# 5. 鳥取大地震の時の狛犬の運動

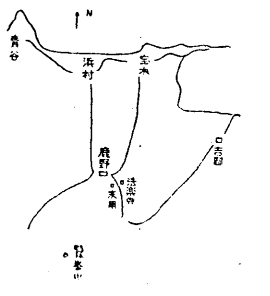
地震研究所　松　澤　武　雄

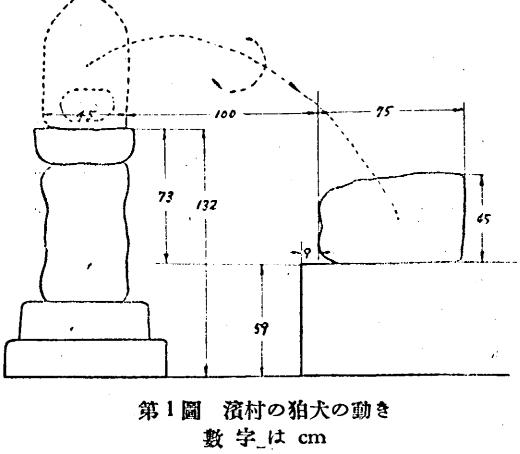
（昭和19年5月16日發表——昭和19年6月20日受理）

昭和18年9月10日の鳥取縣下に主として大きな災害を生じた大地震に際して震央附近に於て起つたいろいろな簡單な物體の運動のうちで比較的大きな移動を生じたものに神社の狛犬がある．そのような大きな移動を生ずるに要する地動の要素について若干の考察を行ふことにする．

## 濱村に於ける例

濱村驛西方 500m 程の所に神社があつて狛犬，石燈籠，鳥居等の倒れたものが多く其の方向は大略 N 110° E 又は其の反對方向である．鳥居のうちで面が其の方向にあつたものは倒れてゐない．





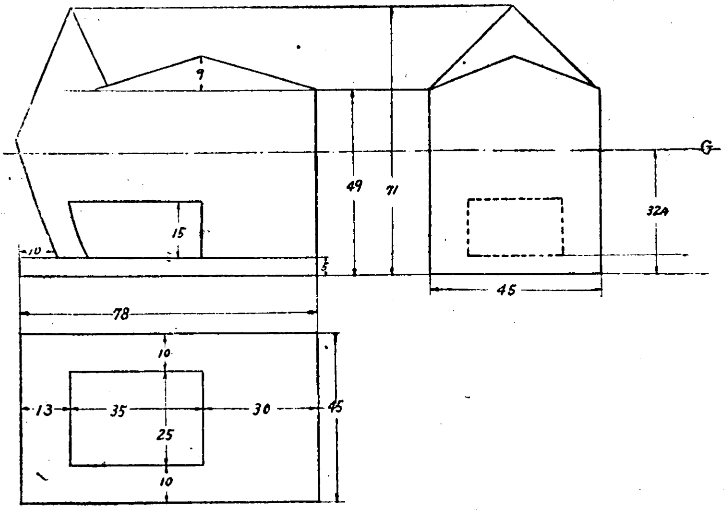

第1圖　濱村の狛犬の動き
數字は cm

極めて明瞭に觀察された狛犬の動きは第1圖の如きものである．

即ち左方點線で示した位置から途中恐らく點線で示したような回轉と移動を行つて右方のような位置に移つてゐるのである．この時重心 G の位置は底から 32.4cm體積は $V=155500\mathrm{cm}^3$，重心を通る前後の軸のまわりの慣性能率は密度を $\rho$ として

$$I=63500000\,\rho$$ となる．

さて狛犬が第一圖のような位置に移る途中の道筋は種々考へられるのであるが，一番尤もらしいのは先づ臺の上で辷り重心が臺の縁まで來る頃には運動方




第2圖　第1圖の狛犬の簡單化

向を右に見て右廻りの廻轉を初めると考へられる．これは簡單な實驗の結果もその通りであつて餘程の事情のない限り反對の回轉を持つことはない．

次に臺を離れた後の重心の運動を考へるのに，臺即ち地面に固定した座標系を$\xi, \eta$，其の原點の座標を空間に固定した座標系に對して$x_0$, $y_0$, とすれば運動方程式は

$$\left.\begin{aligned} \ddot{x}_0 + \ddot{\xi} &= 0, \\ \ddot{y}_0 + \ddot{\eta} &= -g \end{aligned}\right\}$$

最も簡單な場合として

$$x_0 = A \sin wt, \qquad y_0 = A \sin wt.$$

又此樣な運動に對して狛犬が最も遠く飛び得る場合として $t=0$ 即ち狛犬が臺を離れる時刻に $\dot{\xi} = 0$, $\dot{\eta} = 0$ ; $\xi = 0$, $\eta = 0$ とすれば

$$\left.\begin{aligned} x_0 + \xi &= Awt, \\ y_0 + \eta &= -\frac{1}{2} gt^2 + Awt \end{aligned}\right\}$$

次に移動の後地面を打つ時刻を $t_1$ とすれば其時 $\xi = 142\mathrm{cm}$, $\eta = -83\mathrm{cm}$ であるから前式に代入して

$$t_1 = 0.678\mathrm{sec.}\ となる．$$

故に

$$A = \frac{142}{wt_1 - \sin wt_1},$$

から振幅と週期の關係が與へられる．今の場合 $A$ も $w$ も不明であるからいろいろな $w$ したがつていろいろな週期に對する振幅，速度 $Aw$ 加速度 $Aw^2$ を示せば次のように

なる.

これによれば加速度の極小は週期 $1.5^s$ 邊になるがそれでも尙 1000gal を超えてゐる.

| $T$ (sec) | 3 | 2 | 1.5 | 1.0 | 0.5 |
|---|---|---|---|---|---|
| $w$ | $\frac{2}{3}\pi$ | $\pi$ | $\frac{4}{3}\pi$ | $2\pi$ | $4\pi$ |
| $A$ (cm) | 330 | 111 | 58.2 | 27.5 | 18.4 |
| $Aw$ | 691 | 349 | 244 | 172.8 | 253 |
| $Aw^2$ | 1447 | 1095 | 1027 | 1085 | 2900 |

次に廻轉運動を考へる. $\ddot{x}<0$, $\ddot{y}_0<0$ の狀態に於て辷り初め遂に臺の角を瞬間廻轉軸として廻轉を初めると考へられる. 其時重心のまわりの廻轉の運動方程式は

$$I\ddot{\theta}=M(g+\ddot{y}_0)(h\sin\vartheta-l\cos\vartheta)+\mu M(g+\ddot{y}_0)h,$$

但し $\vartheta$ の正の方向は移動方向を右に見て右廻りとする. 又 $h$ は重心の高さ, $l$ は重心の足から右へ底に沿つて計つた長さであつて時間と共に變る. $\mu$ は摩擦の係數である.

次に $\ddot{x}_0>0$, $\ddot{y}_0>0$ の位相になると底と臺とは互に辷ることを止めると考へられ

$$I\ddot{\theta}=M(g+\ddot{y}_0)(h\sin\vartheta-l\cos\vartheta)-M\ddot{x}_0(h\cos\vartheta+l\sin\vartheta).$$

これから臺を離れるまでに受ける廻轉量と角速度とを出せば問題は定まる筈であるが今の場合未定の量が澤山あつて解が定まらない. 然し乍ら臺を離れてから地面に落ちるまでの間即ち $t_1=0.678\mathrm{sec}$ の間に 180° 以上の廻轉を起すことは困難ではない.

次に運動樣式を $x_0=Ae^{-h^2t^2}$, $y_0=Ae^{-h^2t^2}$ にとつてみよう. 最も遠く飛び得る場合として臺を離れる時刻を地動の最大速度の時刻とすれば $t_0=-\frac{1}{\sqrt{2}h}$, $x_{00}=Ae^{-\frac{1}{2}}$, $\dot{x}_{00}=\sqrt{2}Ahe^{-\frac{1}{2}}$

故に

$$\dot{x}_{00}t+x_{00}-x_0=\xi.$$

$\xi=142\mathrm{cm}$ として

$$\sqrt{2}Ahe^{-\frac{1}{2}}t_1+Ae^{-\frac{1}{2}}-Ae^{-h^2\left(-\frac{1}{\sqrt{2}h}+t_1\right)^2}=142$$

即ち

$$A=\frac{234}{\sqrt{2}ht+1-e^{\sqrt{2}ht-h^2t^2}}$$

此時にも $A$ 及び $h$ が不明であるがかりに $\frac{1}{\sqrt{2}h}=0.25$ とすれば $A=70.1$ 最大加速度 $2h^2A=1122\mathrm{gal}$, $\frac{1}{\sqrt{2}h}=0.5$ とすれば $A=292\mathrm{cm}$ 最大加速度 1167gal となる.

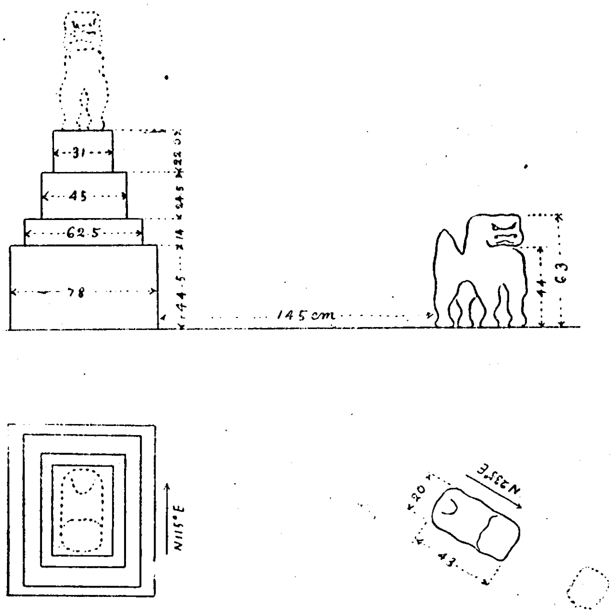
以上いづれの場合に於ても最大加速度は 1000gal を超えることになるが附近の他の

構造物に對する作用から推定すれば此の程度の週期でこんな大きい加速度があつた筈がない.

## 圓通寺の狛犬

千代川右岸の圓通寺部落に神社があつてこゝの狛犬も著しい移動を示してゐる.（第3圖）

移動方向は約 $N\,210°\,E$, 臺の高さ 110cm, 狛犬の移動距離は約 230cm である. 勿論途中に落ちたのを動かしたのではない. この場合狛犬は落ちた位置で立つた狀態にあつたから廻轉から云へば殆ど廻らなかつたか 360°の倍數だけ廻つたかであるが大きい廻轉角速度を得ることは普通簡單でないから恐らく殆ど廻轉はなかつたものと見られる.




第 3 圖　圓通寺部落の狛犬

| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| $T$ | 3 | 2 | 1.5 | 1.0 | 0.5 |
| $w$ | $\frac{2}{3}\pi$ | $\pi$ | $\frac{4}{3}\pi$ | $2\pi$ | $4\pi$ |
| $A$ | 302.5 | 108.5 | 60.0 | 37.7 | 20.25 |
| $Aw$ | 634 | 304.5 | 251 | 237 | 255 |
| $Aw^2$ | 1327 | 1070 | 1052 | 1430 | 3200 |

さて前と同様の式から $\xi = 230\text{cm}\ \eta = -110\text{cm}$ として $t_1 = 0.833\text{sec}$ が出る.

週期, 振幅, 速度, 加速度等は次のようになる.

此の場合にも週期約 1.5 秒邊で加速度極小になるがそれでも 1000gal を超える. 即ち濱村の場合と大差がない. こゝでも他の構造物に對する作用から見て此様な週期で此様な大加速度の運動は考へ難い.

## 狛犬の移動に關するいろいろな推論

以上によつて撃力を考へることなしに説明しようとすれば他の現象と調和し得ない地動を假定せねばならないことを知つた．又もし地動に二種或はそれ以上の簡單な振動例へば

$$x_0 = A_1 \sin w_1 t + A_2 \sin w_2 t,$$
$$y_0 = A_1 \sin w_1 t + A_2 \sin w_2 t,$$

の如きものを假定するとしても以上の困難は除かれない．

そこで次は移動の或時期に撃力が與へられることを考へて見よう．最も遠くまで飛び得る場合として $wt=\pi$ の邊で臺を離れ落ち初めて居た時に $wt=2\pi$ の邊で臺から衝突による撃力を受けたとする．Newton の法則によれば質量 $m_1$ 及び $m_2$ の二物體が初めの速度 $v_1$ 及び $v_2$ で衝突した後に速度が夫々 $v_1^1$ 及び $v_2^1$ になるとすれば

$$m_1 v_1 + m_2 v_2 = m_1 v_1^1 + m_2 v_2^1,$$
$$v_1^1 - v_2^1 = -e(v_1 - v_2),$$

但し $e$ は撥ね返りの係數である．

今の場合臺即ち地面に關する量を $m_1, v_1, v_1^1$, 狛犬のものを $m_2, v_2, v_2^1$ とすれば $m_1 \gg m_2$, $v_1^1 \approx v_1$ であるから

$$v_2^1 \doteqdot v_1 + e(v_1 - v_2).$$

$v_2$ は負の小さい値と考へられるが之を省略し又 $e=0.7$ 位とすれば

$$v_2^1 = 1.7\, v_1 \quad となる.$$

そこでこの衝突の時刻から時間を測れば狛犬の運動方程式は

$$x_0 + \xi = 1.7\, Awt$$
$$y_0 + \eta = -\frac{1}{2} g t^2 + 1.7\, Awt$$

となる．前と同様に濱村の狛犬について云へば

$$A = \frac{142}{1.7 w t_1 - \sin w t_1}$$

これから $w$, $A$, $Aw$, $Aw^2$ 等との關係を計算すれば

| $T$ | 3 | 2 | 1.5 | 1.0 | 0.5 |
|---|---|---|---|---|---|
| $w$ | $\frac{2}{3}\pi$ | $\pi$ | $\frac{4}{3}\pi$ | $2\pi$ | $4\pi$ |
| $A$ | 71.7 | 35.9 | 22.6 | 14.5 | 7.6 |
| $Aw$ | 150.2 | 112.8 | 94.9 | 91.1 | 95.4 |
| $Aw^2$ | 315 | 354.2 | 397.5 | 572 | 1198 |

即ちこのように考へることによつて週期 1.5sec, 振幅 23cm 程度，加速度 400gal 程度の運動で説明することが出來る．要するに狛犬のこのような運動はどこかに撃力の要

素を入れないと説明が困難である.

序に圓通寺部落の場合を同様に調べれば次のようになる.

| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| $T$ | 3 | 2 | 1.5 | 1.0 | 0.5 |
| $w$ | $\frac{2}{3}\pi$ | $\pi$ | $\frac{4}{3}\pi$ | $2\pi$ | $4\pi$ |
| $A$ | 116.2 | 51.6 | 36.6 | 23.5 | 12.3 |
| $Aw$ | 243.5 | 162 | 153.3 | 147.7 | 154.7 |
| $Aw^2$ | 511 | 509 | 642 | 928 | 1943 |

即ち大體週期2秒，振幅52cm 程度の運動によつて他のものとも餘り矛盾しないものが與へられる.

## 5. *Uber die Verschiebung von Komainu*[1] *bei* dem Tottori-Grossbeben.

Von

Takeo Matuzawa.

Beim Tottori-Grossbeben vom 10. Sept. 1943 wurden mehrere grosse Verschiebungen von einfachen Gegenständen beobachtet. Darunter ist die Verschiebung von Komainu in die nähere Betrachtung gezogen. Ein Komainu sprang nach unten vom Grundstein um 83 cm und seitlich um 142 cm. Ein anderer sprang nach unten um 110 cm und seitlich 230 cm. Es ist gezeigt, dass ein Stoss von Komainu mit dem Sockel während der Bewegung nötig sei, wenn die damit berechnete Beschleunigung der Bodenbewegung mit den Wirkungen auf die anderen Gegenstände vereinbar sein müsse.

(1) Komainu, der koreanische Fabelhund, ist ein Schmuckgegenstand von Stein in der Hundform, der gewöhnlich vor dem Shintô-Tempel gelegt ist.