

1. 機能分離型支承の選定と鋼床版端部構造の提案

－機能分離型支承の採用にあたっての留意事項と

耐久性を考慮した鋼床版桁の伸縮装置取付け部の一提案－

技術委員会 設計小委員会

王 慶雲 大柳 英之 加賀 豊丈

加藤 久人 福岡 利之

I. 機能分離型支承の採用にあたっての留意事項

1. はじめに

ゴム支承は、平成8年の道路橋示方書改訂以降に本格的に採用されてきたが、一つの支承の中に、鉛直荷重支持、水平荷重支持、水平方向移動量の確保、桁のたわみによる回転量の確保等、全ての機能を持たせるために支承寸法が大型化し、桁構造も含め不経済となる場合も多く見受けられた。特に、平成14年の道路橋示方書改訂により耐震性能の向上を図る目的で多径間連続桁が多く採用されて以来、その傾向が顕著となっていた。

そのような背景から、ゴム支承の小型化とコストダウンを実現するために機能分離型支承が開発され、平成16年（2004年）の道路橋支承便覧の改訂で記述されて以降、採用数が増加している。（図-1）

しかしながら、従来の機能一体型ゴム支承に比べて機能分離型支承では鉛直支承の高さが低くなるために、桁下空間が狭隘となるとともに、鉛直支承、水平支承のそれぞれ複数の支承が設置されるために作業空間が狭くなるという短所が表面化してきた。さらに、水平支承の据付けにあたっては、仮固定やコンクリート反力壁の施工管理の煩雑さ等、機能分離型支承を採用したことによる施工上の問題点や改善要求が、採用事例の増加とともに現場から多く報告されるようになった。

以上の経緯を踏まえ、当協会では設計小委員会にWGを組織して（社）日本支承協会の協力を得ながら、機能分離型支承の採用にあたっての施工性・維持管理性の問題点のとりまとめを行った。

ここでは、これまでの問題点および施工性・維持管理性を整理し、計画、設計時に機能分離型支承のタイプを決定する際の参考としてまとめることとした。

年別施工件数

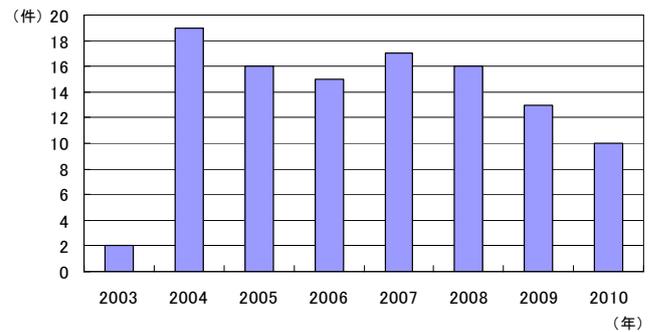


図-1 機能分離型支承工事件数

2. 機能分離型支承の特徴

機能分離型支承とは、鉛直力を支持する機能（鉛直荷重支持機能）と、地震時の水平力を弾性支持する機能（水平荷重支持機能）を分離した支承システムの総称である。

機能分離型支承の鉛直支承は、鉛直荷重を支持すると同時に、上部構造の水平移動（常時の温度変化や地震時の水平移動）に対しすべりにより追従する機能を併せ持っている。また、水平支承は、一般的にバッファ（buffer：緩衝装置）と呼ばれる積層ゴムが用いられ、地震時の水平力を弾性支持する機構となっている。

機能分離型支承の主なメリットは、次に示す通りである。

- ①鉛直支承として鋼製支承を用いた場合、鉛直剛性が高く、活荷重による沈み込みがないので、振動の発生を抑制できる。また、桁端部において伸縮装置に段差を生じないため、走行性が向上し、伸縮装置の耐久性が向上するなどの効果が期待できる。
- ②水平支承は鉛直荷重を支持しないため、ゴム支承のように鉛直荷重により形状が決定されることがない。このため、小型化による設計の自由度が高くなり、水平剛性を自由に設定することができ、橋の固有周期を任意に調整することが可能となる。

③鉛直支承にすべり系支承を用いるため、上部構造の水平移動に伴いすべり時に摩擦力が発生する。これを適正に評価することにより、地震時水平振動に対する摩擦減衰としての効果を期待することができる。以下に機能分離型支承の代表例を示す。

(1) 平置き型機能分離型支承 (図-2、写真-1)

鉛直支承、水平支承ともに平置きである。よって、全方向または橋軸方向に弾性支持構造とすることが可能である。

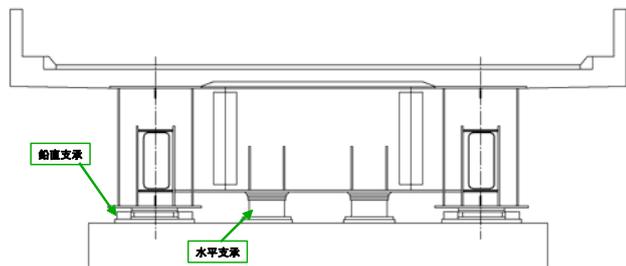


図-2 平置き型設置例

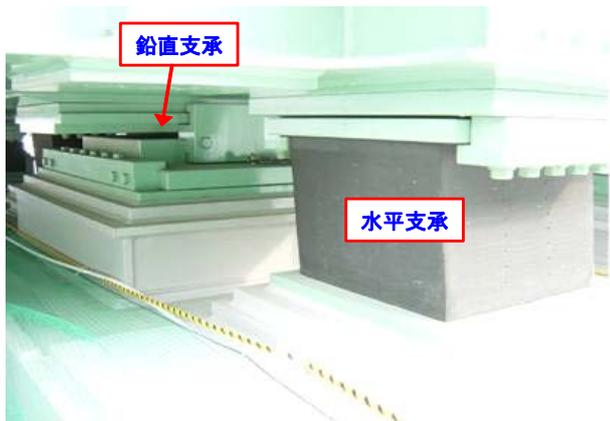


写真-1 平置き型設置例

(2) 縦置き型機能分離型支承 (鋼製ブラケットタイプ) (図-3、写真-2)

鉛直支承は平置き、水平支承は鋼製ブラケットに鉛直に設置する。よって、橋軸直角方向の変位はブラケットにより固定されるため、全方向弾性支持構造とすることはできない。

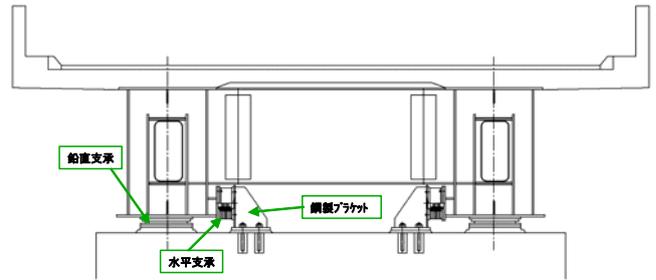


図-3 鋼製ブラケットタイプ設置例

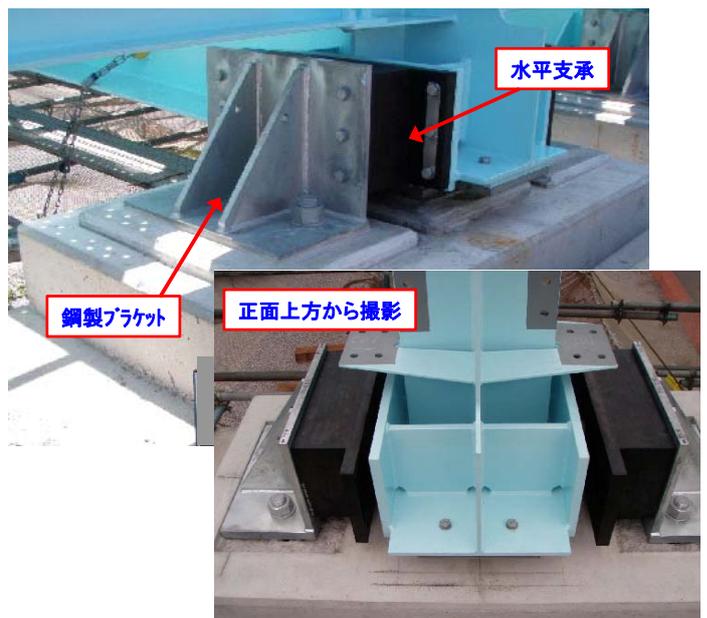


写真-2 鋼製ブラケットタイプ設置例

(3) 縦置き型機能分離型支承（コンクリート反力壁タイプ）（図-4、写真-3）

鉛直支承は平置き、水平支承はコンクリート反力壁に鉛直に設置する。よって、橋軸直角方向の変位はコンクリート反力壁により固定されるため、全方向弾性支持構造とすることはできない。

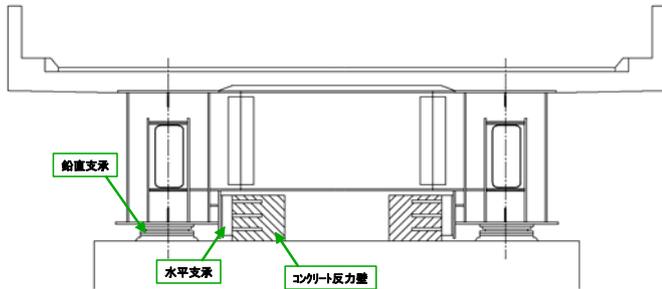
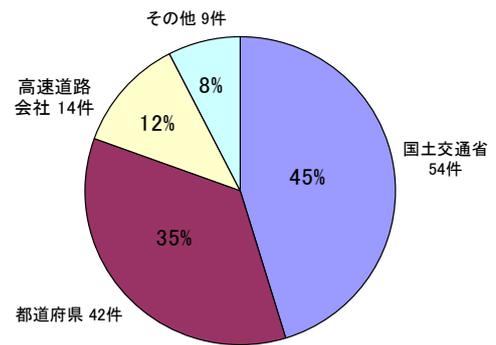


図-4 コンクリート反力壁タイプ設置例



写真-3 コンクリート反力壁タイプ設置例

【発注者別】



【タイプ別】

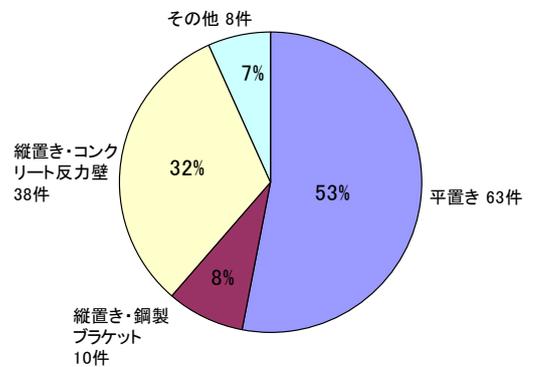


図-5 施工実績（件数は工事件数を示す）

3. 機能分離型支承の問題点と採用にあたっての留意事項

機能分離型支承は、水平バネの設定に自由度があるため、橋梁の地震時変位を小さくできることや、免震化のメリットのない地盤等に適用できることから、近年多く採用されている。

しかし、機能分離型支承の採用が増加するとともに施工上の問題点も明らかになってきており、特に縦置き型コンクリート反力壁タイプの問題点としては、以下に示す項目が挙げられる。

- ①水平支承にストッパーがないので、コンクリート反力壁の完成までの移動を拘束することができない。
- ②コンクリート反力壁への水平支承の定着方法としてアンカーボルト形式が多く採用されているが、桁の温度伸縮により水平支承が移動するため、コンクリート反力壁にひび割れが発生する可能性がある。

(4) 施工実績

発注者別、タイプ別の施工実績を図-5に示す。タイプ別では、平置き型、縦置き型コンクリート反力壁タイプの実績が多い。

③コンクリート反力壁の施工を十分に考慮した構造（スペース等）となっていないため、コンクリート打設作業等の実施が困難である。

以上を踏まえ、機能分離型支承の採用にあたっては、これまでの不具合事例を分析し、改善・対策の検討を進める必要がある。

3. 1 設計上の留意事項

設計上の留意点としては、縦置きタイプと平置きタイプのどちらの場合も狭隘部が生じるため、支点上横桁、コンクリート反力壁、杓座などの施工時および点検時の作業空間が十分とれるように、支承本体のみならず、

支承まわりの作業空間にも配慮した配置計画を行うことが重要である。

表-1に設計上の留意事項を整理する。

3. 2 施工上の留意事項

各々の形式の採用にあたり、施工上の課題に対する対策例を表-1に示す。また、縦置き型コンクリート反力壁タイプの施工例写真を、写真-4~6に示す。

主な項目としては、施工時の桁の温度伸縮への対応、施工済みの鉄筋との位置関係などがあげられる。いずれも事前に現場調査を行い、計画時点から対策を検討しておく必要がある。

表-1 設計上の留意事項

タイプ	代表的な特徴	留意事項
縦置き	①橋軸直角方向の変位が制限されるため、全方向弾性支持構造には適用できない。 ②橋軸直角方向の変位を固定する必要がある場合、反力壁が固定装置として機能するため、支承のサイドブロックが省略できる。	①水平支承は、橋軸直角方向の地震力に対して十分に安全性を考慮する。 ②水平支承で上揚力にも抵抗させる場合は、上揚力によるゴムのせん断変形が許容値内に入るように設計する。 ③水平支承を縦置きに設置するため、コンクリート反力壁や鋼製ブラケットが必要となる。コンクリート反力壁のコンクリート打設や水平支承の架設時の固定方法など施工が困難となる場合があるので、十分に検討する必要がある。
平置き	①全方向又は橋軸方向に弾性支持構造とすることができる。 ②橋軸方向のみ弾性支持構造とする場合は、水平支承または鉛直支承に橋軸直角方向固定装置が必要である。	①水平支承は、鉛直荷重が作用しない構造とする必要がある。 ②全方向弾性支持構造とする場合、鉛直支承は全方向の地震時変位に対応出来る構造とする必要がある。

表-2 施工上の留意事項

タイプ	課題	対策例
縦置き	コンクリート反力壁	<ul style="list-style-type: none"> ・固定治具・仮支承の設置 ・コンクリート打設時間および種類の検討 ・アンカー部箱抜き構造の採用
	鋼製ブラケット	<ul style="list-style-type: none"> ・鉄筋位置の計測 ・鉄筋の曲げ加工による干渉の回避
平置き	アンカーボルト位置について、桁の温度伸縮を考慮する必要がある。	<ul style="list-style-type: none"> ・アンカー部箱抜き構造の採用
	<ul style="list-style-type: none"> ・鉛直力が水平支承に作用しない構造とする必要がある。 ・支承セット完了後の荷重に対する変形を考慮する必要がある。 	<ul style="list-style-type: none"> ・水平支承に隙間調整プレートの設置 ・支承モルタル高さによる調整

●鉄筋とアンカーボルトの干渉事例



写真-4 縦置き型コンクリート反力壁タイプの施工例（1）

●狭隘な作業空間での鉄筋組立



写真-5 縦置き型コンクリート反力壁タイプの施工例（2）

●反力壁と横桁の隙間が小さい箇所のコンクリート施工



写真-6 縦置き型コンクリート反力壁タイプの施工例（3）

表-3 比較検討

タイプ	施工性		維持管理性		総合判断	
	特徴	比較	特徴	比較		
縦置き	コンクリート反力壁	①桁の温度伸縮により、コンクリート硬化までにひび割れが入る可能性がある。 ②反力壁の鉄筋と水平支承アンカーボルトが干渉する可能性がある。	△	コンクリート反力壁が比較的大きくなるため、支承まわりが狭隘となり点検等が難しい。 取り替えは基本的に困難である。	△	△
	鋼製ブラケット	①アンカーボルト位置について、桁の温度伸縮を考慮する必要がある。	○	取り替えは可能である。	○	○
平置き		①鉛直力が水平支承に作用しない構造とする必要がある。 ②支承セット完了後の荷重に対する変形を考慮する必要がある。	○	水平支承の高さが低い場合、支承まわりが狭隘となる可能性がある。 取り替えは可能である。	○	○

4. まとめ

施工性及び維持管理性について、比較検討を表-3に示す。

- 1) 縦置き型鋼製ブラケットタイプおよび平置きタイプは、施工性・維持管理性ともに問題はない。一方、縦置き型コンクリート反力壁タイプは、施工性・維持管理性ともに課題が多く、採用にあたっては注意する必要がある。
- 2) 機能分離型支承の採用にあたっては、品質に大きな影響を及ぼす下記項目に十分留意して比較検討を行うことが重要である。
 - ① 各構造の取り合い、相対的な関係
 - ② 作業空間を考慮した施工方法
 - ③ 温度伸縮に対する施工時仮固定方法
 - ④ 取替えを含めた維持管理方法

機能分離型支承の据付に際し、現場での不具合発生を避ける意味でも、設計段階から構造的な取り合い、施工性、維持管理性等を考慮しておくことが重要である。道路橋支承便覧などに施工要領が整備されるまでには、まだ時間がかかると思われる。本報告を参考にして頂き、少しでも不具合防止への寄与となれば幸いと考える。

今回、本報告をまとめるにあたり、(社)日本支承協会技術委員会から貴重なご意見、ご指導をいただきました。深く感謝いたします。

II. 耐久性を考慮した鋼床版桁の伸縮装置取付け部の一提案

1. はじめに

鋼橋の構造部位の中で、損傷事例の報告が多い部位の一つに伸縮装置があげられる。伸縮装置は常に輪荷重を受け続けながら、直接雨水に曝されていることから、橋梁部位の中で最も過酷な使用条件の下にある。特に、鋼床版用の伸縮装置では、板厚の小さい鋼床版（16mm程度）の上面に厚板（50mm程度）のフェイスプレートが高力ボルトによって直接取り付けられる形式が主流となっている。（図-6、写真-7）

近年このような構造において、雨水の浸水によって路面に設置されている高力ボルトが腐食に至ったり、ボルトの緩み・逸脱、さらにボルトの破損が原因と考えられるフェイスプレートのずれや段差の発生などが多く報告されている。

鋼床版橋梁はコンクリート床版橋に比べて自重を小さくできるので、支間長を大きくできることや桁高を抑えることが可能となることから、都市部周辺や湾岸幹線道路での採用例が多いが、逆にそれらの地域は大型車の交通量も多く、伸縮装置にとって不利な条件である。

当協会では、これらの現状を踏まえ設計小委員会の下部組織である耐久性向上WGにおいて、上記問題に対する対応策の検討を進めてきた。

本報告では、これらの対策として、①漏水の原因となる水みちを無くすこと、②伸縮装置と鋼床版との直接的な取り合いを無くすことの2点に主眼をおいた、鋼床版端部構造を提案する。さらに、試設計を行い経済性および今後の課題についてとりまとめた。

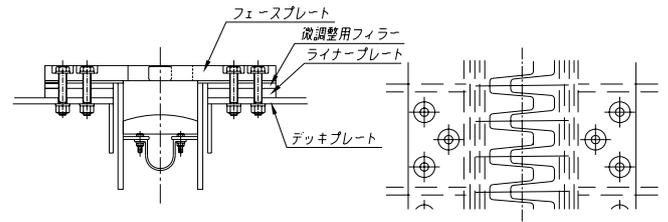


図-6 鋼床版用伸縮装置

2. 鋼床版用伸縮装置の問題点

2.1 不具合事例

鋼床版用の伸縮装置において、報告事例の多い不具合および損傷の事例は以下に示すとおりである。

- 1) 漏水
- 2) 高力ボルト、フェイスプレートの腐食
- 3) 高力ボルトの緩み、破断

（図-7、写真-8～10）

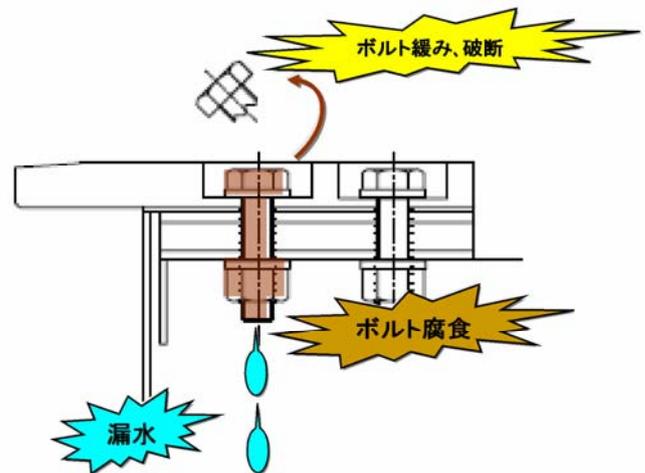


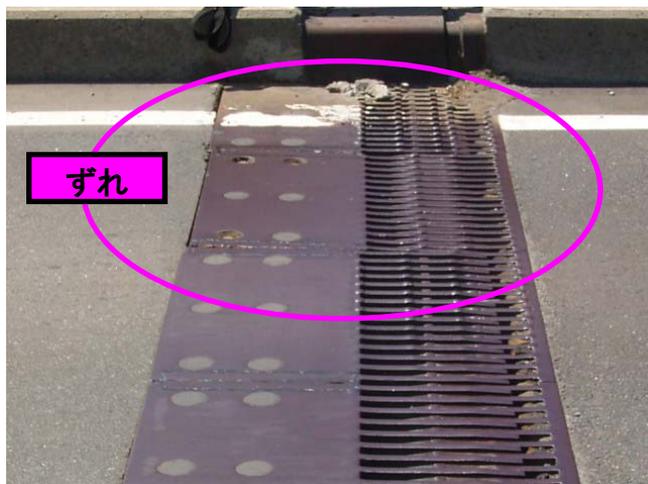
図-7 伸縮装置の不具合事例



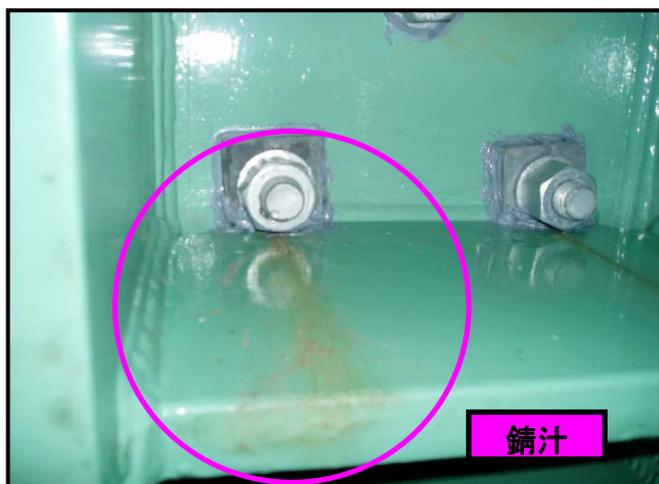
写真-7 鋼床版用伸縮装置



漏水箇所



ずれ



錆汁



段差

写真-8 漏水の事例

写真-10 フェイスプレート不具合の事例



写真-9 腐食の事例

2. 2 要求性能

伸縮装置の本来の要求性能としては、道路橋示方書・同解説（I 共通編 4.2.1）に以下のように規定されている。

- 1) けたの温度変化等による橋の変形が生じた場合にも車両が支障なく通行できる路面の平坦性を確保する。
- 2) 車両の通行に対して耐久性を有するもの。
- 3) 雨水等の浸入に対して水密性を有するもの。
- 4) 車両の通行による騒音、振動が極力発生しないよう配慮した構造。
- 5) 施工、維持管理及び補修の容易さに配慮した構造。

2. 1で述べた不具合は、これらの要求性能を満足しない場合も生じてくる。

2. 3 損傷原因の推定

これらの損傷の原因については、次のような損傷メカニズムが想定される。

(1) 漏水、腐食

図-8に示すように段階を経て、徐々に腐食が進行するものと推定される。シーリング材が劣化したあとに一旦雨水に曝されると、この部分のボルト孔は施工性から拡大孔や長孔としていることが多く、その隙間に水が浸透して腐食が進行していく。

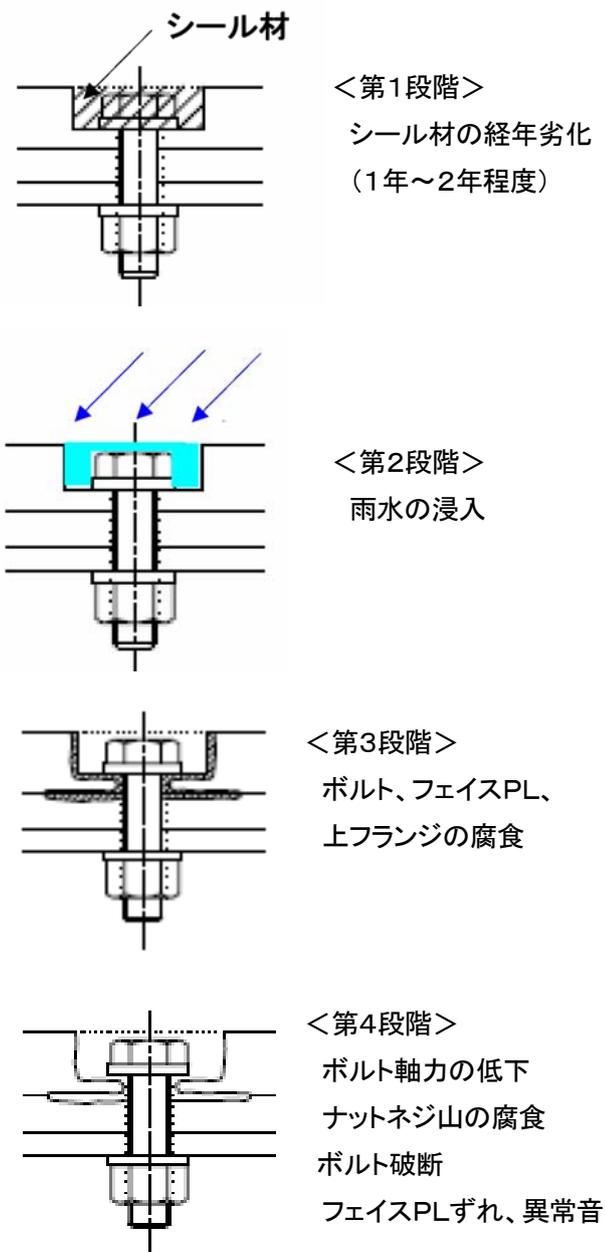


図-8 ボルト部の損傷メカニズム

(2) 高力ボルトの緩み、破断

図-9に示すように、繰り返し作用する輪荷重がテコの原理によって常時、大きな引張力と振動、衝撃となって作用していることが主要因と考えられる。

さらに、鋼床版には必ず溶接ひずみによる不陸があるので微小な隙間がフェイスプレートの下に存在してしまうことや、鋼床版の下側スペースが狭隘で高力ボルトナットの締め付け作業ができないことからやむなく、上面からの頭締めが行われているという施工上の原因もあると考えられる。

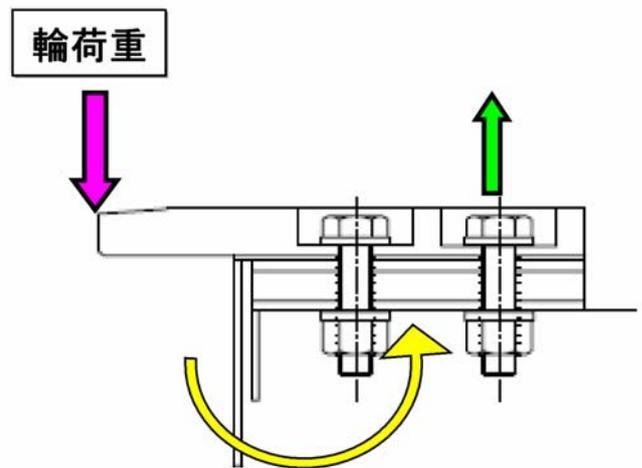


図-9 ボルトに作用する力

3. 設計方針

3. 1 基本方針

上述の問題点の解消を目的に、基本方針として以下3点を定める。

- ①水みちができにくい構造にする。
- ②フェイスプレートを直接、鋼床版に取付けない。
- ③高力ボルトを路面に設置しない。

3. 2 構造方針

上記の基本方針を満足するように、次の構造を採用することとする(図-10)。

- 1) 伸縮装置の構造は、損傷事例が少ないコンクリート系床版に一般的に用いる形式に準じる。
- 2) 伸縮装置の断面形状は、梁としての剛度が大きい箱形形状とする。
- 3) 鋼床版の端部構造は、伸縮装置が設置できるように切り欠いた構造とする。

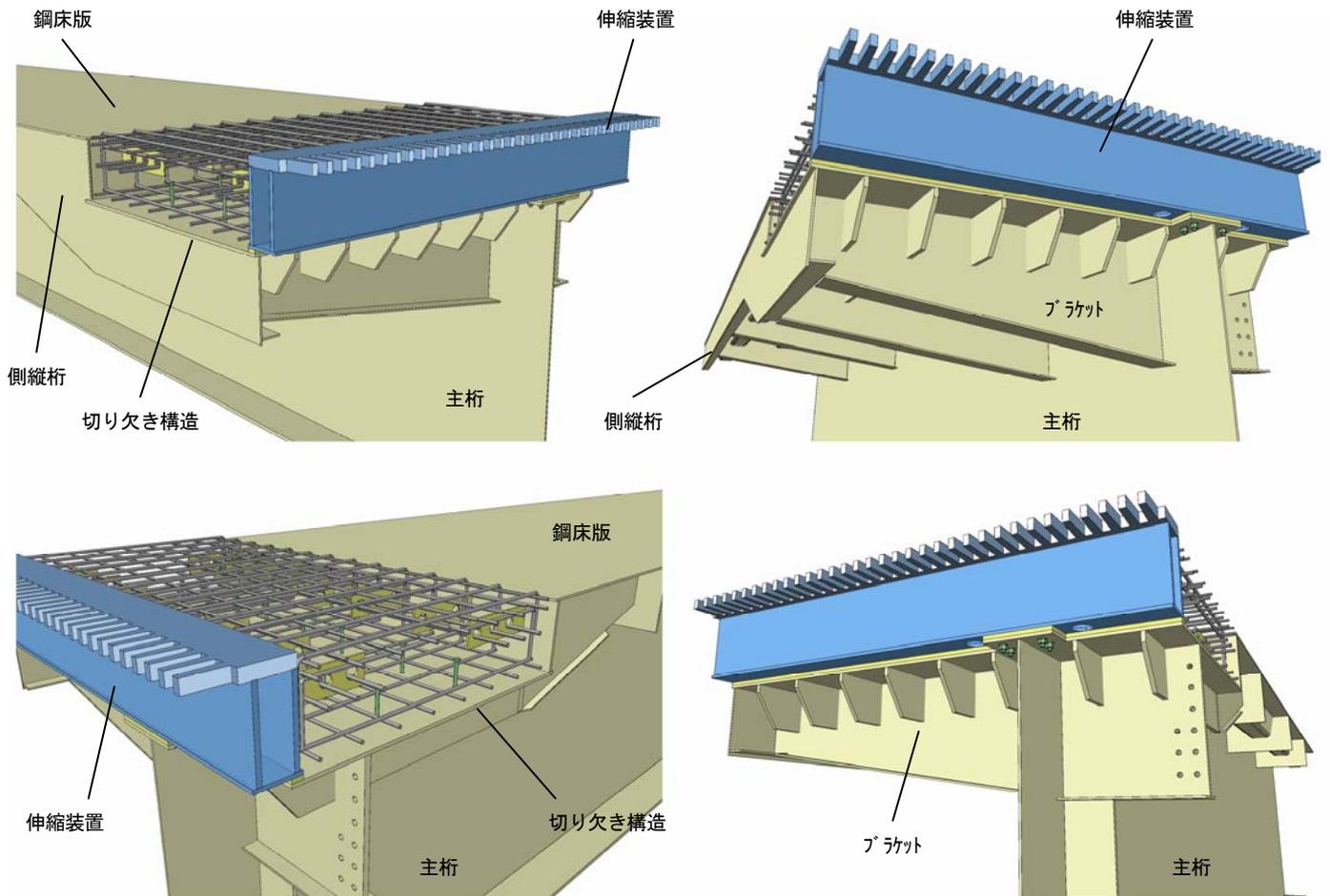


図-10 提案の構造

- 4) 切り欠き構造の範囲は、鋼床版の横リブ位置に合わせる。また、孔明き鋼板ジベルの大きさも関係するので、それについても考慮する。
- 5) 伸縮装置と鋼桁側の両方に孔明き鋼板ジベルを取り付けて、力をコンクリート部へ伝達する。
- 6) コンクリート部は橋軸方向を主鉄筋方向とする複鉄筋断面として、下側にある鋼板は断面には考慮しない。
- 7) 伸縮装置は主桁上でのみ支持し、鋼床版（この場合、下側の鋼板）とは縁を切る。

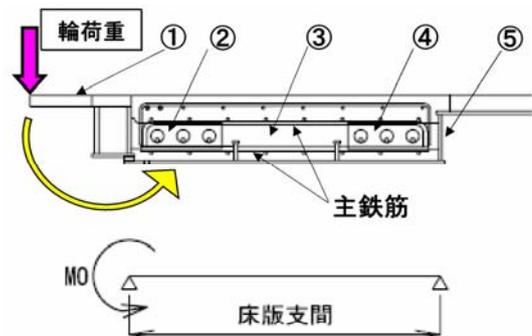
3.3 力の伝達機構

上述の構造方針における力の伝達機構を整理すると以下ようになる（図-11）。

(1) 橋軸方向

橋軸方向を主鉄筋方向と考えて、伸縮装置に作用する輪荷重による曲げモーメントを以下の順序で伝達させる。

- ①伸縮装置（フィンガー → 箱形梁部）
- ↓
- ②孔あき鋼板ジベル（伸縮装置側）
- ↓
- ③鉄筋コンクリート（下側鋼板は考慮しない）
- ↓
- ④孔あき鋼板ジベル（横リブ位置）
- ↓
- ⑤鋼桁



M図

図-11 橋軸方向の力の伝達

(2) 橋軸直角方向

橋軸直角方向は、伸縮装置に作用する輪荷重を、主桁を支点とする梁で受け持つものとする（図-12）。その際の抵抗断面は、伸縮装置（鋼部材）のみを考慮する。これは一般的な伸縮装置の設計と同じである。

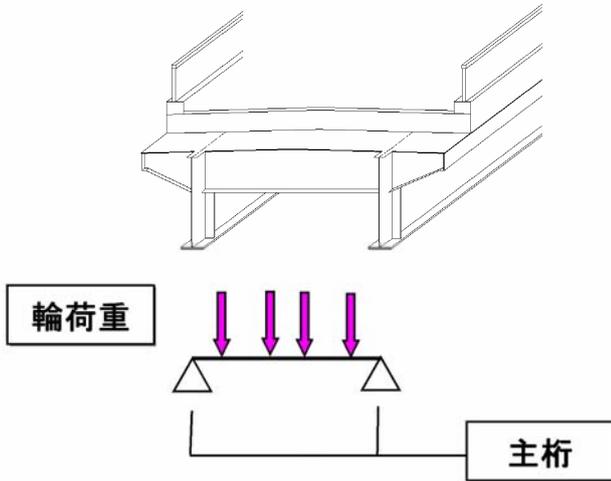


図-12 橋軸直角方向の力の伝達

4. 試設計の概要

図-13 に示す橋梁で行った試設計の概要を紹介する。

<設計条件>

橋梁形式：3径間連続鋼床版2主I桁橋

支間割：50m + 50m + 50m

幅員：10,700mm

主桁間隔：6,600mm

舗装厚：80mm

鋼床版厚：16mm

輪荷重：100kN

輪荷重載荷幅：500mm

衝撃係数： $i = 1.0$

コンクリート強度： 30N/mm^2

孔あき鋼板ジベル材質：SM400 ($\sigma_{sa}=140\text{N/mm}^2$)

孔あき鋼板ジベル幅：130mm

適用示方書および参考文献

- ・道路橋示方書（I、II、V）
- ・道路橋伸縮装置便覧
- ・鋼道路橋の疲労設計指針
- ・NEXCO設計要領 第二集

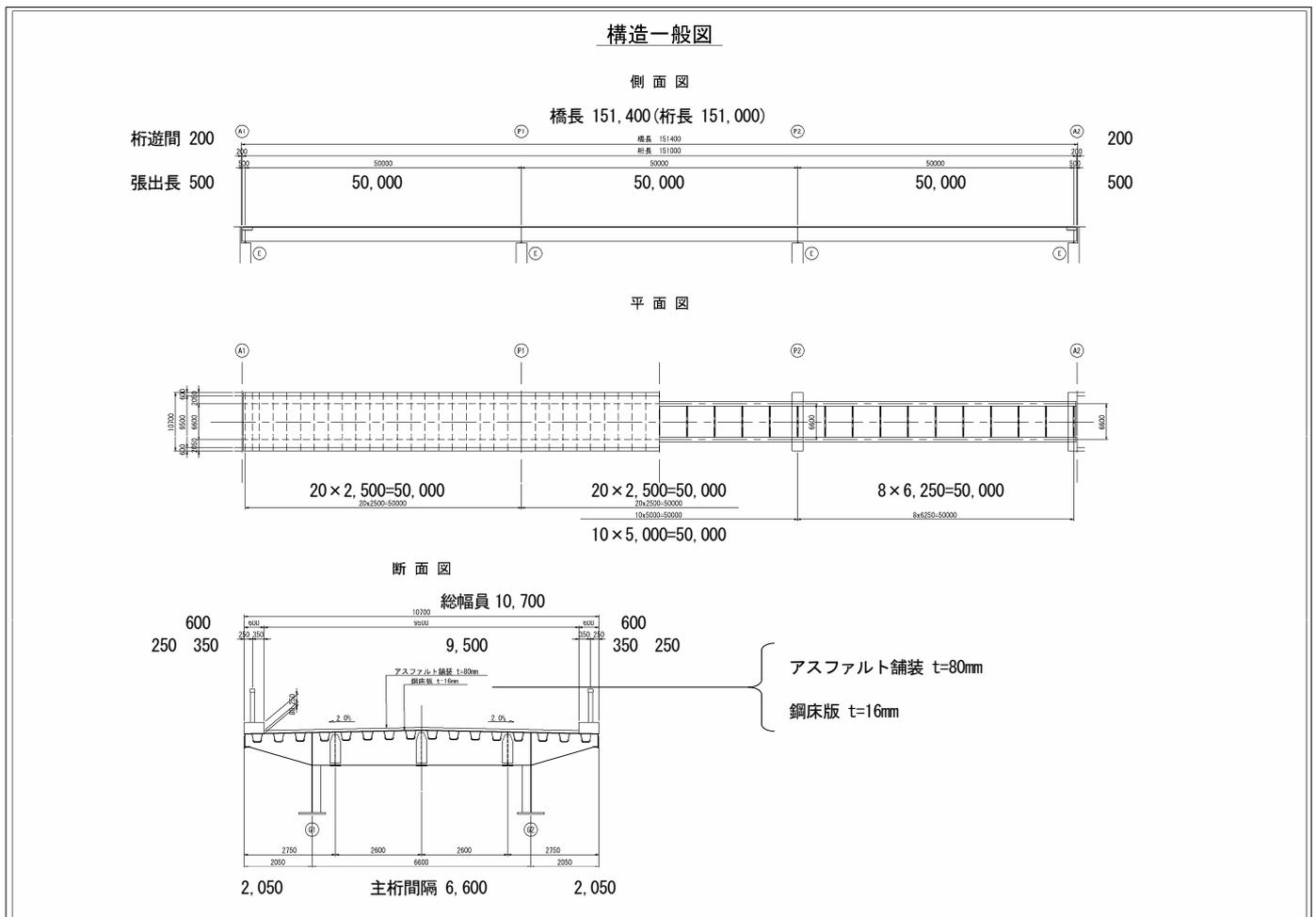


図-13 試設計対象橋梁

4. 1 切り欠き深さの設定

切り欠き深さは、 $h = 25L + 200$ (mm) (ここに、 L : 主桁間隔 (m)) を目安とする (図-14)。

これは、鋼構造物設計指針PART-B合成床版の最小厚の規定 $25L + 100$ (mm) に、ハンチ高相当 100 mm を考慮したものである。

また、孔あき鋼板ジベルや配筋などの構造上の理由から、 $h = 250$ mm を最小とする。

切り欠き深さの妥当性については、伸縮装置の構造高は切り欠き深さに制約を受けるが、試設計結果によると、フェイスプレートはSM400材で板厚56mm、腹板・下フランジともSM400材で板厚22mmと標準的な材料、寸法で設計できる。

支点周りの空間確保などの目的で切り欠き深さを小さくしたい場合は、伸縮装置の構造高も小さくできるように中間ブラケット等により支持点を設けることで、主桁間隔 (L) を小さくすることで対応できる。

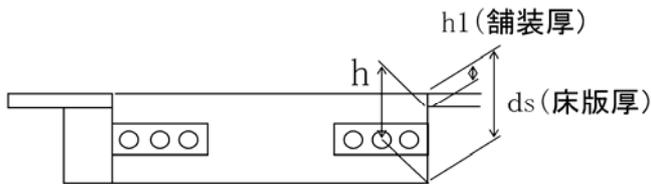


図-14 切り欠き深さの設定

4. 2 孔あき鋼板ジベルの設計

孔あき鋼板ジベルの設計は、NEXCO設計要領第二集の規定に準ずる。伸縮装置に作用する曲げモーメントを確実にコンクリート部へ伝達する役割を担う (図-15)。

計算は下記の項目について行う。

- ・応力度の照査
- ・孔あき鋼板ジベル孔径
- ・孔あき鋼板ジベル孔間隔
- ・孔あき鋼板ジベルの必要孔数
- ・孔あき鋼板ジベル孔引き断面の照査



図-15 孔あき鋼板ジベル

4. 3 コンクリート部の設計

伸縮装置の設計曲げモーメントに抵抗できる複鉄筋コンクリート断面 (図-16) として設計する。

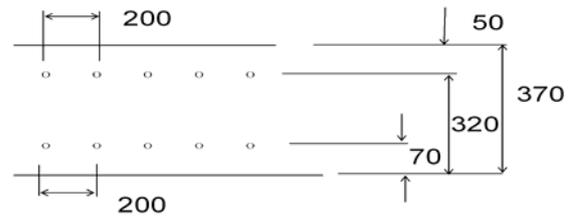


図-16 コンクリート断面

4. 4 構造細目

(1) 床版上スタッドの配置

切り欠き部の鋼板上にはスタッドを設置するが、このスタッドはずれ止め相当と考え、道路橋示方書II 11.5.1に従い1m以内の配置とする (図-17)。また、スタッドの長さは、下側鉄筋を超える程度の長さとする。

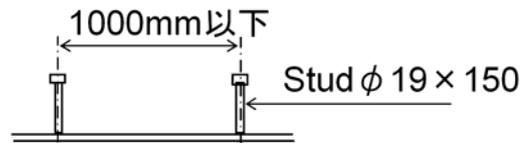


図-17 スタッド

(2) 用心鉄筋

ひび割れ防止のため用心鉄筋 (U字筋) を入れる。間隔は主鉄筋と同じとする。

(3) 高さ調整用のフィラープレート

伸縮装置の下側には高さ調整用のフィラープレートが必要となるが、それは主桁上のみとし、主桁間はコンクリートの漏れを防ぐスポンジシール等を設置する。

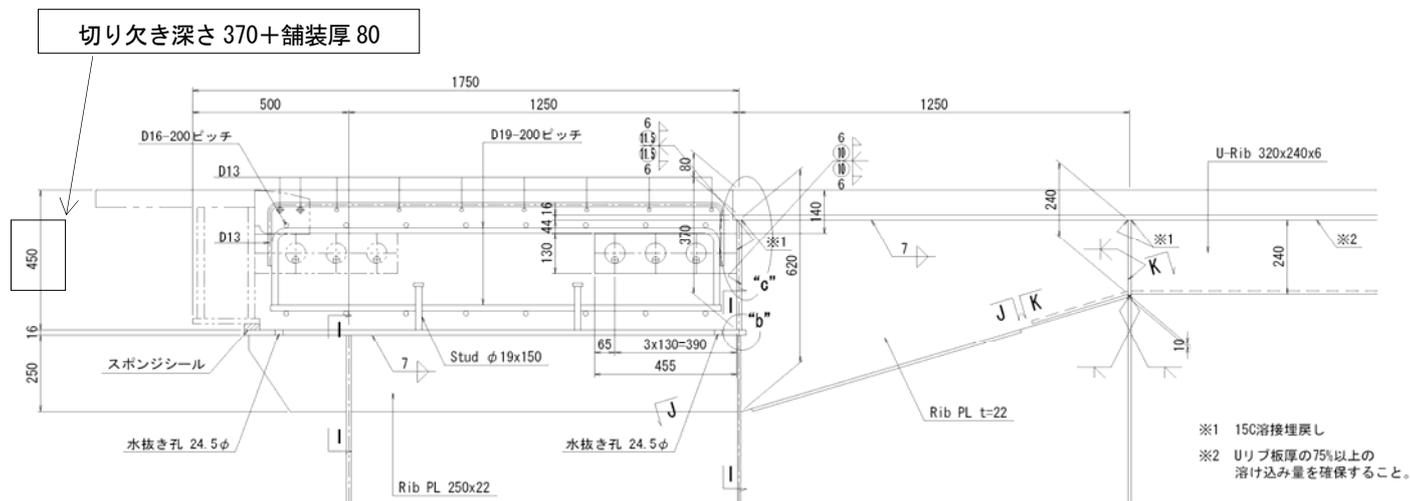
(4) 鋼床版縦リブの留意点

鋼床版の縦リブは、切り欠き部手前で自由突出が大きくなる。よって、フランジを設けるなど形状は製作性を考慮して適宜決定する必要がある。

(5) 製作上の留意点

鋼床版の縦リブ形状や板組みが複雑になること、および狭隘部の溶接施工が困難になることが想定される。溶接施工性、組み立て順序等、製作性をよく考慮して設計を行う必要がある。

図-18に構造図を示す。



“b”部詳細図 S=1:5

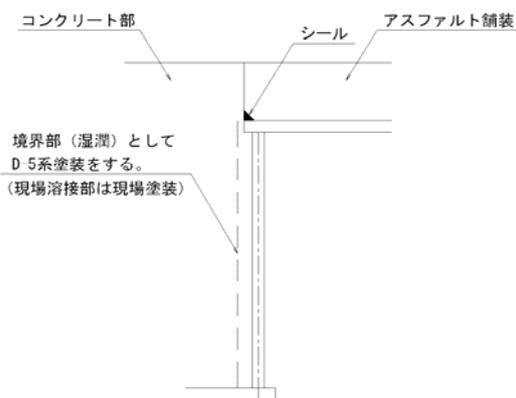


図-18 構造図

5. 経済性

5.1 概算工事費

本試設計で算出した数量を用いて概算工事費を算定したところ次のようになる。

材料調達から製作、輸送、現地架設までの全体工事費を少々小さめではあるが200千円/m²と仮定すると、

$$200 \times 151.0 \text{ (桁長)} \times 9.5 \text{ (有効幅員)} \\ = 286,900 \text{ 千円}$$

となる。

今回の提案で工事費の追加費用は、鋼床版端部加工費とコンクリート部分の施工費であるので両者の積算を行うと以下のようになる。

【追加費用1】鋼床版端部加工費

$$406 \text{ 千円/箇所} \times 2 \text{ 箇所} = 812 \text{ 千円}$$

【追加費用2】現地施工費

$$235 \text{ 千円/箇所} \times 2 = 470 \text{ 千円}$$

(伸縮装置の据付費は橋体架設費に含む)

以上より、元々の全体工事費に占める割合は、

【追加費用1】鋼床版端部加工費 : 0.3%

【追加費用2】現地施工費 : 0.2%

と非常に小さく、本提案を採用することで全体の工事費にはほとんど影響がない。

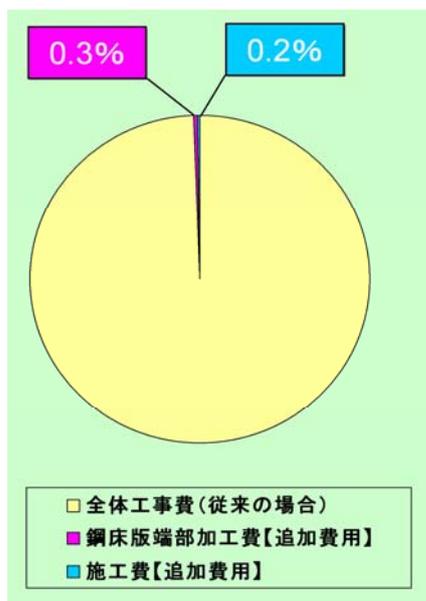


図-19 工事費の割合

【参考文献】

- 1) (社) 日本道路協会：道路橋示方書・同解説 I～V (2002年3月)
- 2) (社) 日本道路協会：道路橋支承便覧(改訂版) (2004年4月)
- 3) (社) 日本道路協会：道路橋伸縮装置便覧(1970年4月)
- 4) (社) 日本道路協会：鋼道路橋の疲労設計指針(2002年3月)
- 5) 東日本・中日本・西日本高速道路(株)：設計要領 第二集(2010年7月)
- 6) 川島徹、中川実：機能分離型支承の反力壁コンクリートの施工について、土木施工管理技術論文報告集、pp93～96(2010年3月)
- 7) (社) 日本橋梁建設協会：鋼橋伸縮装置設計の手引き(2009年9月)
- 8) (社) 日本橋梁建設協会：鋼橋の補修・補強事例集(2002年10月)

6. まとめと今後の展望

- 1) 鋼床版用の伸縮装置取付け部で多く見られる不具合について事例紹介をした。
- 2) 1) の不具合への対策として、コンクリート系床版用に一般的に用いる耐久性の高い伸縮装置が適用できる鋼床版桁の端部構造を提案した。
- 3) 今回行った提案は、既存技術の組合せで実現可能である。また、上述の不具合の対策にも効果が期待できる。
- 4) 概算工事費を試算したところ、全体工事費に対する追加工事費は非常に安価である。
- 5) 提案した伸縮装置の据付施工、施工管理は容易である。また、桁下構造に狭隘部がなくなり、維持管理が容易である。

最後に、今後の課題と展望として以下があげられる。

- 鋼床版区間とコンクリート区間の剛性差による影響の検証
- 鋼桁端部の構造のさらなる簡略化
- 実構造物の試作による施工性の検証と経済性の確認

