

タワーの動的耐荷力について

東北大学工学部 学生員 ○中島章典

東北大学工学部 正会員 倉西 茂

1. はじめに

構造物に非常に大きな地震が作用した場合、構造物が崩壊することが考えられる。たとえば、1978年6月12日に発生した宮城県沖地震によって、多くの構造物に被害が生じた。橋梁を対象にしてみると、アプローチの沈下、支承部の破壊などがあつて、上部構造物の被害はごくわずかであつた。これらのことは、設計震度から定まる加速度に比べ、かなり大きな地震動加速度に構造物が耐えることを示していると思われる。

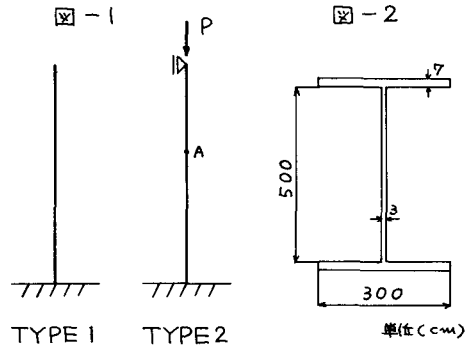
道路橋耐震設計指針に定められる耐震設計法としては、震度法が用いられている。しかし、地震力を静的な荷重に置き換える方法では、構造物の正しい耐震性の評価をすることは容易ではない。また、耐震性を評価するためには、構造物の極限状態を考えた終局強度設計の方法を採用することが必要と思われる。そこで、本研究は吊橋のタワーを対象構造物として、幾何学的非線形性と材料非線形性を考慮した応答計算により動的耐荷力を求めた。そして、震度法による耐震設計との比較を行なった。

2. 解析方法

有限変形理論に基づいた荷重増分法を用いて、この2つの非線形性を線形化して解析を行なう。この線形化により生ずる内力と外力の不釣り合いは、残差不平衡力を逐次載荷することにより修正している。この荷重増分法を差分形式の運動方程式に適用し、ニューマークの β 法($\beta=1/4$)を用いて数値積分により応答計算を行なう。材料非線形性の応力-ひずみ関係を完全弾塑性として取り扱う。構造解析は、一般に用いられている有限要素法により、連続体の振動を離散化して行なっている。

3. 解析モデル

本研究では、関門橋のタワーを対象構造物として選べ、このタワーのケーブル架設前とケーブル架設後を想定したモデルの動的応答を計算する。図-1に示すように、前者をTYPE 1、後者をTYPE 2とする。解析モデルは、関門橋のタワーと平均的な断面による細長比、断面係数およびTYPE 1の場合の固有振動数をほぼ一致させた、高さ160mの等断面のタワーとした。この断面を図-2に示す。このタワーを10個の有限要素に分割して解析を行なう。



4. 数値計算

i) まず、仮想地震力として正弦波地震を考え、TYPE 1のモデルに地震力5波が作用した場合の動的耐荷力と崩壊性状を調べた。正弦波地震は次式で与えられる。

$$\phi = \alpha \sin \omega t \quad \text{--- (1)}$$

これはモデルの1次固有円振動数に同じくし、 α の値を変える。これをTYPE 1-1とする。 $\alpha=200 \text{ gal}$ の場合の応答曲線を図-3に示す。また図-4には、塔頂の応答変位と基部断面の塑性域のひろがりの関係を示す。応答変位は、はじめ共振によって発散するが、断面に塑性域がひろがると、履歴減衰と固有周期の延びにより、共振性がうすれるために、発散せずに定常的な状態となっている。 $\alpha=300 \text{ gal}$ になると、平衡する復元力が得られず崩壊した。次にこの応答変位のピーク7間の時間を調べると、4.009, 3.963, 4.009, 3.978 秒と一定で

はなく、しかも線形系での1次固有周期3.897秒に比べると長くなっている。応答加速度は、断面が塑性化すると、1次の波形の上に高次の影響が現われている。これは、非線形性の影響と考えられる。

次にTYPE 2の場合について、 $\alpha = 900 \text{ gal}$ 、 $P = 12000 \text{ t}$ のときの点Aの応答変位と、基部断面と点Aの断面の塑性域のひずみ率の関係を図-5に示す。時刻が4秒位になると、断面1、7ともかなり塑性化しており、外荷重にかかりなく発散する傾向がある。つまり座屈崩壊したと考えられる。 α が大きくなると早い時刻でこの現象が起こり、 α が小さくなると座屈崩壊する時刻が遅れる。また、軸方向圧縮力Pが大きくなると小さい α で座屈崩壊が起こり、Pが小さくなると逆に大きい α でないと崩壊しない。

ii) 次に実地震に対する動的耐荷力を調べる。実地震としてはエルセントロ地震を用い、適当な係数を掛けて大きさを補正する。

TYPE 1に対しては、FACTORを20にしても崩壊現象が起こらなかった。この時の最大入力加速度は6900 galである。TYPE 2については、 $P = 10000 \text{ t}$ のときには、FACTOR 12で座屈崩壊が起こり、 $P = 12000 \text{ t}$ のときには、FACTOR 10で座屈している。このときの入力最大加速度は、4140, 3450 galである。

震度法によつて、断面の応力度が降伏応力度(3600%)に達するときの設計震度を加速度に換算して表-1に示す。表-1からわかるように、震度法による加速度は、実地震の入力加速度に比較するとかなり小さい。TYPE 1の場合は、固有周期が約4秒と長周期であるために崩壊しなかったと考えられる。TYPE 2の場合も4倍以上の安全率である。

表-1 加速度の比較 (gal)

TYPE	震度法による 換算加速度	実地震における 最大入力加速度
1	725	6900
2-1 ($P=10000 \text{ t}$)	990	4140
2-2 ($P=12000 \text{ t}$)	804	3450

図-3

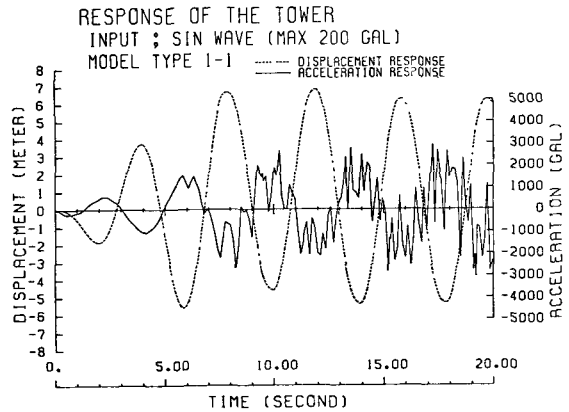


図-4

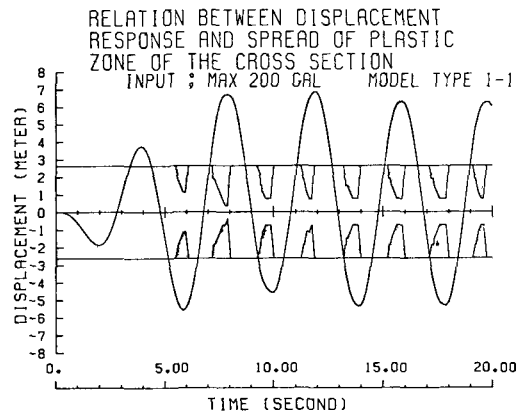
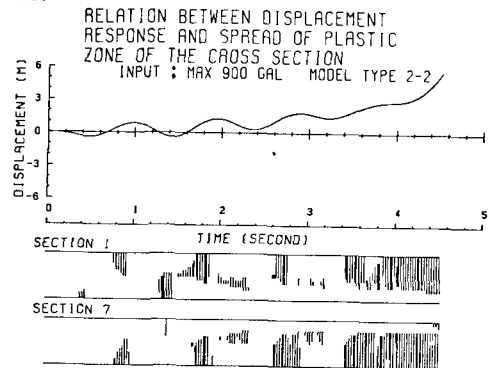


図-5



参考文献の盛川、倉西；移動荷重に対するアーチの弾塑性応答、53年東北支部の倉西、津村；帯組の非線形振動に関する研究、52年東北支部