

# 断面画像解析による開粒系アスファルト混合物 の評価について

上島 壯<sup>1</sup>・姫野賢治<sup>2</sup>

<sup>1</sup>正会員 北海道大学助手 工学部土木工学科 (〒060 札幌市北区北13条西8丁目)

<sup>2</sup>正会員 工博 北海道大学助教授 工学部土木工学科 (〒060 札幌市北区北13条西8丁目)

本研究は、ポーラスアスファルトおよび粗粒アスファルトコンクリートを対象に、着色したエポキシ樹脂により間隙を可視化した混合物の断面画像解析に関して、混合物の幾何学的特性と物理的な特性とを関係付けるための基礎的な検討を行なった。画像解析の装置としては市販の事務作業用スキャナーとパーソナルコンピュータの簡便なものを用いた。混合物断面のイメージを3値の画像として扱い、間隙成分を量的に把握するとともに、間隙、骨材粒子、細粒相の図形抽出を行いその分布の解析により、切断面画像には配合などに関連する混合物固有の特性が含まれていることを明らかにした。

**Key Words :** porous asphalt, particle image analysis, pore structure, coarse aggregate

## 1. はじめに

ポーラスアスファルトの透水性、吸音特性などがその間隙特性に大きく関連を持つことは感覚的に理解できることであるが、空隙率を精密に測定することさえなかなか難しいのが現状であろう。筆者らが行なってきた間隙をオレンジ色に着色した合成樹脂で充填して間隙を可視化する方法は、扱う空隙の大きさがマクロなものであるため、特殊な装置などを要しないことでも応用に少なからぬ可能性を持つ手法と考える。混合物の断面には空隙以外にも骨材やマトリックス相の混合状態が現れており、その混合特性の解析への利用にも魅力がある。アスファルト混合物が均質な材料とみなしてよいか否かも取扱い難しい問題であったがそれについても取り扱う手段として利用できるかもしれない。ただ、この研究法を実用化するためには技術的な問題も残されている。多分、画像処理の専門家にとってもわれわれの混合部の画像のノイズを除去し粒子などの図形をひとつひとつ取出すのは簡単ではないと思われる。本研究ではその制約や問題点の中でどの程度有効な情報を引き出せるかの検討を行なった。

## 2. 試料混合物の種類と作成方法

### (1) 混合物の種類

解析に用いた混合物は、表1-表3に示すグループK(空隙率・トラバースの有無をパラメータとする)、グループM(碎石粒径をパラメータとする)、およびグル

表-1 グループK混合物の配合

混合物名 記号	ポーラス K30A,N	ポーラス K25A,N	ポーラス K15A,N	粗粒アス K10A,N
20-13	5.0%	0.8%	0.1%	10.0%
13-10	23.2	14.8	14.7	9.0
10-5	60.8	66.2	47.3	26.0
5-2.5	3.0	0.6	14.1	20.0
スリニクス	0.8	0.6	4.4	4.9
2.5-1.2	0.6	3.5	2.9	4.6
1.2-0.6	1.6	4.8	3.0	8.5
0.6-0.3	0.5	3.0	4.5	6.0
細目砂	0.5	1.7	4.0	5.5
石粉	4.0	1.7	5.0	5.5
合計	100.0	100.0	100.0	100.0
AS量	5.0	5.0	5.0	4.4

表-2 グループM混合物の配合

記号	6号碎石(粒径)	粗目砂	石粉	AS量
M08	85 (8.0-4.75)	11	4	4.8
M10	85 (9.5-4.75)	11	4	4.8
M11	85 (11.2-4.75)	11	4	4.8

表-3 グループH混合物の配合

記号	6号碎石 (13, 10, 7, 5 mm)	粗目 砂	石粉	AS量	偏平 度%
H26	86 (100, 79.8, 30.3, 0)	10	4	4.8	26.3
H16	85 (100, 68.7, 27.0, 0)	11	4	4.8	16.3
H08	86 (100, 54.5, 12.6, 0)	10	4	4.8	8.7

表-4 かさ体積による間隙率

供試体記号	かさ体積間隙率 (%)	供試体記号	かさ体積間隙率 (%)
K30N	35.2	H16	23.5
K25N	26.8	H08	26.2
K15N	23.2	H26	25.8
K10N	20.4	N08	26.4
K30A	32.7	N10	25.6
K25A	25.1	N11	23.9
K15A	23.6		
K10A	21.5		

表-5 供試体のノイズ処理段階と解析の種類

ノイズ処理段階	グループ K	グループ M	グループ H
ステップ3 (ピクセル解析)	角ブロック全域		
ステップ4 (図形解析)	代表断面および 中間部8断面	代表断面	代表断面

ープH (偏平率をパラメータとする) の三系統である。

グループKは目標空隙率を 30%から 15%までに設定したポーラスアスファルト 3種と粗粒アスコン 1種の計 4種である。K30A などの記号Aはトラバースを行なったもので 4 5℃で 2時間の条件である。グループMとHは他の機関から提供いただいたポーラスアスファルトである。グループMの碎石粒径条件は 6号碎石を分級して設定したものである。また、グループHの偏平率は、骨材粒子で長辺・短辺の比が 3以上のものが含まれている割合である。ただし偏平率と同時に粒径などの因子も変化している。なお、本報告では骨材の偏平率と画像図形との関係については検討していない。

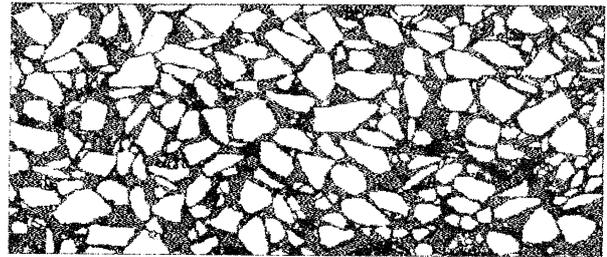
## (2) 供試体の作成

- ・供試体はローラーで締め固められた高さ約 5 cm、幅約 10 cm、奥行約 15 cmのブロック状である。
- ・これに着色した低粘度のエポキシ樹脂を充填する。
- ・このブロックを、横断方向を断面として 3 mm間隔でスライスする。
- ・均一区間のばらつきを解析する目的で、連続する 8面の断面を用いた。

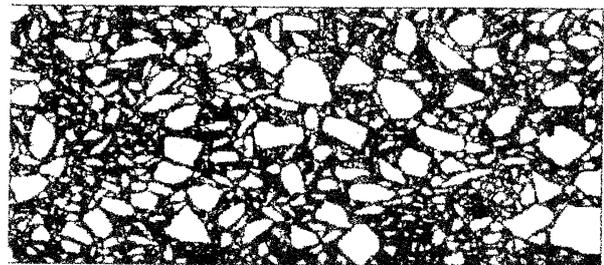
表-4 は画像解析用供試体と同じ条件で作成した供試体ブロックについて測定したかさ体積法による推定空隙率である。

## 3. 画像処理法の概要

画像データの作成には E P S O N 製スキャナー GT6000 を用い、原稿台に直接試料を置いて解像度 100DPI (0.254mm) で測定した。スキャナーで R G B 8色で採取



(A) ポーラスアスファルト (K30A-No12)



(B) 粗粒度アスファルトコンクリート (K10A-No12)

図-1 試料混合物のノイズ処理済み画像例

した後、間隙相、骨材粒子、細粒重点相の 3 値に分類した。データ解析にはパソコンを用いた。

図-1 は 3 値への分類処理をおこなった画像データの例を示したもので、上段はポーラスアスファルト混合物、下段は比較のために加えた粗粒度アスファルトコンクリートである。間隙はオレンジ色に着色されているがこの図では中間色で示されている。

画像データの準備は次の手順で行なう。

- ・ステップ 1 : スキャナーからの 8 色イメージデータの取り込み。
- ・ステップ 2 : オリジナルの 8 値 (色) から間隙相 (記号 R : 赤) , 骨材粒子 ( G : 灰色) , 細粒相 ( B : 黒) の 3 値に集約する。
- ・ステップ 3 : 幾つかの単純なノイズ処理法を組み合わせた自動処理を行なう。これは完全に孤立した微小領域の置換え+にじみと思われるパターンの置換えを行なった。
- ・ステップ 4 : 画像エディタを用い、図形の修正を行なう。これは、主として接続した骨材粒子の分離と骨材粒子図形上のよごれの除去である。
- ・ステップ 5 : 解析の前処理として、細かい骨材粒子は細粒充填相に組入れ、輪郭がある値以上露出している粒子は解析から除外する。

使用した供試体の部分とノイズ処理段階および解析内容を表-5 に示す。角ブロック全域とは約 13cm 角の供試体を 3mm 間隔でスライスした全データについてピクセル統計分析行なったものである。代表断面はその中間部の 1 断面をピックアップし比較したもので、比較の基準データを得るために中間部 4 スライス 8 面の図形解析用

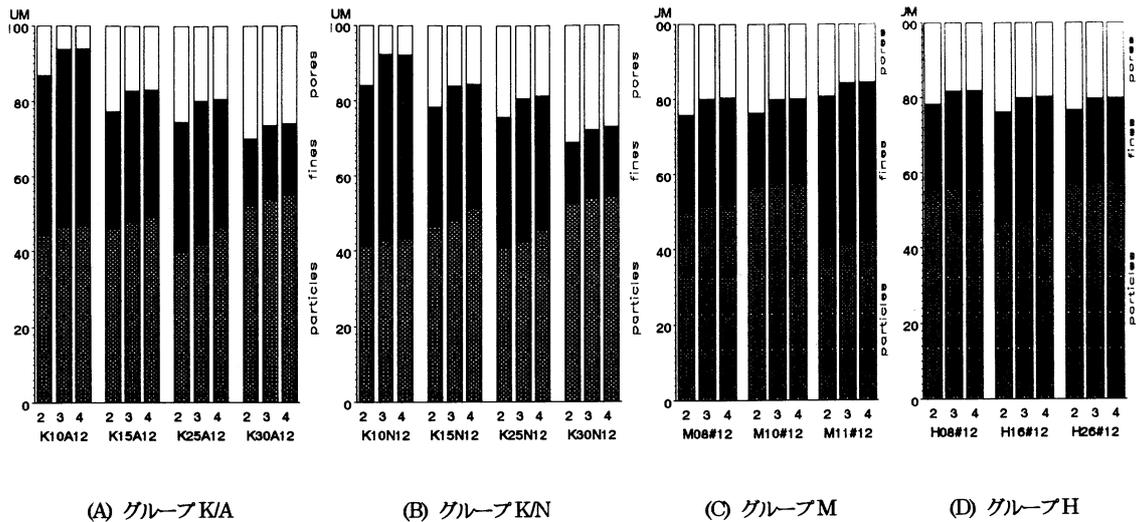


図-2 ノイズ処理に伴う画素組成の変化（代表断面）

画像データを用いた。

#### 4. アスファルト混合物断面の画像解析結果

##### (1) 画素集計による各相の組成

図-2は代表断面の空隙、細粒相、骨材粒子相のノイズ処理に関する推移をそれぞれ示したものである。いずれもステップ3の処理の段階で空隙成分が顕著に減少する。

減少する原因として、孤立したイメージの除去は赤色系ドットの除去に重点が置かれていることと、黒系領域と白系領域の境界の赤色はにじみとして除去していることも原因として考えられる。

空隙相の減少は粗粒アスコンについて特に著しかったがこの混合物の画像は赤色系のノイズが目で見ても多い。なお、骨材粒子相はこの画像処理では増加する傾向がある。

図-2(A)(B)の比較から、Kグループのニーディングの有無に関する対データは、別のブロックの比較にもかかわらず、K30からK10まで非常によい対応を示している。Hグループ（偏平率）については中間の偏平率の試料の細粒相が多く骨材粒子が少ないが、これがもとのブロック全体の傾向とは断言できない。

Mグループ（粒径パラメータ）においては最大粒径11.2mmと大きい場合のほうが細粒相の黒い領域が多くなっている。

ステップ3では、図形の抽出は無理な段階であるが、空隙など3種の相の比率はステップ4とほぼ同じであり、成分の量的な検討には用いることができる。

##### (2) 混合物内の空隙・骨材・細粒相の量的分布

Kグループについては、1辺約12cmのブロックを厚み3mm間隔でスライスした画像データが得られているのでブロック全体の空隙、骨材、細粒分の分布特性をある程度の精度で測定することが可能である。前記のステップ3の処理条件による画像データをデータ採取条件を揃えることと、計算機の処理能力の関係から断面画像についても、水平方向（x）、上下方向（z）各々3mm間隔でサンプリングし、更に6mm間隔で平滑化してブロック全体の分布を求めた。図-3に深さ方向の空隙の比率の平面図と断面に平行な方向の比率の側面図を、薄い方が空隙率が大きい濃淡表示で示した。図の凡例の数値は範囲の中央値である。ニーディング無しが右、有りが左で、同じ混合物がペアとなる。目標空隙率の大きいK30の空隙が多く、粗粒度アスファルトでは少ないのは明らかである。すべての配合を通じて同じ混合物は、空隙の多少、ばたつきの特徴などが非常によく似ている。K25は均一性がありK15は変動が大きい透水性どちらの特性が有利なのか興味深い。K10（粗粒）では周辺部に空隙の大きい領域が有り供試体作成時に何等かの理由が有りそうに思える。

側面図の座標基準は底面を深さ約63mmとしたものである。したがって、上面基準は個々のブロックのバラツキにより変動する。横方向のデータ範囲が垂直方向に比べて約2倍あるのでより平滑化された結果が予想されたが平面図とよく似た傾向を示している。

同様のデータ処理により、K/Nグループについて、図-4（左）に細粒成分の平面分布図、図-4（右）に骨材粒子成分の平面分布図を示す。それぞれ濃度が濃いほうが

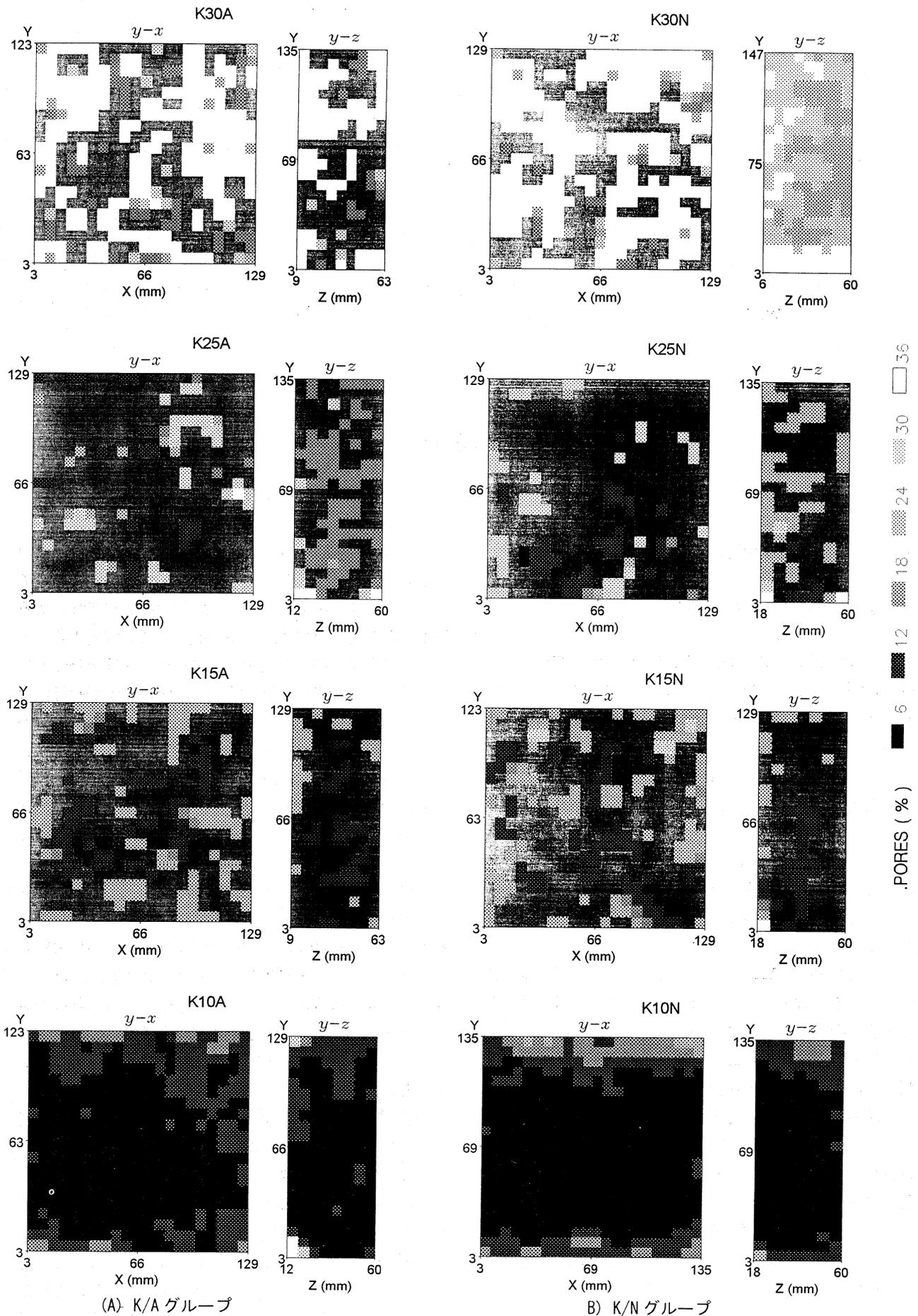
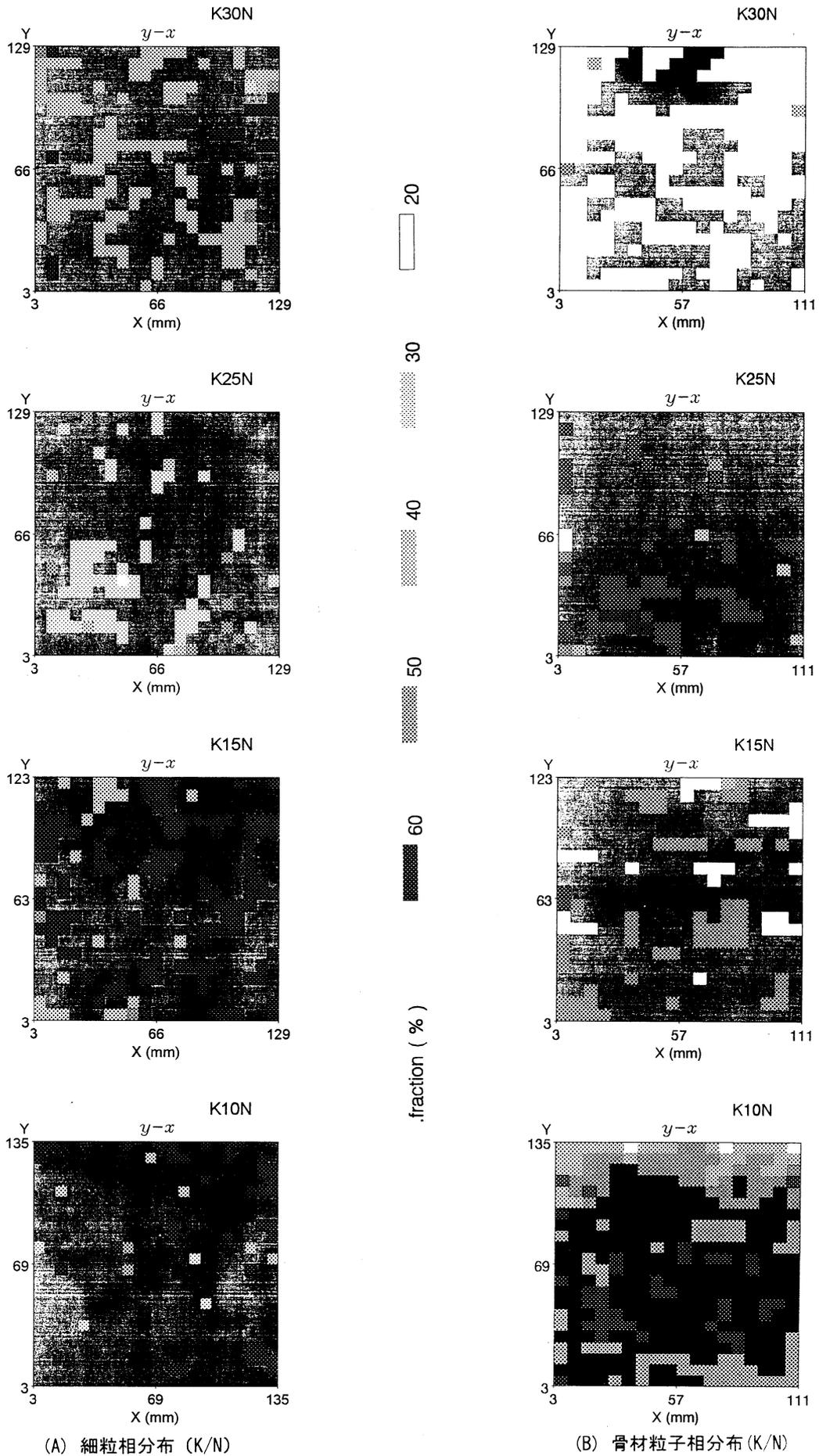
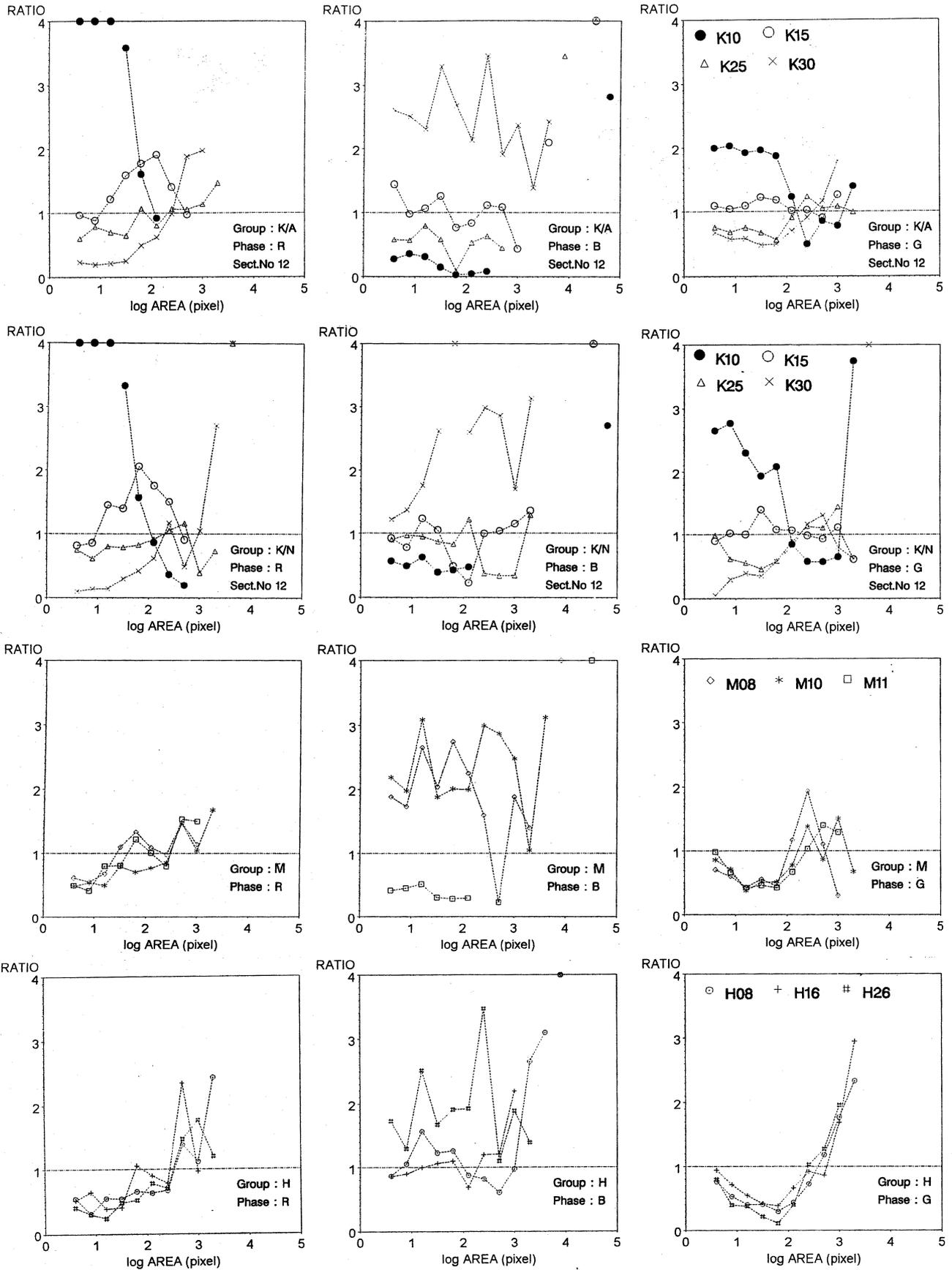


図-3 間隙成分の鉛直方向割合の平面分布図および横方向割合の側面分布図





(A) 間隙成分

(B) 細粒成分

(C) 骨材粒子成分

図-5 間隙・細粒・骨材各成分の面積の基準分布に対する比曲線 (グループ別・成分別)

表-6 グループKの図形分布関数

対数面積 区分 log (pixel)	面積率の場合の比率 (%)			図形数の場合の比率 (%)		
	間隙相	細粒相	骨材粒子	間隙相	細粒相	骨材粒子
0.6	2.49	0.74	0.94	37.72	32.82	21.92
0.9	2.78	1.02	1.76	20.03	21.41	19.57
1.2	3.37	1.27	2.55	11.85	13.19	14.13
1.5	5.40	1.94	4.09	9.55	10.28	11.41
1.8	8.42	3.17	7.26	7.53	8.41	10.16
2.1	13.45	4.28	11.80	5.99	5.81	8.32
2.4	17.14	5.56	21.20	3.89	3.76	7.42
2.7	18.40	5.95	29.08	2.13	2.02	5.23
3.0	16.65	6.86	16.69	0.98	1.16	1.64
3.3	9.68	6.83	3.85	0.30	0.59	0.18
3.6	2.22	5.15	0.80	0.03	0.23	0.02
3.9	.	4.23	.	.	0.10	.
4.2	.	4.30	.	.	0.05	.
4.5	.	13.79	.	.	0.08	.
4.8	.	34.91	.	.	0.10	.

成分が多い。細粒分の分布では K25 が変化が少なく、K15 で変化が大きいことが、間隙分布の傾向を反映している。なお、濃度が必ずしも定量的な数値を反映していないが、区分レベル設定の問題と思われる。

(3) 間隙・骨材・細粒相の図形分布

図形の特徴の解析は、ステップ4の画像修正により可能になる。この処理は不明確な骨材粒子の輪郭を形成するのが目的である。この後得られる画像図形の特徴には、図形の面積、周囲長と面積から計算する円形度、図のモーメント解析から得られる主軸方向、長軸短軸の比などがある。本報告では次の処理により、図形の面積の分布より試料混合物の特性の差異を解析した。

- 1) 各ブロック1枚の代表断面について分析した。
- 2) 画像処理より個々の図形を分離し集約分類する。図形は大きさで分類するが、その範囲が広範なので対数で層分けし、全データの平均分布特性を得る。
- 3) 各混合物の比較分析は相対値で行なう。これは各面積レベルごとに基準分布関数を定めておきそれとの比を特性値として用いる方法によった。基準分布関数には、Kグループの各供試体ブロックの中央部8断面のデータを総合した表-6を用いる。

これは現実の混合物とは異なる特性であるが、基準関数に必要なのはすべての面積レベルに対応できることが重要である。各断面ごとの試料分布関数値と基準分布関数値の比とその形が各断面の特性値となる。面積基準と図形数基準では分布関数の形が異なるが比較試料との比を取ると多くの場合よく似た結果が得られたのでここでは面積の比で検討した。

表-7 図形分布から採取する特徴項目

特徴	骨材粒子	間隙図形	細粒相
小粒子が多い	a	A	
中粒子が多い	b	B	
大粒子が多い	c	C	
最大粒径が大きい	d	D	
中小図形が多い			f
大図形に結合する			g

表-8 各断面の特徴データ

K10N	acd	A	g	H08	cd	CD	g
K15N	d	B	g	H16	cd	C	g
K25N	c	CD	f	H26	c	CD	fg
K30N	cd	CD	f	M08	b	B	fg
K10A	acd	A	g	M10	cd	CD	fg
K15A	-	B	g	M11	c	B	g
K25A	bd	D	g				
K30A	c	D	f				

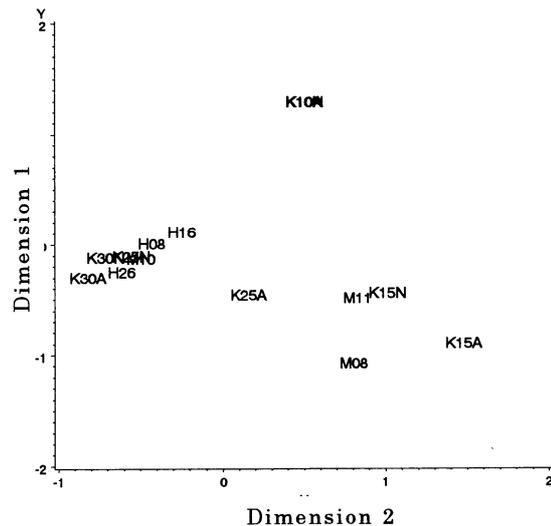


図-5はKグループの間隙、細粒分、骨材粒子相ごとに、断面分布関数値と基準分布関数値の比をプロットしたものである。比が4を越える点はフレーム上に表示する。これらは本来は棒グラフで表示されるものであるが、ここでは値の絶対値よりも変化の傾向がその混合物の特性を示すものと思われるので折れ線で結んでいる。枠外、および途中に成分がない場合は不連続とした。

間隙相については、もっとも間隙を大きく配合設計を行った K30 配合の場合、間隙が他の配合に比べ大きい方に分布していることがそれを裏付けている。K30 では骨材粒子の細かい成分が少ないこと細粒相の孤立した成分が他の配合より多いのが特徴的である。

逆に粗粒アスコンは、100 ピクセル以上の気泡をほとんど持たず、細粒相はほぼ一体となっており、骨材は小粒径の成分がポーラス系より明瞭に多いのが特徴である。

各断面の特徴を分類してグループ化するために、表-6のような比較的単純な項目を定め、表-8のようにデータ化して対応分析（数量化3類相当）を行なった結果が図-6である。

他と明瞭な違いがある粗粒アスコン K10、平均的で特徴のつかめない K15 などが特異ケースとして扱われている。K30 から H16 にいたる一つの集合はポーラスアスファルト混合物の特性によるものと思われる。

## 5. 結論

ポーラスアスファルトのような多孔質・粗粒系の混合物の間隙を充填・可視化して切断面から得られる画像情報を分析するために、ピクセル情報の集計利用と図形抽出による特性関数化の2つの方法を試み、次の結果を得た。

(1) 10数センチメートル角の供試体内部の情報を得る目的で、網羅的な断面画像採取とピクセルデータの統計により、間隙、細粒分、骨材粒子などの混合物特有の分布特性が把握できることを明らかにした。

このような分析を行なうために、より実用的な供試体の大きさと作業を簡便にする切断間隔を明らかにすることが今後の課題である。

(2) 図形抽出と基準関数値の比較を組み合わせる方法により、1サンプルであってもその混合物の空間的な特性をかなり把握できることを明らかにした。図形の特徴項目をどのように定義するかがまだ問題であるが、多くのデータが集積されれば、数量化理論などの併用によりサンプル供試体の診断が可能になろう。

(3) これらの結果の意義は、パソコンなど一般的な事務機器を利用できることであるが、筆者等のプログラムではマーシャル型の供試体に対応することが課題の一つである。

謝辞：本研究を行うにあたり、福田道路株式会社技術研究所および株式会社ブリヂストン工業用品開発部の皆様には多大のお世話になりました。ここに謝意を表します。

(1996.10.14 受付)

## EVALUATION OF OPEN GRADED ASPHALT MIXTURES BY IMAGE ANALYSIS OF CROSS SECTIONS

Tsuyoshi KAMIJIMA and Kenji HIMENO

A fundamental investigation was made on void structures of porous and coarse graded asphalt mixtures to combine their geometrical and physical characteristics. The voids in the mixture were visualized by filling them up with colored epoxy resin. The mixture was then cut after hardening and the sections were carefully imaged by a scanner connected to a personal computer system.

Every pixel of the scanned image of each section was digitized into three values and geometrical distributions of void, mineral aggregate, and binder are characterized as well as each content is quantified. It was found that each mixture has its own specific characteristics in images in cross sections, which is presumably related to its mixture properties.