

# 鋼桁橋から発生する低周波空気振動問題への対策

## -刈谷高架橋環境対策工事-

Improvement of the Noise and Subsonic Vibration Problem in the Steel Girder Bridge with Concrete Deck  
(KARIYA Viaduct)

畔柳昌己\*, 安藤直文\*\*

Masami Kuroyanagi, Naofumi Ando

\*中日本高速道路(株) 名古屋支社 建設事業部 計画設計チーム (〒460-0003 愛知県名古屋市中区錦 2-18-19)

\*\*三井住友建設(株) 土木本部 土木技術部 (〒104-0051 東京都中央区佃 2-1-6)

KARIYA viaduct is steel girder bridge. Air vibration on low frequency and impulsive sound occurred. It was caused by the vibration of superstructure. It was deteriorated surrounding environment.

CENTER DAMPER and TMD were applied to *Environmental control*. CENTER DAMPER is device to control vibration, which was developed newly. TMD was rarely applied to road bridge so far. These specifications were decided based on FEM analysis and site measurement. Result of these environmental control measures could improve the surrounding environment.

*Key Words* : Steel girder bridge, Environmental control, Air vibration on low frequency, CENTER DAMPER, TMD

キーワード: 鋼橋, 環境対策, 低周波空気振動, センターダンパー, TMD

### 1. はじめに

東名・名神高速道路が抱える渋滞解消, ネットワーク化などの課題への対策として, 新東名・名神高速道路の整備が進められ, 愛知県豊田市から三重県四日市間は伊勢湾岸自動車として整備された。この内, 愛知県豊田市側は通過地域が平坦な農地と市街地であるため, ほとんどが高架橋構造で供用している。農地部はPC (PRC) 橋, 市街地の道路や河川等の交差部は鋼橋である。いずれも走行性を向上させるために, 橋長 500m クラスの多径間連続構造となっている。図-1 に全体一般図 (上郷高架橋), 写真-1 に周辺の全景を示す。



写真-1 全景

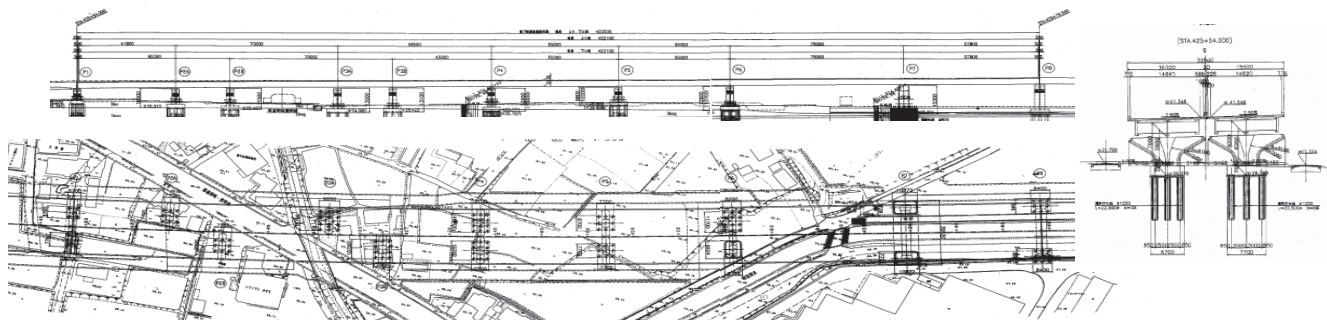


図-1 全体図 (上郷高架橋)

本稿では、鋼橋の振動を起因とした低周波空気振動の対策を行った刈谷高架橋と上郷高架橋の施工事例について報告する。

刈谷高架橋、上郷高架橋は伊勢湾岸自動車 豊田東JCT～豊明ICに位置する。構造形式を表-1に示すが、上部工は床版にプレキャストPC床版を用いた鋼多径間連続非合成構造であり3主桁で15m程度の幅員を支持する少数主桁構造である。このような形式は経済性、構造的に優れるものの、コンクリート橋と比べ剛性が小さいために自動車荷重の影響を受けやすく、主桁振動などによる低周波空気振動による環境問題が懸念されている。本橋でも平成16年の開通直後から騒音・振動による周辺住民の生活環境悪化が課題となっていた。

本工事は、騒音・振動調査やシミュレーションによって騒音振動の発生源は鋼橋の主桁振動から発生する低周波空気振動であると判断し、対策を実施したものである。

表-1 構造概要

	刈谷高架橋	上郷高架橋
構造形式	3径間連続鋼桁	7径間連続鋼桁
橋長	上り線：167.15m 下り線：132.0m	上下線：422.5m
有効幅員	上り線14.52m, 下り線14.64m	
その他	平面線形：R=4000m～∞ 鋼重：0.25tf/m <sup>2</sup> 下部工：RC橋脚、杭基礎	

## 2. 騒音・振動の状況

発生している騒音・振動は、大型車が鋼製フィンガー型伸縮装置の凹凸面を通過する際の衝撃音と低周波振動であり、衝撃音は、図-2に示すように大型車が伸縮装置を通過直後に床版に瞬時に伝搬し、さらに、図-3に示すように大型車のバネ上振動と鋼桁の固有振動が連成することによって振動が増大し、低周波空気振動が

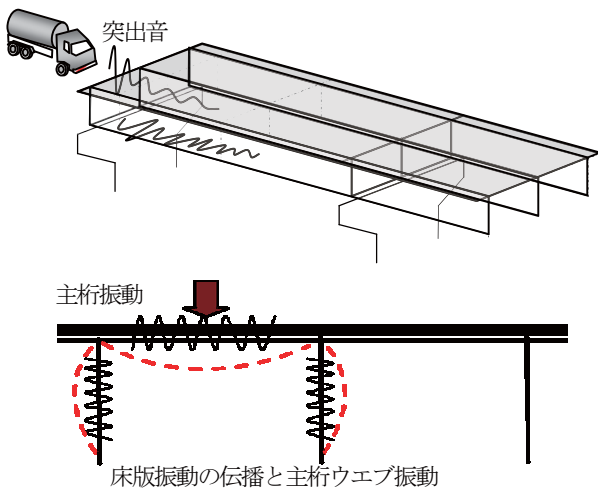


図-2 騒音の発生イメージ

生じていると推察した。

施工前に行った測定の結果、大型車が伸縮装置を通過した直後の約0.5秒間、距離では伸縮装置から20～30m程度の範囲（図-3における、伸縮装置から測点VW4の範囲）で主桁の振動が励起しておりこれが衝撃音の要因と推察した。また、図-5は大型車が伸縮装置を通過した直後の、大型車のバネ上振動、主桁振動、低周波空気振動による音圧であり、これらの卓越モードはいずれも約3Hz帯で一致した結果が得られた。以上より、大型車が伸縮装置を通過する際に、上部工に大きな振動加速度を与えており、大型車の通過後も大型車と主桁の連成によって主桁の振動が大きくなっていると考察した。

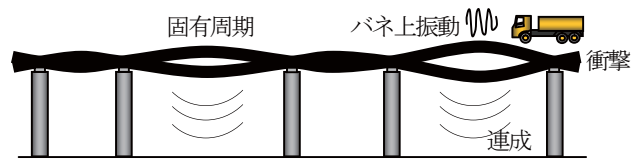


図-3 低周波空気振動の発生イメージ

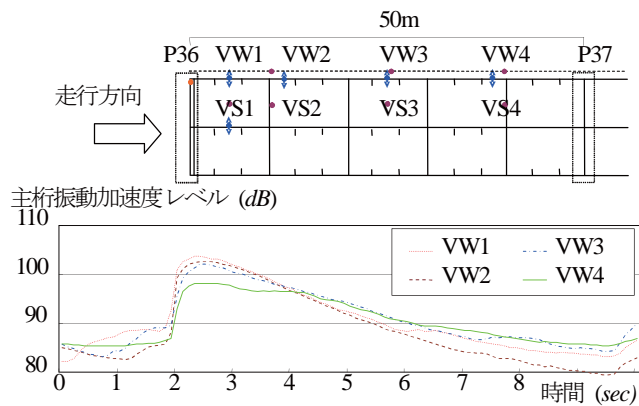


図-4 主桁振動加速度レベル波形（刈谷高架橋 上り）

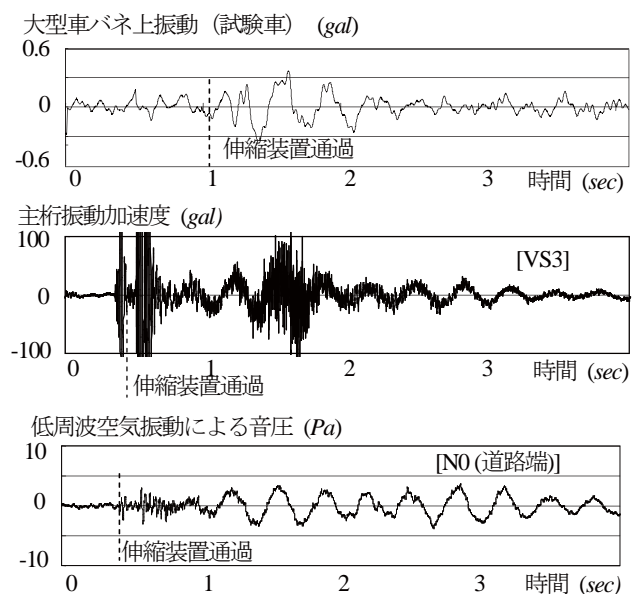


図-5 大型車振動、主桁振動、低周波空気振動による音圧（上郷高架橋 下り）

これらの主桁振動と低周波空気振動の低減策として、伸縮装置の段差修正、伸縮装置周辺の主桁・床版の剛性増加、主桁の振動制御が考えられた。ただし、伸縮装置の段差修正は通行止めを伴うため、本工事では現実的ではなかった。

低周波空気振動は、周波数が100Hz以下のものと定義され、特に20Hz以下は超低周波とされる。人には非感聴音であるが、近隣家屋の窓ガラスや建具を振動させる物的影響や睡眠不足や圧迫感などの心理的影響、頭痛・耳鳴りなどの生理的影響を生じることがある。また、直進性、透過性が高いため、遮音壁などの防漏音対策では効果が低いことが知られている。

事前調査の結果をもとに、衝撃音の騒音対策として伸縮装置近傍のPC床版下面のコンクリート増厚、鋼主桁のコンクリート巻き立てを行った。部材の剛性を高めることで、衝撃力、励起振動によるたわみ振動を抑制し、伸縮装置近傍の振動が一般部の床版振動と同等となることを期待するものである。しかし、本工事では死荷重増加により10mの施工延長に留まったことから、音源側の音圧の変化は見られたものの、受音点側の効果が表れなかった。

低周波空気振動対策としては、主桁振動を直接制御することが有効と考えた。本工事では、新たに開発したセンターダンパーとTMD (Tuned mass damper) による制振を実施することで対策を行った。

### 3. センターダンパーによる低周波空気振動対策

上郷高架橋について、低周波空気振動が発生しているP1～2、P4～5、P5～6径間は路下制限を受けないため、ここにセンターダンパーを設けて振動抑制を行った。センターダンパーは、図-6に示すように支間中央に3基設置し主桁と支柱に取り付けた鉛直プレートの高減衰ゴムダンパーを配置したもので、ゴムのせん断ひずみによる履歴減衰によってエネルギー吸収を図るものである。写真-2に示すように、微小な活荷重振動に対して安定して減衰性能を発揮できるように高減衰ゴムは薄肉化 (t=20mm) した。さらに、上部工の常時伸縮に対処できるようLB (直動転がり支承免震装置) を応用した滑り装置を備えた。

事前に平面骨組みモデルによる加速度応答解析によってセンターダンパーの効果を検討した結果、主桁の3Hz程度の振動は、応答加速度が1/6程度に減少することが分かった。

図-7にセンターダンパーの効果として測定結果の一例を示す。センターダンパー設置前後の低周波空気振動による音圧レベルを比較するものである。センターダンパーを設置する前は、2.5～4Hzの振動モードが卓越しており、これが環境問題の要因となっていたと考えられるが、センターダンパーの設置によって構造物の振動加速

度の大幅な低減と減衰効果が得られ、卓越周波数帯を含む幅広い領域で音圧を10dB程度低減し、低周波空気振動による音圧をがたつき閾値内に収めることができた。

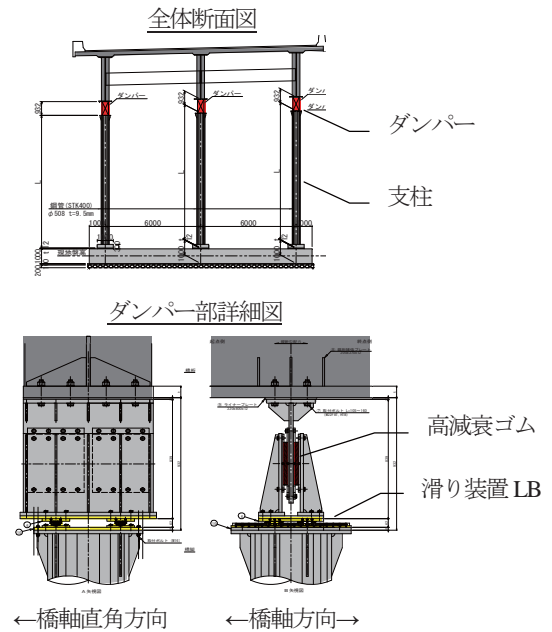


図-6 センターダンパー詳細図



写真-2 センターダンパー

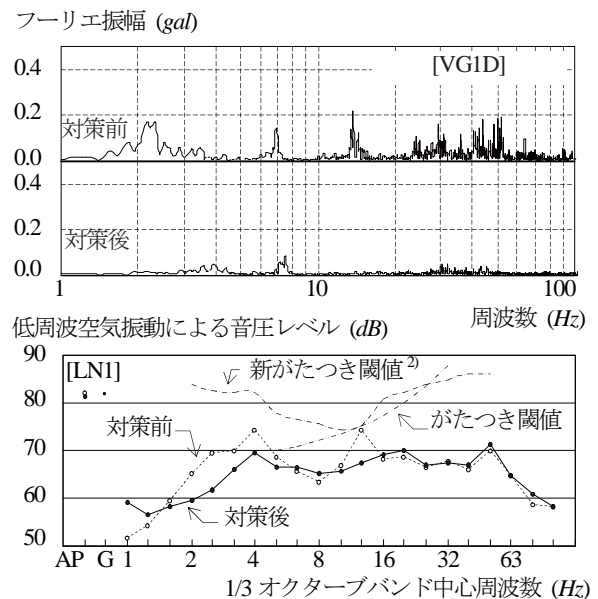


図-7 センターダンパーによる振動抑制効果 (上郷高架橋 下り)



センターダンパーは橋梁上部工の振動対策として従来にない新しい形式であり、構造が簡単で振動抑制効果に優れているため、路下の制限がない場合の有力工法と考えられる。

#### 4. TMDによる低周波空気振動対策

刈谷高架橋は県、市道と交差しており路下空間が利用できないため、鋼桁内空間に設置できる TMD を適用した。TMD はマス、バネ、ダンパーからなり、構造物の固有振動に同調させることにより、それぞれに発生する振動が打ち消し合うものである。図-8 に示すように、TMD は主桁支間中央付近に設けた受梁上に設置した。写真-3 は設置状況である。

構造物に TMD を適用した過去の事例では、マス重量は制振総重量の 1% 程度が多く、効果的な制振効果も報告されている。本工事ではこれらを目安に付加重量を設定し、3Hz 程度の振動が効果的に抑制できるよう計画した。上部工の固有値解析および現地振動計測より、上り線は低周波空気振動に明確に影響を与える 2 つの卓越振動モード (2.5Hz, 3.2Hz) が現れていた。一方、支間割の変則な下り線は 3 つの卓越モード (2Hz, 3Hz, 5Hz) が現れており、幅広い周波数帯への対応が求められた。

これらを踏まえ、上り線には比較的重いマスを少数設置することで単一の卓越振動に対する抑制効果の高い A 社製、下り線には比較的軽量なマスを多数設置することで、複数の卓越振動に対する抑制効果がある B 社製を適用した。

3次元 FEM モデルによる調和応答解析によって効果を検討した結果、TMD を設置することで上部工の応答加速度は 1/2 以下になり、6dB 程度の低周波空気振動抑制効果が期待された。

図-9 に TMD の効果として測定結果の一例を示す。TMD 設置前後の低周波空気振動による音圧レベルを比較する。対策の結果、TMD の振動特性を構造物の卓越振動に同調させ、機器の特性どおりに上部工振動を抑制することができたことから、振動加速度の半減と大きな振動減衰効果が得られた。受音点における対策効果として、卓越する低周波音圧を 5~8dB 程度低減し、がたつき閾値内に収めることができた。

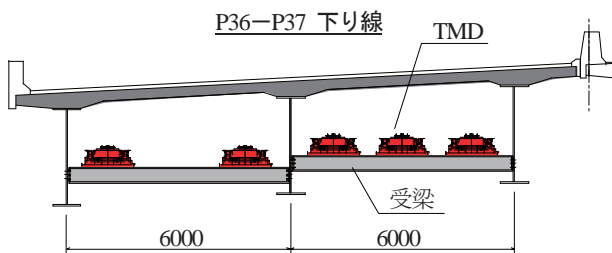


図-8 TMD 配置



写真-3 TMD

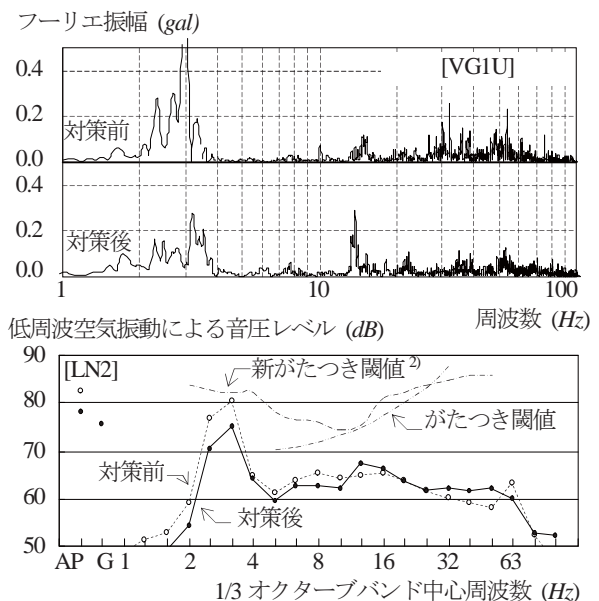


図-9 TMD による振動抑制効果 (刈谷高架橋 上り)

#### 5. 施工

全体工期は約半年間であった。写真-4 に床版増厚、鋼主桁コンクリート巻立て状況を示す。既設床版下面の床版支間 6m、橋軸方向は伸縮装置から 10m の範囲を厚さ 230mm の増厚を行った。増厚部は輪荷重による繰返し荷重の影響を受けることや剥落防止性能を考慮して補強筋を配置し、鋼繊維混入超速硬モルタルを用いて乾式吹き付け工法により 3 層に分け施工した。

鋼主桁のコンクリート巻立て後は、鋼製ウェブと巻立てコンクリートの剛比に応じてそれぞれに荷重が分配されることになる。したがって、両者の接合面にはスタッドジベルを配置して一体性を確保し巻立てコンクリート内には補強筋を配置した。巻立ては高さ2.6m、厚さ200mmを橋軸方向10mの範囲に実施した。

センターダンパーの設置は、鋼管およびダンパーを製作し、現地において①フーチングの施工 ②支柱鋼管(φ500mm)の建込み ③センターダンパー本体を取付け ④全体の高さを調整 ⑤支柱基部の無収縮モルタルを打設 以上の順に施工した。写真-5に設置完了後の全景を示す。

TMDの設置について、一般にTMDの架設は施工クリアランスや重量(最大4.5t/基)の関係から、現地搬入後一旦分解したものを設置位置で再度組み立てる方法をとるため、1基当たり2日程度の施工日数が標準である。しかし、本橋では交差道路の規制縮小、渋滞緩和と作業の効率化を図るため、分解せず一括架設する方法を採用した。TMDは工場で組み立て性能検査を行い現地に搬入した後に大型フォークリフトで鋼桁直下に搬入し、ウインチで引込み、あらかじめ鋼主桁間に設けた受梁に据え付けた。交差道路上の11基の架設は2日間で完了し道路規制は県、市道それぞれ1日であった。写真-6に設置完了後の全景を示す。

## 6. まとめ

センターダンパーとTMDは期待通りの振動抑制効果が得られた。センターダンパーは広範囲の周波数帯に効果があるものの桁下の制限があり、TMDは卓越する周波数帯に対して有効ではあるが桁下の制限が無い。両者とも有効な振動対策として使い分けられると考えられる。

床版への増厚、鋼桁への巻立ては既設構造物に対して極力影響を与えないように施工を行うことができた。効果として伸縮装置部に車両が通過する際の衝撃に対する振動は抑制された。しかし、対策範囲が桁端部に限定されたことから、橋梁全体から発生する音の影響により対象家屋への効果は少なかった。

なお、刈谷高架橋において桁端部の横桁と床版の付着切れが本対策工で改善され、大幅な振動加速度の低減効果が見られた。これはNEXCOが新設橋梁から実施している桁端横桁のコンクリート巻き立てが、剛性強化の効果が高いことを表している。



写真-4 床版下面増厚、鋼桁巻立て全景



写真-5 センターダンパー全景



写真-6 TMD全景

## 参考文献

- 1) 環境庁, 低周波音の測定方法に関するマニュアル, 平成12年10月
- 2) 落合ほか, 低周波音による建具のがたつき始める音圧レベルについて, 騒音制御, Vol.26, No.2 (2002), pp.120-128
- 3) 畔柳ほか, 鋼桁橋のコンクリート床版から発生する騒音・低周波振動問題への対応 - 第二東名高速道路刈谷高架橋環境対策工事 -, (社)日本材料学会 コンクリート構造物の補修, 補強, アップグレード論文報告集, 第9巻, 2009.10, pp.369-374