I－25　単純系の非線型応答特性に関する模型実験

東京都立大学　正会員　国井隆弘
同上　　　　同上　○福井留男

1. まえがき

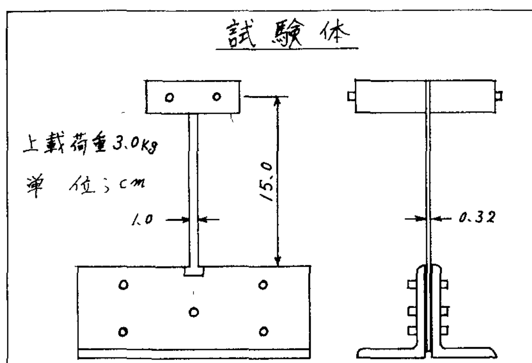
構造物の応答が線型限界を超えて、塑性領域に及ぶ非線型振動に関して、多くの研究がなされてきている。応答が塑性域に及ぶことによって固有周期の変遷と増巾率の低下が明らかにされ、これらの非線型応答特性は「力－変位」関係が履歴ループを描くことによって生じるものであると考えられている。この「力－変位」関係を静的載荷試験結果を基に適当な関係に仮定して、構造物の応答解析が行なわれてきたが、静的な場合と動的な場合とではいわゆる復元力特性が異るのではないかという疑問が提起されており、それに対して復元力特性は従来のものと大差ないにしても進行性破壊現象は説明できないし、非定常性（RCの場合の一例）も指摘されている。

線型を大きく超えた場合の「力－変位」関係が単一の簡単な関係で表わし得ないならば、破壊に至るまでの過程で「力－変位」関係がどのような変化をもたらすか、そしてそこに法則があれば知りたいところである。本研究はその足がかりのひとつとして単純系を用い、正弦波を入力として実験を行い、静的曲げ載荷試験結果のBi-linear型への置換と修正方法の模索を試みた。

2. 静的曲げ載荷試験

一質点系モデルとして図－1のような試験体を作りその先端に交番繰返し載荷を行なって荷重と変位を測定する。その際載荷後終局安定状態において測定するのは避けて、任意に試験体を変形させた後直荷重と変位を同時に読み取り、さらにまた変形させて読み取るという方法で時間的間隔を短くして測定した。

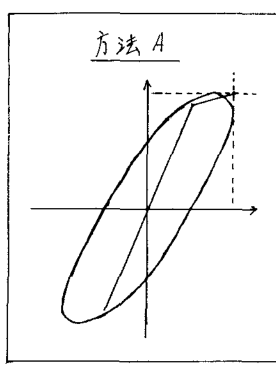
埋込端について若干触れておくと、この固定法においてはガタ・ゆがみ等が考えられ、完全固定とは言えないが振動時においても静的な場合と同様にガタ・ゆがみ等が生じると考えられ、これらの影響を含んだ復元力特性であると言える。



図－1

3. Bi-linear型への置換

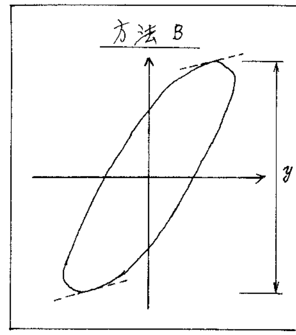
置換方法としてはっきりしたものが現在見あたらないのでここにその方法をいくつか考えてみた。Bi-linear型は降伏点と弾塑性傾斜率が求まればその形を描くことができるが、静的曲げ載荷試験結果を見ると変位の増大につれてループが寝てくる傾向があるので簡単に求めることができない。そこで降伏点をグラフ上から定めておき、次の三つの方法で弾塑傾斜率を決定することにした。



（方法A）　各ループにおいて最大荷重点（正及び負）で横軸と平行に接線を引く、一方最大変位点（正及び負）で縦軸と平行に接線を引く。両接線の

交点と降伏点とを結ぶ直線の傾きを求めていく。これらの傾きと荷重の間には一定の関係がみつからないので、単に平均した値から弾塑性傾斜率を求める。

（方法B） 閉じたループの正と負の最大荷重の絶対値の和に対応して、正と負の最大荷重点の接線の傾きの平均値を求める。各々のループについてこの操作を行なうと次のような関係が求まる。

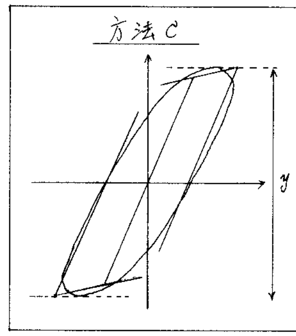


$$y = 939.2x + 2787$$

ここで　y；正負最大荷重の絶対値の和（kg）

　　　　x；弾塑性傾斜率　（<1）

（方法C） 閉じたループの正の最大荷重点で横軸と平行な接線を引く。同様に負の最大荷重点にも接線を引く。この接線上の任意の点と降伏点とを結び平行四辺形を作り、その面積を対象としているループの面積に等しくさせるように初めの点を接線上で移動させる。このような操作を各ループごとに行なうと次のような関係が求まる。



$$y = 1477x + 2416$$

ここで、y, xは上と同じ

4. 振動実験及び結果

静的曲げ載荷試験において使用したものと同様な試験体を三体使用した。入力として弾性内における応答の「相対加速度－ω/ω_0」曲線から相対加速度がほぼ一定になるように正弦波を与えた。

測定項目
- 振動台の加速度
- 試験体の埋込端のひずみ
- 試験体の先端の加速度

試験体	固有振動数 f_0	減衰常数 h	入力 振動数 f	入力 振幅 (cm)	ω/ω_0
No 1	3.157	0.0015	2.740	0.7	0.868
No 2	3.217	0.0018	3.144	0.3	0.978
No 3	3.226	0.0032	4.548	0.7	1.410

理論計算に際して上記の置換を行なうが、静的な場合よりも動的な場合の方がループは立ってくると考えられるので修正係数として1より小さい正の実数を弾塑性傾斜率に掛ける。また実測波形と計算波形の比較は加速度の応答量と最大値に注目して行なった。

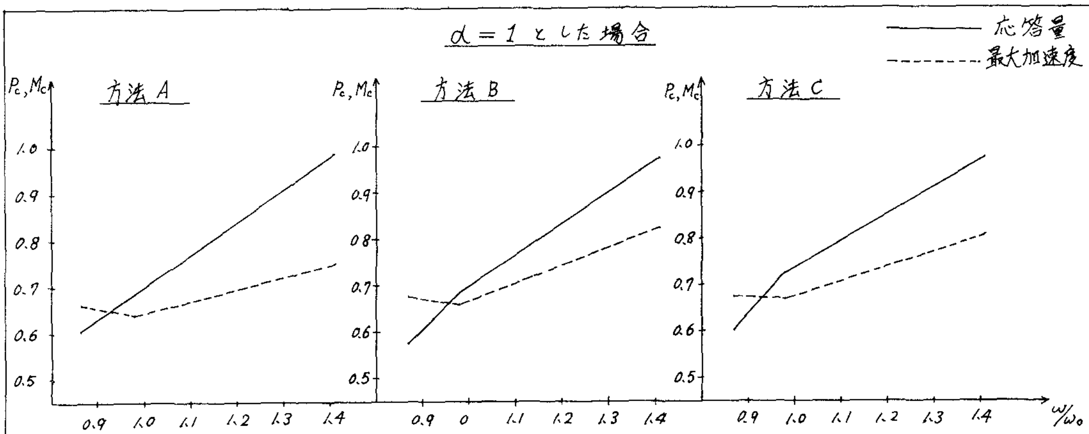
パラメータ　α；修正係数，$P_c = \dfrac{\text{計算値の応答量}}{\text{実測値の応答量}}$，$M_c = \dfrac{\text{計算値の最大加速度}}{\text{実測値の最大加速度}}$，$\omega/\omega_0$

図－2より 修正係数を1とした場合の各置換法を比較してみると、いずれのの方法も同様な傾向を示し、応答量に着目する限り各方法ともω/ω_0が1.4～1.5の範囲で実験値と一致する。

図－3，図－4，図－5より、図－3の「$P_c-\alpha$」曲線の一部を除いて各々のαに対してP_cはM_cを上回る。またP_c，M_cのどちらのグラフもω/ω_0の増加とともに傾きが小さくなる。

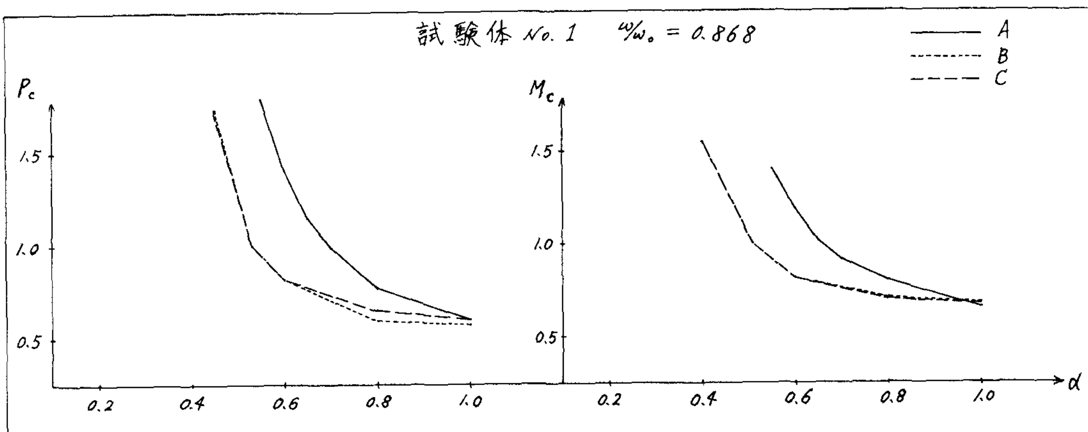
図－6より、$P_c=1$，$M_c=1$として$\alpha-\omega/\omega_0$の関係を調べると静的な場合よりも動的な場合の方がループは立っていて、$\omega/\omega_0=1$即ち共振付近では他の場合よりもループが立ってくるのが見られる。

注；ここで述べる応答量とは加速度波形の0.01秒ごとにとった縦距の自乗和である。



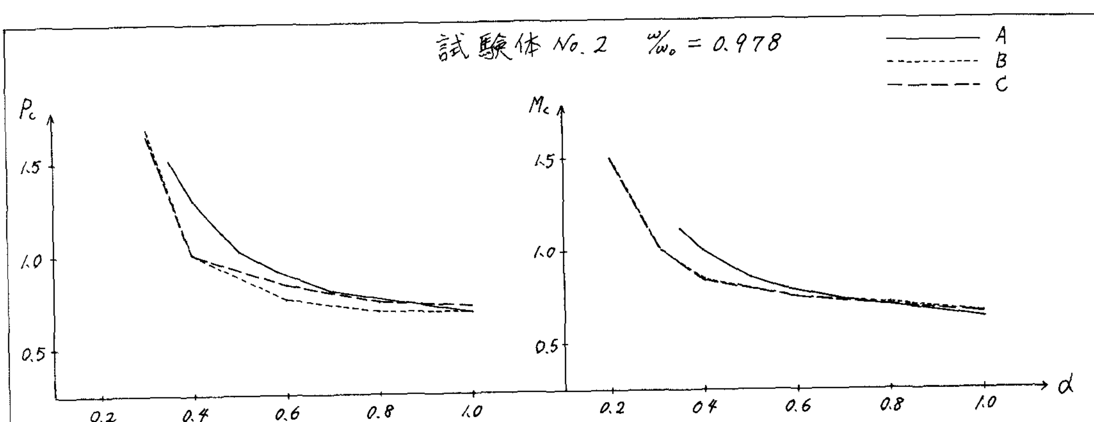
α = 1 とした場合
応答量
最大加速度
方法 A
方法 B
方法 C
Pc, Mc
ω/ω₀

図 - 2



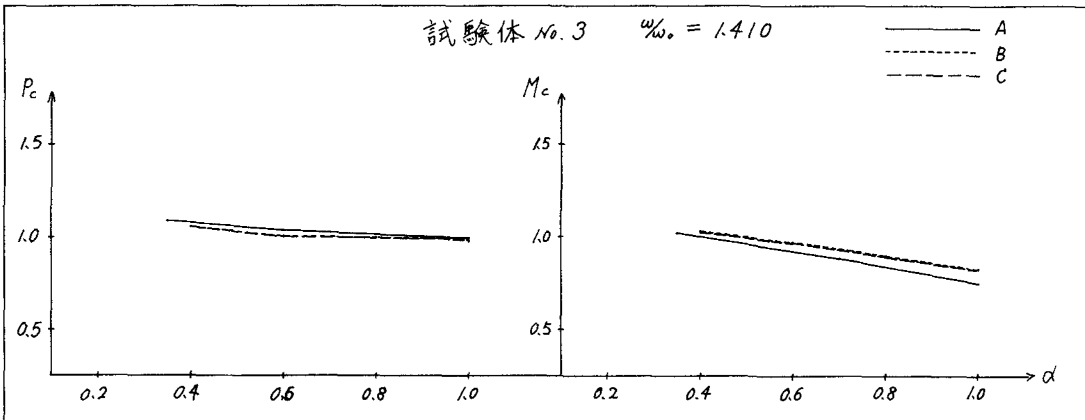
試験体 No. 1 ω/ω₀ = 0.868
A
B
C
Pc
Mc
α

図 - 3

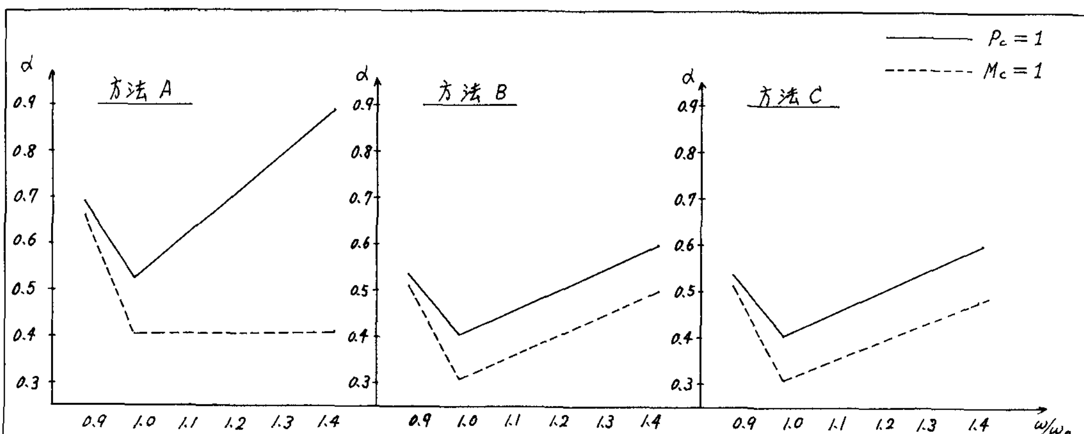


試験体 No. 2 ω/ω₀ = 0.978
A
B
C
Pc
Mc
α

図 - 4



図－5



図－6

5. むすび

Jennings型についても現在進行中であり、また重力の考慮及び地震波についても今後検討を行うつもりである。

本研究を進めるにあたり卒研として参加した斉藤氏と荘本氏（両氏とも本学の大学院修士課程へ進学予定）には実験及び計算に協力していただいたことに深く感謝致します。なお、本研究は文部省科学研究費補助金（奨励研究）に依った。