

ASR で劣化したコンクリート中の鉄筋曲げ加工部が鉄筋遅れ破壊特性に与える影響

徳島大学大学院 学生会員 ○馬場勇太
 徳島大学 正会員 上田隆雄
 西松建設 正会員 山口圭亮
 徳島大学 フェロー会員 水口裕之

1. はじめに

アルカリ骨材反応（以下 ASR とする）によるコンクリート構造物中における脆性的な鉄筋破断現象が報告され、深刻な社会問題となっている。これに対して、鉄筋破断の詳細なメカニズムは、未解明な部分が多い。さらに ASR 膨張と鉄筋腐食が複合的に作用することによって鉄筋破断の可能性は増大すると考えられる。ASR が発生している構造物の劣化予測または補修・補強対策を考えるうえで、このメカニズムを定量的に把握することは極めて重要な課題である。

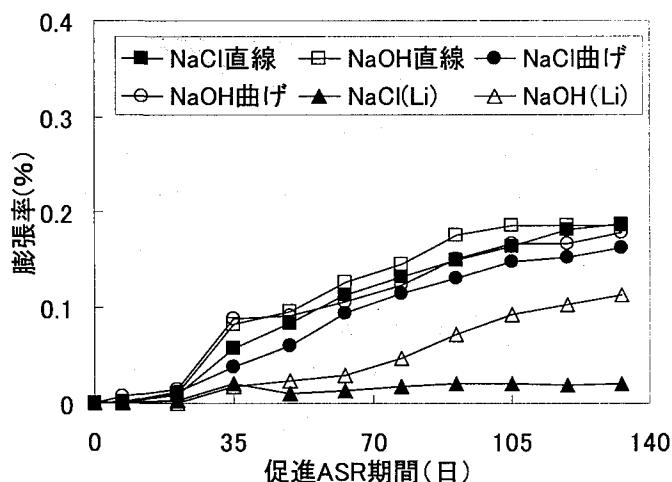
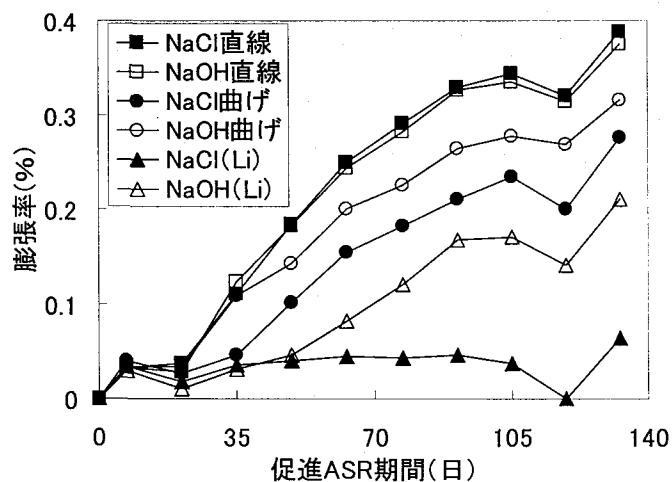
そこで本研究では、ASR 単独あるいは ASR と塩害の複合劣化状態を想定し、これらの劣化程度がコンクリート中に埋め込んだ鉄筋のひずみや遅れ破壊特性に与える影響を明らかにすることを目的とした。さらに、コンクリートの ASR 膨張抑制効果が期待されるリチウム塩を添加した場合についても併せて検討を行った。

2. 実験概要

供試体は 100×100×300mm の角柱コンクリート供試体に異型鉄筋 D13 を 1 本配した。配置した鉄筋形状は、直線と折曲げの 2 種類とした。なお折曲げ鉄筋の曲げ加工部は 90° に設定した。セメントは普通ポルトランドセメントを使用し、水セメント比は 55%、粗骨材は反応性骨材と非反応性骨材を 6:4 のペシマム混合とした。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。その際、LiOH を添加した供試体も併せて作製した。作製した供試体の一覧を表 - 1 に示す。コンクリートの打設日翌日に脱型した供試体は 20℃ の恒温室内で 28 日間封緘養生した。養生終了後、促進 ASR 環境(40℃、95% R.H.)に 133 日間静置した。促進期間中に、鉄筋のひずみ、コンクリート膨張率の測定を行った。十分 ASR 膨張が進行した後、コンクリートから鉄筋をはり出し、鉄筋の低ひずみ速度引張試験を行い、遅

表 - 1 供試体一覧

鉄筋形状	アルカリ種類	Li塩添加	本数
直線	NaOH	無	3
	NaCl	無	3
折曲げ	NaOH	無	3
		有	3
	NaCl	無	3
		有	3

図 - 1 コンクリート膨張率の経時変化
(鉄筋軸方向)図 - 2 コンクリート膨張率の経時変化
(鉄筋軸垂直方向)

れ破壊感受性の評価を行った。

3. コンクリート膨張率

鉄筋軸方向および鉄筋軸垂直方向のコンクリート膨張率経時変化を図-1 および図-2 に示す。NaCl, NaOH 両配合共に、折曲げ鉄筋に比べ直線鉄筋は膨張率が大きいことがわかる。これは折曲げ鉄筋が垂直方向のコンクリート膨張を拘束したためと考えられる。なお LiOH を添加することにより、コンクリート膨張は抑制されている。

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-3 に示す。NaOH 配合、NaCl 配合ともに鉄筋内側の引張りひずみは増加し、鉄筋外側では圧縮方向のひずみが測定されていることがわかる。これはコンクリート内部で ASR 膨張による膨張圧が発生し、鉄筋の折曲げ部分を曲げ戻すような力が働いたことが原因と考えられる。また促進 ASR 期間 60 日目付近でひずみの値が大きく減少している。これは ASR が進行することによって、供試体にひび割れが生じたため、鉄筋による拘束力が低下したことが原因と考えられる。

5. 低ひずみ速度引張試験

各種鉄筋の低ひずみ速度引張試験から得られた種々の遅れ破壊感受性評価指標測定結果を表-2 および図-4 に示す。表-2 は各配合コンクリートからはつりだした直線鉄筋の破断応力、引張強度、絞り、伸びの測定結果をコンクリートに埋め込んでいない基準鉄筋の値との比で示す。また図-4 は折曲げ鉄筋の引張強度比の値を示す。

表-2 から、直線鉄筋は添加したアルカリの種類によらず、基準鉄筋よりも若干脆性的な破断挙動を示しており、遅れ破壊感受性は高くなっている。NaCl 配合と NaOH 配合を比較すると、NaCl 配合のほうが伸び比が小さく、破断応力比が大きいことから、NaOH 配合よりも、脆性的な破断挙動を示している。これは、NaCl 配合の鉄筋は、コンクリートの ASR 膨張による引張りひずみの導入と鉄筋腐食の複合的な影響を受けたことが原因と考えられる。

図-4 によると、折曲げ鉄筋は直線鉄筋の場合よりも、基準鉄筋に対する脆化の程度が大きいことがわかる。これは、折曲げ鉄筋をコンクリートに埋め込んだ場合には、コンクリートの ASR 膨張による曲げ戻し効果により、曲げ加工部内側に大きな引張りひずみが導入されたためと考えられる。さらに NaCl 配合と NaOH 配合を比較すると NaCl の引張強度比が NaOH の場合よりも大幅に小さくなっていることがわかる。このことから、曲げ加工部における遅れ破壊感受性は ASR と塩害が複合的に作用した場合に顕著に高くなる可能性がある。これに対して、LiOH を添加した配合では、ASR 膨張が抑制されたため、特に NaCl 配合に関して、脆性的な破断挙動が大きく改善されている。

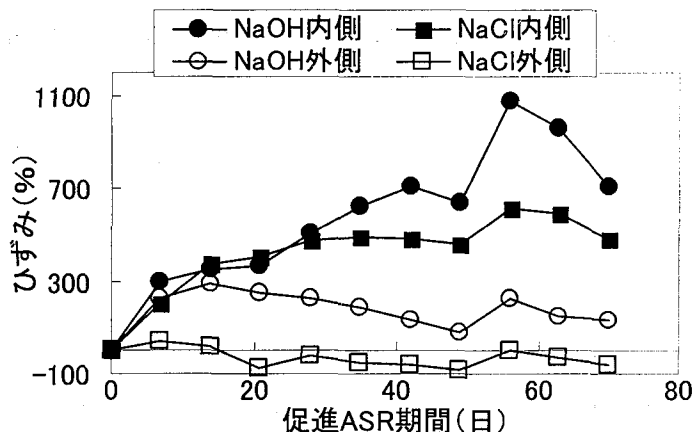


図-3 鉄筋ひずみ測定の経時変化（折曲げ鉄筋）

表-2 直線鉄筋に関する種々の評価指標測定結果

	NaCl配合	NaOH配合
引張強度比	0.96	0.93
破断応力比	1.02	0.99
絞り比	0.93	0.91
伸び比	0.81	0.93

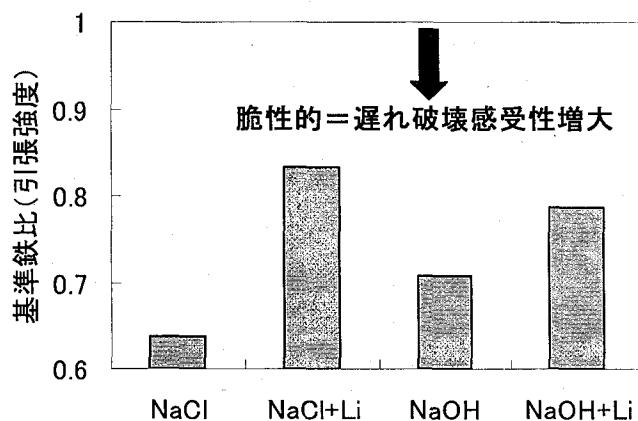


図-4 折曲げ鉄筋の引張強度比