

V-22 塩害と ASR の複合劣化を受けた部材中鋼材の遅れ破壊特性

朝日スチール工業(株) 正会員 ○原田公二
徳島大学工学部 正会員 上田隆雄
高周波熱錬(株) 正会員 田中典男
徳島大学工学部 フェロー会員 水口裕之

1. はじめに

近年、アルカリ骨材反応によるコンクリート構造物の早期劣化現象が報告されており、特に深刻なケースではコンクリート中の鉄筋破断に至る場合もあることがわかっている。このような鉄筋破断は、膨張による応力が鉄筋に作用した場合、曲げ加工部などの初期におけるひずみが大きい部分を中心に、塑性変形を伴わない脆性的（遅れ破壊的）な破断状況が特徴になっている。しかし、そのメカニズムは未解明な部分が多いのが現状である。また、塩害による鉄筋腐食と ASR による引張力が複合的に作用する場合には、鉄筋破断の危険性は増大する可能性が考えられる。そこで、本研究では、ASR 膨張と塩害が、コンクリート中鉄筋の遅れ破壊感受性に与える影響を明らかにすることを目的として実験的検討を行った。

2. 実験概要

本研究で作製した供試体の一覧を表-1 に、供試体概要を図-1 に示す。供試体はコンクリート部分の寸法が、100×100×300mm の角柱とし、その矩形断面中央に RC 用異形鉄筋（長さ

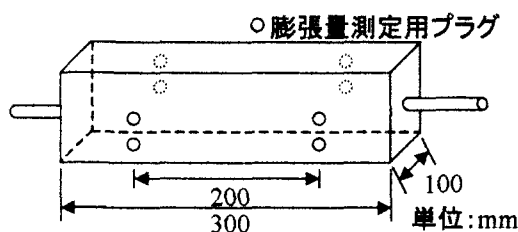


図-1 供試体概要

表-1 供試体一覧

アルカリ種類	鉄筋種類	降伏ひずみ
NaOH	SD295A	なし
		あり
NaCl	SD295A	なし
		あり
	SD390	なし
		あり
	SD785	なし
		あり

l=440mm) を 1 本配した。鉄筋は、D10 SD295A、D10 SD390、D10 UB785 (SD785 級) の 3 種類とし、各鉄筋について、コンクリート中に埋め込む前に引張力を与えることで降伏ひずみを導入したものと導入していないものの 2 種類を用意した。コンクリートの水セメント比は 60% とし、反応性骨材としてオパール質珪石を細骨材の 8vol.% 混入した。また、コンクリートにはあらかじめアルカリとして NaOH または NaCl を混入し、 R_2O 量は 8.0kg/m^3 とした。

供試体は、打型後 28 日間の封緘養生を行った後に、 40°C 、95%R.H. の促進 ASR 環境に静置しながら、コンクリート膨張量測定、鉄筋の電気化学的モニタリングを行った。約 150 日間の促進 ASR 後、供試体から鉄筋をはり出し、この鉄筋を用いて低ひずみ速度引張試験（ひずみ速度： $1.67 \times 10^{-5}/\text{sec}$ ）と鉄筋腐食減量の測定を行った。

3. コンクリートの膨張挙動

養生終了後のコンクリート膨張率の経時変化を図-2 に示す。なお、ここでは鉄筋軸方向のコンクリート膨張率を示す。また、凡例は

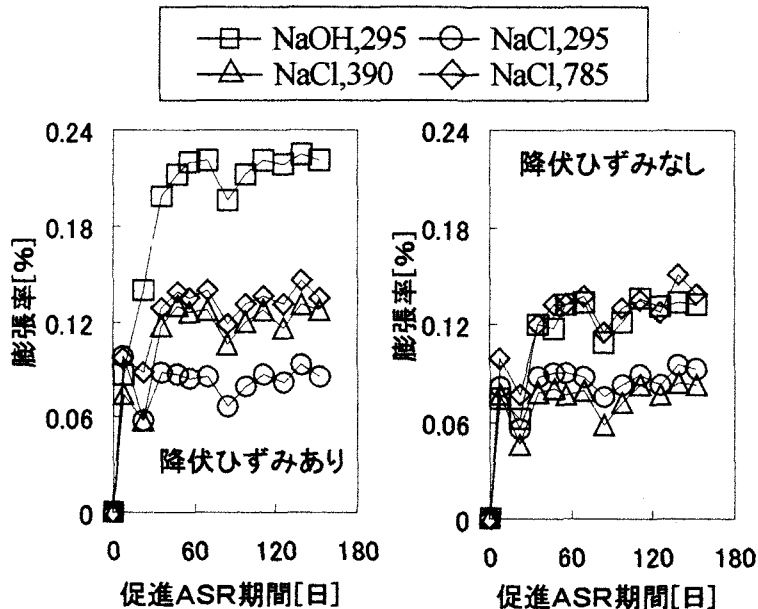


図-2 コンクリート膨張率の経時変化

「アルカリ種類,鉄筋降伏強度」として示す。「降伏ひずみあり」のグラフに着目すると、NaOH,295 の膨張率が、他の場合と比較して顕著に大きくなっている。これより、本研究の条件ではアルカリとして NaCl よりも NaOH を添加した場合の方がコンクリートの ASR 膨張促進効果が大きかったと言える。降伏ひずみの有無について比較すると、NaOH,295 と NaCl,390 は、鉄筋が降伏ひずみを有している方の膨張率が大きくなった。降伏ひずみが導入された部分については、鉄筋の剛性が低下しており、鉄筋によるコンクリートの膨張拘束効果も低下することから、このような結果が得られたものと考えられる。鉄筋種類の違いによる影響に着目すると、NaCl,785 のコンクリート膨張率が最も大きいことがわかる。今回用いた3種類の鉄筋はいずれも直径約10mmの異形鉄筋であるが、UB785は他の鉄筋よりも凹凸の小さい表面形状となっている。このことから、コンクリートとの付着強度は NaCl,785 が最も小さくなったものと考えられる。

4. 鉄筋の遅れ破壊感受性の評価

コンクリートからはつり出した鉄筋の低ひずみ速度引張試験から得られた鉄筋破断時の伸び比、絞り比、破断応力比とコンクリート最終膨張率との関係を図-3 に示す。また、鉄筋腐食減量との関係を図-4 に、各グラフの縦軸に示した各指標はコンクリートに埋め込んでない製造時の鉄筋の値を1として比を取っている。

図-3 によると、コンクリートの最終膨張率が大きくなるほど、絞り比および伸び比が小さくなっており、破断応力比は大きくなっている。すなわち、コンクリートの膨張率が大きいほど、鉄筋は脆性的な破断形態を示しており、鉄筋の遅れ破壊感受性が増大する傾向にあると言える。これは、コンクリートの ASR 膨張に伴い、鉄筋に引張ひずみが導入され、このひずみが経時的に増大したことが一因と考えられるが、詳細なメカニズムについてはさらに検討が必要である。

図-4 より、伸び比および絞り比と鉄筋腐食減量との間に明確な相関関係は見られないが、破断応力比は、鉄筋腐食減量の増加に伴って増大しているようだ。Cl の混入によって鉄筋が腐食した場合、コンクリートの ASR 膨張による応力と複合して、応力腐食割れの危険性が増大することが懸念される。今回の検討では、鉄筋の腐食減量が比較的小さく、ASR 膨張率も NaOH を添加した場合よりも小さかったこともあり、明確な傾向は見られなかった。ASR と塩害の複合劣化の影響については今後さらに厳しい条件で検討を行っていく必要がある。

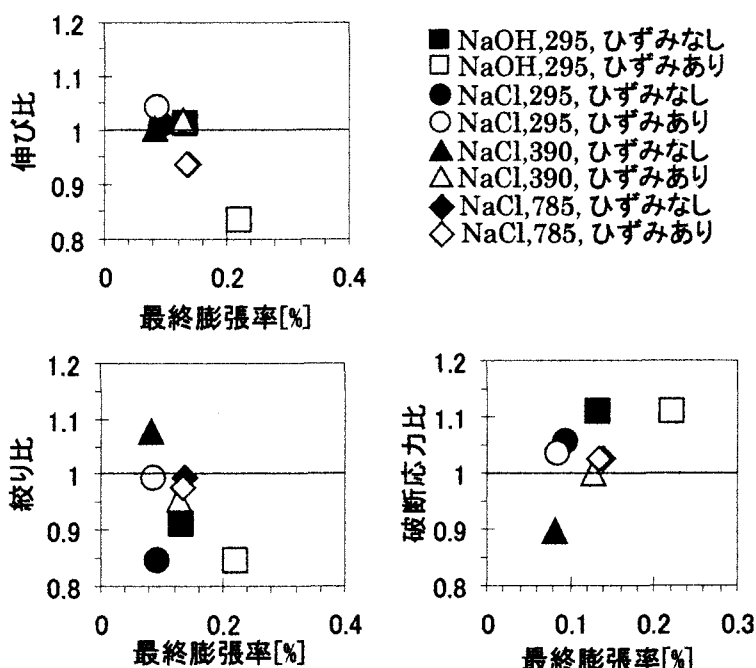


図-3 コンクリート最終膨張率と各測定の関係

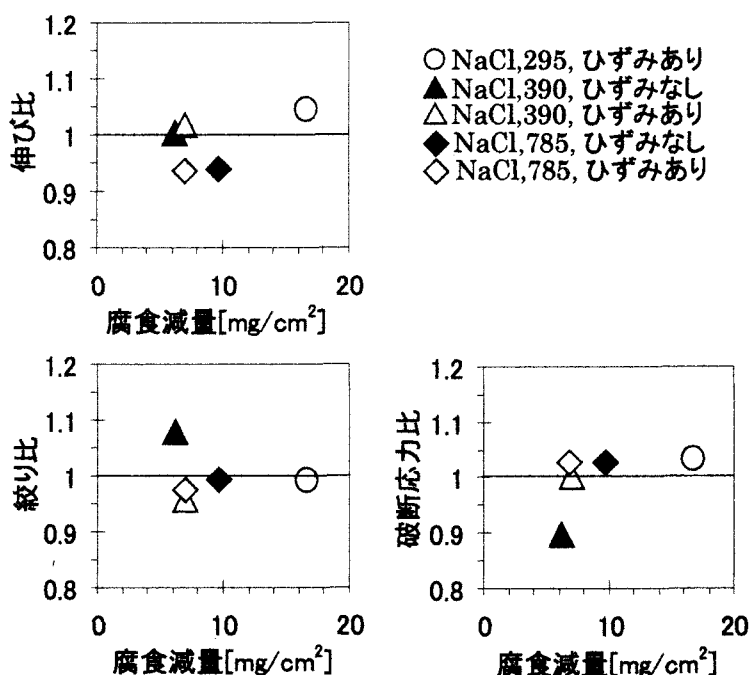


図-4 鉄筋腐食減量と各測定の関係