

報告

[1139] アルカリ骨材反応が発生した RC 構造物の耐力評価

正会員 岡田 清 (福山大学工学部)  
 正会員 ○ 近藤 茂 (関西電力株式会社建設部)  
 正会員 藤田 哲満 (関西電力株式会社建設部)  
 姫野 元治 (近畿コンクリート工業(株)技術部)

1. まえがき

ここ数年来、コンクリート構造物の早期劣化要因としてアルカリ骨材反応が社会的問題になっている。わが国においても現在その発生機構、発生要因、防止対策、構造耐力低下度等について活発に研究が行なわれている状況である。このうち、RC構造物にアルカリ骨材反応が発生した場合の構造耐力低下度を把握することは、今後、コンクリート構造物の保全上重要であると考えられる。

ここでは、アルカリ反応性骨材と非反応性骨材をそれぞれ使用したRC試験体を用いて、静的曲げ破壊試験を行ない、降伏および終局耐力等について両者を比較した結果、アルカリ骨材反応(この場合ASR)が生じた場合の構造耐力について、基礎的な資料を得たので報告するものである。

2. 試験概要

2.1 RC試験体の種類

試験体の種類は、反応性粗骨材を用いたもの(Aシリーズ)を5体、非反応性粗骨材を用いたもの(Nシリーズ)を4体、合計9体の試験体を製作した。

試験体の形状は、全長×断面幅×全高=150×50×25cmの矩形断面とし、主鉄筋の配置は対称配筋とした。配筋図および試験体の種類を図-1、表-1に示す。

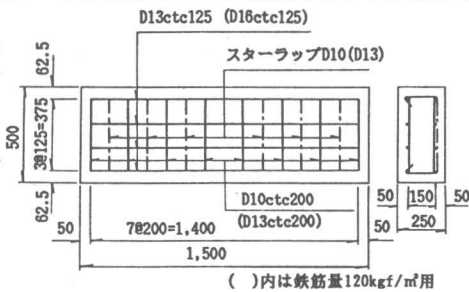


図-1 試験体の配筋図

表-1 試験体の種別

シリーズ	試験No.	主筋	配筋筋	スターラップ	p=p' (%)	養生方法
A (反応性)	1	D13@12.5cm	D10@20cm	D10	0.51	促進
	2	D13@12.5cm	D10@20cm	"	"	"
	3	D16@12.5cm	D13@20cm	D13	0.79	"
	4	無	無	無	-	気中
	5	D16@12.5cm	D13@20cm	D13	0.79	"
N (非反応性)	6	D13@12.5cm	D10@20cm	D10	0.51	促進
	7	D16@12.5cm	D13@20cm	D13	0.79	"
	8	無	無	無	-	気中
	9	D16@12.5cm	D13@20cm	D13	0.79	"

2.2 使用材料および配合

a. 使用材料……………表-2に示すとおりである。

表-2 使用材料一覧表

材料別	仕様
セメント	普通ポルトランドセメント、比重 3.16 $R_0(Na_2O)=0.8\%$
骨材	細 室木産海砂、比重 2.57 $FM=2.82$ 塩分量=0
	粗(Aシリーズ用) 古銅輝石安山岩、比重 2.56……反応性 $Sc/Rc = \frac{539}{198}$ ASTM化学法 潜在的有害
粗(Nシリーズ用)	硬砂岩、比重 2.68……無反応性 $Sc/Rc = \frac{1}{125}$ (ASTM化学法) 無害
混和剤	ボゾリスNo. 5L
添加剤	NaCl
鉄筋	SD35

b. 配合……………表-3に示すとおりである。

表-3 コンクリートの配合

シリーズ	G <sub>max</sub> (mm)	Slump (cm)	air (%)	W/C (%)	s/a (%)	単位量(kg/m <sup>3</sup> )					
						W	C	S	G	混和剤ゾリλN0.5L	添加剤(NaCl)
A	20	—	—	57	45	177	310	804	978	0.81	10.2
N	20	12±2.5	3±1.0	57	45	177	310	804	1024	0.81	0

Aシリーズには、強制的にアルカリ骨材反応が発生するようにコンクリート中の等価Na<sub>2</sub>Oがセメント重量に対して4%になるように、NaClを添加した。

2.3 養生方法

試験体はコンクリート打設後材令7日までシート養生し、その後試験No.1, 2, 3, 6, 7試験体は促進養生(37.8℃100%R.H)試験No.4, 5, 8, 9試験体は屋外気中養生を行なった。

2.4 試験方法

a. 試験体の経時変化測定

A・Nシリーズの鉄筋ひずみおよびコンクリートひずみの経時変化測定ならびに試験体の軸方向、幅方向、高さ方向の膨張量をノギスによって測定した。

b. 静的曲げ破壊試験

静的曲げ破壊試験は、図-2に示すようにスパン130cmの単純梁に対する対称2点集中荷重で行なった。

3. 試験結果および考察

3.1 試験体の経時変化測定

Aシリーズ試験体の最大ひびわれ幅とひびわれ長さの19ヵ月間の経時変化測定結果を図-3に示す。試験No.4, 5の試験体は、屋外気中養生であり、4月から9月にかけてアルカリ骨材反応の進展度が比較的高いことがわかる。

Aシリーズ試験体のひびわれ密度と膨張量の関係を図-4に示す。ひびわれ密度の増加とともに、膨張量もほぼ直線的な増加を示しており、両者にはよい相関が見られる。

試験No.1~9の試験体の膨張量測定結果を図-5に示す。鉄筋の拘束力が小さい方向によく膨張していることがわかる。

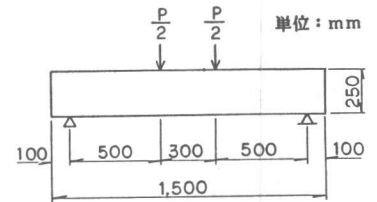


図-2 静的曲げ破壊試験方法

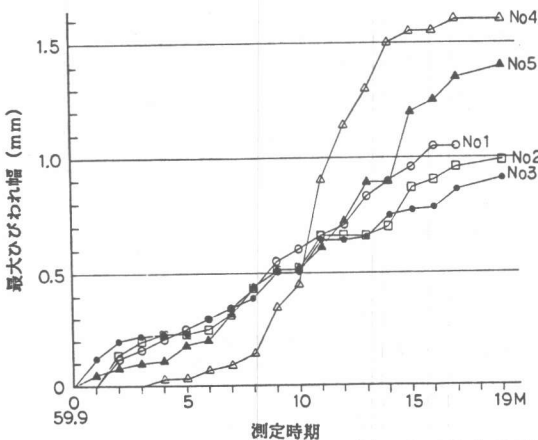
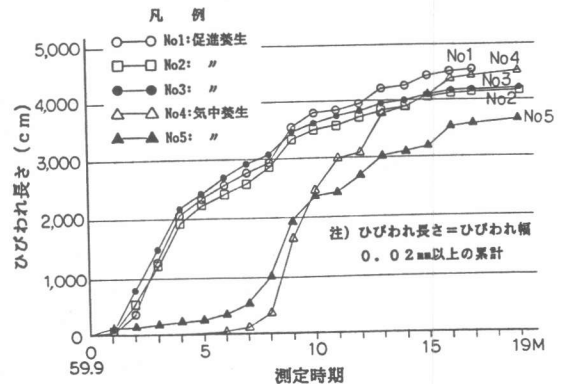


図-3 最大ひびわれ幅とひびわれ長さ



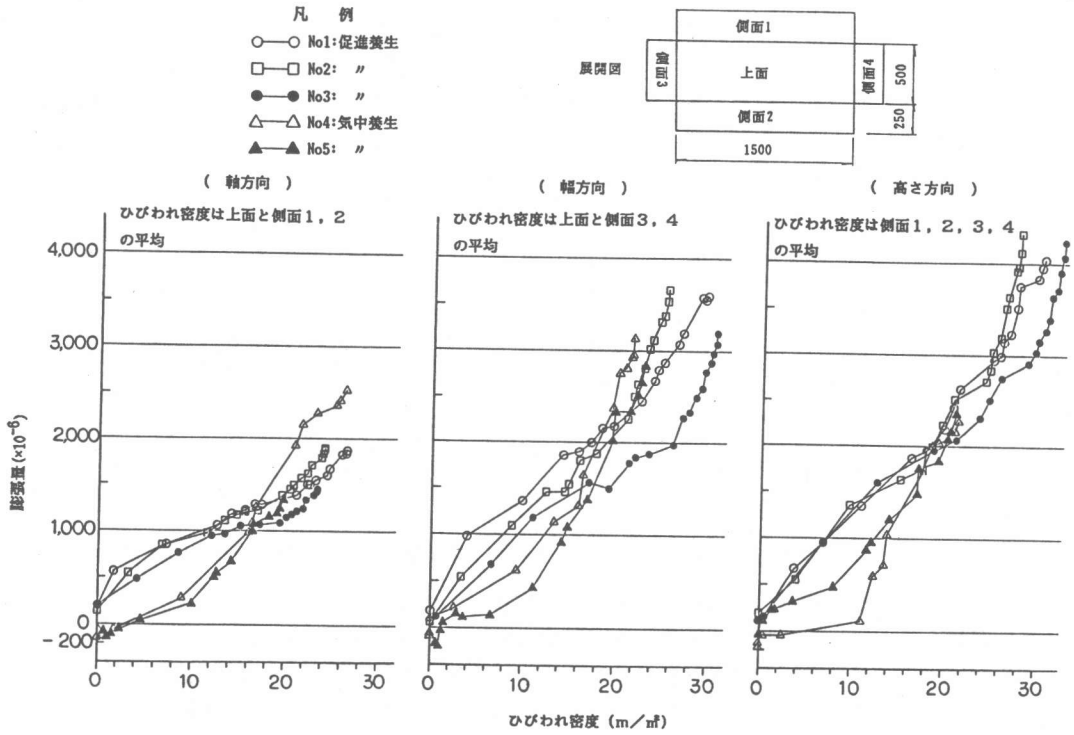


図-4 ひびわれ密度と膨張量

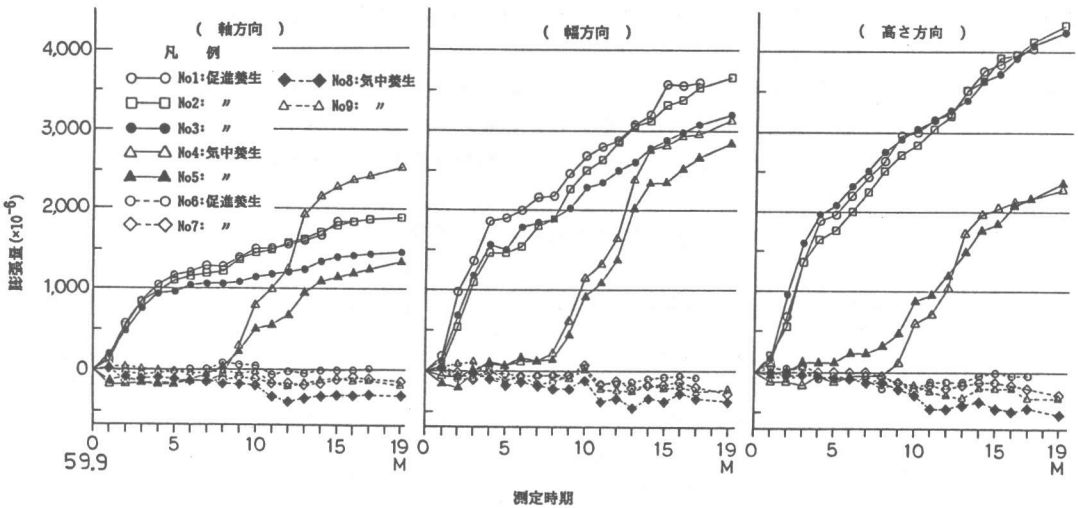


図-5 試験体の膨張量

### 3. 2 静的曲げ破壊試験

A・Nシリーズ各円柱供試体（直径15cm×高さ30cm養生条件は試験体と同様）の圧縮強度、引張強度（割裂試験）、静弾性係数の測定結果を図-6に示す。屋外気中養生の場合、Nシリーズのものに対してAシリーズの圧縮強度が25%、引張強度が30%、静弾性係数が45%それぞれ低下している。ただし、促進養生の場合は、圧縮強度が65%、静弾性係数が60%低下している。

A・Nシリーズ試験体の静的曲げ破壊試験結果における曲げ破壊荷重の比較を図-7に、曲げ破壊時のひびわれ状況の一例を図-8に示す。図-7より鉄筋コンクリートの場合、アルカリ骨材反応発生時においても、健全なものに対して終局耐力は鉄筋量に関係なく10~20%程度の低下しか示さないことがわかる。

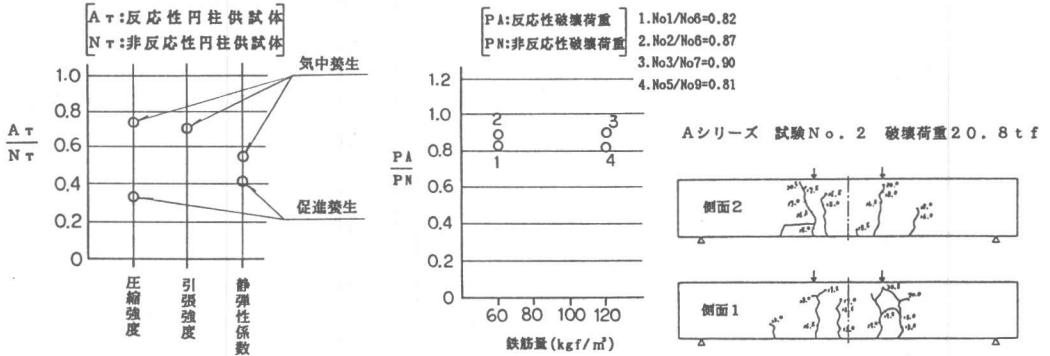


図-6 円柱供試体試験結果 図-7 静的曲げ破壊試験結果 図-8 曲げ破壊時のひびわれ状況

a. アルカリ骨材反応によりコンクリートに導入されるプレストレス

試験No.1~3, 5試験体の静的曲げ破壊試験直前の膨張ひずみを表-4に示す。この値を用いて(1)式により曲げ破壊試験直前の鉄筋に作用している引張力を求めたうえで、コンクリートに導入されるプレストレスを(2)式を用いて求めると[1]表-5の値となる。ただし、試験No.1, 2については、鉄筋の降伏ひずみ ( $6sy=3,610\text{kgf/cm}^2$ ,  $6su=5,120\text{kgf/cm}^2$ ,  $E=2.1 \times 10^6\text{kgf/cm}^2$ , 降伏ひずみ  $=1,719 \times 10^{-6}$ ) を越えているため鉄筋の降伏応力を用いて求めている。

これより、アルカリ骨材反応が発生することによって曲げ破壊試験直前には、コンクリートに約30~40kgf/cm<sup>2</sup>のプレストレスが生じていたと考えられる。

表-5の値を用いてプレストレスが負担できる載荷荷重を求めると表-6のとおりになる。

$$\text{引張力 } P = \epsilon \cdot E_s \cdot A_s \dots \dots \dots (1) \text{ 式}$$

$A_s$  : 圧縮鉄筋量および引張鉄筋量

表-4 曲げ破壊試験直前の膨張ひずみ

単位:  $\times 10^{-6}$

Aシリーズ	1	2	3	5
圧縮鉄筋位置	1,805	2,025	1,435	1,130
引張鉄筋位置	1,920	1,760	1,455	1,525

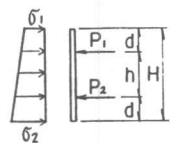
(2) 式

$$\text{上線 } \sigma_1 = \frac{N}{A_c} + \frac{M}{I_c} \cdot \frac{H}{2}$$

$$\text{下線 } \sigma_2 = \frac{N}{A_c} - \frac{M}{I_c} \cdot \frac{H}{2}$$

$$\text{ここに } N = P_1 + P_2$$

$$M = \frac{P_1 - P_2}{2} \cdot h$$



$A_c$  : コンクリート断面積

$I_c$  : 断面二次モーメント

表-5 コンクリートに導入されるプレストレス

単位: kgf/cm<sup>2</sup>

Aシリーズ	1	2	3	5
$\sigma_1$	28.70	28.70	37.94	24.83
$\sigma_2$	28.70	28.70	38.88	43.31

表-6 プレストレスにより負担する荷重

単位: t f

Aシリーズ	1	2	3	5
荷重	6.4	6.4	9.6	11.4

b. 試験体のたわみ性状

静的曲げ破壊試験時のスパン中央のたわみ性状の一例を示すと図-9のようになる。

Aシリーズのたわみ性状については、0～ $a_1$ 点間は直線的な挙動であり、 $a_1$ ～ $b_1$ 点はほぼ直線的であるが若干勾配が緩くなる、 $b_1$ 点から急激にたわみが増加し、 $b_1$ 点が降伏耐力と判断できる。また、Nシリーズの $b_2$ 点も同様に降伏耐力と判断できる。なお、Nシリーズの $a_2$ 点は、鉄筋コンクリートの引張縁にひびわれが発生したポイントである。

Aシリーズの $a_1$ 、 $b_1$ 点の荷重を表-7に、Nシリーズの $a_2$ 、 $b_2$ 点の荷重を表-8に示す。Aシリーズの $a_1$ 点の荷重と表-6に示すプレストレスにより負担する荷重とを比較するとほぼ同程度の値を示している。[2]

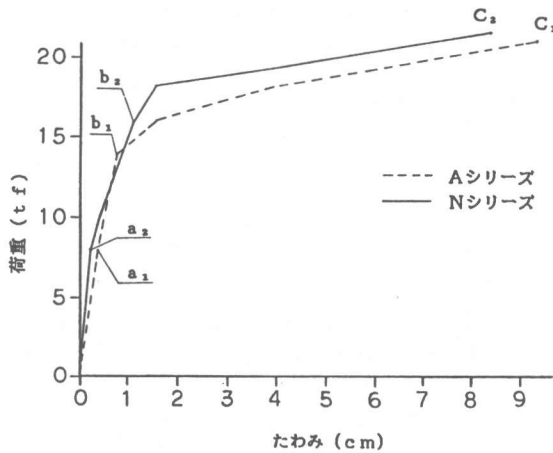


図-9 試験体のたわみ性状

表-7 Aシリーズのたわみ性状変化点の荷重

	単位: t f			
Aシリーズ	1	2	3	-5
$a_1$ 点	8	8	12	12
$b_1$ 点	14	14	22	22

表-8 Nシリーズのたわみ性状変化点の荷重

	単位: t f		
Nシリーズ	6	7	9
$a_2$ 点	8	10	10
$b_2$ 点	16~18	24	28

c. 試験値と計算値との比較

Aシリーズのコンクリート圧縮強度  $f'_c = 150 \text{ kg f/cm}^2$ 、Nシリーズのコンクリート圧縮強度  $f'_c = 450 \text{ kg f/cm}^2$  と鉄筋の降伏強度、引張強度を用いて計算した降伏・終局耐力と試験値との比較を表-9に示す。計算値と試験値とは、比較的よく一致しておりアルカリ骨材反応が発生した鉄筋コンクリート構造物の健全度評価は、本試験条件の範囲においては劣化したコンクリートの圧縮強度を用いて、健全な鉄筋コンクリートと同様の方法で検討できると考えられる。

表-9 計算値と試験値の比較

A シ リ - ズ			
鉄筋の降伏強度とコンクリート圧縮強度 $f'c = 150 \text{ kgf/cm}^2$ (ただし、試験No5は $f'c = 286 \text{ kgf/cm}^2$ ) を用いた場合の降伏耐力 $Pb_1$ と曲げ破壊試験結果から得られた $b_1$ 点 (降伏荷重) との比較			
単位: t f			
試験No	$b_1$ (降伏荷重)	$Pb_1$ (降伏耐力)	$b_1/Pb_1$
1	14	14.2	0.99
2	14	14.2	0.99
3	22	19.8	1.11
5	22	23.9	0.92
鉄筋の破断強度とコンクリート圧縮強度 $f'c = 150 \text{ kgf/cm}^2$ (ただし、試験No5は $f'c = 286 \text{ kgf/cm}^2$ ) を用いた場合の終局耐力 $Pc_1$ と曲げ破壊試験結果から得られた $C_1$ 点 (終局荷重) との比較			
単位: t f			
試験No	$C_1$ (終局荷重)	$Pc_1$ (終局耐力)	$C_1/Pc_1$
1	19.5	19.1	1.02
2	20.8	19.0	1.09
3	27.0	27.7	0.98
5	31.1	33.0	0.94
N シ リ - ズ			
鉄筋の降伏強度とコンクリート圧縮強度 $f'c = 450 \text{ kgf/cm}^2$ (ただし、試験No9は $f'c = 387 \text{ kgf/cm}^2$ ) を用いた場合の降伏耐力 $Pb_2$ と曲げ破壊試験結果から得られた $b_2$ 点 (降伏荷重) との比較			
単位: t f			
試験No	$b_2$ (降伏荷重)	$Pb_2$ (降伏耐力)	$b_2/Pb_2$
6	16~18	17.6	0.91~1.02
7	24	26.4	0.91
9	28	25.0	1.12
鉄筋の破断強度とコンクリート圧縮強度 $f'c = 450 \text{ kgf/cm}^2$ (ただし、試験No9は $f'c = 387 \text{ kgf/cm}^2$ ) を用いた場合の終局耐力 $Pc_2$ と曲げ破壊試験結果から得られた $C_2$ 点 (終局荷重) との比較			
単位: t f			
試験No	$C_2$ (終局荷重)	$Pc_2$ (終局耐力)	$C_2/Pc_2$
6	23.9	23.8	1.00
7	29.9	35.2	0.95
9	38.3	34.2	1.12

4. まとめ

今回の試験の範囲内では、アルカリ骨材反応ひびわれを有するRC試験体の健全なものに対する終局耐力低下度は、20%以下であった。また、アルカリ骨材反応が発生した鉄筋コンクリート構造物で、鉄筋量がつりあい鉄筋比以下の場合の耐力評価は、劣化したコンクリートの圧縮強度を用いて健全な鉄筋コンクリートと同様の方法で検討できると考えられる。

[参考文献]

- [1] 本田裕夫他：アルカリ骨材反応に対する鉄筋拘束の影響，第8回コンクリート工学年次講演会 1986年6月
- [2] 小林和夫：RC梁部材の静的保有耐荷特性—その1—，アルカリ骨材反応に関するシンポジウム 1985年7月