

## 科学研究費補助金研究成果報告書

平成 21 年 4 月 3 日現在

研究種目：基盤研究（C）

研究期間：2007～2008

課題番号：19560458

研究課題名（和文） 再生骨材における ASR に関連した問題解決のための基礎研究

研究課題名（英文） A Fundamental Study on Resolution of ASR Problem Associated with Recycled Concrete Aggregates

研究代表者

鳥居 和之（TORII KAZUYUKI）

金沢大学・環境デザイン学系・教授

研究者番号：50115250

研究成果の概要：

本研究の成果は以下の 3 つの項目に分けることができる。まず、（1）再生骨材からのアルカリ溶出が ASR に及ぼす影響を検討した結果、再生骨材中の ASR ゲルから溶出するアルカリによって ASR が促進することが明らかになった。次に、（2）再生骨材を使用したコンクリートの ASR による膨張性状を検討した結果、コンクリートのアルカリの種類（NaCl 添加または NaOH 添加）とその添加量を種々に変化させたコンクリートバーの膨張試験の結果に基づいて、再生骨材を使用したコンクリートの ASR の発生条件の特徴とペシマム混合率との関係を明らかにした。さらに、（3）原骨材の ASR の程度が再生骨材コンクリートの膨張性状に及ぼす影響を検討した結果、建設後約 30 年が経過した ASR 劣化構造物から製造した能登産の安山岩碎石を原骨材とする再生骨材は反応領域が骨材界面から 1～2 mm 程度に限定されていたのに対して、常願寺川産の川砂利から製造した再生骨材は安山岩粒子の内部まで反応が激しく進行していた。このため、再生骨材の ASR 試験及び再生骨材コンクリートの膨張試験の結果より、再生骨材のアルカリシリカ反応性は原骨材の種類とその反応性（能登産の安山岩碎石および常願寺川産の川砂利）により相違し、それらは促進養生条件下での再生骨材コンクリートの膨張性状に大きな影響を及ぼすことが判明した。

交付額

（金額単位：円）

|         | 直接経費      | 間接経費      | 合 計       |
|---------|-----------|-----------|-----------|
| 2007 年度 | 2,600,000 | 780,000   | 3,380,000 |
| 2008 年度 | 900,000   | 270,000   | 1,170,000 |
| 年度      |           |           |           |
| 年度      |           |           |           |
| 年度      |           |           |           |
| 総 計     | 3,500,000 | 1,050,000 | 4,550,000 |

研究分野：工学

科研費の分科・細目：土木材料・施工・建設マネジメント

キーワード：コンクリート，ASR

## 1. 研究開始当初の背景

わが国のコンクリート構造物の多くは今後 10 年から 20 年の間に更新時期を迎える。この際に、廃棄コンクリートのリサイクルは省資源および省エネルギーの観点から解決されるべき重要な課題である。これまで、廃棄コンクリートは路盤材として利用されてきたが、すでに都市部などでは路盤材としての利用や埋立て処分への対処には限界が生じており、コンクリートへの循環利用に転換する必要性が認識されている。一方、2005 年 3 月、JIS A 5201「コンクリート用再生骨材 (H)」が規格化され、再生骨材の本格的な有効利用が始まろうとしている。再生骨材のコンクリートへの利用に関しては、再生骨材中の原骨材のアルカリシリカ反応性やその履歴は不明であるので、再生骨材は JIS A 5308 の区分 B の骨材、すなわちアルカリシリカ反応性が「無害でない」として、すべてのものに混合セメントの使用による ASR 抑制対策を実施することとしている。しかし、再生骨材のアルカリシリカ反応性を詳細に調べた研究は少なく、原骨材の付着モルタル量や ASR の進行度が再生骨材の ASR 試験の判定結果に及ぼす影響については不明な点が多いのが実状である。このように、資源循環型社会において再生骨材の利用を促進するためには、再生骨材に対する現行の ASR 抑制対策の適否、簡易 ASR 判定法の開発などが、早期に解決が望まれている課題として挙げられる。

## 2. 研究の目的

再生骨材の ASR の発生機構とその抑制対策に着目して、本研究は、反応性骨材が使用されたコンクリートから製造した再生骨材の物理・化学的性質や岩石・鉱物組織の変化を原骨材との比較において検討するとともに、再生骨材の ASR 判定に現行の試験法 (JIA A 1145 (化学法) およびモルタルバー法 (JIS A 1146)) が適用できるかをまず明らかにする。次に、再生骨材を用いたコンクリートの ASR 膨張挙動の特徴とその反応過程を明らかにすることによって、コンクリートに使用した再生骨材のペシマム混合率を考慮した配合での、フライアッシュや高炉スラグ微粉末による ASR 抑制対策やアルカリ総量規制値の具体的な基準値を提案する。

## 3. 研究の方法

平成 19 年度の研究

(1) 再生骨材の物理・化学的性質および岩石・鉱物組織の検討

鹿島橋の解体コンクリートから製造した再生骨材 (原骨材: 両輝石安山岩の薄片研磨試料 (蛍光塗料含浸)) を作製し、EPMA と鉱物顕微鏡により界面領域の化学組成や ASR ゲルの生成状況、骨在中の微細ひびわれの発生状況などを調べ、それらが再生骨材の物理・化学的性質の変化に及ぼす影響を検討した。

(2) 再生骨材からのアルカリ溶出量の検討

反応性骨材を含む再生骨材は、骨材中の微細なひび割れや ASR ゲルの影響によって、骨材から多くのアルカリが溶出する可能性がある。このため、再生骨材の化学成分とアルカリ溶出性状との関係を比較検討する。

(3) 再生骨材のアルカリシリカ反応性の判定法の検討

再生骨材の ASR 判定に現行の試験法 (JIA A 1145 (化学法) およびモルタルバー法 (JIS A 1146)) が適用できるかを検討した。また、促進モルタルバー法 (ASTM C1260 およびデンマーク法 (飽和 NaCl 溶液浸せき養生, 温度 50℃)) による早期判定の有効性についても検討した。

(4) 再生骨材を使用したコンクリートの ASR 抑制対策の検討

再生骨材の混合比率を変化させたコンクリートの膨張量を測定することによって、再生骨材を使用したコンクリートの ASR の発生条件とペシマム混合率との関係を検討した。また、混合セメントを使用したコンクリートの膨張量と比較することにより、フライアッシュおよび高炉スラグ微粉末による ASR 抑制効果を明らかにした。

平成 20 年度の研究

(5) 再生骨材の反応性骨材の種類が異なる場合の検討

富山県の橋梁からの解体コンクリート (原骨材: 川砂利) から製造した再生骨材を使用して再生骨材の反応性骨材の種類 (安山岩碎石および川砂利) がコンクリートの ASR 膨張に及ぼす影響を検討した。

(6) 研究の総括

これまでの研究成果を取りまとめることにより、再生骨材を用いたコンクリートの膨張挙動の特徴とその反応過程を解明し、再生骨材の ASR 抑制対策の具体的な基準値を提言した。

#### 4. 研究成果

本研究では、ASRによる大きな損傷が発生した橋脚(鹿島橋)での供用中のモニタリングと枕梁の打替えの経緯について紹介するとともに、ASR劣化橋脚枕梁の解体コンクリート塊から製造した再生骨材のアルカリシリカ反応性の評価と再生骨材コンクリートの膨張挙動およびASR抑制対策の検討を行った。

本研究における主要な結果をまとめると、以下のようである。

- (1) 鹿島橋の橋脚では、供用中の安全確保のためにASRにより生じたひび割れのモニタリングを実施した。その結果、ASRの進行によりひび割れが開口しており、建設後、約30年が経過した橋脚でも、ASRによるコンクリートの膨張が継続していることが判明した。また、解体時の調査より、枕梁部のスターラップの約40%が曲げ加工部にて破断していた。これらの調査結果を総合的に判断して、橋脚の枕梁部の全打替えと柱部の鋼板巻き立てをそれぞれ2005年および2006年に実施した。
- (2) 再生骨材の偏光顕微鏡観察およびX線回折分析より、原骨材(再生骨材)は斜長石、角閃石、輝石とともに、反応性鉱物としてクリストバライト、火山ガラスを含有していた。また、原骨材の周囲やひび割れに存在するASRゲルの影響で、石灰飽和溶液に浸せきした再生骨材からは多量のアルカリが溶出した。さらに、EPMAによる研磨試料の観察より、建設後、約30年が経過していても、緻密な安山岩碎石の反応領域は骨材界面から1~2mm程度に限定されていた。
- (3) 再生骨材に現行のアルカリシリカ反応性試験(化学法(JIS A1145)およびモルタルバー法(JIS A146))を適用する場合、付着モルタルの影響で、「無害」と誤った判定がなされることがあった。一方、外部からアルカリ供給されるASTM C1260およびデンマーク法を適用する場合、再生骨材と原骨材のモルタルバーの膨張挙動には大きな相違はなく、付着モルタルの影響が小さくなった。これは、モルタルバーの試料準備(破碎)の過程で新たな未反応の骨材界面が現れるためであった。従って、再生骨材のアルカリシリカ反応性の評価は、化学法やモルタルバー法のように破碎した細骨材を用いるのではなく、

実際の粗骨材の状態で試験が可能であるコンクリートバー法がより適切であった。

- (4) 再生骨材コンクリートは原骨材周囲の反応環と付着モルタルの影響により膨張の開始が遅れるが、その後の膨張はもとの安山岩碎石とほぼ同様になった。また、今回の再生骨材に関してはいずれの試験方法でもペシマム混合率は現れなかった。再生骨材のASR抑制対策としては、骨材からのアルカリ溶出や外部からのアルカリの影響を考慮すると、JIS A5308に規定される、現行のフライアッシュ置換率15%または高炉スラグ微粉末置換率40%では不十分であった。
- (5) 建設後に約30年が経過したASR劣化構造物から製造した再生骨材における原骨材の影響に関して、能登産の安山岩碎石からの再生骨材は反応領域が骨材界面から1~2mm程度に限定されていたが、常願寺川産の川砂利からの再生骨材は安山岩粒子の内部まで反応が激しく進行していた。このため、再生骨材のASR試験及び再生骨材コンクリートの膨張試験の結果より、再生骨材のアルカリシリカ反応性は原骨材の種類とその反応性(能登産の安山岩碎石および常願寺川産の川砂利)により相違し、それらは促進養生条件下での再生骨材コンクリートの膨張性状に大きな影響を及ぼした。

#### 5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計4件)

- [1] Sato, Y., Torii, K., Sugiyama, A., Shimizu, K.: Alkali-silica Reactivity of Recycled Aggregate Concretes with Andesite Crushed Stone, Proc. of Inter. Conf. on Creep, Shrinkage and Durability Mechanics of Concrete and Concrete Structures, Vol. 2, pp. 1155-1162 (2008. 9), 査読有。
- [2] 佐藤良恵, 清水和博, 杉山彰徳, 鳥居和之: 再生骨材コンクリートの ASR 抑制対策の検討, コンクリート工学年次論文集, Vol. 30-1, pp. 1041-1046 (2008. 7), 査読有。
- [3] 鳥居和之, 杉山彰徳, 酒井賢太: 再生骨材コンクリートのアルカリシリカ反応性の評価と抑制対策に関する研究, 土木学会論文集 G, Vol. 63, No. 4, pp. 313-325 (2007. 11), 査読有。
- [4] Sugiyama, A., Torii, K., Sakai, K.,

Shimizu, K., Sato, Y. : Recycling Concrete Rubbles with Reactive Aggregates from ASR-affected Bridge Pier, Proc. of Inter Conf. on Innovations in Structural Engineering and Construction, Melbourne, Vol.1, pp.605-611 (2007.9) , 査読有.

〔学会発表〕 (計3件)

- [1] Sato, Y., Torii, K., Sugiyama, A., Shimizu, K. : Alkali-silica Reactivity of Recycled Aggregate Concretes with Andesite Crushed Stone, Inter. Conf. on Creep, Shrinkage and Durability Mechanics of Concrete and Concrete Structures, Shima (Japan) (2008.10.1).
- [2] 佐藤良恵, 鳥居和之, 杉山彰徳, 清水和博 : 再生骨材コンクリートの ASR 膨張に及ぼす原骨材の影響, 土木学会第 63 回年次学術講演会, 2008. 9. 10, 仙台
- [3] Sugiyama, A., Torii, K., Sakai, K., Shimizu, K., Sato, Y. : Recycling Concrete Rubbles with Reactive Aggregates from ASR-affected Bridge Pier, Inter Conf. on Innovations in Structural Engineering and Construction, Melbourne(Australia) (2007. 9. 26).

## 6. 研究組織

### (1)研究代表者

鳥居 和之 (TORII KAZUYUKI)  
金沢大学・環境デザイン学系・教授  
研究者番号 : 50115250

### (2)研究分担者

久保 善司 (KUBO YOSHIMORI)  
金沢大学・環境デザイン学系・准教授  
研究者番号 : 50324108