

明星大学 正会員 奥田 秋夫  
 東京都立大学 “ 国井 隆弘  
 日本鋼管(株) “ ○ 植松 幹夫

1. まえがき

曲げ系構造物の非線型振動の挙動については復元力特性の履歴ループにより応答に減衰的作用が働くとい一般に言われているが、一方で、応答振中が一方方向に増大し進行的な破壊状況を呈する場合もあると言及されている。本論文は弾塑性振動が共振時の動的効果に如何なる影響を及ぼすか実験的に調べたものである。筆者等は先に自由振動の実験を行ない、非線型振動に於ける減衰作用、周期の伸び、1質点法計算と2質点法計算の相違点等を指摘したが<sup>(1)</sup>、今回は片持梁を模型とし、非線型強制振動を行ない、模型の1次、2次固有周期に共振した場合に生ずる弾塑性振動を測定した。又、測定値を検討するために国井の理論<sup>(2)</sup>を用い、応答計算を行なった。

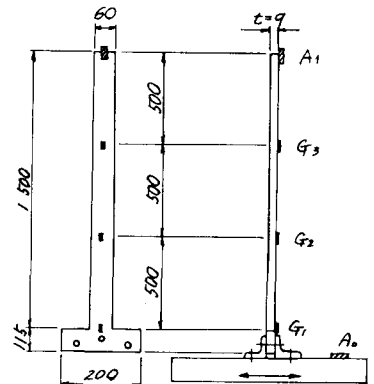
2. 模型の諸量と復元力特性

振動実験に用いた模型の概略図を図-1に示す。模型はスパン150cm、断面60mm×9mmの片持梁である。埋込端の固定は片持梁本体をアングルを用いて振動台上にボルト固定するという方法をとった。後述の非線型強制振動実験を行なうに先立ち、この模型を用いて片持梁先端に交番の水平載荷を行ない、非線型振動の理論計算に必要な復元力特性を定めた。復元力特性は先端荷重と先端変位との関係で求め、実験値をbi-linear型に変換した。この一旦梁に塑性を発生させて復元力特性を定めた模型を非線型振動実験に用いる事は、後の理論計算を非常に複雑にする事になる。従って、実際に非線型強制振動実験を行なう模型の復元力特性は、

予め静的に定めた復元力特性(先端水平載荷による定めたもの)をもとにして推定した。すなわち、模型を弾性自由振動させる事により、まず弾性内の剛性 $a_1$ (図-2)を求めた。続いて降伏後の剛性 $a_2$ は $A = a_2/a_1$ を静的試験で定めた $A$ と等しいという仮定のもとで求めた。今、1次共振を行なう模型をM1、2次共振を行なう模型をM2とすれば、それぞれの復元力特性の諸量と荷重-歪り関係(片持梁の先端荷重と埋込端歪)は表-1の通りにとりまとめられる。又、自由振動試験により模型の固有値が計測され、M1の1次振動数は2.96Hz、M2の2次振動数は18.89Hzであった。尚、減衰定数は0.002にとり決められた。

3. 非線型強制振動実験とその考察

振動模型は図-1に示す通りであるが、応答を調べるために梁中の3点の歪( $G_1 \sim G_3$ )と自由端の加速度( $A_1$ )を測定し、更に入力波を振動台上の加速度計( $A_0$ )



A<sub>0</sub>, A<sub>1</sub> 加速度計  
G<sub>1</sub>, G<sub>2</sub>, G<sub>3</sub> ひずみゲージ

図-1

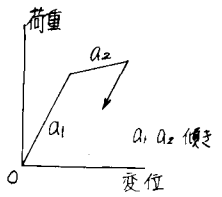


図-2

|    | 変位 (y)         |                |                | ひずみ (ε)             |                |                   |
|----|----------------|----------------|----------------|---------------------|----------------|-------------------|
|    | a <sub>1</sub> | a <sub>2</sub> | γ <sub>y</sub> | α <sub>1</sub>      | α <sub>2</sub> | ε <sub>y</sub>    |
| M1 | 0.5580         | 0.08618        | 37.1           | 1.089               | 90.36          | 1900              |
| M2 | 0.5640         | 0.08717        | 36.7           | 1.089               | 90.36          | 1900              |
|    | kg/cm          | kg/cm          | cm             | x10 <sup>4</sup> kg | μ              | x10 <sup>-6</sup> |

表-1

で測定した。入力波には模型の1次、2次固有値に一致する振動数を持つ正弦波を選ば、振幅は1次で $1.2\text{cm}^{PP}(400\text{gal}^{PP})$ 、2次で $1.4\text{mm}^{PP}(2000\text{gal}^{PP})$ とした。この入力波の大きさを片持梁にかかる静的外力に変換し降伏モーメントに対する比として表わすと、1次で約 $1/30$ 、2次で約 $1/6$ となる。共振時の模型は応答振幅が増大する事により梁中に塑性が発生し弾塑性振動に陥るが、本研究はこの共振時の応答性状を調べたものである。測定値のうち加速度は積分回路に通し変位に変換された。解析には主として自由端の動的変位と埋込端の動的歪を採用した。尚、理論計算は模型の断面諸量、強制外力の波形、周期等を一致させて3質点分割により応答を求めた。

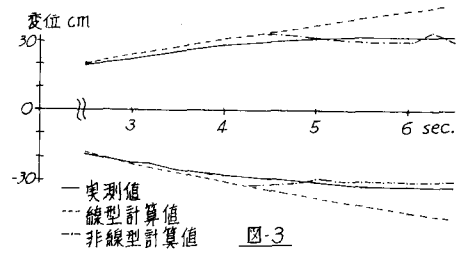


図-3

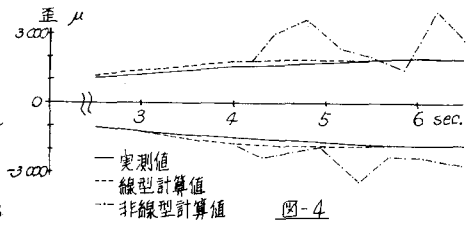


図-4

1次共振実験により得られた自由端動的変位の波の各頂点を結ぶ曲線を示すと図3の様になる。実測変位は線型計算値(破線)と比べてかなり振動初期から振幅の減少が目立ち、加振後約5sec.で一定振幅の波に移行しているのが分かる。これは計算上は未だ塑性が発生していないと思われる時点でも、実際はかなりの減衰作用を受けているためと言えよう。又、実測値に於て弾性振動から弾塑性振動への移行が判然としていないという事を考へ合わせると、動的な復元力特性が例えば図5の様になる降伏点の位置が明確でなく小さな荷重領域でも履歴ループを描く様な全体に滑らかな形状を示すものと推定される。一方、bi-linear型の復元力特性を用いた非線型振動計算では、エネルギーの消散を降伏後の履歴ループのみに依存しているため実際とは違った応答性状を示すものと思われるが、応答の絶対量を問題とすれば、実測値と相違ない計算値を与える様に実際の動的復元力特性をbi-linear型に変換する事が可能であろう。この観点から図3を見ても、本実験の1次共振については、静的な試験によるbi-linear型復元力特性を用いた非線型振動計算(鎖線)によつて実測値を近似させる事が可能である事を示している。

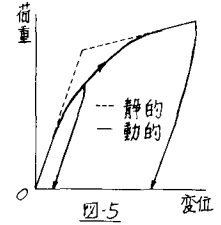


図-5

一方、動的歪の応答量を示したものが図4であり、実測値(実線)については変位の場合と同じ挙動を示している(最大振幅 $1900\mu$ )。ところが、非線型計算値(鎖線)は非線型領域で大きく乱れており、動的復元力特性が静的に求めたbi-linear型とは相違している事を示している。曲げモーメント-変位の復元力特性は非線型性を保ち、曲げモーメント-歪の関係は線型を保つとして計算した応答が同図破線であり、応答量は良い一致を示している。この事から実際の動的歪の復元力特性は降伏後の曲げモーメントにあまり影響を受けない線型に近い型を示すものと推定される。

2次共振実験に於ては、変位及び歪の応答量から動的復元力特性が1次共振の場合より更に線型に近いものと推定された。従つて動的復元力特性は模型の振動周期にも影響を受けるものと考へられ、この事は共振に於ては特に高次共振になる程充分な弾塑性性振動が起りにくい事を示唆している。尚、1次と比べて周期の伸びが認められた。最後に2方面から2大の援助と助言を頂き感謝申し上げます。文献(1)奥田国典、植松片持梁の非線型振動、第25回年次講演(2)国典、非線型地震応答の近似計算法に関する基礎的研究、土論文報告集、196