

石炭灰有効利用可能性調査

報告書 (概要版)

平成 27 年度

秋田県産業労働部資源エネルギー産業課

目 次

1. 石炭灰有効利用可能性調査について	1
1.1 調査目的.....	1
1.2 調査試験計画の概要.....	1
1.3 調査方法.....	2
1.3.1 硬化体の試験方法	2
1.3.2 実施日程	2
2. 石炭灰を用いた硬化体の作製条件に関する調査	3
2.1 石炭灰を用いた硬化体の物性試験（本試験）	3
2.1.1 実験内容	3
2.1.2 試験練り結果のまとめ	5
3. 魚礁等への適用性に関する調査	10
3.1 石炭灰を用いた硬化体の環境試験	10
3.1.1 環境性能基準	10
3.1.2 含有量試験結果.....	10
3.1.3 溶出試験結果	11
3.2 護岸や魚礁等への硬化体の利用に必要な藻などの生育可能性の検討	12
3.2.1 石炭灰リサイクルによる魚礁の実証事例	12
3.3 事業スキームの検討.....	17
3.3.1 秋田県内における石炭灰等の排出状況	17
3.3.2 今後の開発課題と事業体制案	18
4. 「石炭灰有効利用可能性調査」研究会.....	20
5. 総括	22

1. 石炭灰有効利用可能性調査について

1.1 調査目的

秋田県内には東北電力株式会社の石炭火力発電所や自家発電施設があり、石炭灰が大量(約 30 万 t/年)に発生している。これに加え東北電力(株)能代火力発電所 3 号機の建設が始まった他、秋田港発電所(仮称)の建設計画等が実現すれば、石炭灰の発生量がこれまでの 2 倍以上(約 80 万 t/年)に増加する見込みである。

本県の石炭火力発電所由来の石炭灰は、約 1 割が JIS 灰として県内の企業へ販売されコンクリート二次製品等に利用されている他、非 JIS 灰の一部が再生砕石として利用され始めたものの、大半は埋立て、あるいは県外のセメント会社へ費用負担の上処理委託している状況にある。本事業では、石炭灰や県内で未利用となっているスラグを混合した活用方法等を模索し、用途の拡大を図ることによって、リサイクル産業の育成及び石炭灰やスラグ等の活用推進を図るものである。JIS 規格外の石炭灰と未利用スラグを活用した魚礁等の海中構造物への利用を目標として調査を行った。

1.2 調査試験計画の概要

JIS 規格外の石炭灰とスラグに結合材としてセメントを混合した硬化体を作製して、試験等を実施し、製造条件等を検討した。また、魚礁等の適用条件を調査し事業スキームを考案した。硬化体の製作概要について、表 1-1 に示す。

表 1-1 硬化体製造試験の概要

項目	内容	備考
主な使用材料(産業廃棄物)	石炭灰 JIS 規格外品	東北電力株式会社能代火力発電所 実験使用量 0.5t～1t
	スラグ(粒径 25mm 以下)	株式会社日本ピージーエム 実験使用量 0.5t～1t
製造物	スランプ 8cm、 スランプ 0cm	養生条件 スランプ 8cm：標準 スランプ 0cm：蒸気、標準
測定事項	圧縮強度	石炭灰のポゾラン特性を判断するため 材齢：1 日、3 日、7 日、28 日、及び 91 日
	単位容積質量	配合設計時点での計算値と実際の練り混ぜた製品の 数値を比較
	吸水率	全面浸せき法により算出
	空気量	硬化体の練上がり状態での測定
	スラグの粒度	原料時での測定
実施主体	大森建設株式会社	
実施場所	能代中央生コン株式会社	

1.3 調査方法

1.3.1 硬化体の試験方法

生コンクリートの配合方法に準拠し、予備試験練り、試験練りを実施した。試験方法は既存の JIS 等の規格を準用し、測定項目や目標値は表 1-2 とした。

表 1-2 硬化体の測定項目及び目標値

測定項目	目標値	準用規格等	備考
圧縮強度	18N/mm ²	JIS A 5308, 1132, 1108	一般的な異形ブロック強度
スランプ	0cm, 8cm	JIS A 5308, 1101	工場製作, 土木構造物
空気量	—	JIS A 5308, 1128	参考値とする
単位容積質量	2,300kg/m ³ 程度	—	一般的なコンクリート同等
吸水率	—	—	参考値とする

(備考：圧縮強度用供試体は、φ10cm×長さ 20cm の円柱供試体とする。)

1.3.2 実施日程

試験練りは、予備試験練り 1 回、本試験練り 3 回実施した。実施日程と概要は表 1-3、それに伴う強度試験スケジュールは表 1-4 のとおりである。

表 1-3 試験練りの日程・概要

試験名	実施日	練り混ぜ設備	備考
予備試験練り	平成 27 年 7 月 29 日	2 軸式ミキサー	
試験練り 1 回目	平成 27 年 9 月 2 日	傾動式ミキサー	
試験練り 2 回目	平成 27 年 10 月 28 日	2 軸式ミキサー	第 2 回研究会同時開催
試験練り 3 回目	平成 27 年 12 月 8 日	2 軸式ミキサー	クリンカアッシュ配合

(備考：試験練り 3 回目においては、第 2 回研究会での提言によりクリンカアッシュを追加で配合した)

表 1-4 硬化体の強度試験スケジュール

試験名	平成 27 年						平成 28 年		
	7 月	8 月	9 月	10 月	11 月	12 月	1 月	2 月	3 月
予備試験練り	▼	◆							
試験練り 1 回目			▼	◆		●			
試験練り 2 回目					▼	◆	●		
試験練り 3 回目						▼	◆		●
▼試験練り日 ◆28 日圧縮強度 ●91 日圧縮強度									

2. 石炭灰を用いた硬化体の作製条件に関する調査

2.1 石炭灰を用いた硬化体の物性試験（本試験）

予備試験練りにて予測した配合を元に、本試験練りを行った。なお、試験練りは3回に分けて行い、スランプ0cmは標準養生と蒸気養生の2パターンを、スランプ8cmは、研究会での指摘を受け標準養生のみ試作した。本試験練りの成果として、3回目の試験練り結果を以下に示す。

2.1.1 実験内容

石炭灰有効利用可能性調査実施計画に基づく試験練り（3回目）を実施した。これまでの結果から得られた成果、及び第2回研究会を反映して実施した。試験練りはスランプと養生方法の違いにより3種類実施し、これまでの試験練りと同様に圧縮強度試験用の供試体を採取した。

第2回研究会の提言により、クリンカアッシュをフライアッシュと体積比で10%配合した。また、スラグの粒度測定のためふるい分け試験も実施した。

(1) 試験練り内容及び結果

配合は、1回目はスランプ8cm、2回目及び3回目はスランプ0cmである。

3回目の試験練りでは、クリンカアッシュの配合におけるこれまでの試験練り結果との比較となる。強度においては、これまで同様の水セメント比でおこなった結果、スランプ0cmにおける蒸気養生での増加、それ以外ではバラツキはこれまでと同様であった。蒸気養生以外は91日までの増加が顕著でポズラン反応と推察できる。

スランプは、単位配合量においては、これまでより約5%少なくなった。但し、水粉体量比においては、8cmでは少なく、0cmでは増える傾向となった。

表 2-1 配合表（3回目試験練り）

	W (kg)	C (kg)	F (kg)	K (kg)	S (kg)	AE C×1.0%	合計 (kg)
1回目	276	273	589	65	879	(2.73)	2,082
2～3回目	253	250	620	72	879	(2.50)	2,074

（備考：配合表は1m³あたりの質量で示す。）

表 2-2 品質試験結果（3回目試験練り）

試験番号	養生条件	W/C %	W/C+F %	SL cm	air %	Temp ℃
No.1	標準	101.0	32.02	9.0	3.3	8.0
No.2	標準	101.0	29.08	0.0	—	8.0
No.3	蒸気	101.0	29.08	0.0	—	8.0

（備考：No.2とNo.3は、養生方法が違うだけでの同一の試験練りである。）

	
配合状況	練混ぜ状況
	
スランプ・空気量測定（目標 SL=8cm）	スランプ測定（SL=0cm）
	
供試体採取完了 N=15 本（目標 SL=8cm）	供試体採取完了 N=15 本（SL=0cm）
	
供試体作製（SL=0cm）	1 蒸気養生完了



図 2-1 試験練り写真 (3 回目)

2.1.2 試験練り結果のまとめ

(1) 圧縮強度について

一般的な 28 日強度における目標圧縮強度は、試験練りにより圧縮強度 (f'_c) とセメント水比 (C/W) の一次関係式により決定する方法が適用できる。本調査結果では、予備試験練りより $f'_c=46.959(C/W)-25.151$ の一次関係式を寄与率 0.99 で得ることができた。

一般的なコンクリートでは、 $SL=8cm$ 程度での呼び強度 $18N/mm^2$ においては $C/W=1.67$ であるのに対して本調査における硬化体では $C/W=1.0$ であった。一般的なコンクリートに比べて粉体量が多い分だけ同一のスランプにおける水の使用量が増えるため、セメント量も増加する傾向となった。3 回目の試験練りでは、クリンカアッシュを配合した場合、水量が減じられる効果があった。これによりセメント使用量が減るため、材料コストを抑えることができ、経済的に有利であることが確認できた。

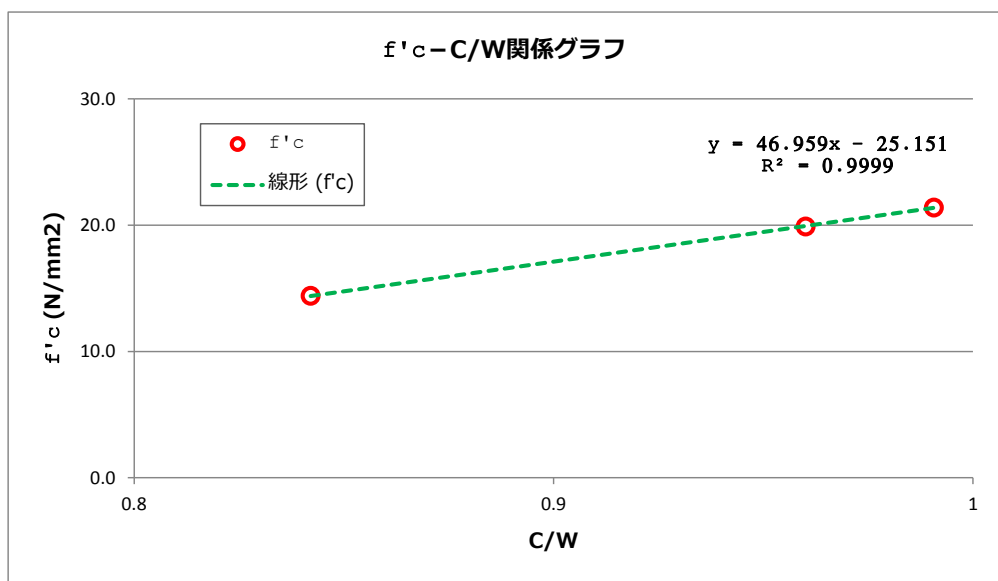


図 2-2 f'_c - C/W 関係グラフ

また、強度の推移においては、養生方法により強度の伸びに顕著な差が出る結果となった。3回の試験練りにおいて、蒸気養生は材齢1日において28日強度の90%以上の強度が発現し、その後の伸びはほとんど見られなかった。一方、標準養生では、材齢28日において91日強度の約70%程度となっており、ポズラン反応と推察できる。

蒸気養生において強度が伸びない原因は、温度が高いと初期に大きい結晶の水和生成物となるので反応が急激であり、初期の強度は大きくなるが、その形状のため生成物の絡み合いが弱く、ポズラン活性も弱くなり最終強度は小さくなると推察する。

試験練り強度は、3回の試験とも材齢28日における配合強度 21.5N/mm^2 を満足していた。また、バラツキも能代中央生コンでの実績における想定範囲内であった。但し、蒸気養生条件ではいずれの試験練りにおいても強度増加の傾向を示していた。これらは、予備試験練りで得られた水セメント比方式での配合の妥当性と、蒸気養生におけるセメント使用割合の減少が可能と結論づけることができる。

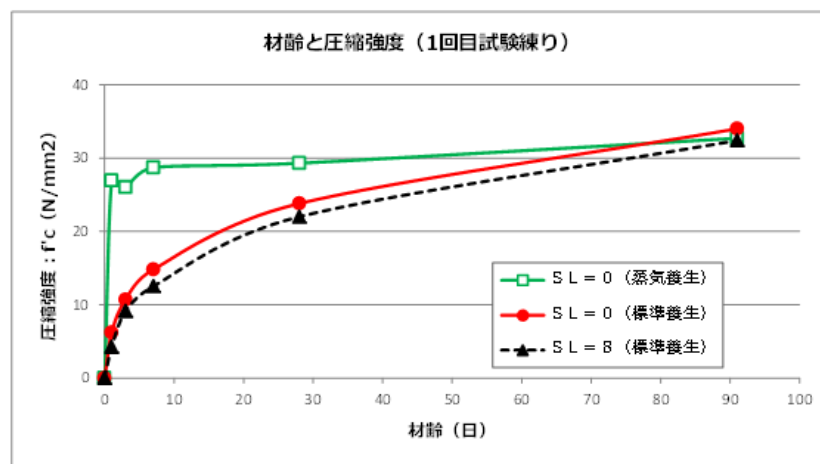


図 2-3 材齢と圧縮強度グラフ（1回目試験練り）

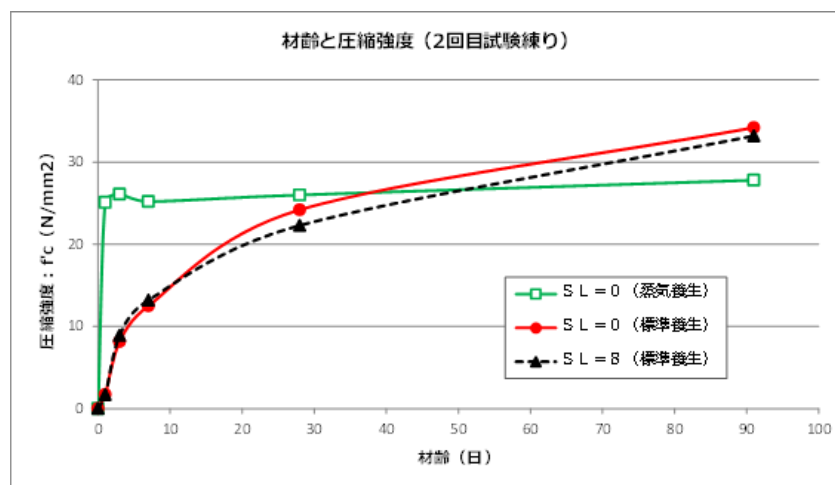


図 2-4 材齢と圧縮強度グラフ（2回目試験練り）

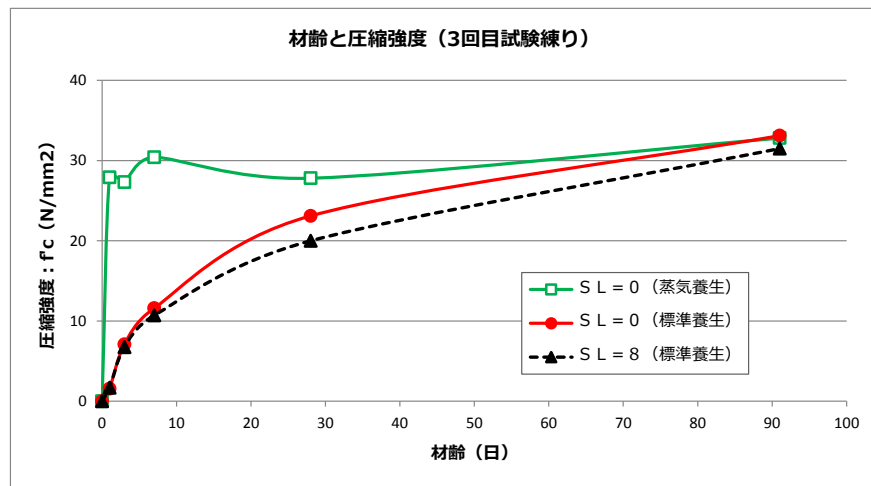


図 2-5 材齢と圧縮強度グラフ（3 回目試験練り）

(2) スランプについて

予備試験練りにおいては、水と粉体量の比率によってある程度の相関は認められたが、スラグの量などによって配合を決定する関係性を導き出すことはできなかった。

2 回目の試験練りでは、スラグの量を単位量あたり 0.28m^3 と固定した結果、スランプ 1cm の増減に必要な水量の目安を $1.2\text{kg}\sim 1.8\text{kg}$ の範囲とし、3 回目の試験練りにおいて水量の決定はこれらを候補値として絞り込んだ。ただし、スラグの粒度にバラツキがあるため目安程度の域を出すことはできなかった。

3 回目の試験練りでは、クリンカアッシュを配合した場合、流動性が改善することが確認できた。

表 2-3 水量とスランプ毎の水量の増減値

水量と スランプ	W=311kg SL=24.0cm	W=279kg SL=4.0cm	W=285kg SL=4.5cm	W=294kg SL=9.5cm
W=311kg SL=24.0cm		1.6kg/cm	1.33kg/cm	1.17kg/cm
W=279kg SL=4.0cm			12.0kg/cm	2.73kg/cm
W=285kg SL=4.5cm				1.80kg/cm
W=294kg SL=9.5cm				

（備考：上表において、2 番目の値はバラツキが大きい。）

(3) スラグの粒度分布について

スラグのふるい分け試験の結果、一般的なコンクリートで使用される粗骨材の規格から大きく外れており、全体的に粗い結果となっている。平均値での粗粒率 FM=6.29 であり、平均径は 5mm 程度となっている。

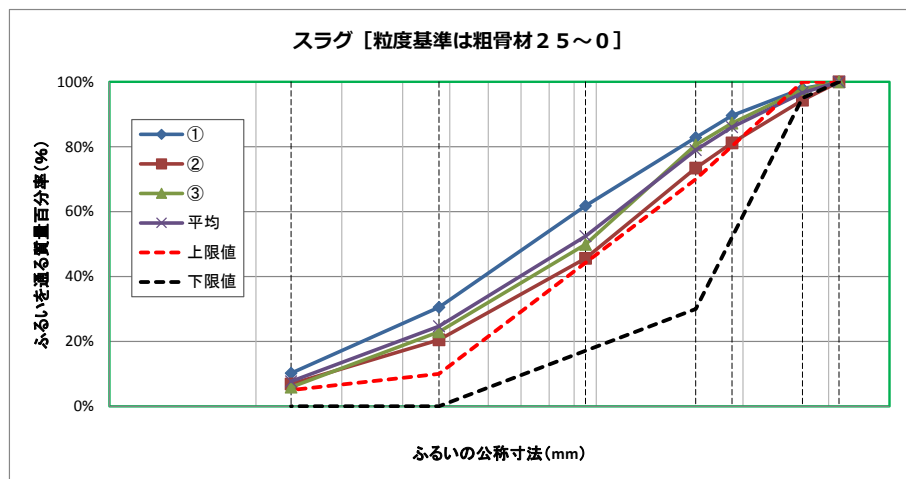


図 2-6 スラグの粒度曲線

(4) 単位容積質量及び吸水率について

配合計画における単位容積質量は、表 2-4 のとおりである。また多少のバラツキはあるが各供試体における質量において、配合計画の単位容積質量の妥当性を示している。

一般的なコンクリートにおいて、単位容積質量は 2,300kg/m³ から 2,350kg/m³ となっている。予備試験練りにおいてもこれを意図して初期配合表では、2,325kg/m³ としている。

実際の試験練りにおいては、水セメント比が初期配合の 60% に対して 101% となり、目標スランプに対する単位水量も増加している。また、フライアッシュとスラグの密度も想定と異なっていた。これらによって、本事業における試験練りでの単位容積質量は軽くなっている。質量を増加させるためには、密度の大きいスラグの比率を増やすことが考えられるが、同時にフライアッシュの使用量が減ることを意味する。

表 2-4 試験練り配合計画における単位容積質量 (単位 : kg/m³)

項目	1 回目	2 回目	3 回目	平均
SL=0cm	2,081	2,087	2,074	2,080
SL=8cm	2,015	2,070	2,082	2,055

吸水率は、実際の製品を意図した 3 回目の試験練りで実施した。結果は表 2-5 のとおりである。これについては、今後の硬化体の水密性評価の参考として利用する。

表 2-5 吸水率試験

スランプ, 養生条件	吸水率 (%)
SL=0cm, 蒸気養生	2.52
SL=0cm, 標準養生	1.36
SL=8cm, 標準養生	2.06

(5) その他

試験練りの観察からスラグは硬く尖っておりミキサーの鉄板を傷つけ、摩耗が激しくなる。また一部は鉄板に食い込み練混ぜの支障になることも想定される。表面は緻密で水分やモルタル分の付着する様子がみられない。このため何らかの処理を実施しないと実用化面で難しいと考えられる。

流動性を増し、団粒化を防ぐためにクリンカアッシュを配合することは、同時にセメント量を減らし、経済性にも優れる結果となっている。

3. 魚礁等への適用性に関する調査

石炭灰のリサイクル用途については、昨年度調査にて検討を行っている。用途の市場規模、用途の幅広さ、石炭灰のリサイクル可能量、販路の安定性、リサイクル製品の先進性等を考慮し、土木資材分野の路盤材化と、残存型枠等、土木資材分野のコンクリート二次製品化が有望であるとした。特にコンクリート二次製品化の内、従来の道路ブロックや側溝のほか、秋田県の漁業に関連して魚礁用資材としての再製品化を検討することとした。

本調査では、秋田県の漁業においてホンダワラ等の藻の回復、繁茂促進が課題となっていることから、魚礁に焦点を当てて調査を行った。

3.1 石炭灰を用いた硬化体の環境試験

3.1.1 環境性能基準

環境試験としては、硬化体の含有量試験及び溶出試験を行った。その参照する基準として「秋田県フライアッシュコンクリート混合プレキャストコンクリート製品使用基準」を用いた。この基準は、廃棄物の縮減と再生資源の有効利用を促進するため、秋田県内の石炭火力発電所から発生する石炭灰から製造されるフライアッシュ（Ⅱ種）を用いたプレキャストコンクリート製品について使用基準を定めたものである。

3.1.2 含有量試験結果

前項での基準に従い、表 3-1 に示す硬化体について含有量試験を行った。なお、海域への影響確認を厳しくするため、敢えて硬化体を粉砕し、試験を行った。通常の実海域使用の構造体においては、製品を粉砕せずに行い、基準でもそこまでは求められていない。しかしながら、本調査では、海域内で利用中に魚礁に破損が生じた場合の環境への影響まで考慮することを目的に、より厳しい条件で試験を行った。

試験の結果、いずれの項目も秋田県の基準値をクリアしており、問題のないことが確認された。

表 3-1 分析対象物配合表

分析対象物	W (kg)	C (kg)	F (kg)	K (kg)	S (kg)	AE C×1.0%	合計 (kg)
試験練り 3 回目 No.3	253	250	620	72	879	(2.50)	2,074

表 3-2 含有量試験結果

項目	単位	試験結果	報告下限値	基準値（秋田県）
カドミウム及びその化合物	mg/kg 乾	<1	1	150
鉛及びその化合物	mg/kg 乾	20	1	150
六価クロム化合物	mg/kg 乾	<2	2	250
ヒ素及びその化合物	mg/kg 乾	14	1	150
水銀及びその化合物	mg/kg 乾	<0.1	0.1	15
セレン及びその化合物	mg/kg 乾	2	1	150
フッ素及びその化合物	mg/kg 乾	<40	40	4,000
ホウ素及びその化合物	mg/kg 乾	86	40	4,000

3.1.3 溶出試験結果

前項での基準に従い、表 3-1 に示す硬化体について溶出試験を行った。溶出試験についても、含有量試験同様、海域への影響確認を厳しくするため、敢えて硬化体を粉碎し、試験を行った。

試験の結果、いずれの項目も秋田県の基準値をクリアしており、問題のないことが確認された。

表 3-3 溶出試験結果

項目	単位	試験結果	報告下限値	基準値（秋田県）
カドミウム	mg/L	<0.001	0.001	0.01
全シアン	mg/L	不検出	0.1	—
鉛	mg/L	<0.005	0.005	0.01
六価クロム	mg/L	<0.01	0.01	0.05
ヒ素	mg/L	<0.001	0.005	0.01
総水銀	mg/L	<0.0005	0.0005	0.0005
アルキル水銀	mg/L	不検出	0.0005	—
PCB	mg/L	不検出	0.0005	—
セレン	mg/L	<0.002	0.002	0.01
フッ素	mg/L	<0.08	0.08	0.8
ホウ素	mg/L	<0.1	0.1	1

3.2 護岸や魚礁等への硬化体の利用に必要な藻などの生育可能性の検討

3.2.1 石炭灰リサイクルによる魚礁の実証事例

石炭灰リサイクルによって製造された魚礁について、特に実証実験を行っている事例につき、ヒアリング調査を行った。以下にその結果を示す。

(1) 中国電力株式会社の石炭灰リサイクル魚礁の取り組み

会社概要			
中国電力株式会社			
本社：〒730-8701			
広島県広島市中区小町 4-33			
資本金：185,527 百万円			
事業内容：発電事業			
石炭灰のリサイクル製品の概要とその効果			
Hi ビーズ・ロック			
	寸法・サイズ	大きさ：20cm～50cm/個、 50kg～200kg/個	
	密度	1.8 程度	
	用途	魚礁の材料として利用、藻の育成、悪臭などの環境改善	
材料	石炭灰（フライアッシュ）、セメント、水		
効果・特徴	海域における魚礁・藻礁の材料として利用。天然材料に比べて軽量であり、軟弱地盤上に設置ができる。Hi ビーズと同様に、珪藻が繁茂しやすく良好な生物生息環境を提供できる。		
原料の効果	海中に存在する窒素、リンも吸着していると考えられるが、藻の育成に繋がるかどうかは確認できていない。		
繁茂理由	使用場所の違いにより藻の繁茂・種類は異なるため、繁茂の要因は断定できない。		
繁茂した藻の種類	繁茂した藻の種類は特定していない。使用箇所の違いにより繁茂する藻の種類は異なるが、ホンダワラにも効果はあると考えられる。		
魚の生息効果	Hi ビーズ・ロックの形状（積上げた際の空隙が生物の棲みか）により魚類の蟄集効果があると考えられる。		
実績	魚礁を目的とした用途での実績はないが、潜堤や底質ヘドロ改善などで実績がある。		

NA クリート製魚礁		
	寸法・サイズ	2,600×2,600×1,700mm
	密度	2.3
	用途	石炭灰を主材としたリサイクルコンクリート（Neo Ash クリート）による魚礁
材料	セメント 160～170kg（約 7.0～7.6%）、石炭灰（フライアッシュ）400～600kg（約 17.9～26.9%）、重量スラグ 1,460～1,750kg（約 65.5～78.5%）、海水 210～250kg（約 9.4～11.2%） ※21N/mm ² の配合例	
原料の効果	骨材に副産物であるスラグを利用することで、ほぼ全量リサイクルのコンクリートとして開発。普通コンクリートよりも低アルカリであることから、藻の育成に効果があると考えられる。 重量スラグは粗骨材、細骨材の両者として調合しており、石炭灰、スラグ、セメント、海水等による配合としている。 普通コンクリートと比較してセメント量を低減させていることから、強度増進を目的として練り混ぜており、水分として海水を使用している。	
効果・特徴	海域における魚礁・藻礁の材料として利用。天然材料に比べて軽量であり、軟弱地盤上に設置ができる。Hi ビーズと同様に、珪藻が繁茂しやすく良好な生物生息環境を提供できる。	
実績	魚礁を目的とした用途での実績はないが、消波ブロックなどで実績がある。	

石炭灰リサイクル魚礁の実績
＜Hi ビーズ・ロック＞ 場所：中国地方 Hi ビーズと同様に、敷設後には珪藻類が着床していた。 ＜NA クリート製魚礁＞ 場所：山口県田布施町馬島地先の海域 平成 16 年、魚類、付着生物（動物、植物）、魚礁沈下状況の調査を行なったところ、スズメダイとキュウセンが数十個体の規模で蛸集、アミメハギやメバルが若干観察された。生物付着状況としては、ホンダワラ類、イトヨレモクが多く見られた。
出典
中国電力㈱HP「石炭灰の活用／Hi ビーズ・ロック」 http://www.energia.co.jp/business/sekitanbai/hi_beads_rock/index.html 事例： http://www.energia.co.jp/business/sekitanbai/pdf/hi_beads.pdf 瀬戸内海里海振興会 HP「活動報告 新素材（NA クリート）を用いた魚礁による漁場環境改善実証試験」： http://www.satoumi.org/report/report6.htm 土木学会第 58 回年次学術講演会（平成 15 年 9 月）報告書「NA クリートによる環境改善効果について」： http://library.jsce.or.jp/jsce/open/00035/2003/58-5/58-5-0157.pdf ヒアリング

(2) 太平洋マテリアル株式会社の石炭灰リサイクル魚礁の取り組み

会社概要	太平洋マテリアル株式会社 本社：〒135-0064 東京都江東区青海二丁目 4 番 24 号（青海フロンティアビル 15 階） 資本金：16 億 3 千 1 百万円 主要株主：太平洋セメント株式会社(100%) 事業内容：建築土木・資材のサプライヤー、耐火被覆・補修改修工事のコンストラクター、国内・海外商事のコーディネーター												
石炭灰のリサイクル製品の概要	FA 増殖礁： 貝殻、石炭灰等の産業副産物を大量混入したコンクリート製品。貝殻を混入したのは、貝殻のリサイクルを目的としたものであり、一般的なコンクリート製品と同等レベルを確保できる混和材として利用した。その他の副産物として、かんらん岩や鉄鉱石等の混合基材をテストした。基質の違いにより藻類の活着性が異なるケースがあるものの、藻類の繁茂には周辺環境が影響するのではないかと考えている。 自然石との親和性として階段式を採用。砂に潜り込みにくく、内部に配する自然石を囲い込み、流失を抑制する形状にしている。 藻類の活着性を向上させるために骨材を表面に露出させてざらついた粗面にしている。密度を増やすための他の資材は使用していない。 <table border="1" data-bbox="228 1140 1334 1516"> <tr> <td data-bbox="228 1140 576 1516" rowspan="5"></td><td data-bbox="576 1140 823 1238">材料</td><td data-bbox="823 1140 1334 1238">石炭灰（例：1m³あたり 250kg 使用）、貝殻</td></tr> <tr> <td data-bbox="576 1238 823 1321">寸法・サイズ</td><td data-bbox="823 1238 1334 1321">（例）奥行き 2.0×高さ 1.5m、空間容積 1m³、重量 3.3t</td></tr> <tr> <td data-bbox="576 1321 823 1370">密度</td><td data-bbox="823 1321 1334 1370">2.3t/m³（22.6kN/m³）</td></tr> <tr> <td data-bbox="576 1370 823 1420">用途</td><td data-bbox="823 1370 1334 1420">魚類の処り所、増殖場造成、藻造成</td></tr> <tr> <td data-bbox="576 1420 823 1516">効果・特徴</td><td data-bbox="823 1420 1334 1516">藻場・保護育成場の造成、人工リーフの形成、その他の浅海域増殖礁</td></tr> </table>			材料	石炭灰（例：1m ³ あたり 250kg 使用）、貝殻	寸法・サイズ	（例）奥行き 2.0×高さ 1.5m、空間容積 1m ³ 、重量 3.3t	密度	2.3t/m ³ （22.6kN/m ³ ）	用途	魚類の処り所、増殖場造成、藻造成	効果・特徴	藻場・保護育成場の造成、人工リーフの形成、その他の浅海域増殖礁
	材料	石炭灰（例：1m ³ あたり 250kg 使用）、貝殻											
	寸法・サイズ	（例）奥行き 2.0×高さ 1.5m、空間容積 1m ³ 、重量 3.3t											
	密度	2.3t/m ³ （22.6kN/m ³ ）											
	用途	魚類の処り所、増殖場造成、藻造成											
	効果・特徴	藻場・保護育成場の造成、人工リーフの形成、その他の浅海域増殖礁											
石炭灰リサイクル魚礁の実績	FA 増殖礁は実証実験段階である。実証実験は三重県志摩郡大王町と千葉県館山市の 2 件。 館山市は、東京海洋大学との共同研究である。 実証実験では、アラメ、カジメ、クロメが繁茂した。												

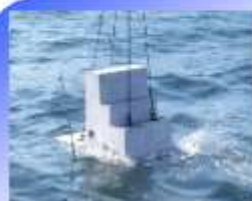
二形状のFA増殖礁試験設置 (千葉県館山市)



目 的

- 1.実海域における実機での安定性
- 2.アラメ、カジメ、クロメ等を対象とした有用藻類の活着

- 設置日
平成14年10月30日
- 設置場所
千葉県館山市地先
- 水深
10m
- 試験礁機種
FA-R-TYPE-A、FA-R-TYPE-B



FA-R-TYPE-A



FA-R-TYPE-B

二形状のFA増殖礁試験設置後の経過② (千葉県館山市)



設置半年後の潜水調査結果

- 礁の安定性
滑動、転倒等全く異常なし
- 藻類活着状況
周辺海域における優占種である
クロメが着生
- 出現有用動物
メバル、メジナ、サザエ等



FA-R-TYPE-A



FA-R-TYPE-B



クロメ幼体の活着状況



メジナ

二形状のFA増殖礁試験設置後の経過④ (千葉県館山市) 設置16ヶ月後の潜水調査結果 ●藻類活着状況 ・クロメの成長著しく、極相林に近い状態まで遷移 ・新しい幼体の加入 藻類活着状況	藻場造成への見解 藻場の造成にあたり、コンクリートブロックの素材よりも海域の周辺環境による影響が大きいのではないかと考えている。海域環境の現状を把握し、それらを踏まえた上での設置構造物の設計が望ましい。 ＜周辺環境の調査事項＞ ・ 胞子が放出されているか ・ 元々海藻が育成される海域か ・ 周辺に人工岩または天然岩等の胞子が活着する環境があるか ・ 流れ・波の外力条件 ・ 食害となる魚類の生息状況 等 出典 太平洋マテリアル(株) 製品カタログ： https://www.taiheiyo-m.co.jp/archives/001/201210/5084adea83550.pdf ヒアリング
--	--

3.3 事業スキームの検討

3.3.1 秋田県内における石炭灰等の排出状況

秋田県における石炭灰の排出量、処理及び再資源化について、秋田県の多量排出事業者データに基づき、現状の整理を行った。最も石炭灰排出のある事業者は、東北電力株式会社能代火力発電所である。今後 3 号機を増設すること、他の発電事業者による火力発電所建設予定もあることから、石炭灰の排出量は増加する見込みである。

スラグは、株式会社日本ピージーエム小坂工場にて排出される他、自治体の焼却溶融炉 3 施設にて排出されている。このうち、秋田市ではすでに全量リサイクル用途が決まっているが、大館市では新たなリサイクル用途に配分余力があるとのことである。

表 3-4 秋田県内の多量排出事業者におけるばいじん、燃えがらの発生、処理状況
(単位：t/平成 26 年度)

会社名	東北電力(株) 能代火力発電所		新東北メタル(株)	(株)日本ピージーエム 小坂工場
業種	電気業・発電所		鋳鋼製造業	その他の非鉄金属第一次製錬・精製業
産業排出物品目	燃えがら	ばいじん	ばいじん	ばいじん
①排出量	28,760	267,767	482	13
②自ら直接再生利用した量	0	0	0	13
③自ら直接埋立処分又は海洋投入処分した量	4,989	18,994	0	0
④自ら中間処理した量	0	0	0	0
⑤④のうち熱回収を行なった量	0	0	0	0
⑥自ら中間処理した後の残さ量	0	0	0	0
⑦自ら中間処理により減量した量	0	0	0	0
⑧自ら中間処理した後再生利用した量	0	0	0	0
⑨自ら中間処理した後自ら埋立処分又は海洋投入処分した量	0	0	0	0
⑩直接及び自ら中間処理した後の処理委託量	23,771	248,793	482	0
⑪⑩のうち優良認定処理業者への処理委託量	0	0	0	0
⑫⑩のうち再生利用業者への処理委託量	23,771	223,939	0	0
⑬⑩のうち熱回収認定業者への処理委託量	0	0	0	0
⑭⑩のうち熱回収認定業者以外の熱回収を行う業者への処理委託量	0	0	0	0

(備考：灰色部分が石炭灰に該当する。)

(出典：秋田県内の多量排出事業者における各社「産業廃棄物処理計画実施状況報告書」参照。)

表 3-5 秋田県内にて溶融処理を行う焼却施設とその溶融スラグ量

地方公共団体名	施設名称	年間ごみ処理量 (t/年度)	溶融スラグ量 (t/年)
秋田市	秋田市総合環境センター溶融施設	122,804	約 12,000
大館市	大館クリーンセンター	30,801	約 1,200
鹿角広域行政組合	鹿角ごみ処理場	14,337	約 400

(出典：年間ごみ処理量 環境省「平成 25 年度 環境省 一般廃棄物処理実態調査結果（平成 27 年 10 月 16 日更新・修正）」、溶融スラグ量（秋田市）一般社団法人 日本産業機械工業会「産業機械 2015.6」、（大館市）大館市「平成 26 年度 一般廃棄物処理実施計画」、（鹿角広域行政組合）鹿角市、小坂町、鹿角広域行政組合「鹿角地域循環型社会、形成推進地域計画平成 25 年 9 月 27 日変更」)

3.3.2 今後の開発課題と事業体制案

石炭灰等の廃棄物を使用した場合での経済性について、SL=8cm を製造するにあたっての材料調達コストの比較を行った。比較対象としたのは、生コンクリートである。求められる強度は 18N/mm² とした。各資材の調達コストは、秋田県での資材調達単価を参考に、やや保守的に数値を設定した。石炭灰については、処理費として逆有償調達が考えられるが、本検証では保守的に 0 円と仮定した。

検証の結果、生コンクリートの材料コストは 15,300 円であるのに対し、石炭灰等を使用した場合は 7,000 円とコストが半分程度に抑えられたことから、本検討は経済的にもメリットのあることが示された。

今後の石炭灰リサイクルによる魚礁開発課題として、藻場の育成を図るため、まずは導入予定の海域調査を行い、生息環境の現状把握を行う必要がある。砂や胞子の流動を把握した後、効果的な魚礁の形状について設計を行い、必要となる比重等の物性目標を定め、材料検討を行うことが考えられる。

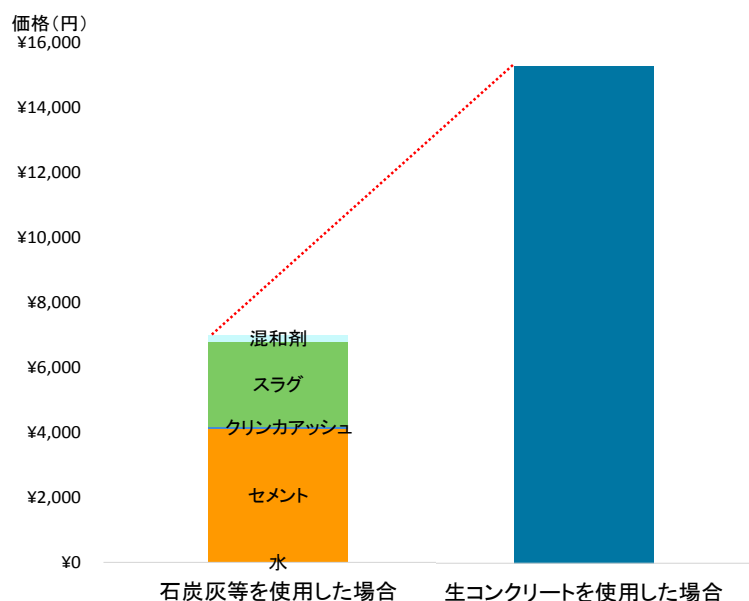


図 3-1 SL=8cm の材料調達コスト比較（イメージ）

表 3-6 SL=8cm の材料調達コスト比較の内訳（概算）

	石炭灰等を使用した場合 (円/m ³)	生コンクリートを使用した場合 (円/m ³)
水	13.8	15,300.0
セメント	4,095.0	
石炭灰	0.0	
クリンカアッシュ	65.0	
スラグ	2,637.0	
混和剤	191.1	
合計	7,001.9	15,300.0

（備考：各材料の調達コストは、秋田県の資材調達単価に基づき、やや保守的に仮定した。
石炭灰等の使用した場合の配合比は、本試験練り 3 回目の数値に基づく。
石炭灰のコストについては、逆有償調達が考えられるが、本検証では保守的に 0 とした。）

表 3-7 今後の課題

	項目		内容
1	海域生息環境調査	→	用途と使用環境の明確化
2	必要条件の整理	→	物性目標の設定 魚礁の形状設計
3	材料の検討	→	目標物性値を満たす材料、配合率の検討 石炭灰比率、粗骨材の内容 等
4	製造テスト	→	物性テスト、レシピの確定
5	海中設置実証試験	→	経過観察、効果測定
6	材料レシピ、設計図確定	→	事業化計画 事業性試算 等

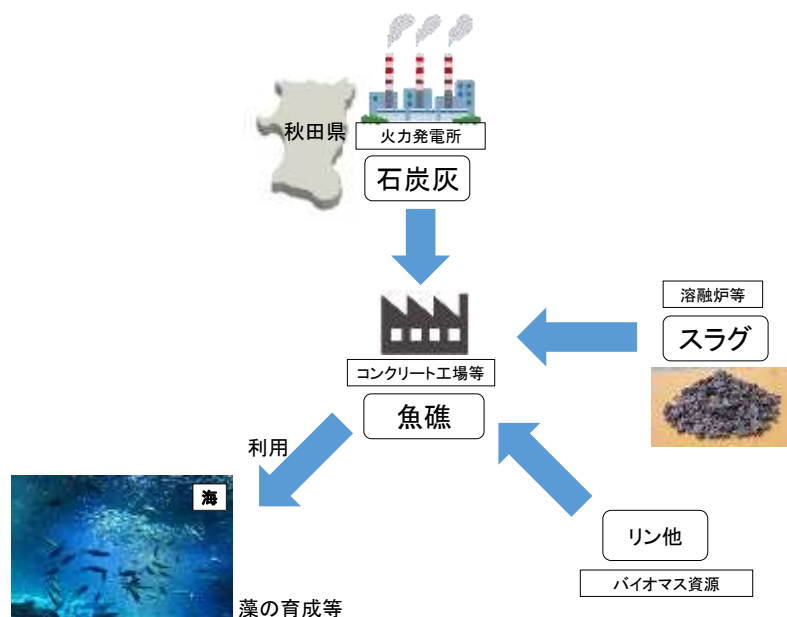


図 3-2 石炭灰リサイクル魚礁の事業連携イメージ

4. 「石炭灰有効利用可能性調査」研究会

本調査では、石炭灰排出事業者、スラグ排出事業者、土木建設事業者等の県内企業や大学関係者等の有識者、県関係者等からなる研究会を設置し、実証内容について検討を行った。研究会にて得られた助言に基づき、実証実験の内容修正や、魚礁事例のヒアリング調査を行った。

研究会は3回開催し、うち第2回開催時には、実証実験実施施設である能代中央生コンの現場視察も行った。

■研究会名簿

		氏名	所属	肩書
1	進行役	桜田 良治 氏	独立行政法人国立高等専門学校機構 秋田工業高等専門学校 環境都市工学科	教授
2	メンバー	栗本 康司 氏	秋田県立大学 木材高度加工研究所	教授
3	メンバー	鈴木 英治 氏	秋田県立大学 生物生産科学科	教授
4	メンバー	石井 昭浩 氏	大森建設株式会社	取締役 技術営業部長
5	メンバー	武石 典彦 氏	東北電力株式会社 能代火力発電所	副所長
6	メンバー	荻野 正彦 氏	株式会社日本ピージーエム	代表取締役常務
7	メンバー	村井 敬一郎 氏	秋田県漁業協同組合 (北部総括支所)	管理専門員
8	メンバー	中林 信康 氏	秋田県水産振興センター 増殖部	主任研究員
9	メンバー	阿部 泰久 氏	秋田県資源エネルギー産業課	政策監
10	事務局	湯瀬 栄一郎 氏	秋田県資源エネルギー産業課	主幹
11	事務局	佐藤 佳介 氏	秋田県資源エネルギー産業課	主事
12	事務局	若林 史子 氏	株式会社レノバ 環境イノベーション事業部	マネージャー

■開催日時

	日時	場所	議事
第 1 回	平成 27 年 7 月 10 日 (金) 15:30～17:30	秋田県庁第二庁舎 5F 53 会議室 (秋田市)	・ 調査事業概要の説明、 意見交換 ・ 実証実験の説明、 意見交換
第 2 回	平成 27 年 10 月 28 日 (水) 15:00～17:00	峰栄館会議室 (八峰町)	・ 実証実験の進捗報告 ・ リサイクル魚礁の効果 に関する調査結果報告 ※14:00～能代中央生コン にて実証実験の見学
第 3 回	平成 28 年 2 月 23 日 (火) 15:30～17:25	秋田県庁第二庁舎 5F 53 会議室 (秋田市)	・ 実証実験の進捗報告 ・ 報告書ドラフト案の確 認、意見交換

■主な指摘事項

	議事
第 1 回	・ 実証実験について、スランプ 8cm は現場打設が基本なので不要な蒸気養生を止め、標準養生だけに修正とする。 ・ 「(参考資料) 魚礁製品事例」資料は、用途別に魚の住処と藻の育成で再分類し、整理する。 ・ 漁業の現場の見地として、有害物質が懸念されることから、環境試験では硬化体は全てすり潰して試験を行うことを説明。本来、海洋構造物の試験ではすり潰しは不要だが、より高い安全性を確認するため、最も危険な事態を想定し、破損を想定したすり潰しの試験を行うこととした。
第 2 回	・ スラグの形状を練りやすくするために加工して排出する可能性を確認したところ、難しいとのこと。 ・ フライアッシュではなくクリンカアッシュを中間材として使えないかとの意見があり、時間の許す範囲内で実験に追加し、検討することとなった。 ・ 他のリサイクル魚礁事例に対しヒアリング調査を実施し、添加剤の効果等を確認することとした。対象製品は「Hi ビーズ・ロック」、「NA クリート製魚礁」、「FA 増殖礁」の 3 件。
第 3 回	・ 報告書の記載内容について、実証実験結果は時系列結果を全て掲載するのではなく、確定結果をまとめる形とする。

5. 総括

本事業は、石炭灰や県内で未利用となっているスラグの用途拡大を図ることによって、リサイクル産業の育成及び石炭灰やスラグ等の活用推進を図るものであり、魚礁等の海中構築物への利用を目標として調査を行った。

調査研究では、硬化体の製造につき、工場でのゼロスランプ成形方式と一般的な生コンクリートと同様にアジテータ車で運搬して現場で打設する方式を意図した実験を行い、以下の結果を得た。

- ・圧縮強度については、セメント水比と強度の相関を求める試験練りによって、セメントと水の配合を決定することができ、魚礁として必要な圧縮強度が得られることを確認できた。
- ・圧縮強度試験よりポゾラン反応が生じたと推察され、石炭灰添加の利点を確認された。
- ・当初はフライアッシュのみの使用を想定したが、クリンカアッシュを添加することにより作業性等が改善されることが確認された。
- ・スランプについては、まだ明確な指標を得ることができなかった。
- ・本実験にて使用したスラグは形状の改善が必要となったが、対応は難しいとのことで、代替りの副資材を検討する必要が生じた。

魚礁への適用については、試験練り 3 回目の硬化体（粉砕品）に対し、含有量試験、溶出試験を行った結果、「秋田県フライアッシュコンクリート混合プレキャストコンクリート製品使用基準」「秋田県石炭灰リサイクル再生砕石使用基準」の基準をいずれもクリアしており、圧縮強度も含めて製造に問題のないことが確認された。

単位容積質量は一般のコンクリートの約 90%となった。ただし、フライアッシュの混合割合を減らせば一般のコンクリートと同程度とすることは可能であるが、スラグの量が増加しフライアッシュが減ることになる。

吸水率は、JIS A 5308 において天然骨材である砂は 3.5%以下、砂利は 3.0%以下と規定されており、本調査における硬化体はそれ以下であることを意味する。一般的なコンクリートでは、3%～7%といわれており、吸水率は少ないと考えられる。

事業採算性について、一般的なコンクリートと材料調達コストを比較した場合、生コンクリートの半分程度に抑えられると算出された。フライアッシュを産業廃棄物として収入に計上することが可能なため、より経済メリットが出せると考えられ、研究開発を進める経済的意義が示された。

他社事例をヒアリングしたところ、魚礁については、藻の繁茂効果を得るためには、添加材の検討も必要だが、海域調査を行い、海流の動きや海底の様子、藻の胞子の散布状況等を把握する必要があるとの指摘を受けた。今後は、藻場の着生を確認する海域試験も含めた研究開発が求められる。

石炭灰有効利用可能性調査

平成 27 年度

秋田県産業労働部資源エネルギー産業課

調査協力：株式会社レノバ

〒100-0004 東京都千代田区大手町 1-7-2 東京サンケイビル 18F

TEL：03-3516-6233(事業部直通) FAX：03-3516-6261

URL：<http://www.renovainc.jp>

※ 無許可の転載・掲載を禁じます。