

# 鋼橋維持管理技術者の トレーニングマニュアル

## IV. 鋼橋の構造機能の変更と改良編

## 鋼橋の構造機能の変更と改良編 目次

1. はじめに .....	1
2. 拡幅 .....	2
2-1. 拡幅方法 .....	3
2-2. 各方法の留意点と今後の課題 .....	8
2-3. まとめ .....	19
3. 応力低減 .....	20
3-1. 応力低減方法 .....	21
3-2. 各方法の留意点と今後の課題 .....	27
3-3. まとめ .....	38
4. 振動対策 .....	39
4-1. 振動対策方法 .....	40
4-2. 各方法の留意点と今後の課題 .....	44
4-3. まとめ .....	52
[付属資料-制御方法に基づく制振装置の分類] .....	53
5. まとめ .....	61

## 1. はじめに

貨物輸送が鉄道から自動車に切り替わってきていることにより、近年、車両が大型化するとともに、交通量が増大してきている。また、これにともない当初、計画していた交通量以上の車両が通行することになり、いたるところで渋滞が発生している。このような交通体系の変化により、鉄道橋では考慮されていたが、道路橋の設計ではほとんど考慮されていなかった溶接部の疲労による損傷が交通量の多い路線や大型車両の混入量が多い路線において見られるようになってきている。さらに、都市内高架橋や都市近郊の橋梁では、橋の直ぐ近くまで住宅やビルが迫り、車両が走行する際の騒音、とりわけ伸縮装置部を通過する際の騒音が問題になるケースが増えてきている。この伸縮装置部を車両が通過する際の問題は、周囲への騒音はもちろん、車両自体の走行性も害することになっている。

これらの問題点を解消するには、道路空間に余裕がある新たな路線を確保すること、または交通量を賄えるだけの幅員を持つとともに路面が連続化された橋梁を新たに架け替えることが最も望ましい。しかしながら、維持管理費の増大が予想されるとともに建設用地の確保が難しい今日では、新たな路線の確保や橋梁の架け替え工事を早急に実施することは非常に難しい。このため、限られた予算内でこのような問題点を解消する方法として、現状の橋梁構造物の構造物としての機能の変更や改良を工事中の交通流の乱れを最小限にしながら行うことが望まれる。

しかしながら、その構造物の構造機能を変更・改良することが、構造物の構造系を変え、新たな損傷の招く原因になることもある。また、工事中には、床版の部分撤去や部材の切り離しなどにより構造系が一部変わり、不安定な構造状態になり、部材の損傷や事故を引き起こす恐れがある。

そこで、本編では、鋼橋において現在実施され、今後増えることが予想される「①交通量を確保するための拡幅」、「②車両重量の増大に対処するための主桁応力の低減」、「③通行車両による騒音・振動の低減」などに関する構造機能の変更・改良工事について、その事例を整理するとともに、設計施工にあたっての留意点および施工方法や工事機材等の今後の課題について示すこととする。

## 2 拡 幅

近年、自動車交通量の増大にともなう交通渋滞の緩和と平成5年の道路構造令の改訂による歩道幅員の変更等の理由で、路線全体または特定の橋梁区間の拡幅の必要性が高まってきた。路線全体の拡幅としては東名高速道路が、特定の橋梁区間の拡幅は若戸大橋が典型的な事例である。

そこで、本章では、鋼橋の拡幅について、現時点で実施されている方法を整理して示すとともに、各方法の施工上の留意点および今後の課題等について検討した結果を述べることとする。

現在までに実施されている橋梁の拡幅方法は大きく分類すれば表2-1に示す4種類である。

表2-1 拡幅方法の分類

No	方 法	特 徴	
		既設橋への影響	下部工への影響
1	既設橋と拡幅部を一体化してした拡幅構造	応力照査が必要	下部工を新設
2	既設橋と拡幅部を分離して拡幅した構造	なし	下部工を新設
3	ブラケットを設置して拡幅した構造	応力照査が必要	応力照査が必要
4	橋梁端部を部分的に拡幅した構造	応力照査が必要	下部工を新設

## 2-1. 拡幅方法

### (1) 既設橋と拡幅部を一体化

橋梁の拡幅においては、車両走行性の確保が優先事項となるため、既設橋と拡幅部を鋼構造と床版／舗装とも幅員方向に連続させた一体化構造が望ましい。一体化の構造例を図2-1に示す。一体化構造の採用に際しては、以下に示す条件を満足する必要がある。

- ① 工事に際して、迂回路の確保または交通規制（車線規制、大型車規制）ができる
- ② 工事中の車両の走行による橋梁の振動、たわみ状態で既設橋と拡幅部の境界部の床版のコンクリート硬化が確保される。確保されない場合は一時的な交通止めができる。
- ③ 既設橋の床版および主桁の応力状態の把握が可能であり最終構造系での応力超過がない、または応力超過しても既設橋の補強が可能である

現在、拡幅工事が行われる橋梁は全て旧道路橋示方書で設計されていると考えてよい。このため、既設橋の応力照査によって応力超過が判明する場合が多い。その対策は「応力低減」の章を参照されたい。

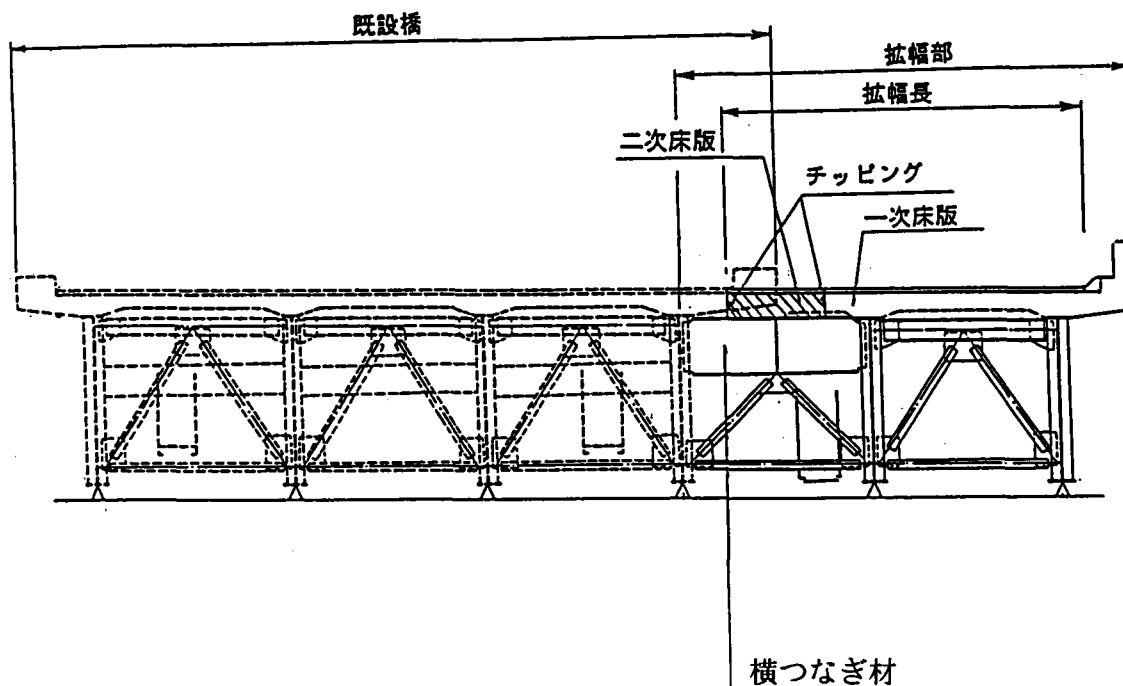
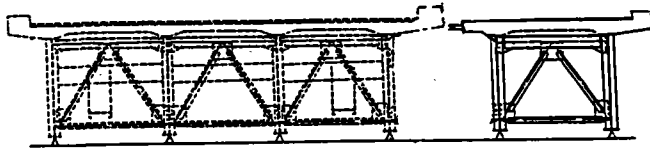
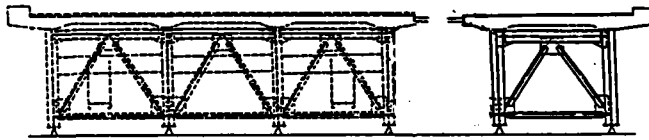


図2-1 既設と新設を一体化した拡幅

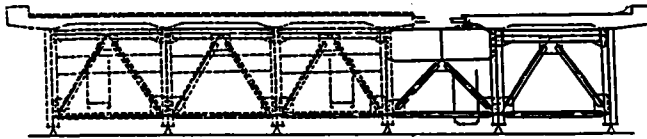
一体化拡幅工事の手順を図2-2に示す。



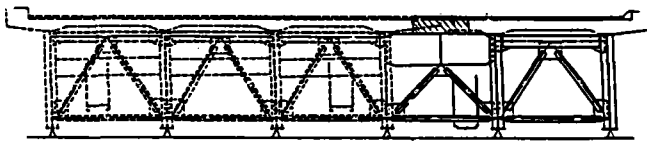
① 拡幅部の架設／床版工事



② 拡幅部と既設橋の境界部の床版撤去



③ 境界部の横つなぎ材の設置



④ 境界部の床版／舗装工事

図2-2 一体化拡幅工事の手順

## (2) 既設橋と拡幅部の分離構造

前述したとおり、一体化拡幅により既設橋の応力超過が発生し、既設橋の補強ができない場合や大型車両の通行規制ができない場合のように一体化拡幅の採用が不可能な条件下では分離構造による拡幅が採用される。分離構造による拡幅では既設橋と拡幅部の境界部に縦目地を設けて床版構造を分離し、縦目地直下の横つなぎ材は設置しない。このため、縦目地をはさむ既設橋と拡幅部の活荷重によるたわみ差を抑える主桁配置を行うことが重要である。

分離構造の例を図2-3に、既設橋と拡幅部の境界部の縦目地の構造詳細例を図2-4に示す。

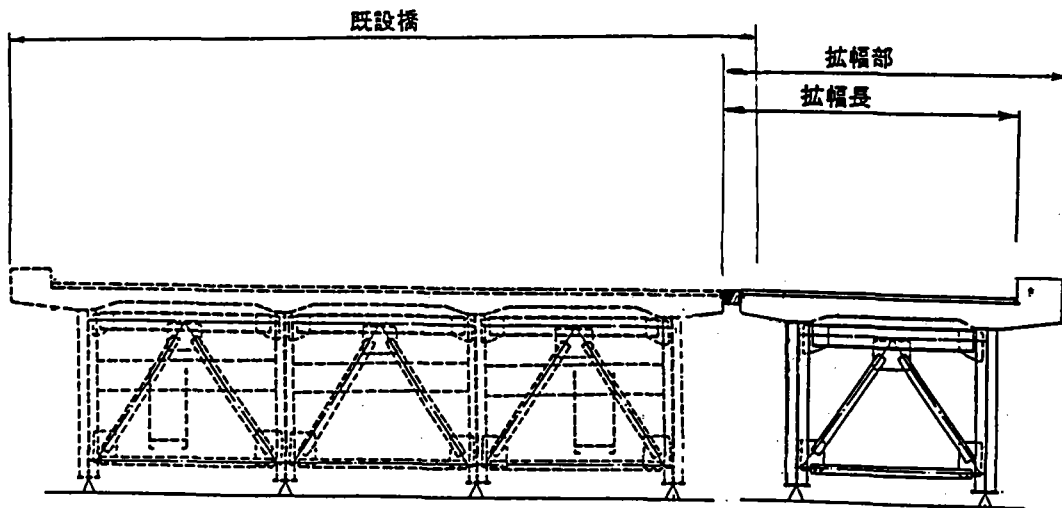


図2-3 分離構造による拡幅

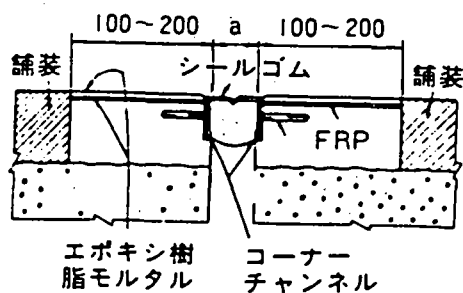


図2-4 縦目地の構造例

### (3) 既設橋からブラケットにより拡幅する構造

既設橋からブラケットを設置して拡幅する構造は、以下の理由から考えられる。

- ① 拡幅する幅が比較的狭く、既設橋からブラケットを設置して拡幅が可能である
- ② 新設下部工が設置できない
- ③ 主桁の応力が設計応力を超過しない、または超過しても主桁の補強が可能である
- ④ 既設橋と拡幅部を一体化した構造または分離構造より全体工事費が安い

一般に、ブラケットによる拡幅は既設橋の設計応力超過が起こる。このため、ブラケットと新設の横つなぎ材の設計の他に既設橋の応力照査と断面補強が行われる。断面の補強方法は「応力低減」の章を参照されたい。

図2-5にブラケットによる歩道拡幅の例を、図2-6に車道拡幅の例を示す。

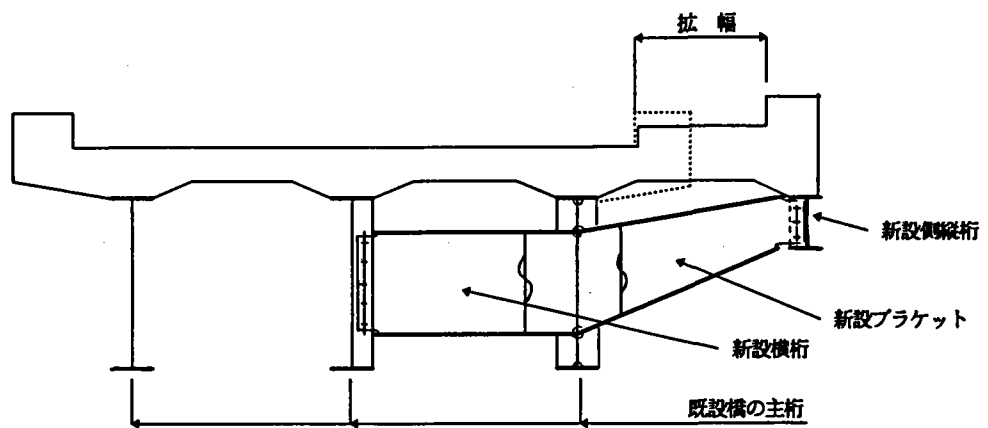


図2-5 ブラケットによる歩道拡幅方法

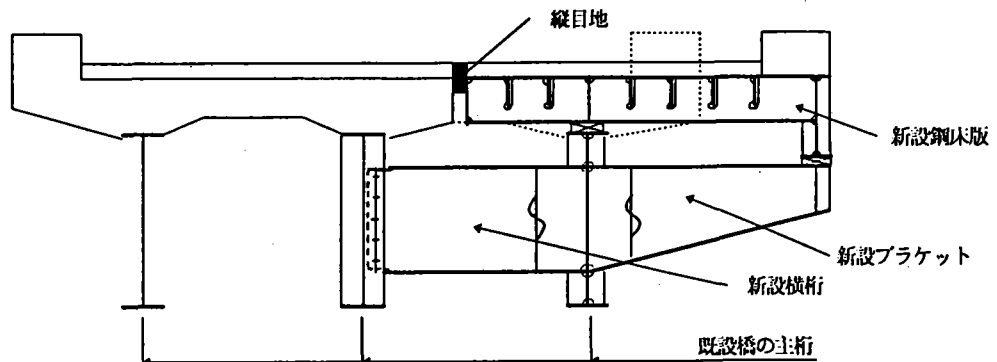


図2-6 ブラケットによる車道拡幅



#### (4) 橋梁端部の拡幅

一般道路部と橋梁がT字で交差するコーナー部では部分的に橋梁端部の拡幅方法が採用される。この部分的な拡幅によって車両通行を円滑にすることができる。一般に、橋梁端部の拡幅では新設下部工、新設桁、支承および新設横つなぎ材が必要となり、既設床版と拡幅部床版は一体構造となる。

また、応力照査を行って主桁の安全性を確認しなければならない。応力照査によって既設橋が応力超過する場合は本体補強を行う必要がある。本体補強方法は「応力低減」の章を参照されたい。

図2-7に橋梁端部の拡幅構造の例を示す。

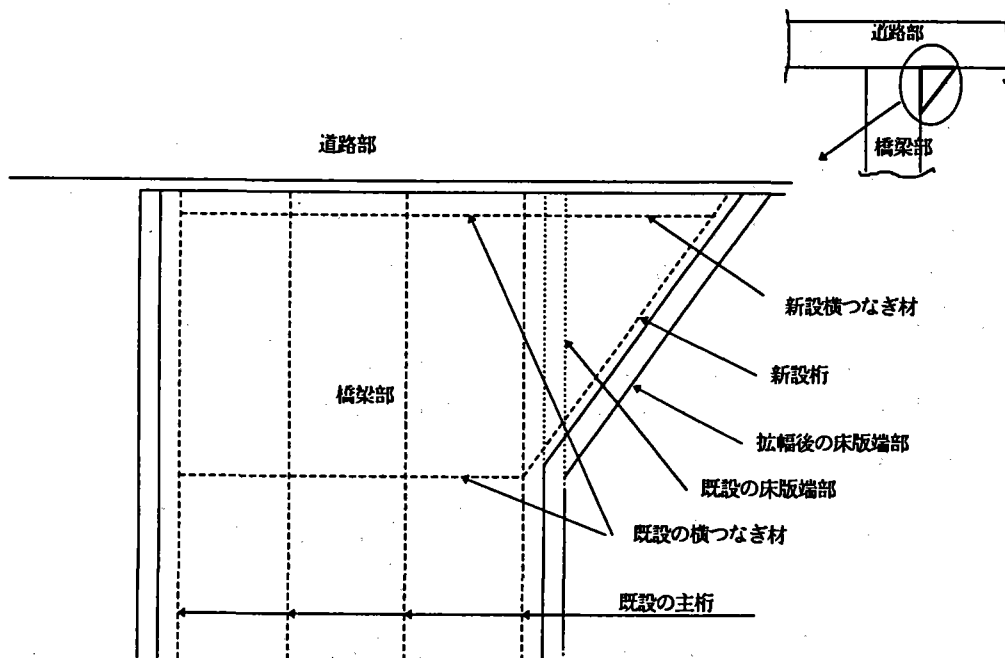


図2-7 橋梁端部の拡幅

## 2-2. 各方法の留意点と今後の課題

### (1) 既設橋と拡幅部を一体化して拡幅した構造

#### 1) 設計・施工上の留意点

既設橋と拡幅部を一体化して拡幅した構造については、以下の事項について留意する事が必要である。

- ① 既設橋に発生している応力状況を適切に把握すると共に、拡幅後の橋梁全体系としての応力状況についても十分に検討することが必要である。
- ② 既設橋の実測を行い、現況のキャンパーを計測し拡幅桁の製作キャンパーの決定に反映することが必要である。又、横つなぎ材取り付け部における既設部材の支障物件の事前調査も施工工程を守る上で重要なことである。
- ③ 交通を解放したまま施工した場合、部材の取り付けに溶接接合を用いると振動下の溶接になることから、溶接欠陥が生ずるおそれがある。このため、溶接の施工性やその管理について注意を払わなければならない。
- ④ 新設RC床版の打設に際しては、新旧路面に段差が生じないように十分なキャンパー管理が重要である。
- ⑤ 既設の主桁に高力ボルトにて部材を取り付ける場合、現場にて孔明け作業を行うことから、精度が悪く、部材の取り付けが難しくなることがある。このため、孔明け作業では型板を用いるなどして、孔明けの精度の確保に努めるようにしなければならない。(詳しくは、日本鋼構造協会「供用下にある鋼構造物の高力ボルトによる補強・補修指針(案)」参照)<sup>2)</sup>
- ⑥ 床版打ち継ぎ目の施工性を考慮し、既設部と拡幅部の間は30~50cmとり既設部の鉄筋をハツリ出し拡幅部の鉄筋と確実に接続することが重要である。図2-8に床版打ち継ぎ目の例を示す。

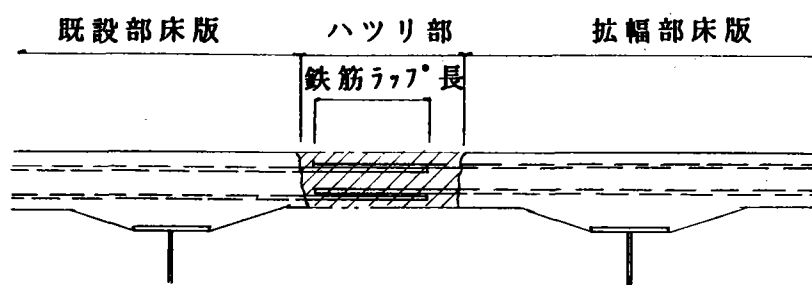
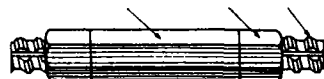


図2-8 床版打ち継ぎ目

- ⑦ 打ち継ぎ目部に打設するコンクリートについては、交通を解放した状態での打設が多く、車両走行による橋体の振動で、ヘアークラックが発生しやすくなるため超速硬コンクリートの打設管理が重要である。(詳しくは、(社)日本橋梁建設協会「鋼橋補修工事の問題について」参照)<sup>3)</sup>

- ⑧ 打ち継ぎ目部の鉄筋の継ぎ手方法については、現場の施工状況について十分検討して決定する必要がある。図2-9に機械的・スリーブ継手の例を示す。

カプラー ナット ねじ筋鉄筋



トルク固定方式



樹脂固定方式



圧着固定方式

図2-9 機械的・スリーブ継手<sup>4)</sup>

- ⑨ 拡幅桁の架設段階における既設桁との横つなぎ材は、架設部材の死荷重により段階的にキャンバーが変化するのでそれに対応できる仮設材と、完成時の横つなぎ材との2種類の構造にする必要がある。図2-10に仮設材の例を示す。

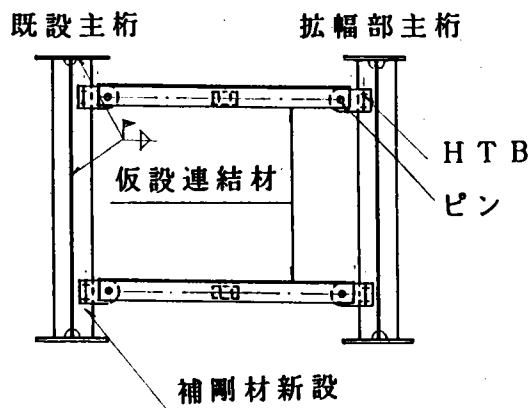


図2-10 仮設材

- ⑩ 新旧の支承タイプについては、新設支承に同じとし支承線を揃えるように計画する事が重要である。
- ⑪ 既設橋の排水装置および伸縮装置についても、拡幅部との取り合いを考慮して構造を決定する必要がある。

## 2) 今後の課題

今後の課題としては、以下の事項について検討を要するものと考えられる。

- ① 既設桁と拡幅桁の剛度差が大きい場合の舗装面の出来形に対する品質管理のシステム開発が必要と考えられる。
- ② 舗装、床版撤去の際、現状ではブレーカーなどを使用するため、都市内での工事では騒音が問題となる。このため、最近では、撤去時の騒音を低く押さえることが可能な水圧を利用した切断やハツリ機が開発されてきているが、水の始末など対策がまだまだ必要であることから、床版撤去時の施工機械の改良・開発が必要と考えられる。図2-11にウォータージェット工法の例を示す。(詳しくは、「東名玉川橋梁拡幅工事の架設報告」参照)<sup>5)</sup>

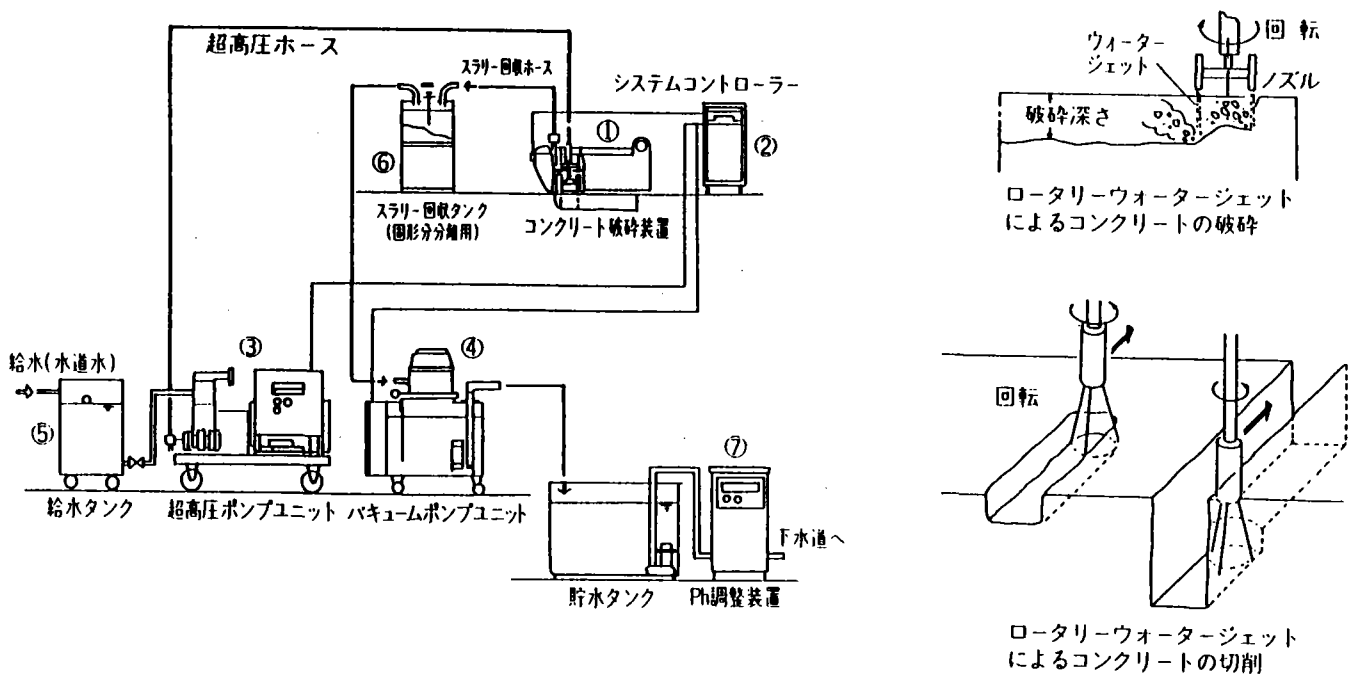


図2-11 ウォータージェット工法

- ③ 現場の施工状況及び、既設橋の構造形式による接合方法について、溶接接合または高力ボルトにするかは、簡易で確実に施工ができるシステムの開発が必要と考えられる。
- ④ 走行車両による振動下での打設となる、打ち継ぎ目に使用するコンクリートの材料についての研究開発が必要と考えられる。
- ⑤ 打ち継ぎ手部の鉄筋継ぎ手方法の中で、結束・溶接・圧接・機械継ぎ手・カップリング等があるが、現場の施工状況に沿った継ぎ手方法の確立が必要と考えられる。

(2) 既設橋と拡幅部を分離して拡幅した構造

1) 設計・施工上の留意点

既設橋と拡幅部をの分離して拡幅した構造では、以下の事項について留意することが必要である。

- ① 既設橋の老朽化が大きいか、応力余裕がない場合に用いるので、新・旧桁間には対傾構等を設けない分離構造とする。
- ② 現橋の交通規制が困難で、規制時間を短時間で施工するため、第三者に対する安全確保について十分に注意を払わなければならない。
- ③ 既設橋と拡幅部のRC床版の境界部の目地材には、ゴムジョイントが使用される例が多いが、左右の桁のたわみ差による鉛直方向移動と、橋軸方向のずれに対応できる製品を使用することが重要である。図2-12に縦目地の例を示す。

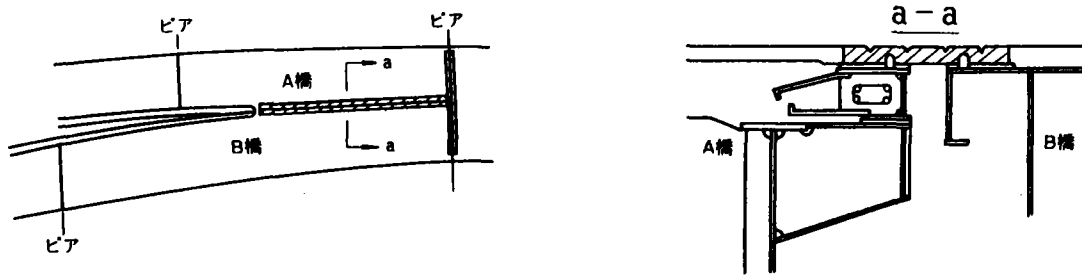


図2-12 ゴムジョイントの縦目地<sup>6)</sup>

- ④ 接続部からの路面よりの漏水対策について、留意する必要がある。
- ⑤ 拡幅部のRC床版の打設に際しては、新旧路面に段差が生じないように十分なキャンパー管理が重要である。

## 2) 今後の課題

今後の課題としては、以下の事項について検討を要するものと考えられる。

- ① 車道部拡幅の場合、既設橋と拡幅部の剛度差が大きい場合の走行性に対する縦目地材の構造の開発が必要と考えられる。
- ② 舗装、床版撤去の際、現状ではブレーカーなどを使用するため、都市内での工事では騒音が問題となる。このため、最近では、撤去時の騒音を低く押さえるとかが可能な水圧を利用した切断やハツリ機が開発されてきているが、水の始末など対策がまだまだ必要であることから、床版撤去時の施工機械の改良・開発が必要と考えられる。図2-11にウォータージェット工法の例を示す。
- ③ 将来的なメンテナンス管理の方法が必要と考えられる。

### (3) ブラケットを設置して拡幅した構造

#### 1) 設計・施工上の留意点

ブラケットを設置して拡幅した構造では、以下の事項について留意することが必要である。

- ① 交通を解放したまま施工した場合、部材の取り付けに溶接接合を用いると振動下の溶接になることから、溶接欠陥が生ずるおそれがある。このため、溶接の施工性やその管理について注意を払わなければならない。
- ② 既設橋で発生している主桁応力を適切に把握するとともに、増設部材による増加応力が主桁に与える影響について十分に検討して構造を決定する。
- ③ 既設の主桁への取付部に溶接接合を用いる場合、溶接継ぎ手の種類によっては疲労強度が低いことから、その溶接部の疲労損傷に対する安全性について事前に検討を行うようにしなければならない。図2-13に主桁への取付部の例を示す。

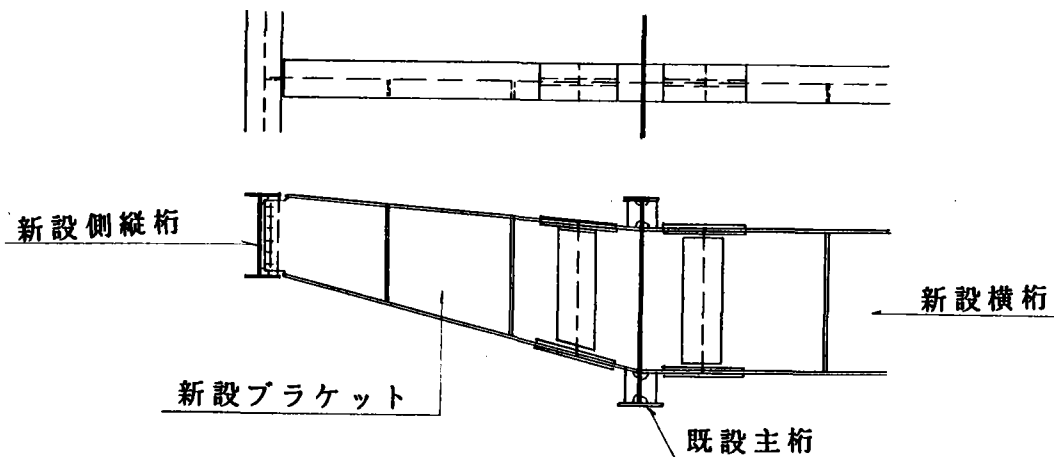


図2-13 主桁への取付部

- ④ 溶接接合によって部材を主桁に取り付ける場合、主桁の材料によっては溶接時に予熱の管理を確実に行わなければ、溶接部のワレの発生や母材の靱性の低下を招くこともある。そのため、溶接に際してはその施工管理を行い、確実に溶接作業が行われていることを管理するように努めることが必要である。
- ⑤ 既設の主桁に高力ボルトにて部材を取り付ける場合、現場にて孔明け作業を行うことから、精度が悪く、部材の取り付けが難しくなることがある。このため、孔明け作業では型板を用いるなどして、孔明けの精度の確保に努めるようにしなければならない。(詳しくは、日本鋼構造協会「供用下にある鋼構造物の高力ボルトによる補強・補修指針(案)」参照)<sup>2)</sup>

- ⑥ 床版打ち継ぎ目の施工性を考慮し、既設部と拡幅部の間は30～50cmとり既設部の鉄筋をハツリ出し新設部の鉄筋と確実に接続することが重要である。図2-8に床版打ち継ぎ目の例を示す。
- ⑦ 打ち継ぎ目部に打設するコンクリートについては、交通を解放した状態での打設が多く、車両走行による橋体の振動で、ヘアークラックが発生しやすくなるため超速硬コンクリートの打設管理が重要である。（詳しくは、（社）日本橋梁建設協会「鋼橋補修工事の問題について」参照）<sup>3)</sup>
- ⑧ 打ち継ぎ目部の鉄筋の継ぎ手方法については、現場の施工状況について十分検討して決定する必要がある。図2-9に機械的・スリーブ継手の例を示す。
- ⑨ 鋼床版を用いた拡幅では、RC床版の撤去の際、主桁上フランジに設けられたスラブアンカーやスタッドジベルも同時に撤去しなければならず、施工時に注意を怠ると上フランジ断面を傷つける可能性がある。このため、RC床版の撤去の際、スラブアンカーやスタッドジベルの撤去計画、工事管理について注意を払わなければならない。



## 2) 今後の課題

今後の課題としては、以下の事項について検討を要するものと考えられる。

- ① 車道部拡幅の場合、既設橋と拡幅部の剛度差が大きい場合の床版付加モーメントに対する床版構造の検討が必要と考えられる。
- ② 舗装、床版撤去の際、現状ではブレーカーなどを使用するため、都市内での工事では騒音が問題となる。このため、最近では、撤去時の騒音を低く押さえるとかが可能な水圧を利用した切断やハツリ機が開発されてきているが、水の始末など対策がまだまだ必要であることから、床版撤去時の施工機械の改良・開発が必要と考えられる。  
図2-11にウォータージェット工法の例を示す。
- ③ 現場の施工状況及び、既設橋の構造形式による接合方法について、溶接接合又は高力ボルトにするかは、簡易で確実に施工ができるシステムの開発が必要と考えられる。
- ④ 走行車両による振動下での打設となる、打ち継ぎ目に使用するコンクリートの材料についての研究開発が必要と考えられる。
- ⑤ 打ち継ぎ手部の鉄筋継ぎ手方法の中で、結束・溶接・圧接・機械継ぎ手・カップリング等があるが、現場の施工状況に沿った継ぎ手方法の確立が必要と考えられる。
- ⑥ 将来的なメンテナンス管理の方法が必要と考えられる。

#### (4) 橋梁端部を部分的に拡幅した構造

##### 1) 設計・施工上の留意点

橋梁端部を部分的に拡幅した構造では、以下の事項について留意することが必要である。

- ① 交通を解放したまま施工した場合、部材の取り付けに溶接接合を用いると振動下の溶接になることから、溶接欠陥が生ずるおそれがある。このため、溶接の施工性やその管理について注意を払わなければならない。
- ② 既設橋で発生している主桁応力を適切に把握するとともに、増設部材による増加応力が主桁に与える影響について十分に検討して構造を決定する。
- ③ 既設の主桁への取付部に溶接接合を用いる場合、溶接継ぎ手の種類によっては疲労強度が低いことから、その溶接部の疲労損傷に対する安全性について事前に検討を行うようにしなければならない。図2-14に主桁への取付部の例を示す。

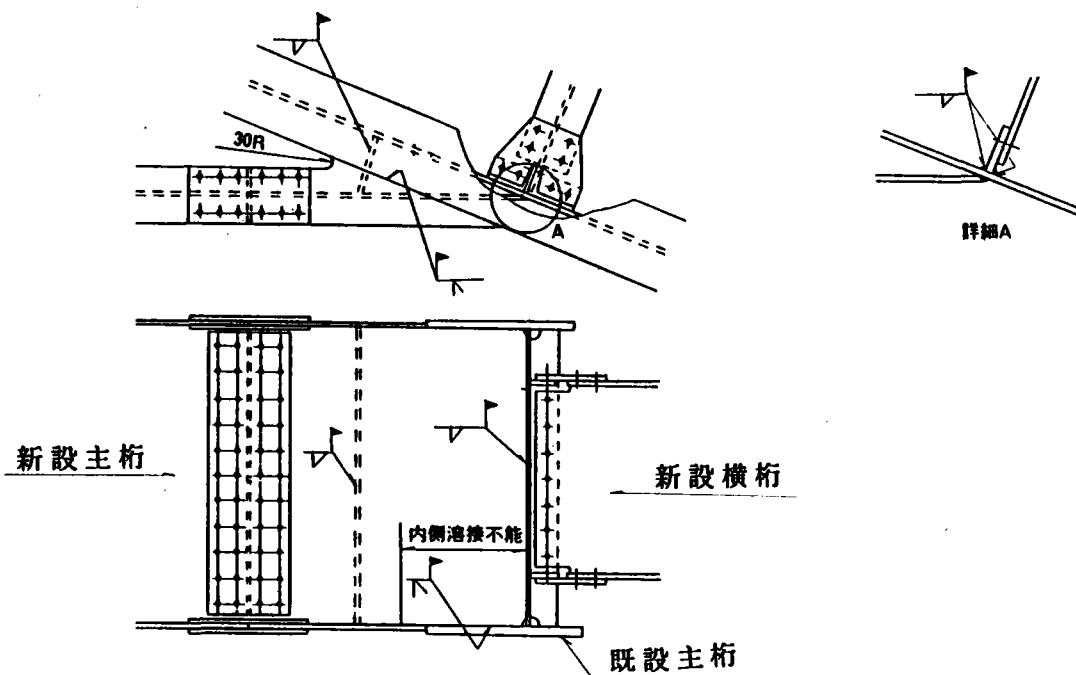


図2-14 主桁への取付部

- ④ 溶接接合によって部材を主桁に取り付ける場合、主桁の材料によっては溶接時に予熱の管理を確実に行わなければ、溶接部のワレの発生や母材の靱性の低下を招くこともある。そのため、溶接に際してはその施工管理を行い、確実に溶接作業が行われていることを管理するように努めることが必要である。
- ⑤ 既設の主桁に高力ボルトにて部材を取り付ける場合、現場にて孔明け作業を行うことから、精度が悪く、部材の取り付けが難しくなることがある。このため、孔明け作業では型板を用いるなどして、孔明けの精度の確保に努めるようにしなければならない。(詳しくは、日本鋼構造協会「供用下にある鋼構造物の高力ボルトによる補強・補修指針(案)」参照)<sup>2)</sup>
- ⑥ 床版打ち継ぎ目の施工性を考慮し、既設部と拡幅部の間は30~50cmとり既設部の鉄筋をハツリ出し新設部の鉄筋と確実に接続することが重要である。図2-8に床版打ち継ぎ目の例を示す。

- ⑦ 打ち継ぎ目部に打設するコンクリートについては、交通を解放した状態での打設が多く、車両走行による橋体の振動で、ヘアークラックが発生しやすくなるため超速硬コンクリートの打設管理が重要である。（詳しくは、（社）日本橋梁建設協会「鋼橋補修工事の問題について」参照）<sup>3)</sup>
- ⑧ 打ち継ぎ目部の鉄筋の継ぎ手方法については、現場の施工状況について十分検討して決定する必要がある。図2-9に機械的・スリーブ継手の例を示す。
- ⑨ 新旧の支承タイプについては、既設の支承に同じとし支承線を揃えるように計画することが重要である。

## 2) 今後の課題

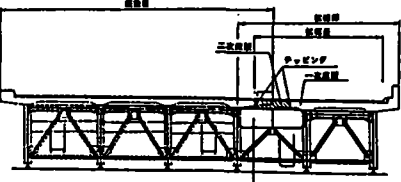
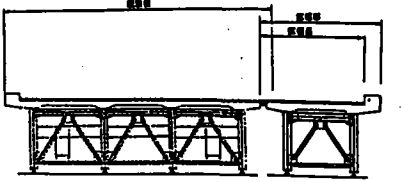
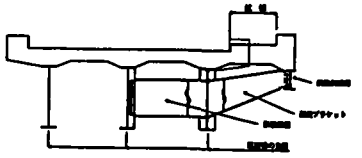
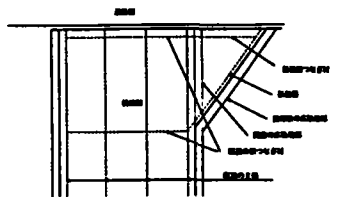
今後の課題としては、以下の事項について検討を要するものと考えられる。

- ① 車道部拡幅の場合、既設橋と拡幅部の剛度差が大きい場合の床版付加モーメントに対する床版構造の検討が必要と考えられる。
- ② 舗装、床版撤去の際、現状ではブレーカーなどを使用するため、都市内での工事では騒音が問題となる。このため、最近では、撤去時の騒音を低く押さえるとかが可能な水圧を利用した切断やハツリ機が開発されてきているが、水の始末など対策がまだまだ必要であることから、床版撤去時の施工機械の改良・開発が必要と考えられる。  
図2-11にウォータージェット工法の例を示す。
- ③ 現場の施工状況及び、既設橋の構造形式による接合方法について、溶接接合又は高力ボルトにするかは、簡易で確実に施工ができるシステムの開発が必要と考えられる。
- ④ 走行車両による振動下での打設となる、打ち継ぎ目に使用するコンクリートの材料についての研究開発が必要と考えられる。
- ⑤ 打ち継ぎ手部の鉄筋継ぎ手方法の中で、結束・溶接・圧接・機械継ぎ手・カップリング等があるが、現場の施工状況に沿った継ぎ手方法の確立が必要と考えられる。
- ⑥ 将来的なメンテナンス管理の方法が必要と考えられる。

2-3. まとめ

鋼橋で実施される拡幅方法について整理した結果を表2-2に示す。

表2-2 拡幅方法の概要

拡幅の手段	工 法	設計・施工の概要	工 法 の 概 略	適用に際しての留意点	今 後 の 課 題	文 献
車道拡幅	既設橋と拡幅部を一体化	下部工、支承を新設し、既設橋と拡幅部の鋼桁および床版を一体化して拡幅する		<ul style="list-style-type: none"> <li>①既設橋および橋梁全体系の応力を検証</li> <li>②既設橋のキャンバー計測と拡幅桁への反映、床版高さのすりつけ</li> <li>③交通解放下の溶接施工性と管理</li> <li>④現地の孔明精度の確保</li> <li>⑤床版打継ぎ目の施工性の確保</li> <li>⑥交通解放下の床版のクラック</li> <li>⑦横つなぎ材の構造</li> <li>⑧新旧の支承タイプの統一と支承線の一致</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>①舗装面の出来形管理</li> <li>②床版撤去機械と騒音防止</li> <li>③打継ぎ目のコンクリートの性能、施工性</li> <li>④打継ぎ部の鉄筋の継ぎ手構造の施工性</li> </ul>	2)、3)、5)
車道拡幅	既設橋と拡幅部を分離	下部工、支承を新設し、既設橋と拡幅部の鋼桁および床版を分離構造で拡幅する		<ul style="list-style-type: none"> <li>①既設橋の老朽化が激しい、または応力余裕のない場合に採用されるので、新旧の取り合いは対傾構を設置しない</li> <li>②鋼桁のたわみ差と橋軸方向のずれを吸収できる縦目地構造</li> <li>③接続部の路面からの漏水対策</li> <li>④新旧路面の段差の防止</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>①縦目地材料と構造</li> <li>②床版撤去機械と騒音防止</li> <li>③維持管理方法の確立</li> <li>④打継ぎ目のコンクリート材料の性能向上</li> <li>⑤打継ぎ部の鉄筋の継ぎ手構造の施工性</li> </ul>	
歩道拡幅、新設	既設橋からブラケットで拡幅	既設橋からブラケットを出し、下部工を新設しないで拡幅する		<ul style="list-style-type: none"> <li>①交通解放下の溶接施工性管理</li> <li>②既設橋の応力把握と拡幅の影響</li> <li>③溶接部の疲労損傷の発生防止</li> <li>④現地の孔明精度の確保</li> <li>⑤床版打継ぎ目の施工性の確保</li> <li>⑥交通解放下の床版のクラック</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>①床版撤去機械と騒音防止</li> <li>②打継ぎ目のコンクリート材料の性能向上</li> <li>③打継ぎ部の鉄筋の継ぎ手構造の施工性</li> <li>④維持管理方法の確立</li> </ul>	2)、3)
橋梁端部の車両の走行性向上	橋梁端部のコーナー部を拡幅	下部工、支承を新設し、既設橋から桁を出して橋梁端部のコーナー部を拡幅する		<ul style="list-style-type: none"> <li>①交通解放下の溶接施工性管理</li> <li>②既設橋の応力把握と拡幅の影響</li> <li>③溶接部の疲労損傷の発生防止</li> <li>④現地の孔明精度の確保</li> <li>⑤床版打継ぎ目の施工性の確保</li> <li>⑥交通解放下の床版のクラック</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>①床版撤去機械と騒音防止</li> <li>②打継ぎ目のコンクリート材料の性能向上</li> <li>③打継ぎ部の鉄筋の継ぎ手構造の施工性</li> <li>④維持管理方法の確立</li> </ul>	2)、3)

### 3. 応力低減

平成5年の車両制限令の改正により大型車両の車重は25tfまで許容され、それにもなって道路構造令も改正され、橋の設計に用いる自動車荷重は20tfから25tfに変更されることとなった。この結果、老朽化が著しい橋梁にとってはより厳しい活荷重条件にさらされることになり、荷重を直接支持する床版はもとより主桁の断面力がオーバーする橋梁も見られるようになっている。また、近年の車両の大型化、交通量の増加および貨物輸送が鉄道から自動車へ切り替わってきたことなどにより、道路橋においては当初考慮されていなかった疲労による損傷が見られるようになっている。このようなことから、今後、橋梁の寿命の延命化を図るためには、主桁の剛性を増加させたり、主桁を増桁して荷重分配を分散させるなどにより活荷重による断面力を減少させ、主桁の応力低減を図ることが必要になってきた。

そこで、本章では、鋼橋の延命化を図るうえで必要になってきた主桁の応力低減方法について、現時点で実施されている方法を整理して示すとともに、各方法の施工上の留意点および今後の課題等について検討した結果を述べることとする。

現在までに実施されている主桁の応力低減方法について整理し、大きく分類すると表3-1に示す4種類に分けられる。そこで、本章では、これらの4種類の応力低減方法について整理、検討した結果を示すこととする。

表3-1 応力低減方法の分類

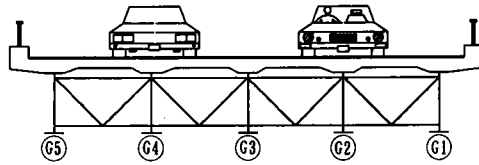
No.	方 法	目 的
1	鋼床版への取り替え	死荷重応力の低減
2	断面補強	活荷重応力の低減
3	主桁の増桁	死荷重応力および活荷重応力の低減
4	プレストレスの導入	圧縮応力を付加することによる応力域の改善

### 3-1. 応力低減方法

#### (1) 鋼床版への取り替え

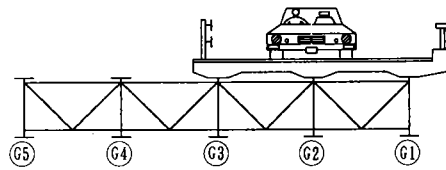
交通量の増大による拡幅工事や歩道部の増設工事では、重量の重い既存のRC床版をそのままにし、増設部をRC床版で施工すると死荷重が増加し、主桁応力が許容応力を超過することがある。また、設計当時、二等橋としてT-14荷重で設計した橋梁に対し、橋梁の橋格を上げ、B活荷重（T-25荷重相当）に対応させようとした場合、活荷重応力が増加し、許容応力を超過する。このような許容応力を超過する場合の一つの対策方法として、死荷重応力を低減させ、許容応力内に応力を収める方法が採られることがある。死荷重応力を低減する方法として最も一般的なのは、既存橋でRC床版が用いられているとき、床版をRC床版よりも軽量の鋼床版に置き換える方法である。また、非合成桁の場合、鋼床版への取り替えは死荷重の軽減とともに、断面剛性のアップにもつながり、活荷重応力の低減効果も期待することができる。鋼床版への取り替え工事は、一般に図3-1に示すように、交通流への影響を最小限に抑えるため、近くに迂回路がない場合、通行止めをせずに、分割施工で工事が行われている<sup>1)</sup>。

①：現橋



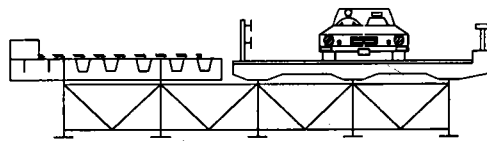
1. 仮高欄設置
2. 片側交通規制
3. I期施工分の舗装・床版  
地覆・ガードレール撤去

②：I期施工  
(橋面工撤去)



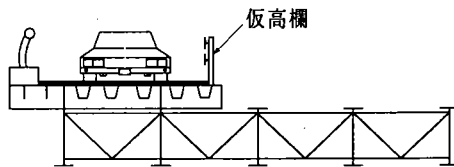
1. I期施工分橋面工撤去

③：I期施工  
(鋼床版架設)



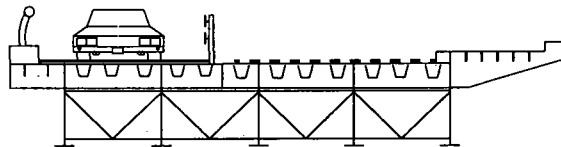
1. I期分鋼床版架設

④：II期施工  
橋面工撤去



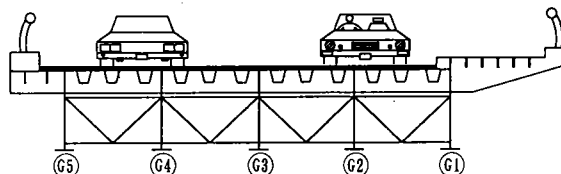
1. I期施工分橋面工施工
2. 仮高欄仮設
3. 交通切廻し
4. II期施工分撤去

⑤：II期施工  
(鋼床版架設)



- II期施工分鋼床版仮設  
(ただし、I期との連結はしない)

⑥：完成



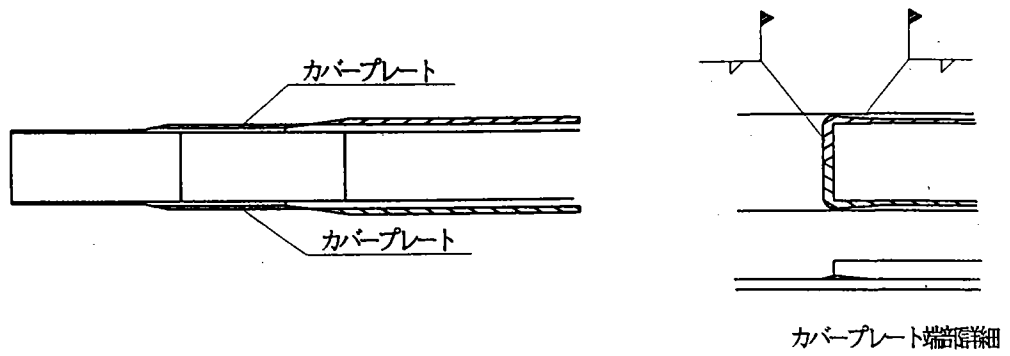
1. II期施工分の橋面工施工  
(ただし、境界部を除く)
2. 仮高欄撤去
3. I・II期境界部の連結  
および橋面工施工
4. 交通全面解放

図3-1 鋼床版への取り替え工事の施工例

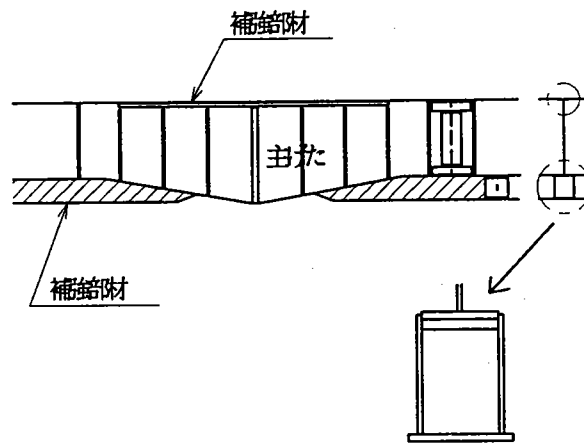


## (2) 断面補強

断面補強は、腐食による板厚の減少や活荷重の増大による部材応力の増加に対処するために実施される<sup>7)</sup>。断面の補強方法としては、部材の板厚を厚くして発生応力を下げるためにカバープレートを取り付けたり、応力超過している部材への力の流れを分散させるためにバイパス材を取り付けたり、部材としての断面剛性を上げるために部材を新たに断面に付加して剛性を上げるなどの方法が採られている。断面に補強部材を取り付けるのは、一般に引張側断面について実施され、現場溶接接合または高力ボルト接合を用いて行われる。また、トラス橋などの圧縮部材では、応力低減のための断面補強としてカバープレートや補強リブを取り付ける方法も採られる。さらに、圧縮部材のため座屈に対する安全性が問題になることがあり、そのようなケースでは部材の中間部に新たに支材を挿入することにより部材の座屈長を短くし、その安全性を満たすようにして対応することもある。断面補強における補強部材の取付例を図3-2に示す。



a) カバープレートによる断面補強



b) 箱断面化による断面補強

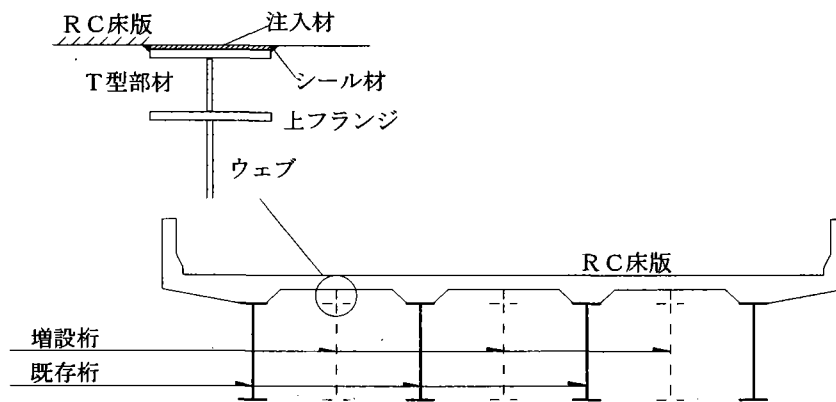


c) H断面を取り付けることによる断面補強

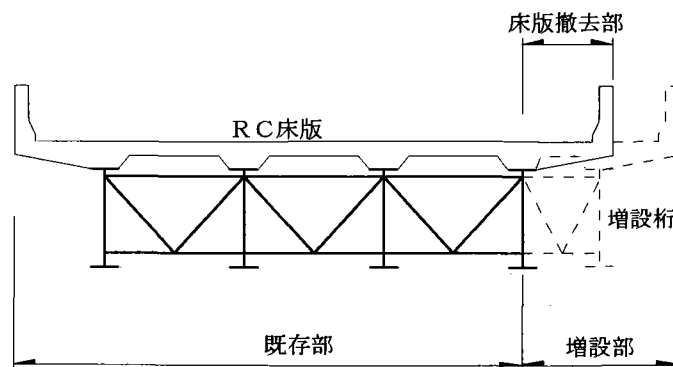
図 3-2 主桁の断面補強例

### (3) 主桁の増桁

主桁の増桁は、既存の主桁配置の内側または外側に新たに主桁を増設して一体化することにより、橋梁全体の剛性を上げ、既存の主桁の活荷重応力を低減するために行われる<sup>8), 9)</sup>。主桁の増桁は、一般に床版支間を短くすることによるRC床版の補強も兼ねるため、主桁配置の内側に増設されることが多い。しかしながら、RC床版の損傷が激しいために、既にRC床版の補強を目的とした縦桁が配置されている場合には新たに主桁を増設することが困難であり、また主桁の増桁による応力低減を行うとともに交通量を確保するための幅員の拡幅も兼ねる場合などには、既存の主桁の外側に主桁を増設することがある。図3-3に主桁の増桁の例を示す。



a) 主桁間の増桁



b) 既存主桁の外側への増桁

図3-3 主桁の増桁例

#### (4) プレストレスの導入

鋼橋の場合、コンクリートのような材料とは異なり、圧縮、引張の両方に優れた材料強度を有している。このため、一般には鋼橋にプレストレスが導入されることは少なく、新設橋梁では連続合成桁橋の中間支点上のRC床版の補強のために支点高さを調整してプレストレスを導入することが行われた程度であり、補強工法としては、架設年次が古く、鋼材の溶接性にやや問題があるトラス橋において用いられた程度である<sup>10)</sup>。しかしながら、鋼橋においても、既存の主桁において生じる応力が材料の許容応力度をオーバーする場合、主桁にプレストレスによる圧縮応力を導入し、許容応力度内に応力を収めることは有用な主桁の補強手段として考えられる<sup>11)</sup>。主桁へプレストレスを導入する方法としては、ケーブルを配置して緊張する方法がとられる。この場合、ケーブルの配置形状により、支柱が1本のキングポスト方式、2本のクィーンポスト方式、直線配置の3形式がある。キングポスト形式とクィーンポスト形式のケーブル配置の形状を図3-4に示す。支柱が1本のキングポスト形式の場合、ポストからの反力が1点に集中するため、ポストを支持する格点の補強が大がかりなものになる。また、耐荷力の向上およびたわみの制御にはクィーンポスト形式が最も効果があるとされている。このようなことから、プレストレスの導入ではクィーンポスト形式が望ましいと考えられる。

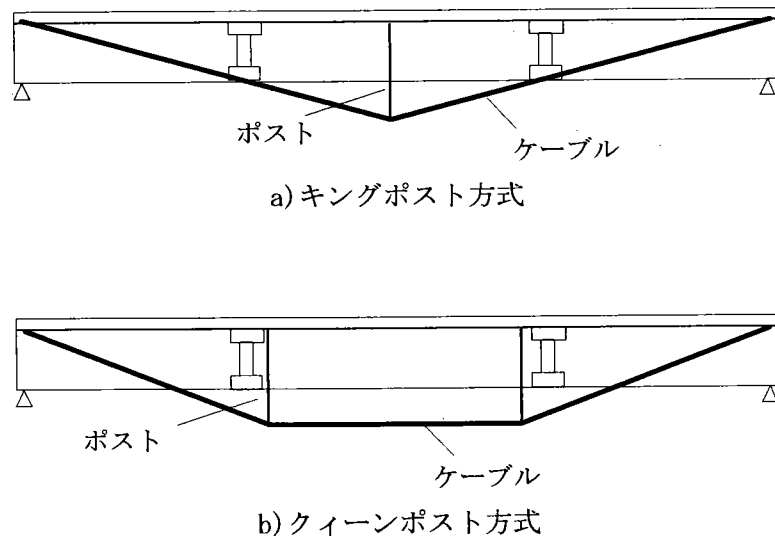


図3-4 主桁へのプレストレス導入方法

### 3-2. 各方法の留意点と今後の課題

#### (1) 鋼床版への取り替え

##### 1) 設計・施工上の留意点

鋼床版への取り替えでは、以下の事項について留意することが必要である。

- ① R C床版を鋼床版構造に取り替える場合、構造の違い、および主桁との取り合い構造のため既存のR C床版の路面高よりも鋼床版の路面高が高くなることが多い。このため、路面高をなるべく低く抑えるようにするため、鋼床版横リブの構造や主桁と鋼床版縦桁との取り合い構造について留意しなければならない。図3-5に構造高を低く抑えるために横リブを主桁に割り込ませたときの施工例を示す。(詳しくは、(社)日本橋梁建設協会編「取り替え鋼床版設計・施工の手引き(案)」<sup>12)</sup>参照)

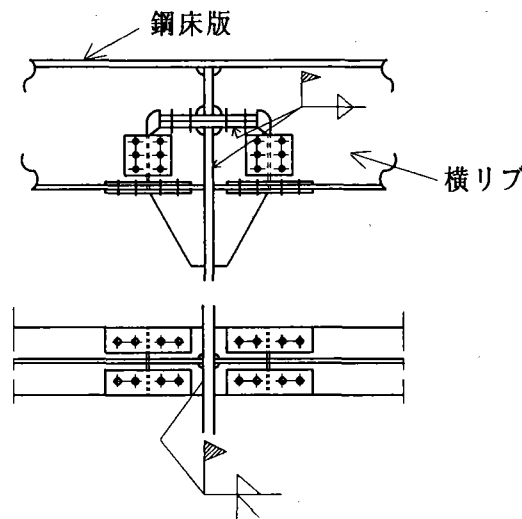


図3-5 路面高さを低く抑えるための構造例<sup>12)</sup>

- ② R C床版に比べ鋼床版は軽量なため、取り替え工事の前後においてキャンバーが変化する。このため、横桁や対傾構等には取り替えによる捻れや断面力の変化が生じ、架設時に部材の損傷、また交通解放後の部材の損傷および取付部の疲労損傷が発生する可能性がある。このため、死荷重変化や剛性変化による横桁、対傾構などの部材およびその取り合い構造への影響に留意しておく必要がある。
- ③ R C床版の撤去の際、主桁上フランジに設けられたスラブアンカーやスタッドジベルも同時に撤去しなければならない。施工時に注意を怠ると上フランジ断面を傷つける可能性がある。このため、R C床版の撤去の際、スラブアンカーやスタッドジベルの撤去計画、工事管理について注意を払わなければならない。また、主桁上フランジ上面は、R C床版撤去時に損傷を受ける可能性があるとともに、鋼床版への取り替え後大気にさらされる箇所が発生する。このため、主桁上フランジには防錆処理を施す必要があるが、現場での施工であること、工事の工程が十分にとれないこと、および十分なケレンができない場合もあることを考慮して、その施工方法や工程について留意することが必要である。
- ④ 鋼床版の構造によっては、また橋梁の意匠の追加などによっては、取り替えによる死荷重の変化が既存のR C床版の死荷重を大きく下回らないこともある。このことから、取り替えの効果について事前に検討を十分に実施しておくことが必要である。

- ⑤ 既存桁の継手部に鋼床版との取り付け構造を設けることは避けたほうがよいが、構造上継手部にて取り付けを行わなければならない場合には、図3-6に示すような継手部を回避する方法が一般的に用いられている。この場合、既存桁との隙間については今後の塗装の作業性について配慮しておく必要がある。（詳しくは、(社)日本橋梁建設協会編「取り替え鋼床版設計・施工の手引き(案)」参照）

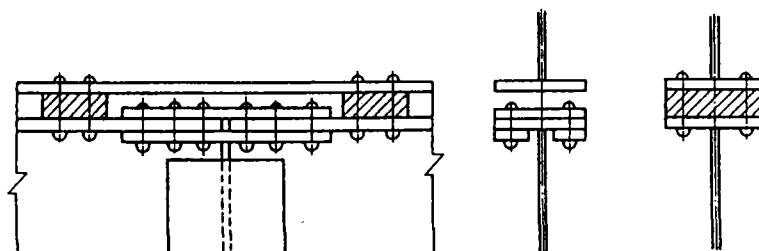


図3-6 既設桁継手部における鋼床版との取り付け構造の例<sup>1,2)</sup>

- ⑥ 主桁上フランジの板厚変化は、一般に製作性を考えて上逃げしていることから、鋼床版の高さや取り付け構造におけるフィラープレートの厚さを決定するにあたっては、この断面変化に注意を払わなければならない。
- ⑦ 取り替えの鋼床版の製作寸法は、既存橋梁の図面がある場合にはそれより求めるが、図面が無いような場合には、事前の実橋計測から求めるしかない。また、RC床版撤去後のキャンバーの変化量が事前の計算値と異なることも予想され、これにより主桁と鋼床版との取り合いが難しくなることがある。そこで、工程に余裕がとれる場合には、RC床版の撤去後のキャンバー変化量などを計測し、鋼床版の製作に反映させ、精度の確保に努めることが必要である。また、工程上、現場計測の時間が無い、計測結果を製作に反映させることが難しいなどの場合には、孔引きによる断面の減少や摩擦継手としての摩擦係数の確保を考慮しながら、取り付け部のボルト孔のサイズを可能な限り大きくしておくことが必要である。
- ⑧ リベットによる組み合わせ部材を使用した橋梁ではいたる所にリベットの頭があるため、取り付け部において干渉するリベットを除去し、代わりに高力ボルトを用いて鋼床版と主桁の取り付けを行うことがある。しかしながら、リベットは支圧接合であり、高力ボルトは摩擦接合というように接合形式が本来異なることから、その強度も違ってくる。そのため、リベットを高力ボルトに変える場合には、接合方法が変わったことによる継手の安全性について注意を払わなければならない。
- ⑨ 主桁の接合としてF11TやF13Tの高力ボルトが用いられている場合、死荷重が軽減されることにより耐荷力上F10Tへ交換しても支障をきたさない場合には、遅れ破壊の危険性が存在するF11TやF13Tの高力ボルトから、F10Tへの交換も同時に行ったほうが望ましい。
- ⑩ RC床版を撤去する際、主桁フランジの固定点間距離が長くなり横倒れ座屈の危険性が生じる。このため、施工計画をする際には、その検討を行うとともに、必要があれば、横構等を追加するなどの対処を施しておくことが必要である。

## 2) 今後の課題

今後の課題としては、以下の事項について検討を要するものと考えられる。

- ① 鋼床版と主桁との取り合い構造として、構造高を低く抑えられ、取り合いの精度確保に余裕がある構造の開発が必要と考えられる。
- ② 鋼床版と主桁との取り合い構造には高力ボルト接合が用いられるが、現場で主桁の上フランジに孔明けをしなければならず、作業効率が低下するとともに孔位置の精度を確保することが難しくなる。このため、孔明け等の作業効率を図り、且つ精度を確保することが可能な施工機械の開発が必要と考えられる。
- ③ RC床版撤去の際、現状ではブレーカーなどを使用するため、都市内の工事では工事騒音が問題になる。このため、最近では、撤去時の騒音を低く抑えることが可能な水圧を利用した切断やハツリ機が開発されてきているが、水の始末などの対策がまだまだ必要であること。これより、RC床版撤去時の施工機械の改良・開発が必要と考えられる。
- ④ RC床版を鋼床版に取り替える場合、リベット接合による組み合わせ部材を用いた橋梁では上フランジ上面にリベットの頭が出ているため、鋼床版と主桁との取り合いでは、リベットを除去して高力ボルトに取り替えている。しかしながら、リベットの場合、1本除去するとその隣接したリベットが緩むなどの悪影響を及ぼすことがある。このため、できる限りリベット位置を回避した取り合い構造の開発が必要と考えられる。

## (2) 主桁の断面補強

### 1) 設計・施工上の留意点

主桁の断面補強では、以下の事項について留意することが必要である。

- ① 交通解放時の施工では、部材の取り付けに溶接接合を用いると振動下の溶接になることから、溶接欠陥が生じるおそれがある。このため、溶接の施工性やその管理について注意を払わなければならない。（詳細は(社)日本鋼構造協会編「供用下にある鋼構造物の溶接による補強・補修指針(案)」<sup>13)</sup>を参照のこと)
- ② 断面補強方法としてカバープレートを用いて部材に取り付ける場合、カバープレートと母材の密着性に注意しなければならない。また、カバープレートの疲労強度は低いために主桁の下フランジなど活荷重応力が高い部位に用いる場合には交通解放後の疲労損傷に対する安全性を十分に検討した上でその適用の是非について決定しなければならない。同様に、その他の補強部材の取り付けに溶接接合を用いる場合には、その溶接継手について疲労照査を実施し、疲労損傷に対する安全性について事前に検討を行わなければならない。将来、疲労損傷の可能性がある場合には、図3-7に示すような溶接止端部にフィレットを設け、止端部を滑らかに仕上げる等の対処を施し、その疲労強度の向上に努めるようにすることが望ましい。（詳しくは(社)日本鋼構造協会編「鋼構造物の疲労設計指針・同解説」<sup>14)</sup>を参照のこと)

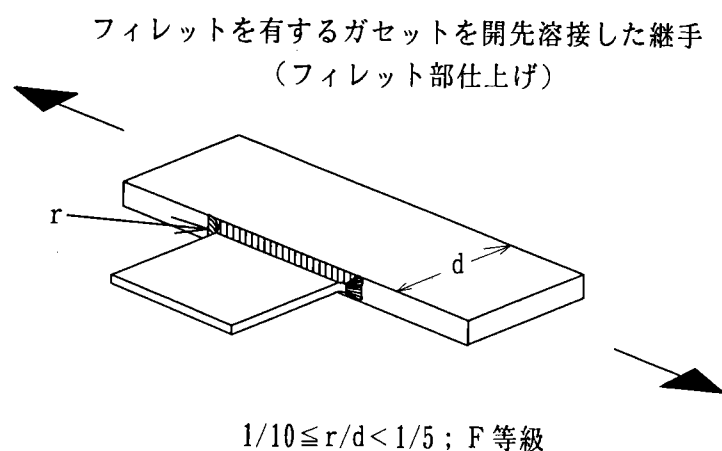


図3-7 疲労強度が低下する際の継手の改善例

- ③ 溶接接合によって補強部材を既存部材に取り付ける場合、母材の材質によっては溶接時に予熱の管理を確実にしなければ、溶接部のワレの発生や母材の靱性の低下を招くこともある。そのため、施工にあたってはその管理を行い、確実に溶接作業が行われるように努めることが必要である。また、図面が紛失した橋梁では、母材の材質が不明なことから、施工前には母材の材質を調べるとともに、溶接施工試験を行い、溶接接合を用いても問題がないことを確認する必要がある。
- ④ 高力ボルト接合を用いる場合、既存橋梁には塗装が施してあるため所定の摩擦係数を確保するには、塗膜を除去する必要がある。このため、大規模な補強を実施する際には塗膜除去に対する養生に注意を払うとともに、所定の摩擦係数を確保できるようにしなければならない。
- ⑤ 既存部材に補強部材を取り付ける場合、既存部材の曲がり、寸法誤差などにより施工時の取り合いが難しくなることがある。この際、補強部材の取り付けに十分な品質を確保できない場合には、予想した補強効果が得られないとともに、将来の損傷の原因になることもある。このため、



事前に補強部材の取り付け精度を確保するための現橋調査を行い、その精度を確保するように努めなければならない。

- ⑥ 補強部材の取り付けにより着目部材の応力を低減することができる。しかしながら、補強を行ったことによる剛性の変化が力の流れを変え、補強部以外の所で応力集中や過大な局部応力を生じさせることがある。そのため、補強部材の形状、配置等を検討する際には他の部位への影響についても配慮することが必要である。
- ⑦ 高力ボルト接合による補強部材の取り付けを行う場合、施工時の孔明けにより断面の減少が発生する。このため、交通解放下で施工する際には、その安全性について検討を行っておくことが必要である。
- ⑧ リベットによる組み合わせ部材を使用した橋梁では、いたる所にリベット頭があるため、取り付け部において干渉するリベットを除去し、代わりに高力ボルトを挿入して補強部材を取り付けることがある。しかしながら、リベットは支圧接合であり高力ボルトは摩擦接合というように接合形式が本来異なることから、その強度も違ってくる。そのため、リベットを高力ボルトに変える場合には、接合の安全性について注意を払わなければならない。

## 2) 今後の課題

今後の課題としては、以下の事項について検討を要するものと考えられる。

- ① 鋼材同士の接合方法として現在、高力ボルト接合と溶接接合の2種類が用いられている。溶接接合に比べ、一般に高力ボルト接合はトルシア形ボルトを用いることにより管理自体は簡単になるが、既存部材に孔明けを行う際に補強工事のため作業空間が狭く、精度の確保や施工状態が厳しくなるなどの問題点がある。それに対して、溶接接合の場合、高力ボルト接合に比べ作業時間、精度管理などの施工性は優れたものとなりやすい。しかしながら、溶接接合の場合、その品質が確保されずに施工が行われ、交通が解放されると、そこからの亀裂の発生により重大な損傷を招くことがある。このようなことから、接合方法として簡易で確実に施工ができるシステムの開発が必要と考えられる。
- ② リベット接合が用いられている橋梁では、リベットの頭が部材の取り付けの障害になり、このため、干渉するリベットを除去して、高力ボルトに置き換えて施工することが多い。しかしながら、リベット接合と高力ボルト接合では接合形式が異なることから強度的に問題になることが多いとともに、健全なリベットを除去する際に隣接したリベットへ何らかの影響を及ぼすことも考えられる。このため、なるべくならリベットを除去せずに補強部材を取り付けるシステムを開発することが必要と考えられる。
- ③ 腐食した部材に補強部材を取り付ける場合、高力ボルト接合では十分な摩擦を取ることは難しく、また、溶接接合では溶接の品質を確保することが難しい。このようなことから、接着剤と高力ボルト接合を併用するなどした腐食した面への部材の取り付け方法について考える必要がある。

### (3) 主桁の増桁

#### 1) 設計・施工上の留意点

主桁の増桁においては、以下の事項について留意しなければならない。

- ① 主桁を増設し、既存の主桁から増設の主桁に荷重が分配されるにあたり、既存主桁と増設主桁の間に変位差が生じる。このため横桁などの連結構造部において、その変位差が原因となる疲労損傷が生じるおそれがある。このようなことから、変位差が極力小さくなるように努めるとともに、疲労損傷が生じないように連結構造に注意することが必要である。図3-8に増桁時の取り合い構造の例を示す。

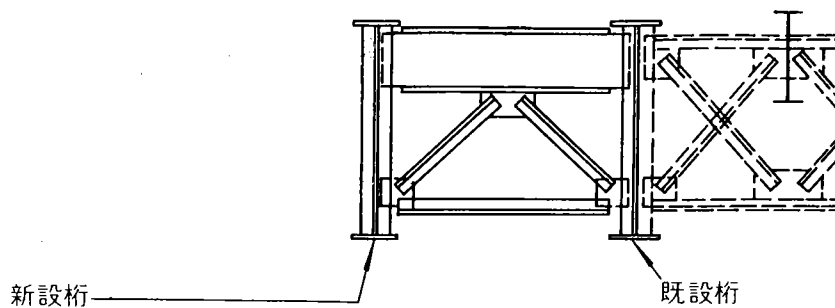


図3-8 増桁と既存桁との取り合い構造例

- ② 既存桁に高力ボルトを用いて部材を取り付ける場合、現場での孔明け作業となるが、その精度が悪く、取り付けが難しくなることがある。このため、孔明け作業では、型板を用いるなどして、孔明けの精度の確保に努めるとともに、ボルト孔を機能上可能な限りの拡大孔にするなどして誤差の吸収に努めるように対処する。
- ③ 主桁を増設するにあたり、工事は交通規制をほとんど行わずに実施することが多い。このため、既存桁と増設桁とを結ぶ横桁や対傾構などのガセットやブラケットを既存桁に取り付ける際に、精度の確保が行いやすい溶接接合を用いると、振動下の溶接になることから、溶接欠陥が生じやすくなる恐れがある。このようなことから溶接の施工性やその管理について注意を払わなければならない。また、既存部材の材質によっては溶接時に予熱の管理を確実に行わなければ、溶接部のワレの発生や母材の靱性の低下を招くこともある。そのため、溶接を行うにあたってはその管理を行い、確実に溶接作業が行われるように努めることが必要である。
- ④ 既存桁への部材の取り付けに溶接接合を用いる場合、溶接継手の種類によっては疲労強度が低いことから、その溶接部の疲労損傷に対する安全性について事前に検討をしなければならない。
- ⑤ 床版補強も兼ねて既存RC床版の下に主桁を増設する場合には、増設桁の上フランジとRC床版とが密着されていないと、RC床版に対する補強の効果が無くなってしまう。このため、増設桁の上フランジと既存RC床版とが密着するように施工上注意を払わなければならない。
- ⑥ 拡幅をともなった増設工事において部分的に交通解放を行いながら施工する時、拡幅境界部の既存桁において、床版の一部分撤去にともないたわみが増加し、最終的にたわみが戻らなくなることがある。このため、床版を打設することにより応力が施工前以上に付加される可能性がある。このような施工では設計過程と異なる付加応力が発生する恐れがあるため、その安全性について

検討しておく必要がある。

- ⑦ 活荷重のみを増設桁に分配し、既存桁の活荷重応力の低減を図ることを目的としている場合には問題にはならないが、死荷重応力についても増設桁に分配させ、死荷重応力の低減も目的とする場合には、支承部の反力調整によって死荷重を主桁間で均等に分担させることが必要になる。この場合、反力を調整するためにジャッキによる支点高さの調整作業が必要となるが、作業中に主桁が座屈するなどの危険性が生じることもある。このような場合、座屈に対する安全性を確保する補強を行うとともに、作業中には反力管理を行い、安全な作業に努めなければならない。
- ⑧ 主桁間の内側に増桁を行う工事では、増設桁を入れるために対傾構や横桁の撤去および増設桁の取り合いのため既存の対傾構や横桁を撤去し、新たに対傾構や横桁を取り付けることが多い。この既存の対傾構や横桁の撤去の際の安全性について注意を払う必要がある。

## 2) 今後の課題

今後の課題としては、以下の事項について検討を要するものと考えられる。

- ① 桁の増設による主桁の応力低減は、橋梁の全体剛性を上げ、増設桁に力を分配させることによって行われる。しかしながら、外側に桁を増設する施工では、増設桁への分配効果が明確に発揮できず、既存桁に施工前以上の付加応力を生じさせる危険性がある。このようなことから、外側に桁を増設する際には既存桁のキャンバーを管理し、付加応力が生じないような施工ステップを考えるとともに、キャンバーが変化しないような施工システムを考える必要がある。
- ② 増設桁を桁の内側に配置する際、既存のRC床版と密着させることにより桁増設による応力低減の効果は上がる。このため、増設桁上フランジとRC床版をシール材を用いて接着させているが、シール部への荷重作用およびシール材自体の劣化によっては長期的な効果が期待できなくなる。このようなことから、桁の増設による効果を長期的に保証するためにはシール材の耐久性を確保しなければならない。

#### (4) プレストレスの導入

##### 1) 設計・施工上の留意点

プレストレスの導入による主桁の応力の改善では、以下の事項について留意しなければならない。

- ① プレストレスの導入による主桁応力の改善に関して長期的な効果を発揮するためには、プレストレスを導入するために用いるケーブルの緊張力が所定の力で保持されていなければならない。このため、腐食によるケーブルの劣化やクリープ・レラクセーションによる緊張力の減少は、この方法の改善効果を著しく損なう。このようなことから、ケーブルの防錆やその定着構造について注意を払わなければならない。
- ② 主桁へのプレストレスの導入効果は、ケーブルの配置形状によって変わり、効果を高くする配置形状は、中立軸に対して大きな偏心を与える配置である。しかしながら、建築限界などにより桁下空間の制約を受ける場合には、偏心量が小さくなる。また、逆に偏心量を大きくした場合には、ケーブルを支持するポストの形状や定着構造が大きくなることにより死荷重が重くなり、プレストレスの導入による効果が少なくなる。このため、ケーブルの偏心量、その緊張力およびプレストレスの導入による効果について総合的に判断を下す必要がある。
- ③ 桁へのプレストレスの導入は、応力域を改善することが目的であり、外力によって生じる応力の変動量は変わらない。よって、疲労損傷で問題になる車両の走行による応力振幅は改善前と何ら変化していない。このため、本方法の場合、変動応力の範囲が引張域から圧縮域に変化しない限り、疲労対策としての効果は期待できない。
- ④ 活荷重により、プレストレスを導入したケーブルに変動軸力が生じる場合、その変動軸力によりケーブル定着部に変動応力が生じ、供用中に定着部が疲労損傷を受けるとともに、プレストレスの導入力が減少する可能性がある。このため、定着部やポストの施工にあたっては、その品質を確保するように十分な管理を行うとともに、疲労に関する検討を行っておくことが重要になる。

## 2) 今後の課題

また、今後の課題としては、以下の事項について検討を要するものと考えられる。

- ① 桁にプレストレスを導入するにあたり、ケーブルの本数が少ないほど、その施工性は向上する。このため、プレストレスを導入する際のケーブル材料を高強度、高弾性化することにより施工性の改善およびプレストレスの効果が向上する。このようなことから、プレストレス導入システムとして新材料の開発および適用を実施することによりその有効性が増すことになる。
- ② プレストレスの導入にあたり、鋼橋の場合、圧縮力による座屈の問題が少なからず解決されなければならない。このため、ケーブルを配置してプレストレスを導入するだけでなく、座屈に対する補強を兼ねたRC床版部のコンクリートの増厚およびRC床版部と鋼桁とを合成することによりその効果は増す。このようなことから、構造的な補強も併せたプレストレス導入システムを開発することが必要である。

### 3-3. まとめ

鋼橋の延命化を図る上で実施される主桁の応力低減方法について整理した結果を表3-2に示す。

表3-2 主桁の応力低減方法の概要

応力の低減の手段	工法	設計・施工の概要	工法の概略	適用に際しての留意点	今後の課題	適用実績
死荷重応力の低減	RC床版を鋼床版に取り替え	重量が重い既存のRC床版を撤去し、軽量の鋼床版に取り替えることにより死荷重応力の軽減を図る。		①構造の違いおよび取り合いにより構造高が高くなる。 ②死荷重が変化することにより、キャンバーが施工前と施工後で異なる。 ③RC床版撤去時の主桁への損傷。 ④リベットを用いた構造における接合方法の違い。	①構造高を低く抑える取り合い構造の開発。 ②孔明けなどの施工機械の開発。 ③低騒音の施工機械の開発。	文献1)
活荷重応力の低減	主桁・主構断面の補強	①主桁および主構の引張側部材の板厚をカバープレート等を溶接または高力ボルトにて接合して増す。 ②断面の剛性を上げるため、補強部材を溶接または高力ボルトにて取り付ける。 ③力の流れを変えるために、バイパス材を取り付ける。		①接合方法として溶接接合を用いる際の、施工性および品質保証。 ②応力レベルが高い部材に取り付けることが多いため、取り付け部の疲労損傷。 ③リベットを用いた構造における接合方法の違い。	①溶接施工における品質保証。 ②簡易で確実にできる接合技術の開発。	文献7)
死荷重応力および活荷重応力の低減	主桁の増設	主桁を新たに増設し、既存桁と一体化することにより橋梁の全体剛性を上げる。		①既存部と増設部の変位差が異なった場合の連結部の耐久性。 ②接合方法として溶接接合を用いる際の、施工性および品質保証。 ③支点部の反力調整時における安全性。	①キャンバー差により、既存桁に付加応力が入る可能性がある。 ②主桁内側に増設する際のシール材の耐久性が寿命に影響する。	文献8), 9)
応力域の改善	主桁へのプレストレスの導入	ケーブルなどの緊張材を用いて、引張側部材にプレストレスを導入することにより部材の応力域を改善し、許容応力内に部材応力を収める。		①クリープ・レラクセーションによるプレストレス導入量の抜け。 ②応力域が改善されるのみで、応力振幅は施工前と変わらない。	①緊張力を導入するシステムおよび材料の開発。	文献10)



#### 4. 振動対策

最近では、構造物の特性を組織的に解明する立体解析も確立され、風や地震に対しての構造物の動的挙動の検討が種々なされており、車両の走行に関しては、実際の交通流をモデル化したシミュレーション解析により検討された例もある。しかしながら、様々な解析手法や実験等が駆使される以前の橋梁では、十分な検討がなされていなかった。また、経済の成長にともない車両が大型化し交通量も増加してきたため、設計当時の活荷重をはるかに越える重車両が多数走行している。このような状況のもとで、走行車両による振動が原因と考えられる疲労損傷が多く見られるようになっている。さらに、伸縮装置部を車両が通過する際に生じる衝撃によって発生する振動と騒音が問題となっている。このようなことから、今後、橋梁の寿命の延命化や環境振動問題の対策を図るためには、構造物の剛性を高めたり、制振装置などを設置して振動の軽減を図ることが必要となってきた。

そこで、本章では、橋梁の延命化と環境振動対策を図る上で必要になってきた振動対策の方法について、現時点で実施されている方法を整理して示すとともに、各方法の施工上の留意点および今後の課題等について示すこととする。

現在までに実施されている構造物の振動対策方法について整理し、大きく分類すると表4-1に示す4種類に分けられる。そこで、本章では、これらの4種類の振動対策方法について整理・検討した結果を示すこととする。

表4-1 振動対策方法の分類

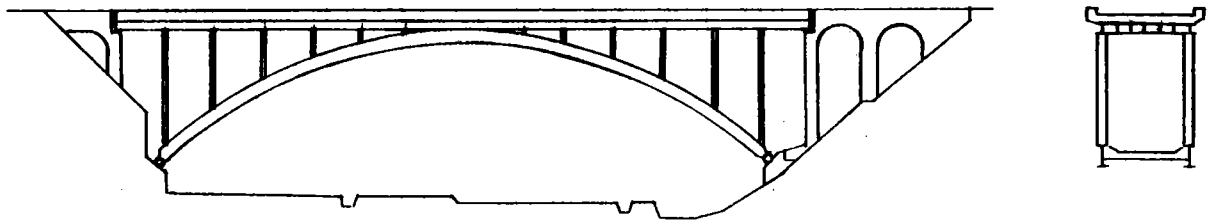
NO.	方 法	目 的
1	構造の剛性を高める	振動の低減
2	制振装置の設置	振動の低減や変形の吸収
3	連続化	振動と騒音の低減
4	桁端部のコンクリート巻立て	振動と騒音の低減

#### 4-1. 振動対策方法

##### (1) 構造の剛性を高める

変形や振動および、それが原因と考えられる疲労について十分に配慮されなかった時代の構造物が、近年の重車両と交通量の増加により酷使が余儀なくされ、それにとまなう疲労損傷が多数見られるようになり補修、補強がますます必要となっている。このため、構造系を変更することや部材断面の補強により橋梁全体の剛性を高め、変形や振動を抑制し疲労損傷を防止するために行われる工法である。ここでは、斜材を追加して面内変形を抑制し、対傾構を追加することで面外変形と振動を抑制した、アーチ橋の施工例を図4-1に示す。なお、この橋では、追加部材による荷重増加や活荷重の対策として、床版をRC床版から軽量の鋼床版へ取り替えて荷重負担の軽減を図っている。

a) 補強前



b) 補強後

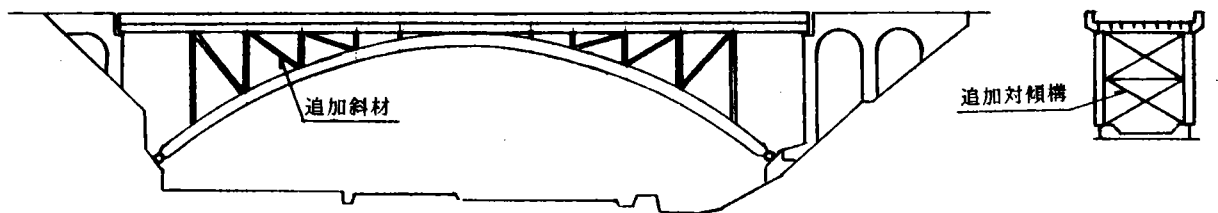


図4-1 構造の剛性を高めるために施工された例<sup>16)</sup>

## (2) 制振装置の設置

橋梁上を走行する車両、橋梁に作用する風および橋梁外部から伝達される振動等により橋梁本体や部材、部品が振動することがある。この振動が原因で橋梁本体の部材の応力が許容値を超えたり、溶接継手部の疲労強度が問題になったり、振動そのものが橋梁の利用者や橋梁周辺的环境に対して悪影響を与える場合がある。このような場合、振動を低減または止めるために、振動を発生させる外力を制御したり、振動物に制振装置を取り付けたり、振動を遮断する装置を設けたりする。これらの振動対策については地震動や吊橋の風による振動など、ごく一部を除いて標準的に扱う手法が確立されておらず、各種振動対策は個々に対応せざるを得ない状況にある。

現在、実施されている制御方法について、制振装置を振動体に付加して振動を制御する方法を整理し、大きく分類すると表4-2に示す6種類に分類される。なお、この分類に基づいて整理した各制振装置の特徴および設置に関する留意点を付属資料「制御方法に基づく制振装置の分類」に示すこととする。

表4-2 振動制御方法の分類

No	方 法	装 置	特 徴
1	材料の塑性利用方法	鋼棒、鉛ダンパー	材料の塑性変形によるエネルギーを減衰として利用
2	摩擦利用方法	摩擦ダンパー	変位により発生する摩擦力を減衰として利用
3	粘性利用方法	オイル、粘性せん断粘弾性ダンパー	材料の粘性抵抗を減衰として利用
4	材料剛性利用方法	積層ゴム、PCケーブル、可変剛性機構	振動体の剛性を変え、固有周期を変調する
5	振動入力制御方法	スポイラー、隅切り路面平滑化	振動体への部材の取付けや、形状変更で振動の原因となる作用力を制御する
6	制御力入力方式	TMD, TLD 等	振動を制御するための力を作用させる

### (3) 連続化

連続化は、重車両の増加によって伸縮装置が破損したり、車両が伸縮装置上を通過する時に舗装との段差等で生じる衝撃によって発生する振動や騒音の解決を図るために行われるもので最も効果的な方法である。連続化の施工方法は、従来から色々な方法が検討・開発されて、今では橋梁の規模や変形量の大小によって一般的に図4-2、図4-3に示すような形式が使用されている。伸縮装置をなくして走行路面を連続化することは、伸縮装置の補修や取り替えの作業もなくなり維持管理の省力化にもつながるものである。

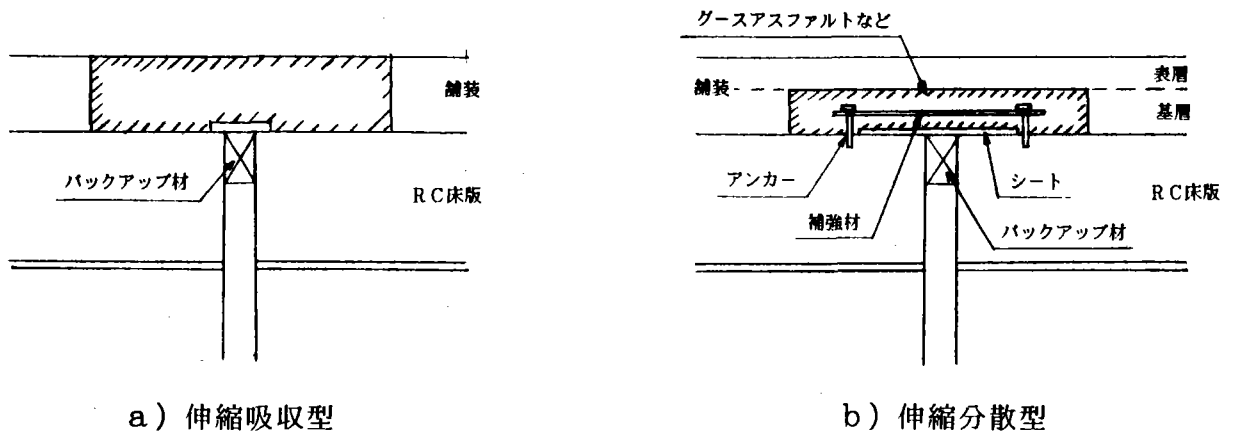


図4-2 埋設ジョイントの構造例<sup>19), 20)</sup>  
 (舗装材料の変形性能で桁端に生じる強制変位を吸収する方法)

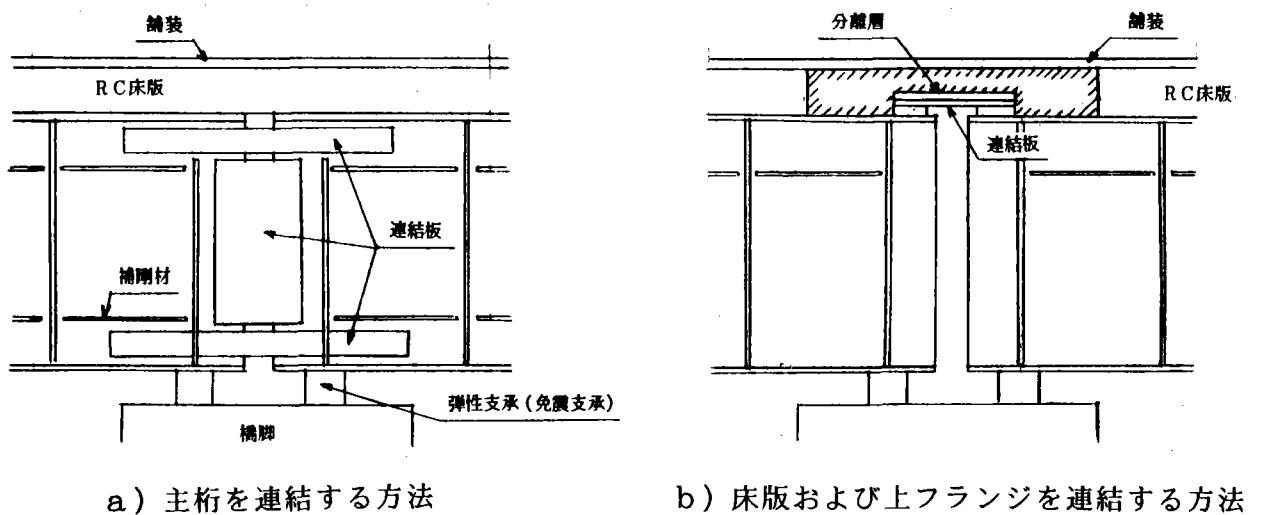
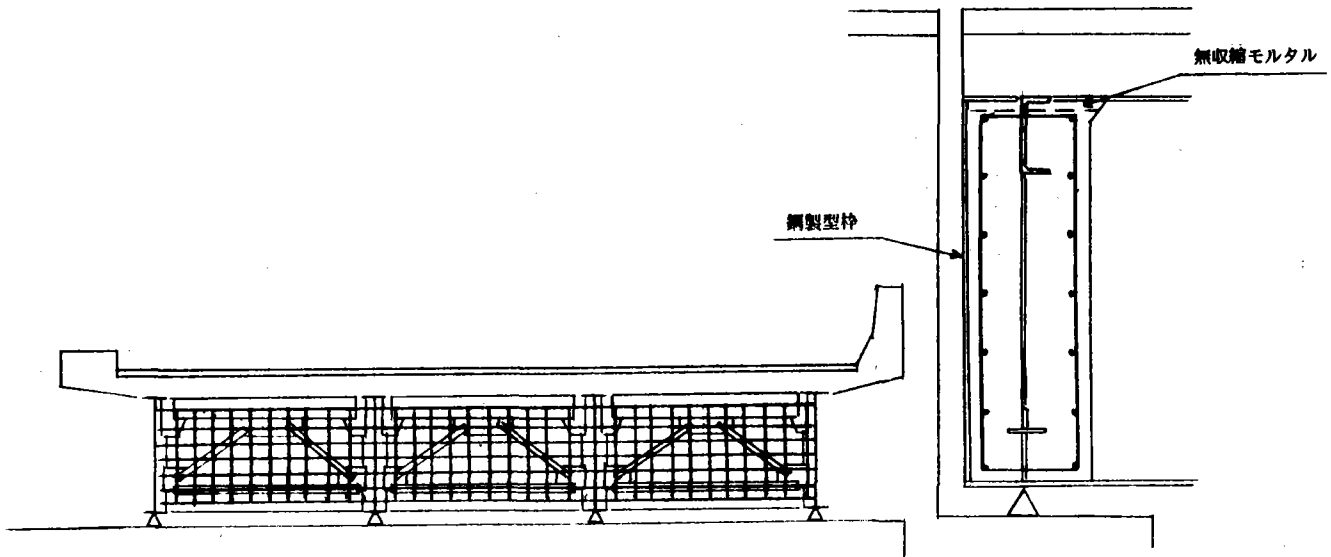


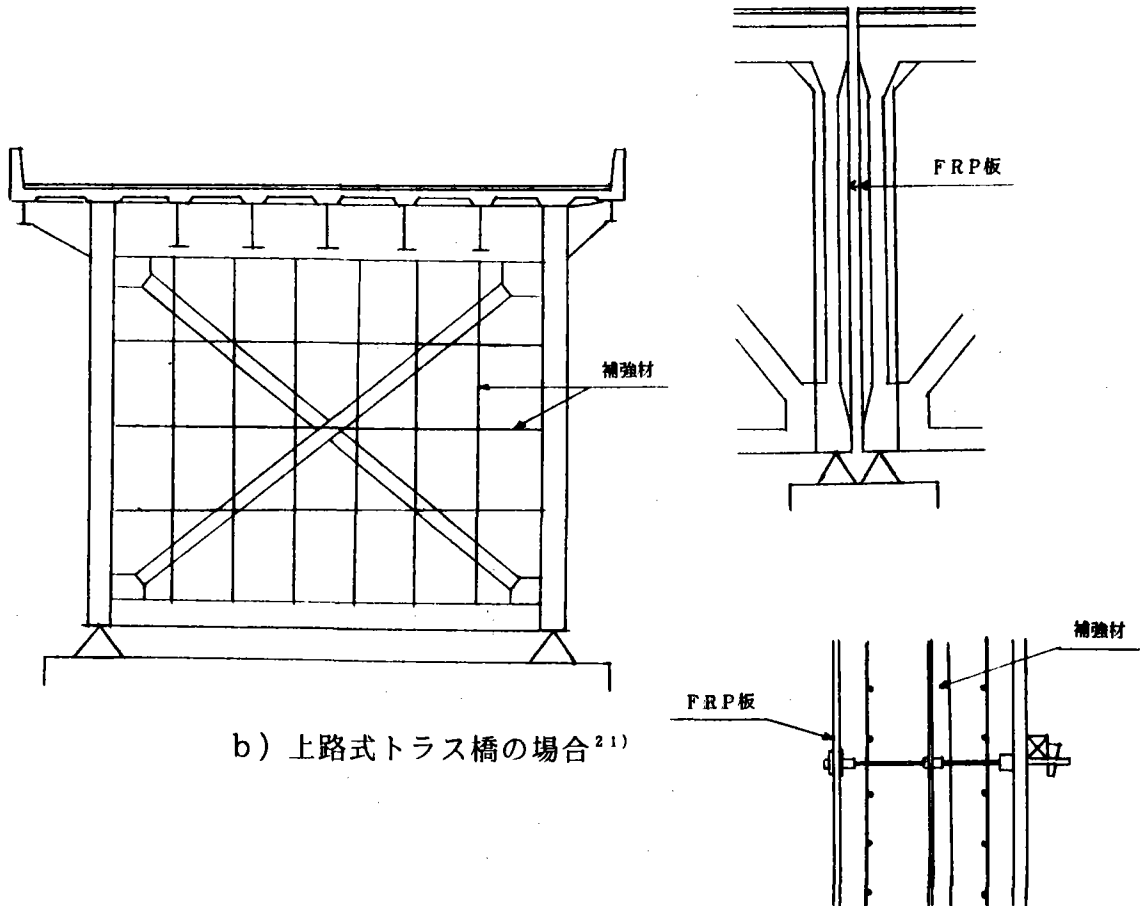
図4-3 連結型ノージョイントの構造例<sup>19), 20)</sup>  
 (主桁, 床版を連結することによって変位を拘束し, 継ぎ目をなくす方法)

(4) 桁端部のコンクリート巻立て

桁端部のコンクリート巻立ては、伸縮装置上を車両が通過する際に発生する振動や騒音を桁端部の剛性を高めることで吸収しようとするために行われる工法である。桁端部のコンクリート巻立ては、連続化で対応できない構造の場合に適用されるもので施工例を図4-4に示す。



a) 桁橋の場合



b) 上路式トラス橋の場合<sup>2)</sup>

図4-4 桁端部のコンクリート巻立ての施工例

## 4-2. 各方法の留意点と今後の課題

### (1) 構造の剛性を高める

#### 1) 設計・施工上の留意点

構造の剛性を高める（構造系を変更する）場合は、以下の事項について留意することが必要である。

なお、増桁などによる剛性を高める対策の場合は2章と3章の主桁の増桁の留意点を参照されたい。

- ① 構造の剛性を高めるために構造系を変更するので、着目する部材についての解析方法や解析モデルの選定には十分注意する。特に撤去・新設の架設ステップ時の構造系や新設部材の連結時期を忠実に反映した解析モデルとする必要がある。
- ② 構造系を変更する場合は、限られた時間、限られた範囲、また交通供用下等厳しい条件の中で工事をするため、現場での施工条件を十分検討した上で、必要最小限で効果的な補強が得られる最適なタイプを決定する必要がある。
- ③ 構造系が変われば、断面力や変位も変化するので、既設部材の照査を行い安全性を確認しておく必要がある。
- ④ 既設部材に高力ボルトで新設部材を取り付ける場合、現場にて孔明け作業を行うため、精度が悪くなり、部材の取り付けが難しくなることがある。このため、孔明け作業では、型板を用いるなどして、孔明けの精度確保に努めるようにするとともに、ボルト孔を機能上可能な限りの拡大孔にするなどして誤差吸収に対処する。また、引張材に孔明けをする場合は、孔引き欠損による母材照査をしておく必要がある。
- ⑤ 既設部材に溶接で新設部材を取り付ける場合、交通供用の振動下で行う時は、溶接の欠陥が生じやすくなるので、溶接の施工性や管理について十分な注意を払わなければならない。また、既設部材の材料によっては溶接時に予熱の管理を確実に行わなければ、溶接部のワレの発生や母材の靱性の低下を招くこともあるので、十分な施工管理と確実に溶接作業が行われるように努めることが必要である。
- ⑥ 接合部分で応力が集中する場合は、局部応力の緩和を図る細部構造（例えば、フィレット処理など）を使用したり、溶接する場合は止端部の仕上げ処理をするなどの注意を払う必要がある。図4-5に局部応力の緩和を図った施工例を示す。

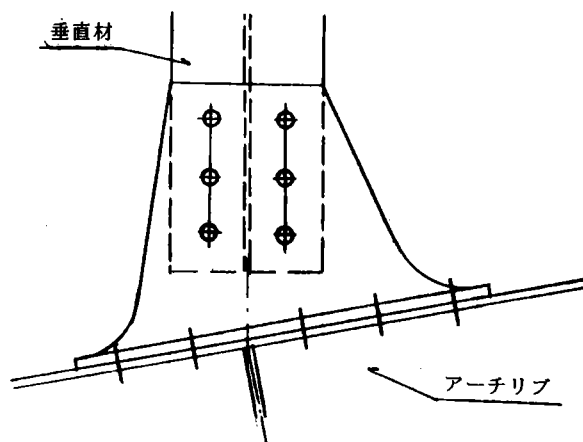


図4-5 局部応力の緩和を図るための構造例

- ⑦ 既設部材に溶接接合を用いる場合、溶接継手の種類によっては疲労強度が低いことから、その溶接部の疲労損傷に対する安全性について事前に検討を行うようにしなければならない。
- ⑧ 補強部材が多くなり、死荷重が増加する場合、上部工・下部工の耐荷力への影響が大きくなるので、RC床版を鋼床版へ取り替えるなどして荷重の軽減を図る必要がある。
- ⑨ アーチ橋で荷重の軽減を図るために、RC床版を鋼床版へ取り替える場合、RC床版を撤去していくとアーチリブが上下に変形して、アーチリブの応力状態が危険となる場合があるので、アーチリブの変形を極力小さくする取り替えステップを十分検討する必要がある。

## 2) 今後の課題

今後の課題としては、以下の事項について検討を要するものと考えられる。

- ① 現状では、実橋で試験車走行の実験を行い、変位・応力・振動を実測して、補剛・補強の効果を確認する方法しかないが、これは大変複雑な方法である。このため、簡易で確実に効果が確認できる計測システムの開発が必要と考えられる。
- ② 鋼材同士の接合方法として現在、高力ボルト接合と溶接接合の2種類が用いられている。溶接接合に比べ、一般に高力ボルト接合はトルシア形ボルトを用いることにより管理自体は簡単になるが、既存部材に孔明けを行う際に補強工事のため作業空間が狭く、精度の確保や施工状況が厳しくなるなどの問題点がある。それに対して、溶接接合の場合、高力ボルト接合に比べ作業時間、精度管理などの施工性は優れたものとなりやすい。しかしながら、溶接接合の場合、その品質が確保されずに施工が行われ、交通が解放されると、そこからの亀裂の発生により重大な損傷を招くことがある。このようなことから、接合方法として簡易で確実に施工ができるシステムの開発が必要と考えられる。

## (2) 制振装置の設置

構造物の振動を抑制するための制振装置の選定および設置の方法は、装置そのものの検討では不足であり、

- ① 振動の原因となる地震、風、交通荷重などに代表される

[構造物に与えられる外乱の種類特性]

- ② 構造物の周期特性、振動の形態等

[振動する構造物の特性]

- ③ 振動による構造物の疲労の低減、周辺環境の改善等

[振動抑制の目的]

等々に渡って広範囲に検討、考察が必要である。

現実の振動問題では、これらの要因毎の種々の条件および組合せが存在し、地震動を除く振動問題では標準的に扱うことははなはだ困難で個々に対応せざるを得ない状況にあるため、これらの要因について個々に全てを記述することは困難である。個々に上述の振動の特性、制振装置の特性ならびに振動構造物の特性を熟知した上で対応する必要がある。



### (3) 連続化

#### 1) 設計・施工上の留意点

連続化においては、以下の事項について留意することが必要である。

- ① 連続化にあたっては、橋梁形式や構造諸元、現場調査の結果をふまえ、どの形式が最適な工法であるか、十分な検討をして選定する必要がある。
- ② 舗装材料の変形性能で変位を吸収させる埋設ジョイントは、小支間の場合に使用されるものである。この中で、伸縮吸収型は舗装のひびわれよりもわだち堀れが発生しやすいので、大型車両の少ない場合に適用できるものと考えられる。逆に、伸縮分散型は舗装のわだち堀れよりもひびわれが発生しやすいので、大型車両の多い場合に適用できるものと考えられる。このようなことから、埋設ジョイントを使用する場合は、伸縮量と交通条件の両面から十分検討を加えて最適なタイプを決定する必要がある。
- ③ 隣接する桁端部の変形を拘束させる連結型ノージョイントでは、主桁を連結する場合、桁端部の回転変形を拘束するので連続桁に近い挙動を示すため、主桁支点部付近の断面および下部構造に及ぼす影響が大きい。床版及び上フランジを連結する場合は、桁端部の回転変形を拘束するほどの剛性はなく、活荷重に対しては単純桁に近い挙動を示し、温度変化には連続桁の挙動を示す。以上のことから、連結型ノージョイントを使用する場合は、橋梁の構造系が変わるため、疲労、温度変化、地震時の反力分散および下部構造への影響などの検討を十分行って最適なタイプを決定する必要がある。図4-6に主桁を連結した施工例を示す。

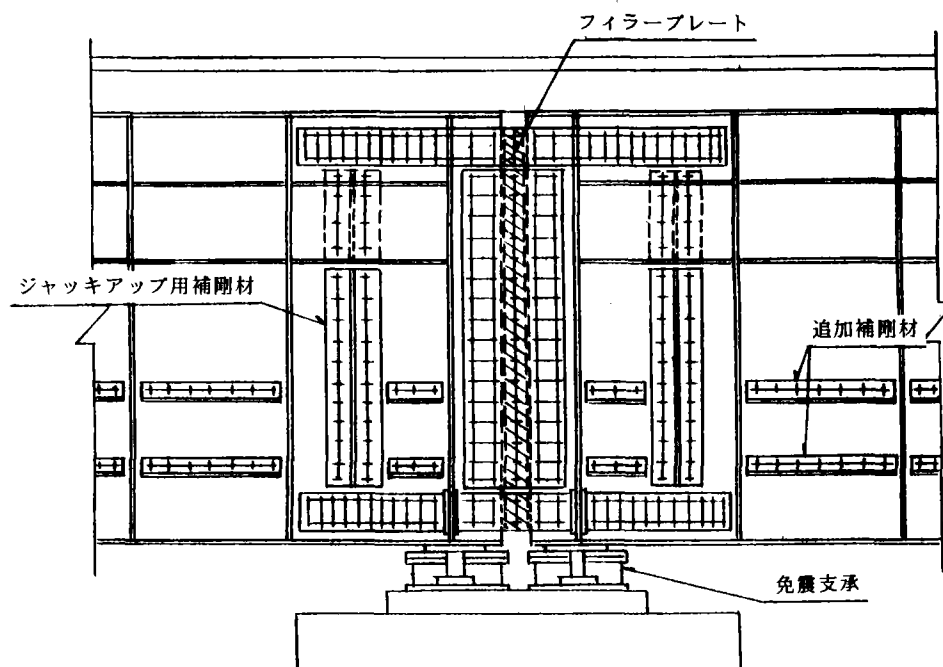


図4-6 主桁を連結した施工例

- ④ 埋設ジョイントの伸縮機能は材料の品質管理や現場での施工管理によるところが大きいので、このようなことに十分注意を払い、良好な品質・施工の管理に努めることが大切である。
- ⑤ 埋設ジョイントの場合、舗装の継目部で転圧により段差が生じ、そこから亀裂が発生しやすいので、できるかぎり舗装の表層に継目を設けないような施工方法を行うことが必要である。
- ⑥ 連結型ノージョイントの場合は、支承を弾性支承へ取り替える必要が生じる。この際、ジャッキアップを必要とするが、主桁のジャッキアップ位置には死活荷重反力が作用するので補強を行う必要がある。1支承ごとに主桁をジャッキアップすると、端対傾構・端横桁あるいは床版に過大な断面力が発生する可能性があるため、各支承線ごとに連動ジャッキを用い、同時にジャッキアップするように行うことが重要である。また、供用中にジャッキアップをする場合は、走行車両の安全を損なわせないようなジャッキアップ量の管理に努める必要がある。
- ⑦ 舗装の撤去やコンクリート床版のはつりに際しては、構造本体に損傷を与えないように注意を払い、その量は必要最小限に努める。また、近隣に住居がある場合は、施工により発生する騒音・振動には十分留意し、その対策を講じる必要がある。
- ⑧ 詳しくは、財団法人道路保全技術センターの「既設橋梁のノージョイント工法の設計施工手引き（案）」（平成7年1月）<sup>20)</sup>を参照されたい。

## 2) 今後の課題

今後の課題としては、以下の事項について検討を要するものと考えられる。

- ① 現在施工されている埋設ジョイントは、未だ完成された工法とは言い難く、使用する材料の不均一性や施工精度などにより、年数の経過とともに損傷が生じているのが現状である。したがって、定期的な点検をすることにより交通量（特に大型車量の混入状況）と損傷の関係を把握し、データを蓄積して埋設ジョイントの改良をかさね、伸縮量と交通条件からの適用範囲の確立を図ることが必要と考えられる。
- ② 連結型ノージョイントは、既設の単純桁を連結することで、連続桁に近い挙動をしめす構造系に変更するものである。このため、通常連続桁と異なり、現場施工で既設橋を連結するから、その挙動に不明確な点も多い。したがって、定期的な点検を実施することで、連続化の効果のデータを蓄積し、構造形式とその設計手法および施工方法を統一的に整理し、確立を図ることが必要と考えられる。
- ③ 最近では、道路の交通騒音の軽減対策として低騒音舗装材（大きめの砕石を骨材として使うアスファルト合材で、表面のすき間が大きいことから騒音を吸収する効果を持つ。また、すき間を雨水が浸透するのでスリップ事故防止にも効果が高い）が使用されつつあり、需要も増えてくるものと思われる。今後の経過を見て行きたい。

#### (4) 桁端部のコンクリート巻立て

##### 1) 施工上の留意点

桁端部のコンクリート巻立てにおいては、以下の事項について留意することが必要である。

- ① 桁端部は狭隘で作業空間もないため、桁端側に使用する型枠は、コンクリート打設後の撤去が困難となる。したがって、この型枠は防錆処理がほどこされた永久型枠を使用する必要がある。
- ② 端床組が充腹形式の横桁の場合は、腹板に開口部を設けて、桁端側の鉄筋の配筋と主桁への溶接、桁端側の型枠の取り付け、コンクリートに埋設または接する部分の塗装のケレンなどの作業が容易にでき、また、コンクリートの充填も良好に行われるように配慮することが肝要である。
- ③ 上路式トラス橋のようにコンクリート巻立ての規模が大きい場合は、コンクリート打設時に生じる水平方向の力によって、型枠が変形や破損しやすいので、この防止対策としての補強処置を講じる必要がある。また、コンクリートによる荷重の増加が大きくなるので、トラス部材や支承の照査を行い安全性を確認しておく必要がある。
- ④ コンクリートは隅々まで充填させる必要があるから、規模に応じて適切な回数に分けて打設するように努める。
- ⑤ 供用中にコンクリートを打設し養生する時は、走行車両の振動により材料分離を起さないように、流動化コンクリートを使用するなどの十分な注意を払うことが必要である。
- ⑥ コンクリートの最終分割ブロックを打設する場合は、既設床版と一体化して巻立ての目的が達成できるように、一体化の妨げとなる乾燥収縮などがおこらない無収縮モルタル等を使用する必要がある。

## 2) 今後の課題

今後の課題としては、以下の事項について検討を要するものと考えられる。

- ① 現在行われているコンクリート巻立て工法では、支承のセットボルトもコンクリートに埋ってしまう。これでは、支承が腐食あるいは損傷して取り替えが必要となった場合に、取り替え作業が困難となる。したがって、支承の取り替えが生じた時に、取り替え作業が容易に行えるような、セットボルト部分の構造を開発する必要があると考えられる。
- ② 桁端側は狭隘なため、型枠の取り付け作業が非常に難しい。また、コンクリート打設後の型枠撤去が困難である。したがって、型枠の材料は軽量で強度があり、かつ、永久防錆のあるもの、さらに、狭隘部での鉄筋の配筋作業が大変なため、鉄筋を無くし鉄筋の役目もはたすものを開発する必要があると考えられる。
- ③ 車両が伸縮装置上を通過する際に発生する振動や騒音を、コンクリート巻立てで、剛性を高め吸収しようとしても、伸縮装置が損傷すれば効果も減少するし、伸縮装置の取り替えも必要となってくる。また、コンクリートの巻き立てをすると伸縮装置の取り替え作業も困難なものとなる。したがって、耐久性があり吸音効果のあるもので、取り替えも容易な構造の伸縮装置の開発が必要と考えられる。
- ④ 桁端側は目視管理ができないため、狭隘部のメンテナンスのシステムを開発する必要があると考えられる。

4-3. まとめ

鋼橋の延命化を図る上で実施させる振動対策方法について整理した結果を表4-2に示す。

表4-2 振動対策方法の概要

振動対策の手段	工 法	設計・施工の概要	工法の概略	適用に際しての留意点	今後の課題	適用実績
振動の低減	構造の剛性を高める	部材の追加や結合構造の変更で構造系を変えることや部材断面の補強により橋梁全体の構造の剛性を高め、変形や振動の抑制と疲労損傷の防止を図る。		<ul style="list-style-type: none"> <li>①構造系が変更するため既設部材の照査。</li> <li>②厳しい施工条件での必要最小限で効果的補強を得る形式の選定。</li> <li>③接合方法として、溶接接合を用いる際の施工性と品質保証。</li> <li>④疲労対策を反映した連結構造の採用。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>①簡易で確実に補強効果が確認できる計測システムの開発。</li> <li>②接合方法として簡易で確実に施工できるシステムの開発。</li> </ul>	参考文献 16)
振動の低減や変形の吸収	制振装置の設置	制振装置を設置することで、振動や変形を抑制または防止させる。		<ul style="list-style-type: none"> <li>①振動の特性、制振装置の特性ならびに振動構造物の特性を熟知した上での対応。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>①制振装置の設計手法の確立および開発。</li> </ul>	参考文献 17) 参考文献 18)
振動と騒音の低減	連続化	既設の単純桁を連結し、伸縮装置を撤去して、車両走行時伸縮装置部から発生する振動や騒音の解決を図る。形式としては一般的に、埋設ジョイントと連結型ノージョイントのタイプがある。		<ul style="list-style-type: none"> <li>①橋梁形式や構造諸元、現地調査をふまえた最適な工法選定。</li> <li>②埋設型は伸縮量と交通条件の両面から選定。</li> <li>③連結型は構造系が変化するため下部工も含めた検討。</li> <li>④舗装やR/C床版撤去時の構造本体への損傷。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>①埋設ジョイントでは伸縮量と交通条件からの適用範囲の確立。</li> <li>②連結型ノージョイントでは形式と設計手法および施工の統一的確立。</li> </ul>	参考文献 20)
振動と騒音の低減	桁端部のコンクリート巻立て	桁端部の剛性を高めて、車両走行伸縮装置部から生じる振動や騒音を吸収する。連続化で対応できない構造の場合に適用される。		<ul style="list-style-type: none"> <li>①コンクリート打設後の撤去が困難となる桁端側の型枠の選定。</li> <li>②規模が大きい場合の型枠の変形と破損の防止対策。</li> <li>③狭隙部での作業性を考えた既設構造の処置。</li> <li>④供用下で打設・養生する際のコンクリート材料。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>①支承の取り替えが容易なセットボルト部の構造の開発。</li> <li>②軽量で強度があり永久防錆のある型枠材料の開発。</li> </ul>	参考文献 21)

## 付属資料－制御方法に基づく制振装置の分類

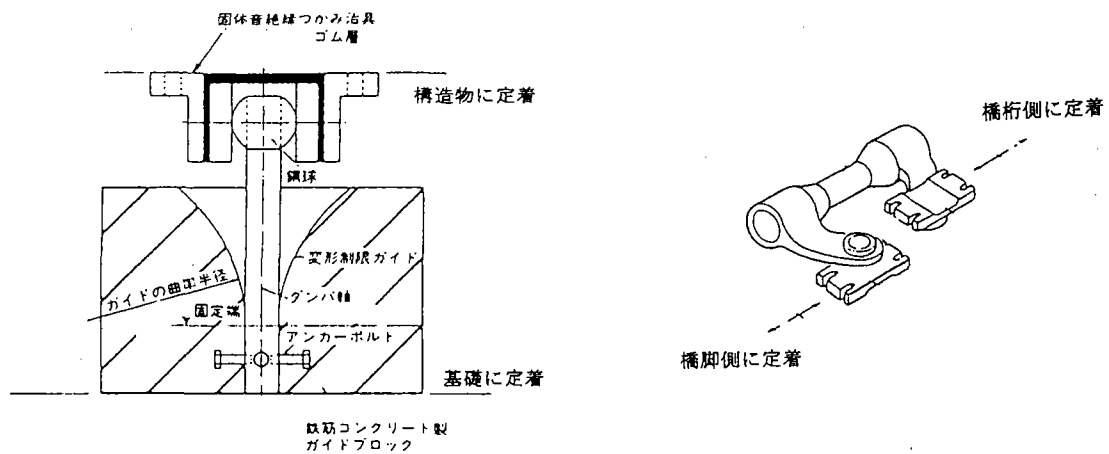
### (1) 材料の塑性利用法

#### 1) 鋼棒ダンパーおよび円環式ダンパー

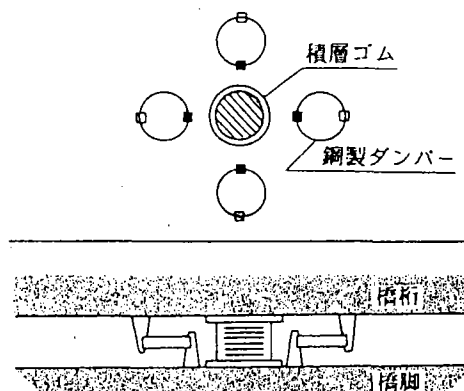
鋼材の塑性変形によるエネルギー吸収を利用したものである。主に免震建築用に開発されたものが多く提案され、一部の変更またはそのまま橋梁への利用も可能である。

形状は、肩持ち梁型、固定梁型、円管型およびコイル型など多種多様のものが考案されている。主に地震動の減衰装置として使用される例が多い。

設置は振動体と非振動体の間に取りつけられ、装置に発生する抵抗力が確実に伝達できるよう、定着部には特に注意する。



a) 鋼棒ダンパー



b) 円環式ダンパー

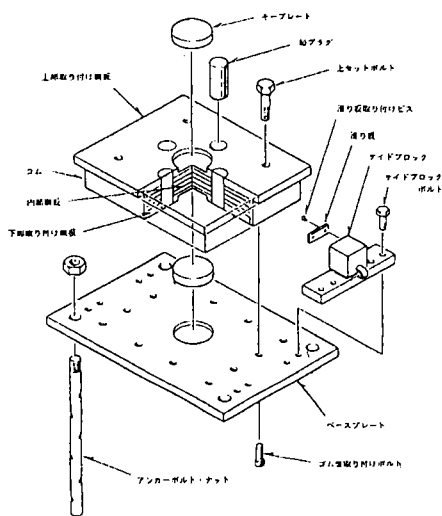
参考図－1 材料の塑性利用法の例

## 2) 鉛ダンパー

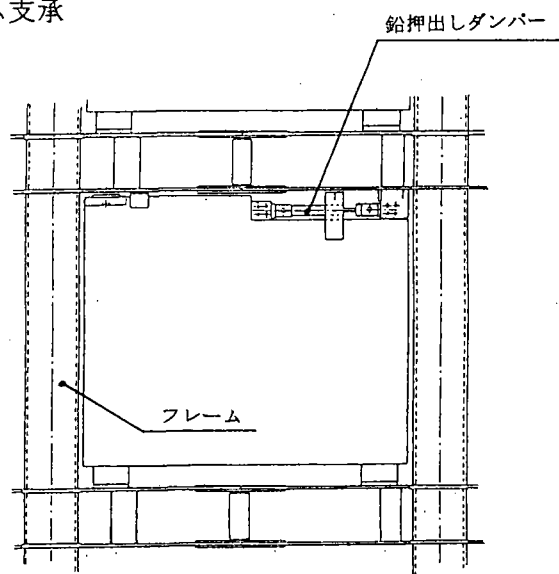
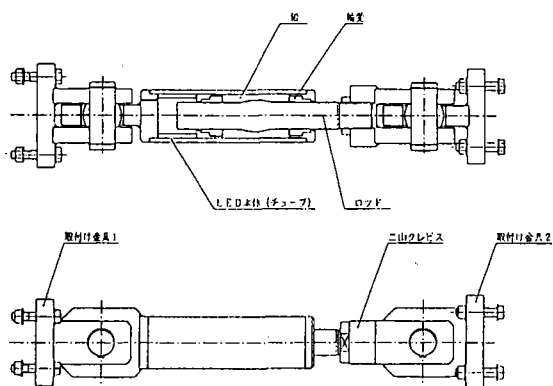
鉛の超可塑性を利用したもので、いったん塑性化した後も時間の経過とともに内部組織が再結晶するため、もとの性質を回復する特徴がある。

鉛ダンパーは、積層ゴムの内部に鉛プラグを内蔵させ（鉛プラグ入り積層ゴム）均一なせん断変形をさせるものとシリンダーと膨径部を持つロッド間に鉛を充填させ、シリンダーとロッド間の相対変形により鉛を塑性変形させるものの2種類が実用化されている。

鉛プラグ入り積層ゴムはノージョイント工法における支点部支承として使用され、交通振動の低下を図る工法として使用された例が多い。



a) 鉛プラグ入り積層ゴム支承



b) 鉛押しダンパー

参考図-2 鉛ダンパーの施工例

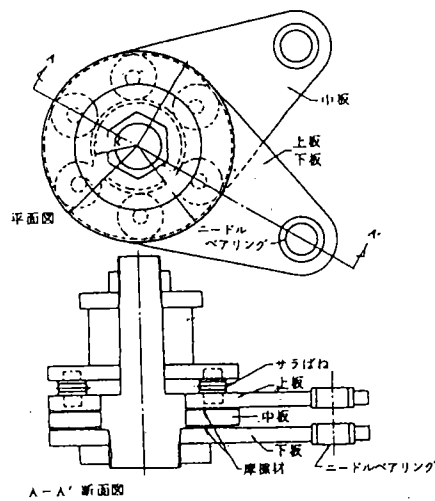


## (2) 摩擦利用方法

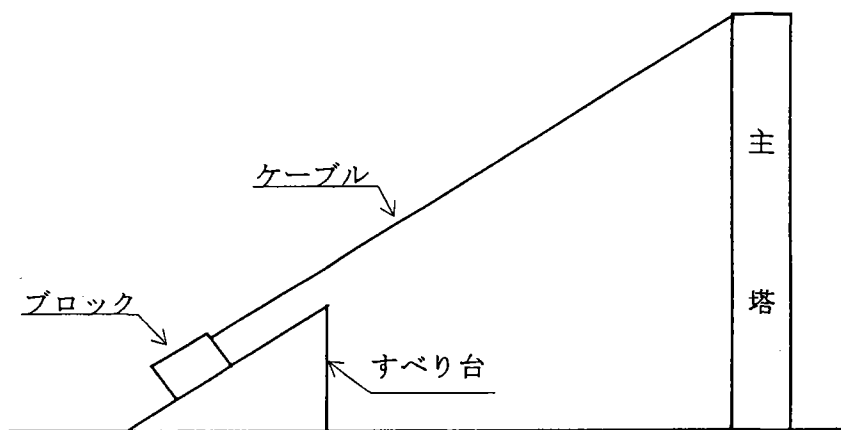
### ・摩擦ダンパー

すべり構造を使用し、摩擦によるエネルギー吸収を利用したものである。

B P-Aタイプ等のすべり支承の摩擦を摩擦ダンパーとして扱う場合もあるが、軸力や摩擦係数の変動があるので解析にはこの点の注意が必要である。また、摩擦力を得るために質量を付加する場合もあり、質量付加の効果と合わせて利用される例もある。



a) 摩擦ダンパー



b) スタンディングブロック方式

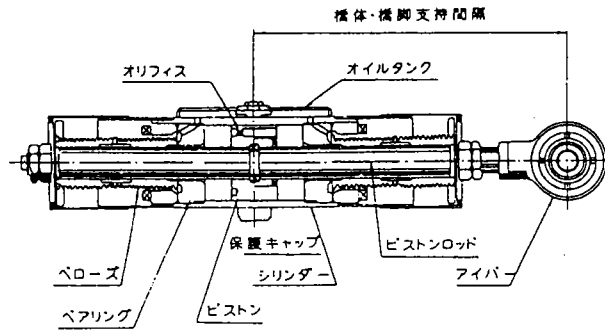
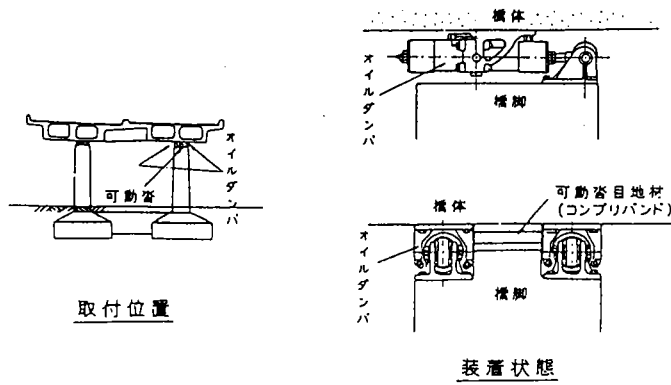
参考図-3 摩擦ダンパーの例

(3) 粘性利用方法

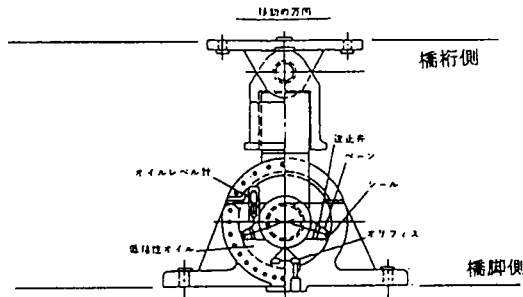
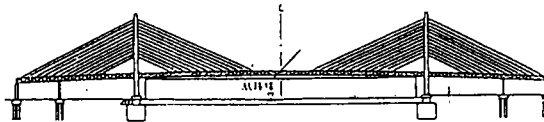
1) オイルダンパー

シリンダー内に満たされたオイルの中をオリフィスを有したピストンが移動し、その時にオリフィス部に生じる乱流抵抗を利用するものである。

抵抗力は速度に依存し、オリフィスの形状等により種々の減衰特性が得られる。



a) シリンダー型オイルダンパー



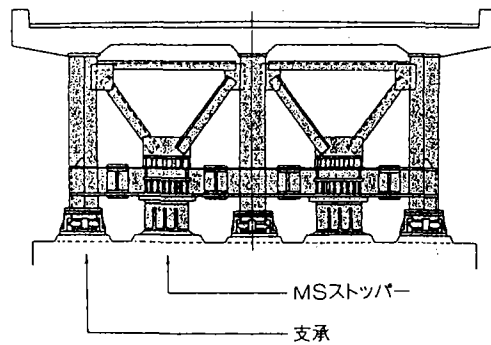
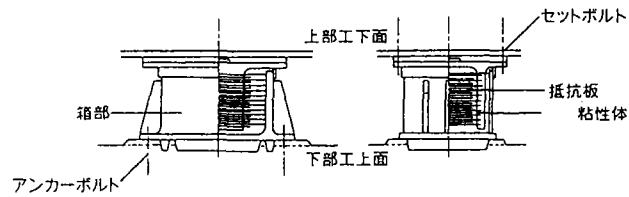
b) ベーン型オイルダンパー

参考図-4 オイルダンパーの施工例

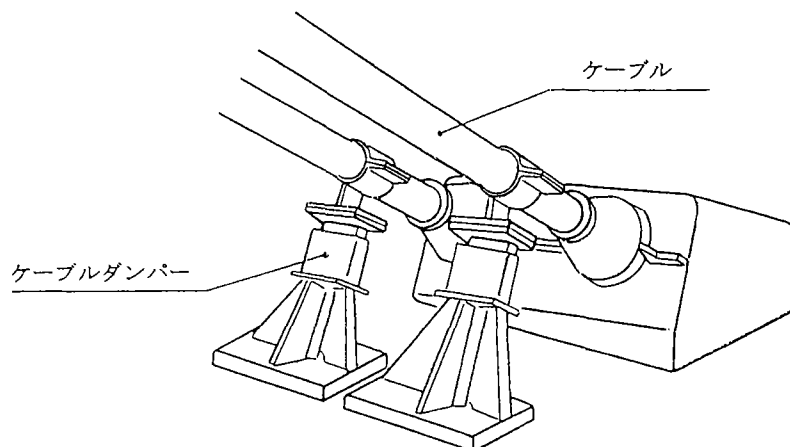
## 2) 粘性ダンパー

粘性体の粘性せん断抵抗を利用したものである。種々の形状が考えられ広範囲な構造物の減衰装置として使用可能である。

適用事例として、他径間連続げたの橋軸方向地震力の分散用に使用されたものと斜張橋ケーブルの風による振動の抑制用のダンパーがある。



a) MSストッパー



b) 斜張橋ケーブルダンパー

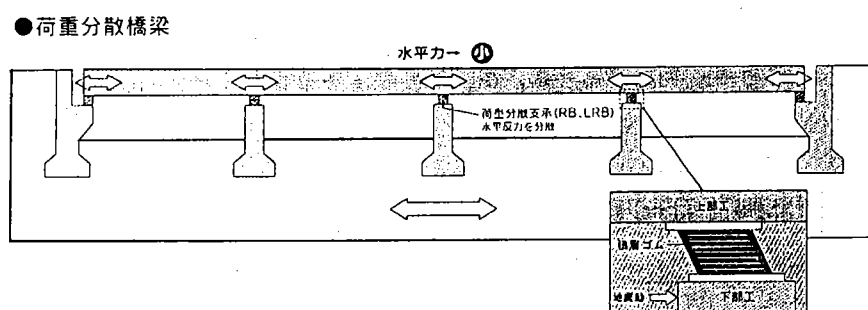
参考図-5 粘性ダンパーの施工例

#### (4) 材料剛性利用方法

##### ・積層ゴム

ゴムと鋼板を重ね合わせて、鉛直方向の剛性を大きくし水平方向の剛性を小さくしたものである。

適用事例として、橋梁の支承として使用され多径間連続橋の水平力分散用に使用例が多い。なお、その場合に二次効果として交通振動の低減効果があるとの報告もある。

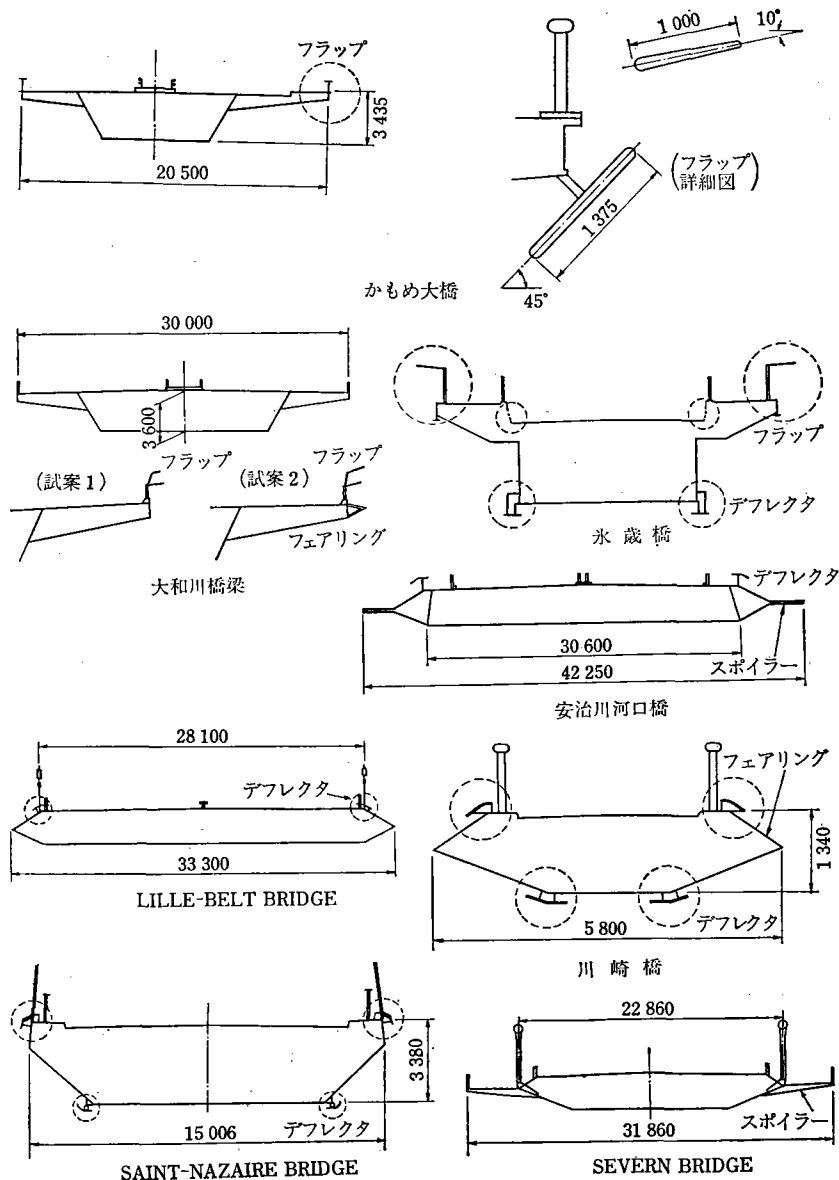


参考図-6 積層ゴム支承の例

(5) 振動入力制御方法

風による振動を抑制する方法として、断面形状を耐風安定性に優れた断面にすれば良いが、実際には必ずしも耐風安定性に優れた断面にすることが難しい。このような場合、補助的な方法として、橋桁断面に部材を取り付けたりして、耐風安定性を向上させている。

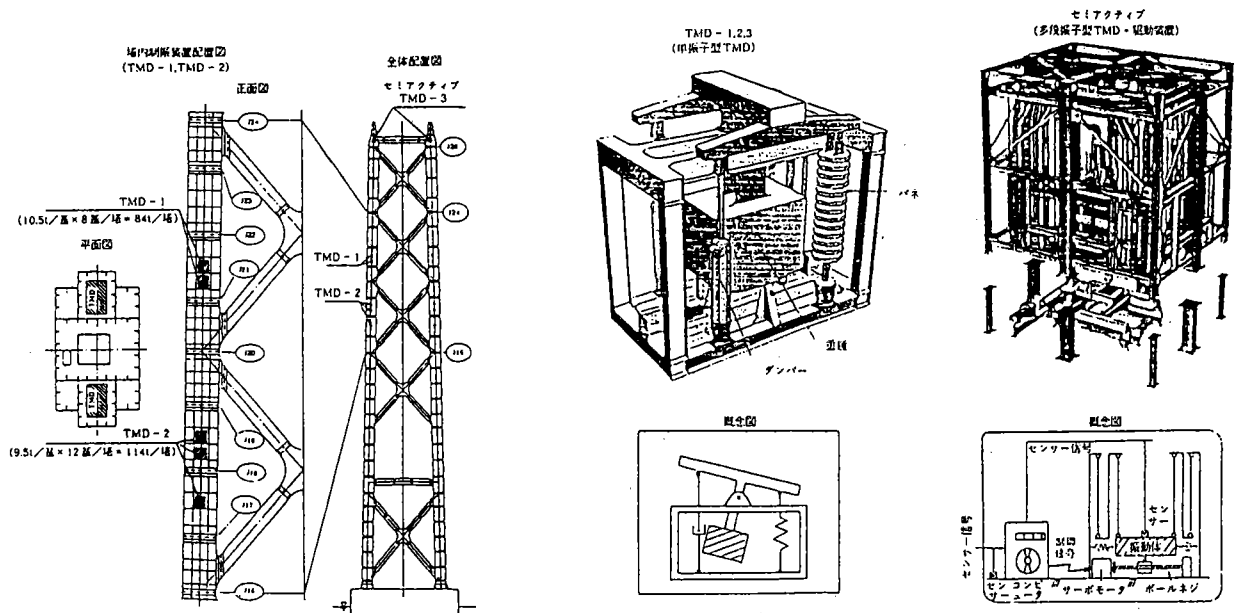
しかしながら、このような部材を付加するなどの補助的な方法の場合、全ての風による振動に対して共通に有効になるとは限らないため、風によって誘起される振動全般にわたって総合的に判断することが必要である。



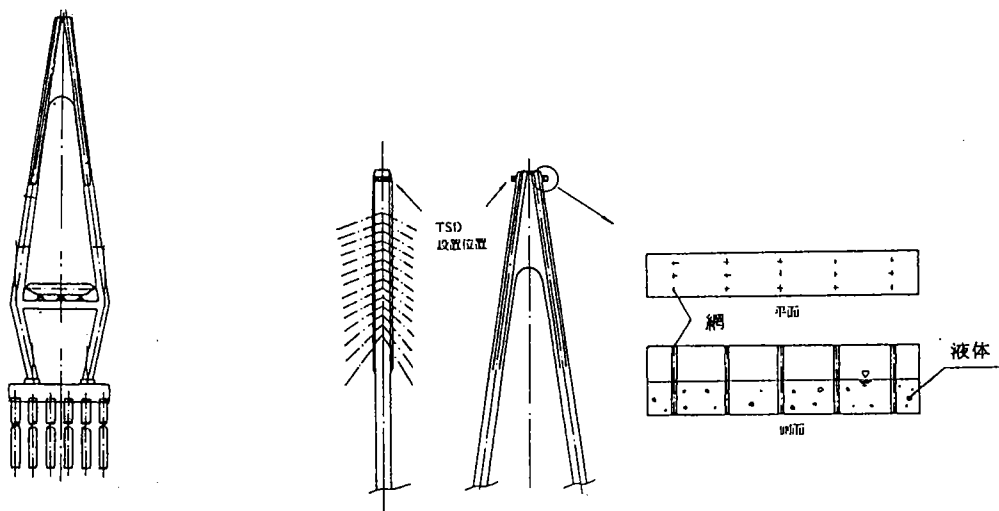
参考図-7 橋桁断面の振動入力制御方法<sup>2,2)</sup>

(6) 制御力入力方式

構造物が固有振動数で振動する場合、その固有振動数を一致させた小さな振動体を構造物に付加し、その小さな振動体の慣性力を構造物の振動を抑制させる方向に作用させることで構造物の振動を低減させる方法である。なお、振動体に質量が付加されるので、この影響を十分に検討しておく必要がある。



a) 質量同調ダンパー (TMD) 17)



b) 液体同調ダンパー (TLD) 18)

参考図-8 制御力入力方式の施工例

## 5. まとめ

交通容量の確保を目的とした拡幅工事、通行車両の重量増による耐荷力および耐久性の向上を目的とした主桁応力の低減工事、走行車両による振動の低減や車両走行性の向上を目的とした振動の軽減対策工事、耐震性能を向上させることを目的とした耐震補強工事、都市内高速道路高架橋においては交通流の流れを確保することを目的とした新たな路線との合流や入出路を増設する工事など、鋼橋の構造機能の変更・改良を目的とした工事が進められている。本編では、これら多くの構造機能の変更・改良工事の中から①交通容量の確保や歩道の確保を目的とした橋梁幅員を拡幅する工事、②主桁の応力低減を目的とした工事、③橋梁振動の低減を目的とした振動対策工事について、その設計、施工計画、工事にあたっての留意点および今後の課題について整理し、まとめた。これらのまとめは、工事毎に共通した事項や予想される点について整理したものであり、実際の橋梁は、その周辺状況、架設年次、桁下空間、構造など様々な形態を示していることから、ここで整理した事項以外に特有の問題が生じることと思われる。しかしながら、ここで記した留意点や今後の課題は、その工事を行う際に留意しなければならない最低限の事柄であり、これらがその工事の設計、施工計画、品質管理などの検討を行う際の一つの手がかりとなるとともに、施工機械の開発や施工システムの開発にあたってのヒントになるものと考えられる。

また、鋼橋の構造機能の変更・改良工事は、既存橋梁の構造を大きく変えることなく、部材を撤去したり追加することが主たる内容である。このため、工事は作業空間が十分に確保され無い状態で、また交通解放したままで行われることが多い。このような工事における共通した留意点としては、本編の各留意点の中に記述したが、新たな部材と既存部材とを接合する際の接合構造およびその接合における精度確保と品質の保証が必ず挙げられる。これらは、今後、工事を行う中で必ず留意しなければならない事柄であり、作業性や耐久性に優れた接合構造を開発することが、このような工事を進めていく中で、重要な課題になるものと考えられる。

## 【参考文献】

- 1) 石井, 宮崎, 岩井, 大友: 若戸大橋の拡幅工事(上)(下), 橋梁と基礎 Vol.23, No.12, 1989, Vol.24, No.1, 1990
- 2) (社)日本鋼構造協会: 供用下にある鋼構造物の高力ボルトによる補強・補修指針(案), 1989
- 3) (社)日本橋梁建設協会: 鋼橋補修工事の問題について—施工事例とその対策—, 1985.6
- 4) (社)日本土木工業協会: コンクリート構造物の施工実務Q&A100, 1994.9
- 5) 川端, 山地, 峠野: 東名玉川橋梁拡幅工事の架設報告(第2報), 東京鐵骨橋梁製作所技報 No.39, 1995
- 6) (社)日本橋梁建設協会: 鋼橋伸縮装置設計の手引き, 1995
- 7) 末原, 梶: 寿橋の補修, 橋梁と基礎 Vol.8, No.10, 1974
- 8) 鎌田, 岡本, 丹羽: I断面主桁増設による補強工事, 三菱重工工事技報 Vol.2, 1994.12
- 9) 青山, 伊藤, 永井: 主桁増設工法による鋼単純合成桁橋の補強, 土木学会第49回年次学術講演会 1994
- 10) 河田: 安谷橋の補強工事, 橋梁と基礎 Vol.8, No.10, 1974
- 11) 平田, 宮本, 森川, 東山, 竹内: プレストレッシングによる既存橋梁の補強に関する基礎的研究, 土木学会第48回年次学術講演会 1993
- 12) (社)日本橋梁建設協会: 取替え鋼床版設計・施工の手引き(案), 1994
- 13) (社)日本鋼構造協会: 供用下にある鋼構造物の溶接による補強・補修指針(案), 1989
- 14) (社)日本鋼構造協会: 鋼構造物の疲労設計指針・同解説, 1993
- 15) (財)鉄道総合技術研究所: 鋼構造物補修・補強・改造の手引き, 1979
- 16) 福島, 若竹, 岡, 竹中: 名神高速道路蟬丸橋架換え工事, 橋梁と基礎 Vol.24, No.24, 1990
- 17) 辰巳, 森, 秦: 明石海峡大橋の主塔制振対策, 本四技報 Vol.17, No.68, 1993
- 18) 藤原: 生口橋塔独立時の同調液体型制振装置, 本四技報 Vol.16, No.62, 1992
- 19) 西川, 山本: 埋設ジョイントを用いた既設橋梁のノージョイント化, 土木技術資料 Vol.35, No.9, 1993
- 20) (財)道路保全技術センター: 既設橋梁のノージョイント工法の設計施工手引き(案), 1995
- 21) 古賀: トラス橋桁端部のコンクリート巻立て補強(若戸大橋), 橋梁と基礎, Vol.28, No.8, 1994
- 22) 土木学会: 土木技術者のための振動便覧, 1985