

# アースダムの振動性状について

正員 横 尾 義 貫\*  
 正員 石 崎 澄 雄\*\*  
 正員 畠 山 直 隆\*\*\*

## VIBRATION CHARACTERISTICS OF EARTH DAMS

Dr. Eng., Yoshitsura Yokoo, C.E. Member, Dr. Eng., Hatsuo Ishizaki,  
 C.E. Member, and Naotaka Hatakeyama, C.E. Member

### Synopsis :

The vibrational problems of earth dam have been, heretofore, treated as that of the shear-vibration. The authors point out here, that it should be considered to be a sort of vibration with the vertical as well as horizontal displacement, according to the results of field experiments, agar-agar model tests and some theoretical considerations.

要 旨 アースダムの耐震性を明らかにする一助として、振動性状について若干の2次元考察を行った。その結果、アースダムの振動はせん断振動のような簡単な考え方のみでは不十分で、上下、水平両方向の変位を含む伸縮のある振動として取り扱うべきであることを述べた。

### 1. 緒 言

アースダムのような土構造物に地震力が働いた場合の振動は主としてせん断振動<sup>1),2)</sup>として取り扱われてきた。しかしこのような構造物では、せん断振動と考えるより、伸縮を伴う振動として取り扱った方が適当であるように思われる。この見地にもとづき、実際の堤防における実験、若干の理論的考察、および基本三角形としての寒天模型実験によつて、これを2次元的に明らかにしたいと思う。

### 2. 堤防における振動実験

#### (i) 実験方法

実験堤防：京都大学防災研究所宇治川水理実験所付近の宇治川右岸堤防で、形状、寸法を 図-1 に示す。

起振方法：1/4 馬力不平衡式起振機による。

測定方法：起振機を堤防天端上に設置し、堤防に直角に、水平方向に加振した。測定には動線輪型微動計（固有振動数 2 c/s）を使用した。微動計設置位置を 図-1 に示す。

弾性波速度の測定：堤防の犬走り、および天端において、堤防の長さ方向に、落錘および起振機によつて物理探査を行い、縦波の速度を求め、また横波の速度を推定した。

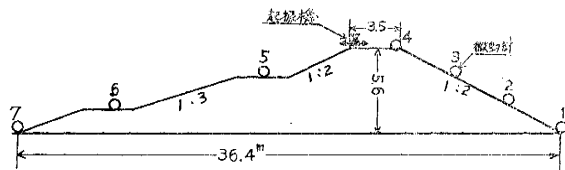
#### (ii) 実験結果

共振周期：天端の測定記録について、縦軸に全振幅加振遠心力をとり、横軸に周期をとつて図示すると、図-2 のようになる。共振周期は 0.08 秒、0.06 秒付近に現われている。なお 0.14 秒付近から再び曲線は上昇し、低次の共振点があるようである。

振動形状：共振点付近の 1/50 秒ごとの振動形を示すと、図-3,4 のようになり、堤防の両側で位相がずれ、振幅が異なつて、堤体の伸縮の振動が起つている。この振動形は明らかにせん断振動とは異なる。

弾性波速度：縦波速度は天端では 214 m/sec、犬走りでは、第1層 118 m/sec、第2層 273 m/sec、第3層 500 m/sec であつた。起振機による加振方向と直角方向の伝播速度が 96.1 m/sec である。これは横波の速度にほぼ等しいとしてもよいであろう。

図-1 堤体断面および振子配置

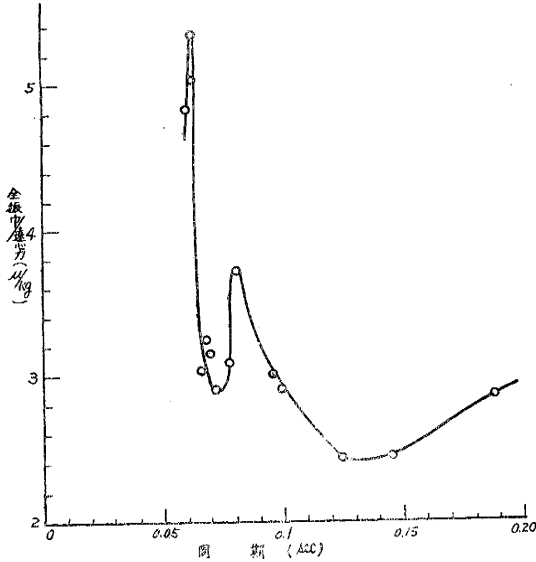


\* 工学博士，京都大学教授，防災研究所

\*\* 工学博士，京都大学助教授，防災研究所

\*\*\* 立命館大学助教授，理工学部土木工学教室

図-2 共振曲線



上述の実験から堤体の振動はセン断振動ではなく、堤体の両側で位相がずれて、伸縮変形が伴って生じていることが認められる。

3. 半円柱体の振動による理論的考察

クサビ状棒であれば伸縮変形を含む振動は曲げ変形、およびセン断変形の併したものと取り扱うことができ、堤状体でも同様の考察の下に取り扱った例<sup>1)</sup>があつて、比較的扁平な通常の堤状体の場合にはセン断振動的であることが示されている。しかしこれらは断面の平面保持の仮定にもとづいており、この仮定がどの程度みだされるか疑問で、前項の実験結果から推定すれば、かなり扁平なものでも伸縮を伴うものと考えられる。従つて若干の理論的考察を加えたいと思う。上述の実験結果を考察するためには、三角堤状体を理論的に取り扱うのが望ましいが、極めて困難であるので、以下に半円柱体を取り上げる。

(i) 半円柱体2次元理論式

半円柱体の長さ方向の振動は一様とし、2次元的に自由振動を考へて、固有周期、振動形状を調べる。円柱座標を用いて、半径を  $r$ 、半径と原線のなす角を  $\theta$ 、半径方向、およびこれと直角方向の変位を、それぞれ  $u, v$  とすれば、2次元の半円の運動方程式<sup>2)</sup>は (1), (2) で表わされる。

$$\left(\frac{\rho}{\lambda+2\mu}\right)\frac{\partial^2 \Delta}{\partial t^2} = \frac{1}{r}\frac{\partial}{\partial r}\left(r\frac{\partial \Delta}{\partial r}\right) + \frac{1}{r^2}\frac{\partial^2 \Delta}{\partial \theta^2} \dots\dots\dots (1)$$

$$\left(\frac{\rho}{\mu}\right)\frac{\partial^2 \bar{\omega}}{\partial t^2} = \frac{1}{r}\frac{\partial}{\partial r}\left(r\frac{\partial \bar{\omega}}{\partial r}\right) + \frac{1}{r^2}\frac{\partial^2 \bar{\omega}}{\partial \theta^2} \dots\dots\dots (2)$$

ここに 
$$\Delta = \frac{1}{r}\frac{\partial(ru)}{\partial r} + \frac{1}{r}\frac{\partial v}{\partial \theta}, 2\bar{\omega} = \frac{1}{r}\frac{\partial(rv)}{\partial r} - \frac{1}{r}\frac{\partial u}{\partial \theta} \dots\dots\dots (3)$$

ただし、 $\lambda, \mu$  は Lamé's const.,  $\rho$  は density.

いま、 $u, v$  がそれぞれ  $\cos n\theta, \sin n\theta$  に比例するものとして、次のようにかく。

$$u = U(r)\cos n\theta \cdot e^{i\rho t}, v = V(r)\sin n\theta \cdot e^{i\rho t} \dots\dots\dots (4)$$

(1)~(4) より

$$\frac{\partial^2 \Delta}{\partial r^2} + \frac{1}{r}\frac{\partial \Delta}{\partial r} + \left(h^2 - \frac{1}{r^2}\right)\Delta = 0, \text{ ここに } h^2 = \frac{\rho \rho^2}{(\lambda+2\mu)}$$

図-3 振動形状(1/50°毎, 0.08°付近)

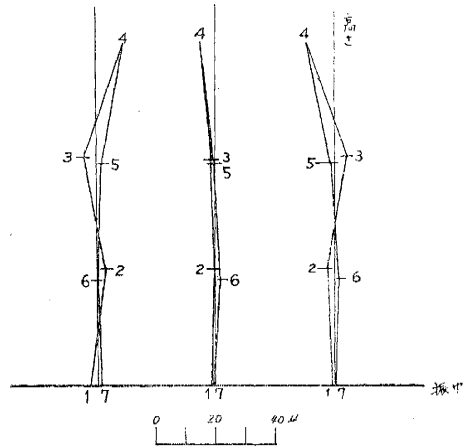
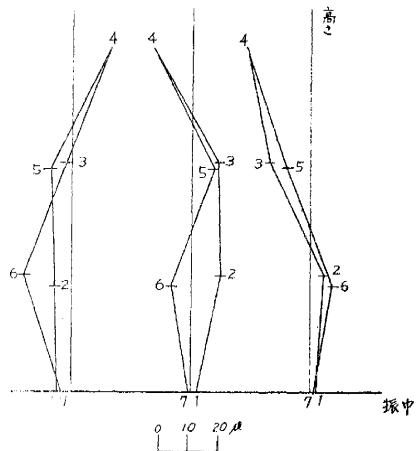


図-4 振動形状(1/50°毎, 0.06°付近)



$$\frac{\partial^2 \bar{\omega}}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \frac{\partial \bar{\omega}}{\partial r} + \left(k^2 - \frac{1}{r^2}\right) \bar{\omega} = 0, \text{ ここに } k^2 = \frac{\rho p^2}{\mu}$$

(4)  $r=0$  かつ  $\infty$ ,  $(\bar{\omega})_{r=0}$  かつ  $\infty$  の条件を考慮して  $\Delta, \bar{\omega}$  の一般解を求めると

$$\Delta = -h^2 B J_n(hr) \cos n\theta \cdot e^{i p t}, \quad \bar{\omega} = k^2 C J_n(hr) \sin n\theta \cdot e^{i p t} \dots\dots\dots (5)$$

ここに  $B, C$  は常数とする。さらに

$$\frac{\partial U}{\partial r} + \frac{U}{r} + \frac{nV}{r} = -h^2 B J_n(hr), \quad \frac{\partial V}{\partial r} + \frac{nU}{r} + \frac{V}{r} = k^2 C J_n(hr) \dots\dots\dots (6)$$

(6) より,  $\Delta, \bar{\omega}$  と  $U, V$  の関係は次のようにおくことによつて満足される。

$$U = B \frac{\partial}{\partial r} J_n(hr) + nC \frac{J_n(hr)}{r}, \quad V = -nB \frac{J_n(hr)}{r} - C \frac{\partial}{\partial r} J_n(hr) \dots\dots\dots (7)$$

いま境界条件を次のようにおく。

$$(\bar{r}\bar{r})_{r=a} = \left(\lambda \Delta + 2\mu \frac{\partial u}{\partial r}\right)_{r=a} = 0, \quad (\bar{r}\bar{\theta})_{r=a} = \left[\mu \left\{\frac{1}{r} \frac{\partial u}{\partial \theta} + r \frac{\partial}{\partial r} \left(\frac{v}{r}\right)\right\}\right]_{r=a} = 0$$

これと (4), (5), (7) の関係を用い,  $B, C$  を消去すれば, 次の振動数方程式が得られる。

$$4n^2 \mu \{ (n-1) J_n(ka) - ka J_{n+1}(ka) \} \{ (n-1) J_n(ha) - ha J_{n+1}(ha) \} \\ = \{ -2n(n-1) J_n(ka) + 2nka J_{n+1}(ka) - k^2 a^2 J_{n+2}(ka) \} \\ \times [ \{ \lambda h^2 a^2 - 2\mu n(n-1) + \mu h^2 a^2 \} J_n(ha) + 2n\mu ha J_{n+1}(ha) - \mu h^2 a^2 J_{n+2}(ha) ] \dots\dots\dots (8)$$

次に自由振動形状は,  $u' = U(r) \cos n\theta$ ,  $v' = V(r) \sin n\theta$  とおけば

$n=1$  の場合

$$u' = \left\{ \begin{aligned} &[1/r J_1(hr) - h J_2(hr)] + \alpha/r J_1(kr) \cos \theta \\ &v' = [-1/r J_1(hr) - \alpha\{1/r J_1(kr) - k J_2(kr)\}] \sin \theta \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (9)$$

ここに

$$\alpha = 2h J_2(ha) / \{-2k J_2(ka) + k^2 a J_3(ka)\}$$

$n=2$  の場合

$$u' = \left\{ \begin{aligned} &[2/r J_2(hr) - h J_3(hr)] + 2\alpha/r J_2(kr) \cos 2\theta \\ &v' = [-\alpha/r J_2(hr) - \alpha\{2/r J_2(kr) - k J_3(kr)\}] \sin 2\theta \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (10)$$

ここに

$$\alpha = 4\{J_2(ha) - ha J_3(ha)\} / \{-4J_2(ka) + 4ka J_3(ka) - k^2 a^2 J_4(ka)\}$$

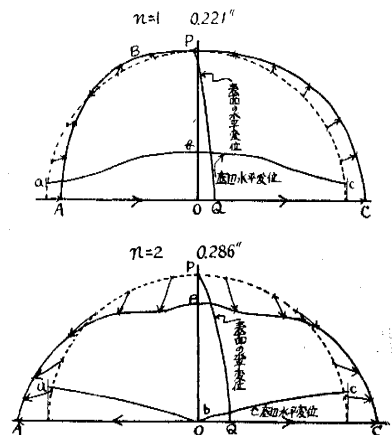
(ii) 数値計算

計算に使用した数値は前述の物理探査の結果により縦波速度  $= \{(\lambda + 2\mu)/\rho\}^{1/2} = 200$  m/sec, 横波速度  $= (\mu/\rho)^{1/2} = 100$  m/sec とし,  $\rho = 1.6$  t/m<sup>3</sup> と仮定すれば  $\lambda = 316$  kg/cm<sup>2</sup>,  $\mu = 163$  kg/cm<sup>2</sup>,  $h = P/2 \times 10^{-4}$  /cm,  $k = p \times 10^{-4}$  /cm ポアソン比は約 1/3 となる。半径は 10 m とし, (8) によつて,  $n=1, 2$  として 3 次振動までの周期を求めると, 表一のようなになる。 $n=2$  の 1, 2 次振動周期は,  $n=1$  の 1 次振動周期より長く,  $n=2$  の場合の振動が起りやすいことが, この表からわかる。次に (9), (10) によつて 1 次の場合の自由振動形状を求めると, 図-5 のようなになる。図の ABC は表面変形, abc は底辺の水平変位, PQ は表面の水平変位を示す。また表面各点の変位の方向を矢印で示した。この図をみると,  $n=1$  の場合は水平変位が底辺で最大, 頂点付近で最小となり, 全体的にセン断振動的変形をしている。 $n=2$  の場合は鉛直軸を境として両側に反対方向に伸びを生じ, 縦振動的変形をしている。

表一

	$n=1$	$n=2$
1 次	0.22°	0.29°
2 次	0.10	0.26
3 次	0.08	0.13

図 5 振動形状



(iii) 半円柱体のセン断振動, 縦振動

同一高さの点の水平変位がすべて等しいとする セン断振動は実際には起り得ないが, しばしばこのような取り扱いがなされているから, 比較のため, 半円柱体について計算を行う。

水平方向に  $x$  軸, 上下方向に  $z$  軸をとり,  $x$  方向変位を  $\xi$ , 半径を  $R$ , 密度を  $\rho$ , 剛性率を  $\mu$  とする。半円柱

体の運動方程式は

$$\rho\sqrt{R^2-Z^2}\frac{\partial^2\xi}{\partial t^2}=\frac{\partial}{\partial Z}\left(\sqrt{R^2-Z^2}\cdot\mu\cdot\frac{\partial\xi}{\partial Z}\right) \dots\dots\dots(11)$$

$\mu$  が高さ方向に変化しないものとすれば (11) を変形して

$$\frac{\partial^2\xi}{\partial t^2}=\frac{\mu}{\rho}\left[\left(\frac{-Z}{R^2-Z^2}\right)\frac{\partial\xi}{\partial Z}+\frac{\partial^2\xi}{\partial Z^2}\right] \dots\dots\dots(12)$$

境界条件は  $(\xi)_{Z=0}=0, (\partial\xi/\partial Z)_{Z=R}=0 \dots\dots\dots(13)$

(12) について、 $\xi=T\cdot X$  として変数分離を行えば

$$\frac{d^2T}{dt^2}+\frac{\mu}{\rho}m^2T=0 \dots\dots\dots(14)$$

$$\frac{d^2X}{dZ^2}-\left(\frac{Z}{R^2-Z^2}\right)\frac{dX}{dZ}+m^2X=0 \dots\dots\dots(15)$$

ただし  $m$  は常数である。(14) より

$$T=\cos[m(\mu/\rho)^{1/2}t] \dots\dots\dots(16)$$

(16) の  $m$  を (15) によつて境界条件から決定すれば周期  $T$  が求められる。(15) は  $Z/R=u$  とおくと

$$(u^2-1)\frac{d^2X}{dt^2}+u\frac{dX}{du}+(u^2-1)\alpha X=0, (\alpha=m^2R^2) \dots\dots\dots(17)$$

$$X=\sum_{s=0}^{\infty}a_su^s \dots\dots\dots(18)$$

とおくときは (17) は

$$\sum_{s=2}^{\infty}\{(s^2-\alpha)a_s-(s+1)(s+2)a_{s+2}+\alpha a_{s-2}\}u^s+\{(1-\alpha)a_1-6a_3\}u-(2a_2+\alpha a_0)=0 \dots\dots\dots(19)$$

境界条件を考へて、この式の係数  $a_s$  の関係を求めると

$$a_1+3a_3+5a_5+7a_7+\dots+(2r+1)a_{2r+1}+\dots=0 \dots\dots\dots(20)$$

$$(2r+1)a_{2r+1}=[\{(2r-1)^2-\alpha\}a_{2r-1}+\alpha a_{2r-3}]/2r \dots\dots\dots(21)$$

(20) と (21) の関係より、 $\alpha=3.6$  となる。 $R=10$  m とすれば  $m=0.19$  となり、横波速度=100 m/sec とすれば (16) によつて周期は 0.33 秒となる。

(iv) セン断振動および縦振動周期との比較

いま、図-5 についてきわめて大まかに考えると、 $n=1$  の場合は水平的振動、 $n=2$  の場合は上下の振動となるが、この場合は底辺の拘束が不十分である。この理論解と剛地盤上にある場合のセン断、縦振動の周期を半円形体について比較すると、表-2 のようになる。直方体、三角形体についても参考のため併記した。この場合、高さ、または半径 10 m、縦波速度 200 m/sec、横波速度 100 m/sec として求めた。表-2 をみると半円形体の場合はいずれも 0.2~0.3 秒程度の周期であるから、この程度の加振周期によつて  $n=1, n=2$  の振動が誘起されやすいことが明らかである。すなわち、地震時の振動形状として、セン断振動に近い  $n=1$  の場合のみならず、上下振動的な  $n=2$  のようなものが誘起されると考えなければならない。

表-2

形 状	セン断振動	理 論 計 算	縦 振 動
直 方 体	0.40"	—	0.25"
半円形体	0.33	$n=1$ 0.22" $n=2$ 0.29"	0.21
三 角 形 体	0.26	—	0.16

以上によつて、堤体については伸縮の振動が生じ得ることを、おおむね明らかにできたが、理論的考察には不備な点もあり、これのみでは明かにできない点もあるから、さらに寒天による模型実験を行った。

表-3

実験類別	断面形状	半径または高さ (cm)	堤底幅/高さ
実験Ⅰ	A 半 円 形	10	2.0
	B 二等辺三角形	10	2.0
	C 同 上	6.5	3.1
実験Ⅱ	A 二等辺三角形	10	2.0
	B 不等辺三角形	7.5	2.7
	C 二等辺三角形	5.5	3.6
実験Ⅲ	A 半 円 形	10	2.0
	B 二等辺三角形	10	2.0
	C 同 上	5.5	3.6

4. 寒天模型実験

(i) 実験概要

供試体：寒天の濃度は重量比で約 2%，模型の寸法は堤底を幅 20 cm、長さ 50 cm とし、断面の形状、寸法は表-3 に示す。

加振装置：(A) (a) 水平振動台。載荷板を両側で、下方より板バネにより支持し、板に水平加振を行う方式である。

(b) 上下振動台。載荷板の一端を板バネで支持し、他端

で上下加振する方式である。

(B) 明製作所製 EST-2 型動電型振動台、加振状態を図-6 に示す。

以下 (A),(B) の上下、水平振動台、および EST-2 型振動台による場合を、加振方法 (A),(B) と称する。

測定方法：各形状ごとに上下、水平方向に加振した。共振周期は模型の中央頂点の麦かん（注）に小鏡を付した装置により光学記録をとる方法によつた。振動形状は、寒天がやわらかいので、主としてストロボ写真撮影により、模型の端面に多くの黒点をつくり、長さ方向中央部には小棒をたてこれを撮影した。実験 I, II は加振方法 (A), 実験 III は加振方法 (B) によつた。

寒天弾性常数測定：小直方体をつくり、実験 I, II は加振方法 (A), 実験 III は加振方法 (B) によつて 1 次共振周期を求めた。小直方体の寸法は表-4 のようである。

図-6 EST-2 型振動台

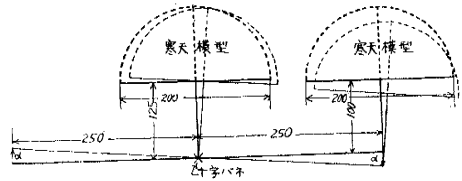


表-4

	小直方体作製方法	底面寸法 (cm×cm)	高さ (cm)	共振周期	
				上下加振	水平加振
実験 I	本実験の供試体を切つて作製	7.2×4.9	2.3	0.034"	0.037"
			3.0		0.047
			4.5		0.073
実験 II	本実験の供試体と同一寒天溶液より別個に作製	14.5×8.5	3.8	0.041	0.047
			6.8		0.083
実験 III	本実験の供試体を切つて作製	12.0×4.9	4.0	0.049	0.080

これらについて、上下、水平両加振の場合を一応それぞれ縦、セン断振動するとして 1 次共振周期より、縦波速度  $(E/\rho)^{1/2}$ 、横波速度  $(\mu/\rho)^{1/2}$  を求めた。なお実験 I, II については、上下加振の共振周期より、縦振動するとして、縦波速度を求め、水平加振の共振周期よりセン断曲げ振動<sup>\*)</sup>として横波速度を求めた。

(ii) 実験結果

表-5

実験 I

加振方向	速度 (cm/sec)	三角形体		三角形体		半円形体		半円形理論計算
		高さ 10 cm		高さ 6.5 cm		半径 10 cm		半径 10 cm
		計算値	実験値	計算値	実験値	計算値	実験値	計算値
上下 ( $T_U$ )	$\sqrt{\frac{E}{\rho}} = 527$	0.050"	0.051"	0.032"	0.048"	0.0627"	0.063"	$n=2$ 0.089"
水平 ( $T_H$ )	$\sqrt{\frac{\mu}{\rho}} = 250$	0.104	0.078	0.068	0.062	0.132	0.102	$n=1$ 0.059
	* $\sqrt{\frac{\mu}{\rho}} = 290$	0.090		0.059		0.114		$(\sqrt{\frac{\mu}{\rho}} = 290 \text{ cm/sec})$ として計算)
$T_H/T_U$			1.53		1.29		1.62	

\* セン断曲げ振動として求めたもの

表-6

実験 II

加振方向	速度 (cm/sec)	三角形体		三角形体		三角形体	
		高さ 10 cm		高さ 7.5 cm		高さ 5.5 cm	
		計算値	実験値	計算値	実験値	計算値	実験値
上下 ( $T_U$ )	$\sqrt{\frac{E}{\rho}} = 615$	0.043"	0.050"	0.032"	0.036"	0.024"	0.030"
水平 ( $T_H$ )	$\sqrt{\frac{\mu}{\rho}} = 303$	0.086	0.076	0.065	0.055	0.047	0.043
	* $\sqrt{\frac{\mu}{\rho}} = 320$	0.082		0.061		0.045	
$T_H/T_U$			1.52		1.53		1.43

\* セン断曲げ振動として求めたもの

1次共振周期：(a) 加振方法 (A) による場合、実験 I, II の各形状の上下、水平両加振の場合の最低次共振周期を表-5, 6 に示す。さらに半円形体、三角形体がそれぞれ縦、セン断振動するとし、前述の縦波、横波速度を用いて求めた1次周期を表中に示した。縦振動の計算値は実験による上下加振の周期より短かく、またセン断振動の計算値は水平加振の周期より長い。

つぎに水平加振による周期 ( $T_H$ ) と上下加振による周期 ( $T_U$ ) との比  $T_H/T_U$  を算出すると、表-3 では多少変動があるが、表-4 では形状、高さに関係せず、1.5 付近の値となる。これはセン断振動周期 ( $T_S$ ) と縦振動周期 ( $T_L$ ) の比は  $T_S/T_L = (E/\mu)^{1/2}$  となるが、 $T_H/T_U$  もある弾性常数の関係式で表わされることを示していると思う。また堤底幅が同一な場合、高さが小さくなると  $T_H$  と  $T_U$  の差は次第に小さくなる。この実験では、 $T_H/T_U < T_S/T_L$  であるから、縦、セン断振動としたときより周期の差が小さくなるのがわかる。しかし高さが小さくなれば  $T_H$  と  $T_S$ 、 $T_U$  と  $T_L$  の差も小さくなるから、この点から見ると周期はセン断、または縦振動としてもほとんど違いがないと思われる。

表 5 の半円形理論計算は (8) により周期を計算したもので、堤底の条件がきわめて不完全であるが、 $n=1$  の場合より、 $n=2$  の場合の周期が長い。

(b) 加振方法 (B) による場合、実験 III の各形状の上下、水平両加振の場合の最低次共振周期を表-7 に示した。これによると、いずれの形の場合でも、上下、水平両加振の共振周期はほとんど同じである。前述の縦波、横波速度を用いた縦、セン断振動としての計算値を表-7 に記した。この場合は同一の模型について、純粋の上下、水平加振を行っていないが、周期は純粋な両加振の共振周期の中間値を示しているようである。

表-7

実験 III

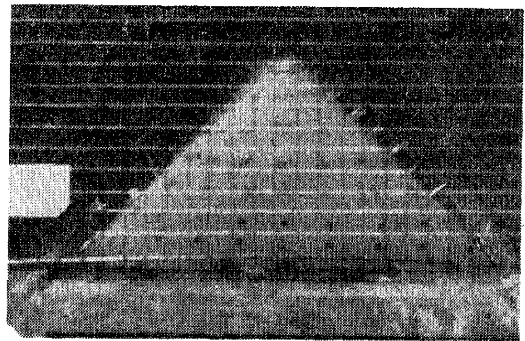
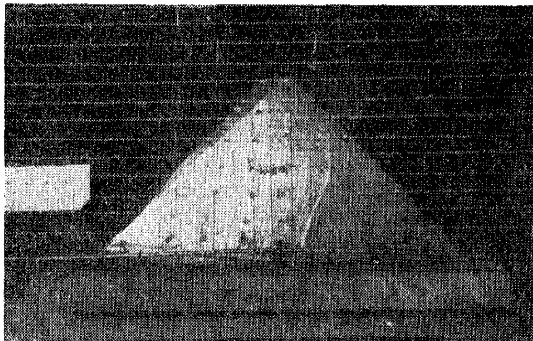
加振方向	速度 (cm/sec)	半円形体		三角形体		三角形体	
		半径 10 cm		高さ 10 cm		高さ 5.5 cm	
		計算値	実験値	計算値	実験値	計算値	実験値
上下	$\sqrt{\frac{E}{\rho}} = 326$	0.101"	0.122"	0.080"	0.111"	0.044"	0.061"
水平	$\sqrt{\frac{\mu}{\rho}} = 200$	0.165	0.123	0.108	0.108	0.072	0.060

寒天弾性常数測定において、小直方体のセン断振動周期 ( $T_S$ ) と縦振動周期 ( $T_L$ ) との比は、やはり  $T_S/T_L = (E/\mu)^{1/2}$  で表わされ、ポアソン比  $\sigma = 0 \sim 1/2$  にしたがって、 $2^{1/2} \sim 3^{1/2}$  の変化を示す。この  $T_S/T_L$  は実験 I, II ではそれぞれ 2.1, 2.0 となり、 $3^{1/2}$  よりはるかに大きい。この点からも小直方体を上下、水平加振し、縦、セン断振動するとして、弾性常数を求めた点に無理があることがわかる。しかし従来このようにして弾性常数を求めているので、ここでは比較のためにこの弾性常数を用いた。

振動形状：(a) 加振方法 (A) による場合、ストロボ、および普通の方法で撮影した写真のうち、代表的一例を写真-1, 2 に示した。写真は変形が小さくわかり難いので、別にこの様子を誇張して図-7 に示す。これらによ

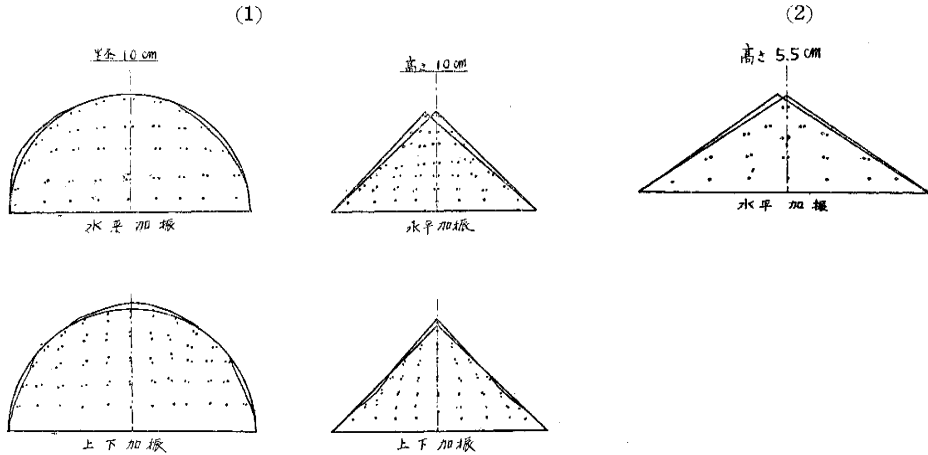
写真-1 水平加振 (高さ 10 cm) 端面ストロボ撮影

写真-2 水平加振 (高さ 10 cm) 端面及び中央部普通撮影



ると上下、水平両加振とも両方向の変位が見られる。端面の形状は自由端の影響が入っているが、堤体長さ方向中央表面とよく似ていて、本質的には相違がないと思われる。また供試体の形が半円形、三角形体と変わっても同じような振動形状を示している。上下加振の場合は全体として縦振動の変形をするが、鉛直軸を境として両側に

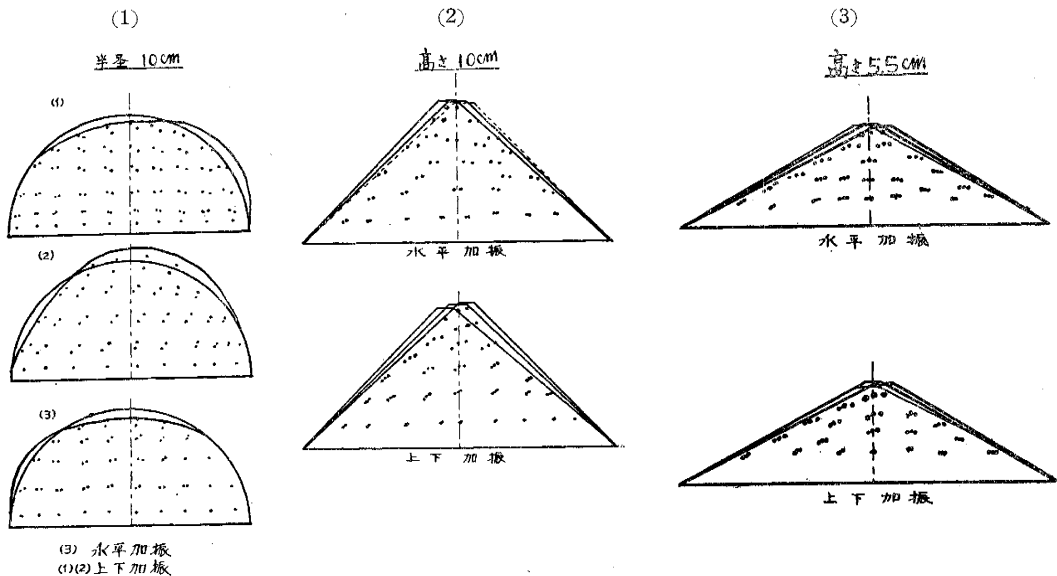
図-7 振動形状



伸縮を生じ、水平加振の場合はセン断振動的である。また両加振の場合、ともに堤体表面に沿った変位を生じ、表面で明らかに張力を生じている。図-5によると、 $n=1,2$  の場合はそれぞれ水平、上下加振の場合の振動形状に似ている。従つて、理論計算  $n=1,2$  の場合はそれぞれこれらに相当すると考えられる。

(b) 加振方法 (B) による場合、振動状況を図-8 に示す。これによると、いずれの形の場合でも加振方向に關せず似たような振動形状を示す。前述したように周期もほとんど同じで、こうした振動が卓越したものと思われる。また堤体表面に沿つた変位を生じ、実験 I, II における上下、水平加振の場合の複合した様相を呈しているように思われる。

図-8 振動形状



### 5. 結 言

アースダムの振動形状、周期について若干の2次元的考察を行なつたが、これらにもとづいて結論を述べると次のようである。

(1) 三角堤体の振動形状としては上下振動的なもの、水平振動的なものがあると考えられる。この上下、水平両振動の振動形状は、それぞれ縦、セン断振動とは異なつて、それぞれ縦、セン断変形とともにかなりの伸縮変形を伴う。上下振動的な振動形状は堤体の両側で鉛直軸を境として、反対方向に伸縮を生じ、堤体表面にも伸縮を生ずる。水平振動的な振動形状は全体的にセン断変形をするが、やはり堤体表面に伸縮を生ずる。上下、水平両方向の複合した Rolling のような振動を与えると、上述の上下、水平振動の場合の複合した振動形状を呈

し、表面に伸縮を生ずる。堤体のき裂、すべり面の発生についての大体の傾向を知るためには、振動形状のみでは不十分で、堤体の応力分布を知る必要があるが、これらについては現在研究を進めている。

(2) 三角堤体はそれぞれ縦、セン断振動とした周期とは異なつた周期をもっているが、これらの周期に近く、堤底幅に比して高さが小さくなれば上下、水平加振の場合の周期は相当接近し、縦、セン断振動の周期と大差がなくなる傾向をもっている。従つて地震時には水平方向のみでなく、上下方向にも加振される場合があると考えられるから、上下、水平振動的ないしはそれらの複合した振動が誘起される可能性がある。

以上アースダムの耐震性に関してごく基礎的な考察を行なつたにすぎず、土構造物は破壊を生ずるような強大振動をする場合には塑性体としての性状を示し、複雑な現象を呈すると思われるし、なお多くの困難な問題を残しており、今後の研究に待たねばならない。

参 考 文 献

- (1) 松村孫治;地震動による土壌堤の変形, 土木試験所報告, 28号, 昭和9
- (2) 畑中元弘;土壌堤の振動に関する3次元の考察, 土木学会誌, 37巻, 10号, 昭和27.10
- (3) 畑中元弘・河井敏, 楔状体の振動性状について, 土木学会第10回年次大会講演概要, 昭和29.5
- (4) 前掲(1)
- (5) A.E. Love; The Mathematical Theory of Elasticity, 1934, Fourth Edition, p. 288.
- (6) 石崎源雄;剪断曲げ振動について, 日本建築学会研究報告, 22号, 昭和28.5 (昭.32.1.28)

正 誤 表

土木学会論文集第32号(昭和31.3) 登載

能町純雄: 弾性基礎にある四辺, 四隅とも自由な矩形板の面げについて

ページ	行	誤	正
27	上から 12	上式中, 左辺	上式中, 右辺
28	上から 15	境界条件 (7), (9), (11)	境界条件 (7), (9), (10)

正 誤 表

土木学会論文集第38号(昭和31.10) 登載

毛利正光: 駐車場計画に関する基礎理論の研究

ページ	行	誤	正
51	11	$A+1$	$\overset{\circ}{A}$
51	式(18)	$\phi = \frac{1}{A!} \left(\frac{m}{l}\right)^{A+1} \frac{i}{A-m/l} p_0$	$\phi = \frac{1}{A!} \left(\frac{m}{l}\right)^{\overset{\circ}{A}} \frac{\overset{\circ}{A}}{A-m/l} p_0$
52	式(20)	$\phi_b = \frac{1}{A!} \left(\frac{m}{l}\right)^{A+b} \frac{A}{A^b(A-m/l)} p_0$	$\phi_b = \frac{1}{A!} \left(\frac{m}{l}\right)^{A+b-1} \frac{A}{A^{b-1}(A-m/l)} p_0$
52	19	2台以上	3台以上
52	表-2	1台以上, 2台以上, 3台以上	2台以上, 3台以上, 4台以上
52	表-2	1台以上が駐車不能となる場合として右の値を追加する	$m/l=1$ 0.387 $m/l=2$ 5.97 $m/l=3$ 23.62 $m/l=4$ 56.39

正 誤 表

土木学会論文集第39号(昭和31.12) 登載

“ON BENDING TORSION OF SIMPLY SUPPORTED BEAMS WITH  $\square$  SHAPE SECTION”

By Sumio NOMACHI

ページ	行	誤	正	備 考
2	23	$q_m b \left\{ 1 + \frac{G'J'}{6Nb} \left(\frac{m\pi}{a}\right)^2 \right\}$	$\frac{1}{2} q_m b \left\{ 1 + \frac{G'J'b}{6N} \left(\frac{m\pi}{a}\right)^2 \right\}$	Numerator in right side of Eq. (7)
4	10	$\left( \frac{\partial}{\partial x} \cdot \frac{\partial}{\partial y} \right) \varepsilon$	$\left( \frac{\partial}{\partial x} \cdot \frac{\partial}{\partial y} \right) \varepsilon$	Eq. (11)
4	22	$\frac{\pi A_m}{2}$	$\overset{\circ}{A}_m$	
5	14	$\overset{\circ}{F}_m$	$\frac{2 \overset{\circ}{F}_m}{N}$	Left sides of Eq. (17)
5	15	$\overset{\circ}{B}_m$	$\frac{2 \overset{\circ}{B}_m}{N}$	