

# 「プレキャストコンクリートへの再生粗骨材Mの有効利用に係わるガイドライン (案)」について

耐寒材料チーム

## 1. はじめに

コンクリート解体材は、全国で年間約3千万トン程度発生しており、そのほとんどが道路用の路盤材として再利用され、その再利用率は極めて高い水準を維持している<sup>1)</sup>。一方で、道路建設需要が減少した場合、路盤材が供給過多となる恐れもあり、将来にわたり高い再利用率を維持するためには、路盤材以外への利用用途の拡大が求められている。

路盤材以外へのコンクリート解体材の利用用途としては、コンクリート用再生骨材（以下、再生骨材）があり、レディーミクストコンクリートへの利用を念頭にJIS（日本産業規格）も定められている。しかし、コンクリート解体材の供給量は地域や時期により変動するため、レディーミクストコンクリート工場への再生骨材の安定的な供給や供給可能な工場が限定的となる恐れがあるなどが、再生骨材としての活用促進に向けて課題となっている。一方、プレキャストコンクリート（以下、PCa）製品工場では、生産量のコントロールにより再生骨材の使用量の調整が可能であること、また、一つの工場で生産された再生骨材コンクリート製品を各地域に運搬できるので、地域ごとに工場があれば、広域的に再生骨材の利用を促進できる可能性がある。

国土交通省東北地方整備局（以下、東北地方整備局）では、建設副産物の有効利用を促すため、再生骨材や溶融スラグ骨材を用いたPCa製品の利用促進に向けたガイドラインの整備を進めてきた経緯がある。しかし、国土交通省の「コンクリート副産物の再利用に関する用途別品質基準」<sup>2)</sup>（以下、用途別品質基準）では、塩分の影響を受ける場合の凍害（スケーリング）劣化に関する知見が十分でないことから、凍結防止剤散布地域は標準的な使用範囲に入っておらず、東北地方整備局管内における再生骨材コンクリート普及の課題となった。

そこで、土木研究所の先端材料資源研究センターならび耐寒材料チームでは、2018年3月より、東北地方

整備局および宮城大学と共同研究「凍結防止剤散布地域における再生骨材コンクリートの有効利用技術の開発」を行い、凍結防止剤散布地域における再生骨材コンクリートの普及に向けて検討を重ね、その成果を「プレキャストコンクリートへの再生粗骨材M（次頁にて詳述する）の有効利用に係わるガイドライン (案)」(以下、ガイドライン (案)) としてとりまとめた。本稿では、ガイドライン (案) の概要について解説する。

## 2. ガイドライン (案) の構成

本ガイドライン (案) の構成を図-1に示す。第1章では、本ガイドライン (案) の目的と提唱する再生粗骨材MをPCaに用いる際の適用範囲、想定するPCa製品の範囲と使用する再生粗骨材の使用割合を示している。第2章では、使用可能な再生粗骨材とその品質管理、貯蔵方法について示している。第3章では、再生粗骨材Mを使用したPCa製品の配合と製造時の留意点について示している。また、巻末には本ガイドライン (案) 策定の過程で整理した検討結果を技術資料として示している。以下に各章について解説する。

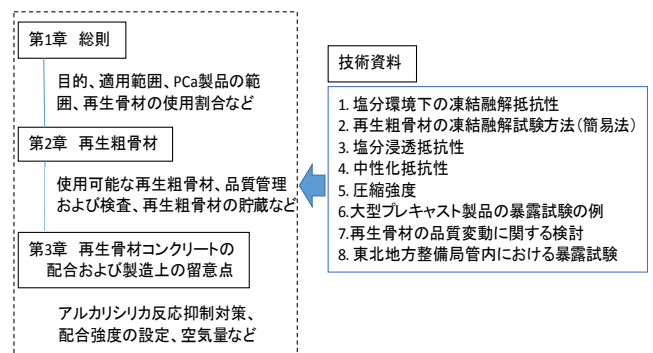


図-1 ガイドライン (案) の構成

### 3. 第1章 総則について

#### 3. 1 目的

本ガイドライン（案）は、凍結防止剤散布地域である寒冷地を含め、PCa製品への再生粗骨材Mの有効利用を促進することを目的として策定されている。

JISでは、再生骨材コンクリートについて、再生骨材の品質によってH、M、Lの3つに分類している。Hは付着モルタルの大半をそぎ落として原骨材を取り出したもので、普通骨材と同等の品質を有し、同様の水準でコンクリートに使用できるが、製造コストが高く研磨処理時の副産物としてモルタル微粉の発生など課題がある。一方、MとLは多少の付着モルタルの許容により、製造コストを抑え、解体材のより多くの部分を再生骨材として利用可能だが、使用用途は限定される。この内、Mは乾燥収縮の影響の少ない地下構造物やPCa製品に利用可能となっており、2012年のJIS改正で、再生骨材コンクリートMに耐凍害品が設定されるなど用途の拡大が図られている。

そこで、共同研究においては、塩害地域や凍結防止剤散布地域における再生骨材コンクリートMの耐久性について総合的に検討を行い、再生粗骨材MをPCa製品に使用することが可能との結論を得たので、利用促進に向けその成果を基にガイドライン（案）を策定した。

#### 3. 2 適用範囲

本ガイドライン（案）は、塩害地域および凍結防止剤散布地域を含む国内全ての地域において、再生粗骨材MをPCa製品に適用する場合を対象としている。

再生骨材コンクリートMを凍結防止剤散布地域に適用した場合、耐久性に懸念があるため、各種耐久性について検討を進めた。

塩分環境下における再生骨材コンクリートの凍結融解抵抗性の検討は、様々な品質の再生粗骨材を用いた水セメント比55%、実測空気量4.5~5.5%のコンクリートに対して、JIS A 1148A法による水中凍結融解試験を淡水と3%NaCl水溶液で行った。図-2はその試験結果である。凍結融解による内部劣化の指標である耐久性指数は淡水と塩水で同程度の値となり、JIS A 5022に規定されている耐凍害品の規定を満足した再生粗骨材Mを用いれば、内部劣化に対しては、塩分環境下においても耐凍害性を確保できることが確認されている。

スケーリング抵抗性は、海外試験規格による一面凍結融解試験結果と同様の評価が可能な塩水を用いた

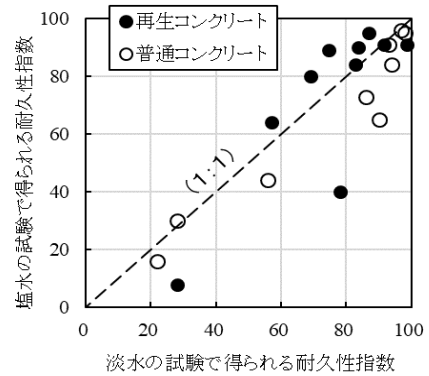


図-2 淡水と塩水における水中凍結融解試験結果

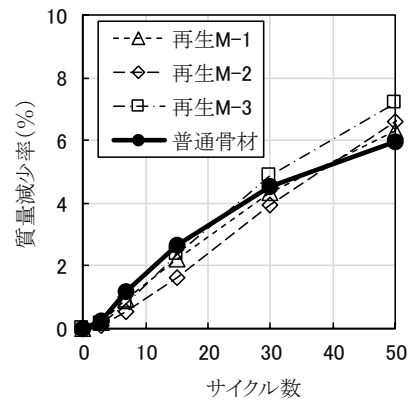


図-3 質量減少率と凍結融解サイクル数の関係

JIS A 1148A法<sup>3)</sup>により試験を実施し、ここでは凍結融解50サイクルまでの質量減少率によりスケーリング劣化抵抗性を評価している。図-3は質量減少率と凍結融解サイクル数の関係だが、普通骨材と耐凍害性を確認した再生粗骨材Mでは、質量減少率に明確な差が無いことが確認されている。

また、再生骨材を用いたコンクリートの塩分浸透性は、実際のPCa製品を想定した配合と養生条件を考慮した検討が行われている。アルカリシリカ反応抑制を考えると、PCaへ適用する再生骨材コンクリートの配合はある程度限定され、普通ポルトランドセメントを用いる場合には、アルカリ総量の関係から、全粗骨材に対する再生粗骨材Mの容積混合率が25%以下となり、25%以上の場合には、フライアッシュセメントや高炉セメント等の混合セメントを使用する必要がある。以上を考慮して、セメントの種類や再生粗骨材の容積混合率を変えたコンクリートについて、10%NaCl溶液に1年間浸漬後の塩分浸透量を測定している。図-4に全塩化物イオン量分布の一例を示す。凡例記号は、セメント種別と再生粗骨材Mの容積混合率を示している。普通セメント(NC)を使用し、再生粗骨材混合率20%(NC-20M)の塩分浸透量は、普通骨材のみ(NC-0)

と同等であった。また、高炉セメントB種(BB)やフライアッシュセメント(FA)を使用し、再生粗骨材を100%使用した配合は、混合セメント使用による効果で組織が緻密化し、内部への塩分浸透が抑制されることを確認している。

以上の検討結果から、再生粗骨材Mを用いたコンクリートでも、塩分環境下における耐凍害性や塩分浸透抵抗性を確保できることを確認し、適用範囲を定めている。なお、中性化抵抗性についても検討が行われ、圧縮強度が同等であれば、普通骨材コンクリートと同様なことが確認されている。

### 3. 3 本ガイドライン(案)で想定するプレキャストコンクリート製品の範囲

本ガイドライン(案)で想定するPCa製品の範囲は、以下の全ての条件を満足するものとしている。

- ・無筋または鉄筋コンクリート構造の製品
- ・コンクリートの設計基準強度が30N/mm<sup>2</sup>以下の製品
- ・乾燥収縮による不具合が生じない寸法形状の製品
- ・有スランプのAEコンクリートが使用された製品

これらの条件は、再生骨材コンクリートの使用に適しているPCa製品の範囲を明確化するために設定されている。なお、プレストレストコンクリート製品は除外されているが、これは再生骨材を用いた場合のクリープ係数等の特性値が明確でないことと、高い強度を得ることが容易ではないためである。

設計基準強度の設定にあたっては、文献調査とともに、普通骨材と再生骨材を混合したコンクリートによる検討を行っている。

文献調査では、粗骨材中の全量が再生粗骨材Mもしくは普通粗骨材、結合材が普通ポルトランドセメントである実験報告70件の中から材齢28日における圧縮強度データを収集した。なお、養生方法は標準養生を対象としている。図-5は再生粗骨材Mを用いたコンクリートのセメント水比と材齢28日の圧縮強度の関係である。セメント水比2.9以下(W/C=35%以上)で圧縮強度50N/mm<sup>2</sup>程度までは、セメント水比の増加に応じて概ね直線的に強度が増加する傾向を確認できる。

さらに、粗骨材中の全量が再生粗骨材M、水セメント比の範囲が40~55%である実験報告28件を抽出し、再生粗骨材Mを用いたコンクリートの圧縮強度の低下率について検討した結果、圧縮強度の低下率は平均で6.9%であり、普通粗骨材を用いた場合に比べて圧縮強度は低下する傾向があるものの、適切に管理すれば必要な強度を得ることは十分可能なことを確認している。

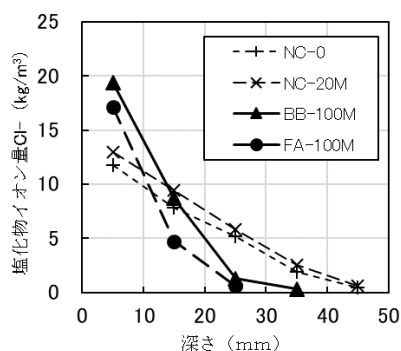


図-4 塩化物イオン量分布

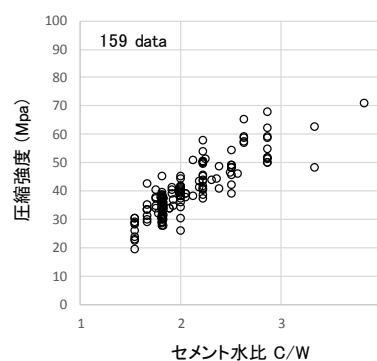


図-5 セメント水比と材齢28日圧縮強度の関係

これらの検討から、設計基準強度が35N/mm<sup>2</sup>程度のコンクリートまでは再生粗骨材Mが強度に与える影響は大きくないと考え、まずは設計基準強度が30N/mm<sup>2</sup>以下のPCa製品を対象としている。なお、今後再生骨材コンクリートの適用実績が増え、配合等への影響が小さいことが確認されれば、設計基準強度の制限を35N/mm<sup>2</sup>程度まで引き上げることは可能としている。

製品の寸法の設定については、再生粗骨材を使用した場合、普通骨材を使用したコンクリートに比べ、乾燥収縮量が大きくなる懸念があることから、そのリスクを小さくするために乾燥収縮の影響が小さいと考えられる小型の製品について、設計基準強度が30N/mm<sup>2</sup>以下の範囲で整理した。表-1は本ガイドライン(案)で想定するPCa製品の例である。JIS A 5371およびJIS A 5372に分類される製品の推奨仕様によれば、JIS外品を含め多くの製品の最大寸法は2m以下であり、製品の最大寸法が概ね2mを超えない範囲を目安としている。なお、耐寒材料チームが実施している再生粗骨材を用いた最大長さ2mのL型擁壁の暴露試験において、暴露6年後でも有害なひび割れが生じていないことについても技術資料として掲載している。

なお、本ガイドライン(案)は、有スランプのAEコンクリートを型枠に打ち込んで製造するPCa製品を



想定して検討したため、硬練コンクリートを振動・加圧締固めする方法や、遠心力締固めで成形する製品は対象外となっている。

### 3. 4 再生骨材の使用割合

PCa製品に使用される粗骨材の全容積に占める再生粗骨材Mの容積混合率は20%以上とすることを推奨している。これは、再生骨材コンクリートの利用意義は、コンクリート副産物の廃棄量削減であるため、再生粗骨材の使用量として、最小の割合を定めたものである。

## 4. 第2章 再生粗骨材について

### 4. 1 使用可能な再生粗骨材

PCa製品に使用する再生粗骨材は、JIS A 5022「再生骨材コンクリートM」の附属書A「コンクリート用再生骨材M」に規定される再生粗骨材Mの品質を満足するものとし、粗骨材最大寸法は20mm以下を標準としている。なお、凍結融解作用を受ける地域には、JIS A 5022「再生骨材コンクリートM」の附属書Dに示される再生粗骨材Mの耐凍害性評価試験法により確認した耐凍害品を使用しなければならない。

一方、JIS A 5022の附属書Dに示されている耐凍害性評価試験法では、試験期間に10日間以上要すること

から、試験の簡易化を検討している。

表-2は、JIS A 5022「再生骨材コンクリートM」の附属書Dに示されている試験方法と本ガイドライン(案)に示した簡易法を比較したものである。簡易法では、試験を行う再生粗骨材の全粒度を試験対象としなくとも、特定の粒度の試験だけで評価可能か、再生粗骨材試料を浸漬する溶液を淡水から塩水に変更することによる試験期間の短縮が可能かが検討されている。特定粒度による評価については、再生粗骨材2005全粒度の7割程度が2010粒度であり、全粒度とのFM凍害指数(凍結融解後の再生粗骨材の粗粒率の変化量を示す数値)を比較すると高い相関があり、2010粒度での耐凍害性評価に問題ないことが示されている。また、図-6は従来の淡水による凍結融解10サイクルと塩水で凍結融解1サイクルを行った場合のFM凍害指数を比較したものである。両者には良い相関があり、塩水を用いて凍結融解1サイクルの試験結果から耐凍害性を判定するには、従来の試験法によるFM凍害指数0.08に対応するFM凍害指数0.15を目安とすればよいことが示されており、これにより試験期間が2日となり大幅な短縮が可能となっている。

なお、使用する再生粗骨材の最大寸法が20mm以下を標準としたことについては、想定しているPCa製品の断面が小さいこと、実際に再生粗骨材Mを製造して

表-1 ガイドライン(案)で想定するPCa製品の例

| 区分        | 項目                           | 製品名(代表例)        | 種別等                                | 標準的な寸法<br>(JIS製品は推奨仕様の範囲)   | 最大質量<br>の目安 |
|-----------|------------------------------|-----------------|------------------------------------|---|-------------|
| JIS<br>製品 | JIS A 5371<br>(無筋コン<br>クリート) | 平板              | 普通、透水性、保水性 厚さ=30、60、80mm           | 300mm×300mm～500mm×500mm   | 50kg        |
|           |                              | インターロッキングブロック   | 普通、透水性、保水性 厚さ=60、80mm              | 200mm×100mm   | 4kg         |
|           |                              | L形側溝            | 250A、250B                          | L=600mm   | 70kg        |
|           |                              | 歩車道境界ブロック       | LS3-M(F) B、C種                      | L=600mm、1000mm、2000mm   | 300kg       |
|           |                              | 積みブロック          | 長方形、正方形、正六角形                       | A形 400mm×250mm×350mm程度  | 50kg        |
|           |                              | 大型積みブロック        | 長方形、正方形                            | 2000mm×1000mm×350～1500mm  | 2.0t        |
|           | JIS A 5372<br>(鉄筋コン<br>クリート) | 上ぶた式U形側溝        | US1(1種2種及びふた)                      | サイズ150～600 L=600mm、1000mm、2000mm  | 700kg       |
|           |                              | 落ちふた式U形側溝       | US2(1種及びふた)、US3(3種及びふた)            | サイズ250～500B L=1000mm、2000mm   | 850kg       |
|           |                              | L形側溝            | LS2の他 1種、2種あり                      | サイズ250A～500C L=600mm、2000mm   | 700kg       |
|           |                              | ベンチフリューム        | BFの他 1種、2種の200～1000サイズあり           | サイズ200～1000 L=1000mm、2000mm   | 1.0t        |
| JIS<br>外品 | 道路用品                         | エプロン付き歩車道境界ブロック | LS3-1                              | 200×200～250×250   | 1.0t        |
|           |                              | 基礎付き歩車道境界ブロック   | フラット、セミフラット、マウントアップ                | ブロック高さ200～250mm L=2000mm  | 1.0t        |
|           |                              | 各種道路用側溝         | 歩道用、車道用                            | 300×300～1000×2000程度 L=2000mm  | 5.0t        |
|           |                              | 自由勾配側溝          | US9-A、B                            | 300×300～1000×2000程度 L=2000mm  | 4.0t        |
|           |                              | 暗渠型側溝           | 都市型側溝                              | 300×300～600×600程度 L=2000mm  | 2.0t        |
|           |                              | 道路用大型積みブロック     | 各社タイプあり                            | 2000mm×1000mm×350～1500mm  | 2.0t        |
|           |                              | 境界くい            | 国土交通省型他、用地境界杭                      | 120mm×120mm～150mm×150mm   | 35kg        |
|           | 河川用品                         | 河川用積みブロック       |                                    | 0.25m <sup>2</sup> 、0.5m <sup>2</sup> 、1m <sup>2</sup> 、2m <sup>2</sup> 他 | 2.0t        |
| 河川用張りブロック | 張りブロック、連節ブロック                |                 | 1m <sup>2</sup> 、2m <sup>2</sup> 他 | 2.0t  |             |

注:表の製品名、種別、標準的な寸法、最大質量は、メーカーによって異なるため、代表的な名称または標準的な値を示している。

注:種別には、一部東北地方整備局の土木工事標準設計図集に示す工種記号を使用している。

いる工場の多く扱う粗骨材最大寸法は20mm以下であることが考慮されている。

#### 4. 2 品質管理および検査

再生粗骨材Mの品質管理項目、試験方法および検査方法はJIS A 5022「再生骨材コンクリートM」の附属書 A「コンクリート用再生骨材M」に準拠し、適切に実施することと定められている。また、JIS A 5022 附属書Aに示される品質基準に合格したものを使用する必要がある。品質項目としては、不純物量、物理的性質、凍結融解抵抗性、粒度、粒形、塩化物量である。

なお、アルカリシリカ反応抑制対策については、「JIS A 5022 再生骨材コンクリートM」の附属書Cに、複数示されている。本ガイドライン(案)では、第3章「再生骨材コンクリートの配合および製造上の留意点」の3.2節で詳述されており、これによる場合は、アルカリシリカ反応性試験を省略してよいこととしている。

また、品質管理および検査の頻度については、JIS A 5022では検査を行うロットの最大値として、1,500tまたは2週間で製造できる量のいずれか少ない量としているが、PCa工場での骨材使用量はレディーミクストコンクリート工場よりも一般的に少なく、1度に納入される再生骨材の量もそれほど多量ではない。このことから、再生粗骨材受入れ時の検査ロットの大きさとしては500t又は1週間に1回程度を目安としている。

なお、再生骨材の品質変動は、普通骨材よりも大きくなる懸念されるため、工場から再生骨材を採取し品質変動に関する検討を行っている。その結果、再生粗骨材Mの品質変動はある程度認められるものの、それがコンクリートの品質に与える影響は必ずしも大きくないことが確認された。ただし、限られた実験結果であることを留意し、再生粗骨材Mの品質変動の程度が確認できるまでは、骨材の品質試験を行い、品質変動の実態を把握しておくことが望ましいとしている。

#### 4. 3 再生粗骨材の貯蔵

再生粗骨材Mは、粒度分布や含水率を適切に保ち、かつ、他の骨材と混ざらないようにしたうえで、適切に貯蔵しなければならない。

再生粗骨材Mは普通骨材より吸水率が大きいことから、必要に応じてプレウェッティングを行うなどして、適切な含水率の状態での貯蔵や貯蔵時に粒度の分離が生じないように留意する必要があることが示されている。また、厳しい凍結融解作用を受ける地域では、凍結融解作用によって貯蔵中の再生粗骨材の品質が変化

表-2 JISと簡易法の比較

| JIS A 5022 附属書Dに示される試験方法との相違点 |                         |                        |
|-------------------------------|-------------------------|------------------------|
| 試験条件                          | JIS A 5022 附属書D         | 提案する簡易法                |
| 試験の対象とする骨材粒度                  | 全ての粒度                   | 2010のみとしても良い           |
| 容器に入れる溶液                      | 淡水                      | 3%NaCl溶液(塩水)           |
| 凍結融解サイクル数                     | 10サイクル                  | 1サイクル                  |
| 耐凍害品としての評価                    | 淡水10サイクルでのFM凍害指数が0.08以下 | 塩水1サイクルでのFM凍害指数が0.15以下 |
| 上記以外の試験条件                     | -                       | JIS A 5022附属書Dに従う      |

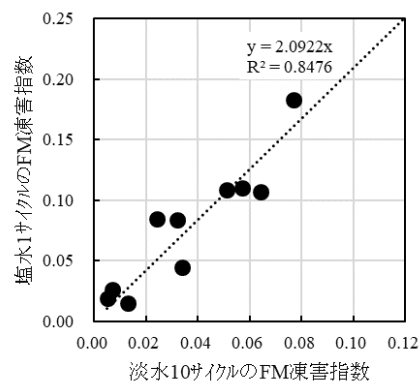


図-6 淡水10サイクルと塩水1サイクルのFM凍害指数の比較

する可能性があるため、長期保存を避けたり、サイロ等で貯蔵する等の対策を講じるのが良いとしている。

### 5. 第3章 再生骨材コンクリートの配合と製造上の留意点について

#### 5. 1 一般

再生粗骨材Mを用いたPCaは、ガイドライン(案)3.2アルカリシリカ反応抑制対策、3.3配合強度の設定、3.4空気量の事項を除いては、通常のPCa製品と同様にJIS A 5364に従って製造することを標準とすることと定められている。なお、前述の有スランプのAEコンクリートを型枠に打ち込んで製造するPCa製品が対象となる。

#### 5. 2 アルカリシリカ反応抑制対策

アルカリシリカ反応抑制対策は、JIS A 5022 附属書Cに従って行うこととしているが、JIS A 5022には多様なアルカリシリカ反応抑制対策が示されており、本ガイドライン(案)ではJISに示される抑制対策を満足するコンクリート配合の範囲を整理している。表-3は整理したアルカリシリカ反応抑制対策の例だが、混合セメントはフライアッシュセメントまたは高炉セメントを使用し、普通ポルトランドセメントを使用す

る場合は、混和材としてフライアッシュ、または高炉スラグ微粉末を使用すること、また、いずれの場合も、結合材の全体質量に対してフライアッシュは15%以上、高炉スラグは40%以上含み、単位セメント量として400kg/m<sup>3</sup>以下とする必要があることが示されている。この条件を満足することで、アルカリシリカ反応抑制対策が施されているとみなしてよいとしている。なお、ガイドライン（案）には、これらの対策の設定根拠が示されている。

### 5. 3 配合強度の設定

再生骨材コンクリートの配合強度は、普通骨材を使用する場合と同等以上に設定し、また、圧縮強度の変動係数は適切に設定することとしている。

これは、本解説の3.3で述べたように再生粗骨材Mを使用するとコンクリートの圧縮強度が低下する傾向があるため、普通骨材を使用する場合と同等となるように配合設計を行う必要がある。

また、再生粗骨材Mを用いたコンクリートの圧縮強度の変動幅の検討から、30N/mm<sup>2</sup>以下の設計強度の範囲では普通コンクリートと比べ変動幅は大きくない。このため、再生骨材コンクリートの圧縮強度の変動係数は、普通コンクリートで比較的多く採用されている10%程度に設定して製造を行い、強度試験結果の蓄積に合わせて適宜変動係数を見直すこととしている。

### 5. 4 空気量

フレッシュコンクリートの空気量を圧力法で測定する場合には、骨材修正係数を測定し、補正する必要があることが示されている。

図-7はフレッシュコンクリートの空気量測定時の骨材修正係数である。再生骨材M（末尾記号M）で0.2～0.5と普通骨材に比較して、骨材修正係数が大きい傾向にあるので、空気室圧力法による空気量測定の際には、事前に骨材修正係数を測定し、測定値から骨材修正係数を差し引いて空気量を求める必要がある。なお、JIS A 5022では、再生骨材コンクリートMの空気量の標準は5.5%±1.5%であるので、参考にするとよい。

### 6. まとめ

本稿では、「プレキャストコンクリートへの再生粗骨材Mの有効利用に係わるガイドライン（案）」について解説した。本ガイドライン（案）は土木研究所HP<sup>4)</sup>から入手可能であり、今後の活用が期待される。

表-3 アルカリシリカ反応抑制対策の例

|      | セメントの種類 | 単位セメント(結合材)量            | 再生粗骨材の容積混合率の上限 | JIS A 5022付属書Cにおける区分 |
|------|---------|-------------------------|----------------|----------------------|
| 対策1) | 普通      | 400kg/m <sup>3</sup> 以下 | 25%            | a)                   |
| 対策2) | 混合セメント  | 400kg/m <sup>3</sup> 以下 | なし             | d)                   |

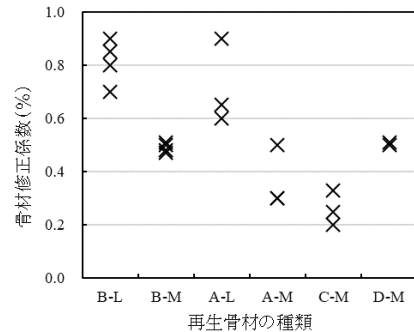


図-7 再生骨材の骨材修正係数

なお、本ガイドライン（案）は、凍結防止剤散布地域である北海道でも適用可能であり、再生骨材を用いたPCaの利用促進が期待される。

また、本ガイドライン(案)の対象外となる現場打ちコンクリートへの再生骨材の利用促進に関しては、再生骨材を使用したコンクリートの乾燥収縮が原因となり使用範囲が制約されているが、耐寒材料チームで提案している乾燥収縮抑制対策<sup>5)</sup>に基づき用途別品質規準<sup>2)</sup>の改定に向けて検討を行っているところである。

(文責：山内 稜)

### 参考文献

- 1) 国土交通省：平成30年度建設副産物実態調査結果参考資料、2019.
- 2) 国土交通省：コンクリート副産物の再生利用に関する用途別品質基準、2016.  
<https://www.mlit.go.jp/common/001126336.pdf>. (2022年6月2日アクセス)
- 3) 吉田行、安中新太郎：塩化物作用下におけるコンクリートのスケーリング促進試験方法に関する研究、コンクリートの性能評価試験の合理化・省力化に関するシンポジウム論文集、コンクリート工学会、pp.293-298、2019.
- 4) (国研)土木研究所先端材料資源研究センターHP  
<https://www.pwri.go.jp/team/imarrc/research/tech-info/co543.pdf>.
- 5) 山内稜、吉田行、島多昭典：再生粗骨材を用いたコンクリートの乾燥収縮の抑制対策に関する検討、寒地土木研究所月報、No.827、2022.