

鉄筋の付着領域を考慮した異種材料補強 RC はりの非線形 FE 解析

長崎大学 学生会員 ○ 出水 享 学生会員 林山 豊

非会員 古賀 掲維 正会員 松田 浩

ショーボンド建設(株) 非会員 安東 祐樹 九州大学 正会員 佐川 康貴

1. はじめに

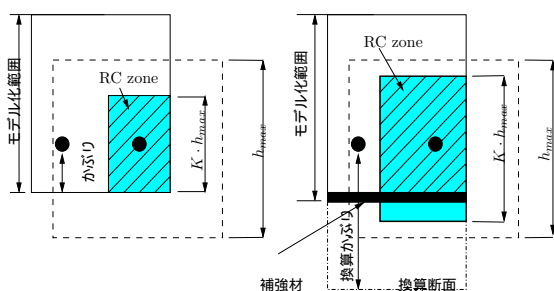
近年、交通量や過積載車両の増大、塩害などにより RC 床版の劣化、老朽化が急速に進行している。そのため、耐力力不足となった RC 床版の補修・補強工法が開発されている。その例として高耐久性 PIC 版を設置したり、鋼板、FRP シートを接着する工法がある。これらの補強工法の耐荷性能を検討するために実験的な研究が行われており、その際、補強材がはく離する場合、耐力力がはく離荷重によって決定されることが確認されている。したがって、はく離挙動を含めた RC はりの非線形挙動について解明する必要がある。本研究では、鉄筋の付着領域内 (RC zone) と領域外 (PL zone) において RC 中のコンクリートのテンションスティフニングの相違を考慮し、補強材が設置された RC はりの非線形挙動のシミュレートを試みたものである。

2. RC zone の決定方法

RC はりの非線形挙動を精度良くシミュレートする場合、RC zone の有効範囲の決定が重要となる。本解析では、式 (1) および (2) によって RC zone の有効高さを決定した。また、補強材が RC はり下面に設置された場合、補強材の補強効果を考慮して、補強材の弾性係数比、引張強度比から補強材をコンクリート断面に換算し、かぶり厚さと見なして RC zone を決定した。なお、換算断面は、RC zone 有効範囲を決定するときのみ用いるもので、FEM 解析を行う際には実際の形状寸法および材料特性に従ってモデル化を行う。図 -1(a),(b) に RC zone の有効範囲の決定方法を示す。

$$h_{max} = \frac{\sqrt{\pi}}{2} \cdot d_b \cdot \sqrt{\frac{f_y}{f_t}} \quad (1) \quad K = \sqrt{\frac{t_c - d_b}{5.5 \cdot d_b}} \quad (2)$$

ここで、 d_b : 鉄筋直径、 f_y : 鉄筋降伏強度、 f_t : コンクリート引張強度、 t_c : かぶり厚さ、であり、 $6.5d_b < t_c$ で $K=1$ 、 $t_c < d_b$ で $K=0$ 、である¹⁾。



(a) 通常の RC はり (b) 補強 RC はり
図-1 RC zone 有効範囲の決定方法

3. 通常の RC はりを対象とした本解析方法の妥当性の検討

3-1. 解析概要

図-2 に示す通常の RC はりを対象に、本解析方法の妥当性を検討する。供試体は、引張主鉄筋に D-10、D-16 を使用している 2 体をそれぞれ B10-2 供試体、B16-2 供試体としている²⁾。解析モデルは、コンクリートを 4 節点平面ひずみ要素、鉄筋を 4 節点平面ひずみリバー要素でモデル化した。

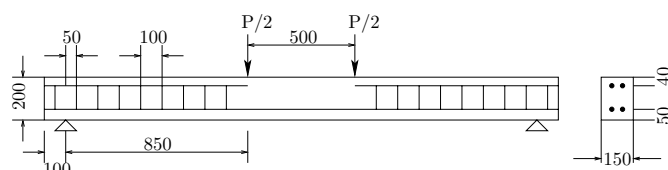


図-2 供試体概要図 (単位 mm)

3-2. 解析結果

本解析で得られた荷重とたわみの関係を図-3 に示す。同図より、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できる。

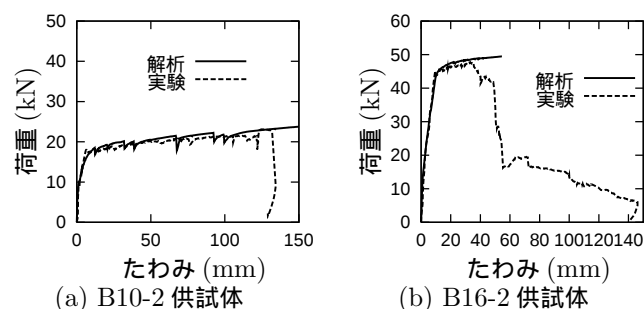


図-3 荷重とたわみの関係

4. 補強された RC はりへの適用

4-1. ポリマー含浸コンクリート (PIC) を設置した RC はり

4-1-1. 解析概要

図-4 に示す PIC 版を設置した RC はりを対象に、設計荷重レベルでのひび割れ発生状況に注目して解析を行った。供試体は PIC 版を RC はりの下面に設置し、一定間隔で目地を設け、目地部にはシリコン樹脂が充填されている。解析モデルはコンクリート、PIC 版、目地を 4 節点平面ひずみ要素、鉄筋を 4 節点平面ひずみリバー要素でモデル化した。

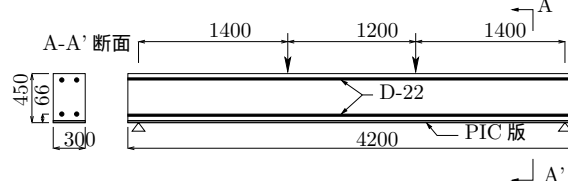


図-4 試験体 TH450 概要 (単位 mm)

キーワード：付着領域、テンションスティフニング、補修・補強、RC はり、FEM 解析、はく離

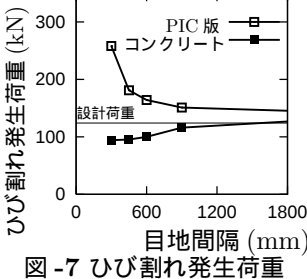
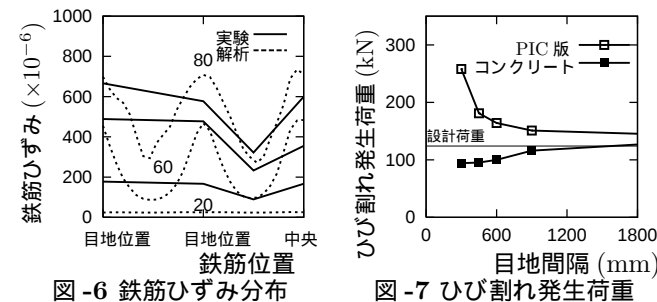
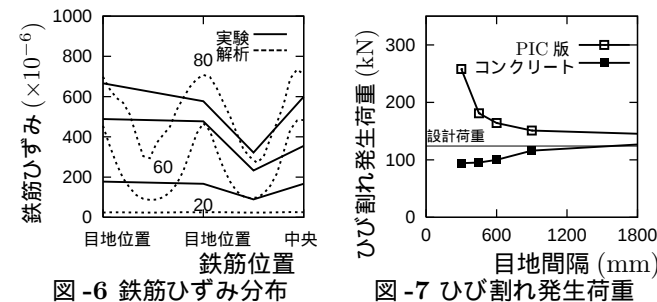
〒 852-8521 長崎県長崎市文教町 1 番 14 号 TEL:095-819-2590 FAX:095-819-2590

4-1-2. 解析結果

本解析で得られた荷重とたわみの関係を図-5に示す．解析は実験を良くシミュレートしていることがわかる．

図-6に各荷重段階での鉄筋ひずみの分布を示す．同図より，PIC版の目地部で鉄筋ひずみが最大となり，目地間中央で最小となるcosカーブで表されている．ゆえに目地間中央部ではPIC版のひずみが大きくなり，ひび割れ発生の可能性がある．

図-7には目地間隔の変化によるPIC版のひび割れ発生荷重を示す．同図より，目地間隔を大きくすることによってひび割れ発生荷重が低下しているが，設計荷重レベルにおいては，PIC版にひび割れが発生していないことがわかる．



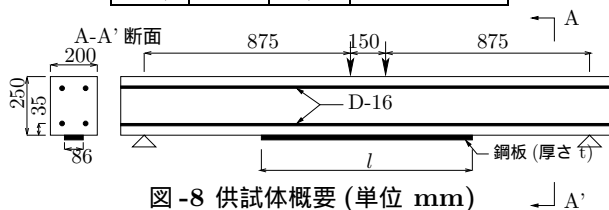
4-2. 鋼板で接着補強されたRCはり

4-2-1. 解析概要

解析対象の供試体は，表-1に示すように鋼板の接着長，厚さが異なる．図-8に供試体形状を示す．実験では，Pシリーズの供試体はRCはりの終局まで鋼板が補強効果を発揮し続けたが，PSシリーズの供試体は，鋼板端部ではく離が生じた．解析モデルは，鋼板のはく離をシミュレートするために鋼板とRCはりの要素間に接触解析機能を用い，接着面に対して接線方向，法線方向の節点解離力をそれぞれコンクリートのせん断強度，引張強度とした．

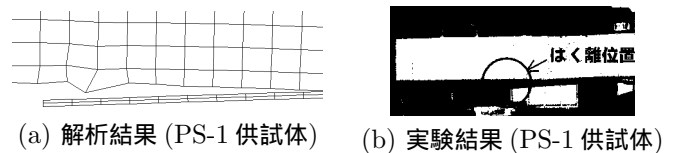
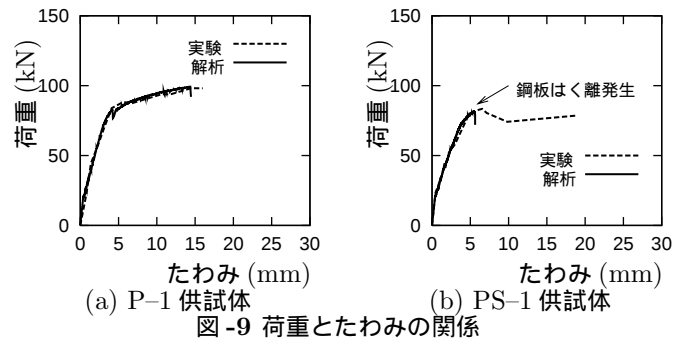
表-1 鋼板の接着条件

供試体	l (mm)	t (mm)	備考
P-1,2	1800	2,3,4,5	鋼板のはく離なし
PS-1,2	900	2,3,4,5	鋼板のはく離あり



4-2-2. 解析結果

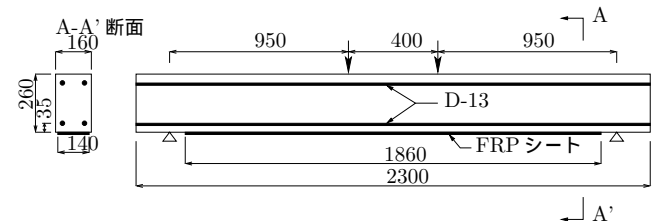
図-9に本解析で得られたP-1およびPS-1供試体の荷重とたわみの関係，図-10にPS-1供試体の鋼板端部付近の変形状況を示す．これらの図より，解析は鋼板のはく離形態を含めて，実験を良くシミュレートしている．



4-3. FRPシートで接着補強されたRCはり

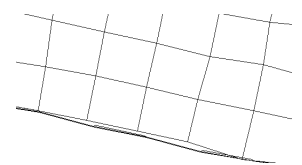
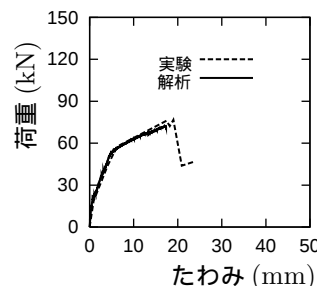
4-3-1. 解析概要

解析対象となる実験供試体を図-11に示す．供試体はRC下面にFRPシートが接着されており，荷重の増加に伴ってFRP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，FRPシートのはく離をシミュレートするために，RCはりとはFRPシートの要素間に接触解析機能を用い，節点解離力を4-2-1と同様の方法で用いた．



4-3-2. 解析結果

図-12,13に本解析で得られた荷重とたわみの関係およびFRPシートのはく離状況をそれぞれ示す．解析はFRPシートのはく離を含めて実験を良くシミュレートしている．



5. まとめ

本研究は鉄筋の付着領域を考慮して補強RCはりの非線形挙動について解析的に検討した．解析は，補強RCはりの非線形挙動やはく離挙動を精度良くシミュレートできた．

参考文献

- 1) AN, et-al: Numerical Simulation of Size Effect in Shear Strength of RC Beams, CONCRETE LIBRARY OF JSCE NO.31
- 2) 土木学会: コンクリート技術シリーズ No50, コンクリート構造物の非線形解析技術研究小委員会成果報告書，2003