

風波の発達に関する実測

Jour. of Marine Research/鹿島 達一
浸透流におよぼす多孔物質の特性

Proc. of A.S.C.E., IR/青木 佑久
水路の実働輸送能力

Proc. of A.S.C.E., WW/大隈 正登
Rate Process によるソイルアスファルトの解析

Proc. of A.S.C.E., HW/山口 雅三

風波の発達に関する実測

‘A Field Study of the Wind Generation of Ocean Waves’
Snyder, R.L. & Cox, C.S.
Journal of Marine Research, Vol. 24, No. 2
pp. 141~178, May (1966)

風波の発生理論には2種のマカニズムがある。第1は Kelvin, Helmholtz, Jeffreys から Miles (1957) に至る水面の不安定マカニズムであり、第2は Eckert (1953), Phillips (1957) の気圧変動の不規則な作用による動揺のマカニズムである。Phillips の理論が波のエネルギースペクトルの主な発達を説明し得るかは一般に疑念が持たれている。というのは、水面変動と incoherent な気圧変動は小さすぎると考えられるからである。しかしこれらの理論を評価するための、風波発達のデータは非常にとぼしかった。著者等は、風上の岸から群速度と等しい速度で波高計を移動させることにより、波長 17 m の波の発達に関するデータをj得ている。Hasselmann (1960) が提案したスペクトル発達的一般式は、移動座標系に直せば、 $\frac{\partial}{\partial t} F(t, \mathbf{k}_0) = \alpha(t, \mathbf{k}_0) + \beta(t, \mathbf{k}_0) F(t, \mathbf{k}_0)$ となる。ここで、 \mathbf{k}_0 は座標移動速度 \mathbf{U} と等しい群速度をもつ波の波数ベクトル、 $F(t, \mathbf{k})$ は点 $\mathbf{U}t$ 時刻 t における \mathbf{k}_0 成分のスペクトル密度である。著者等は α, β を $W_1(t) \equiv \frac{\mathbf{k}_0}{k} \cdot \mathbf{W}(\mathbf{U}t, t)$ すなわち、海上一定高さで計った平均風速(移動座標系)の \mathbf{k}_0 方向成分によって表わそうと試みた。

(1) 実 測

鉛直加速度計をとりつけた 1.8×1.2 m の4台のいかだを 8.5 m おきに連らね、135 m 前で船が5ノットで風上端から曳航した。加速度を1台おきに加え、それらの差を船上でローパスフィルタにとおし積分して FM 信号として記録した。また水面上 6.1 m で平均風速を連続的に記録した。データの読取りはカウンターを用いて行なわれたので、計算されたスペクトルはカウント数の2乗(cts²)で表わされる。

実測は 1963 年の春、Bahama の Eluthera 島で行なわれ、全観測時間は 51 時間である。

(2) 解 析

速度 \mathbf{U} で動く座標系における見かけの周波数 $\Omega(\mathbf{k})$ と真の周波数 $\omega(\mathbf{k})$ の関係は $\Omega(\mathbf{k}) \equiv \omega(\mathbf{k}) - \mathbf{k} \cdot \mathbf{U}$ である。 $\Omega_0 \equiv \Omega(\mathbf{k}_0) = g/4U$ となるから、 \mathbf{U} と \mathbf{k} のなす角を θ とすれば、

$$\Omega(\omega, \theta) = \omega - \frac{\omega^2}{4\Omega_0} \cos \theta$$

$|\theta| < \pi/2, 0 < \Omega \cos \theta < \Omega_0$ とすると Ω に対応する ω は2個あり、またパワースペクトル解析では Ω と $-\Omega$ は区別がないので結果として生ずるスペクトル変換は3個の積分の和になる、真のスペクトル $F(\mathbf{k})$ と見かけのスペクトル $E(\Omega)$ の関係を見る。記録された信号 $f(t)$ は空間的、時間的応答関数 $s(\mathbf{x})r(t)$ と水面変動とのたたみこみで表わされると考えられるから、

$$E(\Omega) = \frac{1}{2} R(\Omega) \int_{-\infty}^{\infty} d^2k S(\mathbf{k}) F(\mathbf{k}) [\delta(\Omega - \Omega(\mathbf{k})) + \delta(\Omega + \Omega(\mathbf{k}))]$$

ただし、 $R(\Omega), S(\mathbf{k})$ はそれぞれ $r(t), s(\mathbf{x})$ のフーリエ変換の絶対値の2乗、 $\delta(\Omega)$ はデルタ関数。

ここで変数を変換して、近似をほどこすと、

$$E(\Omega) \simeq \frac{1}{2} R(\Omega) \int_{\theta_0(\Omega)}^{\pi/2} d\theta \frac{\Omega_0}{(\Omega_0^2 - \Omega \Omega_0 \cos \theta)^{1/2}} [K(\omega_1(\Omega, \theta), \theta) + K(\omega_2(\Omega - \theta), \theta)]$$

ただし、 $\theta_0(\Omega) \equiv \cos^{-1}(\Omega_0/\Omega)$ $\Omega > \Omega_0$ のとき、

$$\equiv 0 \quad \Omega \leq \Omega_0 \text{ のとき、}$$

$$\omega_i(\Omega, \theta) \equiv \frac{2}{\cos^2 \theta} [\Omega_0 + (-1)^i (\Omega_0^2 - \Omega \Omega_0 \cos \theta)^{1/2}],$$

$$i = 1, 2$$

$$K(\omega, \theta) \equiv S(\mathbf{k}(\omega, \theta)) [F(\omega, \theta) + F(\omega, -\theta)],$$

$$F(\omega, \theta) \equiv 2\omega^3 F(\mathbf{k}(\omega, \theta))/g^2$$

波形記録の時系列解析により得られる平滑化されたスペクトル $G(\sigma)$ は次式で与えられる。

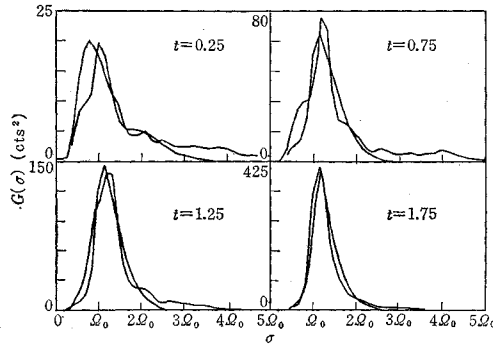
$$G(\sigma) \equiv 2 \int_{\sigma-2\sigma_0}^{\sigma+2\sigma_0} d\Omega T(\sigma - \Omega) E(\Omega)$$

ここで $T(\omega)$ は lag window の cosine 変換で一定の区間 $(-2\sigma_0, 2\sigma_0)$ の外では無視できる。

上式の被積分関数は $\cos \theta = \Omega_0/\Omega$ に沿い、特に $\cos \theta = \Omega_0/\Omega = 1$ において特異性がある。したがって、 $\sigma - 2\sigma_0 < \Omega_0 < \sigma + 2\sigma_0$ にたいして積分は実質的な寄与を $\Omega = \Omega_0, \cos \theta = 1$ の近傍から受ける。したがって、

$K(\omega_1(\Omega_0, 0), 0) + K(\omega_2(\Omega_0, 0), 0) = 2K(\omega_0, 0)$ とすることができ、また $F(\omega_0, 0)$ を $G(\Omega_0)$ のみから評価することができる。実際には $F(\omega_0, 0)$ だけでなく、 $G(\Omega)$ から $F(\omega, \theta)$ の形を推定し、それから $F(\omega_0, 0)$ を求めた。推定された $F(\omega, \theta)$ から計算した G

図一 推定スペクトルと観測スペクトルの比較例
(時間の単位は 10^3 sec)



(σ) と観測された $G(\Omega)$ の比較の一例を 図一に示す。

さてつぎに、統計的特性が時間とともにゆるやかに変化する不規則変量にたいして、定常過程の解析法を一般化して、局所的エネルギー・スペクトルを定義できる。それは、

$$E(t, \Omega) \equiv \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{\infty} d\tau C(t, \tau) e^{-i\Omega\tau}$$

ただし $C(t, \tau) \equiv \langle f(t) f(t+\tau) \rangle \dots$ アンサンブル平均。

これは近似的に $E(t, \Omega) \approx \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{\infty} d\tau C(t, \tau) e^{-i\Omega\tau}$ となる。同様に $G(t, \sigma)$ も定義される。

(3) 結論

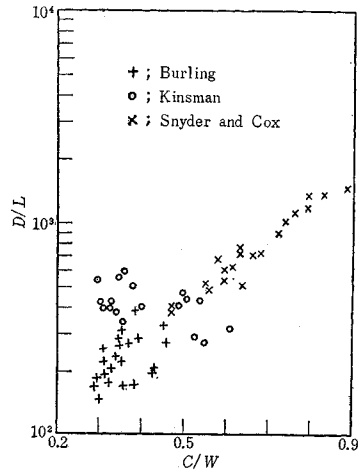
1) データは非線形性を考慮した Hasselmann の式に合う。17 m 波に対し α は 10^{-4} cm^2 のオーダーで W_1 (5~10 m/sec) とともに増加する。 β はほぼ W_1 の 1 次関数で、勾配 $(0.40 \pm 0.06) \times 10^{-3} \text{ m}^{-1}$ で、切片 $(3.9 \pm 0.5) \text{ m/sec}$ をもつ。

2) 17 m 波の発達に関して顕著なメカニズムは不安定メカニズム (βF の項) であるが、Miles の理論による β の値よりほとんど 1 オーダー大きい。また β の近似式は単純な形 $\beta = s(\mathbf{k}_0 \cdot \mathbf{W} - \omega_0)$ (ただし s は空気と水の密度比) に近いが、これが一般的に成り立つかどうかは不明である。

3) α の観測値および Phillips の理論によって逆算される大気の不連続な圧力変動スペクトルと観測された風速の関係は Priestley (1965) の草地における測定と一致する。大気の乱れが同程度であったとすると、このことは 17 m 波の初期の発達が Phillips の理論によって説明できることを示している。

4) スペクトルの低周波数領域の変曲点に相当する成分波の波長 (L)、波速 (C) を基準として、その状態に達するまでの吹送距離 (D) と風速 (W) (ただし、

図二 スペクトルの変曲点とフェッチ、風



roughness length 0.1 cm の対数分布と仮定したときの海面上 1 波長の点での値) の関係を示したのが 図二である。Burling (1955), Kinsman (1960) の実測値をふくんでいるが普遍的な関係を暗示している。

5) 群速度 $\mathbf{V}(\mathbf{k})$ で移動する観測者から見たとして、気圧変動との \mathbf{k} 成分の干渉によって生ずる水面を横切るエネルギーおよび運動量の平均輸送量をそれぞれ $\Phi(t, \mathbf{k})$, $\psi(t, \mathbf{k})$ とすると $\psi(t, \mathbf{k}) = \frac{\mathbf{k}}{\omega(\mathbf{k})} \Phi(t, \mathbf{k})$ となるから、初期には $\psi(t, \mathbf{k}) = \frac{\rho g \mathbf{k}}{\omega(\mathbf{k})} \frac{\partial F}{\partial t} = \frac{\rho g \mathbf{k}}{\omega(h)} [\alpha + \beta F(t, \mathbf{k})]$

逸散が大きくなるもとの後の段階でもこの式が成り立つと考えてもよいであろう。 α を βF と比較すれば省略でき β の近似式を用いるものとする。極限的な値を算定することにして、 F を Pierson & Moskowitz (1964) のスペクトルを変形して、

$$F(\omega, \theta) = \begin{cases} \varepsilon g^2 \omega^{-5} \delta(\theta), & \omega(\mathbf{k}) > \mathbf{k} \cdot \mathbf{W} \\ = 0, & \omega(\mathbf{k}) \leq \mathbf{k} \cdot \mathbf{W} \end{cases} \quad \varepsilon = 7.4 \times 10^{-3}$$

とする。

全運動量輸送は

$$\int_{-\infty}^{\infty} d^2k \psi(t, \mathbf{k}) = \varepsilon \rho g \int_{g/W}^{\infty} d\omega \left(1 - \frac{g}{\omega W}\right) \frac{W}{\omega^2} = \frac{1}{2} \varepsilon \rho W W$$

したがって ε は摩擦係数に相当することがわかる。この算定結果は垂直応力による運動量輸送としては過大評価になるが、Van Dorn (1953) の導いた接線応力による場合の係数 0.001 を比較すれば、完全に発達した風波においては水平運動量の輸送は大部分垂直応力によると考えられる。

(委員 鹿島 遼一)

浸透流におよぼす有孔物質の特性

“Properties of Porous Media Affecting Fluid Flow”
 Brooks, R.H. and Corey, A.T.
 Proc. of A.S.C.E., IR, Vol. 92, No. 2, pp. 61~88,
 June (1966).

かんがいや流出の問題を担当する技術者が、それらを系統的に設計するときには、植物の成長に適切な保湿度、保気量、塩分の平衡について考慮する必要がある。ここで設計に当たってもっとも大事なものは、土壌中の水収支についてであろう。いずれにせよ、これらの流れの現象は、一部分飽和している有孔物質中を流れる水の流動である。水が中に入れば空気と代り、水が出れば空気が入る。だから流動という現象には、2つの混り合わない流体つまり空気と水とがふくまれている。この問題はしばしば、流動について2つの部分に分けて考える。1) 水面より上方、および 2) 水面下の部分である。水面というのは、水圧が0 (ゲージ圧で) の点の軌跡と考える。この2つの部分における流動の特質はそれぞれつぎのとおりである。1) 水面より上方では、飽和度、空気と水との圧力差、空気や水の浸透性などの間に関数関係があり、2) 水面下では、飽和度や透水性は一定値である。

(1) 毛管圧力および飽和度の関数としての透水性

多くのデータを解析して、その有効飽和度 S_e と毛管圧力 P_c を、両対数軸にとってプロットした。

観察によって

$$\log_e S_e = -\lambda \log_e P_c + \lambda \log_e P_b \quad (P_c \geq P_b \text{ について}) \dots\dots\dots (1)$$

となる。ただし P_b は気泡圧力、 λ は空げきの大きさの分布に関する指数である。この等式は一般に、解析したどの物にも当てはまることわかった。式(1)は勾配および截片がそれぞれ、 $-\lambda, \lambda \log_e P_b$ の直線である。式(1)から、

$$S_e = \left(\frac{P_b}{P_c}\right)^\lambda \quad (P_c \geq P_b \text{ について}) \dots\dots\dots (2)$$

式(2)を Burdine の式に代入して 相対透水係数 $K_r = K_e/K$ (K_e : 有効透水係数, K : 透水係数) は、

$$K_r = (S_e)^2 \frac{\int_0^{S_e} (S_e')^{2/\lambda} dS_e'}{\int_0^1 (S_e')^{2/\lambda} dS_e'} \dots\dots\dots (3)$$

式(3)を積分して、

$$K_r = (S_e)^{2(2+\lambda)/\lambda} = (S_e)^\epsilon \dots\dots\dots (4)$$

となる。ただし、 $\epsilon = (2+3\lambda)/\lambda$ である。

もし式(2)を式(4)に代入すれば、相対透水係数は毛管圧力に対して、

$$K_r = \left(\frac{P_b}{P_c}\right)^{2+3\lambda} = \left(\frac{P_b}{P_c}\right)^\eta \quad (P_c \geq P_b \text{ について}) \dots\dots\dots (5)$$

となる。ただし、 $\eta = 2+3\lambda$ である。

式(2)が一般の有孔物質にも当てはまると仮定すれば、 $\log P_c$ の関数としての $\log S_e$ の曲線の勾配と、 $\log P_c$ の関数としての $\log K_r$ の曲線の勾配との相互間にある関係が成立つ。理論的には λ はつねに正の値で、空げきの大きさの分布幅が小さいほど大きく、幅が大きいほど小さい。指数 η は2から ∞ まで変化するが、 $\eta=2$ となることはあり得ない。

S_e を P_c に対して実験的に定めることができれば、毛管圧力および飽和度の関数として相対透水係数について、空げきの大きさの分布に関する指数 λ を定めることができる。媒介変数 P_b は式(1)から求められ、 $S_e=1.0$ のときの直線 ($\log P_c$ の関数としての $\log S_e$ の) の截片である。もし飽和時の透水係数つまり透水係数の最大値が定まれば、有効透水係数も毛管圧力の関数として求められる。

式(4)および式(5)では、指数 ϵ および η で表わしているが、これらは毛管圧力~飽和度曲線がなくても、実験的に定めることができる。

(2) 空げきの大きさの分布に関する指数 λ

指数 λ は、データをプロットした点にもっとも合うように引いた直線から目測することができる。最小自乗法で計算してもよいが、データのばらつきはほとんどないから、線を引くこともむずかしくない。図-1のデータでは、 λ の範囲は 1.8~7.3 である。

図-1 空げきの異なる有孔物質についての毛管圧力と有効飽和度との関係

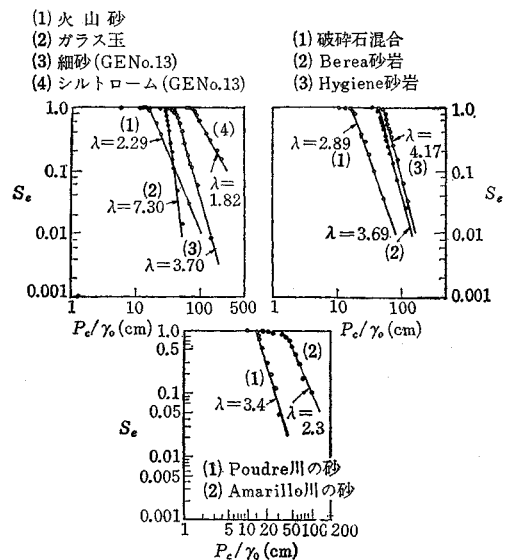


図-2 Pullman の粘土性ロームの毛管圧力の関数としての有効飽和度と相対透水係数との関係

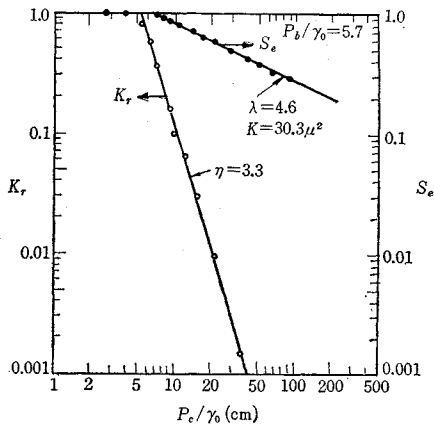


図-2 のデータでは、均一性の強い Pullman の粘土質ロームで、 $\lambda=0.4$ 、すなわち $\eta=3.3$ である。この値は η の理論的下限值 2 に近い。

近頃の石油工学の文献に載っている理論によれば、等方性分質中を流れる二次元流の圧力、飽和度、透水性の関係について実験的に求めている。

この式は、この毛管圧力と飽和度との関係を満足するものなら、空げきの大きさがいかなる分布をしたいかなる土壌物質にも適用できる。

実験では、毛管圧力と飽和度の関係を示したが、これらのデータから、その土壌物質についての適当な量についてその値を求め、物理的な意義を推し計ることができる。結果的には、もし水理量として、空げきの大きさの分布に関する指数 λ 、気泡圧力 P_b 、透水係数 K などを求めれば、他の関係つまり、毛管圧力、空気や水の浸透性、飽和度などの相互の関係を実験的に得ることができる。これらの関係は、流出の問題を解くのに非常に役立つものである。

(委員 青木 佑久)

水路の実働輸送能力

“Practical Tonnage Capacity of Canalized Waterways”
Bottoms, E.E.
Proc. of A.S.C.E., WW, Vol. 92, No. 1, pp. 33~46,
February (1966):

この論文は、水路の輸送能力の数量的扱いのための一つの方法を提案したもので、その主目的はバージ、曳船輸送における水路の年間実働輸送能力を決めるにある。

曳船が水路のある区間を通航するに要する時間は水路の利用性に多大の影響を与える。すなわち、通航時間は各水路特有の重要性を持ついろいろな要因により影響を受ける。理想的な運航状態は長い区間にわたって常に保

持できるものではなく、また曳船は必ずしも閘門の寸法に一致せず、また運航速度にも大きな差がある。バージを常に満載にすることもできないし、橋梁、水路の余裕も最上ということは減多にないし、また、慣れた水路のみを運航することもない。こうして、水路における輸送は阻外を受け、遅滞状態が起こる。需要の増大が水路の混雑を増すことになる。すなわち、閘室、バージ相互の最小開程時間が水路系を往來する曳船数に限界を与える。普通、高いリフトを有する閘門は最長の開程時間を持ち、水路の輸送能力を大きく制限する。

さらに、これらのすべてのフィジカルな要因に対して、水路輸送能力の数量化を行なう場合、水路の運営が大きな問題となる。

閘門能力を 100% 利用するために、バージ輸送流を規制するのは実際的ではない。それは余りにも非現実的である。そのような厳しい規制は街路、ハイウェイに対する以上に水路に対して応用できるものではない。

すなわち、能力の 100% 利用はあくまで理的状态におけるものであって、実際には非常に低い利用度により運営されているものと考えられる。そして、それが現実には経済的であると考えられているわけである。すなわちこの観点に立てば、100% 利用の輸送は水路の実働輸送能力を評価する一つのアプローチとして考えることになる。すなわち、以下に最大輸送能力 (MTC) と実働輸送能力 (PTC) の比較をする。

1) 最大輸送能力 水路に対して十分な規制をした場合、閘門、水路をとおしての輸送流は一定であると考えられる。この状態では曳船の間隔、速度は水路の全体にわたって一定であり、閘門、他の構造物などによりいかなる遅滞も生じないものと考えられる。こうして、1年中全水路の閘門における全開程が遅滞なく進み、また閘室いっぱいには曳船が入り、バージはきつ水いっぱいに積荷しているような状態における水路の輸送能力を最大輸送能力 (MTC) という。

すなわち、閘室の大きさ (同時に閘室に入れるバージ隻数を示す)、1バージの積載トン数、開程時間が与えられれば年間最大輸送能力 (MTC) を求めることができる。例えば1バージの積載トン数を 1200 t、閘室大きさをバージ 5 隻、最小開程時間を 60 分とすれば、

$$MTC = \frac{1200 \times 5 \times 60 \times 24 \times 365}{60} = 52\,560\,000 \text{ t}$$

となる。

2) 実働輸送能力と最大輸送能力の比較 最大輸送能力 (MTC) に対してもっとも経済的に輸送される水路の実働輸送能力 (PTC) を考え、比較する。表-1 は伊利ノイ水路の輸送能力の調査結果である。

表-2 は伊利ノイ水路の最大輸送能力 (MTC) と実働

表-1 イリノイ水路の輸送能力

No.	Item	Lock				
		Lockport	Brandon Road	Dresden Island	Marseilles	Starved Rock
1	Average lockage time, in minutes	35.1	59.3	43.4	50.5	37.1
2	Lift at low water, in feet	39.5	34.0	21.75	24.25	18.5
3	Maximum lock capacity : based on 100 percent utilization and 2 900 tons average lockage (thousands of tons annually)*	28 703	25 703	35 119	30 180	41 082
4	Practical tonnage capacity : based on number of lockages for peak month (thousands of tons annually)	24 000	20 900	28 900	25 000	30 000

表-2

Item	Lock				
	Lockport	Brandon Road	Dresden Island	Marseilles	Starved Rock
Maximum tonnage capacity, MTC (100 percent utilization and 9 600 tons per lockage) thousand tons annually	95 024	85 085	116 262	99 160	130 000
Percent PTC, item 4, Table 3, is of MTC above	25.3	24.5	24.9	25.2	31.6

表-3 代表的水路における PTC/MTC の比較

Waterway studied	MTC 1 000 t	PTC 1 000 t	Utilization factor* (PTC/MTC), in percentage
Illinois Waterway			
Lockport Lock	95 024	24 000	25.3
Brandon Road Lock	85 085	20 900	24.5
Dresden Island Lock	116 262	28 900	24.9
Marseilles Lock	99 160	25 000	25.2
Starved Rock Lock	130 000	30 000	31.6
Black Warrior-Tombigbee Waterway, John Hollis Bankhead Lock	35 000	8 200	23.4
Ohio River, Cannelton Reach	468 000	122 000	26.1
Tennessee River Waterway, Pickwick Lock	84 096	21 000	24.9
Upper Mississippi River Waterway, Alton Locks	147 583	41 000	27.7
Rhine River, Birsfelden Lock, Basel	26 000	3 200	12.3

輸送能力 (PTC) を比較したもので、開程時間は、それぞれ実測 (表-1 参照) の値を用いて計算した。例えば Brandon Road において、開程時間は 表-1 より 59.3 分、1 開程輸送量 9 600 t であるから、

$$MTC = \frac{60 \times 24 \times 365}{59.3} = 9\,600 = 85\,084\,800 \text{ t}$$

$$PTC = 20\,900\,000 \text{ t}$$

$$PTC/MTC = 20\,900\,000 / 85\,084\,800 = 24.5\%$$

表-3 に各水路の最大輸送能力 (MTC) と 実働輸送能力 (PTC) の比較を示す。

3) まとめ 上述の結果から分かるとおり、現在の水路において PTC/MTC は約 25% である。水路の最大輸送能力 (MTC) がすべて計量化された場合、その 25% は実働輸送能力 (PTC) として表われ、残り 75% は有形、無形の要因として残る。有形なものとしては、

- a) 船型の寸法の変化
- b) 船舶の到着の不統一

- c) 水路状態による満載きつ水の変化
- d) 流通貨物量の月別変動
- e) 流通貨物量の日別変動
- f) 1 バージの 2 回以上の入開

が考えられる。この点から、実働輸送能力 (PTC) はさらに改善できる。すなわち、両方向に同程度の貨物量がある平衡した状態とすることによりできよう。

混雑は水路における実働輸送能力 (PTC) を決める主要因であり、新しい水路計画において考えるべき主要な問題である。開門の位置は地理学的に決められるが、輸送問題を考えた輸送状態に対して考慮がはられるべきであろう。

開門の形状寸法は、輸送が遅滞なく、また低コストでできるよう、輸送の観点からの配慮を必要とする。

4) 結論 この論文は、水路がその最大輸送能力 (MTC) の 25% を輸送する段階に達した場合、それは実働輸送能力 (PTC) に達した状態であり、水路の

混雑を避けるためにさらに改善，改修のための方策がなされるべきことを示している。

この資料は経験から出てきた利用と成長の経済的モデルを示しており，この経験は新しい水路，既存水路の改修などの研究に応用されるべきであろう。

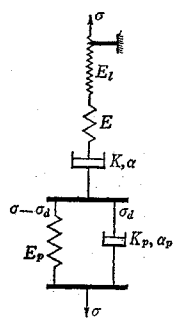
この方法は，従来何らの解決を与えられていなかった問題に対して新しいひとつのアプローチを与えるものと考えられる。
(委員 大隈 正登)

Rate Process によるソイルアスファルトの解析

“Characteristics of Soil-Asphalt as a Rate Process”
Abdel-Hady, M. and Herrin, M.
Proc. of A.S.C.E., HW, Vol. 92, No. 1, pp. 49~69,
March (1966)

ソイルアスファルトは主に道路に用いられており，これらの応力を解析するには一般的にこれまで弾性的に扱われてきた。しかし実際にはアスファルトの混合物は弾性体ではなく輸荷重にさらされると復元しない塑性変形が生じる。とくにバスストップ駐車場急勾配の坂道などである。最近において，粘弾性性質を考慮して舗装部材のストレスストレインの解析を行なうことが盛んになったが，実測値をもとにしたものであり，ここに述べる報告はさらにすすんでクリープテストの実測値を基にして力学的モデルを仮定し理論的に解析したものである。この問題はクリープ過程における非線型部分の関係をいかに考えるかということであり Rate Process の基本である。Eyring, H. は Maxwell-Boltzman のエネルギー分配法から一般式 $K_r = \frac{kT}{h} e^{-\Delta F/RT}$ (K_r = 過程の速度，

図-1 解析に用いたモデル



k = ボルツマン定数， T = 絶対温度， h = プランク定数， ΔF = 自由エネルギー， R = 気体定数) を導きさらに $\dot{\epsilon} = 2 \frac{V_h}{V_a} \left(\frac{kT}{h} e^{-\Delta F/RT} \right) \sin h \frac{V_h}{2kT} \sigma$ を考慮してソイルアスファルトの解析を行なった。仮定した力学的モデルは Maxwell, Kelvinモデルの合成による 図-1 に示すものである。このモデルにクリープテストの試験値からそれぞれの特性を考慮して定数を求め，理論値との比較検討を行な

図-2 (a) 第3段階のクリープひずみの理論値および実験値

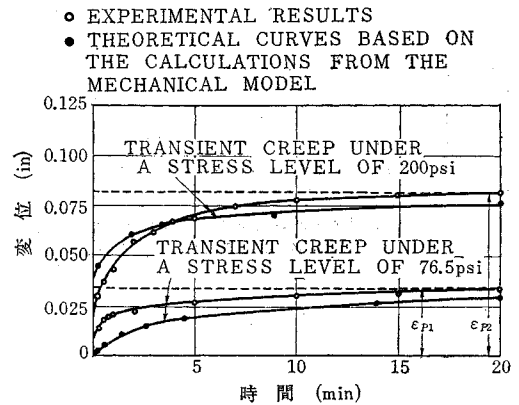
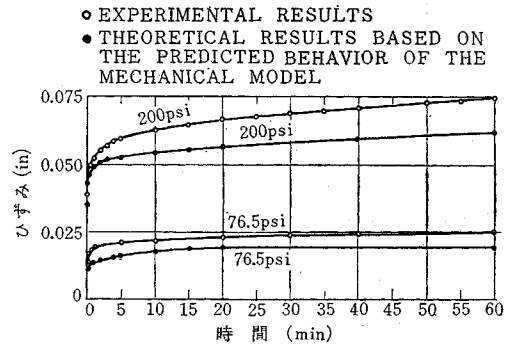


図-2 (b)



た。実験に使用したアスファルトの配合は ASTM の MC-2 を用い，アスファルト量は 4% とし 250°F に加熱混合した後撤布展圧し直径 2 in, 高さ 4 in のサンプルを取り 3 日間養生後試験した。実験値と理論値はそれぞれ変位ひずみについて 図-2 (a)，図-2 (b) に示したものである。締め固めたソイルアスファルトの特性はデータとレートプロセスの理論に基づいたモデルから決定でき実験値とよく一致する。これは線型モデルの結果よりもよい結果であり，ソイルアスファルトのみにとどまらず非線型物質のすべての場合に適用できる。この場合理論値，実験値がよく一致するのはストレス水準での変形の過程のつぎの要因によるといことがわかった。すなわち 1) 第二段階のクリープ速度，2) 第三段階クリープのマグニチュード，3) 復元応力である。しかし図からもわかるように少しのくいちがいはある。

(委員 山口 雅三)