

東京工業大学

伯野元彦、〇田俊止

飛島建設 大河原重昭、川崎重工 橋爪 隆

1. はじめに

最近、土木構造物の耐震設計は、電子計算機の普及にともなって、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。この振動計算を行う

場合、強震と称せられるような大地震を想定すると構造物の応力状態は所謂弾性領域を越えるものと考えられる。

その時、構造物部材中の「応力～ひずみ」関係は線型を越えて、「ヒステリシス」ともなった非線型応力～ひずみ関係となるものとされ、計算に当っては、図-1に示すような関係あるいは種々の改良された応力～ひずみ図が仮定され用いられている。

この仮定は従来行われて来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已むを得ない事ではある。

しかしながら、砂のように動的外力によって静的外力による場合の力学的性質と著しく異なった性状を示すものもあるので、砂も含めて構造物材料の動的性質、強度などを直接調べておくことは重要な事である。

従来この種の研究は、鋼材、コンクリート、土などについて行なわれているが、動的外力としては何れも衝撃外力か正弦波形外力であり、しかも力制御で破壊させて応力～ひずみ関係まで出している例はほとんど見受けられない。

本研究では、出力最大1.5 ton のランダム波形材料試験装置を試作し、それを用いて非常に小さいながら鋼供試体を動的に曲げ破壊させその際の応力～ひずみ関係等を明らかにした。

外力としては図-2に示すような、擬似地震波、正弦波等を採用した。

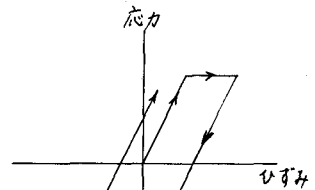


図-1

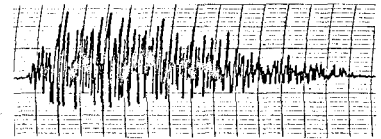


図-2 擬似地震波

2. 実験装置

試験機は、サーボ弁による電気油圧式材料試験機で入力電圧の波形とほぼ等しい波形の力、あるいは変位を強制的に供試体を与えて試験することができ、

しかしながら本研究のため試作した試験機は最大出力1.5 ton という小型のもので、構造部材そのものの試験などは到底行ない得ない。その他の性能は右表に挙げてある通りである。

動的外力は、次のような種々の波形を発振器か

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

表-1 任意波形材料試験機の性能

ら発生させて用いた。

(i) 定常正弦波 1, 3, 10 Hz

(ii) 過渡的正弦波 1, 3, 10 Hz

(iii) 定常的ランダム波 (10 数サイクル以上はカットした白色雑音)

(iv) 過渡的ランダム波 (擬似地震波. (iii)の白色雑音に過渡的包絡線を掛け合わせたもの)

ここで、(i)の正弦波は問題ないが、(iii)の定常ランダム波は白色雑音発振用真空管からの電圧にそれだけでは構造物に加わる外力の波形としては、高振動数の波を含み過ぎるので、低域濾波器により 10 数サイクル以上の振動数成分を取除く作業を行なった。また、(iv)の過渡ランダム波は、図-2 にその一例が示してあるが、(iii)の定常ランダム波に、(1)式で示されるような過渡的包絡線 $g(t)$ を回路的に掛け合わせたものである。

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

ここに $g(t) = e^{-At} - e^{-Bt}$ (過渡包絡線)

$h(t) =$ (iii)の定常ランダム波

擬似地震波 $f(t)$ は包絡線函数 $g(t)$ を規定するパラメーター A, B を変化させることにより、継続時間の短い地震波から、継続時間の長い定常ランダムに近い波形まで作りだすことができる。(1)式の確定関数 $g(t)$ と確率関数 $h(t)$ の積を作る過程を模式的に図-3 で示した。

この擬似地震波の振動数成分等が実際の地震動のそれと近似しているかどうかを調べるため、図-2 に示したような実験に用いた波形の一例と、エルセントロ地震の両者をフーリエ解析し振動数成分を求めた。図-4 はその結果であるが、実用上差支えない程度に一致していると言えよう。

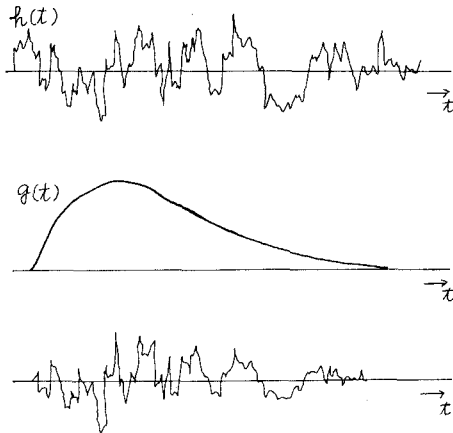


図-3

供試体は SS 41 鋼の試験片 (厚 5 mm, 長 60 mm, 幅 20 mm) を図-5 に示すように、一端固定、他端ヒンジの状態ヒンジ部に試験機のパistonからの振動力を加えて曲げ破壊を起こさせた。

測定量は、曲げ破壊時の piston に加わる振動力ならびに piston の変位量であつて、それぞれ抵抗線歪計型のカ計ならびに差動トランスによって検出しデータレコーダに記録した。

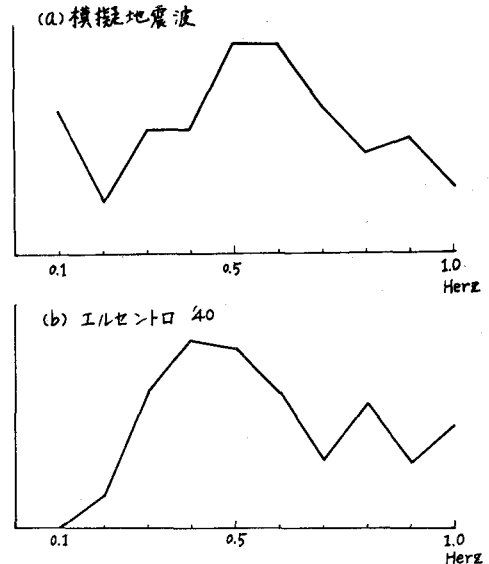


図-4 振動数成分

その記録電圧を、ブラウン管オシロにより写真撮影したり、ビジグラフにより目で見える記録におおした。以下にそれら記録の特徴ある例を示し考察を加える。

3. 実験結果とその考察

実験は、大きく分けて供試体に強制変位を加えて破壊させる場合と強制力を加えて破壊させる場合の二種になるが、夫々特徴ある破壊状況を示していた。

強制力による動的破壊

この場合の破壊の大きな特徴は材料が降伏後塑性流動を起すため振動の中立軸が移動し、振動終了後も残留変形の生じるということであろう。写真はすべて縦軸に供試体に加えた力、横軸に供試体頂部の変位をとっている。

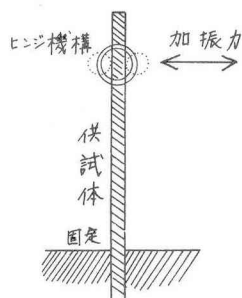


図-5

【写真1】 強制力が小さいので供試体は未だ降伏せず「力～変位」関係は直線的。正弦波強制力。

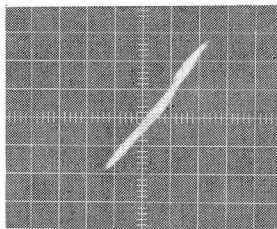


写真1

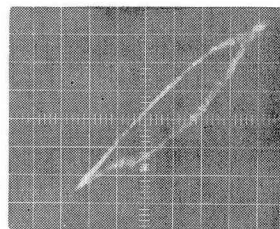


写真2

【写真2】 強制力が大きくなる写真のように「力～変位」はヒステリシス・ループを描き出す。

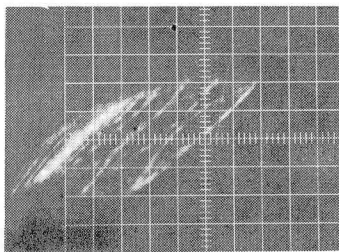


写真3

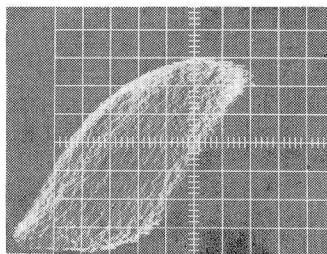


写真4

【写真3】 正弦波を大きめにして加振を続けていると、ヒステリシスを画きながら、塑性変形が進行し画面を移動して行く。

【写真4】 強制力が定常ランダムの場合にも正弦波の場合と同様に塑性変形が進行して行く。

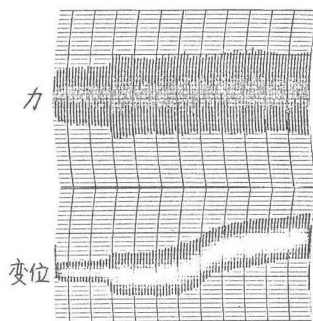


図-6

【図-6】 正弦波外力が増大すると振動変位の中立軸がずれて行く様子が知られる。

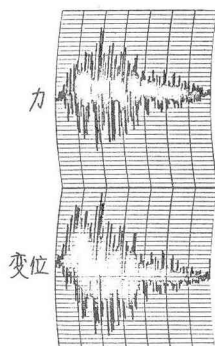


図-7

【図-7】 擬似地震波外力の場合にも塑性変形が起って中立軸が移動して残留変形が生じている。

強制変形による動的破壊

この破壊の特徴は、力制御の場合と異なり、変形が拘束されているため、材料が降伏しても振動中立軸の移動という現象は起こらず、変形に対する反力の低下が生じる。それにとまって、「力～変位」関係も、ヒステリシスループを画く事は強制力破壊の場合と同様であるが、そのループが横軸方向へ移動することはない。

【写真5】 強制変形の振動波形が何であっても、変形量が微小の間は、「力～変位」は写真のように直線となる。X軸変形量、Y軸反力。

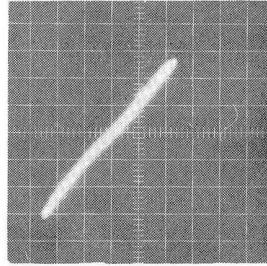


写真5

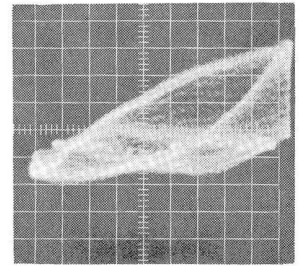


写真6

【写真6】 正弦波形強制変位を大きくした場合、最初の数10サイクルは、写真ではきりうっているようなヒステリシスを画いているが、加振を続けていると、同一の変位振幅を与えていても、反力が下がって遂には、ほとんど反力の無い水平なループを画くようになる。Low Cycle Fatigue の典型的な例。

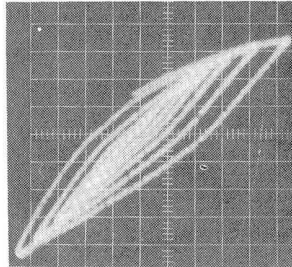


写真7

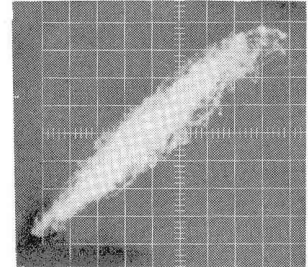


写真8

【写真7】 過渡的正弦波の強制変位を与えた場合であって、教科書に模式的に画いてある図とよく似ている。

【写真8】 擬似地震波を加えた場合であって、「力～変位」の軌跡はほとんど直線関係の部分に集中している。勿論、直線関係から極端にはずれたループも見受けられるが、少ない。写真9の定常ランダムの場合と比べて、どうしても非線型部分が少なくなる。

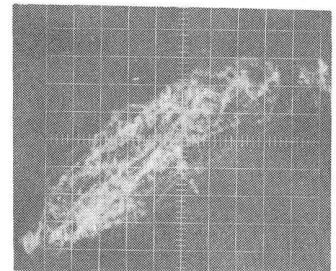


写真9

【写真9】 定常ランダム強制変形を与えた場合であって、この場合は、「力～変位」の軌跡が直線関係に集中することなく、定常正弦波の場合のヒステリシスループを包絡線とし、その中にまんべんなく分布しているように思われる。

4. むすび 本実験は現在アナログ計算機によって制御するという新しい方法を開発中であるので講演会当日には発表できるかもしれない。また、文部省科学研究費によったので感謝する。