

# FRP グリッドによる樋門函体隔壁のせん断補強

九州大学 学生会員 ○金丸亜紀 九州大学大学院 学生会員 郭瑞  
 九州大学大学院 正会員 山口浩平 九州大学大学院 フェロー会員 日野伸一  
 株式会社 SNC 正会員 宮野暢紘 株式会社 SNC 正会員 原田樹菜

## 1. 目的

2011年に起きた東日本大震災では、河川構造物とりわけ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や突発的な自然災害への備えのため、河川構造物への津波・地震対策が急がれている。樋門函体部に対する現段階での耐震補強は、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工法が一般的である。しかし、補強鉄筋の定着を確保するための既設部への削孔は、既設鉄筋を切断する可能性があること、また、増厚により樋門の取水・排水などの機能の妨げになることなどの問題がある。そこで、補強筋にグリッドを用いることで耐腐食性が良好で、ハンチ部の削孔も不要で、増厚量が少ない FRP グリッドを用いた補強工法の樋門の耐震補強への適用を検討した。樋門函体隔壁の補強は、主として面内のせん断補強であることから、図-1 中に示した隔壁のせん断補強を対象とした。

## 2. 試験概要

試験体形状は既設構造物を模した RC はり (I 桁) とした。試験体は、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。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、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グリッド補強試験体をそれぞれ 1 体ずつの計 5 体を作製した。使用材料の材料特性値を表-1 に示す。主鉄筋には D35 SD345 (降伏強度  $381\text{N/mm}^2$ )、せん断補強筋には D10 SD295 (降伏強度  $397\text{N/mm}^2$ ) を使用した。また、CFRP グリッドの 1 本あたりの断面積は、CR-4 は  $6.6\text{mm}^2$ 、CR-6 は  $17.5\text{mm}^2$ 、CR-8 は  $26.4\text{mm}^2$ 、引張強度  $1400\text{N/mm}^2$ 、ヤング係数  $1.0 \times 10^5\text{N/mm}^2$  である。ひずみゲージは、せん断補強効果を確認するために、せん断補強筋および CFRP グリッドのせん断区間にそれぞれ設置した。

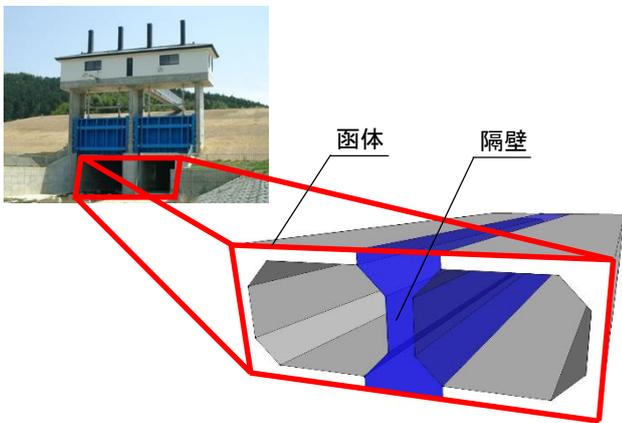


図-1 樋門函体部<sup>1)</sup>

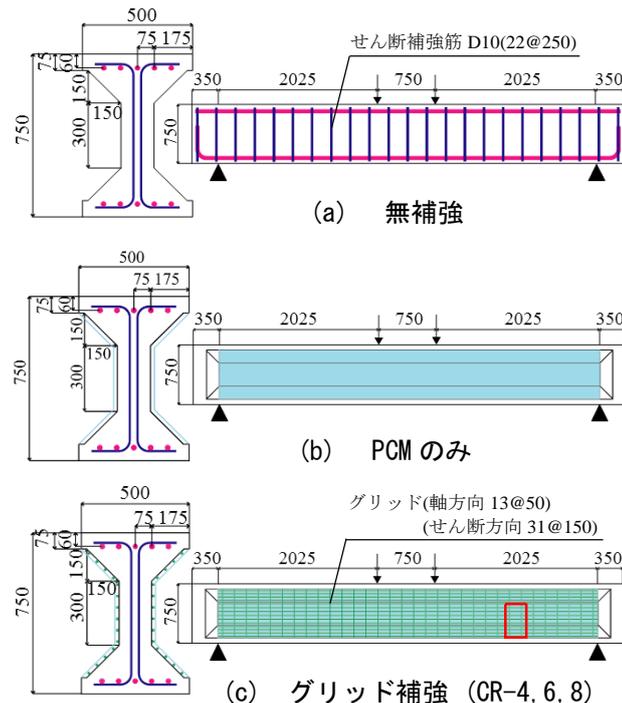


図-2 試験体概略図

表-1 材料特性値

試験体	材料	圧縮強度 ( $\text{N/mm}^2$ )	曲げ強度 ( $\text{N/mm}^2$ )	引張強度 ( $\text{N/mm}^2$ )
無補強	コンクリート	19.4	3.43	2.07
	PCM	54.3	9.4	-
グリッド補強 (CR-4,6,8)	コンクリート	24.5	3.71	2.09
	PCM	51.9	7.4	-

表-2 試験結果

試験体	項目	$P_c$	$P_y$	$P_u$	$P_{s1}$	$P_{s2}$	$P_{s1}$ 試験/計算	$P_{s2}$ 試験/計算
		(kN)	(kN)	(kN)	(kN)	(kN)		
無補強	計算	188	1135	1151	509		1.31	
	試験	142	-	-	665			
PCMのみ	計算	190	1140	1148	548		1.24	
	試験	150	-	-	677			
CR-4	計算	190	1138	1190	715	629	1.24	1.41
	試験	150	-	-	885			
CR-6	計算	190	1142	1204	998	676	0.95	1.40
	試験	150	-	-	949			
CR-8	計算	191	1146	1310	1230	698	0.75	1.32
	試験	190	-	-	922			

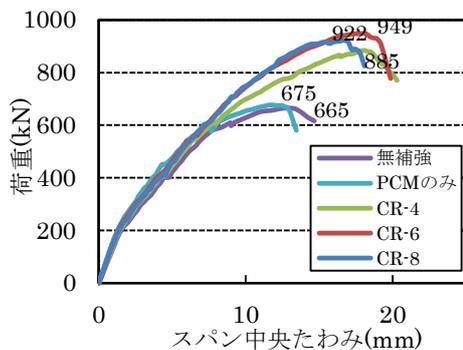


図-3 荷重-スパン中央たわみ関係

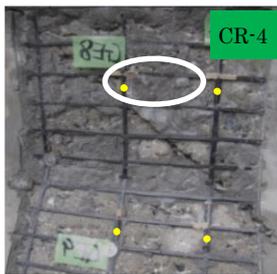


図-4 グリッドの損傷状況

### 3. 試験結果

荷重-スパン中央たわみ関係を図-3 に示す。破壊形態は全てせん断破壊であった。無補強試験体と PCM のみ試験体の耐力にほとんど差がなかったことから、PCM のみでは補強効果がないと言える。グリッド補強試験体の耐力は、無補強試験体に比べ、いずれも3割以上増加した。試験終了後に PCM をはつり、CFRP グリッドの破断状況や PCM のはく離状況を確認した。これを図-4 に示す。CR-4 を使用した補強試験体のみ CFRP グリッド格点部が直角性を失っている箇所が見られた(図-4 中の白丸)。しかし、グリッドの破断やはく離は確認できなかった。ここで、図-4 は、図-2(c) 上の赤枠で囲んだ部分である。

続いて、CFRP グリッドによるせん断耐力の評価を行うため、ひび割れ荷重  $P_c$ 、降伏荷重  $P_y$ 、曲げ終局荷重  $P_u$  およびせん断耐力  $P_{s1}$ 、 $P_{s2}$  を算出した<sup>2),3)</sup>。ここで、 $P_{s1}$  はグリッドが破断ひずみまで耐えられると仮定したときのせん断耐力である。また、式(1)は、コンクリート、PCM、せん断補強筋およびグリッドが受け持つせん断耐力の和である。ここで、参考文献 3)によると、連続繊維補強材を用いた引張補強筋である棒部材のせん断耐力は、 $\epsilon_{fwd}$  を有効ひずみとし破断ひずみより小さく見積もることで算定できる。 $P_{s2}$  は式(1)<sup>3)</sup>を用いて算出したせん断耐力である。試験結果を表-2 に示す。 $P_{s1}$  の試験値と計算値の比は補強試験体では 1 を下回っているものもあり危険側であるが、 $P_{s2}$  の試験値と計算値の比においては、安全側の評価となった。

### 4. 有効ひずみによるせん断耐力の検討

試験値、有効ひずみおよび試験値と設計値の比  $\gamma$  が 1.31 の場合の有効ひずみを求めた。これを図-5 に示す。ここで、 $\gamma=1.31$  の場合の有効ひずみを求めたのは、表-2 で無補強の試験値と計算値の比が 1.31 であったためである。また、試験値とは、最大荷重までのせん断方向グリッドひずみの最大値とした。この結果、試験値と有効ひずみは近い値であることがわかる。また、無補強試験体と同程度の安全率を確保したと仮定した場合の有効ひずみは、CR-4 では 8019 $\mu$ 、CR-6 では 4069 $\mu$ 、CR-8 では 2220 $\mu$  となり、参考文献 3) で算出した有効ひずみより大きい。特に、断面積が小さいグリッドで補強した試験体ほどグリッドが試験体の変形に追従してせん断力に抵抗したため、8019 $\mu$  と有効ひずみは大きいものと判断される。

### 5. まとめ

CFRP グリッドは、補強量に関わらず既設部のせん断補強鉄筋に代わりせん断耐力を負担しており、せん断補強効果が確認された。全てのグリッド補強試験体で、CFRP グリッドと既設部が一体化することでせん断耐力に抵抗した。今後は、棒部材に対するせん断耐力式<sup>2)</sup>をせん断力に面で抵抗するグリッドに適用すると十分過ぎる安全側の評価となるため、グリッドを対象とした有効ひずみの算定法についての検討が必要である。

### 参考文献

- 1)三友工業株式会社 <http://www.sanyukogyo.co.jp/doboku/doC-4.html>
- 2)土木学会：コンクリート標準示方書-設計編-，2008
- 3)土木学会：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)，1996

$$V = V_{con} + V_{pcm} + V_{st} + V_g \cdots (1)$$

ここで、 $V_g = A_w \cdot E_w \cdot \epsilon_{fwd} \cdot z/s$

$A_w$  : 区間  $s$  におけるグリッドの総断面積  
 $E_w$  : グリッドのヤング係数  
 $\epsilon_{fwd}$  : 有効ひずみ  
 $z$  : 有効高さ  $s$  : グリッドの配置間隔

また、 $\epsilon_{fwd} = \sqrt{f'_{mcd} \frac{p_w E_{fu}}{p_{web} E_w}} \times 10^{-4}$

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

$f'_{cd}$  : コンクリートの設計圧縮強度(N/mm<sup>2</sup>)  
 $h$  : 部材の高さ(m)  
 $p_w$  : 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  
 $p_{web}$  : グリッドの引張鋼材比  
 $E_w$  : グリッドのヤング係数  
 $f'_{mcd}$  : 寸法効果を考慮した  
 コンクリートの設計圧縮強度(N/mm<sup>2</sup>)

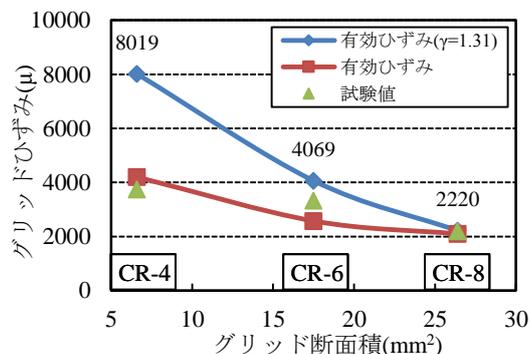


図-5 せん断方向グリッドひずみとグリッド断面積の関係