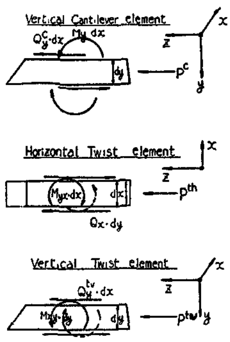
D—5　重力ダムの振動機構。

電力中央研究所　正員　畑野　正

塚原重力ダムの振動実験結果からグラウトしないキーによる横継目をもつ重力ダムでも三次元的な連続体として働いておることを報告しておいた。この場合一つの三角形ブロックの鉛直方向の振動形には位相のづれは認められず，水平方向の併立したブロック相互間には大きな位相のずれを生じたことから各ブロックが横継目によつてお互に影響を及ぼし合う聯成振動的な模型を考えるのが至当かと思われる。

重力ダムの振動論的取扱をするためには先づ外荷重による変位，モーメント及び剪断力の関係を規定する必要がある。これについてはアメリカ開拓局による Twist Analysis の方法があるが横継目をグラウトしない場合の取扱いは修正を要すると思はれるので別に鉛直片持梁要素水平及び鉛直捩り要素の三要素を考えその各々に分担荷重を考えて，この各々により同一変形を生ずるものとする。

この各要素の力の平衡から，次式が得られる。



$$\frac{\partial^2 M_y}{\partial y^2} + 2\frac{\partial^2 M_{xy}}{\partial x \partial y} = p$$

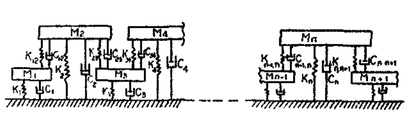
又各要素の上下流方向変位 w とモーメント M 及び剪断力 Q との関係は次のように与えられる。

$$\frac{\partial^2 w}{\partial y^2} = \frac{12 M_y}{E t^3} + \frac{K}{G}\frac{\partial}{\partial y}\left(\frac{Q_y^c}{t}\right)$$

$$\frac{\partial^2 w}{\partial x \partial y} = \frac{12 M_{yx}}{E t^3} + \frac{\alpha}{G}\frac{\partial}{\partial y}\left(\frac{Q_x}{t}\right)$$

$$\frac{\partial^2 w}{\partial x \partial y} = \frac{12 M_{xy}}{E t^3} + \frac{K}{G}\frac{\partial}{\partial x}\left(\frac{Q_y^{tv}}{t}\right)$$

次に併立した各ブロックを一つの質点として取扱い，これに動水圧に関係する水の仮想体を加えた合計質量を M とする。基礎地盤及び相隣ったブロックとのつながりを図の如き，バネ及びダッシポットによるものと考えると，一点加振の場合の振動方程式は次のように与えられる。



$$M_1\ddot{W}_1 + C_1\dot{W}_1 + C_{12}(\dot{W}_1 - \dot{W}_2) + K_1 W_1 + K_{12}(W_1 - W_2) = 0$$

$$M_5\ddot{W}_5 + C_5\dot{W}_5 + C_{45}(\dot{W}_5 - \dot{W}_4) + C_{56}(\dot{W}_5 - \dot{W}_6) + K_5 W_5 + K_{45}(W_5 - W_4) + K_{56}(W_5 - W_6) = P_0 \sin pt$$

$$M_n\ddot{W}_n + C_n\dot{W}_n + C_{n-1,n}(\dot{W}_n - \dot{W}_{n-1}) + C_{n,n+1}(\dot{W}_n - \dot{W}_{n+1}) + K_n W_n + K_{n-1,n}(W_n - W_{n-1}) + K_{n,n+1}(W_n - W_{n+1}) = 0$$

この聯立微分方程式の解として強制振動の項をとればつぎのような型におくことが出来るであろう。

$$W_n = A_n \sin(pt + \alpha_n)$$

A_n ： n ブロックの振幅
α_n ： n ブロックの位相のづれ。

バネ常数は前述の変位の式と振動の微分方程式の時間に関する項を除いたものによって求めることが出来る。粘性減衰係数は既に報告した実験値から推定出来る。

地震動の場合は上下流方向の地動を $g(t)$ とすれば運動方程式の右辺を夫々 $M_n \ddot{g}(t)$ とおけばよいことになる。この場合地震波の波長とダムの長さの関係から $M_n \ddot{g}(t+\beta_n)$ として、β_n によりブロック別の地震動のずれを加味する必要があるかもしれない。

この問題は地震時に於るダムの振動同時記録を得ることによって追求して行きたいと考える。又この結果を運動方程式に適用し計算機による解を得たいと思う。

上述のような振動機構を想定して重力ダムの耐震設計を行うことは、あまりに繁雑であるから、堤体全体を一体のものとして、著者が既にアーチダムに就て提唱した方法と同様に、重力ダムについても取扱うことが一つの方法であると考える。この場合ダムの運動方程式は

$$\ddot{q}_t + 2\varepsilon \dot{q}_t + n^2 q_t = C \ddot{g}(t)$$

$$\varepsilon = \frac{\gamma}{2\mu}, \quad n^2 = \frac{\lambda}{\mu}, \quad C = \frac{-1}{2\mu}\iint\left(\frac{S_c}{g}t + \frac{S_w}{g}b_w\right)\omega\, dx\, dy,$$

ここに 振動曲線 $W = \omega \cdot q_t$

位置のエネルギー $V = \left\{\iint\left(\frac{1}{2}\frac{12}{Et^3}M_y^2 + \frac{1}{2}\frac{K}{Gt}Q_y^{c^2} + \frac{1}{2}\frac{12}{Et^3}M_{yx}^2 + \frac{1}{2}\frac{\alpha}{Gt}Q_x^2 + \frac{1}{2}\frac{12}{Et^3}M_{xy}^2 + \frac{1}{2}\frac{K}{Gt}Q_y^{tw^2}\right)dx\,dy\right\}q_t^2$

$= \lambda q_t^2$

運動のエネルギー $T = \left\{\iint\frac{1}{2}\left(\frac{S_c}{g}t + \frac{S_w}{g}b_w\right)\omega^2 dx\,dy\right\}\dot{q}_t^2 = \mu \dot{q}_t^2$

消散函数 $F = \gamma \dot{q}_t^2$

ダムの振動週期は

$$T_0 \fallingdotseq 2\pi\sqrt{\frac{\mu}{\lambda}}$$

であたえられる。

鉛直片持梁要素に水圧が作用するとして、これによる変位が捩り要素にも同様に生ずるとしてエネルギー計算を行った結果は、片持梁の曲げ及び剪断によるエネルギーが略同等に支配的に大きく、週期は 0.149 sec と計算され実験値 0.145 sec に略々近い値となった。

（完）