

文献調査委員会

待合せ理論と土工計画

*Proc. of A.S.C.E., CO/岡田 耕*

設計のための基礎としての舗装の挙動

*Proc. of A.S.C.E., HW/島田壮八郎*

原子力発電用PCコンクリート圧力容器の極限解析

*Nuclear Engineering and Design/河角 誠*

最適なユニット・ハイドログラフの計算法

*Water Resources Research/虫明 功臣*

モーカム湾における海底付近の流動調査

*Dock & Harbour Authority/小森 修蔵*

待合せ理論と土工計画

“Optimizing Haul Fleet Size Using Queuing Theory”

*Griffis, F.H.*

*Proc. of A.S.C.E., CO Vol. 94, No. 1.*

pp. 75~88, January (1968)

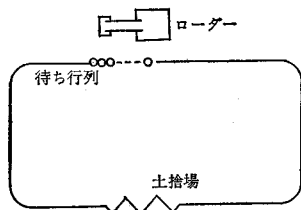
はじめに

ほとんどの建設には多かれ少なかれ、掘削もしくは盛土による土の運搬をとめない、建設費の規模がこれに左右される場合も少なくない。しかしながら現在、積込みと運搬の最適な組合せ問題に関する解析は数少なく、過去10年間に R.L. Peurifoy, L.R. Shaffer がおもに研究を進めてきた。本論文は R. Shaffer の理論を拡張したもので、待合せ理論により、あるローダーに対する最適運搬車数を決定するものである。原理的には母集団が有限の場合の単一サービス設備による待ち行列問題に属する。

モデルの誘導

土量運搬の一般的な場合を抽象化すると図-1のようになる。まず土を積み込み、所定の場所に運んで降ろしたのち、再び土取り場にもどる。この循環を単位体積あたり最少のコストでくり返す問題に単純化し、積込機の規模、種類、運搬車の容量、仕様などから最少コストを

図-1 積込みと運搬のモデル



生み出す運搬車台数を決定する。

いま、既往の資料、調査等から待ち行列への到着、サービスに関するファクターとして

$T_a$ : 運搬車1台あたりの到着間隔(時間)

$\lambda = 1/T_a$  1時間あたりの平均到着率

$T_s$ : サービス時間(積込み時間)

$\mu = 1/T_s$  1時間あたりのサービス率

が決定されるものとする。また積込機が最大出力を出すものとすれば、運搬土量は  $m^3$  単位で

$$Q = t \cdot c \cdot \mu \quad (m^3/h)$$

$c$ : トラックの容量 ( $m^3$ )

$t$ : 積込機の稼働時間比

ところで、普通は積込機のところでトラックが1台も待っていない場合が生ずるから、上の式は

$$Q = (1 - P_0) \cdot t \cdot c \cdot \mu$$

と修正される。ここに  $P_0$  は1台のトラックも待っていない確率で、行列に少なくとも1台のトラックが待っている確率  $P(n \geq 1)$  との間には次の関係がある。

$$P(n \geq 1) = 1 - P(n=0) = 1 - P_0$$

$n$ : 待ち行列中のトラック数

一方、最適トラック台数を単位体積あたりの運搬土量の原因から決定するとき、1時間あたりの原価は

$$Tc(k) = \frac{G \cdot k + c_s}{Q}$$

で表わされる。ここに  $k$  はトラック台数で、 $c_T$ : 1時間あたりのトラックの費用、 $c_s$ : 1時間あたりの積込機の費用。 $Tc(k)$  を求めるのに必要なパラメーターのうち  $P_0$  以外のものは与えられるものとする。 $P_0$  は以下の待ち行列問題の解析から求める。

すなわち、時刻  $t$  において走行中のトラックが  $t + \Delta t$  までに積込機の位置に到着する確率は  $\lambda \cdot \Delta t$ 、逆に同時刻に積込まれつつあるトラックが  $t + \Delta t$  までにサービスを受け終る確率は  $\mu \cdot \Delta t$  で表わされる。ところがこの問題ではトラック台数  $k$  が有限である所から平均到着率  $\lambda$  は待ち行列中のトラック数  $n$  によって変わり

$$\lambda_n = (k - n)\lambda$$

またサービスは単一だから

$$\mu_1 = \mu_2 = \dots = \mu_n, \mu_0 = 0$$

と仮定することができる。

さて、 $t$  において行列にいる車が  $n$  台である確率を  $P_n(t)$  とすれば、 $t + \Delta t$  において同じく  $n$  台待っている確率  $P_n(t + \Delta t)$  は以下の事象の確率を合計したものとなる。

- 1)  $t$  での行列が  $n$  台で、到着もサービスもなかった場合
- 2)  $t$  での行列が  $n+1$  台で、1単位のサービスのみ完了した場合
- 3)  $t$  での行列が  $n-1$  台で、1単位の到着のみあ

た場合

4)  $t$  での行列が  $n$  台で、1 単位の到着と 1 単位のサービスが完了した場合

以上より、

$$P_n(t+\Delta t) = P_n(t)[1-\mu\Delta t][1-(k-n)\lambda\Delta t] \\ + P_{n+1}(t)[\mu\Delta t]\{1-[k-(n+1)]\lambda\Delta t\} \\ + P_{n-1}(t)[1-\mu\Delta t]\{[k-(n-1)]\lambda\Delta t\} \\ + P_n(t)[\mu\Delta t][(k-n)\lambda\Delta t]$$

上式を展開し、差分形を作って微分を求めると

$$P_n'(t) = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{P_n(t+\Delta t) - P_n(t)}{\Delta t} \\ = -P_n(t)[(k-n)\lambda + \mu] + P_{n+1}(t)\mu \\ + P_{n-1}(t)(k-n+1)\lambda$$

ここで定常状態について以下考慮するものとするれば、 $P_n'(t) = 0$  とおくことにより解が求まる。すなわち、

$$P_n = \frac{k!}{(k-n)!} \left(\frac{\lambda}{\mu}\right)^n P_0$$

ここで  $\sum_{n=0}^k P_n = 1$  から  $P_0$  が求まるが、適応が簡単なるように変形すればつぎのような 2 つのポアソン分布の比で表わすことができる。

$$P_0(k, x) = \frac{e^{-x} x^k}{k!} = \frac{p(k, x)}{P(k, x)}$$

$$x = \mu/\lambda$$

### 例題

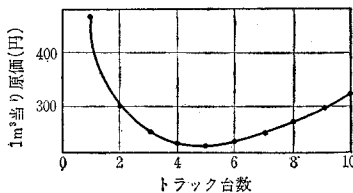
例題として  $C_T = 7000$  円、 $C_S = 16800$  円の  $11.5 \text{ m}^3$  積トラックと  $2.3 \text{ m}^3$  のパワーショベルからなる系での問題を扱う。土取場と土捨場間の距離は  $2.1 \text{ km}$  で別の考察から

$$T_a = 0.19069, \quad \lambda = 5.07866$$

$$T_s = 0.04807, \quad \mu = 20.8029$$

が与えられるとき、 $T_c(k)$  は図-2 のように計算され、これよりトラックの必要台数は 5 台が最適であることがわかる。

図-2 最適トラック台数



(委員 岡田 耕)

### 設計のための基礎としての舗装の挙動

“Pavement Performance as a Basis for Design”

Vaswani, N.K. and Krishna, J.

Proc. of A.S.C.E. HW

Vol. 93 No. 2, pp. 67~94, November, (1967)

### (1) はじめに

コンクリート舗装の設計に関して、Westergaard や Burmister などの理論があるが、これらは、

- 1) Westergaard は、路床はせん断抵抗を持たない。
- 2) Burmister は、路床は弾性体である。
- 3) ともにスラブはあらゆる点で路床に接している。

と仮定しているが、実際にはこれらのことはありえない。これらの仮定と実際との相違がどのような影響を与えるかを調べるために、以下の実験を行なった。

### (2) 試験舗装の断面

試験に用いたスラブの寸法は、長さ  $4.5 \text{ m}$ 、幅  $3 \text{ m}$ 、厚さ  $10 \text{ cm}$  で、試験はこのセメントコンクリートスラブを舗装後 1 年経過してから行なっている。スラブは、路盤の種類および厚さによって、表-1 のように分類される。路床支持力係数 ( $K$  値) は、半径  $37.5 \text{ cm}$  の円盤によって得られたものである。また以下の図で、D-20 などの表示は、舗装の区分が D で、載荷を半径  $20 \text{ cm}$  の円盤によって行なった場合の結果を表わしている。試験は中央載荷、隅角部載荷、縁部載荷の 3 種類について行なわれ、変位・応力と荷重の関係を調べるほか、これらの測定時間による影響、舗装内の温度についても調査している。

表-1

舗装の区分	A	B	C	D	E	F	G
路盤の種類	—	ソイルセメント	ソイルセメント	ソイルセメント	アスファルト安定処理	アスファルト安定処理	アスファルト安定処理
路盤の厚さ (cm)	—	8	16	24	24	16	8
K 値 (kg/cm <sup>2</sup> )	2.7	11.8	17.7	43.8	19.7	12.8	10.8

### (3) 中央載荷の試験結果

図-1 にスラブ、路盤、路床の変位の一例を示す。これからは、層の間の連続性が破れているとは見えないようであるが、各層の圧縮に対する変位の関係が分つてい

図-1 舗装 D における中央載荷による変位

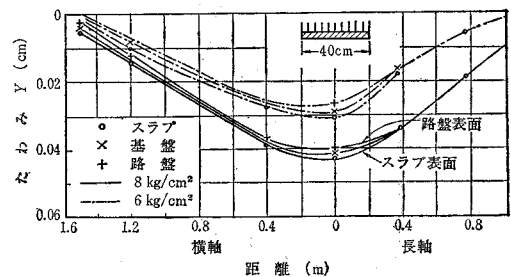
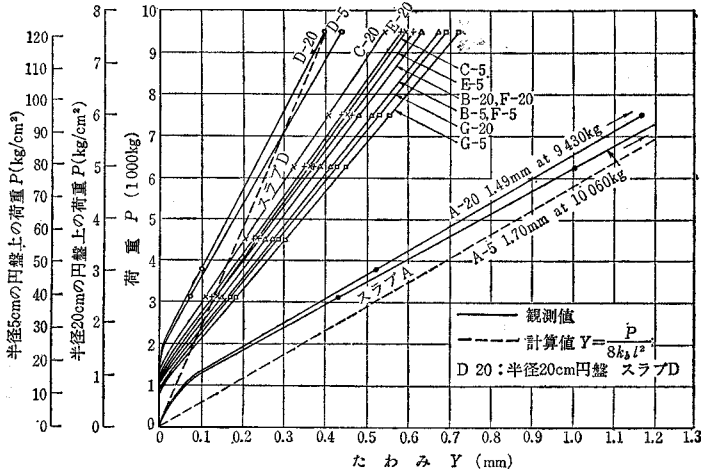


図-2 荷重・荷重強度と最大変位の関係 (中央載荷)



ない以上、連続性については結論を出せない。

荷重と最大変位の関係を示したものが図-2であり、CBR 曲線に似ている。Westergaard によれば、中央載荷による変位と荷重の関係は、

$$Y = (1-z) \cdot \frac{P}{8kl^2} = (1-z) \cdot \frac{p a^2}{8kl^2}$$

ただし Y: 変位, z: 係数, P: 荷重  
k: 路床支持力, l: 剛比半径  
p: 荷重強度, a: 載荷板半径

で表わされ、原点を通る直線となる。図-2 により得られた曲線を、Westergaard の式を修正した形

$$Y = f(k) \cdot \frac{P - f_1(k)}{8kl^2}$$

ただし f(k), f<sub>1</sub>(k) は k によって決まる数に書けば、

図-4 荷重と最大変位の関係 (隅角部載荷)

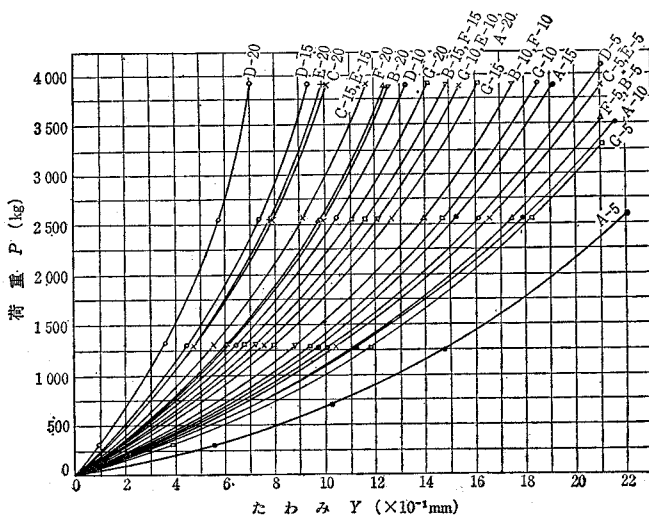
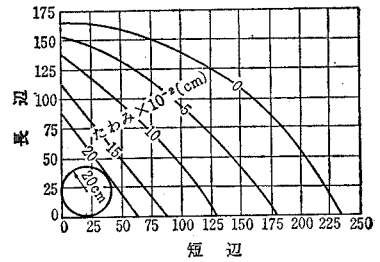


図-3 スラブ隅角部の等変位線



$$Y = (1 + 0.06k) \cdot \frac{P - (30k + 550)}{8kl^2}$$

で表わされる。

#### (4) 隅角部載荷の試験結果

隅角部に荷重をかけた場合は、スラブは片持ばりのような作用をする。等変位線の一例を示せば図-3のようになる。隅角部の変位と荷重の関係は、図-4 のようになり、Westergaard が、k, a および l が与えられたときに、両者が直線関係にあると示しているのに対し、指数関数形

$$Y = \frac{P^{0.67}}{C}$$

ただし C は a および l によって決る値をなす。

路盤や路床が、実際には粘性を持った弾性体、あるいは、半弾性体であると考えれば、変位の増加の割合の方が、荷重の増加の割合に等しいかまたはそれ以上であると予想できることに反しているが、これは変位が大きくなればなるほど、片持ばり部と考えられる部

図-5 スラブの縁に直角な断面の変位

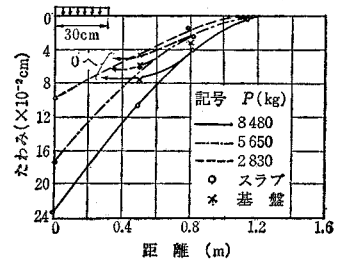
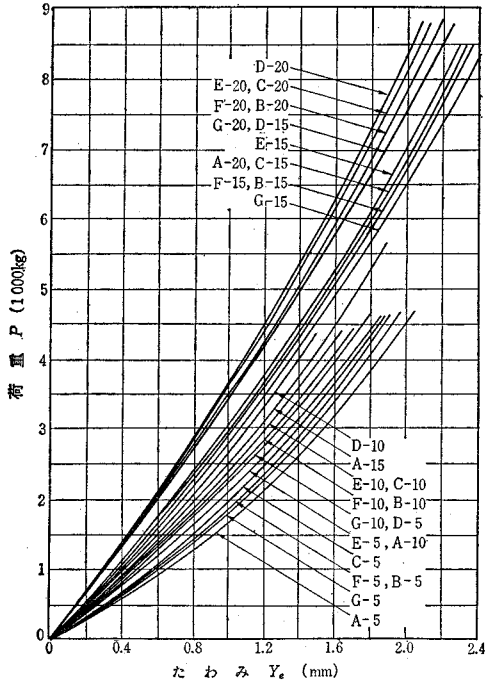


図-6 荷重と最大変位の関係 (縁部載荷)



分が路床に、より広く接触するようになって片持ばり部の面積が減少する結果と考えられる。

(5) 縁部載荷の試験結果

スラブの縁に直角な断面の変位の一例を示すと、図-5 のようである。路床と路盤の変位はほぼ同じで、これらは縁部では0となる。変位と荷重の関係は隅角載荷の場合と同様に、図-6 のように指数関係があり

$$Y = \frac{P^{0.8}}{C}$$

ただし、Cは a, l などによって決まる係数の形を示す。

(委員 島田杜八郎)

原子力発電用 PC コンクリート  
圧力容器の極限解析

“Ultimate Strength Analysis of Prestressed Concrete Pressure Vessels”

Rashid, Y.R.,

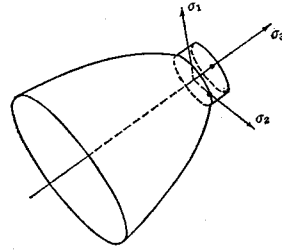
Nuclear Engineering and Design.

Vol. 7, pp. 334~344, (1968)

(1) コンクリートのクラック発生の条件

コンクリートの軸対称応力破壊曲面は図-3 のようであるとす。図で  $\sigma_3$  は円周方向の、 $\sigma_1$  と  $\sigma_2$  は  $rz$  平面にある応力である。

図-3 軸対称応力に対するコンクリートの破壊曲面



(2) クラックのある要素に対する応力-ひずみ関係

図-4 に示すようなクラックのある要素を考える。主応力、主ひずみは、

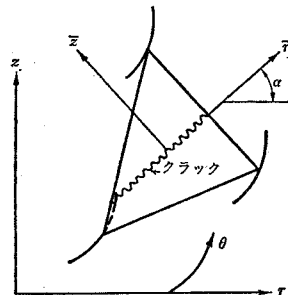
$$\begin{pmatrix} \sigma_1 \\ \sigma_2 \\ \sigma_3 \end{pmatrix} = \begin{bmatrix} \cos^2 \alpha & \sin^2 \alpha & 0 & \sin 2\alpha \\ \sin^2 \alpha & \cos^2 \alpha & 0 & -\sin 2\alpha \\ 0 & 0 & 1 & 0 \end{bmatrix} \begin{pmatrix} \sigma_{rr} \\ \sigma_{zz} \\ \sigma_{\theta\theta} \\ \sigma_{rz} \end{pmatrix} \dots (1a)$$

$$\begin{pmatrix} \epsilon_1 \\ \epsilon_2 \\ \epsilon_3 \end{pmatrix} = \begin{bmatrix} \cos^2 \alpha & \sin^2 \alpha & 0 & \frac{1}{2} \sin 2\alpha \\ \sin^2 \alpha & \cos^2 \alpha & 0 & -\frac{1}{2} \sin 2\alpha \\ 0 & 0 & 1 & 0 \end{bmatrix}$$

$$\begin{pmatrix} \epsilon_{rr} \\ \epsilon_{zz} \\ \epsilon_{\theta\theta} \\ \epsilon_{rz} \end{pmatrix} \dots \dots \dots (1b)$$

これらを形式的に  $\bar{\sigma} = P\sigma$ ,  $\bar{\epsilon} = R\epsilon$  と書けば、二つの座標系での弾性的な応力-ひずみ関係は、 $\sigma = H\epsilon$ ,  $\bar{\sigma} = \bar{H}\bar{\epsilon}$  となる。ただし  $H = R^T \bar{H} R$ ,  $H$  と  $\bar{H}$  は直交異方性の場合も含めておく。この場合、直交異方性の主軸は  $\bar{r}$ ,  $\bar{z}$ ,  $\bar{\theta}$  である。クラックが生じると異方性となる。クラックに直交する方向では剛性係数は0となる。

図-4 クラックの生じた要素



以下、クラックの生じた要素における応力-ひずみ関係を述べる。 $t_0 < t < t_i$ ,  $i=1, 2, 3$  で他は0である関数  $g(t)$  を考える。 $g(t)$  を単位階段関数  $h(t)$  で表わせば、

$$g(t) = h(t) - e(t) \dots \dots \dots (8)$$

ここに、

$$e(t) = h(t-t_i) = \begin{cases} 1 & (t > t_i) \\ 0 & (t < t_i) \end{cases} \dots\dots (9), (10)$$

$g(t)=1$  のとき、要素は連続で、 $g(t)=0$  で要素はクラックがあるとすれば、 $g(t)$  はクラックの履歴を表わす。圧力の単調増加の場合のみを考え、一度開いたクラックは、その後閉じないものとする。主直交異方性係数  $h_{ij}$  は、

$$\bar{h}_{ii} = \frac{(1-\nu)}{(1+\nu)(1-2\nu)} [h(t) - e_i(t)e_i(t)], \quad i=1,2,3 \dots\dots\dots (11)$$

$$\bar{h}_{ij} = \frac{VE_0}{(1+\nu)(1-2\nu)} [h(t) - e_i(t)e_j(t)], \quad i, j=1,2,3, \quad i \neq j.$$

ここに  $e_1(t), e_2(t), e_3(t)$  は独立。  $E_0, \nu$  はヤング係数とポアソン比。式 (11) の行列表示は、

$$[\bar{H}(t)] = [\bar{H}(0)]h(t) - [E(t)][\bar{H}(0)][E(t)] \dots\dots\dots (12)$$

ここに

$$[\bar{H}(0)] = \frac{E_0}{(1+\nu)(1-2\nu)} \begin{bmatrix} 1-\nu & \nu & \nu \\ \nu & 1-\nu & \nu \\ \nu & \nu & 1-\nu \end{bmatrix}$$

$$E(t) = \begin{bmatrix} e_1(t) & 0 & 0 \\ 0 & e_2(t) & 0 \\ 0 & 0 & e_3(t) \end{bmatrix}$$

応力とひずみの増分の関係式は、

$$d\bar{\sigma} = \bar{H}(t) d\bar{\epsilon} \dots\dots\dots (15)$$

物質定数の行列  $H$  が  $0 \leq \tau \leq t$  であるすべての時間に適用できるように、 $H$  を改めて、

$$H(t, \tau) = [R(t)]^T [\bar{H}(\tau)] [R(t)] \dots\dots\dots (17)$$

$$= [H(0)]h(t) - N(t, \tau) = H_0 - N(t, \tau) \dots\dots\dots (18)$$

ここに  $H_0$  は連続体の応力-ひずみ関係で、

$$N(t, \tau) = [R(t)]^T [E(\tau)] [\bar{H}(0)] [E(\tau)] [R(t)] \dots\dots\dots (19)$$

よって、

$$\sigma(t) = [H_0 - N(t, t)] \epsilon(t) + \int_0^t \frac{\partial}{\partial \tau} [N(t, \tau)] \epsilon(\tau) d\tau \dots\dots\dots (21)$$

$$\frac{\partial N(t, \tau)}{\partial \tau} = \sum_{i=1}^3 N(t, t_i) \delta(t-t_i) \dots\dots\dots (22)$$

ただし  $\delta(t-t_i)$  はディラックのデルタ関数、であるから、

$$\sigma(t) = [H_0 - N(t, t)] \epsilon(t) + \sum_{i=1}^3 N(t_i, t_i) \epsilon(t_i) \dots\dots (24)$$

これが、クラックの履歴が式 (8) で表わされる要素の応力-ひずみ関係を表わす式である。

### (3) ライナーの要素

鋼製のライナーは、截頭円錐型膜要素の集合から成る膜シェルと考える。ライナーの材料は弾性-完全塑性体

とする。フォン・ミーゼスの降伏条件を採用し、

$$(\sigma_2 - \sigma_1)^2 + \sigma_1 \sigma_2 = \sigma_0^2 \dots\dots\dots (25)$$

ここに  $\sigma_1, \sigma_2$  はおのおの子午線方向とフープ方向の応力で  $\sigma_0$  は定数。これを  $t$  で微分して、

$$\frac{d\sigma_1}{dt} = -\frac{2\sigma_2 - \sigma_1}{2\sigma_1 - \sigma_2} \cdot \frac{d\sigma_2}{dt} \dots\dots\dots (26)$$

ライナーはコンクリートに拘束されている。そこで、プラントル・ロイスの塑性増分と応力の関係式を用いる。

$$\left\{ \frac{d\epsilon^p}{dt} \right\} = \phi \begin{bmatrix} 1 & -1/2 \\ -1/2 & 1 \end{bmatrix} \{ \sigma \} \dots\dots\dots (30)$$

$\phi$  は比例定数。未知量  $d\epsilon_1/dt, d\epsilon_2/dt, d\sigma_1/dt, d\sigma_2/dt, \phi$  のうち独立なものは3つだけである。コンクリートにクラックの生じない範囲内では、

$$\frac{d\sigma}{dt} = [U][CU+Z]^{-1} \frac{d\epsilon}{dt} \dots\dots\dots (39)$$

$$C = \frac{1}{E} \begin{bmatrix} 1 & -\nu \\ -\nu & 1 \end{bmatrix}, \quad Z = \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ \lambda & 0 \end{bmatrix}, \quad U = \begin{bmatrix} 0 & -\lambda \\ 0 & 1 \end{bmatrix}$$

$$\lambda = \frac{2\sigma_2 - \sigma_1}{2\sigma_1 - \sigma_2} \dots\dots\dots (35)$$

さらに範囲をひろげるために、

$$N(t) = e(t)(H_0 - [U][CU+Z]^{-1}) \dots\dots\dots (41)$$

ここに  $H_0 = C^{-1}$ 、と定義すれば、

$$\sigma(t) = [H_0 - N(t)] \epsilon(t) + \int_0^t \frac{dN(\tau)}{d\tau} \epsilon(\tau) d\tau \dots\dots (45)$$

これは平面応力状態において、弾性-完全塑性・フォンミーゼス材料が式 (8) で定義される塑性流れの履歴を持つときの応力-ひずみ関係を表わしている。

### (4) 一軸要素

鉄筋およびPSケーブルは1軸要素と考える。この応力-ひずみ式は式 (45) の簡単な場合で、

$$\sigma(t) = [H_0 - N(t)] \epsilon(t) + N(t_i) \epsilon(t_i) \dots\dots (46)$$

そして  $H_0$  は  $E_0$  に、 $N(t)$  は  $e(t)E_0$  となる。

### (5) 数値計算の順序

数値計算には有限要素法を用いる。そして時間を細分し、各時間における応力とひずみを求める。その順序はつぎのとおりである。

- 1) 最初の弾性応答による変位
- 2) 変位からひずみの計算
- 3) ひずみから式 (24), (45), (46) を用いて応力を求める。
- 4) 求めた応力-ひずみ状態をクラックの条件、降伏条件でチェックする。もしクラックが降伏が生じているときは、応力-ひずみ関係式に適当な項を加える。
- 5) クラックを生じた、または降伏した要素の新しい剛性行列、荷重行列を計算しなおし、新しい平衡方程式にそり入する。そして新しい変形を求める。
- 6) 2) から 5) を、もはやクラックや降伏が拡がらな

図-9 円周方向のひずみ ( $\mu$ ) と境界の変位

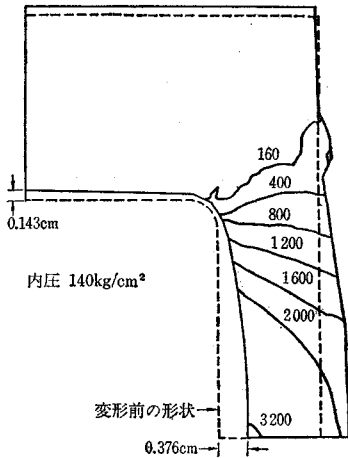


図-13 rz 平面におけるクラックの分布

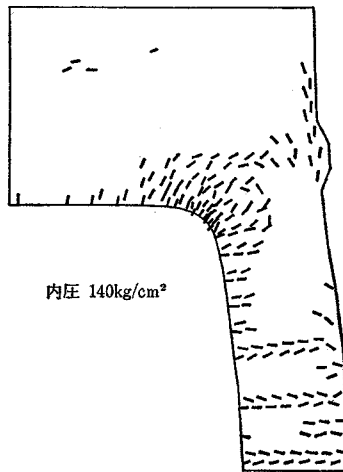
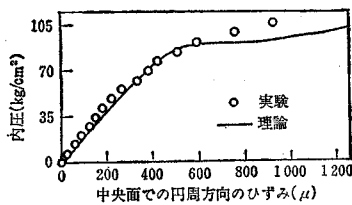


図-16 円周方向のひずみ



くなるまでくり返す。

(6) 解析例

内径 244 cm, 肉厚 65 cm, 高さ 548 cm, 上下の肉厚各 122 cm の円筒型 P C 圧力容器に定常的な温度分布を与え, 内圧を加えた場合の解析を行なった実験では, 内圧を破壊 (圧力の微少な増加に対するかぎりない変形) が生ずるまでは加えなかったが, 内圧 105.5 kg/cm<sup>2</sup> までのデータが得られ, 計算とよく一致した。結果を図-9, 13, 16 に示す (式, 図の番号は原論文のままとした)。

(委員 河角 誠)

最適なユニット・ハイドログラフの計算法

“Computation of Optimum Realizable Unit Hydrographs”

Eagleson, P.S., R. Mejia, R and F. March

Water Resources Research, Vol. 2, No. 4,

pp. 755~764, Fourth quarter (1966)

降雨-流出機構が線形であると仮定し, 入力と出力 (降雨と流出) の離散的な同時記録から水文システム (流域での流出過程) を決定する方法について検討する。

水文システムが線形であると仮定する解析法は, 1) 線形性, 定常性などを除いてシステムの内部機構については何ら物理性を追究しない“暗箱解析”と, 2) システムの機構の特性をパラメーターを用いて表現しようとする方法, の二つに分けて考えられる。シャーマンに始まる 1) の暗箱解析では, 最近最小二乗法の考えに基づいた手法が使われるようになったが, 得られるハイドログラフが不安定な振動を示したり, 現実には起り得ない負の値をもつことがある。

ここでは, この非現実性を解消するように暗箱解析法を改良することについて述べる。

(1) 理論的背景

入力と出力の時間関数がたたみこみ方程式によって関連づけられている物理系を考える。

$$g(t) = \int_{-\infty}^{\infty} h(\tau) f(t-\tau) d\tau \dots \dots \dots (1)$$

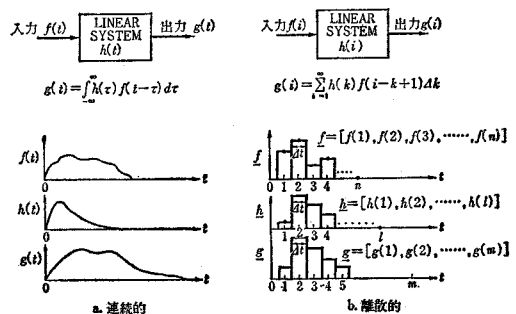
ここで,  $g(t)$ : システムの出力,  $f(t)$ : システムの入力,  $h(\tau)$ : システムのユニット・インパルス応答, である。

このようなシステムは線形システムと呼ばれるが, 流出過程も近似的にこの関係を満しているものとする。

$f(t)$  と  $g(t)$  が数値的に既知, すなわち離散的な時系列として与えられるときには式 (1) と等価な形でつぎのように書ける。

$$g(i) = \sum_{k=1}^{\infty} h(k) f(i-k+1) \Delta k \dots \dots \dots (2)$$

図-1 線形システム



システムが真に線形であれば、分割合成することによって式(2)をつぎのように解くことができる。ただし、 $\Delta k$  は単位にとってある。

$$\begin{aligned} h(1) &= g(1)/f(1) \\ h(2) &= \{g(2) - f(2)h(1)\}/f(1) \\ &= \left[ g(2) - \frac{f(2)}{f(1)}g(1) \right] \frac{1}{f(1)} \dots\dots\dots(3) \\ h(m) &= \left[ g(m) - \sum_{j=2}^m f(j)h(n-j+1) \right] \frac{1}{f(1)} \end{aligned}$$

システムが線形であるという条件を厳密に満していれば、解として得られるユニット・インパルス応答、すなわちユニット・ハイドログラフは与えられた任意の $\lambda$ 出力の組に対して一義的に決定される。しかし、われわれが扱う水文システムはこの条件を満していないから、 $\lambda$ 出力  $f(i)$ ,  $g(i)$  が異なれば得られる  $h(i)$  も変化する。

実際の都市流域の降雨一流出記録(図-2)を用いて、この方法で解析した例を図-3に示す。

図-2 ある都市流域の降雨一流出例

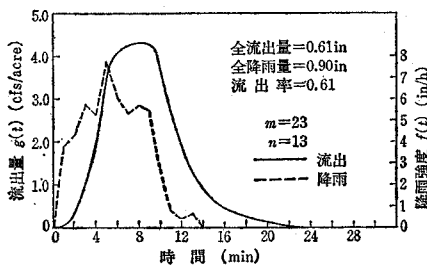
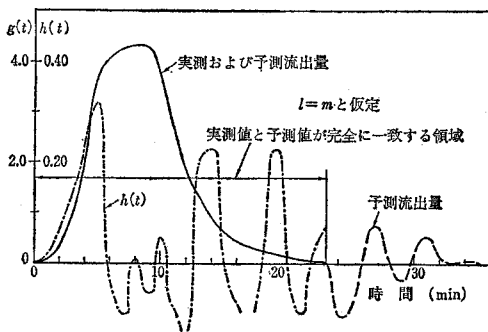


図-3 たたみこみ方程式による解



(2) 最適線形表現

1) ウィナー・ホッフの方程式 入力と出力の実測値を各点で正確に一致させるという条件を緩めると、ウィナーの最適濾波の理論が導入される。

$g(i)$ : 実測出力,  $g^*(i)$ : 予測出力,  $f(i)$ : 実測入力, とし,  $g^*(i)$  がたたみこみの関係を満しているものとする。

$$g^*(i) = \sum_{k=1}^{\infty} h(k)f(i-h+1)\Delta k \dots\dots\dots(4)$$

時間間隔  $\Delta k$  を単位時間にとり, 実測出力と予測出力

の差の二乗和を  $\epsilon$  として,

$$\epsilon = \sum_{i=1}^{\infty} [g(i) - \sum_{k=1}^{\infty} h(k)f(i-k+1)]^2 \dots\dots\dots(5)$$

$\epsilon$  の値を最小にするような  $h(i)$  を求めようとする。すなわち,

$$\partial \epsilon / \partial h(j) = 0, \quad j=1, 2, \dots\dots\dots(6)$$

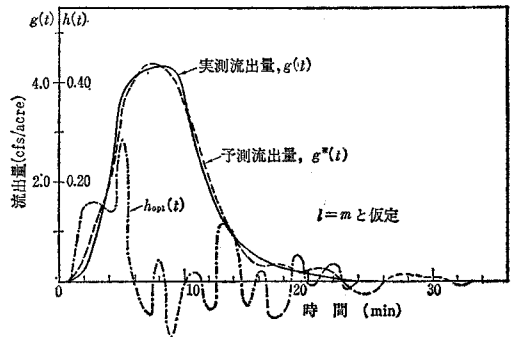
結局, この条件からウィナー・ホッフの方程式の離散関数表示が得られて,

$$\phi_{fg}(i-1) = \sum_{k=1}^{\infty} h_{opt}(k)\phi_{ff}(j-k), \quad j \geq +1 \dots\dots(7)$$

ここで,  $\phi_{ff}$ : 入力自己相関関数,  $\phi_{fg}$ : 入力と出力の相互相関関数,  $h_{opt}$ : 二乗誤差の和が最小という意味で最適なユニット・インパルス応答である。

前掲の図-2の例にウィナー・ホッフの方程式を適用して解析した結果が図-4である。この場合も  $h_{opt}(t)$  は物理的にみて非現実的な正負の振動を生じていることに注意する必要がある。

図-4 ウィナー・ホッフの方程式による解



2) 線形計画法を用いた解法  $h_{opt}$  が正の値だけをとるように, つぎの条件を加えてウィナー・ホッフの方程式を解くことを考える。

$$h_{opt}(k) \geq 0 \dots\dots\dots(8)$$

この付加的要請を生かすためには, ウィナー・ホッフの方程式の数を未知数以下になるように減らさなければならぬ。そのために式(22)を  $m$  個の実測出力で作られる  $m$  個の式に限定し,

$$\phi_{fg}(j-1) = \sum_{k=1}^{m+n-1} h_{opt}(k)\phi_{ff}(j-k), \quad j=1, 2, \dots, m \dots\dots\dots(9)$$

ただし, 実測入力  $n$  単位時間の期間におよぶものとする。式(9)に対する“ベスト”な解を選ぶ規準として,

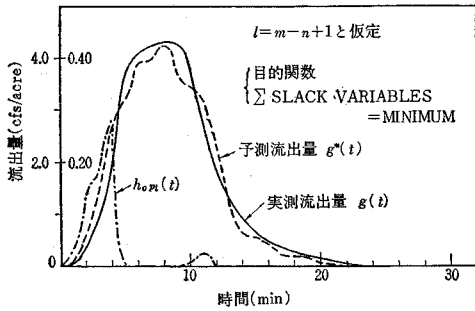
$$\sum_{k=m-n+2}^{m+n-1} h_{opt}(k) \text{ is minimum} \dots\dots\dots(10)$$

式(8), (9) および (10) は普通の線形計画法の問題設定であり, シンプレックス法を用いて解ける。

実際の都市流域にこの方法を適用すると, しばしば実行可能解が求まらないことがある。そのようなときには,

$$\begin{aligned} \phi_{fg}(j-1) &= \sum_{k=1}^{m-n+1} h_{opt}(k)\phi_{ff}(j-k) + h(m-n+1+j) \\ & \quad j=1, 2, \dots, m \dots\dots\dots(11) \end{aligned}$$

図-5 ウィナー・ホッフ方程式の線形計画法による解



をつぎの条件下で解けばよい。

$$\sum_{\sigma=m-n+2}^{2m-n+1} h(\sigma) \text{ is minimum} \dots \dots \dots (28)$$

$$h_{opt}(k) \geq 0, h(\sigma) \geq 0 \dots \dots \dots (29)$$

ここに導入された  $h(\sigma)$  は余裕変数 (slack variable) と呼ばれ、本来のウィナー・ホッフ方程式が満たされない程度を表わす。

図-2 の例にこの方法を適用したのが 図-5 である。求められた最適ユニット・ハイドログラフ  $h_{opt}$  は安定かつ正であり、これを用いて計算した予測流出量も実測値とかなりよく一致している。

(委員 虫明 功臣)

### モーカム湾における海底付近の流動調査

“A Sea-Bed Drifter Investigation in Morecambe Bay”

Phillips, A.W.

Dock & Harbour Authority Vol. 49,

No. 571, pp. 9~13, May (1968)

この調査の目的は、イギリスのモーカム湾における海底近くの海水の動きを調べ、これが浮遊砂の卓越移動方向と一致しているかどうかをみようとするものである。防波堤等の構造物設計にあたっては、こうした知識がきわめて大切である。

モーカム湾は非常に多くの海底土砂を有しているが、これはこの湾の北部にあたる湖沼地帯 (Lake District) や、ペニン山脈北部から氷河によって押し流されてきたものであろうと推定されている。これらの土砂は主として潮汐作用により、海底で指状の水路を形造っている。

この調査に用いられた海中流動測定子は、海底近くの海水の動きを調べるために、今日世界中で用いられているものである。これはプラスチック製の杯状のものであり、ポリビニール製のロッドがついている。さらにロッドには銅製のおもりがついているが、これは海底から浮き上ることなく、海底に沿って動くようにするためである。

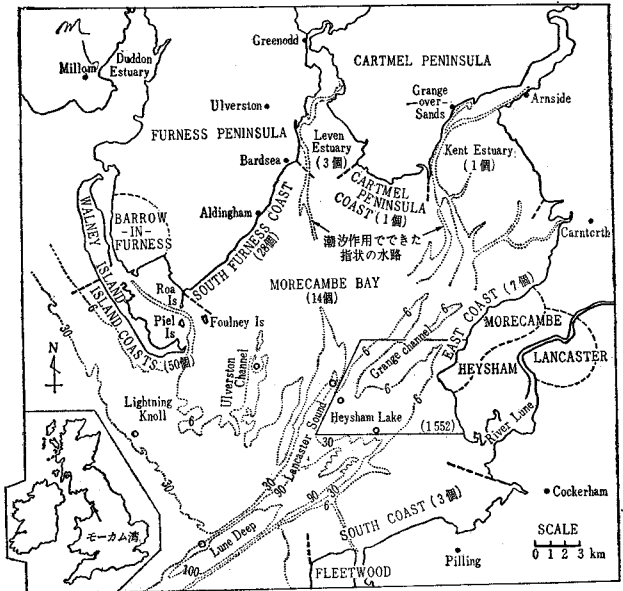
1965年12月7日午後の干潮時をねらって、300個の流れ測定子が投入された。この測定子は、直径7インチ (17.8 cm) のオレンジ色のカップである。これには、0.75インチ (1.9 cm) の孔が4個あいており、長さ21インチ (53.3 cm) の白いポリビニール製ロッドがついている。さらに、ロッドの先端近くに14グラムの銅のおもりがついている。また、カップの下に番号札もついている。これらの流れ測定子は、図に示す6ヵ所の○印箇所て投入した。すなわち (1) Lune Deep, (2) Lightning Knoll, (3) Ulverston Channel, (4) Lancaster Sound, (5) Grange Channel, (6) Heysham Lake である。

解析をしやすくするために、流れ測定子の回収月と、回収場所をおおまかに分類してみた。回収場所は、(1) Walney, Piel, Roa, Foulney の島々, (2) South Furness, (3) the Leven Estuary, (4) the Cartmel Peninsula, (5) the Kent Estuary, (6) the East Morecambe Bay coast, (7) the South Morecambe Bay coast, (8) the Bay itself である。

測定子は投入後2,3日後から回収され始め、1ヵ月目19個、4ヵ月目に最高の26個、5ヵ月目20個と続き、10ヵ月目まで切れ目なしに回収されたが、その後は、13,14,21ヵ月目にそれぞれ1個ずつ回収された。回収総数は108個で、投入個数300個の36%である。

モーカム湾のような浅い海域では、海底近くの海水は、潮汐流、波、風等の影響をうける。この海域では、満潮流は東向きで1.9ノット (0.98 m/s)、干潮流は西向きで2.0ノット (1.03 m/s) である。また潮差は、

図-1





Barrow で大潮時 33 ft (1.01 m), 小潮時 22 ft (0.67 m) である。

モーカム湾は南西に開口しているので、その方向から侵入する波が、やはり最も影響が大きい。ここでは、波長 100 ft (30.5 m) 以下から 200 ft (61.0 m) 以上にわたる波が襲来する。

ところで、この海域の水深は深いところで 100 ft (30.5 m) 程度であるので、波長の 1/2 の水深まで波の影響で海水が動くという理論からいえば、200 ft (61.0 m) 程度の波長の波でも海底に影響を与えるといえる。

風の記録は Barrow の港で得られたものを使った。

風は波を起こすだけでなく、摩擦力で海面を風と同方向に動かす作用を及ぼす。そして、これを補う意味で、海底では風と逆方向に海水が動く。

測定子の回収場所を地域別にみると、モーカム湾の北西にある Island coast で 50 個、South Furness coast で 28 個とその大部分が回収されたことからわかるように、海底付近の卓越流動方向は、北西方向である。そして、流れの卓越方向が潮流、波、風の各要素にどのように影響をうけるかをいろいろ調べた結果、潮流が最も大きな要因であることが結論できた。

(委員 小森 修蔵)

海外ニュース

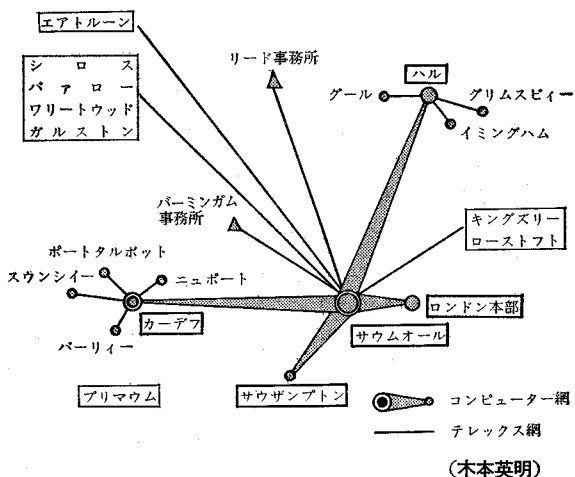
イギリス港湾のコンピューターによるオンライン化

“Ten U.K. ports linked in computer network”  
Dock & Harbour Authority, Vol. XLVIII, pp. 350, March, (1968)

イギリス輸送ドック委員会は、港湾の経営管理における情報提供サービスの迅速化、効率化による港湾経営の近代化の促進を目的としてコンピューターによる各港湾のオンライン化を計ることに決定した。その計画はまず委員会に属する 19 の港湾のうち 10 港を 1969 年の春までにオンライン化し、残りの 10 港はテレックスによる情報網を確立することである。コンピューターセンターは、サウスオール委員会に属する研究所の近くに建設することとする。

このコンピューターによるオンライン化は、従来のパンチシステムによって処理されてきた港湾の複雑な業務を簡素化し、かつ処理時間の大幅な短縮を計ることによって港湾を利用する荷主、船主や工場などに多大の利

益を与えるものである。またこの機能は委員会に属する港に限らず他の港湾管理者の便益にも供されるようになる。最終的には港湾経営の情報と管理の包括的な一組織をつくり上げることを目的としている。図は計画されているコンピューターのオンライン化を示している。



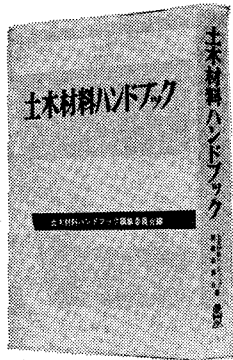
コンクリート ライブラリー 第18号 ■現場コンクリートの品質管理と品質検査

コンクリートの品質管理は、一般製品の管理とは異なり、統計的手法を単純に適用できない面もあり、特に品質検査結果の判定には複雑な要素を考慮することが必要となります。

本書は、コンクリートの品質管理を統計数理の説明から実施例まで詳細に解説した技術者必けいの書ですので広くご利用下さい。

体 裁：B5判8ボ一段組 108 ページ  
定 価：700 円 会員特価 550 円  
著 者：尾坂芳夫（国鉄構造物設計事務所技師）

最新の土木材料のすべてを網羅した実用的解説書！



# 土木材料 ハンドブック

土木材料ハンドブック編集委員会 編

A5判 692頁 2,600円 千90

\*詳細内容見本進呈  
(はがきでお申込み下さい)

最近の技術開発に基づき  
土木材料のあらゆる分野から  
最新のデータを取りあげ  
詳細に解説した  
土木技術者のための必備書！

〔編集委員長〕 青木 楠 男 〔幹事長〕 山田 順 治  
〔委員〕 奥村敏恵 / 小野寺透 / 河野 清 / 近藤 紀 /  
鈴木透明 / 中村 厚 / 樋口芳朗 / 堀川浩甫 /  
松尾新一郎 / 村田二郎 (五十音順)

《主な目次》

- 1章 総論 / 概論 / 規格 / 材料の一般的性質 / 土木材料の将来他
  - 2章 鉄鋼材料 / 鋼材の種類・規格 / 仮設関係 / 構造材 / 道路用材
  - 3章 金属材料 / 鉄合金 / アルミニウム合金 / 規格・性質・用途
  - 4章 セメント / 品質・用途 / 規格 / 試験方法 / 製造
  - 5章 コンクリート製品 / 規格 / 製造 / 道路用 / 管 / ポール / くい他
  - 6章 岩石材料 / 岩石物質と試験 / 石材 / 碎石 / コンクリート骨材他
  - 7章 人工軽量骨材 / 種類 / 製法 / 性質 / 骨材コンクリートの性質
  - 8章 土質安定材料 / 分類 / 天然材料 / 注入材料 / その他の安定材料
  - 9章 混和材料 / 混和材 / 混和剤 / 規格他
  - 10章 沥青材料 / 石油アスファルト / 歴青乳剤 / 舗装タール / その他
  - 11章 高分子材料 / 添加材料 / 合成樹脂の一般的特性 / 各論他
  - 12章 木材 / 木材の性質 / 強さ / 耐久性 / 規格
- 資料編 各材料別メーカーの製品

道路測量 I 調査・計画 鍛冶晃三著 A5判 178頁  
平井 雄 著 650円 千70

道路測量 II 設置・計算 米内 優著 A5判 288頁  
鍛冶晃三 著 950円 千90

現場技術者のための  
砂防・地すべり防止工事ポケットブック 矢野義男他著  
880円 千70

土木構造物の設計計算例 B5判 150頁  
680円 千90

横断歩道橋 三上 澄著 A5判 232頁  
840円 千70 \*各内容見本呈



## 山海堂

山海堂 / 〒162 東京都新宿区細工町15 / 振替東京194982 / 電話269-4151 代表