

論文

[1020] 鉄筋拘束がアルカリ骨材反応に及ぼす影響に関する研究

正会員 ○矢村 潔 (摂南大学工学部)

正会員 西林新蔵 (鳥取大学工学部)

田中修一 (三井建設)

1. はじめに

鉄筋コンクリート構造物にアルカリ骨材反応が生じた場合、鉄筋による拘束は、コンクリートの膨張を機械的に拘束するのみならず、反応過程そのもののメカニズムにも影響を与えるものと考えられる。したがって、劣化の進行過程も拘束のない無筋コンクリートとかなり異なることが予想される。このような観点から、本研究は反応性骨材を用いた鉄筋コンクリート部材を単純にモデル化した一軸鉄筋拘束供試体について、拘束鉄筋量、保存環境等を変化させて実験を行い、コンクリートあるいは部材としての劣化の進行に及ぼす影響を明らかにし、今後、しばらくは発生が続くと予想される鉄筋コンクリート部材のアルカリ骨材反応による損傷に対処していくための基礎資料を得ることを目的とする。

2. 実験概要

2.1 使用材料

本実験で使用した反応性粗骨材は、鳥取県産斜方輝石安山岩(比重2.64, M.S.=20mm)で、化学法によるアルカリ濃度減少量は $R_c=301\text{ mol/l}$ 、溶解シリカ量は $S_c=67.5\text{ mol/l}$ (有害領域)である。また、この骨材はコンクリート実構造物に使用されて損傷の生じたことが報告されている。細骨材としては、非反応性の河口砂と陸砂との混合砂(比重2.58, F.M.2.82)を使用した。使用セメントは普通ポルトランドセメントで、アルカリ含有量はセメント重量比にして Na_2O 当量で0.47%である。これに練り混ぜ水とともに NaOH を加えて、所定のアルカリ濃度に調整した。鉄筋は、異形棒鋼(SD35)で、 $\phi 10$ 、 $\phi 13$ 、 $\phi 16\text{mm}$ のものを使用した。

2.2 実験計画

本実験では、 $10 \times 10 \times 40\text{cm}$ の一軸鉄筋拘束供試体についてアルカリ骨材反応におよぼす各種要因の影響を調べた。本実験における主たる要因は拘束鉄筋量、アルカリ量および供試体の保存環境である。それぞれの要因における水準および測定項目を試験条件とともに表-1に示す。

表-1 実験計画

試 験 材	反応性骨材	T2	セメントのアルカリ量(%)		0.47
	非反応性細骨材	NS	添加アルカリ		NaOH
条 配	単位セメント量(kg/m^3)	450	反応性骨材混合割合(%)		
	スランブ(cm)	12~15	0, 100		
主 要 因	供試体寸法(cm)	10×10×40			
	拘束鉄筋比(%)	0	0.71	1.27	1.99
	全アルカリ量(Na_2O 等量%)	0.5	1.5	2.0	
	保存条件	40℃, R.H.100%		20℃, R.H.100%	

また、コンクリートの示方配合を表-2に示す。

2.3 実験方法

本実験で使用した一

軸拘束供試体は、図-1に示すような鋼板と異形鉄筋を溶接したものに直接コンクリートを打設したものである。打設終了後直ちに恒温室(20℃, R.H.80%)中に搬入し、24時間保存した後、翌日に脱型し、長さ変化測定用プラグを供試体表面に貼付した。

初期値を測定した後、40℃保存供試体は、40℃, R.H.95%以上の保存槽中に、20℃保存供試体は

供試体に湿潤紙を巻きつけ、ビニール袋に入れて、恒温室(20℃)に保存した。なお、同一条件で3本の供試体について試験を行った。ひずみの測定は、コンクリートの表面に貼りつけたプラグ間の距離をフーゲンベルガー型ひずみ計(検長25.4cm)により計る方法で行った。また、ひびわれの進展状況の観測は、スケッチとトラバース法によって行った。トラバース法は、供試体を一定間隔のメッシュ(基線)で切って、それと交わるひびわれの本数とそのひびわれ幅によって評価する方法である。本実験における基線の配置を図-2に示す。平均ひびわれ幅、平均ひびわれ間隔は次式によって示される。

$$\text{平均ひびわれ幅 (mm)} = \Sigma (\text{ひびわれ幅} \times \text{本数}) / \text{ひびわれ総数}$$

$$\text{平均ひびわれ間隔 (mm)} = \text{基線の長さ} / \text{ひびわれ本数}$$

材令5ヶ月で各々の条件で一本の供試体について、アムスラー型耐圧試験機で鉄筋の軸方向に5tonf(コンクリート応力で約50kgf/cm)の载荷を行い、静弾性係数を求めた。

3. 実験結果とその考察

3.1 膨張の概要

それぞれの条件の供試体の膨張率の経時変化を図-3に示す。まず、40℃保存供試体についてみると、アルカリ量が2%で拘束のない場合には、0.5ヶ月から膨張が始まり、5ヶ月に至るまで急激な膨張が続いている。一方、拘束供試体では膨張が始まる時期は拘束のない場合とほぼ同じであるが、膨張の増加の程度は非常に小さく、とくに、4~5ヶ月あたりからは正常に向う傾向にある。本実験では、膨張が生じて始めて拘束応力が発生するので、拘束の影響は膨張が生じてから現れてくるのは、むしろ当然である。また、拘束の程度が強いほど膨張は小さくなるが、拘束鉄筋比が大きくなるにつれて拘束鉄筋比による膨張率の差は小さくなる。アルカリ量が1.5%では、膨張を開始する時期がアルカリ量が2%のものより約1ヶ月程度遅れ、膨張開始以降は、無拘束供試体、拘束供試体ともアルカリ量が2%とほぼ同じ増加割合で

表-2 コンクリートの示方配合

粗骨材の最大寸法 (mm)	スランブの範囲 (cm)	空気量 (%)	W/C (%)	s/a (%)	単位重量 (kg/m³)			
					W	C	S	G
20	12~15	2	0.45	40	203	450	660	0.38*

*絶対容積

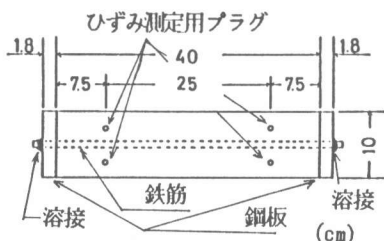


図-1 供試体

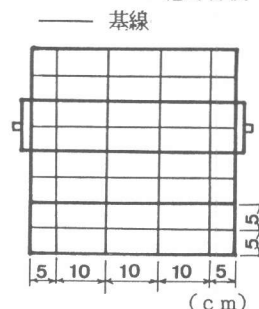


図-2 基線の配置 (展開図)

膨張している。次に20℃保存供試体については、アルカリ量が2%の場合には、膨張は無拘束供試体、拘束供試体ともに、材令3ヶ月程度から始まる。それ以降の膨張の増加割合は40℃保存供試体よりもかなりゆっくりしている。拘束の程度の影響に関しては40℃保存供試体の場合と同様の傾向が認められるが、5ヶ月現在まだ引き延ばして膨張を続けており、また、膨張量も小さいためそれほど

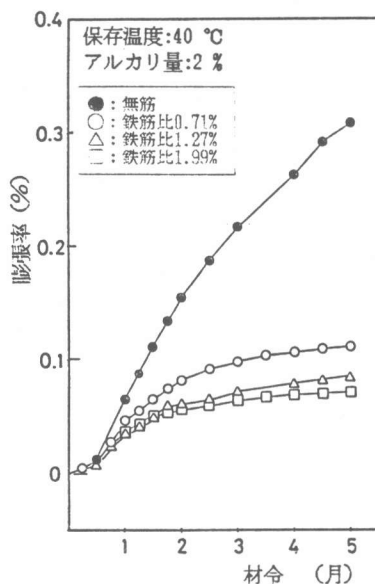
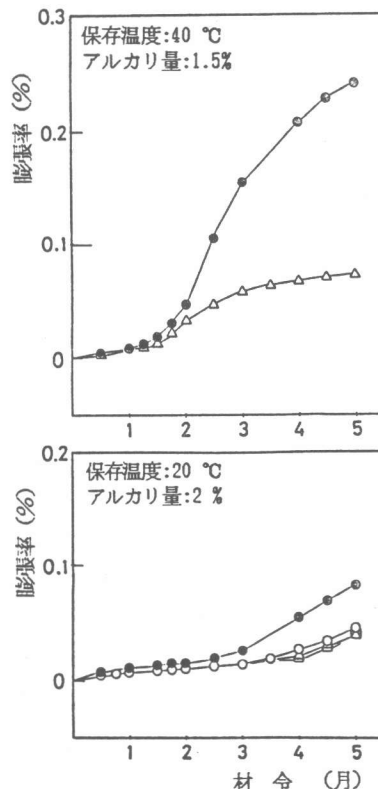


図-3 膨張率の経時変化



明確ではない。なお、アルカリ量が1.5%の場合、5ヶ月現在、無拘束供試体、拘束供試体ともほとんど膨張を示していない。

3.2 膨張に及ぼす各種要因の影響

材令5ヶ月における各供試体の膨張量を拘束鉄筋量を要因にとって図-4に示す。この図における膨張量は、全膨張量から材令5ヶ月における各供試体のコンクリートの静弾性係数と拘束応力より求めた弾性変形分を加えた純膨張量で示している。また、拘束鉄筋のひずみが供試体の表面ひずみと同じであると仮定して求めた材令5ヶ月における各供試体のコンクリートの拘束応力を表-3に示す。拘束応力は拘束鉄筋比が大

表-3 材令5ヶ月におけるコンクリートの拘束応力 (kgf/cm²)

保存温度	アルカリ量	拘束鉄筋比 (%)		
℃	Na ₂ O.eq (%)	0.71	1.27	1.99
40	2.0	13.0	19.9	23.3
	1.5		17.1	
20	2.0	5.1	8.7	12.7
	1.5		3.0	

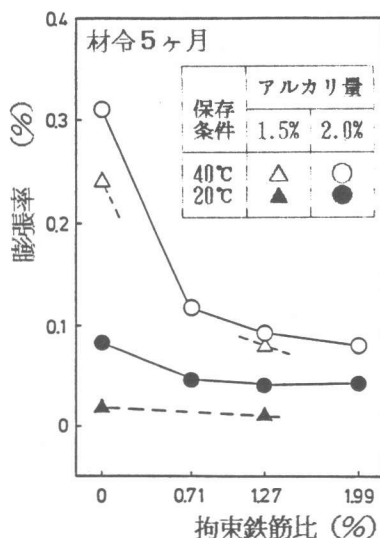


図-4 材令5ヶ月における膨張量

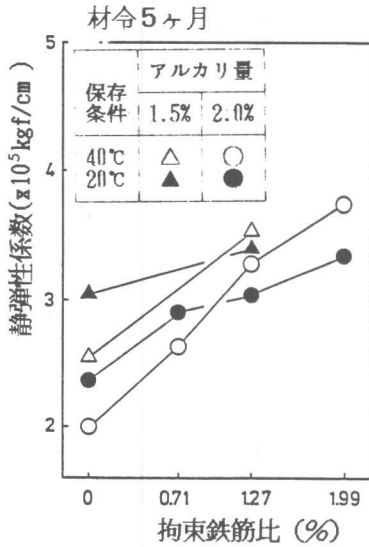


図-5 コンクリートの静弾性係数

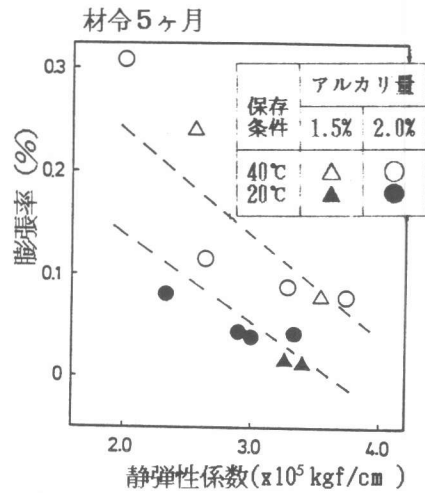
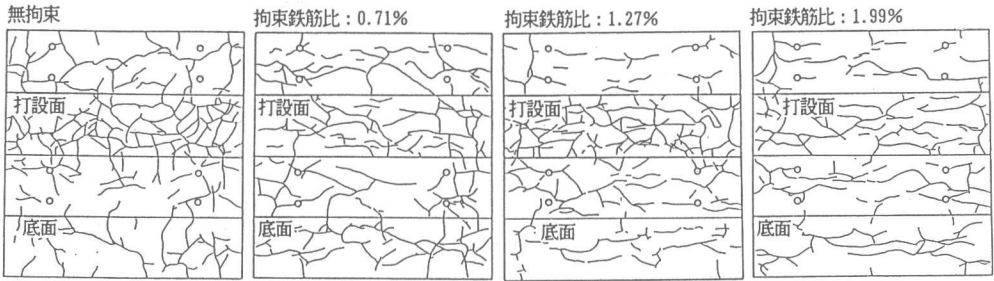


図-6 静弾性係数と膨張率の関係

きくなるほど大きくなっている。図-4より、いずれの条件でも、拘束鉄筋比が大きくなるにつれて膨張量が小さくなっている。とくに、わずかの拘束で膨張が大幅に抑制されることが明らかである。アルカリ量、供試体保存温度の影響に関しては、拘束供試体においても、従来から知られている拘束のないコンクリートの挙動とほぼ同じ傾向にある。

3.3 静弾性係数

材令5ヶ月における各供試体の拘束鉄筋軸方向におけるコンクリートの静弾性係数を図-5に示す。本実験に用いたのと同程度の配合で非反応骨材を使用した場合のコンクリートの静弾性係数が $4.5 \times 10^5 \text{ kgf/cm}^2$ 程度であったところから、いずれの条件の供試体でも静弾性係数はかなり低下していることが明らかである。また低下の程度は、拘束鉄筋量が大きいほど小さくなり、本実験の範囲内であれば、同一保存温度、同一アルカリ量であれば拘束鉄筋比と静弾性係数の間にほぼ直線関係が認められる。しかし、相関直線の勾配は、保存温度によって異なり、保存温度20°Cの方が小さい。これは、保存温度20°Cの方が拘束鉄筋量の変化に対する静弾性係数の変化が小さいことを示している。とくに、保存温度20°Cと保存温度40°Cに対する直線が拘束鉄筋比0.71%と1.27%の間で交差していることに注目する必要がある。すなわち、拘束鉄筋量が少ない領域では、保存温度40°Cの供試体のコンクリートの方が弾性係数の低下が大きいが、拘束鉄筋が多くなると逆に、保存温度20°Cの方が弾性係数の低下が大きくなる結果となっている。先にも述べたように、材令5ヶ月における各供試体の膨張量は、いずれの拘束鉄筋量においても保存温度40°Cの供試体の方が大きくなっており、弾性係数におけるのと膨張量におけるのでは、その傾向が必ずしも一致していない。そこで、材令5ヶ月における各供試体の膨張量と静弾性係数の関係を図-6に示す。この図から、それぞれの保存温度によって別々のほぼ平行な相関直線を見出すことが出来る。本実験結果によれば、保存温度20°Cの場合、保存温度40°Cと比較して、膨張量が少なくても弾性係数の低下が大きく劣化が進行している可能性があり、劣化の程度を膨張量のみによって評価することに問題があることを示唆している。このような傾向は、過去のデータにも認められ、さらに調査研究が必要であると考えられる。



保存温度：40℃ アルカリ量：2% 材令5ヶ月

図-7 ひびわれの発生状況

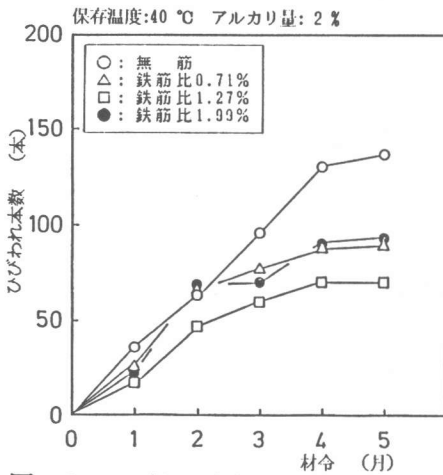


図-8 ひびわれ本数の経時変化

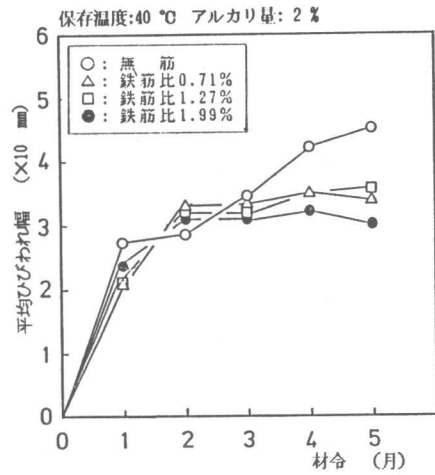


図-9 平均ひびわれ幅の経時変化

3.3 ひびわれ特性

材令5ヶ月における保存温度40℃、アルカリ量2%の各供試体のひびわれ状況を図-7に示す。無拘束の供試体では、ひびわれはランダムな方向に発生しており、また、打設面でのひびわれ発生が最も多く、他の3面はほぼ同程度である。拘束鉄筋比が大きくなるにしたがって、全般的な傾向として、ひびわれ本数が減少すると共に、拘束鉄筋軸に沿ったひびわれが卓越してくる。さらに、いずれの拘束鉄筋比においても打設面でのひびわれ発生が最も多い。このようなひびわれ状況を定量化する方法として本研究では、先に述べたように、トラバース法を用いた。これによるひびわれ本数および平均ひびわれ幅の経時変化を保存温度40℃、アルカリ量2%の供試体について示したのが図-8、図-9である。まず、ひびわれ本数について、すべての供試体が材令1ヶ月で相当数のひびわれが発生しており、2ヶ月までは、拘束に関係なくひびわれ本数は増加していく。それ以後、無拘束の供試体では材令とともにひびわれ本数はほぼ直線的に増加していくのに対して、拘束された供試体では、ひびわれ本数の増加割合は、急激に低下し、材令5ヶ月ではほぼ定常になる。ひびわれ本数に対する拘束鉄筋量の影響はあまり明確ではない。一方、平均ひびわれ幅については、材令2ヶ月までは、無拘束、拘束に関係なく、平均ひびわれ幅は急激に増加し、以後、無拘束の場合は増加を続けるのに対して、拘束供試体では拘束の程度に関係なく平均ひびわれ幅はほぼ一定値となっている。このような各

種要因による供試体のひびわれ特性を総合すると、膨張特性と似た傾向が認められ、供試体の膨張特性がひびわれ性状にかなり大きく支配されていることがうかがえる。

4. まとめ

本研究は、アルカリ骨材反応による鉄筋コンクリート構造物の膨張、劣化機構を明らかにしていくための基礎として、鉄筋によって一軸方向に拘束された小型供試体による実験を行い、その結果について検討を加えたものである。本実験では、対象とした要因も限られており、また、供試体の保存期間が短いために、一般的な断定は困難であるが、本実験の範囲内で現在までに明らかになったことを以下に列挙し、本研究の結論とする。

(1) 拘束されたコンクリートのアルカリ骨材反応による膨張の開始時期は、無拘束の場合とほとんど差がないが、開始以後の膨張の進行程度は遅く、比較的早い時期に定常になる。この傾向はわずかの拘束で顕著に現われ、拘束鉄筋量による差は比較的少ない。

(2) アルカリ量による膨張発現の差異は、主として膨張開始時期の差に現れ、それ以降の膨張進行過程はほぼ同じである。また、供試体保存温度が低くなると、膨張発現の時期が遅くなり、それ以後の膨張進行速度もゆるやかになる。拘束による影響は、基本的にはほぼ同じである。

(3) アルカリ骨材反応によるコンクリートの静弾性係数の低下の程度は拘束が大きいほど小さい。しかし、この差は供試体の保存温度によって異なり、拘束鉄筋量が少ない領域では、保存温度40℃の供試体のコンクリートの方が弾性係数の低下が大きいが、拘束鉄筋が多くなると逆に、保存温度20℃の方が弾性係数の低下が大きくなる。

(4) 拘束鉄筋比が大きくなるにしたがって、全般的な傾向として、ひびわれ本数が減少すると共に、拘束鉄筋軸に沿ったひびわれが卓越してくる。

(5) ひびわれ本数、平均ひびわれ幅は、材令初期では拘束の有無にかかわらず急速に増加するが、無拘束では増加が長期間持続するのに対し、拘束供試体では比較的短期間の内に一定値になる傾向がある。

最後に本実験を遂行するにあたって多大の協力を賜った鳥取大学工学部土木工学科材料研究室の諸氏に感謝の意を表する次第である。

参 考 文 献

- 1) 西林新蔵、矢村潔、林昭富、井筒浩二： コンクリート供試体によるアルカリ骨材反応の評価、コンクリート工学年次論文報告集、Vol.9, No.1, 1987, pp.645-650
- 2) 西林新蔵、矢村潔、定清毅： アルカリ骨材反応に及ぼす鉄筋拘束の影響に関する研究、コンクリート工学年次論文報告集、Vol.10, No.10, 1988, pp.795-800