

最大および残留変位推定におけるエネルギー一定則 および変位一定則の適用性

九州大学工学部 フェロー ○大塚 久哲
九州大学工学部 学生員 山本 智弘
九州大学工学部 正会員 松田 泰治

1. まえがき

構造物が地震動を受けたときの最大非線形応答値を推定する方法として、エネルギー一定則および変位一定則がある。本研究では、内陸直下型の大規模な地震を受ける構造物の最大変位、残留変位の推定に対してエネルギー一定則および変位一定則の適用領域について分析を行った。

2. 解析の概要

対象構造物は鉄筋コンクリート橋脚とし、それを弾完全塑性のバイリニア型復元力特性を有する1自由度系にモデル化してパラメトリック解析を行った¹⁾。また、残留変位の推定式を算出し非線形時刻歴解析結果と比較検討を行った。系の弾性固有周期は、0.1秒から2.0秒まで0.1秒刻みで変化させた。降伏水平震度(降伏水平耐力を重量で割った値)は0.05から設計水平震度まで0.05刻みで変化させた。減衰定数 h は0.05とした。解析手法は、直接積分法による時刻歴応答解析とし、ニューマークの β 法($\beta=1/6$ の線形加速度法)を用いた。入力地震動は、道路橋の耐震設計に関する資料²⁾にある、地震時保有水平耐力法レベルのタイプII地震動(内陸直下型地震)の標準地震波形の計9波形を用いた。解析に用いた地震波形の加速度応答スペクトルを図-1に示す。

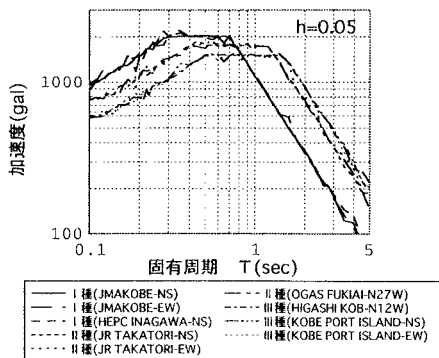


図-1 解析に用いた地震波形の
加速度応答スペクトル

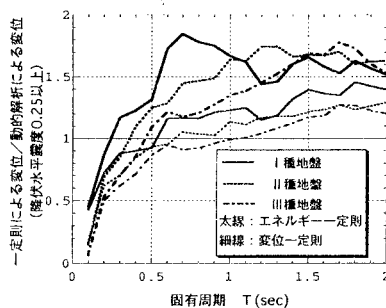


図-2 最大応答変位推定における
固有周期と一定則との関係

3. 最大応答変位の推定に対する一定則の適用性

図-2はエネルギー一定則あるいは変位一定則により算出した変位と動的解析の変位との比について、降伏水平震度が0.25以上のデータの平均値を示している。

これによると、エネルギー一定則による変位と動的解析の比は、どの地盤種別でも短周期側では1を下回り、その後1を上回っている。変位一定則による変位と動的解析の変位との比は、長周期側で1を越え、変位一定則の方がエネルギー一定則より精度がよい。この図と図-1とを比較してみると、加速度スペクトル値が一定の周期帯域ではエネルギー一定則、それ以降は変位一定則の適用性が高くなる傾向がみられる。

これらの結果からエネルギー一定則が適用できる周期帯域は、I種地盤では0.2秒から0.5秒、II種地盤は0.4秒から0.7秒、III種地盤は0.5秒から1.1秒といえる。これらの周期を越える周期帯域では、変位一定則を適用した方がよいといえよう。

4. 残留変位推定式の算出

(1) 残留変位比の検討

構造物が地震動を受け非線形域にはいると、一般に残留変位が生じる。残留変位が大きくなると、橋脚自体の損傷が大きくなっても、復旧が困難となる場合があり、そのため、残留変位量の推定を精度よく行うことが重要である。ここで、残留変位は、図-3に示すように、地震終了後自由振動を行い、その後変位が一定値に収束したときの変位のことをいい、次式(1)で表すことができる。³⁾

$$\delta_r = C_r \delta_{r, \max} \quad (1)$$

ここで C_r は残留変位比、 $\delta_{r, \max} (= (\mu - 1) \delta_y)$ は最大変位が発生した直後に地震が終了したときに生じる残留変位のことで、起こりうる最大の残留変位を意味する。ここで、パラメトリック解析により C_r について検討した。

図-4に、残留変位比（残留変位を可能最大残留変位で割った値）の固有周期に対する影響を示した。平均値としては降伏水平震度0.25以上の値を用いた。これによると、地盤種別によらず長周期領域では、残留変位比が小さくなっている傾向がみられるものの、ほぼ0.7付近の値を示している。

(2) 残留変位の推定式

前項の考察から残留変位比 C_r として0.7を採用し、エネルギー一定則、変位一定則を用いて塑性率を算出すると、それぞれ式(2)、(3)が得られる。

$$\delta_r = 0.35 \left\{ \left(\frac{k_{hc}}{q_y} \right)^2 - 1 \right\} \delta_y \quad (2)$$

$$\delta_r = 0.7 \left\{ \frac{k_{hc}}{q_y} - 1 \right\} \delta_y \quad (3)$$

ここで、 k_{hc} ：設計水平震度、 q_y ：降伏水平震度

5. 残留変位の推定式の適用性

4.(2)で算出した残留変位推定式の適用性をみるために、動的解析による残留変位と比較検討を行った。図-5に動的解析による残留変位と、エネルギー一定則あるいは変位一定則を用いた推定式との比を、固有周期ごとに降伏水平震度0.25以上の平均値で示した。

これによると、短周期側ではどちらの推定式も危険側の評価となり、エネルギー一定則の推定式が適用できるのは、I種地盤で0.3秒から0.6秒、II種地盤で0.4秒から0.6秒、III種地盤で0.5秒から1.2秒となっている、これらの周期よりも長周期側の周期帯域では、エネルギー一定則よりも変位一定則を用いた推定式の精度がよい。

6. あとがき

最大変位および残留変位の推定におけるエネルギー一定則および変位一定則の適用性について、非線形時刻歴解析結果と比較検討を行い以下の結果を得た。

- ・最大応答変位を推定する際、入力地震波形の加速度応答スペクトルと、エネルギー一定則および変位一定則の適用領域は関連があり、スペクトル値が上昇する短周期領域では両一定則とも精度はよくない。スペクトル値が一定の領域ではエネルギー一定則、減少し始める周期帯域では変位一定則の精度がよい。
- ・残留変位と可能最大残留変位の比は、長周期帯域では小さくなるものの、その他の周期帯域では0.7付近の値を示した。
- ・エネルギー一定則あるいは変位一定則を用いた残留変位推定式の適用可能な周期帯域は、最大応答変位を算出する際の適用可能周期帯域とほぼ同じである。

参考文献

- 1) 大塚、山本、松田、山口：エネルギー一定則および変位一定則の適用性に関する考察、第24回地震工学研究発表会講演論文集 第2分冊, pp.989～992, 1997
- 2) 日本道路協会：道路橋の耐震設計に関する資料、1997.3
- 3) 日本道路協会：道路橋示方書・同解説Ⅴ耐震設計編、1996

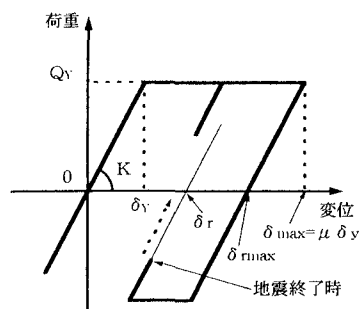


図-3 残留変位の模式図

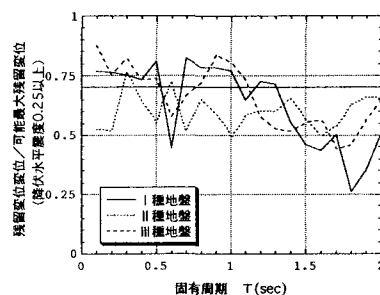


図-4 固有周期と残留変位比との関係

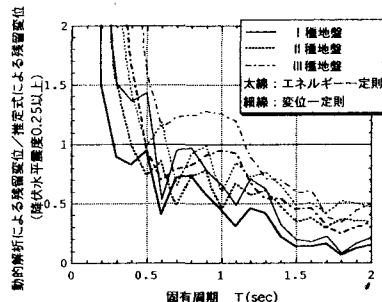


図-5 固有周期ごとの残留変位推定式の適用性