

非線形構造物に対する限界地震動の実験的検証

金沢大学工学部
金沢大学大学院
金沢大学大学院
金沢大学工学部

○ 寺田 昌広
学生会員 Abdolhossein Fallahi
梅田 洋平
フェロー 北浦 勝

1. はじめに

1995 年の兵庫県南部地震の発生以降、大規模橋梁などの主要構造物では、その設計時に兵庫県南部地震の地震記録を用いて耐震安全性を照査している場合が多い。しかし、全ての構造物に対して兵庫県南部地震の波形を用いて評価することが真の安全照査になるとは限らない。その理由は、構造物ごとに兵庫県南部地震よりも都合の悪い地震波形(限界地震動)が存在することが考えられるからである。これは、兵庫県南部地震の地震波形は、起震活断層に関わるあらゆるパラメータの値が 1 組決まって発生したものであり、パラメータの 1 つでも異なる値をとれば、当然波形は若干変わりうるということ、また、ある構造物の破壊は、構造物独自の振動特性が関わっていることに起因する。これらのことから、耐震安全性を評価する際にはその構造物独自の限界地震動を用いて評価することが望ましいと考えられる。

本研究では、どのような地震動がその構造物にとって最も都合がよくないか(構造物に大きなダメージを与えるか)を導き出すことを目的とし、鉄骨構造物モデルを用いてシミュレーションと実験を行い、その構造物モデルにとっての限界地震動を作成した。

2. 構造物モデル

対象とする構造物を一階の鉄骨構造物(高さ 3m、幅 4m)としたため、構造物モデルは軟鋼を用いた 1 自由度のラーメン構造とし(図 1)、構造物モデルの高さと幅は、縮尺の限界である 1/8 スケールで設定した。また、一般的な鉄骨構造物の減衰特性を考慮するために、構造物モデルにダンパーを設置した(写真 1)。構造物モデル設計パラメータと、作成した構造物モデルの各パラメータとの整合性を測るために、自由振動実験と静的実験(引張試験)を行い、実験から得られた構造物モデルの各パラメータは(表 1)、シミュレーションによる限界地震動作成のために利用する。

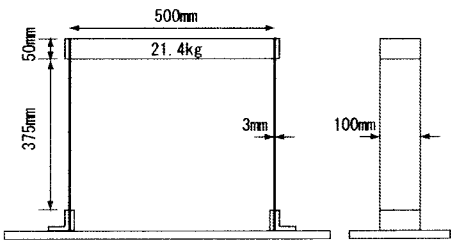


図 1 構造物モデル

3. 限界地震動の作成

本研究で作成される限界地震動は振幅特性、振動特性において、兵庫県南部地震と大きな差異はないが、対象となる構造物モデルにより大きな応答を与える地震動であるとする。限界地震動は、対象とする地震(兵庫県南部地震)の加速度波形の継続時間を 9 秒とし、それを 1.5 秒ごとに 6 区間に分けたのち以下のステップを繰り返すことにより作成される。

表 1 構造物モデルのパラメータ

固有振動数 $f(\text{Hz})$	4.3
固有周期 $T(\text{s})$	0.23
ばね定数 $k(\text{kgf/cm})$	20.6
減衰定数 h	0.02

1. 第 1 区間の加速度波形を基に構造物モデルの応答変位を算出する。
2. 構造物モデルの応答変位を解析することで導出される第 1 区間におけるパワースペクトル密度²⁾(Power Spectral Density：以下 PSD とする)の卓越振動数を f_p とする。
3. 第 2 区間における PSD を算出する。

4. 第2区間の PSD を $f_p - \Delta f_p$ から $f_p + \Delta f_p$ 、幅 $2\Delta f_p$ の範囲で $a\%$ 増幅させ、同時に他の振動数領域では PSD 減少させ、PSD の面積が基と同じ値となるようにする。このとき、 Δf_p および a は対象とする地震波形に似せるように設定する。
5. この加工された PSD から確立分布を求める。
6. 得られた振動数の確率分布から地震波形(模擬地震波)を作成する³⁾。
7. 対象とする地震の加速度波形の包絡線を作成された地震波形に乗ずる。

以降、ステップ7で得られた限界地震波をステップ1に転用して、1～7のステップをさらに行い、次区間における限界地震波を作成する。以上の過程を繰り返す、計5回行うことで、各区間における限界地震波が作成される。それらの波形を繋ぎ合わせたものを限界地震動とする。

以上の過程で得られた限界地震動と兵庫県南部地震を実際に構造物モデルに入力し、その応答を比較する。

4. 結果と考察

作成した限界地震動を構造物モデルに入力したところ、最大加速度が兵庫県南部地震よりも小さいにもかかわらず、兵庫県南部地震を入力した際の応答よりも大きな応答が生じていることを確認できた(図2,3,4,5)。なお、今回の実験では、構造物モデルが入力地震動と共振に近い状態にするように、兵庫県南部地震と限界地震動の加速度波形の継続時間を9秒間に圧縮した。また、静的実験(引張試験)から得られた降伏点は $x_y = 4.4\text{cm}$ であったので、限界地震動の入力時には、非線形領域に入っているはずである。しかし、応答変位と復元力の関係図からは非線形性を十分に確認できなかった。

5. まとめ

今回の結果から、兵庫県南部地震の地震記録と非常によく似ているが、対象とする構造物により大きな応答を与える地震動の存在が明らかになったといえる。このことは、構造物の耐震安全性の照査において、兵庫県南部地震の地震記録が全ての構造物の耐震安全照査に最適であるとは限らないことも証明したといえる。

また、今回の研究では、1自由度の鉄骨ラーメン構造を用いたが、今後はより実際の構造物の多くに反映できるように、多自由度系の構造物に適用させていく必要がある。

参考文献

- 1) 道路橋示方書・同解説 (Ⅴ耐震設計編), 社団法人 日本道路協会, 1996.
- 2) 大崎順彦: 新・地震動のスペクトル解析入門, 鹿島出版社, pp.215 - 256, 1994.
- 3) 後藤尚男・土岐憲三・秋吉卓: 電子計算機による耐震設計の人工地震波に関する研究, 日本地震工学シンポジウム, pp.25-30, 1966.

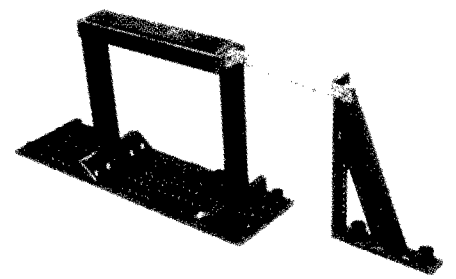


写真1 構造物モデル

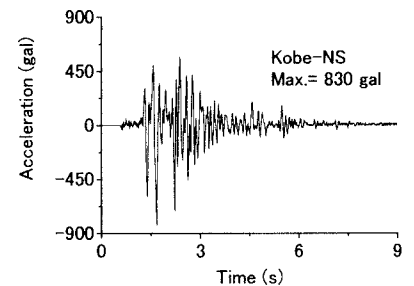


図2 兵庫県南部地震の波形 (1995)

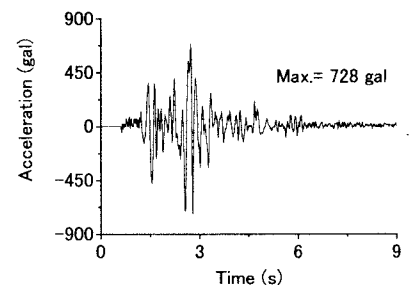


図3 作成した限界地震動の波形

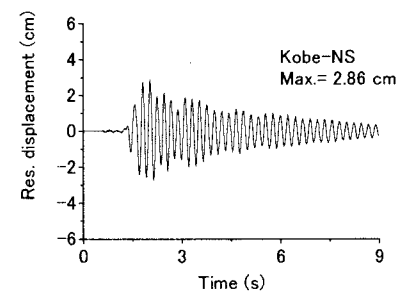


図4 兵庫県南部地震の応答変位

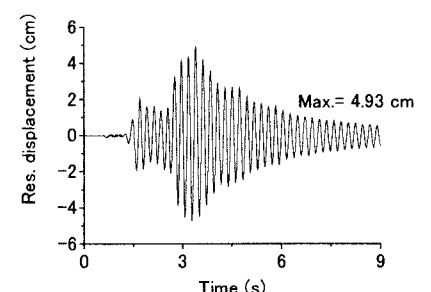


図5 限界地震動の応答変位