

鋼板およびCFシートで補強されたRC梁の2次元弾塑性有限要素解析

長崎大学大学院 学生員 林山 豊 ショーボンド建設(株) 正会員 佐野 正 岳尾 弘洋
 長崎大学工学部 正会員 松田 浩 崎山 毅 長崎大学大学院 学生員 平嶋 健太郎

1 はじめに

コンクリート構造物は鋼構造物に比べ耐久性に優れており、劣化のないメンテナンスフリーな材料であると考えられてきた。しかし、この20年の間に塩害から始まり、下水道関連施設の劣化、融雪剤によるコンクリート床版の劣化、鉄筋の腐食膨張によるコンクリート片の剥落など、厳しい環境下でのコンクリート構造物の耐久性に対する信頼性が問題になってきている。現在、劣化したコンクリート構造物の補強法として、鋼板や繊維強化プラスチック(FRP)などを補強材として用いた工法が研究・開発され、その耐荷性能が実験的に検討されてきた[1][2]。本報は、接合面で剥離破壊が生じるような鋼板またはCFシート接着補強RC梁の実験結果を2次元非線形FEMによりシミュレートを行い、その弾塑性挙動を解析的に検討するものである。

2 鋼板を接着したRC梁

2.1 実験概要

鋼板接着により補強されたRC梁の力学的性質を明らかにすることを目的として曲げ載荷試験[1]が実施された。供試体は図1に示すようにRC部材の曲げ引張縁に鋼板をエポキシ樹脂にて接着させたものであり、表1に示すように鋼板の厚さおよび接着長が異なる。また、比較の基準となる無補強RC梁も含まれている。

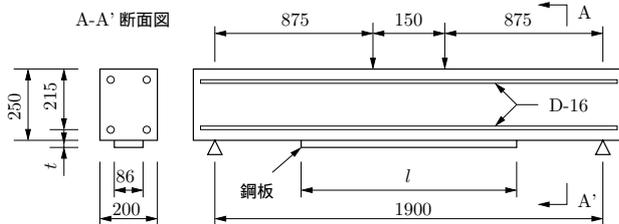


図1 供試体概略図 (単位 mm)

表1 供試体諸元

供試体 呼び名	鋼板 (SS400)			引張主鉄筋		備考	
	l (mm)	t (mm)	f_y (N/mm ²)	SD295	f_y (N/mm ²)		
N-1	—	—	—	3D16	337	無補強 RC梁	
N-2	—	—	—	2D16		鋼板の 剥離なし	
P-1	1800	2.3	243				鋼板の 剥離あり
P-2	1800	4.5					
PS-1	900	2.3					
PS-2	900	4.5					

2.2 解析概要

図2にPS-2のメッシュ分割図を示す。供試体N-1, N-2, P-1, P-2では構造系および載荷条件が左右対称であることから1/2モデルを採用し、供試体PS-1, PS-2に関しては鋼板の剥離を考慮するため全体モデルを採用した。要素としては、コンクリートを8節点平面ひずみ要素で、鉄筋を8節点

平面ひずみリバー要素で、鋼板およびエポキシ樹脂層を8節点平面応力要素でモデル化した[3]。荷重載荷は1/2モデルでは変位制御型の荷重増分を与え、全体モデルでは荷重制御型の弧長増分を与えた。解析に使用した構成則を図3に示す。コンクリート、鋼材の構成則は、材料試験結果を参考とし、鉄筋の構成則は、鉄筋とコンクリートの平均応力-平均ひずみ関係を算定した上で作成した[4]。

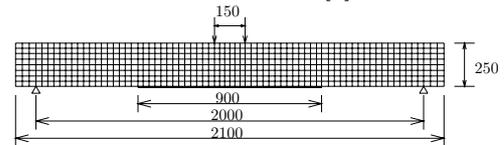


図2 メッシュ分割図 (PS-2)(単位 mm)

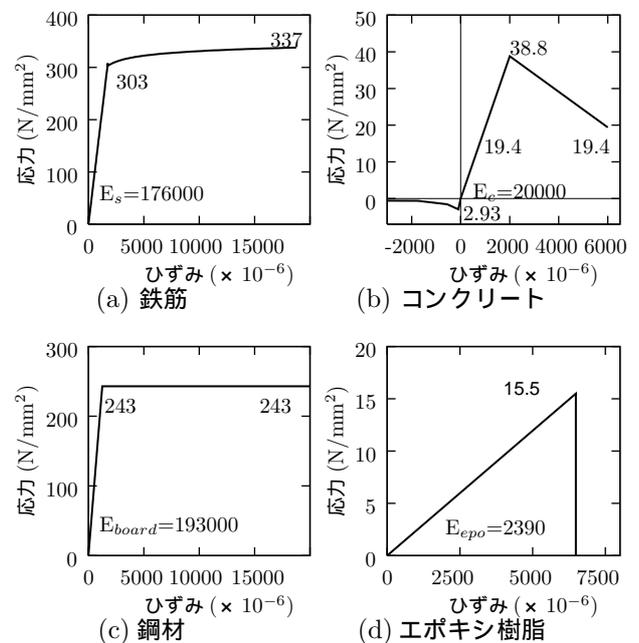


図3 構成則

2.3 解析結果

図4に実験および解析結果における荷重-たわみ関係を示す。同図(a),(b)より、無補強RC梁および鋼板の剥離がない場合において、本解析結果は実験結果とほぼ一致していることがわかる。また、同図(c),(d)に鋼板の剥離がある場合を示す。実験では、鉄筋降伏とほぼ同時に鋼板の剥離が起こった。解析①は鋼板とコンクリートを完全付着として、鋼板が剥離しないと仮定した場合の解析結果である。同図より、鋼板が剥離するまでの実験結果とよく一致しているが、剥離後の実験結果と異なる。解析②は鋼板の剥離を考慮した場合の解析結果である。同図より、樹脂層をモデル化することにより鋼板の剥離が解析的にシミュレートできることがわかる。解析では剥離が急速に進展し計算が終了した。

キーワード：鋼板接着・CFシート接着・2次元FEM解析・剥離破壊・エポキシ樹脂・曲げ補強

〒852-8521 長崎市文教町1-14 TEL:095-847-1111(2701) FAX:095-843-7204

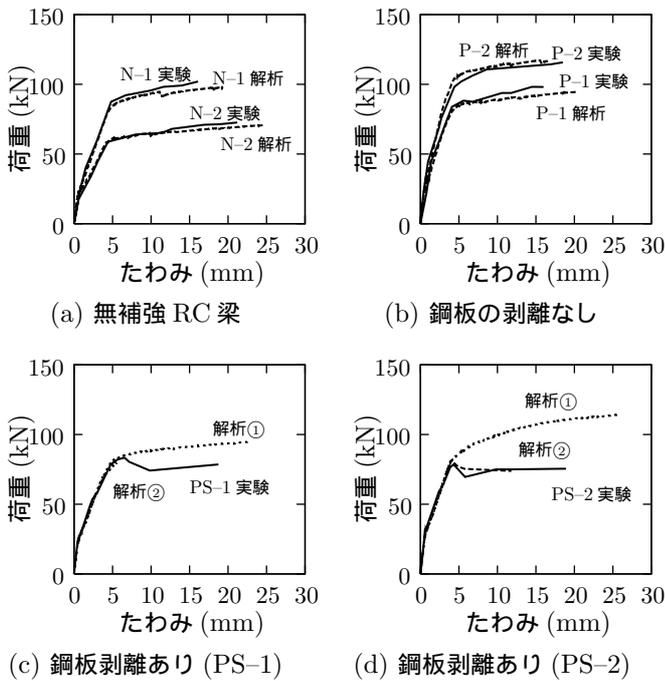


図4 荷重 - たわみの関係

次に、図5に鋼板剥離時におけるPS-2の解析結果の変形状況図を示す。樹脂層では一様なせん断変形が生じており、端部付近では鋼板が剥離していることがわかる。

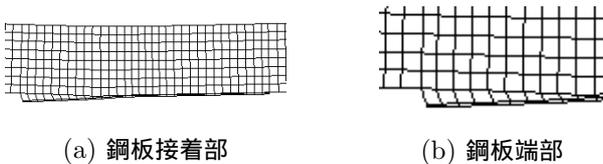


図5 変形状況図 (変形量は2倍に拡大)

3 CFシートを接着したRC梁

3.1 実験概要

CFRP接着工法により曲げ補強した曲げ破壊先行型のRC梁を用いて、荷重時のせん断スパン比と炭素繊維シート補強量を変化させた曲げ荷重試験が実施された[2]。図6に供試体の概略図を示す。表2に示す実験パラメータと各試験体の破壊形状、ひびわれ状況を考察することにより、各種破壊パターンの分類と補強効果について検討が行われた[2]。

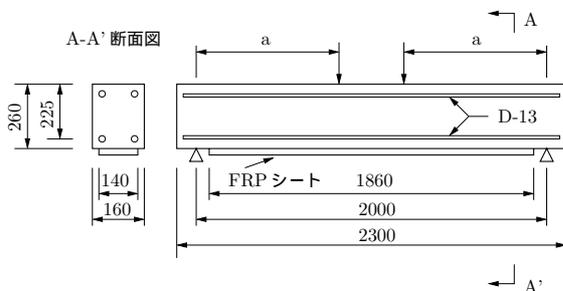


図6 供試体概略図 (単位 mm)

表2 供試体諸元

供試体呼名	補強量	せん断スパン a(mm)	せん断スパン比 a/d	CFシート材料特性
case1	無補強	1000	4.4	弾性係数 230kN/mm ² 目付け量 300g/m ²
case3	1層	800	3.56	
case4		700	3.11	
case5		550	2.44	
		q		

3.2 解析概要

図7に case3のメッシュ分割図を示す。本解析では、CFシートの剥離を考慮するため全体モデルを採用した。要素としては、コンクリートを4節点平面ひずみ要素で、鉄筋を4節点平面ひずみりバー要素で、CFシートおよびエポキシ樹脂層を4節点平面応力要素でモデル化した[3]。荷重荷重は荷重制御型の弧長増分を与えた。また、構成則は鋼板補強の場合と同様の方法で作成し、解析に取り入れた。

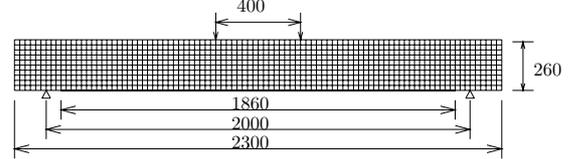
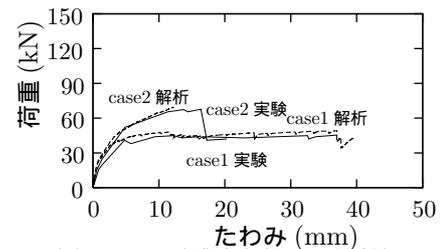


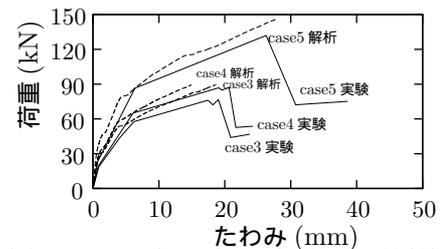
図7 メッシュ分割図 (case3)(単位 mm)

3.3 解析結果

図8(a)および(b)に、case1～5の実験および解析結果における荷重と梁中央部のたわみの関係を示す。本解析法により、実験結果をほぼシミュレートしていることがわかる。解析では、シートのひずみは破断ひずみに達しておらず、荷重点直下近傍のエポキシ樹脂層の要素で収束せず計算が終了した。



(a) case1,2(補強有無での比較)



(b) case3,4,5(せん断スパン比での比較)

図8 荷重 - たわみ関係

4 まとめ

本研究では、鋼板およびCFシートを接着したRC梁の力学的挙動特性を調べるために実施された実験結果を2次元非線形FEM解析によりシミュレートした。その結果、エポキシ樹脂層を解析に取り入れるることにより、実験結果をほぼシミュレートできた。

参考文献

- 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
- 岳尾弘洋，ほか：せん断スパン比を変化させたCFRP補強梁の曲げ荷重実験，
- 大倉一郎，ほか：炭素繊維シートによる鋼板応力の低下とはく離せん断応力，土木学会論文集，No.689，I-57，pp.239-249，2001.10
- 岡村甫・前川宏一：鉄筋コンクリートの非線形解析と構成則，技報堂，1991