

竹中技術研究所

正会員 ○ 吉岡 保彦

正会員 大野 定俊

山下 昌洋

1. まえがき

アルカリ骨材反応による被害は、骨材とセメント中のアルカリ分が反応して生成したゲルが吸水膨張することによって生ずるコンクリートの膨張に起因する変形やひびわれである。通常、コンクリートが一様に膨張する限り、膨張がひびわれの原因にならないものと思われる。しかし、実際に被害を受けた鉄筋コンクリート部材には、部材の拘束の小さい方向や場所に、ひびわれが生じている。そこで、本研究ではこれらの原因を明らかにするために、反応性骨材を用いたコンクリート部材モデルの長期の暴露試験を実施し、コンクリートの長期のひずみ性状を計測することにより、ひびわれの発生要因や鉄筋の拘束効果について検討した。

2. 実験概要

使用材料：反応性の粗骨材として兵庫県産の輝石安山岩砕石を、非反応性の粗骨材として葛生産の石灰岩を、また細骨材には非反応性の鹿島産山砂を用いた。セメントは Na_2O 等価アルカリ量が0.84%の普通ポルトランドセメントを使用した。コンクリートの配合を表-1に示す。なお、膨張を促進させるためにセメントのアルカリに加えて NaOH を使用水に $6.44\text{kg}/\text{m}^3$ 添加し、コンクリート中のアルカリ量を Na_2O 等価アルカリ量で $9.24\text{kg}/\text{m}^3$ とした。

試験体：試験体は図-1に示すように、柱をモデルとした円筒型の試験体とした。また、試験体内部の拘束されない膨張ひずみを計測するために試験体の高さを低くした円盤状の試験体を用意した。なお、各試験体の上、下面は防水処理を施した。試験体の種類および実験要因を表-2に示す。各試験体は、打設後約1ヶ月間テント内で養生した後、屋外で暴露試験を開始した。

測定項目：各試験体の鉛直方向のコンクリート表面ひずみ、No.7～No.9の円盤試験体のコンクリート内部ひずみ（鉛直方向）、 $\phi 100 \times 100\text{cm}$ の円筒試験体のコンクリート内部ひずみ（周方向）、鉄筋ひずみ等を測定した。

3. 実験結果および考察

3.1 コンクリートひずみの経時変化

各試験体の表面ひずみは図-2に示されるように、暴露開始4ヶ月後の7月～8月にかけて急激に膨張しており、この時期の温度の影響が大きいことが窺われる。コンクリートの表面ひずみは試験体寸法によらず、大きな差は認められなかった。

3.2 ひびわれパターンと内部ひずみ分布

図-3に $\phi 50 \times 50\text{cm}$ (No.2, No.4), $\phi 100 \times 100$ (No.5), $\phi 100 \times 20$ (No.9)試験体のひびわれパターンを、また図-4に内部拘束の小さい No.7～No.9($h=20$, $\phi=30 \sim 100\text{cm}$)および $\phi 100 \times 100\text{cm}$ (No.5)の内部ひずみ分布を示す。

表-1 コンクリートの配合

w/c (%)	s/a (%)	単位水量 W(kg/m ³)	単位セメント量 C(kg/m ³)	単位細骨材量 S(kg/m ³)	単位粗骨材量 G(kg/m ³)	減水剤 (kg/m ³)
60	40.9	200	333	697	1041	1.66

表-2 試験体種類と測定項目

No	試験体寸法		粗骨材 種類	鉄筋の 有無/ 鉄筋比 (%)	測定項目		
	L (cm)	H (cm)			コンクリート * 表面ひずみ	内部 ** ひずみ	鉄筋 *** ひずみ
1	30	30	反応性 骨材	0	○		
2	50	50		0	○		
3	50	50		0.5	○		○
4	50	50		1.0	○		○
5	100	100		0	○		
6	100	100		1.0	○	○	○
7	30	20	非 反応性 骨材	0	○	○	
8	50	20		0	○	○	
9	100	20		0	○	○	
10	50	50		0	○		
11	50	50		1.0	○		○
12	100	100		0	○		
13	100	100		1.0	○		○
14	100	20		0	○	○	

* コンタクトゲージ ** カルソニウムゲージ *** 電気抵抗線ひずみゲージ

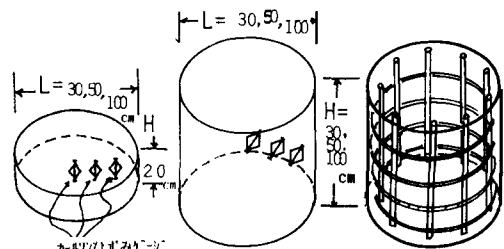


図-1 試験体

図に示されるように、試験体の内部ひずみは若干のばらつきはあるものの、試験体中心部および外縁とも、ひびわれの発生し始めた7月中旬以降急激に増加しており、両者の差は大きくない。この結果とひびわれパターンから判断して、初期のひびわれは試験体内部の拘束応力差に起因するようなマクロな現象によるものではなく、骨材周辺部の膨張が拘束力の弱い自由界面近くで、ひびわれに発達するような比較的局所的な応力によるものが卓越していると考えられた。ただし、 $\phi 30\text{cm}$ と $\phi 100\text{cm}$ の試験体では中心部の膨張ひずみがやや大きくなる傾向にあり、このようなひずみ差に起因する内部応力もひびわれの進展に多少寄与するのではないかと推測された。なお暴露後、約1年で

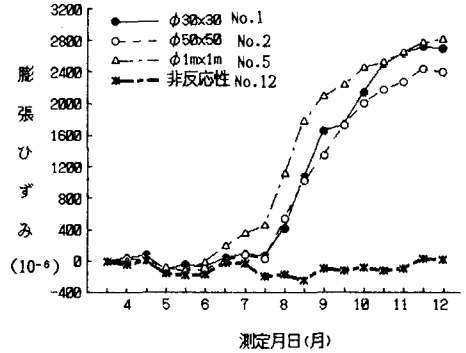


図-2 円柱試験体のコンクリートひずみ

No.5, No.9の試験体よりコアを採取して、ひびわれ深さを計測した結果では、鉛直方向のひびわれは最大のもので表面部より5cm程度で止まっており、周方向のひびわれはごく表層部に限られ内部まで進展していなかった。

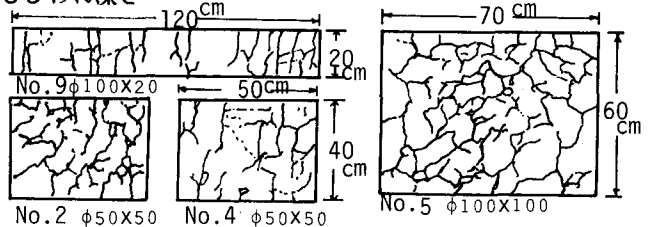


図-3 ひびわれパターン

3.3 鉄筋の拘束効果

図-5に $\phi 50 \times 50\text{cm}$ (No.2~No.4)の試験体のコンクリート表面ひずみの経時変化を、また図-6に鉄筋ひずみの経時変化を示した。鉄筋の存在により、コンクリートの膨張が拘束されているのは明らかであるが、拘束効果は必ずしも鉄筋比に比例していない。また、 $\phi 50 \times 50\text{cm}$ と $\phi 100 \times 100\text{cm}$ の試験体を比較すると、無補強のNo.2とNo.5のコンクリートひずみに大きな差が無いのに対し、No.4とNo.6は同じ鉄筋比でも、鉄筋ひずみに差があり、拘束応力に差が認められた。鉄筋ひずみよりコンクリート断面に作用する平均圧縮力を計算すると、No.3が 8.5kg/cm^2 、No.4が 15.6kg/cm^2 、No.6が 35.2kg/cm^2 となるが、これらの値はコンクリートの拘束膨張量から計算された圧縮力に比べて極めて小さい。この原因としては、鉄筋によって拘束される有効域の違いや、鉄筋の付着長の差が考えられた。

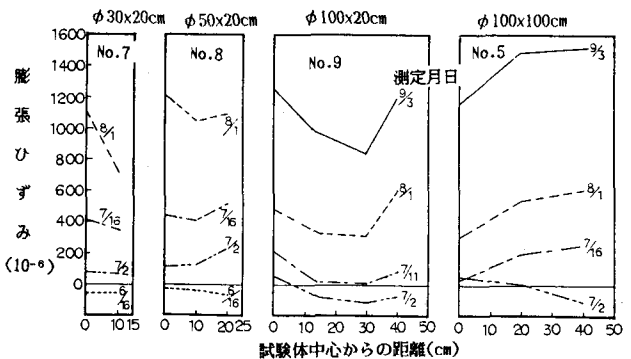


図-4 円盤試験体の内部ひずみ分布

と、No.3が 8.5kg/cm^2 、No.4が 15.6kg/cm^2 、No.6が 35.2kg/cm^2 となるが、これらの値はコンクリートの拘束膨張量から計算された圧縮力に比べて極めて小さい。この原因としては、鉄筋によって拘束される有効域の違いや、鉄筋の付着長の差が考えられた。

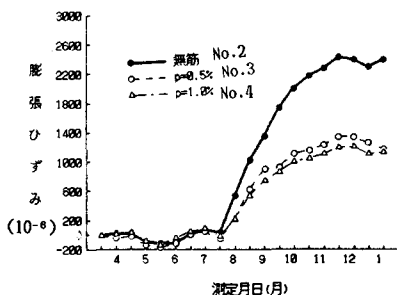


図-5 $\phi 50\text{cm}$ 円柱試験体のコンクリートひずみ

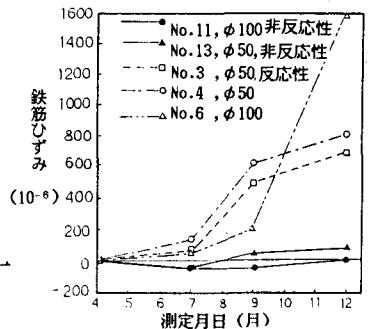


図-6 円柱試験体の鉄筋ひずみ

4. あとがき

反応性骨材を用いたコンクリート試験体の暴露試験の結果、ひびわれは自由表面近傍の局所的な応力に起因すること、鉄筋の拘束効果等が明らかになった。また、本実験では膨張を促進させるためにアルカリを多量に添加しており、寸法効果などを考える上で、実際の被害構造物と多少条件が異なっていることが予想されるが、これらの影響を考慮しながら今後も計測を継続する予定である。