

各種 FRP シートで曲げ補強した RC 梁の静載荷実験

前田建設工業（株）正 員 ○一瀬 将吾

三井建設（株）フェロー 三上 浩

室蘭工業大学 正 員 岸 徳光

（独）北海道開発土木研究所 正 員 栗橋 祐介

1. はじめに

本研究では、FRP シート曲げ補強 RC 梁の耐荷性状に及ぼすシートの材料特性の影響を明らかにすることを目的として、弾性係数の異なる 4 種類の FRP シートを対象としてシートの引張剛性を大略等しくした場合の FRP シート曲げ補強 RC 梁に関する静載荷実験を行った。

2. 実験概要

表－1 には、本実験に用いた試験体の一覧を示している。試験体は、シート材料を変化させた全 4 体である。試験体名は、曲げ補強に用いた FRP シート材料の略称（表－2 参照）を用いて示している。シート補強量は、表－2 の材料特性値を参考にして引張剛性 $E_f \cdot t_f$ (E_f : 弾性係数, t_f : 厚さ) が、極力等しくなるように決定した。なお、用いた 4 種類の FRP シートの弾性係数 E_f は大きく異なっており、AT シートが最も小さく、AK, C1, C2 シートの順に大きい。

図－1 には、試験体の概要を示している。試験体は、主鉄筋に D16 (SD345) を用いた複鉄筋 RC 梁であり、断面寸法 (幅×高さ) は、15×40 cm、純スパン長は 2.6 m である。梁底面には各種 FRP シートを幅 13 cm で貼り付け、シート上には歪ゲージを 10 cm 間隔および載荷点直下に貼付している。実験時のコンクリートの平均圧縮強度は 31.5 MPa であり、主鉄筋の降伏強度は 407 MPa であった。

3. 実験結果および考察

3.1. 荷重－変位関係

図－2 には、荷重－変位曲線の実験および計算結果を示している。計算結果は、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、梁上縁コンクリートの歪が 3,500 μ に達するまで行っている。ただし、C1, C2 試験体の場合には、シート破断により計算を終了している。図より、AT, AK

および上縁コンクリート圧壊の直前にシート破断で計算を終了した C1 試験体の計算最大荷重 P_{uc} および最大荷重時変位 δ_{uc} は大略同様であることが分かる。また、C2 試験体の P_{uc} , δ_{uc} は、主鉄筋降伏直後にシート破断により計算を終了しているため他に比べて小さい。このように、各試験体の計算結果はシートが早期に破断する場合を除き、 $E_f \cdot t_f$ を同程度とすることではほぼ同様となることが分かる。一方、実験結果は E_f の大きいシートを用いる場合ほど最大荷重および最大荷重時変位が小さくなる傾向にある。また、C2 試験

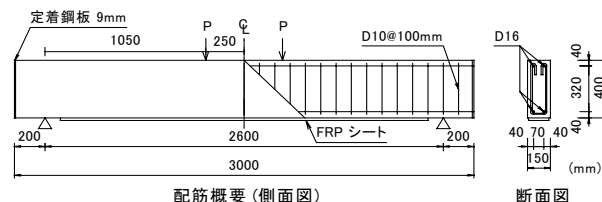
表－1 試験体の一覧

試験体名 (シートの略称)	補強 層数	シートの引張剛性 $E_f \cdot t_f$ (kN/mm)
AT	2 層	59.3
AK		67.5
C1		76.8
C2	1 層	81.4

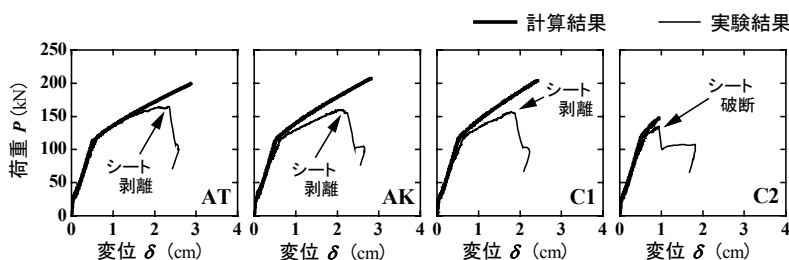
表－2 各種 FRP シートの材料特性値

シート材料	目付 量 (g/m ²)	厚さ t_f (mm)	引張 強度 (GPa)	弾性 係数 E_f (GPa)	破断 歪 (%)
アラミド繊維 AT-90 (AT)*	525	0.378	2.35	78.5	2.99
アラミド繊維 AK-60 (AK)*	415	0.286	2.06	118	1.75
炭素繊維 (C1)* UT70-30	300	0.167	3.40	230	1.48
炭素繊維 (C2)* FTS-EA82-2	340	0.185	2.40	440	0.55

* () 内は本論文で用いる呼称



図－1 試験体の概要



図－2 荷重－変位関係

キーワード：FRP シート，弾性係数，ピーリング作用，有効率

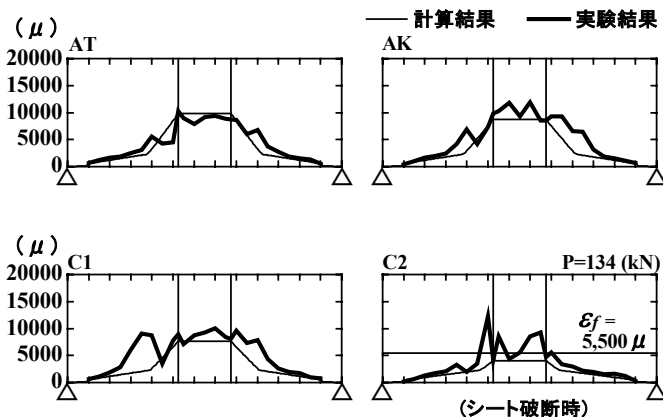
連絡先：〒050-8585 室蘭市水元町 27-1 室蘭工業大学 建設システム工学科 TEL 0143-46-5230 FAX 0143-46-5227

体は、シート破断を想定した計算耐力を下回る荷重でシートが破断して終局に至っている。以上より、 $E_f \cdot t_f$ が同等のシートを用いて曲げ補強した RC 梁の耐力および変形能は、 E_f が大きい場合ほど小さくなる傾向にあることが明らかとなった。

3.2. シートの歪分布性状

図－3 には、C1 試験体がシート剥離する時点と同一荷重レベルにおけるシートの歪分布性状を示している。なお、C2 試験体はシート破断時の結果を示している。図より、AT、AK および C1 試験体の等曲げ区間における実測歪は計算歪とほぼ対応している

ものの、等せん断力区間の実測歪は主鉄筋降伏領域近傍において計算歪よりも大きく示されていることが分かる。これは、等せん断力区間における主鉄筋降伏領域内の下縁かぶり部に形成されたコンクリートブロックがシートを下方に押し出すピーリング作用によるものと考えられる。また、これらの試験体の等せん断力区間の歪分布を比較すると、実測歪が計算歪を上回る領域が C1 試験体の場合で最も大きいことが分かる。これは、C1 シートの弾性係数 E_f が大きいため、シート接着部のせん断応力がピーリング発生後の変位曲率の増大に対応して大きくなり、早期に付着強度に達するためと推察される。一方、シート破断により終局に至った C2 試験体では、実測歪が計算歪よりも大きく、特に載荷点近傍では公称破断歪 ($5,500 \mu$) を越える実測歪が発生している。以上より、ピーリング作用によるシート剥離開始後の RC 梁の変位曲率の増加時に、 E_f の大きい FRP シートを用いる場合には E_f の小さいシートを用いる場合に比較して接着部に発生するせん断応力が大きくなり、早期に全面剥離に至りやすいことが明らかとなった。また、破断歪が小さい FRP シートを用いる場合には、曲げひび割れ発生による局所的な歪の増大によって早期にシート破断に至りやすいことも明らかとなった。



図－3 シートの歪分布性状 ($P=155\text{kN}$ 時)

3.3. シートの有効率 R_e

表－3 には、各試験体のシート剥離時における単位幅当たりの発生引張力に関する実験結果の一覧を示している。表中には、各シートの引張耐力に対する発生引張力の比（以後、有効率 R_e ）も併記している。なお、発生引張力は、等曲げ区間におけるシートの平均発生歪に弾性係数 E_f と厚さ t_f を乗じて算出している。C2 試験体は、シート破断により終局に至っているため検討から除外している。表より、 R_e は AT 試験体で最も小さいことが分かる。これは、AT シートの E_f が小さいため梁の変形にある程度のレベルまでは柔軟に対応するものの、ピーリング作用が顕在化して剥離に至りシートの耐力を十分に活用できていないことを意味している。また、AT、AK 試験体の比較から、 E_f の大きいシートを用いる場合において R_e が大きくなる傾向にあることが分かる。一方、AK シートよりも E_f が大きい C1 試験体の R_e は AK 試験体と同程度となっている。これは、C1 試験体でピーリング作用によるシート剥離開始後の変位曲率の増加に伴うシート接着部のせん断応力の増加が著しく、早期に全面剥離に至ったためと考えられる。

表－3 シートの発生引張力に関する実験結果の一覧

試験体名	最大荷重 (kN)	シートの引張耐力 (kN/mm) ①	シートの発生引張力 (kN/mm) ②	有効率 R_e ②/①
AT	164.6	1.78	0.63	0.35
AK	160.1	1.18	0.72	0.61
C1	156.9	1.14	0.68	0.60

4. まとめ

- 1) シートの弾性係数 E_f が大きい場合には、ピーリング作用によるシート剥離開始後の付着せん断応力の増加率が大きく、早期に付着強度に達して全面剥離に至りやすい。
- 2) E_f が最も小さい AT シートを用いる場合の有効率 R_e は、シートの引張耐力が効率的に発揮される前にピーリング作用によってシートが剥離するため小さくなる傾向にある。