

論文 主桁下面の伝い水の影響範囲および橋座面の縦断勾配に関する調査に基づく橋梁桁端部の漏水対策の提案

岩谷 祐太*1・夏堀 格*2・石田 雅博*3

要旨：コンクリート道路橋の桁端部の漏水対策として実施されている桁端部の表面保護工および橋座面の縦断勾配の確保について、その範囲や値が道路管理者によってばらついていることから、最適な表面保護範囲および橋座面の縦断勾配について検証するため、実橋調査および供試体による排水試験を実施した。その結果、主桁下面の縦断勾配が1%増加すると主桁下面の伝い水延長が約1m伸びること、施工のばらつきや経年劣化を考慮して橋座面に2%程度の縦断勾配を確保すれば排水の信頼性を高めることができることを確認した。さらに現場の実態を考慮したうえで、桁端部の漏水対策の提案を行った。

キーワード：コンクリート道路橋, 桁端部, 漏水対策, 表面保護, 橋座面勾配

1. はじめに

コンクリート道路橋では、桁端部に設置された伸縮装置の止水材の劣化・損傷等により伸縮装置から漏水が生じることで、上下部工に様々な悪影響が生じている。例えば上部工では、凍結防止剤を含んだ漏水に晒されることで主桁下面に塩害が生じている事例(写真-1)、また下部工では漏水が橋座面に滞水することにより、支承の腐食を引き起こしている事例(写真-2)が確認されている¹⁾²⁾。伸縮装置からの漏水が根本の原因であるため、伸縮装置の止水機能を回復させることが最優先の対策であるが、伸縮装置の止水機能は補修工事を行っても約6年で喪失するという調査結果もあり²⁾、長い供用期間中において伸縮装置からの漏水を完全に防ぐことは困難であるといえる。また道路橋示方書³⁾⁴⁾では、構造設計上実施できる範囲を検討し、必要に応じて構造設計に反映させなければならない「構造設計上の配慮事項」について規定されている。その1つに、「局所的な応力集中、複雑な挙動、滞水等が生じにくい細部構造とすることの観点」が挙げられており、その中で上部工については、必要に応じて桁端部に防水処理を行うなどの配慮、下部工については、橋座面に適切な排水勾配を設ける等の配慮が必要であるとされている。このように、桁端部の漏水対策はコンクリート道路橋を適切に維持管理していくうえで重要な課題である。

この課題解決のため、各道路管理者は独自の設計要領・基準において桁端部の漏水対策を定めており、一般に上部工の対策として桁端部の表面保護工(図-1)、下部工橋座面の滞水対策として橋座面の縦断勾配の確保(図-2)が行われている。しかし、表面保護範囲や縦断勾配の値については道路管理者によりばらつきがあり、



写真-1 塩害による主桁下面コンクリートの剥落



写真-2 橋座面の滞水による支承の腐食

確実に漏水の影響を遮断できているのかは定かではない。

このような背景のもと、伸縮装置からの漏水に対する最適な表面保護範囲および橋座面の縦断勾配について検証するため、既設橋梁における実態調査および供試体を用いた排水試験を実施した。

2. 各道路管理者における基準

道路管理者が定めている桁端部の表面保護範囲および橋座面の縦断勾配の基準例として、直轄道路を管理する8地方整備局、北海道開発局および沖縄総合事務局並びに3高速道路会社の基準(例えば5)を表-1および表-2に示す。表面保護範囲については橋座面前面までが最も多く、次いで基準無、残り2管理者は桁高を基準に定めて

*1 国立研究開発法人土木研究所 構造物メンテナンス研究センター 研究員 工修(正会員)

*2 国立研究開発法人土木研究所 構造物メンテナンス研究センター 交流研究員 工修

*3 国立研究開発法人土木研究所 構造物メンテナンス研究センター 上席研究員 工修

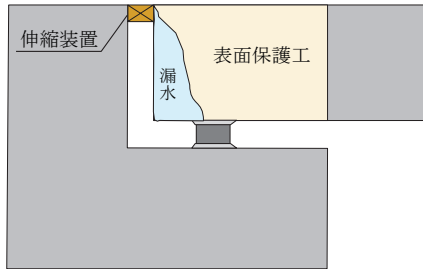


図-1 桁端部の表面保護

表-1 表面保護範囲の基準

表面保護工範囲	道路管理者数
基準無	4管理者
桁高と同程度	1管理者
桁高の2倍程度	1管理者
橋座面前面まで	7管理者

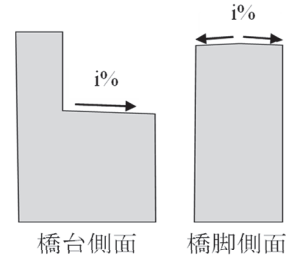


図-2 橋座面の縦断勾配の確保

表-2 橋座面縦断勾配の基準

橋座面縦断勾配(単位:%)	道路管理者数
基準無	4管理者
$1 \leq i < 2$	2管理者
$2 \leq i < 3$	3管理者
3	4管理者

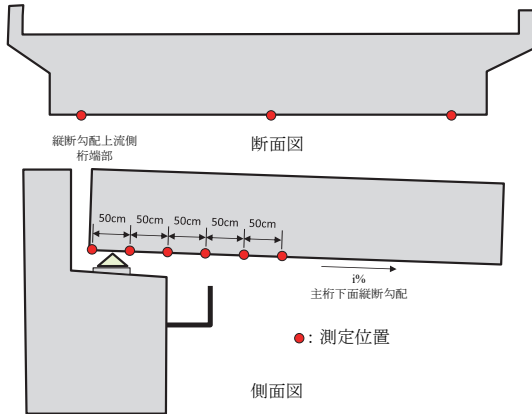


図-3 携帯型分析計の測定イメージ



写真-3 主桁下面の伝い水

いる。橋座面の縦断勾配については、各管理者によって基準無から3%まで万遍なくばらついている。なお、 $i\%$ 程度と定められている場合はその値が下限値となる範囲(2% 程度であれば $2 \leq i < 3$)に含めている。

3. 既設橋梁における実態調査

3.1 主桁下面の漏水影響範囲に関する実態調査

(1) 調査概要

主桁下面における漏水の影響範囲は、主桁下面の縦断勾配によって変動すると考えられた。そこで縦断勾配の異なる複数の既設橋梁において、漏水の影響範囲の実態調査を行った。調査項目は、主桁下面の縦断勾配、主桁下面の付着塩化物イオン濃度、および主桁下面の伝い水跡の延長とし、縦断勾配上流側の桁端部において実施した。縦断勾配は0.01%単位で勾配を測定可能なデジタルレベルを、付着塩化物イオン濃度は携帯型蛍光X線分析計(以下、携帯型分析計)を、主桁下面の伝い水跡の延長はコンベックスにより測定した。携帯型分析計は、蛍光X線分析の原理でコンクリート表面近くの局所的な塩

化物イオン濃度を測定することができるものであり⁶⁾、測定単位はppmで表示される。これを用いて、主桁下面の中央・左端・右端の3箇所で、桁端部から50cm間隔で最大300cmの位置までの付着塩化物イオン濃度を測定した。携帯型分析計の測定イメージを図-3に示す。測定は下部工に設置された検査路上から届く範囲まで実施した。伝い水跡の延長については正式な定義や判断基準がないため、写真-3のように明らかに伝い水跡が目視で確認できる範囲のみを対象に調査を行った。

調査橋梁は関東地方に位置する高速道路橋であり、供用年数が40年を超える路線(A路線)で10橋、供用年数が7~26年と比較的新しい路線(B路線)で14橋の計24橋で調査を実施した。このうち縦断勾配の違いの影響を確認するため、比較的縦断勾配の緩い本線橋(縦断勾配: $0.3\% \leq i < 1.5\%$)を14橋、縦断勾配の急なランプ橋(縦断勾配: $3.7\% \leq i < 7.0\%$)を10橋選定した。凍結防止剤散布量は、A路線が年・km当たり5.7~14.4t、B路線が年・km当たり3.9~5.9tであった。

(2) 調査結果

携帯型分析計による主桁下面の付着塩化物イオン濃度の測定結果を主桁下面の縦断勾配に応じて分類したものを図-4 および図-5 に示す。全体的な傾向として、桁端部からの距離が 50cm より離れるにつれて、付着塩化物イオン濃度が小さくなる傾向を示した。さらに図-4 および図-5 の比較から、主桁下面の縦断勾配が 2%以上となると、桁端部から離れた位置でも付着塩化物イオン濃度が比較的高くなる事が確認された。これは、主桁下面の縦断勾配が大きくなるにつれて、より離れた位置まで伝い水が到達したためと考えられる。

次に、主桁下面の付着塩化物イオン濃度の測定結果をうき・はく離の有無別に色分けした結果を図-6 に、伝い水跡の有無別に色分けした結果を図-7 に示す。図-6 を見ると、うき・はく離が確認された箇所が多くでは付着塩化物イオン濃度が 10,000ppm 弱~20,000ppm となっているが、同程度の濃度であっても変状が確認されていない箇所が多数あり、付着表面塩化物イオン濃度とうき・はく離の有無に相関は確認できなかった。うき・はく離の有無はその時点の付着塩化物イオン濃度だけでなく、塩分の作用を受けた年数も影響するためと考えられる。一方、図-7 では、伝い水跡がある場合はない場合に比べて明らかに付着塩化物イオン濃度が大きくなる傾向が確認された。伝い水が生じている範囲は漏水に含まれる塩分の影響を受けていると言える。図-6 で示した

とおり、付着塩化物イオン濃度の大小がうき・はく離の発生に直結するとは限らないものの、うき・はく離が生じる可能性をできるだけ小さくするという観点に基づけば、伝い水が生じる範囲に対して表面保護工を行う必要があると考えられる。

続いて、主桁下面の縦断勾配と桁端部からの伝い水跡の延長の関係を図-8 に示す。明らかな伝い水跡が確認できた橋梁のみ計上しているためプロット数が少ないものの、主桁下面の縦断勾配と伝い水跡の延長には強い相関があり、主桁下面の縦断勾配が 1%増加するにつき伝い水の延長が約 1m 伸びることが確認された。道路構造令⁷⁾では普通道路の縦断勾配を規定値で最大 9%、特例値を含めると最大 12%までとしており、図-8 の結果に基づけば最大 12m 程度の伝い水が生じることとなる。

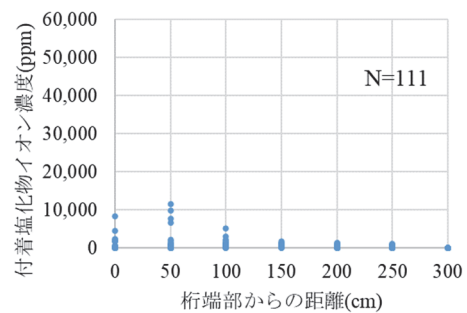


図-4 主桁下面の付着塩化物イオン濃度
(主桁下面縦断勾配 $0\% \leq i < 2\%$)

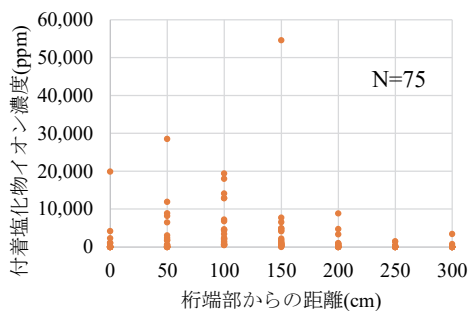


図-5 主桁下面の付着塩化物イオン濃度
(主桁下面縦断勾配 $2\% \leq i < 7\%$)

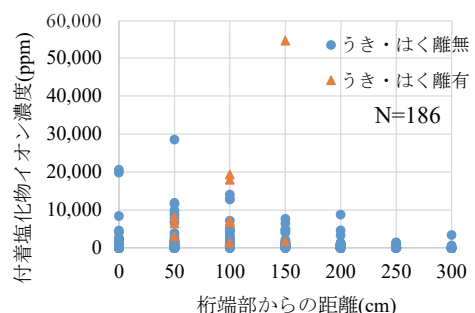


図-6 主桁下面の付着塩化物イオン濃度
(うき・はく離の有無別)

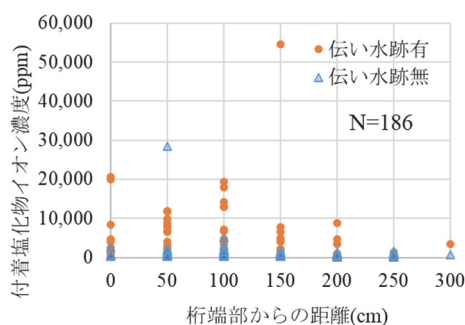


図-7 主桁下面の付着塩化物イオン濃度
(伝い水跡の有無別)

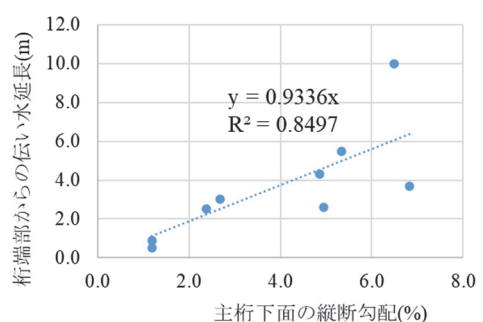


図-8 主桁下面勾配と伝い水跡延長

これは表-1の表面保護範囲の基準の中で最も広い橋座面前面までを明らかに超える距離である。高速道路でもランプ橋の縦断勾配の最大値は9%と規定されており、このような縦断勾配が急な橋梁においては、道路管理者が規定している表面保護範囲を超える伝い水が生じる可能性があると考えられる。

3.2 下部工橋座面の排水に関する実態調査

(1) 調査概要

下部工橋座面の排水は、橋座面の縦断勾配と経年劣化により変化する橋座面の表面粗さに影響を受けると考えられた。そこで、供用年数の異なる既設橋梁の橋座面において、縦断勾配および表面粗さの実態調査を行った。橋座面の縦断勾配は3.1と同様のデジタルレベルを、表面粗さは深さ方向に $-210\sim 160\mu\text{m}$ まで測定可能な表面粗さ計を用いて測定した。測定箇所は、どちらも橋座面の左端、中央、右端の3点とした。橋座面の測定イメージを図-9に示す。調査橋梁は、3.1と同様のA路線で9橋、B路線で18橋の計27橋で調査を実施した。

(2) 調査結果

A路線における橋梁別の橋座面左端、中央、右端での縦断勾配の測定値とその平均値のばらつきを図-10に示す。縦断勾配の値は橋台前向きをプラスとしている。同じ橋座面上でも位置によって縦断勾配がばらついており、特に橋梁番号5、7、8、9では測定位置によって縦断勾配の向きが逆転していた。このように縦断勾配が逆転していると、その逆転位置付近で滞水するおそれがある。このような橋梁はB路線でも確認された。さらに両路線における橋座面左端、中央、右端の測定値の標準偏差をまとめたものを表-3に示す。A路線で平均0.64%、B路線で平均0.70%と建設年次によらずほぼ同等のばらつきが生じていた。このことから、橋座面に縦断勾配を確保する場合は、橋座面の滞水の排水に必要な縦断勾配に対して、1%程度のばらつきを考慮して値を設定する必要があるといえる。

続いて、橋座面の表面粗さについて、B路線の橋梁の供用年数と橋座面の表面粗さをプロットした結果を図-11に示す。縦軸の表面粗さの指標には算術平均粗さRaを用いた。算術平均粗さとは、基準長さにおける凹凸の絶対値の平均を表したものである。図から、供用年数に比例して表面粗さが増加する傾向が確認された。図-11のプロット数が調査橋梁数と比べて少ないのは、橋座面の経年劣化により測定上限値($160\mu\text{m}$)を超過した橋梁があったためである。なおA路線では、経年劣化が激しく全ての橋梁で測定上限値を超過した。

この結果より、表面粗さが橋座面の排水に与える影響を評価するためには、経年劣化の影響を適切に考慮する必要があることが確認された。

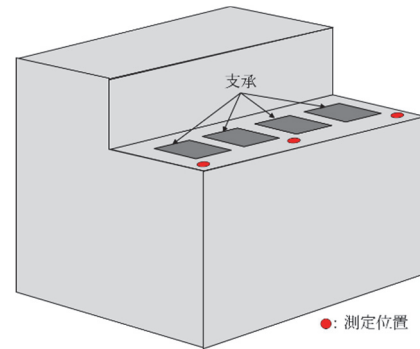


図-9 橋座面の測定イメージ

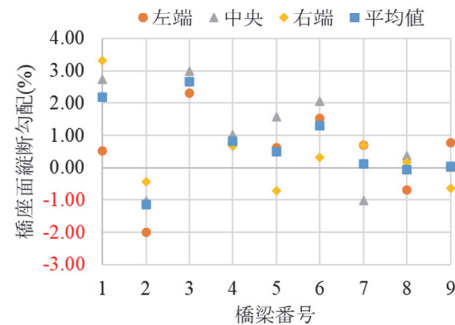


図-10 縦断勾配測定値のばらつき(A路線)

表-3 縦断勾配測定値の標準偏差

単位：%	A路線	B路線
N数	9	18
最大値	1.21	1.34
最小値	0.16	0.06
平均値	0.64	0.70
中央値	0.64	0.68

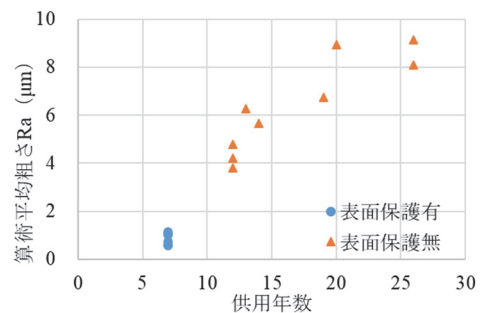


図-11 供用年数と橋座面の表面粗さの関係(B路線)

4. 供試体を用いた排水試験

4.1 試験概要

橋座面の排水に縦断勾配と表面粗さが与える影響を検証するため、供試体を用いた排水試験を実施した。まず、縦断勾配が与える影響を確認するため、表面が平滑なコンクリート板(以下、平滑板)上に止水テープで700mm×150mmの流水範囲を設け、平滑板の縦断勾配を

0%から 5%まで 1%ずつ変化させながら、流水範囲に水 300ml を 1 分かけて流水した際の板端部からの排水を回収・計量した。排水の回収時間は流水完了から 1 分間とした。回収水の重量を流水重量で割ることで、縦断勾配毎の排水率を算出した。流水範囲および流水重量は何パターンか試行したうえで決定した。なお、平滑板の表面粗さは $1.75\mu\text{m}$ であり、**写真-11** の表面保護有の表面粗さと近く、十分平滑であった。使用した平滑板を**写真-4** に、試験状況を**写真-5** に示す。

続いて、表面粗さが与える影響を検証するため、経年劣化した橋座面の表面粗さを再現したコンクリート板（以下、劣化板）を作製し、それをを用いて平滑板と同様の条件で排水試験を実施した。経年劣化した橋座面の表面粗さは、3.2 で述べたとおり表面粗さ計では測定不可能であったため、後日別の複数橋梁にて表面の凹凸を最大 7mm まで測定可能なレーザー変位計を用いて橋座面の算術平均粗さを測定した。その後、測定値に近い表面粗さを再現可能な供試体の打設方法を検討し、型枠内面に小さなメッシュの金網を貼り付け打設することで再現した。作製した劣化板を**写真-6** に示す。レーザー変位計で測定した既設橋梁橋座面の表面粗さは $203.2\mu\text{m}$ 、作製した劣化板の表面粗さは $194.1\mu\text{m}$ であった。

4.2 試験結果

平滑板および劣化板での排水試験の結果を**図-12** に示す。試験の結果、平滑板・劣化板とも 1%の縦断勾配を設けることで排水性能が大幅に向上し、それ以上縦断勾配を大きくしても最大で 8%程度しか排水率の向上はみられなかった。また、全ての勾配において劣化板の排水率が平滑板を上回った。これは、接する固体表面が粗いほど液体が広がりやすい性質を持つためと考えられる。以上より、表面粗さの違いが排水に与える影響は小さく、また過度な縦断勾配により橋座面での点検作業性が失われる可能性を考慮すれば、縦断勾配はなるべく小さい 1%がよいと思われる。これに 3.2 で確認したばらつきを考慮し、2%程度の縦断勾配を確保することで橋座面の排水の信頼性を高めることができると考えられる。

5. 現場の実態を考慮した桁端部の漏水対策の提案

以上の調査および試験結果より、主桁下面の縦断勾配に応じた表面保護範囲の設定が必要なこと、橋座面に 2%程度の縦断勾配を設けることで排水の信頼性を高めることができることを確認した。しかし、主桁下面の縦断勾配に応じて表面保護範囲を設定した場合、縦断勾配が大きいと表面保護面積が大幅に増加してしまい経済的でない。また、橋座面の実態調査時には土砂堆積により排水が阻害されていた事例や、漏水により胸壁や堅壁に多数の変状が生じている事例が確認されており、橋座面

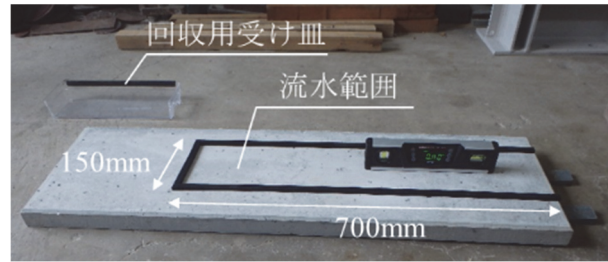


写真-4 平滑板



写真-5 排水試験状況

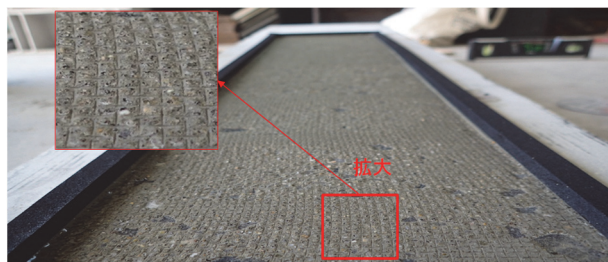


写真-6 劣化板

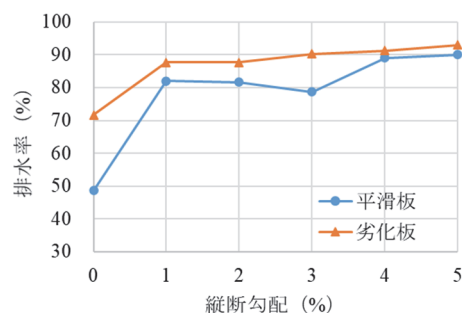


図-12 排水試験結果

の縦断勾配を適切な方向に設けなければ適切な漏水対策にはならない。このような現場の実態を考慮し、桁端部の漏水対策として以下のとおり提案する。

- ・上部工では、桁端部の作業スペースを確保したうえで、主桁下面および側面からの伝い水遮断のため、主桁背面および側面に水切り部材を設置する。水切り部材は耐食性に優れたステンレス製やゴム製等とし、主桁打設前に型枠に耐食性をもつインサートを設置しておき、脱型後にボルトで固定する構造が望ましい。そのうえで、風による吹き上げや水切りの破損

に備えて橋座面前面まで表面保護工を実施する（図-13）。

- 下部工では、橋座面に橋台前面側ではなく胸壁方向へ2%程度の縦断勾配を確保し、かつ胸壁直下に集水溝を設けて集水することで、集水溝の横断勾配により流末側へ導水・排水する。そのうえで漏水による劣化防止のため、漏水がかかる可能性がある胸壁、集水溝および橋座面に表面保護工を実施する。なお、流末へは維持管理の省力化のため、排水管に代えてスリットを設けて排水するのが望ましいと考える（図-14）。

6. まとめ

橋梁桁端部の漏水対策として最適な桁端部の表面保護範囲および橋座面の縦断勾配について検証するため、既設橋梁の実橋調査および供試体による排水試験を実施し、以下の結論を得た。

- (1) 主桁下面の縦断勾配が1%増加すると主桁下面の伝い水延長が約1m伸びる。
- (2) 橋座面に2%程度の縦断勾配を確保することで排水の信頼性を高めることができる。
- (3) 現場の実態を考慮した桁端部における上部工の漏水対策として、桁端部の作業スペースを確保したうえで、主桁背面および側面に耐食性に優れた水切りを設置し、加えて橋座面前面までの表面保護工を実施することを提案する。
- (4) 現場の実態を考慮した桁端部における下部工の漏水対策として、橋座面に胸壁方向へ2%程度の縦断勾配を確保、胸壁直下へ集水溝を設置したうえで、胸壁、集水溝および橋座面へ表面保護工を実施することを提案する。

謝辞

既設橋梁における実態調査にあたり、東日本高速道路(株)関東支社には多大なるご協力を頂きました。ここに謝意を記します。

参考文献

- 1) 村越 潤, 田中 良樹, 藤田 育男, 坂根 泰, 田中 健司, 植田 健介: 既設コンクリート道路橋桁端部の腐食環境改善への取組み, 土木技術資料, Vol.55, No.11, pp.29-34, 2013.11
- 2) 田村 正樹, 菊地 淳, 千葉 洋: 道路橋の伸縮装置における漏水対策の検討について, 平成 26 年度 国土交通省国土技術研究会論文集, pp.103-106, 2014.11
- 3) 日本道路協会: 道路橋示方書・同解説, III コンク

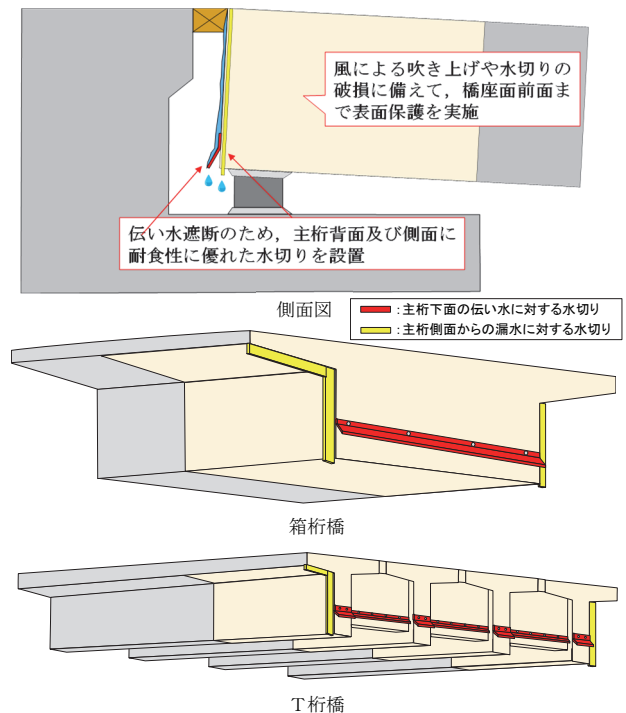


図-13 桁端部における上部工の漏水対策

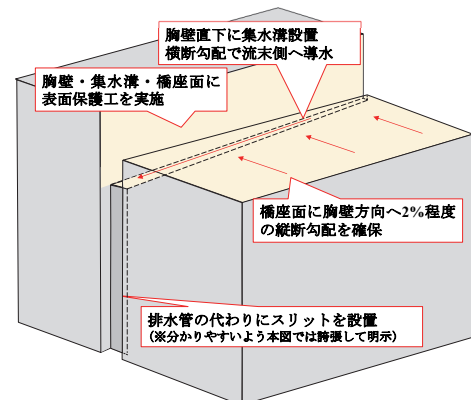


図-14 桁端部における下部工の漏水対策

リート橋・コンクリート部材編, pp.39-41, 2017.11

- 4) 日本道路協会: 道路橋示方書・同解説, IV 下部構造編, pp.183-187, 2017.11
- 5) 東・中・西日本高速道路株式会社: 設計要領第二集 橋梁建設編, pp.5-8-11-12, 2016.8
- 6) 金田尚志: ハンドヘルド蛍光 X線分析装置によるコンクリートコア側面を用いた塩化物量の測定, 土木学会年次学術講演会, Vol.65 V-190, pp.379-380, 2010.9
- 7) 日本道路協会: 道路構造令の解説と運用, p.391, 2021
- 8) 今泉 慎一郎: 固体表面の濡れ性に対する表面粗さの効果, Review of Polarography, Vol.54, No.2, pp.115-121, 2008.11