

不連続弾性支持床のハリ

“The Beam on Discrete Elastic Supports”

By J.P. Ellington

Bulletin of I.R.C.A., Dec. 1957, Vol. 34, No. 12

1. 緒言 等間隔の弾性支点上の様なハリの問題は、船舶、航空機、鉄道の軌道構造等実用の機会が多いことがらである。通常等間隔の支点を連続弾性支承と仮定して解くことが便利で適用範囲も広いが、やはり支点の剛性と間隔とが特定の値の範囲を出ると適用できなくなるものである。本文ではこのようなハリのセン断力、曲げモーメント、タワミを差分法を用いて解く方法を導き、ハリの曲げ剛性、支点の剛性、支点間隔の三者の相対的な大きさに従つて三とおりの異なつた解を求めた。またこのうちの二つの解についての限度を検討し、連続弾性支承上のハリとした場合、および固定支点上の連続バリとした場合の既知の結果と比較して、これらの仮定による解の適用範囲を示した。それから支点の一つが支持力を欠いた場合の数値例も示した。

2. 差分方程式 様なハリの弾性係数を  $E$ 、断面2次モーメントを  $I$  とし、等間隔  $L$  の支点上にあるとする。支点は完全弾性とし、単位長の沈下に対して  $k$  なる力を要する様な剛性とする。

荷重のない1スパンをとり、 $r$  番目の支点のタワミと曲げモーメントをそれぞれ  $y_r, M_r$  とすれば、支点  $r$  と  $r+1$  の間のハリの両端の釣合はそれぞれ

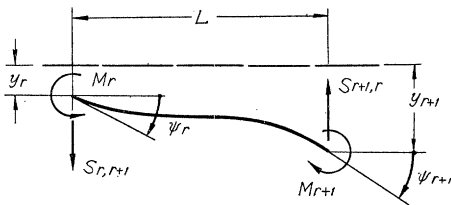
$$\left. \begin{aligned} \psi_r &= \frac{1}{L}(y_{r+1} - y_r) - \frac{L}{6EI}(2M_r + M_{r+1}) \\ \psi_{r+1} &= \frac{1}{L}(y_{r+1} - y_r) + \frac{L}{6EI}(2M_{r+1} + M_r) \end{aligned} \right\} \dots (1)$$

またセン断力はこのスパンの上では一定であるから、

$$S_{r, r+1} = S_{r+1, r} = (1/L)(M_{r+1} - M_r) \dots (2)$$

となる。各要素の正の方向は 図-1 のとおりとす。支

図-1



点におけるハリの連続の条件から (1)式より、

$$\begin{aligned} \psi_{r+1} &= (1/L)(y_{r+2} - y_{r+1}) - (L/6EI)(2M_{r+1} + M_{r+2}) \\ &= (1/L)(y_{r+1} - y_r) - (L/6EI)(2M_{r+1} + M_r) \end{aligned}$$

となり、また力の釣合いから

$$\begin{aligned} S_{r+1, r+2} - S_{r+1, r} + ky_{r+1} \\ = (1/L)(M_{r+2} - 2M_{r+1} + M_r) + ky_{r+1} = 0 \end{aligned}$$

である。上の2式は  $y_r$  と  $M_r$  を未知数とする一次形差分方程式であるから、 $E^x y_r = y_{r+x}$  なるオペレーター  $E$  を用いて書きかえれば、

$$\begin{aligned} (L^2/6EI)(E-1)^2 M_r + (L^2/EI) E M_r \\ - (E-1)^2 y_r = 0 \dots (3) \end{aligned}$$

$$(E-1)^2 M_r + kL E y_r = 0 \dots (4)$$

となり、次のごとく仮定して解くことができる。

$$M_r = A e^{\Phi r}, \quad y_r = A \mu e^{\Phi r} \dots (5)$$

$A$  を任意の定数とし、 $\Phi$  と  $\mu$  は次のとおりにして求める。 $(E-1)^2 e^{\Phi r} = (e^{\Phi} - 1)^2 e^{\Phi r}$

(4) 式に代入して、

$$\mu = -\frac{1}{kL} \frac{(e^{\Phi} - 1)^2}{e^{\Phi}} = \frac{2}{kL} (1 - \cosh \Phi) \dots (6)$$

また (3) 式は

$$\begin{aligned} \frac{L^2}{6EI} (e^{\Phi} - 1)^2 + \frac{L^2}{EI} e^{\Phi} - \mu (e^{\Phi} - 1)^2 = 0 \\ \cosh \Phi - \left(2 - \frac{kL^3}{12EI}\right) \cosh \Phi + \left(1 + \frac{kL^3}{6EI}\right) = 0 \end{aligned}$$

となるから、 $kL^3/24EI = K$  とすれば、

$$\cosh \Phi_{1,2} = (1-K) \pm \sqrt{K^2 - 6K} \dots (7)$$

となり、 $\Phi$  は4つの値を持ち、2つの  $\cosh \Phi$  に対しておのおの  $\mu$  が求められる。 $\cosh \Phi_{1,2}$  の値は  $K < 6$ ,  $K > 6$ ,  $K = 6$  に従い、三つの形があることが明白である。

3. 柔らかい支点  $K < 6$  柔らかくて、たわみやすい支点とみることができ、(7)式より  $a = 1 - K$ ,  $b = \sqrt{6K - K^2}$  とおけば、

$$\cosh \Phi_{1,2} = a \pm ib$$

となるから、 $\Phi$  は  $\pm(\alpha + i\beta)$  および  $\pm(\alpha - i\beta)$  とおける。ここに  $\cosh \alpha \cos \beta = a$ ,  $\sinh \alpha \sin \beta = b$  であるから、 $\alpha, \beta$  を次式により求めることができる。

$$\left. \begin{aligned} 2 \cosh \alpha &= \sqrt{(a+1)^2 + b^2} + \sqrt{(a-1)^2 + b^2} \\ &= \sqrt{4+2K} + \sqrt{6K} \\ 2 \cosh \beta &= \sqrt{(a+1)^2 + b^2} - \sqrt{(a-1)^2 + b^2} \\ &= \sqrt{4+2K} - \sqrt{6K} \end{aligned} \right\} (10)$$

(5) 式にもどつて、支点の曲げモーメントとタワミは

$$\begin{aligned} M_r &= \sum A e^{\Phi r} \\ &= e^{-\alpha r} (A_1 \sin \beta r + A_2 \cos \beta r) \\ &\quad + e^{\alpha r} (A_3 \sin \beta r + A_4 \cos \beta r) \dots (11) \end{aligned}$$

$$y_r = \sum A \mu e^{\Phi r}$$

$$\mu_{1,2} = \frac{2}{kL} (1 - \cosh \Phi) = \frac{2}{kL} (K \mp ib) = \frac{2\sqrt{6K}}{kL} e^{-\tau}$$

$$\tau = \tan^{-1}(b/K) \dots (12)$$

よつて、

$$\begin{aligned} kLy_r/2\sqrt{6K} &= e^{-\alpha r} [A_1 \sin(\beta r + \tau) + A_2 \cos(\beta r + \tau)] \\ &\quad + e^{\alpha r} [A_3 \sin(\beta r - \tau) + A_4 \cos(\beta r - \tau)] \dots (13) \end{aligned}$$

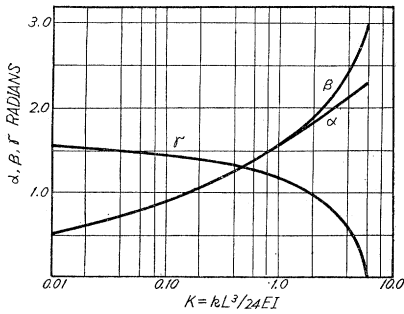
$\alpha, \beta, \tau$  を  $K$  について (10), (12)式より計算すると 図-2 のとおりであり、 $K$  の値が 0.20 以下では  $\alpha = \beta$  となり、また  $K < 0.05$  では  $\tau = \pi/2$  となる。従つて連続弾性支承と仮定する計算法が適用できるのは、 $K < 0.05$  あるいは、 $kL^3/EI < 1.2$  の範囲であるといえる。

4. 固い支点  $K > 6$  相対的に固い支点の場合で (7) 式の  $\cosh \Phi$  はどちらも負の実根になるから、変数を覚えて、

$$e^{\Phi} = -e^{\theta}, \quad \therefore \cosh \Phi = -\cosh \theta \dots (14)$$

とすれば、

図-2



$$\mu_{1,2} = (2/kL)(1 + \cosh \theta_{1,2}) \dots (15)$$

ただし,  $\cosh \theta_{1,2} = (K-1) \mp \sqrt{K^2 - 6K}$

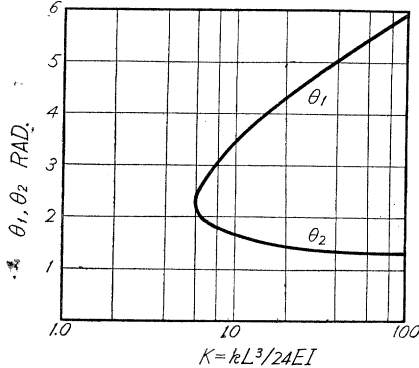
よつて支点における曲げモーメントとタワミは (5) より

$$M_r = (-1)^r (A_1 e^{-\theta_1 r} + A_2 e^{\theta_1 r} + A_3 e^{-\theta_2 r} + A_4 e^{\theta_2 r}) \dots (16)$$

$$kLy_r/2 = (-1)^r [(1 + \cosh \theta_1)(A_1 e^{-\theta_1 r} + A_2 e^{\theta_1 r}) + (1 + \cosh \theta_2)(A_3 e^{-\theta_2 r} + A_4 e^{\theta_2 r})] \dots (17)$$

となり,  $\theta$  を  $K$  に対して計算すれば 図-3 のとおりとなる。

図-3



$\theta_1$  は 1.317 に収れんするが,  $\theta_2$  は急速に増大するので,  $K$  と  $r$  の増大にともない  $e^{\theta_2 r}$  も増大する。そこでハリのタワミと曲げモーメントが限定値である以上,  $K$  の増大にともない  $e^{\theta_2 r}$  の係数は減少して 0 に近づき同時に  $e^{-\theta_2 r}$  も僅少になるから, この式は固定支点上の連続バリとして解いた解と等しくなるのである。よつて固定支点と仮定する解法は  $K > 80$  すなわち  $kL^3/EI > 1900$  の範囲で適用できるものといえる。

**5. 中庸の支点  $K=6$**  この場合は (7) 式の  $\cosh \theta$  がただ一つで,  $\theta$  には 2 つの解があるから, 曲げモーメントとタワミは次式で表わされる。

$$M_r = (-1)^r [(A_1 + B_1 r)e^{-\theta r} + (A_2 + B_2 r)e^{\theta r}] \dots (20)$$

$$kLy_r/2 = (-1)^r \{ [6(A_1 + B_1 r) - \sqrt{24}B_1]e^{-\theta r} + [6(A_2 + B_2 r) + \sqrt{24}B_2]e^{\theta r} \} \dots (21)$$

**6. 無限長のハリ** 前記の解の使用に当つては 1 スパンのみに荷重を加えて, これを対称に分けて考えることが便利である。対称とみなせばハリの + 側半分のみを考慮すればよく, 荷重から遠ざかるにつれてタワミと曲げモーメントが 0 に近づくことから, 指数関数で示した解

のうち正の指数の項はやはり 0 になるので, 単に 2 つの定数を決定すればよいことになる。すなわち荷重に近い支点において実数値を入れて立てた簡単な連立方程式を解けばよいのである。

このように単純化することは無限長のハリに限らず, 減衰する指数関数が端部で僅少になるような長さのハリについても適用できるもので, ハリと支点の剛性いかんにもよるが, 2 支点の中央に荷重されたときは, 第 5 ~ 第 6 支点以遠を, 無限長とみなすことができる。

**7. 式の使用**

(a)  $K$  が小さい例  $K=40\,000$  lbs/in, 支点間隔 24 in, レールの断面 2 次モーメントを  $35.6 \text{ in}^4$  とすれば,  $K=0.0216$  となり,  $\alpha=\beta=0.6$ ,  $r \approx \pi/2$  となる。1 スパンの中央に集中荷重  $W$  を考え, 図-4 の  $r=0$  を原点とすれば, クラペイロンの三力モーメントの定理による式とモーメントの釣合式に, 条件の数値を用いた  $M_0$ ,  $M_1$  を代入することにより, 連立方程式を解いて定数を

図-4

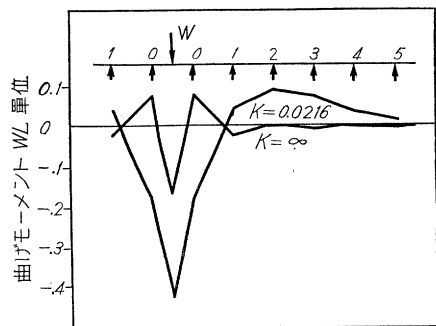
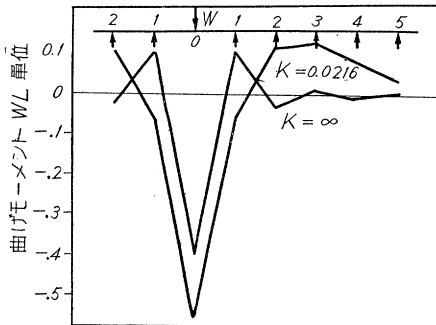


図-5



決定できるから,

$$M_r = e^{-\alpha r} (0.397 \sin \alpha r - 0.180 \cos \alpha r) WL \dots (22)$$

となり, 図-4 のとおりになる。最大曲げモーメントは

$$M_{\max} = -(1/4) WL + M_0 = -0.430 WL$$

であり, 連続弾性支承と仮定して計算した値,

$$M'_{\max} = -WL/4(6K)^{1/4} = -0.417 WL$$

と約 3% の違いがある。

(b)  $K$  が大きい例  $K=\infty$  として計算すれば, 曲げモーメントは (25) 式で与えられ, 図-4 の分布となる。

$$M_r = (-1)^r (WL/16) (3 - \sqrt{3}) e^{-\theta r} \dots (25)$$

$$M_{\max} = -1/4 WL + M_0 = 0.171 WL$$

8. 一点の支持力を欠く場合 同様の計算を行なえば 図-5 のとおりになり、最大曲げモーメントは、  
 $K=0.0216$ ,  $M_{\max}=-0.557 WL$ , 30% 増し  
 $K=\infty$ ,  $M_{\max}=-0.394 WL$ , 130% 増し  
 となる。

9. 結論 連続弾性支承と近似である範囲は、 $kL^3/EI < 1.2$ 、固定支点と仮定しうる範囲は、 $kL^3/EI > 1900$ 、一点の支持力を欠くことによる最大曲げモーメントの増大は、バラスト上のマクラ木のごとき支持状態では 30%、コンクリート道床のごとき固定支点では 130% になる。  
 (国鉄施設局 立松 俊彦)

### セメント硬化に対する温度の 低下の影響について

“Influence de L'abaissement de la Température  
sur le Durcissement des Ciments”

Par Léon Blondiau

Revue des Matériaux,

5・6・7・10・11・12・1957, 1・1958.

この論文は次のような項目の一連の実験の結果を報告している。

1. ポルトランド、高炉、対硫酸セメントによつて作ったコンクリートの強度に対する 8, 6, 4, 2°C の温度における影響
  2. ベルギーの市販セメントによるコンクリートの 3°C の温度における影響： $w/c$  の影響
  3. 供試体の容積の影響
  4. a) 単位セメント量の影響  
b) 練り混ぜ水の温度の影響
  5. ポルトランドセメントの粉末度の影響
  6. 高炉セメントのクリンカの含有量の影響
  7. 高炉セメントの粉末度の影響
  8. 高炉セメントの  $SO_3$  含有量の影響
  9. 振動締め固めの影響
    - a) +3°C および +21°C に保たれたコンクリートについて
    - b) +3°C, -3°C および +21°C の組み合わせられた温度のもとにおけるコンクリートについて
    - c) -3°C, +3°C および +21°C の組み合わせられた温度のもとにおけるコンクリートについて
- 結論として次のようなことが述べられている。

スラグを基本とするセメント（高炉セメント、対硫酸セメント）は、低温に対する鋭敏性がポルトランドセメントより高いものであるが、セメントの品質がよくなればこれは減少し、使用水量が多くなれば逆に高くなるものであつて、必ずしもセメントの種類のみによるものではない。例えばよい品質の高炉セメントで作ったコンクリートは、よい品質のポルトランドセメントで作ったコンクリート強度に匹敵するか、そうでなくても +3°C において型ワクをはずす材令は早強ポルトランドセメントと同様に早強高炉セメントにおいても行なうことができる。

耐硫酸セメントの低温における鋭敏性はコンクリートの強度/モルタルの強度の比が高いことと、使用水量が少ないことによつて +3°C においても早強ポルトランドセメントによるコンクリートより強度は高い。

供試体の大きさが低温に対して影響してくることは当然であり、コンクリート打込み後の最初の数日間には特に注意を行なう必要がある。コンクリートが軟らかくなれば、なおさら注意をしなければならないが、材令が進むにつれてこの影響は少なくなる。

セメント使用量の増加そのものは低温に対する鋭敏性を改善するものではないが、 $w/c$  を低くすることができる点において有利である。理想とするセメント使用量は 300~350 kg/m<sup>3</sup> の範囲である。練り混ぜ水の温度だけを上げて 3日、7日の材令においては影響なく、14日であつ水溫が +30°C に達していないと現われない。

すべての実験においてコンクリートの張度の損失はセメントの性質によるよりも  $E/C$  が大きすぎたり、小さすぎたりすることによるというものが示されている。従つて振動締め固めによる施工法は、低温の影響をもつとも有効に打ち消すことができる。

(国鉄鉄道技術研究所 野口 功)

### 鉄筋コンクリートのハリにおける 曲げキレツについて

Flexural Cracks in Reinforced Concrete Beams

By Michael Chi, Arthur F. Kirstein

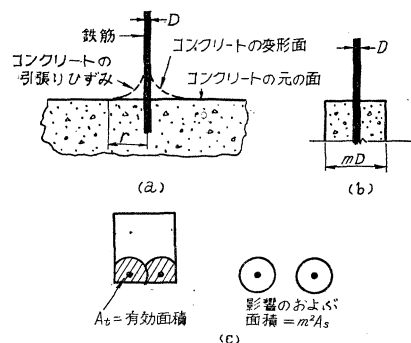
A.C.I., April, 1958

曲げをうける鉄筋コンクリートのハリにおけるキレツの平均最小間隔および平均幅について新しい概念を導入して簡略で経験的な式を求めている。

ここでいう新しい概念とは 図-1 に示すようにハリに曲げキレツが生じた場合に、鉄筋のまわりのコンクリートの一部はコンクリートのせん断強度および鉄筋との付着強度によつて鉄筋とともにヒズミを生ずる。この影響のおよぶ範囲が鉄筋径の  $m$  倍の径の円であると考えている。鉄筋間隔が狭い場合にはこの円が互いに重なり合い有効面積が減少するが、この有効面積  $m$  が鉄筋径の  $m$  倍の円の面積に対する比を  $\phi$  で現わしている。

著者が導いた理論式は、次のとおりである。

図-1 コンクリートの有効面積



キレットの平均最少間隔： $e = \frac{f_t'}{u_0} m^2 \phi D$

キレットの幅（鉄筋位置における）： $W_s = \frac{f_t'}{u_0} m^2 \phi D - \frac{f_s - f_{s0}}{E_s}$

ここに  $u_0$  はコンクリートと鉄筋の付着強度， $f_t'$  はコンクリートの引張り強度， $f_s$  は計算上の鉄筋応力， $f_{s0}$  はコンクリートにキレットの生じる寸前の鉄筋応力である。16本の桁について実験を行なった結果から，上式の諸係数を求め，次の実用式を出している。

キレットの平均最少間隔： $e = 5 \phi D$

キレットの幅（鉄筋位置における）： $W_s = 5 \phi D \left[ \frac{f_s - (2500/\phi D)}{E_s} \right]$

註：第二の式は lbs, in の単位によつている。

（国鉄鉄道技術研究所 野口 功）

### 山地部における道路の交通容量

“New Methods for Determining Capacity of Rural Roads in Mountainous Terrain”

By O.K. Normann, J.O. Granum, and H.C. Schwender

Public Roads, Vol. 30, No. 2, June, 1958

山地部における道路の計画をたてるにあつては，まず交通容量について知ることが必要であるが，それには貨物自動車の問題，追い越し，走行速度および車頭間隔の分布等が，交通量並びに車道の条件とどのような関係にあるか分析されなければならない。本論は山地部における道路の交通容量を定めるために，これらの関係の研究結果をまとめたもので，その考え方は山地部に限らず平地部等についても適用することのできるものである。

線形を改良し，勾配を減らし，または登坂路にトラック用の登坂車線を設けることによつて，道路の交通容量を増加しうるものであることを，具体的な基準について説明した。（建設省道路局 土屋 電蔵）

### 自動車事故の経費について

“The Economic Costs of Motor-Vehicle Accidents of Different Types”

By Robie Dunman

Public Roads, Vol. 30, No. 2, June, 1958

本稿は 1953 年マサチューセッツで調査された乗用車の事故の種々のタイプについて，その発生頻度と経費について論じたものである。

この調査で取扱われた事故件数は，131500 件であつて，その約 3/4 が器物損傷事故，約 1/4 が重軽傷事故であり，死亡事故は 0.5% に満たない。これらの事故による経費の割合は，重軽傷事故が 57%，器物損傷事故が 40%，死亡事故が 3% である。乗用車相互の衝突，乗用車と他の車両との衝突による事故件数が総数の 83%，歩行者および他の障害物との衝突並びにその他の事故件数は，17% で経費の割合もほぼ同値である。直角衝突，後尾の衝突および追突は，その件数において 81%，経費に

おいて 89% 程度をしめ，衝突事故では，その頻度は直角衝突，後尾の衝突，追突の順である。

（建設省道路局 土屋 電蔵）

### ダム下流の洗掘について

“Le Problème des Affouillements à L’aval des Barrages.”

Par B. Fauconnier

La Houille Blanche, No. 2, Mars-avril, 1958

ダム下流の洗掘を少なくするには，流下する水流をエプロンにより跳水させ，エネルギーを減殺することが最も望ましい。Caradache ダムの模型実験の結果，この種の構造について次の点が明らかになった。

1. 水平エプロンの縦断面は Creager 曲線に一致した曲線を用い，大流量の際にも十分跳水を起こしうる長さまで延長する。次に自然河床の面にまて凸曲線によつて水流を引き上げる。さらに河床洗掘部の縦断面の長さを減少させる形状をえらぶ。

2. 洗掘部の深さを減少させるには，上流より下流へ人工的にエプロンの粗さを漸次減少させる。最終の粗さは河床の粗さと一致させる。この方法により洗掘の深さは半分になった。

3. ピアーの水切りの形も洗掘に大きく影響する。エプロンが再び高くなる位置からピアーの幅を減少することにより跳水を安定させ，その距離を短かくするような拡散流が形成される。

4. その河川の自然石の最大のものに相当する寸法の石で石塊張りを行なうことによつて，洗掘部が安定することが認められた。しかし最大寸法でない比較的大径の石を一樣に石塊張りした場合には保護効果は疑わしい。

（電力中央研究所 矢島 基臣）

### Passamaquoddy 潮力計画

“Best Quoddy Tidal Power Project Chosen”

By Richard D. Field

Engineering News-Record

Vol. 160, No. 24, June, 12, 1958

300 万 \$（≒ 10 億 8000 万円）の予算をもつて，国際 Passamaquoddy 潮力発電所調査技術班は海水によつて動力をうる計画について，最もすぐれた計画を採決した。

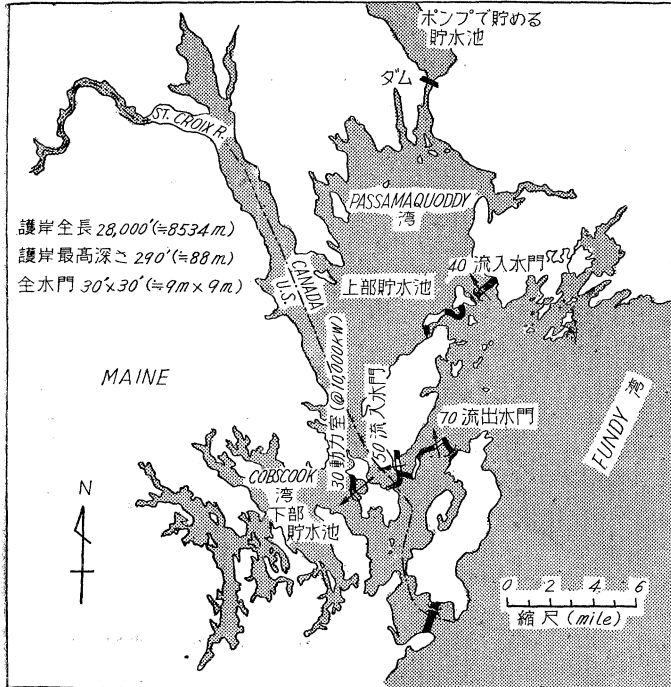
これについては 60 を越える数の計画が出されたが，その中から最も適当と思われるものが選ばれた。

本計画によると 90 の流入水門のついた，およそ 100 mile<sup>2</sup>（≒ 260 km<sup>2</sup>）の上部貯水池，70 の流水水門のついた 38 mile<sup>2</sup>（≒ 98 km<sup>2</sup>）の下部貯水池をもっている。

発電機は各 40 rpm の 320 in（≒ 8.13 m）タービンが動く 10000 kW 発電機 30 台を備え，潮流に対する護岸は石積とし航行を防げないように考慮され，全長 28000 ft（≒ 8500 m），深さは海面下 290 ft（≒ 88 m）におよぶ。

また出力の計算にあたり，電子計算器 IBM 704 が使われた。これにより水門の数，タービンの数，タービンの種類等あらゆる条件を総合した計算がなされた。

図-1



これによる計画出力は、12 ft (=3.65 m) 潮位のとき 75 000 kW から、26 ft (=10.97 m) 潮位するとき、345 000 kW まで出せることになっている。この値は1年間には 20 億 kWh の電気を起こす計算になる。

(KK宮地鉄工所 岡本 一精)

### 内張鋼管の外圧による圧潰について

“Flambage d'un Cylindre a' Paroi Mince, Placé dans une Enveloppe Rigide et Soumis a' une Pression Extérieure”

Par H. Borot

La Houille Blanche, Ann, 12, No. 6, Léc. 1957

内張鋼管が透水により外圧を受ける場合の圧潰に対する理論的、実験の結果を示した。座屈に対する要素として材料の弾性係数  $E$  のほかに弾性限界  $t$  を導入して、安定に対する次の基本式から極限外圧、 $P_{cr}$  を求めた。

さらに、この式のなかで内張管と巻立コンクリート面との間ゲキ  $j$  (外圧  $p=0$  に対し) の項を加えてある。

$$\frac{13}{EK^2} P_{cr}^2 + 2P_{cr} \left( 1 + \frac{K}{2} + \frac{6j}{KR} - \frac{t}{EK} \right) - \left( 2tK - EK^2 \frac{j}{R} - \frac{t^2}{E} \right) = 0$$

ここに  $e$ : 管厚,  $2R$ : 管の外径,  $K=e/R$

上式はリングまたは短かい管に用いられるが軸の長い管に対しては  $E$  の代りに次の値を用いる。

$$E' = \frac{E}{1-\eta^2}, \quad \eta: \text{ポアソン比}$$

実験に管厚、材質を変え外径約 1 m, 幅 120 mm のリングを用いた。このリングを鋳物のワクの中にはめ、水

圧により外圧を加えた。リングと外ワクとの間ゲキは  $\pm 0.3 \text{ mm}$  の精度で読みとられた。この結果  $P_{cr}$  の実測値は計算に対し 15% の範囲にあることが認められた。間ゲキの誤差を考慮すれば十分基本式を実証している。

以上の点から、弾性限界の高い高張力鋼は外圧の圧潰に対しても有利であることが認められる。

(電力中央研究所 矢島 基臣)

### ゲオジメータおよびテルロメータによる距離測量

“Distance Measurement with the Geodimeter and Tellurometer”

By John S. McCall

A.S.C.E., Vol. 83, No. SU-2, Nov. 1957

1. はしがき 電気的方法を用いた距離測定は最近かなり実用的になつてきて、三角網の各辺の測定、荒地やはらん地域のトラス、海岸水路測量などに応用して好結果を出している。

長い間 2 点間の直接距離測定を数マイル (=3~5 km) につきせいぜい数インチ (=5~7 cm) くらいの精度で手が届くに行なおうとする種々な試みがなされてきた。今まではこんな場合たいていは間接距離測定や視距測量などで間に合わせたが、規模の大きさや精度に制約されて高次の測定をするのには不適當であつた。また基線測定のような精度の高い長さをはかるときにはインバールテープを用いた標準測定法もあるが、テープを直接張ることのできないような地方では作業困難なため、選点がきわめて重要な問題となつている。この基線測定の際には多くの場合、基線増大の必要から角測定をとまうので基線の両端では塔をたてる必要が生じた。山頂から山頂へ、また大きな水路やその他テープでは測定できない広い面積を横切つて距離を測定できる器具が測量技術者の長い間の希望であつた。これに合致する 2 種の新しい器具が生まれた。1 つは調整された光波を用いる電波光学的器具のゲオジメータ (Geodimeter) であり、もう 1 つは約 10 cm 波長程度のラジオマイクロウェーブを使用する、電波器具のテルロメータ (Tellurometer) である。

2. ゲオジメータ ゲオジメータの名称は測地学 (geodetic)、距離 (distance)、計器 (meter) から出ているので、光の速度が一定であるという原理を距離測定に使用するように設計された。

ゲオジメータには 1 型から 4 型まで 4 種類あるが原理は大同小異であるから 3 つの装置 (電気計測装置、光伝達装置、反射装置) から成つている 1 型について説明をすすめる。原理的には高度に照準した光線を伝達装置から遠隔地の反射鏡に送り、またそれを同じ器具の受信装置まで送り返す時間を測定し、光の速度によつて換

算、距離を算出するという間接距離測定法である。送信光線は2つの直角に組み合わされた偏光器とケル(Kerr)光電池とによって変調される。この場合ケル光電池は水晶を用いた制御方法による高周波電圧の作用で1秒に100万回開閉するような高速度電気シャッターとして有効に働くのである。まづ20W電球の散光が照準レンズを通過、次いで第1、第2偏光器を通過して送信部の対物レンズに集まりそとへ送り出される。やがて反射鏡からはねかえつてきた光線は、受信装置によつて選択され、光電池の陰極部に受けられ有用な電流に変換される。発信光線と受信光線の間の位相の関係が特殊な位相ズレ調整装置で読み取られる。ついで180°位相を変えて再びそのズレを読みとり、これで1組の値がそろふことになる。全距離は周波数にその単位長を乗じて求められる。なお、この値に対しては気温、気圧、湿度、傾斜などの補正がなされて正しい値となる。

1型ゲオジメータの3装置は一緒にして約450 lbs(≒204 kg)の重さであるから非常に複雑な地形にそれを運ぶのは困難だが止むを得ぬ場合には飛行機・ヘリコプターなどで運ぶことも可能で、一般には分解してトラック、汽車で運搬するのがよい。機械の能力は最大限30~40 mile(≒48~64 km)の長さで1/250 000をこえる精度を持つといわれ、1953年に英国の2基線について実施した例ではいづれも1/400 000以上の精度を出した。現在までの経験によるとGuadaloupeで実施した砂糖キビ農園の基線測定では従来行なわれた方法で4万\$ (≒1440万円)かかるものが2500弗(≒90万円)ですませることができた。また南タイ国では従来不可能と考えられた湾を横切る基線測定を15 kmにわたつて行ない、南アメリカでは海拔14 000 ft(≒4300 m)の所に基線の一端を設置して測量を可能にした例もある。

2型は1型とほとんど同じで、ただ光電池回路部を改良し受光部の調整を安全にし周波数を3倍(third frequency)にして距離測定をさらに正確にしたものである。3型も1、2型と大体同様であるが光伝達部と電気積分部を1装置にし、他に反射装置と、計2つの装置に圧縮したものである。したがつて重さも50 lbs(≒23 kg)に減り、能力は最大限20 mile(≒32 km)まで測定可能で精度は1/100 000まで容易に出すことができる。4型はきわめて軽いポータブルなもので約25 lbs(≒12 kg)しかないが、生産にはまだ移っていない。距離は直読できるようになっている。機械の測定能力は約3 kmで1/5 000の精度を出すことが可能である。

3. テルロメータ これは10 cm波長のマイクロウェーブを利用したものである。1/100 000 000の精度で測定することを目標とし最小の複雑さで必要な精度を上げるようにつとめ、器械は軽く小さく十分持ち運びも可能である。親局と遠隔局の2つを設置してこの2つ間で交信し距離を間接測定する。測定そのものは親局でおこない、その指示によつて種々のスイッチ操作をおこなうため遠隔局にも器具の操作者が必要となる。テルロメ

ータの重さは約24 lbs(≒11 kg)であつて荷作りをする箱、三脚、電池(標準6 V, 40 A)で合計51 lbs(≒23 kg)の重量増加になる。必要電力は約6 V, 8 Aであり全部一式完備したものができている。

周波数3000 MC/sec、波長10 cmの連続したラヂオウェーブが親局から送り出されるが、さらにこれは10 MC/sec程度の型周波(pattern frequency)で変調される。この変調波は遠隔局で受信したのち再び親局に送りかえし原送信波と比較される。これらはオッシログラフを用いて位相のズレについてくらべたのち距離に換算される。最初両局の操作者は彼等の電波を反射鏡などによつて指向性電波になおし、2点間の直線から大体5°~10°以内にそろえて方向を確認する。ついで遠隔局の操縦者は固定の搬送周波数のままで発信を継続し親局の誘導を容易にする。以後マイクロウェーブが送信されそれについて中心からのかたより、焦準、明瞭さなど調整のち親局で粗い読みがとられ、続いて親局、遠隔局ともに気象状態、気圧、気温、湿度を取り平均気象状況を明らかにする。つぎの段階で親局観測者は遠隔局に周波数を移すように命令し、ならびにこれに合致するごとく各種調整を終える。この状態で再び読み、気象状況を互いに記録し調整をおこなつて測定が終了する。

この装置は南アフリカ、英国、および米国の測量網作成の仕事に用いられた。製作者側の報告によると精度は3/1 000 000±2 inであり、約5~35 mile(≒8~56 km)くらいは測定可能だといっている。装置は運搬にも便利のように丈夫に作られている。また問題になるのは山、その他による地上反射波の影響であるが、現在のところその防御についても対策が講ぜられており、多くの場合は問題にならないくらい小さいものであるから、特別の高精度が要求されないかぎり、さしつかえはない。

#### 4. 結論

(1) ゲオジメータ、テルロメータはともに真空中で電磁波の速度は一定であるという基礎原理の上になつている。この値については国際科学ラヂオ連合大会(1954年)で299 792.0±2 km/secと決定された。

(2) 測量上の問題を解決するのにゲオジメータ、テルロメータを使用するような電気的方法による距離測定は実用上有効だが、特に次の場合などに適切である。

a) 時間消費少なく三角網を高速で測定するとき高価な基線測定、精度損失の多い主三角網および三角網増大などの場合

b) 直接距離測定が不適當な荒地のトラバースおよびはらんな地域のトラバース

c) 交会法または三辺法による沿岸地測量

d) 交会法で決まるような図根点および航空写真測量の補助基準点の決定

(3) 電波放射法とその装置のたえざる進歩は伝統的な従来の測量法を着々とあらため、測量者のテープはあまり遠くない将来にもう時代おくれになるであろう。

(山梨大学工学部 箭内 寛治)