

非線形特性を有する構造物の地震応答解析

鹿児島大学工学部 学生員 ○木村 至伸

鹿児島大学工学部 正員 河野 健二

1. まえがき

我が国は、地震多発国である。近年、我が国における従来の強震記録を上回る大きな地震動が数多く観測された。例えば、まだ我々の記憶にも新しい兵庫県南部地震、鹿児島県北西部地震等である。これらにより構造物は多大な影響を受けた。構造物の非線形特性を考慮した性能設計の必要性が認められるようになり¹⁾、これらの地震力が構造物の応答へ及ぼす影響を弾塑性(非線形)領域で検討しておくことが必要になる。そこで本研究ではモデル化した構造物に地震力が作用する場合を考え、非線形特性を有する場合の地震応答解析を行う。特性の異なる地震波による応答を調べ、構造物の固有周期による影響について検討した。そして、非線形特性を考慮する度合いによって生じる構造物の応答に及ぼす影響の違いについて検討を加えた。

2. 解析方法

図-1に解析モデルを示す。構造物を図-1のように置き換えて解析を行う。全体の運動方程式にまとめると、(1)のように表せる。

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

ここで、 $[M]$ 、 $[C]$ 、 $[K]$ はそれぞれ質量、減衰、剛性マトリックス、 $\{x\}$ 、 $\{Fz\}$ はそれぞれ変位ベクトル、外力ベクトルを表す。次に(1)式を一回の連立微分方程式に変形させる。本研究においては、部材の非線形特性を考慮しているので、バネ定数 k_i に関して(2)のように置き換える。

$$k_i x_i = \alpha_i (F y_i / Y_i) x_i + (1 - \alpha_i) F y_i Z_i \quad \dots (2)$$

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

$F y_i$ 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。ここでの A 、 α 、 β 、 γ 、 n は、非線形特性を決めるパラメーターで、 $A=1.0$ 、 $\alpha=0.1$ 、 $\beta=0.1$ 、 $\gamma=0.9$ 、 $n=3.0$ を使用し、4次精度のRunge-kutta法を用いて、非線形応答解析を行った。また、構造物は地盤に固定されているものとして解析を行った。

3. 解析結果

図-2は、入力地震波として兵庫県南部地震-南北方向波(KOBE-NS)の最大地震加速度を500 gal、降伏変位を5cm、構造物の固有周期を0.2秒、また0.5秒と設定した場合の、加速度の時刻歴応答を線形応答と非線形応答について比較したものである。構造物の固有周期を0.2秒と設定した場合には、構造物の剛性が高くなるため非線形特性が見られず線形応答に等しい応答を示していることが分かる。一方、構造物の固有周期が0.5秒の場合には、非線形時の応答が線形時の応答に比べて抑えられていることが分かる。これは、部材の非線形特性である履歴減衰の増加により応答が減少したためと考えられる。図-3は、入力地震波としてKOBE-NS、また1997年3月から5月にかけて発生した鹿児島県北西部地震において宮之城町で観測された南

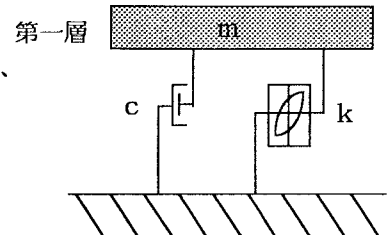


図-1：解析モデル

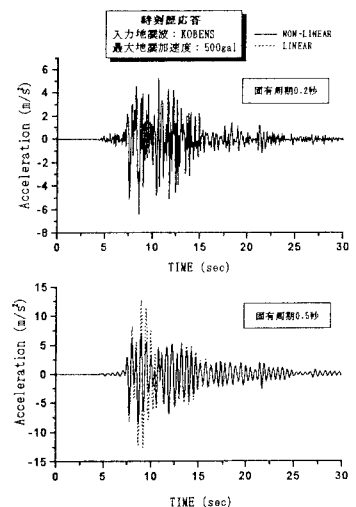


図-2：時刻歴応答

北方向波 MIYANOJOH-NS(3.26)と MIYANOJOH-NS(5.13)を用い、最大地震加速度を 500gal に統一し、地震波の振動特性にだけ着目して加速度応答スペクトルを描いたものである。この図より、KOBE-NS は、固有周期が 0.3~0.5 秒の辺りで卓越周期を有することが分かる。MIYANOJOH-NS(3.26)と MIYANOJOH-NS(5.13)においては、比較的固有周期が小さいところで卓越していることが分かる。このことから同規模な地震が発生した場合であっても、その地震波の振動特性によって構造物の応答に及ぼす影響が異なることが理解できる。図-4(a),(b),(c)は、図-3 と同様の設定で、非線形特性を考慮する度合いの相違により構造物の応答に及ぼす影響の違いを塑性率を用いて、非線形加速度応答スペクトルを示したもので、線形時の応答を塑性率 1 として、それぞれ塑性率が 2、3、5 の場合を比較している。KOBE-NS に関しては固有周期が約 0.25 秒以上について、MIYANOJOH-NS に関しては全体的に、非線形特性を考慮する度合いが高いほど、加速度応答は抑制されることが分かる。これは部材の挙動が弾塑性領域に入り部材がエネルギーを吸収するためだと考えられる。つまり、高い塑性率を有する構造物に関しては、構造物の崩壊が避けられるという条件の下においては構造物の弾性強度をある程度抑制しても、多少は余裕のある設計が行えることになる。図-4(b),(c)を比較すると、同じ地点で観測されたものではあるが、応答が全く異なることが分かる。これからも、地震波の振動特性によって構造物の応答に及ぼす影響が異なることが分かる。宮之城での地震は同程度の強度を有する地震であったが、非線形応答スペクトルから見ると前述したように全く異なっている。非線形特性を考慮した応答はエネルギー一定則で推定できるが、入力特性の影響を強く受けるため、これらの点について検討しておくことが重要と考えられる。

4. あとがき

部材の非線形特性を考慮して構造物の地震応答解析を行うことが、大きな地震力を受ける構造物の耐震性を理解する上で重要であることが分かる。さらに地震波の特性と、構造物の振動特性の関係や地盤の特性、また非線形特性をあらわすパラメーターの影響等について検討を加えることが必要であるとえられる。

<参考文献>

- 1) H.Iemura et al ; Ductility strength demand for near filed earthquake ground motion : Structural safety and Probability , pp1705~1708 , 1998

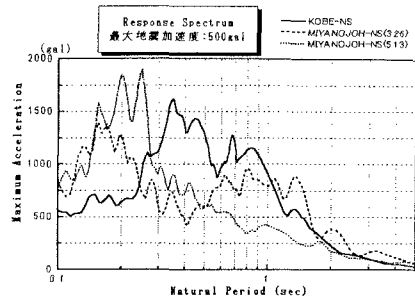


図-3: 応答スペクトル

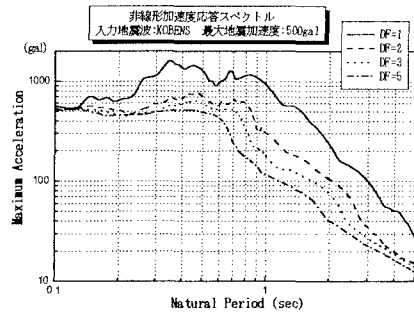


図-4(a): 非線形応答スペクトル

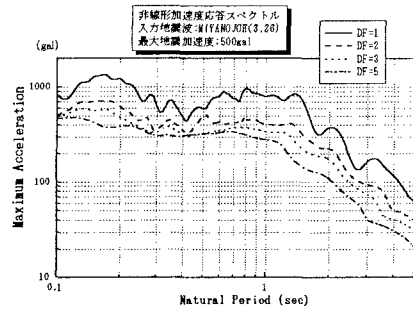


図-4(b): 非線形応答スペクトル

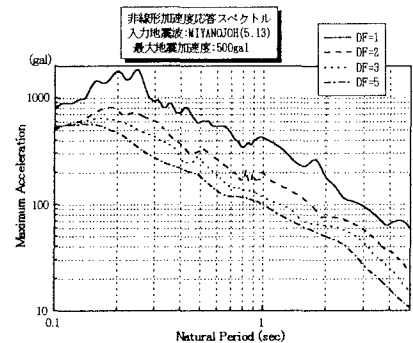


図-4(c): 非線形応答スペクトル