

[45] 生コンクリートのアルカリ骨材反応性早期判定試験方法に関する一実験

正会員 ○田村 博 (日本建築総合試験所)

正会員 高橋 利一 (日本建築総合試験所)

五十嵐千津雄 (日本建築総合試験所)

1. まえがき

アルカリ骨材反応によるコンクリートの劣化を防止する見地から、我が国においても多くの研究機関で活発に、骨材のアルカリ反応性を判定する試験方法の検討が行なわれている。我々も、日常の骨材品質管理に利用できる簡易迅速試験方法としてGBRC促進法を提案し¹⁾、現在もさらに検討を続けている²⁾。

しかしながら、骨材のアルカリ反応性試験によって「反応性なし」と判定された骨材だけを、将来にわたってコンクリートに使用していくことは、我が国の骨材事情を考慮した場合無理があり、反応性骨材も有効な反応抑制対策を講じつつ使用していかねばならない。反応性骨材の使用方法としては、これまでの諸外国での研究成果等をもとに、低アルカリセメントの使用、コンクリート中の総アルカリ量の制限、フライアッシュ、スラグ等のポゾランの利用、高炉セメントB種等の混合セメントの使用等の方策が一般に推奨されている現状ではあるが、反応性骨材の使用量、粒度、コンクリートの調合(W/C、空気量等)、セメントの品質、ポゾランの品質等によっても、反応抑制効果は微妙に変化すると考えられ、コンクリートによる試験を行なってその効果を確認しつつ、慎重に対応していく必要があると思われる。

骨材のアルカリ反応性を確認し、さらに実際に工事に使用するコンクリートがアルカリ骨材反応による劣化を生じる可能性(以下、これをコンクリートのアルカリ骨材反応性と呼ぶ)の有無を適確に判定することができれば、アルカリ骨材反応によるコンクリートの劣化は効果的に防止できよう。

現在のところ、コンクリートのアルカリ骨材反応性を評価するには、試験に長期間を要するコンクリートの長さ変化試験に頼らざるを得ない状況にあり、もっと短期間に評価できる試験方法の開発が望まれるところである。

そこで我々は、骨材のアルカリ反応性早期判定試験に用いたGBRC促進法の手法をコンクリートに応用して若干の試験を行なったところ良好な結果が得られたので³⁾、さらに検討を続けているところである。未だ予備実験的な段階ではあるが、極めて有望な結果が得られているので、その成果の一部をここに紹介する。生コンクリートの試し練りの段階で、この種のコンクリートのアルカリ骨材反応性早期試験が実施されれば、アルカリ骨材反応によるコンクリートの劣化を防止する見地から極めて有効であろう。

2. 実験概要

各種コンクリートにアルカリを添加して練り混ぜ、 $\phi 10 \times 20 \text{cm}$ の供試体を作って2日間養生の後2時間加圧下で煮沸し、煮沸前後の超音波伝播速度、動弾性係数の低下率(それぞれ R_u 、 R_d と呼ぶ)を測定して各種コンクリートのアルカリ骨材反応性を比較した。コンクリートの種類は無害骨材使用のものとし、有害骨材使用のものとし、後者については有害骨材が粗骨材の場合、細骨材の場合、高アルカリセメント使用の場合、低アルカリセメント使用の場合、高炉セメントB種使用の場合、フライアッシュ使用の場合、高炉スラグ粉末使用の場合や、建築用軟練りコンクリートと土木用硬練りコンクリートの場合について、それらのコンクリートのアルカリ骨材反応性の概要を把握するため、それぞれそれらの一部の調合について実験を行なった。なお、長期試験用として同時に $10 \times 10 \times 40 \text{cm}$ の供試体を作り、長さ変化、超音波伝播速度や動弾性係数の経時変化を調査しているが、これらの結果については今回まとめた短期試験の結果との対応を含め、後日報告する予定である。以下に実験の詳細について述べる。

2.1 使用材料

セメント：高アルカリセメント ($R_2O=0.97\%$ の普通ポルトランドセメント)

低アルカリセメント ($R_2O=0.60\%$ の普通ポルトランドセメント)

高炉セメントB種 ($R_2O=0.39\%$ 、スラグ混入率=42%)

細骨材：有害骨材 (山砂、チャートを含む、ASTM化学法により $R_c=101 \text{mM}/\ell$ 、 $S_c=143 \text{mM}/\ell$)
 で「有害」、GBRC促進法によりひびわれ有、 $R_u=5.2\%$ 、 $R_d=15.0\%$ で「有害」)

無害骨材 (川砂、ASTM化学法により $R_c=58\text{M}/\ell$, $S_c=40\text{M}/\ell$ で「無害」)
 G B R C 促進法によりひびわれ無、 $R_u=2.0\%$, $R_d=5.8\%$ で「無害」
 粗骨材：有害骨材 (砕石2005、クリストバライト、トリジマイト、火山ガラスを含む)
 ASTM化学法により $R_c=170\text{M}/\ell$, $S_c=690\text{M}/\ell$ で「有害」
 G B R C 促進法によりひびわれ有、 $R_u=12.9\%$, $R_d=33.4\%$ で「有害」
 無害骨材 (砕石2005、ASTM化学法により $R_c=55\text{M}/\ell$, $S_c=25\text{M}/\ell$ で「無害」)
 G B R C 促進法によりひびわれ無、 $R_u=2.8\%$, $R_d=7.4\%$ で「無害」

ポゾラン：フライアッシュおよび高炉スラグ粉末

混和剤：天然レジン型AE剤、使用量はセメント質量の0.030~0.035%

アルカリ：NaOHを練り混ぜ水に所定量溶解させて、コンクリート中のアルカリ量を増大させた。

2.2 調合

いずれのコンクリートも水セメント比は55%とし、表-1に示す計29種類の材料の組合せについて実験を行なった。コンクリートの目標スランブはアルカリを添加しないコンクリートで、軟練りコンクリートの場合20cm、硬練りコンクリートの場合8cmとした。添加アルカリ量 (R_2O) は原則として $5\text{kg}/\text{m}^3$ 、 $7\text{kg}/\text{m}^3$ 、 $9\text{kg}/\text{m}^3$ の3段階とし、一部のものについては $1.9\text{kg}/\text{m}^3$ でも実験を行なった。また、高炉スラグ粉末ならびにフライアッシュの使用にあたっては、それぞれセメント質量の50%、25%を内割りで使用した。

2.3 実験方法

表-1に示す各組合せごとに、アルカリを含めて同時混練し、 $\phi 10 \times 20\text{cm}$ の円柱供試体を各組合せごとに3体ずつ製作した。供試体製作後、24時間型枠中で養生した後脱型し、以後20℃の水中で24時間養生した。水中養生を終えた供試体の超音波伝播速度ならびに動弾性係数の測定を行なった後、直ちに $1.5\text{kgf}/\text{cm}^2$ (ゲージ圧 $0.5\text{kgf}/\text{cm}^2$) の圧力で2時間煮沸した。供試体を徐冷後、再び超音波伝播速度および動弾性係数を測定し、それぞれの煮沸後の煮沸前に対する低下率 R_u および R_d を求めた。

表-1 コンクリートの調合の種類

記号	セメントの種類	細骨材の反応性	粗骨材の反応性	供試コンクリート中のアルカリ量 (kg/m^3)	添加アルカリ量 (kg/m^3)	総アルカリ量 (kg/m^3)	備考				
H-I-I-5	高アルカリセメント	無害	無害	3.46	5	8.46	—				
H-I-I-7					7	10.46					
H-I-I-9					9	12.46					
H-I-D-1.9					1.9	5.36					
H-I-D-5					5	8.46					
H-I-D-7					7	10.46					
H-I-D-9		9	12.46								
H-I-D-5L		有害	有害	3.12	5	8.12	硬練り				
H-I-D-7L					7	10.12					
H-I-D-9L					9	12.12					
H-D-I-5					有害	無害		3.46	5	8.46	—
H-D-I-7									7	10.46	
H-D-I-9	9								12.46		
H-D-D-9	有害	有害	2.14	5			7.14		硬練り		
L-I-D-5				7			9.14				
L-I-D-7				9			11.14				
L-I-D-9				5	6.93	硬練り					
L-I-D-5L				7	8.93						
L-I-D-7L				9	10.93						
L-I-D-9L	有害	無害	2.14	5	7.14	—					
L-D-I-5				7	9.14						
L-D-I-7				9	11.14						
L-D-I-9				有害	有害		1.39	5	6.39	—	
B-I-D-5								7	8.39		
B-I-D-7								無害	無害		9
B-I-D-9	10.73+0.59										
B-I-I-9	11.60+0.05	フライアッシュ混入									
HS-I-D-9	高アルカリ	有害	1.73+0.59			9		10.73+0.59	高炉スラグ混入		
HF-I-D-9	セメント	有害	2.60+0.05	9	11.60+0.05	フライアッシュ混入					

表-2 実験結果

記号	超音波伝播速度低下率 R_u (%)	動弾性係数低下率 R_d (%)
H-I-I-5	-1.0	-5.4
H-I-I-7	0.1	1.5
H-I-I-9	0.3	2.2
H-I-D-1.9	-8.1	-23.7
H-I-D-5	0.1	-1.2
H-I-D-7	6.3	16.1
H-I-D-9	7.3	16.6
H-I-D-5L	4.9	12.2
H-I-D-7L	8.5	19.4
H-I-D-9L	10.3	23.3
H-D-I-5	-0.9	-2.0
H-D-I-7	5.1	9.7
H-D-I-9	16.4	30.6
H-D-D-9	11.1	25.0
L-I-D-5	-1.0	-4.1
L-I-D-7	3.2	7.8
L-I-D-9	5.9	13.8
L-I-D-5L	0.6	2.2
L-I-D-7L	7.0	15.0
L-I-D-9L	9.1	19.6
L-D-I-5	0.6	-0.7
L-D-I-7	2.6	5.2
L-D-I-9	9.2	15.2
B-I-D-5	-5.3	-17.1
B-I-D-7	-3.7	-11.4
B-I-D-9	-1.0	-0.7
B-I-I-9	-1.0	-8.2
HS-I-D-9	4.5	12.1
HF-I-D-9	-0.3	-1.8

3. 実験結果および考察

実験の結果得られた R_u 、 R_d の測定値一覧を表-2に、またその結果をもとに描いた図を図-1~5に示す。今回の実験の結果、次のようなことが明らかとなった。

- ① コンクリートにGBRC促進法の手法を応用して、すなわち、試料コンクリート練り混ぜ時に多量のアルカリを添加して $\phi 10 \times 20\text{cm}$ の供試体を作成して2日間養生し、2時間加圧下で煮沸し、煮沸前後の超音波伝播速度低下率(R_u)、動弾性係数低下率(R_d)を測定することにより、下記のように、コンクリートのアルカリ骨材反応性に関して概ね既往の研究結果と一致した結果が得られ、この方法によってコンクリートのアルカリ骨材反応性を判別できる可能性が高いことがわかった。
 - イ、無害骨材使用の場合には添加アルカリ量の増大($5 \sim 9 \text{ kg/m}^3$)による R_u 、 R_d の変化は僅かであり、添加アルカリ量 9 kg/m^3 においても $R_u=0.3\%$ 、 $R_d=2.2\%$ であり、ひびわれの発生は認められなかった(図-1)。
 - ロ、有害骨材を高アルカリセメントと使用した場合には、添加アルカリ量の増大に伴う R_u 、 R_d の増大が顕著であり、添加アルカリ量 9 kg/m^3 とした場合の $R_u=8.3 \sim 16.4\%$ 、 $R_d=16.6 \sim 30.6\%$ であり、ひびわれの発生が認められ(図-1)、無害骨材使用の場合と有意な差が認められた。
 - ハ、有害骨材を低アルカリセメントと使用した場合には、同一添加アルカリ量で高アルカリセメントを使用した場合に比べ、 R_u 、 R_d が小さくなる傾向を示した(図-2)。また、コンクリート中の総アルカリ量と R_u 、 R_d の関係図を描けば両者はほぼ一致し、低アルカリセメント使用による総アルカリ量の低減によりコンクリートのアルカリ骨材反応性が低下する傾向を示した(図-3)。
 - ニ、有害骨材を高炉セメントB種と使用した場合には、添加アルカリ量が 5 kg/m^3 から 9 kg/m^3 に増大するにつれて R_u 、 R_d が増大する傾向を示したが、 9 kg/m^3 でも $R_u=-1.0\%$ 、 $R_d=-0.7\%$ であり、アルカリ骨材反応を促進する条件を与えても、力学的性能の劣化をなんら示さなかった(図-4)。因に、煮沸直前の超音波伝播速度、動弾性係数も他のものと有意な差はなかった(図-5)。
 - ホ、有害骨材を高炉スラグ粉末(セメント質量の50%)やフライアッシュ(セメント質量の25%)と使用した場合には、添加アルカリ量を 9 kg/m^3 とした場合に、それらのボゾランを使用しない場合に比べ R_u 、 R_d が小さくなり、コンクリートのアルカリ骨材反応がボゾランによって抑制される傾向を示した(図-4)。
- ② 低アルカリセメント使用によるアルカリ骨材反応抑制効果については慎重に検討する必要があると思われる傾向が、実験結果の一部に認められた。すなわち、低アルカリセメントを使用した硬練りコンクリートの場合(記号:L-I-D)に高アルカリセメントを使用した軟練りコンクリートの場合(記号:H-I-D)より、いずれの添加アルカリ量においても R_u 、 R_d がほとんど等しいか、より大きい値を示した。調査によっては、低アルカリセメント使用による反応抑制効果も充分ではないことがあると推測された(図-2)。

逆にいえば、高アルカリセメントを使用した場合にもコンクリートの調合を変えれば、低アルカリセメントを使用した場合と同等のアルカリ骨材反応性が得られる可能性のあることがわかった。

4. まとめ

今回の実験結果をまとめると次のようなことがいえる。

- ① 生コンクリートに過剰なアルカリを加え、GBRC促進法の手法を応用すれば、コンクリートのアルカリ骨材反応性を簡易かつ迅速に評価できる可能性が高い。
- ② 添加すべきアルカリ量として 9 kg/m^3 が一案として考えられるが、この値は海洋構造物の表面に蓄積するアルカリ量にほぼ相当し*、外部からアルカリが浸入する最も厳しい環境下でコンクリートのアルカリ骨材反応性を評価していることとなる。(* 海洋コンクリート構造物の表面塩分濃度はコンクリートに対する NaCl 量でほぼ1%程度となるので、これをアルカリ量(R_2O)に換算すれば、 10 kg/m^3 強となる)
- ③ コンクリートのアルカリ骨材反応性は、調合によっても影響されるので、低アルカリセメント使用等反応抑制対策の適用にあたっては慎重に対処することが望まれる。一つの方法として、今回実施したような試験方法によって、実際に使用するコンクリートのアルカリ骨材反応性を確認することが考えられる。

以上、本報告は短期試験の結果をとりまとめたものであるが、同時に実施中の長期試験の結果との対応についても、後日とりまとめて報告する予定である。最後に、本研究の実施にあたっては、嶺新井組 内田博

