

論文 竹とコンクリートの付着性状に関する実験的研究

寺井 雅和^{*1}

要旨：竹筋コンクリート構造が成立するためには、竹主筋とコンクリートが高い付着力で一体化する必要がある。竹の表面は摩擦がほとんどないため、大きな付着力は期待できない。そこで、本研究では、コンクリートと丸竹との付着力を向上させるために、竹材の表面処理や表面加工を施す方法を提案し、載荷試験により竹の付着すべり性状について検証した。また、付着力を引き起こす成分として表面固着力と節や串による機械式抵抗力に分解し、これらの累加により付着力を計算する方法も提案し、竹主筋の付着性状について定量的に評価した。

キーワード：竹, 付着, コンクリート, 竹筋コンクリート梁, 引抜き試験

1. はじめに

竹の引張強度は、鉄筋の約 1/2 の強さがあり、中には同等の強さを示す竹もある。また、竹は成長が早く、日本国内はもとより中国から東南アジアにいたる広い地域に成育するので、入手が比較的容易である。この竹を鉄筋コンクリート構造の主筋として鉄筋のかわりに用いる、いわゆる竹筋コンクリートに関する研究は、日本では戦前から盛んに行われた。竹筋コンクリート構造物は戦時中から終戦直後まで全国各地でつくられていったが、その後、戦後復興により鉄鋼の生産供給が安定したため、竹筋コンクリートに関する技術や研究開発は姿を消した。しかしながら、化石燃料の使用などによる生活環境の悪化により、環境問題は 20 世紀後半に全世界的な問題となり、環境負荷の低減が注目されるようになった。

鉄筋コンクリート構造の代替として竹筋コンクリート構造が成立するためには次のような問題があり、その対策に様々な処理や加工が必要となる。①コンクリートの中でアルカリ性の水分を吸収すると組織が破壊する。②外皮が滑らかなため、コンクリートが付着し難い。③竹は、根元と先端は太さが違うため強度が異なる。

特に重要なのは付着の問題で、滑らかな竹の表面とコンクリートとは、固着力で接着している、これが引き剥がれ滑り出すと、あとは摩擦力だけで抵抗するのみとなる。この現象は丸鋼を使用した鉄筋コンクリートの研究でいくつか事例があるが¹⁾²⁾、現在は異形鉄筋の使用が一般的となっている。竹をコンクリート構造物の主筋に利用する研究は、国内外でいくつか見られるが、竹主筋の付着性状に関する研究事例はほとんどない³⁾。筆者らは、過去に竹筋とコンクリートの付着性状に関する実験研究を行い、①竹筋がすべり始める付着力は、丸鋼よりやや大きく 0.4~0.6N/mm² 程度である、②竹筋と普通コンクリートの付着すべり性状は、丸鋼と同じ傾向で推

移する、③竹筋にはふしがあるので、これが機械的な抵抗を示すが、すべり量増大とともにコンクリートによる支圧力でふしが潰れる。ふしの高さが小さくなると、表面摩擦力のみの抵抗となるので、丸鋼同様大きな付着力は期待できない、④竹筋の太さは場所によって異なるので、表面積から算出する付着力の評価は難しいこと、などを明らかにした⁴⁾。

本研究では、竹筋コンクリート構造が成立するために必要なコンクリートと竹の付着力を向上させるために、竹の表面にゴムコートをし、さらに竹串を差し込んで凹凸をつけることで機械的抵抗させる表面加工をする方法を提案する。提案した表面処理と表面加工による付着性状について、引抜き試験と曲げ試験を行い確認した。

表-1 コンクリートの材料特性

配合	15-18-15	材齢	62日
スランプ	16.0cm	圧縮強度	16.2
空気量	5.20%	(N/mm ²)	

2. 引抜き試験

2.1 使用材料

本実験で使用した竹は、本竹という名前で販売されている竹であるが、産地などは不明である。外径16, 24mmの竹材を丸竹のまま使用している。ここで、丸竹とは切削加工していない伐採された状態のままの竹を意味する。

コンクリートは、フレッシュ性状および硬化コンクリートの強度を表-1に示す。当研究室で過去に行われた研究結果⁵⁾から、竹材と組み合わせるコンクリート強度は、低い方が性能は向上する結果が出ている。これは、コンクリートは強度が低い方が靱性は大きく、軟らかい竹との相性がよいと考えられることから、引抜き試験では低強度コンクリート (Fc15) を使用した。

*1 近畿大学 工学部建築学科准教授 博士 (工学) (正会員)

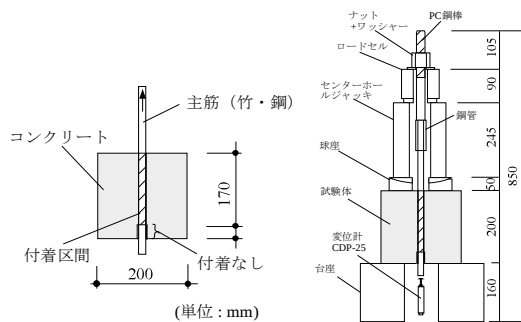


図-1 引抜き試験体詳細

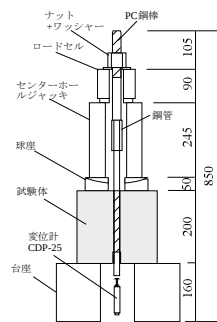


図-2 荷重装置

2.2 供試体

付着試験の供試体は、既往の研究報告を参考にして、また荷重装置の寸法や形状を考慮して、一辺を200mmのコンクリート立方体の中心に主筋を1本配した引抜き試験体とした(図-1)。竹材を2種類、比較のために丸鋼19φと異形鋼D19の合計4体を試験した。試験体の自由端には、抜け出し量の計測でコンクリート境界の影響が出ないように30mm程度付着を切った。したがって、主筋の径にかかわらず付着長は170mmとなる。

竹の表面は、固く滑りやすいので付着が得られないために、既往の竹筋コンクリートの研究では、割竹として多い場合が多い³⁾。しかし、割竹の場合コンクリートの水分を吸収しやすいため膨張弛緩を繰り返し、付着が失われることが既往の研究で指摘されている。また、コンクリートのアルカリが、竹の脂肪分を分解するために強度を失うことも知られており、割竹をコンクリート内に埋め込む場合は、防水加工や耐アルカリ加工が必要となる。本実験では、特殊な材料や高価な材料ではなく、容易に入手可能なものとして、スプレー式防水剤として販売されている合成ゴムを防水加工に使用した。

試験体は、型枠を木製で制作し、コンクリートを打設した。コンクリートは、竹材の材軸方向に打った。梁部材のように、コンクリートを横打ちすると、打設後に上がってきた空気が主筋の下に溜まり、それが原因で付着性能が低下することが指摘されているが、本実験ではその点について心配はない。

2.3 加力・計測方法

引抜き試験の荷重装置を、図-2に示す。センターホールジャッキを用い、ロードセルを介して主筋に引張り力を与えた。なお、センターホールジャッキと試験体の間には、主筋とコンクリート端面に曲げ荷重が発生しないように球座を設けている。主筋のすべり量は、試験体底面の自由端に取り付けた変位計によって測定した。

2.4 実験結果および考察

図-3に、引抜き試験の結果を示す。縦軸の付着応力度は、式(1)で表すように、ロードセルで検出された引抜

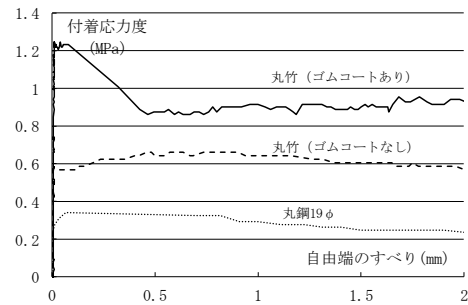


図-3 付着応力 - 主筋拔出し量関係

表-2 付着応力度の比較

主筋種類	径 D (mm)	初動時の付着応力* (MPa)	最大付着応力度* (MPa)
		0.002D	τ_{max}
丸竹 (ゴムコート)	23.56	1.22	2.26
丸竹	16.00	0.57	1.05
丸鋼	19φ	0.31	0.57
異形鋼	D19	3.29	6.09

*:コンクリート強度による補正あり

き荷重 Q を、主筋の周長 ϕ と付着長さ l の積で計算される表面積(= $\phi \times l$) で除した値とするが、試験体によるコンクリート強度のばらつきを統一するために、既往の研究⁹⁾から線形補間による補正をする。横軸のすべりは、試験体自由端側に取り付けた変位計の値とする。

$$\tau = \frac{Q}{l \cdot \phi} \cdot \alpha \quad (1)$$

ここに、 Q : 引抜き荷重 (N)、 ϕ : 主筋の周長 (mm)、 l : 付着長さ (=170mm)、 α : コンクリート強度に対する補正係数 (=30/ σ_c 、 σ_c : コンクリート圧縮強度N/mm²)。

図-3より、丸鋼の場合、すべりを伴う変位を生じた時点で丸鋼とコンクリートの付着力を喪失し、丸鋼とコンクリート間の摩擦力のみで、引き抜き力に抵抗する。ゴムコートなしの竹は、すべり始めてからもほぼ一定の付着力を保持する。これは、竹にはふしがあるので、コンクリートとの引き抜き抵抗として作用していると考えられる。表面をゴムコートした竹では、付着すべりが始まる強度が2倍に向上する。付着すべりが始まって0.4mm以降一定となるが、この値もゴムコートがない竹よりも高くなっている。これは、表面に塗布したゴムが摩擦抵抗を大きくしたためと考えられる。

表-2 に、試験の結果から、最大付着応力度およびすべり量が 0.002Dmm (D は主筋の径) における付着応力度を読み取ってまとめる。図-4 に既往の研究⁷⁾で説明されているメカニズムを引用するが、未処理竹材は、竹の素地がコンクリートと接しているため、打ち込み直後からコンクリート中の水分を吸収し、硬化までに膨張弛緩を繰り返し付着が失われたと考えられる。丸竹の初動時の付着応力度は、0.57MPa である。一方、表面全体をゴムコートした試験体では、膨張弛緩が生じていないと

考えられ付着応力度が 1.22MPa と高くなっている。異形鉄筋に比べると半分以下ではあるが、丸鋼の 4 倍程度の付着力が期待できる。

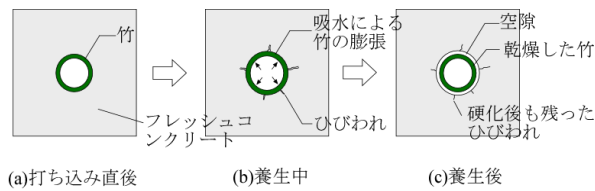


図-4 コンクリート中の竹の膨張弛緩⁷⁾

表-3 試験体諸元

試験体	径 (mm)	規格			本数	主筋比 p_t (%)
		串の出 (mm)	ピッチ (mm)	表面処理		
RC	丸鋼 9φ	SR294			2	0.28
BRC-1	竹 15φ	なし		なし	2	1.05 充実断面 として
BRC-1G		なし		ゴムコート		
BRC-2		4	@15	なし		
BRC-3G			@50	ゴムコート		
BRC-4			@100	なし		
BRC-4G			@100	ゴムコート		

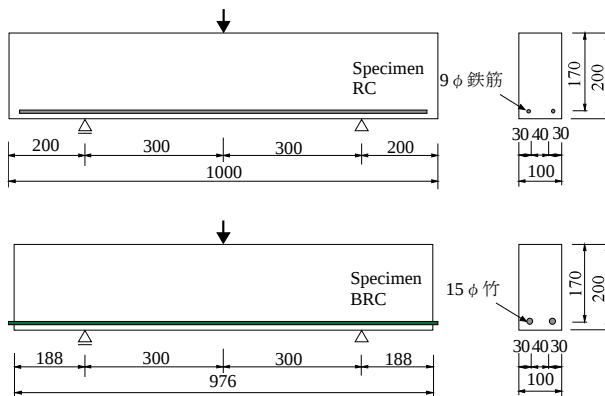


図-5 はり試験体詳細 (単位:mm)



図-6 竹串竹筋

3. 梁部材による付着強度

3.1 試験体

引抜き試験では、ゴムコートによる表面処理を施すことで付着力向上が確認できたが、これだけではまだ十分に高い付着強度は期待できないため、竹の表面に何らかの加工を施して、コンクリートとの噛み合いによって付着力向上を図る。本研究では、竹に穴をあけ竹串を差し込むだけの簡単な加工をした竹串竹筋を試みた。竹串の長さやピッチ、更に引き抜き試験で付着力向上が確認された表面のゴムコートについてもパラメータとして、複数の梁型試験体を製作し、曲げ載荷試験を行った。

表-3 に試験体諸元、図-5 に試験体の形状および配筋状況を示す。竹主筋のコンクリート梁を 6 体、比較のために鉄筋コンクリート梁 1 体の合計 7 体を計画する。実験のパラメータは、竹串のピッチとして、0, 15, 50, 100mm (ピッチ 0mm は、竹串加工のないもの)、ゴムコートした 3 体を設定した。竹串は、図-6 に示すように、設定したピッチにドリルで穴を開けて竹串を差し込むが、同一線上に穴が連続すると竹が縦割れをするので、串を 90 度ずつ回転させて差し込んだ。竹串の出は、約 4mm 程度とした。

試験体の寸法は、全て同一で、断面幅 100mm、断面せい 200mm、梁長さは 1000mm とするが、竹主筋試験体は、主筋端部のすべり量を実測するため、主筋端部を 12mm 程度小口面から出るよう製作したため、コンクリート部分の外寸は図-5 に示すように 976mm となる。引張主筋の有効高さは 170mm であり、せん断補強筋は配置していない。

3.2 使用材料

表-4 に主筋で使用した鉄筋および竹の材料試験結果を示す。竹は自然素材なので、試験体により太さや強度が異なっているが試験体ごとに詳細に評価すると煩雑になるため、3 本の材料試験を行った平均値として表-4 の値を算出した。試験体ごとに製作・実験時期が異なるが、先行した RC 部材の実験結果と比較するため、梁型実験ではコンクリート強度は Fc30 程度で製作し、引抜き試験結果(Fc15)と対比するために、実験値は強度補正を行っている。表-5 に試験体ごとのテストピースによる材料諸値を示す。

表-4 主筋の材料諸値

規格	降伏強度 (N/mm ²)	引張強度 (N/mm ²)	ヤング係数 (kN/mm ²)
丸鋼 SR 9φ	485	605	205
本竹 外径14.9mm 内径9.4mm	-	122	17.2

表-5 コンクリートの材料諸値

試験体	圧縮強度 (N/mm ²)	引張強度 (N/mm ²)	ヤング係数 (kN/mm ²)
RC	34.0	2.93	28.6
BRC-2	32.2	2.55	28.4
BRC-1G, -3G	38.5	2.99	35.1
BRC-1, -4, -4G	40.1	3.05	30.0

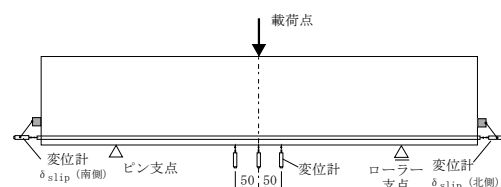


図-6 ゲージ貼付け位置と変位計測点

3.3 加力方法・計測

実験は中央1点を一方向に押す集中荷重で行った。全ての試験体で、せん断スパン 300mm (せん断スパン比 $a/d=1.76$) とする。梁の変形は、図-6 に示す梁下面3点で計測した。以降、梁の“たわみ”は、これら3点の変位量を単純平均した値とする。また、竹主筋梁では、梁の小口面から出した主筋端部に変位計を当て、すべり量を計測した。

3.4 実験結果および考察

3.4.1 竹串ピッチの影響

竹を主筋とした試験体 (BRC : Bamboo Reinforced Concrete) は、荷重後梁下側の引張域から曲げひびわれが発生し、変形の増大とともに荷重点に向かって伸びた。実験終了まで、一本の曲げひびわれ以外、表面に見えるひびわれは発生しなかった。ただし、竹串ピッチ 50mm の試験体 (BRC-3G) は、せん断スパン内にせん断ひびわれが発生し、変形の増大とともに主筋沿いの付着割裂ひびわれも発生した。竹串ピッチがさらに小さな試験体 (BRC-2, ピッチ 15mm) は、串のピッチが小さかったため、変形の早期に竹が縦割れを生じ、たわみ 2mm 過ぎに急激に荷重が低下した。このことから、串が多いほど付着力は高くなると考えられるが、主筋に穴が開くことにより断面欠損をして、曲げ変形能力には有効ではないと言える。

図-7 に、竹串ピッチをパラメータにした4体の試験体および比較のため丸鋼を主筋とした鉄筋コンクリート (RC) 試験体1体の荷重 - たわみ関係を示す。縦軸は、荷重点荷重で、横軸は梁下に設置した3つの変位計の平均値である。図-8 は、初動の推移を拡大してみるために、たわみ 3mm までの部分を示している。RC 試験体は、高い剛性を保ったまま 73kN まで耐え、たわみ 2mm 程度でせん断ひびわれが発生後、急激に耐力が低下した。竹筋コンクリートは、竹主筋の表面状態にかかわらず、たわみ 0.1~0.2mm 程度で曲げひびわれ発生に伴って一旦荷重が低下するが、その後主筋の付着抵抗により、再び荷重は増加に向かうものの、曲げひびわれ発生後は、中空丸竹の曲げ剛性が小さいため、RC 試験体に比べて小さい剛性で変形が進んだと考えられる。竹串のピッチが 50mm の試験体 (BRC-3G) は、串の本数が多く表面にゴムコートしているため、曲げひびわれが発生しても荷重低下は起こらなかった。竹串加工のない試験体 (BRC-1) は、たわみ 3mm 過ぎから竹が割れ、割れが生じるたびに荷重が落ちるが、再び緩やかに荷重は増加する。たわみ 11mm 程度で最大荷重を迎え、大きな音とともに竹主筋が破断し、急激な耐力低下をみせた。竹串を刺した試験体では、串の本数が多くなるほど付着抵抗が大きくなることに期待したが、ピッチ 15mm の試験体 (BRC-2)

は、主筋に開けた穴の数が多くなり断面欠損から早期の変形で主筋が割れ、曲げ変形に抵抗できなくなった。ピッチを広げ竹串の本数を減らした試験体 (BRC-4) は変形が伸び、たわみ 6mm 過ぎで最大耐力を迎えた。

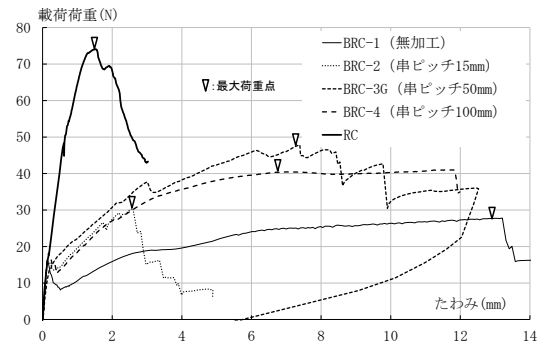


図-7 荷重 - たわみ関係 (竹串ピッチの違い)

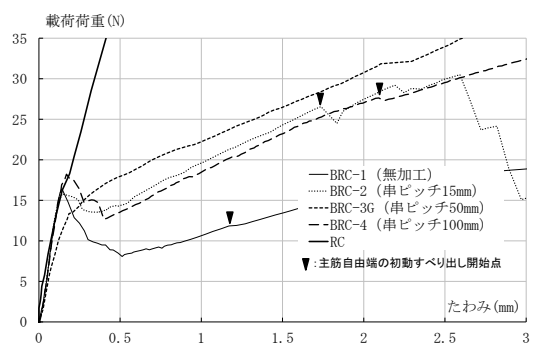


図-8 荷重 - たわみ関係 (たわみ 3mm までの拡大)

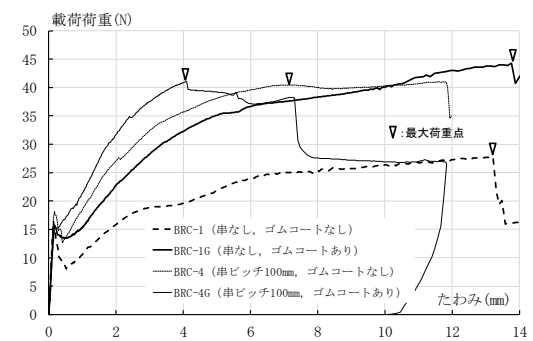


図-9 荷重 - たわみ関係 (ゴムコート有無の違い)

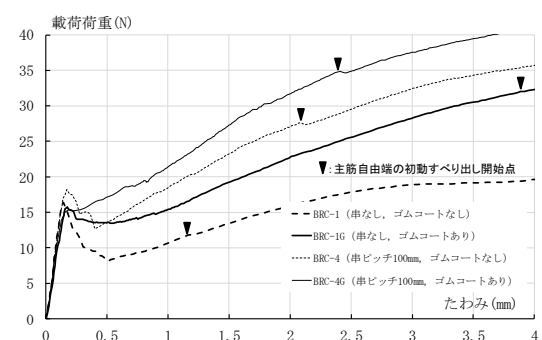


図-10 荷重 - たわみ関係 (たわみ 4mm までの拡大)

3.4.2 ゴムコートの影響

図-9, 図-10 に主筋の表面状態(ゴムコートの有無)の違いを比較した試験体の荷重-たわみ関係を示す。ゴムコートがある試験体は、曲げひびわれが発生しても荷重低下が小さく、その後やや高い剛性で推移している。これは、ゴムコートがあることにより竹とコンクリートが隙間なく接しており、固着状態から表面摩擦状態への移行がなめらかに推移しているためと考えられる。また、主筋自由端の初動すべり出し開始点も、ゴムコートをした方が遅れることがわかり、ゴムコートによって付着性状が向上している。付着性状の向上により、BRC-4G の試験体では曲げ剛性は高くなったが、たわみ 4mm 程度でコンクリートにせん断ひびわれが発生し、早期に荷重低下が生じた。

3.4.3 主筋の抜け出し性状

図-11 に示す力のつり合いから、載荷荷重 P を主筋の抜け出し力 T に換算する。引張主筋の引張力 T は、主筋の付着応力度を主筋の全表面で累加した力を等値して、梁部材内の主筋に作用する付着応力度を次式で表す。

$$\tau = \frac{P \cdot a}{2j \cdot \phi \cdot l} \cdot \alpha \quad (2)$$

ここに、 P : 梁部材の載荷荷重 (N), a : せん断スパン (=300mm), ϕ : 主筋の全周長 (mm), l : 付着長さ (=488mm), j : 応力中心間距離 (=149mm), α : コンクリート強度に対する補正係数 (=30/ σ_c , σ_c : コンクリート圧縮強度 N/mm²)。

図-12 に、3 体の竹主筋の引抜き力-抜け出し量の関係を示す。主筋両端を計測しているが、図-6 のローラー支点側を北側、ピン支点側を南側と呼ぶ。縦軸は、主筋の抜け出し力 T とし、横軸は梁端の小口面から出した主筋端部のすべり量 δ_{slip} としている。図-12 の右図は、すべり量 1mm までを切り取って描いているが、縦軸は式(2)により計算した付着応力度とする。大きな主筋すべりは、曲げひびわれを挟んだ片側だけで進んでいることがわかる。串の本数が多い BRC-3G 試験体では、竹主筋はほとんどすべらず、極めて高い付着性能が得られたことが確認できる。曲げひびわれが生じて、付着切れが部材端部に広がり端部のすべり抜けが始まる点は、図-8 と図-10 の▼点に初動すべりとして示しているが、ピッチが 50mm の BRC-3G 試験体は、最大荷重を過ぎ荷重が低下した後に初動すべりが始まった。また、ピッチが 15mm の試験体 BRC-2 では、変形の初期段階で主筋に立て割れが生じたために、初動すべりが早く荷重低下も早くから起こった。その他のピッチ 0, 50, 100mm の試験体と比較すると、ピッチが小さく串の本数が多いほど、初動すべり開始点は遅れており、付着性状が高いことがわかる。

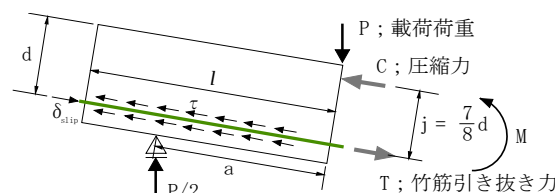
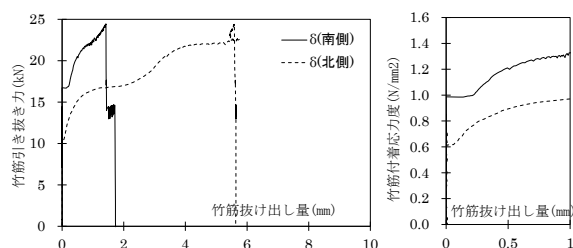
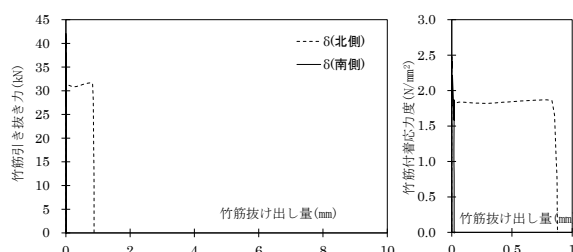


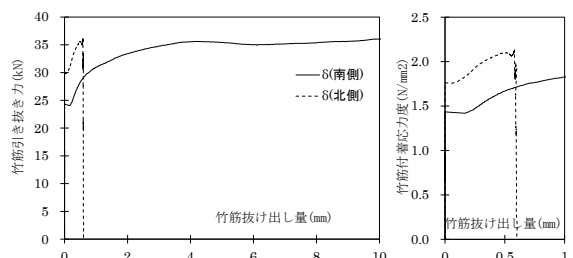
図-11 力のつりあい



(a) 無加工 (BRC-1)



(b) 串 50mm ピッチ (BRC-3G)



(c) 串 100mm ピッチ (BRC-4)

図-12 主筋の抜け出し

4. 竹の付着強度の算定

梁型試験体による引張主筋の引抜き試験から、竹主筋の付着強度の算定を試みる。竹串加工およびゴムコートを施した竹筋の引抜き耐力は、竹表面の固着(膠着)力と、節や串による機械的抵抗力に分けられるとする。固着力や節による抵抗は、引抜き試験の結果などからピーク値を過ぎても荷重低下をしないと仮定し、各抵抗力を累加できると考える。串による機械的抵抗は、本数が少ない試験体では低い値を示すものがあるが、ここでは簡単のため累加して検討する。また、固着力は表面にゴムコートを施すことで、より高い値を示すことが引抜き試験からも確認できているため、ゴムコートの有無による付加分も定量的に評価する。

表－6 主筋の材料諸値

試験体	ピッチ (mm)	竹串比(本) (長さ10mm当 たりの串本数)	実験値			計算値				実験値÷ 計算値 τ_{exp} / τ_{cal}	
			竹主筋 の周長 (mm)	圧縮強度 (N/mm ²)	付着応力度* τ_{exp} (MPa)	付着応力度 (a)+(b)+(c)+(d) τ_{cal} (MPa)	(a)粘着力 +(b)摩擦力	(c)機械的 抵抗			(d)ゴム コート
								節	串		
BRC-1	0	0	112.5	40.1	0.22	0.57	0.31	0.26	-	-	0.38
BRC-1G	0	0	117.0	38.5	0.42	1.22			-	0.65	0.34
BRC-2	15	0.67	93.6	32.2	0.55	2.08			1.51	-	0.26
BRC-3G	50	0.20	120.5	38.5	0.64	1.66			0.44	0.65	0.39
BRC-4	100	0.10	118.5	40.1	0.36	0.78			0.21	-	0.46
BRC-4G			120.5		0.45	1.43				0.65	0.31

*:コンクリート強度による補正あり

付着強度の負担分は、引抜き試験結果（表－2）より次のように抽出した。なめらかな竹の表面とコンクリートとの固着力は、丸鋼の引抜き試験より0.31MPaと同じ値と考える。丸竹の付着応力（=0.57MPa）は丸鋼より0.26MPaだけ大きい、これが竹節による負担分とする。竹は表面にゴムコートをする、と0.65MPaだけ高くなっている、これをゴムコートによる増加分とする。竹串による機械的抵抗は、表－6に示す“竹串比（長さ10mm当たりの串本数）”をもとに計算した結果、串1本当たり0.0456MPaとなったので、付着部分に含まれる串の本数分だけ累加して求めた。

以上から、竹主筋の表面状態から竹筋の初動抜け出し時耐力を計算した値（ τ_{cal} ）を、表面状態に応じた負担分を累加して表－6に示す。実験値は、図－8と図－10に▼で示した位置における載荷荷重を、式(2)により付着応力度で示している。実験値÷計算値の値は、実験値が低かったと思われる1体（BRC-2）を除き0.31～0.46となった。計算値 τ_{cal} は、主筋を縦打ちした引抜き試験から求めた付着応力度で、実験値 τ_{exp} は、梁試験体の下端主筋から得た付着応力度である。一般的に、付着応力度は、主筋の配置方向によって相当異なる。これは、ブリーディングの影響により主筋周囲のコンクリートの品質が相違するためであり、下端筋の平均付着応力度は、垂直筋のそれに比べて0.3～0.5倍程度になる⁸⁾。このことから、本実験結果とその評価法は、これまで得られている知見と定量的にもほぼ一致することが確認できた。

5. まとめ

竹筋コンクリート構造が成立するためには、竹主筋とコンクリートが高い付着力で一体化する必要がある。竹の表面は摩擦がほとんどないため、大きな付着力は期待できない。そこで、本研究では、コンクリートと丸竹との表面付着力を向上させるために、①竹材がコンクリート中で吸水乾燥して膨張弛緩しないように、表面をゴムコートする、②竹串を差し込んで機械的抵抗力を高める、

という簡単な加工を施した竹主筋を提案した。引抜き試験と梁型試験体による曲げ試験を行い、提案した竹主筋の付着－すべり性状について検証した結果、ゴムコートと串加工により付着力向上への有効性が確認できた。また、付着力を引き起こす成分を分解し、これらの累加により付着力を計算する方法も提案し、梁型試験体の竹主筋の付着応力度について定量的な評価ができた。

参考文献

- 1) 荒木秀夫, 吉田俊太郎, 洪成, 加川順一: 低強度コンクリートと丸鋼の付着強度とその補強効果, コンクリート工学年次論文集, Vol.32, No.2, pp.883-888, 2010.7
- 2) 松岡由高, 中村 光, 国枝 稔, 河村精一: 有限要素解析による主筋に丸鋼を用いたRC部材の力学挙動評価, コンクリート工学年次論文集, Vol.33, No.2, pp.595-600, 2011.7
- 3) 河合紘茲, 川村政史, 笠井芳夫: 竹筋ソイルセメントコンクリートの付着性状, 暴露試験および曲げ性状に関する実験研究, コンクリート工学論文集, 第11巻, 第2号, pp.29-37, 2000.5
- 4) 寺井雅和, 南 宏一: 竹筋コンクリートの付着性状および曲げ性状に関する基礎的研究, コンクリート工学年次論文集, Vol.32, No.2, pp.1183-1188, 2010.7
- 5) Masakazu TERAII and Koichi MINAMI: Research and Development on Bamboo Reinforced Concrete Structure, 9th International Symposium on Architectural Interchanges in Asia, Gwang-Ju(Korea), 2012.10
- 6) 村田二郎: 解説 鉄筋とコンクリートの付着強度試験方法, コンクリート工学, Vol.18, No.4, pp.14～22, 1980.4
- 7) Ghavami, K.: Bamboo as reinforcement in structural concrete elements, Cement and Concrete Composites, vol.27, no.6, 637-649, 2005
- 8) 日本コンクリート工学会: 『コンクリート技術の要点'16』, 2016