

# 論文 二方向アラミド繊維シートによる RC スラブの押抜きせん断性状

中島規道 \*1・三上浩\*1・角田敦\*2・鍋島益弘\*3

**要旨:** アラミド繊維を布状に織り上げて直交する二方向に配列した繊維シートの補強性状を検討するため、RC 梁および RC スラブの下面に二方向アラミド繊維シートを貼付して静的載荷試験を行った。その結果、織物状の二方向アラミド繊維シートは、一方および二方向の何れの応力状態においても曲げ変形の抑制、押抜きせん断耐力の向上など、良好な補強効果を有することが明らかとなった。

**キーワード:** 二方向アラミド繊維シート, RCスラブ, 押抜きせん断耐力, 曲げ変形

## 1. はじめに

各種繊維シートによる鉄筋コンクリート構造物の補強工法は、良好な施工性、工期の短縮、材料の高耐久性等の理由により、様々な形式の構造物に適用が試みられている。しかしながら、従来の繊維シートは一方強化材料であるため、壁や床スラブ等の多方向の応力状態を有する部材の場合、自由度の大きい補強を行える反面、それぞれの方向ごとに補強を行うために補強量が増大し、施工が煩雑になるなどの欠点も有している。さらに、各補強層間の応力伝達メカニズムも含め、多層化の補強効果については十分に明らかにされていないのが現状である。

本研究では、アラミド繊維を直交する二方向に織上げて布状に配列した二方向アラミド繊維シート（以下、二方向AFSと略称）を使用し、RC 梁および RC スラブの下面に貼付した試験体について静的載荷試験を行い、曲げ性状およびせん断性状について実験的に検討した。

## 2. 実験概要

### 2. 1 試験体

二方向AFSは、縦糸および横糸にアラミド繊維束を使用して布状に織り上げた補強材量で

ある。その表面状態を図-1に示す。

梁試験体およびスラブ試験体の形状および寸法を図-2および図-3に示す。梁試験体は、曲げおよびせん断の破壊モードが卓越する様に載荷点位置および帯鉄筋量をそれぞれ変更した。破壊モードおよびシート層数の組合せを表-1に示す。全試験体数は9体とした。

二方向AFSのアラミド繊維は高弾性タイプの製品を、シートの含浸・接着樹脂は常温硬化型の標準的なエポキシ樹脂を使用した。基準となる複合材料としての規格耐力は、直交する何れの繊維方向においても588kN/mである。その他、使用材料の一覧を表-2に示す。表中の二方向AFSの材料特性値は、樹脂の断面積を無視した繊維換算の値である。コンクリートは早強コンクリートを使用した。

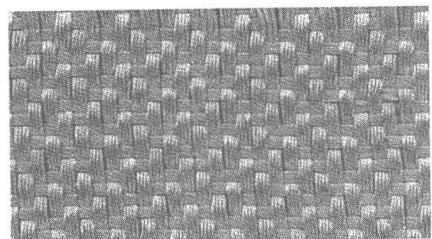


図-1 二方向アラミド繊維シート

\*1 三井建設(株)技術研究所 (正会員)

\*2 東レ・デュボン(株)ケブラー営業部

\*3 大成ロテック(株)



表-3 梁試験体の試験結果(1)

	試験体名称	主鉄筋降伏(kN)	最大荷重(kN)	破壊形式
実験値	B-N	75.8	85.3	圧壊
	B-1	88.40	110.0	剥離
	B-2	105.6	136.0	剥離
断面分割法計算値	B-N	66.74	70.3	圧壊
	B-1	80.7	135.9	圧壊
	B-2	94.7	168.6	圧壊

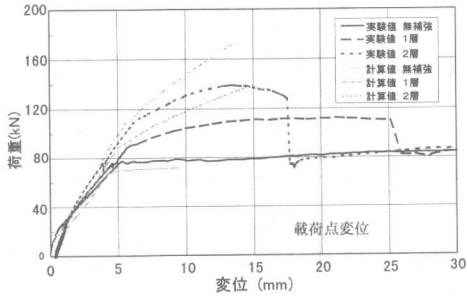


図-4 荷重-変位関係

表-4 梁試験体の試験結果(2)

	試験体名称	斜めひびわれ(kN)	主鉄筋降伏(kN)	最大荷重(kN)	破壊形式
実験値	S-N	100.3	92.1	109.5	せん断
	S-1	104.1	115.9	140.1	剥離
	S-2	124.3	---	135.0	せん断
標準示方書計算値	S-N	59.0	90.3	---	せん断
	S-1	61.6	107.6	---	せん断
	S-2	64.1	125.0	---	せん断

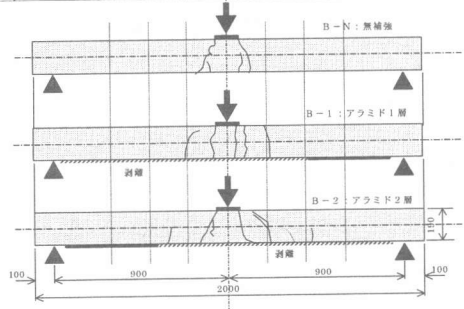


図-5 破壊状況

### 3. 試験結果

#### 3.1 梁試験体の曲げ性状

梁の曲げ試験体の試験結果および計算値を表-3に示す。表中の計算値は、断面を中立軸と平行に細分割し、ひずみの平面保持を仮定して行う逐次計算法<sup>4)</sup>により求めた。

荷重-変位関係について図-4に、破壊性状について図-5に示す。無補強の試験体は、主鉄筋降伏後変位が急増し、コンクリートの圧壊により耐荷力を喪失した。

二方向AFSで補強した試験体は、無補強の試験体に比べて主鉄筋の降伏荷重が増加し、降伏後も荷重が増加する傾向を示した。その後、コンクリートの圧壊以前にシートの剥離が中央部から片端部に進行して荷重が低下した。剥離後の挙動は、無補強の試験体とほぼ同様である。

同一荷重における変形量は、二方向AFS補強量の増加と共に減少することが認められる。実験値と計算値を比較すると、主鉄筋の降伏以前の両者は良好に適合しているが、降伏以後は計算値と比べて実験値の剛性が徐々に低下し変位が増大する傾向が現れている。

最大荷重は、補強量の増加と共に増加を示

したが、変形量は低下し脆性的な挙動を示した。これはシートの分担する力が大きくなり、シートとコンクリートの界面により大きなせん断力が作用し、シートが剥離したためと考えられる。

直角方向の繊維の存在および繊維束の交錯といった二方向AFSの構造的な特徴の影響は特に認められなかった。二方向AFSの一方の応力状態における補強性能は、既往の研究<sup>2)</sup>を踏まえると、同等の耐荷力を有する一方のアラミド繊維シートとほぼ等しいと考えられる。

#### 3.2 梁試験体のせん断性状

梁のせん断試験体の試験結果を表-4に、荷重-変位関係を図-6にそれぞれ示す。無補強の試験体は、主鉄筋の曲げ降伏が先行しており、せん断と曲げの影響がバランスした破壊形態であった。二方向AFSを1層貼付した試験体は、斜めひびわれ発生後も載荷重は増大し、最終的に斜めひびわれ周辺の二方向AFSの剥離が生じた。一方、二方向AFSを2層貼付して補強した場合、斜めひびわれ発生荷重は増加するものの、最大荷重は1層に比して低下し、破壊形式も脆性的となる結果を示した。図

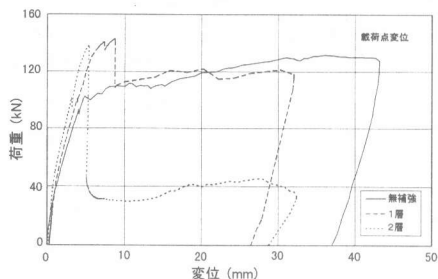


図-6 荷重-変位関係

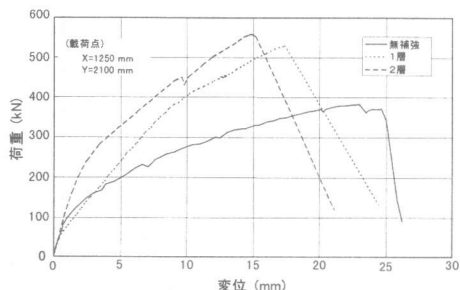


図-8 荷重-変位関係

図-7に示す破壊状況によると、これは補強量の増加により部材の応力分布状態が変化してひびわれ発生角度が浅くなり、シート補強していない支点近傍でせん断力が卓越したためと判断される。シートの端部近傍でせん断力が作用する場合、破壊の脆性化に注意が必要であることが示唆されている。

### 3. 3スラブ試験体の変形性状

スラブ試験体の試験結果の一覧を表-5に、荷重-変位関係を図-8にそれぞれ示す。二方向AFSで補強した試験体の主鉄筋の降伏荷重は、無補強の試験体の降伏荷重に対して、短辺と長辺の何れにおいても大きく増加している。同一荷重における変位は、スラブ試験体においても二方向AFSの層数の増加と共に減少することが認められる。

無補強の試験体の主鉄筋降伏荷重を基準に取り、梁試験体とスラブ試験体について二方向AFSの変位の減少効果を比較した結果を図-10に示す。補強した試験体の変位は、無補強の試験体の変位との比率として示した。ス

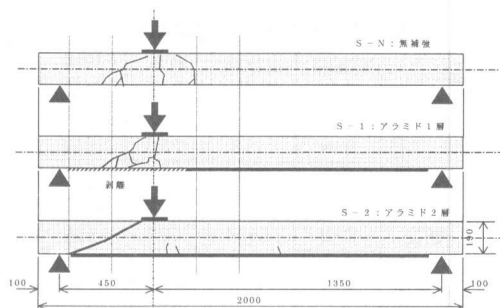


図-7 破壊状況

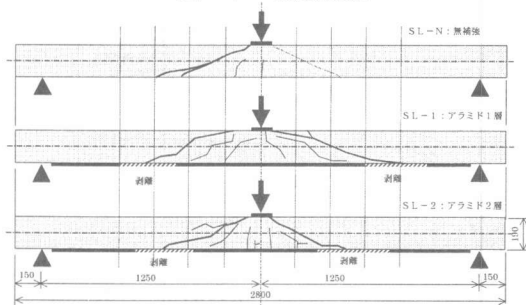


図-9 破壊状況

ラブ試験体の変位は、1層補強で無補強の60%、2層補強で33%と梁試験体に比べて大きな低減効果を示している。

長辺および短辺それぞれの方向の二方向AFSのひずみ分布を図-11に示す。両方向とも荷重点から約600mmまでのシートが応力を負担していることが示されている。さらに、若干の変動はあるものの、対応する測点のアラミド繊維のひずみレベルはほぼ等しく、均等に応力を負担していることが示されている。これらにより、アラミド繊維が何れの方にも有効に作用していると判断される。

### 3. 4スラブの押し抜きせん断性状

破壊後の切断面を図-9に示す。本実験における破壊は、補強の有無によらず押し抜きせん断コーンの形成により荷重が低下する形式となった。無補強試験体は、明瞭なせん断コーンとならず損傷が片側に集中する破壊形態を示した。二方向AFSで補強した試験体は、せん断コーン形成時に急激に耐荷力を喪失したものの、シートの破断および剥離コンクリートの落下は認

表-5 スラブ試験体試験結果

試験体 名称	主鉄筋降伏時			押抜きせん断破壊時			示方書 計算値 (kN)	
	荷重 (kN)	変位 (mm)	アラミド (10 <sup>6</sup> )	荷重 (kN)	変位 (mm)	アラミド (10 <sup>6</sup> )		
短辺 方向	SL-N	267.6	9.85	---	364.2	24.62	---	332.3
	SL-1	399.6	10.17	3537	519.4	19.05	4127	354.8
	SL-2	417.2	8.44	2369	547.1	14.88	3857	374.7
長辺 方向	SL-N	254.0	8.87	---	スラブ試験体の破壊形式は 全て押抜きせん断破壊			
	SL-1	437.0	12.37	3069				
	SL-2	501.8	12.56	4768				

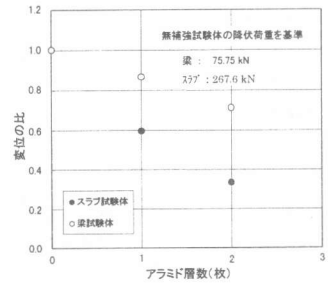


図-10 変形の低減効果

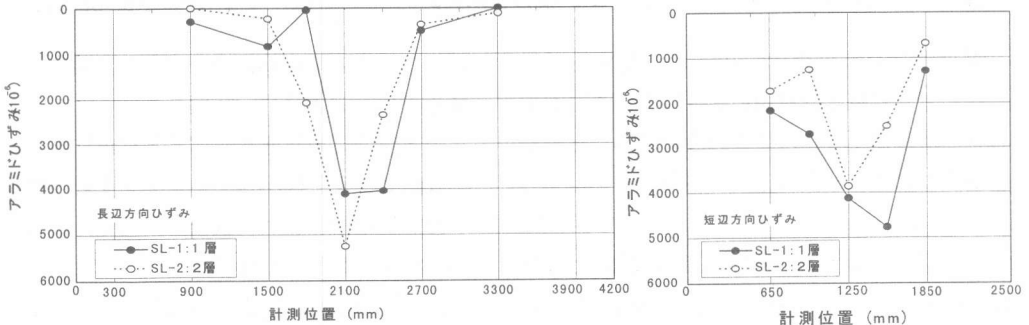


図-11 スラブ試験体のひずみ分布

められず、コーン近傍のシートがドーナツ状に剥離したのみであった。

押抜きせん断荷重は、二方向AFSの層数の増加と共に増加するものの、終局変位は減少し脆性的となる傾向を示した(表-5参照)。補強の有無による押し抜きせん断荷重の差は極めて大きな値を示している。この違いは、補強により斜めひびわれ発生角度が小さくなり、押抜ける範囲の周長が長くなったことに起因すると思われる。しかしながら、本実験の3体の間に明確な傾向は認められない。梁の斜めひびわれ性状も含めて勘案すると、二方向AFSの補強量とせん断コーンの発生角度、そして押抜きせん断荷重の間には密接な関係があると推測されるため、この点を今後検討して行く必要がある。

#### 4. 二方向AFSの補強効果

梁の曲げ試験体における二方向AFSの実験値と計算値の曲げ補強効果の比較を図-12に示す。両軸の値は、補強した試験体の諸量が無補強の試験体の諸量で除した低減率として示した。実験値における低減効果を計算値は良

好に反映しており、精度良く算定可能であることが示されている。

梁の斜めひびわれ荷重の実験値と計算値の比較に付いて図-13に示す。両軸の値は、無補強の試験体の発生荷重からの二方向AFS補強試験体の増分値として示した。なお、斜めひびわれ荷重の計算値は、式(1)に示す算定式<sup>3)</sup>を使用した。この中で、二方向AFSの断面積は、鋼材との弾性係数比で低減させた後<sup>1)</sup>、コンクリート内部の軸方向補強筋と同様に取り扱い算定している(表-4参照)。さらに二方向AFSの貼付位置を考慮し、算定式中の有効高さを全高さとして算定した結果も示した。

$$V_c = \beta_d \cdot \beta_p \cdot f_{vc} \cdot b_w \cdot d \dots \dots \dots (1)$$

$$\beta_d = (100/d)^{1/4}$$

$$\beta_p = (100\rho_w)^{1/3}$$

$$f_{vc} = 0.2(f_c)^{1/3}$$

$$\rho_w = \rho_s + \rho_{afs} \cdot (E_{afs}/E_s)$$

$V_c$ : せん断補強筋を用いない梁部材のせん断耐力

$d$ : 有効高さ,  $b_w$ : 梁の断面幅

$\rho_s$ : 主鉄筋比,  $\rho_{afs}$ : 二方向AFSの比

$E_s$ : 鋼材の弾性係数,  $E_{afs}$ : 二方向AFSの弾性係数

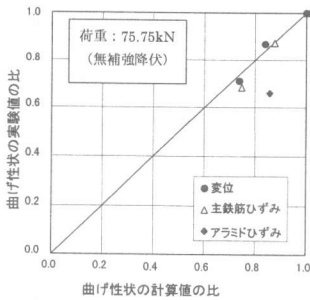


図-1 2 梁の曲げ耐力

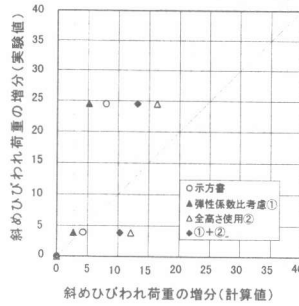


図-1 3 梁のせん断耐力

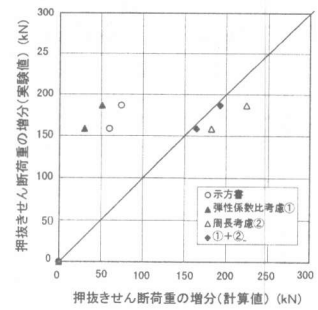


図-1 4 押抜きせん断耐力

斜めひびわれ荷重は、いずれの算定方法によっても実験値と計算値に大きな差が残されており、斜めひびわれの発生角度の違いに伴う斜めひびわれ発生荷重の違いを表現するには至っていない。

スラブの押抜きせん断荷重の実験値と計算値の比較についても梁試験体と同様の増分表示として図-1 4 に示す。スラブの押抜きせん断荷重の計算値は、式(2)に示す算定式<sup>3)</sup>を使用し、梁試験体と同様にシートの断面積を弾性係数比で低減させて算定した<sup>1)</sup>。また、設計断面の周長の算定を載荷板のd/2外側からd外側に変更した結果も合わせて示した。

$$V_{pc} = \beta_d \cdot \beta_p \cdot \beta_r \cdot f_{pc} \cdot u_p \cdot d \dots \dots \dots (2)$$

$$\beta_r = 1 + 1 / (1 + 0.25u/d)$$

$$f_{pc} = 0.2(f_c)^{1/2}$$

$V_{pc}$ : 面部材の押抜きせん断耐力

$u$ : 載荷面の周長,  $u_p$ : 設計断面の周長

周長を考慮しない場合、計算値は増分を小さく算定し、実験値との差が大きくなっている。周長を考慮すると、両者の適合性は良好になり、弾性係数比も合わせて考慮した計算値が最も良い対応関係を示している。今後、弾性係数比の影響に加えて押抜きせん断破壊荷重の算定位置についても検討を行う必要があると思われる。

## 5. 結論

RC梁およびRCスラブ下面に二方向アラミド繊維シートを貼り付けて曲げ性状、斜めひびわれ性状、押し抜きせん断性状を実験的に検

討した。本実験の範囲内で得られた結果を要約すると以下のように示される。

- 1) 一方向の応力状態を有するRC梁において二方向アラミド繊維シートで補強を行った場合、補強量の増加と共に主筋降伏荷重、斜めひびわれ発生荷重が増加する。
- 2) 二方向の応力状態を有するRCスラブにおいて二方向アラミド繊維シートの補強を行った場合、補強量の増加と共に主筋降伏荷重および押抜きせん断荷重が増加する。
- 3) 二方向アラミド繊維シートで補強を行った場合、補強量が多いとシートの剥離で破壊するために終局耐力の増加に反して終局変位は減少する傾向にある。

## 謝辞

本研究の実施にあたり、住友ゴム工業(株)、(株)ボー他、二方向アラミドシート工法研究会の諸氏にご協力いただきました。ここに深く感謝いたします。

## 参考文献

- 1) 辻他、「FRPで補強したコンクリートはりの曲げおよびせん断性状」コンクリート工学年次論文報告集, Vol.10, No.3, 1988, PP547-552
- 2) 岸他、「FRPシートを接着したRC梁の曲げ付着性状」コンクリート工学年次論文報告集, Vol.20, No.1, 1998, PP515-520
- 3) 土木学会編「コンクリート標準示方書, 設計編」平成8年版
- 4) 日本道路協会編「道路橋示方書・同解説, 耐震設計編」平成8年版