

氏 名	JHABINDRA PRASAD GHIMIRE
博士の専攻分野の名称	博士（学術）
学位記号番号	博理工甲第 695 号
学位授与年月日	平成 20 年 9 月 19 日
学位授与の条件	学位規則第 4 条第 1 項該当
学位論文題目	Numerical investigation of noise generation and radiation from modular bridge expansion joint (道路橋モジュラー型エクспанションジョイントの騒音発生・放射に関する解析的研究)
論文審査委員	委員長 教授 山口 宏樹 委 員 教授 川上 英二 委 員 准教授 奥井 義昭 委 員 准教授 松本 泰尚

## 論文の内容の要旨

Modular expansion joint are commonly used for larger expansion joint movement. Because of the several advantages over other types of expansion joint, use of modular expansion joint has been increased. However, the noise generated and radiated from the modular joint has been a regional environmental problem in Japan and elsewhere. Understanding of noise generation and radiation is important from noise control point of view. Noise from the modular expansion joint is mainly generated and radiated from the joint top on road surface and from the bottom part of the joint which has a cavity beneath it for the maintenance purpose. From the previous studies noise generation and radiation mechanism inside the cavity beneath the joint is not fully understood. There have been no reported studies on the noise radiation from the joint to the environment which is necessary to be understood to control the noise. The modular expansion joint which is a heavily loaded structural component in the bridge and have high vibration level which can be transmitted to the connected bridge. No reported studies were found on possible vibration flow from the joint to the connected bridge and noise contribution from the bridge in addition to the noise from the joint itself. The objectives of this study have been: (i) to understand the noise generation and radiation mechanism inside the cavity; (ii) to understand the characteristics and mechanism of noise radiation to the outside environment and (iii) to understand the possible vibration flow from the joint to the bridge and noise radiation from the bridge.

A full scale model of modular expansion joint was considered to fulfill the first objective. Vibro-acoustic analysis was conducted by considering the joint and cavity which was underground as one system. Finite element method (FEM) - boundary element method (BEM) approach was used for the analysis. FEM was utilized for the dynamic response estimation of the joint structure and BEM was used to analyze the sound field inside the cavity of the joint-cavity system in the frequency range of 20-400 Hz. Modal analysis was also

conducted to identify the acoustic properties of the cavity beneath the joint. Impact testing experimental results of noise and vibration were used to discuss the numerical results. It was concluded that dominant frequency components in the sound pressure response inside the cavity was due to vibration modes of the joint structure and/or acoustic modes of the cavity. In lower frequencies peaks in the sound pressure response inside the cavity beneath the joint was mainly due to the vibration modes of the joint structure with possible interaction with acoustic modes of the cavity. At higher frequencies where the modal density of the acoustic modes was high, effect of acoustic resonance of cavity on sound pressure response was significant.

A modular expansion joint installed between prestressed concrete (PC) bridges was considered to fulfill the second objective. The cavity beneath the joint had openings at both ends along its length. Noise generated and radiated inside the cavity could radiate to outside environment from these openings. FEM-BEM approach as in the previous study of full scale model joint was utilized to analyze the sound field inside as well as outside of the joint-cavity system. Modal analysis was also conducted to identify the acoustic properties of the cavity beneath the joint. Measurement of noise and vibration of expansion joint during vehicle pass-bys were also carried out. Sound field was analyzed in the frequency range of 50-400 Hz. It was concluded that the noise from the bottom side of the joint was caused by the excitation of structural modes of the expansion joint and/or acoustic modes of the cavity beneath the joint, which is consistent with a conclusion derived in a previous study with a full scale model of modular expansion joint. The sound radiation efficiency of the joint-cavity system appeared to be high at natural frequencies of vibration modes of the joint with significant vertical vibration of middle beams and support beams (coupled modes). Sound radiation efficiency of lateral modes of the joint appeared to be low. Noise from the joint-cavity system may be propagated at radiation angles of acoustic modes of the cavity. For the frequency range of interest, the noise radiated from the joint-cavity system was directional and significant sound radiation was away from the longitudinal axis of the cavity. The sound field around the joint-cavity system investigated in this study could be considered near field within 35 meters from the joint-cavity center and far field at farther distances.

A modular expansion joint installed in a steel-concrete non-composite bridge was considered to fulfill the third objective. A simplified analytical approach using FEM and statistical energy analysis (SEA) was considered. Finite element model of the expansion joint was used to estimate the dynamic response of the joint. SEA was used to estimate vibration response on the bridge by considering its different structural components as subsystems. Measurement results of noise and vibration of expansion joint and bridge during vehicle pass-bys were used to discuss the analytical results. It was found that this simplified approach was able to predict the flow of vibration energy from the expansion joint to the bridge and noise radiation from the bridge during vehicle pass-bys. The strong vibration coupling between the different subsystems of the bridge was observed. This approach can be utilized to reduce the vibration flow from the joint to the bridge.

## 論文の審査結果の要旨

橋梁の長支間化・多径間連続化、また免震橋梁の採用により、道路橋の伸縮装置に求められる伸縮量は増加し、また橋軸直角方向など隣接橋桁間の橋軸方向以外の相対変位への対応も求められるようになってきている。このような背景の下、橋軸直角方向に並行に配した複数のI形鋼を、ゴム系材料を介して橋軸方向の複数の梁で支持した形式のモジュラー型エクспанションジョイントは、それらの要求に応え多くの実績を挙げてきた。しかし一方で、モジュラー型エクспанションジョイントが設置された橋梁において、近隣住民から騒音に関する苦情が寄せられるケースも見られるようになり、ジョイントメーカーは、種々の騒音防止対策をジョイントに施し対処してきた。ただし、モジュラー型ジョイントの構造に起因する騒音の発生・放射メカニズムは解明されておらず、したがって、個々の騒音対策の効果やその騒音制御のメカニズムも明確ではなかった。そこで近年、モジュラー型ジョイントの騒音発生メカニズムに対する研究が進められ、主に試験体や実橋梁における計測に基づいた実験的手法により、その騒音の発生メカニズムをある程度推定することが可能となってきた。このような研究動向の中で、本論文は、Numerical investigation of noise generation and radiation from modular bridge expansion joint（道路橋モジュラー型エクспанションジョイントの騒音発生・放射に関する解析的研究）と題し、騒音の発生とその周辺環境への放射のメカニズムを解明することを目的とした解析的アプローチを主とする研究の成果をまとめたものである。本研究の新規性は、モジュラー型ジョイントの試験体および供用中の実物に対する数値モデルを用いた解析を実施し、その結果を理論的に解釈・考察することで、モジュラー型ジョイントの振動に起因する騒音の発生および放射のメカニズムに関する一般化された結論を導いた点にある。得られた知見は、既に供用中のモジュラー型ジョイントに対する騒音対策や今後導入される際の騒音特性の予測に用いることが可能であると言え、工学上の有用性も十分に認められる。

本論文は、序論及び結論を含む6章より構成されている。

第1章は序論として、本論文の着想に至る背景について概説している。さらに、橋梁およびモジュラー型ジョイントより発生する騒音に関する研究をレビューすることで、研究の背景をさらに具体的に示した上で、その問題設定と目的を明確にしている。

第2章では、モジュラー型ジョイントの実物大試験体に対する数値解析を実施し、その騒音発生メカニズムに関する検討を加えている。このジョイント実物大試験体は、既往の研究で用いられたもので、打撃試験におけるジョイントの振動応答およびジョイント直下の空間の騒音が測定されている。本章の解析は、その打撃試験結果と数値解析結果を比較することで、ジョイント振動放射音の発生メカニズムを解明することを目的としたものである。解析では、打撃試験での外力に対応する入力に対するジョイント構造の振動応答を有限要素法で算出し、それを境界条件としてジョイント直下の空間の音場を境界要素法で解く手法を用いている。その結果、ジョイント直下の空間で測定される音の卓越周波数成分の発生には、ジョイント構造の振動モード、ジョイント直下空間の音響モードの励起が関係しており、それらのいずれかが主要因となる場合と、両者の連成が主要因になる場合があることを明らかにした。

第3章では、供用中のモジュラー型ジョイントに対する数値解析を実施している。解析は第2章と同様の手法で実施しており、解析結果の理論的な解釈および解析結果と実測結果との対応を検討している。特に本

章では、既往の実験結果との関係で第2章では実施できなかった周辺環境への騒音の放射特性およびそのメカニズムについても検討を加えている。その結果、騒音発生メカニズムに関して第2章で得られた実物大試験体に対する知見が、供用中のジョイントに対しても適用できることを確認した。さらに、周辺環境への騒音放射に関しては、ジョイント構造の鉛直振動が支配的となる振動モードの音響放射効率が高いこと、また、周辺音場の指向性などの特性が主にジョイント直下の空間の音響放射特性に依存することを示した。

第4章では、モジュラー型ジョイント構造の振動に関連する橋梁騒音として実測結果等で確認されている、ジョイント振動が橋桁に伝搬しその振動放射音が発生する現象に関し、振動のパワーフローに基づく簡便な予測方法に対する検討を実施している。本章で用いている方法は多くの仮定に基づくものではあるものの、ジョイントと橋梁構造各部との振動伝搬特性およびそれらの振動の騒音への寄与をある程度の精度で予測できる可能性を示した。

最後に、第5章において第4章までに得られた知見に対する考察を加えた上で、第6章において本研究で得られた知見を結論としてまとめるとともに今後の課題についても言及している。

以上のように、本論文は、道路橋モジュラー型エクспанションジョイントの振動に起因する騒音の発生・放射に関して有用な知見を得ており、構造工学上の貢献度も高い。よって本論文は博士（学術）の学位論文として価値あるものと認められる。