

再生加熱アスファルト混合物の試験方法

—— 既存抽出溶剤を用いない試験方法に関する一考察 ——

二ノ宮秀彦* 小笠原 章** 吉 野 雅 之*

はじめに

現在、再生加熱アスファルト混合物の配合設計に必要なアスファルト量、配合粒度の測定をはじめ、旧アスファルト、再生アスファルトの針入度測定など、幅広い項目の試験を行うため、アスファルト混合物からアスファルトを抽出するトリクロロエチレン、トリクロロエタンなどの有機溶剤が用いられている。

しかしながら、これら有機溶剤はオゾン層破壊物質であることが問題視され、「モントリオール議定書」の国際公約により全廃する方向にあり、舗装分野における有機溶剤を用いない代替試験法の確立は急務とされている。

現在、旧アスファルトの針入度推定については1993年12月発刊された「プラント再生舗装技術指針」に、マーシャル試験を応用した方法が提案されているが、アスファルト量、骨材粒度などの測定方法については、いくつかの手法が各機関で検討されている状況にある。

本文では、アスファルト混合物および道内のプラントから収集した再生骨材のアスファルト量を、燃焼法により推定した結果と北海道のプラントの旧アスファルトの針入度をマーシャル試験から推定した結果について報告する。

1. 試験概要

1. 1 有機溶剤を用いない測定方法について

現在、各機関において検討されている測定手法はおおよそ以下のとおりである。

1) マーシャル試験による針入度推定¹⁾

……………旧アスファルト針入度の推定

2) 代替溶剤による抽出試験²⁾

……………骨材粒度の測定

3) RIによる測定³⁾

……………アスファルト量の測定

4) 燃焼法による測定

……………アスファルト量の測定

1) のマーシャル試験による針入度の推定方法は、再生骨材により作成したマーシャル供試体の安定度と空隙率から旧アスファルト針入度を推定するもので、すでに「プラント再生舗装技術指針」において提案されている。

2) の代替溶剤による抽出試験法については、これまでの測定機器がそのまま利用できるメリットがあるが、溶剤の選定において毒性、引火性などを勘案した場合、使用できるものが限られる。

また、3) のRIによる測定方法はアスファルト量の測定に用いられ、各機関で検討がなされている中、精度向上のための工夫、留意点が明らかにされつつある。

4) の燃焼法による測定の原理は、高温で混合物中のアスファルト分を燃焼させ、その重量減量からアスファルト量を推定するものである。

1. 2 燃焼法について

燃焼法については、事前に最適な燃焼温度・時間の設定を行う必要がある。

燃焼法の利点として、以下のことがあげられる。

1) 測定精度以外は、特にむずかしい技術が必要としない。

2) 試験に際し、人体への影響が小さい。

また、留意点としては以下のことがあげられる。

1) 燃焼温度・時間の設定は細心の注意を必要とする。

*維持管理研究室員 **同室長

2) 混合物中の碎石・砂の種類により、試験条件が変わる可能性がある。

今回は予備試験により設定した燃焼温度・時間により、新規混合物と北海道内のプラントから収集した再生骨材について、試験を実施した。

1. 3 マーシャル試験による針入度推定方法

針入度の推定式（以後、協会推定式とする）は、(株)日本アスファルト合材協会が会員10社の試験機関の協力を得て、各地の再生骨材について試験した結果から策定されており、次式により表わされる。

$$P = -0.0126X_1 - 1.84X_2 + 59$$

ここに、P：旧アスファルトの推定針入度

X_1 ：安定度の平均値 (kgf)

X_2 ：空隙率の平均値 (%)

2. 燃焼法試験結果

2. 1 予備試験

予備試験においては、燃焼温度・時間の設定を中心に実施した。設定に際しては、アスファルト分の残留および骨材の焼失を考慮し、燃焼温度700℃、燃焼時間2時間を基準に、温度については±100℃、時間については±1時間の範囲で検討した⁴⁾。

予備試験方法は、以下のとおりである。

- 1) るつばの重量を0.1gまで測定した後、るつばにアスファルト、フィラー、砂、碎石を個々に50g程度入れ、110℃で2時間乾燥させる。
- 2) 加熱後、ただちに重量を0.1gまで測定する。
- 3) 測定した試料入りるつばをマッフル炉の中に入れ、設定温度で設定時間燃焼させる。
- 4) マッフル炉が冷却した後にるつばを取りだし、さらに110℃で2時間乾燥後、重量を0.1gまで測定する。

この結果燃焼率は(1)式のように表わされる。

試験温度一定（700℃）で燃焼時間を変えた場合の結果を、図-1（アスファルト）および図-2（骨材）に、また、試験時間一定（2時間）で燃焼温度を変えた場合の結果を図-3（アスファルト）および図-4（骨材）に示す。

試験時間を変化させた場合、アスファルト、骨材ともに燃焼率に大きな変化はなく、燃焼率に与える燃焼時間の影響は小さいものと考えられる。

しかしながら、燃焼温度を変化させた場合にはフィラーの燃焼率が大きく変動しており800℃においては6%もの焼失が見られた。なお、

$$\text{燃焼率 (\%)} = \frac{(\text{燃焼前の試料+るつばの重量}) - (\text{燃焼後の試料+るつばの重量})}{\text{燃焼前の試料重量}} \times 100 \quad \cdots (1)$$

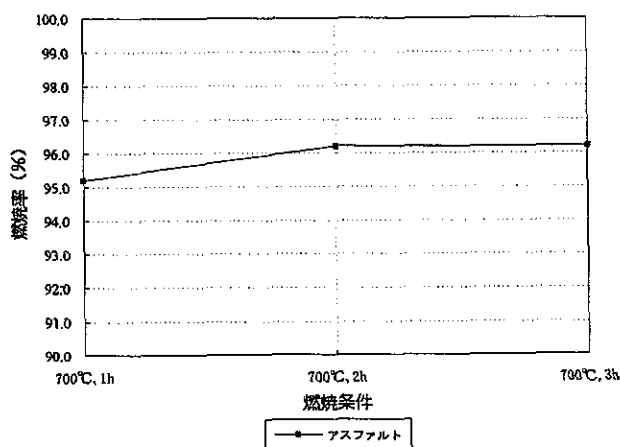


図-1 アスファルトの燃焼状況

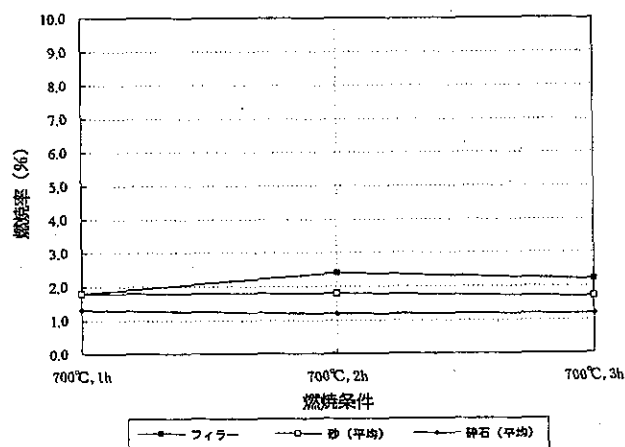


図-2 骨材の燃焼状況

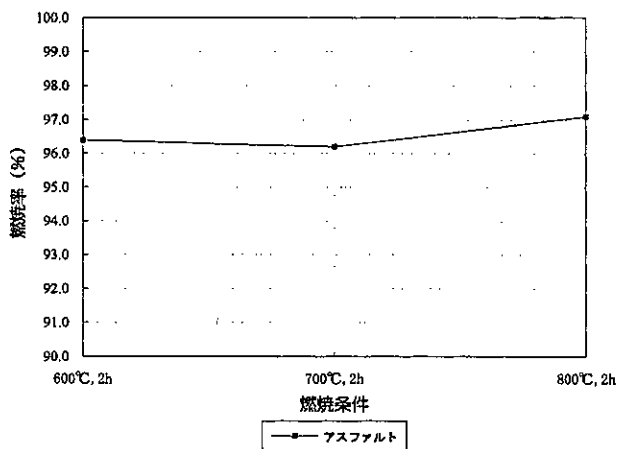


図-3 アスファルトの燃焼状況

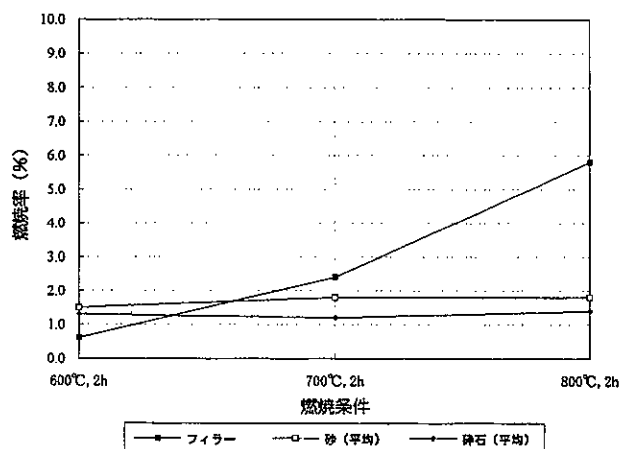


図-4 骨材の燃焼状況

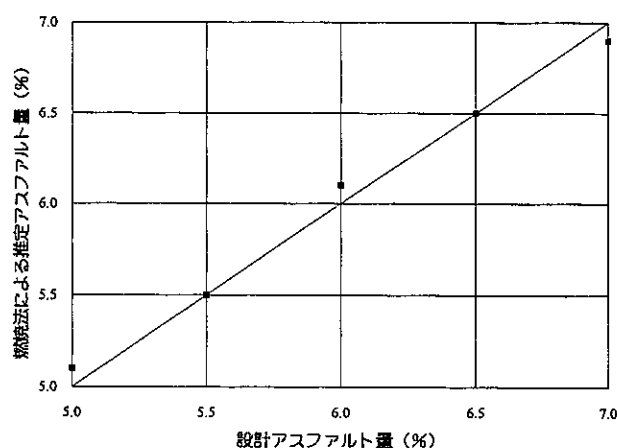


図-5 新規混合物アス量推定結果

表-1 混合物の配合

配合率 (%)					
アスファルト	フィラー	細砂	粗砂	砕石(7号)	砕石(6号)
5.0	10.4	19.6	19.6	13.8	31.6
5.5	10.3	19.5	19.5	13.7	31.5
6.0	10.2	19.4	19.4	13.6	31.4
6.5	10.2	19.3	19.3	13.6	31.1
7.0	10.1	19.2	19.2	13.5	31.0

混合物の配合を表-1に、また、試験結果を図-5に示す。

燃焼法により測定されたアスファルト量は、設計アスファルト量と比較して±0.1%の範囲内にあり、比較的精度良く求められることがわかる。

2. 3 収集された再生骨材に関する試験

平成5年に、北海道開発局の国道工事において使用された再生アスファルト舗装工事を対象に、再生骨材の性状調査と収集を実施した(表-2)。ここでは道内の再生骨材について燃焼法によりアスファルト量を推定し、ソックスレー法と比較した結果について述べる。

2. 3. 1 アスファルト含有量の近似した試料に対する試験

再生骨材の中からアスファルト量の近似した4種類(№12, 13, 17, 25)を選び、この4種類の試料を、燃焼(600°C, 2時間)させた結果を図-6に示す。

その他の骨材およびアスファルトの燃焼率に大きな変動は見られていない。

アスファルトの燃焼率が燃焼温度・時間によってあまり変化しないことから、今後の試験においては骨材の燃焼率の最も低い燃焼温度600°C、燃焼時間2時間を採用することとした。

2. 2 アスファルト量を変えた新規混合物についての試験

予備試験と同じ材料を使用して作製した混合物(突固めないもの)について、予備試験から求められた条件(燃焼温度600°C、燃焼時間2時間)で試験を行った。配合は細粒度ギャップアスコンを基準とし、アスファルト量は5.0~7.0%まで5種類設定した。

なお、るつぼの容量の関係上、試験は混合物1種類当たり1kgの試料を250gずつ分割した。

表-2 収集資料一覧

試料番号	旧A s		最大比重	推 定 マ ー シ ャ ル				
	針入度	含有量	報 告 値	供試体密度	飽和度	空隙率	安 定 度	フ ロー 値
1	35	5.1	2.486	2.209	48.8	11.1	1257	25
2	35	5.1	2.425	2.298	68.1	5.2	1238	32
3	41	5.1	2.501	2.279	56.0	8.9	1390	31
4	43	5.2	2.505	2.276	55.9	9.1	1329	37
5	41	5.3	2.500	2.270	55.8	9.2	1369	31
6	45	5.3	2.499	2.273	56.3	9.0	1230	32
7	34	5.1	2.486	2.208	48.7	11.2	1178	25
8	45	6.5	2.441	2.329	76.0	4.6	1681	40
9	32	4.2	2.522	2.290	50.2	9.2	1384	23
10	39	5.2	2.453	2.338	71.4	4.7	1043	28
11	33	4.9	2.431	2.338	74.5	3.8	1242	24
12	44	5.3	2.467	2.271	59.6	7.9	1369	27
13	45	5.2	2.469	2.261	57.7	8.4	1185	32
14	46	5.4	2.496	2.252	54.5	9.8	1165	27
15	49	5.5	2.498	2.315	61.4	7.3	1181	43
16	30	6.4	2.536	2.302	51.1	9.2	693	34
17	32	4.8	2.429	2.069	39.6	14.8	236	19
18	34	5.1	2.486	2.182	46.7	12.2	1052	27
19	42	6.3	2.474	2.265	57.1	8.4	1083	28
20	31	5.7	2.397	2.313	78.7	3.5	1496	17
21	30	5.7	2.442	2.199	56.2	10.0	989	30
22	46	6.3	2.313	2.183	70.5	5.6	278	27
23	31	5.1	2.419	2.326	63.5	6.6	1298	22
24	34	5.0	2.486	2.185	46.9	12.1	1154	26
25	43	5.3	2.416	2.232	60.8	7.4	1010	34
26	48	5.0	2.494	2.327	62.1	6.9	1294	39
27	30	6.2	2.448	2.320	72.5	5.2	1952	25
28	45	5.5	2.451	2.293	72.2	6.0	794	23
29	34	4.9	2.431	2.232	56.8	8.2	1336	23
30	36	5.1	2.443	2.233	56.1	8.6	1187	21
31	33	5.2	2.443	2.227	56.0	8.8	1375	21
32	30	6.0	2.416	2.300	73.9	4.8	1514	34

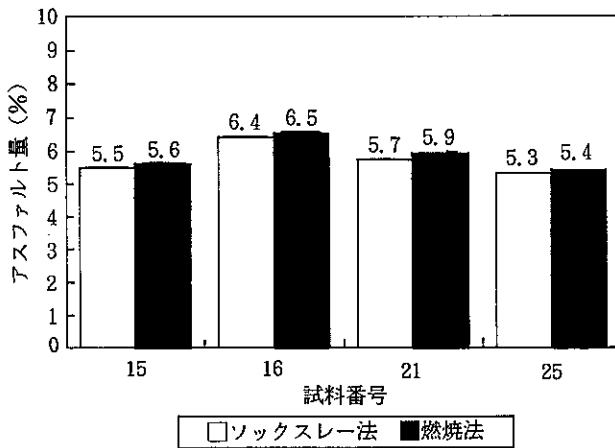


図-6 アスファルト含有量が比較的近い試料についての試験結果

燃焼法により推定したアスファルト量は、ソックスレー法で測定した結果と完全に一致はしないものの、その差は0.1~0.2%で比較的小さい傾向にある。

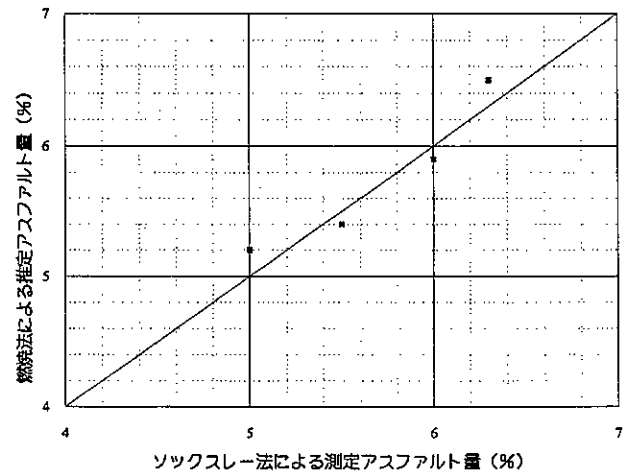
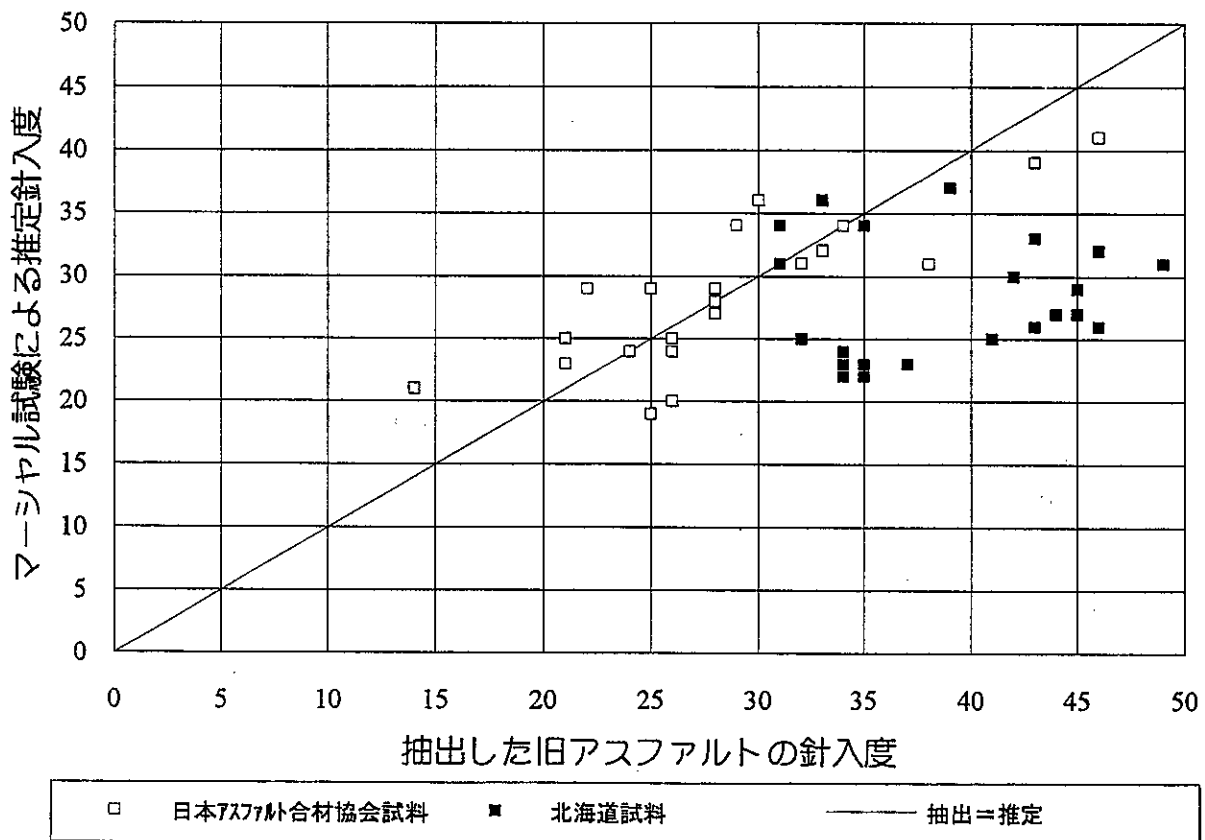


図-7 アス含有量が比較的分散した試料についての試験結果

2. 3. 2 アスファルト含有量の異なる試料に対する試験

再生骨材の中からアスファルト量の異なる4種類 (No.15, 19, 24, 32) を選び、この4種類



注) この図は、参考文献5)をもとに作成した。

図-8 北海道の再生骨材の推定針入度の傾向^(注)

の試料を燃焼（600℃、2時間）させた結果を図-7に示す。

この結果についても、ソックスレー法と完全に一致はしないものの、アスファルト含有量が高くなるにつれ、推定アスファルト量も高くなる傾向にあり、含有量と推定量の差は0.1～0.2%程度と比較的小さい。

3. マーシャル試験による旧アスファルト針入度の推定について⁵⁾

3. 1 マーシャル試験による旧アスファルト推定

協会推定式の策定にあたっては北海道の再生骨材は使用されておらず、使用されている混合物の配合粒度や使用されているアスファルトの針入度が本州と異なることを考慮すると、北海道内の再生骨材についての確認が必要と考えられる。平成5年度に実施した再生骨材の性状調査（推定マーシャル性状を含む）について、協会推定式を適用した結果を図-8に示す。

解析の結果、収集した再生骨材の旧アスファルト推定針入度は、抽出した旧アスファルトの針入度と比較して低めに推定される傾向があることがわかった。

この結果については先にも述べたとおり、使用している混合物の配合粒度から、本州の混合物と比較してアスファルト量が高めであることおよび使用しているアスファルトの針入度級が80～100と高いことが考えられる。

また、北海道においては過去に摩耗などの問題から、舗装の補修サイクルが比較的短期間であったことも要因のひとつとして考えられる。

3. 2 北海道の針入度推定式

協会推定式を道内の再生骨材について適用した場合、抽出された旧アスファルトの針入度と比較して低めに推定される傾向がある。しかしながら、現在の推定式は策定時のデータについて相関係数が0.83と比較的高く、マーシャル試験による推定手法は妥当と考えられる。そこで、道内の再生骨材（32データ）について、どの

マーシャル物性値の影響が大きいのかを分散分析により確認し、回帰分析を実施した。

3. 2. 1 分散分析による変数の選定

回帰分析に先立ち、マーシャル試験により得られるデータについて分散分析を実施し、目的変数（Y＝針入度）に対する独立変数（X＝各種マーシャル物性値）を選択した。回帰の有意性検定のF値および各物性値の回帰係数検定のF値を、表－3に示す。

マーシャル物性値による針入度の推定は、有意水準95%において $F_0=2.64$ が $F_{(6, 25)}=2.49$ を上まわっており、有意であることがわかる。

表－3 各種マーシャル物性値の分散分析結果

項 目		回帰検定の F_0	有意水準95%の基準F
回 帰 式		2.64	$F_{(6, 25)}=2.49$
マー シ ャ ル 物 性 値	旧アスファルト含有量	0.84	$F_{(1, 25)}=4.24$
	最大比重	0.74	
	供試体密度	0.72	
	空隙率	1.10	
	安定度	1.65	
	フロー値	9.11	

しかしながら、個々の物性値の回帰に対する有意性は、有意水準95%においてフロー値（ $F_0=9.11$ ）以外の物性値は $F_{(1, 25)}=4.24$ を下まわっており、フロー値のみが回帰に対して有効であることがわかる。

したがって、道内の再生骨材の旧アスファルト針入度推定にはフロー値が最適と考えられる。

3. 2. 2 回帰分析による針入度推定

3. 2. 1の結果に基づき、フロー値から針入度の推定を実施した。フロー値と針入度の関係を、図－9に示す。

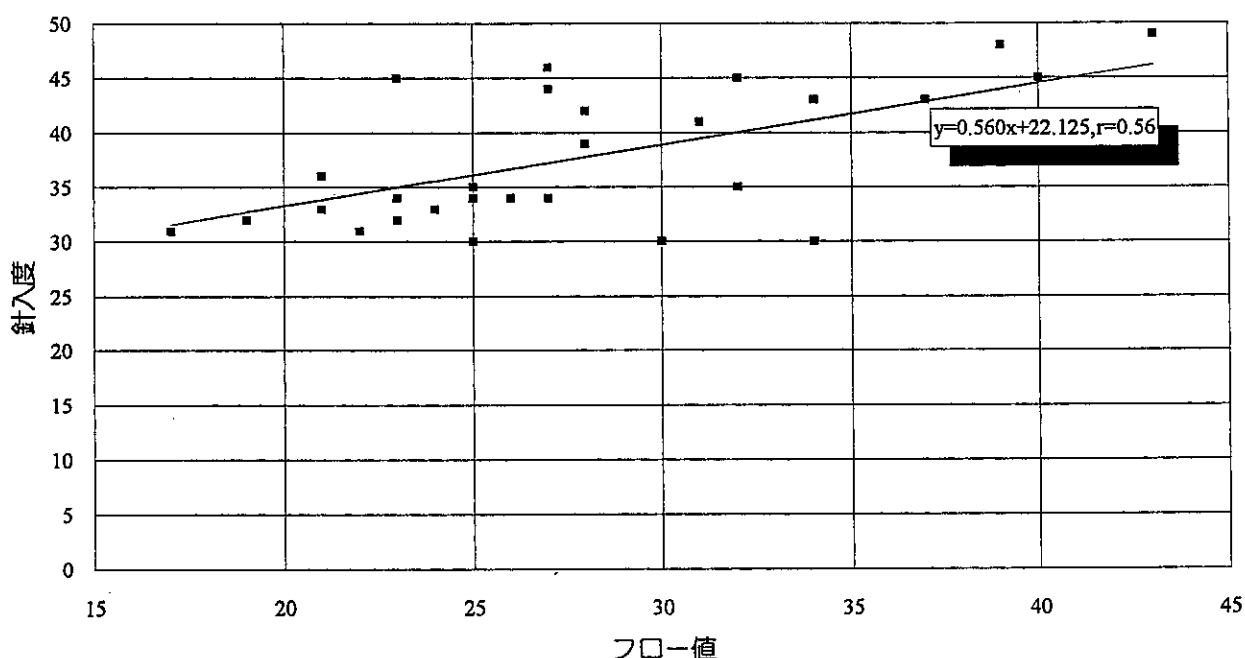
分析の結果、フロー値と針入度の相関は $r=0.56$ であった。これは、道内の再生骨材の旧アスファルト針入度が30～45のごく限られた範囲に集中していることによるものと考えられる。

4. まとめ

今回の試験結果から、以下のことが確認された。

4. 1 燃焼法について

- 1) 維持管理研究室所有の材料においては、燃焼温度・時間によるアスファルト燃焼率の変動は小さく、骨材、特にフィラーの焼失量が精度に影響を及ぼすことがわ



図－9 フロー値と針入度の関係

かった。

- 2) 維持管理研究室所有の材料により作製した混合物の燃焼試験においては設計アスファルト量と燃焼法により推定されたアスファルト量との差は±0.1%程度であった。
- 3) 道内の国道で使用された再生骨材に燃焼法を適用して、旧アスファルト量を推定した結果、ソックスレー法と推定値の差は0.1～0.2%程度であった。

4. 2 針入度の推定

- 1) 今回収集された再生骨材の性状は、日本アスファルト合材協会の提案した針入度推定式に照合した場合、その傾向が異なる。
- 2) 道内の国道で使用された再生骨材のマーシャル物性値のうち、針入度と最も関係が深いと思われるのはフロー値である。
- 3) 道内の国道で使用された再生骨材のフロー値と針入度の関係は、相関係数で $r = 0.56$ であった。

おわりに

今回は、主に燃焼法の簡単な実験と針入度の推定について述べたが、燃焼法の精度確認については、今後ともデータ数を増やしながら、ソックスレー抽出との関係を確認する必要があると考えている。また、針入度の推定については、北海道の再生骨材のように地域性があることが確認された。いずれにせよ、各試験方法に

については簡略化されている分、アスファルトをはじめとする骨材などの地域性によって推定精度が左右される傾向が考えられるため、実用的な推定手法の確立に向けて、今後もプラント・地域単位で従来試験法と新たな試験法の並行試験を実施し、データを蓄積してゆくことが肝要だと考える。

本文を取りまとめるにあたり、協力をいただいた平成五年北海道舗装事業協会依頼研修生の各位と再生骨材を送付いただいた各開発建設部に対し、謝意を表する。

参考文献

- 1) 日本道路協会；プラント再生舗装技術指針，1993. 12.
- 2) 山之口 浩，荒井孝雄：アスファルト抽出試験用の新しい溶剤の検討－有機塩素溶剤に変わるものとして－，道路建設 No.547 pp. 63－67，1993. 8.
- 3) 弓削富司夫，石谷雅彦，荒木美民：アスファルト含有量測定機の再生骨材への適用に関する検討，道路建設 No.535 pp. 52－57，1992. 8.
- 4) 片脇 清，坂本浩行，寺田 剛：燃焼法によるアスファルト量及び合成粒度の測定に関する試験，第20回日本道路会議一般論文集 pp. 848－849，1993. 10.
- 5) 吉兼 享：共同試験結果にもとづくマーシャル安定度試験方法による再生骨材の旧アスファルト性状判定法法の検討，アスファルト合材 No. 22 pp. 15－22，1992. 4.