

豊島廃棄物処理事業における 溶融スラグの有効利用に関する最終報告書

- 豊島溶融スラグ利用にあたっての事前準備から製造・販売及び
使用コンクリート構造物に関する長期の追跡調査まで —

令和3年12月

香川県

はじめに

豊島廃棄物等については、平成12年6月6日に香川県と廃棄物対策豊島住民会議との間で公害調停が成立し、平成15年9月18日から豊島廃棄物等処理事業として直島の中間処理施設にて、その本格的な処理を開始した。

豊島廃棄物等処理事業では、豊島にある大量の廃棄物や汚染土壌等を直島に輸送して焼却・溶融施設によって処理し、不法投棄された廃棄物等を単に無害化するだけでなく、発生する熱を有効利用するとともに、得られる鉄や銅、アルミニウム等も分離回収し、再生資源として活用している。また、副成される溶融スラグも土木資材として有効活用し、可能な限りのリサイクルを実現することによって循環型社会の構築に向けてのモデルとなることを目指している。

このうち、廃棄物の焼却・溶融処理において副成する豊島溶融スラグについては、積極的な再生利用を図るため、香川県内の公共工事で使用するコンクリートの細骨材の一部として活用した。豊島溶融スラグの製造・利用にあたっては、事前調査に基づき定めた品質管理や有効利用に関するマニュアル等に従って対応するとともに、需要の状況に応じて細骨材置換率に関する規定を調整するなどの対処を行って、安定供給と利用先の拡大を実現してきた。また、豊島溶融スラグを利用したコンクリート構造物の施工後の長期的な挙動についても調査し、一般的なコンクリート構造物と同等の品質であることを確認した。

このように、製造・利用から施工後にわたって、専門家の指導・助言を受けながら、豊島溶融スラグの再生利用を実現してきたが、そのなかで得た知見は、今後の溶融スラグの有効利用の拡大に極めて有用な情報と考えている。そこで、これらの豊島溶融スラグの製造から施工後にわたる知見を本報告書に取りまとめ、公開するものである。

この報告書が今後の循環型社会の構築に向けての技術的並びに社会的展開の一助となれば幸甚である。

謝辞

本報告書の作成にあたり、豊島廃棄物等技術委員会、豊島廃棄物等管理委員会及び豊島廃棄物等処理事業フォローアップ委員会からさまざまな指導・助言を頂いた。また、特に日本サステナビリティ研究所代表・堺孝司氏と香川大学名誉教授・松島学氏には、豊島溶融スラグの製造・利用そして施工後の長期挙動調査の実施に至るまで多くの有益な指導・助言を頂いた。以上、ここに記載することで、謝意に代える。

目 次

I	概要	.....	1
II	豊島溶融スラグの有効利用に関する事前調査等		
	1. 豊島溶融スラグの有効利用に関する事前の調査及び研究	.....	3
	2. 豊島溶融スラグの利用に関するマニュアルの作成	.....	12
III	豊島溶融スラグの有効利用の状況及び課題と対策		
	1. 利用量の推移	.....	14
	2. 豊島溶融スラグの利用範囲と変遷	.....	15
	3. 製造・販売時の課題と対策例	.....	17
	4. 利用時の課題とその対応例	.....	21
IV	豊島溶融スラグ利用のコンクリート構造物のモニタリング調査		
	1. 第1次モニタリングの調査結果	.....	22
	2. 第2次モニタリングの調査結果	.....	27
	3. 調査結果の考察と結論	.....	36

I 概要

豊島廃棄物等の溶融スラグ（以下、「豊島溶融スラグ」という。）は、豊島廃棄物等の焼却・溶融処理に伴い発生するシリカ分の多いガラス質の副生物である。

豊島廃棄物等処理事業では資源の有効利用の観点から、豊島溶融スラグをコンクリートの細骨材に用いた場合の力学的性質や、アルカリ骨材反応についての基礎的な検討を行い、細骨材の30%程度の置換であれば十分利用できることを確認した。そのうえで、平成16年度から香川県発注の公共工事において利用を開始した。出荷後は、道路や砂防ダム等の擁壁、港湾の高潮対策での胸壁、建築物の基礎等の土木・建築工事に使用されており、供用後の長期的な挙動の調査のため、モニタリング調査を行った。

この報告書では、豊島溶融スラグについて、以下のとおり、使用前から供用後まで県において検討した結果について取りまとめ、循環型社会の構築に寄与する豊島廃棄物処理事業の目標の一端を達成するとともに、今後の廃棄物の溶融スラグに関する有効活用の促進に資することを目的とする。

1. 豊島溶融スラグの有効利用に関する事前調査等

豊島溶融スラグを有効利用するにあたり、豊島廃棄物等の本格的な処理の開始前にスラグの安全性及び組成等の確認を行うため、平成12年度から平成14年度までの3ヶ年計画で事前調査を実施した。

具体的には予備試験として、室内実験を主とした材料試験や有害物質の確認を行い、さらにフォローアップ試験として、安全性や品質等に問題がないことを確認したうえで、使用用途・形態の選定等を行った。

それらの結果を踏まえて利用にあたっての「溶融スラグの出荷検査マニュアル」及び「溶融スラグの有効利用マニュアル」を作成し、豊島溶融スラグを細骨材の一部として利用したレディーミクストコンクリートおよびコンクリート二次製品の利用を開始した。

2. 豊島溶融スラグの有効利用の状況及び課題と対策

平成16年度から香川県内のコンクリート工場向けに販売を開始し、公共工事で使用するコンクリートの細骨材の一部として利用を開始した豊島溶融スラグは、令和2年2月に販売を終え、翌年の令和3年2月に生コンクリートの出荷を終えた。これまでの販売総量は432,514tとなった。

利用にあたっては、当初、置換率を30%に設定していたが、平成16年度の台風被害による災害復旧工事等の需要の増加を受けて規定の置換率を30%から25%に低減したことや、その後の処理量アップや公共工事減少等の影響により、平成24年度に置換率を25%から30%に戻すなど、その時の状況に応じて、マニュアル等を見直しながら有効利用を図った。

3. 豊島溶融スラグコンクリート構造物のモニタリング調査

豊島溶融スラグを利用したコンクリート構造物の長期的な挙動を調査するため、供用開始から約10年が経過した時点で第1次モニタリング調査（平成25年度～平成27年度）

を実施した。その後、第1次で対象とした構造物について、供用15年後における継続調査を実施するとともに、スラグ置換率や土壌比率の違い等による影響を考察するため、対象構造物を選定して第2次モニタリング調査（令和元年度～令和2年度）を行うなど、二期にわたり調査を行った。

調査結果からは、豊島溶融スラグの使用に起因するアルカリ骨材反応等の劣化はほとんどなく、一般的なコンクリート構造物と同等の品質が確保されていることを確認した。

そのため、今後は各コンクリート構造物の管理者により、通常の維持管理を行うことで、安全に供用されるものと結論付けた。

II 豊島溶融スラグの有効利用に関する事前調査等

1 豊島溶融スラグの有効利用に関する事前の調査及び研究

県においては、豊島溶融スラグの有効利用を推進することを目的に、豊島廃棄物等の焼却・溶融処理により発生するスラグについて、中間処理施設が本格稼働する平成15年度までに、スラグの利用に関する評価試験を実施した。

また、利用開始前にはフィールド試験を行い、安全性の確認を行った。

(1) スラグの利用に関する評価試験

評価試験は、平成12年度から平成14年度までの3ヵ年計画で実施した。この試験では平成10年の豊島廃棄物等処理実験（表面溶融方式）により生成したスラグを用いており、実施した評価試験の結果は、次のとおりであった。

1) スラグ調査（安全性、組成等）の結果

豊島溶融スラグの有効利用にあたっては、事前に安全性及び組成等を調査しておく必要がある。

そこで、平成10年の豊島廃棄物等処理実験（表面溶融方式）で生成したスラグから銅分離装置により比重差で銅を回収したものを検体として、平成13年に組成分析及び溶出試験を実施した。表II-1-1, 2のとおり、組成分析で主成分である二酸化珪素とともに、汚染物質のカドミウム、鉛、砒素等の含有が確認されたが、溶出試験では、それらの溶出がみられず、土壤環境基準を満たすものであった。

2) 予備試験、確認試験及びフォローアップ試験の結果

土壤環境基準を満たしたスラグの用途に関し、平成13年度から平成14年度にかけて予備試験、確認試験及びフォローアップ試験を行った。

具体的な利用用途として、①レディーミクストコンクリート用骨材、②コンクリート二次製品用骨材及び③アスファルト混合物骨材における細骨材、④路盤材（下層路盤材、上層路盤材）、⑤埋戻材、盛土材等について、細骨材や路盤材等を豊島溶融スラグに置換えた割合（以下、「スラグ置換率」という。）を変更させた試験体を作成し、溶出試験等を行った結果、いずれの使用用途に関しても豊島溶融スラグの使用が可能であることを確認した。（表II-1-3～7）

また、豊島溶融スラグに関して土壤含有量試験を行ったところ、表II-1-8のとおり、土壤含有量基準を満たすことを確認した。さらに、再利用時の安全性に関する検討ため、豊島溶融スラグを粉砕したうえで粒度依存性試験を行ったところ、表II-1-9のとおり、破碎時に粒度が細かくなっても（表では50%のふるい目の小さくなるほど粒度も細かくなっている）土壤環境基準を満たすことを確認した。

また、試験に用いた豊島溶融スラグの骨材としての材料試験の結果は表II-1-10、ふるい分け試験の結果は表II-1-11のとおりで、豊島溶融スラグは、細骨材の材料としての規格を満たすことを確認した。

表Ⅱ-1-1 豊島溶融スラグの組成分析の結果

分析項目	単位	含有量 (H13※1)	分析・測定方法	参考 (H10.3※2)	
				A	B
酸化(第一)鉄(FeO)	%	14.2	JIS M 8213※3	11.2	12.9
二酸化珪素(SiO2)	%	44.6	ICP 発光分光分析法※3	44.7	44.1
酸化カルシウム(CaO)	%	19.9	ICP 発光分光分析法※3	18.7	16.7
酸化マグネシウム(MgO)	%	2.23	ICP 発光分光分析法※3	2.09	2.58
金属鉄 (M-Fe)	%	0.032	JIS M 8213	0.05	-
アルミニウム(Al)	%	3.72	ICP 発光分光分析法	7.06	6.99
ナトリウム(Na)	%	2.23	ICP 発光分光分析法	1.56	2.16
カリウム(K)	%	1.45	ICP 発光分光分析法	0.86	1.02
全硫黄(T-S)	%	0.287	JIS M 8217	0.17	0.0054
塩素イオン(Cl)	%	0.128	チオシアン酸第二水銀法	0.003	-
亜鉛(Zn)	%	0.164	ICP 発光分光分析法	0.197	0.153
銅(Cu)	%	0.251	ICP 発光分光分析法	2.88	0.487
鉛(Pb)	%	0.0204	ICP 発光分光分析法	0.05	0.02
全クロム(T-Cr)	%	0.169	底質調査法	0.11	0.16
カドミウム(Cd)	mg/kg	0.89	ICP 発光分光分析法	<0.1	<0.0005
砒素(As)	mg/kg	0.19	底質調査法	7.6	1.7
総水銀(T-Hg)	mg/kg	0.17	底質調査法	<0.01	<0.005
ダイオキシン類	pg- TEQ/g	0.18	厚生省告示 192 号	-	-

※1 平成 13 年に行った調査結果を示す。

※2 平成 10 年に行った調査結果を示す。

※3 元素分析後酸化物換算。“-”はデータなし。含有量は乾物換算値

注)A 及び B については、平成 10 年 3 月に行われた豊島廃棄物等処理実験により排出されたスラグを用いた分析結果であり、A:指定された分析機関による分析結果、B:実験実施企業により報告された分析結果である。

表Ⅱ-1-2 豊島溶融スラグの溶出試験の結果

分析項目	単位	濃度 (H13※1)	土壤環境 基準	定量下限値	分析・測定方法	参考
						pH 依存性試験
pH		8.2	-	-	JIS K 0102	8.4
総水銀(T-Hg)	mg/L	<0.0005	0.0005	0.0005	環告第 59 号付表 3	<0.0005
カドミウム(Cd)	mg/L	<0.001	0.01	0.001	JIS K 0102	<0.001
鉛(Pb)	mg/L	<0.005	0.01	0.005	JIS K 0102	<0.005
砒素(As)	mg/L	<0.001	0.01	0.001	JIS K 0102	<0.001
六価クロム(Cr ⁶⁺)	mg/L	<0.005	0.05	0.005	JIS K 0102	<0.005
セレン(Se)	mg/L	<0.001	0.01	0.001	JIS K 0102	<0.001
ふっ素(F)	mg/L	<0.1	0.8	0.1	JIS K 0102	<0.1
ほう素(B)	mg/L	0.2	1	0.1	JIS K 0102	<0.1

※1 平成 13 年に行った調査結果を示す。

注)pH 依存性試験は溶出試験時に、溶媒を硝酸にて pH=4 にし、6 時間振とうした分析結果である。

“-”はデータなし。

表Ⅱ-1-3 豊島溶融スラグを使用したフレッシュコンクリートの溶出試験の結果

分析項目	単位	水セメント	水セメント	水セメント	水セメント	水セメント	水セメント	スラグ 単体 (H13※2)	土壌環 境基準	分析・測 定方法
		比 45% 置換率 0%※1	比 55% 置換率 0%※1	比 60% 置換率 0%※1	比 45% 置換率 40%※1	比 55% 置換率 30%※1	比 60% 置換率 20%※1			
pH		12.6	12.6	12.7	12.6	12.6	12.6	8.2	-	JIS K 0102
総水銀 (T-Hg)	mg/L	<0.0005	<0.0005	<0.0005	<0.0005	<0.0005	<0.0005	<0.0005	0.0005	環告第59 号付表3
カドミウム (Cd)	mg/L	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	0.01	JIS K 0102
鉛 (Pb)	mg/L	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005	0.01	JIS K 0102
砒素 (As)	mg/L	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	0.01	JIS K 0102
六価クロム (Cr ⁶⁺)	mg/L	0.026	0.026	0.035	0.014	0.013	0.015	<0.005	0.05	JIS K 0102
セレン (Se)	mg/L	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	0.01	JIS K 0102
ふっ素 (F)	mg/L	0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	0.8	JIS K 0102
ほう素 (B)	mg/L	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	0.2	1	JIS K 0102

※1 平成13年に行った調査結果を示す。なお、置換率は「スラグ置換率」を指す。(試験体の材齢28日)

※2 参考値(表Ⅱ-1-2 豊島溶融スラグの溶出試験の結果(平成13年に行った調査結果)と同じ)

表Ⅱ-1-4 豊島溶融スラグを使用したコンクリート2次製品の溶出試験の結果

分析項目	単位	流し込み製品			即時脱型製品			スラグ 単体 (H13※2)	土壌環 境基準	分析・測 定方法
		水セメント 比 45% 置換率 0%※1	水セメント 比 45% 置換率 40%※1	水セメント 比 45% 置換率 80%※1	水セメント 比 30% 置換率 0%※1	水セメント 比 30% 置換率 40%※1	水セメント 比 30% 置換率 80%※1			
pH		12.7	12.6	12.5	12.6	12.5	12.5	8.2	-	JIS K 0102
総水銀 (T-Hg)	mg/L	<0.0005	<0.0005	<0.0005	<0.0005	<0.0005	<0.0005	<0.0005	0.0005	環告第59 号付表3
カドミウム (Cd)	mg/L	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	0.01	JIS K 0102
鉛 (Pb)	mg/L	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005	0.01	JIS K 0102
砒素 (As)	mg/L	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	0.01	JIS K 0102
六価クロム (Cr ⁶⁺)	mg/L	0.006	0.006	0.006	0.006	0.009	0.008	<0.005	0.05	JIS K 0102
セレン (Se)	mg/L	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	0.01	JIS K 0102
ふっ素 (F)	mg/L	0.1	0.1	0.1	0.2	0.1	0.2	<0.1	0.8	JIS K 0102
ほう素 (B)	mg/L	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	0.2	1	JIS K 0102

※1 平成13年に行った調査結果を示す。なお、置換率は「スラグ置換率」を指す。(試験体の材齢28日)

※2 参考値(表Ⅱ-1-2 豊島溶融スラグの溶出試験の結果(平成13年に行った調査結果)と同じ)

表Ⅱ-1-5 豊島溶融スラグを使用した舗装版の溶出試験の結果

分析項目	単位	密粒度 アスコン 置換率 0%	密粒度 アスコン 置換率 20%	再生密粒度 アスコン 置換率 0%	再生密粒度 アスコン 置換率 20%	スラグ 単体 (H13 ^{※2})	土壌環 境基準	分析・測 定方法
		※1	※1	※1	※1			
pH		9.3	9.3	8.7	9.9	8.2	-	JIS K 0102
総水銀 (T-Hg)	mg/L	<0.0005	<0.0005	<0.0005	<0.0005	<0.0005	0.0005	環告第 59 号付表 3
カドミウム (Cd)	mg/L	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	0.01	JIS K 0102
鉛 (Pb)	mg/L	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005	0.01	JIS K 0102
砒素 (As)	mg/L	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	0.01	JIS K 0102
六価クロム (Cr ⁶⁺)	mg/L	<0.005	<0.005	0.008	0.005	<0.005	0.05	JIS K 0102
セレン (Se)	mg/L	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	0.01	JIS K 0102
ふっ素 (F)	mg/L	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	0.8	JIS K 0102
ほう素 (B)	mg/L	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	0.2	1	JIS K 0102

※1 平成 13 年に行った調査結果を示す。なお、置換率は「スラグ置換率」を指す。

※2 参考値 (表Ⅱ-1-2 豊島溶融スラグの溶出試験の結果 (平成 13 年に行った調査結果) と同じ)

表Ⅱ-1-6 豊島溶融スラグを使用した排水層 (路盤材及び盛土材) の溶出試験の結果

分析項目	単位	排水層			雨水	スラグ 単体 (H13 ^{※2})	土壌環 境基準	分析・測 定方法
		1 カ月 ^{※1}	3 カ月 ^{※1}	6 カ月 ^{※1}	6 カ月 ^{※1}			
pH		8.6	7.1	8.3	5.5	8.2	-	JIS K 0102
総水銀 (T-Hg)	mg/L	<0.0005	<0.0005	<0.0005	<0.0005	<0.0005	0.0005	環告第 59 号付表 3
カドミウム (Cd)	mg/L	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	0.01	JIS K 0102
鉛 (Pb)	mg/L	<0.005	0.005	<0.005	<0.005	<0.005	0.01	JIS K 0102
砒素 (As)	mg/L	<0.001	0.004	<0.001	<0.001	<0.001	0.01	JIS K 0102
六価クロム (Cr ⁶⁺)	mg/L	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005	0.05	JIS K 0102
セレン (Se)	mg/L	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	0.01	JIS K 0102
ふっ素 (F)	mg/L	0.3	0.5	<0.1	<0.1	<0.1	0.8	JIS K 0102
ほう素 (B)	mg/L	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	0.2	1	JIS K 0102

※1 平成 14 年に行った調査結果を示す。

※2 参考値 (表Ⅱ-1-2 豊島溶融スラグの溶出試験の結果 (平成 13 年に行った調査結果) と同じ)

表Ⅱ-1-7 豊島溶融スラグの品質等の確認の結果

利用用途	品質等の確認結果
フレッシュコンクリート	<ul style="list-style-type: none"> ・水セメント比が大きくなるとブリーディング量が多くなる傾向にあるが、数値的には問題のない値(建築学会基準値=0.3cm³/cm²以下)であった。 ・水セメント比が大きくなるにつれて強度は小さくなった。 ・溶融スラグ混入コンクリートはプレーンコンクリートに比べ、強度は低下する傾向にあるが、いずれも90%以上の強度を有しており、特に問題となるとは考えられない。 ・材令における強度発現はプレーンコンクリートと同程度ないし、それ以上の発現が確認された。 ・養生方法の違い(標準水中養生と屋外放置)による強度低下については、プレーンコンクリートと同様の傾向を示しており、特に問題はないと判断した。
コンクリート2次製品 (流し込み製品)	<ul style="list-style-type: none"> ・スラグ置換率が増加するにつれてブリーディング量が小さくなるが、数値的には問題のない値(建築学会基準値=0.3cm³/cm²以下)であった。 ・スラグ置換率が増加するにつれて強度低下する傾向にあるが、スラグ置換率40%程度であれば強度はプレーンコンクリートの90%以上あり、また強度発現にも特に問題はないことが確認された。 ・製品曲げ強度荷重はすべての配合及び製品において、要求される設計曲げ強度荷重を満足した。プレキャスト無筋コンクリート製品及び一部プレキャスト鉄筋コンクリート製品への適用が十分可能であり、問題ないと判断した。また、圧縮強度及び製品コア強度において、スラグ置換率40%の配合では設計基準強度24N/mm²を満足する結果となったが、スラグ置換率80%の配合では、設計基準強度をやや下回る値となった。
コンクリート2次製品 (即時脱型製品)	<ul style="list-style-type: none"> ・インターロッキングブロックの曲げ強度は、スラグ置換率100%以外の配合で(社)インターロッキングブロック舗装技術協会が定める規格値を満足し、スラグ置換率40%において、強度ピークが存在する傾向を示した。
舗装版	<ul style="list-style-type: none"> ・最適アスファルト量、密度、空隙率、マーシャル安定度、残留安定度、動的安定度の全てについて、基準を満足するものであった。 ・最適アスファルト量は、スラグ置換率が高くなるにつれて少なくなる傾向にある。 ・密度は、スラグ置換率が高くなるにつれて大きくなる傾向にある。 ・空隙率は、スラグ置換率が高くなるにつれて低下する傾向にある。 ・マーシャル安定度、残留安定度、動的安定度は、スラグ置換率が高くなるにつれて低下する傾向にある。
路盤材及び盛土材	<ul style="list-style-type: none"> ・スラグ置換率が25%程度までの粒度分布は“良”を示し、締固めた乾燥密度もより大きな値が得られた。 ・盛土材料としては、せん断強度(C, φ)が原土(花崗土、再生クラッシュラン)より大きくなり、また路盤材料としてもCBR値が原土よりも大きな値が得られており、盛土材料、路盤材料として、有効に利用できるものと思われる。 ・また、透水性が7.3×10⁻³cm/secとなり、これは土の透水性(地盤工学会)から“中位”と評価され、土質材料の砂礫と同程度の透水特性を示す材料といえる。

表Ⅱ-1-8 豊島溶融スラグの含有量試験の結果

分析項目	単位	含有量 (H13※1)	土壌含有量 基準	定量下限値	分析・測定方法	備考
総水銀 (T-Hg)	mg/kg	<0.05	15	0.05	環告第 59 号付表 3	
カドミウム (Cd)	mg/kg	<0.3	150	0.3	JIS K 0102	
鉛 (Pb)	mg/kg	67	150	1.0	JIS K 0102	
砒素 (As)	mg/kg	<0.3	150	0.3	JIS K 0102	
六価クロム (Cr ⁶⁺)	mg/kg	<0.7	250	0.7	JIS K 0102	
セレン (Se)	mg/kg	<0.3	150	0.3	JIS K 0102	

※1 平成 13 年に行った調査結果を示す。

表Ⅱ-1-9 豊島溶融スラグの粒度依存性溶出試験の結果

分析項目	単位	非粉砕 (H14※1)	粉砕 (H14※1)						土壌の 環境基準	分析・測定方法
		スラグ a (0.82mm)	スラグ b (0.72mm)	スラグ c (0.47mm)	スラグ d (0.29mm)	スラグ e (0.17mm)	スラグ f (0.10mm)			
pH		7.9	7.9	7.9	8.9	9.4	8.5	-	JIS K 0102	
総水銀 (T-Hg)	mg/L	<0.0005	<0.0005	<0.0005	<0.0005	<0.0005	<0.0005	0.0005	環告第 59 号 付表 3	
カドミウム (Cd)	mg/L	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	0.01	JIS K 0102	
鉛 (Pb)	mg/L	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005	0.01	JIS K 0102	
砒素 (As)	mg/L	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	0.01	JIS K 0102	
六価クロム (Cr ⁶⁺)	mg/L	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005	0.05	JIS K 0102	
セレン (Se)	mg/L	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	0.01	JIS K 0102	
ふっ素 (F)	mg/L	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	0.8	JIS K 0102	
ほう素 (B)	mg/L	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	1	JIS K 0102	

※1 平成 14 年に行った調査結果を示す。

注) () 内は粉砕したスラグのうち 50%が通過した際のふるい目 (粒形) を示す。また、非破壊は粉砕前のスラグを示す。

表Ⅱ-1-10 豊島溶融スラグの骨材としての材料試験の結果

試験項目		試験結果 (H13 ^{※1})	備考	コンクリート用砕砂に 関する基準
骨材のふるい分け試験(粗粒率)		2.18		表Ⅱ-1-11
骨材の微粒分量試験 (%)		1.43		洗い試験で失われる量 7.0%以下
細骨材の密度および 吸水率試験	表乾密度 (g/cm ³)	2.87		絶乾比重 2.5 以上 吸水率 3.0%以下
	吸水 (%)	0.09		
骨材の単位容積質量 および実績率試験	単位体積質量(kg/L)	1.659		粒径判定実績率 53%以上
	実績率 (%)	57.9		
硫酸ナトリウムによる 骨材の安定性試験 (%)		1.1		安定性 10%以下
骨材のアルカシリカ反応性試験 (モルタルバー法)		無害		無害
土粒子の含水比試験 (%)		8.34		
液性・塑性限界	液性限界 (%)	NP		
	塑性限界 (%)	NP		
突き固めによる土の 締め固め試験	最大乾燥密度(g/cm ³)	1.730	試験方法 A-b	
	最適含水比 (%)	15.6		
土の透水試験(定水位法)		7.28×10^{-3}	通常の砂 程度	
修正 CBR 試験	締固め度 90% (%)	24.1		
	締固め度 95% (%)	43.7		
顕微鏡観察		針状物少ない		
膨張率 (%)		-1.5 (収縮)	TRA0016 附属書 1(規定)	膨張率 2.0%以下 ^{※2}

※1 平成 13 年に行った調査結果を示す。

※2 TRA 0016:2002「一般廃棄物、下水汚泥等の溶融固化物を用いたコンクリート用細骨材(コンクリート用溶融スラグ細骨材)」4.4 膨張率による。

表Ⅱ-1-11 豊島溶融スラグの骨材のふるい分け試験

区分	ふるいの呼び寸法 ^{※2} (単位:mm)							粗粒率	
	10	5	2.5	1.2	0.6	0.3	0.15		
試験結果(H13 ^{※1}) (%) 〔ふるいを通るもの〕 の質量百分率	100	100	100	92.8	54.6	26.7	8.1	2.18	
コンクリート用砕砂(%) JIS A5005	100	90~100	80~100	50~90	25~65	10~35	2~15	-	
参考(H10.3)	A	100	100	99.5	84.7	48.8	15.8	2.8	2.48
	B	100	100	99.0	79.0	45.0	23.0	11.0	2.43

※1 平成 13 年に行った調査結果を示す。

※2 ふるいの呼び寸法は、それぞれ JIS Z 8801 に規定する網ふるいの呼び寸法 9.5mm, 4.75mm, 2.36mm, 1.18mm, 600 μ m, 300 μ m, 及び 150 μ m である。

A 及び B については、平成 10 年 3 月に行われた豊島廃棄物等処理実験により排出されたスラグを用いた分析結果であり、A:指定された分析機関による分析結果、B:実験実施企業により報告された分析結果である。

(2) フィールド試験結果等

スラグの利用に関する評価試験の結果を踏まえ、実用化に向けて施工状態を把握するためのフィールド試験を行った。

1) レディーミクストコンクリート用骨材

スラグ置換率の違いによるレディーミクストコンクリートの施工性の評価を行い、スラグ置換率を決定するため、表Ⅱ-1-12~14のとおり、スラグ置換率を変更した資材を用いて試験構造物を制作し、フィールド試験を実施した。

試験の結果、ワーカビリティ等ほとんどの項目において基準となるスラグ置換率0%の試験体と同等の結果が得られることを確認した。そのため、スラグ置換率を20~40%程度に設定すれば、施工性に問題はなく、利用可能であると判断した。(表Ⅱ-1-15)

表Ⅱ-1-12 フィールド試験の配合条件

	試験 1	試験 2
設計基準強度	18N/mm ²	18N/mm ²
骨材最大寸法	40 mm	20 mm
水セメント比	60%以下	50%
セメント銘柄	高炉セメント B 種	高炉セメント B 種
スランプ	8±2.5 cm (現場)	8±2.5 cm (現場)
空気量	4.5+1.5%, 4.5-1.0%	4.5+1.5%, 4.5-1.0%
単位水量上限	165 kg/m ³	175 kg/m ³

表Ⅱ-1-13 試験 1 のスラグ置換率

ケース No.	スラグ置換率 (%)
ケース 1	0
ケース 2	20
ケース 3	30
ケース 4	40

表Ⅱ-1-14 試験 2 の細骨材の組合せ

ケース No.	細骨材の組合せ
ケース 1	花崗岩系砕砂 100%
ケース 2	花崗岩系砕砂 80% 溶融スラグ 20%
ケース 3	花崗岩系砕砂 70% 溶融スラグ 30%
ケース 4	花崗岩系砕砂 60% 溶融スラグ 40%
ケース 5	花崗岩系砕砂 50% 溶融スラグ 50%
ケース 6	花崗岩系砕砂 50% 溶融スラグ 40% フライッシュⅣ種 10%
ケース 7	安山岩系砕砂 60% 溶融スラグ 40%

表Ⅱ-1-15 レディーミクストコンクリートにおけるフィールド試験の確認の結果

確認項目	品質等の確認結果
ワーカビリティ	・目視観察から、粗骨材が目立つことなく、良質なコンクリートであると判断した。
スランプ	・各ケースとも初期（30分経過後）のロスはあるが、規格値を満足していた。なお、経過時間による変化を確認したところ、その後のロスは小さくなり、90分経過後でのロスは、所要スランプの下限値を満足していた。
空気量	・各ケースとも初期（30分経過後）のロスはあるが、規格値を満足していた。なお、経過時間による変化を確認したところ、その後のロスは小さくなり、90分経過後でのロスは、ケース7を除き、下限値を満足していた。
ブリーディング試験	・試験1では、スラグ置換率が高くなるに従い、ブリーディング量、率とも増加傾向となった。 ・試験2では、ケース1～5は、スラグ置換率の違いによる変化は認められなかった。また、花崗岩系（ケース4）と安山岩系（ケース7）に違いはなかった。なお、フライアッシュ使用時（ケース6）は他のケースに比べ小さくなる傾向にあった。
凝結時間試験	・試験1では、スラグ置換率の違いによる凝結時間の違いは認められなかった。始発及び終結時間については、スラグ置換率が高くなるほど早くなる傾向にあった。 ・試験2では、スラグ置換率の増加に伴い凝結時間が長くなる傾向にあった。
コンクリート表面観察	・スラグ置換率の変化に伴う違いは認められなかった。
圧縮強度試験	・試験1では、基準となるスラグ置換率0%と同等の結果が得られた。 ・試験2では、多少のばらつきはあるが、基準となるスラグ置換率0%と同等の結果が得られた。
施工性	・全てのケースについて、基準となるスラグ置換率0%と大差なく施工可能であることを確認した。

※各ケース名は、表Ⅱ-1-13、14による。

2) コンクリート二次製品用骨材

スラグ置換率の違いによるコンクリート二次製品の製造及び使用時の評価を行い、スラグ置換率を決定するため、レディーミクストコンクリート用骨材試験結果を参考にスラグ置換率を20%、40%等に設定した資材を用いて試験用の製品を制作し、フィールド試験を実施した。

試験の結果、レディーミクストコンクリートと同様、スラグ置換率を20～40%程度に設定すれば、強度や外観に問題はなく、利用可能であることを確認した。（表Ⅱ-1-16）

表Ⅱ-1-16 コンクリート二次製品におけるフィールド試験の確認の結果

製品名	圧縮強度試験	外観調査
積ブロック	・スラグ置換率20, 30, 40, 60, 100%の供試体を制作し、スラグ置換率20～60%で規格値を満足した。	・スラグ置換率100%以外の配合（20, 30, 40, 60%）であれば、通常品と同等と判断できる。
大型積ブロック	・スラグ置換率20, 40%の供試体を制作し、すべて規格値を満足した。	・スラグ置換率20%、40%であれば、通常品と同等と判断できる。
張ブロック		
道路用上ぶた式U型側溝		
プレキャスト側溝		
境界ブロック		

2 豊島溶融スラグの利用に関するマニュアルの作成

(1) 溶融スラグの出荷検査マニュアル

スラグの有効利用を行うにあたり、平成 15 年 4 月から発生する豊島溶融スラグが土壌環境基準から定めた安全基準を満たすかどうかを確認する必要があるため、出荷時における検査項目等について、平成 15 年 1 月の豊島廃棄物等技術委員会において「溶融スラグの出荷検査マニュアル（最終改訂 第 41 回管理委員会（H28.7.10））（別紙①）」として決定した。

主な記載内容

第 1 マニュアルの主旨

第 2 マニュアルの概要

第 3 マニュアルの適用範囲

…豊島溶融スラグが屋外スラグヤードに搬入された後、搬出されるまで。
サンプリング・保管、安全性検査、品質検査の 3 つのステップがある。

第 4 試料のサンプリング・保管

…実施者、採取頻度（毎日午前・午後の 2 回）、保管方法を記載

第 5 安全性検査について

…実施者、検査頻度（9 日に 1 回程度）、検査項目を記載

第 6 品質検査について

…実施者、検査頻度（9 日に 1 回程度）、検査項目を記載

(2) 溶融スラグの有効利用マニュアル

豊島溶融スラグの利用用途については、当面は豊島溶融スラグの調査結果等を考慮して、「①レディーミクストコンクリート用骨材、②コンクリート二次製品用骨材、③アスファルト混合物骨材」について利用していくこととした。

それらの用途について、豊島溶融スラグを細骨材として利用する場合に、留意すべき事項や購入手続き等を「溶融スラグ有効利用マニュアル（最終改訂 第 7 回フォローアップ委員会（R1.9.15））（別紙②）」としてとりまとめた。

主な記載内容

第 1 章 総則

第 2 章 溶融スラグの利用手順

計画段階における手順（豊島溶融スラグ製造者¹⁾、豊島溶融スラグ利用者²⁾）

溶融スラグ売買契約、溶融スラグ利用計画書について記載

また、供給段階における手順（豊島溶融スラグ製造者）について記載

・安全性検査：溶出検査・含有量検査（Cd, Pb, Cr, As, Hg, Se）

・品質検査：

直島環境センター（粒度, 磁着物割合, 形状, 絶乾比重, 吸水率, アルカリシリカ反応試験）

スラグステーション(安定性,粒形判定実績率,微粒分量,酸化カルシウム,全硫黄,三酸化硫黄,金属アルミニウム,塩化物量)

利用段階における手順(豊島溶融スラグ利用者、公共工事発注者³⁾)

受入検査(製品製造時)、残渣等の取扱、「溶融スラグ使用実績簿^{*}」の作成方法

注 1) 直島環境センター

2) コンクリート二次製品製造会社,レディーミクストコンクリート製造会社

3) 香川県、国土交通省四国地方整備局

※溶融スラグ使用実績簿：豊島溶融スラグ利用者及び公共工事請負会社が作成し、県に提出する。

第3章 土木材料としての利用

実機評価試験の結果、安全性及び品質が確認されたもののうち、有効利用する製品は下表のとおりとした。

利用用途	種類	水セメント比	置換率	製品名	備考
レディーミクストコンクリート	無筋(普通コンクリート)	65%以下	細骨材質量 20%以上 40%以下		
コンクリート二次製品	流し込み製品	50%以下	細骨材質量 20%以上 40%以下	舗装用普通平板、U形側溝、境界ブロック、大形積みブロック、張りブロック、ロングU, 積みブロック	
	即時脱型製品	50%以下	細骨材質量 10%以上 60%以下	インターロッキングブロック	
		50%以下	細骨材質量 40%以上	積みブロック	

第4章 運搬・保管の方法

豊島溶融スラグ利用者の運搬・保管時の飛散・流出防止対策等の留意点を記載

Ⅲ 豊島溶融スラグの有効利用の状況及び課題と対策

1. 利用量の推移

(1) 販売量の推移

生コンクリート、コンクリート二次製品の業界団体である「香川県生コンクリート工業組合」、「香川県土木コンクリート製品協会」から、利用についての基本合意を得て、平成16年8月からレディーミクストコンクリート（無筋コンクリート）、同9月からコンクリート二次製品の細骨材として、県工事において利用を開始した。

途中、平成16年度の台風被害による災害復旧工事等の需要の増加や、金属アルミによる膨張対策等で、販売休止に至る経緯もあったが、表Ⅲ-1-1のとおり、令和2年2月25日に豊島溶融スラグの販売が終了した。その後、各工場が在庫保管している豊島溶融スラグを使用してきたが、令和3年2月に県下各生コンクリート工場の在庫利用が完了した。

なお、コンクリート二次製品については、販売が継続されている。

表Ⅲ-1-1 スラグ販売量

年度	販売量(t)		
	生コン工場	二次製品工場	合計
平成17年度迄	44,766	3,552	48,318
平成18年度	33,327	4,338	37,664
平成19年度	24,548	2,462	27,010
平成20年度	26,566	2,976	29,542
平成21年度	27,721	3,556	31,277
平成22年度	26,393	2,794	29,188
平成23年度	23,662	2,933	26,595
平成24年度	30,876	3,014	33,890
平成25年度	31,161	2,391	33,552
平成26年度	27,168	1,921	29,089
平成27年度	23,423	1,378	24,802
平成28年度	20,670	1,577	22,247
平成29年度	18,810	1,824	20,634
平成30年度	19,809	1,671	21,480
平成31年度	16,121	1,105	17,226
総合計	395,021	37,493	432,514

2. 利用形態の変遷

(1) 豊島溶融スラグの利用範囲と変遷

豊島溶融スラグは、溶融スラグ有効利用マニュアルに従い、コンクリート二次製品及びレディーミクストコンクリート（無筋コンクリート）の細骨材として利用しており、平成16年度より香川県の公共工事で利用が開始された。

なお、アスファルト舗装の細骨材や路盤材等への利用拡大も検討していたが、平成16年度の台風被害による災害復旧工事等の需要の増加を受けて、豊島溶融スラグが安定供給できなくなり販売休止をせざるを得ない事態になったこと等から、実現に至っていない。

レディーミクストコンクリートの設計条件を表Ⅲ-2-1に示す。

コンクリート二次製品の利用範囲は、当初7製品であったが、平成20年に鉄筋を含むコンクリート二次製品であるU形側溝を追加するなど、利用範囲を拡大させ、最終的に17製品に利用した。コンクリート二次製品の利用範囲の拡大状況を表Ⅲ-2-2に示す。

表Ⅲ-2-1 豊島溶融スラグコンクリート一覧

設計基準強度 N/mm ²	最大粗骨材寸法 mm	スランプ cm	セメント 種類	水セメント比	備考
18	40	5	高炉B	60%以下	
18	40	8	高炉B	60%以下	
18	40	5	高炉B	65%以下	取引量少
18	40	8	高炉B	65%以下	
18	20又は25 (いずれも可)	8	高炉B	65%以下	取引量少
18	20又は25 (いずれも可)	15	普通	規定なし	取引量少

表Ⅲ-2-2 豊島溶融スラグ入りコンクリート二次製品利用範囲の拡大状況

運用開始	製品
H16.9.1	平板・境界ブロック・積みブロック・張りブロック・大形積みブロック・U形側溝・ロングU
H16.11.1	地先境界ブロック・魚巣ブロック
H18.7.1	法枠ブロック・階段ブロック
H20.4.1	落ちふた式U形側溝・L形側溝・ベンチフリューム・ソケット式フリューム
H24.4.1	L型擁壁・ボックスカルバート

(2) 置換率の変遷

平成 16 年度の台風被害による災害復旧工事等の需要の増加を受けて豊島溶融スラグが安定供給できなくなり、平成 17 年 2 月から販売休止となり、その後も再度販売休止に至るなど、需要が供給を上回った状態が続いていたため、平成 20 年度に、置換率を 30% から 25% に低減することとした。

その後、処理量アップに伴う豊島溶融スラグ発生量の増加や、公共工事の減少等の影響により、平成 23 年度には豊島溶融スラグの供給量が販売量を上回るようになり、スラグの在庫が増加したため、平成 24 年度からは置換率を 25% から 30% に戻した。

置換率の経緯について、表Ⅲ-2-3 に示す。

表Ⅲ-2-3 レディーミクストコンクリート（無筋構造物用）置換率の変遷

運用開始	適用範囲	置換率
H16. 7. 1	県内全域 (小豆地区以外)	30%
H17. 1. 1	県内全域 (小豆地区追加)	30%
H20. 4. 1	県内全域	30%→25%
H24. 4. 1	県内全域	25%→30%

3. 製造・販売時の課題とその対策例

スラグの製造・販売時の課題と実施した対策について、以下のとおり事例を取りまとめた。

(1) 粗大スラグの除去

①課題

アルカリシリカ反応性試験結果に最も影響を与えるのは、花崗岩由来のシリカ結晶で、分級機によって除去される概ね 75mm オーバーの粗大スラグに多く含まれて排出され、これらの製品への混入を抑制する必要がある。

②対策

この粗大スラグを破碎後再溶融することで、アルカリシリカ反応性試験を満足してきた。平成 18 年 10 月以降は、豊島廃棄物等の処理量アップ対策に伴い粗大スラグの再溶融を中止したため、スラグ品質に影響のない範囲で製砂スラグに混合し、コンクリート用細骨材として有効利用するとともに、製砂スラグに混合できない粗大スラグは、三菱マテリアル(株)九州工場においてセメント原料化処理を行い有効利用した。

(2) 金属アルミの除去

①課題

スラグに含まれる金属アルミはセメント硬化時に水素ガスを発生させ、コンクリートを膨張させるため、スラグ内の金属アルミを減少させる必要がある。

②対策

金属アルミによる膨張に対しては、水かけや置き換え等により金属アルミを酸化促進（エイジング）させ、アルミニウムの表面に酸化被膜を形成し不活性化させることが有効であるが、その対応に日数を要し、平成 17 年には販売休止に至った経緯もある。

そのため、アルミの選別除去率を上げることによりスラグ中の金属アルミ含有量を減少させ、エイジング期間を短縮できるよう、スラグの破碎装置での鉄球の数及び大きさなどの条件を変え、アルミの選別除去率の対策を行った。

また、スラグ中継基地等においても散水を行うことで金属アルミの酸化促進を図った。

(3) 金属アルミの露出の抑制等

①課題

スラグ破碎機によりスラグが細かく粉碎されるとアルミ片も細かく粉碎され、酸化アルミ（膨張率に影響しない）の中から金属アルミ（膨張率に影響あり）の表面が露出することにより膨張率が上がるのではないかと推察されており、また、事業費削減対策として、スラグ破碎機の運転経費・維持経費の削減も求められていた。

②対策

金属アルミの表面が露出を抑制するよう破碎する必要があるため、平成 19 年度から粗粒率を 2.71 ± 0.2 から 2.90 ± 0.2 に変更を行い、消耗品及び修繕サイクルの長期化を

図った。

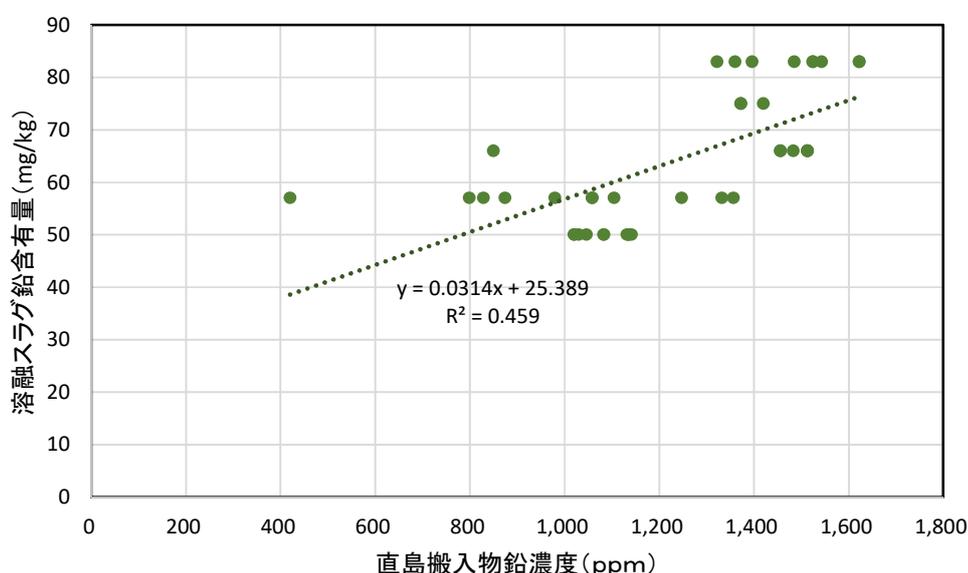
(4) スラグへの鉛の混入の抑制

① 課題

公調委の調査で高濃度の鉛が確認されていた区域の均質化物から、平成 26 年度に製造された豊島溶融スラグより、鉛含有量の基準値超過が確認された。

② 対策

図Ⅲ-3-1 のとおり、混合する廃棄物の鉛含有量により、豊島溶融スラグの鉛含有量が高くなる傾向があったため、豊島溶融スラグの鉛含有量の低減を図る対応として、写真Ⅲ-3-1 及び 2 のとおり、豊島処分地で携帯型の蛍光 X 線分析装置を新たに導入し、養生中の均質化物や、シュレッダーダスト主体元山、土壌主体元山の鉛濃度を適宜測定して、高濃度の鉛が偏らないように確認を行うこととした。



図Ⅲ-3-1 直島搬入物鉛濃度と豊島溶融スラグ鉛含有量の関係



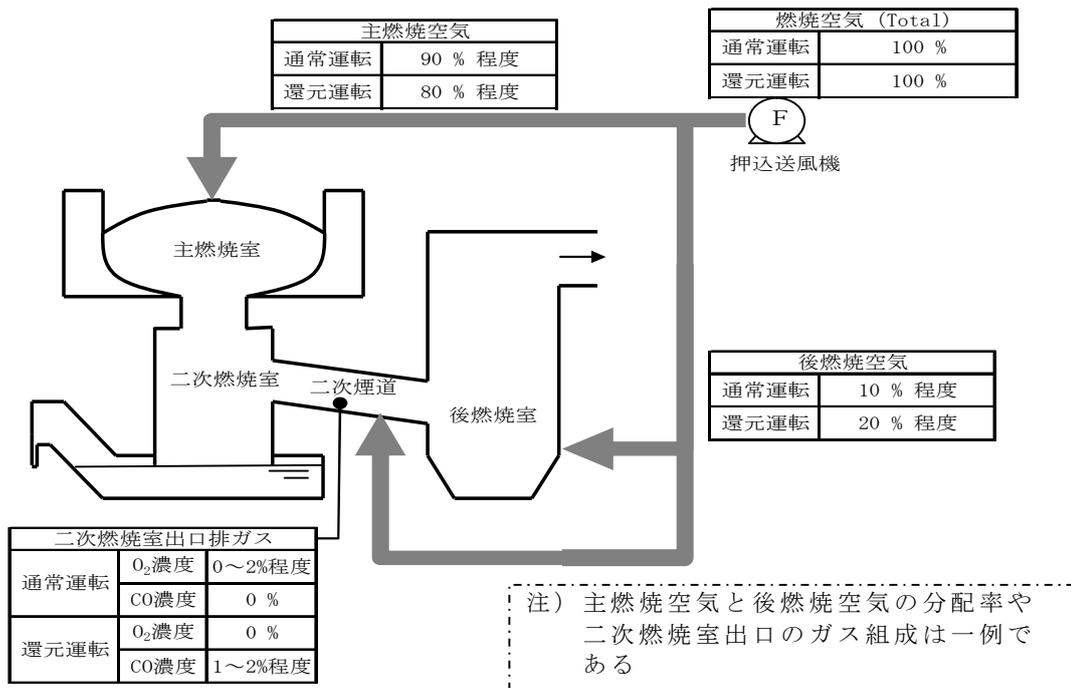
写真Ⅲ-3-1 携帯型蛍光 X 線分析装置による測定の様子 (1)



写真Ⅲ-3-2 携帯型蛍光 X 線分析装置による測定の様子 (2)

また、併せて直島の溶融炉においては、通常運転では主燃焼室で完全燃焼させているが、図Ⅲ-3-2のとおり、主燃焼室で酸素不足の状態として、鉛や亜鉛などの低沸点重金属類の揮散を促進させ、二次燃焼室以降で未燃ガスを完全燃焼させる還元運転を行うこととした。

例として、還元運転の実施時の豊島溶融スラグの鉛含有量の変化を表Ⅲ-3-1に示す。3月30日から鉛含有量が基準値150mg/kgを超過した状態であったが、4月8日から還元運転を行うことで、豊島溶融スラグの鉛含有量を低減した。



図Ⅲ-3-2 通常運転と還元運転のイメージ

スラグ製造月日	鉛含有量 (mg/kg)		溶融炉の運転方法
	ロット毎	ブース毎	
1/23 ~ 2/3	90	-	通常運転
2/4 ~ 2/13	55	-	通常運転
2/14 ~ 2/24	53	-	通常運転
2/25 ~ 3/6	74	-	通常運転
3/7 ~ 3/18	94	-	通常運転
3/19 ~ 3/29	148	-	通常運転
3/30 ~ 4/2	-	222	通常運転
4/3 ~ 4/5	-	188	通常運転
4/6 ~ 4/9	81	134	通常運転→臨時的に還元運転(4/8~)
4/10 ~ 4/12		73	臨時的に還元運転
4/13 ~ 4/17		56	臨時的に還元運転
4/18 ~ 4/22		55	臨時的に還元運転
4/23 ~ 5/1	55	-	臨時的に還元運転
5/2 ~ 5/10	121	-	通常運転
5/11 ~ 5/18	141	-	通常運転
5/19 ~ 5/29	128	-	通常運転→臨時的に還元運転(5/21~)
5/30 ~ 6/8	78	-	臨時的に還元運転
6/9 ~ 6/16	65	-	臨時的に還元運転

表Ⅲ-3-1 溶融スラグの鉛含有量の推移

(5) アルカリシリカ反応性試験の迅速化 1

①課題

豊島溶融スラグの品質管理に係るアルカリシリカ反応性試験については、日常的には化学法で管理し、年2回のモルタルバー法試験【試験条件：普通ポルトランドセメント、アルカリ調整 1.2%、豊島溶融スラグ 100%骨材】で確認してきたが、残存廃棄物の土壌含有率の上昇に合わせて、均質化物の土壌比率は年々引き上げられ、その中身についても、鉱さいや燃えがらではなく、土壌そのものや風化花崗岩が多く含まれるようになり、微小な石英が著しく増え、また反応性が高いクリストバライトも増え、平成25年度のモルタルバー試験【試験条件：普通ポルトランドセメント、アルカリ調整 1.2%、豊島溶融スラグ 100%骨材】において、6か月の試験期間を待たずにして、膨張率が基準値 0.1%を超過する事態となった。

②対策

早急にコンクリートへの影響を把握するため、試験期間が1週間である迅速法による試験（JIS A 1804）を追加するとともに、実際の使用条件を各種試験条件に追加することとした（表Ⅲ-3-2）。

具体的に、実際の使用条件として、レディーミクストコンクリートでは細骨材の置換率は30%で、さらに高炉セメントを使用する抑制対策が講じられており、また、コンクリート二次製品では一般に普通ポルトランドセメントが用いられているが、細骨材への置換率は30%としている。

豊島溶融スラグ 100%骨材での試験条件では、膨張率が基準値の 0.1%を超えても、実際の使用条件では超過しないことがあるため、両者の検討を行うこととした。なお、平成25年度のデータを表Ⅲ-3-2に示す。

表Ⅲ-3-2 平成25年度に製造された豊島溶融スラグの追加試験の結果

試験方法	セメントの種類 (アルカリ調整) ※1	試験対象の豊島溶融スラグ ※2	
		平成25年度下期	
		スラグ 100	スラグ 30
モルタルバー法	普通 (1.2%)	0.197%	0.060%
	高炉 (無調整)	0.027%	0.013%
迅速法	普通 (2.5%)	0.145%	0.025%
	普通 (無調整)	0.020%	0.013%
	高炉 (無調整)	0.012%	0.018%

赤字 膨張率が基準値 0.1%を超過したもの

黄色塗り箇所 追加試験

※1 アルカリ調整

1.2%：セメント量に対して全アルカリの量が 1.2%になるように調整（モルタルバー法）

2.5%：セメント量に対して全アルカリの量が 2.5%に調整（迅速法）

無調整：アルカリ量の調整を行わない

※2 試験対象の豊島溶融スラグ

スラグ 100：豊島溶融スラグ 100%骨材、スラグ 30：豊島溶融スラグ 30%骨材

(6) アルカリシリカ反応性試験の迅速化 2

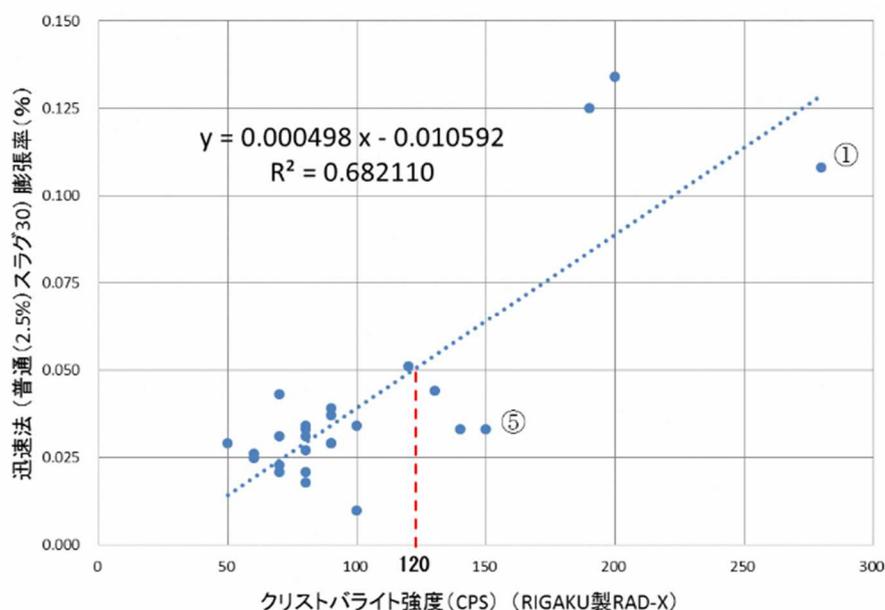
①課題

迅速法による試験を追加したものの、処理量アップ対策に伴い、平成 28 年度には生成されたスラグの保管ヤードの運用が困難となり、早急に溶融スラグを出荷する必要が生じ、検査の更なる迅速化の必要性が生じた。

②対策

ロット毎にクリストバライトの強度を測定して、迅速法【試験条件：普通ポルトランドセメント、アルカリ調整 2.5%、豊島溶融スラグ 30%骨材】の膨張率 0.050%に相当するクリストバライト強度で管理を行い、豊島廃棄物等の処理を継続させた。

クリストバライト強度と迅速法による膨張率との関係を図Ⅲ-3-3に示す。



図Ⅲ-3-3 クリストバライト強度と迅速法による膨張率との関係

4. 利用時の課題とその対策例

(1) 販売休止に伴うコンクリート材料の混在

①課題

豊島溶融スラグ入りコンクリートの販売休止により、同一の工事で豊島溶融スラグ入りコンクリートと JIS コンクリートとが同時に使われるケースが発生した。

②対策

豊島溶融スラグ入りコンクリートの販売が休止されていた間に、JIS コンクリートにて施工された構造物（砂防堰堤を除く）については、豊島溶融スラグ入りコンクリートと JIS コンクリートの使用範囲が分かるよう現場管理を行った。

なお、砂防堰堤については、コンクリート断面が大きく、ひび割れが他に比べると生じやすく、細骨材としての豊島溶融スラグの有無が影響を与える可能性が明確でなかったことから、予防対策として、本堤工等の構造物単位で同一なコンクリート材料を使用することとした。

IV 豊島溶融スラグ利用のコンクリート構造物のモニタリング調査

1. 第1次モニタリングの調査結果

(1) モニタリング対象構造物の選定

第1次モニタリングでは、施工後10年程度経過した構造物のうち、過酷な利用条件である気温の変化等が大きい山間部の構造物を選定した。

(2) 調査の実施状況

1) モニタリング対象構造物

平成25年度と平成27年度の調査対象構造物を図IV-1-1および表IV-1-1に示す。計6構造物について、外観調査および詳細調査を実施した。

2) 調査の実施日

平成25年度調査 平成26年2月17日 [コア採取]

平成27年度調査 平成27年12月1,2日 [コア採取]

図IV-1-1 調査対象構造物の所在箇所



表IV-1-1 調査対象構造物の概要

No.	区分	工事名	施工場所	工期	利用条件	備考
1	H16-01 擁壁	(地方道路整備臨時交付金)県道鹿庭奥山線 緊急地方道路整備工事(道路災害防除)(第4工区)	木田郡 三木町	H16.2 ~ H17.1	過酷 (山間部)	
2	H16-02 側壁	後山上川通常砂防工事	まんのう町 仲南	H16.5 ~ H17.3	過酷 (山間部)	
3	H17-01 擁壁	16災第1363号 県道塩江屋島西線 道路災害復旧工事	高松市 東植田町	H17.9 ~ H18.1	過酷 (山間部)	
4	H16-03 擁壁	(地方道路整備臨時交付金)県道三木津田線 緊急地方道路整備工事	さぬき市 造田宮西	H16.10 ~ H17.3	過酷 (山間部)	
5	H17-02 擁壁	16災第313号 県道塩江屋島西線 道路災害復旧工事外(314)	高松市 菅沢町	H17.2 ~ H18.1	過酷 (山間部)	
6	H17-03 堰堤	梶羽川 通常砂防工事	綾川町 綾上	H17.9 ~ H18.3	過酷 (山間部)	

3) 調査項目

第1次モニタリングでは、構造物の外観調査、採取したコンクリートコアで外観観察、圧縮強度試験、静弾性係数試験、偏光顕微鏡観察、残存膨張量試験を行った。調査項目を表IV-1-2に示す。

表IV-1-2 モニタリングの調査項目

調査項目	目的及び内容
構造物の外観調査	アルカリ骨材反応特有の劣化症状（亀甲状のひび割れ等）の有無を確認する。
コンクリートコア採取	φ100 mm、L=250～300 mm程度のコアを4本（圧縮強度試験及び静弾性係数試験用に2本、残存膨張量試験用に1本）採取する。
コアの外観観察	採取したコアの外観を観察し、ひび割れ及びアルカリシリカ反応生成物の確認を行う。
圧縮強度試験	コンクリートの基本情報として、圧縮強度試験を採取したコアで行う。
静弾性係数試験	コンクリートの変状を評価する試験として、静弾性係数試験を採取したコアで行う。
偏光顕微鏡観察	採取したコアから厚さ20μm程度の薄片を作成し、偏光顕微鏡により、微細なひび割れの発生状況等を確認し、豊島溶融スラグに起因したアルカリ骨材反応の有無を確認する。
残存膨張量試験	デンマーク法（採取したコアを50℃の飽和NaCl溶液中に浸漬した際の膨張量を測定し、アルカリ骨材反応の進行の可能性を評価する方法）を行う。

(3) 調査結果

1) 構造物の外観調査

H16-02 側壁（まんのう町）では一部にコールドジョイントと思われる変状、H17-03 堰堤（綾川町）では、表面の乾燥によると思われる微細なひび割れが僅かに発生していたが、アルカリ骨材反応を疑わせるひび割れは全く認められなかった。また、その他の構造物についてはひび割れの発生は確認されず、調査した6箇所とも、アルカリ骨材反応を疑わせる変状は認められなかった。

調査個所の外観を写真IV-1-1～6に示す。



写真IV-1-1 H16-01 擁壁



写真IV-1-2 H16-02 側壁



写真Ⅳ-1-3 H17-01 擁壁



写真Ⅳ-1-4 H16-03 擁壁



写真Ⅳ-1-5 H17-02 擁壁



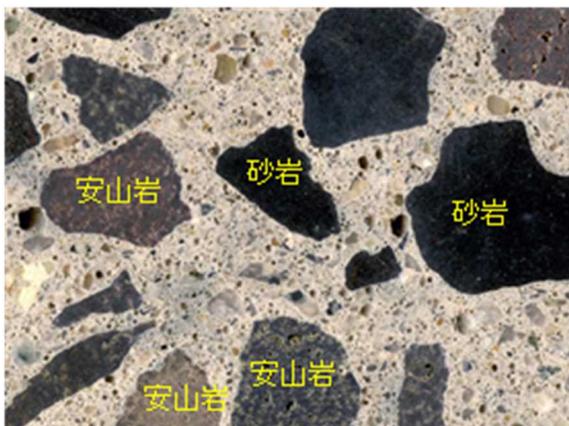
写真Ⅳ-1-6 H17-03 堰堤

2) コンクリートコアの外観観察

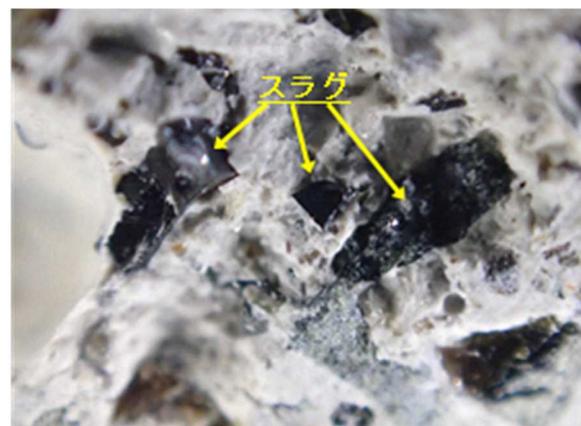
採取したサンプルはいずれも目視で確認できるようなひび割れは発生していない。また、アルカリシリカ反応生成物を疑わせるような白色物質は全く析出していない。また、スラグを含むすべての細骨材とセメントペーストとの境界は良好な状態であり、アルカリシリカ反応が発生している様子はいかなるものもない。

コアの破断面では、スラグは製造直後と同様な光沢を示しており、セメントとの境界部で反応が発生している様子はいかなるものもない。

採取したコンクリートコアの代表切断面を写真Ⅳ-1-7、破断面を写真Ⅳ-1-8に示す。



写真Ⅳ-1-7 コンクリートコア切断面



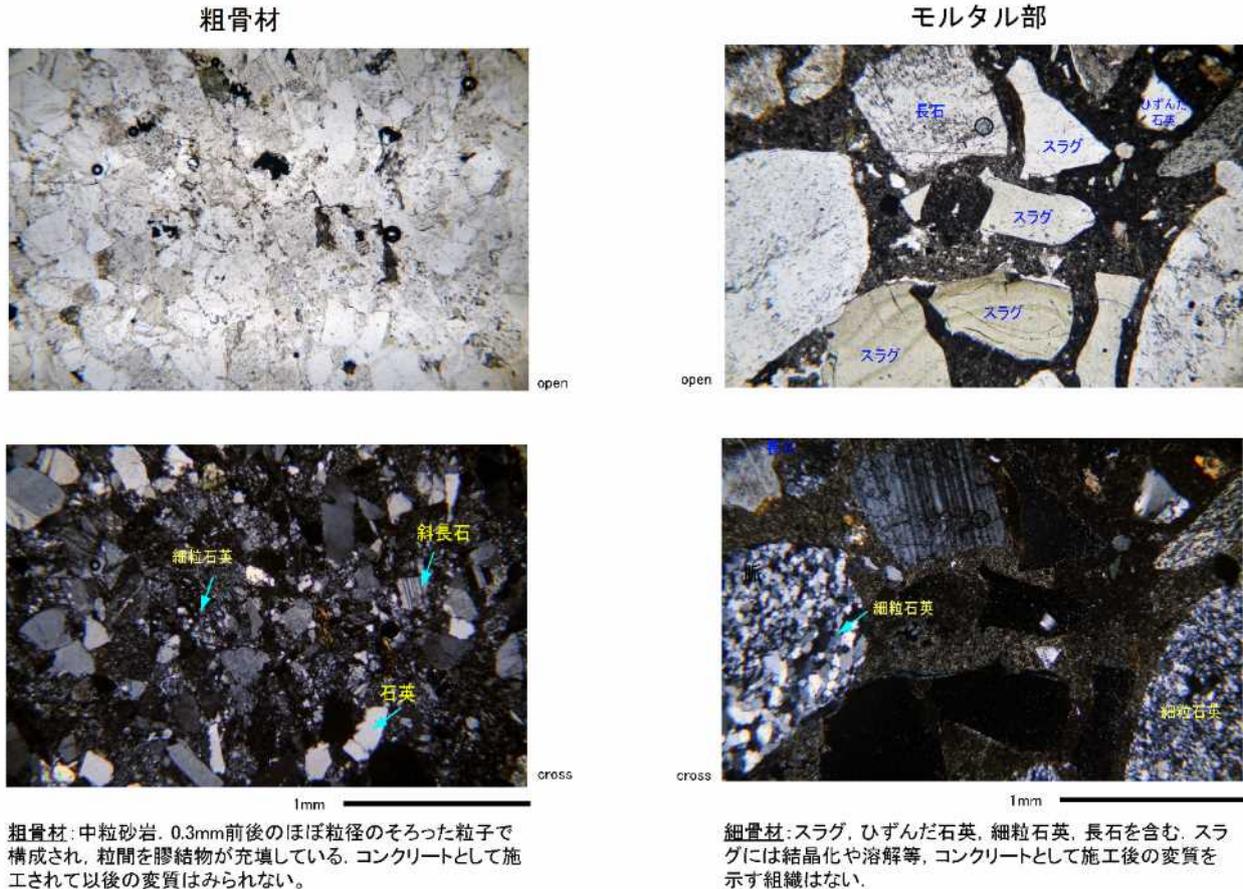
写真Ⅳ-1-8 コンクリートコア破断面

3) コンクリートコアの偏光顕微鏡観察

アルカリ骨材反応が進行すると、セメントペースト部から骨材に繋がるひび割れが発生し、ひび割れ内部に反応生成物が充填されていることが多い。また、骨材自身にもひび割れや変質が発生していることが多い。

調査した6個所のコアから作製した薄片の偏光顕微鏡観察では、このような症状は全く認められない。また、豊島溶融スラグとセメントペースト界面において反応した様子はいくつか見られるが、アルカリ骨材反応は発生していないと判断した。

採取したコンクリートコアの代表的な偏光顕微鏡観察結果を写真IV-1-9に示す。



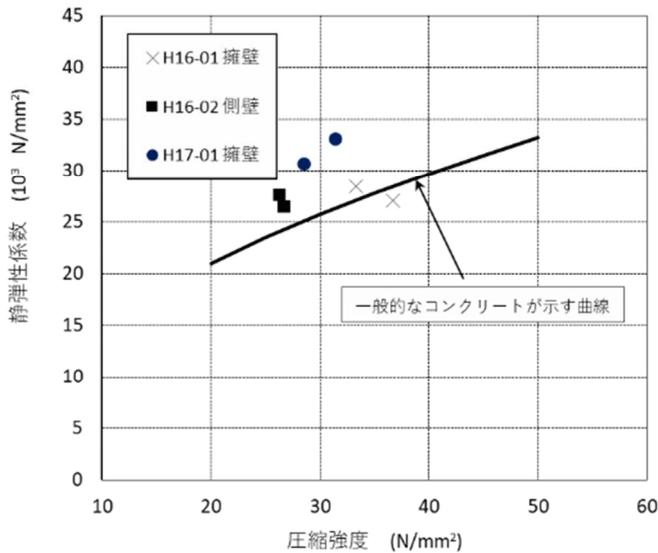
※上は、1枚のニコル(偏光板)だけで観察
下は、2枚のニコル(偏光板)の間に資料を入れて観察

写真IV-1-9 コンクリートコアの偏光顕微鏡の写真

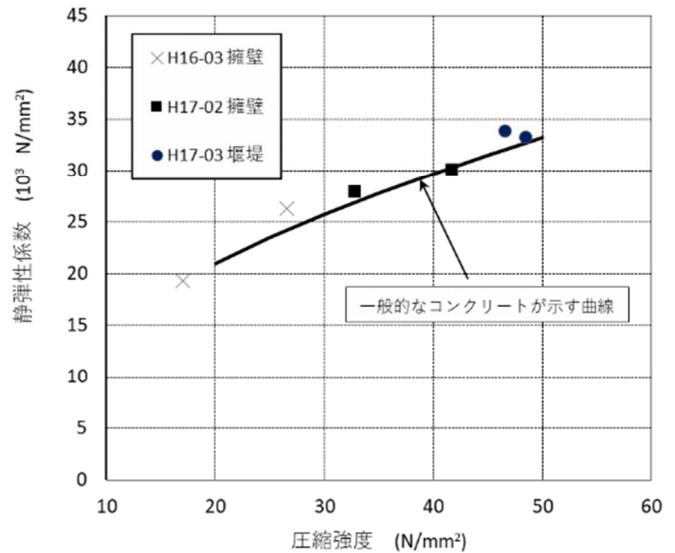
4) 圧縮強度試験および静弾性係数試験

コンクリートにアルカリ骨材反応が生じた場合、圧縮強度に比べ静弾性係数が大きく低下することが知られているが、本調査結果では、圧縮強度は設計基準強度を十分に上回っていること、静弾性係数は一般的なコンクリートの値を示していることから、調査したコンクリートにおいてアルカリ骨材反応は発生していないと判断した。

採取したコアの圧縮強度と静弾性係数の関係を図IV-1-2、3に示す。



図IV-1-2 圧縮強度と静弾性係数の関係 (H25)

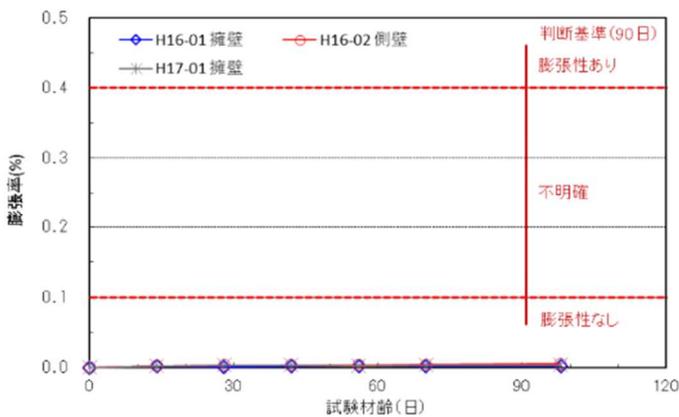


図IV-1-3 圧縮強度と静弾性係数の関係 (H27)

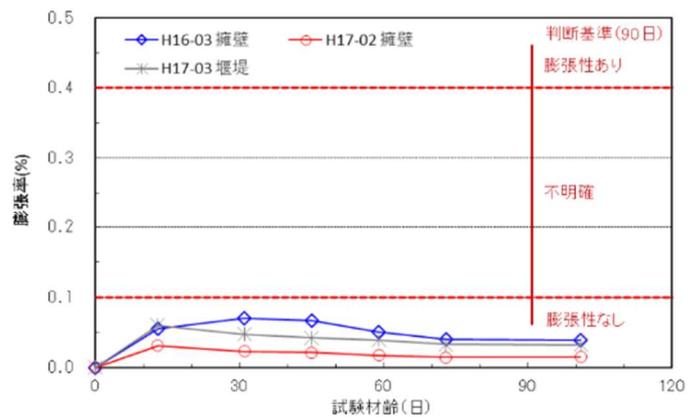
5) コンクリートコアの促進膨張試験

本試験法は骨材の反応性を評価するための試験であり、判定基準の結果をコンクリートコアにただちに適用できるものではないが、図のとおりほとんど膨張しておらず、今後、仮に厳しい塩害環境にさらされたとしても、アルカリ骨材反応による有害な膨張が生じる可能性は極めて低いと判断した。

採取したコアのデンマーク法による試験結果を図IV-1-4、5に示す。



図IV-1-4 膨張率の経時変化 (H25)



図IV-1-5 膨張率の経時変化 (H27)

6) 調査結果のまとめ

第1次モニタリングの調査結果では、アルカリ骨材反応は発生していないと判断でき、また、今後も反応が発生する可能性はほとんどないとした。

そのため、今後行う継続調査については、対象構造物や頻度など効率的なモニタリング計画を作成・検討し、スラグ置換率や土壌比率の違い等による影響を考察することとした。

2. 第2次モニタリングの調査結果

(1) モニタリング対象構造物の選定

基本的には、第1次のモニタリングでの考え方を踏襲し、第1次の調査対象のその後の状況の変化を見極めるとともに、土壌比率やスラグ置換率等の影響を、第1次モニタリングと比較検討することを目的としてモニタリング対象構造物を選定した。

1) モニタリング対象構造物の選定の基本的な考え方

第1次調査でのモニタリング対象構造物（供用10年経過後）のその後の状況（供用15年経過後）を引き続き調査する。

加えて、豊島廃棄物等の土壌比率の増加やスラグ置換率の影響を、第1次での調査結果と比較検討するため、供用10年経過後の該当する対象構造物を選定し、調査する。また、コンクリートの性状には海水による影響が考えられるため、過酷な条件にこれを加える（表IV-2-1参照）。

表IV-2-1 対象構造物の利用条件での選定の考え方

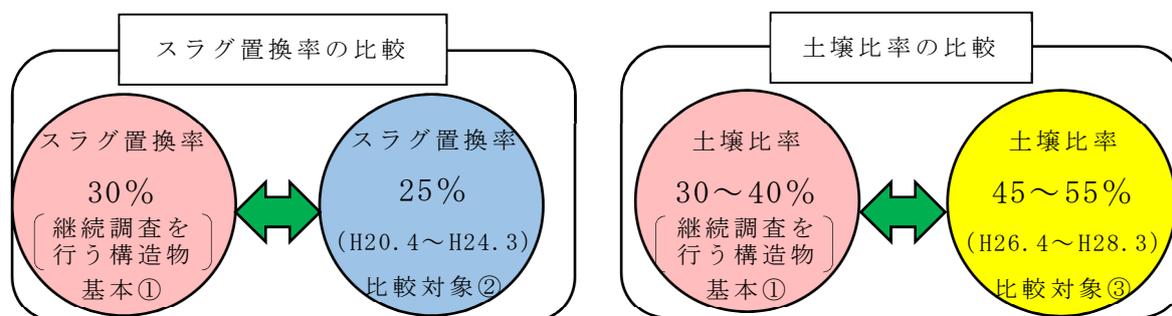
利用条件	内容
過酷な利用条件にある構造物	<ul style="list-style-type: none"> ・海水による影響で劣化の可能性が高い構造物（沿岸部） ・気温の変化等が大きい構造物（山間部）
一般的な利用条件にある構造物	<ul style="list-style-type: none"> ・平野部における県道沿いの構造物（平地部）

2) 比較を行う構造物の選定

第1次モニタリングの結果と比較を行う構造物としては、スラグ置換率に着目し、25%の構造物を選定して第1次の置換率30%の構造物との比較検討を行う。

また、土壌比率が高い豊島溶融スラグが使用された構造物にも着目し、土壌比率が上昇する前の第1次調査と上昇後の構造物の比較検討を行う。

それぞれの比較対象の概要を図IV-2-1に示す。なお、この色分けは、これ以降の図表についても同じとしている。



図IV-2-1 第1次の継続調査との比較対象の概要

3) モニタリング対象構造物の選定結果

第1次からの継続調査計6件(表IV-2-2の1~6)と比較対象として選定した計6件(表IV-2-2の7~12)を以下に示す。

表IV-2-2 第1次からの継続調査とその追加分のモニタリング対象構造物

No.	区分	工事名	施工場所	工期	利用条件	備考
1	H16-01 擁壁	(地方道路整備臨時交付金)県道鹿庭奥山線 緊急地方道路整備工事(道路災害防除)(第4工区)	木田郡 三木町	H16.2 ~ H17.1	過酷 (山間部)	第1次モニタリング 対象
2	H16-02 側壁	後山上川 通常砂防工事	仲多度郡 まんのう町	H16.5 ~ H17.3	過酷 (山間部)	第1次モニタリング 対象
3	H16-03 擁壁	(地方道路整備臨時交付金)県道三木津田線 緊急地方道路整備工事	さぬき市 造田宮西	H16.10 ~ H17.3	一般 (平地部)	第1次モニタリング 対象
4	H17-01 胸壁	高海改修第1号 原浜海岸 海岸改修工事	高松市 牟礼町	H17.7 ~ H17.11	過酷 (沿岸部)	追加分
5	H18-01 胸壁	県道紫雲出山線 道路改修工事(第2工区)	三豊市 詫間町	H18.1 ~ H19.1	過酷 (沿岸部)	追加分
6	H18-02 擁壁	県道太田上町志度線 道路維持修繕工事	高松市 六条町	H18.9 ~ H19.2	一般 (平地部)	追加分
7	H20-01 堰堤	長砂整第2号 梅ヶ畑川 砂防整備工事 (第2工区)	さぬき市 前山	H21.2 ~ H21.9	過酷 (山間部)	
8	H21-01 胸壁	津田港 高潮等対策整備工事(補助外)(護岸工)	さぬき市 津田町	H21.9 ~ H22.6	過酷 (沿岸部)	
9	H21-02 擁壁	高改修第6号 県道円座香西線 道路改修工事 (御厩工区)	高松市 檀紙町	H21.9 ~ H22.4	一般 (平地部)	
10	H26-01 胸壁	(防災・安全社会資本整備交付金)津田港 港湾海岸高潮対策工事	さぬき市 津田町	H25.9 ~ H27.3	過酷 (沿岸部)	
11	H27-01 擁壁	長改修第4号 県道富田中鴨部線(二番工区) 道路改修工事	さぬき市 鴨部	H27.2 ~ H27.8	一般 (平地部)	
12	H27-02 側壁	(防災・安全社会資本整備交付金)竹の谷川 通常砂防工事	観音寺市 大野原町	H27.7 ~ H28.1	過酷 (山間部)	

4) モニタリングの調査項目

調査項目は第1次のモニタリングと同様であり、表IV-2-3に示す。

表IV-2-3 モニタリングの調査項目

調査項目	目的及び内容
構造物の外観調査	アルカリ骨材反応特有の劣化症状(亀甲状のひび割れ等)の有無を確認する。
コンクリートコア採取	φ100mm、L=250~300mm程度のコアを4本(圧縮強度試験及び静弾性係数試験用に2本、残存膨張量試験用に2本)採取する。
コアの外観観察	採取したコアの外観を観察し、ひび割れ及びアルカリシリカ反応生成物の確認を行う。
圧縮強度試験	コンクリートの基本情報として、圧縮強度試験を採取したコアで行う。
静弾性係数試験	コンクリートの変状を評価する試験として、静弾性係数試験を採取したコアで行う。
偏光顕微鏡観察	採取したコアから厚さ20μm程度の薄片を作成し、偏光顕微鏡により、微細なひび割れの発生状況等を確認し、豊島溶融スラグに起因したアルカリ骨材反応の有無を確認する。
残存膨張量試験	一般的な試験方法であるJCI-DD2法及び既往調査で採用しているデンマーク法を行う。

(2) 調査の実施状況

1) モニタリング対象構造物

令和元年度の調査では、外観調査 8 構造物、詳細調査 5 構造物について実施した。なお、外観調査により絞り込みを行う「第 1 次からの継続調査とその追加分のモニタリング対象構造物（令和元年度は山間部および平地部が対象）」については、外観調査による評価を行い、それぞれ 1 件を選定した。

また、令和 2 年度の調査では、外観調査 4 構造物、詳細調査 4 構造物について実施した。なお、外観調査により絞り込みを行う「第 1 次からの継続調査とその追加分のモニタリング対象構造物（令和 2 年度は沿岸部が対象）」については、外観調査から評価を行い、1 件を選定した。

令和元年度と令和 2 年度の調査対象構造物を図 IV-2-2 および表 IV-2-4 に示す。

2) 調査の実施日

令和元年度調査

外観調査：事前調査	令和元年 11 月 28 日（松島委員立会）
詳細調査	令和元年 12 月 9～11 日 [コア採取]
	令和 2 年 1 月 20、22 日 [外観目視調査]

令和 2 年度調査

外観調査：事前調査	令和 2 年 8 月 4 日（松島委員立会）
詳細調査	令和 2 年 8 月 27, 28 日 [コア採取]
	令和 2 年 9 月 1, 2 日 [外観目視調査]

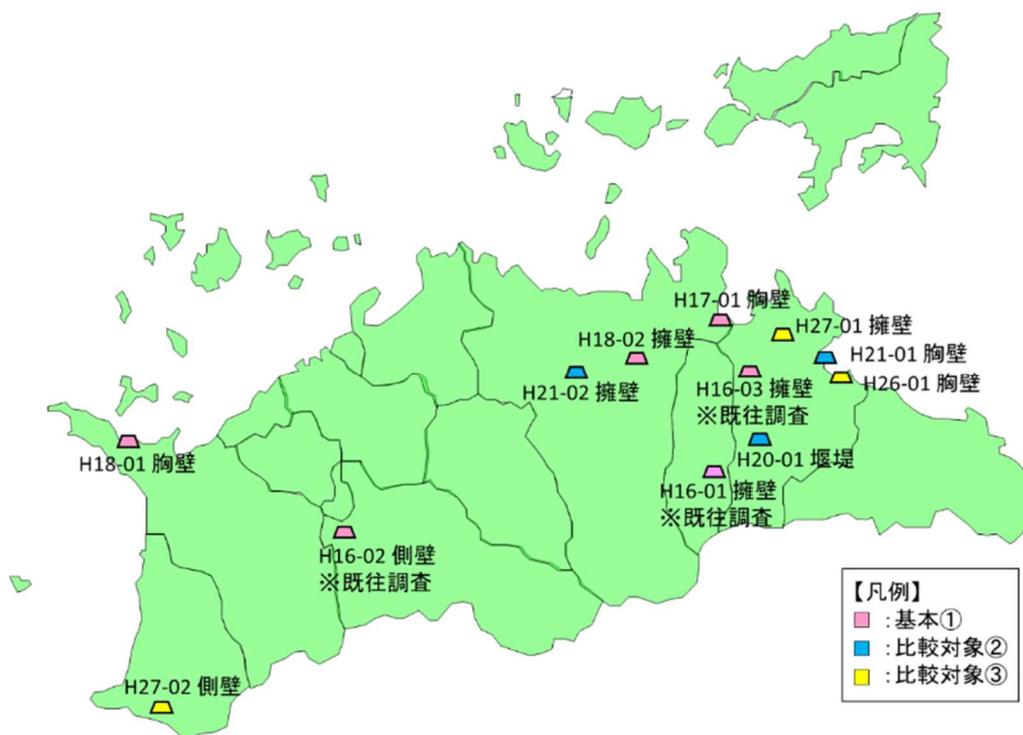


図 IV-2-2 調査対象構造物の所在箇所

表Ⅳ-2-4 調査対象構造物の概要

比較対象	No.	区分	工事名	施工場所	工期	利用条件	備考
基本①	1	H16-01 擁壁	(地方道路整備臨時交付金)県道鹿庭奥山線 緊急地方道路整備工事(道路災害防除)(第4工区)	木田郡 三木町	H16.2 ～ H17.1	過酷 (山間部)	
	2	H16-02 側壁	後山上川 通常砂防工事	仲多度郡 まんのう町	H16.5 ～ H17.3	過酷 (山間部)	※外観調査のみ実施
	3	H16-03 擁壁	(地方道路整備臨時交付金)県道三木津田線 緊急地方道路整備工事	さぬき市 造田宮西	H16.10 ～ H17.3	一般 (平地部)	※外観調査のみ実施
	4	H17-01 胸壁	高海改修第1号 原浜海岸 海岸改修工事	高松市 牟礼町	H17.7 ～ H17.11	過酷 (沿岸部)	
	5	H18-01 胸壁	県道紫雲出山線 道路改修工事(第2工区)	三豊市 詫間町	H18.1 ～ H19.1	過酷 (沿岸部)	※外観調査のみ実施
	6	H18-02 擁壁	県道太田上町志度線 道路維持修繕工事	高松市 六条町	H18.9 ～ H19.2	一般 (平地部)	
比較対象②	7	H20-01 堰堤	長砂整第2号 梅ヶ畑川 砂防整備工事 (第2工区)	さぬき市 前山	H21.2 ～ H21.9	過酷 (山間部)	
	8	H21-01 胸壁	津田港 高潮等対策整備工事(補助外)(護岸工)	さぬき市 津田町	H21.9 ～ H22.6	過酷 (沿岸部)	
	9	H21-02 擁壁	高改修第6号 県道円座香西線 道路改修工事 (御厩工区)	高松市 檀紙町	H21.9 ～ H22.4	一般 (平地部)	
比較対象③	10	H26-01 胸壁	(防災・安全社会資本整備交付金)津田港 港湾海岸高潮対策工事	さぬき市 津田町	H25.9 ～ H27.3	過酷 (沿岸部)	
	11	H27-01 擁壁	長改修第4号 県道富田中鴨部線(二番工区) 道路改修工事	さぬき市 鴨部	H27.2 ～ H27.8	一般 (平地部)	
	12	H27-02 側壁	(防災・安全社会資本整備交付金)竹の谷川 通常砂防工事	観音寺市 大野原町	H27.7 ～ H28.1	過酷 (山間部)	

(3) 調査結果

1) 構造物の外観調査

外観調査を行った12構造物すべてについて、アルカリ骨材反応による劣化は見られない。

なお、外観調査により絞り込みを行う「第1次からの継続調査とその追加分のモニタリング対象構造物」(表Ⅳ-2-1 No. 1～6)については、アルカリ骨材反応を疑わせるひび割れは全く認められず、同様の状況にあることから、山間部については調査全体の効率や現地の作業性等を考慮してH16-1擁壁を、平地部については新たに調査したH18-2擁壁を、沿岸部については調査年度の古いH17-1胸壁を選定し、詳細調査を行うこととした。

アルカリ骨材反応では、ひび割れを生じない場合も接合部でコンクリートの膨張による変化を生じる場合があることから、外観調査を行った目地部の状況について、写真Ⅳ-2-1～8に示す。

また、参考としてアルカリ骨材反応による特徴的な状況を写真Ⅳ-2-9, 10に示す。



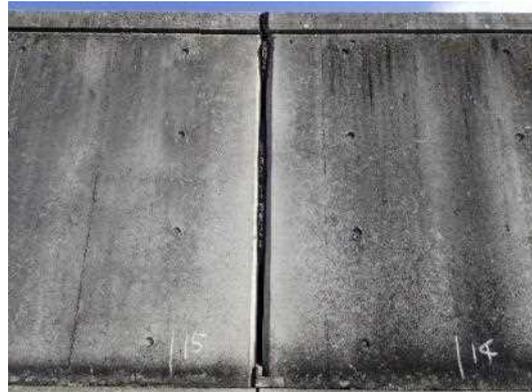
写真IV-2-1 H16-01 擁壁 (既往調査時)



写真IV-2-2 H16-02 側壁 (既往調査時)



写真IV-2-3 H16-03 擁壁 (既往調査時)



写真IV-2-4 H17-01 胸壁



写真IV-2-5 H18-01 胸壁



写真IV-2-6 H18-02 擁壁



写真IV-2-7 H27-01 擁壁



写真IV-2-8 H27-02 側壁



写真IV-2-9 参考:アルカリ骨材反応の
特徴的な状況(1)

コンクリートの膨張により目地部が押され、目地材が外にはみ出してくる。



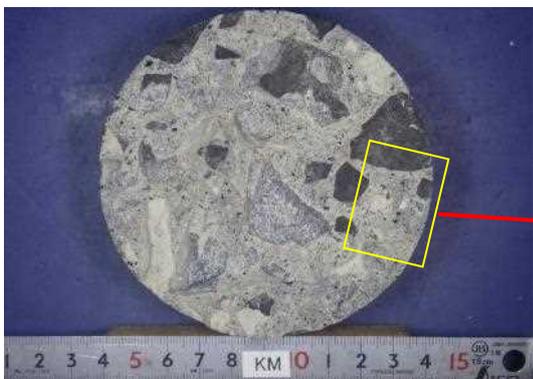
写真IV-2-10 参考:アルカリ骨材反応の
特徴的な状況(2)

コンクリート膨張により、接手部でのせり上がり、段差が発生する場合がある。

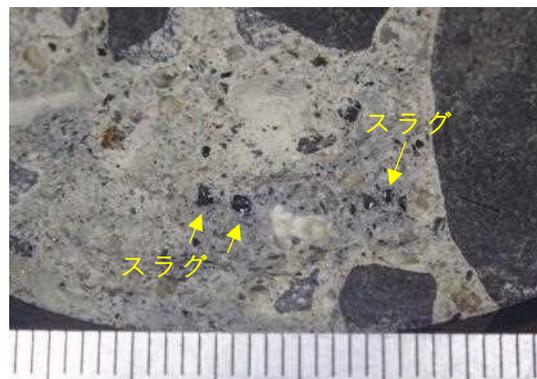
2) コンクリートコアの外観観察

外観観察を行った9構造物すべてについて、目視で確認できるようなひび割れは発生していない。また、アルカリシリカ反応生成物を疑わせるような白色物質も析出していない。

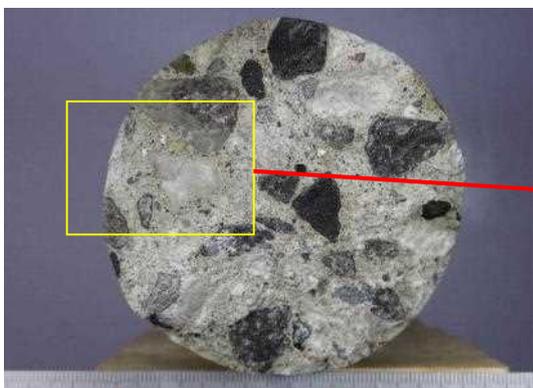
代表として、最も供用期間の長い H16-1 擁壁の状況を写真IV-2-11, 12 に示す。また、参考としてアルカリ骨材反応による特徴的な状況を写真IV-2-13, 14 に示す。



写真IV-2-11 H16-01 擁壁 (全景)



写真IV-2-12 H16-01 擁壁 (近景)



写真IV-2-13 参考:アルカリ骨材反応の
特徴的な状況(3)



写真IV-2-14 参考:アルカリ骨材反応の
特徴的な状況(4)

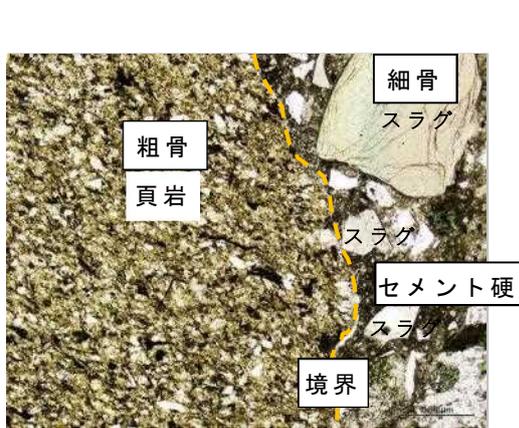
細骨材の割裂面に白色のアルカリシリカ反応生成物が見られる。

3) コンクリートコアの偏光顕微鏡観察

コンクリートコアから作製した薄片の偏光顕微鏡観察では、調査した9構造物すべてについて、豊島溶融スラグを起点とした微細なひび割れや変質は発生していない。

代表として、最も供用期間の長いNo. 1 (H16-1擁壁) の状況を写真IV-2-15, 16に示す。

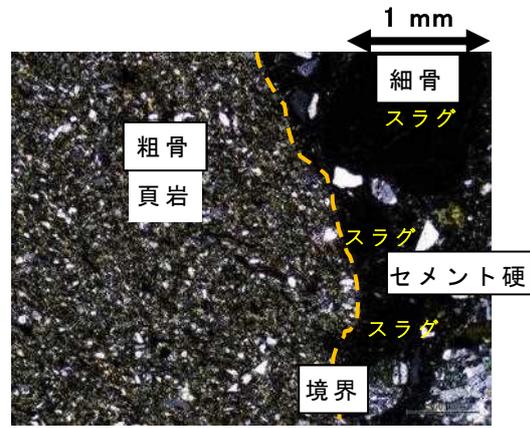
また、参考としてアルカリ骨材反応による特徴的な状況を写真IV-2-17, 18に示す。



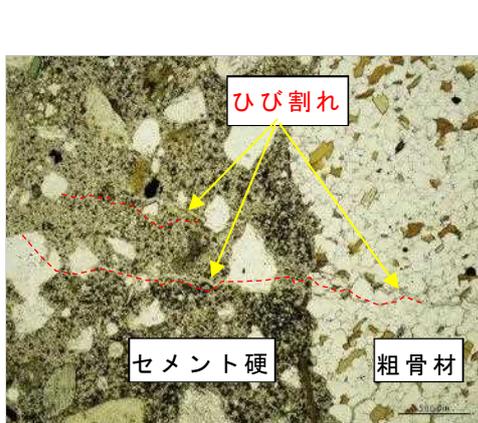
写真IV-2-15 H16-01 擁壁 (単ニコル※1)

※1: 1枚のニコル(偏光板)だけで観察

※2: 2枚のニコル(偏光板)の間に資料を入れて観察

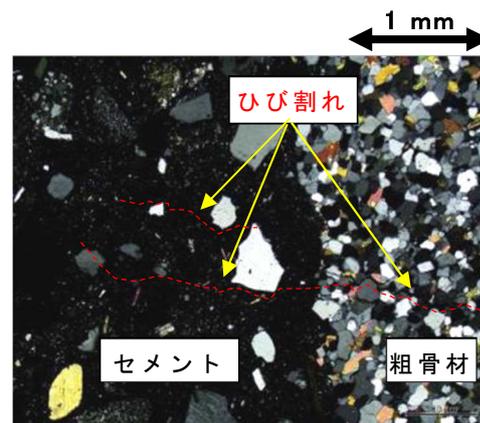


写真IV-2-16 H16-01 擁壁 (直交ニコル※2)



写真IV-2-17 参考:アルカリ骨材反応の
特徴的な状況(3)

粗骨材~セメント硬化体に連続する微細

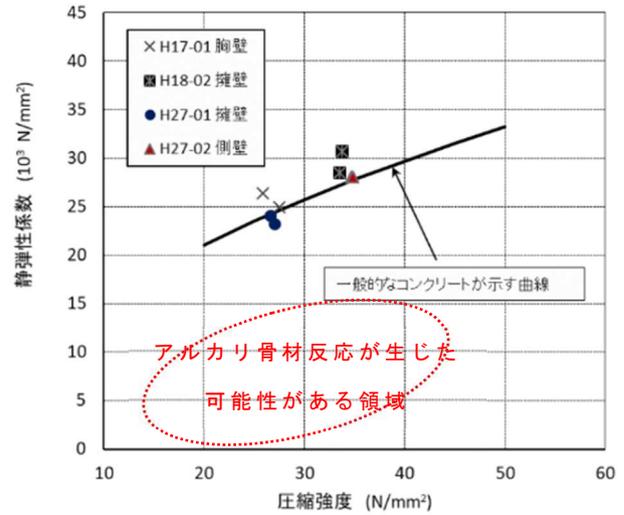
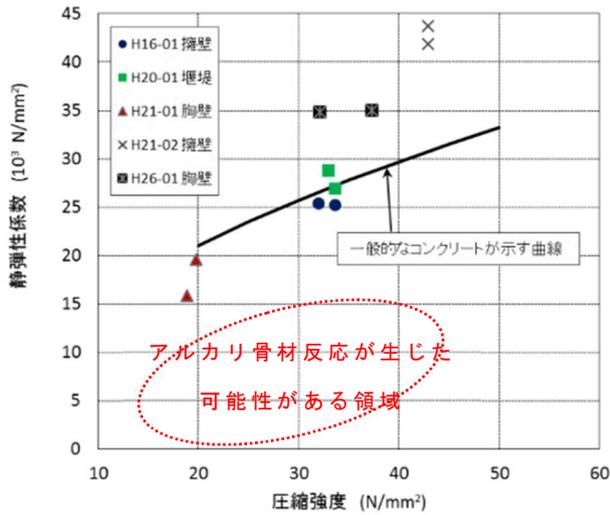


写真IV-2-18 参考:アルカリ骨材反応の
特徴的な状況(4)

4) 圧縮強度試験および静弾性係数試験

コンクリートにアルカリ骨材反応が生じた場合、圧縮強度に比べ静弾性係数が低下することが知られている。本調査結果では、圧縮強度と静弾性係数の関係は一般的なコンクリートの値を示していることから、調査を行った9構造物すべてについて、アルカリ骨材反応は発生していないと判断できる。

採取したコアの圧縮強度と静弾性係数の関係を図IV-2-3, 4に示す。



図IV-2-3 圧縮強度と静弾性係数の関係 (R元)

図IV-2-4 圧縮強度と静弾性係数の関係 (R2)

※アルカリ骨材反応で劣化したコンクリートは、一般的なコンクリートに対して、圧縮強度は20～30%、静弾性係数は40～60%低下していることが多く、図の赤で示す範囲となる。

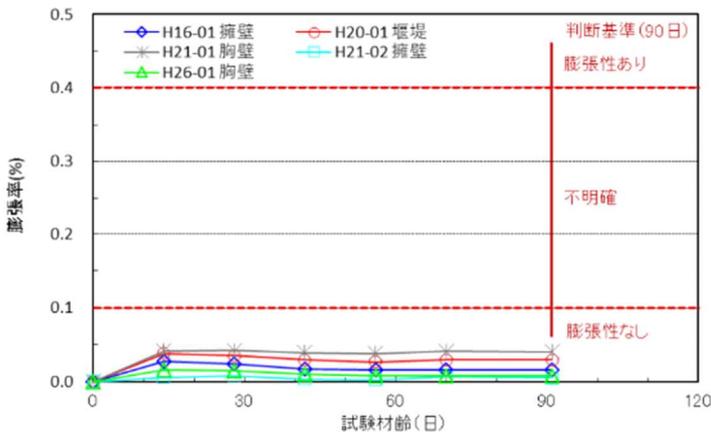
5) コンクリートコアの促進膨張試験

骨材の反応性を評価するコンクリートコアの促進膨張試験^{※3}の手法として、豊島溶融スラグ生成時の確認試験として実施したデンマーク法^{※4}および、国内の他の構造物の試験結果と比較検討を行うため JIC-DD2 法^{※5}の2種類の試験を行った。本試験では、ほとんど膨張しておらず、2週間後から3ヶ月後の膨張量の伸びもほぼないことから、試験を行った12構造物すべてについて、アルカリ骨材反応による有害な膨張が生じる可能性は極めて低いと判断できる。採取したコンクリートコアのデンマーク法による試験結果を図IV-2-5, 6に、JIC-DD2法による試験結果を図IV-2-7, 8に示す。

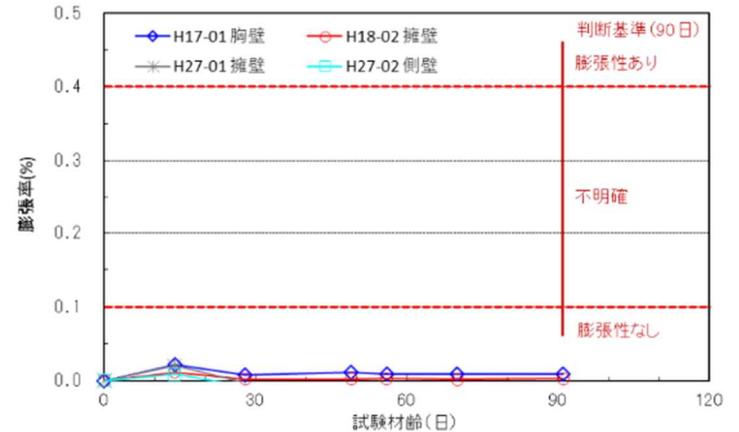
※3: コンクリートコアを高温、高湿および高アルカリなどのアルカリ促進環境下で養生し、膨張量を測定することにより、アルカリ骨材反応による今後の膨張量を推定する促進試験

※4: 温度50℃の飽和塩化ナトリウム水溶液中に浸して養生を行い、膨張量を測定する方法

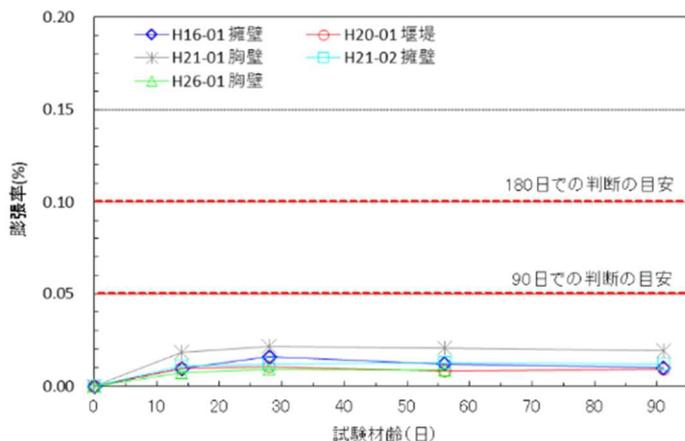
※5: 温度40℃、湿度95%以上の湿気箱で養生を行い、膨張量を測定する方法



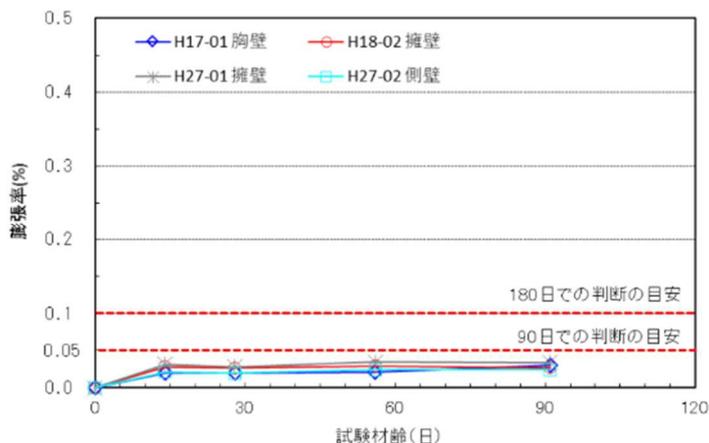
図IV-2-5 デンマーク法による膨張率の経時変化 (R元)



図IV-2-6 デンマーク法による膨張率の経時変化 (R2)



図IV-2-7 JIC-DD2法による膨張率の経時変化(R元)



図IV-2-8 JIC-DD2法による膨張率の経時変化(R2)

6) まとめ

令和元年度及び令和2年度に調査した12構造物の調査結果については、以下に示すとおりであり、この結果から、調査した構造物ではアルカリ骨材反応による劣化は進行しておらず、今後も劣化が進行する可能性はほとんどないと判断した。

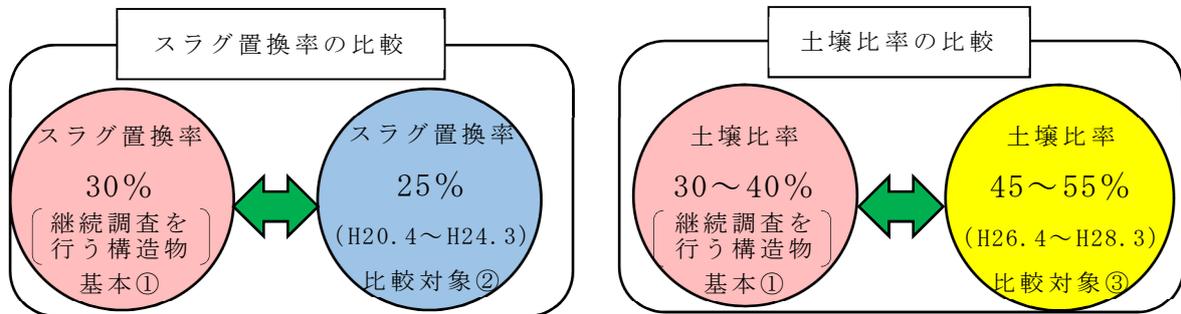
- ・ 構造物には、アルカリ骨材反応の進行を疑わせるひび割れは発生していない。
- ・ 採取コアの外観観察では、アルカリ骨材反応を疑わせる骨材のひび割れや反応リムは認められず、また、反応生成物が析出するなどの特徴的な劣化症状は認められない。
- ・ 偏光顕微鏡観察では、豊島熔融スラグを起点とした微細なひび割れなどの劣化症状はほとんど確認できない。
- ・ 採取コアの物性は健全なコンクリートを示している。
- ・ アルカリ促進環境下でも、採取コアはほとんど膨張を示さない。

3. 調査結果の考察と結論

豊島溶融スラグについては、これをコンクリートの細骨材に用いた場合のコンクリートの力学特性や、アルカリ骨材反応についての基礎的な検討を行い、細骨材の30%程度の置換であれば十分利用できることを確認した上で利用しており、第1次及び第2次モニタリングの調査結果から、豊島溶融スラグに起因する問題が発生していないことを確認した。ここでは、モニタリング調査結果から、スラグ置換率や土壌比率の違い等による影響の考察を行う。

(1) モニタリング対象及び試験結果

第2次モニタリング計画では、スラグ置換率や土壌比率、利用条件の違い（以下、「使用条件等の違い」という。）による影響を確認するため比較構造物の選定を行っている。比較対象等の概要を図IV-3-1に、選定した構造物を表IV-3-1に、第1次及び第2次モニタリングの調査結果の一覧を表IV-3-2に示す。



図IV-3-1 第1次の継続調査との比較対象の概要（図IV-2-1の再掲）

表IV-3-1 調査対象構造物の概要（表IV-2-4の再掲）

比較対象	No.	区分	工事名	施工場所	工期	利用条件	備考
基本①	1	H16-01 擁壁	(地方道路整備臨時交付金)県道鹿庭奥山線 緊急地方道路整備工事(道路災害防除)(第4工区)	木田郡 三木町	H16.2 ~ H17.1	過酷 (山間部)	
	2	H16-02 側壁	後山上川 通常砂防工事	仲多度郡 まんのう町	H16.5 ~ H17.3	過酷 (山間部)	※外観調査のみ実施
	3	H16-03 擁壁	(地方道路整備臨時交付金)県道三木津田線 緊急地方道路整備工事	さぬき市 造田宮西	H16.10 ~ H17.3	一般 (平地部)	※外観調査のみ実施
	4	H17-01 胸壁	高海改修第1号 原浜海岸 海岸改修工事	高松市 牟礼町	H17.7 ~ H17.11	過酷 (沿岸部)	
	5	H18-01 胸壁	県道紫雲出山線 道路改修工事(第2工区)	三豊市 詫間町	H18.1 ~ H19.1	過酷 (沿岸部)	※外観調査のみ実施
	6	H18-02 擁壁	県道太田上町志度線 道路維持修繕工事	高松市 六条町	H18.9 ~ H19.2	一般 (平地部)	
比較対象②	7	H20-01 堰堤	長砂整第2号 梅ヶ畑川 砂防整備工事 (第2工区)	さぬき市 前山	H21.2 ~ H21.9	過酷 (山間部)	
	8	H21-01 胸壁	津田港 高潮等対策整備工事(補助外)(護岸工)	さぬき市 津田町	H21.9 ~ H22.6	過酷 (沿岸部)	
	9	H21-02 擁壁	高改修第6号 県道円座香西線 道路改修工事 (御厩工区)	高松市 檀紙町	H21.9 ~ H22.4	一般 (平地部)	
比較対象③	10	H26-01 胸壁	(防災・安全社会資本整備交付金)津田港 港湾海岸高潮対策工事	さぬき市 津田町	H25.9 ~ H27.3	過酷 (沿岸部)	
	11	H27-01 擁壁	長改修第4号 県道富田中鴨部線(二番工区) 道路改修工事	さぬき市 鴨部	H27.2 ~ H27.8	一般 (平地部)	
	12	H27-02 側壁	(防災・安全社会資本整備交付金)竹の谷川 通常砂防工事	観音寺市 大野原町	H27.7 ~ H28.1	過酷 (山間部)	

表IV-3-2 第1次及び第2次モニタリングの調査結果

No.	区分	工事名	施工場所	施工工期	利用条件	スラグ置換率	土壌比率	調査年度	外観目視調査	コア外観目視観察	偏光顕微鏡観察	圧縮強度		静弾性係数		残存膨張量試験		
									ASR特有の劣化症状 ^{※6} の有無	ASRに特徴的な現象 ^{※7} の有無	アルカリ骨材反応の進行の有無	(N/mm ²)	(kN/mm ²)	圧縮強度から推定される静弾性係数(N/mm ²)	実測値/計算値	JCI-DD2法	デンマーク法	
1	H16-01擁壁	(地方道路整備臨時交付金) 県道鹿庭奥山線 緊急地方道路整備工事 (道路災害防除) (第4工区)	木田郡 三木町	H16.2 ~ H17.1	過酷 (山間部)	30%	30~ 40%	H25	認められない	無し	認められない	33.3	28.4	27.097	1.048	-	膨張性 無し	
								R01	認められない	無し	ひび割れは非常に微細であり、 構造物には影響しない ASRの可能性は低い	32.0	25.4	26.563	0.956	無害	膨張性 無し	
2	H16-02側壁	後山上川 通常砂防工事	仲多度郡 まんのう町	H16.5 ~ H17.3	過酷 (山間部)	30%	30~ 40%	H25	認められない	無し	認められない	26.7	26.5	24.264	1.092			-	膨張性 無し
								R01	認められない	外観目視調査の結果、劣化症状が認められないことから、調査対象の絞り込みを行い、詳細調査から除外した					26.3	27.6	24.081	1.146
3	H16-03擁壁	(地方道路整備臨時交付金) 県道三木津田線 緊急地方道路整備工事	さぬき市 造田宮西	H16.10 ~ H17.3	一般 (平地部)	30%	30~ 40%	H27	認められない	無し	認められない	17.0	19.3	19.361	0.997	-	膨張性 無し	
								R01	認められない	外観目視調査の結果、劣化症状が認められないことから、調査対象の絞り込みを行い、詳細調査から除外した					26.6	26.3	24.218	1.086
(第1次モニタリング)		16 災第 313 号 県道塩江屋島 西線道路災害復旧工事外 (314)	高松市 管沢町	H17.2 ~ H18.1	過酷 (山間部)	30%	30~ 40%	H27	認められない	無し	認められない	41.3	30.1	30.177	0.997	-	膨張性 無し	
4	H17-01 胸壁	高海改修第1号 原浜海岸 海岸改修工事	高松市 牟礼町	H17.7 ~ H17.11	過酷 (沿岸部)	30%	30~ 40%	R02	認められない	無し	認められない	25.9	26.4	23.898	1.105	無害	膨張性 無し	
(第1次モニタリング)		16 災第 1363 号 県道塩江屋島西線 道路災害復旧工事	高松市 東植田町	H17.9 ~ H18.1	過酷 (山間部)	30%	30~ 40%	H25	認められない	無し	認められない	31.4	33.1	26.313	1.258	-	膨張性 無し	
(第1次モニタリング)		梶羽川 通常砂防工事	綾歌郡 綾川町	H17.9 ~ H18.3	過酷 (山間部)	30%	30~ 40%	H27	認められない	無し	認められない	48.5	33.2	32.702	1.015	-	膨張性 無し	
5	H18-01 胸壁	県道紫雲山 道路整備工事 (第2工区)	三豊市 詫間町	H18.1 ~ H19.1	過酷 (沿岸部)	30%	30~ 40%	R02	認められない	外観目視調査の結果、劣化症状が認められないことから、調査対象の絞り込みを行い、詳細調査から除外した								
6	H18-02 擁壁	県道太田上町志度線 道路維持修繕工事	高松市 六条町	H18.9 ~ H19.2	一般 (平地部)	30%	30~ 40%	R02	認められない	無し	認められない	33.5	28.5	27.179	1.049	無害	膨張性 無し	
7	H20-01 堰堤	長砂整第2号 梅ヶ畑川砂防整備工事 (第2工区)	さぬき市 前山	H21.2 ~ H21.9	過酷 (山間部)	25%	30~ 40%	R01	認められない	無し	ひび割れは非常に微細であり、 構造物には影響しない ASRの可能性は低い	33.6	27	27.219	0.992	無害	膨張性 無し	
8	H21-01 胸壁	津田港 高潮等対策整備工事(補助外) (護岸工)	さぬき市 津田町	H21.9 ~ H22.6	過酷 (沿岸部)	25%	30~ 40%	R01	認められない	無し	認められない	19.8	19.6	20.895	0.938	無害	膨張性 無し	
9	H21-02 擁壁	高改修第6号 県道円座香西線 道路改修工事(御厩工区)	高松市 檀紙町	H21.9 ~ H22.4	一般 (平地部)	25%	30~ 40%	R01	認められない	無し	ひび割れは非常に微細であり、 構造物には影響しない ASRの可能性は低い	42.9	41.9	30.756	1.362	無害	膨張性 無し	
10	H26-01 胸壁	(防災・安全社会資本整備交付金) 津田港 港湾海岸高潮対策工事	さぬき市 津田町	H25.9 ~ H27.3	過酷 (沿岸部)	30%	45~ 55%	R01	認められない	無し	ひび割れは非常に微細であり、 構造物には影響しない ASRの可能性は低い	32.1	34.8	26.605	1.308	無害	膨張性 無し	
11	H27-01 擁壁	長改修第4号 県道富田中鴨部線 (二番工区) 道路改修工事	さぬき市 鴨部	H27.2 ~ H27.8	一般 (平地部)	30%	45~ 55%	R02	認められない	無し	認められない	27.0	23.2	24.400	0.951	無害	膨張性 無し	
12	H27-02 側壁	(防災・安全社会資本整備交付金) 竹の谷川 通常砂防工事	観音寺市 大野原町	H27.7 ~ H28.1	過酷 (山間部)	30%	45~ 55%	R02	認められない	粗骨材にごく僅かなひび 割れが認められたが局所 的なものである	認められない	34.7	28.1	27.661	1.016	無害	膨張性 無し	

※6 ASR特有の劣化症状：ASR起因のひび割れ、ゲル滲出、目地材のはみ出し、目地部の異常など。

※7 ASR起因の微細なひび割れ、反応リム、透明または白色ゲルの生成など。

(2) 使用条件等の違いによる影響の確認

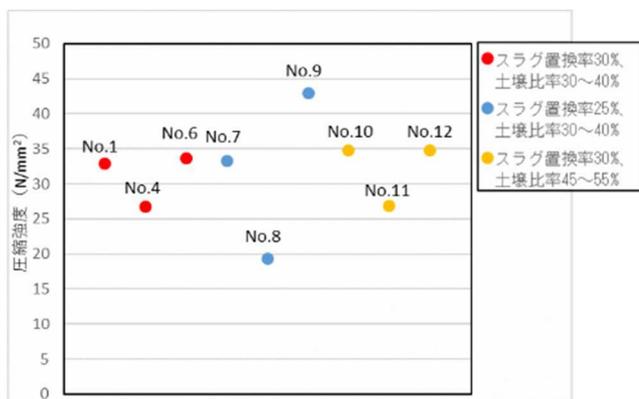
使用条件等の違いによる影響の確認として、コンクリート構造物の品質に関する項目のうち、圧縮強度試験、圧縮強度と静弾性係数の関係およびコンクリートコアの残存膨張量試験の結果から考察を行った。

使用条件等の違いによる圧縮強度試験及び圧縮強度と静弾性係数の関係では、構造物ごとにばらつきがあるものの、使用条件等による違いは認められず、ばらつきは施工時の締固めや養生方法等の違いにより生じたものと推察される。また、残存膨張量試験では、全ての調査構造物がほとんど膨張を示しておらず、使用条件等の違いによるコンクリート構造物の物性に違いは認められなかった。

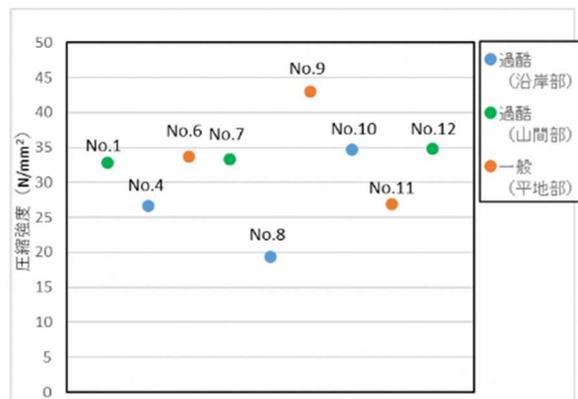
なお、一般的には、細骨材のスラグ置換率が増加するとコンクリート物性の低下やアルカリ骨材反応進行の可能性が高くなることや、土壌比率が高いとスラグ中のシリカ量が増加し、アルカリ骨材反応性の高いスラグが生成される可能性が高くなること言われているが、豊島溶融スラグを使用したコンクリート構造物は、スラグ置換率を25～30%までに留めており、土壌比率の違いによる影響は確認されず、使用条件等の違いによるコンクリート構造物の物性に違いは認められなかった。

このため、豊島溶融スラグの置換率や土壌比率、利用条件による違いは、コンクリート構造物の品質に違いを生じさせるほどのものでないことが確認された。

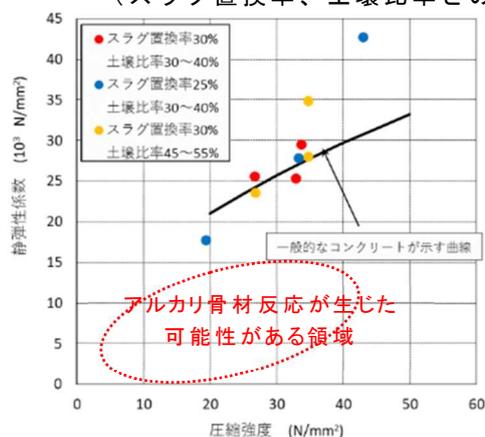
圧縮強度試験の結果^{※8}を図IV-3-2, 3に、圧縮強度と静弾性係数の関係^{※8}を図IV-3-4, 5に、残存膨張量試験の結果を図IV-3-6～9に示す。 ※8：図中は平均値



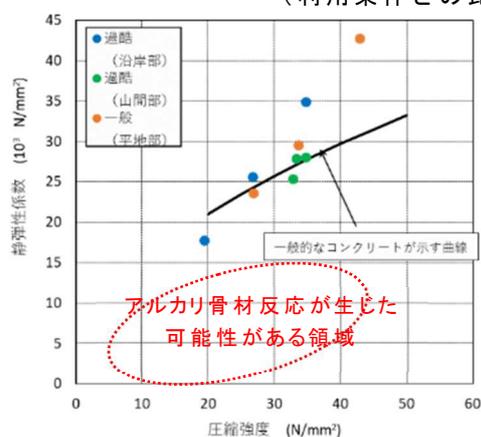
図IV-3-2 圧縮強度試験
(スラグ置換率、土壌比率との比較)



図IV-3-3 圧縮強度試験
(利用条件との比較)



図IV-3-4 圧縮強度と静弾性係数の関係
(スラグ置換率、土壌比率との比較)



図IV-3-5 圧縮強度と静弾性係数の関係
(利用条件との比較)

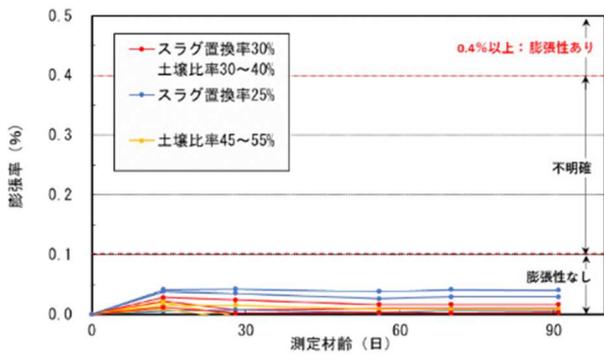


図 IV-3-6 デンマーク法による膨張率の変化
(スラグ置換率、土壌比率との比較)

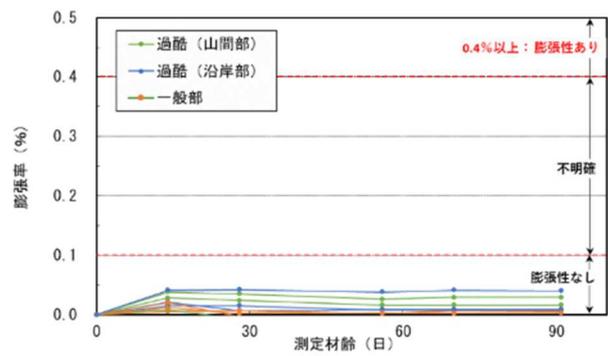


図 IV-3-7 デンマーク法による膨張率の変化
(利用条件との比較)

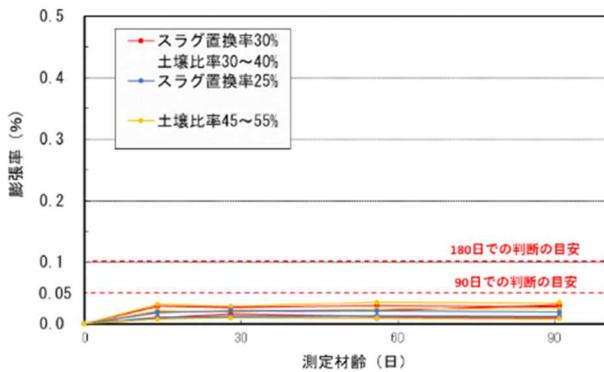


図 IV-3-8 JIC-DD2 法による膨張率の変化
(スラグ置換率、土壌比率との比較)

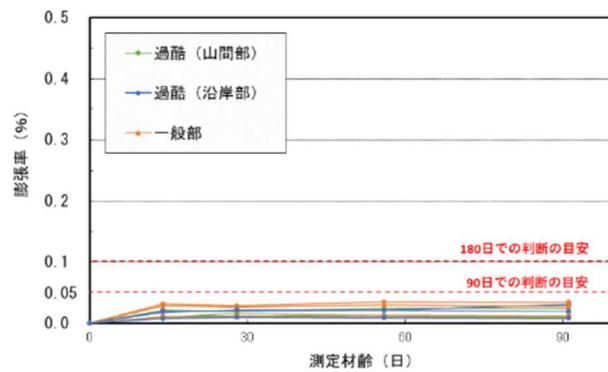


図 IV-3-9 JIC-DD2 法による膨張率の変化
(利用条件との比較)

(3) 一般的なコンクリート構造物との比較

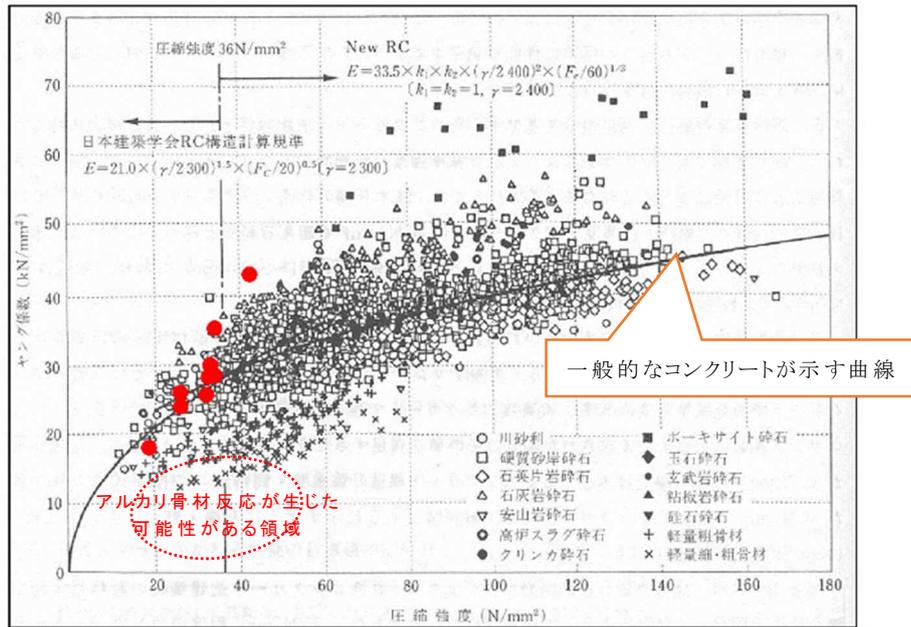
一般的なコンクリート構造物との比較検討として、一般的なコンクリートの圧縮強度とヤング係数の関係図に、第2次モニタリング調査結果をプロットすることで考察を行った。

豊島溶融スラグを使用したコンクリート構造物については、一般的なコンクリート構造物の分布範囲内に収まっていることが確認された。

なお、圧縮強度については、一般的なコンクリート構造物の圧縮強度は長期的に増進すること、既往の研究成果から、アルカリ骨材反応により劣化したコンクリート構造物においても圧縮強度は概ね10年程度で落ち着くことが示されており、今回の調査した構造物においても圧縮強度の低下の様子は確認されない^{※9}ことから、今後、コンクリートの品質（強度）に関して問題が生じる可能性は低いと考えられる。

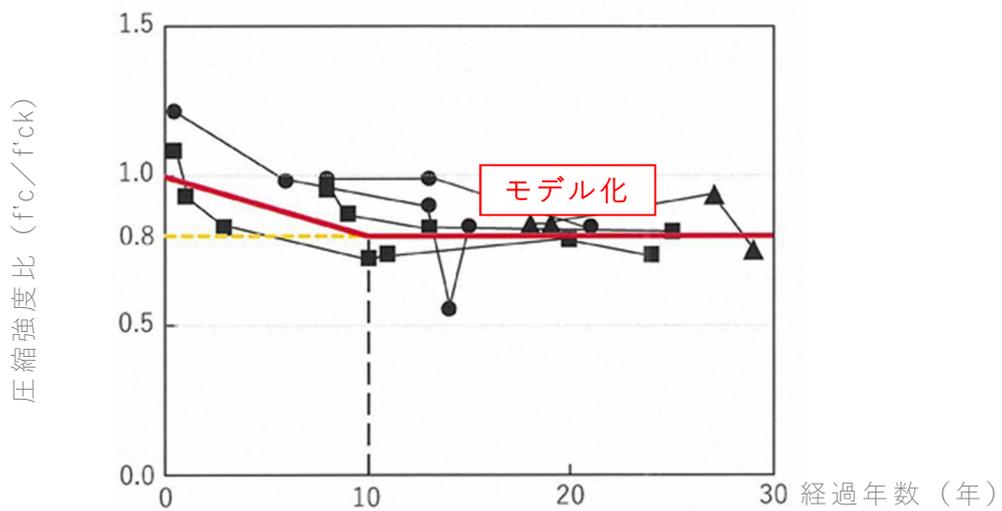
圧縮強度とヤング係数の関係図に第2次モニタリング調査結果をプロットしたものを図IV-3-10に、劣化したコンクリート構造物の圧縮強度比の経年変化の関係を図IV-3-11に示す。

※9：「非破壊試験を用いた土木コンクリート構造物の健全度診断マニュアル（平成15年10月）」によれば、すべての供試体の圧縮強度が設計基準強度の80%以上であれば、構造的に問題はないと判断してよいとあり、今回の調査した全ての構造物について、『構造的に問題はない』と判断できる。（無筋コンクリート構造物の場合、設計基準強度 $21\text{N/mm}^2 \rightarrow 16.8\text{N/mm}^2$ となる。）



図IV-3-10 圧縮強度と静弾性係数の分布図

出典：日本建築学会「コンクリートの調合設計指針・同解説」（1999. 2）, p36



図IV-3-11 劣化したコンクリート構造物の圧縮強度比の経年変化

出典：土木学会論文集 E2, Vol. 67, No. 1, 2011「構造物の調査結果に基づいた ASR 劣化度の定量評価

(4) 他の溶融スラグを使用したコンクリート構造物との比較

豊島溶融スラグコンクリート構造物のモニタリング調査結果と、他の溶融スラグを使用したコンクリート構造物との比較検討を行うため、文献調査を行った。

文献調査によれば、一般廃棄物及び下水汚泥スラグについては、一般的なコンクリートに比べ、圧縮強度は同程度、静弾性係数は大きくなるとあり、豊島溶融スラグについても同様の傾向を示している。また、文献調査による留意点として、溶融スラグコンクリートにおいてポップアウト現象が起こること、シリカ含有量が比較的多いためアルカリ骨材反応が発生する恐れがあることが挙げられている。

第1次及び第2次モニタリング調査では、対象構造物においてコンクリート表面にポップアウトは認められず、コンクリートコアの残存膨張量試験結果でも、採取コアはほとんど膨張を示さないことが確認された。

文献調査結果を表IV-3-3に示す。

表IV-3-3 文献調査結果

題	溶融スラグ骨材を用いたコンクリート	溶融スラグ骨材コンクリートの長期性状	溶融スラグ骨材の利用とJIS化
出典	-	コンクリート工学年次論文集, Vol.27, No.1, 2005 コンクリート工学年次論文集, Vol.33, No.1, 2011 日本建築学会大会学術講演梗概集(九州)2016年8月	コンクリート工学年次論文集, Vol.45, No.4, 2007
著者	鈴木澄江[建材試験センター]	川上勝弥・依田彰彦・横室隆・吉崎芳郎(材齢4年まで)川上勝弥・横室隆・宮澤祐介(材齢10年まで)新井太一・川上勝弥(材齢15年まで)	辻幸和・依田彰彦・川上勝弥・鈴木康範
内容	溶融スラグ骨材の製造及び品質、溶融スラグ骨材を使用したコンクリートの品質と留意点ならびにコンクリート製品に関する情報等について紹介	一般廃棄物および下水汚泥に由来する溶融スラグを細骨材または粗骨材としたコンクリートと比較用として川砂および碎石を用いたコンクリートを作成・屋外自然暴露を実施し、材齢4・10・15年における性状について考察	溶融スラグ骨材の生産状況と品質、溶融スラグ骨材を用いたコンクリートの特性について、紹介するとともにJCI規格(案)からTRAOO16を経て、JISA5031の制定に至るJIS化への経緯および適用範囲と規定内容について紹介
スラグの種類	一般廃棄物および下水汚泥	一般廃棄物および下水汚泥	一般廃棄物および下水汚泥
溶融スラグの主成分	金属鉄(Fe)は、溶融スラグ骨材表面に赤さびを発生させることがあるため、1.0%以下に制限されている。骨材に含まれる金属アルミニウムは、コンクリート中の水酸化カルシウム及び水と反応し、水素ガスを発生することがある		同左
圧縮強度	溶融スラグコンクリートの圧縮強度は長期的に増進する傾向。	溶融スラグ骨材コンクリートの圧縮強度は、比較用コンクリートと同程度	一般に溶融スラグ骨材の置換(混合)率の増加とともに減少し、50%の置換(混合)率で天然骨材(川砂、碎石)を用いたコンクリートの80%程度を示す
静弾性係数		溶融スラグ骨材コンクリートの静ヤング係数は、比較用コンクリートより大きい。	普通骨材を用いたコンクリートと比較して、静弾性係数は大きい。
中性化	溶融スラグ細骨材を使用したコンクリートの促進中性化深さは、川砂・碎石を用いたコンクリートと同程度	溶融スラグ骨材コンクリートの中性化の進行は比較用コンクリートとほぼ同程度	
ASR		ポップアウトで剥落した境界には、アルカリ骨材反応により生成されたと思われるアルカリ骨材生成物の存在が認められた。この粗骨材は、モルタルバー法によるアルカリ骨材反応性試験において、6か月後の膨張率が無害と判定する規定値以下であることから、溶融スラグ骨材における潜在的なアルカリ骨材反応性を示唆するものと思われる。	アルカリ骨材反応性に関しては、JISA1146「骨材のアルカリ骨材反応性試験方法—モルタルバー法」により有害な膨張を生じたという報告はこれまで無く、ほぼ無害と推察。しかし、コンクリートの長期材齢において、アルカリ骨材反応性に起因すると思われる現象が確認されたものがあるため、アルカリ骨材反応性に対する抑制対策を講じることを原則としている。
ポップアウト	屋外暴露した溶融スラグ粗骨材コンクリート(下水汚泥)において、ポップアウト現象が観察・報告されている。ポップアウトの原因は、CaOから消石灰を生成する反応または、金属アルミニウムから生成された可能性のあるペーライト(A10(OH))に起因する。	下水汚泥に由来する溶融スラグを粗骨材として用いたコンクリートの材齢約4年で、ポップアウト現象を確認。	
長さ変化率		溶融スラグ骨材コンクリートの長さ変化率は、比較用コンクリートより小さい。	普通骨材を用いたコンクリートと比較して、長さ変化率が小さい傾向を示す。

(5) まとめ

豊島溶融スラグのモニタリング調査結果及び他の溶融スラグを使用したコンクリート構造物との比較結果から、豊島溶融スラグを使用したコンクリート構造物については、次のような項目から今後も豊島溶融スラグの使用に起因する劣化が発生する可能性はほとんどないことが確認された。

これは、製造時の対策として、「溶融スラグの出荷検査マニュアル」に基づく品質検査を適切に行うなど、生成した豊島溶融スラグが一定の基準を満たすよう、品質管理を行った成果によるものと考えられる。

○ モニタリング調査結果

- ① コア外観観察 ⇒ アルカリ骨材反応を疑わせる劣化症状は認められない。
- ② 偏光顕微鏡観察 ⇒ 反応性シリカ鉱物にアルカリ骨材反応の形跡はない。
- ③ 圧縮強度・静弾性係数試験 ⇒ 各物性値の異常な低下はなく、両者の関係性も特に問題ない。
- ④ 残存膨張量試験 ⇒ デンマーク法・JCI-DD2法の結果により、今後、アルカリ骨材反応が進行する可能性は低いと判定された。

○ コンクリート強度への影響

一般的なコンクリート構造物の圧縮強度は長期的に増進すること、既往の研究成果から、アルカリ骨材反応により劣化したコンクリート構造物においても圧縮強度は概ね10年程度で落ち着くこととされており、本調査結果からも強度低下の傾向は伺えず、コンクリートの品質（強度）に関して問題が生じる可能性は低い。

○ 使用条件等の違いによる影響

圧縮強度試験、圧縮強度と静弾性係数の関係、コンクリートコアの残存膨張量試験の結果から、使用条件等の違いは、コンクリート構造物の品質に違いを生じさせるほどのものでない。

○ 豊島溶融スラグの利用に伴うアルカリ骨材反応の可能性

豊島溶融スラグはシリカ分の多いガラス質であり、一般的にシリカ含有量が多い溶融スラグほどアルカリ骨材反応の進行の可能性が高くなることが指摘されている。本調査結果から、スラグ置換率を30%までに留めておけば、土壌比率の違いによる影響は確認されず、アルカリ骨材反応の兆候は認められない。

以上の検討より、今後も豊島溶融スラグの使用に起因する劣化が発生する可能性はほとんどないことが明らかとなった。このことから、豊島溶融スラグを使用したコンクリート構造物の調査は第2次モニタリング計画期間で完了することとした。

今後は各コンクリート構造物の管理者により、一般的なコンクリート構造物と同様に目視点検等、適切な維持管理が行われることで、安全に供用されるものとなる。

Ⅱ－9

溶融スラグの出荷検査マニュアル

＜目次＞

第1	マニュアルの主旨	1
第2	マニュアルの概要	1
第3	マニュアルの適用範囲	2
第4	試料のサンプリング・保管	3
第5	安全性検査について	4
第6	品質検査について	5

【修正履歴】

年 月 日	摘 要	審 議 等
H20. 3. 23	安全性検査項目にフッ素、ホウ素を追加 混合スラグ分析・出荷フローを追加	第 14 回管理委員会
H26. 7. 27	スラグの安全性検査で基準を満たさない場合に、セメント原料化処理も行えるように修正。	第 35 回管理委員会
H28. 7. 10	品質検査の試験方法について、迅速法試験を日常的に行うこととし、実施できない場合は、ロット毎にクリストバライトの強度を測定して管理するよう見直しを行う。	第 41 回管理委員会

溶融スラグの出荷検査マニュアル

第1 マニュアルの主旨

1. 溶融スラグの出荷検査マニュアルは、溶融スラグを有効利用するための出荷時の検査が適切に行われるよう、検査手法の内容をとりまとめたものである。
2. 本マニュアルに定める出荷検査の方法は、必要に応じて適宜、見直すものとする。

【解説】

豊島廃棄物等の中間処理にともない発生する副成物は、溶融スラグ、溶融飛灰、銅鉄合金などに大別される。これらの副成物のうち、溶融スラグについては、以下の5つの用途で有効活用されることが考えられる。

- ① コンクリート二次製品用骨材
- ② レディーミクストコンクリート用骨材
- ③ アスファルト混合物骨材
- ④ 路盤材（下層路盤材、上層路盤材）
- ⑤ 埋戻材、盛土材等

本マニュアルは、溶融スラグを有効利用するための出荷検査について、検査方法、検査頻度、検査基準などをとりまとめたものである。

なお、溶融スラグの安全性検査、品質検査結果をベースに溶融スラグ出荷検査マニュアルの見直しを行うこととする。また、溶融スラグの有効利用用途、各種の法規制の変更等を反映して、適宜見直しを行う。

第2 マニュアルの概要

1. 出荷検査のための溶融スラグのサンプリングは、分析担当者が、中間処理施設スラグ分配コンベア上から、サンプリングを行うことにより実施する。但し、休日等については、中間処理施設運転者が実施する。
2. 1回あたりのサンプル量は約800gで、毎日午前・午後の2回サンプリングを行う。
3. 屋外スラグヤード3ブースにスラグが貯留した段階で、3ブース分の試料を縮分して各検査の必要量を確保する。
4. 安全性検査及び品質検査をそれぞれ行い、出荷可否を確認する。

【解説】

サンプリングは、分析担当者が、8つのブースにスラグを分配している中間処理施設スラグ分配コンベア上から試料を採集する方法により実施する。サンプリングは毎日午前・午後2回行い、一回のサンプル量は約800gサンプリングを行う。

屋外スラグヤード3ブースにスラグが貯留した段階で、3ブース分の試料を縮分して「安全性検査」、「品質検査」に必要な量を確保する。なお、設計値から換算すると9日に1回検査を行うこととなる。

試料調整および分析は、香川県が委託した検査機関にて次の「安全性検査」、「品質検査」項目について実施する。

- 安全性検査

Cd、Pb、Cr⁶⁺、As、T-Hg、Se、F、B の溶出試験・含有試験

● 品質検査

粒度、磁着物割合、形状、骨材的性質（絶乾比重、吸水率、アルカリシリカ反応性試験）

第3 マニュアルの適用範囲

1. 本マニュアルは、中間処理施設において豊島廃棄物等の中間処理に伴い発生する溶融スラグについて実施される出荷検査に適用されるものとする。

【解説】

本マニュアルは、中間処理施設において豊島廃棄物等が中間処理され副成する溶融スラグが屋外スラグヤードに搬入された後、搬出されるまでを本マニュアルの適用範囲とし、溶融スラグのサンプリング・保管、安全性検査、品質検査の3つのステップが含まれる（図3-1参照）。

なお、溶融スラグの有効利用先毎に必要な品質検査については、別途定める「溶融スラグ有効利用マニュアル」に従うこととする。

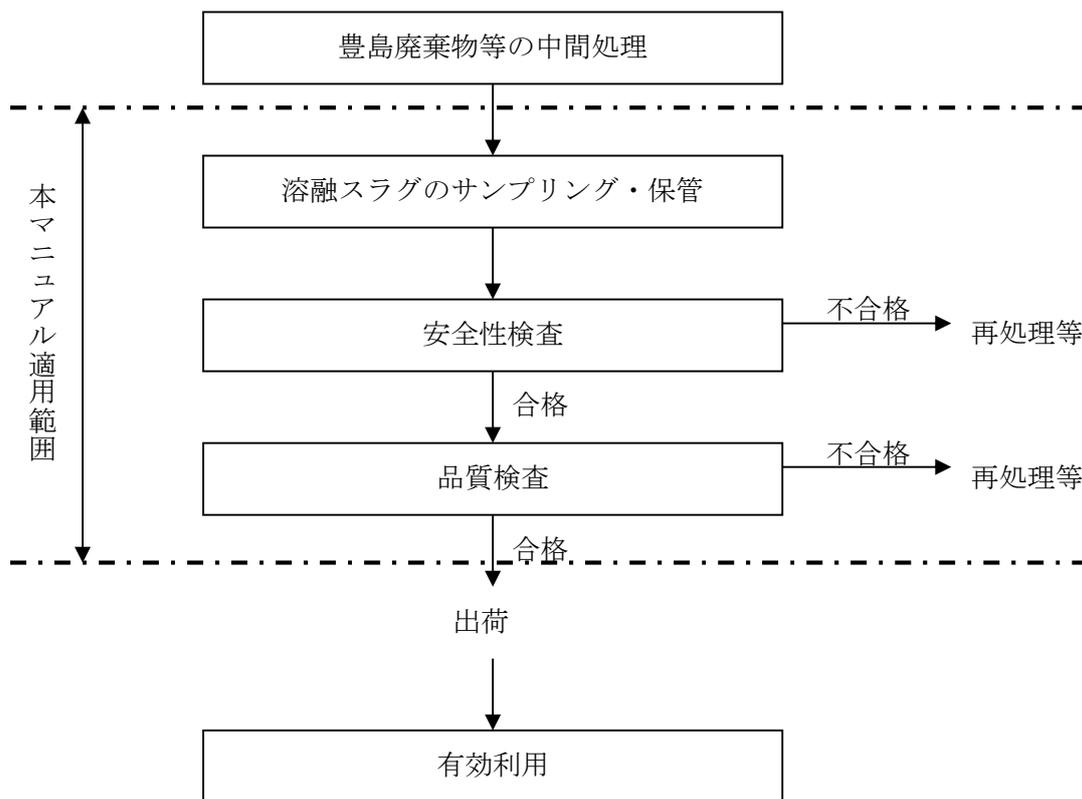


図 3-1 溶融スラグの出荷検査マニュアルの適用範囲

第4 試料のサンプリング・保管

1. 試料のサンプリング・保管は、分析担当者が実施する。但し、休日等については、中間処理施設運転者が実施する。
2. サンプリングは毎日午前・午後2回実施し、1回あたり約800gの試料を採取する。
3. 試料はガラス製容器などで、暗所にて保管する。

【解説】

1) サンプリング実施者

サンプリングは、分析担当者が実施する。但し、休日等については、中間処理施設運転者が実施する。

2) サンプリングポイント

試料のサンプリングは、破砕スラグコンベヤで溶融スラグが運ばれてきて各スラグが8つのブースに分配されているスラグ分配コンベア上より、1回あたり約800gの試料を採取する。なお、1ブースの有効貯留量は180m³で約3.0日分である（1日のスラグ発生量を約100t/日、比重1.7として）。

3) サンプリング頻度

中間処理施設稼動日に、毎日サンプリングを行う。

4) 試料の取り扱い

採取した試料を入れる容器は、ガラス製容器等の測定対象とする物質が吸着しない容器で、ふたまたは封ができるものとする。

5) 試料の保管

試料の保管は分析担当者が行う。保管は暗所にて行う。

なお、試料には、次の事項を表示して保管する。

- ① 試料番号
- ② 試料採取の年月日時刻
- ③ 天候
- ④ 試料採取責任者
- ⑤ サンプリングブース No.

6) 検査中の溶融スラグの管理

安全性検査および品質検査中、サンプリングを行った当該屋外ブースの溶融スラグに関しては、適切な管理を行うこととする。

第5 安全性検査について

1. 安全性検査は、香川県からの委託試験者が行う。
2. 検査頻度は、サンプリングを行う中間処理施設屋外スラグヤードの3ブース分の試料をサンプリングした段階で行う。なお、設計値から換算すると9日に1回の割合である。また、混合スラグ（粗大スラグと製砂スラグの混合）を出荷する場合については、「別紙1」の分析・出荷フローによるコンポジット試料のアルカリシリカ反応性試験が合格となった段階で試験を実施するものとする。
3. 安全性検査の検査項目はCd、Pb、Cr⁶⁺、As、T-Hg、Se、F、Bの溶出試験及び含有量試験であり、溶出試験方法は「土壤の汚染に係る環境基準について」（平成3年8月環境庁告示第46号）に、含有量試験方法は、「土壤含有量調査に係る測定方法」（平成15年3月6日環境省告示第19号）に従う。

【解説】

1) 安全性検査実施者

安全性検査は、中間処理施設内分析室で委託試験者が実施する。

2) 安全性検査の頻度

安全性検査は、屋外ブースの3ブース分の試料をサンプリングした段階で実施する。設計値から換算すると、9日に1回の割合で検査を行うこととなる。また、屋外ブース3ブースに貯留される熔融スラグ設計重量は900tである。混合スラグ（粗大スラグと製砂スラグの混合）を出荷する場合については、「別紙1」の分析・出荷フローによるコンポジット試料のアルカリシリカ反応性試験が合格となった段階で試験を実施するものとする。

3) 必要試料量の確保

屋外ブース3ブース分の試料を四分法（JIS K 0060）などで縮分して各検査の必要量を確保する。

4) 安全性検査の検査項目

安全性検査の検査項目は、以下の通りである。安全性検査の満たすべき基準は、第2次香川県豊島廃棄物等処理技術検討委員会最終報告書添付資料（平成11年5月）でとりまとめられた「スラグ出荷検査ガイドライン」に定められた溶出基準及び「土壤汚染対策法」（平成14年5月29日法律第53号）に定められた含有量基準とする。

この溶出基準は、土壤の汚染に係る環境基準と同レベルであり、また、含有量基準は土壤汚染対策法に係る基準であり、これを満たせば各種の用途に用いられた場合にあっても、十分安全と考えられる。

溶出試験の項目・基準

項目	溶出基準 (mg/l)
カドミウム (Cd)	0.01 以下
鉛 (Pb)	0.01 以下
六価クロム (Cr ⁶⁺)	0.05 以下
砒素 (As)	0.01 以下
総水銀 (T-Hg)	0.0005 以下
セレン (Se)	0.01 以下
フッ素 (F)	0.8 以下

ホウ素 (B)	1 以下
---------	------

含有量試験の項目・基準

項目	含有量基準 (mg/kg)
カドミウム (Cd)	150 以下
鉛 (Pb)	150 以下
六価クロム (Cr ⁶⁺)	250 以下
砒素 (As)	150 以下
総水銀 (T-Hg)	15 以下
セレン (Se)	150 以下
フッ素 (F)	4,000 以下
ホウ素 (B)	4,000 以下

5) 安全性検査の試験方法

採取したスラグ試料は、溶出試験及び含有試験にて安全性検査を行う。溶出試験方法は、「土壌の汚染に係る環境基準について」（平成3年8月環境庁告示第46号）に定める方法に従って行う。また、含有試験方法は、「土壌含有量調査に係る測定方法」（平成15年3月6日環境省告示第19号）の定める方法に従って行う。

また、安全性検査結果は15日以内に提出することとする。

6) 安全性検査試験が基準を満たさない場合の対応

- ① 安全性検査の結果、安全基準を満たさない場合には、その試料を採取した3ブースの溶融スラグについて再処理等（溶融処理及びセメント原料化処理等）を行う。
- ② 基準を満たさなかった原因追及のため、再処理等が必要となった溶融スラグを副成した時点での処理廃棄物性状および処理時の施設運転状況の確認を行う。その結果と設計条件とのかけ離れを調査することで、再処理等が必要となった原因解析を行う。

第6 品質検査について

1. 品質検査は、香川県からの委託試験者が行う。
2. 検査頻度は、サンプリングを行う中間処理施設屋外スラグヤードの3ブース分の試料をサンプリングした段階で行う。なお、設計値から換算すると9日に1回の割合である。また、混合スラグ（粗大スラグと製砂スラグの混合）を出荷する場合については、「別紙1」の分析・出荷フローによるコンポジット試料のアルカリシリカ反応性試験が合格となった段階で各試験を実施するものとする。また、アルカリシリカ反応性については、混合後の試料による確認試験を実施し、2重のチェック体制をとることとする。
3. 品質検査の検査項目は粒度、磁着物割合、形状、骨材的性質（絶乾比重、吸水率、アルカリシリカ反応性試験）であり、試験方法は第二次香川県豊島廃棄物等処理技術検討委員会で定められた方法に準拠する。

【解説】

1) 品質検査実施者

安全性検査は、中間処理施設内分析室で委託試験者が実施する。

2) 品質検査の頻度

安全性検査は、屋外ブースの3ブース分の試料をサンプリングした段階で実施する。設計値から換算すると、9日に1回の割合で検査を行うこととなる。また、屋外ブース3ブースに貯留される熔融スラグ設計重量は900tである。混合スラグ（粗大スラグと製砂スラグの混合）を出荷する場合については、「別紙1」の分析・出荷フローによるコンポジット試料のアルカリシリカ反応性試験が合格となった段階で各試験を実施するものとした。また、アルカリシリカ反応性については、安全性を確認するため混合後の試料による確認試験を実施することとし、2重のチェック体制をとることとした。

3) 必要試料量の確保

屋外ブース3ブース分の試料を四分法（JIS K 0060）などで縮分して各検査の必要量を確保する。

4) 品質検査の検査項目

品質検査の検査項目は、以下の通りである。品質基準は、第2次香川県豊島廃棄物等処理技術検討委員会で定められた以下のものとする。

項目		品質基準
粒度		5mm オーバーの割合が0%であること。
磁着物割合		スラグ中に1%以上の金属鉄分を含まないこと。
形状		スラグ中に針状物を含まないこと。
骨材的性質	絶乾比重	2.5以上
	吸水率	3%以下
	アルカリシリカ反応性試験	無害であること。

5) 品質検査の試験方法

検査方法は、第2次香川県豊島廃棄物等処理技術検討委員会で定められた以下の方法に準拠する。なお、詳細な試験方法については、JISを参考のこと。

項目		試験方法	備考
粒度		骨材のふるい分け試験方法	JIS A 1102
磁着物割合		化学成分分析方法	JIS A 5011-2
形状		目視確認	—
骨材的性質	絶乾比重	細骨材の密度及び吸水率試験方法	JIS A 1109
	吸水率		JIS A 1109
	アルカリシリカ反応性試験	骨材のアルカリシリカ反応性試験(化学法、モルタルバー法、迅速法 ^{*1})	JIS A 1145 : 2007 JIS A 1146 : 2007 JIS A 1804 : 2009

*1 : 日常的には化学法及び迅速法で管理し、年に2回モルタルバー法で行う。

ただし、迅速法については、スラグ保管上等の理由により実施できない場合は、ロット毎にクリストバライトの強度を測定して、迅速法(普通(2.5%)スラグ30)膨張率0.050%に相当するクリストバライト強度(RIGAKU製RAD-Xで120CPS、RIGAKU製MultiFlexで200CPS)以下の安全側で管理する。

なお、形状の試験方法である「目視確認」は、JISで定められたものがないため、以下に従う。

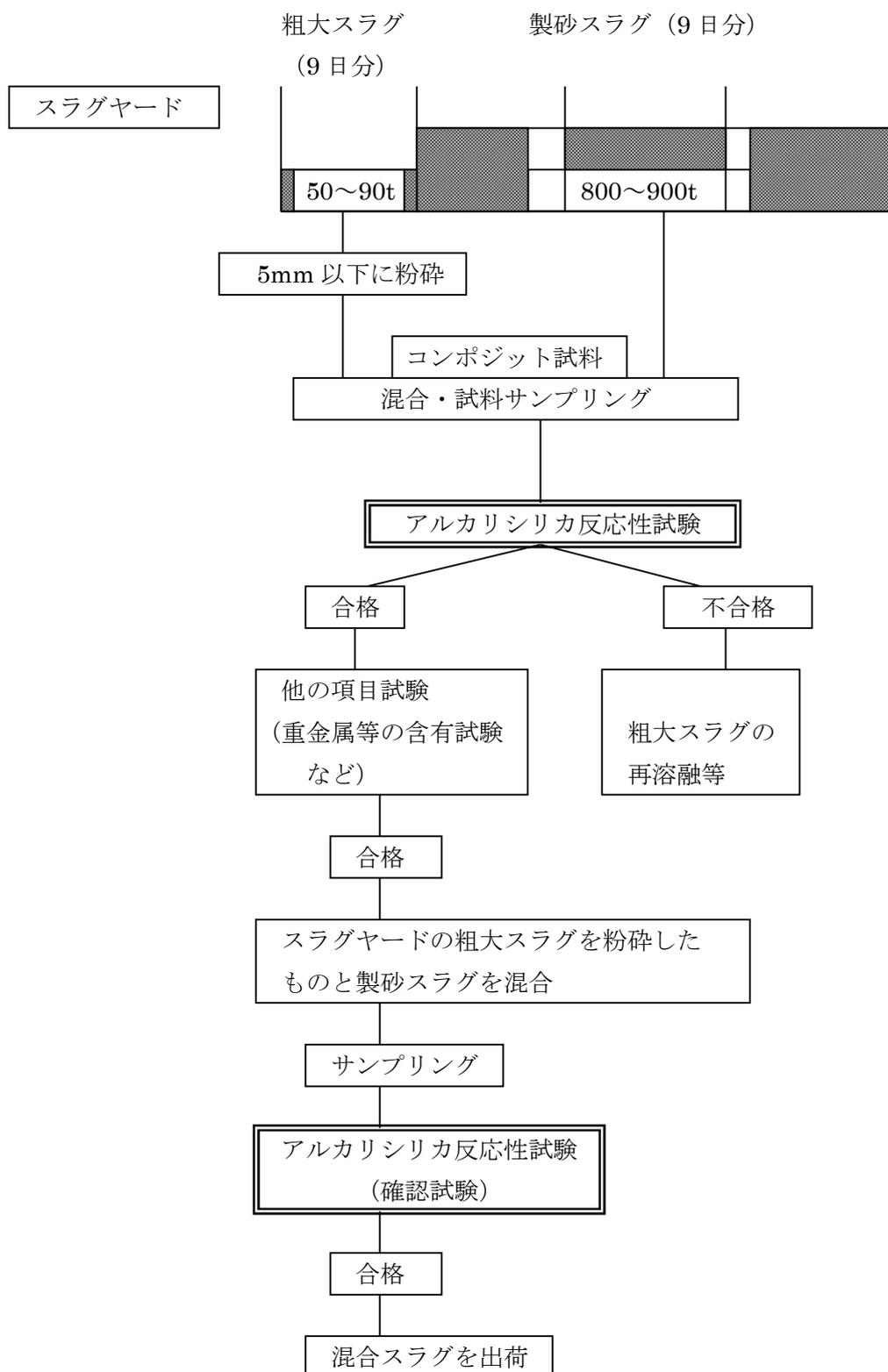
- ① 採取した試料 100mlを平らな面に広く薄く敷き詰める。
- ② 目視検査により形状を確認し、針状物が存在しないことを確認する。

また、品質検査結果は15日以内に提出することとする。

6) 品質検査試験が基準を満たさない場合の対応

- ① 品質検査の結果、品質基準を満たさない場合には、その試料を採取した3ブースの溶融スラグについて再処理等の適切な処理を行う。
- ② 基準を満たさなかった原因追及のため、再処理等が必要となった溶融スラグを副成した時点での処理廃棄物性状および処理時の施設運転状況の確認を行う。その結果と設計条件とのかけ離れを調査することで、再処理等が必要となった原因解析を行う。

混合スラグ分析・出荷フロー



「別紙 2」

スラグブース有効貯留量

スラグブース有効貯留量

$$V = 10.0 \times 5.0 \times 1/2 \times 8.0 \times 90\% \text{ (1ブース)}$$

$$= 180 \text{ m}^3$$

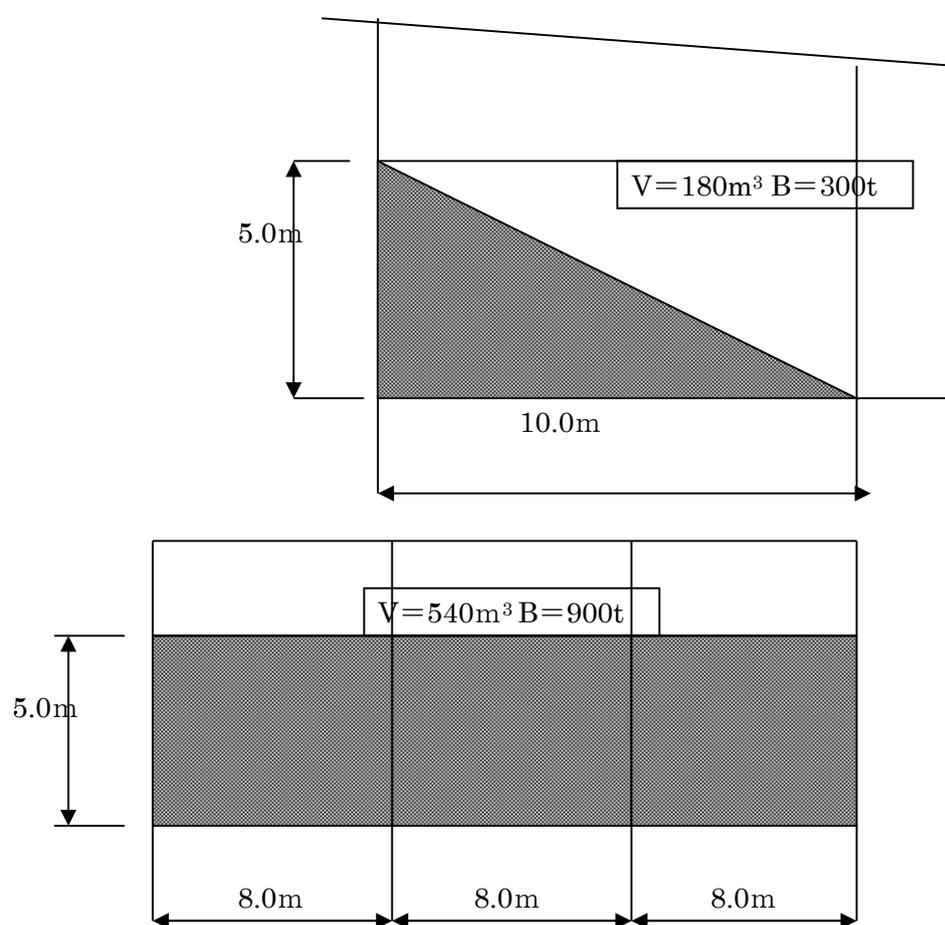
$$\Sigma V = 180 \times 3 = 540 \text{ m}^3 \text{ (3ブース)}$$

重量

$$B = 180 \times 1.7 = 300 \text{ t (1ブース)}$$

$$\Sigma B = 300 \times 3 = 900 \text{ t (3ブース)}$$

断面図



正面図

サンプリング、分析の頻度、分析項目及び分析方法

1. 一般

焼却残渣及び残土の溶出・分析について、検出限界値は規制値の少なくとも10分の1であること。

縮分 (split) したサンプルは溶出試験 (CEN prEN 12457-3、L/S=2 l/kg、1998年6月草案) を行った後、分析すること。含有量分析は、DS259に従って溶解した後、適切な方法で分析すること。

2. 焼却残渣の分析

2kgの少なくとも50のサンプルを再利用する検査単位 (consignments) (そのサイズに比例する) から集めること。サンプルは、生産中に、あるいは保管場所から規則的に集めること。その50のサンプルを混合して100kgとする。分析手順、縮分 (split) は下記ガイドラインの通りとする。

2.1 焼却炉低からの灰 (焼却灰)

検査単位 (consignments) は5,000 t を超えないこと。

- 1) 100kgのサンプルを45mmの篩に通す。
- 2) 破碎できない金属類など45mmを越える塊を取り除くこと。ただし、取り除いたものを記録しておくこと。
- 3) 他の45mm以上の塊は、45mm未満に粉碎して篩に戻す。
- 4) riffleディバイダーを使用して、5kgのサンプルへ縮分する。または、他の承認された方法を用いて5kgのサンプルへ縮分する。
- 5) さらに破碎することができるように、破碎不可能なものを除くこと。ただし、取り除いたものを記録しておくこと。
- 6) prEN 12457—3に従い、5kgのサンプルを直径4mmに粉碎する。
- 7) 粉碎されたサンプルをriffleディバイダー、または他の承認された方法を使用して、2つのサンプルに分割する。
- 8) 1つのサンプルは溶出試験に使用する。他のサンプルは、prEN 13137によるTOCの測定の前にさらに分割して、DS 259による溶解の後に、乾燥度の測定及び含有量分析を行う。

2つのサンプルは次の物質を分析するものとする:

含有量分析: 砒素、カドミウム、クロム (全)、銅、ニッケル、鉛、亜鉛およびTOC (合計)。

溶出分析 : 塩化物、硫酸塩、カルシウム、ナトリウム、砒素、カドミウム、クロム (全)、銅、ニッケル、鉛 (全) および亜鉛。

溶出液を保存する前に、pH、伝導性を測定すること。

2.2 石炭火力発電所からの焼却灰

検査単位 (consignments) は20,000 t を超えないこと。

- 1) riffleディバイダー、または他の承認された方法を使用して、100kgのサンプルを5kgのサンプルへ縮分し、prEN 12457—3に従って、直径4mmに粉碎する。
- 2) riffleディバイダー、または他の承認された方法を使用して、2つのサンプルに分割する。
1つのサンプルは溶出試験をするために使用される。他のサンプルは、さらに2に分割し、乾燥度測定およびDS 259による溶解の後、含有量分析を行う。

2つのサンプルは次の物質を分析するものとする:

含有量分析: 砒素、クロム、銅 (カドミウム、ニッケルおよび鉛による酸性灰のための)。

※

デンマーク「建設工事に利用する焼却残渣及び土壌の再利用にかかる Statutory Order no.655」

サンプリング、分析の頻度、分析項目及び分析方法

溶出分析：硫酸塩、砒素、クロム、銅(カドミウム、ニッケルおよび鉛による酸性灰のため)。溶出液を保存する前に、pH、伝導性を測定すること。
酸性灰とは、密閉の容器にて純水を用いてL/S=100の条件で30分攪拌した後のpHが7以下である灰をいう。

2.3 石炭火力発電所からの飛灰

検査単位 (consignments) は20,000 t を超えないこと。

- 1) riffleディバイダー、または他の承認された方法を使用して、100kgのサンプルを5kgのサンプルへ縮分する。
- 2) riffleディバイダー、または他の承認された方法を使用して、2つのサンプルに分割する。1つのサンプルは溶出試験をするために使用する。
- 3) 他のサンプルは、さらに2に分割し、乾燥度測定およびDS 259による溶解の後、適切な方法を用いて含有量分析を行う。

2つのサンプルは次の物質を分析するものとする：

含有量分析:砒素、クロム(カドミウム、銅、ニッケルおよび鉛による酸性飛灰のため)。

溶出分析：硫酸塩、カルシウム、ナトリウム、砒素、クロム(カドミウム、銅、ニッケルおよび鉛による酸性飛灰のため)。

溶出液を保存する前に、pH、伝導性を測定すること。

酸性飛灰とは、密閉の容器にて純水を用いてL/S=100の条件で30分攪拌した後のpHが7以下である飛灰をいう。

3. 残土

検査単位 (consignments) は60 t を超えないこと。分析手順は以下の通りとする。

- 1) 代表的なサンプルは検査単位 (consignments) から抽出すること。0.2kgのサンプルを少なくとも10サンプルを混合して2kgのサンプルとする。
- 2) サンプルを2mmの篩に通し、均質化する。
- 3) riffleディバイダー、または他の承認された方法を使用して、2つのサンプルに分割する。1つのサンプルは溶出試験をするために使用する。
- 4) 他のサンプルは、さらに2に分割し、乾燥度測定およびDS 259による溶解の後、適切な方法を用いて含有量分析を行う。
- 5) 含有量分析および溶出分析の対象となる物質は汚染にかかる情報に基づいて選択すること。カテゴリーの区分は、資料4のリストで示された物質で行う。同じ掘削工事から得られるいくつかの検査単位 (consignments) が一緒に保管されている場合、残土全体は、最も高いカテゴリーに属する検査単位 (consignments) と同じカテゴリー区分とする。

4. L/S (液固比) =2 l/kgの溶出試験

CEN prEN 12457—3 (first step)、1998年6月草案を使用。次の溶液を使用すること。

焼却施設からの焼却灰:純水 (Demineralised water)

石炭火力発電所からの焼却灰: 純水 (Demineralised water)

石炭火力発電所からの飛灰: 純水 (Demineralised water)

残土: : 純水 (Demineralised water) でつくられた0.001M CaCl₂溶液。

※

デンマーク「建設工事に利用する焼却残渣及び土壌の再利用にかかる Statutory Order no.655」

サンプリング、分析の頻度、分析項目及び分析方法

検査単位、テスト方法および分析項目よび分析方法の概要

焼却残渣及び残土 資料 1 参照	最大の検査単位 最小のサンプル数	溶出試験 溶液	分析項目
焼却施設の焼却灰	5,000 t 2kgの50サンプル (全量100kg)	prEN12457-3 (1998年6月) 純水 Demineralised water	含有量分析 砒素、カドミウム、クロム(全)、 銅、ニッケル、鉛、亜鉛、TOC 溶出分析 硫酸塩、ナトリウム、カルシウム、 砒素、mカドミウム、クロム(全)、 銅、ニッケル、鉛、亜鉛、pH、 伝導性
石炭火力発電所の焼却 灰	20,000 t 2kgの50サンプル (全量100kg)	prEN12457-3 (1998年6月) 純水 Demineralised water	含有量分析 砒素、クロム、銅(カドミウム、 ニッケル、鉛による酸化灰のため) 溶出分析 硫酸塩、ナトリウム、カルシウム、 砒素、クロム、銅(カドミウム、 ニッケル、鉛、亜鉛による酸化灰 のため)、pH、伝導性
石炭火力発電所の飛灰	20,000 t 2kgの50サンプル (全量100kg)	prEN12457-3 (1998年6月) 純水 Demineralised water	含有量分析 砒素、クロム、銅(カドミウム、 ニッケル、鉛による酸化飛灰のため) 溶出分析 硫酸塩、ナトリウム、カルシウム、 砒素、クロム、銅(カドミウム、 ニッケル、鉛、亜鉛による酸化飛 灰のため)、pH、伝導性
残 土	60 t 0.2kgの10サンプル (全量2kg)	prEN12457-3 (1998年6月) 純水 (Demineralised water) につくら れた0.001M CaCl ₂ 溶液。	含有量分析および溶出分析の対 象となる物質は、汚染にかかる情 報に基づいて選択すること pH、伝導性

※
デンマーク「建設工事に利用する焼却残渣及び土壌の再利用にかかる Statutory Order no.655」

熔融スラグ有効利用マニュアル

平成16年 8月

香 川 県

【修正履歴】

年 月 日	摘 要	審 査 等
H20. 3. 23	安全性検査項目にフッ素、ホウ素を追加 混合スラグ分析・出荷フローを追加	第 14 回管理委員会
H26. 3. 23	消費税増税にかかるスラグの販売価格の改定	第 34 回管理委員会
H26. 7. 27	スラグの安全性検査で基準を満たさない場合に、セメント原料化処理も行えるように修正する。	第 35 回管理委員会
H28. 10. 30	品質検査の試験方法について、迅速法試験を日常的に行うこととし、実施できない場合は、ロット毎にクリストバライトの強度を測定して管理するよう見直す。	第 42 回管理委員会
R1. 9. 15	消費税増税にかかるスラグの販売価格の改定等	第 7 回フォローアップ 委員会

「溶融スラグ有効利用マニュアル ー目次ー」

第1章 総則	1
1. 目的	1
2. 適用範囲	1
第2章 溶融スラグの利用手順	2
1. 計画段階における手順	4
2. 供給段階における手順	10
2.1 安全性検査	11
2.2 品質検査	14
2.3 保管・運搬・積込	18
3. 利用段階における手順	19
3.1 受入検査	24
3.2 運搬・保管	24
3.3 残渣等の取扱	25
3.4 溶融スラグ使用実績簿の作成等	26
3.5 記録の保存	36
第3章 土木材料としての利用	37
1. コンクリート二次製品用骨材	37
1.1 流し込み製品	37
1.2 即時脱型製品	40
1.3 製造及び施工時の留意点	43
2. レディーミクストコンクリート用骨材	45
2.1 配合及び品質	45
2.2 製造及び施工時の留意点	49
3. アスファルト混合物用骨材	
4. 路盤材（下層路盤材、上層路盤材）	
5. 埋戻材、盛土材等	
5.1 埋戻材	
5.2 盛土材	
第4章 運搬・保管の方法	50
1. 運搬	50
2. 保管	50
附録	51
1. 溶出試験	52
2. 含有量試験	56
3. 溶融スラグ利用基準	59
4. 通知文書等	60
5. 連絡先	62

第1章 総 則

1. 目的

本マニュアルは、豊島廃棄物等から製造される溶融スラグ（以下、「溶融スラグ」という。）を土木材料として利用する場合に留意すべき事項を定めることにより、溶融スラグの安全で適正な利用促進を図ることを目的とする。

なお、本マニュアルは、必要に応じて適宜、見直すものとする。

【解説】

豊島廃棄物等の中間処理に伴い発生する副成物は、溶融スラグ、溶融飛灰、銅、鉄などの金属に大別される。これらの副成物のうち、溶融スラグについては、有効利用が考えられる。しかし、当面は溶融スラグの調査・研究・実績等を考慮して、「コンクリート二次製品用骨材、レディーミクストコンクリート用骨材、アスファルト混合物骨材」について利用するものとする。「路盤材、埋戻材、盛土材等」については、スラグの需給動向や研究実績等を見ながら今後その利用について検討するものとする。

なお、本マニュアルは、溶融スラグの出荷検査マニュアル、溶融スラグの有効利用用途、各種の法規制の変更等を反映して、適宜見直しを行うものとする。

2. 適用範囲

本マニュアルは、香川県内において、溶融スラグを他の材料と混合または単独で、土木材料として利用する場合について適用する。

なお、本マニュアルに示されていない事項は、用途別に定められた適切な規格・基準・指針等によるものとする。

【解説】

本マニュアルは、香川県内において溶融スラグを混合したコンクリート二次製品及びレディーミクストコンクリートの製造及びその製品を利用する工事等に適用するものとする。アスファルト混合物及び単独で土木材料として利用する「路盤材、埋戻材、盛土材等」については、利用段階においてそれぞれマニュアルを作成するものとする。

本マニュアルは、直島環境センター（中間処理施設）において製造された溶融スラグの安全性検査及び品質検査から溶融スラグの運搬・保管・利用までを適用範囲とする。

本マニュアルは、溶融スラグを土木材料（前述の利用用途）として利用するための一般的な標準を示したものである。これら以外の用途に用いる場合は、関連規格・基準・指針等との適合性を試験などにより確認した上で利用する必要がある。溶融スラグが利用できる製品および溶融スラグの利用基準は附録3を参照のこと。

なお、本マニュアルに示されていない事項については、下記の関連規格や基準・指針類によるものとする。

- ・ 日本工業規格（JIS）
- ・ 土木学会「コンクリート標準示方書」
- ・ 日本道路協会「舗装設計施工指針」、「舗装施工便覧」
- ・ 日本道路協会「道路土工一施工指針」

第2章 溶融スラグの利用手順

溶融スラグの利用は、原則として次の手順に従って行うものとする。

1. 計画段階 溶融スラグ製造者、溶融スラグ利用者

溶融スラグ利用計画書の作成

2. 供給段階 溶融スラグ製造者

2.1 安全性検査

2.2 品質検査

2.3 保管・運搬・積込

2.4 記録の保存

3. 利用段階 溶融スラグ利用者、公共工事発注者

3.1 受入検査

3.2 運搬・保管

3.3 残渣等の取扱

3.4 溶融スラグ使用実績簿の作成等

3.5 記録の保存

【解説】

溶融スラグは、豊島廃棄物等の処理に伴って定常的（約 100t/日）に製造されるため、需要量に見合った生産調整が困難なことから、円滑な利用を促進するためには、溶融スラグ利用者が予め利用に関する計画を作成し、これに基づき溶融スラグ製造者が供給先・供給量等の調整を行う必要がある。

なお、溶融スラグの利用に係る溶融スラグ製造者及び利用者の位置付けは、図 2-1 に示すとおりであり、溶融スラグ製造者、溶融スラグ利用者及び公共工事発注者は以下のとおりである。

- ・ 溶融スラグ製造者： 香川県（旧直島環境センター）
- ・ 溶融スラグ利用者： コンクリート二次製品製造会社、レディーミクストコンクリート製造会社（JIS 認定工場）
- ・ 公共工事発注者： 香川県、国土交通省四国地方整備局、農林水産省中国四国農政局、独立行政法人水資源機構、県内市町

今後、利用用途および利用主体の拡大があった場合、適宜、本マニュアルを改訂するものとする。

○ 溶融スラグの利用に係る位置付け

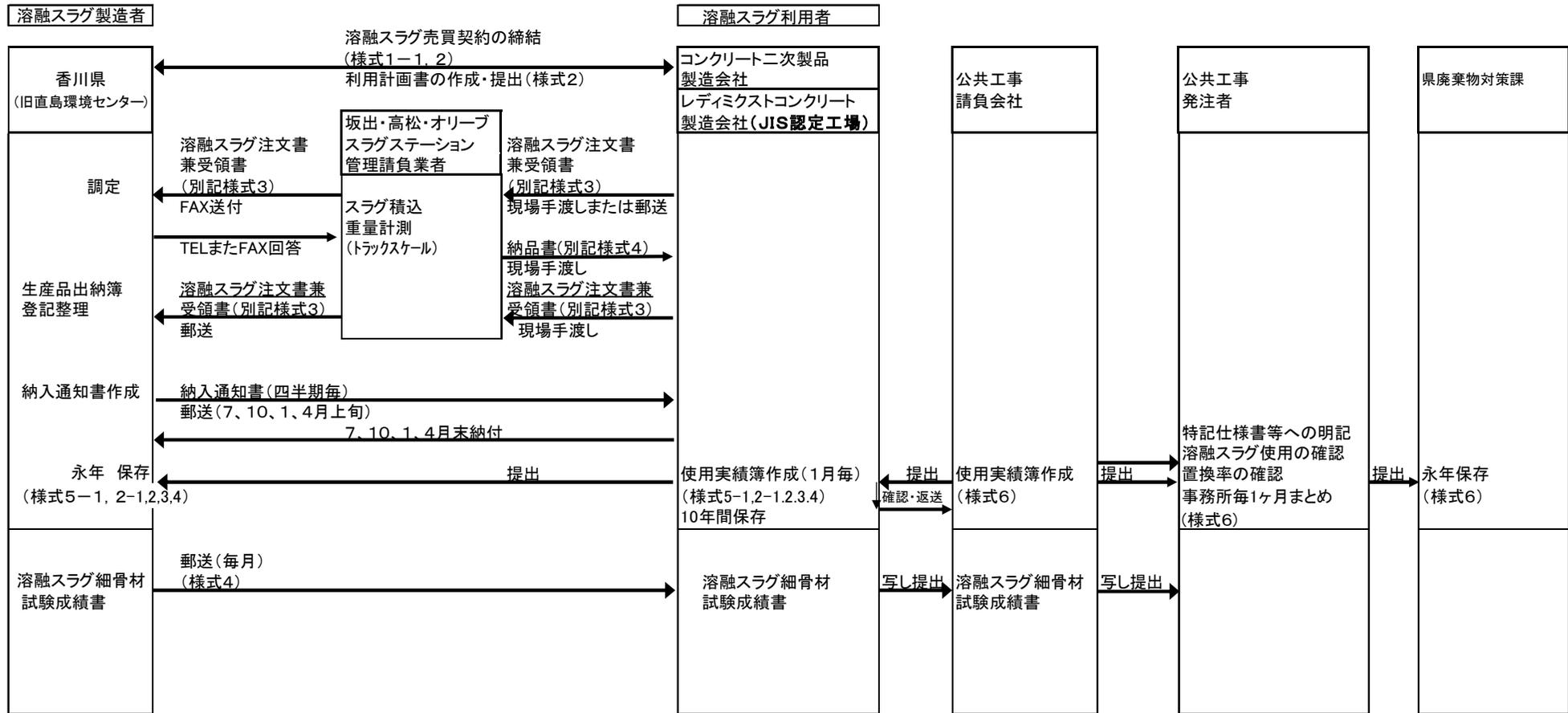


図2-1 溶融スラグの利用に係る製造者と利用者の位置付け

1. 計画段階における手順 熔融スラグ製造者、熔融スラグ利用者

- (1) 熔融スラグ利用者は、熔融スラグを利用しようとするときは、予め香川県知事と、「熔融スラグ売買契約」(別記様式 1-1, 2) を締結しなければならない。
- (2) 熔融スラグ売買契約の締結時において、熔融スラグ利用者は、「熔融スラグ利用計画書」(別記様式 2) を作成し提出するものとする。「熔融スラグ利用計画書」には、原則として次の事項を記載する。
 - ① 熔融スラグ利用者、用途、量に関すること
 - ② 保管方法に関すること
 - ③ 運搬方法に関すること
 - ④ 残渣等の取扱いに関すること

【解説】

(1) 熔融スラグ利用者は、熔融スラグ利用に先立って、熔融スラグ製造者である香川県知事と年間契約である「熔融スラグ売買契約」(別記様式 1-2, 2) を香川県会計規則に基づき締結するものとする。

熔融スラグの単価は次のとおりとする。

受渡し場所	単価 (消費税込)
高松スラグステーション	628 円/t
オリーブスラグステーション	628 円/t

(2) 熔融スラグを適正に利用するため、熔融スラグ利用に先立ち、熔融スラグ利用者は「熔融スラグ利用計画書」(別記様式 2) を作成、提出するものとする。(図 2-1-1 参照)

なお、残渣等とは、レディーミクストコンクリート製造に伴う、ミキサー車等の洗浄によるスラグ混入骨材、販売時の戻りコンクリート、コンクリート二次製品製造に伴う攪拌機の洗浄によるスラグ混入骨材、規格外製品、現場施工時の端材などを指す。

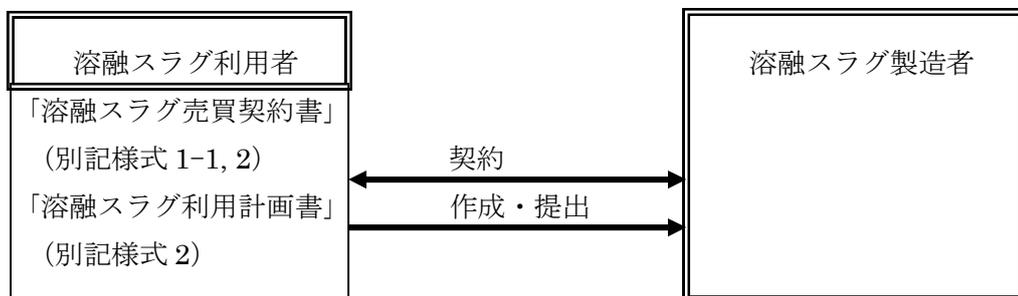


図 2-1-1 計画段階における手順フロー

溶融スラグ売買契約書

香川県（以下「甲」という。）と（以下「乙」という。）とは、甲の生産する溶融スラグを乙に販売するに当たり、次の条項により売買契約を締結する。

（信義誠実の原則）

第1条 甲及び乙は、信義を重んじ、誠実に本契約を履行しなければならない。

（契約の目的）

第2条 甲は、次条に規定する売買単価をもって、別途定める様式による乙の申込により、溶融スラグを売り渡し、乙は、これを買受けるものとする。

（売買金額）

第3条 溶融スラグの売買単価は、スラグステーションで売り払う場合には1トン当たり628円（消費税及び地方消費税を含む。）とする。

2 乙は、前項の売買単価に、売り払い数量を乗じた金額（以下「スラグ代金」という。）を、甲の発行する納入通知書により、甲の指定する期日までに納付するものとする。

3 前項の売り払い数量は、甲の指示した方法により計量した数量とする。

（引渡し）

第4条 直島で売り払う場合は、乙が調達した船舶に積み込んだときをもって、スラグステーションで売り払う場合は、前条第3項の計量を行ったときをもって、溶融スラグの引渡しを完了したものとし、所有権は、甲から乙に移るものとする。

（納品書等）

第5条 甲は、前条の引渡しの際、売り払い数量を記載した納品書を乙に提出するものとし、乙は、受領書を甲に提出するものとする。

（権利義務の譲渡等及び転売の禁止並びに契約保証人）

第6条 甲又は乙は、この契約により生じる権利又は義務を譲渡し、又は承継させてはならない。但し、相手方の書面による事前の同意があったときはこの限りでない。

2 乙は、溶融スラグを第三者に転売してはならない。ただし、甲が認めた場合はこの限りではない。

3 甲は、乙が第3条2項の規定による納期限までにスラグ代金の納付を完了しないときは、契約保証人に対して、乙に代わってスラグ代金を納付することを請求することができる。

4 契約保証人は、前項の請求があったときは、甲に対して、速やかにスラグ代金を支払わなければならない。

（契約の解除）

第7条 甲又は乙は、相手方が次の各号のいずれかに該当するときは、契約を解除することができる。この場合において、解除により相手方に損害が生ずることがあっても、その損害の責任を負わないものとする。

（1）契約を履行しないとき又は履行の見込みがないとき。

（2）本契約に違反したとき。

2 前項の規定により契約を解除した場合においても、熔融スラグの引渡し完了しているときは、第3条2項の規定により、乙はスラグ代金を納付しなければならない。

(損害賠償)

第8条 乙は、乙の責めに帰すべき事由により、甲又は第三者に損害を与えたときは、その損害を賠償しなければならない。

2 甲は、甲の責めに帰すべき事由により、乙又は第三者に損害を与えたときは、その損害を賠償しなければならない。

(契約期間)

第9条 この契約期間は、契約締結日から平成 年 月 日までとする。ただし、この期間が満了する1ヶ月前までに甲又は乙から特段の意思表示がないときは、この契約はさらに1年間継続するものとし、以後同様とする。

(管轄裁判所)

第10条 本契約から生じる一切の法律関係に基づく訴えについては、高松地方裁判所を管轄裁判所とする。

(協議)

第11条 この契約書又は香川県会計規則に定めのない事項は、甲乙協議の上定めるものとする。

上記契約の締結を証するため、この契約書3通を作成し、甲、乙及び契約保証人が記名押印の上、各自その1通を保有するものとする。

平成 年 月 日

甲 香川県高松市番町四丁目1番10号

香川県知事

乙

契約保証人

熔融スラグ売買契約書

香川県（以下「甲」という。）と（以下「乙」という。）とは、甲の生産する熔融スラグを乙に販売するに当たり、次の条項により売買契約を締結する。

（信義誠実の原則）

第1条 甲及び乙は、信義を重んじ、誠実に本契約を履行しなければならない。

（契約の目的）

第2条 甲は、次条に規定する売買単価をもって、別途定める様式による乙の申込により、熔融スラグを売り渡し、乙は、これを買受けるものとする。

（売買金額）

第3条 熔融スラグの売買単価は、スラグステーションで売り払う場合には1トン当たり628円（消費税及び地方消費税を含む。）とする。

2 乙は、前項の売買単価に、売り払い数量を乗じた金額（以下「スラグ代金」という。）を、甲の発行する納入通知書により、甲の指定する期日までに納付するものとする。

3 前項の売り払い数量は、甲の指示した方法により計量した数量とする。

（引渡し）

第4条 直島で売り払う場合は、乙が調達した船舶に積み込んだときをもって、スラグステーションで売り払う場合は、前条第3項の計量を行ったときをもって、熔融スラグの引渡しを完了したものとし、所有権は、甲から乙に移るものとする。

（納品書等）

第5条 甲は、前条の引渡しの際、売り払い数量を記載した納品書を乙に提出するものとし、乙は、受領書を甲に提出するものとする。

（権利義務の譲渡等及び転売の禁止）

第6条 甲又は乙は、この契約により生じる権利又は義務を譲渡し、又は承継させてはならない。但し、相手方の書面による事前の同意があったときはこの限りでない。

2 乙は、熔融スラグを第三者に転売してはならない。ただし、甲が認めた場合はこの限りではない。

（契約の解除）

第7条 甲又は乙は、相手方が次の各号のいずれかに該当するときは、契約を解除することができる。この場合において、解除により相手方に損害が生ずることがあっても、その損害の責任を負わないものとする。

（1）契約を履行しないとき又は履行の見込みがないとき。

（2）本契約に違反したとき。

2 前項の規定により契約を解除した場合においても、熔融スラグの引渡しが完了しているときは、第3条2項の規定により、乙はスラグ代金を納付しなければならない。

（損害賠償）

第8条 乙は、乙の責めに帰すべき事由により、甲又は第三者に損害を与えたときは、そ

の損害を賠償しなければならない。

2 甲は、甲の責めに帰すべき事由により、乙又は第三者に損害を与えたときは、その損害を賠償しなければならない。

(契約期間)

第9条 この契約期間は、契約締結日から平成 年 月 日までとする。ただし、この期間が満了する1ヶ月前までに甲又は乙から特段の意思表示がないときは、この契約はさらに1年間継続するものとし、以後同様とする。

(管轄裁判所)

第10条 本契約から生じる一切の法律関係に基づく訴えについては、高松地方裁判所を管轄裁判所とする。

(協議)

第11条 この契約書又は香川県会計規則に定めのない事項は、甲乙協議の上定めるものとする。

上記契約の締結を証するため、この契約書2通を作成し、両者記名押印の上、各自その1通を保有するものとする。

平成 年 月 日

甲 香川県高松市番町四丁目1番10号

香川県知事

乙

溶融スラグ利用計画書

年 月 日

記載事項	記入箇所	会社No.
(1)スラグ利用者		
①会社名(代表者名)		
工場名(複数の場合、各々)		
所在地(住所)		
(電話)		
(FAX)		
②利用者分類	<input type="checkbox"/> レディミクストコンクリート製造会社 <input type="checkbox"/> JIS認定	
	<input type="checkbox"/> コンクリート二次製品製造会社	
③利用用途	<input type="checkbox"/> レディミクストコンクリート	
	<input type="checkbox"/> コンクリート二次製品()	予定製品名を記入
④年間見込み利用量(t)	(t/年)	
(2)スラグ保管方法		
①保管場所		スラグ利用者が、自らスラグの管理を行い、使用実績を把握できる場所に限る。
②保管形式		
③可能保管量		
④保管責任者		
⑤緊急時の連絡先 (電話)		
(FAX)		
(3)運搬方法		
①運搬方法		
②運搬経路(1/50,000程度図面)		
③予定運搬会社名(代表者名)		
所在地(住所)		
(電話)		
(FAX)		
④緊急時の連絡先 (電話)		
(FAX)		
(4)残渣等の処分方法		
①残渣等の発生の有無	<input type="checkbox"/> 有 <input type="checkbox"/> 無	
②発生量(t)	戻りコンクリート()	スラグ混入骨材(t)
③処理、処分方法		コンクリートブロック、スラグとして再利用等
(5)その他の留意事項		

2. 供給段階における手順 **熔融スラグ製造者**

熔融スラグ製造者は、原則として次の手順により「熔融スラグ出荷検査マニュアル」に適合した熔融スラグを製造して供給するとともに、記録を保存するものとする。

- 2.1 安全性検査
- 2.2 品質検査
- 2.3 保管・運搬・積込
- 2.4 記録の保存

【解説】

熔融スラグ製造者は、「熔融スラグ利用計画書」等に基づいて熔融スラグの供給を行うときは、「熔融スラグ出荷検査マニュアル」に適合する熔融スラグを製造すると共に、熔融スラグの保管・積込・運搬を適切に行わなければならない。

また、安全性検査、品質検査等に係る記録を整理・保存するものとし、熔融スラグ利用者からの「熔融スラグ使用実績簿」（別記様式 5-1、5-2-1,-2,-3,-4）及び公共工事発注者からの「熔融スラグ使用実績簿」（別記様式 6）の送付があったときは、これらを併せて永年保存するものとする。（図 2-2-1 参照）

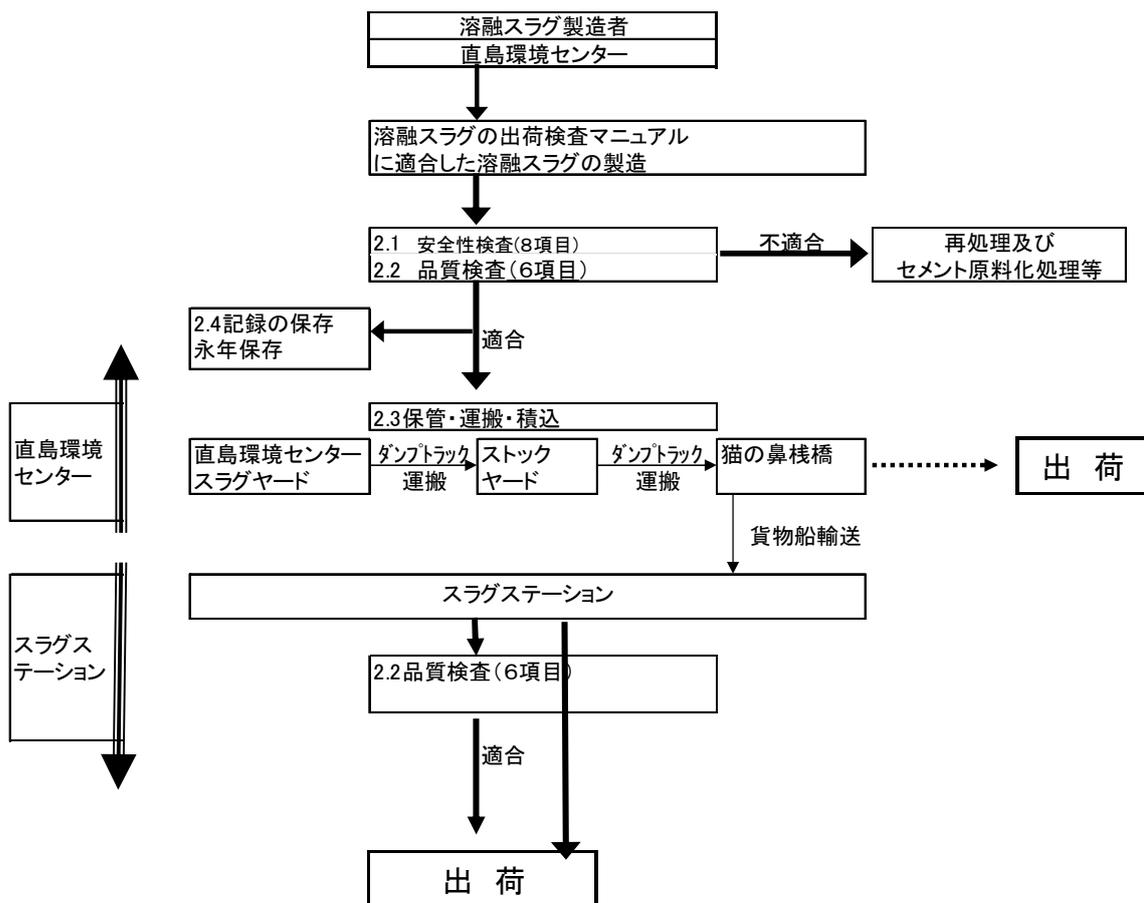


図2-2-1 供給段階における手順フロー

2.1 安全性検査

1. 溶融スラグの安全性検査は、溶出検査と含有量検査とし、直島環境センターで行う。
 - ①溶出検査：試験項目は Cd、Pb、Cr⁶⁺、As、T-Hg、Se、F、B であり、試験方法は、「土壌の汚染に係る環境基準について」（平成 3 年 8 月環境庁告示第 46 号）による。
 - ②含有量検査：試験項目は「土壌汚染対策法に係る技術的事項について(答申)」（平成 14 年 9 月 20 日、中央環境審議会）でとりまとめられた Cd、Pb、Cr⁶⁺、As、T-Hg、Se、F、B の 8 項目であり、試験方法は「土壌含有量調査に係る測定方法」（平成 15 年 3 月 6 日環境省告示第 19 号）による。
2. 検査頻度は、サンプリングを行う中間処理施設屋外スラグヤードの 3 ブース分の試料をサンプリングした段階とする。また、混合スラグ（粗大スラグと製砂スラグの混合）を出荷する場合は、混合スラグ分析・出荷フロー（図 2-2-2）によるコンポジット 試料のアルカリシリカ反応性試験が合格となった段階で試験を行う。
3. 安全性検査の結果、基準を満たさない場合には、その試料を採取した 3 ブースの溶融スラグについて再処理及びセメント原料化処理等を行う。

【解説】

1. 安全性検査の項目・基準は、以下のとおりである。安全性検査の満たすべき基準は、「溶融スラグ出荷検査マニュアル」に定められた溶出基準及び含有基準とする。また、安全性検査結果は、サンプリング後 15 日以内に提出することとする。

①溶出検査の項目・基準

項目	溶出基準 (mg/l)	備考
カドミウム (Cd)	0.01 以下	土壌環境基準
鉛 (Pb)	0.01 以下	
六価クロム (Cr ⁶⁺)	0.05 以下	
砒素 (As)	0.01 以下	
総水銀 (T-Hg)	0.0005 以下	
セレン (Se)	0.01 以下	
フッ素 (F)	0.8 以下	
ホウ素 (B)	1 以下	

②含有量検査の項目・基準

項目	含有基準 (mg/kg)	備考
カドミウム (Cd)	150 以下	土壌含有基準
鉛 (Pb)	150 以下	
六価クロム (Cr ⁶⁺)	250 以下	
砒素 (As)	150 以下	
総水銀 (T-Hg)	15 以下	
セレン (Se)	150 以下	
フッ素 (F)	4,000 以下	
ホウ素 (B)	4,000 以下	

2. 安全性検査は、屋外ブースの 3 ブース分の試料をサンプリングした段階で実施する。屋外 3 ブースに貯留される溶融スラグ重量は約 900t であり、溶融スラグが 1 日に約 100t 製造されることから、9 日に 1 回の割合で検査を行うこととなる。また、混合スラグ（粗大スラグと製砂スラグの混合）を出荷する場合は、図 5-1 の分析・出荷フローによるコンポジット試料のアルカリシリカ反応性試験が合格となった段階で試験を行う。

3. 安全性検査の結果、基準を満たさない場合には、その試料を採取した 3 ブースの溶融スラグについて再処理及びセメント原料化処理等を行う。

なお、基準を満たさなかった場合には原因究明のため、再処理及びセメント原料化処理等が必要となった溶融スラグを副成した時点での処理廃棄物性状及び処理時の施設運転状況について調査分析を行う。

(参考) 利用時、利用後の安全性確認

溶融スラグを利用する場合には、新たな資源として長期にわたり自然界に暴露されることから、利用時及び利用後や再利用時の安全性が重要となる。

ここでは、参考のため溶融スラグが酸性雨にさらされた場合の安全性を確認するための pH 依存性溶出試験、溶融スラグが利用中あるいは利用後に粉砕された場合の安全性を確認するための粒度依存性溶出試験を行った結果を示す。

① pH 依存性溶出試験

溶融スラグが有効利用中に酸性雨にさらされた場合、中性溶液では溶出しなかった成分でも溶出する可能性があるため、スラグの pH 依存性溶出試験を行った。

pH を 4 とした場合、下表に示すように、いずれの成分ともに溶出は認められず、安全性に問題がないことが確認された。なお、高松市における酸性雨の平均 pH は 4.5（平成 15 年度香川県環境白書）である。

しかし、厳しい酸性土壌環境にある場合には、別途検討する必要がある。

試験スラグ及び試運転スラグの pH 依存性溶出試験結果

項目	単位	溶出量		土壌 環境基準
		試験スラグ	試運転スラグ	
pH	—	8.4	8.9	—
総水銀 (T-Hg)	mg/l	<0.0005	<0.0005	<0.0005
カドミウム (Cd)	mg/l	<0.001	<0.001	<0.01
鉛 (Pb)	mg/l	<0.005	<0.005	<0.01
ヒ素 (As)	mg/l	<0.001	<0.001	<0.01
六価クロム (Cr ⁶⁺)	mg/l	<0.005	<0.005	<0.05
セレン (Se)	mg/l	<0.001	<0.001	<0.01
フッ素 (F)	mg/l	<0.1	<0.1	<0.8
ホウ素 (B)	mg/l	<0.1	<0.1	<1

注) 溶出試験時に、溶媒を硝酸にて pH=4 にし、6 時間振とう

試験スラグ：中間処理施設と同等の処理方式で生成された溶融スラグ

試運転スラグ：中間処理施設の試運転時に生成された溶融スラグ

② 粒度依存性溶出試験

スラグ粒子の表面積増大に伴う各種成分の溶出量増大が懸念されるため、粉碎程度を変えたスラグを対象に溶出試験を行った（下記表参照）。表面積の増大に伴い、比較的水に溶解しやすい鉛の溶出が懸念されていたが、すべての試料で、すべての項目について溶出は認められず、安全性に問題がないことが確認された。

スラグの粒度依存性溶出試験結果

分析項目	単位	非粉碎	粉碎						下限値	土壤の 環境 基準
		スラグ a	スラグ b	スラグ c	スラグ d	スラグ e	スラグ f			
		(0.82mm)	(0.72mm)	(0.47mm)	(0.29mm)	(0.17mm)	(0.10mm)			
		(0.78mm)	(0.64mm)	(0.49mm)	(0.43mm)	(0.33mm)	(0.15mm)			
pH(試験スラグ)	—	7.9	7.9	7.9	8.2	9.4	8.5	—	—	
pH(試運転スラグ)	—	9.1	8.8	8.9	8.7	8.8	9.0	—	—	
総水銀(T-Hg)	mg/l	<0.0005	<0.0005	<0.0005	<0.0005	<0.0005	<0.0005	0.0005	<0.0005	
カドミウム(Cd)	mg/l	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	0.001	<0.01	
鉛(Pb)	mg/l	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005	0.005	<0.01	
砒素(As)	mg/l	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	0.001	<0.01	
六価クロム(Cr ⁶⁺)	mg/l	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005	0.005	<0.05	
セレン(Se)	mg/l	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	0.001	<0.01	
フッ素(F)	mg/l	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	0.1	<0.8	
ホウ素(B)	mg/l	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	0.1	<1	

注) () 内は 50%粒形、上段：試験スラグ、下段：試運転スラグ

2.2 品質検査

1. 品質検査は、直島環境センターにおける品質検査及びスラグステーションにおける品質検査とする。

①直島環境センターにおける品質検査

検査項目は、粒度、磁着物割合、形状、骨材的性質（絶乾比重、吸水率、アルカリシリカ反応性試験）であり、試験方法は第二次香川県豊島廃棄物等処理技術検討委員会で定められた方法に準拠する。

検査は、サンプリングを行う中間処理施設屋外スラグヤードの3ブース分の試料をサンプリングした段階で行う。

品質検査の結果、基準を満たさない場合には、その試料を採取した3ブースの溶融スラグについて再処理及びセメント原料化処理等を行う。

混合スラグ（粗大スラグと製砂スラグの混合）を出荷する場合は、混合スラグ分析・出荷フロー（図 2-2-2）によるコンポジット試料のアルカリシリカ反応性試験が合格となった段階で、品質試験を実施するものとする。また、アルカリシリカ反応性については、安全性を確認するため2重のチェック体制を取ることとする。

なお、直島猫の鼻棧橋で引き渡す場合、後述のスラグステーションにおける品質検査と同じ検査を行うものとし、品質を満たさない場合には、屋外スラグヤードで適切な対策を講じるものとする。

②スラグステーションにおける品質検査

検査項目は、物理的性質試験（安定性、粒径判定実績率、微粒分量）及び化学成分試験（酸化カルシウム、全硫黄、三酸化硫黄、金属アルミニウム、塩化物量）であり、試験方法は、JISに準拠する。

検査は、サンプリングを行う中間処理施設屋外スラグヤードの3ブース分の試料をサンプリングした段階で行う。

試験頻度は、1回/月、約4,000t（2,500m³）/回とする。

なお、品質基準を満たさない場合には、屋外スラグヤードスラグステーションにおいて、適切な対策を講じるものとする。

1. 品質検査は、直島環境センターにおける品質検査及びスラグステーションにおける品質検査とする。

①直島環境センターにおける品質検査

検査項目及び品質基準・検査方法は、第二次香川県豊島廃棄物等処理技術検討委員会で定められた以下の方法及びJISに準拠する。

項目	品質基準	試験方法	備考
粒度	5mm オーバーの割合が0%であること。	骨材のふるい分け試験方法	JIS A 1102
磁着物割合	スラグの中に1%以上の金属鉄分を含まないこと。	化学成分分析方法	JIS A 5011-2
形状	スラグ中に針状物を含まないこと。	目視確認（注2）	—
骨材的性質	絶乾比重	2.5以上	細骨材の密度及び吸水率試験方法
	吸水率	3%以下		JIS A 1109
	アルカリシリカ反応性試験（注1）	無害であること。	骨材のアルカリシリカ反応性試験（化学法、モルタルバー法、迅速法）	JIS A 1145 : 2007 JIS A 1146 : 2007 JIS A 1804 : 2009
<p>（注1） 日常的には化学法及び迅速法で管理し、年に2回モルタルバー法で行う。</p> <p>ただし、迅速法については、スラグ保管上等の理由により実施できない場合は、ロット毎にクリストバライトの強度を測定して、迅速法（普通（2.5%）スラグ30）膨張率0.050%に相当するクリストバライト強度（RIGAKU製RAD-Xで120CPS、RIGAKU製MultiFlexで200CPS）以下の安全側で管理する。</p> <p>（注2） 形状の試験方法である「目視確認」は、JISで定められたものがないため、以下に従う。</p> <p>採取した試料100mlを平らな面に広く薄く敷き詰める。目視検査により形状を確認し、針状物が存在しないことを確認する。また、品質試験結果は15日以内に提出する。</p>			

検査は、中間処理施設屋外ブースの3ブース分の試料をサンプリングした段階で実施する。設計値から換算すると、9日に1回の割合で検査を行うこととなる。また、混合スラグ（粗大スラグと製砂スラグの混合）を出荷する場合は、混合スラグ分析・出荷フロー（図2-2-2）によるコンポジット試料のアルカリシリカ反応性試験が合格となった段階で試験を行う。アルカリシリカ反応性については、安全性を確認するため2重のチェック体制を取ることとした。

なお、品質検査の結果、基準を満たさない場合には、その試料を採取した3ブースの熔融スラグについて再処理及びセメント原料化処理等を行う。また、基準を満たさなかった原因究明のため、再処理及びセメント原料化処理等が必要となった熔融スラグを副成した時点での処理廃棄物性状及び処理時の施設運転状況について調査分析を行う。

②スラグステーションにおける品質検査

検査項目は、以下のとおりである。試験方法は、JIS 及び TR に準拠する。

物理的性質試験

試験項目	基準値 (参考)	試験方法	備考
安定性	10%以下	硫酸ナトリウムによる骨材安定性試験方法	JIS A 1122
粒形判定実績率	53%以上	骨材の単位容積質量及び実績率試験方法	JIS A 5005
微粒分量	7.0 (5.0) %以下	骨材の微粒分量試験方法	JIS A 1103
* () 内は、コンクリートの表面がすりへり作用を受ける場合である。			

化学成分試験

試験項目	基準値 (参考)	試験方法	備考
酸化カルシウム	45.0%以下	フェロニッケルスラグ骨材 の化学成分分析方法	JIS A 5011-2 附属書
全硫黄	2.0%以下		
三酸化硫黄	0.5%以下		
金属アルミニウム	0.5%以下	コンクリート用溶融スラグ 骨材を用いたモルタルの膨 張率試験方法	JIS A 5031 附属書 1(規定)
塩化物量	0.04%以下	構造物用軽量コンクリート 骨材	JIS A 5002
*金属アルミニウム酸化による水素発生が製品に影響を及ぼさない基準として、膨張率を JIS 基準 (2.0%) より厳しい 0.5%とする。			

検査頻度は、1回/月、約 4,000t (2,500m³) /回とする。

なお、品質基準を満たさない場合には、スラグステーションにおいて適切な対策を講じるものとする。

混合スラグ分析・出荷フロー（別添 4-2）

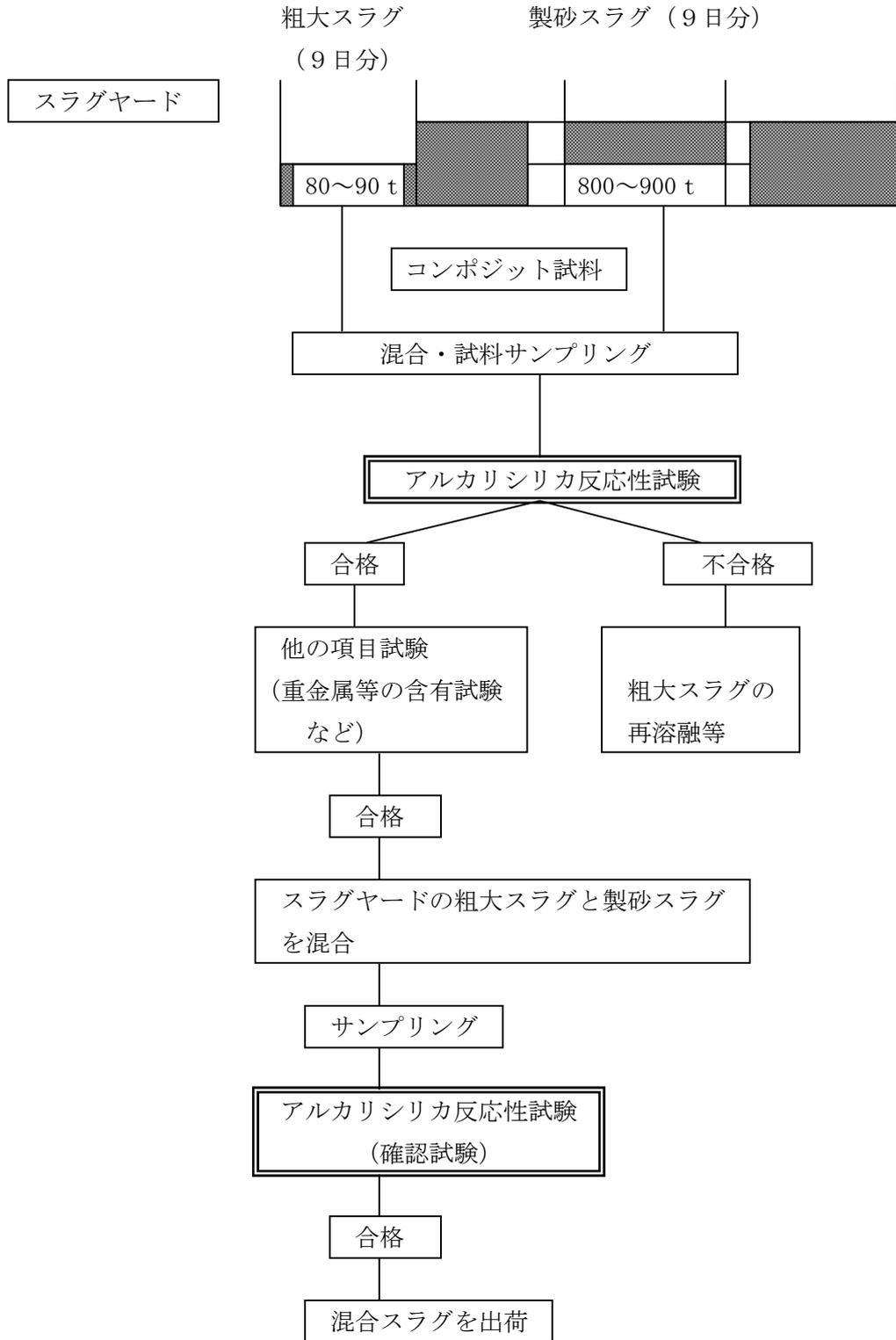


図 2-2-2

2.3 保管・運搬・積込

1. 熔融スラグは直島で保管するか、直島から海上輸送して、スラグステーションで保管する。
2. 熔融スラグの荷揚げ港は、坂出港・高松港・池田港とする。
3. 熔融スラグの保管・運搬に際しては、周辺環境に悪影響を及ぼさないよう適切な対策を講じること。
4. 熔融スラグの直島からの積出しは、三菱マテリアル内の積出施設（ベルトコンベア）を利用し作業者の労働安全衛生に十分留意して貨物船に積み込む。
坂出・高松・オリーブの各スラグステーションでの積込は、県が行い、その量をトラックスケールで計量後利用者に引き渡す。

【解説】

1. 熔融スラグは、中間処理施設のスラグヤードからストックヤードにダンプ輸送し、一時的に保管する。
熔融スラグ利用者が、直島まで熔融スラグを取りに来る場合は、直島で直接渡す。
2. 平成16年7月現在、荷揚げ港は坂出港・高松港・池田港とする。荷揚場所は坂出港（三菱化学株専用岸壁）・高松港（C地区岸壁）・池田港（平木第1物揚場）とし、直島からの海上輸送及びスラグステーションまでの陸上輸送は県から委託を受けた会社が責任を持って行う。
3. 熔融スラグの保管に際して、フェンスの設置、メッシュシートの設置、散水等による飛散防止対策、また、沈砂池の設置等による流出防止対策を行い、周辺環境に悪影響を及ぼさないようにするものとする。
また、熔融スラグの運搬に際しては、ダンプトラックのシート掛け、散水等による飛散防止対策を行い、周辺環境に悪影響を及ぼさないようにするものとする。
4. 熔融スラグの運搬車・運搬船への積込に際しては、作業スペースを十分確保し、作業者の労働安全衛生に十分留意しなければならない。

2.4 記録の保存

熔融スラグ製造者は、熔融スラグの製造、安全性検査及び品質検査の結果を記録した書類を保存するものとする。

【解説】

熔融スラグ製造者は、安全性検査及び品質検査の結果を記録した書類を熔融スラグ利用者及び公共工事発注者から送付される「熔融スラグ使用実績簿」（別記様式 5-1、5-2-1,-2,-3,-4 及び 6）と併せて永年保存するものとする。

3. 利用段階における手順 熔融スラグ利用者、公共工事発注者

熔融スラグ利用者は、原則として次の手順により熔融スラグを利用する。

- 3.1 受入検査
- 3.2 運搬・保管
- 3.3 残渣等の取扱
- 3.4 熔融スラグ使用実績簿の作成等
- 3.5 記録の保存

【解説】

熔融スラグ利用者は、図 3-1 に示す利用段階における手順に従って熔融スラグを利用する。

坂出・高松・オリーブの各スラグステーション渡しの場合

熔融スラグ利用者は、スラグを受け取ろうとするときは、原則として、熔融スラグ注文書兼受領書（別記様式 3）を坂出・高松・オリーブの各スラグステーションの管理請負者に現場手渡しまたは事前に郵送するものとする。管理請負者は、熔融スラグ注文書を直島環境センターへ報告（FAX）し、承認を受け、スラグを売払うものとする。売払いは、熔融スラグを積込、重量計測の後、熔融スラグ納品書（別記様式 4）及び受領書を各々現場手渡しで売払い完了とする。なお、取引時における重量計測の単位については、飛散防止上の散水等を考慮し、当面の間、トン小数点 1 位まで（2 位以下切捨て）とする。

熔融スラグ製造者は、「熔融スラグ細骨材試験成績書」（様式 4）を熔融スラグ利用者に毎月郵送するものとする。

支払いについては、四半期毎（6、9、12、3 月末締）とし、熔融スラグ製造者は翌月上旬に熔融スラグ利用者へ納入通知書を送付し、熔融スラグ利用者は、翌月末までに納付するものとする。

なお、管理請負者の業務は月曜日～金曜日の 8：30～17：30 とする。ただし、スラグ搬入作業日については原則として、受渡しは行わないものとする。ただし、管理請負者の了解を得た場合は、この限りでない。

また、風速 15m/秒（10 分間平均）以上の場合、積込は行わない。

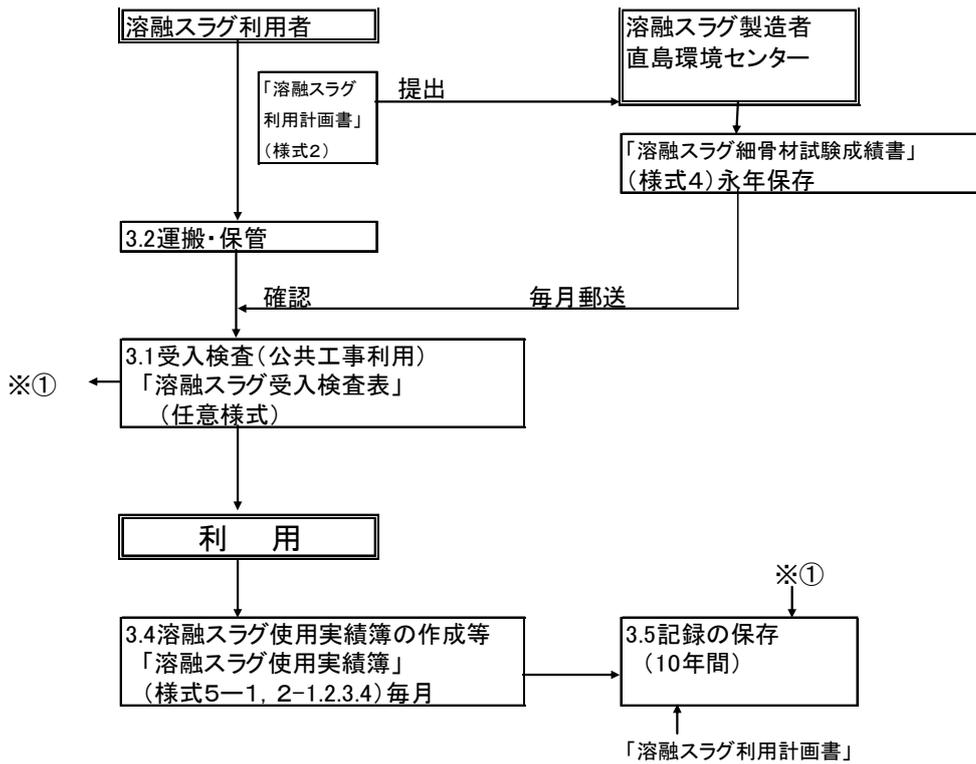
直島猫の鼻棧橋渡しの場合

熔融スラグ利用者は、スラグを受け取ろうとするときは、原則として熔融スラグ注文書兼受領書（別記様式 3）を直島環境センター担当者に現場手渡しまたは事前に郵送するものとする。売払いは、熔融スラグの重量計測、積込の後、熔融スラグ納品書（別記様式 4）及び受領書を各々現場手渡しで売払い完了とする。

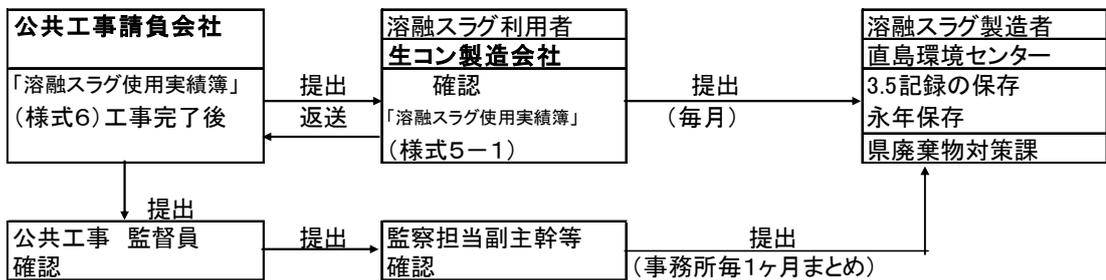
熔融スラグ製造者は、「熔融スラグ細骨材試験成績書」（別記様式 4）を熔融スラグ利用者に毎月郵送するものとする。

支払いについては、四半期毎（6、9、12、3 月末締）とし、熔融スラグ製造者は翌月上旬に熔融スラグ利用者へ納入通知書を送付し、熔融スラグ利用者は、翌月末までに納付するものとする。

（図 3-2 熔融スラグ売払い手続きフロー参照）



○レディーミクストコンクリート利用の場合の溶融スラグ使用実績簿の手順
 工事完了後、速やかに行うものとする。



○コンクリート2次製品利用の場合の溶融スラグ使用実績簿の手順
 工事完了後、速やかに行うものとする。

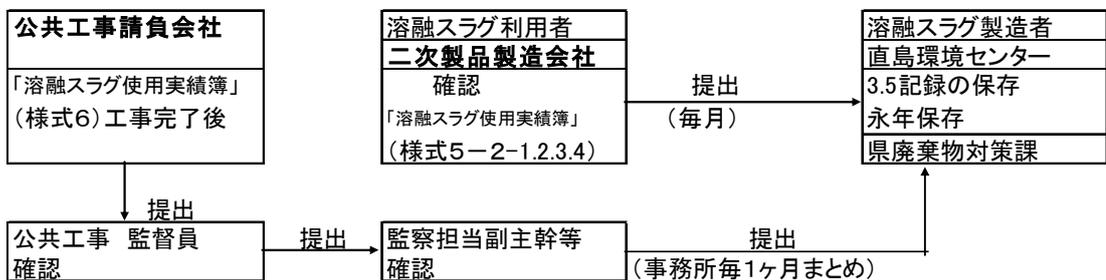


図3-1 利用段階における手順フロー

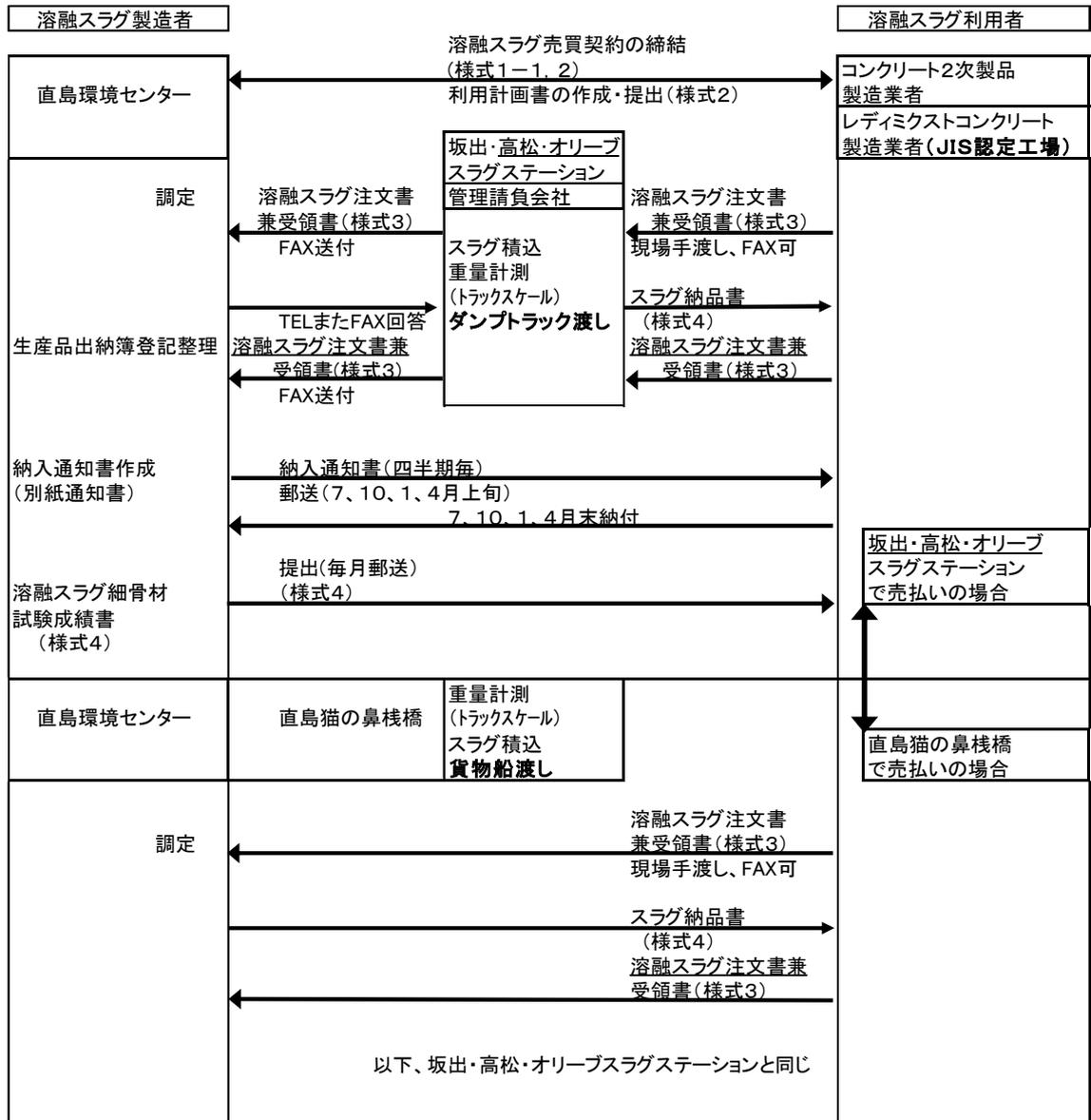


図3-2 溶融スラグ売払い手続きフロー

0503121

溶融スラグ注文書(兼受領書)

平成 年 月 日

香川県直島環境センター 所長 香川県知事 殿

契約者

住所
名称又は商号
代表者

(担当者名:)

買受日時	数量(t)	場所	利用事業者	車番	備考(引受業者名等)
		直島バース 坂出SS 高松SS オリーブSS			
利用目的	1. 構造物を除く生コンクリート 2. コンクリート二次製品 3. アスファルト 4. 埋戻材・盛土材 5. その他()				

上記の通り、溶融スラグを確かに受領しました。

受領者サイン

0503121

溶融スラグ納品書

平成 年 月 日

(売払業者) 御中

香川県直島環境センター 所長 香川県知事

買受日時	数量(t)	場所	利用事業者	車番	備考(引受業者名等)
		直島バース 坂出SS 高松SS オリーブSS			
利用目的	1. 構造物を除く生コンクリート 2. コンクリート二次製品 3. アスファルト 4. 埋戻材・盛土材 5. その他()				

溶融スラグ細骨材試験成績書

様式4

JIS表示認定工場 各位

【製造業者】 香川県環境森林部 直島環境センター

【製造年月日】平成〇年〇/〇~〇/〇、〇/〇~〇

品質試験結果(製造年月日と同日に直島採取)

試験項目	基準値	試験結果
粒度	5mmオーバーの割合が90%であること	
磁着物割合	金属鉄1%未満	
針状物の確率	針状物を含まないこと	
骨材的性質	絶対密度	2.5g/cm ³ 以上
	吸水率	3%以下
	アルカリ反応性の判定	無害

表乾密度(g/cm³)

物理的性質試験結果(HO. O. O直島採取)

試験項目	基準値(参考)	試験結果
安定性	10%以下	
粒形判定実積率	53%以上	
微粒分量	7.0(5.0)%以下	

注) ()内は、コンクリートの表面がすりへり作用を受ける場合である。

骨材ふるいわけ試験結果(製造年月日と同日に直島採取)

	ふるいを通るものの百分率(%)							粗粒率
	10mm	5mm	2.5mm	1.2mm	0.6mm	0.3mm	0.15mm	
1								
2								
3								
4								
5								
6								
7								
8								
9								
10								
平均								
基準値(コンクリート用砕砂)	100	90~100	80~100	50~90	25~65	10~35	2~15	

溶出試験及び含有量試験結果(製造年月日と同日に直島採取)

項目	溶出試験			含有試験		
	単位	基準値	試験結果	単位	基準値	試験結果
カドミウム(Cd)	mg/l	0.01		mg/kg	150	
鉛(Pb)	mg/l	0.01		mg/kg	150	
六価クロム(Cr ⁶⁺)	mg/l	0.05		mg/kg	250	
ヒ素(As)	mg/l	0.01		mg/kg	150	
総水銀(T-Hg)	mg/l	0.0005		mg/kg	15	
セレン(Se)	mg/l	0.01		mg/kg	150	
フッ素(F)	mg/l	0.8		mg/kg	4,000	
ホウ素(B)	mg/l	1		mg/kg	4,000	

化学成分試験結果(H19. 2. 7直島採取)

項目	単位	基準値(参考)	試験結果
酸化カルシウム	%	45.0以下	
全硫黄	%	2.0以下	
三酸化硫黄	%	0.5以下	
金属アルミニウム	%	0.5以下	
塩化物量	%	0.04以下	

3.1 受入検査

熔融スラグ利用者は、熔融スラグ製造者から「熔融スラグ細骨材試験成績書」の提出を受けているが、製造にあたり、自らもスラグの受入検査を行うものとする。

さらに、県が定めるスラグ置換率の基準（附録 3 参照）を超える製品を販売する場合、自ら安全性確認のための溶出試験（附録 1 参照）を行わなければならない。

なお、受入検査の項目・頻度は、利用用途別に熔融スラグ利用者が設定するものとする。

【解説】

熔融スラグを利用する場合、熔融スラグ利用者は、利用に際しては熔融スラグ製造者とは別に、自ら受入検査を実施して「熔融スラグ受入検査表」（A4 版：任意様式）に記録し、「熔融スラグ使用実績簿」（別記様式 5-1、2-1,-2,-3,-4）と併せて 10 年間保存するものとする。

熔融スラグは土木材料として新たに使用されるものであり、リスク管理の観点から熔融スラグ製造者及び利用者で品質検査を行うものである。

（参考）

①レディーミクストコンクリート用骨材の受入検査

項目：絶乾密度、吸水率、粒度、粗粒率、微粒分量、粒径判定実績率、
塩化物量（1 回／月）、安定性（1 回／年）

②コンクリート二次製品用骨材の受入検査

項目：密度（絶乾・表乾）、粒度・粗粒率、吸水率、微粒分量、単位容積質量
頻度：全て、1 回／月

3.2 運搬・保管

熔融スラグ利用者は、「熔融スラグ利用計画書」に基づいて、熔融スラグを運搬し、保管するものとする。

なお、熔融スラグの運搬・保管に当たっては、周辺的生活環境に支障を来たすことがないよう留意すること。

【解説】

「熔融スラグ利用計画書」に基づいて、利用状況や周辺環境等に留意しながら、適切な運搬・保管を行う必要がある。

保管・運搬の実施に当たっては、「第 4 章 運搬・保管の方法」に留意して行うものとする。

3.3 残渣等の取扱

スラグを利用して製品を製造・加工・販売する場合、洗浄によるスラグ混入物、残存物、製品としての不良品が生じるが、それぞれ適正に処理・処分しなければならない。

【解説】

レディーミクストコンクリートについては、ミキサー車等の洗浄によるスラグ混入骨材、また、販売時の戻りコンクリートがある。

コンクリート二次製品については、攪拌機等の洗浄によるスラグ混入骨材、規格外製品、現場施工時の端材などがある。

製造機械の洗浄によるスラグ混入骨材のうち粗骨材については、粗骨材として再利用し、細骨材については、溶融スラグ扱いで細骨材として、極力再利用に努めるものとするが、困難な場合は安定型廃棄物処分場での処分とする。戻りコンクリートについては、全量をコンクリート塊の製造に再利用するものとし、コンクリート塊の公共工事以外への利用または販売を妨げない。

また、コンクリート二次製品の規格外製品、端材については、スラグ単独や粉碎したスラグの溶出試験で土壤環境基準を満足していることから、再生クラッシュランへの再利用は、通常のコンクリート二次製品の解体に準じて実施することができる。

3.4 溶融スラグ使用実績簿の作成等

(1) 溶融スラグ利用者は、溶融スラグの受取から利用までの結果を記載する「溶融スラグ使用実績簿」(別記様式 5-1、2-1,-2,-3,-4)を当分の間、毎月集計で作成し、翌月上旬までに溶融スラグ製造者に提出するものとする。なお、溶融スラグ利用者(レディーミクストコンクリート製造会社)は、公共工事請負会社から「溶融スラグ使用実績簿」(別記様式 6)の提出があった場合、内容を確認のうえ、公共工事請負会社に返送するものとする。

公共工事請負会社は、「溶融スラグ使用実績簿」(別記様式 6)を作成し、工事完了後、溶融スラグ利用者(レディーミクストコンクリート製造会社)に速やかに提出し、確認を受けなければならない。溶融スラグ利用者の確認、返送後、公共工事監督員に提出するものとする。「溶融スラグ使用実績簿」は、公共工事発注事務所毎に1ヶ月分をまとめて、県廃棄物対策課資源化・処理事業推進室に提出するものとする。

(2) 「溶融スラグ使用実績簿」には、原則として次の事項を記載する。

① レディーミクストコンクリート製造会社

イ 溶融スラグ購入量・月日、使用量・月日

ロ 製造量・月日、品質規格、スラグ置換率、販売先会社名、スラグ混入ブロック製作数

② 公共工事請負会社

イ 公共工事名、工事番号、施工場所、施工期間、発注機関名

ロ 請負会社名、住所、連絡先

ハ 材料名、生コン購入量、製造会社名、住所、担当者及び連絡先

ニ 溶融スラグ購入日、購入量、規格、位置図

③ 二次製品製造会社

イ 溶融スラグ購入量・月日、使用量・月日

ロ 製造製品名・製品番号・数量・月日

ハ 販売量・月日、販売先業者名、発注事務所名、工事名、施工場所、在庫状況

【解説】

溶融スラグ利用者は、「溶融スラグ利用計画書」に基づいて、溶融スラグを適正に利用し、当分の間、毎月集計で「溶融スラグ使用実績簿」を作成し、翌月上旬までに「溶融スラグ使用実績簿」を溶融スラグ製造者に送付するとともに、自らも「溶融スラグ使用実績簿」を10年間保存するものとする。

公共工事請負会社は、「溶融スラグ使用実績簿」(別記様式 6)を作成し、工事完了後、速やかにレディーミクストコンクリート購入会社へ提出し、確認返送を受け、公共工事監督員に提出するものとする。

公共工事発注者は、工事完了後、公共工事請負会社から「溶融スラグ使用実績簿」(別記様式 6)の提出があった場合、確認・保管のうえ、事務所毎に1ヶ月分をまとめて廃棄物対策課資源化・処理事業推進室に提出するものとする。

(様式5-1)溶融スラグ使用実績簿(月報)(生コン製造会社用)

生コン会社NO.

H 年 月分			会社名		報告日 平成 年 月 日	
月	日	曜日	スラグ		レディミクストコンクリート(スラグ入り)	
			購入量(t)	使用量(t)	製造量(m3)	置換率(%)
					販売先会社名	備考
	1					
	2					
	3					
	4					
	5					
	6					
	7					
	8					
	9					
	10					
	11					
	12					
	13					
	14					
	15					
	16					
	17					
	18					
	19					
	20					
	21					
	22					
	23					
	24					
	25					
	26					
	27					
	28					
	29					
	30					
	31					
合 計						
今月残スラグ(t)						
先月まで残スラグ累計(t)						
今月まで残スラグ累計(t)						

(注1)この月にスラグ混入生コンを販売した業者名をすべて記入。各販売先の各販売量は不要。

(注2)数値は小数点以下第2位以下を切り捨てとする。

(注3)「溶融スラグ有効利用マニュアル」の連絡先で定めた各会社の番号を記入。

「記入箇所(網掛け部)」

- ・スラグ購入量・スラグ使用量・レディミクストコンクリート製造量の合計欄
- ・今月残スラグ・先月まで残スラグ累計・今月まで残スラグ累計の欄
- ・当月の販売先会社名欄
- ・その他会社名・報告年月日・月報年月

※毎日数量については、記入可能であれば記入してください。

送付・問い合わせ先

香川県廃棄物対策課 資源化・処理事業推進室 資源化推進グループ
〒760-8570 高松市番町4丁目1番10号
TEL 087-832-3225 FAX 087-831-1273

※ FAX送付可。翌月10日までに送付。

(様式5-1)溶融スラグ使用実績簿(月報)(生コン製造会社用)

生コン会社NO. (注3) ○○

H 年 月分			会社名		○○株式会社		報告日	
月	日	曜日	スラグ		レディミクストコンクリート(スラグ入り)		平成 年 月 日	
			購入量(t)	使用量(t)	製造量(m3)	置換率(%)	販売先会社名(注1)	備考
	1						○○土木、××会社、○×会社、△△会社、 □□土木.....	
	2							
	3							
	4							
	5							
	6							
	7							
	8							
	9							
	10							
	11							
	12							
	13							
	14							
	15							
	16							
	17							
	18							
	19							
	20							
	21							
	22							
	23							
	24							
	25							
	26							
	27							
	28							
	29							
	30							
	31							
合 計			500.1	367.6	1500.5	30%		
今月残スラグ(t)				132.5				
先月まで残スラグ累計(t)				100.1				
今月まで残スラグ累計(t)				232.6				

記入例

(注1)この月にスラグ混入生コンを販売した業者名をすべて記入。各販売先の各販売量は不要。

(注2) 数値は小数点以下第2位以下を切り捨てとする。

(注3) 「溶融スラグ有効利用マニュアル」の連絡先で定めた各会社の番号を記入。

「記入箇所(網掛け部)」

- ・スラグ購入量・スラグ使用量・レディミクストコンクリート製造量の合計欄
- ・今月残スラグ・先月まで残スラグ累計・今月まで残スラグ累計の欄
- ・当月の販売先会社名欄
- ・その他会社名・報告年月日・月報年月

※毎日数量については、記入可能であれば記入してください。

送付・問い合わせ先

香川県廃棄物対策課 資源化・処理事業推進室 資源化推進グループ
〒760-8570 高松市番町4丁目1番10号
TEL 087-832-3225 FAX 087-831-1273

※ FAX送付可。翌月10日までに送付。

(様式5-2-1) O溶融スラグの使用実績簿(月報)(2次製品製造会社用)

会社番号

H〇〇年〇〇月度

日	スラグ		各製品製造量(t)							備考
	購入量(t)	使用量(t)	製品番号及び製品名							
			①舗装用普通平板	②U形側溝	③境界ブロック	④大形積みブロック	⑤張りブロック	⑥ロングU	⑦積みブロック	
1										
2										
3										
4										
5										
6										
7										
8										
9										
10										
11										
12										
13										
14										
15										
16										
17										
18										
19										
20										
21										
22										
23										
24										
25										
26										
27										
28										
29										
30										
31										
合計	0	0								

今月残スラグ(t)	0
先月迄残スラグ累計(t)	
今月迄残スラグ累計(t)	0

在庫状況(t)			
製品番号及び製品名	今月	先月迄累計	今月迄累計
①舗装用普通平板			0
②U形側溝			0
③境界ブロック			0
④大形積みブロック			0
⑤張りブロック			0
⑥ロングU			0
⑦積みブロック			0

*各重量は、小数点以下第2位以下切捨てとする。

*翌月10日までに提出願います。

*各会社の集計日毎の集計で結構です。

(例:毎月20日締の場合、21日~20日の集計でOK。

表の日付を変更して下さい。)

(様式5-2-3) ○溶融スラグの使用実績簿(月報)(インターロッキング製造会社用)

会社番号

H〇〇年〇〇月度

日	スラグ		各製品製造量(t)					備考
	購入量(t)	使用量(t)	製品番号及び製品名					
			①普通	②透水性	③保水性			
1								
2								
3								
4								
5								
6								
7								
8								
9								
10								
11								
12								
13								
14								
15								
16								
17								
18								
19								
20								
21								
22								
23								
24								
25								
26								
27								
28								
29								
30								
31								
合計	0	0						

今月残スラグ(t)	0
先月迄残スラグ累計(t)	
今月迄残スラグ累計(t)	0

在庫状況(製品重量 t)			
製品番号及び製品名	今月	先月迄累計	今月迄累計
①普通			0
②透水性			0
③保水性			0
			0
			0
			0
			0

- *各重量は、小数点以下第2位以下切捨てとする。
- *翌月10日までに提出願います。
- *各会社の集計日毎の集計で結構です。
- (例:毎月20日締の場合、21日~20日の集計でOK。
- 表の日付を変更して下さい。)

3.5 記録の保存

溶融スラグ利用者は、溶融スラグの受入検査及び利用実績の結果を記録した書類を保存するものとする。

【解説】

溶融スラグ利用者は、自らが記録した「溶融スラグ受入検査表」及び「溶融スラグ使用実績簿」を溶融スラグ製造者から提出される「溶融スラグ細骨材試験成績書」と併せて10年間保存するものとする。

第3章 土木材料としての利用

1. コンクリート二次製品用骨材への利用

本規定は、溶融スラグをコンクリート二次製品の細骨材として用いる場合に適用する。溶融スラグ骨材を用いるコンクリートは、プレキャスト無筋コンクリート製品とし、日本工業規格（JIS）および関連基準・指針類との適合を確認した上でこれを利用できるものとする。

なお、プレキャスト鉄筋コンクリート製品に用いる場合は、日本工業規格（JIS）および関連基準・指針類との適合を適切な試験等で確認した上で利用するものとする。

【解説】

溶融スラグの混入が、コンクリートの品質（フレッシュ性状及び硬化後の性状）に及ぼす影響について把握するために室内基礎試験を行い、溶融スラグをコンクリートの細骨材として用いても問題ないことが確認された。また、以下の製品についてスラグを用いたコンクリートの実機評価試験を行い、それらの安全性及び品質が確認された。

- 流し込み製品： 舗装用普通平板、U形側溝、境界ブロック、大形積みブロック、張りブロック、ロングU、積みブロック
- 即時脱型製品： 普通インターロッキングブロック、透水性インターロッキングブロック、積みブロック

上記以外のコンクリート二次製品に溶融スラグを用いる場合は、製品の性質、JIS 及び関連基準・指針類との適合を製品試験等により確認し、県と協議し承認を得て、使用するものとする。

1.1 流し込み製品の配合及び品質

① 水セメント比

溶融スラグを用いたコンクリート流し込み製品の水セメント比は、50%以下とする。

② スラグ置換率

流し込み製品のスラグ置換率は、細骨材の質量比で40%以下とする。

③ 溶融スラグを利用した流し込み製品の品質は、それぞれの製品試験により、日本工業規格（JIS）および関連基準・指針類に適合することを確認しなければならない。

【解説】

溶融スラグを用いたコンクリート流し込み製品の水セメント比及びスラグ置換率は、代表的な流し込み製品として実機評価試験を行った「舗装用普通平板・U形側溝・境界ブロック・大形積みブロック・張りブロック・ロングU・積ブロック・魚巣ブロック・法枠ブロック・階段ブロック」の試験結果を考慮して、水セメント比50%以下、スラグ置換率40%以下とした。

なお、舗装普通用平板・U形側溝・境界ブロック・大形積みブロック・張りブロック・ロングU・積ブロック・魚巣ブロック・法枠ブロック・階段ブロックについては、二次製品製造会社の製品試験で品質が確認されているスラグ置換率より20%以上40%以下とする。

上記以外の流し込み製品に本規定を適用する場合は、製品試験を行って、それぞれの製品の品質が日本工業規格（JIS）及び関連基準・指針類に適合することを確認しなければならない。また、溶出試験による安全性が確認され次第、本マニュアルに追加するものとする。

1) 流し込み製品の配合及び品質

溶融スラグをコンクリート二次製品用骨材として有効利用するため、流し込み製品の確認試験（実機評価試験）を行い、溶融スラグ混入流し込み製品への適用性及び汎用性を検討した結果、以下の性状が確認され、スラグ置換率（スラグ質量／全細骨材質量）を適切に設定すれば、流し込み製品の製造・品質に問題はないことが確認された。試験結果の事例を以下に示す。

① 配合及びフレッシュ性状

試運転スラグを用いた流し込み製品試験の配合を表 3-1 に示す。溶融スラグを用いた場合、フレッシュコンクリートのプラスティシティーが多少低下するが、スラグ置換率 40%程度であれば、スラグ非混入コンクリートと同等のフレッシュ性状が得られることが確認された。

表 3-1 溶融スラグ混入流し込み製品試験配合表

スラグ置換率	粗骨材の最大寸法	W/C (%)	S/a (%)	sl. (cm)	Air (%)	セメント	細骨材			粗骨材 2005	高性能減水剤		AE剤(100倍希釈)		スランブ (cm)	空気量 (%)	ブリージング量 (cm ³ /cm ²)	コンクリ温度 (°C)	
							水 (混和割合)	砕砂	砕砂		溶融スラグ	使用量 C×%	レオビルド 8000S	使用量 C×%					マイクロア 202
0	20	45	44.1	10±2.5	4.5 +1.5 -1.0	378	170	100	754	0	971	0.85	3.21	0.35	1.32	10.0	4.9	0.04	24.0
40		45	44.1			378	170	60	461	307	971	0.65	2.46	0.30	1.13	8.0	3.9	0.05	28.6

② 硬化コンクリートの強度発現

溶融スラグを多量に用いたコンクリートは、スラグ非混入コンクリートと比較した場合、強度が低下する傾向にある。しかし、スラグ置換率 40%程度であればほとんど問題なく、スラグ非混入コンクリートと同等の硬化性状が得られることが確認された（図 3-1 参照）。

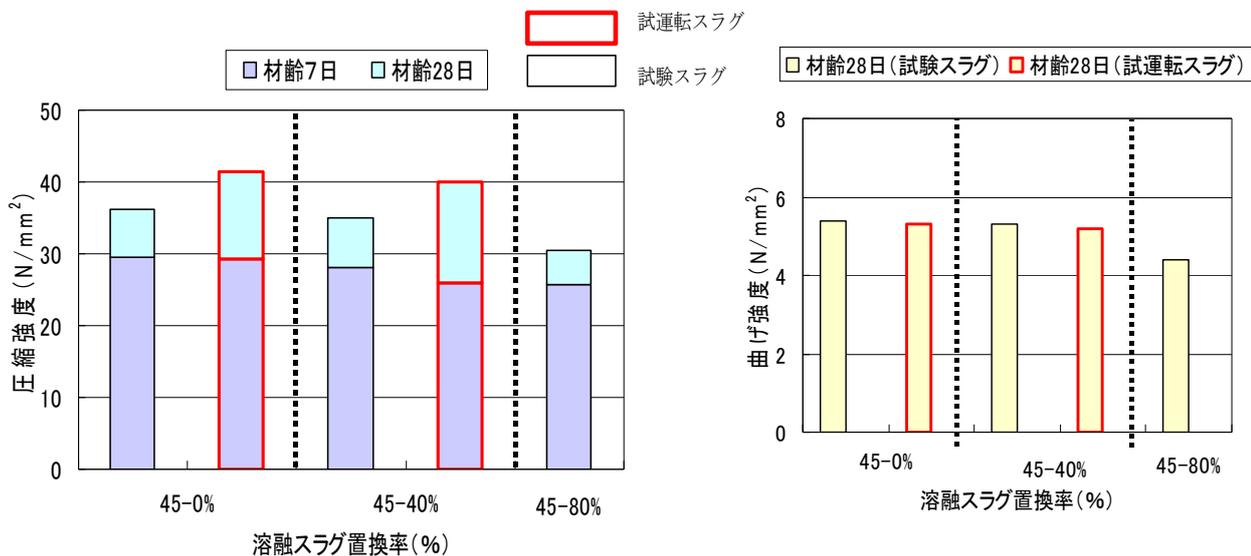


図 3-1 標準養生下のスラグ置換率と圧縮強度及び曲げ強度の関係

③ 製品の強度

製品の強度は、スラグ置換率 40%程度であれば、プレキャスト無筋コンクリート製品等の個々に要求される品質を十分に満足し、溶融スラグ混入流し込み製品の製造及び品質に問題がないことが確認された（図 3-2、3 参照）。

1.2 即時脱型製品の配合及び品質

① 水セメント比

溶融スラグを用いたコンクリート即時脱型製品の水セメント比は50%以下とする。

② スラグ置換率

即時脱型製品のスラグ置換率は、インターロッキングブロックについては、細骨材の質量比で60%以下とする。また、積みブロックについては、細骨材の質量比で20%以上とする。

③ 溶融スラグを有効利用した即時脱型製品の品質は、それぞれの製品試験により、日本工業規格（JIS）及び関連基準・指針類に適合することを確認しなければならない。

【解説】

溶融スラグを用いたコンクリート即時脱型製品の水セメント比及びスラグ置換率は、実機評価試験及び二次製品製造会社の製品試験の結果より、「インターロッキングブロック」については、水セメント比で50%以下、スラグ置換率60%以下、また、「積みブロック」については、水セメント比50%以下、スラグ置換率40%以上とした場合に品質の確認がなされている。

なお、溶融スラグの利用量拡充の観点から、インターロッキングブロック(普通ブロック)については、スラグ置換率を40%以上60%以下とし、インターロッキングブロック(透水性ブロック)については、二次製品製造会社の製品試験で品質が確認されているスラグ置換率を参考に10%以上60%以下とする。ただし、60%を超えて製造されたものでも、JIS A 5371に適合し、かつ、溶出試験によりその安全性が確認されたものについては、県と協議のうえ使用できるものとする。また、積みブロックについては、二次製品製造会社の製品試験で品質・安全性が確認されているスラグ置換率を参考に20%以上とする。

上記以外の即時脱型製品（インターロッキングブロック植生用等）に本規定を適用する場合は、製品試験を行って、それぞれの製品の品質が日本工業規格（JIS）及び関連基準・指針類と適合すること、また、溶出試験による安全性が確認され次第、本マニュアルに追加するものとする。

1) 即時脱型製品の配合及び品質

溶融スラグをコンクリート二次製品用骨材として有効利用するために、即時脱型製品の確認試験実機評価試験を行い、溶融スラグ混入即時脱型製品への適用性及び汎用性を検討した結果、以下の性状が確認され、スラグ置換率を適切に設定すれば、即時脱型製品の製造・品質に問題はないことが確認された。試験結果の事例を以下に示す。

① コンクリートの配合

試運転スラグを用いた即時脱型製品試験の配合、合成粒度を表 3-3、図 3-4 に示す。

表 3-3 溶融スラグ混入即時脱型製品試験配合表

スラグ置換率 (%)	水セメント比		単位量 (kg/m ³)					全重量 (kg/m ³)	スラグ 重量比 (%)
	W/C (%)	セメント 3.16	水 (混和剤含) 1.00	骨 材			混和剤 ルブリス100 (10倍液) 8.24		
				砕砂 2.57	3分砂利 2.62	溶融スラグ 2.69			
0	30	412	123.6	872	1066	0	8.24	2473	0.0
20	30	412	123.6	586	977	391	8.24	2489	15.7
40	30	412	123.6	256	926	788	8.24	2506	31.4
60	30	412	123.6	99	694	1190	8.24	2519	47.2

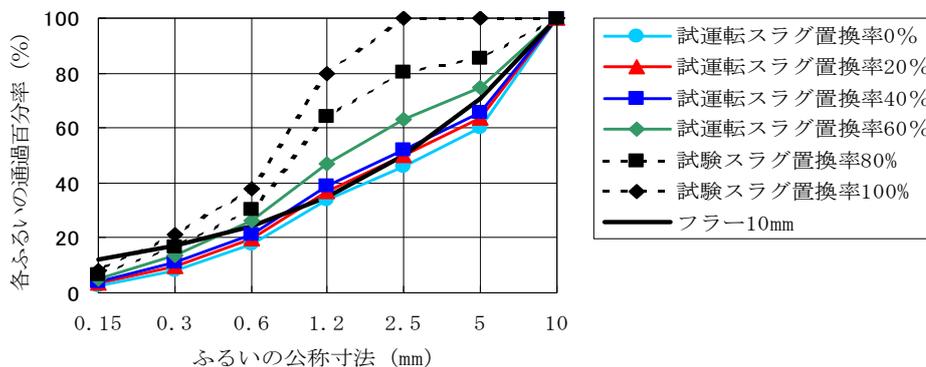


図 3-4 溶融スラグ合成骨材の粒度分布曲線

② 製品の強度

製品の強度は、スラグ置換率 60%程度であれば、即時脱型製品に要求される品質をほぼ満足し、溶融スラグ混入即時脱型製品の製造及び品質に問題がないことが確認された。(図 3-5、6 参照)

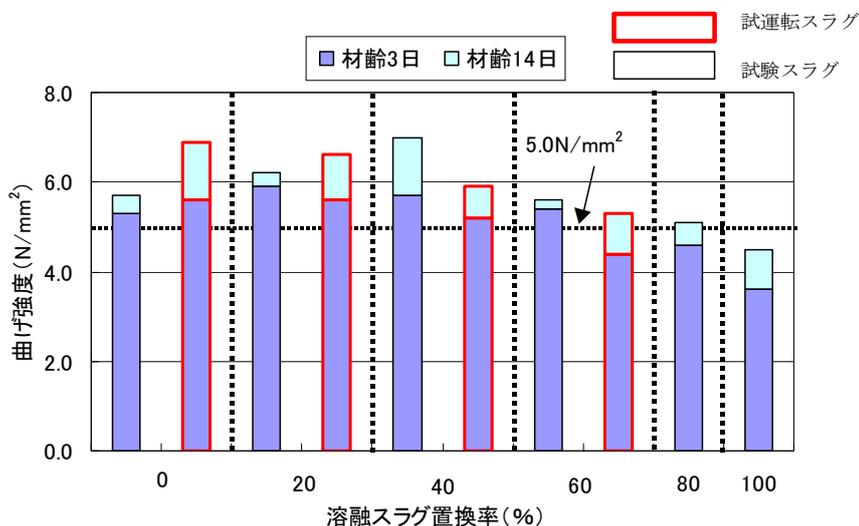


図 3-5 即時脱型製品のスラグ置換率と曲げ強度の関係

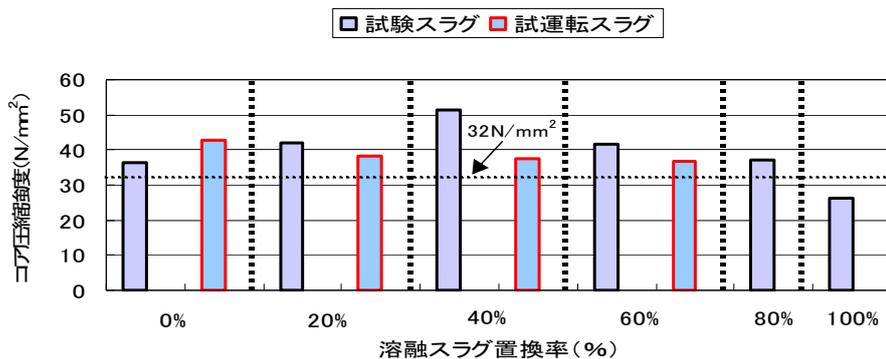


図 3-6 即時脱型製品のスラグ置換率とコア圧縮強度の関係 (材齢 14 日)

③ 製品の品質

製品の品質は、スラグ置換率が 60%までの範囲内であれば、要求品質を満足することが確認された (表 3-4 参照)。

表 3-4 インターロッキングブロックの製品試験結果と規格値

項目	試運転スラグ				試験スラグ		規格値
	0%	20%	40%	60%	80%	100%	
寸法 (幅, 長さ)	○	○	○	○	○	○	±2.5mm以内
寸法 (厚さ)	○	○	○	○	×	×	±2.5mm以内
曲げ強度 (N/mm ²)	6.9	6.6	5.9	5.3	5.1	4.5	5.0N/mm ² 以上
製品コア強度 (N/mm ²)	42.7	38.4	37.6	36.7	37.1	26.2	32.0N/mm ² 以上
曲げ/コア圧縮強度比	0.16	0.17	0.16	0.15	0.14	0.17	—
	1/6	1/6	1/6	1/7	1/7	1/6	

2) 即時脱型製品の安全性

溶融スラグ混入即時脱型製品の安全性に問題はないことが、有害物質の溶出試験で確認された(表 3-5 参照)。なお、ほぼ全ての試験体において六価クロムとフッ素の溶出が認められたが、その値は小さく、土壌の環境基準を下回るものである。なお、六価クロムは溶融スラグ自体からの溶出試験では検出されていないことから、セメント由来のものと考えられる。

表 3-5 即時脱型製品の有害物質の溶出試験結果(材齢 14 日)

項目	単位	試験スラグ			試運転スラグ		土壌の環境基準
		30-0	30-40	30-80	30-0	30-40	
pH	—	12.6	12.5	12.5	12.6	12.6	—
総水銀 (T-Hg)	mg/l	<0.0005	<0.0005	<0.0005	<0.0005	<0.0005	<0.0005
カドミウム (Cd)	mg/l	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.01
鉛 (Pb)	mg/l	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005	<0.01
ヒ素 (As)	mg/l	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.01
六価クロム (Cr ⁶⁺)	mg/l	0.006	0.009	0.008	0.031	0.024	<0.05
セレン (Se)	mg/l	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.01
フッ素 (F)	mg/l	0.2	0.1	0.2	0.1	0.1	<0.8
ホウ素 (B)	mg/l	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<1

注) 表中 30-0 とは、水セメント比 30%-スラグ置換率 0%を表している。

1.3 製造および施工時の留意点

- 1) 溶融スラグ骨材を用いたコンクリート二次製品の製造は、「JIS A 5371 プレキャスト無筋コンクリート製品」及び「JIS A 5372 プレキャスト鉄筋コンクリート製品」の規定に準じて実施する。
- 2) 溶融スラグ骨材を用いたコンクリート二次製品の施工は、該当する施工基準・指針類に準じて実施する。

【解説】

1) 製造時の留意点

溶融スラグは、黒色を呈しているため、二次製品表面での色斑が発生することがある。極端な色斑の発生を抑制するために、溶融スラグが他の材料と均等に混合されるよう、材料を投入する順序・時間などに留意し、品質の均一化を図る必要がある。

適切な置換率の溶融スラグを用いたコンクリート二次製品の製造は、通常のコンクリート二次製品の製造と同じであり、JIS A 5371 および JIS A 5372 に規定された製造方法・試験方法・検査方法・製品の呼び方・報告等に準じて、使用材料・製造・製造工程における品質管理及び検査を実施する。

2) 施工時の留意点

適切な置換率の溶融スラグを用いたコンクリート二次製品は、品質及び強度ともに問題ないことが確認されており、通常のコンクリート二次製品と同様に扱うものとする。このため、通常のコンクリート二次製品の施工基準・指針類に従い、製品の運搬・据付、工事の施工管理・安全管理を実施する。

2. レディーミクストコンクリート用骨材への利用

本規定は、溶融スラグをレディーミクストコンクリートの細骨材として用いる場合に適用する。溶融スラグを用いるレディーミクストコンクリートは、無筋コンクリートとし、日本工業規格（JIS）及び関連基準・指針類との適合を確認した上でこれを適用できるものとする。

溶融スラグを用いたレディーミクストコンクリートを無筋コンクリート以外に利用する場合については、力学的性質及び安全性が確認された後、本マニュアルに追加するものとする。

【解説】

溶融スラグの混入が、コンクリートの品質（フレッシュ性状及び硬化後の性状）に及ぼす影響について把握するため、室内基礎試験を行い、溶融スラグをレディーミクストコンクリートの細骨材として用いても問題ないことが確認された。

溶融スラグを用いたレディーミクストコンクリートを鉄筋コンクリートなどに利用する場合については、今後検討を加え、本マニュアルに追加することとする。

2.1 配合及び品質

1. 水セメント比

溶融スラグを用いたレディーミクストコンクリートの水セメント比は、65%以下とする。

2. スラグ置換率

レディーミクストコンクリートの溶融スラグの置換率は、細骨材の質量比での20%～40%とする。

3. 溶融スラグを用いた、レディーミクストコンクリートの品質は、「JIS A 5308 レディーミクストコンクリート」に示される規定に準じる。

【解説】

溶融スラグを用いたレディーミクストコンクリートの水セメント比は、普通ポルトランドセメントを用いて行った実機評価試験等の結果を考慮して65%以下とした。

また、スラグ置換率（スラグ質量／全細骨材質量）は、20%～40%とした。

上記以外の普通コンクリートや軽量コンクリート、舗装コンクリートに本規定を適用する場合は、試験等を行って、コンクリートの品質が日本工業規格（JIS）および関連基準・指針類と適合することを確認しなければならない。

1) コンクリートの配合及び品質

溶融スラグをコンクリート用骨材として有効利用するため、レディーミクストコンクリート製造プラントでの実機評価試験を行い、溶融スラグを混入した場合のレディーミクストコンクリートへの適用性及び汎用性を検討した結果、スラグ置換率を適切に設定すれば、レディーミクストコンクリートの製造・品質に問題はないことが確認された。試験結果の事例を以下に示す。

① 配合及びフレッシュ性状

試運転スラグを用いたレディーミクストコンクリート試験の配合を表3-6に示す。溶融スラグを用いた場合、フレッシュコンクリートのプラスティシティーが多少低下するが、スラグ置換率が40%以内であれば、スラグ非混入コンクリートと同等のフレッシュ性状が得られることが確認された。(図3-7参照)。

表3-6 溶融スラグ混入レディーミクストコンクリート試験配合表

スラグ置換率	粗骨材最大寸法	細骨材率 s/a	スランブ sl	空気量 air	単 位 量 (kg/m ³)							AE減水剤 PO. No.70	高性能AE減水剤 PO. SP8LS	AE助剤 No.202	フレッシュコンクリートの性状							
					セメント	水	細 骨 材			粗 骨 材					スランブ cm	Air %	ブリーディング量 cm ³ /cm ²	温度 ℃				
							砕 砂 混合率	砕 砂	スラグ	2015	1505											
0	20	41.2	8	4.5	+1.5	396	178	100	689	0	494	494	0.25	-	0.003	8.7	4.9	0.066	26.5			
20						407	183	80	543	144	488	488	-	0.55	0.002	9.5	4.7	0.086	27.0			
40						396	178	60	413	292	494	494	-	0.55	0.001	8.6	4.1	0.125	27.0			
0						42.4	+1.5	-1.0	342	171	100	735	0	502	502	0.25	-	0.003	8.4	4.7	0.109	24.0
20									350	176	80	580	153	497	497	-	0.80	0.002	9.0	4.4	0.106	24.0
40									336	168	60	444	313	506	506	-	0.80	0.001	8.9	4.0	0.167	24.0
0		43.3	+1.5	-1.0	309				170	100	760	0	503	503	0.25	-	0.003	8.9	4.9	0.096	23.0	
20					318				175	80	602	159	497	497	-	0.80	0.002	8.6	4.0	0.110	24.0	
40					309				170	60	456	322	503	503	-	0.90	0.001	8.7	4.6	0.153	24.0	
0					44.0	+1.5	-1.0	283	170	100	783	0	502	502	0.25	-	0.003	8.3	4.4	0.107	26.0	
20								292	175	80	598	158	511	511	-	1.00	0.0015	9.5	3.8	0.133	26.0	

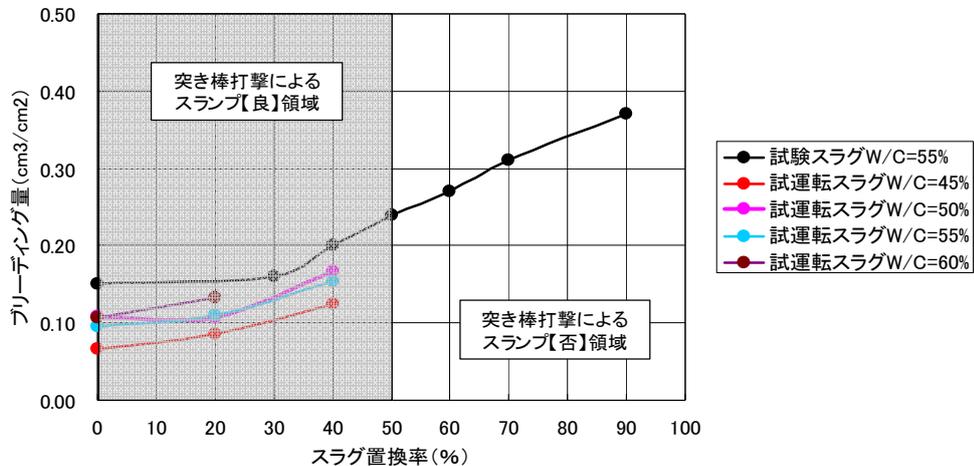


図3-7 実機評価試験におけるスラグ置換率とブリーディング量の関係

② 硬化コンクリートの強度発現

溶融スラグを20%~40%混入したレディーミクストコンクリートの圧縮強度は、スラグ非混入コンクリートの圧縮強度とほぼ同じである(図3-8参照)。また、試験スラグを用いた暴露試験体(0.8m×0.8m×0.3m)のコア強度は、スラグ非混入コアの強度よりも大きい結果を示した(図3-9参照)これらから、スラグ混入レディーミクストコンクリートの強度は、スラグ非混入コンクリートと同等の硬化性状が得られることが確認された。

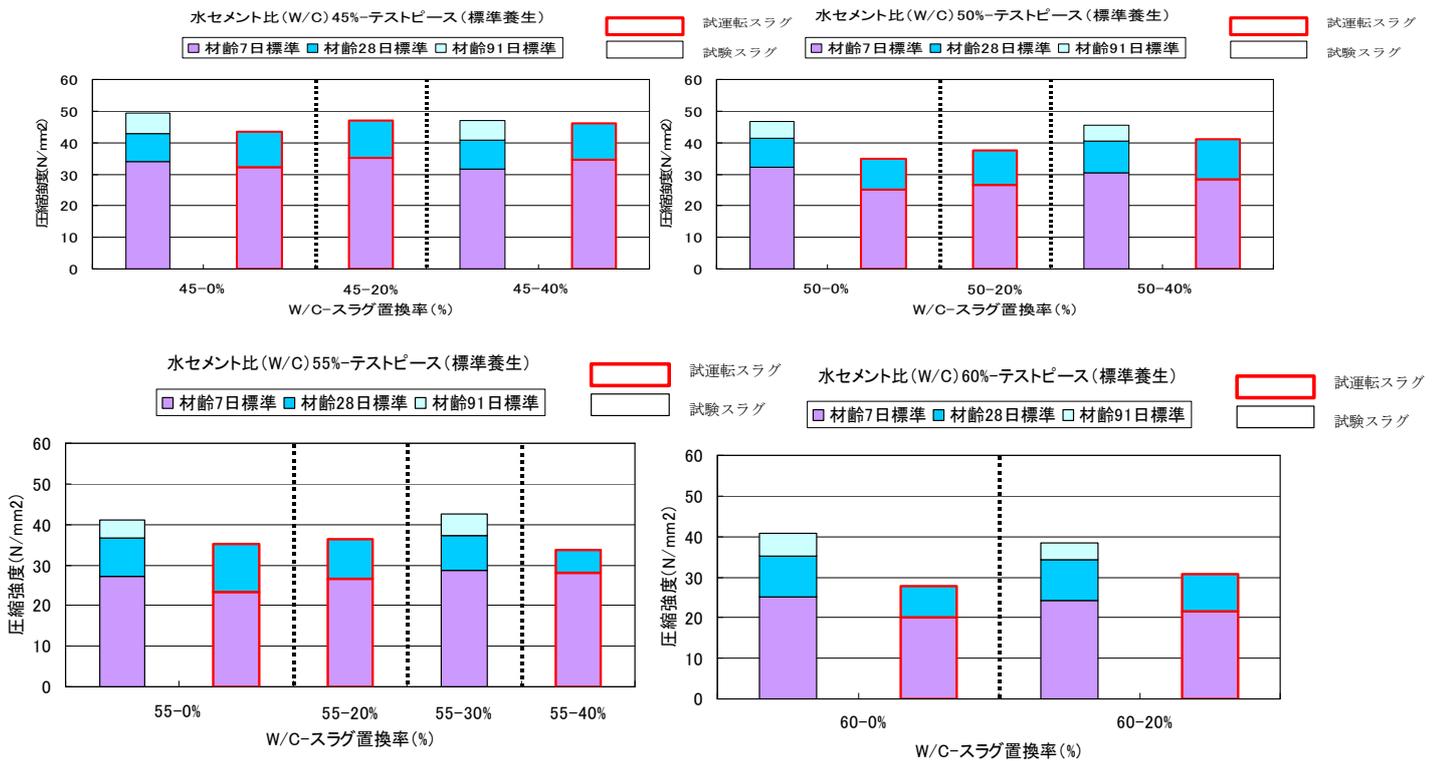


図3-8 実機評価試験におけるスラグ置換率と圧縮強度の関係

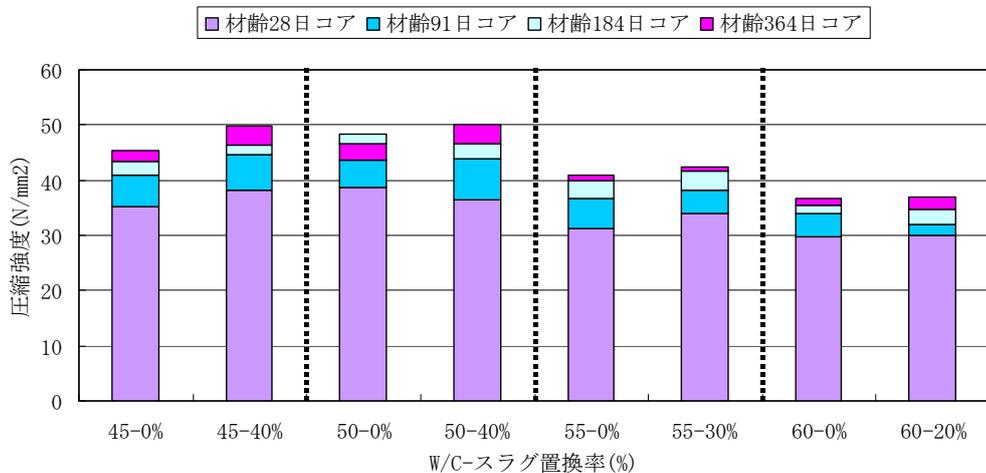


図3-9 試験スラグを用いた暴露試験体のスラグ置換率と圧縮強度の関係

2.2 製造時及び施工時の留意点

- 1) 熔融スラグ骨材を用いたレディーミクストコンクリートの製造は、「JIS A 5308 レディーミクストコンクリート」の規定に準じて実施する。
- 2) 熔融スラグ骨材を用いたレディーミクストコンクリートの施工は、必要な施工基準・指針類に準じて実施する。

【解説】

1) 製造時の留意点

熔融スラグは、黒色を呈しているため、構造物表面での色斑が生じるが、極端な色斑の発生を抑制するために、熔融スラグが他の材料と均等に混合されるよう、材料をミキサに投入する順序・時間などに留意する必要がある。

その他については、熔融スラグを用いたレディーミクストコンクリートの製造は、砕砂等を用いた通常のレディーミクストコンクリートの製造と同じであり、JIS A 5308 に規定された製造方法、試験方法、検査方法、製品の呼び方、報告等に準じて、使用材料や製造・製造工程の品質管理・検査等を実施する。

2) 施工時の留意点

熔融スラグを用いたレディーミクストコンクリートの場合、コンクリートのブリーディング量は、通常のコンクリートと比較して増加する傾向にある。ブリーディング量は、置換率・水セメント比により異なるため、一回の打設量を適切にし施工すること。

以上の点に留意すれば、熔融スラグを用いたレディーミクストコンクリートの施工は、砕砂等を用いた通常のコンクリートの施工とほぼ同様である。このため、該当する施工基準・指針類に従い、レディーミクストコンクリートの運搬・打設、工事の施工管理・安全管理等を実施する。

第4章 運搬・保管の方法

1. 運搬 熔融スラグ利用者

運搬は、「熔融スラグ利用計画」を踏まえ、熔融スラグが飛散しないよう留意して行うものとする。

【解説】

熔融スラグを運搬するときは、原則として「熔融スラグ利用計画」に基づいて行うものとし、以下に示す事項に留意するものとする。

- 1) 熔融スラグの運搬は、坂出・高松・オリーブのスラグステーションからのダンプトラック運搬であり、遠距離運搬、市街地・住宅地等を通過することになることから、シート掛けによる飛散防止、扉の開閉点検・補強による落下防止対策を行うものとする。
- 2) 熔融スラグ利用者は、沿道環境に支障を来さないよう運搬経路を選定するものとする。
- 3) 熔融スラグの飛散・落下による沿道住民とのトラブルは、熔融スラグ利用者の責任で対応するものとする。

2. 保管 熔融スラグ利用者

保管は、「熔融スラグ利用計画」を踏まえ、適切な量とする。保管に際しては、周辺の環境に支障を来さないよう、その場所及び方法について十分な配慮をする。

【解説】

熔融スラグを保管するときは、原則として「熔融スラグ利用計画」に基づいて行うものとし、以下に示す事項に留意するものとする。

- 1) 熔融スラグの保管は、普通細骨材と混合しないよう区切りをつけて別々に保管し、大小粒が分離しないよう、適当な含水状態に保ち、適切な構造の設備で保管するものとする。また、風雨時には、シート掛けを行うなどの飛散防止、流出防止対策を講じるものとする。
- 2) 熔融スラグの飛散・流出による保管場所周辺住民とのトラブルには、熔融スラグ利用者が対応するものとする。

ただし、熔融スラグそのものに対する苦情等は、県廃棄物対策課で対応するものとする。

附 錄

1. 溶出試験

溶融スラグ製造者は、溶融スラグのに出荷に際して、また、溶融スラグ利用者は溶融スラグを使用した製品の販売に際して、溶出試験を行い、下表に示す対象物質ごとに同表の溶出基準に適合していることを確認するものとする。

溶出試験の試験項目と満たすべき基準

項 目	溶出基準(mg/l)	備 考
カドミウム(Cd)	0.01以下	土壌環境基準
鉛(Pb)	0.01以下	
六価クロム(Cr6+)	0.05以下	
砒素(As)	0.01以下	
総水銀(T-Hg)	0.0005以下	
セレン(Se)	0.01以下	
フッ素(F)	0.8以下	
ホウ素(B)	1.0以下	

【解説】

溶融スラグ製造者が行う溶融スラグ単体の安全性検査及び溶融スラグ利用者が行う溶融スラグを用いた製品の安全性検査として溶出試験を行うものとする。

溶融スラグ利用者が溶出試験を行う場合は、溶融スラグを用いた製品ごとの県が定めるスラグ置換率(附録2参照)を超えて製品を製造する場合とする。

1-1 溶出試験の方法

溶融スラグ及び溶融スラグを使用した製品(以下「溶融スラグ類」という。)に係る溶出試験の方法は、「土壌の汚染に係る環境基準について(平成3年8月23日環境庁告示第46号)」に定める方法とする。

【解説】

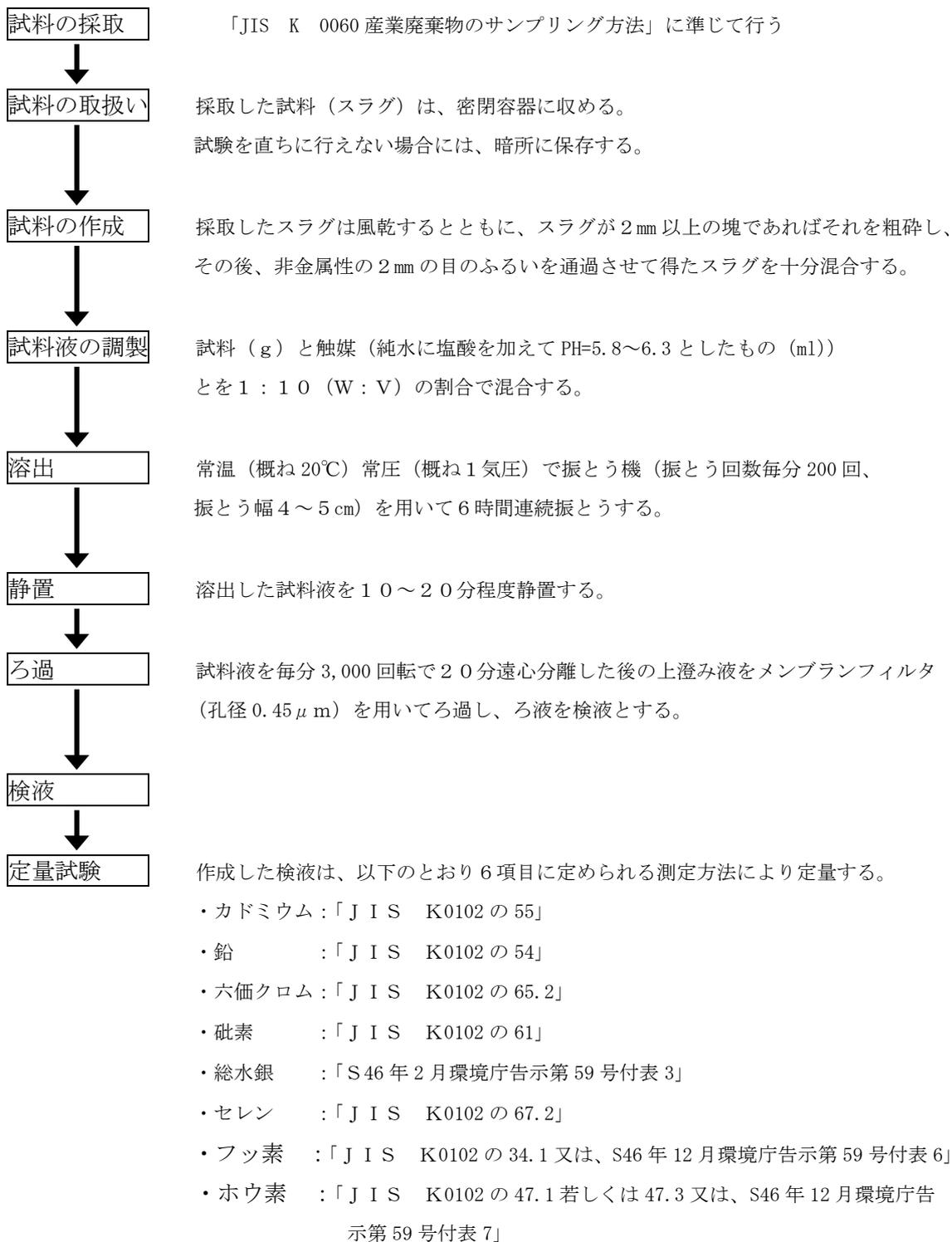
1) 溶融スラグ類に係る溶出試験の概要

「土壌の汚染に係る環境基準について(環境庁告示第46号)」において、土壌の汚染状況が的確に把握できるよう溶出試験の方法が定められている。

溶融スラグ類に係る溶出試験は、環境庁告示第46号付表1に示す方法により検液を作成し、検液中のカドミウムについてはJISK0102の55に、鉛についてはJISK0102の54に、六価クロムについてはJISK0102の65.2に、砒素についてはJISK0102の61に、総水銀については昭和46年環境庁告示第59号付表1に掲げる方法に、及びセレンについてはJISK0102の67.2に定める方法に、フッ素についてはJISK0102の34.1に定める方法又は、昭和46年12月環境庁告示第59号付表6に掲げる方法に、ホウ素についてはJISK0102の47.1若しくは47.3に定める方法又は、昭和46年12月環境庁告示第59号付表7に掲げる方法より、それぞれ定量するものとする。

2) 検液の溶出方法

溶融スラグ類の溶出試験に係る検液は、次により作成するものとする。



1-2 溶出試験に供する試料

溶融スラグ製造者が行う溶出試験に供する試料は、溶融スラグ単体とする。

また、溶融スラグ利用者が行う溶出試験に供する試料は、溶融スラグの利用用途の別に関わらず、配合を行った後の溶融スラグ混入物の総体とする。

【解説】

溶融スラグの利用用途は、①レディーミクストコンクリート用骨材、②コンクリート二次製品用骨材、③アスファルト混合物用骨材、④路盤材、⑤埋戻材・盛土材とすると「豊島廃棄物等の溶融スラグの再生利用に関する指針」に述べられており、溶出試験に供する試料は①、②、③について、強度試験を行った供試体を固化後粉砕したものを試料とする。また、④、⑤については、溶融スラグが配合された状態のものを試料とする。

1-3 試料の採取方法

溶出試験に供する試料の採取方法は、原則として「JIS K 0060 産業廃棄物のサンプリング方法」によるものとする。

なお、コンクリート・アスファルトについては、強度試験を行った供試体を溶出試験に係る試料とする。

ただし、溶融スラグ製造者については、「溶融スラグの出荷検査マニュアル」に定められた採取方法とする。

【解説】

「JIS K 0060 産業廃棄物のサンプリング方法」は、産業廃棄物（汚泥、鉍さい、廃酸、廃アルカリ、燃え殻、ばいじん、コンクリート固化物）を対象とする各種試験の実施にあたり、ロットの平均的な性状を得るためのサンプリング方法、試料の縮分方法について規定したものである。

溶融スラグの溶出試験に係る試料の採取についても、原則として同法によるものとする。

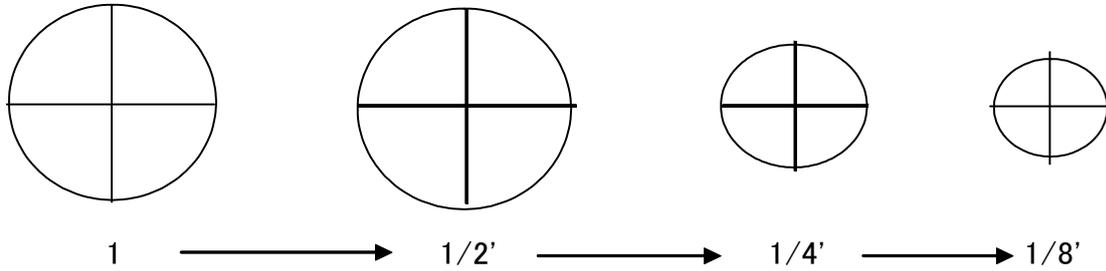
1) 試料の採取

ストックヤード等に保管されている溶融スラグについては、試料（スラグ）を平均化するため、1ヶ所1～2kgの試料を4～5ヶ所から採取し、計5～10kgを採取して代表試料とする。

コンクリート・アスファルトについては、強度試験を行った供試体を100g程度粉砕したものを代表試料とする。

2) 試料の縮分

溶出試験には、100g程度の試料（スラグ）が必要となるため、採取した代表試料を縮分して試料調整を行うものとする。縮分の方法は、「円すい四分法」を原則とする。



円すい四分法とは、試料を1点上部から落下させて、円すい形に積み上げ頂点から垂直に押し下げるようにして平らにする。これを2~3回場所を変えて行い、平らにして4等分し、相対する2つの部分を無作為に選り試料とする。

円すい四分法の概要

2. 含有量試験

溶融スラグ製造者は溶融スラグの出荷に際して、含有量試験を行い、下表に示す対象物質ごとに同表の含有量基準に適合していることを確認するものとする。

含有量試験の試験項目と満たすべき基準

項 目	含有量基準(mg/kg)	備 考
カドミウム(Cd)	1 5 0以下	土壌汚染対策法の指定基準
鉛(Pb)	1 5 0以下	
六価クロム(Cr6+)	2 5 0以下	
砒素(As)	1 5 0以下	
総水銀(T-Hg)	1 5以下	
セレン(Se)	1 5 0以下	
フッ素(F)	4, 0 0 0以下	
ホウ素(B)	4, 0 0 0以下	

【解説】

溶融スラグ製造者が行う溶融スラグ単体の安全性検査として含有量試験を行うものとする。

2-1 含有量試験の方法

溶融スラグに係る含有量試験の方法は、「土壌汚染対策法施行規則（平成 14 年環境省令第 29 号）第 5 条第 4 項第 2 号の規定に基づき、環境大臣が定める土壌含有量調査に係る測定方法（平成 15 年 3 月 6 日環境省告示第 19 号）」に定める方法とする。

【解説】

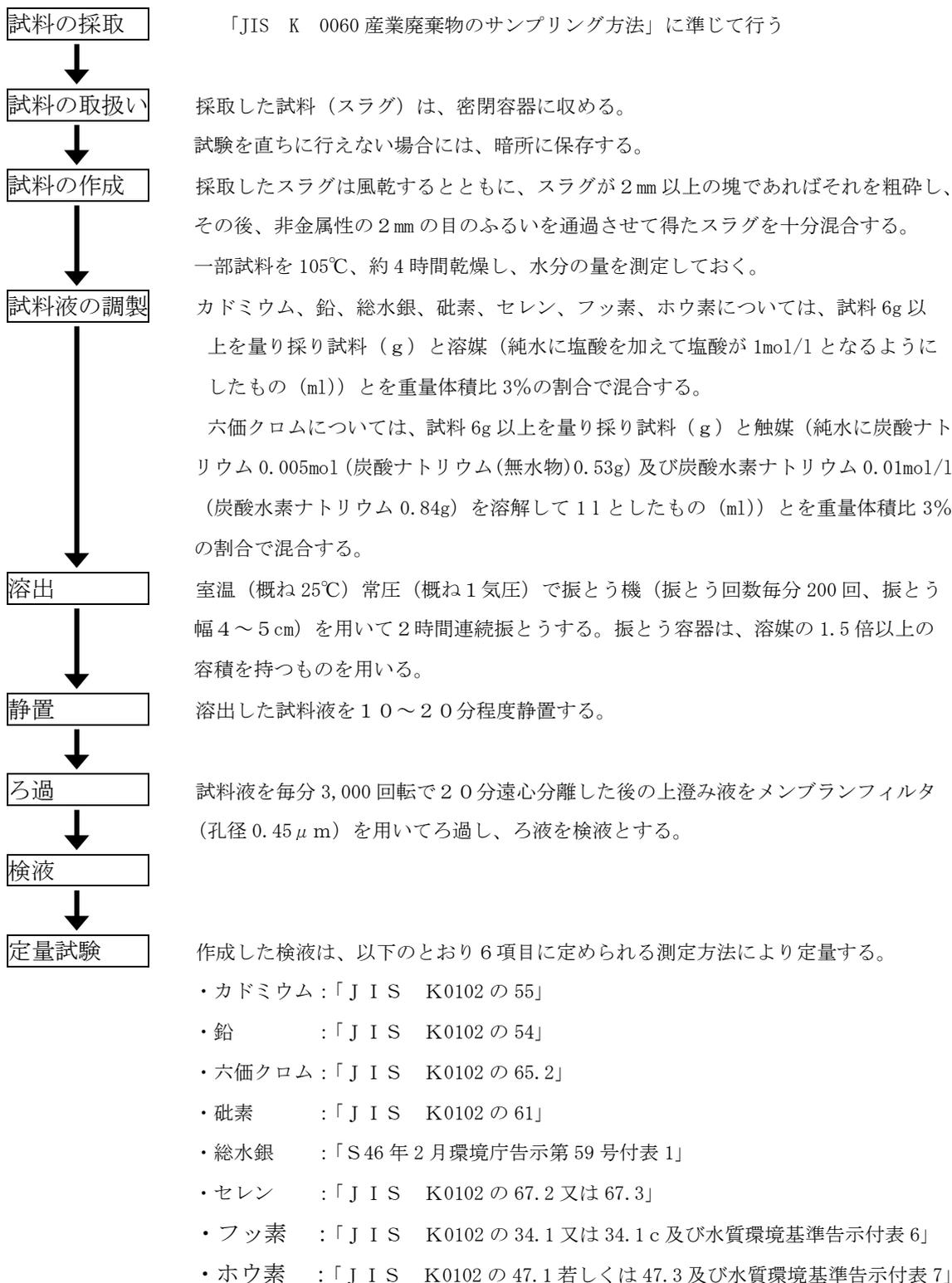
1) 溶融スラグに係る含有量試験の概要

「平成 15 年 3 月 6 日環境省告示第 19 号」において、土壌の汚染状況が的確に把握できるよう含有量試験の方法が定められている。

溶融スラグに係る含有量試験は、環境省告示第 19 号付表に示す方法により検液を作成し、検液中のカドミウムについては JISK0102 の 55 に、鉛については JISK0102 の 54 に、六価クロムについては JISK0102 の 65.2 に、砒素については JISK0102 の 61 に、総水銀については昭和 46 年環境庁告示第 59 号付表 1 に掲げる方法に、及びセレンについては JISK0102 の 67.2 又は 67.3 に、フッ素については JISK0102 の 34.1 に定める方法又は、34.1c に定める方法及び水質環境基準告示付表 6 に掲げる方法に、ホウ素については JISK0102 の 47.1 若しくは 47.3 に定める方法及び水質環境基準告示付表 7 に掲げる方法により、それぞれ定量するものとする。別に当該試料に含まれる水分の量を測定し、対象物質の量を乾燥して得たものの量に換算する。

2) 検液の作成方法

溶融スラグの含有量試験に係る検液は、次により作成するものとする。



2-2 含有量試験に供する試料

熔融スラグ製造者が行う含有量試験に供する試料は、熔融スラグ単体とする。

2-3 試料の採取方法

熔融スラグ製造者は、「熔融スラグの出荷検査マニュアル」に基づき、試料を採取するものとする。

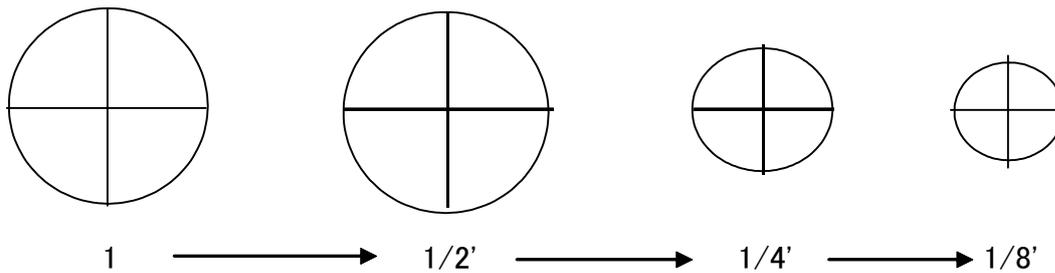
【解説】

1) 試料の採取

熔融スラグ製造者が「熔融スラグ出荷検査マニュアル」に基づき、試料採取するものとする。

2) 試料の縮分

含有量試験には、100 g 程度の試料（スラグ）が必要となるため、採取した代表試料を縮分して試料調整を行うものとする。縮分の方法は、「円すい四分法」を原則とする。



円すい四分法とは、試料を1点上部から落下させて、円すい形に積み上げ頂点から垂直に押し下げるようにして平らにする。これを2～3回場所を変えて行い、平らにして4等分し、相対する2つの部分を無作為に選び試料とする。

円すい四分法の概要