

報告 表面に切欠きを有する RC はりの織り方を変えた炭素繊維シートによる補強効果

中田 学*¹・辻 幸和*²・杉山 隆文*³・佐藤 元*⁴

要旨: 表面に型枠等のずれを想定した切欠きを有する RC はりに、織り方の異なる炭素繊維シート(CF シート)による補強を施し、静的載荷試験を行い、曲げ性状および CF シートの付着性状について検討した結果、以下のことが明らかになった。①切欠き部に適切な処理を施すことによって、切欠きの有無に関わらず同程度の炭素繊維シートによる補強効果が得られる。②切欠きの有無によらず、横糸の間隔が小さい CF シートよりも横糸の間隔が広い CF シートの方が高い補強効果を得られる傾向がある。③切欠き深さの違いによる補強効果の相違は見られない。

キーワード: 炭素繊維シート, CF シート, 切欠き, 補強, 曲げ性状

1. はじめに

既存の鉄筋コンクリート(RC)構造物の供用期間を延長することによる耐荷力と耐疲労性の向上、および大規模地震に対する耐震補強の有効な方法として、炭素繊維シート(CF シート)を用いる補強工法がある。CF シートは軽量かつ引張強度が大きく、耐腐食性にも優れるため、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る。また、エポキシ樹脂接着剤等で貼り付けて用いることから、施工性も良好である。

CF シートを貼り付ける際、既存構造物との間のエアだまり、およびエポキシ樹脂接着剤の硬化前における CF シートのたるみ等により、接着が不十分になり十分な補強効果が得られない場合があ

る。

本研究では、型枠等のずれを想定し、曲げモーメント一定区間に切欠きを有する 16 体の RC はりに、織り方の異なる CF シートを用いて補強を施し、静的載荷試験を行い、曲げ性状および CF シートの曲げ付着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

供試体の形状寸法および載荷方法を図-1 に示す。RC はりは、高さ 200mm、幅 300mm の矩形断面で長さ 3000mm のものを作製した。軸方向鉄筋として、引張側に D13、圧縮側に D10 鉄筋をそれ

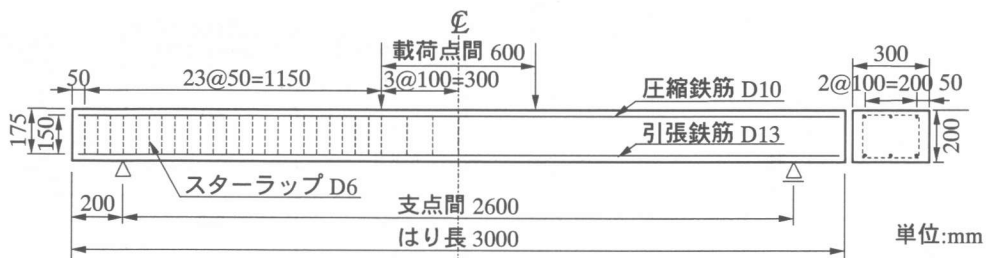


図-1 供試体の形状寸法および載荷方法

*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 群馬大学助教授 工学部建設工学科 Ph.D. (正会員)

*4 横浜ゴム (株) MB事業開発部

ぞれ3本ずつ配置した。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は100mmピッチ、せん断スパンは50mmピッチでそれぞれ配置した。

部材コンクリートの材齢が28日に達した時点で、劣化を想定してRCはりには1次载荷を行った。载荷開始後、RCはり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ひずみの測定で 300N/mm^2 になるまで漸増载荷を行った。

切欠きはすべて供試体中央部に設けて、切欠き深さを0mm、2.5mm、5mm、10mmの4種類とした。切欠き図を図-2に示す。

2. 2 補強方法

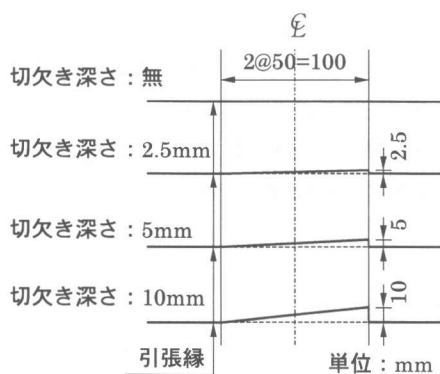


図-2 切欠き図

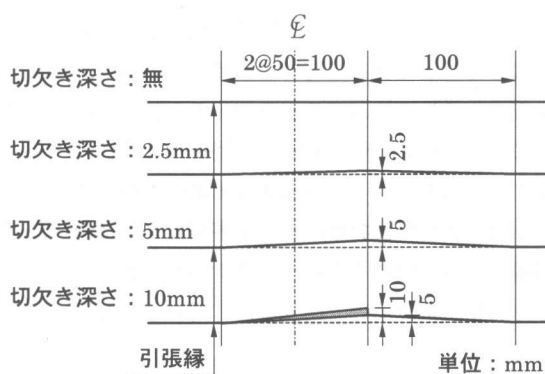


図-3 処理した切欠き図

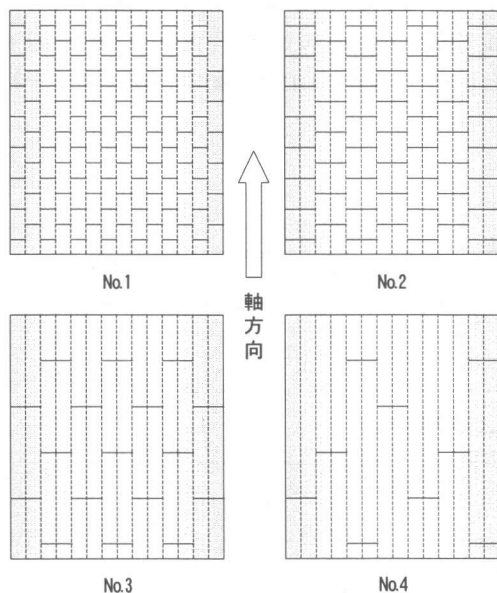


図-4 CFシートの編み方

躯体とCFシートとの接着が良好となるように、切欠きの処理を行った。切欠きの処理は、切欠き部が左右対称になるように反対側をグラインダーで削った状態としたが、切欠き深さ10mmのものは、切欠き深さが5mmとなるように反対側は削り、切欠きはエポキシ樹脂接着剤で5mm埋めた状態とした。処理した切欠き図を図-3に示す。

使用したCFシートの諸性状と供試体の種類を表-1および表-2に示す。CFシートは同一性状で横糸の本数と編み方の間隔、織り構造(No.4のみ)が異なる4種類を使用した。シートNo.1を基準として、No.2は横糸の間隔は同じで、編み方の間隔が2倍のもの、No.3は横糸の間隔が3倍で、編み

表-1 CFシートの諸性状

種類	目付量 (g/m^2)	引張強度 (N/mm^2)	弾性係数 (N/mm^2)
CFシート	300	4260	2.3×10^5

表-2 供試体の種類

供試体の種類	CFシートの種類	切欠き深さ
K0-1	No.1	0
K2.5-1		2.5
K5-1		5
K10-1		10
K0-2	No.2	0
K2.5-2		2.5
K5-2		5
K10-2		10
K0-3	No.3	0
K2.5-3		2.5
K5-3		5
K10-3		10
K0-4	No.4	0
K2.5-4		2.5
K5-4		5
K10-4		10

方の間隔が2倍のもの、No4 は横糸の間隔、編み方の間隔が実質的に6倍(No3と同じ縦糸と横糸の間隔で4枚朱子織り)のものを使用した。使用したCFシートの編み方の違いを図-4に示す。それぞれのCFシートについて、切欠き深さが0mm, 2.5mm, 5mm, 10mmである4種類の供試体に貼り付け、合計16体作製した。

補強後、エポキシ樹脂接着剤が硬化するまで14日間の養生を行い、載荷試験用の供試体とした。

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。載荷方法は荷重制御とし、供試体が破壊するまで漸増載荷を行った。所定の荷重ごとに、等曲げモーメント区間内の引張鉄筋、圧縮鉄筋、CFシート、コンクリートの圧縮縁および引張縁の各ひずみと、供試体側面の引張鉄筋位置での曲げひび割れ幅、供試体中央部および両支点のたわみを測定し、曲げひび割れおよびCFシートの剥離状況を観察した。

3. 実験結果

3. 1 切欠き剥離荷重、剥離荷重および最大荷重

切欠き剥離荷重、剥離荷重および最大荷重を図-5および図-6に示す。ここで、切欠き剥離荷重は、切欠き部のCFシートが剥離した荷重とした。また、剥離荷重は、CFシートが供試体のいずれかの端部から剥離した荷重とした。

最大荷重は、それが一番小さかったシートNo1の切欠き深さ10mmで無補強のRCはりの1.5倍に増加しており、補強効果が十分に確認された。しかし、躯体とCFシートとの接着が完全であると仮定して求めた計算値より28%ほど低い値を示した。試験後、剥離したCFシートを観察してみると、表面にコンクリートが付着していることが確認できた。本実験ではコンクリートの圧縮強度が載荷時に20.6~29.6N/mm²であったために、CFシートと躯体との接着は確保されていたものの、表層部のコンクリートが破壊して剥離に至ったものと考えられる。

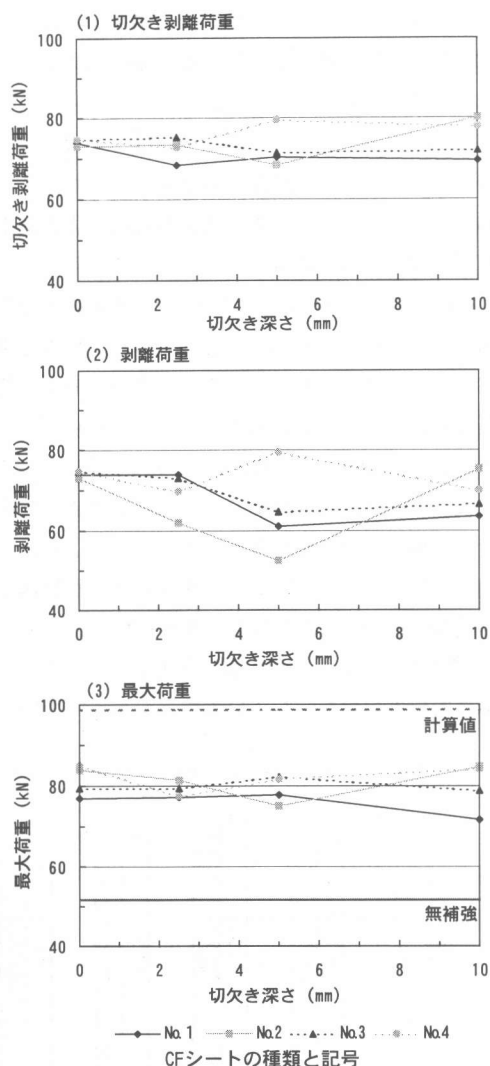


図-5 切欠き剥離荷重、剥離荷重および最大荷重

切欠き剥離荷重、剥離荷重および最大荷重は、平均値を取ってみると、横糸の間隔が広いCFシートを使用した供試体の方が高い値を示している。CFシートを編む際の横糸の間隔により、CFシートのエポキシ樹脂硬化前における繊維方向のしなやかさが異なり、横糸の間隔が広い変形が容易なCFシートの方が躯体との接着が良好となるためだと考えられる。また、切欠きを有する供試体と切欠き無しの供試体とを比べた場合と、切欠き深さの異なる供試体とを比べた場合、剥離荷重と最大荷重には大きな差は認められなかった。このことから、切欠きを有していても適切に処理を行えば、

切欠き深さに関係なく剥離荷重と最大荷重は、切欠き無しの供試体とほぼ同程度の補強効果が得られると考えられる。

しかしながら、切欠き剥離荷重は、切欠き深さが深くなるにつれて荷重が低下する傾向が見られる。切欠きが存在すると、切欠き部に応力が集中してしまうためである。

CF シートについて考えてみると、横糸の間隔が広い CF シートを用いることによって、切欠き深さが深くなるにつれて生じる切欠き剥離荷重の低下を抑制できる傾向にある。しかしながら、シート No.4 についてはその傾向が見られないことから、今後、切欠き深さを変更するなどして更に実験を行い、検討する必要がある。先に述べたように、横糸の間隔が広い CF シートを用いた方が躯体との接着が良好となるためだと考えられる。

切欠き深さ 5mm と 10mm とを比べてみると、ほぼ同程度の値を示していることから、本実験で

行ったような処理を切欠きに施すことによって、切欠き深さの悪影響を軽減できることが確かめられた。

3. 2 CF シートのひずみ

図-7 に CF シートのひずみと荷重の関係を示す。ここで、CF シートのひずみは、等曲げモーメント区間の中央部に貼り付けたひずみゲージで測定した値を用いた。引張鉄筋の降伏後は、切欠きを有する供試体の場合、切欠き部に応力が集中するため、切欠き無しの供試体に比べて同一荷重において大きなひずみ値を示している。

計算値と比較すると、切欠きの有無に関わらず、すべての供試体で計算値よりも CF シートのひずみは小さくなっている。ここで、計算値は躯体と CF シートの接着は完全であり、繊維はすべて均等に引張力を分担していると仮定した。また、横糸の間隔が広い CF シートを用いた供試体の方が同一荷重でのひずみの伸びを抑える傾向が見られる。

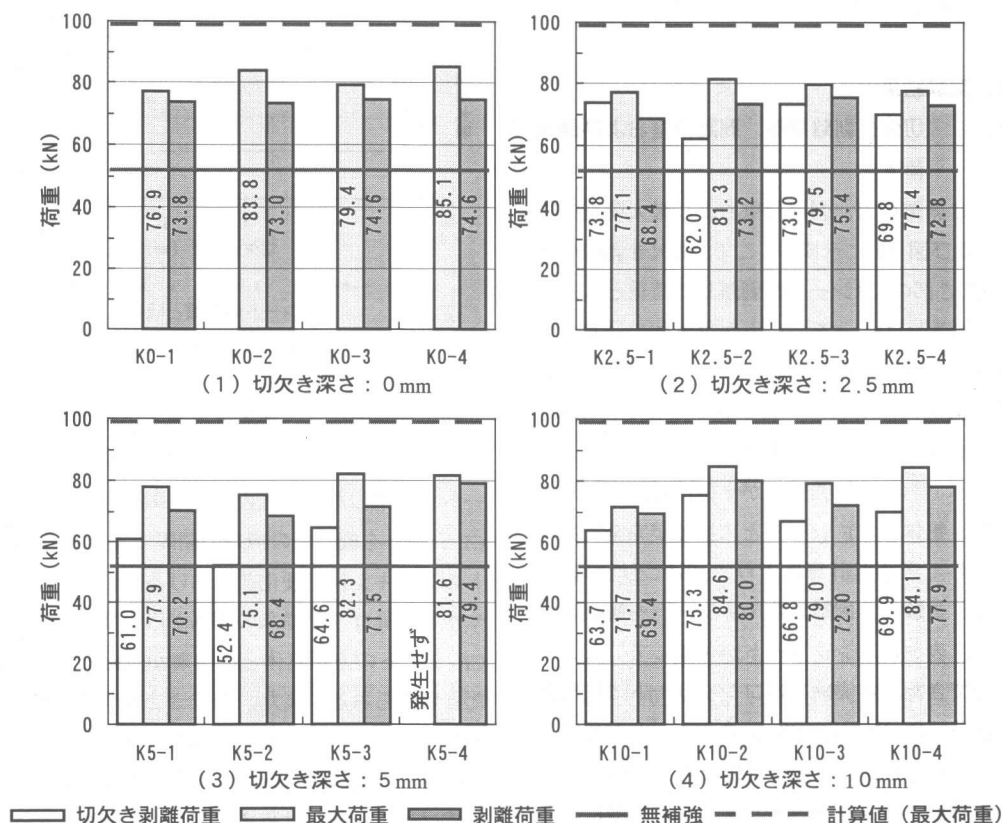


図-6 切欠き剥離荷重、剥離荷重および最大荷重 (切欠き深さ別)

横糸の間隔が広い CF シートの方が躯体との接着が良好となるため、CF シートに作用する引張力を全体で受け持っているためと考えられる。

最大荷重時における CF シートのひずみの実測値を表-3 に示す。躯体とシートとの接着が完全として求めた限界値で除した値は、最大でも 0.59 であることから、CF シートの引張性能を十分に利用していないことがわかる。先に述べたように、CF シートのひずみが限界値に達する前に表層部のコンクリートとの接着が破壊してしまったためである。

3. 3 最大曲げひび割れ幅

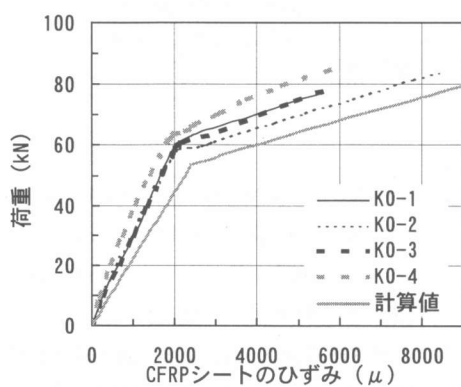
最大曲げひび割れ幅と荷重の関係を図-8 に示す。最大曲げひび割れ幅とは、供試体側面の引張鉄筋の位置に設置したゲージ長が 100mm のパイゲージにより、等曲げモーメント区間を計測したひび割れ幅を含むコンクリートの伸びの最大値である。なお、計算値には、趙・丸山の多段配筋の

はりにおけるひび割れ幅の算定式を用いた¹⁾。

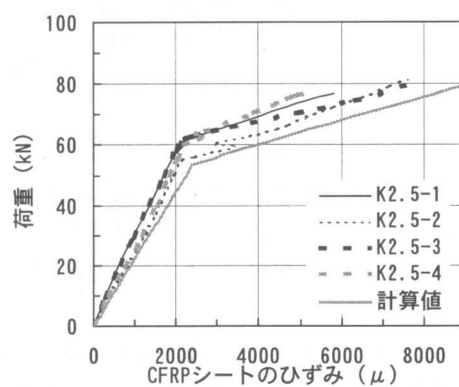
供試体側面の最大曲げひび割れ幅は、CF シートの種類による差および切欠き深さの違いによる差

表-3 最大荷重時の CF シートのひずみ

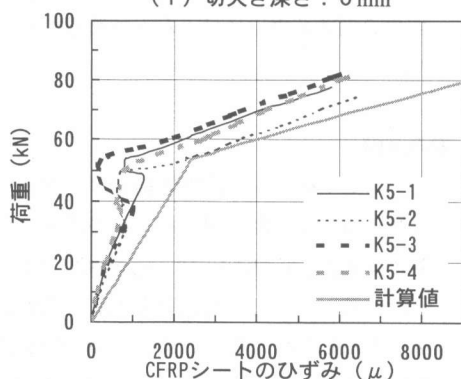
供試体名称	CF シートのひずみ (μ)		実測値/限界値
	実測値	限界値	
K0-1	5560	14450	0.38
K2.5-1	5825	"	0.40
K5-1	6234	"	0.43
K10-1	5800	"	0.40
K0-2	8420	"	0.58
K2.5-2	7725	"	0.53
K5-2	6868	"	0.48
K10-2	7010	"	0.49
K0-3	5910	"	0.41
K2.5-3	7734	"	0.54
K5-3	6124	"	0.43
K10-3	8510	"	0.59
K0-4	5830	"	0.40
K2.5-4	5258	"	0.36
K5-4	6322	"	0.44
K10-4	7350	"	0.51



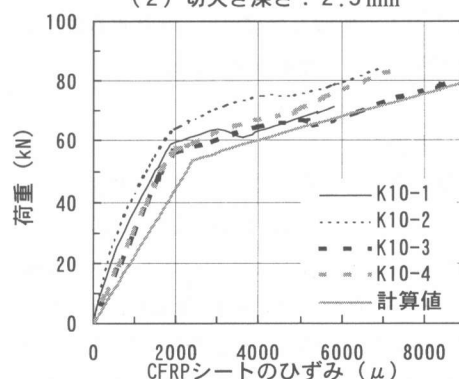
(1) 切欠き深さ: 0 mm



(2) 切欠き深さ: 2.5 mm



(3) 切欠き深さ: 5 mm



(4) 切欠き深さ: 10 mm

図-7 CF シートのひずみ

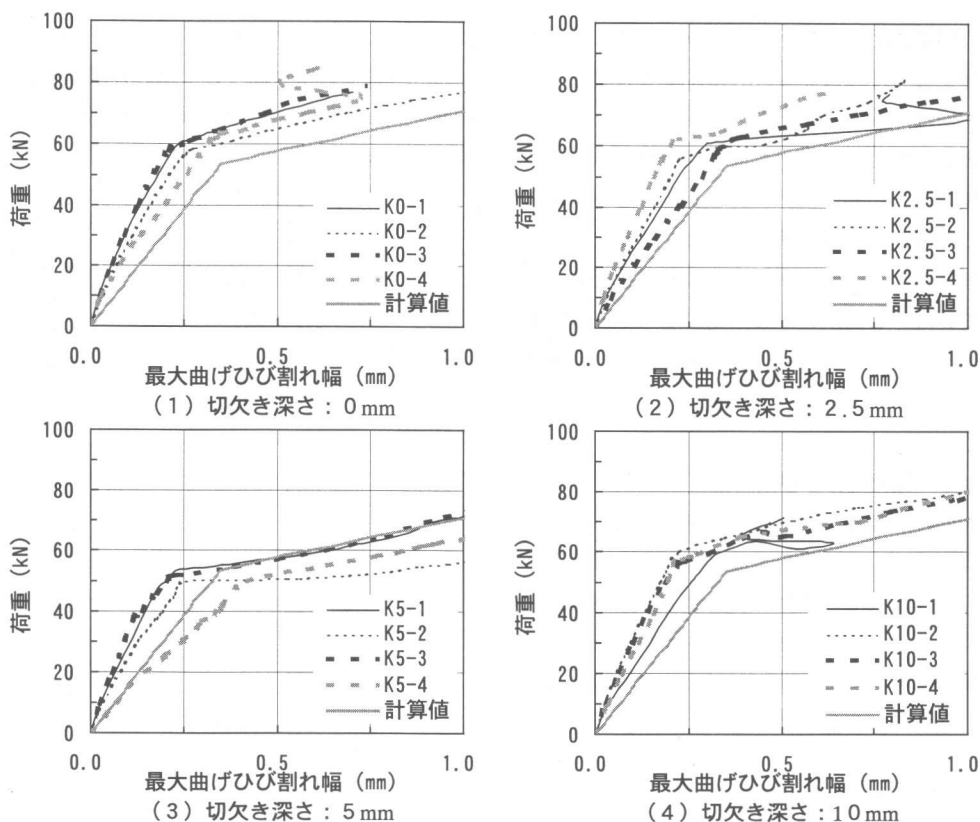


図-8 最大曲げひび割れ幅

は認められなかった。切欠きを有する供試体は、切欠き無しの供試体に比べて大きな値を示した。切欠き部の CF シートが剥離することによって、その部分のひび割れが広がったためだと考えられる。

計算値と比較してみると、大部分の実測値は切欠きの有無によらず計算値よりも小さくなっている。CF シートと躯体との接着は、剥離するまでは十分に確保されていたと考えられる。

4. まとめ

型枠等のずれを想定して、底面に切欠きを入れた RC はりに、横糸の本数を変えることによって、編み方の異なる 4 種類の CF シートを用いて補強した後、その RC はりの静的載荷試験を行った、本研究の範囲内で得られた結果を以下に示す。

- 1) 切欠き部に適切な処理を施すことによって、切欠きの有無に関わらず、同程度の補強効果が

が得られる。

- 2) 4 種類の CF シートを比べた場合、切欠きの有無によらず、横糸の間隔が小さいシートよりも横糸の間隔が広いシートの方が高い補強効果が得られる傾向が見られた。
- 3) 切欠き深さが 2.5mm から 10mm の範囲では切欠き深さの違いによる補強効果の相違は、切欠き剥離荷重以外ほとんど認められなかった。

参考文献

- 1) 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の評価, 土木学会論文集, No.585/V-38, pp.49-61, 1998
- 2) 金田和男, 辻幸和, 杉山隆文: 連続繊維補強材と圧入モルタルによる RC 床版の下面増圧補強効果, コンクリート工学年次論文報告集, Vol.21, No2, pp.289-294, 1999