

I-634 劣化型復元力特性をもつ構造物の不規則外力に対する動的倒壊判定法

宇都宮大学 正員 ○中島章典、栃木県 佐野友紀
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

従来の構造物の耐震設計法など静的設計法の矛盾が指摘され、地震動などによる構造物へのエネルギー入力と構造物が破壊するまでに吸収可能なひずみエネルギーなどに着目した研究が盛んに行われてきている。しかし、実際の不規則外力が作用する構造物の動的強度設計法を確立するためには、不規則外力によるエネルギー入力（荷重）と構造物のエネルギー吸収能力（強度）との関係をさらに明確にする必要がある。

本研究では、倒壊するような破壊形態を示す1自由度系を対象とし、パラメトリック解析を行って、構造物のエネルギー吸収能力と不規則外力によるエネルギー入力との関係を整理した。そこで、その結果に基づいて、単一正弦波外力を受ける場合の動的倒壊判定法¹⁾を、不規則外力を受けるこの種の構造物の動的倒壊判定法に拡張することを試みた。

2. 単一周波数成分の正弦波外力による動的倒壊判定法¹⁾

単一周波数成分の正弦波外力を受ける場合の動的倒壊判定法の概要は以下のようである。図1に示す特性をもつ1自由度系の回転ばねの復元力特性が完全弾塑性型であるとすれば、系の復元力特性は図2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 E_{su} をもつ。一方、履歴減衰によるエネルギー吸収がなければ、動的な外力によるエネルギー入力 E_F が E_{su} を越えたときに、この種の構造物は倒壊することが明らかにされている。この関係を定義式を用いて示すと

$$E_F = \int_0^{T_d} f(t) \cdot \dot{x}(t) dt \geq E_{su} \quad (1)$$

となる。いま、動的な外力が共振振動数をもつ単一正弦波の慣性力 $[f(t)=-mZ\sin\omega t]$ であり、そのときの変位応答が定常振幅 x_m をもつ定常振動 $[x(t)=x_m\cos\omega t]$ になるとすれば、式(1)は次式のように表される。

$$E_F = \frac{m x_m \omega}{Z} \int_0^{T_d} (Z \sin \omega t)^2 dt \geq E_{su} \quad (2)$$

したがって、単一の正弦波外力が作用するとき、以下に示される強度パラメーター S （構造物の強度）と外力パワー L （外力の荷重効果）を比較することによって、構造物の倒壊判定を行うことができる。

$$S = \frac{Z}{m x_m \omega} E_{su} \quad (3) \quad L = \int_0^{T_d} (Z \sin \omega t)^2 dt \quad (4)$$

3. 多周波数成分の正弦波外力が作用する場合への拡張

まず不規則外力の1つとして、系の固有円振動数 ω_n に等しい円振動数をもつ正弦波外力（共振外力と呼ぶ、振幅： Z_n ）とそれ以外の円振動数 ω_B をもつ正弦波外力（非共振外力と呼ぶ、振幅： Z_B ）の合成波が対象振動系に作用したときの系の動的終局状態までの応答を追跡した。ここでは、非共振外力が倒壊に与える影響を調べるために、動的終局状態までの作用外力の継続時間に注目する。この合成波が作用したときの動的終局状態までの継続時間 T_d と Z_n/Z_B および ω_B/ω_n の関係を図3に示す。ここに、 α は静的荷重 P の座屈荷重に対する比、 n は静的荷重が作用しない場合の系の固有振動数である。縦軸は T_d を共振外

図1 1自由度振動モデル

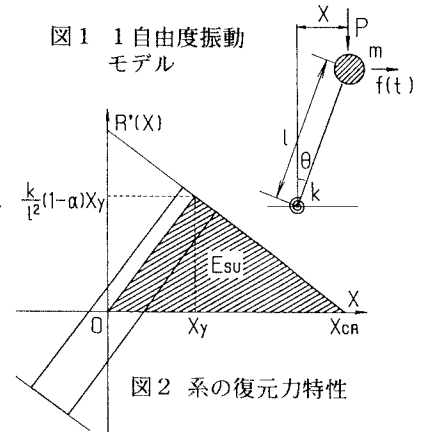


図2 系の復元力特性

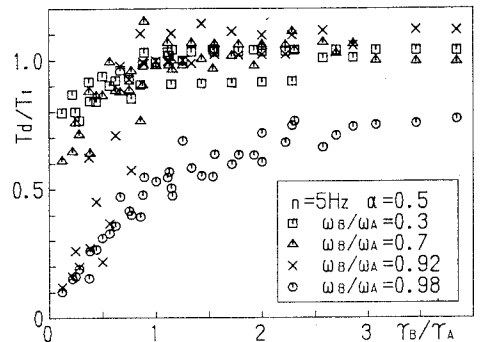


図3 T_d/T_1 と降伏強度係数比の関係

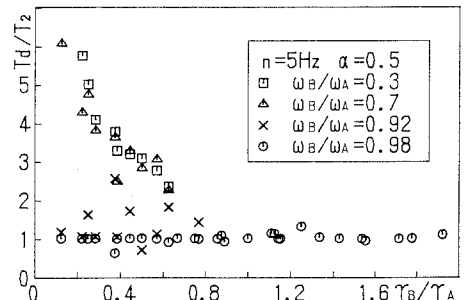


図4 T_d/T_2 と降伏強度係数比の関係

力のみによって倒壊するまでの継続時間 T_1 で無次元化して表し、横軸は Z_A/Z_B を降伏強度係数比 γ_B/γ_A ($\gamma = R_y/\rho mZ$)を用いて表したものである。この図から、継続時間比(T_d/T_1)が1付近に分布し、非共振外力が倒壊にほとんど影響を与えない場合と、1より小さくなり非共振外力が倒壊に大きく影響する場合のあることがわかる。

図3のうち、非共振外力が倒壊に影響を与える場合だけに対して、振幅(Z_A+Z_B)をもつ共振外力の作用によって倒壊するまでの継続時間 T_2 で無次元化された T_d と γ_B/γ_A および ω_B/ω_A との関係を図4に示す。この図から、 ω_B が ω_A に近づくほど T_d と T_2 はよく一致することがわかる。つまり、この非共振外力が同じ振幅 Z_B をもつ共振外力に置き換えられることを意味している。これらの傾向は $\omega_B/\omega_A > 1$ のときも同様である。

したがって、非共振外力が倒壊に影響を与えない場合には、

合成波 $\{Z_A \sin \omega_A t + Z_B \sin \omega_B t\}$ が作用するときの継続時間

≡ 単一正弦波 $\{Z_A \sin \omega_A t + 0 \times Z_B \sin \omega_B t = (Z_A + 0 \times Z_B) \sin \omega_A t\}$ が作用するときの継続時間 (5)

が成り立ち、 ω_B が ω_A に非常に近いときには、

合成波 $\{Z_A \sin \omega_A t + Z_B \sin \omega_B t\}$ が作用するときの継続時間

≡ 単一正弦波 $\{Z_A \sin \omega_A t + 1 \times Z_B \sin \omega_B t = (Z_A + 1 \times Z_B) \sin \omega_A t\}$ が作用するときの継続時間 (6)

が成り立つと考えられる。

そこで、式(5)、(6)の非共振外力の振幅 Z_B に掛けている係数を ϕ と書き改め、動的終局状態に達したときには、式(3)の強度パラメーター S と式(4)の外力パワー L がほぼ等しいと仮定すると、次式が得られる。

$$Z = \frac{4E_S U}{m \omega_A \{2\omega_A T_d - \sin(2\omega_A T_d)\}} (= Z_A + \phi Z_B) \quad (7)$$

上式に基づいて求めた係数 ϕ と γ_B/γ_A の関係を図5に示す。いずれの場合も係数 ϕ はほぼ0あるいは1付近に分布していることから、非共振外力の振幅を共振外力の振幅に補正することができる可能性が認められる。

そこで以上の概念を、多周波数成分をもつ正弦波外力が作用する場合に拡張する。つまり次式から、各周波数成分の振幅 Z_i を共振外力の振幅 Z に補正する。

$$Z = \phi_1 Z_1 + \phi_2 Z_2 + \dots \quad (i=1, 2, \dots) \quad (8)$$

次に、この等価振幅 Z 、不規則外力の継続時間 T_d 、構造パラメーターを式(3)、(4)に代入して S および L を求め、両者を比較することによって、動的倒壊を判定する。

4. 不規則外力に対する動的倒壊判定法の適用例

実際の不規則外力が作用する1自由度系に対する上述の動的倒壊判定法の適用性を調べるために、いくつかの不規則外力が作用する場合について、式(8)より求められる振幅 Z 、数値計算によって求められる動的終局状態までの継続時間 T_d などに基づいて算定される強度パラメーター S 、外力パワー L と振幅 Z との関係を図6に示す。図には、継続時間内の不規則外力の最大加速度 Z_{max} との関係も示している。横軸が Z を降伏強度係数 γ で表し、縦軸がパワーおよび Z_{max} で、実線は S 、○は L 、×は Z_{max} である。不規則外力の各振動数成分に対する振幅は高速フーリ

エ変換を用いて求めている。また、ここでは $0.98 \leq \omega_B/\omega_A \leq 1.02$ のときに、前述の係数 $\phi=1$ とし、それ以外の振動数領域では、条件に応じて $\phi=1$ あるいは0.02としている。この図から、 Z_{max} と γ には有意な関係は認められないが、外力パワー L はほぼ強度パラメーター S の周辺に分布することがわかる。

このことは、ここに示した一連の手順によって、任意の継続時間と周波数特性をもつ不規則外力が作用する1自由度系の動的倒壊をある程度の精度で判定することができることを意味している。

《参考文献》 1) 中島他：劣化型復元力特性を有する構造物の動的倒壊判定・・・構造工学論文集, 1990, 3

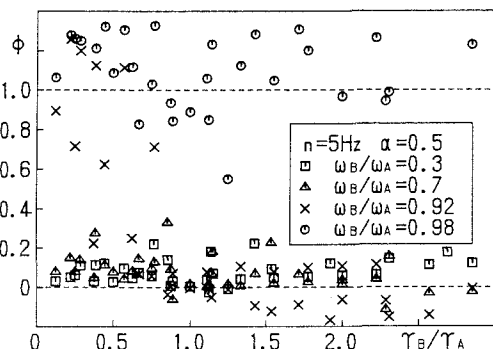


図5 係数 ϕ と降伏強度係数比の関係

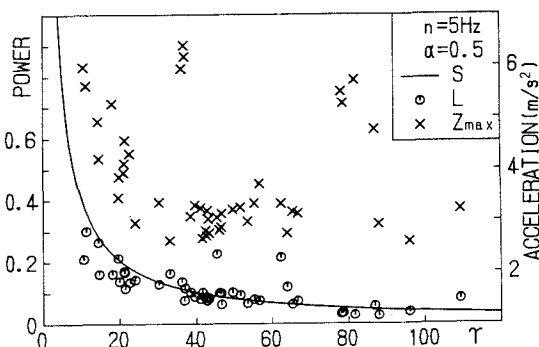


図6 パワーと降伏強度係数の関係