Ｖ－３　カラー舗装の適用と配合試験方法

北見工業大学工学部　正　員　末　岡　伯　従

１．まえがき

積雪寒冷地でのアスファルト舗装の表層は、タイヤチェーンやスパイクタイヤのすりへり抵抗を増すために、フイラーの役割を高く評価した、フイラービチューメン（以下、ＦＢと略す）を結合材とする、研究がなされてきた。そして、一方では路面のすべり抵抗に対しては、砕石を増す必要から砕石量約４０％の密粒度アスコンが、耐摩耗性と摩擦抵抗力の両面を備えた粒度として、広く利用されてきた。

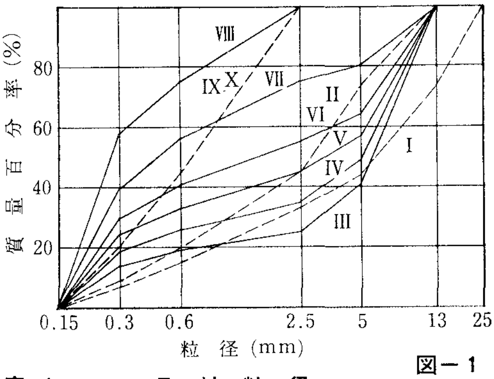
本研究もこの配合設計方法を利用して、ＦＢ法により、Ｆ／Ａを固定し、さらにアスモルがアスコンの結合材であるとする研究が試みられてきた。しかし、将来のスパイクタイヤ使用禁止によって舗装の表層を強化する努力から、走行車両の安全性、騒音の防止などとともに、カラフルな舗装に転換しつつある。そこで本研究は、フイラーと顔料との共用性を調べ、各骨材粒度での配合試験方法の検討を試みたので報告する。

２．使用材料と試験方法

アスファルトはシェル石油（株）８０～１００で、使用に際してはアスファルト表面老化の影響も考え７０°Ｃで約８時間溶融し、均一になるようよくかき混ぜ、－５°Ｃで固結させ、使用のたび砕き用いた。針入度、軟化点、伸度、薄膜加熱、蒸発、四塩化炭素可溶分、比重、セイボルトフロール秒各試験を実施した。試験の結果を表－２に示した。フイラーは訓子府産石灰石粉で、買入時点の含水比０．１１％、０．３mm通過分１００％、７４μふるい残留分約８０％であった。試験には７４，３７μふるい通過分を使用した。Ｆ７４、３７μ粒度，液性・塑性、比重の各試験結果を図－２、５と表－４に示した。

砂は常呂産で、２．５～０．３mm分を粗目として細目は０．３mm以下斜里産を用いた。０．１５mm通過分は約２％と少なかったため０．３～０．１５mm分に置き換えた。砕石は訓子府産で、２５～１３mm １３～２．５mm粒径の砕石を用いた。骨材の各粒径ごとの比重、吸水量は表－１の下段に示した。

骨材の合成粒度は、密粒度アスコン（２０)(１３）を基にし、ＦＢ法の粒度にし、最大２５、１３、２．５mmとし、さらにＦ７４、３７μでもマーシャル試験を実施した。顔料は入取しやすい、酸化クロム、ベンガラ、黄鉛、チタン白をフイラーと共に調べた。試験の各結果を図－３、６と表－４に示した。マーシャル試験結果の各測定計算値は、Ａｓ、Ｓｔ、Ｄｍ、Ｆ１、Ｖｖ、Ｖｆａ、Ｖｍａと略して記述し、述べた。関係図書を参照されたい。



図－１

表－1　骨材粒径

産地名		訓子府砕石			常呂砂		斜里砂
粒径 mm		25～13	13～5	5～2.5	2.5～0.6	0.6～0.3	0.3～0.15
アスコン	I	26 %	31 %	10 %	18 %	8 %	7 %
	II	—	28	27	25	11	9
	III	—	59	16	6	5	14
	IV	—	51	14	9	7	19
	V	—	42	12	12	9	24
	VI	—	36	9	14	11	30
	VII	—	20	5	19	16	40
アスモル	VIII	—	—	—	25	21	54
	IX	F74μ		—	55	24	21
	X	F37μ		—	55	24	21
比重		2.718	2.717	2.705	2.650	2.690	2.790
吸水量(%)		0.34	0.50	0.70	1.10	1.00	0.80

Aplication of Coloured Pavement to Mix Design Test
by Noritsugu Sueoka

3．顔料の成分と用途

（1）酸化クロム

別名：酸化クロミウム、緑色粉末

組成：Cr_2O_3　分子量：１５１．９９

２価、３価、６価クロム化合物として最もよく知られている。

無定形粉末は光沢ある緑色で、密閉器中で昇華されたものは、金属光沢を有する黒い色ないし暗緑色六方晶系、または三方晶系結晶である。

水、アルコールに不溶、日光で変色せず、強熱しても変化しない。酸、アルカリと熱しても侵されない。硬度は石英、鋼より高い。

クロムグリーンとして顔料に用いられ、ガラス、陶器などの着色に使用、熱、外気、水などの変化がないため用途の多い顔料である。

（2）酸化第二鉄

別名：ベンガラ、赤褐色粉末

組成：Fe_2O_3　分子量：１５９．７０

酸化鉄（III）からなる赤色顔料は、インドのＢｅｎｇａｌに産出したので、この名があり転じてベニガラ（紅殻）弁柄という。

αとγの２変態があり、α型は天然の赤鉄鉱として産出する。γ型は酸化鉄、鉄、鉄化合物を酸化することにより得られる。ベンガラは硫化鉄鉱を原料としても得られる。波長５９８～６０５mμと特に長い。吸油量２０～３０、陰ペイ力はかなり大きい。着色力、耐久力や耐薬品性とも大きい。微粉末は金属やガラスの表面をみがくことができる。ペイント、ゴム、リノリウム、セメントなその顔料、窯業用着色剤、油、絵の具用で、ルージュといわれる。サビ止め効果は小さい。

（3）黄鉛

別名：クロムエロー、黄色のクロム酸鉛

組成：$PbCrO_4$　分子量：３２３．１８

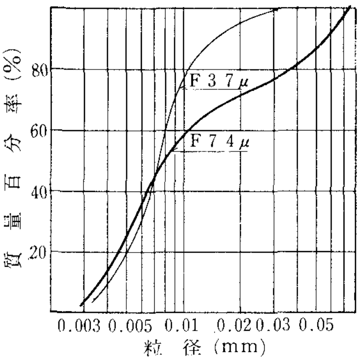
色相によって１０Ｇ、５Ｇ、Ｇ、Ｒ、５Ｒ（黄色→赤味）の５種類ある。鉛分を含有するため、硫化水素にあえば黒変する。そのため硫黄を含む顔料と併用できない。太陽光線には比較的強いが、徐々に退色するので、コンクリート、水性、壁塗料には使用できない。

（4）二酸化チタン

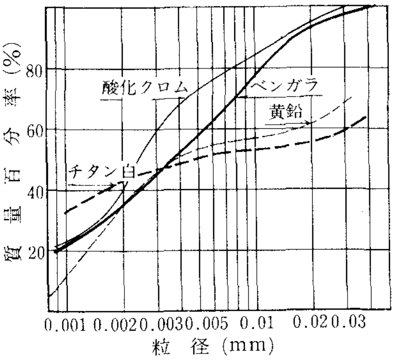
別名：チタン白、白色粉末

組成：TiO_2　分子量：７５．９０

チタンを含む鉱石は自然界に多量に存在している。鉄、チタン、バナジウムを含むチタン磁鉄鉱や、イルメナイト、ルチンがそうである。白色顔料としてだけでも毎年２０万ｔにおよぶ酸化チタンが使用されている。酸化チタンは結晶構造の違いによってルチル型（比重４．２６）とアナタース型（比重３．９）があり、屈折率２．５～２．７と非常に大きく、着色力は亜鉛華の８倍、鉛白の１０倍と高い。ルチル型は、純白よりやや黄みを帯び、酸、アルカリ、硫化水素に安定であるが、アナタース型は白亜化しやすい。亜鉛華、鉛白と混合使用すると、この欠点が少なくなる。



図－２　フイラーの粒度



図－３　顔料の粒度

表－２　アスファルトの性質

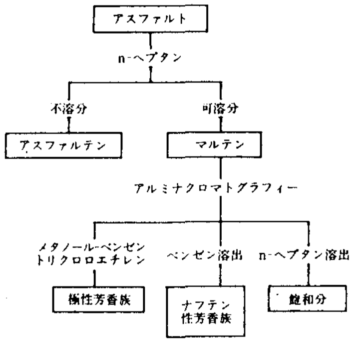
針入度		93
軟化点		46.0℃
針入度指数		−0.7
伸度	5℃	6 cm
	15℃	100以上
薄膜加熱	質量変化率	0.078%
	針入度変化率	63.3%
蒸発	質量変化率	0%
	針入度変化率	91.3%
四塩化炭素可溶分		99.8%
比重		1.022
セイボルトフロール秒	120℃	358秒
	140℃	122.0秒
	160℃	49.0秒
	180℃	28.0秒

4．アスファルトの成分

黒くて、特有のにおいをもつ石油は、ほとんど推積岩中に存在するところから、動植物の遺がいとの説がある。石油の残渣であるアスファルトは、炭化水素の混合物で、硫黄化合物、窒素化合物などが含まれ、平均分子量８００～１０００であるとされ、アスファルテン、レジン、油分などによって構成されている。アスファルトの組成分析方法には、吸着法をはじめとする各種類あり多くの方法が提案されている中で、特にCorbet 法があり、表－３、図－４に示した。

表－3　corbett法による4成分の特徴

成　　分	色	密　度	芳香族分	外観
飽和分	無　色	0.87	0.00	液体
ナフテン性芳香族	黄色・赤色	0.98	0.23	液体
極性芳香族	黒　色	1.07	0.42	固体
アスファルテン	褐色・黒色	1.15	0.50	固体



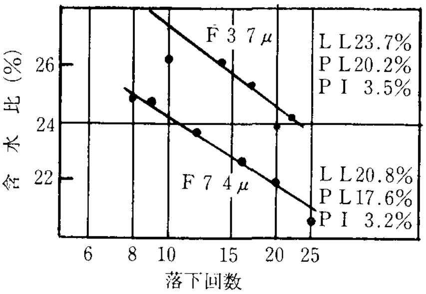
Corbett法（カラムクロマトグラフィー）

図－４　組　成　分　析

5．フイラーの成分

フイラーには、石灰岩や火成岩を粉砕した石粉、消石灰、セメント、ダスト、フライアッシュなどある。石灰岩は推積岩の一種で、主成分は方解石である。石灰を純度により、生石灰（CaO）、消石灰（$Ca(OH)_2$）、炭酸石灰（$CaCO_3$）などに分けられカルシウム、マグネシウムを含み、肥料として、土壌の酸化防止にも役立っている。

火成岩は地下深所で固結した深成岩、噴出した地表で固結した火山岩と中間の半深成岩がある。化学成分は、主として珪酸（SiO_2）であり、TiO_2が１％程度含まれる。フイラーとして用いる場合は、規定に適合したものを用いる。



図－５　フイラーの液性・塑性

6．フイラーと顔料の物理的性質

フイラーと顔料の性質においては、土質試験方法を利用して調べることができる。以下、その結果について述べる。

1）自然含水比

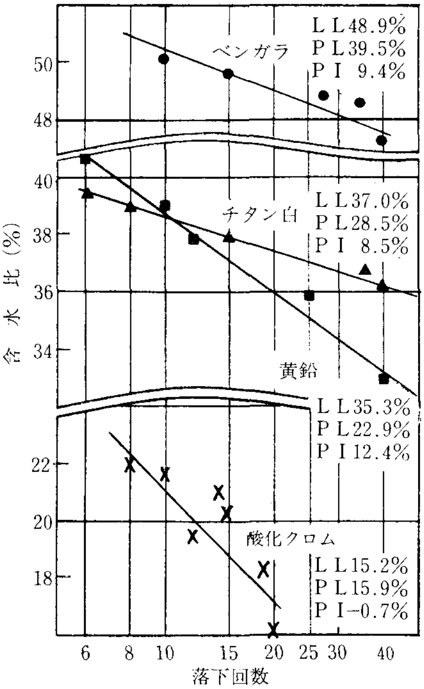
大気中で、または袋や容器の中で、どれだけ湿気を吸収しているか、乾燥して蒸発の有無を調べるのである。各々、搬入時買入時の含水比で、表－４から分かるように、チタン白における含水比が他より特に多いようである。

2）比重

フイラーは同じ産地である訓子府産砕石にほぼ等しく、３７μの微細な方がいくぶん大きい。顔料の場合は、有機物、鉱物質などを多く含むため、極端に高い。黄鉛が６、ベンガラとクロムが５、チタン白が４といった具合である。(表－４)

3）液性・塑性

フイラーにおいて、微細な３７μの方が、７４μより液性・塑性ともに、３％程度大きい。これは吸水性、粘着性が大きいからである。しかし、ともに落下回数２５回くらいの含水の試料は、ぼそぼそと固く、その含水比の近辺では、溝切りを２、３回に切り込みを分け試験した。２、３％含水を増すと、一瞬にべたべたのバター状となり、かなり鋭敏な試料といえる。



図－６　顔料の液性・塑性

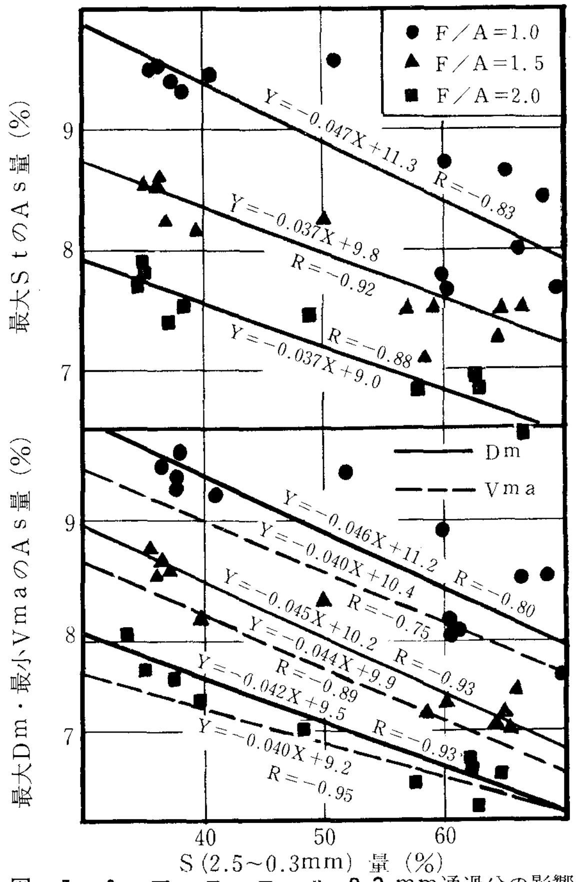
ベンガラは含水比が非常に高く、粘着性の試料である。

チタン白、黄鉛も水を吸収しやすく粘性のある試料である。酸化クロムは、フイラー同様、落下回数２０回においては、非常にぼろぼろして固く、2～３％の含水で一瞬にしてクリーム状の粘着性の試料となった。（図－５、６）。

（４）粒度

この試験は、Stokes の法則からなる、水中における沈降分析である。原理は、水中を落下する粒子は大きいほど、また重いほど早く落下するから、その重さに従って分離される有効沈降粒径は測定できる。水中を落下する粒子は、粒子を落下させようとする重量と、落下に抵抗する浮力が作用する。

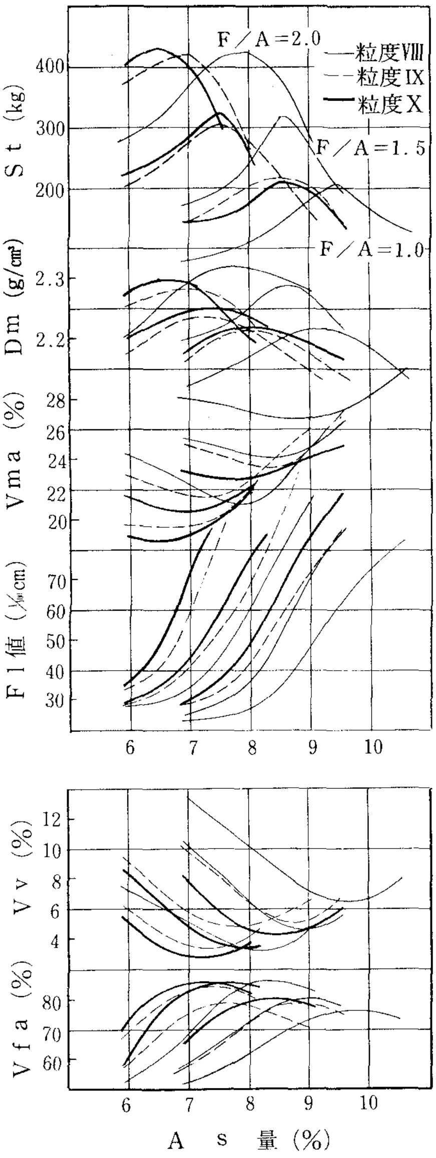
粒子径の測定は、粒子径とその落下の定速度から解析される。フイラーは３７μ、７４μふるい通過分であるが、最大粒径は分析計算値とほぼ一致した。ベンガラは３７μふるいに約１％残留分があったが、他は通過した。チタン白と黄鉛を測定中、比重浮ひょうが水溶液中に吸い込まれた。原因は不明だが、親和力の小さい疎水コロイドと親水コロイドとが共有していると考えられる。結果を図－２、３に示した。



図－７、８　ア　ス　モ　ル　0.3 mm通過分の影響

表－４

	自然含水比	比　　重
フイラー37μ	—	2.734
フイラー74μ	—	2.714
ベ ン ガ ラ	0.195％	5.056
チ タ ン 白	0.910％	4.064
黄　　鉛	0.220％	6.161
酸化クロム	0.129％	5.182



図－９　アスモルの試験結果

粒度名		アスコン							アスモル		
試験番号名		I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X
G/S　F/A		67/33	55/45	75/25	65/35	55/45	45/55	25/75	0/100	(F74μ)	(F37μ)
最大ＳｔのＡｓ量(%)	1.0	4.44	5.09	4.81	5.03	5.50	6.60	7.96	9.46	8.73	8.54
	1.5	3.65	4.75	4.44	4.66	4.95	5.81	6.92	8.58	7.47	7.21
	2.0	3.20	4.26	3.91	4.13	4.54	5.02	6.49	7.86	6.93	6.50
最大ＤｍのＡｓ量(%)	1.0	4.79	5.10	5.20	5.16	5.61	6.16	7.79	9.34	8.49	7.97
	1.5	4.37	5.01	4.64	4.93	5.21	5.79	7.16	8.63	7.32	7.25
	2.0	3.91	4.61	4.41	4.57	5.00	5.53	6.84	7.96	7.02	6.63
最大VmaのＡｓ量(%)	1.0	4.17	4.81	4.82	4.87	4.95	5.40	7.44	8.76	8.30	7.65
	1.5	3.68	4.61	4.41	4.59	4.92	5.16	6.60	8.49	6.90	7.34
	2.0	3.78	4.54	4.29	4.38	4.63	5.08	6.10	7.85	6.80	6.42
最大Stの点Fl(1/100cm)	1.0	25.5	29.0	31.5	32.0	33.0	46.0	53.0	63.0	67.0	71.0
	1.5	26.5	37.0	35.5	38.0	32.5	36.5	43.5	55.0	52.0	51.0
	2.0	26.5	39.5	37.0	33.0	31.0	33.5	47.0	56.0	57.0	49.0
最大Dmの点Vv(%)	1.0	1.50	3.15	1.70	2.40	3.30	4.10	5.50	6.40	5.10	4.50
	1.5	1.30	2.15	1.80	1.73	2.50	3.50	4.60	4.40	4.90	3.80
	2.0	1.30	1.60	1.40	1.75	2.40	2.65	2.60	3.00	3.20	3.20
最大Dmの点Vfa(%)	1.0	87.0	79.0	89.0	83.5	80.0	77.0	80.0	75.0	81.0	79.0
	1.5	90.0	82.5	87.0	87.0	83.0	79.5	77.3	80.0	79.0	85.0
	2.0	89.0	86.5	89.0	86.0	84.0	85.0	86.0	85.0	83.0	83.0

表－５

７．配合試験方法における考察

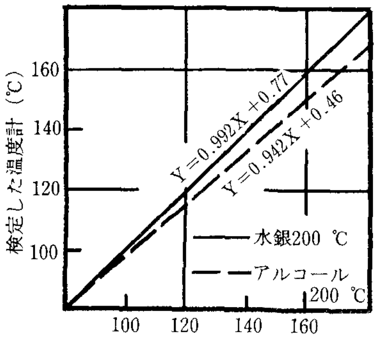
アスファルト混合物における、ＦＢ法でのＦ／ＡのＦの増加は、アスファルトを硬化させて粘性を高め、砕石程度の摩擦力をもたらすと考えられる。図－９からも分かるように、Ｆ／Ａの増加でＤｍ、Ｓｔは高くなり、Ｖｍａは低くなる。各々の最大、最小Ａｓ量は減少する。最大ＤｍのＡｓ量の点でのＳｔは、曲線上に必ずしも最大の点とはならない。最大ＳｔのＡｓ量の点は、骨材粒子間の最もつながりの強い点であり性状はきわめて弾性的である。Ａｓ量の変化は骨材粒子間相互の変化でもある。Ａｓ量の小さい所は、各部に独立のチャンスがり、すこぶる密になったり、はなはだ疎になりやすい部所で、Ｖｖは大、Ｖｆａは小Ｆｌは小となっている。Ａｓ量の大きい所は、アスファルト相互の潤滑をよくするように働くため、骨材粒子の移動は容易だが、骨材自体の大きな移動は拘束される。このように、アスファルトと骨材粒子間には、複雑に各々の因子が作用している。本研究でも、最大Ｄｍ、Ｓｔ、最小ＶｍａのＡｓ量の点に違いが生じる原因も同様と考えられる。図－９で、アスモルの最大Ｓｔ、Ｄｍ、最小ＶｍａのＡｓ量を計算式を用いて求めた。さらに、最大ＳｔのＡｓ量の点でＦｌの値を、最大ＤｍのＡｓ量の点でＶｖ、Ｖｆａの値を作図から求め、Ｆ／Ａごとに整理した。アスコンの場合も同様で、結果を表－５に示した。また、前報告でも示したが、アスモルの０．３ｍｍふるい残留分量と最大Ｓｔ、Ｄｍ、最小ＶｍａのＡｓ量の関係を前回の数値などを追加し、図－７、８に示した。これは、実験値を直線と見なし、数値を代入する方法であるが、値が必ずしも一致しない。これは０．６～０．３ｍｍ粒径分の多い少いで違い、均一な骨材粒度のはＡｓ量は多くなる。

表－５でＧ／Ｓが５５／４５粒度II、ＶからＧを除いた粒度がアスモルVIII、IX粒度で０．３ｏｒ０．６ｍｍ通過分の影響を知ることができる。また、最大ＤｍのＡｓ量となるＶｖ、Ｖｆａが最小、最大となる、点はＡｓ量０．２～０．６％の手前の曲線上に位置し、このことは最大ＶｍａのＡｓ量が最大Ｄｍのそれより小さいことでも分かる。なお、実験中マーシャル供試体作成するため、決められた締固め温度にすべく、棒状アルコール、水銀温度計の２本を立って使用中、双方に５～６°Ｃもの温度差のあることに気づいた。

以降使用の際は検定し用いることにした。水銀とアルコール温度計の相違の実験結果は、図－９に示した。

８．アスファルトの着色

各顔料のアスファルトに対する着色の変化を図－１１に示した。実験では蒸発ザラを使用し、アスファルトを１０ｇになるよう計量し、各々の顔料を２ｇづつ加えて着色の変化を調べた。ベンガラは４ｇでわずかに赤みをおび、６～８ｇで赤褐色となる。チタン白は４ｇで茶色、６ｇでくちば色、黄鉛は８ｇでこげ茶色、１４ｇ程度ではくちば色となる。酸化クロムはアスファルト自体黒で、顔料自体も暗いため変化が分かりづらく８ｇで暗緑色、約２０ｇでは深緑になる。各測定の試料を画用紙に米つぶほど付着させて観察し変化を調べた。

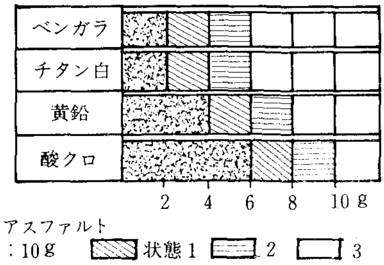


図－10

９．カラー舗装における色の効果

色の効果ほど人の注意をひきつけるものはない。色の測定は明度と彩度の積で表わされ、積が大きれば大きいほど色の効果は大きい。

自然における色のコントラストは、空の青で赤、赤で青、灰色で白である。遠くから色の波長が長ければ良く見える。車のフォグライトのこはく色、橙色の光線は霧の中で良く見え、波長のもっとも長い赤色は照らされたものからの反射がほとんどないため照明度は低い。



図－11

赤色は人々を興奮させる色であり、青は気を落ちつかせ休息をはかる色である。大量生産、分業化の進んだ現代、色合せの技術が進み、色を分析する機器も簡単に入手でき、装作も簡単な、反射物体色、透過液体色、光源色等の色測計がある。

１０．まとめ

舗装を着色するには、アスファルト自体の着色、舗装直後の表面散布、着色結合材を用いる方法などがある。今回、本研究は前者の方法で、フイラーと顔料との比較や共用性などを考えたが、いずれも安定性、耐流動性などに影響はないと考える。ただ、顔料を用いた場合高価なため、経済的に使用し、効果的な明色骨材にする必要がある。それには、光の反射率を高める粗い骨材で、Ａｓ量の少ない混合物粒度を選ぶことになる。しかし、アスファルトの少ないぶん耐久性、不透水性、気密性の悪いものとなる。これらは今後の検討材料としたい。最後に乱筆をおわびし、本研究が将来のカラー舗装のなんらかの参考になれば幸いである。

〈参考文献〉

１）末岡伯從：土木学会第３６回年次学術講演概要集III部門、１９８１

２）末岡伯從：土木学会第３７回年次学術講演概要集III部門、１９８２

３）末岡伯從：土木学会北海道支部論文報告集、第４６号、Ｐ６１５～６２０

４）末岡伯從：土木学会第４４回年次学術講演概要集Ｖ部門、１９８９

５）末岡伯從：土木学会第４５回年次学術講演概要集Ｖ部門、１９９０

〈参考図書〉

１）日本道路協会：「アスファルト舗装要綱」

２）北海道開発局：「道路・河川工事仕様書」

３）共立出版：「化学大辞典」１～１０巻

４）久野悟郎著：「土の締固め」技術堂全書

５）Franklyn M.Branly:「ＣＯＲＯＬ」、１９７８

〈引用データ〉

１）谷口、伊藤：「アスファルトの組成分析」アスファルト、Ｖｏｌ．３３　Ｎｏ１６４

２）昭和52年度卒業研究：「密粒度アスファルトコンクリートの配合設計方法に関する実験的研究」