

(I - 13) 静的不安定性を有する構造物の動的強度設計のための動的外力についての考察

宇都宮大学工学部 ○学生員 白石正俊

宇都宮大学工学部 正員 中島章典、阿部英彦

1. はじめに

圧縮軸力作用下の柱など静的不安定性を有する構造物が動的外力を受けると、構造物は不安定現象を示し、ついには倒壊に至ることによって破壊する。これまで、1)静的不安定性を有する1自由度系の倒壊による動的破壊を規定する応答量¹⁾、2)多自由度系の1つである2自由度系の動的倒壊を規定する応答量およびこの値は2自由度系を単純化した1自由度系の値によって推定できることなど²⁾が明らかにされている。つまり、ある構造物を持つ構造物の動的強度はある程度明らかにされたと言える。これに対して、構造物に作用する動的外力と強度の関係についてはまだ不明の点があり、静的不安定性を有する構造物の動的強度設計を確立するためには、さらに定量的データを蓄積することが必要である。

そこで本報告では、静的不安定性を有する1自由度系を対象として、これを倒壊に至らせる動的外力であるという条件の基で、構造物の構造物特性と動的外力の関係を整理し検討した。

2. 対象モデルと動的外力によるエネルギー入力

対象モデルは、図1に示す鉛直方向の静的荷重Pが作用している質点(質量m)、剛棒(長さl)、回転ばね(ばね定数k)よりなる振動系に水平方向の動的荷重が作用する1自由度系である。この系の運動方程式は、幾何学的非線形性および粘性減衰の影響を無視すれば次のようになる。

$$m\ddot{x} + R(\theta) + Px = Qf(t) \quad (1)$$

$R(\theta)$ は回転ばねの復元力であり、その特性を図2のような完全弾塑性型とすれば、系の復元力特性は図3のような劣化型になる。したがって、この系は斜線部で与えられる吸収可能なひずみエネルギーの上限値を持つことになる。この値 E_{su} は解析的に算定され、次式で与えられる。

$$E_{su} = E_s(1 - \alpha)/\alpha \quad (2)$$

ここに、 E_s はばねの復元力が降伏復元力に達するときのばねの弾性ひずみエネルギーであり、 α は静的荷重の座屈荷重に対する比である。一方、動的外力によって入力されるエネルギー E_f は定義に従って、

$$E_f = \int f(t)v(t)dt \quad (3)$$

と表される。ここに、 $f(t)$ は動的外力であり、 $v(t)$ は速度応答である。参考文献1)によれば動的外力によるエネルギー入力から履歴減衰エネルギーを差し引いた有効エネルギー入力が吸収可能なひずみエネルギーの上限値を越えた場合に構造物は動的終局状態に至ることが明らかにされている。したがって、履歴減衰エネルギーがないものとすれば、 E_{su} が一定ならば E_f も一定になると考えられる。

そこでまず、系の固有振動数に等しい振動数を持つ正弦波の支点変位が作用する場合 $[f(t)=-mZ\sin\omega t]$ について、動的終局状態までの正弦波外力の振幅Zと継続時間 T_0 あるいは動的外力のパワー S_f との関係、また、これらの関係に及ぼす構造系の振動数の影響などに着目して数値計算によって検討した。ただし、静的荷重の大きさは座屈荷重の1/2に限定し、回転ばねのばね定数、降伏変位などは等しい(つまり、 E_{su} :一定)ものとした。

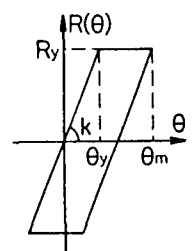
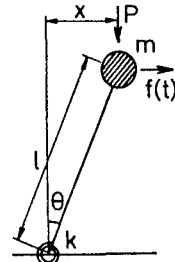


図1 1自由度モデル

図2 回転ばねの復元力特性

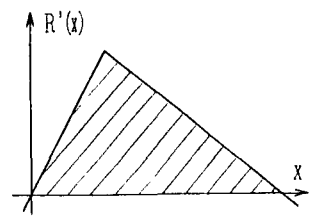


図3 系の復元力特性

3. 数値計算結果

(1) 正弦波外力の振幅の影響

図4は正弦波外力の振幅 Z に対応する降伏強度係数 γ ($\gamma = R_y / Q_m Z$)と動的終局状態までの継続時間 T_d の関係を系の振動数が2Hzの場合について示す。同図には γ と正弦波外力の振幅の関係も参考のために示している。縦軸が継続時間と正弦波外力の振幅、横軸が降伏強度係数 γ である。降伏強度係数が大きいほどつまり、正弦波外力の振幅が小さいほど、外力の継続時間は長くなる。このことは動的外力によるエネルギー入力 of の定義式に基づいて考えれば当然の結果である。そこで図5には、正弦波外力の各時刻における値の2乗を時刻ゼロから T_d まで積分した値であるパワー（振幅と継続時間の両方を考慮した動的外力の大きさを表す指標）と降伏強度係数 γ の関係を示す。縦軸がパワー、横軸が降伏強度係数 γ である。構造物の速度応答が正弦波外力に比例すると仮定すれば、動的外力によるエネルギー入力が一定になると、結果的にパワーの値も一定になると考えられる。しかし、図からわかるように、パワーの値は降伏強度係数によって変化し、 γ が大きいほどパワーの値は小さくなっている。そこで、それぞれの場合について、速度応答のフーリエスペクトルを求めた場合のピーク値 V_s を同図に示す。図から γ が小さいほど速度応答のフーリエスペクトルのピーク値は小さくなっていることがわかる。つまり、大きな振幅の動的外力が作用する場合の方が、大きくばねが塑性化し、結果的に系の固有振動数が変化し、スペクトルのピークが滑らかになるからであると考えられる。したがって、動的外力によるエネルギー入力の効率が悪くなりパワーが大きくなるものと考えられる。

(2) 系の振動数の影響

図6は、同じ波数で動的終局状態に達する場合 (γ が同じ) の正弦波外力の振幅およびパワーと系の振動数との関係を示している。この場合、質点の質量を変化させることによって振動数を変化させた。縦軸がパワーおよび正弦波外力の振幅であり、横軸が系の振動数である。この図から振動数が大きいほど正弦波外力の振幅およびパワーの値が大きくなっていることから、振動数が小さい系ほどこの種の動的破壊が起こりやすいと考えられる。

4. おわりに

静的不安定性を有する構造物の動的強度設計を確立する目的で、この種の構造物を倒壊に至らせる動的外力であるという条件の基、構造特性と動的外力との関係などを整理した。今後さらに種々の面から検討を行う予定である。

《参考文献》(1)中島他：静的不安定性を有する構造物の動的破壊，土木学会論文集，No.386/I-8，pp.135-144

(2)中島他：静的不安定性を伴い複数の倒壊モードを有する構造物の動的破壊，第43回年講，pp.287-288

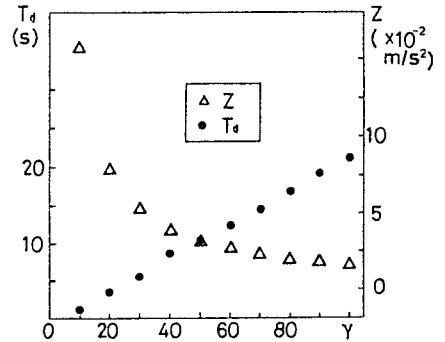


図4 継続時間および振幅と降伏強度係数の関係(2Hz)

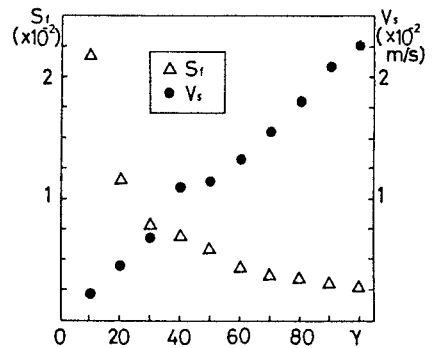


図5 パワーおよび速度応答のスペクトルピーク値と降伏強度係数の関係(2Hz)

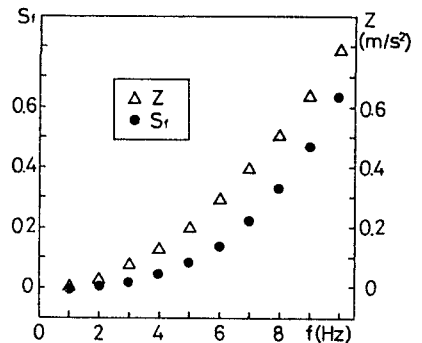


図6 パワーおよび振幅と系の振動数の関係($\gamma=50$)