

用动的方法測定混凝土 彈性模量

朱万清 吳紹章 編譯

人民交通出版社

國際新方法測定土壤土 壤性質

—— 土壤性質 ——

—— 土壤性質 ——

內 容 提 要

本書是根据日本工学博士高林利秋所著“混凝土无破坏試驗法”一書編譯成的。这种測定方法屬於振动法一类，即通过振盪器以一定頻率的电振盪，使試体產生振动，当这个頻率与試体固有頻率一致时，就可在接收系統查知其共振状态，然后按一定的公式計算出試体的动彈性模量（ ED ），从而判断試体的各种性状。本書根据这种原理提出測定装置与方法，并附有实验結果，說明各种应用方法。可供公路工程技術人員、尤其是材料試驗人員研究参考。

用动的方法測定混凝土

彈 性 模 量

朱万清 吳紹章 編譯

*

人 民 交 通 出 版 社 出 版

（北京安定門外和平里）

北京市書刊出版业营业許可証出字第〇〇六号

新 华 書 店 发 行

人民交通出版社印刷厂印刷

*

1959年10月北京第一版

1959年10月北京第一次印刷

开本：787×1092 $\frac{1}{32}$

印張：1 $\frac{3}{4}$ 張 插頁2

全書：21,000 字

印数：1—1,200 册

統一書号：15044·1361

定价(10)：0.20元

目 錄

一、序言	2
二、用縱振動測定混凝土彈性模量的著者的裝置及方法 （簡稱縱振動法）	4
三、用彎曲振動測定混凝土彈性模量的著者的裝置及方法 （簡稱彎曲振動法）	9
四、用打擊彎曲振動測定混凝土彈性模量的著者的裝置 及方法（簡稱打擊彎曲振動法）	13
五、用縱振動法測定混凝土動的彈性模量時對試體的形 狀及尺寸的影響	15
六、用縱振動、彎曲振動、打擊彎曲振動等方法測定混 凝土動彈性模量的比較	17
七、混凝土動彈性模量與靜彈性模量的比較	17
八、骨材的石質、形狀、粒度、最大粒徑及細粗骨材比 對混凝土動彈性模量的影響	20
九、養護方法對混凝土動彈性模量的影響	22
十、試體的干濕對動彈性模量的影響	22
十一、鋼筋對測定混凝土動彈性模量的影響	23
十二、混凝土動彈性模量與抗壓強度的關係	27
十三、動彈性模量測定方法的應用	28

一、序 言

近来随着混凝土塑性研究的发展，在混凝土建筑物設計方面也提出了考虑混凝土的塑性的問題，同时关于計算活載荷所引起的建筑物的弯曲度、內应力的分析、振动周期的計算等方面，也需要混凝土的弹性模量。

然而过去混凝土弹性模量的測定，与測定鋼及其他材料相同，都以靜的方法加載于試体，以适当的应变仪測定当时产生的应变，根据这个結果指出应力——应变图，从而进行計算的。

根据以往的研究，即使在极小的荷重下，混凝土也会产生蠕变，因而混凝土的应力——应变曲綫几乎从开始便呈曲綫。

这样根据靜載荷試驗結果得到的混凝土应力——应变曲綫，就不仅包括了弹性变形，也包括有塑性变形；因此若求混凝土真正的弹性模量，必需除去塑性变形，或者用不含有塑性变形的的方法所測定的弹性应变来計算。

著者^①所提出的用动的方法測定混凝土的弹性模量的新方法，是以棒状固体的振动理論。

(1) 两端自由的棒的縱振动

$$v = 2f_1 l = \sqrt{\frac{E}{\rho}}$$

(2) 两端自由的棒的弯曲振动

①即“混凝土无破坏試驗法”，著者高林利秋，下同——編譯者。

$$n_1 = \frac{a}{2\pi} \times \frac{1}{2\sqrt{3}} \times \frac{m^2}{l^2} \times \sqrt{\frac{E}{\rho}}$$

式中： v ——棒內传播之弹性縱波的速度；

f_1 ——两端自由的棒的縱振动的基本頻率；

l ——棒长；

n_1 ——两端自由的棒的弯曲振动的基本頻率；

a ——棒断面 $a \times a$ 的一边的长度；

ρ ——棒的密度；

E ——棒的弹性模量；

m ——常数。

按下述装置，使混凝土棒状試体发生微小的振动，測定出 f_1 或 n_1 以确定 E 的方法。

根据著者的新方法，混凝土中所产生的应力为 10 克/平方公分以下，由于加荷至除荷的时间系在数百乃至数千分之一秒以内，故可不必計較混凝土蠕变的影响，而仅以所获得的弹性应变来測定弹性模量。

然而按著者的方法所获得的混凝土弹性模量，相当于靜的初期切綫模量。

以往用动的方法測定混凝土的弹性模量的研究者，据著者所了解，以弯曲振动进行研究的有 T.C.Powers 及 L.Obert。

同时，按著者的方法求得的弹性模量，相当于断热变化的弹性模量 (E_ϕ)，并且与等溫变化的弹性模量 (E_t) 之差很小，因此在普通工程上毋須将此两者分开。

二、用縱振动測定混凝土彈性模量 的著者的裝置及方法（簡称縱振动法）

1. 測定裝置原理 裝置的原理是在棒狀試體的一端附加靜電性的交替力使試體產生縱振动，由試體的共振狀態測定其固有振动頻率。即在混凝土試體的一端貼上金屬箔，隔以絕緣板，與金屬圓筒相對應。這樣，金屬箔、絕緣板、金屬圓筒便構成一種蓄電器。在這樣的蓄電器上，使可變周率的交流電壓及直流高電壓相重疊，則蓄電器的金屬箔即與所受到的交流電壓的周率相同的頻率產生振动。此時混凝土試體就隨着金屬箔的振动而振动，當金屬箔的振动次數與混凝土試體的固有振动頻率一致時，試體則產生最大的振幅。因此，混凝土棒狀試體出現此共振狀態時，加于蓄電器的交流電壓的周率數即為混凝土試體的固有振动頻率 f_1 。

f_1 被測出後，由於兩端自由的棒狀試體的密度 ρ 、彈性模量 E 、長度 l 之間的关系式是：

$$f_1 = \frac{1}{2l} \cdot \sqrt{\frac{E}{\rho}}$$

測出 l 、 ρ ，可立即算出 E 。

2. 裝置概況 裝置的主要綫路如圖1，其外觀如照片1和照片2。

圖1說明試體全長的中央支持於木制支承台的硬質膠皮上面，試體的一端用膠貼上金屬箔及鐵圓筒所構成的蓄電器，借變壓器使音頻振盪器的高頻電壓及電燈電源的電壓上升，並且與通過二極整流管整流後的直流高電壓重疊。同時為了防止電

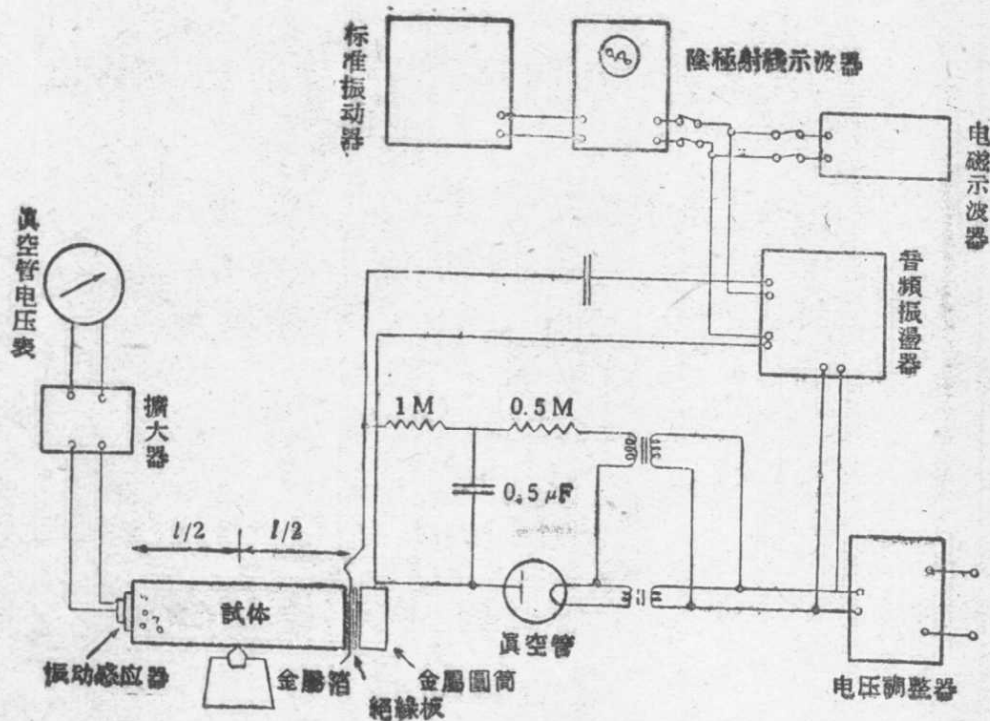
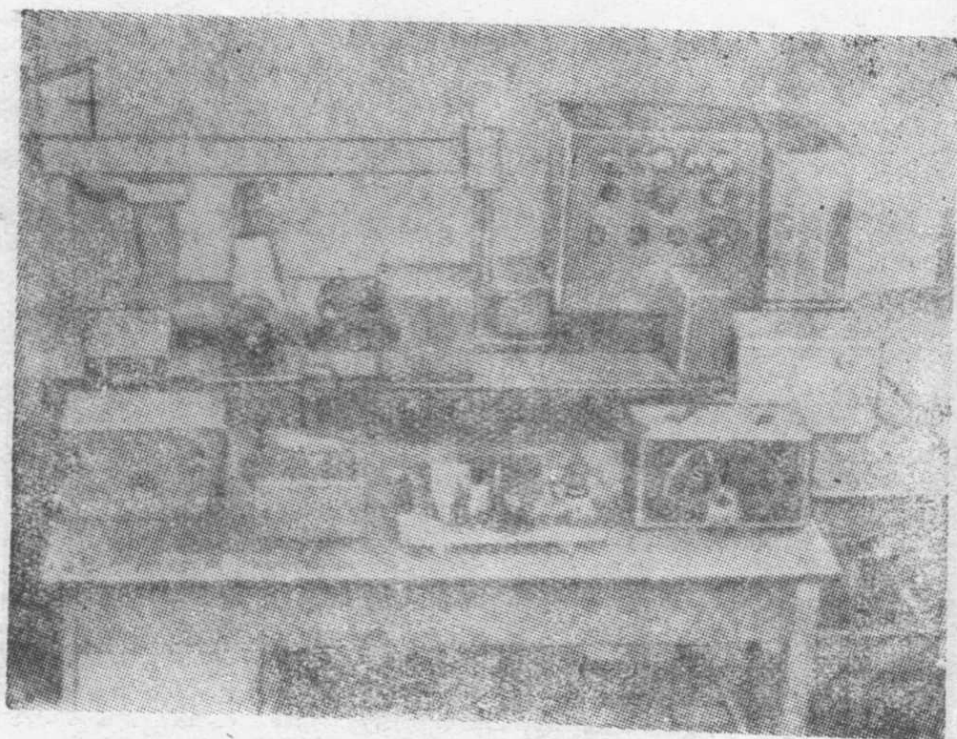
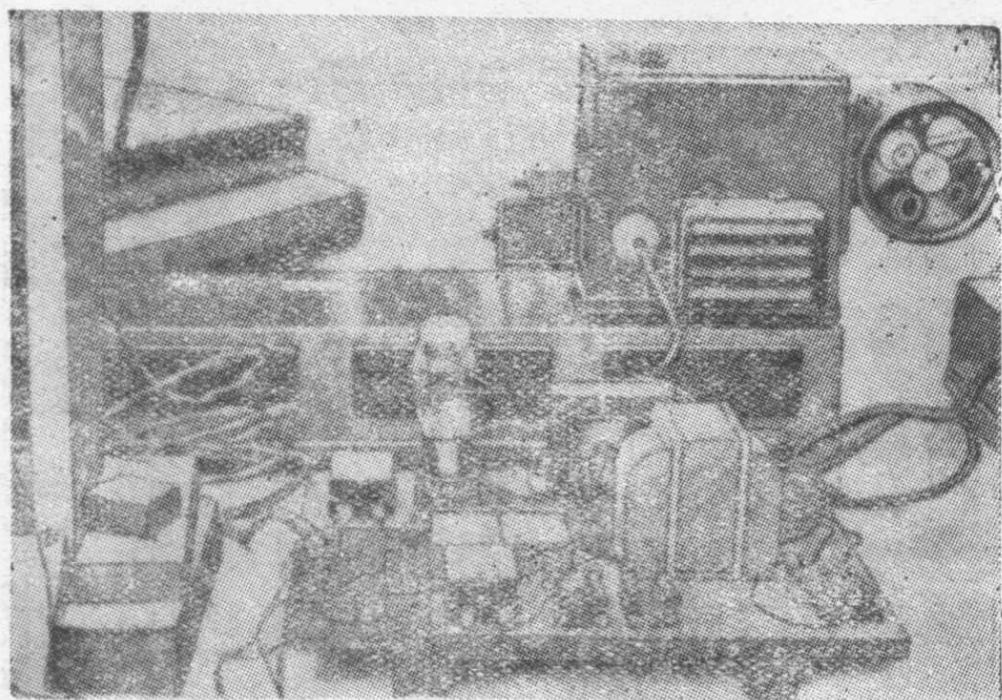


图 1 縱振動測定裝置綫路图



照片 1 縱振動測定裝置



照片 2 縱振動測定裝置(2)

灯电源的电压变动，使用电压調整器。

在木制支承台或鉄圓筒支承台下边，为防止外部的振动，敷設有油毛毡、胶皮及布条等。

发现試体的共振状态，按著者实验所証明，完全可用耳听取，但为了比較起見，采用了罗氏盐^①振动感应器。这时如图 1 所示使感应器与試体一端接触，其輸出經扩大器以真空管电压表检查其最大的振动。

共振时音频振盪器的頻率可以振动器刻度盘的数字直接讀出，著者根据需要采用了电磁示波器，以胶片摄影，或用标准振动器及阴极射线示波器繪出李薩育 (LiSSajous) 图进行检查。

3. 縱振動实验方法 如前所述，在混凝土試体一端貼上金属箔，把試体中央部份支持于硬質胶皮支承台上，再安装圓鉄筒，隔以絕緣物，并与金属箔相对应，然后进行必需的电路接綫；于是在振动部份的蓄电器的两端，由直流电压与来自音频

^①系酒石酸鉀鈉盐的結晶体 ($\text{NaKC}_4\text{H}_4\text{O}_6 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$) ——編譯者。

振盪器的交流电压相重叠，振动频率由低位向高位逐渐增加，讀取真空管电压表的讀数，即得出如图 2 的共振曲綫。

当然，共振状态要比用耳听的音响显著。这时振盪器的频率刻度盘的讀数即为試体的基本频率 f_1 。

然而，如前所述，在本实验中由于振盪器刻度盘讀得不细致，故采用了电磁示波器用胶片拍照，以及用标准振盪器及阴极射线示波器描繪李薩育图形进行了測定。

用胶片拍照共振时的频率如照片 3。

照片 3 中下面的白点是 $1/100$ 秒的时间标点。

4. 縱振動法的誤差 用縱振動法測定混凝土的动弹性模量时，測定裝置及測定方法的誤差是由以下的原因产生的：

- (1) 标准振盪器的固有誤差；
- (2) 音频振盪器等的电气的不稳定；

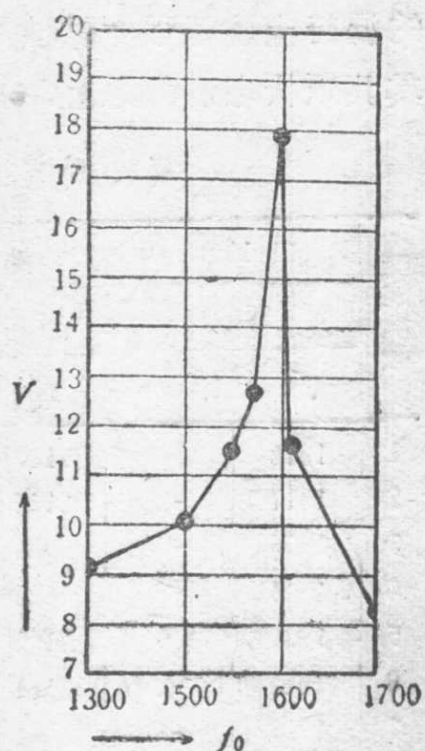
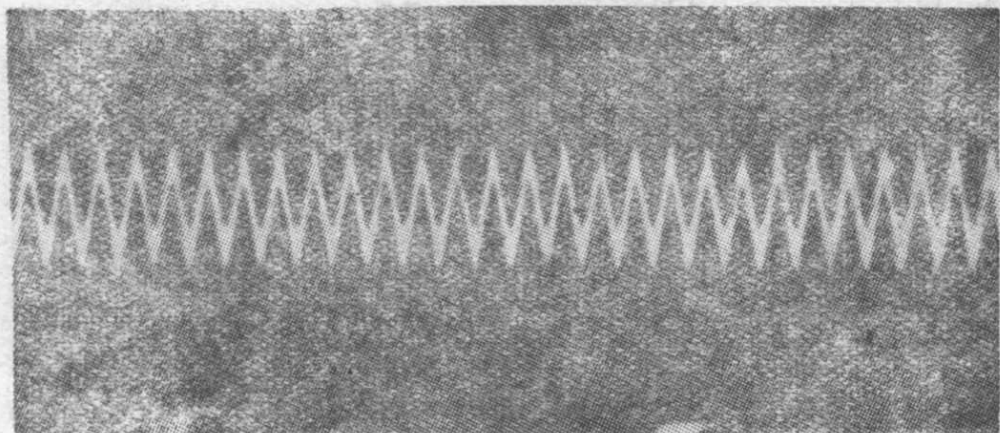


图 2 共振曲綫



照片 3 縱振動的一例 (試体 $10 \times 10 \times 100$ 公分时)

(3)共振状态的不明确;

(4)其他。

10×10×100公分的稜柱状混凝土試体及直径 15×30 公分的混凝土抗压强度試驗用标准試体, 使用标准振盪器以耳判断其共振状态, f_1 系經20次反复測定的結果, 見表 1。

反复測定20次 f_1 的結果

表 1

測定次數	10×10×100公分試体				直径15×30公分試体			
	No.1		No.2		No.3		No.4	
	f_i	f_i-A	f_i	f_i-A	f_i	f_i-A	f_i	f_i-A
1	1919	0	2112	-6	6288	3	6690	-20
2	1917	-2	2112	-6	6290	5	6694	-16
3	1916	-3	2120	-2	6285	0	6722	12
4	1916	-3	2120	3	6285	0	6734	24
5	1925	6	2121	3	6283	-2	6690	-20
6	1917	-2	2121	3	6279	-6	6710	0
7	1916	-3	2119	1	6284	-1	6690	-20
8	1914	-5	2119	1	6280	-5	6690	-20
9	1919	0	2112	-6	6280	-5	6690	-20
10	1922	3	2120	2	6287	2	6714	-4
11	1919	0	2112	-6	6283	-2	6690	-30
12	1917	-2	2121	3	6234	-1	6740	30
13	1917	-2	2121	3	6280	-5	6734	24
14	1916	-3	2112	-6	6287	2	6729	19
15	1925	6	2113	-5	6237	2	6635	-25
16	1923	4	2120	2	6290	5	6714	4
17	1919	0	2120	2	6281	-4	6719	9
18	1920	1	2122	4	6286	1	6734	24
19	1923	4	2121	3	6288	3	6729	19
20	1919	0	2114	-4	6290	5	6710	0

(平均值A) 1916 2118 6235 6710

注: f_i ——用縱振动法測定的基本頻率的測定值($C/S, i=1, 2, \dots, 19, 20, \dots$),
測定时室溫約20°C。

由表 1 表明 f_1 的測定誤差在 $\pm 1\%$ 之內。

三、用弯曲振动测定混凝土弹性模量的著者的装置及方法 (简称弯曲振动法)

1. 测定装置原理 装置的原理是把棒状试体支持在其基本弯曲振动的节点上，在试体长度的中央加可变频率的静电交替力，使试体产生自由弯曲振动，以其共振状态而求得两端自由状态的基本频率 n_1 。

测出 n_1 ，则试体断面尺寸为 $a \times a$ 、长度 l 、密度 ρ 与弹性模量 E 之间的关系式为：

$$n_1 = \frac{m^2}{2\pi l^2} \times \frac{a}{2\sqrt{3}} \times \sqrt{\frac{E}{\rho}}$$

式中： m ——常数。

故测出 a 、 ρ 、 l 即能算出 E 。

本测定所用装置大部分与纵振动法的测定装置相同。

2. 装置概况 装置的主要线路图如图 3，其外貌如照片 4、5。

图 3 中除试体支承部分附近外，其他完全与纵振动法的测定装置相同。

3. 弯曲振动的实验方法 于试体全长的中央部分贴上金属箔，按照距试体两端 $0.224l$ 的地方，将试体放于硬质胶皮的支承台上，然后进行必要的电路接线，将音频振荡器的频率由低位向高位增加，用耳或振动感应器判明其共振状态，从而求出两端自由状态的自由弯曲振动的基本频率 n_1 。

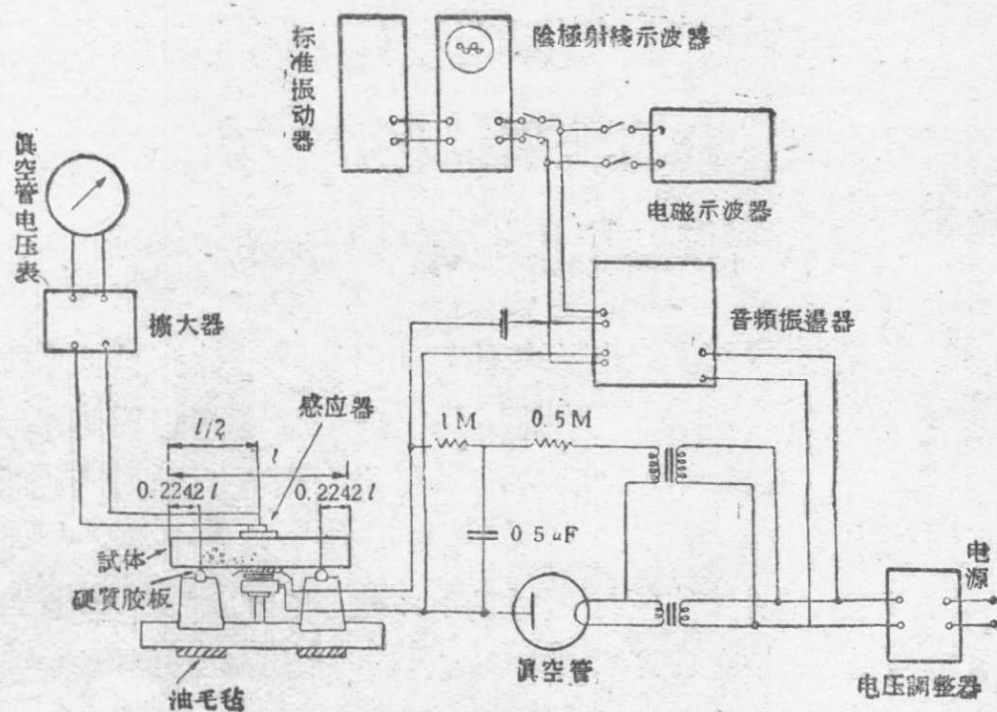
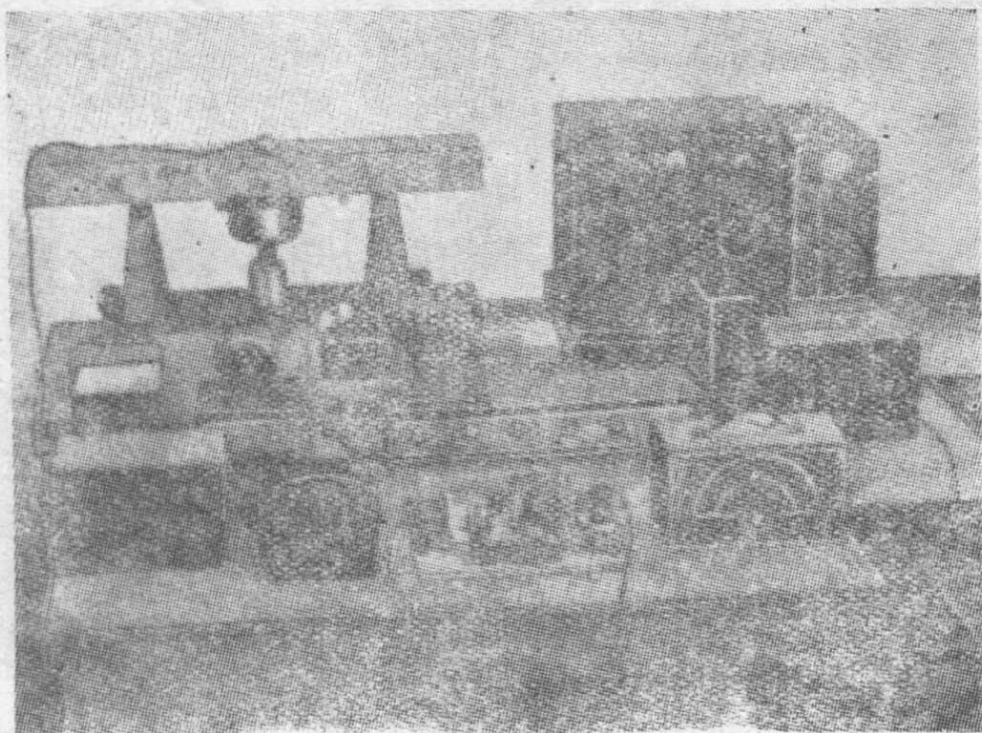
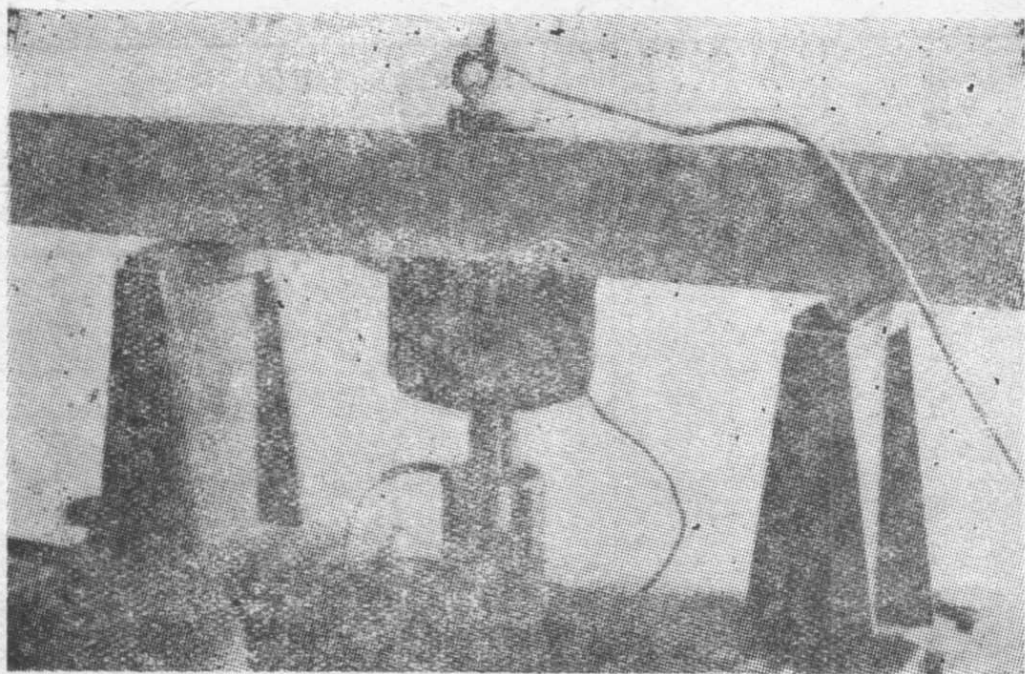


图3 弯曲振动装置线路图



照片4 弯曲振动共振法装置(1)



照片5 弯曲振动共振法装置(2)

n_1 也可以电磁示波器用胶片拍照，或以标准振盪器及阴极射线示波器繪出李薩育图求得。

試体的密度測定与縱振动法时同。

本节中所述的測定装置及方法的誤差，基本上与縱振动方法相同，对于 $10 \times 10 \times 100$ 公分的混凝土試体，采用标准振盪器以耳判断其共振状态， n_1 系經20次反复測定的結果，見表2，从表中看出， n_1 的測定誤差在 $\pm 1\%$ 以內。

反复测定20次 n_1 的结果

表 2

测定次数	10×10×100公分试体			
	No.1		No.2	
	Ni	Ni-A	Ni	Ni-A
1	420	-1	333	1
2	420	-1	330	-2
3	422	1	329	3
4	420	-1	233	1
5	420	-1	333	1
6	424	3	335	3
7	420	-1	329	-3
8	420	-1	333	1
9	420	-1	330	-2
10	420	-1	330	-2
11	421	0	329	3
12	425	4	334	1
13	422	1	329	-3
14	422	1	333	1
15	422	1	333	1
16	422	1	333	1
17	422	1	333	1
18	420	-1	330	2
19	420	-1	335	-3
20	425	4	333	1
(平均值A)		421	332	

注: Ni——用弯曲振动法测定的基本频率 (C/S, $i=1, 2, 3, \dots, 19, 20$),
测定时室温约20°C。

四、用打击弯曲振动测定混凝土

彈性模量的著者的裝置及方法

(簡稱打击弯曲振动法)

1. 測定裝置原理 測定裝置的原理，簡單說來，如樂器中的木琴一樣。

混凝土棒狀試體支持于其基本弯曲振動的節點處，輕打試體全長的中央部分，則試體產生自由弯曲振動。

由于打击試體發生聲音，代替記錄此聲音的是按下面的裝置以膠片拍照試體的振動，及測定其振動情況和振動數 n_1 。

2. 判定裝置概況 測定裝置的主要線路如圖4，裝置的外觀如照片6。

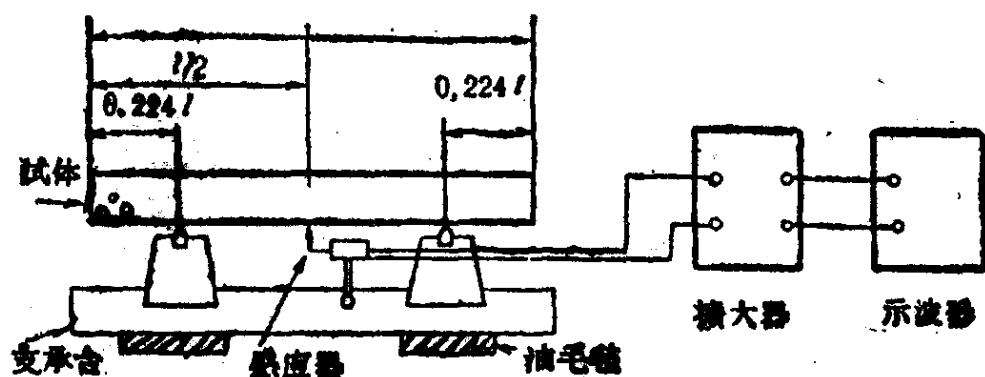
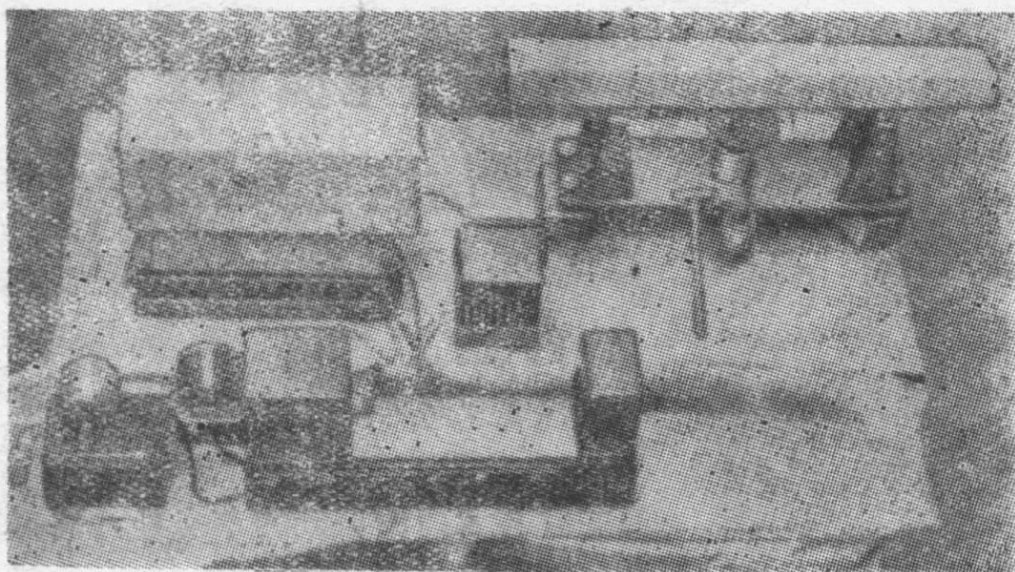


圖4 打击弯曲振动線路圖

圖4說明試體的支承台与弯曲振动法相同。

打击用小錘是木制的，重量50克。

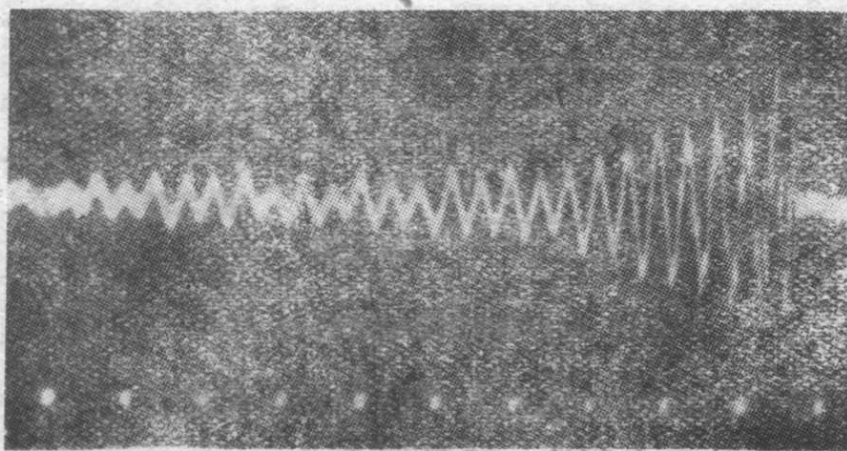
3. 打击弯曲振动實驗方法 試體以其基本振動節點支持于支承台的硬質膠皮上，使振動感應器的針尖輕輕地接觸試體的



照片6 打击弯曲振动法装置

振动腹点。用锤轻击试体上面中央部分，使扩大器、示波器产生动作，即可得出如照片7的情况。

振动数 n_1 是用胶片测定的。



照片7 打击弯曲振动共振法摄影的胶片实例
(试体尺寸 $10 \times 10 \times 100$ 公分)