

論文 面格子 CFRP 筋によって補強されたコンクリート梁のせん断抵抗に関する研究

若目田 宏^{*1}・横谷 榮次^{*2}・近藤 和吉^{*1}・張瑜中^{*3}

要旨： 本研究では平面格子 CFRP 筋のせん断抵抗について調べることを目的とし、平面格子 CFRP 筋によって補強されたコンクリート梁を大野式加力によるせん断実験を行った。材軸方向の補強筋（縦方向筋）と材軸と直交する方向の補強筋（横方向筋）とのそれぞれの挙動について調べた。

キーワード： 平面格子 CFRP 筋、縦方向筋、横方向筋、せん断実験、中間縦方向筋

1. はじめに

平面格子 CFRP 筋は、コンクリート系構造の新しい補強材として利用技術の確立が望まれている。本研究では、材軸方向の補強筋(以降縦方向筋と称する)と材軸と直交する補強筋(以降横方向筋と称する)のそれぞれがせん断力に対してどのような挙動を示すかを格子間隔およびシヤスパン比の違い、横方向筋の有無、縦方向筋の有無について検討する。

2. 概要

試験体概要一覧を表-1 に示す。試験体の形状は、図-1 に示すような梁型試験体を作製し、中央部のせん断ブロックと両端に設けた端部ブロック(スタブ部分)から構成されている。せん断ブロックは 80×350mm の断面をもち、平面格子連続繊維補強材を断面中央に 1 枚配し、上下に 2 本の直径 5.3mm の CFRP ロッドで補強した。端部ブロックへの定着長さは、既往の研究に準じ、交差部 3 箇所分の長さとした。

また、横方向筋の効果を調べるために、横方向筋を取り除いた試験体 V シリーズ、また、縦方向筋の効果を調べるために、補強材を配筋しない試験体 N シリーズを作製した。

シヤスパン比を 1.0、1.5、2.0 としてそれぞれ 5 体ずつ、計 15 体作製した。端部ブロックは通常

表-1 試験体概要一覧

	コンクリート設計基準強度 (MPa)	シヤスパン比	連続炭素繊維補強材の形状	
			メッシュサイズ	形状
50-1.0	30	1.0	50×50	平面格子
50V-1.0				横方向筋無
100-1.0			100×100	平面格子
100V-1.0				横方向筋無
N-1.0			無	
50-1.5			1.5	50×50
50V-1.5		横方向筋無		
100-1.5		100×100		平面格子
100V-1.5				横方向筋無
N-1.5		無		
50-2.0		2.0		50×50
50V-2.0			横方向筋無	
100-2.0	100×100		平面格子	
100V-2.0			横方向筋無	
N-2.0	無			

表-2 炭素繊維引張性状

	断面積 (mm ²)	破断強度 (MPa)	ヤング係数 (GPa)	破断時ひずみ (%)
面材 @50	18.2	1088.5	91.0	1.16
面材 @100		1167.0	92.2	1.26

の鉄筋による補強とした。使用した補強材およびコンクリートの機械的性状についてはそれぞれ表-2、3 に示す。ここで表-2 の CFRP 筋の引張性状は、格子から切り出し、その両端を引張用治具に挿入し、膨張性静的破砕材を注入硬化させた試験片の引張試験から得られたものである。

*1 関東学院大学大学院工学研究科建築学専攻 (正会員)

*2 関東学院大学工学部建築学科 教授 工博 (正会員)

*3 関東学院大学大学院工学研究科建築学専攻 工修 (正会員)

表-3 コンクリート強度試験結果一覧

	圧縮強度 (MPa)	割裂強度 (MPa)	ヤング係数 (GPa)	ポアソン比	材令 (日)
50-1.0	30.2	2.22	25		32
50V-1.0	30.2	2.22	25		32
100-1.0	33.2	3.11	25		33
100V-1.0	33.2	3.11	25		33
N-1.0	30.5	2.65	26	0.222	33
50-1.5	28.5	2.58	24	0.097	30
50V-1.5	28.5	2.58	24	0.097	30
100-1.5	33.4	2.88	28		31
100V-1.5	33.4	2.88	28		31
N-1.5	30.5	2.65	26	0.222	33
50-2.0	31.8	2.17	23	0.168	28
50V-2.0	31.8	2.17	23	0.168	28
100-2.0	32.3	2.54	22	0.229	28
100V-2.0	32.3	2.54	22	0.229	28
N-2.0	30.5	2.65	26	0.222	33

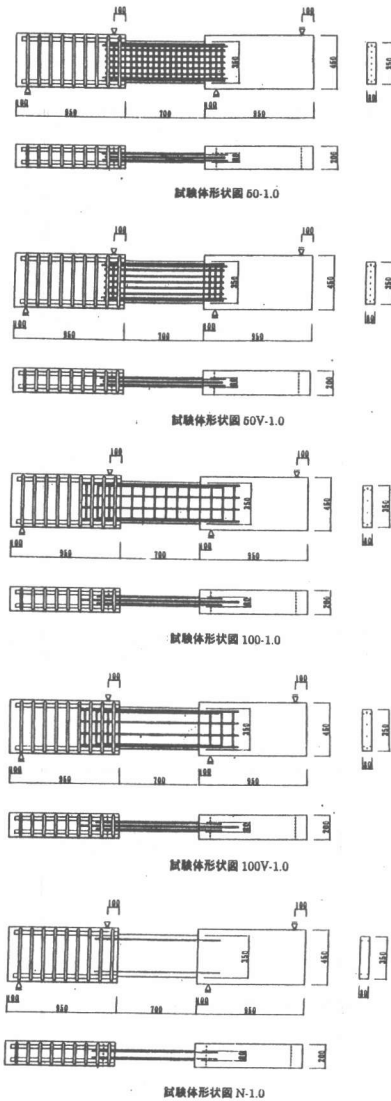


図-1 試験体配筋図
シャスパン比 1.0 シリーズ

3. 加力方法と測定方法

図-2 に示すように、梁型試験体を 3MN の油圧式万能試験機にて鉛直上方から加力ビームを用いて載荷し、大野式加力によりせん断実験を行った。荷重は万能試験機に取り付いているロードセルから測定した。

支点間 BC の相対変位を支点位置にゲージホルダーを取り付け、ピストン型高感度変位計によって測定した。

連続繊維交差点近傍 4 点にひずみゲージを貼付けそれぞれの交差点でのひずみを測定した。このとき縦方向筋の中央部側を N 測定点、端部側を S 測定点、横方向筋上側を U 測定点、下側を D 測定点とした。

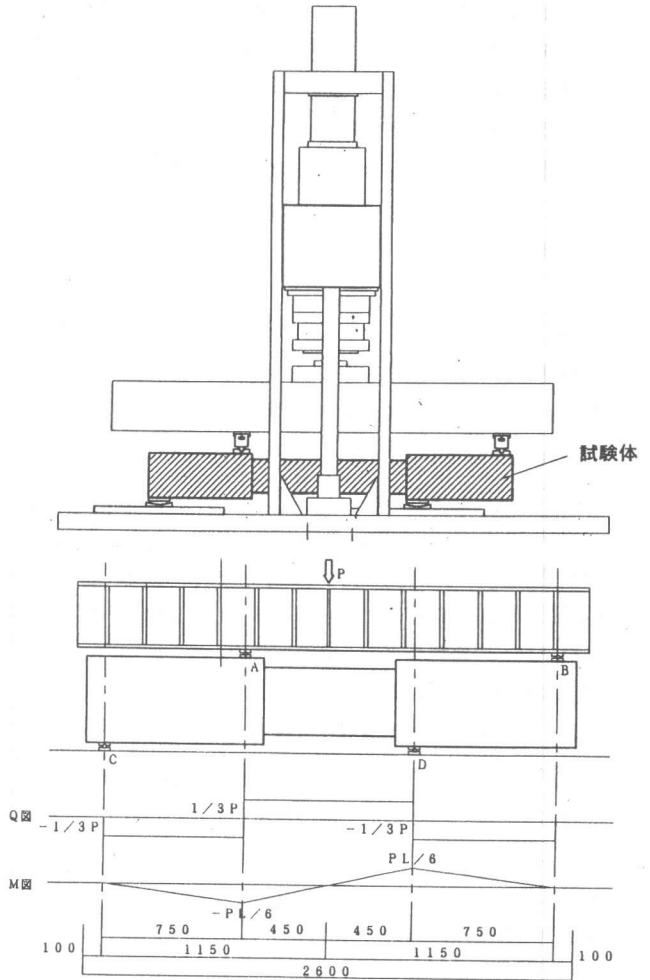


図-2 加力装置図

表-4 実験結果一覧

	ひび割れ発生時荷重		せん断ひび割れ発生時荷重		最大耐力時	
	Q(KN)	R(10^{-3} rad)	Q(KN)	R(10^{-3} rad)	Q(KN)	R(10^{-3} rad)
50-1.0	17.65	1.17	21.18	1.53	69.19	10.23
50V-1.0	15.07	0.19	27.73	1.68	58.04	8.07
100-1.0	10.48	0.00	25.72	1.90	62.06	13.03
100V-1.0	15.06	0.00	31.92	1.90	31.92	1.90
N-1.0	9.50	0.76	34.82	14.32	39.72	12.50
50-1.5	6.44	0.06	17.50	1.85	46.41	10.32
50V-1.5	11.07	0.04	15.48	1.27	29.09	5.09
100-1.5	9.82	0.44	25.41	7.24	32.55	9.04
100V-1.5	11.11	0.51	9.60	1.34	17.62	5.72
N-1.5	9.89	1.54	16.33	6.05	30.85	23.46
50-2.0	8.76	0.73	22.76	6.00	37.59	15.38
50V-2.0	7.04	0.54	13.30	3.21	19.31	5.78
100-2.0			20.66	5.79	29.46	15.20
100V-2.0	4.13	0.02	11.46	1.16	17.94	3.28
N-2.0	7.76	0.97	8.39	1.06	17.19	25.18

4. 実験結果

4.1 最大耐力について

実験結果一覧を表-4に示す。格子間隔@50、@100とも、横方向筋を有する試験体の方が、取り除いた試験体より耐力、部材角ともに増加している事が認められる。

また、シヤスパン比が増加するにしたがって、最大耐力は減少する事が見受けられる。格子間隔@50は格子間隔@100より耐力が増加している事も見られる。横補強筋がなく、補強筋間隔が@50の試験体は、シヤスパン比が1.0の場合のみ大きなせん断耐力を発現し、縦方向筋もせん断抵抗に寄与する事が認められる。その他の試験体ではこの傾向は認められない。

4.2 せん断力と部材角の関係

CFRP筋で補強された梁部材に生じるせん断力と部材角Rとの関係をシヤスパン比ごとに横補強筋の有無に分けて図-3にプロットした。ここで、実線、破線および一点鎖線は、それぞれ100mmおよび50mm格子およびウェブ補強材無しを示す。これよりシヤスパン比が大きくなると、横補強筋の効果が減少し、また横補強筋の無い縦方向筋だけでもシヤスパン比が小さい場合せん断抵抗を有することが認められる。

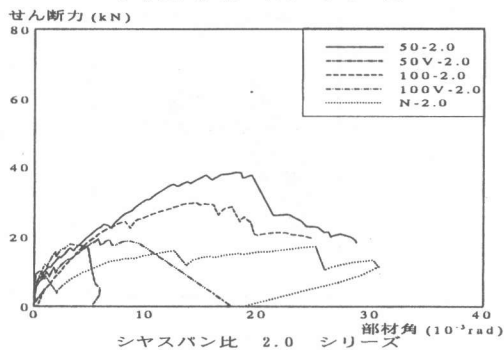
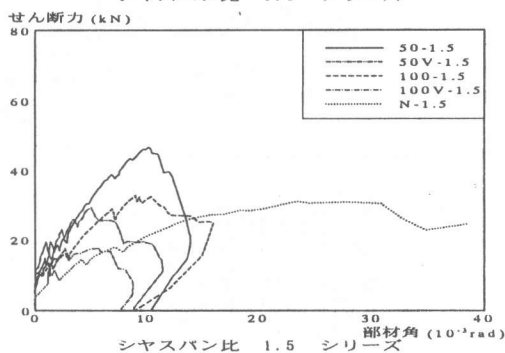
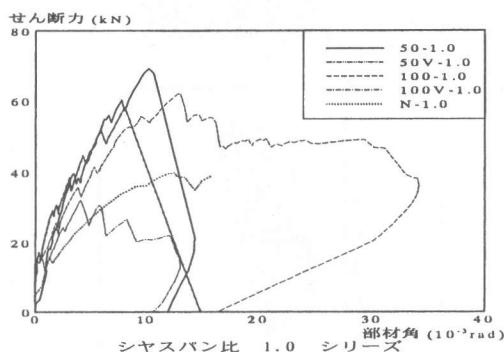


図-3 せん断力-部材角曲線

4. 3 ひび割れ発生状況

全ての試験体について部材角がほとんど増加しない段階にひび割れが発生した。また、シヤスパン比が増加するにしたがってひび割れ発生時荷重は減少することが認められる。シヤスパン比 1.0 シリーズを除けば、横方向筋を有する試験体の方が横方向筋を取り除いた試験体よりひび割れ発生時の荷重、部材角ともに増加していることが表-4 から認められる。

4. 4 せん断力-ひずみ曲線

格子間隔@50, @100 の補強材について、格子節点部(黒丸印)近傍の 4 箇所(黒丸印)のひずみと、横補強筋の無い縦方向筋における同じ位置のひずみと、せん断力の関係を図-4 に示した。これより、横補強筋を有する場合、横方向筋の無い縦方向筋に生ずるひずみより大きく発現することが見受けられた。

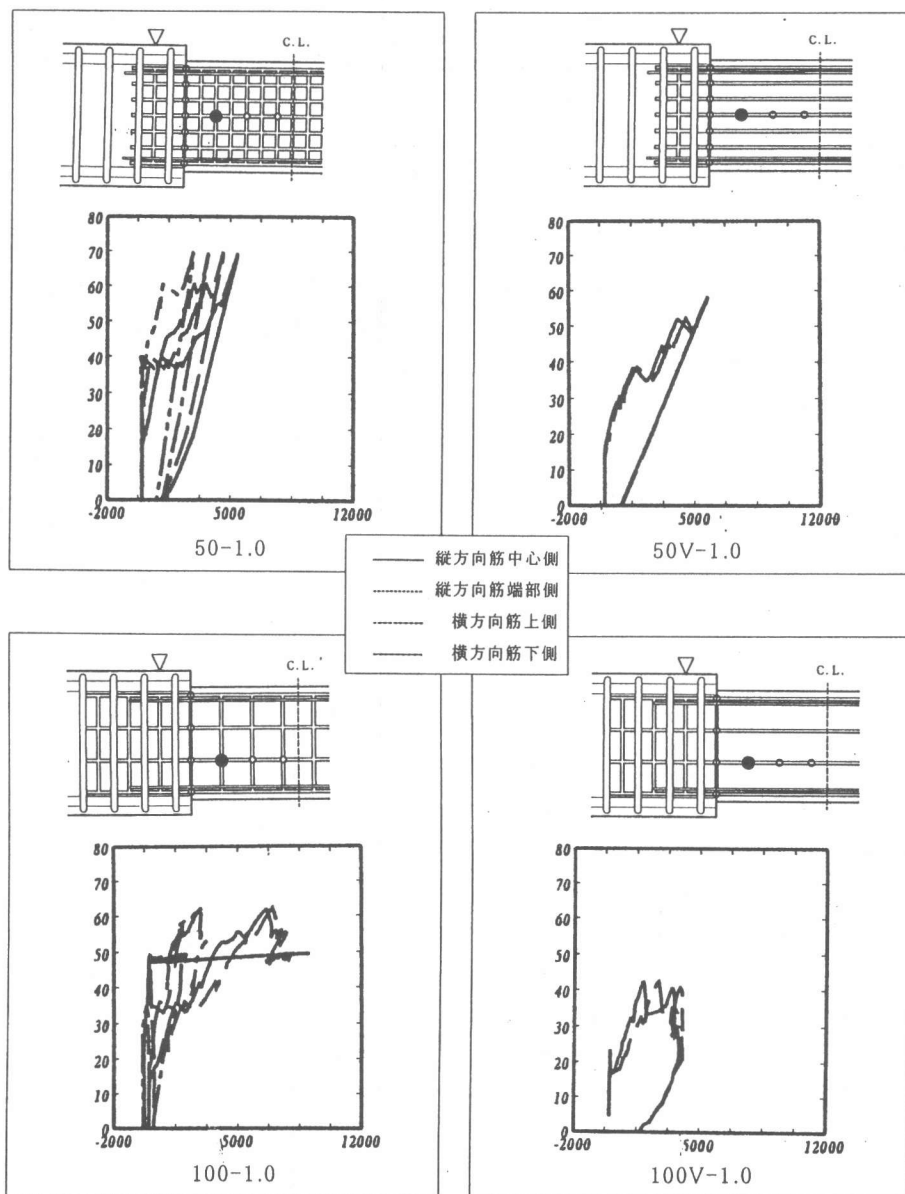


図-4 せん断力-ひずみ曲線一覧 シヤスパン1.0シリーズ

4.5 ひび割れおよび破壊性状

図-5に最終破壊性状を示す。

全ての試験体について試験区間端部付近から初期ひび割れが発生し、中央部に徐々にせんひび割れが発生し、伸展していく傾向を示している。最終破壊直前に一斉に斜めせん断亀裂が発生することが見受けられた。また、最終破壊では、補強筋に沿って又裂き現象が見られた。

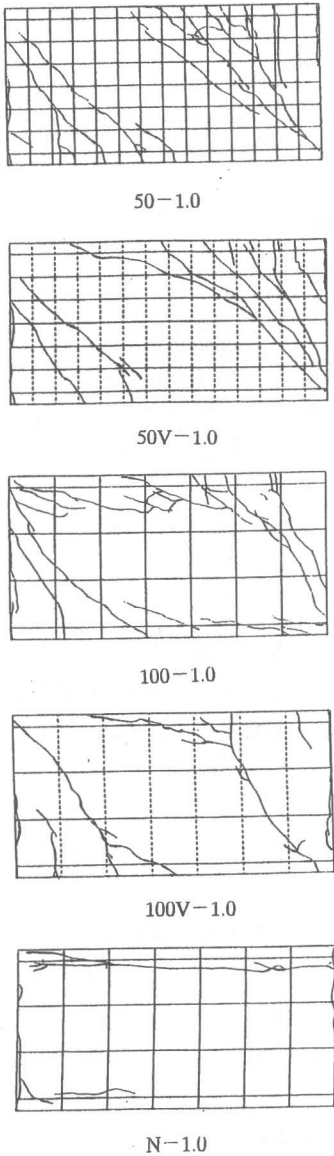


図-5 最終破壊性状
シヤスパン 1.0 シリーズ

4.6 横方向筋の負担分の検討

各シリーズについて横方向筋を有する試験体の最大耐力 Q_n から、横方向筋を取り除いた試験体の最大耐力 Q_{nv} をひいた値 ΔQ_n を算出する。これが横方向筋の負担分と考えられる。

$$\Delta Q_n = Q_n - Q_{nv} \quad (1)$$

式(1)より求められた横補強筋のせん断力負担分を表-5にまとめた。また、同じ表にはせん断引張破壊に対する次式のせん断抵抗式(文献¹⁾) Q_w から算出された結果も示されている。

$$Q_w = b \cdot j_t \cdot p_w \cdot \sigma_{wb} / 2 \quad (2)$$

ここで、 b は梁幅、 j_t は主筋間距離、 p_w は横補強筋比、 σ_{wb} は横補強筋の引張強度である。これより格子間隔@100、シヤスパン比 1.0 の試験体が著しく過小評価されていることが認められる。図-6に示すように格子間隔@50 シリーズはシヤスパン比が増加するにしたがって横方向筋の負担分は増加する。また、図-7に示すように格子間隔@100 シリーズはシヤスパン比が増加するにしたがって横方向筋の負担分は減少する。横方向筋の負担分は同シヤスパン比でも格子間隔について大きな違いが見られる。

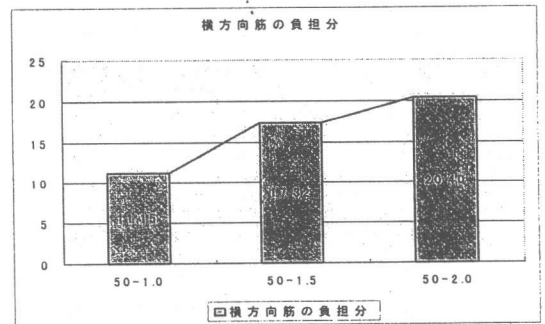


図-6 横方向筋の負担分 格子間隔@50

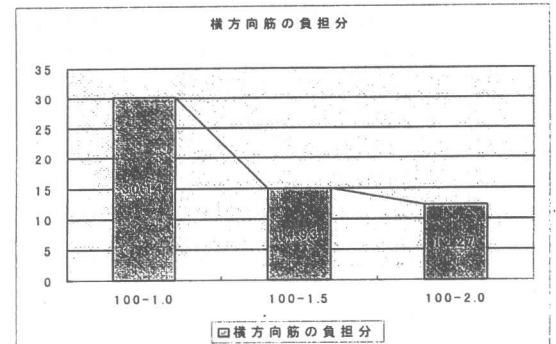


図-7 横方向筋の負担分 格子間隔@100

表-5 横方向筋における実験値と理論値の比較

	Qn (KN)	Qnv (KN)	ΔQn(理論値) (KN)	ΔQn(理論値) (KN)	実/理
50-1.0	69.19	58.04	11.15	11.89	0.94
50-1.5	46.41	29.09	17.32	11.89	1.46
50-2.0	37.59	19.31	20.40	11.89	1.72
100-1.0	62.06	31.92	30.14	7.70	3.91
100-1.5	32.55	17.62	14.93	7.70	1.94
100-2.0	29.46	17.94	12.27	7.70	1.59

4. 7 中間縦方向筋の負担分の検討

格子間隔@50 の横方向筋を取り除いた試験体の最大耐力 $Q_{50v,n}$ から格子間隔@100 の最大耐力 $Q_{100v,n}$ をひいたものを ΔQ_{mn} としそれぞれのスパン比に対して算出した結果を表-6 に示す。

$$\Delta Q_{mn} = Q_{50v,n} - Q_{100v,n} \quad (3)$$

これより得られた中間縦方向筋の負担分は、断面に存在する両者の中間縦方向筋の差 3 本のせん断抵抗を示していると考えられる。

中間縦方向筋の負担分は図-8 に示すようにシヤスパン比が増加するにしたがって、著しく減少することが認められる。

5. まとめ

面格子 CFRP 筋によって補強された RC 梁のせん断実験から次の事柄が示唆される。

- (1) 横方向筋を有する試験体の方が取り除いた試験体よりも耐力が増加していることが認められる。
- (2) 横方向筋の負担分は格子間隔@50 シリーズについては、シヤスパン比が増加するにしたがって増加するが、格子間隔@100 シリーズでは逆にシヤスパン比が増加するにしたがって負担分は、減少することが認められる。
- (3) 格子間隔@50 で、せん断スパン比が小さい場合、横補強筋を取り除いても、中間筋がせん断抵抗に寄与することが認められた。また、格子筋で構成された場合中間筋はせん断抵抗に寄与し、せん断スパン比が大きくなるとせん断抵抗は減少することも認められた。
- (4) 補強筋が断面の中央に配置されているため、最終破壊では又裂き現象が見受けられた。

表-6 中間縦方向筋負担分一覧

シヤスパン比	ΔQmn (KN)	$Q_{50v,n}$ (KN)	$Q_{100v,n}$ (KN)
1.0	26.12	58.04	31.92
1.5	11.47	29.09	17.62
2.0	1.37	19.31	17.94

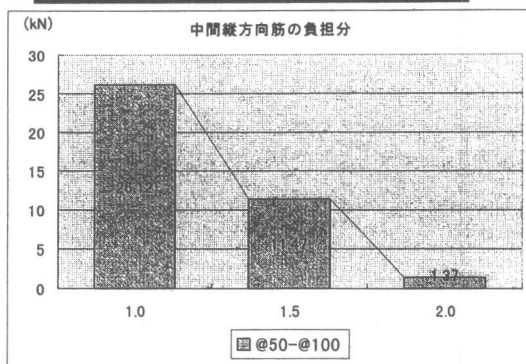


図-8 中間縦方向筋の負担分 ΔQmn

参考文献

- 文献(1) 岡本 直, 永坂具也, 谷垣正治: 繊維補強材を用いたコンクリート梁のせん断耐力に関する研究、日本建築学会構造系論文集 No. 455、pp. 127~136、1994・1
- 文献 (2) Hiroshi WAKAMEDA, Eiji MAKITANI, Kenta SHINDO, and Yuzhong ZHANG
: FLEXURAL BEHAVIOR OF CONCRETE MEMBERS WITH TWO AND THREE DIMENSIONAL FRP REINFORCEMENTS、Non-Metallic (FRP) Reinforcement for Concrete Structures、Proceedings of the Third International Symposium Volume2