

(1)式を用いて

$$\frac{M_{Dm}}{Dm} \cos(\psi - \alpha_m) = \frac{D_m}{b} \sec \beta_m \frac{m_1}{K}$$

$$\therefore \Delta\psi = -m_1 \frac{D_m K}{b} \frac{1}{\cos \beta_m \sin(\psi - \alpha_m)}$$

故に $\beta_m = 0$ と仮定すれば、 D_m/b が小さい程 $\sin(\psi - \alpha_m)$ が大きい程 $\Delta\psi$ を小さくしなければならない。故に $D_m/b = 5$ $\psi - \alpha_m = 60^\circ$ の最も極端な場合について考えると m_1 を $12''$ に保つためには $K=1$ として $\Delta\psi_{\min} = 1' 15''$

このことから、撮影方向の決定は少なくとも、 $1'$ の精度で行うことが必要であることがわかる。

(7) 写真機が傾斜するための誤差

写真機が傾いた場合先ず高さに影響を与えることは直ちにわかる。 Z に対する傾斜角の影響を知るために、写真機が X 軸のまわりに回転する角を ω で表わすと実体写真の原理から

$$dZ = D \cos \alpha \, d\omega$$

$$\therefore \Delta\omega = \frac{\Delta Z}{D} \sec \alpha$$

故に $\alpha = 0$ の場合は $\Delta\omega$ 最小としなければならない。一般に ω は図化機で規正できると同じ精度で測定することが必要であるが、普通この精度は約 $25''$ であるから、写真機の据付ける場合には、この程度の精密さで水平を保つようにすることが必要である。

(9) 写真処理

撮影された乾板は、各種の理由からその日の中に現像を終らせることが絶対に必要である。

現像、定着、水洗などの作業は、普通写真の場合と異ならないが、特に測定に使う乾板であることに注意し、その作業は慎重に行うことが必要である。使用する乾板の種類に適合した方法で、地上写真測量に適する仕上げを施すことが必要である。

写真処理についての詳細な検討は、乾板乳剤との関係が大であるので、これらの問題については、別に稿を改めることにする。

地震の強さを決定する要素について

正 員 畑 野 正*

FACTOR TO DETERMINE THE STRENGTH OF SEISMICITY

(JSCE Aug. 1950)

Padashi Hatano, C.E. Member

Synopsis Strength of the seismicity which affects to the structures has been hitherto represented by the acceleration due to earthquake force.

But from writer's recent experiments and theoretical considerations, this idea is correct only when the periods of the vibration are long. It is governed by the velocity of seismicity for wide range.

Consequently, it will be required to alter the conception which has been taken among our engineering faculty.

要旨 構造物に影響を与える地震の強さは従来震度即ち地震動の加速度によつて定るとされてきたが、二、三の実験と理論的考察からこの考え方が成立するのは寧ろ局部的で、地震動の速度に支配される範囲が広いことを述べ、従来の考え方に大きな修正を要することを述べたものである。

1. 緒言

地震によつて構造物がある一定の影響を与えられると考える。例えば墓石の転倒を例にとると、地震動の中のある性質が、ある一定値に達したときに初めて墓石の転倒が生ずるものとする。この一定値以下の場合には転倒は起らないし、又一一定値以上の場合には必ず転倒を生ずるものとする。この場合、この地震動の中の性質のある一定値が、墓石の転倒を生ずる為に必要な地震の強さであると定義するものとする。

さて我々は従来この様な意味での地震の強さを如何なるものとして取扱つて来たであらうか。墓石の転倒は、横巾と高サの比が震度即ち地震動の加速度と重力の加速度の比に等しくなつたとき生ずるものとされている。土砂の斜面の崩壊は、その斜面の勾配に、震度に相当する値を、急になつたものとしてつけ加えて、合計の斜面が自然勾配を越すときに起るものとしている。その他自己週期を有しないすべての振動現象に対してこの様な震度を基礎にした考え方が採用されている。これに対し自己週期を有する振動現象、例えば煙突、建築物、橋梁、ダム等が地震に際して生ずる振動に対しては従来二通りの取扱ひ方が採用されている。その一は、これらの構造物の基礎が $x = a \sin \frac{2\pi}{T} t$ なる水平振動をすると云う境界条件のもとに振動の微分方程式を解く方法であつて、動力学的方法と云う事が出来る。その二は構造物の重量に震度をかけた値の慣

* 日本発送電、電力技術研究所員

性力が作用するものとして、その慣性力による影響を吟味する方法であり、静力学的方法と云う事が出来る。動力学的方法はその計算の過程が適切であれば、地震の影響は正しく評価出来る最もよい方法であるが、取扱いが複雑であつたり、時には全く解く事が出来ない様な場合がある為に簡単な静力学的方法が用いられる事が屢々である。

以上の様に、地震の構造物に影響を与える強さは震度即ち地震の加速度によつて定るものであると云う考え方が従来の大部分の考え方である。然し一方この考え方に欠陥のある事は既に認められ、加速度だけではなく振巾や週期がある程度影響するものであると云う事も屢々議論されている所である。筆者はこの問題について二、三の問題を例にとりあげて論じて見たいと思う。尚こゝに地震の継続時間に就て注意しておかなければならない。継続時間(静止の状態から突然地震波が到来すると云う初期条件をも含めて)が地震の強さを決定するのに重要な要素である事は論を俟たないが、これを初めから考慮に入れることは問題を非常に複雑にするので、こゝでは一応これを省略し、 $x = a \sin \frac{2\pi}{T} t$ なる定常的な振動をうけている場合に就て論ずることとする。

2. 角柱の転倒

木材で作つた角柱を振動台の上のせ、水平振動させて転倒限界をしらべた結果について述べて見よう。杉材で作つた断面 5cm 角、高さ 80~40cm の各種の柱を用いた。振動台は振巾を 5~0cm に、振動週期を 2~0.05 秒程度に変化させることの出来るもので、モーターの廻転運動をクランクによつて直線運動に変える装置である。

先づ振動台の振巾を一定のある値になる様に定めておき、この上に角柱をたて、モーターを始動させる。次に摺動抵抗によつて極めて徐々にモーターの回転数を増大させ転倒の限界点を見出す。この場合限界点としては転倒を生じない最小限の週期をとつた。振巾を一定にしてあるから、転倒を生じない最大限の加速度をとつた事になる。即ちこの週期では無限大の時間振動をさせても転倒しないのであつて、これ以上少しでも週期を小にすれば転倒するのである。この状態では角柱はロッキングをしながら完全に安定の状態を保つて居るのである。

振巾を種々に変化して転倒限界をしらべた結果の内 80cm 及び 40cm の角柱につき、震度 K と週期 T の関係を図示して見ると 図-1 及び 図-2 となる。

従来、震度が地震の強さを示すと云う考え方によれば同図に於て転倒限界を示す線は T 軸に平行な水

図-1

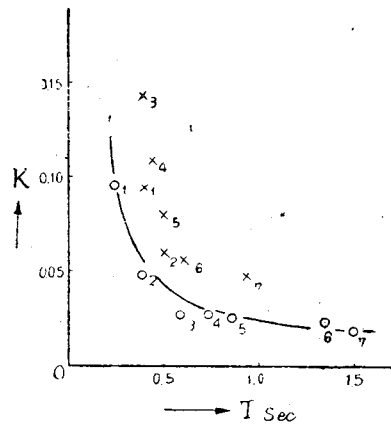
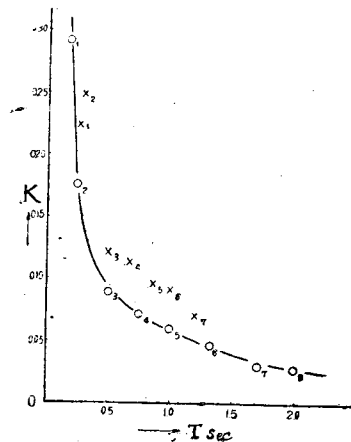


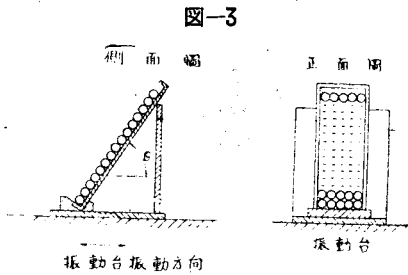
図-2



平線とならなければならない。図は略々双曲線を示して、 T が相当大きくなつたときに初めて限界線が T 軸に略々平行になることを示している。即ち従来のは T が相当大きくなつたときにのみ成立することであると云えるのである。

3. 粒体斜面の崩壊

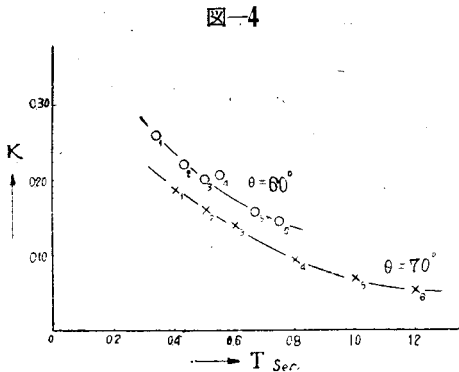
土や砂礫で出来た傾斜面の地震動による崩壊を実験的に定量的に調べる事は非常に困難な事である。それはお互に比較しようとする何回かの実験に於て、その傾斜面の作り方を常に略々一樣にする事が非常に困難であるのが第一の理由である。又、例えこの困難が解決されたとしても、如何なる状態を以て崩壊の尺度とすべきかと云う事が第二の非常に困難な点となる。実際の崩壊を観察すると、その崩壊機構、位置、規模、順序等非常に変化が多く定量的に定めることは殆ど困難である。そこで筆者は次の如き方法を採用したのである。即ち径 15mm のボールベアリング用鋼球を図-3 の様に木製の箱の中に一重に 5 行 15 列になら



べ、この箱を水平に対し傾斜せしめて振動台の上の
せ各種の振動を与えてその崩壊限度をしらべたのである。
鋼球は全く一樣なものであつて前述の二つの困難
は容易に解決せられる。この鋼球の摩擦力による平衡
の破れる状態をとつて、粒体斜面の崩壊の最も単純化
されたものと考えたのである。

先づ振巾をある一定の値になる様にしておき、低速
で振動を初めて、極めて徐々に回転数を増加し、遂に
崩壊を生ずる点をおさえる。崩壊は最上部の鋼球が前
方にとび出すことに始り、これに引続いて瞬間的に全
斜面が崩れて終る。

今傾斜面を水平と60°及び70°にした場合につき、
崩壊限界を週期 T と震度 K を軸として現わすと図-4
の如くなる。



従来の震度に相当する角度だけ急傾斜になると云う
考え方からすればこの崩壊限界は T 軸に平行な水平
線で見わされねばならないが、実験の結果はこの考え
に一致せず、 T が充分大きくなつたときだけに限界線
が略と水平に近くなる事を示している。

4. 弾性体の破壊

以上は実験的に地震の強さを求めたのであるが弾性
体の破壊を例にとつて数理的にこの問題を論じて見よ
う。最も簡単な例として、下端を固定した均一断面を
もつコンクリート柱の水平振動を考える。

振動の微分方程式は次の如く与えられる。

$$EI \frac{\partial^4 y}{\partial x^4} + \frac{\rho A}{g} \frac{\partial^2 y}{\partial t^2} = 0$$

これを下端固定、上端自由の水平振動として

$$x=0 \quad y = a \sin \frac{\partial \pi}{T} t, \quad \frac{dy}{dx} = 0$$

$$x=l \quad \frac{d^2 y}{dt^2} = 0, \quad \frac{d^3 y}{dx^3} = 0$$

の境界条件を満足する様に解き、これからモーメント
の値を計算すると次の如くなる。

$$M_x = EI \frac{am^2}{2} \left[(\cosh mx - \cos mx) + \frac{1}{1 + \cosh ml \cos ml} \right. \\ \left. \times \left\{ \sinh mls \sin ml (\cosh mx + \cos mx) - (\sinh ml \cos ml \right. \right. \\ \left. \left. + \cosh mls \sin ml) (\sinh mx + \sin mx) \right\} \right] \dots (1)$$

ここに $m^2 = \frac{2\pi}{T} \sqrt{\frac{\rho A}{gEI}}$

今 $K = \frac{4\pi^2 a}{gT^2}$, $M_x = EI \frac{a}{2} M_x'$ (2)

とおけば、

$$KT^2 M_x' = \frac{8\pi^2}{g} \frac{M_x}{EI} \dots (3)$$

となる。

数値計算をする為に、断面 1m 角、長さ 10m のコ
ンクリート柱を想定し

$$E = 2 \times 10^6 \text{ tm/m}^2 \quad \rho = 2.3 \text{ tm/m}^3$$

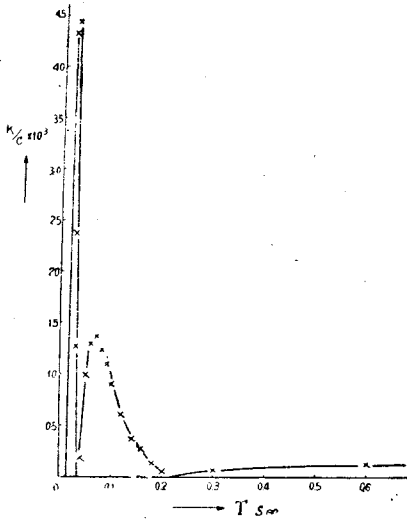
を採用する。

今地震動週期 T を種々に変化させて、柱の全長に
わたつて生ずるモーメントの分布をしらべる。 T が大
きいときは、最大モーメントを生ずる箇所は固定端で
あるが、 T が小になるにつれてこの点は次第に上方に
移動する。之等の最大モーメントの値が一定になるに
は、各週期に於て如何なる震度を必要とするかを調べ
る。云い換えれば、柱の任意の箇所にて一定の最大応力
又は破壊を生ずるに必要な震度は週期によつて如何に
変わるかを調べるのである。(1)(2)式によつて各週期
 T に対する M_x' の値を計算し、柱に生ずる最大のモ
ーメントを求める。次に (3) の右辺を C とおき、最
大モーメント M_x を一定なりとする。

$$KT^2 M_x' = \frac{8a^2}{g} \frac{M_x}{EI} = C \dots (4)$$

これから、 K/C と T の関係を求める。これによつて
柱に生ずる最大モーメントの値を一定にしたときの K
と T の関係が得られるのである。この結果を図示す
れば図-5の如くなる。 K/C が 0 の点は、コンクリ
ート柱の自己振動週期の点に当るものであつて、所謂共
振の現象によつて震度が非常に小さくても破壊が起り
得ることを示す。第1次共振点より大なる週期に於て
は週期の増大と共に破壊を生ずる震度が次第にある一
定値に近づく事を示している。このことは、弾性体に
於ては第一共振点より充分大きな週期の範囲に於て、

図-5



地震の強サが震度によつて表現され、静力学的に取扱つてよい事を示している。然し各共振点の間の点は、週期が小になるにつれて急激に大きな震度でなければ破壊が生じない事を示し、震度が地震の強サを表わすものではない事を物語つてゐる。

5. 結論

以上から従來の、震度が地震の強サを表はす、と云う考え方が全般的には成立しない事が明かになつた。今転倒、崩壊、破壊の限界点が、 K と T を座標にした場合略々双曲線に近い所から KT と T を座標にして同じ限界点を描いて見ると 図-1, 2 に相当するも

図-6 転倒限界

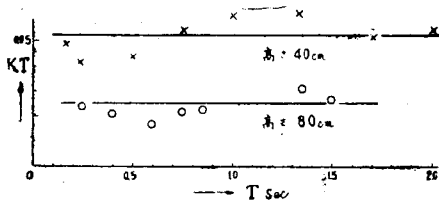


図-7 崩壊限界

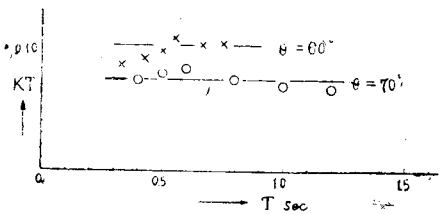
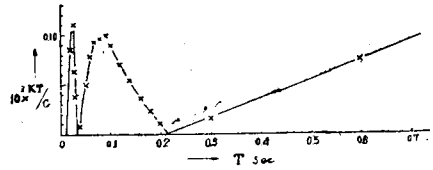


図-8 破壊限界



のが 図-6, 図-4 に相当するものが 図-7, 図-5 に相当するものが 図-8 となる。即ち T の非常に大きな範囲を除けば転倒、崩壊に就いては T の如何にかゝらず KT が略々一定となる。又弾性体の破壊に就ては自己週期より小なる範囲に於ては、 KT の最大値が略々一定で自己週期より大なる範囲に於て T の増大と共に KT が直線的に増大する。以上から弾性体に就いてはその自己振動週期の附近を除き、且つ各々については T の充分大きな範囲を除いて、 KT が地震の強サを示す要素であることが明かになつた。

然らば KT とは如何なる性質を表わすものであろうか。地震動を次の如く表現すれば

$$x = a \sin \frac{2\pi}{T} t = KT^2 \frac{g}{4\pi^2} \sin \frac{2\pi}{T} t$$

速度 v は次の如くなる。

$$v = \frac{dx}{dt} = KT \frac{g}{2\pi} \cos \frac{2\pi}{T} t$$

即ち KT は地震動の速度を表わすものである。

以上から著者が本文に於て述べた範囲に於ては、構造物に一定の影響を与える地震の強サは、震度即ち加速度によつて規定されるよりもむしろ速度によつて規定される範囲が広いと云う事が出来る。

この様にして、従來の単に震度と云う概念だけで耐震の問題を処理する態度が危険であることが明かになつた。即ち各種の耐震問題に関しては、地震の強サの概念に就て再吟味を要するものであると云わねばならない。

尚こゝに著者が述べた所は、単に定性的な議論に止るのであるから、如何なる速度に於てどのような転倒、崩壊、破壊等が生ずるかと云う定量的な研究が重要な課題として残されるのである。又一方地盤の卓越週期、地震のエネルギーの伝播の問題等が地震の強サを定める上に今後研究されねばならない地震観測上の重要課題である。