

補強材パラメータに注目した鋼板接着 RC はりの非線形 FEM 解析

長崎大学大学院 学生会員 ○ 森 昌将 長崎大学 正会員 松田 浩
 長崎大学大学院 非会員 山根 広知 長崎大学大学院 学生会員 杉原 泰亮

1. はじめに

近年、コンクリート構造物の劣化・老朽化の問題を受け、耐荷力不足となった RC 床版の補修・補強工法の研究、開発が行われている。現在では、繊維シート補強工法や鋼板接着工法などの補修・補強工法により、コンクリート構造物の使命を維持することが主流となってきた。これらの工法に関して耐荷性能を検討する実験的な研究が多く行われており、補強材が剥離する場合、耐荷力が剥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、剥離挙動を含めた 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、ひび割れの発生・進展にともなう RC はりの非線形挙動に関して、コンクリートのひび割れの局所化および鉄筋の付着領域の影響に着目し、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. ひび割れ局所化の導入方法

コンクリート構造物では、ひび割れが局所化し、限られたひび割れが全体挙動を支配する。また、ひび割れ先端には、フラクチャープロセスゾーンが存在しているものと考えられている。コンクリート構造物の破壊力学に関する研究により、ひび割れの進展に伴うひび割れ周辺の引張応力の除荷を考慮することによりひび割れの局所化挙動を近似することができることが報告されている。

本研究では、渡辺らの論文¹よりひび割れの局所化判定を採用し、図-1に示す引張軟化の分岐判定を行い、ひび割れの局所化現象を考慮した。

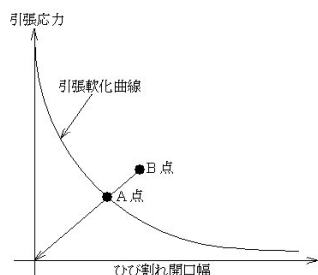


図-1 引張軟化分岐判定方法

3. 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。

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

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。

4. せん断スパン比の異なる RC はりの数値解析

4-1. 解析概要

図-2に示す RC はりを対象に、本解析方法の普通コンクリートに対する妥当性を検討する。供試体は、引張主鉄筋に D-29、圧縮鉄筋に D-16 を使用している。せん断スパン比は 0.5、1.0、1.5 の 3 種類、スターラップの有無によりそれぞれ 2 体とする。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 節点平面ひずみりバー要素でモデル化した。なお、スターラップは、せん断保持率によって考慮した。

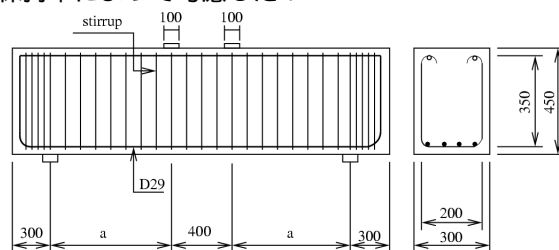


図-2 供試体概要図 (単位 mm)

4-2. 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、普通強度コンクリートに対する本解析手法の妥当性を確認できる。また、スターラップによる影響をせん断保持率により考慮できているものと考えられる。

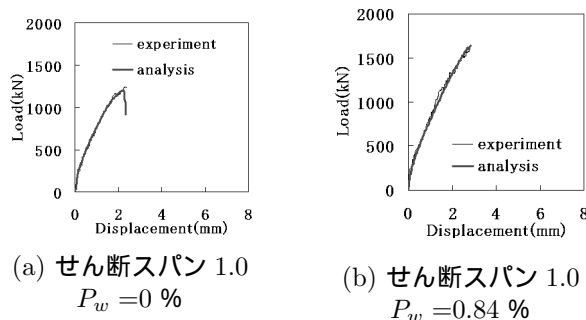


図-3 解析結果

キーワード: 鋼板 非線形 FEM 解析

〒 852-8521 長崎県長崎市文教町 1 番 14 号 TEL:095-843-7204 FAX:095-843-7204

5. 鋼板接着補強 RC はりの非線形 F E M 解析

5-1. 実験結果のシミュレーション解析

5-1-1. 解析概要

解析対象の供試体は、 $200 \times 200 \times 2100\text{mm}$ (スパン 1900mm) であり、形状を図-4 に示す。なお、表-1 に示すように鋼板の厚さが異なるものを用いた。供試体は RC 下面に鋼板が接着されており、実験では、PS シリーズの供試体は、鋼板端部で剥離が生じた。解析モデルは、3 次元モデルとし、鋼板の剥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。

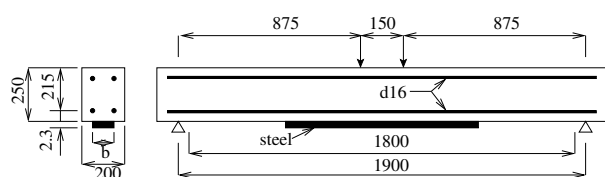


図-4 試験体寸法

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

5-1-2. 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。同図より、解析は実験を良くシミュレートできている。また、鋼板剥離はモード I の破壊形態を示した。

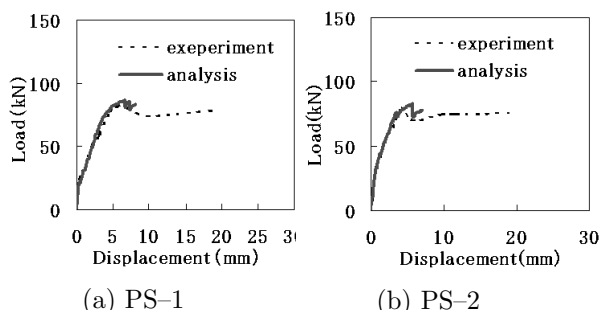


図-5 解析結果

5-2. パラメトリック解析

5-2-1. 解析概要

補強材の物性値が補強材の剥離メカニズムに与える影響を解明するために補強材の降伏強度、接着長さ、厚さに着目し、パラメトリック解析を行い、初期剥離に影響を及ぼす諸因子に関して検討を行った。

5-2-2. 解析結果

本解析で得られた荷重-たわみ関係を図-6 に示す。補強材の降伏強度が大きくなるにつれ剥離発生が早くなっていることがわかる。接着長さに関しては、接着長さを長くしても耐力の増加は見られなかった。補強材厚さは、厚さが厚くなるにつれ終局強度が大きくなっていることがわかる。しかし、厚さ 2.3mm 以上になると終局強度は、低くなり剥離発生が早くなっている。

補強材の物性値等を変化させてパラメトリック解析を行った結果は以下のようにまとめられる。

- 補強材の降伏強度が大きくなると、ひび割れ後の剛性が高まるが、剥離発生が早まる。
- 接着長さに関しては、接着長さを長くしても耐力の増加はみられない。また、 1800mm 以上であれば補強材の剥離はみられない。
- 補強材厚さは、厚さが大きくなると初期ひび割れ発生後の補強効果が高まり、薄くなると載荷点直下付近で剥離破壊を生じる。また、厚くなると鋼板端部でモード I 破壊の鉛直方向の剥離破壊が生じる。

補強材の降伏強度、接着長さ、厚さ等の諸因子が補強効果に重大な影響を及ぼすものと考えられる。

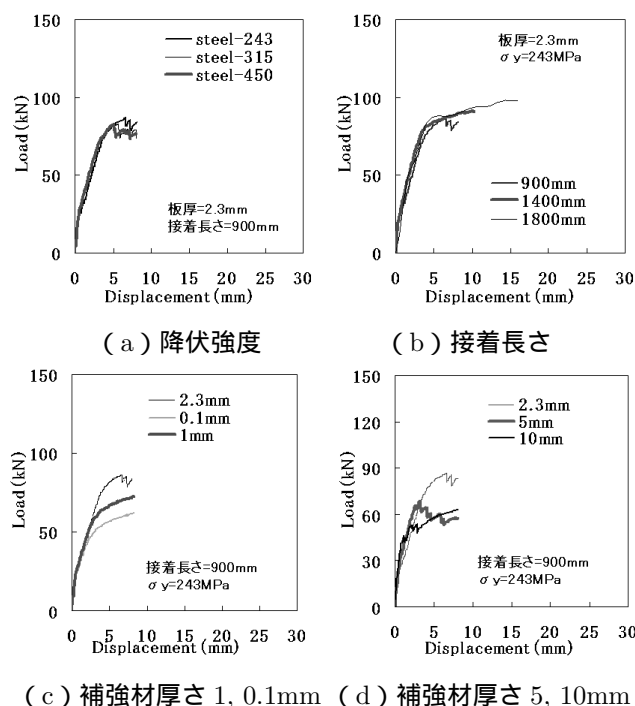


図-6 荷重 - たわみ関係

6. まとめ

本研究は、ひび割れの局所化および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剥離挙動を精度良くシミュレートできた。また、補強材のパラメトリック解析を行ったことにより剥離メカニズムを解明するための一考察を行うことができた。

参考文献

1. 渡辺忠朋, 松岡茂, 武田康司: 破壊力学に基づく RC 部材のせん断耐力の研究, 土木学会論文集, pp.25-36, 1998.5.
2. 井上純哉, 堀井秀之: ひび割れ局所化の解析, 土木学会第 51 回年次学術講演会講演概要第 5 部, pp.1150-1151, 1996.
3. 破壊力学の応用研究委員会報告書, 日本コンクリート工学協会 1993.10.