

## 2 方向配向 BFRP シートを接着した RC ヒューム管のせん断耐力の評価に関する研究

名城大学 学生会員 稲葉 有里

名城大学 正会員 岩下 健太郎

## 1. 目的

中空円形断面の遠心力コンクリート管（以後、ヒューム管と呼称）の周囲に BFRP シートを巻き立て、せん断補強する技術に関する研究が行われている。青山ら<sup>1)</sup>は、BFRP シート接着ヒューム管の曲げ試験を行い、2 方向配向 BFRP シートによるせん断耐力への補強効果を実験的に検証した。本研究では既存の BFRP シート補強を考慮したせん断耐力の設計式に材料の異方性を考慮して実験結果を評価し、中空円形断面 RC 管への適用性を検証した。

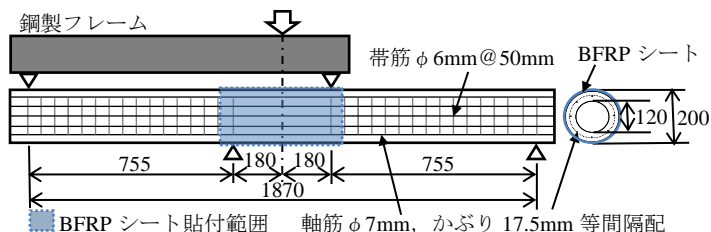


図1 RC ヒューム管供試体の曲げ試験の状況

## 2. 本研究において対象とする実験のまとめ

本研究では、青山ら<sup>1)</sup>の研究における実験を対象として既存のせん断耐力評価式により評価を行った。

青山らの研究における RC ヒューム管供試体の曲げ試験の状況を図1に示す。ヒューム管は本体径  $\phi 200\text{mm}$ 、壁厚 40mm、全長 200mm の中空円形状の RC ヒューム管が使用された。

BFRP シート接着部には帯筋はなく、軸方向鉄筋には直径 7mm の鉄筋 8 本がかぶり 17.5mm で配筋されている。また、供試体軸に対し  $0^\circ$ 、 $90^\circ$  に各々 0.114mm 厚の BFRP シートを接着した。物性値を表1に示す。RC ヒューム管供試体を NB 供試体と呼称する。破壊モードはせん断破壊であり、ひび割れの様子を図2に示す。ひび割れ角度は部材軸に対し  $35^\circ$  程度であった。BFRP シート 1 層（部材軸に対し  $90^\circ$  方向に  $300\text{g}/\text{m}^2$  目付）、2 層（部材軸に対し  $90^\circ$  方向に各  $600\text{g}/\text{m}^2$  目付）、そして施工の簡易化を目的として事前含浸、硬化させた BFRP プリプレグシート（部材軸に対し  $0^\circ$ 、 $90^\circ$  方向に  $300\text{g}/\text{m}^2$  目付）を RC ヒューム管の側面に巻き立てて、接着した供試体の曲げ試験を行った。それぞれの供試体を BS1L、BS2L、BP 供試体と呼称する。いずれの供試体も破壊モードはせん断破壊であり、NP 供試体と同様にひび割れ角度は部材軸に対し  $35^\circ$  程度であった。

表1 鉄筋と BFRP シートの物性値

鉄筋種類	降伏強度 N/mm <sup>2</sup>	引張強度 N/mm <sup>2</sup>	弾性係数 kN/mm <sup>2</sup>
軸筋 D7	1275	1420	200
BFRP シート	—	1900	90

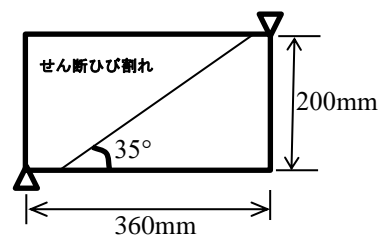


図2 せん断ひび割れの様子

## 3. BFRP シート接着により補強した RC 中空断面遠心力鉄筋コンクリート管のせん断耐力算定方法と結果

まず、NB 供試体のせん断耐力を土木学会コンクリート標準示方書[設計編]に示される式に基づき算出する。RC ヒューム管の引張側 3 本の鉄筋を引張鉄筋とみなし、これらの図心を求めて  $d$  を算出すると、 $d=164.38\text{mm}$  であり、 $a/d=2.19$  であることから、破壊モードはせん断圧縮となるため、せん断耐力式は(1)から求められる。

$$V_{dd} = \beta_d \cdot \beta_p \cdot \beta_a \cdot f_{dd} \cdot b_w \cdot d / \gamma_b \quad (1)$$

$V_{dd}$  : 設計せん断圧縮破壊耐力 (N),  $f_{dd} = 0.19\sqrt{f_{cd}}$  (N/mm<sup>2</sup>),  $\beta_d = \sqrt[4]{1000/d}$ ,  $\beta_p = \frac{1+\sqrt{100p_v}}{2}$  ただし、 $\beta_d > 1.5$ ,  $\beta_p > 1.5$  となる場合は 1.5 とする。  $\beta_a = \frac{5}{1+(\frac{d}{a})^2}$ ,  $b_w$ : 腹部の幅 (mm),  $d$ : 単純ば

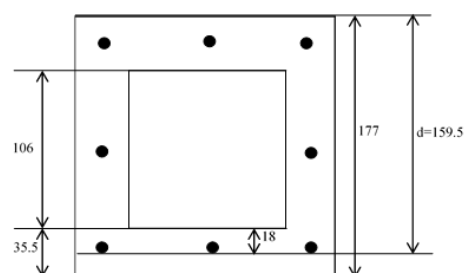


図3 等積箱型供試体の断面 (単位: mm)

りの場合は荷点, 片持ちばりの場合は支持部前面における有効高さ(mm), a: 支持部前面から荷点までの距離(mm),  $p_v = A_s / (b_w \cdot d)$ ,  $A_s$ : 引張側鋼材の断面積( $\text{mm}^2$ ),  $f'_{cd}$ : コンクリートの設計圧縮強度( $\text{N/mm}^2$ ),  $\gamma_b$ : 部材係数であり一般に 1.3 としてよいとされている. 同示方書に中空円形断面の場合は等積箱型断面に置き換えて算出してよいことが記載されており, まずは両断面に関して検証を行った. 等積箱型供試体の断面を図 3 に示す. また, せん断耐力の算出値と実験値を図 4 に示す. いずれの形状でもせん断耐力の算出値は実験値と概ね同程度であった. よって, 以降は円形断面に対してのみ検証することとした.

次に, BL1L, BS2L, BP 供試体における BFRP 負担分のせん断耐力 ( $V_f$ ) を土木学会の指針に示される式 (2) に基づき算出する. この式は CFRP シートおよび AFRP シートを用いる場合の設計式である.

$$V_{fd} = K [A_f f_{fd} (\sin \alpha_f + \cos \alpha_f) / s_f] \cdot z / \gamma_b \quad (2)$$

ここで,  $K$ : 連続繊維シートのせん断補強効率で, 式  $K = 1.68 - 0.67R$  ただし,  $0.4 \leq K \leq 0.8$ ,  $R = (\rho_f \cdot E_f)^{1/4} \left(\frac{f_{fd}}{E_f}\right)^{2/3} \left(\frac{1}{f'_{cd}}\right)^{1/3}$  ただし,  $0.5 \leq R \leq 2.0$ ,  $\rho_f = A_f / (b_w \cdot s_f)$ ,  $A_f$ : 区間  $s_f$  における連続繊維シートの総断面積,  $s_f$ : 連続繊維シートの配置間隔,  $f_{fd}$ : 連続繊維シートの設計引張強度 ( $\text{N/mm}^2$ ) であり引張強度を材料係数  $\gamma_{mf}$  で除したもので,  $E_f$ : 連続繊維シートの弾性係数 ( $\text{kN/mm}^2$ ),  $\alpha_f$ : 連続繊維シートが部材軸となす角度,  $\gamma_b$ : 部材係数で一般に 1.25 である. なお, 供試体軸とひび割れ方向の成す角  $\theta$  とし, ひび割れ直交方向に働く応力を  $\sigma$  とすると, 供試体軸に対し  $90^\circ$  方向の BFRP には  $\sigma \cos^2 \theta$ ,  $0^\circ$  方向の BFRP には  $\sigma \cos^2(90^\circ - \theta)$  が働くことから<sup>2)</sup>, 式 (2) における  $A_f f_{fd} (\sin \alpha_f + \cos \alpha_f)$  の箇所は  $A_f f_{fd} \cdot \cos^2 \theta / \cos^2(90^\circ - \theta)$  として考慮する.

以上を基に,  $\gamma_b$  と  $\gamma_{mf}$  の有無およびひび割れ角度 (供試体軸方向に対し  $35^\circ$  と  $45^\circ$ ) を考慮して  $V_{fd}$  を算出した. 算出値と実験値の関係を図 5 に示す. まず,  $\theta = 45^\circ$  の算出値は  $\gamma_b$  と  $\gamma_{mf}$  を考慮しても実験値と同様の値であるが,  $\theta = 35^\circ$  の算出値は  $\gamma_b$  と  $\gamma_{mf}$  の考慮の有無にかかわらず, 実験値を下回っており安全側に評価されている. 以上から, 二方向 BFRP シートに生じる引張応力に繊維方向とせん断ひび割れの方向の差を考慮することと, せん断ひび割れの方向をより実際に近い値を用いることで, 二方向 BFRP シートを接着した RC ヒューム管のせん断耐力を評価できることが示唆された.

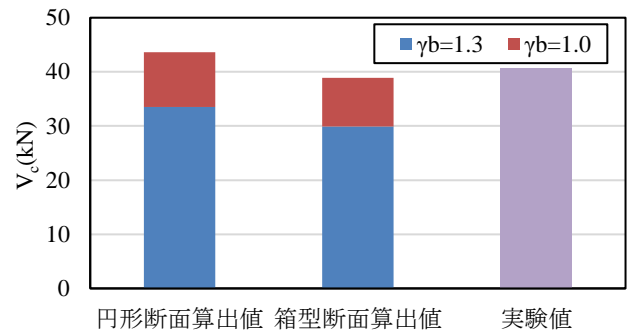


図 4 せん断耐力の算出値と実験値

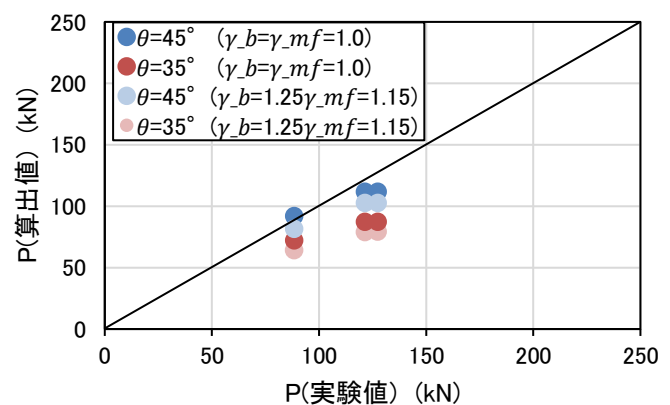


図 5 算出値と実験値の関係

#### 4. まとめ

土木学会指針のせん断耐力の設計式において, 二方向 BFRP シートに生じる引張応力に繊維方向とせん断ひび割れの方向を考慮することと, せん断ひび割れの方向をより実際に近い値を用いることで, 二方向 BFRP シートを接着した RC ヒューム管のせん断耐力を評価できることが示唆された.

#### 参考文献

- 1) 青山裕之: バサルト繊維プリプレグシートによるコンクリート柱のせん断補強効果に関する実験的研究, コンクリート工学年次論文集, Vol.42, No.2, pp.1093-1098, 2020
- 2) 邊吾一, 石川隆司: 先進複合材料工学 培風館, 2005