

異種材料で補強された RC はりの非線形 FEM 解析

長崎大学大学院生産科学研究科 学生会員 ○ 林山 豊 長崎大学工学部 正会員 松田 浩
 長崎大学教育機能研究センター 非会員 古賀 掲維 ショーボンド建設(株) 非会員 安東 裕樹

1. はじめに

コンクリート構造物の補修・補強工法として、高強度・高剛性材料を補強材として RC はりに設置する工法がある。これらの工法は、実施工にも広く採用されており、その耐荷性能に関して多くの実験的研究が行われている。これらの補修・補強工法の中に、ポリマー含浸コンクリート(以後、PIC と略) 製埋設型枠工法により鉄筋の腐食性因子の侵入を防止したり、鋼板を接着補強し、不足鉄筋量を補う鋼板接着工法がある。筆者らはこれまで、PIC 製埋設型枠、あるいは、鋼板で補強された RC はりの非線形挙動を解析的にシミュレートする研究を行ってきた。しかし、鉄筋の付着領域内(以後、RC zone と略)と付着領域外(以後、PL zone と略)において、コンクリートのテンションスティフニング効果の程度に相違があることや、補強材により、RC zone が変化することについては検討していなかった。

本報では、RC はりの RC zone と PL zone におけるコンクリートの引張剛性の構成則、および、RC zone の有効面積を考慮することにより、RC はりのひび割れ発生から鉄筋降伏以後まで精度良くシミュレートできることを示すとともに、異種材料で補強された RC はりに対しては、補強材をコンクリート断面と換算し、同様な方法でモデル化することにより精度良くシミュレートできることを示したものである。

2. 実験供試体概要

本研究の解析対象となる実験供試体について述べる。実験供試体は、複数の補強方法を想定して、計 2 シリーズとした。実験①は、PIC 製埋設型枠を設置した RC はりで、シリコン樹脂製の目地を 300mm 間隔で配置したもの、実験②は、厚さ 2.3mm の鋼板をエポキシ樹脂で接着補強した RC はりである。これらの実験供試体には、比較用の無補強 RC はりも含まれている。図-1、2 に実験供試体の形状、表-1 に供試体の諸元、表-2 に使用材料の物性値を示す。以上の実験供試体で曲げ載荷実験が実施された¹⁾²⁾。

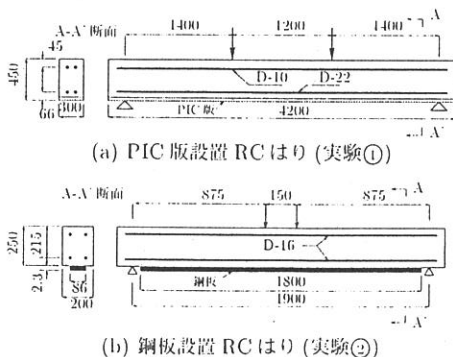


図-1 実験供試体形状

表-1 供試体諸元

実験	供試体名	補強材	備考
①	P-1	PIC 製埋設型枠	比較用 RC はり
	P-2		PIC 版設置 RC はり
②	S-1	鋼板	比較用 RC はり
	S-2		鋼板設置 RC はり

表-2 使用材料物性値(単位 N/mm²)

実験	材料	弾性係数	圧縮強度	引張強度	降伏強度
①	コンクリート	2.7×10^4	24	2.238	—
	鉄筋(SD295 D22)	1.9×10^5	—	—	367
	PIC 版	4.2×10^4	140	11	—
②	コンクリート	2.3×10^4	38.8	3.14	—
	鉄筋(SD295 D16)	1.76×10^5	—	—	337
	鋼板(t=2.3mm)	1.93×10^5	—	—	243

3. 解析概要

3-1. 解析モデル

本解析モデルは、安ら³⁾が提案した RC zone と PL zone を混在させたモデルを参考にした。安らは、RC zone の範囲は、低鉄筋比、または、大規模 RC 構造物のせん断強度に影響し、いわゆる寸法効果の要因の一つとなることを論じている。この解析モデルは、RC zone に、鉄筋の付着効果によって作用するコンクリートのテンションスティフニング効果を与え、PL zone に、無筋コンクリートの引張特性を用いる。すなわち、コンクリート全断面に同じ材料構成則を用いず、RC zone と PL zone で異なる材料構成則を用いる。図-2 に解析モデルの概略を示す。解析モデルは、コンクリートに 4 節点平面ひずみ要素、鉄筋に 4 節点平面ひずみバー要素でモデル化し、荷重は変位制御型の増分を作用させた。

3-2. 構成則

本解析において、鉄筋、および、引張域コンクリートの RC zone の構成則に、ひび割れた RC 部材の一軸引張モデル⁴⁾から算出した鉄筋とコンクリートの平均応力-平均ひずみ関係を採用した。平均応力-平均ひずみ関係を算出する際、RC zone 範囲の決定法が重要となる。RC zone 範囲は以下のように決定される。すなわち、式(1)で RC zone の最大高さを算出し、式(2)のコンクリートかぶり厚さと鉄筋径で決定される補正係数を乗じることにより RC zone 範囲が決定される。図-3 には、RC zone の決定法に関する概略を示す。(a) 図には無補強 RC はりの場合、(b) 図には補強材が設置された場合の決定法を示している。(b) 図に示すように、異種材料が設置された場合においては、補正係数を算定する際に、異種材料とコンクリートの弾性係数比、および、引張強度比を考慮してコンクリート断面積に換算し、コンクリートかぶり厚の一部と仮定して決定した。

引張域コンクリートの PL zone の構成則は、破壊エネルギーをほぼ無視できるものとし、引張強度到達以降で急激に荷重が低下する特性を定義した。コンクリート圧縮域に関しては、要素寸法、および破壊エネルギーを考慮した軟化モデルを採用した。

以上の諸定義から作成した構成則を図-4に示す。同図は一例として、実験供試体 P-2 の構成則を示している。

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

$$K = \sqrt{\frac{t_c - d_b}{5.5 \cdot d_b}} \quad (2)$$

ここで、 d_b ：鉄筋径、 f_y ：鉄筋降伏強度、 f_t ：コンクリート引張強度、 t_c ：コンクリートかぶり厚さ、である。

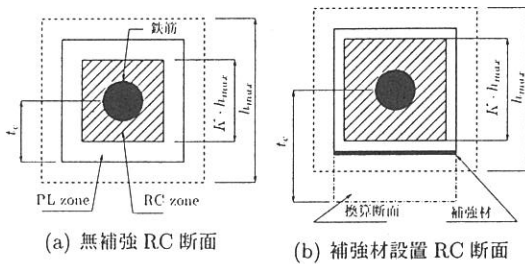


図-3 RC zone 決定法概略

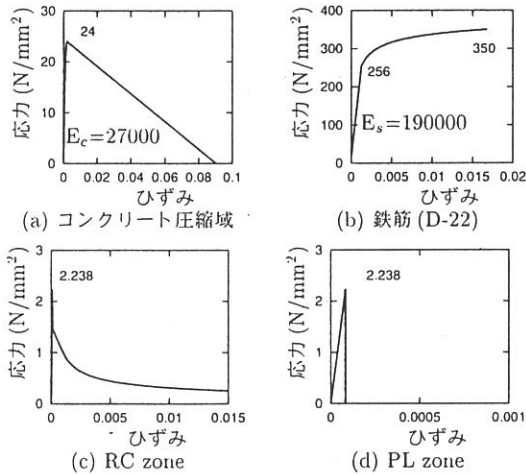


図-4 材料構成則 (P-2)

4. 解析結果

本解析で得られた荷重とたわみの関係を図-6,7に示す。同図から、解析結果は実験結果をよくシミュレートしており、本解析の妥当性が確認できる。

次に、テンションスティフニング効果が大きい RC zone の範囲が、RC はりの耐力に与える影響を解析的に確認することを目的に、パラメトリック解析を実施した。検討項目としては、コンクリート全断面を RC zone、あるいは PL zone

としたもの、また、本解析モデルで採用した RC zone と PL zone を混在させたもの、計3パターンを対象とし、それぞれを case1, case2, case3 とした。解析は、一例として実験供試体 P-2 について行った。図-7に解析結果を示す。

同図から、初期ひび割れ発生荷重以降において、case1 > case3 > case2 の関係が確認でき、テンションスティフニング効果が大きい RC zone の範囲が、RC はりの耐力に影響を与えることがわかる。また、case3 の解析結果は、図-5(b)で実験結果をよくシミュレートしている。このことから、RC はりの非線形挙動をシミュレートする場合、鉄筋の付着効果を考慮することが望ましいものと考えられる。

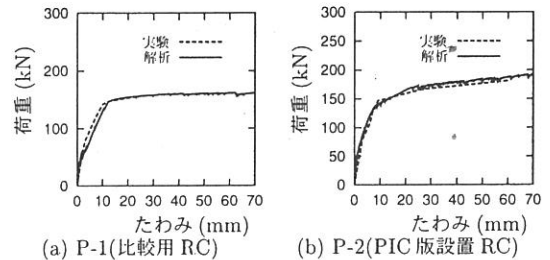


図-5 実験①の荷重とたわみの関係

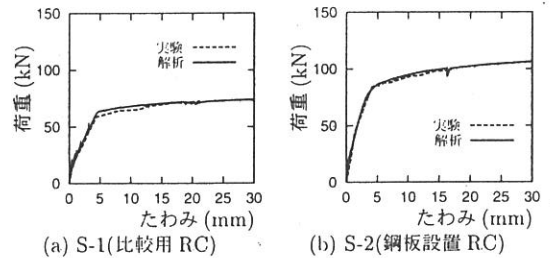


図-6 実験②の荷重とたわみの関係

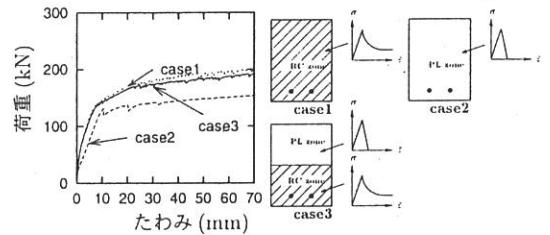


図-7 パラメトリック解析結果 (P-2)

参考文献

- 1) 鶴田健：ポリマー含浸コンクリート製高耐久性埋設型枠を用いた鉄筋コンクリート部材の力学的特性に関する研究、九州工業大学学位論文、2001
- 2) 佐野正：鋼板接着によるコンクリート構造物の補強設計法に関する研究、東北大学学位論文、1996
- 3) Xuehui AN, et-al: Numerical Simulation of Size Effect in Shear Strength of RC Beams, CONCRETE LIBRARY OF JSCE NO.31, pp.323 - 316,1998
- 4) 篠原ら：一軸鉄筋コンクリート部材におけるひびわれ発生過程および引張剛性の解析、コンクリート工学年次論文集, vol.11, No.2, pp.159 - 161,1989