

V-433

FRPシート補強コンクリート梁の破壊性状に関する実験的研究

茨城大学工学部 学生員 松崎 智 優
 茨城大学工学部 正会員 呉 智 深
 茨城大学工学部 正会員 田名部 次郎

1. はじめに

近年、炭素繊維シート（以下、CFS）を用いた既設コンクリート構造物（トンネルなど）への補強・補修の適用事例はここ数年増加している。しかし、合理的な補強設計を行うために、CFS補強量、コンクリートの圧縮強度、接着強度の3因子による構造物の破壊性状を究明しておく必要がある。また、一方で、FRPシート表面接着補強によるコンクリート構造物の破壊メカニズムをよりよく理解するために、通常の鉄筋コンクリートとFRPシート接着コンクリートとの間の比較を行うことが有意義であろう。

そこで本研究では、プレーンコンクリート梁部材のCFS補強に関して、付着強度、CFS量とコンクリートの圧縮強度の3つのパラメータがその部材の破壊形式にどのような影響を与えるのか、という点について着目し、付着強度と圧縮強度およびCFS量を変化させた供試体を用いて曲げ試験を行い、代表的な破壊形式を同定すると同時にFRPシート補強コンクリート梁の破壊メカニズムを検討した。

2. 炭素繊維シート補強梁の曲げ試験

2.1 供試体の形状・寸法および材料特性

本研究では、図-1に示すような、初期欠陥のない梁と初期欠陥を想定し梁中央に切欠きを有した梁の2種類の無筋コンクリート梁にそれぞれCFSを貼り付け補強した。実験では、これらの供試体のコンクリートの圧縮強度とCFS量の2つのパラメータを変えて曲げ試験を行い、その破壊形式を観察する。また、施工温度を2パターン（室内：25℃、室外：5℃以下）に分け、付着特性の変化させ、これによる破壊形式の変化を調べる。表-1に本研究で供試体作製のために用いた材料の物性を、表-2に供試体の詳細一覧をに示す。

2.2 実験方法

本研究では油圧式試験機による3点曲げ試験を行った。測定項目は、梁中央部のたわみ量、供試体各点のひずみ、初期曲げひび割れ発生荷重、シートの剥離発生荷重、供試体の破壊荷重、そのほかに各荷重段階におけるひび割れの進展状況と剥離進展状況および供試体の破壊形式を観察した。また、剥離発生と進展状態の観察は、本研究において重要な項目であるため、圧電セラミックスの応用センサーである衝撃センサーを用いて、剥離が発生したときの微小振動を電気信号に変え、ホロスコープ上に波形で表すことにより詳細な観察を行った。これにより供試体の詳細な破壊状況を観察し、その形式を判定した。

3. 実験結果および考察

まず、各条件（コンクリート強度・CFS補強量・付着特性）ごとの荷重変位曲線曲線を図-2に、初期ひび割れ発生荷重、剥離発生荷重、破壊荷重などの各種測定結果および破壊形式について表-3に示す。本研究では、供試体の破壊特性を観察し、以下のような3つの最終破壊形式が同定できた。これらの破壊形式キーワード：炭素繊維シート（CFS）、コンクリート強度、付着強度、CFS補強量、破壊形式

連絡先：〒316-0033 茨城県日立市中成沢町4-12-1 TEL 0294-38-5247 FAX 0294-35-8146

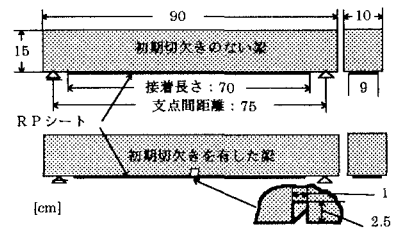


図1：供試体の形状・寸法

表1：材料特性

材料	特性	特性値
コンクリート	ヤング係数[kg/cm ²]	2.2×10 ⁶ ~3.6×10 ⁶
	圧縮強度[kg/cm ²]	250, 400, 550
	スラブ厚[cm]	8.0, 10.5
FRPシート (PAN系炭素繊維)	ヤング係数[kg/cm ²]	2.35×10 ⁶
	引張強度[kg/cm ²]	32680
	ポアソン比	0.3
エポキシ樹脂	ヤング係数[kg/cm ²]	3.5×10 ⁴
	ポアソン比	0.35

表2：供試体一覧

供試体名	初期欠陥 有無	圧縮強度 [kgf/cm ²]	シート 枚数
梁No.1	無	250	1
梁No.2	有	400	
梁No.3	有	400	
梁No.4	無	550	
梁No.5	無	550	
梁No.6	有	550	
梁No.7	有	550	
梁No.8	有	550	
梁No.9	有	550	
梁No.10	有	550	
梁No.11	無	550	2
梁No.12	無	550	
梁No.13	有	550	

表3：実験結果一覧

供試体名	ひび割れ発生 荷重[kg]	剥離発生荷重 [kg]	破壊荷重 [kg]	破壊形式
梁No.1	950	1300	1500	C
梁No.2	1100	1420	1640	C
梁No.3	1070	1420	1660	A
梁No.4	1000	1060	1100	C
梁No.5	1020	1100	1230	C
梁No.6	1730	2270	2780	B
梁No.7	1620	2270	2540	B
梁No.8	980	1070	2400	B
梁No.9	1100	1000	2240	B
梁No.10	1620	1340	1680	C
梁No.11	1560	2220	2300	C
梁No.12	1700	2020	2620	C
梁No.13	1630	2060	2700	A

は、まず、1) FRPシートとコンクリート接着層近傍にあるコンクリート表面の剥離が先行し、梁中央から接着端部に向かって進展し、最終破壊に至る(表3中の形式A)、2) 梁中央の曲げひび割れ近傍に発生した斜めひび割れの根元が起点となって、その局所のFRPシートが破断を起こす破壊(形式B)、3) FRPシートとコンクリートとの接着層間の界面剥離が引き起こす最終破壊(形式C)である。また、この形式Cでは、コンクリート曲げひび割れが通常の鉄筋コンクリート梁と違ってアンボンドPC部材のような集中した曲げひび割れとなっている。そして、この1本メインの曲げひび割れの近傍には、接着層におけるせん断応力によって左右1本か2本程度の斜めひび割れが生じている。以上のことから、FRPシート層間剥離面において摩擦効果がほとんど期待できないと思われる。次に、各パラメータ別に考察する。

3. 1 コンクリート強度による違い

コンクリートの圧縮強度の違いによる破壊形式の変化は、接着状態が良好でCFS1枚貼付の条件のもとで比較すると、まず圧縮強度が高いと、梁自体の剛性が大きくCFSに強い負担がかかり、破断するものが多かった。これに対し、圧縮強度が低いと、梁は変形しやすくなり、形式Aに見られたような、コンクリート表面の剥離破壊が起こった。また、図2(a)のように、梁6~9では、CFSの破断による急激な耐力低下が目立つに対し、梁3では、コンクリート表面の剥離進展により最終破壊に至った。

3. 2 付着特性による違い

図2(b)では、付着特性を変化させ、その影響による破壊形式の変化をまとめた。低温時(5℃)の施工により付着強度が低くなった梁1、2、4、5、10の結果を見ると、コンクリートの圧縮強度・CFS補強量に関係なく、接着層内において剥離破壊が生じ、きれいにシートとコンクリートが分離し、終局耐力の変化もほとんど見られなかった。また、梁4、5についていえば、耐力や変形能力が他の梁より大きく低下しているのは、低温のために低くなると予測した付着強度よりもさらに低く、接着不良の形となってしまった。このことは、他の付着強度が低い梁の破面と比べこれら2本は特に、きれいな剥離破壊面を示してことから判断できる。また、接着状態が良好であるものとそうでないものとの比較は、梁6と10(550kgf/cm²)、梁3と4、5(400kgf/cm²)を見れば、付着強度の低下による耐力・靱性の低下が確認できた。

3. 3 CFS補強量による違い

図2(c)では、接着状態が良好で、高い圧縮強度の条件でCFS補強量を変化させ比較したものである。CFSが1枚である梁8、9ではコンクリートの強度に比べCFSの補強量が少なく、剥離の進展はほとんど見られず破断してしまったが、CFSが2枚である梁13はCFSの補強量が充分であるため、耐力は増加し、緩やかな剥離の進展の後、剥離破壊(破壊形式A)となった。

4. むすび

本研究では、CFSで補強したコンクリート部材の破壊形式を決定する要因に、コンクリートの圧縮強度、CFS量、付着強度の3つが関係していることに着目し、以下のことが明らかになった。

- (1) 接着状態が良好である条件の下では、コンクリートの圧縮強度とCFS補強量とのバランスがCFSで補強した無筋コンクリート梁の破壊形式を左右させる。
- (2) 低温時の施工は付着強度を低下させ、コンクリートの圧縮強度、CFS補強量に関わらず、接着特性によって、その梁の耐力・変形能力が完全に左右される。
- (3) 鉄筋コンクリートの付着メカニズムと違って、FRP接着剥離に伴う摩擦効果がほとんど見受けなかった。

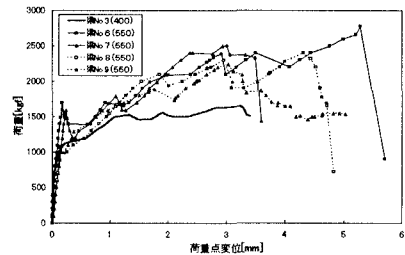


図2(a) : コンクリート強度の違い

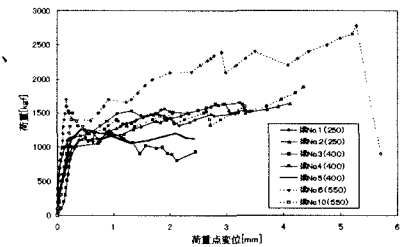


図2(b) : 付着特性の違い

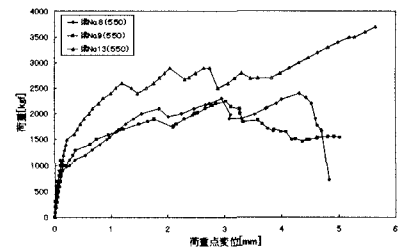


図2(c) : CFS補強量の違い