

ホタテ粉末のアスファルト舗装材料への適用について

Application to asphalt pavement material of the scallop shell powder.

独立行政法人 北海道開発土木研究所 道路部 維持管理研究室 正員 ○上野千草 (Chigusa Ueno)
 正員 岳本秀人 (Hideto Takemoto)
 正員 安倍隆二 (Ryuuji Abe)
 北海道立工業試験場 環境エネルギー部 環境システム課 内山智幸 (Tomoyuki Utiyama)

1. まえがき

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が、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量は1年あたり約20万tであり、国内全貝殻排出量の過半数を占める状態にある。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、現在では土壌改良材や路盤材、ブロックなどに再利用されている。しかし、十分な利用量とはなっていないため、資源の有効利用と環境保全の観点から、ホタテ貝殻微粉末をアスファルト舗装材料として利用するため検討を行った。

これまでの研究で、ホタテ粉末を石灰石粉の代替として使用することが可能であることが確認されたが¹⁾、実際にプラントで混合を行った結果、通常の石粉投入装置を使用するとプラント内で詰まり、通常の方法では供給できなかった。原因として、ホタテ粉末の特異な形状(写真-1)によりアーチング現象を起こし、流動しなくなることが考えられる。本報告では、施工時におけるワーカビリティを考慮したホタテ粉末の流動性試験結果及び舗装材料としての最適粒度試験結果について報告する。

2. ホタテ粉末の流動特性

1) ホタテ貝殻及びホタテ貝殻粉末の粉体特性

様々な粒度のホタテ貝に対して、嵩密度(g/cc)、密充填密度(g/cc)、圧縮度(%)、安息角(度)を調査し流動性を確認した。試験結果を図-1～4に示す。

試験の結果、嵩密度および密充填密度では74～27000 μ mで密度が高くなる傾向にある。圧縮度でも、同様な傾向となり、およそ100～50000 μ mまでは、流動性が良好になり、それ以外の粒度では流動性が低下する傾向が見られた。安息角についても、およそ100 μ m以上になると、安息角が小さくなり、流れやすくなる傾向が見られた。このことから、粉体特性についてのみ考えるとホタテ貝の粒度は100～10000 μ mが望ましいと考えられる。

2) ホタテ貝殻粉末の流動特性

流動特性を確認するためドライビスコシティ(DB)試験²⁾を行った。試験結果を図-5に示す。

ホタテ粉末の粒子が大きくなるたびに流下時間は短くなる傾向を示した。特に100 μ m以下の粒度であると詰まってしまい流下しないことがわかった。従って、ホタテ貝の粒度は100 μ m以上であるのが望ましいと考えられる。

3. ホタテ粉末のアスファルト舗装用材料としての検討

ホタテ貝殻の舗装用骨材としての利用については、

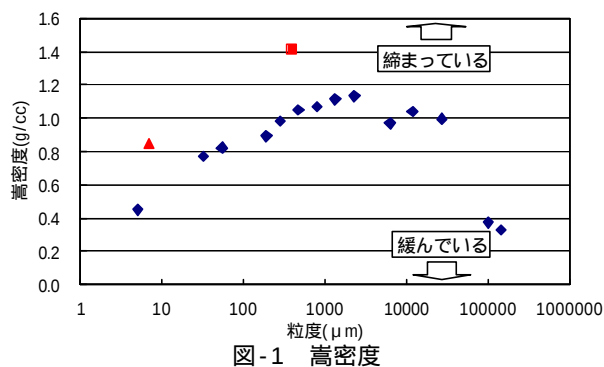


図-1 嵩密度

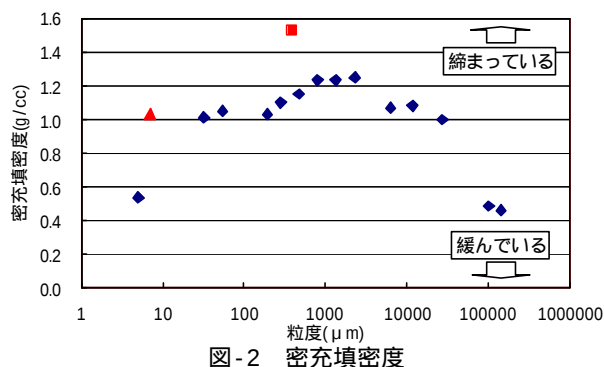


図-2 密充填密度

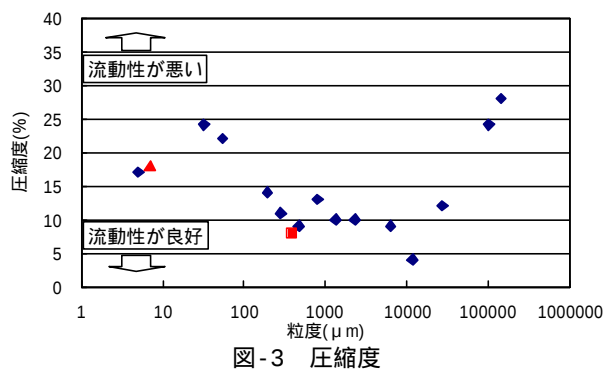


図-3 圧縮度

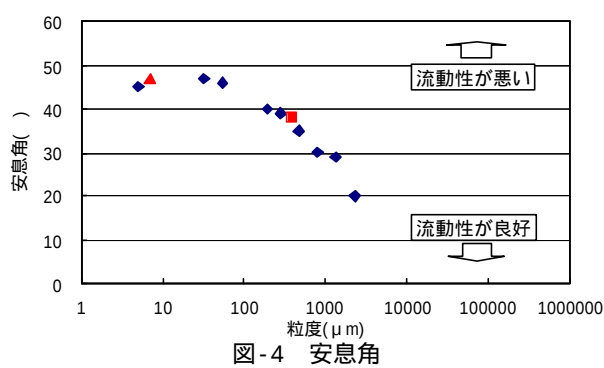


図-4 安息角

◆ ホタテ粉末 ▲ 通常の石粉 ■ 通常の細砂

「扁平な骨材を使用してはならない」という観点³⁾から石粉や細砂としての使用方法となる。このため、今回の調査では、200 μm (細砂相当)以下の粒度に粉碎して試験に用いている。骨材としての試験の結果を表-1に示す。

加熱変質試験の結果、ホタテ粉末は加熱による変色が認められ、フロー値が高くなる傾向にあったが、粒子同士が付着しないことから、これらの項目にとらわれることなく混合物の試験に使用した。また、ホタテ粉末は細砂としての規格は満足した。

ここで使用したホタテ粉末は、平均粒度が100 μm までのものを石粉の代替とし、それ以上の粒度のものを細砂の代替として混合物を作成した。使用したホタテ貝粉末は単粒のものが多く、10%程度の混合率であると合成粒度にはほとんど影響を及ぼさないことがわかった。しかし、後述にあるが、ホタテ粉末の混入量が多くなると目標粒度から逸脱していく傾向にあることがわかった。

4. ホタテ粉末の最適粒度の推定試験

1) 配合設計

今回の室内試験では、使用したホタテ粉末の粒度がアスファルト混合物にどのような影響を及ぼすのかを調べるため、ホタテ貝粉末の粒度5～200 μm 、混入割合を一律重量比で約10%となるように配合設計を行い以下の項目について試験⁴⁾を行った。作成混合物は現在、北海道で最も多く使用されている密粒度アスコン13F(ストアス)とした。

2) 基本性状

マーシャル安定度試験より、混合物の基本的な性状(強度、フロー値等)の測定を行った。試験の結果を表-2に示す。ホタテ貝粉末の粒度に関わらず規格値⁵⁾を満足し、ほぼ一定の値を示した。

また、水浸マーシャル安定度試験より、水浸後の残留安定度(残留安定度=水浸後マーシャル安定度÷水浸前マーシャル安定度×100%)を調査した。結果を表-2に示す。ホタテ粉末の粒度による残留安定度に差はほとんど認められず、全ての混合物において規格値⁵⁾である75%以上を満足した。

3) 耐流動性

ホイールトラッキング試験より、わだち掘れに影響を与える耐流動性を計測した。試験の結果を図-6に示す。ほぼ全て粒度において、DSは200～300程度となり一般の石粉を使用した場合とほぼ同程度の安定度を得られることが確認された。

4) スリヘリ抵抗性

チェーン等によるスリヘリに対する抵抗性を調べるためチェーンラベリング試験を行った。今回の試験は、クロスチェーンを使用し供試体は混合物として試験を行った。試験の結果を図-7に示す。ホタテ粉末の粒度が大きくなるほどスリヘリ量が大きくなる傾向がみられたが、スリヘリ量の規格値⁵⁾1.3 cm^2 以下は満足した。

5) すべり抵抗性

英国式ポータブルスキッドテストを用い、ホイールトラッキング試験用供試体よりすべり抵抗性BPNを測定

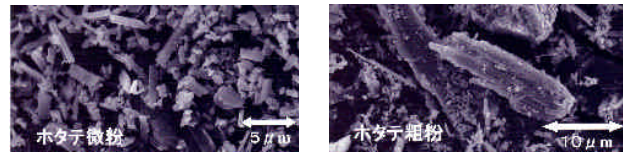


写真-1 ホタテ粉末 (左: 3 μm 、右: 20 μm)

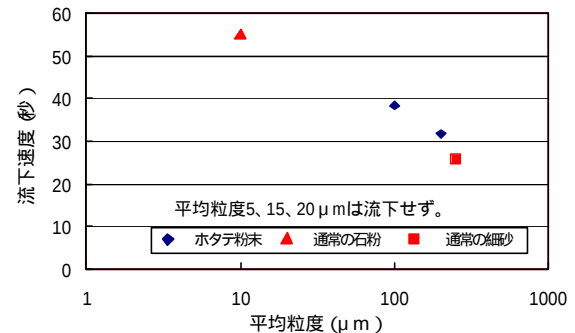


図-5 流下速度

表-1 ホタテ粉末の舗装材料としての試験結果

	石粉 の規格	ホタテ 5 μm	石灰粉 10 μm	ホタテ 15 μm	ホタテ 20 μm	ホタテ 100 μm	細砂 の規格	ホタテ 200 μm	細砂 250 μm
粒度	2.36mm	100	100	100	100	100	-	100	100
	600 μm	100	100	100	100	100	-	100	95.5
	150 μm	90～100	97.4	98.6	92.4	99.4	72.2	-	32.1
	75 μm	70～100	91.5	88.2	75.1	59.5	55.6	-	8.3
比重(g/cm^3)	2.60以上	2.711	2.712	2.703	2.692	2.682	2.55以上	2.692	2.670
加熱変質	無し	あり	なし	あり	あり	あり	-	-	-
フロー試験(%)	50%以下	722	35.3	56.8	73.3	32.7	-	0.00	0.10
浸水膨張(%)	3%以下	0.19	2.50	0.06	0.37	0.00	-	0.00	0.19
はく離抵抗	合格	合格	合格	合格	合格	合格	-	-	-
骨材の安定性試験(%)	-	-	-	-	-	-	10%以下	5.40%	3.10%

表-2 平均粒度による基本性状

	ホタテ粉末 5 μm	石灰粉 10 μm	ホタテ粉末 15 μm	ホタテ粉末 20 μm	ホタテ粉末 100 μm	ホタテ粉末 200 μm
理論密度	2.500	2.493	2.499	2.491	2.483	2.493
基準密度	2.414	2.415	2.410	2.398	2.400	2.394
空隙率	3.4	3.1	3.6	3.7	3.3	4.0
飽和度	78.3	80.0	77.4	77.8	79.1	76.7
安定度	9.8	9.4	8.4	11.8	8.4	10.9
フロー値	34	33	33	38	33	39
水浸マーシャル安定度	7.9	8.1	-	11.3	7.0	10.0
残留安定度(%)	81.0	85.7	-	95.9	83.6	91.7

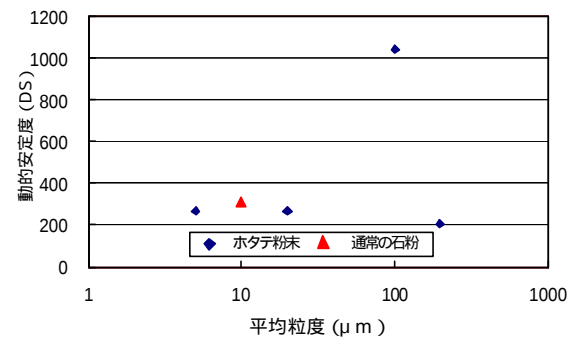


図-6 平均粒度による動的安定度(DS)

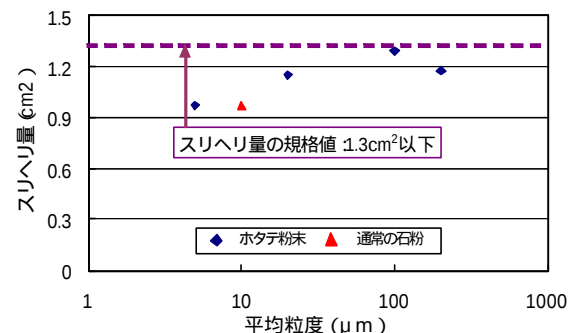


図-7 平均粒度によるスリヘリ量

した。試験の結果を図-8に示す。全ての粒度において参考値(日本道路公団 供用開始時の規格値)であるBPN65以上は満足し、ホタテ粉末の粒度の違いによるスベリ抵抗値の違いはほとんど認められず、通常の石粉を使用した場合と同程度の値が得られた。

6) ひび割れやすさ

曲げ試験を行い、混合物の曲げ強度及び曲げひずみを測定することによって、ひび割れやすさを検討した。試験結果を図-9に示す。曲げ強度、曲げひずみにおいては、平均粒度との相関は見られなかったが、ホタテ粉末の使用による強度の低下は見られず、通常の石粉を使用した場合とほぼ同程度の性状を示した。また、曲げひずみにおいても通常の石粉の場合と同程度の値を示した。

7) 凍結融解強に対する抵抗性

凍結融解試験は、特に寒冷期における混合物の劣化度合いをシミュレートする試験である。今回の検討方法は、凍結工程+4.5～-18.0で2時間、融解工程-18.0～+4.5で1時間とし、合計3時間を凍結融解数1回として300サイクル凍結融解後の増加空隙率を調査した。試験の結果を図-10に示す。増加空隙率はホタテ粉末の平均粒度にかかわらず、通常の石粉を使用した場合とほぼ同程度の性状が確認された。また、凍結融解後の安定度についても、ホタテ粉末の使用による強度の低下は見られなかった。

5、ホタテ粉末の最適混合量の推定試験

1) 配合設計

流動性試験、および最適粒度の試験の結果から、平均粒度200 μm に対するホタテ粉末の最適混合率(以下、混合率)を確認した。試験は0%～30%の混合率で行い、混合物は最適粒度の推定試験と同様に密粒度アスコン13F(ストアス)を用いた。配合および合成粒度を表-3に示す。10%程度の混合率では合成粒度に影響を及ぼさないが、混合量が多くなるに従い目標粒度から逸脱していく傾向が見られた。また、混合率を上げていくと混合に時間がかかる傾向が見られた。

2) 基本性状

マーシャル試験の結果を表-4に示す。混合率が30%程度となると、基準密度、空隙率が密粒度アスコンの規格値を満足できない結果となった。安定度および残留安定度についてはいずれの混合率においても規格値を満たすことができ、双方とも混合率が10～15%の間において極値をとる傾向が見られた。

3) 耐流動性

ホイールトラッキング試験より耐流動性を計測した結果を図-11に示す。混合率が20%以下では、混合率0%の場合とほぼ同程度の性状を示すが、30%程度まで混合率を上げると耐流動性が向上する傾向が見られた。

4) スリヘリ抵抗性

チェーンラベリング試験よりスリヘリに対する抵抗性を確認した。試験結果を図-12に示す。混合率を上げることによりスリヘリに対する抵抗性が低下する傾向

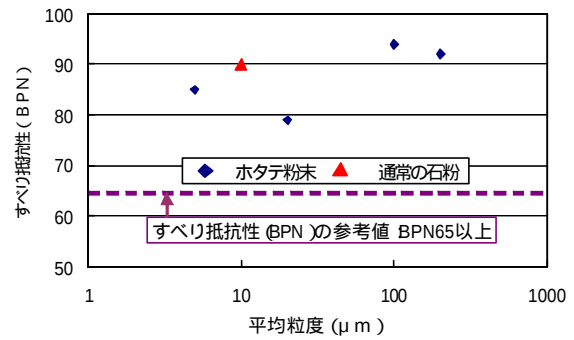


図-8 平均粒度によるすべり抵抗性

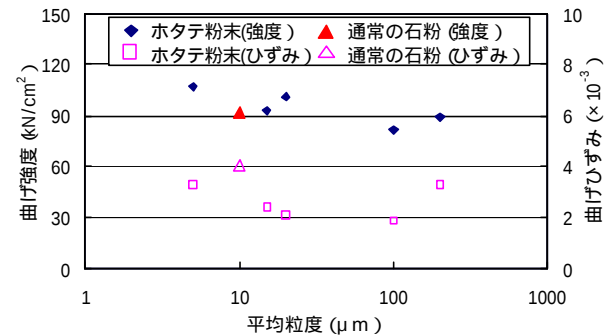


図-9 平均粒度による曲げ強度、曲げひずみ

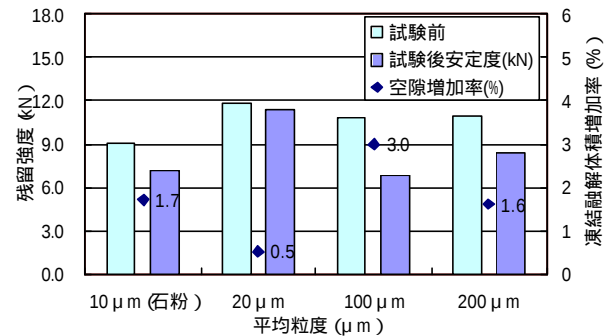


図-10 平均粒度による凍結融解空隙増加率

表-3 配合設計

		ホタテ粉末混合量					目標粒度範囲
		0%	10%使用	15%使用	20%使用	30%使用	
骨材混合率	砕石 6号	37.0	36.1	36.0	36.0	35.8	-
	砕石 7号	8.5	11.1	11.5	12.2	14.5	-
	粗砂	30.1	23.6	22.7	16.5	8.4	-
	細砂	9.8	5.7	2.8	2.8	0.0	-
	ホタテ粉末	0.0	9.4	13.2	18.8	28.3	-
石粉		9.2	8.3	8.1	7.9	7.2	-
	アスファルト	5.4	5.8	5.7	5.8	5.8	-
通過	19.0 mm	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100
過重	13.2	99.3	99.3	99.3	99.3	99.3	100-95
	4.75	60.9	61.9	62.1	62.0	62.0	72-52
	2.36	50.3	50.0	50.0	50.0	49.2	60-40
	600 μm	35.3	37.3	37.8	40.3	42.3	45-25
百分率	300	23.1	25.3	26.4	28.9	32.2	33-16
	150	10.8	13.0	13.8	15.2	16.8	21-8
	75	8.5	8.5	8.5	8.5	8.5	11-6
混合必要時間(秒)		40.0	45.0	50.0	50.0	60.0	-

表-4 混合率による基本性状

	ホタテ粉末200 μm					密粒度アスコン規格値
	0%	10%	15%	20%	30%	
理論密度	2.501	2.488	2.493	2.489	2.489	-
基準密度	2.410	2.403	2.394	2.354	2.266	-
空隙率	3.6	3.4	4.0	5.4	9.0	3.0～5.0
飽和度	77.8	79.9	76.7	71	58.5	75～85
安定度	9.4	11.0	10.9	10.1	8.7	4.9以上
フロー値	32	38	39	40	44	20～40
水浸マーシャル安定度	8.1	10.2	10.0	9.7	8.0	-
残留安定度(%)	85.7	92.1	91.7	95.7	91.7	75%以上

向が見られたが、混合率30%程度まででは全ての混合率においてスリヘリ量の規格値 1.3cm^2 以下を満足した。

5) すべり抵抗性

英国式ポータブルスキッドテストによりすべり抵抗性BPNを測定した。結果を図-13に示す。全ての混合率で参考値BPN65以上を確保することができた。また、混合率を高くしても同程度のすべり抵抗性を得られることが確認された。

6) 破壊特性

圧裂試験を行い0 および60 の時の圧裂強度を測定し、その比よりアスファルト混合物のひび割れやすさを検討した。圧裂強度比を図-14に示す。混合率が30%程度までの場合は、圧裂強度比が30程度と中間的な性状となっており、ホタテ粉末混合量の増加による性状の変化は見られなかった。

6. まとめ

- 1) ホタテ粉末の平均粒度が細くなると流動特性が低下することから、施工時におけるワーカビリティを考慮すると平均粒度 $100\ \mu\text{m}$ 以上を使用することが望ましい。
- 2) ホタテ粉末の粒度が粗くなるとフロー（変形）しやすくなり、スリヘリ抵抗性が低下する傾向が見られ、アスファルト混合物用材料としては細かい粉末の方が性状が良くなる傾向にあり、平均粒度 $200\ \mu\text{m}$ 以下を使用することが望ましい。
- 3) 平均粒度 $200\ \mu\text{m}$ において混合率を30%程度まで上げると基本性状において飽和度、フロー値が規格値を満足できず、スリヘリ量についても混合率が高くなるにつれて増加する傾向が見られ、ホタテ粉末の混合率は20%程度が限界であると考えられる。

以上の試験結果から、ホタテ粉末の粒度を $200\ \mu\text{m}$ 程度、混合率を20%未満の条件で使用すれば、通常の石粉を使用した場合と同程度の施工性と、混合物としての耐久性を得ることが可能であると考えられる。

7. あとがき

ホタテ粉末については、舗装用材料としての最適粒度と最適混合率が明らかになったことから、試験施工等で製造性・貯蔵性・混合性・施工性・品質・供用性を調査して行きたい。

最後に今回の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) 吉井昭博、岳本秀人、内山智幸：ホタテ貝殻粉末のアスファルト舗装材料としてのリサイクル利用について、第46回北海道開発局技術研究発表会、2002.2
- 2) 日本道路公団「日本道路公団試験方法」細骨材の粒径評価試験方法 JHS2383)、2000.7

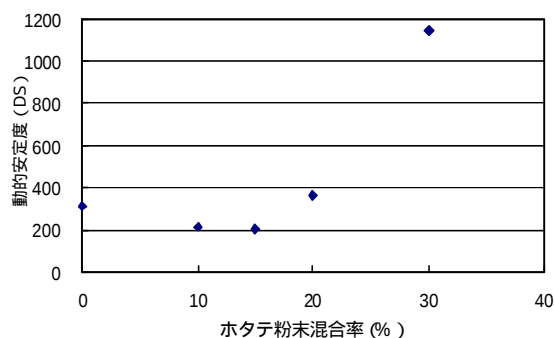


図-11 混合率による動的安定度(DS)

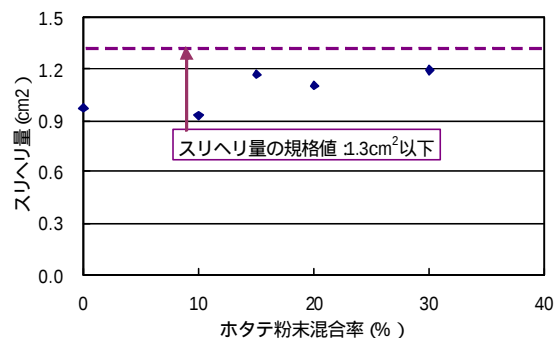


図-12 混合率によるスリヘリ量

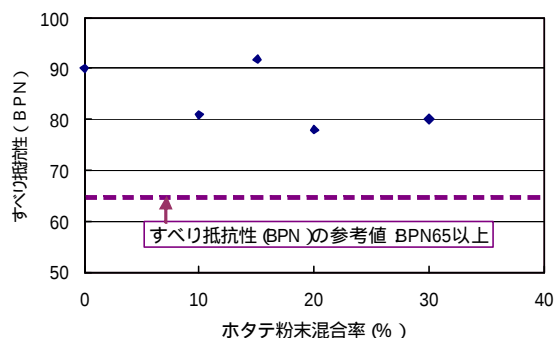


図-13 混合率によるすべり抵抗性

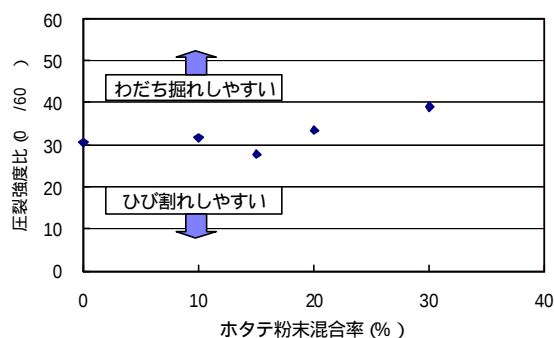


図-14 混合率による圧裂強度比

3)「アスファルト舗装要綱」(社)日本道路協会、1995.2

4)「道路工事設計施工要領」、北海道開発局、2004.4

5)「道路・河川工事仕様書」、北海道開発局、2004.4