

# 再生粗骨材の凍結融解試験方法（簡易法）の提案

片平 博・古賀裕久

## 1. はじめに

コンクリート構造物の解体によって発生するコンクリート塊は、現在はそのほとんどが路盤材として再利用されている。しかし、地域によっては、新設される路線が減少することも想定されることから、再利用率を今後とも高い水準で維持するためには、利用用途の拡大が急務である。その方法の一つとして、コンクリート解体材を適度な粒度に砕き、これをコンクリート用の骨材（再生骨材）として再利用することが期待されている。

再生粗骨材は写真-1に示すように、コンクリート中に含まれる原骨材とそれに付着するモルタルで構成される。この付着モルタルをできるだけ削ぎ落すことで品質が向上する。再生骨材の品質は付着モルタル量の多少と関連する密度、吸水率などの物性からH、M、Lの3ランクに分けて2004～2007年にJISが制定された。Hは解体コンクリート中からほぼ原骨材のみを取り出すもので、品質は良いが、製造に手間がかかり、削ぎ落したモルタルが微粉となるため、大量に生じる微粉の処理が課題となる。MとLは製造の手間は省けるが、品質が劣るために、Lは構造体には使用できず、Mは乾燥収縮や凍結融解の影響の受けにくい部位に使用が制限された。

土木研究所では、再生粗骨材の凍結融解試験方法を提案<sup>1)</sup>した。これが2012年、JIS A 5022「再生骨材コンクリートM」の付属書Dに採用されたことで、凍結融解の影響を受ける部位への適用が可能となった。しかし、この試験の実施には10日間以上の期間が必要であったことから、品質管理に用いるには負担が大きかった。そこで、試験に用いる試料や試験回数を簡略化する方法について検討し、簡易法として提案した<sup>2)</sup>。

## 2. 実験方法

### 2.1 現状における再生粗骨材の凍結融解試験方法

JIS A 5022に示されている再生粗骨材の凍結融



写真-1 再生骨材の例

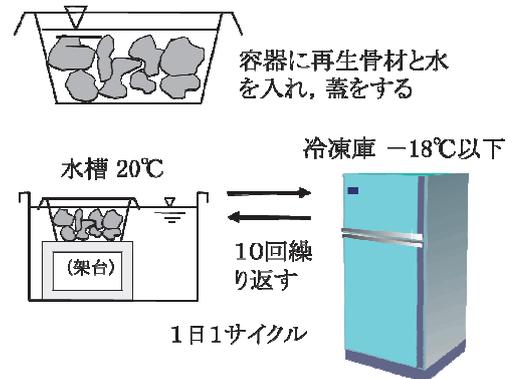


図-1 再生骨材の凍結融解試験方法

解試験方法（ここではJIS法と呼ぶ）の概要を述べる（図-1参照）。

- (1) 試験前の再生粗骨材の試料を気乾状態として、ふるい分けにより粗粒率（ $F.M.a$ ）を求める。粗粒率とは骨材粒子の大きさを表す指標で、80、40、20、10、5、2.5、1.2、0.6、0.3、0.15mmの各ふるいにとどまる質量百分率（%）の和を100で除した値と定義されている。なお、JIS法では作業の簡略化の観点から5mmを通過した粒子は全て2.5mmふるい上にとどまると考えて粗粒率を計算している。
- (2) 再生粗骨材の試料をプラスチック製円筒容器に入れ、試料が完全に水没する量の水を入れ、蓋をする。
- (3) 容器を冷凍庫に入れ、容器中の水が $-18^{\circ}\text{C}$ 以下となるまで冷凍する。
- (4) 容器を冷凍庫から取り出し、 $20^{\circ}\text{C}$ 程度の水槽に入れ、中の氷が完全に融解するまで水中に置く。

- (5) (3)と(4)を1日1サイクルで10回繰り返す。
- (6) 容器から再生粗骨材試料を取り出し、気乾状態とし、(1)と同様の方法でふるい分け、粗粒率 (FM.b) を求める。
- (7) 試験前後の粗粒率から式 (1) によってFM凍害指数を求める (耐凍害品の規格値は0.08以下)。

$$FM凍害指数 = FM.a - FM.b \text{ ----- (1)}$$

上記のJIS法に対して、2.2と2.3の2点に着目して、試験の簡略化を検討した。この検討では対象を広範囲に設定し、M~Lの再生粗骨材を対象とした。さらに、2.4ではJIS で試験対象としているM骨材に着目して簡易法の妥当性を検討した。

**2.2 試験対象粒度の検討**

この試験では試験前後の粗粒率の僅かな差を捉える必要がある。しかし、骨材のふるい分け試験の結果には多少の測定誤差が伴うことは避けられず、不確定要素をできるだけ排除する観点からは、対象とする再生粗骨材の粒度範囲を限定し、簡素化することが望ましい。

流通する再生粗骨材は20-5mmの粒度 (2005) のものがほとんどであり、この粒度分布の骨材では一般的に10~5mmの粒度 (1005) に比較して20~10mmの粒度 (2010) の占める割合が多い。そこで2010の粒度の試験のみで、全粒度である2005を対象とした結果を代表できるかを検討した。この検討には原骨材の種類や原コンクリートの配合、破碎方法を種々に設定した表-1に示す12種類の再生粗骨材 (M : 5種類、L : 7種類) を使い、2010と1005の粒度ごとにJIS法に従って試験を行い、その結果から各粒度のFM凍害指数を算出し、比較した。

**2.3 塩水を用いることによる試験サイクルの短縮**

容器に入れる溶液を一般的な上水道水 (NaCl濃度の基準0.033%以下) から塩水に変えることで劣化を促進させ、試験期間の短縮を試みた。

試験条件として塩水濃度とサイクル数を種々に変えた実験を行い、これらの条件が試験結果に与える影響を調べた。試験条件を表-2に示す。

試験に用いた再生粗骨材は表-3に示す3種類とし、粗骨材の粒度はいずれも2010とした。

**2.4 簡易法の妥当性の検討**

表-4に示す10種類の再生粗骨材Mを対象に計14回の試料採取を行い、JIS法と2.2および2.3の検討の結果から提案した簡易法の試験を実施した。

表-1 2.2の実験に用いた再生粗骨材

No.	原コンクリート			破碎方法※3	再生骨材のランク
	原骨材	W/C (%)※1	空気量 (%)※2		
1	砂利	55	○	J	M
2	碎石	55	○	J	M
3	碎石	70	○	J	L
4	碎石	85	○	J	L
5	砂利	55	×	J	M
6	碎石	55	×	J	M
7	碎石	70	×	J	L
8	碎石	85	×	J	L
9	碎石	55	×	J	L
10	現場解体材			J+R	L
11	現場解体材			J+I	M
12	現場解体材			J+I	L

※1: W/Cは水セメント比  
 ※2: ○は耐凍害性に有効な微細空気泡を含む配合  
 ×は微細空気泡をほとんど含まない配合  
 ※3: Jはジョークラッシュャ, Rはロッドミル  
 Iはインパクトクラッシュャ

表-2 2.3の試験条件

項目	水準
1. 塩水の濃度	(1) 1%, (2) 3%, (3) 5%
2. サイクル数	(1) 1サイクル, (2) 2サイクル, (3) 3サイクル

表-3 2.3の実験に用いた再生粗骨材

記号	絶乾密度 (g/cm <sup>3</sup> )	吸水率 (%)	FM凍害指数 淡水10サイクル	再生骨材のランク
A	2.45	3.57	0.01	M
B	2.26	6.63	0.09	L
C	2.30	6.38	0.08	L

表-4 2.4の実験に用いた再生粗骨材M

No.	吸水率 (%)	絶乾密度 (g/cm <sup>3</sup> )	採取回数	No.	吸水率 (%)	絶乾密度 (g/cm <sup>3</sup> )	採取回数
M1	3.00	2.46	2	M6	3.77	2.40	1
M2	3.29	2.49	1	M7	4.06	2.44	2
M3	3.50	2.44	1	M8	4.22	2.40	1
M4	3.57	2.45	3	M9	4.52	2.37	1
M5	3.68	2.42	1	M10	4.92	2.39	1

また、これらの再生粗骨材を用い、細骨材には良質な川砂、結合材には普通ポルトランドセメントを用い、水セメント比W/C=55%、細骨材率s/a=46%、目標空気量Air=4.5±1.5%の条件で再生骨材コンクリートを製造し、JIS A 1148(A法)に従ってコンクリートの凍結融解試験を行い、コンクリートの耐凍害性の指標である耐久性指数を求めた。最終的に、骨材の試験法であるJIS法と簡

易法の結果について、コンクリートの耐久性指数との比較から、その妥当性を確認した。

### 3. 実験結果

#### 3.1 試験対象粒度の検討結果

12種類の再生粗骨材について、粗骨材全体に占める2010の粒度の質量割合を図-2に示し。この図から、2010の占める割合が6~8割程度と多い傾向が確認できた。

図-3に、粒度ごとに求めたFM凍害指数の比較を示す。(1)は2010と1005の比較であり、1005の値の方がやや小さいものの比較的良い相関を示した。(2)は2010と2005（全粒度）の比較であり双方は高い相関性を示した。これより、2010の粒度の割合が概ね6割以上ある場合には、2010の粒度のみの試験結果で評価して良いと判断した。

#### 3.2 塩水を用いた試験結果

各試験条件における粗粒率（F.M.）の変化量を図-4に示す。これより、塩分濃度の影響はそれほど大きくはなく、粗粒率（F.M.）の変化量は塩水濃度3%で僅かに大きくなった。

また、繰り返し回数の影響に関しては、サイクル数にほぼ比例して粗粒率（F.M.）の変化量が大きくなる傾向を示しており、塩水を用いた場合には、耐凍害性に劣る骨材は1サイクルでも破壊し、耐凍害性の良否が評価できる結果となった。

以上の結果をもとに、塩水を用いた簡易法は、塩水濃度を3%とし、サイクル数を1サイクルとして行うこととした。

#### 3.3 簡易法の妥当性の確認

簡易法の結果（塩水1サイクルで得られるFM凍害指数）とJIS法の結果（上水道水10サイクルで得られるFM凍害指数）の比較を図-5に示す。双方の間には比較的良い相関関係が得られた。

図-6はコンクリートの耐久性指数との関係であり、JIS法（上水道水10サイクル）のFM凍害指数に比較して、やや決定係数 $R^2$ が劣るものの、簡易法（塩水1サイクル）のFM凍害指数も、耐久性指数との間に対応関係が得られた。

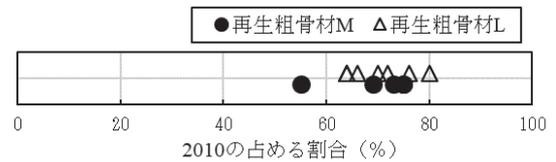
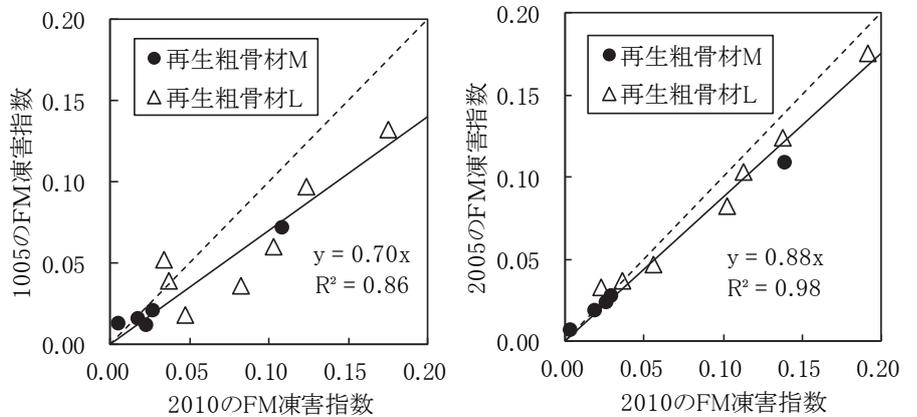


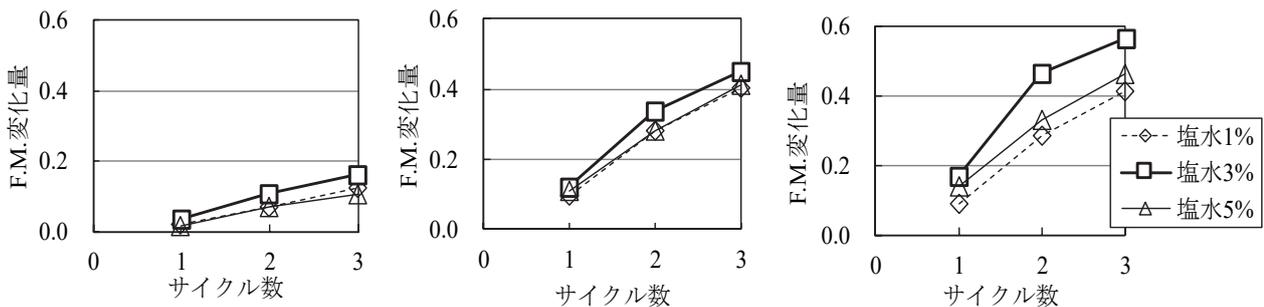
図-2 再生粗骨材中の2010の占める質量割合



(1) 2010と1005の関係

(2) 2010と2005の関係

図-3 粒度とFM凍害指数の関係



(1) 再生粗骨材A

(2) 再生粗骨材B

(3) 再生粗骨材C

図-4 塩分の濃度とサイクル数の影響

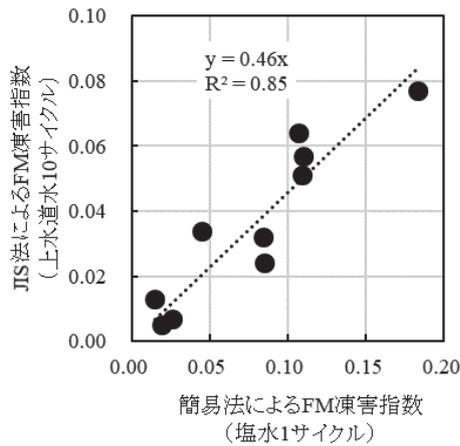


図-5 淡水の試験と塩水の試験の比較

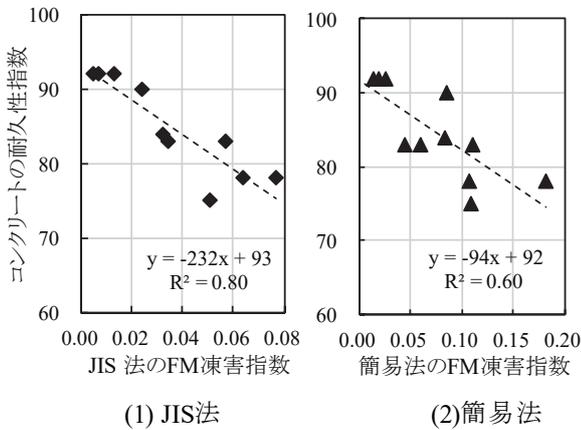


図-6 FM凍害指数と耐久性指数の関係

表-5 再生粗骨材Mの凍結融解試験方法（簡易法）

	JIS法	提案する簡易法 (JIS法との相違点)
骨材粒度	全ての粒度	2010のみも可 (粗骨材中の2010の 質量割合が6割以上 の場合)
容器中の溶液	上水道水	塩水 (3%NaCl)
凍結融解回数	10サイクル	1サイクル
耐凍害性の指標	0.08以下	0.15以下が目安
上記以外	—	JIS法に従う

簡易法を用いる場合のFM凍害指数の判定基準の目安としては、図-5に示すJIS法（FM凍害指数0.08以下）との対応から考えると、現時点では0.15程度以下を目安とするのが良いと考えられる。以上の結果から、表-5に示す簡易法を提案した。

#### 4. まとめ

再生粗骨材の凍結融解試験方法を簡略化する検討を行った結果、以下の結論を得た。

- (1) 使用する再生粗骨材Mの粒度が2005であり、そのうち2010の質量割合が6割以上の場合は、2010のみの試験結果で2005の試験結果を代表させることが可能な結果が得られた。
- (2) 試験の溶液に塩水を用いることで、凍結融解サイクルを1サイクルに短縮できる結果が得られた。
- (3) 本実験結果から表-5に示す簡易法を提案した。コンクリートの耐久性指数との関係はJIS法と比較してやや劣るものの、簡易法は試験にかかる日数を大幅に短縮できるため、日々の品質管理に適用するのが有用と考えられる。

#### 参考文献

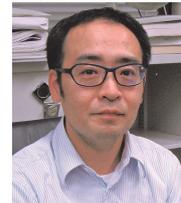
- 1) 片平博、渡辺博志：再生骨材コンクリートの耐凍害性評価技術の開発とJIS規格への反映、土木技術資料、第55巻、第2号、pp.6～9、2013.2
- 2) 古賀裕久、片平博ほか：凍結防止剤散布地域における再生骨材コンクリートの有効利用技術の開発に関する共同研究報告書、プレキャストコンクリートへの再生粗骨材Mの有効利用に係わるガイドライン（案）、土木研究所、共同研究報告書、No.543、2021.6

片平 博



土木研究所材料資源研究グループ 特任研究員  
KATAHIRA Hiroshi

古賀裕久



土木研究所材料資源研究グループ 上席研究員、博士(工学)  
Dr. KOGA Hirohisa