

I-214 塑性ひずみエネルギーを考慮した橋脚の最適設計

東京電機大学 大学院 学生員 中原耕一郎
 東電設計(株) 正員 松島 学
 東京電機大学 理工学部 正員 松井 邦人

1. はじめに 大地に建造される構造物にとり、大地震は最大の脅威であろう。特に土木構造物は公共的な性質が強く、万一甚大な被害を被むると社会経済に打撃を与えることはもとより災害復旧にも大きな支障をきたす。大地震に対し、構造物を弾性理論に基づいて設計すると、しばしば断面を過大に評価せざるを得なくなる。これは、大地震が土木構造物の耐用年数中に起こるかどうか確率的な事象であり、弾性理論に基づく解析が必ずしも合理的な設計とはなり得ないからである。新耐震設計法では塑性率の概念を導入し、塑性変形をも考慮した設計となっており、そこでは極限状態での最大塑性ひずみで評価している。本研究では、Housnerの地震力の全エネルギーの仮説に基づき、地震時の繰り返し荷重による構造物の塑性ひずみエネルギーが構造物の損傷に与えることに着目し、T型橋脚の最適設計について検討した。

2. 橋脚の最適設計 図1 a.のような橋梁上昇構造を与えているT型橋脚は、図1 b.のように1質点系モデルで表わすことができる。質量 M は、橋梁の床組み、質量 M_1 と、橋脚上昇構造の一部、質量 M_2 の和である。ここで橋脚下方部分の質量は無視できるものとする。 C は減衰係数、 $K(y)$ はばねの復元力特性とする。地震時におけるこのモデルの挙動は、式(1)で表わすことができる。

$$M \ddot{y} + C \dot{y} + K(y)y = -M \ddot{y}_0 \quad (1)$$

y , $\dot{y}$, $\ddot{y}$ はそれぞれ応答の変位、速度、加速度である。式(1)に

$dy = \dot{y}dt$ を乗じて地震の継続時間で積分すると、

$$M \int_0^{t_0} \dot{y} \dot{y} dt + C \int_0^{t_0} \dot{y} \dot{y} dt + \int_0^{t_0} K(y)y \dot{y} dt = -M \int_0^{t_0} \dot{y}_0 \dot{y} dt \quad (2)$$

となる。式(2)左辺の第1項は運動エネルギー、第2項は減衰機構による減衰エネルギー、第3項はばね系に蓄えられている塑性ひずみエネルギー E_p と地震終了時の弾性ひずみエネルギー E_e である。運動エネルギーと弾性ひずみエネルギーは地震終了後減衰機構により徐々に消散する。図2は荷重と変位の概念図である。図中、 E_e (

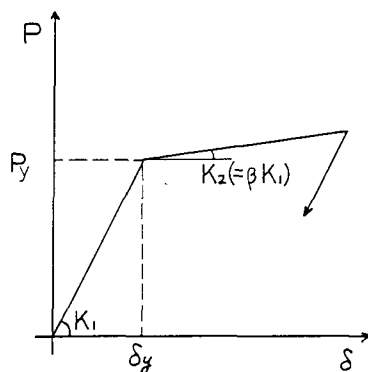


図3. 橋脚の復元力特性

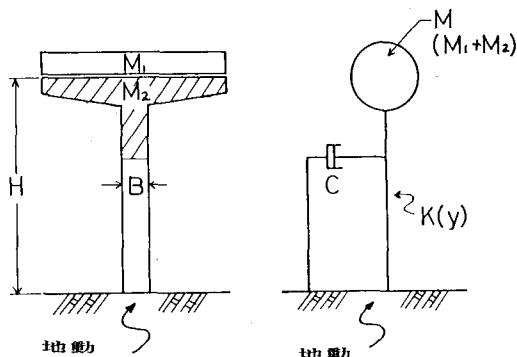


図1 a. T型橋脚の概念図 図1 b. 振動モデル

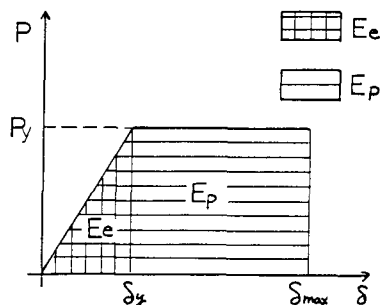


図2. 荷重変位曲線の概念図

$= \frac{1}{2} P_y \delta_y$) は弾性ひずみエネルギー、 E_p は塑性ひずみエネルギーである。 E_p は式(2)の第3項から弾性ひずみエネルギーを差し引いた量で、構造物の損傷に寄与する量である。本研究では塑性変形の指標として、累積塑性率 η を用いる。

$$\eta = \frac{E_p}{2 E_e} \quad (3)$$

ここで、累積塑性率 η は、塑性率 $\mu (= \delta_{max} / \delta_y)$ が最大塑性変位を基準としている点で異なる。

3. 計算例 図1b.に示す1質点のモデルについて行なう。ばねの復元力特性は図3に示すように塑性係数 K_2 を弾性係数 K_1 の β 倍(0.05倍)、全質量 $M=400(\text{ton})$ 、減衰定数 $\gamma=0.03$ とし、パラメーターを、橋脚断面 A 、全質量と降伏耐力 P_y との比 $\alpha (= P_y / Mg)$ とした。入力地震波は、*Elcentro 1940. NS*。その最大加速度を0.3gとした。結果を $\alpha=0.1, 0.2, 0.3$ の場合について、固有周期 T_1 と累積塑性率 η 、最大応答変位 δ_{max} との関係を図4, 5に示す。図からわかるように固有周期が大きくなるにつれて η は小さくなる傾向があり、逆に δ_{max} は大きくなる傾向がある。さらに、 α との関係を図6a, bに示すと、 δ_{max} は α による影響をほとんど受けないが、 η は α が大きくなるにつれて小さくなる。

4. 最適解と考察 最適橋脚は、大地震に対し η がその許容値 η_{cr} を越えないように、そして隣接する別の橋脚との間連から橋脚頭部へ変位が大きくなり過ぎない、という条件のもとで橋脚断面を最小にすることである。 η_{cr} はその値を様々な実験等から求めるべき値であるため、ここではその値を10とした。また、許容最大応答変位 $\delta_{max,cr}$ は10(cm)として橋脚直径 B と α の制約領域を図7に示した。この図から、最適点は、 $\alpha=0.2$ のとき $B=2.0(\text{m})$ であることがわかる。

謝辞 本研究をまとめるにあたり、奥村敏彦先生の貴重な御助言と御指導をいただいたことに感謝いたします。

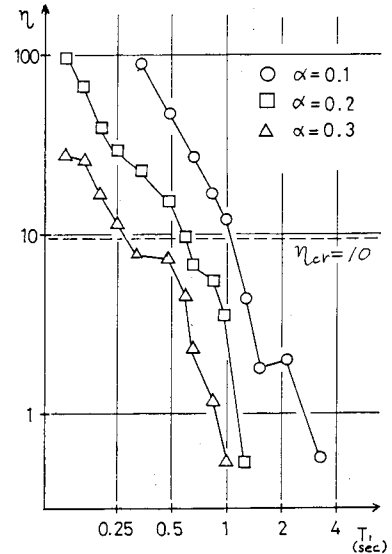


図4. 累積塑性率 η の変化

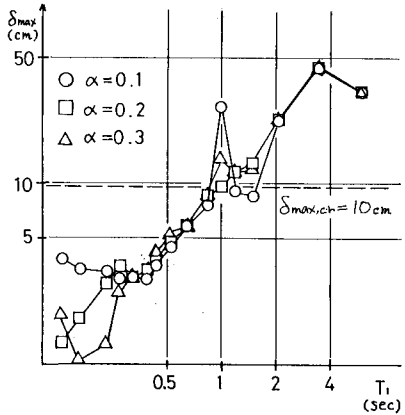


図5. 最大応答変位 δ_{max} の変化

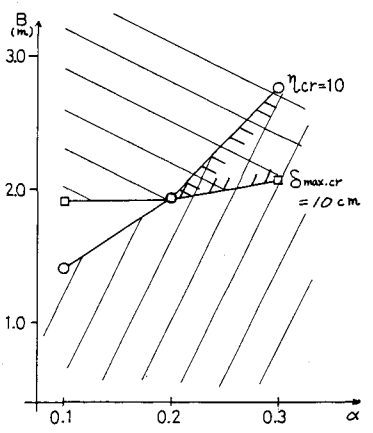
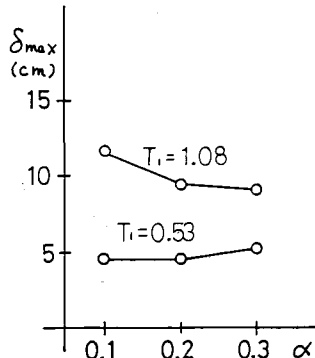
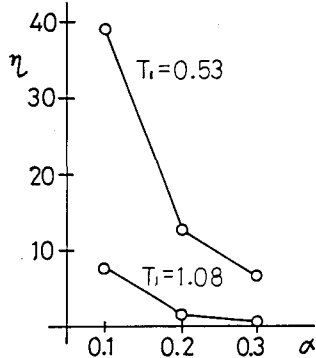


図6 a. 累積塑性率 η の特性

図6 b. 最大応答変位 δ_{max} の特性

図7. 最適解の領域