

アスファルト舗装の実用性状と合材の力学的試験性状との関係について

正員 北大工学部助教授 工博 菅原 照雄

交通に供したアスファルト舗装の実用性状とそれに用いた合材の性状(実験室内で求めた)との関係について古来幾多の研究, 討議が行なわれているがまだ十分に解明されていない。すなわちわれわれが普通合材の力学的試験として実験室で行なうマーシャル試験にしても, マーシャル安定度, フローがいくらであれば何台の車, 何屯の車を通うるかということは直接知り得ず, アメリカにおいて経験的, 統計的にある線がひかれている程度でありこれに対して世界中の研究者の一部は疑問をもっており, 広く認められたものとはいえない。

本報告ではこれらの既往の研究例および筆者が英国道路研究所で行なった研究の一部について述べ, さらに筆者の意見を述べて見たい。

1. 舗装の実用性状

舗装の実用性状とは非常に広い意味に使用されるが, ここでは一応力学的な問題に限定して考えることにする。

これを分類して考えれば,

- a. 表面剝離
- b. アスファルトの滲出
- c. 変型
- d. 亀裂

の4つとすべきである。路床路盤もまた非常に大きな割合を占めているが, ここでは除外するとして, これ以外に諸種の外的条件による経年変化をも考慮する必要がある。その第一の問題は舗装の透水性である。また一方の見地からすれば表面性状もまた舗装面の滑りの見地からして非常に重要である。

ここにあげた実用性状についてさらに詳細に考えれば, 1カ月の単位で問題となるのは変型というよりもむしろ沈下の問題で亀裂という現象で現われ, 1日または1時間の単位で問題とされるのは変形で, 以上のものは路上放置車輛, 貨物の置場等としての問題である。1/10秒の単位では車の走行にもとづく圧密作用からするアスファルトのしみ出し, 変形の問題, 1/100秒(走行車輛)では表面の搔きおこし, 亀裂, 進行する変形(凹みの問題), 1/1000秒では表面粒子の搔きおこし, と分類して考えることができる。透水性は透水による風化の促進からする合材の脆化であ

る。さらに経年変化で無視できないことは, 自然転圧, こね合わせ (kneading action) による合材の性質の変化である。

2. アスファルト合材の試験方法

現在行なわれている試験の方法は,

- a. 純粋な力学試験(力学的解析ができる純粋な試験の意)
- b. 模型的な力学試験(Simulative Test)
- c. 両者の中間的な試験

に大別できる。しかし a. はアスファルト合材の力学的性状は知り得るとしても, 実際には解析が十分に行なわれていない舗装体にこれに応用するには未だに無理がある。b. は実際の道路舗装がうけるのと似たような条件で試験を行なうものではあるが, 規模その他の問題が残し, 完全に実用性状との結びつけをすることに困難がある。c. は a. b. の試験の困難性その応用の可否よりして考えられる工学的試験方法といえることができる。

もっとも 1. にあげた舗装の受ける条件ごとに試験を行なって行けば実用性状との関連はより正確に求め得るはずであるが実際問題として不可能に近いことである。

現在世界で行なわれている試験方式は,

a. としてオランダ・シエル中央研究所が行なっている曲げ試験, 曲げ振動によるスティフネスの測定, 捩り振動によるスティフネスの測定, 上記試験所で始められ, さらに世界各国で行なわれている三軸圧縮試験, 一軸剪断, 一軸圧縮などの試験方法をあげることができる。b. としては英国道路研究所, シエル中研その他の回転円板式の Small Road Machine, 英国国立道路研究所の Wheel Tracking Machine があげられる。c. としては現行安定度試験すなわちマーシャル, ビーム, ハッパードなどがあげられる。これらは力学的に純粋とはいえないとしてもかなりの根拠は有している。さらに長期間の載荷を対称にして英・独が行なっている貫入試験 (Indentation Test) もこの中に含めることができる。c. は力学的に純粋ではなく, かつ簡単な方法が多い訳であるが, 簡単なるがゆえに低級な試験ということではできない点に留意すべきである。

現在までにもっともよく舗装の実用性状と結びつけられ

ている試験は、

- (1) アメリカにおいてマーシャル試験
- (2) イギリスにおいて Wheel Tracking Test
- (3) オランダにおいて Stiffness からする設計方式
- (4) ドイツのグス・アスファルトにおいて貫入試験となっている。

この各々が対称としているものは、(1)は主としてアスファルト・コンクリート系統の材料、(2)はロールド・アスファルト、(3)はあらゆる合材、(4)はグス・アスファルトであり、それぞれ異なっている。さらに(3)を除きそれぞれ固有の温度について研究を行なっている。かくして求められた標準値は

表—1 実用性状より求めたマーシャル所要試験数値(アメリカ) (60°C)

試験性状	合材の種類	限界値	
		100 Psi タイヤ	200 Psi タイヤ
マーシャル安定度	すべての合材に対し	最低 500 lbs.	最低 1,000 lbs.
単位容積重量	—	必要なし	必要なし
フロー	すべての合材に対し	最高 20×1/100 in	最高 16×1/100 in
空隙率	アスファルト・コンクリート	3～ 5%	3～ 5%
	サンド・アスファルト	5～ 7%	6～ 8%
	バインダー	4～ 6%	5～ 7%
充満率	アスファルト・コンクリート	75～85%	75～82%
	サンド・アスファルト	65～75%	65～72%
	バインダー	65～75%	65～72%

表—2 実用性状より求めた所要各種試験値(イギリス) (45C, ただしロールド・アスファルトについて)

適用場所	砕石含有量 (%)	車輪走行試験最低変形速度 ×10 ⁻³ in/min	マーシャル試験	
			安定度 (lbs.)	フロー (1/100 in)
Scotland	25	50～26	1,600～1,800	50～30
Scotland (稀に)	55	6.5～4.5	2,200～2,700	50～30
England 北部	25	26.0～5.5	1,800～2,700	30～20
England 北部	55	4.5～2.5	2,700～3,800	30～20
England 南部	25	5.5～1.0	2,700～3,100	20～15
England 南部	55	2.5～1.0	3,600～3,800	20～12

表-1、表-2に示されている。表-1は所要のマーシャル安定度、フロー、空隙率、充満率をタイヤ空気圧ごとに示している。また表-2は英国国立研究所が求めた英本土内の統計の数値であるが、これには交通量、車種などは考慮されていない。このようなことから現在ではマーシャル試験は多目的試験とみなすことができるようになっている。すなわち

- a. アスファルト合材の配合の設計
- b. アスファルト合材製造時の品質管理
- c. 実用性状の推定

がそれである。ただし一部の研究者は

- a. マーシャル試験の精度
- b. 異種合材への適用性

について疑問をもっている。事実細粒砂を用いたバインダー粘度を安定度の支配要素とする合材に関しては疑問が残

されていることが英国の A. Please らによって指摘されている。さらに

c. 理論的裏付けの薄弱さをあげる研究者もあるが、さらに検討を要する問題であろうが、Dr. Nijiboer らによる解析も参考になろう。

シエル中研は材料の Stiffness および疲労の研究からして理論的な舗装設計法を確立すべく研究を進めている。

3. 実験室研究と実用性状研究のむすび 付けの問題点について

舗装に関する研究の最終目標が舗装の実用性状であることはいうまでもない。この点からすれば1.にあげた諸種の試験方法を巧みに利用することと、また一方舗装体の力学的解析を進めることによってそれを結びつけることは決して不可能ではない。そこで世界各国の舗装の研究のかなりの部分がこの両者のむすびつけという方向に進んでいる。ここでは英国のこれらの研究の方針なるものに触れておこう。英国国立研究所の研究手段の筆頭にあげられるのが実用試験(Full Scale Experiments)である。舗装の Full Scale Experiments は特種な場合を除き道路の片側 30～50 ヤードに一種の舗装を設置し、約5～10 年間にわたり“観察グループ”(道路技術者、研究所員、協会員など、Inspection Panel と呼ぶ)によって実用性状が観察される、多くの場合経費は国、各種学協会が分担し、舗装の施工はすべて研究所所属の“技術グループ”によって行われる。舗設時に完全な抽出試験を行ない、舗装のあらゆる基礎的性状が把握されていることはいうまでもないが、以降必要に応じ試験

表-3 舗装の実用性状の測定方式

評価分類	舗装の状態
VG	Very Good
G	Good
FG	Fairly Good
F	Fair
P	Poor
B	Bad
+	Too Rich
-	Disintegrating
d	Deformed
t	Transverse Variation due to Traffic Lining
v	General Variability
z	Suspected of Being Slippery

が行なわれる。この観察記録は、表-3 にあげるような規準で一年ごとに記録、保存される。この際は好結果を予期されるものばかりでなくその外側にあるものも必ず加えられるのが常である。

この Full Scale Experiments で一応合格と考えられ、さらにこれを実用に供したいというものがあれば、これを次の段階に移し、Specification Trialを行なう。Specification Trialは前者に比しさらに規模が大となると同時に多くの場合、気象条件、交通の種類、などを考慮に入れ2、3の場所で試験が行なわれる。この段階では運輸省が大幅に施工研究を行なう。

一方必要に応じ、これらの基礎試験が研究所内の各グループによって併行して行なわれる。かくして実用性状と研究室内の研究は比較的連絡がよく保たれる。かかる点わが国でも大いに学ぶべき点があるように思われる。

4. 実用性状に関する実験的研究

筆者が英国国立道路研究所において担当した実験研究の一部につき簡単に報告しておこう。

a. 実験に選ばれた道路

国道幹線 A-1 号 Huntingdonshire 地区

国道幹線 B-1091 号 Huntingdonshire 地区

b. 試験区間交通量

A-1 部分 33,000 ton/日 一車平均重量 6.0 ton

B-1091 部分 4,300 ton/日 一車平均重量 5.0 ton

c. 合材の種類

舗設した合材の種類は約 300 種、アスファルト・コンクリート、ロード・アスファルト、デンス・タール・サーフェイシング (Dense Tar Surfacing, タール合材), すべて加熱合材である。使用バインダーは

(i) アスファルト

針入度: 65, 94, 190, 280 シェル・ビチューメン

(ii) タール

46° evt, 55° evt, 65° evt. 舗装用タール

粗骨材は碎石 (Enderby Porphyry), およびスラグ, 細骨材は砕砂 (Enderby Porphyry), スラグ, 粗シリカ砂, 細シリカ砂, 石粉は 90% 200 番フルイ通過石灰石粉であった。この各々について骨材, バインダーの組合わせ, さらにバインダー量を変化せしめている。粗骨材の量はアスファルトを使用した場合 30% および 60%, タールを使用した場合 30% および 50% である。(粗骨材とはアスファルト合材で No. 7 フルイに止まるもの, タール合材で 1/8 インチに止まるものを意味し, Stone Content と呼び, 欧州諸国ではこの表現をとることが多い)。

実際に道路に舗設されたのは 1954 および 1955 年でその後 Inspection Panel によって詳細な観察が行なわれてきた。この結果に基づき各種の舗装につき検討を要するものを抽出し, これらについて研究所において詳細な力学的性状を求めることにした。その抽出の基準は,

- 舗装中明らかに実用に供し得ないと見られるものを除外した変形, 亀裂を生じた合材
- 安定, 不安定の境界と思われる合材
- 明らかに安定であった合材の最下限のもの
- 表面チップングを行なったものを行なわないものにつき片方が安定で片方が不安定なもの

である。

かくして抽出された合材は, 実用性状に問題あるもの 57 種, まったく問題のなかったもの 16 種計 73 種であった。

d. 試験の方式

研究室で行なう実験方式は現在考えられる種々の方法の中代表的な方法として次の 3 種をとった。すなわち

i) Wheel Tracking Test (車輪走行試験) (図-1)

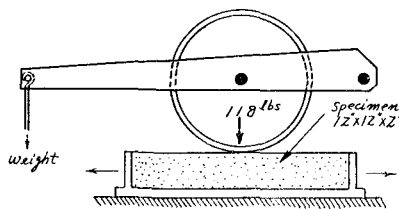


図-1 Wheel Tracking Test

本試験機は前述のとおり Road Research Laboratory によって開発されたもので, 一種の Simulative Test とみなされる。

供試体は 12×12×2 インチとし, 成型は Roller Compactor をもって行なう。この供試体上を 9 インチ長さにより, 118 ポンドの荷重をもつソリッド・タイヤを 1 分間 42 回の割合で走行させる。この際のタイヤの荷重強度は 75~80 Psi, 接地面積 1.5 平方インチである。試験温度は

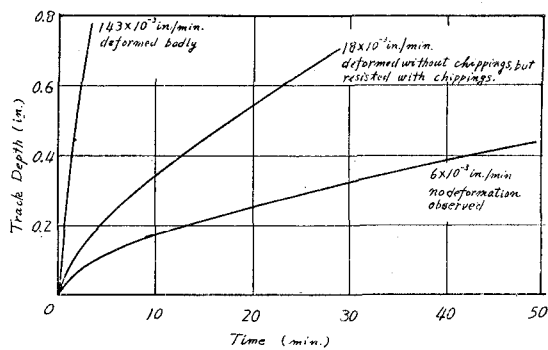


図-2 Wheel Tracking Test の結果の一例 (45°C)

R. R. L. 標準の 45°C である。安定度は供試体中央部の凹みを測定し、変位/分. で示し、Rate of Deformation と呼ぶ。図-2 は、不安定合材、境界合材、安定合材のそれぞれの例を示すものである。

ii) Small Road Machine (小道路試験機) (図-3)

供試体は i) と同様とし、これを直径 12 呎の円板上にマスティック・アスファルトを以て固定し、その上を 3 1/2 マイル/時 (1 時間 1000 回転) で 1000 ポンド、空気圧 80 Psi の自動車用タイヤを走行させ、6 分、12 分すなわち 200 回通過、400 回通過後の供試体の凹みを測定する。図-4 はその結果の一例である。

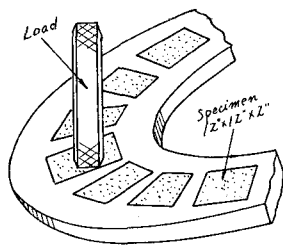


図-3 Road Machine

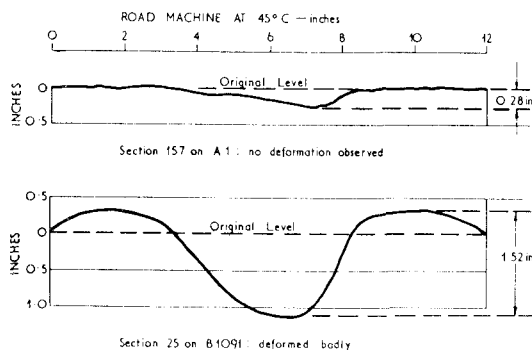


図-4 Small Road Machine による供試体の変形 (45°C)

iii) Marshall Test

A. S. T. M. に準拠し、60°C で試験を行なった。

e. 試験の結果

実験の結果の詳細は省略するが、その大要のみを表-4 に示す。表-4 については粗骨材量、バインダーの種別のみを示し、骨材種別、バインダー稠度は全て無視している。こ

表-4 各種試験による安定度

級	粗骨材	バインダー	安定合材			不安定合材			中間合材		
			マーシャル安定度 (lbs.)	車輪走行安定度	小道路試験機安定度	マーシャル安定度 (lbs.)	車輪走行安定度	小道路試験機安定度	マーシャル安定度 (lbs.)	車輪走行安定度	小道路試験機安定度
A	60%	アスファルト	1,530~2,500	1.3~1.7	0.14~0.21	2,200~2,290	0.6~6.0	0.15~0.29			
	30%	アスファルト	570~1,650	1.5~11.0	0.19~0.26	600~2,160	3.5~48	0.17~0.56			
	50%	タ	990~1,490	14~27	0.20~0.47	560~1,490	8~143	0.24~0.90	1,040	27	0.40
	30%	タ	970~1,730	13~28	0.18~0.30	460~1,790	6~400	0.18~1.10			
B	50%	タ				330	143	1.10	840~1,240	27~66	0.40~0.60
	30%	タ				1,350~1,820	15~43	0.27~0.41	650~1,470	22~106	0.35~0.96

注. 車輪走行安定度: 10⁻³ in./min. (変形速度), 45°C
 道路試験機による安定度: 6 分後の変形値, in (変形絶対量), 45°C
 マーシャル安定度 lbs., 60°C

れは試験値と実用性状との関係を第一の目的とする研究については第一段階においてとるべき手段である。

しかし本表で明らかにされない一般事項として次に述べる事項が結論されている。

i) 砕砂を用いた合材の安定度はあらゆる面から見て高い安定度を示す。(細川砂, 粗川砂に比して)

ii) 細粒砂を用いたいわゆるロールド・アスファルトの最適フスファルト含有量はアスファルト・コンクリートの場合より大であり, かつマーシャル安定度は小さい傾向がある。

iii) スラグを細粗骨材として使用した合材の性状は実用性状についても, 安定度試験についてもすばらしい成績を示した。

iv) Small Road Machine と Wheel Tracking Test の間にはかなり密接な関係が認められる。

v) マーシャル安定度の高いもの必らずしも Wheel Tracking Test による安定度が高いとは限らない。ロールド・アスファルト, マステック・アスファルトがその例である。

vi) マーシャル安定度の高いものの中には実際に車輛が走行することにより合材がこねられて (Kneading Action) 安定度が低下してしまうものもあるらしい。これは普通求められるマーシャル試験値には本当の意味のマーシャル安定度とみせかけだけのマーシャル安定度値の両方があることを示す。これらの判定には Wheel Tracking, Small Road Machine が有効である。

vii) バインダー粘度が極端に小 (例えば 190/210, 280/320 Pen.) となれば実用性状では, 最適バインダー量は小さくなって来るが, マーシャル試験などではこれを明らかにし得ない。われわれの想像する以上の軟質バインダーを以ってよい実用性状を得ることができる。

viii) タールをバインダーとした合材のマーシャル安定度はかなり低い, 実用性状でよい結果を示すという現象にはタールの風化を含め考慮すべきである。

f. 試験値と実用性状との関係

以上の実用性状と試験値との関係からして次に述べる事が結論される。

i) マーシャル試験

a. A クラス, アスファルトの場合

1,000 ポンドなる安定度で線をひけば

安定合材で 7 が 1,000 ポンド以上

1 が 1,000 ポンド以下

不安定合材で 10 が 1,000 ポンド以上

9 が 1,000 ポンド以下

16 なるフローの線をひけば

安定合材で 8 が 16 以下 0 が 16 以上

不安定合材で 9 が " 10 が "

安定度, フロー, 空隙率, 空隙充満率のすべての要求に対し

安定合材で 6 が全条件を満し 2 が満さない。

不安定合材で 2 が " 17 が "

b. A クラス, タールの場合

安定度で

安定合材で 6 が 1,000 ポンド以上

2 が 1,000 ポンド以下

不安定合材で 18 が 1,000 ポンド以上

9 が 1,000 ポンド以下

フローで

安定合材で 7 が 16 以下 1 が 16 以上

不安定合材で 13 が " 14 が "

すべての要求に対し

安定合材で 2 が全条件を満し 6 が満さない。

不安定合材で 3 が " 24 が "

したがってマーシャル試験に関し, タール・バインダーについては問題は残るとしても少なくともアスファルトをバインダーとする場合, 安定度 1,000 ポンド, フロー 16, 空隙率 3~5%, 空隙充満率 75~85% なる線がかなりの合理性をもっとみなすべきである。しかし詳細な考察を加えればタールについても別の線を引くこともかならずしも不可能ではないと考えられる。以上マーシャル試験については, 安定度のみでなく, 4 要素のすべてを考慮に入れる必要があることに注意すべきである。

しかしまだ残されている疑問点, 特に欧州系加熱合材への適用性, Kneading Action の問題, 道路の階級ごとの標準などの問題点が多い。これらについてはさらに考究の必要が認められる。

表—5 Wheel Tratching Test 及び Small Road Machine の限界値

	A 1 (33,000 ton/day)				B 1091 (4,300 ton/day)		
	ア ス フ ア ル ト	タ ー ル			タ ー ル		
粗 骨 材 含 有 量 %	30% chipped	30% unchipped	30% chipped	50%	30% unchipped	30% chipped	50%
Wheel Tracking tset in.×10 ⁻³ /min.	5	8	12	8	22~30	32~43	< 60
Small Road Machine	in. 6 分	0.30	0.25	0.30	0.25	0.30	0.35
	12 分	0.40	0.30	0.45	0.40	0.55	0.60
							<0.50
							<0.70

ii) Wheel Tracking-Test および Small Road Machine
両試験の結果得られた結論を表-5に示す。

厳格な意味で線を引くことは不可能であろうが、大略表-5に示す数値が得られた。これらについても試験方法自体についてまだ多分に考える余地が残されているので、将来の研究の進展が期待される。

結 言

以上紙面の関係もあり大略実用性状なものの考え方およびその一例を示した。この研究の中には日本として考えて見て面白いと思われるものが多く含まれているのでいずれ稿を改めて明らかにしたい。

本報告の作成にあたり R.R.L. 各位にはいろいろと指導助言を戴いた。厚く感謝の意を表したい。なお本報告は A. Please との共同で昭和 37 年 12 月英国化学会、道路部会において発表したものであることを付記する。