

論文 アラミド繊維シートを用いた RC 造 T 型梁の耐震補強

金久保 利之^{*1}・谷垣 正治^{*2}

要旨：アラミド繊維シートによる鉄筋コンクリート造 T 型梁の耐震補強に着目し、梁スラブ入隅部におけるシートの定着方法を実験因子とした逆対称曲げせん断加力実験を行った。また、筆者らによる入隅部の定着実験をさらに推し進め、アングルとシートの貼付方法を変化させて加力実験を行った。定着実験では、コーナー部でアングル面取り形状に合わせてシートを貼付することにより、アングルコーナー部での破断を防止できた。T 型梁実験では、アングルのリブ補強、アンカーボルトのスラブ貫通定着による変形能の向上を確認した。

キーワード：アラミド繊維、定着、入隅、アングル、アンカーボルト、靱性

1. はじめに

近年、コンクリート系構造物の耐震補強として、連続繊維シート貼付による耐震補強工法が多く用いられるようになってきている。壁付き柱や床付き梁（T 型梁）部材に対してせん断補強を行う場合、連続繊維シートを閉鎖型に巻き付けることが困難なため、入隅部でのシートの定着が一般的に行われる。その定着方法としては、アンカーボルトと鋼製のアングルや角材、連続繊維の束を使用して、梁側面やスラブ上下面にシートを定着する方法が提案されている¹⁾。

しかしながら、これらの開発研究のほとんどは炭素繊維シートに対して行われており、アラミド繊維シートを用いた T 型梁の耐震補強に関する報告の数は限られている。筆者らは、アラミド繊維シートを鋼製アングルとアンカーボルトを使用してスラブ側に定着する方法に主眼を置き、定着部の強度試験を行っている²⁾。アラミド繊維はコーナー部（曲がり部）の破断強度低下割合が炭素繊維と比して小さいので、シートをアングルのシート軸直交方向（アングル底部）まで巻き込んだ定着方法としている。

本研究では、本定着方法とアラミド繊維シートによりせん断補強を行った T 型梁試験体に対して、建研式の逆対称曲げせん断加力実験を行い、その性状を把握した。また、先の定着部強

度試験では、シートをアングルまで巻き込んだ場合、最終的にアングルコーナー部でシート破断する試験体が見られたので、同一因子で施工方法を改良した試験体を作製し、さらにアングルコーナー部面取り半径を変動因子とした追加実験を行った。

2. シート定着実験

2.1 試験体

試験体は、図-1 に示すような L 字型の形状のもので、加力方法、計測方法は文献 2) と同一である。文献 2) で、入隅定着部においてシートをアングルに巻き込み、スラブ側のみにアンカー

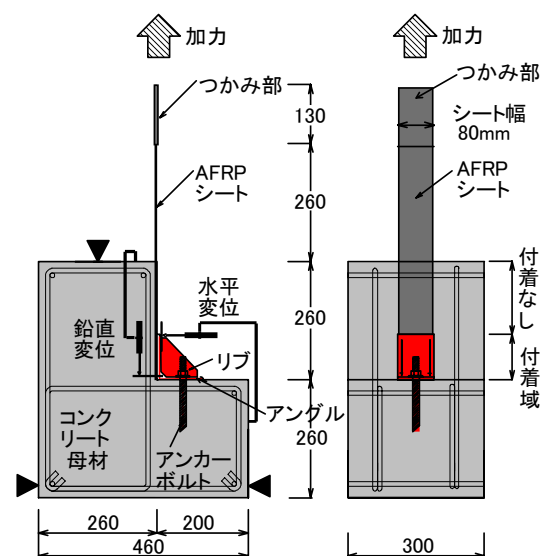
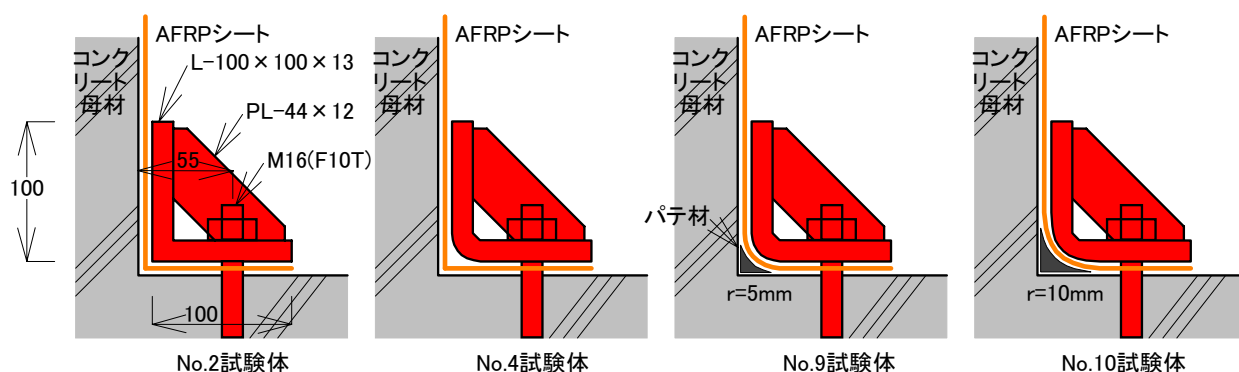


図-1 定着実験試験体概要

*1 筑波大学 機能工学系講師 博士（工学）（正会員）

*2 三井住友建設（株）技術研究所 博士（工学）（正会員）



図－ 2 定着実験定着部詳細

ボルトで定着する方法を意図した試験体 No.2 および No.4 試験体が、アラミド 1 およびアラミド 2 についてそれぞれ計画されている。No.2 と No.4 試験体の差異はアングルコーナー部の面取りの有無で、No.4 試験体では半径 5mm の面取りが設けられている。これら 4 体の試験体の内、面取りの有無にかかわらず最終的にコーナー部でシート破断した試験体が 3 体見られた。これは、シートを貼付した後、パテ材を塗布したアングルを入隅部に接着したため、硬化後のアラミド繊維に必ずしもアングルコーナー部の面取り形状が反映されなかったためと考えられる。そこで、本実験では図－2 に示すように No.4 試験体と全く同一の No.9 試験体を計画し、入隅部にあらかじめパテ材によりアングルコーナー部の面取り形状と同様な成形を施した後にシートを貼付して、アングルとシートが密着するように施工した。さらに同様な施工方法で面取り半径を 10mm とした No.10 試験体を計画し、No.9 および No.10 試験体それぞれについてアラミド

1 およびアラミド 2 の加力を行った。使用材料の力学的性質を表－1 に示す。

2.2 実験結果

各試験体の最大荷重と破壊形式を、No.2, No.4 試験体とともに表－2 に示す。アングルコーナー部で面取り形状に合わせてシートを貼付した No.9, No.10 試験体ではコーナー部でのシート破断は確認されず、シートの母材部破断もしくはアンカーボルト周辺のコンクリートコーン破壊で最大荷重が決定した。No.2, No.4 試験体でコーナー部破断試験体の最大荷重が 33～37kN であるのに対して、No.9, No.10 試験体の最大荷重は 37～42kN であり、アングルコーナー部での破断を防止し最大荷重が増加していることがわかる。

3. T 型梁加力実験

3.1 実験概要

(1) 試験体

試験体は図－3 に示す鉄筋コンクリート造既

表－ 1 定着実験使用材料

繊維種類	設計厚 (mm)	引張強度 (MPa)	弾性係数 (GPa)	破断歪 (%)
アラミド 1	0.415	2060	118	1.75
アラミド 2	0.350	2350	78	3.01
ボルト種類	引張強度 (MPa)	降伏強度 (MPa)	弾性係数 (GPa)	伸び (%)
M16	992	768*	196	4.9
コンクリート種類	圧縮強度 (MPa)	割裂強度 (MPa)	弾性係数 (GPa)	
普通	30.3	2.46	24.1	

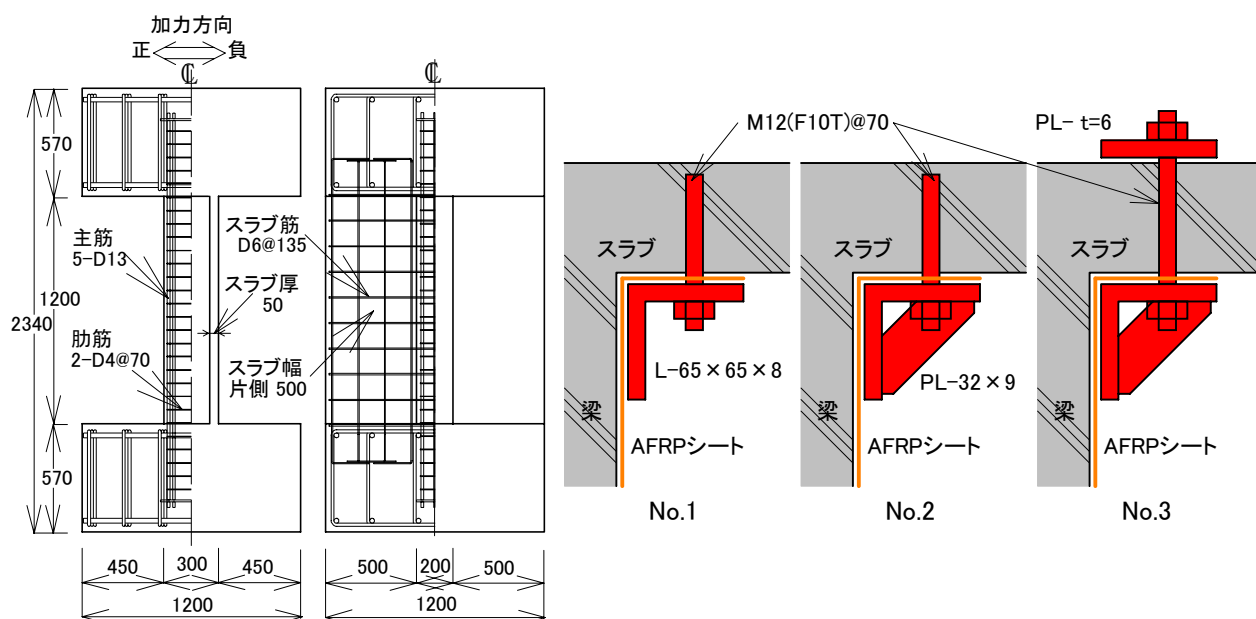
* 0.2%オフセット耐力

表－ 2 定着実験結果一覧

試験体	アングル面取り	最大荷重 (kN)	破壊形式*
No.2-1 No.2-2	なし	38.2 36.3	ACY→CF ACY→CR
No.4-1 No.4-2	5mm	36.7 33.2	CR ACY→CR
No.9-1 No.9-2	5mm	39.2 41.4	SR ACY→SR
No.10-1 No.10-2	10mm	41.9 37.4	ACY→CF ACY→CF

* ACY：アンカーボルト降伏 CF：コーン破壊

CR：コーナー部破断 SR：シート破断



図－ 3 T 型梁試験体詳細

存不適格建物の T 型梁を想定した縮小モデルで、既存 RC 部は文献 3) のそれと断面、配筋とも同一である。梁断面は $200 \times 300\text{mm}$ ，スラブ厚 50mm ，片側幅 500mm ，せん断スパン比は 2.0 で、主筋は一段目 3-D13 ，二段目 2-D13 ($p_t = 1.23\%$)，肋筋は 2-D4@70 ($p_w = 0.18\%$) である。アラミド繊維シートは梁部軸直交方向に 400kN/m タイプのアラミド 1 を 1 層貼付した。試験体数は計 3 体で、実験因子は入隅部のシートの定着方法とし、アングル ($65 \times 65 \times 8\text{mm}$) をアンカーボルト (M12@70) でスラブ側に定着した No.1 試験体、リブ補強したアングルをアンカーボルトでスラブ側に定着した No.2 試験体、リブ補強したアングルを通しボルトでスラブ上面にて定着した No.3 試験体である。いずれの定着方法においても、アラミド繊維シートは梁側面からアングル底部に巻込み定着してある。No.2 試験体の定着部は、定着実験の結果から強度の大きかった試験体シリーズを縮小したものであるが、コンクリートコーン破壊が十分予想されるので、No.3 試験体ではアンカーボルトを通しボルトとして十分な定着強度を有するように計画した。しかし、No.3 試験体の定着方法では階上にも補強作業が及ぶので、実際の施工作业性を考慮すると、スラブ厚と想定定着強度に

よって No.2 試験体の定着部を採用した方がよい場合もあると考えられる。なお、諸強度の予備計算から (表－4 参照)，定着部強度がシートの破断強度に満たなくとも曲げ強度に対してせん断強度に十分な余裕が見られたので、アングルコーナー部に特に面取りは施していない。

使用材料の力学的性質を表－3 に示す。コンクリートには粗骨材に最大径 10mm の碎石を用いた設計強度 21MPa の普通コンクリートを、主筋、スラブ筋、肋筋にはそれぞれ異形鉄筋 D13 (SD295)，D6 (SD295)，D4 を用いた。

文献 3) の No.11 試験体は本実験試験体の既存 RC 部と同一試験体で、無補強試験体として比較対象とする。No.23，No.24 試験体は No.11 試

表－ 3 T 型梁実験使用材料

繊維種類	設計厚 (mm)	引張強度 (MPa)	弾性係数 (GPa)	破断歪 (%)
アラミド 1	0.277	2060	118	1.75
鉄筋種類	引張強度 (MPa)	降伏強度 (MPa)	弾性係数 (GPa)	備考
D13	459	317	171	主筋
D6	516	325*	182	スラブ筋
D4	284	221	183	肋筋
コンクリート種類	圧縮強度 (MPa)	割裂強度 (MPa)	弾性係数 (GPa)	
普通	21.1	1.99	17.0	

* 0.2% オフセット耐力

験体に目付量 200g/m^2 の炭素繊維シートを 1 層貼付した補強試験体で、 400kN/m タイプのアラミド 1 繊維シート 1 層貼付補強量と、強度 (570N/mm)、剛性 (32.7kN/mm) とほぼ対応する。いずれの試験体もアングルとアンカーボルトを用いてスラブ側に定着を施した試験体であり、鋼材の寸法が異なるものの、No.23 試験体が本実験の No.1 試験体と、No.24 試験体が No.3 試験体とほぼ対応することから、繊維種類の差異の比較検討対象試験体とする。

(2) 加力・計測方法

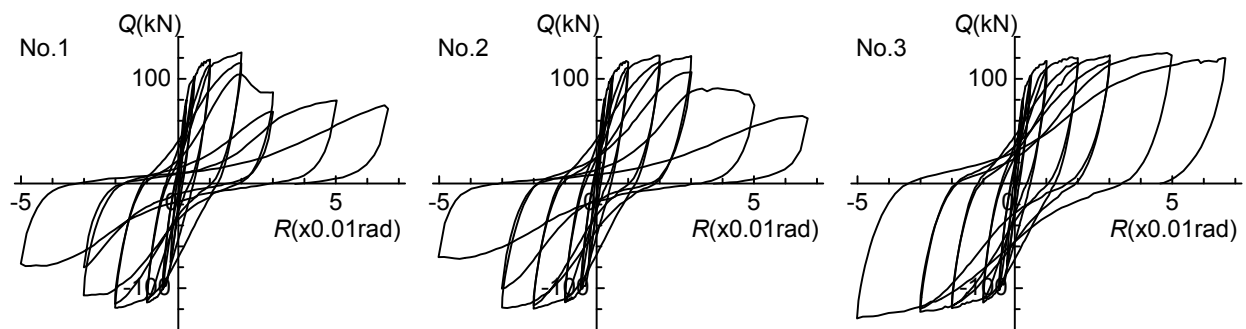
加力、計測方法とも文献 3) と同様であり、建研式の曲げせん断正負交番繰返し加力を行った。加力履歴は、部材角で $\pm 1/400\text{rad}$ を 1 回、 $\pm 1/200$ 、 $1/100$ 、 $1/50$ 、 $1/33\text{rad}$ を 2 回ずつ、 $\pm 1/20\text{rad}$ を 1 回、その後 $+1/15\text{rad}$ の加力を行った。計測項目は、せん断力、スタブ間相対変位、主筋、肋筋、スラブ筋の主な位置での歪、シート表面梁側面、梁コーナーでの歪である。

3.2 実験結果

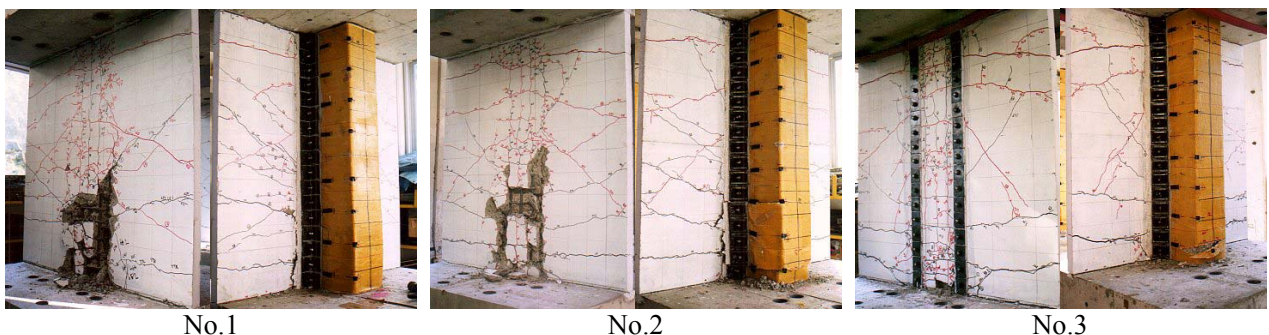
(1) 破壊性状と荷重－変形関係

せん断力－部材角関係を図－4 に、最終破壊

状況を図－5 に示す。各試験体とも部材角 $1/400\text{rad}$ の加力サイクルでスラブ側に曲げひび割れ、 $1/100\text{rad}$ の加力サイクルで主筋の降伏が確認された。また、No.1、No.2 試験体では $1/100\text{rad}$ の加力サイクルでスラブ側主筋位置に部材軸方向ひび割れが発生した。No.1 試験体では $1/33\text{rad}$ の 1 回目の加力サイクルで、No.2 試験体では $1/33\text{rad}$ の 2 回目から $1/20\text{rad}$ の加力サイクルに架けてスラブ側梁部分に多数のひび割れが発生し、梁端から $1.5D$ (D : 梁せい) 程度の位置までの梁部分を囲むようにひび割れが連なってかぶりコンクリートが剥落し始めた。せん断力もこれらの現象と対応して 80kN 程度に低下した。No.3 試験体ではスラブ側にひび割れが発生するもののせん断力の低下は見られず、 $1/15\text{rad}$ の加力サイクルで梁端から 8cm 程度の位置の梁側面で幅 5cm ほどに渡ってシートが破断した。定着実験の結果を考慮すると、アングルコーナー部でのシート破断が先行する可能性も考えられたが、梁部のひび割れやシート応力の局所化によって梁側面でのシート破断が発生したものと考えられる



図－4 せん断力－部材角関係



図－5 最終破壊状況

表－４ T型梁実験結果一覧

試験体	シート補強		計算値		実験値			
	繊維種類	$\Sigma(p_w \cdot \sigma_w)^{*1}$ (MPa)	曲げ強度 ^{*2} cQ_{mu} (kN)	せん断強度 ^{*3} cQ_{su} (kN)	最大荷重 ^{*4} eQ_{max} (kN)	eQ_{max} / cQ_{mu}	限界変形 ^{*5} δ_u (mm)	破壊形式 ^{*6}
No.1	アラミド1	2.01	96.3	210	122	1.27	25.9	F→AF
No.2					121	1.26	47.6	F→AF
No.3					127	1.32	>80.2	F→SR
No.11 ³⁾	なし	0.49	101	79.3	76.7	0.76	31.6	ST
No.23 ³⁾	炭素	2.00	102	206	122	1.20	31.5	F→AF
No.24 ³⁾					126	1.24	49.0	F→SR

*1：横補強鉄筋と連続繊維補強材によるせん断補強量の和¹⁾ *2：HFW 指針式（スラブ筋全本有効）⁴⁾

*3：連続繊維補強指針式（定着強度低減係数 $\beta=0.837$ ，定着実験試験体 No.2 の最大荷重をもとに算出）¹⁾

*4：正側と負側の平均値 *5：包絡線上で最大荷重の80%になったときの変形

*6：F＝曲げ降伏，AF＝定着部破壊，SR＝シート破断，ST＝せん断引張破壊

(2) 最大荷重および変形能

実験結果の一覧を，文献 3)の No.11，No.23，No.24 試験体の結果とともに表－4 に示す。No.1～No.3 のいずれの試験体も曲げ降伏が先行しており，最大荷重実験値は曲げ強度計算値の1.21～1.27 倍である。限界変形は No.1，No.2，No.3 試験体の順に大きくなっており，炭素繊維シートで補強した No.23，No.24 試験体と比較しても遜色ない結果となっている。No.1 と No.2 試験体ではいずれも定着部のコーン破壊であるが，アングルをリブ補強した No.2 試験体の方が変形能が優れており，定着部の剛性がシートの補強効果に影響を及ぼすと考えられる。

3.3 実験結果の検討

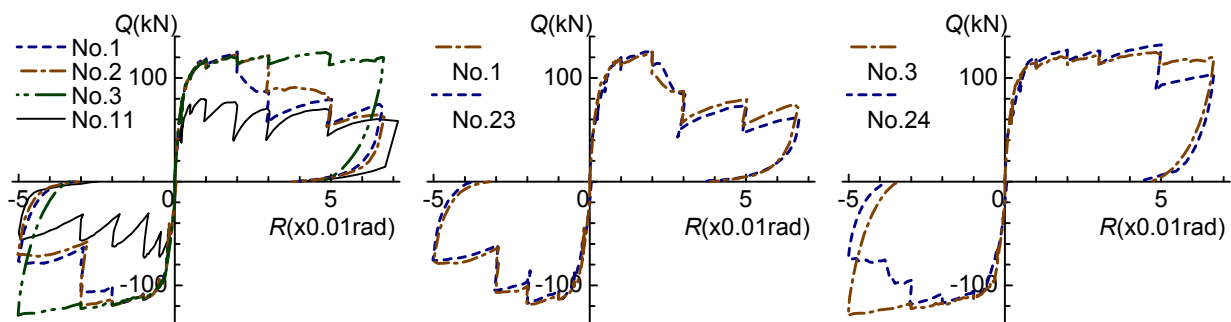
(1) 荷重－変形関係の包絡線の比較

No.1～No.3 試験体および No.11，No.23，No.24 試験体のせん断力－変形角関係の包絡線の比較を図－6 に示す。左図は No.1～No.3 試験体と基準無補強試験体の No.11 試験体の比較である。

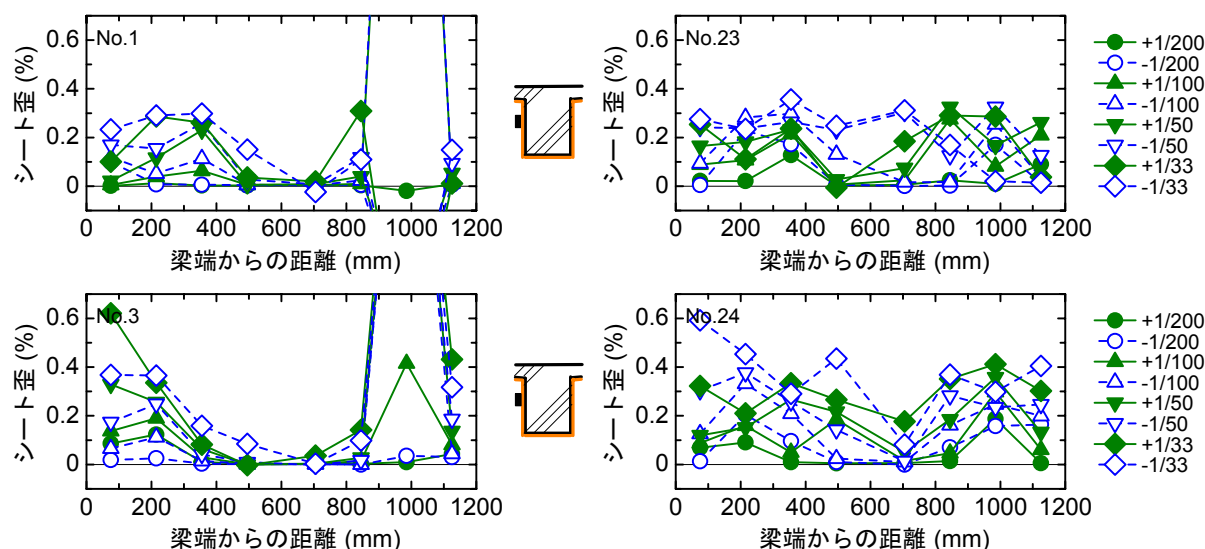
No.11 試験体はせん断破壊であり，本実験のアラミド補強試験体ではいずれも曲げ降伏先行に移行しており十分な補強効果が確認できる。中央は No.1 試験体と No.23 試験体の比較で，アンカーボルトスラブ側定着における繊維種類の比較である。両試験体とも最終的には定着部で破壊しており荷重－変形関係はほぼ同一の形状を示している。右図はアンカーボルトをスラブ通しボルトで定着した場合の繊維種類の比較で，両試験体とも繊維の破断が見られている。炭素繊維シート補強の No.24 試験体では，シートをアングル底部まで巻込んでおらずシートの破断とともにアングルからの拔出が見られたが，シートをアングル底部まで巻込み定着した No.3 試験体ではシートの拔出は発生しなかった。包絡線上でも 1/20rad.の加力サイクルからその差が確認できる。

(2) シートの歪分布の比較

シートの梁側面に貼付した歪ゲージにより計



図－６ せん断力－変形角関係の包絡線の比較



図ー 7 シートの歪分布の比較

測したシート歪の各加力サイクルピーク時の分布を図ー7 に示す。左図はアラミド繊維補強のNo.1, No.3 試験体を、右図は炭素繊維補強のNo.23, No.24 試験体を示す。No.1 試験体と No.3 試験体を比較すると概ね同じ傾向を示しているが、1/33rad.の加力ピーク時に No.3 試験体に一部大きい歪が見られ、No.1 試験体が定着部で破壊したことに対応している。アラミド繊維補強試験体と炭素繊維補強試験体を比較すると、歪の最大値はほぼ同様な値を示している。ただし、アラミド繊維補強試験体の方は梁中央で歪が小さくなる傾向があり、炭素繊維補強試験体と分布の形状が若干異なっている。分布形状の差異の理由の詳細は不明であり、今後の検討課題である。

4. まとめ

- (1) アングルとアンカーボルトによるアラミド繊維シートの定着実験では、コーナー部でアングル面取り形状に合わせてシートを貼付することにより、アングルコーナー部での破断を防止できた。
- (2) シートをアングルとアンカーボルトでスラブ側に定着したシート補強 T 型梁実験では、アングル剛性の増加、ボルトのスラブ貫通定着により変形能が向上した。
- (3) 定着部のコーン破壊で破壊した T 型梁では

繊維種類により大きな差は見られなかった。また、アラミド繊維シートをアングル底部まで巻き込み定着することによってシートの抜出しが防止され、梁の変形能が向上した。

謝辞

本研究は、アラミド補強研究会建築委員会での研究活動の一環として実施されたものである。関係各位に感謝いたします。また、実験の実施にあたっては、筑波大学大学院生 石井 聡、清水 克将、八十島 章各氏の協力を得た。

参考文献

- 1) 日本建築学会：連続繊維補強コンクリート系構造設計施工指針案，2002.3
- 2) 堀越貴子，金久保利之，佐野 正，谷垣正治：アラミド繊維シートの端部定着に関する研究，コンクリート工学年次論文集，Vol.24, No.2, pp.1369～1374, 2002.6
- 3) 有留義朗，金久保利之，古田智基，松井雅明：CFRP シートで補強した T 型梁の靱性，コンクリート工学年次論文報告集，第 20 巻，第 1 号，pp. 455～460, 1998. 7
- 4) 日本建築センター：中高層壁式ラーメン鉄筋コンクリート造設計施工指針・同解説，1987.10