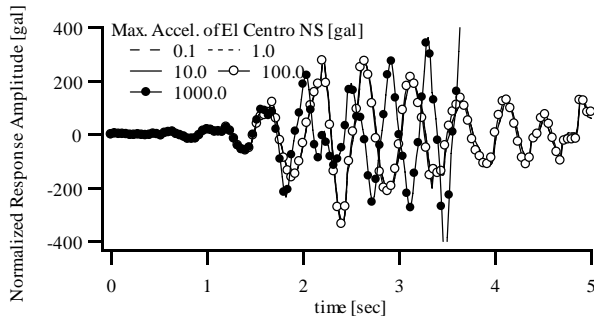


建築構造物の動座屈現象に関する考察

諸岡繁洋

1. はじめに

幾何学的非線形振動状態を考慮した場合、入力地震波の加速度ピーク値を大きくしながら応答解析を行っていくと、下図のように急激な応答の変化が表れる。これは(地震動に関する)動座屈現象と呼ばれ、この現象を起こす地震波の最大加速度値を動座屈荷重と呼ぶ。この荷重値は試行錯誤的に最大加速度値を変更しながら時刻歴応答解析を行い、線形応答解析結果等と比較して求めなければならない。本論は、この動座屈荷重を推定する手法を示す。



2. 動座屈荷重値推定

下記の Duffing 型非線形振動方程式を考える。係数 s は変位に関する 3 次の非線形項、 $P(t)$ は入力加速度である。

$$m\ddot{x} + c\dot{x} + kx + sx^3 = m \cdot P(t) \quad (1)$$

線形振動($s=0$)の場合、 $\ddot{x}(t), P(t)$ の Fourier 変換を $\ddot{X}(\omega), P(\omega)$ とすると、 $\ddot{X}(\omega) = \omega^2 H(\omega) P(\omega)$ と書き表され、 $\omega^2 H(\omega)$ は(相対)加速度に関する周波数応答関数となる。複素関数であるこの応答関数の振幅を応答倍率と呼ぶ。応答倍率と入力加速度振幅スペクトルを掛けると、加速度応答スペクトルとなる。

ところで、著者は(1)式の外力 $P(t)$ を調和外力 $P_0 \cos(\omega t)$ としたときの定常振動解に不安定な解が生じ始める加速度 P_0 の最小値 P_{min} が以下の式で得られることを示した。

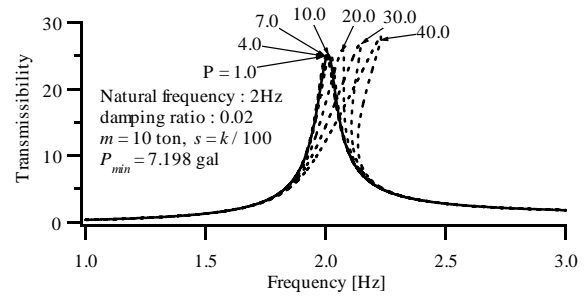
$$P_{min} = c_\xi (k/m) \sqrt{k/s} \quad (\xi \text{ は減衰率}) \quad (2)$$

$$c_\xi \approx 2.3656\xi^2 + 0.27911\xi - 0.00197 \quad (\text{但し } \xi < 0.20)$$

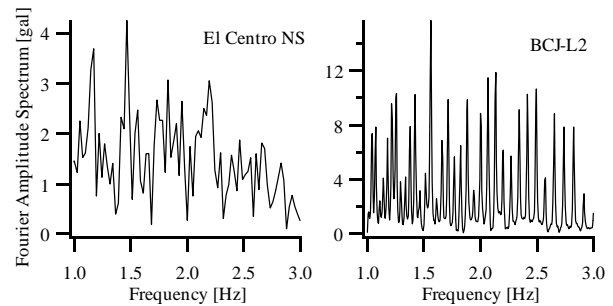
数値計算例として質量 m が 10.0 ton、固有振動数が 2Hz の構造物を考える。3 次の非線形係数 s は剛性 k の 100 分の 1 と仮定する。このとき、減衰定数 ξ を 0.02 とすると、 P_{min} 7.2 gal と得られる。

ところで、応答倍率は、加速度を一定とした定常

振動解の応答加速度を入力加速度値で割った値としても求めることができる。(1)式より導かれる非線形共振曲線式の振幅より、応答倍率を P_{min} の近傍について図示すると以下のようなになる。



最大加速度を 100.0gal とした El Centro NS 波の Fourier 振幅スペクトルを下左図に示す。2.0Hz 近傍の最大加速度は 3.0gal 程度となっている。系の非線形性(応答倍率の変化)が P_{min} (7.2gal)程度で生じ始めることを考えると、使用している地震動を $7.2 / 3.0 = 2.4$ 倍程度にしたとき、系の固有振動数 2.0Hz 近傍には P_{min} の加速度を持つ調和振動が入力されることになる。同様に BCJ-L2 波(最大加速度 355.66gal)の場合、 $7.2 / 12.0 = 0.6$ 倍程度の入力となる。



これら 2.4、0.6 倍程度の値(横軸)を掛け合わせた地震波データで加振し、応答の最大値を線形時の応答で割った値を示す。El Centro 波に関しては十分な精度で推定できることがわかる。一方、BCJ 波の Fourier 振幅スペクトルは離散的な値であり、非線形応答の変化になめらかに対応できないことがわかる。

