

ドイツのコンクリート床版防水システム

Waterproofing systems for concrete bridge deck in Germany

緒方紀夫*1, 谷倉 泉*2, 上阪康雄*3, 松井繁之*4

Norio Ogata, Izumi Tanikura, Yasuo Kosaka, Shigeyuki Matsui

*1(株) 高速道路総合技術研究所 道路研究部 (〒194-8508、東京都町田市忠生 1-4-1)

*2(社) 施工技術総合技術研究所 研究第二部 (〒417-0801、静岡県富士市大淵 3154)

*3 コサカ設計・アソシエーツ(〒146-0092 東京都大田区下丸子 4-21-15-907)

*4 大阪工業大学 (〒614-8289 京都府八幡市美濃山一ノ谷 4)

It is generally known that the influence of the existence of water in damage on the concrete bridge deck is enormous. Therefore, in order to improve the durability of the deck, setting of the waterproofing was designated in the specification of highway bridges in Japan in 2002. Since waterproofing of Japan has short history, the performance of waterproof seems to be insufficient. It is necessary to fill more high demands. Waterproofing is required high durability over environment with severe high water-tightness, high chloride-resistance, high resistance against traffic load and temperature change, etc. Moreover, waterproofing cannot necessarily attain the purpose only by itself, and it can attain the purpose with long life flow resistance of asphalt pavement as a unit system. In Germany, very strict waterproofing systems have been designated from the long past experience on severe damages from salt water. In this report, the current waterproofing situation of Germany is introduced comparing with Japanese waterproofing system.

Key words: waterproofing, bridge deck, durability, standards, Germany

1. はじめに

道路橋のRC床版の疲労損傷には水の影響が大きいことが、松井らの研究¹⁾で明らかになっている。また、積雪寒冷地では凍結防止剤(塩化ナトリウム)の影響で、床版の上側鉄筋が腐食し、コンクリートの層状はく離が発生している。このように、道路橋のRC床版の耐久性には水の存在が深く関わっている。このことから、床版防水の必要性が認識され、床版防水層が施されるようになってきた。しかし、紫桃らの調査²⁾によると、シート防水は施工後5年程度で防水機能がなくなる、瀝青塗布防水は施工初期に防水機能がなくなるものがあることが報告されている。

日本の防水層の規準は、昭和62年に「道路橋鉄筋コンクリート床版防水層設計・施工資料」³⁾が道路協会から出版され、長く改訂されてこなかったが、平成14年の道路橋示方書⁴⁾の改訂で全てのアスファルト舗装の橋梁には防水層等を設けることになり、平成19年3月に「道路橋床版防水便覧」⁵⁾が制定された。この便覧では、防水層の種類とその説明および要求性能を照査する方法が示されている。適切な要求性能を設定しそれを適切な試験法で照査すれば、防水層の性能はある程度保証できるのではないかと考えられる。しかし、防水は防水層のみで機能するものではなくシステムとして始めて機能するものである。このことから、塩害に対する長い経験から厳密な防水システムを導入しているドイツの事例の調査を行った。ここでは、調査した結果を紹介するとともに、これらを参考にして、日本の防水システムの今後の方向性について検討する。

2. ドイツの防水システムの規準

2.1 舗装及び防水工の役割

防水システムは舗装の一部であり、橋梁舗装は防水システムと表層から成り立っている。舗装の役割は、道路交通の快適性と安全性を確保することであり、防水システムの役割は、水や腐食因子から橋梁の床版を守るとともに、構造物中の水蒸気から舗装を守ることである。防水システムは、表面処理したコンクリート下地、防水層及び保護層(基層)から構成される。

2.2 標準的な防水システム

ドイツでは、図1のような3つのタイプの防水システムを標準としている。

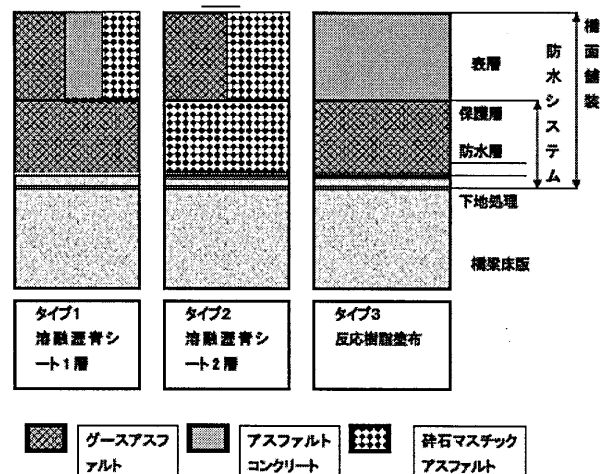


図1 ドイツの防水システム

タイプ1は、コンクリート表面の下地処理を行い、瀝青系の防水層を1層貼付け、グースアスファルト(グース)の保護層の舗設を行い、グースまたは アスファルトコンクリート(アスコン)または碎石マスチックアスファルト (SMA) の表層舗設を行うものである。タイプ2は、下地処理を行い瀝青系の防水層を2層貼付け、SMA 舗装の舗設を行い、表層 (アスコンまたはSMA) 舗設を行うものである。タイプ3は、下地処理を行い、反応樹脂型の防水層を塗布し、グースの保護層の舗設を行い、SMA 表層を舗設するものである。ここで、下地処理は3タイプとも同じである。タイプ1、タイプ3の保護層のグースは、防水層を機械的作用から保護する役割も持っている。

2.3 防水システムの要求性能

防水システムとしての性能は、防水層だけではなく床版及び舗装も含めた性能を求めている。具体的には次のような要求性能を設定している。

- (1) 防水性
- (2) すべての層の接着強度
- (3) せん断強度
- (4) 品質安定性
- (5) ひび割れ追従性
- (6) 動的な荷重に対する抵抗性

2.4 要求性能の照査方法

防水システムとしては、上記の要求性能を満足するものしか使用を許されない。防水システムとしての事前の評価方法は各項目について定められているが、紙面の関係もあるので、その中のいくつかを紹介する。

(1) すべての層の接着強度の照査

舗装を含めた全体の一体性の評価をするために、コンクリート版に下地処理、防水層、アスファルト舗装を行った状態で図2のような引張試験を行い、8°Cのとき 0.7N/mm²以上、23°Cのとき 0.4N/mm²以上であることを確認する。

(2) せん断強度及びせん断剛性の照査

せん断試験は、接着試験と同様に、全体としての評価を行うために、コンクリート版に下地処理、防水層、舗装を行った状態で、図3のように専用のせん断試験機で行い、せん断強度は+23°Cで 0.15N/mm²以上で、せん断剛性は次式以下であることを確認する。

$$\gamma \leq 1.3 \quad \text{ここに、} \gamma = \arctan(s/d)$$

s: せん断力最大のときの変位, d: 防水層の厚さ

(3) ひび割れ追従性の照査

ひび割れ追従性試験は、コンクリートや舗装にひび割れが生じても防水層が破れないという機能を試験するものである。試験は、図4のような試験機を用いて、-20°Cで日変化を模擬した 0.2±0.1mm の変位を与えると同時に、交通荷重を模擬した±0.05mmの変位を5Hzで与える。試験結果は図5のような機械を用いて試験を行った防水層の背面から光を照射し、防水層が破れているかどうかを判定するものである。

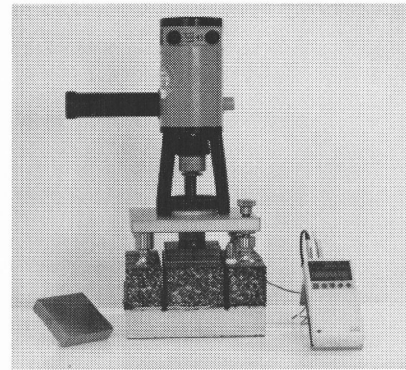


図2 接着力試験

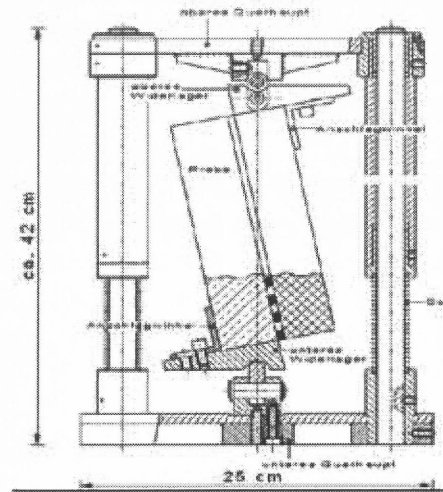


図3 せん断強度、せん断剛性試験

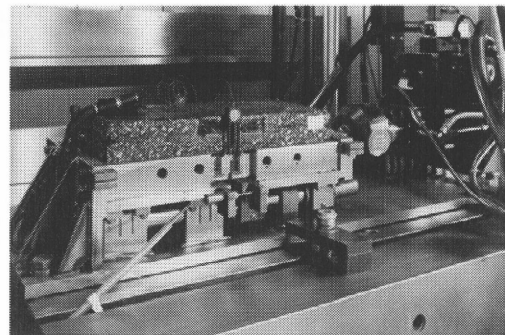


図4 ひび割れ追従性試験

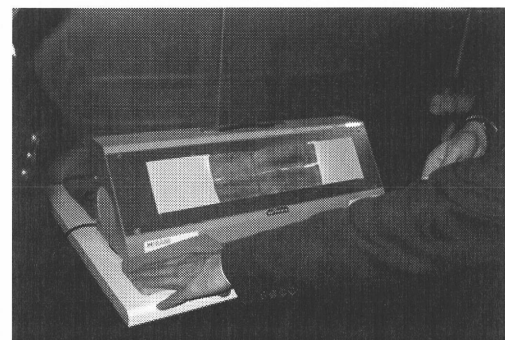


図5 ひび割れ追従性試験結果の判定

2.5 日本の防水層の要求性能

日本ではシステムとしての要求性能ではなく、防水層としての性能について規定しており、その要求性能は「道路橋防水便覧」⁵⁾によると、次のとおりである。

- ① 防水性：床版に水を流入させない性能
- ② 遮塩性：床版に塩化物イオンを浸透させない性能
- ③ 接着性：床版および舗装と接着している性能
- ④ 耐変形性：床版の変形に対し、損傷を受けない性能
- ⑤ 耐熱性：加熱アスファルト混合物の熱に対し、損傷を受けない性能
- ⑥ 耐薬品性：化学物質に対し、損傷を受けない性能
- ⑦ 耐荷性：荷重に対し、損傷を受けない性能
- ⑧ 耐久性：要求される性能設計耐用期間中に保持する性能

便覧には、これらの性能を照査する方法が基本照査試験、追加照査試験として示されている。これらの試験方法には、ドイツで行っている試験と同程度の試験法も示されている。したがって、適切な要求性能および適切な試験法を選択すれば、これで確認された防水層は、ドイツで求めている防水層の性能と同程度のものを得ることができる。

3. 設計施工指針⁴⁾

ドイツの具体的な設計施工方法について、図1のタイプ1の防水システムの場合について紹介する。

3.1 設計施工の原則

(1) 一般

- 1) 舗装の全ての層は、それぞれの下地層との間で全面的に接着されていなければならない。
- 2) 防水層の下には、瀝青系の材料があってはならない。
- 3) 各層の施工にあたっては、各施工ステップおよび最終状態において水を適切に排水できるように計画する。場合によっては、排水孔を設ける。

(2) 下地層

- 1) 防水層を施工するコンクリート面は強度、平坦性、表面粗さの確認が必要である。
- 2) コンクリート表面、もしくはコンクリート補修材表面はサンドブラスト等で前処理しなければならない。
- 3) 前処理されたコンクリート表面はその上に施工される樹脂プライマー、樹脂モルタルプライマーなどと十分な付着が得られるようにしておかなければならない。また、防水層が面的に接着できるように、局所的な凹凸があってはならない。
- 4) コンクリート表面の平坦性は、保護層によって調整する。調整する高さが保護層1層の限界厚さを超えている場合は、保護層の上にレベル調整層を設ける(図6参照)。
- 5) こうした調整により保護層+表層の全厚が限界厚さを超える場合には、コンクリート表面の高さ調整をコンクリート補修材で行うか、もしくは表面を削る。

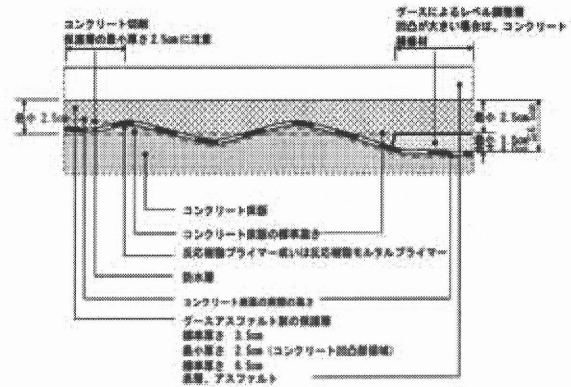


図6 コンクリート表面の凹凸に対する処理

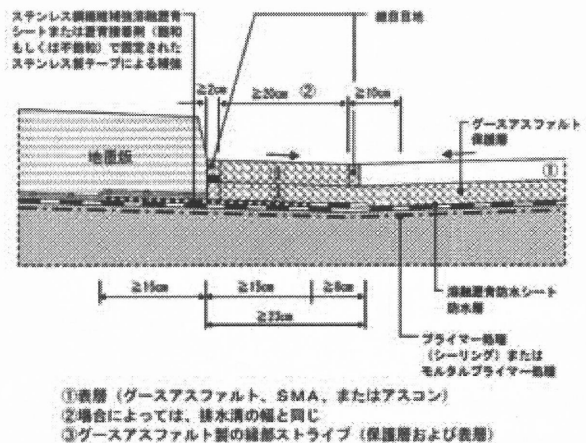


図7 車道部の舗装構造

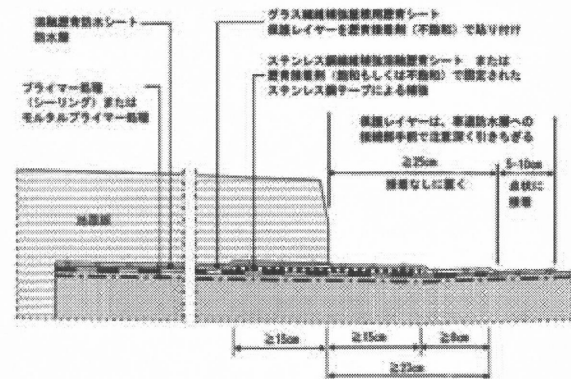


図8 地覆部の防水層の構造

3.2 舗装構造

(1) 車道部除舗装構造

- 1) 車道領域における舗装構造は図7のとおりである。
- 2) 前処理されたコンクリート面には下地処理を行う。
- 3) コンクリート面の標準的な下地処理としては樹脂プライマー処理がある。表面粗さが許容値を超える場合は、樹脂モルタルプライマーによる処理が必要になる。
- 4) 保護層、表層の端部帯状舗装の材料はグースとする。
- 5) 表層材料は、グース、SMA、あるいはアスコンのいずれで

も良いが、橋梁に続く道路舗装と同じ材料でなければならない。

- 6) 保護層の厚さは 3.5cm を標準とする。表層の厚さは、グースの場合は 3.5cm, SMA, アスコンの場合は 4.0cm を標準とする。
- 7) 保護層・表層の全厚は、溶融瀝青シートの重ね合わせ部を除いて、6cm を下回ってはならない。

(2) 地覆部舗装構造

- 1) 地覆部の舗装構造は図 8 のとおりである。
- 2) コンクリート面の下地処理および防水層の構造は車道と同じである。
- 3) 地覆端部の防水層の上には、最小幅 30cm のステンレス鋼繊維補強シートによる補強を行う。
- 4) 地覆部では、防水層の上にガラス繊維補強瀝青シートを保護レイヤーとして貼り付ける。
- 5) 保護レイヤーは、地覆の下では全面接着し、車道側は接着しない状態で 25cm 伸ばし、さらにその先で 5cm 以上の幅で接着する。
- 6) 保護レイヤーは、地覆の施工後、車道防水層への接続部手前で注意深く引きちぎる。

(4) 舗装端部

- 1) 舗装端部の処理は図 7 のように行う。
- 2) 地覆の手前には、後施工となるグースアスファルトの端部帯状舗装を設ける。
- 3) 表層の端部帯状舗装の幅は 20cm 以上とする。

(5) 目地

- 1) 縁石や伸縮装置あるいはその他のとの境界には幅が 2cm 以上の端部目地が必要である。表層の目地では、高さとの比は 1.5 : 1 でなければならない。
- 2) 表層と端部帯状舗装の間には目地が必要である。
- 3) 縁石手前の表層目地において、3 面接触を回避するために、バックアップ材を設ける。

3.3 橋梁舗装の部分打ち換え

- 1) 表層の打ち換えは、防水層の打ち換えを前提にしない。
- 2) 部分打ち換えにあたっては、残された層の要求性能が満たされているかどうかの確認が必要である。
- 3) アスファルト層の打ち換えとともに、防水層の打ち換えが行われる場合には、コンクリート表面の前処理を前提としなければならない。
- 4) 新しく施工される層の材質は、残された層との適合性を考慮して選定する。

3.4 建設材料

- 1) 請負業者は、予定している材料および材料混合物の適性、材料相互の適合性について証明しなければならない。
- 2) 溶融瀝青シート防水層およびプライマー材料との組み合わせについての適合証明は、「試験合格材料リスト」の材料であれば証明済みとみなされる。このリストは Bast (ドイツ

連邦道路研究所) で管理されている。

- 4) アスファルト用無機材料, 反応樹脂プライマー, 溶融瀝青シート, 保護レイヤー, 瀝青接着材, アスファルト混合物, 目地材等には、それぞれ要求性能および照査方法が定められている。

3.5 施工

3.5.1 一般

- 1) 施工要領書は、常に現場に配備し、その要領にしたがって工事を進めなければならない。
- 2) 温度、湿度等の気象条件が施工の許容範囲を超える条件で行ってはならない。
- 3) コンクリート表面の前処理から防水層、保護層の敷設までの個々の作業過程は待機時間を遵守しながらスムーズに継続されなければならない。
- 4) 下地層は十分に乾燥し、かつ清潔でなければならない。
- 5) 施工責任者は、次の証明書を保有していなければならない。SIVV 研修終了証明書, アスファルト専門研修終了証明書, 構造物防水工専門研修終了証明書, これらと同等の証明書のいずれか。
- 6) 施工責任者は、該当の工事期間中現場に常駐しなければならない。

3.5.2 コンクリート表面の前処理

- 1) 前処理の前および樹脂プライマー塗布の前に、コンクリート表面の高さと凹凸状態、および表面粗さを調査し、記録を行う。
- 2) コンクリート表面の乾燥度を熱風バーナーもしくはドライヤーによりチェックする (湿り部分は熱により明るい色に変色する)。
- 3) コンクリート表面の前処理 (サンドブラストなど) は表面粗さを必要以上に大きくしないように行う。
- 4) 前処理後のコンクリートの引張付着強度は図 2 の試験法で行い、平均で 1.5N/mm²以上でなければならない。最小値は 1.0N/mm²を下回ってはならない。

3.5.3 コンクリートの表面処理(プライマー処理)

- 1) 前処理後の表面粗さが 1.5mm までの場合は樹脂によるプライマー処理が行われる。表面粗さが 1.5mm を超えている場合は樹脂モルタルによるプライマー処理が必要になる。
- 2) プライマー処理は、以下の気象条件下では施工が許されない。
 - 雨, 露形成, 霧
 - 表面温度 8°C未満
 - 表面温度 45°C以上
 - 床版温度が急上昇するとき、例えば直射日光
- 3) 樹脂は樹脂メーカーが指定する単位を全て一度に混合しなければならない。混合材料や混合比を変更することは許されない。
- 4) 樹脂には溶剤の使用は許されない。

- 5) 樹脂の使用量は 300~500mg/m²である。ゴムのへらで均一に伸ばし、表面の空隙が埋まるまで5~10分待ち、くぼみ部に樹脂が溜まるのを防ぐため、毛のついたローラーで調整する。
- 6) ローラー作業後、速やかに 500~800g/m²の珪砂を散布する。プライマーの硬化後付着していない砂は取り除く。

3.5.4 防水層

- 1) 防水層は、樹脂プライマーによる処理面が十分に硬化した後に施工する。
- 2) 防水シート施工時の気温およびシートの温度は、5℃以上でなければならない。下地面の温度は 4℃以上でなければならない。
- 3) 防水シートの敷設は、橋軸方向に行い、横断勾配を確認し、水下側から行うのを基本とする。
- 4) 溶融瀝青材料の防水シートは、プライマーなどで下地処理されたコンクリート面に溶融接着する。
- 5) 溶融瀝青シートの溶融接着にあたっては、シートロール幅に対して均等な熱風を制御できる風除け付きバーナー装置を使用しなければならない。
- 6) 溶融瀝青シートの重ね継ぎ手部の幅は、橋軸方向で 8cm、横方向は 10cm 以上とする。横方向継ぎ手はシートごとに 50cm 以上ずらすものとする。
- 7) 重ね継ぎ手は空隙が残らないように、木製ハンマーで入念に圧着する。

3.5.5 保護層(基層)

- 1) 保護層施工時防水層は、いかなる箇所でも損傷を受けてはならない。
- 2) 保護層の橋軸方向継ぎ目は、車輪の直下にならないように計画する。
- 3) 保護層の厚さは、瀝青防水シート重ね合わせ部を除いて 2.5cm 以上でなければならない。また、保護層の1層の厚さは 5cm を超えてはならない。レベル調整層を含めた保護層の全厚は 6.5cm を超えてはならない。
- 4) 保護層表面の凹凸は、それぞれ 4m の測定区間内で、手作業の場合 1.0cm を、機械施工の場合 0.6cm を超えてはならない。

3.5.6 保護層及び表層内の継目

- 1) 保護層の継目は、縁石手前を除いて施工された保護層施工の後、熱い流し込み材料で充填されるものとする。
- 2) 表層施工後の継目は、熱い流し込み材料で充填される。
- 3) 橋梁端部の排水ます付近での継目は、排水ますから 20cm 程度の区間では全高に目地材を流し込む。

3.6 現場管理試験

- 1) 材料に関しては次の項目について試験・照査を行う。
 - 材料納品書および識別表示
 - ロール・容器およびその内容物

- 施工要領書に基づくロール・容器の保管
- 許容保管期限付きの製造日付
- 無機質材料についてその組成、粒度、純度および乾燥状態

2) 施工にあたっては、以下の項目について試験・照査を行う。

- 外的な条件、露点、気温
- 下地層（コンクリート床版）の湿潤状態
- 前処理されたコンクリートの表面粗さ
- 前処理されたコンクリート表層の引張接着強度
- 目視による各層の表面について、均質性、かぶりの状態、損傷箇所
- 樹脂プライマーによって下地処理された面積の大きさ、位置、樹脂使用量
- 下地処理されたコンクリート表層の引張接着強度
- 防水層の浮き、プリスタリング箇所
- 瀝青シートと下地面との接着性
- 保護層の浮き・プリスタリング箇所

3.7 施工時の試験

(1) 表面粗さの測定

面積 500m²毎に、ZTV-ING 第 1 部第 3 章に基づく試験 (N=3) を実施して、表面粗さの平均値を求める。

(2) 前処理および表面処理されたコンクリート表面の引張接着試験

- 1) 面積 500m²毎に、もしくは構造物毎に、対象となる面を平均的に代表する点で試験 1 個 (N=3) 行う。
- 2) 個々の試験結果が、1.0N/mm²を下回った場合は、近接 1m²の範囲で 2 個の追加試験を行い、測定ミスによるものかどうかをチェックする。追加試験結果が要求値を満たせば追加の結果が採用される。元の結果が追加試験によっても確認されれば、欠陥領域をマーキングする。

(3) 溶融瀝青防水シートの空隙およびプリスタリング検査

溶融接着された防水シートは、木製ハンマーでたたくことによって、空隙およびプリスタリングの有無を検査する。

(4) 溶融瀝青シートと下地コンクリートの付着性試験

- 1) 面積 500m²ごとに、もしくは構造物ごとに、溶融瀝青防水シートと下地層の付着性能を手でシートを引き剥がすか、または付着測定器具を使用して測定する。試験は対象となる面を平均的に代表する点で 1 個の試験 (N=3) を行う。
- 2) 手で引き剥がす場合の試験法は、次のようにして行う。ナイフを使用して瀝青防水シートに幅 3cm、長さ 20cm ほどの切り込みを下地面まで 4 本入れ、3 つのサンプルを準備する。その後、各ストライブ端部を手で持てる程度剥がし、両手で真上に引き剥がす。
- 3) 試験では、以下の分離面に着目する。
 - ① 瀝青防水シート内での分離
 - ② 表面処理されたコンクリート下地面と瀝青防水シート接着面の分離で、下地面に接着材が残る状態
 - ③ 表面処理されたコンクリート下地面と瀝青防水シー

ト接着材の分離で、下地面に接着材が残らない状態

- ④ 表面処理されたコンクリート下地面のプライマーもしくはコンクリート表層の破断
- 4) 分離面が、上記の①, ②であれば、付着性能は良好と判断する。ここで②の場合は、大部分の接着材がコンクリート下地面に残っているものとする。一方③, ④の分離面が確認された場合には、欠陥領域をマーキングしたうえで、再施工が必要である。
- 5) 付着性能試験は、瀝青防水シートの温度が 5℃以上の場合に実施できる。

4. 規準の運用法のドイツと日本の比較

ドイツでは防水システムとして下地処理、防水層、保護層を含めた全体として標準化がなされており、防水層の認証及び他の材料との相性についても公的機関で確認を行っている。施工の分野でも、計画・施工には特別の知識と経験が必要であり、専門業者及び専門技術者が施工するシステムになっている。また、施工時の品質管理規準も明確に定められている。さらに、防水工の保障期間は5年と定めている。これらの組み合わせで、防水システムとしての品質を確保しようとしている。

これに対して日本では、防水層に対する規定はあるが、どのような要求性能にするかは発注者にまかされており、実態に合わない防水層を選択する可能性も残されている。防水層の性能についての規定以外については、明確な規定がなく、多くは施工業者の任意に任されている。さらに、施工に関しても、専門業者、専門施工技術者に限定しているわけでもなく、施工管理規準も必ずしも明確とは言えない。さらに、保証期間も定められていないので、品質の確保という意味では日本の現在のシステムはドイツのシステムに劣るのではないかと考えられる。

5. ドイツに学ぶべき点

日本の防水は床版上の防水層の性能のみに頼っており、これに問題があった場合には防水性能が担保されない。一方、ドイツの防水システムはたとえ防水層に問題があっても、保護層、下地処理だけでも一定の防水性能を持っているので防水性能が担保される。また、中途半端になりやすい端部処理の方法は、日本では施工業者の任意性があるが、ドイツの場合は規準で詳細に定めている。

防水層の施工の最も大きなリスクはプリスタリングおよびコンクリート面の凹凸による空気層の残留である。日本では、これらのリスク防止のための定性的な注意事項が示されているのみである。一方、ドイツでは、前者のリスクを防ぐために、無溶剤系のエポキシ樹脂で下地処理を行い、コンクリート中の水蒸気が防水層を浮かせないように設計している。後者のリスクを防ぐために、床版の凹凸の程度を詳細に定め、空気層の残留が起らないような施工管理基準を持っている。さらに、制度的な面でも品質保証された材料の使用、施工の専門業者指定、施工時の専門技術者の現場常駐制度など品質を保証するシステムを作っている。

これらを総合的に考えると、防水に関する重要性の認識度が

日本とドイツではかなり差があると考えられる。ドイツの防水層の施工は戦後すぐに構造物の塩害対策として始まったと聞いており、60年以上の歴史があるが、日本では20年程度の歴史しかない。また、スパイクタイヤ禁止に伴う凍結防止剤の大量使用が始まってからも約20年である。さらに、構造物に凍結防止剤による影響が表面化しだしたのは、最近のことである。この歴史の違いが防水に対する認識の違いを生んでいるものと思われる。

床版の疲労や凍結防止剤による劣化防止は、水の対策を徹底的に行うことが第一歩である。これは、厳重な防水のためのシステムを構築しているドイツに学ぶべきところである。

6. まとめ

ドイツの防水システムと日本のそれを比較すると、要求性能は同じであるが、実現する方法がかなり異なっており、ドイツのシステムは徹底的に防水するという設計思想が明確になっている。これは、床版の損傷に対する苦勞の歴史の長さの違いではないかと考えられる。気象条件の違いや社会制度の違いなど、ドイツのシステムをそのまま日本に導入することはできないが、日本でも「LCCのためには徹底的な防水を行う」という設計思想は必要であり、これを日本のシステムとしてどのように具体化するかが今後の検討課題である。

参考文献

- 1) 松井ら：移動荷重を受ける道路橋 RC 床版の疲労強度と水の影響について、コンクリート工学年次論文報告集、9-2、1987
- 2) 紫桃ら：床版防水の性能向上に関する検討、日本道路公団試験研究所報告 Vol.39、2002.11
- 3) 道路橋鉄筋コンクリート床版防水層設計・施工資料、(社)日本道路協会、1987.1
- 4) 道路橋示方書・同解説、(社)日本道路協会、2002.3
- 5) 道路橋床版防水便覧、(社)日本道路協会、2007.3
- 6) ZTV-ING Teil7 Abschnitt1(橋梁その他構造物の設計施工における補則技術指針、第7部橋梁舗装)2003