

はりの動的破壊時の復元力特性に関する基礎的実験

DYNAMIC "FORCE-DISPLACEMENT" RELATIONS OF CANTILEVER
TEST PIECE APPLIED BY EARTHQUAKE TYPE EXTERNAL FORCE

伯野元彦*・四俵正俊**

By Motohiko Hakuno and Masatoshi Shidawara

1. はじめに

最近、土木構造物の耐震設計は、電子計算機の普及ともなって、構造物が地震を受けた時の振動を忠実に計算し、その安全性をチェックするという方向に進んでいる。この振動計算を行なう場合、構造物が大きな地震力を受ければ当然構造物にも大きい振動を生じるがその時、構造物の「応力～ひずみ」関係は線型関係を越えてヒステリシスをともなった非線型応力～ひずみ関係となるものと考えられる。

現在、耐震計算ではこの非線型の場合の振動計算ももちろん行なっているが、その場合、応力～ひずみ関係は図-1のように適当に仮定している。

この仮定は従来行なわれてきた静的破壊試験の結果を準用しているものであって動的外力が加わった場合のそれが得られていない現在やむを得ないことではある。

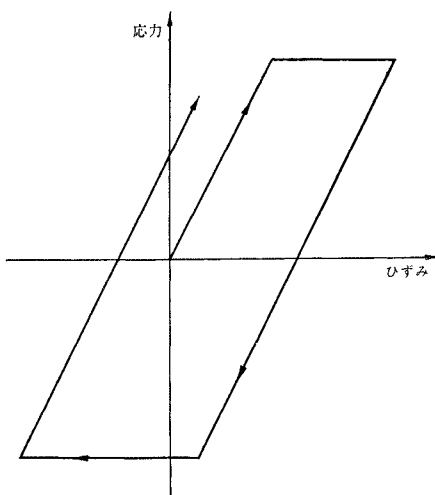


図-1 応力～ひずみ曲線 (ヒステリシス)

このように耐震計算を行なうに当っては各種の仮定を設けているので、計算結果に信頼性を与えるためには、実際の構造物の震害の程度との比較を行なわなければならない。震害調査に行って感じることは、一応設計計算を行なって建設されたと思われる構造物は計算結果から想像されるより以上に強い場合もあるが、1968年十勝沖地震で見られるように、予想以上に弱い場合もある。もちろん、新潟地震のように砂の流動化という設計に全く考慮していない現象による被害が大部分を占めている場合は例外であるが。

以上の観点から、構造部材の線型範囲を超えた場合の動的性状の研究、動的強度の研究が重要な研究課題であることが知られる。

さて、この種の過去の研究としては、多くの研究者が取扱って来た。鋼構造に限れば、静的載荷を方向を変えて行なう、いわゆる交番荷重による Low Cycle Fatigue が最も普通に行なわれている^{1),2)}。

さらに正弦波的に変化する動的外力による破壊実験も始められているらしい³⁾。しかし、地震によって構造物が破壊する性状を研究するには、以上述べた既往の実験ではつぎのような点が物足りない。

i) 交番荷重による破壊では、実際の地震波形荷重の場合のそれよりも、1サイクルの載荷時間がはるかに長いため、破壊の進行が地震波形載荷の場合のそれよりも大きいことが予想される。

ii) 降伏点を超えれば、応力～ひずみ関係は、静的な場合も、動的な場合もヒステリシス・ループを画くであろうことが予想されるが、そのため、供試体内部でエネルギーが消耗され、それは、供試体の粘性的な反力として、外力に抵抗すると考えられるので、載荷速度がこの粘性反力に大いに影響することも予想される。したがって、載荷速度の著しく異なる静的破壊実験と動的破壊とは異なった性状を示すのではなからうか。

さらにまた、供試体の質量による慣性力も実験結果に

* 正会員 工博 東京工業大学助教授 工学部土木工学科

** 正会員 東京工業大学助手 同

いくらかの影響を持つかも知れない。

iii) つぎに正弦波一動的破壊実験であるが、破壊実験は本質的に非線形性を持つものであり、実験結果の重ね合わせはきかない。したがって、大勢に影響は無いかも知れないけれど、地震波形のような複雑な波形をもつ外力で壊してみても、影響の有無をたしかめる必要がある。

以上の点を多少とも補う意味で、本研究ではつぎに述べるような実験を行なったものである。その方法としては、次節以下に詳述するが、外力としては、定常的正弦波、定常的ランダム波、過渡的正弦波、過渡的ランダム波の各種波形をもった力または変位を、構造部材としては鋼の材片を用いた。

そして静的強度と動的強度の関係、動的力～変位関係、定常的外力に対する挙動と過渡的外力に対する挙動の関係等について、考察を行なったものである。

動的破壊実験に際してなぜわざわざ複雑な実際に作用するに近い波形をもった外力を使わなければならないのであろうか。試験機を製作する場合、任意波形外力を得るものより、正弦波形とか、衝撃波とかの外力を加えるものの方が製作はるかに容易であるし、価格も低廉である。それにもかかわらず任意波形外力を用いなければならない理由はつぎのとおりである。破壊現象はもちろん非線型であり、重ね合わせはきかない。したがって正弦波外力での動的挙動がわかったとしても、地震のような複雑な波形の外力が加わった場合については、確信のある答えを引き出すことは困難である。そのため実際に加わる通りの外力の下での動的挙動を明らかにする事が要請される。しかしながら試験機によって試験できる地震外力としては過去において経験された地震記録を用いる以外に方法がない。将来建設される構造物に作用する地震力は如何なる波形であるか不明であるから、過去の地震記録をもとにして動的挙動を明らかにしても無意味ではないかとの議論も生れよう。

この点に関してはつぎの2つの解決法が考えられる。

1つは各種の性質の異なった複雑な波形の外力による試験結果から、構造部材を構成している材料の動的破壊のメカニズムが引き出し得る場合、この場合には、波形が複雑になっても破壊特性は知ることが可能であろう。しかしながら、基本的な動的破壊のメカニズムを知るためには、現時点では余りに資料不足であり、かつまたそのような普遍的な法則を見つけることが可能かどうかとも疑わしい。

第2の解決法は、より工学的観点に立つもので、複雑な地震波形も数多く集めれば、数個か数10個かは知らないが、統計的にそれぞれ異なった性質をもった地震波形のグループに分類されるであろう(たとえば、ゆっく

りノロノロ続く地震とか、衝撃的で短時間に終わってしまう地震とかに)。そしてそれぞれのグループに属している地震波形を外力とする構造部材の動的破壊性状は比較的互いに似たものとなるであろう。その結果を統計的に処理すれば、動的挙動に関する輪郭が浮び上がって来るであろう。

本研究では第2の解決法に沿って実験を行なっている。

2. 実験装置

実験装置はつぎのように試験機、供試体支持装置、発振器、測定系からなっており、そのブロック図は図-2の通りである。

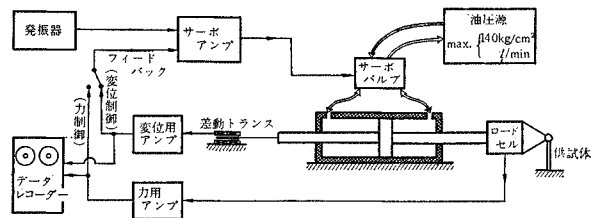


図-2 実験ブロック図

任意波形動的材料試験機

構造部材の任意波形外力による動的破壊実験を行なうためには、まず第1に任意波形の力を加える装置が必要である。現在のところこの種の装置としては、2種類が考えられる。

- (i) 電磁コイル型
- (ii) 電気油圧型

(i)の電磁コイル型はコイルの中心に鉄心を置きコイルに任意波形の電流を流すと鉄心に電流変化に比例した力を生じるとい原理によるものでこの形式は、ランダム波形振動台に用いられている。材料試験機としては発生できる力が小さいこともあって現在のところ余り例はない。(ii)の電気油圧式はサーボ弁という外部からの印加電圧通りに作動する弁によって、油圧源からの油圧を自由にコントロールしようとするもので振動台として用

表-1

	長 所	短 所
電気油圧式	(i) 大出力を得やすい。 (ii) 単位出力当りの価格が安い。 (iii) 低振動数領域での特性が良好。	(i) 加速度波形による制御が難しい。 (ii) 100 Hz のような高い振動数領域での特性は落ちる。
電磁コイル型	(i) 波形の精度が良好。 (ii) 相当の高振動数まで追従できる。 (iii) 加速度制御が可能。	(i) 大出力を出すには非常に費用がかかる。 (ii) 低振動数領域では波形がくずれる。

いられていることはもちろんであるが、材料の疲労試験機として採用されている。筆者らの考えによる両形式の長所、短所を表-1 に示した。

筆者らが本研究のため最少限必要とする試験機の特長としては、

- (i) できるだけ出力の大きいこと
 - (ii) 曲げ破壊の場合などには、大変形を生じることになるので、最大片振幅は 10 cm 程度欲しいこと
 - (iii) 変位制御のみでなく、力制御も可能であること
 - (iv) 振動数領域としては、外力として地震力を想定する場合、高々 10 数 Hz まで使用可能ならばよい
- 以上の要求に適し、さらに安価ということから電気油圧式の試験機を表-2 に示す仕様で試作した。

表-2 試験機の仕様

最大出力	1.5 ton
平坦振動数領域	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
サーボ弁	30 l/min, 140 kg/cm ²

3. 動的破壊実験

実験方法

実験方法としては、定められた波形の振動力を供試体に加えて、その結果の破壊状況を調べるという方法（力制御）と、定められた波形の通りの変形量を供試体を与えて破壊させるという（変位制御）2種の曲げ破壊実験を行なった。

前者は構造物が剛であって、地震加速度波形がそのまま構造物に加わる地震力となる場合に相当し、変位制御方式による実験は、構造物が非常に巨大であって、固有周期も地震動の周期成分にくらべて長く、主として地震変位によって破壊する場合に相当しよう。

実験に当って以下に述べるような波形の力または変位を供試体に加えて、変形量または反力を測定した。加振波形の種類はつぎの通りである。

- (a) 定常的正弦波
 - ① 1 Hz, ② 3 Hz, ③ 10 Hz
- (b) 定常的ランダム波
- (c) 過渡的正弦波
 - ① 1 Hz, ② 3 Hz, ③ 10 Hz
- (d) 過渡的ランダム波（擬似地震波）

実験の結果、動的外力による図-1 に相当する「力～変位」関係が得られた。

なお、実験に用いた供試体その他はつぎのとおりである。

供試体	5.0 mm(厚)×18.0 mm(幅)×240 mm(長) 材質：SS 41
供試体支持	コンクリートに定着されたバースにくわえ固定端支持の条件を満足させた。
加振点支持	加振点における供試体の支持はヒンジ支承となるよう特殊な支持構造を製作した。 (図-3 参照)

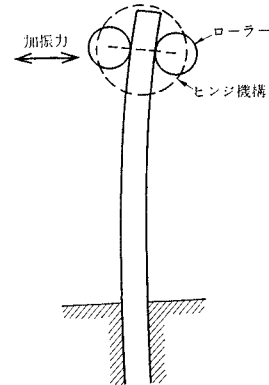


図-3 供試体の支持構造

発振器

まえがきにも述べたように、過去の地震記録の加速度と同じ波形の力によって供試体を破壊させるのも一法であるが、統計的に地震動に類似した性質を持った数多くの外力による実験結果を統計的に処理するのも一つの行き方である。本研究では後者の方法を採用し、つぎのような地震動類似の波形 $f(t)$ を用いた。

$$f(t) = g(t) \times h(t) \dots \dots \dots (1)$$

ここに、 $g(t) = e^{-At} - e^{-Bt}$

$h(t)$: 10 数 Hz 以上をカットした白色雑音

以上の性質をもった $f(t)$ を発生させることができるような発振器を製作した。図-4 に示すように $g(t)$ は過渡的な包絡線を示しており、定常的な不規則波 $h(t)$ との積をとることによって、あたかも地震のような過渡的な複雑な波形を得ることができる。

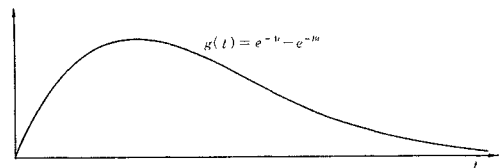


図-4 過渡包絡線

この擬似地震波の波形については、後程、図-8 などに示されているが、実際の地震波形とどの程度似ているかを調べるため、エルセントロ地震（1940年5月18日、EW成分）と、この擬似地震波の一例についてフーリエ解析を行なった。その結果を図-5(a), (b) に示す。両

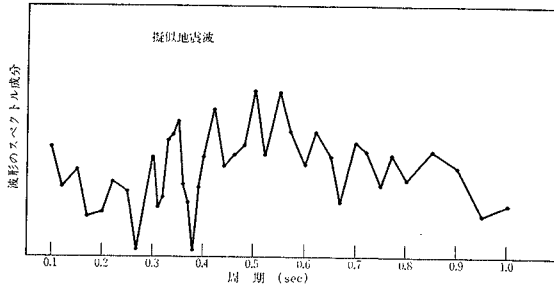


図-5(a) 動的外力波形のフーリエ解析結果

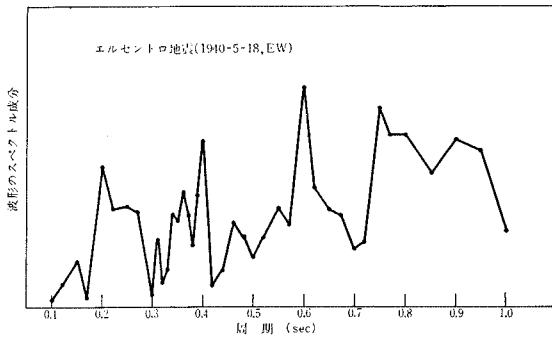


図-5(b) 実地震波形のフーリエ解析結果

者は実用上似ているとあってよいであろう。

4. 実験結果

力制御の場合の実験結果

力制御方式による実験の場合には、実験結果の最大の特徴は、外力がゼロとなった後でも供試体には永久変形が生じるということである。

外力波形が正弦波の場合、振動数としては 1, 3, 10 Hz の 3 種類の実験を行なったが、それぞれの力、変位の関係はブラウン管オシログラフによって撮影した。力の出力はブラウン管面の縦軸に、変位出力は横軸となるようにして写真撮影を行なった。写真-1~6 はそれらの一例を示している。

写真-1 力～変位関係が未だ線型領域にある状態。

写真-2 力～変位関係が線型をはずれてヒステリシスを画いている状態。ループが原点から多少左側へづれている。塑性変形を起こしているのであろう。

写真-3 塑性変形を起こして中立軸が移動して行くの見える。いったん塑性変形を起こすと塑性変形を起こして中立軸が移動して行く方向は常に最初塑性変形を起こした方向と一致していた。この原因は現在のところよくは解らないが、後で多少の考察を加えておいた。

写真-4 正弦波形の強制力を受けて 供試体が破壊し

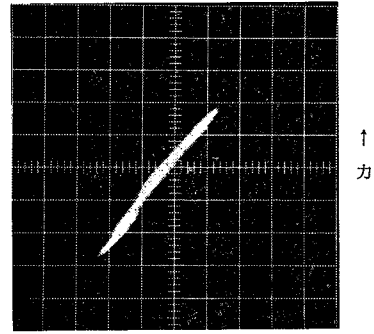


写真-1 加振力微小な時の力～変位 (力制御)

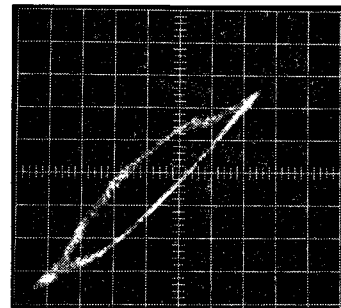


写真-2 ヒステリシス・ループ
加振力：正弦波 (力制御)

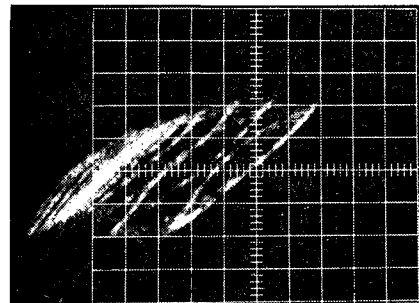


写真-3 動的破壊状況
加振力：正弦波 (力制御)

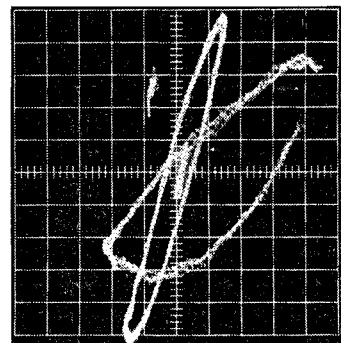


写真-4 力～変位関係の組合せ写真
加振力：過渡的正弦波 (力制御)

て行く過程のうち、3 コマを一枚の写真に合成したもの。微小振動の間は直線関係で、振動が大きくなるとヒステリシス・ループを画き出すが、ループの傾きは微小振動のそれとほとんど変わらない。さらに振動が大きくなると加振力は減少気味となり変形は大きくループの面積も大となる。

写真-5 加振力が定常的ランダム波 $h(t)$ の場合、包絡線は正弦波の場合と大差ない。

写真-6 過渡的ランダム波 $f(t)$ の場合、余りヒステリシスを画かないうちに破壊してしまう。

つぎに、同様な力と変位の出力をペン・オシログラ

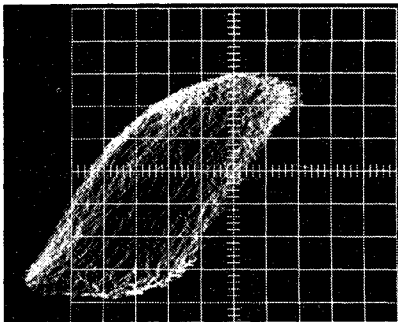


写真-5 定常ランダム加振力によるヒステリシス (力制御)

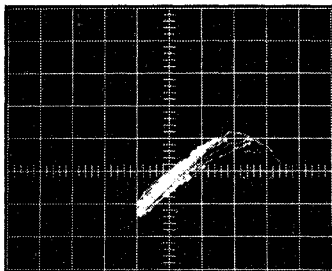


写真-6 擬似地震波力制御による動的破壊

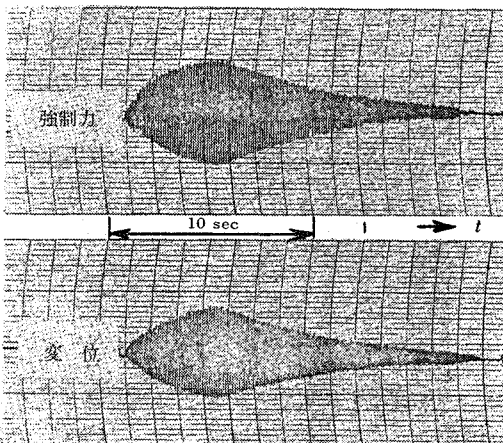


図-6 10 Herz 過渡的正弦波、線型域内

フに記録した結果について述べる。この場合には、力～変位の関係を1個のグラフで眺められない代り、時間的な変化の状態が明らかとなる。

図-6 は加振力が 10 Hz の過渡的正弦波の場合の加

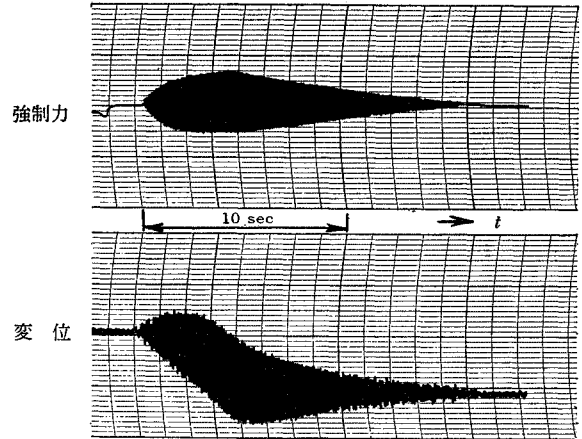


図-7 10 Herz 過渡的正弦波、永久変形

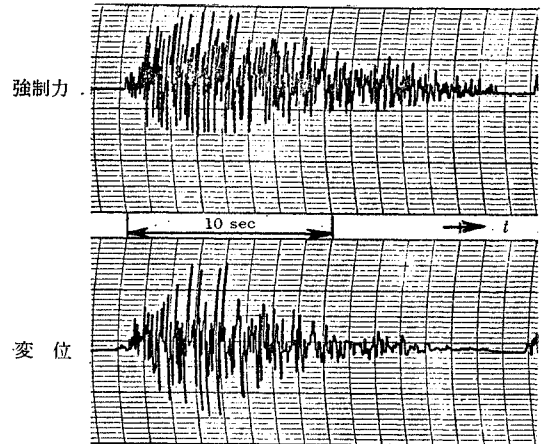


図-8 擬似地震波、線型域内

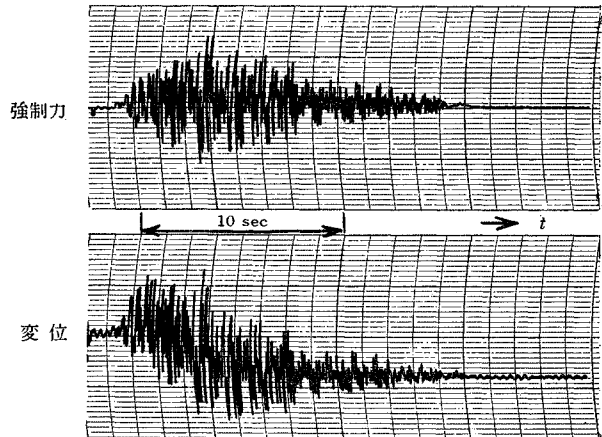


図-9 擬似地震波、永久変形

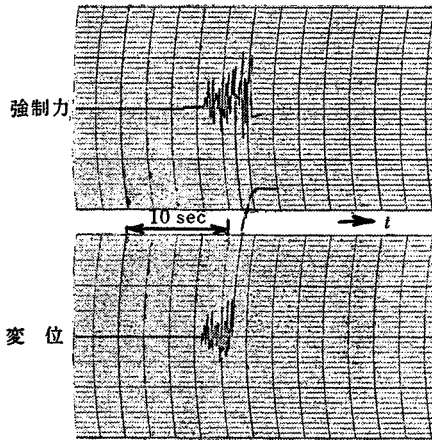


図-10 擬似地震波，一度に破壊

振力，変位の時間的経過を示しているが，応力状態は線型域にある。

図-7 は前図と加振力波形，振動数等は同じであるが，力が多少大きいため供試体は降伏し振動変位記録の中立軸が一方にずれて行く様子がわかる。

図-8 は加振力が擬似地震波の場合を示しており，力が余り大きくないため線型域内で振動している。

図-9 は加振力が前図よりやや大きくなると正弦波の場合と同様中立軸が一方に移動し，永久変形を生じたまま，その周りで振動を続ける。

図-10 は加振力が前図以上に大きくなってしまおうと中立軸が徐々に移動するという現象が見られず一度に破壊してしまう。

変位制御の場合の実験結果

変位制御とは前にも述べたが，片持ばり供試体の先端をあらかじめ準備された波形通りの変位で動かして試験するものである。そのとき，供試体には当然反力が生じるが，加えた変位とそれに対する反力を記録することにより変位制御の場合の力～変位関係が得られる。この場合も，供試体先端の変位を差動トランスによって，供試体反力を加振器と供試体の中間に入れた力計によって測定記録した。測定結果は応力制御の場合と同様，縦軸に供試体反力を横軸に供試体先端変位をとり，ブラウン管写真とペンオシロ記録によって示す。

写真-7～14 ならびに 図-12～13 がそれら記録の特徴的な例である。

写真-7 では供試体に加えている強制変位は定常的正弦波であるが，変位がまだ小さいため力～変位関係は直線関係に留まっていることが知られる。

写真-8 では前写真と同様，強制変位は定常的正弦波であるが，供試体の厚さ方向片側だけが降伏したらしく強制変位は一定振幅を加えているのに，片側のみの反力

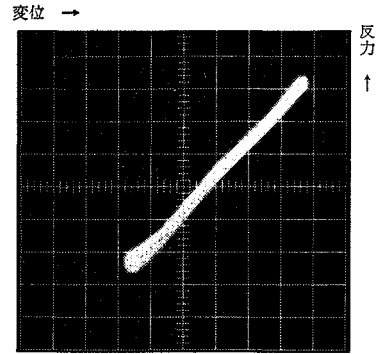


写真-7 微小強制変位を与えた時の力～変位関係 (変位制御)

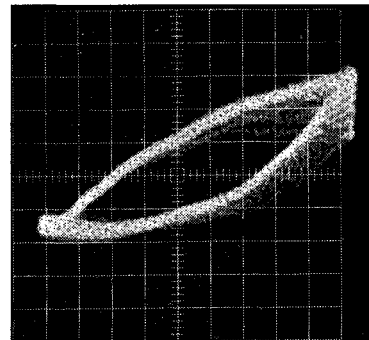


写真-8 正弦波強制変形繰返しによる反力の減少 (変位制御)

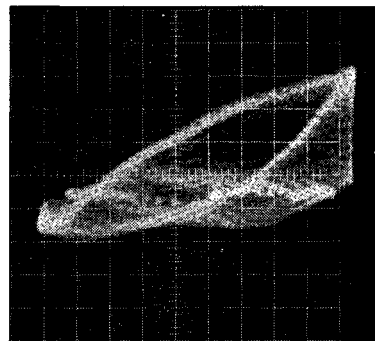


写真-9 正弦波強制変形の繰返しによる塑性疲労

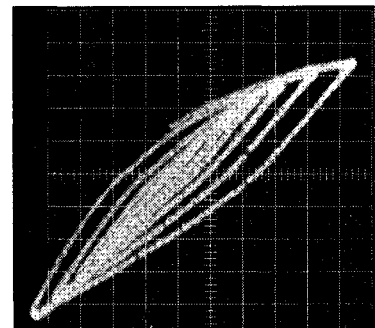


写真-10 過渡正弦波強制変位による力～変位関係 (変位制御)

の振幅が徐々に低下して行くのが認められる。

写真-9 は前写真よりさらに反力低下が進行した場合であって最初のヒステリシス・ループにくらべて最後にはほとんど水平のループを画いている。低サイクル疲労の一例であろう。

写真-10 は強制変位が過渡的正弦波の場合であって、図-11 に模型的に画いたようにヒステリシスの頂点が Soft-Spring 形状の曲線に沿って移動して行く様子がわかる。

写真-11 は前図と同様の写真であるが、過渡正弦波強制変位の最初から最後まで経過を含んでいる。ヒス

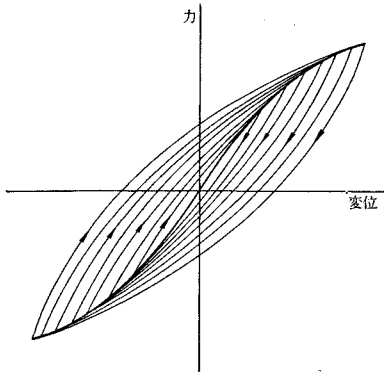


図-11 ヒステリシスの模型図 (Soft Spring)

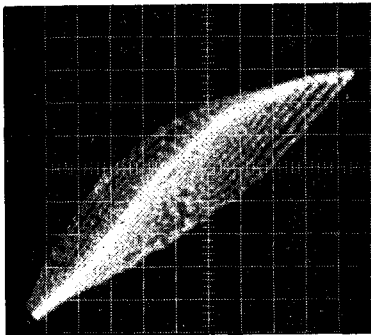


写真-11 過渡正弦波強制変位による力～変位関係 (変位制御)

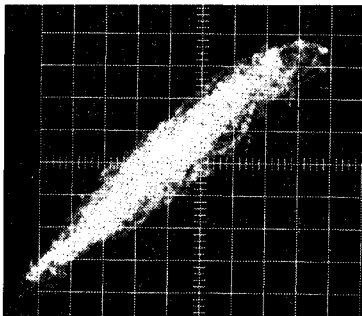


写真-12 定常ランダム微小強制変位による力～変位関係 (変位制御)

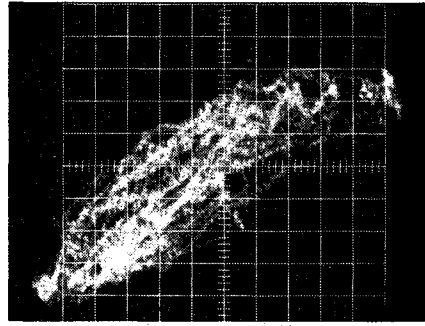


写真-13 定常ランダム大振幅強制変位による力～変位関係

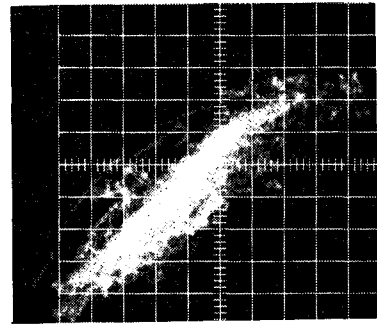


写真-14 擬似地震波状強制変位による力～変位関係

テリシスの頂点の軌跡は強制変位が大きくなる時のそれと、減少していく際のそれと、ほとんど一致しているのは興味深いことである。

写真-12 は強制変位が定常的ランダム波の場合の記録であるが、供試体は多少塑性域に入った程度である。

写真-13 は同じく定常ランダム強制変位を与えた場合であるが、強制変位の振幅がかなり大きいため、反力の方が頭打ちになっている様子がはっきり認められる。結局、強制変位が、定常的正弦波の場合のヒステリシス・ループの内側で複雑に振動しているといえるのではなかろうか。

写真-14 は強制変位が過渡ランダム波となると、力～変位の軌跡は主として線型関係の線上に集まっており変位が大きくなった時だけかなりのループを画くがその密度は小さい。

つぎに、同様な実験結果をペンオシロ記録によって見ることとする。

図-12 は強制変位は定常的正弦波形である。変形振幅を最初は小さく段階的に大きくして行って反力の振幅と比較している。最初の変形振幅の小さい範囲では、変形量と反力はほぼ比例していることが認められる。しかし変形量が大きくなると、供試体の片側が降伏するためか、反力振幅の片側が小さくなり、それも強制変位振幅は一定値を維持していても、反力振幅の方は時間とともに(繰り返し数とともに)減少していつている。

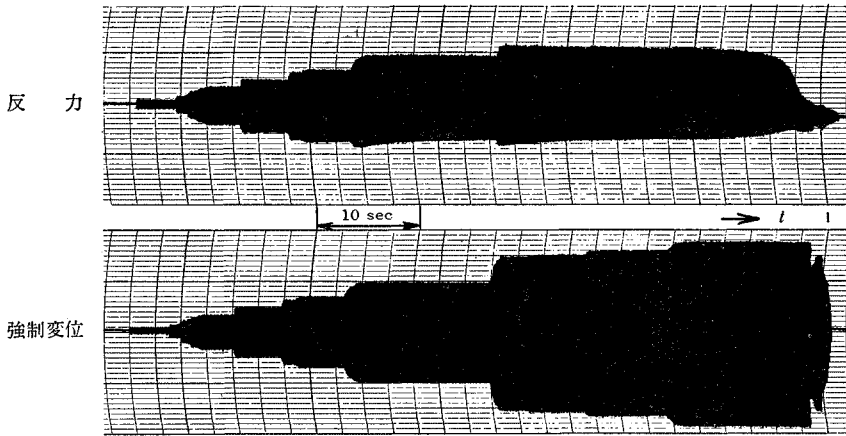


図-12 10 Herz 定常的正弦波, 反力減少

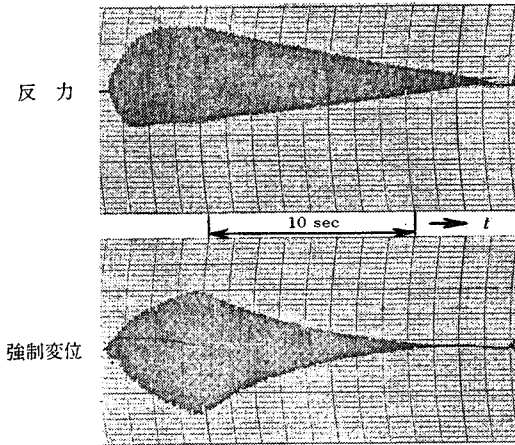


図-13 10 Herz 過渡的正弦波反力減少

図-13 は強制変位が過渡的正弦波形の場合である。この場合にも反力の片側みの振れが変形量に比例せず減少し中立軸に対して非対象となっている。

動的破壊強度について

以上述べたような各種波形について、力制御の場合には動的破壊強度に相当するものが求められる。

力制御の場合には材料が降伏すると変形が塑性的に急激に進行するので、その塑性変形が急激に進む点を一応破壊点とみなしてその直前の加わっている力を動的破壊力とした。

そして、ある程度、塑性変形が進んでも、外力が無くなれば、破壊とはしなかった。そしてまた、破壊までの外力の交番回数も数えず、数 10 回内に前記の破壊状態になる場合のみを破壊とみなした。したがって、数回の交番外力による破壊も数 10 回の交番による破壊も同一のデータとして処理されている。これは、データのバラツキを激しくしてしまったかもしれない。得られた結果

は、加振力が定常的な波形の場合には図-14 に、過渡的加振力の場合には、図-15 に示してある。いずれの結果もデータのバラツキが激しいが、これは実際に破壊する一波前の力のピークをとっているため、実際の破壊力より小さく出ておりしかもバラツキものと思う。

定常的正弦波の場合

には、加振振動数にはほとんど関係なく静的破壊強度とほぼ等しい破壊強度で動的に破壊している。定常的ランダム波加振の場合には、静的破壊強度より低い強度となっている。

過渡的正弦波の場合、これまた加振振動数には余り関係がないように見え、静的強度より多少強度が増加した

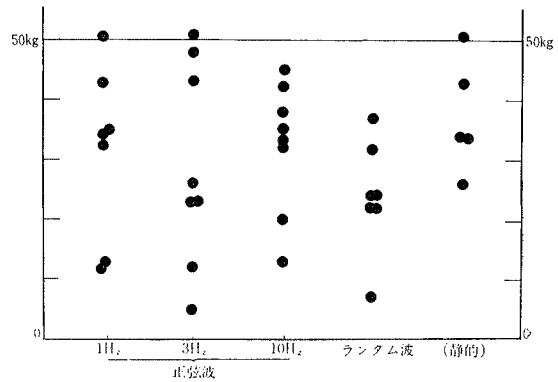


図-14 動的強度 (定常外力)

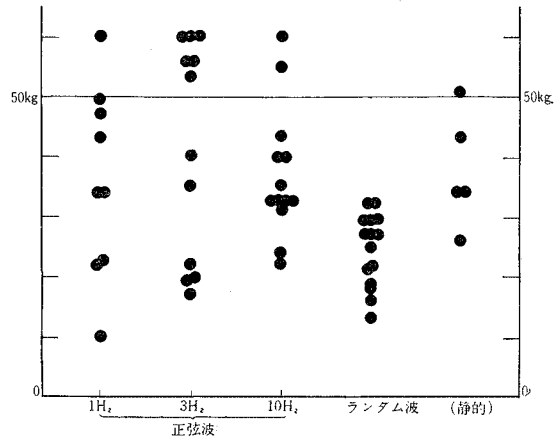


図-15 動的強度 (過渡外力)

ように思われる。擬似地震波の場合には、定常的ランダム波の場合と同様、動的強度は低下している。

以上のように動的強度は、本研究に採用したような動的強度の定義のもとでは、正弦波加振力の場合静的強度と大差なく、ランダム波加振の場合強度の低下が見られるという結論が導かれるが、この結論はつぎのような理由で、いまいっそうの実験結果からはっきりしたものとされなければならない。すなわち、本実験で採用した動的強度の定義は、動的に破壊したと思われる一波前の加振力のピークを破壊力とするということであるから、定常的過渡的のいかに問わず正弦波の場合には、破壊点の一波前の加振力のピークが破壊点の加振力とほぼ等しいという考えは肯定されると思う。しかし、不規則波形加振力の場合には波のピークは文字通り不規則に変化するため、破壊点の一波前のピークが破壊時の加振力にくらべてかなり小さい値であるという可能性は正弦波加振の場合にくらべて大きいといわなければならない。それが原因で、ランダム波加振の場合、正弦波の場合より動的強度がかなり低く出ているのかも知れない。ただ実験を行なった際の感想を述べさせて頂けば、とくに過渡ランダム波加振の場合は、いわゆるヒステリシス・ループを画きながら徐々に破壊させることがきわめて困難であって、加振力が小さい場合には、「力～変位」関係が直線的でありこれではいかんと加振力を心持ち上げるとほとんどヒステリシスを画かずにいきなり破壊してしまうという具合であった（図-10 参照）。

5. 考 察

結局、小さな供試体ではあるが、動的に鋼片を曲げ破壊させた場合つぎのような事柄が知られた。

(i) 振動力を強制的に供試体に作用させた場合、その力～変位関係は従来動的解析に用いられてきた関係と大差ないものが得られた。しかしながら、外力が過渡ランダム波（擬似地震波）の場合には、そんなにヒステリシス・ループを画かずに破壊してしまう例が多かった。これは正弦波とか定常的ランダム波の場合には、外力振幅がほぼ一様であるので破壊までいかに降伏した状態で振動することができるのに対して、過渡ランダム波の場合には、全体としての振幅包絡線が大きくなるとともに、複雑な波形のため、降伏した後破壊領域まで一挙に変形が進行してしまうのではないかと想像された。したがって、本実験だけから結論じみたことはいえないけれども、動的解析において、大地震を受けた構造物の振動を取り扱う場合、ヒステリシス・ループを仮定し、等価線形化法等で等価粘性を計算し、振幅が減少する等という結論を出すことは、前に述べた理由から複雑な波形の外

力の場合には変形が一挙に進む可能性もあって粘性減衰の増加がそれ程期待できないこともあり得るので一考の余地があると思う。

(ii) (i) と同じく力制御の実験においては、供試体が振動力を受けながら塑性変形を生じ、力を加える前の中立軸からずれた位置を中心に振動を続けることになるが、その場合、実験結果は、最初塑性変形を起こした方向にその後も塑性変形が進行していくことを示している。この理由は現在のところはっきりしないが、つぎのような 2, 3 の理由が考えられる。

a) 試験機そのものの力の加え方が方向によって同一でない。

b) 供試体の片側が降伏すると、その後は供試体の力学的性質が力を加える方向に対して対称でなくなる。そして降伏した側は降伏前の状態にくらべて力学的に弱い性質を持つならば、塑性変形が弱い方向にのみ進行する。

まず、a) の理由であるが、供試体全部が加振方向に対して一方向にのみ塑性破壊を起こさず、それぞれの供試体によって塑性破壊を起こす方向が、ある場合に(+)方向ならば他の供試体では反対方向という具合であるので、a) の理由ではないといえよう。筆者らは多分 b) の理由ではないかと思っている。

(iii) 力制御実験より求めた動的強度は、加振波形が正弦波の場合には、静的強度と大差ないという結果が得られ、不規則波の場合には、多少強度が低下する資料が求められたが、その結果を権威づけるためにはさらに数多くの同種の実験結果の集積が必要であろう。

(iv) 変位制御の場合の破壊の特徴としてあげられることは、つぎのようである。

a) 材料が降伏しても、変形が拘束されているため残留変形が生じるといった現象は見られず、反力が強制変位の繰返しとともに低下していく。

b) 材料が降伏後には、力制御の場合とほぼ同様なヒステリシスを画く。

c) 変位が強制的に与えられるため、動的破壊という現象は、変位を与えても反力がほとんどゼロになるという塑性疲労的な破壊である。この点、力制御の場合と全く異なる。

6. む す び

小さい鋼片持ばりに種々の波形を持つ振動力を加えて、曲げ破壊を起こさせ、その際の性状、とくに「力～変位」関係、動的強度についての特徴をつかんだ。定量的には未だはっきりした結果が得られたとはいえないが、地震工学的見地からこの種の研究が熱望されている

現在何らかの寄与をなし得たものと信じる。

本実験の今後の課題としては、つぎにのべる計算機による制御方式の開発であると思う。本研究では、擬似地震波形を強制力として、あるいは強制変形量として供試体に加えたが、もし、この供試体が構造部材であると仮定した場合、そのような力または変形量が構造部材に作用するのはつぎのような条件の満足される場合のみである。

(i) 強制力として作用するのは、構造物の固有周期が地震動に含まれる振動周期にくらべて短い場合、つまり剛体に近い場合に対応する。

(ii) 強制変位として作用するのは、構造物が非常に巨大であるか、柔らかくて固有周期が地震にくらべて長い場合。

中規模の構造物の固有周期は、地震動に主として含まれているといわれる周期 0.1~1.0 秒の範囲内に入っているものも多く、そのような場合にこそ、地震動と共振する可能性もあって危険であるとされている。その共振気味の、固有振動を誘発させた場合の構造部材の破壊性状はどのようなものであろうか。それを研究するためには、本実験装置に用いた加振ピストンの動きを、構造物が共振している時の構造部材の動きと一致させればよい。では、その構造部材の動きはどのようにして知るか、そこに計算機を登場させれば問題が解決する。

計算機が共振時の構造部材の動きを計算しながら、ピストンに、かくかくしかじかの変形量を部材に与えると指令する。その変形量を与えた時の反力を測定しておいて計算機にこれだけの反力が部材に生じていると報告す

る。計算機はその報告された反力を用いて、部材のつぎの振動変位がどうなるかを計算し、ふたたびピストンに指令する。このような過程を繰り返して実験を進行させていく。つまり本研究に用いた実験装置の On-Line 計算機による制御ともいえるし、従来アナログ計算機で、構造物の非線型振動を計算する際、降伏後の「力~変位」関係を表現するため「バックラッシュ」等の非線型演算素子を入れていたが、その非線型素子として本実験装置をアナログ計算機の計算ループの中に組み込んでしまってもいえる。

終わりに本研究を行なうに当たり、実験装置の作製に貴重なご助言を賜った東京工大建築学科勝田研究室益頭尚和氏（現 神奈川大学助教授）にお礼申し上げますとともに、実験装置の組立てを行ない、実験を主として実施した技術補佐 原 司氏、資料整理に当たった新島美穂子氏に感謝の意を表す。なお、本研究の一部は、昭和 43 年 東京工大土木工学科卒業の 大河原重昭（飛鳥建設 K.K.）、橋爪 隆（川崎重工 K.K.）両君が卒業研究として行なったものである。また、文部省科学研究費の援助を受けた、ここに付記して感謝する。

参 考 文 献

- 1) Ryo Tanabashi & Kiyoshi Kaneta : An Experiment on the Ductility of Structures and the Ductility Factor, Proc. Japan Earthquake Engineering Symposium 1966, pp. 339~344
- 2) 山田 稔：リベットおよび高力ボルトばり接合部の塑性疲労，日本鋼構造協会誌，Vol. 2, No. 12, pp. 35~36
- 3) 第 62 研究部会：船体構造不連続部のローサイクル・ファタージュに関する研究，日本造船研究協会，昭和 39 年度実施研究成果概要，pp. 62-1~56