

(37) 衝撃的上下動を受けるRC橋脚模型における繊維補強効果について

THE EFFECT ON FIBER REINFORCING METHODS OF RC PIER MODEL
UNDER VERTICAL IMPACT LOADING

原田 耕司 *・日野 伸一**・石川 信隆 ***・香月 智****

Koji HARADA, Shinichi HINO, Nobutaka ISHIKAWA, Satoshi KATSUKI

*工修 西松建設(株)技術研究所技術部土木技術課主任

(〒243-0303 神奈川県愛甲郡愛川町中津字桜台 4054 番地)

**工博 九州大学工学部建設都市工学科助教授(〒812-8581 福岡市東区箱崎 6-10-1)

***工博 防衛大学校土木工学科教授(〒239-8686 横須賀市走水 1 丁目 10 番 20 号)

****工博 防衛大学校土木工学科助教授(同上)

キーワード: 衝撃的上下動、水平輪切り状ひび割れ、繊維補強、RC橋脚

(vertical impact loading, circumferential crack, fiber reinforcing methods, RC pier)

1. はじめに

1995年1月17日早朝に発生した兵庫県南部地震では、社会基盤である交通施設が壊滅的被害を受け、特に高速道路、一般道路、新幹線、在来線、私鉄等の高架橋や橋梁の被害が多発した。この教訓を受け、現在これらの交通施設等を地震から守るために、RC橋脚の耐震補強が盛んに行われている。

RC橋脚の耐震補強には、RC巻立て工法、鋼板巻立て工法および連続繊維巻立て工法等が採用されている。これらの工法の中で特に、連続繊維巻立て工法は、作業箇所が高所あるいは狭所等の制約がある場合に採用されており、その作業性等から将来、さらに採用数が増加すると考えられるが、実構造物に採用されてから歴史が浅く、現在、せん断、曲げ、じん性等に関する研究が盛んに行われているのが現状である。

一方、兵庫県南部地震の被害例の中には、RC橋脚の水平輪切り状ひび割れやRC煙突の破断などの被害事例が多々見られた。これらの破壊メカ

ニズムとしては、水平地震動による交番曲げ破壊であるとの考え方もあるが、その一方では、「ドンと突き上げるような揺れを感じた後に激しい横揺れを感じた」という被災者の証言等から衝撃的上下動に注目して、実際に衝撃システムによる突き上げ実験から、水平輪切り状ひび割れの再現を行い、損傷原因の一つとして衝撃的上下動を提案した報告¹⁾もある。

そこで、本研究ではRC橋脚の連続繊維巻立て工法の衝撃的上下動に対する補強効果について検討を行った。具体的には、アラミド繊維、炭素繊維およびビニロン繊維で補強した供試体に衝撃的上下動を与え、供試体のひび割れ状況や鉄筋のひずみ等を観察することにより、その効果について検討を行った。

2. 実験概要

2.1 実験方法

実験装置は、高速変形負荷装置と図-1に示

す突き上げ装置とで構成される。高速変形荷装置は下方向に最大約 4.0m/s の速度で載荷する能力を有し、突き上げ装置は、高速変形荷装置からの力を2つのアクチュエーターを組み合わせることにより上方向へと変換するものである。具体的には、高速変形荷装置の力を突き上げ装置の入力側アクチュエーターで受け、載荷力伝達ホースを介して油圧で出力側アクチュエーターに伝達し、突き上げ板（以下基盤）に固定した供試体を衝撃的に突き上げ後、アルミ製ストッパーで強制的に停止させるシステムを取っている。この突き上げシステムの性能は、図-2の入力速度～時間関係に示すように、突き上げ開始後約 8ms で最高速度が約 110cm/s に達した後、急停止することにより約 2ms 後に速度が約 0cm/s になるものである。

実験方法は、基盤の上に橋脚をモデル化した供試体を固定し、さらにその上に実橋脚の上部エモ

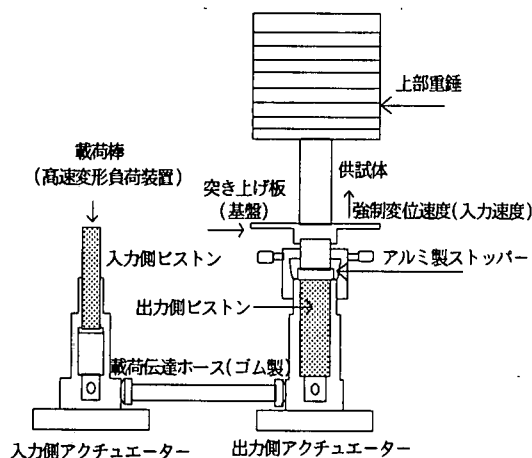


図-1 突き上げ装置

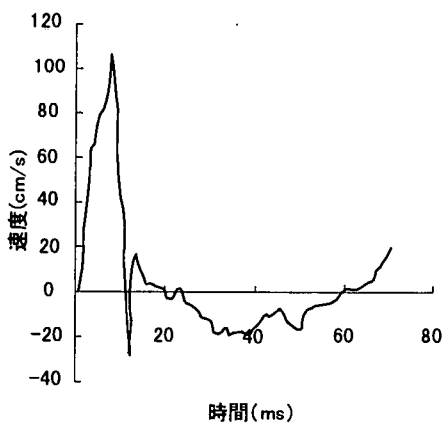


図-2 入力速度～時間関係

デルとして重錘（4.9kN）を固定した。この状態から瞬間的に基盤を突き上げ、ストッパーで急停止させることにより、供試体に当初圧縮応力が、続いて引張応力が生じるものである。

なお、重錘による供試体の初期圧縮応力は 0.6 N/mm²であり、実橋脚とほぼ同等の値とした。

2.2 計測項目

図-3に実験装置の計測概要、図-4に供試体の計測概要を示す。基盤と重錘の加速度を加速度計（計測範囲 500G、応答周波数 10kHz、固有振動数 30kHz）で、基盤と重錘の変位量をレーザー式変位計（計測範囲 300～100mm、応答周波数 915Hz）により測定した。なお、供試体表面に貼付したモルタルのひずみゲージは、補強材の接着剤との付着を無くすために、縁切り用のシートをゲージ上面に貼付した。

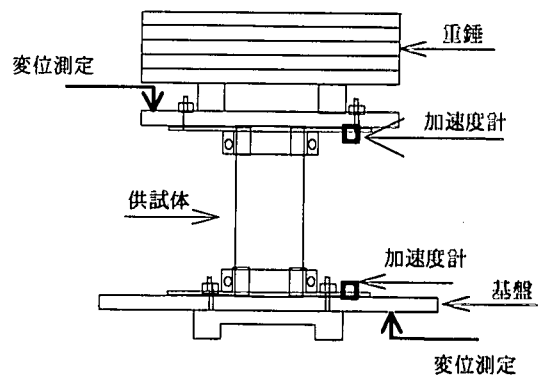


図-3 実験装置の計測概要

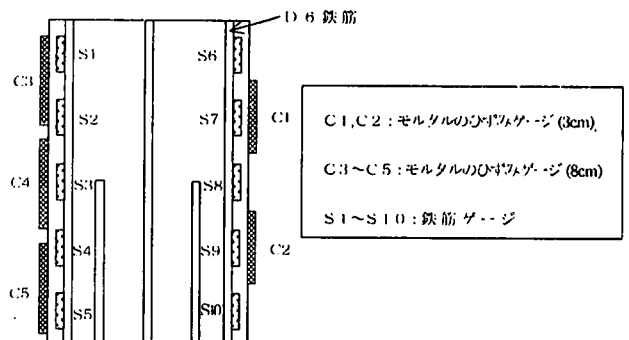


図-4 供試体の計測概要

2.3 供試体

供試体は、段落しを有する高さ 10m、直径 3m の RC 橋脚を約 1/30 でモデル化したもので、その外寸および配筋を図-5 に示す。また今回の実験では、コンクリートの代わりに圧縮強度 24.5 N/mm² のモルタルを使用し、鉄筋は表-1 に示す D6 鉄筋を使用した。

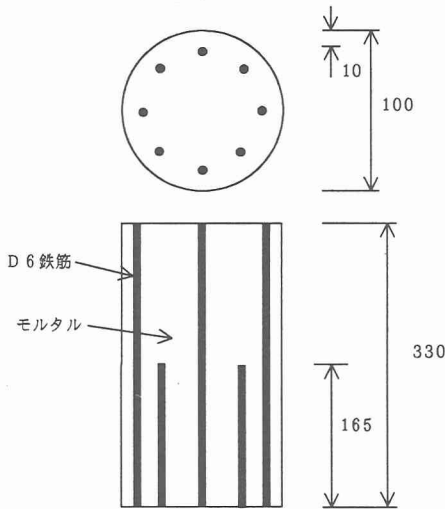


図-5 供試体

表-1 鉄筋の引張試験結果

弾性係数 (N/mm ²)	1.96 × 10 ⁵
降伏点 (N/mm ²)	461
引張強さ (N/mm ²)	573
伸び (%)	21

2.4 補強方法

今回の実験では、写真-1 に示すシート状に加工した繊維を使用し、繊維の目付け量を 300 g/m² に等しくした。また、図-6 に示すように、補強長は鋼板巻立ての報告²⁾を参考にいずれも 1D とし、繊維の接着にはエポキシ樹脂を使用した。なお、写真-2 に繊維補強した供試体を示す。

表-2 補強材料の物性

	鋼板	アラミド繊維	炭素繊維	ビニロン繊維
単繊維直径	厚さ 0.4mm	12μm	7~8μm	14μm
比重	7.86	1.39	1.8	1.3
引張強度 N/mm ²	309 (降伏点)	3,430	4,900	2,176
弾性係数 N/mm ²	2.1 × 10 ⁵	7.3 × 10 ⁴	2.3 × 10 ⁵	5.2 × 10 ⁴
破断時伸び	21.0 以上	4.6%	2.2%	4.9%

2.5 補強材料の種類

補強に用いた材料の物性を表-2 に示す。比較基準として、SS400 鋼板に相当するブリク板を使用した。また、アラミド繊維は、芳香族ポリアミド繊維のものを使用し、炭素繊維は、PAN 系のものを使用した。また、ビニロン繊維は、欧州においてスレートの耐衝撃性を向上させる目的で使用されている繊維で、アラミド繊維や炭素繊維とほぼ等しい使用性のものを用いた。

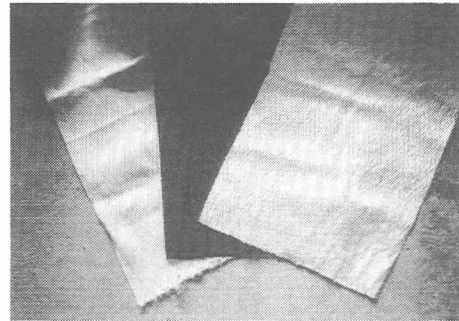


写真-1 使用繊維

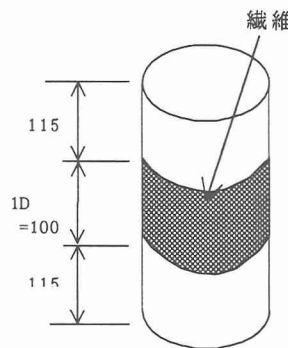


図-6 補強長

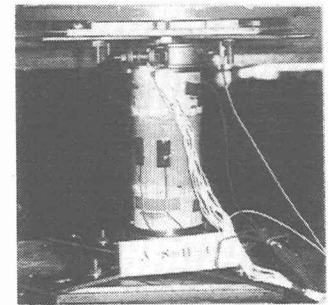


写真-2 補強供試体

2.6 実験ケース

実験ケースは、無補強供試体を加えて、補強材料の種類を組み合わせ、表-3 に示す 5 種類とした。

なお、今回の実験では、繊維の目付け量を一定

としたため、各繊維の上下方向の引張耐力が、表-3に示すように異なるものとなった。

表-3 実験ケース

NO	補強有無	補強材料	耐力比*1
1	無		
2	有	アラミド繊維	4.1
3		炭素繊維	5.9
4		ビニロン繊維	2.1
5		鋼板	1.0

*1：補強材料の総量の引張耐力比

3. 実験結果および考察

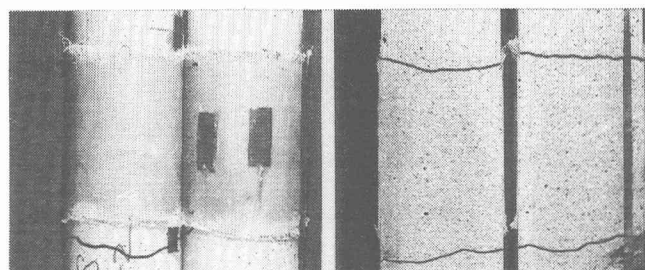
3.1 目視によるひび割れ観察

今回の実験では、供試体の表面および内部からひび割れの観察を行った。

無補強供試体では、供試体の表面および内部に、写真-3に示す水平輪切り状ひび割れが、鉄筋の段落し部に観察された。

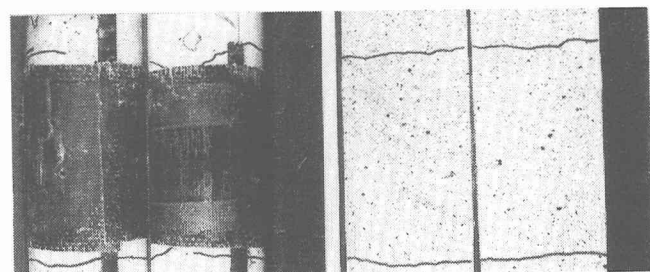
アラミド繊維、炭素繊維、ビニロン繊維および鋼板で補強した供試体のひび割れ観察結果を写真-4～写真-7に示す。補強した供試体は、無補強供試体のような段落し部のひび割れは見られなかったが、補強材料の端部でひび割れが観察された。これは、剛性の変化部が弱点となり、その部分にひび割れが発生したためと考えられる。したがって、衝撃的上下動に対する補強を行う場合は、剛性の変化部をできるだけ生じさせないような補強方法が必要ではないかと考えられる。

なお、各供試体のひび割れ写真は、供試体の中心部の状況のみを示している。



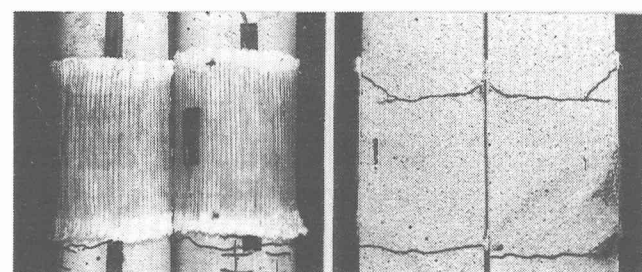
(a) 表面 (b) 内部

写真-4 アラミド繊維補強供試体



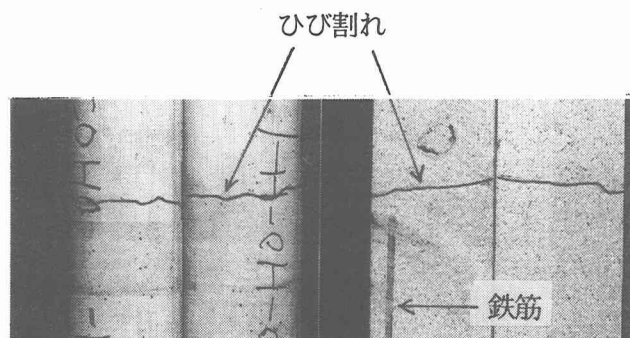
(a) 表面 (b) 内部

写真-5 炭素繊維補強供試体



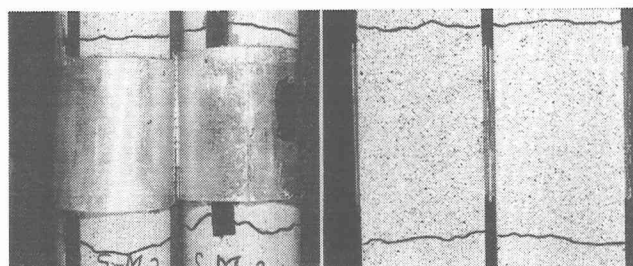
(a) 表面 (b) 内部

写真-6 ビニロン繊維補強供試体



(a) 表面 (b) 内部

写真-3 無補強供試体



(a) 表面 (b) 内部

写真-7 鋼板巻立て補強供試体

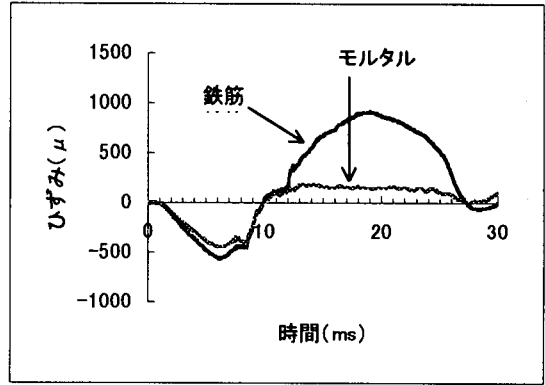
3.2 段落し部のひずみ応答

図-7 (a) ~ (e) に段落し部に貼付したモルタルのひずみゲージ (C4) および鉄筋のひずみゲージ (S3とS8の平均値) のひずみの時刻歴応答を示す。

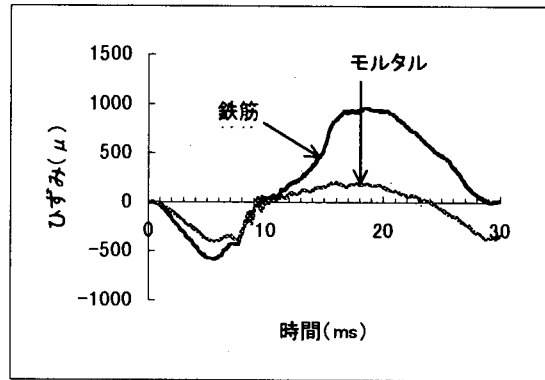
図-7 (a) に示す無補強供試体では、約 12ms でモルタルのひずみが引張側に振り切れており、鉄筋のひずみ応答はモルタルの振り切れ応答に重なるように、瞬時に急激な増加を示している。これは、ひび割れが発生した断面部分で鉄筋のみが引張力を負担したためだと考えられる。つまり、鉄筋の周りにひび割れが発生したことを示しており、一瞬にしてひび割れが供試体を貫通したと考えられる。

一方、図-7 (b)、(c) に示すアラミド繊維および炭素繊維の補強供試体では、無補強供試体のような急激なひずみの増加は見られなかった。しかし、図-7 (d) に示すビニロン繊維補強供試体では、約 17ms でモルタルのひずみおよび鉄筋のひずみに急激な増加が見られたが、前述の目視によるひび割れ観察では、ひび割れは観察されなかった。

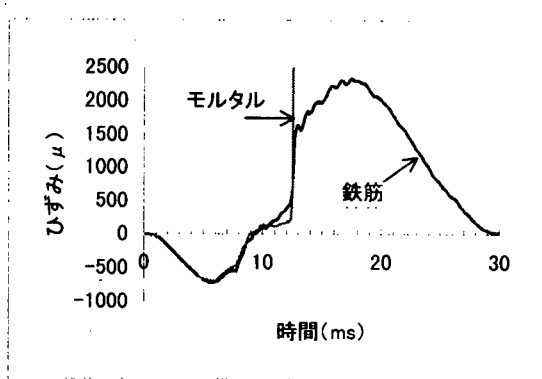
なお、図-7 (e) に示す鋼板巻立て補強では、ひずみに急激な変化は見られなかった。



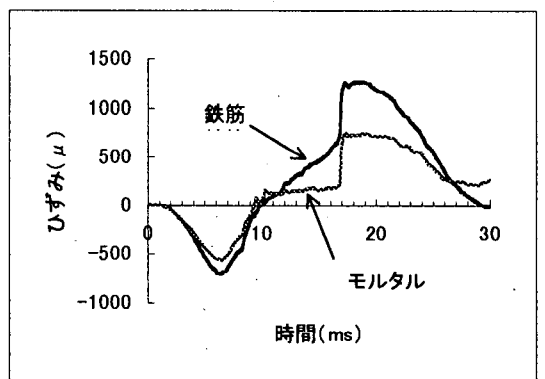
(b) アラミド繊維補強供試体



(c) 炭素繊維補強供試体

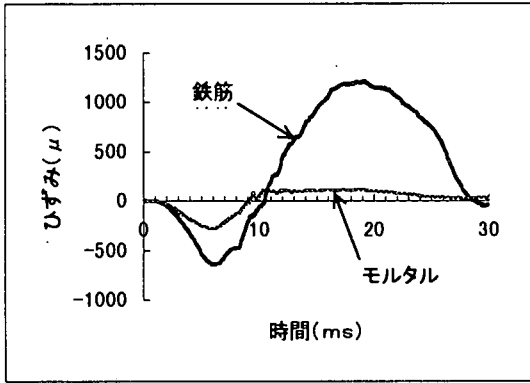


(a) 無補強供試体



(d) ビニロン繊維補強供試体

図-7 ひずみの時刻歴応答



(e) 鋼板巻立て補強供試体

図-7 ひずみの時刻歴応答

3.3 段落し部の最大鉄筋ひずみ応答の比較

図-8に各供試体の段落し部の鉄筋に添付したひずみゲージ(S3とS8の平均値)のひずみの時刻歴応答を示す。繊維補強供試体のひずみは、無補強供試体に比べ著しく低くなっており、また繊維の種類によるひずみ応答の差は、ビニロン繊維補強供試体が若干大きいものの、ほとんど見られなかった。一方、表-4に無補強供試体に対する補強供試体の段落し部における最大鉄筋ひずみ比を示す。繊維補強供試体の段落し部の最大鉄筋ひずみ比は、最も大きな値のビニロン繊維補強供試体でさえも、無補強供試体の約55%であった。

以上の結果から、繊維補強することにより、衝撃的上下動による段落し部の鉄筋への負担が、著しく減少することがわかった。

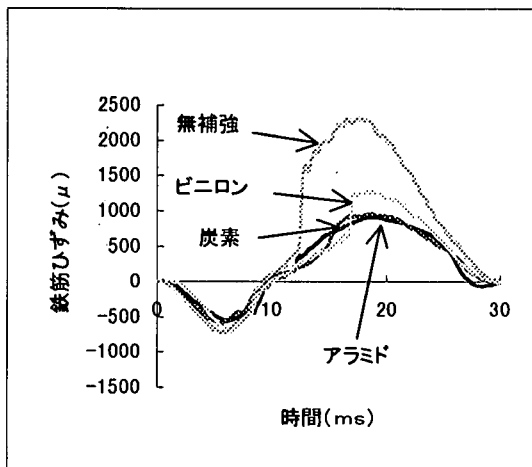


図-8 鉄筋ひずみの時刻歴応答

表-4 最大鉄筋ひずみ比

	最大鉄筋ひずみ比
アラミド繊維	0.48
炭素繊維	0.41
ビニロン繊維	0.55

4. まとめ

衝撃的上下動に関する今回の実験のまとめを以下に述べる。

- 1) 繊維補強した全供試体において、無補強供試体に見られた段落し部の水平輪切り状ひび割れは観察されなかった。
- 2) 繊維補強した全供試体において、剛性が変化する繊維の端部にひび割れが観察された。
- 3) 繊維補強した全供試体において、段落し部の鉄筋の最大ひずみは、無補強供試体に比べ著しく低くなり、繊維による補強効果を確認できた。
- 4) 繊維の種類による補強効果の差はほとんど見られなかった。

謝辞：今回の実験を行うにあたり、供試体の固定方法等のご助言を頂いた(株)宮地鐵工所の太田貞次氏、日本ゼニスパイプ(株)の谷川庸造氏に対し心から御礼申し上げます。また、貴重なサンプルを提供して頂いた各繊維メーカーの方々に対し、心から感謝の意を表します。

参考文献

- 1) 別府万寿博ほか：衝撃突き上げ装置によるRC橋脚模型の輪切り状ひび割れに関する実験的研究、土木学会論文集、No.577/I、pp.165-180、1997.10
- 2) 別府万寿博ほか：衝撃的上下動を受けるRC橋脚の輪切り状ひび割れの再現と鋼板巻立て補強効果に関する一考察、コンクリート工学年次論文報告集、Vol.19、No.2、pp.279-285、1997.7