

[1101] 大型コンクリートモデルによる ASR ひびわれの再現

正会員 岡田 清 (京都大学工学部名誉教授)

正会員 中野 錦一 (大阪セメント研究所)

正会員 小野 紘一 (鴻池組土木本部)

正会員 ○松村 誠 (鴻池組土木本部)

1. まえがき

関西地区で問題となっている反応性骨材の古銅輝石安山岩を用いて大型のコンクリートモデルを作製した。このコンクリートモデルを温度40℃、湿度100%の室内で約1年間保存したのち自然暴露の状態に約2年間さらしている。促進養生だけでは、実構造物に生じているようなひびわれを再現することはできなかったが、その後の自然暴露によってコンクリートモデルに発生したひびわれが既設の実構造物にASRによって生じているひびわれと酷似したものとなってきた。本報告は、これらのコンクリートモデルから得られた次のような情報について報告する。

①ひびわれの発生状況と超音波伝播速度

②コンクリートモデルの膨張量とその採取コアの膨張量

③ASR膨張におよぼす促進養生の効果

④フライアッシュおよび高炉スラグセメントのASR抑制効果

2. 実験概要

2-1 供試体

供試体の寸法、実験要因、測定項目を表-1に示す。供試体Aは、実橋脚とコンクリートの配合および鉄筋比も等しい実物大供試体、B、C、Dはこれより寸法の小さい供試体である。また供試体Cでは、使用セメントや養生条件を変えている。表-2は使用コンクリートの配合である。

表-1 供試体の種類

供試体種別	軸 筋		フープ筋		セメント種別	等 価 Na ₂ O量 (セメント 重量比%)	養 生 条 件			供試 体数	測 定 項 目		
	種 別	鉄筋化 (%)	種 別	鉄筋化 (%)			打 設～270日	270日～455日 (185 日間)	455日～1129日 (674 日間)				
A (直径φ：2000 高さh：2000)	D32-36	0.92	D25- 9	0.23	普通ポルト ランドセメント	1.78	室内促進 養 生 (40℃ (RH,100%)	室内促進 養 生 (60℃ (RH,100%)	自然暴露 養 生	1	・ひびわれ観察 ・超音波伝播速度測定 ・コアの膨張量測定 ・鉄筋ひずみ測定 測定断面……中央		
B (φ：1000 h：1400)	D22-18	0.90	D16- 7	0.20	同 上	同 上	同 上	同 上	同 上	1	○…軸 方 向 △…フープ方向 □…径 方 向		
C (φ：500 h：1000)	C-1	0.92	D16- 3	0.24	フライアッシュセメント (30%置換)	1.39	同 上	同 上	同 上	1	・ひびわれ観察 ・超音波伝播速度測定 ・鉄筋ひずみ測定 測定断面……中央 ○…軸 方 向 △…フープ方向 □…径 方 向		
	C-2				高炉スラグセメント (50%置換)	1.23				1			
	C-3				普通ポルト ランドセメント	1.78				4			
	C-4					自然暴露（雨水防止）				1			
	C-5					同 上（雨ざらし）				1			
D (φ：300 h：500)	D29- 1	0.92	—	—	同 上	同 上	室内促進 養 生 (40℃ (RH,100%)	室内促進 養 生 (60℃ (RH,100%)	自然暴露 養 生	1	・ひびわれ観察 ・超音波伝播速度測定 ・鉄筋ひずみ測定 測定断面……中央 ○…軸 方 向		

使用した反応性骨材は、表-3に示す古銅輝石安山岩で、細骨材は無害判定の除塩砂を使用した。等価 Na_2O 量は NaCl の添加によってセメント重量の1.78%に調整した。なおフライアッシュセメントおよび高炉スラグセメントを用いた供試体の等価 Na_2O 量は、普通ポルトランドセメントとの置換率を考慮して、それぞれ1.39%および1.23%とした。

2-2 実験方法

供試体は、コンクリート打設後5日で脱型、16日目まで温度20℃の湿潤養生を行ない、以後表-1に示す養生条件に暴露した。内部鉄筋のひずみ量を鉄筋計で測定し、これを供試体の膨張量とした。供試体A(φ2000mm)よりφ75mm、長さ150mmのコアを促進養生期間中に3回、自然暴露養生中に1回採取した。採取コアには、直ちにステンレス製バンドを取り付けコンタクトゲージで初期値を測定し、その後温度20℃、湿度100%で貯蔵した。膨張が収束した後、コアを温度40℃、湿度100%で貯蔵した。

3. 実験結果

3-1 ひびわれの発生状況と超音波伝播速度

写真-1, 2は、同寸法のASRの損傷を受けている実構造物と供試体Aのひびわれ発生状況である。実構造物は、施工後8年を経過しており、ひびわれ密度は 7.1 m/m^2 、最大ひびわれ幅は0.7mm程度で、ほぼ柱部全体にひびわれが分布している。供試体Aは、ひびわれ密度が 5.2 m/m^2 、最大ひびわれ幅は1.2mm程度になっており実構造物のASRひびわれパターンをも再現しつつある。図-1は、一例として供試体Aのひびわれの経時変化を示したものである。ひび



写真-1 実構造物

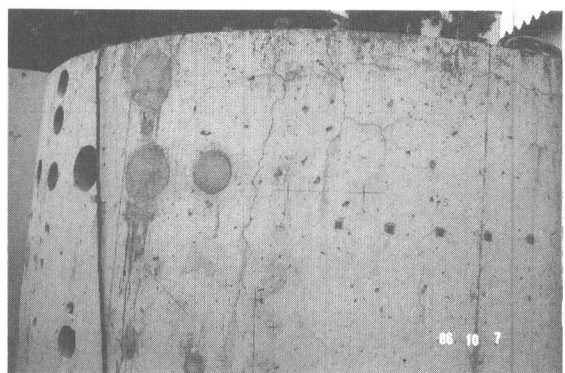


写真-2 供試体A

表-2 配合表

セメント 種別	水セメント比 W/C (%)	細骨材率 s/a (%)	単位量 (kg/m³)				混和剤 (グリンソル)
			セメント C	水 W	細骨材 S	粗骨材 G	
普通 ポルトランド セメント	55	41	345	191	745	1070	0.1

* フライアッシュセメント：普通ポルトランドセメントをフライアッシュで30%置換

高炉スラグセメント：普通ポルトランドセメントを高炉スラグで50%置換

表-3 反応性骨材の性質

色調による区分		黒色(A)	灰色(B)	茶色(C)	ブレンド ^{*1}
構成比(%)		11.6	37.6	50.8	—
岩種		古銅輝石安山岩			—
化学 法	Sc ^{*2}	663	696	671	677
	Rc ^{*3}	183	199	221	199
	Sc/Rc	3.6	3.5	3.1	3.4
	判定	潜在的 有害	潜在的 有害	潜在的 有害	潜在的 有害
モルタル 膨張 率 (%) 法	等価 Na_2O (%)	—	—	—	2.0
	3ヶ月	—	—	—	0.262
	6ヶ月	—	—	—	0.284
	判定 ^{*4}	—	—	—	有害

*1 岩種A,B,Cを構成比でブレンド

*2 Sc: 溶解シリカ量 (mmol/g)

*3 Rc: アルカリ濃度減少量 (mmol/g)

*4 6ヶ月膨張率が0.1%を超える場合を有害とした。

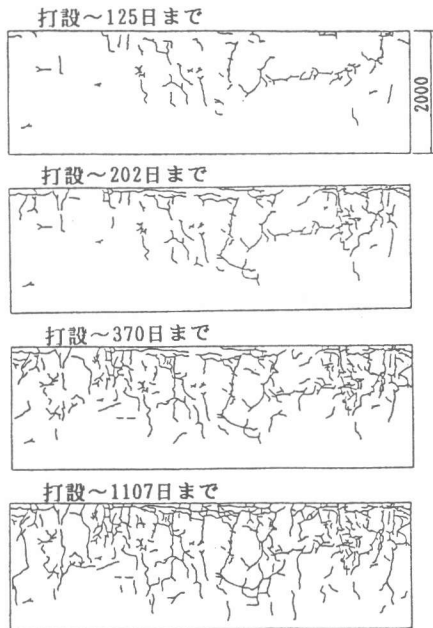


図-1 ひびわれ発生状況
(供試体Aの側面展開図)

われは自由端の供試体上部から発生しはじめ
図-2に示す超音波伝播速度も上部で4.1
km/sから3.8 km/sにまで低下しており
ASRの進行は自由端から発生してくるようである。

3-2 コンクリートモデルの膨張量とその採取コアの膨張量

図-3は、同一養生条件の供試体A, B, C-3, Dの供試体中心での膨張量経時変化を示したものである。膨張量は、促進養生終了時では $200 \sim 500 \times 10^{-6}$ 程度であり、自然環境に暴露すると収縮の傾向を示して

いる。図-4は、膨張量の半径方向分布を示したものである。採取コアの観察結果によると、ひびわれは鉄筋かぶりまでであったが、ASRによる膨張は内部にもおよんでいるようである。

実構造物のASR調査において構造物から採取したコアの開放膨張量および残存膨張量の測定がなされているが、構造物自体の膨張とどのよう

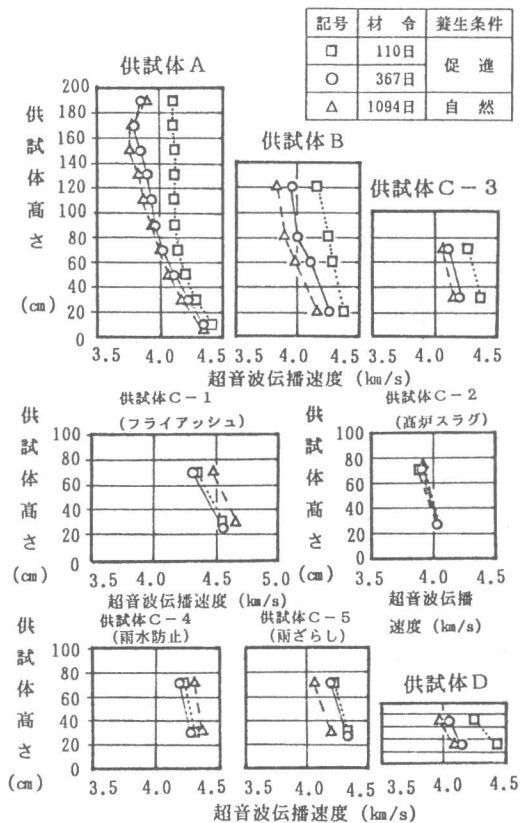


図-2 超音波伝播速度

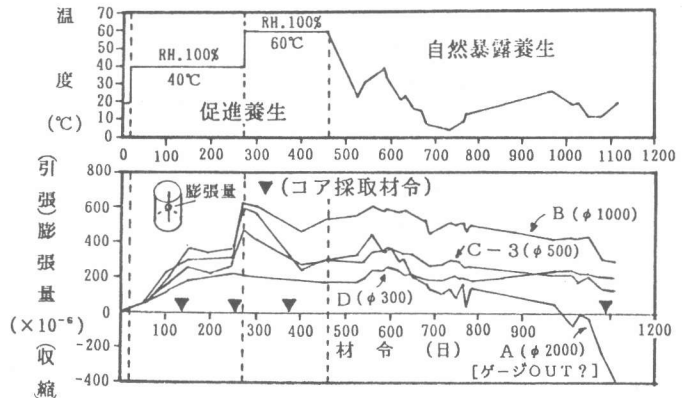


図-3 膨張量経時変化 (同一養生条件)

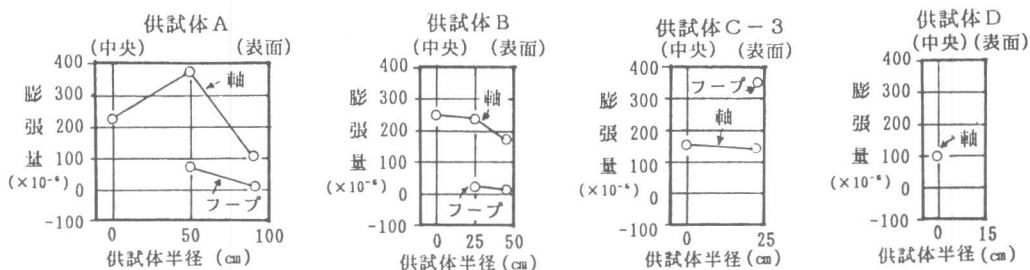


図-4 膨張量の半径方向分布 (材令3ヶ月)

な関係にあるかについてLenznerらの研究があるが、今回ASRによる初期からの膨張量が既知の実物大供試体A(φ2000mm)を用い、コア膨張量と供試体膨張量の関係を比較・検討した。

図-5は、採取コアの開放および残存膨張量の測定結果を示したものである。なお、1093日採取コアの膨張量は現在測定中である。図-6は、上下部のコアの平均膨張量と供試体膨張量の比較を示したものである。これらの結果によると、今回の試験に限って言えば、コアの開放膨張量は、そのコアを採取した材令までに構造物が膨張した量を、残存膨張量は、材令367日に採取したコアの膨張量を除けば今後構造物に生じるであろう膨張量にほぼ匹敵しているようである。このようなコアの測

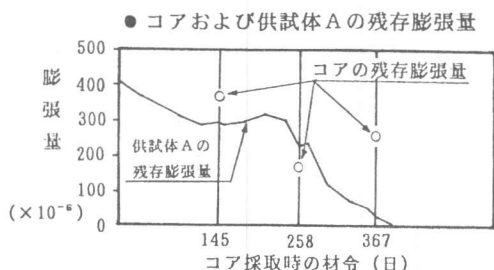
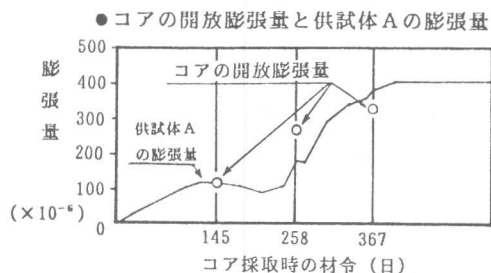


図-6 コアと供試体Aの膨張量比較
(供試体Aの膨張量は表面近傍の鉄筋ひずみ)

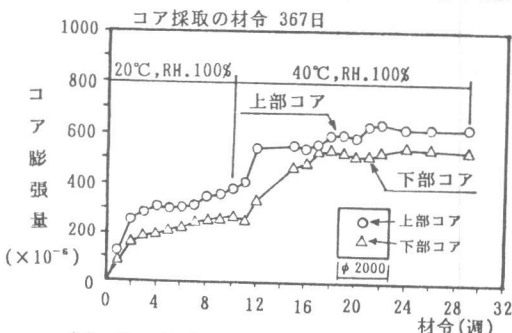
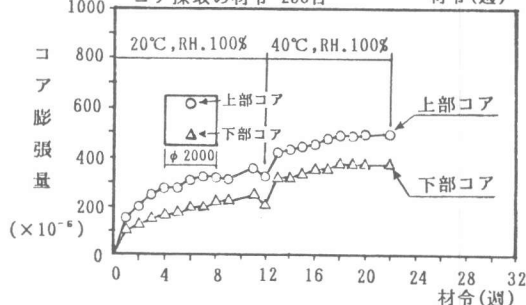
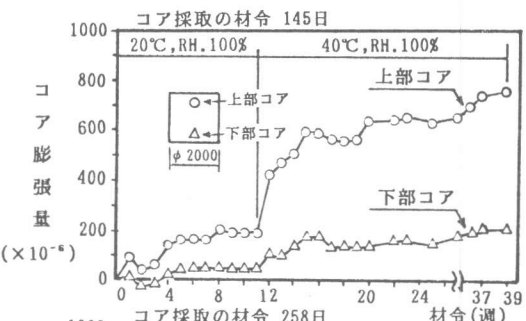


図-5 採取コアの開放・残存膨張量

定方法によりAS Rの影響を受けている実構造物のAS Rによる膨張をある程度は推定可能であると考えられる。しかしながら、今回の試験結果では、上部採取コアと下部採取コアの膨張量にはAS Rの程度によるためかかなりの差があったが、実構造物の膨張量測定のためのコア採取にあたっては、この点に留意する必要がある。

3-3 AS R膨張におよぼす促進養生の効果

図-7は、材令455日まで

促進養生し、その後自然暴露した供試体C-3の膨張量および当初より自然暴露し、雨水を防止した供試体C-4、雨ざらしの供試体C-5の膨張量を示したものである。屋外で雨水を防止した供試体C-4の膨張量は

当初から現在まで収縮を示しているのに対し、促進養生を施し

た供試体C-3は、当初から膨張し、促進養生の効果があらわれている。なお、屋外で雨ざらしにされている供試体C-5も、当初は収縮傾向を示していたが、その後膨張に転じている。また図-2に示したように超音波伝播速度も低下傾向にあり、AS Rの影響がでてきているようである。これらの結果は、防水がAS Rを抑制する効果がある点を示唆しているようである。

3-4 フライアッシュおよび高炉スラグセメントのAS R抑制効果

図-8は、使用セメント別の

膨張量を示したものである。また写真-3、4は、これらの供試体のひびわれ発生状況を示したものである。フライアッシュセメントや高炉スラグセメントを用いた供試体は膨張量が、当初より普通ポルトランドセメントを用いた供試体に比べ少なくまた、ひびわれも発生していないことからAS Rが抑制されているようである。

4. まとめ

反応性骨材を用い実物大をも

含めた種々のコンクリート柱を作製し、約3年に渡る促進ならびに自然暴露実験を実施した。これより判明した点をまとめると以下のようである。

①反応性骨材を用いた実物大供試体を促進貯蔵や自然暴露することによって、実構造物で生じているAS Rひびわれを再現できた。②AS Rによる劣化は、自由端から進行し、ひびわれは鉄筋かぶりまでであるが、膨張は内部にもおよんでいる。③自然環境に暴露すると、膨張量はほぼ一定か収縮傾向にあるにもかかわらず、劣化は進行している。④コアの開放膨張量は、そのコア

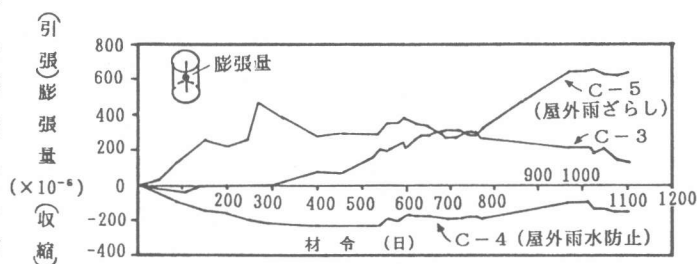


図-7 膨張量経時変化 (養生条件による)

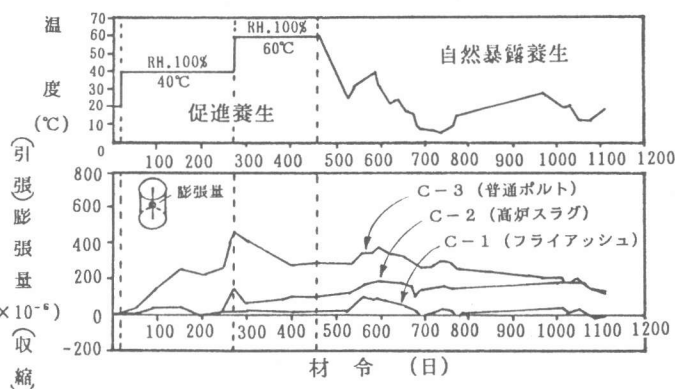


図-8 膨張量経時変化 (使用セメントによる)

を採取した材令
までに構造物が
膨張した量に、
コアの残存膨張
量は、今後構造
物に生じるであ
ろう膨張量にほ
ぼ匹敵するよう
であり、コアの
膨張量測定は構
造物のASRに
よる膨張をある
程度推定できそ
うである。⑤コ
ア採取位置によ
っては膨張量が
異なるようであ
るので、この点

は留意する必要がある。⑥防水処理およびフライアッシュセメント、高炉スラグセメントを用いるとASRが抑制されるようである。

【謝 辞】

本報告にあたり、建設省近畿地方建設局より貴重なデータを提供していただいた。ここに感謝の意を表します。

参考文献

- [1] 小野絃一、その他：アルカリ骨材反応とその力学的評価への一アプローチ、鴻池組技術研究発表会論文集、P.P.211-234、1984。
- [2] 小野絃一、その他：アルカリ骨材反応に関する現状と問題点、鴻池組技術研究発表会論文集、P.P.171-187、1985。
- [3] 日本材料学会：アルカリ骨材反応に関するシンポジウム、1985。
- [4] 小野絃一：アルカリ骨材反応による構造物の劣化の形態・日本における例、コンクリート工学、Vol.24、No.11、P.P.50-56、1986。
- [5] D.Lenzner and U.Ludwig：The detection of alkali-Silica reaction in Concrete structures、Zement-Kalk-Gips Nr. 8/1979(32.Jahr)。



写真-3 フライアッシュ(籾)と高炉スラグセメント(飴)を用いた供試体(ひびわれなし)

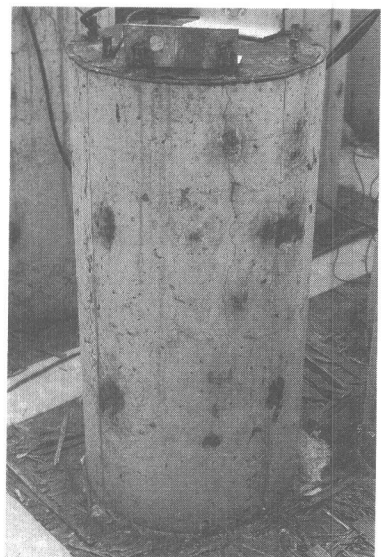


写真-4 普通ポルトランドセメントを用いた供試体