

## ホタテ貝殻粉末のアスファルト舗装材としての適用性

吉井 昭博\*      安倍 隆二\*\*      内山 智幸\*\*\*

### はじめに

ホタテは北海道を代表する食材として盛んに養殖がなされている一方、加工時に排出される貝殻の処理が問題となっている。道内の加工工場から排出されるホタテ貝殻の排出量は2000年度では20万トンの程度であり、道内全貝殻排出量の過半数を占める状態にある<sup>1)</sup>。近年、埋立地不足による処理費の高騰を背景に、そのリサイクルについての研究がなされ、現在では塗装剤や土壌改良材、路盤材、ブロックなどに再利用されつつあるが、十分な利用量とはなっていない<sup>2)</sup>。そこで資源の有効利用と環境保全の観点から、ホタテ貝殻の微粉末（以下；ホタテ粉末）を石粉（フィラー）としてアスファルト舗装材料への利用について研究を行うこととした。

今回の報告は、ホタテ粉末の舗装用石粉としての性状試験結果、貝殻石粉を入れた混合物の耐久性に関する基本性状試験結果及び佐呂間町・仁倉農道における試験施工状況をまとめたものである。



写真 - 1 ホタテ貝殻の堆積状況

### 1. ホタテ粉末の生産

ホタテ粉末の材料となるホタテ貝は主に道内の水産加工工場から排出されている。ホタテ貝は製品（食品）の生産の際、水産加工工場で熱加工（ボイル）を施されるものとそうでないものがあるが分別されていないため、写真 - 1 の様にそのまま一緒になって野積みになっていることが多い。（株）常呂町産業振興公社では、野積みの状態でおよそ3年程度放置し付着している有機物分がある程度分解されたホタテ貝殻を、タイヤショベルによって粗砕きし、その後ローラーミルなどで粉碎したものを土壌改良材等として製造販売している（図 - 1）。

今回、試験施工で使用したホタテ粉末はローラーミルより排出されるダスト分を回収したものであり、室内試験で使用したホタテ粉末はローラーミルやハンマーミルより排出されたダスト分等である。ホタテ粉末は、表 - 1 に示されるように通常使用される石粉と同じ主成分の炭酸カルシウムであるが、写真 - 2 のように粒子状ではなく、針状となっていることからアスファルト混合物に使用した場合の物理特性への影響が予想される。

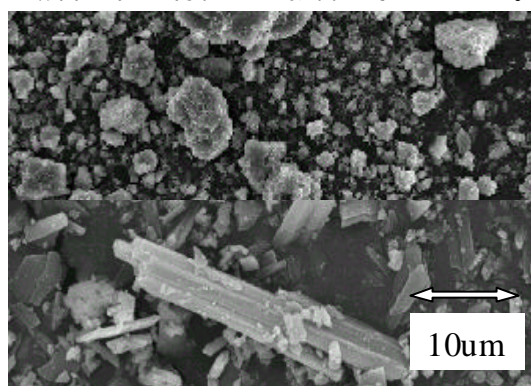


写真 - 2 ホタテ粉末と石灰石粉の形状の違い  
（上：石灰石粉末 下：ホタテ粉末）

表 - 1 ホタテ貝殻の成分分析結果

	C	O	Ca	Na	Si	P	S	Sr
ホタテ粉末	12.0	43.6	43.8	0.2	0.0	0.0	0.2	0.1
石灰石粉	12.0	44.0	44.0	-	-	-	-	-

単位はすべて%

## 2. 室内試験

### 2 - 1. ホタテ粉末の性状試験

今回の性状試験では、材料となるホタテ貝粉末の舗装用石粉としての性状試験を行った。ホタテ粉末の石粉としての試験項目を表 - 2 に示す。

ホタテ貝を舗装用骨材として使用するためには、アスファルト舗装要綱<sup>3)</sup>の中で定められる「骨材は偏平または細長い粒子を含まないこと」という条件を満足する必要があるため、ホタテ貝を細かく粉碎することが必要となる。ここでは、ホタテ貝を舗装用骨材として用いる場合は1mm以下の粒径（石粉程度）として用いた。今回の試験で使用したホタテ石粉の性状を表 - 3 に示す。ホタテ石粉は北海道開発局「道路・河川工事仕様書」（以下；仕様書）<sup>4)</sup>の石粉の比重、吸水率、塑性指数の規格等を満足しているが、粒度、加熱変質の規格を満足していない。

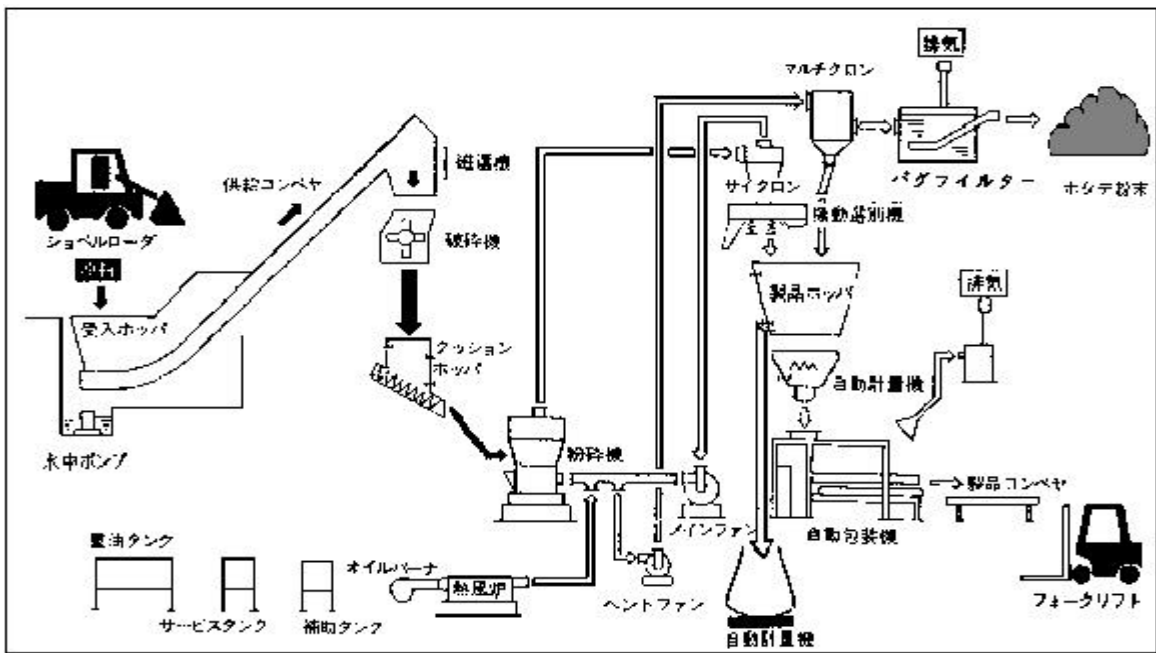


図 - 1 ホタテ貝殻リサイクルプラント概要図（一例）

表 - 2 ホタテ粉末の舗装用石粉としての室内試験項目

番号	試験項目	通常使用されている石粉	粗いホタテ粉	とを半分ずつ混入したもの	細いホタテ粉	との中の大ききのホタテ粉	試験目的
石粉の試験	粒度試験						粒度の測定
	比重試験						比重・吸水率の測定
	加熱変質試験					-	加熱による変質測定
	塑性指数試験					-	塑性指数の測定
	浸水膨張率試験					-	水分による膨張率の測定
	はく離抵抗性試験					-	はく離抵抗性の測定
	フロー試験					-	石粉の吸水率の測定

石粉の試験では、以下に示す5種類の石粉について試験を行っている。

通常使用されている石灰石粉

ホタテ貝をハンマーミルで砕き、さらにローラーミルで砕いたもの

とを重量比で半分ずつ混ぜたもの

ホタテ貝をローラーミルで砕いた際に出てきたダストをバグフィルターにて集めたもの

ホタテ貝をローラーミルで砕いたもの

表 - 3 ホタテ粉末の舗装用石粉としての試験結果

項目	規格	通常使用されている石粉	粗いホタテ粉	とを半分ずつ混入したもの	細いホタテ粉	との中の大ききのホタテ粉	試験中
粒度試験	600 μm	100	100	100	100	100	
	150 μm	90~100	98.6	72.2	86	97.4	92.4
	75 μm	70~100	88.2	55.6	72.6	91.5	75.1
比重	2.60以上	2.712	2.682	2.707	2.711	2.703	
加熱変質	なし	なし	あり	あり	あり	-	
フロー試験	50%以下	35.3%	32.7%	34.0%	72.2%	-	
浸水膨張	3以下	2.5	0	0.1	0.19	-	
剥離抵抗	合格	合格	合格	合格	合格	-	

今回の試験では、碎石、砂、石粉を混合した合成粒度については、規格を満たした配合で室内試験を実施している。碎石については、粒度の規定を満たさない碎石であっても他の碎石・砂などと合成したときの粒度が混合物の所用の骨材粒度に

適合すれば使用することができる<sup>3)</sup>。ホタテ貝殻は表面をタンパク質で覆われているため、加熱されるとタンパク質が変質するが、色の変色だけであり石粉同士の付着や比重、吸水率の大きな変化は無く、悪臭も感じられず、品質的にはほとんど変わらないため問題ないと考えられる。

## 2 - 2 . ホタテ粉末入りアスファルト混合物の室内試験結果

今回の室内試験では、ホタテ粉末入りアスファルト混合物の性状試験を行った。ホタテ粉末入りアスファルト混合物の試験項目を表 - 4 に示す。

### 2 - 2 - 1 . ホタテ粉末入りアスファルト混合物の基本性状

今回の試験では、ホタテ貝を粒径 1mm 以下程度の骨材として利用しているため混合物中の石粉と置き換えるように混合している。今回の試験では、表 - 4 の注釈 1 ) ~ 9 ) に示すような配合の混合物を作成し室内試験をおこなっている。ホタテ貝石粉入りアスファルト混合物の粒度と最適アスファルト量を表 - 5 に示す。1 ) ~ 3 ) の細粒度 G 混合物 (13F) に使用した場合は、最適アスファルトが多くなる傾向にあるが、4 ) ~ 9 ) の密粒度混合物 (13) に使用した場合は、最適アスファルト量にほとんど影響を与えない。一般的に合成粒度が細かい混合物ほど、最適アスファルト量は多くなる傾向にあり、今回も同じ傾向にあったが、それ以外の原因として、ホタテ粉末の特殊な形状と改質アスファルトの粘性が影響したと考えられる。

### 2 - 2 - 2 . ホタテ粉末入りアスファルト混合物のマーシャル安定度試験

マーシャル安定度試験は、混合物の基本的な性状 (強度、フロー値など) を測定し配合設計に使用する試験である。マーシャル試験の結果を表 - 6 に示す。

試験の結果、ホタテ石粉入りアスファルト混合物 (以下; ホタテ混合物) はホタテの混合割合が大きくなってもマーシャル安定度、締固め度などは混合割合の影響はみられない。混合物の種類による差もほとんど見られず、規格値も満足している。

### 2 - 2 - 3 . その他の室内試験特性について

ホイールトラッキング試験は、混合物の耐流動性対策効果を評価する試験である。試験結果は図 - 2 に示すとおりである。密粒度アスコンについては、通常の石粉と比較して粗いホタテ粉末を使用した混合物は、動的安定度 (DS 値) が高くなり、耐流動性を向上させる傾向が見られたが、細いホタテ粉末を使用した場合はその効果が見られない。このことからホタテ粉末の粒度が、耐流動性に影響を与えることが考えられる。

チェーンラベリング試験は、表層に用いられる混合物の耐摩耗性状を評価する試験である。ホタテ混合物は、幾分通常の石粉に比べ粒径が大きいことから、混合物としてスリヘリやすいと考えられたため

確認試験を行った。北海道開発局「道路工事設計施工要領」<sup>5)</sup>では、チェーンラベリング試験規格値を概ね 1.3cm<sup>2</sup>以下としていることから、今回の室内試験の基準値とした。試験結果を図 - 3 に示す。混合物の種類に関わらず、混合物中のホタテ混合率が大きくなるに従いスリヘリ量は大きくなる傾向にあったが、規格値を全て満足していた。

その他の性状試験結果は表 - 7 に示す。曲げ試験は、アスファルト混合物のひび割れやすさを検討する試験である。ホタテ混合物は、ホイールトラッキング試験において動的安定度が大きくなる傾向にあることからひびわれへの懸念があり試験を行った。しかし曲げ試験では、ホタテ粉末の含有量に関係なく同等程度の曲げ強度値を有していた。

凍結融解試験は、寒冷期における凍結融解に対する耐久性を試験している。全体的にホタテ粉末入りアスファルト混合物は、標準の混合物に比べて凍結融解に対する抵抗性がやや高い傾向がつかめた。写真 - 3 に破損状況を示す。

スベリ抵抗性試験は、路面性状を測定するためホイールトラッキング試験用供試体とポータブルスキッドテストを用いて行った。当初はホタテ粉末に付着している微量の蛋白質が影響しスベリやすいと考えられたが試験の結果、ホタテ粉末を入れた混合物も標準の混合物も同等の値となり規格を満足していた。

したがって、ホタテ入りアスファルト混合物は、標準的なアスファルト混合物とほぼ同じ性状を持っていると考えられる。

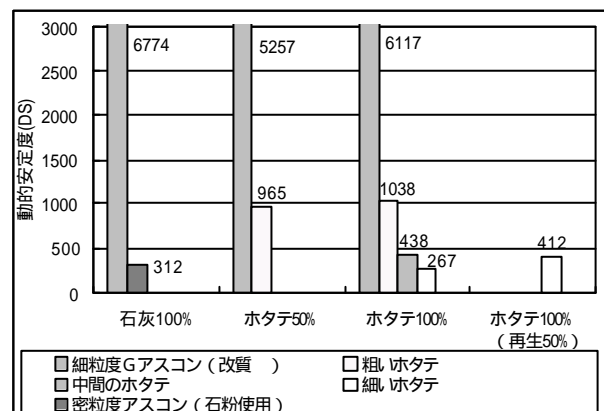


図 - 2 ホタテ入り混合物のホイールトラッキング試験結果

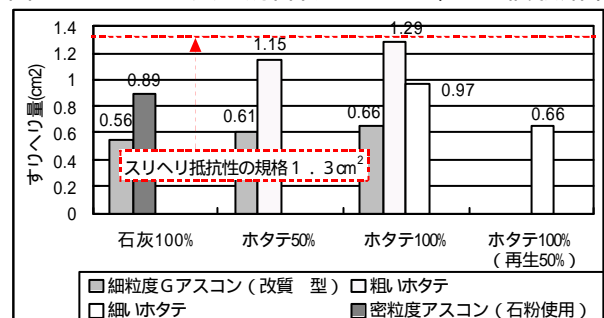


図 - 3 ホタテ入り混合物のチェーンラベリング試験結果



表 - 4 ホタテ粉末入りアスファルト混合物の室内試験項目

試験項目	1)	2)	3)	4)	5)	6)	7)	8)	9)	試験目的	試験条件
マーシャル安定度試験										マーシャル強度の測定	
ホイールトラッキング試験										耐流動性の測定	試験温度60
チェーンラベリング試験									-	はく離抵抗性の測定	試験温度-10、混合物
曲げ試験									-	ひびわれ易さの測定	試験温度-10
水浸マーシャル試験									-	はく離抵抗性の測定	
すべり抵抗性試験									-	すべり抵抗性の測定	ポーグリスキッドテスト(BPN)で測定

混合物の試験では、以下に示す9種類の混合物について試験を行っている。

- 1) 上記の の石灰石粉を使用した細粒度Gアスコン 13F55 (改質 型アスファルト)
- 2) 上記の のホタテ粉を使用した細粒度Gアスコン 13F55 (改質 型アスファルト)
- 3) 上記の のホタテ粉を使用した細粒度Gアスコン 13F55 (改質 型アスファルト)
- 4) 上記の の石灰石粉を使用した密粒度アスコン 13F (ストレートアスファルト)
- 5) 上記の のホタテ粉を使用した密粒度アスコン 13F (ストレートアスファルト)
- 6) 上記の のホタテ粉を使用した密粒度アスコン 13F (ストレートアスファルト)
- 7) 上記の のホタテ粉を使用した密粒度アスコン 13F (ストレートアスファルト)
- 8) 上記の のホタテ粉を使用した密粒度アスコン 13F (ストレートアスファルト)
- 9) 上記の のホタテ粉を使用した再生50%密粒度アスコン 13F (ストレートアスファルト)

表 - 5 ホタテ粉末入りアスファルト混合物の性状

試験項目	1)			2)			3)			4)			5)			6)			7)			8)			9)		
	細粒G 13F55改質									密粒度アスコン13Fストアス									密粒度アスコン13F再生50%								
合成粒度	通常の石粉100%	粗いホタテ100%	石粉50%+粗いホタテ50%	通常の石粉100%	粗いホタテ100%	石粉50%+粗いホタテ50%	通常の石粉100%	粗いホタテ100%	石粉50%+粗いホタテ50%	通常の石粉100%	粗いホタテ100%	石粉50%+粗いホタテ50%	通常の石粉100%	粗いホタテ100%	石粉50%+粗いホタテ50%	通常の石粉100%	粗いホタテ100%	石粉50%+粗いホタテ50%	通常の石粉100%	粗いホタテ100%	石粉50%+粗いホタテ50%	通常の石粉100%	粗いホタテ100%	石粉50%+粗いホタテ50%			
19mm	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0		
13.2mm	99.1	99.2	99.2	99.2	99.2	99.2	99.2	99.1	99.2	99.2	99.2	99.2	99.3	99.3	99.3	99.3	99.3	99.3	99.3	99.3	99.3	99.3	99.3	99.3	99.0		
4.75mm	62.3	64.3	63.1	62.9	62.4	62.9	62.9	62.4	62.9	62.9	62.9	62.9	62.5	62.5	62.5	62.5	62.5	62.5	62.5	62.5	62.5	62.5	62.5	62.5	61.3		
2.36mm	48.2	49.7	48.6	50.1	50.0	50.0	50.0	50.0	50.0	50.0	50.0	50.0	50.0	50.0	50.0	50.0	50.0	50.0	50.0	50.0	50.0	50.0	50.0	50.0	50.0		
600 μm	41.5	41.1	41.0	36.0	40.2	39.1	36.8	36.9	36.9	36.9	36.9	36.9	36.9	36.9	36.9	36.9	36.9	36.9	36.9	36.9	36.9	36.9	36.9	36.9	35.8		
300 μm	27.1	27.5	29.5	22.8	26.0	26.8	23.4	25.4	24.3	24.3	24.3	24.3	24.3	24.3	24.3	24.3	24.3	24.3	24.3	24.3	24.3	24.3	24.3	24.3	24.3		
150 μm	11.9	12.6	13.4	10.8	11.1	11.9	10.2	13.4	11.3	11.3	11.3	11.3	11.3	11.3	11.3	11.3	11.3	11.3	11.3	11.3	11.3	11.3	11.3	11.3	11.3		
75 μm	10.0	10.0	10.1	8.5	8.5	8.6	8.5	8.5	8.4	8.4	8.4	8.4	8.4	8.4	8.4	8.4	8.4	8.4	8.4	8.4	8.4	8.4	8.4	8.4	8.4		
基準密度(g/cm <sup>3</sup> )	2.377	2.380	2.381	2.415	2.400	2.400	2.407	2.410	2.410	2.410	2.410	2.410	2.410	2.410	2.410	2.410	2.410	2.410	2.410	2.410	2.410	2.410	2.410	2.410	2.410		
最適アス量(%)	5.6	5.9	5.8	5.3	5.4	5.4	5.3	5.3	5.4	5.4	5.4	5.3	5.3	5.3	5.3	5.3	5.3	5.3	5.3	5.3	5.3	5.3	5.3	5.3	5.4		
ホタテ粉末の吸水率(%)	0.53	0.71	0.62	0.53	0.71	0.62	0.55	0.61	0.55	0.61	0.55	0.61	0.55	0.61	0.55	0.61	0.55	0.61	0.55	0.61	0.55	0.61	0.55	0.61	0.55		

表 - 6 ホタテ粉末入りアスファルト混合物のマーシャル試験性状

試験項目	規格値	1)			2)			3)			4)			5)			6)			7)			8)			9)		
		細粒G 13F55改質									密粒度アスコン13Fストアス									密粒度アスコン13F再生50%								
混合物の種類		通常の石粉100%	粗いホタテ100%	石粉50%+粗いホタテ50%	通常の石粉100%	粗いホタテ100%	石粉50%+粗いホタテ50%	通常の石粉100%	粗いホタテ100%	石粉50%+粗いホタテ50%	通常の石粉100%	粗いホタテ100%	石粉50%+粗いホタテ50%	通常の石粉100%	粗いホタテ100%	石粉50%+粗いホタテ50%	通常の石粉100%	粗いホタテ100%	石粉50%+粗いホタテ50%	通常の石粉100%	粗いホタテ100%	石粉50%+粗いホタテ50%	通常の石粉100%	粗いホタテ100%	石粉50%+粗いホタテ50%			
理論密度(g/cm <sup>3</sup> )	-	2.460	2.462	2.464	2.493	2.483	2.485	2.500	2.499	2.501	2.501	2.501	2.501	2.501	2.501	2.501	2.501	2.501	2.501	2.501	2.501	2.501	2.501	2.501	2.501	2.501		
基準密度(g/cm <sup>3</sup> )	2.35以上	2.377	2.380	2.381	2.415	2.400	2.400	2.414	2.410	2.416	2.416	2.416	2.416	2.416	2.416	2.416	2.416	2.416	2.416	2.416	2.416	2.416	2.416	2.416	2.416	2.416		
空隙率(%)	3-5	3.4	3.3	3.4	3.1	3.3	3.4	3.4	3.6	3.4	3.4	3.4	3.4	3.6	3.4	3.4	3.6	3.4	3.4	3.4	3.4	3.4	3.4	3.4	3.4	3.4		
飽和度(%)	75-85	79.8	80.5	79.8	80.0	79.1	78.6	78.3	77.4	78.8	78.8	78.8	78.8	77.4	78.8	78.8	78.8	78.8	78.8	78.8	78.8	78.8	78.8	78.8	78.8	78.8		
安定度(KN)	49以上	9.3	8.2	8.6	9.4	8.4	9.3	9.8	8.4	9.5	9.5	9.5	9.5	9.5	9.5	9.5	9.5	9.5	9.5	9.5	9.5	9.5	9.5	9.5	9.5	9.5		
フロー値(1/100cm)	20-40	31	31	33	28	33	35	34	33	34	34	34	34	33	34	34	33	34	34	34	34	34	34	34	34	34		
水浸マーシャル残留率(%)	75以上	84.3	81.1	79.6	85.7	83.6	81.7	81.0	-	81.3	81.3	81.3	81.3	-	81.3	81.3	81.3	81.3	81.3	81.3	81.3	81.3	81.3	81.3	81.3	81.3		

表 - 7 ホタテ粉末入りアスファルト混合物の各種室内試験結果

試験項目	単位	規格値	1)			2)			3)			4)			5)			6)			7)			8)			9)		
			細粒G 13F55改質									密粒度アスコン13Fストアス									密粒度アスコン13F再生50%								
			通常の石粉100%	粗いホタテ100%	石粉50%+粗いホタテ50%	通常の石粉100%	粗いホタテ100%	石粉50%+粗いホタテ50%	通常の石粉100%	粗いホタテ100%	石粉50%+粗いホタテ50%	通常の石粉100%	粗いホタテ100%	石粉50%+粗いホタテ50%	通常の石粉100%	粗いホタテ100%	石粉50%+粗いホタテ50%	通常の石粉100%	粗いホタテ100%	石粉50%+粗いホタテ50%	通常の石粉100%	粗いホタテ100%	石粉50%+粗いホタテ50%	通常の石粉100%	粗いホタテ100%	石粉50%+粗いホタテ50%			
フェーリング試験(混合物)	cm <sup>2</sup>	1.3cm <sup>2</sup> 以下	1.14	1.23	1.25	1.01	1.14	1.23	1.07	1.14	1.23	1.07	1.14	1.23	1.07	1.14	1.23	1.07	1.14	1.23	1.07	1.14	1.23	1.07	1.14	1.23			
曲げ強度	kaf/c <sup>2</sup>	なし	95	96	87	-	82	87	107	-	106	106	106	106	106	106	106	106	106	106	106	106	106	106	106	106	106		
曲げひずみ	×10 <sup>-3</sup>	なし	-	-	-	-	-	-	3.3	-	3.6	3.4	3.4	3.4	3.4	3.4	3.4	3.4	3.4	3.4	3.4	3.4	3.4	3.4	3.4	3.4			
凍結融解後増加空隙率	%	なし	3.1	3.3	3.2	2.8	2.7	2.9	1.9	-	1.8	1.8	1.8	1.8	1.8	1.8	1.8	1.8	1.8	1.8	1.8	1.8	1.8	1.8	1.8	1.8			
凍結融解後破壊個数	個	なし	3	0	1	3	0	2	0	-	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1			
すべり抵抗	BPN	60以上	87	79	90	92	94	95	85	-	88	88	88	88	88	88	88	88	88	88	88	88	88	88	88	88			

凍結融解後破壊個数とは、凍結融解試験(-20 ~ -5 を300サイクル)した後、壊れていた供試体数を数えたもの。

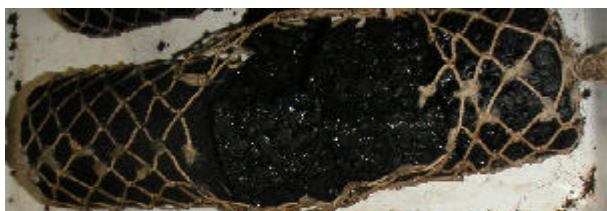


写真 - 3 凍結融解後供試体状況

左：4) 石灰石粉入り密粒度アスコン 13F

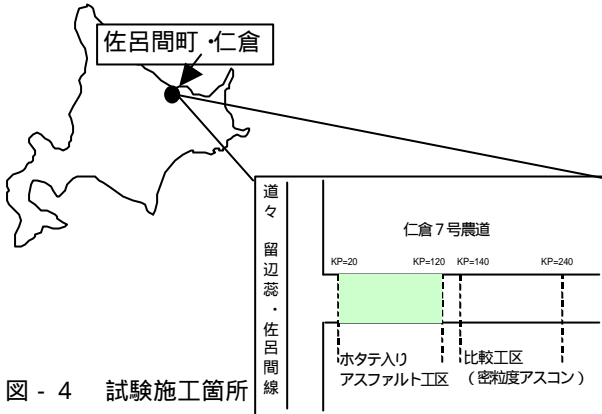
右：6) ホタテ入り密粒度アスコン 13F

### 3 . 試験施工における調査

室内試験においてホタテ入りアスファルト混合物は、標準的なアスファルト混合物と同等の性状であることがわかったため、試験施工を行い製造性、施工性等を調査した。

#### 3 - 1 . 施工箇所の概要

1) 工事箇所：サロマ町東部 ( 図 - 4 )



2) 工事路線名：仁倉 7 線道路

3) 工事延長：ホタテ工区 100m、比較工区 100m

4) 工事幅員：4 m

5) 路盤構成：図 - 5 に参照

密粒度アスファルト	3.0cm
As安定処理	5.0cm
切り込み砂利 40	16.0c
火山灰	56.0c

図 - 5 試験施工工区的路盤構成

6) 施工日時：12 月 3 日

天候：晴れ、気温：-2 、風速：1m

#### 3 - 2 . 製造・施工方法について

プラントでの製造は、通常混合物と同じような出荷を心がけたが、ホタテ粉末がプラント内で詰まってしまう、石粉投入装置(写真 - 4)を使用することができず、人力によりミキサーの監視窓からホタテ粉末を投入した。ホタテ粉末が詰まる要因としてはホタテ粉末中に含まれる水分が外気温の影響を受けて(外気温が氷点下の場合)凍結することやホタテ粉末の特異な形状によりアーチング現象 を起こし、流動しなくなることが予想され、ホタテ粉末を製造する際に水分の管理を行う事や粉末の粒度を調整することによって問題を解消できると考えられるが、更なる検討が必要である。

##### アーチング現象

アーチング現象とは、砂状や顆粒状の粉体同士が複雑に組みあがることにより、外力を加えても流動しなくなる現象を言う。



写真 - 4 石粉投入装置外観

#### 3 - 3 . 配合設計について

表 8 のような配合で試験をおこなった。

今回の施工は、道の特記仕様書でアスファルト量が規定されていたことから、合材の出来型を良くするため、全体的に通常の密粒度アスコンにくらべ、細かい粒度としてしまったが、規格内には収まっており問題はない(表 - 9)。

#### 3 - 4 . 調査項目について

今回の試験施工では、ホタテ入りアスファルト混合物の製造性、施工性、品質を調査するために表 - 10 に示すような試験をおこなった。

フィニッシャーによる(タンバ、振動スクリード)による敷均し、ローラーによる転圧は、通常舗装と同等な機械を用い同一回数となるようにした。

出荷温度、運搬時の保温状況も、同様な状態となるようにした。

#### 3 - 5 . プラントでの製造性について

##### 3 - 5 - 1 . 聞き取りアンケート

配合設計の手法、室内検討の際の混合時の重さなどについてプラントマンに聞き取り調査を行った。結果を表 - 11 に示す。

##### 3 - 5 - 2 . プラントでの使用電力、使用燃料の計測

ホタテ入りアスファルト混合物は、通常の混合物に比べてプラントでの混合物の混合時間が増えた事により(機械故障による時間のロスを除く)使用燃料及び電力が多くなると考えられたので計測した。ホタテ入りアスファルト混合物と通常アスファルト混合物を 35 t 製造した時に使用した重油、電力の計測結果を表 - 12 に示す。原単価を重油 = 2.5 円 / L、電力 = 2.6 円 / KW として原価計算すると、ホタテ工区 9,683 円 / 35t、比較工区 10,797 円 / 35t となり石粉よりホタテの方が約 1,100 円 / 100ml ほど経済的であることがわかった。

表 - 8 使用したアスファルト混合物の配合

	6号砕石	7号砕石	粗砂	細砂	ホタテ粉	石粉	As量	基準密度	空隙率	飽和度	安定度	フロー値
	%	%	%	%	%	%	%	g/cm <sup>3</sup>	%	%	KN	1/100 cm
ホタテ粉未使用	38.9	5.0	25.4	17.6	7.5	-	5.6	2.463	3.3	80.1	10.08	31
石灰石粉使用	38.8	5.3	24.7	17.2	-	8.3	5.7	2.459	3.3	80.4	9.02	27
規格値	-	-	-	-	-	-	-	-	3~5	75~85	4.9以上	20~40

表 - 9 使用混合物の合成粒度

	13.2mm	4.75mm	2.36mm	600 μm	300 μm	150 μm	75 μm
密粒度アスコン(13F)	100	67	53	38.5	26.7	12.4	9.2
ホタテ入り密粒度アスコン(13F)	100	67	53	38.5	26.7	12.4	9.2
標準的な密粒度アスコン(13F)	100	60.9	50.3	35.3	23.1	10.8	8.5
基準値	100~95	72~52	60~40	45~25	33~16	21~8	11~6

表 - 10 試験施工における調査項目

項目	内容	試験名	備考
製造性	プラントの製造性	聞き取りアンケート	プラントマンに聞き取りを行った
		使用電力 使用燃料の計測	プラントにて計測した
施工性	現場での施工性	合材の出荷時、到着時の温度計測	ダンプ上で計測した
		舗装体温度計測	舗装体に熱電対を埋設し測定した
		サイクルタイムの計測	現場で計測した
品質	臭気の測定	臭気の測定	ニオイセンサと検知管を用いて行った
		施工後の混合物の品質	現場から切り取ったコアを室内にて試験した
	施工後の混合物の品質	現場材料による供試体の室内試験	使用した材料を用いて室内にて供試体を作成した
		スキッドテストによるスベリ抵抗性試験	現場で直接測定した

表 - 11 聞き取りアンケート結果

配合設計の状況	配合設計の計算で特に変更したところはない。 ホタテを入れた事によるアスファルト量の変化はほとんどない。 室内配合で混合物を練る場合は、非常に重たい
混合時の状況	ドライミキシングタイムはホタテ粉末の影響を受けないが、ホタテ粉末を直接ミキサーに投入するとミキシング時間は15倍になる。 ウェットミキシングタイムはホタテ粉末の影響を受けて15倍程度の時間がかかる。
ホタテ石粉の荷姿について	袋投入は小規模な工事では有効である。 フレコンでの投入は、プラント施設を増設する必要があるが、大規模な工事には有効である。 ローリーによる石粉サイロへの投入は規模に関わらず有効であると考えられるが現在、流通経路が確保されていない。

表 - 12 試験施工で使用したエネルギー量

	所要時間(分)	使用重油量(%)	使用電力量(kWh)
ホタテ粉末	93	371(9275円)	15.7(408円)
石灰石粉	81	417(10425円)	14.3(372円)

重油は1L当たり25円、電力は1kW当たり26円で計算している。

### 3 - 6 . 現場の施工性について

#### 3 - 6 - 1 . 合材運搬車の出荷時、到着時の温度計測と敷均し後の温度計測

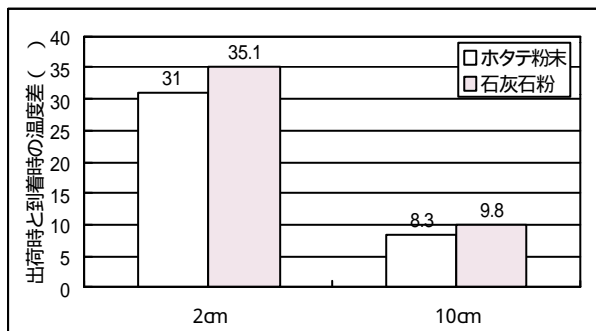


図 - 6 ダンプ上での温度計測結果

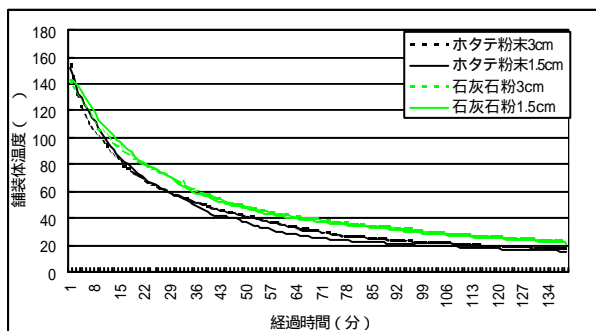


図 - 7 敷均し後の合材温度測定結果

ホタテ粉末と石粉では、見かけの体積が違うのでホタテ石粉は比熱が低いことが考えられたためダンプ上での合材出荷時、現場到着時の温度計測および舗設後の合材温度の計測を行った。

図 - 6 にダンプ上での温度計測結果、図 - 7 に敷均し後の合材温度の計測結果を示す。

合材を運搬したトラックには、合材シートを1枚被せ、排気熱を利用した保温装置がついている。また、プラントから舗装現場までの運送時間は25分程度である。

試験結果から、ダンプ上の温度計測ではホタテを入れた事により35分程度の運搬で4.1~1.5 余計に合材温度が低下した。敷均し後の合材温度計測でも、ホタテ石粉を入れた事により、合材温度が経過時間に対して早く低下しやすい傾向にあるため、適切な温度管理が必要となる。原因として、ホタテ粉末は、石粉に比べかさ比重が大きく比熱が小さくなるためと考えられる。

表 - 13 敷均し状況及び転圧回数の計測

	1台あたりの合材を敷均し終えるまでの時間	マカダム転圧回数	タイヤ転圧回数
ホタテ粉末	9分	10回	18回
石灰石粉	6分	10回	17回



### 3 - 6 - 2 . サイクルタイムの計測

ホタテ入りアスファルト混合物は総じて混合時間が多くかかることから現場での敷均し時間の増加や転圧時間の遅れが生じると考えられたため敷均し後の合材温度測定箇所においてサイクルタイムを測定した。表 - 1 3 にサイクルタイム測定の一部を示した。転圧回数は変化しないが、敷均すために要した時間はホタテ9分、通常石粉6分となっておりホタテ入りアスファルト混合物は、機械でも敷均しにくい傾向となった。

### 3 - 7 . 臭気測定結果について

ホタテ貝の成分の内99%以上は炭酸カルシウムであるがホタテ貝は微量な有機物分を持っており、その有機物分が混合物の加熱によって焦げて悪臭がする可能性があるため、今回は検知管(写真 - 5)とニオイセンサ(写真 - 6)を用いてプラントでの合材作成時、アスファルトフィニッシャーでの敷均し時について計測した。試験の結果は、表 - 1 4 に示す。作業員への聞き取りによるとホタテ入り混合物の施工中に臭気を感じる者が多く、検知管やニオイセンサによる計測でもホタテ入り混合物にやや反応があった。

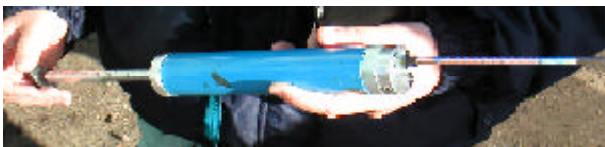


写真 - 5 検知管の外観



写真 - 6 ニオイセンサの外観

表 - 1 4 臭気測定結果

臭気測定手段	測定場所	合材の種類	測定値
検知管	プラント前	通常合材	検知せず
		ホタテ合材	0.2PPM
	施工現場	通常合材	検知せず
		ホタテ合材	検知せず
臭気測定手段	測定場所	合材の種類	測定値
ニオイセンサ	プラント前	通常合材	208
		ホタテ合材	240
	施工現場	通常合材	200
		ホタテ合材	220

### 3 - 8 . 施工後の混合物性状について

室内試験で十分な値を得ているが、確認の意味で切り取りコアの密度試験、現地と同じ配合設計でのホイールトラッキング試験、チェーンラベリング試験を行った。また試験施工工区においてスキッドテストによるスベリ抵抗性試験を行った。

### 3 - 8 - 1 . 締固め度の測定

現場切り取りコアの締固め試験結果を表 - 1 5 に示す。ホタテ混合物の工区のコアは、比較工区のコアと同等程度の密度を有しており、規格<sup>4)</sup>である94%以上を満たしている。

表 - 1 5 現場切り取りコアの締固め度測定結果

種別	1	2	3	4	平均
ホタテ粉末	99.8	99.8	99.9	99.6	99.8
石灰石粉	99.4	99.7	98.1	99.0	99.1

単位は%である

### 3 - 8 - 2 . 現場の材料による供試体の室内試験結果

試験施工現場と同じ配合で作成した供試体のホイールトラッキング試験結果を図 - 8 にチェーンラベリング試験結果を図 - 9 に示す。ホタテ混合物の工区の供試体も比較工区の供試体もほぼ同様な値を示しており、規格<sup>4) 5)</sup>を満足している。

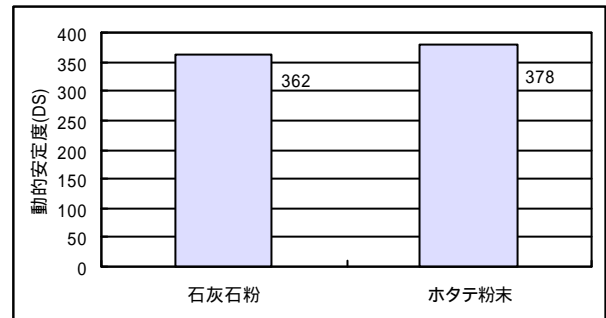


図 - 8 ホイールトラッキング試験結果

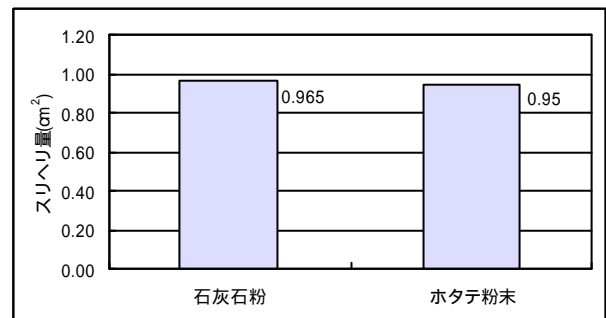


図 - 9 チェーンラベリング試験結果

### 3 - 8 - 3 スキッドテストによるスベリ抵抗性試験

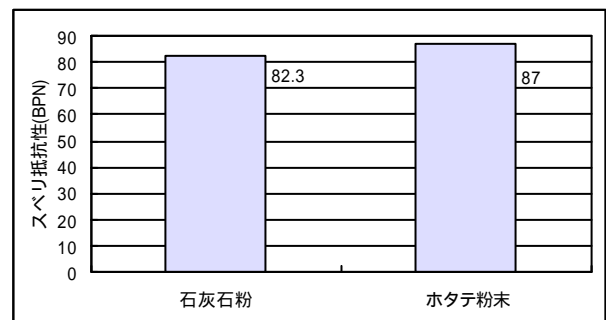


図 - 10 スベリ抵抗性試験結果

試験施工現場でポータブルスキッドテストを用いてスベリ抵抗性を測定した結果を図 - 10 に示す。どちらの工区もほぼ同様な値を示しており、参考値<sup>6)</sup>の B P N 60 を満足している。

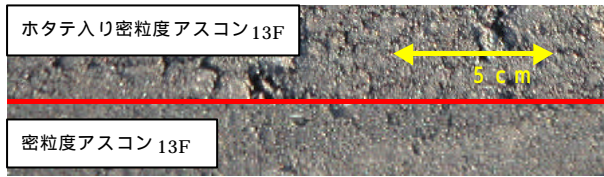


写真 - 7 施工後の舗装表面

#### 4. まとめ

今回の報告では、室内試験及び試験施工でホタテ粉末が舗装用石粉の代替えとして使用できるかを調査した結果、以下のとおり、総じてホタテ入り混合物は、いくつかの改良すべき点があるが混合物としての規格値は満足しており使用可能であると考えられる。

- 1) ホタテ入りアスファルト混合物は、マーシャル試験やホイール試験などのすべての規格を満足することができ、耐流動性、スリヘリ抵抗性、凍結融解に対する耐久性を有する事が確認できた。
- 2) ホタテ粉末の水分や粒度によっては、フロー値が大きくなり、プラントでの混合物の製造性が悪くなる場合がある。
- 3) ホタテ入り混合物は、敷均した直後より温度低下が大きくなる傾向にある。

#### 最後に

ホタテ貝が養殖されている地域は噴火湾とオホーツク海であり、網走管内では年間 84,000 トンのホタテ貝殻が生産されている。暗渠排水用資材、土壌改良剤等として 48,000 トン使用され、現在の余剰量である約 36,000 トンが産業廃棄物となり地域の環境悪化の一因となっている。このため、市町村等ではホタテ貝殻の処理が大きな課題となっている。このホタテ貝殻を石粉として利用する場合、排出者等が運搬費を負担することにより、ホタテ粉末が石灰石粉よりも安価になると考えられる。

今回の調査によって、ホタテ貝粉末が舗装用石粉の代替として使用できる品質を有することが明らかになった。以後、以下の事柄に留意し研究につなげていきたい。

- 1) ホタテ貝入り混合物のプラントでの製造性が悪い原因はホタテ粉末の形状と水分であると考えられるため、粒度の調整と水分の除去を行い製造性を向上させたい。

2) 試験施工箇所を追跡調査し、今後の供用性を測定していきたい。

3) 今回は冬期間に試験施工を行ったため、臭気を測定しにくかった。この事より、夏場での測定を行い真値を測定したい。

最後に今回の試験施工および室内試験においてホタテ粉末を提供していただいた常呂町振興公社の皆様に深くお礼申し上げます。

(参考文献)

- 1) 朝日新聞 平成 14 年 12 月 3 日発行朝刊
- 2) 毎日新聞(網走地方版) 平成 14 年 11 月 30 日発行夕刊
- 3) (社)日本道路協会「アスファルト舗装要綱」平成 4 年改訂版
- 4) 北海道開発局「道路・河川工事仕様書」
- 5) 北海道開発局「道路工事設計施工要領」
- 6) 日本道路公団「日本道路公団試験方法」

吉井 昭博\*

北海道開発土木研究所  
道路部  
維持管理研究室  
研究員

安倍 隆二\*\*

北海道開発土木研究所  
道路部  
維持管理研究室  
主任研究員

内山 智幸\*\*\*

北海道立工業試験場  
環境エネルギー部  
環境システム科  
主任研究員