

竹筋 Ca コンクリート部材の破壊特性に及ぼす竹筋の影響

徳山工業高等専門学校専攻科 学生員 ○大和三晃
 徳山工業高等専門学校 正会員 島袋淳
 徳山工業高等専門学校 正会員 田村隆弘

1. はじめに

今日の建設事業においてなくてはならない建設材料の一つであるセメントコンクリートは、近年いくつかの問題点が挙げられている。この例として、セメントはアルカリ性であることから自然環境に対して少なからず悪影響があり、廃棄物となった際、処分が困難になる等が挙げられる。本研究では、環境や景観に考慮した土木材料を考えるという目的から、セメントの代替材料としてカルシウム系固化材に着目する。カルシウム系固化材は、中性に近いため自然環境に対し環境負荷が小さく、茶色という色から自然土や木などがイメージでき、土木材料として景観的にも適合するという期待が持てる。これまでカルシウム系固化材を用いたコンクリート（以下、Ca コンクリート）を作製し、その強度特性を検討した結果、セメントコンクリートと同じ材料、水固化材比（水セメント比）で配合した場合、硬化した Ca コンクリートの圧縮強度は硬化したセメントコンクリートとほぼ同程度であるということ、ならびにセメントコンクリート同様、引張強度が弱いということが明らかになっている¹⁾。セメントコンクリートの場合、引張補強を行うために通常鉄筋が用いられるが、カルシウム系固化材は中性であるため、鉄筋で引張補強を行うと鉄筋が腐食する可能性があるため鉄筋の使用は困難である。そこで本研究では、引張補強材として竹の使用を考える。竹を引張補強材として用いた竹筋コンクリートについては古くから研究が行われており²⁾、竹は鉄筋と同等の引張強度を有し³⁾、引張補強材としての使用が期待できる。

以上のことを背景に、本研究では Ca コンクリートの引張補強材として竹を使用し、竹筋 Ca コンクリート梁を設計、作成し、竹筋 Ca コンクリート梁の強度や破壊形状の検討を行った。

2. 実験概要

本研究で用いる Ca コンクリートの配合を表-1に示す。供試体寸法は幅100mm、高さ200mmの矩形断面とし、長さは1800mmとする。この寸法の竹筋 Ca コンクリート供試体に対し4点曲げ荷重を行い、竹筋 Ca コンクリートの曲げ強度、破壊形状について無筋 Ca コンクリートと比較検討を行う。また曲げ強度に及ぼす竹筋の影響を検討するため、引張側に配置する竹筋の本数を変えて検討する。竹筋の条件としては断面幅10mm、長さ1700mmの竹筋を用い、表-2に竹の本数に伴う断面積を示す。竹筋を配置する際は25mm以上かぶりを取れるように配置し、また引張側に配置する竹筋の本

表-1 Ca コンクリートの配合表

W(kg/m ³)	Ca(kg/m ³)	S(kg/m ³)	G(kg/m ³)
165	275	803	1005

W：水，Ca：カルシウム系固化材，S：細骨材，G：粗骨材

表-2 竹の本数に伴う竹の断面積

竹の本数	1本	2本	4本
断面積(m ²)	0.00005	0.0001	0.0002

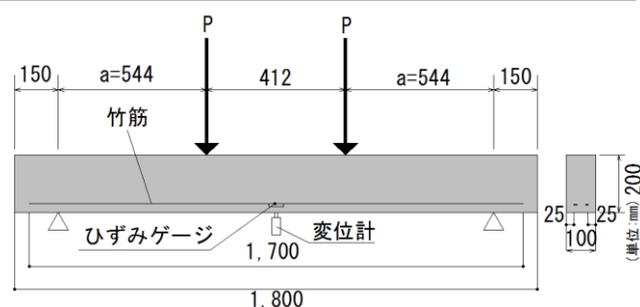


図-1 供試体概略図

数は1, 2, 4本として検討を行う。ここで図-1に竹筋2本を配置した供試体概略図、並びに荷重の載荷位置、変位計の設置位置を示す。養生方法については供試体の寸法が大きいため、設備の都合上、水中養生が困難であることから気中養生とする。養生期間は4週とし、その後、4点曲げ強度試験を行う。

3. 実験結果と考察

(1) 竹筋 Ca コンクリートの荷重変位関係に及ぼす竹筋数の影響

曲げ荷重と梁中央部引張縁における変位との関係を図-2に示す。(a), (b), (c)はそれぞれ竹筋1本, 2本, 4本配置した時の荷重-変位の関係である。

竹を1本配置した図-2(a)と竹を2本配置した図-2(b)、竹を4本配置した時の図-2(c)では、それぞれコンクリートが破壊して荷重が低下しても、再び荷重が上がる傾向を示す。このことは、コンクリートの曲げ破壊後に竹筋によりその後の荷重に耐えることができたと考えられる。また、初期に荷重が低下する値を見てみると、図-2(a), (b), (c)のそれぞれの荷重の低下は14.9kN, 15.6kN, 26.4kNであり、この値からコンクリートの曲げ破壊が生じたと考えられる。ゆえに、竹筋数を増やすと曲げひび割れ発生荷重が高くなると考えられる。また終局破壊時の荷重も竹筋数が増えることに伴い、高くなることから竹筋はCaコンクリートの引張補強部材としては有効であると考えられる。

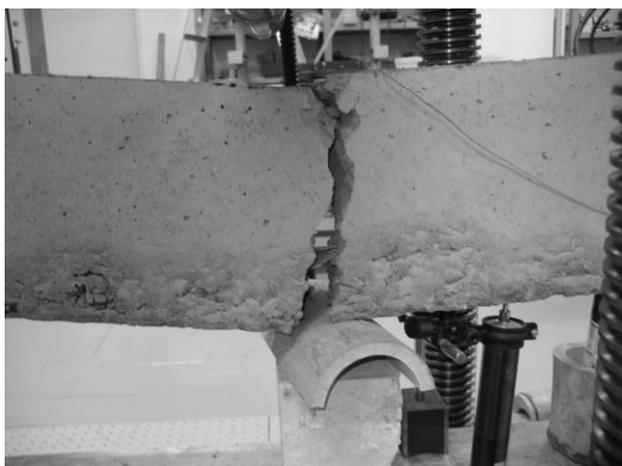
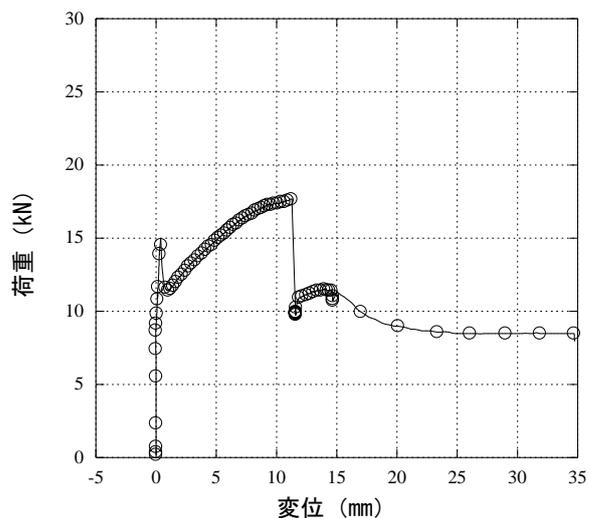


写真-1 竹筋 Ca コンクリートの曲げ破壊状態

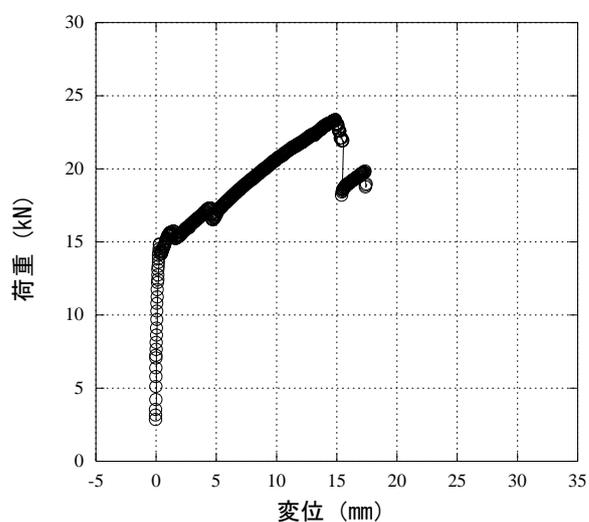
(2) 竹筋 Ca コンクリート荷重-竹筋ひずみ関係に及ぼす竹筋数の影響

曲げ荷重と竹筋ひずみの関係を図-3 に示す。図-3 の (a), (b), (c) はそれぞれ竹筋 1 本, 2 本, 4 本配置した時の代表的な荷重-竹筋ひずみの関係である。図-2 と比較して考えると、竹筋 1 本ならびに 2 本の供試体は図-2 で荷重が最初に低下した 14.9kN, 15.6kN では、竹筋のひずみが大きく生じていないことから竹筋は降伏していないと考えられ、荷重が初期の低下を起こした後、竹筋が降伏すると考えられる。すなわち、竹筋が降伏する前にコンクリートの曲げ破壊が生じたと考えられる。これに対して、竹筋 4 本の供試体について図-2 と比較して考えると、荷重が最初に低下した 26.4kN の時点で、竹筋に大きなひずみが生じており、コンクリートの曲げ破壊発生時には竹筋が降伏していたと考えられる。すなわち、竹筋が降伏してコンクリートに曲げ破壊が生じたと考えられる。そのため、竹筋を 4 本配置した供試体はその他の供試体に比べ、大きな荷重を示したと考えられる。また竹筋を 1 本ならびに 2 本配置した供試体に対して竹筋が降伏する前に初期破壊が生じた理由として、竹筋と Ca コンクリート間の付着の問題が考えられ、竹筋に滑りが生じたためであると考えられる。このことは図-3 より竹筋のひずみが正の方向から負の方向に転じており、正から負に転じるということは竹筋が滑って元に戻ろうとしたのではないかと推測できる。特に 2 本の供試体に関しては 4 本の供試体と比較して、大幅に正から負に転じている。

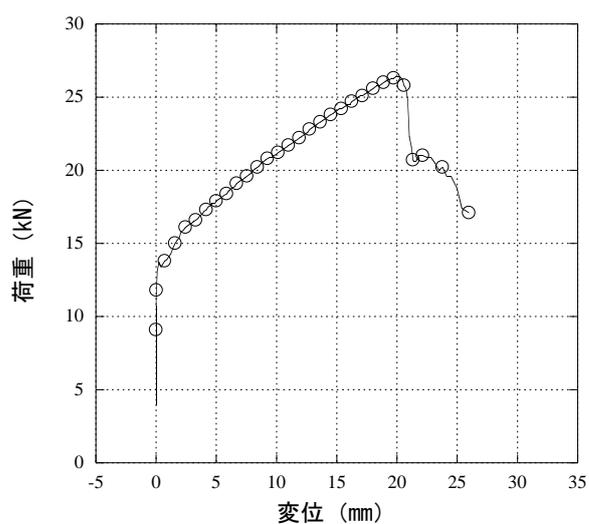
よってこの竹筋とコンクリート間の滑りを抑えることができれば竹自体の強度を十分に発揮することができるため、滑りを抑えるための対策を考えていかなければならない。



(a) 10mm×1本

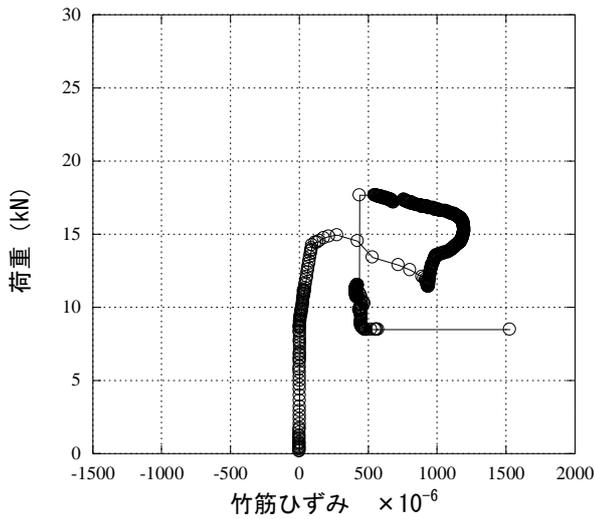


(b) 10mm×2本

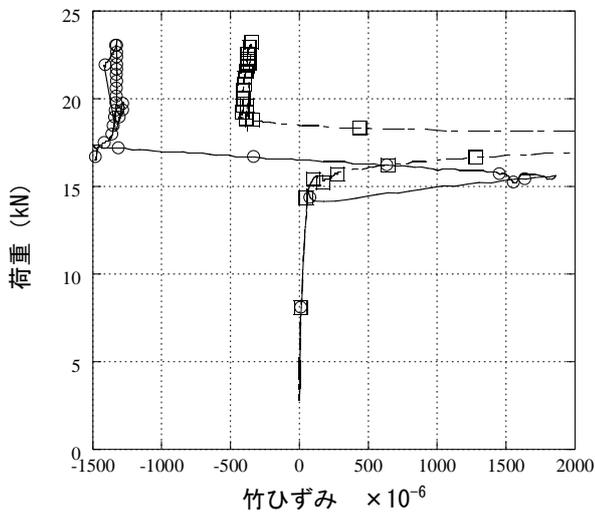


(c) 10mm×4本

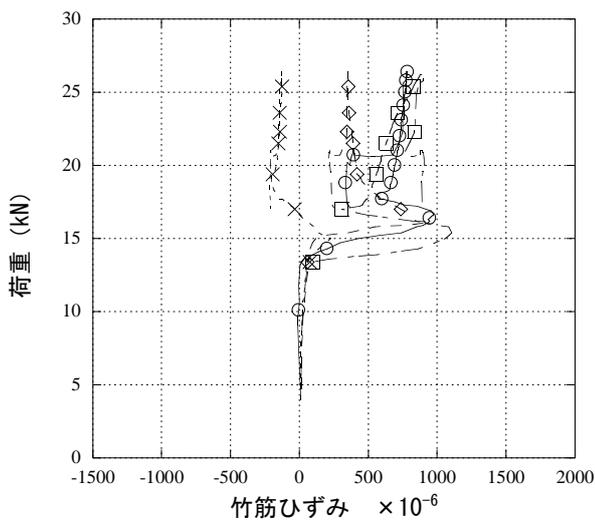
図-2 荷重-変位関係



(a) 10mm×1本



(b) 10mm×2本



(c) 10mm×4本

図-3 荷重—竹筋ひずみ関係

(3) 破壊特性

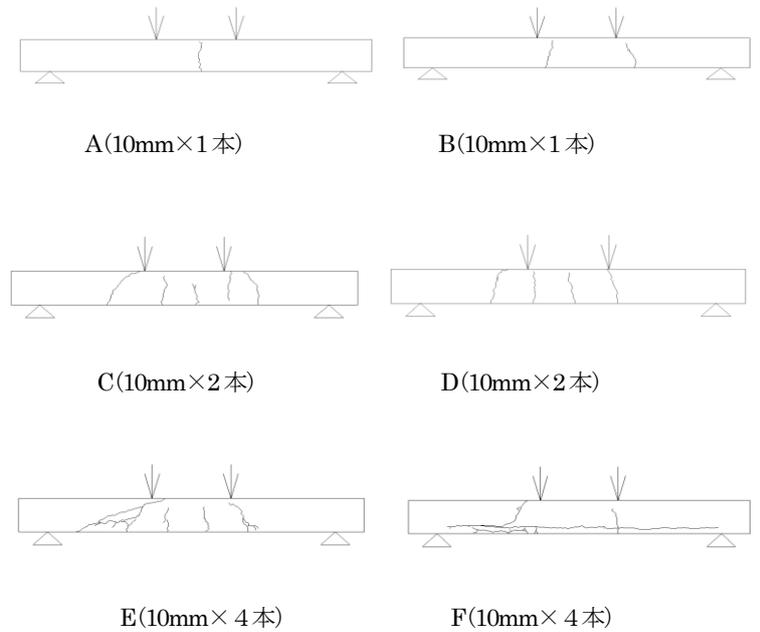


図-4 竹筋の本数での破壊性状

各供試体の終局時のひび割れ図を図-4 に竹筋の本数ごとにそれぞれ示す。それぞれの図を比較すると、いずれの供試体も純曲げスパン内に曲げひび割れが発生していることがわかり、竹筋本数が1本である A, B の供試体は曲げひび割れがそのまま載荷点の面まで進展し、コンクリートの破壊が生じている。一方竹筋の本数が2本の C, D, 4本の E, F 供試体においては、純曲げスパン内に曲げひび割れが生じた後、せん断スパン部分に曲げひび割れが生じている。このことは竹を多くすると竹の表面積が大きくなり、付着面がふえることによりコンクリートとより一体となるため、純曲げスパン内に発生した曲げひび割れが載荷面まで進展せず、せん断スパン内の曲げモーメントが曲げひび割れ発生モーメントを超えることからせん断スパン内に曲げひび割れが発生したと考えられる。

(4) 耐力算定式と実験結果の比較

次式の鉄筋コンクリートの曲げ耐力算定式 4) を用いて、竹筋 Ca コンクリートの曲げ耐力を算定する。計算により求めた曲げ耐力 M_u と実験結果の比較を表-3 に示す。

$$M_u = A_s \cdot f_{yd} \cdot \left(d - \frac{a}{2} \right) \quad (1)$$

ここで、 M_u : 終局曲げ耐力

A_s : 引張鉄筋量 (引張竹筋量)

(1本=0.5cm², 2本=1.0cm², 4本=2.0cm²)

f_{yd} : 引張鉄筋設計降伏強度 (33.6kN/cm²)

(引張竹筋設計降伏強度)

表-3 耐力算定式と実験結果の比較

供試体	実験結果		曲げ耐力 (kN·cm)	Mb/Mu	実験結果		せん断耐力(kN)	Vd/Vyd	破壊性状
	破壊荷重 (kN)	破壊モーメント (kN·cm)			破壊時せん断力(kN)				
竹筋10mm×1本	14.9	405.28	288.98	1.4	7.45	7.02	1.06	曲げ破壊	
竹筋10mm×1本	14.4	391.68	288.98	1.36	7.2	7.02	1.03	曲げ破壊	
竹筋10mm×2本	16.3	443.36	559.44	0.79	8.15	8.84	0.92	せん断破壊	
竹筋10mm×2本	15.6	424.32	559.44	0.76	7.8	8.84	0.88	せん断破壊	
竹筋10mm×4本	26.4	718.08	1044.96	0.69	13.2	11.18	1.18	せん断破壊	
竹筋10mm×4本	26.3	715.36	1044.96	0.68	13.15	11.18	1.17	せん断破壊	

d: 有効高さ (d=17.75cm)

a: コンクリート圧縮域等価応力ブロック高さ

$$a = A_s \cdot f_{yd} / (k_1 \cdot f'_{cd} \cdot b) = p \cdot m \cdot d \quad (2)$$

表より、竹筋本数 1 本の供試体の実験結果は実験値と理論値の比較が 1 よりも上回っており、竹筋本数 2 本、ならびに 4 本の実験値と理論値の比較をすると、1 よりも下回るという結果となり、竹の本数が増えるにしたがって徐々に小さくなっていることがわかる。これは、竹の滑りにより竹の強度が伝わらなかったことが原因として考えられる。

よって、竹筋数を増やすと、曲げひび割れ発生荷重が高くなるということが分かったものの、竹を多く配置をすれば竹の 1 本 1 本が滑って設計曲げ耐力よりもその分強度が小さくなると考えられ、竹筋の滑りを防ぐことができたならば、設計耐力よりも大きな値を示すと考えられる。特に 2 本を配置した供試体に対しては竹筋が降伏する前に、コンクリートが破壊しており、このことから Mb/Mu が 1.0 を超えなかったと考えられる。また 4 本配置した供試体に関しては、図-3 より、竹筋降伏後にコンクリートが破壊しているため通常の鉄筋コンクリート同様の破壊形状を示したが、滑りにより 1 を下回ったと考えると、竹筋とコンクリート間の滑りを克服すれば更なる強度増加が見込めると考えられる。

以上のことから、竹筋を配置することにより Ca コンクリートと竹筋間に滑りが生じるが、竹筋 1 本を配置した場合は滑りが生じていても、安全な設計であったと考えられる。しかしながら今後の竹筋 Ca コンクリートの発展を目指すためにも、竹筋 1 本では強度増加があまり見込めておらず、竹筋量を増やせば曲げひび割れ発生荷重は高くなるが、その分滑りの影響を受けやすくなるため、竹筋とコンクリート間の滑り対策を考え、滑り対策を行った状態で (1) 式により再度検討する必要があると考えられる。

4. まとめ

今回の実験では、Ca コンクリートの補強材として真竹を使用し竹筋 Ca コンクリート梁の強度・変形特性に及ぼす竹筋の影響について竹筋数に着目して検討した。その結果、以下のことが明らかになった。

- (1) Caコンクリートに竹筋を配置することによって、曲げひび割れ発生荷重が高くなる。また、曲げひび割れ発生時にコンクリートにひび割れが発生して荷重が低下しても、竹の強度により再び荷重が上昇する。
- (2) 竹筋数を増やすと曲げひび割れ発生荷重、終局破壊時の曲げ荷重が増加する。
- (3) 竹筋数を増やせば、表面積が大きくなり付着面が増えるためコンクリートとより一体となることにより曲げひび割れ発生荷重が高くなるということが分かったものの、竹を多く配置をすれば竹の1本1本が滑って設計曲げ耐力よりもその分強度が小さくなると考えられる。よって、竹筋とCaコンクリート間の滑り対策を考え、滑り対策を行った状態で設計曲げ耐力と再度検討する必要がある。

参考文献

- 1) 島袋淳, 橋本堅一, 藤原東雄: カルシウム系固化材の物理的性質とそれを用いたコンクリートの基礎的研究, セメント・コンクリート論文集, No. 62, pp. 573-579, 2008.
- 2) 中山 将駿, 村上 聖, 武田 浩二, 角野 嘉則, 下田 誠也
竹の構造材料としての利用技術—竹筋コンクリート梁の構造
日本建築学会九州支部研究報告 第48号, 2007.
- 3) 多田尊紀, 橋本堅一, 島袋淳: 構造材料としての竹の特性について, 2008年度日本建築学会中国支部研究報告集, 第32巻, CD-ROM, 112, 2009.
- 4) 岡田清, 伊藤和幸, 不破昭, 平沢征夫: [新訂]鉄筋コンクリート工学, 鹿島出版会(2003)