

アスファルト舗装の構造設計における最近の動向(3)

阿部 頼 政*

1. はじめに

前回までに述べてきたシェルの新設計法¹⁾において、構造設計の基本となる因子は、アスファルト層下面に生ずる引張歪と路床上面に生ずる圧縮歪であった。前者はクラックに対する規制、後者は路床の沈下に起因した永久変形(わだち掘れ)に対するものと解釈できる。

今回検討するのは、アスファルト混合物の流動によるわだち深さの計算法である。この方法はClaessenをはじめとする著者ら¹⁾もかなり詳しく付録に示しているが、基本となる式の成立過程が明らかにされていないのでその根拠をつくったHeukelom²⁾、Van de Loo⁴⁾らの論文から考察していくことにする。

2. 基本となる考え方

アスファルトのような粘弾性体に一定応力を与えた場合、その歪を、瞬間的に生ずるもの(瞬間弾性)、遅れて生ずるもの(遅延弾性)、載荷時間に比例するもの(粘性流動)の三種にわけて考察する手法が一般に広く使用されている。Heukelom²⁾はアスファルトに関して以上の三種の歪を次のようにあらわした。

$$\varepsilon_e = \frac{\sigma}{E} \dots\dots\dots(1)$$

$$\varepsilon_d = \frac{\sigma}{D} \dots\dots\dots(2)$$

$$\varepsilon_v = \frac{\sigma t}{3\eta} \dots\dots\dots(3)$$

- ここに、 ε_e : 瞬間弾性によって生ずる歪
- ε_d : 遅延弾性によって生ずる歪
- ε_v : 粘性流動によって生ずる歪
- E : 瞬間弾性に対応した弾性係数で温度(T) 載荷時間(t)にかかわらず一定
- D : 遅延弾性に対応した弾性係数で、Tや tに影響される。
- η : 粘度 (bulk viscosity)
- σ : 与えた一定応力

これらの歪が独立に発生するものと仮定すれば、全体の歪 ε は次のようになる。

$$\varepsilon = \varepsilon_e + \varepsilon_d + \varepsilon_v \dots\dots\dots(4)$$

これよりさき、Van der Poelは、アスファルトのレオロジー的性質を表わす方法として、次の式で示されるスティッフネスS (Stiffness Modulus) の概念を提案した³⁾。

$$\left(S \right)_{t, T} = \left(\frac{\sigma}{\varepsilon} \right)_{t, T} \dots\dots\dots(5)$$

サフィックスのt, Tは、スティッフネスが主として載荷時間と温度に依存することを示すものである。

(4)の ε を(5)式に代入すると次の式が得られる。

$$\frac{1}{S} = \frac{1}{E} + \frac{1}{D} + \frac{t}{3\eta} \dots\dots\dots(6)$$

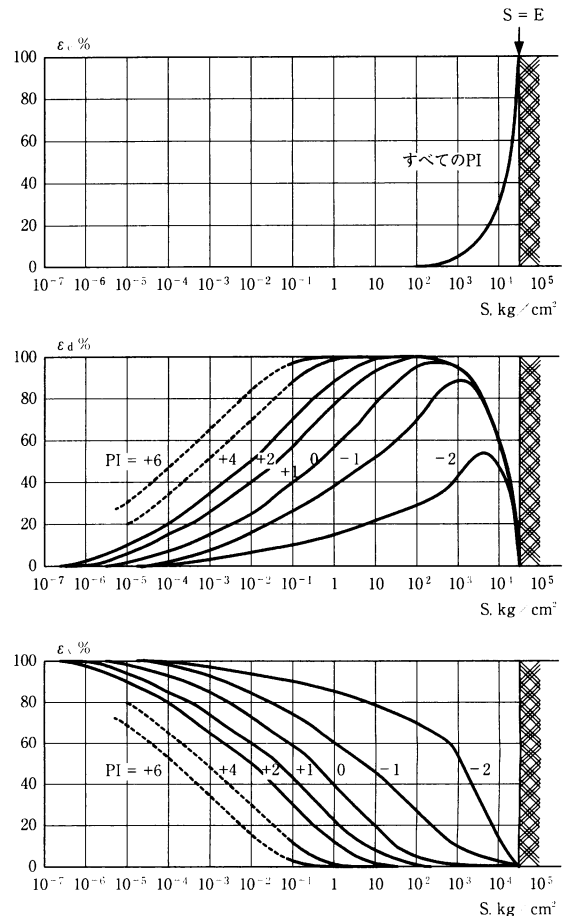


図-1 ε_e , ε_d , ε_v が全体を占める割合²⁾

* 日本大学理工学部土木工学科助教授

(4)式で、 ϵ に対する ϵ_e 、 ϵ_d 、 ϵ_v の寄与率をHeukelomは図-1のように示している。当然のことではあるが、スティッフネスの大きい範囲 (10^4 kg/cm^2) 以上では ϵ_e 、小さい範囲では ϵ_v が卓越し、中間の範囲で ϵ_d が中心となっている。

アスファルトのスティッフネスを S_{bit} とし、 S_{bit} のうち粘性流動の成分 (Viscous component) を $(S_{bit})_v$ とすれば、(3)式より

$$(S_{bit})_v = \frac{3 \eta}{t} \dots\dots\dots(7)$$

載荷時間が非常に長い場合、粘性流動の歪が支配的になることは明らかであるから次式が成立する。

$$3 \eta = \lim_{t \rightarrow \infty} (t \times S_{bit}) \dots\dots\dots(8)$$

($t \times S_{bit}$) の項がほぼ一定になるような長い載荷時間をとってVan der Poelのノモグラフを利用すれば、 η が求められるはずである。このような考え方でVan de Looら⁴⁾が作製した粘度図 (Viscosity Chart) を図-2に示す。この図の横軸は、軟化点との温度差 ($T - T_{R\&B}$) であらわされている。図から明らかなように、軟化点より 10°C 前後低い温度でP Iにかかわらずすべてのアスファルトが等粘度になる。

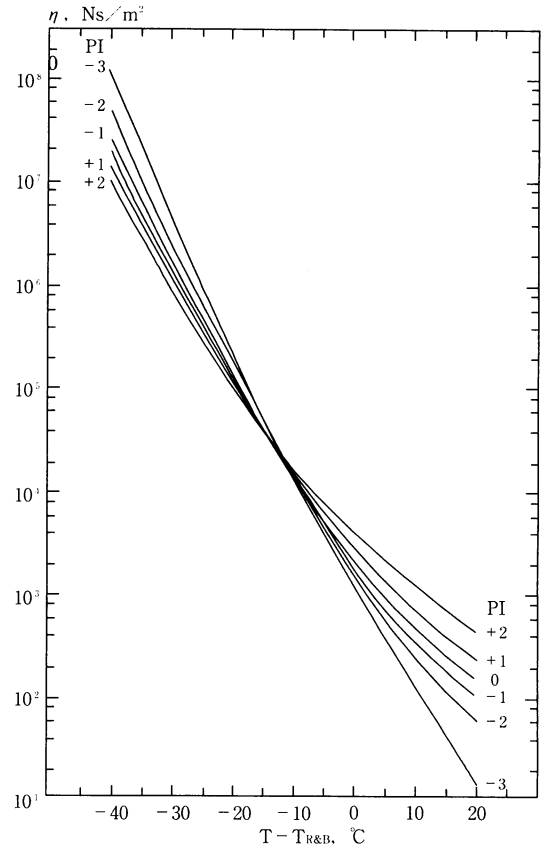


図-2 粘度図 (Viscosity Chart) ⁴⁾

(7)式にもどる。実際の走行荷重や室内実験の載荷条件を考慮して、Van de Looらは t を次のように表現しなおしている。

$$t = n t_w \dots\dots\dots(9)$$

ここに、 t_w : 一荷重の載荷時間
 n : 荷重の通過回数

温度が変わる (したがって粘度も変わる) 場合は、次のようになる。なお、 t_w は一定とする。

$$(S_{bit})_v = \frac{3}{t_w} \left(\frac{\eta_1}{n_1} + \frac{\eta_2}{n_2} + \dots \right) = \frac{3}{t_w \cdot \sum \left(\frac{n}{\eta} \right)} \dots\dots\dots(12)$$

これが $(S_{bit})_v$ を求める式であり、わだち掘れに関するチェックの基本式となっている。すなわち、シエルグループのわだち掘れ (流動) に関する考え方は、アスファルトのスティッフネスのうち、粘性流動の成分に着目したものであると言える。

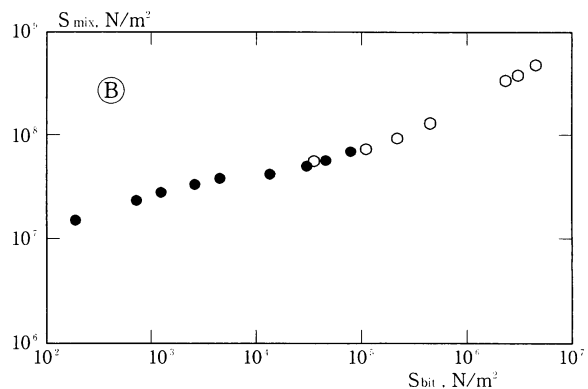
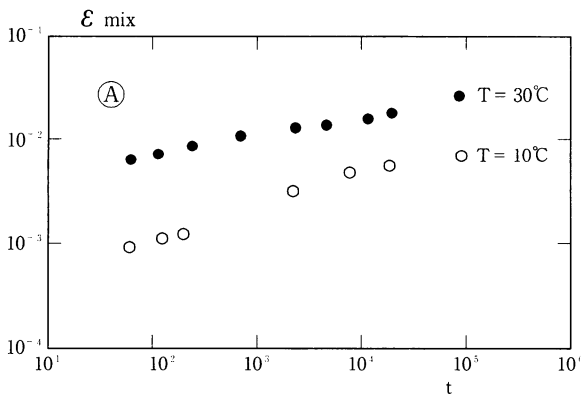


図-3 2種の温度におけるクリープ試験結果⁴⁾ ($\sigma = 0.4 \text{ MN/m}^2$)

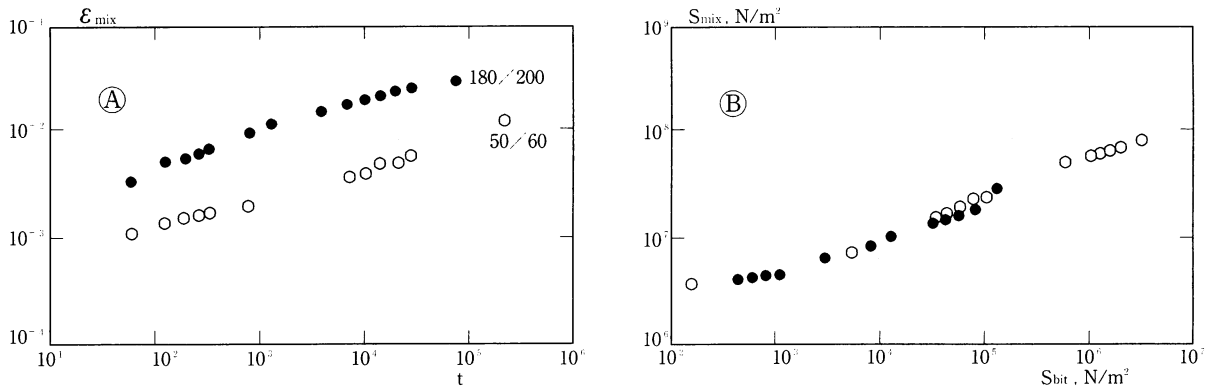


図-4 2種のアスファルトによるクリープ試験結果⁴⁾ ($\sigma = 0.1 \text{ MN/m}^2$, $T = 10^\circ\text{C}$)

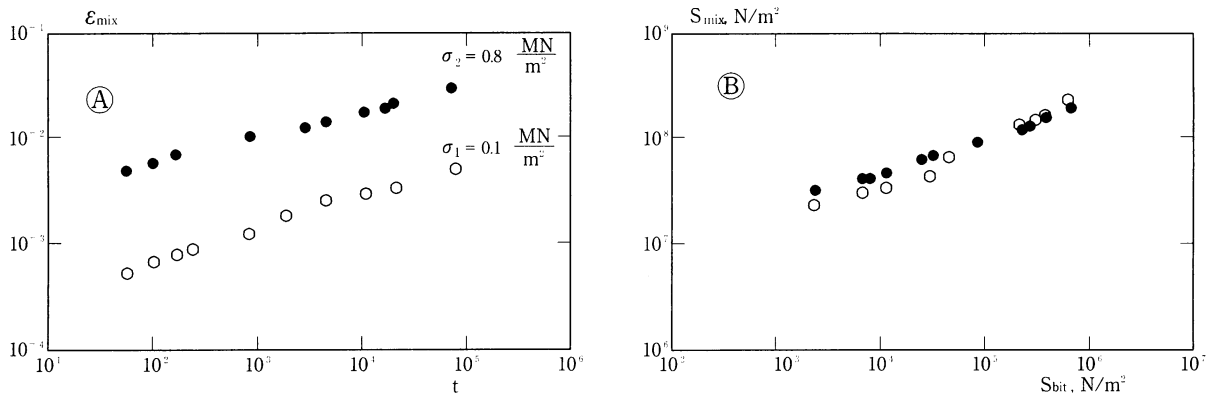


図-5 2種の応力を用いたクリープ試験結果⁴⁾ ($T = 20^\circ\text{C}$)

3. 基礎実験とその成果

設計法にたどりつくまでの基礎実験は静的なクリープ試験 (Creep Test) と動的なわだち掘れ試験 (Rutting Test) である。この両者の実験結果をアスファルトのステイフネスを媒体として結びつけた点が本研究の特徴であろう。

(1) クリープ試験

この試験法に関する詳細は、Hills⁵⁾ の論文に載っているが、ここではその結果だけを Van de Loo⁴⁾ の論文にしたがって考察していくことにする。

クリープ試験では一般に、アスファルト混合物の歪 ϵ_{mix} が荷重時間 t の関数として得られる。図-3(A)は、温度が異なる2つのクリープ試験結果を示したものであり、図-3(B)は、 S_{mix} と S_{bit} の関係にプロットしなおすと温度の影響が除去できることを示したものである。なお S_{bit} は Van der Poel のノモグラフから求めている。図-4、図-5は同様にして、アスファルトの種類、与えた応力が除去できることを示す。すなわち、クリープ試験においては、アスファルトのステイフネスが実験結果を左右する支配的因子であると結論できる。これは定性的にも容易に理解できよう。

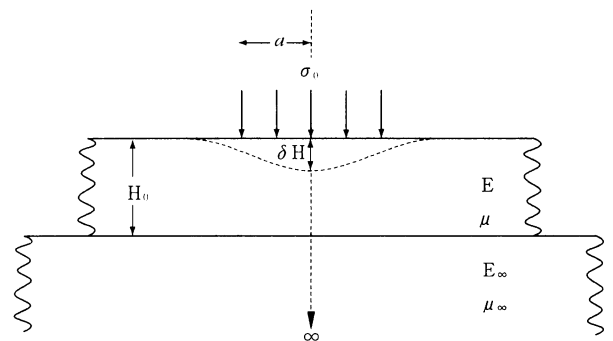


図-6 二層弾性体のモデル⁴⁾

(2) わだち掘れ試験

この試験は二つのタイプに分けられる。すなわち、C B R 17% に締固められた砂の上にアスファルト混合物を置いて荷重を走行させるもの (荷重方法は回転荷重型) と、スチールの上にアスファルト混合物を置いて荷重を往復走行させるもの (ホイールトラッキング型) である。

これらの構造のモデルとして、Van de Loo⁴⁾ は図-6のような二層弾性体を想定し、次のような手法で S_{mix} を求めている。

図-6における各量の中から無次元量 $\delta H/H_0$ と σ_0

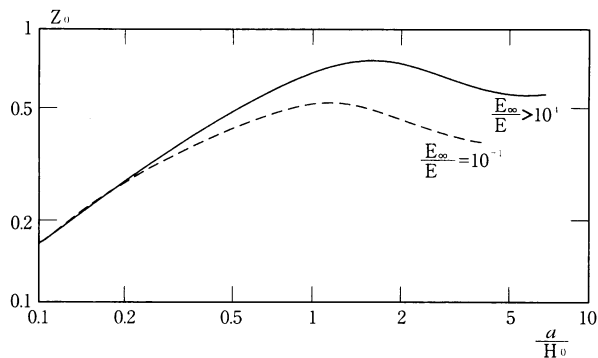


図-7 Z_0 と a/H_0 の関係 ($\mu = \mu_\infty = 0.35$)⁽¹⁾

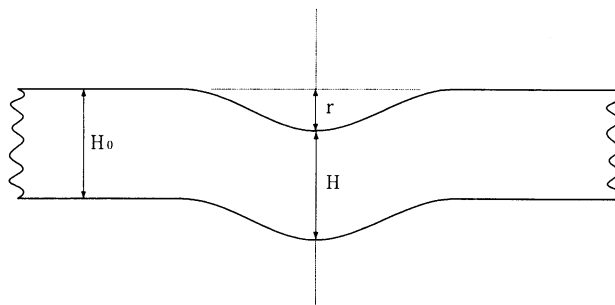


図-8 下層に粒状材を使用した場合の変形⁽¹⁾

δH をとりだし歪の比 Z_0 を次のように定義する。

$$Z_0 = \frac{\delta H/H_0}{\sigma_0/E} \dots\dots\dots(13)$$

各層のポアソン比 μ 、 μ_∞ を固定すれば、 Z_0 は a/H_0 と E_∞/E の関数となる。

$$Z_0 = f\left(\frac{a}{H_0}, \frac{E_\infty}{E}\right) \dots\dots\dots(14)$$

(14)式の各項に数値を代入し、BISTROで計算した結果が図-7である ($\mu = \mu_\infty = 0.35$)。ここで $E_\infty/E = 10^{-1}$ は砂層の上にアスファルト混合物を置いた実験、 $E_\infty/E = 10^4$ はスチールの上にアスファルト混合物を置いた実験に対応させる。

$\delta H = H_0 - H$ 、 $E = S_{mix}$ と置きかえて(13)式に代入すれば、スチール上の実験として次の式が得られる。

$$S_{mix} = \frac{Z_0 \sigma_0}{(H_0 - H)/H_0} \dots\dots\dots(15)$$

ここに $(H_0 - H) = r$ がわだち深さである。

砂層上にアスファルト混合物を置いた実験では、図-8のように砂層も変形を受ける。実験中の任意の段階において $(H_0 - H)$ が r に比例するとすれば、

$$(H_0 - H) = K r \dots\dots\dots(16)$$

と書ける。Kは定数であり、実験終了後、 $(H_0 - H)/r$ として求めることができる。

(16)を(15)に代入すれば S_{mix} は次のように表示される。

$$S_{mix} = \frac{Z_0 \sigma_0}{K \cdot \frac{r}{H_0}} \dots\dots\dots(17)$$

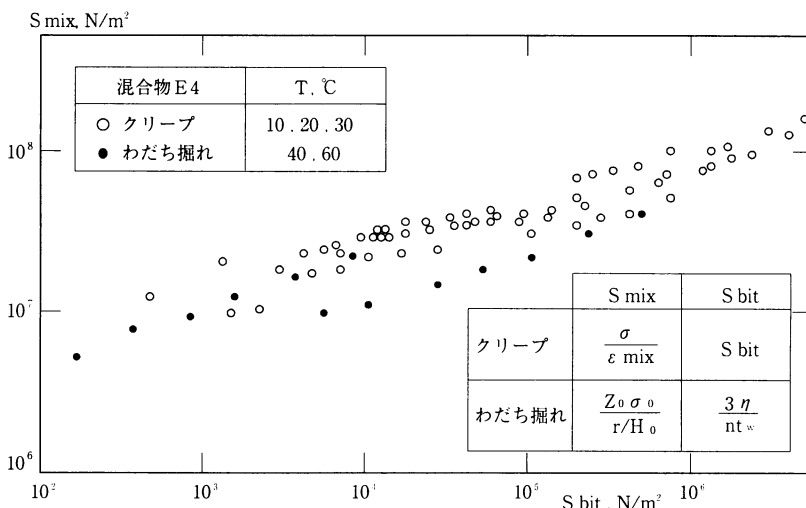


図-9 クリープ試験とわだち掘れ試験の比較⁽¹⁾

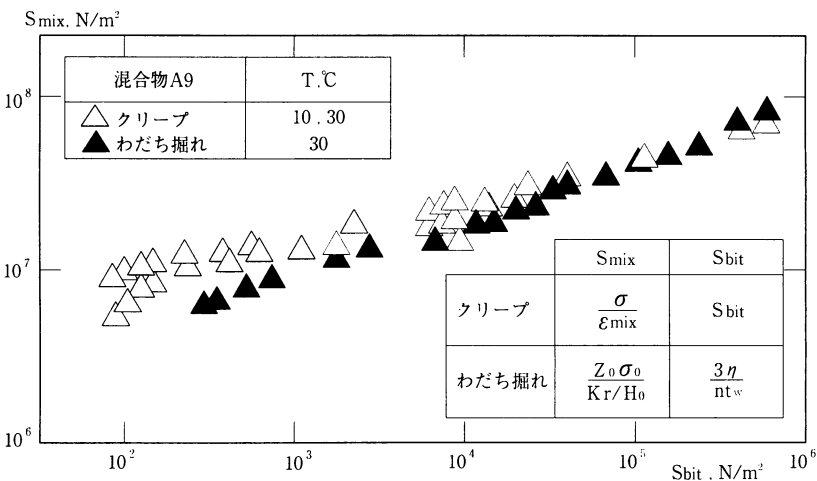


図-10 クリープ試験とわだち掘れ試験の比較⁽¹⁾

(3) 実験結果の比較

Van de Looらはスチール、砂層それぞれの上にアスファルト混合物を置いて各種のわだち掘れ試験を行い、この試験と同様な供試体、応力を用いたクリープ試験の結果を比較している。図-9、10は、これらの代表的な例であるが、クリープ試験の結果は、 $S_{mix} - S_{bit}$ の関係で示し、わだち掘れ試験の結果は、 $S_{mix} -$

(S_{bit})_v の関係で示した点に最も特徴がある。図から明らかなように、両者の傾向はほとんど同一である。これは、静的な試験であるクリープ試験と動的な試験であるわだち掘れ試験におけるアスファルト混合物内部の変形機構が同一であることを示すものと Van de Loo⁴⁾ らは結論づけ、クリープ試験結果からわだち掘れ試験結果を予測するものとして、次の式を提案している。

$$(H_0 - H)_{\text{calculated}} = \frac{Z_0 \sigma_0 H_0}{(S_{\text{mix}})_{\text{creep}}} \dots\dots\dots(18)$$

これまでの経過から明らかなように、($S_{\text{mix}})_{\text{creep}}$ に対応する S_{bit} は、(12)式で計算される (S_{bit})_v と同じ値をとることになる。

クリープ試験から(18)式を使って予測した値とわだち掘れ試験結果を図-11、図-12に示す。砂層上に置いたアスファルト混合物のわだち深さは予測値のほぼ1~2倍の間にある。

以上に述べた(12)式、(18)式がわだち深さを求める基本式に発展することになる。

4. 設計法における永久変形の解析

Cleassen¹⁾ の論文にもどり、永久変形（ここではわだちぼれとほぼ同義とみなしてよい）の計算法を考察する。これは、構造設計の最終段階であり、前回までに説明した方法で設計された断面をここでチェックすることになっている。

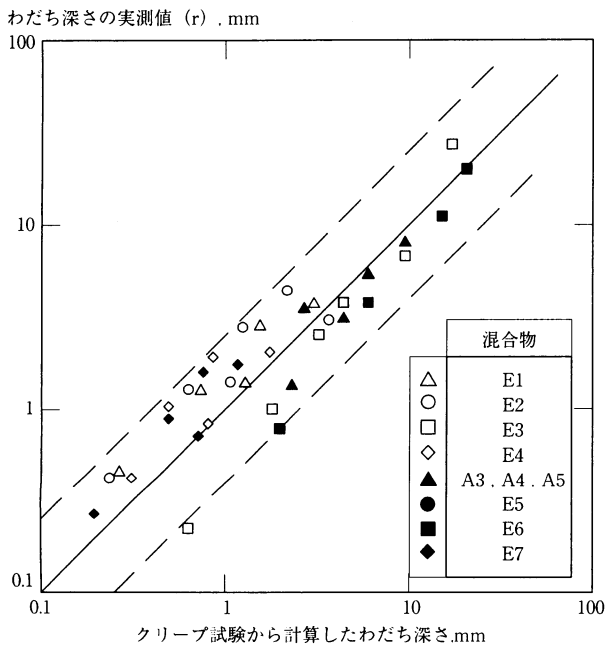


図-11 計算値と実測値の比較 (スチール上)⁴⁾

(1) 基本的な考え方

候補にあがった断面のわだち深さを予測する際に、重要なインプットは、交通量と温度である。構造設計の場合、交通量は、80KN（一輪が20KN、接地圧 $6 \times 10^5 \text{N/m}^2$ の複輪2組）の標準軸重に換算してあらわしたが、永久変形の計算では、わだちごとの合計輪数 (total number of wheels per rut) でとらえている。温度は言うまでもなく、アスファルトの粘度、さらに (S_{bit})_v、 S_{bit} を求める際の基礎となるものである。

わだち深さの予測における基本的な考え方あるいは根本的な仮定とも言うべきものは、「アスファルト混合物の永久変形は、アスファルトのスティッフネスの粘性流動成分に関係がある」とするものである。この粘性流動成分は、次の式で与えられている。

$$(S_{bit})_v = \frac{3}{\sum_{T,t} \left(\frac{Wt}{\eta} \right)} \dots\dots\dots(19)$$

ここに、W：通過輪数

t：一輪の通過に要する時間（この論文では0.02秒が使用されている。）

η ：アスファルトの粘度、N/m²

(19)式は、(12)式と全く同一の形をしており、(12)式が基本になっていることは明らかであろう。ただ、(12)式は室内実験で定めたものであり、通過輪数やアスファルトの粘度は実験条件から容易に決定できるが、(19)式のW、 η を決定するには、かなりの困難さがともなう。すなわち、

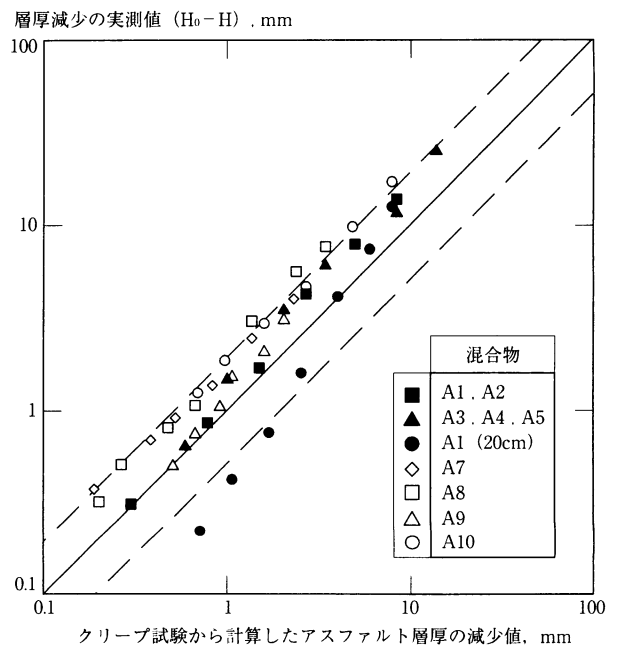


図-12 アスファルト層厚の減少-計算値と実測値の比較 (砂層上)⁴⁾

舗装供用期間中の交通荷重は複雑であり、また温度の変動（したがって粘度の変動）も定量的にとらえる必要があるからである。W、ηを求める具体的な方法は次節以下に述べる。

(19)式で求めた (S_{bit})_v の値をクリープ試験におけるアスファルトのスティッフネス S_{bit} と等しくとり（この考え方の妥当性は図-9、10にある）、前回の図-4を利用すれば混合物のスティッフネス S_{mix} が求められる。

わだちぼれに相当する層厚の減少 (reduction in layer thickness) 量 Δh₁ は、この S_{mix} の値を使用して次式から求める。⁶⁾

$$\Delta h_1 = C_M \cdot h_1 \frac{\sigma_{av}}{S_{mix}}, \text{ mm} \dots\dots\dots(20)$$

ここに、C_M：修正係数、混合物によって異なり、その値は1～2であることが経験的にわかっている。

h₁：アスファルト層の設計厚、mm

σ_{av}：走行荷重下における舗装内の平均応力、N/m²

$$\sigma_{av} = Z \cdot \sigma_0, \text{ N/m}^2 \dots\dots\dots(21)$$

Zは後に示す。σ₀は接地圧で6×10⁵N/m²

(20)式は(18)式とほとんど同じ形をしている。ZはZ₀と同様に弾性係数の比や接地面積、層厚によって異なる変数

であるし、σ₀、H₀、S_{mix}は、(18)式と同じ意味を持つ。C_Mは、静的試験から動的試験結果を予測するときの誤差項のようなもの (dynamic effectと記述してある) と考えればよからう。

以上のように、わだち深さを求める基本式(19)、(20)は Van de Looらの研究⁴⁾に根拠を置いているのであるが、現実の舗装に適用するためには、さらに、W、η、σ_{av}等を定量的に示す必要がある。以下、これらの求め方を簡単に紹介する。

(2) 交通荷重について

(19)式は、(12)式の応用であることから明らかなように一定応力のもとにおける関係式である。現実の道路のように、輪荷重が複雑に変化する場合は、さらにその要素を取り入れなければならないが、その対策としては、Van de Looの研究⁷⁾をもとに、次の式が提案されている。

$$W_{eq} = 1.4 W_{tot} \sum_{i=1}^k \left(\frac{\sigma_i}{\sigma_0} \right)^{1/s} \frac{n_i}{n_{tot}} \dots\dots\dots(21)$$

ここに、

W_{eq}：標準輪荷重に換算した輪数

W_{tot}：設計期間中の大型車軸数（輪荷重は種々のもの）

σ_i：輪荷重 i クラスの接地圧、N/m²

σ₀：標準輪荷重の接地圧、6×10⁵N/m²

$\frac{n_i}{n_{tot}}$ ：輪荷重 i クラスの輪数の全数に対する比

s：クリープ試験から定められた log S_{mix} - log S_{bit} 曲線の勾配 (S_{bit} < 10³N/m²)

(21)式から明らかなように、標準輪荷重への換算は、混合物のクリープ特性が基礎になっている。なお、著者らは de Henau⁸⁾ が測定した大型車の分布を代表的なものとして見なしており、この場合には、(21)式のかわりに次式から W_{eq} 値が求められる。

$$W_{eq} = 1.4 \times A \times W_{tot} \dots\dots\dots(22)$$

A：図-13に示される値

(3) アスファルトの粘度について

(19)式に含まれているアスファルトの粘度 η は、アスファルトの種類と温度によって変化する。これらの関係は図-2に一応与えられているが、供用中の舗装を考えればアスファルトの粘度は、気温やアスファルト層の深さ等に影響されることは明らかである。この点に関する定量的な解析法は、Edwardsらの研究⁹⁾をもとに、次のような例で説明されている。

シェル設計ではアスファルト層を2層としている

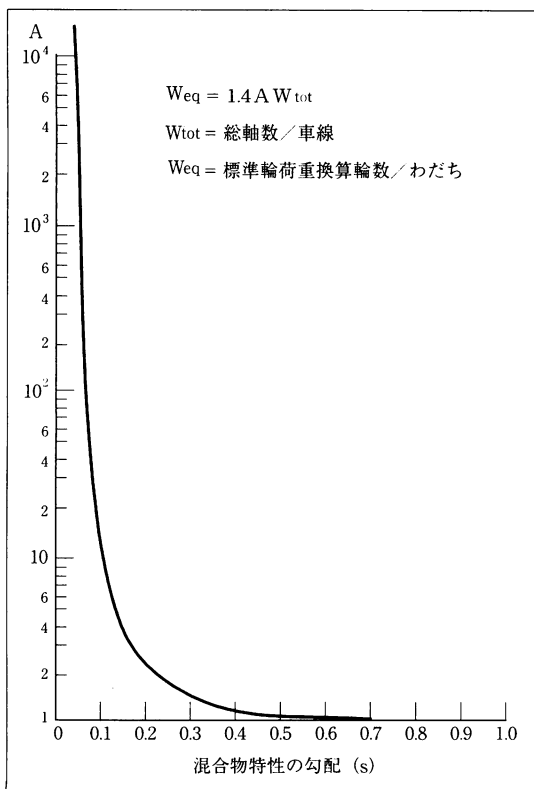


図-13 代表的な輪荷重分布における A の値¹⁾

が、このうち上層の厚さ h_1 をさらに3層 ($h_{1.1}=40\text{mm}$, $h_{1.2}=40\text{mm}$, $h_{1.3}=\text{可変}$)に分割する。下層は温度変化があまりなく単一の混合物を使用することが多いので分割はしない。

1日6回 (1, 5, 9, 13, 17, 21時) の温度測定データから各層の粘度を得て、これを次式により、日平均粘度 ("average" or "effective" viscosity over a period of one day) η_i とする。

$$\eta_i = \frac{1}{\frac{1}{6} \sum_{j=1}^6 \frac{1}{\eta_j}}, \text{Ns/m}^2 \dots\dots\dots(23)$$

この日平均粘度を図-14のようにプロットすれば、12個の月平均温度 (MMAT) に対応する12個の η が読みとれる。これを利用してさらに次式から年平均粘度 ($\eta_{\text{eff, 1 year}}$) を求める。

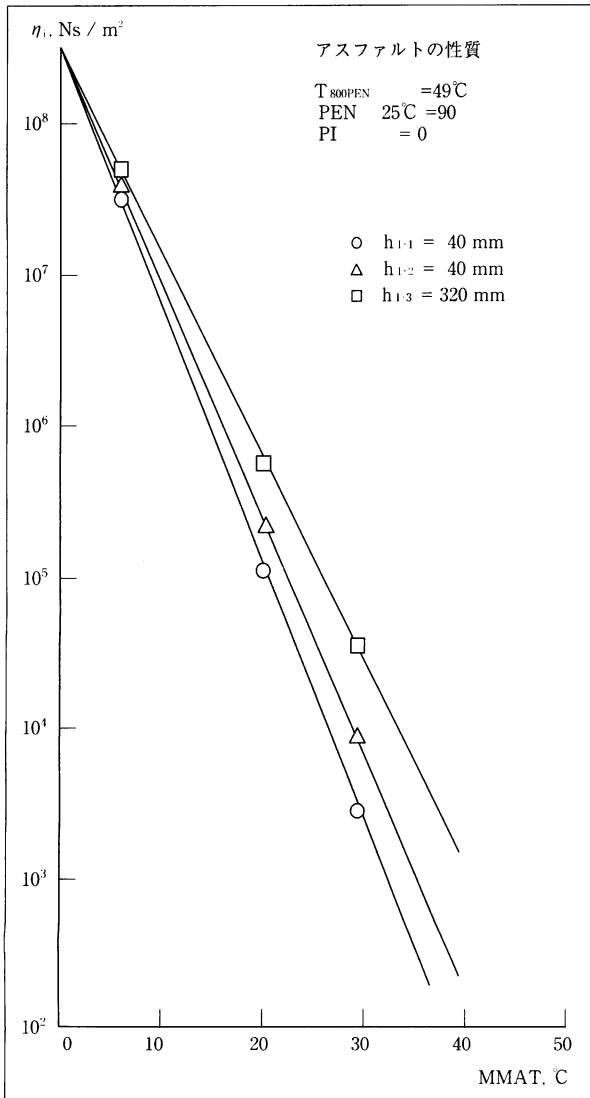


図-14 MMATと日平均粘度の関係¹⁾

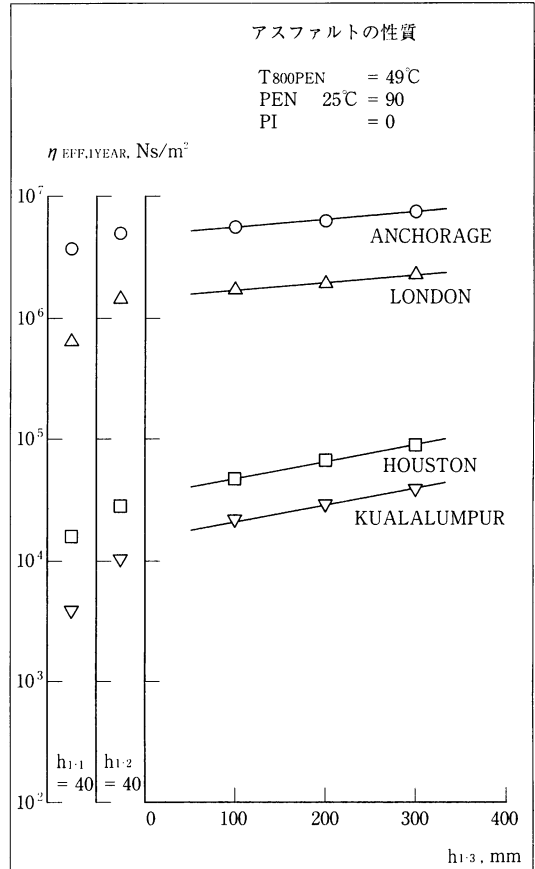


図-15 分割した各層の年平均粘度¹⁾

$$\eta_{\text{eff, 1 year}} = \frac{1}{\frac{1}{12} \sum_{i=1}^{12} \frac{1}{\eta_i}}, \text{Ns/m}^2 \dots\dots\dots(24)$$

図-15は、4種の異なった気候を持つ場所に対して各層の年平均粘度を求めたもので、 $h_{1.1}, h_{1.2}=40\text{mm}$ に対応する粘度は各1点定まり、 $h_{1.3}$ に対しては厚さの関数となっている。

以上のようにして求めた粘度 $\eta_{\text{eff, 1 year}}$ が、(19)式の η として使用される。粘度を年平均としてあらわしたため、(19)式の W も年間の交通量とする必要がある。結局、(19)式は、(21)式 (または(22)式)、(24)式から次のように書きかえることができる。

$$(S \text{ bit})_v = \frac{3 \eta_{\text{eff, 1 year}}}{B \times W_{\text{eq, 1 year}} \times 0.02}, \text{N/m}^2 \dots\dots\dots(25)$$

B は設計年数である。この式により、温度、交通、アスファルトの性質がとり入れられたことになる。

(4) 分割された層の平均応力

本章の(1)で問題となった $W, \eta, \sigma_{\text{av}}$ のうち、 W, η は(25)式で解決された。残るは σ_{av} である。

アスファルト層の平均応力 σ_{av} は、非常に多くのパラ

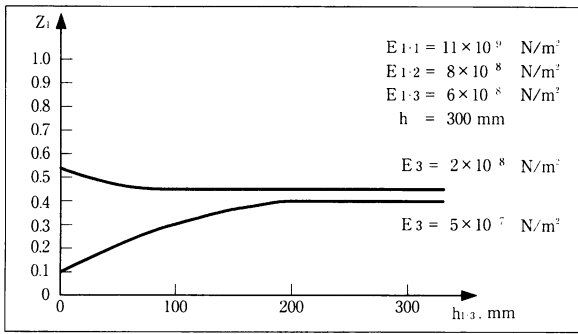


図-16 Z_1 と h_{1-3} の関係¹⁾

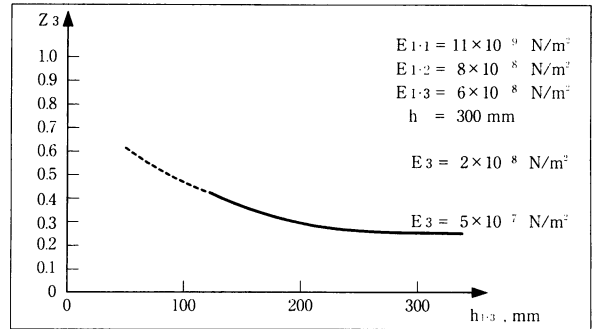


図-17 Z_3 と h_{1-3} の関係¹⁾

メーターによって影響を受ける。すなわち、接地圧、接地半径、弾性定数、層厚等である。これに気温の影響を加えると組合せの数は、膨大なものになるが、著者らは接地半径105mm（標準輪荷重）、ポアソン比0.35、載荷時間0.02秒に統一し、(3)で分割したアスファルト層に対しBISARを用いて弾性計算を行ない、各種の数表を作成している。

(13)、(2)式に対応する平均応力と接地圧の比は、次式で定義される。

$$Z_i = \frac{\delta i / h_{1-i}}{\sigma_0 / E_{1-i}} \left(= \frac{\delta i / h_{1-i} E_{1-i}}{\sigma_0} = \frac{\sigma_{av-i}}{\sigma_0} \right) \dots\dots(26)$$

ここに、

Z_i : 分割した i 番目の層の平均応力と接地圧の比

h_{1-i} : i 番目の層の厚さ, mm

E_{1-i} : i 番目の層の弾性係数, N/m^2

δi : i 番目の層の変形量, mm

k 個の異なった粘度に対しては、次式が用いられる。

$$Z_{av} = \left(\frac{\sum_{i=1}^k Z_i \cdot s \cdot \frac{1}{\eta_i}}{\sum_{i=1}^k \frac{1}{\eta_i}} \right) \dots\dots(27)$$

ここに、

Z_{av} : 平均の Z 係数

Z_i : ある時刻の Z 係数

η_i : Z_i に対応する時刻の粘度, Ns/m^2

s : $\log S_{mix} - \log S_{bit}$ の勾配 ($S_{bit} < 10^5 N/m^2$)

数多くの例について計算した結果から、著者らは、一日のうち最も暑い時刻の Z 係数を代表値にとれば近似度はかなり良いと述べている。これは、我々がもっているイメージと一致するのではなからうか。すなわち、最も暑い時刻の粘度がわだち掘れの進展に寄与することを意味するからである。

図-16は、 Z_1 （分割第1層の Z 係数）が路床の弾性係数とアスファルト層の厚さによって変化する様子を示したものである。一般に路床の弾性係数が高い程 Z_1 は大きい。これは路床がかたい程、わだち掘れ（ただしアスファルト混合物の流動によるもの）がおきやすいと解釈してよからう。図-17は Z_3 と分割第3層の厚さおよび路床弾性係数との関係である。路床弾性係数による差はなく、アスファルト層が厚ければ厚いほど、 Z_3 は小さくなる。(20)式から見ると、わだち深さはアスファルト層厚に比例するような形になっているが、図-17のような関係もあり、アスファルト層

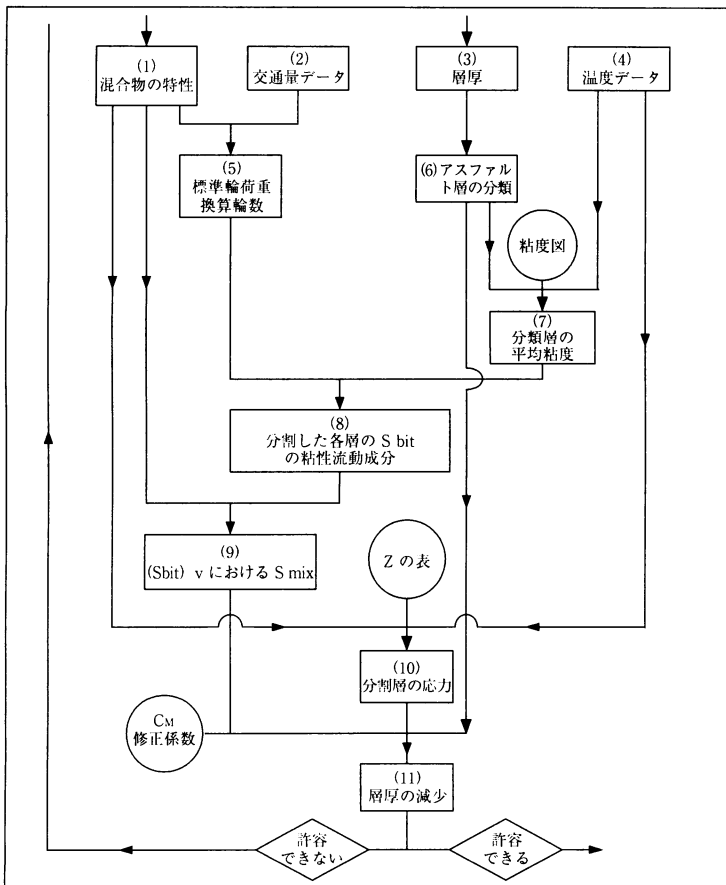


図-18 わだち深さを求めるフローチャート¹⁾

が厚いからといってかならずしもわだち掘れが起きやすいとは言えないと著者らも述べている。

(5) 計算手順の概要

以上に述べた計算法で(20)式からわだち深さが予測できる。その手順は、図-18のフローチャートで明らかと思う。以下、前回設計した6断面(前回の表-6)¹⁰⁾につき、著者らが具体的な数字を用いて示した計算を要点だけ訳出して参考に供したい。

まず、式(22)を用いて、年間の標準輪数を求める。

$$\text{Weq, 1 year} = 1.4 \times 365 \times 2000 \times A = 10^6 \times A$$

設計期間を15年、交通量の伸び率2%/yearとすれば、これを17.64倍する必要がある。表-1にS, A, Weq, 1 year, Weq, 15yearsの値を示した。次にアスファルト層を表-2のように分割する。図-15 (Houston)を用いて年平均粘度 $\eta_{\text{eff, 1 year}}$ を求める。(25)式を用いて(Sbit) vを計算する。分割した層のZ_iの値は、別表¹¹⁾(この論文には示されていない)から求め、弾性係数は、前回¹⁰⁾の図-5, 6より求める。この場合温度はMMAT=28°C(最も暑い期間)とする。これから得たZの値を用いて各層の Δh_i を(20)式で計算するがDACとDBMはC_M=1.2, LSAではC_M=2.0を使用する。以上の計算結果を表-2に示す。この計算結果では、舗装構造からもわだち掘れからも硬いアスファルトの方が有利に

表-1 15年間の標準輪荷重換算輪数¹⁾

混合物	s	A	Weq, 1year	Weq, 15years
DAC	0.10	17.6	1.8×10 ⁷	3.2×10 ⁸
DBM	0.20	2.0	2.0×10 ⁶	3.5×10 ⁷
LSA	0.17	2.9	2.9×10 ⁶	5.1×10 ⁷

なっている。

5. あとがき

3回にわたってシェルの設計法を考察してきた。深く検討すればする程、その研究内容の豊富なことに驚く。ただ今回のわだち掘れに限ってみても、これをそのままが国にとり入れるにはかなりの無理があると思う。

しかし、定量的にわだち深さが何mmということではなく、バインダーの比較設計等に利用すれば有力な手段となろうか。最も参考にするべき点は、パラメーターのとらえ方を中心とした研究手法と思われる。

なお、本稿中著者らが引用した文献で筆者の手元になく、目を通せなかったものは文献番号に*印をつけて示した。

最後になったが、Manualを提供していただいたシェル石油に感謝の意を表したい。

表-2 層厚減少値の計算¹⁾

断面の種類	層厚 mm	混合物の種類	$\eta_{\text{eff, 1year}}$ Ns/m ²	Sbit, visc N/m ²	S _{mix} N/m ²	Z _i	Δh_i mm	Δh_{tot} mm
1	h _{1.1} = 40	DAC (80/100)	1.4×10 ⁴	6.6×10 ⁻³	1.6×10 ⁶	0.65	12	99
	h _{1.2} = 40	DBM (80/100)	2.8×10 ⁴	1.2×10 ⁻¹	8.5×10 ⁵	0.67	23	
	h _{1.3} = 280	DBM (80/100)	7.7×10 ⁴	3.3×10 ⁻¹	1.0×10 ⁶	0.32	64	
	h ₂ = 0							
2	h _{1.1} = 40	DAC (80/100)	1.4×10 ⁴	6.6×10 ⁻³	1.6×10 ⁶	0.60	11	79
	h _{1.2} = 40	DBM (80/100)	2.8×10 ⁴	1.2×10 ⁻¹	8.5×10 ⁵	0.64	22	
	h _{1.3} = 130	DBM (80/100)	5.7×10 ⁴	2.4×10 ⁻¹	9.6×10 ⁵	0.47	46	
	h ₂ = 300							
3	h _{1.1} = 40	DAC (80/100)	1.4×10 ⁴	6.6×10 ⁻³	1.6×10 ⁶	0.63	11	69
	h _{1.2} = 40	DBM (40/60)	8.1×10 ⁴	3.4×10 ⁻¹	1.05×10 ⁶	0.60	16	
	h _{1.3} = 200	DBM (40/60)	2.6×10 ⁵	1.1×10 ⁰	1.3×10 ⁶	0.38	42	
	h ₂ = 0							
4	h _{1.1} = 40	DAC (80/100)	1.4×10 ⁴	6.6×10 ⁻³	1.6×10 ⁶	0.59	11	57
	h _{1.2} = 40	DBM (40/60)	8.1×10 ⁴	3.4×10 ⁻¹	1.05×10 ⁶	0.56	15	
	h _{1.3} = 100	DBM (40/60)	2.2×10 ⁵	9.4×10 ⁻¹	1.25×10 ⁶	0.54	31	
	h ₂ = 300							
5	h _{1.1} = 40	DAC (80/100)	1.4×10 ⁴	6.6×10 ⁻³	1.6×10 ⁶	0.56	10	22
	h _{1.2} = 40	LSA (40/60)	8.1×10 ⁴	2.4×10 ⁻¹	8.2×10 ⁵	0.59	3	
	h _{1.3} = 200	LSA (40/60)	2.6×10 ⁵	7.6×10 ⁻¹	9.8×10 ⁵	0.38	9	
	h ₂ = 0							
6	h _{1.1} = 40	DAC (80/100)	1.4×10 ⁴	6.6×10 ⁻³	1.6×10 ⁶	0.59	11	20
	h _{1.2} = 40	LSA (40/60)	8.1×10 ⁴	2.4×10 ⁻¹	8.2×10 ⁵	0.55	3	
	h _{1.3} = 100	LSA (40/60)	2.2×10 ⁵	6.4×10 ⁻¹	9.6×10 ⁵	0.49	6	
	h ₂ = 300							

参考文献

- 1) A.I.M. Claessen 他 ` Asphalt Pavement Design—The Shell Method “. Proceedings of the Fourth International Conference on the Structural Design of Asphalt Pavements, University of Michigan, Vol 1, pp.39, 1977
- 2) W. Heukelom, ` Observations on the Rheology and Fracture of Bitumens and Asphalt Mixes “ Proceedings of the Association of Asphalt Paving Technologists “ pp.358, 1966
- 3) C. Van der Poel, ` A General System Describing the Visco-elastic Properties of Bitumen and its Relation to Routine Test Data, “ Journal of Applied Chemistry, Vol 4, pp.221, 1954
- 4) P. J. Van de Loo 他 ` The Correlation of Rutting and Creep Tests on Asphalt Mixes. “ Journal of the Institute of Petroleum, Paper IP 74-001, 1974
- 5) J. F. Hills, ` The Creep of Asphalt Mixes. “ Journal of the Institute of Petroleum, Vol 59, No.570, 1973
- 6) P.J. Van de Loo, ` Creep Testing, A Simple Tool to judge Asphalt Mix Stability “. Proceedings of the Association of Asphalt Paving Technologists “. Vol 43, pp.253, 1974
- 7)* P.J. Van de Loo, ` A Practical Approach to the Prediction of Rutting in Asphalt Pavements—The Shell Method “. Transportation Research Board, Washington, 1976
- 8)* A. de Henau, ` Vehicules et Circulation dans le Cadre du Dimensionnement des Chaussées “. La Technique Routière, Vol 12, No.1, pp.1, 1967
- 9) J.M. Edwards 他 ` Structural Design of Asphalt Pavements for Road Vehicles – the Influence of High Temperatures “. Highways and Road construction, 1974 (Reprint)
- 10) 阿部頼政 「アスファルト舗装の構造設計における最近の動向(2)」 アスファルト, Vol. 21 No.115, pp.38, 1978
- 11) ` Shell Pavement Design Manual. “ Shell International Petroleum Company Limited, London, 1978