

論文 同程度の軸剛性を有し材料特性が異なる CFRP シートを用いて曲げ補強を施した RC 梁の耐荷性状に関する実験的検討

浅井 翔^{*1}・瓦井 智貴^{*2}・小室 雅人^{*3}・岸 徳光^{*4}

要旨: 本研究では、同程度の軸剛性で材料物性の異なる CFRP シートを下面に接着補強を施した RC 部材の耐荷性状の違いを検討することを目的として、シート補強の有無およびシートの材料物性を変化させた 3 種類の RC 梁を対象に、静荷重載荷実験および重錘落下衝撃荷重載荷実験を実施した。その結果、1) 静荷重載荷時には、中弾性タイプのシートを用いた場合が、高強度タイプのシートを用いる場合よりも安全側の設計が可能であること、2) 一方で、衝撃荷重作用下においては、高強度タイプを用いることによって中弾性タイプを用いる場合よりも耐衝撃性向上効果が期待できること、などが明らかとなった。

キーワード: RC 梁, CFRP シート, 衝撃荷重, 中弾性タイプ, 高強度タイプ

1. はじめに

近年、斜面の経年劣化や異常気象に伴う自然災害の激甚化、落石規模の大型化が問題視されており、ロックシェッドなどの既設の耐衝撃用途構造物の場合には、設計時の想定落石荷重を上回る外力が作用する事例が多数確認されている。このような状況を鑑み、著者らは軽量かつ耐食性・施工性に優れた連続繊維シート（以後、FRP シート）接着工法に着目し、FRP シート下面接着曲げ補強 RC 梁の耐衝撃性に関する重錘落下衝撃荷重載荷実験を行ってきた。その結果、1) FRP シート接着補強を施すことによって RC 梁の耐衝撃性が向上すること、2) シート補強量によって終局時の破壊形式が異なること、3) シートの軸剛性(=シートの弾性係数 $E \times$ 断面積 A) が類似の場合には、シート補強 RC 梁の耐衝撃挙動は概ね同様であること、などが明らかとなっている¹⁾⁻³⁾。

一般に、土木・建築用の FRP シート材料としては、カーボン繊維（以後、CFRP）シートが用いられている。特に、CFRP シートの場合には、引張強度が大きいタイプと弾性係数の大きいタイプが開発されている⁴⁾。弾性係数の大きいタイプの中でも、中弾性タイプと高弾性タイプがあり、弾性係数はそれぞれ鋼材の 2 倍、3 倍以上を有しているものの、破断ひずみが小さいことから、引張強度は見かけよりも小さい。そのため、CFRP シートを用いて RC 構造物を接着補強する場合には、ひび割れの発生によってシートが早期に破断・剥離に至る場合も想定される。しかしながら、その詳細な耐荷性状については未だ明確になっていないことより、載荷条件毎にその適用範囲や補強効果を明確にしておくことが肝要であるものと判断される。

このような観点から、本研究では、FRP シート接着補強

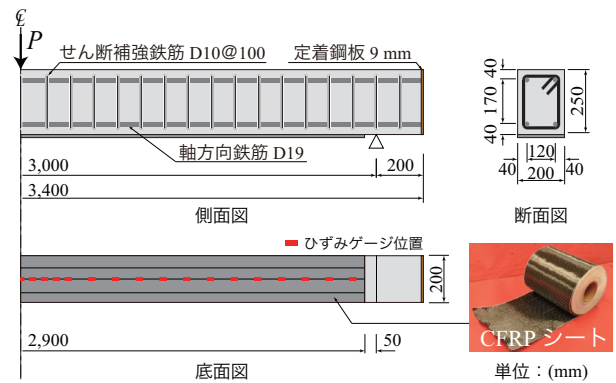


図-1 試験体の形状寸法および CFRP シートの補強状況

表-1 CFRP シートの力学的特性値(公称値)

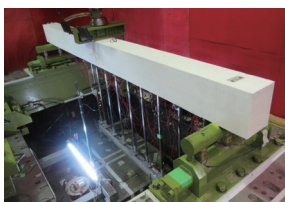
シートタイプ	目付量 (g/m ²)	設計厚 (mm)	引張強度 (GPa)	弾性係数 (GPa)	破断ひずみ (%)
高強度	600	0.333	3.4	245	1.39
中弾性	400	0.217	2.4	440	0.545

に用いるシートの材料タイプによる RC 部材の耐荷性状の違いを明らかにすることを目的に、材料特性の異なる 2 種類の CFRP シートを用いて下面接着曲げ補強を施した RC 梁を対象に、静荷重および衝撃荷重載荷実験を実施した。なお、本研究では高強度タイプと中弾性タイプの 2 種類の CFRP シートを用いて検討を行うこととし、補強効果を統一するために同程度の軸剛性を有する CFRP シートを用いることとした。また、シート補強による耐力向上効果を確認するために、基準試験体として無補強 RC 梁に対しても、静荷重および衝撃荷重載荷実験を実施した。

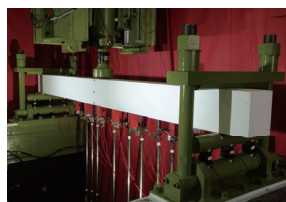
*1 室蘭工業大学 大学院工学研究科 博士前期課程 環境創生工学系専攻 (学生会員)
 *2 室蘭工業大学 大学院工学研究科 もの創造系領域 土木工学ユニット 助教 博(工) (正会員)
 *3 室蘭工業大学 大学院工学研究科 もの創造系領域 土木工学ユニット 教授 博(工) (正会員)
 *4 室蘭工業大学 大学院工学研究科 もの創造系領域 土木工学ユニット 特任教授 工博 (正会員)

表-2 試験体一覧

試験体名	シートタイプ	シート目付量 (g/m ²)	設定重錘落下高さ H (m)	換算重錘落下高さ H' (m)	シート軸剛性 $E_f t_f$ (kN/mm)	コンクリート圧縮強度 f'_c (MPa)	主鉄筋降伏強度 f_y (MPa)	せん断筋降伏強度 f_{sy} (MPa)	計算曲げ耐力 P_{usc} (kN)	計算せん断耐力 V_{usc} (kN)
N-S	-	-	-	-	-	29.5	397	388	57	288
N-H1			1	1.07		34.3	394	373	57	284
HS-S	高強度	1,200	-	-	163.2	28.7	384	375	128	280
HS-H1			1	1.04						
HS-H2			2	1.93						
HS-H2.5			2.5	2.55						
ME-S	中弾性	800	-	-	191	28.7	384	375	112	280
ME-H1			1	1.02						
ME-H2			2	1.95			375	379	109	282
ME-H2.5			2.5	2.61						



(a) 静荷重載荷実験



(b) 衝撃荷重載荷実験

写真-1 実験状況

2. 実験概要

2.1 試験体概要

図-1には、試験体の形状寸法、配筋およびシートの補強状況を示している。本実験に用いた試験体の形状寸法(梁幅×梁高×スパン長)は、200×250×3,000 mmであり、軸方向鉄筋は上下端にD19を各2本配置し、定着長を節約するために梁軸方向端面に設置した厚さ9 mmの定着鋼板に溶接固定している。さらにせん断補強筋にはD10を用い、100 mm間隔で配筋している。また、梁底面にはCFRPシートを支点の50 mm手前まで接着している。なお、シートの接着は、梁底面の補強範囲にブラスト処理を施してエポキシ系プライマーを塗布し、指触乾燥状態であることを確認の後、エポキシ系含浸接着樹脂を用いて行っている。養生期間は1週間程度である。

表-1には、本研究で用いたCFRPシートの力学的特性値(公称値)を一覧にして示している。表より、高強度タイプの引張強度は中弾性タイプの1.4倍大きく、破断ひずみは2.5倍大きいことが分かる。一方、中弾性タイプの弾性係数は高強度タイプの1.8倍程度大きい。

表-2には、本実験に用いた試験体の一覧を示している。試験体は、基準試験体を含め、載荷方法やCFRPシートの材料タイプ、重錘の落下高(以後、単に落下高)を変化させた全10体である。表中の試験体名において、第一項目はCFRPシートの材料タイプ(N:無補強, HS:高強度タイプ, ME:中弾性タイプ)を示している。第二項目は載荷方法(S:静荷重載荷, H:衝撃荷重載荷)を示し、

Hに付随する数値は重錘の設定落下高(m)である。また、表には各ケースに関する実測重錘衝突速度より算出した換算重錘落下高H'、各シートの軸剛性 $E_f t_f$ 、本実験に用いたコンクリートおよび主鉄筋、せん断補強筋の降伏強度および、計算曲げ耐力 P_{usc} 、計算せん断耐力 V_{usc} も併せて示している。なお、計算曲げ耐力 P_{usc} は、土木学会コンクリート標準示方書⁵⁾に準拠して各材料の応力-ひずみ関係を設定し、断面の平面保持およびコンクリートとCFRPシートの完全付着を仮定して断面分割法により算定した。なお、計算時の梁の終局状態は、上縁コンクリートの圧縮ひずみが0.35%に達する時点、またはシートが破断に至った時点とした。断面分割法より得られた計算結果に基づくHS試験体の場合には「上縁の曲げ圧壊」によって、ME試験体の場合には曲げ圧壊に至る前に「シート破断」によって終局に至る結果となっている。断面分割法の詳細については文献(6), 7)を参照されたい。計算せん断耐力 V_{usc} に関しては、同コンクリート標準示方書⁵⁾に準拠して算定した。

CFRPシートに関しては、前述の通り、軸剛性を同程度としており、両試験体の耐荷性状の差異が明確になるように補強量を比較的大きくすることし、高強度タイプの場合には目付量が600 g/m²、中弾性タイプの場合には400 g/m²のシートをそれぞれ二層接着することとした。

2.2 実験方法および測定項目

写真-1は、静荷重載荷および衝撃荷重載荷実験の状況を示している。静荷重載荷実験は、梁幅方向に400 mm、梁軸方向に100 mmの載荷版をスパン中央部に設置し、容量500 kNの油圧ジャッキを用いて荷重を作用させて実施した。また、N試験体の場合には、主鉄筋降伏後の塑性硬化によって荷重が徐々に増大していくことを考慮して、除荷後の残留変位が純スパン長の2%程度となるような段階で実験を終了した。一方、シートを接着したHS/ME試験体の場合には、最大荷重到達後、シートが破断あるいは剥離に至り、荷重が低下した段階を終局として、実

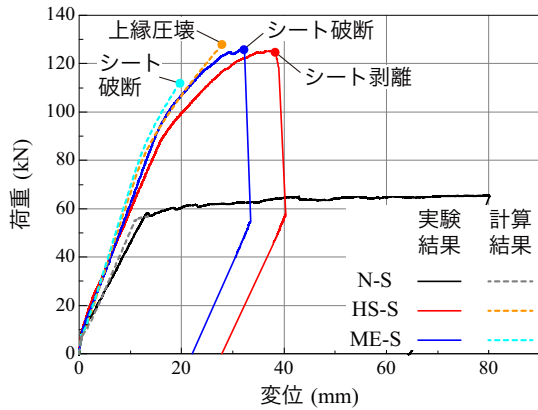


図-2 静荷重載荷時における荷重-変位関係

験を終了することとした。

衝撃荷重載荷実験は、直径が200 mmの鋼製円柱で載荷点部が直径150 mmに絞られ、かつ高さが2 mmの球形形状テーパが施されている質量300 kgの鋼製重錘を、所定の落下高より一度だけ自由落下させることによって行っている。なお、実験は、設定重錘落下高を $H=1,2,2.5$ mとし、シート破断あるいは剥離によって終局に至るまで載荷履歴のない試験体を対象に実施することとした。なお、ME試験体は $H=2$ mでシート破断によって終局に至っている。しかしながら、HS試験体の場合と比較するために $H=2.5$ m落下の場合についても実験も実施している。試験体の両支点部は、回転を許容し、矩形状鋼製梁によって浮き上がりを拘束したピン支持に近い構造となっている。

本実験の測定項目は、重錘衝撃力、合支点反力（以後、単に支点反力）、スパン中央点変位（以後、単に変位）、およびシートの軸方向ひずみ分布である。なお、重錘衝撃力と支点反力は、起歪柱型の衝撃荷重測定用ロードセルを用いて計測している。また、変位はレーザ式非接触型変位計を用いて計測した。さらに、実験時にはひび割れ分布やFRPシートの破断・剥離進展状況の他、変位計のバックアップとして2,000 fpsの高速度カメラによる撮影も行った。

3. 静荷重載荷実験結果

3.1 荷重-変位関係

図-2には、静荷重載荷実験より得られたN/HS/ME-S試験体の荷重-変位関係に関する実験結果を実線で、別途実施した断面分割法により得られた計算結果を点線で比較する形で示している。

図より、実験結果を見ると、N試験体の場合には、主鉄筋降伏後の荷重は変位の増加とともに漸増する傾向を示していることが分かる。HS試験体の場合における実験結果は、計算曲げ耐力をわずかに確保できずに上縁圧壊後、最終的にシート剥離によって終局に至っている。ここで、

表-3 静荷重載荷時における各応答値一覧

試験体名	降伏荷重 (kN)	最大荷重 (kN)	最大荷重時変位 (mm)
N-S	58.3 (1.0)	64.5 (1.0)	40 (1.0)
HS-S	88.8 (1.52)	125.3 (1.94)	37.5 (0.94)
ME-S	93.7 (1.61)	125.8 (1.95)	31.5 (0.79)

(注)：() の値はN試験体の値に対する比を表す。

既往の研究より提案されている破壊形式予測式^{6,7)}との対応を考察する。既往の研究では、断面分割法を用いて算出される計算主鉄筋降伏曲げモーメント (M_y) / 計算終局曲げモーメント (M_u) (以後、単に計算曲げモーメント比) を用いて、いずれのFRPシート補強RC梁においても「曲げ圧壊型」あるいは「剥離破壊型」の2種類の破壊形式に分類できることが明らかとなっている^{6,7)}。「曲げ圧壊型」は、計算曲げモーメント比が0.7以上となり、計算仮定と同様に計算終局時までシート剥離の傾向はなく載荷点部の上縁圧壊が先行し終局に至るモードである。一方で、「剥離破壊型」は、計算曲げモーメント比が0.65以下となり、仮定とは異なり計算終局到達前にシート剥離の傾向が卓越し計算終局耐力を満たさず終局に至るモードである。本実験結果より、HS試験体の計算曲げモーメント比を求めると $0.59 < 0.65$ と求められ、荷重-変位関係からも明らかなように計算終局耐力を確保できずに「剥離破壊型」で終局に至る結果となる。従って、本実験結果は既往の予測式に対応していることが確認された。

一方で、ME試験体の場合に注目すると、実験結果は計算終局到達時までシート剥離の傾向はなく上縁の圧壊が先行しており、計算結果と同様に「シート破断」によって終局に至っていることが分かる。ここで、HS試験体と同様に既往の破壊形式予測式^{6,7)}との対応を見ると、計算曲げモーメント比が $0.71 > 0.7$ として求まり、計算終局耐力を確保して「曲げ圧壊型」で終局に至る結果となる。これより、既往の破壊形式と対応して、比較的破断ひずみの小さい中弾性タイプのCFRPシートを用いた場合においても計算終局耐力を確保可能であることが明らかとなった。

表-3には、実験結果の主鉄筋降伏荷重、最大荷重、最大荷重時変位を一覧にして示している。なお、N試験体の場合には、主鉄筋降伏後において変位の増加と共に荷重も漸増傾向を示すことから、最大荷重は変位がHS試験体の最大荷重時変位に類似する40 mm時点の値を用いて評価することとした。また、括弧内は、N試験体の値を基準にした場合の各試験体に関する割合を示している。

表より、CFRPシート補強試験体の主鉄筋降伏荷重は、N試験体の結果を基準にして、ME試験体の場合がHS試験体の場合と比較して9%程度大きく、最大荷重はHS/ME両試験体と共に同程度の値を示していることが分かる。

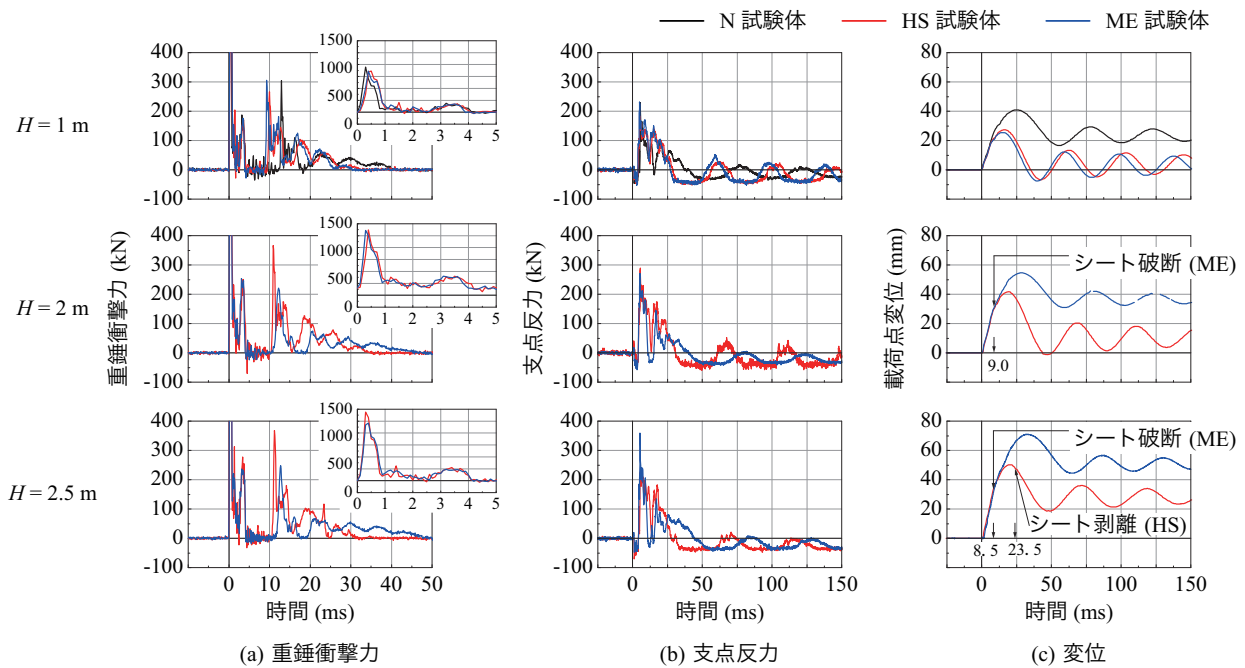


図-3 各試験体の衝撃力、支点反力および変位に関する時刻歴応答波形の比較

最大荷重時変位に着目すると、ME 試験体の場合には HS 試験体の 84% 程度まで抑制されている。これより、本研究の範囲内においては、材料物性が異なり比較的目付量が大きく軸剛性が類似の CFRP シートを用いて曲げ補強を施す条件下において、中弾性 CFRP シートを用いる場合は、高強度 CFRP シートを用いる場合よりも最大荷重時変位を効率的に抑制可能であることが明らかになった。

なお、HS 試験体の場合には主鉄筋降伏後からシート剥離の傾向を示し計算終局耐力を確保できないのに対して、ME 試験体の場合にはシート破断に至るものの計算終局耐力を確保できる。このことから、静荷重載荷条件下においては、中弾性シートを用いる場合には、高強度シートを用いる場合よりも安全側の設計が可能になるものと推察される。

3.2 衝撃荷重載荷実験結果

(1) 各時刻歴応答波形

図-3 には、衝撃荷重載荷実験より得られた全試験体に関する重錘衝撃力、支点反力、変位波形を落下高毎に比較して示している。図中、N/HS/ME 試験体に関する結果はそれぞれ黒、赤、青線で示しており、横軸は重錘が梁に衝突した時間を零としている。なお、比較のための N 試験体に関する実験結果は、いずれのシート補強試験体も終局に至っていない $H = 1\text{ m}$ 落下の場合である。また、HS 試験体は $H = 2.5\text{ m}$ 落下時点でシート剥離、ME 試験体の場合には $H = 2, 2.5\text{ m}$ 落下時にシート破断で終局に至っており、静的な破壊形式と対応した結果を示している。図には、それぞれ終局に至った経過時間も併せて示している。

まず、図-3 (a) の重錘衝撃力波形に着目すると、載荷

初期には落下高によらず、継続時間が 1 ms 程度で最大衝撃力を示す三角形状の波形を示している。また、最大衝撃力を示す第一波が示された後、重錘の跳ね上がりによって瞬間的に完全な除荷状態に至るものの、数 ms 後に再載荷され継続時間が長い第二波、第三波が後続する性状を示している。なお、落下高が大きくなるにつれて、それに対応して最大衝撃力も大きく示される傾向が確認できる。また、 $H = 1\text{ m}$ 落下時に着目すると、シート補強の有無およびシートの材料タイプによらず、最大衝撃力は概ね類似した値を示していることが分かる。これは、最大衝撃力は衝突部の材料物性に依存していることを暗示している。

次に、図-3 (b) の支点反力波形に着目すると、いずれのケースにおいても、載荷初期に負反力を示し、その後正反力が励起して高周波成分を含む正弦半波状の波形を示していることが見て取れる。負反力波形は、梁端部の跳ね上がりを防止するために支点部における鋼製矩形梁を締め付けた後に支点反力測定用ロードセルの零バランスを取っていることによる。また、 $H = 1\text{ m}$ 落下の場合における HS/ME 試験体の波形状は類似していることが見て取れる。これは、同程度の軸剛性を有する CFRP シートで補強を施していることによるものと推察される。また、N 試験体の場合と比較すると、HS/ME 試験体の場合には、主波動の継続時間が短いことや除荷後における自由振動周期が小さく示されていることから、CFRP シートの補強効果が発揮され、梁の曲げ剛性が向上していることが分かる。

最後に、図-3 (c) の変位波形に着目すると、いずれの試験体も重錘衝突に伴い梁が変形し、最大変位到達後、

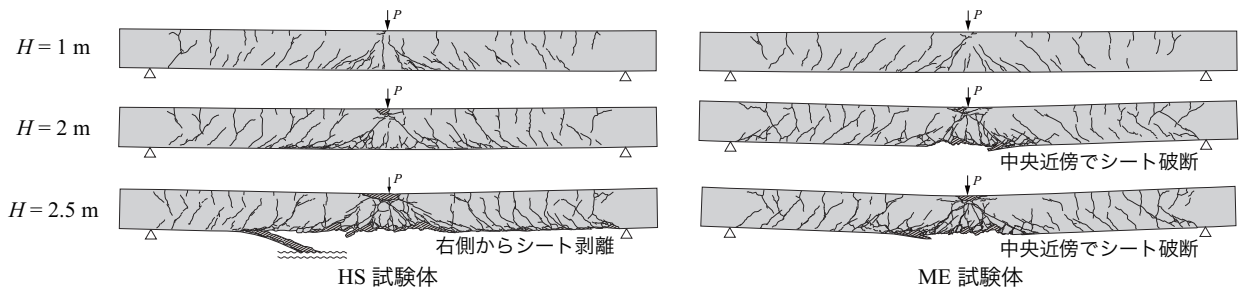


図-4 衝撃荷重実験終了後の各試験体側面におけるひび割れ分布

緩やかな減衰自由振動状態に移行していることが分かる。 $H = 1\text{ m}$ 落下時において、HS/ME試験体の最大変位および残留変位は両試験体で同程度であり、N試験体と比較して小さく示されていることから、CFRPシートの補強効果が確認できる。また、終局に至らない範囲では、軸剛性が同程度で類似の耐衝撃性状を示すことが分かる。 $H = 2\text{ m}$ 落下時におけるHS/ME両試験体の実験結果を比較すると、ME試験体の場合における最大変位および残留変位はHS試験体の場合と比較して大きく示されていることが見て取れる。これは、HS試験体の場合には実験終了後においても終局に至っていないことに対して、ME試験体の場合には最大変位到達前にシート破断で終局に至っていることによるものと推察される。さらに、 $H = 2.5\text{ m}$ 落下時に着目すると、HS/ME両試験体ともにシート剥離あるいは破断によって終局に至っていることから、除荷後の自由振動状態における振動周期は共に $H = 1\text{ m}$ 落下時における無補強(N)試験体のそれに類似していることが分かる。また、 $H = 2.5\text{ m}$ 落下時にはHS/ME両試験体共に終局に至っているが、 $H = 2\text{ m}$ 落下時と同様に、ME試験体の場合における最大変位および残留変位はHS試験体の場合と比較して大きく示されていることが見て取れる。これは、ME試験体の場合には最大変位到達前にシート破断によって終局に至り早期にシートの補強効果を失っているのに対して、HS試験体の場合には最大変位到達後にシート剥離によって終局に至っていることによるものと推察される。

3.3 ひび割れ分布性状

図-4には、衝撃荷重実験終了後のHS/ME試験体側面におけるひび割れ分布を落下高毎に比較して示している。なお、ひび割れを黒線で、コンクリートの圧壊および剥落による損傷領域を斜線で表している。

図より、いずれの試験体も荷重点近傍下縁部において、曲げひび割れに加えて多数の斜めひび割れが発生していることが分かる。また、その斜めひび割れは概ね左右対称に発生していることが見て取れる。さらに、支点近傍部における上縁から下縁に進展するひび割れも確認できる。これは、後述の通り、荷重初期に曲げ波がスパン長の短い両端固定梁のような状態で支点方向に伝播してい

くためと推察される。なお、落下高が大きくなることに対応して、曲げひび割れおよび斜めひび割れの数も増加傾向にある。また、コンクリートの剥落や圧壊による損傷領域も、同様に広がっていることが見て取れる。

特に、落下高さが $H = 2.5\text{ m}$ 時に着目すると、HS試験体の場合にはシート剥離、ME試験体の場合にはシート破断によって終局に至っている状況が確認できる。 $H = 1\text{ m}$ 時および $H = 2\text{ m}$ 時の場合と比較すると、荷重点部における上縁の圧壊が顕著に示され、シートの剥離・破断発生部近傍には微細なひび割れが多く発生していることが分かる。また、HS試験体がシート剥離によって終局に至ったのは、荷重点近傍部に発生した斜めひび割れの先端部が主鉄筋の降伏によって大きく開口しシートを押し下げるピーリング作用が顕在化したことによるものと推察される。なお、シート剥離は下縁かぶりコンクリートを伴って発生しており、シートとコンクリート界面の接着は十分に保たれていることを確認している。

3.4 シートの軸方向ひずみ分布比較

図-5には、横軸に梁中央からの距離、縦軸にCFRPシートの軸方向ひずみを取り、HSおよびME両試験体共に終局に至った落下高 $H = 2.5\text{ m}$ 時におけるCFRPシートの軸方向ひずみ分布の経時変化を比較して示している。なお、HS試験体を赤線で、ME試験体を青線で表している。

経過時間 $t = 0.1\text{ ms}$ 時点に着目すると、HS/ME両試験体共に未だひずみは励起していないことが分かる。 $t = 0.2 \sim 2.5\text{ ms}$ 時点では、HS/ME両試験体共に荷重点近傍では引張ひずみが、その周辺では圧縮ひずみが生じており、スパン長の短い両端固定梁に類似した分布性状を呈していることが見て取れる。その後、引張ひずみの領域は時間とともに支点に向かって進展し、 $t = 5\text{ ms}$ 時点ではHS/ME両試験体共に、引張ひずみの波頭が支点に到達して単純支持梁の状態に至っていることが分かる。また、 $t = 7.5\text{ ms}$ 時点までは、HS/ME両試験体とも類似した分布性状を示している。これは、前述の通りシートの軸剛性が同程度であることによるものと推察される。 $t = 8.5\text{ ms}$ 時点において、ME試験体の場合にはシート破断に至っており、ひずみ分布の乱れが確認できる。それに伴い、 $t = 8.5\text{ ms}$ 以降においては、ME試験体の全スパンにおい

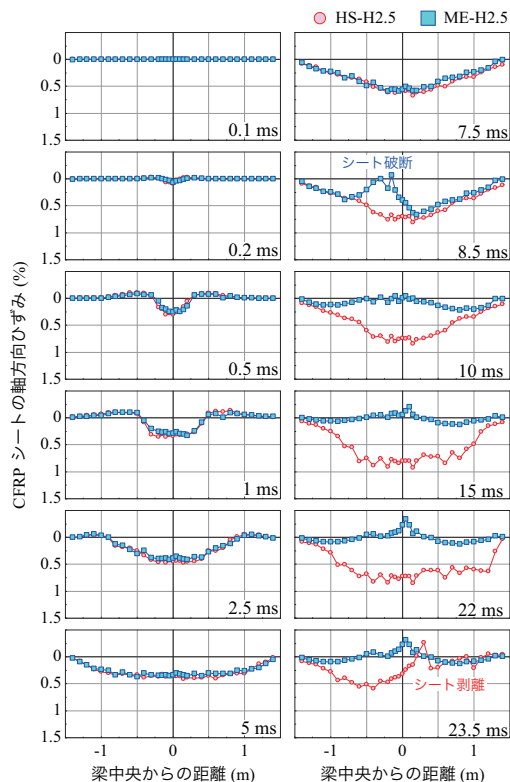


図-5 シートの軸方向ひずみ分布の比較 ($H = 2.5$ m)

てシートのひずみが解放されている様子が見えてくる。

$t = 8.5 \sim 10$ ms 時点に着目すると、HS 試験体のスパン中央近傍のひずみ分布は、支点部周辺の直線的な分布とは異なり 0.75% 前後のほぼ一定な分布を示していることから、主鉄筋が降伏している状態であることが推察される。それ以降 $t = 22$ ms 時点までは、スパン中央部から両側 0.5 ~ 1 m 程度の広い範囲において 0.75% 前後のひずみがほぼ一様に分布しており、シート剥離の傾向も確認できる。 $t = 23.5$ ms 時点では、右側スパンのひずみが零近傍に急激に低下してシートが補強効果を失っていることから、シート剥離によって終局に至っていることが分かる。この現象は高速度カメラ画像からも確認している。

4. まとめ

本研究では、FRP シート補強に用いるシートの材料特性による RC 部材の耐荷性状の違いを明らかにすることを目的として、高強度タイプおよび中弾性タイプの CFRP シートを接着して曲げ補強を施した RC 梁を対象に、静荷重および重錘落下衝撃荷重実験を実施した。本研究で得られた結果を整理すると、以下のように示される。

- 1) 静荷重実験結果より、高強度タイプおよび中弾性タイプのいずれの CFRP シートを用いる場合においても、既往の破壊形式予測式と対応した破壊形式を示し、それぞれ高強度タイプは剥離破壊型、中弾性タイプは曲げ圧壊型に分類される。すなわち、設計工学的には、予測式において計算終局耐力を満た

す曲げ圧壊型として評価される中弾性タイプのシートを用いる場合が、高強度タイプを用いる場合よりも安全側の設計が可能である。

- 2) 衝撃荷重実験結果より、軸剛性が同程度である CFRP シートを用いて補強を施した場合において、終局に至らない範囲内ではシート補強 RC 梁の耐衝撃挙動は概ね同様である。また、衝撃荷重作用下における破壊形式に関しても、高強度タイプはシート剥離、中弾性タイプはシート破断によって終局に至り、静的な破壊形式と対応した結果となる。
- 3) しかしながら、中弾性タイプの CFRP シートを用いる場合には破断ひずみが小さいことによって、高強度タイプのシートを用いる場合に比較して早期にシート破断が生じ終局に至る。なお、高強度タイプが $H = 2.5$ m、中弾性タイプが $H = 2$ m で終局に至っていることから、入力エネルギー的には高強度タイプのシートを用いる場合は、中弾性タイプを用いる場合と比較して 25 % 程度の耐衝撃性向上効果が期待できる。

謝辞

本研究で用いた CFRP シートは東レ (株)、接着剤等は住友ゴム工業 (株) からご提供頂きました。また、本研究は、JSPS 科研費 23K13391 の助成を受けたものです。ここに記して、感謝の意を表します。

参考文献

- 1) 瓦井智貴, 小室雅人, 岸徳光, 三上浩, S. L. Huy: 衝撃荷重実験時における AFRP シート接着曲げ補強 RC 梁の破壊形式に関する実験的検討, 構造工学論文集, 土木学会, Vol. 65A, pp.901-911, 2019
- 2) 田野順也, 岸徳光, 小室雅人, 瓦井智貴, 三上浩, Le Huy Sinh: 目付量 415 g/m^2 AFRP シート曲げ補強 RC 梁の繰り返し衝撃荷重実験, 土木学会北海道支部論文報告集, Vol. 75, A-33, 2019
- 3) N. Kishi, M. Komuro, T. Kawarai, and H. Mikami: Low-velocity impact load testing of RC beams strengthened in flexure with bonded FRP sheets, *Journal of Composites for Construction*, ASCE, Vol.24, pp.103-113, 2020.
- 4) 東レ: トレカクロス工法カタログ, 2019.
- 5) 土木学会: 2022 年制定コンクリート標準示方書 [設計編], 2023.
- 6) 岸徳光, 三上浩, 栗橋祐介: AFRP シートで曲げ補強した RC 梁の曲げ耐荷性状に関する実験的研究, 土木学会論文集, No. 683/V-52, pp.47-64, 2001.
- 7) 岸徳光, 三上浩, 栗橋祐介: FRP シート曲げ補強 RC 梁の耐荷性状および破壊形式の予測に関する実験的研究, 土木学会論文集, No. 711/V-56, pp.91-109, 2002.