

CFRP グリッド PCM 吹付け工法による既設 RC 部材のせん断補強効果

九州大学大学院 学生会員 ○郭 瑞
九州大学大学院 フェロー会員 日野 伸一
(一財)橋梁調査会 正会員 山口 浩平
新日鉄住金マテリアルズ(株) 正会員 谷口 碩士

1. 目的

東日本大震災で、河川構造物、特に樋門函体部は壊滅的な被害を受けた。これを踏まえ、近い将来発生が予想されている大規模地震に備え、せん断補強筋の少ない樋門函体部の隔壁はせん断補強対策が急がれている。その耐震補強は、対象となる柱や壁部に補強筋として鉄筋を配置し、コンクリートおよびモルタル等で増厚する方法が一般的である。しかし、補強鉄筋の定着を確保するため既設部に削孔する孔が、既設鉄筋を切断する可能性があることや、増厚することで、樋門の取水・排水などの機能の妨げになるなどの問題がある。そこで、補強筋に耐腐食性の高い CFRP グリッドを用い、ハンチ部削孔も不要で、増厚量も少なくすむ CFRP グリッド PCM 吹付け工法の適用を検討している。この際、せん断方向の CFRP グリッドがせん断力に抵抗する際に生じるひずみの算定が重要であり、有効ひずみを考慮する必要がある。理論上、CFRP グリッドは破断ひずみまで耐えられるはずだが、途中ではく離するという考えのもとで、ひずみを破断ひずみよりも小さく評価する有効ひずみの考え方がある¹⁾。本研究では、図-1 中に青で示した樋門函体部の隔壁のせん断補強効果および本工法においての有効ひずみの算定法について検討した。

2. 実験概要および結果

試験体の形状は既設構造物を模した RC はり (I 桁) とし、図-2 に試験体の形状、配筋、CFRP グリッドの概略図を示す。試験体は実構造物大で、有効高さ $d=690\text{mm}$ 、せん断スパン $a=2025\text{mm}$ 、せん断スパン比 $a/d=2.93$ とした。なお、表-1、2 に試験体の材料特性値を示す。主鉄筋には D35 SD345、せん断補強筋には D10 SD295 を使用した。試験体は、無補強試験体、CFRP グリッドを配置しない PCM のみ試験体、補強筋量が異なる CR-4、CR-6、CR-8 の CFRP グリッドを使用した補強試験体をそれぞれ

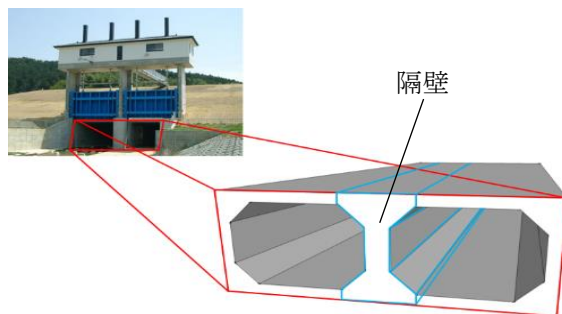
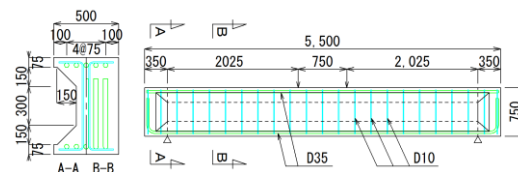
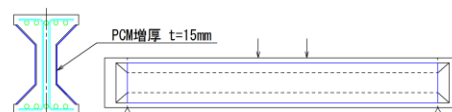


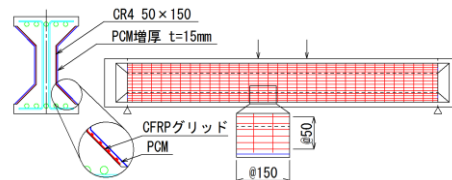
図-1 樋門函体部



(a) 無補強



(b) PCM のみ



(c) 補強試験体 (CR-4, 6, 8)

図-2 試験体概略図

れ 1 体ずつの計 5 体を作製した。各試験体のせん断耐力を図-3 に示す。試験値は設計値よりもせん断耐力が増大しており、本工法によるせん断補強効果が確認できる。このときの有効ひずみは CFRP ロッド(棒部材)の有効ひずみ式(2)から、CFRP グリッドの受け持つ設計せん断耐力は式(3)からそれぞれ計算した²⁾。また、ひずみゲージから得られた最大値を表-3 の最大ひずみとした。これらから CFRP グリッドの断面積が小さいほど、この値が大きく、変形への追従性が良いことがわかった。

キーワード CFRP グリッド、PCM 吹付け工法、せん断補強、有効ひずみ

連絡先 〒819-0395 福岡市西区元岡 744 番地 ウェスト 2 号館 1104 号室 TEL:092-802-3392

表-1 CFRP グリッドおよび鉄筋の材料特性値

種類	呼び径	公称 断面積 (mm ²)	強度※1 N/mm ²	ヤング係数 (×10 ⁵ N/mm ²)
CFRP グリッド	CR-4	6.6	1400	1.00
	CR-5	13.2		
	CR-6	17.5		
	CR-8	26.4		
鉄筋	D35	956.6	381	2.00
	D32	794.2	407	
	D10	71.33	397	

※1：CFRP グリッドは引張強度，鉄筋は降伏強度

表-2 試験体種類とコンクリートおよびPCMの材料特性値

Type	せん断 補強筋	主 鉄 筋	圧縮強度 (N/mm ²)		ヤング係数 (kN/mm ²)	
			コン クリ ート	PCM	コン クリ ート	PCM
無補強	D10@250	D35 ×5 (本)	23.9	-	24.4	-
PCM のみ	D10@250			54.3		24.5
CR-4	D10@250 CR4@150		24.5	51.9	24.5	24.5
CR-6	D10@250 CR6@150					
CR-8	D10@250 CR8@150					

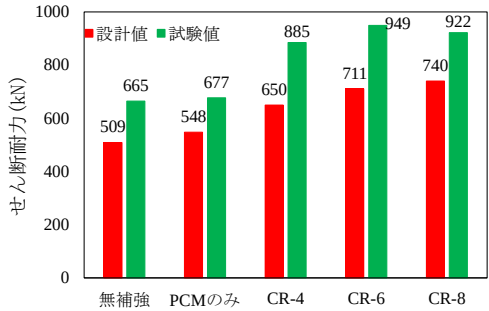


図-3 せん断耐力

表-3 設計値と実験値

試験体	単位長さ 当りの 補強筋量 (mm ² /mm)	設計値		試験値		せん断 耐力 (試/設)
		せん 断耐 力 (kN)	有効 ひず み (μ)	せん 断耐 力 (kN)	最大ひ ずみ (μ)	
CR-4	0.04	629	4201	885	10872	1.41
CR-6	0.12	679	2580	949	7694	1.40
CR-8	0.18	698	2101	922	6511	1.32

表-4 CFRP グリッドとPCMの受け持つせん断耐力

試験体	設計値 V _{pcm} (kN)	試験値 V _g (kN)	設計値 V _{gcal} (kN)
CR-4	17	90	25.5
CR-6	23	116	41.5
CR-8	23	103	51.0

3. せん断耐力の評価

2.の試験より得られた各試験体の CFRP グリッドの負担せん断力 V_gを算出するため、それぞれの試験体のコンクリート強度の違いを補正して式(1)により算定した。ロッド(棒部材)が受け持つせん断耐力式(3)から最大ひずみの推定値を求めた。また、CFRP グリッドが受け持つ理論上のせん断耐力 V_{gcal}はロッドの有効ひずみ ε_{fu}を用いて計算した。CFRP グリッドの受け持つせん断耐力

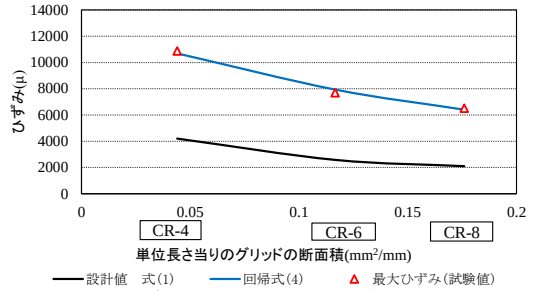


図-4 CFRP グリッドの最大ひずみ-断面積の関係

を V_{gcal}は過小評価しており、合理的でないといえる。そこで、図-4に CFRP グリッドの最大ひずみと断面積の関係を示す。最大ひずみ(試験値)が式(1)から求めた設計値を大きく上回っているのは、CFRP グリッドはロッドと異なり、面的にせん断力に抵抗するためと考えられる。また、最大ひずみ(試験値)から回帰分析を行い、式(4)を求めた。ここで、CFRP グリッドの破断ひずみ 14000μで頭打ちとする。ただし、試験体数が少ないため、今後データを集積して回帰式の精度を高めることで一般化していく必要がある。

$$V_g = P'_{(MAX)}/2 \cdot [P'_{(MAX)}/2 \cdot (f_v/f_{cd})^{1/3} + V_{pcm}] \quad (1)$$

ここで、V_{pcm}：PCM の負担せん断力(kN)，P'_(MAX)：補強試験体の最大荷重(kN)，P'_(MAX)：無補強試験体の最大荷重(kN)，f_c：試験体のコンクリートの圧縮強度(N/mm²)，f_{cd}：無補強試験体のコンクリートの圧縮強度(N/mm²)

$$\varepsilon_{fu} = [f'_{mcd} \cdot p_w \cdot E_{fu} / (p_{web} \cdot E_w)]^{0.5} \times 10^{-4} \quad (2)$$

$$V_{gcal} = A_w \cdot E_w \cdot \varepsilon_g \cdot (\sin \alpha_s + \cos \alpha_s) / S_s \cdot z / \gamma_b \quad (3)$$

ここで、ε_{fu}：ロッドの有効ひずみ²⁾，ε_g：CFRP グリッドのせん断有効ひずみ，f'_{mcd} = f'_{cd} · (h/0.3)^{-0.1}，f'_{cd}：コンクリートの設計圧縮強度(N/mm²)，h：部材の高さ(m)，b_w：部材の幅(mm)，d：有効高さ(m)，E_{fu}：せん断補強筋のヤング係数(N/mm²)，E_w：CFRP グリッドのヤング係数(N/mm²)，S_s：せん断方向の CFRP グリッドの配置間隔(mm)

$$\varepsilon_{gmax} = [1/(0.0214\rho + 0.00873)]^2 \leq 14000 \text{ (μ)} \quad (4)$$

ここで、ρ：試験体単位長さ当り補強筋の断面積(mm²/mm)，ε_{gmax}：CFRP グリッドの最大ひずみ

4. まとめ

- (1) 補強量は CFRP グリッドの断面積が小さいほど変形への追従性がよいことから、CR-4 が最適である。
- (2) CFRP グリッドは面的にせん断力に抵抗していることから、ロッド(棒部材)よりも大きいせん断補強効果が期待できる。
- (3) CFRP グリッドのせん断耐力評価に用いる有効ひずみ式を提案した。ただし、データの集積による精度の向上の必要がある。

参考文献

- 1) 土木学会：コンクリート標準示方書－設計編－，2008
- 2) 土木学会：連続繊維補強材を用いたコンクリート造物の設計・施工指針(案)，1996