

溶融スラグ細骨材のコンクリート舗装への適用
—設計施工試案—



一般社団法人 セメント協会

コンクリート舗装の長寿命化・信頼性向上検討会

まえがき

環境問題の一つにごみの処分問題がある。溶融炉が登場する以前は、都市ごみや下水汚泥等は、通常の焼却炉で焼却され、残渣の焼却灰を埋立て処分するほか手立てがなかったが、焼却灰を高温で減容しかつダイオキシンを分解する溶融炉の登場した後は、溶融炉で減容された熔融スラグを埋立て処分するか、あるいは土木材料として有効活用してきた。2006年には、コンクリート用骨材として JIS 規定化され、有効利用の拡大が政策的にも推進されてきた。

しかし、2008年に、産業廃棄物からの非 JIS 溶融スラグの不正使用により鉄筋コンクリート構造物にポップアウトが生じた問題が発覚し、これを契機として 2010年に JIS A 5031 追補改正が行われ、溶融スラグの生コンクリートへの使用が禁止された。その結果、コンクリート用骨材としての有効活用が大きく制約されることとなった。

2019年度現在、わが国には 229 の溶融炉が設備され、全国の溶融スラグの生産量は 72.6 万 t、有効利用量は 64.8 万 t と有効利用率は 89.6%である。そのうちの 14.8%がコンクリート用の骨材として用いられており、残りは埋立て処分あるいはトックされている。

一方、この事態を打開するためと思われるが、経済産業省は平成 21・22 年度に「コンクリート用熔融スラグ骨材の試験方法等の標準化」に関する調査研究を建材試験センターに委託した。その目的は、第一にポップアウトの試験方法を確立することである。第二に、既に附属書として規定されている膨張率試験について、金属アルミによる有害な膨張を確実に防止するための試験方法となるよう検討することである。この試験方法が JIS 化されれば、大量の有効活用を可能とする生コンクリートへの利用の道が再び開かれることが期待できる。

平成 22 年 5 月には、JCI 中国支部ではごみ溶融スラグの大量有効活用に資するため「ごみ溶融スラグの構造用コンクリートへの活用調査研究委員会」を設置し、平成 25 年に「ごみ溶融スラグの構造用コンクリートへの活用 ―設計・施工試案―」を発刊した。

(一社)セメント協会「コンクリート舗装の長寿命化・信頼性向上技術検討会」では、溶融スラグ細骨材の利用の拡大を図り、溶融スラグ生産設備を有する自治体を支援する目的で、「溶融スラグ細骨材のコンクリート舗装への適用 設計施工試案」を取りまとめた。本試案では、溶融スラグ細骨材を混合した舗装用コンクリート特有の諸物性を掲載するとともに、溶融スラグ細骨材の混合率を変えたコンクリート舗装の試験施工に関する各種調査結果も掲載している。また、本試案とともに経験が必ずしも豊富でなくとも溶融スラグ細骨材を用いたコンクリート舗装の実現を可能とするマニュアルを作成した。溶融スラグ細骨材の有効利用の促進の一助になれば幸いである。

2021 年 3 月

主査 佐藤良一

コンクリート舗装の長寿命化・信頼性向上技術検討会（2021 年 3 月現在）

座長	佐藤 良一	広島大学名誉教授
幹事長	亀田 昭一	ニチレキ株式会社
委員	半井 健一郎	広島大学大学院
	坂元 義治	防衛省整備計画局
	林 良樹	日本工営株式会社
	草野 昌夫	全国生コンクリート工業組合連合会
	岸良 竜	太平洋セメント株式会社
	新見 龍男	株式会社トクヤマ
	藤野 由隆	宇部興産株式会社
	森田 浩一郎	三菱マテリアル株式会社
	飯田 達郎	デンカ株式会社
	安久 憲一	住友大阪セメント株式会社
事務局	吉本 徹	一般社団法人 セメント協会
	泉尾 英文	一般社団法人 セメント協会
	伊藤 孝文	一般社団法人 セメント協会

溶融スラグ細骨材のコンクリート舗装への適用

設計施工試案

-目 次-

1 章	総則	1
1.1	適用範囲	1
1.2	用語の定義	4
2 章	溶融スラグ細骨材を使用した舗装用コンクリートの品質	5
2.1	総則	5
2.2	溶融スラグ細骨材の品質	5
2.3	均質性	7
2.4	ワーカビリティ	7
2.5	ひび割れ抵抗性	8
2.6	強度特性	9
2.7	耐久性	10
3 章	溶融スラグ骨材を細骨材として使用したコンクリート舗装の設計に関する一般事項	12
3.1	総則	12
3.2	設計の基本的な考え方	12
3.3	材料の設計値	14
3.3.1	コンクリートの強度	14
3.3.2	曲げ疲労曲線	14
3.3.3	ヤング係数	15
3.3.4	ポアソン比	15
3.3.5	熱特性	15
4 章	舗装用コンクリートの材料	17
4.1	総則	17
4.2	細骨材	17
4.2.1	一般	17
4.2.2	溶融スラグ細骨材	17
4.2.3	普通細骨材	19
4.2.4	溶融スラグ混合細骨材	20
4.3	粗骨材	22
5 章	舗装用コンクリートの配合設計	23
5.1	総則	23
5.2	水セメント比	23

5.3 単位粗骨材かさ容積	24
5.4 単位水量	24
5.5 単位セメント量	25
5.6 コンクリートの性能照査	25
5.6.1 一般	25
5.6.2 曲げ強度の照査	25
5.6.3 施工性の照査	26
5.6.4 凍結融解抵抗性に対する照査	27
5.6.5 すべり抵抗性に対する照査	27
5.6.6 すりへり抵抗性に対する照査	28
5.6.7 ひび割れ抵抗性に対する照査	28
6 章 施工計画	29
7 章 舗装用コンクリートの製造	30
7.1 総則	30
7.2 骨材の貯蔵	30
7.3 計量	30
7.4 製造工場の選定	31
7.5 運搬	31
8 章 コンクリート舗装の施工	32
9 章 検査	33
引用文献	34
《附属資料》	35

1章 総則

1.1 適用範囲

- (1)本試案は、一般廃棄物またはその焼却灰を熔融固化して製造される熔融スラグを細骨材として用いるコンクリート舗装の設計と施工について、一般の標準を示すものである。
- (2)本試案は、普通コンクリート舗装に適用するのを標準とする。
- (3)熔融スラグ細骨材の使用量は、細骨材の容積に対して混合率 30%以下を原則とする。
- (4)熔融スラグ細骨材を使用した舗装用コンクリートの設計基準曲げ強度は、 4.4N/mm^2 を標準とする。
- (5)熔融スラグ細骨材の品質は、JIS A 5031 : 2016「一般廃棄物、下水汚泥又はそれらの焼却灰を熔融固化したコンクリート用熔融スラグ骨材」の規格値を満足しなければならない。
- (6)熔融スラグ細骨材の品質の変動をできるだけ少なくするために、連続して舗設する舗装用コンクリートに用いる熔融スラグ細骨材は、同一の熔融設備で製造されたものを原則とする。
- (7)本試案に示されていない事項は、土木学会「2014 年制定 舗装標準示方書」によるものとする。

【解説】(1)について 本試案で対象とした熔融スラグは、一般廃棄物またはその焼却灰を $1,200^{\circ}\text{C}$ 以上で熔融した後、それに加圧水を噴射すること、あるいはそれを水槽に投入することにより、急冷して粒状化させた水砕スラグである。現在のところ、熔融スラグ骨材については、粗骨材と比較して細骨材として使用した研究の方が多く、また使用実績も多いことから、細骨材として使用した物性の方がより明らかとなっている。したがって、本試案では、熔融スラグを細骨材として使用した舗装用コンクリートを対象とし、それを用いたコンクリート舗装の設計と施工について、一般の標準を示す。

また、熔融スラグには、熔融状態のスラグに空気を噴射し、冷却して得られる空冷スラグや、自然冷却した徐冷スラグもある。これらの熔融スラグの形状は岩石状、碎石状となる。本試案に規定する品質や性能を試験により確認し、発注者の了解が得られれば、空冷ないしは徐冷した熔融スラグから製造される細骨材を舗装用コンクリートに使用してよい。

(2)について 本試案では普通コンクリート舗装への適用を標準としたが、その他、コンクリート舗装には連続鉄筋コンクリート舗装や転圧コンクリート舗装などがある。連続鉄筋コンクリート舗装の場合は、熔融スラグ細骨材を使用した舗装用コンクリートの鋼材腐食抵抗性が明らかになっていないので除外したが、コンクリート中の鋼材を腐食から保護する性能が普通細骨材を使用した舗装用コンクリートと同様であることなどを確認すれば、連続鉄筋コンクリート舗装に適用してよい。

また、転圧コンクリート舗装については、溶融スラグ細骨材を使用した転圧コンクリート舗装に関する実験結果が皆無であるため除外したが、充填性や転圧性などの転圧コンクリート舗装特有の性能に対して、普通細骨材を使用した舗装用コンクリートと同等であることを確認すれば、転圧コンクリート舗装にも適用してよい。いずれの場合も発注者の了解を得る必要がある。

(3)について 既往の研究より、溶融スラグ骨材を多量に使用したコンクリートの物性は、普通骨材を使用したコンクリートの物性と大きく異なる場合があるが、溶融スラグの細骨材への混合率（容積比）を 30%以下としたコンクリートの物性は、多くの場合、普通細骨材を使用したコンクリートとほぼ同等である。そこで、本試案では、溶融スラグの細骨材への混合率は 30%以下を原則とした。しかし、本試案に規定する品質や性能を試験により確認でき、発注者の了解が得られれば、溶融スラグの細骨材への混合率が 30%を超えることを妨げるものではない。本試案の附属資料は、溶融スラグ細骨材の混合率を 30%および 50%としたコンクリートの物性に関する実験結果をまとめているので、参考にするとよい。

(4)について 道路舗装におけるコンクリート舗装の版厚設計法は、舗装計画交通量と設計基準曲げ強度が定まれば版厚を決定できるとする経験的設計法¹⁾が広く用いられている。この場合の設計基準曲げ強度は 4.4N/mm^2 とされている。溶融スラグ細骨材を使用した舗装用コンクリートの曲げ強度は、その混合率が 30%以下であれば普通細骨材を使用した舗装用コンクリートのそれとほぼ同等であるので、溶融スラグ細骨材を使用した舗装用コンクリートの設計基準曲げ強度は 4.4N/mm^2 を標準とした。一方、JIS A 5308「レディーミクストコンクリート」に規定される舗装コンクリートの呼び強度（設計基準曲げ強度と同等の意味を持つ）は曲げ 4.5 (4.5N/mm^2) であり、 4.4N/mm^2 より若干大きく、呼び強度曲げ 4.5 の舗装コンクリートを用いれば若干安全側に版厚設計されるので、設計基準曲げ強度を 4.5N/mm^2 としてもよい。

(5)について 2006 年版 JIS A 5031 では、溶融スラグ骨材を用いるコンクリートの適用範囲は「設計基準強度はプレキャスト製品用には 35N/mm^2 以下、レディーミクストコンクリートには呼び強度 33 以下」、「耐久性を確保するために、水セメント比は 55%以下」と規定されていた。しかし、2008 年に産業廃棄物由来の溶融スラグを混入した JIS 不適合コンクリートを使用した構造物でポップアウトが生じ社会問題化した後の 2010 年に追補改正により、溶融スラグ骨材の JIS A5308 に規定するレディーミクストコンクリートなどへの使用が禁止された。また、2016 年に行われた JIS 改正ではポップアウト確認試験方法が追加され、適用範囲も改正されている。この改正による溶融スラグ骨材のコンクリートの利用に関しては、関連する製品規格（レディーミクストコンクリートや建築用コンクリートブロックなど）において規定するべきであるとし、該当する製品規格のないものだけ（プレストレストコンクリート全般と、建築物に用いるプレキャストコンクリート）を使用しない

規定として残した。また、舗装用コンクリートが規定されている JIS A 5308「レディーミクストコンクリート」では、熔融スラグ骨材の使用は認められていない。

本試案では、附属資料に示す熔融スラグ細骨材を使用した舗装用コンクリートの各種実験および試験施工の結果より、熔融スラグ細骨材が JIS A 5031 の規格値を満足すれば、熔融スラグ骨材を舗装用コンクリートの細骨材として使用してよいこととした。

(6)について 熔融スラグ細骨材の品質は熔融炉の方式の違いの影響を受けるので、熔融スラグ細骨材の品質は工場ごとに異なる可能性がある。したがって、品質の変動をできるだけ少なくするために、連続して舗設する舗装用コンクリートに用いる熔融スラグ細骨材は、同一工場で製造されたものを原則とした。ただし、異なる工場で製造した熔融スラグ細骨材を使用したコンクリートを受け入れざるを得ない場合は、当該骨材およびその骨材を使用したコンクリートの品質を確認し、発注者の了解が得られれば、連続して舗設する舗装用コンクリートに用いる熔融スラグ細骨材は異なる工場で製造されたものでもよい。

(7)について この試案に示されていない事項は、土木学会「2014 年制定 舗装標準示方書」（以下、『土木学会「舗装標準示方書」』とする）に準拠することとした。

1.2 用語の定義

この試案では、用語を次のように定義する。

普通骨材：普通細骨材および普通粗骨材の総称。

普通細骨材：細骨材として用いる砂および砕砂の総称。

普通粗骨材：粗骨材として用いる砂利および碎石の総称。

一般廃棄物：廃棄物の処理および清掃に関する法律第 2 条で定められた産業廃棄物以外の固形状または液状の廃棄物。

溶融スラグ細骨材：一般廃棄物、またはその焼却灰を 1,200℃以上で溶融し、固化した溶融スラグのうち、コンクリート用細骨材として用いるもの。本試案では水砕スラグを対象とする。

溶融スラグ混合細骨材：溶融スラグ細骨材と普通細骨材を混合した細骨材

溶融スラグ細骨材混合率：全細骨材の容積に対する溶融スラグ細骨材の容積比を百分率で表した値。

曲げ強度：寸法 150×150×530mm の供試体を用い、JIS A 1106 : 2018「コンクリートの曲げ強度試験方法」の試験方法により得られた試験値。

【解説】曲げ強度は、同じコンクリートであっても供試体寸法が大きくなると小さくなる、いわゆる「曲げ強度の寸法依存性」が報告^[2]されていることから、本試案ではこのことを考慮して、粗骨材最大寸法にかかわらず、寸法 150×150×530mm の供試体で得られた試験値を曲げ強度と定義した。

2 章 溶融スラグ細骨材を使用した舗装用コンクリートの品質

2.1 総則

- (1)溶融スラグ細骨材は、舗装用コンクリートの品質に悪影響を及ぼすものであってはならない。
- (2)溶融スラグ細骨材を使用した舗装用コンクリートは、品質のばらつきが少なく、所定のフレッシュ性状、施工段階のひび割れ抵抗性、強度特性、耐久性を有するものでなければならない。

【解説】(1)について JIS A 5031 : 2016 に示す規格値を満足しない溶融スラグ細骨材は、舗装用コンクリートにポップアウトを生じさせたり、金属アルミニウムによる異常膨張を生じさせたり、悪影響を及ぼす場合がある。そのため、溶融スラグ細骨材の品質はきわめて重要である。

(2)について 溶融スラグ細骨材を使用した舗装用コンクリートは、普通細骨材を使用した舗装用コンクリートと同様に、所要のワーカビリティ、施工段階のひび割れ抵抗性、硬化後の曲げ強度、曲げ疲労抵抗性、すべり抵抗性、すりへり抵抗性、凍結融解抵抗性、耐アルカリシリカ反応性などの性能を有し、かつ品質のばらつきが少ないものでなければならない。

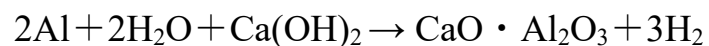
2.2 溶融スラグ細骨材の品質

- (1)舗装用コンクリートに使用する溶融スラグ細骨材は、それを使用した舗装用コンクリートにポップアウトの発生や異常膨張を発生させるものであってはならない。
- (2)溶融スラグ細骨材を使用した舗装用コンクリートのポップアウトの発生、異常膨張の有無は試験により確認しなければならない。

【解説】(1)について 溶融スラグ細骨材は、それを使用した舗装用コンクリートに、解説図 2.2.1 に示すポップアウトや、解説図 2.2.2 に示す過大な膨張などを生じさせる場合があり、これを防止するためこの条項を規定した。

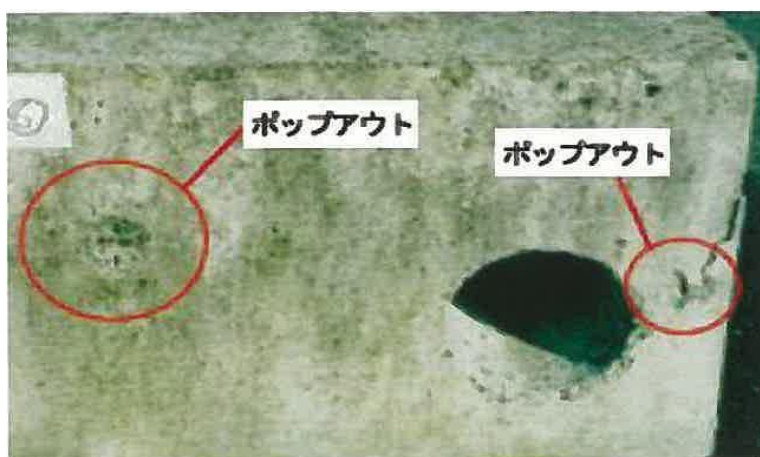
一般的に言われているポップアウトが生じる理由は次のようである。すなわち、溶融物の粘度を低下させるために添加される石灰石の粒径が大きく、溶融温度が 1,200℃より低い場合、および溶融炉内での滞留時間が短い場合には、石灰石の一部が溶融されずに遊離石灰のかたちで溶融スラグに残存する可能性がある。残存した遊離石灰は、練混ぜ後、水と反応し水酸化カルシウムとなるとき、その体積が膨張し表面部にポップアウトを生じさせる。

金属アルミニウムによる異常膨張が生じる理由は次のようである。すなわち、酸化しない状態で溶融スラグに混入した金属アルミニウムは、次式に示すように、コンクリート中の練混ぜ水およびそれとセメントの水和により生じる水酸化カルシウムとに反応し水素ガスを発生させ、その圧力によって異常膨張を引き起こす。



(2)について 溶融スラグ細骨材を使用した舗装用コンクリートのポップアウト確認は、JIS A 5031 : 2016 解説「溶融スラグ骨材のコンクリートによるポップアウト確認試験方法（案）」または JSTM C 2001「溶融スラグ細骨材を用いたコンクリートのポップアウト確認試験方法」によるのがよい。なお、同 JIS の附属書 C「溶融スラグ骨材のモルタルによるポップアウト確認試験方法」の試験方法により舗装用コンクリートのポップアウト発生の有無が確認できる信頼に足り得るデータがあれば、この附属書によってもよい。

金属アルミニウムによる異常膨張の有無を確認する試験方法には JIS A 5031 : 2016 の附属書 A に「溶融スラグ骨材を用いたモルタルの膨張率試験方法」がある。この膨張率試験方法はコンクリートの品質を規定したものではないが、コンクリートで確認する標準試験方法がないため、この試験方法を溶融スラグ細骨材を使用した舗装用コンクリートの異常膨張の確認に準用できるものとした。



解説図 2.2.1 溶融スラグ細骨材を使用したコンクリートのポップアウトの実例 ^[3]



上：熔融スラグにより膨張した供試体
下：膨張抑制剤を添加した供試体



膨張した供試体の上面部

解説図 2.2.2 金属含有熔融スラグによるコンクリートの膨張と抑制剤の効果 ^[4]

2.3 均質性

熔融スラグ細骨材を使用した舗装用コンクリートは使用する材料の品質および製造のばらつきが少なく、品質が安定していなければならない。

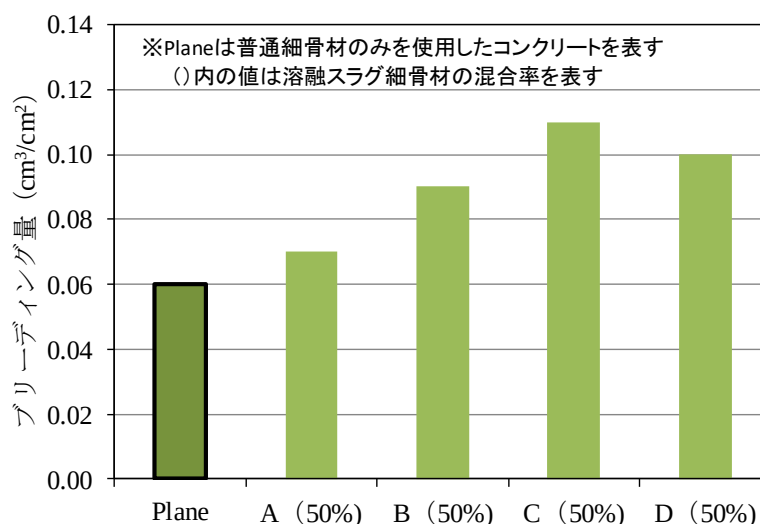
【解説】コンクリートに使用する材料の品質および製造のばらつきが大きいと、所定の品質のコンクリートを安定して供給することが困難になり、コンクリート舗装の性能に悪影響を及ぼすことにもなりかねない。したがって、コンクリートの製造にあたっては、材料の品質管理ならびにコンクリートの製造管理を十分に行い、バッチ間の変動が少なく、安定した品質のコンクリートを常に供給できるように配慮することが大切である。また、熔融スラグ細骨材の微粒分、表面水率、および粒度等は変動しやすく、かつコンクリートの品質に影響を及ぼすので、品質安定性を確保するためにはこれらの変動を最小とするように適切に管理することが重要である。

2.4 ワーカビリティ

熔融スラグ細骨材を使用した舗装用コンクリートは施工条件・環境条件に応じてその運搬・荷卸し・敷きならし・締固め・仕上げ等の作業に適するワーカビリティを有するものでなければならない。

【解説】熔融スラグ細骨材の多くは、熔融状態のスラグが水砕により急冷されたものであるため、熔融スラグ細骨材の骨材表面は滑らかなガラス質で保水性が低く、熔融スラグ細骨材の混合率が大き

くなると普通細骨材を使用したコンクリートに比べて、ブリーディングが増加する傾向がある。ブリーディングが過度に生じた場合、打込み上面部分が脆弱になり、すりへり抵抗性やすべり抵抗性が低下する恐れがある。解説図 2.4.1 は、4 種類の溶融スラグ細骨材を混合率 50% で使用した舗装用コンクリートのブリーディング試験結果を示したものである。ブリーディング量は産地により異なるが、その値は最大で $0.11\text{cm}^3/\text{cm}^2$ であり、溶融スラグ細骨材を混合することでブリーディング量が普通細骨材のみを使用した舗装用コンクリートに比べ増加する場合があることに注意が必要である。ブリーディングが大きいと予想される場合には、混和剤の変更や石灰石微粉末などの混和材料を用いてブリーディングを抑制しなければならない。



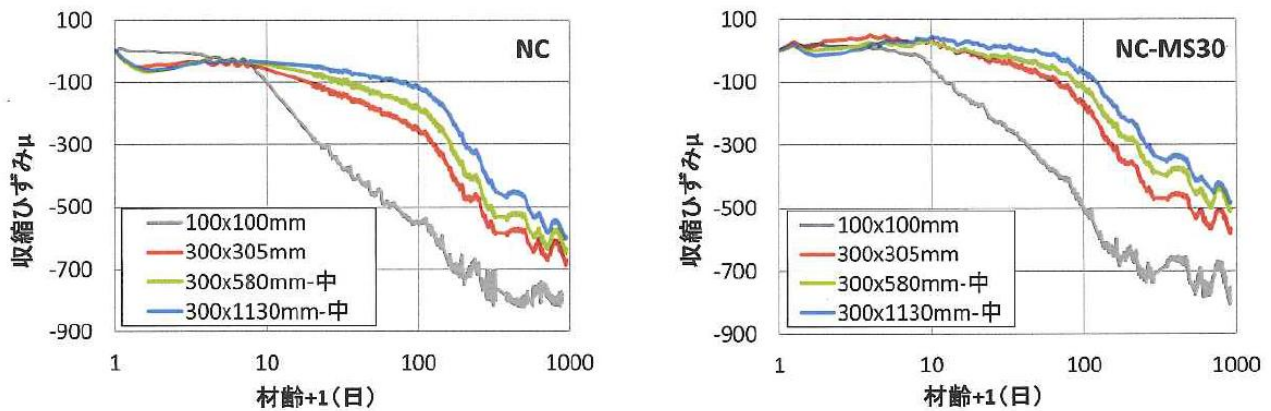
解説図 2.4.1 溶融スラグ細骨材を使用したコンクリートのブリーディング量
(セメントは普通ポルトランドセメントを使用。英記号は溶融スラグ骨材の製造地を表す)

2.5 ひび割れ抵抗性

溶融スラグ細骨材を使用した舗装用コンクリートは、施工段階でのひび割れ等を防止するため、長さ変化の小さいものでなければならない。

【解説】溶融スラグ細骨材を使用したコンクリートの収縮は、普通細骨材を使用したコンクリートのそれと同等か、それ以下である（解説図 2.5.1 参照）。また、溶融スラグ細骨材を使用したコンクリートの断熱温度上昇量は普通細骨材を使用したコンクリートと同等である（解説図 2.5.2 参照）。これらの結果より、溶融スラグ細骨材を使用したコンクリートは普通コンクリートに比べて施工段階でのひび割れ発生リスクは同等以下であると考えられる。これらは舗装用コンクリートを対象とした実験から得られたものではないが、溶融スラグ細骨材を使用した舗装用コンクリートの配合においても収縮および断熱温度上昇量は普通細骨材を使用した舗装用コンクリートと同等かそれ以下

と予想されるため、溶融スラグ細骨材を使用した舗装用コンクリートにおいてもひび割れ発生リスクは同等以下であると考えられる。

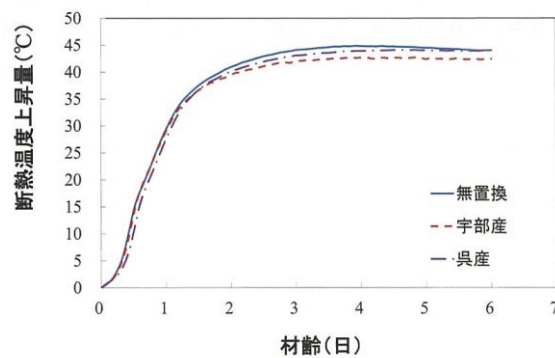


(a) 普通コンクリート

(b) MS コンクリート

解説図 2.5.1 自由収縮ひずみ経時変化（各供試体高さ中央位置）^{[6][7]}

（MS コンクリートは溶融スラグ細骨材を 30%混合したコンクリートを表す）

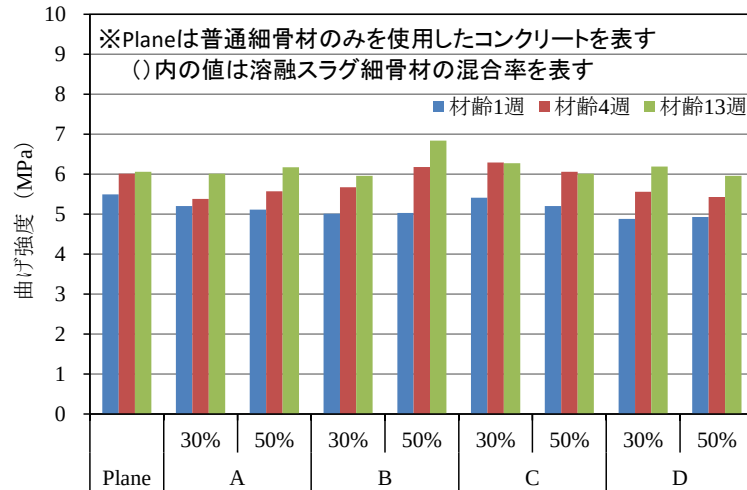


解説図 2.5.2 溶融スラグ細骨材を使用したコンクリートの断熱温度上昇^[8]

2.6 強度特性

溶融スラグ細骨材を使用した舗装用コンクリートの曲げ強度は、普通細骨材を使用したコンクリートで得られる強度と同等でなければならない。

【解説】解説図 2.6.1 は産地の異なる溶融スラグ細骨材 4 種類を使用した舗装用コンクリートの曲げ強度試験（水セメント比：42%）の結果の一例を示したものである。この図に示すように、溶融スラグ細骨材を使用したコンクリートの強度は普通細骨材を使用したコンクリートとほぼ同等である。



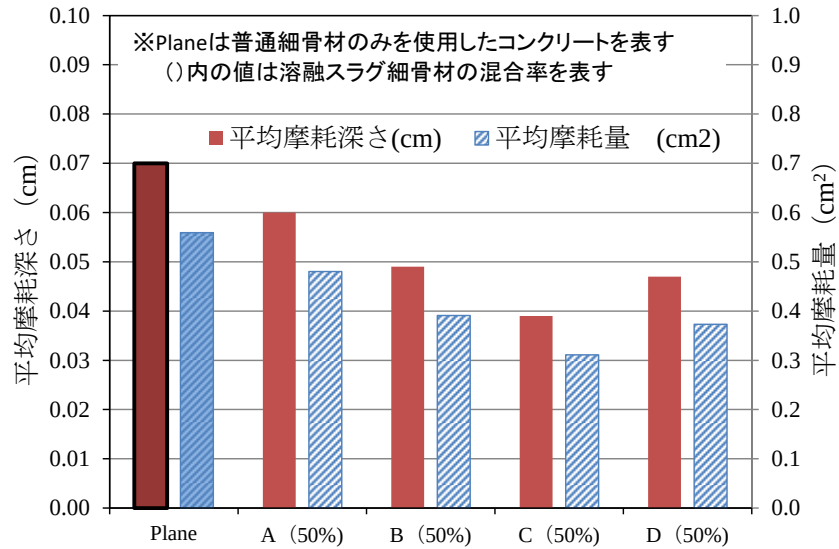
解説図 2.6.1 溶融スラグ細骨材を使用したコンクリートの曲げ強度^[9]

(セメントは普通ポルトランドセメントを使用。英記号は溶融スラグ細骨材の製造地を表す)

2.7 耐久性

溶融スラグ細骨材を使用した舗装用コンクリートは、供用期間中に受ける種々の作用に対して十分な耐久性を有することを確認しなければならない。

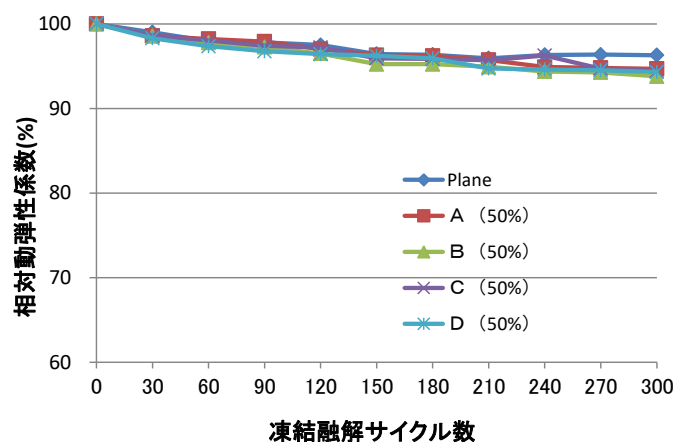
【解説】コンクリート舗装の供用期間中の種々の作用による品質低下は、摩耗によるすりへり、それに伴うすべり、凍結融解によるスケーリング等が考えられる。これらの品質低下に対し、溶融スラグ細骨材を使用した舗装用コンクリートが所要の抵抗性を有していることを、必要に応じて、試験によって確認しなければならない。実績がある場合や信頼できるデータがある場合は、それらを用いて確認できるとしてよい。解説図 2.7.1 に、すりへり抵抗性の結果の一例としてコンクリートのラベリング試験による平均摩耗深さ（すりへり深さ）および平均摩耗量（すりへり量）の結果を示す。溶融スラグ細骨材を 50%混合したコンクリートのすりへり抵抗性は、普通細骨材を使用したコンクリートより高いので、溶融スラグ細骨材を用いることに対する特段の配慮は必要としない。



解説図-2.7.1 ラベリング試験結果（括弧内の数値は混合率を示す）^[9]

溶融スラグ細骨材を使用したコンクリート舗装のすべり抵抗性に関しては、信頼できるデータが得られていないので、必要に応じて、試験によって確認しなければならない。しかし、前述したように、溶融スラグ細骨材を使用したコンクリートのすりへり抵抗性が普通細骨材を使用したコンクリートに比べて高いことから、骨材自体が硬質であると考えられる。また、一般的にコンクリート舗装は、適切なほうき目仕上げが行われれば、10年程度はすべり抵抗性が確保できることが経験的に知られている。これらのことから、溶融スラグ細骨材を使用したコンクリートも、適切なほうき目仕上げが行われれば、普通細骨材を使用した場合と同等のすべり抵抗性を有すると考えることができる。

解説図 2.7.2 に凍結融解抵抗性試験の結果の一例を示す。溶融スラグ細骨材を 50%混合したコンクリートの凍結融解抵抗性は、普通細骨材を使用したコンクリートと同様に相対動弾性係数が 90%以上であるため、溶融スラグ細骨材を用いることに対する特段の配慮を必要としない。



解説図 2.7.2 溶融スラグ細骨材を使用したコンクリートの凍結融解抵抗性^[9]

3 章 溶融スラグ骨材を細骨材として使用したコンクリート舗装の設計に関する一般事項

3.1 総則

(1)本章は、混合率 30%以下の溶融スラグ細骨材を使用したコンクリート舗装の設計の基本的な考え方を示すものである。

(2)この章に規定する設計に関する一般事項は、設計基準曲げ強度が 4.4N/mm^2 の溶融スラグ細骨材を使用したコンクリート舗装に適用することを原則とする。

【解説】(1)について 溶融スラグ細骨材の混合率が 30%以下であれば、溶融スラグ細骨材を使用した舗装用コンクリートの力学的性質、すなわち曲げ強度および曲げ疲労破壊回数、圧縮ヤング係数、ポアソン比などは、普通細骨材を使用した舗装用コンクリートと概ね同様であることが、附属資料により明らかにされている。このことから、溶融スラグ細骨材を使用したコンクリート舗装の設計の基本的考え方も普通細骨材を使用した場合と同様であるとした。溶融スラグ細骨材の混合率が 30%を超える場合は、実験などにより版厚設計に大きな影響を持つ物性値が混合率 30%以下の場合と同等であることを確認すれば、上述の設計の基本的考え方を使用してもよい。

3.2 設計の基本的な考え方

(1)溶融スラグ細骨材を使用したコンクリート舗装の版厚設計は、経験にもとづく方法を標準とする。

(2)(1)の設計法を適用する場合、舗装計画交通量は 1,000 台未満/日・方向（交通量区分 N5 以下）を標準とする。

(3)精度の高い設計を行う場合は土木学会「舗装標準示方書」によらなければならない。

【解説】(1)および(2)について 舗装の設計は、通常、日本道路協会「舗装設計便覧」^[1]により、舗装計画交通量と路床の CBR と関係づけて経験的に定められた路盤厚とコンクリート版厚を用いて行われている。溶融スラグ細骨材の混合率が 30%以下の舗装用コンクリートは、曲げ強度や曲げ疲労特性が通常の舗装用コンクリートとほとんど変わらないことから、従来の実績に基づいて、交通量と版厚の関係を用いて設計してよいとした。ただし、溶融スラグ細骨材を使用したコンクリート舗装の使用実績がほとんどないため、本試案では交通量区分 N5 までを標準とした。なお、発注者の了解が得られれば、N5 以上の交通舗装への適用を妨げるものではない。解説表 3.2.1 および解説表 3.2.2 は日本道路協会『舗装設計便覧』に定められている普通コンクリート舗装における N5 以下の路盤の厚さとコンクリート版厚を示したものであり、これに基づいて設計するとよい。なお、設計期間は 20 年である。

解説表 3.2.1 路盤の厚さ（普通コンクリート舗装）

（単位：cm）

交通量区分	舗装計画交通量 (台/日・方向)	路床の設計 CBR	アスファルト 中間層(cm)	粒度調整碎石 (cm)	クラッシュラン(cm)
N1～N4	T<250	(2)	0	25(20)	40(30)
		3	0	20(15)	25(20)
		4	0	25(15)	0
		6	0	20(15)	0
		8	0	15(15)	0
		12 以上	0	15(15)	0
N5	250≦T<1,000	(2)	0	35(20)	45(45)
		3	0	30(20)	30(25)
		4	0	30(20)	25(0)
		6	0	25(15)	0
		8	0	20(15)	0
		12 以上	0	15(15)	0

1.粒度調整碎石の欄（ ）内の値：セメント安定処理路盤の場合の厚さ※

2.クラッシュランの欄（ ）内の値：上層路盤にセメント安定処理路盤を使用した場合の厚さ

3.路床（原地盤）の設計 CBR が 2 のときには、遮断層の設置や路床の構築を検討する

4.設計 CBR 算出時の路床の厚さは 1m を標準とする。ただし、その下面に生じる圧縮応力が十分小さいことが確認される場合においては、この限りではない

※粒度調整碎石の欄の（ ）内の値は、セメント安定処理路盤を使用した場合のその路盤厚さを意味する（検討会加筆）

解説表 3.2.2 コンクリート版の版厚等（普通コンクリート舗装）

交通量 区分	舗装計画交通量 （台/日・方向）	コンクリート版 の版厚	鉄網	収縮目地 間隔（※1）	タイバー、 ダウエルバー
N1～N3	T<100	15cm	原則として 使用する 3 kg/m ²	8m	原則として 使用する
N4	100≤T<250	20cm			
N5	250≤T<1,000	25cm		10m	

（※1）鉄網を用いない場合、N1～N4 は 5m、N5 は 6m とする

(3)について より精度の高い版厚設計を行う場合などでは、設計条件を明確にし、曲げ疲労ひび割れの発生を限界状態とするコンクリート舗装の版厚設計を行うべきとした。具体的な手順は、①コンクリート版に発生する荷重応力およびコンクリート版上下面の温度差によるそり拘束応力の合成応力を求め、②設計曲げ疲労曲線（以下、疲労曲線）および輪荷重に対応した予測交通量により累積曲げ疲労度を算定し、③所定の設計耐用期間に累積された疲労度が 1.0 以下になるよう版厚を算定

する、である。その計算に用いる材料の設計値は、後に示す本試案 3.3 の材料の設計値を用いるとよい。

3.3 材料の設計値

3.3.1 コンクリートの強度

溶融スラグ骨材を細骨材として使用した舗装用コンクリートの特性値（設計基準曲げ強度）は、材齢 28 日における強度試験に基づいて定めることを原則とする。ただし、舗装の使用目的、主な荷重の作用する時期および施工計画等に応じて、適切な材齢における試験強度に基づいて定めてもよい。曲げ強度試験方法は JIS A 1106「コンクリートの曲げ強度試験方法」による。

【解説】解説図 2.6.1 および既往の研究^[10]より、混合率が 30%以内の溶融スラグ細骨材を使用した舗装用コンクリートの曲げ強度は、普通細骨材を使用した舗装用コンクリートのそれとほぼ同等である。このことから、溶融スラグ細骨材を用い、かつ普通ポルトランドセメントおよび高炉セメント B 種を使用したコンクリートの強度の管理材齢は、通常の舗装用コンクリートと同一の 28 日（標準養生）と定めた。

普通ポルトランドセメントおよび高炉セメント B 種以外のセメント種を使用する場合は、使用するセメント種によって強度発現速度が異なるので、それを考慮して適切に強度管理材齢を定めることができるとした。

3.3.2 曲げ疲労曲線

溶融スラグ細骨材を使用した舗装用コンクリートの曲げ疲労曲線は、試験で求めるのを原則とする。ただし、試験によらない場合は、土木学会「舗装標準示方書」I-3 章 I-3.3.4 曲げ疲労曲線を用いてよい。

【解説】曲げ疲労試験は、日本道路協会「舗装調査・試験法便覧」B070「コンクリートの曲げ疲労試験方法」に準じて行うものとする。その際、供試体の曲げ変形に伴う軸方向の水平変位は拘束しないように留意しなければならない。

3.3.3 ヤング係数

溶融スラグ細骨材を使用した舗装用コンクリートのヤング係数は JIS A 1149「コンクリートの静弾性係数試験方法」により求めることを原則とする。ただし、試験によらない場合は信頼できるデータで定めてよい。

【解説】コンクリートのヤング係数は版上下面の温度差によるそり拘束応力、輪荷重による応力に影響を及ぼす。ヤング係数が実際より小さいとそり拘束応力、輪荷重応力いずれも小さくなり危険側の評価を与えるため、試験によることを原則とした。

解説表 3.3.1 は解説図 2.6.1 に示したコンクリートの材齢 28 日の強度試験結果に基づいて得られた圧縮ヤング係数、曲げ強度、圧縮強度の関係を示したものである。ここで、曲げ強度および圧縮強度の特性値は、いずれも一般的な値として、変動係数を 10%、信頼度を 95% とし、それぞれの実験値の平均値から求めたものである。また、温度差応力および輪荷重応力の評価には曲げヤング係数を適用するのが望ましいが、曲げヤング係数の試験方法は現在のところ規定されておらず、さらに曲げヤング係数は圧縮ヤング係数とほぼ等しいとされているので、解説表 3.3.1 に示す圧縮ヤング係数を用いてよいとした。

解説表 3.3.1 コンクリートのヤング係数と強度の関係

曲げ強度の特性値 (N/mm ²)	4.0	4.5	5.0
圧縮強度の特性値 (N/mm ²)	33.8	35.5	37.2
圧縮ヤング係数 (kN/mm ²)	35	35	37

3.3.4 ポアソン比

溶融スラグ細骨材を使用したコンクリートのポアソン比は、一般に 0.2 としてよい。

3.3.5 熱特性

溶融スラグ細骨材を使用した舗装用コンクリートの熱特性は試験あるいは既往のデータに基づいて定めることを原則とする。

【解説】コンクリート舗装の設計では熱膨張係数の影響が大きいため、その特性値についてはコンクリート舗装の配合および使用条件を考慮した試験あるいは既往のデータに基づいて求めることを原則とした。

既往の研究^[11]によれば、混合率 30%以下で溶融スラグ細骨材を使用したコンクリートの熱膨張係数は、普通細骨材を使用したコンクリートのそれとほぼ同等である。普通細骨材を使用したコンクリートの熱膨張係数は、一般的には、ポルトランドセメントを使用した場合は $10 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$ 、高炉セメント B 種を使用した場合は $12 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$ とされており、溶融スラグ細骨材を使用した舗装用コンクリートにおいてもこの数値を用いてよい。

舗装用コンクリートの熱特性については解説表 3.3.2 に示した値を用いてよい。

解説表 3.3.2 コンクリートの熱特性

熱伝導率	2.56 W/(m $^{\circ}\text{C}$)
比熱	1,050 J/(kg $^{\circ}\text{C}$)
温度拡散率	0.003 m 2 /h

4 章 舗装用コンクリートの材料

4.1 総則

熔融スラグ細骨材を使用する舗装用コンクリートの材料は 2 章「熔融スラグ細骨材を使用した舗装用コンクリートの品質」に規定した性能を満足できるものでなければならない。なお、本試案で規定されていない事項については、土木学会「舗装標準示方書」Ⅲ-3 章「コンクリート舗装の材料」によるものとする。

【解説】 熔融スラグ細骨材は、製造プラントの制約条件および材料入手のし易さや輸送コストを含めた経済性なども考慮して、選定するのがよい。

4.2 細骨材

4.2.1 一般

舗装用コンクリートに使用する普通細骨材、熔融スラグ細骨材および熔融スラグ混合細骨材は、所定の品質を満足するものを用いなければならない。

【解説】 舗装用コンクリートに使用する熔融スラグ細骨材は、普通細骨材とは別に単独で入荷しレディーミクストコンクリート工場で普通細骨材と混合し使用する場合と、混合細骨材として入荷し使用する場合がある。

普通細骨材と熔融スラグ細骨材をそれぞれ単独で入荷する場合、普通細骨材と熔融スラグ細骨材は、それぞれの規格を満足したものでなければならない。

普通細骨材と熔融スラグ細骨材を混合細骨材として入荷する場合、粒度と塩化物含有量については、普通細骨材および熔融スラグ細骨材それぞれの満足していなくても、熔融スラグ細骨材と普通細骨材を混合したものが JIS A 5308 を満足すればよい。それ以外の品質については、それぞれの規格を満足したものでなければならない。

4.2.2 熔融スラグ細骨材

4.2.2.1 一般

- (1) 熔融スラグ細骨材は、JIS A 5031 に適合したものでなければならない。
- (2) 熔融スラグ細骨材は、ポップアウトおよび異常膨張を生じさせないものでなければならない。

【解説】 (1)および(2)について JIS A 5031 には、熔融スラグ細骨材の有害物質の溶出量と含有量、

化学成分、物理的性質、粒度、アルカリシリカ反応性、膨張性、ポップアウトについて規定されている。使用する溶融スラグ細骨材はこれらの規格に適合するものでなければならない。解説表 4.2.1 は溶融スラグ細骨材の環境安全基準値を、解説表 4.2.2 はその化学成分および物理的性質の規格値を示している。ポップアウトおよび異常膨張は 2.2 で先述した通り、確認しなければならない。

解説表 4.2.1 溶融スラグ細骨材の環境安全基準（JIS A 5031）

項目	溶出量 mg/L	含有量 mg/kg
カドミウム	0.01 以下	150 以下
鉛	0.01 以下	150 以下
六価クロム	0.05 以下	250 以下
ひ素	0.01 以下	150 以下
水銀	0.0005 以下	15 以下
セレン	0.01 以下	150 以下
ふっ素	0.8 以下	4000 以下
ほう素	1 以下	4000 以下

解説表 4.2.2 溶融スラグ細骨材の化学成分および物理的性質（JIS A 5031）

項目		規格値
化学成分	酸化カルシウム（CaO として） %	45.0 以下
	全硫黄（S として） %	2.0 以下
	三酸化硫黄（SO ₃ として） %	0.5 以下
	金属鉄（Fe として） %	1.0 以下
	塩化物量（NaCl として） %	0.04 以下
物理的性質	絶乾密度 g/cm ³	2.5 以上
	吸水率 %	3.0 以下
	安定性 %	10 以下
	粒径判定実積率 %	53 以上
	微粒分量 %	7.0 以下

4.2.2.2 粒度

(1) 熔融スラグ細骨材の粒度の範囲は、表 4.2.1 によるものとし、ふるい分け試験は、JIS A 1102「骨材のふるい分け試験方法」によるものとする。

表 4.2.1 熔融スラグ細骨材の粒度の範囲 (JIS A 5031)

種類 \ ふるいの呼び寸法 (mm)	ふるいを通るものの質量百分率(%)						
	10	5	2.5	1.2	0.6	0.3	0.15
5mm 熔融スラグ細骨材	100	90-100	80-100	50-90	25-65	10-35	2-15
2.5mm 熔融スラグ細骨材	100	95-100	85-100	60-95	30-70	10-45	5-20
1.2mm 熔融スラグ細骨材	—	100	95-100	80-100	35-80	15-50	10-30
5-0.3mm 熔融スラグ細骨材	100	95-100	45-100	10-70	0-40	0-15	0-10

(2) 熔融スラグ細骨材の粗粒率は、購入契約時に定められた粗粒率と比べ、± 0.20 以内を標準とする。

【解説】(1)について 表 4.2.1 は、JIS A 5031 に規定される熔融スラグ細骨材の粒度の範囲を示したものである。熔融スラグ細骨材には、普通細骨材の細目、中目または粗目のいずれのものとも混合使用できるように、4 種類の粒度が規定されている。

(2)について 熔融スラグ細骨材の粗粒率が大きく変化すると、所要のフレッシュ性状を確保するためにコンクリートの配合を変更しなければならない。したがって、熔融スラグ細骨材の粗粒率は、購入時に要求した粗粒率の±0.20 の範囲内に入ることを標準とした。

4.2.3 普通細骨材

熔融スラグ細骨材と混合する普通細骨材は、JIS A 5308 : 2019 附属書 A に含まれる砕砂および砂の規定に適合したものでなければならない。

【解説】普通細骨材の品質は JIS A 5308 の附属書 A に含まれる砕砂と、砂の規定に適合したものでなければならない。ただし、普通細骨材は、熔融スラグ細骨材と混合して使用するため、その粒度および塩化物含有量に関しては、混合した砂として規格が満足されていればよいので、普通細骨材自体としては粒度および塩化物含有量の規格を満足しなくてもよい。

4.2.4 溶融スラグ混合細骨材

4.2.4.1 一般

溶融スラグ細骨材と普通細骨材があらかじめ混合された細骨材は、混合前のそれぞれの細骨材の品質が試験成績表によって確認でき、かつ目標とした溶融スラグ細骨材混合率が明示されたものでなければならない。また、溶融スラグ細骨材と普通細骨材とが均一に混合されたものでなければならない。

【解説】溶融スラグ細骨材と普通細骨材があらかじめ混合された細骨材を使用する場合は、混合前のそれぞれの細骨材の品質と混合の際に目標とした混合率が明らかになっていることが重要である。この場合、溶融スラグ細骨材混合率に応じたそれぞれの分量の細骨材が均一に混合されなければならない。また、あらかじめ混合された混合細骨材が、それぞれの密度の違いにより、運搬中や貯蔵中に分離しないように注意しておくことも重要である。

4.2.4.2 溶融スラグ細骨材混合率

溶融スラグ細骨材の混合率は、所要の性能を有する舗装用コンクリートが得られるように、試験などによって適切に定めなければならない。

【解説】本試案では、原則として溶融スラグ細骨材混合率を容積比で 30%以下としている。溶融スラグ細骨材の混合率は、所要の性能を有する舗装用コンクリートが得られるように、試験や信頼できるデータなどによって適切に定めなければならない。

4.2.4.3 粒度

(1) 熔融スラグ混合細骨材の粒度は、均一に混合された状態において、表 4.2.2 の範囲を標準とする。

表 4.2.2 熔融スラグ混合細骨材の粒度の範囲

種類 \ ふるいの呼び寸法 (mm)	ふるいを通るものの質量百分率(%)						
	10	5	2.5	1.2	0.6	0.3	0.15
熔融スラグ混合細骨材	100	90-100	80-100	50-90	25-65	10-35	2-10

(2) 熔融スラグ混合細骨材の粗粒率は、配合設計時に定められた粗粒率と比べ、±0.20 以内を標準とする。

【解説】(1)について 熔融スラグ細骨材と普通細骨材を混合した細骨材は、それらが適切な混合率で均一に混合され、大小粒が適当に混合した粒度分布を有するものでなければならない。その熔融スラグ混合細骨材の標準とする粒度は、JIS A 5308:2019 附属書 A「レディーミクストコンクリート用骨材」に規定されている砂の範囲であり、かつ粒度の変動はできるだけ少ないことが望ましい。この粒度範囲の熔融スラグ細骨材を用いれば、一般に良好なコンクリートを製造することができる。

(2)について 熔融スラグ細骨材に対する 4.2.2.2 (2) の解説と同じ趣旨により、この規定を設けた。

4.2.4.4 塩化物含有量

熔融スラグ混合細骨材の塩化物含有量は、JIS A 5308:2019 附属書 A に示されている細骨材中の塩化物含有量の規定を満足しなければならない。

【解説】熔融スラグ細骨材と普通細骨材を混合した細骨材の塩化物含有量の限度値は、一般のコンクリートに用いられる普通細骨材に対する規定値と同じとした。

4.3 粗骨材

- (1) 舗装用コンクリートに使用する普通粗骨材は JIS A 5308 に適合したものとし、すりへり減量は 35%以下でなければならない。
- (2) 粗骨材最大寸法は、40mm を標準とする。

【解説】(1)について 溶融スラグ細骨材を使用した舗装用コンクリートに使用する粗骨材は JIS A 5308 附属書 A に準拠するものとする。舗装用コンクリートは、大きいすりへり作用を受け、場合によっては走行性が損なわれることもあるため、粗骨材のすりへり減量は 35%以下でなければならないとした。粗骨材のすりへり減量は、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」によるものとする。

(2)について 一般にコンクリート舗装に用いられる粗骨材最大寸法は 40mm であるため、本試案では、粗骨材最大寸法 40mm を標準とした。40mm 骨材が入手困難な場合などでは、骨材最大寸法が 20mm または 25mm の普通粗骨材を使用した溶融スラグを使用した舗装用コンクリートの品質が骨材最大寸法 40mm を使用したそれと同等であることを確認すれば使用してもよい。

5 章 舗装用コンクリートの配合設計

5.1 総則

溶融スラグ細骨材を使用した舗装用コンクリートの配合設計は、溶融スラグ細骨材の特性を考慮し、所要のフレッシュ性状、ひび割れ抵抗性、硬化後の曲げ強度、曲げ疲労抵抗性、すべり抵抗性、すりへり抵抗性、凍結融解抵抗性、耐アルカリシリカ反応性などを満足するように行わなければならない。

【解説】溶融スラグ細骨材の骨材表面は滑らかなガラス質で保水性が低いいため、溶融スラグ細骨材混合率が 30%以下であっても、同一スランプのコンクリートに対して、溶融スラグ細骨材混合率が増加するとブリーディング率が増加する場合があることが指摘されている。このブリーディングの増加は、すべり抵抗やすりへり抵抗を低下させる可能性があるため、ブリーディングの増加が確認された場合、それを抑制するために配合設計において混和材料等の使用を検討するのがよい。

また、凝結についても通常の構造用コンクリートにおいて、混合率が 30%以下であっても、若干遅延する場合があることが報告されている。舗装用コンクリートの凝結の遅延は、ほうき目仕上げや養生マットの敷設等が遅れ作業効率の低下をもたらす恐れにつながるため、それが確認された場合には配合設計において混和材料等の使用を検討し、改善を図るのがよい。

5.2 水セメント比

(1) 水セメント比は、所要のフレッシュ性状、強度特性、耐久性等を考慮して、これらから定まる水セメント比のうちで最小の値を設定する。

(2) コンクリートの曲げ強度に基づいて水セメント比を定める場合は、試験によって定めることを原則とする。試験の材齢は、28 日を標準とする。ただし、試験の材齢は使用するセメントの特性などを勘案してこれ以外の材齢を定めてもよい。

【解説】(1)について 一般に、道路におけるコンクリート舗装の水セメント比は、設計基準曲げ強度 4.4 または 4.5N/mm²を満足するように定められ、その値は 40～45%程度である。この値は、一般的な構造用コンクリートに比べて低水セメント比であり^[12]、所定の耐久性を満足することが経験的に知られている。溶融スラグ細骨材を使用した舗装用コンクリートの配合設計も普通細骨材を使用した場合と同様な考え方で行うことができる。

(2)について 曲げ強度 4.4N/mm²で溶融スラグ細骨材の混合率が 30%以下であれば、溶融スラグ細骨材を使用した舗装用コンクリートについても、普通細骨材を使用した舗装用コンクリートと同様

に、セメント水比と曲げ強度との間に直線関係がある。したがって、曲げ強度は、セメント水比と曲げ強度との関係式から求めてよい。

5.3 単位粗骨材かさ容積

単位粗骨材かさ容積は、所要のワーカビリティが得られる範囲内でできるだけ大きくなるように、試験によって定めるのを原則とする。

【解説】 舗装用コンクリートの配合設計は、単位粗骨材かさ容積を用いて行うのが一般的である。コンクリート舗装は、一般的なコンクリート構造物に比べて、大きいすりへり作用を受ける。特に積雪寒冷地においては、スパイクタイヤが禁止となったものの、金属チェーンなどの使用によりコンクリート舗装版がすりへり、走行性が損なわれることもある。このようなすりへり作用への対応のため、一般に舗装用コンクリートの粗骨材量は通常のコンクリートに比べて多い。

一般に、単位粗骨材かさ容積を大きくする（細骨材率を小さくする）と、所要のコンシステンシーを得るために必要な単位水量は減少するが、単位粗骨材かさ容積がある程度以上大きくなると、コンクリートが荒々しく、材料分離抵抗性が小さいコンクリートになる。通常の粗骨材最大寸法 40mm の碎石を用いた、荷卸し時のスランプ 2.5cm の舗装用コンクリートの場合、単位粗骨材かさ容積は 0.73 程度である^[13]。

溶融スラグ細骨材を使用した舗装用コンクリートでは、溶融スラグ細骨材の種類や混合率、粒度や粒形により、スランプが変化する場合もあるので、事前に試験を行い、適切に単位粗骨材かさ容積を定めるのを原則とした。

5.4 単位水量

単位水量は、所要のワーカビリティが得られる範囲内でできるだけ小さくなるように、試験によって定めるのを原則とする。

【解説】 溶融スラグ細骨材の混合率が 30%以下の場合では、使用する溶融スラグ細骨材の種類によって同一スランプを保持するために単位水量が増減することから、事前に配合試験を行い、適切に単位水量を定めるのを原則とした。

5.5 単位セメント量

熔融スラグ細骨材を使用した舗装用コンクリートの単位セメント量の上限あるいは下限が設計図書等で定められている場合には、これらの上下限値を満足しなければならない。

【解説】熔融スラグ細骨材を使用した舗装用コンクリートの単位セメント量は、5.2 から定められた水セメント比と 5.4 で得られた単位水量から計算することができる。単位セメント量の上限あるいは下限が設計図書等に記載されている場合は、上述の単位セメント量がそれを満足するよう配合設計を行わなければならない。

5.6 コンクリートの性能照査

5.6.1 一般

選定した材料と配合より得られた熔融スラグ細骨材を使用した舗装用コンクリートが、要求されている性能を満足することを照査しなければならない。性能照査は、必要に応じて土木学会「舗装標準示方書」に準じて行うこととする。

【解説】熔融スラグ細骨材を使用した舗装用コンクリートに要求される性能には、曲げ強度、曲げ疲労抵抗性、施工性、ひび割れ抵抗性、すべり抵抗性、すり減り抵抗性、凍結融解抵抗性、耐アルカリシリカ反応性等がある。

本試案における舗装の設計は、経験的版厚設計法を用いることを標準としている。この場合の設計基準曲げ強度は 4.4N/mm^2 であるので、この値が満足されていることを試験に基づいて照査しなければならない。また、経験的版厚設計法では、曲げ疲労抵抗性は照査の対象とならない。

熔融スラグ細骨材を使用した舗装用コンクリートの耐アルカリシリカ反応性の照査は、JIS A 5308:2019 附属書 B「アルカリシリカ反応の抑制対策の方法」に示された抑制対策をとることとし、省略してよい。

5.6.2 曲げ強度の照査

熔融スラグ細骨材を使用したコンクリートの曲げ強度の照査は、 $150\text{mm} \times 150\text{mm} \times 530\text{mm}$ の供試体を用い、JIS A 1106「コンクリートの曲げ強度試験方法」の試験方法により得られた曲げ強度に対して行わなければならない。

【解説】照査をすべき曲げ強度は、その特性値に対して行うのが一般的である。その特性値は、設

計基準曲げ強度に材料係数を乗じたものであり、一般に材料係数は 1.0 であるので、設計基準曲げ強度と同値になる。また、曲げ強度は供試体寸法の影響により、同じコンクリートであっても供試体寸法が大きくなると小さくなることが知られていることから、本試案ではこのことを考慮して、寸法 150×150×530mm の供試体で得られた曲げ強度を用いて照査することとした。粗骨材最大寸法 20mm または 25mm の普通粗骨材を用いる場合、寸法 100×100×400mm の供試体を用いて求めた曲げ強度と、これと同じ材料、同じ配合を用いた寸法 150×150×530mm の供試体の曲げ強度との比が明らかな場合は、曲げ強度試験は寸法 100×100×400mm の供試体で行い、その比を用いて寸法 150×150×530mm の供試体から得られる曲げ強度へ換算してもよい。

試験材齢は、普通ポルトランドセメントおよび高炉セメント B 種を用いたコンクリートの場合、28 日を標準とし、早強ポルトランドセメントを用いる場合などは、使用するセメントの特性を勘案して適切な材齢を定めてもよい。

2 章解説図 2.6.1 に示したように、熔融スラグ細骨材を使用した舗装用コンクリートの曲げ強度は普通細骨材を使用したコンクリートと同程度であることから、普通細骨材を使用した舗装用コンクリートと同様の方法で照査してよいとした。

5.6.3 施工性の照査

熔融スラグ細骨材を使用した舗装用コンクリートの施工性の照査は、スランプおよびブリーディングに対して行うのを標準とする。

【解説】熔融スラグ細骨材を使用した舗装用コンクリートの施工性は、スランプと材料分離に強く影響される。熔融スラグ細骨材の密度は普通細骨材に比べ大きいのでブリーディングが生じやすく、ブリーディングが過度に生じると、ほうき目を入れる時期が遅れるとともに、コンクリートの表層部分が脆弱になり、適切なほうき目仕上げを行ってもすべり抵抗性が確保できない可能性がある。このことから、施工性の照査はスランプとともにブリーディングに対して行うこととする。ブリーディングに対する照査はブリーディング率で行うほか、配合設計の際にフレッシュコンクリートの表面をこてで均し、水の上がり具合などを確認するとよい。なお、熔融スラグ細骨材を使用した同種の舗装用コンクリートの配合設計の経験があり、その経験により施工性に関する要求性能が満たされることを確認できれば、照査を省略してよい。

5.6.4 凍結融解抵抗性に対する照査

溶融スラグ細骨材を使用した舗装用コンクリートの凍結融解抵抗性に対する照査は、凍結融解試験によるのを標準とする。

【解説】舗装標準示方書は、特に厳しい気候で凍結融解がしばしば繰り返される環境において、コンクリートの水セメント比が 55%以下で、空気量が 4.0～7.0%であれば、所要の相対動弾性係数を満足すると示している。また、道路におけるコンクリート舗装の水セメント比は、設計基準曲げ強度 4.4 または 4.5N/mm²を満足するように定められており、その値は 40～45%程度となっている。2 章解説図 2.7.2 に示すように、溶融スラグ細骨材の混合率が 50%、水セメント比が 42%、空気量が 4.1%～5.4%の条件で、300 サイクル時の相対動弾性係数が 90%以上となり、普通細骨材を使用したコンクリートと同程度となる試験結果が報告されている。これらのことから、溶融スラグ細骨材の混合率 30%以下を適用範囲とする本試案では、水セメント比が 45%以下で空気量が 4.0%以上であれば凍結融解抵抗性に対する照査を省略してよい。

5.6.5 すべり抵抗性に対する照査

溶融スラグ細骨材を使用した舗装用コンクリートのすべり抵抗性に対する照査は、舗装の供用条件を考慮した適切な試験方法に基づいて行うこととする。

【解説】溶融スラグ細骨材を使用した舗装用コンクリートは、2.7 で解説したように、すりへり抵抗性が普通細骨材を使用した舗装用コンクリートに比べて高いことから、溶融スラグ細骨材自体が硬いと考えられる。また、適切なほうき目仕上げが行われれば、10 年程度はすべり抵抗性が確保できることが経験的に知られている。さらに対象とする舗装計画交通量が 1,000 台未満/日・方向と少ない。

すべり抵抗性の照査は試験施工などにより行うことは可能であるが、特別な理由がなければ、現実的とは言えない。これらのことから、上述の条件を考慮し、溶融スラグ細骨材を使用した舗装用コンクリートのすべり抵抗性の照査は省略してよい。

5.6.6 すりへり抵抗性に対する照査

溶融スラグ細骨材を使用した舗装用コンクリートのすりへり抵抗性に対する照査は、ラベリング試験によるのを標準とする。

【解説】溶融スラグ細骨材を使用した舗装用コンクリートのラベリング試験結果によれば、2章解説図 2.7.1 に示すように、溶融スラグ細骨材の混合率が 50%であってもすりへり量およびすりへり深さが普通細骨材を使用した舗装用コンクリートよりも小さい。さらに対象とする舗装計画交通量が 1,000 台未満/日・方向と交通量が少ないことを考慮して、すりへり抵抗性に対する照査は省略してよい。

5.6.7 ひび割れ抵抗性に対する照査

溶融スラグ細骨材を使用した舗装用コンクリートのひび割れ抵抗性に対する照査は、必要に応じて、コンクリート舗装版の設計条件、施工条件などを考慮して、適切な方法に基づいて行うこととする。

【解説】溶融スラグ細骨材を使用したコンクリートの収縮、断熱温度上昇量、熱膨張係数は普通細骨材を使用したコンクリートと同等である^{[6] [7] [8] [11]}。これらの結果は舗装用コンクリートから得られたものではないが、当該コンクリートに対しても適用できるものと思われる。さらに、舗装用コンクリートが適切に養生されれば、施工段階でのひび割れがほとんど発生していないことが経験的に知られている。このようなことを考慮し、溶融スラグ細骨材を使用した舗装用コンクリートの施工段階のひび割れ抵抗性に対する照査は省略してよい。

6 章 施工計画

6.1 総則

- (1) 溶融スラグ細骨材を使用したコンクリート舗装の施工計画は、施工段階における溶融スラグ細骨材を使用した舗装用コンクリートの特性を考慮し、適切に策定しなければならない。
- (2) この章に示されていない事項については、土木学会「舗装標準示方書」Ⅲ-5 章「コンクリート舗装の施工計画」によるものとする。

【解説】(1)について 溶融スラグ細骨材を使用したコンクリート舗装の施工計画の策定に当たっては、溶融スラグ細骨材の品質が舗装用コンクリートの材料分離抵抗性や凝結時間などに影響を及ぼす場合がある。そのため、あらかじめ配合試験によりその特性を確認した上で、コンクリート打設時の条件等を検討し、適切な対策を施工計画に盛り込むとよい。

7 章 舗装用コンクリートの製造

7.1 総則

熔融スラグ細骨材を使用した舗装用コンクリートは、熔融スラグ細骨材の特性を考慮して製造しなければならない。

【解説】 舗装用コンクリートは、レディーミクストコンクリート工場で製造されるのが一般的である。熔融スラグ細骨材を用いて舗装用コンクリートを製造する場合、その特性を考慮した上で、JIS A 5308 を順守した製造を行わなければならない。

7.2 骨材の貯蔵

熔融スラグ細骨材および熔融スラグ混合細骨材は、普通細骨材と同様、所要の品質を満たすように貯蔵しなければならない。

【解説】 熔融スラグ細骨材や熔融スラグ混合細骨材は、普通細骨材の場合と同様に、大小粒が分離しない、雑物や塩化物などの有害物が混入しないなど、所要の品質を満たすように適切な構造の貯蔵設備に貯蔵しなければならない。

7.3 計量

熔融スラグ細骨材を使用した舗装用コンクリートを構成するそれぞれの材料は、所定のコンクリートが得られるよう、正確に計量しなければならない。

【解説】 熔融スラグ細骨材を使用した舗装用コンクリートの各材料の計量誤差は、通常のコンクリートと同様、コンクリートの品質変動の原因となるので、JIS A 5308 に規定された所定の精度で、各材料を正確に計量する必要がある。また、あらかじめ熔融スラグ細骨材と普通細骨材を混合した混合細骨材は、計量の際に分離しないように注意することも重要である。

なお、本試案では所定の熔融スラグ細骨材混合率を容積比で定義しているので、これに留意して、計量を行わなければならない。

7.4 製造工場の選定

溶融スラグ細骨材を使用した舗装用コンクリートの製造工場は、所要の設備の設置状況および材料入手のし易さや輸送コストを含めた経済性を考慮して、選定しなければならない。

【解説】溶融スラグ細骨材、溶融スラグ混合細骨材の一方あるいは双方を受け入れる製造工場は、受入れ設備、計量設備などの設置状況、材料入手のし易さ、輸送コスト、経済性を考慮して選定しなければならない。

7.5 運搬

溶融スラグ細骨材を使用した舗装用コンクリートの現場までの運搬においては、材料の分離に注意しなければならない。

【解説】溶融スラグ細骨材を使用した舗装用コンクリートは、溶融スラグ細骨材が通常の細骨材に比べて密度が大きく、また表面が平滑であるので振動を受けると分離しやすい。これに加えて、機械施工する場合は 2.5cm の低スランプが求められ、その運搬はダンプトラックにより行われることが多い。この場合、走行時の振動がコンクリートに伝わり材料分離が起こりやすくなるので、配合のみならず運搬速度などに注意を払う必要がある。

一方、人力施工の場合、6.5cm のスランプのコンクリートが用いられる。その運搬にはアジテータ車が用いられ、運搬時の材料分離を防ぐことができる。

8 章 コンクリート舗装の施工

溶融スラグ細骨材を使用したコンクリート舗装の施工は、6 章「施工計画」に示す方法で立案された施工計画に基づいて実施する。

【解説】一般に普通細骨材を使用したコンクリート舗装の施工において、施工延長が 200m 程度以上の大規模施工の場合は強力な締固め装置を有する機械による舗設となり、コンクリートのスランプは通常 2.5cm の硬練りコンクリートとなる^[13]。また、施工延長が 200m 程度以下の小規模施工の場合は人力による舗設になり、コンクリートのスランプは通常 6.5cm となる^[13]。溶融スラグ細骨材を使用したコンクリート舗装の施工も同様であり、特殊な施工機械等を用いる必要はない。

人力舗設を行う場合はスランプが比較的に大きいので、溶融スラグ細骨材を使用した舗装用コンクリートは比較的に材料分離を引き起こしやすく、締固めには十分に注意する必要がある。

9 章 検 査

- (1)溶融スラグ細骨材の受入れ検査は、購入者が受入れ時に行わなければならない。
- (2)溶融スラグ細骨材を使用したコンクリート舗装版のポップアウトの発生の有無の検査は、JIS A 5031 :2016 解説「溶融スラグ骨材のコンクリートによるポップアウト確認試験方法（案）」や JSTM C 2001『溶融スラグ細骨材を用いたコンクリートのポップアウト確認試験方法』の結果に基づいて行うのを標準とする。
- (3)溶融スラグ細骨材を使用したコンクリート舗装版の金属アルミニウムによる異常膨張の有無に関する検査は、目視検査に基づいて行うのを標準とする。

【解説】(1)について 舗装用コンクリートに用いる溶融スラグ細骨材の受入れ検査では、JIS A 5031 の規格を満足していることを、試験成績表によって、購入者が確認する。その際、下記の点に留意しなければならない

- ◆ 化学成分および物理的性質を確認する試験は、JIS マークを有する溶融スラグ細骨材については、骨材製造業者（納入業者を含む）の試験成績表で確認する。一方、JIS マークを有していない溶融スラグ細骨材については、公平であり妥当な試験のデータおよび結果を出す十分な能力をもつ第三者機関へ依頼した試験成績表で確認する。
- ◆ 環境安全品質試験は、JIS Q 17025 または JIS Q 17050-1 および JIS Q 17050-2 に適合している試験事業者、または環境計量証明登録事業者が実施していることを確認する。

(2)について 溶融スラグ細骨材を使用したコンクリートでは、ポップアウトは生じるとしても打込み後 4~6 か月後に発生するとされている^[4]。そのため竣工検査時に、ポップアウトが生じるとしてもその発生の有無の確認はできない場合が想定される。このことから溶融スラグを使用したコンクリート舗装版のポップアウトに対する検査は、配合試験時に実施する JIS A 5031 : 2016 解説「溶融スラグ骨材のコンクリートによるポップアウト確認試験方法（案）」や JSTM C 2001『溶融スラグ細骨材を用いたコンクリートのポップアウト確認試験方法』の結果に基づいて行うとした。また、過去に溶融スラグ細骨材を用いた舗装用コンクリートに適用し、ポップアウトが生じていないことを確認した溶融スラグ細骨材は、発注者と協議の上、本試験による確認を省略してもよい。なお、同 JIS の附属書 C「溶融スラグ骨材のモルタルによるポップアウト確認試験方法」の試験方法により舗装用コンクリートのポップアウト発生の有無が確認できる信頼に足り得るデータがあれば、この附属書によってもよい。

(3)について 金属アルミニウムによる異常膨張の有無に関する検査については、比較的早期に発生する膨張現象であることより、通常行われるコンクリート舗装版の目視検査で行うことができるものとした。

その他の項目の検査は普通細骨材を使用したコンクリート舗装と同様に、土木学会「舗装標準示方書」に準じて行えばよい。

引用文献

- [1] 社団法人 日本道路協会, 舗装設計便覧, 平成 18 年.
- [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 (材料・コンクリート構造), Vol.67, No.2, pp181-188, 2011.
- [3] 川上勝弥, 依田彰彦, 横室隆, 鈴木澄江, “溶融スラグ骨材コンクリートの長期性状 (材齢 6.5 年),” 日本建築学会学術梗概集 (九州), A-1, pp.1093-1094, 2007.8.
- [4] 山内寛, 佐々木肇, 喜多達夫, “ごみ焼却灰溶融スラグの膨張抑制剤に関する研究,” 土木学会第 55 回年次学術公演会, VIII-171, 2000.9.
- [5] 阿部 道彦, 中摩 諭, 鈴木 澄江, “コンクリートのブリーディング量の予測式の作成に関する実験的研究,” 日本建築学会構造系論文集 第 82 巻 第 739 号, 1309-1319, 2017.9.
- [6] K.NAKARAI, K.KAWAMURA, Y.OGAWA and R.SATO, “STRUCTURAL PERFORMANCE OF OC BEAMS CONTAINING A MOLTEN SLUG AS FINE AGGREGATE,” Proceeding of the First International Conference on Concrete Sustainability, pp. 760-767, 2013.5.
- [7] 佐藤良一, “提供資料 (自由収縮ひずみ) ”.
- [8] 高海克彦, “提供資料 (断熱温度上昇量) ”.
- [9] 伊藤 孝文、盛岡 実、黒岩 義仁、他, “溶融スラグ細骨材を用いた舗装用コンクリートの基礎物性の検討,” 土木学会第 73 回年次学術公演会, V-686, 平成 30 年 8 月.
- [10] 吉本 徹, 川村 正和, 亀田 昭一, 佐藤 良一, “溶融スラグを用いた舗装用コンクリートの基礎物性,” 第 67 回セメント技術大会, 2013.5.
- [11] 佐藤良一, “提供資料 (熱膨張係数) ”.
- [12] 土木学会, “舗装工学ライブラリー16 コンクリート舗装の設計・施工・維持管理の最前線,” 2017.9.
- [13] 公益社団法人 日本道路協会, “コンクリート舗装ガイドブック 2016,” 2016.
- [14] 国土交通省 JIS 規格不適合コンクリートを使用した建築物の対策技術検討委員会 中間報告 2008.8

《附属資料》

熔融スラグ細骨材を使用した舗装用コンクリートの各種試験結果

1. はじめに

本検討では、熔融スラグ細骨材の舗装コンクリートへの適用を想定し、熔融炉の方式が異なる4種の熔融スラグ細骨材を使用したコンクリートを作製し、普通細骨材を使用したコンクリートとの性能の違いについて比較・検討するために各種試験を行った。使用した熔融スラグ細骨材を附表-1.1に示す。

附表-1.1 熔融スラグ細骨材を使用したコンクリートの各種試験

品質	産地	施設の種類
JIS 相当品※	A 市	ガス化熔融（シャフト式）
JIS マーク品	B 市	ガス化熔融（流動床式）
JIS マーク品	C 市	ガス化熔融（シャフト式）
JIS 相当品※	D 市	灰熔融

※JIS マーク品ではないが、JIS A 5031 の規格値を満足している熔融スラグ細骨材を示す

2. 溶融スラグ細骨材の品質確認試験

2.1 はじめに

溶融スラグ細骨材を使用したコンクリートを作製するにあたり、JIS A 5031「一般廃棄物、下水汚泥又はそれらの焼却灰を溶融固化したコンクリート用溶融スラグ骨材」に準拠して溶融スラグ細骨材の品質の確認試験を行った。実施試験を附表-2.1 に示す。

附表-2.1 溶融スラグ細骨材を対象とした各種試験

測定項目	該当 JIS
化学成分及び物理的性質	<u>〈化学成分〉</u> JIS A 5011-2 (金属鉄は JIS A 5011-2 の A.10) <u>〈物理的性質〉</u> ・ 絶乾密度及び吸水率試験：JIS A 1109 又は JIS A 1110 ・ 安定性試験：JIS A 1122 ・ 粒径判定実積率試験：JIS A 5005 ・ 微粒分量試験：JIS A 1103
アルカリシリカ反応	JIS A 1145、JIS A 1146 又は JIS A 1804
粒度及び粗粒率	JIS A 1102
膨張性	JIS A 5031 附属書 A
ポップアウト	JIS A 5031 附属書 C
環境安全品質基準	JIS A 5031 附属書 E

2.2 各種試験結果

2.2.1 化学成分及び物理的性質

附表-2.2 に化学成分、附表-2.3 に物理的性質を示す。いずれの溶融スラグ細骨材においても規格値を満足することを確認した。

附表-2.2 化学成分

産地	酸化カルシウム (%)	全硫黄 (%)	三酸化硫黄 (%)	金属鉄 (%)	塩化物量 (%)
A 市	34.2	0.0	0.0	0.6	0.000
B 市	30.7	0.5	0.0	0.4	0.000
C 市	26.7	0.2	0.0	0.3	0.000
D 市	27.3	0.0	0.0	0.3	0.003
(規格)	45 以下	2.0 以下	0.5 以下	1.0 以下	0.04 以下

附表-2.3 物理的性質

産地	絶乾密度 (g/cm ³)	吸水率 (%)	安定性 (%)	粒径判定実積 率 (%)	微粒分量 (%)
A 市	2.76	0.75	0.2	54.5	4.4
B 市	2.88	0.89	0.4	58.4	6.8
C 市	2.93	0.77	0.2	55.6	1.0
D 市	2.75	0.64	0.3	60.0	5.8
(規格)	2.5 以上	3.0 以下	10 以下	53%以上	7.0 (※5.0)

(※コンクリートの表面がすりへり作用を受ける場合)

2.2.2 アルカリシリカ反応性試験

附表-2.4 にアルカリシリカ反応性試験の結果を示す。いずれの溶融スラグ細骨材においても「無害」という結果となった。

附表-2.4 アルカリシリカ反応性試験

産地	アルカリシリカ反応性試験
A 市	無害 (A) (化学法)
B 市	無害 (A) (化学法)
C 市	無害 (A) (化学法)
D 市	無害

2.2.3 粒度および粗粒率

附表-2.5 に粒度および粗粒率の結果を示す。

附表-2.5 粒度および粗粒率

産地	ふるいを通るものの質量百分率 %						粗粒率
	5 mm	2.5 mm	1.2 mm	0.6 mm	0.3 mm	0.15 mm	
A 市	100	99	91	50	19	8	2.33
B 市	100	96	63	33	19	11	2.78
C 市	100	94	50	20	8	3	3.25
D 市	99	95	76	41	20	11	2.58

2.2.4 膨張性

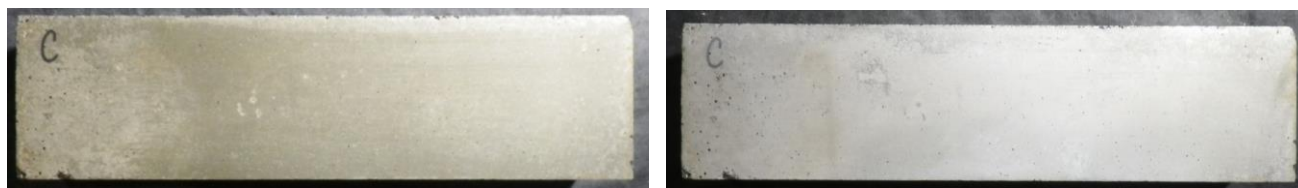
附表-2.6 に膨張性試験の結果を示す。いずれの溶融スラグ細骨材においても規格値を満足することを確認した。

附表-2.6 膨張性試験

産地	膨張率 (4 時間後)	膨張率 (24 時間後)
	%	%
A 市	0.0	0.0
B 市	0.0	0.0
C 市	0.0	0.0
D 市	0.0	0.0
(規格)	—	24 時間経過後に 0 以下

2.2.5 ポップアウト

ポップアウト確認試験前後の供試体状況の一例を附図-2.1 に示す。いずれの溶融スラグ細骨材においてもポップアウトは確認されなかった。



附図-2.1 ポップアウト確認試験前後の供試体状況（左：試験前、右：試験後）

2.2.6 環境安全品質基準

附表-2.7 および附表-2.8 に環境安全品質試験の結果を示す。

附表-2.7 有害物質の溶出量

産地	有害物質の溶出量							
	カドミウム (mg/L)	鉛 (mg/L)	六価クロム (mg/L)	ひ素 (mg/L)	総水銀 (mg/L)	セレン (mg/L)	フッ素 (mg/L)	ほう素 (mg/L)
A 市	0.000±0.000	0.002±0.000	<0.008	0.001±0.001	<0.00006	<0.005	<0.05	0.006
B 市	0.000±0.000	0.002±0.000	<0.008	0.001±0.001	<0.00006	<0.005	<0.05	0.007
C 市	0.000±0.000	0.002±0.001	<0.008	0.001±0.000	<0.00006	<0.005	<0.05	<0.006
D 市	0.000±0.000	0.001±0.001	<0.008	0.000±0.001	<0.00006	<0.005	<0.05	0.006
(規格)	0.01 以下	0.01 以下	0.05 以下	0.01 以下	0.0005 以下	0.01 以下	0.8 以下	1.0 以下

附表-2.8 有害物質の含有量

産地	有害物質の含有量							
	カドミウム (mg/kg)	鉛 (mg/kg)	六価クロム (mg/kg)	ひ素 (mg/kg)	総水銀 (mg/kg)	セレン (mg/kg)	フッ素 (mg/kg)	ほう素 (mg/kg)
A 市	0.5 未満	10	1 未満	0.2	0.05 未満	0.1 未満	5 未満	80
B 市	0.5 未満	22	1 未満	1.2	0.05 未満	0.1 未満	80	97
C 市	0.5 未満	2.7	1 未満	0.1 未満	0.05 未満	0.1 未満	180	220
D 市	0.5 未満	23	1 未満	0.1 未満	0.05 未満	0.1 未満	290	150
(規格)	150 以下	150 以下	250 以下	150 以下	15 以下	150 以下	4000 以下	4000 以下

3. 溶融スラグ細骨材を使用したコンクリートの各種試験

3.1 はじめに

溶融スラグ細骨材を使用したコンクリートの各種物性を把握するために、附表-3.1 に示す試験を実施した。

附表-3.1 溶融スラグ細骨材を使用したコンクリートの各種試験

実施試験		準拠規格
フレッシュ コンクリート	スランプ	JIS A 1101 (2005)
	空気量	JIS A 1128 (2005)
	練り上がり温度	JIS A 1156 (2006)
	ブリーディング	JIS A 1123 (2012)
硬化 コンクリート	圧縮強度	JIS A 1108 (2006)
	ヤング係数	JIS A 1149 (2017)
	曲げ強度	JIS A 1106 (2006)
	凍結融解抵抗性	JIS A 1148 (2010)
	曲げ疲労	(社) 日本道路協会 舗装調査・試験法便覧第3分冊 pp269-276 (2007)
	すりへり抵抗性	(社) 日本道路協会 舗装調査・試験法便覧第3分冊 pp17-38 (2007)

3.2 使用材料

附表-3.2 に使用材料を示す。

附表-3.2 使用材料

使用材料	品名	主な性質・化学成分
セメント	普通ポルトランドセメント	密度：3.16 (g/cm ³)
細骨材	陸砂（千葉県君津市産）	表乾密度：2.65 (g/cm ³)
粗骨材 (砂岩碎石)	2005：東京都青海産 4020：栃木県佐野産	5:5 で混合 表乾密度 2.64 (g/cm ³)
混和剤	AE 減水剤、AE 助剤	リグニンスルホン酸化合物、 イオン界面活性剤

3.3 フレッシュ性状（スランプ、空気量、コンクリート温度）

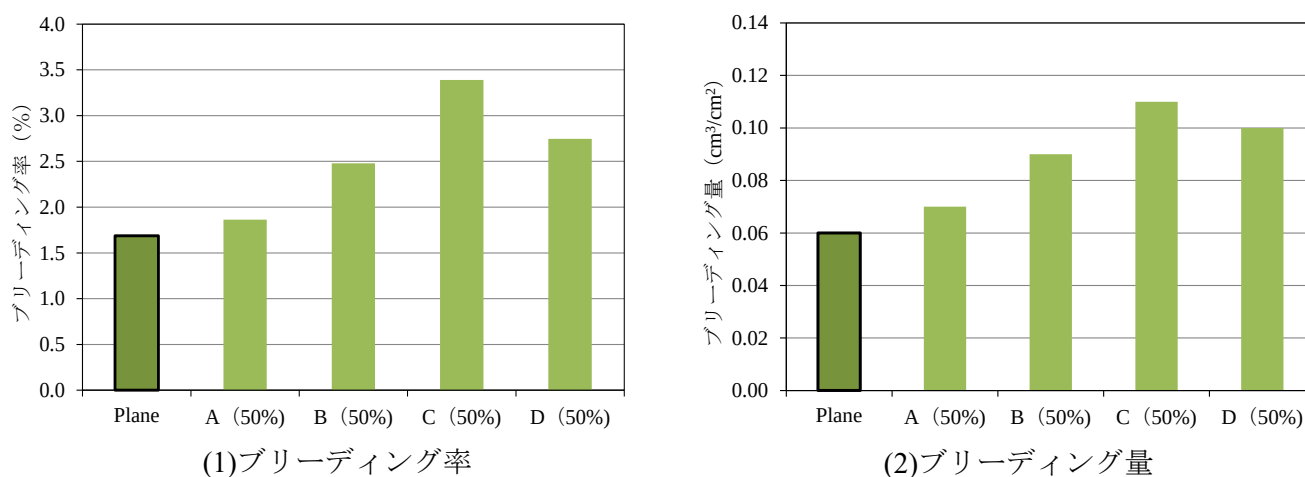
附表-3.3 に作製したコンクリートの配合表およびフレッシュ試験の結果を示す。目標スランプ $5 \pm 1.5\text{cm}$ 、目標空気量 $4.5 \pm 1.0\%$ 、W/C は 42% 固定とし、単位粗骨材かさ容積は $0.72\text{m}^3/\text{m}^3$ とした。

附表-3.3 溶融スラグ細骨材を使用したコンクリートの配合および試験結果

スラグ種類 および混合率		単位量 (kg/m³)						フレッシュ性状			
		W	C	細骨材		粗骨材			SL (cm)	Air (%)	C.T (℃)
				山砂	スラグ	4020	2010	1005			
Plane		140	333	746	0	563	394	169	4.0	4.0	21.0
A	30%	142	338	516	235				4.0	4.4	20.2
	50%	144	343	364	386				5.5	4.8	20.8
B	30%	139	331	525	249				4.5	5.2	20.8
	50%	137	326	380	421				4.5	4.2	20.1
C	30%	137	326	532	257				3.5	4.6	21.0
	50%	133	317	389	439				3.5	4.1	20.7
D	30%	140	333	522	237				4.5	5.5	20.1
	50%	140	333	373	394				5.0	5.4	20.6

3.4 ブリーディング率

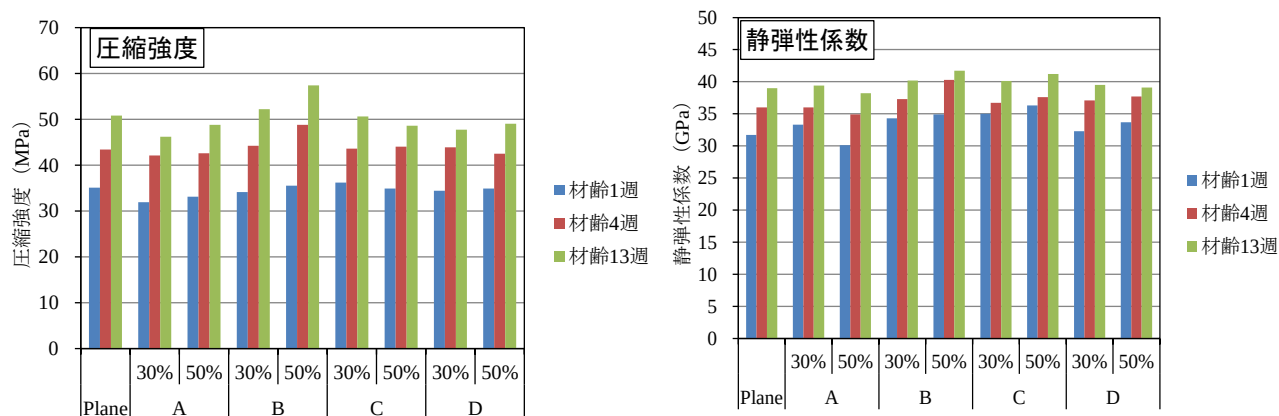
附図-3.1 にブリーディング試験の結果を示す。溶融スラグ細骨材を使用したコンクリートのブリーディング率は普通細骨材を使用したコンクリートに比べて増加している。



附図-3.1 ブリーディング試験結果

3.5 圧縮強度、静弾性係数

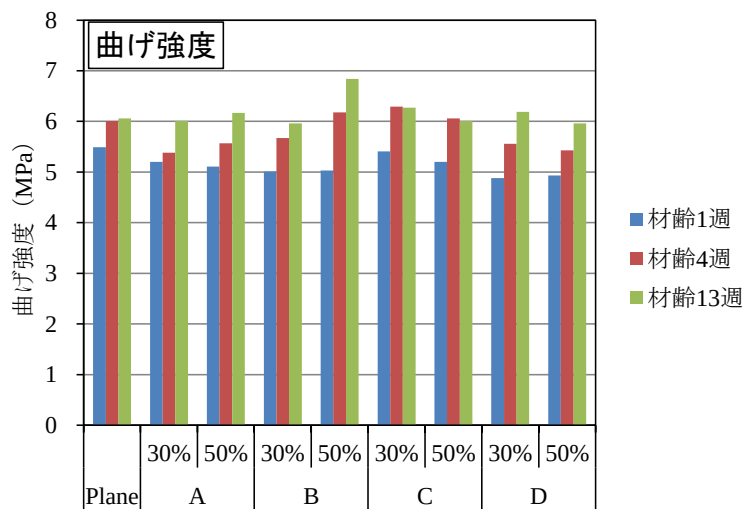
附図-3.2 に圧縮強度試験および静弾性係数試験の結果を示す。溶融スラグ細骨材を使用したコンクリートの圧縮強度は普通細骨材を使用したコンクリートと同程度である。



附図-3.2 圧縮強度および静弾性係数

3.6 曲げ強度

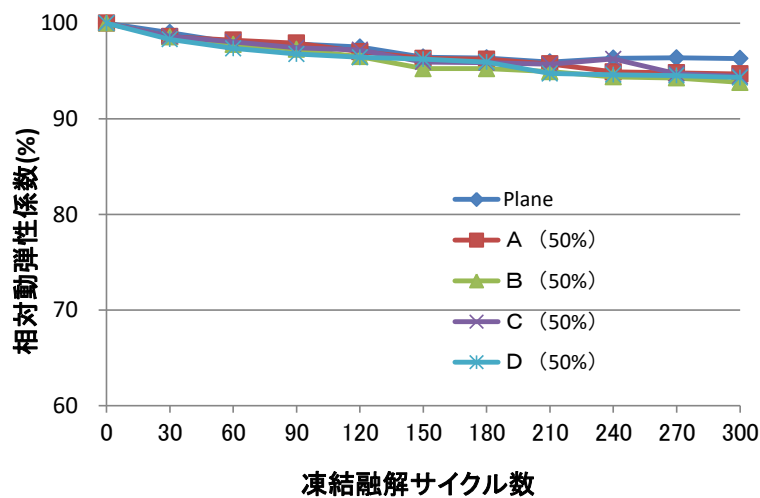
附図-3.3 に曲げ強度試験の結果を示す。溶融スラグ細骨材を使用したコンクリートの曲げ強度は普通細骨材を使用したコンクリートと同程度である。



附図-3.3 曲げ強度

3.7 凍結融解抵抗性

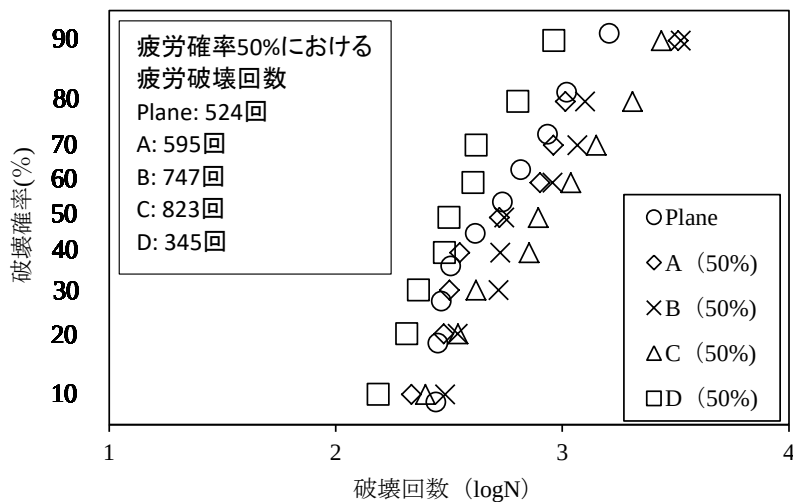
附図-3.4 に凍結融解抵抗性試験の結果を示す。溶融スラグ細骨材を使用したコンクリートの凍結融解抵抗性は普通細骨材を使用したコンクリートと同程度である。



附図-3.4 凍結融解抵抗性

3.8 曲げ疲労

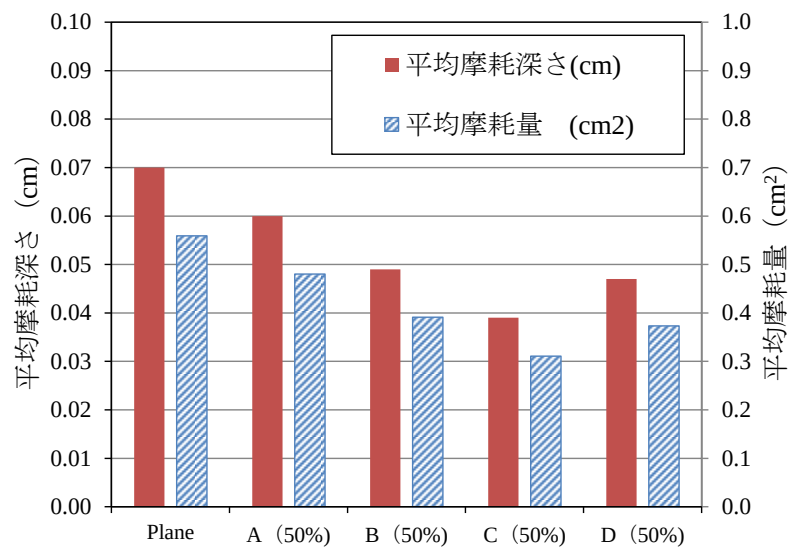
附図-3.5 に曲げ疲労試験の結果を示す。溶融スラグ細骨材 D を使用したコンクリートの曲げ疲労破壊回数は普通細骨材を使用したコンクリートに比べて小さいものの、その他のそれは同程度以上であった。



附図-3.5 曲げ疲労試験結果

3.9 すりへり抵抗性

附図-3.6 にラベリング試験の結果を示す。溶融スラグ細骨材を使用したコンクリートのすりへり抵抗性は普通細骨材を使用したコンクリートに比べて向上している。



附図-3.6 ラベリング試験

4. 試験施工

4.1 はじめに

上記の試験結果を踏まえて、溶融スラグ細骨材を使用した舗装コンクリートの試験施工を行った。試験施工は新潟県南魚沼市のごみ処理施設敷地内で 2017 年 6 月に実施した。施工規模は 5m×15m、版厚は 25cm で、人力で施工した。溶融スラグ細骨材が細骨材の全体体積割合のうち 0、30、50%になるように置換した 3 種類のコンクリートを用いて施工を行った。試験施工で用いたコンクリートの配合、フレッシュ性状及び標準養生 28 日の曲げ強度を附表-4.1 に示す。目標スランプ 6.5±1.0cm、目標空気量 4.5±1.0%とした。いずれのコンクリートにおいても 28 日標準養生後の曲げ強度は同程度であった。既往の報告で、溶融スラグ骨材を使用したコンクリートではブリーディングが多くなるとされているが、施工時において目視での過度なブリーディングは確認されなかった。これは、舗装コンクリートのような低スランプかつ単位水量が小さい配合によるためと考えられる。

附表-4.1 試験施工したコンクリートの配合及びフレッシュ性状、曲げ強度試験結果

略号	W/C (%)	s/a (%)	単位量 (kg/m ³)							フレッシュ性状			強度
			W	C	細骨材			粗骨材		SL (cm)	Air (%)	C.T (°C)	曲げ強度 (28 日)
					陸砂	砕砂	溶融スラグ	4020	2505				
Plane	40.3	34.1	134	333	322	339	—	792	530	6.0	3.9	6.0	5.2
30%			131	325	325	136	220	798	536	6.5	3.9	6.5	5.3
50%			124	308	330	—	371	812	544	5.5	4.4	5.5	5.1

4.2 施工状況



写真-1 施工現場
(施工前①)



写真-2 施工現場
(施工前②)



写真-3 施工現場

(施工前③)

— 施工前に地面の濡れている部分の水分は可能な限り除去



写真-4

フレッシュ性状確認

(確認状況①)



写真-5

フレッシュ性状確認

(確認状況②)

— 生コン現着後にフレッシュ性状を確認後に打込み及び供試体採取を実施



写真-6 施工状況

(打込み中①)

ー アジテーター車からショベルローダーに生コンを荷卸し



写真-7 施工状況

(打込み中②)

ー ショベルローダーから打込み箇所に荷卸し



写真-8 施工状況

(打込み中③)

— 打込み終了箇所に左記に示す道具を用いて粗均しを実施



写真-9 施工状況

(打込み中④)

— 粗均し後、トンボを用いて再度均しを実施



写真-10 仕上げ状況

(仕上げ①)

— 最後に左官を用いて表面仕上げを実施



写真-11 仕上げ状況
(仕上げ②)

ー 左官仕上げ後、ほうき目を入れる



写真-12 仕上げ状況
(仕上げ③)

ー ほうき目後の表面状態



写真-13 仕上げ状況
(仕上げ④)

ー ほうき目後の表面状態



写真-14 施工現場

(施工後)

ー 打込み完了後、養生マットを用いて1日養生後にカッターを用いて目地施工を実施。その後2週間散水養生を実施。



写真-15 施工現場

(養生終了後)



写真-16 施工現場
(供用中①)

— 施工後 4 ヶ月時点



写真-17 施工現場
(供用中②)

— 施工後 4 ヶ月時点



写真-18 施工現場
(供用中③)

— 施工後 4 ヶ月時点

溶融スラグ細骨材のコンクリート舗装への適用—設計施工試案—

ISBN978-4-88175-167-1 C3358

2021 年 12 月 1 日発行

一般社団法人セメント協会

東京都中央区日本橋本町 1 丁目 9 番 4 号

日本橋本町一丁目 KM ビル 7 階

電話 03(5200)5051 (代)

発行所 一般社団法人セメント協会 研究所

東京都北区豊島 4 丁目 17 番 33 号

電話 03(3914)2691 (代)

本書の無断複製および転載を禁じております。

本書に関するお問い合わせは下記宛にお願い致します。

セメント協会ホームページ <https://www.jcassoc.or.jp/>



一般社団法人 セメント協会