

## FRPs により曲げ補強したコンクリートの有限要素法解析

立命館大学理工学研究科 学生員 野上大介 学生員 日比野憲太  
立命館大学理工学部 正会員 高木宣章 正会員 児島孝之

## 1. はじめに

繊維補強材で補強された構造物は、補強材とコンクリートの界面での剥離あるいは補強材自身の破断により部材耐力を失う。既報告<sup>1)</sup>で提案した付着要素を用いて補強材とコンクリートの界面における応力伝達を表現し、ひび割れ要素を用いて補強材とコンクリートの界面での剥離を表現することで、繊維補強材で補強された構造物の破壊挙動を適切に表現できると考えられる。本研究は、N. Banthia により報告された吹付けガラス繊維混入モルタル(以下、FRPs)により曲げ補強された無筋コンクリート梁について有限要素法解析を試みたものである。

表1 コンクリートの力学的特性

| $f'_c$<br>(N/mm <sup>2</sup> ) | $f_t^{*1}$<br>(N/mm <sup>2</sup> ) | $E_c^{*1}$<br>(N/mm <sup>2</sup> ) | $G_F^{*2}$<br>(N/mm) |
|--------------------------------|------------------------------------|------------------------------------|----------------------|
| 40                             | 3.5                                | 30000                              | 0.08                 |

\*1:仮定値を用いた

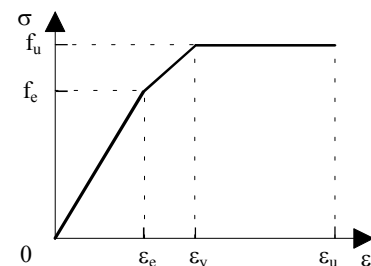
\*2: $G_F$ は破壊エネルギー

図1 FRPsの

応力-ひずみ関係

2. 実験概要<sup>2)</sup>

実験要因は、はり中央部のノッチの有無の2ケースとした。

表2 FRPsの力学的特性

| $E_F$<br>(N/mm <sup>2</sup> ) | $f_e$<br>(N/mm <sup>2</sup> ) | $f_u$<br>(N/mm <sup>2</sup> ) | $\epsilon_e$<br>(μ) | $\epsilon_y$<br>(μ) |
|-------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|---------------------|---------------------|
| 4010                          | 20                            | 27                            | 5100                | 8200                |

\*:最大ひずみ $\epsilon_u$ は $\epsilon_y$ の2倍と仮定

表1にコンクリートの力学的特性、表2にFRPsの力学的特性を示す。また、図1にFRPsの応力-ひずみ関係、図2に供試体寸法を示す。供試体寸法は100×100×350mm、FRPsの塗布厚さは3mm、ノッチを有する供試体は、はり中央部引張側に高さ33mm(幅は2mmと仮定)のノッチを設けた。載荷条件は支点スパン300mm、曲げスパン100mmの対称2点集中載荷である。

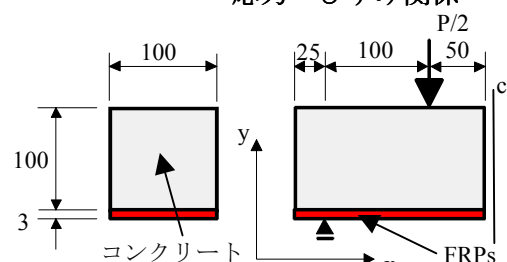


図2 供試体寸法 (単位:mm)

## 3. 解析概要

図3に本解析で用いたコンクリートとFRPs間の付着応力-すべり関係を示す。最大付着応力以降の勾配を一定にするため、 $\delta_u$ を $a_{rb}$ および $\delta_y$ の関数として定義した。図4に解析モデルを示す。コンクリートは2次のアイソパラメトリック四辺形要素、FRPsは2次のアイソパラメトリック線要素、付着要素およびひび割れ要素は2次のアイソパラメトリック接合要素で表現した。境界条件として支点をy方向、中央部分をx方向に固定した。本解析では、1ステップあたりにひび割れが1要素進展するひび割れ増分法を用いた。

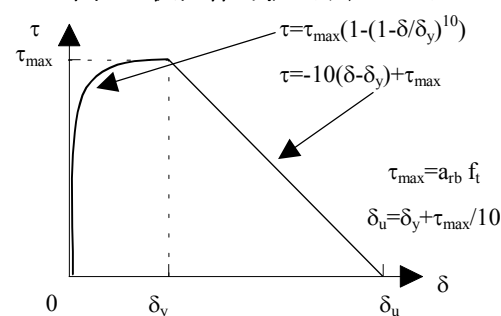


図3 付着応力-すべり関係

## 4. 解析結果および考察

図5に実験および解析で得られた荷重-変位関係、図6にノッチを有さない供試体のひび割れ進展を示す。図中のI, II, III, IVは荷重レベルを示す。解析結果は、ノッチの有無に関わらず、実験で得られた荷重-変位関係およびひび割れ状況を良く近似できている、適切な付着特性( $a_{rb}=2.0$ ,  $\delta_y=0.1$ )を与えることで、本モデ

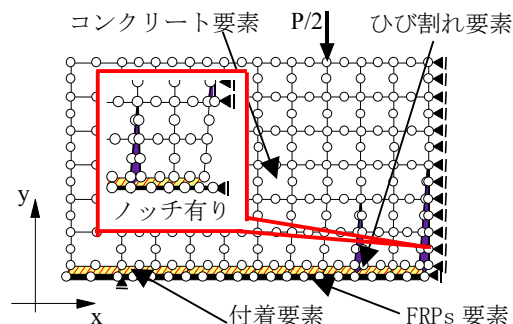


図4 解析モデル

キーワード 有限要素法, 付着, 離散型要素, 繊維補強材

連絡先

〒525-8577 滋賀県草津市野路東1-1-1 立命館大学理工学部土木工学科 TEL 077-561-2805

ルにより十分な解析精度が得られることを確認した。

ノッチを有さない供試体は、急激な部材耐力の低下が生じた荷重レベル I 以降の解析で、供試体中央の曲げひび割れが部材圧縮縁近傍まで大きく進展した。

FRPs の剛性がコンクリートに比べ小さいため、荷重レベル I 以前は、コンクリートが部材に作用する引張力を多く負担している。急激な部材耐力の低下は、ひび割れの進展に伴うコンクリートの引張抵抗の著しい低下によって生じたと考えられる。また、FRPs による引張力の負担の増加に伴い、付着作用によって界面のコンクリートに伝達される応力が増加する

ため、供試体中央近傍から  $45^\circ$  の方向に剥離ひび割れが生じた。その後、FRPs による引張力の負担に伴い、変位は増加し、荷重レベル III で最大耐力に達した後、荷重レベル IV で FRPs の破断により終局に達した。

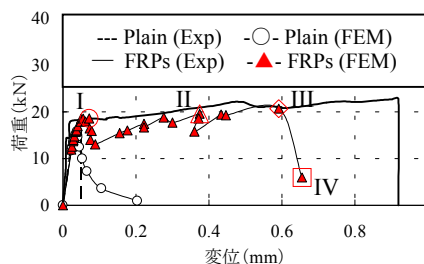
ノッチを有する供試体は、荷重レベル I で、曲げひび割れがノッチから部材圧縮縁近傍まで進展し、供試体中央近傍から  $45^\circ$  の方向に剥離ひび割れが生じた。荷重レベル I 以降、コンクリートの引張抵抗がほぼ消失している。そのため、荷重—変位関係の勾配が低下しているものの、FRPs により引張力が負担され、変位は増加していき、荷重レベル II で最大耐力に達した。荷重レベル III で、FRPs の破断により終局に達した。

図 7 に、解析で得られたノッチを有さない供試体の FRPs およびコンクリートと FRPs 間の付着応力分布を示す。荷重レベル I では、コンクリートが引張力に抵抗しているため、FRPs による引張力の負担は少なく、付着応力も小さい。荷重レベル II—III では、コンクリートの引張抵抗が失われているため、曲げひび割れの進展に伴い、FRPs による引張応力の負担は載荷位置近傍から供試体中央方向に右肩上がりに増加した。また、曲げスパンにおいて最大付着応力に近い付着応力が生じており、せん断スパンでは、段階的に付着応力が増加した。荷重レベル IV では、供試体中央で FRPs が破断し、破断による周囲の応力緩和が生じて、大部分の付着応力が消失した。

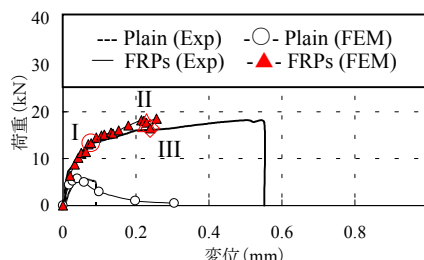
## 5. 結論

- (1) 既報告で提案した付着要素およびひび割れ要素を用いることで、FRPs により曲げ補強された無筋コンクリートはりの荷重—変位関係およびひび割れ進展を適切に表現できた。
- (2) 解析モデルに用いた離散型要素の応力分布を求めることで、各荷重レベルにおける FRPs および付着応力分布が明らかになった。

[参考文献] <sup>1)</sup>Kenta Hibino et al, DEVELOPMENT OF A DISCRETE BOND LINKAGE ELEMENT BETWEEN CONCRETE AND REINFORCING BAR, Second international conference engineering material, Vol. I, pp.315-326, 2001.8, <sup>2)</sup>N. Banthia, et al, Sprayed Fiber Reinforced Plastics (FRPs) for Repair of Concrete Structures, Advanced Composite Materials in Bridges and Structures, 2nd International Conference, CSCE, pp. 537-545, 1996.

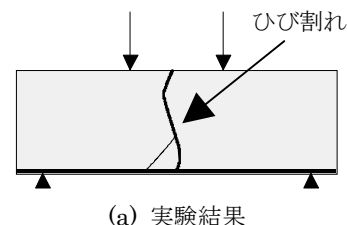


(a) ノッチを有さない供試体

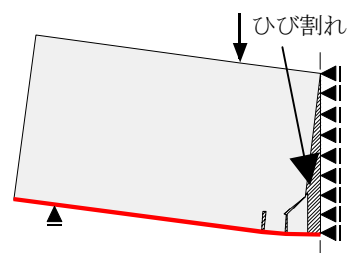


(b) ノッチを有する供試体

図 5 荷重—変位関係



(a) 実験結果

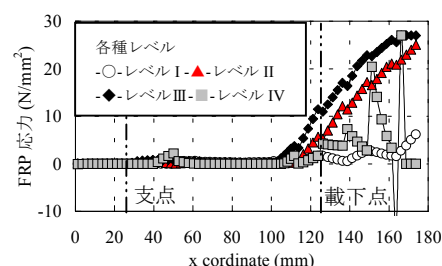


(b) 解析結果 (荷重レベル IV)

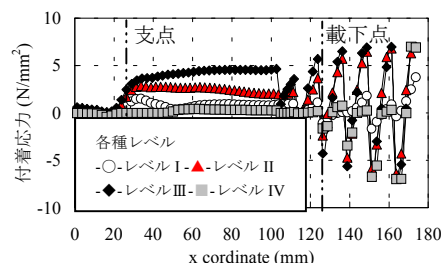
(Step=32, 変位=0.65mm, 荷重=5.9kN)

図 6 ひび割れ進展図

(ノッチを有さない供試体)



(a) FRPs 応力分布



(b) 付着応力分布

図 7 各種レベルでの応力分布

(ノッチを有さない供試体)