

論文 連続繊維補強材と圧入モルタルによる RC 床版の下面増厚補強効果

金田和男^{*1}・辻 幸和^{*2}・金井昌義^{*3}

要旨: 炭素繊維の連続繊維補強材 (CFRP) と圧入モルタルを用いて下面増厚補強工法を施した RC 床版の静的載荷試験を行った。補強材を設置する際の定着強度を 5 種類, RC 床版下面の下地処理における下地材の使用の有無を要因にとり, 曲げおよび水平せん断性状について検討した。その結果, 定着強度を高めることで水平せん断ひび割れの発生荷重を向上させることはほとんどできなかったが, 最大荷重を増加させることができ, 補強材の性能を有効に利用できることが明らかになった。

キーワード: 定着強度, 下地材, 連続繊維補強材, 下面増厚補強, アンカーボルト

1. はじめに

鉄筋コンクリート(RC)構造物の長期にわたる使用においては, 補修・補強が必要となる。補修・補強に用いる補強用材料(以下, 補強材)には, 軽量かつ引張強度が大きい連続繊維補強材(FRP)が, 耐腐食性にも優れ, 塩害環境下など使用環境を問わず用いることが可能であり, RC床版の補強材としても最適である。

補修・補強において, 既存構造物との一体化は重要であり, 補強材の定着方法に様々な方法が用いられている。格子形状の補強材を用いる場合, アンカーボルトで定着させる方法が一般的である。

本研究では, アンカーボルトの本数を増減させることで, 補強材の定着強度を 5 種類, 下地処理における下地材の使用の有無により躯体と

下面増厚部の付着に差を設け, それぞれの補強効果を曲げおよび水平せん断性状について検討した結果を報告する。

2. 実験概要

2.1 供試体

供試体の形状寸法を図-1に, 炭素繊維の連続繊維補強材(CFRP)および鉄筋の諸性状を表-1にそれぞれ示す。実験に用いた供試体は, 劣化を想定して引張側に曲げひび割れを発生させた RC 床版に, 補強材として引張剛性をほぼ等しくした D6 鉄筋および PAN 系の CFRP を

表-1 補強材の諸性状

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	374*	1.87×10 ⁵	222	4.15×10 ⁷
CFRP	1882	1.72×10 ⁵	238	4.09×10 ⁷

*は降伏強度

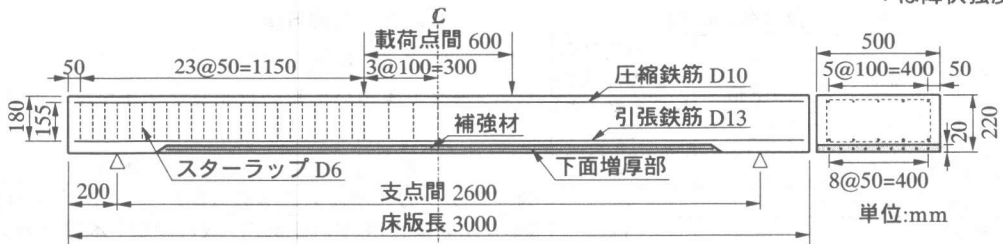


図-1 供試体の形状寸法および載荷方法

*1 群馬大学大学院 建設工学専攻 (正会員)
 *2 群馬大学教授 工学部建設工学科 工博 (正会員)
 *3 ドーピー建設工業(株)東京支店

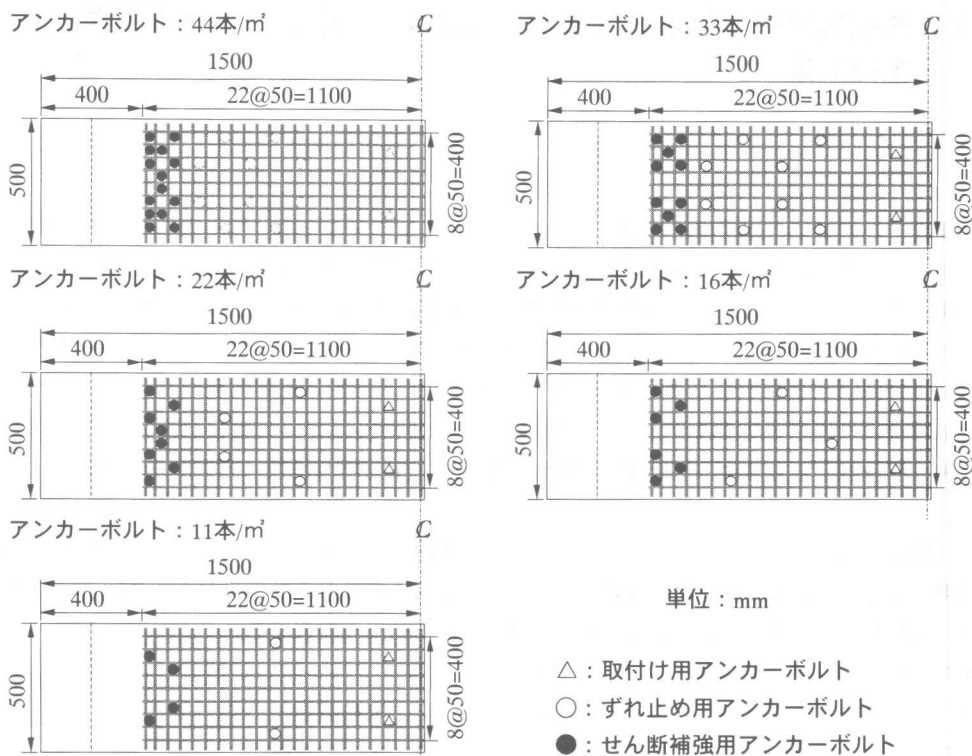


図-2 アンカーボルトの配置位置

用いて厚さ 20mm の下面増厚補強を施した補強 RC 床版を使用した。高さ 220mm、幅 500mm、長さ 3000mm の補強 RC 床版には、軸方向鉄筋として、圧縮側に D10、引張側に D13 をそれぞれ 5 本ずつ配置していた。また、せん断補強用鉄筋として、D6 鉄筋を等曲げモーメント区間内は 100mm ピッチ、せん断スパンは 50mm ピッチで配置していた。

供試体の種類を表-2 に示す。供試体は、補強を施していない「無補強」、補強材に D6 鉄筋を用いた「D6 鉄筋」、および CFRP を用いて補強を施した補強 RC 床版を作製した。なお、補強材に CFRP を用いた補強 RC 床版については、補強材を定着する際のアンカーボルトの本数を 44 本から 11 本までの 5 種類、劣化 RC 床版下面の下地処理の際、下地材のプライマー塗布の有無を設けた 2 種類に変化させた。

表-2 供試体の種類

名称	補強材	プライマーの塗布	1 m ² 当たりのアンカーボルトの本数 (本)
無補強	—	—	—
D6 鉄筋	D6 鉄筋	有	44
P:44	CFRP	〃	44
P:33	〃	〃	33
P:22	〃	〃	22
P:16	〃	〃	16
P:11	〃	〃	11
N:44	〃	無	44
N:22	〃	〃	22

2.2 補強方法

劣化 RC 床版下面の表面処理には、サンドブラストを用いて粗骨材が見えるまで削った状態

表-3 アンカーボルトの本数

種類	アンカーボルトの本数 (本)			1 m ² 当たりの本数 (本)
	せん断補強用	ずれ止め用	取付け用	
1	28	20	4	44
2	20	16	〃	33
3	16	8	〃	22
4	12	6	〃	16
5	8	4	〃	11

とした。その後、躯体と下面増厚部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。下地処理には、下地材であるアクリル系のプライマーを塗布することを基準とし、プライマーを塗布しない供試体も 2 体作製した。

補強材およびアンカーボルトの配置位置を図-2 に、アンカーボルトの本数を表-3 にそれぞれ示す。補強材は、劣化 RC 床版の下縁から 6mm の位置にスペーサおよび直径 8mm、長さ 50mm の鋼製アンカーボルトを用いて固定し、ポリマーセメントモルタルを圧入することによって、躯体との一体化を図った。アンカーボルトについては、せん断補強用、ずれ止め用および取付け用としてそれぞれ表に示す本数を打ち込んだ。アンカーボルトの埋込み位置は格

子の中央とし、埋込み長は 30mm とした。

2. 3 載荷試験方法

載荷試験方法は、載荷点間 600mm、支点間 2600mm の 2 点集中載荷とした。載荷方式は、荷重制御とし、供試体が破壊するまで漸増載荷を行い、曲げおよび水平せん断性状の検討を行った。測定項目は、等曲げモーメント区間の圧縮鉄筋、引張鉄筋、補強材のひずみと、引張縁および供試体側面の引張鉄筋配置位置での曲げひび割れ幅、コンクリートの圧縮縁と引張縁のひずみ、たわみならびに曲げひび割れと水平せん断ひび割れの発達状況とした。

3. 実験結果および考察

3. 1 破壊状況

破壊後の各供試体側面のひび割れ状況を図-3 に示す。「無補強」および「D6 鉄筋」供試体は、曲げひび割れの発生後、載荷点に向かって曲げひび割れが進展した。引張鉄筋の降伏後、圧縮側のコンクリートが圧壊する曲げ引張破壊であった。定着強度の高い「P:44」および「N:44」供試体は、曲げひび割れの発生後、曲げひび割れの進展とともにせん断スパンに斜めひび割れが発生した。斜めひび割れの発生後、等曲げモーメント区間内の曲げひび割れはあまり進展せず、斜めひび割れが載荷点に向かって伸びた。引張鉄筋の降伏後、圧縮縁コンクリートが圧壊する前に斜めひび割れが卓越して破壊するせん断破壊であった。その他の「P:33」、「P:22」、「N:22」、「P:16」、「P:11」の各供試体は、引張鉄筋が降伏に至るまでは、ほぼ等しいひび割れの進展状況を示した。しかし、引張鉄筋の

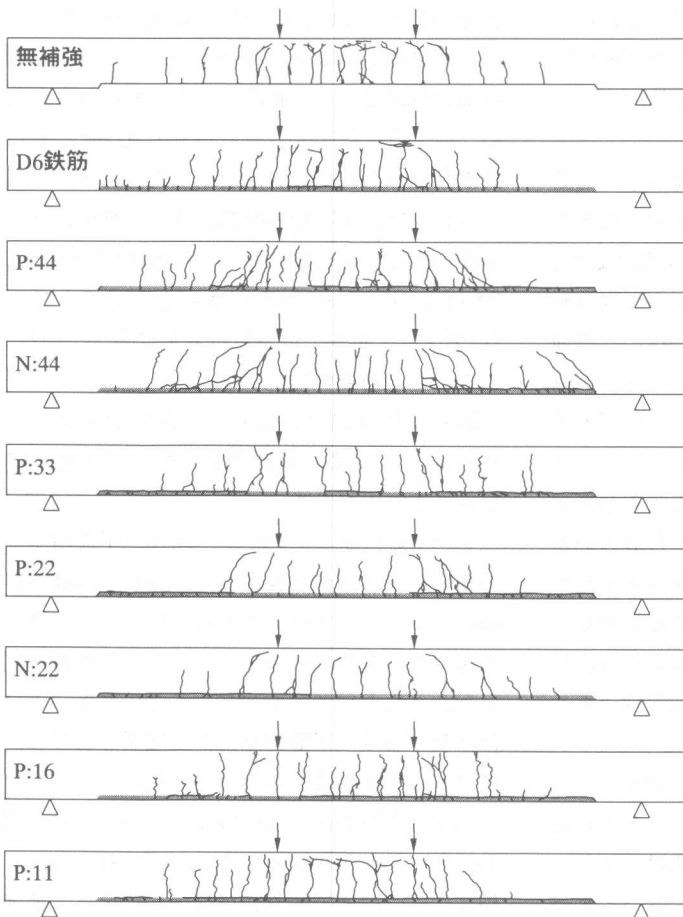


図-3 ひび割れ状況図

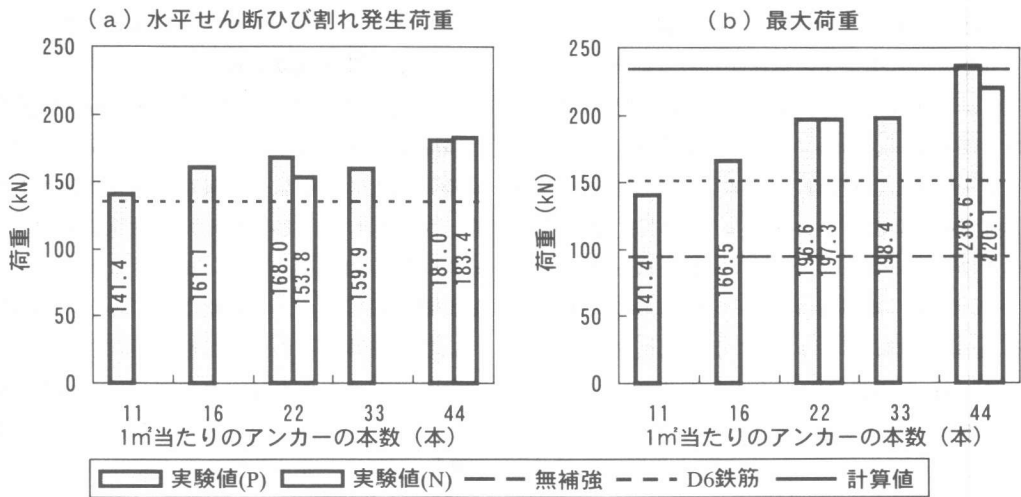


図-4 水平せん断ひび割れ発生荷重および最大荷重

降伏以降、下面増厚部の定着部の剥離もしくは下面増厚部の剥離によって荷重の増加が止まる破壊であった。定着強度を低下させたことにより、引張鉄筋の降伏による供試体の変形の急激な増加に下面増厚部との一体化が維持できなくなったためである。

水平せん断ひび割れ発生荷重および最大荷重を図-4に示す。躯体と下面増厚部との水平せん断ひび割れは、すべての供試体で発生した。水平せん断ひび割れ発生荷重は、「P:44」、「N:44」供試体が若干高い値を示した。しかし、「無補強」を除く6体については、「P:11」および「D6鉄筋」供試体が1割程度低い値を示したが、その他の供試体はほぼ等しい荷重で発生しており、アンカーボルトの本数の違いによる定着強度の差、プライマーの塗布の有無による付着力の差はあまり見られなかった。サンドブラストを用いたことで、劣化RC床版下面の表面処理が十分に行われていたためであると考えられる。水平せん断ひび割れについては、表面処理とモルタルの充填が重要と思われる。

水平せん断ひび割れの発生以降、破壊に至るまでの挙動については、定着強度による差が顕著に表れた。「P:44」、「N:44」供試体は、水平せん断ひび割れの発生後もアンカーボルトによって引張応力が下面増厚部に十分に伝達された。

したがって、最大荷重は躯体と下面増厚部の付着が完全であると仮定した計算値とほぼ等しい値を示した。しかし、その他の供試体については、水平せん断ひび割れの発生に伴い、下面増厚部に伝達される引張応力が不十分になったため、最大荷重はアンカーボルトの減少とともに低下している。特に、「P:16」、「P:11」の供試体については、水平せん断ひび割れの発生以降、荷重の増加はあまり見られず、破壊に至った。「P:44」に比べて約40%最大荷重が低下しており、アンカーボルトの本数は非常に重要である。

3.2 補強材のひずみ

図-5に補強材のひずみと荷重の関係を示し、表-4に各供試体の最大荷重時の補強材のひずみをそれぞれ示す。

すべての供試体において、躯体と下面増厚部との間の付着が完全と仮定した計算値とほぼ同じ傾向を示した。すべての供試体において、終局状態に至るまで、補強材が引張応力を負担していたことを示している。モルタルの充填が十分に行われており、下面増厚部が剥離するまでは、ほぼ等しい付着性状のためである。

最大荷重時の補強材のひずみについては、定着強度による差が顕著に表れた。「P:44」、「N:44」供試体は、破断ひずみにほぼ等しい値まで補強材に引張応力が生じており、補強材の性能が十

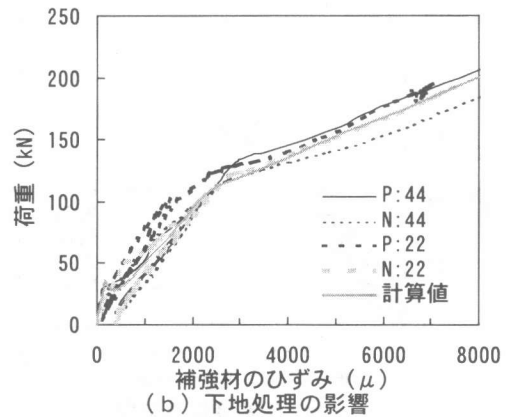
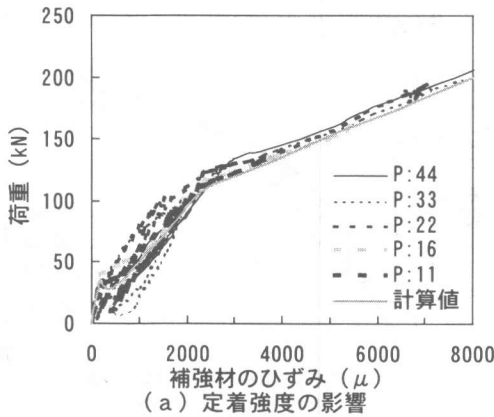


図-5 補強材のひずみと荷重の関係

表-4 最大荷重時の補強材のひずみ

名称	補強材のひずみ (μ)		実験値/計算値
	実験値	計算値	
P:44	9920	10950	0.91
N:44	10750	"	0.98
P:33	7800	"	0.71
P:22	7180	"	0.66
N:22	7900	"	0.72
P:16	5570	"	0.51
P:11	4020	"	0.37

分に発揮されており、有効に利用していることがわかる。しかし、定着強度が低下するにしたがって補強材の性能を十分に利用できていない。「P:16」供試体で約 50%、「P:11」供試体に至っては、37%程度利用しているのみである。すなわち、定着強度を低下させると、躯体と下面増厚部との一体化の維持が早い段階で不可能となり、補強材の性能を利用できなくなってしまう。な

お、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ている¹⁾。

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示す。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 のパイ型変位計により、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。計算値としては、趙、丸山²⁾の多段配筋構造におけるひび割れ幅の算定式を用いた。

初期欠陥における曲げひび割れの発生状況による多少のばらつきがあるが、破壊に至るまで補強材が引張応力を分担しているため、計算値とほぼ等しい値を示していた。ひび割れの分散が良好であったためと考えられる。

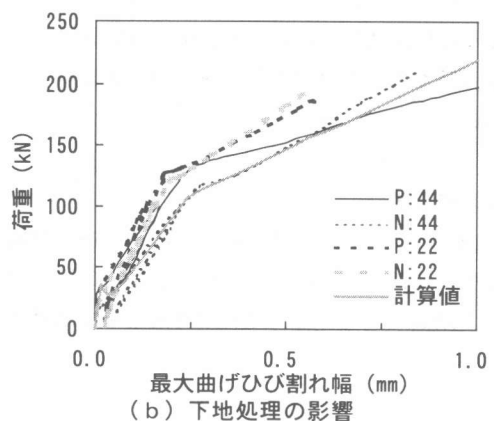
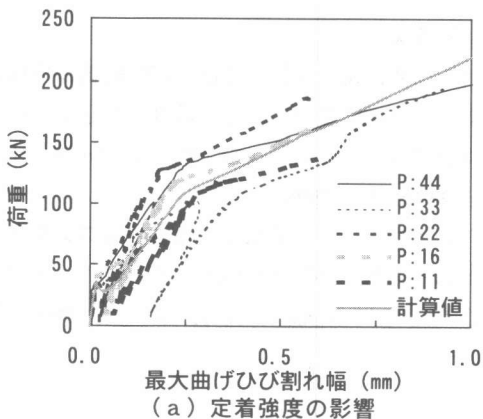
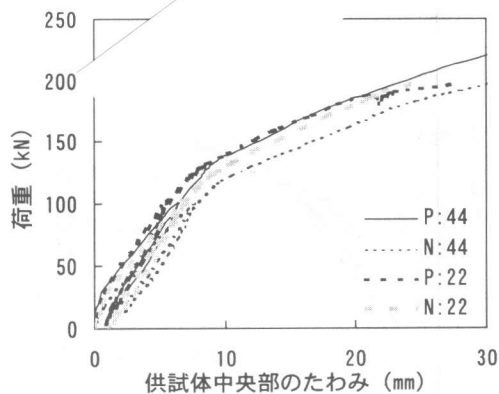
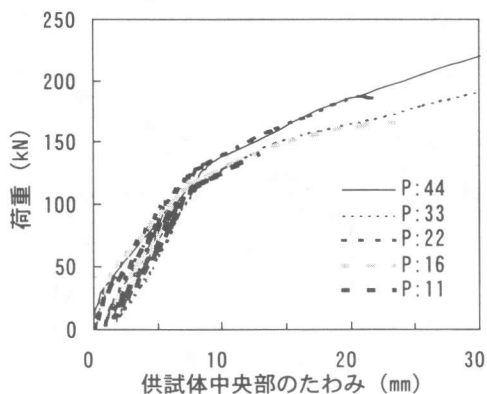


図-6 最大曲げひび割れ幅と荷重の関係



(a) 定着強度の影響

(b) 下地処理の影響

図-7 供試体中央部のたわみと荷重の関係

下地処理における下地材の使用効果に着目すると、「P:44」、「P:22」供試体および「N:44」、「N:22」供試体は、ともにほぼ同様な傾向を示している。プライマーの塗布の有無による影響はほとんどなかったと思われる。

3.4 供試体中央部のたわみ

供試体中央部のたわみと荷重の関係を図-7に示す。補強材にCFRPを用いた供試体は、引張鉄筋の降伏以前においては、ほぼ同様な傾向を示している。しかしながら、「P:44」供試体は、引張鉄筋の降伏以降も直線分布であるが、「P:22」、「N:22」供試体は、水平せん断ひび割れが発生した荷重において、「P:33」、「P:16」、「P:11」供試体は、引張鉄筋が降伏した荷重付近から「P:44」供試体に比べて、同一荷重においてたわみが大きくなっている。引張鉄筋の降伏によって、補強材が負担すべき引張応力は増加したが、定着強度が低いために、下面増厚部が剥離し、補強材が引張応力の増加分を負担できなかったためと考えられる。

4. まとめ

RC床版の下面増厚補強における、連続繊維補強材を設置する際の定着強度、RC床版下面の下地処理における下地材の使用効果を曲げ性

状と水平せん断性状から検討を行った。本研究で、次のことがいえる。

- 1) 定着強度を高めることで、最大荷重を増加させることができるが、水平せん断ひび割れの発生にはあまり効果がない。
- 2) 定着強度を高めることで、補強材の性能を有効に利用することができる。
- 3) RC床版下面の表面処理をサンドブラストを用いて十分に行ったため、下地材であるプライマーの効果が表われなかった。この点については今後更なる研究が必要である。

謝辞

本研究の実施は、ドービー建設工業(株)との共同研究であり、ネフコム(株)、太平洋セメント(株)より多大なご援助を頂きました。厚くお礼申し上げます。

参考文献

- 1) 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はりの力学的性状, コンクリート工学年次論文報告集, Vol.20, No.1, pp.437~442, 1998
- 2) 趙, 丸山: 格子状連続繊維補強コンクリートはりの曲げひび割れ幅とたわみ評価, 土木学会論文集, No.585/V-38, pp.49~61, 1998.2