

計算機による構造物の動的破壊実験

DYNAMIC DESTRUCTIVE TEST OF A CANTILEVER BEAM CONTROLLED BY AN ANALOG-COMPUTER

佐藤俊二・原田正一・高野茂徳**・原田泰二
By Motohiko Takemoto, Masatoshi Shitawara and Tsukasa Hara

1.はじめに

現在、構造物の耐震解析を行なう場合、大地震を受けた時の挙動が興味の中心になっており、多くの論文が出ています¹⁾²⁾。There are various methods for these, いずれも構造物のdisplacement-time relation is shown in figure 1. ただし、ヒステリシスを考慮して、digital computer計算機

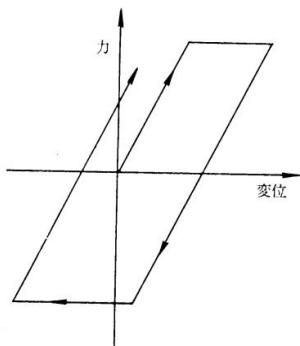


図1 通常仮定される「力～変位」関係

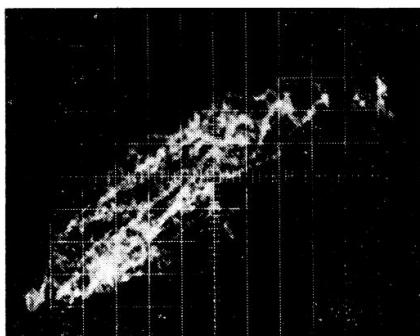


写真2 定常アーティック大振幅強制変位による「力～変位」関係

*正会員 〒100 東京工業大学工学部構造工学科 土木工学科
**正会員 〒100 東京工業大学工学部構造工学科 土木工学科
***元東京工業大学技術補佐員 土木工学科

またはanalog-computerによってその振動を計算するといふものでは、必ずしもその関係は簡単には従来行なわれてきた前記載の実験結果を参考して決定してあるので、実際の構造物が地震を受けた時のそれを何とか類似する試験を行なうと、筆者らは先づこの点を明かかにするために、試験と並んで、鋼片特にはりを地震波状外力を加へて、出力取扱い結果を発表したが、その「力～変位」関係は、従来の剛性線形から反対の曲線であるの軌跡で示す。写真1はこれを示す。

この結果は、構造物の線形を超えた「力～変位」関係は現在は明らかでないが、簡単な模型的な関係で表現されるかどうかは疑わしく、今後の多くの実験結果の集積に待たなければなりぬることは必要である。したがつて、いま、構造物が大きくなるほど複雑な現象を越えて場合を論じるために、この「力～変位」関係に関する法則を知り、それを用いて振動計算を行なうことは実験時間の時間が必要とする。Therefore, tried the following calculation method to試みてみたわけである。他の構造物の振動計算を行なう場合、計算の変位関係を假定するのも悪く、実際に実験を行ないながらその結果をたどりに使った計算してはどうだろうか。そこで、まず構造物の振動計算を行なう場合、一般的に構造物の振動を計算する式は、(1)の如きの「慣性力」、「振動減衰力」、「復元力」、「外力」である。

$$[\text{慣性力}] + [\text{振動減衰力}] + [\text{復元力}] + [\text{外力}] = 0$$

通常の振動計算は、この式を計算機で計算してあるが、計算機の中では、この式を除く他の項は計算機中で計算を行なうが、復元力を実験で置き換える。そして復元力を得るための実験。他の項の計算も併行して同時に何れか一点に持続がある。他の項の計算の実験を合わせてやり方である。復元力を実験装置は、構造部材に計算機が計算したたいたりの振動変位を入力して、その時の構造部材に生じる力を計算機に送り込むで取り出してやらなければならぬ。

そのため、実験装置を用いて、予め割り定めた電気油圧式任意波形荷重試験機を用いた。この試験機は最大出力と小型のため実際の構造部材の復元力を求めることなどと、より簡単に測定するため、試験体（厚5 mm、長60 mm、幅20 mm）を用いたので、本研究は表題のとおり計算方法のための予備的研究となる。

さて、以上のようないくつかの計算を行なうのはよいが、なぜ、実験的な研究方法もあるのに、なぜなら計算実験混合の方法を提案するか。それは、理論的であるから実験的に構造物の地震に対する強度を知るために、動的破壊実験を行なう場合、小さな模型であると実験に不可欠な相似則を満足させ、また実験条件を揃えることが困難なため、どうしても模型が大きくなってしまう。

それでは、より大型の振動台、その他の加振装置も大型化されることを得ず、多くの費用と時間を要することとなり、各大学・研究所などは、個別に、より簡単な研究を行なうことを可能である。しかし、現地で構造物の振動を計算するとき、それを目安としてどの部材が壊れるかを知って、その壊する部材のみを取り出し、構造部材としての境界条件を考えて構造物が振動し、その一部の部材が壊壊するのと同じような状況を再現しようというわけである。

したがって、壊れる部材が一個あれば、一個の実験装置を必要とする。この点は、本計算法の多少の欠点と言べきであろう。

2 計算方法

本計算方法は図2に計算の流れを示すように、アシスト計算機、任意波形動的材料試験機、発振器、測定器系から成る。強震による構造物の振動計算の具体的な例として、本研究では図3に示すような1自由度系の場合を取り扱って、この系の振動方程式は周知のよう式で表される。

$$\frac{d^2x}{dt^2} + 2\zeta \frac{dx}{dt} + R(x, t) = F(t) \quad (1)$$

ここで、 x ：変位量、 t ：時間、 ζ ：減衰係数、

R ：復元力、 $F(t)$ ：地震加速度

式(1)の $R(x, t)$ の項は実験か

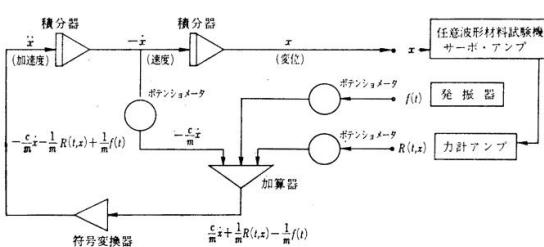


図2 計算流れ図

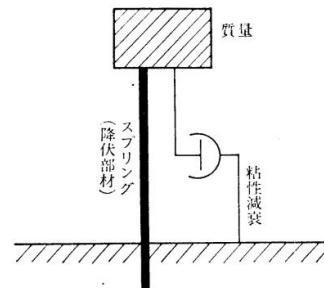


図3 本研究で取扱った1自由度振動系

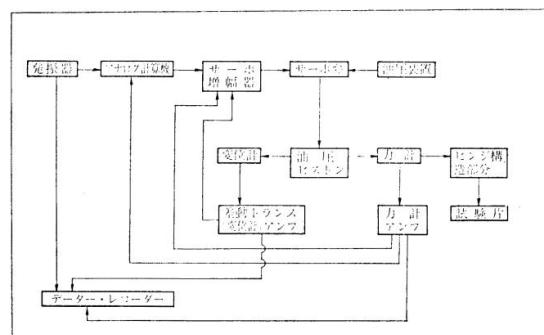


図4-1 全体としての計算構成図

りの出力として得られる。他の項の計算はアシスト計算機にて行なわれるが、全体としての構成は図4-4に示すところである。

アシスト計算機

本研究に用いたアシスト計算機の仕様をつきのとおりである。

製 形 演 算 電 サ ー ク ル テ ス ト	横河電機 KK 低速型 $\pm 10V$ 振幅誤差 $\pm 0.1\%$ /サイクル 周波数誤差 $\pm 0.5\%$ $5 \mu V/hr$
ドリフト	

任意波形動的材料試験機

本試験機は、研究室で組み立てたもので、つきのようないくつかの特徴をもつている。

形 最 大 出 力	電気油圧式 1.5 t
平 均 振 動 数 領 域	DC~20 Hz
最 大 片 振 幅	10 cm
最 大 速 度	80 cm/sec
油 圧 ユ ニ ッ ト	30 l/min, 140 kg/cm ²
サ ー ボ ア ン プ	30 l/min, 140 kg/cm ²

擬似地震波発生器

され、別論文で詳しく述べたように、10次以上の大さの振動数をもつて、白色雑音のノイズによって表わされる

Dynamische Auswirkung der Schwingung auf die Bruchmechanik

The product of the envelopes is generated as a pseudo seismic wave.

$$g(t) = e^{-At} - e^{-Bt} \quad \dots \dots \dots (22)$$

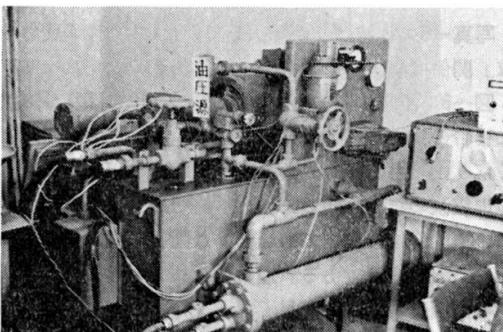


写真-2(e) 振動油圧発生装置

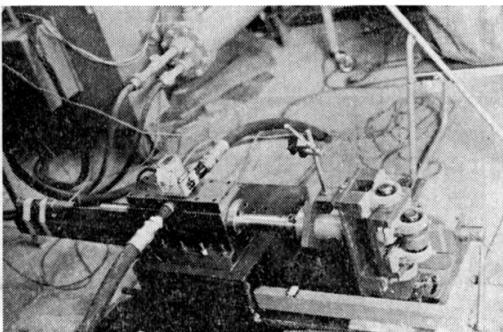


写真-2(f) Hydraulic cylinder specimen 機器試験部

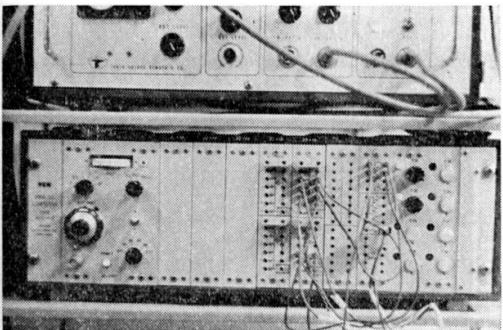


写真-2(g) Analog calculator 計算機

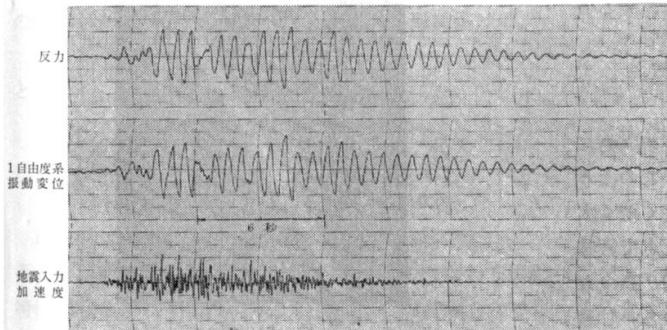


Figure 5 Vibration displacement under seismic input and reaction force

Note that this oscillator generates seismic waves with a frequency response to 10 Hz. Study while holding that cuts frequency response to 10 Hz and a resonance occurs. This is a special order for the Development Research Institute.

以上述べた実験装置の説明写真を写真-2に示す。

3 計算結果

(1) 地震応答

擬似地震波を1自由度系の入力加速度として計算した時、図-5～9が計算機の出力で数例を図-5～9に示す。

Figure 5 Because the input is made by seismic wave, the input shown in Figure 3, the output shown in Figure 5 is obtained. The displacement of the specimen corresponding to the input is obtained. There is no resonance, so the vibration waveform is simple, structure is in the free state. Although three types of vibration response are shown, structural deformation is subjected to the same effect as the ground motion, resulting in natural vibration (約1.5%) is induced.

その反応力を生じての反応波形は、ほぼ変位と同じ波形となる。さらに、地震が終りあれば、自由振動が漸減していくのが認められる。要するに通常のアナログ計算機による計算結果と全く同じ結果が得られた。

写真-3 図-5 図-6の構造物振動変位と反力を示すグラフ。管寸法とグラフの横軸と縦軸に入れた軌跡である。「変位-反力」はまだほとんど線形領域に留まっていることがわかる。

Figure 6 Vibration displacement and reaction when seismic acceleration increased. 反応力と振動変位の関係は、図-5の波形を複数重ねておらず、反応力も一定以上は頭打ちの状態で波形の多くの高さがは逆転的である。これは、構造物が終りあわてて立ち直るのではなく、構造物が降伏したことである。これは、構造物が終りあわてて立ち直るのではなく、構造物が降伏したことである。これは、構造物が終りあわてて立ち直るのではなく、構造物が降伏したことである。これは、構造物が終りあわてて立ち直るのではなく、構造物が降伏したことである。

写真-3 図-6の「変位-反力」関係を示す。管寸法と写真によく示したものである複雑な波形の外

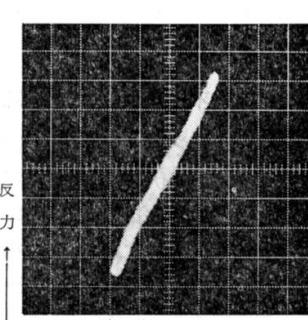


写真-3 微少地震入力時の「変位-反力」関係

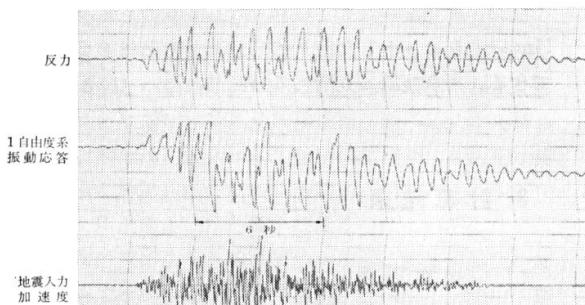


図6 大振幅擬似地震波入力による非線形振動応答

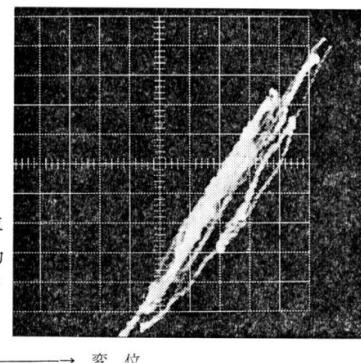


写真4 大地震入力時の変位・反力関係

内部に直接供試体に力を与えて破壊させた場合(写真1)には「変位～反力」関係は複雑な様子で描かれていたが、写真1では地震波に対する応答の特徴を示すため外力の作用する状況でこれを書き直してある。これは図6でわかるように構造物の振動が多大な障害となり、したがって、供試体が正弦波形に近づくまで受け取る外力は、正弦波形である。そこでこのときの「変位～反力」関係は、外力の作用する状況でこれを書き直す。この「変位～反応関係は正弦波形に近づくまで動的に破壊される時との差異が大きい」とは、これは現在の震動応答分析として使われている図1のよなら「丸」変位～反応関係をほど空認する資料である。

(2) 定常的不規則波に対する応答

1つめは定常的白ノイズに対する応答である。これは、雜音の入力に対して構造物の終盤後の振動応答を求めた。このようない定常的不規則波に対する振動応答は、非常に長く続く大地震あるいは台風に対する構造物の振動という点で興味がある問題である。実際の計算に当たっては最初、微少な定常的不規則加速度度を与え、ある時間たったのち、加速度の値を上げると、それまでの過程で計算を行なった。

図7 不規則加速度の値が小さく片持ばりが降伏した場合の変位～反応関係と振動応答の固有振動がはっきり認められる。波形の変動は、変位～反応関係と相似である。

写真5 片持ばりが降伏して丸なので、「反力～変位」間に平行線が現れる。

図8 不規則外力が大きくなると片持ばりが降伏した場合の振動を示す。変位～反応の振動波形は類似である。これは、片持ばりが降伏した場合の変動が、片持ばりが降伏した場合と同様である。そしてもう一つの特長は、この場合の自然振動は、通常の自然振動が認められなくなる。構造物が倒れてしまうと、通常呼ばれているような「降伏」という用法が問題となる。見掛け上は自然振動が増加するが、実際は固有振動がなくなり、今まで固有振動

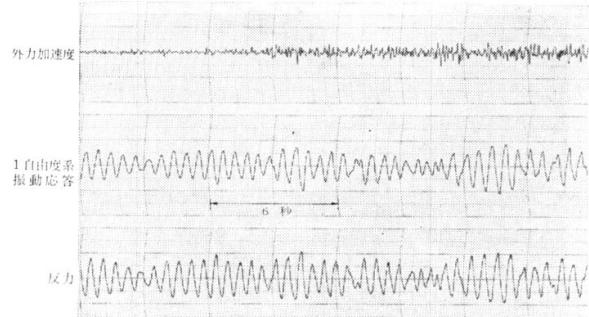


図7 振動応答に対する片持ばりの反応

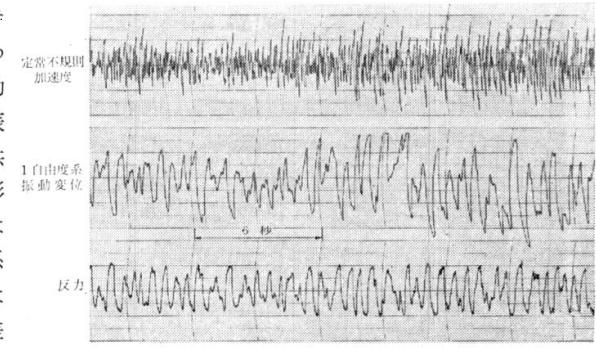


図8 大振幅定常不規則加速度による非線形振動応答

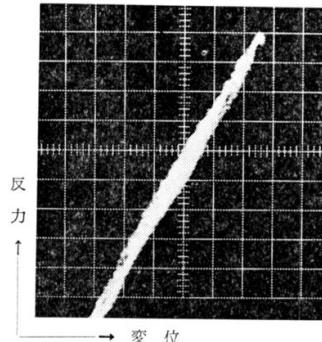


写真6 微少定常不規則波入力時の変位・反応関係

動的破壊実験と制御された梁の動的破壊実験

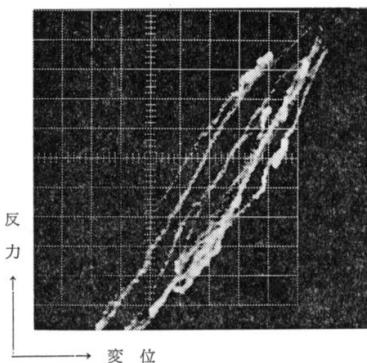


図7 反応力と変位の関係 (Reaction force and displacement relationship)

However, the period becomes longer and the attenuation is so small. Higher frequency is also present, and the waveform will appear. Although it is recognized that the trajectory is not that complicated, the displacement and reaction relationship is almost similar to the normal elastoplastic model. It shows the relationship. However, from Figure 8 it is clear that the nonlinear effect such as the friction above can be simply reduced by decreasing the spring constant k and increasing the vibration damping constant C to form a one-degree-of-freedom system. Because it is known that it is dangerous to analyze.

Figure 8 shows the relationship between displacement and reaction force. It forms some kind of hysteresis loop. Although it is recognized that the trajectory is not that complicated, the displacement and reaction relationship is almost similar to the normal elastoplastic model. It shows the relationship. However, from Figure 8 it is clear that the nonlinear effect such as the friction above can be simply reduced by decreasing the spring constant k and increasing the vibration damping constant C to form a one-degree-of-freedom system. Because it is known that it is dangerous to analyze.

4 計算結果

(1) 振動特性の変化(正弦波外力による場合)

振動学の教科書によると固有の事からであるが、構造物は線型の場合 H を問題にしてる構造系の系開数とすれば $f(t)$ を外力 $y(t)$ を変位応答として

$$y(t) = H(p)f(t) \quad \dots \dots \dots (3)$$

の関係がある。もし(3)を変換する形で書くと、(4)式を得る。

$$Y(i\omega) = H(i\omega)F(i\omega) \quad \dots \dots \dots (4)$$

ここで、 $Y(i\omega) = \int_{-\infty}^{\infty} y(t)e^{-i\omega t} dt$

$$F(i\omega) = \int_{-\infty}^{\infty} f(t)e^{-i\omega t} dt$$

は、Resonance curve considerationのため、共振曲線として構造物は線型である限り $H(i\omega)$ すなわち振動特性は変化することなく、その構造物に固有のものである。Therefore, the vibrational characteristics fixed on the system corresponding to $H(i\omega)$

固有振動数(固有振動形、振動減衰定数)を求めておきさえすれば、どのような複雑な波形でも外力 $f(t)$ が作用しても構造物の振動は計算によって求めることができ、その結果構造物に生じる動的応力の最大値などを求めらる。設計に役立てる事ができるわけである。それほど重要な特性 $H(i\omega)$ は通常構造物では、という用振動数をもつ正弦波外力を与え、それにに対する振動幅 $y(i\omega)$ を求め、その間の関係式 $H(i\omega)$ の求め方である。その方法がとられている。

さて、構造物の振幅が大きくなつて降低了した場合、振動は非線形となり、その結果 $H(i\omega)$ も変わってくる。 $H(i\omega)$ がどのように変化するか、従来の線型振動理論により近似的に種々研究されている。それによれば、 $H(i\omega)$ の変化には以下のようにある。第1は固有振動数の低下であり、第2には等価振動減衰定数の増加である。ただし、この変化を理論的に導く場合、外力としては正弦波外力を仮定しており、地震波のような複雑な波形の外力が作用した場合の変化についてはまだ研究がなされておらず、たとえば、複雑な波形の外力の場合はさておき、この外力が $H(i\omega)$ に及ぼす影響などは、現段階では明確ではない。しかし、図9、10 が示すように、外力の変化によって、応答曲線がどのように変化するかを解析しておこなわれている。図9、10 が示すように、外力の変化によって、応答曲線がどのように変化するかを解析しておこなわれている。図9、10 が示すように、外力の変化によって、応答曲線がどのように変化するかを解析しておこなわれている。

図9 は正弦波外力の大きさを大きくなした場合の振動系の振幅変動振幅とその変位応答の関係である。外力の振幅が大きくなると、振幅変動振幅も大きくなる。一方図10(a)と(b)が示すように、外力の変動振幅を除してある他の振動数特性(共振曲線)は、図9(a)の自然振動数の振動系の振動数が約

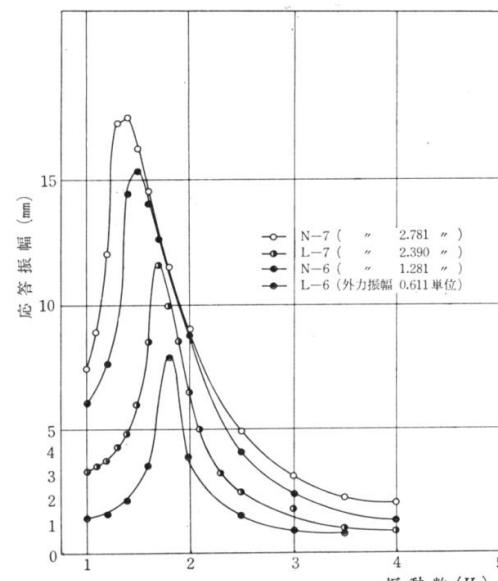


図9 外力振動数と変位応答振幅の関係(正弦波外力)

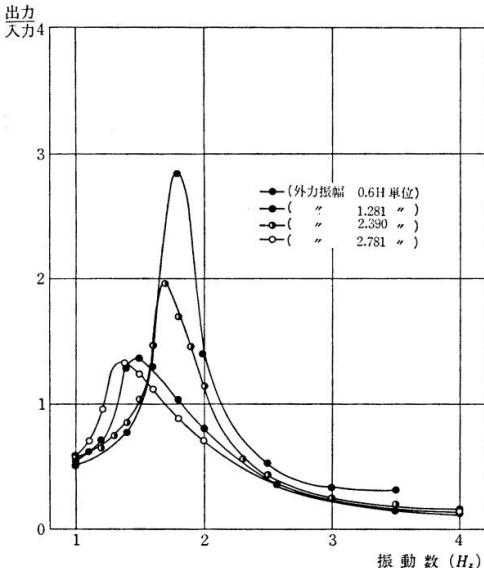


図10(a) 正規化され共振曲線

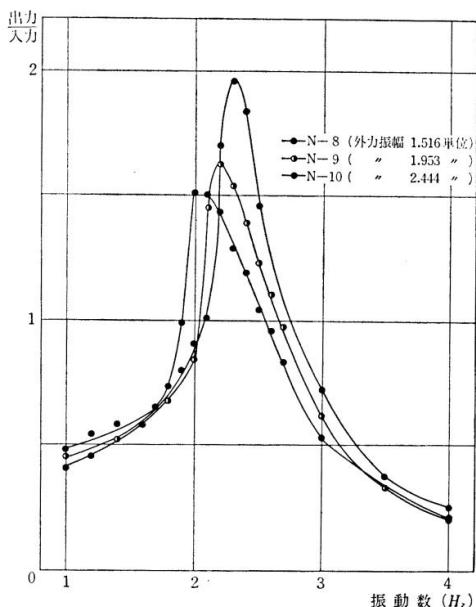


図10(b) 正規化され共振曲線

図10(a), (b) は約 1.8 Hz の場合の外力振幅と共振出線の変化の関係を示すが、固有振動数の低下が明らかに認められる。外力振幅が約 4 倍に増加する。また、共振時の固有振動数が約 20% 程度の低下をきたして、共振時振動振幅は外力と比例関係にある。
外力振幅を等しいとした時、降伏後は弾性振動の場合にいくらかで約 50% 程度に減少している。

さて、見掛けの振動減衰定数の増加を示すものであるが、振動減衰定数は共振曲線のピークの立ち上がりから求められる方法もある (Fig. 5) が、むしろ共振振動数の前

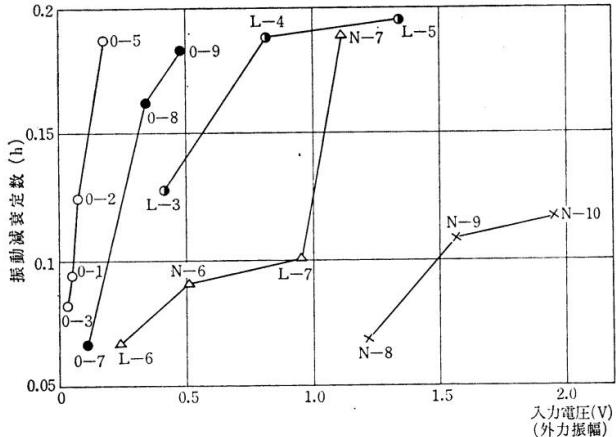


図11 正弦波外力振幅と減衰定数の関係

後で述べる振幅の $\sqrt{1 + \omega^2}$ の振幅を 2 もの振動数 f_2, f_1 を求め次式によると近似的に減衰定数 $h = \ln(f_2/f_1)$ が求められることはわかるのである。

$$h = \frac{f_2 - f_1}{2f_0} \quad \dots \dots \dots \quad (5)$$

式(5)を用いて図 10 に一例を示したような一連の共振曲線から求められた減衰定数の値を外力振幅に対して書いたのが図 11 である。

この結果から見ると減衰定数は正弦波外力振幅が大きくなると振動の非線型性が強くなるとほとんど例外なく大きくなるとみなすことができる。また、この減衰定数増大の程度は外力が 5 倍になった時、定数は 3 倍弱になっている。

(2-2) 振動特性の変化(擬似地震波加速度による場合)

前回述べたように線型振動の場合には動特性 $M(\omega)$ が固有モードの振動系固有のものであり $bH(i\omega)$ を求める方法が正弦波外力によるものであっても、衝撃力によるものでは白色雜音によるものであっても、解 $H(\omega)$ は得られない。しかしながら、非線型振動の場合には $H(\omega)$ は振動系固有のものではなくなり、外力の振幅、波形等によって変わることがある。

しかし、わざわざ大地震を受けた構造物が降伏してしまった場合の振動を論ずる場合、振動外力が正弦波である場合の動特性の変化(固有振動数の低下、減衰定数の増加)をとくれば、図 9 と 10 などの結果を念頭に置いて、地震波のどのような複雑な波形の外力を受けた場合に正弦波外力による特性変化と大差ないのかどうか、また変化的程度はどうか等、細かい点が多くあるので、(1) で説明した擬似地震波を入力とした場合の非線型応答計算結果を用いて、その方法で解析 $H(\omega)$ の変化を求めた。

計算機による制御された構造物の動的破壊実験

As mentioned in Section 4, the seismic wave velocity of the Fourier transform to $F(i\omega)$ and the vibration system's vibration displacement transformation to $Y(i\omega)$ in this case, the dynamic system's modal and the vibration system's mass matrix is as follows:

$$H(i\omega) = \frac{Y(i\omega)}{F(i\omega)} \quad \dots \dots \dots (6)$$

したがって、振動系の動的特性 (dynamical property) を知るために場合には、地震波の外力を加えた地盤加速度波形 (ground acceleration waveform) とその振動変位 (vibration displacement) $y(t)$ を測定して式 (6) から計算される。なお式 (6) の複素数の形で示すと簡単なが、われわれの通常振ら系の共振曲線を得るために、絶対値を計算すればよい。

$$|H(i\omega)| \text{ (共振曲線)} = \frac{|Y(i\omega)|}{|F(i\omega)|} \quad \dots \dots \dots (7)$$

$$A_{rg}|H(i\omega)| = A_{rg}|Y(i\omega)| - A_{rg}|F(i\omega)| \dots \dots \dots (8)$$

ここで、

$$|Y(i\omega)| = \left[\left\{ \int_0^T y(t) \cos \omega t dt \right\}^2 + \left\{ \int_0^T y(t) \sin \omega t dt \right\}^2 \right]^{1/2}$$

$$|F(i\omega)| = \left[\left\{ \int_0^T f(t) \cos \omega t dt \right\}^2 + \left\{ \int_0^T f(t) \sin \omega t dt \right\}^2 \right]^{1/2}$$

$$A_{rg}|Y(i\omega)| = \tan^{-1} \left\{ - \int_0^T y(t) \sin \omega t dt / \int_0^T y(t) \cos \omega t dt \right\}$$

$$A_{rg}|F(i\omega)| = \tan^{-1} \left\{ - \int_0^T f(t) \sin \omega t dt / \int_0^T f(t) \cos \omega t dt \right\} \dots \dots \dots (9)$$

ここで、振動変位幅が零となるまでに要するまでの時間。なお、われわれの計算結果を解析する場合には、 $y(t)$ は残留変形のために地震加速度が加わる限り振動振幅が零でなくなることがある現象を保有する場合が多い。(図-6 参照) その上、この関数の場合、Fourier 变換そのものが発生不可能となるため実行不可能であるので、実際には式 (9) の代りに $\int_0^T y(t) \cos \omega t dt$ を採用し、 $H(i\omega)$ としでは式 (6) の代りに式 (9) を用いて計算する。

$$|H(i\omega)| \text{ (共振曲線)} = \frac{|\dot{Y}(i\omega)|}{\omega |F(i\omega)|} \quad \dots \dots \dots (10)$$

式 (10) の $\dot{Y}(i\omega)$ は式 (9) の $\int_0^T y(t) \cos \omega t dt$ の Fourier 積分といふ意味である。

図-12 は擬似地震波 (Figure 5 b) の上に構造物の線型化した非線型振動を前述の方法で解析した共振曲線を示す。この共振曲線を正弦波形相速度を外力とした場合 (図-10(a) (b)) と比較してみると構造部材が弹性範囲から塑性域に入るにつれて、共振率の低下 (the natural frequency decreasing) が見えて認められる。

しかしながら、擬似地震波によって振動の場合には、固有周期の低下は非常に少く、気持程度のものである。ところどころの地震波の場合のみ見わたる特長として、固有周期よりかなりの長周期に卓越した振動成分が出現するところである。また、地震波の中でも複雑な波形の外れでは、構造物が非線型振動を行なう場合によつて、従来「外れ」といはれる「固有周期の低下」が現われるといつても、この固有周期の低下は必ずしも、固有周期がかなり長い周期の成分が現れるものである。したがつて、弾性振動では、図-

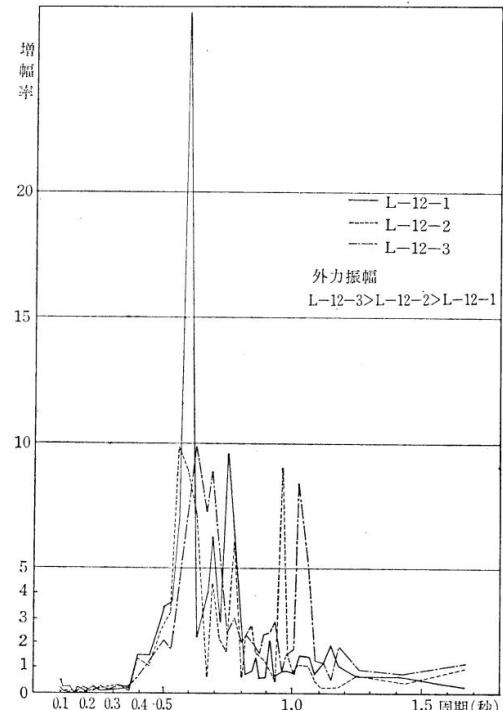


Figure 12: Resonance curve changes under simulated seismic wave input.

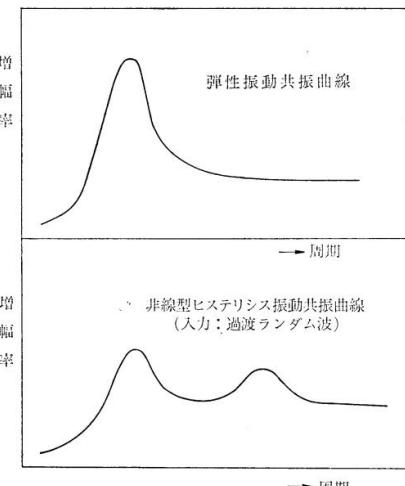


Figure 13: Schematic diagram of double-peak resonance phenomenon.

As shown in Figure 113, the resonance curve was one sharp peak. **-13** に示すように共振曲線が1個の鋭い山だったのが、降伏するまで1個の山から2個のヒューマンに分裂したという印象を受けた。これは結果として過渡ラバダム非線形振動に共通した現象かどうかは、わからぬが、今後に残された興味ある研究課題であると思っている。

(3) 振動変位ヒューマンの周期頻度(擬似地震波加速度による場合)

Figure 6 のデータを擬似地震波による自由度系の非線形振動変位はほぼ固有振動の振動変位であり、その固有振動周期が通常よりも長いものであるかどうかは、判然としない。その点を検討するため、振動変位のピクル間の時間を調べ、その時間を振動周期とみなして、その振動周期の頻度分布を調べた。振動系が降伏して弾性範囲から塑性範囲に移る時、周期頻度のヒューマンは周期が長周期のラバダム移動するかどうかを確かめようとしたものである。その結果の例を、図-14 に示している。実験番号の最後の数字が多くほど塑性域に入っているだけであるが、この結果では、弾性振動では、1.35 秒に固有振動と思われるピークがあり、振動が非線形化するにつれて固有振動のヒューマンがはっきりしなくなり、種々の周期成分が現われて、周期頻度曲線が平坦となる。報告した複数の図を見ても、これらの図からも前述のように、非線形領域に入るにつれて固有周期は伸びるので

なく、他の周期成分が現われてくると仮定が裏づけられた。

5. 結論

大振動外力を受けた構造物の実際の振動応答を知るために、その構造物のうち降伏する部材を取り出して、その部分のみを実験に置き換えた他の降伏しない構造物部分の振動は電子計算機により計算し、置き換えた実験装置は計算機と On-Line で結合し、計算ループの中含ませてしまうと、さう手法を開発し予備実験ではあるが成功の成績を収めた。

そして本予備実験の結果知られた事がありを列記すればつきのようである。

(1) 本解析方法により構造物の強震時振動を従来の方法より精度よく解析できると思われる。

(2) 強震を受けた構造物は一向向に破壊が生じると、その最初に破壊が起きた方向に振動破壊を進行させいく。

(3) 強震時の構造物の固有振動の誘起を考慮に入れた本解析における「変位-反力」関係は前論文で扱った供試体のため振動が無視できる場合、すなわち、地震波加速度波形状外力で供試体を直接破壊させた場合の「変位-反力」関係(写真 1 参照)にくらべてより簡明な直線関係が創出される。一方で、正弦波外力による「変位-反力」関係に似ている。このことは従来耐震解析で用いられてきた図-1 の直角的な「力-変位」関係で計算を行なって大きな問題ではなき思えるかも知れない。しかし、図-1 は図-10 のような原点に対する対称な復元力特性ではなく(2)に示した進行性破壊現象を説明できなくなつ。

(4) 強震時の系の動特性的変化は、正弦波形外力の場合の固有振動周期の長周期への移動、「見掛けの振動減衰定数の増大」のうち前者はその傾向が認められる程度で著しくないが、後者は固有周期はほとんど変化せず增幅率が非常に低下し、固有周期よりかなり長周期に固有周期に対するほぼ同程度の山ができる。これが頭頭化現象が目立つた。

(5) 定常的不規則波の場合は、外力が大きくなり部材の降伏が進むにつれて、固有振動に高調波が入り波形が「はさきたみ」などと呼ばれる特長が認められた。

(6) 擬似地震波のよりぬ過渡不規則波が入力である場合と、定常的不規則波が入力である場合との 1 自由度系の非線形振動の様子に多少の違いが見られる。

つまり過渡不規則波の場合は、系の振動が非線形領域に入ることで、時間が比較的短いのに対して、定常的な場合には非線形領域に入ることで、時間が長く振動波形の

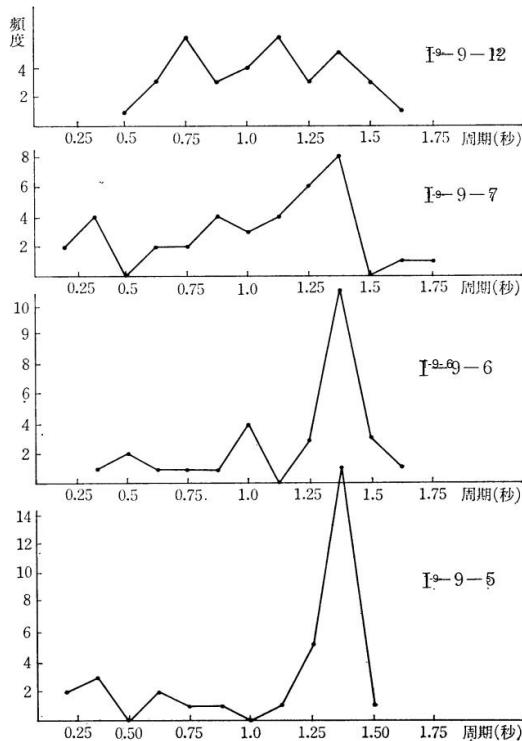


図-14 振動変位ヒューマンの周期頻度分布
(外力振幅 I-9-12 > I-9-7 > I-9-6 > I-9-5)

計算機により制御された機械の動的破壊実験

それは後者に著しいようを感じられた。

まさに本解析方法の将来に残され得る点を述べてみよう。

(1) **任意波形加振装置の精度の向上と出力の増大:**この問題はほとんど経済面のための問題として解決できるものと思われる。本研究において使用した装置の最大加速度は $1a/5\pi$ であるが、実構造部材に適用するため出力を 20 t に増加し、振動全振幅は 20 cm を保つ場合、定常的に以上の性能を發揮するためには、数百 kW の電力を必要として実現の可能性が薄くなるため、すでに勝田博士らが試みておられるようなアキュミュレーターの中に油圧を貯めてそれを地震波動継続時間の数分間に一度放出するという方法が想到される。波形の精度の点については、現在まだいろいろな障害が残っていると思われるが、onlyこの解決は時間の問題であろう。

(2) **高速デジタル計算機と実験装置との On-Line 結合:** 本研究では、アナログ計算機と任意波形材料試験装置とを On-Line で結合し、演算を行なったわけであるが、この場合の欠点としては、試験装置の方に応答の位相遅れが多少あり、それが計算全体の精度の低下をもたらすのである。アナログ計算機における本実験装置を制御する場合には、実験装置の位相遅れを予測してそれを演算に取り込むことが可能であり、その結果計算全体の精度を向上することができる。さらに、アナログ計算機の場合、原則的には单自由度モデル化した振動系しか取り扱えながら、高速デジタル計算機では、偏微分方程式で表わされる複数の板、板等を取り扱える利点がある。つまり、制御の制約がなく多少誇張していえば、どのような問題も取り扱えるということである。

(3) **鋼以外の材料でできた部材の動的破壊実験:** 本研究において鋼部材を供試体に採用した主な理由は、測定結果の信頼性が少ないからであろうということであって、コンクリートは、土などは動的外力によって破壊せざるを得ないが、鋼以上に興味ある結果が得られることが期待される。今後はこのような材料についても本研究に用いた実験方法が適用されることが望まれる。

謝辞: 本研究は東工大土木工学科 藤城泰行、横山功一両君の卒業研究として行なったものであり、資料整理には新島美穂子様の手をわざわざしたので謝意を表したい。

また文部省災害特定研究費の援助を受け、さらに本研究における計算のまことに東京大学大型計算センターにおいて行なった。ここに記しで感謝する。

参考文献

- 1) 小林賀男・宍戸明恵・小野順頃:「Torsional Response of Buildings to Strong Motion Earthquake」日本地盤工学会誌(1966)講演集, pp. 209~214
- 2) Robert D. Hanson : Post-elastic Dynamic Response of Steel Structures, 日本地震工学ソシエット(1966) 講演集, pp. 221~226
- 3) 佐野元彦:「Nansei-shoto no Onset of Inelastic Dynamic Response of Buildings to Strong Motion Earthquake」日本地盤工学会誌(1966) 講演集, 第162号, pp. 19~20, 1969
- 4) Timoshenko, S.; 吉下市松・渡辺茂共訳:「工業振動学」, 東京図書, 1964
- 5) Japan Society of Structural Engineers:「The 1964 Sanriku Earthquake」, p. 104, 1966
- 6) Katsuura, T. and N. Matsuzawa and N. Mashimo:「Electro-hydraulic Shaking Table by Servomechanism」, Trans. of the Architectural Institute of Japan, No. 117, Nov. 1965

(1969.4.21de受付)