

# 論文 光硬化型 FRP シートの異方性を有した貼付による RC 梁のせん断耐力の実験的研究

柿澤 雅樹\*1・田邊 幸佑\*2・内田 裕市\*3・六郷 恵哲\*4

**要旨:** 等方性材料である短繊維ガラスを用いた光硬化型 FRP シートについて、異方性を有する連続繊維補強のせん断耐力算出式の適用性について载荷試験で検証した。また、カッティングにより異方性を持たせて貼付した際のせん断耐力を確認した。その結果、既往の算出式におけるシートが部材軸となす角度  $\alpha_f = 45$  度として算出するせん断耐力以上となることを確認した。また、異方性を持たせた貼付では、貼付面積 100%時は、既往の算出式以上であることを確認した。貼付面積を半分にした際は、異方性の角度によっては FRP シートの引張耐力が有効に発揮できず、計算値を下回ることがあった。

**キーワード:** 光硬化型 FRP シート, 短繊維ガラス, せん断耐力, 等方性, 異方性

## 1. はじめに

コンクリートのせん断補強として、アラミド繊維シートや炭素繊維シート、ガラス繊維シートなど様々なシート材料を用いた補強工法がある<sup>1)2)</sup>。一般に使用されるアラミド繊維や炭素繊維は、連続繊維シートに分類され、繊維の折り合わせにより 1 方向～3 方向の繊維をシート状にした材料である。この連続繊維シートを用いた工法は、設計施工指針なども整備<sup>3)4)5)</sup>されており、耐震補強工法などで実用化されている。

今回着目する光硬化型 FRP シートは、長さ 50mm の短繊維ガラスを用いた FRP シートであり、連続繊維シートの様に、ある特定の方向に強度が卓越する、いわゆる異方性材料と異なり、どの方向にも同じ引張強度を発揮する疑似等方性材料である。そのため、シートを貼付する方向についても、荷重の作用方向と無関係に自由な方向を選定することができる。しかし、この短繊維ガラスによる光硬化型 FRP シートを用いたせん断補強について、異方性のある連続繊維との性質の違いや強度評価式の適用性について、ほとんど研究が行われていない。

本研究では、短繊維ガラスによる光硬化型 FRP シートに着目し、RC 梁に貼付された際、等方性材料としてのせん断耐力が、連続繊維シートのせん断耐力と同様に取り扱いできるか検証する。さらに、等方性材料を異方性を持たせて貼付したとき、せん断補強効果への影響を検討することを目的とする。

## 2. 光硬化型 FRP シートによる梁のせん断試験

### 2.1 光硬化型 FRP シートの性質

光硬化型 FRP シートは、繊維長さ 50mm の短繊維ガラ

スをランダム配向によりマット状に加工し、光硬化の性質を有するエポキシアクリレート樹脂を含浸させた FRP シートである。マット状への加工は、JIS 規格「JIS R 3411 ガラスチョップドストランドマット」により定められている。

このため、短繊維ガラスを用いた光硬化型 FRP シートは、連続繊維シートの様な特定方向に強度が卓越する異方性を有した材料と異なり、どの方向への引張りに対しても等しい強度特性を有する疑似等方性材料である。今回使用する光硬化型 FRP シートの物性値<sup>6)</sup>を表-1 に示す。

表-1 光硬化型 FRP シートの物性値

| 項目     | 物性値  |
|--------|--|
| ガラス繊維量 | 450 g/m <sup>2</sup>                       |
| シート厚さ  | 1.2 mm                                     |
| 引張強度   | 80 N/mm <sup>2</sup> 以上                    |
| 引張弾性係数 | 6.0 × 10 <sup>3</sup> N/mm <sup>2</sup> 以上 |

### 2.2 光硬化型 FRP シートのせん断補強効果について

炭素繊維やアラミド繊維などの連続繊維シートは、補強工法に関する指針類<sup>3)4)5)</sup>が整備され、実用化されている。これには連続繊維を用いたガラス繊維シートも含まれる。短繊維を用いた光硬化型 FRP シートについて、基本的には連続繊維シートと同様の扱いができると考えられるが、等方性材料のため、異方性材料である連続繊維シートと必ずしも同一の特性を有するとは言えず、また検証もほとんどされていない。

光硬化型 FRP シートは、幅 50cm～100cm のロール状で製作されるため、構造物には、通常シートを 5cm 程度

\*1 岐阜大学 大学院工学研究科 生産開発システム工学専攻 工修 (正会員)

\*2 岐阜大学 大学院工学研究科 社会基盤工学専攻 (学生会員)

\*3 岐阜大学 総合メディアセンター教授 工博(正会員)

\*4 岐阜大学 工学部社会基盤工学科教授 工博(正会員)

ラップさせながら面的に貼付する。ここで、光硬化型の性質のため、ラップさせるためには下側のシートを貼付し、一度光硬化の過程を経た後、上側シートを重ねる必要がある。また、厚さが1~2mm程度あるため、炭素繊維シートやアラミド繊維シートの厚さ0.2~0.3mmに対して厚く、ラップ部分はさらに厚さが増す。そこで、ラップさせずに突き合わせて貼付できれば、材料費も含めメリットが多い。しかし、FRPシート単体では等方性であるが、ラップさせない貼付では面的に異方性となる。

本論文では、この等方性のFRPシートが、異方性の連続繊維シートに準拠したせん断補強効果が期待できるか検証する。また、等方性材料が一方方向を切断し異方性を持って貼付された時のせん断補強効果について、実験によりせん断補強効果を検証する。

シート補強された梁のせん断耐力は、文献<sup>4)</sup>によると、以下の式(1)に示す通り、コンクリートが分担するせん断耐力、鉄筋が分担するせん断耐力、およびシートが分担するせん断耐力の和で表される。

$$V_{fyd} = V_{cd} + V_{sd} + V_{fd} \quad (1)$$

- $V_{fyd}$  : 梁のせん断耐力
- $V_{cd}$  : コンクリートが分担するせん断耐力
- $V_{sd}$  : 鉄筋が分担するせん断耐力
- $V_{fd}$  : シートが分担するせん断耐力

シートが分担するせん断耐力  $V_{fd}$  は、式(2)により算出される(部材係数は試験のため1.0とする)。

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

$$K = 1.68 - 0.67R \quad 0.4 \leq K \leq 0.8$$

$$R = (\rho_f \cdot E_f)^{1/4} \left( \frac{f_{fud}}{E_f} \right)^{2/3} \left( \frac{1}{f'_{cd}} \right)^{1/3}$$

$$\rho_f = A_f / (b_w \cdot s_f) \quad 0.5 \leq R \leq 2.0$$

- $A_f$  : 区間  $s_f$  の連続繊維シートの総面積(mm<sup>2</sup>)
- $s_f$  : 連続繊維シートの配置間隔(mm)
- $f_{fud}$  : 連続繊維シートの引張強度 (N/mm<sup>2</sup>)
- $E_f$  : 連続繊維シートの弾性係数(kN/mm<sup>2</sup>)
- $\alpha_f$  : 連続繊維シートが部材軸となす角度
- $\gamma_b$  : 部材係数

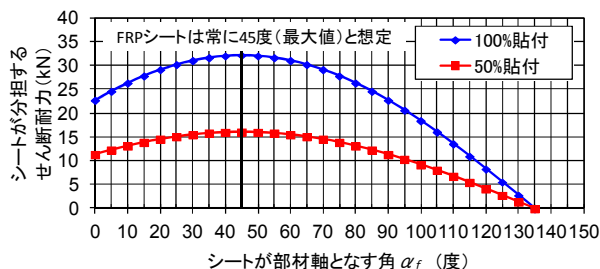


図-1 なす角度  $\alpha_f$  とせん断耐力の関係

式(2)は、引張強度や弾性係数は使用材料により決まるため、シートが部材軸となす角度  $\alpha_f$  が45度で最大値となる関数となる。なす角度  $\alpha_f$  とせん断耐力の関係をグラフ化したものを図-1に示す。等方性のFRPシートは、角度  $\alpha_f$  に関係せず一定のせん断耐力となるため、せん断耐力が最大値となる45度のせん断耐力値を採用できると考えられる。なお、図中の青線はFRPシートを全面に貼付した場合、赤線は50%の範囲に貼付した場合の数値を示している。

### 3. 光硬化型FRPシートを用いたRC梁モデルの室内試験

#### 3.1 RC梁モデルの試験概要

FRPシートのせん断耐力を確認するため、既往のせん断試験<sup>7)</sup>を参考に、図-2に示す様な2点集中荷重によるRC梁のせん断試験を行った。

供試体寸法は、高さ200mm、幅100mm、長さ1800mmとし、支点間隔1200mm、荷重点間隔200mm、せん断スパン長500mmとした。引張側には、引張鉄筋としてD19を2本配置し、圧縮側にはD13を2本配置した。せん断スパンのうち左側スパンには、全供試体共通でせん断補強筋としてスターラップを6本(D6@100mm)配置した。右側スパンは、スターラップ等の鉄筋によるせん断補強筋は配置せず、試験用スパンとし、FRPシート等によるせん断補強を行うことで、シート材料のせん断特性の試験を行った。なお、FRPシートと支点・荷重点との接触を避けるため、シート設置長さをせん断スパン長より短い450mmとしている。

供試体作成における材料の強度物性等を表-2に、試験に用いた供試体の種類を表-3に示す。

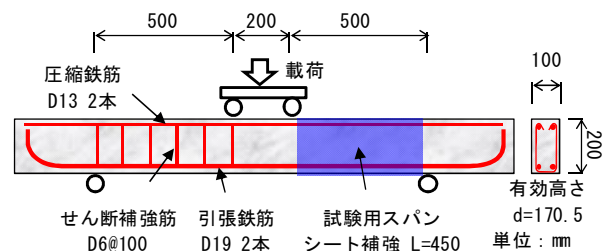


図-2 梁のせん断試験概要図

表-2 供試体の強度物性等

|        |         |                       |
|--------|---------|-----------------------|
| コンクリート | 一軸圧縮強度  | 46.3N/mm <sup>2</sup> |
| 鉄筋     | 引張鉄筋    | SD345                 |
|        | 圧縮鉄筋    | SD345                 |
|        | スターラップ  | SWM-R                 |
| 梁部材    | せん断スパン比 | 2.93                  |
|        | 引張鉄筋比   | 0.034                 |

表-3 供試体の種類

| 試験 No. | 左側スパン |        | 右側スパン |         |      | 備考   |     |
|--------|-------|--------|-------|---------|------|------|-----|
|        | 補強材料  | 補強内容   | 補強材料  | 補強内容    | 貼付角度 |      |     |
| No. 1  | 鉄筋    | D6@100 | 無し    | —       | —    | —    |     |
| No. 2  |       |        | 鉄筋    | D6@100  | —    | —    | —   |
| No. 3  |       |        | FRP   | —       | 無し   | —    | 等方性 |
| No. 4  |       |        | FRP   | 100% 貼付 | —    | 45度  | 異方性 |
| No. 5  |       |        |       |         |      | 90度  |     |
| No. 6  |       |        |       |         |      | 135度 |     |
| No. 7  |       |        | FRP   | 50% 貼付  | —    | 0度   |     |
| No. 8  |       |        |       |         |      | 45度  |     |
| No. 9  |       |        |       |         |      | 90度  |     |
| No. 10 |       |        |       |         |      | 135度 |     |

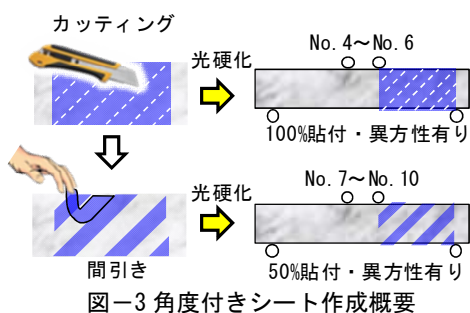


図-3 角度付きシート作成概要

No.1 は、せん断補強しない供試体であり、No.2 は、スターラップにより補強した供試体である。No.3 は、FRP シートを全面貼付し、紫外線により硬化させた。No.4~6 は、図-3 に示すように、カッターナイフにより 5cm 間隔で表-3 中の貼付角度欄に示す角度で FRP シートをカッティングした。その後、紫外線を照射し硬化させることで、FRP シートに所定の異方性を持たせた。No.7~10 は、No.4~6 と同様に、表-3 に示す貼付角度でシートを切断した後、シートの一部を間引くように除去した。その後、紫外線により硬化させることで、貼付面積を 50%とし、かつ異方性を持たせた供試体とした。

### 3.2 等方性を有した貼付によるせん断耐力

前述の表-3 における No.1~3 について、計算式(1)によるせん断耐力と試験結果を表-4 に示す。No.3 が等方性の供試体である。試験時の変位とせん断力の関係を図-4 に、各供試体の試験後の状況を写真-1~写真-3 に示す。

No.1 の補強の無い梁については、コンクリートのみのせん断耐力であり、計算式とほぼ近似した 26.7 kN でせん断破壊した。これにより、本試験におけるコンクリートのせん断耐力は、計算式とほぼ同一とみなすことができ、以後の試験では、全せん断力から計算式によるコンクリートの分担せん断力を差し引くことで、せん断補強鉄筋または FRP シートが分担するせん断力として評価した。No.2 では、梁の曲げ破壊が確認(曲げ耐力 66.9kN, 実験結果 69.5kN)でき、No.3 以降の試験荷重の範囲では、せん断スパン左側のスターラップは、せん断補強が有効な範囲であることが確認できた。

表-4 FRP シート (等方性) の試験結果

単位: kN

| 試験番号  | 計算式によるせん断耐力 |      |        |        | 試験結果 |
|-------|-------------|------|--------|--------|------|
|       | コンクリート      | 鉄筋   | FRPシート | 合計     |      |
| No. 1 | 26.5        | 0.0  | 0.0    | 26.5   | 26.7 |
| No. 2 | 26.5        | 45.5 | 0.0    | 72.0 ※ | 69.5 |
| No. 3 | 26.5        | 0.0  | 32.2   | 58.7   | 66.3 |

※66.9kNで曲げ破壊が先行

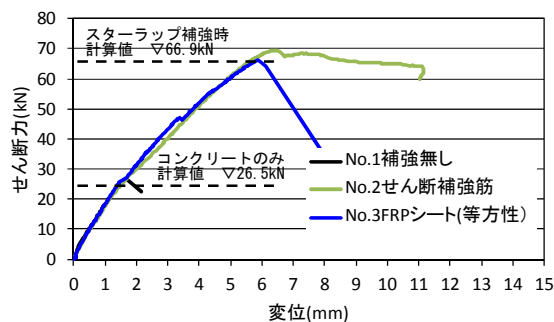


図-4 FRP シート (等方性) における変位-せん断力の関係

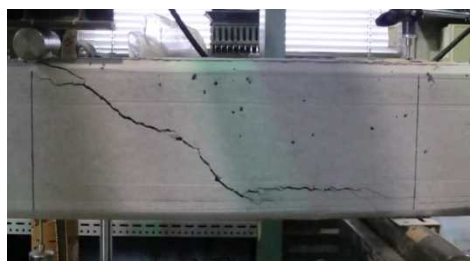


写真-1 No. 1 (せん断補強無し) せん断破壊状況



写真-2 No. 2 (せん断補強筋) 曲げ破壊状況



写真-3 No. 3 (等方性 FRP シート) せん断破壊状況

No.3 については、FRP シートが等方性を有した供試体であり、FRP シートによりせん断耐力の向上が確認できた。このとき、シートが部材軸となす角度  $\alpha_f$  を 45 度として算出した計算値 58.7 kN に対し、66.3kN とやや上回る結果となった。このため、短繊維ガラスによる光硬化型 FRP シートを等方に貼付した場合、計算式において  $\alpha_f = 45$  度として算出することで、安全側に推定されることが分かった。

### 3.3 異方性を有した貼付（100%貼付）によるせん断耐力

前述の表-3におけるNo.4~6について、梁に貼付したFRPシートに異方性を持たせるため、FRPシートをカッターナイフにより切断して作成した供試体における試験結果を表-5に示す。試験時の変位とせん断力の関係を図-5に、各供試体の試験後の状況を写真-4~写真-6に示す。写真中の数字は、FRPシートが破断する順番を示しており、黄数字はFRPシート破断直後に梁が破壊したことを示す（No.4のみは全順序の記録無し）。

表-5の計算式によるせん断耐力では、カッティングした方向をシートが部材軸となす角度 $\alpha_f$ として算出した値であり、なす角度 $\alpha_f=45$ 度はカッティングしない等方性を有する状態のFRPシート（No.3）と同じせん断耐力の計算値となる。また、なす角度 $\alpha_f=135$ 度では、せん断ひび割れと同一方向にカッティングすることとなるため、計算上のFRPシートのせん断耐力はゼロとなる。

No.4の試験結果から、 $\alpha_f=45$ 度の時は計算式におけるせん断耐力をやや上回る結果となった。このため、等方性であるNo.3と同様に、計算式により算出されるせん断耐力が期待できると言える。このことから、例えばせん断方向が特定されている構造物を補強する際、その方向と直角方向にFRPシートの突き合わせによる継ぎ目があっても、等方性に貼付した時と同等のせん断耐力の向上が見込めると言うことができる。

なす角度 $\alpha_f$ とFRPシートが分担するせん断耐力の関係と試験結果を図-6に示す。なす角度 $\alpha_f$ が全ての種類において計算式による結果を上回り、特に135度では大幅に上回るせん断耐力となった。これは、実際のひび割れは135度の単一方向のみでなく、荷点近傍では135度に近い角度のひび割れ、支点近傍では水平ひび割れ、ま

たその中間位置では徐々に135度に近い角度から水平へ移行している。FRPシートはそれらのひび割れを跨いで貼付されており、なす角度 $\alpha_f=135$ 度であっても、FRPシートのせん断耐力はゼロではなく、補強効果（今回の試験では28.7kN）があると言える。このため、部材軸となす角度 $\alpha_f$ より算出するせん断耐力以上の耐力が期待できる。

### 3.4 異方性を有した貼付（50%貼付）によるせん断耐力

前述の表-3におけるNo.7~10について、3.3節と同様に、梁に貼付したFRPシートに異方性を持たせ、さらに貼付面積を半分(50%)とした試験を実施した。式(2)によるFRPシートが分担せん断耐力および試験結果を表-6に示す。また、試験時の変位とせん断力の関係を図-7に、各供試体の試験後の状況を写真-7~写真-10に示す。

計算式によるせん断耐力は、FRPシートが部材軸となす角度 $\alpha_f=45$ 度の時に最大値となり、その値は貼付面積100%の時の2分の1となる。また、 $\alpha_f=135$ 度では、FRP

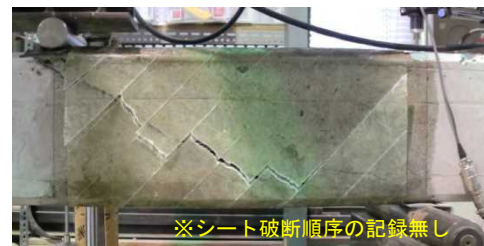


写真-4 No. 4 (100% 45度) せん断破壊状況

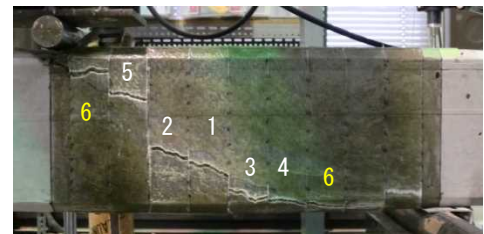


写真-5 No. 5 (100% 90度) せん断破壊状況

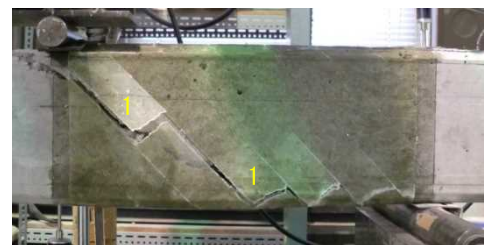


写真-6 No. 6 (100% 135度) せん断破壊状況

表-5 FRPシート（異方性100%貼付）の試験結果

| 試験番号  | 貼付内容 |      | 計算式によるせん断耐力  |              |      | 試験結果<br>kN |
|-------|------|------|--------------|--------------|------|------------|
|       | 範囲   | 角度   | コンクリート<br>kN | FRPシート<br>kN | 合計   |            |
| No. 4 | 100% | 45度  | 26.5         | 32.2         | 58.7 | 63.1       |
| No. 5 |      | 90度  |              | 22.8         | 49.2 | 55.9       |
| No. 6 |      | 135度 |              | 0.0          | 26.5 | 55.4       |

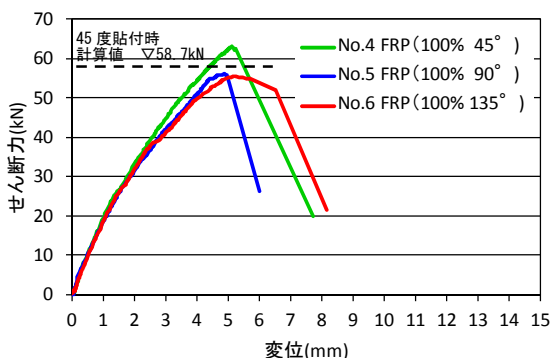


図-5 異方性を持たせたFRPシートの  
変位-せん断力の関係

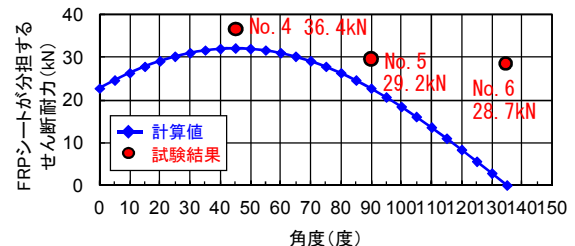


図-6 なす角度 $\alpha_f$ とせん断耐力の関係

表-6 FRP シート（異方性 50%貼付）の試験結果

| 試験番号   | 貼付内容 |      | 計算式によるせん断耐力  |              |          | 試験結果<br>kN |
|--------|------|------|--------------|--------------|----------|------------|
|        | 範囲   | 角度   | コンクリート<br>kN | FRPシート<br>kN | 合計<br>kN |            |
| No. 7  | 50%  | 0度   | 26.5         | 11.4         | 37.9     | 31.2       |
| No. 8  |      | 45度  |              | 16.1         | 42.6     | 38.1       |
| No. 9  |      | 90度  |              | 11.4         | 37.9     | 45.5       |
| No. 10 |      | 135度 |              | 0.0          | 25.5     | 61.4       |

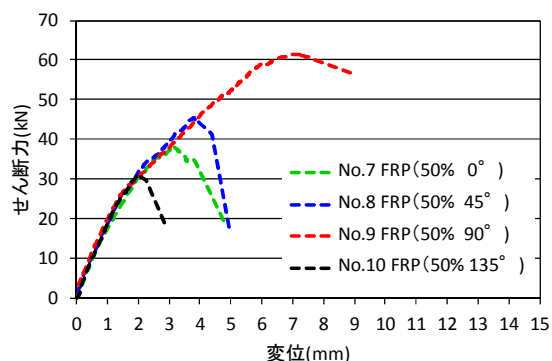


図-7 異方性を持たせた FRP シートの 変位-せん断力の関係

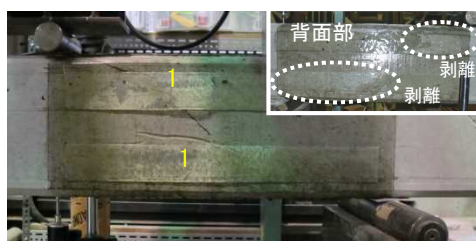


写真-7 No. 7 (50% 0度) せん断破壊状況



写真-8 No. 8 (50% 45度) せん断破壊状況

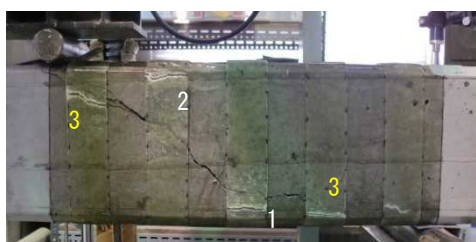


写真-9 No. 9 (50% 90度) せん断破壊状況



写真-10 No. 10 (50% 135度) せん断破壊

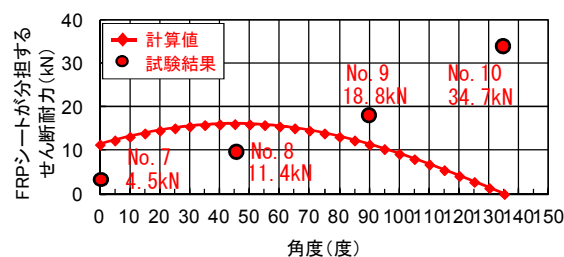


図-8 なす角度  $\alpha_f$  とせん断耐力の関係

シートが負担するせん断耐力はゼロとなる。

図-8 から分かるように、なす角度  $\alpha_f=0$  度および 45 度の時、計算式によるせん断耐力を下回る値でせん断破壊した。なす角  $\alpha_f=0$  度では写真-7 右上の背面部の FRP シートが、なす角度  $\alpha_f=45$  度では写真-8 の最も荷点側の FRP シートが破断せず、剥離がシート端部に達していた。今回の試験では、せん断スパン 500mm に対し FRP シート長さ 450mm としたため、特に荷点近傍では FRP シートの剥離が端部まで達し、定着が確保しにくい条件となっていたと言える。このため、なす角度  $\alpha_f=0$  度および 45 度では、FRP シートの引張耐力が有効に作用せず、FRP シートの貼付面積が、実質的に 50%より小さく、せん断耐力が計算値を下回ったと考えられる。

なす角度  $\alpha_f=90$  度および 135 度では、計算式によるせん断耐力を上回る結果となり、特に  $\alpha_f=135$  度では、貼付面積 100%と同等なせん断耐力となった。この  $\alpha_f=135$  度の破壊は、梁にせん断ひび割れが発生した後、1 本目の FRP シートが破断するまで荷重に耐え続け、FRP シートの破断とともにせん断破壊に至った。この破壊形態は、せん断圧縮によるものと想定できる。

### 3.5 ひび割れ発生位置の比較

今回試験を実施した 10 パターンについて、せん断ひび割れ位置に着目する。供試体に発生したせん断ひび割れ位置をスケッチし、重ね合わせたものを図-9～図-11 に示す。図中の点線は、部材軸に対するせん断ひび割れの角度を比較しやすい様に、荷点から 135 度（下向き 45 度）に引いた線である。

No.1 のコンクリートのみでせん断耐力を負担する場合、せん断ひび割れの角度が下向き 45 度より小さくなっている。一方、カッティングの無い等方の FRP シートによりせん断補強した No.3 は、下向き 45 度付近の角度となっている。この傾向は、FRP シート貼付面積 100%とし、異方性をもたせた No.4～No.6 についても同様にひび割れが発生している。これは、FRP シートによりせん断補強することで、ひび割れが下向き 45 度の角度で発生していると考えられる。

貼付面積 50%の No.7～No.10 については、No.10 のみ下向き 45 度線の角度でひび割れが発生している。この No.10 は、せん断耐力が貼付面積 100%と同等のせん断耐

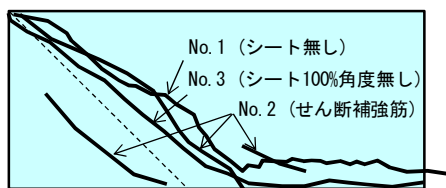


図-9 せん断ひび割れ位置 (試験番号 1~3)

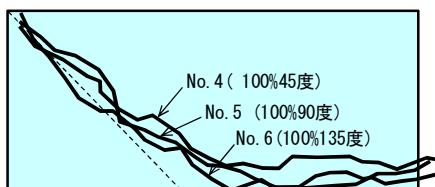


図-10 せん断ひび割れ位置 (試験番号 4~6)

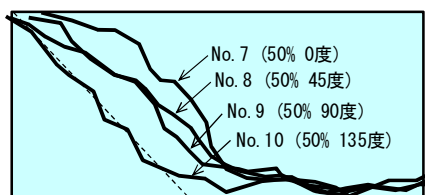


図-11 せん断ひび割れ位置 (試験番号 7~10)

力となった試験結果であることから、FRP シートの貼付がひび割れ位置や角度に何らかの影響を与えていると推測されるが、その程度については今回の試験では解明できておらず、今後検討の余地があると考えられる。せん断耐力は、一般に圧縮部のせん断力、せん断面の骨材の噛み合わせ、引張鉄筋のダウエル作用や付着割裂に依るとされている<sup>8),9)</sup>。No.10 は、計算式ではシートが分担するせん断力はゼロになるものの、実際には水平ひび割れ部分を補強する形状となり、タイドアーチが形成され、最終的にせん断圧縮により破壊したため計算値より高いせん断耐力となったと考えられる。ただし、FRP シートを間引く位置が異なっていた場合は、ひび割れ位置や水平ひび割れ部分の補強の程度も変わると想定され、せん断圧縮に至らず、斜め引張破壊となった可能性がある。

#### 4. まとめ

等方性材料である短繊維ガラスを用いた光硬化型 FRP シートを、RC 梁のせん断補強として適用したとき、異方性を有する連続繊維シートによるせん断補強として用いられる計算式の適用性について検証を行った。また、等方性である光硬化型 FRP シートを、異方性を持たせた貼付をした時、シートの貼付面積 100%と 50%について、角度をパラメータとしてせん断試験を行った。その結果、以下の知見が得られた。

- (1) 等方性材料の光硬化型 FRP シートをせん断補強として梁に貼付したとき、連続繊維シートが部材

軸となす角度  $\alpha_f=45$  度 (せん断耐力が最大値) として算出されるせん断耐力が適用できることが分かった。

- (2) FRP シートの貼付面積 100%として、カッティングにより異方性を持たせたとき、今回の試験条件においては、異方性の角度を部材軸となす角度  $\alpha_f$  として算出したせん断耐力以上が期待できることが分かった。
- (3) FRP シートの貼付面積 50%として、カッティングにより異方性を持たせたとき、今回の試験条件においては、シートの剥離が端部に達しやすいため、FRP シートの引張耐力を有効に発揮できず、異方性の角度を部材軸となす角度  $\alpha_f$  として算出したせん断耐力を下回ることが分かった。
- (4) FRP シートを貼付した RC 梁では、せん断ひび割れ位置が荷点から 135 度 (45 度下向き) に引いた角度近づくことが分かった。この傾向は、FRP シートによりせん断強度が向上する試験パターンで見られ、FRP シートがひび割れ位置や角度に何らかの影響を与えていると推測されるが、その程度については今後検討の余地がある。

#### 参考文献

- 1) コンクリート補修・補強マニュアル編集委員会、コンクリート補修・補強マニュアル、2003.5
- 2) 一般財団法人建築保全センター：連続繊維シートによる耐震改修工法の調査報告、<http://www.bmmc.or.jp/gyoumu1/gyoumu1-3/>
- 3) 国土交通省、あと施工アンカー・連続繊維補強設計・施工指針、国住指第 1015 号別添
- 4) 社団法人土木学会：101 コンクリートライブラリー 連続繊維シートを用いたコンクリート構造物の補修補強指針、2000.3
- 5) 東日本高速道路株式会社、中日本高速道路株式会社、西日本高速道路株式会社：設計要領第三集 トンネル編、2014.7
- 6) 株式会社竹中土木：パーマコート工法技術資料 Ver 3.0, pp.3-9, 2013.4
- 7) 羽田野英明他、連続繊維ロープを用いた RC 部材のせん断補強、土木学会論文集 E2 (材料・コンクリート構造), Vol.68, No.4, pp.271-282, 2012
- 8) 田所敏弥他、斜めひび割れ面のせん断伝達機構と鉄筋コンクリート棒部材の斜め引張破壊、土木学会論文集, No.739/V-60, pp.195-211, 2003.8
- 9) 長谷川俊昭、RC はりの斜め引張破壊に関する数値解析的検討、土木学会第 57 回年次学術講演会、V-141, pp.281-282, 2002.9