

論文

[1041] 表面形状を改善した砕砂を用いたコンクリートの性状

池田 正志*¹・大河原 行省*²・辻 幸和*³・田澤 栄一*⁴

1. まえがき

コンクリート用骨材のうち細骨材についても、砕砂の占める割合が増加している地域が多くなっている。これは、川砂だけでなく海砂も採取の規制が厳しくなってきたことが一因と考えられる。砕砂は、その製造方法により程度は異なるものの、碎石と同様にその角ばり等の表面形状により、一般にコンクリートの所要の単位水量が多くなる欠点を有している。表面形状の改質が要請されているのである。

本文では、玉石をドラム内に投入して回転させているドラムの中へ、砕砂と水を投入して砕砂の表面形状を改質処理した砕砂の品質を、コンクリートにより確認した実験結果をまず報告するものである。また、改質した砕砂自体の品質を評価するために、遠心力による表面吸着水率の概念を提案するものである。

2. 高品質砕砂の製造

高品質砕砂の製造に不可欠な玉石は、天然の川砂利を用いるか、玉石製造機のドラムの内に碎石を投入して所定の時間回転させて造る。一定の速度でドラムが回転する間に、各粒度の碎石は角が破碎し、表面が研磨されて、球形状の玉石となる。この場合に、少量の水を加えると表面の研磨が良好となる。このような玉石を媒体石と称する。

表-1 砕砂の品質

砕砂名	産地	石質	製造方式	砕砂の品質							
				表乾比重	絶乾比重	吸水率 (%)	単位容積質量 (kg/l)	実積率 (%)	実積率 (%) 1.2~2.5mm	実積率 (%) 0.3~0.6mm	F. M.
A	鳥取県八頭郡	結晶片岩	湿式	2.68	2.63	1.73	1.81	68.8	57.4	55.9	3.48
				2.64	2.59	1.94	1.72	66.4	58.3	57.5	3.48
B	鳥取県鳥取市	安山岩	湿式	2.53	2.47	2.28	1.57	63.6	56.3	53.8	2.75
				2.54	2.48	2.50	1.66	66.9	56.9	55.6	2.56
C	岡山県高梁市	安山岩	湿式	2.58	2.54	1.56	1.60	63.0	54.7	52.0	2.66
				2.59	2.55	1.69	1.66	65.1	54.9	54.5	2.60
D	鳥取県日野郡	結晶片岩	乾式	2.64	2.59	1.88	1.88	72.6	55.2	54.0	2.81
				2.65	2.60	1.97	1.69	65.0	56.5	55.8	2.98
E	島根県仁多郡	花こう岩	乾式	2.58	2.54	1.38	1.64	64.9	55.9	53.1	3.24
				2.59	2.55	1.42	1.68	65.9	55.7	54.1	3.09

*1 群馬大学技術官 工学部 (正会員)

*2 ナカヤ実業(株) 開発部 (正会員)

*3 群馬大学教授 工学部建設工学科、工博 (正会員)

*4 広島大学教授 工学部第4類 (建設系)、工博 (正会員)

高品質砕砂製造機のドラムの中に媒体石の玉石を一定の割合で投入し、ドラムを回転させながら砕砂と水を投入して媒体石内で角ばりを丸め、表面を研磨して改質した砕砂と水を排出させる。排出された砕砂と水は、トロンメルを設置した分級機により分級・脱水して、高品質砕砂を製造する。この製造は、高品質砕砂製造機の中で媒体石、砕砂および水が混合されることにより、河川中で川砂が生成される過程を模擬したものといえる。今回用いた高品質砕砂製造機は、直径が1.2mで長さが2.0mまたは2.5mのもので、これを1台または2台直列に配置して用いた。

3. 高品質砕砂の品質

媒体石に天然玉石を高品質砕砂製造機のドラムの直径の1/4の高さに相当する750kg投入し、ドラムの回転数を26rpm、投入する砕砂を20tf/hとして製造した高品質砕砂の物理的性質を、改質処理前の砕砂とともに表-1に示す。表-1の上段は改質処理前を下段は処理後の品質を示す。

媒体石の粒度分布を図-1とし、各砕砂の処理前後の粒度分布の例を図-2、図-3および図-4に示す。なお図-2には、単独で細骨材として用いるため、粒度を調整した後の試料についても示している。

砕砂の改質処理により、一般に単位容積質量と実積率は増加する。しかしながら、砕砂AとD

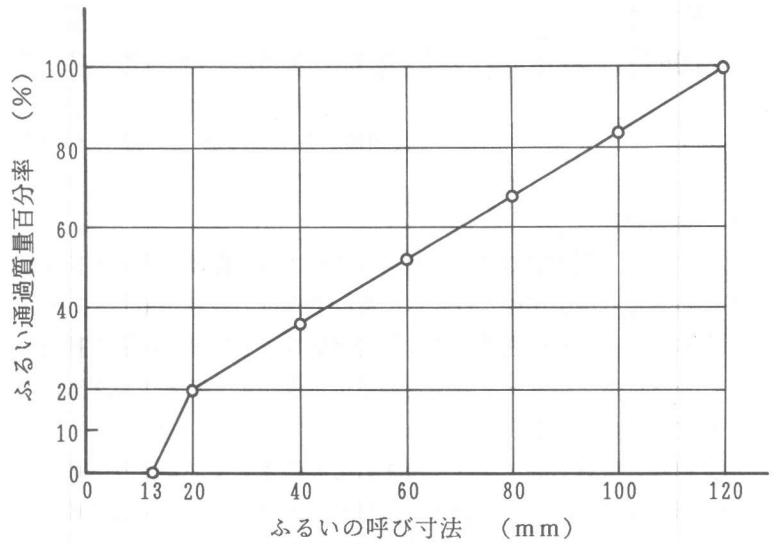


図-1 媒体石の粒度分布

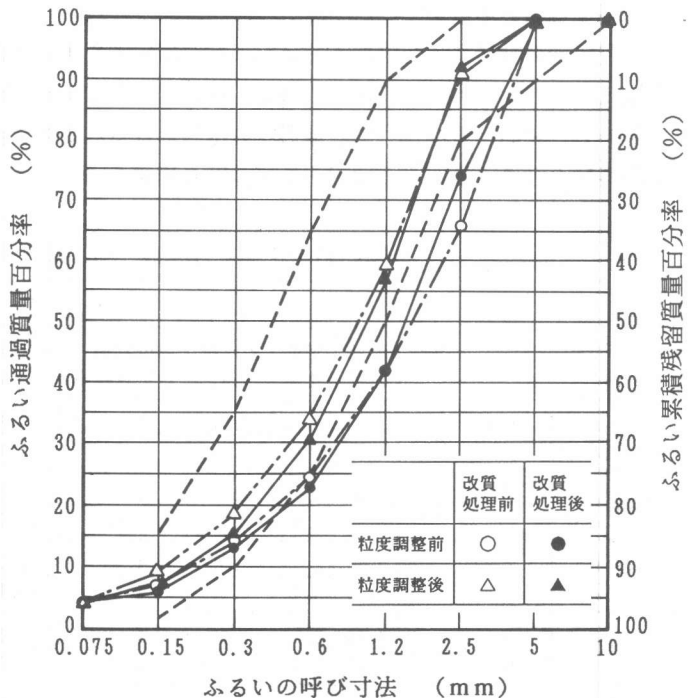


図-2 改質処理前後の砕砂の粒度分布 (砕砂A)

は逆にそれぞれ小さくなっている。これらの場合も、ふるい分けして0.3~0.6mmと1.2~2.5mmの粒径範囲について行った実積率は増加していることから、微粒分が処理作業により洗い流されたことによると考えられる。このことは、粒度分布を示す図-3において明瞭である。

粗粒率F.M.も、砕砂Dを除いては改質処理により小さくなっている。砕砂Dは微粒分の流出が改質処理による粒径の減少を上回ったために、F.M.は増えたものと考えられる。

比重は、表乾比重、絶乾比重のいずれとも、改質処理により変化しないと考えてよいようである。吸水率は、予想に反していずれの砕砂もこの改質処理作業では大きくなっている。この点については5および6で検討したい。

4. コンクリートのスランブ

細骨材に改質処理前後の砕砂を用いて、高品質砕砂の効果をコンクリートのスランブ値で比較した。粗骨材には、JIS A 5005に適合した鳥取県八頭郡の智頭産の砕石2005と4020を質量比で6:4の割合で用いた。セメントは普通ポルトランドセメントを、混和剤はAE減水剤を空気調整剤とともに用いた。

配合は、目標強度が160kgf/cm²、スランブが8cm、空気量が4%、粗骨材の最大寸法が40mmのものを基本とした。そして、鳥取県内の骨材の性状を勘案して、水セメント比を65%とし、単位水量が155kg/m³、細骨材率が47%を基本とし

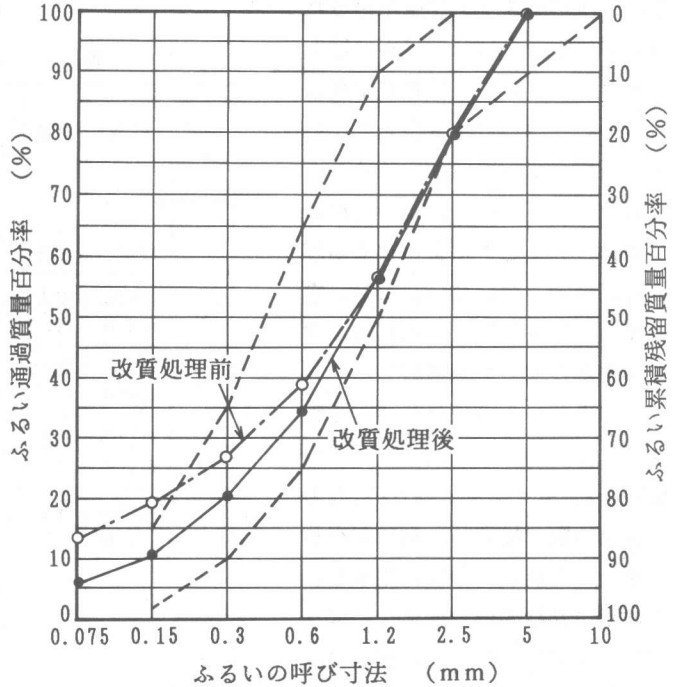


図-3 改質処理前後の砕砂の粒度分布(砕砂D)

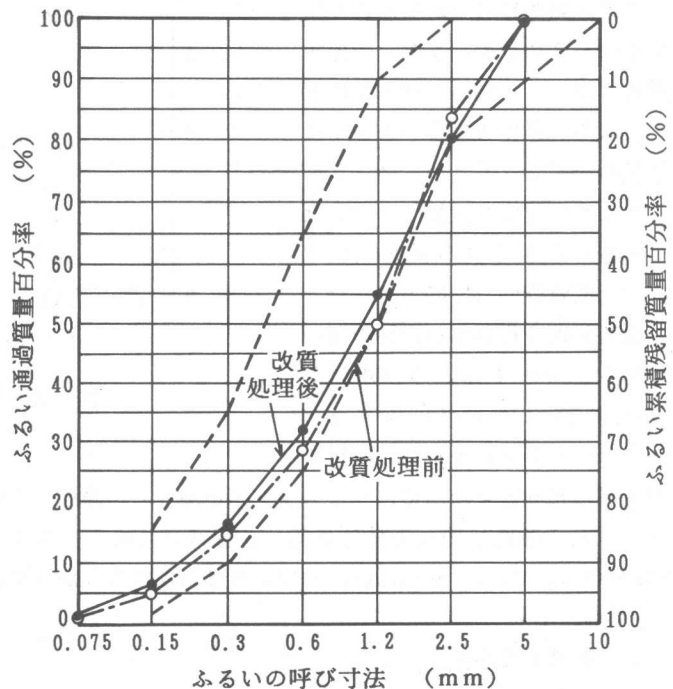


図-4 改質処理前後の砕砂の粒度分布(砕砂E)

たが、所定のスランプ値を得るために単位水量を175kg/m³まで増加させたもの、および細骨材率が43%のものについても試験した。いずれの配合についても、砕砂の表面水率の補正は行ったが、粒形等が改善されたことによる実積率等の補正は行っていない。なお、空気量は4%を目標としたため、空気調整剤の使用量を増減した。

コンクリートの練混ぜは、強制練りミキサを用い、粗骨材、細骨材を1/2、セメント、残りの1/2の細骨材の順で投入し、30秒間空練りを行った後、20秒間に注水し、その後120秒間練り混ぜた。スランプ試験はJIS A 1101、空気量試験はJIS A 1128に従って測定した。また圧縮強度試験はJIS A 1108に従って行った。

単位水量が155kg/m³の場合の結果を表-2に示す。また、単位水量とスランプの関係を図-5に示す。なお、砕砂Aはそのままでは粗粒分が多すぎるため、図-2に示すように粒度を調整して用いた。その時の粗粒率は改質処理前で2.90、改質砕砂で3.00であった。

改質処理を行わない砕砂を用いたコンクリートは、単位水量が155kg/m³では2.5cm以下のスランプしか得られなかったが、改質処理を行った砕砂の使用により、スランプが増大し、砕砂Cを除き目標の8cmに近い値を得ることができた。改質処理前の砕砂を用いる場合にこのようなスランプを得るためには、単位水量を170~175kg/m³と、15~20kg/m³増加しなければならなかった。

5. 製造の安定性

砕砂の改質の程度は、改質処理作業システムにより異なるとともに、同一の作業システムにおいても経時変化の生じることが懸念される。これは、媒体石の玉石が処理の過程で摩耗してくることが主要原因と考えられる。そこで、高品質砕砂製造機を2台直列に設置し、玉石をそれ

表-2 コンクリートの品質

砕砂名	産地	石質	製造方式	コンクリートの品質		
				スランプ (cm)	空気量 (%)	圧縮強度 (kgf/cm ²)
A	鳥取県八頭郡	結晶片岩	湿式	2.4	4.1	(332)
				8.4	4.0	273
B	鳥取県鳥取市	安山岩	湿式	2.4	5.7	(280)
				6.9	5.1	276
C	岡山県高梁市	安山岩	湿式	2.2	3.6	(245)
				4.9	4.0	278
D	鳥取県日野郡	結晶片岩	乾式	0.7	3.0	330
				7.0	4.4	381
E	島根県仁多郡	花こう岩	乾式	2.0	5.2	264
				7.0	4.8	254

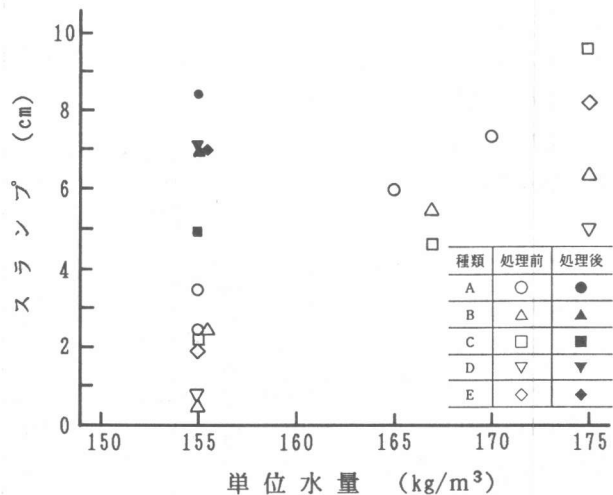


図-5 単位水量とスランプ

ぞれドラム直径の 1/4の高さまで (750kgおよび938kg) 投入して、砕砂 A による改質砕砂の製造を32時間連続運転をし、その間の改質砕砂の品質を検討した。砕砂は20tf/hでドラムに投入し、水は 5.5tf/hと一定にした。

処理前の原砕砂と処理砕砂の品質を表-3 に示す。改質処理により比重はほとんど変化しなかったが、粗粒率は少し減少し、吸水率も3の場合と反対に少し減少した。

原砕砂、処理砕砂ともコンクリート用としては粗いため、JIS A 5005のコンクリート用砕石及び砕砂の標準粒度の中心を通るような粒度 (F.M. = 2.70) に調整したものを細骨材に用いてコンクリートを造った。他の使用材料は、4と同じであり、配合は、4の配合Aに加え目標強度を210kgf/cm²、スランブを18cm、空気量を4%、粗骨材の最大寸法を20mmとした配合Bも用いた。

コンクリートのスランブ結果を表-4 に示す。スランブの目標値が8cmの配合Aを用いた場合、改質処理を行わない砕砂では約3cmと小さいものが、改質処理を行った高品質砕砂を用いると11cmと大きなスランブが得られている。そして、32時間連続運転して改質処理しても、9.5cmと

なかった。18cmの目標スランブの配合Bにおいても同様に、改質した高品質砕砂を用いると、大幅なスランブの増大が得られており、長時間の改質処理を行った後の砕砂を用いても同様な効果が得られた。

表-3 改質処理前後の砕砂の品質

	表乾比重	絶乾比重	吸水率(%)	粗粒率
改質処理前	2.65	2.63	2.09	3.37
改質処理後*	2.66	2.62	1.68	3.14

*改質処理作業32時間後

表-4 フレッシュコンクリートの性能

		配合名	W (kg/m ³)	$\frac{W}{C}$ (%)	$\frac{s}{a}$ (%)	スランブ (cm)	空気量 (%)	打込み 温度 (°C)
改質処理前		A 160-8-40	155	65	45	3.3	3.0	21
改質 処理後	15分後					11.2	4.5	19
	32時間後					9.5	4.5	19
改質処理前		B 210-18-20	185	60	50	8.3	3.6	21
改質 処理後	15分後					19.7	5.2	21
	32時間後					20.0	4.8	21

6. 遠心分離による表面吸着水の評価

改質処理した高品質砕砂を用いると、所要の単位水量を20kg/m³程度減少できることを示した。改質処理により砕砂の粒形等の表面形状が改善されて、JISによる方法では吸水量として判定されがちな砕砂が吸着している水が減少すると考えられる。この表面吸着水の量をそのまま吸水量と考えて、表-3に示すように吸水率が2.09%から1.68%に減少したとしても、この分が全て単位水量の減少分に寄与するとすると、配合Aおよび配合Bとも3.6kg/m³の単位水量の減少にしかならない。これは、砕砂の角ばりの影響が考慮されないためである。そこで、著者の一人らが既に提案している遠心力による分離方法[1]を用いて、砕砂の保有水および表面吸着水を算定し、これらの水量と所要単位水量の関連を検討してみることにする。

図-6は、普通ポルトランドセメントを分散材とした約300gの混合物を438G（Gは重力加速度）で30分間作用させた後の水と分散材の質量比を縦軸に、横軸には砕砂と分散材の質量比をプロットしたものである。改質処理前後のいずれの砕砂とも、水と分散材の比は、砕砂と分散材の比の増加とともに直線的に増加していることが確かめられた。また両者の勾配は、砕砂の保有水率を示し、これは砕砂の内部に保有するJISの吸水率に相当するものと、砕砂の表面に拘束されている表面吸着水率の和から成っている。

改質処理を行うと、保有水率を表わす勾配は、4.72%から3.71%に減少しており、その分だけ砕砂の表面に拘束されている水量が小さくなる。この値を用いると、JISの吸水率に基づく値の約2倍である約8kgの単位水量の減少が説明できるが、まだコンクリートにおける単位水量の減少分を説明するには十分でない。しかしながら、図-6の直線は、砕砂の粒度によっても異なるため、実際にコンクリートに用いた粒度の砕砂について、今後この方法による検討を進めていきたい。

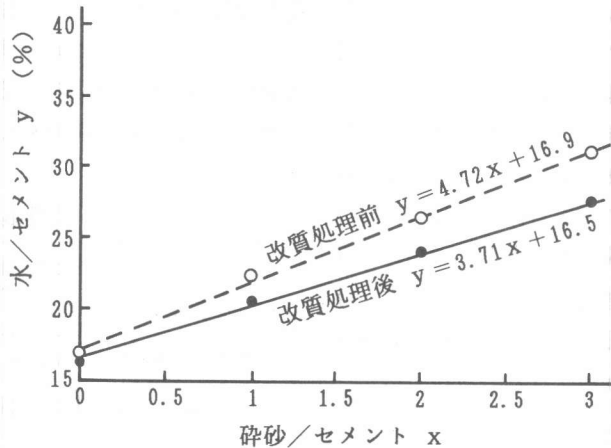


図-6 遠心力作用後の水/セメントと砕砂/セメント質量比

7. まとめ

河川で川砂が生成される過程を模擬した媒体石を含む回転中のドラムの内に砕砂と水を投入して表面形状を改質した砕砂の品質とこれを用いたコンクリートの性状を実験的に検討した結果を報告した。本研究より、次のことがいえる。

- 1) 改質処理をした砕砂を用いると、コンクリートのスランプが大幅に改善される。
- 2) 改質処理作業を連続して行っても、安定した高品質砕砂を製造できることが、コンクリートのスランプ試験より示された。
- 3) 改質処理による所要の単位水量の減少程度を、JISによる細骨材の物理的性質からは説明することは困難である。遠心力による表面吸着水率は、単位水量の減少程度を説明するために有力な概念と考えられる。

参考文献

- 1) 辻 幸和・二羽淳一郎・伊東靖郎・岡村 甫：遠心力を利用した細骨材の保有水試験方法、土木学会論文集、第384号/V-7、pp.103-109、1987.8