

報告 砕石, 砂利を用いた舗装コンクリートの強度, すりへり抵抗性

森濱 和正*1・勝畑 敏幸*2・加藤 学*3・常松 直志*4

要旨: 粗骨材に最大寸法 20 または 25mm, および 40mm の砂利および砕石を用い, スランブは 5cm を中心にした舗装コンクリートの各種強度試験およびラベリング試験を行なった。その結果, 曲げ強度と圧縮強度, 割裂引張強度の相関関係は骨材によって異なる。割裂引張強度は供試体長さに影響されない。すりへり抵抗性は, 骨材の破砕値との相関関係が高い, コンクリート強度が大きいほうが高いことなどが明らかになった。

キーワード: 舗装コンクリート, 砂利, 砕石, 強度, ラベリング試験

1. はじめに

コンクリート舗装の普及をめざし, 材料面から検討している¹⁾。検討内容は, 一般に使用されている砂利, 砕石に加え石灰石骨材, スラグ骨材を用いた場合の配合²⁾のほか強度特性, 耐久性である。

コンクリート舗装は, 一般には粗骨材に最大寸法 (Gmax) 40mm, コンクリートはスランブ 2.5cm の硬練りが使われている。また, 強度の管理は曲げ強度が用いられている。

しかしながら, 最近では Gmax 40mm の粗骨材の採取は難しく, それを使用しているレディーミクストコンクリート工場はわずかである。また, 硬練りコンクリートの使用は施工への制約があるなど, 多くの問題をかかえている。このようなことから, 前報¹⁾では Gmax 40mm と 20 または 25mm (以下, 20/25 と表示) の砂利, 砕石について, スランブ 2.5cm と 5cm の場合について配合を検討した。その結果, 単位水量, 最適な単位粗骨材かさ容積などは, 舗装コンクリートの配合設計に通常用いられている配合参考表³⁾によってほぼ設定可能であることを確認した。

さらに, 強度管理は曲げ強度の代用のために圧縮強度および割裂引張強度についても検討を予定している。

本報告では, 前報と同じ粗骨材 4 種類で, それぞれ

Gmax 40 と 20/25 を用いた舗装コンクリートについて, 曲げ強度, 圧縮強度および割裂引張強度の 3 種類の強度試験, およびすりへり抵抗性を確認するためにラベリング試験を行なった結果について報告する。

2. 使用材料

2.1 骨材

実験に用いた骨材の試験項目, 試験方法は表-1 のとおりである。試験結果を表-2 に示す。

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, 実積率などは A, B よりもやや小さいものである。粒度範囲は 20~5mm (以下, 2005 と表示) および 4005 である。

表-1 骨材の試験項目と試験方法

試験項目	試験方法
骨材のふるい分け試験	JIS A 1102
骨材の微粒分量試験	JIS A 1103
骨材の単位容積質量及び実積率試験	JIS A 1104
細骨材・粗骨材の密度及び吸水率試験	JIS A 1109, 10
ロサンゼルス試験機による粗骨材のすりへり試験	JIS A 1121
硫酸ナトリウムによる骨材の安定性試験	JIS A 1122
骨材破砕値試験	BS 812

表-2 骨材の試験結果

骨材の種類		記号	粒度範囲	表乾密度 (g/cm ³)	絶対乾密度 (g/cm ³)	吸水率 (%)	単位容積質量 (kg/L)	実積率 (%)	粗粒率	微粒分量 (%)	安定性損失質量 (%)	すりへり減量 (%)	破砕値 (%)
砂利	砕石												
砂利	砂利(玉砕)	G	2505	2.639	2.605	1.32	1.594	61.2	6.83	0.1	4.9	14.6	11.2
	砂利+玉砕		4005	2.638	2.606	1.20	1.646	63.2	7.41	0.2	5.9	17.6	10.5
粗骨材	硬質砂岩	A	2005	2.676	2.665	0.42	1.609	60.4	6.63	1.1	0.1	12.9	7.7
			4005	2.682	2.672	0.37	1.619	60.6	7.26	1.2	0.6	13.1	8.4
		B	2005	2.648	2.629	0.70	1.651	62.8	6.70	0.5	1.3	16.0	9.7
			4005	2.655	2.639	0.58	1.655	62.7	7.35	0.6	1.9	16.6	8.6
	安山岩	C	2005	2.628	2.567	2.38	1.552	60.5	6.68	0.1	6.7	16.1	12.4
			4005	2.634	2.586	1.88	1.543	59.7	7.30	0.3	3.5	17.7	10.4
細骨材	川砂			2.566	2.515	2.04	1.702	67.7	2.82	0.9	2.2	—	—

*1 (独)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 (独)土木研究所 材料資源研究グループ基礎材料チーム交流研究員 (正会員)

*3 日本道路(株) 技術研究所第一研究室 (正会員)

*4 日本道路(株) 技術研究所第一研究室 (正会員)

粗骨材 G は砂利であるが、粒度範囲 2505 は、4025 の砂利を破碎した玉砕、粒度範囲 4005 は 4025 の砂利と 2505 は前述の玉砕を 1 : 1 で混合したものである。

細骨材は川砂で、試験結果は表-2 のとおりである。

2.2 セメント

セメントは普通ポルトランドセメント（密度 3.16g/cm³、ブレン比表面積 3380cm²/g）を使用した。

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カルボン酸エーテルの複合体とする AE 減水剤標準形（I 種）の高機能タイプを使用した。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）を用いて調整した。

3. 配合

3.1 単位水量および単位粗骨材かさ容積

前報¹⁾の結果より、単位水量は表-3 の結果が得られている。単位粗骨材かさ容積は、Gmax 20/25mm の場合ほぼ 0.72 であった。Gmax 40mm は 0.72 またはそれ以上であった。ラベリング試験は粗骨材量の影響が大きいことから、0.72 一定とした。

3.2 目標強度と水セメント比 W/C

前報¹⁾で水セメント比を変化させた配合（W/C=40, 45, 50, 55%）について、JIS A 1106 による曲げ強度試験を行なった。材齢 28 日の C/W と曲げ強度の関係は図-1 のとおり、同じ強度を得るためには砂利は碎石より C/W が大きくなる。この関係から曲げ強度 6.0N/mm² のときの W/C を求め（表-4）、この値で強度試験、ラベリング試験を行なった。碎石は 50% 程度であったが、砂利は 40% 程度であった。また、Gmax 40 は 20/25mm より数% 小さくする必要がある。

強度に影響を与えると考えられる骨材の吸水率、破碎値と W/C=45% のときの曲げ、割裂引張、圧縮強度との関係を図-2 および 3 に示す。吸水率、破碎値の違いが大きくないため、明確な影響は見いだせない。

4. 強度試験

4.1 試験方法

強度試験は、曲げ、圧縮および割裂引張強度の 3 種類について行なった。曲げ強度試験は JIS A 1106 により、材齢 3 日、7 日、28 日、91 日に実施した。供試体は 15×15×53cm である。圧縮強度試験は JIS A 1108 により、材齢 7 日、28 日、91 日に実施した。供試体は φ12.5×25cm である。割裂引張強度試験は JIS A 1113 により、材齢 7

表-3 スランプ 5.0cm を得るための単位水量

骨材	Gmax	
	20/25mm	40mm
G	145	128
A、B、C	145	135

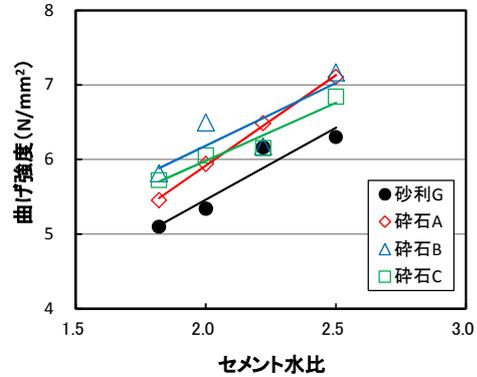


図-1 セメント水比 C/W と曲げ強度の関係 (Gmax 20/25mm の場合)

表-4 曲げ強度 6.0N/mm² を得るための W/C (%)

骨材	Gmax	
	20/25mm	40mm
G	43.9	38.4
A	49.2	47.3
B	52.9	44.8
C	49.8	47.0

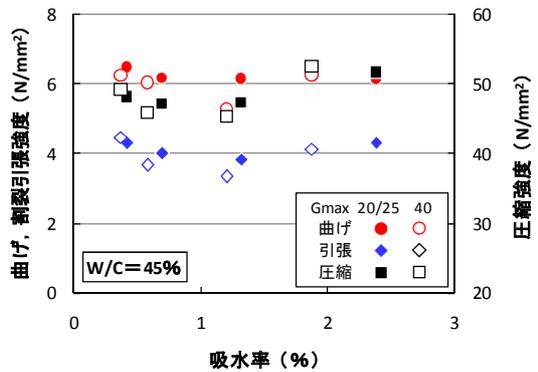


図-2 吸水率と各強度の関係

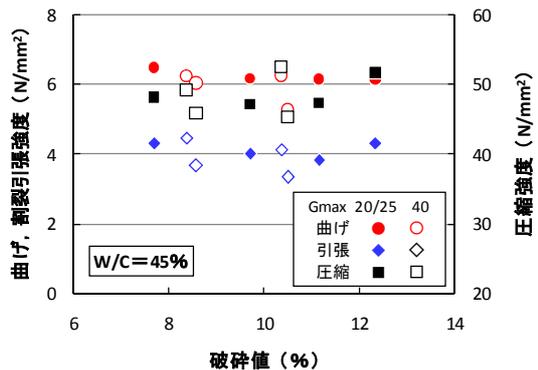


図-3 破碎値と各強度の関係

日、28日に実施した。供試体の径はφ12.5cm、長さはJISの上限(径の2倍25cm)と下限(径の1倍12.5cm)である。養生は、いずれの供試体も強度試験直前まで20℃の水中養生とした。

4.2 材齢と強度の関係

材齢と曲げ強度の関係は図-4 (Gmax 20/25)、図-5 (Gmax 40) のとおりである。ほぼ目標どおり材齢28日 のとき6.0N/mm²程度である。

材齢ごとの圧縮強度は図-6のとおりである。割裂引張強度は供試体の長さ25cmが図-7、12.5cmが図-8である。いずれも砕石A~Cはほぼ同じ強度であるが、砂利Gはそれらよりも大きくなっている。材齢28日の曲げ強度に対して圧縮強度は7~10倍であり、圧縮強度が通常より多少大きい。割裂引張強度は0.6~0.8倍であり、ほぼ通常どおりの関係であった。

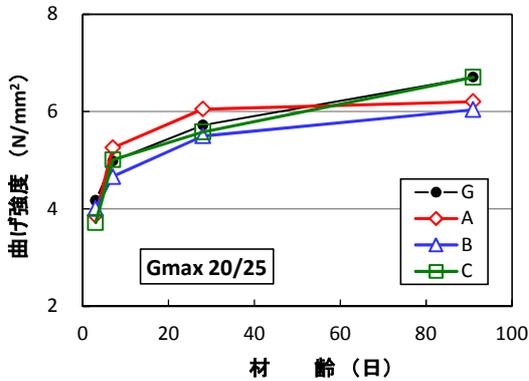


図-4 材齢と曲げ強度の関係 (Gmax 20/25mm)

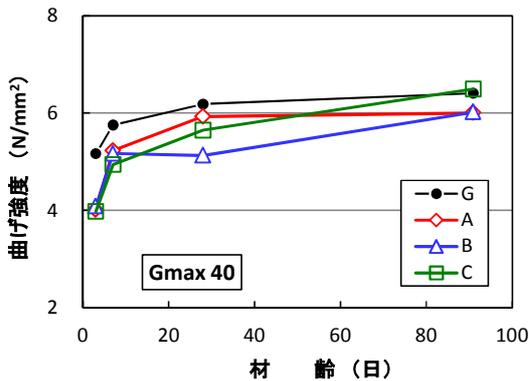


図-5 材齢と曲げ強度の関係 (Gmax 40mm)

4.3 割裂引張強度の供試体長さの影響

割裂引張強度試験用供試体の長さが25cmと12.5cmの強度(材齢7、28日)を比較した。その結果が図-9である。両者はほぼ一致しており、原点を通る直線で回帰すると傾きは0.97であった。供試体の長さは、JISの範囲であれば割裂引張強度にほとんど影響を及ぼさない。

4.4 曲げ強度と圧縮強度、割裂引張強度の関係

曲げ強度と圧縮強度の関係(材齢7、28、91日)を図

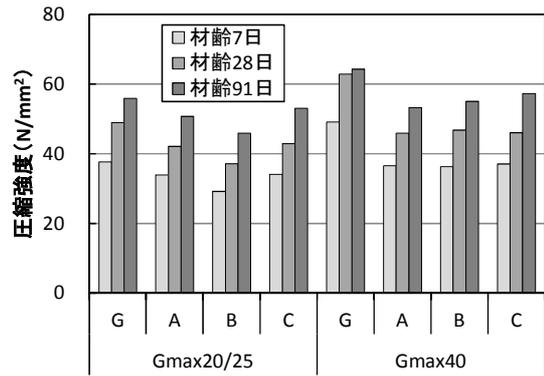


図-6 材齢と圧縮強度の関係

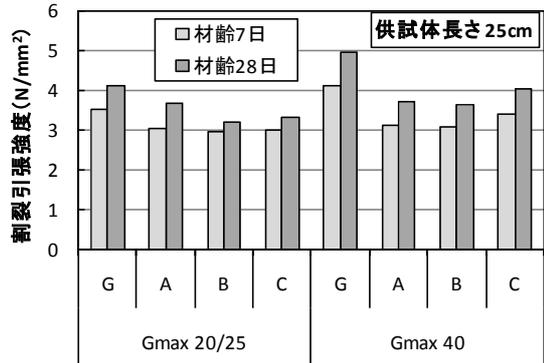


図-7 材齢と割裂引張強度の関係(供試体長さ25cm)

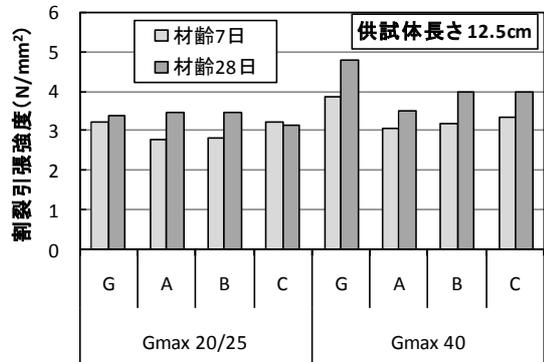


図-8 材齢と割裂引張強度の関係(供試体長さ12.5cm)

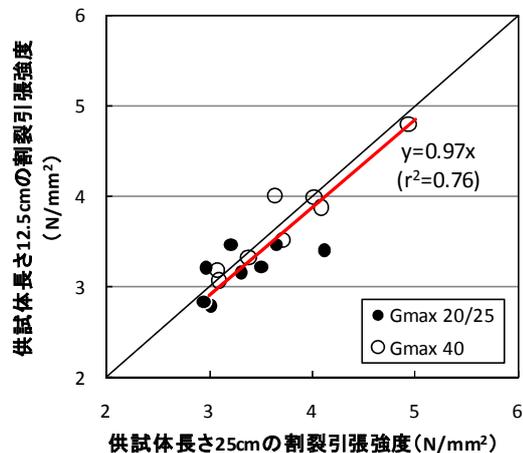


図-9 割裂引張強度に及ぼす供試体長さの影響

図-10に、割裂引張強度（材齢7，28日）との関係を図-11に示す。図中にはコンクリート標準示方書（RC示方書）に示されている両者の関係⁴⁾を一点鎖線で示している。曲げ強度と圧縮強度の関係は、RC示方書の式(1)から式(2)が、割裂引張強度と曲げ強度の関係は、式(1)と式(3)から式(4)が得られる。また、図中にはGmaxごとに回帰した結果を、Gmax 20/25mmは細線、Gmax 40mmは太線で示している。それぞれの回帰式および決定係数は、式(5)～式(8)のとおりである。

(1) RC示方書の関係式

圧縮強度と曲げ強度の関係 $f_b = 0.42f_c^{2/3}$ (1)

曲げ強度と圧縮強度の関係 $f_c = 3.67f_b^{3/2}$ (2)

圧縮強度と割裂引張強度の関係 $f_t = 0.23f_c^{2/3}$ (3)

割裂引張強度と曲げ強度の関係 $f_t = 0.55f_b$ (4)

(2) 図-10の曲げ強度と圧縮強度の回帰式

Gmax 20/25 $f_c = 2.55f_b^{1.61}$ $r^2 = 0.45$ (5)

Gmax 40 $f_c = 1.63f_b^{1.94}$ $r^2 = 0.80$ (6)

(3) 図-11の曲げ強度と割裂引張強度の回帰式

Gmax 20/25 $f_t = 0.86f_b^{0.79}$ $r^2 = 0.41$ (7)

Gmax 40 $f_t = 0.33f_b^{1.24}$ $r^2 = 0.45$ (8)

ここに、 f_b ：曲げ強度、 f_c ：圧縮強度、 f_t ：割裂引張強度、 r^2 ：決定係数である。

RC示方書の関係式と比較して、圧縮強度は小さい、割裂引張強度は大きい、Gmax 40mmの傾きが大きい傾向がある。4種類の骨材をまとめて回帰すると決定係数はあまり高くなく、骨材の種類によって曲げ強度との関係は異なるようである。

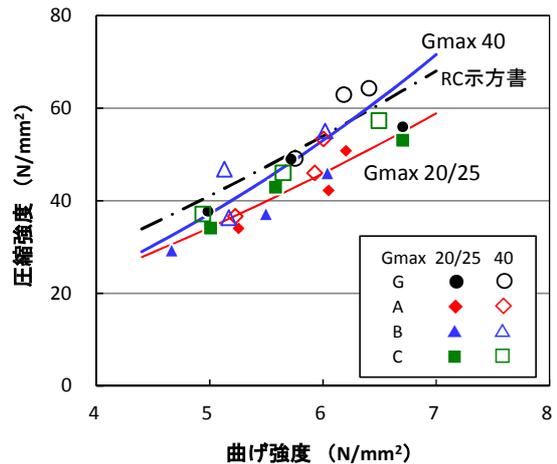


図-10 曲げ強度と圧縮強度の関係

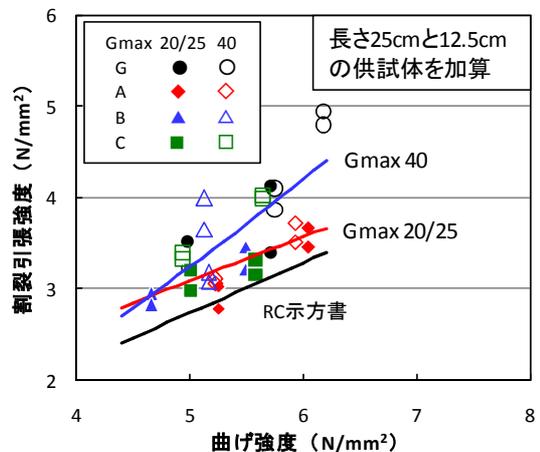


図-11 曲げ強度と割裂引張強度の関係

5. ラベリング試験

5.1 実験の組合せ

ラベリング試験の組合せは表-5のとおりである。かさ容積は0.72一定で、スランプは5cmであり、その時の単位水量は表-3、W/Cは表-4のとおりであり、試験面は打設面とした。そのほかに骨材AのGmax 20mm (A20と表示)は、スランプ2.5，8cmについても実施した。またスランプ5cmはW/Cの影響を確認するためにW/C 40%と60%についても実施した。さらにA20は、骨材の沈降の影響を確認するために底面も試験した。

5.2 実験方法

実験は、舗装調査・試験法便覧⁵⁾により、表-6の条件で実施した。プレロードは、ラベリング試験前に供試体をなじませるために、テーブルに供試体を設置後にノーマルタイヤで5千回転させた。ラベリング試験は、タイヤにスパイクチェーンを装着し、5千回転，1万回転，その後は1万回転ごとに5万回転まで実施し、走行直角方向の3断面で摩耗深さをレーザー変位計によって測定し、すりへり量を求めた。

表-5 ラベリング試験の組合せ

骨材の種類	かさ容積	単位水量 kg/m ³	W/C %	スランプ cm	試験面
G20, 40	0.72	表-3	表-4	5	打設面
A20		140		2.5	打設面 および 底面
		145		5	
		150		8	
		A40		表-3	5
B20, 40		表-3			5
C20, 40					

表-6 ラベリング試験条件

プレロード および ラベリング	試験温度	20℃		輪荷重	1.47 kN
		テーブル	速度	20 km/h	供試体個数
タイヤ	種類	145/80 R13	空気圧	157 kPa	
	速度	20 km/h	キャンバー角	1.5 度	
	シフト幅	±20 mm	シフト速度	20 mm/min	
ラベリング	スパイク チェーン	ピン数	54 本	散水量	2 L/min

ラベリング供試体は台形であり、上辺21cm，底辺32cm，高さ20cm，厚さ5cmである。28日水中養生後に試験を開始した。圧縮強度試験用の円柱供試体φ12.5×25cmも同時に作製，養生し，試験開始時に強度試験を行なった。

5.3 実験結果

(1) 回転数とすりへり量の関係

タイヤの回転数と摩耗深さの関係は図-12 のとおりである。この結果から摩耗した面積を求め、すりへり量 (cm²) とした。

回転数とすりへり量の関係を図-13 に示す。5 千回転または 1 万回転までのすりへり量は大きいですが、その後はほぼ直線的に増加している。初期は打設面のモルタルがすりへりに影響を与えているものと考えられる。

(2) 骨材のすりへり減量、破砕値とすりへり量の関係

アスファルト舗装は 3 万回転で評価することになっている⁵⁾が、コンクリート舗装の評価方法を検討するため、骨材のすりへり減量、破砕値とすりへり量の関係を求めた。回転数は、3 万回転に加え 5 万回転と、図-13 の関係から表層のモルタルの影響を除くために (3 万-1 万) 回転、(5 万-1 万) 回転について検討した。その結果を直線回帰したときの決定係数を表-7 に示す。

表-7 で明らかなおとおり、決定係数は回転数が多いほど、また 1 万回転を差し引いたほうが高くなっている。すりへり減量と破砕値では、破砕値のほうが高くなっている。骨材のすりへり減量、破砕値と (5 万-1 万) 回転のすりへり量の結果を図-14 および 15 に示す。以下の検討には (5 万-1 万) 回転の結果を使用する。

まだ骨材の種類が少ないので今後の検討が必要であるが、ロサンゼルス試験によるすりへり減量はラベリング試験に対して鈍感なようであり、骨材のすりへりの指標に、ロサンゼルス試験に代えて破砕値試験が使用できる可能性があるものと考えられる。

表-7 骨材のすりへり減量、破砕値とすりへり量の決定係数

回転数	決定係数	
	すりへり減量	破砕値
3 万回転	0.151	0.381
5 万回転	0.348	0.650
(3 万-1 万) 回転	0.272	0.643
(5 万-1 万) 回転	0.448	0.836

(3) 粗骨材の最大寸法の影響

Gmax 40mm と Gmax 20/25mm のすりへり量の関係を図-16 に示す。両者のすりへり量は同程度か Gmax 20/25mm のほうが大きくなる傾向がある。W/C が異なっているので単純な比較はできないが、すりへり抵抗性に及ぼす Gmax の影響はわずかと考えられる。

(4) スランプ、試験面の影響

スランプ 2.5, 5, 8cm で、打設面と底面で試験した結

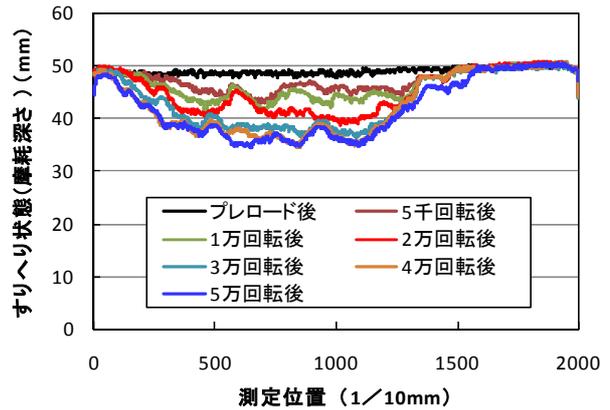


図-12 回転数ごとの摩耗深さの結果 (A20 の場合)

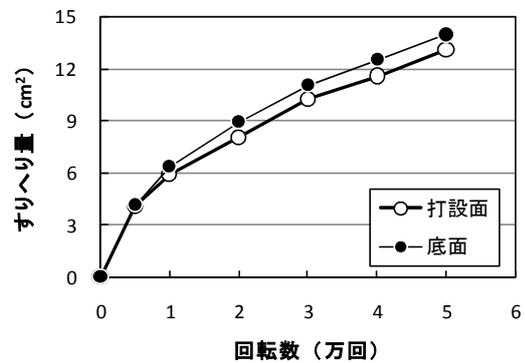


図-13 回転数とすりへり量の関係 (A20 の場合)

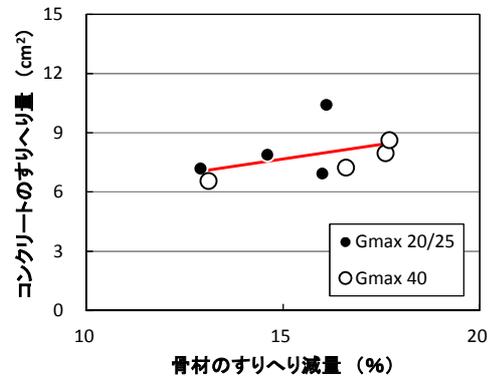


図-14 骨材のすりへり減量と (5 万-1 万) 回転のすりへり量の関係

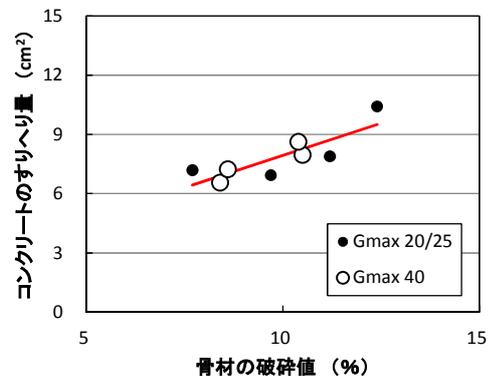


図-15 骨材の破砕値と (5 万-1 万) 回転のすりへり量の関係

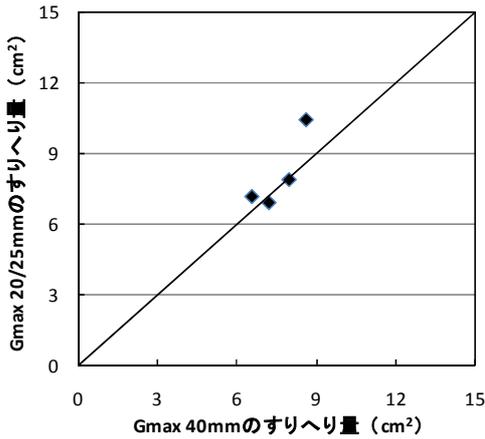


図-16 Gmax 40mm と Gmax 20/25mm のすりへり量の関係

果を図-17 に示す。スランブが大きくなるとすりへり量はわずかに増加する傾向がある。打設面と底面の違いは、図-13 の結果と併せて考えると、ほとんど影響ないようである。

(5) W/C, 強度の影響

スランブ 5cm で W/C を変化させた時の結果を図-18 に示す。W/C が大きくなるとすりへり量は増加する傾向がある。

W/C の影響は、強度の影響と考えられることから、圧縮強度とすりへり量の関係を図-19 に示す。図のとおり、すりへり量は強度が大きくなると小さくなる傾向がある。

6. まとめ

砕石 3 種類, 砂利 1 種類の, それぞれ Gmax 20/25mm および 40mm について舗装コンクリートの強度試験およびラベリング試験を行い, 次の結果を得た。

- (1) 強度の特徴は次のとおりである。
 - a) 曲げ強度と圧縮強度, 割裂引張強度の関係は骨材によって異なる。
 - b) 割裂引張強度試験用供試体の長さは, JIS の範囲内であれば強度に影響しない。
- (2) すりへり抵抗性の特徴は次のとおりであった。
 - a) 骨材の破砕値との相関が高かった。
 - b) Gmax 40mm は 20/25mm よりわずかに大きい。
 - c) スランブが小さい, 強度が大きい (W/C が小さい) ほど大きくなる。

参考文献

1) 森濱和正, 渡辺博志, 石田征男, 瀧波勇人: 粗骨材の最大寸法 20mm, スランブ 5cm の舗装コンクリートの配合に関する検討, コンクリート工学年次論文集, Vol.35, No.1, pp.1363-1368, 2013.7

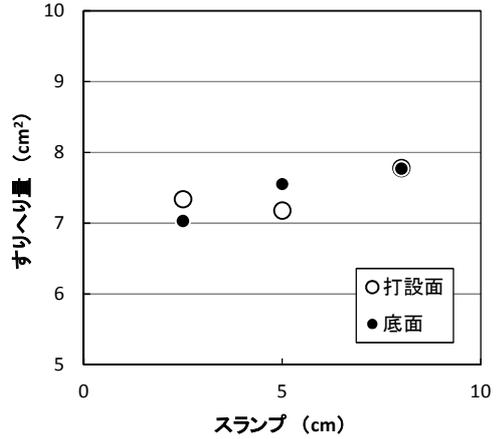


図-17 スランブ, 試験面とすりへり量の関係

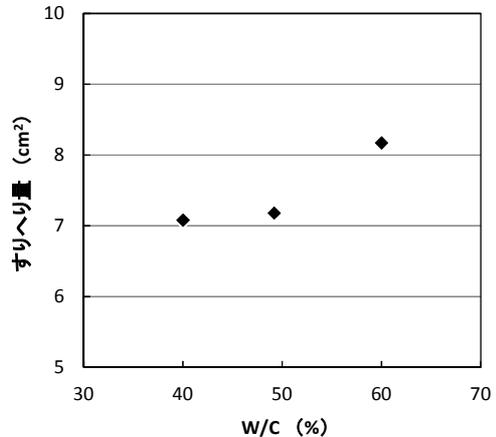


図-18 W/C とすりへり量の関係

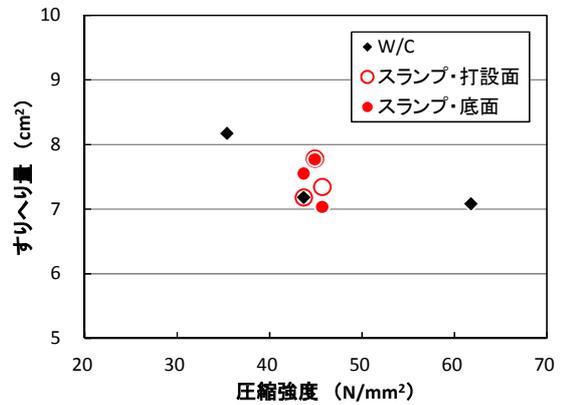


図-19 圧縮強度とすりへり量の関係

2) 森濱和正, 小梁川雅ほか: 各種骨材を用いた舗装コンクリートの配合試験, 土木学会論文集 E1 (舗装工学), Vol.69, No.3, pp.81-86, 2013.12

3) (社)日本道路協会: 舗装設計施工指針, pp.252, 2006.2

4) (社)土木学会: コンクリート標準示方書[設計編]平成 8 年制定, pp.19, 1996.3

5) (社)日本道路協会: 舗装調査・試験法便覧第 3 分冊, pp.17-38, 2007.6