

FRP 格子筋と靱性モルタルによる損傷コンクリート梁のせん断補強効果

Shear Reinforcement Effect of Damaged Concrete Beams by FRP Grid and Toughness Mortar

北海道大学大学院工学院北方圏環境政策工学専攻
北海道大学工学部環境社会工学科
北海道大学大学院工学院北方圏環境政策工学専攻
北海道大学大学院工学研究院

○学生員 加藤 慧 (Kei Kato)
金持木太郎 (Kotaro Kanemochi)
矢澤 海 (Kai Yazawa)
正員 古内 仁 (Hitoshi Furuuchi)

1. はじめに

現在、社会資本の1つであるコンクリート構造物の多くが耐用年数を迎え、更新が必要になっている。特に橋梁等は老朽化に加えて、建設当時の想定を上回る荷重作用の増大によって、劣化や損傷が顕在化している。さらに、災害の多い日本では、地震や洪水などで予想外の荷重や劣化が発生する。今後、構造物の中長期的な維持管理の取り組みにおいて、更新や長寿命化の対策の重要性が高まっている。

このような背景の中で、耐荷力不足の鉄筋コンクリート桁や床版に対して多くの補強工法が提案されている。橋梁の上部構造のような桁については曲げ補強することによりせん断耐力が不足するケース、ラーメン高架橋の中間梁等については地震によりせん断ひび割れが生じてせん断耐力が低下するケースが考えられる(写真-1)。

本研究は、せん断ひび割れが生じた梁の側面にFRP格子筋を設置して靱性モルタルで増厚したときのせん断補強効果を調べるものである。



写真-1 ラーメン高架橋の被害の例

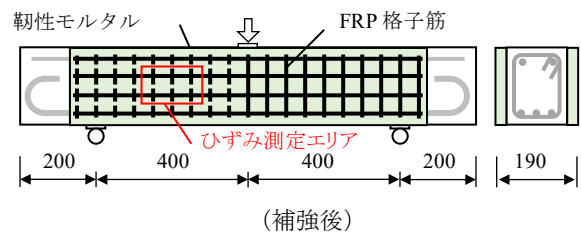
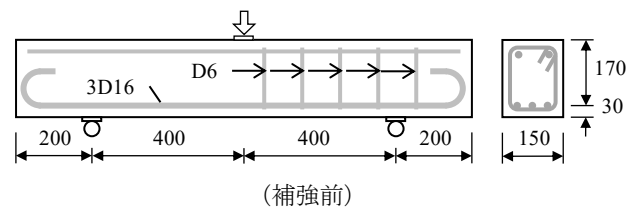


図-1 供試体概要 (単位: mm)

2. 実験概要

2.1 供試体概要

本実験ではFRP格子筋の縦筋と横筋のせん断耐力に与える影響に着目し、せん断補強効果および破壊のメカニズムを調査するために、4本の供試体を作製した。供試体の概要を図-1に示す。供試体の寸法は幅150mm、全長1200mm(支間長800mm)、有効高さ170mmで、軸方向鉄筋にはD-16を3本用いた。図-1に示すようにスターラップ(D-6)を供試体右側半分に配筋することで、せん断破壊するエリアを左側半分に限定し、想定される斜めひび割れ発生位置をもとにFRP格子筋にひずみゲージを効率的に配置した。

2.2 実験変数

実験変数を表-1に示す。補強前の供試体を作成後、事前にせん断ひび割れ発生まで荷重を行い、その後、FRP格子筋を供試体側面に設置し、靱性モルタルで増厚補強した(写真-2)。FRP格子筋については、表-1に示すようにCR4(断面積6.6mm²)とCR5(断面積13.2mm²)の2種類を使用した。供試体V-4およびV-5はそれぞれCR4とCR5の横筋を切断して縦筋のみとし、供試体H-4およびH-5はそれぞれCR4とCR5の縦筋を切断して横筋のみとした。

FRP格子筋(CR4, CR5)の材料特性は表-2に示すと

表-1 実験変数

供試体名	FRP格子筋の種類	FRP格子筋の状態
V-4	CR4(A=6.6mm ²)	縦筋のみ
V-5	CR5(A=13.2mm ²)	
H-4	CR4(A=6.6mm ²)	横筋のみ
H-5	CR5(A=13.2mm ²)	



写真-2 靱性モルタルによる増厚施工

おりである。コンクリートには、生コン（普通 33 12 20 H）を用いた。コンクリートの配合を表-3 に示す。コンクリート圧縮強度は、材齢 28 日で 32.5MPa である。

3. 実験結果および考察

3.1 せん断破壊荷重と破壊性状

各供試体における事前載荷時のせん断ひび割れ発生荷重および予測せん断耐力を表-4 に、補強後の本載荷試験時の破壊荷重および破壊形式を表-5 に示す。

4 本全ての供試体において、事前載荷せん断ひび割れ発生荷重から、本載荷破壊荷重が増加しており、縦筋のみ、横筋のみのいずれの場合もせん断補強効果があることが示された。

なお、補強前の梁の予測せん断耐力は、以下に示す算定式¹⁾によって求めた。

・せん断耐力算定式

$$V_c = \beta_d \beta_p \beta_n f_{vcd} \left(0.75 + \frac{14d}{a} \right) bd \quad (1)$$

$$f_{vcd} = 0.20 \sqrt[3]{f'_c}$$

$$p_v = \frac{A_s}{bd}$$

$$\beta_d = \sqrt[4]{\frac{1000}{d}}$$

$$\beta_p = \sqrt[3]{100 p_v}$$

$$\beta_n = 1$$

ここに f_{vcd} : コンクリートのせん断強度 (N/mm²)

f'_c : コンクリートの圧縮強度 (N/mm²)

p_v : 鉄筋比

A_s : 鉄筋量 (mm²)

b : 断面幅 (mm)

d : 有効高 (mm)

a : せん断スパン (mm)

事前載荷のせん断ひび割れ発生荷重は、予測耐力のおおよそ 8 割程度であった。

図-2 に、V-4,V-5,H-4,H-5 における事前載荷時のせん断ひび割れ、本載荷時のせん断ひび割れをそれぞれ青線、赤線で示す。図に示すとおり全ての供試体において、事前載荷の際に発生したひび割れと同じ場所に、本載荷の際にもせん断ひび割れが発生した。このことより、通常のコンクリート梁のせん断破壊は、せん断ひび割れ発生後急激に進展することを考慮し、事前載荷におけるせん断ひび割れ発生荷重が破壊に近いとすると、縦筋のみ、横筋のみいずれにおいてもひび割れの進展を遅らせる効果、すなわちせん断補強効果があると考えられる。

破壊形式については、V-4 のみ FRP 格子筋の破断が発生し、補強部分も含めて供試体がせん断破壊した。また、V-5 のみ増厚材である韌性モルタルの剥離が発生した。横筋のみの供試体 H-4 と H-5 については、剥離および FRP 格子筋の破断は発生せず、補強部分も含めて供試体

表-2 FRP 格子筋の材料特性

FRP 格子筋	断面積 (mm ²)	引張強度 (N/mm ²)	引張弾性率 (N/mm ²)	格子間隔 (mm) × (mm)
CR4	6.6	1400	100000	50×50
CR5	13.2			

表-3 コンクリート配合

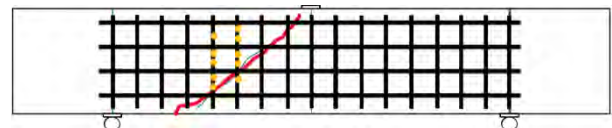
粗骨材最大寸法	単位量 (kg/m ³)				
	W	C	S	G	A
20mm	165	348	776	1026	0

表-4 実験結果(事前載荷)

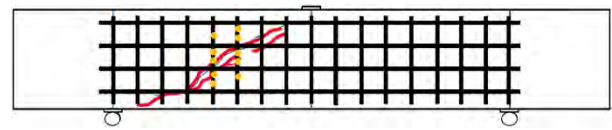
供試体	せん断ひび割れ発生荷重 (kN)	予測耐力 (kN)
V-4	83.51	102.25
V-5	75.35	
H-4	75.06	
H-5	90.36	

表-5 実験結果(本載荷)

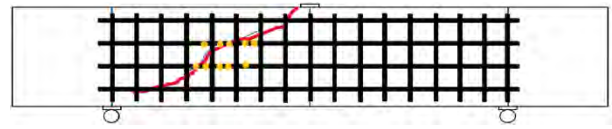
供試体	破壊荷重 実験値 (kN)	破壊荷重 計算値 (kN)	破壊形式	
			剥離	FRP 破断
V-4	214.31	229.66	×	○
V-5	183.98	339.61	○	×
H-4	173.87	103.98	×	×
H-5	213.01	104.43	×	×



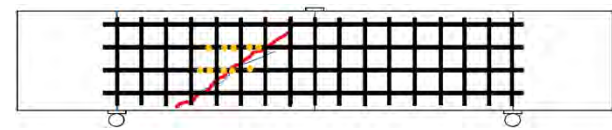
供試体 V-4



供試体 V-5



供試体 H-4



供試体 H-5

図-2 せん断ひび割れ

がせん断破壊した。

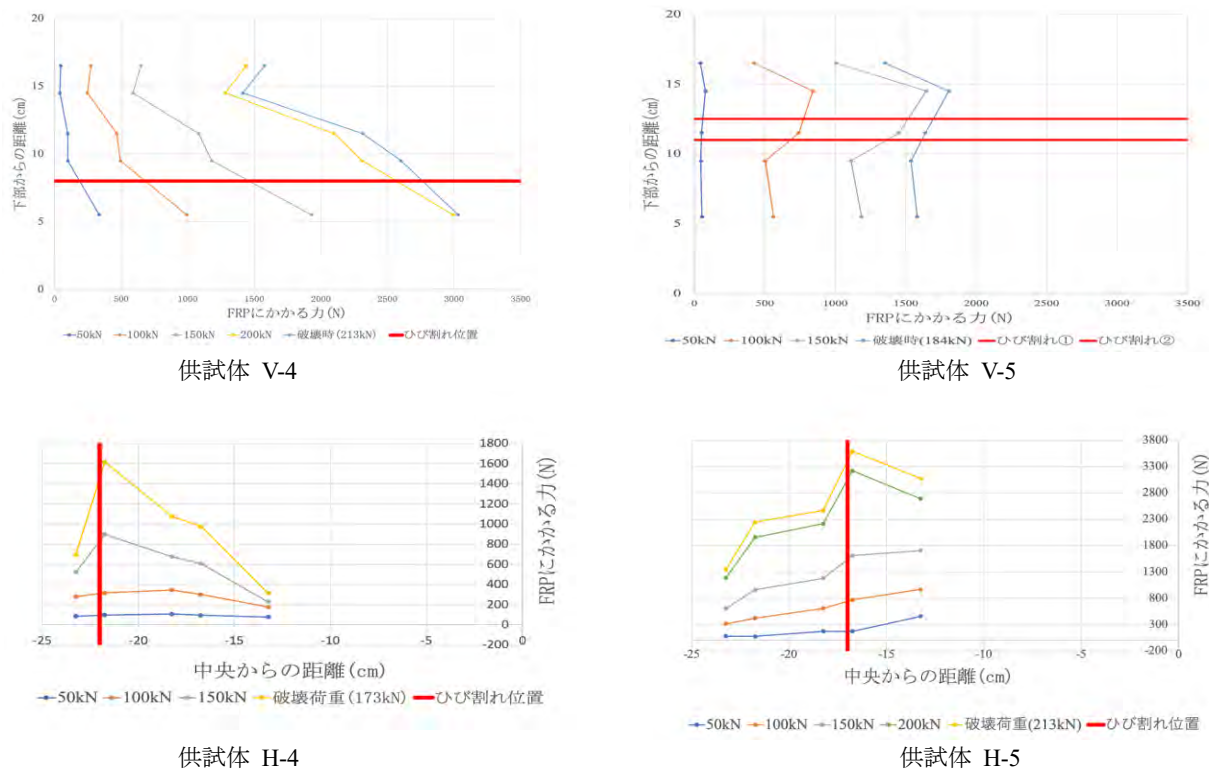


図-3 FRP 格子筋に作用する引張力

3.2 FRP 格子筋に作用する引張力

図-3に4本の供試体について、FRP 格子筋に作用している引張力の分布及びせん断ひび割れ位置を表したグラフを示す。V-4とV-5が、斜めひび割れと下から2段目の横筋と交差した縦筋の引張力分布である。H-4とH-5は、下から2段目の横筋の引張力分布である。

これらの図より供試体 V-4, H-4, H-5 については、概ねひび割れに近づくにつれて FRP 格子筋にかかる力は大きくなっている。補強部が剥離した供試体 V-5 についてはこの傾向は小さい。このことから FRP 格子筋はせん断ひび割れの進展に対して抵抗する。つまり、せん断補強効果があると考えられる。ただし、供試体 V-5 のように補強部とコンクリート梁本体との一体性が失われ、最終的に剥離し破壊する供試体では、十分なせん断補強効果が発揮されないと思われる。

縦筋のみである供試体 V-4 について、ひび割れ発生位置から 2.5cm ほど離れた位置で最大の引張力が計測され、FRP 格子筋の強度の約 33% であった。横筋のみである供試体 H-4 と H-5 については、いずれもひび割れ発生位置近傍で最大の引張力が計測された。H-4 は強度の約 17%、H-5 は強度の約 19% の応力が発生していた。先に述べた通り、ひび割れに近づくほど FRP 格子筋にかかる力が大きくなることを考慮すると、縦筋の補強効果が大きく、加えて横筋についてもある程度せん断ひび割れの進展に抵抗しておりせん断補強効果があると考えられる。

3.3 せん断補強効果の試算

補強後のせん断耐力について、試算を行った。コンク

リート部が受け持つせん断耐力には、(1)式のコンクリート断面に靱性モルタルを加算し、FRP 格子筋の下2段を引張鉄筋と見なして加算を行った。なお、FRP 格子筋を鉄筋に換算する際には弾性係数比を乗じた²⁾。

さらに、縦筋のみの供試体 V-4 と V-5 については、FRP 格子筋の縦筋をスターラップとみだてて、トラス理論を用いて計算を行った。なお、FRP 格子筋は弾性脆性材料であり降伏点を持たないため、計算においては降伏強度のかわりに引張強度を用いた。

FRP 格子筋が破断した V-4 については計算値の 229.66kN に対して、実際の耐力が 214.3kN で、誤差が約 6.7% となっている。このことより、縦筋はスターラップと同じように、せん断ひび割れの拡大に対して引張抵抗し、せん断耐力を増加させる効果があると考えられる。剥離が発生した V-5 については、計算値の 339.61kN に対して実際の耐力が 183.98kN で、55% 程度という結果になった。これは FRP 格子筋本来の性能を発揮する前に、剥離が進展し、せん断ひび割れの拡大に抵抗できなかったことが原因であると考えられる。

横筋のみである H-4 と H-5 についてはいずれも実験値が計算値よりも大幅に大きい破壊荷重となった。この結果から、横筋の効果については、既存のせん断耐力算定式において、コンクリートを靱性モルタル、鉄筋を FRP の横筋にそれぞれ見立てて、補強後のせん断耐力を計算するという方法は安全側の近似であるが、精度の高い結果が得られていない。横筋が、縦筋と同様にせん断ひび割れの進展に引張抵抗している可能性が高く、この点については今後の検討課題とする。

4.まとめ

- 1) 今回実験した全ての供試体において、せん断破壊荷重が増加した。FRP 格子筋と靱性モルタルによるせん断補強効果が確認された。
- 2) FRP 格子筋の縦筋のみの供試体について、FRP 格子筋をスターラップとみたてることで、修正トラス理論を用いてせん断耐力の予測が可能であると考えられる。ただし、増厚材である靱性モルタルの剥離が発生するとせん断耐力が大幅に低下する。
- 3) FRP 格子筋の横筋は、せん断ひび割れの進展に対してある程度引張抵抗することが確認された。横筋のみのせん断耐力予測は今後の検討課題である。

謝辞

本研究を行うにあたり、(株)デーロスジャパンの林承燦氏より靱性モルタルを、日鉄ケミカル&マテリアル(株)の文屋遼太郎氏から FRP 格子筋をご提供いただきました。ここに深く感謝の意を表します。

参考文献

- 1) 二羽淳一郎ほか：せん断補強鉄筋を用いないRCはりのせん断強度式の再評価，土木学会論文集，第372号/V-5，pp.167-176, 1986
- 2) 連続繊維補強材を用いたコンクリート構造物の設計・施工指針（案）、土木学会、コンクリートライブラリー、88号、1996