石 炭 灰 有 効 利 用 可 能 性 調 査

報　告　書

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 調査試験の内容 1
1.3.1 石炭灰を用いた硬化体の作製条件に関する調査 1
1.4 調査方法 2
1.4.1 試験実施主体及び場所 2
1.4.2 硬化体の作製方法及び試験方法 2
1.4.3 試験練り実施状況 3

2. 石炭灰を用いた硬化体の作製条件に関する調査 4
2.1 石炭灰を用いた硬化体に関する基礎調査（予備試験） 4
2.1.1 予備試験練りの実施内容 4
2.1.2 予備試験練りの結果 5
2.2 石炭灰を用いた硬化体の物性試験（本試験） 10
2.2.1 試験練り（1 回目） 10
2.2.2 試験練り（2 回目） 15
2.2.3 試験練り（3 回目） 20
2.2.4 試験練り結果のまとめ 26

3. 魚礁等への適用性に関する調査 30
3.1 魚礁の検討について 30
3.1.1 魚礁設計のための照査手順 30
3.2 石炭灰を用いた硬化体の環境試験 36
3.2.1 環境性能基準 36
3.2.2 含有量試験結果 37
3.2.3 溶出試験結果 38
3.3 石炭灰リサイクルによる魚礁の事例 39

3.4 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....42
3.4.1 石炭灰リサイクルによる魚礁の実証事例 42
3.4.2 有機物含有研究事例 49
3.5 今後の製造方法の検討 52
3.6 事業スキームの検討....54
3.6.1 秋田県内における石炭灰等の排出状況 54
3.6.2 事業の経済性及び今後の開発課題や事業体制案....56

4. 「石炭灰有効利用可能性調査」研究会....58

5. 総括 60

参考資料　魚礁事例（コンクリート材） 61

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企業の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㈱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から発生する石炭灰は、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築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。

1.3 調査試験の内容

1.3.1 石炭灰を用いた硬化体の作製条件に関する調査

(1) 使用した石炭灰及びスラグ

本調査に使用した石炭灰、及びスラグは、表 1-1 の発生品とした。

表 1-1　本調査に使用した石炭灰及びスラグ

品　名	会　社　名	備　考
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	株式会社日本ピージーエム	実験使用量 0.5t～1t、 粒径　25mm 以下

① 製造方法と強度特性の関係

生コンクリートの製造と同様に一般的な土木用途の代表的スランプ 8cm、及び工場成形機を考慮したスランプ 0cm の 2 種類とした。初期養生条件として、生コンクリートと同様に 20℃の水中標準養生と初期に強度を促進できる蒸気養生も実施した。

これらについて、通常は材齢 7 日と 28 日の強度を確認するのに対し、石炭灰のポゾラン特性を判断するため、1 日、3 日、7 日、28 日、及び 91 日の各材齢において圧縮強度を測定した。また、強度は、一般的なコンクリートにおける魚礁用途から JIS 規格における呼び強度 18N/mm² を満足するものとし、これに能代中央生コンでのバラツキ実績を考慮して、材齢 28 日での圧縮強度 21.5N/mm² を配合強度とした。

② 単位容積質量及び吸水率の測定

使用材料は、配合設計時点で計算できる単位容積質量と供試体における実際の練り混ぜた製品を比較した。製品において全面浸せき法による吸水率を測定し、今後の硬化体の水密性評価の参考とする。

③ その他の測定

硬化体の練上がり状態での空気量の測定と、スラグの粒度を測定した

1.4 調査方法

1.4.1 試験実施主体及び場所

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

1.4.2 硬化体の作製方法及び試験方法

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

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/mm²	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/m³ 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。）

1.4.3 試験練り実施状況

(1) 試験実施日程

試験練りは、予備試験練り 1 回、本試験練り 3 回実施した。本試験練りにおいては、期間の関係から 2 回目の試験は、1 回目の試験における 28 日強度の確認後に配合を検討してから実施し、3 回目の試験は、1 回目の試験における 91 日強度及び 2 回目の試験における 28 日強度を確認してから実施した。

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) 予備試験練り

予備試験練りは、暫定的に表 2-3 の初回配合から実施し、練上がり状態により適宜調整をした。水セメント比を調整し 3 種類の配合で練混ぜ、圧縮強度、スランプ、空気量、単位容積重量を確認した。圧縮強度は標準養生の材齢 7 日及び 28 日で実施した。

(3) 試験練り

予備試験練りの結果により表 1-2 の目標値を満足するための配合を検討し、養生条件を表 1-5 とした試験練り実施した。蒸気養生は、24 時間における積算温度を標準養生の材齢 3 日を目安として実施した。

表 1-5　試験練りにおける目標スランプ（SL）と養生条件及び圧縮強度の材齢

SL	養生条件	1 日	3 日	7 日	28 日	91 日
0cm	標準	●	●	●	●	●
	蒸気	●	●	●	●	●
8cm	標準	●	●	●	●	●

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に関する基礎調査（予備試験）

石炭灰、セメント、水の配合比を検討し、得られる強度等を推測するため、予備試験練りを実施した。配合案を設定し、徐々に加水しながら練ることで性状の確認を行った。

2.1.1 予備試験練りの実施内容

予備試験練りは、暫定的に表 2-3 の初回配合から実施し、練上がり状態により適宜調整をした。水セメント比を調整し 3 種類の配合で練混ぜ、圧縮強度、スランプ、空気量、単位容積重量を確認した。圧縮強度は材齢 7 日及び 28 日で実施した。対象とした石炭灰及びスラグは表 2-1 の発生品とした。

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
実 施 日：平成 27 年 7 月 29 日（水）⇒圧縮強度試験（7 日・28 日）

表 2-1　本実験に使用する石炭灰及びスラグ

品　名	会　社　名	備　考
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	株式会社日本ピージーエム	実験使用量 0.5t～1t、 粒径　25mm 以下

2.1.2 予備試験練りの結果

(1) 配合材料

配合材料は、水、セメント、混和剤のほか、表 2-1 に示す石炭灰・スラグである。それらの密度は表 2-2 配合材料表の通りである。

表 2-2 配合材料表（1 ㎥当たり）

品　名（※1） 記　号 単　位	水 W (kg)	セメント C (kg)	石炭灰 F (kg)	スラグ S (kg)	混和剤（※2） AE (%)
密度(g/cm³)	1.00	3.16	2.06	3.14	－

（備考：(※1) 以下、品名は記号表記とする。(※2) 品名はフローリック S（減水剤)、配合量はセメント量の 1%（水の内割計量）とする。）

(2) 予備試験練りの方法

予備試験練りは、4 回実施し内、3 種類から圧縮強度試験用の供試体を採取した。1 回目の試験練りでは、表 2-3 の初回配合表から、練上がりの硬さを監視し、適宜スランプを測定しながら加水方式で水量を調整し、以降の 3 種類の予備試験練りの目安とした。

尚、表 2-3 における密度の内、石炭灰は一般的な数値、スラグはヒアリングによって仮定している。試験練りの結果においては、後日発生者が測定を実施した結果に基づき反映したデータを示している。

表 2-3 初回配合表（1m³ 当たり）

記号 （単位）	W (kg)	C (kg)	F (kg)	S (kg)	AE (%)	合計 (kg)
単位量	163	272	1,000	890	C×1.0	2,325
仮定密度(g/cm³)	1.00	3.16	2.20	3.00	－	－

(3) 予備試験練り内容及び結果

1回目の予備試験練りにおける初回配合表からの監視においては、スランプの状態を確認して、本試験練りでのゼロスランプの目安を得た。2回目以降は、暫時セメント量とフライアッシュ及びスラグの量を調整した。これらの結果より、本試験練りにて実施する配合の目処が立った。詳細について次項に記す。

① 配合表

表 2-4 配合表（予備試験練り）

	W	C	F	S	AE	合計
	(kg)	(kg)	(kg)	(kg)	C×1.0%	(kg)
1回目	343	209	769	684	(2.09)	2,005
2回目	324	321	748	664	(3.21)	2,057
3回目	304	256	732	817	(2.56)	2,109
4回目	351	337	729	592	(3.37)	2,009

（備考：配合表は $1m^3$ あたりの質量で示す。）

② 品質試験

表 2-5 品質試験結果（予備試験練り）

	供試体番号	W/C %	W/C+F %	SL cm	air %	Temp ℃
1回目	無し	164.1	35.1	15.0	3.0	28.0
2回目	①	100.9	30.3	6.0	4.4	28.0
3回目	②	118.8	30.8	2.5	5.9	28.0
4回目	③	104.2	32.9	7.5	4.5	28.0

③ 圧縮強度試験

表 2-6 圧縮強度試験結果（予備試験練り）

供試体番号		7日（8月5日）			28日 （8月26日）		
		質量（kg）	強度σ7（N/mm²）		質量（kg）	強度σ28（N/mm²）	
①	1	3.147	11.5	平均 11.8	3.230	20.9	平均 21.4
	2	3.213	11.5		3.180	21.5	
	3	3.189	12.4		3.200	21.8	
②	1	3.269	8.54	平均 8.58	3.351	14.5	平均 14.4
	2	3.229	8.54		3.256	14.6	
	3	3.267	8.66		3.149	14.0	
③	1	3.118	12.2	平均 12.1	3.156	19.7	平均 19.9
	2	3.132	12.0		3.132	20.4	
	3	3.058	12.2		3.183	19.7	

（備考：σx とは材齢 x 日の圧縮応力を示す）

(4) 予備試験練りからの配合方法の推測

予備試験練りから、本試験練りで使用する配合方法を推測した。対象は、水セメント比、目標スランプを得るための水量、及びフライアッシュとスラグの混合割合とした。

① 配合におけるスランプの推測

スランプの設定は、コンクリート標準示方書においてはスランプ 1cm 当たり 1.2%の水量を配合水量から調整するのが目安となっているが、予備試験練りの結果では、SL-W 関係線での R^2（寄与率）は 0.69 であった。これは、フライアッシュやスラグの配合割合の影響を受けるためであると推察される。本配合は粉体の使用量が多くなるため、スランプと粉体による SL-W/(C+F)関係線を確認した結果が、図 2-1 である。R^2（寄与率）は 0.86 なっており、粉体全体量がスランプへ影響を及ぼすことがわかる。ただし、スランプを決定するほどの精度は得られていない。

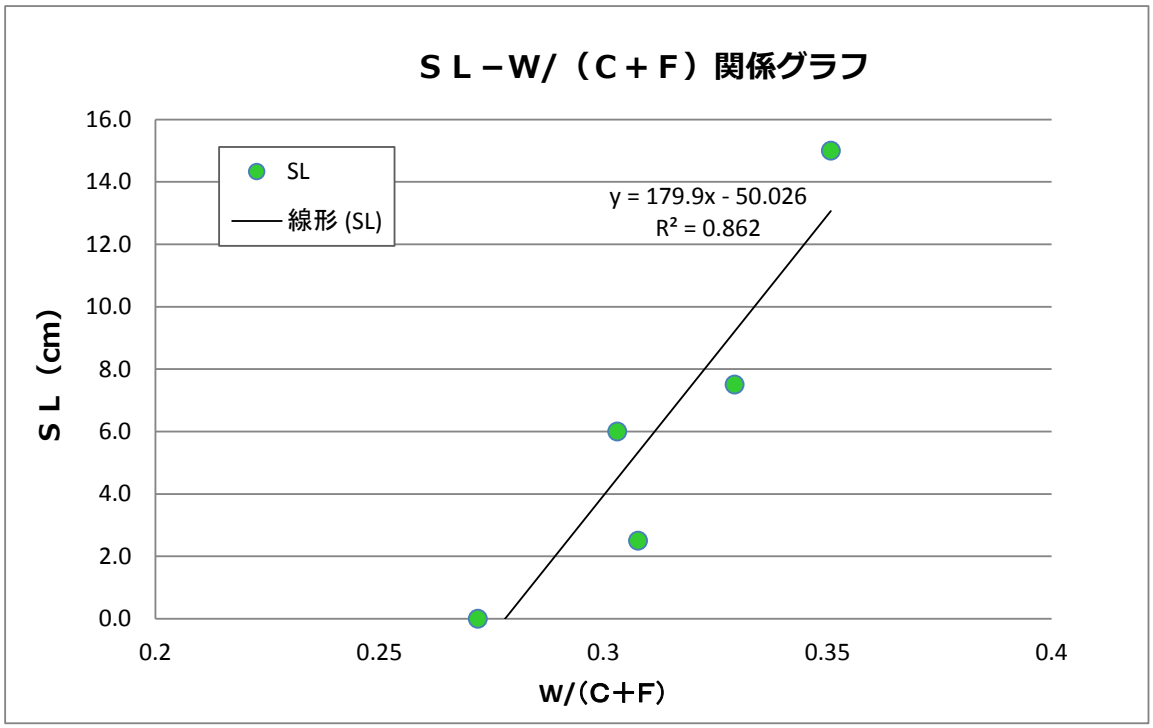


図 2-1　SL-W/(C+F)関係グラフ

② 配合における強度の推測

強度（f'c）の設定は、図 2-2 に示す一次関係式での R^2（寄与率）は 0.99 を得ることができた。配合における目標強度の指標とすることができると考えられる。

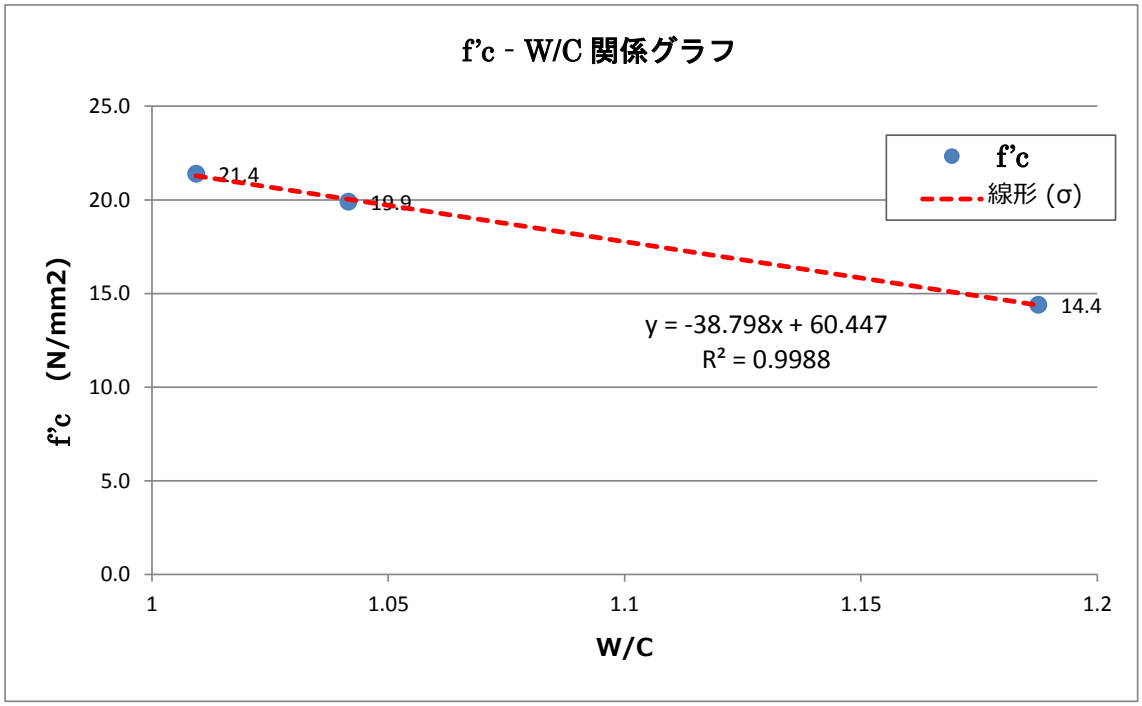


図 2-2　f'c - W/C 関係グラフ

ただし、本試験練りにおいて密度適用は、表 2-3 に示す仮密度での一次関係式で得られた値を使用して実施した（仮密度における関係グラフの記載は省略）。

尚、試験練りのまとめにおいては、圧縮強度 f'c - C/W 関係式として整理する。

③ 推測結果

予備試験練り結果において、目標呼び強度を満足する配合強度 21.5N/mm² を満足する水セメント比（W/C）は図 2-2 から 1.09 と仮定することができた。

またスランプにおいては、図 2-1 から水粉体比は、スランプ 0cm では 0.278、スランプ 8cm では 0.323 と仮定することができた。

これらについて、本試験練りで検証を実施した。

④ その他

予備試験練りで練り混ぜ状況の確認のため、4 回目の試験練りではスランプ試験実施後に振動を与えて水分の分離状態を確認した。水の分離状態はなく良好に練混ぜられていることを確認した（実験状況の写真は図 2-3 参照）。

⑤ 実験状況写真

配合写真

配合材料練り混ぜ状況

品質確認試験（1 回目）

品質確認試験（4 回目）

供試体採取状況（3 回×6 本＝18 本）

材料不分離性確認

図 2-3　実験状況写真

2.2 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実施した。

2.2.1 試験練り（1 回目）

(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（1 回目）を、予備試験練りの結果から得られた成果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、表 2-7 の通り圧縮強度試験用の供試体を採取した。

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
実 施 日：平成 27 年 9 月 2 日（水）⇒圧縮強度試験（1 日・3 日・7 日・28 日・91 日）

表 2-7 圧縮強度供試体採取内容

SL	養生条件	1 日	3 日	7 日	28 日	91 日
0cm	標準	●	●	●	●	●
	蒸気	●	●	●	●	●
8cm	標準	●	●	●	●	●

(2) 試験練りの方法

試験練りは、目標呼び強度を満足するため能代中央生コンでの実績から、配合では材齢 28 日における圧縮強度の目標値を 21.5N/mm^2 とした。

標準養生の供試体はφ10cm×長さ 20cm とし、スランプ 8cm では一般的な供試体の作製方法で実施し、スランプ 0cm は、製作した簡易式振動台に使い捨てモールド（供試体用型枠）を固定して、φ30mm 高周波バイブレーターを利用して打設した。

蒸気養生の供試体は、幅 35cm×長 50cm×高 25cm の鋼製型枠を使用した。鋼製型枠にはバイブレーターを固定して、φ30mm 高周波バイブレーターを利用して打設した。圧縮強度試験用供試体は、φ10cm のコアカッターで抜き取り、両端を長さ 20cm になるようにカット及び研磨を実施する方式とした。試験練りにおけるバッチ容量は表 2-8 とした。

表 2-9 試験練りにおけるバッチ容量

項 目	SL=8cm 標準養生	SL=0cm 標準養生	SL=0cm 蒸気養生
バッチ容量（L）	30.0	30.0	45.0

予備試験練りは 2 軸式のミキサーで実施したが、本試験練りは傾動式のミキサーを使用した。理由はスラグが角の尖った形状で硬く、練り混ぜ中にミキサー羽根と本体鉄板の間に食い込み回転を阻害し、練混ぜに支障が生じたからである。前回の予備練りから本体鉄板に傷やすり減りが生じており修理が必要と判断した。

練上がり状態は、泥団子の様であり通常の生コンクリートのような流動性を示していない。予備試験練りの 2 軸式ミキサーと比べてスランプ試験においては、スランプコーンの下側から若干の水が滲んでいる状態を確認した。供試体の作製はスランプ 0cm においても振動方式の採用で良好に実施できた。

(3) 試験練り内容及び結果

配合は 1 回目及び 2 回目はスランプ 0cm、3 回目はスランプ 8cm である。蒸気養生においては、コアカッター方式での供試体採取であり念のため 1 本多い 16 本作製した。

圧縮強度試験結果では、蒸気養生は 1 日の時点で平均 26.9 N/mm^2 と高い数値を示したが、その後は緩やかな上昇に留まった。一方、標準養生では、初期の強度は一般的な生コンクリートと同程度の傾向を示した。また 28 日経過後も順当に上昇し、材齢 91 日の強度は蒸気養生とほぼ同程度となった。

試験練り強度は、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。ただし、蒸気養生条件では、3 割の増加となっていた。蒸気養生以外は 91 日までの増加が顕著に見られ、ポゾラン反応と推察できる。また、スランプは、予備試験練りでの水粉体量比の関係式において、スランプ 8cm での配合における 0.323cm であり、8cm での規格値±2.5cm を満足していた。

① 配合表

表 2-10　配合表（1 回目試験練り）

	W	C	F	S	AE	合計
	(kg)	(kg)	(kg)	(kg)	C×1.0%	(kg)
1~2 回目	302	300	789	690	(3.00)	2,081
3 回目	347	343	734	591	(3.43)	2,015

（備考：配合表は 1m^3 あたりの質量で示す。）

② 品質試験（1 回目試験練り）

表 2-11　品質試験結果（1 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	蒸気	100.7	27.73	0.0	－	26.0
No.2	標準	100.7	27.73	0.0	－	26.0
No.3	標準	101.1	32.22	6.0	3.9	26.0

（備考：No.1 と No.2 は、養生方法が違うだけで同一配合の試験練りである。）

③ 圧縮強度（1 回目試験練り）

表 2-12　圧縮強度（1 回目試験練り）

番号		1 日（9 月 3 日）			3 日　（9 月 5 日）		
		質量（kg）	強度σ1（N/mm²）		質量（kg）	強度σ3（N/mm²）	
№1	1	3.202	27.1	平均 26.9	3.121	26.6	平均 26.0
	2	3.109	27.3		3.144	25.5	
	3	3.160	26.2		3.094	25.9	
№2	1	3.135	6.11	平均 6.20	3.262	9.81	平均 10.7
	2	3.159	6.37		3.173	11.1	
	3	3.170	6.11		3.170	11.1	
№3	1	3.110	4.20	平均 4.24	3.110	9.30	平均 9.13
	2	3.170	4.20		3.088	9.04	
	3	3.167	4.33		3.063	9.04	

番号		7 日（9 月 9 日）			28 日（9 月 30 日）		
		質量（kg）	強度σ7（N/mm²）		質量（kg）	強度σ28（N/mm²）	
№1	1	3.056	29.7	平均 28.7	3.063	29.0	平均 29.3
	2	3.097	29.2		3.149	28.4	
	3	3.108	27.3		3.123	30.6	
№2	1	3.196	14.6	平均 14.8	3.229	23.4	平均 23.8
	2	3.190	14.5		3.190	23.9	
	3	3.182	15.3		3.191	24.2	
№3	1	3.101	12.5	平均 12.5	3.227	21.8	平均 22.0
	2	3.091	13.0		3.105	21.0	
	3	3.137	12.1		3.083	23.3	

番号		91 日（12 月 2 日）		
		質量（kg）	強度σ91（N/mm²）	
№1	1	3.104	32.5	平均 32.7
	2	3.162	32.6	
	3	3.095	33.1	
№2	1	3.221	36.6	平均 34.0
	2	3.259	32.0	
	3	3.229	33.4	
№3	1	3.104	32.5	平均 32.4
	2	3.162	32.6	
	3	3.095	33.1	

（備考：σx とは材齢 x 日の圧縮応力を示す）

④ 試験練り写真資料（1 回目）

配合写真	配合材料練り混ぜ状況
スランプ測定（SL=0cm）	スランプ・空気量測定（目標 SL=8cm）
供試体作製（SL=0cm 蒸気養生）	供試体蒸気養生（SL=0cm）

供試体脱型（SL=0cm 蒸気養生）

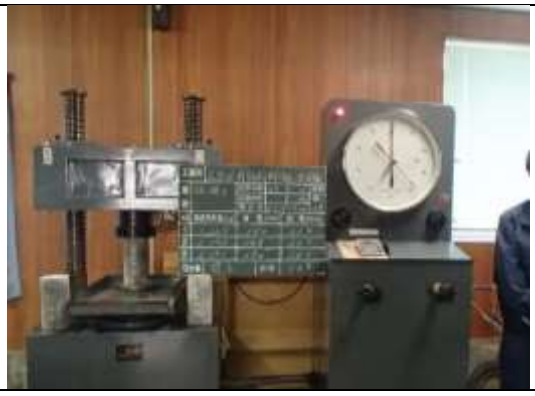
コアカッター供試体採取（SL=0cm 蒸気養生）

供試体作製（目標 SL=8cm）

供試体採取 N=16 本（SL=0cm 蒸気養生）

供試体採取 N=15 本（SL=0cm 標準養生）

供試体採取 N=15 本（SL=8cm 標準養生）



圧縮強度試験実施状況

図 2-4　試験練り写真資料（1 回目）

2.2.2 試験練り（2 回目）

(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（2 回目）を、予備試験練りの結果から得られた成果、及び試験練り（1 回目）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、試験練り 1 回目と同様に圧縮強度試験用の供試体を採取した。

また、本調査の第 2 回研究会と併せて、委員による視察を実施した。

(2) 試験練りの方法

今回の試験練りからスラグの容積を単位量当たり 0.28m³ と固定しその他の材料を調整した。空気量を 4%として単位量に 40 リットルで計上した。

スランプ 8cm 配合において、最初の練上がりが軟練り状態であったので、スランプを目標値に近づけるために、表 2-13 のとおり W/C はほぼ 1 とし、目標スランプへの水量補正を実施した。

2 番目と 4 番目の結果から、スランプが 24cm－4.5cm＝19.5cm 変動した時、水量は 311kg－285kg＝26kg 減となり、スランプ 1cm 変化させるための水量は 26kg÷19.5cm＝1.33kg/cm であった。

2 番目の配合 SL=24cm を基準に SL=10cm（目標 SL=8cm±2.5cm の規格内）にするため、14cm×1.33kg/cm≒18kg を用いて、2 番目の配合から水を 18kg 減らしたものが 5 番目の配合である。

表 2-13　目標 SL=8cm 及び SL=0cm における配合の水量補正実施表

	W (kg)	C (kg)	F (kg)	S (kg)	SL (cm)
1 番目	332	329	502	879	計測不能
2 番目	311	308	559	879	24.0
3 番目	279	276	646	879	4.0
4 番目	285	282	630	879	4.5
5 番目（1 回目）	293	290	608	879	9.5
6 番目（2, 3 回目）	270	267	671	879	0.0

（備考：配合は 1m³ あたりの重量で示す。）

スランプ 0cm 配合においては、上記 5 番目（SL=8cm での品質試験 1 回目）の配合から以下のとおりとした。

目標 SL=0cm の場合は 24×1.33≒32kg/m³　∴311－32=<u>279kg</u>　水量を 32kg/m³ 減じるであるが、3 回目と 4 回目の配合とスランプにバラツキがあり、これで計算した場合には、スランプ 4cm となる。32kg÷1.6kg/cm=20cm、2 回目の配合：24cm－20cm=4cm

よって、以下の通り、発生する 4cm を以下のシミュレーションにより減じることにより、配合を決定した。

1.33kg/cm で計算：4×1.33=5.32　279－5.32=273.7kg/m³

1.60kg/cm で計算：4×1.60=6.40　279－6.40=272.6kg/ m³

2.00kg/cm で計算：4×2.00=8.00　279－8.00=271.0kg/ m³・・・・（候補①）

1.2%/cm で計算：279×(1－(4×1.2))=265kg/ m³　更に 4 回目の配合から減じると

285×(1－(4.5×1.2)）=269.6kg/ m³・・・・・（候補②）

上記より、候補①と②を比較して水量の少ない候補②269.6≒270kg/ m³とし、6 番目の配合とした。これは振動締固め効果を期待してより少ない水量にすることにより、単位セメント量を減らすことで経済性も優位とすることができるからである。

この配合によっての練上がり状態は、SL=0cm であった。自立性が高く実用化においても製品の工場製作が可能な硬さと推察された。

(3) 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。

2 回目の試験練りでは、空気量の考慮もおこなったので、質量の減少を抑えるためにスラグの配合量を増加させた。配合における水セメント比は予備試験練りから得られた値とした。試験練り強度は、材齢 28 日における配合強度 21.5N/mm² 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。ただし、蒸気養生条件では 1 回目と同様に強度増加の傾向を示していた。蒸気養生以外は 91 日までの増加が顕著でポゾラン反応と推察できる。また、予備試験練りでの水粉体量比の関係式より求められた 8cm での配合によるスランプは 9.5cm であり、スランプ 8cm での規格値±2.5cm の範囲におさまっていた。ただし 1 回目の試験練りからは 3.5cm の差となっていたので、スラグの増量による影響が考えられる。

① 配合表

表 2-14　配合表（2 回目試験練り）

	W (kg)	C (kg)	F (kg)	S (kg)	AE C×1.0%	合計 (kg)
1 回目	293	290	608	879	(2.93)	2,070
2～3 回目	270	267	671	879	(2.70)	2,087

（備考：配合表は 1 m³ あたりの質量で示す。）

② 品質試験（2 回目試験練り）

表 2-15　品質試験（2 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	32.6	9.5	3.0	14.0
No.2	標準	101.0	28.8	0.0	－	14.0
No.3	蒸気	101.0	28.8	0.0	－	14.0

（備考：No.2 と No.3 は、養生方法が違うだけでの同一配合の試験練りである。）

③ 圧縮強度（2 回目試験練り）

表 2-16　圧縮強度（2 回目試験練り）

番号		1 日（10 月 29 日）			3 日　（10 月 31 日）		
		質量（kg）	強度σ1（N/mm²）		質量（kg）	強度σ3（N/mm²）	
No.1	1	3.330	1.66	平均 1.71	3.334	9.17	平均 8.92
	2	3.303	1.73		3.395	8.92	
	3	3.326	1.73		3.305	8.66	
No.2	1	3.309	1.73	平均 1.73	3.346	8.15	平均 8.15
	2	3.265	1.71		3.338	8.15	
	3	3.316	1.71		3.318	8.15	
No.3	1	3.288	25.3	平均 25.1	3.254	28.4	平均 26.4
	2	3.243	25.8		3.208	23.9	
	3	3.228	24.1		3.206	27.0	

番号		7 日（11 月 4 日）			28 日（11 月 25 日）		
		質量（kg）	強度σ7（N/mm²）		質量（kg）	強度σ28（N/mm²）	
No.1	1	3.386	13.1	平均 13.2	3.349	22.3	平均 22.3
	2	3.357	13.5		3.335	22.5	
	3	3.362	13.0		3.386	22.0	
No.2	1	3.349	12.5	平均 12.5	3.302	25.4	平均 24.2
	2	3.328	12.9		3.321	23.7	
	3	3.368	12.0		3.389	23.6	
No.3	1	3.300	26.5	平均 25.2	3.260	25.2	平均 26.0
	2	3.209	23.8		3.239	25.1	
	3	3.196	25.4		3.266	27.6	

番号		91 日（1 月 27 日）		
		質量（kg）	強度σ91（N/mm²）	
No.1	1	3.351	34.1	平均 33.2
	2	3.335	34.3	
	3	3.444	31.3	
No.2	1	3.374	31.8	平均 34.2
	2	3.355	34.6	
	3	3.427	36.2	
No.3	1	3.308	29.0	平均 27.8
	2	3.249	26.6	
	3	3.275	~~9.17~~	

（備考：91 日強度おける 0 スランプ蒸気養生の供試体（№3-3）は、コアカッティング状態不良により無効、
：σx とは材齢 x 日の圧縮応力を示す）

④ 試験練り写真資料（2 回目）

配合写真	配合材料練り混ぜ状況
スランプ・空気量測定（目標 SL=8cm）	スランプ測定（SL=0cm）
供試体作製（目標 SL=8cm）	供試体作製（SL=0cm 蒸気養生）

供試体蒸気養生（SL=0cm）

コアカッター供試体採取
（SL=0cm 蒸気養生）

供試体採取 N=15 本（SL=8cm 標準養生）

供試体採取 N=15 本（SL=0cm 標準養生）

供試体採取 N=15 本（SL=0cm 蒸気養生）

図 2-5　試験練り写真資料（2 回目）

2.2.3 試験練り（3 回目）

(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、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 試験練りの方法

目標スランプの比較のため、2 回目試験練りの配合を基準として、クリンカアッシュ（K）を体積比でフライアッシュの 10%と置き換える配合とした。

表 2-17　目標 SL=8cm における水量補正実施表

	W (kg)	C (kg)	F (kg)	K (kg)	S (kg)	SL (cm)
クリンカアッシュ無 2 回目試験練り	293	290	608	0	879	9.5
クリンカアッシュ有 3 回目試験練り	293	290	547	61	879	21.0

結果、スランプが 21cm 程度と軟練りとなったので、修正配合を検討した。

2 回目の修正配合の実績に基づき、SL=1cm 当たり 1.33kg の割合で水量を減じる。

(21-8)×1.33=17.29　∴W は、293-17=276kg/ m^3 とした。この結果、スランプ 9.0cm であった。

練り混ぜの状態は団粒化の発生も無く、粘つきやミキサー羽への付着も少なく、流動性が改善されていることを確認した。

(2) 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 の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ゾ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。ただし、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。

① 配合表

表 2-18　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 1 m^3 あたりの質量で示す。）

② 品質試験（3 回目試験練り）

表 2-19　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。）

③ スラグのふるい分け試験

舟形パレットから無作為に各 5kg、3 種類を採取してふるい分けを実施し、各ふるいの残留質量を測定した。ふるいの呼び寸法は、25mm、20mm、15mm、10mm、5mm、2.5mm、2.5mm 通過の 7 種類とした。結果は、表 2-20 のとおりである。

表 2-20　スラグふるい分け試験結果（ふるい残留分）［単位：g］

フルイ目(mm)	①	②	③	平均
25.0	104	282	114	166.7
20.0	411	658	522	530.3
15.0	337	386	336	353.0
10.0	1,049	1,390	1,532	1,323.7
5.0	1,555	1,251	1,347	1,384.3
2.5	1,011	680	854	848.3
2.5 通過	508	343	294	381.7
合計	4,975	4,990	4,999	4,988

④ 圧縮強度（3 回目試験練り）

表 2-21　圧縮強度（3 回目試験練り）

番号		1 日（12 月 9 日）			3 日　（12 月 11 日）		
		質量（kg）	強度σ1（N/mm²）		質量（kg）	強度σ3（N/mm²）	
№1	1	3.231	1.63	平均 1.69	3.281	6.50	平均 6.75
	2	3.229	1.68		3.241	6.88	
	3	3.274	1.76		3.305	6.88	
№2	1	3.400	1.53	平均 1.56	3.337	7.13	平均 7.09
	2	3.342	1.63		3.339	7.26	
	3	3.294	1.53		3.407	6.88	
№3	1	3.204	28.7	平均 27.9	3.198	30.3	平均 27.3
	2	3.226	27.2		3.261	25.9	
	3	3.152	27.8		3.189	25.7	

番号		7 日（12 月 15 日）			28 日（1 月 5 日）		
		質量（kg）	強度σ7（N/mm²）		質量（kg）	強度σ28（N/mm²）	
№1	1	3.294	10.7	平均 10.7	3.348	19.7	平均 20.0
	2	3.269	10.8		3.322	20.3	
	3	3.296	10.6		3.327	20.1	
№2	1	3.308	11.6	平均 11.6	3.385	23.7	平均 23.1
	2	3.386	11.1		3.383	22.8	
	3	3.263	12.0		3.371	22.8	
№3	1	3.175	31.7	平均 30.4	3.221	30.8	平均 27.8
	2	3.258	31.2		3.192	23.7	
	3	3.258	28.2		3.225	28.9	

番号		91 日（3 月 8 日）		
		質量（kg）	強度σ91（N/mm²）	
№1	1	3.333	31.0	平均 31.5
	2	3.315	32.0	
	3	3.299	31.5	
№2	1	3.363	31.5	平均 33.1
	2	3.405	32.0	
	3	3.293	35.7	
№3	1	3.209	34.8	平均 32.8
	2	3.207	32.1	
	3	3.306	31.5	

（備考：σx とは材齢 x 日の圧縮応力を示す）

⑤ 吸水率試験

今回の試験練りにおいて吸水率試験を実施した。これまでの経緯を踏まえて材齢 91 日における供試体を測定した。結果は、表 2-22 のとおりである。

表 2-22　吸水率試験成績

配合の種類	供試体番号	表乾質量（g）	気乾質量（g）	有効吸水率（%）	絶乾質量（g）	吸水率（%）
SL=8cm 標準養生	1-1	3,333	3,315	0.54	3,252	2.49
SL=8cm 標準養生	1-2	3,315	3,288	0.82	3,234	2.50
SL=8cm 標準養生	1-3	3,299	3,280	0.58	3,216	2.58
SL=0cm 標準養生	2-1	3,363	3,351	0.36	3,314	1.48
SL=0cm 標準養生	2-2	3,405	3,396	0.27	3,364	1.22
SL=0cm 標準養生	2-3	3,293	3,283	0.30	3,248	1.39
SL=0cm 蒸気養生	3-1	3,209	3,197	0.38	3,160	1.55
SL=0cm 蒸気養生	3-2	3,207	3,196	0.34	3,148	1.87
SL=0cm 蒸気養生	3-3	3,306	3,295	0.33	3,217	2.77

（備考：モルタルキャッピングを施した後に測定、
有効吸水率＝（表乾質量－気乾質量）／気乾質量×100、
吸水率＝（表乾質量－絶乾質量）／絶乾質量×100）

⑥ 試験練り写真資料（3 回目）

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
コアカッター供試体採取（SL=0cm）	16.供試体採取完了 N=15 本

図 2-6　試験練り写真（3 回目）

2.2.4 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（予備試験では W/C のグラフを C/W に変換）。

一般的なコンクリートでは、SL=8cm 程度での呼び強度 18N/mm² 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。

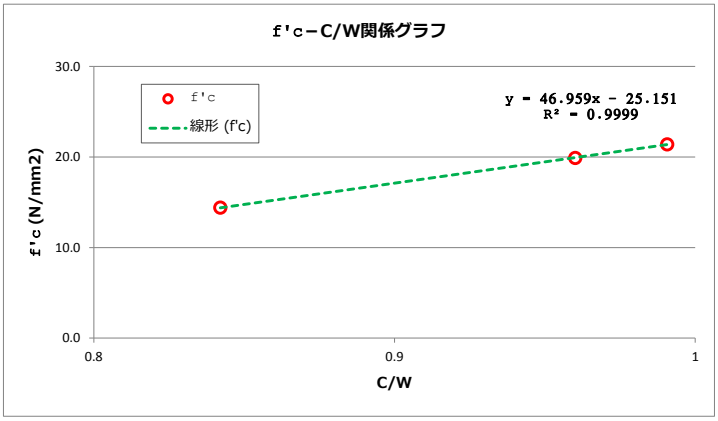


図 2-7　f'c - C/W 関係グラフ

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、ポゾ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、ポゾ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/mm² 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。ただし、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。

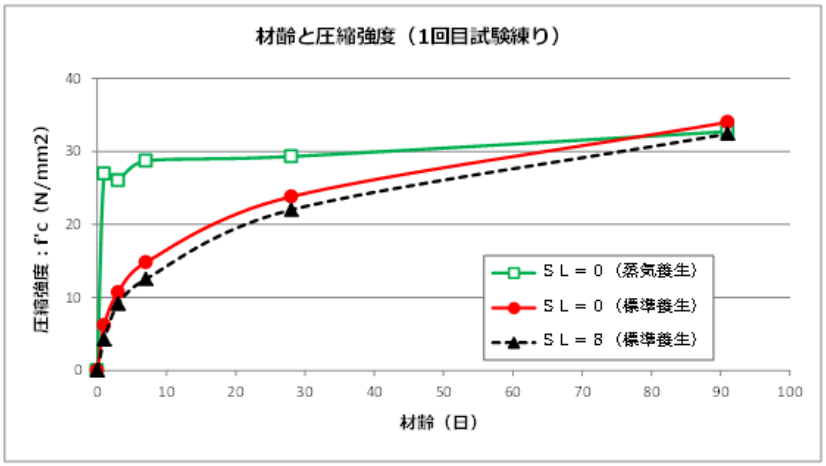


図 2-8　材齢と圧縮強度グラフ（1 回目試験練り）

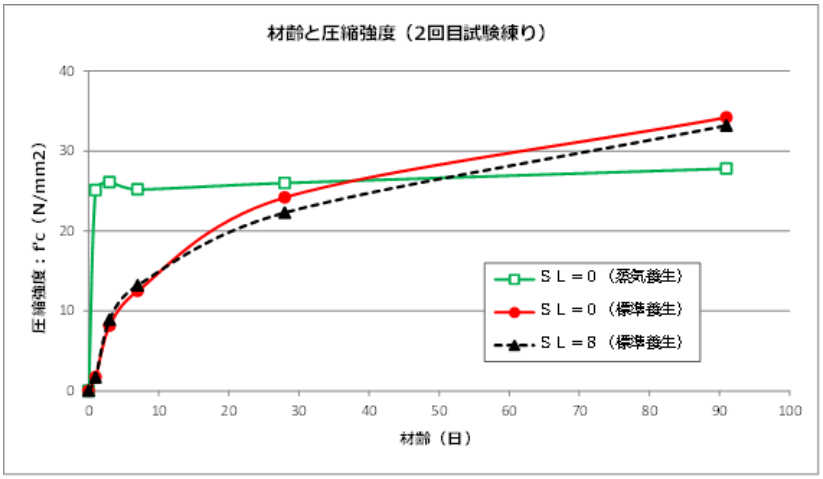


図 2-9　材齢と圧縮強度グラフ（2 回目試験練り）

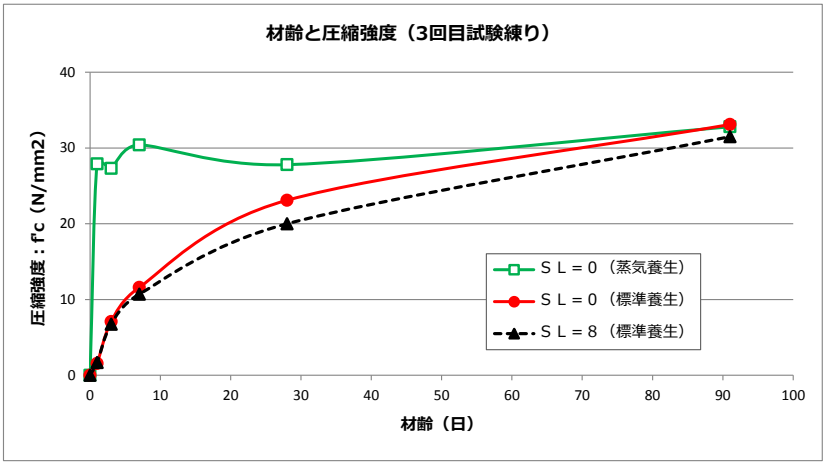


図 2-10　材齢と圧縮強度グラフ（3 回目試験練り）

(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 0.28m³ 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 1.2kg～1.8kg の範囲とし、3 回目の試験練りにおける水量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る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 2-23 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。

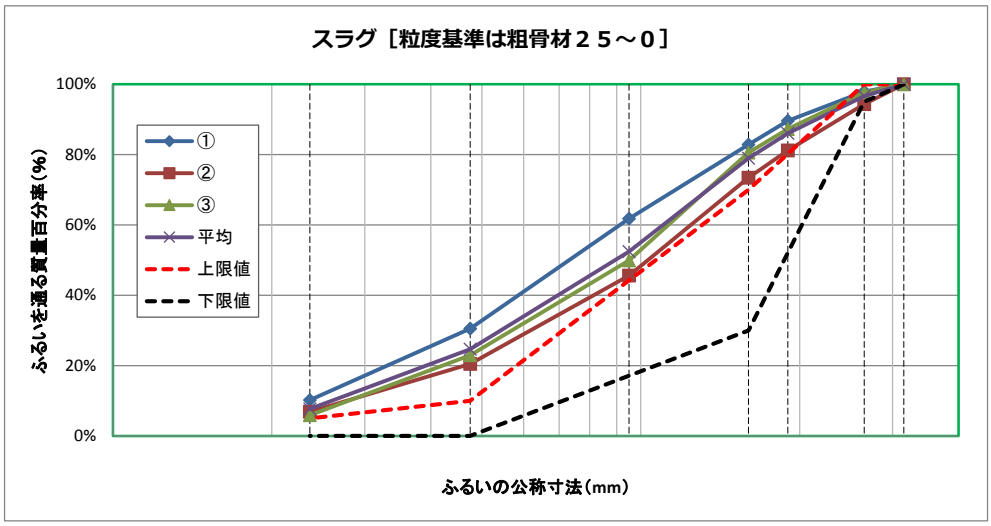


図 2-11 スラグの粒度曲線

(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 2-24 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回配合表では、2,325kg/m³ としている。

実際の試験練りにおいては、水セメント比が初回配合の 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、初回配合計画では、フライアッシュの密度 2.2g/cm³、スラグの密度 3.0g/cm³ と想定していたが、実験時の測定結果から、表 2-2 のとおりであった。これらの理由によって、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。単位容積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 2-24　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 2-25 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 2-25　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 魚礁の検討について

石炭灰のリサイクルによる魚礁製造の検討を行うにあたり、魚礁に求められる要件や目標とする密度や強度等を把握するため、魚礁の概要や他の石炭灰リサイクルによる魚礁製品の物性調査を行った。

3.1.1 魚礁設計のための照査手順

(1) 造成規模の決定

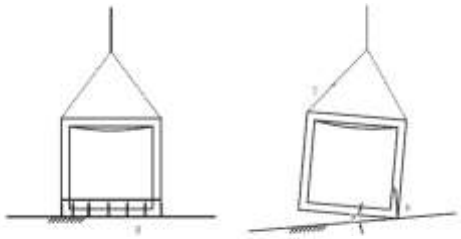
対象魚種について、計画漁獲量の魚類を蝟集、増殖させるために必要な魚礁の規模を決定する。

- 対象魚種
- 計画漁獲量
- 魚礁の規模

(2) 設計条件の決定

沈設魚礁の安全性の性能照査に用いる設計条件は、施工方法、設置場所の水理特性、海底の物理条件及び漁業に応じた適切なものを設定することを原則とする。

表 3-1　沈設魚礁の設計条件

No.	項目	内容
1	設置時の着底速度	沈設魚礁の施工では、吊り上げ時の荷重と設置時の着底衝撃力が考慮すべき重要な作用となる。よって、着底速度を適切に設定すること。小型の魚礁を積み上げて設置する場合、着底衝撃力による破損が発生しないような設置形状を設定し、着底速度を制御できる状態で施工する。
2	波	漁港・漁場の施設の設計波は、沖波を算定した上で沖波算定地点から設計対象施設までの波浪変形現象を考慮するとともに、施設に最も大きな影響を与える波を採用することを原則とする。
3	流れ	潮流（潮汐流）、吹送流及び海流などから成る。一般に、水深の浅い沿岸域では海流は相対的に小さくなり、逆に水深の深い沖合域では潮流が相対的に小さくなるが、場所によっては両者とも重要になることもある。
4	海底の傾斜	1.5m 又は 2.0m 角の角型魚礁に面着(地盤との設置角度 θ＝0°)と稜着(θ＝45°）の両方の場合（下記図）を想定して検討を行う。  ＜面着＞　＜稜着＞
5	底質	海底の凹凸、地盤反力、底質移動などの条件を考慮する。
6	潮位	（設置場所が浅海域にある場合） 波動流速が潮位によって変化するため、設計条件として潮位も考慮する。
7	摩擦力	水中重量の海底面に垂直な成分と静止摩擦係数との積によって算定する。

(3) 魚礁の選定と配置の確定

魚礁の選定にあたり、下記条件等を考慮して適切な構造を選ぶ他、適切な配置を決定する。

- 対象魚種
- 対象漁法
- 漁業形態
- 造成海域の自然条件と施工方法
- 材料特性等

(4) 魚礁の安全性に関する性能照査

① 部材の安全性の照査

ア） 沈設魚礁の基本的検討事項

i） 魚礁全体の吊り上げ時の安全性の検討

単体あるいは全体を沈設作業船への積込み時などにおける、クレーンでの吊り上げ状況に対する部材の安全性を検討する。

ii） 海底設置時の着底衝撃力に対する安全性の検討

（着底衝撃力）

- 模型実験や現地模型実験に基づく値を使用、あるいは、式による算定

（着底速度）

- 現地での施工計画及び施工機材を考慮して決定、あるいは、最大 0.8m/s

（地盤反力係数）

- 底質が砂泥~砂礫の場合：30,000～50,000kN/m^2
- 岩の場合：事前調査等により適切な値を設定

イ） コンクリート製魚礁単体の部材の安全性の照査

- 部材に働く曲げモーメントと軸力で必要な主鉄筋を決定する
- 部材断面積や鉄筋量からせん断力に対する安全性を検討する
- せん断力に対する耐力が不足する場合は、断面積を増加させるか、帯筋で補強する
- 帯筋の直径は 6mm 以上とし、その間隔は部材断面の最小寸法と、帯筋の直径の 48 倍のどちらよりも小さくする

i） 鉄筋コンクリート部材の許容応力度

鉄筋コンクリート部材の許容応力度は、コンクリート、鉄筋の別に、以下に示す値を用いる。

（コンクリートの照査に用いる基準強度）

- 魚礁の部材厚が 250mm 以上の場合は 18N/mm^2 以上
- 部材厚が 250mm 未満、海底地盤が岩盤、又は魚礁単体を 2 段積み以上（山積み）で沈設する場合：21N/mm^2 以上

（鉄筋コンクリート部材の許容応用力度）

- コンクリート：吊り上げ時及び着底時に作用するが入来を短期荷重として取り扱い、下記表の 2 倍の値を用いる
- 鉄筋：吊り上げ時及び着底時においては表の 1.65 倍の値を用い、設置後の流体力に対しては、表中の値をそのまま用いる

表 3-2　鉄筋コンクリートの許容応力度（N/mm²）

応力度の種類			設計基準強度(f'ck)				
			18	21	24	30	40 (以上)(注 1)
許容曲げ圧縮応力度（σ'_{ca}）			7	8	9	11	14
許容せん断応力度	斜め引張鉄筋の計算をしない場合（τ_{a1}）	はりの場合	0.4	0.42	0.45	0.5	0.55
		スラブの場合(注 2)	0.8	0.85	0.9	1.0	1.1
	斜め引張鉄筋の計算をする場合（τ_{a2}）	せん断力のみの場合(注 3)	1.8	1.9	2.0	2.2	2.4
許容付着応力度（τ_{a3}）	形鋼		0.6	0.65	0.7	0.8	0.9
	普通丸鋼		0.7	0.75	0.8	0.9	1.0
	異形棒鋼		1.4	1.5	1.6	1.8	2.0
許容支圧応力度（σ'_{ca}）			0.3f'ck				

（注 1）許容曲げ圧縮応力度の行以外は、設計基準強度が 40N/mm² 以上の意味である。
（注 2）押し抜きせん断に対する値である。
（注 3）ねじりの影響を考慮する場合にはこの値を割り増ししてよい。

ii）鉄筋のかぶり

- コンクリート製品工場で製作する場合：構造耐力上重要な主鉄筋については、鉄筋の直径もしくは 20mm の大なる値を最小かぶりとする
- 現場打ちの場合：25mm 以上のかぶりを確保する
- 特殊工法で JIS 規格のある場合は、これに準ずる

iii）接合

個別に製作された部材をボルトとナットによって接合する場合は、ボルトとナットをコンクリート部材内に埋め込むなどの腐食に配慮した照査を行う。

ウ）ハイブリッド魚礁の部材の安全性の照査

ハイブリッド魚礁の部材の安全性の照査は、基本的にコンクリート製魚礁に準じるが、その他の材料を使用する場合は、材料特性を踏まえた適切な検討を行なう。

② 構造物全体の安全性の照査

流体力による滑動又は転倒に対する安全性を検討する。海底が傾斜している場合は特に考慮が必要である。また、海底の環境により魚礁が洗掘、埋没又は沈下してその機能が失われるおそれがあるため、事前の調査や魚礁の設置面積を大きくするなどの対策が必要である。

(5) 人工魚礁とは

海の中で、海底から突き出た岩山のようなところは魚が多数集まり、陸上の森や林の役割を果たす場所を「魚礁」あるいは「天然礁」という。こうした場所と同じ機能を発揮するようにコンクリートブロックや鋼製の人工の構造物を海底に設置したものを「人工魚礁」という。

人工魚礁を計画的に配置し、対象とする水産生物の漁獲の増大、操業の効率化及び保護育成を図るために造成した漁場を「人工魚礁漁場」という。人工魚礁は対象とする水産生物の餌場、産卵場、生息環境、逃避場等を整備するものであり、その機能は水産生物を集めるばかりではなく、保護培養の機能を併せ持つ。

(6) 魚礁の集魚効果

魚礁に魚が集まる理由として、隠れ場、休み場、産卵場、餌場など魚が生きるために必要な機能が備わっているからと言われている。隠れ場は、小さな魚が大きな魚に襲われたときに身を守るために必要であり、休み場は、流れの速いところで泳ぎ続けることが難しいときに休息する場となる。産卵場、餌場については、産卵に必要な海藻などが多いこと、多くの種類や大きさの違う魚が集まること、プランクトンが食べやすいこと、カニやエビ、フジツボなどいろいろな餌生物が棲息することなどで好適な場所となっている。

また、魚礁には音や影、流れの変化があり、そのために魚が引き寄せられるとも言われている。音とは、魚礁の岩や穴に生息するフジツボやカニなどが出す音、流れが岩にぶつかって変化するときに出る音などがある。

- 隠れ場：小さな魚が大きな魚に襲われたときに身を守る
- 休み場：流れが速く泳ぎ続けることが難しいときに魚礁が流れを遮る
- 産卵場：浅海域では、海藻類などが魚礁に着生する
- 餌場：魚礁表面に魚の餌となるフジツボなどの付着生物が棲息する
- 音や影等が変化する

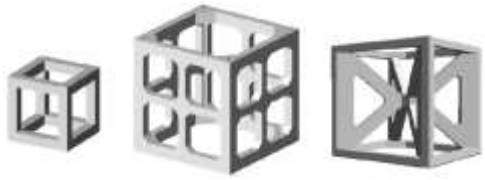
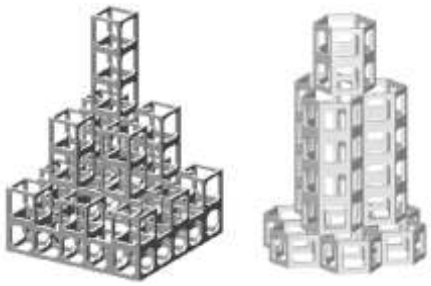
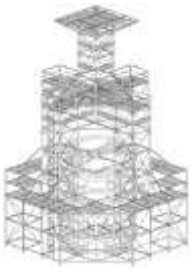
(7) 人工魚礁設置から集魚までの流れ

表 3-3　人工魚礁設置から集魚までの流れ

段階	流れ
1	人工魚礁を海底に設置
2	その周辺での海底地形が変化
3	流れ、照度、底質などの物理的環境の変化
4	浅所で人工魚礁に海藻類の着生
5	人工魚礁及びその周辺で固着・潜入動物、葉上動物、底生動物、動物プランクトン、魚介類などが分布
6	それらの動物に捕食・被捕食の関係、逃避、繁殖などの行動が見られる
7	比較的単調な生態系から、より複雑な魚礁生態系へと変化する

(8) 魚礁の種類

表 3-4　魚礁の種類


角型魚礁：一本釣り等
増殖機能を付加した魚礁（増殖礁）

高層型の魚礁：一本釣り等
網掛かりしにくい魚礁：網を使用する場合
その他複雑な形状、対象魚にあわせて製作された魚礁

鋼製とコンクリート製を組み合わせた魚礁

3.2 石炭灰を用いた硬化体の環境試験

3.2.1 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。

また、新たに「秋田県石炭灰リサイクル再生砕石使用基準」も制定されたため、この基準も参照した。これは石炭灰から製造されるフライアッシュ及びクリンカアッシュを用いた再生砕石について使用基準を定めたものである。なお、含有量、溶出の基準値は同じである。

表 3-5　フライアッシュコンクリート製品における有害物質の溶出及び含有量基準等

項目	規格値	
	溶出量基準（mg/L 以下）	含有量基準（mg/kg 以下）
カドミウム	0.01	150
鉛	0.01	150
六価クロム	0.05	250
ひ素	0.01	150
総水銀	0.0005	15
セレン	0.01	150
ふっ素	0.8	4,000
ほう素	1	4,000
試験方法	JIS K 0058-1 利用有姿：最も配慮すべき暴露環境	JIS K 0058-2 利用有姿：最も配慮すべき暴露環境

（出典：秋田県「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（平成 24 年 9 月）」）

表 3-6　石炭灰再生砕石における有害物質の溶出及び含有量基準等

項目	規格値	
	溶出量基準（mg/L 以下）	含有量基準（mg/kg 以下）
カドミウム	0.01	150
鉛	0.01	150
六価クロム	0.05	250
ひ素	0.01	150
総水銀	0.0005	15
セレン	0.01	150
ふっ素	0.8	4,000
ほう素	1	4,000
試験方法	JIS K 0058-1 利用有姿：最も配慮すべき暴露環境	JIS K 0058-2 利用有姿：最も配慮すべき暴露環境

（出典：秋田県「秋田県石炭灰再生砕石使用基準（平成 27 年 12 月）」）

3.2.2 含有量試験結果

前項での基準に従い、表 3-7 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 3-7　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 3-8　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

表 3-9　計量方法

項目	単位	計量方法		
カドミウム及びその化合物	mg/kg 乾	JIS K 0058-2 の 7 (2005)	JIS K 0120 (2013)	55.1 フレーム原子吸光法
六価クロム化合物	mg/kg 乾	JIS K 0058-2 の 7 (2005)	JIS K 0120 (2013)	65.2.1 ジフェルニカルバジド吸光法
水銀及びその化合物	mg/kg 乾	JIS K 0058-2 の 7 (2005)	環告 59 号 (S.46.12.28)	付表 1 原子吸光法
セレン及びその化合物	mg/kg 乾	JIS K 0058-2 の 7 (2005)	JIS K 0120 (2013)	67.4. ICP 質量分析法
鉛及びその化合物	mg/kg 乾	JIS K 0058-2 の 7 (2005)	JIS K 0120 (2013)	54.1 フレーム原子吸光法
ヒ素及びその化合物	mg/kg 乾	JIS K 0058-2 の 7 (2005)	JIS K 0120 (2013)	61.4. ICP 質量分析法
フッ素及びその化合物	mg/kg 乾	JIS K 0058-2 の 7 (2005)	JIS K 0120 (2013)	34.1 ランタンアリザリンコンプレキソン吸光光度法
ホウ素及びその化合物	mg/kg 乾	JIS K 0058-2 の 7 (2005)	JIS K 0120 (2013)	47.3ICP 発光分光分析法

3.2.3 溶出試験結果

前項での基準に従い、表 3-7 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、敢えて硬化体を粉砕し、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 3-10　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

表 3-11　計量方法

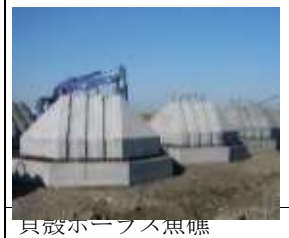
項目	単位	計量方法		
カドミウム	mg/L	JIS K 0058-2 の 7（2005）	JIS K 0120（2013）	55.4 ICP 質量分析法
全シアン	mg/L	JIS K 0058-2 の 7（2005）	JIS K 0120（2013）	38.3 4 ピリジンカルボン酸ピラゾロン SP 法不検出<0.1
鉛	mg/L	JIS K 0058-2 の 7（2005）	JIS K 0120（2013）	54.4 ICP 質量分析法
六価クロム	mg/L	JIS K 0058-2 の 7（2005）	JIS K 0120（2013）	65.2.1 ジフェルニカルバジド吸光法
ヒ素	mg/L	JIS K 0058-2 の 7（2005）	JIS K 0120（2013）	61.4. ICP 質量分析法
総水銀	mg/L	JIS K 0058-2 の 7（2005）	JIS K 0120（2013）	付表 1 原子吸光法
アルキル水銀	mg/L	JIS K 0058-2 の 7（2005）に順ずる	環告 59 号（S.46.12.28）	付表 2GC 法　不検出<0.0005
PCB	mg/L	JIS K 0058-2 の 7（2005）に順ずる	環告 59 号（S.46.12.28）	付表 3 不検出<0.0005GC 法
セレン	mg/L	JIS K 0058-2 の 7（2005）	JIS K 0120（2013）	67.4. ICP 質量分析法
フッ素	mg/L	JIS K 0058-2 の 7（2005）	JIS K 0120（2013）	付表 6 イオンクロマトグラフ法
ホウ素	mg/L	JIS K 0058-2 の 7（2005）	JIS K 0120（2013）	47.4 ICP 質量分析法

（備考：「試料粒度 40mm アンダー各粒度区分は、建設分野の企画への環境側面導入に関する指針付属書 I 10.1.1a.1」⑥による」）

3.3 石炭灰リサイクルによる魚礁の事例

表 3-12 魚礁の硬化に関する事例調査結果（リサイクル材）

製品名・企業名・写真	原材料(比率)	寸法 重量	物性	用途	効果/特徴	調査事例等		出典
						設置場所	結果	
Hi ビーズ・ロック 中国電力㈱ 	石炭灰、セメント、水	大きさ 20cm～50cm/個、 50kg～200kg/個	密度 1.8 程度	魚の住処用 藻の育成 悪臭などの環境改善	悪臭の原因となる硫化水素や赤潮の原因となる栄養塩（窒素，リン）を吸着する特性があるため，藻礁造成に利用した場合，悪臭を低減させ，珪藻類が繁茂するなどの環境改善効果がある。	瀬戸内海	Hi ビーズの試験設置事例はあり。Hi ビーズ基盤境界には多量の海藻の繁茂が見られたが、Hi ビーズ・ロックを利用した場合も同様の効果がある。	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
NA クリート製魚礁 中国電力㈱、瀬戸内臨海 	NA クリートの原材料： セメント 160～170kg（約 7.0～7.6%）、石炭灰 400～600kg（約 17.9～26.9%）、重量スラグ 1460～1750kg（約 65.5～78.5%）、海水 210～250kg（約 9.4～11.2%） ※21N/mm^2 の配合例	2,600×2,600×1,700mm	密度 2.3	藻の育成 漁場環境改善	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。	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蝟集、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。	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

製品名・企業名・写真	原材料(比率)	寸法 重量	物性	用途	効果/特徴	調査事例等		出典
						設置場所	結果	
ケルプベース（アッシュクリートブロック） ㈱ 安藤・間 	アッシュクリートの原材料： 水 400kg/m³ （約 22.1%）、温和剤 11～13kg/m³（約 0.6～0.7%）、石炭灰 1,200kg/m³（約 66.3%）、セメント 200kg/m³(約 11.0%)	－	配合強度 20N/mm²	藻の育成	石炭灰を主材としたリサイクルブロック。	釧路港島防波堤	平成 17 年に据付けられ、翌年にはコンブ類の良好な着床が確認されている。	㈱ 安藤・間 HP「石炭灰の有効利用／アッシュクリートとは」： http://www.ad-hzm.co.jp/service/ashcrete/ash/ J-STAGE テクニカルリポート「石灰石を用いた海藻着生を促すための異形ブロック（藻礁ブロック）の施工」： https://www.jstage.jst.go.jp/article/coj1975/44/11/44_22/_pdf
貝殻ポーラス魚礁 高村建材工業㈱ 	貝殻、コンクリート	5m 角 空隙率 30～70%	圧縮強度 0.2～8.0N/mm²	魚の住処用 藻の育成	廃棄される貝殻を利用した空隙率の多いポーラスコンクリートを魚礁に組み合わせて海中で耐える構造体とした魚礁。	－	－	高村建材工業㈱HP「環境を良くするために」： http://www.t-s.co.jp/recruit1.html http://www.t-s.co.jp/gai009.pdf
FA 増殖礁 太平洋マテリアル㈱ 	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	幅 1.2×奥行き 2.0×高さ 1.5m、 空間容積 1m³、 重量 3.3t	2.3t/m³ （22.6kN/m3）	魚の住処用 藻の育成	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	－	－	太平洋マテリアル㈱　製品カタログ： https://www.taiheiyo-m.co.jp/archives/001/201210/5084adea83550.pdf

製品名・企業名・写真	原材料(比率)	寸法 重量	物性	用途	効果/特徴	調査事例等		出典
						設置場所	結果	
ポーラスリーフ ㈱西野建設、㈱テクノス 	ポーラスコンクリート（産廃樹皮、添加剤、粒状炭を配合した RC 工法）	容積 0.881m^3、重量 1850kg、1,400×1,500×500mm	－	藻の育成	魚介類の産卵場や保育場及び葉上動物の生活の場として海藻の養生・育藻効果を高め、海中生物の食物連鎖を強める。	－	磯焼けが進んでいる魚礁にポーラスリーフを沈設し、実験した結果、海藻の着生や根がらみが確認されている。	公益財団法人とくしま産業振興機構 HP「㈱テクノス ～ ポーラスリーフ（藻場造成人口礁）など環境保全型土木技術製品の開発 ～」：http://www.our-think.or.jp/?page_id=8540
増殖礁　BeNaSu 不二高圧コンクリート 	ポーラスコンクリート（木材、貝殻、 をリサイクル素材としてコンクリート二次製品 セラミック等）	－	－	魚の住処用 藻の育成	藻場は、ウニ、アワビなどの餌場、魚の産卵場所、稚魚の育成場所としてはもとより、 水質の浄化にも重要な役割を果たす。砂浜域にも藻場を作る。	熊本県（宇城市三角町、水俣）	底質が砂・シルトで地盤は緩い所であったが、埋没することなく正常な状態で設置されて、破損や漁網のかかりなどもなく機能は維持されていた。蝟集魚は低視界ながら、メバル・カサゴなどが多く見られ、集魚機能は発揮されていた。付着生物は固着性の動物、カイメン類、ホヤ類が多く見られた。海藻類は、マクサ、ヒトエグサが多く見られ、マクサに付着するクサノカキが発生する程あった。	不二高圧コンクリート㈱ HP「製品案内／河川・環境」：http://www.fuji-dream.co.jp/product/benasu.htm 熊本県産業技術センター報告書「多機能性を有した藻魚礁の開発」：http://www.iri.pref.kumamoto.jp/library/data/sangaku/2007/pdf/115-1055.pdf
竹コンクリート魚礁 カワノ工業㈱ 	コンクリート、竹、鉄筋	縦 2m×横 2m×高 2m	－	藻の育成	有機質である竹を利用している為、一般のコンクリート魚礁に比べ、藻類等の付着が早く、集魚効果を高めることが可能	山口県	柳井市伊保庄での追跡調査の結果、竹には、けい藻やフジツボが多く付着し、魚礁の周辺にはメバルやアジ等の魚が泳いでいる姿が確認できた。	カワノ工業㈱HP「製品・工法紹介／竹コンクリート魚礁」：http://www.kawanokk.co.jp/ConcreteProducts/products/BamBoo.html 事例：https://www.cgr.mlit.go.jp/ctc/tech_dev/kouryu/T-Space/ronbun/pdf/20_yamaguti%5C20_yamaguti_4-3.pdf

3.4 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

3.4.1 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）により魚類の蝟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蝟集、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。

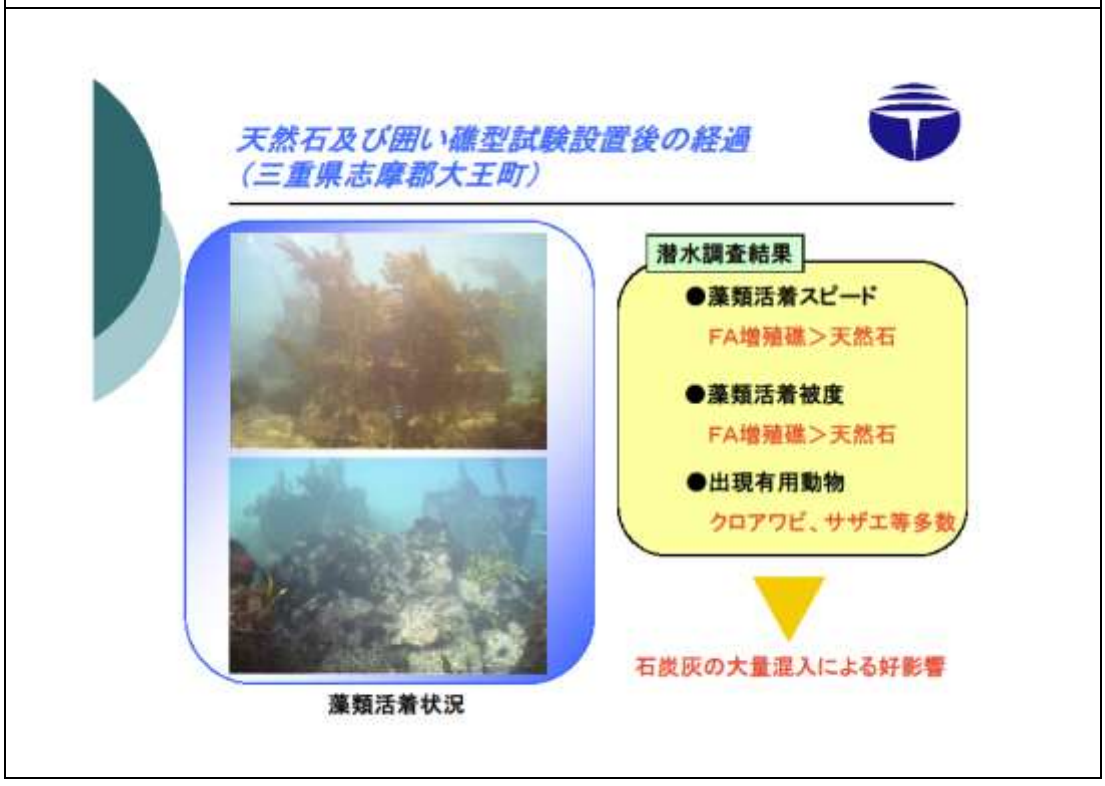
藻類の活着性を向上させるために骨材を表面に露出させてざらついた粗面にしている。比重を増やすための他の資材は使用していない。

材料	石炭灰（例：1m³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 1m³、重量 3.3t
密度	2.3t/m³（22.6kN/m³）
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①（千葉県館山市）

設置一ヶ月後の潜水調査結果

●礁の安定性

滑動、転倒等全く異常なし

●藻類活着状況

礁表面を珪藻類が覆う

●出現有用動物

メバル、メジナ、その他魚種及びサザエ等

珪藻類活着状況

FA-R-TYPE-B

貫通孔付近でのメバルの逃避行動

二形状のFA増殖礁試験設置後の経過②（千葉県館山市）

FA-R-TYPE-A

FA-R-TYPE-B

クロメ幼体の活着状況

メジナ

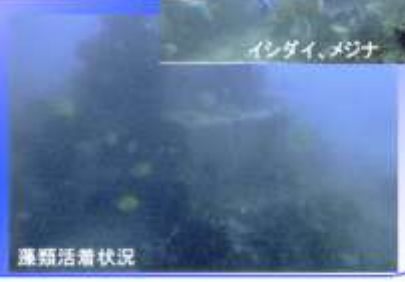
設置半年後の潜水調査結果

- **●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

二形状のFA増殖礁試験設置後の経過③（千葉県館山市）

カゴカキダイ

イシダイ、メジナ


藻類活着状況

設置10ヶ月後の潜水調査結果

- **●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**
  イシダイ、イシガキダイ、コロダイ等

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㈱　製品カタログ：

https://www.taiheiyo-m.co.jp/archives/001/201210/5084adea83550.pdf

ヒアリング

3.4.2 有機物含有研究事例

海洋資材の研究開発として、有機物を活用した研究開発の事例がある。石炭灰と直接混練する事例はなかったが、組み合わせて海中で使用することにより、藻場育成の効果が得られるのではないかと期待される。

(1) 栄養供給骨材

会社概要

リマテック株式会社と太平洋セメント株式会社の共同研究

リマテック株式会社

本社：〒596-0015　大阪府岸和田市地蔵浜町 11 番地の 1

資本金：1 億円

事業内容：産業廃棄物処理、再資源化事業、廃棄物資源化プラントの設計、製作および販売廃棄物再資源化のエンジニアリング業務等

太平洋セメント株式会社

本社：〒135-8578　東京都港区台場 2-3-5　台場ガーデンシティビル

資本金：862 億円

事業内容：セメント事業、資源事業、環境事業、建材・建築土木事業、その他

概要

栄養供給骨材とは、フィッシュミール工場の副産物である可溶性タンパク質（アミノ酸を含む水飴状の液体）を木質系材料（木くず等）に含浸させ、セメントでコーティングした骨材状の製品である。

＜効果＞

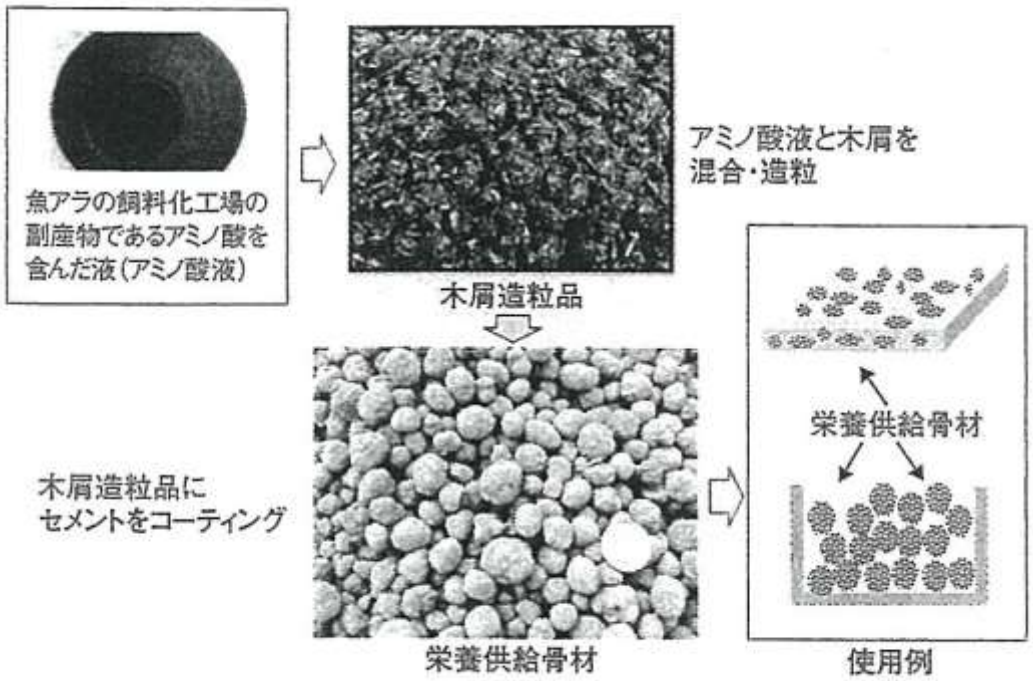
・微細藻類の成長促進

・大型藻類の初期成長促進

・生物の蝟集

・環境浄化

・水産物残さ等の廃棄物活用



開発状況

2013 年 11 月に開発に着手、骨材の基本的な製造方法を確立し、2014 年 6 月には大型設備を用いた栄養共有骨材の製造実験を実施。商業規模での製造技術も確立している。

実際の海中に設置した場合の効果検証のため、モルタルに栄養供給骨材を埋め込んだ小型ピースを 2014 年 6 月に実海域での曝露試験を開始した。

1 か月でテストピース表面に微細藻類の付着が見られ、その後 8 か月後まで継続設置したテストピースでは、ワカメ等の大型藻類の付着も確認された。

この他、小さな海老や蟹の付着、小魚やタコの生物も確認された。

出典

太平洋セメント株式会社　ヒアリング、パンフレット等

(2) リントル

会社概要

太平洋セメント株式会社と小野田化学工業株式会社の共同開発

太平洋セメント株式会社

本社：〒135-8578　東京都港区台場 2-3-5　台場ガーデンシティビル

資本金：862 億円

事業内容：セメント事業、資源事業、環境事業、建材・建築土木事業、その他

小野田化学工業株式会社

本社：〒105-0022　東京都港区海岸 1-15-1 スズエベイディアム

資本金：27 億 5 千万円

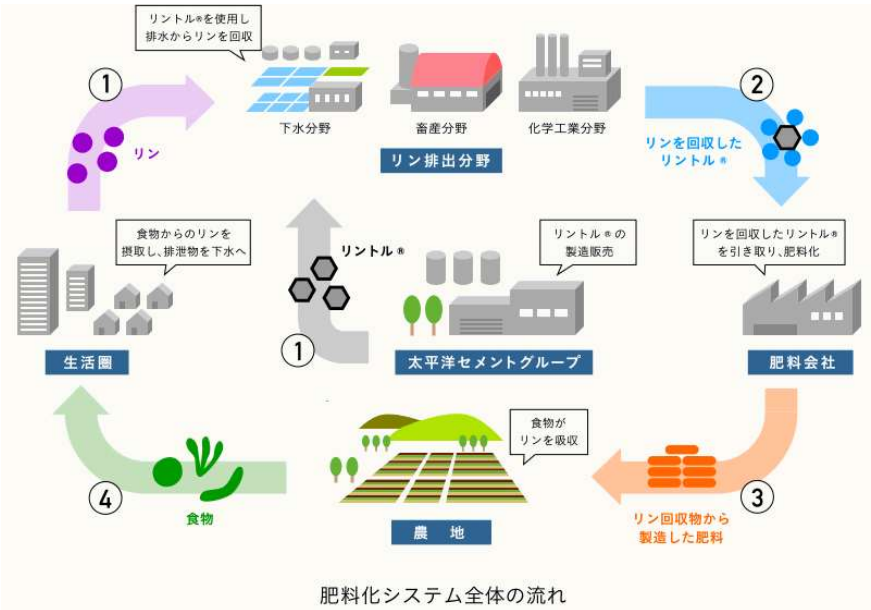
事業内容：化学肥料、科学飼料、氷晶石、建材等の製造販売

概要

リントルとは非晶質ケイ酸カルシウム水和物を主体とする資材である。リンが流入する下水、し尿、畜産排水等の排水にリントルを投入し、リン酸カルシウム化合物としてリンを回収する。

スラリー

粉末



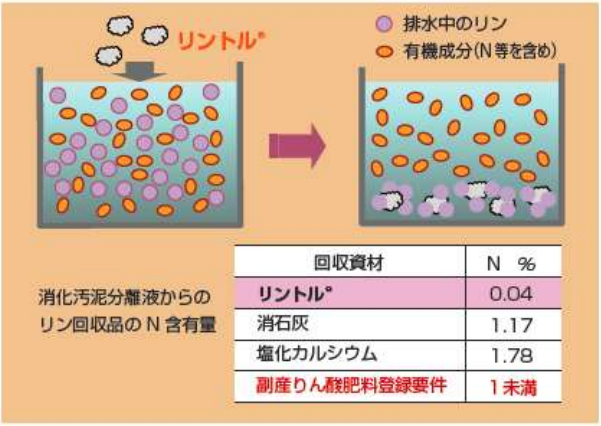
肥料化システム全体の流れ

特徴

① リンとの親和性の高いカルシウムをベースとした無機系の材料で、かつ多孔質で比表面積が非常に大きいことから高いリン吸着能力がある

② 凝集・沈降性に優れており、従来困難であったろ過（固液分離）が容易になる

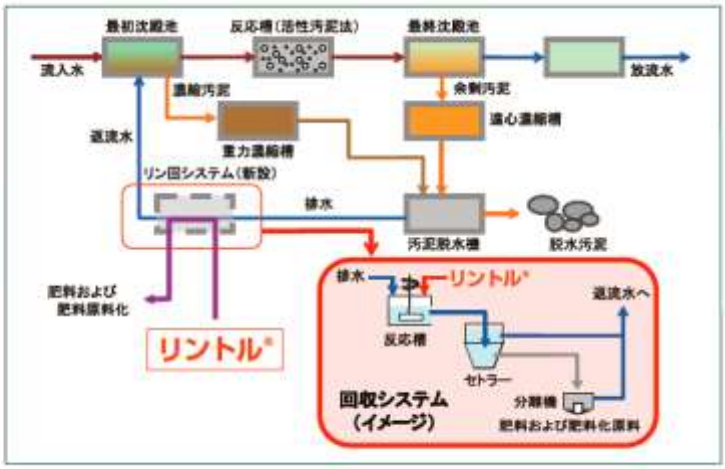
③ 選択的吸着性があり、品質規定の厳しい肥料取締法の条件を満たす回収物を得ることができる



回収資材	N %
リントル®	0.04
消石灰	1.17
塩化カルシウム	1.78
副産りん酸肥料登録要件	1未満

④ 添加のための運転・管理が容易

下水処理施設への応用
【モデル】



出典
太平洋セメント株式会社　ヒアリング、パンフレット　等

3.5 今後の製造方法の検討

本調査研究では石炭灰とスラグを混合した硬化体の製造について、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現場で打設する方式を意図して実験を実施した。結果として、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。一方でスランプにおいては、まだ明確な指標を得ることができていない。

また、スラグは粒度や形状等の問題でこのままでは使用することができないことが示された。魚礁を意図した場合には、藻場の造成にどのように寄与するかも、現段階では明確になっていないことから、更に実験を継続する必要がある。内容は以下の事項が考えられる。

- 重量を増すための粗骨材の検討（スラグの加工処理や、それ以外の代替品）
- クリンカアッシュ等の適正な配合割合（クリンカアッシュ以外の細骨材の適用も検討）
- 骨材の粒度分布及び配合量における水量とスランプの関係
- 藻場の着生を確認する海域試験

また、実際に製造する場合の設備等も研究課題となる。

3.6 事業スキームの検討

3.6.1 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、今後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 3-13　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㈱　能代火力発電所		新東北メタル㈱	㈱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 3-14　東北電力株式会社全体における石炭灰の発生及びリサイクル率

	H20 年度	H 21 年度	H 22 年度	H 23 年度	H 24 年度	H 25 年度	H26 年度
石炭灰発生量 (千 t)	780	803	784	354	427	890	829
石炭灰有効利用率 (%)	78.4	76.3	66.5	81.0	63.9	66.6	82.0

(出典：東北電力株式会社「環境行動レポート 2013、2014、2015」)

表 3-15　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）大舘市「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」）

3.6.2 事業の経済性及び今後の開発課題や事業体制案

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。

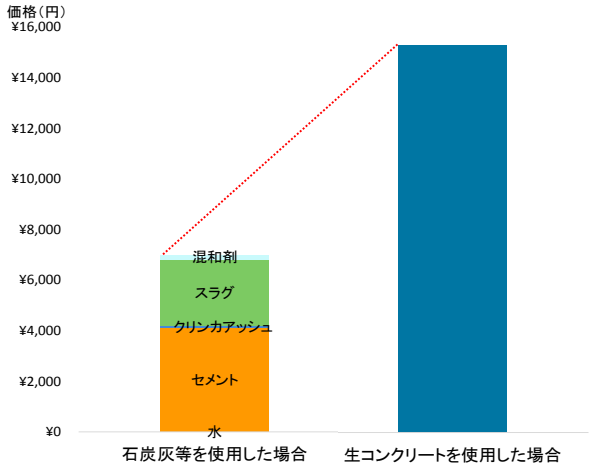


図 3-1　SL=8cm の材料調達コスト比較（イメージ）

表 3-16　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/m³）	生コンクリートを使用した場合（円/m³）
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 3-17　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

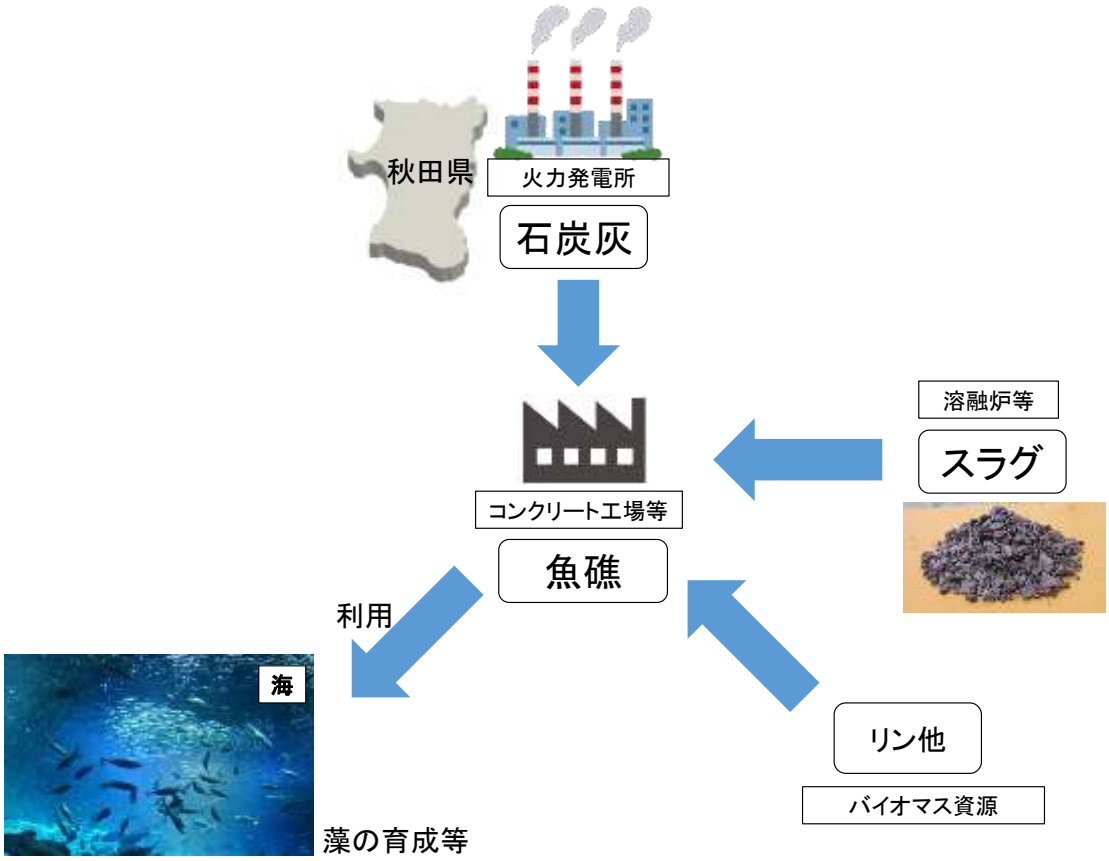


図 3-2　石炭灰リサイクル魚礁の事業連携イメージ

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、海洋構築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、石炭灰添加の利点が確認された。
- 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、代わ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。

参考資料　魚礁事例（コンクリート材）

製品名	写真	企業	原材料 （比率）	寸法・重量等	用途	効果/特徴	調査事例等		出典
							設置場所	結果	
マリンマッシュ		日本興業㈱	ポーラスコンクリート	2,000×1,732×1,000mm、 マッシュ部質量 17kg/個、 本体質量 1,765kg	魚の住処用 藻の育成	豊かな藻場造成，餌料生物の増殖と稚魚を保護・育成する	－	－	コンクリート製品創造技術開発コンソーシアム HP「事業・活動紹介／マリンマッシュ」： http://pcfukkoconsortium.org/works/range/2011/000157.html
アルガベースⅠ型		共和コンクリート工業㈱	鉄筋コンクリート製	寸法 2,771×2,400×800mm、 体積 2.151m^3、参考質量 4.947t、 型抜面積 9.96m^2、 鉄筋質量 27.46kg	藻の育成	魚類の産卵場となるホンダワラ類の藻場造成	－	－	共和コンクリート工業㈱HP「製品案内／魚礁増殖礁」： http://www.kyowa-concrete.co.jp/seihin/gyosyo.html
ドラゴンリーフカプセル（DR-カプセル 2000S 1）		太平洋マテリアル㈱	鉄筋コンクリート製	幅 1.5φ×奥行き 3.8φ×高さ 2.0m、 空間容積 11m^3、重量 4.6t	魚の住処用	誘導礁、曳網を主な対象とした漁場造成	－	－	太平洋マテリアル㈱　製品カタログ： https://www.taiheiyo-m.co.jp/archives/001/201210/5084adea83551.pdf
ネットブルリーフ		日本リーフ㈱	鉄筋コンクリート製	大きさ 1.5～2.0m 程度	魚の住処用	刺し網、小型底曳等の操業に配慮した網掛かりし難い六角錘台形状の魚礁・増殖礁。広いコンクリート面には、多くの付着生物の着生による魚類の餌料が発生し、影面積の多い内部空間と併せることで優れた蝟集・増殖効果を発揮。魚礁の重心位置が低く、安定性に優れる。沈設時、作業台船に 3 段まで積み重ねることができ、沈設費が経済的。	－	効果調査では、マアジ、マダイ、メバル、カサゴ、ハギ類などの蝟集が観察されている。	日本リーフ㈱HP[製品紹介／ネットブルリーフ」： http://www.japanreef.net/nbr_top.html
AT 魚礁Ⅱ型		岡部㈱	コンクリート、FRP 製の遮蔽版または格子フェンスを配したもの	高さ 2.4m×幅 10.36m×長さ 8.97m、 空容積 100.4m^3、 質量 20.05t	魚の住処用 藻の育成	FRP フェンスを配したコンクリート製の魚礁により増殖機能に優れる。フェンス周辺に小魚を集め、有用魚を蝟集させ、また、多くの生物を付着させ、餌料培養効果がある。積み重ねが出来る。	－	－	岡部㈱海洋事業部 HP「AT 魚礁」： http://www.okabe-marine.com/AT.html

製品名	写真	企業	原材料 (比率)	寸法・重量等	用途	効果/特徴	調査事例等		出典
							設置場所	結果	
AT 魚礁Ⅴ型		岡部㈱	コンクリート、FRP 製の遮蔽版または格子フェンスを配したもの	高さ 2.5m、幅 6.86m、長さ 5.94m、 空容積 34.1m^3、質量 9.04t	魚の住処用 藻の育成	FRP フェンスを配したコンクリート製の魚礁により増殖機能に優れる。フェンス周辺に小魚を集め、有用魚を蝟集させ、また、多くの生物を付着させ、餌料培養効果がある。積み重ねが出来る	–	–	岡部㈱海洋事業部 HP「AT 魚礁」： http://www.okabe-marine.com/AT.html
AT 魚礁Ⅵ型		岡部㈱	コンクリート、FRP 製の遮蔽版または格子フェンスを配したもの	高さ 5.41m、幅 10.36m、長さ 8.97m、 空容積 260m^3、質量 28.3t	魚の住処用 藻の育成	FRP フェンスを配したコンクリート製の魚礁により増殖機能に優れる。フェンス周辺に小魚を集め、有用魚を蝟集させ、また、多くの生物を付着させ、餌料培養効果がある。	–	–	岡部㈱海洋事業部 HP「AT 魚礁」： http://www.okabe-marine.com/AT.html
エースロック		太平洋マテリアル㈱	鉄筋コンクリート製	幅 2.2×奥行き 2.2×高さ 2.2m、 空間容積 11m^3、重量 3.8t	魚の住処用	一体型魚礁。製作がしやすく施工性及び経済性に優れ、乱積設置を主とした漁場整備計画において、多種の魚類蝟集効果に有効。	–	–	太平洋マテリアル㈱　製品カタログ： https://www.taiheiyo-m.co.jp/archives/001/201210/5084adea83550.pdf
エースロック 2-B		㈱イズコン	鉄筋コンクリート製	幅 2.2×奥行 2.2×高 2.2m、 空間容積 10.53m^3、重量 3.75t	魚の住処用	一体型魚礁。製作がしやすく施工性及び経済性に優れ、乱積設置を主とした漁場整備計画において、多種の魚類蝟集効果に有効。	–	–	㈱イズコン HP「製品・工法／魚礁／エースロック」： http://www.izcon.jp/product/gyosyo_acerock.html
FP 魚礁		海洋土木㈱	鉄筋コンクリート製（普通コンクリート）、セメントの種類 BB、最大水セメント比 55%、粗骨材の最大寸法 25(20)mm	3.00×3.00×2.00m、重量 6.62t、 コンクリート量 2.76m^3	魚の住処用 藻の育成	海洋生物の生息場として好適な環境条件を作り出し、様々な魚種が餌場・棲み場・憩い場・逃避場として蝟集するだけでなく、産卵の場・幼稚仔の保育場として水産資源を保護培養する機能を併せ持っている。	–	–	海洋土木㈱HP「製品紹介／FP 魚礁」： http://www.kaiyodoboku.com/seihinsyokai.html#seihinsyokai-fp 水産庁「平成 20 年度　日本海西部地区(但馬沖漁場)　魚礁製作・据付工事　特記仕様書」： http://www.jfa.maff.go.jp/j/gyosei/supply/kensetu/cyokkatu/pdf/kensetu_ippan03.pdf

製品名	写真	企業	原材料 (比率)	寸法・重量等	用途	効果/特徴	調査事例等		出典
							設置場所	結果	
ロンダップ魚礁		㈱アクアプロダクト	鉄筋コンクリート	長さ 3.2m×幅 3.2m×高さ 3.2m、空 32.768 空 m^3、重量 15.3t	魚の住処用	プランクトンや魚群を導き、また、底着魚類に好刺激を与える。	–	–	㈱アクアプロダクト HP「水産土木／ロンダップ魚礁」：http://www.aquaproduct.co.jp/product/round_artifical_reef.php
コーケンテクリーフ		日本コーケン㈱	鉄筋コンクリート製	大きさ 3.50×3.50×3.50m、有効表面積 68.04m^2、空 42.875m^3、体積 6.070m^3、質量 14.569t、鉄筋量 378.331kg	魚の住処用	魚の隠れ場所が形成される、湧昇流の発生等渦流効果が期待できる等	–	–	日本コーケン㈱HP「鋼製型枠／水産基盤整備事業に適したブロック」：http://n-kohken.co.jp/waku4.html 水産庁「平成 20 年度　日本海西部地区(但馬沖漁場)　魚礁製作・据付工事　特記仕様書」：http://www.jfa.maff.go.jp/j/gyosei/supply/kensetu/cyokkatu/pdf/kensetu_ippan03.pdf
テトラリーフ TR－4（N）		スミリーフ㈱	鉄筋コンクリート製(普通コンクリート)、セメントの種類 BB、最大水セメント比 55%、粗骨材の最大寸法 25(20)mm	幅 4.0×4.0×4.0m 20.1tf	魚の住処用	一体成型を主体としたコンクリート魚礁。	青森県（3箇所）、三重県、佐賀県で調査事例あり	青森では、ウスメバル・ウミタナゴ、アイナメ等見られた	スミリーフ㈱HP「製品情報」：http://homepage3.nifty.com/sumi-reef/sub2.htm 水産庁「平成 20 年度日本海西部地区(但馬沖漁場)魚礁製作据付工事特記仕様書」：http://www.jfa.maff.go.jp/j/gyosei/supply/kensetu/cyokkatu/pdf/kensetu_ippan03.pdf 事例：http://homepage3.nifty.com/sumi-reef/newpage23.htm
コーケン魚礁ブロックⅢ型		日本コーケン㈱	鉄筋コンクリート製(普通コンクリート)、セメントの種類 BB、最大水セメント比 55%、粗骨材の最大寸法 40(25)mm	コンクリート量 8.853m^3、質量 20.362t、型枠面積 64.4m^2、体積率 19%、空 47.02	魚の住処用	一体成型による耐久性、適度な空隙と魚の隠れ場所、乱積設置も可能。斜板により群体として配置した場合、湧昇流の発生等渦流効果が期待	–	–	日本コーケン㈱HP「鋼製型枠／水産基盤整備事業に適したブロック」：http://n-kohken.co.jp/waku4.html

製品名	写真	企業	原材料 (比率)	寸法・重量等	用途	効果/特徴	調査事例等		出典
							設置場所	結果	
ドラゴンリーフ		太平洋マテリアル㈱㈱	鉄筋コンクリート製	幅 5.0×奥行き 5.0×高さ 5.0m 空間容積 124m^3、 重量 21t	魚の住処用	比較的浅い海域では、特にⅡ型魚種（イサキ・イシダイ・ハギ類等）の蝟集効果に優れる。また、水深 70m 以深の海域においては、これらに加え、Ⅲ型魚種（アジ・ブリ等）の蝟集に有効な構造を有す	－	－	太平洋マテリアル㈱　製品カタログ： https://www.taiheiyo-m.co.jp/archives/001/201210/5084adea83550.pdf
スミリーフ魚礁		スミリーフ㈱	半二次製品の組み立て魚礁	A 型 幅 6.5m×奥行き 6.5m×高さ 6.5m 重量 36.1tf	魚の住処用	－	神奈川県 佐賀県 長崎県　等	イシダイ、イサキ、カゴカキダイ、イラ等が見られた	スミリーフ㈱HP「製品情報」： http://homepage3.nifty.com/sumi-reef/newpage4.htm
ピラミッド型魚礁		広和㈱	コンクリート製	長さ 6.9×幅 6.9×高さ 4.80m、 重量 22.42t、空容積 105.28m^3、 全表面積 108.05m^2	魚の住処用	回遊魚・根付魚の双方を対象とし、柱、梁により構成される小空間の視覚及び過流刺激による定位効果を発揮	－	－	広和㈱HP「魚礁」： http://www.kwk.co.jp/ocean/pyramid/
ジャンボ魚礁		石川島建材工業㈱	鉄筋コンクリート	長さ 8×幅 5×高さ 4.03m、 空間容積 100m^3、重量 17.6t	魚の住処用	複雑な構造は、集魚効果を高め、また、三角形状の斜面は湧昇流を誘発し易く、海底の栄養塩をまき上げるのに効果が認められている。	－	－	日本大型人工魚礁協会 HP「魚礁一覧」： http://www.nissyoukyou.com/ichiran01.html
ハニカム魚礁		ライトンコスモ㈱	鉄筋コンクリート	長さ 4.8×幅 4.8×高さ 1.5m（最大高さ 21.0m）、 空間容積 22.5m^3、重量 4.5t	魚の住処用	魚礁内部は複雑な空間を有し、陰影域を多く形成するため、暗がりや隠れ場を好む中低層魚や表層部を回遊する浮魚まで多様な魚種の蝟集が期待される。	青森県 福井県 島根県	青森県（ウスメバル、ヒラメ） 福井県（ブリ、メダイ） 愛媛県（マアジ） 鳥取県（カンパチ） 島根県（メダイ、ヒラメ） が見られた	日本大型人工魚礁協会 HP「魚礁一覧／ハニカム魚礁」： http://www.nissyoukyou.com/raiton/honeycomb/honey2.html 事例： http://www.litoncosmo.com/newpage3.htm

製品名	写真	企業	原材料 (比率)	寸法・重量等	用途	効果/特徴	調査事例等		出典
							設置場所	結果	
スーパードラゴンリーフ		太平洋マテリアル㈱	コンクリート魚礁に鋼製ユニットを装着したハイブリッド高層魚礁	幅 17.5×奥行き 17.5×高さ 20.0m、空間容積 1,285m^3、重量 81.9t	魚の住処用	鋼製ユニットを装着する事で、複雑な形状と多くの陰影を付加し、I～III 型までの幅広い魚種の蝟集に有効	–	–	太平洋マテリアル㈱　製品カタログ：https://www.taiheiyo-m.co.jp/archives/001/201210/5084adea83551.pdf

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。