

学位論文題名

Dynamic behavior of horizontally curved twin I-girder bridges under moving vehicle

(走行車両による曲線2主桁橋の動的挙動に関する研究)

学位論文内容の要旨

Horizontally curved bridges have been increasingly adopted in complex highway interchanges and river crossing to meet growing traffic capacity demands in urban highways. Recently, rationalized curved bridges, such as simple twin I-girder curved bridges, are becoming a most preferred choice for short and medium span highway bridges, because of its simplicity of fabrication and construction, economy, erection technology and serviceability performance. However, due to the horizontal curvature, the bridge and its component members are subjected to coupled torsion and bending. For that reason the behavior of horizontally curved bridges are more complex and its analysis is more difficult than straight bridge. In particular, curved twin I-girder bridges have significantly low torsional stiffness that makes unexpected excessive vibration to dynamic loads which may cause fatigue damage to the bridge members and also the degradation of the serviceability. At the same time, the low torsional stiffness of the twin I-girder bridges makes them difficult to be applied into highly curved sections, where eccentric traffic loads that are critical for torsional motion of the superstructure are concerned. Therefore, this research is aimed at discussing the dynamic characteristics, finding effective countermeasures to improve their dynamic performance and the human response to traffic-induced vibration of the curved twin I-girder bridges.

To this end, extended three-dimensional finite element models of horizontally curved twin I-girder bridges and AASHTO HS20-44 vehicle are developed for bridge-vehicle interaction analyses by using commercially available ANSYS code. Super-elevation is incorporated into the bridge model. Vehicle 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. By using the bridge-vehicle interaction models, natural vibration and forced vibration analyses carried out in parametric study, were extensively investigated. The analytical results are significant and give some useful information regarding the impact factor of the studied bridge which could be much helpful for practical designer.

As these types of bridge have low torsional stiffness, therefore this study is extended to investigate the effects of bottom bracings on torsional dynamic characteristics of curved twin

I-girder bridges under running vehicles, using a developed analytical approach. Five types of bottom bracings are designed to investigate their effects on the dynamic characteristics of curved twin I-girder bridges with different curvatures under free and forced vibrations analyses. Parametric studies are carried out to investigate the effects of bottom bracings on the dynamic characteristics of curved bridge-vehicle interaction system. The numerical results show that torsional frequencies increase significantly after providing bottom bracings, and the increasing rate depends on bottom bracing types and their locations of installation. Bottom bracings can act as load transmitting members from one main girder to others. Large negative bearing forces that occurred in the bridges with small radii of curvatures can be remarkably reduced by providing bottom bracing systems. It is found that the performances of several bottom bracing systems are effective in improving the torsional dynamic characteristics of the studied bridges.

Although not related to issues of safety, human response to traffic-induced vibration may have the psychological effect of impairing public confidence in curved twin I-girder bridges and, therefore, demands consideration at the design stage. The objective of this investigation was to study the vibration of curved twin I-girder bridges due to moving vehicles and the effect of vibrations on bridge users. A parametric study is performed to identify the effect of various parameters on the vibration of the bridge, such as vehicle speeds, curvatures, road roughness conditions, vehicle length and bumps at expansion joint. The results have been expressed in the form of human perceptibility curves (graphs of perceptible vibration acceleration versus vibration frequency). This investigation finds that the bridge response is significantly influenced by the road roughness conditions and bump height at expansion joint. Based on the parametric study results, simple design guidelines for the serviceability performances of steel curved twin I-girder bridges are presented.

学位論文審査の要旨

主査	教授	林川俊郎
副査	教授	成田吉弘
副査	教授	緑川光正
副査	准教授	松本高志

学位論文題名

Dynamic behavior of horizontally curved twin I-girder bridges under moving vehicle

(走行車両による曲線2主桁橋の動的挙動に関する研究)

近年、建設コスト縮減および維持管理の容易さをめざして、PC床版を有する曲線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。この曲線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、曲線2主桁橋が採用されている。

しかし、曲線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曲線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、その動的挙動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、また、橋梁振動が歩行者に与える振動使用性について照査し、曲線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7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記述している。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、曲線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ンス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。さらに、曲線2主桁橋の橋梁振動に伴う振動使用性について言及している。

第3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路面凹凸、積載車両位置、車両速度、カントの片勾配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ンス効果により、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明示している。また、良好な路面凹凸でも伸縮装置部における段差が曲線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4章では、曲線2主桁橋のねじり剛性を高める補強対策として、横構としてCT形鋼を適用することを提案し、支点部付近に横構を密に配置することにより、基本ねじり固有振動数が格段に増加することを明らかにしている。また、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5章では、走行車両による曲線2主桁橋の動的挙動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。車両速度および路面凹凸によらず、曲線2主桁橋の内桁の固定支承部に大きな負反力が発生することを提示し、横構としてCT形鋼を適用することの有効性を明らかにしている。また、曲線2主桁橋中央部の鉛直たわみおよび下フランジ曲げ引張応力度を低減する対策として、横構にCT形鋼を用いることが有用であることを記述している。

第6章では、走行車両により曲線2主桁橋歩道部の振動が励起され、歩行者が感じる振動使用性について検討している。曲率半径および車両速度よりも路面凹凸の悪さと伸縮装置部の段差が振動使用性に与える影響が大きいことを明らかにしている。また、横構としてCT形鋼を用いることにより、その振動使用性がかなり改善されことを提示している。

第7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、著者は走行車両と曲線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、その動的挙動を明らかにすることにより、さらに、橋梁振動の低減対策として、横構にCT形鋼を用いることの有用性を明らかにし、曲線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。