

平成21年 4月27日現在

研究種目：若手研究（B）  
 研究期間：2006～2008  
 課題番号：18760337  
 研究課題名（和文） 竹筋コンクリートの合理的設計方法の確立  
 研究課題名（英文） ESTABLISHMENT OF THE RATIONAL DESIGN METHOD OF BAMBOO REINFORCED CONCRETE  
 研究代表者  
 松尾 栄治（MATSUO EIJI）  
 山口大学・大学院理工学研究科・助教  
 研究者番号：10284267

研究成果の概要：竹林所有者の高齢化に伴う放置竹林の増加は深刻な社会問題であり、竹材をコンクリート補強材として有効利用することが可能となれば、環境面における貢献の一助となる。本研究では孟宗竹および女竹を対象として、コンクリート補強材としての適用性を検討した。すなわち、竹材の引張強度特性を明らかにするとともに、これを補強材とした床版を作製しその押抜き強度を測定した。その結果、耐力に関しては十分に適用可能であることや、高い精度で設計が出来ることも明らかとなった。

## 交付額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2006年度	1,000,000	0	1,000,000
2007年度	1,300,000	0	1,300,000
2008年度	1,100,000	330,000	1,430,000
年度			
年度			
総計	3,400,000	330,000	3,730,000

研究分野：コンクリート工学

科研費の分科・細目：土木工学，土木材料・施工・建設マネジメント

キーワード：孟宗竹，女竹，引張強度，コンクリート，床版，押抜きせん断

## 1. 研究開始当初の背景

現在、地球温暖化現象は大きな社会問題であり、海水面の上昇により多大な社会資本や個人財産が浸水被害を受けることも推定されるなど、その深刻さは極めて危機的状況にある。その推定被害状況の真偽はともかく、少なからず対策として護岸工事を行うことを考えた場合、海岸線の延長が長い我が国では莫大なコンクリートおよび鉄筋が必要となる。その際、安価な鉄筋の代替材が提供されれば、コストの削減に直結する。

一方、竹林の管理は従来から個別に実施さ

れていたが、近年では竹林所有者が高齢となり、その管理が困難になっている。放置竹林の増大は、有用な建築用木材資源（檜や杉など）の育成を阻む。竹材の繁殖力は他の樹木と比較すると強大で、その観点からも早急な解決が望まれている。本研究は竹材をコンクリート構造物の補強材として適用することを試みるものである。すなわち、研究代表者が居住している山口県で多く見られる孟宗竹、女竹を対象としてその引張強度性状を明らかにし、竹筋コンクリート（Bamboo Reinforced Concrete, 以下 BRC）床版への適

用性について検証する。竹は鉄筋のように錆びるとい現象を伴わないため、これまで鉄筋コンクリートで常に問題とされていた「中性化」や「塩害」などの基本的かつ重要な問題への対策に関する負荷が、BRC構造においては大きく軽減される。特に海洋コンクリートにおいて塩害対策が軽減されることは大きなメリットである。

## 2. 研究の目的

(1) 竹材は天然資源であるため、強度のバラツキが大きいことが懸念される。また木材の引張試験方法としては、ドッグボーン状に加工する方法が一般的であるが、その加工には技術を要し、統計的なデータを得るのに多くの時間と労力を要する。また、実用時とは異なる形状での試験であるため、両者に有意差が生じる恐れもある。したがって本研究では、実用時に近い形態での竹材の引張試験方法を確立することを第一の目的とし、その方法を用いて種々の状態での竹材の引張強度性状およびそのバラツキを明らかにすることを目的とした。

(2) 竹材の表皮は滑らかでありコンクリートとの付着強度が期待出来ない。竹材表面に種々の加工を施す方法もあるが、コストが高くなる。したがって、コンクリート構造物に適用するには竹材を格子状に組むことにより機械的な定着をもたせることでコンクリートとの一体化を図ることが効果的と考えた。本研究では補強材が格子状で交点数を多く設けることができる面部材を対象とした。これが面外荷重を受けることを想定し、孟宗竹を用いた BRC 床版の押抜きせん断強度を実験的に求め、既往の算定式の適用性について検証することを目的とした。

## 3. 研究の方法

(1) 試料である女竹および孟宗竹は山口県下関市において 11 月に伐採した。竹材は 10 月以降に成長が緩慢になり、その時期に伐採すると水分が比較的少なく、虫も湧かない良好な状態で入手できるためである。もちろん、その場合でも竹材にはまだ多量の水分が含まれている。実際に鉄筋代替材として用いる場合、竹材を乾燥状態にするのか自然状態（＝高含水状態）のまま用いるのかは最初に検討しなくてはならない。そこで、まず女竹の水分逸散状況を確認し、その含水量を調べた。

次に、女竹は径が比較的小さいためそのまま用いることとし、径が大きな孟宗竹は繊維方向に割裂して用いることを前提として、その状態での強度試験を行った。竹材の引張強度を測定する際、鉄筋の引張強度測定で用いられる「金属材料引張試験方法 (JIS Z 2241-1998)」に準ずるのが適切と考えられる

が、割裂せずに用いる女竹の場合は内部が空洞であるため、グリップ部における圧壊が生じることが容易に予測される。その対策として、図-1のようにグリップ部の内部に種々の硬化材を充填することで対応策となり得るかを検討した。

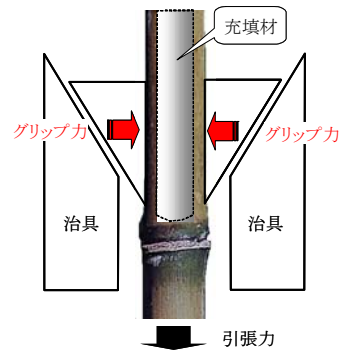


図-1 女竹のグリップ部の空洞充填図

孟宗竹は直径が大きいため、繊維方向に割裂して曲率の影響が小さくなる程度まで加工した。また、両竹材に共通な問題として、グリップ部における治具との滑り現象も懸念される。これについても対策を講じることとした。さらに、コンクリート中における孟宗竹の吸水特性について実験的検討を行った。すなわち、水セメント比の異なるコンクリート中に、絶乾状態の孟宗竹を挿入し、経時的な吸水率を測定した。

(2) 乾燥させる女竹は直径 1~2cm (長さ 120~130cm) のものを各々 3 体とし、伐採直後から気温 20℃、湿度 45%の恒温恒湿室内にて質量変化を調べた。引張強度試験においては、女竹の充填材としてセメントペースト、エポキシ樹脂、高温で融解し液体となり常温では固体となるメタルキャッピング用の金属の中から、引張加圧時にグリップが破壊しない最適なものを選定した。その後、乾燥状態 21 本、湿潤状態 97 本の合計 118 本の試料において引張強度試験を実施した。

孟宗竹の試料は全て乾燥状態とし、節部分を含むものと含まないもの各々 47 体作製した。節は強度的な弱点になることが予想される。引張試験においては、女竹の場合、引張応力を受ける範囲内の両端部付近すなわち 2ヶ所に節がある状態で、全ての試料に載荷した。孟宗竹の場合は、節が存在しない状態と、中心部分の 1ヶ所に節が存在する状態の 2種類とした。

孟宗竹のコンクリート中における吸水特性については、水セメント比を 40, 50, 60%としたφ10×20cmのコンクリート供試体を作製した。その中に幅が約 3cm×長さが約 15cmの孟宗竹片を打設時に挿入し、材齢 7, 28 日において供試体を割裂して孟宗竹片を取り

出した直後に質量を測定し、挿入前との質量から吸水率を算出した。円柱供試体は所定の材齢まで封緘養生を行なった。測定はいずれも3本平均とした。

(3) 軸方向に割裂した孟宗竹を補強材としたBRC床版の耐力を実験的に求めた。床版の寸法は全て100×100×10cmとした。図-2のように配筋の粗密状態を2種類(1辺当たり5本および10本)とし、交点にエポキシ樹脂により接合(写真-1参照)したものと結束線のみで結合したものを作製した。表-1における換算鉄筋比 $p_s$ とは、竹材の断面積から求めた竹筋比 $p_b$ を、鉄筋と竹筋のヤング係数比である16.7(後述)で除したものである。竹筋は表層近くに配置し、有効高さは90mmおよび80mmとした。コンクリートの呼び強度は18N/mm<sup>2</sup>(実測強度25.4N/mm<sup>2</sup>, 実測スランプ7.0cm), 粗骨材最大寸法は配筋が密な場合を基準に15mmとした。

BRC床版は4隅の浮き上がり防止を設けない4辺単純支持とし、試験はコンクリートの材齢28日以降に実施した。集中荷重を床版中心部に10×10cmのゴム板を介して静的に載荷し、床版中央部でたわみを測定した。

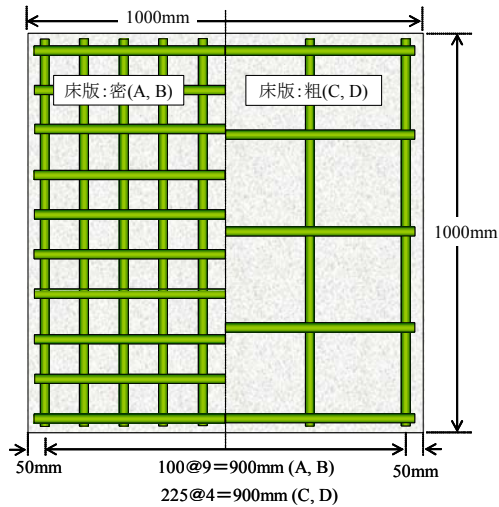


図-2 孟宗竹 BRC 床版の配筋図



写真-1 樹脂結合の状況

表-1 孟宗竹 BRC 床版の作製条件

床版記号	竹材の種類	竹材の配置	竹筋比 $p_b$ (%)	換算鉄筋比 $p_s$ (%)	接点の状態
A	孟宗竹	密	3.60	0.216	樹脂結合
B	孟宗竹	密	3.26	0.196	結束線のみ
C	孟宗竹	粗	1.75	0.105	樹脂結合
D	孟宗竹	粗	1.94	0.116	結束線のみ

#### 4. 研究成果

(1) 女竹の空洞充填材として種々の材料で比較検討した結果、空洞の充填率・グリップ部の圧縮力への抵抗性等の観点から、メタルキャッピング用の金属が最適であった。また、載荷中の竹材の滑りについては、万能試験機のペダルを人力により加圧することで容易に追従することが可能であった。

(2) 図-3に女竹の逸散水率の経時変化を示す。逸散水率とは、自然乾燥による最終逸散水量に対する各計測時点での逸散水量の割合である。材料の厚さが大きいほど絶乾状態になるまでの所要時間が大きくなり、総じて約2ヶ月以内に絶乾状態になった。表-2の(i)に女竹の引張強度を含水状態で区別して示す。乾燥時の平均引張強度は76.0N/mm<sup>2</sup>, 変動係数34.8%, 湿潤時の平均引張強度は64.1N/mm<sup>2</sup>, 変動係数24.9%となり、乾燥させた時の破壊荷重が大きく、バラツキは大きくなることを確認できる。

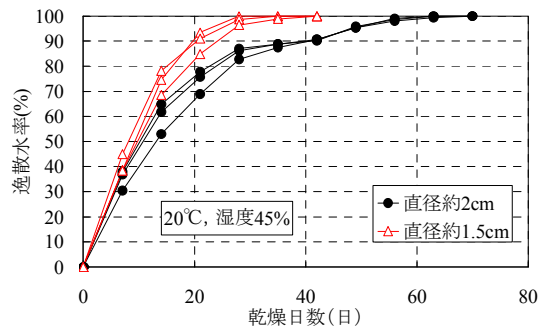


図-3 女竹の逸散水率の経時変化

表-2 竹材の引張強度

検討項目	水準	平均引張強度(N/mm <sup>2</sup> )	標準偏差(N/mm <sup>2</sup> )	変動係数(%)
(i)含水状態	乾燥	76	26.4	34.8
	湿潤	64	16.0	24.9
(ii)竹材種類	孟宗竹	112	10.8	9.6
	女竹	66	18.7	28.2
(iii)節の有無	節あり	105	9.4	8.9
	節なし	119	12.2	10.3
(iv)母材種類	母材A	118	11.2	9.5
	母材B	90	6.7	7.4
	母材C	118	9.8	8.3
	母材D	123	15.5	12.6

(3) 表-2 の(ii)に女竹と孟宗竹の全供試体における引張強度を示す。孟宗竹の引張強度は幅と厚さから算出した断面積で、最大荷重を除いて求めた。孟宗竹全体の平均引張強度は  $112.1\text{N/mm}^2$ 、変動係数 9.4%と比較の対象とすべき鉄筋の降伏点強度に対しては、丸鋼 SR235 の 48%、異形棒鋼 SD295A の 38%程度である。女竹と比較すると、(女竹の平均引張強度は  $66.2\text{N/mm}^2$ 、変動係数 28.2%)と強度は約 2 倍、またバラツキも女竹と比べると小さいことが確認出来た。

(4) 表-2 の(iii)に孟宗竹の引張強度を節の有無に分類して示す。これは各々47体のデータによるものである。節有りの平均引張強度は  $105\text{N/mm}^2$ 、節無しでは  $119\text{N/mm}^2$ と、節無しの方が 10%以上の強度が大きい。これは破壊箇所による影響も大きい。節有りの場合、破壊時に完全に節部分で破壊する供試体が 14 本、節部と掴み部ではほぼ同時に破壊する供試体が 21 本と、47 本中 35 本が節の破壊を伴った。すなわち節の存在による強度低下は有意である。実用時には必ず節部が存在することから、引張試験では節部が存在する状態で強度測定をする必要がある。一方、節無しの場合は 47 本全てが掴み部での破壊によるものであった。バラツキについては、節有りの場合が小さいことが確認できた。

同一地区に生息している 4 本の孟宗竹(母材)から各々24個の試験片を作製した。母材の違いが引張強度に及ぼす影響を明らかにする必要がある。表-2 の(iv)に母材毎に求めた孟宗竹の引張強度を示す。竹材が天然資源故の個体間でのバラツキに有意差があることが確認できる。したがって、実用においては予備試験を行い引張強度とバラツキを把握する必要がある。

(5) 図-4 に水セメント比と孟宗竹の吸水率の関係を示す。水セメント比が大きいと吸水率が大きくなるが、材齢の経過に伴い吸水率が小さくなる傾向が確認できる。すなわち、コンクリート中の孟宗竹は初期材齢では一度吸水するが、水和の進行により水分が消費されると再度乾燥することがわかる。

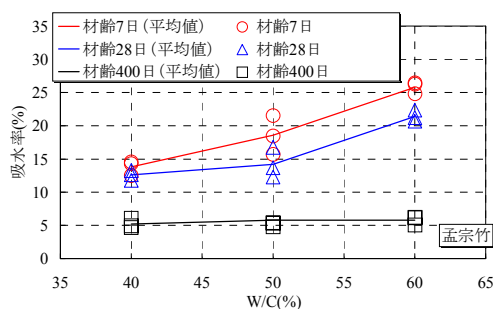


図-4 コンクリート中の孟宗竹の吸水率

表-2 の(i)に示すように竹材の含水率が高いと引張強度が低下し、竹材の再吸水率を出来るだけ抑制するにはコンクリートの水セメント比は小さい方が望ましい。ただし、部材が乾燥条件下にあると、長期材齢になるほど竹材の再乾燥も進行するため、それに伴って竹材強度も回復するものと考えられる。

(6) 図-5 に孟宗竹の引張応力と引張ひずみの関係の一例を示す。いずれの部位でも脆性破壊を示した。また、内側上部の掴み部を除き、他の部位ではほぼ同様の応力ひずみ関係が確認できる。これらより求めた引張ヤング係数は  $11,928\text{N/mm}^2$ となり、鉄筋のヤング率を  $200\text{kN/mm}^2$ とした場合、その 16 分の 1 程度である。後述の理論値の算定時にはこの値を用いた。

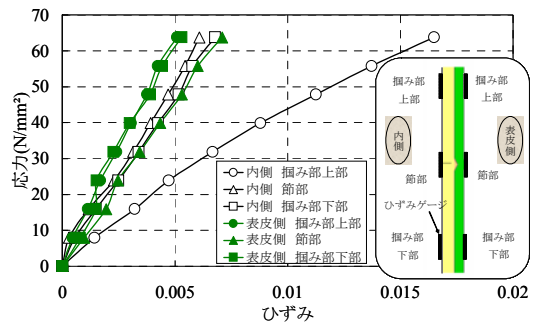


図-5 孟宗竹の応力ひずみ曲線

(7) 表-3 に各 BRC 床版のひび割れ発生荷重、破壊荷重、破壊形態を示す。密に配筋した方がひび割れ発生荷重、破壊荷重ともに大きく、交点の樹脂接合による強度増進効果は密に配筋した場合に確認できた。密配筋の場合は交点数が 4 倍で、樹脂量も多いためと考えられる。樹脂接合しない場合は载荷中に竹材のすべりが生じたと推察される。破壊形態は、密配筋の床版 A, B は押抜きせん断破壊、粗配筋の床版 C, D は曲げ破壊を示した。以上より、配筋を密にし、交点は樹脂結合することが望ましい。

表-3 BRC 床版の強度試験結果

床版記号	ひび割れ発生荷重 (kN)	破壊荷重 (kN)	破壊形態
A	48.0	81.6	押抜きせん断
B	24.5	57.2	押抜きせん断
C	20.6	43.1	曲げ
D	20.6	46.1	曲げ

図-6 に荷重と床版中央のたわみの関係を示す。荷重 40kN 付近までの剛性に大きな差はない。これは孟宗竹のヤング係数が大幅に小さく、弾性域における剛性の向上効果がないことを意味する。ひび割れは床版の各側面のスパン中央付近から発生し、本数よりもひ



び割れ幅の拡大の方が顕著であった。载荷中の被りコンクリートの落下はなかった。



写真-2 床版 A (配筋：密，交点樹脂接合)

破壊形式で押抜きせん断破壊を示し，最も強度が大きかった床版 A について理論値を算定した．JSCE 式により部材係数  $\gamma_b$  を 1.0 として求めた理論破壊荷重は 75.1kN であり，十分に安全側に設計できている．図-7 に JSCE 式，AIJ 式，ACI 式，Euro Code 2 式，角田式，松井式，Gardner 式 により求めた理論値に対する実験値の比率を示す．JSCE 式および松井式により精度の良い理論値を算出できた．AIJ 式および ACI 式では危険側に算出された。

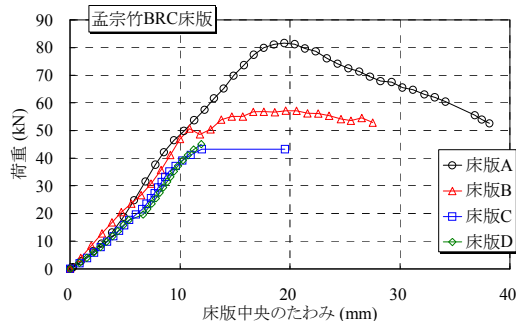


図-6 孟宗竹 BRC 床版の荷重たわみ曲線

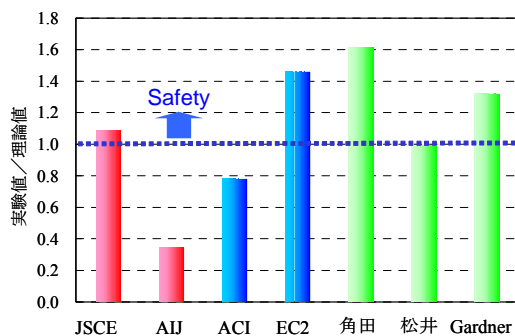


図-7 BRC 床版 A の算定式への適用

図-8に呼び径の異なるSD295Aを用いて算定した床版強度の理論値を，床版 A と比較して示す．孟宗竹床版の強度は D6 の理論値とほぼ同程度となる．汎用性の高い D13 に対しては 60%程度の強度であり，同程度の強度を持たせるには，床版厚を増加させるなどの対策が必要となる。

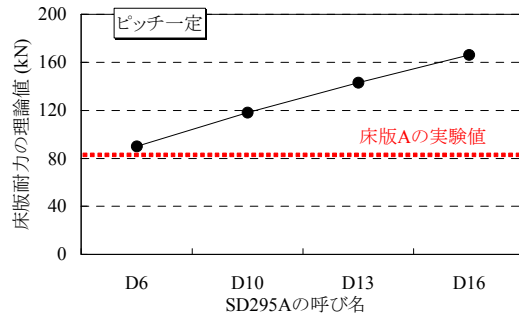


図-8 床版 A と鉄筋床版の耐力の理論値

以上の結果を総括して，孟宗竹が低強度コンクリート部材への補強材として適用できる可能性を示すことができた。

## 5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

〔雑誌論文〕 (計 1 件)

①松尾榮治, 高海克彦: コンクリート補強材としての竹材の適用性, 土木学会論文集 F, (掲載決定)

〔学会発表〕 (計 0 件)

〔図書〕 (計 0 件)

〔産業財産権〕

○出願状況 (計 0 件)

○取得状況 (計 0 件)

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

松尾 榮治 (MATSUO EIJI)

山口大学・大学院理工学研究科・助教

研究者番号：10284267