

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 学生会員 ○森賀奈子, 九州大学大学院 学生会員 郭瑞 フェロー会員 日野伸一
(一財)橋梁調査会 正会員 山口浩平
SNC(株) 正会員 宮野暢紘

1. はじめに

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、グリッドは破断ひずみまで耐えられるはずだが、途中で離れ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。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。

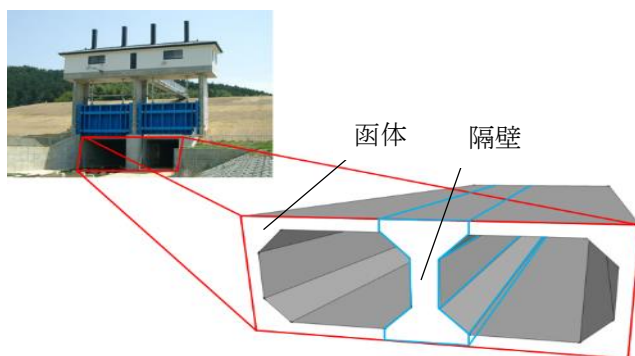
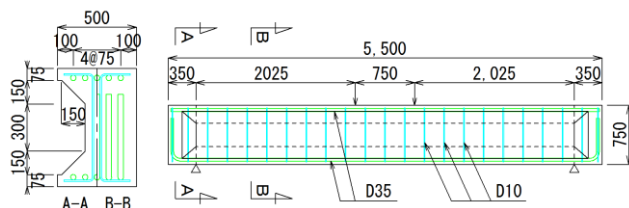
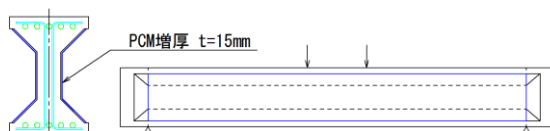


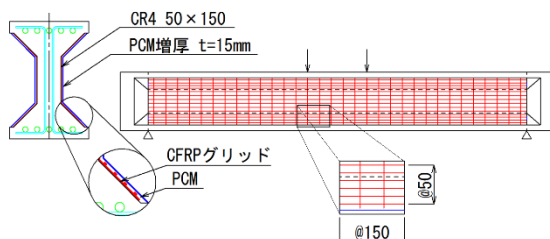
図-1 樋門函体部



(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

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(実降伏強度 381N/mm^2)、せん断補強筋には D10 SD295(実降伏強度 397N/mm^2) を使用した。試験体は、無補強試験体、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 のグリッドを使用した補強試験体をそれぞれ 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(1)²⁾から、グリッドの受け持つ設計せん断耐力は式(2)からそれぞれ計算した。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。

表-1 コンクリート、PCM の材料特性値(実測値)

試験体	材料	圧縮強度 (N/mm^2)	曲げ強度 (N/mm^2)	引張強度 (N/mm^2)
無補強	コンクリート	23.9	3.43	2.07
PCM のみ	PCM	54.3	9.40	-
補強 (CR-4,6,8)	コンクリート	24.5	3.71	2.09
	PCM	51.9	7.40	-

表-2 CFRP グリッドの材料特性値(公称値)

筋番	部材	1本あたり断面積 (mm^2)	許容引張応力度 (N/mm^2)	引張強度 (N/mm^2)	ヤング係数 ($\times 10^5 \text{N/mm}^2$)
CR-4	補強部	6.6	400	1400	1.00
CR-6		17.5			
CR-8		26.4			

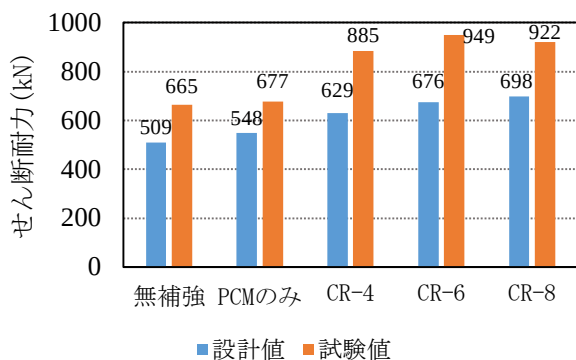


図-3 せん断耐力

3. CFRP グリッドの有効ひずみ

2.の試験より得られた各試験体の最大荷重から式(3)³⁾を用いてグリッドの負担せん断力 V_g を算出し、ロッド(棒部材)が受け持つせん断耐力式(2)から最大ひずみの推定値を求めた。また、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式(1)を用いて計算した。グリッドの受け持つせん断耐力を 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、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、最大ひずみの推定値(試験値)から回帰分析を行い、式(4)を求めた。ただし、グリッドの破断ひずみ 14000 μ で頭打ちとする。さらに、式(4)は実験値からの導出であり、設計に適用できるように補正する必要がある。そこでロッドの有効ひずみ式の提案²⁾と同様に、補正したグリッドの有効ひずみ式を式(5)に示す。その結果、ロッドの有効ひずみ式(1)よりも適切なグリッドの有効ひずみ式を提案することができた。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。

4. まとめ

- (1)補強量は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)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)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
- 3) 梁俊，宇治公隆，松村翔太，佐藤貢一：CFRP 格子筋と吹付けモルタルにより梁のせん断補強，コンクリート工学年次論文集，Vol.30，No.2，2008

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		せん断耐力試験値/設計値
		せん断耐力 (kN)	有効ひずみ (μ)	最大荷重 (kN)	最大ひずみ (μ)	
CR-4	0.04	629	4201	885	10872	1.41
CR-6	0.12	676	2580	949	7694	1.40
CR-8	0.18	698	2101	922	6511	1.32

表-4 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)	最大ひずみの推定値 (μ)
CR-4	17	90	25.5	19600
CR-6	23	116	41.5	9528
CR-8	23	103	51.0	5589

$$\varepsilon_{fwd} = \sqrt{f'_{mcd} \frac{P_w E_{fu}}{p_{web} E_w}} \times 10^{-4} \quad (1)$$

$$V_{gcal} = A_w \cdot E_w \cdot \varepsilon_{fwd} \cdot z / s \quad (2)$$

$$f'_{mcd} = \left(\frac{h}{0.3} \right)^{-1/10} \cdot f'_{cd}$$

f'_{cd} : コンクリートの設計圧縮強度(N/mm²)

h : 部材の高さ(mm)

p_w : せん断補強筋の引張鋼材比

E_{fu} : せん断補強筋のヤング係数(N/mm²)

p_{web} : せん断補強筋の引張鋼材比

E_w : せん断補強筋のヤング係数(N/mm²)

z : $d/1.15$

s : せん断方向のグリッドの配置間隔(mm)

$$V_g = \frac{P'_{(MAX)}}{2} - \left[\frac{P'_{(MAX)}}{2} \times \sqrt{\frac{f_v}{f_{co}}} + V_{pcm} \right] \quad (3)$$

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_{co} : 無補強試験体のコンクリートの圧縮強度(N/mm²)

$$\varepsilon = \left(\frac{1}{0.047\rho + 0.0050} \right)^2 \leq 14000(\mu) \quad (4)$$

$$\varepsilon_{fwg} = 0.83 \times \left(\frac{1}{0.047\rho + 0.0050} \right)^2 \leq 11674(\mu) \quad (5)$$

ρ : 試験体単位長さ当りの補強筋の断面積(mm²/mm)

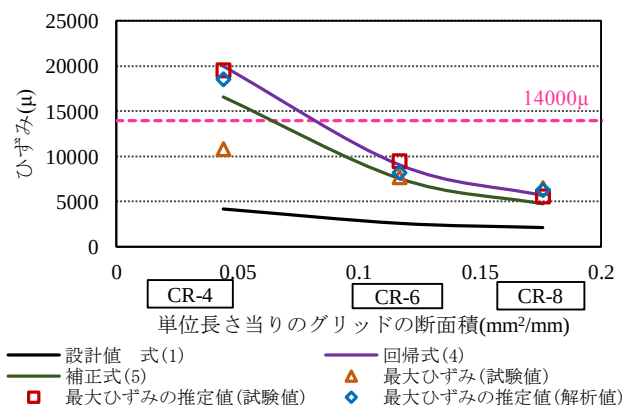


図-4 グリッドの最大ひずみ-断面積の関係