

竹	機械式定着	静的引抜き試験
付着	低強度コンクリート	

## 1. はじめに

### 1.1 研究背景

鉄筋コンクリート構造物の補強材には、鋼材が使用されている。しかし、鋼材の価格高騰、製造時の二酸化炭素排出による環境問題が懸念されている中、近い将来、鋼材の使用が制限されていることも考えられ、鋼材に代わる材料を用いた「ものづくり」が期待される。

竹は、東南アジアを中心に世界各地に600種、日本でも約150種が生育している。さらに、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生育するので、入手や加工が容易であり、かつ軽量なので運搬コストが低く、建設分野に竹材を積極的に活用することで、建築物の製造コストを低く抑えることが可能になる。また、竹筋の引張強度は、鉄筋の約1/2程度であり、中には同等の強さを示す竹もあることから、鉄筋の代用品として利用され、いわゆる「竹筋コンクリート構造」が建設されている地域が世界にはある。日本でも戦時中から終戦直後まで全国各地でつくられていたが、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。

### 1.2 研究目的

筆者らは、過去に竹筋コンクリートの梁・柱・面部材の力学性状、竹とコンクリートの付着性状などの実験的研究を行っており、多くの基礎データを蓄積している。しかしながら、構造物の設計をするためには、竹とコンクリートとの複合材料としての性状、すなわち付着性状や継手・仕口など接合部の詳細設計について検証が必要である。数年前には、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 $0.4\sim 0.6\text{N/mm}^2$ 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<sup>[1]</sup>。

本研究では、竹主筋端部の定着の設計方法を確立するための要素実験を行い、竹筋定着の性能を確認することを目的とする。

## 2. 実験概要

### 2.1 供試体

#### 1) 竹

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を入手した。恐らく真竹（マチク）の若竹を伐採して乾燥させたものと思われるが、産地など詳細は不明である。本実験では、外径約22mmの太さの竹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。

#### 2) コンクリート

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。本研究の背景から、竹筋コンクリートは、比較的材料品質の悪い構造物で活用が期待されているために、コンクリートも品質が良く、強度が高いものは想定していない。また、本実験では、竹筋を直接試験機で直接つかみ、引っ張るため、コンクリート強度が高いと、竹が割れたり、定着部分が破壊したりする心配があった。そこで、本実験で使用するコンクリートは、Fc5を目標に配合設計した。配合表を表1に示す。コンクリートは、最大骨材寸法25mm、打設時のスランプは18cm、空気量4.0%で設計した。供試体の打設方向は、すべて上面より行った。載荷試験時の圧縮強度は $3.06\text{N/mm}^2$ 、割裂強度は $0.47\text{N/mm}^2$ であった。

#### 3) 供試体

竹の定着方法を考えたとき、竹は熱加工ができるが、竹の熱加工は難しいので折り曲げ加工は高度で熟練した技術が必要であるため、折り曲げ定着は困難である。また、竹材には付着性状が期待できないため、定着部には過大な応力がかかる。そこで、フックやこぶを何らかの方法で取り付け、機械式定着を図る方法を考える。

試験体形状は、一辺を100mmのコンクリート立方体の中心に機械式定着加工した竹を1本埋め込み、引き抜く試験体とした（写真1）。通常、このような試験では、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ある程度付着を切ることが多い。しかし、竹は表面が滑らかで付着力が期待できないため、このたびの試験体では縁切りの処理は施していない。

図1に試験体詳細を、表2に試験体一覧を示す。実験要因は、機械式定着（こぶ）の長さ（10mm, 20mm）、高さ（高い, 低い）、そして数（1個, 2個）である（こぶの高さと長さの定義は、図2を参照）。また、竹材のコンクリート内部への埋め込み深さ（深い, 浅い）もパラメータとしこれらを組み合わせて合計14体の試験体を制作した。なお、鉄筋との比較のために180°フックを設けた試験体も2体制作した。試験体名は、Anchor（定着）の頭文字'A'を筆頭に、表2の枠外に示すように、実験要因をもとに表現した。なお、鉄筋はAS、こぶのない竹筋はA0でそれぞれ表記する。

表1 コンクリートの材料特性

Fc5	単位量(kg/m <sup>3</sup> )					水セメント比 W/C(%)	スランプ (cm)	空気量 (%)
	水	セメント	細骨材	粗骨材	混和剤 (AE減水剤)			
	W	C	S	G	(AE減水剤)			
	215	154	941	881	1.54	140	18	4



写真1 機械式定着

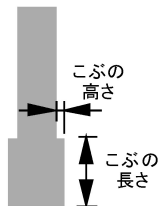


図2 こぶの長さとは高さ

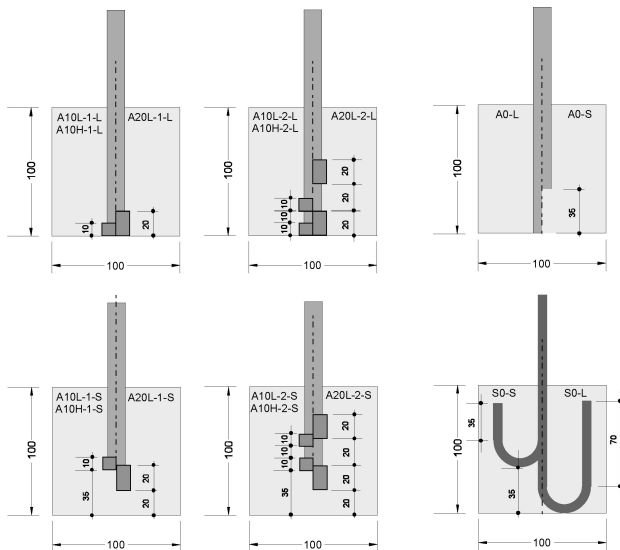


図1 試験体詳細 (単位:mm)

表2 試験体一覧

試験体	材料	こぶ長さ	こぶの数	こぶ高さ	埋め込み深さ	
AS-L	鉄筋 φ9	なし			深い	
AS-S					浅い	
A0-L					深い	
A0-S					浅い	
A10L-1-L	竹筋 φ18	10mm	1個	低い	深い	
A10L-1-S					浅い	
A20L-1-L		20mm			2個	深い
A20L-1-S						浅い
A10L-2-L		10mm	2個			深い
A10L-2-S						浅い
A20L-2-L		20mm			2個	深い
A20L-2-S						浅い
A10H-1-L		10mm	1個	高い		深い
A10H-1-S						浅い
A10H-2-L			2個		深い	
A10H-2-S					浅い	

試験体名: A10L-1-S

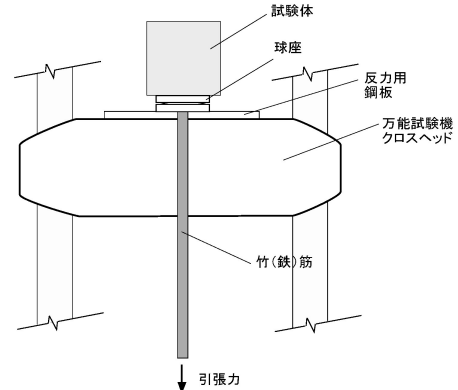


図3 荷重方法



写真2 実験装置

## 2.2 加力・計測方法

載荷装置を、図3と写真2に示す。試験体は、コンクリート打ち込み方向と上下逆さまに試験機上部ブロックの上に試験体を設置し、下部ブロックで竹の端部をつかみ、引張り力を与えて載荷を行った。なお、上部ブロックと試験体の間には球座を設けて、試験体に曲げ荷重が発生しないようにしている。主筋の抜き出し量は、ブロック間の相対変位として2本の変位計によって測定した。

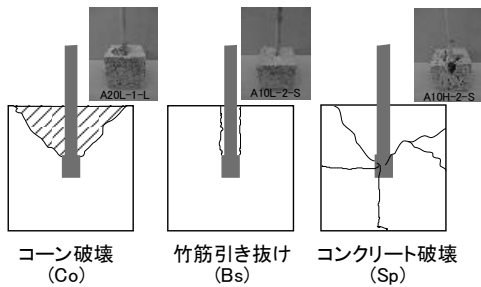


図4 破壊モード  
表3 実験結果一覧

試験体	最大荷重* (kN)	最大荷重時変位 (mm)	破壊モード
AS-L	1.84	1.91	コンクリート割れ Sp
AS-S	2.19	0.59	コンクリート割れ Sp
A0-L	1.26	3.74	コーン破壊 Co
A0-S	1.05	3.31	コンクリート割れ Sp
A10L-1-L	2.09	4.34	つかみ部割れ -
A10L-1-S	2.62	4.79	竹抜き出し Bs
A20L-1-L	2.91	7.01	コーン破壊 Co
A20L-1-S	1.18	4.86	竹抜き出し Bs
A10L-2-L	2.37	5.92	竹抜き出し Bs
A10L-2-S	1.55	4.21	竹抜き出し Bs
A20L-2-L	1.79	8.20	コンクリート割れ Sp
A20L-2-S	1.99	3.20	コンクリート割れ Sp
A10H-1-L	2.01	4.61	コーン破壊 Co
A10H-1-S	1.13	4.39	竹抜き出し Bs
A10H-2-L	1.77	5.41	コンクリート割れ Sp
A10H-2-S	1.61	4.41	コンクリート割れ Sp

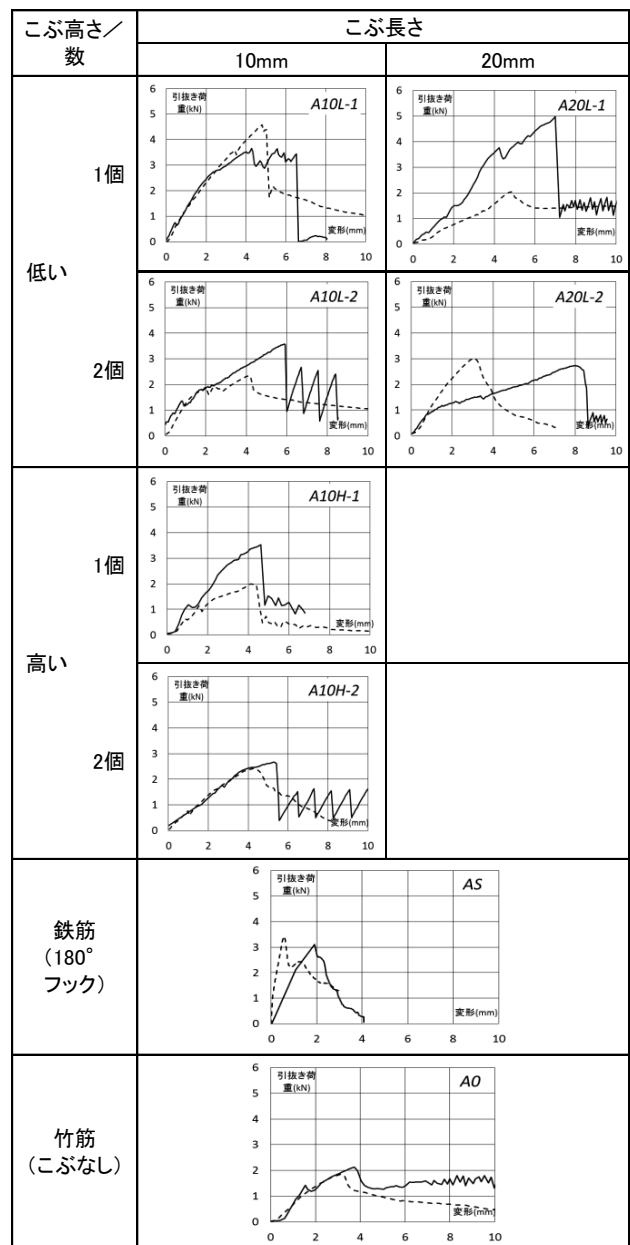
\* コンクリート強度による補正をしている  
(=最大荷重値(kN)÷√コンクリート強度(N/mm<sup>2</sup>))

## 3. 実験結果と考察

### 3.1 破壊状況

合計 16 体の引き抜き試験の結果、試験体の壊れ方は図4に示す3種類に分類できた。コーン破壊(以下、Coと表記)は、竹のこぶから放射状にひびわれが進展して、

コンクリートがコーン状に浮き上がる壊れ方である。竹筋の引き抜け(Bs)は、竹がコンクリートからすべり抜ける壊れ方で、表面上はコンクリートに損傷が起こっていない。コンクリート破壊(Sp)は、コンクリートが大きくひび割れ、割裂が生じる壊れ方。表3に、それぞれの試験体が、3種類のうちのどの破壊モードで壊れたかを示している。CoとBs、CoとSpなど、二つの壊れ方が組み合わせられたものもいくつかあったが、表3では主となった壊れ方を記してある。なお、A10L-1-L試験体は、つかみ部で竹が砕けたため、定着部での破壊が生じなかった。



実線；埋め込み深さ=深い(試験体名-L)  
点線；埋め込み深さ=浅い(試験体名-S)

図5 引き抜き荷重 - 変形(抜き出し量)関係

### 3.2 引き抜き荷重 - 変形（拔出し量）関係

竹筋の引き抜き力と拔出し量との関係を、実験要因によるマトリクス状にまとめて図5に示す。埋め込み深さは、同一パラメータの図中に、実線で深いもの（試験体名-L）、点線で浅いもの（同-S）を描く。同じこぶ形状で、埋め込み深さ同士の比較では、およそ推移が類似していることがわかる。Bsモードの試験体は、竹が滑り出すと緩やかに荷重が低下しているものが多いが、コンクリートが破壊するCoとSpモードの試験体では、荷重が急激に低下する。

次に、最大荷重値と最大荷重値の変形量（抜け出し量）を、それぞれのグラフから取り出し、表3に示すとともに、図6、7にまとめて示す。図6と図7のマーカーの違いは、欄外に示すように3つの破壊モードで区別している。なお、16体の試験体は8体ずつ2回に分けてコンクリートを打ったため、実験時のコンクリート強度がそれぞれ異なっている。そのため、最大荷重値は、 $\sqrt{\sigma_B}$ （ $\sigma_B$ はコンクリート圧縮強度）で割って補正してある。破壊モードが異なること、竹の太さが均一ではないこと、またコンクリートへの埋め込み部分に竹のふしがある試験体と無い試験体があったことなど、様々な要因があるため、現時点では実験結果の定量的な評価は難しい。

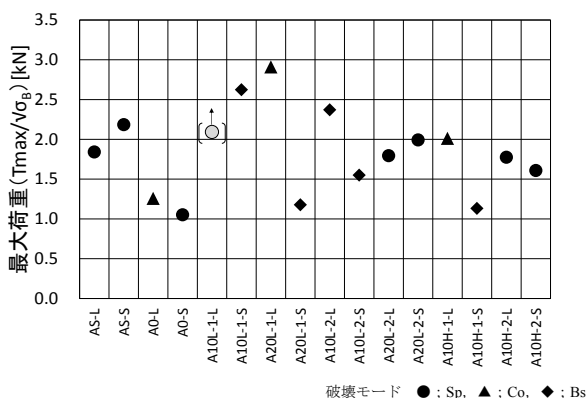


図6 最大荷重値の比較

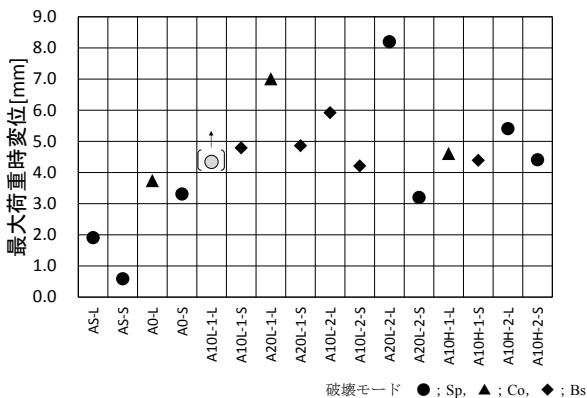


図7 最大荷重時変位の比較

### 3.3 パラメータごとの検討

#### 1)埋め込み深さ

表3を見ると、埋め込み深さが深いもの（試験体名-L）は、破壊モードがCoやSpのように、コンクリートで壊れる場合が多い（BsはA10L-2-Lだけ）。一方、埋め込み深さが浅いもの（-S）は、竹筋が引き抜かれるBsが非常に多くなっている。これは、埋め込み深さが深い方が、定着部からの支圧力がコンクリート部へ流れ、低強度コンクリート（ $\sigma_B=3.06 \text{ N/mm}^2$ ）が早期に破壊したと考えられる。

#### 2)ふし長さ

試験終了後の定着部内部の状態は確認していないが、一部の試験体ではコンクリートではなく、竹のこぶが抜けて竹筋がすべり抜けたと思われるものがある。そのため、Bsタイプの破壊モードの中には”こぶ接着面の剥離”も混在していると考えられる。表3によると、定着長さが長く、高さが高いほど、コンクリートの破壊が激しくなっている（Spモード）。逆に、定着長さが短いものは、コーン状破壊が起こりやすくなっている（Coモード）。これは、定着長さが短い場合、竹筋が滑り出しやすくなり、長い場合は定着部が周辺コンクリートにしっかり引っかかり、主筋が抜け出しにくくなったためと考えられる。

### 4. まとめ

竹筋コンクリート構造物の設計をするためには、継手や仕口など接合部の詳細について検証が必要である。本研究は、竹主筋端部の定着の設計方法を確立するために、要素試験体による引き抜き試験を行った。実験を行った結果、破壊モードが異なること、竹の太さが均一ではないこと、またコンクリートへの埋め込み部分に竹のふしがあることなどの理由から、実験結果の定量的な評価は難しいが、定性的な性状として次のことがわかった。

- 1) 試験体の壊れ方は、コーン破壊、竹筋の引き抜け、そしてコンクリート破壊の3種類に分類される。
- 2) 埋め込み深さが深いものは、破壊モードがCoやSpのように、周辺コンクリートで壊れる場合が多いが、埋め込み深さが浅いものは、竹の抜け出し（Bs）が起こりやすい。
- 3) 定着長さが長く、高さが高いほど、コンクリートの破壊が激しく（Sp）、定着長さが短いものは、コーン状破壊が起こりやすくなる（Co）。

### 謝辞

本研究は、サタケ技術振興財団の平成26年度大学研究助成を受けて実施しました。ここに記して深甚の謝意を表します。

### 参考文献

- [1] 寺井雅和, 南 宏一: 竹筋コンクリートの附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

\*1 近畿大学工学部 准教授・博士（工学）

Associate Prof., Faculty of Engineering, Kinki University, Dr. Eng.