

非線形 1 自由度系の地震応答解析に関する基礎的研究

鹿児島大学工学部 学生員 ○荒川 勝広
 鹿児島大学工学部 正会員 河野 健二

1. はじめに

兵庫県南部地震以後、耐震設計についても検討が繰り返され見直されている、一方では、多種多様な新しい構造物の設計理論についても提案がなされている。そのなかでも信頼性設計については安全性指標 β を安全性の尺度として用いるもので、比較的簡便な手法であるため関心が高まっている。大規模な地震が発生すると構造物は非線形挙動を示す場合があり、塑性域での評価も必要となってくる。そこで本研究では線形時、非線形時において時刻歴応答解析を行い、その応答の結果より信頼性評価の検討を行った。

2. 解析概要

解析モデルについては図-1 に示す 1 自由度系の解析モデルを使用した。入力地震波は兵庫県南部地震-南北方向波(以下 KOBE-NS と示す) を用い最大地震加速度を 300gal と設定した(図-2 参照)。この地震波について振動数成分を抽出し、図-3 に示すパワースペクトルを求めこのスペクトルからランダムに模擬地震動を作成し、この模擬地震動について線形および非線形の時刻歴応答解析を行った。構造物全体の運動方程式は式(1)のように表される。

$$[M]\{\ddot{x}\} + [C]\{\dot{x}\} + [K]\{x\} = \{Fz\} \quad \dots(1)$$

$[M]$, $[C]$, $[K]$ は質量、減衰、剛性マトリクス、 $\{x\}$, $\{Fz\}$ はそれぞれ、変位ベクトル、外力ベクトルを表す。非線形解析については復元力項を式(2)に示す。

$$k_i x_i = \alpha_i (Fy_i / Y_i) x_i + (1 - \alpha_i) Fy_i Z_i$$

$$\dot{Z} = -\gamma_i / Y_i |\dot{x}_i| |Z_i|^{n-1} Z_i + 1 / Y_i (A - \beta |Z_i|^n) \dot{x} \dots(2)$$

Fy_i は降伏荷重、 Y_i は降伏変位、 Z_i は無次元の非線形関数である。A、 α 、 β 、 γ 、n は、非線形特性を決めるパラメータであり、A=1.0、 α =0.1、 β =0.1、 γ =0.9、n=1.0 と設定した。解析方法については、式(1)で示した微分方程式を解くのであるが線形解析では Newmark の β 法を、非線形解析については 4 次精度の Runge-Kutta 法をそれぞれ用いて数値解析を行った。

3. 構造物の信頼性評価

信頼性評価とは確率変数の統計量を平均と分散だけの関数として与えられる安全性指標 β を安全性の尺度として用いるもので、比較的簡便に構造物の信頼性を評価することができる。以上の時刻歴応答解析を信頼性評価に用いるため、ランダムに作成した地震波を入力地震波として 100 ケース応答解析を行う。復元力応答スペクトルの平均値を設計荷重とし、KOBE-NS の復元力応答スペク

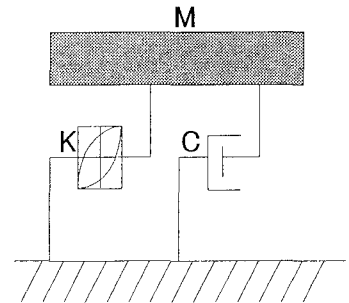


図-1 解析モデル

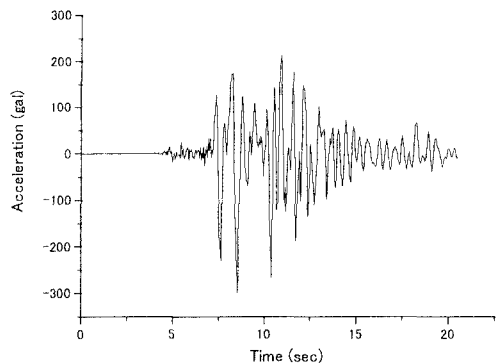


図-2 入力地震波の時刻歴

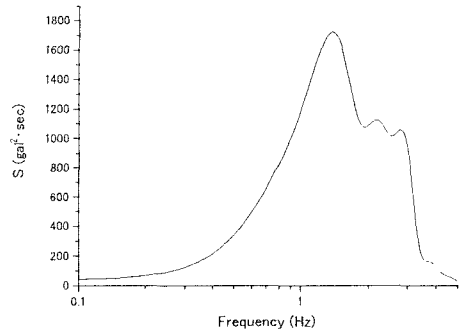


図-3 パワースペクトル

トルを設計基準強度とした。信頼性評価を行う際、設計荷重および設計強度が正規確率分布に従うとすると安全性指標 β は式(3)で与えられる。

$$\beta = \frac{\bar{R} - \bar{S}}{\sqrt{\sigma_R^2 + \sigma_S^2}} \quad \dots(3)$$

\bar{R} は設計基準強度、 \bar{S} は設計荷重、 σ_R は強度の分散、 σ_S は荷重の分散を表す。ここでは線形解析時および非線形解析時ともに信頼性評価を行った。

4. 結果考察

図-4 に構造物の固有周期毎の設計強度および線形、非線形解析時の設計荷重を示す。図-5、6には線形、非線形解析時における安全性指標を示す。設計強度の変動係数は10%と設定した。図-5 から設計線形解析時において、 $\beta=2$ (破壊確立約2.5%)を基準にとると設計強度は基準強度の2.3倍程度が妥当であると考えられる。図-6 から非線形解析時において着目すると、短周期側において、 β は小さい値を示し、周期が長くなるにつれて β の値は大きくなる傾向が認められる。これは線形解析時に比べ非線形解析時では長周期での復元力が著しく低下するためである。また、図-6 から非線形解析時において、基準強度の2.5倍程度をとれば安全である。しかしながら、長周期域では構造物の変位が大きくなるため、復元力は安全を満たしていても、変位において信頼性評価を行うと損傷してしまう恐れもある。よって、非線形解析時には復元力および変位についても信頼性評価を行い検討する必要がある。

5. まとめ

今回、非線形を考慮した地震応答解析を行いその結果から構造物の信頼性評価についての検討を行った。復元力の信頼性評価から検討すると線形解析時には安全率を2.3程度にすると安全性が保たれる。非線形解析時には安全率を2.5程度にすると安全性が保たれると評価できる。しかしながら長周期の構造物においては復元力の安全性は保たれていても、変位は著しく増加するので降伏変位を超えてしまう場合もあるので、変位についても信頼性評価を行い検討する必要がある。また、構造物の応答は入力地震波によっても異なり、地域の地盤特性によっても異なることが明らかである。よってこれらの問題を考慮することが今後の課題である。

<参考文献>

磯部共伸、大綱浩一、徳広育夫、村上雅也、1997年鹿児島県北西部地震を経験した既存鉄筋コンクリート建造物の構造耐震指標と被害程度、第10回日本地震工学シンポジウム論文集 pp. 3261~3266

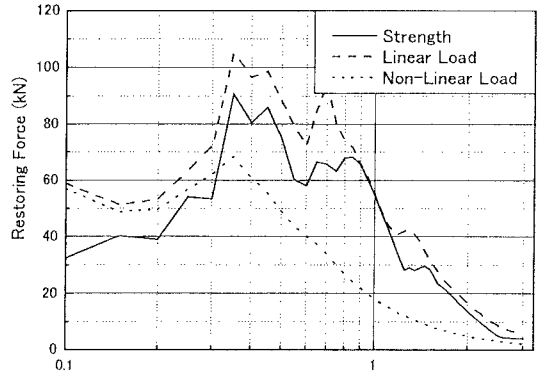


図-4 設計荷重、設計強度

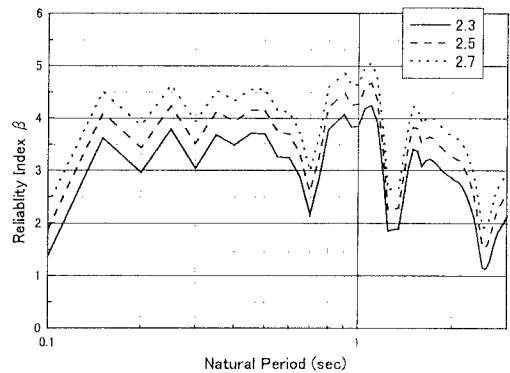


図-5 安全性指標(線形解析時)

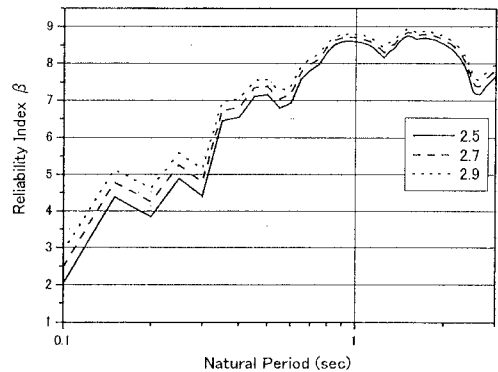


図-6 安全性指標(非線形解析時)