

Dynamic Response of Simply Supported Twin I-girder Bridges Subjected to Moving Vehicles

(走行車両による合成 2 主桁橋の動的応答に関する研究)

学位論文内容の要旨

Dynamic behaviors due to vehicles moving across rough surface deck have been long recognized one of the primary concerns in designing and rating of bridges. In spite of its important role, the bridge-vehicle interaction dynamic analysis is hardly taken into consideration in bridge designs because of its considerable complexity. This complex dynamic phenomenon depends on many parameters including type of bridges, dynamic properties of bridge, vehicle characteristics, vehicle speed and moving path, number of vehicles, road surface roughness etc. that prevent the interaction analysis from carrying out. In design practice, to account for the dynamic effect, the static response is increased by a single known as impact factor which has been related to a single parameter of the bridge such as span length or first flexural natural frequency. Therefore, these approaches are certainly an oversimplification and, in many cases, misrepresentation of the sophisticated phenomena involved in the bridge-vehicle interactions, especially, those of horizontally curved bridges which have become an important component in modern highway systems as a viable option at complicated interchanges or river crossings where geometric restrictions and constraints of limited site space make extremely complicated to adopt standard straight superstructures.

The primary objective of the present study is to obtain a better understanding of the dynamic behaviors of horizontally curved twin I-girder bridges subjected to moving vehicles. The successfully accomplishment of this objective is achieved in three successive stages as follows:

Since an overall understanding of normal modes analysis as well as knowledge of the natural frequencies and mode shapes is important for all types of dynamic analysis. The first stage concentrates on the changes of natural frequencies and corresponding mode shapes with the varying of bridge's curvatures. Five different bridge's radii are investigated, namely $R = 100\text{m}, 200\text{m}, 400\text{m}, 800\text{m}$ and ∞ (straight) to take into account the effect of initial curvatures. Intermediate plate diaphragms and lateral bracings are investigated parametrically both individually and conjointly. From this study, several ways to enhance the free vibration characteristics of curved bridges are recommended for designing of bridges.

For the main objective of the present study, convenient and reliable three-dimensional finite element models using within commercially available codes that are familiar with practical bridge engineers are developed to parametrically study the bridge-vehicle interaction of the chosen bridge in the second

stage. The studied vehicle is idealized as 3D non-linear model consisting of several lumped masses connected by rigid beams and supported by spring-dampers. Gap and actuator elements are incorporated into the tire models to simulate the separation between the tires and road surface, and road surface roughness, respectively. Correlated road surface roughness profiles are generated from power spectral density and cross spectral functions. The models are capable to consider both bridge and vehicle responses with virtually no limitation on the complexity of the vehicle and bridge. By using these models, the dynamic responses of the straight twin I-girder bridge are extensively investigated under various conditions. Effects of vehicle lengths, damping ratios, roughness profiles, as well as bumps at expansion joints are considered in details. From numerous calculated results, some useful information regarding to the impact factor of the studied bridge is presented.

Contrary to straight bridges, very limited documentations on the study of horizontally curved bridges have been made available. The last stage of this research extends the studies of the bridge-vehicle interaction dynamic from straight to horizontally curved configurations by using above mentioned models. Two loading positions of one truck are chosen to analyze to know the influence of transverse loading positions; four different radii are evaluated to learn effects of curvatures; two lateral bracings which are analyzed in the first stage are also investigated to estimate their stiffening effects. These investigations provide better knowledge of the dynamic behaviors of horizontally curved twin I-girder bridges subjected to moving vehicles.

学位論文審査の要旨

主査	教授	林川俊郎
副査	教授	小林幸徳
副査	教授	蟹江俊仁
副査	准教授	松本高志

学位論文題名

Dynamic Response of Simply Supported Twin I-girder Bridges Subjected to Moving Vehicles

(走行車両による合成 2 主桁橋の動的応答に関する研究)

近年、建設コスト縮減および長寿命化をめざして、PC 床版を有する合成 2 主桁橋の設計および施工事例が数多く見られるようになってきた。この合成 2 主桁橋は構造が簡素化され、補剛材や対傾構、横構などの省力化を図り、シンプルな構造形式となっている。施工の機械化および維持管理上の容易さなどの要求性能を満たすことから、主要な国道、都道府県道、高速自動車道などの重要度の高い橋梁に、合成 2 主桁橋が採用されている。

しかし、合成 2 主桁橋はその構造上の特徴から、荷重分配を期待することができず、従来の多主桁橋に比較してねじり剛性がかなり低いことは自明のことである。同規模の多主桁橋に比べて、ねじり振動数が小さいことから風による渦励振に対する慎重な検討が要求されている。また、移動走行車両の偏心載荷により大きな鉛直たわみを生じ、面外 2 次変形にともなう疲労損傷についても慎重な検討が必要とされている。

本論文は走行車両と合成 2 主桁橋との動的相互作用を考慮した時刻歴応答解析に対する 3 次元解析モデルを構築し、その動的応答性状を明らかにしている。さらに、ねじり剛性を高める補強対策について検討し、合成 2 主桁橋の性能設計に資する新たな知見を得たものである。

本論文は全 6 章から構成されており、各章の内容は以下のようなものである。

第 1 章では、研究の背景および既往の研究成果をまとめ、本研究の目的を明確に示し、各章の構成について記述している。

第 2 章では、走行車両と橋梁との動的相互作用を考慮した動的応答解析について論述している。走行車両はセミトレーラー型の 3 次元振動系車両モデルとし、合成 2 主桁橋の路面性状は国際標準化機構 ISO の評価基準に対応した路面凹凸パワースペクトル密度関数を採用している。また、車両モデルには接地タイヤが路面から離脱するバウジング効果を考慮するために、車両モデルのばね下にギャップ要素を導入している。

第 3 章では、合成 2 主桁橋の曲率半径が固有振動特性に与える影響について検討している。曲率半径が小さくなると合成 2 主桁橋の鉛直たわみ固有振動数の値は徐々に減少する。一方、ねじり振動

数の値は増加する傾向にあることを明らかにしている。また、合成 2 主桁橋の基本固有鉛直たわみとねじり振動数の比は、他の橋梁構造形式に比較して小さい値を示し、橋梁全体としてのねじり剛性が比較的低いことを指摘している。橋梁全体としてのねじり剛性を高める補強対策として、横構の代わりに下フランジを連結する底鋼板と横桁の代わりにダイヤフラムを適用することを提案し、これらの補剛材を支点部付近に配置することにより、ねじり剛性が格段に増加することを明らかにしている。

第 4 章では、走行車両による直線 2 主桁橋の動的応答性状に与える減衰定数、路面凹凸、車両の積載車両位置、車両後部荷台長等の影響について検討し、有益な知見を得ている。かなり悪い路面凹凸では車両タイヤのバウジング効果により、ハンマー作用による動的影響を無視することができないことを提示している。また、良好な路面凹凸でも伸縮装置部における段差が直線 2 主桁橋の動的応答に与える影響が大きいことを明らかにしている。

第 5 章では、走行車両による曲線 2 主桁橋の動的応答性状に与える曲率半径の影響についてパラメトリック解析を実施している。曲率半径が増加すると曲線 2 主桁橋の動的増幅率は増加し、内桁と外桁との動的増幅率の差が大きくなることを提示している。底鋼板とダイヤフラムをそれぞれ 1 組ずつ両支点部付近に設置すると、橋梁全体としてのねじり剛性が高まることにより、曲線 2 主桁橋の動的増幅率が低減されることを明らかにし、今後の合成 2 主桁橋の補強対策に有益な知見を与えている。

第 6 章では、各章で明らかとなった内容を要約し、本論文を総括している。

これを要するに、著者は走行車両と合成 2 主桁橋との動的相互作用を考慮した動的応答解析の高度化を目指した 3 次元解析モデルを構築し、その動的応答性状を明らかにすることにより、合成 2 主桁橋の性能照査型設計法に資する新たな知見を得たものであり、橋梁工学、鋼構造学、構造工学に貢献するところ大なるものがある。よって著者は、北海道大学博士(工学)の学位を授与される資格あるものと認める。