

実測法と計算法によるアスファルト混合物の理論最大比重の違いと配合設計への影響

- Difference between theoretical maximum density of asphalt mixture by calculation method and measurement method and, it's influence to mix design -

交通工学研究室 濱田 裕基*¹
指導教員 高橋 修

1. はじめに

道路や空港のアスファルト舗装に使用されているアスファルト混合物（以下、混合物）には、一般に以下の性能が必要とされている。

- ・ 安定性（変形作用に対する抵抗性）
- ・ たわみ性（変形した場合容易に破壊しない変形追従性）
- ・ すべり抵抗性（車両タイヤと舗装表面との摩擦抵抗性）
- ・ 耐久性（車両走行の繰り返し変形作用に対する破壊抵抗性）
- ・ 施工性（施工時における作業の容易性）

これらの性能は、混合物の配合、すなわち各種骨材の組合せとアスファルトバインダの添加量によって左右される。混合物としての所定の性能を満たすように、これらの配合割合を決定することを、一般に「アスファルト混合物の配合設計」と称している。配合設計にはいくつかの考え方とそれに基づく方法がある。我が国における従来の基本理念は、「適当な配合とは骨材が最も密に詰まった状態である」という考え方である。そして、その状態が得られるように各種骨材の組合せを規定し、それらの骨材を結合するための適当なアスファルトバインダの量を、力学試験による評価値と空隙率や飽和度等の状態を表わすパラメータに基づいて決定している。これに対して、米国をはじめとする先進諸外国では、「混合物の耐久性には塑性流動抵抗性が重要であり、十分な塑性流動抵抗性を得るためには、適度な空隙を有するように配合設計を行うことが重要である」という考え方が基本となっている。このような考え方に基づ

く設計法は Superpave と称され、米国では AASHTO で標準化されている。

アスファルト混合物の配合設計や品質管理において、アスコンの空隙率は重要な評価パラメータの一つである。アスコンの空隙率は、その混合物の理論最大比重(以下 G_{mm})によって求められる。現在、 G_{mm} の決定には二つの方法が用いられている。一つは、各種原材料の比重とそれらの配合割合から計算で求める方法である。しかし、この計算法では、骨材の表面空隙によるバインダの吸収を考慮できないという欠点が指摘されている。もう一つは、加熱混合した混合物をバラバラにほぐし、強制的に真空状態にして混合物の重量と体積を測定する方法で、実測法である。先進諸外国では主に実測法が採用されている。実測法試験装置の概略図を図-1 に示す。

実測法が先進諸外国で運用されている背景に、計算法では骨材によるアスファルトバインダの吸収を考慮できないことが挙げられる。つまり実際の状態で直接測定して、真に近い値を求めるという現実的、かつ合理的な考え方が実測法にはあるということである。しかし我が国では、実測法に関する基礎的検討が行われた経緯がほとんどなく、現行の計算法と実測法から求めた G_{mm} の違いが空隙率に与える影響について、全く知られていない状況である。米国、カナダが実測法に移行した経緯とその背景となる合理性を考慮すると、我が国の骨材に対する G_{mm} の決定方法について具体的に検討する必要がある。

*1 長岡技術科学大学大学院工学研究科
建設工学専攻 大学院生

Graduate Student, Civil Engineering Course,
Graduate School of Engineering, Nagaoka University of Technology

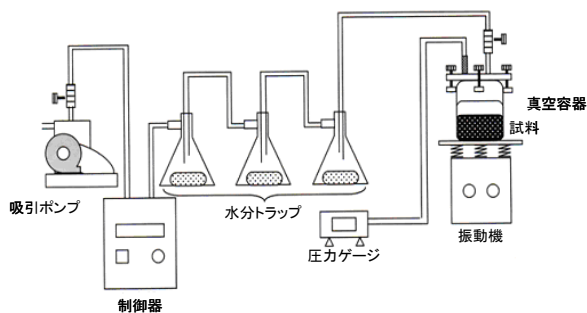


図-1 実測法試験装置の概略図

2. 研究目的

本研究では、我が国で標準的な計算法と先進諸外国で採用されている実測法で我が国の混合物の G_{mm} を求め、その差異を定量的に比較して、両者の関係を明らかにすることを目的とする。本研究の具体的な目的として、以下の3点が挙げられる。

- ・ 骨材におけるアスファルトの吸収性を評価し、そのばらつきの範囲と要因について検討する。
- ・ 計算法と実測法の違いが配合設計における設計パラメータに及ぼす影響を、実データに基づいて調査する。
- ・ G_{mm} の差が大きい場合、他の評価指標から実測法の値を推定する方法を検討する。

3. 理論最大比重の求め方と計算法の問題点

計算法による G_{mm} の求め方を式 (1.1)、実測法による G_{mm} の求め方を式 (1.2) に示す。

$$G_{mm} = \frac{100}{\frac{P_b}{G_b} + \sum \frac{P_{si}}{G_{si}}} \dots \text{式 (1.1)}$$

ここに、

P_b : アスファルトバインダの配合比 (%)

G_b : アスファルトバインダの比重

P_{si} : 骨材 i の配合比 (%)

G_{si} : 骨材 i の比重

$P_b + \sum P_{si} = 100$

$$G_{mm} = \frac{A}{A - (C - B)} \dots \text{式 (1.2)}$$

ここに、

A : 試料の空中重量 (g)

B : 真空容器の水中重量 (g)

C : 真空容器と試料の水中重量 (g)

我が国では、計算法で G_{mm} を求める場合に、骨材の比重に見かけ比重 (以下 G_{sa}) が用いられる。しかしながら、Rice 法が開発された経緯において指摘されているように、混合物における骨材の実際の状態は見かけ比重を求める状態と異なっている。

混合物における骨材の表面を模式的に表すと図-2 に示すとおりである。骨材には表面空隙と称される微細な凹凸が存在しており、加熱した混合物にアスファルトバインダを添加した場合、表面空隙の一部にアスファルトが入り込んで吸収される。アスファルトは混合温度の状態でも水よりも粘性が高いことから、表面空隙に吸収されるアスファルトの量は水の場合よりも少ない。そのため、表面空隙においては、「水分もアスファルトも吸収する部分」と、「水分は吸収するがアスファルトは吸収しない部分」(以下 V_{vna}) に分けられる。この V_{vna} は骨材やアスファルトの質や状態によって異なり、計算法では $V_{vna} = 0$ として計算を行っている。つまり、 G_{sa} を用いて計算した G_{mm} は実際の混合物の G_{mm} よりも大きな値になってしまう。

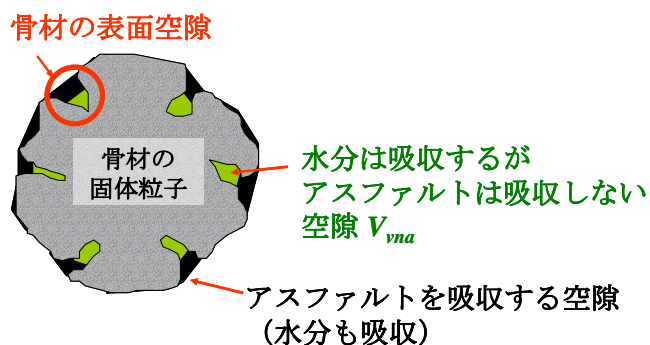


図-2 混合物中の骨材の状態

*1 長岡技術科学大学大学院工学研究科
建設工学専攻 大学院生

4. 計算法と実測法で求めた Gmm の差が配合設計に与える影響

使用した骨材は、産地の異なる6つの骨材グループ（以下、骨材グループ A~F）である。配合設計を行った最大骨材粒径 20mm のアスファルト混合物（以下、密粒 20）に対して、計算法と実測法で算出した Gmm の差を求めたものを表-1 に示す。骨材グループ F を用いた場合は 0.071 と比較的差が大きく、その他の骨材グループでは 0.009~0.023 の差異であった。

計算法と実測法で求めた Gmm の差が、配合設計に与える影響を検討した。我が国の配合設計では、マーシャル安定度試験で求められる安定度、フロー値、空隙率、飽和度それぞれ基準範囲すべてを満たすのアスファルト量を共通範囲法により決定し、これを最適アスファルト量（以下 OAC）としている。 Gmm は空隙率と飽和度を算出する際に用いられるため、 Gmm が異なると OAC も異なる。例を図-3 に示す。これらの違いによる OAC の差をすべての骨材グループについてまとめたものを表-2 に示す。 Gmm の差が OAC に対して、最大で 0.3% 程度の影響がある。

表-1 密粒 20 における計算法と実測法における Gmm の差

骨材グループ	A	B	C	D	E	F
Gmm (計算法)	2.507	2.463	2.479	2.484	2.505	2.518
Gmm (実測法)	2.487	2.446	2.456	2.475	2.492	2.447
Gmm 差	0.020	0.017	0.023	0.009	0.013	0.071

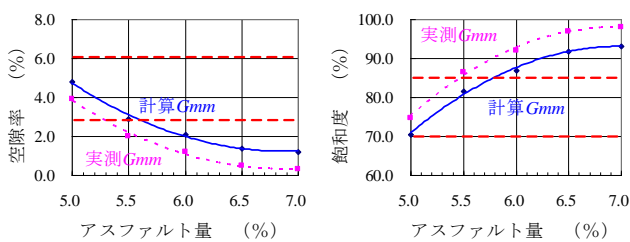


図-3 Gmm の差が空隙率と飽和度に与える影響

表-2 密粒 20 における Gmm の差が OAC に与える影響

骨材グループ	B	C	D	E	F	
OAC (%)	計算法	5.6	5.3	5.9	5.4	5.5
	Rice法	5.5	5.1	5.8	5.2	5.2
	差	0.1	0.2	0.1	0.2	0.3

5. 計算法と実測法による Gmm 差の影響因子

骨材の標準試験では、吸水率を測定している。本研究では吸水率に着目して考察を行った。その理由としては、計算法と実測法の違いはアスファルトで閉塞される骨材表面の空隙を考慮するか否かである。すなわち、水は吸収するがアスファルトは吸収しない空隙を無視するか、それとも骨材内部に存在する微細空隙と同じものとして考慮するかの違いである。水は吸収するがアスファルトは吸収しない空隙の量的なものは、骨材表面における微細孔の状態に依存している。そのため、骨材の吸水率によって計算法と実測法による Gmm の差は影響を受けることが予想される。

ここでは、式(1.1)に示した種々の素材の比重から合成比重を求める考え方に準拠し、合成吸水率なる指標を導入して、評価を行った。その結果を図-4 に示す。合成吸水率が高いほど、 Gmm の差も大きくなる傾向が見られる。

しかし、実際のアスファルト混合物は水ではなくアスファルトを用いている。そのため、吸水率同様に吸油率を考える必要がある。そこで本研究では、すべての骨材に対し「アスファルト舗装材料の骨材のアスファルト浸漬比重試験法」を行った。その結果を図-5 に示す。粗骨材、細骨材ともに吸水率と吸油率の相関が見られる。アスファルト混合物はバインダにアスファルトを使用しているため、本来であれば骨材の吸油率で様々な考察を行うほうが理論的には正解である。しかし先述したように骨材の吸油率を求める試験は標準的に行われていない。また、試験が煩雑であり、ばらつきが大きいこ

*1 長岡技術科学大学大学院工学研究科
建設工学専攻 大学院生

Graduate Student, Civil Engineering Course,
Graduate School of Engineering, Nagaoka University of Technology

とも問題点として挙げられる。従って吸油率と相関が得られ、また我が国で標準的に行われている吸水率での評価が妥当であると考えられる。

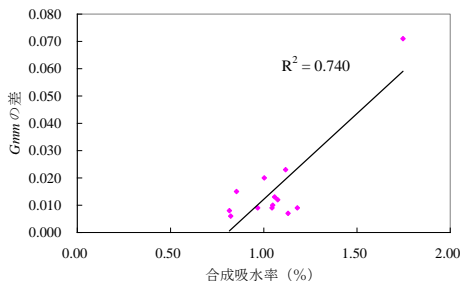


図-4 合成吸水率と *Gmm* の差の関係

推定 *Gmm* を用いて OAC との差を求めると 0.1% と同等以下である。この結果からも推定式の信頼性が確認できる。

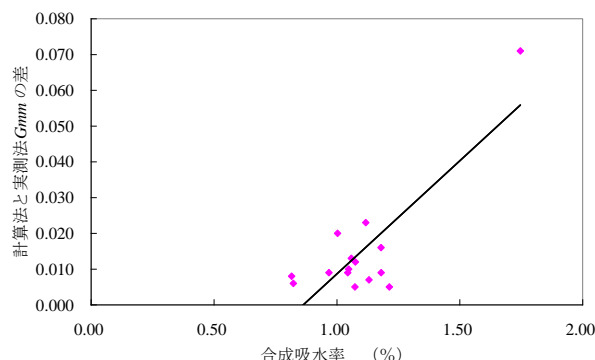


図-6 実測法と計算法 *Gmm* の差と合成吸水率との関係

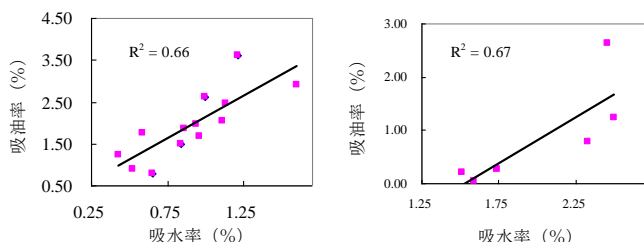


図-5 粗骨材 (左), 細骨材 (右) における吸水率と吸油率の関係

6. 計算法で求めた値から実測法の値の推定

本研究のまとめとして、骨材の合成吸水率から、実測値の *Gmm* を推定することを考える。本研究の実測法の *Gmm* と合成吸水率との関係を図-6 に示す。このグラフから式 (1.3) を導くことができる。

$$y = 0.051x - 0.043 \dots \text{式 (1.3)}$$

ここに、

x : 合成吸水率 (%)

y : 実測法と計算法における *Gmm* の差

式 (1.3) を用いると実測法で求める *Gmm* を合成吸水率より推定可能となる (以下、推定 *Gmm*)。式 (1.3) の精度について検討を行った。その結果を表-3 に示す。推定 *Gmm* の値は計算法と実測法での *Gmm* の差より誤差が少ない。

表-3 密粒 20 における推定値と実測値

骨材グループ	A	B	C	D	E	F
<i>Gmm</i> (計算法)	2.507	2.463	2.479	2.484	2.505	2.518
<i>Gmm</i> (実測法)	2.487	2.446	2.456	2.475	2.492	2.447
<i>Gmm</i> 差	0.020	0.017	0.023	0.009	0.013	0.071
合成吸水率 (%)	0.90	1.52	1.12	1.18	1.06	1.75
補正式で求めた <i>Gmm</i> 差	0.003	0.034	0.014	0.017	0.011	0.046
補正式で求めた推定値	2.504	2.429	2.465	2.467	2.494	2.472
推定値と実測値の差	0.017	0.017	0.009	0.008	0.002	0.025

7. まとめ

- ・ 計算法と実測法によって求めた密粒 20 の *Gmm* の差は、おおむね 0.015 前後である。対して、骨材グループ F のみ、他の骨材グループと比較して *Gmm* の差が大きく 0.071 である。
- ・ 粗骨材、細骨材ともに吸水率と吸油率には相関関係が確認できた。骨材の吸油性を試験によって確認したが、試験が煩雑であり、結果にばらつきが生じた。そのため吸水率で評価を行った。
- ・ 提案した推定式を使用し、算出した *Gmm* は、従来の計算法とり実測法の値に近く、OAC の差に換算しても 0.1% と同等以下であり、信頼性が確認できた。

*1 長岡技術科学大学大学院工学研究科
建設工学専攻 大学院生