

ASRによる内部欠陥を有するRCはりのポストピーク挙動に関する解析的研究

名古屋工業大学大学院 学員○亀田好洋 中部大学 正員 小林孝一
 中部大学 正員 伊藤 睦 中部大学 正員 水野英二

1. はじめに

これまで筆者らは、内部欠陥ならびに損傷が鉄筋コンクリート (RC) 部材の力学的性状に与える影響について、実験的ならびに解析的観点から検証してきた^{1),2),3)}。そこでは、内部欠陥ならびに損傷としてアルカリシリカ反応 (ASR) によるせん断補強鉄筋 (スターラップ) の破断ならびに施工不良による内部空隙を採り挙げた。しかし、スターラップ破断を模擬する過程において、コンクリートの強度低下による効果については考慮していなかった。

それゆえ、本研究では、ASRによるスターラップ破断に加え、コンクリートの強度低下がRCはりの内部コンクリートへの拘束効果ならびにポストピーク挙動に与える影響について解析的な観点から検証した。

2. 解析概要

2.1 解析供試体ならびに内部欠陥の再現

解析対象とした供試体の一例を図-1に示す。ここでは、引張鉄筋としてD16 (SD295) を、圧縮 (組立て) 鉄筋としてφ6を用いている。また、スターラップにはD6 (SD295) を使い、間隔 (s) 60, 80, 100 mm のいずれかで配置している。なお、実験¹⁾ならびに解析における損傷の再現方法は、次に示す通りである。

実験：コンクリートの強度低下は、膨張剤および軽量骨材を用い、圧縮強度ならびにヤング係数を低減させることにより再現した。

また、スターラップの破断は、部材中央のスターラップを1本もしくはその左右を含め3本を切断することにより再現した。図-2に切断位置を示す。

解析：コンクリートの強度低下は、圧縮強度ならびにヤング係数を低下させることにより再現した。また、スターラップの破断は、切断したスターラップ周辺のコンクリートの限界ひずみ ϵ_f (図-5 参照)⁴⁾ を低減させることにより再現した。図-3に限界ひずみ ϵ_f の低減方法の一例を示す。

2.2 解析モデル

実験¹⁾における載荷形態は、はり中央部への1点曲げ載荷である。既往の研究²⁾とは異なり、解析モデルには実験形態と同様のものを採用した (図-4 参照)。さらに、解析には有限要素プログラム (FEAP)⁵⁾を用い、材料構成モデルは、鉄筋部分に修正二曲面モデルを、コンクリート部分にひずみ軟化型モデル (図-5 参照)⁴⁾をそれぞれ適用した。また、鉄筋の応力-ひずみ関係は完全弾塑性とした。なお、表-1に解析に用いた供試体の諸元を示す。

2.3 解析ケース

本研究では、1) 打設コンクリートの種類 (気泡または気泡軽量骨材コンクリート)、2) スターラップ間隔 (s = 60, 80, 100 mm) および 3) スターラップの切断本数 (0, 1, 3 本) により計 18 ケースの解析ケースを設定した。

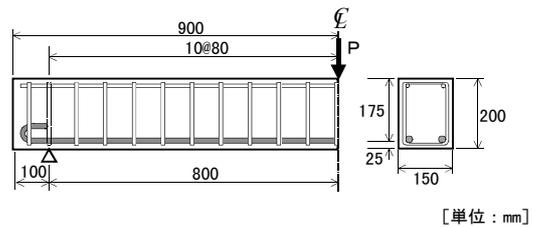
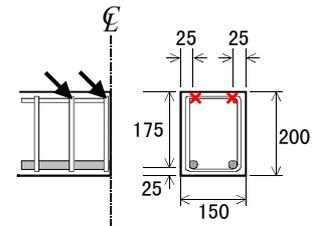


図-1 解析対象 (s = 60 mm の場合)



×：横補強筋切断位置 [単位：mm]

図-2 スターラップの切断位置

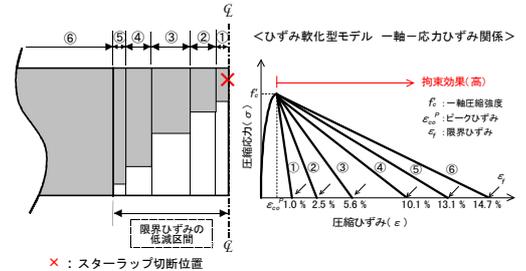


図-3 限界ひずみの低減方法の一例

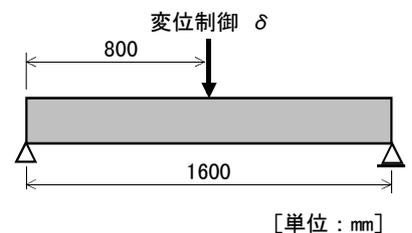


図-4 解析モデル

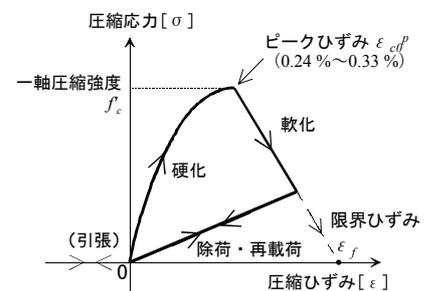


図-5 ひずみ軟化型モデル

キーワード：アルカリシリカ反応 (ASR: Alkali Silica Reaction), スターラップ破断, 劣化, ポストピーク挙動, 靱性
 連絡先：〒487-8501 愛知県春日井市松本町 1200 中部大学 工学部 都市建設工学科 構造研究室 TEL 0568-51-1111 (代)

3. 解析結果および考察

本研究においては、打設コンクリートにより、気泡コンクリートを A シリーズ、軽量骨材気泡コンクリートを B シリーズとした。ここでは、B シリーズに対する解析結果について考察する。

3.1 荷重－変位関係

ここで、一例として $s = 60 \text{ mm}$ 、スターラップ 3 本切断に対する解析（線種：—）ならびに実験結果（○、●のシンボル）りおよび欠陥を有さない供試体（健全供試体）に対する解析結果（線種：---）を図-6 に示す。実験結果は $\epsilon_f = 9 \%$ の解析結果に概ね一致している。ゆえに、スターラップの切断により、コアコンクリートへの拘束力が低下し、ポストピーク領域における耐荷性能が低下することが分かった。また、健全供試体と本解析結果とを比較した場合、本解析結果のピーク耐力が小さく、かつポストピークにおける軟化挙動が急勾配を呈している。これは、本解析に用いたコンクリート圧縮強度が小さいためであると考えられる。

3.2 靱性率

(a) 靱性率の定義

本研究での靱性率の定義は、「プレピーク領域における最大耐力の 80% 耐力レベルにおける変位に対する、ポストピーク領域における同耐力レベルにおける変位の比」とした。

(b) 結果および考察

一例として、 $s = 60 \text{ mm}$ の場合における本研究で対象とする供試体（解析：□、実験■、■のシンボル）ならびに普通強度コンクリート供試体（●、●のシンボル）に対する「靱性率－スターラップ切断本数」関係を図-7 に示す。また、普通強度コンクリート供試体の諸元を表-1 に示す（文献 3）参照。図から分かるように、普通強度コンクリート供試体の靱性率が 25 から 15 の間を推移しているのに対し、本研究で対象とする供試体の靱性率は 7 から 4 の間を推移している。原因としては、コンクリートの圧縮強度が異なるために、部材のポストピーク挙動に差が生じるものと考えられる。また、普通強度コンクリート供試体は、スターラップの切断により、コアコンクリートへの拘束効果が低下するため、靱性率の低下が見られる。一方、低強度コンクリート供試体では、圧縮強度が普通強度コンクリートに比べて小さく、圧縮側コンクリートの圧壊が急速に進展するために、スターラップの切断がコアコンクリートへの拘束効果（RC 部材のポストピーク挙動）に与える影響よりも低強度コンクリートの圧縮破壊による影響の方が大きくなる。それゆえ、靱性率が全体的に小さくなる傾向を呈する。

4. まとめ

本研究を通じて、ASR によるスターラップ破断に加え、コンクリートの強度低下を考慮した解析結果から、コンクリートの強度低下が RC はりのポストピーク挙動ならびに靱性に大きな影響を与えることが分かった。

謝辞

本研究を遂行するにあたり、平成 17-18 年度文部科学省研究費補助金（基盤研究 B、研究代表者：水野英二）ならびに日本私立学校振興・共済事業団学術研究振興資金からの援助を受けた。よって、ここに記して謝意を表す。

参考文献

- 1) 小林孝一, 伊藤 睦, 水野英二: ASR による劣化を模擬した RC はり部材の耐荷性能に関する実験的研究, コンクリート工学年次論文集, 2006 (掲載決定).
- 2) 水野英二, 小林孝一, 藤村敏之: 内部欠陥を有する鉄筋コンクリート部材のポストピーク挙動に関する実験的ならびに解析的研究, コンクリート工学年次論文集, Vol.26, No.2, pp.49-54, 2004.
- 3) 小林孝一, 伊藤 睦, 水野英二: 内部欠陥を有する RC はりの耐荷性能に関する実験的研究, コンクリート工学年次論文集, Vol.27, No.2, pp.331-336, 2005.
- 4) 水野英二, 松村寿男, 畑中重光: 繰り返し載荷を受ける鉄筋コンクリート柱のポストピーク挙動解析, コンクリート工学論文集, 第 13 巻 3 号, pp.47-60, 2002.
- 5) Zienkiewicz, O.C.: The Finite Element Method, Third Ed., (吉織・山田監訳「マトリックス有限要素法」), 培風館, pp.672-796, 1984.

表-1 解析に用いた材料諸強度

	軽量骨材 気泡コンクリート	普通強度 コンクリート
コンクリート強度 (MPa)	7.2	29.6-45.4
ピークひずみ (%)	0.15	データ無し
限界ひずみ (%)	0.10	データ無し
コンクリートヤング係数 (GPa)	9.7	27.2-33.7
鉄筋降伏強度 (MPa)	344.9	347.8
鉄筋ヤング係数 (GPa)	189.9	200.1

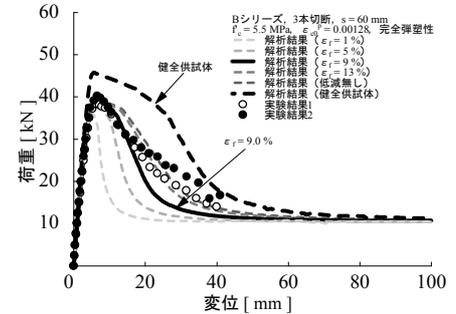


図-6 $s = 60 \text{ mm}$ ・スターラップ 3 本切断

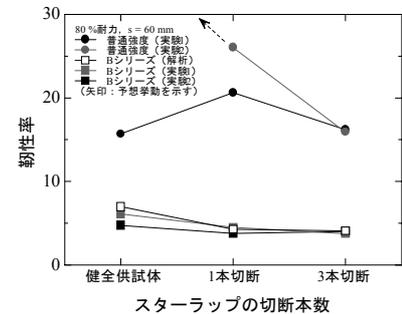


図-7 靱性率－スターラップ切断本数関係