

論文

[1011] 細骨材のアルカリ骨材反応に関する検討

正会員 ○高田 潤 (鉄道総合技術研究所)

正会員 立松 英信 (鉄道総合技術研究所)

立屋敷久志 (三菱鉱業セメント中研)

1. はじめに

アルカリ骨材反応 (以下, AARと略す) に起因したコンクリートの劣化対策に資するため, 筆者らは, コンクリート構造物の実態調査とコンクリート供試体による検討を続けている。

今日までの実態調査¹⁾によれば, 被害の多くは粗骨材に劣化が認められるが, コアを詳しく観察すると, 一部には細骨材のみが反応している例も見出されている。そこで今回は, 反応性骨材を細骨材として使用した場合のコンクリートの劣化について, 粗骨材として使用した場合と対比しつつ, 供試体の諸特性を検討した結果について報告する。

2. 試験概要

2.1 供試体の作製

(1) セメントおよびアルカリ量の調整

使用したセメントはアルカリ量が $0.44\%R_2O$ ($0.26\%Na_2O$, $0.28\%K_2O$)の普通ポルトランドセメントで, セメント中の Na_2O と K_2O の重量比に従い, 試薬の $NaOH$ と KOH を添加して, 全アルカリ量を $2.0\%R_2O$ になるよう調整した。

(2) 骨材

反応性骨材は, 表-1に示すように, 輝石安山岩とチャートおよび粘板岩からなる碎石を使用した。これらの骨材の化学法による判定はそれぞれ潜在的有害, 有害である。また, 非反応性骨材は, 粗骨材として砂岩または粘板岩, 細骨材として同種の砂岩または豊浦産の標準砂を用い, 化学法による判定はいずれも無害である。

(3) 供試体の種類

供試体は膨張量, 圧縮強度, 曲げ強度, 反応生成物観察用とし, 水セメント比55%, セメント量 350kg/m^3 , 細骨材率47%である。なお, 各供試体の寸法はそれぞれ $10\times 10\times 40(\text{cm})$, $10\Phi\times 20(\text{cm})$, $10\times 10\times 40(\text{cm})$, $5\Phi\times 10(\text{cm})$ である。

2.2 測定および分析

本試験は, 表-2に示す試験水準に従って, 主として輝石安山岩について行い, 各供試体は温度 38°C , 相対湿度100%の条件で促進養生後, 以下の測定・分析を実施した。

表-1 反応性骨材の鉱物組成

産 地	岩 石	鉱 物
香川県	輝石安山岩	石英, 長石類, クリソバライト, 火山ガラス
山口県	チャート・粘板岩	石英, 長石類, 雲母

表-2 試験水準

試験 No.	反応性骨材混入率	
	細骨材	粗骨材
1	非反応性	非反応性
2	40	非反応性
3	60	
4*	100	
5	非反応性	20
6		40
7		60
8		80
9*		100
10	100	100

*印については, チャート・粘板岩を使用した試験も実施した。

膨張量用供試体については、JIS・A-1129に準拠して、所定の材令毎に長さ変化率を求め、この値を膨張量とした。強度用供試体については、材令6箇月まで促進養生を行い、JIS・A-1108、JIS・A-1106に準拠して圧縮および曲げ強度を測定した。圧縮強度については劣化したものとの比較検討用として、28日間水中養生を行ったものについても測定した。さらに、各供試体については、材令6箇月において、供試体表面のひびわれ密度を測定するとともに、切断面においてAARにより生じたと思われるひびわれを有する粗骨材の割合を求めた。反応生成物観察用供試体では、走査電子顕微鏡（SEM）およびエネルギー分散型X線分析装置（EDXA）を使用して、骨材割裂面に認められる生成物の形態観察と組成分析を実施した。なお、チャート・粘板岩については、試験No.4および9についてのみ供試体を作製し、膨張量を測定した。

3. 結果および考察

3.1 膨張特性とひびわれ

反応性骨材を細骨材または粗骨材に使用した場合（試験No.4および9）の膨張特性を図-1に示す。反応性骨材を細骨材として用いた場合は、岩石の種類を問わず膨張が早く、かつ膨張量も大きくなる²⁾。しかし、目視で確認できるひびわれは少なく、密度は逆に小さくなる。

3.2 力学的特性

力学試験などによるデータを一括して表-3に示す。AARによるコンクリートの劣化ではしばしば膨張量が劣化の尺度に利用され、膨張に伴い力学強度も低下することが予測される。しかし、材令6箇月における膨張量と圧縮強度または曲げ強度の関係は図-2に示すように、必ずしもこの傾向は認められない。

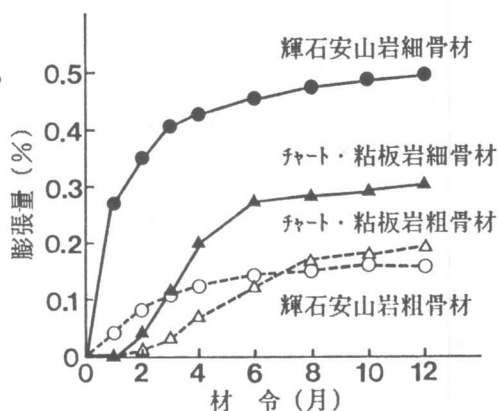


図-1 膨張特性

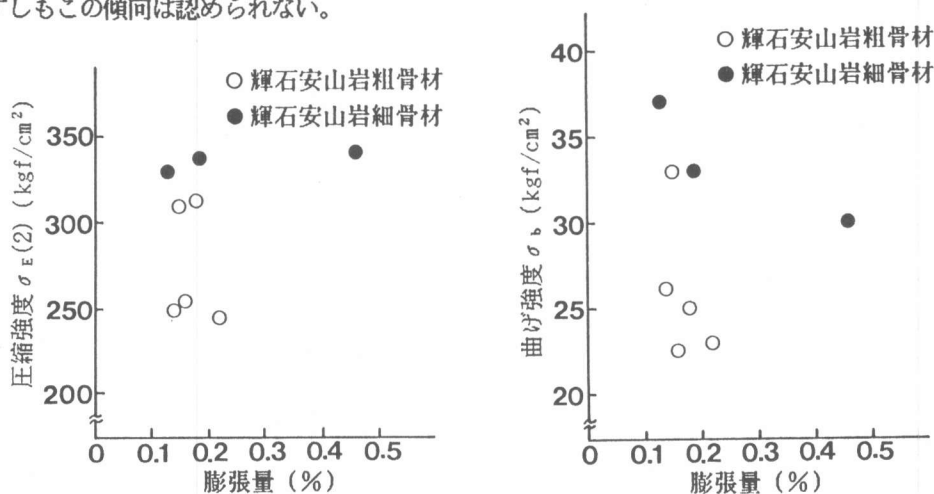


図-2 膨張量と強度の関係（材令6箇月）

表-3 各種試験結果一覧表

試験 No.	反応性骨材 混入率(%)		6箇月 膨張量 (%)	圧 縮 強 度		AARに よる 強度低下 $\Delta \sigma$	曲げ強度 6箇月 促進養生 σ_b	ひびわれ 粗骨材率 (%)
	細骨材	粗骨材		28日 水中養生 $\sigma_E(1)$	6箇月 促進養生 $\sigma_E(2)$			
				$\sigma_o(1)$	$\sigma_o(2)$			
1	0	0	0.03	214 $\sigma_o(1)$	422 $\sigma_o(2)$	—	46.6	0.0
2	40	0	0.13	226	328	106	37.2	0.5
3	60		0.19	245	336	117	32.7	0.5
4	100		0.46	259	340	127	30.0	1.5
5	0	20	0.15	226	311	123	32.7	13.8
6		40	0.18	232	314	126	25.2	18.2
7		60	0.22	244	246	206	22.8	28.1
8		80	0.16	244	252	200	22.5	25.8
9		100	0.14	276	249	235	26.4	30.0
10	100	100	0.11	308	423	93	44.7	2.0

* 圧縮強度, 曲げ強度: 単位はkgf/cm²

そこで, AARによる圧縮強度の低下分($\Delta \sigma$)の算出を試みた。促進養生前後の実測による増加分($\Delta \sigma_E$)は, 主としてセメント硬化体の水和反応による増加分($\Delta \sigma_o$)から, AARによる低下分($\Delta \sigma$)を差し引いたものである。コンクリートの強度発現は, セメント硬化体の水和反応のみならず種々の要因に支配されるが, これらの影響をできるだけ相殺するため, 28日間水中養生を行ったものを基準とすれば, 同一アルカリ量のもとで比較する場合に限って, $\Delta \sigma$ は次式によって近似できる。

$$\Delta \sigma = \Delta \sigma_o - \Delta \sigma_E, \quad (\Delta \sigma_o \doteq \sigma_o(2) - \sigma_o(1), \quad \Delta \sigma_E \doteq \sigma_E(2) - \sigma_E(1))$$

$$\text{したがって, } \Delta \sigma \doteq [\sigma_o(2) - \sigma_o(1)] - [\sigma_E(2) - \sigma_E(1)]$$

$\Delta \sigma$: AARによる圧縮強度の低下分

$\sigma_o(2)$: 細・粗骨材共に非反応性骨材を用いたものの6箇月促進養生後の圧縮強度

$\sigma_o(1)$: 細・粗骨材共に非反応性骨材を用いたものの28日水中養生後の圧縮強度

$\sigma_E(2)$: 細骨材または粗骨材に反応性骨材を用いたものの6箇月促進養生後の圧縮強度

$\sigma_E(1)$: 細骨材または粗骨材に反応性骨材を用いたものの28日水中養生後の圧縮強度

AARによる圧縮強度の低下について, 上述の式を適用して求めた値を表-3に示した。この値を, 反応性骨材を(a)細骨材として使用した場合と(b)粗骨材として使用した場合とを比較すると, 膨張量では(a) > (b)であるにもかかわらず, 圧縮強度の低下は(a) < (b)となり, コンクリートにおける圧縮強度の低下は, 細骨材よりむしろ粗骨材の劣化に大きく依存すると考えてよい。

そこで、粗骨材に注目すると、図-3に示すように、圧縮強度の低下はひびわれ骨材率と極めてよい相関が認められ、この割合は反応性骨材混入率が増加するに伴って高くなっている。実際に、供試体破断面の目視観察によると、図-4のように粗骨材は脆弱化した表層部で割裂しており、強度低下の役割を担っていることが推察される。

なお、反応性骨材を細骨材、粗骨材共に使用した場合の膨張量と圧縮強度低下の関係は細骨材が劣化した場合と類似し、圧縮強度の低下は小さい。この場合、供試体の破面観察によると粗骨材には殆んど劣化が認められず、上述の推察を支持する妥当な結果となっている。

3.3 反応生成物

細骨材の劣化の場合にも観察を注意深く行くと、骨材割裂面に生成物が認められ、これらの生成物の顕微鏡的特性は、典型的なアルカリ-シリカ型のものは認められないものの、基本的には粗骨材の劣化の場合と同じであり³⁾、材令の経過に伴ってCa含有量は増加する傾向にある。

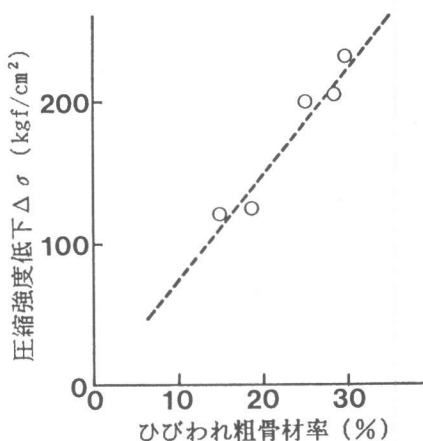


図-3 ひびわれ骨材率と圧縮強度低下の関係

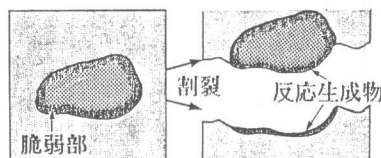


図-4 骨材の割裂模式図

4. まとめ

AARによる細骨材の劣化の特性を、粗骨材の場合と比較検討するため、コンクリート供試体による試験を実施した結果、以下のような知見が得られた。

- ① 反応性骨材を細骨材として使用すると、膨張量は大きくなるが、圧縮強度の低下は粗骨材の場合より小さくなる。
- ② 圧縮強度の低下は膨張量とはかならずしも相関性がなく、脆弱化している粗骨材の割合との相関性が高い。
- ③ 細骨材も注意深く観察を行うと、劣化している場合には反応生成物が認められ、その化学的特性は基本的には粗骨材に見出されるものと同じである。

今回は、無拘束のコンクリートでAARに関する検討を行ったが、細骨材が劣化すると膨張量が大きくなるため、実際の構造物のように拘束があると表面のひびわれの発生など異なった挙動を示すことが考えられる。

〔参考文献〕

- 1) 高田潤, 立松英信, 立屋敷久志, 永嶋正久: アルカリ骨材反応とコアの膨張試験, 骨材資源, 第75号, 1987, pp.133~141
- 2) 野村謙二, 小林一輔: アルカリシリカ反応によるコンクリートの膨張性状に及ぼす各種要因の影響, コンクリート工学年次論文報告集, 第10巻, 第2号, 1988, pp.801~806
- 3) 立松英信, 高田潤: アルカリ骨材反応生成物の特徴とコンクリートの劣化, コンクリート工学年次論文報告集, 第9巻, 第1号, 1987, pp.561~566