

橋梁の動的な性能照査のための立体解析モデルの確立に関する研究

著者	深田 宰史
著者別名	Fukada, Saiji
雑誌名	博士学位論文要旨 論文内容の要旨および論文審査結果の要旨 / 金沢大学大学院自然科学研究科
巻	平成11年6月
ページ	217-221
発行年	1999-06-01
URL	http://hdl.handle.net/2297/16213

氏名	深田 宰史
生年月日	
本籍	静岡県
学位の種類	博士(工学)
学位記番号	博甲第304号
学位授与の日付	平成11年3月25日
学位授与の要件	課程博士(学位規則第4条第1項)
学位授与の題目	橋梁の動的な性能照査のための立体解析モデルの確立に関する研究
論文審査委員	(主査) 梶川 康男 (副査) 佐藤 秀紀, 前川 幸次, 近田 康夫, 岡島 厚

学位論文要旨

Abstract

The bridge have dynamic performance, which is serviceability, seismic performance and fatigue reliability and so on. To evaluate the bridge with dynamic performance, analytical model should be made based on the experimental data, which is natural frequency, vibration mode, damping ratio, amplitude and so on. In recent years a complicated structure bridge has been constructed. These bridges must be simulated using three dimensional analytical model and dynamic response analysis.

Therefore this study examined vibration tests in order to grasp the dynamic characteristics of the various type of bridge, the highway bridges with isolators, cable-stayed bridge and stress ribbon bridge with a roadway slab deck. Moreover this study establish three dimensional analytical model to evaluate the dynamic performance. Analytical model was made by finite element method, and simulation of eigen value and dynamic response analysis due to traffic load, which is running car and walking, was carried out.

As a result, it is clear that proposed analytical models of various type is valid to compare analytical results with measurement ones. Using these proposed analytical models, static behavior, natural frequency and vibration mode were estimated depending on the boundary condition. In estimating dynamic behavior, it is necessary to identify the road surface roughness and parameter of analytical car model with genuine.

1. はじめに

橋梁が有する動的な性能の中には、使用性、耐風性、耐震性、疲労安全性などがある。それらの性能を照査および評価するためには、実験から得られる変位、速度、加速度などの応答振幅量、卓越振動数、振動モードおよび減衰定数などの特性値を表現できる解析モデルが必要となる。さらに、近年では複雑な構造を有する橋梁が多く架設され、立体解析モデル、動的な立体解析が必要とされている。

そこで本研究では、歩行者による歩行外力や車両走行による外力が作用したときの吊形式橋梁、免震支承を有した高架橋および公園のシンボリックなデザイン設計を優先させた橋梁など、立体解析を必要とする複雑な構造を有した鋼橋やPC橋に対して振動実験を行い、各橋梁の振動特性を把握した。また、解析においては、どのような形式にも対応できる立体解析モデル、動的解析の確立を目指した。解析モデルの確立とともに、動的な解析方法を確立することは、次のステップとなる、性能照査、すなわち、環境振動対策のための解析、歩行者に不快感を与えるような現象が生じた場合にその使用性を改善するための振動制御解析などの使用性照査、疲労損傷解析による疲労安全性照査などに用いることができる。

2. 橋梁の動的な性能照査を行うための数値解析

本研究では、各橋梁の動的な性能を照査するための解析モデルを構築するため、様々な形式の橋梁

に対して振動実験を行い、実橋と解析モデルの静的および動的な挙動の比較を行うことにした。

そこで、ここでは、動的な性能照査を行うための有限要素法を用いた直接積分法による本解析の一連の流れ（図-1 参照）について説明する。

まず、実橋の剛性を確認するため、静的な変位を実験では計測する必要がある。その際に、重要な変位の測定ポイントとしては、主桁のたわみ、支承等の境界条件に関係する場所の変位量である。この支承の境界条件は、微小振幅の橋梁振動を扱う場合には、かなり重要な要因といえる。また、近年では、支承に弾性支承を用いている場合がある。それらをばね要素にモデル化する場合に支承部の変位量を計測してあると、パラメトリックな静的解析により、このばね定数の設定に非常に役立つ。この段階で剛性の妥当性が確認できた場合、剛性マトリックスは確定したことになる。しかしながら、実験現場の状況に応じて静的載荷実験ができない場合には、固有値解析から始める。

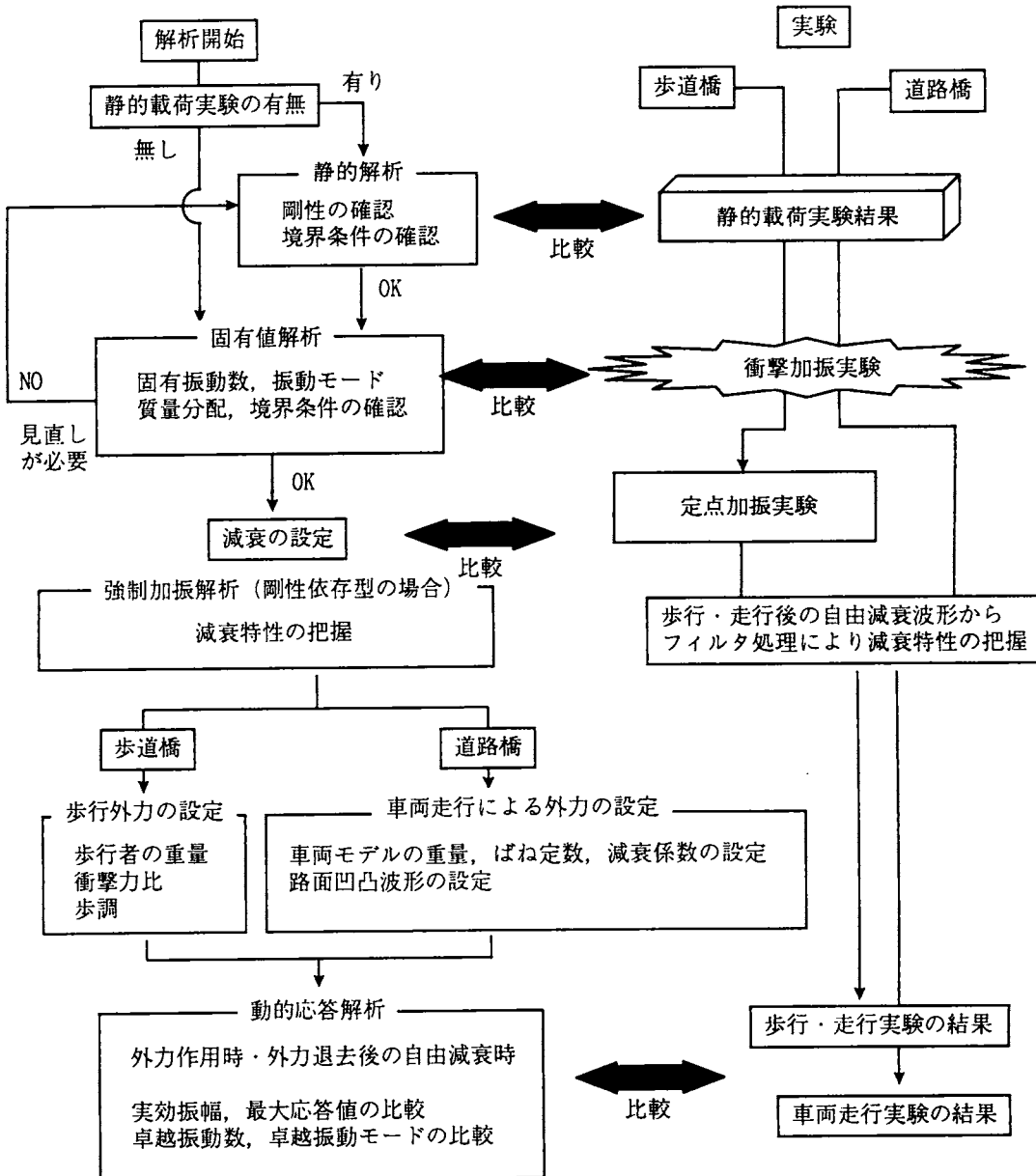


図-1 本解析のながれ

複雑な橋梁形式や面外方向の振動挙動にも着目している場合、実験での数少ない測点から得られるデータのみで振動モードを確定することは困難である。したがって、予め振動モードを推定するために、立体の橋梁モデルを作成して固有値解析をする。この固有値解析では、固有振動数や振動モードを対象として、実験で得られた卓越振動数および振動モードと比較することで、質量分配や境界条件の確認をすることができる。この段階で、固有振動数や振動モードが、実験値と似た傾向が得られた場合、質量マトリックス、境界条件が確定されることになる。実験可能な範囲での静的載荷実験であるため、静的解析で実験値と類似した結果となっても、境界条件の僅かな差で固有値が異なる場合がある。その場合には、剛性が見直しが必要である。また、固有値解析から始めた場合には、剛性と質量の比率で固有振動数が実験値に近くなっていることもあるため、注意を要する。

次に、動的応答解析を行うため、減衰マトリックスを作成する。モード重ね合わせ法の場合、モード減衰定数を直接入力できるため、ここで述べる強制加振解析は行う必要がない。本解析では、直接積分法を用いた解析であるため、特に、剛性依存型の減衰マトリックスを仮定した場合には、高次モードについても、モード減衰定数を把握しておく必要があるため強制加振解析を行った。この解析は、実験による定点加振実験と同様に、任意の点で強制加振をし、加振後の自由減衰波形からモード減衰定数を算定するものである。これにより、実験で得られた減衰特性が似た傾向にあれば、この段階で減衰マトリックスも確定する。この際に、比較する実験データとしては、歩道橋であれば定点加振により得られた各モード減衰を用いる。また、その他にも、歩行者や車両が橋上から退去した後の自由減衰波形からフィルタ処理等により減衰特性を把握して比較データとする。

最後に、動的応答解析を行うが、この段階までで剛性、質量、減衰の各マトリックスが確定したことになる。そのため、あとは外力の設定だけとなる。歩行外力の場合には、歩行および走行する人数分の質量、それらの衝撃力比および歩調の設定を行う。また、車両走行の場合には、実験時に用いた車両諸元（車両重量、ばね定数、減衰係数）や実験時の路面凹凸を設定することが必要となる。路面凹凸においては、実際の橋梁上の路面凹凸を計測することが困難な場合があるため、実測の路面凹凸がない場合には、乱数の発生を用いたシミュレーションにより路面凹凸波形を求める。

動的応答解析により得られた結果と実験値との比較においては、次のような項目が考えられる。車両走行や歩行による外力が作用している場合には、卓越振動数、振動モードの比較、変位、速度、加速度の各波形形状や最大振幅量の比較、実効振幅の比較等が考えられる。また、車両や歩行者が橋梁上から退去した後の自由減衰時では、卓越振動数、振動モードの比較、減衰定数の比較等が考えられる。特に、本解析では、橋梁のモデル化について着目したため、本文での実験と解析波形の比較では、橋梁が固有振動する自由減衰時まで解析した。

3. 各章の要旨

本論文は、図-2 に示すような構成となっており、大きく分けて歩行外力を受ける歩道橋と車両走行による外力を受ける道路橋に分けられる。さらに、その中でも鋼橋とPC橋に分けられ、それぞれの橋梁の振動特性について実験値と解析値の比較をしている。以下、各章の要旨を述べる。

第2章では、橋梁の動的な性能照査を行うための有限要素法を用いた数値解析について、解析上の定義からはじまり、運動方程式を解く上で必要な剛性、質量、減衰の各マトリックスと外力ベクトルの作成方法について述べた。特に、外力項に関する部分では、歩行によるものと車両走行によるものに分けて、それぞれの設定方法について述べた。さらに、運動方程式を解くために本解析で用いた数値積分法について言及した。

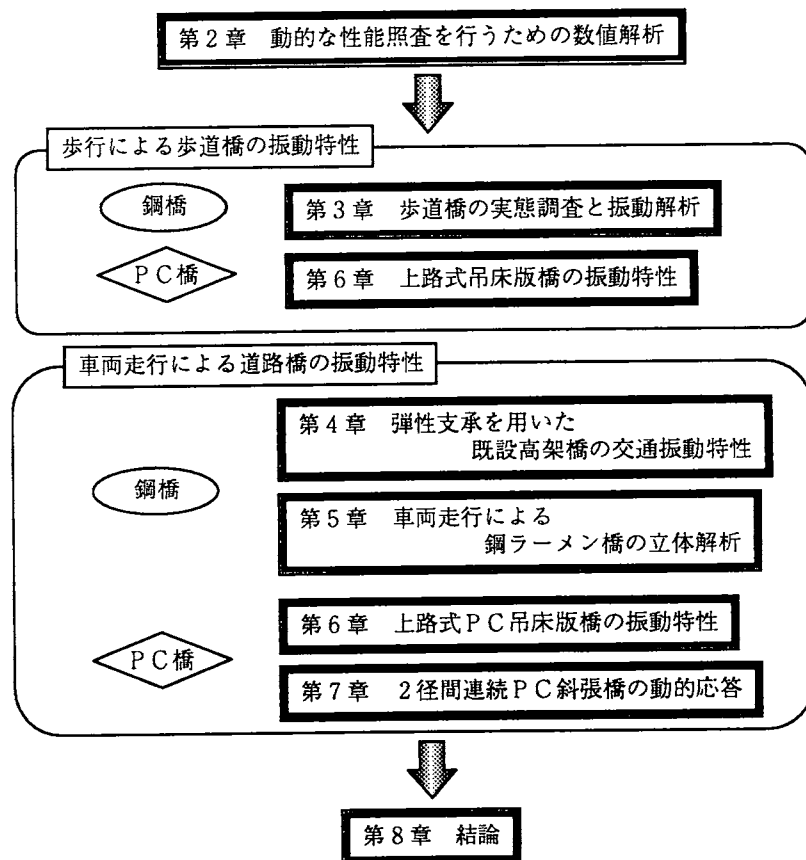


図-2 本論文の構成

第3章では、構造の複雑な歩道橋に対しても実験と解析の両面から予測の精度を高めることができるように、実験として、様々な形式の歩道橋を対象として実態調査を行い、それらの結果を、統計的にまとめ、振動使用性について述べた。また、解析では、雪吊橋を対象として、歩行者が歩行および走行したときの振動特性について、実験と解析で比較することで、歩行シミュレーションによる予測が可能であることを示した。

第4章では、阪神大震災を教訓として、地震力を低減させるために免震機能を有する弾性支承に交換した、T型、門型橋脚を有する単純桁高架橋、および落橋防止、騒音や交通振動を低減させるために桁連結化した連結桁高架橋を対象として、車両走行による振動実験を行い、それらの振動特性について把握した。これらの実験は、震災の復旧期間中に行ったため、橋梁上や路下に一般車両の影響が全くないデータであった。したがって、これらのデータを基にして静的特性や振動特性について、実験と解析の両面から考察し、解析モデルの構築を行った。

第5章では、弾性支承やヒンジ支承など、支承の配置場所により、立体解析を必要とする複雑な振動挙動を示すことがある。そこで、門型橋脚基部に弾性支承を配置した連続立体ラーメン免震橋と橋脚基部にヒンジ支承を配置した中央方杖支持式ラーメン橋の2橋の鋼ラーメン橋を対象として、車両走行時の振動特性について、実験と解析により考察した。実験では測点に限りがあるため、すべての挙動を把握できない。そこで、解析において、立体解析モデルと立体車両モデルを用いて、解析上で実験の再現をし、現橋を表現できる解析モデルの構築をした。

第6章では、近年、建設が盛んになってきたPC吊床版橋のうち、特に、吊床版上に鉛直材を立て、その鉛直材上に上床版を架設した上路式PC吊床版橋を対象とした。上路式PC吊床版橋は、現在日本において、道路橋として2橋（湯の花橋、速日峰橋）、歩道橋として4径間連続となったものが1橋（潮騒橋）架設されている。これらのうち速日峰橋と潮騒橋の2橋に対して、車両走行や歩行による振動実験を行い、それぞれの外力が作用したときの振動特性を把握した。また、解析では、解析モデルを作成し、そのモデルを用いて実験を再現すると共に動的な特性について実験値と比較検討した。

第7章では、一般の桁橋に比べてフレキシブルであり、かつ、多くの部材から構成され振動性状が

複雑となる斜張橋，その中でも特に，主桁自重がPC桁橋の場合に比べて，60～80%となり，車両走行による動的な影響を大きく受ける中径間規模のPC斜張橋を対象とした．このPC斜張橋では，鋼斜張橋に比べて，設計における衝撃係数の基礎データとなる車両走行による振動特性について系統的な実験や解析が少ないのが現状である．そこで，2径間連続PC斜張橋である甕大明神橋を対象として，車両走行による振動実験を実施して，車両走行時の振動性状について把握した．さらに，シミュレーション解析と比較し，解析方法の妥当性，各種走行状態に対する実効振幅や動的増幅率の特性について検討した．

4. まとめ

本研究では，複雑な構造を有する橋梁に対して，車両走行および歩行による振動実験を行い，それぞれの橋梁の振動特性について把握した．また，解析では，実験で対象とした様々な形式の橋梁に対して，それらの振動挙動を表現できる立体解析モデルを構築し，本解析方法の妥当性を確認したと同時に予測精度の向上に努めた．静的および固有振動特性については，支承の境界条件等，橋梁の振動特性に影響を及ぼすと考えられる要因をパラメトリックに解析することで，ある程度の予測が可能となった．また，動的な応答挙動は，固有振動特性が実測と似た傾向となっても，運動方程式の外力項に直接関係する車両諸元，路面凹凸の違いにより異なる傾向を示す．したがって，車両諸元，路面凹凸などをパラメータとして実際のものと同定する必要がある．

学位論文審査結果の要旨

当該学位論文に関し，平成11年1月26日，第1回学位論文審査委員会を開催し，提出された学位論文および関連資料について検討した．さらに，2月4日に行われた口頭発表の後に開催した第2回審査委員会で以下のように判定した．

橋梁の振動使用性や耐風・耐震・疲労などの安全性，耐久性の確認を目的として，動的な性能を照査および評価するための解析が必要となる．そのためには，複雑な構造にも対応できる立体構造モデルと精度の高い数値計算法が必要とされる．本論文は，さまざまな橋梁に対して実施した実験と解析の結果を比較検討し，以下のような成果を得ている．

1) 構造が複雑な形式の歩道橋を対象に振動実態調査を行い，それらを統計的にまとめ使用性について照査した．また，歩行外力による動的解析方法についても考察した．

2) 弾性支承や桁の連結などによって免震構造となった鋼製高架橋に対して，試験車の載荷試験時の静的特性や振動特性によって，動的解析に適した立体モデルの構築をした．

3) PC吊床版橋やPC斜張橋に対して車両走行による振動試験を実施し，解析モデルの検討を行い，複雑な挙動が再現できる解析シミュレーションの方法を確立した．

以上のように，本論文は橋梁の動的な性能を確認する際に用いられる精度の高い数値解析法と立体解析モデルについて重要な知見を得ており，博士(工学)論文に値するものと判定した．