

横浜国立大学大学院 学生会員 佐々木 栄一  
 横浜国立大学工学部 正会員 宮田 利雄  
 横浜国立大学工学部 正会員 山田 均

**1. まえがき** 1995年1月の阪神大震災の発生により、多大な被害に見舞われたことを受けて構造物の耐震設計法の一層の再検討を余儀なくされ、これまで中小規模の橋梁を中心とした再考がなされてきた。一方で、斜張橋という橋梁形式は、長大化するにつれて、ケーブル振動の影響が大きくなり、非常に複雑な振動系を構成することになるため、その地震時の挙動特性を詳細に把握し、その耐震性に関する再考を進めることが必要となってきた。

そこで、本研究では、複雑な構造系である長大斜張橋を対象に、巨大地震に対する耐震設計を実施する際に、想定した耐力・機能の妥当性と適切に評価する手法を改めて再検討し、従来の手法のもつあいまいさを明らかにし、耐震性能のより定量的な評価対象レベルの設定、さらに今後の耐震設計において考慮に入れるべき項目を検証することを最終的な目標として、斜張橋の耐震挙動性状を把握するための解析的検討を行うこととした。検討の対象とする斜張橋は中央支間890mの長大斜張橋である。

**2. 斜張橋の地震下の挙動特性** 現行の斜張橋の耐震設計では、主に応答スペクトル法を用いて期待値をもって応答の評価がなされていて、さらに、位相差の影響を考慮するために時系列応答解析を行うようになっている。しかし、本研究では、複雑な長大斜張橋の振動特性を詳細に検討するために、応答を時系列で調べることにした。手法としては、直接積分法、モード重ね合わせ法、Galerkin法を応用した斜張橋振動解析法による時系列の地震解析を用いることとし、それぞれの解析パッケージを作成した。これらについては、自由度の非常に大きい斜張橋の解析モデルについて、効率的に計算できるように、解析過程をコンパクトにまとめた。これらを検討の対象事項に応じて適宜駆使して、解析上の境界条件の影響について検討を行い、長大斜張橋の巨大地震下の挙動特性の評価について考察する。解析対象とする地震動として神戸気象台で観測された加速度波形を一貫して用いたため、境界条件に含まれる入力地震波形と入力方向については固定して検討した。検討する境界条件としては、入力位相差、ケーブル振動、地盤パネの考慮、鉛直方向への入力、モード数、減衰効果、ケーブルの減衰率を設定したが、ここでは、その中で非常に特徴的だった、ケーブル振動(図1)、モード数(図2)の影響の解析結果を示す。ケーブルの振動を考慮しない解析モデル(A)と、考慮したモデル(B)の概念図を図3に示す。ケーブル振動を考慮する場合には、ケーブルに節点を設け、ケーブルを複数のトラス要素でモデル化した。

検討の結果、特にケーブルの振動による影響が大きい可能性があることが確認された。また、モード数の影響は、地震発生直後に大きく現れ、時間の経過とともに小さくなっていくことがわかった。このことは、地震直後は様々な周期の成分が影響すること、また、モード分解されない衝撃的な振動の影響の可能性をうかがわせるものである。さらに、時刻毎に振動状況を検討していくと、地震発生直後は桁が大きく揺れ、次第にケーブルに振動が伝わり、最終的にはケーブルだけで大きく揺れている状態となることがわかった。このことはGalerkin法を応用した方法を用いて、ケーブルの減衰率の影響が揺れ始めた直後はほとんど見ら

キーワード 長大斜張橋、耐震挙動性状、解析手順、ケーブル振動、耐震設計

〒240 横浜市保土ヶ谷区常盤台79-5 TEL 045-339-4042 FAX 045-331-1707

このことはGalerkin法を応用した方法を用いて、ケーブルの減衰率の影響が揺れ始めた直後はほとんど見られず、時間が進むにつれて影響が現れてくることから確認することができた。減衰の評価方法については、その斜張橋の耐震挙動への影響が非常に大きいことから、今後さらに検討していきたいと考える。

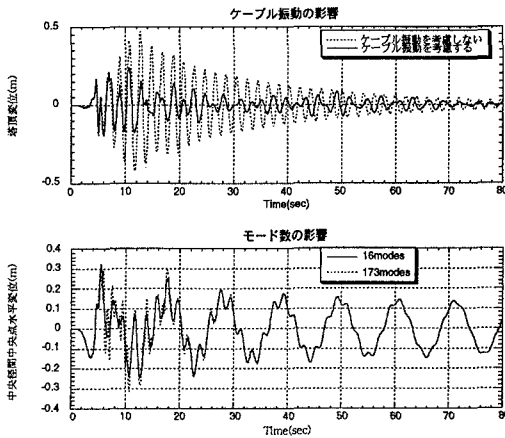


図1 ケーブル振動の影響（上段）  
図2 考慮するモード数の影響（下段）

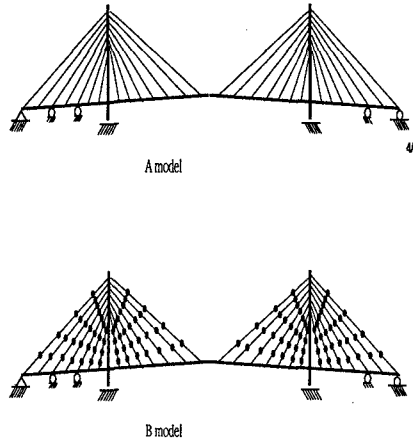


図3 ケーブルのモデル化

**3.巨大地震下の長大斜張橋構成要素の塑性化の可能性に関する検討** 兵庫県南部地震規模の巨大地震下では、長周期の振動特性を持つ長大斜張橋であっても、地震の最初の衝撃で、その構成要素が塑性域に達し、さらには損傷にまで至る恐れがあると考えられる。そこで、暫定的な設計の段階で、巨大地震下で塑性域に達する恐れのある部分を把握し、設計の再検討を行う手順が設計の流れの中に取り込まれることが望まれる。そこで本研究では、斜張橋の振動特性を踏まえたうえで、塑性域に達する恐れのある部分の検討を試みた。解析手法としては材料非線形性を考慮した直接積分法による時系列解析を用いた。ケーブルの振動を考慮したモデルで解析した結果、主塔の変曲部と側径間のコンクリート桁に、大きな応力が発生する可能性が高く、巨大地震下で最も早く塑性域に達する恐れがあることがわかった。長大斜張橋の耐震設計における対処レベルの定量的な評価を実現するためには、地震動の設定レベルに応じて、このようにどの部分がいつ塑性域に達するかをこのように検証していき、さらに検討を詳細に進めることが必要となると考えられる。

**4.まとめ** 長大斜張橋の耐震挙動性状の評価において考慮すべき様々な要素について検討した。その結果、巨大地震下の斜張橋の挙動を詳細に検討するためには、解析条件として、ケーブルの振動あるいは減衰率を取り込むことが必要である。このことは巨大地震下の応答が塑性域に達するかどうかについての議論において非常に重要になってくることを留意すべきである。さらに、長大斜張橋の耐震設計において設定される地震動対処レベルは定性的に定義されたものであり、そのより定量的な評価を行うために、本研究で示したような時系列解析による塑性化を考慮した解析手順を用いて、更なる検討を進める必要がある。今後、解析モデルの形成に当たっての地盤バネや支承のモデル化、また、破壊や衝撃の現象についても、再検討する必要がある。本研究を通して、長大斜張橋の耐震設計の手順に関しては、さらに詳細に検討する余地があることが確認されたと考えられる。