

I - B144 長大PC斜張橋のファイバーモデルによる3次元複合非線形動的解析

鹿島建設	正会員	坂梨 利男
阪神高速道路公団	正会員	古池 正宏
鹿島建設	正会員	横山 雅臣
鹿島建設		宇津木一弘

1. はじめに

阪神・淡路大震災以後、非線形動的解析による耐震安全性照査の需要が増大している。そこで、本報では著者らが開発した複合非線形（幾何学的非線形・材料非線形）フレーム解析システム[1]を用いて、現在施工中の新猪名川大橋（兵庫県川西市、PC斜張橋、橋長400m、主塔高90m）のレベル2地震動に対する耐震検討を行ったのでその概要を報告する。

2. 解析概要

本解析システムは静的・動的・線形化座屈解析などの各モジュールから構成され、更新ラグランジ法（UL法）により幾何学的非線形性を評価できるなど適用範囲が広いことが特徴である。UL定式化により非線形項を線形化すると、非線形動的解析の増分形方程式は式(1)となる。

$$\mathbf{M}^{t+\Delta t} \mathbf{A} + \mathbf{C}^{t+\Delta t} \mathbf{V} + (\mathbf{K} + \mathbf{K}_G) \Delta \mathbf{u} = \mathbf{R}^{t+\Delta t} - \mathbf{F} \quad \dots (1)$$

ここで、 $\mathbf{M}$ は質量マトリクス、 $\mathbf{C}$ は減衰マトリクス、 ${}^{t+\Delta t}\mathbf{A}$ 、 ${}^{t+\Delta t}\mathbf{V}$ は、それぞれ現在のステップでの加速度、速度ベクトルであり、 ${}^t\mathbf{K}$ 、 ${}^t\mathbf{K}_G$ はそれぞれ前ステップの剛性マトリクス、幾何剛性マトリクス、 $\Delta \mathbf{u}$ は増分変位ベクトル、 ${}^{t+\Delta t}\mathbf{R}$ は現在の作用外力、 ${}^t\mathbf{F}$ は前ステップの内力であり、右辺は増分外力を示す。質量マトリクス及び減衰マトリクスには集中質量マトリクス及びRayleigh減衰マトリクスを用いている。

ファイバーモデル[1]は、梁理論に基づく材料非線形解析手法であり、部材断面の平面保持を仮定し、断面内の各応力評価点（ファイバー）で応力度を算定し、応力-ひずみ関係から劣化剛性を評価し、各ファイバーの剛性を積分することで、新たな部材剛性を求め計算を進める手法である。フレーム構造物の場合の一般的な材料非線形解析手法であるM-φモデルは、非線形特性の軸力依存性を評価するのが困難であるが、ファイバーモデルは一般の有限要素法と同一の解析手順となっており、梁理論の制約を受けるが、非線形特性の軸力依存性や曲げ-軸力の連成などを自然に評価することができる。

3. 解析条件

解析モデルを図-1に示す。要素数201、節点数207であり、地盤は旧道路橋仕方書による地盤バネでモデル化した。部材のモデル化は、それぞれの構造材の特性に応じて、橋脚と主塔分岐部はファイバーモデルで、主桁と主塔斜材定着部はM-φモデルでモデル化し、減衰はRayleigh減衰2%とした。橋梁の一次固有周期

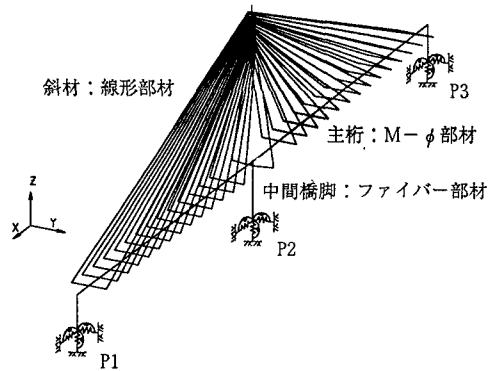


図-1 解析モデル

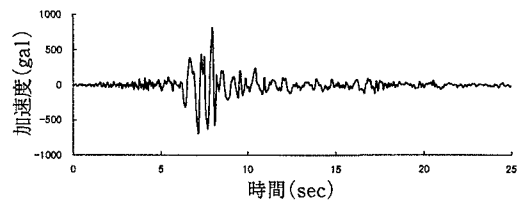


図-2 入力地震波（猪名川波：NS成分）

キーワード 複合非線形、耐震検討、動的解析、PC斜張橋

〒107 東京都港区元赤坂1-2-7 TEL 03(3746)7101 FAX 03(3746)7130

は3.53(sec)、二次固有周期は1.66(sec)であった。

入力地震波は、阪神・淡路大震災時に猪名川で観測された地震波を神戸海洋気象台で観測された地震波のレベルに増幅した地震波のNS、EW、UD波を採用し、3成分同時入力した。図-2に入力地震波のNS成分を示す。材料定数は、鉄筋降伏強度 $\sigma_{sy}=3500\text{kgf/cm}^2$ 、コンクリート設計規準強度 σ_{ck} は、橋脚で 350kgf/cm^2 、主塔上部で 400kgf/cm^2 、主塔下部で 500kgf/cm^2 を採用し、応力-ひずみ関係のスケルトンはKent&Parkモデルに拠った。履歴ルール[2]はコンクリートに修正六車一渡辺モデルを、鉄筋にGMPモデルを用いた。

4. 解析結果及び考察

(1)耐震設計検討結果について

図-3に、一例としてP2橋脚基部でのM- ϕ 関係を示す。P2橋脚はファイバーモデルでモデル化し、その非線形特性は応力-ひずみ関係で規定されているが、図-3は解析結果として得られたM- ϕ 関係である。限界局率 $\phi_u=0.00044$ を超えていない。今回レベル2規模の入力地震波を3方向同時加震したが、耐震検討では全ての部材で限界局率を満足した。

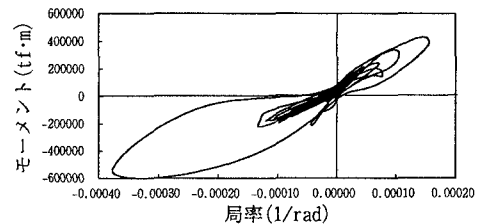


図-3 橋脚基部M- ϕ 関係

(2)変動軸力について

図-4にP2橋脚基部での軸力応答を示した。今回上下加震も同時に行い、P2橋脚に61000ton程度の変動軸力が発生した。部材非線形特性の軸力依存性は大きいとされるが、特に橋脚は耐震設計では重要な部位であり、大地震時の耐震検討では軸力変動を正確に評価する必要がある。

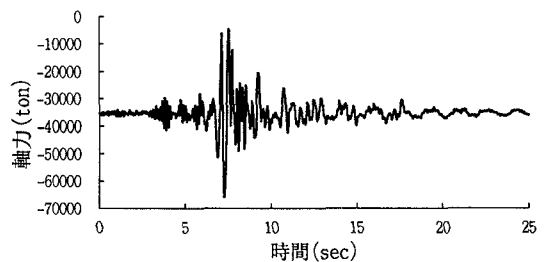


図-4 橋脚基部軸力応答

(3)幾何学的非線形性の影響について

ここでは幾何学的非線形性を考慮した解析を行ったが、図-5に幾何学的非線形性を考慮した場合(複合非線形)としない場合(材料非線形)の塔頂部の橋軸方向の変位応答を示す。塔頂部の最大変位の差は4.5cm程度であった。部材耐力の検討を中心にした耐震検討では、幾何学的非線形性の影響はそれほど大きくないことが示された。

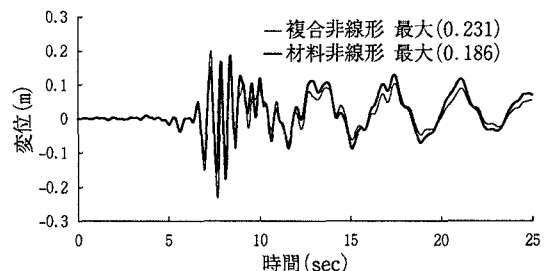


図-5 塔頂部変位応答

5. おわりに

本報では3次元複合非線形動的解析プログラムを用いて、新猪名川大橋P C斜張橋の耐震検討を行いその概要を報告した。今回、相当厳しい検討条件で新猪名川橋梁の耐震検討を行い、その耐震安全性が示されたが、今後の重要構造物でのレベル2地震に対する耐震検討では、入力地震動の設定、解析条件の設定、解析手法の採用等々で、様々な議論が必要であろう。

参考文献

- [1] 沖見芳秀、右近八郎 ; "複合非線形フレーム解析システムの開発", 土木学会誌 技術最前線, Vol. 80, pp.14-17, 1995.1
- [2] Ristic, D., Yamada, Y. and Iemura, H.; "Stress-Strain Based Modeling of Hysteretic Structures under Earthquake Induced Bending and Varying Axial Loads", Research Report No. 86-ST-01, School of Engineering, Kyoto University, March 1986