

骨材資源を有効活用した舗装用コンクリートの耐久性確保に関する研究

研究予算：運営費交付金（一般勘定）

研究期間：平 24～平 27

担当チーム：材料資源研究グループ

研究担当者：渡辺 博志、古賀 裕久、森濱 和正、加藤 祐哉

【要旨】

コンクリート舗装は、耐久性が高くライフサイクルコストが低減できるため、その普及が期待されている。一方で、コンクリートの主要材料である粗骨材は、天然砂利が減少し、砕石や石灰石骨材が増えている。また、産業廃棄物削減を目的に各種スラグ骨材の有効利用が求められているなど、舗装コンクリートへの活用にあたっては、多様な骨材資源への対応が求められている。そこで、各種粗骨材の舗装コンクリートへの適用性を明らかにすることを目的に研究を行っている。

27年度は、フローテーブルを用いた締固め性・変形性試験の検討、舗装コンクリートの圧縮強度による強度管理を行う場合の考え方に関する検討を行うと共に、これまでの成果をとりまとめ、舗装コンクリートおよび粗骨材の品質管理試験方法を提案した。

キーワード：石灰石骨材、スラグ骨材、施工性試験、強度管理、品質管理試験

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^{1.1)}。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^{1.2)}、その普及が期待されている。

コンクリート舗装の普及促進に向けては、根拠が不明確なまま残されている仕様規定を改め、性能規定を進めることにより、舗装コンクリートの高い耐久性を確保した上で、材料面や施工面での自由度を拡大してゆくことが非常に重要となる。

例えば、粗骨材については、最大寸法（Gmax）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 Gmax は 40mm が一般的である。しかし、レディーミクストコンクリート工場等が使用している粗骨材は、最近では Gmax 20mm または 25mm（以下、20/25 と表記）の場合がほとんどである。また、資源の有効活用の観点から、スラグ骨材の使用が求められている。更に、近年はコンクリートの収縮低減に有利とされる石灰石の使用の利用率が増えている。今後、コンクリート舗装を普及させるためには、これらの粗骨材を使用した場合の性状を明らかにし、利用技術の確立が必要である。

次に、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^{1.3)}による沈下度 30 秒として仕様を定めることが一般的である。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、通常のトラックアジテータではなく、ダンプトラックを用いることとなり、コンクリートの製造・運搬の面で種々の制約を受けるため、アジテータ車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・供給できることが望まれている。

また、コンクリートの強度管理は曲げ強度によって管理されているが、供試体が重い場合、労力が大きく、適した試験装置を所有していない工場等も多いことが課題となっている。

このような背景のもとに、平成 24 年度より、(学)東京農業大学、(一社)セメント協会、太平洋セメント(株)、日本道路(株)の 4 機関との共同研究により、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、施工、強度管理の合理化を目的に研究を開始した。

平成 24、25、26 年度は、通常用いられている砂利と砕石 4 種類と、産地の異なる石灰石 4 種類の Gmax 40mm と 20/25mm、製造所の異なるスラグ骨材 Gmax 20mm を 4 種類、合計 20 種類を集め、骨材の各種物理試験と、舗装コンクリートの配合を決定し^{1.4)}、強度試験^{1.5)}、^{1.6)}、^{1.7)}、ラベリング試験^{1.8)}

表 2.1 本研究で実施した検討内容

項目	舗装コンクリートに求められる性能など ^{a)}		舗装コンクリートの性能評価手法		粗骨材の品質評価手法		検討の必要性・検討内容		
			配合要因など	検討した試験 ^{b)}	舗装コンクリートの性能に影響を与える粗骨材の品質	検討した試験 ^{b)}			
フレッシュコンクリート	施工性 (ワーカビリティ)	締固め・充填性	単位水量 (沈下度、スランプ)	フローテーブルによる締固め性・変形性試験	最大寸法 粒度	ふるい分け試験 微粒分量試験 単位容積質量および実積率試験 密度および吸水率試験	施工に応じたワーカビリティと、適切な締固めエネルギーを評価するための、振動台式コンシステンシー試験 (沈下度) に代わる試験方法の検討		
		ダレ抵抗性*	単位粗骨材かさ容積	ダレ試験				スランプ増大によるダレ抵抗性の検討	
		材料分離抵抗性		材料分離試験				密度の大きい骨材、スランプ増大の場合の材料分離抵抗性の検討	
硬化コンクリート	設計 用値	強度	W/C	曲げ強度試験	最大寸法 骨材の強度	点荷試験 破砕値試験	骨材の種類、最大寸法と強度の検討		
		弾性係数	コンクリート強度 単位粗骨材かさ容積	曲げ試験による弾性係数試験 圧縮試験による弾性係数試験				舗装標準示方書では、曲げ試験による荷重-たわみ関係から求めることが記述されており、圧縮と曲げ試験時の弾性係数を測定	
		曲げ疲労強度		曲げ疲労強度試験					骨材の種類、最大寸法と曲げ疲労強度の検討
		引張軟化特性*		破壊エネルギー試験					
	体積 変化	線膨張係数	骨材の熱膨張特性	線膨張係数試験	熱膨張特性	—	骨材の種類と線膨張係数の検討		
		長さ変化	単位水量	長さ変化試験	乾燥収縮特性	粗骨材の乾燥収縮率試験	骨材の種類と長さ変化の検討		
		自己収縮*	W/C	自己収縮試験	—	—	骨材の種類と自己収縮の検討		
	走行 安全性	すべり抵抗性	単位粗骨材かさ容積 単位セメント量	ラベリング試験機を用いたすべり試験	すべり特性	すべり (PSV) 試験	コンクリートの簡易なすべり試験の検討		
		すり減り抵抗性	単位粗骨材かさ容積 コンクリート強度	スパイクチェーンによるラベリング試験	すり減り特性	ロサンゼルス試験機によるすり減り試験 破砕値試験	骨材の種類、各種配合要因とすり減り抵抗性の検討		
	耐久性	凍結融解抵抗性		凍結融解試験	吸水率 安定性 凍結融解 NaClの影響	密度および吸水率試験 安定性試験 粗骨材の凍結融解試験	舗装面の初期は打設面が路面、長期間使用するとすり減りにより粗骨材が露出するような状態の凍結融解・スケーリングおよび積雪寒冷地域の凍結防止剤の影響の検討		
		スケーリング抵抗性*	W/C、空気量 打設面、切断面 NaClの影響	スケーリング試験					
強度の管理・検査の合理化	—	—	圧縮強度試験による管理・検査の検討	—	—	曲げ試験の大変さ、型枠、試験設備の実態などから圧縮または引張強度による管理・検査の検討			

a) 要求性能に「*」のついている項目は、舗装標準示方書では要求されていない項目。
b) 本研究で提案した試験をゴシック体で示す。

1.9)、1.10)、1.11)、凍結融解試験 1.12)、長さ変化試験、フレッシュコンクリートの施工性試験、すべり試験 1.13)、スケーリング試験 1.14)、1.15)などを行った。

平成 27 年度は、平成 26 年度に検討したフレッシュコンクリートの施工性試験のうち、フローテーブルを用いた締固め性・変形性試験のデータ充実を行うと共に、平成 24、25 年度に検討した強度試験結果や多数の強度試験結果が収録されている既往の調査結果から、舗装コンクリートの圧縮強度による強度管理を行う場合の考え方について検討 1.16)などを行った。そして、これまでに得られた成果をとりまとめ、舗装コンクリートに求められる性能と、それに対する粗骨材に求められる品質の影響について整理し、舗装コンクリートおよび粗骨材の品質管理試験方法を提案した。

2. 本研究課題の主な検討項目

舗装コンクリートに求められる性能やそれらを確保するために粗骨材に求められる品質を舗装標準示方書^{2.1)}に従って整理すると、表 2.1 に示すとおりとなる。本研究では、次に示す項目について検討を行った。

表 2.2 粗骨材種類と主な検討項目

求められる品質	スラグ骨材	石灰石骨材	その他の天然骨材
すり減り抵抗性	○	○	△
すべり抵抗性	△	○	△
凍結融解抵抗性	○	△	△
乾燥収縮率	△	△	○
線膨張係数	○	△	○
材料分離抵抗性	○ (電気炉酸化スラグ)	△	△

○：特に検討が必要と考えられる、△：影響が比較的小さいと考えられる

2. 1 粗骨材の種類に関する検討

スラグ骨材や石灰石骨材を積極的に舗装コンクリートへ利用するために、表 2.1 の密度、吸水率、粒度など一般的な粗骨材の品質のほか、粗骨材の種類ごとに表 2.2 に示す項目が重要な検討課題である。

スラグと石灰石骨材はその他の天然骨材に比べて硬さが劣る場合があり、すり減り抵抗性が小さいといわれている。粗骨材とコンクリートのすり減り抵抗性の関係を検討した。

石灰石粗骨材を舗装コンクリートに用いる場合、すべりやすいといわれており、粗骨材自体のすべりと、舗装コンクリートのすべりの関係を検討した。

スラグ骨材は吸水率が比較的大きいものが多く、

凍結融解抵抗性が低いことが懸念される。特に舗装コンクリートは、直接気象作用や交通に伴うすり減りを受けるなど厳しい条件にさらされるため、凍結融解抵抗性およびスケーリング抵抗性を検討した。粗骨材については、凍結融解抵抗性と関連する指標である吸水率、安定性のほか、粗骨材自体の凍結融解試験も実施した。

スラグ骨材または石灰石骨材は、骨材自体の乾燥収縮が小さいことから、コンクリートの乾燥収縮も抑制できると考えられる。石灰石は、温度による線膨張係数も小さくなるといわれており、温度変化によるそりの繰返しによる疲労の影響が小さくなることから、コンクリートの乾燥収縮率試験、線膨張係数試験と、粗骨材の乾燥収縮率試験を行った。

他に比べて密度の大きな電気炉酸化スラグを用いると、材料分離が生じやすいことが懸念されることから、材料分離抵抗性についても検討した。

2. 2 粗骨材の最大寸法に関する検討

粗骨材の最大寸法は、通常 40mm に対して、20mm または 25mm を積極的に利用する場合、一般には、単位水量が増え、乾燥収縮が大きくなるが、材料分離抵抗性は大きくなるといわれている。また、粗骨材の最大寸法を小さくすれば乾燥収縮は大きくなる一方で、伸び能力は大きくなり、ひび割れは発生しにくいといわれている^{2.2)}ことから、本研究の最大寸法に関する検討は、曲げ強度、曲げ疲労強度、曲げ破壊に影響を及ぼすと考えられる破壊エネルギーについて行った。

2. 3 評価試験方法に関する検討

舗装コンクリートの性能や用いる粗骨材の品質を評価する試験方法には種々のものがあるが、課題のあるものや評価試験方法自体が確立されていないものもある。そのため、2.3.1~2.3.3 に示した試験方法について検討した。

2.3.1 粗骨材の品質試験に関する検討

粗骨材に求められる品質試験のうち、課題のある次の試験方法について検討を行った。

(1) 粗骨材の乾燥収縮率試験

粗骨材の乾燥収縮率を評価する試験方法として、標準的な試験方法が確立されていないことから、粗骨材の乾燥収縮率試験について検討を行った。

(2) 破碎値試験

粗骨材のすり減り抵抗性を評価する試験方法として、ロサンゼルス試験機によるすりへり試験があるが、大型の試験機を要する、資料の調整に大きな労力を要する、骨材粒度により試料の粒度区分が異なり試料間の相対比較ができない場合がある、などの課題があることから、より簡易な試験方法として破碎値試験に関する検討を行った。

(3) 粗骨材の凍結融解試験

粗骨材の凍結融解抵抗性を評価する試験方法として、硫酸ナトリウムによる安定性試験があるが、薬品管理を要する、実際の凍結融解作用と原理が異なるなどの課題があることから、真水や塩水を用いた粗骨材の凍結融解試験に関する検討を行った。

2.3.2 フレッシュコンクリートの性能試験に関する検討

舗装用コンクリートに求められる性能試験のうち、フレッシュ性状について課題のある次の試験方法について検討を行った。

(1) 振動台式コンシステンシー試験の代替試験方法の検討

舗装コンクリートの配合設計は、施工時の振動締固めを考慮し、振動台式コンシステンシー試験による沈下度 30 秒がベースになっている配合参考表^{2.3)}、^{2.4)}を用いて行われるのが一般的である。そのときのスランブは 2.5cm 程度といわれており、現場における管理ではスランブ試験が用いられている。舗装コンクリートのコンシステンシーの評価は、振動台式コンシステンシー試験がベースであり、本来、配合設計時には振動台式コンシステンシー試験が用いられるべきであるが、この試験装置がほとんど普及していないため、配合設計時においてもスランブ試験が行われているのが現状である。このようなことから、振動台式コンシステンシー試験に代え、締固め時のコンシステンシー（締固め性、充填性など）を評価する方法として、フローテーブルを用いる方法について検討した。

(2) 材料分離試験およびダレ試験の検討

舗装コンクリートのスランブについては、上記のとおり通常 2.5cm であるが、トンネル内などのようにダンプトラックで荷下ろしのできない現場での施工など、施工条件によってはスランブ 2.5cm のコンクリートが適用できない場合もあるため、施工条件

に応じてスランプを選定しやすくできるようにしておくことも重要である。スランプの大きなコンクリートを用いる場合、材料分離抵抗性が小さくなることが考えられる。また、道路の線形勾配が大きい場合には、表面仕上げ後に表面の変形（ダレ）を生じやすくなることが考えられることから、材料分離抵抗性とダレ抵抗性についても検討した。

2.3.3 硬化コンクリートの性能試験に関する検討

舗装用コンクリートに求められる性能試験のうち、硬化性状について課題のある次の試験方法について検討を行った。

(1) 曲げ試験による弾性係数試験

舗装コンクリートの弾性係数は、舗装標準示方書では原則、曲げ試験による加重たわみの関係より算出するように記述されているが、具体的な方法が示されていないことから、曲げ試験による弾性係数試験の検討を行った。

(2) ラベリング試験機を用いたすべり試験

舗装コンクリートは打設面を車両が走行することから、その耐用期間中はすべり抵抗性等の走行安全性が十分確保されている必要がある。そこで、本研究では舗装コンクリートのすべり抵抗性評価に関する

検討を行った。

(3) スケーリング試験

舗装コンクリートは、表面が直接交通荷重を受けると共に、外気や凍結防止剤等にさらされることから、スケーリング抵抗性の評価に関する検討を行った。

2.4 舗装コンクリートの強度の管理・検査に関する検討

舗装コンクリート強度の管理・検査は、通常曲げ強度で行われているが、曲げ強度試験は労力が大きい、型枠や適したレンジの試験機を所有する施設に限られるなどの課題があることから、圧縮強度による管理・検査方法について検討した。

3. 粗骨材に求められる品質に関する検討

3.1 概要

本研究で用いた粗骨材は、平成 24～25 年度は表 3.1.1 に示すように砂利が 1 種類 (G)、硬質砂岩砕石が 2 種類 (A、B)、安山岩砕石が 1 種類 (C)、石灰石砕石 4 種類 (LA～LD)、高炉スラグ 3 種類 (SA～SC)、電気炉酸化スラグ 1 種類 (SD) の合計 12 種類で、スラグ系骨材の Gmax は 20mm のみとし、

表 3.1.1 骨材試験結果 (ロット 1)

骨材の種類	記号	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	微粒分量 (%)	安定性損失質量 (%)	すりへり減量 (%)	破砕値 (%)	凍結融解損失質量 (%)				乾燥収縮率 (×10 ⁻⁶)	室内PSV		
													水30回	塩水3回	塩水10回	塩水30回				
砂利	G	砂利(玉砕)	2505	2.64	2.61	1.32	1.59	61.2	6.83	0.1	4.9	14.6	11.2	7.2	9.3	15.5	23.9	396	—	
		砂利+玉砕	4005	2.64	2.61	1.20	1.65	63.2	7.41	0.2	5.9	17.6	10.5	—	—	—	—	—	—	
粗骨材	硬質砂岩	A	2005	2.68	2.67	0.42	1.61	60.4	6.63	1.1	0.1	12.9	7.7	2.7	2.6	2.0	3.9	101	49	
			4005	2.68	2.67	0.37	1.62	60.6	7.26	1.2	0.6	13.1	8.4	—	—	—	—	—	—	
		B	2005	2.65	2.63	0.70	1.65	62.8	6.70	0.5	1.3	16.0	9.7	3.3	2.9	6.0	18.1	284	—	
			4005	2.66	2.64	0.58	1.66	62.7	7.35	0.6	1.9	16.6	8.6	—	—	—	—	—	—	
		安山岩	C	2005	2.63	2.57	2.38	1.55	60.5	6.68	0.1	6.7	16.1	12.4	1.7	1.6	12.0	32.1	199	—
				4005	2.63	2.59	1.88	1.54	59.7	7.30	0.3	3.5	17.7	10.4	—	—	—	—	—	—
	石灰石	LA	2005	2.70	2.69	0.41	1.57	58.5	6.63	2.0	0.7	24.1	23.0	—	—	—	—	—	11	—
			4005	2.70	2.69	0.34	1.65	61.2	7.29	0.9	1.9	28.5	20.1	—	—	—	—	—	—	
		LB	2005	2.71	2.70	0.23	1.68	62.3	7.16	2.3	0.6	23.4	20.7	—	—	—	—	—	4	—
			4005	2.71	2.71	0.21	1.64	60.5	7.37	1.1	0.6	27.7	18.9	—	—	—	—	—	—	
		LC	2005	2.70	2.69	0.35	1.56	58.1	6.80	0.9	1.3	24.3	22.3	—	—	—	—	—	22	29
			4005	2.70	2.70	0.31	1.59	59.1	7.14	0.3	0.6	27.8	17.9	—	—	—	—	—	—	
LD		2005	2.69	2.68	0.54	1.56	58.3	6.70	1.2	0.8	23.6	22.9	3.4	1.1	2.7	7.1	46	—		
		4005	2.70	2.68	0.51	1.60	59.7	7.36	0.3	0.9	27.2	21.3	—	—	—	—	—	—		
スラグ骨材	高炉スラグ	SA	2005	2.54	2.42	4.76	1.40	57.7	6.88	1.6	2.7	26.4	25.5	—	0.6	1.8	3.0	20	—	
		SB	2005	2.76	2.73	1.35	1.66	60.9	6.67	0.7	0.3	17.0	12.9	—	0.2	0.2	1.2	4	—	
		SC	2005	2.64	2.54	3.86	1.50	59.0	6.52	1.0	1.7	32.5	27.5	2.8	2.3	1.9	3.5	21	44	
	電気炉酸化スラグ	SD	2005	3.74	3.70	1.00	2.11	57.2	6.86	0.3	1.3	14.7	15.0	—	2.2	1.8	2.3	9	47	
細骨材	川砂		2.57	2.52	2.04	1.70	67.7	2.82	0.9	2.2	—	—	—	—	—	—	—	—		

表 3.1.2 骨材試験結果 (ロット 2)

骨材の種類	記号	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	微粒分量 (%)	安定性損失質量 (%)	すりへり減量 (%)	破砕値 (%)		
													粗骨材	硬質砂岩
4005	2.68	2.67	0.31	1.64	61.6	7.31	1.2	1.1	12.5	8.1				
石灰石	LD	2005	2.70	2.69	0.51	1.59	59.1	6.94	0.5	3.1	22.9	21.8		
		スラグ	高炉スラグ	SC	2005	2.66	2.58	3.17	1.51	58.5	6.33	0.6		1.5
電気炉酸化スラグ	SD			2005	3.72	3.69	0.84	2.10	56.8	6.27	0.1	2.6		15.4
	細骨材	川砂		2.56	2.51	1.79	1.73	68.9	2.80	1.2	5.1	—		—

表 3.1.3 骨材の試験項目および試験方法

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 812-110)
粗骨材の凍結融解試験	(土研資料4199号 ^{3.1)})
粗骨材の乾燥収縮率試験	土研資料4199号 ^{3.1)})
骨材のすべり (PSV) 試験	(BS812-114)

※ () は参考とした試験方法

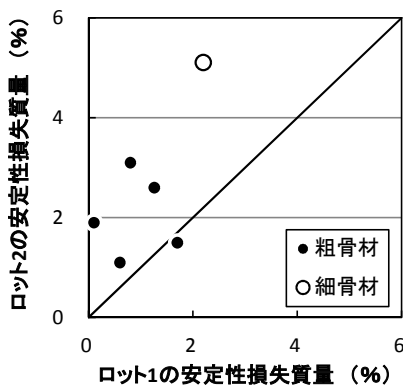


図 3.1.1 ロット1とロット2の安定性損失質量の比較

その他の粗骨材は 20/25mm と 40mm を用いた (以下、ロット 1)。平成 26～27 年度は表 3.1.2 に示す採取時期の異なる (以下ロット 2) 5 種類を用いた。

本研究で実施した骨材試験項目と試験方法を表 3.1.3 に示す。括弧書きの試験方法は、参考とした試験方法を表している。これらの試験結果は表 3.1.1 および表 3.1.2 に示すとおりである。

ロット 1 とロット 2 の骨材品質について、安定性損失質量は図 3.1.1 に示すように、ロット 2 の方がロット 1 よりも値が大きく、安定性が低い。それ以外の項目については、ほぼ同等の値を示した。

3. 2 粗骨材の破砕値試験

粗骨材のすり減り抵抗性は粗骨材強度に関する指標の 1 つと考えられるが、粗骨材のすり減り抵抗性を評価するための試験方法に JIS A 1121 (ロサンゼルス試験機による粗骨材のすりへり試験方法) があるが、比較的大型の試験機が必要なこと、試料の調整に要する労力が大きいこと、骨材粒度により粒度

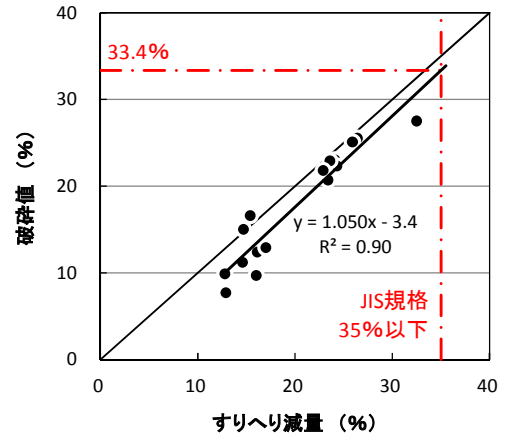


図 3.2.1 粗骨材のすりへり減量と破砕値の関係

区分が異なるため相対比較できない場合があることなどの課題がある。一方、BS812-110 (破砕値試験) は、骨材を容器に詰めて荷重を加え、粗骨材同士の接触により破砕される率を測定するものであるが、圧縮強度試験機を利用できるなど簡易に強度を表す指標が得られる試験である。本研究では両者の比較検討を行った。なお、破砕値試験は本来 14.0mm、10.0mm、2.36mm の BS ふるいを用いるが、本研究では JIS Z 8801-1 に規定する公称目開き 16mm、9.5mm、2.36mm を用いた。

図 3.2.1 に JIS A 1121 により求めたすりへり減量と BS812-110 により求めた破砕値の関係を示すが、両者の間には良好な関係が認められ、決定係数 R^2 は 0.9 と高い値を示した。従って、BS812-110 は JIS A 1121 の代替になると考えられる。その場合、すりへり減量の JIS 規格値は 35% 以下であるが、図 3.2.1 の回帰式より破砕値は 33.4% 以下相当であり、安全を考慮して破砕値 30% 以下を規格値とすれば良いと考えられる。

3. 3 粗骨材の凍結融解試験

粗骨材の凍結融解抵抗性を評価する方法として、JIS A 1122 (硫酸ナトリウムによる骨材の安定性試験方法) がある。また、間接的には JIS A 1110 の吸水率によっても評価される。JIS A 1122 の原理は硫酸ナトリウムの結晶圧による骨材の破壊であり、実際の凍結融解に類似するとの想定で評価に用いられているが、実際の水や凍結防止剤の含まれる水溶液の凍結による膨張圧とは異なる現象である^{3.1)}こと、硫酸ナトリウムという薬品の管理が必要であることなどの課題がある。そこで、水や塩化ナトリウム水

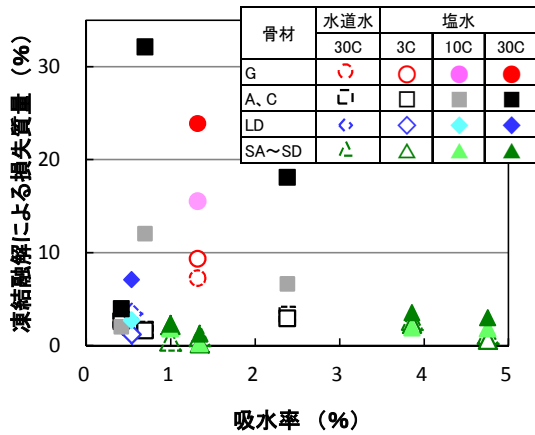


図 3.3.1 粗骨材の吸水率と凍結融解試験結果の関係

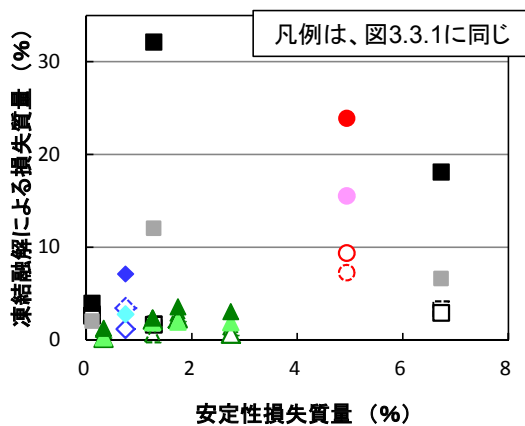


図 3.3.2 粗骨材の安定性損失質量と凍結融解試験結果の関係

溶液を用いた粗骨材の凍結融解試験を合わせて検討した。ここで、粗骨材の凍結融解試験は、文献 3.1) の簡易凍結融解試験を参考とし、水または濃度 3% の塩化ナトリウム水溶液を用いて-18℃16 時間、20℃8 時間を 1 サイクルとしたものである。

粗骨材の凍結融解試験結果と吸水率、安定性損失質量との関係を図 3.3.1 および図 3.3.2 に示す。水道水は 30 サイクル、塩水は 3 サイクル、10 サイクル、30 サイクルの結果であるが、いずれについても、吸水率や安定性損失質量との明確な関連性は認められなかった。

3. 4 粗骨材の乾燥収縮率試験

コンクリートの乾燥収縮率には骨材物性の影響が大きいことが知られており^{3.2)}、粗骨材の乾燥収縮率がコンクリートの乾燥収縮率に及ぼす影響が大きいことが明らかになっている^{3.3)}ことから、粗骨材の乾燥収縮率試験についても検討を行った。ここで、粗

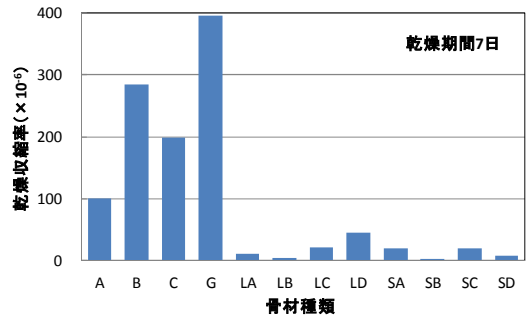


図 3.4.1 粗骨材の乾燥収縮率



写真 3.5.1 PSV 試験用供試体



写真 3.5.2 促進研磨試験機

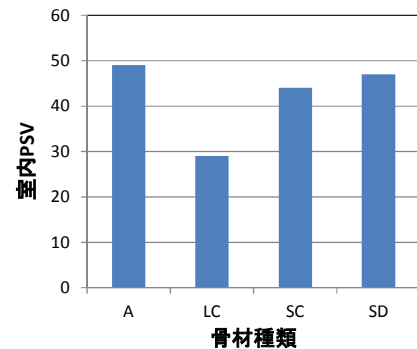


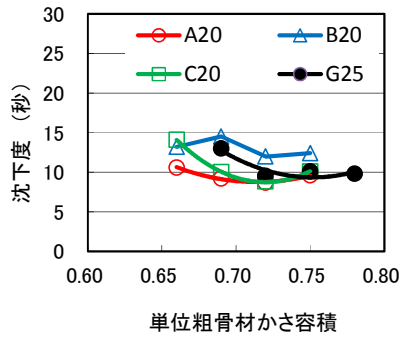
図 3.5.1 粗骨材の乾燥収縮率

骨材の乾燥収縮率試験は標準的な測定方法の確立には至っておらず、安定的な測定方法の確立が望まれている。本研究では、文献 3.1) の「ひずみゲージによる粗骨材の乾燥収縮率試験方法 (案)」に従って行った。

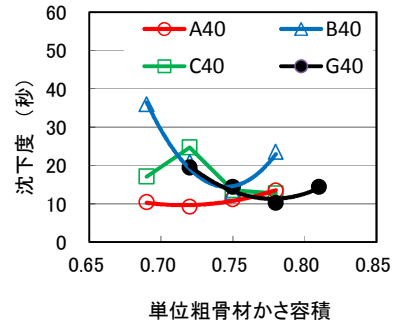
各粗骨材の乾燥収縮率試験の結果を図 3.4.1 に示す。石灰石骨材 (LA~LD) およびスラグ骨材 (SA~SD) はいずれも乾燥収縮率が小さい結果となったが、硬質砂岩砕石 (A, B)、安山岩砕石 (C) および砂利 (G) の乾燥収縮率は大きく、骨材種類の影響を確認することができた。

3. 5 粗骨材のすべり試験

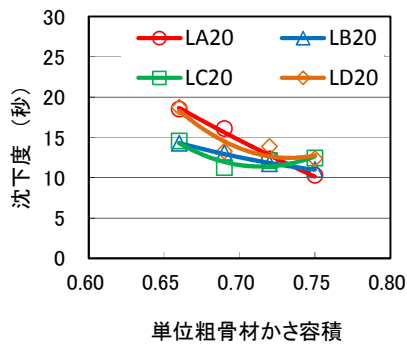
舗装コンクリートに用いる粗骨材には、すべり抵



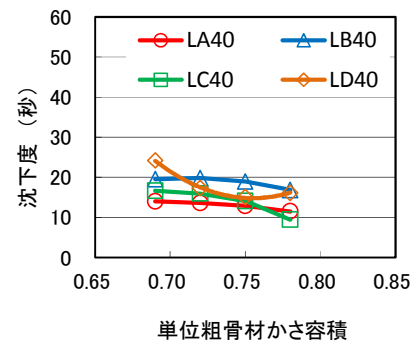
(a) 碎石 A~C, 砂利 G



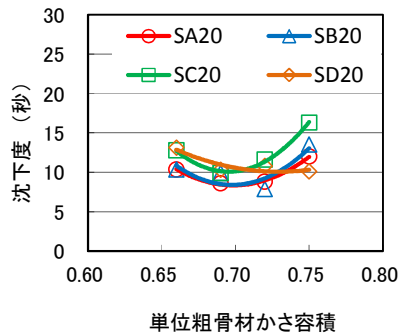
(a) 碎石 A~C, 砂利 G



(b) 石灰石 LA~LD



(b) 石灰石 LA~LD



(c) スラグ骨材 SA~SD

図 4.1.1 単位粗骨材かさ容積と沈下度の関係
(Gmax : 20/25mm)

図 4.1.2 単位粗骨材かさ容積と沈下度の関係
(Gmax : 40mm)

抗性を有していることが必要である。粗骨材のすべり抵抗性を評価する試験には、BS812-114（粗骨材のすべり（PSV）試験）がある。本研究では、次の①～⑤に示す手順に沿って PSV 試験を行った。

- ①測定対象粗骨材 1 種につき、写真 3.5.1 に示す供試体を 4 枚作製する。
- ②促進研磨試験機（写真 3.5.2）の回転ドラムに供試体を 14 枚設置する。
- ③所定の温度（ $20\pm 5^{\circ}\text{C}$ ）で水と研磨材を散布しながら 180 ± 5 分間研磨を行う。この研磨は研磨材の種類を変えて、2 回行う。

- ④研磨終了後の供試体を所定の温度（ $20\pm 5^{\circ}\text{C}$ ）で、ポータブルスキッドレジスタンステスタを用いて測定する。このとき使用するゴムスライダは幅約 32mm の PSV 試験用のものを用い、読み値は PSV 試験用のスケールを設置して、その目盛りを用いる。PSV 試験用のスケールを使用しない場合は、測定値の 1.67 倍を読み値とする。

- ⑤4 枚の供試体から得られたすべり抵抗値のデータは整数に丸め、4 枚の平均値をもって「室内 PSV」として報告する。

各粗骨材の PSV 試験結果を図 3.5.1 に示す。石灰石 LC が他の骨材と比較して室内 PSV が低く、単体ではすべりやすい傾向が認められた。

4. 種々の粗骨材を用いた舗装コンクリートのフレッシュ性状に関する検討

4. 1 粗骨材の種類が配合に及ぼす影響

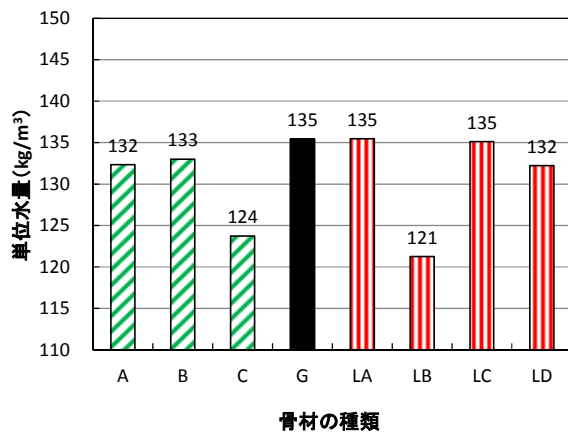
舗装コンクリートの配合設計には、舗装設計施工指針の配合参考表 4.1)を用いることが一般的である。表 3.1.1 に示すロット 1 の粗骨材を用い、単位粗骨材かさ容積、単位水量、水セメント比を変化させ、

表 4.1.1 最適単位粗骨材かさ容積

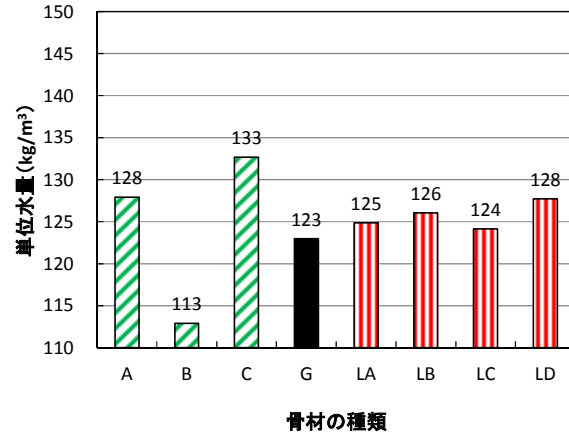
Gmax (mm)	砂利コンクリート		碎石コンクリート		
	配合参考表	実験結果	配合参考表	実験結果	
40		(0.78)		0.72~0.77	
20/25	0.76	(0.73)	0.73	碎石、石灰石	0.71~0.73
				スラグ骨材	0.70~0.73

表 4.1.2 沈下度 10 秒の増減に要する単位水量

沈下度 (秒)	補正単位水量 (kg/m ³)		
	参考表の値	Gmax (mm)	
		20/25	40
30 付近	2.5	4.3	4.1
50 付近	1.5	2.6	2.4
80 付近	1.0	1.6	1.5



(a) Gmax=20/25mm



(b) Gmax=40mm

図 4.1.3 沈下度が 30 秒となる単位水量

沈下度のほか、現場の管理に用いられているスランブを測定し、配合参考表が適用可能か検討した。

W/C を 45%、目標空気量 4.5% とし、予備試験によりスランブが 5cm となるように単位水量を 128 ~ 160kg/m³ とした配合を用いて、単位粗骨材かさ容積を 4 水準変化させた場合の沈下度の結果を図 4.1.1 および図 4.1.2 に示す。振動台式コンシステンシー試験による沈下度が最小になるときの単位粗骨材かさ容積（最適単位粗骨材かさ容積）を図 4.1.1 および図 4.1.2 より求めると、表 4.1.1 に示すとおりとなった。Gmax が 20mm の場合は碎石 A~C および石灰石（碎石）LA~LD、スラグ骨材 SA~SD については、配合参考表^{4.1)}の碎石の値とほぼ同等であった。本研究で用いた砂利 G25 については、粒径 40~25mm の砂利を破碎した玉石碎石（玉砕）であることから実験値を括弧書きとしたが、配合参考表の碎石の値と同等であった。Gmax が 40mm の場合は碎石 A~C および石灰石（碎石）LA~LD は配合参考表の碎石の値と同等かそれ以上の値を示した。砂利 G40 については、粒径が 25~5mm の玉砕と 40~25mm の砂利の混合物であり G25 と同様に実験値を括弧書きとしたが、配合参考表の砂利の値より若干大きな値を示した。

次に、単位粗骨材かさ容積を砂利 G の場合は 0.75 に、その他の粗骨材については 0.72 とし、単位水量を 3 水準変化させた場合の沈下度を求め、沈下度が 30 秒となる単位水量を逆算した結果を図 4.1.3 に示す。Gmax が 20/25mm の場合は、LB のみ 130kg/m³ と低かったが、碎石、玉砕ともに概ね 138kg/m³ 前後の値をとり、配合参考表の 140kg/m³ と近い値を示した。Gmax が 40mm の場合は、LB40 が 124kg/m³ と若干低いが、碎石は概ね 130kg/m³ であり、配合参考表の 130kg/m³ と同等であった。玉砕と砂利の混合である G40 については、123kg/m³ であり、配合参考表の砂利の値 115kg/m³ に近かった。

試験練りの結果より単位水量を補正するためには、沈下度の値に対して単位水量をどの程度補正しなければならないかを示す必要がある。そのため、沈下度を 10 秒変化させるためには単位水量を何 kg/m³ 補正する必要があるかを計算した結果、表 4.1.2 に示すとおりとなった。参考表の値に対して、今回の結果は 1.5~1.7 倍であった。この原因は、単位水量を目標スランブ 5cm（沈下度 20 秒程度）の時に設定し、その前後で単位水量を増減させたことにより、沈下度が 10~30 秒程度であり、しかも単位水量の範囲と沈下度の範囲が狭い結果を回帰して、配合参

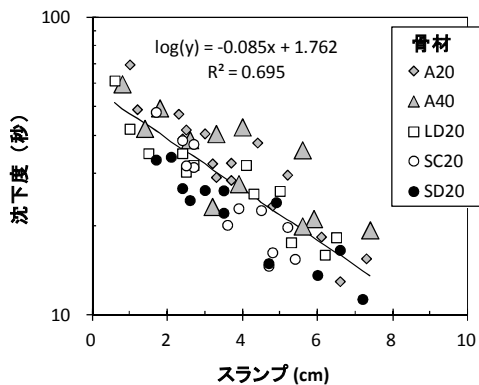


図 4.1.4 スランプと沈下度の関係

考表で示されている沈下度 30 秒、50 秒、80 秒のときの単位水量を外挿したことによるものと考えられる。

なお、配合参考表は、施工時の振動締固めを考慮して振動台式コンシステンシー試験による沈下度をベースに作成されている^{4.2)}が、振動台式コンシステンシー試験装置はあまり普及しておらず、舗装コンクリートの現場管理や配合設計は、通常はスランプ試験で行われているのが現状である。表 3.1.2 に示すロット 2 の粗骨材を用いた配合で沈下度とスランプの関係性を求めた結果を図 4.1.4 に示す。指針では沈下度 30 秒の時、スランプは 2.5cm 程度になるといわれているが、図 4.1.4 の結果を回帰してスランプ 2.5cm のときの沈下度を求めると 35 秒となり、指針の関係に近い結果が得られた。

これらのことより、表 3.1.1 および表 3.1.2 に示す粗骨材、特に石灰石やスラグ骨材も配合参考表に近い値を示し、これらを用いた舗装コンクリートの配合設計を行う際も、配合参考表を利用するのは問題ないものと考えられる。

4.2 フローテーブルによる締固め性・変形性試験

(1) 概要

前述のとおり、振動台式コンシステンシー試験装置はほとんど普及しておらず、舗装コンクリートの配合設計を行う場合においてもスランプ試験を用いているのが実態であるが、スランプ試験は振動による締固まり状態を確認することができない。また、スランプ試験はスランプ 8cm 程度のワーカブルなコンクリートの評価には適しているが、舗装コンクリートに通常用いられるスランプ 2.5cm の硬練りでありコンクリートのワーカビリティの評価には適していない。そこで本研究では、表 3.1.2 のロット 2

の粗骨材を用いて、現場・プラントで調達の容易な器具を用いた評価試験として、文献 4.3)の方法を参考に、フローテーブルを用いた締固め性・変形性試験を検討した。

(2) 試験手順

本研究で検討したフローテーブルによる締固め性・変形性試験は、次の手順によって行った。

- ①フローテーブルに CBR 供試体作製用モールド (φ150×175mm) とカラー (約 φ150×55mm) を載せる。
- ②試料が 100%締め固まったとき (締固め率 100%)、試料上面がモールドの高さとなるような量を計量し、モールドに 6 層に分けて、各層を均しながら詰める。
- ③締固め性試験：フローテーブルにより打撃を 5、10、20、40、60、80 回加え、打撃回数ごとに試料の沈下量を測定する。
- ④変形性試験：締固め性試験終了後、モールドを脱型し、試料の高さと広がり測定する。その後フローテーブルにより試料が崩れるまで打撃を 5、10、20、30、40 回加え、打撃回数ごとに試料の高さと広がり測定する。なお、打撃 40 回に達する前に試料が崩れた場合は、そこで測定を終了する。変形性の評価は、打撃回数と広がり関係を回帰し、その傾きを「広がり易さ」と定義し、これを用いる。

(3) 締固め性試験の結果

締固め率 100%に達する打撃回数と沈下度、スランプの関係を図 4.2.1 および図 4.2.2 に示す。図 4.2.1 で沈下度と締固め率 100%に達する打撃回数を比較したのは、沈下度測定時の状況 (モルタルが浮き上がり、アクリル板全面に接した時) がおおそ締固め率 100%と対応すると考えたためである。なお、本研究では、スランプ 10.5cm 程度の配合については沈下度の測定を行わなかったことから、そのときの沈下度は図 4.1.4 に示す回帰式より推測値を求め、図 4.2.1 には赤色のプロットで表現した。

粗骨材の種類ごとでは、沈下度が大きくなるほど、またスランプが小さくなるほど、すなわちコンクリートが硬くなるほど打撃回数は増えており、締固め性を示していることが分かる。しかし、沈下度 30 秒以上、スランプ 2.5cm 以下になると打撃回数の変化が大きくなり、評価が難しくなった。

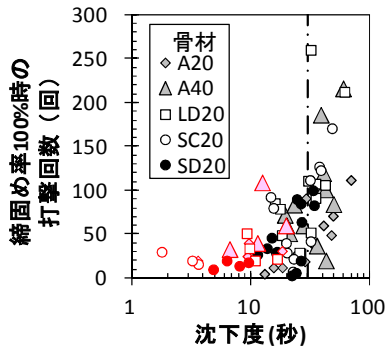


図 4.2.1 沈下度と締固め率 100%時の打撃回数との関係

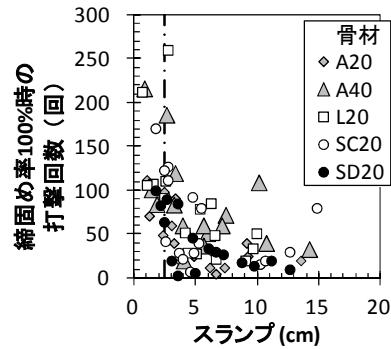


図 4.2.2 スランプと締固め率 100%時の打撃回数との関係

※本研究ではスランプ 10.5cm 程度の沈下度は測定せず、図 4.1.4 に示す回帰式より推測値を求めたため、赤色のプロットで表現した。

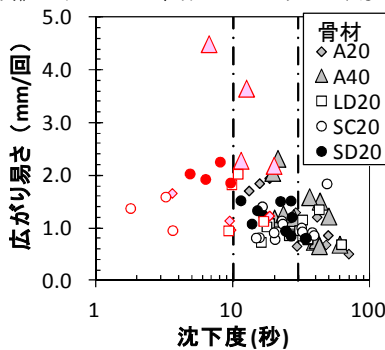


図 4.2.3 沈下度と広がり易さとの関係

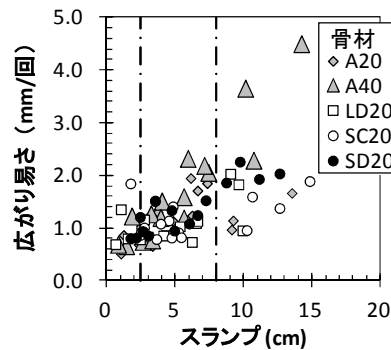


図 4.2.4 スランプと広がり易さとの関係

※本研究ではスランプ 10.5cm 程度の沈下度は測定せず、図 4.1.4 に示す回帰式より推測値を求めたため、赤色のプロットで表現した。

(4) 変形性試験 (広がり易さ) の結果

広がり易さと沈下度、スランプの関係を図 4.2.3 および図 4.2.4 に示す。

広がり易さについても、粗骨材の種類ごとに比較すると、沈下度が小さくなるほど、またスランプが大きくなるほど、すなわちコンクリートが軟らかくなるほど広がり易さは大きくなっており、変形のしやすさを示していることが分かる。ただし、沈下度 10 秒以下、スランプ 8cm 以上になると広がり易さのばらつきが大きくなり、評価が難しくなった。

(4) 最適単位粗骨材かさ容積の結果

フローテーブルを用いた締固め性・変形性試験においても、単位粗骨材かさ容積を 4 水準変化させて、締固め率 100%の時の打撃回数、広がり易さの関係を求め、打撃回数が最小、広がり易さが最大となる時の単位粗骨材かさ容積を求めた結果を表 4.2.1 に示す。

沈下度と締固め率 100%の時の打撃回数から求めた最適単位粗骨材かさ容積はほぼ一致しており、この試験方法でも沈下度と同様に締固め性を評価できるものと考えられる。広がり易さについては、グラ

表 4.2.1 最適単位粗骨材かさ容積の比較

粗骨材	単位水量 (kg/m ³)	最適単位粗骨材かさ容積		
		沈下度	締固め率 100%時の打撃回数	広がり易さ
A20	144	0.71	0.74	0.70
	146	0.69	0.74	—
	152	0.70	0.70	0.74
A40	133	0.73	0.69	—
	140	—	0.72	—
LD20	138	0.72	—	0.70
	143	0.74	0.74	—
SC20	150	—	0.74	—
	157	0.74	0.70	0.68
SD20	153	0.71	0.71	—
	159	0.76	0.73	—

フが上に凸となるような、最適単位粗骨材かさ容積を求められる場合が少なかった。広がり易さは変形性の指標であり、沈下度のように締固め性の指標とは異なることから、最適単位粗骨材かさ容積を求めることは難しいものと考えられる。

(5) まとめ

以上の結果より、フローテーブルを用いた締固め性・変形性試験は、沈下度 10~30 秒 (スランプ 2.5

～8cm) 程度の硬めのコンクリートの施工性評価に適用できる可能性があることが分かった。

4.3 材料分離試験

(1) 概要

本研究で用いた粗骨材の中で、電気炉酸化スラグSD20は密度が極めて大きい(表 3.1.1 および表 3.1.2)。このような粗骨材は沈降しやすく、材料分離を起こしやすいと考えられることから、材料分離抵抗性を評価する方法について検討を行った。

(2) 材料分離抵抗性の評価方法

材料分離抵抗性の確保には、粗骨材量を増加して変形性を抑制することが考えられる。また、材料分離は、コンクリートの流動性が大きく変形しやすい場合と、振動締固め時間が長い場合に生じやすいと考えられることから、これらの要因を検討するために、スランプや単位粗骨材かさ容積、締固め時間を表 4.3.1 および表 4.3.2 のとおり変化させて、図 4.3.1 に示す手順で曲げ供試体を作製し、硬化後の切断面を観察することで評価を行った。

(3) 検討結果

粗骨材の分布状況の例として、供試体の切断面写真を表 4.3.3 に示す。(a)は、全体に粗骨材が分布し、打設面付近まで粗骨材が確認でき、分離しなかったと評価した。(c)は、粗骨材が沈降して打設面付近に粗骨材がほとんど確認できなかったため、分離したと評価した。(b)のように、打設面付近は粗骨材が少ない、または粒径の小さなもののみが確認できるものについては、やや分離したと評価した。

骨材分離試験の結果を表 4.3.4 に示す。通常の粗骨材を使用し、単位粗骨材かさ容積を配合参考表に示されている値(碎石で 0.73)程度確保しておけば、スランプ 10cm 程度でも、曲げ供試体の締固めに必要な時間(1)だけバイブレータによる振動を加えても、粗骨材の分離はわずかであった。しかし、電気炉酸化スラグの場合は、単位粗骨材かさ容積を 0.73 程度確保し、スランプは 2.5cm 程度で、曲げ供試体の締固めに必要な時間だけバイブレータによる振動を加えた場合のみ、粗骨材の分離はわずかであったが、それ以外の条件では分離が大きかった。

以上の結果より、密度が大きい粗骨材を使用する場合は、施工時に材料分離を生じていることを確認することが難しいため、配合設計時の単位粗骨材かさ容積、スランプの制限などの設定のための検討に役立つものと考えられる。また、施工時には、単位水量の調整や、振動レベルに応じた締固め固まり状態

表 4.3.1 材料分離抵抗性評価に用いたコンクリートの配合条件

W/C	45%
かさ容積	0.62、0.67、0.72、0.76
目標SL	2.5cm、6.5cm、10.5cm
単位水量	かさ容積0.72の時に目標スランプとなるように設定
目標空気量	4.5±1%

表 4.3.2 締固め時間

目標SL (cm)	締固め時間 (秒)		
2.5	10	20	30
6.5	8	15	30
10.5	5	10	20
締固め時間の呼び値	1	2	3

※締固め時間 1 は、適切な締固めに要する時間

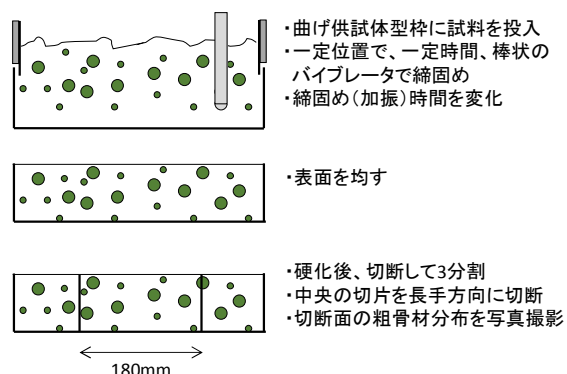


図 4.3.1 材料分離試験の手順

を判断するための参考になるものと考えられる。

4.4 ダレ試験

(1) 概要

施工条件などから、スランプの大きなコンクリートを使用する場合、勾配の大きい場合は仕上げ面のダレが懸念される。そこで本研究では、文献 4.4)を参考としたダレ試験を行った。

(2) ダレ抵抗性の評価方法

ダレ試験は、曲げ供試体を作製し、片側を高くして傾斜を付け、硬化後に表面の変形を測定して変形した角度を求めた。供試体の傾斜は、現場における表面仕上げまでの時間を考慮し、コンクリート練上がりより 1 時間後とし、角度は道路構造令の最大勾配 12%を考慮し、4 度(勾配 7%)および 8 度(勾配 14%)とした。

表面の変形は、図 4.4.1 に示すように打設面の高さを測定し、図 4.4.2 に示すように型枠より 50mm 内側の測定結果を回帰して傾きを算出し、ダレ角度

表 4.3.3 切断面の粗骨材分布状況と分離の判定例 (SD20)

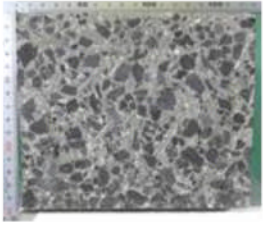


○:分離なかった	△:やや分離した	×:分離した
		
(a) 粗骨材SD20、実測SL2.4cm、かさ容積0.72、締固め時間1	(b) 粗骨材SD20、実測SL1.7cm、かさ容積0.62、締固め時間1	(c) 粗骨材SD20、実測SL2.4cm、かさ容積0.72、締固め時間3

表 4.3.4 骨材分離試験の結果

		凡例: ○:分離なかった △:やや分離した ×:分離した															
単位粗骨材 かさ容積	実測 SL	0.62			0.67			0.72			0.76						
		締固め時間			締固め時間			締固め時間			締固め時間						
使用骨材		A20 (硬質砂岩碎石)															
目標SL (cm)	2.5	1.8	○	○	△	3.5	○	○	△	2.7	○	○	△	4.0	○	○	△
	6.5	2.5	○	○	△	3.7	○	○	△	5.2	○	○	△	4.4	○	○	△
	10.5	6.2	○	△	×	9.2	○	△	×	9.1	○	△	×	13.5	○	△	×
使用骨材		A40 (硬質砂岩碎石)															
目標SL (cm)	2.5	0.8	○	○	△	1.4	○	○	△	3.3	○	○	△	2.6	○	△	×
	6.5	3.2	○	△	×	5.6	○	△	×	5.6	○	△	×	7.4	○	×	×
	10.5	7.1	○	×	×	10.1	○	×	×	10.7	○	×	×	14.2	△	×	×
使用骨材		LD20 (石灰石碎石)															
目標SL (cm)	2.5	0.6	○	○	△	1.5	○	○	△	2.4	○	○	△	2.7	○	△	△
	6.5	2.5	○	○	△	5.3	○	○	△	6.2	○	○	×	6.5	○	△	△
	10.5	6.6	○	△	×	9.6	○	△	×	9.0	○	○	×	9.9	○	△	×
使用骨材		SC20 (高炉スラグ)															
目標SL (cm)	2.5	1.7	○	○	○	2.4	○	○	○	2.7	○	○	○	2.7	○	○	○
	6.5	4.7	○	○	○	5.4	○	○	△	5.2	○	○	△	4.8	○	○	△
	10.5	10.6	○	○	△	14.8	○	○	△	10.2	○	△	×	12.6	△	△	×
使用骨材		SD20 (電気炉酸化スラグ)															
目標SL (cm)	2.5	1.7	○	△	×	2.6	○	×	×	2.4	○	×	×	3.5	○	×	×
	6.5	4.7	○	×	×	7.2	△	×	×	6.6	△	×	×	6.0	△	×	×
	10.5	8.7	△	×	×	12.6	×	×	×	9.7	×	×	×	11.1	×	×	×

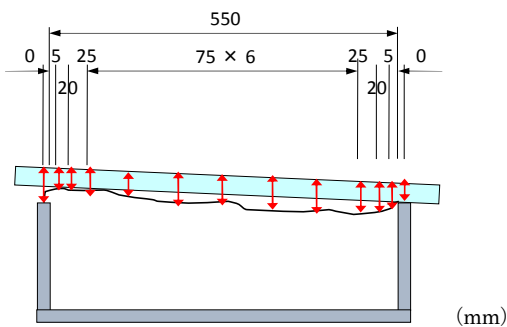


図 4.4.1 ダレの測定方法

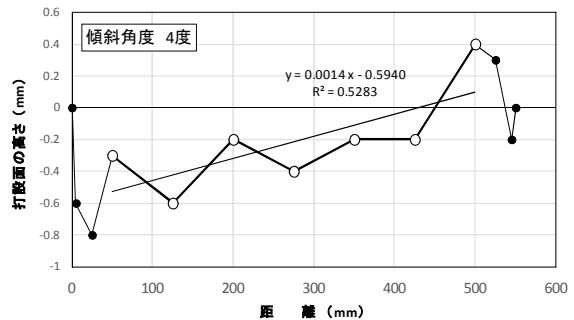


図 4.4.2 ダレ角度の算出方法

を求めた。

(3) 検討結果

スランプの実測値とダレ角度の結果を図 4.4.3 に示す。スランプが大きいほどダレ角度は小さくなる

傾向を示しており、通常考えられる傾向と異なる結果が得られた。

単位粗骨材かさ容積ごとに、ダレ角度の平均値と標準偏差を求めた結果を図 4.4.4 に示す。単位粗骨

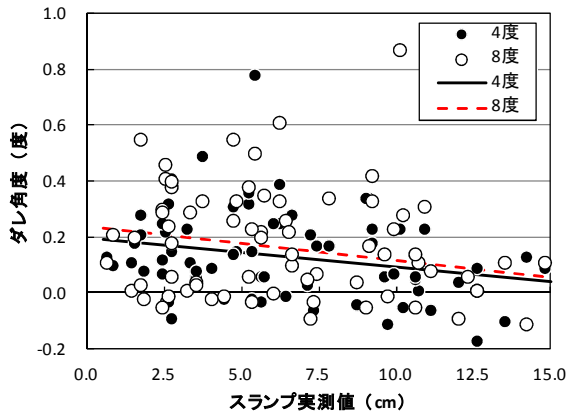


図 4.4.3 スランプとダレ角度の関係

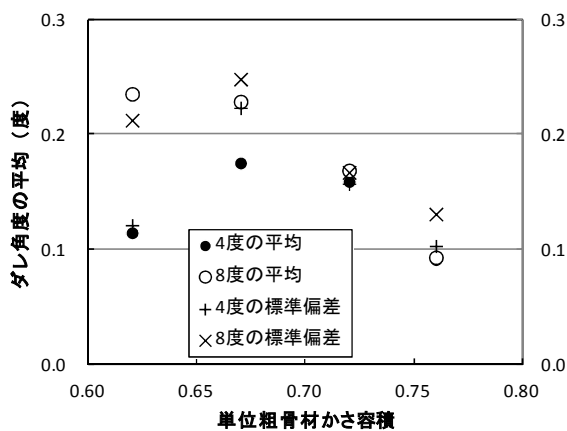


図 4.4.4 単位粗骨材かさ容積とダレ角度の関係

材かさ容積が大きいほどダレ角度は小さくなっている。なお、単位粗骨材かさ容積 0.62 のダレ角度が小さくなっているのは、この実験に用いたコンクリートの単位水量を、単位粗骨材かさ容積 0.72 のときに目標スランプとなるように設定したため、単位粗骨材かさ容積が小さくなるほど細骨材量が増え、スランプが小さくなったためと考えられる。

この結果より、単位粗骨材かさ容積が大きくなるほど粗骨材量が増え、モルタル量が減ること、そのため粗骨材間の空隙を充填するモルタルと、粗骨材の周りのモルタル以外の余分なモルタルが減ることにより、表層の変形しやすいモルタル層が薄くなること、粗骨材によって全体の変形が拘束されやすくなったことによるものと考えられる。従って、勾配のある場所でダレに対する抵抗性が求められる場合は、ある程度の単位粗骨材かさ容積を確保する必要があることが分かった。ダレの基準値については、今後、試験施工等の検討を重ね、設定する必要があると思われる。

ると思われる。

5. 種々の粗骨材を用いた舗装コンクリートの硬化後の性状に関する検討

5.1 曲げ強度

(1) 概要

コンクリート舗装は、曲げ強度によって設計されているため、曲げ強度は最も基本的な設計用値である。曲げ強度は、曲げ引張りひ割れの発生によって決まるため、コンクリート中の半分程度を占める粗骨材の品質の影響は大きいことが予想されることから、曲げ強度と粗骨材品質の関係について検討した。

(2) 曲げ強度の検討内容

粗骨材の最大寸法20mmまたは25mmの12種類（石灰石4種類、高炉スラグ3種類、電気炉酸化スラグ1種類、砕石3種類、砂利1種類）と、最大寸法40mmについてはスラグ骨材を除く8種類、合計20種類の粗骨材について、水セメント比を40、45、50、55%の4水準変化させて曲げ強度試験を行い、粗骨材の吸水率、破砕値との関係を求めた。

(3) 曲げ強度試験結果

砂利に対して砕石、石灰石、スラグ骨材ごとにセメント水比と曲げ強度の関係を図 5.1.1 と図 5.1.2 に示す。

図 5.1.1 と図 5.1.2 の結果より、砂利の場合と比較して砕石と石灰石は、同じセメント水比であれば、強度は大きく、スラグは砂利と同程度であり、粗骨材の種類によって強度性状は多少異なるようである。

次に、最大寸法について比較すると、図 5.1.3 のように最大寸法 20 または 25mm の方が 40mm よりも曲げ強度が大きくなる傾向がある。同じ強度を得るには、最大寸法 40mm の場合は 20 または 25mm の場合よりも水セメント比を小さくする必要がある。

粗骨材の吸水率、破砕値と曲げ強度の関係を図 5.1.4 と図 5.1.5 に示す。両者には明確な関係は見られない。粗骨材品質がかなり低下している場合、コンクリート強度への影響も考えられるが、今回使用した粗骨材は、高炉スラグの 1 種類の吸水率が区分 L に分類される結果であったが、そのほかの品質は JIS の規格値を満足するものであったことから、これらが曲げ強度に及ぼす影響はほとんどなかったものと考えられる。

(4) 曲げ強度の確保

舗装コンクリートの設計基準曲げ強度は 4.5MPa と決められており、生コンプラントの変動係数によ

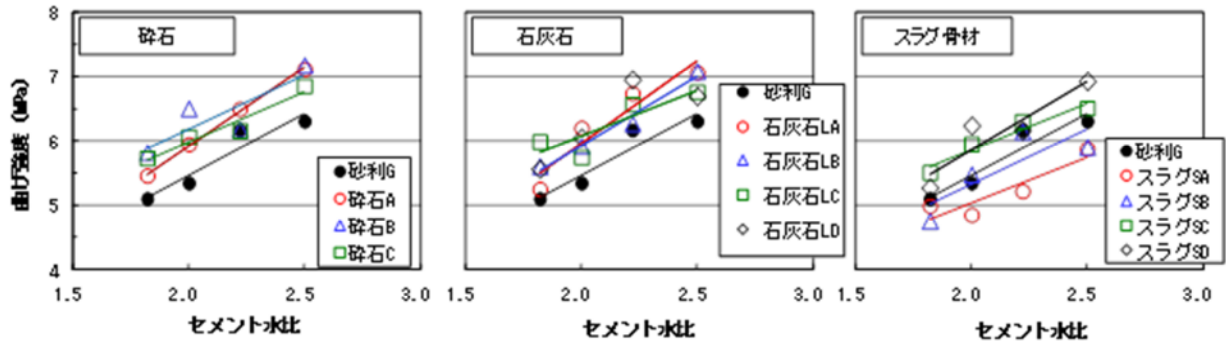


図 5.1.1 セメント水比と曲げ強度の関係 (Gmax : 20/25mm)

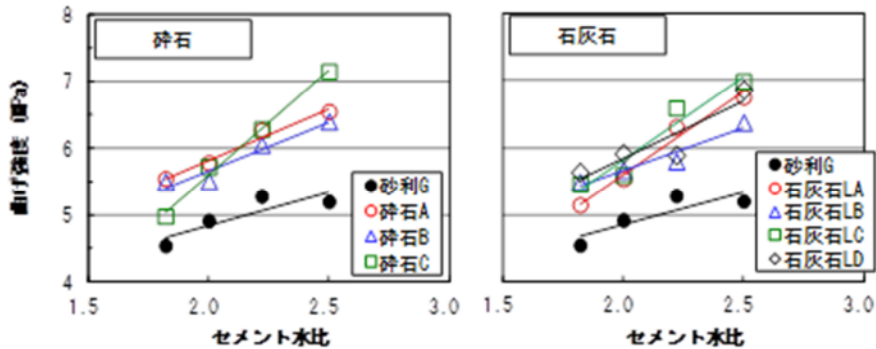


図 5.1.2 セメント水比と曲げ強度の関係 (Gmax : 40mm)

って配合強度が設定される。JIS 規格を満足する品質の粗骨材であれば、配合強度は、その強度が得られる水セメント比によって設定できる。

5. 2 弾性係数

(1) 検討概要

コンクリートの弾性係数は、コンクリート舗装の理論的設計法において設計用値として用いられ、輪荷重応力、温度応力の算出に必要である。特に温度応力に対する影響は大きく、弾性係数の増減に対して温度応力は直線的に変化する。

コンクリートの弾性係数試験方法は、JIS A 1149 に円柱供試体による圧縮試験から求める方法が規定されている。しかし、舗装標準示方書では、舗装用コンクリートの弾性係数は原則、曲げ試験による荷重-たわみ関係から算出するように記述されている。また、圧縮試験による測定および参考表を用いる方法が解説に記載されている。ところが、曲げ弾性係数を測定する具体的な方法は示されていないことから、(2)に示す曲げ弾性係数試験方法による曲げ弾性係数と圧縮弾性係数の関係を求めた。また、参考表の値は普通コンクリートの圧縮弾性係数の結果を示しており、舗装コンクリートに適用することの妥当

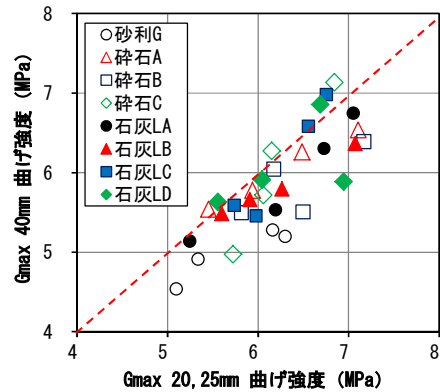


図 5.1.3 Gmax : 20/25mm と 40mm の曲げ強度の比

性を検討した。

そこで、同じ配合のコンクリートから円柱供試体と曲げ供試体を作製し、JIS A 1149 による方法より圧縮弾性係数を、曲げ試験による方法から曲げ弾性係数を求めた。また、同時に静的な曲げおよび圧縮強度を測定し、示方書参考表との関係について検討した。

(2) 曲げ弾性係数の測定方法

曲げ弾性係数の測定は、JIS A 1106 による曲げ強

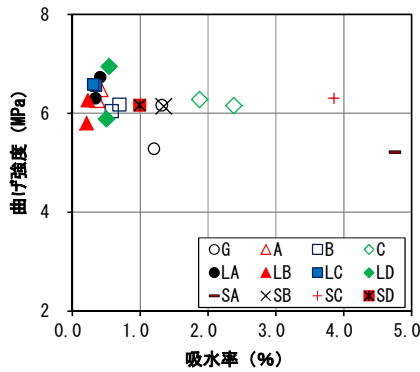


図 5.1.4 粗骨材の吸水率と曲げ強度の関係

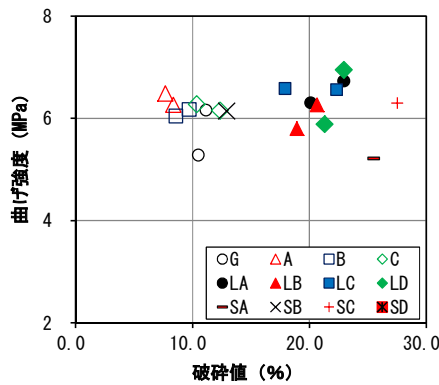


図 5.1.5 粗骨材の破砕値と曲げ強度の関係

度試験時にたわみを測定して、たわみと荷重の関係から求めた。供試体は 150×150×530mm の曲げ供試体であり、3 等分 2 点载荷にて曲げ試験を行い (N=3)、供試体中央のたわみを測定した。たわみの測定方法の概略を図 5.2.1 に、供試体に器具を装着した状況を写真 5.2.1 に示すとおり、たわみ測定装置を供試体に取り付けることにより測定できる。

舗装標準示方書によると曲げ弾性係数は、曲げ強度の 1/2 におけるたわみから求めると規定している。今回は、载荷開始時のイニシャル値が不安定であったことより、たわみ量を 5μm から最大荷重の 1/2 までのたわみ量とし、この範囲の荷重・たわみ量関係を一次回帰し、その傾き P/δ を用いて式 (5.2.1) より弾性係数を算出した。

$$E = \frac{P}{\delta} \left(\frac{23 \times L^3}{648 \times I} \right) \quad (5.2.1)$$

ここに、 P/δ : 荷重・たわみ曲線の傾き (N/mm)
 L : 供試体長さ (mm)
 I : 供試体の断面 2 次モーメント (mm⁴)
 E : 弾性係数 (MPa)

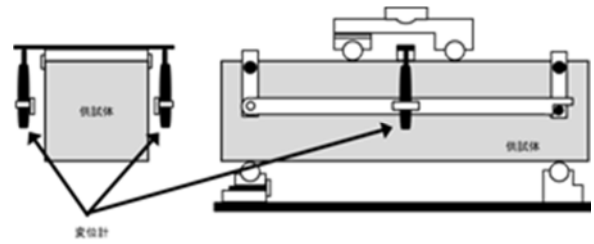


図 5.2.1 たわみの測定方法の概略



写真 5.2.1 曲げ供試体にたわみ測定器具を装着

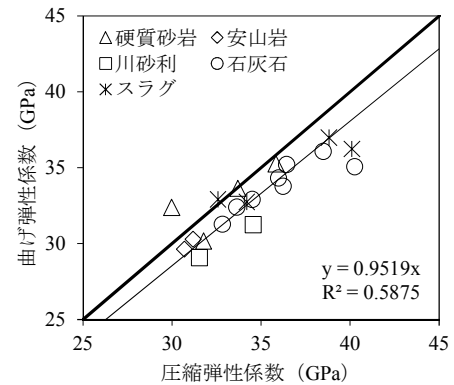


図 5.2.2 圧縮弾性係数と曲げ弾性係数の関係

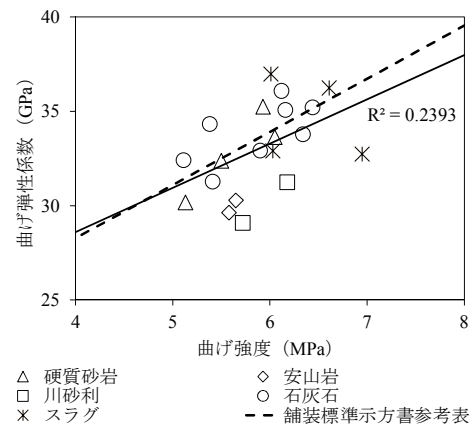


図 5.2.3 曲げ強度と曲げ弾性係数の関係

(3) 検討結果

圧縮弾性係数と曲げ弾性係数との関係を図 5.2.2 に示す。図 5.2.2 に示すように、曲げ弾性係数と圧縮弾性係数は強い相関を示し、原点を通るように回帰すると曲げ弾性係数の方が 5%程度小さい傾向が

示された。また、示方書の参考表はコンクリートの曲げもしくは圧縮強度と弾性係数の関係が示されている。そこで本研究結果の曲げ強度と曲げ弾性係数との関係を図 5.2.3 に示す。結果として、ばらつきは大きいが本試験結果の近似曲線と示方書の参考表の値は似た傾向を示した。

よって、JIS A 1149 による圧縮弾性係数試験の他、曲げ試験による荷重-たわみ関係から算出することを原則とする舗装標準示方書の記述を受けて本研究で提案した曲げ試験による弾性係数試験方法の測定も可能であることが確認された。

5.3 曲げ疲労強度

(1) 検討概要

コンクリート舗装は、コンクリートに曲げ繰返し荷重が作用する構造物であり、設計においては輪荷重応力と温度応力の繰返し作用に対して照査を行う。よって、コンクリートの疲労特性は重要な性能の一つである。本検討では、岩種、産地、最大寸法が異なる 14 種類の粗骨材を用いた舗装用コンクリートの曲げ疲労試験を行い、骨材種類や物性がコンクリートの曲げ疲労特性に及ぼす影響について検討した。試験は、150×150×530mm の矩形供試体を成形し、材齢 91 日以降に三等分点荷重によって 5Hz のサイン波で応力レベル 0.9、0.8、0.7 の繰返し荷重を与えて行った。供試体は試験まで標準水中養生し、試験中は供試体の乾燥を防ぐためにグリスとフィルムにて封緘した。

(2) 検討結果

種々の骨材種類や最大寸法 2 水準 (20mm と 40mm) で曲げ疲労試験を行った結果を図 5.3.1 に示す。その結果、使用した骨材種類間に有意差は認められず、粗骨材最大寸法や骨材物性の疲労特性への影響も認められなかった。

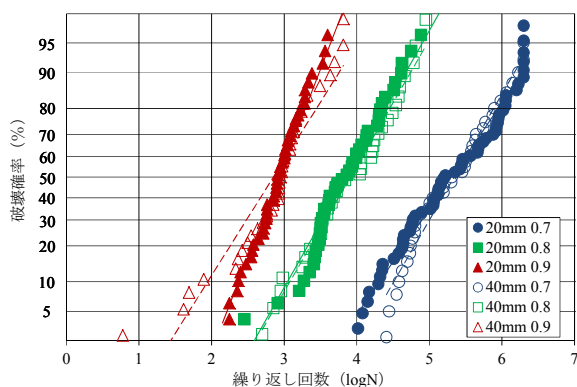


図 5.3.1 粗骨材最大寸法別の繰返し載荷数と破壊確率の関係 (全試験結果より)

また、既往の試験結果と比較したところ、載荷治具が異なる文献 5.1) とは有意差が認められたが、同等の試験条件であった文献 5.2) とは認められなかった。そこで、本試験結果及び文献 5.2) の結果より、疲労曲線を下記の式 (5.3.1) の形式で算出し既往の疲労曲線と比較した。結果を図 5.3.2 および表 5.3.1 に示す。

$$Sr = b - a \cdot \log N \quad (5.3.1)$$

ここに Sr : 応力レベル
 N : 疲労破壊時の繰返し載荷数
 a, b : 試験により求まる係数

結果として、得られた疲労曲線は舗装標準示方書 2014 と 2007 に記載された疲労曲線に挟まれるように位置し、既往の疲労曲線と大きく異ならなかった。以上の結果より、コンクリート舗装の理論的設計においては、最新版の舗装標準示方書 2014 に示されている疲労曲線を用いれば良いと考えられる。

5.4 長さ変化

5.4.1 試験概要

舗装版は薄く長い版であることから、コンクリー

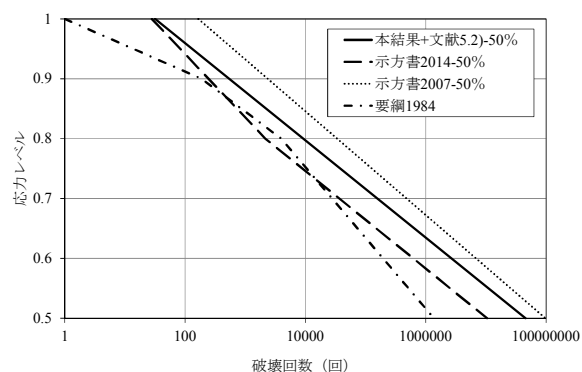


図 5.3.2 各疲労曲線

表 5.3.1 本結果及び文献 5.2) の結果より得られた疲労曲線式の係数

破壊確率 (%)	a	b
10	0.0868	1.0694
20	0.0849	1.0883
30	0.0835	1.1014
40	0.0823	1.1121
50	0.0812	1.1218
60	0.0802	1.1313
70	0.0790	1.1410
80	0.0778	1.1521
90	0.0760	1.1667

トの体積変化と、温度による長さ変化の影響を強く受ける。体積変化には乾燥収縮、自己収縮がある。温度による長さ変化は線膨張係数によることから、各種粗骨材を用いた舗装コンクリートのこれらの測定を行った。

5.4.2 乾燥収縮試験

(1) 検討概要

粗骨材の種類によって乾燥収縮率が異なり、これは、コンクリートの乾燥収縮率にも影響する^{5.3)}。コンクリートの乾燥収縮ひずみはJIS A 1129「モルタル及びコンクリートの長さ変化測定方法」に定められているが、舗装用コンクリートで乾燥収縮を測定した例は少ない。そこで、JIS A 1129-2に準じコンクリートの乾燥収縮率の測定を行い、使用した骨材種類との関係について検討した。

(2) 検討結果

舗装用コンクリートの乾燥収縮率測定結果を図5.4.1に示す。結果として、乾燥期間26週におけるコンクリートの乾燥収縮率は、骨材の乾燥収縮率が小さかった石灰石およびスラグ骨材で小さくなった。また、粗骨材の乾燥収縮率とコンクリートの乾燥収縮率の関係を図5.4.2に示す。スラグ、石灰石の乾燥収縮率はわずかであり、コンクリートの乾燥収縮率は、図5.4.2

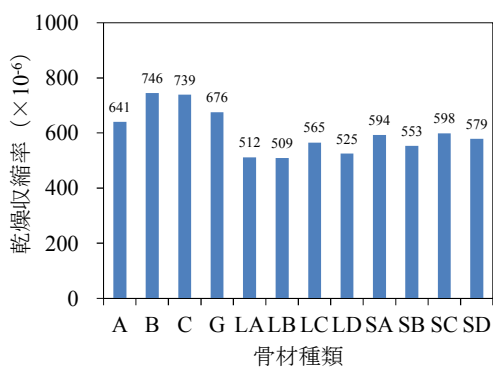


図 5.4.1 各コンクリートの乾燥収縮率

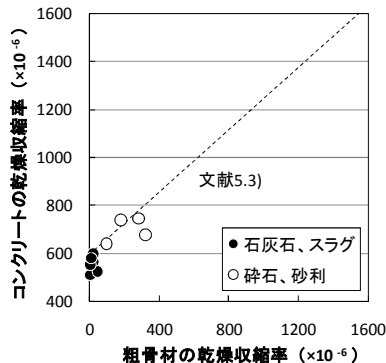


図 5.4.2 コンクリートと骨材の乾燥収縮率の関係

に示すように600×10⁻⁶以下であった。天然骨材の乾燥収縮率は数100×10⁻⁶であり、骨材の乾燥収縮率が大きいほどコンクリートの乾燥収縮率も大きくなる傾向がある。図中に文献5.3)に示されている関係を破線で示しているとおり、本研究の結果はほぼ同様の結果が得られている。

コンクリート舗装の設計において、コンクリートの乾燥収縮率は連続鉄筋コンクリートのひび割れ幅の照査に使用されるが、照査で必要となるのは実際の舗装版における乾燥収縮率であるため、今後は試験の結果と実物の舗装版の乾燥収縮率の関係性について評価していく必要がある。

5.4.3 自己収縮

(1) 検討概要

自己収縮とは、セメント系材料においてセメントの水和により凝結過程および凝結以後に巨視的に生じる体積減少のことであり、自己収縮には物質（主として水分）の侵入や逸散、温度変化、外力や外部拘束により発生する自己応力に起因する変形は含まない。これは、W/Cの低い高強度コンクリートにおいて問題となっている。舗装コンクリートも一般的なW/Cは42%と低いものが用いられており^{5.4)}、自己収縮の発生が懸念される。そこで、本検討では舗装コンクリートの自己収縮率の測定を行った。自己収縮試験はJCI-SAS2-2（セメントペースト、モルタルおよびコンクリートの自己収縮および自己膨張試験方法）を参考に行った。ただし、自己収縮ひずみの測定は埋め込み式のひずみゲージを用いて測定した。

(2) 検討結果

試験結果を表5.4.1に示す。結果として、今回の検討の範囲では舗装用コンクリートに自己収縮の発生はほとんど確認できなかった。ここで検討した範囲では、自己収縮の影響は大きくなかった。

表 5.4.1 各コンクリートの自己収縮ひずみ

骨材種類	自己収縮ひずみ (×10 ⁻⁶)
A20	-16
B20	-22
C20	-5
G25	-14
LA20	5
LB20	1
LC20	-5
LD20	8
SA20	11
SB20	11
SC20	31
SD20	8
A40	-14
LA40	0

5.4.4 線膨張係数

(1) 検討概要

線膨張係数はコンクリートの温度変化による体積変化の大小を表す指標であり、コンクリート舗装の設計においては、理論的設計において設計用値として使用する。線膨張係数は温度応力の算定に使用し、弾性係数と同様に線膨張係数の増減に対して温度応力は直線的に変化する。舗装標準示方書では普通セメントを使用した場合 $10 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$ 、高炉セメントB種を使用した場合は $12 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$ としてよいとされており、セメント種類によって線膨張係数が変化することが示されている。本検討では、舗装コンクリートに用いる粗骨材が異なる場合の線膨張係数への影響を評価するため、各種粗骨材を用いた舗装コンクリートの線膨張係数試験を実施した。試験では、自己収縮試験終了後の供試体を用い、封緘した供試体に $20^{\circ}\text{C} \sim 60^{\circ}\text{C}$ の温度履歴を与え各温度におけるひずみを測定し直線近似し線膨張係数を求めた。

(2) 検討結果

試験結果を表5.4.2に示す。舗装用コンクリートの線膨張係数は使用する粗骨材によって異なり、石灰石は $8 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$ 程度、その他はおおよそ $10 \sim 12 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$ であった。理論的設計を行う場合、本検討では普通セメントを使用しているため、示方書では参考値として $10 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$ が示されているが、石灰石はそれよりも小さい値を示しており、温度応力に対して有利である。なお、 $10 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$ よりも大きい結果が示された場合もあり、実務にあたっては注意する必要がある。

5.5 すり減り抵抗性

(1) 検討概要

舗装コンクリートにおいては、舗装表面を交通車両が通過するため、すり減り抵抗性は性能として重要である。本検討では、舗装コンクリートのすり減り抵抗

性に及ぼす要因について、回転ラベリング試験を行うことにより、コンクリートのすり減り抵抗性に及ぼすコンクリートの配合、圧縮強度および粗骨材の品質について検討を行った。その試験方法と試験結果について記述する。

(2) 試験方法

コンクリートのすり減り抵抗性の評価は、回転スパイクチェーン型ラベリング試験を行い(写真5.5.1)、すり減り量で評価した。試験方法は、「舗装調査・試験法便覧」に準じて表5.5.1に示す条件で行い^{5.5)}、供試体の形状は、台形(上底:21cm、下底:32cm、高さ:20cm、厚さ:5cm)とし、一水準につき供試体を2枚作製した。また、供試体は試験開始まで水中(20°C)養生を行った。

ラベリング試験では、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5千回転プレロード走行を行った。その後、タイヤチェーンをタイヤに装着し、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、供試体3断面で摩耗深さをレーザー変位計によって測定し、コンクリートのすり減り量を求めた。

(3) 結果の概要

骨材の種類とコンクリートのすり減り量の関係を図5.5.1に、骨材の破砕値およびすりへり減量とコンクリートのすり減り量の関係を図5.5.2に示す。

主な傾向は次のとおりであった。

- 舗装用コンクリートのすり減り抵抗性は、粗骨材のすりへり減量、あるいは破砕値に大きく影響を受ける。
- 粗骨材のすりへり減量、破砕値と舗装用コンクリートのすり減り抵抗性は相関が高く、粗骨材の破砕値はコンクリートのすり減り抵抗性の評価に利用

表 5.4.2 各コンクリートの線膨張係数

骨材種類	線膨張係数 ($\times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$)
A20	11.5
B20	10.0
C20	10.0
G25	11.6
LA20	8.5
LB20	8.0
LC20	8.0
LD20	8.4
SA20	10.1
SB20	11.4
SC20	10.8
SD20	11.5
A40	12.3
LA40	8.7

表 5.5.1 ラベリング試験条件

試験温度	20 $^{\circ}\text{C}$	輪荷重	1.47kN
供試体回転速度	20km/h	供試体個数	12個
プレロードタイヤ	145/80/13R	タイヤ空気圧	157kPa
タイヤ回転速度	20km/h	タイヤキャンバー角	1.5度
タイヤシフト幅	$\pm 20\text{mm}$	タイヤシフト速度	20mm/min
スパイクピン数	54本	散水量	2L/min



写真 5.5.1 回転ラベリング試験機

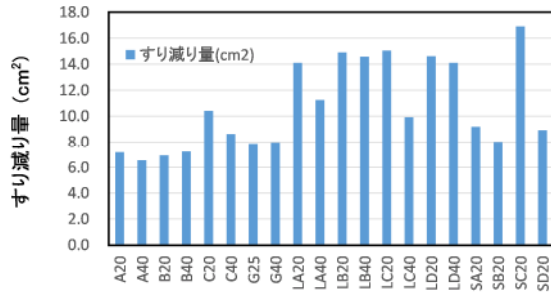


図 5.5.1 骨材の種類とすり減り量の関係

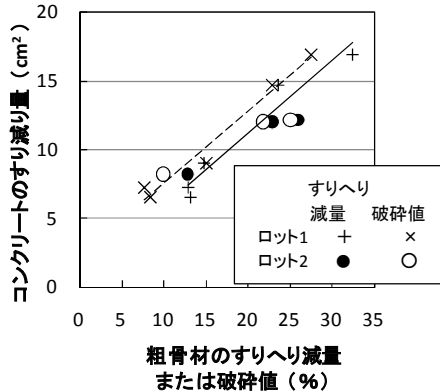


図 5.5.2 骨材の破砕値、すり減り減量とコンクリートのすり減り量の関係

できる可能性がある。

- c) 今回の試験では、一部の石灰石骨材とスラグを用いたコンクリートで、摩耗抵抗性が小さい傾向が見られた。

5. 6 すべり抵抗性

(1) 検討概要

コンクリート舗装は、打設面が交通の要に供されることから、表層のすべり抵抗性が重要な要求性能となる。本検討では、すべり抵抗性を評価するために回転ラベリング試験機を用いた試験を行い、石灰石骨材とスラグ骨材を用いたコンクリートのすべり抵抗性に関する評価を試みた。その試験方法と試験結果について記述する。

(2) 試験方法

コンクリートのすべり抵抗性の評価は回転ラベリング試験機を用いて促進摩耗試験を行い、BPN で評価した(写真 5.6.1)。回転ラベリング試験機は室内で供試体上にタイヤの通過を再現し、舗装のすり減り量を評価する試験機である。コンクリート舗装のすべり抵抗性は、ノーマルタイヤの通過により減少することが既往の研究により報告されているため、本検討ではノーマルタイヤを用いて試験を実施した。試験条件は表 5.5.1 のノーマルタイヤとした。

試験手順は次のとおり、粗骨材露出面積を増加させながらすべりを測定した。

- ① コテ仕上げした供試体表面の BPN を測定した。
- ② ノーマルタイヤを走行させ、BPN を 1 万回ごとに測定した(ステップ 1)。
- ③ 砂(エメリー砂)を散布しながら 1 万回走行させ表面を研磨した。
- ④ 骨材露出率(コンクリート面積に対する粗骨材面積の比率)測定後、BPN を測定し、②を実施した(ステップ 2)。
- ⑤ ③、④をさらに 2 回実施した(ステップ 3、4、研磨量は表面から約 1mm)。
- ⑥ ショットブラストを行って、研磨量を表面から数 mm 増やした後、③、④を実施した(ステップ 5)。
- ⑦ 表面から 10mm 深さで切断し、③、④を実施した(ステップ 6)。

(3) 結果の概要

走行回数ごとの BPN の測定結果の関係を図 5.6.1 に、BPN と骨材露出率の関係を図 5.6.2 に示す。

主な傾向は以下のとおりであった。

- a) 粗骨材が露出していない状態(モルタル部)では、粗骨材の種類に関わらず、タイヤによるすり磨き作用によって BPN 値が 70 から 35 程度まで低下する傾向が見られた。
- b) 表面研磨をした結果、すべり抵抗性が回復し、その後タイヤのすり磨き作用による BPN の大きな低下は見られず、粗骨材の種類による BPN の差も認められなかった。
- c) 供試体切断後においては、タイヤによるすり磨き作用により、石灰石粗骨材(LC20)およびスラグ粗骨材(SC20、SD20)の BPN 値は、硬質砂岩砕石(A20)および砂利(G40)と比較すると、若干低い結果となった。
- d) 全ての粗骨材において、骨材露出率と BPN の初期値の間には高い相関性が見られ、骨材露出率が大きくなるほど、BPN 値が低下する傾向が見られた。
- e) BPN の収束値と粗骨材のすりへり減量および破砕値との間には、相関性は確認されなかった。

(4) 今後の検討課題

骨材の種類によるすべり抵抗性には明確な差が見られなかった。今回の試験方法では、エメリー砂がモース硬度で 8~9 と硬いものを使用したが、そのために比較的硬い砕石も柔らかい砕石も同じように研磨された可能性がある。PSV 試験と同様に、研磨用の砂の粒度を 2 種類使用するなどエメリー砂の硬度と粒



写真 5.6.1 すべり試験の状況

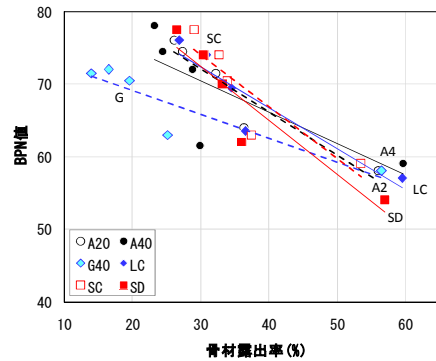


図 5.6.2 骨材露出率と BPN の関係

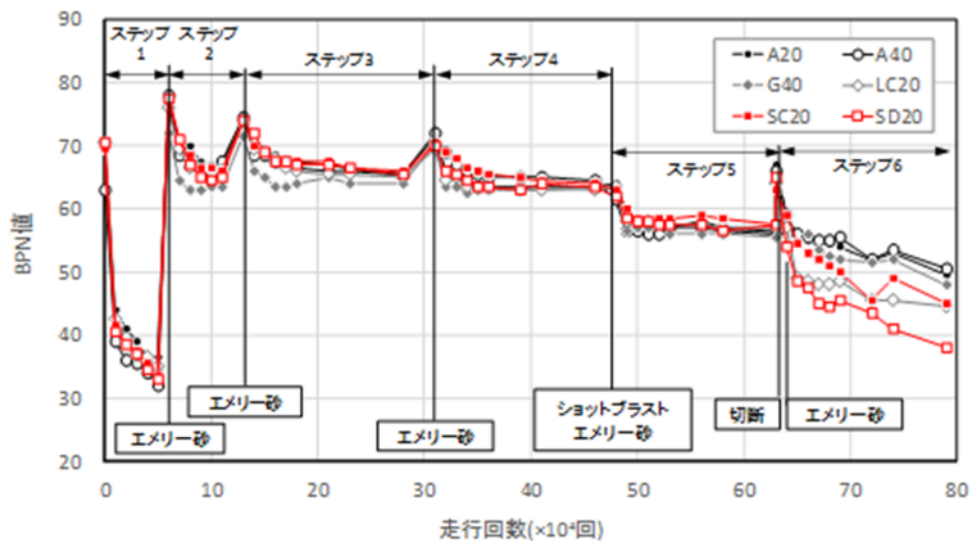


図 5.6.1 走行回数と BPN の測定結果

径については検討の余地があるものと考えられる。

また、研磨量の大きな骨材は、露出面がモルタル部よりも低くなった可能性も有り、BPN ではうまく評価できなかつた可能性もある。

5.7 耐久性

5.7.1 概要

舗装コンクリートは、打設面が直接交通荷重を受けるとともに、外気にさらされ、特に積雪寒冷地等では凍結防止剤が散布されるなど、厳しい環境で供用されている。そのため、舗装コンクリートの凍結融解抵抗性やスケーリング抵抗性の確保および評価は重要と考えられる。そこで、舗装コンクリートの凍結融解抵抗性に及ぼす骨材品質の影響について検討を行い、その検討内容および結果については、5.7.2に示す。また、舗装コンクリートのスケーリング抵抗性についても検討を行い、その検討内容および結果については、5.7.3に示す。

5.7.2 凍結融解抵抗性

(1) 概要

一般に、骨材はコンクリートの体積の多くを占めているため、骨材の品質はコンクリートの諸性状に大きな影響を及ぼすと考えられる。コンクリートの骨材には細骨材と粗骨材があるが、コンクリートの凍結融解抵抗性に及ぼす骨材の影響は細骨材よりも粗骨材が大きいことが指摘されている^{5,6)}。土木学会コンクリート標準示方書〔施工編〕^{5,7)}では、コンクリートの耐凍害性を確保するうえで必要とされる粗骨材の品質として、JISA 1122 の安定性試験の操作を 5 回繰り返して実施したときの損失質量が 12%を超えないことを標準としている。

舗装コンクリートは一般的なコンクリートよりも粗骨材量が多いことを特徴とする。このため、舗装コンクリートは、一般的なコンクリートよりも、粗骨材の性状が凍結融解抵抗性に及ぼす影響を大きく受ける可能性を有しているといえる。本研究では、種類や

産地等が異なる粗骨材を使用した舗装コンクリートの凍結融解試験を実施し、骨材の種類や品質が舗装コンクリートの凍結融解抵抗性に及ぼす影響について検討した。

(2) 問題点

コンクリートの耐凍害性はJIS A 1148によって判定することが多い。JIS A 1148の試験方法は、使用材料や配合などが異なるコンクリートの凍結融解抵抗性を相互に比較するためのものであるとされており、本研究のように骨材の種類や品質の影響を相対的に評価する場合には適しているといえる。コンクリート標準示方書〔設計編〕^{5.8)}では、コンクリート構造物が所要の耐凍害性を満足するために必要な凍結融解試験における相対動弾性係数を示しているが、これらの値はコンクリート構造物の耐用年数を示すものではなく、コンクリート構造物の耐凍害性を直接的に評価する方法は確立されていない。

コンクリート表面のスケーリングによる劣化は、外観の変化に対する影響度が大きく、劣化の機構によって構造物の性能に与える影響が異なる場合もある。JIS A 1148による試験方法でも供試体の質量変化量を測定することになっているが、ここで測定される質量変化量はスケーリングによる表層の劣化を定量化するには適していない可能性があることが指摘されている^{5.9)}。文献^{5.8)}、^{5.9)}では、コンクリートのスケーリング量の測定あるいはスケーリングに対する抵抗性の試験方法として、ASTM C 672法、RILEM CDF法およびRILEM CDF法を参考にした「けい酸塩系表面含浸材の試験方法(案)(JSCE-K 572-2012)」^{5.10)}の「6.10スケーリングに対する抵抗性試験」を適用できることを示している。ただし、現在国内ではデータが十分に蓄積されていないことが課題とされており、ASTM C 672法によるスケーリング試験について別途検討した。その結果は5.7.3項に記載している。

(3) 検討内容

12種類の粗骨材(砂利GのGmax 25mmと、いずれもGmax 20mmの砂岩碎石A、B、安山岩碎石C、石灰岩LA~LD、スラグ骨材SA~SD)を用いた舗装用コンクリートについて、凍結融解試験を行った。なお、砂利Gと碎石A~C、石灰岩LA~LDのグループと、スラグ骨材SA~SD(比較用にBとC)のグループの2つに分けて実験を行っているため、前者をシリーズI、後者をシリーズIIとした。

舗装コンクリートの凍結融解試験は、JIS A 1148「コンクリートの凍結融解試験方法(A法)」に準拠し

て、相対動弾性係数および質量変化率により評価した。

(5) 試験結果

相対動弾性係数の測定結果を図5.7.1および図5.7.2に示す。シリーズIでは、300サイクルまでの範囲において、相対動弾性係数は全て85%以上を示した。シリーズIIでは、300サイクルまでの範囲において、SAおよびSCを用いた場合が70%程度まで低下したが、その他は90%以上であった。絶乾密度、吸水率、安定性損失率、すりへり減量などを指標として、骨材品質がコンクリートの凍結融解抵抗性に及ぼす影響^{5.11)}については、高炉スラグのSAおよびSCは他の骨材よりも吸水率が高く、すりへり減量が大きいため、粗骨材の強度がやや低く、コンクリートの凍結融解抵抗性に影響を及ぼした可能性があると思われる。

粗骨材の吸水率とコンクリートの耐久性指数との関係を図5.7.3に示す。吸水率が大きくなるほど、耐久性指数が小さくなる傾向を示している。また、粗骨材の耐凍害性を評価するための指標である安定性損失質量とコンクリートの耐久性指数との関係を図5.7.4に示す。他の骨材よりも吸水率が大きく、すりへり減量の大きなSAとSCの2点を除けば、耐久性指数は85%~100%と高い値を示した。本研究で用いた粗骨材の安定性損失質量は7%以下であり、JIS A 5005に示される基準値12%以下であることから妥当な結果が得られたものと考えられる。

質量減少率の測定結果を図5.7.5および図5.7.6に示す。シリーズIについては、図5.7.1に示す相対動弾性係数とは異なり、Gの質量減少率が1%程度と最も小さく、その他は2~3%程度となった。シリーズIIについては、質量減少率は2%以下であり、図5.7.2では相対動弾性係数の低下が大きかったSAは、質量減少率の低下は最も少なかった。

質量減少率は凍結融解作用によるスケーリングに起因するものであり、その要因の1つとしてコンクリート表層部の強度が挙げられる。本研究では、所定の曲げ強度となるように水セメント比を決定しているが、質量減少率に及ぼす水セメント比の影響を確認するために、粗骨材Bの質量減少率(300サイクル)を1とした場合の質量減少率比と水セメント比との関係を図5.7.7に示す。図5.7.7より、高炉スラグ(SA~SC)を使用した場合の質量減少率は、その他の骨材よりもやや大きかった。また、高炉スラグとその他の粗骨材を分けて評価すると、いずれも水セメント比が大きい程(モルタル部の強度が下がる方向)質量減少率が大きくなった。従って、凍

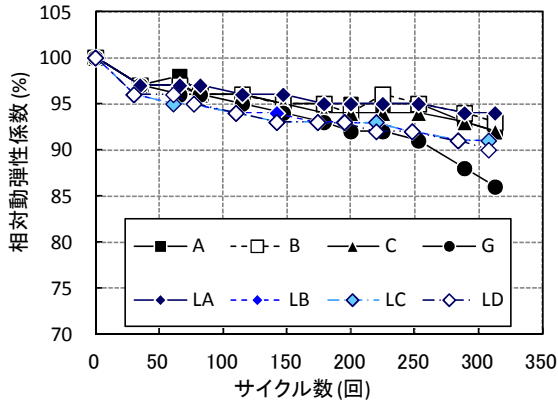


図 5.7.1 相対動弾性係数 (シリーズ I)

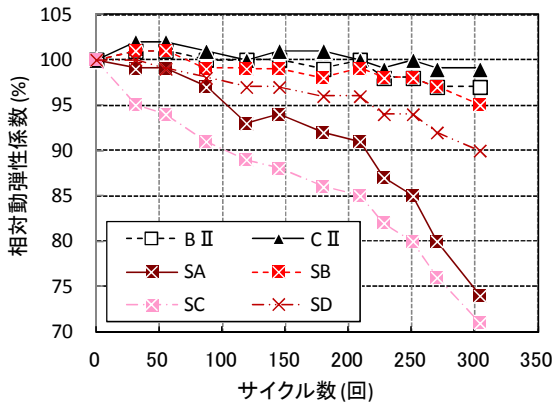


図 5.7.2 相対動弾性係数 (シリーズ II)

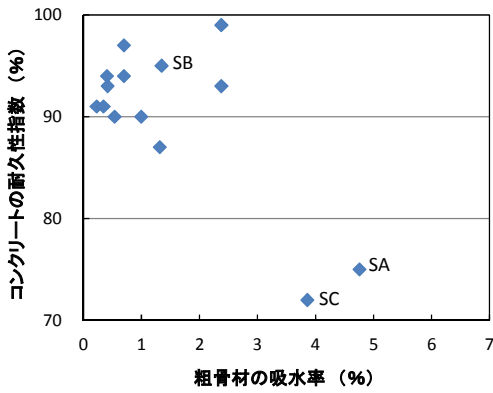


図 5.7.3 吸水率と耐久性指数の関係

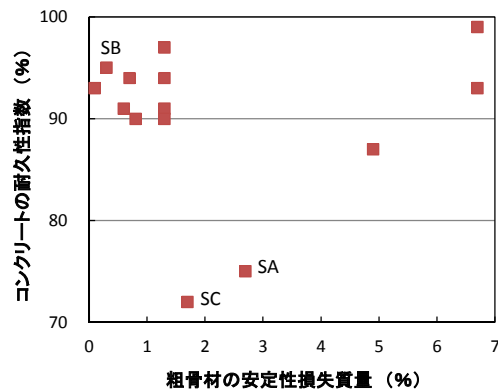


図 5.7.4 安定性損失質量と耐久性指数の関係

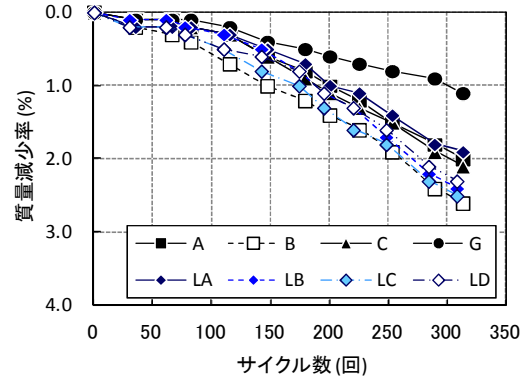


図 5.7.5 質量減少率 (シリーズ I)

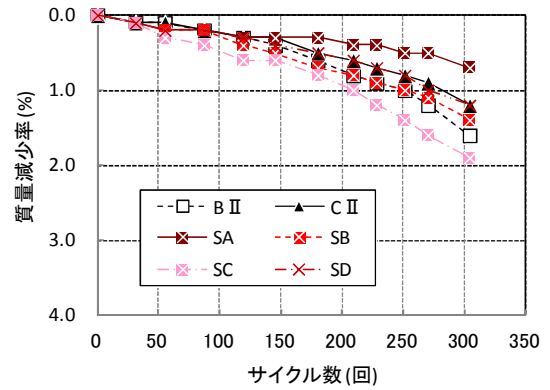


図 5.7.6 質量減少率 (シリーズ II)

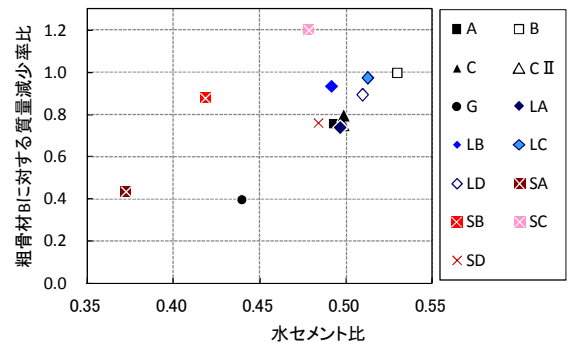


図 5.7.7 粗骨材 B 使用時に対する質量減少率と水セメント比の関係

結融解作用による質量減少率を低減するには、良質な粗骨材を使用することに加え、モルタル部の強度を高めることが必要と考えられる。

(5) 舗装コンクリートの凍結融解抵抗性に及ぼす粗骨材品質

12種類の粗骨材を用いて、舗装コンクリートの凍結融解抵抗性に及ぼす粗骨材品質の影響の評価を行った結果、次のことが明らかとなった。

① コンクリートの相対動弾性係数は、粗骨材品質（吸水率やすりへり減量）の影響を受け、良質な粗

骨材を使用することで、凍結融解作用による相対動弾性係数の低減を抑制できる。つまり、凍結融解抵抗性を向上できると考えられる。

② 粗骨材品質のうち、吸水率はコンクリートの耐久性指数との関係が見られた。安定性損失質量とコンクリートの耐久性指数との関係については、吸水率の場合に比べて明確でなかった。

③ コンクリートの質量減少率は、水セメント比が増加するほど大きくなる傾向を示す。また、高炉スラグ骨材は、他の骨材に比べてコンクリートの質量減少率が大きい。良質な粗骨材の使用に加え、モルタルの強度を高めることで、凍結融解作用による増加を抑制できる、即ち凍結融解抵抗性を向上できると考えられる。

(6) 今後の検討課題

舗装コンクリートの凍結融解抵抗性については、JIS A 1148に準拠した相対動弾性係数の測定を行うことで内部劣化の評価を行うことは可能であることを示した。しかし、この方法は使用材料や配合などが異なるコンクリートの凍結融解抵抗性を相対比較するためのものであり、コンクリート構造物の耐凍害性を直接評価したり、耐用年数を予測したりするものではないことがJISの条文に明記されている。また、コンクリート標準示方書〔設計編〕^{5.9)}では、コンクリート構造物が所要の耐凍害性を満足するために必要な相対動弾性係数を示しているが、現段階ではコンクリート舗装は対象外となっている。これらのことから、コンクリート舗装の凍結融解抵抗性をこの方法で直接的に評価していくためには、コンクリート舗装における凍害の実態把握や舗装コンクリートに要求される凍結融解抵抗性などを明らかにするための更なる検討が必要である。

5.7.3 スケーリング抵抗性

(1) 概要

舗装コンクリートは表層部に交通荷重や凍結防止剤散布等の負荷が掛かることから、その凍害は主に表層部のスケーリングであることが考えられる。5.7.2項ではJIS A 1148の凍結融解試験で評価を行ったが、より実態に近い表層部のスケーリング抵抗性に関する評価も検討することとした。コンクリート表層部のスケーリング抵抗性を評価する試験方法の一つにASTM C672があり、本研究ではこれを参考とした方法で評価を行った。

舗装コンクリートのスケーリング抵抗性が問題となる環境は主に積雪寒冷地域等であり、そのような

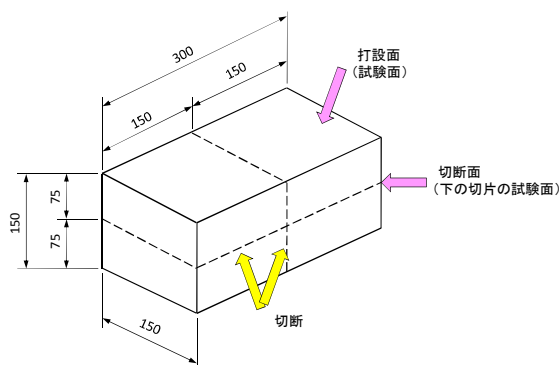


図 5.7.8 供試体の成形 (単位 : mm)

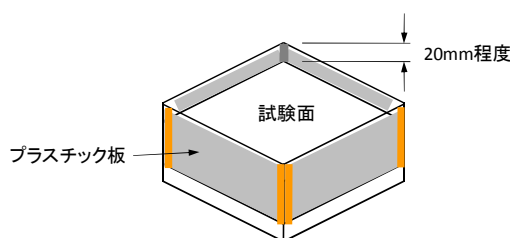


図 5.7.9 試験面に水または塩水を湛えるための囲い

環境では凍結防止剤 (NaCl) が散布されたり、除雪車等のブレードによる表面研磨の影響を受けたりする。また、打設面はブリーディングの影響が考えられること、供用が進むと徐々に粗骨材が表面に露出してくることなどが考えられる。これらを考慮し、各事項が舗装コンクリートのスケーリング抵抗性に及ぼす影響について検討を行った。

具体的には、まず予備試験で、凍結防止剤および空気量がスケーリング抵抗性に及ぼす影響についても評価するために、水道水や複数の塩分濃度の塩水でスケーリング試験を行った。次に、品質の異なる数種類の粗骨材を用いた場合のスケーリング試験を行った。この場合、打設面と、切断面について試験した。切断面の試験の目的は、ブリーディングの影響を排除したモルタルのスケーリング抵抗性、粗骨材が露出した場合に、粗骨材品質がスケーリング抵抗性に及ぼす影響を直接評価するためである。

(2) 検討内容

スケーリング試験は、2回に分けて実施した。1回目は予備試験、2回目は粗骨材の種類の影響を評価するための試験である。

本研究では、スケーリング試験はASTM C672を参考として、次に示す手順で行った。

- ① 供試体は、寸法150×150×300mmのコンクリート(2週間水中養生後)を図5.7.8のように切断し、試験する面ごとに次の寸法の供試体を2個ずつ成形した。
打設面 : 150×150×75mm、切断面 : 150×150×75mm

表 5.7.1 試験条件

粗骨材の種類	空気量 (%)	W/C (%)	測定面	湛水溶液 (塩分濃度)		
				0%	3%	23.4%
A20	6 ±0.5	50	打設面		○	
			切断面			
	4.5 ±0.5		打設面	○	○	○
			切断面	○	○	○
	1.5 ±0.5		打設面		○	
			切断面			

- ② 切断後、1日湿空 (20°C、85%RH) 養生し、試験面以外 (側面および底面) にエポキシ樹脂を2回塗付した。
- ③ 試験面に水または塩水を溜めるため、**図5.7.9**に示すように切断の1週間後に周囲にプラスチック板を張り付けた。
- ④ 試験面に水または塩水を入れ、1週間養生した。
- ⑤ 試験開始6時間前に水または塩水を深さ6mmまで入れ、-20°C±3°Cで16時間、20±3°Cで8時間のサイクルで試験を行った。
- ⑥ スケーリング量は、剥離した試料の質量を試験面の面積で除して求めた。質量は、塩水を用いた場合は塩分を水道水で十分除去し、105°Cで十分に乾燥した後に測定した。

(3) 予備試験

予備試験では、①試験面の影響、②凍結防止剤の影響、③空気量の影響の3項目について検討を行った。

①は打設面と切断面のスケーリングに及ぼす影響を評価するために実施した。通常、舗装コンクリートは打設面が試験対象となるが、ブリーディングの影響が考えられたため、ブリーディングの影響を受けないモルタルのスケーリング抵抗性と粗骨材の劣化を直接観察するために、切断面でも試験を行った。

②は積雪寒冷地域等では凍結防止剤 (NaCl) が散布される。そのスケーリングに及ぼす影響を評価するために、空気量を4.5%に固定し、湛水溶液の塩分濃度を0% (水道水)、3%、23.4% (飽和溶液) の3水準で試験を実施した。

③は凍結融解抵抗性の向上には空気量が欠かせないことから、空気量とスケーリングの関係の評価するために、湛水溶液の塩分濃度を3%に固定し、空気量を1.5%、4.5%、6.0%の3水準で試験を実施した。

①～③の検討項目を実施するために、表5.7.1に示す試験条件で予備試験を行った。予備試験におけるスケーリング試験は、10サイクル毎にスケーリング量の測定と試験面の観察を行い、50サイクルまで試験を実施

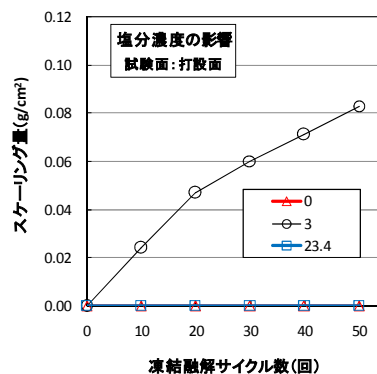


図 5.7.10 塩分濃度の影響 (空気量 4.5%) : 打設面

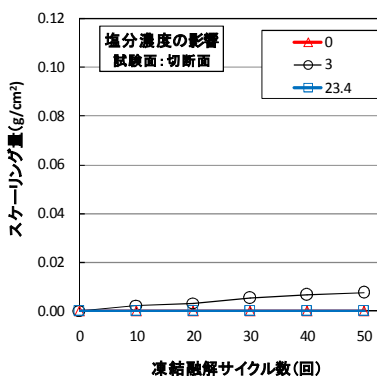


図 5.7.11 塩分濃度の影響 (空気量 4.5%) : 切断面

した。

湛水溶液の塩分濃度とスケーリング量の関係を**図5.7.10** (打設面)、**図5.7.11** (切断面) に示す。

両図より、湛水溶液の塩分濃度が3%の場合のスケーリング量が大きく、その量は打設面が切断面に比べて10倍程度と大きかった。0% (水道水) と23.4% (飽和溶液) の場合は、スケーリング量はほとんど0であった。飽和溶液の場合、凍結温度は-22°Cであることから、本試験の条件 (-20°C~20°C) では飽和溶液は凍結しなかった。そのため、スケーリングも生じなかったと考えられる。

次に、空気量とスケーリング量の関係を打設面、切断面共に**図5.7.12**、**図5.7.13**に示す。

図5.7.12より、打設面では空気量1.5%の場合のスケーリング量は空気量4.5%の場合のスケーリング量の10倍程度を示した。**図5.7.13**の切断面でも空気量1.5%の場合は打設面よりは若干小さいが、スケーリング量の増大が見られた。供試体を観察すると、モルタルのスケーリングが進行している状態であった。空気量4.5%と6%の場合は、ほとんど0であった。

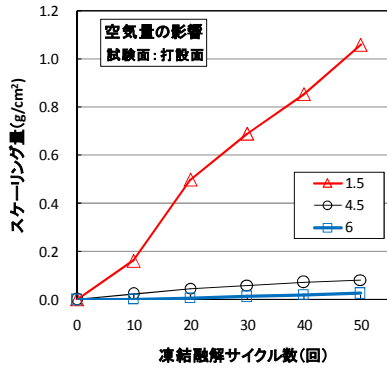


図 5.7.12 空気量の影響（塩分濃度 3%）：打設面

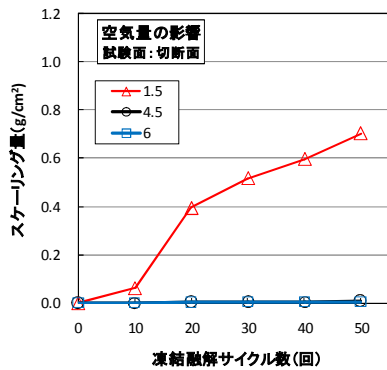


図 5.7.13 空気量の影響（塩分濃度 3%）：切断面

これらの予備試験の結果より次のことが分かった。

- ① 試験面の影響については、打設面と切断面では異なる挙動を示す。
- ② 凍結防止剤（湛水塩分濃度）の影響については、塩分濃度0%（凍結防止剤散布無し）よりも3%（凍結防止剤散布有り）の方が、スケール量が大きい傾向を示す。
- ③ 空気量の影響については、空気量が多い程スケール量が小さい傾向を示す、ということが分かった。
- ④ スケール抵抗性に及ぼす粗骨材品質の影響
予備試験の結果より、湛水塩分濃度を3%、空気量を4.5%と固定した場合について、粗骨材の種類がスケールに及ぼす影響を評価するためにスケール試験を行った。試験は、水セメント比を50%、打設面と切断面の2面について行った。

粗骨材6種類（硬質砂岩碎石のAおよびB、安山岩碎石のC、砂利のG、石灰石のLD、高炉スラグ骨材のSC）について試験を行った。ここでのスケール試験は、100サイクルまで試験を実施した。

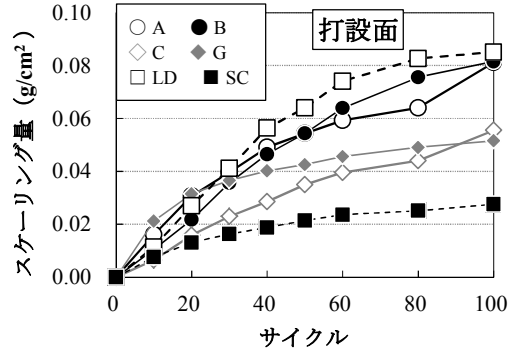


図 5.7.14 粗骨材の種類ごとのスケール試験結果：打設面

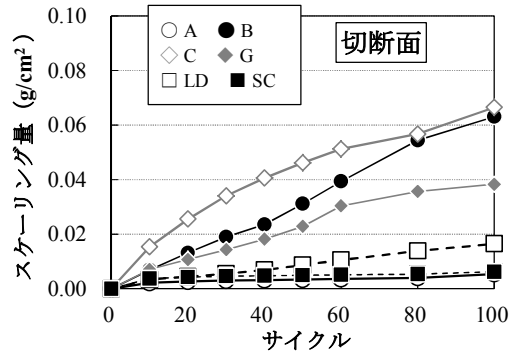


図 5.7.15 粗骨材の種類ごとのスケール試験結果：切断面

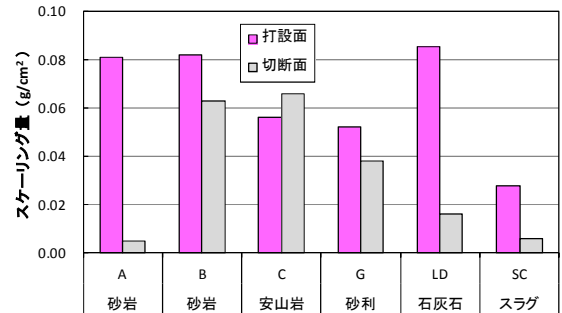


図 5.7.16 粗骨材の種類ごと 100 サイクル時のスケール量

粗骨材の種類が異なる場合のスケール試験結果を図 5.7.14、図 5.7.15 に示す。また、100 サイクルのスケール量を図 5.7.16 に示す。凍結融解の繰返し回数とともにスケール量も増えている。粗骨材 B を用いた場合は、打設面、切断面共にスケール量が比較的大きかった。粗骨材 SC を用いた場合は、打設面、切断面共にスケール量が小さかった。粗骨材 A と LD を用いた場合は、打設面ではスケール量が大きかったが、切断面では小さかった。このように、骨材の種類や打設面・切断面によって傾向が異なる結果となった。

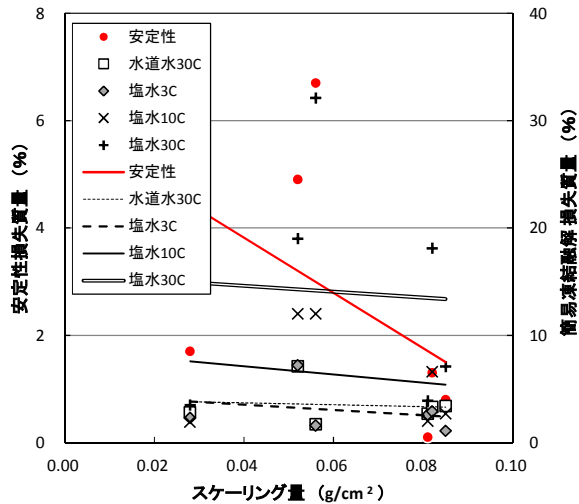


図 5.7.17 骨材の凍結融解抵抗性に関する指標とスケールング量の関係：打設面

表 5.7.2 スケールング量と粗骨材の凍結融解抵抗性に関する指標（図 5.7.17）の回帰結果

試験面	試験方法		100 サイクル		
			a	b	r ²
打設面	安定性損失質量		5.88	-51.49	0.199
	粗骨材の凍結融解	水道水 30C	4.07	-8.95	0.012
		塩水 10C	8.67	-38.66	0.033
		塩水 30C	15.69	-27.21	0.003
切断面	安定性損失質量		0.61	61.01	0.416
	粗骨材の凍結融解	水道水 30C	3.54	-1.15	0.000
		塩水 10C	1.74	137.83	0.626
		塩水 30C	1.84	374.66	0.851

スケールングの状況を観察した結果、打設面の場合、スケールングの大小に関わらず、主にモルタル分が剥離することによるものであった。切断面の場合、打設面よりモルタルの剥離はわずかであり、粗骨材の種類によっては粗骨材自体が薄く剥離するものがあり、スケールングが進行するとモルタルとの界面から粗骨材が脱落する状態が確認された。従って、コンクリート舗装では表層モルタル部分からスケールングが生じるが、粗骨材が露出する状態となると、粗骨材自体のスケールング抵抗性も重要になってくるものと推測された。

粗骨材の安定性損失質量、凍結融解試験結果（水道水 30 サイクルと、塩水 3 サイクル、10 サイクル、30 サイクル）と、打設面および切断面のスケールング量との関係を図 5.7.17（100 サイクル）に示す。また、一次式 ($y=a+b \cdot x$) による回帰結果を表 5.7.2

に示す。

表 5.7.2 より、打設面のスケールング量は、粗骨材の各指標との相関関係は認められなかった。打設面のスケールング状況は、主にモルタル分のスケールングであったことから、粗骨材の各指標とは直接的な関係はないものと考えられる。

切断面のスケールング量は、安定性損失質量と塩水 10 サイクルの決定係数は 0.4 程度 (黄色の網掛け) であり、やや良好な関係が認められた。また、塩水 30 サイクルの決定係数は 0.9 程度 (ピンクの網掛け) であり、良好な相関関係が認められた。このように、切断面におけるスケールング量は、粗骨材の安定性損失質量、粗骨材の凍結融解試験（塩水 10 サイクル、30 サイクル）の損失質量率と相関があることから、従来から実施されている安定性試験や、塩水による粗骨材の凍結融解試験は、コンクリートのスケールング試験の繰り返し回数を検討することにより、粗骨材が表面に露出した状態のスケールング抵抗性の評価に適用できる可能性がある。

(5) スケールング抵抗性に及ぼす各種要因

舗装コンクリートのスケールング抵抗性について、試験面の影響、凍結防止剤（塩分濃度）の影響、空気量の影響、粗骨材品質の影響について検討した結果、次のことが明らかとなった。

- ① 塩分濃度が 0%（真水）の場合に比べて、塩分濃度が 3% の場合の方が、スケールング量が大きくなり、凍結防止剤が散布される環境下ではスケールング量が増大する傾向を示した。
- ② 空気量が大きくなるほど、スケールング量が小さくなる傾向を示した。空気量が適切であれば、スケールングによる被害を抑制できる。
- ③ 打設面と切断面のスケールング量を比較すると、打設面の方が、スケールング量が大きい傾向を示した。表面を観察した結果、打設面は主にモルタル分のスケールングによるものであった。切断面のモルタルのスケールングはわずかであり、粗骨材自体の剥離も生じていた。凍結融解サイクルが進行すると粗骨材とモルタルの界面から粗骨材が脱落する現象が見られた。
- ④ 粗骨材品質の中で、塩水による凍結融解試験 30 サイクルの損失質量と切断面におけるコンクリートのスケールング量の間には良好な相関関係が認められ、粗骨材の凍結融解試験は骨材が表面に露出した状態のスケールング抵抗性評価に適用できる可能性がある。

6. 強度の管理・検査の合理化に関する検討

6. 1 強度管理・検査における課題

舗装コンクリートは曲げ強度で設計されているため、管理・検査も曲げ強度で行うことが望ましい。しかし、曲げ強度試験は、供試体が重く労力が大きいことなどから、以前から圧縮または引張強度試験で代用できないか検討が行われている^{6.1)}。重量については、労働安全衛生法に基づく厚生労働省からの通達（職場における腰痛予防対策指針、平成25年6月18日）によると、一人で扱えるのは体重のおおむね40%以下となるように努めることが示されており、体重60kg程度とすれば一人で扱えるのは25kg程度となる。曲げ供試体は30kg近く、強度試験時など供試体のみを扱う時はもちろんであるが、供試体作製時は型枠と併せて50~60kgにもなるため、常に二人で作業に当たらなければならない、管理・検査の合理化を図るためには一人で実施することができる圧縮強度または引張強度に代えることを検討する必要がある。

更に、最近ではコンクリート舗装が少なくなって久しいことから、曲げ供試体用の型枠を保有しているプラントも少なくなってきている。また、高強度コンクリートの使用実績も増えていることから、強度試験機を更新する際、最大容量が1,000kNから2,000kNの試験機に入れ替わってきており、最小目盛りが曲げ試験にとって大まか過ぎるなど、設備面からも曲げ強度試験を実施することが難しくなっており、強度の管理・検査は曲げ強度から圧縮強度または引張強度に代えていかなければならない必要性が高まっている。

このような理由から、舗装コンクリート強度の日常的な管理・検査は、圧縮強度または引張強度が望まれており、コンクリート舗装の基準類（土木学会：舗装標準示方書、日本道路協会：舗装設計施工指針、舗装施工便覧）には、管理・検査に圧縮または引張強度を用いることができるように記述されている。しかし、それらの強度を用いる場合、管理基準、判定基準が示されていないため、管理・検査に圧縮または引張強度を用いる場合は、管理基準、判定基準を設定する必要があるため、簡単には代えることができないのが現状である。

日本道路協会の舗装設計施工指針以前に使用されていたセメントコンクリート舗装要綱には、圧縮強度を管理に用いる場合、曲げ強度と圧縮強度の関係

を線形回帰し、圧縮強度をその標準偏差だけ増加させた値を管理に用いる方法が示されていた。この方法は、曲げ強度と圧縮強度の試験結果を多数組用意できる場合には良いが、実際には、試験結果を多数組用意することは、試験に要する時間やコストの面から難しく、回帰分析に用いる試験結果の数が限られる場合には、推定した標準偏差の大きさが適当か信頼性に不安がある。

以上のことから、舗装コンクリートの強度管理や検査の合理化の必要性が高まってきていることに加え、曲げ強度を圧縮強度に変更した際に生じる不確かさに対する考え方について確立されたものがなかったことから、本研究では圧縮強度により強度管理を行う場合の考え方を検討した。

6. 2 圧縮強度による強度管理の考え方

(1) 概要

本研究で検討した曲げ強度と圧縮強度の関係と、それに加え多数回の試験結果が収録されている既往の調査結果^{6.2)}を用いて、舗装コンクリートの圧縮強度や曲げ強度の試験結果のばらつきを分析し、避けられない誤差の程度を明らかにした。また、舗装コンクリートの圧縮強度と曲げ強度の関係を得るための試験の条件等を定めた。

(2) 圧縮強度と曲げ強度の关系到及ぼす材料、配合の影響

既往の調査結果^{6.2)}で得られた、フレッシュ性状の異なるコンクリートの圧縮強度と曲げ強度の関係を再整理した。ここで検討したデータは、14とおりの配合で、強度の材齢が7日および28日の計28組のものであり、配合はGmaxが20および40mm、目標スランプが2.5、6.5、10.5cmの3水準、目標スランプに応じて単位水量や単位セメント量、化学混和剤の種類・使用量などが異なるものである。圧縮強度および曲げ強度は、それぞれ3本1組の供試体で評価されたものである。

Gmax、目標スランプごとの圧縮強度と曲げ強度の関係を図6.2.1に示す。目標スランプ2.5cmと10.5cmの場合には、両者の関係が相関係数Rで0.9（図中の決定係数R²では0.81）以上か、これに近い値であったのに対し、目標スランプ6.5cmの場合には、両者の関係がやや不明瞭であった。これは、目標スランプ2.5cmの場合には全てがAE減水剤を使用しているのに対し、目標スランプ6.5cmの場合には、AE減水剤を使用したものと高性能AE減水剤を使用したものが同数ずつあり、化学混和剤の違いが圧

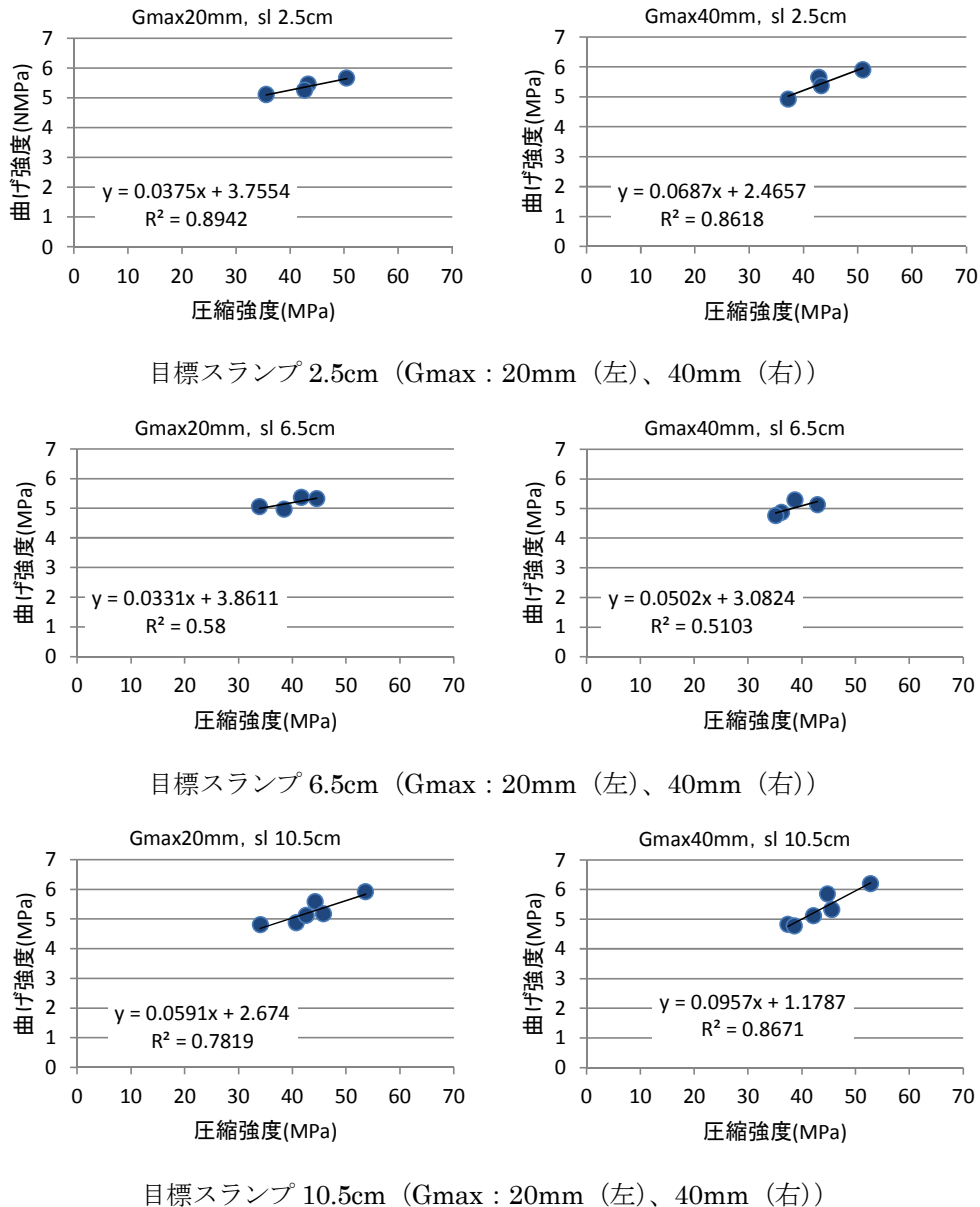


図 6.2.1 Gmax とスランブの異なるコンクリートの圧縮強度と曲げ強度の関係

縮強度と曲げ強度の関係に影響を及ぼしている恐れがあった。

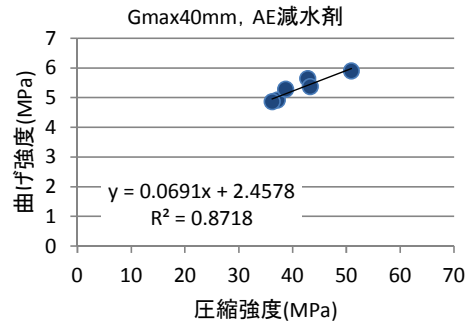
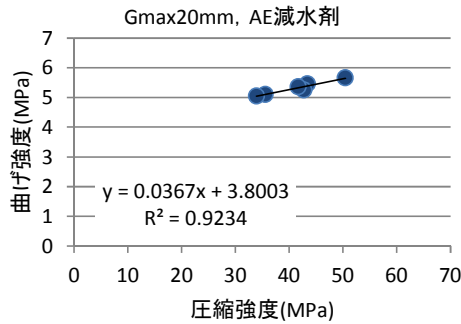
そこで、AE減水剤を使用した目標スランブ 2.5cm および 6.5cm のデータ、高性能 AE 減水剤を使用した目標スランブ 6.5cm および 10.5cm のデータをそれぞれまとめて図 6.2.2 に示す。この場合は、目標スランブ 6.5cm のデータを含めても、目標スランブ 2.5cm または 10.5cm 単独で整理した場合と遜色なく整理することができた。ただし、AE 減水剤を用いた場合について、目標スランブ 2.5cm から 10.5cm までの全てのデータを説明しようとする、相関係数 R が低下した。

以上の結果より、スランブの違いが圧縮強度と曲

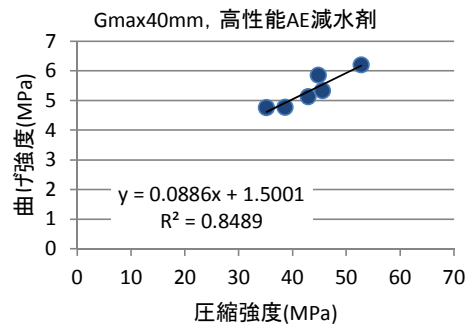
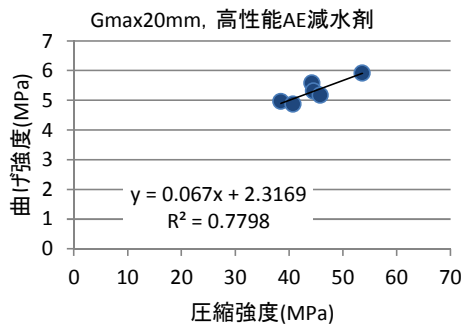
げ強度の関係に及ぼす影響は、その差が 4cm 程度までの範囲では大きくないと考えられる。一方、使用する化学混和剤の種類が異なる場合は、スランブが同一であっても圧縮強度と曲げ強度の関係が異なる恐れがあることが分かった。従って、圧縮強度から曲げ強度を推定する関係式を作成する際には、使用する材料や舗装コンクリートのフレッシュ性状ごと（スランブの差が 4cm 程度の範囲であれば同一と見なして良い）に関係式を作成する必要があるものと考えられる。

(3) 強度試験結果のばらつきと必要供試体数

舗装コンクリートに関する既往の検討例として、レディーミクストコンクリート工場 10 箇所で行わ



AE 減水剤使用で目標スランブ 2.5 または 6.5cm (Gmax : 20mm (左)、40mm (右))



高性能 AE 減水剤使用で目標スランブ 6.5 または 10.5cm (Gmax : 20mm (左)、40mm (右))

図 6.2.2 使用した化学混和剤が異なるコンクリートの圧縮強度と曲げ強度の関係

れた共同実験^{6.2)}の結果を再整理した。用いたコンクリートは、Gmax が 40mm で、スランブ 2.5cm±1.0%、空気量 4.5%±0.5%のものである。同時に作製された供試体の強度試験を 3 本 1 組で行った結果の変動係数の平均値は以下のとおりとなった。なお、強度のばらつきは、正規分布に従うものと仮定した。

- ・圧縮強度の変動係数：3.2% (実験ケース数 120 の平均値)
- ・曲げ強度の変動係数：4.9% (実験ケース数 120 の平均値)

曲げ強度の変動係数は圧縮強度の変動係数に比べてやや大きい結果となった。なお、強度試験結果の変動係数には W/C (50.0%、42.1%、36.4%) の違いによる影響は明確には認められなかった。

従って、同時に作製された供試体を試験したときの強度試験結果そのもののばらつきは、安全を見て変動係数で次の程度であると仮定して良いものと考えられる。

- ・圧縮強度の変動係数：3.5%
- ・曲げ強度の変動係数：5.0%

ここで、圧縮強度の平均値が 40MPa、曲げ強度の平均値が 5MPa である場合、 n 本の供試体を作製して強度試験を行う場合の信頼度 95%の信頼区間

表 6.2.1 圧縮強度の信頼区間 (例)

n (本)	信頼区間の大きさ
3	$1.96 \times (40 \times 0.035 / \sqrt{3}) = 1.58$ から±1.6MPa
6	$1.96 \times (40 \times 0.035 / \sqrt{6}) = 1.12$ から±1.1MPa
9	$1.96 \times (40 \times 0.035 / \sqrt{9}) = 0.91$ から±0.9MPa

表 6.2.2 曲げ強度の信頼区間 (例)

n (本)	信頼区間の大きさ
3	$1.96 \times (5 \times 0.05 / \sqrt{3}) = 0.283$ から±0.28MPa
6	$1.96 \times (5 \times 0.05 / \sqrt{6}) = 0.200$ から±0.20MPa
9	$1.96 \times (5 \times 0.05 / \sqrt{9}) = 0.163$ から±0.16MPa

は式 (6.2.1) で表される。

$$\bar{X} \pm 1.96 \cdot \sigma / \sqrt{n} \quad (6.2.1)$$

ここに、 \bar{X} : 標本の平均
 σ : 母集団の標準偏差

供試体が 3、6、9 本の場合の信頼区間の大きさは、圧縮強度については表 6.2.1、曲げ強度については表 6.2.2 に示すとおりとなる。供試体数を増加すると信頼区間が減少するが、減少割合は供試体数が増加すると低減することと、供試体数が 6 本の場合には圧縮強度で±1.1MPa の変動は曲げ強度の場合±0.1MPa 程度と小さいことから、供試体数は 6 本程度で十分

と考えられる。可能であれば、同一条件の供試体は同一バッチのコンクリートから作製することが望ましいが、設備等の関係より困難な場合も想定されるため、複数バッチのコンクリートを採用する場合は、品質の差が試験結果に影響を極力及ぼさないようにする必要がありと考えられる。

(4) 圧縮強度から曲げ強度を推定する際の不確かさに関する検討

表 3.1.1 のロット 1 の粗骨材のうち、A20、40、LD20、SC20、SD20 の 5 種類の粗骨材を用いたコンクリートの強度試験結果を図 6.2.3 に示す。これは粗骨材ごとに W/C が 40、45、50、55% の 4 水準の配合で作製されたコンクリートで、1 配合につき供試体 3 本の結果である。

粗骨材ごとに圧縮強度から曲げ強度を推定する際の推定値の標準誤差は、0.01~0.25MPa であった。この標準誤差には圧縮強度から曲げ強度を推定することに起因する誤差と 3 本の供試体で行った曲げ試験結果の誤差が含まれるが、前項で検討した曲げ強度試験のばらつき(表 6.2.2)と大差がないため、圧縮強度から曲げ強度を推定する際の不確かさは実用上無視できるものと考えられる。

(5) 圧縮強度から曲げ強度への推定手法の検討

圧縮強度から曲げ強度を推定するためには、まず、圧縮強度と曲げ強度の試験を実施し、両者の結果か

ら関係を最小二乗法によって回帰分析し、式 (6.2.2) の回帰係数 α 、 β を求める必要がある。

$$f_{bi} = \alpha \cdot f_{ci} + \beta \quad (6.2.2)$$

ここに、 f_{bi} : 曲げ強度の平均値 (MPa)
 f_{ci} : 圧縮強度の平均値 (MPa)
 α 、 β : 回帰係数

これまでの圧縮強度と曲げ強度の関係より、相関係数 R は 0.9 以上となることが予想されるが、0.9 より小さい場合は、セメントコンクリート舗装要綱では曲げ強度を圧縮強度に置き換えて設計基準強度や配合強度を定めることができないとしていたことも考慮し、再試験を行った方が良いと考えられる。

式 (6.2.2) で圧縮強度と曲げ強度の関係式を求めたが、強度試験のばらつきや推定に伴う不確かさを適切に考慮する必要がある。(3)項および(4)項より、圧縮強度が 40MPa 程度の場合のばらつきは ± 1.6 MPa 程度、曲げ強度が 5MPa 程度の場合のばらつきは ± 0.2 MPa 程度、適切な方法で圧縮強度と曲げ強度の関係式が得られている場合は、推定による不確かさは無視できる程度と考えられることから、これらを合わせて ± 0.3 MPa 程度と考えられる。安全側を考慮し、式 (6.2.2) より求めた曲げ強度から 0.30MPa 少ない値を推定強度とすれば良いと考えられる(式 (6.2.3))。

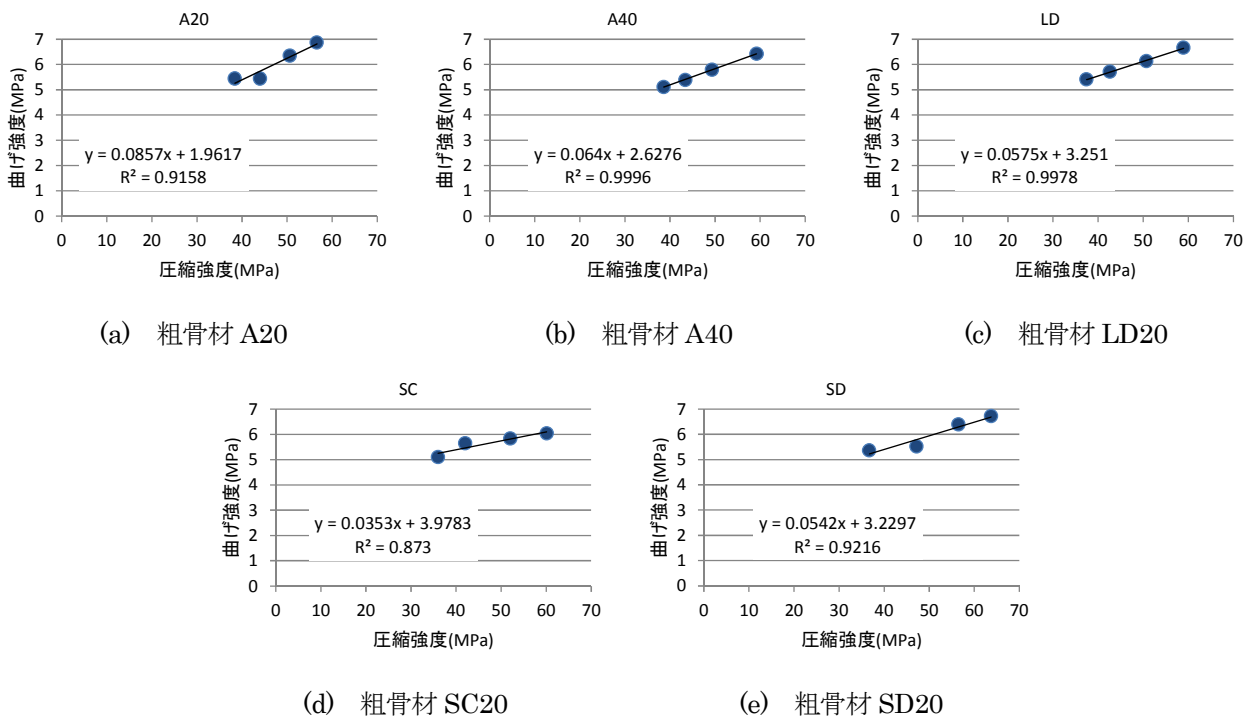


図 6.2.3 圧縮強度と曲げ強度の関係

$$f'_{b\min} = \alpha \cdot f_c + \beta - 0.30 \quad (6.2.3)$$

ここに、 $f'_{b\min}$: 推定最小曲げ強度 (MPa)
 f_c : 圧縮強度の平均値 (MPa)
 α, β : 回帰係数 (式 (6.2.2))

(6) 圧縮強度からの曲げ強度推定手法のまとめ
 以上の結果より、本研究では「舗装コンクリートの圧縮強度による強度管理を行う場合の考え方(案) 6.3)を提案した。その概要を以下に示す。

- ①設計基準強度 4.5MPa 程度の舗装コンクリートの品質管理に曲げ強度に替えて圧縮強度を用いる場合に適用する。
- ②使用材料、フレッシュ性状(スランプ 4cm 程度の差は同一と扱う) ごとに関係式を作成する必要がある。
- ③同一材料を用いた強度の異なる 4 つ以上の配合で圧縮強度・曲げ強度の関係を検討する必要がある。
- ④各配合のコンクリートから圧縮強度試験用供試体および曲げ強度試験用供試体を同時に作製する。
- ⑤供試体は同一条件に対し、圧縮、曲げそれぞれ 6 本以上作製する。
- ⑥圧縮強度・曲げ強度の関係より、最小二乗法により回帰分析し、 $f_{bi} = \alpha \cdot f_{ci} + \beta$ の α, β を算出する。
- ⑦ $f'_{b\min} = \alpha \cdot f_c + \beta - 0.30$ より、推定最小曲げ強度 $f_{b\min}$ を算出し、これを用いる。
- ⑧使用材料や使用骨材の産地を変更した場合は、新たに関係式を作成する。
- ⑨1 ヶ月に 1 回、圧縮強度試験と曲げ強度試験を同時に実施し、両者の関係が変化している場合は新たな関係式を作成する。

7. 本研究のまとめ

本研究では、コンクリート舗装の普及促進のため、舗装コンクリートに求められる性能を整理し、性能規定化を図って高い耐久性を確保できるような品質管理試験等の提案、スラグ骨材や石灰石骨材の舗装コンクリートへの利用技術の確立を目的に各種の検討を行った。その結果、スラグ骨材や石灰石骨材の利用上の留意点や品質管理試験等の提案などをまとめると次のとおりとなり、共同研究報告書^{7.1)~7.5)}にとりまとめた。

7. 1 粗骨材の種類に関する留意点

スラグ骨材や石灰石骨材を舗装コンクリートに適用するに当たっての長所、短所等をまとめると、次のとおりとなった。

- a) スラグ骨材を用いたコンクリートは、収縮量が小さく、スケーリング抵抗性が高い。
- b) スラグ骨材や石灰石骨材を用いたコンクリートには、すり減り抵抗性の小さいものがあった。また、スラグ骨材の中で吸水率の大きいものには、凍結融解抵抗性を低下させるものがあった。
- c) 電気酸化スラグ骨材のように、密度が特に大きいものは、コンクリートの材料分離を起こしやすいため、スランプや締固め時間等に留意が必要である。
- d) 石灰石骨材を用いたコンクリートについては、収縮量や線膨張係数が小さい。
- e) 石灰石骨材を用いたコンクリートには、すべり抵抗性の小さいものがあり、粗骨材・細骨材共に石灰石を用いると特に顕著であった。長期供用後のすべり抵抗性の検討が今後必要となるが、細骨材に石灰石以外の岩種を用いる、コンポジット舗装とするなど留意が必要である。

7. 2 粗骨材の最大寸法

舗装コンクリートに用いる粗骨材の最大寸法 (Gmax) に関する検討結果をまとめると、次のとおりとなった。

- a) Gmax : 40mm は 20/25mm に比べて単位水量を減じることができるものの、材料分離抵抗性が低下した。
- b) Gmax : 20/25mm の方が 40mm よりも曲げ強度が大きくなる傾向があった。
- c) Gmax : 40mm の粗骨材が舗装コンクリートに一般的に用いられているが、20/25mm を用いても問題ないと考えられる。

7. 3 評価試験方法の提案

舗装コンクリートの性能や用いる粗骨材の品質を評価する試験方法について、課題があることから、本研究で追加・提案した試験方法は表 7.3.1 に示すとおりである。

7.3.1 粗骨材の品質試験

(1) 破砕値試験

粗骨材のすり減り抵抗性を評価する方法としてロサンゼルス試験機によるすりへり試験があるが、比較的大きな試験機を要する、資料の調整に労力を要する、骨材の粒度により試料の粒度区分が異なり相

表 7.3.1 コンクリートの性能、粗骨材の品質評価試験

目 項	舗装コンクリートに 求められる性能等		コンクリート		粗骨材	
			現在	追加・提案	現在	追加・提案
フレッシュ コンクリート	施工性	締固め・充填性	振動台式コンシ ステンシー試験	フローテーブルによる 締固め性・変形性 試験	ふるい分け試験 微粒分量試験 単位容積質量及び実積 率試験 吸水率試験	—
		ダレ抵抗性	なし	ダレ試験		
		材料分離抵抗性	なし	材料分離試験	密度試験	—
硬化 コンクリート	設計 用値	強度 特性	圧縮試験による 弾性係数試験	曲げ試験による弾性 係数試験	なし	破砕値試験
		体積 変化	長さ変化	長さ変化試験	—	なし
	走行安全性	すべり抵抗性	すべり試験	ラベリング試験機を 用いたすべり試験	すべり (PSV) 試験	—
		すり減り抵抗性	ラベリング試験	—	ロサンゼルス試験機に よるすりへり試験	破砕値試験
	耐久性	凍結融解抵抗性 スケール抵抗性	凍結融解試験	スケール試験	吸水率、安定性試験	粗骨材の凍結融解試験
	強度の管理・検査の合理化		曲げ試験	圧縮試験による管理 ・検査	—	—

対比較が行えない、といった問題があったことから、通常の圧縮試験機が利用できる労力の小さな破砕値試験を検討した。

その結果、ロサンゼルス試験機によるすりへり試験で得られるすりへり減量と破砕値の間には高い相関が認められ、破砕値試験でも粗骨材のすり減り抵抗性を評価できることが分かり、破砕値試験を代替試験方法として提案した。また、すりへり減量と破砕値はコンクリートのすり減り抵抗性とも高い相関が認められ、破砕値でコンクリートのすり減り抵抗性の評価に利用できる可能性のあることが分かった。

(2) 粗骨材の乾燥収縮試験

コンクリートの乾燥収縮率は、骨材物性の影響が大きいことが知られているが、粗骨材の乾燥収縮率を評価する試験方法として、標準的な方法が確立されていないことから、粗骨材の乾燥収縮率試験について検討を行った。

その結果、石灰石骨材およびスラグ骨材は乾燥収縮率が硬質砂岩砕石や砂利に比べて非常に小さく、先述のとおり石灰石骨材やスラグ骨材を用いたコンクリートの収縮量も小さいなど、粗骨材の乾燥収縮率がコンクリートの乾燥収縮率と良好な相関を得ていることが改めて示された。

(3) 粗骨材の凍結融解試験

粗骨材の凍結融解抵抗性を評価する方法として、間接的には吸水率試験、直接的には硫酸ナトリウムによる安定性試験があるが、後者は薬品管理が必要なこと、実際の凍結融解作用とは原理が異なることから、真水および塩水を用いた粗骨材の凍結融解試験を検討した。

その結果、吸水率および安定性との明確な相関関

係は得られなかったが、後述のとおり、コンクリートのスケール抵抗性との良好な相関関係が得られた。

7.3.2 フレッシュコンクリートの性能試験

(1) 施工性の沈下度に替わる試験方法

舗装コンクリートの配合設計は、振動台式コンシステンシー試験をベースとした配合参考表を用いて行われるのが一般的だが、振動台式コンシステンシー試験装置はほとんど普及しておらず、振動締固め時の状態が確認できないスランブ試験で配合設計・管理が行われているのが現状であることから、準備の容易な器具を用いて締固め時の状態が確認できるような試験方法として、フローテーブルによる締固め性・変形性試験を検討した。

その結果、沈下度 10~30 秒(スランブ 2.5~8cm)程度の舗装コンクリートの施工性評価に利用できる可能性のあることが分かった。

(2) ダレ試験

施工条件等により、スランブの大きなコンクリートを使用する場合で勾配の大きい場所に舗設する場合は、仕上げ面のダレが懸念されることから、ダレ抵抗性を評価するダレ試験を検討し提案した。あらかじめダレ抵抗性を確保するための配合条件選定に用いることができるものと考えられる。

(3) 材料分離試験

スランブの大きなコンクリートを使用し、かつ、電気炉酸化スラグ骨材のように、密度の大きな粗骨材を用いる場合は、骨材の沈降による材料分離が懸念されることから、材料分離試験を検討し提案した。あらかじめ材料分離抵抗性を確保するための配合条件選定に用いることができるものと考えられる。

7.3.3 硬化コンクリートの性能試験

(1) 曲げ試験による弾性係数試験

コンクリートの弾性係数を求める方法として、JIS A 1149 の圧縮試験より求める方法が規定されているが、舗装標準示方書では、舗装用コンクリートの弾性係数は原則、曲げ試験による荷重-たわみの関係より算出するように記述されている。しかし、曲げ弾性係数を測定する具体的な方法が示されておらず、圧縮試験による測定および参考表（普通コンクリートをベース）を用いる方法が解説に示されていることから、本研究では曲げ試験による曲げ弾性係数と圧縮弾性係数の関係、参考表の値の舗装コンクリートへの適用の妥当性について検討した。

その結果、曲げ弾性係数は圧縮弾性係数と比較して小さく、設計上は安全側であること、曲げ弾性係数試験結果と示方書の参考表の結果は同様の傾向を示したことから、本研究で検討した曲げ試験による弾性係数測定も問題ないことが確認できた。

(2) ラベリング試験機を用いたすべり試験

本研究では、舗装コンクリートのすべり抵抗性を評価するために、ノーマルタイヤを装着した回転ラベリング試験機を用いて表面の促進摩耗を行い、所定の走行回数における BPN 値を測定することですべり抵抗性を評価した。

その結果、粗骨材が露出していない状態（モルタル層）においては、使用粗骨材の種類によらず促進摩耗によってすべり抵抗性の低下が確認された。粗骨材の露出した状態のすべり抵抗性評価のためにエメリー砂を用いた表面研磨を行ったが、使用粗骨材による差異は観測できず、コンクリートカッターによる切断後、漸く使用粗骨材による差異が観測できた。しかし、この差異は粗骨材のすり減り抵抗性との明確な相関は認められなかったことから、エメリー砂による研磨や BPN の測定等、今後も検討の余地があると考えられる。

(3) スケーリング試験

舗装コンクリートは、表面が直接交通荷重を受けると共に、外気や凍結防止剤等にさらされることから、スケーリング抵抗性を評価するために、ASTM C 672 を参考としたスケーリング試験を検討した。

検討の結果、次のことが分かった。

- a) 塩分濃度 0%（真水）に比べて塩分濃度 3%の方がスケーリング量は大きく、凍結防止剤が散布下ではスケーリング量が増大する傾向を示した。
- b) 空気量が大きくなるほど、スケーリング量が小

さくなる傾向を示した。

- c) 打設面の方が、切断面よりもスケーリング量が大きい傾向を示した。打設面は主にモルタル分の脱落、切断面は主に粗骨材自体の割れ・剥離が見られた。
- d) 切断面のスケーリング量は、粗骨材品質のうち、前述の塩水による凍結融解試験 30 サイクルの損失質量と良好な相関が認められた。粗骨材の凍結融解試験は骨材が露出した状態のスケーリング抵抗性評価に適用できる可能性がある。

7.4 舗装コンクリートの圧縮強度による強度の管理・検査

舗装コンクリートの強度の管理・検査は、通常は曲げ強度で行われているが、曲げ試験は労力が大きい、適した型枠や試験機を所有する施設が減少している、といった課題があることから、圧縮試験による強度管理が望まれている。セメントコンクリート舗装要綱には、圧縮強度と曲げ強度の関係を線形回帰し、圧縮強度をその標準偏差だけ増加させた値を管理に用いる方法が示されていたが、試験結果を多数組用意できない場合、推定した標準偏差の大きさが適当か信頼性に懸念があったことから、既往の調査結果等を分析して避けられない誤差の程度を明らかにして、舗装コンクリートの圧縮強度と曲げ強度の関係を求めるための試験条件等を検討し、「舗装コンクリートの圧縮強度による強度管理を行う場合の考え方（案）」をとりまとめた。

参考文献

- 1.1) (社)日本道路協会：コンクリート舗装に関する技術資料、p.2、2009.8
- 1.2) 前掲書 1.1)、pp.7-12
- 1.3) 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、p.207
- 1.4) 森濱和正ほか：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
- 1.5) 森濱和正ほか：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、第 36 回コンクリート工学年次論文集、Vol.36、No.1、pp.1624-1629、2014.7
- 1.6) 森濱和正ほか：スラグ骨材を用いた舗装コンクリートの強度に関する検討、第 68 回セメント

- 技術大会講演要旨、pp.70-71、2014.5
- 1.7) 森濱和正ほか：スラグ骨材を用いた舗装コンクリートの特性、舗装、Vol.50、No.5、pp.17-21、2015.5
 - 1.8) 勝畑敏幸ほか：スラグ骨材を用いた舗装コンクリートのすりへり抵抗性に関する検討、第 68 回セメント技術大会講演要旨、pp.72-73、2014.5
 - 1.9) 常松直志ほか：各種粗骨材を用いた舗装コンクリートのすり減り抵抗性に関する検討、土木学会第 69 回年次学術講演会、第 V 部、pp.1163-1164、2014.9
 - 1.10) 常松直志ほか：各種粗骨材を用いた舗装コンクリートの耐摩耗性に関する検討、土木学会第 70 回年次学術講演会講演概要集、第 V 部、pp.727-728、2015.9
 - 1.11) 加藤学ほか：各種粗骨材を用いた舗装コンクリートの摩耗抵抗性に関する研究、舗装、Vol.51、No.3、pp.19-23、2016.3
 - 1.12) 石田征男ほか：各種粗骨材を用いた舗装コンクリートの凍結融解抵抗性に関する研究、土木学会第 69 回年次学術講演会、第 V 部、pp.991-992、2014.9
 - 1.13) 加藤学ほか：各種粗骨材を用いた舗装コンクリートのすべり抵抗性に関する検討、第 31 回日本道路会議舗装部門、3097、2015.10
 - 1.14) 森濱和正ほか：舗装コンクリートのスケーリング抵抗性に関する実験的検討、第 69 回セメント技術大会講演要旨、pp.198-199、2015.5
 - 1.15) 加藤祐哉ほか：粗骨材の異なる舗装コンクリートのスケーリングに関する検討、第 70 回セメント技術大会講演要旨、pp.200-201、2016.5
 - 1.16) 森濱和正ほか：舗装コンクリートの圧縮強度による管理・検査に関する考察、第 70 回セメント技術大会講演要旨、pp.204-205、2016.5
 - 2.1) (公社)土木学会：舗装標準示方書、pp.23~25、2014
 - 2.2) 河野広隆ほか：舗装用コンクリートの諸特性に関する検討、セメント・コンクリート論文集、No.50、pp.256-261、1996
 - 2.3) (社)日本道路協会：舗装設計施工指針、p.252、2006.2
 - 2.4) (社)日本道路協会：舗装施工便覧、p.139、2006
 - 3.1) 渡辺博志ほか：骨材が凍結融解抵抗性と乾燥収縮に与える影響と評価試験方法に関する研究、土木研究所資料第 4199 号、2011.3
 - 3.2) (公社)日本コンクリート工学会：コンクリートの収縮特性評価およびひび割れへの影響に関する調査研究委員会報告書、p.84、2012.8
 - 3.3) 兵頭彦次ほか：コンクリートの乾燥収縮に及ぼす骨材物性の影響評価、セメント・コンクリート、No.777、pp.24-29、2011.10
 - 4.1) (社)日本道路協会：舗装設計施工指針、p.252、2006.2
 - 4.2) 伊東茂富ほか：舗装用コンクリートの細骨材率および単位水量に関する参考表の提案、土木技術資料、Vol.7、No.10、pp.451-454、1965.10
 - 4.3) 佐藤聡明、鎌田修、坂本康文：舗装用スリップフォームコンクリートの施工性を考慮したフレッシュ性状評価に関する研究、コンクリート工学年次論文集、Vol.33、No.1、pp.1253-1258、2011.7
 - 4.4) (社)セメント協会 舗装技術専門委員会：早期交通開放型コンクリート舗装 1DAY PAVE の概要、セメントコンクリート、No.763、pp.2-7、2010.9
 - 5.1) 小梁川雅、米谷裕、福田正：確率特性を考慮したコンクリート舗装版の曲げ疲労設計曲線、土木学会論文集、No.426、pp.151-157、1991.2
 - 5.2) 吉本徹、佐藤良一：舗装用コンクリートの曲げ強度と曲げ疲労強度の寸法効果に関する研究、土木学会論文集 E2、Vol.67、No.2、pp.181-188、2011
 - 5.3) (公社)日本コンクリート工学会：コンクリートの収縮特性評価およびひび割れへの影響に関する調査研究委員会報告書、pp.195~201、2012.8JCI
 - 5.4) (社)セメント協会：舗装技術専門委員会報告 R12 レディーミクストコンクリートの舗装工事への適用拡大に関する検討、p.6、2000.2
 - 5.5) (社)日本道路協会：舗装調査・試験法便覧第 3 分冊 B002、pp.17-38、2007
 - 5.6) (社)日本コンクリート工学協会：コンクリートの凍結融解抵抗性の評価方法に関する研究委員会報告書、pp.128-137、2008.8
 - 5.7) (公社)土木学会：2012 年制定コンクリート標準示方書 施工編、pp.50-52、2012.3
 - 5.8) (公社)土木学会：2012 年制定コンクリート標準示方書 設計編、pp.157-160、2012.3
 - 5.9) (公社)土木学会：2012 年制定 コンクリート標準示方書改訂資料 基本原則編・設計編・施工編、コンクリートライブラリー138、pp.90-92、2013.3

- 5.10) (公社)土木学会：けい酸塩系表面含浸工法の設計施工指針（案）、コンクリートライブラリー137、2012.7
- 5.11) (社)日本コンクリート工学協会：骨材の品質と有効利用に関する研究委員会報告書，pp.148-158，2007
- 6.1) 河野広隆ほか：舗装用コンクリートの曲げ強度と引張強度の関係、セメントコンクリート、No.584、pp.50-57、1995.10
- 6.2) 河野広隆ほか：舗装用コンクリートの品質に関する調査、土木研究所資料第 3427 号、1996.2
- 7.1) (独)土木研究所ほか：骨材資源を有効活用した舗装用コンクリートの耐久性確保に関する共同研究報告書 I 各種粗骨材の舗装コンクリートへの適用性 (1)骨材試験、コンクリートの配合および強度試験、共同研究報告書第 455 号、2014.3
- 7.2) (独)土木研究所ほか：骨材資源を有効活用した舗装用コンクリートの耐久性確保に関する共同研究報告書 I 各種粗骨材の舗装コンクリートへの適用性 (2)舗装コンクリートの耐久性試験、共同研究報告書第 462 号、2015.3
- 7.3) (国研)土木研究所ほか：骨材資源を有効活用した舗装用コンクリートの耐久性確保に関する共同研究報告書 I 各種粗骨材の舗装コンクリートへの適用性 (3)舗装コンクリートの施工性、走行安全性および耐久性試験、共同研究報告書第 477 号、2016.1
- 7.4) (国研)土木研究所ほか：骨材資源を有効活用した舗装用コンクリートの耐久性確保に関する共同研究報告書 I 各種粗骨材の舗装コンクリートへの適用性 (4)舗装コンクリートの曲げ疲労試験、共同研究報告書第 477 号、2016.1
- 7.5) (国研)土木研究所ほか：骨材資源を有効活用した舗装用コンクリートの耐久性確保に関する共同研究報告書 II 舗装コンクリートの要求性能に対する粗骨材品質の影響並びに品質管理試験の提案、共同研究報告書第 483 号、pp.80-91、2016.3

STUDIES TO ENSURE DURABILITY OF PAVEMENT CONCRETE BY EFFECTIVE USE AGGREGATE RESOURCES

Budget: Grants for operating expenses General account

Research Period: FY2012-2015

Research Team: Materials and Resources Research Group

Author: WATANABE Hiroshi

KOGA Hirohisa

MORIHAMA Kazumasa

KATO Yuya

Abstract : Wide use of concrete pavement is expected as its excellent durability and reduced life cycle cost. For further use of concrete pavement, introduction of performance based design concept instead of descriptive specification for constituent materials and consistency for concrete is necessary.

Usage of limestone as coarse aggregate of ready mixed concrete for general use is increasing because limestone aggregate can reduce drying shrinkage of concrete, however application of the limestone aggregate to pavement concrete is questionable because limestone aggregate can decrease performance of skid resistance and abrasion. On the other hand, effective use of slag aggregate is expected from the environmental aspect. It is, therefore, studied with the purpose to clarify the applicability to the pavement concrete of various coarse aggregate.

In 2015, compaction and deformation performance test using the flow table with pavement concrete using various aggregates has been carried out and method of strength management for the pavement concrete using compressive strength has been considered. The results of these studies have been summarized, quality control test methods for the pavement concrete and coarse aggregate have been proposed.

Key Word : limestone aggregate, slag aggregate, workability test, strength management, quality control test