽量細骨材 (kg/m ³)	高性能減水剤 (kg/m ³)	繊維混入量 (%)
17	1197	226	133	562	53	2

カヌーの重量 = 70.7 kg 浮力体の量 = 78.0 ℓ 使用したセメントの量 = 39 kg

○ カナーの設計図

設計図面を以下に示す。なお、薄紫色の部分が発光部である。

単位: mm

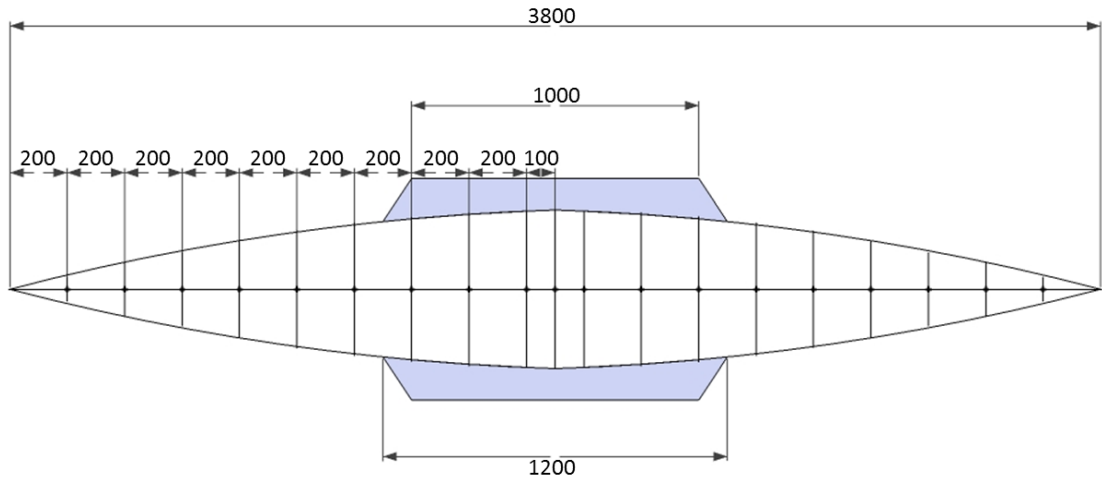


図4 平面図

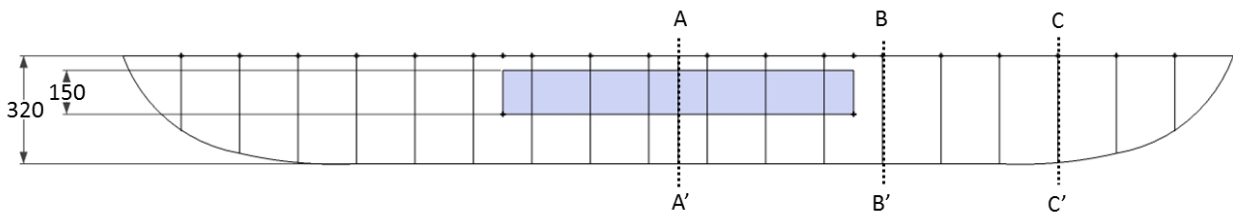
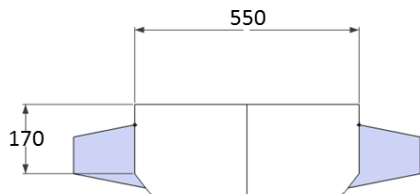
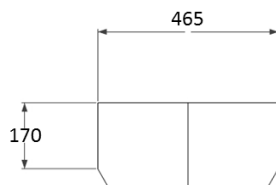


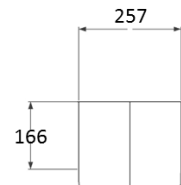
図5 立面図



A-A断面



B-B断面



C-C断面

図6 断面図

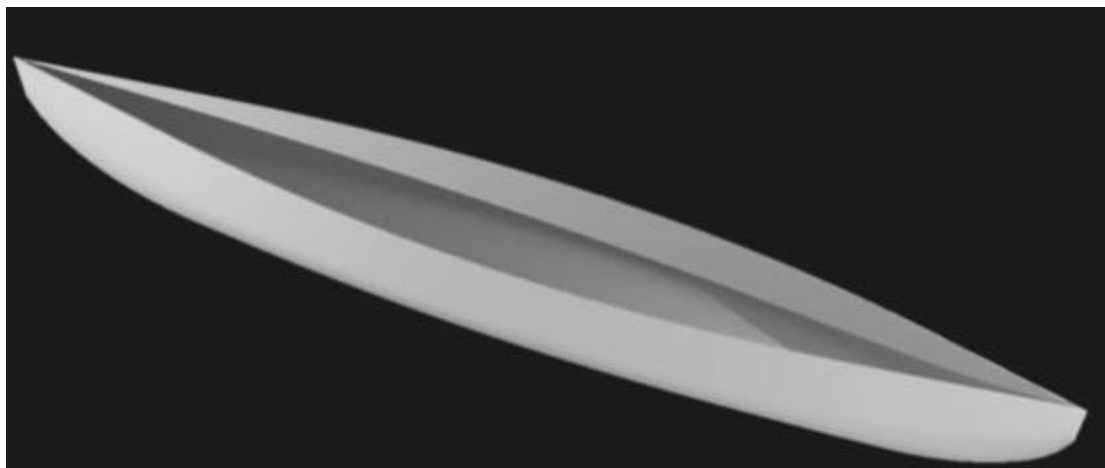


図7 イメージ図(発光部は含まれていない)

○ 製作の工夫

【型枠の作製】

本校のカヌーは過去数年間にわたって内側打設による施工が行われてきた。しかし、内側打設は脱型の際に型枠を完全に分解する必要があり、その作業が大変労力を要するという問題があった。そこで、本年度のカヌーでは、脱型の容易さを重視し、内部に土を詰めたシート型枠による外側打設に挑戦した。まず、カヌーの断面形状に合わせてコンパネを切り出し、型枠の骨組みを作製した(図8)。この際に船首及び船尾には浮力体の発泡スチロールを設置し、埋込み式型枠とした。次に型枠の表面となるビニールシートをコンパネの骨組みに沿って固定する(図9)。脱型の際にコンパネとシートが容易に剥離するように、この固定には両面テープを使用した。このままの状態だとビニールシートの剛性が不十分で、コンクリートを打設した時にビニールシートが伸びて形が歪んでしまうと予測されたため、空洞部分に土を密に詰めた(図10)。脱型時には土を隙間から掻き出せば、内部の土圧が開放され簡単にカヌーを上へ引き抜くことができる。これらの工夫により、簡便容易な脱型に成功した。



図8 型枠骨組みの組立



図9 コンパネとシートの固定



図10 空洞への土の充填

【打設】

厚さの均一なカヌーを作製するために、打設時にまず大きなボード上で均一な厚さのコンクリートの層を作り、それを型枠に貼り付けるという方法を採用した。ボードの両端に厚さ管理用の金属製の板を置き、コンクリートがその厚さになるまで円形パイプで伸ばした(図11)。こうしてできたコンクリートを型枠の上に貼り付けた(図12)。このコンクリート層の上に補強材のビニロン繊維メッシュを設置し、その上から再びコンクリートを打設した。



図11 コンクリートを均一な厚さに伸ばす



図12 伸ばしたコンクリートを貼り付ける

○ 製作工程

表4 作業日程及び人員

日程	工程	人員	日程	工程	人員
4/26	打ち合わせ(コンセプト)	4	7/24	脱型・浸水試験	4
5/1,28,6/13	配合検討	4	7/24~25	補修及びキール打設	4
6/11	打ち合わせ(配合・形状)	4	8/1~2	バルジ設置	3
6月中旬	AutoCADによる設計図作成	1	8/5	浸水・安定性試験	3
7/5	材料の買い出し	4	8/8~9	塗装	3
7/19~22	型枠作製	4	8/19	ウキ設置・仕上げ	1
7/23	打設	4			

○ 製作写真（1） 使用材料



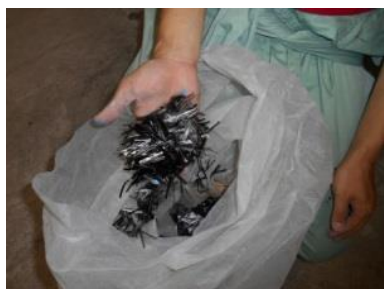
早強セメント



軽量骨材



シリカフューム



炭素繊維



ビニロン繊維メッシュ



高性能減水剤



型枠用コンパネ



型枠用ビニールシート



浮力体用発泡スチロール



引き上げ用ワイヤ



塗装用スプレー・ペンキ



接着剤（エポキシ樹脂）



養生・マスキング用テープ



養生シート



養生用プール

○ 製作写真（2） 製作の各段階

1.型枠作成



型枠フレームの切り出し



曲線部はコンターマシンでカット



型枠の組み立て



浮力体の設置



打設面のシートの設置



土を密に充填

2.打設



伸ばしたコンクリートの貼り付け



ビニロン繊維メッシュの設置



メッシュの上からコンクリート打設

3.脱型及び養生



型枠内の土を排出



型枠からカヌーを外す



プールにて水中養生

4.塗装



ペンキで黒色に全体を塗装



型紙の作製

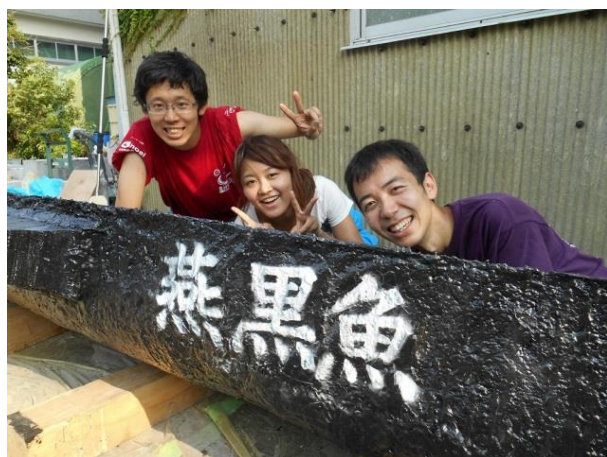


マスキング後スプレーで文字入れ

○ 製作写真（3） 完成写真



平成25年度 東京工業大学 二羽研究室 コンクリートカヌー「燕黒魚」全景



カヌー名称「燕黒魚」



本学の校章とトビウオのデザイン



反対側の側面 大学名及びトビウオのデザイン

所属校・チーム名	カヌーの名称	代表者氏名
ふりがな (とうきょうこうぎょうだいがく にわけんきゅうしつ) 東京工業大学 二羽研究室	ふりがな (つばくろうお) 燕黒魚	山本 剛史

○ チーム紹介

今年こそ先輩たちの雪辱を晴らすべく、優勝を狙うカヌーを作る！

そのような思いから、製作が始まりました。決勝戦に進むには、どうすればよいのか？

度重なる議論の上、**踏破性**そして**スピード**という目標を掲げました！

配合調整、初の試みの土を用いた型枠作製、頼りになる伊藤が留学のため離脱…

数多くの困難に遭遇しつつも、メンバーの団結力で乗り切ってきました。

私たちのカヌーの名前は、『燕黒魚(つばくろうお)』

燕魚(つばくろうお)は、トビウオの異名であり、炭素繊維を表す黒を間に入れて“燕黒魚”

東工大のシンボルの“燕”と“黒いトビウオ”の意味を併せ持つ、私たちのカヌー！

トビウオのようにスピードに乗り、水面を飛ぶように駆け抜け、優勝を勝ち取ります！

