

コンクリートはりの静弾性係数と動弾性係数に関する実験

三 谷 勝 之
成 田 一 徳

§ 1. はじめに

建物の動的解析,あるいは鉄筋コンクリートスラブやはりなどの振動計算で,いわゆるコンクリートの動弾性係数として,どのような数値を使うかは1つの問題である。

従来,コンクリートの動弾性係数は,超音波を利用してコンクリート中の音波速度から,あるいは共振振動法(ソニック法)から求めた値をいう場合がほとんどで,実際にこれらの方法によって行なわれた測定は数多くある。

しかしながら実在建物の床板またははり振動を考えたとき,上記の方法による動弾性係数をそのまま用いることが適切であるかどうかという疑問が生ずる。すなわち音速度法,シリンダー型テストピースを用いた共振振動法はともに縦波あるいは縦振動を扱ったもので,実際の床板やはりのたわみ振動とは振動数にも振幅にも大幅な相違があるからである。

この点,はり型テストピースを用いたたわみ振動共振法は,もっとも実状に近い試験法である。

本実験ではこのような事情を考慮して,床板またははり振動の実状に合わせて振動数域を10~50c.p.s.に設定し,たわみ振動共振法を応用したコンクリートはりの自由振動実験により動的性質を調べてみた。

一方,シリンダー型テストピースを用いて在来の方法による静弾性係数と動弾性係数を求め,上記はりの振動実験による測定値との関係を検討してみた。

§ 2. 実験計画

2.1 実験項目

本実験で明らかにしたい点を次に列記する。

- 1) はりの振動過程における弾性係数はいくらであるか。

実状に応じた振動数域10~50c.p.s.を設定して,はりの自由振動実験により動弾性係数を求める。以下はりの動弾性係数というのはこの値を示す。

- 2) はりの静弾性係数ははりの動弾性係数とどのような関係にあるか。

振動実験に用いるはりについて静的載荷実験を行ない,静弾性係数を求める。以下はりの静弾性係数というのはこの値を示す。そして同一はりにおける静的,動的弾性係数の比較,検討を行なう。

- 3) はりの減衰常数はいくらであるか。

はりの自由振動実験から求める。

- 4) シリンダー型テストピースの静および動弾性係数は,はりの振動あるいはたわみ計算にうまく導入できるか。

シリンダー型テストピース(以下テストピースと呼ぶ)の静弾性係数は,材料試験時の荷重-ひずみ曲線から,動弾性係数は縦共振法からそれぞれ求める。そしてこれら簡便に得られるテストピースの静および動弾性係数ははりへの適用が差し支えないものかどうかを検討する。

2.2 実験期日

実験は予備実験をも併わせて昭和43年6月~10月にわたって行なった。このうち予備実験におけるはりの実験結果は,予想以上に実験誤差が大きかったので本報告ではそれを割愛した。実験は当研究所塩浜分室にて行なった。

2.3 試験体

2.3.1 テストピース

テストピースは10cmφ×20cmのシリンダーで,各調査(調査は2.4に示す)について3本作成した。そしてすべてのテストピースについて静弾性係数,動弾性係数および圧縮強度を求めた。

2.3.2 はり

10~50 c.p.s. の振動数が得られるようなはり形状としては、せいが小さく、かつスパンの大きいものが要求される。また、はりの数も振動数と弾性係数の関係を調べる目的から多く要する。

そこで本実験では断面を 図-1 のように 6 cm×14cm 角として、あとはスパンの調整によって振動数を得るようにした。ここではりせいは振動数に与える影響が大きい(3.2の計算式参照)ため厳密な精度が要求される。これを満たすため型わくにメタルフォームを用い、さらに 図-2 のようなボルト締めを行なった。(写真-1参照)

なおスパンの調整にあたっては、同一調合におけるはりコンクリートの定性的、定量的誤差を除くことおよび振動数を任意に設定する目的で、長いスパンのはりを用意し、1回の実験が終わるごとに端部をコンクリートカッターで切断(写真-2)して所定のスパンを得るようにした。コンクリートカッターは水を必要とするためはりが水分を吸収するが、切断の所要時間は短く(約1分程度)、しかもそれは端部、かつ表面だけなので、熱で水分を取り去ってやればまったく問題ないと考えた。

2.4 コンクリート

調合は表-1 に示した 7 種で、4 週圧縮強度で 150~400kg/cm² を考えた。このうち D~G の 4 種については

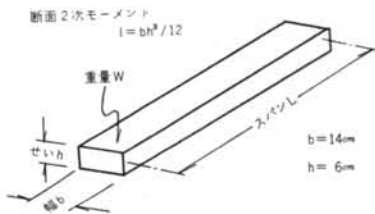


図-1 はり形状

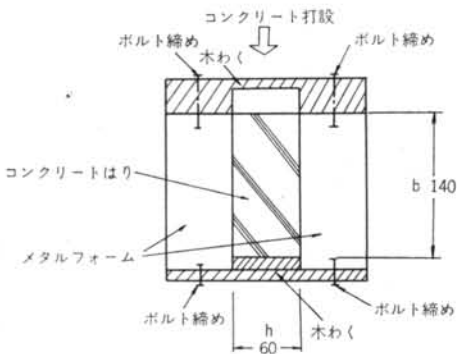


図-2 はり型わく断面(mm)

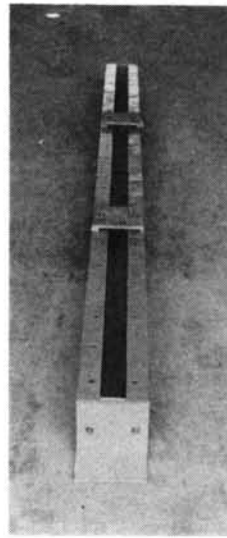


写真-1 はり型わく

予備実験のもので、本報告にはテストピースの結果のみを掲げた。セメントは日本セメント社普通ポルトランドセメント、骨材ははり断面が小さいため粒度の細かいものを選び、最大粒径を砂(鬼怒川砂)が1.2mm以下、砂利(大井川砂利)が20mm以下とした。

そしてテストピースおよびはりの実験は、強度の伸びが緩慢になったとみられる材令28日から開始して1週間で終えるようにした。実験に至るまでの試験体養生は、コンクリート打設1昼夜を湿潤状態その後を大気放置とした。

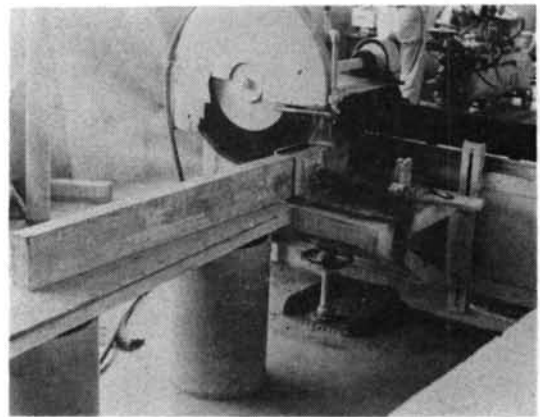


写真-2 はりの端部切断

調合	水セメント比 (w/c)	スパン (cm)	単水量 (kg/m ³)	セメント (kg/m ³)	砂 (kg/m ³)	砂利 (kg/m ³)
A	60.0	15	193	322	653	1,171
B	45.5	15	210	464	514	1,150
C	30.2	13	233	772	264	1,086
D	77.2	15	197	255	718	1,150
E	57.2	15	200	350	630	1,150
F	49.7	14	191	384	581	1,198
G	41.5	17	202	488	473	1,192

表-1 コンクリート調合

§ 3. 実験方法

3.1 テストピースの実験

3.1.1 静弾性係数

テストピースに4枚のワイヤストレインゲージを貼付し、圧縮材料試験時のひずみを指示計にて読み取り、荷重-ひずみ曲線のセカントモジュラスで算出した。図-3はその一例を示したもので、すべて破壊応力（すなわち圧縮強度）の $\frac{1}{8}$ 応力時のひずみから求めた。したがって、コンクリートが弾塑性の性質を持つことを考えると、このセカントモジュラスはイニシャルタンジェントより幾分小さめの値を示すことになる。しかし簡便に得られるという点では、セカントモジュラスが勝り、イニシャルタンジェントはその算出が面倒である。

なお、材料試験は、はりの振動実験に併せて実験開始日、中日、および終了日の合計3回実施した。

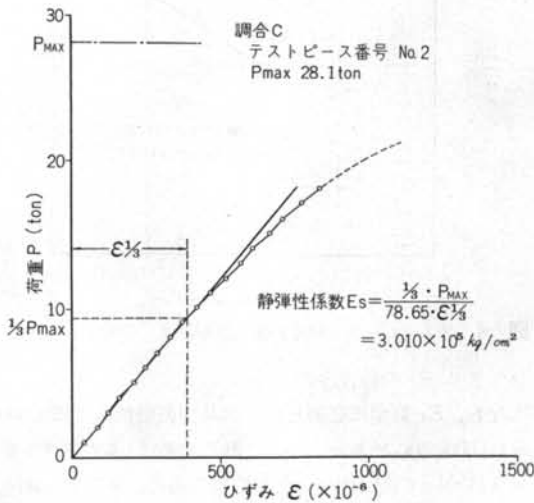


図-3 テストピースの荷重-ひずみ曲線

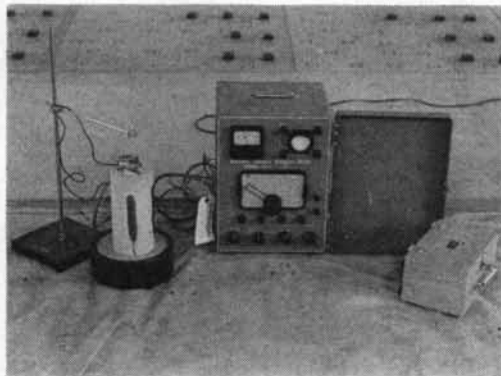


写真-3 縦振動共振実験

3.1.2 動弾性係数

JISA1127で定められた方法¹⁾により、日本電子測器CT-7型ダイナミックヤング率測定器を用い、テストピースの縦1次共振振動数から求めた。このテストピースは圧縮材料試験のものと同じで、材料試験の直前に行なった。(写真-3参照)

3.2 はりの実験

3.2.1 支持方法

はりの振動実験においては、はりの支持方法による影響がかなり大きいために、絶えず問題点として掲げられているようである²⁾。実際にわれわれの予備実験でも、この支持方法の欠陥から予想以上に実験結果がバラついてしまった。写真-4はそのような影響を取り除くために、われわれの考案した方法で、はりは一方が1点、他方が2点の3点支持である。これによって、いわゆるガタを取り除かれ十分成果をあげることができた。



写真-4.1 はりの支持 (1点支持側)

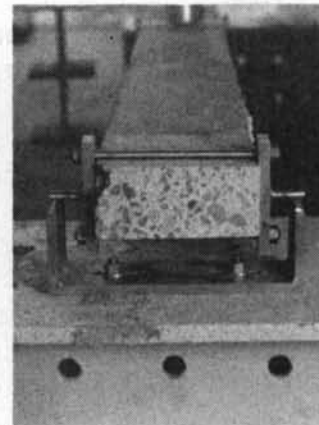


写真-4.2 はりの支持 (2点支持側)

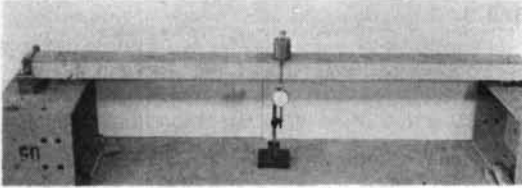
3.2.2 静弾性係数

写真—5のようにはり中央に集中荷重 P_0 を加えて、中央たわみ δ を $1/1000$ mm ダイヤルゲージで読み取り、(1)式から算出した。

$$E_0 = \frac{P_0 L^3}{48 I \delta} \quad \dots(1)$$

E_0 : はりの静弾性係数

L, I : 図—1 参照



写真—5 はり実験状況

3.2.3 動弾性係数

3.2.2 の載荷実験が終了のち、この振動実験を行なう。はりに初期変位を与えて自由振動させ、その振動波形を変位で記録する。この記録から固有振動数 f_n を読み取り(2)式から算出した。

$$E_f = \frac{4 \cdot W \cdot L^3 \cdot f_n^2}{\pi^2 \cdot I \cdot g} \quad \dots(2)$$

E_f : はりの動弾性係数

g : 重力加速度

W, L, I : 図—1 参照

振動のピックアップおよび記録には、振動計 (B&K 社振幅増幅器1606および2605) とミニライタ (渡辺測器 WTR101C) を使用した。

§ 4. 実験結果と考察

4.1 テストピースの静弾性係数 E_s と動弾性係数 E_d

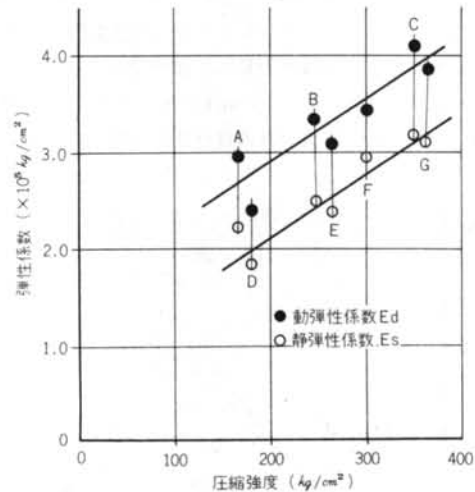
テストピースの弾性係数については、今まで多くの実験および研究の成果が発表されているため、ここでは考察を省き結果を示すだけにした。

表—2、図—4に実験結果を同一調合についての平均値で表わした。実験は材令4週から5週にわたったが、圧縮強度および弾性係数に関しては特に材令による著しい変化はみられなかった。

圧縮強度 $\sigma = 165 \sim 383 \text{ kg/cm}^2$ で $E_s = 1.85 \sim 3.16$, $E_d = 2.35 \sim 4.10 \times 10^4 \text{ kg/cm}^2$ となつて、いずれも圧縮強度の増加に伴ない大きくなっていくようである。そして弾性係数比 E_d/E_s は $1.17 \sim 1.34$ になつて、これは他の実験結果^{3),4)} とほぼ一致し塑性および粘性の性質を有する

調合	圧縮強度 σ (kg/cm ²)	静弾性係数 E_s ($\times 10^4 \text{ kg/cm}^2$)	動弾性係数 E_d ($\times 10^4 \text{ kg/cm}^2$)	E_d/E_s
A	165	2.19	2.95	1.33
B	248	2.48	3.31	1.34
C	353	3.16	4.10	1.30
D	174	1.85	2.35	1.27
E	263	2.40	3.11	1.29
F	300	2.94	3.44	1.17
G	356	3.12	3.86	1.24

表—2 テストピース実験結果



図—4 テストピースの弾性係数 (圧縮強度との関係)

コンクリートの特性といえる。

なお、 E_d 算定に必要な縦1次共振振動数はほぼ8,000~11,000c.p.s.であったが、これらの値は1本のテストピースについて数回行なった平均値である。すなわち測定計器の整備を完全にしておいたにもかかわらず、この数回の値はかなりバラつた。したがって J I S A 1127 で定められた縦振動共振法で、精度よく E_d を算定するのは難かしいと考えられる。

4.2 はりの静弾性係数 E_d と動弾性係数 E_f

静および動弾性係数算定実験の結果を調合別に分けて表—3~表—5および図—5に示す。ここではり試験体を、A, B, Cの調合種でよぶことにする。また、各々のはりにはすべて大きいスパンから順次実験番号を付けてある。

各回の実験に先立って、重量を台秤にて計り、せいをノギスにて数箇所測定した。そしてこれらの値から密度および自重によるはり中央の曲げ応力を算出した。密度

実験番号	スパン L (cm)	重量 W (kg)	密度 (g/cm^3)	自重曲 げ応力 (kg/cm^2)	載荷実験		振動実験			
					静弾性係数 E_s ($\times 10^5 kg/cm^2$)	載荷曲 げ応力 (kg/cm^2)	固有振動 数 f_n (c.p.s.)	動弾性係数 E_f ($\times 10^5 kg/cm^2$)	減衰 常数 H_e	振動曲 げ応力 (kg/cm^2) ²
1	236.2	45.35	2.14	14.37	—	—	16.1	2.178	0.0081	1.48
2	221.0	44.00	2.23	13.13	—	—	17.8	2.061	0.0104	3.34
3	204.4	40.80	2.22	11.15	1.967	1.09	20.5	2.045	0.0112	5.28
4	189.2	37.69	2.24	9.78	1.964	1.04	23.3	2.014	0.0112	4.60
5	182.3	36.01	2.24	8.82	1.882	0.98	25.2	2.053	0.0099	1.61
6	175.1	34.70	2.18	8.01	1.888	0.92	27.3	2.037	0.0095	1.86
7	169.7	33.65	2.21	7.71	1.837	0.91	29.4	2.017	0.0097	2.47
8	164.6	32.53	2.22	7.37	1.873	0.90	31.2	2.062	0.0100	1.66
9	160.8	31.55	2.21	7.00	1.919	0.89	32.8	2.071	0.0093	2.94
10	156.0	30.88	2.22	6.63	1.933	0.86	34.5	2.047	0.0118	4.28
11	150.4	29.90	2.24	6.19	—	—	36.7	2.011	0.0116	3.50
12	145.8	28.95	2.23	5.81	—	—	39.5	2.054	0.0116	3.51
13	141.1	27.95	2.20	5.43	—	—	44.0	2.200	0.0118	4.21

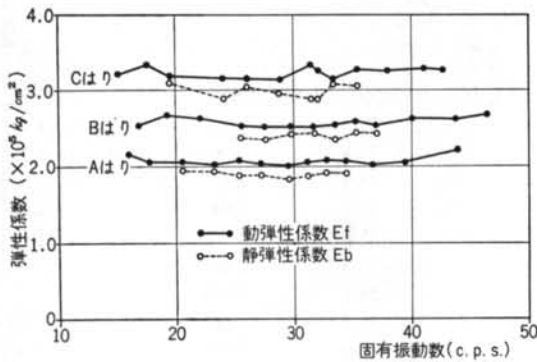
表—3 はり実験結果—Aはり

実験番号	スパン L (cm)	重量 W (kg)	密度 (g/cm^3)	自重曲 げ応力 (kg/cm^2)	載荷実験		振動実験			
					静弾性係数 E_s ($\times 10^5 kg/cm^2$)	載荷曲 げ応力 (kg/cm^2)	固有振動 数 f_n (c.p.s.)	動弾性係数 E_f ($\times 10^5 kg/cm^2$)	減衰 常数 H_e	振動曲 げ応力 (kg/cm^2)
1	236.3	46.21	2.22	15.07	—	—	16.8	2.523	0.0068	1.70
2	221.3	44.72	2.29	13.70	—	—	19.3	2.662	0.0083	3.14
3	205.6	41.50	2.29	11.93	—	—	22.1	2.634	0.0088	8.10
4	189.4	38.35	2.29	10.35	2.424	1.06	25.5	2.523	0.0108	7.52
5	182.3	36.80	2.28	9.29	2.366	1.01	27.6	2.505	0.0088	2.44
6	175.1	35.55	2.29	8.67	2.367	0.98	29.7	2.507	0.0088	2.13
7	170.8	34.51	2.27	8.08	2.430	0.94	31.7	2.512	0.0097	2.26
8	166.5	33.57	2.27	7.74	2.447	0.92	33.4	2.551	0.0084	3.35
9	162.1	32.81	2.29	7.41	2.364	0.90	35.3	2.593	0.0093	3.70
10	158.0	31.90	2.28	7.02	2.463	0.88	37.0	2.565	0.0104	3.82
11	153.0	30.95	2.28	6.60	—	—	40.0	2.642	0.0104	4.72
12	147.4	29.80	2.27	6.12	—	—	43.8	2.659	0.0106	5.14
13	142.8	28.85	2.28	5.74	—	—	46.5	2.705	0.0104	5.96

表—4 はり実験結果—Bはり

実験番号	スパン L (cm)	重量 W (kg)	密度 (g/cm^3)	自重曲 げ応力 (kg/cm^2)	載荷実験		振動実験			
					静弾性係数 E_s ($\times 10^5 kg/cm^2$)	載荷曲 げ応力 (kg/cm^2)	固有振動 数 f_n (c.p.s.)	動弾性係数 E_f ($\times 10^5 kg/cm^2$)	減衰 常数 H_e	振動曲 げ応力 (kg/cm^2)
1	266.0	53.93	2.24	18.82	—	—	15.2	3.189	0.0065	2.11
2	244.9	51.60	2.37	17.33	—	—	17.5	3.374	0.0073	3.41
3	225.5	47.25	2.37	14.66	3.051	1.24	19.5	3.175	0.0088	8.31
4	205.0	42.85	2.35	12.05	2.931	1.12	24.0	3.167	0.0091	7.54
5	195.7	40.55	2.34	10.67	3.009	1.05	26.0	3.161	0.0118	3.68
6	188.4	39.05	2.34	10.12	2.978	1.04	28.7	3.141	0.0077	3.24
7	183.1	37.97	2.34	9.57	2.897	1.02	31.7	3.405	0.0078	3.15
8	178.2	37.00	2.39	9.50	2.895	1.02	32.1	3.323	0.0.81	2.56
9	173.5	36.05	2.37	8.80	3.050	0.98	33.3	3.156	0.0090	2.52
10	169.4	35.15	2.32	8.58	3.010	0.98	35.3	3.280	0.0092	3.59
11	164.5	34.12	2.33	8.00	—	—	38.0	3.250	0.0105	5.44
12	158.9	33.07	2.34	7.49	—	—	41.0	3.305	0.0107	6.26
13	155.0	32.40	2.34	7.16	—	—	42.8	3.275	0.0111	6.39

表—5 はり実験結果—Cはり



図一五 はりの弾性係数(振動数との関係)

はAが2.14~2.24, Bが2.22~2.29, Cが2.24~2.39 g/cm^3 となつて、試験体作成上のコンクリート品質のバラつきは少ないといえる。自重曲げ応力はAが5.43~14.37 Bが5.74~15.07, Cが7.16~18.82 kg/cm^2 となつて、これはそれぞれの圧縮強度 σ (表一2 参照) に対しそれぞれ9%, 7%, 6%以下である。

4.2.1 静弾性係数 E_b

表で E_b について空白部分があるのは、大きいスパンでは集中荷重による曲げ応力が增大するのを、小さいスパンでは $1/1000$ mmダイヤルゲージの読みの絶対値が小さくなって誤差が大きくなるのを避けるため、実験を行なわなかったからである。

E_b はA, B, C はりとも数回の実験を通じてほぼ一様な値を示し、Aが1.83~1.97, Bが2.36~2.47, Cが2.89~3.06 $\times 10^6 \text{kg/cm}^2$ であつた。

中央集中荷重(2~5kgの分銅)による最大曲げ応力はAが1.1, Bが1.1, Cが1.3 kg/cm^2 である。そしてこれに自重曲げ応力を加えた場合の曲げ応力は、それぞれの圧縮強度 σ に対してAが4.6~7.4%, Bが3.2~4.5%, Cが2.7~4.5%となる。

したがつて、これらの載荷実験曲げ応力を σ_b とすると、 $0.03\sigma < \sigma_b < 0.08\sigma$ のときには、 E_b は応力に関係なくほぼ一定の値を示すと考えてよいようである。実際に、A, B, C はりの E_b 算術平均値を求め(表一6 参照)、各回の E_b とを比較すると、誤差は4%以下という結果になつた。

4.2.2 動弾性係数 E_f

はりの固有振動数 f_n は図一7に示したような振動実験波形記録から読みとつた。ここで f_n は変位振幅、すなわち振動応力に関係なく同一の値になつた。振動実験から得た振動数域はAが16~44, Bが16~47, Cが15~43 c.p.s. となつて、所要の振動数域に合わせる事ができた。

E_f はA, B, C はりとも13回の実験を通してほぼ一様な値を示し、Aが2.01~2.22, Bが2.50~2.71, Cが3.14~3.41 $\times 10^6 \text{kg/cm}^2$ になつた。ここで初期変位を与えたときの振動応力はAが5.3, Bが8.1, Cが8.4 kg/cm^2 以下である。そしてこれに自重曲げ応力を加えた場合の曲げ応力は、それぞれの圧縮強度 σ に対してAが5.4~10%, Bが4.3~8.1%, Cが3.2~6.5%であつた。

したがつて、これらの振動時の曲げ応力をと σ_f すると、 $0.03\sigma < \sigma_f < 0.1\sigma$ および $f_n = 10 \sim 50$ c.p.s. のときに E_f は応力および振動数に無関係で、ほぼ一定値を示すと考えてよい(A, B, C はりの E_f 算術平均値を求めて各回の E_f と比較すると、誤差は7%以下という結果が得られた。表一6参照)。これによつて、上記に示すような実験時の曲げ応力と振動数域ではコンクリートの粘性および塑性の影響は一様であるといえる。

なお、はりの共振振動実験($f_n = 38 \sim 52$ c.p.s.)から得た E. Bock の実験結果⁹⁾ によると、同一調合の4本のはり(断面は10cm \times 15cm)が微小応力状態のとき、 E_f は振動数に無関係であつて、誤差は7%である。これは本実験の結果と一致する。

4.2.3 E_b と E_f の比較

図一5はA, B, C はりについて、同一スパンの E_b および E_f を表わしている。ここでそれぞれの実験時の曲げ応力は $0.03\sigma < \sigma_b < 0.08\sigma$, $0.03\sigma < \sigma_f < 0.1\sigma$ である。

このとき各はりとも絶えず $E_b < E_f$ すなわち静的<動的なる関係があるわけで、4.1 のテストピースの場合と同様、塑性および粘性の性質を有するコンクリートの特性と考えてよい。

調合	圧縮強度 σ (kg/cm^2)	静弾性係数 E_b ($\times 10^6 \text{kg/cm}^2$)	動弾性係数 E_f ($\times 10^6 \text{kg/cm}^2$)	E_f/E_b
A	165	1.913	2.068	1.081
B	248	2.409	2.576	1.069
C	353	3.027	3.227	1.066

表一六 はりの弾性係数

表一六は各はりにおける E_b および E_f の算術平均値を示したもので、これらの値は圧縮強度 σ と密接な関係を持つ。図一6はこの関係を表わしたものでほぼ直線で近似できる。そして E_f/E_b は1.06~1.09となり、10%弱の誤差を認めるならば両者を同一とみなせる。すなわち、はりの静弾性係数を振動計算に適用して差し支えないといえる。

小阪義夫氏の実験⁹⁾ (E. Bock の実験と同じくはりの

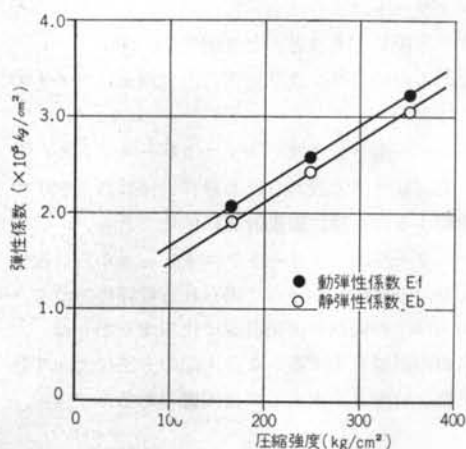


図-6 はりの弾性係数(圧縮強度との関係)

共振振動実験であるが振動数は高いでは、本実験の結果と同じく絶えず $E_b < E_f$ なる結果が得られている。しかし E_f/E_b の値は1.16~1.24で本実験の結果より大きい。これは塑性および粘性の性質を有するコンクリートに対して、振動数が高い場合の影響が如実に出ていていると考えられる。

4.3 はりの減衰常数 H_c

振動実験波形記録(図-7)の振幅を片対数グラフに表わすと、図-8のように直線上に分布する。したがって H_c は粘性減衰の特徴である対数減衰率 D から

$$H_c = D/2\pi \quad \dots(3)$$

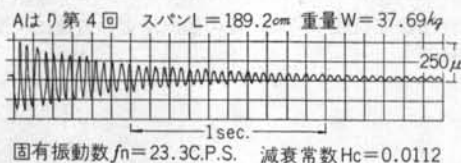


図-7 はり振動実験波形

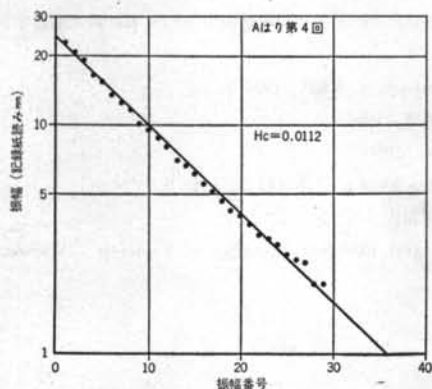


図-8 振動実験波形振幅

で容易に求めることができた。

振動波形の振幅(本実験では変位を表わす)が片対数グラフで、うまく直線上に分布したことは、減衰の様相がひずみまたは曲げ応力に関係しなかったことを意味する。

A, B, Cはりの H_c を自由振動数 f_n に対応させて図-9に示した。振動実験時の曲げ応力 σ_f が圧縮強度 σ に対して $0.03\sigma < \sigma_f < 0.1\sigma$ および $f_n = 15 \sim 50$ c.p.s. のとき、 H_c は振動数にも無関係であり、また調合による差異も特にみられないようである。(A; 0.008~0.012, B; 0.006~0.011, C; 0.006~0.012)

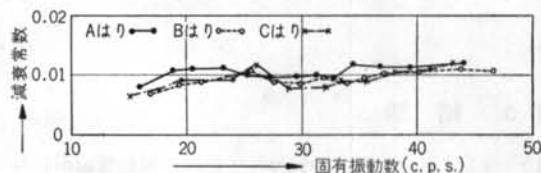


図-9 はりの減衰常数 H_c (振動数との関係)

実在の建物で行なった数多くの振動調査によると、鉄筋コンクリート造の床板およびはりの減衰常数は0.02~0.20の範囲に広く分布している。すなわち減衰常数は、コンクリート内部減衰の他に支持状態、載荷物、空気抵抗などの外部減衰がある。

本実験では試験体の支持方法を工夫して支持点からの振動エネルギー逸散を防いでおり、また空気抵抗もほぼ無視できる点から、 $H_c = 0.006 \sim 0.012$ はコンクリートの内部減衰による値と考えてよい。したがって実在建物について得られた上記の減衰の値はほとんどが外部減衰であるといえる。

ふたたび E. Bock の実験結果⁵⁾ によると $H_c = 0.003 \sim 0.007$ であり、本実験の数値よりやや小さい。

4.4 テストピースの静および動弾性係数 E_b , E_d のはりの振動およびたわみ計算への導入

表-7 に本実験の結果から得たテストピースおよびはりの弾性係数比較を示す。

調合	静弾性係数		動弾性係数	
	E_d/E_b	E_f/E_f	E_d/E_b	E_d/E_f
A	1.145	1.059	1.541	1.425
B	1.028	0.962	1.375	1.284
C	1.044	0.981	1.354	1.269

表-7 テストピースおよびはりの弾性係数比較

注) 振動体の空気抵抗を放射インピーダンスで計算(本実験のような細長いはりでは概略計算になる)してみると、空気抵抗による減衰の実験値に占める割合は10%以下になった。

テストピースとはりでは、§1.にも述べたようにその応力状態（テストピースは圧縮応力、はりでは曲げ応力）は本質的に相違があるけれども、表-7の数値を比較すると次のようになる。

- 1) 静弾性係数 E_s は、はりのたわみ計算に使用する場合3~15%の誤差を無視すれば差し支えない。同じく振動計算の場合も4~6%の誤差を無視すれば差し支えない。
- 2) 動弾性係数 E_d を、はりのたわみ計算および振動計算に使用する場合26~55%というかなり高めの誤差がある。

4) コンクリートはりの減衰常数は調査による差異はなく、また振動数ともほとんど無関係に0.006~0.012となった。この値はコンクリートの内部減衰によるものと考えてよい。

- 5) シリンダー型コンクリートテストピースから得たセカントモジュラスで表わされる静弾性係数は、若干の誤差を認めるならば、振動計算に使用できる。
- 6) シリンダー型コンクリートテストピースから共振振動法（ソニック法）によって得られる動弾性係数を、10~50c.p.s.の範囲の振動計算に使用する場合は、かなり高めの誤差を生ずる。また上記の方法によって動弾性係数を精度よく求めるのは困難である。

§ 5. 結 論

- 1) コンクリートはりの動弾性係数は、振動数域が15~50c.p.s.、曲げ応力が圧縮強度の3~10%のとき、振動数および曲げ応力に関係なく同一調査のはりではほぼ一定値となる。その値は圧縮強度の増加と共に大きくなり圧縮強度が160~350kg/cm²の範囲で2.07~3.23×10⁹kg/cm²である。
- 2) コンクリートはりの静弾性係数は、曲げ応力が圧縮強度の3~8%の範囲では、曲げ応力に関係なく同一調査のはりで一定である。その値は上記1)と同じ圧縮強度の範囲で1.91~3.03×10⁹kg/cm²である。
- 3) 同一調査におけるコンクリートはりについては、常に動弾性係数は静弾性係数よりも大きい。しかしながら上記1)に示すような振動数域、圧縮強度および曲げ応力の範囲では、10%程度の誤差を認めるならば両者を同一とみなしてよい。

§ 6. あとがき

今回のはりの実験では実状の振動数を得るように断面を小さくし、またコンクリートの基本的性質を知るため普通コンクリートのみを扱い、はりを無筋にした。したがって模型的な実験になったのは否めないが、この種の実験が極めて少ない現段階では止むを得ない。しかしながらコンクリートの動的な性質の一部が解明でき、この結果は振動計算にそのまま使える。

謝辞 本報告は卒業研究論文の一部を載せたものである。終始ご指導いただいた日本大学工学部教授松井嘉孝博士、実験に当っての直接のご指導をいただいた清水建設研究所研究員磯畑脩氏、その他関係者の皆様に深謝申し上げます。

＜参考文献＞

- 1) JIS A1127：“共振振動法によるコンクリートの動弾性係数、動せん断係数、動ポアソン比試験方法”日本材料試験協会編・工業材料試験規格 1958
- 2) J. Penzien：“Damping Characteristics Prestressed Concrete” Journal of A.C.I., 1964.9
- 3) 坂静雄：“コンクリートの静弾性係数と動弾性係数”セメント技術年報Ⅷ 1954
- 4) 渡辺昭彦：“コンクリートの各種弾性係数の比較”セメント技術年報Ⅹ 1956
- 5) E. Bock：“Verhalten von Beton-und Stahlbetonbalken bei Biegeschwingen” V.D.I.Z., 1942.9
- 6) 小阪義夫：“コンクリートの弾性係数に関する実験”日本建築学会研究報告 1952.5
- 7) R. Jones：“The Effect of Frequency of the Dynamic Modulus and Damping Coefficient Concrete” Magazine of Concrete Research, 1958.7
- 8) 近藤泰雄、坂静雄：“コンクリートハンドブック”朝倉書店
- 9) 斎藤玄三、竹内竜一：“音響工学入門”オーム社