

リサイクル材料のコンクリートへの有効活用を目的とした要求性能の明確化

研究予算：運営費交付金（一般勘定）

研究期間：平 26～平 27

担当チーム：材料資源研究グループ

研究担当者：渡辺博志、古賀裕久、片平博、
森濱和正、中村英佑

【要旨】

再生骨材などのリサイクル材をコンクリート材料へ積極的に活用することが期待されているが、コンクリートの品質への影響に対する不安が払しょくできないことから、普及が停滞している現状にある。そこで、まずは環境作用が穏やかな箇所に用いるなど、適材適所の活用手法を確立する必要がある。本課題では、凍結融解作用、中性化および乾燥収縮に着目して、構造物が置かれる地域や局所的な環境条件ごとに、環境作用の厳しさを整理した。この結果、再生骨材を用いる場合、滞水の有無で凍結融解抵抗性の水準を変えることが難しいこと、中性化の進行速度は日本国内では大きくは変わらないこと、さらに、地表付近および水面付近の乾燥収縮の影響範囲を確認することができた。

キーワード：リサイクル材料、凍結融解、中性化、乾燥収縮

1. はじめに

コンクリート材料として再生骨材などのリサイクル材の積極的な活用が期待されている。しかし、リサイクル材はバージン材に求められる材料品質規格の全てを必ずしも満足しているとは限らず、その品質がコンクリートの耐久性等に与える影響について不安が払しょくできないことから、普及が難しい状況にある。

一方で、コンクリート構造物の使用環境には様々なものがあり、条件によっては、リサイクル材も適材適所で活用できることが考えられる。しかし、現状では、リサイクル材の活用を想定して、要求する性能の水準を区分する手法は確立していない。

本課題は、このような背景に基づき、コンクリート構造物の使用環境条件について調査し、各部位において要求される性能を明確にすることを目的として、研究を行ったものである。実際には、環境条件として凍結融解、中性化および乾燥収縮に着目して、構造物が置かれる地域、部位ごとの、それぞれの環境条件の厳しさを整理したものである。

2. 凍結融解作用に関する検討

2.1 実験方法

凍結融解作用に関しては、例えばコンクリート標準示方書〔設計編：標準〕（土木学会）では、水に接している箇所とそうでない箇所とで、コンクリート

に求める性能を変えている。そこで、リサイクル材料等の低品質な骨材を使用した場合にも、水に接する箇所とそうでない箇所で骨材に求める品質を変えることが可能か検討した。この検討は促進試験（凍結融解試験）と暴露試験の2つの手法で行った。

低品質骨材（天然骨材）を用いたコンクリートの促進試験と北海道千歳市における暴露試験は平成19年から継続して実施している¹⁾。本課題はリサイクル骨材が対象であるが、耐凍害性に劣るという観点からは低品質な天然骨材もリサイクル骨材と類似した点があると考え、この暴露試験の継続と、不足する促進試験を行った。

試験を行ったコンクリートの配合としては、水セメント比 55%、空気量 4.5%の AE コンクリートとして、粗骨材に低品質骨材 A（砂利、絶乾密度 2.45g/cm³、吸水率 3.37%）および B（碎石、絶乾密度 2.29g/cm³、吸水率 5.58%）を用いた配合を設定した。また、比較用に空気量を 1.5%程度とした NonAE コンクリートの配合（良質な骨材を使用）も設定した。

促進試験は、「JIS A 1148 コンクリートの凍結融解試験方法（A 法）」に従った。この試験方法は、100×100×400mm の供試体をゴム容器内に格納し、ゴム容器内を水で満たして、これに対して凍結融解作用（-18℃～4℃）を1サイクル4時間で与え、300サイクルまで試験を行うものである。従って、コン

クリート表面は水に接した状態（水中凍結融解）である。この試験と併せて、ゴム容器内に水を入れない状態でも試験を行った。こちらの試験では、試験中に供試体が乾燥するのを避けるために、30 サイクル毎に試験体を取り出し、24 時間 20℃の水に浸漬して、その後表面の水を拭き取った後に、供試体表面をラップで覆った状態（気中凍結融解）で凍結融解試験を行った。

暴露試験では矩形の供試体（60×100×300mm）の他に、矩形供試体の上面に深さ 6mm の窪みを設け、雨水が滞水する形状の供試体も設置した（図-1、ただし、滞水は晴天であれば1日程度で蒸発する）。この2つの形状の違いによって、水の影響を比較検討した。



図-1 凍結融解の暴露試験の状況

2.2 実験結果と考察

促進試験および暴露試験において、供試体の表面で確認した劣化状況について表-1に整理した。

まず、骨材には良質なものを使用し、NonAE コンクリートとすることでペースト部の凍結融解抵抗性を低下させた配合では、促進試験の水中凍結融解試

験の結果ではひび割れが観測された。これに対して気中凍結融解試験では劣化は確認されなかった。暴露試験の結果でも、供試体上面に窪みを設け、滞水する条件にした供試体ではひび割れが観測されたが、矩形の滞水しない供試体では劣化は確認されなかった。このように、今回の実験結果によると、滞水のない場合は、ペーストに求められる品質の水準を変えることも可能と考えられる。

これに対して、低品質骨材を使用した配合（AE コンクリート）については、促進試験では、低品質骨材A、Bともに、凍結融解の条件（水中、気中）によらず骨材の劣化によると思われるひび割れ、ポップアウトが観察された。暴露試験においても、低品質骨材Aを使用した供試体では、供試体上面の滞水の有無に拘わらず、ポップアウトが確認された。この理由としては、特に気温が低く、日照による水分蒸発が少ない冬季では、降雨、融雪等によって上面に窪みを設けなかった供試体でもコンクリート内部の空隙が水で満たされる期間が長く続き、低品質骨材では劣化が発生したと考えられる。

これらの結果から考えて、滞水が無いなどやや凍結融解作用の影響が小さい条件でも、低品質な粗骨材の使用を許容することは難しいと考えられる。

3. 中性化に関する検討

3.1 実験方法

コンクリートの中性化速度は、温度や湿度などの環境条件によって変化することが知られている。そこで、まず、中性化促進試験によって、温度と湿度

表-1 促進試験および暴露試験による劣化状態の比較（凍結融解）

分類	配合	促進試験 +5~-18℃、300サイクル		暴露試験(干歳8年) 最低気温: 11~3月は氷点下、1~2月は-20℃	
		水中凍結融解(標準)	気中凍結融解	上面に窪み(滞水)	矩形(普通供試体)
ペーストが低品質	NonAE	ひび	劣化なし	ひび	劣化なし
骨材が低品質	低骨材A(砂利)	ひび、ポップアウト	ひび、ポップアウト	ポップアウト	ポップアウト
	低骨材B(碎石)	ひび	ひび	劣化なし	劣化なし

が中性化速度に与える影響について確認する実験を行った。すなわち、炭酸ガス濃度を5%（一般環境の100倍程度）一定とし、温度及び湿度をコントロールできる促進中性化試験装置を用い、温度を10～30℃、相対湿度を30～90%の範囲で設定した促進試験を実施した。促進試験期間は14日間とした。なお、短期間で結果を得るために、コンクリートの水セメント比は85%と一般のコンクリートよりも高めに設定した。供試体寸法は100×100×200mmの直方体とした。

同様のコンクリート配合の供試体を用いて暴露試験も実施した。暴露箇所は、北海道から沖縄に至る8地点として、屋外で日当たりが良く、風雨雪が当たる場所とした。また、土木研究所構内においては、20℃、60%RHの実験室内や土中にも供試体を配置した。暴露期間は1年とした。

促進試験および暴露期間を終えた供試体は割裂して、割裂面に1%フェノールフタレイン溶液を噴霧することで、中性化深さを測定した。

3.2 実験結果と考察

促進試験結果から得られる中性化深さについて、温度や湿度との関係について図-2に示す。これによれば、湿度が60%を超えると中性化深さは浅くなること、また、温度が20℃を下回ると中性化深さは浅くなる傾向が確認された。現在の標準的な中性化促進試験の条件は20℃、60%RHであるが、比較的中性化深さが大きくなる領域であり、妥当な試験条件と考えられる。

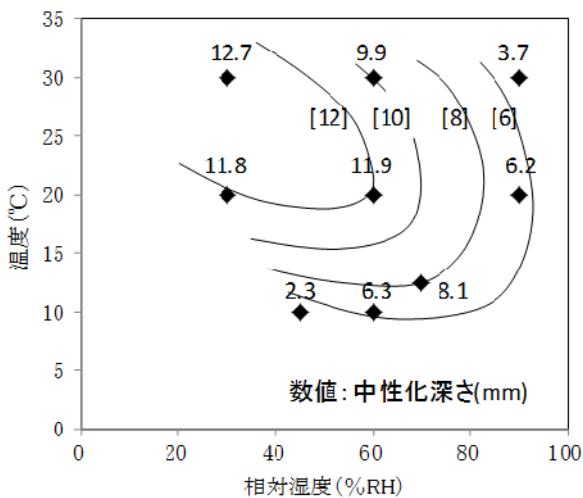


図-2 促進試験の結果（中性化）

暴露試験の結果を図-3に示す。札幌から沖縄に至るまで、外気温の平均値は10℃～25℃程度までの差があるが、中性化深さは4～6mm程度で、地域的な差は比較的小さかった。これに対して、試験室における中性化深さは大きく、土中はほとんど中性化しない結果となり、構造物の置かれる局所的な環境（日射や雨掛り等）の違いの影響が大きい結果となった。

なお、国内では地域的な差は比較的小さいと述べたが、僅かながら北低～南高の傾向が見られることから、気温がさらに高い海外では、さらに中性化の進行が早まることも考えられる。

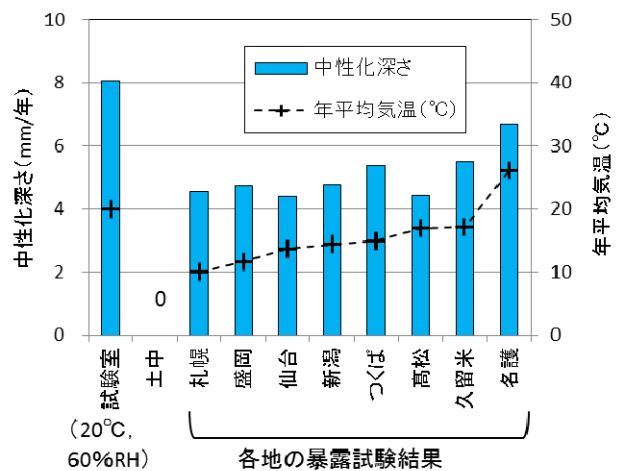


図-3 中性化の暴露試験の結果

4. 乾燥収縮に関する検討

4.1 実験方法

骨材の品質によっては、コンクリートの乾燥収縮が大きくなり、乾燥収縮ひび割れの発生リスクが高まるものがある。このため、例えば再生骨材MのJIS規格では、その使用用途を乾燥の影響を受けにくい地下構造物等に制限している。

一方で、構造物の地表付近あるいは水面付近は、どの程度の範囲まで乾燥の影響を受けるか、これまでに十分な検討がなされているとは言い難い。そこで、これらの検証実験を行った。実験は図-4に示すように、100×100×400mmのコンクリートの角柱供試体の内部にひずみゲージを埋め込み、この供試体を地中に半分程度埋め込んだり、水面付近に配置し、約半年間（2～8月）、乾燥ひずみを測定した。暴露箇所は土木研究所の構内で日照や風雨の当たる箇所とした。コンクリート配合は、水セメント比(W/C)が65%、50%、35%の3水準とした。

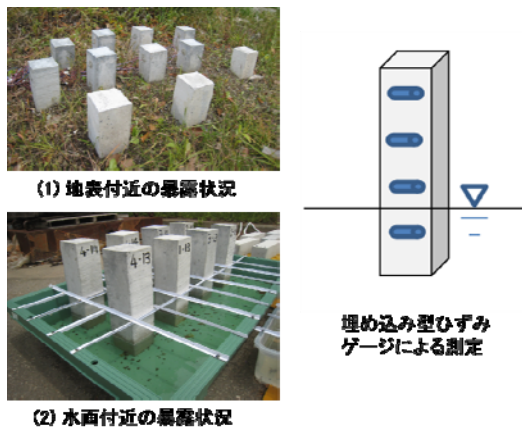


図-4 乾燥収縮の暴露試験の概要

4.2 実験結果と考察

測定期間のうちで最大の乾燥ひずみを示した時点における乾燥収縮ひずみの分布図を図-5および図-6に示す(図中のW/Cは水セメント比)。

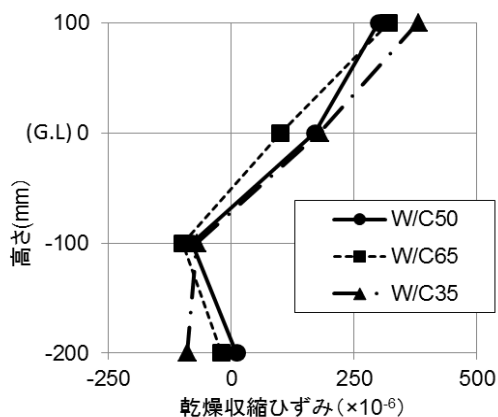


図-5 地表付近の乾燥収縮ひずみの分布

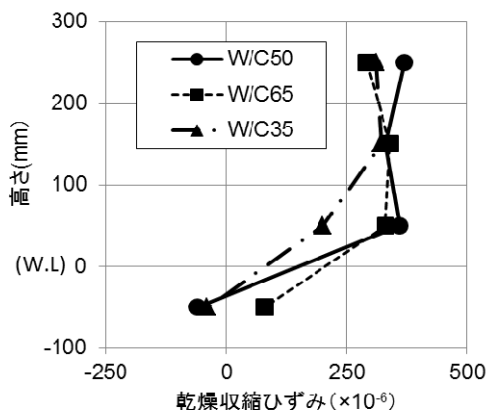


図-6 水面付近の乾燥収縮ひずみの分布

地表付近の乾燥収縮ひずみの分布(図-5)については、地表から10cm程度より深い範囲では乾燥

の影響を受けない結果となった。水セメント比の影響はほとんど見られなかった。

水面付近の乾燥収縮ひずみの分布(図-6)については、水分の供給によって水面からある程度の高さまでは乾燥収縮が低減されることを予想した。しかしながら、そのような傾向は水セメント比35%の供試体で僅かに見られる(水面上50mmの位置)程度で、それ以外の供試体では、水面から上の部分の乾燥収縮ひずみは概ね一定値となった。水面から下では乾燥収縮はほとんど見られなかった。実際の構造物は、今回試験した供試体よりも規模が大きく、外気に接する比表面積が小さいことから、必ずしも同じ条件とは限らないが、水面から上部の気中部の表面部分は、ほぼ均等に乾燥収縮すると考えるのが妥当と考えられる。

5. まとめ

本研究では、再生骨材などのリサイクル材を活用できる環境作用が穏やかな箇所を明らかにすることを旨として、コンクリート構造物が置かれる環境条件について調査した。その結果、以下のことがわかった。

- 1) 凍結融解に関しては、滞水しない点で環境条件が緩やかであっても骨材に求める品質を変えることは難しい。
- 2) 中性化に関しては、相対湿度が高いほど、また、環境温度が低いほど中性化速度が遅くなる。ただし、屋外暴露環境では、日本国内(北海道～沖縄)で中性化深さに大きな違いは見られなかった。
- 3) 地表付近や水面付近の乾燥収縮ひずみに関しては、地表から10cm以深、または水面以下の範囲で乾燥収縮は生じなかった。水面から上部に関してはほぼ均等な乾燥収縮ひずみ量であった。

再生骨材等の有効利用技術を検討する際に、今回得られた劣化環境の影響の大きさ等を考慮して、適用範囲等を検討していく必要がある。

参考文献

- 1) 片平博、下谷裕司、渡辺博志、田口史雄：各種低品質コンクリートの暴露3年の結果、コンクリート工学年次論文集、Vol.33、pp.755-780、2011.7
- 2) 片平博、渡辺博志：コンクリート用骨材について考える(第4回)ーコンクリートの乾燥収縮と骨材の関係ー、土木技術資料、Vol.56、No.4、pp.57-58、2014.4

CLARIFICATION OF THE ENVIRONMENTAL LOAD INTENDED TO EFFECTIVE USE OF RECYCLED MATERIALS FOR CONCRETE

Budgeted : Grants for operating expenses
General account
Research Period : FY2014-2015
Research Team : Materials and Resources
Research Group
Author : WATANABE Hiroshi,
KOGA Hirohisa,
KATAHIRA Hiroshi ,
MORIHAMA Kazumasa,
NAKAMURA Eisuke

Abstract : Although, effective use of recycled aggregate in concrete is needed, it can affect to the durability of concrete in a negative way. It is, therefore, better to use recycled aggregates in the place with gentle environment. In this research, the relationship between the environmental conditions and the durability of concrete with recycled aggregates are discussed with the data from outdoor exposure tests and accelerating tests. The following results were obtained.

- 1) It is difficult to ensure the freezing and thawing resistance of concrete with low-quality coarse aggregates, even where supply of water is limited.
- 2) The rate of carbonation of concrete isn't different significantly in Japan.
- 3) The amount of drying shrinkage near the surface of the earth and water was measured in order to clarify the area where the effect of drying shrinkage can be neglected.

Key words : Recycled material , Freezing and thawing, Carbonation, Drying shrinkage