

必要強度スペクトルの適応性を考慮した多自由度系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. はじめに 構造部材の変形性能、すなわちエネルギー吸収能を高め、構造物全体の崩壊を阻止する性能設計の考えが重要となり、有効な手段と考えられている。近年こうした性能設計の必要性が認められるようになり、非線形特性を積極的に評価した必要強度スペクトルの研究が行われている¹⁾。しかしながら、これらの多くは構造物の地震時挙動が1次振動モードに支配されることを考慮し、1自由度振動系に対して行われているのが現状である。そこで本研究では、動的相互作用を考慮した多自由度振動系に対して非線形地震応答解析を行い、構造物の応答に及ぼす影響について検討を加え、さらに、多自由度振動系に必要強度スペクトルの適応性を考慮した場合について検討を加えるものである。

2. 解析モデル 及び 解析方法 図-1に本研究で用いた節点数8、要素数12から成る多自由度振動系のモデルを示す。ここでの部材は梁要素とし、部材の非線形特性はM- ϕ 関係で与えた。また、部材は鋼管を考えているので、M- ϕ 関係がバイリニア型になるように設定している。また、梁要素の断面径は1.0m、斜材に関しては0.5mとしている。上部構造物は杭基礎に支持されているとし、杭基礎に関する初期剛性を表-1に示す。ただし、本研究において基礎及び地盤の非線形特性は考慮していない。

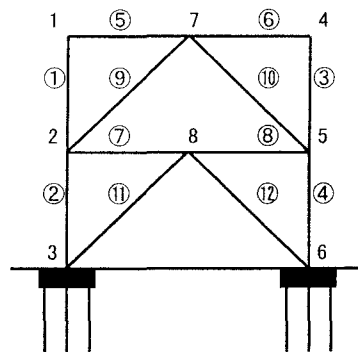


図-1 解析モデル

上部構造物系に関しては、切断面上の節点（拘束節点）とそれ以外の節点（自由節点）に分離する。さらに、自由節点変位 $\{x_o\}$ は、切断面が完全固定状態で外力 $\{F_o\}$ による応答 $\{x_o^c\}$ と、この拘束を解除して切断面上に準静的に変位 $\{x_b\}$ を与えたときの応答 $\{x_o^u\}$ の和として考えられる。

後者は、変位影響マトリックスを介して、 $\{x_b\}$ から決定される。以上を考慮して、全体系の運動方程式は上部構造物系と基礎-地盤系の下部構造物系に分類し、それぞれの運動方程式に動的サブストラクチャー法を適応して求めることができる。このようにして求められる全体系の運動方程式を、増分法を用いて解析を行った。

表-1 杭基礎に関する初期剛性

	並進/バネ定数(kN/m)	回転/バネ定数(kN・m/rad)
N値=3	1.721×10^6	3.853×10^7
N値=30	8.872×10^6	4.662×10^7

3. 解析結果 及び 考察 ここでは、地盤条件のN値を3とした場合、また、入力地震波として兵庫県南部地震で観測された南北方向波を用い、最大地震加速度を500galとして解析を行った結果を示す。上部構造物のみで固有値解析を行った結果、1次の固有周期は0.6秒である。まず、動的特性を把握するために節点1及び4に着目した加速度応答及び変位応答に関する時刻歴応答を図-2に示す。構造物の挙動が1次振動モードに依存する場合には、節点1及び節点4の応答はほぼ等しい値を示すはずである。図-2から分かるように加速度応答においては、ほぼ同様の値を示していることが分かるが変位応答を比較すると、その挙動は全く異なることが理解できる。節点1に関しては、多少非線形特性の影響が見られるものの、残留変位はそれほど見られない。しかし、節点4に関してみれば、かなりの残留変位が認められ非線形特性の影響が顕著に現れていることが理解できる。次に、これらの影響を履歴曲線(M- ϕ 関係)を用いて比較を行う。要素①、②、③につ

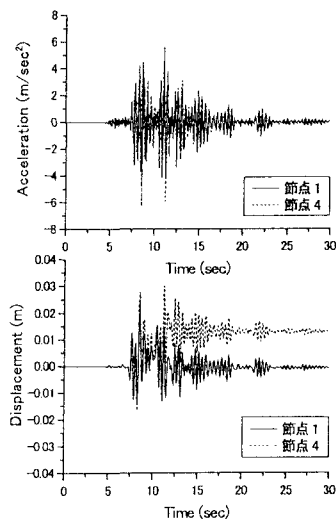


図-2 時刻歴応答

いての履歴曲線を図-3に示す。左右対称のモデルであるにもかかわらず、この図からも、要素①、③において全く異なる履歴曲線を示していることが分かる。また、最下層の要素②において非線形特性が認められない。これに関しては、一般的に剛性が一定、質量が一定であれば構造物の最下層の部材に、非線形特性が顕著に現れると思われるが、ここでの解析モデルにおいては斜材の剛性が異なり、また、質量が中間層と上層で同一でないことが要因として考えられる。以上より、入力地震動の振動特性や解析モデルにもよるとと思われるが、多自由度振動系において非線形特性を考慮し解析を行うと、部材の非線形特性が各々の部材に影響を及ぼし合い構造物の応答が複雑な挙動を示すと思われる。

次に、多自由度振動系に対する必要強度スペクトルの適応性に関して検討を行う。本研究において、降伏強度は変化させず目標となる非線形特性（ここでは曲率 / 降伏曲率=5）を満足するように、入力地震動の最大加速度を変化させて必要強度スペクトルの適応性を評価した。また、多自由度振動系に必要強度スペクトルを考慮する際には全部の部材で曲率 / 降伏曲率=5を満足することが望ましいが、部材断面等の諸条件が異なるため、ここでは任意の部材（要素①または③）で曲率 / 降伏曲率=5を満足することで必要強度スペクトルを適応したことにする。図-4に最大モーメントと降伏モーメントの比(図中： M_{max}/M_Y)、及び、最大曲率と降伏曲率の比(図中： ϕ_{max}/ϕ_Y)を示す。ここでの固有周期の算出法は、剛比が一定になるように断面形状を変化させている。この図より、 M_{max}/M_Y 及び ϕ_{max}/ϕ_Y は同様の推移を示していることが分かる。また、 ϕ_{max}/ϕ_Y 関係を見ると、全体的に要素③が $\phi_{max}/\phi_Y=5$ を満足しているが、固有周期によっては、要素①で成立している場合も見られ、部材の非線形特性が構造物全体系に及ぼす影響が異なることが理解できる。また、ここでは着目要素を2つのみで評価したために、他の部材の非線形特性に関しては明確にできていない。このため、他の部材で $\phi_{max}/\phi_Y > 5$ になっている可能性が多分にある。図-5に必要強度スペクトルを考慮した場合の入力地震動の最大加速度を線形時と比較して示す。 $\phi_{max}/\phi_Y=1$ については、構造物の挙動を弾性範囲内で抑制する事が目標とした場合の最大加速度を示したものである。よって、これ以上の最大加速度を有する地震動では構造物の動的挙動は非線形領域に入ることになる。これに対し $\phi_{max}/\phi_Y=5$ は、ある任意の部材が $\phi_{max}/\phi_Y=5$ を満足することで、ここに示すような最大加速度を有する入力地震動を許容できることとなる。

4. まとめ 今回の解析において、多自由度振動系に必要強度スペクトルの適応性を考慮した場合の検討を行った。多自由度振動系においては部材の非線形特性が互いの部材に影響を及ぼし合い複雑な挙動を示すと考えられる。出来る限り簡単な評価で適応性の検討を行ったが、今後さらに、構造物全体系に対しての評価法及び適応性に関して検討を加えることが必要であると考えられる。

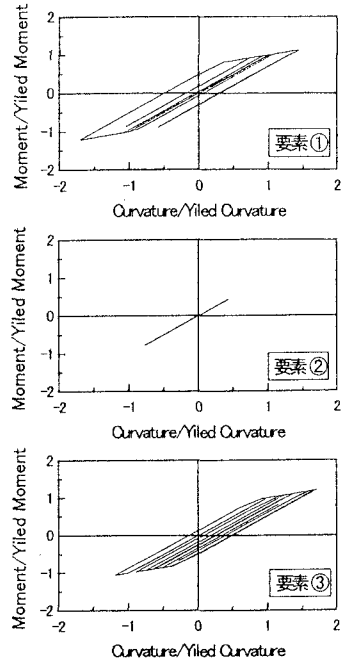


図-3 履歴曲線 (M-φ関係)

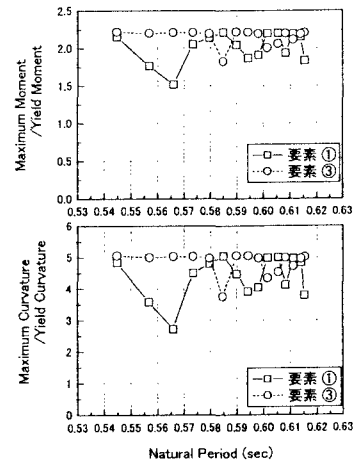


図-4 M_{max}/M_Y 及び ϕ_{max}/ϕ_Y

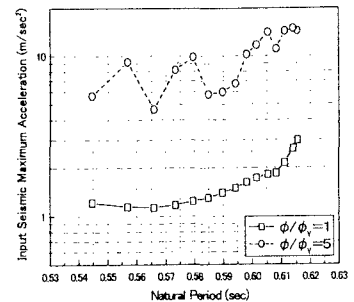


図-5 入力地震動の最大加速度

<参考文献> ① H.Iemura et al: 「Ductility strength demand for near field earthquake ground motion」、Structural safety and Probability, pp.1705~1708, 1998