

非線形地震応答解析による信頼性評価についての基礎的研究

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

兵庫県南部地震発生により構造物は甚大なる被害を受け、それ以後耐震設計は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研究、提案がなされている。その中でも信頼性設計については安全性指標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。

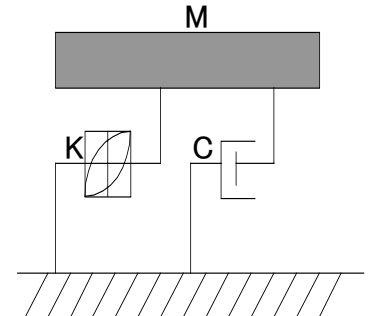


図 1 解析モデル

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) および 1997 年 5 月 13 日鹿児島県宮之城町で観測された地震波(以下 MIYA-NS と示す)を用い最大地震加速度を 300gal と設定した。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。

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

$[M]$, $[C]$, $[K]$ は質量、減衰、剛性マトリクス、 $\{x\}$, $\{F_z\}$ 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。

$$k_i x_i = \alpha_i (F_{yi} / Y_i) x_i + (1 - \alpha_i) F_{yi} Z_i$$

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

F_{yi} 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_i 、 β 、 n は、非線形特性を決めるパラメータであり、 $A=1.0$ 、 $\alpha_i=0.1$ 、 $\beta=0.1$ 、 $\beta=0.9$ 、 $n=1.0$ 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。

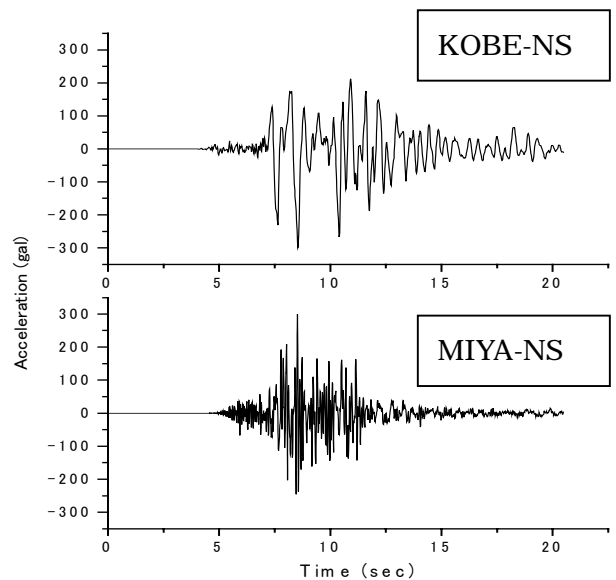


図 2 入力地震波の時刻歴

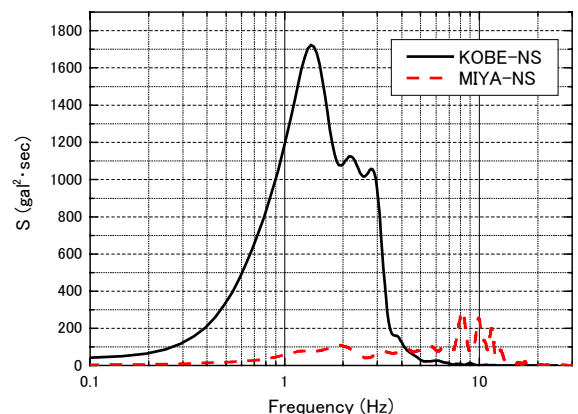


図 3 パワースペクトル

キーワード：非線形、地震応答解析、信頼性評価

連絡先：〒890-0065 鹿児島市郡元 1-21-40 鹿児島大学工学部海洋土木工学科 TEL:099-285-8470

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 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 および MIYA-NS の復元力応答スペク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 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 . 解析結果

図 - 4 には KOBE-NS および MIYA-NS の復元力の最大値を固有周期毎に示した。図 - 5 には信頼性指標 $\beta = 3$ (破損確率約 0.03%) としたときの強度比 γ を固有周期毎に示した。図 - 4 から地震波の違いについて着目すると、全く応答が異なることが認められる。KOBE-NS では固有周期が 0.3 秒から 1 秒にかけて卓越した応答が示される。また、MIYA-NS では 0.1 秒から 0.2 秒の間で卓越した応答が示される。これは KOBE-NS の地震波の振動数成分が 1.2Hz 付近で卓越しているため、中周期の構造物では共振が起こり応答が大きくなったものと考えられる。同様に MIYA-NS も 10Hz で卓越した振動数が認められ、短周期の構造物は共振を起こして大きな応答が発生したものと考えられる。図 - 5 について着目すると、KOBE-NS、MIYA-NS とともにほぼ同様な傾向が認められる。線形解析時に関しては長周期になるに従い γ の値が大きくなる傾向が認められる。非線形解析時には γ の値は 1.0 となり、構造物の非線形性を考慮したほうが強度比を低減できることが考えられる。これは材料の降伏域を考慮するため、多くのエネルギーを吸収できるためであると考えられる

5 . まとめ

今回、構造物の非線形特性を考慮して応答解析を行い、信頼性評価について検討を行った。なお、地震波の違いによる、応答の相違についても検討を行った。地震波は地域特性に大きく影響を受けるため、設計に適用する地震波はその地域性を考慮しなければならない。また、非線形特性を考慮することにより強度比を低減できる。本研究によりそれぞれの地域での地震波の特徴を反映した設計地震波を用い、応答解析を行うことでより経済的で安全な構造物が設計できるものと考えられる。

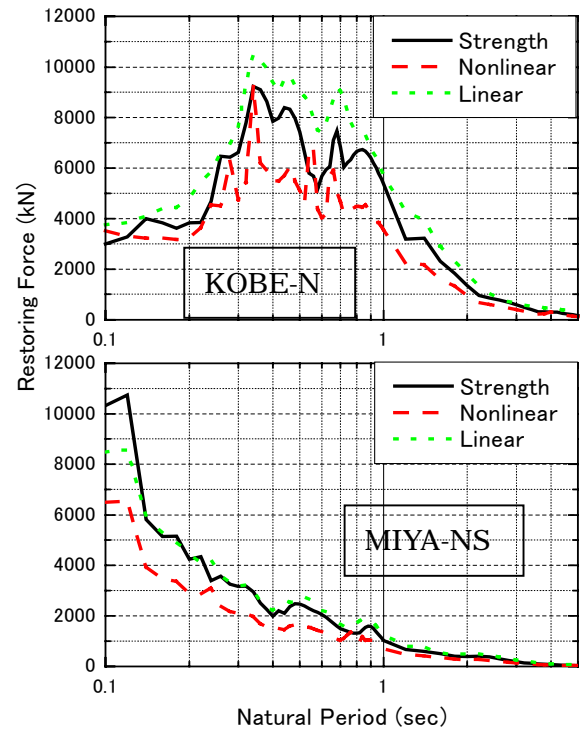


図 - 4 設計強度、設計荷重

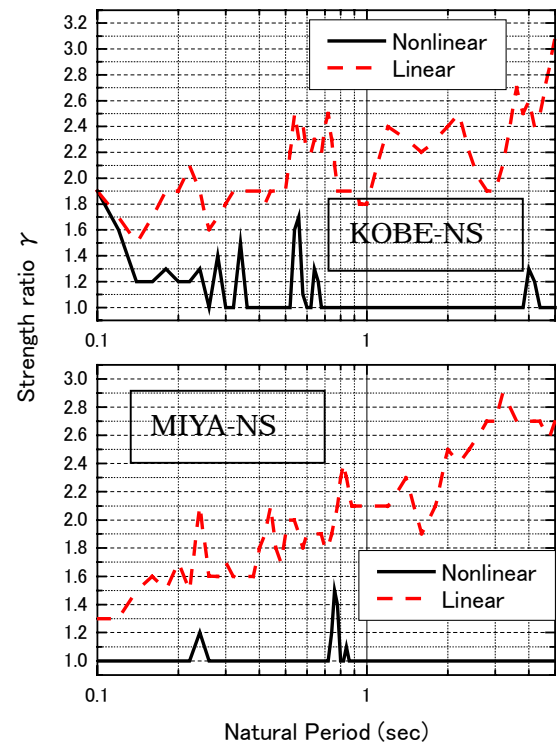


図 - 5 強度比($\beta = 3$)