

I-44 圧縮軸力を受ける上端支持柱の動的強度特性

鹿島建設 正員 工藤宏生、宇都宮大学 正員 中島章典
宇都宮大学 正員 阿部英彦、東北大学 正員 倉西 茂

1. はじめに

吊形式橋梁タワー、高架橋の橋脚等は、上部構造の死荷重による圧縮軸力を受けながら、地震時には側方から動的外力を受ける。このような観点から、静的不安定性を有する片持柱モデルを対象として研究が進められ、動的外力によるエネルギー入力と構造物のエネルギー吸収能力を比較することで、構造物の倒壊判定を行えることが報告されている¹⁾。しかし吊橋のタワーなどでは、ケーブルによって頂部の橋軸方向変位がある程度拘束されるため、この構造物は不静定構造的挙動を示して動的倒壊に至ると考えられる。

そこで本研究では、圧縮軸力を受ける上端支持柱を1自由度の質点-回転ばね系にモデル化し、まず倒壊モードを分類して系の吸収エネルギーを解析的に検討した。次に対象構造物の動的強度特性を時刻歴応答解析によって確認し、さらに片持柱の動的強度特性との比較を行った。

2. 上端支持柱のモデル化

本研究では、図1のような圧縮軸力を受ける上端支持柱を対象とし、これを質点、剛棒および2つの回転ばねからなる1自由度系にモデル化する。この系に対して、水平方向の動的外力 $f(t) = mZ \sin \omega t$ が作用する時、系の運動方程式は次式で表される。

$$m\ddot{x} + \{ (R_1 + 2R_2) - 2P\alpha \} / l = f(t) \quad (1)$$

ここに、 Z は正弦波地動の加速度振幅を、 ω は系の固有円振動数を、 R_1 、 R_2 は弾塑性域を考慮した基部および中央部の回転ばねの復元モーメントを表している。また、回転ばねの復元モーメント特性は完全弾塑性型としている。弾性範囲では、図1に示す諸量を用いて、 $R_1 = k_1\theta$ 、 $R_2 = 2k_2\theta$ と表せる。

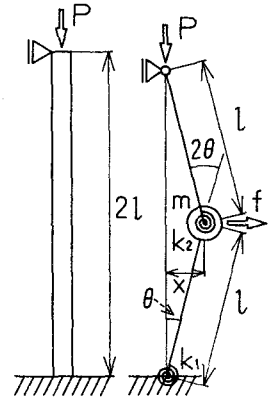


図1 対象モデル

3. 倒壊モードの分類

式(1)第2項は系の復元力 $R'(x)$ を表す。以下、系の復元力特性を検討するに先だって、次の3つのパラメーターを設定する。

- 1) 基部に対する中央部の回転ばね定数比 η ($= k_2 / k_1$)
- 2) 基部に対する中央部の降伏回転角の比 ϕ ($= \theta_{y2} / 2\theta_{y1}$)
- 3) 屈服荷重 P_{cy} に対する圧縮軸力 P の比 α ($= P / P_{cy}$)

ここに、回転ばね定数 $k_1 = EI_1 / l$ と仮定する。これらのパラメーターの関係を整理することにより、系の復元力特性には、表1のように7種類の倒壊モードが存在する。図2に示すのは表1中の①・②・③の3つの倒壊モードに対応する復元力特性の例であり、基部の回転ばねが中央部よりも先に降伏する場合である。この3つの倒壊モードは、図3に示す α - η - ϕ 座標における2つの曲面I、IIによって区分される。 α - η - ϕ 座標中の点 $(\alpha, \eta, \phi) = (0.9, 1, 1.5)$ は曲面I、IIに挟まれた領域にあり、これは表1中の②の倒壊モードに相当する。このパラメーターで時刻歴応答解析を実行すると、図4に示す系の復元力特性が得られ、解析的検討において予想された基部先行降伏・減少型になって、系が倒壊することがわかる。系がこの他のパラメータ

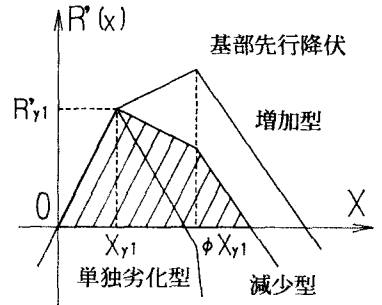


図2 系の復元力特性

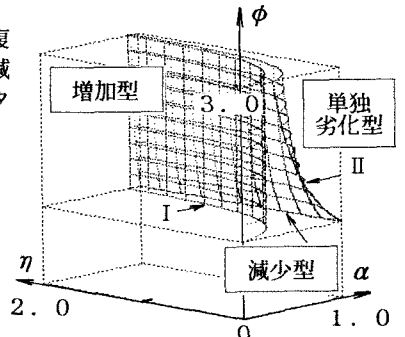


図3 基部先行降伏型の区分

表1 倒壊モードの分類

$\phi > 1$ 基部 先行降伏	① 増加	(I) $\eta = \frac{\alpha}{4(1-\alpha)}$	② 減少	(II) $\phi = \frac{\alpha}{(1+4\eta)\alpha - 4\eta}$	③ 単独 劣化
$\phi = 1$ 同時	④同時劣化				
$\phi < 1$ 中央部 先行降伏	⑤ 増加	(III) $\eta = \frac{1-\alpha}{4\alpha}$	⑥ 減少	(IV) $\phi = \frac{(1+4\eta)\alpha - 1}{4\eta}$	⑦ 単独 劣化

を有する場合でも、解析的に予想された倒壊モードが確認され、 $\phi < 1$ の場合にも、それぞれの倒壊モードは曲面Ⅲと曲面Ⅳによって区分される。

劣化型の復元力特性をもつ1自由度系についての研究では、動的外力によるエネルギー入力 E_F から履歴減衰エネルギー E_h を差し引いた有効エネルギー入力 E_{EF} が、系のエネルギー吸収能力 E_{Su} を越えた時に、系が動的終局状態に至ると報告されている¹⁾。本対象モデルの E_{Su} は、図2に示す系の復元力特性曲線と x 軸によって囲まれる部分の面積(例えば図中斜線部)として解析的に求められ、次に示す3つの式で表される。

$$\text{倒壊モード } E_{Su} = \frac{(1+4\eta\phi)^2 - (1+4\eta\phi^2)(1+4\eta)\alpha}{(1+4\eta)\alpha} E_y \quad (2)$$

①②④⑤⑥

$$\text{倒壊モード } E_{Su} = \frac{(1-\alpha)(1+4\eta)}{(1+4\eta)\alpha - 4\eta} E_y \quad (3)$$

③

$$\text{倒壊モード } E_{Su} = \frac{4\eta\phi^2(1-\alpha)(1+4\eta)}{(1+4\eta)\alpha - 1} E_y \quad (4)$$

⑦

ここに $E_y = k_1 \theta_{y1}^2 / 2$ である。

図5は、 $\eta=1$ における $\alpha-\phi-E_{Su}$ 曲面である。表1中倒壊モード③では式(3)、倒壊モード⑦では式(4)、また、それ以外の場合には式(2)を用いている。この図より α が小さいほど、また ϕ が大きいほど、系のエネルギー吸収能力 E_{Su} は大きくなることがわかる。

4. 時刻歴応答解析による有効エネルギー入力の検討

時刻歴応答解析によって得られる動的終局状態までの有効エネルギー入力 E_{EF} 、式(2)~(4)で求まる E_{Su} と静的荷重比 α の関係を図6に示す。各マークが異なった ϕ の値に対する E_{EF} を、各線が対応する E_{Su} である。この図から、パラメーターにかかわらず、 E_{EF} の値が解析的に求められた E_{Su} にほぼ一致することがわかる。次に図7は、荷重 P と有効エネルギー入力 E_{EF} の関係を、同じ回転ばね特性を有する上端支持柱と片持柱について、比較したものである。○は上端支持柱の E_{EF} 、実線はその E_{Su} であり、下側の△は片持柱の E_{EF} である。この図から上端支持柱のほうが片持柱に比べて、かなり大きいエネルギー吸収能力を有していることがわかる。

5. おわりに

圧縮軸力を受ける上端支持柱を1自由度にモデル化して、基本的な動的強度特性を検討した。上端支持柱は片持柱に比較して、大きなエネルギーの吸収能力があることが示された。最後に、本研究の一部は科学研究費(総合研究A、代表:山田善一)の補助を受けたことを付記し、関係方々に謝意を表す。

《参考文献》1) 中島章典他:劣化型復元力特性…、構造工学論文集, Vol. 36A, pp. 655-662, 1990, 3

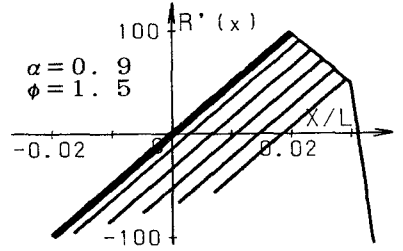


図4 減少型履歴ループの計算例

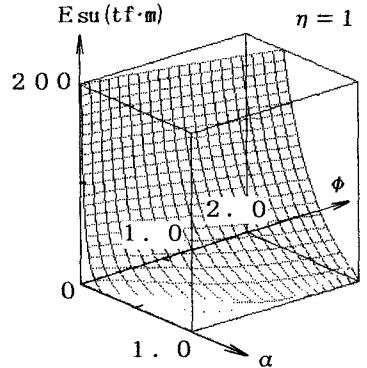


図5 $\alpha-\phi-E_{Su}$ 曲面

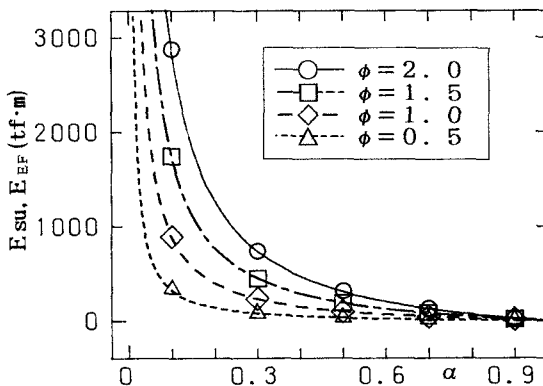


図6 $E_{Su}, E_{EF}-\alpha$ 関係($\eta=1$)

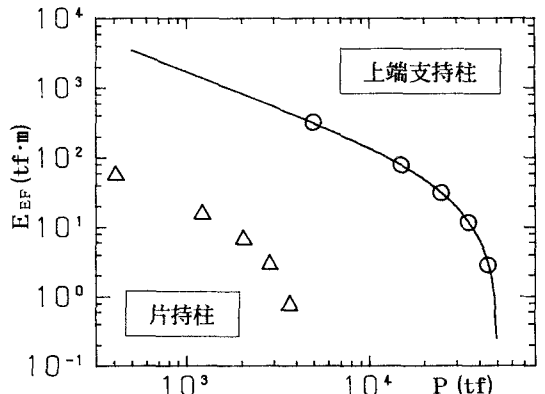


図7 $P-E_{EF}$ 関係($\eta=1, \phi=0.5$)