

## 離散ひび割れモデルを用いた補強 RC はりの非線形有限要素解析

長崎大学大学院 学生会員 ○ 山根 広知  
 長崎大学大学院 学生会員 森 昌将

長崎大学 正会員 松田 浩  
 長崎大学 非会員 山下 務

### 1. はじめに

近年、コンクリート構造物の劣化が進行し、耐荷力不足となったコンクリート構造物の耐荷性能の維持、あるいは、向上を図るために、様々な補修・補強工法が研究、開発されている。その例として、鋼板や炭素繊維 (CF) シートを接着することで不足鉄筋量を補う工法があり、耐荷性能を検討する実験的な研究が多く行われている。補強材がはく離する場合、耐荷力がはく離荷重によって決定されることが確認されているため、はく離挙動を含めた RC はりの非線形挙動を解明する必要がある。

また、コンクリートは複合材料であり、ひび割れという脆性的な破壊現象に対して、離散ひび割れモデルを用いることでひび割れをモデル化する研究が行われている。しかし、ひび割れの進展過程のシミュレートに関しては、離散ひび割れモデルのみでは困難である。

そこで、本研究では、離散ひび割れモデルと分布ひび割れモデルの両方を用い、鋼板、および炭素繊維シートにより補強された RC はりの、ひび割れの進展過程を含めた非線形挙動のシミュレートを目的としている。

### 2. 通常の RC はりでの検討

#### 2-1. コンクリートのモデル化

コンクリートのひび割れに対して、離散ひび割れモデルを用いることは、ひび割れ面を境界としてモデル化することであり、複雑なひび割れのメカニズムの解明に対しては、有効な手法である。しかし、実験結果を基にひび割れ位置を決定する必要、もしくはひび割れ発生後の要素再分割<sup>(1)</sup>が必要となる。そこで、本研究では、コンクリート標準示方書によるひび割れ間隔算定式 (1) により算出した間隔ごとに、離散ひび割れ要素として付着要素を配置した。付着要素は、はり下面から鉄筋位置までとし、それ以外のコンクリート部分は分布ひび割れモデルを用い、モデル化を行った。

$$l = 4c + 0.7(C_s - \phi) \quad (1)$$

- $l$  : ひび割れ間隔
- $c$  : かぶり厚
- $C_s$  : 鉄筋間隔
- $\phi$  : 鉄筋直径

### 2-2. 解析概要

離散ひび割れモデルによる RC はりの非線形解析の妥当性を検討した。解析対象の供試体を図-1 に示す。

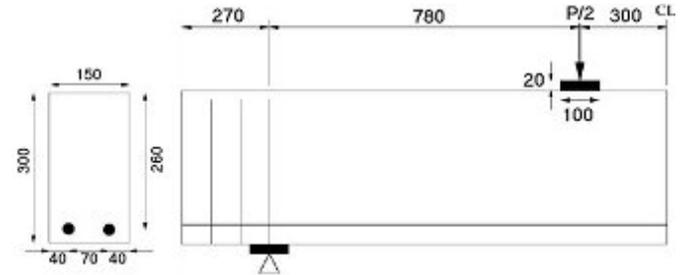


図-1 供試体概要

### 2-3. 解析結果

本解析により得られた荷重-たわみ曲線、およびひび割れ分布図を図-2 および図-3 に示す。解析は実験を良くシミュレートしており、本解析方法の妥当性が確認された。

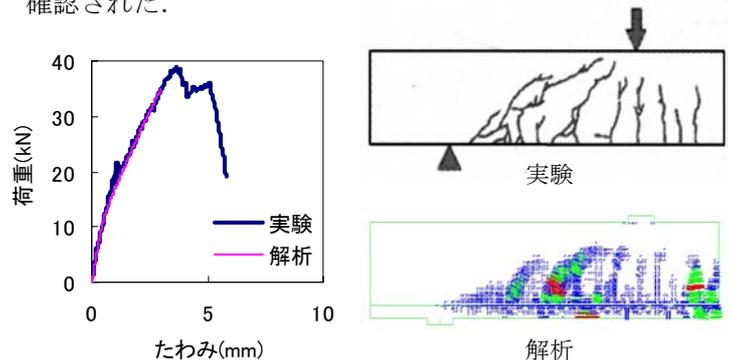


図-2 荷重-変位曲線

図-3 ひび割れ分布図

### 3. 鋼板で補強された RC はり

#### 3-1. 解析概要

解析対象となる実験供試体を図-4 に示す。実験に用いた RC はりは、下面に接着長 900mm の鋼板が接着されており、荷重の最終段階で鋼板端部においてははく離を生じた。図-5 に示すように、鋼板はコンクリートを伴ってはく離している。解析モデルは、2-1 と同様の方法でモデル化を行い、鋼板のはく離をシミュレートするために、RC はりと鋼板の要素間に付着要素を用いた。

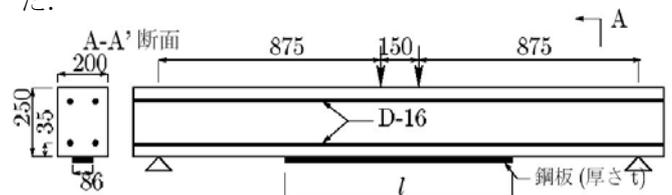


図-4 実験供試体概要 (単位 mm)

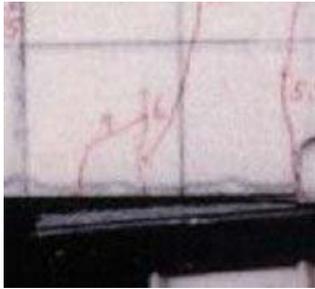


図-5 鋼板はく離状況

3-2. 解析結果

本解析で得られた荷重-たわみ曲線、および最終段階での鋼板端部のひずみ分布を図-6、および図-7に示す。また、ひずみ分布およびひび割れ分布図を図-8に示す。ひずみ分布において、鋼板端部のコンクリートにひずみの集中が見られる。また、ひび割れ分布図においても、鋼板端部付近からのひび割れの進展が確認できることから、実験をシミュレートすることができている。しかし最大耐荷力については、材料構成則の影響が大きいと考えられ、付着要素の検討が必要である。

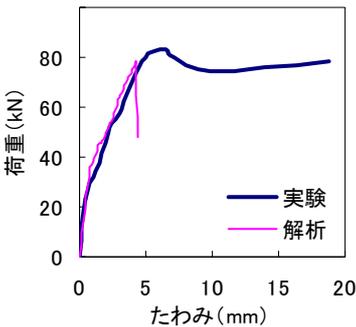


図-6 荷重-たわみ曲線

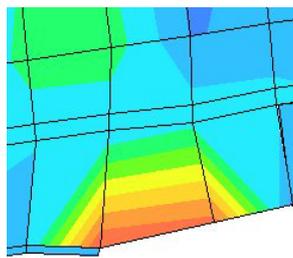
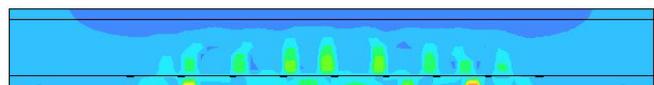
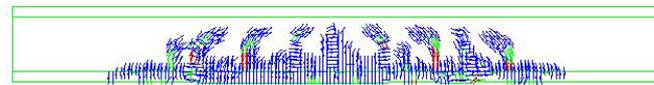


図-7 鋼板端部の状況



ひずみ分布図



ひび割れ分布図

図-8 ひずみ分布およびひび割れ分布図

4. 炭素繊維 (CF) シートで補強された RC はり

4-1. 解析概要

解析対象となる実験供試体を図-9に示す。実験に用いたRCはりには、下面にCFシートが接着されており、荷重の増加に伴ってCFシートが載荷点直下近傍から支点方向へ全面はく離した。解析モデルは、鋼板の場合と同様に離散ひび割れモデルを用い、CFシートのはく離をシミュレートするために、RCはりとはく離要素間に付着要素を用いた。

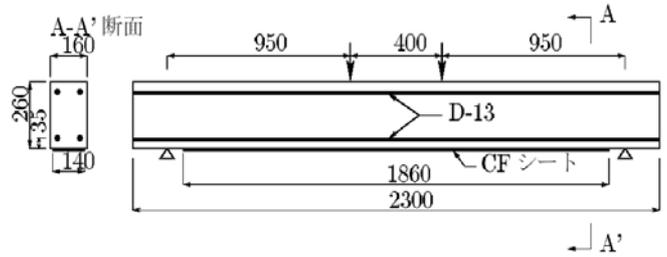


図-9 実験供試体概要 (単位 mm)

4-2. 解析結果

本解析で得られた荷重-たわみ曲線、およびCFシートのはく離状況を図-10、および図-11に示す。解析では、CFシートのはく離および離散ひび割れは実験をよくシミュレートできている。しかし、最大耐荷力をシミュレートできていない。これは、付着要素における材料構成則による影響であると考えられる。今後、離散ひび割れ要素を含めた付着要素の検討が必要であると考えられる。

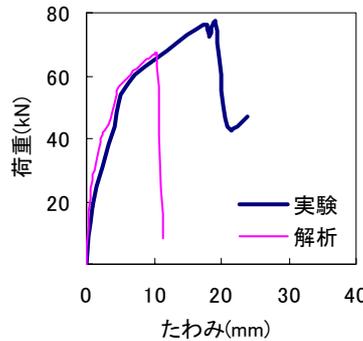
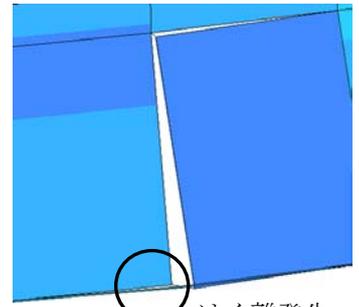


図-10 荷重-たわみ曲線



はく離発生

図-11 CFシートはく離状況

5. まとめ

補強された RC はりの非線形挙動のシミュレーションを目的として、離散ひび割れモデルを用い、補強された RC はりについて非線形有限要素解析を行った。まず、離散ひび割れモデルによるコンクリートのモデル化の妥当性を示すことができ、ひび割れ進展を含めた非線形挙動の解析が可能であることが確認できた。次に、鋼板およびCFシートで補強されたRCはりの有限要素解析に関して、実験を概ね良くシミュレートすることが出来た。今後、はく離挙動を明確に表現するために、コンクリートと鋼板およびCFシートの付着に関して、付着要素の検討が必要である。

参考文献

(1) 日比野憲太：離散型要素を用いたせん断補強筋を有さない鉄筋コンクリート梁の有限要素法解析，土木学会論文集 No.739/V-60,31-48,2003.8  
 (2) 林山 豊：鉄筋の付着領域を考慮した補強 RC はりの非線形有限要素解析に関する研究