

第 3 編 桁端部の損傷と対策（WG3）

目 次

	頁
§ 1. はじめに	3-1
§ 2. 桁端部の損傷とその対策	3-2
2.1 概要	3-2
2.2 各損傷の概説	3-4
§ 3. 桁端部の設計に関するマニュアル比較	3-17
3.1 概要	3-17
3.2 考察	3-18
3.3 地域ごとの基準比較一覧表	3-27
§ 4. 維持管理に配慮した桁端部構造	3-40
§ 5. 資料集	3-42
資料 1 損傷と補修方法の事例集	3-43
資料 2 桁端部の補修に関する新工法	3-96
資料 3 桁端部の腐食に関する文献	3-100

1. はじめに

近年、橋梁の高齢化が進み、顕在化されつつある橋梁の様々な劣化と、補修・補強の事案が増えつつある状況から、平成24年に改訂された道路橋示方書では、設計段階から維持管理の確実性と容易さを考慮することが求められることとなった。

また、平成25年には「道路法等の一部を改正する法律」が公布された。この法律は、道路の劣化が進行してから修繕を行う「事後対応」型ではなく、定期的に点検を行い、損傷が軽微なうちに対策を講じる「予防保全」型の維持管理を実現するためのものであり、これに関連して、新たな点検基準が発効された。

このような社会的背景から、今後は維持管理性を考慮した設計は、ますます重要になる。一方、鋼橋の部材のうち、桁端部は伸縮装置や排水設備からの漏水等の影響により、特に損傷を受けやすい箇所であり、維持管理を行う上での課題となっている。また、損傷に関わる部材（主桁、支承、伸縮装置、落橋防止構造、排水設備等）も多く、原因も様々であることから、補修方法は多岐に渡る。

そこで、本ワーキンググループでは、桁端部の損傷とその対策の実態、および設計上の配慮に着目した。具体的には、損傷の内容を分類し、その発生原因等から補修工法を体系的に整理して考察を行った。体系化した損傷の種別に対する補修工法ごとに事例を収集し、事例の不足するものについては対策案をまとめている。また、地域ごとの設計要領や設計マニュアル類を収集し、桁端部の設計上の配慮事項について、地域特性に応じた対策の是非について考察を行った。さらに、これらの考察により、桁端部における設計上の留意点を検討し、維持管理に配慮された理想的な桁端部の構造を提案している。

2. 桁端部の損傷とその対策

2.1 概要

桁端部に発生する損傷について、損傷の種別を以下のとおり分類し、補修方法の事例を調査した。調査・収集した事例は、損傷の種別ごとに、その部材および発生原因に着目して、体系化した。

■損傷種別

- (a) 鋼材の腐食，防食機能の劣化
- (b) 亀裂，変形欠損，破断
- (c) 遊間異常
- (d) 路面の段差
- (e) 地震動による損傷

体系化の項目

- 部材：損傷の発生する部材を分類
- 原因：損傷の発生した原因を分類
- 対策内容：損傷原因の対策であるか，損傷そのものの対策であるかを分類

なお、損傷と補修方法の具体的な事例は、巻末の資料集にまとめる。

■ 桁端部の損傷と補修方法

損傷種別	部材	原因	対策内容	補修方法	事例の資料番号
a 鋼材の腐食、防食機能の劣化	主桁・端横桁・支承	伸縮装置からの漏水 導水不良	原因の対策	伸縮装置の非排水化	a-1
			損傷の対策	塗替え塗装 当て板 部材取替え、支承取替え	a-2 a-3 a-4
		排水施設の不良	原因の対策	導水処理、排水管の補修	a-5
		橋座の排水不良	原因の対策	排水勾配の設置	a-6
			損傷の対策	塗替え塗装 部材取替え、支承取替え	a-2 a-3
	箱桁(内部)	滞水・鳥糞の堆積	原因の対策	水抜き孔、清掃	a-7
			損傷の対策	塗替え塗装(桁内部)	a-8
		端部開口部からの吹き込み	原因の対策	開口部の閉塞	a-9
			損傷の対策	塗替え塗装(桁内部)	a-8
b 亀裂、変形・欠損、破断	主桁(ソールプレート)	支承の機能低下	原因の対策	支承取替え	b-1
			損傷の対策	当て板 部材取替え	b-2 b-3
	沓座モルタル、台座	支承の腐食	損傷の対策	モルタル(台座)打ち替え	b-4
	支承、伸縮装置	疲労(輪荷重の繰り返し载荷)	損傷の対策	部材取替え	b-5
c 遊間異常	主桁	桁の伸縮	損傷の対策	桁端部の切断	c-1
		橋台の移動・傾斜	原因の対策	背面土圧の軽減、地盤改良	c-2
			損傷の対策	バラベットの打ち替え	c-3
	支承	桁の伸縮	損傷の対策	支承取替え 支承ストッパーの補修	c-4 c-5
		橋台の移動・傾斜	原因の対策	背面土圧の軽減、地盤改良	c-2
			損傷の対策	支承ストッパーの補修	c-5
d 路面の段差・凹凸	舗装	RC床版の土砂化	原因の対策	橋面防水の設置、補修	d-1
			損傷の対策	床版上面の打ち直し	d-2
	伸縮装置	支点沈下(支承部の損傷)	原因の対策	伸縮装置の非排水化	d-3
			損傷の対策	沓座の補修(ジャッキアップ)	d-4
e 地震動による損傷	上部工	耐力不足	損傷の対策	部材の取替え	e-1
	支承	耐力不足	損傷の対策	部材の取替え	e-2
	伸縮装置	遊間不足	損傷の対策	伸縮装置の取替え・遊間修正	e-3

2.2 各損傷の概説

(a) 鋼材の腐食，防食機能の劣化

鋼材の腐食，防食機能の劣化事例とその対策について調査をした結果，その原因と対策は以下のようなものであった。

(1) 損傷原因

損傷原因は，漏水・滞水が大部分を占めていた。漏水元としては，伸縮装置，排水装置，床版などであった。

1) 漏水

- ・ 伸縮装置からの漏水，導水不良
- ・ スラブドレーンからの漏水
- ・ 床版からの漏水

2) 滞水等

- ・ 橋座面の排水処理不備による滞水
- ・ 箱桁端部からの吹き込みによる箱内滞水
- ・ 鳥糞の堆積

(2) 対策方法

対策は，「原因の対策」と「損傷の対策」に分類できる。双方を併せて実施するのが望ましいが，どちらか片方のみを実施しているケースも多い。「原因の対策」は漏水，滞水などの劣化原因を排除するための対策であり，「損傷の対策」は，劣化した部材の機能回復，防食機能回復のための対策である。

1) 原因の対策

- ・ 伸縮装置非排水構造の補修
- ・ 伸縮装置からの漏水を樋で集水し，橋座面より下へ導水
- ・ 床版に水切りを追加し，導水
- ・ スラブドレーン流末を排水管へ導水
- ・ 床版からの漏水を簡易樋により集水し，桁下へ導水（応急措置）
- ・ モルタルにより橋座面に勾配をつけて，排水
- ・ 箱桁端部を密閉し，鳥や風雨の侵入を防止

2) 損傷の対策

- ・ 塗り替え塗装（溶射やコンクリート塗装も含む）
- ・ 当て板
- ・ 支承取替え

（３）総括，留意事項

鋼材の腐食・防食機能の劣化が生じた場合の対策について，留意点を以下に示す。

1) 特徴

鋼材は腐食が進行すると板厚が減耗し，やがては耐荷力を失い，構造物として要求される性能を満足しなくなる。そのため，防食機能が劣化し，鋼材が腐食した状態が発見された場合には，早急に腐食の進行を抑える措置をとる必要がある。ただし，耐荷力に影響を及ぼす程度に腐食している場合は，耐荷力の回復を図ったうえで，腐食の進行を抑える。

2) 原因

腐食・防食機能の劣化の原因は漏水や滞水など，水処理の不具合による腐食環境の悪化が代表的である。特殊なケースとしては，鳥の糞による腐食なども例がある。また，部材側の原因として，面取りが十分になされていない場合に角部から腐食が進行する場合や，施工時の温度や湿度，保管状態などによっても長期的な耐久性に影響があるため注意が必要である。

3) 対策

腐食・防食機能の劣化が確認された場合は，まずその腐食原因を究明し，それを排除することを第一に考える必要がある。しかし，中には原因を排除することが困難な事例も多くある。原因の排除が困難な場合は，必要な耐荷力を有しているかどうか確認し，不足していれば当て板や部材取替え等による補修により耐荷力を回復し，塗装等の被覆による防食法で補修することが一般的である。原因が漏水などで排除できるものであれば，それを排除したうえで，防食機能の回復だけで良いか，耐荷力の回復も実施するかを検討する。

① 当て板における留意点

当て板によって補修する場合は，極力，高力ボルト接合により部材を追加するのが良い。高力ボルト接合によって力を伝達する場合は，接触面の平坦さを確保するため，腐食が激しく，凹凸が大きい場合は鉄パテ等で表面を均してから部材を取り付ける。

② 補修塗装における留意点

補修塗装を行う際、腐食の激しい場合、層状剥離さびや固着さびは1種ケレンだけでは落とし切れない場合が多いため、ハンマーケレンや動力工具などを用いて、あらかじめ固着さびを落としたうえで、道路橋塗装・防食便覧等に表示される補修塗装の仕様を適用すると良い。更に、塩分によって腐食が促進されたと考えられる場合は、水洗いとブラストで十分に塩分を除去してから補修塗装を行うのが望ましい。

また、現地条件によってはブラストが困難な場合も多い。素地調整は塗装の耐久性に大きく影響を及ぼすものであるため、極力ブラストを適用することが望ましいが、それができない場合は、以降の塗装の塗り替えサイクルが短くなることを考慮した点検計画ならびにライフサイクルコストの検討を実施する必要がある。

(b) 亀裂, 変形・欠損, 破断

(1) 損傷原因

損傷原因は、支点部周辺での漏水・滞水による鋼部材の腐食・断面欠損（板厚減少）、衝突や設計時に想定した以上の大きな外力の作用、支点移動や支点沈下に伴う支承機能の低下および端補剛材下端の密着不良などにより鋼部材の設計時に想定していない箇所への応力集中による疲労亀裂若しくは腐食疲労などが挙げられる。

1) 亀裂

- ・ 主桁端部腹板の亀裂→漏水・滞水による腐食進行および支承機能低下による腐食箇所への応力集中とその繰り返し
- ・ 支点部主桁下フランジの亀裂→支点沈下，ソールプレートや端補剛材下端の摩耗による下フランジへの曲げ応力の作用

2) 変形・欠損

- ・ 車輛の衝突や重量積載物の落下，設計時に想定した以上の大きな地震荷重の作用
- ・ 地盤沈下，側方流動および橋台背面土圧等による下部工の移動
- ・ 鋼部材腐食膨張による周辺コンクリートのひび割れ・欠損

3) 破断

- ・ 車輛の衝突や重量積載物の落下，設計時に想定した以上の大きな地震荷重の作用
- ・ 疲労により発生したき裂が発生後も応力が継続的に繰り返し作用した結果，限界亀裂長まで進展→脆性破壊

(2) 対策方法

変形・欠損は車輛の衝突や地震等の突発的外力によるものが多く，その際は現状復旧を目的とした対策が望まれるが，疲労亀裂や腐食と複合した変状の対策については，変状の再発を防止する目的からその原因も含めた対策が必要である。

1) 亀裂

亀裂進展により主要部材の破断の恐れが有る場合は，恒久的な補修・補強対策を実施する前に応急措置を行う。また，恒久対策時は亀裂発生原因（橋座打替え，支承傾斜補正等）を併せて実施する。

〔応急対策〕 亀裂先端へのストップホール施工

- ・ 亀裂先端部に孔を明け，亀裂先端での高い応力集中を低減させる。（亀裂進展の一時的な停止）

[恒久対策]

- ・ 亀裂の溶接補修→軽微な亀裂をグラインダー等で除去後再溶接
- ・ 添接板による当て板→亀裂箇所の閉じ合わせ，進展に伴う断面欠損を補う
- ・ 桁端部の改良→部材接合部或いは構造細部を対象に，局所的な応力・変形性状を改善
- ・ 部材の部分交換→亀裂発生部材を部分撤去し，新規部材へ交換

2) 変形・欠損

- ・ 沓座モルタル，台座の欠損→沓座モルタルの打替え（支点沈下や傾斜が見られる場合は，沓本体の据え直しも検討）
- ・ アンカーボルトの変形→新規アンカーボルトの新設。新設が困難な場合は，アンカーボルトに代わる補修部材の設置を検討
- ・ 鋼部材の変形→部材交換，当て板

3) 破断

- ・ 支承セットボルトの破断→新規セットボルトによる再締結。既存ボルト孔を利用できない場合は，ボルト孔の新規削孔。
- ・ 支承部の破断→支承本体の破断（割れ）は支承本体の交換。サイドブロックの破断は支承本体の交換若しくはサイドブロックに代わる補修部材の設置を検討
- ・ アンカーボルトの破断→新規アンカーボルトの新設。新設が困難な場合は，アンカーボルトに代わる補修部材の設置を検討

（3）総括，留意事項

疲労亀裂の場合，その原因を詳細に調査し，検討を行った上で対策を行う必要がある。当て板等で補修・補強の対策を行う場合は，以下の理由から溶接接合ではなくボルト接合を用いるのがよいとされている。

- ・ 材質が不明な場合があるため
- ・ 溶接に適さない材質の場合があるため
- ・ 現場溶接の作業性が悪く，所定の品質を確保することが困難となる場合があるため

特に，支点部周辺では狭隘箇所での作業が主となることから，接合方法の採用には十分注意する必要がある。

また，沓座コンクリート打替えについて，活荷重応力比率が高い（変動応力が大きい）橋梁では，将来的に沓座コンクリートの強度差で懸念される不等沈下を防ぐ目的から同一支承線は全て同時に打ち替えるなどの予防保全対策を検討することが望ましい。

(c) 遊間異常

遊間異常による損傷事例とその対策について調査をした結果、その原因と対策は以下のようであった。

(1) 損傷原因

損傷原因は、大きく分けて桁の伸縮、下部工の移動・傾斜、可動支承の機能障害となる。

1) 桁の伸縮

- ・ 鋼桁の温度変化による伸縮

2) 下部工の移動・傾斜

以下の要因により発生するものとする。

- ・ 地震の影響
- ・ 地盤の移動
- ・ 地盤沈下
- ・ 背面盛土の影響

3) 可動支承の機能障害

- ・ 可動支承の腐食、ローラー部に塵埃が堆積したことによる移動制限
- ・ 想定以上の桁の伸縮により、可動支承のサイドストッパーが支承本体に干渉したことによる移動制限

(2) 対策方法

対策は、「原因の対策」と「損傷の対策」に分類できる。遊間異常において、純粋に支承等の損傷が原因（可動支承の腐食等）で発生したケースと、設計段階での不具合または桁の想定以上の伸縮、下部工の移動・傾斜等（十分な事態の予測が困難）で発生したケースがある。

特に原因が下部工の移動・傾斜の場合、対策は背面盛土の軽量化や架替えと大規模となるため、予算の都合で敢えて原因除去の対策を取らず、収束した後に下記の「損傷の対策」を実施するケースが多い。ただし、収束するまでの間は落橋等の重大事故（下部工の安定性が急激に損なわれるような事態）につながるリスクがない場合に限られる。

1) 原因の対策

- ・ 経過観察（落橋等の重大事故につながる損傷でない場合に限る）

経過観察：桁と橋台パラペットの遊間，下部工の傾斜角，可動支承サイドストッパーと本体の間隔等を必要に応じて計測

- ・ 地盤改良
- ・ 背面盛土の軽量化
- ・ 架替え

2) 損傷の対策

- ・ 桁の切断（鋼桁の伸縮に対し）
- ・ 橋台パラペットの切欠き（鋼桁の伸縮に対し）
- ・ 可動支承サイドストッパーの交換・切断，支承交換（可動支承の機能障害に対し）
- ・ 橋台前面にアンカー設置（下部工の移動・傾斜に対し）

（３）総括，留意事項

1) 特徴

損傷事例では主に橋台，橋脚の移動・傾斜によって，桁端部の遊間異常が発生している。桁の伸縮では可動支承のサイドストッパーが支承本体と接触しているケースがある。

遊間異常は以下の問題が発生することから対策を講じることが望ましい。

- ・ 隣接桁との接触，橋台パラペットとの接触による設計想定外の応力作用
- ・ 可動支承の移動量制限による設計想定外の応力作用
- ・ 桁端部の通気性が乏しくなることによる腐食環境誘発

2) 原因

下部工の移動・傾斜による損傷は地震による影響，地盤の移動，沈下，背面盛土の影響等により発生する。

これらは明確な原因を特定することが困難である場合が多く，推定とならざるを得ないが，地震の影響による場合は地震前と地震後の状況を確認することで特定させることが可能と考える（※）。

地盤の移動，沈下は経過観察が必要であり，必要に応じて測量を実施して移動量，傾斜角等の確認をする必要がある。

（※）詳細は「e 地震動による影響」を参照されたい。

3) 対策

下部工の移動・傾斜が収束した状況で対策を講じることが現実的である。

ただし、落橋の恐れや車両走行時の安全性確保に関して重篤な損傷が生じる可能性がある場合、またはその他部材に副次的な損傷が発生する可能性がある場合は、緊急的に補修を行う必要がある。周辺状況を良く観察し、総合的な判断のもとで対策を検討することが望まれる。

対策は桁端部の切断、橋台背面盛土の地盤改良等、上部工側の対策と下部工側の対策に分けられる。

4) 対策時の留意点

下部工の移動・傾斜が収束していない場合、桁の切断を行うとさらに下部工が移動することが考えられるため、その他部材の副次的な損傷、落橋等の重篤な損傷につながる可能性が無ければ、敢えて経過観察とする判断もある。

また、下部工側の対策（背面盛土の地盤改良等）を施し、移動・傾斜を収束させた上で上部工側の対策を実施する場合、橋梁単体での補修工費が大きくなるため、損傷程度、路線の重要度等を踏まえて対策の優先順位を検討して実施することが望ましい。

(d) 路面の段差・凹凸

路面の段差・凹凸事例とその対策について調査をした結果、その原因と対策は以下のよう
なものであった。

(1) 損傷原因

主な損傷部位は舗装（橋面）及び伸縮装置で、損傷原因は路面を構成している床版の土砂
化及び支点沈下が考えられる。

1) R C床版の土砂化

- ・ 伸縮装置の後打ち部からの漏水
- ・ 橋面浸透水の凍結融解

伸縮装置の後打ち部に接している舗装にひび割れが発生しくぼみが生じていると同
時に、床版本体が土砂化している。（資料番号 d-1：参照）

路面に生じている段差箇所の床版を確認すると床版上面が土砂化しており、鉄筋が
露出している。（資料番号 d-2：参照）

2) 支点沈下（支承部の損傷）

- ・ 支承部の沈下に伴う伸縮装置の段差
- ・ 支承下モルタルの欠損

鋼製フィンガージョイントに段差が生じている。対象位置の橋座を確認すると、支
承部のアンカーボルの抜け出しが見られ、支承が沈下していることが確認できる。

（資料番号 d-3：参照）

段差が生じている鋼製フィンガージョイント下の支承がモルタル欠損により沈下し
ている。（資料番号 d-4：参照）

（※）支承部モルタル欠損により支点沈下が生じている。モルタル欠損は伸縮装置部から
の漏水により鋼材が腐食することに起因し発生していると考えられる。

(2) 対策方法

対策は、「原因の対策」と「損傷の対策」に分類できる。大別すれば、前者は橋面上及び支
承部への漏水の遮断、後者は適切な路面性状の再形成と考えられる。

1) 原因の対策

- ・ 橋面防水の設置, 補修⇒床版上面に対する漏水対策
- ・ 伸縮装置の非排水化⇒橋座部に対する漏水対策

2) 損傷の対策

- ・ 床版上面の打ち直し
- ・ 沓座の補修（ジャッキアップを実施）

（3）総括，留意事項

1) 特徴

損傷事例を参照すると，路面の段差は，橋面部及び支承部の損傷により発生していることが確認できる。損傷に対する事例の特徴は以下である。

- ・ 伸縮装置接触部における舗装にひび割れ・くぼみが発生
- ・ 床版本体に土砂化が発生し，鉄筋が露出
- ・ 鋼製フィンガージョイントが沈下し段差が発生
- ・ 支承部のアンカーボルの抜け出し，支承がモルタル欠損により沈下

2) 原因

路面の段差の原因は，「路面滞水による床版自身の損傷」と「桁端部漏水により橋座面の支承下モルタルの沈下」と考えられる。左記により損傷した床版及び支承部の沈下が発生し路面の段差が生じることとなる。

3) 対策

路面の段差を解消するための対策は，適切な水処理の実施（原因の対策）及び損傷部位の補修（損傷の対策）である。

- ・ 損傷している床版の打ち直しを実施し健全性を確保した後に，床版上面に橋面防水工を設置することにより橋面の滞水から床版を保護する。
- ・ 段差が生じている伸縮装置を補修または取替により健全な状態に戻す。
- ・ 排水型伸縮装置の場合は，非排水化を図り，路面からの滞水を橋座面に流さない対策を講じることにより，支承部の損傷を防止する。
- ・ 支承部が沈下している場合は，所定の高さまでジャッキアップを実施し，支承下モルタルの再構築を行うとともにアンカーボルト等に対する補修を実施し支承を健全な状態に戻す。

4) 対策時の留意点

路面の段差について滞水・漏水を主として記載したが、損傷には複合的な要素も考えられるため、点検時にその原因を可能な限り特定することが重要である。

床版については、架橋年次と適用基準を基本に推定される耐荷力が不足している場合には、床版補強・取替も視野に入れる必要がある。

支承についても同様に、支承本体の耐荷力不足が確認される場合は、落橋防止システムの構築も合わせた整備が必要となる場合もある。また、橋台の側方移動により伸縮装置部に荷重が載荷され伸縮装置の損傷とともに支承が損傷し、結果として路面に段差が生じる可能性が確認される場合も考えられる。左記の対策等は『(c) 遊間異常』の項に記載している。

また、補修後は、対策工が確実に機能していることを、定期的に経緯観測を実施することにより確認することが重要である。

(e) 地震動による損傷

地震動が原因による損傷事例を調査した結果、その原因と対策は以下のようなものであった。

(1) 損傷原因

損傷原因は、橋梁および付属物が「兵庫県南部地震により被災した道路橋の復旧に係る仕様および復旧仕様の解説（案）平成 7 年 2 月」以前の基準で設計されたものであり、主に上部工支点周辺、支承および伸縮装置に損傷が見られる。

1) 上部工支点部の損傷

- ・ レベル 2 地震動に対する耐力不足（地震時における上部工支点部の耐力が支承の耐力より小さい場合など）

2) 支承の損傷

- ・ レベル 2 地震動に対する耐力不足（レベル 1 地震動で設計された鋼製支承の損傷など）

3) 伸縮装置の損傷

- ・ 設計移動可能量を上回る地震時応答変位
- ・ 鋼製フィンガープレートの耐力不足

(2) 対策方法

地震動による橋軸方向および橋軸直角方向の外力に対する「原因の対策」および「損傷の対策」は以下である。

1) 原因の対策

- ・ 橋軸方向の慣性力と支承高さに起因する偶力に対する支点上垂直補剛材の設置
- ・ 橋軸直角方向の慣性力に対する支点上横桁の剛性確保やコンクリート巻き立ての実施など
- ・ レベル 2 地震動で設計された支承への取替え
- ・ 支承に作用する水平力を補完する「水平力分担構造」の設置
- ・ レベル 2 地震時の応答変位を吸収できる大变位吸収システムの設置

2) 損傷の対策

- ・ 主桁下フランジの破断および座屈，ウェブの座屈→部材交換
- ・ 支承の損傷→支承の取替え
- ・ 伸縮装置の損傷→伸縮装置の取替え

(3) 総括, 留意事項

地震動のような外力に対して「原因の対策」や「損傷の対策」を行う場合には、目標とする橋の耐震性能を設定することが基本となる。既設橋に対して目標とする橋の耐震性能を設定する際には以下の観点で検討するのが良い。

- 1) 地震後の道路ネットワークとして橋を含む路線が求められている性能
- 2) 地震後にも落橋に至るような致命的な被害を防止
- 3) 地震により被災した場合における構造条件や施工条件からの機能回復の難易度

3. 桁端部の設計に関するマニュアル比較

3.1 概要

桁端部の設計上の配慮事項について、地域ごとの要領やマニュアル類を収集・整理し、気候など地域特性に応じた対策内容について考察を行った。

■収集した要領・マニュアル類

【北海道】 北海道開発局 道路設計要領 平成 25 年 4 月

【東北地方】 東北地方整備局 設計施工マニュアル〔橋梁編〕平成 17 年 5 月
(一部改訂 平成 20 年 12 月)

【北陸地方】 北陸地方整備局 設計要領〔道路編〕平成 24 年 4 月

【中部地方】 中部地方整備局 道路設計要領 平成 20 年 12 月

【関東地方】 関東地方整備局 設計要領（舗装及び排水施設等）平成 11 年度
山梨県 土木工事設計マニュアル道路Ⅱ（橋梁）平成 13 年 2 月
栃木県 橋梁設計マニュアル 平成 16 年 1 月

【近畿地方】 近畿地方整備局 設計便覧（案）第 3 編 道路編 平成 24 年 4 月

【中国地方】 中国地方整備局 土木工事設計マニュアル 平成 25 年 4 月

【中国地方】 四国地方整備局 設計便覧（道路編）平成 25 年 4 月

【九州地方】 九州地方整備局 土木工事設計要領 平成 23 年 7 月

【沖縄】 沖縄総合事務局 土木工事設計要領 平成 23 年

【その他】 橋梁長寿命化に向けた設計の手引き（案）中部地方整備局
平成 25 年 3 月

高速道路株式会社 設計要領 第二集 橋梁建設編 平成 25 年 7 月

■着目点

- (1) 橋台及び橋脚天端の水処理
- (2) 支承
- (3) 伸縮装置
- (4) 橋台部の検査路
- (5) 排水装置
- (6) 鋼橋桁端部の塗装
- (7) その他

3.2 考察

(1) 橋台及び橋脚天端の水処理

◆一般的な事例

- ・橋座面への滞水対策のため、2%前後（1～3%）の排水勾配を設ける仕様が一般的となっている（図 3.2.1.1）。

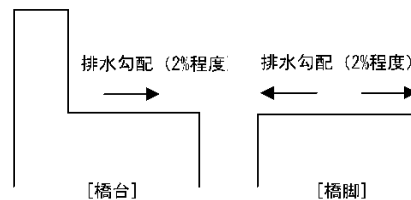


図 3.2.1.1 一般事例

◆特徴的な事例

- ・胸壁前面に排水溝を設置。【近畿地整（図 3.2.1.2）】
- ・橋座面の排水勾配は胸壁方向とし、排水溝を設置。【NEXCO，関東（栃木県）（図 3.2.1.3）】
- ・橋台側面に水切りを設置。【NEXCO（図 3.2.1.4）】
- ・堅壁前面に V カットまたは導水パイプを設置。【関東（山梨県），四国…耐候性の場合】

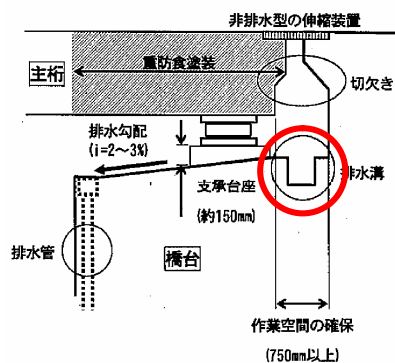


図 3.2.1.2 近畿地整

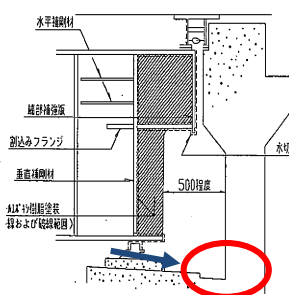


図 4-2-11 けた端部の防食構造の一例

図 3.2.1.3 栃木県

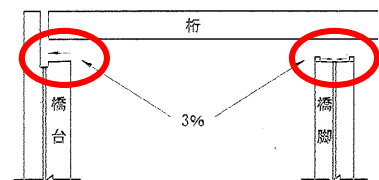


図 3.2.1.4 NEXCO

◆考察

- ・地域特性は見受けられない。
- ・堅壁前面の汚れに対する配慮事例（胸壁方向への勾配、排水溝の設置）も見受けられる。

(2) 支承

◆一般的な事例

- ・橋座と下フランジ間の空間や台座コンクリートにより通気性を確保し，維持管理に配慮する（図 3.2.2.1）。

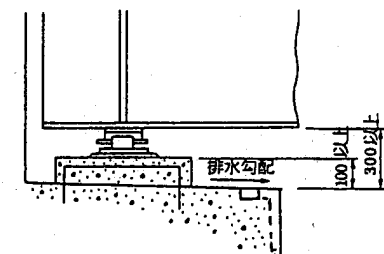


図 3.2.2.1 一般事例

◆特徴的な事例

- ・機能低下が懸念される場合，支承カバーなどを施工する【沖縄鋼橋塗装マニュアル(図 3.2.2.2)】
- ・将来的なジャッキアップに備えた補剛材をあらかじめ設置しておく【長寿命化手引き(図 3.2.2.3)】

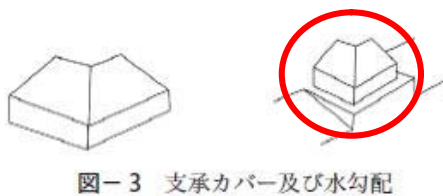


図 3 支承カバー及び水勾配

図 3.2.2.2 沖縄県

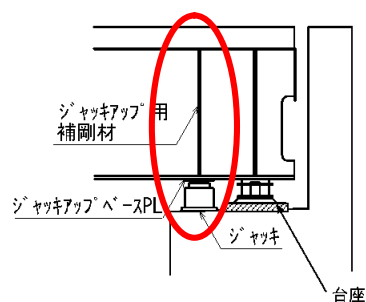


図 3.2.2.3 長寿命化

◆考察

- ・塩害地域（沖縄県）では，支承カバー設置等の配慮が見られ，地域性が伺える。
- ・大地震等の異常時や維持管理性に配慮した構造が整備されつつある。

(3) 伸縮装置

◆一般的な事例

- ・弾性シール材とバックアップ材による止水構造、及び、樋などによる排水装置を併設し、二重の非排水構造を基本とする（図 3.2.3.1）。

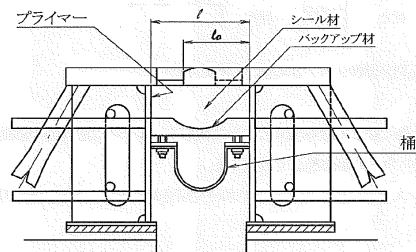


図 3.2.3.1 一般事例

◆特徴的な事例

- ・弾性シール材の代わりに乾式止水材を用いる場合もある。【沖縄県(図 3.2.3.2)】
- ・積雪寒冷地では、スノープラウを設置する。【北海道・東北・北陸(図 3.2.3.3)】
- ・桁高が高く二次止水材の交換が容易でない場合では、交換の容易性に配慮した構造の提案事例がある。【長寿命化手引き(図 3.2.3.4)】
- ・伸縮装置手前 1m 程度にセメントミルクを注入するなど、伸縮装置付近の排水構造の提案事例がある。【長寿命化手引き(図 3.2.3.5)】

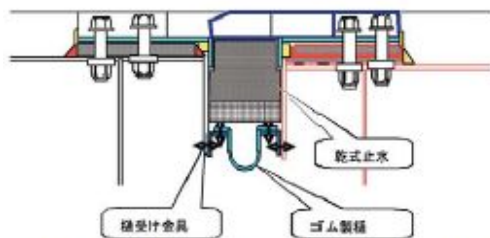


図 3.2.3.2 沖縄県

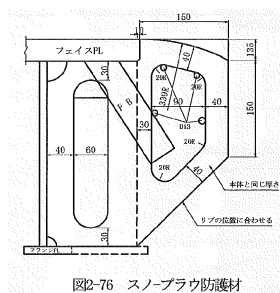


図 3.2.3.3 東北地整

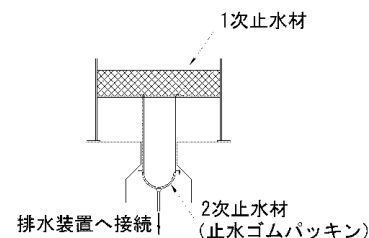


図 3.2.3.4 長寿命化

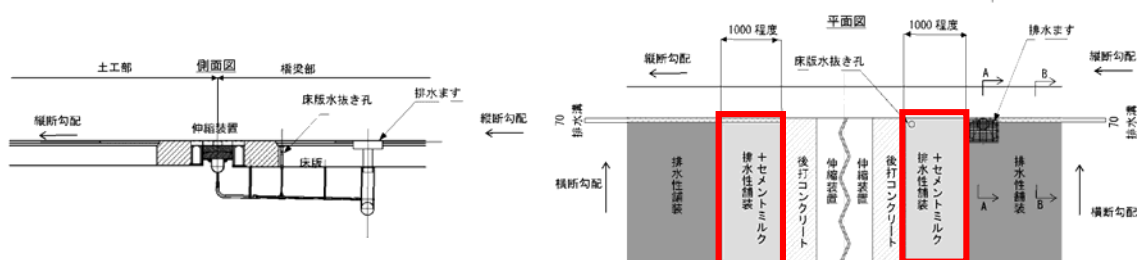


図 3.2.3.5 長寿命化

◆考察

- ・積雪寒冷地では、除雪車対策としてスノープラウ誘導板を設置する。
- ・バックアップ材とシール材による非排水構造が標準的である。
- ・伸縮装置付近からの漏水やコンクリート充填不足への改善が見られる。

(4) 橋台部の検査路

◆一般的な事例

- ・維持御管理に配慮し、400mm～500mm 程度の通路幅を確保する(図 3.2.4.1)。

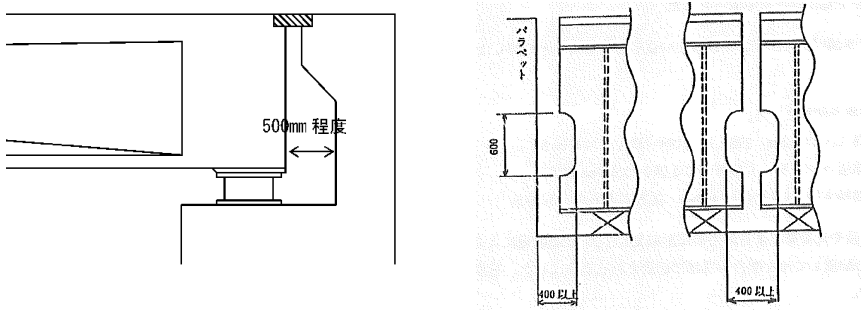


図 3.2.4.1 一般事例

◆特徴的な事例

- ・桁端切欠き部に端部補強板及び水切りを設置する。【中国地整・長寿命化手引き(図 3.2.4.2)】
- ・維持管理を考慮して 750mm の通路幅を確保する。【近畿地整(図 3.2.4.3)】

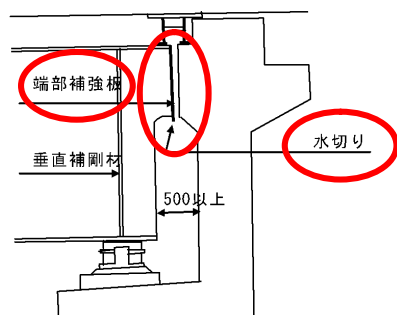


図 3.2.4.2 中国地整

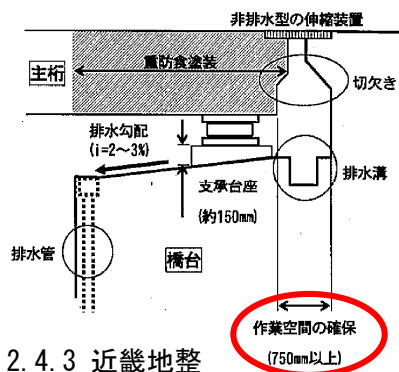


図 3.2.4.3 近畿地整

◆考察

- ・桁端と橋台パラペット前面の作業空間として、500mm 程度確保することが一般的であるが、近畿地整では 750mm 以上とされている。
- ・上部工形式（鈑桁，箱桁 等）に応じた切欠き構造の提案は見られなかった。

(5) 排水装置

◆一般的な事例

- ・水平方向の排水管（横引き管）の勾配は原則として3%以上とする（図3.2.5.1）。
- ・上下部排水の接続は受け桷を使わずフレキシブルダクトを用いる。
- ・床版排水は、概ね10m間隔に水抜き孔を設置し、導水パイプは水抜き孔や排水桷に適切に接続させる（図3.2.5.2）。

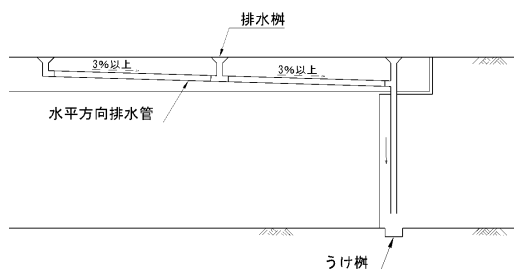


図3.2.5.1 一般事例

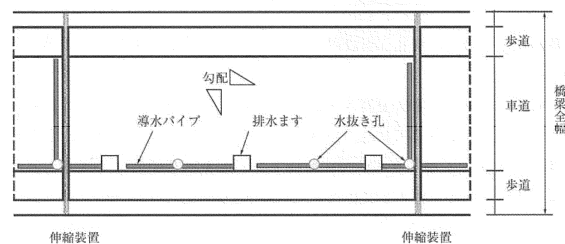


図3.2.5.2 一般事例（床版排水）

◆特徴的な事例

- ・横引き管が水平に近い勾配のときはヒータリングを施す。【東北地整】
- ・縦断勾配に応じた床版水抜き孔設置間隔を明記している。【長寿命化手引き（図3.2.5.3）】
- ・床版排水の伸縮装置側流末処理は、伸縮装置の壁面に排水口を開けることを標準としている事例もある。【中国地整（図3.2.5.4）】
- ・半たわみ性舗装の設置範囲（伸縮装置の後打ちコンクリート端部から1mの程度の範囲）を避けて排水桷を配置する等が記載されている事例もある。【NEXCO】

表 6.2.1 水抜き孔設置間隔

縦断勾配	設置間隔 ϕ (m)
1%以下	5
1%を超える場合	10

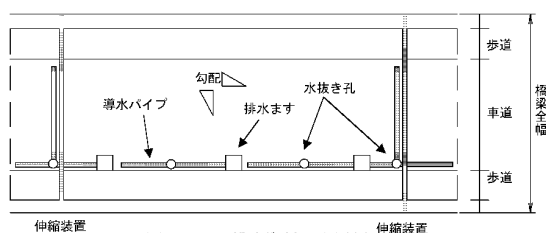


図6.2.1 排水資材の配置例

図3.2.5.3 長寿命化

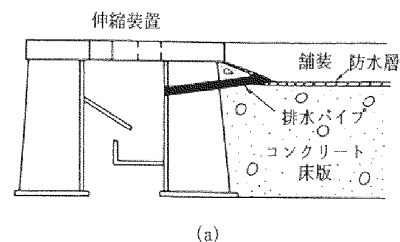


図3.2.5.4 中国地整

◆考察

- ・伸縮装置と舗装との境界部の滞水対策に配慮した事例が見られる（中国地整）。
- ・東北地整のヒータリングのように寒冷地独特の記載が見られる。

(6) 鋼橋桁端部の塗装

◆一般的な事例

- ・鋼橋桁端部は伸縮装置からの漏水などにより発錆しやすいことから、桁端から橋台前面(※)までの範囲の外面は、塗装の下塗りを1層多くするものとする。

(图 3.2.6.1)。

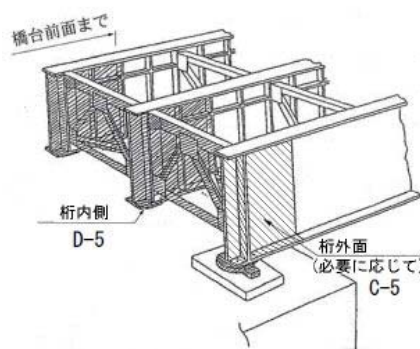


图 3.2.6.1 一般事例

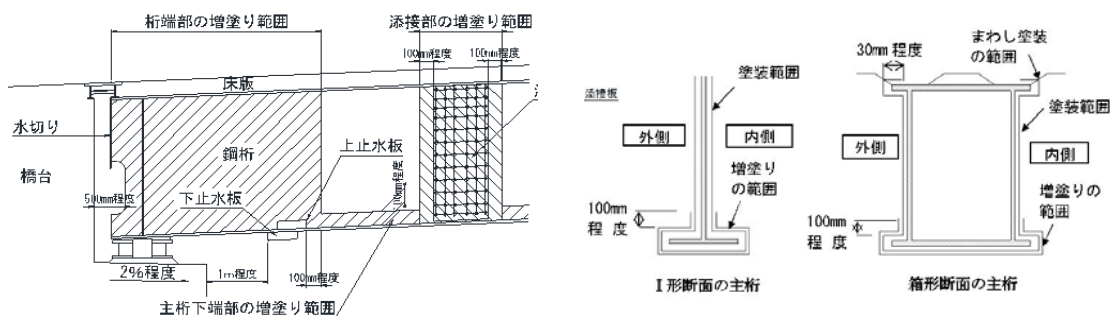
※塗装範囲は、各基準で異なる。

※無塗装耐候性鋼材の橋梁桁端部の塗装範囲について

無塗装耐候性鋼材の橋梁桁端部の塗装範囲は、「橋台前面までの区間」を塗装範囲として運用しているところですが、（～省略～）、無塗装耐候性鋼材の鋼橋における桁端部の重防食塗装範囲は、周辺環境や設置条件等を踏まえた上で、桁端部から最大「桁高＋１．０ｍ」の範囲を目安に設定することを検討・対応する。【平成 22 年 11 月 5 日：国交省事務連絡】

◆特徴的な事例（具体的な記述）

- ・添接部の増し塗り範囲は、添接板と添接板から 100mm 程度の範囲とする。主桁下端部の増し塗り範囲は、主桁全長にわたり下フランジとウェブの立ち上がり 100mm 程度とする。
- ・下塗りを 1 層多く施す。増し塗り部の塗装仕様は、桁部は C-5 とし、添接部は F-11 とする。【長寿命化手引き(図 3.2.6.2)】



I 形断面主桁の事例

図 3.2.6.2 長寿命化

◆特徴的な事例

- ・支点上は通気性確保のため、構造上可能な場合には対傾構にて設計する。【長寿命化手引き】
- ・止水板を設置する。【長寿命化手引き(図 3.2.6.3)】

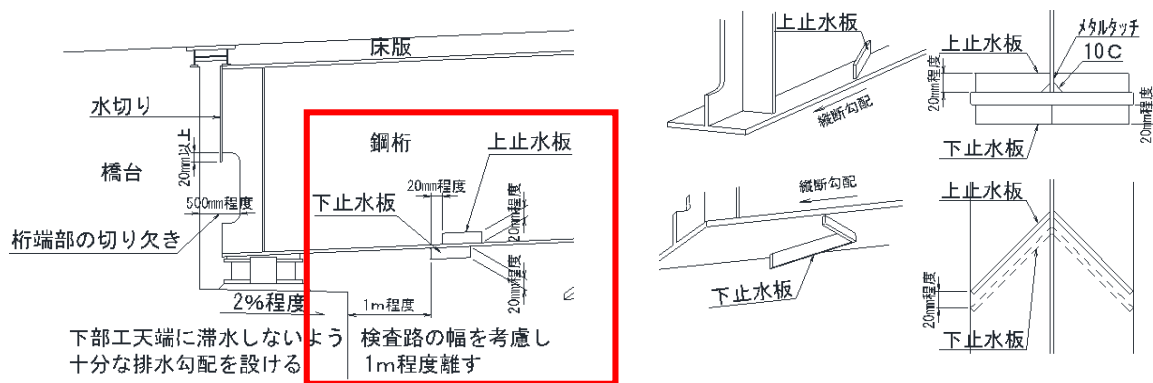


図 3.2.6.3 長寿命化

◆考察

- ・維持管理編への配慮から、桁端部は増し塗りする事が標準的となっているが、増し塗り範囲やディテールは若干異なる。
- ・中間支点部付近に止水板設置の場合は、疲労損傷への配慮が必要と考えられる。

(7) その他

◆コンクリート上部工の表面保護

- ・桁端部には、表面保護材を施すことを標準とする。【NEXCO(図 3.2.7.1) 東北地整(図 3.2.7.2)】

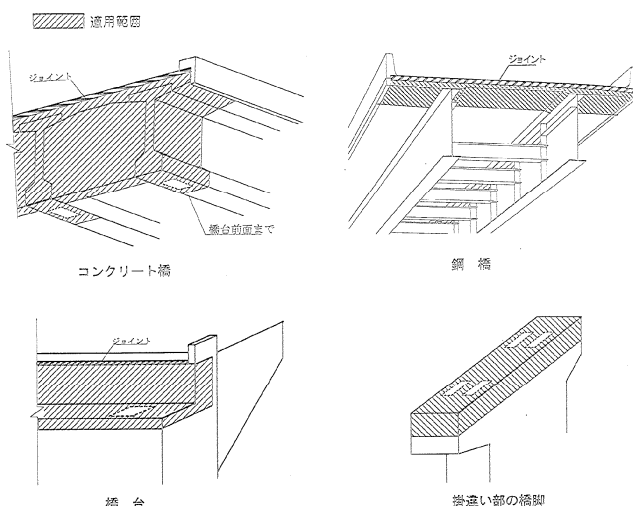


図 11-3-2 桁端部における表面被覆材の施工範囲例

図 3.2.7.1 NEXCO

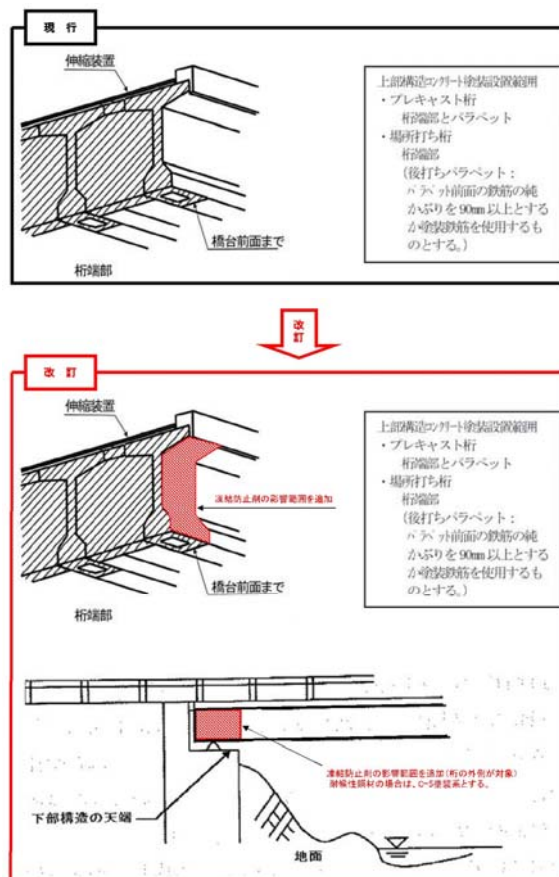


図 3.2.7.2 東北地整

◆コンクリート上部工の表面被覆

- ・凍結防止剤による塩害対策が必要な橋梁の桁端部は表面被覆を施す。かぶり 50～90mm 確保する（地域による）。【北海道(図 3.2.7.3)】



図 3.2.7.3 北海道

◆下部工（コンクリート）の表面保護

- ・凍結防止剤を散布する積雪寒冷地域の橋梁の桁端部及び橋脚部に位置する下部構造頂部は，劣化抑制対策としてあらかじめコンクリート塗装による表面保護をすることとする。【中国地整(図 3.2.7.4)】

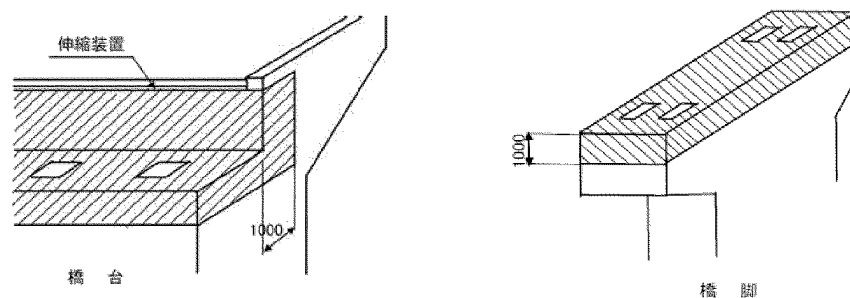


図 3.2.7.4 中国地整

◆補修の容易性（ジャッキアップ）

- ・支承取替えや損傷に備え，ジャッキアップに配慮した構造とする。【長寿命化(図 3.2.7.5)】

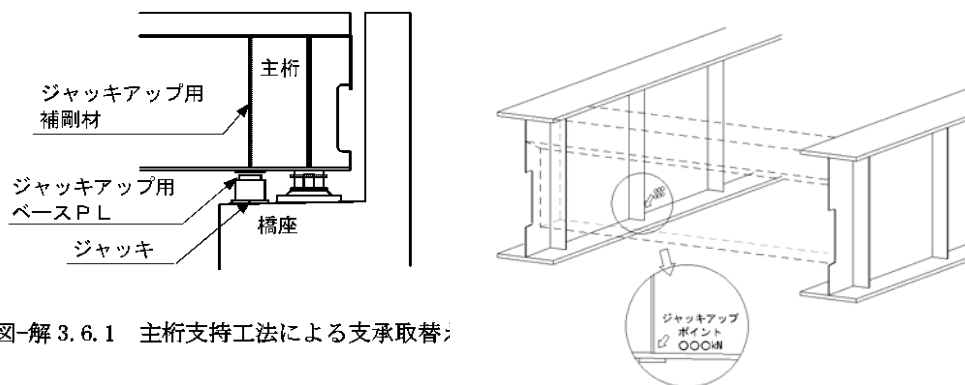


図-解 3.6.1 主桁支持工法による支承取替

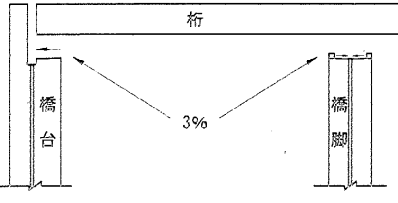
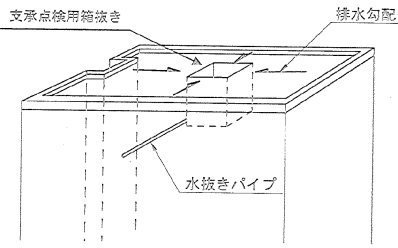
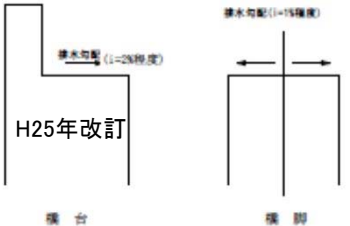
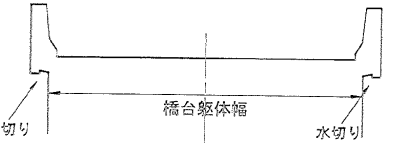
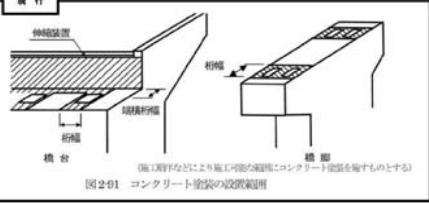
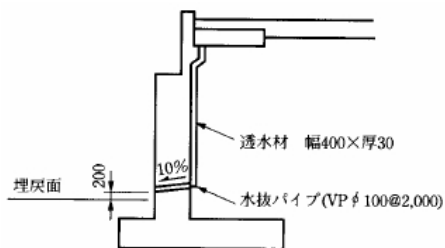
図 3.2.7.5 長寿命化

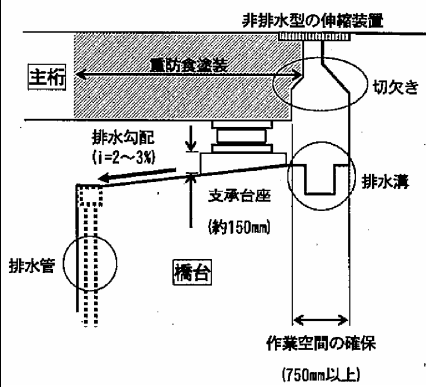
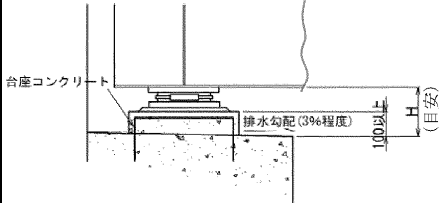
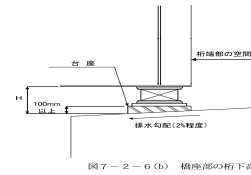
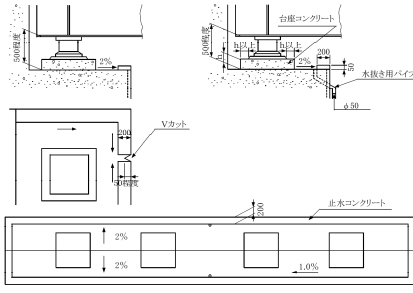
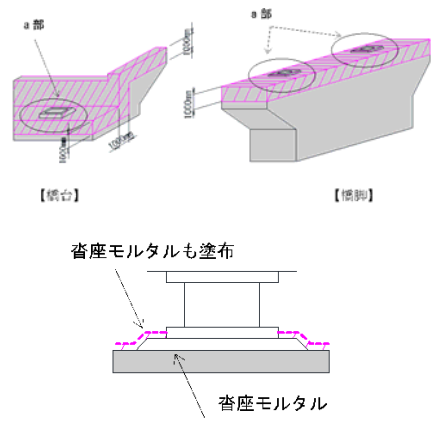
◆考察

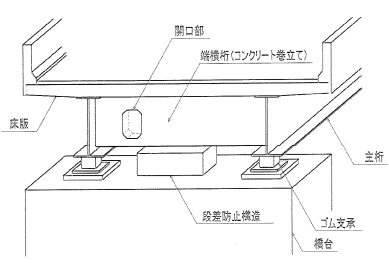
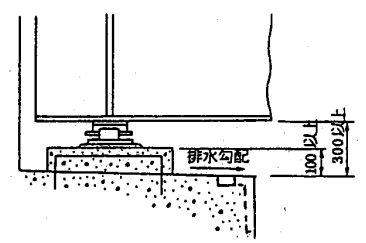
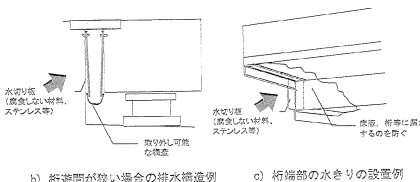
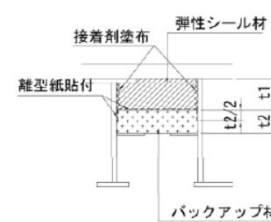
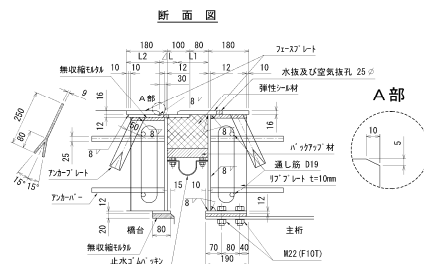
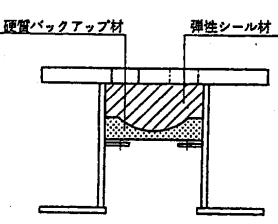
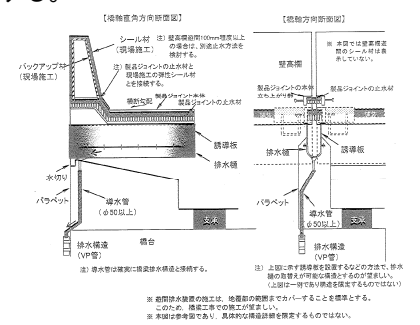
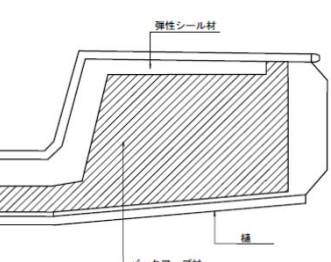
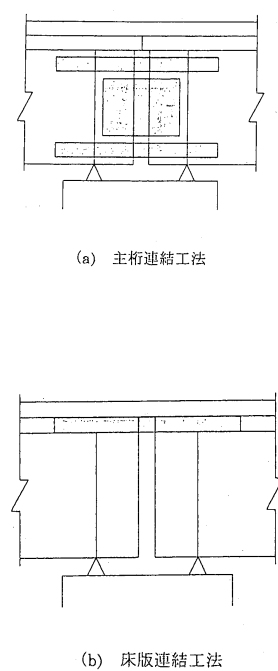
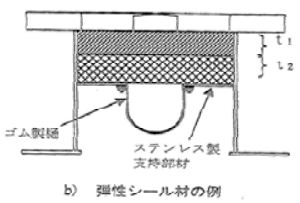
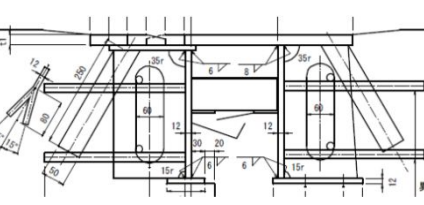
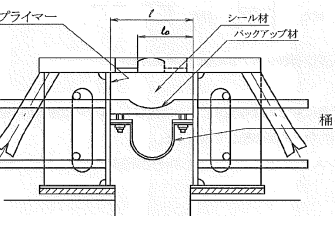
- ・桁端部のコンクリート部材への表面保護は標準的となっているが，範囲や仕様については地整ごとに定められている。地域性は特に見られなかった。

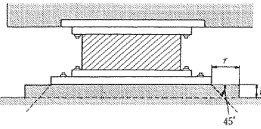
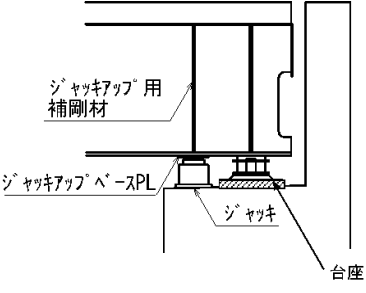
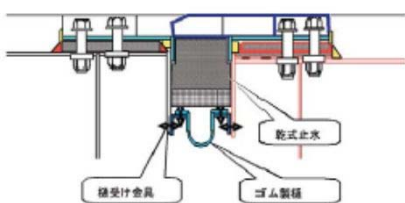
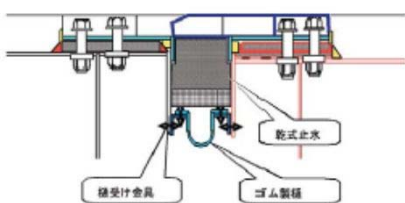
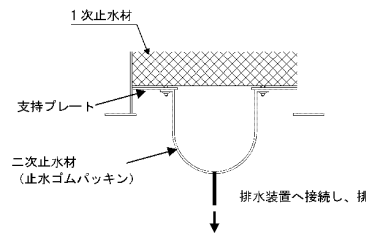
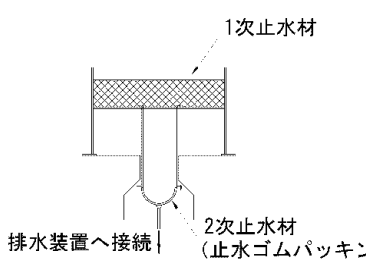
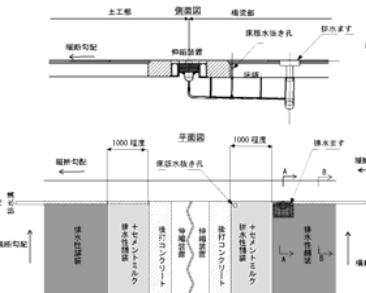
3.3 地域ごとの基準比較一覧表

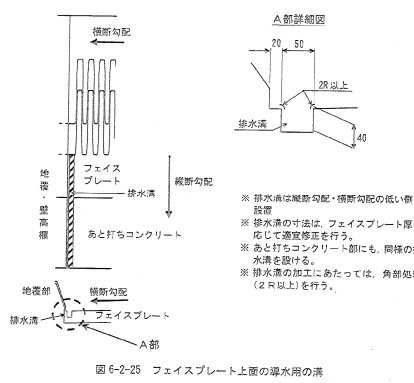
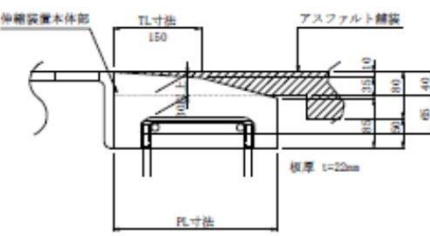
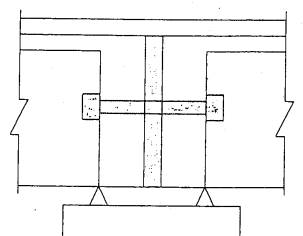
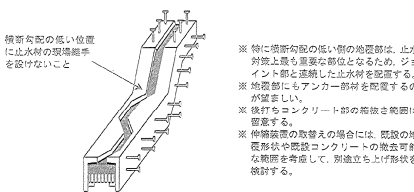
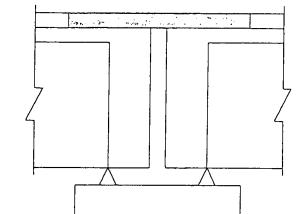
桁端部の設計上の配慮事項について、地域ごとの要領やマニュアル類を比較表にまとめた。

項目	基準	高速道路株式会社(NEXCO)	北海道	東北	北陸	中部	関東
基準名称		設計要領 第二集 橋梁建設編 平成25年7月	北海道開発局 道路設計要領 平成25年4月	東北地整 ・設計施工マニュアル[橋梁編]平成17年5月 ・一部改訂 平成20年12月	北陸地方整備局 ・設計要領[道路編] 平成24年4月 :標準設計 平成20年11月	中部地方整備局 道路設計要領 2008年12月	・設計要領(舗装及び排水施設等) H11年度(関東地整) ・土木工事設計マニュアル道路Ⅱ(橋梁) H13.2(山梨県) ・栃木県橋梁設計マニュアルH16.1(栃木県)
橋台及び橋脚天端の水処理	・3%程度の排水勾配を設ける	 図 5-2-5 頂面の縦断方向の勾配の例	・橋台:2%程度の排水勾配を設ける ・橋脚:1%程度の排水勾配を設ける	・1~2%程度の排水勾配をつける	・橋軸方向に1~2%程度の排水勾配を付ける。	・橋座の横断勾配	【山梨県】 ・橋座の排水勾配の具体的数値なし。 ・堅壁前面にVカット、導水パイプ
	・点検用箱抜き部においても、水が溜まらぬよう排水処理方法を考慮する。	 図 5-2-6 点検用箱抜き部排水処理の例	 図3.1.31 橋梁の排水勾配	・桁端部に位置する下部構造頂部はコンクリート塗装により保護する		・橋台背面の排水処理	【栃木県】 ・橋座の勾配は胸壁方向。勾配の具体的数値なし。
	・橋台側面は床版部と同様に水切りを設置することを標準とする。	 図 5-2-7 橋台側面の水切り設置例		 図4-2-10 コンクリート塗装の設置範囲例		 図 4-2-11 けた端部の防食構造の一例	

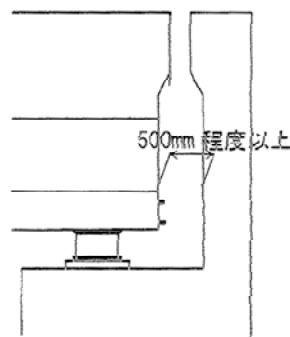
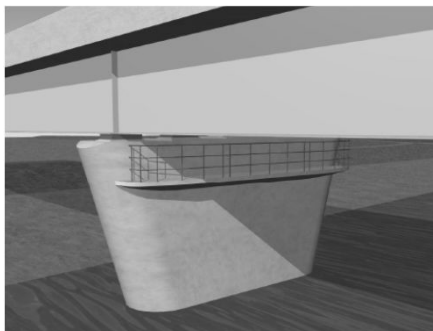
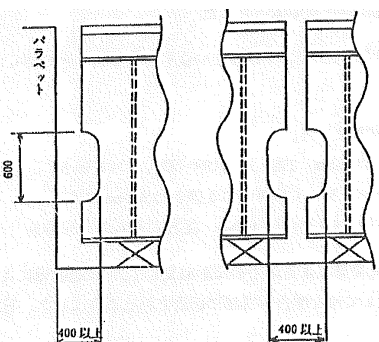
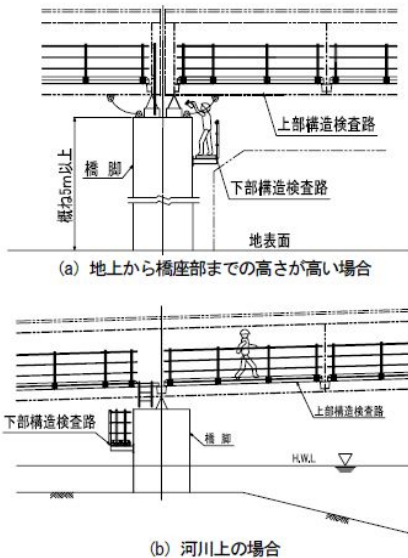
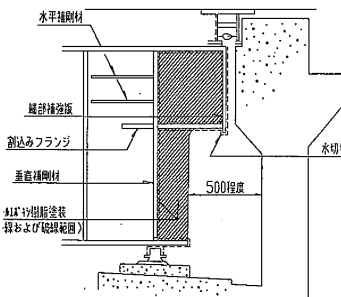
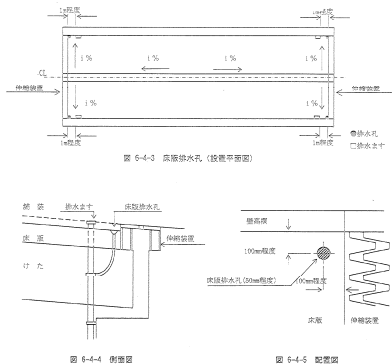
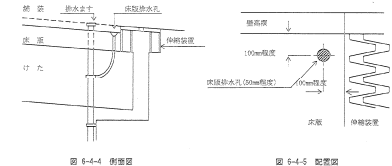
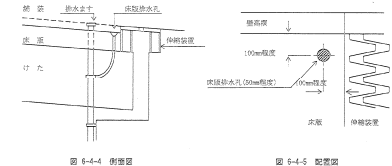
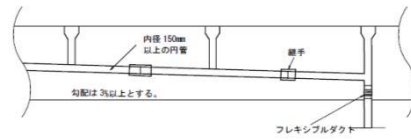
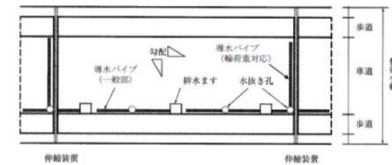
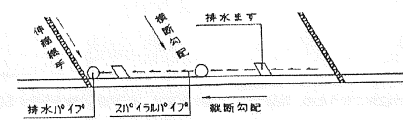
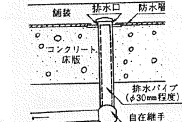
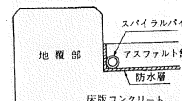
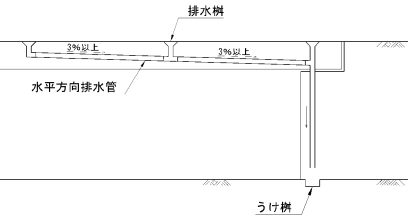
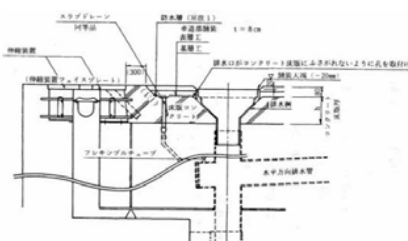
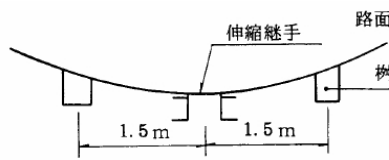
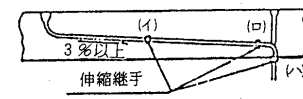
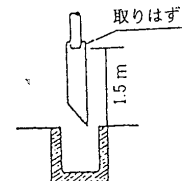
項目	基準	近畿	中国	四国	九州	沖縄	橋梁長寿命化に向けた設計の手引き(案)						
基準名称		設計便覧(案) 第3編 道路編 平成24年4月	土木工事設計マニュアル 平成25年4月 中国地方整備局	設計便覧(道路編) 平成25年 4月	九州地方整備局 土木工事設計要領 平成23年7月	沖縄総合事務局 土木工事設計要領 平成23年	中部地方整備局 道路部 平成25年3月						
橋台及び橋脚天端の水処理		・橋座面の滞水防止対策として、橋座部には排水勾配を設置、排水溝と排水管を設置する。 ・予防保全対策として、桁端部の塗装仕様を重防食塗装とし、鋼材の耐食性を向上させる。 ・2～3%の排水勾配を設ける。	【橋座面の滞水対策】 ・雨水の浸入による桁端部及び支承の劣化の促進を防ぐため、橋座部には排水勾配を付けること。 なお、橋座部の排水勾配は3%程度とし、躯体前面側に排水することを標準とする。 (土木工事設計マニュアル p.3-5-165)	・橋座面の滞水対策として、排水勾配2%を設けて躯体前面側に排水することを標準とする。(7章2-2(8))			・下部工天端に滞水しないように橋座面には2%程度の排水勾配を設ける(5.2)						
			【橋座部桁下高さ】 ・高さの低い支承を有する鋼橋の場合に、台座コンクリートを設け、風とおしをよくするなど設計上留意すること。 橋座部の台座高さは100mm以上とし、桁下高さは支承更新時のジャッキアップ機材の作業空間等も踏まえ、I桁橋400mm以上、箱桁橋500mm以上確保することが望ましい。  <table data-bbox="872 1173 1050 1247"><tr><th></th><th>H</th></tr><tr><td>I 桁橋</td><td>400mm以上</td></tr><tr><td>箱桁橋</td><td>500mm以上</td></tr></table> (土木工事設計マニュアル p.3-5-165)		H	I 桁橋	400mm以上	箱桁橋	500mm以上	橋座面の環境改善対策として、高さの低い支承を有する鋼橋の場合には、台座コンクリートを設け、通風性を確保する。台座の高さは100mm 以上とし、桁下高さは支承更新時のジャッキアップ機材の作業空間等を考慮し、I 桁橋400mm 以上、箱桁橋500mm 以上確保することを目安とする。(7章2-2(9))  図7-2-6 (b) 橋座部の桁下高さ			・桁下空間の確保 支承取替えスペースとして400mm以上確保する(5.2)
		H											
I 桁橋	400mm以上												
箱桁橋	500mm以上												
		耐候性の場合、さび汁による壁面の汚れが美観上問題となる場合は、橋座面、壁面に水抜き用パイプあるいはVカットを設ける (7章2-2(10))  図7-2-6 (a) 下部工表面の工夫例(耐蝕性鋼材使用の場合)				・橋座周辺部には表面保護のために表面含浸材を塗布する(5.2)  【a 部】							

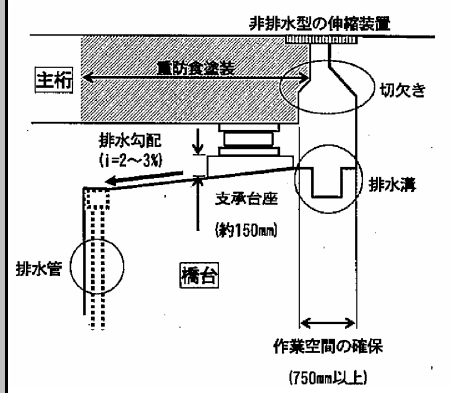
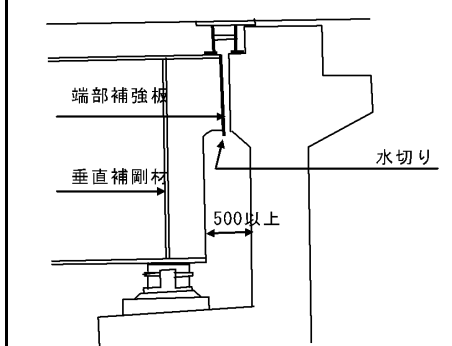
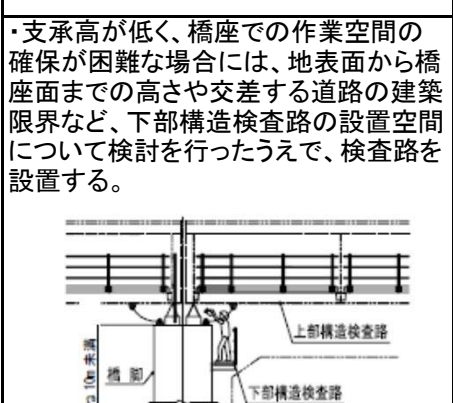
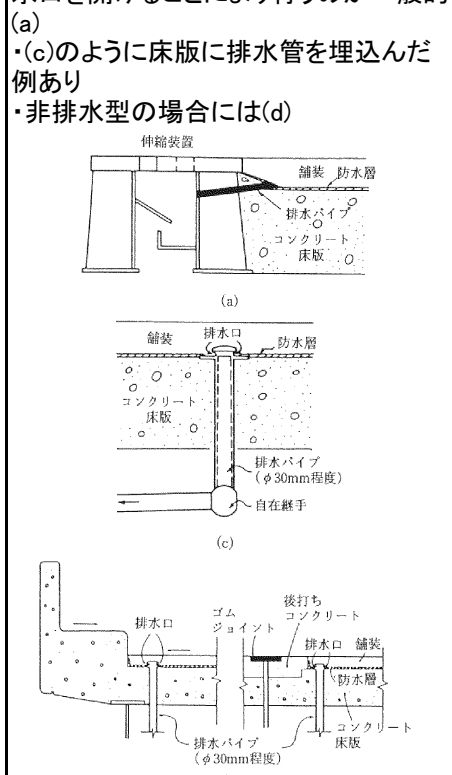
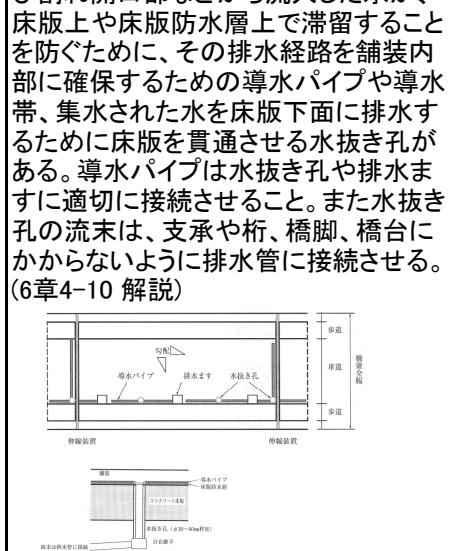
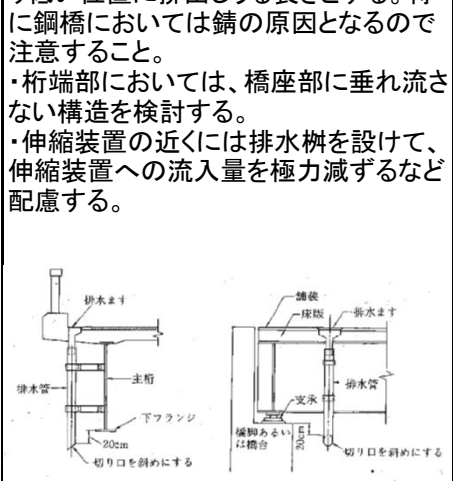
基準		高速道路株式会社(NEXCO)		北海道		東北		北陸		中部		関東			
項目															
支承		・支承の配置に当たっては、維持管理等に必要な支承座空間高を確保することを標準とする。 ・端支点の支承部には、原則として段差防止構造を設置する。  図 6-1-3 段差防止構造例								・橋の規模及び経済性・施工性、維持管理のしやすさを考慮したうえで、必要に応じて支承部の機能を複数の構造に分離させた「機能分離型支承」の採用について検討を行う。				【山梨県】 ・台座コン100mm以上、橋座と下フランジの間隔を300mm以上とし、通気性を確保。 	
伸縮装置		【止水処理】 ・止水材を設けて非排水構造とするとともに排水装置を併設する。  b) 桁端部が狭い場合の排水構造例 c) 桁端部の水きりの設置例		弾性シール材、バックアップ材による止水  バックアップ材		・雨水などによるけたや支承の腐食を防止することから、原則として非排水構造とする		・伸縮装置には除雪障害を考慮して誘導板を設ける。 ・伸縮装置には、漏水による橋梁本体への影響を考慮して非排水型を標準とする。 				【山梨県】 ・非排水の伸縮装置を採用する。 			
		【漏水対策全般】 ・導水管は確実に橋梁排水構造と接続する。  図 6-2-29 辺部排水装置の構造例及び設置時の取付方法の例		ステンレス樋をEND-PLまで設置し、水抜きパイプを設置する  バックアップ材								【山梨県】 ・ノージョイント化を採用する場合があります、その例を示している(以下のa～d)。  (a) 主桁連結工法 (b) 床版連結工法			
		【鋼製フィンガー】 ・非排水構造を標準とし、樋などによる排水装置を併設する。  b) 弾性シール材の例		伸縮装置は非排水式とする 		【鋼製フィンガー】 ・片持ち式を原則とし、けたや支承部の腐食に配慮し、非排水構造を基本とする 									

項目 \ 基準	近畿	中国	四国	九州	沖縄	橋梁長寿命化に向けた設計の手引き(案)
支 承	・桁端部の湿潤防止対策として、支承台座を高くとり、漏水の排水性・通風性を向上させる。	・支承は橋の中でも特に腐食しやすい場所に設置されるので、防錆には十分配慮するものとする。特に沓座部は常時滞水することがないように水はけをよくするものとし、高さの低い支承の場合には台座コンクリートを設ける等の設計上の配慮を行うものとする。また、鋼製支承の防食処理については原則溶融亜鉛めっき仕様とする。なお、台座コンクリートを設けた場合には、台座の高さは台座部の支承縁端距離以下に抑えて、橋座に十分支圧が伝達するようにする。  h < r h : 台座コンクリートの高さ r : 台座部の支承縁端距離 (土木工事設計マニュアル p.3-5-144)	支承部の点検や維持管理のために支承部周辺は可能な限り複雑にしない(6章 5節 1-2 (2)) 支承部は、支承本体の取り換えが可能な構造を標準とする。(6章 5節 1-2(3))	耐候性鋼橋梁に使用する支承には、橋の端部の局部環境が悪いこと、および取り替えが困難であることを考えると塗装やめっきを施すなど十分に防食性能を高めておくのがよい。	記載なし ◆鋼橋塗装マニュアルH20.8 【支承部の防護】 腐食により支承機能が著しく低下する場合は、支承の交換を提案すると同時に、支承には重防食(亜鉛溶射など)や支承カバーを施工することとする。  図-3 支承カバー及び水勾配	・支承交換に必要な空間の確保とジャッキアップを行うための補強を行う(7.1) 
伸 縮 装 置	・伸縮装置からの漏水防止対策として、非排水型の伸縮装置を採用する。 (土木工事設計マニュアル p.3-5-154)	・伸縮装置は雨水等の侵入に対して水密性を有するものとし、その構造は非排水構造を標準とする。 (土木工事設計マニュアル p.3-5-154) ・鋼製フィンガージョイントの例 日本高速道路(株)の設計要領第二集・橋梁建設編には、弾性シール材及び乾式止水材を使用する場合の例が示されているので、これを参考とすること。 (土木工事設計マニュアル p.3-5-160)	伸縮継手の構造は、耐久性および将来の維持管理面から非排水型を原則とする。 P6-64「6章6節1. 伸縮装置(1)」	雨水等の浸入に対して水密性を有するものとする。 ◆鋼橋塗装マニュアルH20.8 伸縮装置は非排水構造を原則とする。  図-4.1 非排水式伸縮装置断面図(例)	雨水等の浸入に対して水密性を有するものとする。 ◆鋼橋塗装マニュアルH20.8 伸縮装置は非排水構造を原則とする。  図-4.1 非排水式伸縮装置断面図(例)	・非排水型とする。 ・二重の非排水構造として、弾性シール材等の一次排水に加え、ゴムパッキン等の二次止水材を併設すること(7.2)  1次止水材 支持プレート 二次止水材(止水ゴムパッキン) 排水装置へ接続し、排水 ・桁高が高く、二次止水材の交換が容易でない場合には、交換の容易性に配慮した構造とする(7.2)  1次止水材 2次止水材(止水ゴムパッキン) 排水装置へ接続 【伸縮装置付近の排水構造】 ・排水性舗装の場合、伸縮装置手前1m程度にセメントミルクを注入すること。 ・防水層と床版の間の排水を行うため、後打ちコンクリートの手前に床版水抜き孔を設置する(7.2) 

項目	基準	北海道	東北	北陸	中部	関東
伸縮装置	【鋼製フィンガー】 ・横断勾配が低く、縦断勾配が低い側のフェイスプレートと後打ちコンクリートに排水用の溝(50mm×40mm)を設けると良い。  図 6-2-25 フェイスプレート上側の排水用の溝	除雪計画のある地域ではブラウ誘導板を設置する。  図2-76 スノーブラウ防護材				 (c) 横桁連結工法
	【製品ジョイント】 ・非排水構造を標準とし、これに加えて樋などによる排水装置を併設する。非排水構造は地覆部まで立ち上げる構造を標準とする。  図 6-2-27 地覆部止水材の立ち上げ方法の例					 (d) 埋設ジョイント工法

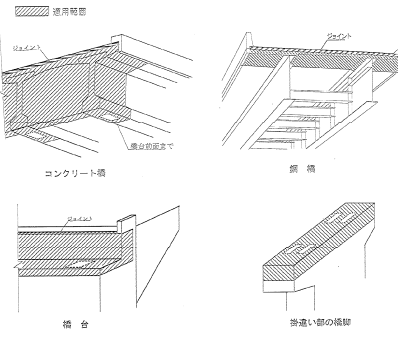
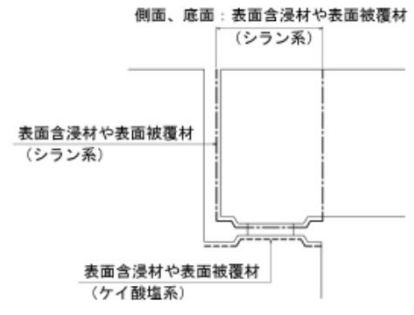
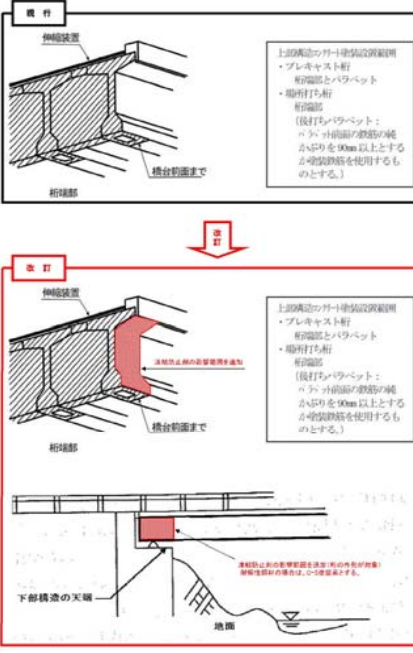
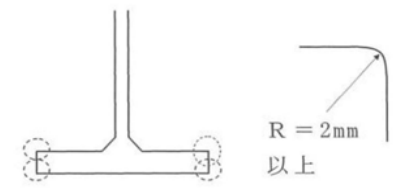
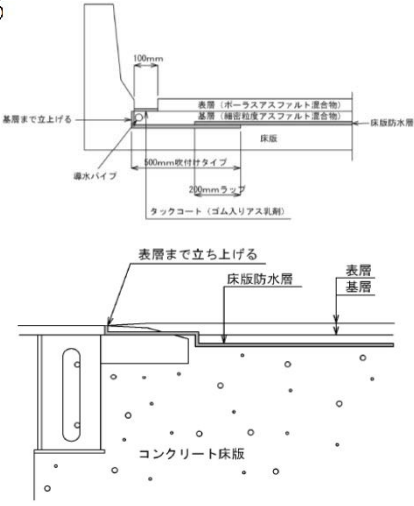
項 目 \ 基 準	近畿	中国	四国	九州	沖縄	橋梁長寿命化に向けた設計の手引き(案)
伸縮装置						【伸縮装置付近の排水構造】 ・排水ますは、後打ちコンクリートに寄せて設置する。また、排水性舗装の場合は、セメントミルクを注入した範囲に寄せて配置すること(7.2) 図 7.2.3 伸縮装置前後の排水構造例

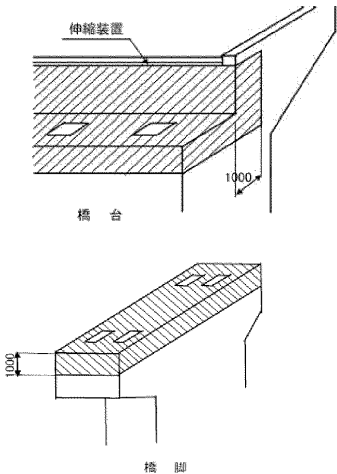
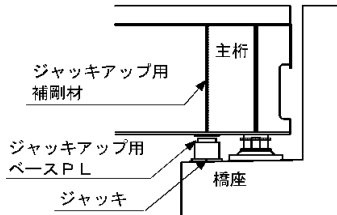
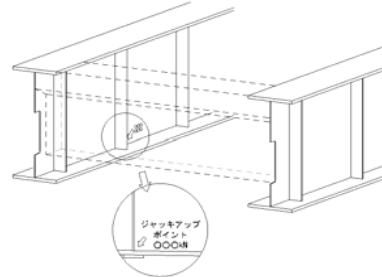
基 準		高速道路株式会社(NEXCO)	北海道	東北	北陸	中部	関東
項 目		・維持補修を考慮して500mm程度の通路幅を確保する。  図 6-3-9 橋台部桁遊間検査通路の例	・道路橋検査路設置要領(H24)に準拠して検査路を設置する 	・箱桁の内側腹板には、メンテナンスのための切欠きを設けるものとする  図 4-39 腹板の切欠き		・下部工検査路の設置例  (a) 地上から橋座部までの高さが高い場合 (b) 河川上の場合	【栃木県】 ・桁端～パラペット500mm空ける(耐候性鋼材)  図 4-2-11 けた端部の防食構造の一例
		【床版排水孔】 ・伸縮装置の前面に排水孔を設置する。 ・伸縮装置の上流側に排水柵を設け、かつ片勾配の下流側に設置する。  図 6-4-2 高層排水孔 (設置平面図)  図 6-4-4 側面図  図 6-4-5 断面図	【排水装置】 ・凍結により破損しない材質を用いる ・伸縮装置の近くに柵を設ける ・桁端部でたれ流しの場合は、橋座より20cm以上管を延ばす ・横引き管が水平に近い勾配のときはヒーティングを施す ・上下部排水の接続は受け柵を使わずフレキシブルダクトを用いる   図 6-4-6 側面図	【防水層】 ・排水パイプは概ね10m間隔に設置。床版端部や排水ます付近は滞水が生じやすいので留意が必要。  (a) 排水ます  (b) 排水パイプ  (c) スパイラルパイプ	【排水装置】 ・排水管の勾配は原則として3%以上とする。 ・寒冷地では管の末端に排水によるツララができ、排水機能が阻害されることが多いため、末端処理に配慮した構造とする。  図 6-4-7 側面図	・橋面の排水処理設置例  図 6-4-8 側面図 ・排水柵の設置  図 6-4-9 側面図	【関東地整】 ・横引き管勾配は3%以上、なるべく急勾配 ・垂流しは桁下付近まで。 ・高架橋流末には集水柵必要。  図 3 伸縮継手配置図  図 4 垂れ流しの場合  図 5 陸上部及び高架部の排水管の下端

基準		近畿	中国	四国	九州	沖縄	橋梁長寿命化に向けた設計の手引き(案)							
項目		・維持管理を考慮して750mmの通路幅を確保する。 	・作業空間と通気性を確保する。 ・標準的な切欠構造を一概に定めることはできないが、以下の参考例に示す。  (土木工事設計マニュアル p.3-5-64)		・支承高が高く橋座部のスペースが広い場合など、橋座に十分な作業空間が確保できる場合は、転落防止用の手摺りのみを設置し検査路は設置しない。  図-1.10 橋座作業空間の確保が可能な場合(架道い部) ・支承高が低く、橋座での作業空間の確保が困難な場合には、地表面から橋座面までの高さや交差する道路の建築限界など、下部構造検査路の設置空間について検討を行ったうえで、検査路を設置する。  (a) 地上から橋座部までの高さが高い場合	・桁端部の切欠き 500mm程度の空間を確保する(3.1)  【点検性向上】 ・上部工側での対応が構造上困難な場合、500mm程度の維持管理スペースを設けることとする(5.4)  図 5.4.1 橋台胸壁の切り欠き形状の例								
		・地覆、排水ます、伸縮装置などと接する箇所から床版への雨水の浸入がないように、境界部分に遮水対策を行う。 	【床版排水孔】 ・伸縮装置の壁面や排水桷の側面に排水口を開けることにより行うのが一般的(a) ・(c)のように床版に排水管を埋込んだ例あり ・非排水型の場合には(d)  (土木工事設計マニュアル p.3-5-73)	【床版排水孔】 排水処理設備としては、舗装表面やひび割れ開口部などから流入した水が、床版上や床版防水層上で滞留することを防ぐために、その排水経路を舗装内部に確保するための導水パイプや導水帯、集水された水を床版下面に排水するために床版を貫通させる水抜き孔がある。導水パイプは水抜き孔や排水ますに適切に接続させること。また水抜き孔の流末は、支承や桁、橋脚、橋台にかからないように排水管に接続させる。(6章4-10 解説) 	【排水設備】 ・排水管の長さは最低橋桁の下端部より低い位置に排出しうる長さとする。特に鋼橋においては錆の原因となるので注意すること。 ・桁端部においては、橋座部に垂れ流さない構造を検討する。 ・伸縮装置の近くには排水桷を設けて、伸縮装置への流入量を極力減ずるなど配慮する。  (a) 一般部の排水管 (b) 橋脚および橋台部の排水管	【床版水抜き孔の配置】 ・床版の縦断勾配と横断勾配に応じて、床版上の滞水しやすい個所に適切に配置する(6.2) <table><tr><th colspan="2">表 6.2.1 水抜き孔設置間隔</th></tr><tr><th>縦断勾配</th><th>設置間隔Δ (m)</th></tr><tr><td>1%以下</td><td>5</td></tr><tr><td>1%を超える場合</td><td>10</td></tr></table> 図 6.2.1 排水資材の配置例 【床版下面での流末処】 ・垂れ流し部の水抜き穴の流末は、上部工桁下へ導水し突出させるとともに上部工に確実に固定する(6.2) 	表 6.2.1 水抜き孔設置間隔		縦断勾配	設置間隔 Δ (m)	1%以下	5	1%を超える場合	10
表 6.2.1 水抜き孔設置間隔														
縦断勾配	設置間隔 Δ (m)													
1%以下	5													
1%を超える場合	10													
		排水装置												

基 準	項 目					
項目	高速道路株式会社(NEXCO)	北海道	東北	北陸	中部	関東
鋼橋 桁端部の塗装	【増し塗り】 - 桁端部については下塗りを1層増し塗りすることを標準とする。 - 増し塗りは、桁端部から橋台天端の外側の第一補剛材までの範囲とする。 図 7-2-16 新設橋における増し塗りの範囲の例 (1 断面側主桁)	【塗装】 - 塗装橋の仕様は防食便覧に準じる - 耐候性鋼橋の場合は下図のとおり桁端塗装を施す	【塗装】 鋼橋桁端部は伸縮装置からの漏水などにより発錆しやすいことから、桁端から橋台前面までの範囲の外側は、塗装の下塗りを1層多くするものとする。			【山梨】 桁端部内側の塗装を実施する(耐候性鋼材)
	【桁端の切欠き】 桁端には、点検管理のためのスペース確保(500mm)し、必要に応じて切欠きを設けなければならない。 図 7-2-17 桁端部の構造例					【栃木県】 耐候性鋼材は以下の図のように、橋座の勾配確保、切り欠きによる通路確保、支点までの塗装が規定されている。 図 4-2-11 けた端部の防食構造の一例

項目	基準	近畿	中国	四国	九州	沖縄	橋梁長寿命化に向けた設計の手引き(案)
鋼橋 桁端部の塗装		・主桁端の張り出し部及び端横桁の内側は、内面用塗装(鋼道路橋塗装・防食便覧の塗装系D-5)を施すこと。なお耐候性鋼材橋梁の桁端部の塗装は「8-3 耐候性鋼材」による。 ・排水桝や現場塗装が不可能な箇所は、変性エポキシ樹脂塗料内面用を3層程度を塗装する。	【増し塗り】 ・全ての鋼橋桁端部の外面塗装(C-5系)は、下塗りを1層多くする。 ・上フランジ角部は下塗りまで「まわし塗装」を行う ・施工範囲は以下の範囲を標準とする。 (土木工事設計マニュアル p.3-5-69)	塗装系は、「鋼道路橋塗装・防食便覧」(平成17年12月(社)日本道路協会)による	【耐候性鋼材における桁端部】 ・けた端部は、防食に対す配慮が特に必要とされる環境の悪い箇所であるため、D-5(内面塗装)を塗布する。 ・塗装を施す範囲は、けたの内側面で下部構造の天端上となる部分までの範囲を目安に、一般部と同程度の環境とみなせる範囲まで塗装することが基本である。 ・凍結防止剤散布の多い路線ではけたの外側面も塗装するのが良い。	【排水設備】 ・排水管の長さは最低橋桁の下端部より低い位置に排出しうる長さとする。特に鋼橋においては錆の原因となるので注意すること。	【増し塗り】 ・桁端部の増し塗り範囲は下図を標準とする。添接部の増し塗り範囲は、添接板と添接板から100mm程度の範囲とする。主桁下端部の増し塗り範囲は、主桁全長にわたり下フランジとウェブの立ち上がり100mm程度とする 【増し塗りの仕様】 ・下塗りを1層多く施す。 ・増し塗り部の塗装仕様は、桁部はC-5とし、添接部はF-11とする(3.1)
鋼橋 桁端部の構造		・維持管理の作業空間対策として、パラペットと桁端部との空間(750mm以上)を確保し、支承交換作業等の作業性を向上させる。	・作業空間と通気性を確保する。 ・標準的な切欠構造を一概に定めることはできないが、以下の参考例に示す。 (土木工事設計マニュアル p.3-5-64)	桁端部には、通気性と点検等維持管理作業の空間を確保するものとし、現地状況に応じて500mm(桁高が高い場合は600mm)程度以上を目安とする。(6章1節7)		【構造細目】 ・通気性と維持管理性確保のため、必要に応じて切欠きを設ける。 ・支点上は、通気性確保のため、構造上可能な場合には対傾構にて設計する ・止水板を設置する。(3.1)	

基準 項目	高速道路株式会社(NEXCO)	北海道	東北	北陸	中部	関東
その他	【コンクリート表面保護】 ・桁端部には、表面保護材を施すことを標準とする。  図 11-3-2 桁端部における表面被覆材の施工範囲例	・凍結防止剤による塩害対策が必要な橋梁の桁端部は表面被覆を施す ・かぶり50～90mm(地域による) 	【コンクリート表面保護】 ・コンクリート橋桁端部は、コンクリート塗装により保護するものとする。 	【発錆防止構造】 ・連結板縁では、連結板をフランジ母材縁に合わせても施工誤差で揃わないことが多く、また、主桁フランジの角部がガス切断や切削仕上げによって鋭いエッジになっていると塗装が十分に付着せず、早期発錆の原因になりやすい。このため、連結部においてもグラインダーや専用加工機により曲面仕上げを行い、連結板の幅はフランジ端部から5mm控えることとした。 	・橋台パラペット背面に落橋防止装置を取付ける場合は、落橋防止装置の腐食を考慮し、コンクリート等で保護するものとする。	
		【防水層】 ・床版には防水層を設置する ・防水層縁端部は吹きつけタイプを用いる 		【防水層】 ・防水層は、桁形式及び床版形式にかかわらず全橋梁の全面について施工する。		

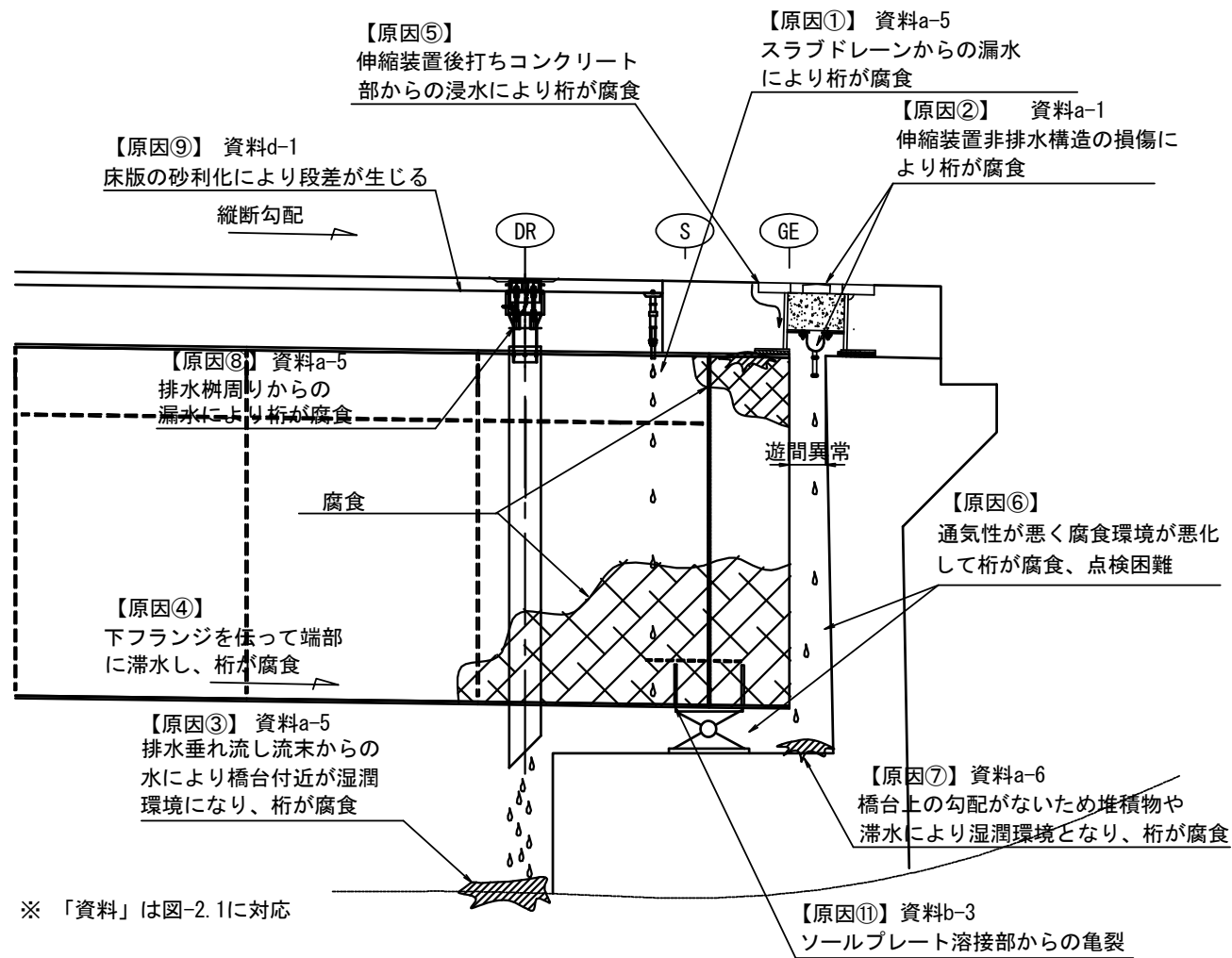
基準		近畿	中国	四国	九州	沖縄	橋梁長寿命化に向けた設計の手引き(案)
項目			【コンクリート表面保護】 凍結防止剤を散布する積雪寒冷地域の橋梁の桁端部及び桁端部に位置する下部構造頂部は、劣化抑制対策としてあらかじめコンクリート塗装による表面保護をすることとする。  (土木工事設計マニュアル p.3-5-114)	H25版より主要構造物維持補修対策の章が新設 H25版より 6章2節に維持管理のためのジャッキアップ補強の項が追加			【補修の容易性向上】 ・支承取替えや損傷に備え、ジャッキアップに配慮した構造とする(3.6)  図-解 3.6.1 主桁支持工法による支承取替え 
その他							【橋面防水】 ・防水層の端部の立上げ処理を地覆部まで行うものとする。 ・排水性舗装の場合、70mm程度の排水溝を設ける ・伸縮装置付近は防水層を立ち上げる(6.1)

4. 維持管理に配慮した桁端部構造

本研究において収集した損傷・補修事例や各地方の基準類などを踏まえ、新設時に望ましい構造として「維持管理に配慮した桁端部構造例」の参考例を図 4.1 に示す。

桁端部は、構造的に狭隘になりやすく、土工部との剛性の違いから衝撃の影響を受けやすいなど、腐食や疲労などに対する橋梁の耐久性を考える際に最も過酷な条件にある。特に腐食による損傷の事例が最も多く、水処理や風通しに配慮した構造が求められる。

なお、本構造例は一般的な例として示したものであり、実際の橋梁に適用する際は各発注者の基準類を優先して頂き、更に各条件に応じた構造を検討したうえで、更なる配慮として参考にして頂くことを想定している。



(参考) 損傷が生じてしまった場合の対策

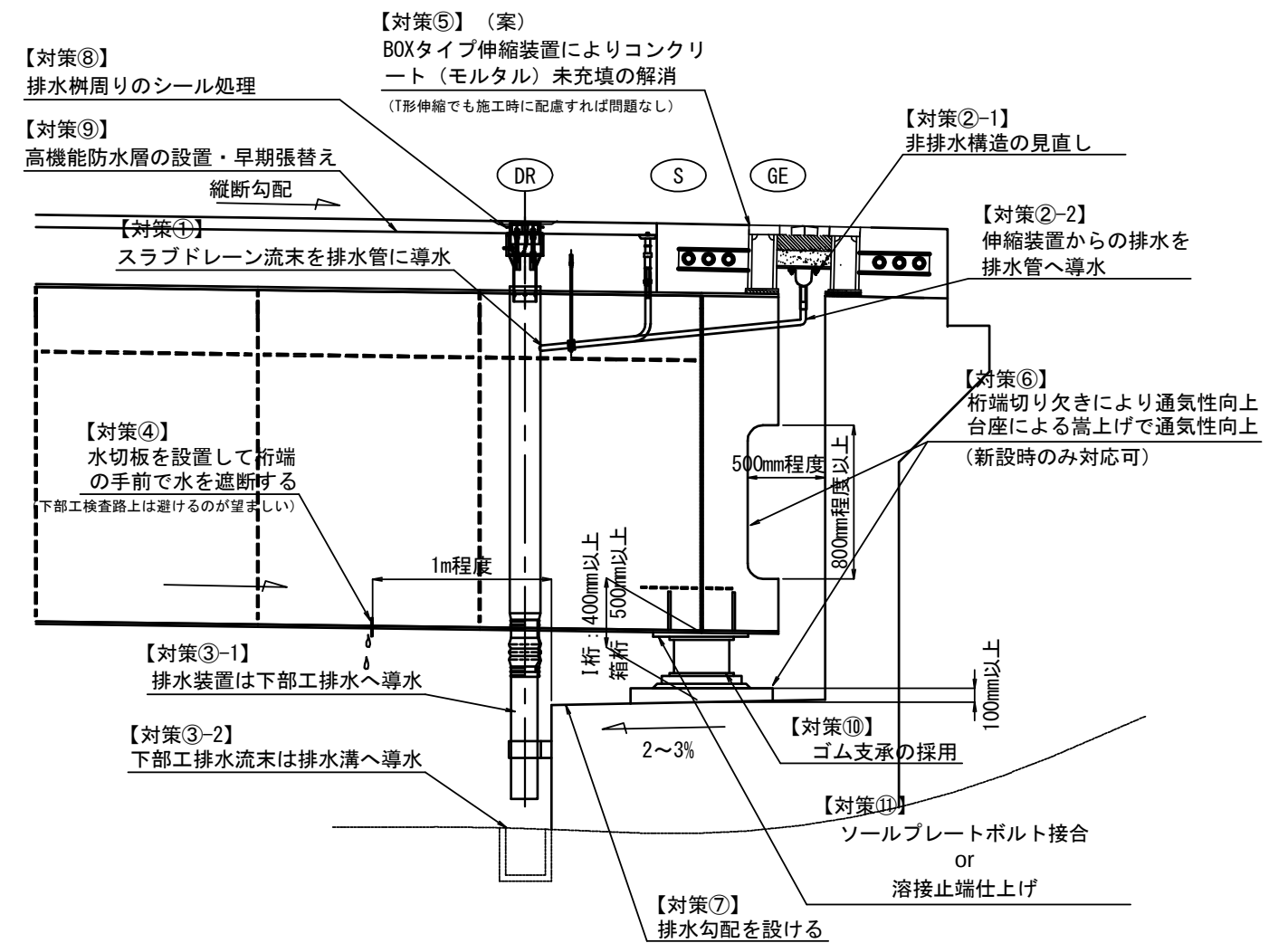
損傷による機能の低下が軽微なときは原因の排除のみで経過観察とする。

原因の排除は、図-4.1 (b) の構造に近づけることで可能となる。

損傷が軽微ではないときは以下の方法で機能を回復する。

- ①～⑧：腐食部の塗り替え塗装または損傷状況に応じて当て板補強・部材取替え
- ⑨：床版打ち替えもしくは部分補修
- ⑩：支承取替え、桁の補強
- ⑪：亀裂の補強、ソールプレート取替え

図-4.1 (a) 桁端部の不具合に対して十分配慮されていない構造



[注記]

橋梁の幾何学的要因や環境的要因により、橋台上にコンクリート壁等が必要になる場合も、極力、風通しに配慮した構造を検討することが望ましい。

図-4.1 (b) 維持管理に配慮した桁端部構造例

図4.1 桁端部で発生しやすい損傷とその対策

5. 資料集

① 損傷と補修方法の事例集

調査した損傷とその補修方法について、具体的な対策事例（もしくは対策案）を作成し、事例集としてまとめた。資料番号は、「桁端部の損傷と補修方法」ツリーの番号と対応させている。

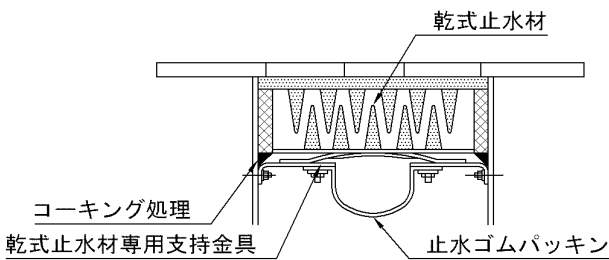
② 桁端部の補修に関する新工法

桁端部の設計や維持管理に有効と考えられる最新の工法（新技術、高機能材料、新材料）を調査し、一覧表にまとめた。一覧表では、「桁端部の損傷と補修方法」の損傷分類と関連付けて整理している。

③ 桁端部腐食に関する文献

桁端部の腐食による主桁の耐荷力に及ぼす影響について、関連する文献を調査して紹介する。

資料1 損傷と補修方法の事例集

資料番号	a-1
損傷内容	鋼材の腐食、防食機能の劣化
部材	主桁、端横桁、支承
損傷原因	伸縮装置からの漏水、導水不良
損傷状況	  桁端遊間からの漏水 主桁、対傾構、横構、支承の腐食 ・主桁端部、端対傾構、支承部に腐食が広がっている。 ・伸縮装置には樋が設置されているが、土砂詰りや破損により止水機能はなくなっている。
対策内容	原因の対策
補修方法	伸縮装置の非排水化  ・伸縮性のクッション材と連続気泡フォーム、止水材が一体構造となった乾式止水材をフェースの下面に圧縮挿入して設置することで、伸縮装置の非排水化を行う工法である。 ・止水ゴムパッキンにより、二次止水を行う。 ・軽量で取扱いが容易であるため、伸縮装置の下面から簡易に施工できる。 ・伸縮装置の多次元的な挙動に追従できる。
特記事項	・桁端の遊間が狭隘な場合は、設置作業が困難となるため、事前に作業空間を確認する必要がある。

資料番号	a-2
損傷内容	鋼材の腐食、防食機能の劣化
部材	主桁、端横桁、支承
損傷原因	伸縮装置からの漏水、導水不良
損傷状況	耐候性鋼橋において、桁端塗装がされていないケースで、伸縮装置からの漏水により桁端が腐食している。 
対策内容	損傷の対策
補修方法	桁端部を補修塗装した 
特記事項	補修塗装にあたっては素地調整を入念に行い、鋼材表面の塩分を除去してから実施する 写真の損傷状況と補修後写真は異なる橋梁である

資料番号	a-2
損傷内容	鋼材の腐食、防食機能の劣化
部材	主桁、端横桁、支承
損傷原因	伸縮装置からの漏水、導水不良
損傷状況	 主桁、対傾構、横構、支承の腐食 ・主桁端部、端対傾構、支承部に腐食が広がっている。 ・橋座には滞水があり、土砂も堆積しているため、非常に湿潤な環境となっている。
対策内容	損傷の対策
補修方法	塗替え塗装  塗替え塗装による補修 ・塗替え塗装により補修し、劣化進行を防止している。 ・遊間からの漏水は続いているため、桁端部の湿潤環境は改善されていない。
特記事項	・漏水対策を行っていないため、再劣化する可能性がある。 ・伸縮装置の非排水化を同時に実施して、損傷の原因を対策することが望ましい。

資料番号	a-2
損傷内容	鋼材の腐食、防食機能の劣化
部材	主桁、端横桁、支承
損傷原因	伸縮装置からの漏水、導水不良
損傷状況	 支承の腐食 ・ 支承部に腐食が広がっている。 ・ 橋座には滞水があり、土砂も堆積しているため、非常に湿潤な環境となっている。
対策内容	損傷の対策
補修方法	 塗替え塗装及び溶射による補修 ・ 腐食欠損は軽微であるため、塗替えで対応。 ・ 支承部は金属溶射を施し、台座はコンクリート塗装。
特記事項	・ 原因（漏水）に対する対策実施の有無は不明。

資料番号	a-2
損傷内容	鋼材の腐食、防食機能の劣化
部材	主桁、端横桁、支承
損傷原因	伸縮装置からの漏水、導水不良
損傷状況	
対策内容	損傷の対策
補修方法	・ ナット交換、金属溶射  ボルトナット切断  新規ボルトナット設置 
特記事項	支承の腐食は軽微であるため、予防保全的に対策をしたと見られる。 ボルトナットのみ腐食が進行しており、ナットの交換後に金属溶射を施している。

資料番号	a-2
損傷内容	鋼材の腐食、防食機能の劣化
部材	主桁、端横桁、支承
損傷原因	伸縮装置からの漏水、導水不良
損傷状況	
対策内容	損傷の対策
補修方法	・再塗装 
特記事項	主桁、支承の再塗装により健全性が回復した事例。 腐食の要因と考えられる伸縮装置からの漏水等については未対策であるが、時期をずらして後年に非排水化等の対策を実施する可能性がある。 橋座の滞水に対して対策の予定なし。

資料番号	a-2
損傷内容	鋼材の腐食、防食機能の劣化
部材	主桁、端横桁、支承
損傷原因	伸縮装置からの漏水、導水不良
損傷状況	桁端部の暴食機能の劣化が生じている。 
対策内容	損傷の対策
補修方法	塗り替え塗装 〔設計要領第二集 p. 7-67, 68〕 ◆桁端部は「湿潤環境にあること」及び「塗装作業が困難なこと」から品質が低下しやすい。 a) 桁端部は、重防食塗装（C系塗装）を施す。 b) 鋼桁桁端部（下フランジ、ウェブ下端）の外周塗装は、下塗りを1層多くする。 c) 上フランジ角部は下塗りまで「まわし塗装」を行う。 d) 桁端部塗装の範囲は、下部工橋座前面に位置するパネルまでとする。（第1対傾構まで実施する事例もあり）
特記事項	

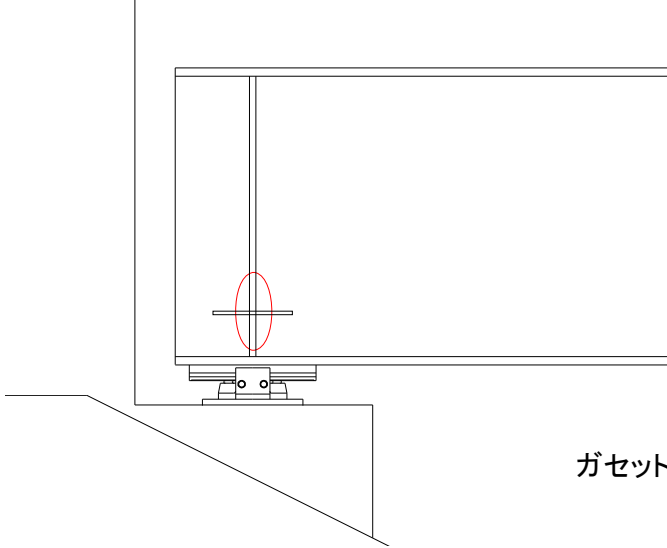
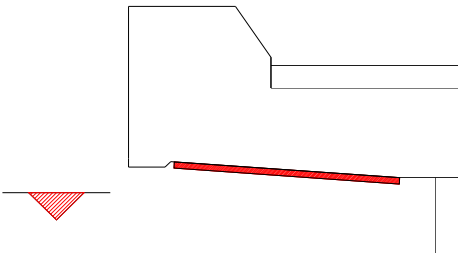
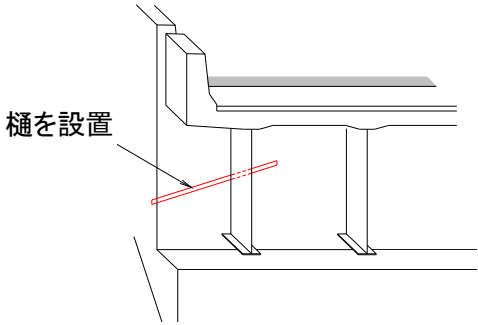
資料番号	a-3
損傷内容	鋼材の腐食、防食機能の劣化
部材	主桁、端横桁、支承
損傷原因	伸縮装置からの漏水、導水不良
損傷状況	 主桁の腐食・防食機能の劣化 ・主桁下フランジ及び支承部に腐食が広がっている。
対策内容	損傷の対策
補修方法	 当て板補強 ・支承機能と併せた補強となっている。 ・原因に対する対策の有無は不明である。
特記事項	

資料番号	a-3
損傷内容	鋼材の腐食、防食機能の劣化
部材	主桁、端横桁、支承
損傷原因	伸縮装置からの漏水、導水不良
損傷状況	
対策内容	損傷の対策
補修方法	・当て板 
特記事項	腐食が著しく断面減少が生じており、当て板により補修した。 塗膜の劣化も見られるが未対策である。

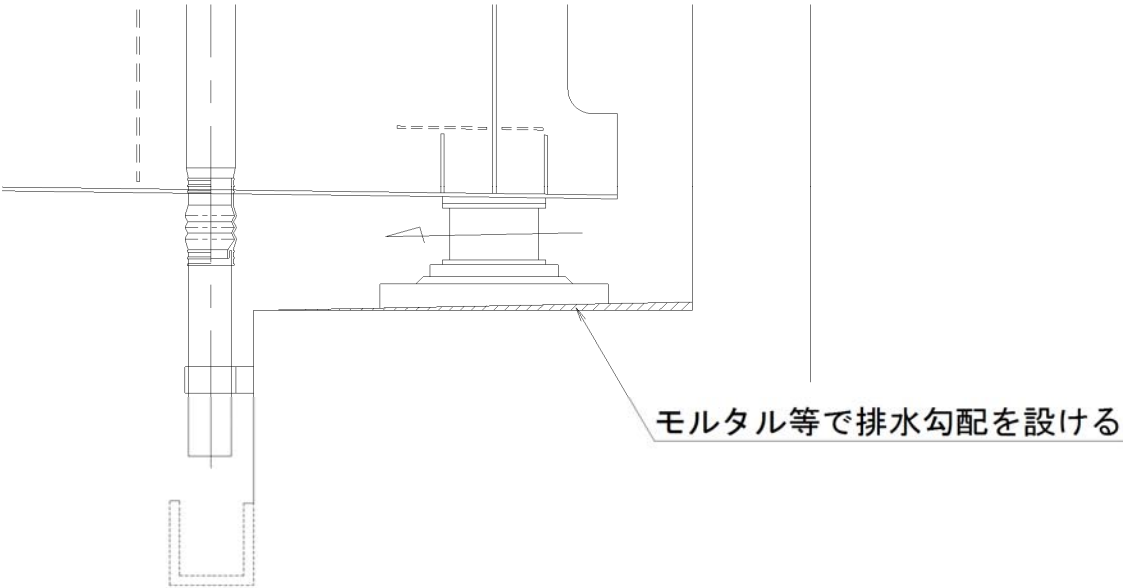
資料番号	a-4
損傷内容	鋼材の腐食、防食機能の劣化
部材	主桁、端横桁、支承
損傷原因	伸縮装置からの漏水、導水不良
損傷状況	支承の腐食 ・主桁端部および支承部に腐食が広がっている。 ・橋座には滞水があり、土砂も堆積しているため、非常に湿潤な環境となっている。
対策内容	損傷の対策
補修方法	支承取替え ・支承取替え工は、主桁を補剛してジャッキアップを行う。
特記事項	・縁端拡幅の上でジャッキアップを行う場合は、拡幅部の耐力を確保する必要がある。 ・伸縮装置の非排水化を同時に実施して、損傷の原因を対策する必要がある。 ・橋座に排水勾配を設置し、滞水しないようにする。

資料番号	a-4
損傷内容	鋼材の腐食、防食機能の劣化
部材	主桁、端横桁、支承
損傷原因	伸縮装置からの漏水、導水不良
損傷状況	
対策内容	損傷の対策
補修方法	支承取替え 
特記事項	腐食が著しく、機能的に障害があると見られ、交換したと考えられる。 主桁側面に新たに取り付けられているのはジャッキアップ用の補剛材である。

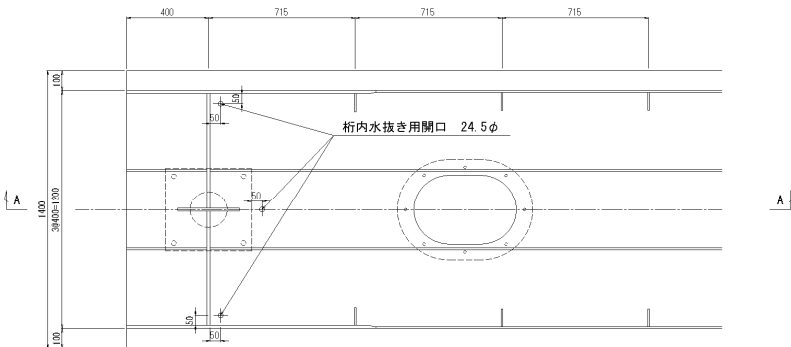
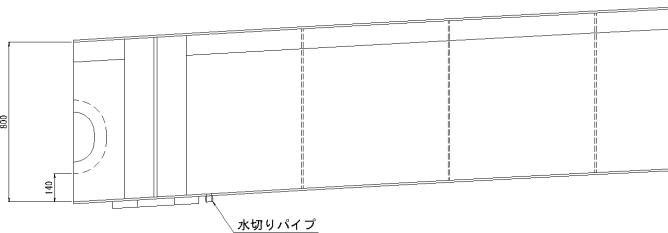
資料番号	a-5
損傷内容	鋼材の腐食、防食機能の劣化
部材	主桁、端横桁、支承
損傷原因	伸縮装置からの漏水、導水不良
損傷状況	耐候性鋼橋において、床版水抜き管からの排水の飛散により桁が腐食している 
対策内容	原因の対策
補修方法	床版水抜き管の流末を排水管へ導水した 
特記事項	外桁の外側であっても長期間濡れていると腐食は進行するため、排水処理に注意が必要である 写真の損傷状況と補修後写真は異なる橋梁である

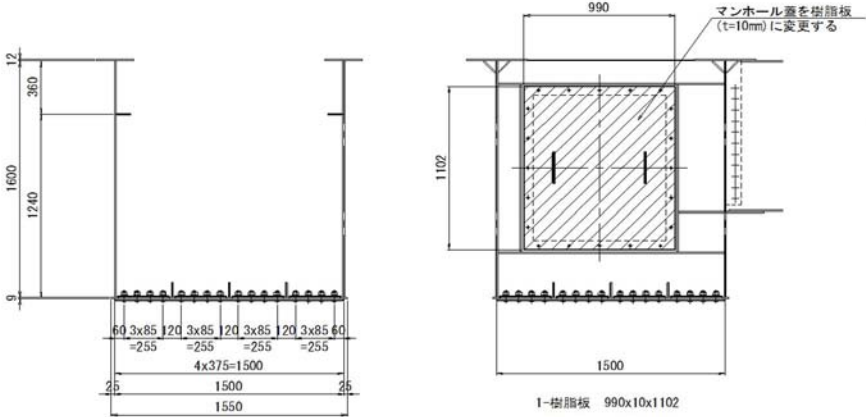
資料番号	a-5
損傷内容	鋼材の腐食、防食機能の劣化
部材	主桁、端横桁、支承
損傷原因	伸縮装置からの漏水、導水不良
損傷状況	桁端部からの漏水により、端支点部のガセット上に腐食が発生 主桁腹板に断面欠損が生じた  ガセット上で腹板の断面欠損
対策内容	原因の対策
補修方法	支点部付近をジャッキで仮受けを行う 撤去される部材に下フランジが含まれるため、下フランジの役割を果たす補強材を設置 切断により、面外に座屈する恐れがあるため、つなぎ材を用い隣接桁と固定 切断後の反力受けのため、ジャッキを設置後、部材を切断し、新規部材を取り付け 漏水対策として桁端部に水切りを設置 パラペット面に樋を設置し、橋座面の外側まで導水 橋座面にモルタルで1%の勾配を設ける  ポリウレタン製水切り材  樋を設置 図-1 桁端に水切りを設置 図-2 パラペット面に樋を設置
特記事項	1950年代に建設された橋梁であり、桁端部の漏水対策が不十分であった。 損傷原因である桁端部の漏水に対して、複数の対策を行い、今後への対策としている。

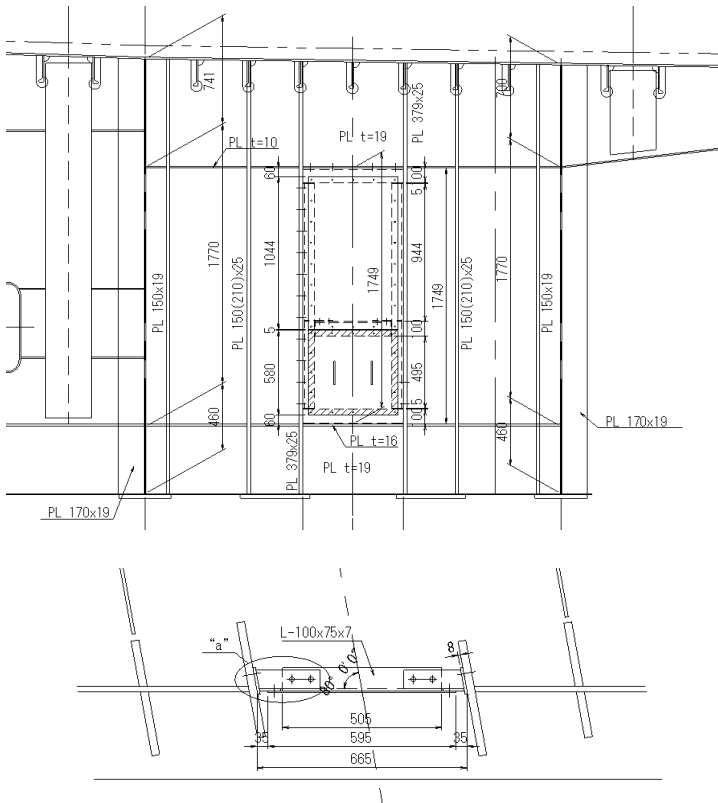
資料番号	a-5
損傷内容	鋼材の腐食、防食機能の劣化
部材	主桁、端横桁、支承
損傷原因	伸縮装置からの漏水、導水不良
損傷状況	桁端部の支承の腐食 床版水抜きパイプの端部処理に短観が使用されており、かつ橋座面（支承付近）に導水されていたため、支承に腐食が発生した。 
対策内容	原因の対策
補修方法	フレキシブルチューブを設置し、橋台前面に導水を行う。
特記事項	

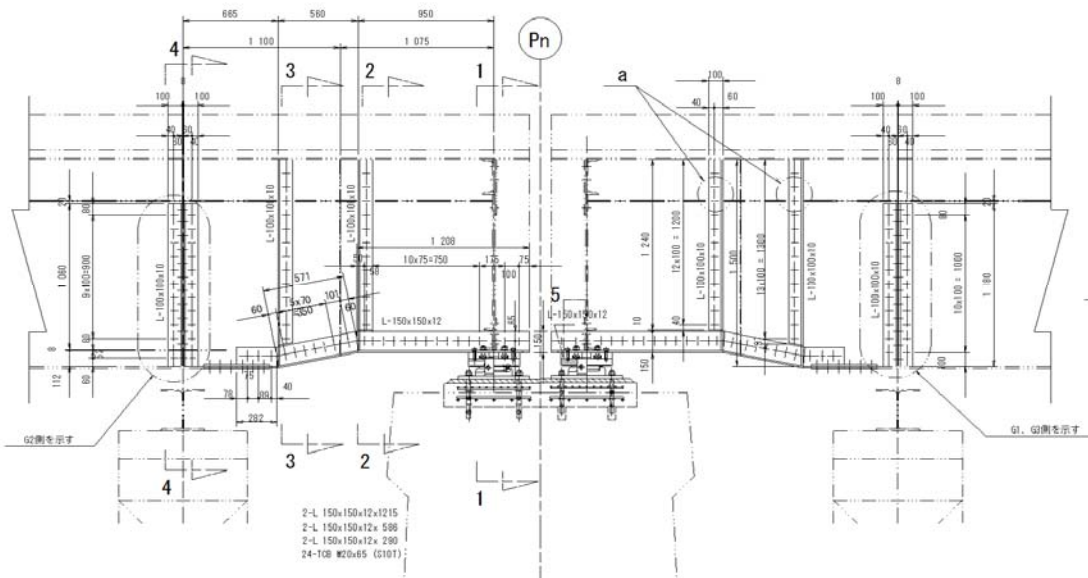
資料番号	a-6
損傷内容	鋼材の腐食、防食機能の劣化
部材	主桁、端横桁、支承
損傷原因	伸縮装置からの漏水、導水不良
損傷状況	橋座面に排水勾配がないため、伸縮装置からの漏水によって橋台上が湿潤状態になり、桁を腐食させている事例 
対策内容	原因の対策
補修方法	橋座面に排水勾配を設ける。  モルタル等で排水勾配を設ける
特記事項	

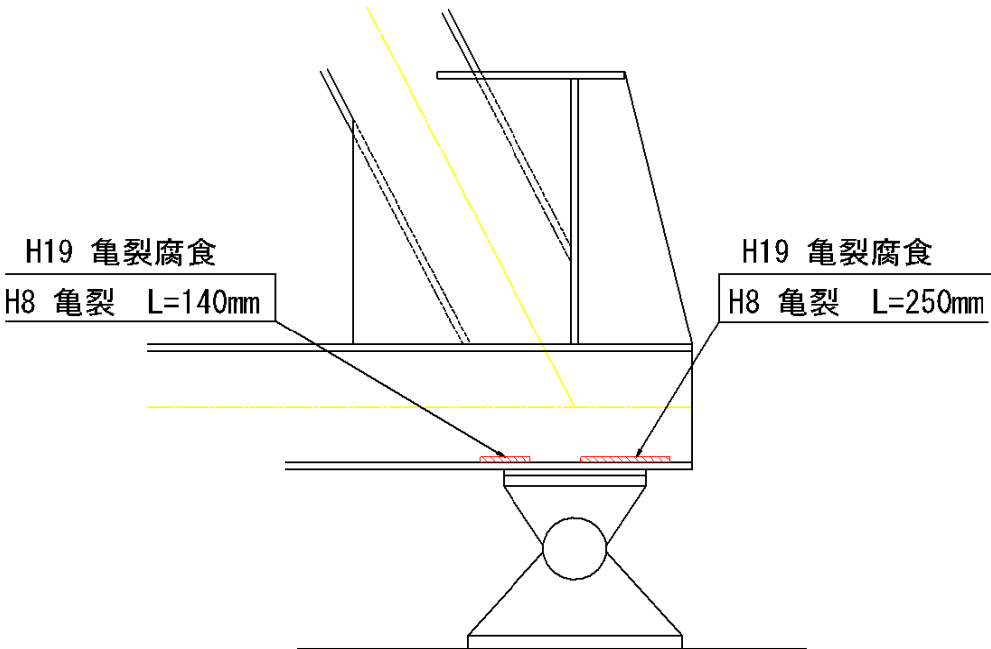
資料番号	a-6
損傷内容	鋼材の腐食、防食機能の劣化
部材	主桁、端横桁、支承
損傷原因	伸縮装置からの漏水、導水不良
損傷状況	橋座面の滞水・土砂溜まりが見られる。  写真の事例：新設橋梁の設計・施工の留意事項(中国地整))より引用
対策内容	原因の対策
補修方法	[東海環状自動車道設計要領p.2-59] 【耐候性鋼材裸使用橋梁に適用】 a) 水の導水として、排水溝を橋座面(前面側)に設置する。 b) 排水溝の最も低い位置にVカットを設け、水が橋座面に溜まらない処置を施す。Vカットを設ける。 c) 台座打継部の防水、パラペット側のごみの除去に対する検討が必要である。橋座面に排水溝を設ける。 [設計要領第二集p.7-89] d) 排水溝の位置は、橋座背面側に計画する。
特記事項	

資料番号	a-7
損傷内容	鋼材の腐食、防食機能の劣化
部材	箱桁（内部）
損傷原因	滞水・鳥糞の堆積
損傷状況	 箱桁内部（桁端部）の滞水 箱桁内部に滞水があり、腐食が広がっている。
対策内容	原因の対策
補修方法	水抜き孔設置 平面図（下フランジ）  A - A 断面図  - 下フランジに水抜き孔を設置し、滞水を防止する。 - フランジ下面には水切りのパイプを設置し、桁端部への進水を防止する。
特記事項	原因の根本対策としては、箱内への浸水

資料番号	a-8
損傷内容	鋼材の腐食、防食機能の劣化
部材	箱桁（内部）
損傷原因	滞水・鳥糞の堆積
損傷状況	 ・鳥糞により防食機能が劣化し、腐食が発生している。
対策内容	損傷の対策（原因の対策）
補修方法	・ケレン、塗替え塗装  ・箱断面（腐食部位）の補強、マンホールの設置 
特記事項	

資料番号	a-9
損傷内容	鋼材の腐食、防食機能の劣化
部材	箱桁（内部）
損傷原因	端部開口部からの吹き込み
損傷状況	 箱桁内部の腐食 ・ 桁端開口部に蓋がないため、箱桁内部に土砂および雨水等の流入が生じている。 ・ 吹き込みによる土砂堆積、滞水により、桁内に腐食が発生している。
対策内容	原因の対策
補修方法	開口部の閉塞工 
特記事項	

資料番号	b-1
損傷内容	亀裂、変形・欠損、破断
部材	主桁（ソールプレート） 支承、収縮装置
損傷原因	支承の機能低下 疲労（輪荷重の繰り返し载荷）
損傷状況	 ・ 支承の機能低下により、回転が拘束され、亀裂が発生している。
対策内容	原因の対策（損傷の対策）
補修方法	・ 支承の取り換え（主桁の補修）  2-L 150x150x12x1215 2-L 150x150x12x 598 2-L 150x150x12x 290 24-T08 M20x65 (G10T)
特記事項	

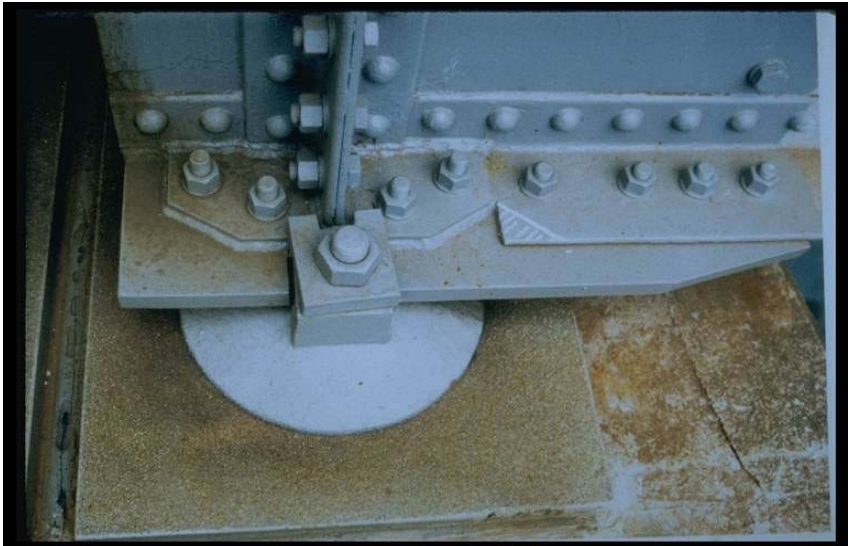
資料番号	b-2
損傷内容	亀裂、変形・欠損、破断
部材	主桁（ソールプレート）
損傷原因	支承の機能低下
損傷状況	
対策内容	原因の対策（当て板）
補修方法	L型の鋼材をウェブに当て、桁下面は長方形の鋼材を当てボルト接合している。 
特記事項	進展性がある疲労亀裂と考えられたため、当て板を行っている。

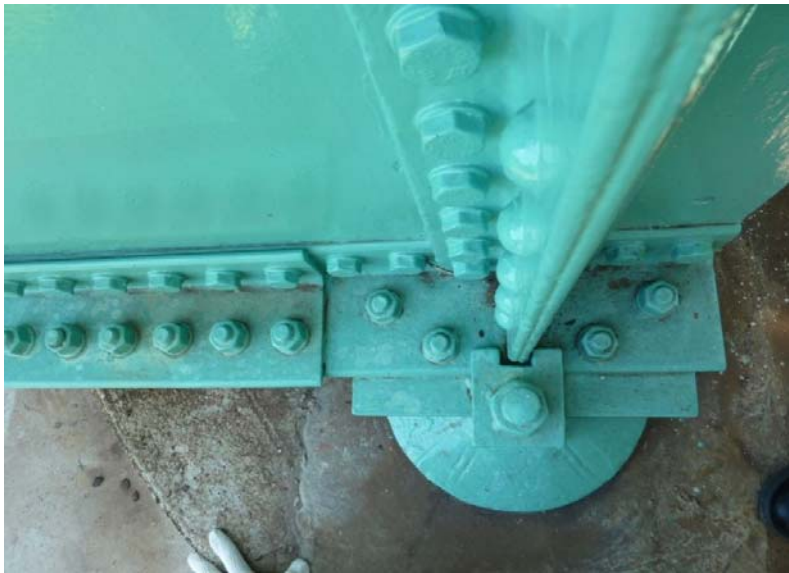
資料番号	b-2
損傷内容	亀裂、変形・欠損、破断
部材	主桁（ソールプレート）
損傷原因	支承の機能低下
損傷状況	ソールプレート，補剛材下端摩耗による下フランジへの曲げ応力の作用により損傷 
対策内容	原因の対策
補修方法	簡易対策：支点部当て板(厚板)（き裂は残存） 
特記事項	・ 沓座補修(沓座打替え，支承の傾斜補正)を併せて実施すること。

資料番号	b-2
損傷内容	亀裂、変形・欠損、破断
部材	主桁（ソールプレート）
損傷原因	支承の機能低下
損傷状況	ソールプレート，補剛材下端摩耗による下フランジへの曲げ応力の作用により損傷 下フランジ落込み
対策内容	原因の対策
補修方法	予防対策：端補剛材下端への当て板 完全密着
特記事項	・主桁下フランジとは完全密着させること。

資料番号	b-3
損傷内容	亀裂、変形・欠損、破断
部材	主桁（ソールプレート）
損傷原因	支承の機能低下
損傷状況	ソールプレート取付リベットの弛み 
対策内容	原因の対策
補修方法	HTB取付によるソールプレート交換 
特記事項	・溶接による取付は、溶接不良等による新たな欠陥を発生させる可能性があるため、避けること。

資料番号	b-3
損傷内容	亀裂、変形・欠損、破断
部材	主桁（ソールプレート）
損傷原因	支承の機能低下
損傷状況	ソールプレート，補剛材下端摩耗による下フランジへの曲げ応力の作用により損傷 
対策内容	原因の対策
補修方法	桁端部の改良(切欠き構造：ダブルフランジ化) 
特記事項	・ 沓座補修(沓座打替え，支承の傾斜補正)を併せて実施すること。

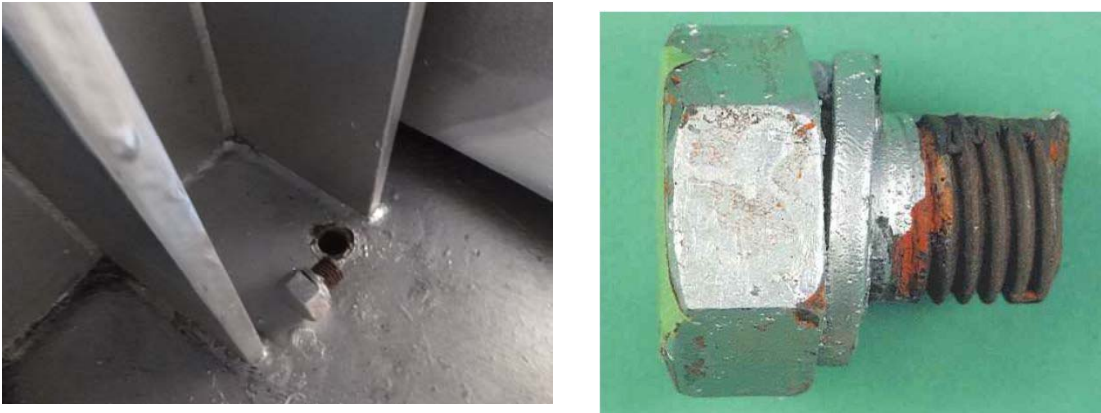
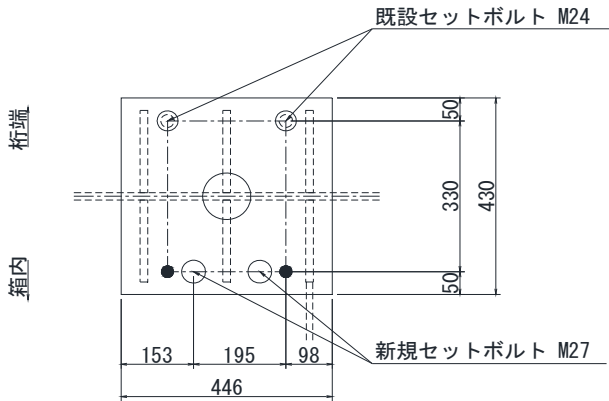
資料番号	b-3
損傷内容	亀裂、変形・欠損、破断
部材	主桁（ソールプレート）
損傷原因	支承の機能低下
損傷状況	ソールプレート，補剛材下端摩耗による下フランジへの曲げ応力の作用により損傷 
対策内容	原因の対策
補修方法	恒久対策：桁端部の改良 
特記事項	・ 沓座補修(沓座打替え，支承の傾斜補正)を併せて実施すること。

資料番号	b-3
損傷内容	亀裂、変形・欠損、破断
部材	主桁（ソールプレート）
損傷原因	支承の機能低下
損傷状況	ソールプレート，補剛材下端摩耗による下フランジへの曲げ応力の作用により損傷 
対策内容	原因の対策
補修方法	恒久対策：下フランジ交換 
特記事項	・ 沓座補修(沓座打替え，支承の傾斜補正)を併せて実施すること。

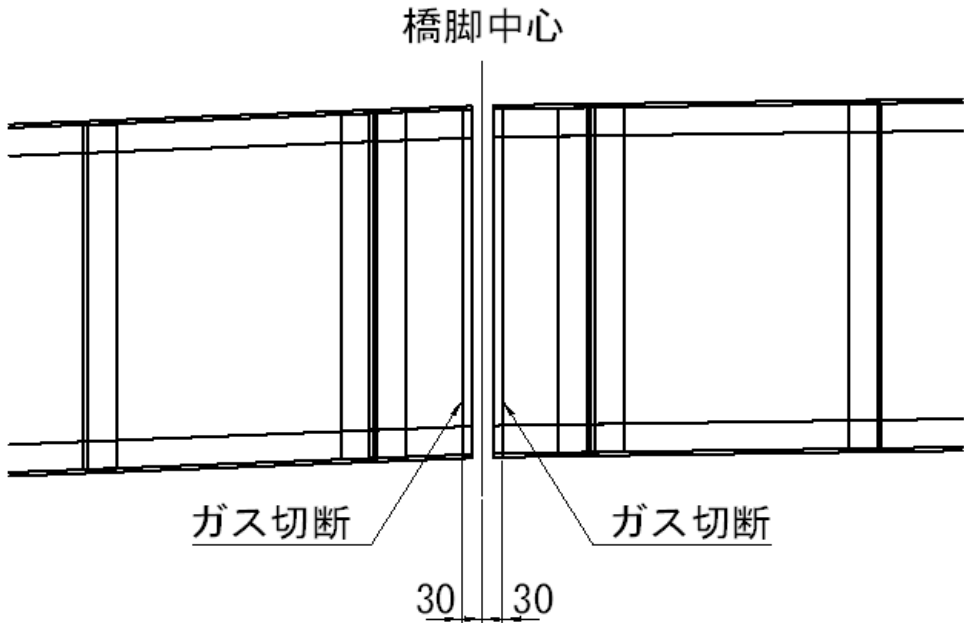
資料番号	b-4
損傷内容	亀裂、変形・欠損、破断
部材	沓座モルタル、台座
損傷原因	支承の腐食
損傷状況	沓座モルタルの欠損 ・ 支承部が腐食し、沓座モルタルに欠損が生じている。
対策内容	損傷の対策
補修方法	沓座モルタルの打ち替え
特記事項	支承部腐食の原因となっている伸縮装置の止水対策を実施する必要がある。

資料番号	b-4
損傷内容	亀裂、変形・欠損、破断
部材	沓座モルタル・台座
損傷原因	支承の腐食
損傷状況	・ 支承の腐食に伴うモルタル欠損が生じている。
対策内容	損傷の対策
補修方法	・ モルタル打ち替え
特記事項	

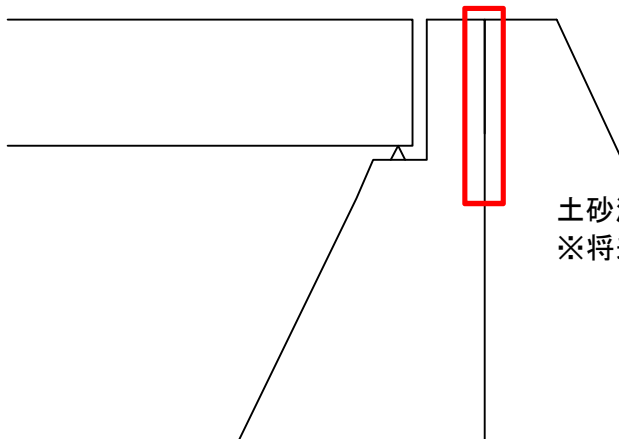
資料番号	b-4
損傷内容	亀裂、変形・欠損、破断
部材	沓座モルタル・台座
損傷原因	支承の腐食
損傷状況	
対策内容	損傷の対策
補修方法	・モルタル打ち替え  
特記事項	・橋りょう全体の平面性を保ちつつ実施すること。

資料番号	b-5
損傷内容	亀裂、変形・欠損、破断
部材	支承、収縮装置
損傷原因	疲労（輪荷重の繰り返し载荷）
損傷状況	 ・単純箱桁において固定沓側のセットボルトが破断した。 ・破断箇所は上沓とソールプレートの境界部であった。 ・支承本体には若干の腐食がみられるものの、目立った損傷はない。 ・破断面の照査により、活荷重による疲労破壊と考えられる。 ・ねじ部に錆が進行しており、残存部の撤去が不可能。
対策内容	損傷の対策
補修方法	 ・新規に削孔を行い、セットボルトを追加。 ・残ったセットボルトについても超音波探傷を行い、損傷ボルトはすべて取り換え
特記事項	・セットボルトは抜け落ちることがないため、破断後も長期間放置されていた。 ・脱落の確認だけでなく、すべての箇所のボルトのゆるみを確認しておくことが重要である。

資料番号	c-1
損傷内容	遊間異常
部材	主桁
損傷原因	桁の伸縮
損傷状況	 ・単純桁のかけ違い部において、夏季の温度により桁の伸びにより、遊間が無い状況である。 ・夏場以外には遊間が回復する。
対策内容	損傷の対策
補修方法	・夏場以外に遊間が回復することから、橋台の倒れは収束しているものと判断できる。 ・桁端部の切断を行って遊間を確保する。 ・桁端部の切断に合わせ、伸縮装置も新規で取り換える。
特記事項	・橋台（固定側）の倒れにより、橋脚上（可動側）へ影響が広がっている。

資料番号	c-1
損傷内容	遊間異常
部材	主桁
損傷原因	橋台の移動・傾斜
損傷状況	橋台の側方移動により、中間橋脚架け違い部の遊間に異常が見られる。  写真の事例：名古屋市管理の既設橋梁
対策内容	原因の対策
補修方法	所定の遊間が確保可能なように桁端部を切断する。 
特記事項	

資料番号	c-2
損傷内容	遊間異常
部材	主桁、支承
損傷原因	橋台の移動・傾斜
損傷状況	桁端部と下部工の接触 ・桁端が橋台パラペットと接触している。 ・支承の移動可能量の限界に達している。 ・逆側の支承部（固定支承）には、特に異状はみられない。
対策内容	原因の対策
補修方法	橋台が傾斜している場合、抜本的には橋台背面の土圧を軽減する必要がある 事業規模に応じて経過観察の後、架替えを選択する場合もある
特記事項	・橋台の移動や傾斜が原因の場合、桁の切断をすることで橋台の移動が進行する可能性があるため、遊間異常の原因を調査する必要がある。 ・原因が不明瞭な場合は、主桁や支承に有害な変状が出ていないか確認したうえで、経過を観察して管理する方法も考えられる。

資料番号	c-2
損傷内容	遊間異常
部材	橋台
損傷原因	不明
損傷状況	
対策内容	未補修
補修方法	重力式橋台であるため、無筋コンクリート部があると考えられる。パラペットとウイング間には鉄筋が入っておらず、両者は完全に分離しているが、重力式であるため、現在は安定している。 直接の原因は不明であるが、地震等の影響により橋台が前面に傾斜して隙間が生じた可能性がある。 放置すれば隙間からの土砂の流出により安定性が失われる可能性がある。 応急的に隙間をコンクリートで充填し土砂の流出防止を図り、タイミングを見計らって架替えすることが望ましい。  土砂流出防止のためのコンクリート充填 ※将来的には架替え等の抜本的な対策要
特記事項	橋台の傾斜によりパラペットとウイングの境界に大きな隙間が生じている。 地震等の影響で橋台前面が傾斜した影響と考えられる。

資料番号	c-3
損傷内容	遊間異常
部材	主桁
損傷原因	橋台の移動・傾斜
損傷状況	 遊間異常（主桁） ・主桁とパラペットの遊間が確保されていない。
対策内容	損傷の対策（アンカーの設置）
補修方法	 ・橋台前面にアンカーを取付け、橋台の移動・傾斜を防止する。
特記事項	・損傷状況と補修方法の写真は同一橋梁ではない。

資料番号	c-4
損傷内容	支点部(ローラーシューの逸脱, 可動不良)
部材	シュー(ローラーシュー)
損傷原因	腐食・塵埃の堆積, シュー座破損
損傷状況	
対策内容	BPシューへの交換
補修方法	
特記事項	

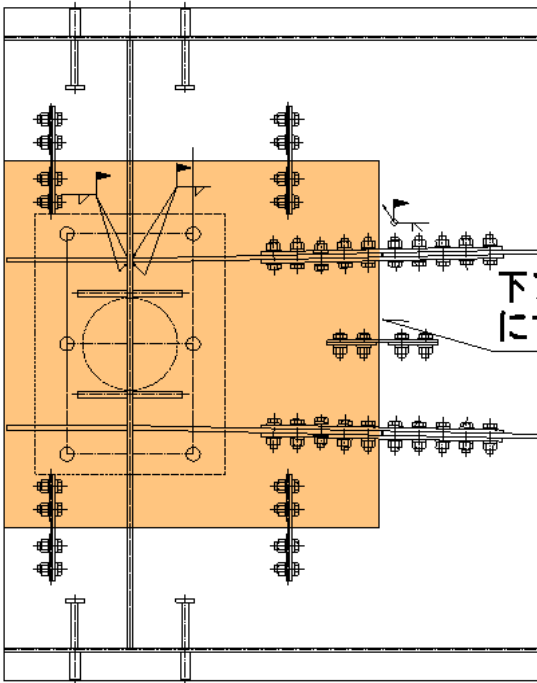
資料番号	c-5
損傷内容	遊間異常
部材	支承
損傷原因	桁の伸縮
損傷状況	遊間異常 ・可動支承の遊間が確保されていない。
対策内容	損傷の対策
補修方法	・支承ストッパーの取り換え（または切断） ストッパー切断による遊間確保
特記事項	

資料番号	d-1
損傷内容	路面の段差・凹凸
部材	舗装
損傷原因	R C床版の土砂化
損傷状況	土砂化による舗装のくぼみ ・舗装にひび割れが発生し、くぼみが生じている。 ・床版上面が土砂化している。
対策内容	原因の対策
補修方法	ジョイント後打ちコンクリートのとの境界からの浸水による劣化と考えられるため、床版防水工を設置する。
特記事項	

資料番号	d-2
損傷内容	路面の段差・凹凸
部材	舗装
損傷原因	R C床版の土砂化
損傷状況	 ・床版上面に土砂化が発生し、鉄筋が露出している。 ・鉄筋の損傷は見られない
対策内容	損傷の対策（原因の対策）
補修方法	・床版上面の打ち直し（防水層の設置）
特記事項	

資料番号	d-3
損傷内容	路面の段差・凹凸
部材	伸縮装置
損傷原因	支点沈下（支承部の損傷）
損傷状況	伸縮装置の段差 支承部の沈下 ・フィンガージョイントに段差が生じている。 ・支承部に沈下があり、アンカーボルトの抜け出しがみられる。
対策内容	原因の対策
補修方法	・伸縮装置の補修（段差の解消）及び沓座の補修 打替え （無収縮モルタル）
特記事項	

資料番号	d-4
損傷内容	路面の段差、凹凸
部材	伸縮装置
損傷原因	支点沈下（支承部の損傷）
損傷状況	・モルタル欠損により支承が沈下し、路面（伸縮装置）に凹凸が生じている。
対策内容	損傷の対策
補修方法	・沓座の補修
特記事項	

資料番号	e-1
損傷内容	地震動による損傷
部材	上部工
損傷原因	耐力不足
損傷状況	 地震により箱桁の支点上補剛材・下フランジが座屈し、支点付近の縦リブが破断した
対策内容	損傷の対策
補修方法	 下フランジ切除後、現場溶接にて新規部材を取り付け 損傷部分を切除し、新規部材を現場溶接および高力ボルト接合にて取り付け
特記事項	

資料番号	e-1
損傷内容	地震動による損傷
部材	上部工
損傷原因	耐力不足
損傷状況	 地震動により下部工側に設置された既設の変位制限構造と箱桁が衝突し、箱内のリブが変形したと推測
対策内容	損傷の対策
補修方法	リブの部分的取替え、整形等が考えられる。合わせて、既設の変位制限構造と上部工に設置された突起との間に緩衝材の設置等を行う。
特記事項	写真は固定支承の直上であり、既設の変位制限装置と桁が衝突した際に変形したと考えられる。

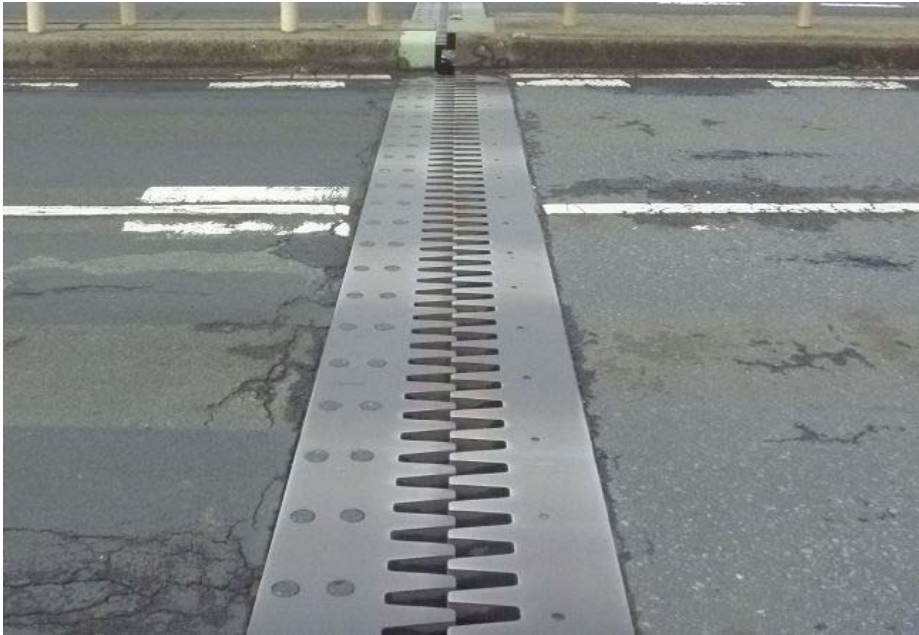
資料番号	e-1
損傷内容	地震動による損傷
部材	上部工
損傷原因	耐力不足
損傷状況	地震により上部工が損傷 箱桁下フランジの破断が生じた せん断型ピン支承は剛性が高いため、上部工が損傷した 破断面
対策内容	損傷の対策
補修方法	既設支点前面に補剛材（仮設支点）を設置 仮設支点をジャッキアップし仮受けを行う 破断した下フランジを含め、損傷部分を撤去 工場で製作及び加工された下フランジを高力ボルトで接合
特記事項	東日本大震災での被災事例である

資料番号	e-1
損傷内容	地震動による損傷
部材	上部工
損傷原因	耐力不足
損傷状況	地震により上部工が損傷 鈑桁下フランジ及びウェブの座屈が生じた せん断型ピン支承は剛性が高いため、上部工が損傷した
対策内容	損傷の対策
補修方法	既設支点前面に補剛材（仮設支点）を設置 仮設支点をジャッキアップし仮受けを行う 破断した下フランジ及びウェブを含め、損傷部分を撤去 工場で製作及び加工された下フランジ及びウェブを高力ボルトで接合
特記事項	東日本大震災での被災事例である

資料番号	e-2
損傷内容	地震動による損傷
部材	支承
損傷原因	耐力不足
損傷状況	
対策内容	損傷の対策（支承交換）
補修方法	 ・ 支承を所定の位置へセットする際に鋼製ライナーを使用する場合は、支承固定後必ず撤去すること。（沓座モルタルと同質の材料による場合は、埋殺しでも可） ・ 沓座打替え材料は、あらかじめ作業条件下における強度発現時間を確認しておくのがよい。
特記事項	・ 連続桁で各支点毎に沓座補修を行ったために各支点高さがまちまちになり、桁の平面性が狂うことで桁本体に悪影響を及ぼすことがあることから、連続する橋梁全長にわたって支点高さをを行うのが望ましい。 ・ 異なる支承形式への交換の際は、同一支承線上の支承全てを交換する。

資料番号	e-2
損傷内容	地震動による損傷
部材	支承
損傷原因	耐力不足
損傷状況	地震により支承が損傷 BP支承の移動制限装置の破断
対策内容	損傷の対策
補修方法	既設支点前面に補剛材（仮設支点）を設置 仮設支点をジャッキアップし仮受けを行う 損傷した既設支承の撤去 レベル2地震動で設計された支承を再設置
特記事項	東日本大震災での被災事例である

資料番号	e-2
損傷内容	地震動による損傷
部材	支承
損傷原因	耐力不足
損傷状況	地震により支承が損傷 ピボットローラー支承のサイドブロック破断及びローラーの逸脱 
対策内容	損傷の対策
補修方法	既設支点前面に補剛材（仮設支点）を設置 仮設支点をジャッキアップし仮受けを行う 損傷した既設支承の撤去 レベル2地震動で設計された支承を再設置
特記事項	東日本大震災での被災事例である

資料番号	e-3
損傷内容	地震動による損傷
部材	伸縮装置
損傷原因	遊間不足
損傷状況	 地震により伸縮装置の遊間量が過大となった
対策内容	損傷の対策
補修方法	 伸縮装置の取替え
特記事項	

資料番号	e-3
損傷内容	地震動による損傷
部材	伸縮装置
損傷原因	遊間不足
損傷状況	地震により伸縮装置が損傷 鋼製フィンガージョイントのフェイスプレートの破断 
対策内容	損傷の対策
補修方法	損傷した既設伸縮装置の撤去 伸縮装置の再設置 ※支承の損傷により伸縮装置が破損したため、レベル2地震動で設計された支承を再設置
特記事項	東日本大震災での被災事例である

資料番号	e-3
損傷内容	地震動による損傷
部材	伸縮装置
損傷原因	遊間不足
損傷状況	地震による伸縮装置の遊間異常 上部工の地震時変位により、伸縮装置の遊間異常が発生した 
対策内容	損傷の対策
補修方法	上部工を水平ジャッキで正規の位置へ移動 ※支承の損傷により上部工が移動したため、レベル2地震動で設計された支承を再設置
特記事項	東日本大震災での被災事例である

資料2 桁端部の補修に関する新工法

補修に関する新工法，新技術として NETIS に登録されている技術を中心に表のとおり取りまとめた。

1. 支承に関する新工法，新技術

主に腐食対策として，高い防食性能を確保する工法が確立されている。

1) 支承の若返り工法

既設の鋼製支承に金属溶射をすることにより長期間防食し，同時に潤滑性防錆剤を注入し支承のすべり機能回復を行う。

2) グリースオイル防錆工法（西日本高速道路株式会社）

橋梁の支承部を金属製の部材で囲み，出来た空間に防錆グリースを充填し，発錆を長期的かつ確実に防止する。

3) 支承の防食工法(透ける沓)

鋼製支承を透明な特殊樹脂で封入し腐食因子を遮断する長期防食工法

2. 伸縮装置に関する新工法，新技術

伸縮からの漏水を防ぐため，非排水構造が原則となるが，桁下からの作業により，交通規制を行わずに作業ができる工法が確立されている。また，舗装を連続させる埋設型ジョイントにより漏水を防ぐ工法も実施されている。

1) 既設の伸縮装置(鋼製フィンガー)を非排水化する工法

KM ウォーターガード (NETIS:KK-080034-A) , バリアレックス (ニッタ株式会社), プレスアドラー (NETIS : KK-020026-V)

既設鋼製フィンガージョイントを非排水化する工法。桁下からの作業となるため，交通規制が不要となる。

2) 伸縮装置からの漏水を防ぐ埋設型ジョイント

フラット工法 (NETIS : KT-120072-A), MM ジョイント (NETIS : QS-090019-A), シームレスジョイント (NETIS : HR-030013-A)

伸縮性のある舗装材料の使用等により，舗装面に伸縮装置が出てこないため，漏水の恐れのない構造とする。

3. 塗装に関する新技術

塗替え時に防食性の高い材料を使用して、防食性能を控除させる工法、既設塗膜の除去をより徹底させる工法がある。

1) 防錆性能の高い材料を使用する工法

- ・チタン箔による橋梁塗膜の補強工法 (NETIS: KT-090063-A)

新規塗装、塗替え塗装において、下塗りの替りにチタン箔を用いて腐食因子を完全に遮断し、防食性能を向上させる

2) 塗り替え時に既設塗膜を確実に除去することにより、塗替え塗装の健全性を確保する工法

- ・ブリストルブラスターによるケレン (NETIS: CG-110021-A)

1 種ケレンに相当するケレンが可能なハンディ工具。現場での作業性が向上する。

- ・電磁誘導加熱による鋼構造の塗膜剥離工法

塗膜の上から電磁誘導により、塗膜のみを除去する工法。騒音や粉じんの発生が少ない。

- ・IMI 仕様塗膜軟化剤 (NETIS: KK-990021-V)

IMI 仕様塗膜軟化剤により、既存塗膜を素地調整 2 相当で剥離・除去する工法。騒音や粉塵の発生が少ない。

4. 疲労対策(ピーニング)

溶接止端部に連続的に打撃することにより、圧縮残留応力を導入させると同時に、溶接止端部の曲率を大きくし、応力集中を低減させる。

- ・超音波ピーニング処理 (UIT) 工法
- ・鋼構造物における溶接部ピーニング (UNP) 強化工法

5. 桁端部の構造改善

橋梁形式、床版構造の変更により、弱点となる桁端部をなくす。

1) 橋台ジョイントレス構造

インテグラルアバットに代表されるコンクリート橋台と鋼桁の剛結構造

鋼桁の端部を橋台に埋め込むことにより、支承、伸縮装置といった維持管理上のネックとなる部材が不要となる。

2) 延長床版

橋梁の床版を橋台背面の土工部まで延長させることで、通行車両からの衝撃を緩和することができる工法であるが、同時に伸縮装置から支承部への漏水が防げる。

補修方法に関する新工法、新技術について

区分	工法名	工法概要	出典 (NETIS登録番号)	開発会社	損傷分類
支 承	支承の若返り工法	金属溶射を使って支承の防錆力を向上させ、同時に潤滑性防錆剤を注入する工法。	NETIS AC-120003-A HR-100013-A	日本支承協会	a-2 a-3
	グリースオイル防錆工法	支承を金属製の部材で囲み、できた空間に防錆グリースを充填し、発錆を防止する。	特許 第4825059号	NEXCO西日本他	a-2
	支承防食工法(透ける省)	鋼製支承を特殊樹脂で封入し、腐食因子を遮断する工法	NETIS TH-120011-A	橋端改良技術協会	a-2
	KMウォーターガード(鋼製フィンガージョイント止水工法)		NETIS KK-080034-A	株式会社橋梁メンテナンス	a-1 d-3
装 置 伸 縮	バリアレックス(乾式止水材)	既設の伸縮装置(鋼製フィンガー)を非排水化する工法。桁下からの作業のみとなるため、交通規制が不要となる。	NETIS KK-050116	ニッタ株式会社	a-1 d-3
	プレスアドラー(乾式止水材)		NETIS KK-020026-V	中井商工株式会社	a-1 d-3
	フラット工法		NETIS KT-120072-A	ショーボンド建設株式会社	a-1 d-3
	MMジョイント	伸縮装置からの漏水を防ぐ埋設型ジョイント。 伸縮性のある舗装材料の使用等により、舗装面に伸縮装置が出てこないため、漏水の恐れのない構造となる。	NETIS GS-090019-A	西日本高速道路メンテナンス九州株式会社	a-1 d-3
	シームレスジョイント		NETIS HR-030013-A	ヒートロック工業株式会社	a-1 d-3
	チタン箔による橋梁塗膜の補強工法	新規塗装、塗替え塗装において、下塗りの替わりにチタン箔を用いて腐食因子を完全に遮断し、防食性能を向上させる。	NETIS KT-090063-A	日鉄住金防蝕株式会社	a-2
塗 装	プリストルプラスター	1種ケレンに相当するケレンが可能ハンディ工具を使用することにより、現場で作業性を向上させる。	NETIS CG-110021-A	ゴトー電機株式会社	a-2
	電磁誘導加熱による鋼構造物の塗膜剥離工法	塗膜上から電磁誘導 (H)により鋼材表面を加熱し、鋼材表面の塗膜の剥離を促進させる工法	NETIS CB-130001-A	一般社団法人日本建設機械施工協会 等	a-2
	塗膜剥離剤による剥離工法	IMI仕様塗膜軟化剤により、既存塗膜を素地調整2種相当で剥離・除去する工法。	NETIS KK-990021-V	株式会社今井美装店 等	a-2
	超音波ピーニング処理 (UIT) 工法	対象箇所(溶接止端部近傍)を連続的かつ高速に打撃し、止端部の曲率増大と圧縮残留応力により、疲労亀裂の発生を抑制する。	NETIS KTK-070004-A	新日鐵住金株式会社	b-5
構 造	鋼構造物における溶接部ピーニング(UNP)強化工法		NETIS CB-100062-A	東洋精鋼株式会社	b-5
	橋台部ジョイントレス構造	鋼桁の端部を橋台に埋め込むことにより、支承、伸縮装置といった維持管理上のネックとなる部材をなくす。(インテグラルアバット橋等)	-	土木研究所 等	全般
	延長床版	橋梁の床版を橋台背面の土工部まで延長させることで、通行車面からの衝撃を緩和することができる工法であり、同時に伸縮装置から支承部への漏水が防げる。	NETIS KT-090058-A	NEXCO総研 等	全般

資料 3 桁端部の腐食に関する文献

- ①桁端部の腐食が耐荷力に及ぼす影響に関する一考察
- ②長期自然曝露された腐食鋼 I 桁橋の残存耐荷力特性

桁端部の腐食が耐荷力に及ぼす影響に関する一考察

国土技術政策総合研究所 正会員○石尾真理

国土技術政策総合研究所 正会員 玉越隆史

国土技術政策総合研究所 正会員 武田達也

国土技術政策総合研究所 正会員 中洲啓太

1. はじめに

平成16年新潟県中越地方の地震において、桁端部の腐食箇所からの亀裂が発見された(写真-1)。鋼桁橋の端部は、風通しが悪く、湿気がこもりやすい上、伸縮装置からの漏水が滞水したり、端部に溜まった土砂が湿気を含むことで、鋼材が腐食しやすい環境といえる。

一方、桁端部の局所的な腐食は、日常点検で発見しにくい上、腐食による桁端部の断面欠損がどの程度の危険性及び緊急性を持っているのか、明らかになっていない。

これらのことから、本研究では、鋼桁橋の桁端部周辺に生じた腐食が、橋梁の耐荷力に及ぼす影響について、明らかにするための基礎的な研究を行ったので報告する。

2. 解析(その1)

(1) 腐食パターンの分析

直轄の実橋点検データから、桁端部が腐食している64ケースを抽出し、腐食データのうち60%以上を占める代表的な腐食パターンに分類した。分析結果を表-1に示す。これらの腐食パターンを板厚減少率を3段階(25, 50, 75%)に設定して解析を実施した。

(2) 解析モデルと評価方法

腐食のない健全な状態(以下、「健全モデル」という)と、(1)で分析した腐食モデルに、表-2に示す載荷条件で解析した結果について、座屈位置と座屈固有値の低下率とで評価する。

なお、桁端部に腐食が見られる橋梁では、ソールプレートと支承の間においても腐食が見られ、ほとんどの場合において可



写真-1 腐食箇所が破断した例
表-1 腐食パターンの分析

分析結果 腐食パターン		腐食パターン /腐食データ(%)
1		25.0
2		10.9
3		26.6
その他		37.5

表-2 解析(その1) ケース

腐食進行度 腐食パターン	25%(小)	50%(中)	75%(大)
1	1-25	1-50	1-75
2	2-25	2-50	2-75
3	3-25	3-50	3-75

表-3 解析結果(その1)

	Vs(鉛直荷重・支点上)	V(鉛直方向)	A(橋軸直角方向)	L(橋軸方向)
載荷方法	 載荷面積 0.4m×0.2m =0.08m ² 分布荷重強度 100kN/0.08m ² =1.25N/mm ²	 分布荷重強度 1kN/1m ² =1kN/mm ²	 分布荷重強度 1kN/1m ² =1kN/mm ²	 分布荷重強度 1kN/1m ² =1kN/mm ²
座屈位置	 板厚減少率 25% 局部座屈 (S&W) 50% " 75% 局部座屈 (F)	 板厚減少率 25% 横倒れ座屈 50% " 75% 局部座屈 (F)	 板厚減少率 25% 局部座屈 (横横) 50% " 75% 局部座屈 (F)	 板厚減少率 25% 局部座屈 (F) 50% " 75% "
解析結果 (座屈固有値減少率)	 ①桁端部座屈 ②中央部座屈 ③中央部座屈 ④中央部座屈 ⑤中央部座屈 ⑥中央部座屈 ⑦中央部座屈 ⑧中央部座屈 ⑨中央部座屈 ⑩中央部座屈 ⑪中央部座屈 ⑫中央部座屈 ⑬中央部座屈 ⑭中央部座屈 ⑮中央部座屈 ⑯中央部座屈 ⑰中央部座屈 ⑱中央部座屈 ⑲中央部座屈 ⑳中央部座屈 ㉑中央部座屈 ㉒中央部座屈 ㉓中央部座屈 ㉔中央部座屈 ㉕中央部座屈 ㉖中央部座屈 ㉗中央部座屈 ㉘中央部座屈 ㉙中央部座屈 ㉚中央部座屈 ㉛中央部座屈 ㉜中央部座屈 ㉝中央部座屈 ㉞中央部座屈 ㉟中央部座屈 ㊱中央部座屈 ㊲中央部座屈 ㊳中央部座屈 ㊴中央部座屈 ㊵中央部座屈 ㊶中央部座屈 ㊷中央部座屈 ㊸中央部座屈 ㊹中央部座屈 ㊺中央部座屈 ㊻中央部座屈 ㊼中央部座屈 ㊽中央部座屈 ㊾中央部座屈 ㊿中央部座屈	 ①桁端部座屈 ②中央部座屈 ③中央部座屈 ④中央部座屈 ⑤中央部座屈 ⑥中央部座屈 ⑦中央部座屈 ⑧中央部座屈 ⑨中央部座屈 ⑩中央部座屈 ⑪中央部座屈 ⑫中央部座屈 ⑬中央部座屈 ⑭中央部座屈 ⑮中央部座屈 ⑯中央部座屈 ⑰中央部座屈 ⑱中央部座屈 ⑲中央部座屈 ⑳中央部座屈 ㉑中央部座屈 ㉒中央部座屈 ㉓中央部座屈 ㉔中央部座屈 ㉕中央部座屈 ㉖中央部座屈 ㉗中央部座屈 ㉘中央部座屈 ㉙中央部座屈 ㉚中央部座屈 ㉛中央部座屈 ㉜中央部座屈 ㉝中央部座屈 ㉞中央部座屈 ㉟中央部座屈 ㊱中央部座屈 ㊲中央部座屈 ㊳中央部座屈 ㊴中央部座屈 ㊵中央部座屈 ㊶中央部座屈 ㊷中央部座屈 ㊸中央部座屈 ㊹中央部座屈 ㊺中央部座屈 ㊻中央部座屈 ㊼中央部座屈 ㊽中央部座屈 ㊾中央部座屈 ㊿中央部座屈	 ①桁端部座屈 ②中央部座屈 ③中央部座屈 ④中央部座屈 ⑤中央部座屈 ⑥中央部座屈 ⑦中央部座屈 ⑧中央部座屈 ⑨中央部座屈 ⑩中央部座屈 ⑪中央部座屈 ⑫中央部座屈 ⑬中央部座屈 ⑭中央部座屈 ⑮中央部座屈 ⑯中央部座屈 ⑰中央部座屈 ⑱中央部座屈 ⑲中央部座屈 ⑳中央部座屈 ㉑中央部座屈 ㉒中央部座屈 ㉓中央部座屈 ㉔中央部座屈 ㉕中央部座屈 ㉖中央部座屈 ㉗中央部座屈 ㉘中央部座屈 ㉙中央部座屈 ㉚中央部座屈 ㉛中央部座屈 ㉜中央部座屈 ㉝中央部座屈 ㉞中央部座屈 ㉟中央部座屈 ㊱中央部座屈 ㊲中央部座屈 ㊳中央部座屈 ㊴中央部座屈 ㊵中央部座屈 ㊶中央部座屈 ㊷中央部座屈 ㊸中央部座屈 ㊹中央部座屈 ㊺中央部座屈 ㊻中央部座屈 ㊼中央部座屈 ㊽中央部座屈 ㊾中央部座屈 ㊿中央部座屈	 ①桁端部座屈 ②中央部座屈 ③中央部座屈 ④中央部座屈 ⑤中央部座屈 ⑥中央部座屈 ⑦中央部座屈 ⑧中央部座屈 ⑨中央部座屈 ⑩中央部座屈 ⑪中央部座屈 ⑫中央部座屈 ⑬中央部座屈 ⑭中央部座屈 ⑮中央部座屈 ⑯中央部座屈 ⑰中央部座屈 ⑱中央部座屈 ⑲中央部座屈 ⑳中央部座屈 ㉑中央部座屈 ㉒中央部座屈 ㉓中央部座屈 ㉔中央部座屈 ㉕中央部座屈 ㉖中央部座屈 ㉗中央部座屈 ㉘中央部座屈 ㉙中央部座屈 ㉚中央部座屈 ㉛中央部座屈 ㉜中央部座屈 ㉝中央部座屈 ㉞中央部座屈 ㉟中央部座屈 ㊱中央部座屈 ㊲中央部座屈 ㊳中央部座屈 ㊴中央部座屈 ㊵中央部座屈 ㊶中央部座屈 ㊷中央部座屈 ㊸中央部座屈 ㊹中央部座屈 ㊺中央部座屈 ㊻中央部座屈 ㊼中央部座屈 ㊽中央部座屈 ㊾中央部座屈 ㊿中央部座屈

キーワード：腐食、維持管理、解析、耐荷力

国土技術政策総合研究所 〒305-0804 茨城県つくば市旭1 TEL 029-864-4919 FAX 029-864-4917

動状態にないことを点検データにおいて確認している。したがって、本解析では、支承は固定状態として解析を実施した。

(3) 解析結果

解析の結果、①座屈位置、座屈固有値は、腐食パターンによる大きな差はみられず、下フランジ近傍の板厚減少の影響が大きい。② L 方向以外の荷重ケースにおいて、板厚減少率 50%程度では、健全モデルと変わらない座屈固有値を有しているが、ある一定以上の減少率に達すると座屈固有値が急減する。③ L 方向荷重においては、板厚減少率 50%においても座屈固有値が減少し、板厚の減少に対して敏感である。ことがわかった。

4. 解析（その2）

(1) 腐食パターンの設定

解析（その1）の結果から、ソールプレートと下フランジの腐食範囲に着目し、板厚減少率を2段階(50, 75%)に設定して解析を実施した。

(2) 解析モデルと評価方法

解析モデルを表-3に示す。荷重方向は、L(橋軸)方向荷重について、下フランジ腐食部が板厚減少量に対する座屈固有値の低下率が、他の荷重状態よりも顕著なことから、表-2の L(橋軸)とし、解析（その1）と同様に、健全モデルの解析結果と、各腐食モデルの解析結果とを、座屈固有値の低下率と発生応力とで評価する。

(3) 解析結果

解析の結果、図1、図2に示すように、①腐食範囲がソールプレート内の場合、座屈固有値の低下率、作用応力ともに、健全モデルと同程度である。②腐食範囲がソールプレート外までおよんだ場合、座屈固有値の低下率は健全モデルより大きく低下し、ソールプレート先端の下フランジに応力が集中する。ことがわかった。

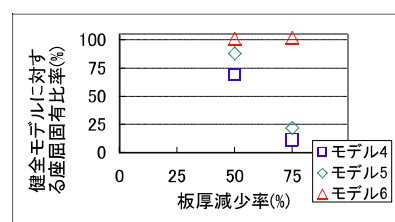
5. まとめ

現在の定期点検における腐食程度の評価は、着目する部分における損傷の深さと面積により評価区分されている。しかしながら、本研究において、損傷箇所の面積が小さく局部的であっても、ある形態における腐食については、耐荷力に大きな影響をおよぼすことがわかった。ある形態とは、局部的であっても腐食による板厚減少率が高い場合、ソールプレート外まで腐食がおよんでいる場合である。

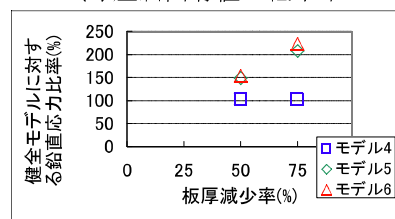
したがって、点検の際には、支承が腐食して本来の機能が低下していないか、局部的であっても桁端部に著しい腐食は存在しないか、ソールプレート外まで腐食がおよんでいないか、といった注意を払う必要がある。また、点検の合理化・効率化や、構造や塗装系への配慮により、腐食に対する安全度を高めていくことが必要である。

表-4 解析（その2）ケース

腐食範囲		腐食進行度	
		50%(中)	75%(大)
1 (広範囲)		4-50	4-75
2 (ソールプレート外)		5-50	5-75
3 (ソールプレート内)		6-50	6-75



(a) 座屈固有値の低下率



(b) 発生応力の増加率

図1 解析結果（その2）

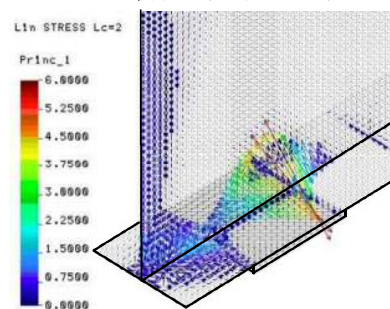


図2 最大主応力(ケース no.4-75)

長期自然曝露された腐食鋼 I 桁橋の残存耐荷力特性

○山田 昌樹¹・◎下里 哲弘²・有住 康則²・矢吹 哲哉³

¹琉球大学大学院博士前期課程(〒903-0213 沖縄県中頭郡西原町千原 1)

²琉球大学工学部環境建設工学科土木コース(〒903-0213 沖縄県中頭郡西原町千原 1)

³琉球大学名誉教授(〒903-0213 沖縄県中頭郡西原町千原 1)

高度経済成長期や沖縄本土復帰後に建設された膨大な数の橋梁において、塩害劣化などの老朽化が進行している。しかし、十分な点検や補修を行うための予算や人材が不足しており、進行する劣化へ対応する技術や体制の確立が急務となっている。本研究では、鋼橋を対象に、北部地区で著しい塩害劣化により崩落した鋼 I 桁橋の桁部材を回収し、各部材の腐食後の残存板厚量を測定した。その調査結果を用いて、弾塑性 FEM 解析を行い、腐食と鋼 I 桁橋の耐荷力低下特性について検討を行なった。

Key Words: 腐食減厚量, 鋼 I 桁橋, 残存耐荷力, パラメトリック弾塑性 FEM 解析

1 はじめに

本研究では、長期自然曝露された鋼 I 桁橋を対象に腐食減厚量の調査¹⁾²⁾を行い、その調査結果を用いて、弾塑性 FEM 解析を行い、構造部位別に異なる腐食形状や腐食度合いが、鋼 I 桁橋の残存耐荷力に及ぼす影響について検討を行った。その解析結果について報告する。

2 検討方法

(1) 解析対象橋梁

図-1、図-2 に研究対象橋梁の崩落前の状況を示す。崩落以前の腐食状況として、『ウェブの著しい腐食減厚』、『ウェブ、下フランジ境界部の腐食による破断』、『桁の位置により異なる腐食形状』などの腐食形態の特徴が得られた。



図-1 研究対象橋梁全景



図-2 桁端部による崩落前の腐食状況

(2) 腐食減厚板厚計測

腐食による板厚減少量の計測は、垂直補剛材間隔 1500mm×ウェブ高さ 1500mm を 1 パネル単位で、図-3 に示す、超音波厚さ計(UT)を用いて測定した。図-4 に測定状況を、図-5 にウェブ板厚測定方法および測定箇所、図-6 に対象橋梁の断面図を示す。



図-3 超音波厚さ計
(5MHZ)



図-4 ウェブ板厚測定状況

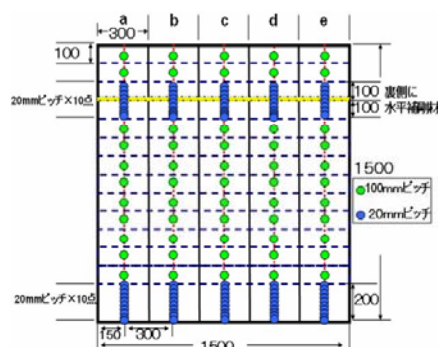


図-5 ウェブ板厚測定箇所

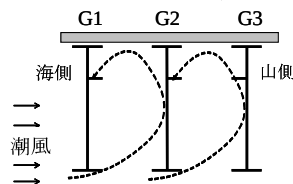


図-6 研究対象橋梁桁断面図

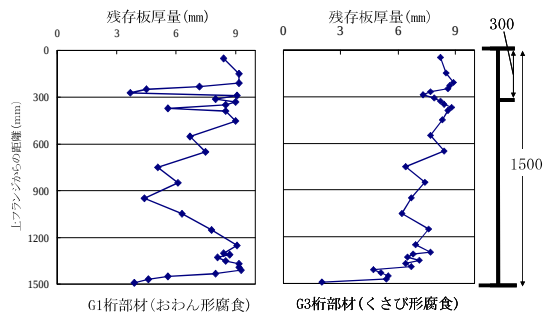


図-7 G1 桁及び G3 桁の残存板厚調査結果

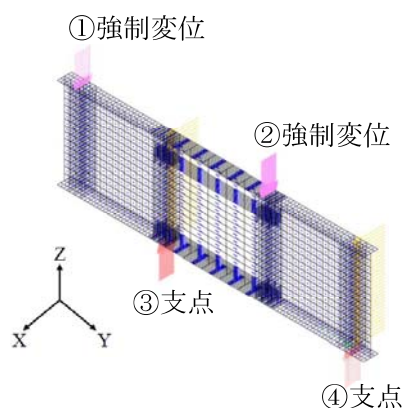


図-8 解析モデル

図-7 に残存板厚調査結果を示す。図-7 より、G1 桁ではウェブの中央部、水平補剛材の上面、下フランジの近傍でウェブ板厚が減少している。G3 桁ではウェブの中央部から下フランジに向かって、板厚が減少している。これらの異なる腐食形状をそれぞれ『おわん形腐食』と『くさび形腐食』¹²⁾と呼び、以下の弾塑性 FEM 解析を行った。

(3) FEM 弾塑性解析法

図-8 に FEM 解析モデルを示す。ここではウェブ高さ 1500mm、垂直補剛材間隔 1500mm を 1 パネルとし、プレートガーダーの桁端部から 3 パネル分を対象に、その中間パネルに計測した実腐食形状をモデル化した。

解析では公称降伏応力 235N/mm^2 (SMA400) とした。また、解析モデルは、シェル要素で作成し、材料非線形挙動は von Mises の降伏条件式に従うものとし、構成則はバイリニア型の完全弾塑性体とした。

荷重方法は桁の端部①・中間部②に強制変位を与えた。なお、解析汎用構造解析プログラム MSC Marc2007 を用いて解析を行った。

(4) 解析パラメータ

表-1 に解析パラメータを示す。解析パラメータは、中間ウェブの板厚に着目し、板厚が設計値 9mm の健全

表-1 解析パラメータ

解析ケース	着目ウェブ面形状
1 健全モデル	設計板厚 9mm
2 一様減厚モデル	板厚 8mm、7mm、5mm、4mm
3 実腐食モデル	辺野喜橋の G1 桁・G3 桁部材の残存板厚を入力 G1 桁部材 (おわん形腐食) 計 8 ケース G3 桁部材 (くさび形腐食) 計 4 ケース

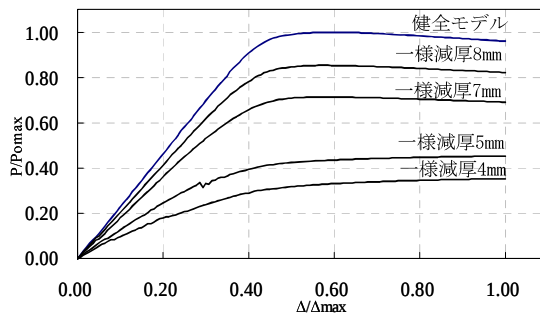


図-9 荷重-変位曲線 (健全、一様減厚)

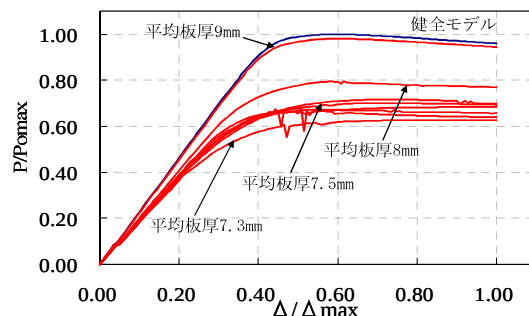


図-10 荷重-鉛直変位の関係 (健全、おわん形実腐食)

モデル、板厚が 8mm、7mm、5mm、4mm の一様減厚モデル 4 ケース、実橋の腐食減厚計測より得られたおわん形腐食形状モデル 8 ケース、くさび形腐食形状モデル 4 ケースの合計 17 ケースについて解析を行った。

3 耐力力特性

(1) 腐食減厚による耐力力特性

図-9 は、一様減厚モデルの解析結果から得られた荷重-鉛直変位曲線を示す。縦軸は、各解析の荷重値を健全時の最大荷重値で除して、無次元化した値を、横軸は、各解析の強制変位から得られた鉛直変位量を最大鉛直変位量で除して、無次元化した値を用いて作成した。

図-9 より、ウェブの板厚を一樣に減少させた場合、板厚の減少に伴って、耐力力も低下し、一様減厚 4mm では、約 75% 低下した。

図-10、11 に実腐食モデルのおわん形腐食形状、くさび形腐食形状の荷重-鉛直変位曲線を示す。図-10 より、おわん形腐食形状においては、ウェブの平均板厚の減少とともに、耐力力は大きく低下し、ウェブ平均板厚 7.3mm では約 40% 低下した。図-11 よりくさび形腐食

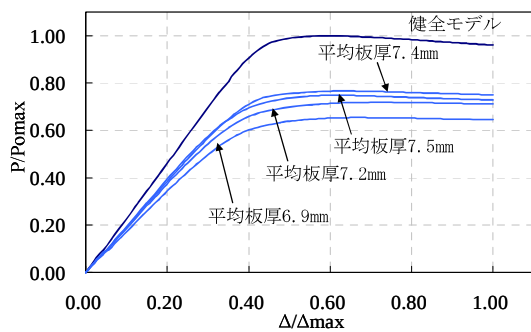


図-11 荷重—鉛直変位の関係(健全, くさび形実腐食)

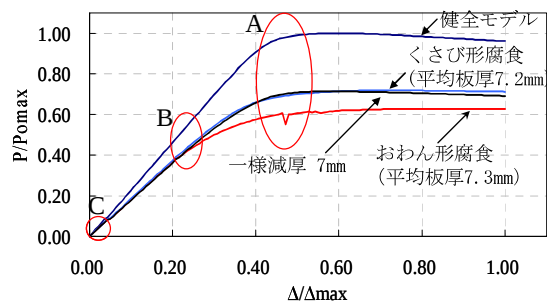


図-12 荷重—鉛直変位の関係
(平均板厚 7mm の一樣減厚, 実腐食の比較)

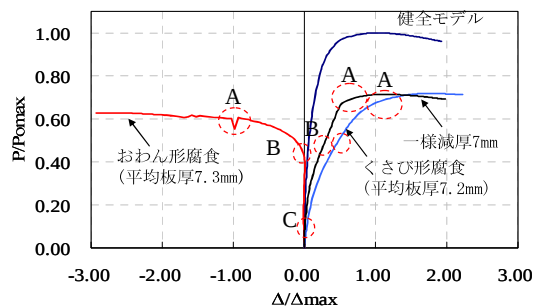


図-13 荷重—水平変位の関係
(平均板厚 7mm の一樣減厚, 実腐食の比較)

形状においては、ウェブの平均板厚の減少とともに耐荷力は低下し、ウェブ平均板厚 6.9mm で耐荷力は約 35%低下した。

図-12 に平均板厚がほぼ 7mm のおわん形腐食形状モデル、くさび形腐食モデルおよび一樣 7mm 減厚モデルの荷重—鉛直変位曲線を示す。図-12 より、おわん形腐食モデルが最も低い耐荷力を示した。また、くさび形腐食モデルと一樣減厚モデルは、ほぼ同程度の耐荷力を示した。

以下のことより、ウェブの下端部に向かって板厚が減少するくさび形腐食形状モデルよりも、ウェブの中央部付近の板厚の減少が著しいおわん形腐食形状モデルにおいて耐荷力は低下する傾向を示した。

(2) 変形モード及び von Mises の相当応力度分布

図-13 に平均板厚が 7mm のおわん形腐食モデル、

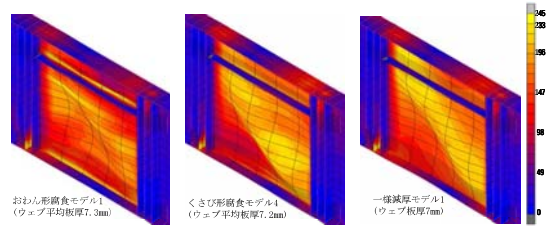


図-14 A 点における変形モードおよび von-Mises の相当応力度分布

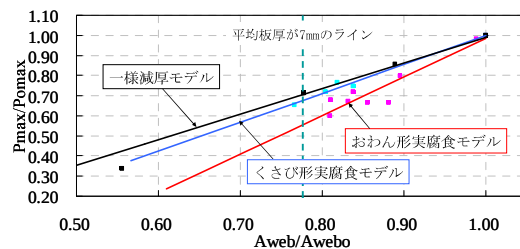


図-15 最大荷重比—ウェブ断面積比の関係

くさび形腐食モデル、一樣 7 mm 減厚モデルの荷重—水平変位曲線を示す。縦軸は、各解析の荷重値を健全時の最大荷重値で除して無次元化した値を、横軸は、各解析の着目ウェブの面外変位量を健全時の着目ウェブの最大面外変位量で除して無次元化した値を用いた。また、図-14 は図-12, 13 で示した A 点(最大荷重点)における変形モード、および von Mises の相当応力度分布を示す。

図-13 より、どのケースも荷重が小さい C 点でウェブ面外変形が生じ、せん断座屈が生じた。また、おわん形腐食モデルは B 点で他の 2 モデルとは逆方向に面外たわみが進行している。

図-14 より、おわん形腐食モデルでは、くさび形腐食モデルおよび一樣減厚モデルにおいて発生した。また、ウェブ面のせん断座屈に起因する張力場の形成は、大きく異なっている。

以下のことより、くさび形腐食形状モデル、一樣減厚モデルと比較するとおわん形腐食形状モデルは、ウェブの変形モード、張力場の形成が異なる特性を示した。

(3) 最大荷重とウェブ断面積の関係

図-15 に最大荷重とウェブ残存断面積比の相関図を示す。縦軸は、最大荷重値を健全時の最大荷重値で除して、無次元化した値を、横軸は各解析モデルの着目ウェブ面平均板厚より算出した断面積を健全モデルの断面積で除して、無次元化した値を用いて作成した。

図-15 より、ウェブの板厚が一樣に減少する一樣減厚モデルよりも、実際の腐食形状をモデル化した実腐

食モデルの方が、耐力力は低下する傾向にある。また、くさび形腐食モデルより、おわん形腐食モデルにおいて耐力力が低下している。

以下のことより、実際のウェブの腐食形状では、ウェブ中央付近で板厚の減少が激しいおわん形腐食の耐力力は、最も低下する傾向がある。これは、張力場が発生する位置で、腐食による板厚減少がせん断耐力力を減少させることを示唆している。

以上より、腐食したプレートガーダー橋については、桁の位置と腐食環境によって、腐食形態が異なり、残存耐力力にも影響が生じると予想される。

4 まとめ

本研究により得られた結果を以下にまとめる。

- (1) ウェブの平均板厚が減少すると、せん断耐力力も減少する。
- (2) せん断耐力力は、ウェブ全面が均一に減厚する一様減厚モデルよりも、実際の鋼部材の腐食形状モデルにおいて、低下する特性を示した。特にウェブ中央付近の腐食減厚が激しいおわん形腐食形状をモデル化したものにおいて、せん断耐力力の低下は大きな傾向を示した。
- (3) 実際の腐食形状によって、ウェブに生じる面外変形モードおよび張力場の形成は、異なる耐力力特性を示した。特におわん形腐食形状では、張力場が形成されるウェブの中央付近で板厚減少が激しいことにより、これらの耐力力特性の要因となったと想定できる。

謝辞：本研究は、国土交通省道路局新道路技術会議「道路政策の質の向上に資する技術研究開発」の委託研究として実施したものである。また、国頭村には、試験体を提供して頂いた。ここに記して感謝の意を表します。

【参考文献】

- 1) 下里哲弘、村越潤、玉城喜章、高橋実：腐食により崩落に至った鋼橋の変状モニタリングの概要と崩落過程、橋梁と基礎、Vol.43, pp.55-60, 2009-11.
- 2) 下里哲弘：鋼橋の腐食劣化メカニズムの解明と耐久性診断に関する研究, pp.120-154, 2010-3.
- 3) ボータンフン、佐々木栄一、市川篤司、三木千壽：腐食を模擬した模型桁のせん断耐力に関する実験および解析、構造工学論文集, Vol.48A, pp.1099-1105, 2002-3.
- 4) 中山太士、木村元哉、石川敏之、松井繁之：ウェブ孔食を持つ鋼桁のせん断耐力、構造工学論文集, Vol.52A, pp.49-56,

2006-3.