

# 固形化した石炭灰を混合した複合スラグの 供用性評価及び等値換算係数について

吉田信之<sup>1</sup>・佐野正典<sup>2</sup>・広津栄三郎<sup>3</sup>・西 勝<sup>4</sup>・荒井猛嗣<sup>5</sup>・遠山俊一<sup>6</sup>

<sup>1</sup>正会員 Ph.D. 神戸大学助教授 都市安全研究センター (〒657 神戸市灘区六甲台町 1-1)

<sup>2</sup>正会員 工博 近畿大学助教授 理工学部土木工学科 (〒577 東大阪市小若江 3-4-1)

<sup>3</sup>正会員 東亜道路工業株式会社 製商品部 (〒106 東京都港区六本木 7-3-7)

<sup>4</sup>正会員 工博 神戸大学教授 都市安全研究センター (〒657 神戸市灘区六甲台町 1-1)

<sup>5</sup>学生会員 神戸大学大学院自然科学研究科 (〒657 神戸市灘区六甲台町 1-1)

<sup>6</sup>正会員 (株) 神戸製鋼所 鉄鋼事業本部 (〒541 大阪市中央区備後町 4-1-3)

今日、産業副産物の利用が高まり、舗装の分野においても様々な産業副産物の再利用化が積極的に行われている。本研究では、火力発電所から発生する石炭灰にセメントと排煙脱硫石膏で固形化したものを破碎、粒度調整し、従来の複合スラグに混合した新しい複合スラグ（以下、新複合スラグと称す）について繰返し三軸圧縮試験を実施し、その変形特性を調べた。また、アスファルト舗装要綱に従ったA～D各交通量に対する基準舗装断面の構造解析結果に基づいて、アスファルト舗装の疲労寿命、わだち掘れ量、縦断凹凸量を求め、パフォーマンスカーブを算定して、新複合スラグの等値換算係数の推定を試みた。その結果、従来の複合スラグには若干劣るものの、水硬性粒度調整高炉スラグとはほぼ同等の供用性を示すことがわかった。

**Key Words** : *fly ash, compound slag, HMS, repeated loading triaxial test, pavement, performance, layer equivalency factors*

## 1. はじめに

今日、様々な分野において省資源・省エネルギー、リサイクル運動が高まっている。舗装の分野においてもエネルギー消費量やCO<sub>2</sub>対策として常温型の舗装の開発が行われ、リサイクルの面でもアスファルト舗装の再生利用が図られている。材料では路盤材として鉄鋼スラグがアスファルト舗装要綱にも記されその利用推進が図られている。鉄鋼スラグは一般に水硬性を有しており、時間経過とともに支持力が増大し、また膨張性の問題に対しても十分なエージング期間を設けることによりほとんど影響を無視できる。さらに、石炭灰を添加剤として混合することによって鉄鋼スラグが有する水硬性が向上することもわかっている<sup>1)</sup>。

本研究では、今後飛躍的に増加すると思われる石炭灰を有効に利用するため、セメント等で固形化し粒状材と

して鉄鋼スラグに混合した複合スラグの材料特性を繰返し三軸圧縮試験より求め、過去に行った従来の複合スラグや水硬性粒度調整高炉スラグ（以下、HMSと称す）の結果<sup>2)</sup>と比較した。また、その結果を用いて構造解析を実施し、累積疲労、わだち掘れ量、縦断凹凸量を求め、舗装の供用性評価を行い、新複合スラグの等値換算係数の推定を試みた。

## 2. 繰返し三軸圧縮試験

### (1) 実験装置<sup>3)</sup>

繰返し三軸圧縮試験装置は従来から当研究室で用いられているもので、三軸セル容器は二重セル方式を採用している。任意の載荷回数における載荷時及び除荷時の軸方向変位量は、ピストンに取り付けたダイヤルゲージに

表-1 固形化した石炭灰の配合比 (重量%)

	微粉炭灰	流動床灰	排脱石膏	セメント
配合比	65.2	21.7	4.4	8.7

表-2 微粉炭灰及び流動床灰の成分 (%)

	微粉炭灰	流動床灰
SiO <sub>2</sub>	70.8	27.2
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	18.6	14.1
MgO	0.9	0.6
T-CaO	1.3	13.4
f-CaO	0.08	3.6
f-C	1.7	26
Na <sub>2</sub> O	0.44	0.34
K <sub>2</sub> O	1.08	0.61

より、また体積変化は内セル上部の目盛りにより測定した。

(2) 実験試料および供試体

今回用いた新複合スラグは、火力発電所から発生する石炭灰をセメントと排煙脱硫石膏で固形化し、破碎、粒度調整したもの（以下、フライアッシュペレットと称す）を従来の複合スラグに混合して用いた。固形化した石炭灰の配合比を表-1に、微粉炭灰及び流動床灰の成分を表-2に示す。また、各実験試料の配合比を表-3に示す。

供試体は直径10cm、高さ20cmの円柱で、最適含水比(17.8%)で締め固めた後、所定期間養生したものである。養生方法として、現地条件を最もよく再現していると考えられる地表面下30cmで養生する土中養生法<sup>3)</sup>を採用した。

(3) 実験方法<sup>3)</sup>

繰返し三軸圧縮試験は、まず所定の拘束圧で供試体を等方的に圧密した後、所定の偏差応力で繰返し載荷を行い残留軸ひずみがほぼ一定になるまで、すなわち20000回載荷して、この間の計測により残留変形特性を求めた。引き続き、同一供試体を用いて平均主応力が一定となるよう側圧を調整して偏差応力を段階的に減少させながら、さらに500~2000回繰返し載荷して復元変形特性を求めた。載荷条件を表-4に示す。なお、表中の載荷応力は円形走行試験での土圧の測定結果及び数値解析から得られた応力状態を参考に決めている。

(4) 実験結果

表-3 各試料の配合比 (%)

	新複合スラグ	複合スラグ	HMS
製鋼スラグ	40	50	—
高炉徐冷スラグ	25	30	100
高炉水砕スラグ	5	20	—
フライアッシュペレット	30	—	—

表-4 載荷条件

載荷時間(s)		0.1	
除荷時間(s)		2.0	
載荷回数(回)		20000	
荷重条件			
残留変形特性		復元変形特性	
平均主応力 (MPa)	偏差応力 (MPa)	平均主応力 (MPa)	偏差応力 (MPa)
0.078	0.147	0.078	0.147
	0.088		0.088
	0.059		0.059
	—		0.029
0.160	0.294	0.160	0.294
	0.147		0.206
	0.088		0.147
	—		0.088
	—		0.059
0.235	0.353	0.235	0.353
	0.147		0.235
	0.088		0.147
	—		0.088
	—		0.059

a) 復元変形特性

復元変形係数と偏差応力の関係を図-1に、復元変形係数と平均主応力の関係を図-2に示す。図より、復元変形係数は平均主応力と偏差応力の両方に依存しており、偏差応力の増加に伴い復元変形係数は減少し、平均主応力の増加に伴い増加することがわかる。また、養生期間が長くなるに伴い、復元変形係数が増加することが認められる。図中の回帰値は次式で計算したものである。なお、回帰によって得られた実験定数の値については紙数の都合でここでは省略する。

$$M_r = K \times p^M \times \left( \frac{0.196}{q} \right)^N \quad q < 0.196 \quad (1)$$

$$M_r = K \times p^M \quad q \geq 0.196 \quad (2)$$

ここで、 $M_r$ : 復元変形係数 (MPa)

$p$ : 平均主応力 (MPa)

$q$ : 偏差応力 (MPa)

$K, M, N$ : 実験定数

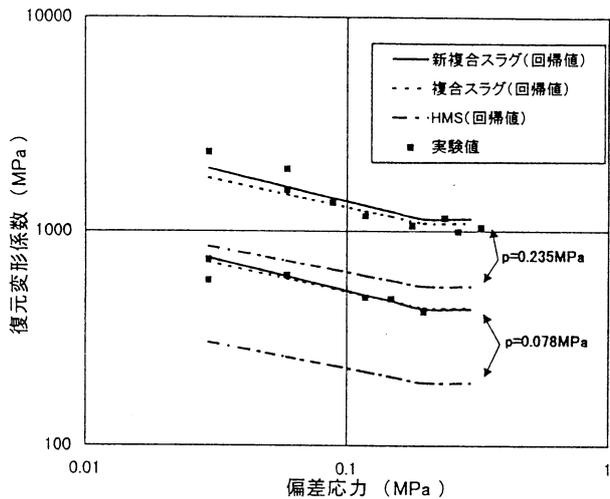


図-1 復元変形係数と偏差応力の関係

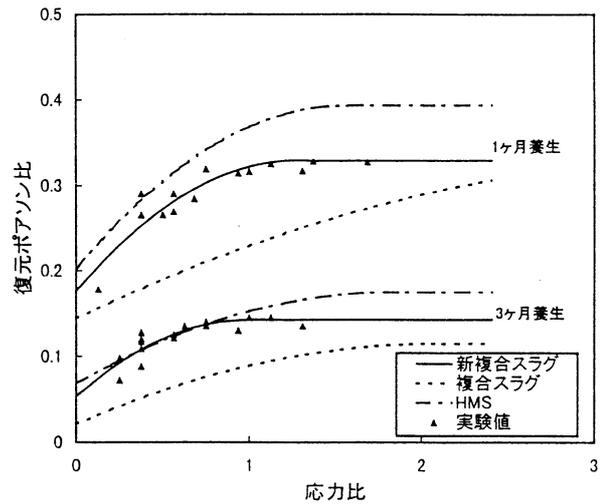


図-3 復元ポアソン比と応力比の関係

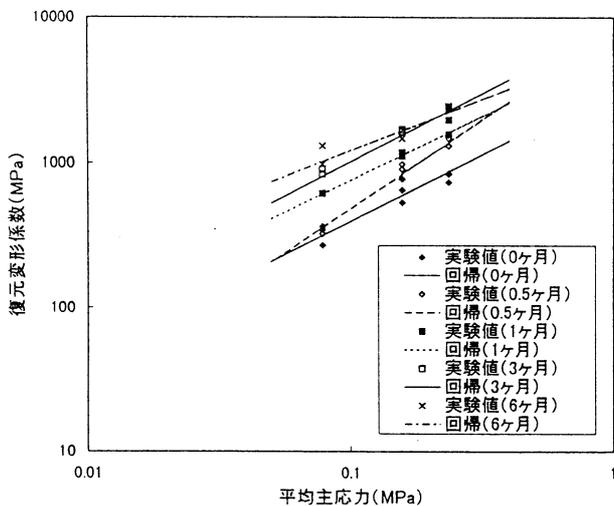


図-2 復元変形係数と平均主応力の関係

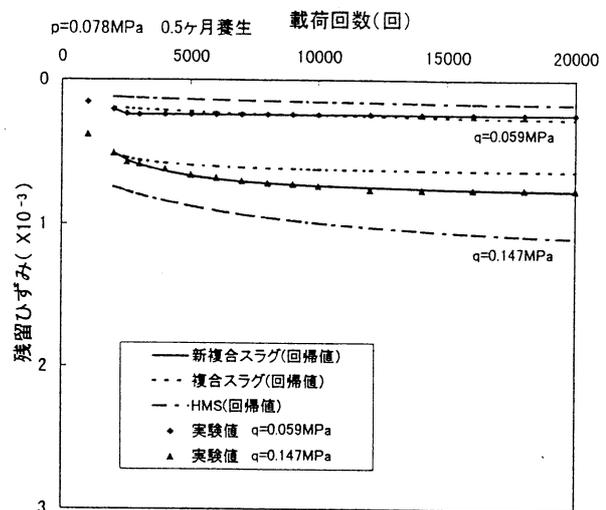


図-4 残留軸ひずみと载荷回数の関係

図-3 に復元ポアソン比と応力比の関係を示す。応力比の増加に伴い復元ポアソン比は増加し、応力比がおおよそ 1.5 以上では一定になる。また、養生期間の経過に伴い復元ポアソン比は減少し、養生期間が 3 ヶ月以上では養生期間による復元ポアソン比の影響はあまり見られなかった。図中には次式で回帰した曲線も示した。なお、回帰によって得られた実験定数の値については紙数の都合でここでは省略する。

$$\nu_r = A_0 + A_1\eta + A_2\eta^2 \quad (3)$$

ここで、 $\nu_r$ ：復元ポアソン比

$\eta$ ：応力比

$A_0, A_1, A_2$ ：実験定数

以上から、新複合スラグの変形特性は、HMS より優れており、従来の複合スラグより若干劣ることがわかる。

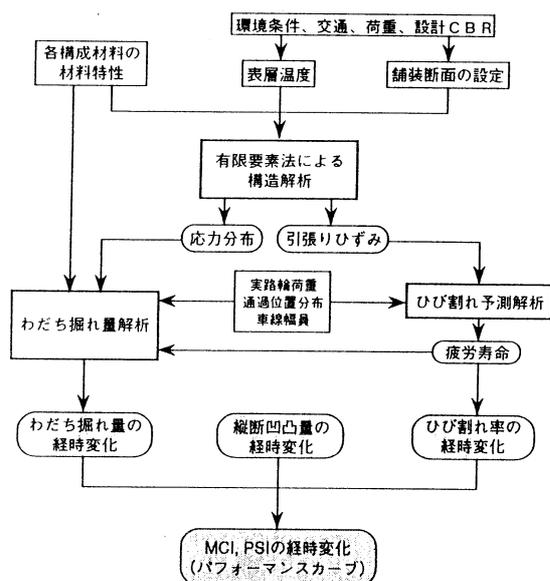
#### b) 残留変形特性

平均主応力 0.078MPa, 0.5 ヶ月養生における残留軸ひずみと载荷回数の関係を図-4 に示す。残留軸ひずみは载荷回数 2000 回までに急激に増加し、それ以降は緩やかな増加を続け、20000 回に近づくにつれてほぼ一定になる傾向が認められる。また、ここでは紙数の都合で図を示さないが、養生期間の増加に伴い残留軸ひずみの値が小さくなることも観察されている。図中の曲線は、残留軸ひずみと载荷回数の関係を次式で回帰したものである。なお、回帰によって得られた実験定数の値については紙数

表一5 各交通区分に対する舗装構成層厚

舗装構成層		交通区分			
		A	B	C	D
表層 (アスファルトコンクリート)		5	10	15	20
路盤 (新複合スラグ) (従来の複合スラグ) (HMS)	設計路床CBR4%	28	30	33	39
	設計路床CBR8%	17	17	21	26

単位 (cm)



図一5 パフォーマンス解析概要

の都合でここでは省略する。

$$\varepsilon_p = \varepsilon_{p0} + \frac{N - N_0}{a + b(N - N_0)} \quad (4)$$

ここで、 $N$ ：载荷回数

$N_0$ ：基準となる载荷回数(=2000)

$\varepsilon_p$ ：载荷回数 $N$ 回での残留軸ひずみ

$\varepsilon_{p0}$ ：载荷回数 $N_0$ 回での残留軸ひずみ

$a, b$ ：実験定数

### 3. パフォーマンス解析

パフォーマンスの予測は、ひび割れ率、わだち掘れ量、縦断凹凸量を用いて舗装のサービス性能を評価するものである。本研究では評価方法として AASHO 道路試験より得られた PSI<sup>4)</sup> (以下、AASIO・PSI)、AASIO 道路試験を参考に我が国の実状を配慮して算出する評価式<sup>5)</sup> (以下、JRA・PSI)、建設省の評価方法<sup>6)</sup>である維持管理指数 (以下、MCI) を採用した。

#### (1) パフォーマンス解析概要

パフォーマンス解析の概要を図一5に示す。まず、設定した諸条件のもとで非線形反復有限要素法による舗装体の構造解析を行い、表層下面での引張りひずみ及び舗

装体内の応力分布を求める。引張りひずみをもとにひび割れ予測解析により舗装の疲労寿命を算定し、その疲労寿命から円形走行試験の観測結果に基づいてひび割れ率の経時変化を算定する<sup>7)</sup>。また、舗装体内の応力分布及び残留変形特性を用いてわだち掘れ量解析を行いわだち掘れ量の算定を行う<sup>2)</sup>。算定されたひび割れ率及びわだち掘れ量の経時変化、縦断凹凸量の経時変化を代入して、サービス性能指数の経時変化 (舗装のパフォーマンスカーブ) を求める。

#### (2) 有限要素解析

解析した各舗装断面の構成層厚を表一5に示す。節点数 2133、要素数 672 の 8 節点四辺形要素に分割し、断面は半径 200cm、深さ 400cm の軸対称で表層、路盤、路床の 3 層構造とした。境界条件は両側面をローラー支承、底面は固定支承とした。荷重条件は 49.1kN の複輪荷重を仮定し、単輪の重ね合わせにより考慮した。ここで、秋山による輪荷重と接地半径の関係式<sup>8)</sup>を用いて、単輪に対して载荷半径 10.6cm、等分布荷重 694.8kPa とした。アスファルト舗装要綱<sup>5)</sup>では、各交通区分に対する舗装寿命の目標値を 49.1kN 換算輪数により A 交通：15 万回、B 交通：100 万回、C 交通：700 万回、D 交通：3500 万回と定めている。また、交通量は直線的に増加し 5 年後に伸び率 1.8 に達すると仮定している。本解析ではこの仮定に基づき、現在の 49.1kN 換算輪数を A 交通：23 台/日・方向、B 交通：152 台/日・方向、C 交通：1065 台/日・方向、D 交通：5327 台/日・方向とした。

本解析では、建設省土木研究所の結果<sup>9)</sup>を用いて、車線幅員 325cm の仮定のもとで輪荷重の通過位置分布を決定した<sup>10)</sup>。

#### (3) 材料特性

##### a) 表層

表層材 (ストレートアスファルトコンクリート) のスティフネスは、繰返し曲げ試験により得られた温度とスティフネスの関係から、Kasianchuk らの研究<sup>11)</sup>を参考に

次式に算定される交通・温度重み付きスティフネスを用いた<sup>10)</sup>.

$$\log ST_r = \frac{1}{a} \log \frac{\sum (S_i^a t_{ri})}{\sum t_{ri}} \quad (5)$$

ここで、 $ST_r$ ：交通・温度重み付きスティフネス  
 $S_i$ ：時間*i*の温度のときのスティフネス  
 $a$ ：スティフネス～疲労損失関係の両対数紙上での傾き  
 $t_{ri}$ ：時間*i*における交通量

残留変形特性は、Monismith らの実験結果<sup>12)</sup> 及びストレートアスファルトコンクリートのコアを用いた繰返し三軸圧縮試験より、表層における残留軸ひずみと応力の関係を用いた。Monismith らは舗装体内のある点における残留軸ひずみを次式により求められるとしている。

$$\varepsilon_z^p = R \left[ \sigma_z - \frac{1}{2} (\sigma_x + \sigma_y) \right] \quad (6)$$

ここで、 $\sigma_x, \sigma_y, \sigma_z$ ：それぞれ、鉛直、半径、接線方向の応力

$R = \frac{\overline{\varepsilon^p}}{\overline{\sigma}}$ ：全有効ひずみとそれに対応する応力の比

$$\left( \overline{\sigma} = \sigma_1 - \sigma_3, \overline{\varepsilon^p} = \frac{2}{3} (\varepsilon_1 - \varepsilon_3) \right)$$

さて、本研究ではわだち掘れ量の算定に際し、耐流動性、耐ひび割れ性が優れている改質アスファルトコンクリートについても検討するため、遠藤らによる改質アスファルトコンクリートとストレートアスファルトコンクリートについての温度と累積変形量の関係<sup>13)</sup>を参考にし、求めた。改質アスファルトコンクリートとストレートアスファルトコンクリートの累積変形量の比に基づいて、Monismith の式で得られるストレートアスファルトコンクリートの残留軸ひずみを補正した。

#### b) 路盤

路盤材の材料特性は、2章の繰返し三軸圧縮試験結果を用いた。

#### c) 路床

粘性路床土の材料特性は、過去に本研究室で行われた粘性路床に対する繰返し三軸圧縮試験の結果<sup>14)</sup>を用いた。復元変形係数と CBR との関係は次式により回帰されている。

$$M_r = \alpha(CBR) + 14.7 \quad (7)$$

ここで、 $M_r$ ：復元変形係数(MPa)  
 $\alpha$ ：実験定数  
 $CBR$ ：試料の CBR(%)

(7) 式の定数  $\alpha$  は、CBR の増加に対する復元変形係数の増加の割合を示すもので、次式で与えられる。

$$\alpha = \frac{1}{0.0257 + 0.000898q} + 0.981 \quad (8)$$

ここで、 $\alpha$ ：(7) 式の定数  
 $q$ ：偏差応力(kPa)

復元ポアソン比と CBR との関係は、応力比をパラメータとして次式により回帰されている。

$$\nu_r = -0.222 \log(CBR) + \beta \quad (9)$$

ここで、 $\nu_r$ ：復元ポアソン比  
 $\beta$ ：実験定数

(9) 式の定数  $\beta$  は、応力比により定まり、次式で与えられている。

$$\beta = 0.282 + 0.228\eta - 0.076\eta^2 \quad (10)$$

ここで、 $\beta$ ：(9) 式の定数  
 $\eta$ ：応力比

残留変形特性については、残留軸ひずみと載荷回数との関係を (4) 式により回帰した。

なお、粘性路床の設計 CBR は 4% 及び 8% とした。

#### (4) 疲労寿命予測解析

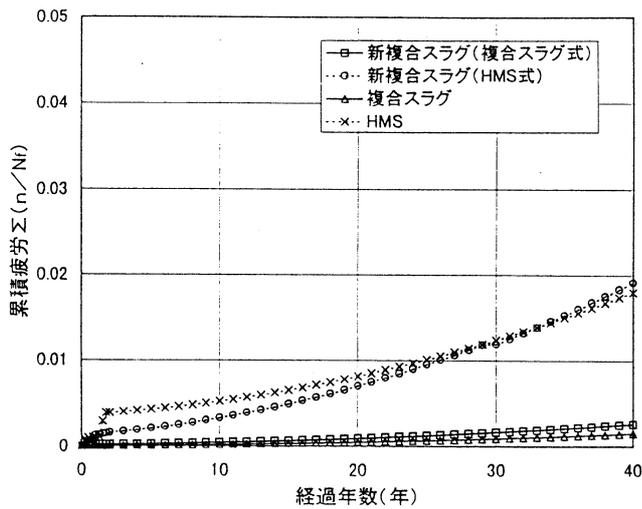


図-6 累積疲労と経過年数の関係

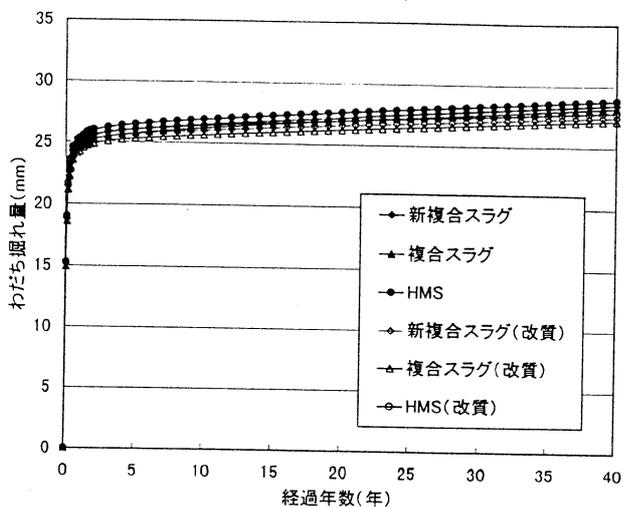


図-7 わだち掘れ量の累積変化

アスファルト舗装の疲労破壊はアスファルトコンクリート表層下面に生じる引張りひずみに起因すると考えられるが、スラグ材は硬化するため表層下面からではなくスラグ路盤下面からひび割れが発生すると考えられる<sup>7)</sup>。本研究室では、円形走行試験のデータなどからスラグ材の疲労破壊基準式として次式を誘導している<sup>7)</sup>。

$$\text{(複合スラグ)} \quad N_f = 1.131 \times 10^{-15} (1/\varepsilon_r)^{6.216} \quad (11)$$

$$\text{(HMS)} \quad N_f = 1.515 \times 10^{-16} (1/\varepsilon_r)^{6.216} \quad (12)$$

これら疲労破壊基準と疲労損失仮定 (Miner 則)<sup>15)</sup> を用いて、ひび割れの発生時期の予測を行った。なお、新複合スラグについては円形走行試験を行っておらず、疲

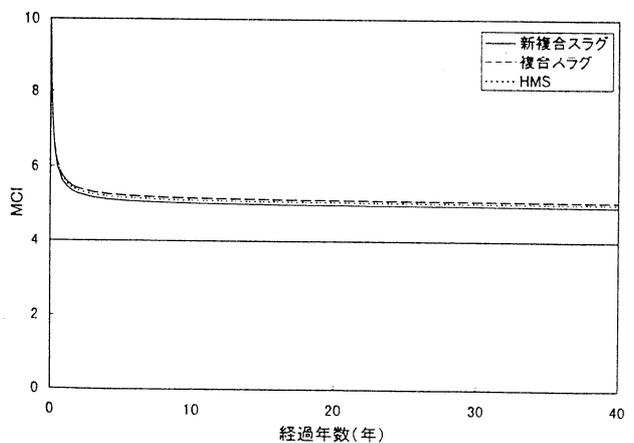
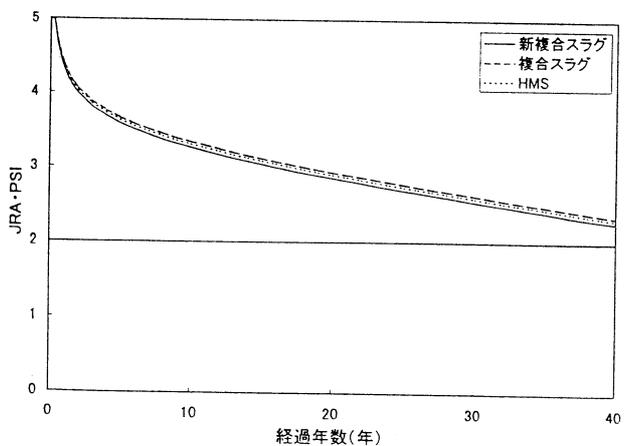
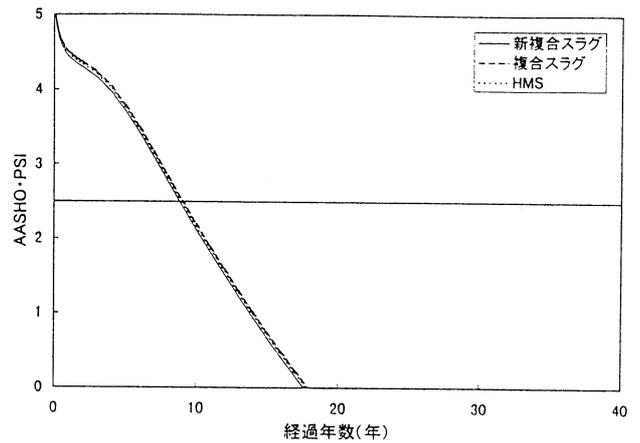


図-8 パフォーマンスカーブ (C交通)

劣寿命データからの疲労破壊基準式がないので、従来の複合スラグ及びHMSの疲労破壊基準式を代用した。

図-6に路床の設計CBR8%、D交通舗装断面における累積疲労と経過年数の関係を示す。HMS式を用いた新複合スラグ及びHMSの累積疲労が複合スラグ式を用いた新複合スラグ及び従来の複合スラグの累積疲労に比べ大きくなっている。しかし、いずれにしても供用年数40年の

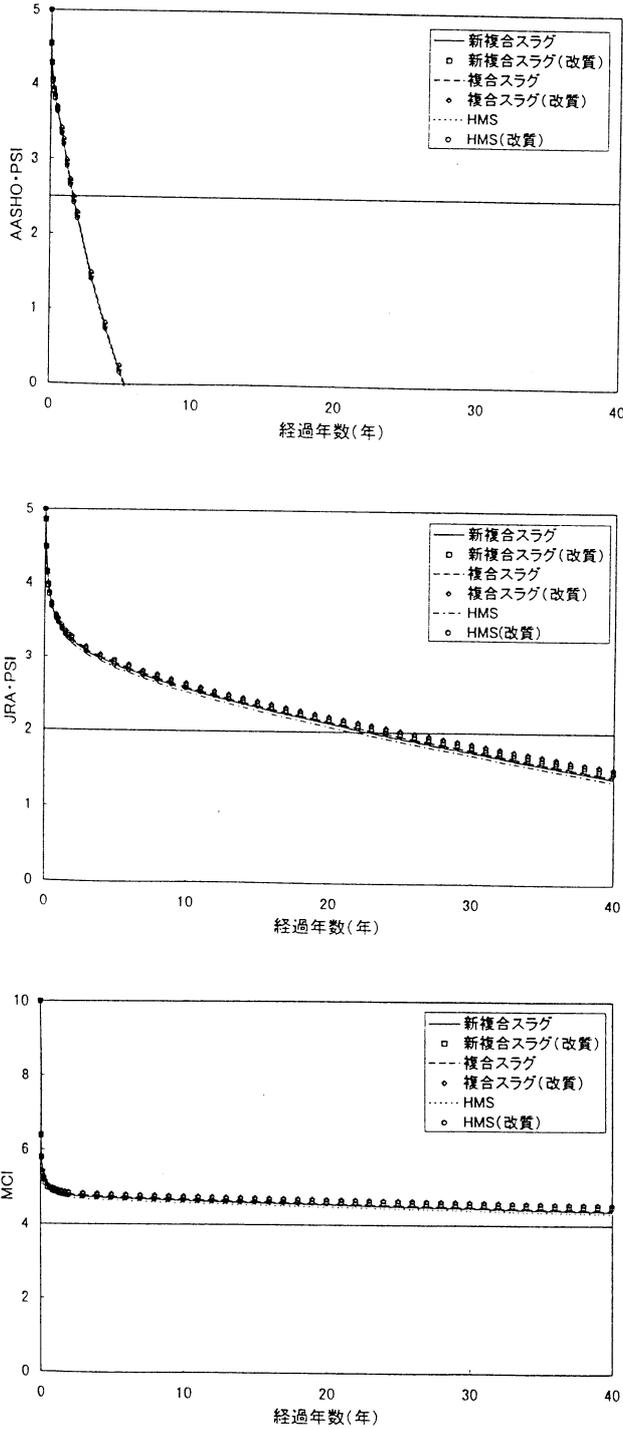


図-9 パフォーマンスカーブ (D交通)

間では、累積疲労の値は極めて小さく供用性に与える影響はほとんどないと考えられる。

#### (5) わだち掘れ量解析

わだち掘れ量は舗装各構成層の残留変形の累積と考えられる。構造解析により算出した応力と各材料の残留変形特性を用いて、分割した各層中心での残留軸ひずみを

求め、対応する分割層厚との積の総和により、その応力状態におけるわだち掘れ量を算出する<sup>2)</sup>。

$$d = \sum_i (\varepsilon_{pi} h_i) \quad (13)$$

ここで、 $d$ ：わだち掘れ量

$\varepsilon_{pi}$ ：各分割層中心での残留軸ひずみ

$h_i$ ：各分割層厚

図-7に路床の設計 CBR8%、D 交通断面におけるわだち掘れ量の累積変化と経過年数の関係を示す。図中には、表層を改質アスファルトコンクリートとしたときの値も示している。図より、新複合スラグ、従来の複合スラグ、HMS で大きな差は見られないが、従来の複合スラグのわだち掘れ量が最も少ない。また、改質アスファルトコンクリートでは、ストレートアスファルトコンクリートに比べ若干わだち掘れ量が減少することが認められる。

#### (6) 縦断凹凸量

縦断凹凸量は、建設省が提案している縦断凹凸量の経時変化を算定する次式<sup>16)</sup>を用いた。

$$\Delta\sigma = 0.013 + 0.12\sigma + 2.65 \left( \frac{T^2}{10^8} \right) + 4.28 \left( \frac{N}{10^3} \right) + 0.052(N^{1/2}) \quad (14)$$

ここで、 $\Delta\sigma$ ：1年間の縦断凹凸量の増加量(mm)

$T$ ：大型車交通量 (台/日・方向)

$N$ ：見かけ上の経過年数 (年)

$\sigma$ ：現在の縦断凹凸量(mm)

#### (7) パフォーマンスカーブ

得られたパフォーマンスカーブを路床設計 CBR8%、C 交通舗装断面及びD 交通舗装断面についてそれぞれ図-8、9に示す。なお、路床設計 CBR4%の結果は、設計 CBR8%の結果と大きな違いがなかったのでここでは省略する。図中には、オーバーレイを必要とする修繕基準 (AASHO·PSI=2.5, JRA·PSI=2.0, MCI=4.0) も示している。図より、評価指標によりかなり違いが現れていることがわかる。D 交通舗装断面においては AASHO·PSI では修繕基準に達するのが約2年に対して、JRA·PSI では約22年、MCI では経過年数40年でも修繕を必要としない結果となってい

る。C交通舗装断面では、AASHO・PSIにおいて修繕基準がおおよそ9年となり、JRA・PSI、MCIでは経過年数40年でも修繕を必要としない結果となった。どの評価指標においても新複合スラグを用いた舗装断面は従来の複合スラグを用いた舗装断面に比べ若干劣るが、HMSを用いた舗装断面とは、C交通舗装断面では若干劣るがD交通舗装断面やここでは示していないがA、B両交通舗装断面においてはほぼ同等のパフォーマンスを示す結果となった。D交通舗装断面でストレートアスファルトコンクリートを用いた時と改質アスファルトコンクリートを用いた時のパフォーマンスを算出したが、改質アスファルトコンクリート使用時で約2年だけ良好になる結果となり大きな効果は見られなかった。これは、わだち掘れ量に大きな差がなかったためと考えられる。

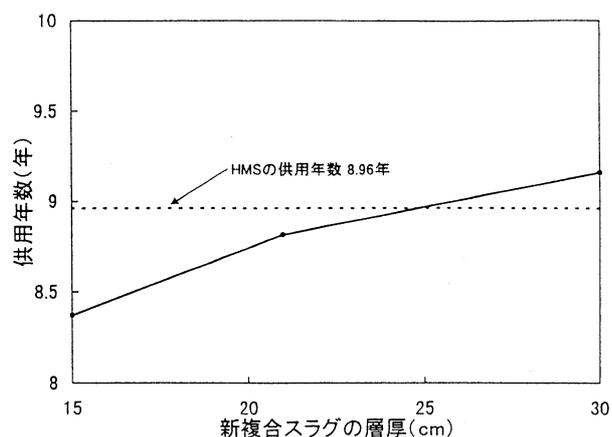


図-10 新複合スラグの層厚と供用寿命の関係

#### 4. 等値換算係数の推定

##### (1) 等値換算係数の推定方法

新複合スラグの等値換算係数は、アスファルト舗装要綱に指定のHMSの等値換算係数(0.55)を既知値として、以下のようにして算定する。まず、各設定舗装断面において、HMS断面および種々の路盤厚を有する新複合スラグ断面についてAASHO・PSIによる供用寿命を算定し、路盤厚と供用寿命の関係を求める。この関係からHMS断面と等しい供用寿命を有する新複合スラグ断面の路盤厚を求め、次式よりその等値換算係数を算定する。

$$\alpha_i = \frac{H_h}{H_i} \times \alpha_h \quad (15)$$

ここで、 $\alpha_i$ ：新複合スラグの等値換算係数

$\alpha_h$ ：HMSの等値換算係数 (=0.55)

$H_h$ ：HMSの路盤厚 (cm)

$H_i$ ：HMS路盤における供用寿命と等しい  
新複合スラグの路盤厚 (cm)

比較のため、従来の複合スラグについても等値換算係数の算定を行った。例えば、新複合スラグ路盤で路床設計CBR8%、C交通舗装断面の場合、路盤厚を15cm、21cm、30cmとするとパフォーマンス解析により供用寿命はそれぞれ8.37年、8.81年、9.16年と求まる(図-10参照)。HMS路盤の供用寿命8.96年であるから、これに相当する新複合スラグ路盤の層厚は図から路盤厚24.84cmということ

表-6 等値換算係数 (AASHO・PSI)

	新複合スラグ		複合スラグ	
	設計CBR 8%	設計CBR 4%	設計CBR 8%	設計CBR 4%
A交通	0.4976	0.4855	0.6484	0.6108
B交通	0.5597	0.5366	0.6930	0.6616
C交通	0.4650	0.4778	0.6026	0.5942
D交通	0.5857	0.5674	0.5963	0.5654

になる。従って式(15)から新複合スラグの等値換算係数は0.4650と求まる。

##### (2) 等値換算係数

表-6に新複合スラグ及び従来の複合スラグの等値換算係数の算定結果を示す。新複合スラグの等値換算係数は0.47~0.59の範囲にあり、HMSの等値換算係数である0.55とほぼ同じ値となる。従来の複合スラグについては0.57~0.69の範囲となり今回の3材料のうちで最も高い値となった。

#### 5. 結論

以上、石炭灰を固形化した新複合スラグについて、繰返し三軸圧縮試験より材料特性を求め、その結果を用いた構造解析により舗装の供用性を求め、最後に等値換算係数を求めたが、本研究で得られた結論を要約すると以下のようなことになる。

#### 繰返し三軸圧縮試験

- ・復元変形係数は平均主応力，偏差応力に依存し，養生期間の経過に伴い増加する。
- ・養生期間の経過に伴い，新複合スラグの復元変形係数は従来の複合スラグに近い値をとる。
- ・復元ポアソン比は応力比の関数で表され，応力比の増加に伴い復元ポアソン比は増加し，養生期間の経過に伴い復元ポアソン比は減少する。
- ・残留軸ひずみは載荷回数約 2000 回までに急激に増加し，そこから緩やかに増加し約 20000 回で一定となる。
- ・養生期間の経過に伴い残留軸ひずみは減少し，偏差応力の増加に伴って増加する。

#### パフォーマンス解析

- ・HMS 及び HMS 式を用いた新複合スラグの方が累積疲労の増加が大きい。
- ・累積疲労は，供用開始後 40 年間は供用性への影響がほとんど無視できる値となる。
- ・わだち掘れ量は従来の複合スラグが最も小さい値となり，また，改質アスファルトを用いることにより若干であるがわだち掘れ量が減少する。
- ・D 交通舗装断面において，AASHO・PSI が修繕基準に達するのが約 2 年に対して，JRA・PSI が約 22 年，MCI に至っては経過年数 40 年でも修繕を必要としない結果となり，供用性の評価指数によって供用年数に大きな違いがでている。
- ・新複合スラグ舗装断面は従来の複合スラグ舗装断面に比べ若干劣るパフォーマンスを示すが HMS 舗装断面と比較すると，ほぼ同等のパフォーマンスを示す。

#### 等値換算係数

- ・従来の複合スラグは，等値換算係数が 0.57~0.69 と他の材料に比べて最も高い値となった。
- ・新複合スラグは，等値換算係数が 0.47~0.59 となり，HMS とほぼ同等の値となった。

#### 参考文献

- 1) 西 勝，河端薫：路盤材としての鉄鋼スラグの基礎的性質と力学的特性，土木学会論文集，第 414 号/V—12，pp.89-98，1990。
- 2) 西 勝，吉田信之，畠山昌平，辻本敏治，遠山俊一：円形走行試験におけるアスファルト舗装のわだち掘れ挙動解析，建設工学研究所報告第 35 号，pp.159-178，1993。
- 3) M. Nishi, N. Yoshida, S. Hatakeyama, T. Tujimoto : Deformation characteristics of iron and steel slags and crushed stone as base-course materials, Pre-failure of Deformation of Geomaterials Vol.1, pp.287-292, 1994.
- 4) 日本セメント技術協会：AASHO 道路試験，1966。
- 5) 日本道路協会：アスファルト舗装要綱，1996。
- 6) 飯島尚，今井博，猪股和義：MCI による供用性の評価，土木技術資料，第 23 巻，第 11 号，pp.15-20，1981。
- 7) 西 勝，遠山俊一，大橋一公，恒藤博文：円形走行試験に基づくアスファルト舗装パフォーマンスカーブの構築，建設工学研究所報告第 37 号，pp.45-64，1995。
- 8) 秋山政敬：輪荷重と接地圧，接地半径の関係，土木学会論文報告集，第 243 号，pp.81-90，1975。
- 9) 松野三郎，小林泰介：車両走行位置について，第 14 回に本道路会議論文集，pp.177-178，1981。
- 10) 西 勝，南方文明，山下剛，河端 薫：円形走行試験の解析方法によるアスファルト舗装の疲労寿命解析，建設工学研究所報告第 30 号，pp.45-64，1988。
- 11) D. A. Kasianchuk, et al : Asphalt Concrete Pavement Design-A Subsystem to Consider the Fatigue Mode of Distresses, HRR, No.291, pp.159-171, 1969.
- 12) C.L. Monismith, K Inkabi, C.R. Freeme, D.B.McLean : A Subsystem to Predict Rutting in Asphalt Pavement Structures ,Forth International Conference Structural Desing of Asphalt Pavements, pp.529-539, 1977.
- 13) 遠藤桂，橋本友光：高温域におけるレジリエントモジュラスと動的安定度に関する一検討，道路建設，pp.36-41.1996。
- 14) N. Yoshida, M. Nishi, K. Ohnishi, E. Hirotsu and H. Nishino : Performance evaluation of asphalt pavement with stabilized subgrade, Beijing, Vol. 1, pp.446-454.
- 15) Miner. M. A. : Cumulative Damage in Fatigue, Trans., ASME., Vol.66, pp.A159-A164, 1945.
- 16) 山田正巳，市川正信，藤田正幸：舗装の維持修繕計画の一例—主要地方道熱海箱根峠線—，舗装，Vol.20, No4, pp.23-27, 1985。

(1998.9.1 受付)

PERFORMANCE AND LAYER EQUIVALENCY FACTORS OF COMPOUND SLAG  
MIXED WITH FLY ASH PELLET

Nobuyuki YOSHIDA, Masanori SANO, Eizaburou HIROTSU, Masaru NISHI,  
Takeshi ARAI, Syunichi TOHYAMA

This paper describes the performance of asphalt pavement with a new compound slag base-course which is a mixture of steel-making slag, blast-furnace slag and fly ash pellet. First, the deformation characteristics are investigated by carrying out a repeated loading triaxial compression test; then using the regression equations expressing the resilient and permanent deformation characteristics, the performance of an asphalt pavement with the new compound slag base-course is investigated in terms of a serviceability index by carrying out a performance analysis. Then, the layer equivalent coefficient is deduced based on the results and in comparison with HMS, a standard slag base-course. It is shown from the repeated loading triaxial compression tests that the new compound slag exhibits better deformation characteristics than HMS. The results of performance analysis indicate that the asphalt pavement with the new compound slag base-course exhibits better performance than HMS and that the layer equivalent coefficient of the new compound slag can be equal to or greater than that of HMS.