

論文 再生骨材中の混入モルタル量の品質管理方法および評価基準の検討

高橋 祐一^{*1}・黒田 満^{*2}・榊田 佳寛^{*3}・竹内 博幸^{*4}

要旨：これまで行ってきた研究において、再生粗骨材中に塊として残留しているモルタルが、原骨材に付着しているモルタルと比較してコンクリートの性能低下に及ぼす影響が大きく、この量が少ない再生粗骨材 M を用いたコンクリートは H と比較しても遜色ないことを確認した。このような再生骨材を有効利用するためには、モルタル塊等の量の管理が必要となる。そこで本研究では、再生骨材製造工程における品質管理方法として、破碎試験に着目し検討を行った。その結果、破碎値とモルタル塊等の量の間に良好な相関が認められた。また、破碎値と 5mm 破碎値に対する 2.5mm 破碎値の割合を組み合わせた評価基準案を検討した。

キーワード：再生骨材, 再生粗骨材 M, 混入モルタル, 残留モルタル塊, 破碎値, 品質管理

1. はじめに

地球環境保護、循環型社会形成の観点から、再生骨材の利用を促進することが重要であり、比較的回収率の高い再生骨材 M の利用が望まれる。そのためには、再生骨材の品質を決定する要因とコンクリート性能に及ぼす要因の関係を明らかにする必要がある。筆者らは、再生粗骨材を対象に行ってきた研究¹⁾²⁾において、再生粗骨材に含まれるモルタルやセメントペースト（以下、混入モルタル）を、骨材に付着している付着モルタルと、塊として単独で骨材中に残留している残留モルタル塊とに分類し、再生骨材コンクリートの性能との関係性について評価を行い、混入モルタルに占める割合が小さい残留モルタル塊がコンクリートの圧縮強度の低下や長さ変化の増加に及ぼす影響が大きいことを確認した。また、残留モルタル塊の少ない再生粗骨材 M を用いた場合、圧縮強度や長さ変化が再生粗骨材 H と比較しても遜色ないことを確認した。このような再生粗骨材 M を有効に利用していくためには、混入モルタル、特に残留モルタル塊の量（以下、モルタル混入率、モルタル塊残留率）の管理を行っていく必要がある。しかし、筆者らが行ってきた測定方法¹⁾²⁾では、再生粗骨材の製造工程における品質管理に適用することは難しい。

そこで本研究では、製造工程におけるモルタル塊残留率等の品質管理方法として、JIS A 5023 附属書 C「再生骨材の製造工程管理用品質試験方法—再生粗骨材 L の吸水率の推定値試験方法」（以下、規格）に示されている破碎試験に着目した。そして、模擬再生粗骨材および実際の再生粗骨材を対象に破碎試験を実施し、それらのモルタル塊残留率、ならびにモルタル混入率と破碎値との関係性を確認し、その有効性を評価した。また、得られた

破碎値を用いてモルタル塊残留率およびモルタル混入率の少ない再生粗骨材を評価する方法について検討を行った。

2. 模擬再生骨材を用いた検討

2.1 検討概要

本検討では、あらかじめ試験用に製造したモルタル塊を普通粗骨材の一部と置換した模擬再生粗骨材を破碎試験用の試料として、モルタル塊置換率と破碎値の関係性を評価した。また、破碎試験における適切な載荷荷重および原コンクリートの水セメント比の影響について検討を行った。

2.2 モルタル塊および普通粗骨材の概要

本検討で使用したモルタル塊は、コンクリートから粗骨材を取り除いて得られたモルタルを 1 辺約 50mm のブロック状となるように仕切りを入れた型枠に打設し、1 週間の湿潤養生、半年間の気中養生を経た後、ジョークラッシャによる破碎処理、洗浄処理およびふるい分けを行い、粒径が 5~20mm となるように調整したものである。使用したコンクリート（以下、原コンクリート）は、水セメント比が 35%、50%および 60%の 3 種類である。原コンクリートの使用材料を表-1 に、調合を表-2 示す。また、製造したモルタル塊の物性を表-3 に示す。一方、普通粗骨材は原コンクリートに使用したものと同一の硬質砂岩碎石を使用した。

2.3 模擬再生粗骨材の作製

使用するモルタル塊および普通粗骨材は気乾状態のものを使用した。また、粒度分布をそろえる目的で事前に行い、各試料を 5~10mm、10~15mm および 15~20mm に分類した。各試料の粒度分布を表-4 に示す。規格において破碎試験に供する試料は、計量容器

*1 五洋建設（株） 技術研究所 建築技術開発部 係長 博士（工学）（正会員）

*2 宇都宮大学大学院 工学研究科 地球環境デザイン学専攻

*3 宇都宮大学大学院 工学研究科 システム創成工学専攻 教授 工博（正会員）

*4 五洋建設（株） 技術研究所 建築技術開発部 部長（正会員）

表－1 原コンクリートの使用材料

名称	記号	銘柄・産地	物性
セメント	C	普通ポルトランド	密度：3.16g/cm ³
水	W	地下水	—
細骨材 ^{*1}	S1	陸砂： 栃木県那須塩原産	絶乾密度：2.50 g/cm ³ 吸水率：2.51%
	S2	陸砂： 栃木県那須塩原産	絶乾密度：2.50 g/cm ³ 吸水率：2.50%
粗骨材	G	硬質砂岩碎石： 福島県棚倉産	絶乾密度：2.60 g/cm ³ 吸水率：1.23%
混和剤	Ad	AE 減水剤	—
		高性能 AE 減水剤 ^{*2}	—

*1 S1：S2=70：30（質量比）

*2 W/C35%のみ使用

表－2 原コンクリートの調査

W/C (%)	単位量（kg/m ³ ）					
	W	C	S1	S2	G	Ad
35	172	492	559	240	871	C×1.1
50	168	336	575	247	950	C×0.8
60	176	294	589	253	942	C×1.1

に3層に分けて上面まで詰めたものとなっている。しかし、本検討では一部をモルタル塊に置換する必要があるため、あらかじめ規格にしたがって詰めた普通粗骨材の質量を基準とし、以下に示す方法で模擬再生粗骨材を作製した。まず、普通粗骨材の基準質量から置換率に応じたモルタル塊の質量、さらに各粒度範囲の質量を求めて、それらを各粒度に分類した普通粗骨材の一部とそれぞれ置換し、混合したものを模擬再生粗骨材とした。なお、モルタル塊の置換率は5%、10%および15%とし、モルタル塊の粒度分布は50Mを基準として、35Mおよび60Mはこれにそろえた。

2.4 要因と水準

本検討における要因と水準を表－5に示す。モルタル塊の置換率は、5%、10%および15%とし、比較用の普通粗骨材（混合率0%）を加えた計4水準とした。原コンクリートの水セメント比の影響を確認するため、モルタル塊の製造に使用した原コンクリートの水セメント比を35%、50%および65%の3水準とした。また、載荷荷重は、規格に示されている100kNの他、載荷荷重を変化させた既往の研究³⁾において、再生骨材の破砕値の増大が確認されている200kNを加えた2水準とした。なお、いずれも載荷速度は40kN/minで一定とした。ふるい目の寸法は、規格では2.5mmとなっているが、本検討では5mmを加えた。

2.5 試験方法

破砕試験は、規格に示されている方法に準拠して実施した。また、各試料につき破砕試験を2回実施し（一部は1回のみ）、その平均を破砕値とした。また、2.5mm

表－3 モルタル塊の物性

モルタル塊種類	記号	物性
原コン W/C35%	35M	絶乾密度：2.08 g/cm ³ 吸水率：9.58% 圧縮強度 ^{*1} ：68.3N/mm ²
原コン W/C50%	50M	絶乾密度：1.98 g/cm ³ 吸水率：11.64% 圧縮強度 ^{*1} ：41.5N/mm ²
原コン W/C60%	60M	絶乾密度：1.96 g/cm ³ 吸水率：12.25% 圧縮強度 ^{*1} ：38.9N/mm ²

*1 封かん養生材齢28日

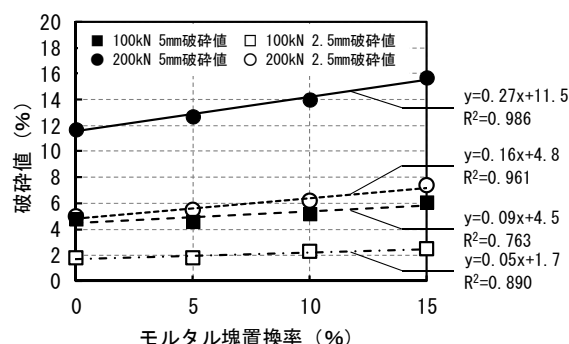
表－4 各試料の粒度分布

粗骨材種類	粒度分布		
	5～10mm	10～15mm	15～20mm
普通粗骨材	26.3%	58.2%	15.5%
モルタル塊 ^{*1}	44.7%	53.2%	2.1%

*1 50Mの値

表－5 要因と水準

要因	水準	水準数
粗骨材種類	普通粗骨材 35M・50M・60M	4
モルタル塊置換率 (気乾質量)	0%・5%・10%・15%	4
載荷荷重	100kN・200kN	2
ふるい目の寸法	2.5mm・5mm	2



図－1 モルタル塊置換率と破砕値の関係

および5mmのふるいを通過した質量の全試料の質量に対する割合をそれぞれ2.5mm破砕値、5mm破砕値とした。

2.6 検討結果

1) モルタル塊置換率と破砕値の関係

載荷荷重100kNまたは200kNで実施した破砕試験の結果を図－1に示す。モルタル塊置換率と2.5mm破砕値および5mm破砕値の関係は、載荷荷重に関わらず良好な相関を示した。しかし、載荷荷重100kNのケースにおける普通粗骨材とモルタル塊を5%置換した模擬再生粗骨

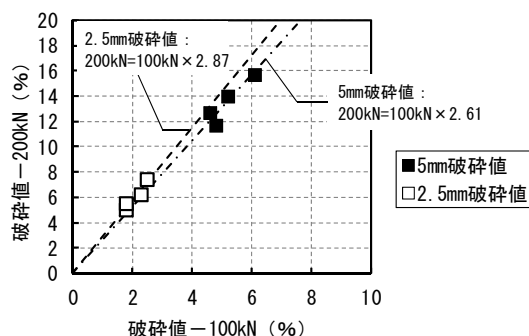


図-2 載荷荷重別の破砕値の関係

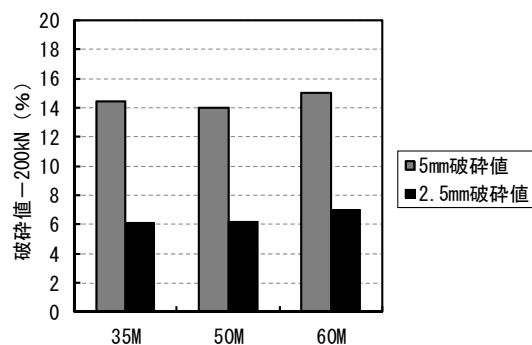


図-3 原コンクリートの水セメント比による影響

材の破砕値を比較すると、2.5mm 破砕値および 5mm 破砕値ともに 5%置換した試料の方が小さくなった。

2) 載荷荷重の影響

載荷荷重別の破砕値の関係を図-2 に示す。ふるい目の寸法に関わらず、破砕値は載荷荷重の大きい 200kN の方が 2.9 倍 (2.5mm 破砕値)、2.6 倍 (5mm 破砕値) 程度大きくなっており、モルタル塊残留率による差も明確になった。また、100kN ではモルタル塊置換率 5%の破砕値が普通粗骨材よりも小さくなったこともあったため、以降の検討は載荷荷重 200kN で実施することとした。

3) 原コンクリートの水セメント比の影響

原コンクリートの水セメント比が異なるモルタル塊 35M、50M ならびに 60M をそれぞれ 10%置換した試料の破砕値 (載荷荷重: 200kN) を図-3 に示す。2.5mm 破砕値および 5mm 破砕値ともに最大値と最小値の差は 1.0%以下であり大きな差はみられなかった。このことから、破砕値に及ぼす原コンクリートの水セメント比の影響はあまりないものと考えられる。

3. 実際の再生粗骨材を用いた検討

3.1 検討概要

本検討では、複数のコンクリート塊から実際のプラントで製造された再生粗骨材を対象として、残留モルタル塊の量および混入モルタルの量と破砕値との関係性について評価することを目的に破砕試験を実施した。ここで、モルタル塊残留率は、残留モルタル塊の絶乾質量を再生粗骨材の絶乾質量で除した値、モルタル混入率は骨材に付着したモルタルと残留モルタル塊の絶乾質量を再生粗骨材の絶乾質量で除した値とした。なお、残留モルタル塊は、再生粗骨材からモルタル塊と思われるものを目視により抽出し、さらにそれらを個別にすりつぶして 5mm のふるいを通したものとし、骨材に付着したモルタルは、残留モルタル塊を取り除いた粗骨材を塩酸に浸漬し、その後残存しているモルタルをニッパーおよびルーターを用いて除去した。また、本検討では試験前に各試料の粒度分布を事前の試験結果にそろえて実施した第 1 段階

と、実用段階を想定して、実際の再生骨材の品質管理担当者が試験を実施した第 2 段階に分けて行った。各段階における破砕試験は、2 章の検討結果から載荷荷重を 200kN とした。また、各試料につき 3 回の試験を実施して、その平均を 2.5mm 破砕値および 5mm 破砕値とした。なお、破砕値とモルタル塊残留率およびモルタル混入率の関係は、両段階における試験結果を用いて検討した。

3.2 使用した再生粗骨材の概要

本検討において使用した再生粗骨材は、W~Z の 4 工場で製造されたものと、それらの一部を再処理したものの計 16 種類で、原コンクリートの種類としては 9 種類である。それぞれの概要と物性を表-6 に示す。再生粗骨材の品質を吸水率および絶乾密度により区分すると、再生骨材 H に該当するものが 5 種類、M が 7 種類、L が 3 種類であった。その他、1 種類は吸水率が再生粗骨材 L の基準を超過しているが、以降の検討は L に該当するものとして行った。モルタル塊残留率は、再生粗骨材 H が 0.6~9.1%、M が 7.4~21.1%、L が 13.1~28.4%であり、品質が高くなる (L→H) ほど小さくなる傾向にあった。しかし、M や L でも原粗骨材吸水率が比較的大きいものはモルタル塊残留率が小さく、それぞれ 1 ランク品質の高い H や M の大きいものよりも小さかった。これらの傾向はモルタル混入率においても同様にみられた。

3.3 検討結果

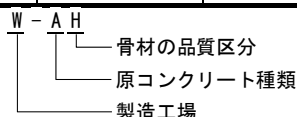
1) モルタル塊残留率・モルタル混入率と破砕値の関係

モルタル塊残留率およびモルタル混入率との関係を図-4、図-5 に示す。2.5mm 破砕値および 5mm 破砕値ともにモルタル混入率、モルタル塊残留率の増加に伴って大きくなる傾向を示し、いずれも良好な相関を示した。図-1 に示す模擬再生粗骨材のモルタル塊置換率と破砕値との関係で得られた近似式と本検討における近似式を比較すると、2.5mm 破砕値および 5mm 破砕値ともに、本検討の傾きが 2 倍程度大きくなった。これは、2 章で使用した試料が、普通粗骨材の一部をモルタル塊で置換したものであるのに対し、本検討では付着モルタルを含む実際の再生粗骨材を使用しているため、残留モルタル

表－6 再生粗骨材の概要

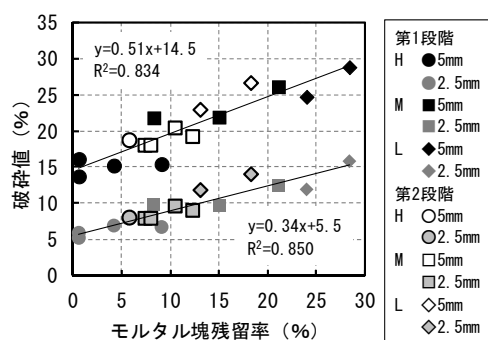
	工場	骨材記号 ^{*1}	製造方法		品質区分 ^{*2}	吸水率 (%)	絶乾密度 (g/cm ³)	モルタル塊残留率 (%)	モルタル混入率 (%)	原粗骨材吸水率 (%)
			処理方法	再処理						
第1段階	W 工場	W-AH	破碎+すりもみ	—	H	2.34	2.56	0.6	2.7	2.20
		W-AH'		すりもみ+洗浄	H	2.65	2.54	0.6	2.9	
	X 工場	X-BH	破碎+すりもみ+比重分離	—	H	2.34	2.52	4.2	14.9	1.88
	Y 工場	Y-CH	破碎	すりもみ+洗浄	H	2.93	2.50	9.1	27.3	1.25
		Y-CM		すりもみ+洗浄	M	4.20	2.40	15.0	39.8	
		Y-CL		—	L	5.76	2.31	24.0	42.9	
	Z 工場	Z-DM	破碎	すりもみ+洗浄	M	3.49	2.44	8.3	34.1	0.61
		Z-DM'		すりもみ+洗浄	M	4.31	2.38	21.1	47.1	
		Z-DL ^{*3}		—	(L)	7.24	2.20	28.4	55.9	
第2段階	W 工場	W-EH	破碎+すりもみ	—	H	2.23	2.55	5.8	13.9	1.51
		W-FM	破碎+すりもみ	—	M	3.19	2.48	10.5	25.3	0.96
		W-GM	破碎	すりもみ	M	3.10	2.49	7.4	14.4	1.25
		W-GL		—	L	5.06	2.36	13.1	35.1	
		W-HM	破碎+すりもみ	—	M	3.06	2.50	8.0	15.1	1.72
		W-IM	破碎	すりもみ	M	3.55	2.46	12.3	24.3	1.39
		W-IL		—	L	5.90	2.31	18.3	47.1	

*1 骨材記号の意味

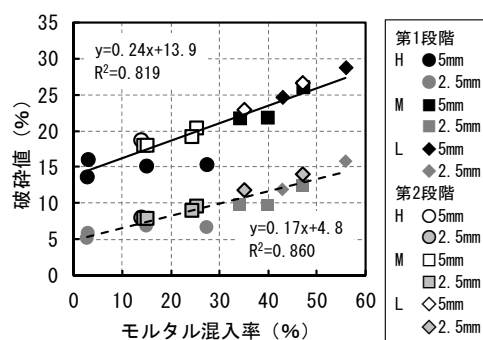


*2 品質区分は絶乾密度および吸水率による

*3 吸水率が再生粗骨材 L の基準から外れているが L に該当するものとした



図－4 モルタル塊残留率と破砕値の関係

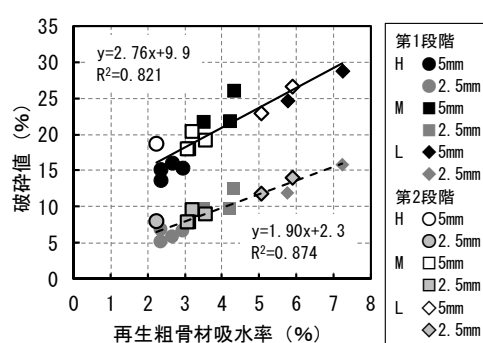


図－5 モルタル混入率と破砕値の関係

塊とともに付着モルタルが破砕したことにより、破砕値が大きくなった影響によるものと推察される。再生粗骨材の品質による影響をみると、品質が高いほど破砕値が小さくなる傾向があるものの、一部では再生粗骨材 H でも M より大きいものや、M であっても L より大きいものもみられた。これらは、モルタル塊残留率やモルタル混入率における傾向と同様であった。以上のことから、実際の再生粗骨材を対象とした場合においても、破砕試験を用いることで、モルタル塊残留率およびモルタル混入率を推定することが可能であると考えられる。

2) 再生粗骨材吸水率と破砕値の関係

規格には吸水率の推定に使用する試験であることが示されている。そこで、本検討で使用した再生粗骨材吸水率と破砕値の関係について検討を試みた (図－6)。その



図－6 再生粗骨材吸水率と破砕値の関係

結果、载荷荷重が異なるために規格に示されている推定式との直接の比較はできないが、吸水率の増加に伴って破砕値が大きくなる傾向を示し、モルタル塊残留率等と

同様に良好な相関を示した。

3) 2.5mm 破砕値と 5mm 破砕値の関係

2.5mm 破砕値と 5mm 破砕値の関係を図-7 に示す。両者の関係は、既往の研究^{3),4)}と同様に良好な相関を示した。また、2.5mm 破砕値と 5mm 破砕値は概ね 1:2 の関係にあるが、破砕値が大きくなるほど 2.5mm 破砕値が 1/2 以下となる傾向がみられた。この理由として、骨材の強度が影響していると考えられる。原石の強度と破砕値の関係について整理した文献⁴⁾では、原石の圧縮強度の増加に伴って、破砕値が小さくなる傾向がみられている。普通強度範囲のコンクリートのモルタルマトリックスの圧縮強度は、一般に骨材の圧縮強度よりも小さい⁵⁾と考えられる。これらのことから、混入モルタルを多く含む再生粗骨材では、原粗骨材と比較して、混入モルタルの方が早期に破砕され、かつ、細かい粒子となるため、5mm 破砕値に対する 2.5mm 破砕値の値が大きくなったものと考えられる。そのため、本検討で得られた試験結果を用いて、5mm 破砕値に対する 2.5mm 破砕値の割合（以下、2.5mm 破砕値/5mm 破砕値）とモルタル塊残留率およびモルタル混入率の関係について検討を試みた。結果を図-8 および図-9 に示す。なお、図-8 には、2 章で検討を行った模擬再生粗骨材の結果を、図-8 および図-9 には硬質砂岩砕石および陸砂利の結果を併せて示している。全体的に 2.5mm 破砕値/5mm 破砕値の増加に伴って、モルタル塊残留率およびモルタル混入率が大きくなる傾向にあった。また、再生粗骨材 H に該当し、モルタル塊残留率およびモルタル混入率が非常に小さい W-AH および W-AH' の 2.5mm 破砕値/5mm 破砕値は、とくに小さく陸砂利に近い値で、その他の再生骨材 H についても 0.454 以下であった。再生粗骨材 M の 2.5mm 破砕値/5mm 破砕値は 0.439~0.479 の範囲にあり、その一部は再生粗骨材 H の値以下であった。模擬再生粗骨材では、同一のモルタル塊残留率であるにも関わらず、2.5mm 破砕値/5mm 破砕値は異なり、原コンクリートの水セメント比が大きいほど値が大きくなった。このことから、データ数が少ないため一概に言うことはできないが、原コンクリートの水セメント比が大きいほど、破砕された粒子の粒径が細くなる傾向にあると考えられる。今回と同じ原コンクリートの水セメント比が 35%、50%および 60%のモルタル塊を用いた過去の研究⁶⁾では、コンクリートの性能に大きな影響はみられなかった。また、先の検討では破砕値についても大きな差は無かった。しかし、原コンクリートの水セメント比（結合材比）が 25%、50%および 65%である再生粗骨材を用いた研究⁷⁾では、コンクリートの性能に差がみられていた。再生骨材の原料となる構造物では、数十年前のものも多くあることから、水セメント比が今回の検討範囲よりも大きくなることも

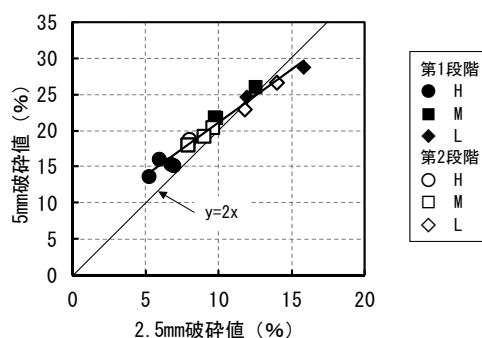


図-7 2.5mm 破砕値と 5mm 破砕値の関係

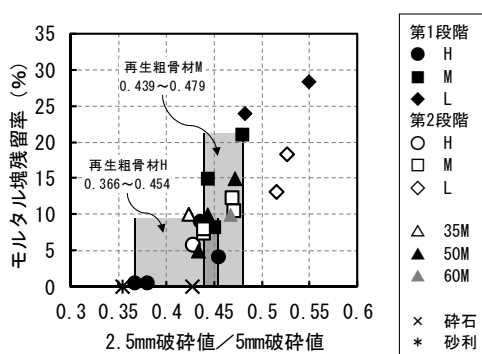


図-8 5mm 破砕値に対する 2.5mm 破砕値の割合とモルタル塊残留率の関係

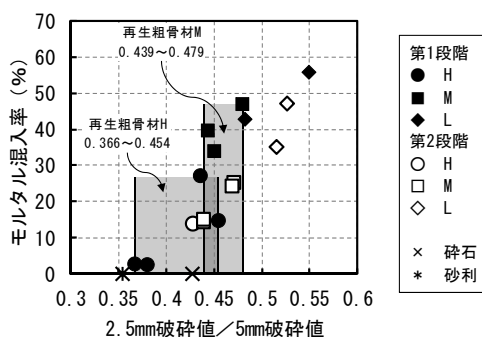


図-9 5mm 破砕値に対する 2.5mm 破砕値の割合とモルタル混入率の関係

十分に考えられる。したがって、破砕値のみならず、2.5mm 破砕値/5mm 破砕値を確認することは、品質管理として有効な手段になり得ると考えられる。

4. 評価基準の設定方法の検討

本検討では、圧縮強度や長さ変化に影響を及ぼすモルタル塊残留率およびモルタル混入率が小さい再生粗骨材であることを評価するための基準の設定方法について検討を行った。これまでの検討の結果、破砕値の増加に伴って、モルタル塊残留率およびモルタル混入率が大きくなる傾向にあることから、破砕値の上限値を設定することとした。一方、2.5mm 破砕値/5mm 破砕値は破砕値と

同様にその値の増加に伴って、モルタル塊残留率等が大きくなる傾向にあり、さらに、原コンクリートの強度(表-3)が低下する傾向がみられていることから、この値についても上限値を設定することとした。ここでは、使用した再生粗骨材 H におけるそれぞれの最大値(2.5mm 破砕値: 8.0%, 2.5mm 破砕値/5mm 破砕値: 0.454)を上限値として検討を試みた。2.5mm 破砕値/5mm 破砕値と 2.5mm 破砕値の関係を図-10 に示す。なお、図中の網掛け部は再生粗骨材 H の上限値以下の範囲を示している。再生粗骨材 L ならびに M の大部分は上限値を超過したものの、M のうち W-GM, W-HM については再生粗骨材 H の上限値以下となった。これらの骨材の物性をみると(表-6)、吸水率および絶乾密度についても再生粗骨材 H の品質基準の上限値に非常に近く、再生粗骨材 M の中でも品質の高い骨材であるといえる。したがって、モルタル塊残留率およびモルタル混入率の小さい再生粗骨材であることを評価するための基準として、破砕値と 2.5mm 破砕値/5mm 破砕値の上限値を用いることは有効であると考えられる。

5. まとめ

本研究の範囲において得られた知見を以下に示す。

- (1) モルタル塊残留率およびモルタル混入率は、2.5mm 破砕値および 5mm 破砕値の増加に伴って大きくなり、良好な関係を示すことから、破砕値から両者の値を推定することが可能であると考えられる。
- (2) 原コンクリートの水セメント比が 35~60% の範囲では、2.5mm 破砕値および 5mm 破砕値にあまり影響を及ぼさない。
- (3) 5mm 破砕値に対する 2.5mm 破砕値の割合の増加に伴って、モルタル塊残留率およびモルタル混入率が大きくなる。また、原コンクリートの水セメント比が大きいほど、5mm 破砕値に対する 2.5mm 破砕値の割合が増加する。
- (4) モルタル塊残留率やモルタル混入率の量が小さい再生粗骨材の評価基準として、破砕値と 5mm 破砕値に対する 2.5mm 破砕値の割合のそれぞれについて上限値を設定することは有効であると考えられる。

本研究では、残留モルタル塊の少ない再生粗骨材の品質管理ならびに評価基準の設定方法について検討を行った。今後はデータ数をさらに増やして信頼性を高めるとともに、評価基準を満足する再生粗骨材 M と再生粗骨材 H を用いたコンクリートの圧縮強度、長さ変化等の性能が同等であることを確認し、このような再生粗骨材 M を有効に利用できるように検討を進めていく予定である。

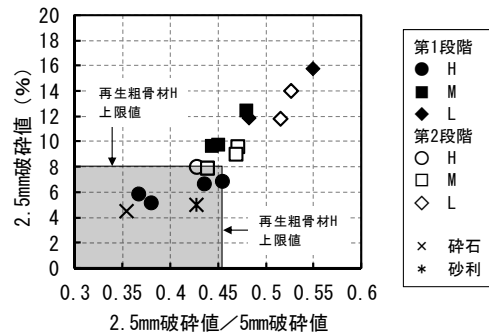


図-10 5mm 破砕値に対する 2.5mm 破砕値の割合と 2.5mm 破砕値の関係

謝辞

本研究の実施にあたり、株式会社東京テクノおよび武蔵野土木工業株式会社の各位にご協力いただきました。ここに記して謝意を表します。

参考文献

- 1) 高橋祐一, 榊田佳寛, 竹内博幸: モルタル塊残留率が再生骨材コンクリートの性質に及ぼす影響, コンクリート工学年次論文集, vol.32, No.1, pp.1443~1438, 2010.7
- 2) 高橋祐一, 榊田佳寛, 竹内博幸, 黒田満: 混入モルタルの存在形態および性質が再生骨材コンクリートの強度性状に及ぼす影響, コンクリート工学年次論文集, vol.33, No.1, pp.1517~1522, 2011.7
- 3) 樽見貴士, 加賀秀治: 破砕試験による再生骨材の品質評価に関する研究, 日本建築学会学術講演梗概集 A-1 (中国), pp.141~142, 1999.9
- 4) 阿部道彦: 破砕値に及ぼす各種要因の影響に関する研究, 日本建築学会関東支部研究報告集 I, pp.1~4, 2005.2
- 5) 渡辺悟士, 黒岩秀介, 陣内浩, 並木哲: 高強度コンクリートの圧縮強度に影響を及ぼす粗骨材物性に関する研究, 日本建築学会構造系論文集, 第 588 号, pp.21~27, 2005.2
- 6) 高橋祐一, 榊田佳寛, 竹内博幸: 混入モルタルが再生骨材コンクリートの性状に及ぼす影響に関する検討, 日本建築学会構造系論文集, 第 76 巻, 第 668 号, pp.1775~1761, 2011.10
- 7) 竹中寛, 笠井哲郎: 再生粗骨材の付着モルタルの物性が再生骨材コンクリートの品質に与える影響, コンクリート工学論文集, 第 19 巻, 第 3 号, pp.21~29, 2008