

V-13

連続繊維シートの定着メカニズムに関する解析的検討

清水建設(株) 正会員 前田敏也
 北海道大学大学院 正会員 佐藤靖彦
 北海道大学大学院 学生員 浅野靖幸
 北海道大学大学院 正会員 上田多門

1. はじめに

炭素繊維シート(以下、CFS)は、軽量、高強度、高耐久等、種々の特性を有していることから、各種コンクリート構造物の補強のみならず、兵庫県南部地震以後は橋脚および柱の耐震補強にも広く用いられている。CFSで補強されたコンクリート部材の挙動は、CFSとコンクリートとの付着性状によって大きく影響を受ける。したがって、CFSで補強された部材の挙動を評価するためには、CFSの付着機構を明らかにすることが重要である。

本研究は、付着試験におけるCFSのひずみ分布性状に着目し、有限要素法を用いた非線形解析を行うことによってCFSの付着機構について考察を行ったものである。

2. 付着試験の概要

2.1 試験方法

付着試験の概要を図-1に示す。CFSに対する载荷は、コンクリート中に埋め込んだ鉄筋に引張力を導入することにより行った。CFSはコンクリートの両面にエポキシ樹脂を用いて接着し、ひずみゲージを20mm間隔で設置した。ただし、ひずみを測定しない側のCFSは、付着破壊を防ぐためにCFSを巻き付けて補強を行った。CFSの積層数は1、3、5層とし、定着長はいずれも150mmとした。使用したCFSは目付け量200g/m²、厚さ0.110mm、引張強度3.5GPa、弾性係数230GPaである。また、試験時のコンクリートの圧縮強度は24MPaである。载荷は変位制御で行い、载荷速度は0.5mm/minとした。

2.2 試験結果

(1)最大荷重

試験結果を表-1に示す。ここで、積層数1層の試験体については、CFSの幅を10、20、50mmとした場合について試験を行ったが、幅が狭くなるほど付着強度が大きくなることが明らかである。したがって、幅10~50mmの範囲ではCFSの付着性状に及ぼす幅の影響は大きいものと考えられる。また、CFSの積層数については、幅20mmの場合の結果から最大荷重は積層数に比例はしないが、積層数が大きくなるにしたがって最大荷重も大きくなっている。

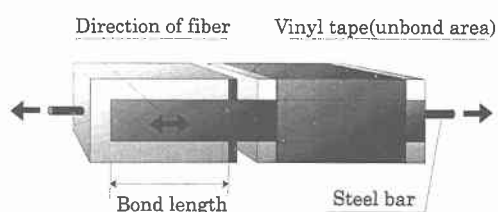


図-1 試験体概要

表-1 付着試験結果

試験体No.	CFS幅 (mm)	積層数	最大荷重 (kN)	付着強度 (MPa)	破壊形式
1	50	1	20.0	2.7	剥離
2	20	1	10.7	3.6	破断
3	10	1	4.8	3.2	破断
4	20	3	18.5	6.2	剥離
5	20	5	23.5	7.8	剥離

Analytical Investigation on Bond Mechanism of Continuous Fiber Sheet

T.Maeda, Y.Sato, Y.Asano and T.Ueda

(2) ひずみ分布

C F S のひずみ分布を図-2 に示す。ひずみ分布は載荷の初期の段階では二次曲線を示しているが、荷重が大きくなるにつれてこの領域のひずみが大きくなって直線分布となり、さらに、終局状態ではひずみがほぼ一定となる領域が表れている。これは、コンクリートにひび割れが発生していない状態ではひずみ分布は二次曲線を示しているが、荷重の増加に伴ってひび割れが発生すると直線となり、終局状態ではC F S が剥離を生じてひずみが一定になるものと推察される。このようなひずみ分布性状の変化を模式的に表すと図-3 [1] ようになる。すなわち、実際に荷重に抵抗している領域はひずみ分布が二次曲線を示す一部の領域であり、荷重の増加に伴ってその領域がC F S の端部に順次移動して終局状態に至るものである。ここで、実際に荷重に抵抗している領域を有効付着長 (L_e) と称する。

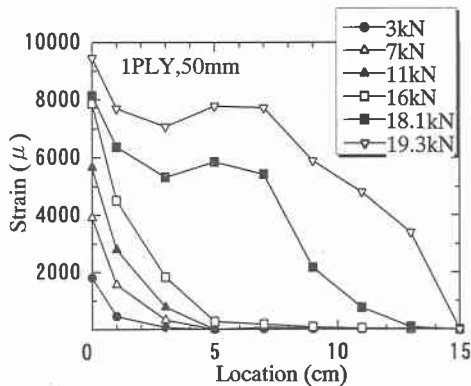


図-2.1 ひずみ分布 (1PLY, $b=50\text{mm}$)

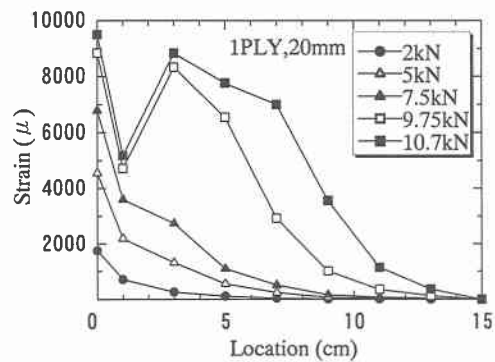


図-2.2 ひずみ分布 (1PLY, $b=20\text{mm}$)

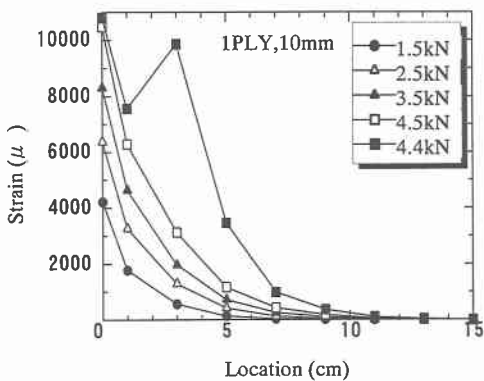


図-2.3 ひずみ分布 (1PLY, $b=10\text{mm}$)

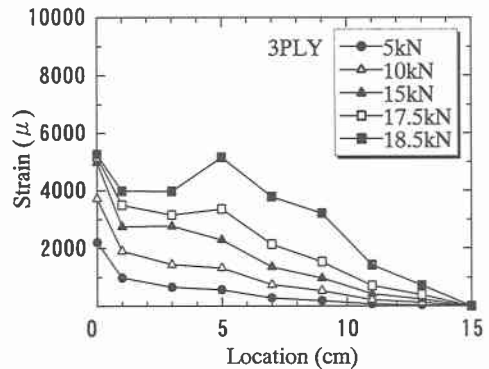


図-2.4 ひずみ分布 (3PLY)

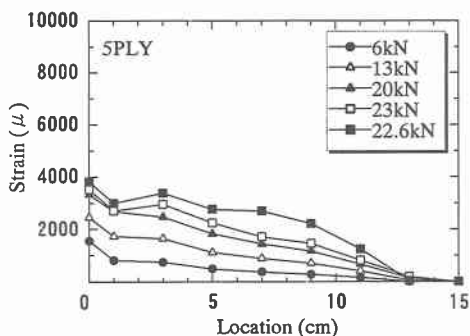


図-2.5 ひずみ分布(5PLY)

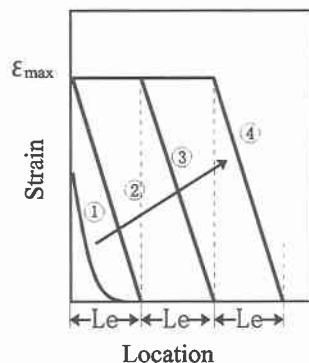


図-3 ひずみ分布性状の変化

3. 解析による検討

3.1 解析の概要

付着試験におけるひずみ分布性状について検討するため、非線形有限要素解析を行った。解析プログラムにはWCOMR[2]を用いた。解析メッシュ図を図-4に示す。コンクリート要素とCFS要素との間には接合要素を設けた。接合要素の物性は一般的なエポキシ樹脂の値とし、引張弾性係数およびせん断弾性係数をそれぞれ1.50MPa および0.58MPa とした。また、コンクリートの引張応力-ひずみ関係は、ひび割れの発生がコンクリートの表層部であり、鉄筋による影響をほとんど受けないと考えられることから図-5[2]に示すものを用いた。ここで、コンクリートの引張強度は下記の式[3]により算定した。

$$f_t = 0.23 f'_c{}^{2/3} \quad (1)$$

ここに、 f_t : コンクリートの引張強度(MPa)

f'_c : コンクリートの圧縮強度(MPa)

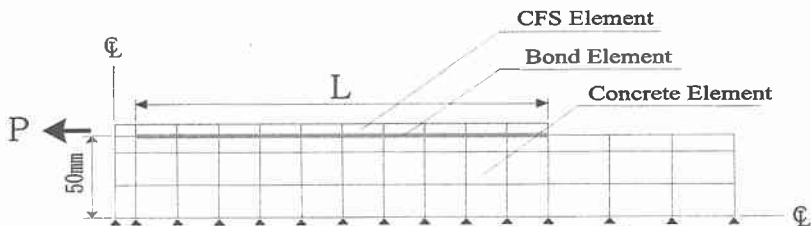


図-4 解析メッシュ図

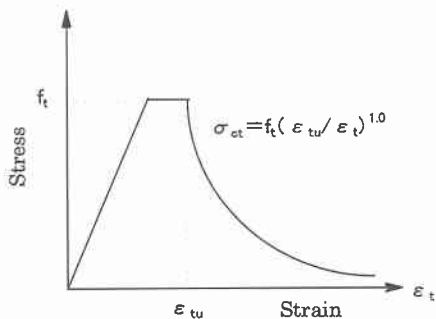


図-5 コンクリートの引張応力-ひずみ関係

3.2 解析結果

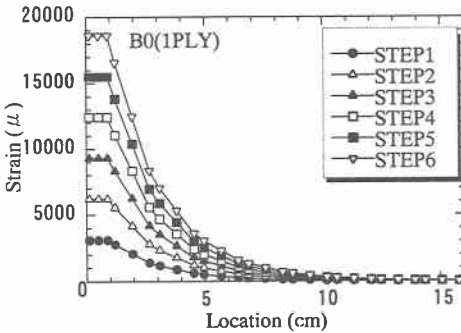
図－6 にコンクリートにひび割れを発生させない場合の解析結果を示す。解析におけるC F Sの積層数は1層である。ひずみ分布はすべて二次曲線を示しており、付着試験でみられたような直線分布およびひずみが一定となる領域は表れていない。次に、コンクリートにひび割れを発生させた場合の解析結果を図－7に示す。ひずみ分布は初期の段階で二次曲線を示しているが、その後ひずみが大きくなって直線分布を示しており、試験結果と定性的に一致している。したがって、C F Sの付着性状を評価する場合にはひび割れ発生による非線形性を考慮する必要があるものと考えられる。しかし、ひずみが一定となる領域が顕著に表れていないことや、有効付着領域の移動が明確になっていない。これは、解析においてC F Sの剥離が生じていないことが原因であると考えられる。また、図－8に示すひび割れ図（着色部はひび割れ発生を示す）から、付着試験におけるひび割れ発生がC F Sを接着したコンクリートの表層部であるのに対し、解析結果では鉄筋近傍まで達しており、実際の現象と一致していない。そこで、C F Sの剥離を発生させるために、接合要素の剛性を無くした場合の解析結果を図－9に示す。ここで、一時的な仮定として、C F Sの剥離は、接合要素下部のコンクリート要素の主引張りひずみが下記の条件を満たす場合に発生するものとした。

$$\varepsilon > 0.00015 \quad (2)$$

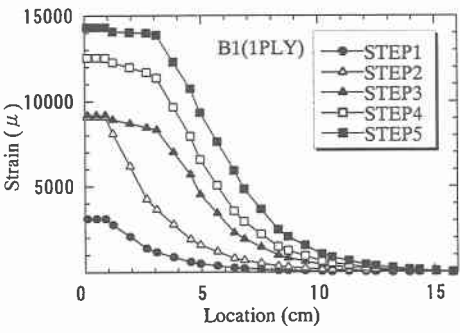
ここに、 ε ：コンクリート要素の主引張りひずみ

これらの結果から、ひずみが一定となる領域が顕著に表れており、有効付着領域が移動する傾向も定性的に表れている。また、図－10から、ひび割れの発生もコンクリートの表層部であり、その発生領域がひずみが一定となる領域および直線分布を示す領域とほぼ一致することから、ひび割れの発生に伴って有効付着領域の移動、さらにC F Sの剥離が発生しているものと考えられる。

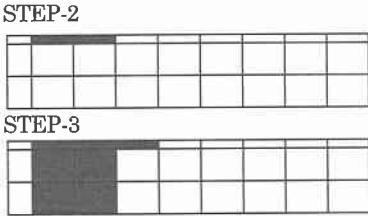
したがって、コンクリートのひび割れ発生およびC F Sの剥離を解析で考慮することによって、C F Sの付着機構を定性的に評価できるものと考えられる。ただし、剥離発生基準、ひずみ値や荷重値といった定量的な評価については今後検討の余地がある。



図－6 ひび割れを考慮しない場合(1PLY)



図－7.1 ひび割れを考慮した場合(1PLY)



図－8.1 ひび割れ図(1PLY)

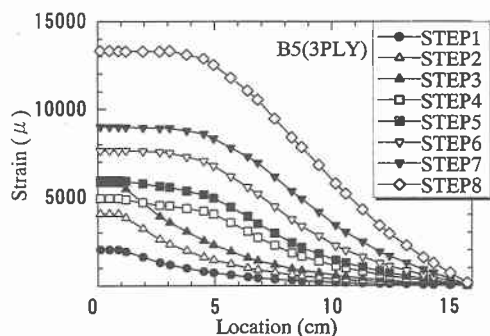


図-7.2 ひび割れを考慮した場合(3PLY)

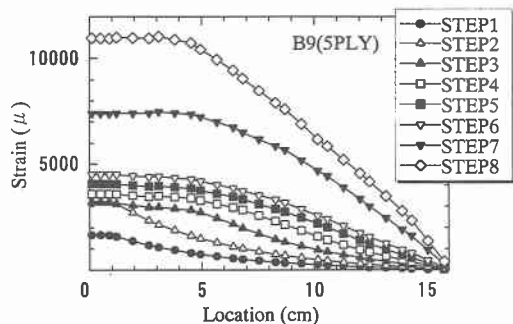


図-7.3 ひび割れを考慮した場合(5PLY)

STEP-3



STEP-7



図-8.2 ひび割れ図(3PLY)

STEP-2



STEP-7



図 8.3 ひび割れ図(5PLY)

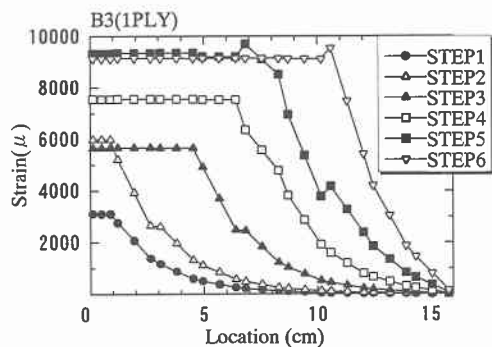


図-9.1 ひび割れ、剥離を考慮した場合(1PLY)

STEP-2



STEP-3



STEP-5



STEP-6



図-10.1 ひび割れ図(1PLY)

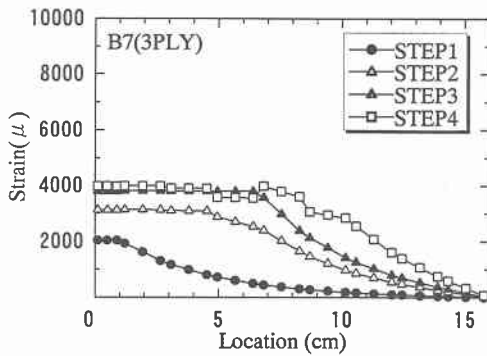


図-9.2 ひび割れ，剥離を考慮した場合(3PLY)

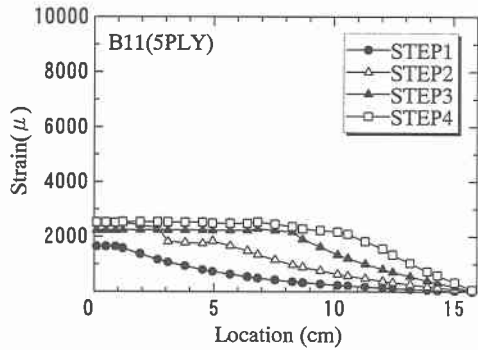


図-9.3 ひび割れ，剥離を考慮した場合(5PLY)

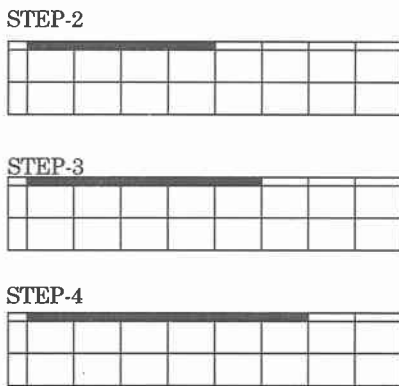


図-10.2 ひび割れ図(3PLY)

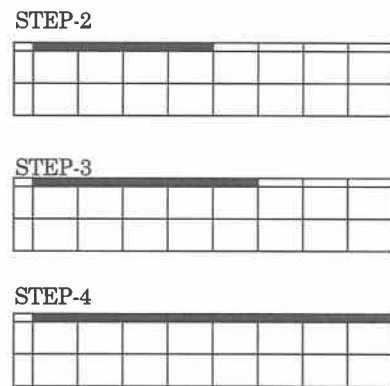


図-10.3 ひび割れ図(5PLY)

4. 結論

本研究で得られた主な知見をまとめると以下のようである。

- ①幅 10～50mm の範囲では C F S の付着性状に及ぼす幅の影響が大きい。
- ②最大付着力は C F S の積層数に比例しないが、積層数が多い程大きくなる。
- ③ひび割れの発生によって有効付着領域の移動および C F S の剥離が発生する。
- ④ひび割れ発生領域のひずみ分布は直線に、また、C F S 剥離領域のひずみは一定となる。
- ⑤有限要素解析においてコンクリートのひび割れおよび C F S の剥離を考慮することで C F S の付着機構が定性的に評価できる。

【参考文献】

- [1] T.Maeda, Y.Asano, Y.Sato, T.Ueda and Y.Kakuta : A Study on Bond Mechanism of Carbon Fiber Sheet, Proceedings of FRPRCS-3, pp.279-286, 1997
- [2] 岡村 甫, 前川宏一：鉄筋コンクリートの非線形解析と構成則、技報堂出版、1991
- [3] 土木学会：コンクリート標準示方書 設計編、1996