

竹筋再生コンクリート部材に関する研究

構造及びコンクリート工学分野 池川拓也

Abstract

骨材に低品質再生骨材、補強筋に竹筋をそれぞれ用いた、竹筋再生コンクリートについて様々な試験を行った。竹筋や再生コンクリートが広く実用化されれば、CO₂排出抑制に大きく貢献できる。材料試験から再生コンクリートの強度特性、引張試験から竹筋の引張特性、引き抜き試験から竹筋とコンクリートの付着特性、曲げ載荷実験から竹筋再生コンクリート部材の曲げ特性を、それぞれ普通コンクリートや鉄筋と比較・検討することで明らかにした。本研究を通して、鉄筋すべてを竹筋に代替することは危険であるものの、鉄筋と竹筋を併用することで最大荷重や降伏荷重の向上が確認できた。また、曲げ破壊形式の RC 部材に対して再生コンクリートを用いることで、曲げ破壊挙動を示すものの、部材降伏後曲げひび割れが斜めひび割れに移行する傾向が見られた。

1. はじめに

現在日本では、寿命を迎えようとしている構造物が多数存在している。今後、解体コンクリートの発生量が加速度的に増加することが予想されている。解体コンクリートをクラッシャー等で破碎処理した再生骨材[1]は、天然骨材の枯渇およびリサイクルの観点から、今後の発展的利用が望まれている。

また、プラスチック等の新しい素材の普及によって竹材の需要が減少している。竹材余剰が問題となる地方も存在し、需要拡大が望まれている。さらに、異常増殖した竹林が、植林地の侵食や住宅基礎や給排水管の破壊など、深刻な被害をもたらした事例もある[2]。

1.2 研究目的

このような背景のもと、低品質再生骨材の研究に着目すると、材料特性に関しては多く行われているものの、構造特性に関してはあまり行われていない[1]。さらに竹筋は、鉄は莫大な化石燃料を使って生産するのに対し、大気中の二酸化炭素を吸って育つ地球にやさしい素材である。天然骨材や鉄筋の代替として、両者を同時に併用できれば、土木構造物建設の際の CO₂ 排出量を大幅に抑制でき、環境面に大きく貢献できる。

そこで本研究では、低品質再生骨材と竹筋の RC 部材への適用を目標に、

- ① 低品質再生コンクリートの強度特性
- ② 竹筋の引張特性
- ③ 竹筋とコンクリートとの付着特性
- ④ 竹筋再生コンクリート部材の曲げ特性

これら 4 項目に関して試験・考察を行い、低品質再生骨材と竹筋の適用性を検討した。

2. 低品質再生コンクリートの強度特性

低品質再生粗骨材を絶乾状態で使用した再生コンクリートについて、圧縮試験および割裂試験を行い、強度特性の観点から構造部材への適用性を検討した。

2.1 使用骨材の物理特性と配合

本研究で用いた再生コンクリートは、粗骨材に最大粒径 25mm の低品質再生骨材 (JIS 基準)、細骨材に普通骨材である川砂を材料としている。これらと比較用に普通粗骨材の物理特性を表-2.1 に示す。再生粗骨材は普通粗骨材よりも、表面に付着したモルタル分の影響で、密度が小さく、吸水率が大きくなる。

上記物理特性を踏まえ、本研究に用いた再生コンクリートを表-2.2 に示すとおり配合した。

表-2.1 使用骨材の物理特性

使用骨材	絶乾密度	表乾密度	吸水率	粗粒率
	(g/cm ³)	(g/cm ³)	(%)	
粗骨材(再生)	2.21	2.32	4.97	6.88
粗骨材(普通)	2.61	2.63	0.84	6.89
細骨材(普通)	2.55	2.59	1.32	2.94

表-2.2 配合表

W/C (%)	s/a (%)	単位量(kg/m ³)			
		W	C	S(普通)	G(再生)
50	45.5	180	360	811	820

表-2.3 試験結果一覧

	圧縮強度 (N/mm ²)	ヤング率 (kN/mm ²)	ポアソン比	引張強度 (N/mm ²)	圧縮強度引張強度
No.1	38.1	25.4	0.200	2.49	15.0
No.2	35.9	24.6	0.183	2.45	
No.3	36.3	27.3	0.203	2.44	
平均	36.8	25.8	0.195	2.46	

2.2 圧縮試験結果と割裂試験結果

練り混ぜたコンクリートで圧縮試験，割裂試験 3 体ずつ行い，圧縮強度，ヤング率，ポアソン比，そして引張強度を求めた．表-2.3 に結果一覧を示す．また，練り混ぜ時のスランプは 18.0cm，空気量は 2.0%であった．

圧縮強度の平均値は 36.8 (N/mm²) に対し，通常[3]ヤング率は 28~31 (kN/mm²) 程度であるが，今回は 25.8 (kN/mm²) となった．再生コンクリートは普通コンクリートに比べて，圧縮強度に対するヤング率が小さい値となる．また，引張強度は圧縮強度の 1/15 となったが，通常[3]引張強度は圧縮強度の 1/10~1/13 となるため，再生コンクリートは引張強度においても普通コンクリートよりも小さいといえる．

3. 竹筋の引張特性（その 1）

2009 年 8 月に京都府にて伐採された真竹（丹波地方産）を材料に竹筋の引張試験を行った．竹筋の引張強度や剛性，破壊形式や値のバラツキについて検討した．

3.1 試験体概要と試験体数

図-3.1 に引張試験体の概要を示す．厚さ約 4mm の竹を幅約 15mm，全長 300mm に切りそろえ，両端 80mm を引張試験のつかみ部として同質の竹材で接着強化し，引張試験体とした．

図-3.1 のように中央に節を有する試験体を 16 体，節なしの試験体 16 体，合計 32 体について引張試験を行った．竹筋内側中央にひずみゲージを貼り付け，竹筋及ぼす荷重とひずみを計測した．

3.2 竹筋の破壊性状

図-3.2 のように試験体の多くが，節ありでは節部の破断により，節無では繊維の縦方向（引張軸方向）の裂けによって破壊した．節の有無により竹筋破断のメカニズムが異なることが分かる．

また，図-3.3 に竹筋 2 通りと比較用に D10 鉄筋の応力-ひずみ関係を示す．得られた試験結果からの代表的な一例を引用している．竹筋は節の有無によらず，弾性範囲のまま破断に至った．また，鉄筋の降伏強度に近い引張強度を有するものの，剛性が非常に小さいことも見てとれる．

3.3 竹筋の引張強度と剛性

表-3.1 に引張試験から得られた竹筋の引張強度と弾性係数，引張限界ひずみ（引張強度時のひずみ），それぞれの平均値を示している．引張強度，弾性係数とも節を有することで，1 割程度低下する結果となった．

また図-3.4 から分かるように，強度などにバラツキが生じる．竹筋は天然材料であるため，繊維の密さや竹材のゆがみが原因であると考えられる．また一方で，引張強度と破断時のひずみに相関性が見られた．

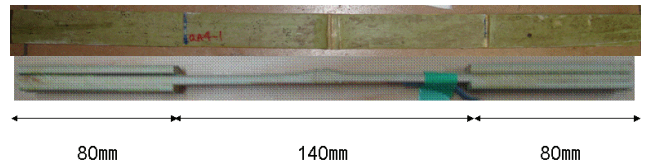


図-3.1 竹筋引張試験体図



(a) 節なし破壊
(b) 節あり破壊
図-3.2 竹筋破壊状況

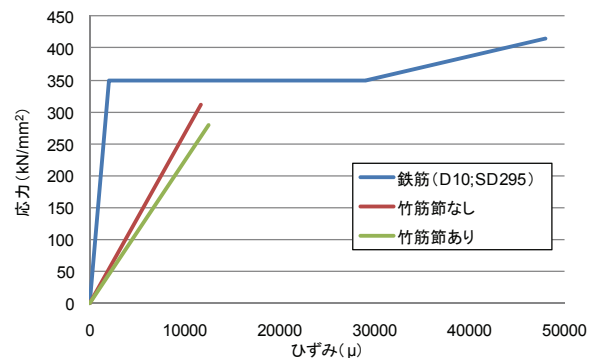


図-3.3 鉄筋・竹筋の応力-ひずみ関係比較

表-3.1 竹筋引張試験結果（平均値）

名称	引張強度 (N/mm ²)	弾性係数 (kN/mm ²)	引張限界ひずみ (μ)
節あり	286.3	25.3	12549
節なし	312.2	28.2	11666

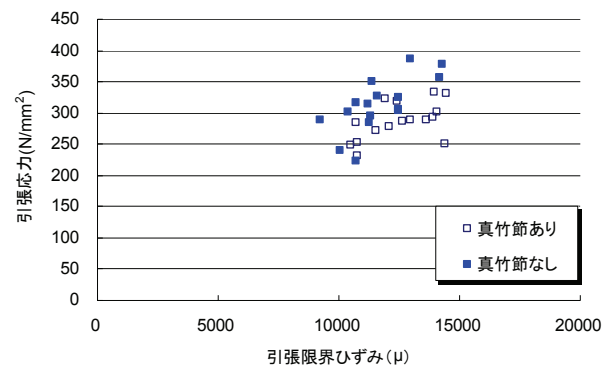


図-3.4 引張強度と引張限界ひずみ分布

4. 竹筋の引張特性（その 2）

2010 年 8 月に京都府下にて伐採された真竹（丹波地方産）を材料に，竹筋をアルカリ環境下のコンクリートに埋め込み，所定の期間（0，7，14，28，42，56 日）養生した後，コンクリートから取り出し引張試験を行った．竹筋の引張強度や弾性係数の変化から，コンクリート内での経時劣化について検討した．

4.1 試験概要

図-4.1, 図-4.2 に試験体概要図とコンクリートの埋め込み状況を示す。各埋め込み期間で3体ずつ、節の有無について試験を行った。なお本節での竹筋の断面は幅が約15mm, 厚さが約6mmである。

4.2 コンクリート内部での竹筋の経時変化

図-4.3 にコンクリートへの埋め込み期間と引張強度の関係を示す。つかみ部での破壊は除外し、竹筋の強度を発揮して破壊した試験結果のみを表示している。図中で紺色マーカーは各供試体の引張強度をプロットしたもので、桃色マーカーは経過日数における引張強度の平均をプロットしたものである。

節なしの竹筋は埋め込み後7日で大きく強度が低下し、その後安定する。一方で節ありは時間が経つに連れ少しずつ強度が低下する結果となった。また、紙面の都合上掲載は割愛するが、弾性係数に関しては経時変化の影響は見られない結果となった。

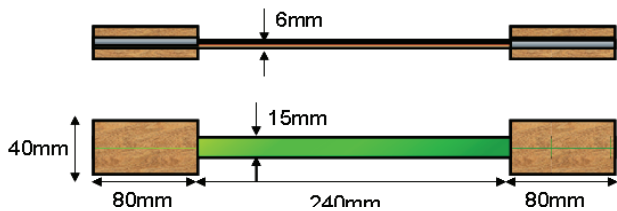
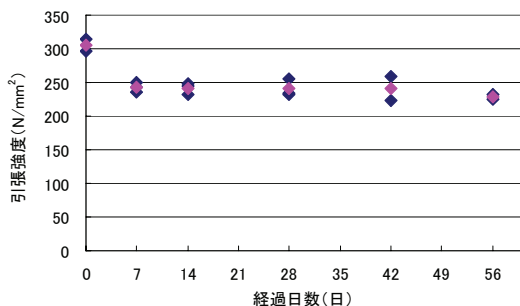


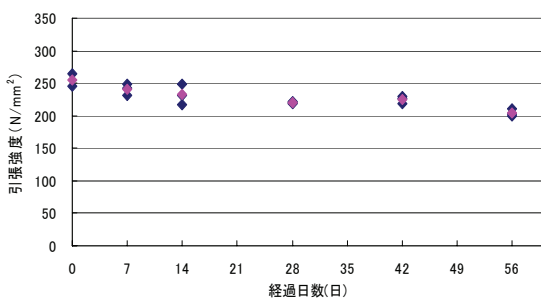
図-4.1 引張試験体図



図-4.2 竹筋コンクリート埋め込み状況



(a) 節なし



(b) 節あり

図-4.3 コンクリート内での引張強度の経時変化

5. 竹筋とコンクリートの付着特性

竹筋をコンクリートに埋め込み、引抜き試験を行った。付着力-すべり関係や、鉄筋の引抜き試験との比較から、竹筋とコンクリートの付着特性を検討した。

鉄筋と竹筋の付着特性を比較検討するために標準的な鉄筋の付着試験法[4]とJSCE-G 503-1999[5]に準拠して行った。

5.1 試験概要

図-5.1 に試験体概要を示す。100mm 角のコンクリートブロック内に竹筋を埋め込み、上部からセンターホールジャッキで引き抜く荷重をロードセルで計測し、下部から抜け出す竹筋のすべり量を変位計で計測した。竹筋は3節と同様の真竹を使用し、鉄筋は断面積が最も近いD10の異型鉄筋を用いた。竹筋について2体、鉄筋について3体試験を行った。

5.2 竹筋とコンクリートの付着特性

図-5.2 に竹筋とコンクリートとの付着応力-すべり量関係を示す。すべり量が大きくなるほど、それに抵抗する付着応力は大きくなるが、1mmを超えると極端に付着力の勾配が低下する。

5.3 鉄筋との比較

図-5.3 から鉄筋と竹筋の付着特性を比較すると、鉄筋に比べ竹筋の付着力が大きく劣ることが分かる。鉄筋が最大付着力となるすべり量1mm時点で、竹筋の付着力は鉄筋の約1/14であった。

また、両者の挙動が異なることから、コンクリートとの付着のメカニズムが異なると考えられる。図-5.4 は引き抜き試験後コンクリート内部の竹筋と鉄筋の様子である。竹筋ではコンクリートが破壊せずに節部が破壊しながら抜け出している。一方、鉄筋では周囲のコンクリートを細かく破壊しながら抜け出している。コンクリートの弾性係数が鉄筋よりも小さく竹筋よりも大きいため、このような違いが生じたと考えられる。

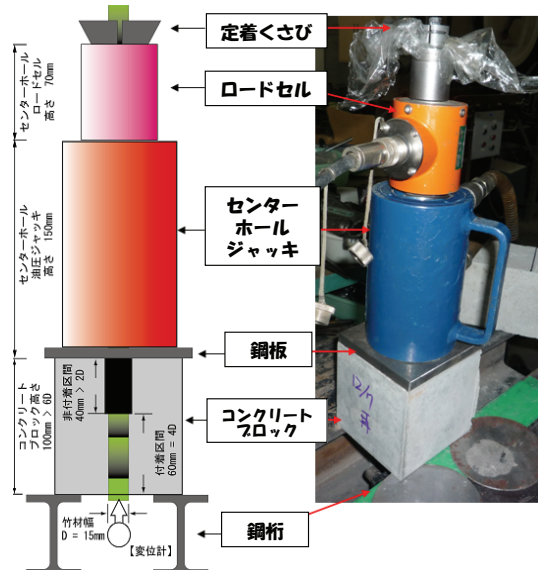


図-5.1 実験概要図

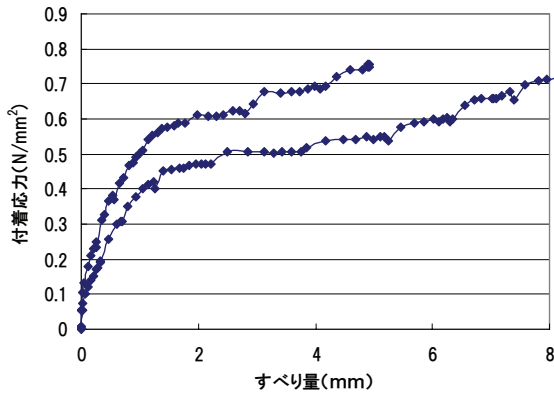


図-5.2 竹筋の付着応力-すべり量関係

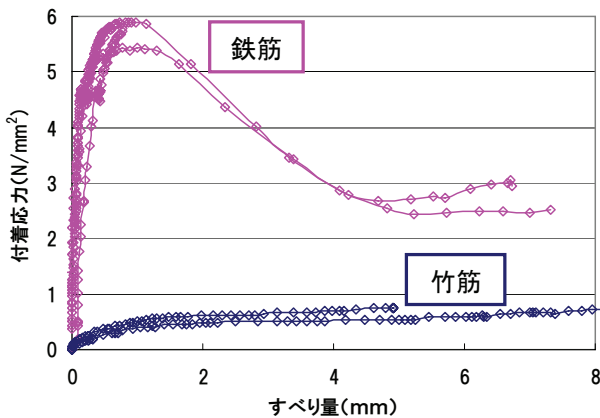


図-5.3 鉄筋・竹筋の付着応力-すべり量関係比較

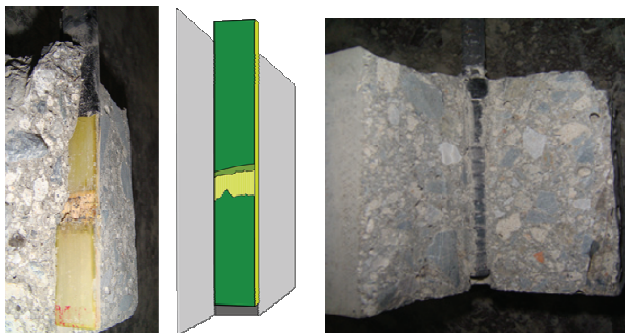


図-5.4 引き抜き試験後の竹筋とコンクリート

6. 竹筋再生コンクリート部材の曲げ特性

低品質再生骨材と竹筋を用いて作製したはり部材について、曲げ載荷試験を行った。竹筋と鉄筋の比率や補強筋比を変化させることで、部材の耐力や破壊性状などの違いから、竹筋と低品質再生骨材のコンクリート部材への併用・適用性について検討した。

6.1 竹筋の鉄筋への置換

本実験では図-6.1に示すように、D10の異型鉄筋と、断面積 90mm^2 ($4\text{mm} \times 15\text{mm}$) の真竹が負担できる引張力が、弾性範囲では同等であるとみなし、これらの置換を考えている。計画段階において、鉄筋の降伏応力 $\sigma_{sy} = 360\text{N/mm}^2$ 、竹筋は3節の節あり平均値より $\sigma_b = 286.3\text{N/mm}^2$ として、置換断面を決定した。

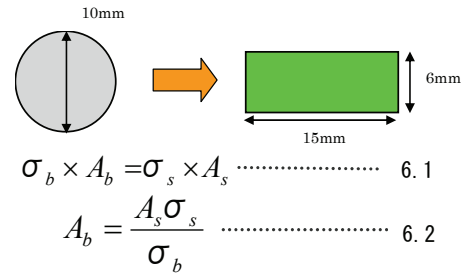


図-6.1 竹筋⇔鉄筋置換イメージ

6.2 実験パラメータ

表-6.1に実験パラメーター一覧を示す。部材の補強筋比について、鉄筋を基準に0.45と0.89の2種類とした。また、配筋方法は鉄筋のみを用いたもの、鉄筋の1/3を竹筋に置換したもの、鉄筋の2/3を竹筋に置換したもの、竹筋のみを用いたもの、以上4種類である。試験体名は、Sが鉄筋、Bが竹筋を表しており、それぞれの後の数字が部材内に用いた本数を表している。例えば、S2B4は鉄筋2本と竹筋4本を用いた試験体を意味する。以上より試験体数は $2 \times 4 = 8$ 体である。

6.3 試験体概要

図-6.2に試験体の側面図を示す。有効高さ160mm、せん断スパン650mm、3点曲げの曲げ破壊形式である。断面は幅300mm、高さ200mmであり、補強筋比0.45では補強筋間隔・かぶりとも75mm、補強筋比0.89では補強筋間隔44mm、かぶり40mmとして配筋した。

表-6.1 実験パラメーター一覧

供試体	骨材	配筋方法		補強筋比
		置換率	使用補強筋数	
S3	再生	0	鉄筋×3	0.45
S2B1		1/3	鉄筋×2, 竹筋×1	
S1B2		2/3	鉄筋×1, 竹筋×2	
B3		1	竹筋×3	0.89
S6		0	鉄筋×6	
S4B2		1/3	鉄筋×4, 竹筋×2	
S2B4	2/3	鉄筋×2, 竹筋×4	0.89	
B6	1	竹筋×6		

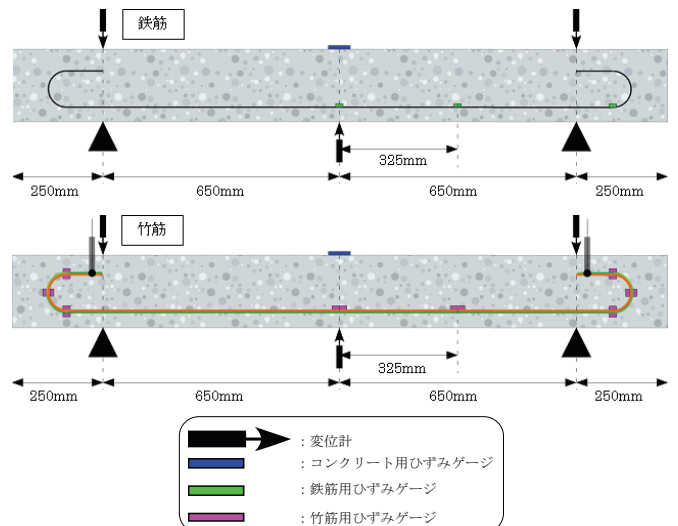


図-6.2 試験体の側面図

6.4 実験結果

6.4.1 各試験体の最大荷重と荷重-変位関係

表-6.2 に実験での最大荷重 P_{max} , それを設計曲げ耐力 P_{ud} で除した耐力比 P_{max}/P_{ud} , 実験中目視で確認されたひび割れの発生荷重 P_{cr} , 載荷直下の鉄筋の降伏荷重 P_{sy} , これらの一覧を示す. S1B2 は鉄筋が降伏する前に荷重低下をむかえたため, B3, B6 は断面に鉄筋が配置されていないため, P_{sy} が存在しない. 算定曲げ耐力 P_{ud} は等価応力ブロック法[4]を用いて算定した. 竹筋と鉄筋の併用したものは, 鉄筋のみと竹筋のみをそれぞれ別々に算定し, 足し合わせた.

図-6.3 に各試験体の荷重-中央変位関係を示す. 鉄筋から竹筋の置換率が大きくなるに連れて最大荷重, 変形性能が小さくなる結果となった. 断面内に鉄筋が2本以上配置された試験体 (S3, S2B1, S6, S4B2, S2B4) は, 変形性能に富む曲げ破壊の変位性状となった一方で, 鉄筋が1本以下の試験体 (S1B2, B3, B6) は脆性的に竹筋が破断し, 急激な荷重低下を引き起こした.

全試験体において初期剛性は同等であったが, 鉄筋と竹筋を併用したもの (S2B1, S1B2, S4B2, S2B4) は鉄筋降伏後に部材の剛性が大きく低下した. また, 竹筋のみの試験体 (B3, B6) はひび割れ発生後に大きく荷重が低下した. 竹筋を用いた全試験体 (S2B1, S1B2, B3, S4B2, S2B4, B6) において, 竹筋が破断することで試験体の荷重が大きく低下した. また, 付着試験より得られた竹筋の付着特性から, 鉄筋降伏後やひび割れ後の竹筋フックが抜け出すことも考えられたが, 竹筋フック部分でのひずみは発生せず, フック部の定着が切れるより先に竹筋が破断したと言える.

鉄筋のみも試験体も荷重の低下が見られる. 部材降伏後, 変形の増大により鉄筋がひずみ硬化し, 荷重が上昇していく. この際, S6 では曲げひび割れが斜めひび割れに移行し, 鉄筋軸に沿った付着割裂により荷重が大きく低下した. S3 では複数個の細かなひび割れが部材上縁まで貫通し, その都度荷重が小さく低下した. これらは再生骨材を用いた影響であると考えられる.

S3, S6 の耐力比が 1.5 程度なのに対して B3, B6 の耐力比が 0.85 程度であるため, 竹筋のみの部材は鉄筋のみの部材の 6 割程度の耐力を持つ結果となった.

表-6.2 実験結果一覧

使用補強筋	等価鉄筋比(%)	実験結果			
		P_{max}	P_{max}/P_{ud}	P_{cr} (kN)	P_{sy} (kN)
S3	0.45	55.9	1.63	28.0	44.8
S2B1		46.6	1.39	23.7	31.0
S1B2		31.2	0.96	24.4	-
B3		24.5	0.80	17.2	-
S6	0.89	98.5	1.48	43.2	85.0
S4B2		76.3	1.16	30.0	58.5
S2B4		62.0	0.97	26.8	37.1
B6		52.1	0.88	19.9	-

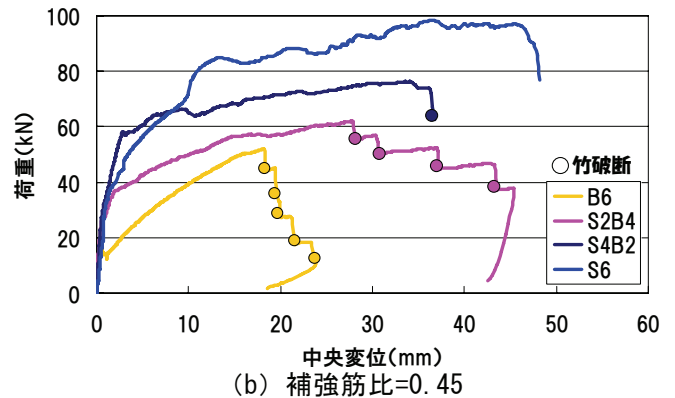
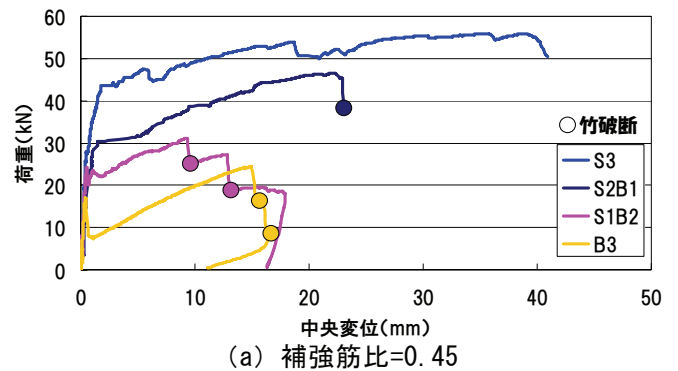


図-6.3 荷重-中央変位関係

6.4.2 鉄筋と竹筋の一体化

竹筋と鉄筋を併用した, S2B4 や S4B2 の荷重-ひずみ関係に注目すると (図-6.4, 図-6.5), 載荷点下の鉄筋と竹筋ひずみは鉄筋降伏以降に別々の値をとり, セン断スパン中央でもまた, ひずみ 2000 μ を境に竹筋のひずみが増大する. このことより, 鉄筋と竹筋を併用した場合, 同一断面において, 鉄筋が降伏する 2000 μ 以前では両者は一体化しており, それ以降は竹筋に加わる力成分が大きくなり, 両者の一体化が離れることが分かる.

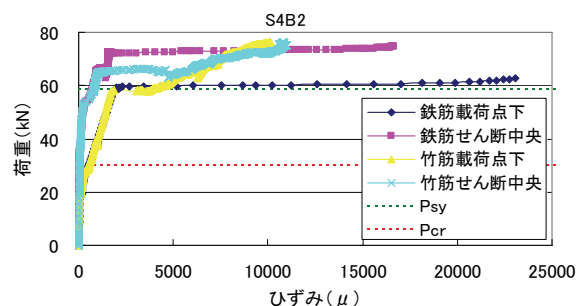


図-6.4 鉄筋・竹筋の荷重-ひずみ関係 (S4B2)

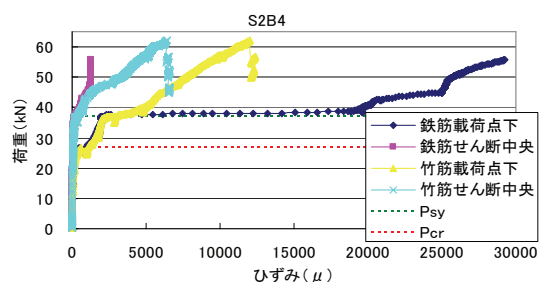


図-6.5 鉄筋・竹筋の荷重-ひずみ関係 (S2B4)

6.4.2 鉄筋量によるひび割れ性状の比較

図-6.6 に各試験体の試験終了時のひび割れ図を、鉄筋量の多い順に並べて示している。赤色のひび割れは鉄筋降伏後、もしくは初期ひび割れ後のひび割れを表わしている。この図より、はり部材のひび割れ進展や破壊形式は、補強筋の量よりも鉄筋量が支配的であることが分かる。竹筋 6 本を配した B6 が、ひび割れ本数 1 本のみで破壊に至ることが、その最たる例である。竹筋は弾性係数がコンクリートよりも小さく、さらにコンクリートとの付着も非常に小さいため、竹筋を引張主筋に用いたところで RC 部材のひび割れ分散への影響は極めて小さいといえる。ただし、図-6.7 は S2B1 と S2B4 の荷重-中央変位関係であるが、同量の鉄筋を用いた際、竹筋の量を増やすことで最大荷重や降伏荷重の増大が見られる。

これらのことより、竹筋は引張鉄筋の代替として、現時点では竹筋のみの使用は難しい。しかしながら、鉄筋と併用することで部材の性能向上を図ることができるため、補強材としての利用は十分に可能性があるといえる。

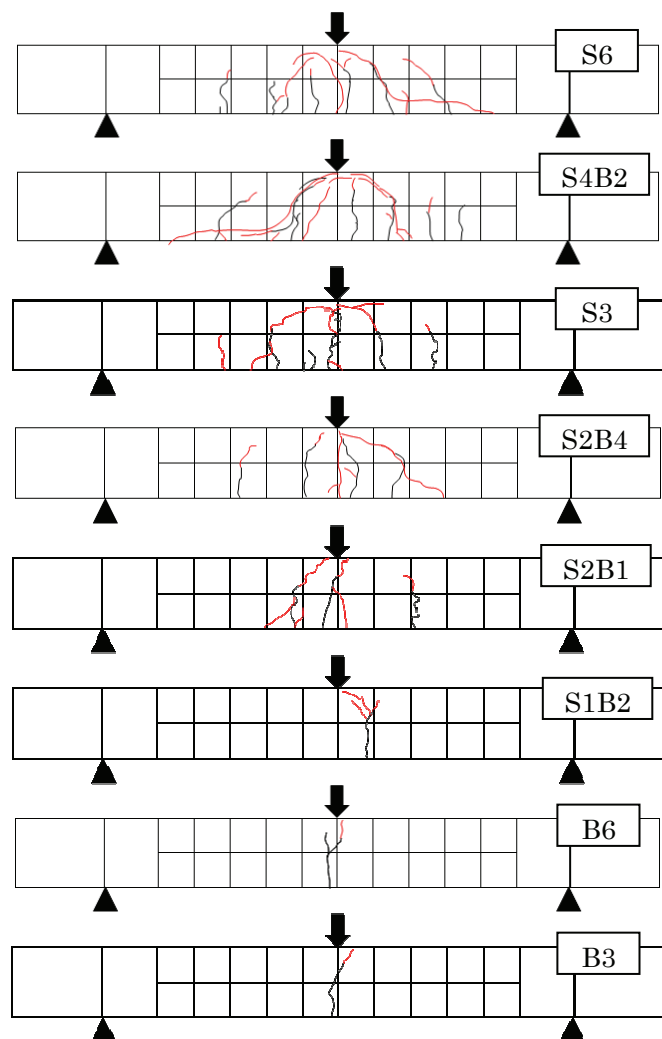


図-6.6 各試験体の実験終了時のひび割れ状況

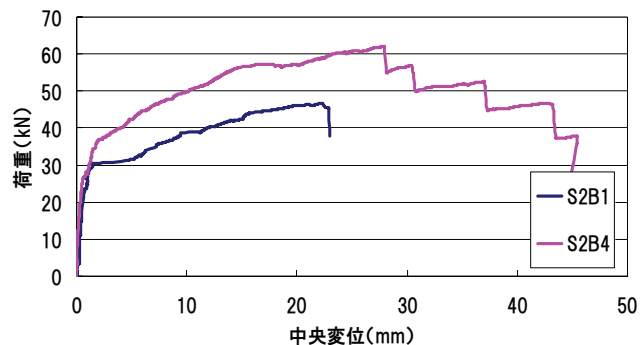


図-6.7 S2B1 と S2B4 の荷重-中央変位関係比較

7. 結論

本研究での結果をまとめると以下ようになる。

(1) 低品質再生コンクリートの強度特性

ヤング率や引張強度は、圧縮強度が同程度の普通コンクリートと比べて、やや小さくなる。

(2) 竹筋の引張特性

鉄筋の降伏強度と比べ、節有の場合で 9 割弱、節無の場合で 9 割強程度の強度をもつ。弾性係数は節有の場合鉄筋の 1/7、節無の場合 E_s の 1/6 程度である。また、弾性域で破壊に至り、節ありは節部の破断、節無は繊維の縦方向の裂けによって破断する。

また、コンクリートに埋め込んだ竹筋は、節の有無によらず、埋め込んでから 7 日間で引張強度が 1~2 割低下する。埋め込み 7 日以降、強度低下はゆるやかになり、埋め込み期間 14~28 日で安定し始める。

(3) 竹筋とコンクリートとの付着特性

竹筋は鉄筋の 1~2 割程度しかコンクリートに付着しない。また、強度の発現時期が鉄筋は小さいすべり量であるのに対して、竹筋はすべりの量の増加に伴い、強度がゆるやかに上昇し続ける。

(4) 竹筋と低品質再生骨材を用いた部材の曲げ特性

すべての試験体において竹筋がすべることなく破断した。また、鉄筋を竹筋に置換するほど、部材の最大荷重やひび割れ分散性などが低下する。

RC 部材の挙動は、鉄筋量によって、ひび割れ分散性や破壊性状が決まる傾向が強い。一方で鉄筋との併用により部材の耐力や降伏荷重が向上する。耐力の向上は竹筋の量が増加するほど大きくなると考えられる。

参考文献

- [1] 社団法人土木学会：電力施設解体コンクリートを用いた再生骨材コンクリートの設計施工指針(案), 2005.6
- [2] 井上正文ら：竹筋コンクリート部材の開発に関する基礎的研究(その 1) 竹材の材引張試験およびスラブの曲げ実験概要, 日本建築学会大会学術講演梗概集, 中国, 1999.9, p.67-70
- [3] 川村満紀：土木材料学, 森北出版, 1996
- [4] 社団法人土木学会：2007 年制定コンクリート標準示方書 [設計編], 2007
- [5] 土木学会：JSCE E-G 503-1999 引抜き試験による鉄筋とコンクリートの付着試験方法。

討 議 等

◆討議 [山口先生]

- ① 鉄筋を竹筋に変えることで強度は同じか？
- ② 違うならその理由は何か？

◆回答：

- ① 表-A から各試験体の最大荷重を除した耐力比に着目すれば、竹筋を用いることで部材の耐力が低下していくことが確認できます。
- ② まず、理由の第一として、量補強筋の材料特性の相違が挙げられます。図-A から、竹筋の変形性能が鉄筋よりも小さいことがわかりますが、これにより変形の進むと竹筋が破断し、耐力低下の原因となります。また、図-B から確認できるように、竹筋は鉄筋の 1/7~1/6 程度の付着特性を持たないことが分かります。このため、ひび割れ進展が促進され、耐力低下の要因となったと考えられます。

表-A 実験結果一覧

使用補強筋	等価鉄筋比(%)	実験結果			
		P_{max}	P_{max}/P_{ud}	$P_{cr}(kN)$	$P_{sy}(kN)$
S3	0.45	55.9	1.63	28.0	44.8
S2B1		46.6	1.39	23.7	31.0
S1B2		31.2	0.96	24.4	-
B3		24.5	0.80	17.2	-
S6	0.89	98.5	1.48	43.2	85.0
S4B2		76.3	1.16	30.0	58.5
S2B4		62.0	0.97	26.8	37.1
B6		52.1	0.88	19.9	-

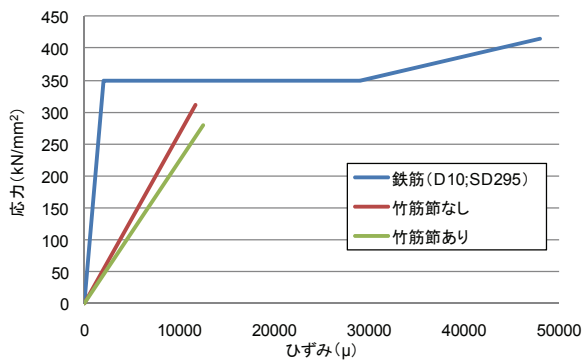


図-A 鉄筋・竹筋の応力-ひずみ関係比較

◆討議 [木内先生]

- ① なぜ竹を用いたのか？
- ② 再生骨材はどのようにして用いたのか？何か特別な処理を施したのか？
- ③ 再生コンクリートの空気量 (2%) は想定した値なのか？
- ④ 竹筋の節あり・なしでは節ありの方が、断面積が大きくなり引張強度が大きくなるように感じる。結果はその逆だがその理由は？

◆回答：

- ① まず、プラスチック等の新しい素材の普及によって竹材の需要が減少しています。また、竹材余剰が問題となる地方も存在し、竹の需要拡大が望まれています。さらに竹筋は、鉄は莫大な化石燃料を使って生産するのに対し、大気中の二酸化炭素を吸って育つ地球にやさしい素材です。そこで、鉄筋の代替として使用できれば、構造物建設の際の CO₂ 排出量を大幅に抑制でき、環境面に大きく貢献できると考えています。
- ② 本研究で用いた再生骨材は、解体工事現場において回収されたコンクリートガラ（解体コンクリート）をインパクトクラッシャーなどにより破砕処理を行ない、ある程度粒径に整えたのみの低品質再生骨材です。粗骨材と細骨材が混合状態での再生骨材のふるい分けを行いました。5mm のふるいに留まり、かつ 25mm のふるいを通すものすべてを再生粗骨材としました。実際にふるい分けしてみると、5mm のふるいを通す再生細骨材が得られなかったため、本研究においては、細骨材には普通骨材である川砂を使用しています。ふるい分けのみで、特別な処理は行っておりません。
- ③ 空気量は配合設計段階で 4% であり、材料特性などの結果から 2% でも問題ないと判断しました。
- ④ 竹は引張に対し、縦方向の繊維が抵抗します。確かに断面積自体は節ありの方が大きくなりますが、竹筋節部は繊維が横向きであるため、節部で竹筋の縦方向の繊維が分断されています。よって節部が竹筋の弱点となり、節なしよりも弱くなります。

◆討議 [水谷先生]

- ① 竹筋再生コンクリートはどのような部材が考えられるか？
- ② 自然由来であるため品質にバラツキが生じるのではないか？
- ③ その際、どのような品質管理の留意が必要か？

◆回答：

- ① 塑性域をあまり期待できないため、高速道路高欄のような強度のみに抵抗する部材への適用が考えられます。
- ② 図-B は竹筋の引張強度と破断時のひずみの散布図になります。この図からも、一定の相関性をもつものの、竹筋性能にバラツキが生じていることが分かります。

- ③ 竹を利用する際、アルカリ腐食や湿気によるカビなどを留意する必要があると言えます。また、設計に用いる値は分布を考慮し、安全側の設計をする必要があるといえます。

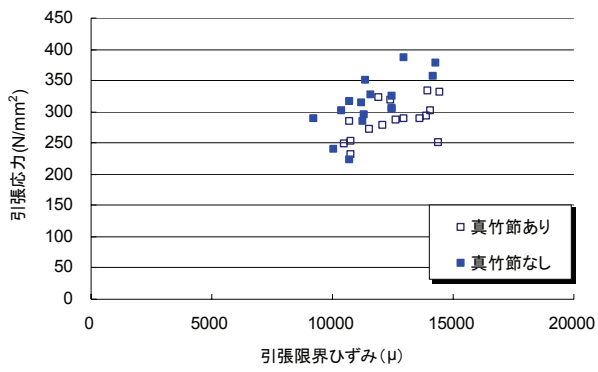


図-B 引張強度と引張限界ひずみ分布