

地震時における構造物の弾塑性応答を用いた損傷判定指標開発の試み

東京理科大学 学生員○榊原 賢
東京理科大学 正会員 佐伯 昌之

1. 研究背景と目的

地震発生直後、構造物およびその部材の健全性を迅速に確認するために多くのエンジニアが現場に投入される。大震災の場合には、対象構造物の数が非常に多くなることから、多大な時間と労力を要する。仮に、簡易なセンサを用いて構造物の加速度応答の大きさや変形量を計測することで、その構造物が使用可能か／要調査かが自動判定できれば、調査地域の優先順位決定や、エンジニアの効率的な配置、調査労力・コストの低減等が期待される。また、ユーザー側には、被災直後から構造物の安全性が確認できるというメリットがある。以上のことから、構造物およびその部材の損傷の程度を判定する簡易センサを開発することは、社会的利益が大きいと思われる。

本研究の最終目標は、簡易なセンサをあらゆる構造物に設置することで、地震発生時に構造物の損傷を自動判定することである。本研究では、実現場でも計測が可能な構造部材の加速度応答と損傷の程度を関連付ける損傷判定指標の開発を目的とする。そのために、過去に観測された地震動データを用いて弾塑性地震応答シミュレーションを行った。そして、構造物の状態が弾性的場合と弾塑性の場合の双方の加速度応答の波形を分析することで健全性を判定するための損傷判定指標を検討した。

2. MSS モデルを用いた弾塑性応答解析

本研究では、MSS (Multiple Shear Spring) モデルを用いて弾塑性応答解析を行った。これは複数の等価せん断バネを柱部材の中央位置に等角度に配置し、柱耐力の水平 2 方向の相互作用が考慮できるようにした弾塑性モデルである^[1]。また、各バネの構成則は完全弾塑性モデルを仮定し、層間変形角が

0.005[rad]になるとバネの 1 部が塑性化するように設定した。

弾塑性地震応答解析では、過去に観測された地震動（気象庁 HP にて公開されている加速度データから 8 つ選択）を入力データとした。このとき、地震波形の入力倍率を 0.1～1.0 倍まで 0.1 刻みで 2 質点から成るモデルに入力（合計 80 波形）し、それぞれの慣性系での加速度応答や最大層間変形角などを計算した。本研究では最大層間変形角が 0.005[rad]を超えると構造物が塑性化したと判定することにした。

3. 損傷判定指標の検討

図-1 に構造物の加速度応答から得られたフーリエスペクトルの 1 例を示す。図-1 はどちらも第 2 層の応答であり、上側は地震動の入力倍率を 0.1 倍としたとき、下側は入力倍率を 1.0 倍としたものである。倍率が 0.1 倍（上）の場合は全てのバネが弾性状態であった。一方で、1.0 倍（下）のときはバネの一部が塑性化したため弾塑性応答になっている。これらを比較すると、0.1 倍と 1.0 倍では、地震動の入力振幅が 10 倍異なるが、最大振幅の比はそれよりも小さい値となった。また、加速度応答スペクトルの周波数帯域が弾性応答の場合よりも広がっているように見える。本研究では、このように構造物が塑性化した際の非線形性に着目し解析を行った。より具体的には、弾塑性応答での周波数帯域の広がり度を定量化し、指標化することを検討した。

指標の候補の 1 つとして、加速度応答スペクトルにおけるピーク振幅の周波数を特定し、これより高周波側で 20Hz までの帯域でデータを抽出した。そして、周波数と振幅の関係を直線近似し、このときの傾きを指標として検討した。図-1 の弾性応答（上）

キーワード：MSS モデル、弾塑性応答解析、損傷判定指標、層間変形角

連絡先：〒278-8510 千葉県野田市山崎 2641 東京理科大学理工学部土木工学科 TEL：04-7124-1501

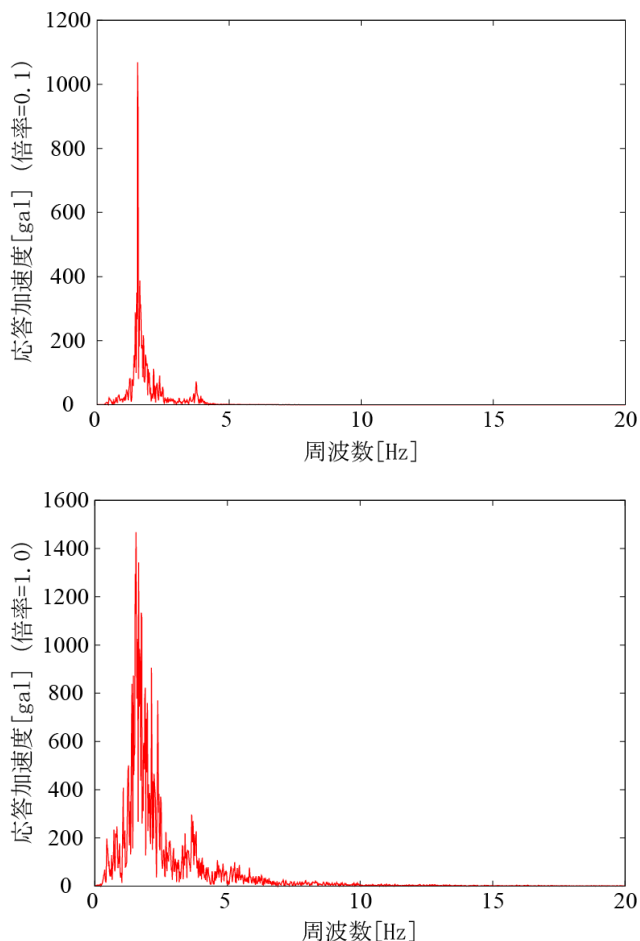


図-1 加速度応答のフーリエスペクトルの1例

は、ピーク付近のみに大きな値が集中するが、弾塑性応答(下)の場合にはピークよりもやや高周波側でもピークに近い値が多くみられるようになる。そのため、近似直線を引くと、塑性化した方が傾きの絶対値が大きくなるようである。図-2に、横軸を上記の近似直線の傾きの絶対値である指標1、縦軸を構造物の最大層間変形角とした散布図を示す。入力地震データ8種類に対してそれぞれのマークで表している。また、倍率を10段階で変化させているため各10点ずつプロットしている。倍率が高くなるにつれて構造物の加速度応答の振幅も増加するため、これらの間にはある程度の相関関係が見られる。しかし、入力データが異なると、同じ指標の値であっても、塑性化の程度が大きく異なる場合がある。例えば、青の逆三角形が示す波形がそれに該当する。これは新潟県中越沖地震のときにある地点で観測された波形だが、他と比べて指標が低い値を示していても最大層間変形角は高い値を示している。

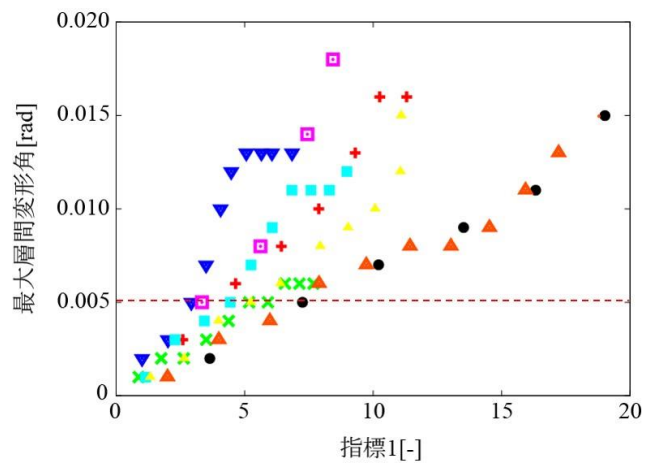


図-2 指標1と最大層間変形角の関係

4. まとめ

MSS モデルを用いた弾塑性地震応答解析を行い、対象構造物が弾性応答した場合と、塑性化した場合での加速度応答スペクトルの形状を比較した。構造物が塑性化すると、フーリエスペクトルが高周波数側に広がることから、この広がりを指標化することを考えた。今回提案した指標1と最大層間変形角の関係をみると、おおそ比例関係があることから、構造物に生じた最大層間変形角を指標から推定できる可能性があることが分かった。ただし、入力する地震の種類によって指標の値が大きく異なることから、センサ内で地震の種類を特定できる必要がある。また、指標1以外にも塑性化との相関性が高い指標をさらに提案し、検証する必要がある。

参考文献

- [1] 2 方向地震動を受ける無限均等ラーメン構造の弾塑性応答性状, 和田章, 広瀬景一, 日本建築学会構造系論文報告集 第399号 1989年5月

謝辞

解析を行うにあたり、東京工業大学総合理工学研究科石田孝徳助教には MSS モデル弾塑性応答解析プログラムを提供して頂きました。ここに謝意を表します。