

特集：土木材料の信頼性向上に向けて

再生骨材コンクリートの耐凍害性評価技術の開発とJIS規格への反映

片平 博* 渡辺博志**

1. はじめに

コンクリート用再生骨材の品質規格については、その品質をH、M、Lの3水準に分けて2005～2007年にJIS規格が制定された。

再生骨材は原骨材とそれに付着するモルタル塊（または単独のモルタル塊）によって構成されている（図-1参照）。再生骨材H（JIS A 5021）は、付着モルタルの大半を取り除き、原骨材に近い再生骨材を採取するもので、天然の良質な骨材と同様にJIS A 5308に規定するレディーミクストコンクリート用骨材として、呼び強度36以下のコンクリートに対して、特に用途を指定することなく使用することが可能となっている。ただし、再生骨材Hの製造には高水準の製造設備を必要とし、また、副産される微粉の処理が課題となっている。

これに対し再生骨材MおよびLは、比較的簡易な破碎設備で生産するもので、生産コストと微粉の発生を抑えられるが、品質が劣るために使用用途を限定したコンクリートとしてのJIS規格（JIS A 5022および5023）となった。このうち、再生骨材Lは原則として構造体コンクリートには使用できない。再生骨材Mは構造体コンクリートへの利用が期待されるが、普通コンクリートに比較してコンクリートの乾燥収縮がやや大きくなることや、耐凍害性に対する評価が困難なことから、利用用途が乾燥や凍結の影響を受けにくい地下構造物等に限定されることとなった。

土木研究所では再生骨材の利用用途の拡大を目指して再生粗骨材の耐凍害性評価手法の研究を行

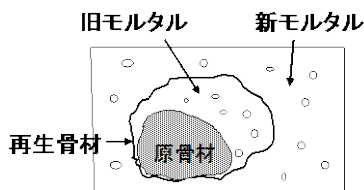


図-1 再生骨材コンクリートの概念図

ってきた。その概要は既に本誌でも紹介した。その後、その後も研究を進めた結果、2012年のJIS A 5022の改正にて本試験方法が採用され、凍結融解作用を受ける箇所にも使用可能な耐凍害品が設定されることとなった。この試験方法開発の内容とJIS改正の概要を報告する。

2. 再生骨材の凍結融解試験方法

2.1 安定性試験の適用性について

天然骨材の耐凍害性については、「JIS A 1122 硫酸ナトリウムによる安定性試験方法」で得られる損失率を指標として評価するのが一般的である。安定性試験方法は、硫酸ナトリウムの結晶圧により凍結水圧を模擬したものであるが、再生骨材中のセメント成分が硫酸イオンによって分解し、凍結水圧の作用を適切に模擬できない恐れがあった。そこで、まず再生粗骨材への安定性試験の適用性について検討した。

水セメント比と空気量を変化させた原コンクリートを破碎して再生粗骨材を製造し、安定性試験を実施した。また、これらの再生粗骨材と良質な細骨材を使用し、水セメント比55%、空気量4.5%の再生骨材コンクリートを製造し、コンクリートの凍結融解試験（JIS A 1129）を実施した。

再生粗骨材の安定性試験結果（安定性損失質量）と、再生骨材コンクリートの凍結融解試験結果から得られる**耐久性指数***（一般に60以上あれば耐凍害性を有すると判断する）との関係を図-2に示す。耐久性指数の優劣に関係なく、安定性損失質

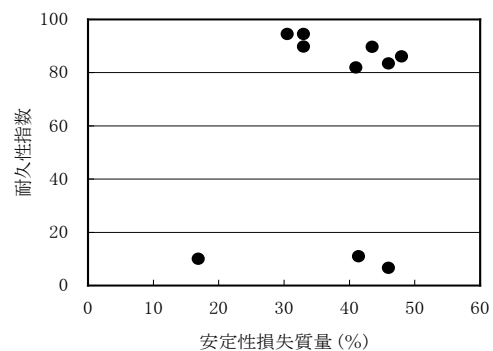


図-2 安定性と耐久性指数の関係

Freezing-thawing Resistant Recycled Concrete using Recycled Aggregate

*土木用語解説：耐久性指数

量は一般的な指標とされる 12%よりも高い値を示しており、安定性試験による再生骨材の耐凍害性の評価が困難であることがわかる。その原因としては、硫酸成分によって再生骨材中のセメント成分が劣化することや、試料温度を 100℃まで繰り返し上げることによって骨材とペーストとの界面の付着力が低下することなどが考えられる。

2.2 再生粗骨材の凍結融解試験方法

安定性試験に代わる再生粗骨材に適した凍結融解試験方法の開発を行った²⁾。試験法の検討にあたり考慮した点は以下の3点であった。

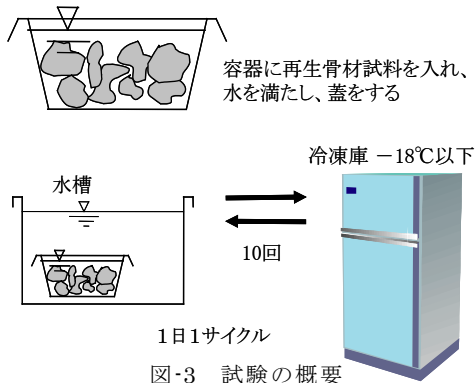
- 1) 試料に直接凍結融解作用を与える
- 2) 試験にかかる期間は安定性試験と同程度
- 3) 特殊な試験装置を必要としない

骨材試料に直接凍結融解作用を与える方法としては家庭や店舗等で使用される冷凍庫に着目した。JIS C 9607 に電気冷凍庫または冷凍冷蔵庫の冷凍室の規格が定められている。表-1 に示すように4つのランクに区分されているが、現在市販されているもののほとんどはスリースターまたはフォーンスターである。これは、冷凍食品の保存温度が-18℃以下であることから必須の条件となっている。したがって冷凍庫または冷凍冷蔵庫の冷凍室を使用することで、再生粗骨材を-18℃以下に冷凍することが可能である。

試験は図-3 に示すように、プラスチック製容器に再生粗骨材と水を入れ、1日1サイクルで冷凍庫と水槽に交互に入れることで再生骨材試料に凍結融解作用を与える。10サイクル後に試料の粗粒

表-1 冷凍庫の性能規格

区分	表示	最低温度	冷却能力
ワンスター	*	-6℃以下	
ツースター	**	-12℃以下	
スリースター	***	-18℃以下	
フォーンスター	****	-18℃以下	100Lあたり4.5kg以上の食品を24時間以内に-18℃以下に冷却できる能力



率の変化（これを「FM 凍害指数」と定義する）を求め、これを再生骨材の耐凍害性の指標とする。

なお、再生細骨材の評価には課題が残っており、本試験法は再生粗骨材の評価にのみ適用する²⁾。

試験手順を以下に示す。

2.3 試験準備

(1) 試験装置

- ・容器：再生粗骨材を入れるためのプラスチック製の容器、1リットル程度のポリプロピレン製またはポリエチレン製の食品用容器が使用できる。
- ・冷凍庫：-18℃以下に冷凍することの可能な電気冷凍庫または冷凍冷蔵庫の冷凍庫。
- ・水槽：凍結した容器を融解するための水槽（20℃程度）。養生水槽などが使用できる。
- ・ふるい：JIS Z 8801に規定する4.75mm、9.5mm、19mm および 26.5mm の網ふるい。
- ・はかり：秤量 2kg 以上、感量 0.1g 以下のはかり。

(2) 再生粗骨材試料の準備

本試験法は、粒度範囲が 5~20mm または 5~25mm の再生粗骨材を対象とする。

試料は気乾状態とする。再生骨材を高温にさらすと耐凍害性が著しく低下する場合があるので、例えば 105℃で絶乾にするなどしてはならない。

(3) 一度に試験する容器個数の設定

再生粗骨材試料を冷却する速度は、冷凍庫の容量、冷却能力と一度に入れる試料の量によって異なる。このため 2.4 に定める試験条件となるように、使用する冷凍庫に対して、一度に試験する容器の個数をあらかじめ設定しなければならない。その方法としては、本試験と同様の方法によって容器に骨材（再生骨材でなくてもよい）と水を入れたものを複数個用意し、冷凍庫に入れる容器の個数と、時間内に到達する試料内の温度との関係を確認することで、適した容器個数を設定する。

冷凍庫の容量 100 リットルあたり、750g の再生骨材と 400cc の水を入れた容器の個数で 5~10 個が目安となる。

2.4 試験方法

- (1) 試料量は、5~20mm の試料の場合には 750g 以上、5~25mm の試料の場合は 1,000g 以上とする。この再生粗骨材の粒度分布を 4.75mm、9.5mm、19mm 及び 26.5mm の網ふるいを用いて、ふるい分けにより 0.1g 単位で測定する。

4.75mm 以下または 26.5mm 以上の粒子がある場合はそれを排除する。

- (2) 試料を容器に入れ、試料が完全に水没する量の水を入れる。この水の量は各容器ともに同量としなければならない。水の比熱は骨材の約 5 倍であり、容器中の水量が多くなると凍結融解にかかる時間が長くなる。
- (3) 容器の一つに温度計を設置し、容器の中心部分の温度が測定できるように配置する。
- (4) 容器を冷凍庫に入れ、中の水が-18℃以下となるまで冷凍する。冷凍庫に入れている時間は 16±2 時間とする。
- (5) 容器を冷凍庫から取り出し、水槽に入れ、中の氷が完全に融解するまで水中に置く。水槽に入れている時間は 8±2 時間とする。
- (6) 1 日 1 サイクルで (4)と(5)を交互に繰り返す。休日等で試験ができない日は凍結したまま冷凍庫に保管して良い。
- (7) 10 サイクルを終了した後に容器から再生骨材試料を取り出し、気乾状態とする。試料の全質量が試験前質量の±1%であることを確認し、(1)と同様の方法でふるい分け、19mm 以上、9.5～19mm、4.75～9.5mm 及び 4.75mm 以下の各粒度の質量を測定する。

2.5 計算

試験前及び試験後の粒度分布から粗粒率(F.M.)を計算する。ただし、4.75mm 以下の粒子は全て 2.36mm のふるい上に止まると仮定して以下の式により F.M.を計算する。

$$F.M. = \frac{(M_{20}+M_{10}+M_5)}{100} + 5.0$$

ここに、 M_{20} 、 M_{10} 、 M_5 :19mm、9.5mm、4.75mm

ふるい上にとどまる試料の質量百分率(%)であり、試験前及び試験後の全試料質量に対する値とする。

試験前後の粗粒率から次式によって FM 凍害指数を求める。

$$FM \text{ 凍害指数} = F.M._a - F.M._b$$

ここに、 $F.M._a$: 試験前の F.M.

$F.M._b$: 試験後の F.M.

2.6 FM 凍害指数による耐凍害性評価の確認試験

(1) 試験の対象とした再生骨材

原コンクリートは実験室で製造したもの、市販の再生クラッシュランを用いたもの、実際の解体コンクリートを用いたもの等、様々である。試験室での製造では、原骨材の種類や、水セメント比(W/C)、空気量(Air)を変えたものを製造した。原コンクリートをジョークラッシャー等で破碎することで製造された 28 種類の再生粗骨材を対象に試験を実施した²⁾。品質は JIS で規定しているところの再生骨材 M~L に相当するものであった。

(2) 再生骨材コンクリートの製造と試験

これらの各再生骨材をそれぞれ単独で使用し、細骨材には良質な天然細骨材(川砂、絶乾密度 2.56g/cm³、吸水率 1.58%)を使用し、水セメント比 55%、目標空気量 4.5% (実測空気量 3.4~6.6%) の条件で再生骨材コンクリートを製造し、JIS A 1148「コンクリートの凍結融解試験方法」の A 法(水中凍結融解)に従って凍結融解試験を実施し、耐久性指数を求めた。コンクリートに用いたその他の材料としては、普通ポルトランドセメント、水道水、AE 減水剤とした。

また、2.2~2.5 に従って試験を実施し、各再生粗骨材の FM 凍害指数を求めた。

(3) 試験結果

FM 凍害指数と、これらの再生粗骨材を使用した再生骨材コンクリートの耐久性指数との関係を図-4 に示す。この図より、耐久性指数が低い範囲ではデータのバラツキが大きくなる傾向があるものの、耐久性指数が高いものほど、FM 凍害指数が小さくなる傾向が確認できた。特に耐久性指数 60 以上の範囲では双方は良い対応関係を示して

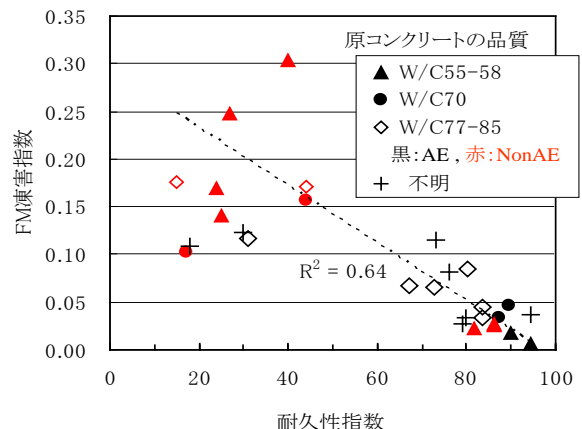


図-4 FM凍害指数と再生骨材コンクリートの耐久性指数との関係

おり、FM凍害指数によって、再生骨材の耐凍害性が評価できることが分かった。

3. JIS A 5022 における耐凍害品の設定

上記の試験方法の採用をはじめとして、以下の条件を満たすことで、JIS A 5022 再生骨材 M を用いたコンクリート(2012 年改正)に耐凍害品が設定された。

- (1) 不特定多数の建設現場から搬入されるコンクリート解体材から再生骨材を製造する場合には、検査ロットを 500t 又は 1 週間で製造できる量とする。原コンクリートが AE コンクリートであることが配合報告書等の書類によって特定できる場合には、検査ロットの大きさを、3 ヶ月で製造できる量とすることができる。
- (2) 粗骨材には FM 凍害指数が 0.08 以下の再生粗骨材 M を単独で使用するか、これと JIS A 5308 レディーミクストコンクリート 附属書 A に規定する粗骨材を混合して用いる。FM 凍害指数を求める凍結融解試験は、1 検査ロットあたり 3 箇所から試料を採取し、その平均値で評価する。
- (3) 細骨材には JIS A 5308 附属書 A に規定する細骨材を使用する。再生細骨材 M および L は使用しない。
- (4) 粗骨材最大寸法は 20mm または 25mm とする。
- (5) 空気量は $5.5 \pm 1.5\%$ とする。
- (6) 呼び強度の範囲を 27 以上とする。

4. 再生骨材コンクリートの利用

上記の JIS A 5022 の改正によって凍結融解作用を受ける部位にも再生骨材コンクリートの使用が可能となった。ただし、普通コンクリートと比較して乾燥収縮がやや大きくなる傾向は従前と変わらないので、構造体コンクリートへの適用にあたってはその点に配慮が必要である。

そのような条件において、耐凍害品の有力な利用用途の一つとして、プレキャスト製品への利用が考えられる。プレキャスト製品への利用には以下のような利点がある。

- (1) プレキャスト製品は寸法が小さいことから、乾燥収縮によるひび割れが発生しにくい。
- (2) 再生骨材は生産量が必ずしも安定しないが、プレキャスト工場では製品に応じて材料の使い分けが可能で、供給量と使用量とのバランスが取りやすい。
- (3) 万が一、施工完了後に不具合が発生した場合でも、比較的容易に交換が可能である。

コンクリート工学会より「プレキャストコンクリート製品用再生骨材 M のガイドライン試案」⁴⁾ が出されているので参考にすると良い。

5. おわりに

土木研究所が開発した試験方法が JIS 規格に反映され、凍結融解作用を受ける箇所にも再生骨材コンクリートの適用が可能となった。

これによって再生骨材コンクリートの信頼性が高まり、循環型社会の構築の一助になれば幸いである。

参考文献

- 1) 片平博、渡辺博志：コンクリート用再生骨材の現状と品質評価試験法の検討、土木技術資料、第 48 巻、第 7 号、pp.36~41、2006
- 2) 片平博、渡辺博志：再生骨材の耐凍害性評価手法の研究、コンクリート工学論文集、第 21 巻、第 1 号、pp.25~33、2010
- 3) 例えば、長瀧重義ほか：建設材料第 76 委員会、ライフサイクルを考慮した建設材料の新しいリサイクル方法の開発、平成 8~12 年度、日本学術振興会未来開拓学術研究推進事業研究成果報告書、2001.4
- 4) 万木正弘ほか：プレキャストコンクリート製品の設計と利用研究委員会報告書、(社)コンクリート工学会、pp.339~358、2009.8

片平 博*



独立行政法人土木研究所
つくば中央研究所材料資源研究グループ基礎材料チーム 主任研究員
Hiroshi KATAHIRA

渡辺博志**



独立行政法人土木研究所
つくば中央研究所材料資源研究グループ基礎材料チーム 上席研究員、工博
Dr. Hiroshi WATANABE