

大日本コンサルタント（株） 正会員 ○田中 秀明
大阪工業大学工学部 正会員 三方 康弘

大阪工業大学大学院 学生員 福谷 祥
大阪工業大学工学部 正会員 井上 晋

1. はじめに

従来、塩害や ASR、中性化など単独の劣化現象についての研究は多く実施されており、単独劣化の知見は蓄積されつつある。しかし、実環境において自然の複雑な環境作用を受けて様々な劣化要因・因子が作用し、複数の劣化現象が複合で進行することが多いが、このような複合劣化の知見は未だ少ないのが現状である。

本研究では、2009 年度に作製した供試体を用いて、ASR と塩害による複合劣化が RC はり部材の曲げ耐荷特性に及ぼす影響について検討した。また、土木学会規準に準じた付着供試体（小）とコンクリート内部にせん断補強筋を配置した付着供試体（大）を作製し、引抜き試験を行うことにより、付着特性が構造物の耐荷力に及ぼす影響について検討を行った。以上の結果から、3 種類の付着応力度-すべり関係（実測モデル、島モデル、塩害モデル）を設定し、汎用有限要素解析プログラム DIANA Version 9.4.3 において 2 次元非線形解析を行い、その解析結果と RC はり供試体の実験結果の比較検討を行った。

2. 付着供試体

付着供試体（小）は、土木学会規準に準じた付着試験用供試体を作製し、引抜き試験を行った。付着供試体（大）は、コンクリート内部にせん断補強筋を配置した供試体を作製し、引抜き試験を実施し検討を行った。その結果を表-1 に示す。このことから、供試体内部にせん断補強筋を配置することにより、各種劣化が生じて付着力の低下を抑制する機能があると考えられる。

表-1 付着試験結果

供試体名 (劣化の種類)	付着供試体（小） 平均値		付着供試体（大） 平均値	
	最大荷重 (kN)	付着応力度 (N/mm ²)	最大荷重 (kN)	付着応力度 (N/mm ²)
N-0 (健全)	37.9	11.8	34.6	4.6
C-1 (塩害)	37.2	11.5	49.2	6.6
A-1 (ASR)	25.9	8.2	57.6	7.7
AC-2 (塩害+ASR)	8.5	2.6	59.7	8.0

3. RC はり供試体

図-1 に示すような単鉄筋長方形断面を有する全長 1800mm の RC はり部材を対象として、各供試体の主鉄筋には両端 180°フックを有する供試体、フックを有しない供試体を 1 体ずつ作製した。これらの供試体の詳細を表-2 に示す。なお、供試体の主鉄筋には D16(SD295A)を用い、せん断補強筋には D6(SD345)を用いた。載荷試験方法は、せん断スパン 600mm とした対称 2 点集中荷重方式 (a/d=3.53) とし、破壊に至るまでは単調漸増型載荷を実施した。表-3 に載荷試験結果と載荷試験終了後に取り出した腐食鉄筋の機械的性質を示す。破壊形式はすべて曲げ引張破壊に至った。また、図-2 にフックを有しない供試体の荷重-中央変位関係を示す。これらのことから、劣化した供試体は健全な供試体と比較すると、最大荷重の低下および、じん性が低下することが確認できた。

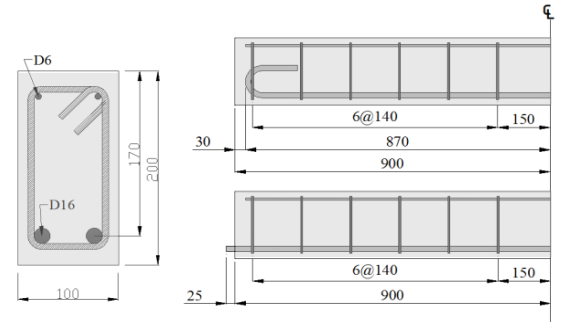


図-1 RC はり供試体 詳細図

表-2 RC はり供試体 詳細

供試体名	劣化の種類	フックの有無	養生年数 (年)	作製年度 (年)	載荷年度 (年)
N-0	健全	無	0	2009	2009
N-F-0		有	0		
C-1	塩害	無	1	2009	2010
C-F-1		有	1		
A-1	ASR	無	1	2009	2010
A-F-1		有	1		
AC-2	複合	無	2	2009	2011
AC-F-2		有	2		

4. 解析

汎用有限要素解析プログラム DIANA Version 9.4.3 において 2 次元非線形解析を行った。コンクリートは平面応力要素，鉄筋はトラス要素，付着特性にはインターフェイス要素を用いた。今回使用したメッシュ図を図-3 に示す。構成則として，コンクリートの圧縮特性は斎藤¹⁾らが提案するモデル，引張特性はコンクリート標準示方書モデル，鉄筋の特性はバイリニアモデル，付着特性は，島モデル²⁾，塩害モデル³⁾，実測モデルの 3 種類を選定した。なお，塩害モデルは島モデルに塩害が生じた供試体の付着応力度比を乗じたモデル，実測モデルは付着供試体（大）の付着応力度-すべり関係の平均値より作成したモデルである。図-4 に N-0，AC-2 供試体の荷重-中央変位関係を示す。N-0 供試体の実測モデルは降伏荷重程度しか再現できなかったものの，島モデルは精度良く再現することができた。AC-2 供試体はいずれのモデルを用いても，最大荷重以降の荷重が低下するまでの変位を過大に評価する結果となった。このことから，解析上では腐食鉄筋の材料特性の評価を過大評価していると考えられる。

5. まとめ

実験では，せん断補強筋を有する供試体に各種劣化が発生すると，付着強度が増加する場合と減少する場合の双方が考えられる。これらは劣化の程度により相違し，腐食が軽微な場合は腐食生成物による体積膨張や ASR 膨張によるケミカルプレストレスが鉄筋周囲に拘束圧を生じさせて強度の増加をもたらすと考えられる。しかし，腐食が顕著な場合は周辺コンクリートのひび割れ幅の拡大や鉄筋の質量減少率等によって強度の低下をもたらすと考えられる。本研究では前者の影響が大きかったと考えられる。

解析では，実測モデルにおいて付着割裂破壊に至り，実験結果と異なる破壊性状を示したことから付着モデルの改善が必要である。また，劣化した供試体では腐食鉄筋や既存ひび割れの影響など腐食を評価した材料モデルの構築も必要であると考えられる。

6. 参考文献

- 1) 斎藤成彦，中村光，檜貝勇：剛体バネモデルを用いた RC パネルのせん断二次破壊に関する解析的研究，土木学会論文集，V-55，No.704，pp.219~234，2002.5
- 2) 島弘，山本恭史：腐食した鉄筋の局所付着応力-局所すべり関係，日本コンクリート工学年次論文集，vol.13-1，pp.663~668，1991
- 3) コンクリート構造物のリハビリテーション研究委員会報告書，日本コンクリート工学会，1998

表-3 載荷試験結果

供試体名	はり供試体 最大荷重 (kN)	腐食鉄筋			
		質量減少率 (%)	降伏強度 (N/mm ²)	引張強度 (N/mm ²)	ヤング係数 (kN/mm ²)
N-0	74.2	-	354.0	505.0	198.0
N-F-0	72.2				
C-1	72.8	2.6	330.6	489.8	200.3
C-F-1	72.5	2.1	330.6	489.8	199.2
A-1	73.5	2.7	342.0	511.7	203.6
A-F-1	72.0	2.5	357.2	530.3	201.7
AC-2	69.8	3.7	334.9	479.9	175.5
AC-F-2	68.4	4.0	316.4	472.4	197.3

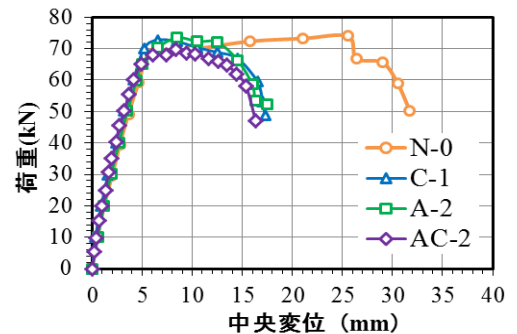


図-2 荷重-中央変位関係

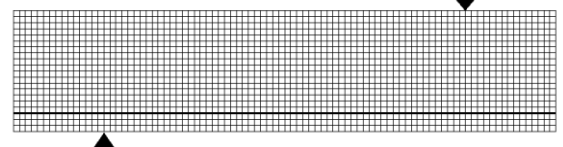


図-3 解析モデル

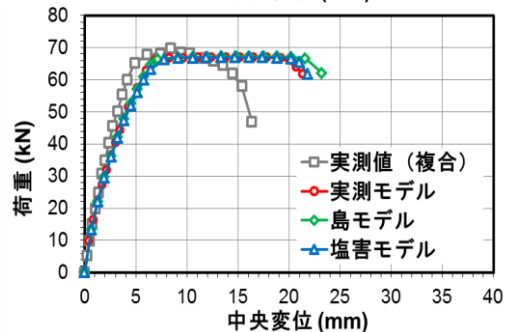
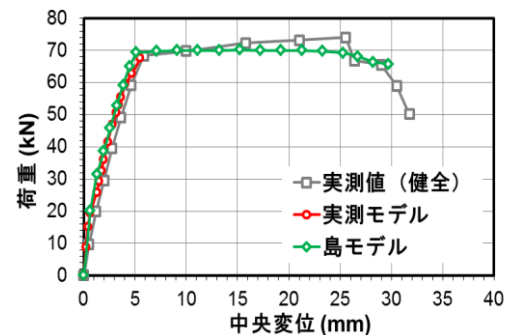


図-4 荷重-中央変位関係