

CFRP シートで曲げ補強した RC はりの静的載荷実験

Experimental Study on Flexural Behavior of RC Beams Strengthened with CFRP Sheet

北海学園大学工学部土木工学科 ○学生員 丸山興治(Kohji Maruyama)

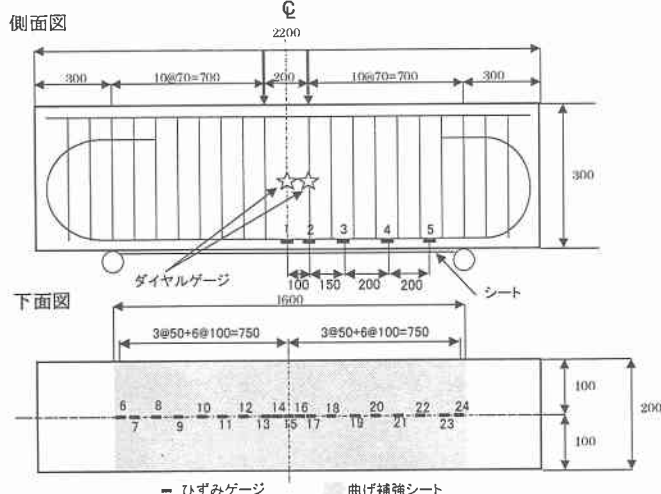
北海学園大学工学部土木工学科 正 員 高橋義裕(Yoshihiro Takahashi)

1. はじめに

補強材の一つとして高い引張強度を持ち、耐食性に優れている炭素繊維シートを既存構造物に用いた事例が増えつつあり、現在合理的な補強設計法の確立に向けての積極的な検討がなされている。そこで本研究では、引張主鉄筋に異形鉄筋を使用し、下面部にシートを貼付した矩形断面 RC はりの曲げ実験を行った。結果について報告する。

2. 実験概要

実験供試体は合計 9 体で、供試体形状等については図一 1 に示す。



図一 1 供試体図

幅 20 cm × 高さ 30 cm × 長さ 220 cm の供試体を作成し、主鉄筋には D19 を 2 本使用し、せん断補強鉄筋は、D10 を 10 cm 間隔で配置した。F0 は下面部にシートを全く貼付せず、F1、F2、F3 は、それぞれ下面部にシートを 1 層、2 層、3 層貼付した。また、FZ1、FZ2、FZ3 は F1、F2、F3 と同様に施工した供試体に、さらに左右両スパンで、はり中央から幅 5 cm のシートを 5 cm 間隔でゼブラ状に、はり高さ (30 cm) まで U 字に巻き上げ補強した (以下「ゼブラ補強」と呼ぶ)。FK1、FK2 は F1、F2 と施工方法は同様で、コンクリートとシートとの間に緩衝材を用いた。各実験供試体に用いた材料の力学特性を表一 1 に示す。

以上のことにより、各実験供試体の中央位置でのたわみ、主鉄筋およびシートのひずみを測定した。一部は土木学会年次学術講演会にて発表済み¹⁾。

表一 1 使用材料の力学特性

	type	Cross section area (mm ²)	Young's modulus (GPa)	Yield strength (MPa)	Tensile strength (MPa)
Steel	D10	71.3	200	377	537
	D19	286.5	180	371	578
Sheet		1.65	230		3480

※Cross sectional area in width of 10mm

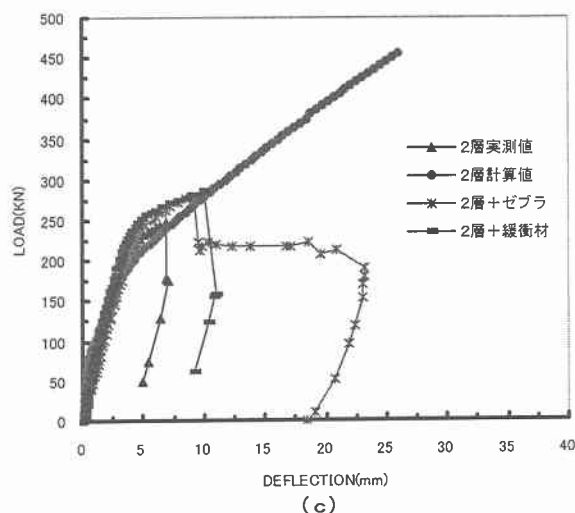
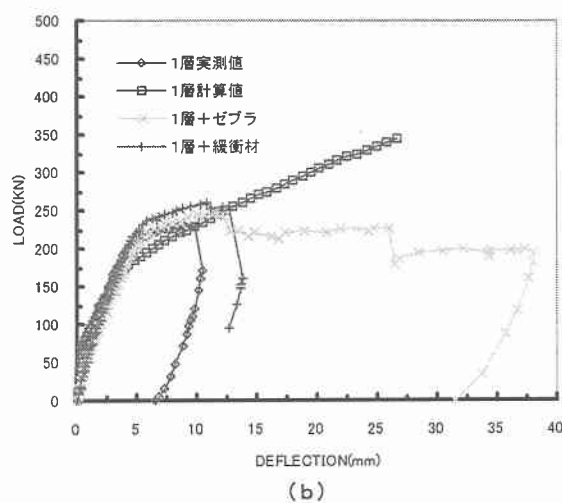
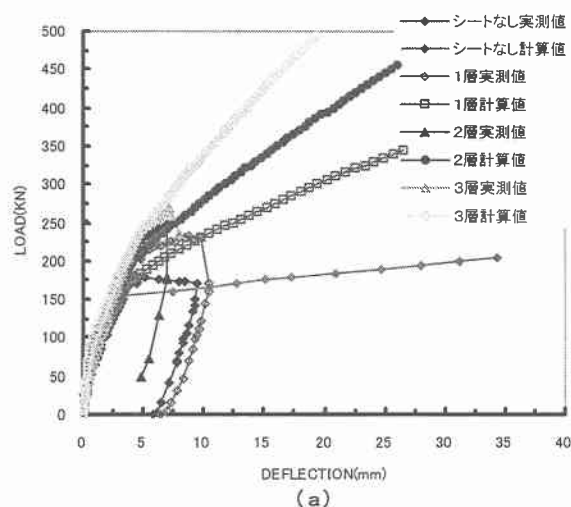
3. 実験結果及び考察

3. 1 補強形態の違いによる最大荷重比較

表一 2 実験結果一覧

Specimen No.	Compressive strength (MPa)	Tension reinforcement		Sheet		Ultimate load (KN)
		Type	Ps	Number of sheet	A _{sheet} (mm ²)	
F0	37.3	D19 × 2	1.1			180.3
F1	33.5	D19 × 2	1.1	1	28.05	232.4
F2	40	D19 × 2	1.1	2	56.1	247.5
F3	38.8	D19 × 2	1.1	3	84.15	272.5
FZ1	42.4	D19 × 2	1.1	1	28.05	247.4
FZ2	46.1	D19 × 2	1.1	2	56.1	278.5
FZ3	46.2	D19 × 2	1.1	3	84.15	320.7
FK1	38.1	D19 × 2	1.1	1	28.05	260.2
FK2	42.5	D19 × 2	1.1	2	56.1	285.9

表一 2 は実験結果一覧である。シート補強を行わなかった場合 (F0) と下面部にシートを貼付した場合 (F1、F2、F3) の最大荷重比較では、シート層数を増加することにより最大荷重は増加しており、シート補強の効果があったと言える。シート層数の増加と最大荷重の関係より、シート 1 層につき約 15 ~ 25 KN 程度の増加が見られた。同様に U 字巻き上げ補強を行った場合 (FZ1、FZ2、FZ3) においては、シート 1 層につき約 30 ~ 40 KN の増加となり、ゼブラ補強なしの場合よりも増加率が大きかった。さらに、緩衝材を用いた供試体 (FK1、FK2) については、同じ層数での比較 (F1、F2) をすると、最大荷重は約 25 KN の増加となり、この増加率は緩衝材を使用しなかった



図一2 中央位置での荷重一変位関係

場合 (F1、F2、F3) とそれ程変化は見られなかった。また、同ゼブラ補強を行った場合 (FZ1、FZ2) と比較してみると、最大荷重がほぼ等しいという結果となった。これは、緩衝材を用いた場合とゼブラ補強を行った場合では、本実験の範囲では補強形態は違うが、最大荷重に関しては、同等の効果が得られたことを意味している。

3. 2 供試体中央における荷重一変位の関係

図一2は供試体中央位置における荷重一変位の関係を示したもので、図中には断面分割法による計算値も示してある。ただし、本計算ではシートの剥離は考慮されておらず、シートとコンクリートは完全付着を仮定している。図一2 (a) はシート層数の影響を表しており、実測値、計算値ともに、シート層数の増加とともに傾きが急になっていることが読み取れる。これは、シート層数増加により、曲げ剛性が増加していることを示している。また、実測値における1次変曲点はコンクリートのひびわれを、2次変曲点は主鉄筋の降伏点荷重に対応するものと思われる (図一4 (a) 参照)。同様に計算結果からも同様の傾向が見られる。実験においてはシート層数に関係なく終局時は、最大荷重に至ると同時にシート剥離が生じ終局状態に至った。

図一2 (b) は「シート層数1層のみ」、「シート層数1層+ゼブラ補強」、「シート層数1層+緩衝材」の荷重一変位関係を示している。1層にゼブラ補強を行った供試体には他者とは明らかに異なった挙動が見られるが、これは、ゼブラ補強を行ったことにより、シート全てが瞬間的には剥離せず、部分的な剥離が徐々に起こった為と考えられる。つまり、最大荷重到達後もシート補強の効果は、ある程度は持続しているものと思われる。一方、ゼブラ補強を行わなかった供試体においては、最大荷重に達すると同時にシートの剥離が瞬間的に発生し、それ以降はシート補強の効果は全く期待できないことがわかる。一方、緩衝材を用いることにより、鉄筋降伏後、荷重分担領域が広がることにより、最大荷重は他の供試体に比べ若干増加していることがわかる。しかし、靱性能力はゼブラ補強に比べかなり低下することがわかる。

図一2 (c) は「シート層数2層のみ」、「シート層数2層+ゼブラ補強」、「シート層数2層+緩衝材」の荷重一変位関係を示している。ゼブラ補強を行った「シート層数2層+ゼブラ」とゼブラ補強を行わずに、緩衝材を用いた「シート層数2層+緩衝材」を比較すると、若干ではあるが、シート層数1層の場合と同様に緩衝材を用いた方が最大荷重は増加している。このことより、緩衝材が荷重を分担しているものと思われる。また、シート層数2層においても、シート層数1層と同様にゼブラ補強をすることにより、靱性能力の増大が示された。

全体的にシートの剥離状況について比較すると、ゼブラ補強を行わなかった場合 (緩衝材使用時も含む) は、最大荷重到達後急激な剥離を生じ、ゼブラ補強を行った場合では、シートは一気には剥離せず、部分的な剥離を数回繰り返した後、終局に至る。このことはゼブラ補強が靱性能力向上に寄与することがわかる。

3. 3 シート中央における荷重—ひずみ関係

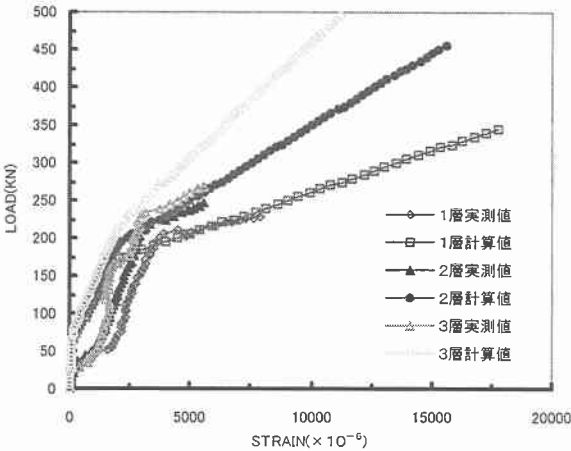
図—3は、中央位置における荷重—シートひずみの関係を示したものである。同図にはたわみの場合と同様に、計算値も示されている。図—3 (a)はシート層数の影響を示したものである。各実測値において、荷重が約40KN付近に1次変曲点が発生しているが、これは、供試体のひびわれ発生開始点と推測される。つまり、それまで供試体が受け持っていた荷重がひびわれの発生により、曲げ補強シートに伝達された為、ひずみが急激に増加したと思われる。また、2次変曲点は鉄筋の降伏点荷重にほぼ一致している (図—4 (a) 参照)。計算値、実測値ともシート層数が増加するに従い、曲線の傾きは増加傾向にある。

図—3 (b) は、シート層数は1層で補強形態の違い (シートのみ、ゼブラ補強、緩衝材) によるシートひずみへの影響について表したものである。「シート層数1層の実測値」では、ひびわれの発生開始と思われる1次変曲点が存在したが、「シート層数1層+ゼブラ補強」や「シート層数1層+緩衝材」においては、明確な変曲点の存在は確認できない。また、「シート層数1層の実測値」と「シート層数1層の計算値」を比較すると、鉄筋降伏後は、実測値と計算値はほぼ同様の挙動を示している。しかし、計算においてはシートは完全付着であるので、シートの剥離は考慮されていない。このため、最大荷重はシート層数増加に伴い、計算値は一様に増加している。

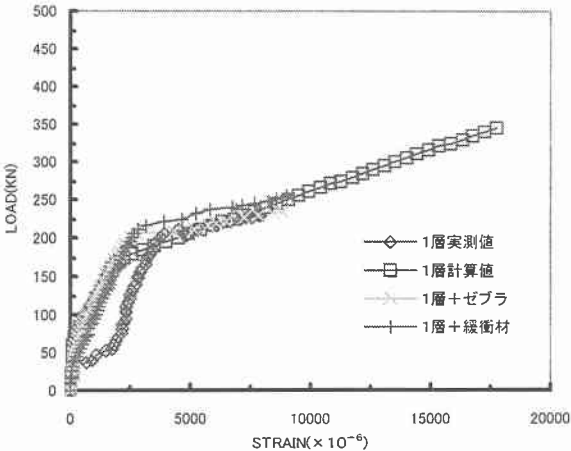
図—3 (c) はシート層数が2層での荷重—ひずみ関係を示している。同図より補強形態の違いによる終局時のシートひずみの違いが明確に見られる。緩衝材使用時においては約7500 μ 、ゼブラ補強では約6000 μ 、シートのみ貼付した場合は約5000 μ のひずみを示している。このことは、緩衝材を使用することにより、シートの能力を最大限に引き出す可能性を示唆している。

3. 4 主鉄筋中央における荷重—ひずみ関係

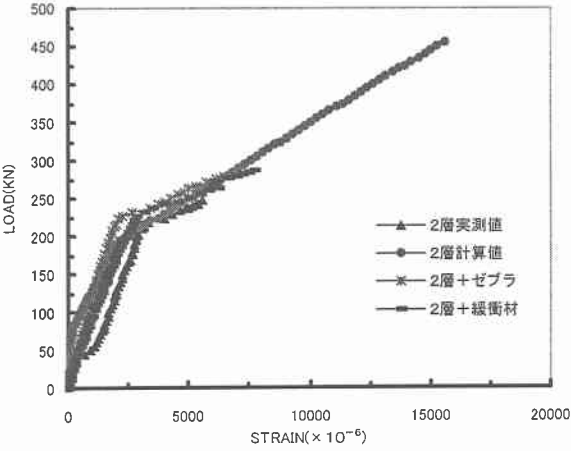
図—4は、中央位置における荷重—鉄筋ひずみの関係を示したものである。同図には計算値も示してある。図—4 (a) はシート層数の影響を、図—4 (b) はシート層数1層に関し、図—4 (c) はシート層数2層に関し補強形態の影響を示したものである。図—4 (a) より、計算値、実測値ともに鉄筋の降伏点荷重がシート層数を増やすことにより、増加していることが分かる。このことは、荷重増加分をシートが負担しているためと推測される。また、各図において、1次変曲点は供試体のひびわれ発生開始を示し、2次変曲点は鉄筋の降伏点を示しているものと思われる。実測値における1次変曲点荷重及び2次変曲点荷重は、補強形態に関係なくほぼ同じ値を示している。このことから、供試体のひびわれ発生荷重はシートの補強形態にそれ程依存しないものと推測される。また、ひびわれ発生荷重の計算値は実測値に比べ若干高めで、降伏点荷重においては、計算値は若干低めの値を示している。しかし、ひびわれ発生後は計算値と実測値との傾きはほぼ同じである。



(a)

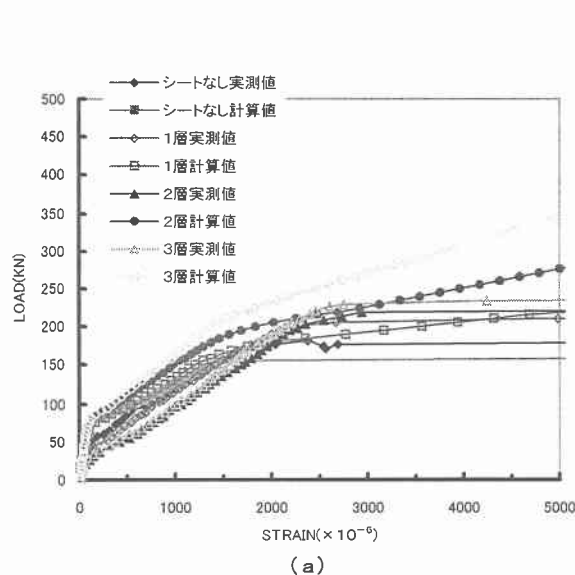


(b)

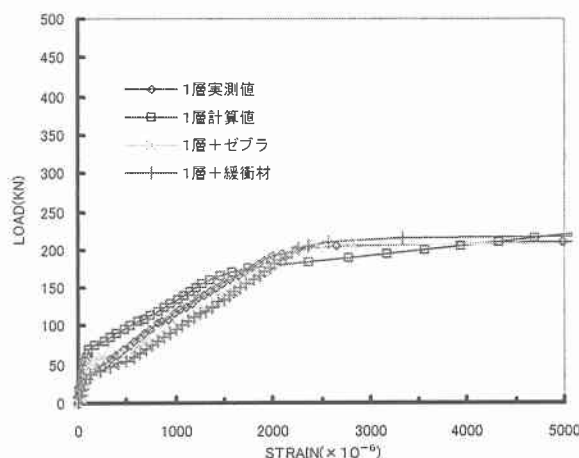


(c)

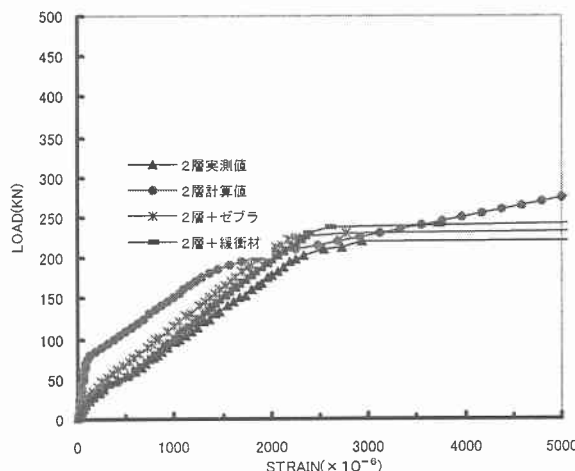
図—3 シート中央での荷重—ひずみ関係



(a)

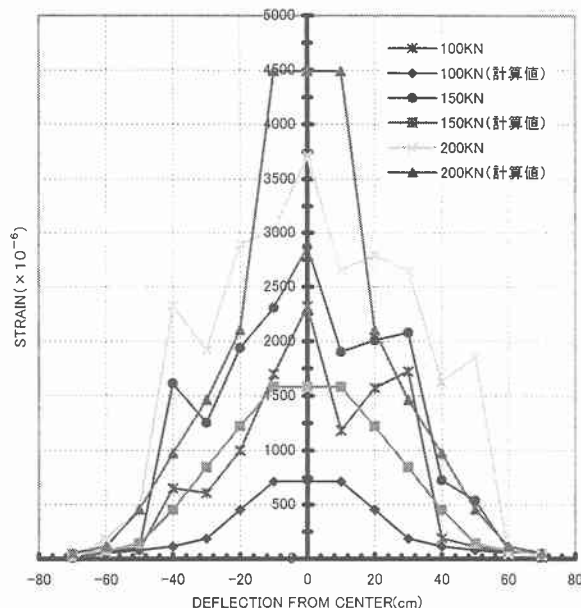


(b)



(c)

図一４ 主鉄筋中央での荷重－ひずみ関係



図一５ １層シート補強における中央からの距離とひずみの関係

３．５ 中央からの距離とシートひずみの関係

図一５はシートを１層貼付した供試体における中央からの距離とシートひずみの関係を示したものである。グラフには荷重が１００ＫＮ、１５０ＫＮ、２００ＫＮ時の値をプロットした。いずれの場合においても、中央からの距離が増加するにつれてシートひずみが減少している。また、載荷点直下（左右対称１０ｃｍ）では、周辺と比較してひずみは減少する傾向にあると思われる。終局時近傍においては荷重が増加するにつれ、支点側のシートひずみが急激に増加し、実測においてはシートひずみは左右非対称であることより、ひずみのより大きい方のシート側より剥離するものと推測される。

４．まとめ

今後さらに検討すべき点もあるが、本研究の範囲で得られた知見を以下に示す。

- (１) はり下面部にシートを貼付させゼブラ補強を行うことにより、シートの剥離が拘束され靱性挙動が顕著となり、最大荷重も増加した。
- (２) シート補強をすることにより、鉄筋の降伏点荷重が増加する。これは、この荷重増加分をシートが負担しているためであると思われる。
- (３) シートの剥離状況は、ゼブラ補強を行うか否かで大きく異なる。
- (４) シート層数を増加させることにより、曲げ剛性が増加し、変位も拘束される。
- (５) 載荷点直下のシートひずみはやや減少する。

参考文献

１) 丸山，高橋：炭素繊維シートにより曲げ補強したＲＣはりの耐力及び変形に関する実験的研究，土木学会第５６回年次学術講演概要集第５部，pp.1054-1055，2001