ASR 膨張と塩化物腐食が鉄筋曲げ加工部へ及ぼす影響

立命館大学大学院理工学研究科　正会員　○鈴木　宏信　学生員　疋田　奈緒也
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

橋梁下部工において ASR（アルカリシリカ反応）膨張によりコンクリート内部の鉄筋が破断した例が報告された [1)]。破断は 90°に曲げ加工した内面を起点として発生していた。本研究は、反応性骨材を用いた鉄筋コンクリート供試体を作製し、ASR による膨張が鉄筋ひずみに及ぼす影響について実験検討を行ったものである。

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、普通セメント（密度：3.15g/cm^3）および高炉セメント B 種（密度：3.04g/cm^3）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/cm^3,MS=20mm）を、細骨材は川砂（密度：2.62g/cm^3,FM=2.68）を使用した。コンクリート中の全アルカリ量（Na_2Oeq）は、6.0kg/m^3 となるように NaOH 溶液を用いて調整した。鉄筋は、D10(SD345)、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)				Na_2Oeq (kg/m^3)	目標スランプ(cm)	目標空気量(%)
			W	C	S	G			
普通	65	47	175	269	858	968	6.0	8.0±2.0	4.5±1.5
高炉B種	65	47	175	269	853	963			

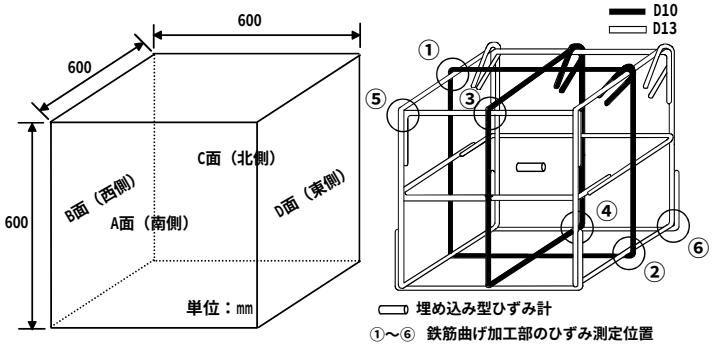


図-1　供試体の概要

(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の寸法は 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 ヵ所とし、各箇所に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。さらに、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 供試体については、**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、打設翌日脱型した後、28 日間屋外にて散水養生した。その後、外来塩分のない場所での屋外気中暴露、あるいは空調設備のない室内にて供試体の 2／3 の高さまで塩水（30gNaCl／l）浸漬を行った。

表-2　実験要因

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

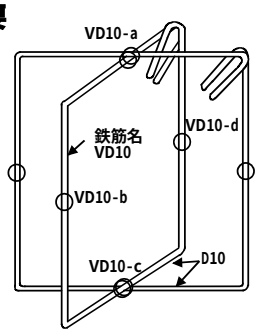


図-2　鉄筋降伏位置

(3)試験項目

測定は、次の 8 項目を実施した。①外観目視観察 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(ホイットモアひずみ計により測定) ④鉄筋ひずみ ⑤供試体内部のコンクリートひずみおよび温度 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含有塩化物量(JCI-SC5 法)

キーワード　アルカリ骨材反応、膨張、鉄筋コンクリート、鉄筋ひずみ、暴露試験
連絡先　〒525-8577　滋賀県草津市野路東 1-1-1　立命館大学理工学部土木工学科　TEL077-566-1111

３．実験結果および考察

暴露試験は 2001 年 9 月に開始した。暴露 522 日経過までの結果を報告する。

コンクリートの表面ひずみ（全測定点 24 点の平均値）を**図-3** に、鉄筋カゴ内部のコンクリートのひずみを**図-4** に示す。普通セメントを使用した供試体の表面ひずみは、屋外気中暴露、室内塩水浸漬の各供試体とも大差なく、現時点では平均 690 μであった。また、内部コンクリートひずみは、屋外気中暴露供試体（No.1）で 473 μ、室内塩水浸漬供試体（No.2）で 655 μであった。表面ひずみおよび内部ひずみは、夏季に増加した。コンクリート表面には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。室内塩水浸漬した供試体（No.2,6）においては錆汁の滲出が認められた。一方、高炉セメント B 種を用いた供試体（No.3,4）の表面ひずみと内部コンクリートのひずみは気温の上昇に伴うもので、ASR による膨張は現時点では観察されていない。供試体表面にひび割れはほとんど発生しておらず、錆汁も認められない。

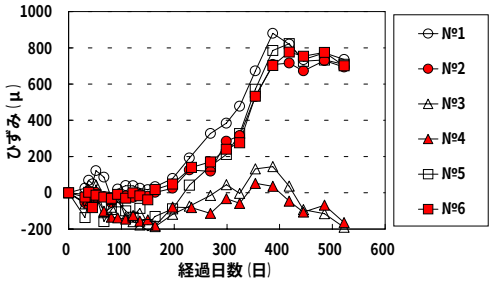


図-3　コンクリート表面ひずみ

自然電位は、屋外気中暴露供試体（No.1,3,5）では暴露初期から -100mV 前後であるのに対して、室内塩水浸漬した供試体（No.2,4,6）では-400～-500mV の値を示した。これらより、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 膨張と鉄筋の塩化物腐食が同時に作用しているものと考えられる。

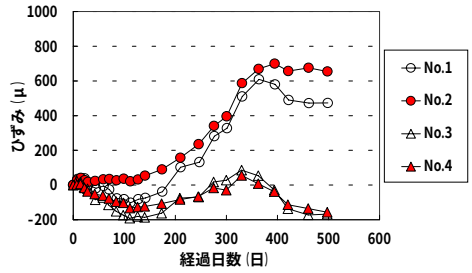
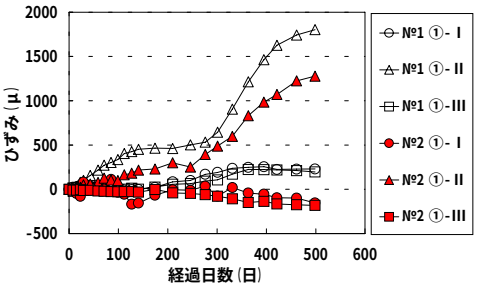


図-4　内部コンクリートひずみ

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のひずみ測定結果を**図-5** 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、1400 μ以上であった。しかし、現時点では、曲げ加工部鉄筋ひずみには、塩化物腐食の影響は観察されなかった。

No.1,2,5,6 供試体の D10 鉄筋ひずみの経時変化（測定位置：VD10-a～d の平均）を**図-6** に示す。予め降伏させた鉄筋の使用、塩化物腐食の程度に関わらず、鉄筋ひずみの増加は、現時点で 315～380 μであり、顕著な差は観察されなかった。



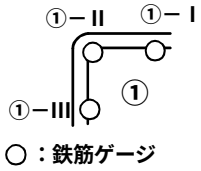


図-5　№1、2 供試体の鉄筋曲げ加工部①のひずみ

４．まとめ

（1）コンクリートの ASR 膨張により、鉄筋曲げ加工部の内面は、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。

（2）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、315～380 μの値を示し、顕著な差は観察されなかった。

（3）高炉セメント B 種を使用したコンクリートでは、ASR 膨張抑制効果が確認された。

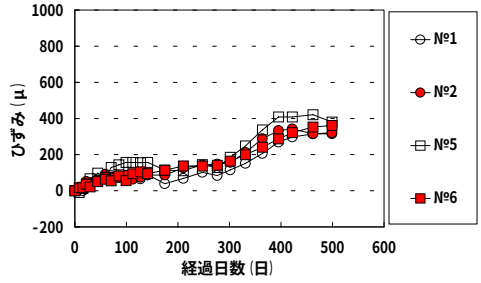


図-6　№1,2,5,6 供試体の D10 鉄筋のひずみ

参考文献

1)池富,大深,久保,鳥居：ASR が発生したコンクリート構造物の耐久性調査，コンクリート工学年次論文集,vol.23,No1,pp1141～1146,2001