

AFRP シート緊張接着曲げ補強 RC 梁の曲げ耐荷性状に及ぼす
せん断スパン比の影響

Influence of shear-span ratio on flexural load-carrying capacity of RC beams reinforced with pre-tensioned AFRP sheet

室蘭工業大学大学院 ○ 学生会員 小崎 大樹 (Daiki Kosaki)
室蘭工業大学大学院 正会員 栗橋 祐介 (Yusuke Kurihashi)
三井住友建設 (株) フェロー 三上 浩 (Hiroshi Mikami)
釧路工業高等専門学校 フェロー 岸 徳光 (Norimitsu Kishi)

1. はじめに

近年、経年劣化した既設鉄筋コンクリート (RC) 構造物の補修・補強工事が盛んに行われている。補修・補強工法の一つとして、連続繊維 (FRP) シートをを用いた補強工法が提案されており、一部で実用化されている。最近では、FRP シートの補強効果をより効率的に発揮させる方法として、FRP シートに緊張力を与えて接着する工法 (以後、緊張接着工法) が提案され、国内外で研究開発が進められている。著者らも、これまでに緊張接着用シート端部にアンカー等の機械式定着治具を用いずに施工可能なアラミド繊維製 FRP シート (以後、AFRP シート) をを用いた緊張接着工法を開発し、その補強効果を確認している。

また、既往の研究¹⁾より、緊張接着曲げ補強 RC 梁の破壊形式は、上縁コンクリート圧壊後緊張接着用シートの剥離もしくは破断により終局に至る「曲げ圧壊型」と圧壊に先行して緊張接着用シートの剥離により終局に至る「剥離破壊型」に分類されることを明らかにした。また、限られた実験結果の範囲では、緊張接着曲げ補強 RC 梁の場合においても既往の FRP シート曲げ補強 RC 梁に関する破壊形式予測式が適用可能であることが示唆されている。

しかしながら、既往の研究²⁾では、主にせん断スパン比 a/d (a : せん断スパン長, d : 有効高さ) が 7.0 程度以上の RC 梁を対象に断面形状やシート目付量を変化させた場合について検討を行っているものの、せん断スパン比が 7.0 未満の RC 梁の検討例は少ない。特に、同一断面を有する RC 梁においてせん断スパン比を変化させると、終局曲げ耐力やたわみ量が異なるため、本工法の補強効果に

及ぼすせん断スパン比の影響が大きいことも予想される。

このような観点より、本研究では、既往的研究成果に基づき、せん断スパン比が AFRP シート緊張接着曲げ補強 RC 梁の曲げ耐荷性状や緊張接着用シートの剥離性状に及ぼす影響、および破壊形式に与える影響を検討することを目的に、断面形状が同一の場合においてせん断スパン長および AFRP シートの導入緊張率 (導入緊張力/保証耐力) を変化させた AFRP シート緊張接着曲げ補強 RC 梁に関する静載荷実験を実施した。

2. 実験概要

2.1 試験体概要

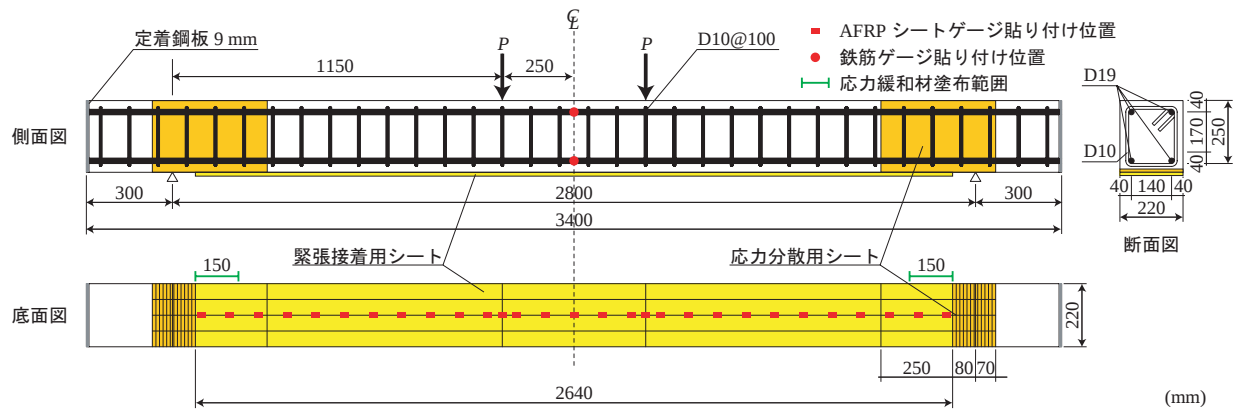
表-1には、本実験に用いた試験体の一覧を示している。表中、試験体名の第1項目はせん断スパン比 (A : $a/d = 5.5$, B : $a/d = 6.5$) を示している。第2項目の英文字 T に付随する数値は AFRP シートの目標導入緊張率 (%) を示している。また、荷重測定用ロードセルから得られた緊張力を基に算出した各試験体の実測導入緊張率も併せて示している。試験体数は、せん断スパン長を2種類として、各試験体への導入緊張率を3種類に変化させた全6体である。

また、表-1には各試験体の計算耐力およびせん断余裕度についても併せて示している。計算曲げ耐力は、土木学会コンクリート標準示方書³⁾ (以後、示方書) に準拠して、AFRP シートとコンクリートの完全付着を仮定した断面分割法により算出している。計算せん断耐力は示方書に準拠し、デコンプレッションモーメントによるせん断耐力向上効果を考慮して算出している。いずれの試験

表-1 試験体一覧

試験体名	せん断スパン長 (mm)	せん断スパン比 a/d	目標導入緊張率* (%)	実測導入緊張率* (%)	実測初期導入ひずみ (μ)	計算曲げ耐力 (kN)	計算せん断耐力 (kN)	せん断余裕度	M_y/M_u
A-T0	1,150	5.5	0	0	0	139.7	292.5	2.09	0.58
A-T20			20 (51.7)	15.1 (39.0)	2,508	149.7	307.4	2.05	0.64
A-T40			40 (103.5)	38.9 (100.6)	5,407	165.4	323.2	1.95	0.71
B-T0	1,350	6.5	0	0	0	118.0	292.5	2.48	0.58
B-T20			20 (51.7)	19.0 (49.2)	3,741	129.8	310.9	2.40	0.65
B-T40			40 (103.5)	33.3 (86.1)	5,366	138.1	322.8	2.34	0.69

*: () 内は導入緊張力 (kN)



図－１ 試験体の形状寸法、配筋状況および補強状況（A 試験体）

表－２ AFRP シートの力学的特性値（公称値）

目付量 (g/m ²)	保証 耐力 (kN/m)	設計厚 (mm)	引張 強度 (GPa)	弾性 係数 (GPa)	破断 ひずみ (%)
830 *	1,176	0.572	2.06	118	1.75
435/435 **	588/588	0.286			

*: 緊張接着用シート, **: 応力分散用シート

表－３ 実験結果一覧

試験 体名	実測 最大荷重 P_{ue} (kN)	計算 最大荷重 P_{uc} (kN)	荷重比 P_{ue}/P_{uc}	実験結果 における 破壊形式
A-T0	125.4	139.7	0.90	剥離破壊型
A-T20	139.2	149.7	0.93	剥離破壊型
A-T40	174.9	165.4	1.06	曲げ圧壊型
B-T0	115.4	119.0	0.97	剥離破壊型
B-T20	130.7	129.8	1.01	曲げ圧壊型
B-T40	148.6	138.0	1.08	曲げ圧壊型

体においても、せん断余裕度（計算せん断耐力/計算曲げ耐力）が1.0を大きく上回り曲げ破壊で終局に至るように設計している。また、既往の実験結果からは、導入緊張率の増加に伴って破壊形式が剥離破壊型から曲げ圧壊型に移行する。

2.2 補強概要

図－１には、本実験に用いた試験体の形状寸法、配筋状況および補強状況を A 試験体の場合について示している。試験体は断面寸法が 22×25 cm、せん断スパン長が A および B 試験体でそれぞれ 2.8 m、3.2 m の複鉄筋矩形 RC 梁である。上下端鉄筋には D19 を各 2 本づつ配置した。緊張接着用シートには幅 22 cm の AFRP シートを用い、スパン中央部から両支点の 80 mm 手前までの範囲に接着した。なお、緊張接着用シートの定着を確保するために、事前に定着両端部には応力分散用の 2 方向 AFRP シートを接着し、接着樹脂が含浸硬化したのを確認した後、緊張力を導入したシートの接着を行っている。また、緊張接着用シート端部とその端部から 150 mm の範囲の接着には応力緩和材を用いている。

AFRP シートの緊張接着は、梁とは独立した鋼製架台を設置し、油圧ジャッキにより AFRP シートに緊張力を導入した状態で接着を行うプレテンション方式で実施している。接着樹脂の硬化に必要な 1 週間程度の養生期間が経過した後、油圧ジャッキを解放し、RC 梁にプレストレスを導入している。その他の詳細な緊張接着作業工程については文献²⁾を参照されたい。

表－２には、本実験で用いた AFRP シートの力学的特性値について示している。実験時におけるコンクリートの圧縮強度は 35.6 MPa、主鉄筋の降伏強度は 368.6 MPa で

あった。本実験の測定項目は、載荷荷重、スパン中央点変位（以後、変位）および緊張接着用シート各点の軸方向ひずみである。また、実験時には、RC 梁のひび割れや AFRP シートの剥離および破断状況を撮影している。

3. 実験結果および考察

3.1 荷重－変位関係

図－２には、各試験体における荷重－変位関係の実験結果と計算結果を比較して示している。計算結果は示方書に準拠して、コンクリートとシートの完全付着を仮定した断面分割法により算出している。なお、無補強試験体の計算結果についても示しており、いずれも上縁コンクリートの圧壊により終局に至っている。また、表－３には、各試験体の実験結果の一覧を示している。

図－２より、いずれの試験体においても導入緊張率の増加に伴って RC 梁の曲げ耐力が向上していることが分かる。実験結果を計算結果と比較すると、主鉄筋降伏時までは両者ほぼ対応していることが分かる。主鉄筋降伏以降では、A/B-T0 および A-T20 試験体の場合には、計算耐力を下回る荷重でシートが剥離して終局に至っている。一方、A-T40 および B-T20/40 試験体の場合には、計算耐力を上回る荷重で、それぞれシート破断もしくはシート剥離により終局に至っている。これらのことから、A/B-T0 および A-T20 試験体は剥離破壊型、A-T40 および B-T20/40 試験体は曲げ圧壊型に分類できる。なお、表－３から、荷重比 P_{ue}/P_{uc} （実測耐力/計算耐力）は B 試験体よりも A 試

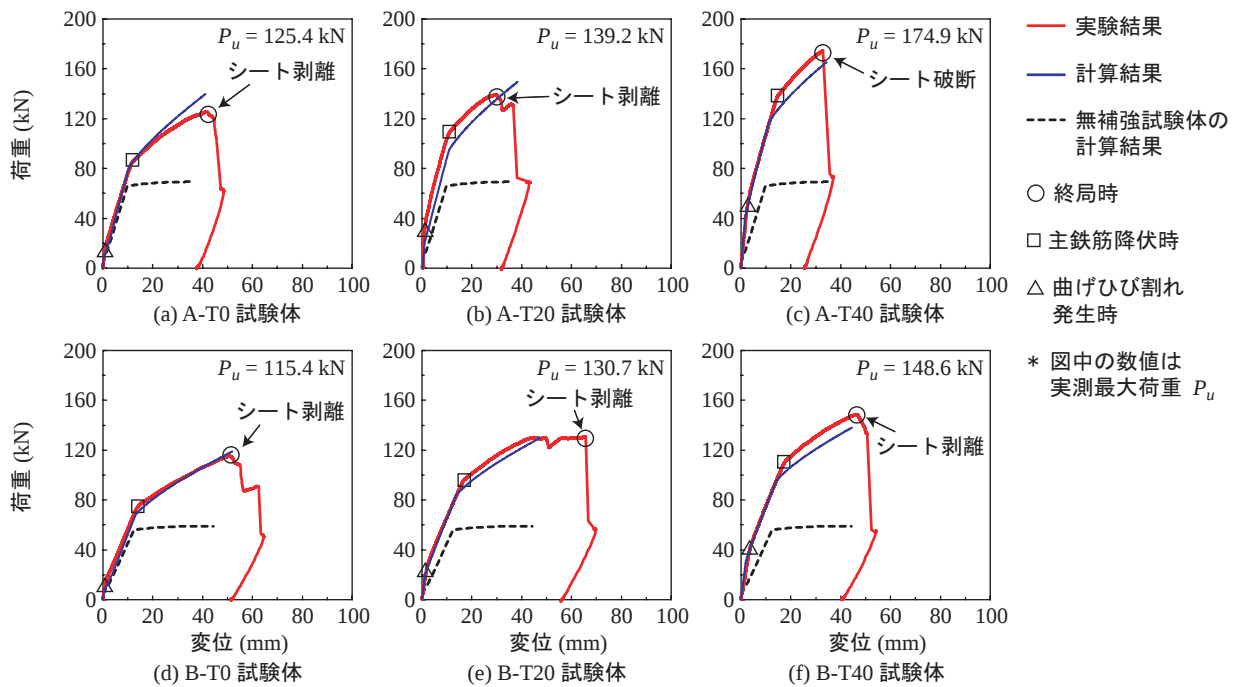


図-2 各試験体の荷重—変位関係

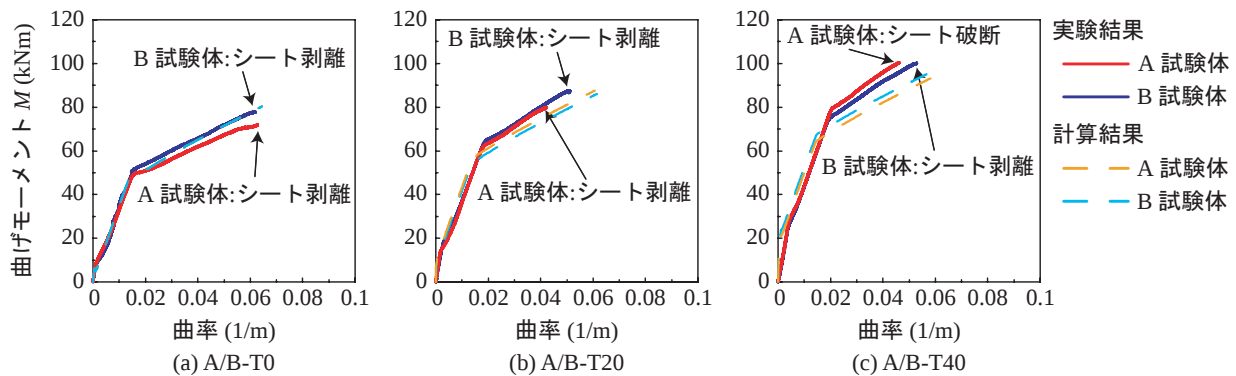


図-3 等曲げ区間における各試験体の曲げモーメント—曲率関係

験体の方が小さくなる傾向にあることが分かる。

3.2 曲げモーメント—曲率関係

図-3には、せん断スパン長の違いによる荷重や変位の違いを排除して、各試験体の耐荷性状を比較するため、等曲げ区間における曲げモーメント—曲率関係を導入緊張率ごとに示している。なお、計算結果はAFRPシートの実測導入緊張力に基づいて断面分割法により算出している。

図より、導入緊張力が同等の場合には、せん断スパン比によらず、曲げモーメント—曲率関係の実験結果は計算結果と概ね対応していることが分かる。ただし、せん断スパン比が小さいA試験体の場合には、曲げモーメントおよび曲率が小さい状態でシートが剥離する傾向にある。

この要因を検討するために、写真-1には、同一曲げモーメント作用時におけるひび割れ分布を導入緊張率ごとに示している。ここで、作用曲げモーメントは、各試験体の実験および計算結果における終局時の値を比較し、最も小さい値に着目することとした。

写真より、せん断スパン比が小さいA試験体の場合に

は、斜めひび割れが大きく開口し、ひび割れの先端部がシートを押し下げて引き剥がすピーリング作用が顕在化する傾向にあることが分かる。これは、同一断面の条件下では、せん断スパン長が小さいほど作用するせん断力が大きくなるためであり、このことが図-3に示したように、早期にピーリング作用によりシートが剥離することの要因であるものと推察される。なお、導入緊張率が大きいA/B-T40試験体の場合には、このような傾向は見られない。これは、デコンプレッションモーメントによるせん断耐力増分が大きいことによるものと考えられる。

3.3 破壊形式と曲げモーメント比の関係

図-4には、各試験体の計算曲げモーメント比 M_y/M_u (表-1参照)を縦軸に、せん断スパン比 a/d を横軸に取って整理している。ここで、計算曲げモーメント比とは計算主鉄筋降伏曲げモーメント M_y を計算終局曲げモーメント M_u で除したものである。これらの計算値はシートとコンクリートの完全付着を仮定した断面分割法により算出している。また、実験結果が曲げ圧壊型の場合には白抜き

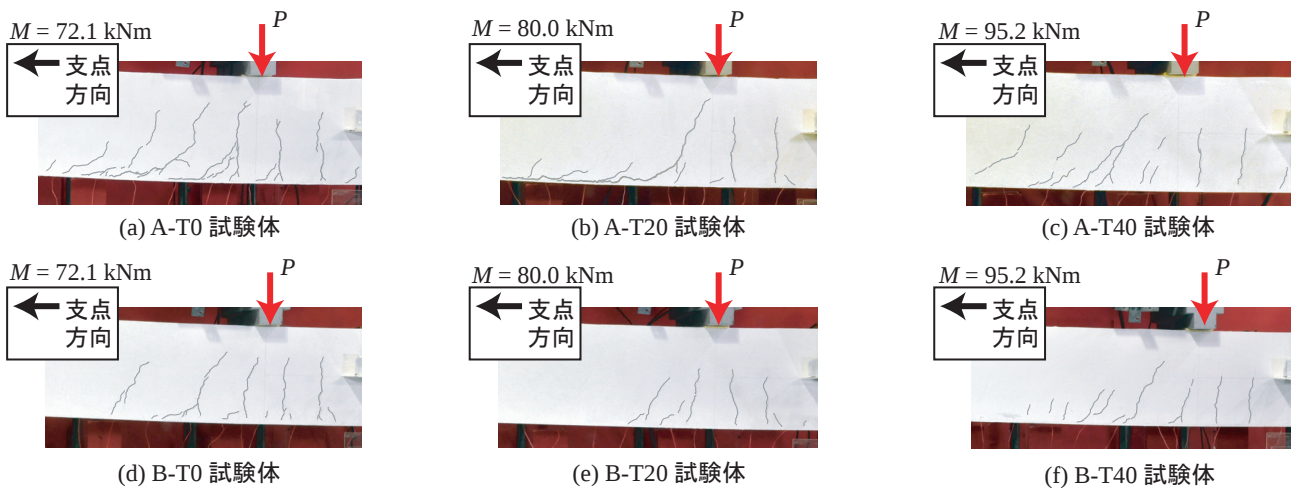


写真-1 同一作用曲げモーメント時におけるひび割れ性状

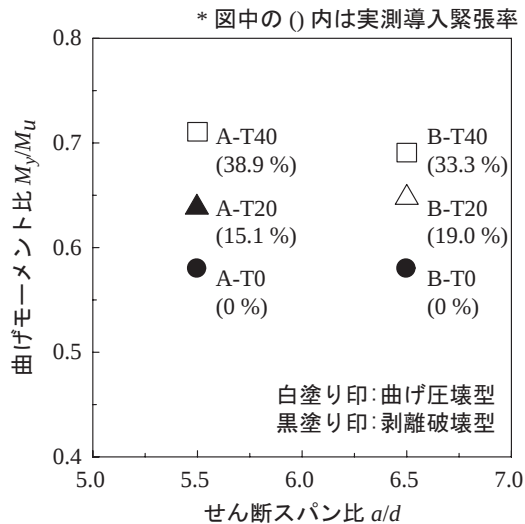


図-4 破壊形式と曲げモーメント比の関係

印、剥離破壊型の場合には黒塗り印で示している。

図より、せん断スパン比によらず計算曲げモーメント比は導入緊張率の増加に伴って大きくなる傾向にあることが分かる。また、AFRPシート緊張接着曲げ補強RC梁の破壊形式は、導入緊張率が大きい場合ほど曲げ圧壊型になる傾向にある。

また、A/B試験体の破壊形式を曲げモーメント比 M_y/M_u で評価する場合には、せん断スパン比が小さい場合ほど、剥離破壊型から曲げ圧壊型に移行する閾値が大きくなる可能性があると考えられる。これは前述したように、せん断スパン長が小さいほど作用するせん断力が大きくなるため、ピーリング作用によるシート剥離の影響が顕著に現れる傾向が見受けられたためである。

4. まとめ

本研究では、せん断スパン比がAFRPシート緊張接着曲げ補強RC梁の曲げ耐荷性状や緊張接着用シートの剥離性状への影響、および破壊形式に与える影響を検討する

ことを目的に、断面形状が同一の場合においてせん断スパン長および導入緊張率を変化させたAFRPシート緊張接着曲げ補強RC梁に関する静載荷実験を実施した。本実験により得られた知見を整理すると以下の通りである。

- 1) せん断スパン比によらず、AFRPシートを緊張接着することによりRC梁の曲げ耐力は向上可能である。
- 2) せん断スパン比が小さい場合において、実測耐力が計算耐力を下回る傾向にある。これは作用するせん断力が大きくなるため、ピーリング作用が顕在化することによるものである。
- 3) AFRPシート緊張接着曲げ補強RC梁の破壊形式は、シート導入緊張率を増加することにより剥離破壊型から曲げ圧壊型に移行する。
- 4) AFRPシート緊張接着曲げ補強RC梁の破壊形式を曲げモーメント比を用いて評価する場合には、せん断スパン比が小さい場合ほど剥離破壊型から曲げ圧壊型に移行する閾値が大きくなる可能性がある。

参考文献

- 1) 土佐亮允, 岸 徳光, 三上 浩, 栗橋祐介: AFRPシート緊張接着曲げ補強RC梁の耐荷性状に及ぼすシート目付量および導入緊張率の影響, コンクリート工学年次論文集, Vol.33, pp.1309-1314, 2011.
- 2) 岸 徳光, 三上 浩, 栗橋祐介, A.M.Ali: AFRPシート緊張接着によるRC梁の曲げ補強効果および破壊形式予測法に関する実験的研究, 構造工学論文集, Vol.57A, pp.812-821, 2011.
- 3) 土木学会: コンクリート標準示方書(設計編), 2007.