報　文

UDC 627.821.2.042.7:534.13

寒天模型による重力ダムの振動実験

正員　工学博士　畑　野　正*

VIBRATION TESTS OF GRAVITY DAMS WITH AGAR-AGAR MODELS.

(JSCE Oct. 1951)

Dr. Eng., Tadashi Hatano, C.E. Member.

Synopsis This paper reports the results of the vibration tests of gravity dams with agar-agar models to verify the writer's theory. (See the paper "Seismic force effect on gravity dams (I) (III)" Special Issue 1947, 1948 J.S.C.E. and Transaction of J.S.C.E. No. 5)

It was ascertained that the vibration of a triangular body like a gravity dam was the bending vibration, not the shearing vibration. And the results of the model tests, when the reservoir empty or full, coincided with author's theory.

要旨　本文は著者の重力ダムの振動に関する理論[1]を実証する為に行つた寒天模型による実験を述べたものである。重力ダムの如き断面の場合は剪断振動でなく，曲げ振動であることを実験的に確かめ，次で空虚時及び貯水池満水時の振動実験を行つて著者の理論と照合しよく一致することを証明した。

1. 実験の目的

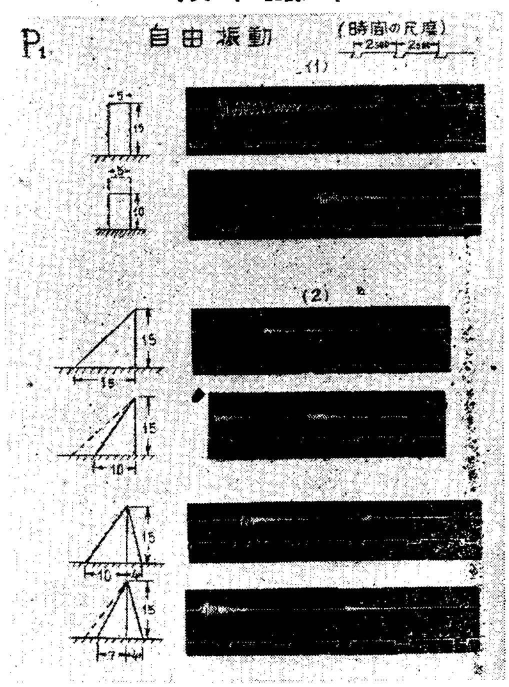
著者は嘗て重力ダムの地震による影響を振動論的に論じたが，これを実証する為に寒天模型によつて振動実験を行つて見た。先づ第一に重力ダムの如き基本三角形体は剪断振動をするものか，曲げ振動をするものかを実験的に決定し，次で貯水池空虚の場合及び満水の場合に相当する振動実験を行つて，変位量を測定し著者の導いた理論式と照合して見たのである。

2. 高さと底辺の略々等しい基本三角形体の自己振動週期より見た振動様式

幅に比し高さの充分大きい構造物は曲げ振動をなすと考えられるが，幅と高さが略々等しいか又は高さが小さい構造物は剪断振動をなすかもしれない。著者がこゝに取扱わんとする基本三角形体は，重力ダムの断面を想定して，その高さが底辺の長さよりやゝ大きいか，略々等しい程度の場合であるので，一応何れの振動をなすかを吟味しておく必要がある。

三角形体の剪断振動の解は既に求められており，その自己週期は次式で示される。

写真―1　記録 P_1



$$T_0=\frac{2\pi}{2.4048}H\sqrt{\frac{\rho}{Gg}}$$

即ち三角形体の形が，自己週期に影響するところは唯その高さだけである。従つて実験的にこの式によるか，著者の式によるかを調べればその振動様式は定ま

* 東京電力株式会社建設部発電計画課

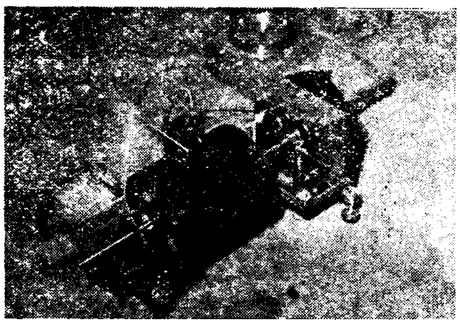
[1] 土木学会誌 昭和22,23年度論文集及第5号論文集

る。

著者が実験に用いたのは約5％の濃さの寒天による模型で，写真—2 に示す如く高さ 15cm，幅 5cm，(厚さ 10cm) の矩形，高さ 15cm，底辺 15cm (厚さ 10 cm) の直角三角形，高さ 15cm，底辺 14cm (厚さ 10 cm) の三角形の3種である。これらは各々その自己週期の観測を終了した後，記録 P_1 (写真—1) に点線で示す如くに矩形のものは高さを 10cm に直角三角形のものは底辺を 10cm に，三角形のものは底辺を 11 cm に切つて，再び自己週期の観測をした。これらの模型は，すべて写真—2 に示す如く底辺の部分を深さ 2cm だけ型枠の中にうめ込んだ状態にして基礎固定とした。模型の高さはすべてこの型枠の中に埋込んだ

写真—2

写真—3



部分を除いた高さである。自己週期の観測は 写真—3 の要領で行つた。即ち機械的地震計の記録に用いられる麦藁の一端に極めて細い針を附したものを，この麦藁の他端を寒天模型の上部にさし込んで模型に固定し，その針尖を煤塗の記録用ドラムに触れしめ時計仕掛によつてドラムを回転する。寒天模型の適当な箇所を指先でついて自己振動を生ぜしめ，その減衰振動を記録せしめる。時間は電接時計によつて2秒毎に記録を入れた。此等の記録をニスにて固定した後 $\frac{1}{100}$mm 読みの読取顕微鏡により，その週期の長さを読み，これを時間の尺度と比較して週期を定める。表—1 はこの値を示したもので，剪断振動でない事が先づ明らかである。

表—1

記号	11。	12。	21。	22。	31。	32。
模型の形	巾 5cm 高さ 15 cm の矩形	11。を高さ 10cm に切つたもの	高さ，底辺各 15 cm の直角三角型	21。の底辺を長さ 10cm に切つた直角三角形	高さ 15 cm 底辺 14cm の三角形	31。の底辺を 11 cm の長さに切つた三角形
週期	0.193sec	0.088sec	0.068sec	0.096sec	0.065sec	0.077sec

次に著者の式で曲げ振動の週期を計算して見よう。

$$T_0=2\pi l\cos\theta\sqrt{\frac{\rho}{gE}}\,\frac{1}{\sqrt{\alpha}}\quad{}^{2)}$$

この場合，模型 12。, 22。, 32。の弾性常数として夫々模型 11。, 21。, 31。の観測週期から著者の式を適用して計算した弾性常数を用いた。この結果は表—2 の如くである。

表—2

模型の種類	11。	12。	21。	22。	31。	32。
観測週期	0.193 sec	0.088 sec	0.068 sec	0.096 sec	0.065 sec	0.077 sec
11,21,31,の観測週期を基にして計算した値	—	0.086 sec	—	0.096 sec	—	0.080 sec

即ち，実測値と理論値との差は 0～4 ％であつて，著者の理論式の示す如き曲げ振動を示すものであると結論することが出来る。

3. 基本三角形体の曲げ振動実験

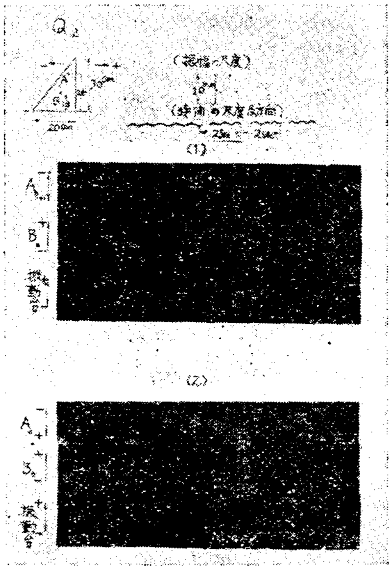
貯水池空虚の場合に対応する振動実験に用いた模型は高さ 30cm 底辺 20cm (厚さ 15cm) の直角三角形である。前述同様底辺の下部 2cm を埋め込んで基礎固定とした。弾性常数は自己週期の測定値 0.25sec を著者の式に適用して 0.642kg/cm² と計算される。

次に写真—4 の様に模型を振動台にのせ，種々の週期振幅にて振動させた。この振動台は写真—4 の右下

写真—4

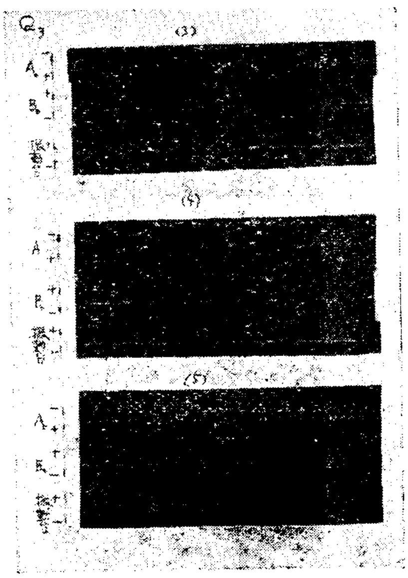
2) 「重力堤堰に作用する地震力の影響(其の一)」(昭和 22, 23年度論文集)(10, (13) 式参照。

写真—5　記録 Q_2



端に見えるバネを通じて直流モーターのシャフトにつけたクランクにより左右動させるものである。振動台の運動は振動台につけた針をドラムの上にすべらして記録した。模型の変位は写真—5 に示す様に直角三角形体の底辺から 13cm 及び 25cm の A，B 2点に麦藁による針尖をつけ，これを振動台上にのせたドラムに記録せしめた。従つてこのドラムの上の記録は振動台に対する相対的な変位を示す事になる。尚B点及び振動台のドラムの回転方向は同一方向であるが，A点のドラムの回転方向はこれらと逆であるから，記録 Q_2（写真—5）に示す如くB及び振動台の記録の上方を＋

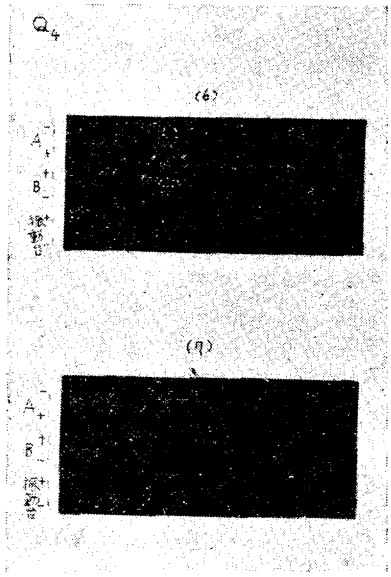
写真—6　記録 Q_3



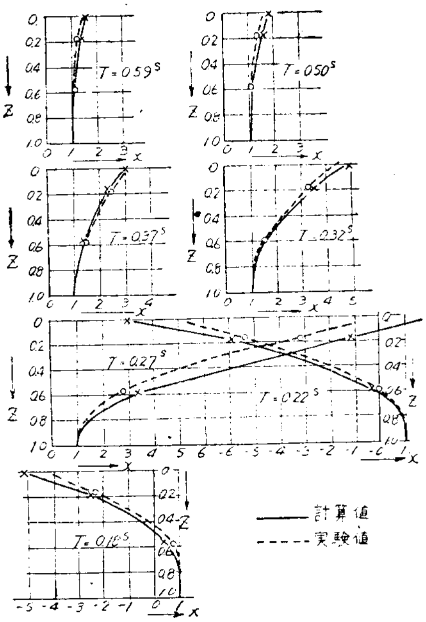
とすれば，Aの記録の上方は－となる。

A，B 及び振動台の運動の記録上の何れの点が夫々対応するかを知る為に，写真—3 に示す様に各針の近くにマグネットを置き，この3個のマグネットと電池と電接時計をシリーズにつないで2秒おきにマグネットが働いて針先を吸いあげ，記録が中断される様にした。従つて記録が中断されて瞬間の位相を比較することによつて振動台が＋の位置にあるとき，A，B 2点が±の何れの位置にあるかを知ることが出来る。以上の要領によりモーターの回転数を変えて記録されたも

写真—7　記録 Q_4



図—1



のが，（写真—5,6,7）の（1）～（7）である。これらの記録から振幅，週期，位相を読取顕微鏡により読んだ結果表—3 を得た。 次に前述の弾性常数 0.642kg/cm² を用い各実験の週期に応じて著者の解[3] からA，B 2 点の変位を計算すると表—4 となる。（ ）内は実験値である。この値を図示すると図—1 の如くなる。

表—3

区分	週期 (sec)	全振幅(mm)			振動台の振れを+1とした時の		同左，静止系に対する	
		振動台	B点	A点	B点の振れ	A点の振れ	B点の振れ	A点の振れ
(1)	0.59	3.36	0.34	0.97	+0.10	+0.29	+1.10	+1.29
(2)	0.50	2.42	0.29	0.78	+0.12	+0.32	+1.12	+1.32
(3)	0.37	0.60	0.25	0.85	+0.42	+1.42	+1.42	+2.42
(4)	0.32	0.51	0.32	1.15	+0.63	+2.26	+1.63	+3.26
(5)	0.27	0.39	0.73	3.46	+1.87	+8.87	+2.87	+9.87
(6)	0.22	0.29	0.29	1.83	-1.00	-6.31	0	-5.31
(7)	0.18	0.20	0.05	0.62	-0.25	-3.14	+0.75	-2.14

表—4

区分	週期 (sec)	変位 X の値	
		B 点 の X	A 点 の X
(1)	0.59	+1.09(+1.10)	+1.34(+1.29)
(2)	0.50	+1.14(+1.12)	+1.53(+1.32)
(3)	0.37	+1.34(+1.42)	+2.37(+2.42)
(4)	0.32	+1.61(+1.63)	+3.57(+3.26)
(5)	0.27	+3.44(+2.87)	+11.88(+9.87)
(6)	0.22	-0.36(0)	-5.85(-5.31)
(7)	0.18	+0.44(+0.75)	-2.50(-2.14)

4. 基本三角形体の一方側に水を満たした場合の曲げ振動実験

貯水池満水の場合に対応する振動実験は，寒天模型をゴム膜を通じて水圧の加わつた状態にして行つた。

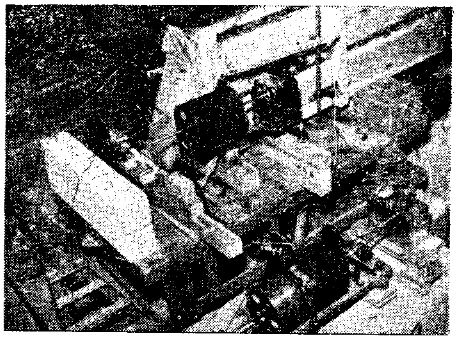
寒天模型の形及び大きさは前節におけると同様であつて，水圧のかかるのを考慮して出来るだけ，寒天を多量に使用して濃いものとした。その自己週期は0.18sec と測定され，動的弾性常数を計算すると 1 239kg/cm² となる。

基本三角形体に水圧をかける要領は次の如くである。

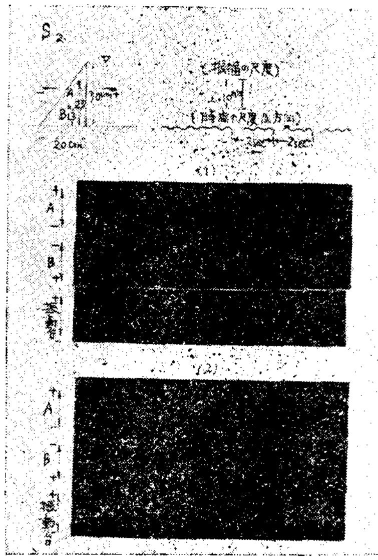
高さ 40cm，幅 15cm，長さ 100cm，の木製水槽の一方の側壁をゴム膜とする。このゴム膜に直角三角形の鉛直辺を接する様にその底辺を固定する。写真—8，写真—9 に示す様に底辺からの高さ 23cm，13cm の A，B 2 点に針尖の付いた麦藁を固定する。水を水槽内

3) 「重力堤堰に作用する地震力の影響」(其の一)，(前出) (7)，(9) 式参照。

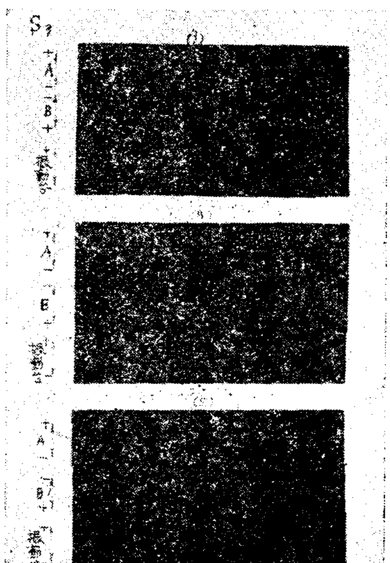
写真—8



写真—9 記録 S_2



写真—10 記録 S_3



に入れ，水面が三角形体の頂点まで達する様にする。この様な状態で振動台上に各種の振幅，週期によつて振動させ，これを記録する。この記録読取の要領は前述したと同様である。S_2,S_3（写真—9，10）は，この記録であつて，これを読みとつた結果は表—5の如くである。

表—5

区分	週期 (sec)	振幅 (mm) 振動台	B点	A点	振動台の振れを+1とした時の B点の振れ	A点の振れ	同左，静止系に対する B点の振れ	A点の振れ
(1)	0.35	0.55	0.21	0.34	+0.38	+0.62	+1.38	+1.62
(2)	0.29	0.33	0.40	0.77	+1.21	+2.34	+2.21	+3.34
(3)	0.27	0.25	0.34	0.89	+1.36	+3.56	+2.36	+4.56
(4)	0.17	0.10	0.05	0.47	-0.50	-4.70	+0.50	-3.70
(5)	0.14	0.09	0.10	0.28	-1.10	-3.10	-0.10	-2.10

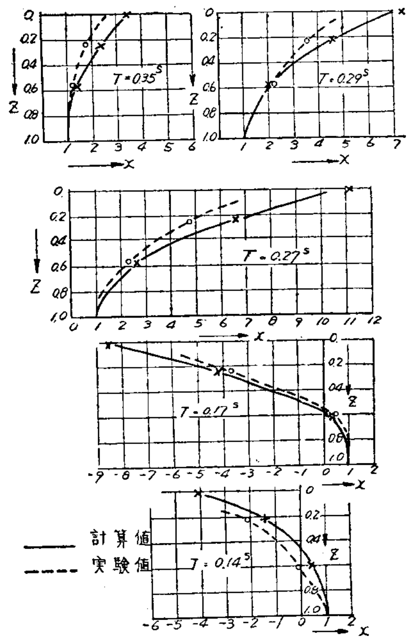
次に著者の解[4]によつて上の実験に相当した各場合の変形を計算した結果を記すと，表—6 の如くなる。本計算は Galerkin 法によつたもので，（ ）内の数字は実験値である。この結果を図示すると 図—2 の如くなる。

表—6

区分	週期 (sec)	変位 X の値 B点の X	A点の X
(1)	0.35	+1.42(+1.38)	+2.36(+1.62)
(2)	0.29	+2.07(+2.21)	+4.60(+3.34)
(3)	0.27	+2.69(+2.36)	+6.73(+4.56)
(4)	0.17	+0.39(+0.50)	-4.10(-3.70)
(5)	0.14	+0.45(-0.10)	-1.46(-2.10)

5. 結　論

図—2



以上によつて重力ダムの如き基本三角形体の振動は曲げ振動である事が証明され，又貯水池空虚及び満水時の曲げ振動に対する著者の解が実験とよく合致することが証明された訳である。かくして重力ダムの振動の基礎理論が確立され，重力ダムをその自己週期と地震週期との関連に於て振動論的に取扱う道が開かれたのである。事実ダムサイトの地震動週期は，ダムの自已週期に比して，小なる場合が多いので，著者の理論により，従来静力学的に処理されて来た重力ダムの耐震問題に一つの寄与をなし得たと云う事が出来る。

尚本実験に際し理学博士高橋忠君の非常な協力を得た。こゝに厚く謝意を表する。（昭.26.7.20）

4)「重力堰堤に作用する地震力の影響」(其の三)，(第5号論文集）(9)～(15) 式参照。

訂　　正

9号 34 頁に登載した「終戦後より今日までの学位授与者一覧（其の2　東大一工の分）」中審査員氏名を次の通り訂正致します。

学位授与者氏名	審査員
平井　敦	田中　豊
高林利秋	吉田徳次郎
杉戸　清	広瀬孝六郎
藤芳義男	本間　仁
友永和夫	田中　豊
大西英一	最上武雄

尚武田通治氏は東大二工で受理しました。