

長野工業高等専門学校 正員 服部秀人  
東京都立大学 正員 国井隆弘

## 1. まえがき

耐震工学上、構造物の非線形応答に関して、解明すべき問題が多々ある。それの中で、最も基本的な問題の1つと考えられるものとして、構造物の動的復元力特性の評価が挙げられる。筆者らは、この数年これに関する基礎的研究を行ってきた。<sup>(1),(2)etc</sup> また他にこれに類する幾つかの報告もなされている。<sup>(3),(4)etc</sup> しかしながら、地震に代表されるような地動入力に対する、構造物の破壊に至る応答の過程はいまだ十分に解明されているとはいえない。

非線形応答を呈する構造物の動的復元力特性を、単なる力-変位の履歴ループとして得ようとすることは、変位の記録および減衰力の評価等が原因して、大変むずかしい。<sup>(4)</sup>

本研究では、1自由度系とみなせる門型ラーメン模型について、静的交番載荷実験と、振動台を用いた正弦波地動入力による非線形振動実験を行い、力-変位の履歴ループから、静的動的両者を比較し、対象とするラーメン模型の、鋼材からなる柱の弾塑性挙動にもとづく非線形応答特性を検討した。

## 2. 実験および結果

図1に示すようなラーメン模型について、まず、静的な水平交番載荷を行い、水平荷重 $P$ 、梁の水平変位 $x$ および柱上下端の曲げひずみを測定した。静的載荷は、模型2体について行った。実験から得られた力-変位の履歴ループの1例を図2に示す。2体の実験結果から、柱の固定端は、水平変位 $x$ が約2cmで降伏し、約3.5cmで全断面降伏したと推定される。動的実験は模型7体について行った。静的でも動的でも模型はすべて図1の如き等寸法である。非線形振動実験に先だち、弾性域での減衰自由振動実験を行い、各模型の固有振動数 $\omega_0$ および減衰定数 $\beta$ を測定した(表1)。非線形振動実験では、共振に近い応答を得る目的で所定の正弦波地動を与えたが結果的には、表1のような入力振動数 $\omega$ となった。入力の変位振幅は、 $\omega_0$ 、 $\beta$ および所定の $\beta/\omega_0$ を用いて、線形応答変位(定常解)が $x = 3.5$ cm(柱の全断面降伏相当変

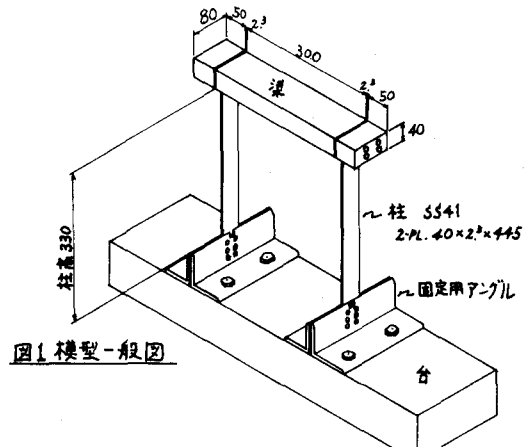


図1 模型一般図

表1 模型の固有振動数、減衰定数及び入力振動数

| 模型 No.                  | 22             | 23     | 24     | 25     | 26     | 27     | 28     |       |
|-------------------------|----------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|-------|
| 固有振動数 $\omega_0$ (%)    | 20.7           | 20.5   | 20.6   | 20.7   | 20.6   | 20.4   | 20.6   |       |
| 減衰定数 $\beta$            | 0.0030         | 0.0039 | 0.0038 | 0.0030 | 0.0047 | 0.0044 | 0.0032 |       |
| 入力の振動数 $\omega$         | 所定の $\omega_0$ | 0.95   | 1.05   | 1.1    | 1.0    | 1.0    | 0.95   |       |
| (比: $\omega/\omega_0$ ) | 実際の $\omega_0$ | 0.973  | 1.049  | 1.080  | 0.976  | 1.009  | 0.978  | 0.902 |

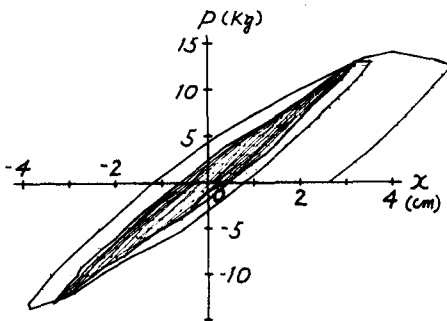


図2 静的履歴ループ(模型No.5)

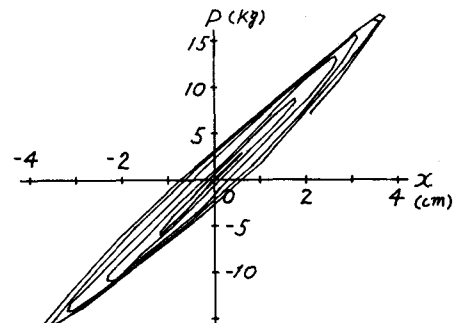


図3 動的履歴ループ(模型No.22)

位)となるような値とした。

そして、応答の絶対加速度、絶対変位、入力の加速度および変位、参考として柱状上下端の曲げひずみとそれぞれ測定した。AD変換の後、質量の慣性力 $P$ と応答の相対変位 $x$ とを求め、静的実験と同様な履歴ループを描いた(図3)。

本実験は共振に近い状態のため、図3のループから推察される如く、応答は比較的単調な非定常性を示した。そこで、応答の半周期(図3の半ループ)ごとに、等価剛性 $K_e$ 、ループの面積 $S$ および変位振幅 $X$ とを求めた(図4、5)。静的なループ(図2)についても、同様に半ループごとの $K_e$ 、 $S$ および $X$ を求めた。応答が最大値に達するまでの $K_e-X$ および $S-X$ の

係を最小自乗近似し、静的、動的併せて図6、7に示す。実際の入力加速度を用いて各模型ごとに線形応答計算を行った結果、応答のはじめの部分では、 $X=1.5\text{ cm}$ 位まで実験の応答値と良く一致したので、図6、7では $X \geq 1.5\text{ cm}$ の範囲において静的、動的を比較した。図8に加速度応答倍率を示す。

### 3. 実験結果のまとめ

(1.) 非線形振動の特徴として予想されるところの応答倍率の低下および共振突のずれが確認された(図8)。(2.) 静的、動的双方、非線形領域において、応答の振中が増大するにつれ等価剛性が低下する。そしてその低下の度合は静的の方が著しい。また動的の方が等価剛性が大きい(図6)。(3.) 応答の振中が増大するとループの面積も増大する。ある振中以下では動的の面積が静的を、それ以上では静的の面積が動的をそれぞれ上回る。ある振中とは、柱状の全断面降伏相当の振中( $x \approx 3.5\text{ cm}$ )と対応する値かとも考えられる(図7)。(4.) 応答の振中が最大値に達するまでの等価剛性の低下の度合と、最大値を過ぎて減少していくときの等価剛性の増加の度合とは等しくなく、剛性の変化には、処女的特性と、非処女的特性が存在するように思われる。同様なことがループの面積についてもいえる(図4、5)。(5.) 以上の特性による応答の再現性については、現在検討中である。

謝辞 末筆ながら、長野高専岡川三男、茅賀 武、都立大学福井留男、斉藤隆治(現日本揮毫油)、荻本孝久(現前田建設)、大林組技研築地敏男の各氏に代わって感謝致します。

### 文献

- (1) 岡井、福井「単純系の模型実験による履歴減衰の評価」549、10、第29回当次学術講演会
- (2) 岡井、斉藤「単純系の動的復元力特性に関する実験的研究」551、1、第3回関東支部当次研究発表会
- (3) 伯野、四條「はりの動的破壊時の復元力特性に関する基礎的実験」1962、2、土木学会論文報告集、42号
- (4) 家村、Jennings「強震記録を利用したRC建築物の非線形履歴復元力解析」1994、10、土木学会論文報告集、230号

図4 動的 $K_e-X$ の一例

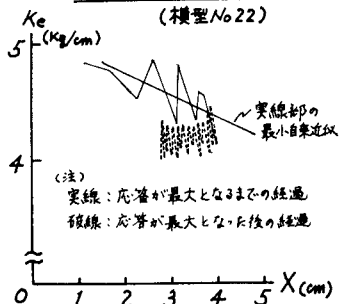


図6  $K_e-X$ の比較

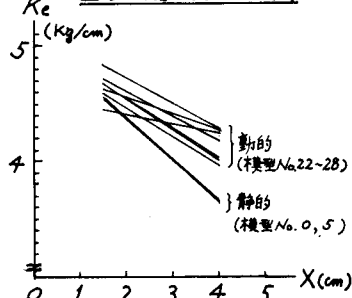


図5 動的 $S-X$ の一例

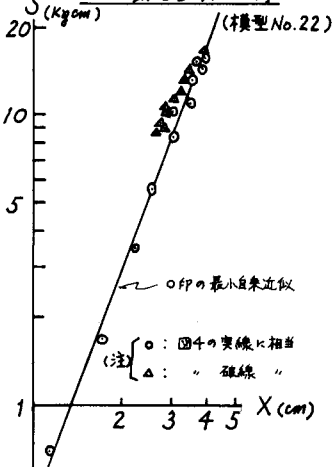


図7  $S-X$ の比較

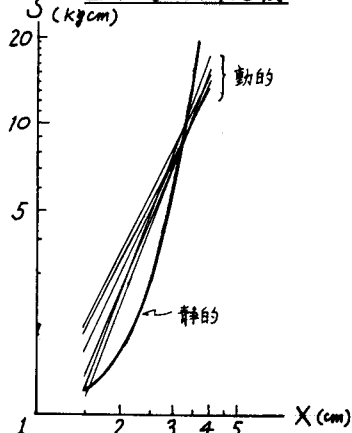


図8 加速度応答倍率

