

第2章

振動・騒音問題と対策の概要

第2章 振動・騒音問題と対策の概要

2-1 振動・騒音問題の現状

車両走行によって鋼道路橋に生ずる振動とこれに伴って放射される低周波音の低減に関しては、昭和50年代初めに山梨県内に架かる中央自動車道葛野川橋(トラス橋)で着目されて以来、今日まで種々様々なアプローチが試みられてきている。しかし、これまでに採用された対策方法の中でどの方法が最も効果的なのかは明らかになっておらず、未だにこれといった低減対策方法が確立していないのが実情である。近年の橋梁の長大化や大型車交通量の増加、軟弱地盤帯への高架橋の架設の増加等が振動・騒音発生メカニズムの解明を一層難しくする一因となっている。さらに、苦情を訴える側の振動や騒音に対する感じ方にかかなりの個人差が存在することが問題の解決をより複雑にしている。しかしながら、車両走行に伴う橋梁の振動や低周波音は、車両の走行安定性や乗り心地などの橋梁の使用性に関する問題、動的応答が橋梁部材の疲労損傷に及ぼす影響に関する問題、地盤振動・低周波音に代表される環境振動問題などを引き起こしているため、その解決が切望されている。

橋梁の振動とこれに伴って放射される騒音の発生源としては、車両走行音の他に、路面や橋梁ジョイント部の段差を車両が通過するのに伴う振動と騒音、ジョイント部の舗装・コンクリート・鋼材・ゴム等の材料の硬さの異なる箇所の車両走行による振動、騒音、伸縮装置部からの音漏れ等が挙げられる。

車両が橋梁上を走行することによって生じる橋梁振動や低周波音などの環境振動問題は、加振源となる車両の振動と振動源となる橋梁の振動、受振点および受音点と

なる家屋および建具の振動、これらの振動系の固有振動数が近接した場合に生じる共振が主要因である場合が多い。大型車両が走行した際にその橋梁に隣接する家屋の戸や障子ががたつくなどの振動苦情が発生しているのは、その一例である。

振動・騒音問題に関して、道路橋を例にして、それぞれの問題を図で表現すると図-2.1のようになる。

大型車両は、ばね上振動(リーフサスペンション大型車両の後輪:3Hz)、ばね下振動(10-20Hz)をしながら、路面凹凸または、伸縮継手上的の段差により振動しながら走行している。ここで問題となる点をまとめると次のようになる。

- ・伸縮継手上を車両が通過する時に発生する衝撃的な振動(ばね下振動数領域)が橋脚、地盤を介して家屋まで伝播する。
- ・伸縮継手上を車両が通過する時の衝撃により構造音(橋梁ウェブ等)が発生する。
- ・伸縮継手上を車両が通過する時にタイヤによる空気の破裂音等の騒音が発生する。

橋梁上へ進入した車両は、橋梁と連成振動をする。橋梁が車両の卓越振動数に近接した固有の振動数を有していた場合、その連成振動により、共振が生じ、橋梁は大きく揺れる。ここで問題となる点をまとめると次のようになる。

- ・側歩道を有する橋梁の場合、歩行者の使用性が問題となる。

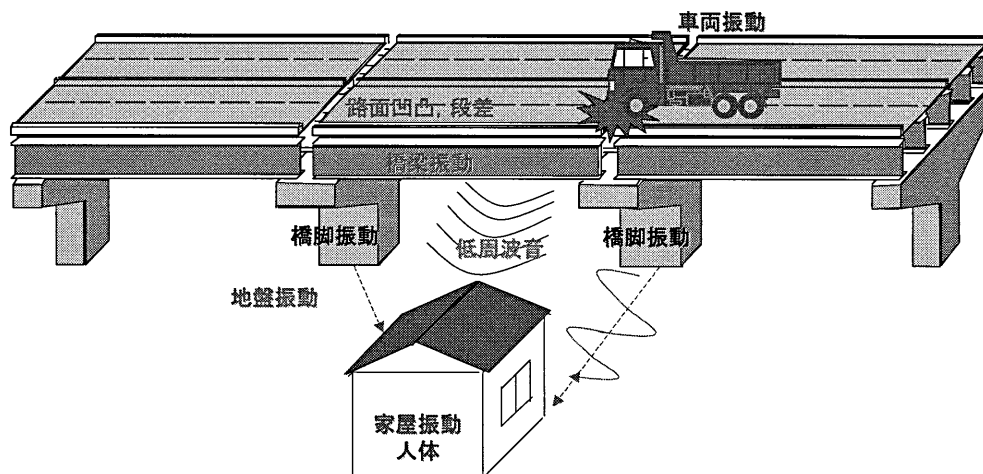


図-2.1 振動・騒音問題の概要図

- ・橋梁下面から放射される低周波音（スパン音）が発生する。
- ・橋梁または橋脚の振動（ばね上振動数領域）が地盤を介して家屋に伝播する。

車両走行による橋梁振動に起因する環境振動対策として現時点で採用されている工法を、橋梁の構成要素別に列挙すると、以下のようになる。

上部構造対策としては、交通振動の TMD（MMD：マルチプルマスダンパーを含む）による制御、吸振材の貼付による制御、アクティブコントロールによる対策、粘性ダンパーによる対策、単純桁の連結によるノージョイント工法（埋設ジョイント工法、主桁連結工法、床版連結工法、横桁連結工法）、アーチ部材による中間支持工法、端対傾構のコンクリート巻き立て工法、延長床版工法、床版増し厚工法などがある。

下部構造・基礎構造対策としては、橋脚巻き立て、増杭、増フーチング等が適用されている。

さらに、橋梁から対象家屋までの地盤を伝わる振動に関する伝播経路対策として、地盤改良、地中防振壁・防振溝、緩衝地帯の設置などが採用されており、苦情申し立て者の受振点対策として、家屋・ビルの剛性増加、減衰付加が挙げられる。

橋梁の使用性に関する問題という観点に主眼を置いた対策としては、以下のことも考えられる。

路面凹凸上を車両が走行することで車両振動が生じ、さらにその車両が橋梁上を走行することで車両と橋梁の動的作用により橋梁の振動が増幅される。ここで重要となるのが、車両のばね上やばね下の振動数、路面凹凸波長と車両走行速度から決まる加振振動数、および、橋梁の卓越振動数である。これらが近接すると、橋面に大きな振動が生じ、車両走行性の低下や歩行者の不快感の増大という使用性の問題を招く場合もある。このようなケースでは、路面補修がその対策工法として効果的となることもある。

橋梁上部構造に関する対策の1つとしてノージョイント工法があるが、橋梁のノージョイント化に伴い、ジョイント部の数自体は減少するものの、橋梁が長大化するため伸縮装置も大型化し、これに付随して新たな振動・騒音問題が生じるといった懸念も残されている。例えば、橋桁の大きな移動量が吸収可能で、かつ、地震時の移動量（橋軸方向、橋軸直角方向共）にも対応できる伸縮装置として、モジュラー型伸縮装置が、鋼製フィンガージョイントに代わって採用されることが多くなってきた。ところが、この部分を自動車が高速で通過する際に、甲高い通過音が発生し、耳障りな音として苦情の原因となっている場合もある。遮音シートや遮音板による対策が施される場合が多いが、その効果は必ずしも十分でないのが実情である。

これまでに述べてきたように、振動・騒音の低減対策

として様々な工法・装置等が検討・開発・実施されてきている。ただし、対象となる構造物の構造形式や高架橋下の状況等によってその効果に対する評価が異なるのが実情である。これをどのようにまとめていくかは重要である。また、対策を講じる場合には、実験を実施したり、理論解析を用いたりしてその効果を確認しながら実施するのが現在では一般的となっている。解析においては、3次元 FEM 解析を適用し、周辺地形の影響や橋梁下部構造を取り巻く地盤の波動伝播特性等も考慮した数値計算が実施されているケースもある。

最後に、振動・騒音の評価方法に着目してみる。

振動評価に関しては、振動発生源の防止・制御技術、伝搬防止技術としての防振溝・壁、あるいは建築構造物への免震技術の導入実験等が試みられているが、苦情件数の低下はみられず、最新の科学的知見に基づき振動規制法を見直すことが急務となってきている。そのため、欧州各国（EU 指令）や ISO においては、振動評価の整備が精力的に取り組まれてきている。例えば、ISO/TC104/SC4「機械振動と衝撃の人体への影響」では、人体に感じない振動を如何に評価するかが重要となってきているとの共通認識の下、各国の研究者が、各自の研究成果を持ち寄って議論・審議を継続している。また、欧州諸国の中には、ISO の議論をベースに、自国の事情を考慮しながら規格や指針を定めている国もある。

一方、我が国では、昭和 51 年 12 月に施行された振動規制法が、平成 6 年～7 年の若干の改正を経て今日に至っており、最新の知見が導入されているとは言い難いのが現状である。また、我が国の振動評価と ISO による評価の間にも違いが幾つか見られるのが実情である。

なお、振動に関する評価尺度として速度、あるいは、加速度を用いるのか、それとも dB を用いるのか等については必ずしも統一見解が出されているわけではなく、今後の検討課題となっている。振動測定手法に関しても同様のことがいえる。

騒音関係の国際規格は、ISO/TC43/SC1 にて審議されており、聴覚・機械関係・自動車関係・環境騒音関係の項目別に ISO 規格が策定されている。この内、騒音評価に関しては、1987 年に発効した ISO の国際規格の見直しが行われ、2003 年に改訂がなされている。欧州各国では、工場・道路交通・鉄道・航空機別に騒音評価の規格を設定し、環境騒音の低減に本格的に取り組んできている。我が国においては、騒音規制法により、工場等の騒音規制、新幹線の環境基準など規制の対象別に騒音評価量が定められているが、各々の評価量が適切な評価尺度となっているかどうかについては議論の余地が残されているのが現状である。

2-2 振動・騒音問題に対する対策方法

1. はじめに

振動・騒音の低減対策として様々な工法・装置等が検討・開発・実施されてきた。これらの工法・装置等については、論文・雑誌等でその内容・効果について報告されているが、対象となる構造物の構造形式や高架橋下の状況によってその効果に対する評価が異なる場合が認められる。

ここでは、それぞれの低減工法の評価と幾つかの実施事例について報告する。また、振動・騒音の低減工法について表-1に示すような分類を行い、その低減工法に対して行った効果評価の一例を示す。ここで行った効果評価は一例であり、その低減工法に対する絶対的な評価を示しているものではない。また、エンジンの改良やエアサスペンションの採用等、車両構造の変更による低減対策については評価していない。

2. 低減工法の分類

低減工法の分類方法として表-1では、対策区分・対策項目別に対策工法を分類し、その効果について凡例に示す区分で評価を行っている。

また、対策区分としては、対策を実施する地点に着目した「発振源・伝播経路・受振点」に分けるとともに、交通流を制御することによって低減を実施する方法を加えた4つに分類して整理している。

3. 交通対策（交通制御）^{1) 2) 3)}

交通対策（交通制御）は、環境ロードプライシング（住宅地域に集中した交通を湾岸部に転換する）のようなTDM（交通需要マネジメント）としての総合的な環境対策としての実施事例はあるが、単独の振動・騒音対策としての対策事例は少ないと思われる。

振動・騒音の低減対策としては、交通量の抑制、大型車の走行規制（重量違反車排除を含む）、速度規制などがある。

大型車の走行規制としては、T型橋脚の多い路線において大型車が追越車線を走行するよう誘導する対策がとられているところがある。この対策は、平面街路である国道43号においても大型車の夜間通行帯規制（第2走行車線より中央寄りに走行するよう規制されている）として実施されている。また、速度規制については、看板や速度自動取締り装置（スピードチェッカー等）の複数設置により、速度を低下させようとしている地点もある。

交通量・走行速度と振動・騒音の相関については数多くの研究が実施されており交通量・速度を制限すること

により振動・騒音が低減されることがわかっているが、高架橋上の走行位置規制による騒音・振動の低減については、効果はあると考えられるが実施事例が少なく不明な点もあると考えられる。

4. 発振源対策

4.1 路面対策^{4) ~ 10)}

振動・騒音対策として最初に実施される場合が多いのが路面対策である。

路面対策には、全面的に舗装（表層）を打ち換える場合もあるが、主として伸縮装置周辺の段差修正と伸縮装置の撤去（ノージョイント化）の2つに分類される。伸縮装置周辺の段差修正対策としては、ジョイント取り替えと伸縮装置前後の舗装擦り付け（薄層舗装の実施）がある。ジョイントの種別・構造と振動・騒音の発生傾向（発生レベル、卓越周波数等）については、何らかの傾向があると考えられるが明確にはなっていない。また、伸縮装置前後の舗装擦り付けについては、これまで伸縮装置や後打ちコンクリートと舗装の段差量と振動・騒音の発生との関係として研究されてきたが、最近伸縮装置前後3~10mの縦断線形やその形状と振動・騒音の発生との関係も注目されている。

伸縮装置の撤去（ノージョイント化）対策としては、伸縮装置の埋設ジョイントがある。また、ノージョイント化とは異なるが、ジョイントを土工部に移設して騒音・振動の発生を抑える延長床版システムの採用も路面対策のひとつと考えられる。

伸縮装置の撤去（ノージョイント化）対策による振動・騒音の低減効果は、10~20Hz、40~50Hzの周波数帯に影響があると考えられるが、必ずしも定量的に把握されているとはいえない。

また、延長床版システムの採用（延長床版工）は、最近実施事例が増加しつつあり、国道交通省のHP（<http://www.mlit.go.jp/road/road/new5/01/3b.html>）でも「振動の抑制が期待できる」工法として紹介されている。延長床版システムの採用による振動・騒音の低減効果を工事前後の統計処理値と比較すると、騒音レベルでは-4~-5dBとなるが、振動レベル、低周波音レベルでは明瞭な差異が認められていない。しかし、橋梁周辺の住民のアンケート結果によると、大部分の住民が「振動が少し（だいぶ）小さくなった」と感じていると述べていることから、対策工実施による振動・騒音の低減効果について、これまでのように騒音・振動の統計処理値で評価することが感覚的な評価と整合するのにかについて検討していく必要があると考えられる。

表-1 振動・騒音の低減対策工の効果評価の一例

対策区分	振動対策		用地	水硬性	効果		経済性	振動低減への対策への施工性	備考
	対策項目	対策工			振動	騒音			
I 交通対策	A	交通制御	1 交通量制御	-	○	○	○	-	積載重量や速度の規制は有効と考えられるが、高速道路の有用性を損なうような規制は現実的でない。
			2 速度規制	-	○	○	○	-	
			3 重量反応面の排除	-	○	○	○	-	
	A	路面対策	1 路面劣化修正（薄層舗装）、ジョイントの補修	○	△	△	○	○	△
2 路面劣化修正（ジョイント前後10m程度の舗装の張り付け）			○	△	○	○	○	△	
3 ノージョイント化（埋設ジョイント）			○	△	○	○	○	△	
4 ノージョイント化（延長床版）			○	○	○	○	○	△	
II 発生源対策	上部構造	構造変更	1 ノージョイント化（床版連結+舗装連続化）	○	○	○	○	○	併用結のみの効果は小さく、ノージョイント化との併用で効果は期待できる。ノージョイント化については、今後真なる構造茶での運用可能性について後述の併用が有る。
			2 ノージョイント化（主桁連結+舗装連続化）	○	○	○	○	△	
			3 主桁連結（主桁連結のみ）	○	○	△	△	△	
			4 振衝の緩和化	○	○	△	△	△	
			5 弾性支承化	○	○	△	△	△	
C	質量増加 剛性増加	1 床版厚増	○	○	○	○	○	構造物の固有値を大きく変更することは困難であり、また固有値の変更が別の問題を引き起こす原因となる場合もある。弾性支承化は、衝撃振動のような比較的高い周波数域の振動伝達を抑制する。	
		2 床版厚増（+主桁増設）	○	○	○	○	○		
		3 端横筋 R/C 巻立て	○	○	△	△	○		
		1 動吸振器	○	△	△	△	△		
D	減衰付加	2 アクティブコントロール	○	△	△	△	△	試験施工：研究段階である。効果が得られる周波数範囲が狭く、ランダムに発生する振動には効果が小さい。施工面では、併用時の調整が容易でない。	
E	下部構造	質量増加 剛性増加	1 橋脚断面増	○	○	△	△	△	増設・増フーチングは軟弱地盤には有効で、水平動の抑制については増設の方向によっては効果がある。橋脚断面増と併せて、今後検討しておく必要がある。
			1 増設・増フーチング	○	○	△	△	△	
			1 地盤改良	○	○	○	○	△	
B	地盤	伝播距離の延長	2 地中防振壁・防振溝	○	○	△	△	△	基礎工例が少なく、評価が不十分なためリスクが大きい。また、用地の確保が困難で都市住宅部での実施は現実的とはいえない。
			3 護岸地帯の設置	○	○	○	○	○	
			1 筋交い、耐震壁の増設・増設、床版の補強	○	△	△	○	○	
IV 受振点対策	建物	減衰付加	2 動吸振器（TMD, AMD）	○	△	△	○	△	個別な対策となるため、地盤全体の改善には結びつかない。経済的ではあるが、行政上の問題も取り容易に実施することは難しい。制振制度の整備が必要。

凡例 (○：評価していない)

記号	○	△	□
用地	公園用地	平面道路用地	民地内
水硬性	効果が特長	不確定	
低減効果	効果有り	効果が限定	効果無し・非現実的
経済性	安価	普通	高価
施工性	容易	普通	困難
今後の可能性	※施工後の効果や費用が異なる		

4.2 上部構造対策

(1) 概要

上部構造対策は、道路管理者が路面对策の次に最もよく実施する対策である。上部構造対策には、①構造変更によるもの、②質量増加・剛性増加によるもの、③減衰付加によるものが考えられる。

(2) 構造変更^{11)~19)}

上部構造対策としてよく実施されているのは、単純桁の連結によるノージョイント化である。単純桁の連結化の手法は幾つかあり、床版のみを連結する床版連結工法、主桁を連結する主桁連結工法などがある。

ノージョイント化による騒音・振動の低減効果について、当初は連結化によって固有振動数が若干高くなることで振動が低減することと、伸縮装置がなくなることで比較的高い周波数帯の振動が低減することの2つが期待されていたが、固有振動数の上昇については、ほとんど効果がなく、主としてノージョイント化（伸縮装置がなくなること）によって比較的高い周波数帯の騒音・振動が低減することによっていると考えられている。したがって、伸縮装置の撤去を伴わない主桁を連結するのみの工法では騒音・振動の低減は効果があまり望めない。

ノージョイント化（連結化）による振動・騒音の低減効果については数多く報告されており、騒音で1~8dB、振動で1~5dB程度と考えられている。

なお、異なる構造系（主桁の本数・高さが異なる、主桁の形式が異なる）のノージョイント化の検討も進められているが、一般的なものではない（中間支点部のコンクリート巻立てによる連結化等が実施された事例がある）。

ノージョイント化以外では、弾性支承化によって振動を低減しようとした事例がある。

弾性支承化は、支承を鋼製支承からゴム支承に変更することにより、固有振動数を変化させたり、ゴム支承の弾性によって振動の伝播を抑制したりしようとしたものである。

昭和40年代後半に実施された事例では、採用されたゴム支承の弾性係数が小さすぎて伸縮装置部で段差が生じることになり、かえって振動が大きくなった事例があった。また、最近では、阪神大震災後に耐震対策として弾性支承化（ゴム支承化）が進められたが、振動対策として評価した場合については、明瞭な効果は報告されていない。

上記以外に、鉸桁の箱桁化、鉸桁のアーチ化、主桁増設（縦桁の主桁化、増設主桁化）などが構造変更の事例としてあげられるが、これらはいずれもB活荷重対策・耐震補強対策として実施されたものであり、明確に振動・騒音に対する低減効果が把握されているとはいえない。

また、主桁間距離の長い2~3箱桁橋の端横桁に支承を追加したり、ゴム支承化した鉸桁橋の端横桁に鋼製支承を追加したりして振動の低減を図る疑似支承工の実施事例がある。これらについては、現地での実測事例はあるが、解析的な検討は実施されていない。

(3) 質量増加・剛性増加²⁰⁾

質量増加・剛性増加による対策としては、床版増厚によるものがある。

伸縮装置と近傍の対傾構間の床版を増厚する対策は、低周波音対策として実施された事例がある。また全面的な床版の増厚は、B活荷重対策・耐震補強対策として実施するものであり、明確に振動・騒音低減効果が把握されているとはいえないが、質量増加・剛性増加（向上）は、いずれも振動・騒音を低減させる方向であり、低減効果はあると予想されるが定量的なものとはなっていない。

端横桁RC（コンクリート）巻立てについては、低周波音対策、振動対策として比較的好く実施されている工法である。また、トラス橋の端部（橋台部）におけるRC巻立ても低周波音の低減対策として実施されている事例がある。

端横桁RC巻立てについては、解析的に研究された事例があるが、巻立て厚と低減効果の関係に対する検討や現地での効果については不明瞭な点が多いのが現状である。

(4) 減衰付加^{21) 22) 23)}

上部構造の振動対策としてよく実施されるものにTMD（動吸振器）の設置がある。長大橋や吊り橋・斜張橋の塔状構造物、ビル・高層ビル等におけるTMDの設置事例は多く、その振動低減効果は、実測的にも解析的にも明確になっていると考えられる。これらの事例は、主としてTMDの自由振動時に対する減衰効果が現れているものと考えられる。

しかし、一般的な25~40mの橋梁（道路橋）におけるTMDの設置事例の報告は少ない。振動対策としては、解析的な研究結果および実測事例によると、上部構造では数dB程度の振動低減効果があるとなっているが、下部構造や地盤上になると1~2dBと低減効果が小さくなっている。

振動対策以外に、低周波音対策としてTMDが設置される事例が最近報告されている。これによると、比較的大きな低減効果が認められることが報告されている。したがって、上部構造に起因した振動・低周波音の発生についてはある程度の低減効果が期待できるものと考えられる。

TMDの場合、着目する周波数帯以外での効果が期待できないことから、影響の大きい振動数のみが卓越している必要があるが、実際の橋梁では近接する複数の卓越

するピークが卓越している場合が多い。そこで、これを改良するために着目する対象周波数を広げたMMD (Multi Mass Damper) の研究が進められている。

したがって、TMDを地盤振動の低減対策として適用する場合については、上下部構造の振動特性やそれらと地盤振動の関係について把握したうえで低減効果を評価することが望まれる。

TMD以外の減衰付加については、AMD (アクティブダンパー)、桁端ダンパー、中間橋脚を設置した上でのダンパーによる減衰付加などの工法があるが、いずれも実施事例が少ないかなく、その効果については明確でない。

減衰付加による方法は、騒音対策としては比較的実績が多く、制振材の設置として実施されている。この場合対象となる音源としては高架構造物音 (固体伝搬音) である。高架構造物音とは、高架道路上を車両が走行したとき、その加振力によって高架構造物の床版、桁などが振動し、それによって床版の裏面、桁などの表面から放射される騒音とされている。

騒音対策に利用される制振材としては、磁性制振材やゴム板を鋼板に加硫接着させたものがある。いずれの制振材も63~4kHz付近の騒音を2~7dB程度低減できた測定事例があり、騒音低減効果が認められる。

また、減衰を付加する工法ではないが、鉸桁・箱桁間や桁全体 (支間の1/4~1/2程度まで) を遮音材、防音材で塞ぐことで騒音を低減させようとした事例がある。この工法では、防音材を使用した方が低減効果は高く、官民境界で6dBの低減効果を得たという報告がある。

4.3 その他の対策

(1) 概要

前節までで橋梁の上部構造に着目した対策について整理した。本委員会の検討は、これまで上部構造を中心としたとりまとめを行っており、下部構造・基礎構造や伝播経路対策、受振点対策については十分な検討は実施していない。

そこで、ここでは参考として各事例について整理を行うものとする。

(2) 下部構造対策・基礎構造対策

下部構造対策としては、橋脚巻立て (断面増厚) がある。橋脚巻立ては、耐震補強対策として実施されるものであり、明確に振動・騒音低減効果が把握されているとはいえないが、質量増加・剛性増加 (向上) は、いずれも振動・騒音を低減させる方向であり、効果はあると予想されるが定量的なものとはなっていない。

また、増杭・増フーチングについても橋脚巻立てと同様であり、質量増加・剛性増加 (向上) が振動・騒音を低減させる方向であり、効果はあると予想されるが定量的

なものとはなっていない。

(3) 伝播経路対策²⁴⁾

伝播経路対策としては、地盤改良、地中防振壁・防振溝、緩衝地帯の設置等が考えられる。

地盤改良は、土木工事としては頻繁に実施されており、軟弱地盤における振動の低減対策としても比較的良好に実施されている。したがって、用地の確保が可能で、地盤による振動の増加が顕著である場合については、低減効果が発揮されると考えられる。

地中防振壁・防振溝については、以前から解析的には振動低減効果があると考えられている。しかし、交通振動等による振動対策としては工事が大規模となること、道路境界より外側での施工となることから、実施事例は少ない。また、実施された事例の効果についても、評価の差異が大きいことから、対象となる地盤条件や構造物、施工方法の影響が大きいと考えられる。

緩衝地帯の設置は、振動の伝播距離の確保による低減効果を目的としたものであり、一般的な構造物や地盤条件においては、有効な低減対策であると考えられる。

(4) 受振点対策²⁵⁾

受振点対策としては、家屋・ビルの剛性増加や減衰付加等の対策が考えられる。

既設家屋の剛性増加対策については、JR (新幹線、名古屋周辺) で実施された数多くの実績がある。また、新規の家屋については耐震設計・耐振設計が進んでおり、比較的揺れにくい構造となっている。

減衰付加については、TMDやAMDの設置がある。高層ビルについては、耐震設計・耐風設計のひとつとして積極的にTMD・AMDの設置が進められている。また、家屋についても、最近では3階建ての家屋が増えてきたことから、これらについてはTMDを標準工法として設置した家屋が販売されている。小規模なビルや家屋のTMDの効果については、概略3~5dB程度の低減が認められている。

参考文献

- 1) 徳永法夫, 西村昂, 日野泰雄, 青野茂生: 都市内高速道路の交通制御と地盤振動低減効果に関する一考察, 大阪交通科学研究会, 交通科学, Vol. 28, No. 1・2, pp. 75-81, 1998.
- 2) 讃岐康博, 徳永法夫, 西村昂, 日野泰男: 都市高速道路の交通制御と振動低減に関する一考察, 土木学会年次学術講演会講演概要集第7部, Vol. 52, pp. 138-139, 1997.
- 3) 道路交通振動防止技術マニュアル; 環境庁大気保全特殊公害課, (株)ぎょうせい, 1980.
- 4) 徳永法夫, 薄井王尚, 西村昂: 道路橋伸縮継手周辺の路面凹凸による交通振動の周辺影響に関する実験と解析, 構造工学論文集, Vol. 47, A-III, pp. 999-1008, 2001.

- 5) 武市学, 米田昌弘, 徳永法夫, 後藤裕功: 伸縮継手を
含む波長の長い路面段差性状とそれによって誘起される
橋梁交通振動について, 土木学会関西支部年次学術講演
会講演概要集, I-40, 1999.
- 6) 池田光次, 永井淳一, 衛藤繁美, 永井淳一, 安藤亮介,
大林正和: 鋼桁橋の振動対策工法—中国道—後川橋延
長床版工事—, EXTEC '99, pp. 35-37, 1999.
- 7) 讃岐康博, 梶川康男, 永井淳一, 浜博和: 延長床版工
法に在る振動対策効果について, 土木学会年次学術講演
会講演概要集第1(B), Vol. 54, pp. 482-483, 1999.
- 8) 徳永法夫, 日野泰雄, 西村昂: 高架道路橋の交通に起
因する振動特性と人の感じ方に関する一考察, 橋梁と基
礎, Vol. 34, No. 6, pp. 27-32, 2000.
- 9) 青野茂生, 徳永法夫, 西村昂, 日野泰雄: 高架道路交
通振動に対する沿道住民の知覚特性に関する考察, 土木
学会年次学術講演会講演概要集第7, Vol. 53, pp. 408-409,
1998.
- 10) 徳永法夫, 西村昂, 日野泰雄, 宮原哲: 高架道路に
おける交通振動低減対策効果と苦情要因の分析, 土木計
画学研究・論文集, Vol. 14, pp. 451-458, 1997.
- 11) 道路環境影響評価の技術手法, (財) 道路環境研究所
- 12) 既設橋梁のノージョイント化工法の設計施工手引き
(案), (財) 道路保全技術センター, 1995.
- 13) 徳永法夫, 西村昂, 松井繁之, 刑部清次: 既設単純
鋼桁の連結化に伴う連結部付近の維持・管理および鉛道
の環境面への影響に関する一考察, 構造工学論文集,
Vol. 44, A-III, pp. 1095-1104, 1998.
- 14) 徳永法夫, 吉川実, 川北司郎, 山本豊: 高力黄銅支
承板 (BP) 支承からゴム支承への取替えに対する有益性
に関する一考察, 土木学会論文集, No. 581/IV-37,
pp. 17-25, 1997. 12.
- 15) 梶川康男, 深田宰史, 林秀侃, 吉川実, 薄井王尚:
弾性支承と桁連結構造を用いた既設高架橋の振動特性,
構造工学論文集, Vol. 43, A-II, pp. 747-756, 1997.
- 16) 薄井王尚, 徳永法夫, 川谷充郎, 西村昂: ゴム支承
化による橋梁交通環境振動への影響に関する実験, 土木
学会年次学術講演会講演概要集第7部, Vol. 52,
pp. 148-149, 1997.
- 17) 薄井王尚, 徳永法夫, 西村昂, 松井繁之: 高架道路
の弾性支承化と交通振動に関する研究, 土木学会年次学
術講演会講演概要集第7部, Vol. 53, pp. 404-405, 1998.
- 18) 徳永法夫, 江上輝男, 讃岐康博, 西村昂: 主桁間隔
の広い2箱桁橋の防振工事, 橋梁と基礎, Vol. 30, No. 11,
pp. 16-24, 1996.
- 19) 薄井王尚, 永井淳一, 上羽坪勲, 川原斉: 主桁増設・
桁連結による既設橋梁の補強効果・環境改善効果につい
て, 土木学会年次学術講演会講演概要集第1部(A),
Vol. 50, pp. 712-713, 1995.
- 20) 山田靖則, 川谷充郎: 桁端補強工法による橋梁交通
振動軽減の解析的研究, 構造工学論文集, Vol. 43, A-II,
pp. 737-746, 1997.
- 21) 讃岐康博, 梶川康男, 岩津守昭, 林秀侃, 伊関治郎:
動吸振器の制振効果に関する現地実験, 振動制御コロキ
ウム論文集, PART. B, pp. 89-96, 1991. 7.
- 22) 澤田憲文, 横山功一, 金子学, 澤登善誠, 岩津守昭,
右近大道, 伊関治郎: 動吸振器 (TMD) による道路交通振
動の軽減効果について, 振動制御コロキウム論文集,
PART. B, pp. 105-112, 1991. 7.
- 23) 井上浩男, 渡邊茂, 連重俊, 平野廣和: 低周波数振
動モード構造音の低減を目的とした制振材連結の効果,
土木学会年次学術講演会講演概要集第7部, Vol. 55,
pp. 282-283, 2000.
- 24) 徳永法夫, 森尾敏, 家村浩和, 西村昂: E P S 地中
防振壁の交通振動低減効果に関する研究, 土木学会論
文集, No. 638/III-49, pp. 91-106, 1999. 12.
- 25) 徳永法夫, 西村昂, 谷口与史也, 宮原哲: 3階建家屋に
おける道路交通振動に対する防振対策の研究, 土木計画
学研究・論文集, Vol. 16, pp. 365-370, 1999.

2-3 橋梁のジョイントに着目した対策方法

1. 橋梁ジョイント部の構造

橋梁の振動・騒音の主なものとして、車輛走行音の他に、路面や橋梁ジョイント部の段差を車輛走行に伴い発生する橋梁振動、ジョイント部の舗装、コンクリート、鋼材、ゴム等の材料硬さの異なる箇所の車輛走行による振動・騒音、伸縮装置の隙間からの音漏れなどがあげられる。これらの橋梁の振動・騒音の主な原因は、橋梁ジョイント部の車輛走行に伴う衝撃である。橋梁ジョイント部の標準的な構造は図-1 のようになるが、土工と橋梁または橋梁同士の隙間を路面として機能させるため、伸縮装置を設けるのが一般的である。橋梁ジョイント部は、温度変化等による橋梁の伸縮を吸収するために必要不可欠な橋梁の部材である。近年では、振動・騒音の低減や耐震性の確保、漏水による劣化防止等の観点から、多径間連続化が進み、新設時だけでなく改良でも橋梁ジョイント部を減らす方向に進んでいる。しかし、橋梁の長大化に伴い、伸縮装置も大きくなり、補修が容易でなくなることからより耐久性の高いものが求められるようになってきている。

2. 伸縮装置の設計・施工

2.1 伸縮装置に求められる性能

伸縮装置は、橋梁の部材としてのみならず、道路の路面としての性能が求められる。道路橋示方書では、伸縮装置において以下の性能が求められるとしている¹⁾。伸縮装置の設計、施工ではこれらの性能を満足するか照査する。これらの照査項目のうち、耐久性や騒音・振動に関する照査は、解析では困難であることから実験や今までの実績等で判断することが多い。

- 1) けたの温度変化、コンクリートのクリープ及び乾燥収縮、活荷重等による橋の変形が生じた場合にも、車輛が支障なく通行できる路面の平坦性を確保する。
- 2) 車輛の通行に対して耐久性を有するものとする。
- 3) 雨水等の浸入に対して水密性を有するものとする。
- 4) 車輛の走行による騒音、振動が極力発生しないよう配慮した構造とする。
- 5) 施工、維持管理及び補修の容易さに配慮した構造とする。
- 6) 伸縮装置の耐震性能としては、レベル1地震動に対して損傷しない。

2.2 伸縮装置の形式

一般的に使われる伸縮装置の形式には、埋設ジョイント、ゴムジョイント（簡易型ジョイントを含む）、鋼製フィンガージョイントがある（図-2 参照³⁾。また、曲線橋等では橋軸直角方向の伸縮にも対応可能なビーム型ジョイントも使用される。伸縮装置は、橋梁の伸縮量や車輛の交通量に応じ、性能とコストを考えこれらの中から選定される。埋設ジョイントは、ゴムアスファルト等の材料で構成され、アスファルト舗装との剛性差がコンクリートや鋼材等に比べ小さいため段差ができにくく、隙間がないため比較的振動・騒音は少ない。しかし、伸縮量が大きい橋梁や交通量の多い道路では耐久性の面で劣るため、他の形式が用いられるのが一般的である。埋設ジョイント以外の形式の伸縮装置では、遊間にできる段差による振動・騒音の発生は避けられない。また、伸縮装置の構造によっては、伸縮装置の凹凸と走行車輛のタイヤにより密閉された圧縮空気が音の発生源となるという報告もあり、騒音対策としてそれらの改良がなされたものもある。

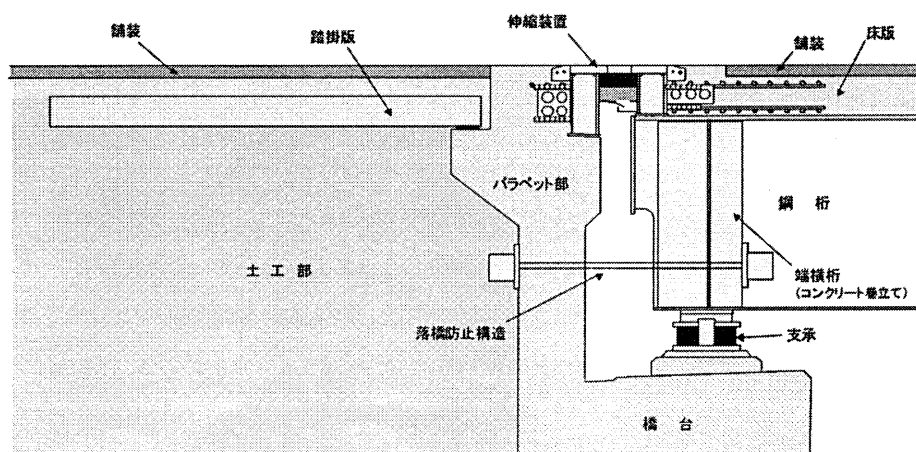


図-1 一般的な橋梁ジョイント部の構造

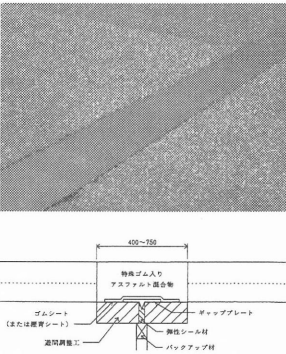
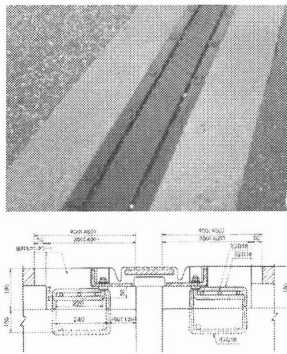
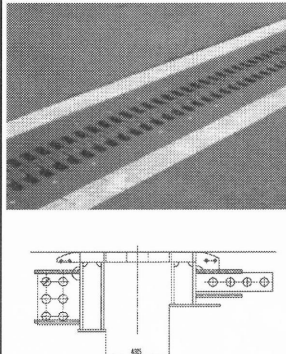
形式	埋設ジョイント	ゴムジョイント	鋼製フィンガージョイント
概要	 <p>前後の舗装と同程度の性状を有する舗装材料を主材料とする構造。</p>	 <p>伸縮自由な各種ゴム材と鋼材を組み合わせた構造。表面が、ゴム製、鋼製による分類および荷重の支持ができない(突合せ型)、できる(荷重支持型)による分類の組み合わせにより4種類に分類できる。</p>	 <p>鋼材で組み立てられ、直接輪荷重に耐えることのできるクシ型構造。</p>

図-2 伸縮装置の主な形式

2. 3 伸縮装置の設計で考えられる段差

鋼橋で最も用いられる鋼製フィンガージョイントを例に、設計上考えられる段差について考える。鋼製フィンガージョイントのフェイスプレートの先端形状は、桁の活荷重たわみや縦断勾配の影響で生じる段差を考え、スムーズな走行を確保するように設計している。

活荷重たわみによる段差 Δh_1 は、以下の式で求められる(図-3参照)。

$$\Delta h_1 = H \times \theta \times \theta + a \times \theta \div a \times \theta$$

ここに、 θ ：活荷重たわみによるけたの回転角で、鋼橋では以下の式で求められる。

$$\theta = 2 \times L / 600 / (L / 2) = 1/150$$

a：端部長さ

桁高による変位の影響は僅かであると考え、端部長さaが1,000mm程度の場合、 Δh_1 は約7mm程度になる。

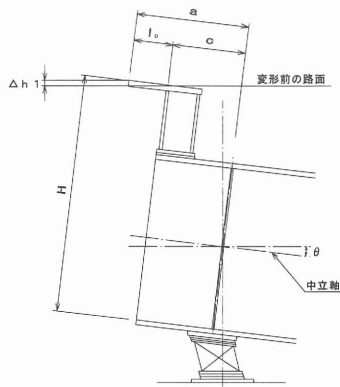


図-3 活荷重たわみによる伸縮装置の段差

また、縦断勾配によるけたの伸縮に伴う段差 Δh_2 は、以下の式で求められる(図-4参照)。

$$\Delta h_2 = \Delta l \times i / 100$$

ここに、 Δl ：温度変化に伴う標準温度からのけたの伸縮量 $\Delta l = \alpha \times L \times \Delta T$ 、 α ：線膨張係数、L：伸縮けた長、 ΔT ：標準温度からの温度変化、i：縦断勾配、 $\alpha = 1.2 \times 10^{-5}$ 、L=260m、 $\Delta T = 15^\circ\text{C}$ 、設計速度が40km/h(高速道路のランプ橋を想定)の場合の $i = 7\%$ と考えると、 Δh_2 は約3mm程度になる。

以上から、活荷重たわみや縦断勾配の影響を考えると、設計上で10mm程度の段差が考えられる。

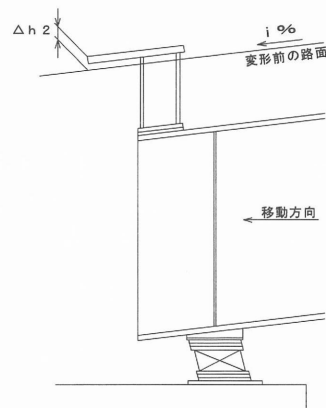


図-4 縦断勾配の影響による伸縮装置の段差


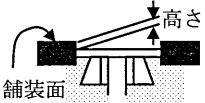
2. 4 伸縮装置の施工で考えられる段差

次に伸縮装置の施工で考えられる段差について、鋼製フィンガージョイントの例で考える。表-1は橋梁ジョイント部の段差に関する施工管理基準を示したものである

4). フェイスプレートの歯の噛み合い分の高低差と舗装

面の仕上げ高さの誤差の合計は4mmまで許容され、設計で考えられる段差と併せ最大14mm程度の段差が考えられる。橋梁ジョイント部では、常にこれらの0~14mm程度の段差を車輛が通過することで発生する衝撃があると考えられる。

表-1 橋梁ジョイント部の段差に関する施工管理基準
(鋼製フィンガージョイント)

項目	許容誤差	摘要
伸縮装置の表面の凹凸	3mm	長手方向に3mの直線定規で計って凹凸が3mm以下
フェイスプレートの歯咬み合い分の高低差	2mm	ジョイント組立時のフィンガー中心A・B点の差 
舗装面の仕上げ高さ	舗装面に対し0~-2mm	

2. 5 振動・騒音に配慮した橋梁ジョイント構造

橋梁ジョイント部は振動・騒音源となることから、その対策として様々な方法で配慮されており、その代表的な例を以下にあげる。

①端横桁コンクリート巻立て

鋼少主桁橋の端横桁は、桁端部の防錆、横座屈や落橋防止構造の定着等の耐震性、騒音の低減を考慮して、コンクリート巻立てを行っている³⁾。

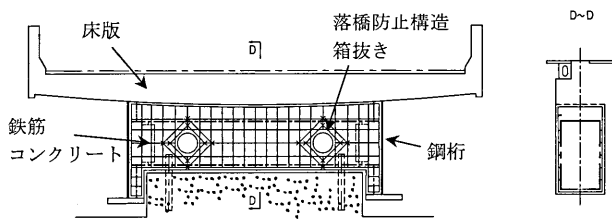


図-5 鋼橋の端横桁のコンクリート巻立ての例

②延長床版システム

延長床版システムは、図-6に示すように、上部構造の床版を橋台背面の土工部まで延長する構造で、伸縮装置を桁遊間部から土工部にもってくることで、車輛走行による振動・騒音の低減、水密性の確保等を図っている。車輛等による桁のたわみを考えた延長床版の設計、橋台の背面土の沈下対策などを考える必要がある⁵⁾⁶⁾。

③ダブル埋設ジョイント

近年、埋設ジョイントは、舗装との一体性による走行性向上や騒音・振動の低減や、積雪地域の除雪による伸縮装置の損傷を考え採用が多くなっている。しかし、伸

縮遊間の適用範囲が小さいため、一般に小規模の橋梁しか採用できないが、最近、図-7のような伸縮遊間を分散し埋設ジョイントを2つ並べた構造が開発され、埋設ジョイントの適用拡大を図っている。

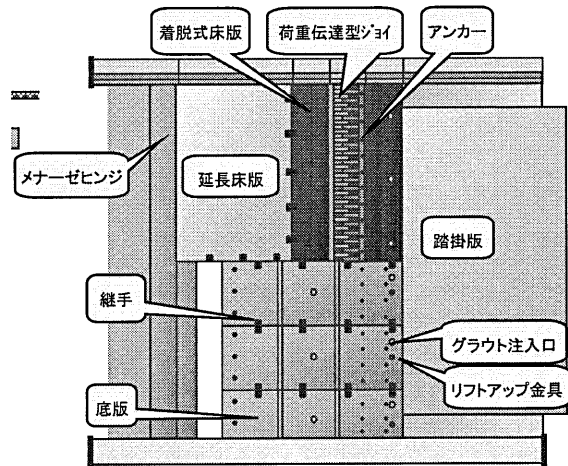
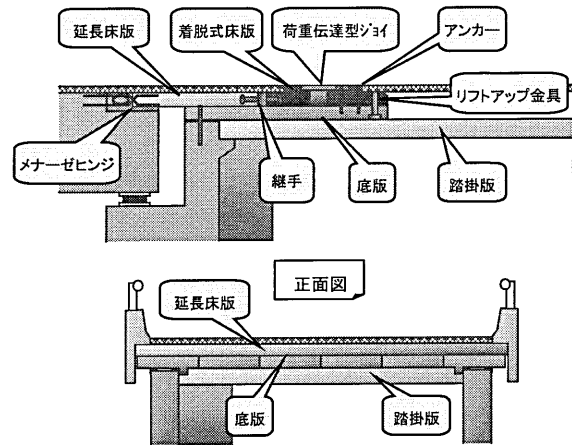


図-6 延長床版システムの例

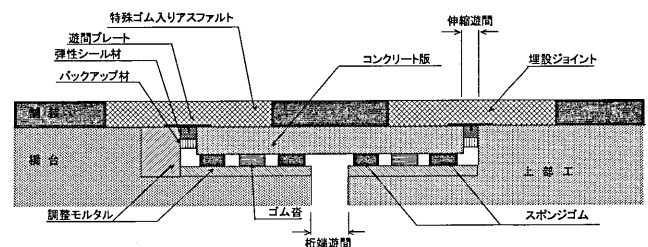
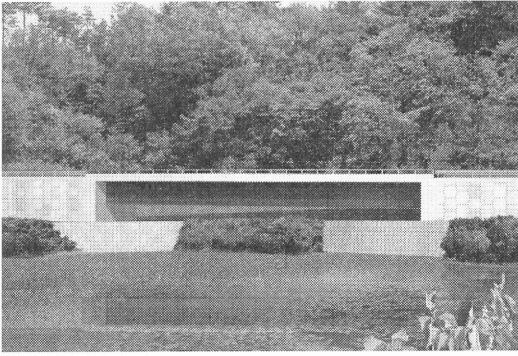


図-7 ダブル埋設ジョイントの例

④橋台との剛結化(鋼ポータルラーメン橋)

鋼橋において伸縮装置をなくした橋梁が、近年採用される例も出てきている。その例として鋼ポータルラーメンがあげられるが、橋台コンクリートと鋼桁の接合部の設計、施工及び耐震設計について十分な検討が必要である⁷⁾。



- 7) 芦塚憲一郎, 和田圭仙, 堀井千絵, 佐古周一: 鋼ポータルラーメン橋剛結部への孔あき鋼板ジベルの適用, 土木学会第 61 回年次学術講演会, 2006. 9.

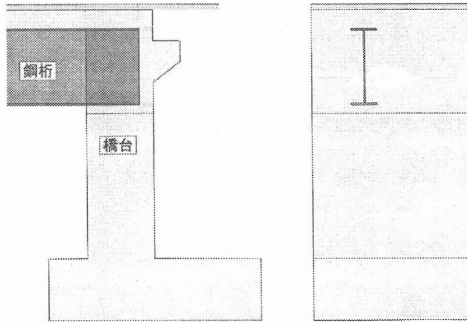


図-8 鋼ポータルラーメン橋

3. おわりに

鋼道路橋の振動・騒音の話題は、特別なことではなく日常的に起こりうると考えられる。特に供用直後は、道路ができる前との環境の変化もあり、苦情が多い傾向にある。また、苦情後も発生源が橋梁であることを特定することや、効果のある対策工法の選定が現場条件や構造の違いから容易でないことから、路面の段差修正など対処療法的な対応となっているのも少なくなく、早急に対策の評価方法がまとめられることが期待されているところである。また、建設時に留意として、計画時に橋梁ジョイント位置を住民に配慮したり、設計時に端横桁のコンクリート巻立てを行うなどの配慮をすべきである。

参考文献

- 1) (社) 日本道路協会: 道路橋示方書・同解説 I 共通編, 2002. 3.
- 2) (社) 日本道路協会: 道路橋示方書・同解説 V 耐震設計編, 2002. 3.
- 3) 東日本・中日本・西日本高速道路(株): 設計要領第二集橋梁建設編, 2006. 6.
- 4) 日本道路公団: 構造物施工管理要領, 1998. 7.
- 5) 紫桃孝一郎, 久保田賢司, 塩畑英俊, 黒田建二, 酒井修平, 石川裕一, 伊藤彰彦: 延長床版システムの性能評価に関する検討, 土木学会第 61 回年次学術講演会, 2006. 9.
- 6) 本間淳史: JH橋りょう技術の動向, EXTEC, No. 71, 2004. 12.