アスファルトコンクリートにおける 粗骨材の最大粒径に関する一実験*

荻 野 正 嗣** 川 上 正 史*** 吉 本 彰****

An Experimental Study on the Maximum Size of Coarse Aggregate in Asphaltic Concrete

by

Shoji OGINO

(Faculty of Engineering, Osaka Industrial University, Daito)

Masashi KAWAKAMI

(Faculty of Science and Engineering, Ritsumeikan University, Kyoto)

and Akira YOSHIMOTO

(Faculty of Science and Engineering, Ritsumeikan University, Kyoto)

It is the main purpose of this study to ascertain whether or not the maximum size of coarse aggregate will affect the stability of asphaltic concrete and the optimum percentage of its coarse aggregate.

In this study, crushed stone, natural river sand and limestone powder were used for aggregate. The maximum sizes of crushed stone were 25, 20, 13 and 10 mm. The percentages of coarse aggregate (>2.5 mm) were 65, 60, 55, 50, and 45. The asphalt content varied from 5.5% to 9.5%. The properties of asphalt mixtures were evaluated by the Marshall test.

The main conclusions to be drawn from the data obtained are as follows:

- (1) The maximum size between 13 and 25 mm had negligible effect on the Marshall stability, whereas considerable reduction in stability was obtained when 10 mm size was used. Therefore, 13 mm size can be used for dense-graded asphaltic concrete.
- (2) The maximum size between 10 and 25 mm had little effect on the optimum percentage of coarse aggregate. Consequently, it is not necessary to change the ratio of fine aggregate to coarse aggregate, when 13 mm size is used instead of 20 mm size.
- (3) The authors regard the specific limit of Japan Road Association for gradation of overall aggregate of dense-graded asphaltic concrete as appropriate.

(Received Aug. 10, 1970)

1 序 論

1・1 まえがき

アスファルト混合物の安定度がその骨材粒度によって大きく影響されることは、古くから経験的に知られている事実である。しかし、これに関する本格的な研究は意外に少なく、学問的に不明のまま残されている点がいくつかある。

以前、筆者らの一部は、“一定の碎石を用い、砂の粒度だけを変えた場合の影響”および“骨材の最大粒径を一定とし、中間の粒径が欠けた場合の影響”に関

する実験を実施し、アスファルト混合物の骨材粒度を選定する際の考え方について貴重な結論をえた^{1,2)}。しかし、これらの実験では骨材の最大粒径が一定で、いずれも 20 mm であったため、骨材の最大粒径の影響は未確認のまま残されていた。

本論文はこの未確認の分野について実験を実施したもので、アスファルト混合物における骨材粒度の影響をより明確にしようとするものである。

1・2 本研究の目的

本論文では、研究の主目的を

- (1) 骨材の最大粒径と安定度との関係
- (2) 骨材の最大粒径と最適粗骨材率との関係

の 2 つにおいた。

* 原稿受理 昭和45年8月10日

** 大阪産業大学工学部 大東市中垣内

*** 立命館大学理工学部 京都市左京区等持院北町

**** 正 会 員 立命館大学理工学部 京都市左京区等持院北町

最近のアスファルト舗装工事では、以前に比べて、細かい碎石を用いる傾向にある。碎石が細くなるとアスファルトコンクリートの安定度が低下する危険はないだろうか。この点を確認するのが本実験の目的の1つである。

一般に碎石が細くなると、空げきの量がふえる。したがって、粗骨材の最大粒径が小さい場合にアスファルト混合物の空げきをできるだけ小さくしようとすると、最大粒径の大きい場合に比べて、多量の細骨材を必要とする可能性がある。従来、この点については全然関心がはらわれておらず、粗骨材の寸法が変わっても、細骨材と細骨材の割合は一定のままで変えないのが普通であった。アスファルト舗装要綱³⁾においても、密粒度アスファルトコンクリートの場合、最大粒径が20 mm であっても13 mm であっても、2.5 mm 以下の細骨材の量は一定となっている。これで差し支えないかどうかを実際の混合物について確認するのが、本実験のもう1つの目的である。

1・3 骨材の単位容積重量試験

アスファルト混合物についての本実験を実施するに先立ち、骨材だけについて、その最大粒径と単位容積重量との関係を調べてみた。用いた材料は本実験に使用したものと全く同一である。その粒度はFig. 2に示すとおりで、この“細骨材とフィラーの混合物”および粗骨材をいろんな割合に混合して、JIS A 1104の方法に準じて単位容積重量を調べた。その結果はFig. 1のとおりである。

この図によると、粗骨材率（全骨材に対する粗骨材の重量百分率）が一定の場合、最大粒径10 mmの単位容積重量が最も小さく、13 mm, 20 mmの順に大きくなっている。20 mmをこえると、それ以上単位容積重量は増大せず、25 mmではかえってわずかに減

Fig 1. Relationships between unit weight and maximum size coarse aggregate.

少している。25 mmを別格に扱い20~10 mmの範囲についてみると、最大粒径が小さいほど単位容積重量が減少している。すなわち、アスファルト混合物の安定度と単位容積重量との間には密接な関係のあるのが普通であるから、^{たとえ1) 2)} 粒径の小さい粗骨材を用いた場合に安定度の低下する危険性はかなり強いとみななければならぬ。

Fig. 1によると、単位容積重量の最大となる粗骨材率は、粗骨材の最大寸法に關係なく、ほとんど一定である。しかし1・2でも述べたように、粗骨材自体の空げきは最大粒径によって変わるから、粗骨材の空げきを埋めるに必要な細骨材の量は最大粒径によって変わる可能性があると考えて、実験をすすめてゆくのが安全であろう。

2 実験に使用した材料

2・1 粗骨材の最大粒径

現在のアスファルト舗装要綱では、密粒度アスファルトコンクリートの場合、最大粒径を20 mmと13 mmの2種としているが、13~5 mmの碎石が入手困難な場合は10~5 mmの碎石を使用してもよいとしている。また、現在は密粒度⁴⁾の上限界を20 mmとしているが、以前の舗装要綱によると、最大25 mmの碎石を使用することも可能であった。

このような実情を考慮して、本実験に使用する粗骨材の最大粒径は25, 20, 13 および10 mmの4種類とした。

2・2 使用材料

(1) アスファルト：針入度93 (25°C, 100 g, 5 sec) のストレートアスファルトを用いた。

(2) 石粉：0.074 mm以下の部分には、主として、石灰岩粉末を用いた。比重は2.72である。

(3) 砂：滋賀県愛知川産の天然砂、比重は2.64、吸水量は1.9%である。この川砂を、あらかじめ、5~2.5, 2.5~1.2, 1.2~0.6 および0.6 mm以下の4つにふるい分けて貯蔵しておき、実験の際にはこれらを一定の割合に組み合わせて用いた。

(4) 碎石：大阪府高槻市産の硬質砂岩の碎石で、比重2.69、吸水量0.83%である。この碎石は、使用に先立ち、25~20, 20~13, 13~10, 10~5, および5~2.5 mmの5つにふるい分けて貯蔵しておいた。実験の際には、これらを一定の割合に組合わせて用いた。

2・3 細骨材と粗骨材の粒度

本論文では、アスファルト舗装要綱(昭42)にしたがって、2.5 mm以上の骨材を粗骨材、2.5~0.074 mmの骨材を細骨材、0.074 mm以下をフィラーと呼ぶことにする。

実験に用いた細骨材+フィラーの粒度はFig. 2に示すとおりである。2.5~0.15 mmの部分は天然砂から

Fig. 2. Gradation curves for aggregate.

なり、0.15 mm 以下の部分はほとんどが石粉で、これにごくわずかな天然砂が混じっている。

また、実験に使用した粗骨材の粒度はFig. 2に示す4種である。このうち、5 mm 以上の部分には碎石を用い、5～2.5 mm には碎石と天然砂を等分に用いた。

3 マーシャル試験

3.1 実験に用いた配合

実験に用いたアスファルトコンクリートの配合は次のように選んだ。

(1) 安定度あるいは密度の最大となるような粗骨材率（これを最適粗骨材率と名付けておく）を求めるために、4種類の粗骨材の最大粒径のおのおのについて、粗骨材率、すなわち全骨材（碎石＋砂＋フィラー）に対する粗骨材の重量百分率を65、60、55、50および45%の5種類に選んだ。

(2) 安定度あるいは密度が最大となるようなアスファルト量（これを最適アスファルト量と名付けておく）を求めるために、合計20種の骨材粒度のおのおのについてアスファルト量を0.5%おきに5.5～9.5の範囲で変化させた。ただし、この場合のアスファルト量は全混合物（碎石＋砂＋フィラー＋アスファルト）に対する重量百分率である。

3.2 試験方法

(1) 供試体の作成：供試体2個分を1バッチとし、アスファルト舗装要綱のマーシャル安定度試験の方法にしたがって成形した。成形温度は120℃、成形時の突き固め数は片面50回、合計100回である。

(2) 安定度試験：成形の翌日、安定度を調べた。試験時の供試体の温度は60℃である。

3.3 粗骨材の最大粒径と安定度

Fig. 3～6 は4種の最大粒径についてアスファルトコンクリートのマーシャル安定度を図示したものである。Fig. 3は最大粒径25 mmの場合で、Fig. 4、5および6は、それぞれ最大粒径20、13および10 mmに対するものである。Fig. 3によると、粗骨材率が55%のとき安定度が最大を示し、次いで50、60、45、65%の順に減少している。また、最適アスファルト量は粗骨材率55%で最小値を示し、50、60、65、45%の順

に増加している。

最大粒径が20、13および10 mmの場合も25 mmのときとはほぼ同様の傾向を示し、いずれも55%で安定度が最大となり、しかも最適アスファルト量は55%で最小となっている。

この結果から、次のように推定できる。粗骨材率が

Fig. 3 Relationships between Marshall stability and asphalt content for various percentages of coarse aggregate.

Fig. 4 Relationships between Marshall stability and asphalt content for various percentages of coarse aggregate.

Fig. 5. Relationships between Marshall stability and asphalt content for various percentages of coarse aggregate.

Fig. 6. Relationships between Marshall stability and asphalt content for various percentages of coarse aggregate.

55%より小さい場合は、細骨材が多すぎて粗骨材相互のかみ合いが不十分となって強度が落ち、骨材の比表面積の増大によってアスファルト所要量が多くなる。一方、55%より大きい場合は、粗骨材の空げきを細骨材とフィラーとで満たしきれず、そのたりないところをアスファルトで補っているから、アスファルト混合物の安定度が低下し、しかもアスファルト所要量が増大する。

Fig. 3~6 の曲線から最大安定度と最適 アスファルト量とを読みとり、これらを一括して示すと Table I のようになる。いま、この表における最大寸法 10mm を例にとると、粗骨材率55%のとき最大安定度の値が最も大きい。このようにある最大粒径の場合に得られ

Table I. Maximum stability, Maximum density and optimum asphalt content for four sizes of coarse aggregate.

Max size of coarse aggregate (mm)	Percentage of coarse aggregate (%)	Max stability (kg)	Optimum asphalt content (%)	Max density (g/cm ³)	Optimum asphalt content (%)
10	45	530	8.7	2.32	8.4
	50	543	8.2	2.33	8.2
	55	573	8.3	2.33	8.5
	60	536	8.4	2.33	8.2
	65	504	9.0	2.33	8.9
13	45	576	8.2	2.34	7.9
	50	602	8.3	2.34	7.8
	55	628	7.5	2.35	7.0
	60	568	8.0	2.33	8.0
	65	542	8.7	2.34	8.0
20	45	600	7.5	2.35	7.5
	50	615	7.0	2.38	6.7
	55	650	7.0	2.38	6.9
	60	600	7.5	2.37	7.5
	65	580	8.0	2.38	8.0
25	45	570	8.0	2.35	8.0
	50	624	7.0	2.36	7.0
	55	645	6.5	2.38	7.0
	60	596	7.3	2.41	7.4
	65	555	7.5	2.41	7.3

Fig. 7. Absolute maximum stability and optimum asphalt content for various size of coarse aggregate.

る最も大きい安定度を絶対最大安定度と名付けておこう。Table I から粗骨材の最大粒径と絶対最大安定度との関係を求めると、Fig. 7 の実線のようになる。25 mm と 20 mm とでは絶対最大安定度に差が認められないが、13 mm ではやや低く、10 mm ではかなり著しい低下を示している。

また、Table I から粗骨材の最大粒径と最適アスファルト量との関係を求めると、Fig. 7 の破線のようになる。アスファルト量は、粗骨材の最大粒径が大きいほど少なく、粗骨材の粒径が小さくなるにつれて増加してゆく。

ここで注意しなければならないのは、アスファルトとフィラーとの割合である。フィラーは骨材の一部を構成すると同時に、アスファルトを安定にする役割りをも果しており、アスファルトとフィラーの割合はアスファルトコンクリートの安定度に大きな影響力をもっている。Fig. 7 の絶対最大安定度はいずれも粗骨材率55%のときの値であるから、全骨材中のフィラーの割合は、最大粒径に関係なく一定である。これに対し、最適アスファルト量は最大粒径が小さくなるほどふえている。したがって、最大粒径の小さい混合物では、アスファルトに比べてフィラーの使用量がやや少なくなっている。もし、フィラーの量をふやしてアスファルトとフィラーの割合を、粗骨材の最大粒径に関係なく、一定になるようにすれば、13 mm の安定度は 20 mm のそれに近づき、両者の差はより小さいものになるであろう。

3・4 粗骨材の最大粒径と密度

アスファルト混合物の配合を決める際、安定度と同様、密度もまた重要な役割を果す。アスファルト混合物のアスファルト量を変化させアスファルト量と密度との関係を求めると、Fig. 3~6 のアスファルト-安定度曲線と類似の曲線がえられる。これらの曲線から、最大密度の値とその最大密度を示すときのアスファルト量、すなわち最適アスファルト量を求めて、表示すると Table I のようになる。

この表によると、絶対最大密度が安定度の場合ほど明りょうにあらわれていないが、全般的にいって、最大粒径 25 mm および 20 mm のものは密度が大きく、13 mm はやや小さくなり、10 mm ではかなり小さくなっている。最大粒径 10 mm のアスファルトコンクリートは密度の点でも、他の粒径のものに劣っている。

3・5 空げき率・飽和度およびフロー値を考慮した場合の安定度および密度

アスファルト混合物のアスファルト量を安定度と密度とだけから決めたのでは充分でない。アスファルト舗装要綱では、それらの他に空げき率、飽和度およびフロー値を規定し、密粒度アスファルトコンクリートに対しては、次の範囲内に入ることを要求している。

空げき率	3～6%
飽和度	75～85%
フロー値	2～4 mm

これらの条件をみたす混合物について、安定度と密度とを調べてみよう。ここでは煩雑をさけるため詳細は省略するが、実験値からこれらの諸条件を満たし、しかも安定度のできるだけ大きくするようなアスファルト量を求め、さらに Fig. 3～6 の安定度—アスファルト曲線あるいはこれと同じ要領で作成した密度—アスファルト曲線を利用して、このアスファルト量に相当する安定度および密度を求めると Table II のようになる。なお、最大粒径 25 mm の粗骨材率60, 65%の場合は、これらの諸条件を満たすアスファルト量を

Table II. Stability and density of the asphalt concrete determined from the design criteria of Japan Road Association

Max size of coarse aggregate (mm)	Percentage of coarse aggregate (%)	Asphalt content determined from the design criteria (%)	Stability (kg)	Density (g/cm ³)
10	45	8.4	476	2.32
	50	8.3	540	2.33
	55	8.1	572	2.33
	60	8.0	532	2.31
	65	8.2	432	2.30
13	45	8.1	572	2.34
	50	7.8	602	2.34
	55	7.4	624	2.35
	60	7.9	564	2.32
	65	7.9	464	2.34
20	45	7.5	600	2.35
	50	7.0	616	2.37
	55	6.9	548	2.38
	60	6.6	508	2.35
	65	6.9	472	2.37
25	45	7.6	524	2.34
	50	7.2	610	2.36
	55	6.6	640	2.38
	60	—	—	—
	65	—	—	—

求めることができなかった。

Table II によると、最大粒径が大きいほどアスファルト量が少なくて済み、安定度および密度は逆に大きくでている。13, 20 および 25 mm の絶対最大安定度の値は Table I の値と大差なく、10 mm のそれは Table I よりかなり低い。最適粗骨材率の値も Table I とだいたいにおいて等しく、いずれの最大粒径に対してもほぼ55%である。すなわち、アスファルト舗装要綱の設計条件を満たすようにアスファルト混合物の配合を選定した場合も Table I と同じ結論がえられる。

3・6 スティフネス (Stiffness)

アスファルト混合物の力学的特性を判定する基準の1つにスティフネスと呼ばれるものがある。スティフネスとは“できるだけ変形を起こさないで、どれだけの荷重に耐えうるか”という性質で、アスファルト混合物の安定性を示す尺度と考えることができる。一般には、応力をひずみで割った値で、その単位は kg/cm² で表わされることが多い。

いま、応力のかわりにマーシャル安定度を、ひずみの代わりにフロー値を用いると、スティフネスはFig. 8 のようになる。この図によると、粗骨材の最大粒径が大きくなるにしたがってスティフネスが大きくなる。また、スティフネスの最大となる粗骨材率、すなわち最適粗骨材率は、ほぼ50～55%程度となっている。

Fig. 8. Relationships between the stiffness and percent coarse aggregate.

3・7 アスファルト舗装要綱の粒度限界について

以上の結果からわかるように、アスファルトコンクリートとして最も好ましい粗骨材率は、粗骨材の最大粒径には関係なく、ほぼ55%となっている。いま、粗骨材率を55%とし、最大粒径 20 mm と 13 mm の場合の全骨材の粒度を求めてみると Fig. 9 の実線のとおりである。

筆者らは、以前に、“細骨材の粒度が変わると適当な粗骨材率の値は変化する”ことを明らかにした。本

Fig. 9. Optimum gradation curves for overall aggregate.

論文の初めに述べたように、粗骨材の最大粒径が変化した場合にも最適粗骨材率は変わるという想定のもとに実験をすすめたのであるが、筆者らの予想に反して、“最大粒径は粗骨材率に影響しない”という結果がでた。アスファルト舗装要綱では、2.5 mm 以下の量を最大粒径に関係なく一定にしているが、この場合はこれで不都合はなかったわけである。また、Fig. 9 の実線はいずれもアスファルト舗装要綱の限界内に入っているから、舗装要綱の限界は妥当なものと考えてよいであろう。

4 結 論

本実験の結果を要約すると、次のようになる。

(1) 最大粒径 25, 20, 13 および 10 mm の 4 種類の粗骨材を用いて安定度の最大となる粗骨材率を求めたところ、いずれも 55% となっており、最適粗骨材率に対する最大粒径の影響は認められない。

(2) 粗骨材率 55% の場合の絶対最大安定度は、最大粒径 25 mm および 20 mm のものが最も大きい。13 mm のものではやや低下する傾向があるが、20 mm との間に大差はない。最大粒径が 10 mm になると、

安定度はかなり低くなる。

(3) アスファルト所要量は、一般に、粗骨材寸法が小さいほど多くなる。

(4) 密度は、最大粒径 25 mm および 20 mm の場合が最も大きく、13 mm ではやや低下する。10 mm ではかなり低くなる。

(5) アスファルト舗装要綱の方法でアスファルト量を決定し、この配合について安定度と密度を調べたところ、上述の(1)~(4)と同じ結果がえられた。

(6) 最大粒径 10 mm の粗骨材を用いると、安定度も密度も低くなり、しかも所要アスファルト量がふえるので好ましくない。

(7) 最大粒径 13 mm と 20 mm の粗骨材では、ほぼ同一の安定度と密度がえられる。所要アスファルト量は、13 mm の場合にやや大きくなるが、20 mm との差はわずかである。従来の 20 mm にかえて 13 mm の粗骨材を舗装の表層に用いても、特に支障はないものと考えられる。

(8) アスファルト舗装要綱の密粒度の粒度限界は、最大粒径 20 mm の場合も 13 mm の場合も、一応妥当なものと考えてよい。

(昭和45年11月7日 土木学会第23回年次学術講演会にて講演)

参 考 文 献

- 1) 吉本 彰, 荻野正嗣, 土木学会論文報告集, **166**, p. 8 (1969).
- 2) 吉本 彰, 荻野正嗣, 土木学会論文報告集, **166**, p. 17 (1969).
- 3) 日本道路協会, アスファルト舗装要綱, 表—5.1 (1966).
- 4) 日本道路協会, アスファルト舗装要綱, 表—4.1 (1960).
- 5) 吉本 彰, 道路建設, No. 233, p. 73 (1967).
- 6) 吉本 彰, 荻野正嗣, 道路建設, No. 259, p. 51 (1969).