

[1114] コンクリート供試体によるアルカリ骨材反応の評価

正会員 ○西林新蔵（鳥取大学工学部）
 正会員 矢村 潔（鳥取大学工学部）
 正会員 林 昭富（鳥取大学工学部）
 井筒浩二（ピーエスコンクリート）

1. まえがき

アルカリ骨材反応によるコンクリート構造物のひびわれ損傷を防止するためには、あらかじめ骨材の反応性を試験によって評価しておくことがその基本である。我が国では、現在のところ骨材の反応性試験方法として、いわゆる化学法およびモルタルバー法が採用されている¹⁾。しかし、化学法は、厳密には、ある骨材の潜在的なアルカリ反応性の可能性を判定するための基準を与えるものであり、その骨材をコンクリートに使用したときの有害な反応の有無に対しては必ずしも正確な情報を与えるものでない。また、モルタルバー法は、本来は骨材中の砂分のみのアルカリ反応性を確認するために開発されたもので、これをそのまま粗骨材に対して適用していく場合、その結果の解釈には十分注意すべきことが指摘されている。

本研究はこのような観点から、コンクリート供試体による試験方法を開発することを目的としたものである。すなわち、コンクリート角柱供試体および立方体供試体についての試験を行い、その結果を化学法、モルタルバー法と比較検討するとともに、コンクリートの膨張特性、ひびわれ特性と劣化について考察を加えたものである。

2. 実験概要

2.1 使用材料

本実験で使用した骨材は、実構造物で損傷例が報告されている反応性粗骨材3種類と、非反応性粗骨材1種類および細骨材として非反応性の河口砂と丘砂との混合砂である。なお、粗骨材の最大寸法はいずれも20mmである。これらの物理的性質および化学法の結果を表-1、図-1に示す。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でNa₂O等量：0.47%のものである。また過剰添加用のアルカリ化合物としては試薬1級のNaOHを練り混ぜ水に加えて使用した。

2.2 実験計画

本実験は反応性骨材3種類および非反応性粗骨材1種類を粗骨材とするコンクリート供試体について、各要因を変化させてその物性の変化を測定することによって、骨材の反応性の評価方法の検討を行うものである。本実験における主たる要因は、骨材の種類、反応性骨材混合割合、ア

表-1 骨材の物理的性質

骨材の種類	岩石名	産地	比重	吸水量	F.M	
反応性粗骨材	T ₁	斜方輝石安山岩	鳥取県産	2.60	1.93	6.76
	T ₂	斜方輝石安山岩	鳥取県産	2.64	1.48	6.53
	O	両輝石安山岩	瀬戸内東部産	2.25	1.81	6.64
非反応性粗骨材	NT	砂岩	鳥取県産	2.70	0.65	6.64
非反応性細骨材	NS	混合砂 河口、丘砂	鳥取県産	2.58	1.00	2.82

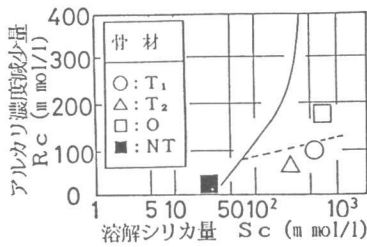


図-1 化学法の結果

ルカリ量および供試体寸法である。これらの要因と水準を表-2に示す。

コンクリートの配合については、単位セメント量 450 kg/m³とし、非反応性の粗骨材 (NT) を用いてアルカリの過剰添加を行わない状態でスランプが 12 ~ 15 cm となるようにした。またアルカリの過剰添加によるスランプの変化に対する水量の補正は行っていない。コンクリートの示方配合を表-3に示す。なお、比較のために、表-2に示すコンクリートの条件に対応するモルタルバーの試験を同時に行った。

2.3 実験方法

コンクリートは、所定の条件で打設後、恒温室 (20°C) に搬入し、24時間後脱型し、直ちに基準長さ、動弾性係数、超音波伝播速度を測定し、それぞれの条件で保存した。測定は材令 14日、28日、以降1ヵ月毎に長さ変化、動弾性係数、超音波伝播速度について行い、同時にひびわれ状況の調査を行った。

3. 実験結果とその考察

3.1 コンクリートの膨張の経時変化

表-2 実験計画

図-2に反応性骨材混合割合 100%, 40°C, R.H. 100% 保存の場合のコンクリート角柱供試体の膨張の経時変化を、アルカリ含有量別に示す。また図には比較のため T₂ 骨材についての同一アルカリ含有量に対する J I S 供試体によるモルタルバー試験の結果を併せて示す。

試験条件	反応性粗骨材	0, T ₁ , T ₂	セメントのアルカリ量 (Eq. Na ₂ O %) 0.47		
	非反応性粗骨材	NT	添加アルカリ	NaOH	
	細骨材	NS (N)	全アルカリ量 (Eq. Na ₂ O %)	0.5, 1.0, 1.5, 2.0, 2.5	
	配合条件	単位セメント量 (kg/m ³)	450	反応骨材割合 (%)	0, 25, 75, 100
	スランプ (cm)	12 ~ 15	保存条件 40°C R.H.100% (40°C), 20°C R.H.100% (20°C) 20°C水中(W), 20°C 1/2水中(1/2 W) 20°C海水中(S), 20°C 1/2海水中(1/2 S)		
供試体寸法 (cm)	10×10×40 15×15×15				
測定項目		長さ変化: 動弾性係数: 超音波伝播速度: ひびわれの発生および進展			

この図から、T₁, T₂ 骨材を用いたコンクリートの膨張特性に関して以下のことがいえる。すなわち、アルカリ含有量が多いほど膨張量は大きく、また、膨張が安定するまでの期間が長くなる。また本実験で用いた T₁ 骨材と T₂ 骨材では、T₁ 骨材の方が初期における膨張が大きく、逆に T₂ 骨材の場合は膨張が長期間持続しており、この場合 12ヵ月程度の膨張から最終的な膨張量を推

表-3 コンクリートの配合

粗骨材の最大寸法 (mm)	スランプ (cm)	空気量 (%)	W/c	s/a (%)	単位重量 (kg/m ³)			
					W	C	S	G
20	12~15	2	0.45	40	203	450	660	0.38*

(注)*: 絶対容積

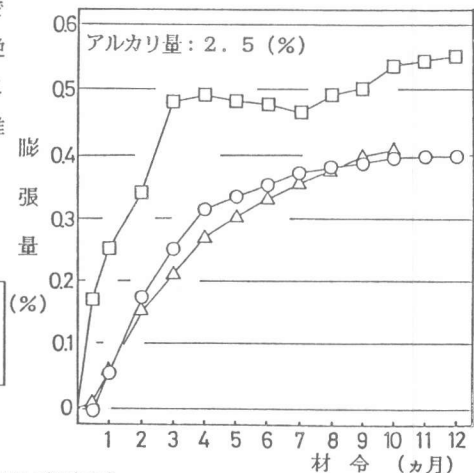
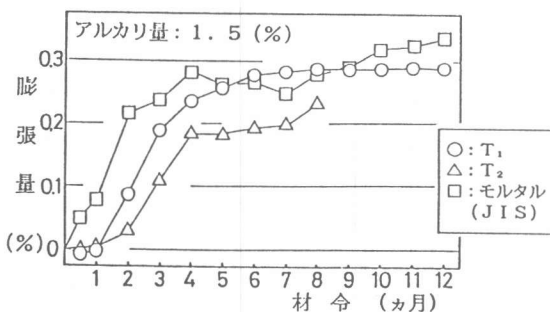


図-2 膨張の経時変化

定することは困難である。また、本実験では、アルカリ含有量 Na_2O 等量：0.5 % の場合には、膨張を示さなかった。さらに、対応するモルタルバーの試験結果とを比較すると、モルタルバーの方が膨張が速く発現し、また最終的な膨張量も大きくなる傾向にある。この原因としては、本実験では、セメントに対するアルカリ量が多い分だけ、単位容積中の総アルカリ量が多くなっているためと考えられる。図-3 に同一条件でのコンクリートとモルタルバーの膨張量に対応させてプロットして示す。この図から、 Na_2O 等量の大きいもの、すなわち、モルタルにおける単位容積中の総アルカリ量がコンクリートのそれと比較して大きくなるほど、モルタルの膨張量が大きくなっている様子がよくわかる。また、モルタルの膨張が速く発現することの原因としては、反応性骨材の表面積がモルタルの方が大きいことも考えられる。図-4 にもモルタルとコンクリートの膨張量を材令の変化との関係で示す。

3.2 反応性骨材の混合割合およびアルカリ含有量

図-5 に反応性骨材の混合割合とコンクリートの膨張量との関係を示す。なお、ここで示す混合割合は、粗骨材の全容積に占める反応性骨材の容積割合であり、本実験では細骨材は全て非反応性のものを使用している。この図から、それぞれの骨材についてのベシマム混合割合は、 T_1 骨材で 100%， T_2 骨材で 50%， O 骨材で 50%程度となっており、これらの値は材令がたつにつれて反応性骨材混合割合の小さい方向に移行していく傾向がある。また、 T_2 骨材の場合には膨張がかなり長期間にわたって発現することが本図からも明らかである。さらに、 O 骨材では、混合割合が 50 %での膨張量が 100 %での値と比較して 50%以上も大きくなっている。これは、骨材の反応性の評価を反応性骨材のみ（混合割合 100%）でのみ行くと、適正な評価ができない可能性のあることを示唆するもので、骨材の汎用

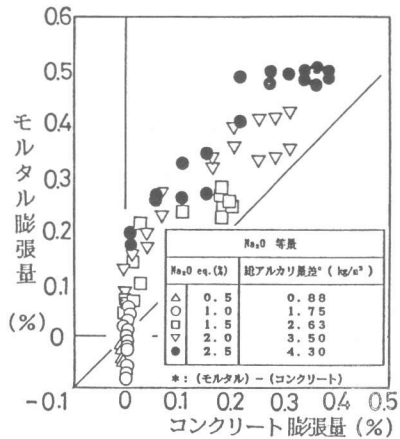


図-3 コンクリートとモルタルの膨張量の比較

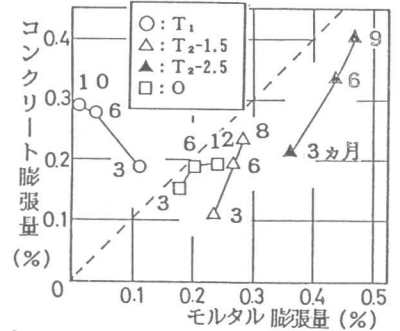


図-4 材令によるコンクリートとモルタルの膨張量の変化

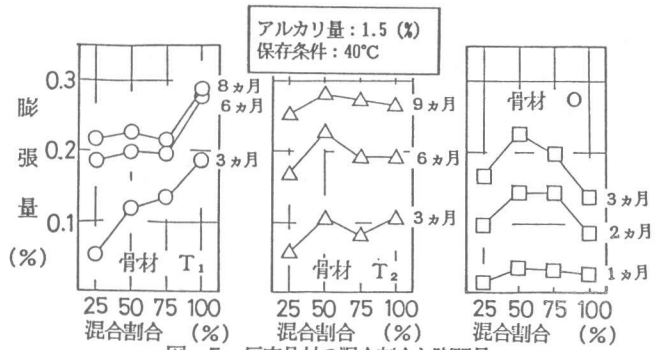


図-5 反応骨材の混合割合と膨張量

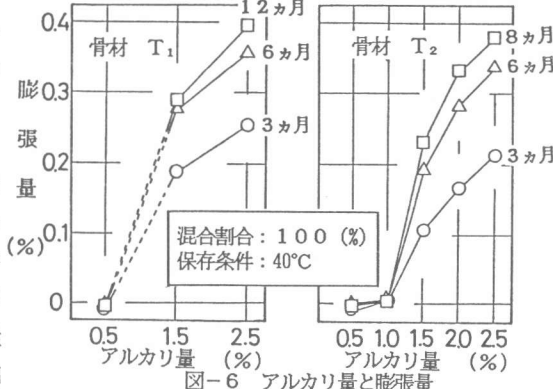


図-6 アルカリ量と膨張量

的な反応性評価試験における試験条件の設定の困難さを示すものである。

次にアルカリ含有量とコンクリートの膨張量との関係を図-6に示す。本実験では、いずれの反応性骨材においてもアルカリ含有量が多くなるほどコンクリートの膨張量も大きくなる結果になった。また、アルカリ含有量が Na_2O 等量で 1.0%以下では、ほとんど膨張を示さなかった。

3.3 保存条件

図-7に保存条件の相違によるコンクリートの膨張量の変化の一例を示す。この図は反応性骨材 T_1 を用いており、この骨材は先の図-2の結果からも明らかなように比較的反応性が速く進行する傾向があり、モルタルバー試験と同じ保存条件、すなわち 40°C 、R.H. 100%であれば、6ヵ月程度で最終膨張量をある程度予測することは可能であると考えられる。温度を 20°C にした場合は3ヵ月では膨張は現われず、6ヵ月から僅かに膨張してくる。この傾向は 20°C 水中、 20°C 海水中でもそれほど大きな違いはない。しかし、材令12ヵ月でみると、 20°C 水中、さらには 20°C 海水中でかなり大きな膨張を示しており、この時点では十分に骨材の反応性評価が可能である。とくに 20°C 海水中での膨張量はきわめて大きくなっており、環境条件、とくに外部からのアルカリの侵入がコンクリートの膨張にきわめて大きな影響を与えることを示すと同時に、このような特性を骨材の反応性評価試験方法に有効に利用し得る可能性を示している。

3.4 ひびわれ特性

コンクリート角柱供試体に発生したひびわれの一例を図-8に示す。全般的に、ひびわれは、膨張率0.01%程度で発生し始め、0.03~0.04%程度までひびわれ本数が増加する。しかし、それ以上の膨張に対してはひびわれ本数はほとんど増加していない。また、図から明らかなように、 40°C 、R.H. 100%で保存した場合、非常に細いひびわれが数多く発生する。一方、 20°C 海水中での保存の場合、ほぼ同じ膨張量を示しているにもかかわらずひびわれ本数がかかなり少なくなっている。コンクリート実構造物でのひびわれは比較的少ない本数で大きなひびわれ幅で発生していることを考えれば²⁾、温度を高くして膨張を促進させた場合、ひびわれ発生状況と若干異なる可能性があり、劣化の評価との関係についての配慮が必要であると考えられる。

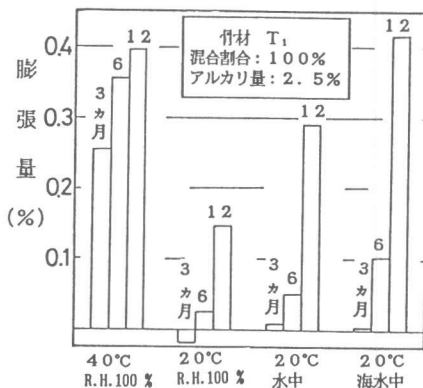


図-7 保存条件と膨張量

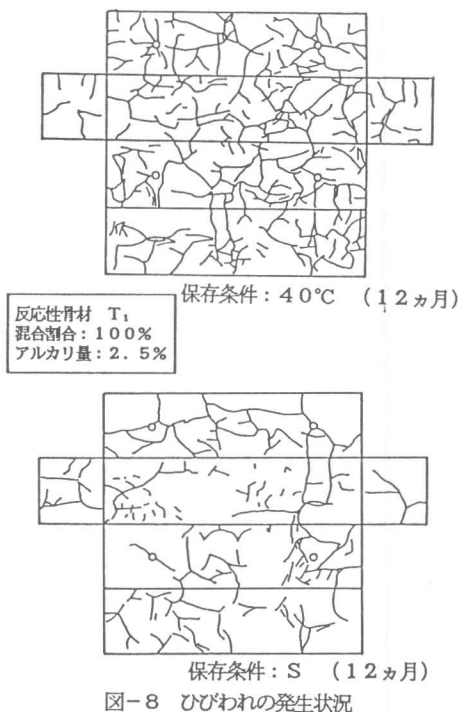


図-8 ひびわれの発生状況

4. 5 コンクリートの膨張と力学特性

一般に骨材の反応性試験における評価の指標としては、膨張量が用いられることが多い。しかし、アルカリ骨材反応によるコンクリートないしはコンクリート構造物の劣化を評価する場合には、力学的特性を指標とする方がより直接的である。ここでは、力学的特性として動弾性係数について膨張量との関係について検討する。

図-9に脱型直後（コンクリート打設後 24 時間）を基準にとった相対動弾性係数の材令による変化の状況を示す。各反応骨材のコンクリートとも、材令がたつにつれて相対動弾性係数が低下している。その中で、T₁ 骨材は、先に述べたように反応性が速く膨張が早期に発現するため、相対動弾性係数が材令 3 ヶ月まで急激に低下している。しかし、その後材令が進むにつれ若干回復する傾向がある。一方、T₂ 骨材は、3 ヶ月までの相対動弾性係数の低下はほとんどないが、以降材令がたつにつれて急激に低下し、6 ヶ月程度で低下速度は小さくなり、材令 8 ヶ月現在でも低下は続いている。このように、保存条件が同一の場合には、動弾性係数と膨張量との間には密接な相関関係が認められる。図-10に 40 °C, R.H. 100 %における膨張量と動弾性係数の関係を示す。本図からも、両者の間に直線的な関係があることが認められる。図-11に保存条件別に動弾性係数の変化を示す。使用骨材は T₁ であるため、先に述べたように 40 °C, R.H. 100%では、材令 3 ヶ月までに動弾性係数の低下は進んでしまい以降は横ばい、ないしは若干の回復を示す。その他の 20 °Cでの保存では、いずれも材令が進むにつれて動弾性係数は低下している。とくに 20 °C, R.H. 100%の場合、先の図-7と合せて考えると、材令 12 ヶ月の場合には膨張量はそれほど大きくないのに、動弾性係数の低下が 40 °C, R.H.

100 %あるいは 20 °C海水中と同程度でありコンクリートの内部での劣化が進行していることがうかがえる。以上のように本実験に関する限り、コンクリート材令 12 ヶ月程度を基準に考えると、反応の遅い骨材の使用、あるいは比較のおだやかな保存条件でのコンクリートの劣化が大きいという結果が得られ、このことは骨材の反応性評価試験における試験条件の設定の際に十分検討しておく必要がある。

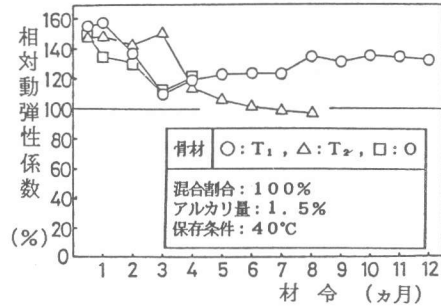


図-9 動弾性係数の経時変化

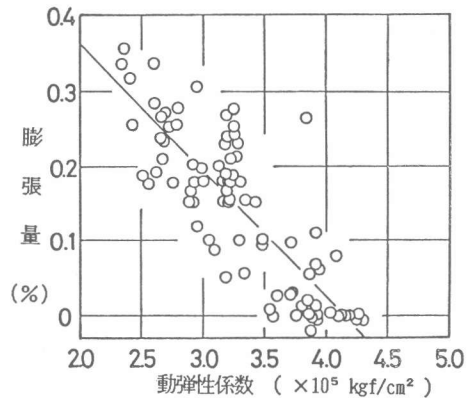


図-10 膨張量と動弾性係数の関係

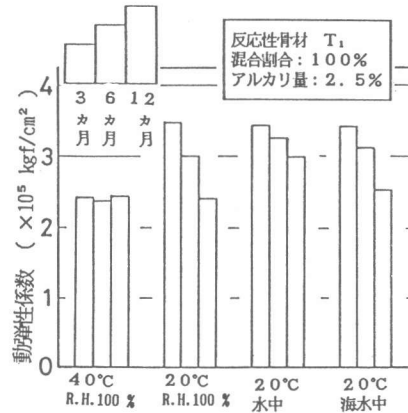


図-11 保存条件による動弾性係数の相違

4. まとめ

本研究は、骨材の反応性評価をコンクリート実構造物により近い状態で行うために、反応性骨材を粗骨材としたコンクリート供試体の諸特性を明らかにする目的で行ったものである。一連の実験で得られた結果を以下に要約し本論文の結論とする。

- (1) 反応性の粗骨材を用いたコンクリートの膨張は、アルカリ含有量をセメント重量に対する Na_2O 等量で同一とした場合、モルタルバーの膨張よりも遅く発現し、また、総膨張量も小さくなる。この傾向はアルカリの Na_2O 等量が大きくなるほど顕著である。
- (2) 反応性の粗骨材を用いたコンクリートの膨張特性は、骨材の反応特性、アルカリ量、反応骨材混合割合、保存条件によって影響される。本実験で、反応性骨材のベシマム混合割合におけるコンクリートの膨張量が反応性骨材混合割合 100% のコンクリートの 1.5 倍程度に達する場合のあることが明らかとなった。
- (3) 20 °C, R.H. 100%, 20 °C 水中, 20 °C 海水中における反応性粗骨材としたコンクリートの膨張は、材令 6 ヶ月程度から発現し始め、材令 12 ヶ月では相当に大きな膨張を示す場合がある。また、このような供試体では、40 °C, R.H. 100% の供試体の場合ほど多数の細かいひびわれが発生せず、比較的大きなひびわれが数少なく発生する傾向が認められ、実構造物のコンクリートにより近い状況であることがうかがえる。
- (4) 保存条件が同じであるコンクリートの膨張量と動弾性係数との間には密接な相関関係が認められる。12 ヶ月程度を基準にした場合、反応および膨張が急激に進行する場合よりも、比較的小さく進行する（反応性の遅い骨材および常温状態での保存）場合の方が動弾性係数の低下が著しく、コンクリートの劣化が進行する場合があると思われる。

最後に本研究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。また、本研究は文部省化学研究費補助金によって行ったものの一部である。

参考文献

- (1) 蒔田 實・脇坂安彦・守屋広隆：コンクリート工学, Vol.24, No.11, 昭和61年11月, PP 33 ~ 39.
- (2) 西林新蔵・小野紘一：コンクリート工学, Vol.24, No.11, 昭和61年11月, PP 50 ~ 63.