

アスファルト混合物の空隙率に関する研究

吉 田 隆 輝*・高 橋 正 一**

The Study on Air Void of Asphalt Mixtures

Takaki YOSHIDA and Shouichi TAKAHASHI

要 旨

アスファルト混合物の力学性状を明らかにするために、均質な密度の供試体を作製しなければならない。本研究は、供試体の空隙率を測定し、まとめ、温度変化と供試体作製者の技能差との関係を調べる。その結果を下に均質な供試体の作製方法を明らかにするものである。

Synopsis

To make it clear of all sorts of mechanical properties in asphalt mixtures, we must make uniform density of specimens.

We make the measurements of specimen on air voids and sum them. We study voids which have influence on the change of temperature and individual abilities. It is clear how to make up the uniform density of specimens.

1. ま え が き

アスファルト混合物は、水密性、耐久性、たわみに富む優れた特性を有するため、道路舗装や水利構造物などに広く用いられている。これらアスファルト混合物の各種力学性状を明らかにするために、均質な密度の供試体を作製しなければならない。そのため混合物の作製は厳密な温度管理のもと行うが、型枠や転圧ローラは混合物と同温度にはなっていないし、転圧終了までに混合物の粘度が次第に大きくなることは避けられないものである。このことから供試体縁端部などに温度低下の影響を受け均質な供試体が得られないことも考えられる。

本研究は、多年にわたり作製した道路舗装用アスファルト混合物とアスファルト量が富配合の水利用アスファルト混合物の2種類を対象に、供試体空隙率に作製者の技能差が表れるか、供試体縁端部などに温度低下の影響を著しく受けているかを検討する。また型枠で作製した供試体とそれを

切り出した供試体の締固めの程度を空隙率により論じ、その結果を下に均質な供試体の作製方法を明らかにするものである。

2. 実験方法

2. 1 使用材料および使用混合物

実験に用いる瀝青材料は、積雪寒冷地で使用される80-100舗装用石油アスファルトである。その物理性状を表-1に示す。骨材は、粗骨材に恵

表-1 瀝青材料の物理性状

針入度 25°C/100 g 5sec	軟化点 °C	比重 25°C/25°C	使用年度
90	47.5	1.027	1980~1984
89	46.0	1.032	1985~1990
90	46.0	1.031	1991~1992

庭漁川産6号、7号碎石、細骨材に浜厚真粗砂、鵜川粗砂および手稲山口細砂、フィラーに浦河産石灰石粉を組合せ使用する。1992年度使用骨材の物理性状を表-2に示す。年度により使用骨材が

* 教授 土木工学科

** 技官 土木工学科

若干異なるが、全てを網羅すると煩雑になるので省略する。水利用アスファルト混合物への添加材はPAN系アクリル繊維および富良野産アスベスト（7M）を用いる。なお粗骨材は水洗いした後炉乾燥を行い絶乾状態にし、その後13，10，7，

表－2 骨材の物理的性状

骨材の物理的性状	骨材粗				骨材細				骨材ファイラー
	13-10mm	10-7mm	7.5mm	5-2.5mm	粗	中	細	砂	
見かけ比重	2.787	2.780	2.790	2.784	2.741	2.956	2.714	2.683	
表乾比重	2.692	2.680	2.692	2.688	2.683	2.884	2.594		
かさ比重	2.639	2.624	2.637	2.634	2.650	2.848	2.524		
吸水率（％）	2.0	2.2	2.1	2.0	1.3	1.3	2.8		
骨材の産地	漁川砕石（安山岩）				浜厚真	鶴川	手稲山口	浦河石灰石粉	

5，2.5mmの各単粒に篩分ける。細骨材は絶乾状態にした後2.5，1.2，0.6mmに篩分けて使用する。実験に用いるアスファルト混合物の種類は，細粒度ギャップアスファルトコンクリート（以下細粒度ギャップアスコンと呼ぶ）¹⁾および水利アスファルト工のファインアスファルトコンクリート（以下水利用ファインアスコンと呼ぶ）²⁾³⁾⁴⁾⁵⁾⁶⁾である。アスファルト量は前者は6.8%，後者は8.0%である。その通過質量百分率を表－3に示す。水利用ファインアスコンへの繊維などの添加量はアクリル繊維については骨材全質量に対し0.15%，アスベストは骨材全質量に対し1.1%である。

2.2 供試体作製方法

アスファルト混合物の作製方法を以下に述べる。アスファルト混合物の混合は2枚の混合羽根を有する温度制御オイルタンク付アスファルトミキサーを使用して行う。粒度配合に従い計量した骨材とアスファルトを，（180±20）センチストークスの粘度を示す温度に予め加熱する。骨材をミキサーで15～30秒空練りした後アスファルトを加え，さらに50秒混合する。その後予め加熱した木製型枠（底板，側板など）に混合物を入れ転圧を行う。転圧方法は，（300±30）センチストークスの粘

度を示す温度で，線圧1.5および4.5kgf/cmの2種類のハンドローラを用い，転圧速度6.4cm/secで縁端部から充分に転圧を行う。このローリングによる転圧方法は，ニーディング作用が発生するため現場における転圧方法に類似している。

ローラの転圧回数は2種類の混合物で異なる。細粒度ギャップアスコンは3.0～3.5%を，水利用ファインアスコンは2.0～2.5%を目標空隙率として転圧回数をそれぞれ定める。なお供試体作製時の温度管理は，デジタル式表面温度計，放射温度計などを用いて充分に行う。

このようにして作製した27.0×42.0×4.7cmアスファルト混合物（以下原供試体と呼ぶ）を24時間以上養生した後，ダイヤモンドカッターで3.0×3.0×25.0cmの六面カットの棒状の供試体（以下供試体と呼ぶ）に仕上げる。

2.3 解析法

混合物の締固めの程度は一般に密度で管理するが，材料の比重が異なれば密度も変化する。本研究では，空隙率が力学性状に大きな影響を及ぼすことを考慮し，空隙率により供試体を管理する。

空中質量，水中質量，表乾質量を測定し，供試体のかさ密度，空隙率，飽和度を求める。なお水中質量は水温20～25℃の水中で，45～60秒の間で測定する。かさ密度，空隙率は次式により計算する。

かさ密度 = $\frac{\text{空中質量}}{\text{表乾質量} - \text{水中質量}} \times \gamma_w$

空隙率 = $\left(1 - \frac{\text{かさ密度}}{\text{理論最大密度}} \right) \times 100$

ここに γ_w ：常温の水の密度（1 g f/cm³）

このようにして求めた空隙率の度数分布を図と表に表し，供試体作製者の技能差，供試体縁端部などの温度低下の影響について明らかにする。

表－3 アスファルト混合物の粒度配合

骨 材		粗 骨 材				細 骨 材						アスファルト量 (%)
ふるい目 (m m)		13	10	7	5	2.5	1.2	0.6	0.3	0.15	0.074	
通過質量百分率 (%)	細粒度ギャップアスコン	100	93	82	73	56	54	51	36	15	11	6.8
	水利用ファインアスコン	100	95	83	76	60	49	39	25	9	8	8.0
骨 材 の 産 地		漁川砕石 (安山岩)				浜厚真粗砂, 鶴川粗砂, 手稲山口細砂, 浦河石灰石粉						

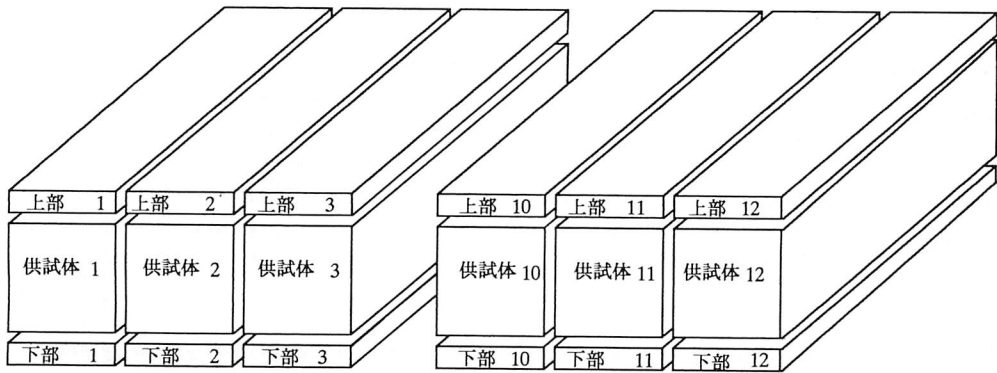


図-1 供試体の切出し位置

3. 実験結果および考察

アスファルト混合物を型枠に入れ充分な温度管理のもとにローラ転圧を行っても縁端部などの温度低下は避けられず、供試体の底部、隅角部、端部の密度が小さくなる可能性もあると考えられる。またマニュアル通りに転圧しても、年々変わる作製者の技能差により混合物の密度が変化することも考えられる。ここでは転圧後型枠を外した原供試体とそれを切り出した供試体の空隙率を次の項により明らかにする。

水利用ファインアスコンの供試体数は、繊維添加供試体で1086本、無添加供試体で572本、計1658本である。添加により空隙率が0.2%程度大きくなるが極めて小さな値であるので、区別せずまとめて考察する。また細粒度ギャップアスコンの2年度分にもセメント、繊維を添加しているが、同様区別せずに考察する。

データの整理は、空隙率を0.5%ずつの階級毎に度数を求め、度数分布図または表で表す。分布図は、縦軸に度数を、横軸に階級を普通目盛りで表す。なお本実験に用いた供試体の総数は2765本である。また原供試体全ての空隙率の測定は行っていない。

3. 1 上部、供試体、下部の空隙率

六面カットの棒状供試体を切り出すとき、まず原供試体の4側面を約6mmカットし、その後図-1のように3cmずつ切り出す。その棒状混合物の下部6mmをカットし、続いて3cmに切り出し供試体を作製する。この残りが上部である。この上、下部の混合物は通常は廃棄する。均質に締固められた供試体を作製できているか否かを調べるため

に、単年度の細粒度ギャップアスコンについて、それらの空隙率も測定する。上から順に上部、供試体、下部と名付ける。データ数は86個である。

なお型枠と混合物の付着を防ぐためにテフロンシートを用いる。

表-4 各部の平均空隙率と標準偏差

	上 部	供 試 体	下 部
平 均 空 隙 率	3.0	2.9	3.3
標 準 偏 差	0.52	0.36	0.49

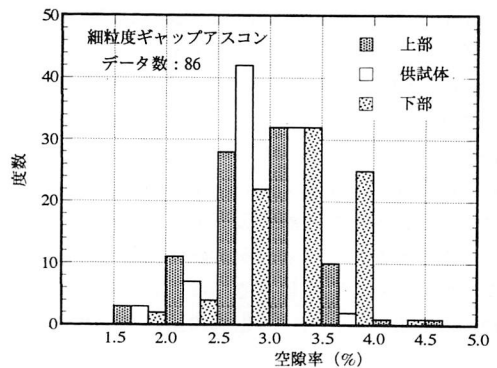


図-2 上部・供試体・下部の空隙率の度数分布

この3部位における空隙率の度数分布を表-4、図-2に示す。横軸の階級例えば2.5~3.0%は、空隙率2.6%以上3.0%以下に上部28個、供試体42個、下部22個あることを示す。

空隙率の平均値は、下部が上部に比べ0.3%とやや大きいが、上部と供試体の空隙率はほぼ同じ値である。標準偏差は供試体が0.36%と小さく、

表－5 各年度における供試体の平均空隙率と標準偏差

		(%)															
混合物の種類	年 度	1980	1981	1982	1983	1984	1985	1986	1987	1988	1989	1990	1991	1992	平均		
細粒度ギャップアスコン	平均空隙率	2.9	3.3	4.0	3.3	3.3	3.6	3.2	3.0	3.7	3.1	3.4	3.8	3.7	3.4		
	標準偏差	0.34	0.28	0.42	0.26	0.35	0.34	0.51	0.67	0.63	0.33	0.37	0.43	0.47	0.32		
	供試体数 n	96	60	36	84	129	70	96	142	118	119	24	73	60			
水利用ファインアスコン	平均空隙率	2.7	2.5	2.3	2.2	2.0					1.6	1.6	1.6	1.9	2.0		
	標準偏差	0.23	0.26	0.33	0.43	0.22					0.42	0.30	0.36	0.34	0.39		
	供試体数 n	84	102	96	95	36					447	360	226	212			

上部がやや大きい。かさ密度が0.5%低下すると（締固め密度99.5%）空隙率は約0.5%増加することから、部位によらずよく締固められていると考えてよい。しかし分布図から下部は他に比べ空隙率が大きくなり易いことが分かるので、底板が冷却しないうち手早く締固めを完了することが大事である。

混合物を型枠に入れ締固めるとき、上部、下部、隅角部、縁端部の温度低下は大きくなるため、その部分の締固め密度は小さくなるのが一般的である。しかし、実験室内においては、2. 2で述べた手順に従い加熱した底板が冷却しないうちに手早く転圧をおこなえば、上中下ほぼ一定の密度の供試体を作製できることがわかる。

3. 2 年度毎の供試体空隙率の変動

年度毎に作製した供試体の空隙率の平均値とその標準偏差および供試体本数を表－5に示す。各年度を平均すると細粒度ギャップアスコンは3.4%、水利用ファインアスコンは2.0%となり、目標空隙率の供試体を作製していることになる。各年度の空隙率を比べると、両混合物とも最大と最小の差が約1%である。使用材料が全く同じではないし、添加材の添加の有無など条件が異なることもあるが、年々変わる供試体作製者の個人差が表れていることも事実である。このことからきめ細かな締固めに対する指導の工夫が必要である。

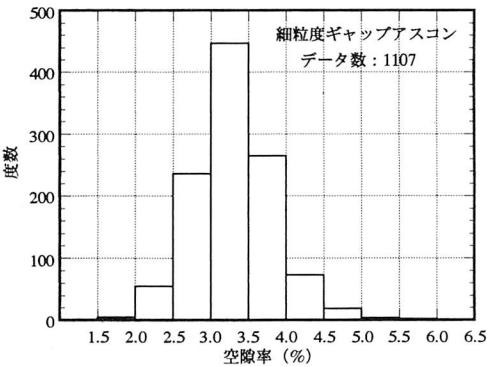
3. 3 両端部供試体と中部供試体の空隙率

42.0×27.0×4.7cmの原供試体を12本の3.0cm角棒状供試体に切り出す。両端部の供試体は、他の位置の供試体に比べ締固め密度がやや小さくなると予想される。そこで供試体の位置による空隙率を2種類のアスコンについて考察する。

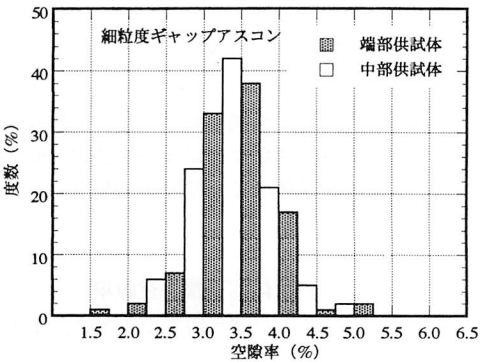
細粒度ギャップアスコンの全ての供試体の空隙率の度数分布を表－6、図－3に示す。両端部供試体の空隙率、両端部を除いた供試体の空隙率そ

表－6 各部の平均空隙率と標準偏差

		全供試体	端部供試体	中部供試体
細粒度ギャップアスコン	平均空隙率	3.3	3.6	3.3
	標準偏差	0.55	0.54	0.53
水利用ファインアスコン	平均空隙率	1.8	1.9	1.8
	標準偏差	0.49	0.50	0.48



図－3 細粒度ギャップアスコン供試体の空隙率の度数分布



図－4 端部および中部供試体の空隙率の度数分布（細粒度ギャップアスコン）

れぞれの度数分布を縦軸に度数を百分率で、図－4に示す。（全、端部、中部供試体と呼ぶ）

全供試体の空隙率の平均は3.3%で、目標空隙率の供試体が得られていることが分かる。2.8%～3.8%の間に73%の供試体が分布している。表より、端部供試体の空隙率は中部供試体に比べ平均で0.3%大きい程度で、標準偏差もほぼ同じ値である。しかし図-4より、端部供試体は中部に比べやや大きめの空隙率を示す傾向がみられる。例えば空隙率4%を越える割合は端部で20%、中部で7%である。したがって端部の密度が小さくなる恐れがあることを考慮し、温度低下を可能な

空隙率は中部供試体に比べ平均値で0.1%大きく、標準偏差も僅か大きい程度で、両者はほぼ同じ値であると考えられる。図-6より、空隙率2.5%を越える割合は端部で11%、中部で10%とはほぼ同じである。このことからアスファルトが富配合の水利用ファインアスコンでは、端部の密度が中部に比べ小さくなる恐れは少ない。しかし細粒度ギャップアスコン同様に温度低下に対する配慮の下転圧を行わなければ、均質な密度の供試体を得ることはできない。

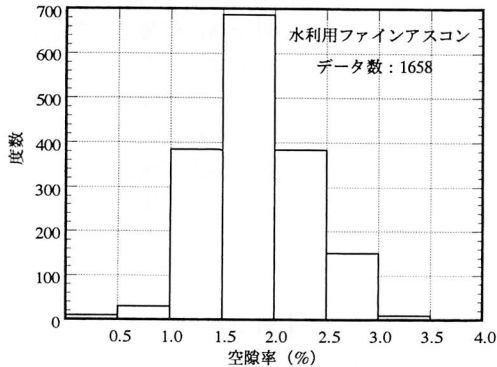


図-5 水利用ファインアスコン供試体の空隙率の度数分布

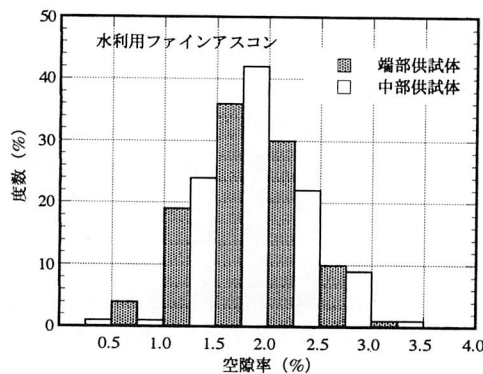


図-6 端部および中部供試体の空隙率の度数分布 (水利用ファインアスコン)

限り防ぐ配慮の下転圧を行うことが大切である。

水利用ファインアスコンについても同様に、全供試体の空隙率の度数分布を表-6、図-5に、両端部供試体の空隙率、両端部を除いた供試体の空隙率それぞれの度数分布を縦軸に度数を百分率で図-6に示す。

全供試体の空隙率の平均は1.8%で、1.3%～2.3%の間に細粒度ギャップアスコンより多い76%の供試体が分布している。端部供試体の平均

3.4 原供試体空隙率と供試体空隙率の差

棒状供試体に切り出しその空隙率を求めるにあたり、原供試体の空隙率から予めそれを予測できると実験上非常に都合がよい。原供試体空隙率とそれを切り出した12本の供試体の平均空隙率の差の度数分布を図-7に示す。縦軸に度数を百分率で、横軸は空隙率の差を示す。

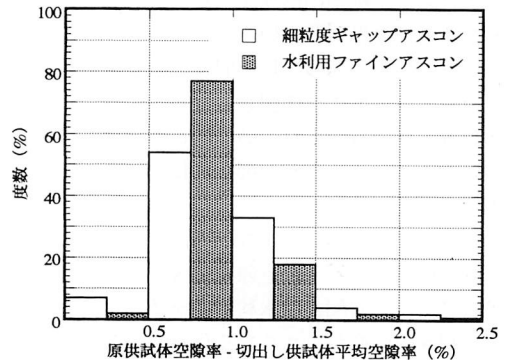


図-7 原供試体空隙率とその切出し供試体平均空隙率の差の度数分布

細粒度ギャップアスコンについては、データ数は57個、その差の平均値は1.0%、標準偏差は0.41%となり、水利用ファインアスコンでは、データ数は97個、その差の平均値は0.9%、標準偏差は0.30%である。原供試体の空隙率が大いだが、離型材の付着などのため質量測定が不正確になり誤差が含まれるためと縁端部の温度低下の影響を受けるためである。原供試体とその供試体の平均空隙率の差が1%以下の割合は、細粒度ギャップアスコンで61%、水利用ファインアスコンでは79%となった。このことから原供試体作製後その空隙率を測定し、約1%を減じた値が切り出す供試体の平均空隙率と推定できる。また細粒度ギャップアスコンのばらつきは、富配合の水利用ファインアスコンに比べやや大きいことに注意す

る必要があろう。

供試体作製者の意識、技能を高める意味からも、原供試体の空隙率を測定し、これから切り出す供試体の空隙率を初めとする諸要素を推定する必要があると考える。この手順を付加することにより、目標とする締固め度を有する供試体を能率的に作製することにつながり、その後の力学性状を高い精度で求めることができる。

4. ま と め

アスファルト混合物の各種力学性状を明らかにするために、均質な供試体を作製しなければならない。本研究は、多年にわたり作製した細粒度ギャップアスファルトコンクリート、水利用ファインアスファルトコンクリート2種類の供試体空隙率についてまとめ、次の結果を得た。

1) 供試体の下端部の空隙率が上端部に比べ極僅か大きいのが、締固め密度から考えるとよく締固められていると考えてよい。

2) 供試体を作製した13年間について、目標とする空隙率の供試体を作製している。しかし供試体作製者の個人差が表れていることも事実である。このことからきめ細かな締固めに対する指導の工夫が必要である。

3) 細粒度ギャップアスコンの両端部の供試体は内側の供試体に比べ、空隙率が大きくなり易い。アスファルト富配合の水利用ファインアスコンでは、端部の密度が小さくなる恐れが少ない。しかし細粒度ギャップアスコン同様に温度低下に対する十分な配慮の下転圧を行わなければ、均質な密度の供試体を得ることはできない。

4) 以上総合すると、混合物を型枠に投入し締固めるとき、上端部、下端部、隅角部、縁端部の温度低下は大きくなるため、その部分の締固め密度は小さくなるのが一般的である。しかし、実験室内において、供試体作製方法の手順に従い加熱した型枠が冷却しないうち手早く転圧をおこなえば、それらの部分ともほぼ一定の密度の供試体を作製できることがわかる。

5) 原供試体の空隙率を測定し、約1%を減じた値が切り出した棒状供試体の空隙率と推定できる。供試体作製者の意識、技能を高め、供試体を能率的に作製し、その後の力学性状を高い精度で求める意味からも、原供試体の空隙率を測定し、これから切り出す棒状供試体の諸要素を推定する必要がある。

最後に、本研究を進めるにあたり、本校土木工学科卒業生川端以光、長尾鉄彦、小川雅敏、中山繁晴、田中満也、土田秀一、西根弘昭、東海林隆、近藤光継、渡辺正勝、井須勝、岡澤実、岩藤克也、佐藤智浩、大沢明彦、加藤康彦、石倉勝広、小菅憲正、村川徳尚、佐藤公宣、小林健一郎、村上芳宏、岡倉清明、吉川浩一、茂尾威晴、今 勇人、佐藤寿、杉山拓、増山繁、満田昭弘、松原和也、森島和良、佐々木一靖諸氏の供試体データを使わせて頂いた。記して深甚な謝意を表する。

引用文献

- 1) 日本道路協会編：アスファルト舗装要綱，丸善，1988。
- 2) 農林省農地局：土地改良事業計画設計基準第14編水利アスファルト工（前編），pp. 15～22，1967
- 3) 中村・森本・山本・松永・古川：国営かんがい排水事業双葉ダムアスファルトフェイシングの施工，水と土，第39号，pp. 2～14，1979
- 4) 谷山・江口・加藤：アスファルト遮水壁の設計と施工，水と土，第16号，pp. 29～79，1974
- 5) 伊藤・大山・岡野・鹿野：道路舗装の技術を応用して施工するアスファルト表面遮水壁工事（1），道路建設，No. 479，pp. 55～63，1987
- 6) 加藤護：水利構造物の材料特性—フィルダム遮水壁に利用されるアスファルト混合物—，舗装，Vol. 22，No. 7，pp. 4～9，1987
(平成5年11月30日受理)