

## 建築物の地震に対する動的解析法について

東京大学 教授 梅村 魁

建築関係では耐震設計の基本方針が1916年 佐野利器博士の震災予防調査会報告“家屋耐震構造論”中で論じられ、現在の震度の概念が生れてきた。

動的な外力の効果も静的な外力に換算して設計に使うことは昔から行われていたことである。外力として  $F(t)$  の力が建物に加わるとその時のせん断力は  $\alpha \cdot F_{max}$  になる。質量  $m$  の建物の基礎に  $\ddot{y}_0$  の加速度が加わると  $\alpha \cdot m \cdot \ddot{y}_0 \cdot max = \alpha \cdot \frac{F_{max}}{g} \cdot W$  のせん断力がおこることになる。この  $\alpha$  は動的係数と呼ばれるもので、この係数を使えば動的な外力を静的に換算して扱うことができる。基礎にある加速度が加わった時は、建物重量に  $\alpha$  と  $\ddot{y}_0 \cdot max / g$  の重力加速度をかけたものが換算静的力となる。佐野博士はこの  $\alpha \cdot \ddot{y}_0 \cdot max / g$  を震度  $\epsilon$  とされたわけである。当時この  $\ddot{y}_0$  は実測されていなかったし、一方  $\alpha$  も  $\ddot{y}_0$  の形と建築物の性質で種々複雑に変化するからなかなかきまにくく、したがってこれらをひっくるめて何とか  $\epsilon$  の値をきめれば設計が可能である。

最初に使われたのが内藤博士で  $\epsilon = 1/15$  をとって設計を行われ、関東震災にその効果を発揮したのは有名な話である。

結局関東震災直後市街地建築物法中に都市の建築物に対し震度  $\epsilon = 0.1$  以上ということが当時の材料許容応力度とにらみ合せて決められたのであろうが、この値を決めるには当時の地震学者、構造学者の苦心があった事を聞かされている。

したがってこの  $0.1$  という値にはいろいろの動的な影響が考慮されているのであって、その手段は静的であっても動的な設計と言ってよいものである。この様なことは土木構造物に対しても同様と言えることである。

最近  $\ddot{y}_0$  の形や  $\alpha$  の値が次第にわかりかけてきたので大まかにこれら不明な要素を震度  $\epsilon$  に含めて表現していったものをいろいろ分析して数値が出来る様になってきた。今回は建築物に対するこれらの数値について述べ、土木構造物の設計の為の何らかの参考になれば幸である。

建築物の耐震を考える場合その特徴は振動の一次形だけでなく、高次の振動も考えに入れなければならない。構造体は比較的応力から弾性をはずれ、かなりはっきりした降伏現象があり、大地震に対しては降伏を許容し、崩壊は起らない様に考えているのである。

動的な解析もこの線に沿って種々研究が進められている。

まず順序として一質点の振動から述べる。Fig 1 は種々の固有周期をもった一質点の振動体に種々の波が加った時の応答を動的係数  $\alpha$  で表わしたものである。

外力の形が単弦運動の場合と、単一減衰波の場合とでは動的係数にかなりの差があることがわかる。一方地震波に対する動的係数  $\alpha$  は周期1秒の単一減衰波(減衰が大きいので0.5秒の単一波と考えるもよい)にかなりその性質が似ていることがわかる、すなわち地

震波の構造物に対する作用は単一の衝撃波に極めて近く、これにその地盤による卓越的な周期の繰返しの影響が重なってくるように思われる。

以下この一質点弾性応答をもとにして塑性振動、多質点振動について述べる。

### 一質点塑性振動

構造物が塑性に入ると復元力は減少する。例えば完全降伏形だと、その降伏耐力以上には力が入らないうことになり、降伏耐力で $\alpha$ が頭打ちになる。

この場合入ってくる力よりも、その変形が問題になる。降伏が起る場合の最大変位は降伏以前の固有周期と同じ固有周期をもつ完全弾性体の最大変位とほぼ同じである。したがって Fig. 1 の弾性体の場合の応答から塑性の場合も予想することができる。

### 多質点弾性振動

建築物が4階になると4質点、10階になると10質点系として取り扱うのが普通である。

この場合それぞれの固有周期、固有変数、刺激変数等を振動モードにより求め各次の合成としてその応答を求めることができる。合成の方法としては、 $n$ 系の和の平方根をとると比較的実際に近いようである。

あるいは各次振動に分けた応答を計算機で合成する方法もあるし、多質点系の振動方程式を立てておいてまともにとく方法もある。

なる各種の建物を5質点に置換し、その下から全高の $1/5$ の奥のせん断力係数を計算した例を Fig. 1 の点で示した。1質点に比べ幾分か大きい値になる場合が多い。

上部のせん断力についてはその層のせん断力をそれから上の重量で割ったせん断度で表わし、下部 $1/5$ の奥の値と比べると最上最下で2〜3倍になる場合が多い。上層の剛性を増せばこの値は小さくなる傾向を示す。

### 多質点塑性振動

多質点の塑性振動は構造物の性質に地震波の性質、その大きさ等に複雑に左右されてきた定量的な性質ははっきりつかまれている。今後の研究にまっところが多い。ただし各層の最大変位の総和は降伏してもその一次固有周期が同じならばほぼ同じであるから各層同じくらいに降伏するように断面を調節しておけば各層の変形もその弾性振動の結果から予想できる。その一例を Table 1 に示す。

この研究は東洋レーヨン技術振興会によるアナログ計算機を使用し研究室の柴田明徳、岡秀隆、松島豊、長田正至、小林邦夫、山科几範の諸君、および山下設計事務所村田義男博士の労を煩わしたものである。(1963 9)

1) 建築学大系 19巻 彰国社

Table 1 (1) 建物の相対揺み

建物: 33階, 鉄骨 (5質点系に置換)

固有周期 2.87 秒

| 復元力                          | 線形    | 線形    | 線形    | 非線形               | 非線形   | 非線形   | 非線形               | 非線形   | 非線形   |
|------------------------------|-------|-------|-------|-------------------|-------|-------|-------------------|-------|-------|
| 地震                           | ILセシロ | ﾀﾞﾄ   | ｷﾀﾞマ  | ILセシロ             | ﾀﾞﾄ   | ｷﾀﾞマ  | ILセシロ             | ﾀﾞﾄ   | ｷﾀﾞマ  |
| $(\ddot{y}_0)_{max}$<br>(cm) | 0.339 | 0.339 | 0.339 | 0.339             | 0.339 | 0.339 | 0.509             | 0.509 | 0.509 |
| $\delta_5_{max}$<br>(6層)     | 12.5  | 5.6   | 3.6   | 12.4 <sup>△</sup> | 5.6   | 3.6   | 13.8 <sup>△</sup> | 8.8   | 5.4   |
| $\delta_4_{max}$<br>(6層)     | 13.8  | 6.0   | 5.4   | 13.6 <sup>△</sup> | 6.0   | 5.4   | 13.8 <sup>△</sup> | 9.3   | 7.4   |
| $\delta_3_{max}$<br>(7層)     | 17.4  | 7.3   | 5.4   | 18.4 <sup>△</sup> | 7.9   | 5.4   | 23.1 <sup>△</sup> | 12.2  | 7.2   |
| $\delta_2_{max}$<br>(7層)     | 12.5  | 5.8   | 6.0   | 12.5 <sup>△</sup> | 5.8   | 6.0   | 16.0 <sup>△</sup> | 8.8   | 8.1   |
| $\delta_1_{max}$<br>(7層)     | 9.8   | 5.3   | 4.7   | 9.1 <sup>△</sup>  | 5.3   | 4.7   | 10.3 <sup>△</sup> | 9.0   | 6.4   |
| $\sum \delta_i_{max}$        | 66.0  | 30.0  | 25.1  | 66.0              | 30.0  | 25.1  | 77.0              | 48.0  | 34.0  |

△印は降伏限界超過

Table 1 (2) 建物の相対揺み

建物: 22階, 鉄骨鉄筋 (5質点系に置換)

固有周期 0.84 秒

| 復元力                          | 線形    | 線形    | 線形    | 非線形              | 非線形               | 非線形               | 非線形               | 非線形               | 非線形               |
|------------------------------|-------|-------|-------|------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|
| 地震                           | ILセシロ | ﾀﾞﾄ   | ｷﾀﾞマ  | ILセシロ            | ﾀﾞﾄ               | ｷﾀﾞマ              | ILセシロ             | ﾀﾞﾄ               | ｷﾀﾞマ              |
| $(\ddot{y}_0)_{max}$<br>(4層) | 0.339 | 0.339 | 0.339 | 0.339            | 0.339             | 0.339             | 0.509             | 0.509             | 0.509             |
| $\delta_5_{max}$<br>(4層)     | 5.2   | 7.0   | 5.0   | 8.6 <sup>△</sup> | 20.7 <sup>△</sup> | 11.5 <sup>△</sup> | 25.9 <sup>△</sup> | 27.2 <sup>△</sup> | 15.5 <sup>△</sup> |
| $\delta_4_{max}$<br>(4層)     | 4.2   | 5.4   | 4.5   | 2.4 <sup>△</sup> | 3.1 <sup>△</sup>  | 4.4 <sup>△</sup>  | 7.0 <sup>△</sup>  | 3.7 <sup>△</sup>  | 3.0 <sup>△</sup>  |
| $\delta_3_{max}$<br>(4層)     | 2.9   | 3.7   | 3.7   | 1.4 <sup>△</sup> | 2.0 <sup>△</sup>  | 2.7 <sup>△</sup>  | 2.5 <sup>△</sup>  | 2.7 <sup>△</sup>  | 2.2 <sup>△</sup>  |
| $\delta_2_{max}$<br>(4層)     | 2.2   | 2.6   | 2.7   | 1.2              | 2.3 <sup>△</sup>  | 2.0 <sup>△</sup>  | 1.7 <sup>△</sup>  | 3.2 <sup>△</sup>  | 2.8 <sup>△</sup>  |
| $\delta_1_{max}$<br>(6層)     | 1.5   | 1.6   | 1.3   | 0.9 <sup>△</sup> | 2.7 <sup>△</sup>  | 1.1 <sup>△</sup>  | 3.7 <sup>△</sup>  | 6.9 <sup>△</sup>  | 4.2 <sup>△</sup>  |
| $\sum \delta_i_{max}$        | 16.0  | 20.3  | 17.2  | 14.5             | 30.8              | 21.1              | 40.8              | 43.7              | 27.7              |

△印は降伏限界超過

