

報 告

[1159] アルカリ骨材反応を生じたコンクリートの応力解放後の性状

正会員○西山直洋（西松建設）

正会員 阿部道彦（建設省建築研究所）

1. はじめに

骨材のアルカリ反応性（以下AARと略す）の判定規準については化学法やモルタルバー法等の方法が確立されているが、既存の構造物に対しては表面のひび割れ状態や、コア供試体による物理および化学試験などの方法により劣化を判定しているものの、まだ規準が確立されるまでには至っていない。

これらの理由として、構造物は鉄筋や応力などの拘束条件が加わり、劣化機構を一層複雑なものとしているために、画一化した判断規準を設定出来ないことがあげられる。

また、これらに関する既往の研究は既存の構造物調査にとどまり、実験的な研究は実構造物の拘束条件を忠実に再現することの難しさから、あまり行われていないのが現状である。本報告は反応性骨材を使用した、実大の柱断面と同様な応力状態を再現した暴露3年目の試験体を用い、拘束されていた部分から採取したコア供試体について、その後の物性の経時変化を6ヶ月間にわたり計測を行い、構造物のAARによる劣化の評価を行う上で参考となる知見を得たので、その結果を示すものである。

なお、本研究は昭和62年7月より建設省建築研究所と西松建設(株)との共同研究として行ってきた“鉄筋コンクリートの劣化抑制・補修技術の開発”の一環として行った鉄筋等の拘束力下におけるアルカリ骨材反応に関する研究[1]の内の追加実験である。

2. 試験概要

2.1 試験体

使用材料を表-1に調合を表-2に示す。試験体は、図-1~2に示すような鉄筋コンクリート柱状でコンクリートの打設は縦打とし、中央にPC鋼棒により15kgf/cm²の軸力をかけたものである。

また、暴露は飛来塩分のない建物屋上で、雨水および日射のさまたげがない位置に図-1に示す方位で縦置きとした。

2.2 供試体

供試体は、試験体より図-1~2に示す位置より10本のコアを抜き、その内、縦方向に抜いたNaSおよびNaNについて、図-3に示すように3分割した。

表-1 コンクリートの使用材料

セメント	普通ポルトランドセメント(Na ₂ O等価量0.97%)
細骨材	鬼怒川産川砂(非反応性)
粗骨材	反応性 瀬戸内海産碎石 G ₁ モルタルバー法6ヶ月 膨張率 0.118% 化学法R. 151mol/l, S. 506mol/l C ₂ モルタルバー法6ヶ月 膨張率 0.171% 化学法R. 188mol/l, S. 690mol/l
	非反応性 鬼怒川産碎石
練り混ぜ水	イオン交換蒸留水
混和剤	AE減水剤
添加アルカリ	水酸化ナトリウム(NaOH) 塩化ナトリウム(NaCl) 亜硝酸ナトリウム(NaNO ₂) } 同一Na ₂ O当量

表-2 コンクリートの調合

水セメント比	スランブ	空気量	細骨材率	重量(kg/m ³)				混和剤の使用量	アルカリ総量
				水	セメント	細骨材	粗骨材		
%	cm	%	%					g/m ³	kg/m ³
60	18	4	46.0	180	300	813	309 657	21.0	8.0

また、標準供試体として同一場所に暴露した無拘束のφ100×200mmを3本測定に供した。

なお、供試体の一覧を表-3に示す。

表-3 供試体一覧

供試体 No	コア採取方向	採取部位
S-1	縦方向	上面南側
S-2		
S-3		
N-1	縦方向	上面北側
N-2		
N-3		
E-1	横方向	側面東側
E-2		
E-3		
E-4		
W-1	横方向	側面西側
W-2		
W-3		
W-4		
A-1	標準供試体	—
A-2		
A-3		

2.3 試験方法

試験方法は、(社)日本コンクリート工学協会「耐久性診断研究委員会報告書」〔コンクリート構造物の耐久性診断・評価手法に関する規準(案)〕に準じた。下記にその試験方法を示す。

(1)長さ変化

長さ変化の測定は、JCI-DD2「アルカリ骨材反応を生じたコンクリート構造物のコア試料による膨張率測定方法(案)」に準じて行った。

(2)動弾性係数

動弾性係数の測定は、JIS A 1127「共鳴振動によるコンクリートの動弾性係数、動せん断弾性係数及び動ポアソン比試験方法」に準じて行った。

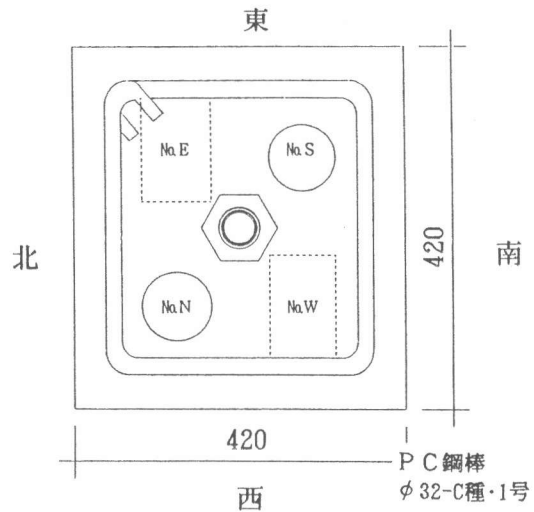


図-1 コア供試体採取位置(平断面)

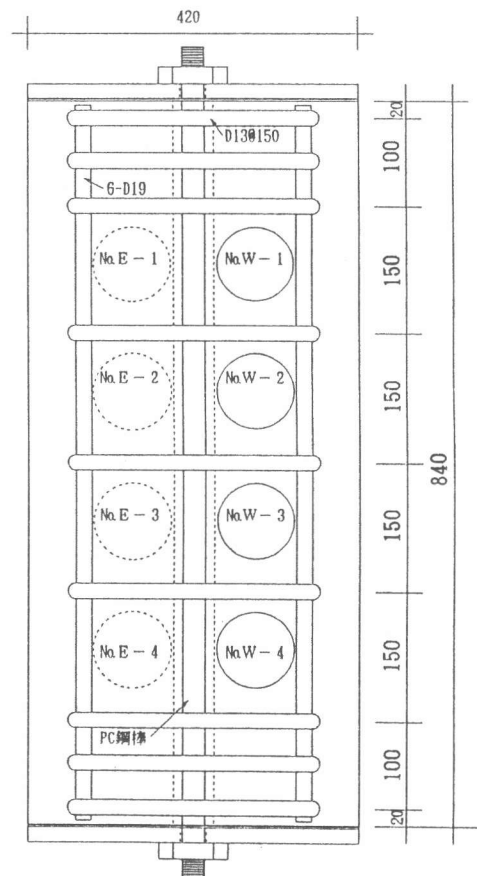


図-2 コア供試体採取位置(立断面)

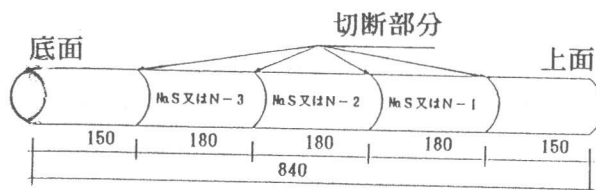


図-3 縦方向のコアの切断部分

(3) 超音波伝播速度

超音波伝播速度の測定は、イギリス製「パンジット」を用いて行い、コア供試体の上下面に発振子および受振子をセット(縦波測定)し、伝播時間を測定したのち超音波パルス速度を求めた。

$$\text{パルス速度 (V)} = \frac{\text{伝播距離 (L)}}{\text{伝播時間 (T)}} \quad (\text{km/s})$$

(4) 圧縮強度試験

圧縮強度試験は、経過材令6ヶ月測定終了後の各供試体を用いて、JIS A 1107「コンクリートからのコア及びはりの切り取り方法及び強度試験方法」に準じて行った。

3. 試験結果および考察

3.1 長さ変化

応力解放後の初期(14日間)の長さ変化試験の結果を図-4に示す。また解放後の一時的な定常期を基準に6ヶ月間の経時変化を図-5に、図-4および図-5を合わせた解放後の全膨張量を図-6に示す。

これらの結果から以下のことが言える。

(1) 解放膨張は2日間程度で安定し、当試験においては解放膨張と残存膨張の範囲が明確に出ていた。

(2) 解放膨張の量は図-4より0.04%前後を示すが、No. Aの標準で湿潤養生による膨張があることを考慮すると、当試験における解放膨張率は0.03%程度である。

また、同一試験体から採取した供試体にもかかわらず、採取位置により試験値にバラツキがあった。これは解放膨張量がAARの進行状況や、拘束度合などの要因と深く関与しているため考える。

なお、解放瞬時(1時間程度)の急速膨張現象もあるものと考えられる。

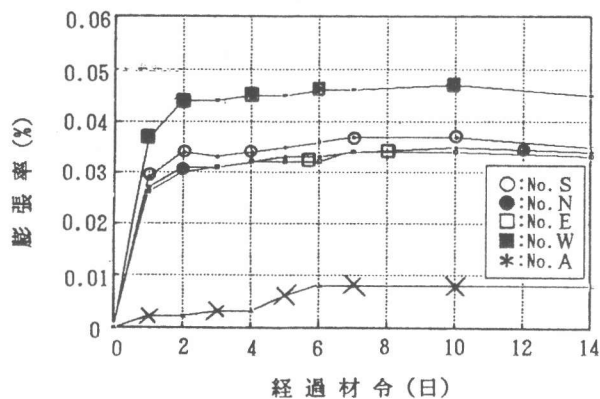


図-4 長さ変化試験結果(解放膨張)

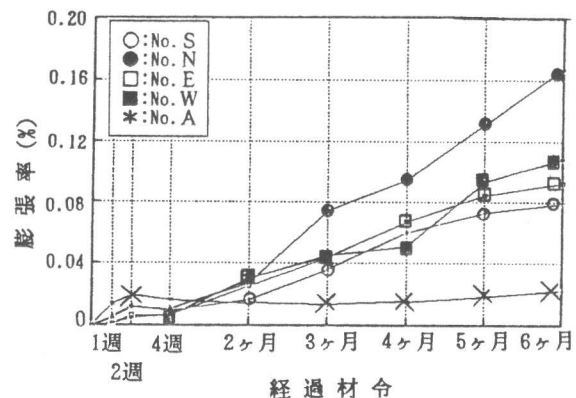


図-5 長さ変化試験結果(残存膨張)

(3) 残存膨張は6ヶ月経過後も安定せず進行しており、モルタルバー法などの膨張過程と異にしている。この理由として今回の試験ではアルカリ量が 8 kg/m^3 と通常の2~3倍であること、また、試験体内部での反応が遅いことなどが考えられる。一般的に屋外暴露を行った試験体は長期にわたって膨張が続くと言われており、当試験結果も同様な結果となっている。

(4) コア採取位置による膨張量の差が明確になっている。大きい順にN, W, E, Sとなっており、この差は試験体面の温度履歴によるものであり、このように構造体内部にも温度差が出ており、反応速度の差が出たものと思われる。

3.2 質量変化

質量の経時変化を図-7に示す。

通常、コンクリート供試体を湿潤養生すると、質量は増加するものであるが、図-7によると2週間目で0.27%程度の質量減少が見られる。

このように質量が減少した理由として測定を 20°C , RH95%で24時間養生した後に行っているため、そのくり返しにより飽水状態にあった供試体から95%の気中へ水分が奪われたことが考えられ、その後反応が促進されコンクリートの膨張により逆に水分が補給されていったものと思われる。

3.3 動弾性係数試験

相対動弾性係数の経時変化を図-8に示す。

結果を見ると6ヶ月間の変動はほとんどなく、また膨張との相関は見られず、結果を見る限りAARが進行しても6ヶ月程度では強度低下がなかったことが考えられる。

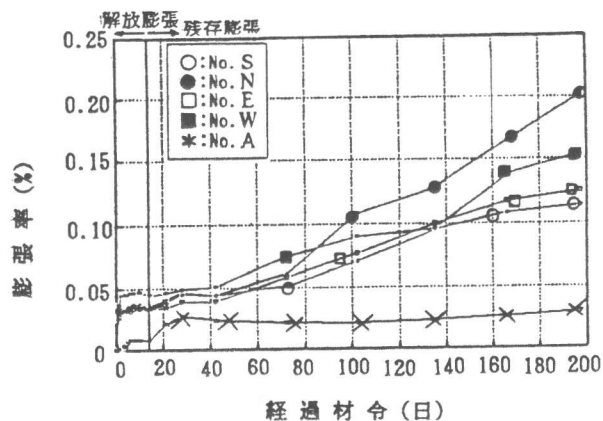


図-6 長さ変化試験結果(全膨張量)

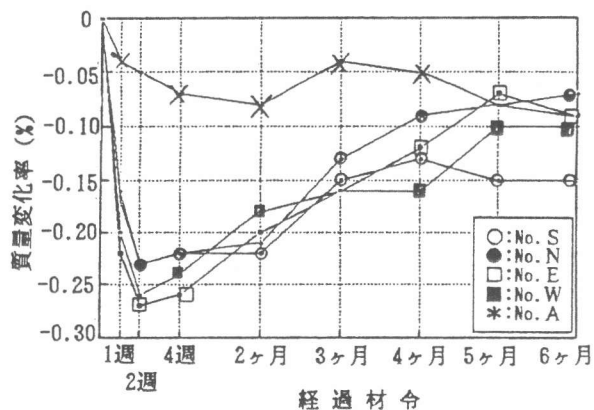


図-7 質量変化試験結果

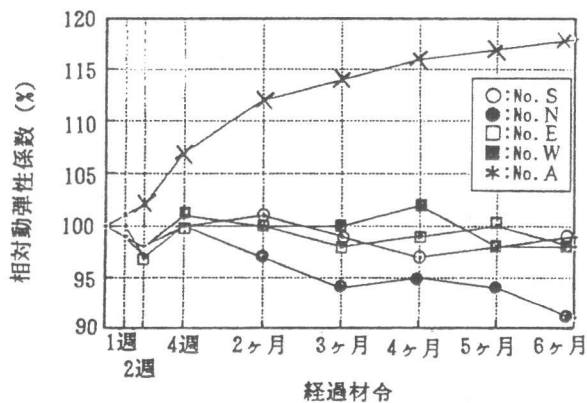


図-8 相対動弾性係数試験結果

なお、標準供試体において動弾性係数の増進が見られるのは湿潤養生による水和の促進によるものと考えられる。

3.4 超音波伝播速度試験

超音波伝播速度の経時変化を図-9に示す。

結果はコア供試体において2ヶ月後からやや低下傾向にはあるがほとんど変化がない。

この結果は相対動弾性係数とほぼ同様な事が言える。

3.5 圧縮強度試験

拘束解放後6ヶ月の圧縮強度試験結果を表-4に示す。

結果を見ると、抜取方向により強度に差がみられ、また、同じ面または同一供試体では下部ほど強度が大きくなっている。これらは自重による拘束力の強さにも起因しているものと考えられる。

また、標準供試体はバラツキが大きく、この3本以外の供試体で3年の間に自然崩壊してしまったものもある。

4. 総合考察

コア供試体を採取した試験体は、約30ヶ月屋外暴露したものであり、その試験体の60週にわたる長さ変化率を図-10に示す。

図-10によるとコア採取以前に0.4%近くの長さ変化があったことを示しており、この長さ変化と、コア供試体の長さ変化とは別々に検討する必要がある。

この長さ変化経過は、その後ほぼ一定値で推移しており、鉄筋内のコンクリートは十分な拘束状態にあったと考えられる。

次に劣化の判断規準となる圧縮強度とそれぞれの試験項目の6ヶ月測定値との比較を行った結果を図-11~12に示す。

これらの図では比較的良い相関性が見られるが、この図は6ヶ月時点の結果であり、これが経時変化との関係でとらえられればより有益な資料が得られるものと考えられる。

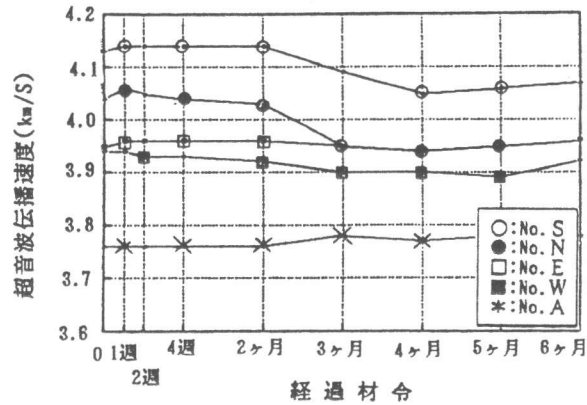


図-9 超音波伝播速度試験結果

表-4 圧縮強度試験結果

コア抜取方向	採取位置	供試体 No.	供試体寸法 (cm)		高さ/直径 (h/d)	補正係数	圧縮強度 (kgf/cm ²)
			コア抜き後高さ	直径			
縦方向	上面南側	S-1	18.01	9.98	1.80	0.98	298
		S-2	17.81	9.99	1.78	0.98	293
		S-3	19.02	9.98	1.91	0.99	305
		平均	—	—	—	—	299
縦方向	上面北側	N-1	18.01	10.00	1.80	0.98	243
		N-2	18.35	10.00	1.84	0.99	261
		N-3	18.65	9.96	1.87	0.99	320
		平均	—	—	—	—	275
横方向	側面東側	E-1	18.39	10.28	1.79	0.98	226
		E-2	18.28	10.28	1.78	0.98	205
		E-3	17.63	10.28	1.71	0.98	248
		E-4	17.21	10.28	1.67	0.97	283
		平均	—	—	—	—	240
横方向	側面西側	W-1	17.81	10.28	1.73	0.98	237
		W-2	18.04	10.28	1.75	0.98	242
		W-3	18.32	10.27	1.78	0.98	244
		W-4	17.25	10.27	1.68	0.97	280
		平均	—	—	—	—	251
標準供試体	—	A-1	20.22	10.08	2.01	1.00	279
		A-2	20.20	10.10	2.00	1.00	231
		A-3	20.42	10.08	2.03	1.00	193
		平均	—	—	—	—	234

また、コンクリートの標準養生4週圧縮強度が270~280 kg/cm²であることを考慮するとコア供試体の圧縮強度の低下はほとんどないものと考えられる。

今回の試験はアルカリ量を8 kg/m³と多量に混入したことや軸力をPC鋼棒で加えたことなどの特殊条件下で行ったものであるが試験結果から以下のことがいえる。

- (1) 適量の反応性骨材が混入したコンクリートのAARはアルカリの十分な寄与があれば長さ変化は6ヶ月以上続くものと思われる。
- (2) 当試験体のような3軸拘束力内のコンクリートは、AARによる膨張力が常時かかっている状態となっている。
- (3) 実構造物程度の3軸拘束力がある部位のコンクリートでAARが生じても強度低下はほとんどないものと推定される。
- (4) AARが生じたコンクリートの調査を行う場合コンクリート表面のみの調査では構造物全体の調査を行ったことにはならず、応力状態を把握して調査を行う必要がある。

また、コアによる強度試験だけを劣化判断手法とすることは問題がある。

- (5) 柱部材で表面の劣化状況に惑わされず、全体的な強度を非破壊で確認する方法として、超音波伝播速度の測定は比較的有効な方法である。

5. おわりに

本報告は1試験体についての報告であるが、今後はアルカリ量、拘束力などの要因を考慮して実験を行い、定量的な劣化の把握を行っていくものとする。

パラメータ：帯筋による拘束

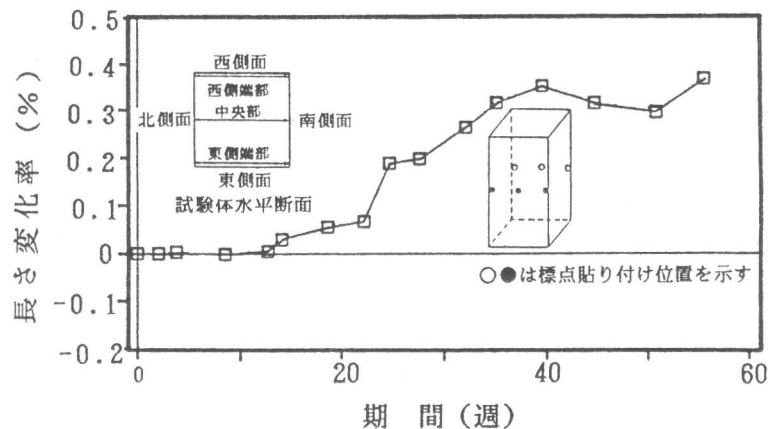


図-10 供試体中央部の長さ変化率の経時変化

圧縮強度:6カ月 長さ:6カ月

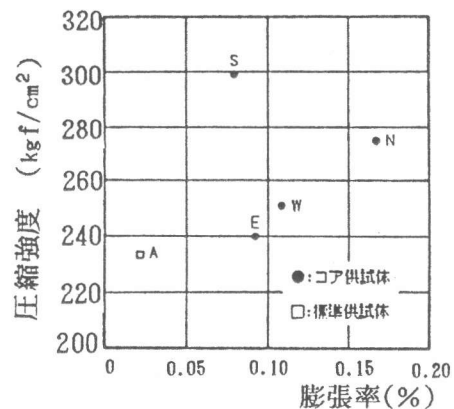


図-11 膨張量と圧縮強度の関係

圧縮強度:6カ月 超音波:6カ月

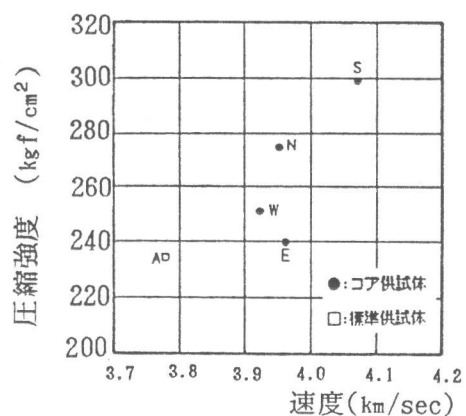


図-12 超音波伝播速度と圧縮強度の関係

[1] 梶田佳寛ほか「鉄筋等の拘束力下におけるアルカリ骨材反応に関する研究」日本建築学会 学術講演梗概集 1990, P.303~308