

ASR 膨張を生じた RC はりの曲げ耐荷特性に関する解析的研究

京都大学 学生会員 ○中尾 真 正会員 山本貴士
正会員 服部篤史 フェロー 宮川豊章

1．はじめに

本研究では，ASR が RC はり部材の曲げ耐荷特性に与える影響を明らかにすることを目的として，ASR による膨張と鉄筋の付着特性に着目した有限要素解析により，曲げ破壊する RC はりの耐荷挙動を検討した。

2．研究概要

解析の対象には，久保ら¹⁾の ASR 劣化 RC はり供試体の実験結果を用いた。RC はりは，幅×高さ×スパン長(全長)=100×200×1400(1600)mm の引張側 2-D10 対称複鉄筋で，解析モデルは対称性を考慮して図-1 に示すように左側半分とした。コンクリートには，2次元1次の四辺形要素，鉄筋には1次元1次のトラス要素，鉄筋とコンクリートの付着を模擬するため，バネ要素を用いた。

解析要因を表-1 に示す。ASR 膨張量の入力値として，膨張量測定結果¹⁾から，軸方向の膨張量 700 μ を採用した。これと健全の 0 μ および過度に膨張が進行した場合を想定し 4000 μ を入力値として比較検討した。ASR 膨張はコンクリート要素に熱膨張を与えることで表現した。なお，鉄筋拘束のある RC はりに 700 μ，4000 μ の軸方向膨張量を与えるために，自由膨張量で，それぞれ約 1000 μ，約 7000 μ となる温度を入力した。

最大付着応力の設定には，ASR 膨張が生じたコンクリートと鉄筋の付着実験結果²⁾から導かれた式(1)を用いた。

$$\tau_b = \alpha (0.5 + c/\varphi) f_t \tag{1}$$

ここで， τ_b :最大付着応力， c :かぶり， φ =鉄筋径， f_t :割裂引張強度， $\alpha=0.43$

健全 $f_c = 36.7 \text{ N/mm}^2$ ，ASR 膨張 $f'_c = 28.7 \text{ N/mm}^2$ (いずれも実験結果)から CEB の引張強度算定式を用いて f_t を算出し，これを式(1)に代入して表-1 に示す最大付着応力を算出した。また，過大な膨張と膨張ひび割れが生じて付着応力が極度に低下した場合を想定して， $\tau_b = 1.00 \text{ N/mm}^2$ についても検討した。さらに軸方向鉄筋の端部定着部の特性が耐荷挙動に与える影響を検討するために，はり端部から 200mm までの定着領域の付着力を著しく低下させた場合についても解析を行った。解析は，ASR 膨張を生じているものについては，まず所定の膨張量を与えた後，はり中央から支点方向 150mm の位置に鉛直変位を 0.5mm ずつ与える変位増分型とした。本解析には，汎用有限要素解析コード ABAQUS/STANDARD_Ver6.4 を使い，各要素には文献³⁾の構成モデルを使用した。なお，付着応力-すべり関係には，付着剛性一定として最大付着応力を変化させるバイリニア型のモデルを用いた。

3．結果および考察

膨張量が耐荷挙動に与える影響について，初期の変形段階における荷重-変位関係を図-2 に示す。ASR 膨張の拘束によって導入されたケミカルプレストレスの効果で膨張量が大きいほどひび割れ発生荷重が大きくなった。また，曲げひび割れ発生から部材降伏までの剛性は，膨張量 0 μ および 700 μ ではほぼ同じであるが 4000 μ では膨張量の導入時点ですでに主筋が降伏し

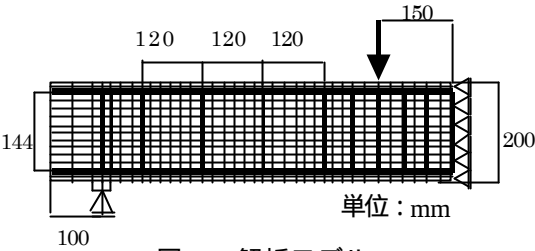


図-1 解析モデル

表-1 解析要因

	膨張量	鉄筋の最大付着応力	鉄筋端部の付着応力
膨張量の影響	0 μ	3.87N/mm ² (健全相当)	強
	700 μ		(強; 付着剛性 1.0×10 ¹² mm ³)
	4000 μ		
付着の影響	0 μ	3.87N/mm ²	強/ 弱 (弱; 付着応力 1.0×10 ¹² mm ²)
		3.29N/mm ² (ASR)	強
		1.00N/mm ²	強/ 弱

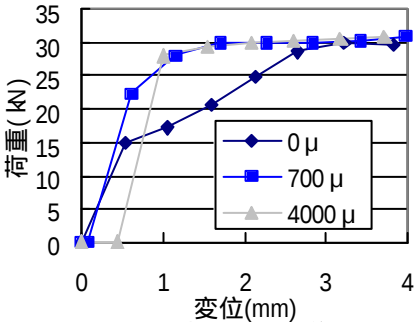


図-2 膨張量の影響

キーワード ASR 有限要素解析 膨張量 付着特性

連絡先 〒606-8501 京都市左京区吉田本町 TEL: 075-753-5102 FAX: 075-752-1745

ているため、曲げひび割れ発生と同時に部材が降伏した。解析結果と実験結果の荷重 - 変位曲線を図-3 に示す。降伏荷重時の変位は実験結果と一致しているが、降伏から最大荷重にかけては解析結果が実験結果よりも小さくなった。文献¹⁾で実験で得られた材料定数からファイバー法を用いて算出した最大荷重は、31kN で、実験結果に比べて小さくなっている。今回の解析結果は、このファイバー法による計算結果と比較的良好一致が得られた。また、解析結果では膨張量による最大荷重の差は見られなかったが、実験結果では膨張供試体の最大荷重が小さくなった。曲げ圧縮部コンクリートに生じた膨張ひび割れの影響で、繰り返しの曲げ変形にともなうてかぶりがはく落して圧縮部の負担力が低下したことが一因と考えられる。しかし、本解析では一方向漸増載荷を対象としており、コンクリートの応力 - ひずみ関係の繰返し履歴特性に ASR 膨張の影響を考慮していないため、最大荷重に差が見られなかったと考えられる。

最大付着応力が耐荷挙動に与える影響を図-4 に示す。 $\tau_b=1.00\text{N/mm}^2$ では、曲げひび割れ発生から降伏までの剛性が小さくなった。しかし、降伏荷重や最大荷重には、大きな差は現れなかった。曲げ破壊する RC はりでは、スパン内の鉄筋の最大付着応力が低下しても端部の鉄筋定着が強固であれば、軸方向鉄筋が有効に引張材として作用すると考えられる。はり端部から 200mm までの主筋定着領域の付着力を著しく低下させた場合の荷重 - 変位曲線を図-5 に示す。スパン内の最大付着応力 $\tau_b=3.87\text{N/mm}^2$ とした場合には端部の定着力が小さくても、付着力が低下していないスパン内の軸方向鉄筋の付着によって引張材として機能するため、端部定着部を健全とした解析結果とほぼ同じ挙動を示した。しかし、最大付着応力 τ_b を 1.00N/mm^2 とした場合には、支点付近で軸方向鉄筋がすべりを生じて耐荷力が著しく低下した。

4. 結論

曲げ破壊する RC はりに対して、ASR による膨張と鉄筋の付着特性の低下に着目した有限要素解析により、ASR 劣化が耐荷特性に与える影響を検討した結果、以下の可能性が示された。実際の ASR 劣化部材の挙動との対応を取る必要があるが、耐荷挙動を予測する手法として有効であると考えられる。

(1) ASR 膨張の軸方向鉄筋による拘束により導入されたケミカルプレストレスの効果によって、曲げひび割れ発生荷重は増大するが、最大荷重には影響は見られない。一方で、軸方向鉄筋が降伏するほど過大な膨張を生じた場合には、曲げひび割れ発生と同時に部材が降伏する。

(2) 曲げ破壊する RC はりは、スパン内の軸方向鉄筋の最大付着応力が低下しても端部の鉄筋定着が強固であれば最大荷重は大きく低下しない。しかし、スパン内の軸方向鉄筋の最大付着応力が大きく低下し、さらに端部定着部が著しく劣化すると、耐荷力が低下する。

参考文献

- 1) 久保善司, 山本晋, 服部篤史, 宮川豊章: ASR がコンクリート曲げ部材の耐荷性状に与える影響, 材料, Vol.50, No.9, pp.1013-1020, 2001
- 2) Chana, P.S.: Bond Strength of reinforcement in concrete affected by alkali-silica reaction, Transport and Road Research Laboratory, England. Contractor report, 1989
- 3) 佐藤吉孝, 山本貴士, 服部篤史, 宮川豊章: 鉄筋腐食の生じた RC 部材のせん断耐荷特性の検討, コンクリート構造物の補修, 補強, アップグレードシンポジウム論文報告集, 第4巻, pp.33-38, 2004.10

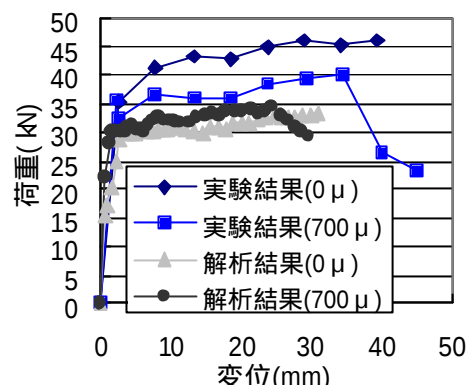


図-3 実験結果と解析結果の比較

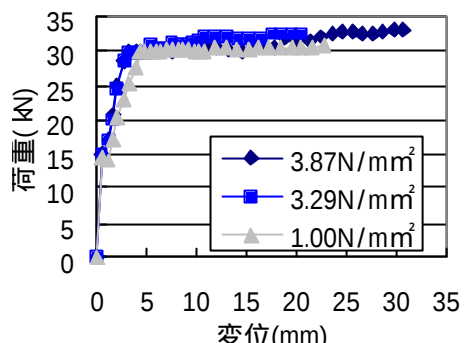


図-4 最大付着応力の影響

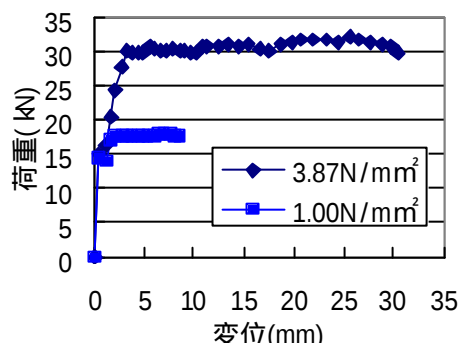


図-5 端部定着部の付着応力の影響