

第4章 橋梁構造における対策

4. 1 伸縮装置関連の対策

4. 1. 1 平坦性の確保

伸縮装置の前後では舗装の転圧を十分に行うことが困難であるので、路面に段差が生じやすく橋梁騒音（衝撃音）の原因となる。これに対して伸縮装置前後の路面の平坦性を確保することは、発生源対策の代表的なもののひとつでありその騒音低減効果はきわめて高い。したがってこの部位の舗装にあたっては入念な施工が必要であり、また耐磨耗性のすぐれた舗装材料の採用も有効である。

伸縮装置自体の製作誤差や床版との密着部の施工性などの問題により、路面にひび割れが発生し、伸縮装置前後や本体に段差が生じることもある。したがって伸縮装置の製作に当たっては製作精度に十分注意を払うことはもちろん、橋体と一体となるよう高い剛性の構造で耐久性をもたせる必要がある。さらに伸縮装置は、常に繰り返し荷重を受けることからわずかな欠陥でも破損や段差の拡大へつながることが多く、日常の点検を計画的かつ組織的に行う必要がある。伸縮装置便覧¹⁾にも、点検事項として以下のような項目が挙げられている。

- ① 伸縮装置の前後の凹凸が5ミリ以上になった時は直ちに補修することが望ましい。
- ② 伸縮装置の直前直後にひび割れが見られるかまたは音がする時は、下側より床版の状況および装置の取付状態と音響、振動などの調査をして破損箇所を確かめ、床版のひび割れ、鋼材と床版の間隙などに樹脂の注入を行うとよい。
- ③ 簡単な突き合わせ構造の隅角のひび割れまたは破損した箇所は、できるだけ早めに切り取ってよく清掃し、コンクリートまたは樹脂モルタルで打ち直しをするとよい。

4. 1. 2 伸縮装置の改良

伸縮装置の構造が不適当なために騒音が発生する場合がある。例えば図-4.1.1に示すような重ね合わせ式伸縮装置は重ね合わせ部にすき間を生じやすく、走行車両の通過によって鋼板が叩かれて衝撃音が発生するので、車道部への採用は避けるべきである。また一般の片持ち式フィンガージョイントでも、フェースプレート等が破損した場合には騒音が発生するので、フェースプレートには十分な強度をもたせて設計する必要がある。

また伸縮装置部における舗装の不連続性が騒音の原因となっていることから、これをなくすために図-4.1.2に示すような連続舗装や、図-4.1.3に示すような橋軸方向の変形の吸収が可能な埋設ジョイントが考えられており、現在実用化に向けての検討が進められている。

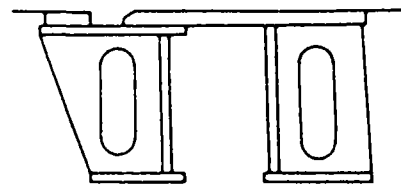


図-4.1.1 重ね合わせ式伸縮装置

第4章 橋梁構造における対策

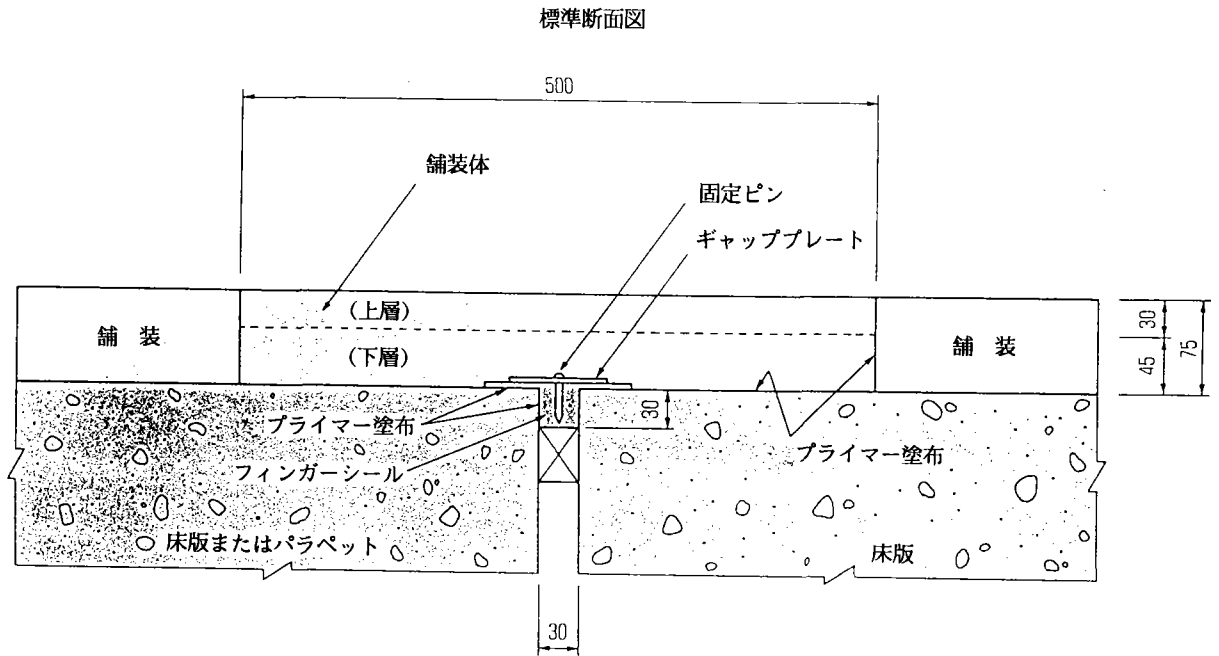
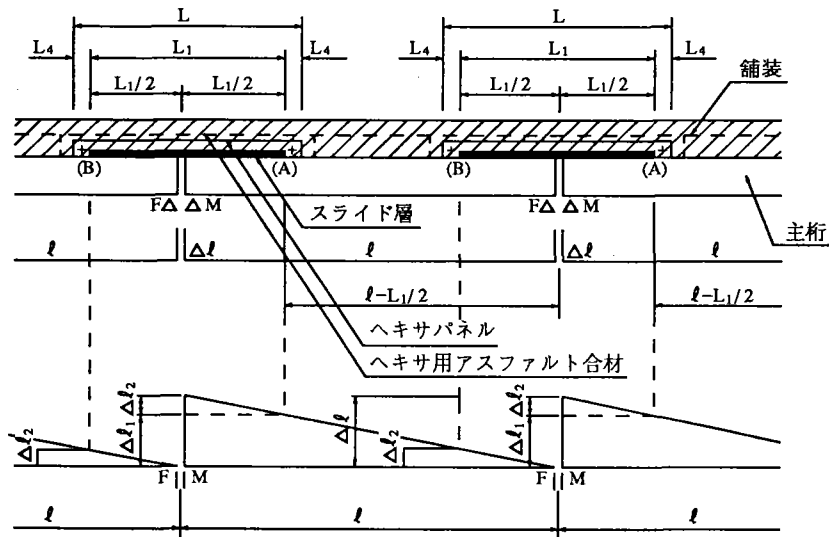


図-4.1.2 連続舗装の施工例²⁾



- L : ヘキサパネルの全敷設長 ($L_1 + 2L_4$)
- L_1 : $(\ell - L_1/2) - L_1/2 = -L_1$ のヘキサパネルとヘキサ用合材の伸縮吸収量 (スライド長)
- L_4 : 固定長500 (一定) 端部アンカー固定
- F : 固定端
- M : 可動端
- ℓ : 伸縮桁長
- $\Delta\ell_1$: $\ell - L_1/2$ の伸縮量 (L のヘキサパネルとヘキサ用合材の伸縮吸収量)
- $\Delta\ell_2$: 点Aにより可動端Mまで及び固定端より点Bまでの伸縮量 (変位量) (スライドにより自由変化する伸縮量)
- $\Delta\ell$: 伸縮桁長 に対する伸縮量 (累計変位量)

図-4.1.3 埋設ジョイントの施工例³⁾

4. 1. 3 構造物の連続化

構造物の連続化とは、橋梁における騒音の発生源の一つである伸縮装置そのものをなくそうとする方法である。その具体的な方法としては連続桁の採用と既設橋に対するノージョイント化などがある。

ノージョイント化とは、図-4.1.4に示すような方法で温度変化による軸力は伝達するが曲げモーメントは伝達しないように隣接する主桁を連結して路面の連続化を図るものである。この場合、支間長や構造が等しい単純桁が連続している直線区間が望ましい。また活荷重たわみによる路面の折れが生じるため、図-4.1.5に示すように結合部の床版構造を工夫することや、埋設ジョイントとの併用を考える必要がある。

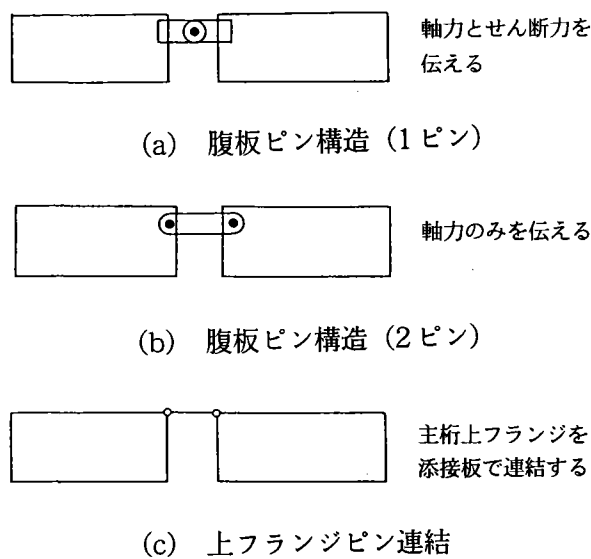


図-4.1.4 ノージョイント化の方法⁴⁾

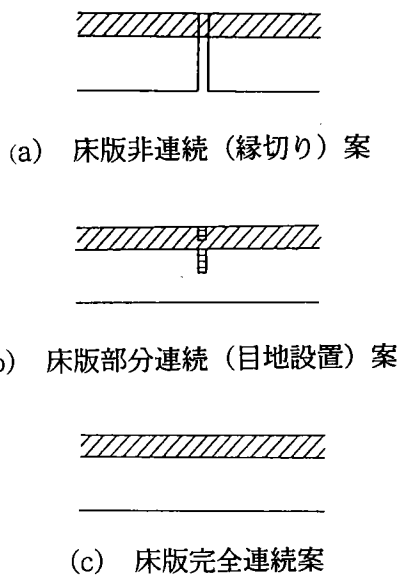


図-4.1.5 ノージョイント化した際の床版構造⁴⁾

第4章 橋梁構造における対策

さらに図-4.1.6に示すようにノージョイント化の施工前後で支承条件が異なってくるため、軸力などについての桁や下部工に対する補強の検討が必要となってくる。

橋梁を新しく計画する場合に構造物の連続化を図る方法として多径間連続方式を採用することがある。その方法としては図-4.1.7に示すようなものがある。

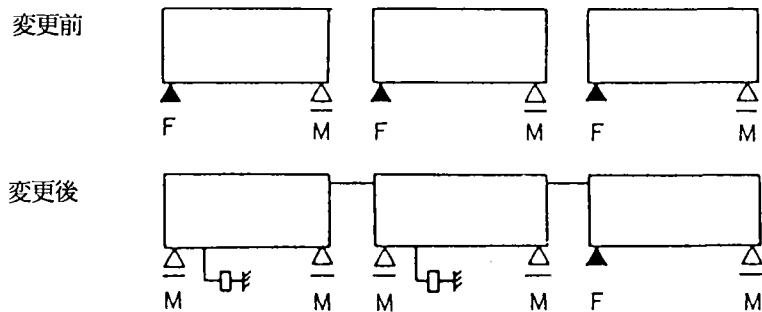


図-4.1.6 ノージョイント化による支承条件の変更⁴⁾

1	1個の固定脚を持つもの	
2	複数の固定脚を持つもの	
3	ストッパー（ダンパー）を付けたもの	

図-4.1.7 多径間連続桁の橋軸方向支持方法⁵⁾

(1) 一脚固定方式

全脚中一個の固定脚（固定支承）を持ち、他はすべて可動脚（可動支承）とする方式である。この場合は、地震力のすべてが固定脚に集中するので、固定脚の脚柱、基礎および上部工の支点部の構造を大きくする必要がある。

(2) 複数脚固定方式

この方式は一脚固定方式と違い、地震力を複数の固定脚に分散しようとするものである。これによって固定脚の大きさは固定点を増すごとに小さくすることができる。しかし桁の温度伸縮を拘束してしまうため、橋脚の剛性の検討や桁および床版に入る軸力の検討が必要となる。固定脚を可とう性橋脚とすると、橋脚の剛性に応じて地震力が橋脚に分散され、桁の温度伸縮を橋脚の弾性変形によって吸収させ、温度応力を小さく抑えることができる。橋脚が比較的剛な場合には地盤の変形まで考慮した一体構造系で構造解析することになるが、現地の地質調査等を十分に行った上で、地盤変形係数などを慎重に設定する必要がある。

(3) ダンパー・ストッパー方式

固定脚は一基とし、他の可動脚には最近免震構造としても採用されているダンパーを設置して上部工と橋脚を連結するものである。ダンパーとは、地震時のような桁の速い動きに対して抵抗力を発生し地震力を下部工に伝えるが、温度変化による桁の伸縮のような遅い動きに対しては抵抗しないという機能をもつものである。このことにより地震時にはその水平力を全ての脚に分散し、温度変化による応力は発生しないということになる。

現在考えられているダンパーには、オイルダンパー、粘性体を利用するダンパー（柱型ダンパー）、粘性せん断型ストッパー（図-4.1.8）、PC鋼線を利用するもの（SUダンパー）、ゴム支承を利用するものなどがある。なお多径間連続構造を採用する場合には、

- ① 平面、縦断などの線形
- ② 現地地盤の状況などの地質的条件
- ③ 路下の状況、沿道の状況などの立地条件
- ④ 地震時、風時、および温度変化に対する安全性
- ⑤ 維持管理
- ⑥ 基礎、下部工を含めた経済性

などの点に配慮して設計を行う必要がある。

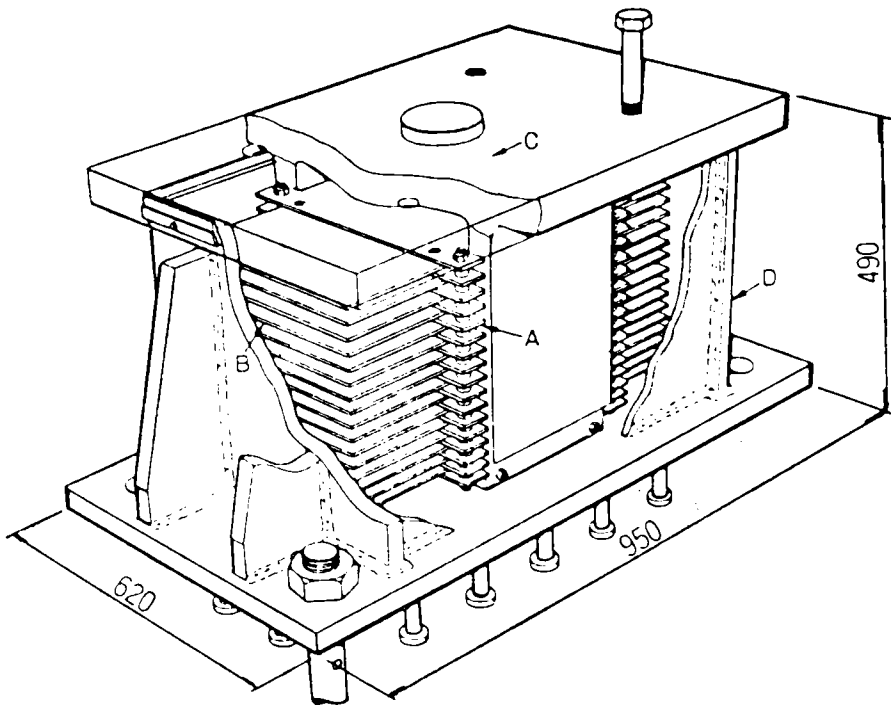
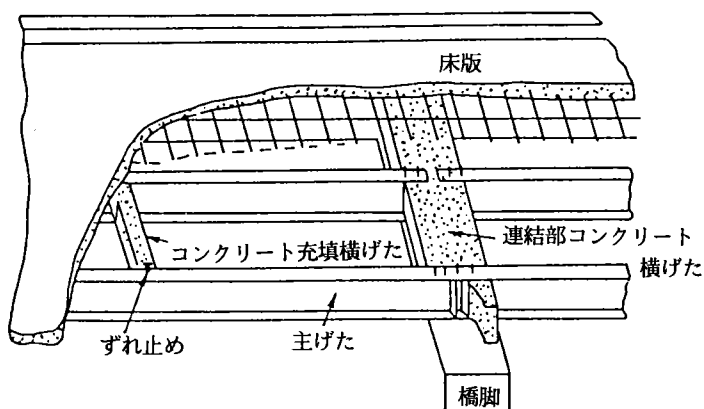
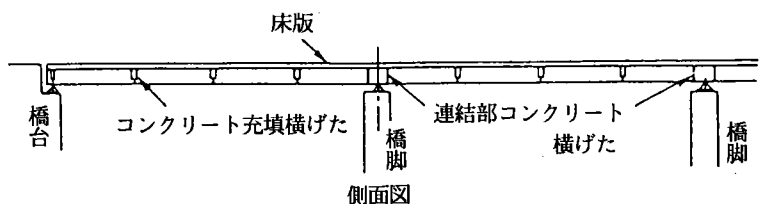


図-4.1.8 粘性せん断型ストッパー⁵⁾

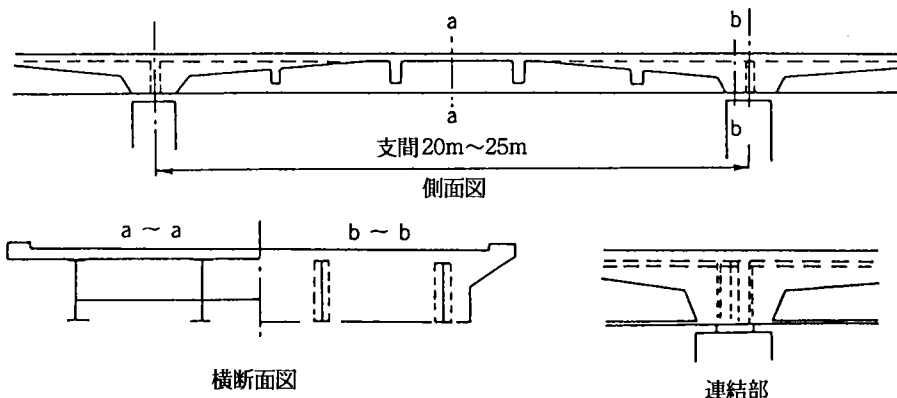
4. 2 主構造の対策

4. 2. 1 合成構造の採用

図-4.2.1に示すように、中間支点部などの構造をコンクリートとの合成構造として支点部の質量・剛性を増加させ、併せて路面の連続性を確保することによって橋梁の騒音レベルを低下させる構造案が考えられている。しかしこの案を実施するには、合成構造の実用的な設計法を確立するとともに施工性についても十分検討する必要がある、まだ多くの技術的な課題が残されている。



(a) 連続鋼合成げた



(b) 変断面床版合成げた

図-4.2.1 合成構造の採用⁶⁾

4. 2. 2 床組の補強

端対傾構、端横桁など床組を補強して、ジョイント部の質量・剛性を増加させることにより交通車両のジョイント通過時の衝撃によるたわみを減少させ、衝撃音の減少を計ることが行われている。具体的な方法としては、

- ① 端対傾構のコンクリートの巻き立て (図-4.2.2)
- ② 支点上対傾構での横桁構造の採用
- ③ 端部床版厚の増加及び打ち下ろし区間の延長 (図-4.2.3)
- ④ 伸縮装置の支持間隔を小さくする伸縮装置受台 (図-4.2.4)
- ⑤ 床版端部の補強 (図-4.2.5, 図-4.2.6)

などがあるが、どの程度の騒音減少効果があるかはまだ確認されていない。

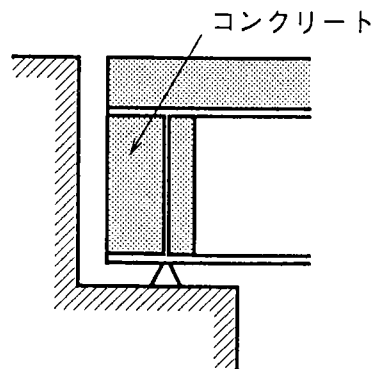


図-4.2.2 桁端のコンクリート巻き立て

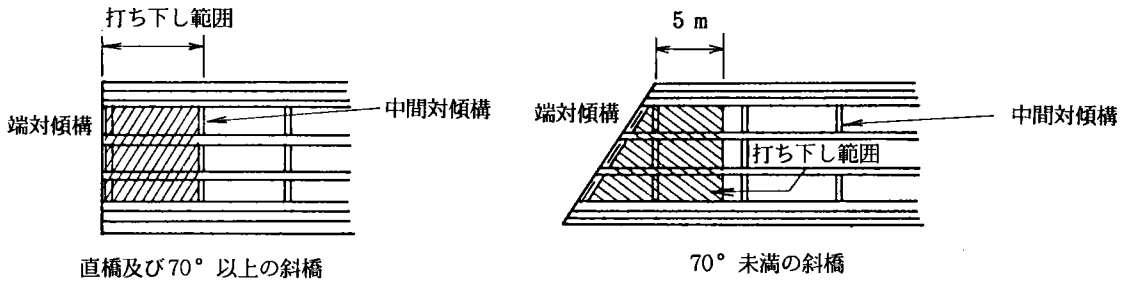


図-4.2.3 床版の打ち下ろし区間⁷⁾

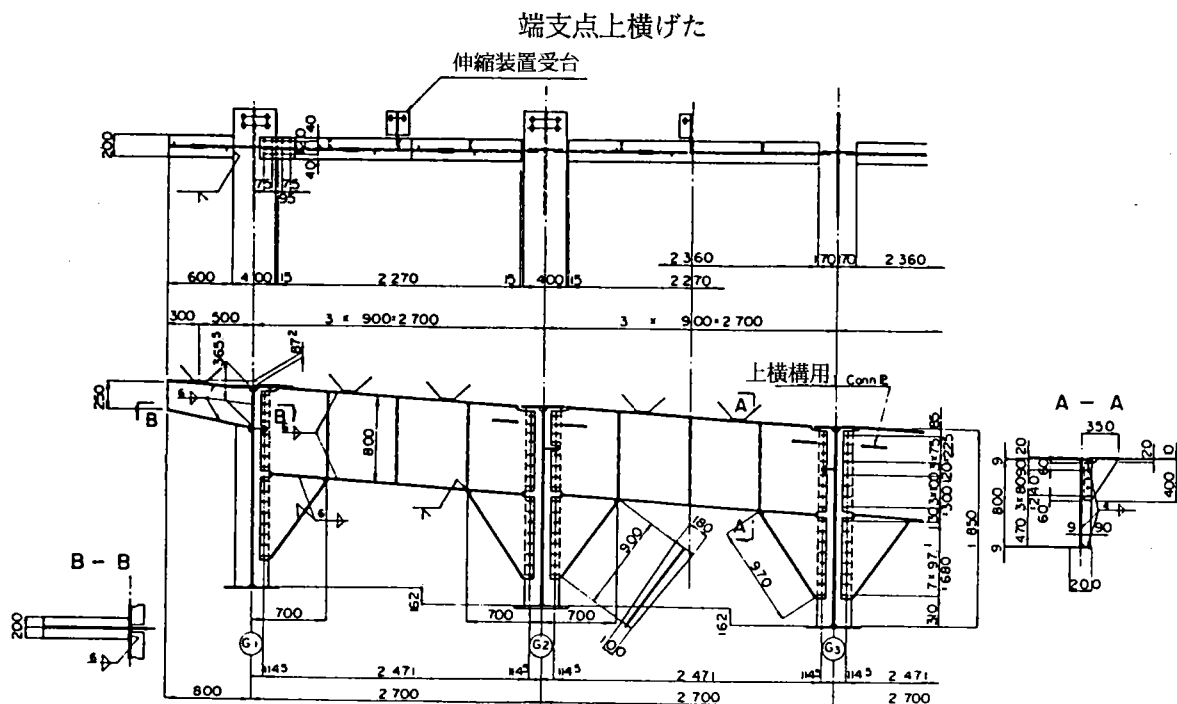


図-4.2.4 伸縮装置受台⁸⁾

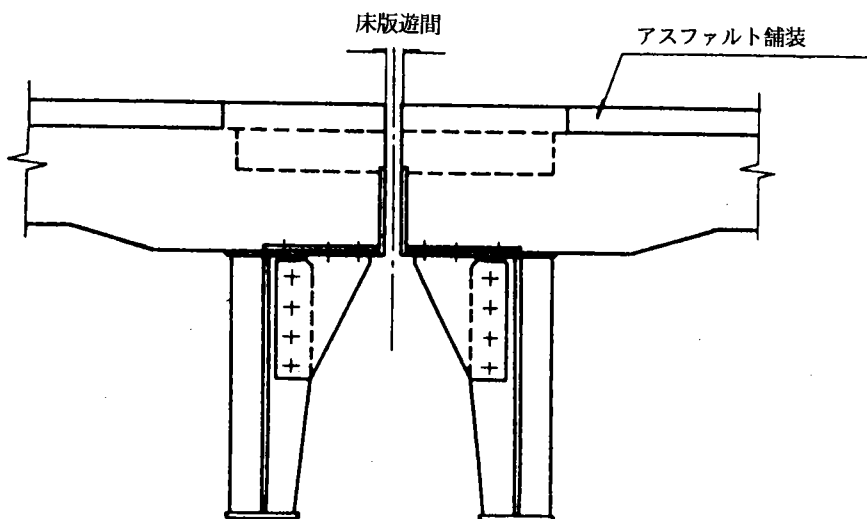
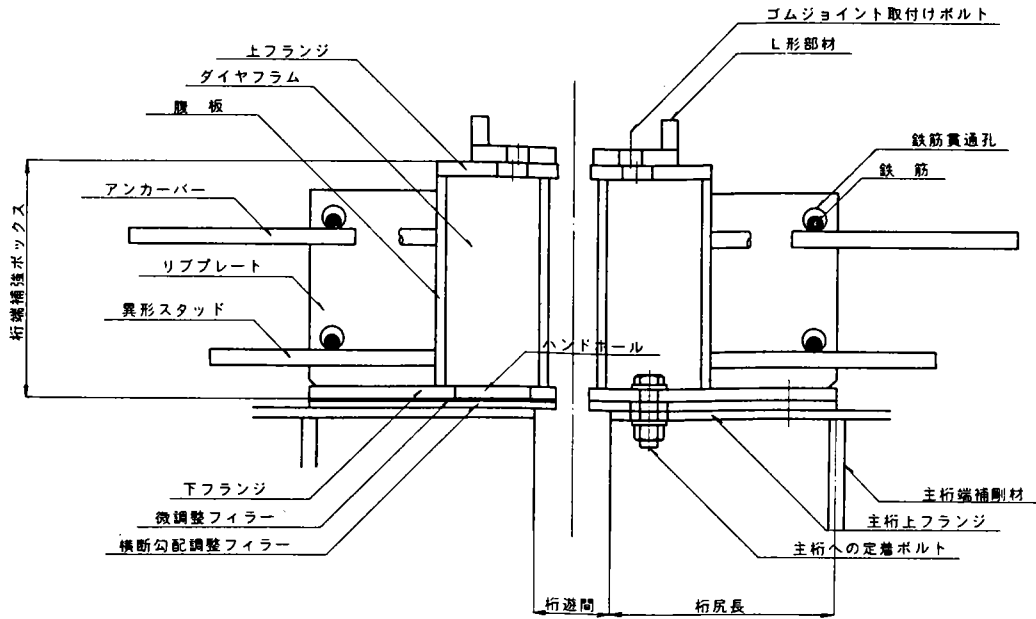


図-4.2.5 床版端部の補強⁸⁾

ゴムジョイントを使用する場合



鋼製フィンガージョイントの場合

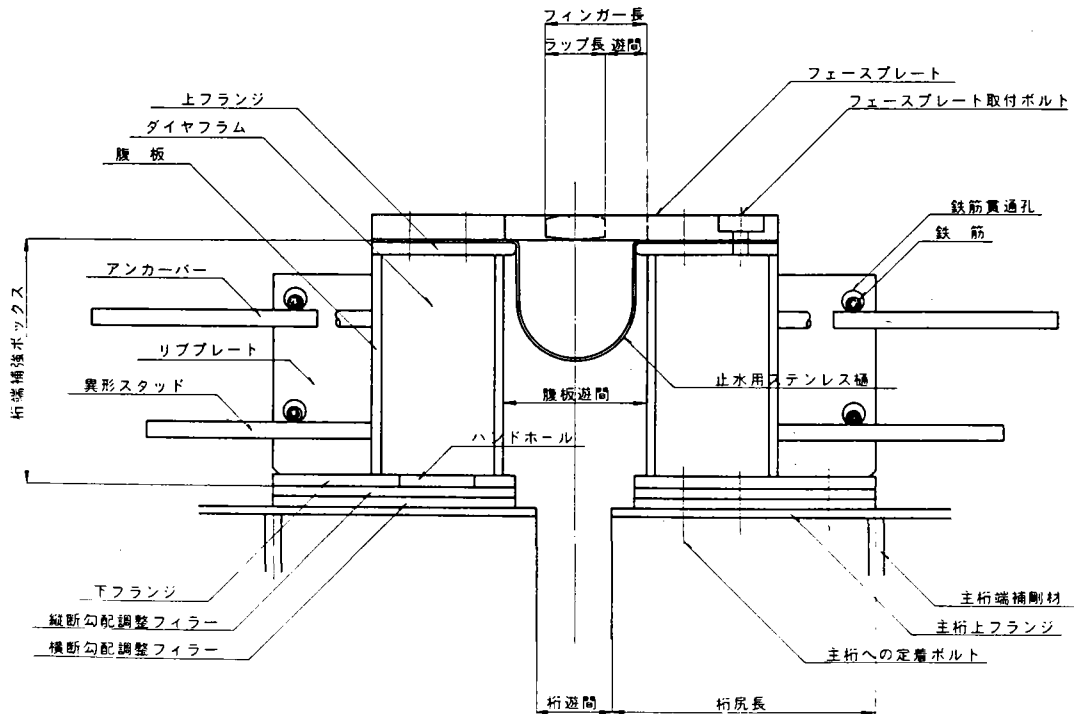


図-4.2.6 床版端部の補強⁹⁾

4. 2. 3 制振材の使用

構造部材に発生する振動を抑制して、騒音の放射を低減させる方法も考えられている。この方法の一つに、振動体に粘弾性樹脂を貼付し振動エネルギーを熱エネルギーに変換する（減衰を増加させる）ことにより振動を抑制するものがある。これには粘弾性樹脂の伸縮を利用するタイプ（Extensional Damping）と、鋼板の間に粘弾性樹脂を挟みそのせん断変形を利用するタイプ（Shear Damping）の2つのタイプがある。

前者のタイプは図-4.2.7に示すように鉄道橋の防音工として主桁のフランジやウェブに貼り付けて用いられており、表-4.2.1に示すような種類がある。ただしこれらのうちの制振コンクリートは、減衰の増加というより質量の増加によって振動を抑制させると見るべきであろう。これら制振材の施工法を表-4.2.2に示す。

後者のタイプは図-4.2.8に示す制振鋼板（サンドイッチ鋼板）で、自動車のエンジンルームや洗濯機などに用いられている。これを主桁のフランジやウェブにそのまま用いることも考えられるが、現状では厚鋼板の製作が困難であることと、接合性に問題があるため現実的でない。したがって化粧板や遮音板等の二次的な部材には有効な材料の一つといえる。

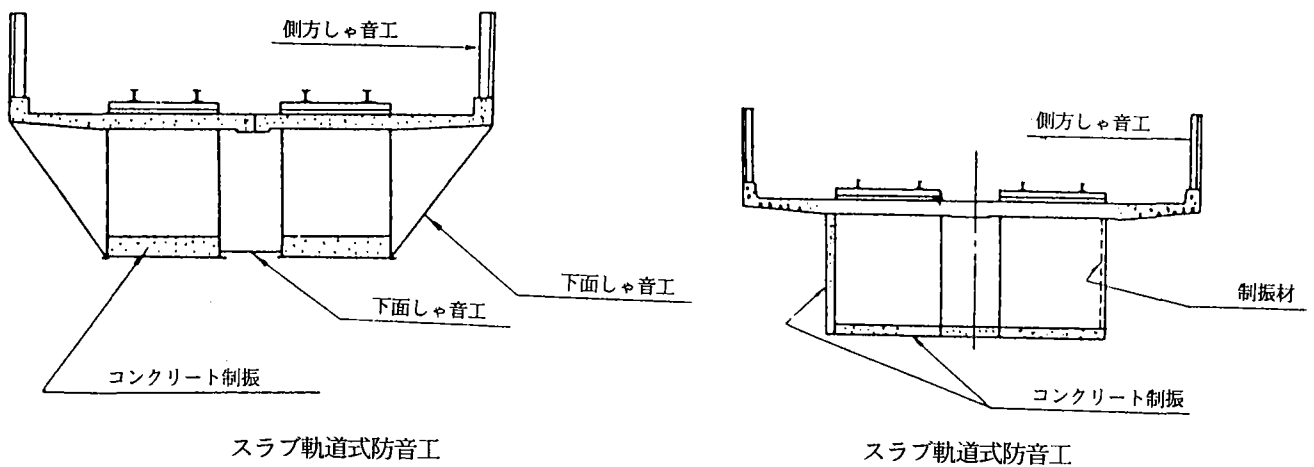


図-4.2.7 鉄道橋の防音工¹⁰⁾

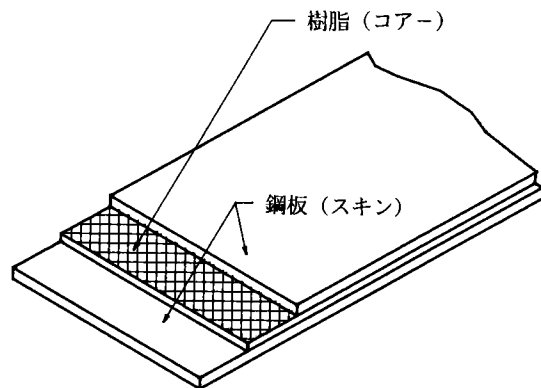


図-4.2.8 制振鋼板¹¹⁾

表 - 4.2.1 制振材の種類¹⁰⁾

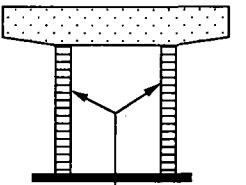
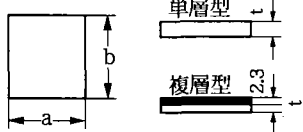
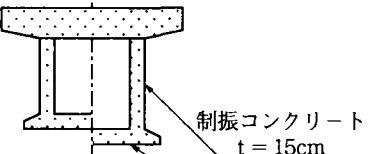
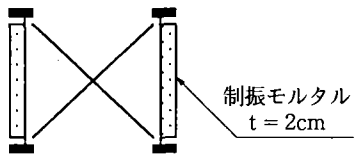
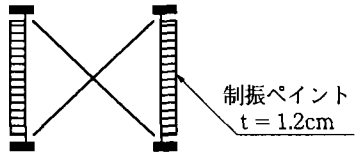
種 別	品 質 お よ び 形 状	特 徴																			
ゴムアスファルト系 制 振 材	 <p>単層型 : ゴム又は、アスファルトもしくは、その両者と均質な充填材からなる成形品 複層型 : 上記の材料に鋼板 (t = 2.3mm) を貼りつけたもの</p>  <table border="1" data-bbox="1142 377 1624 623"> <thead> <tr> <th>形 式</th> <th>製造メ-カ-</th> <th>a × b (mm)</th> <th>t (mm)</th> <th>単位重量 (kg/㎡)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>単層型</td> <td>A</td> <td>600×600</td> <td>30</td> <td>55</td> </tr> <tr> <td rowspan="2">複層型 (拘束型)</td> <td>B</td> <td>600×300 300×300</td> <td>2</td> <td>21</td> </tr> <tr> <td>C</td> <td>300×150 150×150</td> <td>20</td> <td>51</td> </tr> </tbody> </table> <p>ゴムアスファルト系制振材</p>	形 式	製造メ-カ-	a × b (mm)	t (mm)	単位重量 (kg/㎡)	単層型	A	600×600	30	55	複層型 (拘束型)	B	600×300 300×300	2	21	C	300×150 150×150	20	51	制振効果および施工性にすぐれている。
形 式	製造メ-カ-	a × b (mm)	t (mm)	単位重量 (kg/㎡)																	
単層型	A	600×600	30	55																	
複層型 (拘束型)	B	600×300 300×300	2	21																	
	C	300×150 150×150	20	51																	
制振コンクリート	 <p>$\sigma_{ck} = 240 \text{ kg/cm}^2$ (下フランジ上に制振コンクリートを行う場合) $\sigma_{ck} = 210 \text{ kg/cm}^2$ スランプ 12 ± 2.5cm 粗骨材の最大寸法 20mm 単位重量 375kg/㎡</p> <p>制振コンクリート t = 15cm</p>	コンクリートそのものは余り能力の良い制振材とはいえないが安価であり、重量を増やせば効果を上げるので合成桁特に下フランジの制振材として使用される場合が多い。腹板の制振材としては、施工性に難がある。																			
制 振 モ ル タ ル	 <p>セメント : ケイ砂 : 制振液 (22% : 62% : 16%) 制振液 : 陽電荷に変性したゴム粒子を有し、セメントおよび砂と混合し砂の粒子間に介在し、弾力性を増している。また、金属面に対し強固な接着性を有している。 単位重量 37kg/㎡</p> <p>制振モルタル t = 2cm</p>	複雑な形状に塗布する場合でも比較的容易に施工でき、また長期防錆塗装も兼ねることができる。塗布作業は天候状態に影響される。																			
制 振 ペ イ ン ト	 <p>上塗り、下塗りの2層タイプで下塗り塗料は展色剤主成分としてポリウレタン樹脂を使用し、これに酸化鉄系顔料などを配合したもので、上塗り塗料は展色剤主成分として不飽和ポリエステル系樹脂を使用しこれにガラス繊維などを配合したものである。 単位重量 : 21kg/㎡</p> <p>制振ペイント t = 1.2cm</p>	他の工法に比較して死荷重増加の割合が小さく、また長期防錆塗装を兼ねることができる。一般の塗料に比較して粘度が高く又、可使時間が短いので取り扱いが難しい。																			

表-4.2.2 制振工の施工法¹⁰⁾

種 別	既設鋼桁への施工法	施工上の注意点
ゴムアスファルト系 制 振 材	(1)素地調整 (替ケレン-2) (2)スタッドボルト取付け (3)下地塗装 (タールエポキシ樹脂塗料2 回塗り) (4)制振材貼り付け (接着剤はエポキシ樹脂系)	(1)鋼面の温度が40℃以上の時は可使時間が短くなるので、制振材に接着剤を塗布するのがよい。 (2)接着剤塗布後、制振材を手で鋼面に貼付け、接着剤が外周全面からわずかに押し出される程度にボルトを締め、接着層の空気を追出す。 (3)接着剤の硬化時間は気温、混合方法で変化するが、室温でおおむね24時間であり、その間ずれ等が生じないようにする。特に既設鋼橋に施工する場合は、特別な固定用治具を用いる等しなければならない。
制 振 コ ン ク リ ー ト	(1)素地調整 (替ケレン-2) (2)スタッドボルト取付け (3)鉄筋・型枠・組立て (4)コンクリート打設	制振コンクリートはひび割れが発生しやすいので、次に示すような配慮が必要である。 (1)スラブコンクリートが完全に硬化した後に制振コンクリートを打設する。 (2)温度変化、乾燥収縮によるひび割れを抑えるため減水剤を用い、単位水量および単位セメント量を減じる。
制 振 モ ル タ ル	(1)素地調整 (替ケレン-2) (2)スタッドボルト取付け (3)下地塗装 (タールエポキシ樹脂塗料2 回塗り) (4)混合 (セメント、砂、制振液を混 合する) (5)塗布 (3mmほど塗布し、メタル ラスを貼り、その後所定の 厚さまで塗布する)	制振モルタルの塗布は天候状態により影響されやすく、風の強い場合または直射日光があたる場合はひび割れが発生しやすい。したがって制振モルタル塗布後はビニールシート等で制振モルタル面にカバーを施す必要がある。
制 振 ペ イ ン ト	(1)素地調整 (替ケレン-2) (2)下地塗装 (カラーエポシール2回塗 り) (3)混合 (硬化剤とペース塗料を混 合する) (5)塗布 (下塗り1回、上塗り2回)	(1)下塗り塗布はコテで施工するとヘラムラが目立つのでスプレー塗布が望ましい。 (2)可使時間が短く、高価なものであるため作業の段取りに十分注意をし、むだをなくすようにする。

4.3 主構造以外の対策

4.3.1 防振軌道

路面や軌道からの振動が橋梁主構造に伝達するのを減少させることも、重要な騒音対策の一つである。たとえば鉄道橋では、軌道と橋梁主構造の間に砕石道床を採用するようになってきた。またスラブ軌道などの無道床の場合には、図-4.3.1に示すような消音バラスト、図-4.3.2に示すようなバラストマットが使用されている。さらにレール自体の振動を抑制するため、図-4.3.3に示すような防振レールが使用されることもある。

防振軌道の効果の一例をJR常磐線荒川橋梁に見ることができる。同橋は昭和40年代に建造された緩行線用のトラス橋と、平成元年度に架け替えられた本線用のトラス橋とが並列して架けられている。緩行線用の橋梁は無道床枕木式構造であり列車が橋梁区間内に入るときわだかって大きなレベルの騒音が発生するのに対して、本線用の橋梁は防音対策が施された有道床式構造であるため、騒音レベルは前後のコンクリート高架橋や盛土区間とほとんどかわらない。

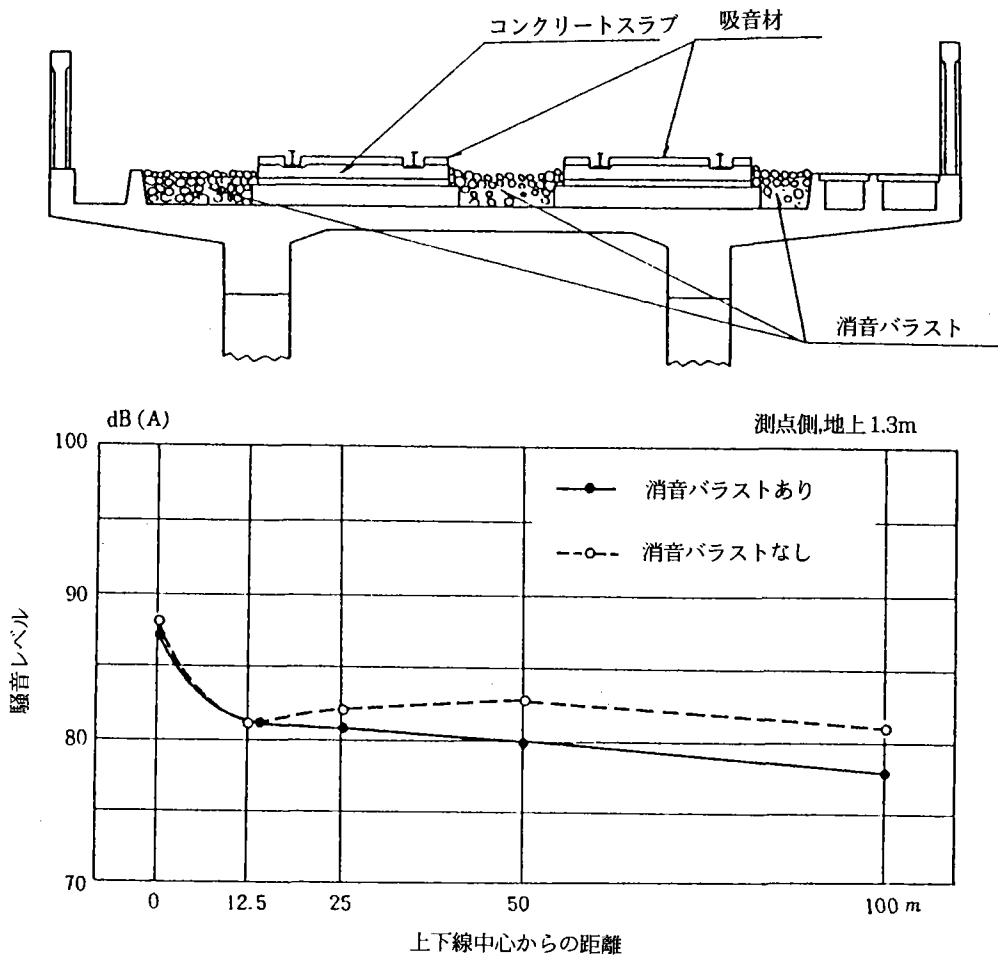


図-4.3.1 消音バラスト¹²⁾

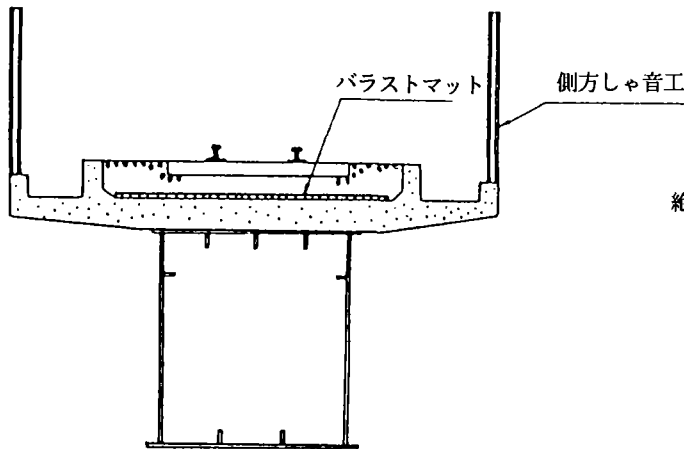


図-4.3.2 バラストマット¹⁰⁾

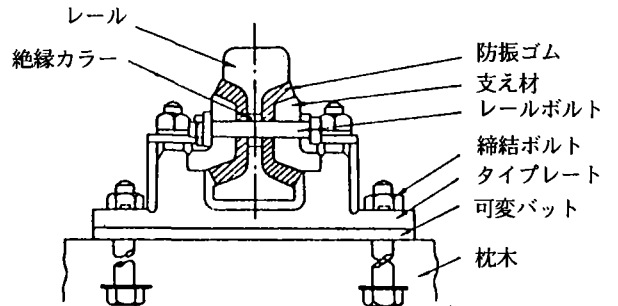


図-4.3.3 防振レール¹²⁾

4. 3. 2 吸音性舗装

道路橋では、タイヤから発生する騒音を吸音性舗装を用いて軽減させる方法も現在研究されている。吸音性舗装とは、一般の舗装に比べて空隙率が大きなアスファルト舗装で、タイヤの溝内の空気が路面との接触により破裂するバースト音を軽減させるものである。さらにこの舗装は、透水性が高く路面に水溜りなどができることを防ぎ、スリップ防止の効果も期待できる。

4. 3. 3 防振ゴム

防音対策の一部として、振動の伝播を遮断（絶縁）するために防振ゴムをはさむことが行われる。防音壁では橋梁と支柱の間や支柱と防音板の取付け部に防振ゴムが設置され、防音壁の振動によって減音効果が低下するのを防止している（第5章参照）。

防振ゴムはバネ定数が小さければ小さいほど振動の絶縁効果が高いため、支持部材の機能を損なわない範囲内でできるだけ柔らかいものを選ぶのが良い。一般に、防振ゴムとして用いられるゴム材料は以下の通りである。

- ① 一般防振ゴム : 天然ゴム (NR)、スチレンブタジエンゴム (SBR)、
ブタジエンゴム (BR)、インプレングム (IR)
- ② 耐候性防振ゴム : クロロプレングム (CR)
- ③ 耐油性用防振ゴム : アクリロニトリルブタジエンゴム (NBR)

これらのほか特に大きな減衰能を要求される場合はブキルゴム (IIR)、高弾性率を必要とする場合はウレタンエラストマー、低バネ定数を要求される場合にはウレタンスポンジを使用するケースもある。橋梁等の永久構造物に採用する場合は機能のほかに耐久性が重視され、最も耐候性にすぐれるクロロプレングム等が用いられることが多い。

第4章の参考文献

- 1) 道路橋伸縮装置設計便覧 (昭和45年4月)
- 2) 日本道路公団 設計要領 (昭和55年4月)
- 3) 橋梁のノージョイント化 Hexa Lock 工法, ジャパンコンストラック(株)カタログ
- 4) 福岡: 粘性せん断型ストッパーを用いた多径間連続桁の設計, 橋梁, 1980-2
- 5) 加藤・吉川・富田: 既設高架橋(鋼桁部)のノージョイント化,
第15回日本道路会議論文集
- 6) 駿河・前田: 多径間高架橋への変断面床版鋼合成桁の提案,
第15回日本道路会議論文集
- 7) 日本道路公団 設計の手引 (昭和55年4月)
- 8) 阪神高速道路公団 標準図集 (昭和55年)
- 9) 名古屋高速道路公社 標準図集 (昭和62年)
- 10) 鋼橋防音工の設計施工の手引, (財)鉄道総合技術研究所, 昭和62年9月
- 11) 制振鋼板カタログ, 住友金属工業(株), 1986-3
- 12) 騒音防止技術と施工実例資料集, フジテクノシステム出版部, 昭和49年12月