

## 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<sup>1)</sup>。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 - 関係で与えた。また、部材は鋼管を考えているので、M - 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、部材長の相違によりモデルの分類を行い、その諸元を表-1に示す。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-2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。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 $\{x_a\}$ は、切断面が完全固定状態で外力 $\{F_a\}$ による応答 $\{x_a^c\}$ 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 $\{x_a^u\}$ 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用して求めることができる。以上より求められる全体系の運動方程式を、Newmarkの法及び増分法を用いて解析を行った。

**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。まず、それぞれのモデルに対する動的特性を把握するために節点1及び節点4に着目した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。図から分かるように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。Model 1に関してみれば、節点1において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

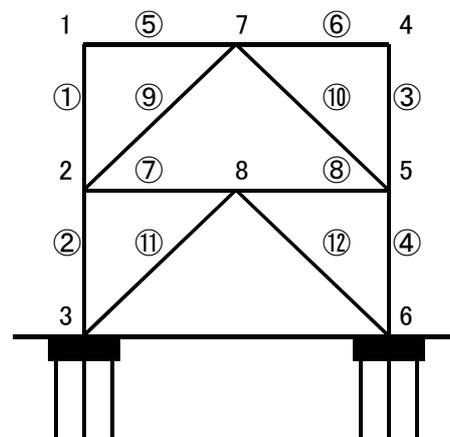


図-1 解析モデル

表-1 解析モデルの諸元

	部材の外径 (m)	斜材の外径 (m)	部材長 (m)	一次の固有周期 (sec)
Model 1	1.0	0.5	10.0	0.62
Model 2	1.0	0.5	15.0	0.93

表-2 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	$1.721 \times 10^6$	$3.853 \times 10^7$
N値=30	$8.872 \times 10^6$	$4.662 \times 10^7$

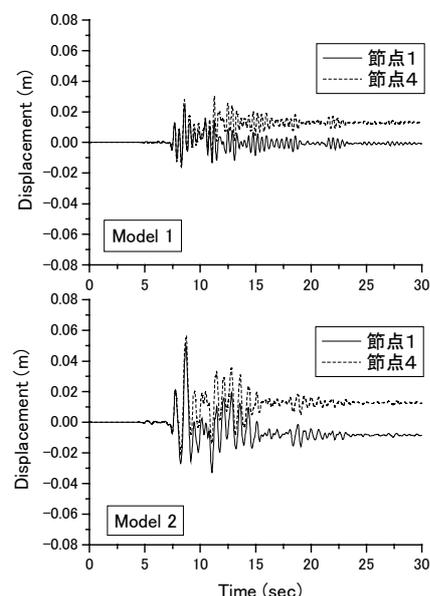


図-2 時刻歴応答(変位)

キーワード：性能設計、非線形地震応答解析、必要強度スペクトル  
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

れていることが理解できる。一方、Model 2 に関しては両節点に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分かる。このことから、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  $\max/\gamma = 5$ ）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、多自由度振動系においては全ての部材で目標となる非線形特性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）で目標となる非線形特性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-3 に両モデルに対する最大曲率と降伏曲率の比を示す。両モデルにおいて、全体的に要素①が目標となる非線形特性を満足しているが、固有周期によっては、要素③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  $\max/\gamma > 5$  になっている可能性があるため注意が必要である。図-4 に入力地震動の最大加速度を線形時と比較して示す。 $\max/\gamma = 1$  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。これに対し  $\max/\gamma = 5$  は、ある任意の部材が  $\max/\gamma = 5$  を満足することで、図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。両モデルとも、目標となる非線形特性を満足させる事で、かなり大きな入力強度を許容できることが可能であることが分かる。図-5 に、入力強度の低減率を示す。ここでは、1自由度振動系における低減率も示してある。Model1 においては約 80~85%、Model2 においては約 85~90%と、かなり高い低減率を示していることが分かる。Model1 に関しては、固有周期によって相違は見られるものの、全体的に1自由度振動系の低減率よりも大きな低減率を示していることが分かり、最大で約 20%の低減率の差が見られる。しかし、Model2 に関しては同様の低減率を示しており、若干、1自由度振動系の低減率が大きな値を示していることが分かる。よって、1自由度振動系を用いて必要強度スペクトルの評価を行う際には、構造物を設計する際に安全側だけでなく、危険側を採用する可能性があるため注意が必要になるとと思われる。

**4. まとめ** 今回の解析において、多自由度振動系に必要な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。

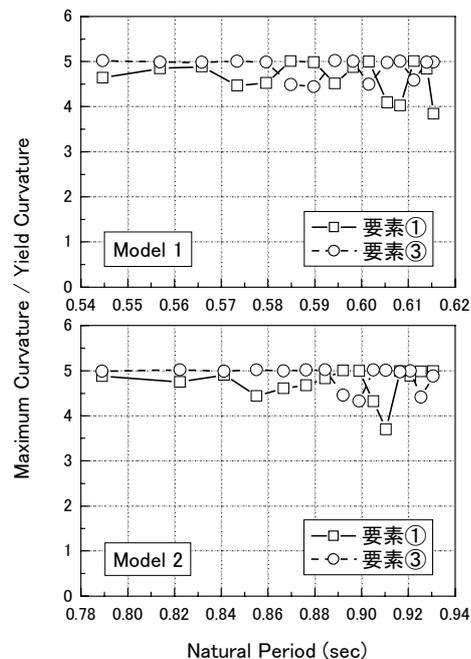


図-3 最大曲率と降伏曲率の比

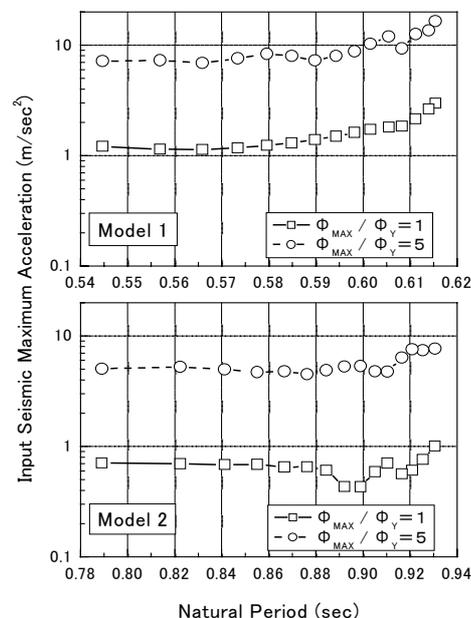


図-4 入力地震動の最大加速度

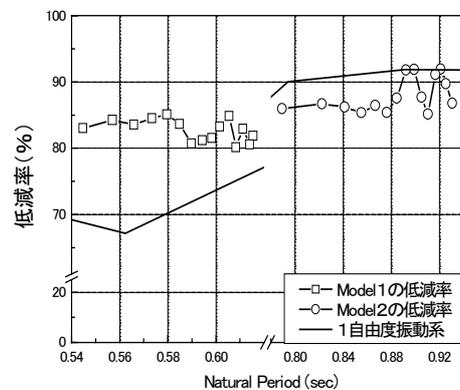


図-5 低減率

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