京都国立博物館における地下収蔵庫の防水対策について

鈴木　かおり

近畿地方整備局　京都営繕事務所　技術課

（〒606-8395 京都市左京区丸太町川端東入ル東丸太町34-12 京都第2地方合同庁舎）

京都国立博物館平常展示館建替工事において新築する平常展示館では，都市計画上の制約等により地下に収蔵庫を設ける設計となっている．敷地は地下水の豊富な地域にあり，施工において文化財を収める地下収蔵庫への漏水を防ぐ地下防水工事が重要となった．本稿は，漏水のない地下躯体を造るため，施工前調査・山留め工事・防水工事・躯体工事が連携した地下工事について報告するものである．

キーワード　地下先やり外防水，透水パネル，ソイルセメント柱列山留め壁

1. はじめに

京都国立博物館の敷地は，風致地区内にあり最高高さが15m以下に制限されている．また東山から鴨川へと流れる地下水脈の上にあり，地下水の豊富な地域にある．新築する平常展示館は，上記の高さ制限や，敷地条件より文化財を収める収蔵庫を地下に設ける設計となっている．したがって地下への漏水を防ぐ地下防水工事が重要となった．本工事では地下防水工法として，ソイルセメント柱列山留め壁（以下SMWと記す）を防水下地とし，地下躯体構築前に防水層を躯体の外側に先行で施工する地下先やり外防水工法を採用している．

既往の地下先やり外防水工事の不具合事例調査[1]によると，地下漏水事例のうち約６割は，防水施工前の段階に防水不具合の原因がつくられ，約４割は施工中と施工後につくられたと推定されているため（図-1参照），本工事では漏水のない地下躯体を目指し，防水工事の前工程，後工程が連携し地下工事の施工を行っている．

(1) 建物概要

階数・構造：地上4階，地下2階，SRC造一部RC造
建築面積：5,280m^2
延床面積：17,590m^2
基礎形式：直接基礎
根切り深さ：GL-16.3m
常水位：GL-13.5m，GL-4.0m程度

(2) 先やり外防水工事概要

外壁：ゴムアスファルト系塗膜防水（吹付け）
底盤：改質アスファルト系複合防水

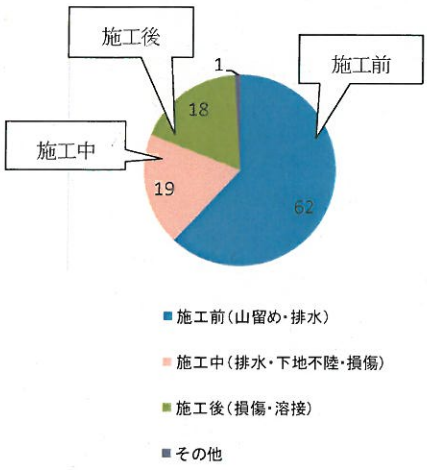


図-1　不具合発生工程と主な要因

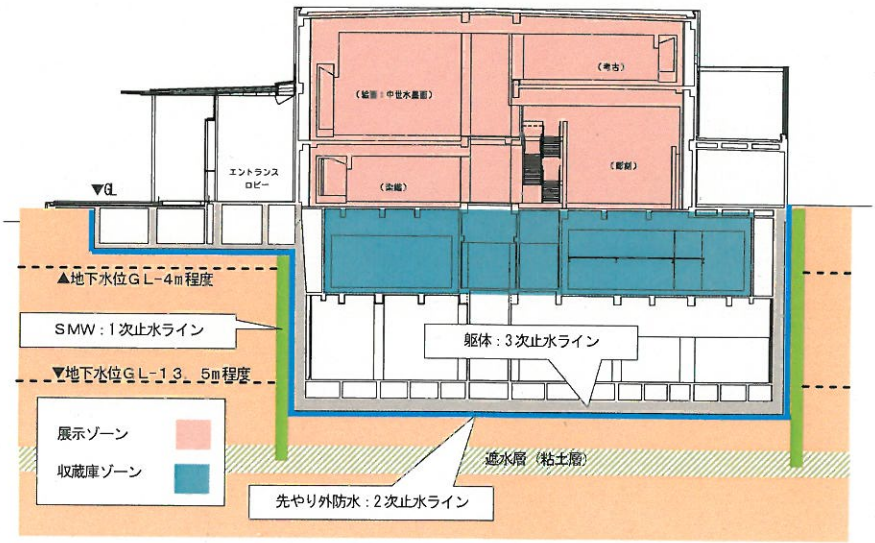


図-2　南北方向断面図

2. 遮水層深度確認と地下水処理

(1) 遮水層の深度確認

設計上，SMWの先端を地中の粘土層である遮水層内で止めることで1次止水ラインを形成する計画であった．遮水層下部には被圧水があるためSMWや構台杭等は遮水層を貫通させないことが求められた．そこで地下約20mの深さにある遮水層の深度をより正確に想定するため，4箇所の既存ボーリングに加えて12 箇所の追加調査ボーリングを行った．結果，遮水層は当初想定した位置よりも高い位置にあることが分かり，SMWのソイル長や構台配置の見直し変更を行った（図-3参照）．

(2)山留め壁の造成

SMWは，山留め壁であると同時に防水下地でもあり，精度と平滑性が求められた．砂礫主体の地盤特性から単軸オーガーによる先行削孔を行い，これをガイドに3軸削孔することでSMWの建て入れ精度を向上させた．また，SMW面の平滑性を確保するため，平爪重機にて表面を削り取り，さらに極端に凹凸がある部分は，モルタル補修等を行い，段差を極力低減するよう管理した．

(3) SMW面に透水パネルを設置

SMW面からの出水に備えるため，透水パネル（W＝300mm）を予めSMW面に設置し，水を逃がす排水経路とすることで，防水材吹付時に下地シートが濡れることを防止した．透水パネルは縦方向は各スパン（7.2m）ごと，横方向は床天端レベルをまたいで設置し，地盤アンカー等出水が予想される箇所にも予め設置した．また透水パネル下部は次項で説明する導水溝に接続している（写-1参照，図-4参照）．

(4) 導水溝の設置

底盤防水の下地となる捨てコンクリートには，スリットを設け，降雨時の排水を容易にできるようにした．また，捨てコンクリート下部には砕石と導水パイプによる導水溝を設け，その先端をディープウェルに接続することで，水はけを良くし，底盤防水下地である捨てコンクリート表面の乾燥を促進させるようにした．

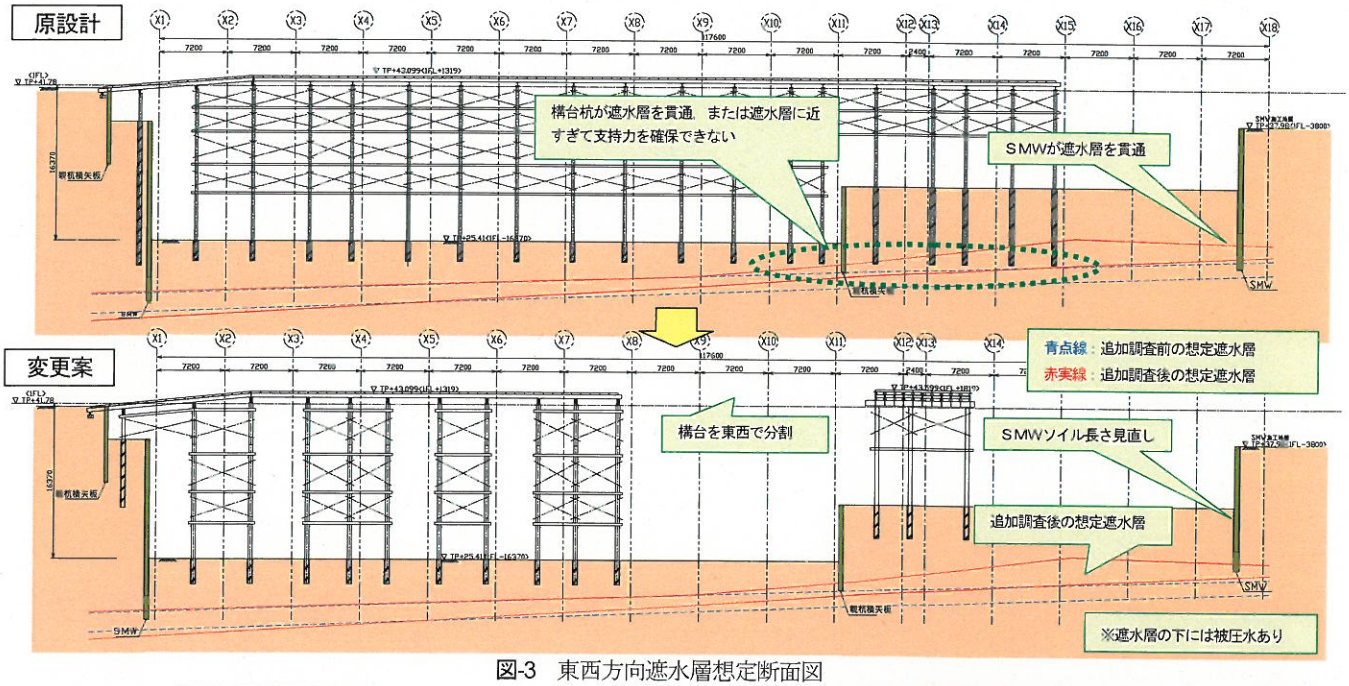


図-3　東西方向遮水層想定断面図

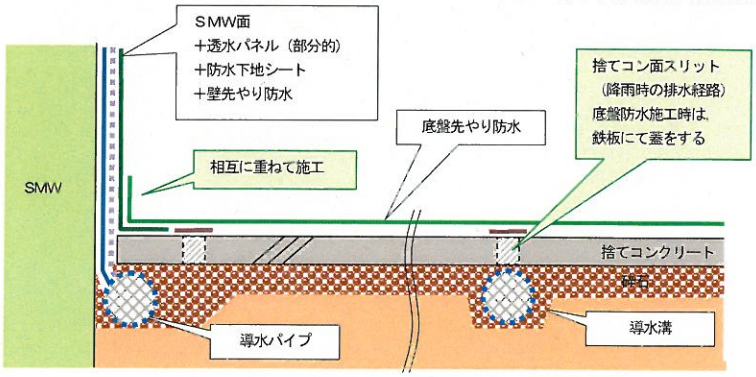
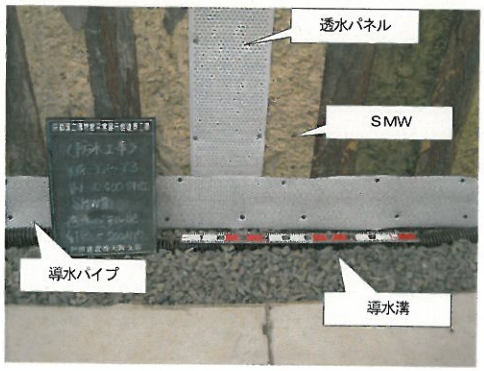


図-4　透水パネル＋導水溝の取り合い概念図



写-1　透水パネルと導水溝

3.地下先やり外防水

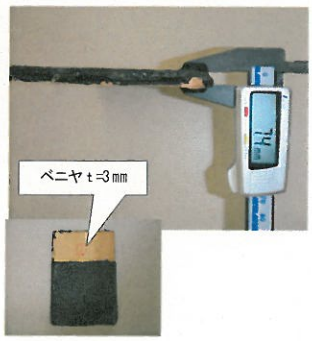
2次止水ラインとしての地下先やり外防水工事は半年以上にわたる工事であり，既往の調査結果でもあるように，他工種の影響を受けて不具合となりやすいことから，先やり外防水の材料特性への認識を深めるとともに，防水層の損傷を防ぐ対策等を確認し周知するため，防水工事以外の関係各社も参加する地下防水委員会を立ち上げ，定期的に開催している．

(1) 現場試験施工

地下壁先やり外防水工事に先立ち，施工手順や膜厚測定方法等を確認するため，現地にて試験施工を行った．壁先やり外防水の吹付け膜厚は平均4mmと設計で定められている．一般的には材料の使用量で管理するが，試験施工では，実際に膜厚を測定するための方法をいくつか試した．本施工では使用量管理とともに，最適と判断した測定方法で膜厚管理を実施している．選択した測定方法は，1次吹付け直後の未硬化の状態での金尺による測定と，2次吹付け後の膜厚計による測定および抜き取ったサンプルをノギスにより直接測定する方法である（写-2～4参照）．

写-2　試験施工状況

写-3　膜厚計による膜厚測定



写-4　抜き取りサンプルとノギスによる膜厚測定

(2) 防水材料試験

試験施工と合わせ，予め現場施工を想定して，各条件下での防水材料試験を行った．下表に主な試験項目とその内容を示す（表-1参照）．

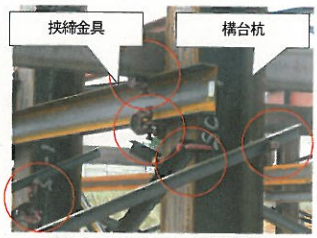
表-1 防水材料試験

	試験項目	
①	試験施工時に作成した試験片での塗膜の基本性能試験	引張強さ　(JISA6021) (無処理・アルカリ処理・加熱処理の3種)
②		伸び率　(JISA6021) (無処理・アルカリ処理・加熱処理の3種)
③		引裂強さ　(JISA6021) (無処理・アルカリ処理・加熱処理の3種)
④		加熱伸縮率　(JISA6021)
⑤		伸び時の劣化　(JISA6021)
⑥		後打ちコンクリートとの接着性 (カタログ値)
⑦	現場施工において想定される諸条件下での塗膜の性能試験	山留め下地の凹凸面への追従性 (条件付きでの引張試験)
⑧		圧縮された時の圧縮変形 (圧縮負荷試験・加圧透水試験)
⑨		躯体のひび割れに対する防水層の追従性 (0スパン試験)
⑩		施工時の気温による影響 (引張試験・伸び率)
⑪		不均一な厚みによる影響 (引張試験)

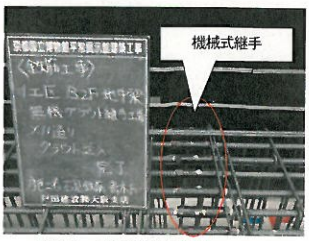
(3) 地下先やり外防水面の養生

防水材吹付け後の養生対策として，各工事において，外壁防水面近傍での火気作業を低減するための工夫を行っている．山留め支保工工事では，SMW芯材にタップを切り，切梁部の腹起し受けブラケットをボルトにて固定し，支保工解体時のブラケットのガス切断作業を無くした．乗入構台工事では，各部材をボルト及び挟締金具にて接合し，構台解体時のガス切断作業を無くしている．鉄筋工事では，地下外周壁および柱梁の鉄筋継手を圧接継手から機械式継手に変更し，圧接作業時の火花による防水面の損傷を防ぐ対策とした．また，地下外壁の太径鉄筋は，上部腹起しから鋼材にて受け枠を組み鉄筋を保持するとともに，配筋時に鉄筋先端が振れることによる防水層への損傷を防ぐ機構とした（写真-5～8参照）．

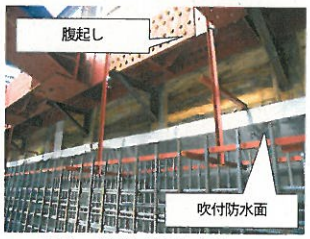
写-5　腹起し受けブラケット



写-6　構台接合部状況



写-7　機械式継手



写-8　壁鉄筋受け枠

4. 地下躯体の施工について

3次止水ラインとなる地下躯体の漏水箇所部分としては，既往調査により次の3点が挙げられている．①セパレーター等貫通部，②打ち継ぎ箇所，③ひび割れ箇所．これらの漏水危険箇所を低減するための対策を下記のとおり行った．

(1) 地下外壁型枠にノンセパ工法を採用

地下外壁の貫通部を無くすため，躯体内にセパレーターを打込まない型枠支保工の工法（ノンセパ工法）を採用した．これにより先やり外防水と地下躯体の止水上の弱点を低減し，地下外壁からの漏水防止を図った（図-5参照）．

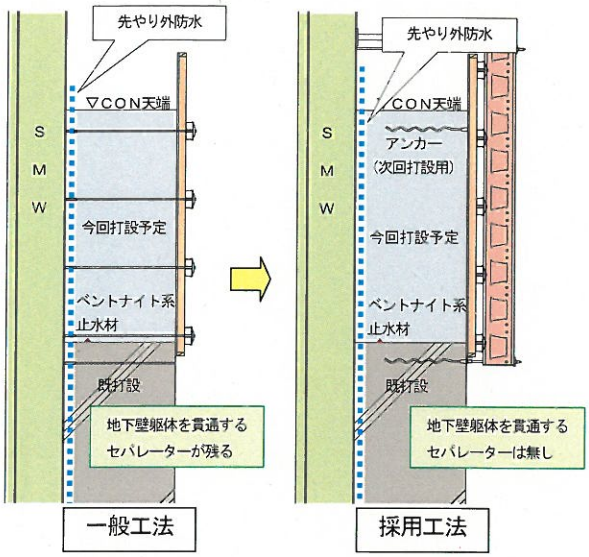
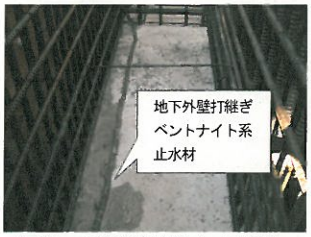


図-5　地下外壁型枠概要図

(2) ベントナイト系止水材による打ち継ぎ処理

地下躯体の打ち継ぎ部には，水平垂直ともベントナイト系止水材を使用して漏水防止を図っている．なお，同止水材は構台杭等のマットスラブ貫通部にも設置し漏水防止対策としている（写-9, 10参照）．



写-9　打ち継ぎ部止水処理

写-10　構台杭廻り止水処理

(3) コンクリートのひび割れ抑制

a)地下外壁コンクリート仕様変更

コンクリートには本来水密性があり，本工事のように地下外周土圧壁の厚みが900mmもあれば，ひび割れさえ入らなければ防水性能は高いと言える．そこで乾燥収縮ひび割れや温度ひび割れを低減する目的で，コンクリートの仕様変更を行った．　（表-2参照）

表-2 コンクリートの仕様変更

	原設計	実施
セメント	高炉セメント B種	低熱ポルトランド セメント
スランプ	18cm	15cm

b)マットスラブコンクリート仕様変更

厚さ1 mのマットスラブについても乾燥収縮ひび割れや温度ひび割れを低減する目的で，その仕様を変更している．（表-3参照）

表-3 コンクリートの仕様変更

	原設計	実施
スランプ	15cm	12cm
最大粗骨材寸法	25mm	40mm
強度管理材齢	56日	91日

c)コンクリートの養生

地下外壁のコンクリートについては，せき板の存置期間を最小存置期間から2日間以上延長することで，コンクリートの初期ひび割れ抑制対策とした．また，マットスラブについては，コンクリート打設後に保水機能・保温効果の高い養生マットにて養生することで，乾燥収縮や温度応力によるひび割れ防止対策としている．

5. おわりに

地下先やり外防水工事では，防水工事だけでなくその前工程，後工程がよく連携して一体の工事として取り組むことが重要である．前工程において，最初に12箇所の追加調査ボーリングを実施し，粘土層である遮水層の深度をかなり正確に特定できたことが，その後の地下工事において，ドライな環境の確保につながっている．

また，既往調査等により明かになっていた防水不良箇所になりやすい注意点を事前に把握し，不具合原因を作らないよう予め各対策を講じると共に，試験施工により実際の現場での施工手順等の問題点を抽出し，改良を重ねることで防水性能を確保している．

施工上，防水工事は防水下地の乾燥が重要であるため天候に左右され易く，防水吹付けが終わらなければ鉄筋工事に移れないという工程管理上の課題があるが，地下先やり外防水面は躯体打設後，不可視の部分となるので，漏水防止という品質の確保を念頭に地下工事を進めているところである．

参考文献

1) 日本建築学会：小林，岩井，岡本，田中：地下躯体の先やり外防水工法に関する調査研究・その1不具合事例調査の概要，2007年