

地上と地下の連絡測量における問題点について

愛媛大学工学部土木工学教室

正員

竜野正次

1, 地上測量と地下測量の連絡方法については, 斜坑を通じて連絡する方法と立坑を通じて連絡する方法とがある。前者は連絡のための測定距離は長くなるが他の作業に影響することは比較的少ない。後者は測定距離は短かいが測定中立坑の運転を停止しなくてはならないと云う欠点がある。従って普通連絡測量を行う場合には立坑の運転を休止する時期をみて実施するのが通例であるので, 立坑を通じて地上と地下を連絡する方法に限定して述べることにする。従来発表されている振動理論は ρ (下振線の長さ)が短かく P (下振紐の単位長さ当りの重量)が無視でき M (下振重量)が負と考へられ θ (下振紐と鉛直軸となす角) rad. が小さい場合であるが, ρ が大きき $P\rho$ を無視できない場合は本式を採用することは疑問がある。又抵抗モーメントも單に角速度だけの向題ではなく, 抵抗部の形状表面積等が問題になってくる。

2, 実験の概要 下振りは十字字型(重量 5.00 kg , 5.38 kg , 11.00 kg , 13.00 kg)電球形(重量 4.95 kg)鉛製のものを使用し, 下振紐としては径 1.10 mm の亜鉛引鉄線と 0.95 m , 0.75 m のピアノ線とを使用した。振動測定状況は無風状態において, 下振りの下方に平板を据えつて平板上に2つの尺度をおき振動状況を観測するとともに側位望遠鏡付トランシットを定距離に据えつて振動状況測定の補助とした。槽内の液体の抵抗試験も同様の方法によって実施した。

3, 下振りの振動理論

立坑を完全に密閉無風状態となし且つ下振りにより下振紐が強く引張られた場合について論ずる。

第1図の如く下振紐の支点を原点 O にとり, O を通る水平面を Ox , O を通る垂直軸を Oy にとる。今 G は下振と下振紐との重心の位置, ρ は OG の長さ, t は時間とすると

$$F_g = (P\rho \times \frac{\rho}{2} + M\rho) / (P\rho + M), G \text{ に働く重力の能率は}$$

$$I_g = -(P\rho + M)g\rho \sin \theta, O \text{ の周りの慣性能率は}$$

$$I = \rho^2(P\rho + 3M)/3 \quad \theta \text{ は極めて小さい故 } \sin \theta \div \theta \text{ 且つ}$$

角加速度を $d^2\theta/dt^2$ とする。次に抵抗を生ずる原因を考えると, 下振りの形状が相似で且つ材質が一様なときに下振り表面積の $3\delta/2$ 乗に比例すると仮定したとき下振り重量の δ 乗に比例することになる。又抵抗によるモーメントは角速度にも比例し且つ ρ の δ 乗にも比例すると考えると

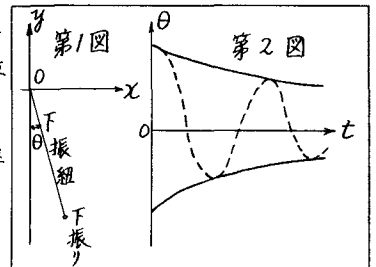
$$a \cdot d\theta/dt = C M^{\delta} \rho^{\delta} d\theta/dt \text{ となる。但し } C \text{ は下振りの材質形状等による係数である。然るときは次式が成立する。}$$

$$I \frac{d^2\theta}{dt^2} + a \frac{d\theta}{dt} + (P\rho + M)g\rho \sin \theta = 0 \text{ ----- (1)}$$

(1) 式に前式を代入して減衰振動としての微分方程式をとくと

$$\theta = \theta_0 e^{-bt} \sin(ct + \alpha) \text{ ---- (2) ことに } b = \frac{3a}{2\rho^2(P\rho + 3M)} \quad C = \sqrt{\frac{3g(P\rho + 2M)}{2\rho(P\rho + 3M)}} - b^2$$

$B = \theta_0 e^{-bt}$ とおくと, 未定常数 b は $S = \{\log_e B_i - (\log_e \theta_0 - b t_i)\}^2$ が最小になるように定めるといって



$$b = 2.3026 \times \frac{\frac{\sum \log B_i}{n} \frac{\sum t_i^2}{\sum t_i}}{\frac{\sum (t_i \log B_i)}{\sum t_i^2}} \quad \text{----- (3)}$$

次に週期測定により b の推定値を求めることについて述べる。実測週期を T_1 とすると (2) 式より

$$T_1 = \frac{1}{\sqrt{\frac{3g(P\bar{h} + 2M)}{2\bar{h}(P\bar{h} + 3M)} - b^2}}$$

$P\bar{h}$ は M に比して極めて小さく且つ $T = 2\pi\sqrt{\bar{h}/g}$ とおくと

$$b = \sqrt{\frac{(1 + \frac{P\bar{h}}{6M}) - (\frac{T}{T_1})^2}{\bar{h}/g}} \quad \text{----- (4)}$$

T_1 に比して ΔT_1 が極めて小さいときには

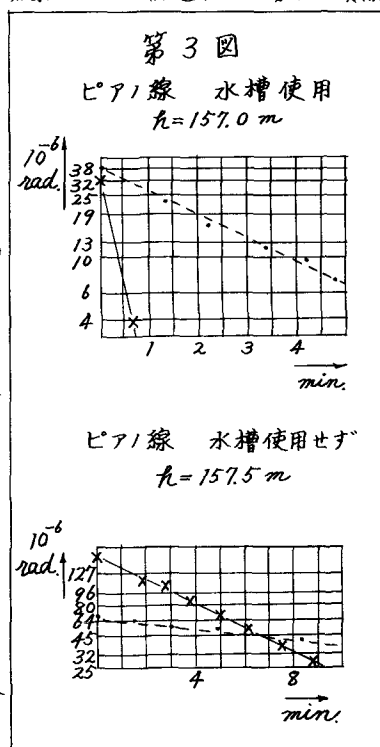
$$\Delta b \approx b \frac{(\frac{T}{T_1})^2 \frac{1}{T_1}}{(1 + \frac{P\bar{h}}{6M}) - (\frac{T}{T_1})^2} \Delta T_1 \quad \text{----- (5)}$$

となる。 T_1 の測定値並びに T_1 の測定誤差範囲 ΔT_1 を知ると、(5) 式によつて求めた Δb が b に比較して可成小さい場合には実際に週期を測定することによつて b を求めることが可能であるが、そうでないときには (3) 式により b の値を求めて静止する迄に要する時間を推定しなくてはならない。

4. 実験結果 第3図は振巾 (θ) と経過時間 (t) との関係について風速のない場合に実験した結果の一例であり、第2図の実線が θ の変化状況を示したもので極大極小点を漸次結んだ実験部分について考えたものである。第3図中 $\times$ ——印は M が 13.00 kg の場合、-----印は 11.00 kg の場合であり、実験の結果水槽を使用しない場合は $\delta \approx 2$, $\delta = 3/2$ と推定された。同条件下で M を大きくすると b の値は増大するが、 M を余りに大きくすると下振りは上下振動をするので下振組の抗張力を考え決定しなくてはならない。第1表に測定結果の一例をあげ、(3) 式による b の値と (4) 式による b の値との比を求めた。この値が 1 に近いときには週期測定により b の値を求めると、時間の経過による振巾の減衰を知ることが出来るわけである。今第1表中より T_1 の測定誤差 0.01 秒として二つの例をとる。第1表第1行に記した場合について Δb を求めて考えると

$$\Delta b \approx 0.377 \times \frac{0.7598 \times \frac{1}{5.43}}{1.0031 - 0.7598} \times 0.01 \approx 0.0012$$

$\frac{\Delta b}{b}$ (3) 式の $b = 0.030$ となる。表に記してある如く (3) 式の b の値と (4) 式の b の値との比は 1.05 である。従つてこの場合においては週期測定により b の値を求めて差し支えないわけであ



第1表 (3)式による b の値と(4)式による b の値との比較

水槽使用 の有無	下振線の 種類	下振線の単位長当り 重量 kg/km	下振りの 重量 kg	ℓ m	T_1 sec.	(3)式 による b の値 min^{-1}	(4)式による b の値 min^{-1}	(3)式 b (4)式 b
使用	ピアノ線	6.094	5.38	16.79	9.43	0.395	0.377	1.05
〃	〃	〃	5.00	17.06	8.66	0.348	0.224	1.55
〃	亜鉛引鉄線	7.720	5.38	16.86	9.10	0.576	0.328	1.76
〃	〃	〃	5.00	5.45	5.40	0.482	0.667	0.72
〃	〃	〃	5.00	5.59	5.29	0.836	0.585	1.43
使用せず	〃	〃	5.38	5.28	4.61	0.017	0.036	0.47
〃	〃	〃	5.00	5.45	4.69	0.009	0.026	0.35
〃	ピアノ線	6.094	5.00	5.41	4.68	0.064	0.101	0.63
使用	〃	〃	5.00	5.46	5.30	0.462	0.625	0.74
〃	〃	〃	5.38	5.31	5.62	1.958	0.769	2.55
〃	〃	〃	5.00	5.36	5.32	0.649	0.658	0.99
〃	亜鉛引鉄線	7.720	5.00	5.60	5.48	0.861	0.662	1.30
〃	〃	〃	5.38	5.60	5.73	0.832	0.739	1.13
〃	〃	〃	5.00	5.60	5.37	0.472	0.623	0.76
〃	ピアノ線	6.094	5.00	5.59	5.52	0.571	0.678	0.84
〃	〃	〃	5.38	5.59	5.78	1.111	0.757	1.45
〃	〃	〃	5.00	17.08	8.77	0.462	0.254	1.82
使用せず	〃	3.961	13.00	15.75	40.00	0.175	0.195	0.90
〃	〃	〃	11.00	15.75	25.45	0.042	0.046	0.91

る。第1表の上から6行目の場合においては、同様にして Δb を求めると0.060となり(3)式の b の値は3.53となるので週期測定より b を求めることは工合が悪い。第1表をみて(3)式の b の値と(4)式による b の値との比は0.47となって1の約半分となっている。従つて週期測定により(4)式による b の値を求め、(5)式により Δb を求め Δb と b との値を比較すると週期測定により b の値を求めることの可否を判定することができる。水槽を使用する場合と水槽を使用せず空中で実施する場合とでは、同じ条件下の b の値は略比例的な関係にあり、その値は約50である。油槽を使用すると更に振動静止迄の時間は縮小される。

5. 結び 以上述べた方法により b の値が求まると θ は初期条件によつて定まるので、経過時間と振中の減衰との関係を知ることが出来る。即ち実際の週期を測定して(4)式により b の値(5)式により Δb を求め Δb と b との比が小さいときは(4)式によつて求めた b の値を用いる。 Δb と b との比が大きいときには第3図の如く $\log$ 振中と経過時間との関係図を画きそれによつて b の値を求めるが、 $b = \frac{3a}{2\ell^2(P\ell + 3M)} = \frac{3C_1 M^{\frac{1}{2}} \ell^{\frac{1}{2}}}{2\ell^2(P\ell + 3M)}$ より求める。然し δ 並びに γ については未だ実験が不十分で ℓ が50m, 100m, 300m程度についても実施しなくてはならない。たゞし風速のない状況下で実施する困難性か実験場所の制約があることは否定できない。然し下うこのようにして b の値が定まると精度上並びに経済的な諸条件を考え何段階に分けて地上の支と地下に移してやうのが理想的かを判定することができる。尚下振り中心線設定に当つては、 ℓ が大きくなると中心設定器・中心線巻取ドラム・中心線固定器等を使用し、方法としては坑口ドアの下に中心設定器をとりつけ、これより下振組に小型の錘を取り付けて降下させ、 ℓ (底近く)に達すると大型の下振りを取り換えて設定を行うようにする。

参考：岡村雅夫・滝野正次：最新地下測量解説 55～62, 73～76頁