

(104) 連続繊維補強材を用いた床版の下面増厚補強効果

群馬大学 大学院 ○金田 和男
 群馬大学 工学部 正会員 辻 幸和
 群馬大学 大学院 榎原 健太郎
 ト・ビ・建設工業(株) 正会員 金井 昌義

1. はじめに

軽量かつ耐腐食性に優れている連続繊維補強材 (FRP) は、使用環境を問わず、鉄筋コンクリート (RC) 床版の補強用材料 (以下、補強材) として最適である。しかし、下面増厚補強法に用いる補強材の評価方法は確立されているとはいえない。

本研究では、劣化を想定して曲げひび割れを発生させた RC 床版に、補強材に炭素繊維の連続繊維補強材 (CFRP) を用いて、下面増厚補強を施した RC 床版に静的載荷試験を行い、RC 床版の力学的性状について無補強および補強材に鉄筋を用いた RC 床版と比較し、改善効果を検討する。

2. 実験概要

2.1 劣化 RC 床版の作製

RC 床版は、大部分が高さ 200mm、幅 300mm の矩形断面であり、長さ 3000mm のものを作製した。軸方向鉄筋として、引張側には SD295 D13 鉄筋を、圧縮側には SD295 D10 鉄筋をそれぞれ 3 本ずつ配置した。また、せん断補強鉄筋として、SD295 D6 鉄筋を等曲げモーメント区間内は 100mm 間隔、せん断スパン内は 50mm 間隔にそれぞれ配置した。ただし、CFRP-CM2 のみは、供試体の幅を 500mm とし、軸方向鉄筋として、引張側には SD295 D13 鉄筋を、圧縮側には SD295 D10 鉄筋をそれぞれ 5 本ずつ配置した。また、RC 床版の部材コンクリートの設計基準強度はすべて 24N/mm² とした。

部材コンクリートに所定の強度が発現した、もしくは材齢 28 日に達した時点で、劣化を想定して RC 床版に載荷を行った。載荷方法は、等曲げモーメント区間 600mm、せん断スパン 2600mm の 2 点集中載荷とした。載荷開始後、RC 床版の引張側に曲げひび割れを発生させ、引張鉄筋の応力度が約 300N/mm² になるまで漸増載荷を行った。

2.2 補強方法

補強材の諸性状を表-1 に示す。補強材には、D6 鉄筋と格子形状の CFRP を用いた。表-2 に補強方法の種類を示す。補強方法としては、下面増厚補強を行った。そのため、躯体と下面増厚部との付着を確保するため、劣化 RC 床版下面に下地処理を行った。下地処理は、粗骨材が見えるまでコンクリート表面を削った状態とした。その後、RC 床版下面に約 30mm の厚さで、モルタルの圧入工法により下面増厚部を仕上げた。また、各供試体にプライマーの塗布の有無を実験要因に設け、躯体と下面増厚部との付着の確保に差を設けた。

補強材およびアンカーボルトの配置位置を図-1 に示す。劣化 RC 床版下面の下地処理の終了後、補強材を下面から約 5mm の位置にスペーサーおよびずれ止め補強用アンカーボルト 13 本を用いて固定した。また、端部での定着破壊を防ぐため、せん断補強用アンカーボルトを両端部に 24 本ずつ、計 61 本打ち込んだ。CFRP-CM2 については、ずれ止め用アンカーボルトを 12 本ずつ、

表-1 補強材の諸性状

補強材の種類	引張強度 (N/mm ²)	弾性係数 (N/mm ²)	断面積 (mm ²)	引張剛性 (N)
D6 鉄筋	381*	2.0×10 ⁵	222	4.44×10 ⁷
CFRP-C	1600	1.0×10 ⁵	123	1.23×10 ⁷
CFRP-CM1	1500	1.6×10 ⁵	240	4.80×10 ⁷
CFRP-CM2	1500	1.6×10 ⁵	238	3.81×10 ⁷

*は降伏強度

表-2 補強方法の種類

補強材の種類	アンカーボルト
無補強	—
D6 鉄筋	100%
CFRP-C	100%
CFRP-CM1	100%
CFRP-CM2	50%

せん断補強用アンカーボルトを14本ずつ、計52本打ち込んだ。供試体の単位幅で比較すると、CFRP-CM2はアンカーボルトの本数を50%に減らした。

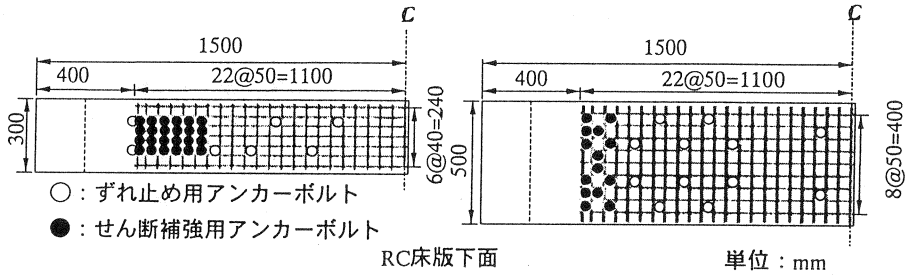


図-1 補強材およびアンカーボルトの設置位置

表-3 供試体の種類

供試体名	補強材	プライマーの塗布	アンカーボルト
無補強	—	—	—
No. 1	D6 鉄筋	無	100%
	CFRP-C		100%
	CFRP-CM1		100%
	CFRP-CM2		50%
No. 2	D6 鉄筋	有	100%
	CFRP-C		100%
	CFRP-CM1		100%
	CFRP-CM2		50%

補強材の配置後、実施工を想定して、劣化 RC 床版を地面から 2m ほどの位置に設置した。その後、下面増厚部に木製型枠を取り付け、ポリマーセメントモルタルを圧入した。圧入の際には、空気抜き用のチューブを両支点端部に計 4 カ所設置し、

劣化 RC 床版下面と下面増厚部との付着が完全となるようにした。ポリマーセメントモルタルの圧入後、材齢 14 日まで気中養生を行い、載荷試験用の供試体とした。

表-3 に供試体の種類を示す。補強材に D6 鉄筋、CFRP-C、CFRP-CM の 3 種類を用いた。CFRP-C については引張剛性を変えた 2 種類を用いた。また、比較のため、無補強の供試体も作製し、計 9 体とした。

2.3 載荷方法

供試体の形状寸法および載荷方法を図-2 に示す。スパン 2600mm、等曲げモーメント区間 600mm の 2 点集中載荷とした。また、載荷方式は、荷重制御により供試体が破壊するまで静的漸増載荷を行い、下面増厚補強効果について検討を行った。所定の荷重ごとに、等曲げモーメント区間内の圧縮鉄筋、引張鉄筋、補強材、供試体の圧縮縁および引張縁コンクリートの各ひずみ、供試体の引張縁および側面の引張鉄筋位置での曲げひび割れ幅、供試体中央部のたわみをそれぞれ測定した。

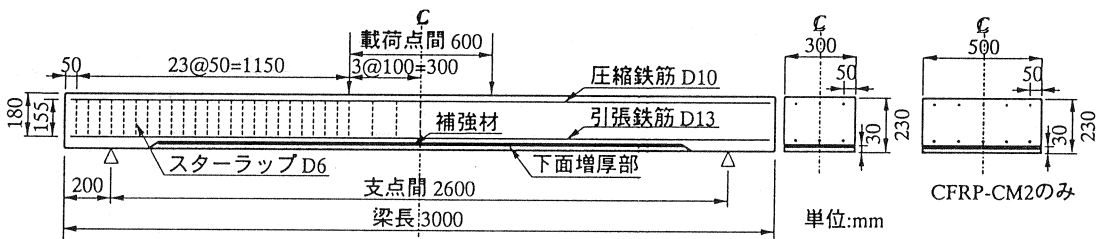


図-2 供試体の形状寸法および載荷方法

3. 載荷試験結果

3.1 引張鉄筋のひずみ

図-3 に引張鉄筋のひずみと曲げモーメントの関係を示す。ここで計算値とは、圧縮縁コンクリートのひずみの各段階ごとに、ひずみ分布の直線性を仮定し、そのひずみ分布から求まるコンクリートと鉄筋や補強材との力の釣合い条件から算出した。計算に用いたコンクリートと鉄筋の応力-ひずみの関係は、土木学会コンクリート標準示方書「設計編」[3章 材料の設計用値] に示されているものを用いた。また、躯体と下

面増厚部の付着は完全のものとした。

引張鉄筋のひずみには、すべての供試体において補強効果が見られた。また、補強材の種類によって、引張鉄筋降伏時の曲げモーメントに差が現れた。これは、補強材の引張剛性が異なるためであり、引張剛性の高い補強材を用いた供試体ほど、引張鉄筋降伏時の曲げモーメントが高い値を示した。すべての供試体において、プライマーを塗布したNo.2がプライマーを塗布していないNo.1に比べて高い曲げモーメントで引張鉄筋が降伏している。プライマーの塗布により、躯体と下面増厚部の間における付着の確保に効果があったと考えられる。

各供試体において計算値と比較すると、補強材に D6 鉄筋, CFRP-C, CFRP-CM2 を用いた供試体の引張鉄筋のひずみは、計算値とほぼ同じ値を示している。したがって、躯体と下面増厚部の一体化は、十分に図られていたと考えられる。一方、補強材に CFRP-CM1 を用いた供試体の引張鉄筋のひずみは、弾性域内では、計算値とほぼ同じ値を示している。しかし、引張鉄筋降伏時の曲げモーメントの値が計算値に比べて低く、また、引張鉄筋降伏後の挙動も大きく異なっている。躯体と下面増厚部との間にずれまたは滑りが生じ、引張鉄筋に作用する引張力が大きくなったと考えられる。引張剛性を高めた結果、補強効果は十分に得られたが、下面増厚部の端部の剥離、躯体と下面増厚部の間に水平ひび割れの発生なども認められた。

アンカーボルトの本数を50%としたCFRP-CM2については、引張剛性をCFRP-CM1に比べて小さくしたため、躯体と下面増厚部の間にずれまたは滑りは生じなかったが、アンカーボルト1本の負担するせん断力が増えたため、抜けたものが数本あった。実施工に向けて、アンカーボルトの本数を減らすことを考えると、躯体と下面増厚部の間における付着の確保が重要になると考えられる。

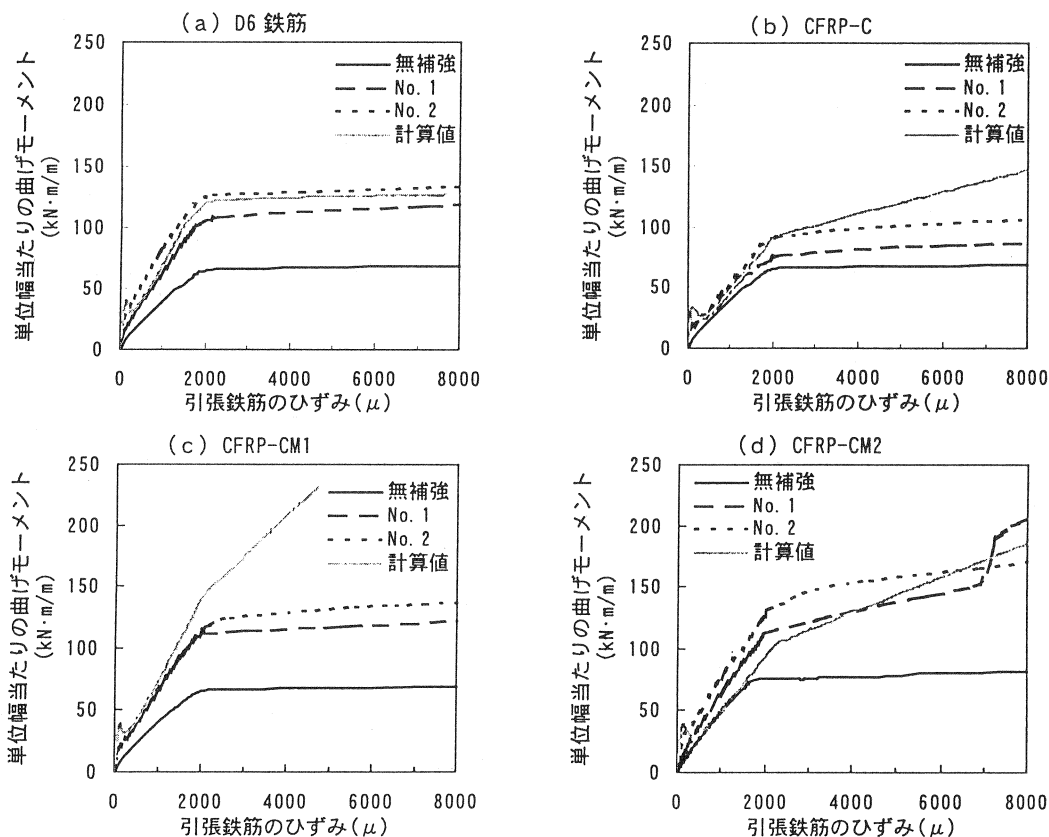


図-3 引張鉄筋のひずみと曲げモーメントの関係

3.2 補強材のひずみ

図-4に補強材のひずみと曲げモーメントの関係を示す。この図の計算値とは、引張鉄筋のひずみと同様に、コンクリートと鉄筋や補強材との力の釣合い条件から算出した。また、躯体と下面増厚部の付着は完全のものとして仮定した。

補強材のひずみは、躯体と下面増厚部の付着が完全と考えている計算値とほぼ同じ値を示している。したがって、すべての供試体において、補強材が終局状態に至るまで引張力を負担していたことがわかる。特に、CFRPについては降伏傾向を示さないため、引張鉄筋降伏後の引張力の増加分も十分に負担しており、補強材にCFRPを用いることは下面増厚補強に有効であると考えられる。しかし、引張剛性の最も高いCFRP-CM1については、前述した引張鉄筋のひずみと併せて考えると、躯体と下面増厚部の一体化が図られていたとはいえ、引張鉄筋降伏後に躯体と下面増厚部の間にずれまたは滑りが生じたと考えられる。引張剛性を高めることで、補強効果は高くなる。しかし、補強を実施する際、供試体端部での定着破壊および補強材の剥離を防ぐため、定着部のアンカーボルトの本数を多くする必要がある。

劣化RC床版下面の下地処理の際、プライマーの塗布により差を設けたNo.1およびNo.2は、補強材にD6鉄筋およびCFRP-Cを用いた供試体において若干の差が生じたが、CFRP-CMにおいてはほぼ同様な傾向を示しており、補強材のひずみに関してはプライマーの塗布による効果はほとんど認められなかった。

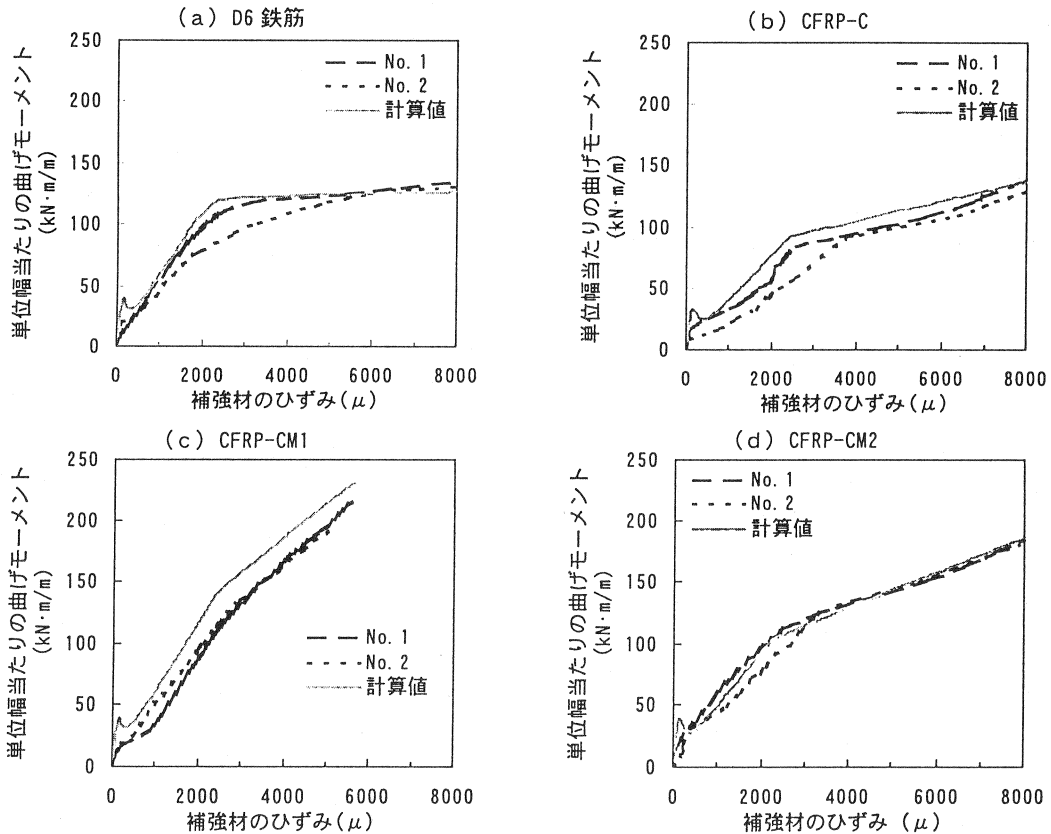


図-4 補強材のひずみと曲げモーメントの関係

3.3 最大曲げひび割れ幅

供試体側面の最大曲げひび割れ幅と荷重の関係を、図-5に示す。供試体側面の最大曲げひび割れ幅とは、供試体側面の引張鉄筋の位置に設置したゲージ長100mmのバイゲージにより、等曲げモーメント区間を計

測した曲げひび割れ幅を含む伸びの最大値である。計算値については、土木学会コンクリート標準示方書「設計編」[7章 使用限界状態に対する検討]に規定されている曲げひび割れ幅の算定式を用いた。

供試体側面の最大曲げひび割れ幅は、すべての供試体において補強効果が見られた。劣化を想定してあらかじめ曲げひび割れを発生させた際に、供試体間でひび割れの発生状況にばらつきが生じた。そのため、多くの供試体が計算値に比べて大きな値を示したが、計算値とほぼ類似した傾向を示している。特に、プライマーの塗布を行った No.2 の供試体は、計算値とほぼ同等か安全側の値を示している。躯体と下面増厚部の間の付着が確保されており、曲げひび割れの分散は良好であったと思われる。プライマーの塗布による効果があったと思われる。また、補強材に引張剛性の高いCFRP-CM1 および CFRP-CM2 を用いた供試体については、引張鉄筋の降伏による影響がほとんど現れていない。補強材の引張剛性を高めることで、引張鉄筋降伏後も曲げひび割れ幅の制御が可能であると考えられる。

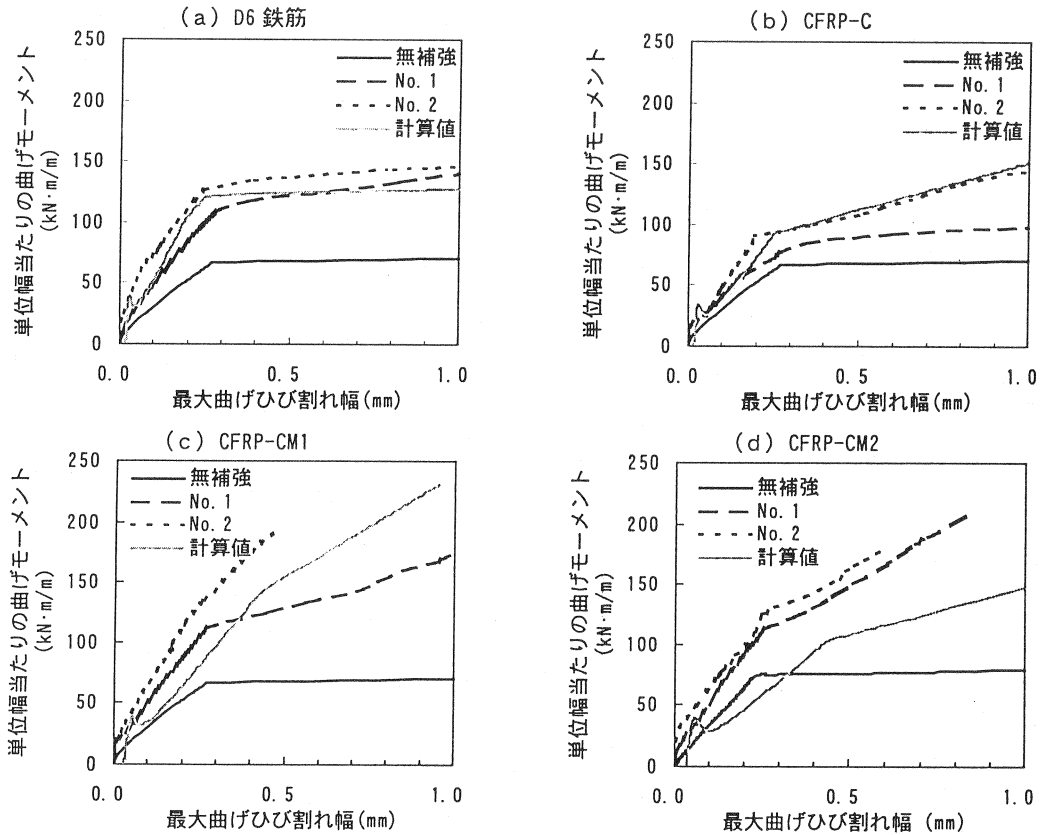


図-5 最大曲げひび割れ幅と曲げモーメントの関係

3.4 総曲げひび割れ幅

総曲げひび割れ幅と荷重の関係を、図-6に示す。総曲げひび割れ幅とは、供試体側面の引張鉄筋の位置に設置したゲージ長 100mm のパイゲージにより、等曲げモーメント区間を計測した曲げひび割れ幅を含む伸びの総和である。

総曲げひび割れ幅についても、すべての供試体において補強効果が見られた。しかし、補強材の種類が異なると、初期荷重の段階からだけでなく、引張鉄筋の降伏後においても、総曲げひび割れ幅の増加量に差が現れた。初期荷重の段階では、補強材の引張剛性の大きさに対応し、総曲げひび割れ幅は小さくなっている。そして、補強材に D6 鉄筋を用いた供試体は、引張鉄筋、補強材ともに降伏後は、総曲げひび割れ幅が急激

に増加した。一方、補強材にCFRPを用いた供試体は、補強材が引張鉄筋の降伏後も引張力の増加を負担しており、総曲げひび割れ幅の急激な増加が抑えられた。補強材の引張強度が大きく異なるためである。

プライマーの塗布の有無について No.1, No.2 を比較すると、CFRP-CM1 の供試体においてのみ差が大きく現れた。しかし、他の供試体6体については顕著な差は現れず、ほぼ同等な値を示した。したがって、総曲げひび割れ幅に関しては、プライマーの塗布による効果はあまり認められなかった。

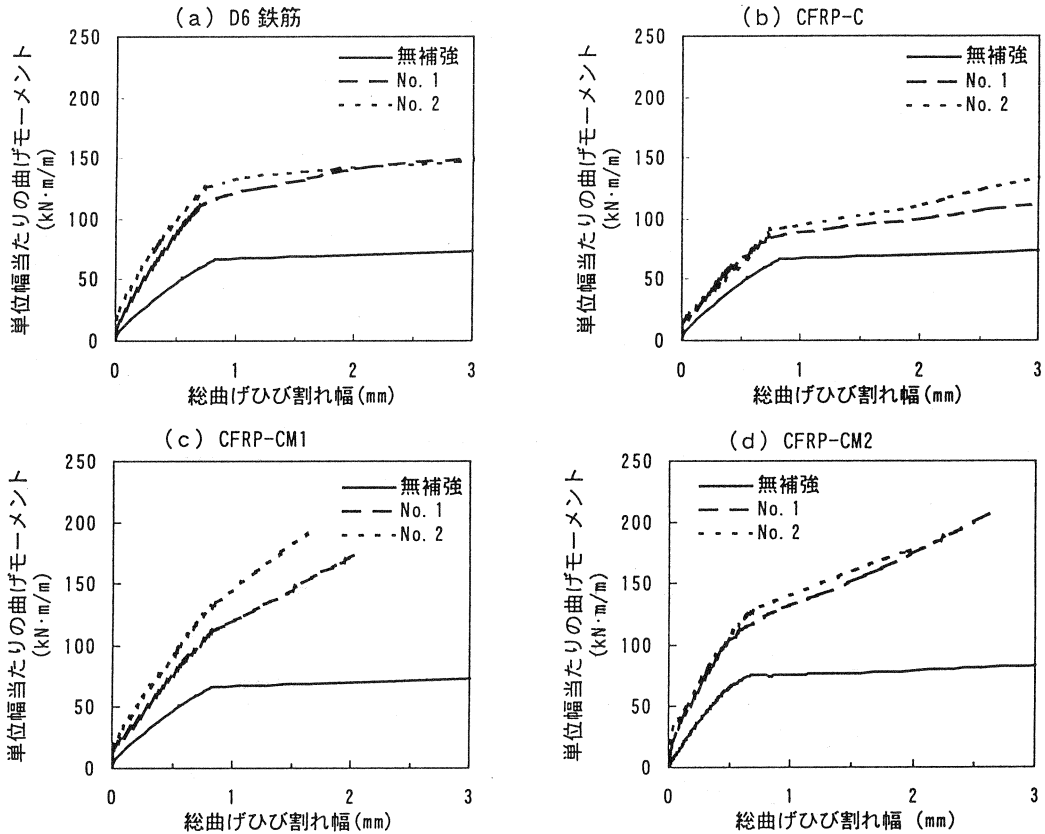


図-6 最大曲げひび割れ幅と曲げモーメントの関係

4. まとめ

下面増厚補強を施したRC床版の静的載荷試験より、以下の知見を得た。

- ①補強材にCFRPを用いることで、引張鉄筋降伏後の総曲げひび割れ幅の急激な増加を抑えることができる。また、CFRPの引張剛性を変えることで、曲げひび割れ幅の制御が可能である。
- ②補強材の引張剛性を高めることで、高い補強効果が得られるが、躯体と下面増厚部の一体化の維持を確保することが重要である。
- ③躯体と下面増厚部の一体化を確保するためにプライマーを使用した方が、使用効果については更なる研究が必要である。

[謝辞] 本研究は、群馬大学とドービー建設工業(株)の共同研究によるものである。実験の実施に当たり、ネフコム(株)、日本セメント(株)より多大なご協力を賜りました。ここに記して感謝の意を表します。

(参考文献) 三浦, 辻, 金井, 池田: 連続繊維補強材により下面増厚を行ったRC床版の力学的性状, コンクリート工学年次論文報告集, Vol.20, No.1, pp.437~442, 1998