

報告 粗骨材の最大寸法 20mm, スランプ 5 cmの舗装コンクリートの配合に関する検討

森濱 和正^{*1}・渡辺 博志^{*2}・石田 征男^{*3}・瀧波 勇人^{*4}

要旨: 舗装コンクリートは、通常、最大寸法 40mm の粗骨材を使用し、スランプ 2.5cm の硬練りのものが用いられていることなどから、骨材の確保や施工などに多くの問題があり、コンクリート舗装を普及するための妨げの一因になっている。これらの問題を解決するために、本検討では最大寸法 20mm の砕石、砂利を用いた配合について、単位水量、混和剤量、単位粗骨材かさ容積が配合に及ぼす影響の検討を行い、スランプを 5cm とした場合の舗装用コンクリートの単位水量、最適な単位粗骨材かさ容積などの配合を求めた。

キーワード: 舗装用コンクリート、配合設計、砕石、砂利、単位粗骨材かさ容積

1. はじめに

我が国の道路舗装に占めるコンクリート舗装のシェアは 5%程度であり、ほとんどはアスファルト舗装である。しかし、コンクリート舗装は耐久性が高いこと、そのためライフサイクルコストがアスファルト舗装よりも低く抑えられることなどの長所もあり²⁾、見直されてきている。

今後、コンクリート舗装を増やしていくためには、製造面や施工面から考えた場合、粗骨材の種類と、コンクリートのワーカビリティの改善が必要と考えている。

粗骨材については、最大寸法と骨材の種類の問題が考えられる。舗装に用いる粗骨材の最大寸法 (Gmax) は 40mm が一般的である。しかし、生コンプラントが使用している粗骨材は、最近では Gmax 20mm または 25mm (以下、代表して 20mm のみで表記) の場合がほとんどである。Gmax 40mm で発注された場合、粗骨材を入れ替えるなど対応が大変である。コンクリート舗装を普及するためには、Gmax 20mm の舗装コンクリートを普及することが求められている。また、最近では、石灰石の使用が増え、環境問題などからスラグ骨材の使用が求められていることなどから、これらの骨材の舗装コンクリートへの適用が求められている。

舗装コンクリートのワーカビリティについては、現在、スランプ 2.5 cm, 振動台式コンシステンシー試験³⁾による沈下度 30 秒が一般的である。しかし、このような硬練りのコンクリートを運搬するためにはダンプトラックが使われており、トラックアジテータの休業補償が必要になるなど生産者側の問題がある。舗装としての要求性能を満足できる範囲でワーカビリティを改善し、ト

ラックアジテータによる運搬を可能にするなど、一般のコンクリート製造設備でも製造・供給できるようにする必要がある。

このような背景のもとに、各種骨材を舗装コンクリートとして用いる場合の、骨材に要求される品質を明確にすることを目的に、土木研究所、東京農業大学、セメント協会、太平洋セメント、日本道路と 2012 年度より共同研究を開始した。

本報告では、まず通常使用されている砕石、砂利について、一般的な舗装用コンクリートのスランプ 2.5cm, 粗骨材の Gmax 40mm に対して、スランプ 5cm, Gmax 20mm とした場合に単位水量、単位粗骨材かさ容積 (以下、かさ容積という) などが配合に及ぼす影響について検討した結果を述べる。

2. 使用材料

2.1 骨材

実験に用いた骨材の試験結果は表 1 のとおりである。粗骨材 A~C は砕石であり、A, B は産地の異なる良質な硬質砂岩、C は安山岩であり、密度、実積率などがやや小さいものである。粒度範囲は 2005 および 4005 である。粗骨材 G の 4005 は、4020 の砂利と、4020 を 2505 に破碎した玉砕を混合したものである。G の 2505 は、前述の玉砕である。細骨材は川砂である。

2.2 セメント

普通ポルトランドセメントを使用した。密度 3.15g/cm³, ブレーン比表面積 3380cm²/g である。

2.3 混和剤

混和剤は、主成分をリグニンスルホン酸化合物とポリ

*1 土木研究所 材料資源研究グループ基礎材料チーム総括主任研究員 (正会員)

*2 土木研究所 材料資源研究グループ基礎材料チーム総上席研究員 工博 (正会員)

*3 太平洋セメント(株) 中央研究所 セメント・コンクリート研究部舗装技術情報チーム 主任研究員 (正会員)

*4 東京農業大学大学院 農学研究科農業工学専攻 博士後期課程

表－1 骨材の試験結果

骨材の種類			粒度範囲	表乾密度 (g/cm ³)	絶乾密度 (g/cm ³)	吸水率 (%)	単位容積質量 (kg/L)	実積率 (%)	粗粒率	
粗骨材	砕石	硬質砂岩	A	2005	2.676	2.665	0.42	1.609	60.4	6.63
				4005	2.682	2.672	0.37	1.619	60.6	7.26
			B	2005	2.648	2.629	0.70	1.651	62.8	6.70
				4005	2.655	2.639	0.58	1.655	62.7	7.35
		安山岩	C	2005	2.628	2.567	2.38	1.552	60.5	6.68
				4005	2.634	2.586	1.88	1.543	59.7	7.30
		玉砕	G	2505	2.639	2.605	1.32	1.594	61.2	6.83
		砂利+玉砕		4005	2.638	2.606	1.20	1.646	63.2	7.41
細骨材	川砂				2.566	2.515	2.04	1.702	67.7	2.82

カルボン酸エーテルの複合体とする AE 減水剤標準型（I 種）の高機能タイプ（Ad1 と呼ぶ）を使用した。標準使用量は単位セメント量の 1.0% であり、試し練りにより 0.6~1.5% の範囲で調整可能というものである。

また、目標空気量を得るために主成分を変性ロジン酸化合物系陰イオン界面活性剤とする AE 剤（I 種）（Ad2 と呼ぶ）を用いて調整した。

3. 実験手順

3.1 基本的な考え方

本検討では、舗装コンクリートの強度試験、すり減り試験、長さ変化試験などを実施することを計画しており、その際、配合が異なると骨材の品質とコンクリート品質の関係を論じることが難しくなる。そのため、できる限り配合が変化しないような配合を決める。その前段として、単位水量、かさ容積などの配合に及ぼす影響について検討する。

具体的には、砕石、砂利ごとにかさ容積を一定にすることを検討する。

単位水量も、砕石と砂利、また Gmax 40mm と 20mm

ごとに、できる限り一定にする。そのために、スランブの微調整は AE 減水剤で行うこととした。

3.2 配合試験の手順

(1) 予備試験

舗装コンクリートの暫定配合を参考表⁴⁾によって設定し、試し練りを行い、単位水量、混和剤量などの概略値を把握し、骨材の種類ごとに次の(2)の配合試験のための配合を設定する。

(2) 配合試験

予備試験結果から骨材の種類ごとに設定した配合に対して、単位水量、混和剤量、かさ容積、W/C を変化させてスランブ、沈下度、空気量を測定する。これらの結果より、骨材ごとに、各要因がスランブなどに及ぼす影響を把握するとともに、強度試験などを実施するための配合を設定する。

4. 予備試験

4.1 暫定配合

配合参考表⁴⁾より、砕石と砂利、Gmax 40mm と 20mm ごとに、表－2 のとおり暫定配合を設定した。

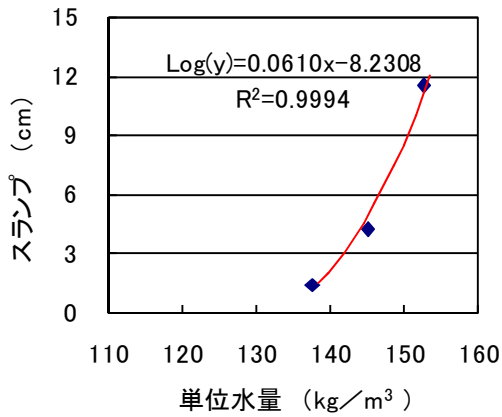
表－2 暫定配合

骨材の種類	粗骨材の最大寸法 (mm)	スランブ目標値 (cm)	空気量目標値 (%)	水セメント比 W/C (%)	単位粗骨材かさ容積	細骨材率 s/a (%)	単位量 (kg/m ³)				
							水 W	セメント C	細骨材 S	粗骨材 G	Ad1* C*%
A	20	5.0	4.5	45	0.72	38.8	145	322	705	1158	1.0
	40	5.0	4.5	45	0.72	40.0	135	300	744	1166	1.0
B	20	5.0	4.5	45	0.72	36.6	145	322	664	1189	1.0
	40	5.0	4.5	45	0.72	38.1	135	300	708	1192	1.0
C	20	5.0	4.5	45	0.72	39.9	145	322	725	1117	1.0
	40	5.0	4.5	45	0.72	41.8	135	300	777	1111	1.0
G	25	5.0	4.5	45	0.75	38.2	130	289	719	1196	1.0
	40	5.0	4.5	45	0.75	37.6	120	267	725	1235	1.0

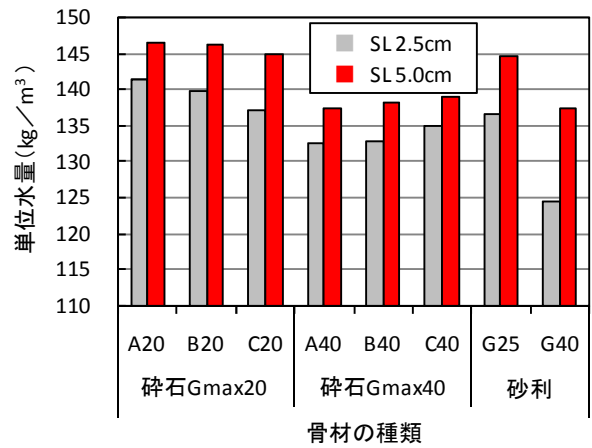
* AE 減水剤

表－5 配合試験の要因・水準と試験結果（骨材 A20 の場合）

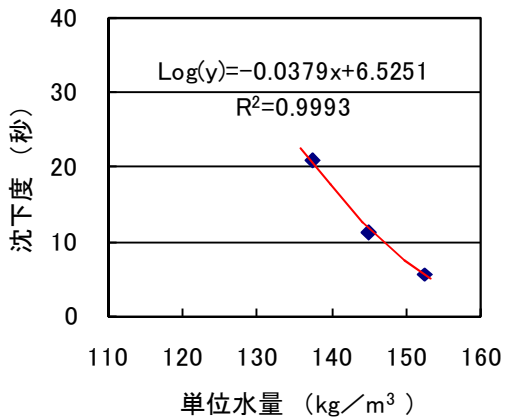
要因	水準				試験結果			
	単位水量 kg/m ³	W/C %	かさ容積	Ad1 C × %	スランプ cm	沈下度 秒	空気量 %	温度 ℃
単位水量	137.5	45	0.72	1.0	1.4	20.7	5.2	22.1
	145.0				4.2	11.1	4.5	22.0
	152.5				11.5	5.6	5.5	23.0
混和剤量 Ad1	145.0	45	0.72	0.7	2.7	14.0	4.5	23.5
				1.3	8.7	6.6	4.9	23.1
かさ容積	145.0	45	0.66	1.0	4.2	10.6	4.9	23.5
			0.69		4.3	9.2	5.0	23.8
			0.72		6.2	8.7	5.2	23.5
			0.75		5.8	9.6	5.6	23.4
W/C	145.0	40	0.72	1.0	4.8	—	4.6	20.6
		45		0.9	4.5	—	5.0	20.6
		50			5.9	—	4.5	20.8
		55			4.3	—	4.7	20.5



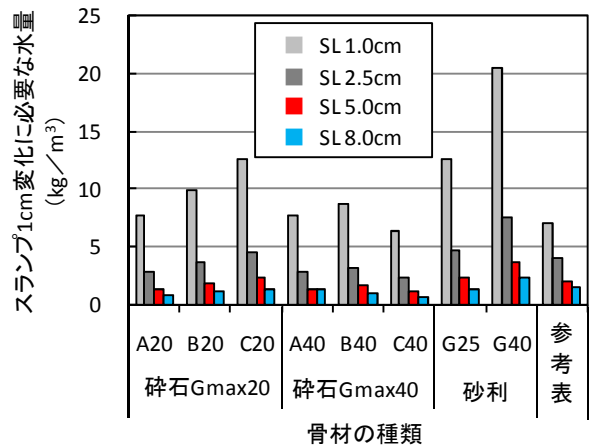
図－1 単位水量とスランプの関係



図－3 スランプ 2.5cm, 5.0cm の時の単位水量



図－2 単位水量と沈下度の関係



図－4 スランプ 1cm 変化に必要な単位水量

きよりもかなり大きくなっているのは、単位水量の増加にもかかわらずスランプの変化が小さかった（図-1のように表すと傾きが小さかった）ため、わずかなスランプの違いで単位水量が大きく計算された結果である。ただし、表-4の単位水量の水準1（135 kg/m³）のスランプ試験の結果は分離気味であった。中心値の127.5 kg/m³程度のほうが施工に適しているものと判断された。

スランプを2.5cmから5.0cmに増加させるために必要な単位水量は、図-3より、G40を除き、5~7kg/m³増加させる必要があることがわかる。

また、図-1の回帰式からスランプ1cm、2.5cm、5cm、8cmのときスランプを1cm変化させるために必要な水量を求めた結果が図-4である。図中には参考表の値も示している。G40と、スランプ1cmを除き、参考表の値と同程度かそれ以下である。例えば、スランプ2.5cmの時、参考表は4kg/m³であるが、試験結果は2.3~4.7kg/m³であった。同様にスランプ5cmの時、参考表2kg/m³に対し、1.1~2.3kg/m³であった。

沈下度についても、スランプの場合と同様に、沈下度10秒、20秒、30秒の時の単位水量と、そのとき沈下度を5秒変化させるために必要な水量を図-5と図-6に示す。図-5のB40は沈下度ごとの単位水量の変化が大

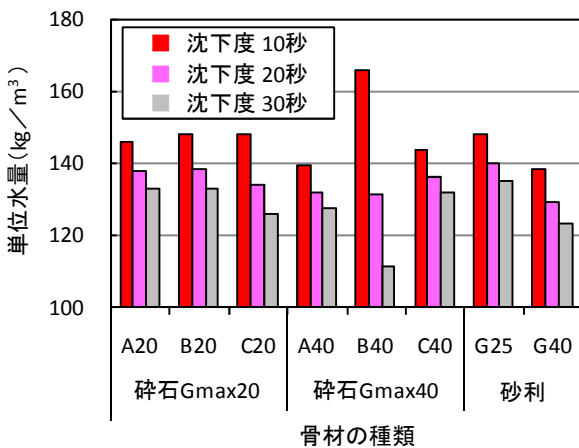


図-5 沈下度10, 20, 30秒のときの単位水量

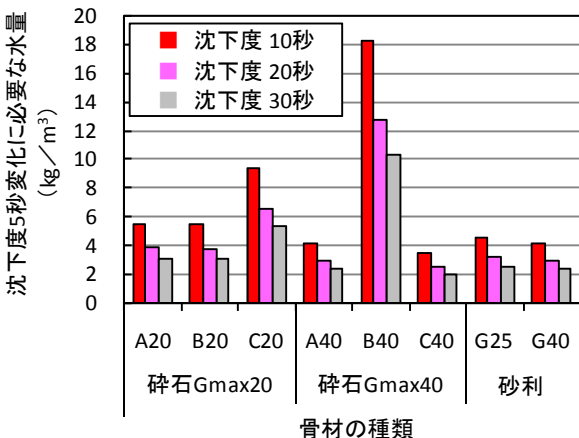


図-6 沈下度5秒の変化に必要な単位水量

き、図-6のC20とB40は沈下度5秒変化させるために必要な単位水量がやや大きい値となっている。これらの結果も、単位水量の変化に対して沈下度の変化が小さかったために計算上大きくなったものである。それら以外について、図-3と図-5の単位水量を比較すると、スランプ2.5cmのとき沈下度20秒程度、また5.0cmのとき10秒程度の単位水量が近似している。図-6の沈下度5秒変化させるために必要な単位水量は、B40を除き、沈下度10秒の時5.4~10.2kg/m³、20秒の時2.7~5.0kg/m³、30秒の時1.8~3.3kg/m³である。

(3) 混和剤Ad1の量とスランプの関係

混和剤Ad1の量を変化させたときのスランプの結果を図-7に示す。図中には二次式による回帰の結果も示している。回帰式からスランプ5.0cmのときの混和剤量を求めた結果が表-6である。0.8~1.2%の範囲であった。

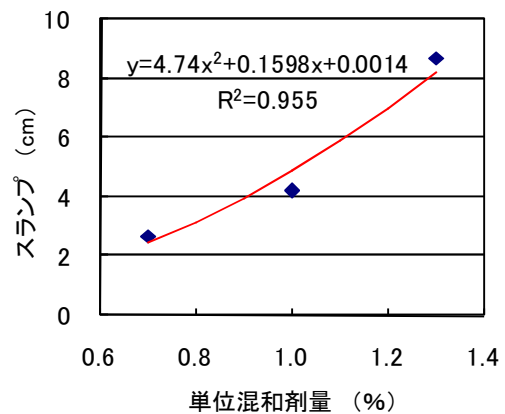


図-7 混和剤Ad1の量とスランプの関係

表-6 スランプ5.0cmのときの混和剤Ad1量

骨材	混和剤量(%)	骨材	混和剤量(%)
A20	1.0	A40	1.1
B20	1.1	B40	1.0
C20	1.1	C40	1.2
G25	0.8	G40	1.0

(4) かさ容積とスランプ、沈下度の関係

かさ容積とスランプ、沈下度の関係は図-8、図-9のとおりである。両者の関係は、スランプは上に凸、沈下度は下に凸になり、その最大値、最小値が最適かさ容積といわれていることから、二次式により回帰し、その結果も図中に示している。回帰式から最適かさ容積を求めた結果を表-7に示す。

表-7のスランプと沈下度の最適かさ容積は一致しないが、舗装用の場合はフィニッシャによって強度に締め固めることから沈下度が適しているといわれており、沈下度についてみると、砕石のGmax 20mmは表-4の中心値0.72とほぼ一致している。40mmは0.72か、それ

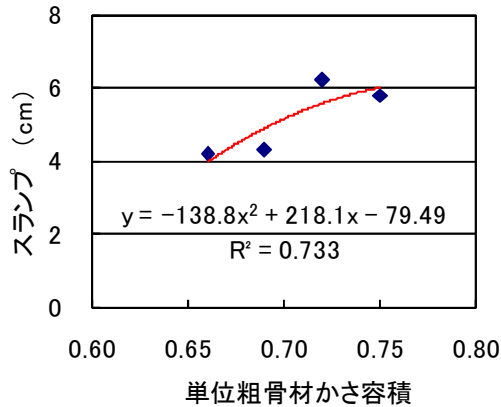


図-8 かさ容積とスランプの関係

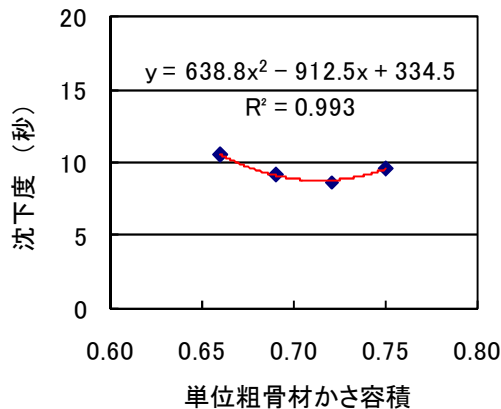


図-9 かさ容積と沈下度の関係

表-7 最適かさ容積

骨材	スランプ	沈下度	骨材	スランプ	沈下度
A20	0.786	0.714	A40	0.788	0.715
B20	0.704	0.731	B40	0.739	0.746
C20	0.708	0.720	C40	0.759	0.767
G25	0.759	0.731	G40	0.709	0.718

より大きくなる傾向がある。玉砕の G25 は、単位水量との関係からほぼ砕石の Gmax 20mm と同じであったことから、表-4 の中心値 0.75 に対して 0.73 になったものと考えられる。砂利の G40 も中心値 0.75 に対して 0.72 となった。G40 は、4020 の砂利と、G25 と同じ玉砕を混合して使用していることから、G25 の影響を受けている可能性が考えられる。

(5) スランプと沈下度の関係

以上の結果からスランプと沈下度の関係を求めると図-10 のようになった。双曲線で回帰した結果も示す。回帰式からスランプ 2.5cm と 5.0cm のときの沈下度を求めた結果が表-8 である。

通常、スランプ 2.5cm のとき沈下度 30 秒程度といわれている。Gmax 40mm の場合、20~30 秒程度であり、ほぼ一般的な傾向を表しているものと考えられる。スラン

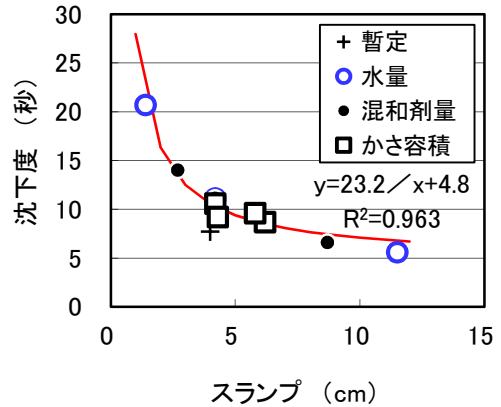


図-10 スランプと沈下度の関係

表-8 スランプ 2.5cm, 5.0cm のときの沈下度 (秒)

骨材	スランプ (cm)		骨材	スランプ (cm)	
	2.5	5.0		2.5	5.0
A20	14.0	9.4	A40	17.4	11.0
B20	21.2	13.3	B40	28.6	20.4
C20	15.2	10.5	C40	21.4	18.2
G25	20.9	11.7	G40	28.6	10.2

プ 5.0cm の場合、Gmax 20mm は 10 秒程度、Gmax 40mm は 10~20 秒程度である。

6. まとめ

以上の結果より、舗装用コンクリートに Gmax 20mm の粗骨材を用い、スランプを 5cm にすることにより、配合は次のようになる。

- (1) 単位水量は、スランプ 2.5cm から 5cm にすることにより 5~7kg/m³ 増えた。
- (2) 最適な単位粗骨材かさ容積は、砕石の場合、0.72 程度であった。
- (3) スランプと沈下度の関係は、スランプ 5cm のとき、沈下度は 10 秒程度になった。

【謝辞】

混和剤に関しては BASF ジャパン(株)の方々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) (社)日本道路協会：コンクリート舗装に関する技術資料，pp.2, 2009.8
- 2) 前掲書 1), pp.7-12
- 3) 土木学会：舗装用コンクリートの振動台式コンシステンシー試験方法 (JSCE-F 501-1999)，コンクリート標準示方書 規準編 2010 制定，pp.207
- 4) (社)日本道路協会：舗装設計施工指針，pp.252, 2006.2