

立命館大学大学院理工学研究科 学生員 ○佐藤 章弘 中研コンサルタント 正会員 鈴木 宏信
立命館大学理工学部 正会員 高木 宣章 正会員 児島 孝之

1. はじめに

ASRを生じたコンクリート構造物において、鉄筋の曲げ加工部の破断が報告された。本研究では、反応性骨材を用いた鉄筋コンクリート供試体を作製し、アルカリシリカ反応（ASR）膨張と鉄筋の塩化物腐食が鉄筋の曲げ加工部に及ぼす影響および複合劣化した鉄筋コンクリートの特性について実験検討を行った。

2. 実験概要

(1) 使用材料およびコンクリートの示方配合

セメントは、普通（密度：3.15g/cm³）および高炉B種（密度：3.04g/cm³）の2種類を使用した。粗骨材は化学法で「無害でない」（Sc=197, Rc=127 mmol/l, Sc/Rc=1.6）と判定された安山岩（密度：2.61g/cm³, MS=20mm）を、細骨材は川砂（密度：2.62g/cm³, FM=2.68）を使用した。コンクリート中の全アルカリ量は、6.0kg/m³となるようにNaOH溶液を用いて調整した。鉄筋は、D10（SD345）とD13（SD345）の2種類を使用した。コンクリートの示方配合を表1に示す。

表1 コンクリートの示方配合

セメントの種類	W/C (%)	s/a (%)	単位量 (kg/m ³)				混和剤 (ml/m ³)		目標スランプ (cm)	目標空気量 (%)	全アルカリ量 (kg/m ³)
			W	C	S	G	AE減水剤	AE助剤			
普通	65	47	175	269	858	968	2700	1614	8±2	4.5±1.5	6.0
高炉B種			175	269	853	963	2700	1614			

AE減水剤は25%溶液、AE助剤は1%溶液を使用

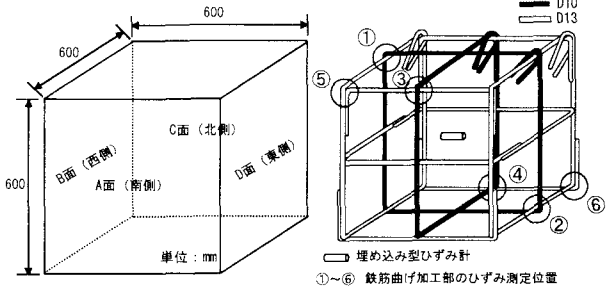


図1 供試体の概要

(2) 供試体の作製

実験要因を表2に示す。鉄筋コンクリート供試体寸法は600×600×600mmであり、鉄筋比はA～Dの各側面とも0.266%である。鉄筋コンクリート供試体の概要を図1に示す。鉄筋曲げ加工部のひずみ測定箇所は、①～⑥の6カ所とし、ひずみ測定用ゲージを取り付けた。また、コンクリート内部の膨張挙動を把握するため、No.1～No.4供試体に埋め込み型ひずみ計を設置した。降伏した鉄筋のASR膨張による影響を把握するため、No.5、6供試体は、図2に示す位置に予め降伏させた鉄筋を使用した。供試体は、打設後28日間の散水養生後、各試験条件下に暴露した。試験条件は、屋外気中暴露および室内にて供試体の2/3の高さまで塩水（30kg NaCl/1）に浸漬する2条件を設定した。

表2 実験要因

供試体	セメントの種類	試験条件	鉄筋
No.1	普通	屋外気中暴露	健全
No.2	普通	室内塩水浸漬	
No.3	高炉B種	屋外気中暴露	
No.4	高炉B種	室内塩水浸漬	
No.5	普通	屋外気中暴露	降伏
No.6	普通	室内塩水浸漬	

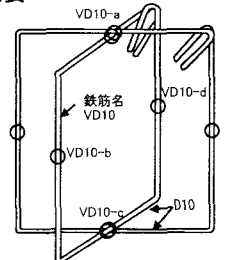


図2 鉄筋降伏位置

(3) 試験項目

測定は、次の8項目を実施した。①外観観察（目視） ②自然電位（飽和硫酸銅電極） ③コンクリートの表面ひずみ（ホイットモアにより測定） ④鉄筋ひずみ ⑤供試体内部のひずみおよび温度 ⑥中性化深さ（フェノールフタレイン法） ⑦水溶性アルカリ量（40℃温水抽出） ⑧塩化物イオン量（JCI・SC5法）

3. 実験結果および考察

材齢834日経過した結果を報告する。普通セメントを使用した供試体（No.1, 2, 5, 6）は、表面に亀甲状のひび割れおよび鉄筋に沿ったひび割れが発生した。また、No.2, 6供試体は、塩水浸漬部分からの錆汁が確認された。図3に自然電位の測定結果（全測定点105点の平均値）を示す。普通セメントを使用した屋外気中暴露供試体（No.

1, 5) の自然電位は平均で -106mV 、室内塩水浸漬供試体 (No.2, 6) は平均で -521mV の値を示した。普通セメントを使用した室内塩水浸漬供試体 (No.2, 6) は、ASR 膨張と塩化物腐食による複合劣化を受けている。

内部コンクリートひずみを図 4 に示す。内部コンクリートひずみは、屋外気中暴露供試体 (No.1) で約 800μ 、室内塩水浸漬供試体 (No.2) で約 1000μ であ

った。内部ひずみが増加し始める時期は、供

試体内部の温度が増加し始める時期 (夏期) と一致した。その後、冬季においても膨張ひずみの低下はほとんどなく、夏期の高温時に ASR が促進されたと考えられる。なお、高炉セメント B 種を使用した供試体 (No.3, 4) は、膨張傾向にない。

鉄筋位置 (表面から $2\sim 4\text{cm}$) における塩化物イオン量を図 5 に示す。普通セメントを使用した供試体の塩水中および塩水外の部分では、塩化物イオン量が各々 $5.9, 3.4\text{kg/m}^3$ であり、塩化物イオンの鋼

材腐食発生限界濃度 2.5kg/m^3 を上回っている。また、暴露期間が長くなると、塩化物イオン量が増加していることから腐食が進行していることが推察される。

No.1 供試体 (普通セメント、屋外気中暴露) および No.2 供試体 (普通セメント、室内塩水浸漬) の鉄筋曲げ加工部①のひずみを図 6 に示す。屋外気中暴露、室内塩水浸漬供試体とも、隅角部のひずみ (①-Ⅱ) と直線部のひずみ (①-Ⅰ、①-Ⅲ) との差は、屋外気中暴露で 1950μ 、室内塩水浸漬で 2705μ であった。

No.1, 2, 5, 6 供試体の直線部鉄筋 (D10) ひずみの経時変化 (測定位置: VD10-a~d の平均) を図 7 に示す。鉄筋ひずみは、塩化物腐食の程度に関わらず健全な鉄筋を使用した供試体 (No.1, 2) で $600\sim 700\mu$ 、降伏させた鉄筋を使用した供試体 (No.5, 6) で約 500μ であり、予め降伏させた影響は観察されなかった。

4. まとめ

(1) 普通セメントを使用し塩水浸漬した供試体は、錆汁の発生、自然電位と塩化物イオン量の測定結果から供試体内部の鉄筋腐食が進行していることが推察される。

(2) コンクリートの ASR 膨張により、鉄筋曲げ加工部は、鉄筋の直線部分に比べて、大きな引張ひずみを示す傾向にあった。

(3) 予め降伏させた鉄筋の ASR 膨張による引張ひずみの増加は、降伏の有無あるいは塩化物腐食の程度に関わらず、約 500μ の値を示し、顕著な差は観察されなかった。

(4) 高炉セメント B 種を使用したコンクリートでは、ASR 膨張抑制効果および塩分浸透抑制効果が確認された。

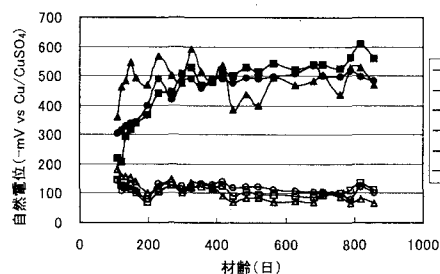


図 3 自然電位

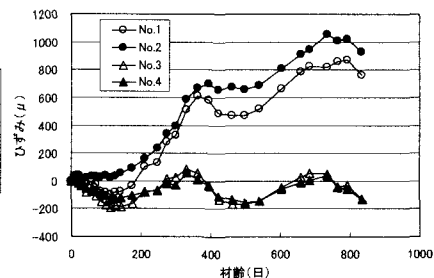


図 4 内部コンクリートひずみ

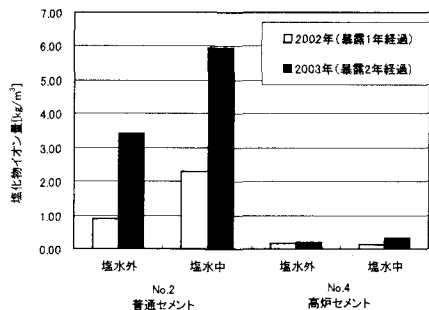


図 5 鉄筋位置における塩化物イオン量

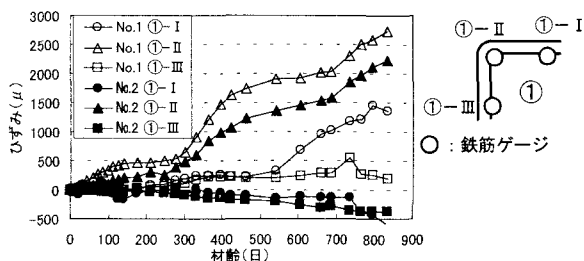


図 6 No.1, 2 供試体の鉄筋曲げ加工部①のひずみ

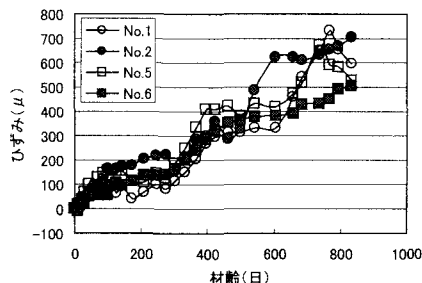


図 7 No.1, 2, 5, 6 供試体の鉄筋 D10 のひずみ