

構造物の非線形性を考慮した耐震性照査のための限界地震動の検証

金沢大学工学部 ○ 河合 梨絵子
 金沢大学大学院 学生会員 Abdolhossein Fallahi
 金沢大学大学院 学生会員 梅田 洋平
 金沢大学工学部 フェロー 北浦 勝

1. はじめに

日本は、世界でも地震の多い環太平洋造山帯の一面に位置しており、世界有数の地震国である。そのため、過去にも多くの地震により、たくさんの被害に見舞われてきた。1995年に発生した兵庫県南部地震により、大都市において多大な被害や犠牲者を被った事実も記憶に新しい。

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、すべての構造物に対して、兵庫県南部地震の波形を用いて耐震安全性を照査することは真の安全照査とはならない。なぜなら、構造物にはそれぞれ兵庫県南部地震よりも都合の悪い波形、すなわち構造物によりおおきな応答を与える波形が存在すると考えられるからである。過去の強震記録波形は、起震活断層に関わるあらゆるパラメータが一組決まって発生したものであり、パラメータが一つでも異なれば波形は当然若干変わりうる。また、構造物の破壊は構造物独自の振動特性が関わってくる。これらのことより、耐震安全性を評価する際には、構造物独自の限界地震動を用いて行うことが望ましいと考えられる。

本研究では、構造物に最も都合の悪い（構造物に大きなダメージを与える）地震動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、その構造物にとっての限界地震動を作成した。

2. 構造物モデル

本研究で対象とした構造物は、高さ 2.4m、幅 4m の 1 階建ての鋼構造物とした。そこで構造物モデルとして、軟鋼を用いた 1 自由度系のラーメン構造を用い、高さとは幅は縮尺の限界である 1/8 スケールで設計した(図-1)。さらに一般的な構造物の減衰特性を考慮するため、ダンパーを設置した。構造物モデルの設計パラメータを表-1に示す。構造物モデルの振動特性などが設計と一致するかを確認するために、基礎実験として自由振動実験と静的実験を行った。実験から得られた構造物モデルの各パラメータはシミュレーションによる限界地震動作成の際に利用する。

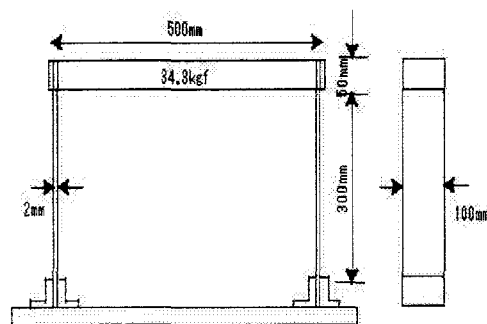


図-1 構造物モデル

表-1 構造物モデル設計パラメータ

柱の幅 $b(\text{mm})$	100
柱の厚さ $t(\text{mm})$	2.00
柱の高さ $H(\text{mm})$	300
構造物の重量 $W(\text{kgf})$	34.3
ばね定数 $k(\text{kgf/cm})$	12.4
固有振動数 $f(\text{Hz})$	3.00
固有周期 $T(\text{s})$	0.33
柱の有効細長比	260

3. 限界地震動の定義

耐震設計においては、二つの考え方が提案されている。一つ目は、‘既往最大’の考え方であり、これは今までに観測された地震動の上限値をもって今後の耐震設計のための地震動とする考え方である。二つ目は、確率論的な決定法である。これらを融合したものが限界地震動の考え方である。

本研究では、兵庫県南部地震の強震記録波形をもとに構造物独自の振動特性を加味して作成した模擬地震動の中で、構造物に最も大きな応答を与える地震動を限界地震動と呼んでいる。ただし、限界地震動の波形と兵庫県南部地震の波形との間では、最大値が等しいこと、パワースペクト

ル密度の面積同士の相対誤差が数%以内にあることなどの条件が満足されている。

4. 限界地震動の作成に用いる波形

耐震設計における構造物の耐震性照査において、道路橋示方書¹⁾では「加速度波形としては、一般に1波形だけでなく、3波形程度」用いることを推奨し、「3波形程度の応答に対する平均値を持って耐震性の照査をするのが良い」としている。さらに、「平成7年兵庫県南部地震で得られた強震記録の中から、たとえば、Ⅰ種地盤においては神戸海洋気象台の記録、Ⅱ種地盤においてはJR西日本鷹取駅の記録、Ⅲ種地盤においては東神戸大橋周辺地盤の記録を用いるのがよい」とされている。

よって本研究では、これら3波を用いて、Fallahi ら²⁾による特定振動数成分増強法、非定常パワースペクトル、多重フィルターを用いた手法により作成された限界地震動と、兵庫県南部地震の強震記録を実際に構造物モデルに入力し、その変位応答を比較する。

5. 実験結果と考察

自由振動実験及び静的実験からは、ほぼ設計通りの固有周期が得られた。作成した限界地震動を構造物モデルに入力したところ、兵庫県南部地震を入力した時の変位応答より大きな値が得られた。なお、今回は相似律を考慮して、兵庫県南部地震の加速度波形の継続時間を13.5秒に圧縮してある(図-2、3)。また、静的実験から得られた降伏点 x_y より大きな応答変位を示しているため、限界地震動の入力時には非線形領域に達しているはずである。そこで応答変位—復元力関係図を見ると、シミュレーションでは非線形性を確認することができたので、実験においても同様の結果を期待することができる(図-4、5)。

6. まとめ

今回の実験結果から、振幅特性、振動数特性において、兵庫県南部地震と大きな差異はないが、対象とする構造物モデルにより大きな応答を与える地震動が存在することが証明できた。また、全ての構造物に対して兵庫県南部地震を用いて耐震安全性の照査を行うことが真の安全照査とはならないことも証明したと言える。

今回の研究では、軟鋼を用いた1自由度系のラーメン構造のものをを用いたが、今後はより多くの実構造物に反映できるように、多自由度系の構造物モデルへの適用が必要となる。

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) Fallahi Abdolhossein・北浦 勝・宮島昌克：構造物の非線形性と地震動の非定常性を考慮した耐震性照査のための地震動波形の作成、土木学会地震工学論文集、2003.12(CD-ROM)。

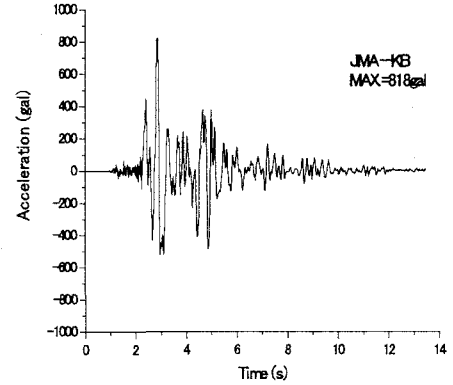


図-2 JMA-KB 加速度波形

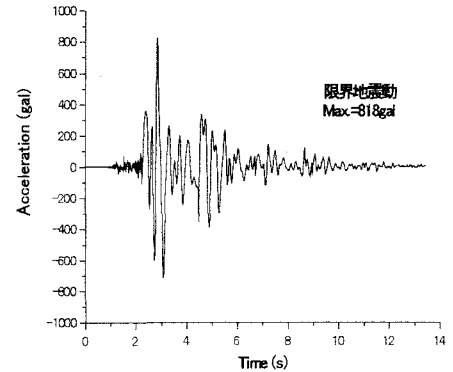


図-3 限界地震動 加速度波形

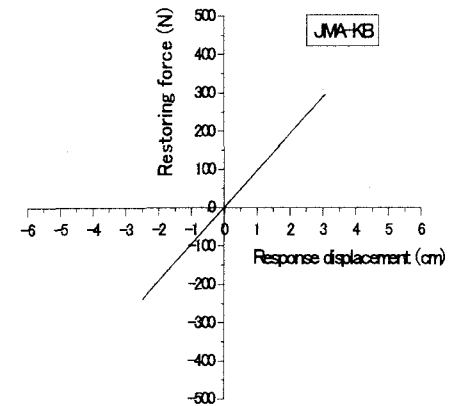


図-4 応答変位—復元力関係図 (JMA-KB)

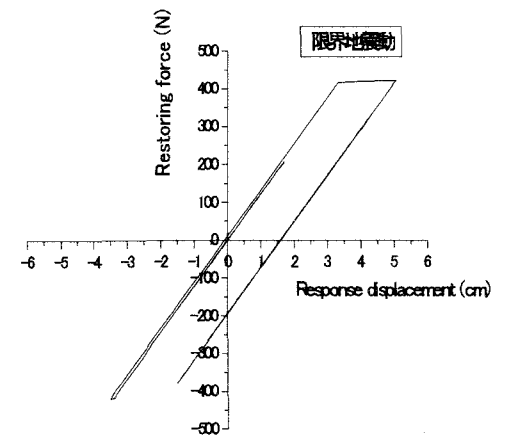


図-5 応答変位—復元力関係図 (限界地震動)