

V-23 ASR 膨張と鉄筋腐食が鉄筋の遅れ破壊特性に与える影響

前田道路（株） 正会員 ○西 祥志
 徳島大学工学部 正会員 上田 隆雄
 徳島大学大学院 学生会員 山口 圭亮
 徳島大学工学部 フェロー会員 水口 裕之

1. はじめに

コンクリート構造物の劣化原因のひとつにアルカリ骨材反応が挙げられる。アルカリ骨材反応によるコンクリート膨張によって構造物の鉄筋の曲げ加工部において破断する事例が報告されている。このような鉄筋破断は鉄筋の曲げ加工部分など大きなひずみが導入されている部分を中心に発生しており、破断形態は脆性的となっているのが特徴であるが、鉄筋破断メカニズムについては未解明な部分が多いのが現状である。また、アルカリシリカ反応（以下 ASR とする）による膨張力と塩害による鉄筋腐食が複合的に作用することで鉄筋破断の危険性は増大する可能性が考えられ、このような鉄筋破断メカニズムを明らかにすることは ASR により劣化した構造物を維持管理する上で重要な課題であると言える。

そこで本研究では、反応性骨材を使用し、初期添加アルカリとして NaOH または NaCl を添加したコンクリート供試体を作製し、ASR と塩害の複合劣化状態におけるコンクリート中鉄筋の遅れ破壊感受性に対する評価を行うとともに、ASR の鉄筋破断メカニズムについての考察を加えることを目的とする。

2. 実験概要

実験に用いた供試体は、100×100×300mm の角柱コンクリートの矩形断面中央にφ13（SR235）の丸鋼を一本配したものとした。鉄筋は直線鉄筋と、あらかじめ角度が 120°、曲げ半径が 2d（d は鉄筋の直径）となるように曲げ加工を行った折曲げ鉄筋の 2 種類とした。セメントは普通ポルトランドセメントを使用し、R₂O 量が 8.0kg/m³ となるように、コンクリートの練り混ぜ水にあらかじめ NaOH または、NaCl を混入した。本実験で作製した供試体の一覧を表-1 に示す。供試体数は各要因に対して 3 体とした。

表-1 供試体一覧

アルカリ種類	骨材種類	鉄筋形状
NaOH	反応+非反応	直線
		折曲げ
NaCl	反応+非反応	直線
		折曲げ
NaCl	非反応	直線
		折曲げ

コンクリートの打設日翌日に脱型した供試体は 20℃の恒温室中で 28 日間の封緘養生を行った。養生終了後の供試体は促進 ASR 環境（40℃、95%R.H.）に 166 日間静置した。促進 ASR 期間中、コンクリート膨張量、コンクリート中鉄筋ひずみを測定した。166 日間の促進 ASR が終了した供試体のコンクリート中から鉄筋をはつり出し、低ひずみ速度引張試験を行い、遅れ破壊感受性の評価を行った。

3. コンクリート膨張率

反応性骨材含有供試体について鉄筋軸方向と鉄筋軸垂直方向のコンクリート表面の膨張率を測定した。鉄筋軸方向と鉄筋軸垂直方向の膨張率の関係は各ケースでほぼ同様の傾向を示した。そこで、鉄筋による拘束の小さい軸垂直方向の膨張率測定結果を図-1 に示す。添加アルカリとして NaOH を用いた場合、NaCl を用いた場合より初期の膨張率は大きくなったが、最終的な膨張率はほぼ同程度となった。鉄筋の形状で見ると、直線鉄筋の方が大きな膨張率となっている。また、各要因とも最大で 0.3~0.4% の膨張率となった。

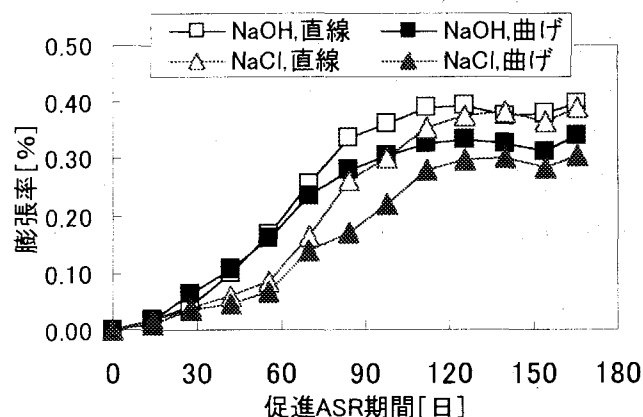


図-1 膨張率の経時変化(鉄筋軸垂直方向)

4. 鉄筋ひずみ

鉄筋の曲げ加工部におけるコンクリート中の鉄筋ひずみを図-2 に示す。添加したアルカリの種類に関わらず、曲げ加工部内側では 0.1%を超える引張ひずみが発生し、曲げ加工部外側ではわずかではあるが圧縮ひずみが発生した。これは、ASR によるコンクリート膨張によって曲げ加工部内側には供試体内部から鉄筋を押し広げるような膨張力が作用することによって生じたものと考えられる。また、ASR 膨張により生じる鉄筋ひずみは曲げ加工部に集中し、大きな引張ひずみの発生を確認し、実構造物における破断箇所とも一致した。

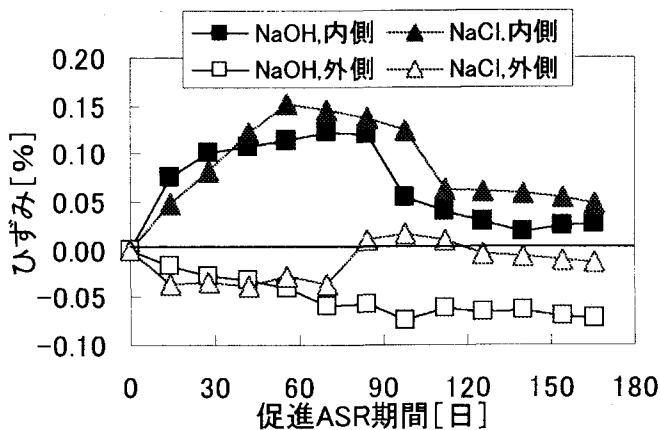


図-2 鉄筋ひずみ経時変化(曲げ加工部)

5. 低ひずみ速度引張試験

鉄筋の低ひずみ速度引張試験によって得られた鉄筋破断時の各測定値を図-3～図-5 に示す。なお、本実験ではコンクリートに埋め込んでいない基準鉄筋を延性破断とし、それと比較して遅れ破壊感受性評価を行った。基準鉄筋の伸び、絞り、鉄筋はコンクリートに埋め込んだ全ての供試体よりも大きくなった。これにより、本実験で作製した供試体中全ての鉄筋は基準鉄筋よりも脆性的な破断をしていたと言える。

練り混ぜ時に NaCl を混入した「NaCl,反応」と「NaCl,非反応」を比較すると、破断応力はほぼ同程度の値となっているが、伸び、絞りともに「NaCl,反応」の方が小さくなっている。これは、コンクリート ASR 膨張により鉄筋にひずみが導入され、遅れ破壊感受性が増大したものと考えられる。

ASR 膨張が発生した反応性骨材含有供試体の「NaOH,反応」と「NaCl,反応」を比較すると、伸び、絞りはほぼ同程度となった。しかし、破断応力について見ると「NaCl,反応」の方が大きくなっている。これは練り混ぜ時に添加した NaCl により鉄筋の腐食が進行し、鉄筋の孔食を伴う断面欠損が生じ、そこに応力が集中することによって比較的早期に破断に至ったことが原因と考えられる。

本実験範囲での遅れ破壊感受性評価を行った結果「NaCl,反応」が遅れ破壊感受性が一番高いという結果となった。

「NaCl,反応」は反応性骨材を用い、添加アルカリとして NaCl を混入していることから、本実験では、ASR によるコンクリート膨張と塩害による鉄筋腐食が複合的に作用することで遅れ破壊感受性が増大する可能性が確認された。

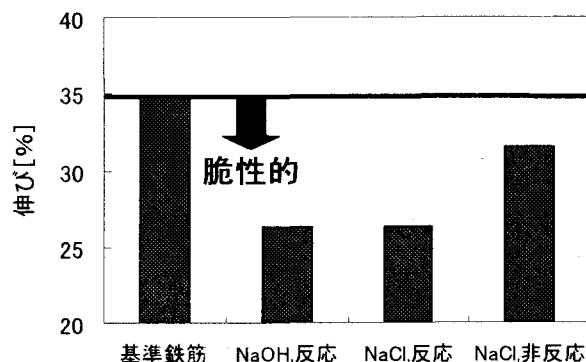


図-3 破断時の鉄筋の伸び

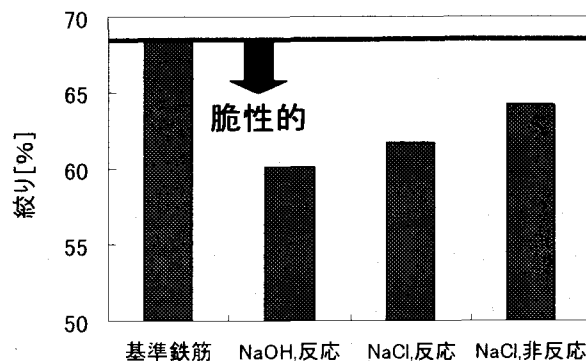


図-4 破断時の鉄筋の絞り

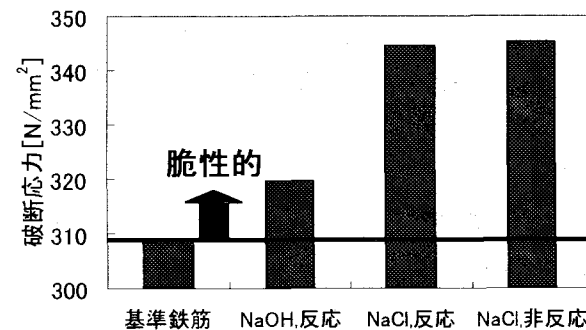


図-5 破断時の応力