

アスファルト混合物に関する実験研究手法の選択について

学正員 ○笠 原 篤*
正 員 菅 原 昭 雄**

1. ま え が き

最近のアスファルト舗装に関する研究の焦点はパフォーマンスを最終的なアウトプットとするシステム工学的な体系の確立にある。1) そのうち材料学的な研究は粘弾性学的アプローチにより、力学解析の基礎となる応力、ひずみおよび材料物性を表す諸関数(複素弾性率、スティフネス、緩和弾性率、クリープコンプライアンス粘性率など)を載荷時間と温度の関数としてアスファルト混合物(以下混合物と称す)の力学的な性状を把握しようとしている。

混合物の力学的な性状は実用への寄与を考えると、かなり広範囲な温度および載荷時間領域で諸関数を把握しなければならないが、試験法、温度領域、載荷時間領域などによりおのずから制限されるものである。混合物の荷重分散性能および変形を論ずる場合には複素弾性率(スティフネス)、緩和弾性率などが対象となり、流動変形および施工性を論ずる場合には緩和弾性率、クリープコンプライアンス、粘性率などが対象となる。これら諸関数を概念的に一本のマスターカーブとして示したのが図-1である。

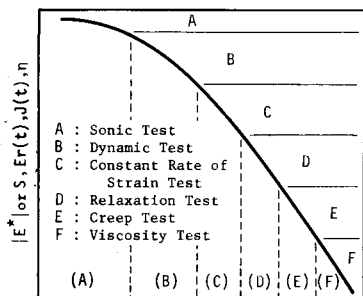


図-1

図に示した試験法は諸関数の絶対値によって選択されるものであって単に温度、ひずみ速度、載荷時間などによって選択されるものではない。破線で示したものはある一定温度で考えた場合載荷時間として区分されるものである。

本論文はアスファルト舗装が具備すべき要素を、荷重分散性能、材料の強度、耐久性、施工性の4つに大別し各要素の力学的な意味、力学的な性状把握および測定法などの研究手法について述べようとするものである。

現在アスファルト舗装に関する研究においては、力学解析および材料学的な性状把握の両者が互に独立して進められており、この両者の結びつけとなる研究はきわめて不十分であった。本論文は著者らの先に発表した論文すなわち「アスファルトなる材料におけるものの考え方²⁾」と「アスファルトに関する試験法³⁾」の両者を結びつけ、混合物に関する研究を体系づけることを目的としたものである。

2. 荷 重 分 散 性 能

半無限弾性体の層構造問題についての解法によれば、下層における応力ならびにひずみの支配因子は上下層の弾性係数の比(E_1/E_2)と第一層の層厚(h_1)であるとされる。 h_1 が車輪接地半径に比し著しく小さい場合を除き E_1/E_2 の大なるほどまた h_1 が大なるほど下層に生ずる応力は小さくなる。これは h_1 が一定であるとき E_1 が大なるほど下層の応力は小さくなるものと考えてよいことを示している。したがって、下層への荷重の分散の程度は上層の弾性係数に依存すると考えても差つかえない。

アスファルト舗装は弾性体と考えることは無理であるが弾性理論そのものは、多くの実証をもち、その考え方をアスファルト舗装にもち込むことが、許されることが明らかにされている。⁴⁾ しかし弾性係数そのものを用いることは不可能であり、時間・温度の関数としての変形係数を用いるのがより適切であることは論をまたない。

* 北海道大学大学院工学研究科 博士課程

** 北海道大学工学部 教授

変形係数の表現は、それが物質常数でないことからきわめて複雑である。従来変形係数の表現に用いられてきたものは、van der Poel のスティフネス、複素弾性率、緩和弾性率などであり、そのいずれもがそれなりの合理性を有しており、どの表現がすぐれているとはいえない。マーシャル試験法における安定度とフローの比も一種の変形係数の表現法と受取られるが、あまり解析的なものではない。上記3つの表現方法による数値はある領域（主として载荷時間、温度）においてはほぼ完

全に一致し、また他の領域においては一致を示さない。しかし工学的な解析、設計にはいずれもが支障なく利用できる。したがって研究手法の選択は主として実験および解析が容易であるという観点から行なわれるべきである。

著者らはこれら3種の変形係数を種々の方法で測定を行なったがこれらを要約し表1に示す。

表 1 変形係数を求める方法

対 象	測 定 方 法	算 出 法	精度良く測定される領域	参考文献
スティフネス	定ひずみ速度試験	载荷時間(t)における応力(σ)とひずみ(ϵ)との比: σ/ϵ	温度: $\sim +30^{\circ}\text{C}$ 時間: $10^{-2} \sim 10^2$ 秒	5)
複 素 弾 性 率 (IE^*)	曲げ振動共振法	共振周波数(f_0)より算出	温度: $\sim +20^{\circ}\text{C}$ 時間: $10^{-4} \sim 10^{-3}$ 秒	6), 7)
	強制曲げ振動法	周波数(f)で正弦的变化する応力(σ_0)とひずみ(ϵ_0)の振幅の比: σ_0/ϵ_0	温度: $\sim +25^{\circ}\text{C}$ 時間: $10^{-3} \sim 10^0$ 秒	8), 9)
緩 和 弾 性 率 ($Er(t)$)	応力緩和試験	応力(σ_0)瞬間载荷後、時間(t)におけるひずみ $\epsilon(t)$ との比: $\sigma_0/\epsilon(t)$	温度: $\sim +30^{\circ}\text{C}$ 時間: $10^{-2} \sim$ 秒	10)
	定ひずみ速度試験	応力・ひずみ曲線において時間(t)における接線勾配	温度: $\sim +30^{\circ}\text{C}$ 時間: $10^{-2} \sim 10^2$ 秒	11)
	クリープ試験	クリープコンプライアンス($J(t)$)より算出	温度: $\sim +60^{\circ}\text{C}^*$ 時間: $10^{-2} \sim$ 秒	12)

* 荷重分散性能として求める必要のある上限値

3. 材 料 強 度

層の積重ねにより構成されるアスファルト舗装において各層を構成している材料は、荷重によって生ずる応力およびひずみによって破壊されてはならない。このことは言うまでもなく材料一般についての原則である。しかし混合物は他の土木用諸材料に比して著しく複雑な力学的性状を示し破壊現象も各種のタイプが見られる。このことが混合物の取扱いを複雑にしているとされている。

一般的材料と同様に混合物の破壊現象も、物質固有の「強さ」または「限界ひずみ」を超えたときに生ずると考えられる。破壊現象、その把握法などを分類し表2に示す。

混合物に関する試験法は各種存在するが著者らは数多くの方法で試験を行なった結果各現象を把握するに必要な試験法は表2に示されたものが妥当であるとの結論を得た。

これら各種の破壊へのアプローチとしては大別して、材料学的な手法(a)、レオロジー論の適用による方法(b, c, d, e)、シミュレーション試験による方法(f, g, h)など3種があり、これらを総合的に用いて材料強度および力学的性状などを把握する必要がある。

現在のアスファルト舗装において、混合物の材料強度の不足による破壊はほとんど見受けられない。すなわち材料強度はほとんど問題とは思われないと思われる。しかし材料強度の把握なしでは荷重分散性能を論ずることはできず、また疲労破壊は繰返し载荷による荷重分散性能の低下(変形係数の低下)と材料強度の低下に起因すると思われることから、材料強度の判定は他の力学的性状を評価するためにあたっての重要な手段となる。

表 2 現象およびそれに対応する試験法

破壊の分類	現象	原因	荷重条件	作用	測定される力学的性状	測定法	参考文献
a	破 断	大 荷 重	単一荷重	曲げ、圧縮 引張り	破壊応力 破断ひずみ	定ひずみ速度試験	13) 14)
b	Waving	水平荷重	ブレーキ力、頻度	ずれせん断	剛性率、クリープ コンプライアンス	せん断試験、せん 断クリープ試験	15)
c	亀 裂	温度応力	温度降下による収 縮	引 張 り	線膨張係数 緩和弾性率	温度応力測定 応力緩和試験	16) 17)
d	ク リ ー プ	長時間載荷	車の重量、頻度 タイヤ圧	曲げ、圧縮 ずれせん断	クリープコンプ ライアンス	クリープ試験	18) 19) 20)
e	亀 裂	繰返し載荷	車の重量、頻度 タイヤ圧	疲 労	スティフネス 疲労破壊回数	動的試験、 疲労試験	21) 22) 23)
f	わだち掘れ (Rutting)	繰返し載荷	タイヤ圧、頻度	圧縮 側方流動	動的安定度 (pass/mm)	ホイールトラッキ ング試験	24) 25)
g	表層の荒れ	衝撃荷重 摩 擦 力	タイヤ、スパイク 等の衝撃力、頻度	衝 撃	耐衝撃性 耐摩もう性	シミュレーション 試験(フレツング)	26)
h	すりへり	衝撃荷重 摩 擦 力	チェーン、スパイク 等の衝撃力、頻度	衝 撃	耐衝撃性 耐摩もう性	シミュレーション 試験(ラベリング)	27) 28)

4. 耐 久 性

アスファルト舗装の耐久性を支配する要因については十分解明されておらず、またこれらに関する研究手法も十分確立されてはいない。耐久性については種々の面から考察されるが、それらを大別すれば

- 完全な施工が行なわれにくいがゆえに、ライフが短いとする。主として施工性の見地からする種々の研究、とくに締め固め問題
- 耐久性の総合的な評価は最終的にパフォーマンスに表現されるものとするパフォーマンス研究
- 材料性状の変化を追究する材料特性の変化に関する研究

を主たるものとして取上ることができる。そのいずれもが定量化の困難な問題であり、本格的な研究が行なわれにくい。上述した3種のうちどれがすぐれた方法であるかは断定できず、この3種の見地から併行して検討されるべきものと受取ることが妥当であろう。具体的な手法としては、(a)においては密度ならびに空隙の存在状態に関する研究が主要とされ、空隙の状態については透水性透気性などを用いることが多い。同一密度においても締め固め方法により透気性が大きく変化するという結果は²⁹⁾この種の研究に大きな示唆を与えている。(a)はまた舗装用混合物のタイプ選択にも重要な意味をもっていると言えよう。

(b)は大規模な研究としてアメリカが中心³⁰⁾となっており、行なわれているが目下の段階において、混合物に対して

はきわめて巨視的な見方を適用せざるを得ない状態にあると言えよう。将来課題として、材料特性と構造問題の橋かけにおいて重要な意味を持つとされる。

(c)は従来用いられてきた手段であるが、その主なもの化学的なものであり、骨材を被覆するアスファルト膜の性状の経年変化である。多くの場合これが舗装の亀裂現象と直接結びつけられてきたが、最近この種の結びつけの無理が指摘されてきている。これについてはアスファルト性状変化、混合物の力学的性状の変化、舗装の亀裂現象として把握されるべきものである。多くの場合アスファルトの性状変化と混合物の性状変化の関係は材料の力学的性質を求める手段により求められる。アスファルトの変質は、混合物中のアスファルトと骨材の付着の破壊、路面の急激な摩損および舗装の亀裂として表われる。これらは主として強度の問題と受けとられ、変形問題とは異質であり前述した材料強度に関するものが良い手段となると思われる。

道路としての耐久性は、本質的に変形および亀裂を介してパフォーマンスに帰着するものであり表2に示した実験手法がそのまま利用できよう。

5. 施 工 性

アスファルト舗装の施工性に関する研究は主として経験的に積み上げられてきており、理論的な研究および室内研究のみをもってしては核心に近づきにくい分野である。しかしパフォーマンスに影響する施工の良否、混合物の用途の拡大、気象条件の影響などを考えるとき、そ

の研究のもつ意味はきわめて重要である。施工性研究の要点は、

- (a) 材料の混合性：アスファルトと骨材の良い付着、材料の均一な混合をうること。
- (b) 材料の敷き均し性：均一な密度で引きずりなどのないように敷き均しができること。

(c) 締め固め性：所定の密度をうること
などであり、より広範囲に考えるとき、良い施工機械、良い施工性をもつ混合物の開発まで上げることができる。

施工性を材料学的に眺めるとき、混合はアスファルトの粘度問題³¹⁾と混合機械により与えられるせん断力の問題に帰せられ広義には混合の力学となる。また敷き均し性は材料のせん断低抗と Massとしての粘度に依存する。締め固め性は材料の Massとしての粘度、混合物の内部摩擦角、付着力の問題として解析されよう。この意味で三軸圧縮試験³²⁾はきわめて有用な手段となるであろう。

以上の基礎的な性状を、施工上の各段階における機械の機構との関連において論ずるとき、施工性に関する種々の事項が解明されるであろう。

6. シミュレーション試験の位置づけ

道路に生じている諸現象は複雑であり、力学的な手段のみをもってしては単純に解析できないことから、シミュレーションの方法が用いられることが多い。適切にシミュレートされた方法は実用性状を把握するにきわめて有効な手段であるが、道路舗装に関する問題についてはその荷重条件を完全にシミュレートさせることは非常に困難である。

この種の試験において重要な条件は、温度、ひずみ速度、載荷時間、実際に予想されるエネルギー、とすることができる。材料のレオロジカルな特性を十分に把握した上での実験研究が要求されるのであって、あくまで基礎的性状の研究と併行的に進められるべきものと結論される。

7. 結 論

以上アスファルト舗装において問題となる材料性状に関係した研究法選択に関する著者らの研究成果について述べた。ここに述べたものは著者らが過去数年間にわたり、舗装構造の力学解析ならびに材料研究の結果から得られたもので材料の力学的な性状については研究手法が網羅されている。しかし求める性状を対象としていくつ

かの方法が併列的に存在するはずであり、それらは研究の高度化とともに当然変化していくはずである。またアスファルト舗装の環境条件下において、混合物の力学的挙動はかなりの領域でレオロジー論の適用により解明されるものであり、詳細な粘弾性学的な解析法の適用も重要となってくるであろう。

研究手法の決定はこの分野において軽視されがちでありそれが研究の進展をさまたげているとも言え、通常いわれる研究とは異質ではあるが経験工学的分野において主要な研究テーマであることを指適したい。

参 考 文 献

- 1) Drake, W.B., Hudson, W.R., Ellison K.E. and et al. Proc.A.S.C.E pp.289~315, 1967
- 2) 菅原 照雄, 土木学会論文報告集, 第207号, pp. 1972-11
- 3) 菅原 照雄, アスファルト, 第85号, pp.6~12 1972
- 4) 3rd International Conference on the Structural Design of Asphalt Pavementsの結論
- 5) 森吉・上島・菅原, 土木学会第23回年次学術講演会講演集, 第IV部, pp.299~300, 1968
- 6) 笠原・上島・菅原, 土木学会論文報告集, 第208号, pp.75~82, 1972-12
- 7) H. R. B. Special Report No.94 pp.1~77, 1968
- 8) 笠原・菅原・土木学会北海道支部研究発表会論文集, 第28号, pp.147~151, 1972
- 9) Pagen, C.A., H.R.R.No.67 pp.1~26, 1965
- 10) 森吉・細見・野坂, 土木学会第25回年次学術講演会講演集, 第V部, pp.225~226, 1970
- 11) 笠原・岡田・上島・寺島, 土木学会第25回年次学術講演会講演集, 第V部, pp.231~232, 1970
- 12) Secor, K.E and Monismith, C. L, Transactions of the society of rheology VIII, pp.19~32, 1964
- 13) 森吉・上島・菅原・土木学会論文報告集, 第210号に掲載予定
- 14) Sugawara, T., Annual Report of Roads 1970, pp.61~66, Japan Roads Association
- 15) 中島・田淵, 土木学会北海道支部研究発表会論文集 第23号, pp.75~80, 1967
- 16) Monismith, C. L., Secor, G. A. and Secor

- K. E., A. A. P. T. Vol. 34; pp. 248 ~ 285, 1965
- 17) Haas, R. C. G. and Töpper, T. H., H. R. B. Special Report No. 101, pp. 136 ~ 153
 - 18) Saal, R. N. and Labout, J. W. A., Rheology, Vol. 2, 1958
 - 19) Pagen, C. A., H. R. R. No. 67, pp. 1 ~ 26 1965
 - 20) 工藤, 菅原, 土木学会論文報告集, 第 201 号, pp. 113 ~ 122, 1972-5
 - 21) Hveem, F. N. and Carmany, R. N., H. R. B. Proc. Vol. 28, pp. 101 ~ 136, 1948
 - 22) Pell, P. S., Proc. Inst. Civil Eng., Vol. 31, pp. 283 ~ 312, 1965
 - 23) Monismith, C. L. and Deacon, J. A., A. S. C. E. Transportation Engineering Journal, pp. 317 ~ 346, 1969
 - 24) Sugawara, T. and Itakura, C., Bull. Japan Petroleum Institute 8, pp. 68 ~ 74, 1966
 - 25) 神崎・松浦・田中・菅原, 土木学会第24回年次学術講演会講演集, 第 IV 部, pp. 315 ~ 316, 1969
 - 26) 山之口浩, 土木学会第25回年次学術講演会講演集, 第 IV 部, pp. 173 ~ 174, 1970
 - 27) 大越・臼井・第 4 回日本道路会議論文集, pp. 257 ~ 260, 1957, その他, 北海道開発局土木試験所月報など
 - 28) 瀬戸薫, 第23回アスファルトゼミナールテキスト, pp. 1 ~ 6, 1972
 - 29) 新田・上島, 土木学会論文報告集に投稿中
 - 30) カルフォルニア州道路局の一連の研究, A. A. P. T. その他
 - 31) 中島・間山・北郷, 土木学会論文報告集, 第 208 号, pp. 97 ~ 104, 1972-5
 - 32) Nijboer, L. W., "Plasticity as a factor in the design of dense bituminous road carpets Elsevier Publishing Company, IMC. 1948