

## 地下コンクリート外壁の不連続部における止水性評価に関する基礎的研究

藤 沼 智 洋      添 田 智 美  
富 田 泰 宇

### 概 要

地下構造部は地上よりも高い水圧が作用するため、打継ぎ部やひび割れ等の不連続部は防水機能上の弱点となりやすい。したがって、不連続部における防水性を担保させるためには不連続部の防水性に関する適切な評価を行う必要がある。

本研究では、不連続部の止水効果を確認するための簡易的な試験方法を考案し、不連続部に対する代表的な止水工法を適用した際の止水効果を簡便かつ定量的に相対比較することが可能であることを確認した。

### Fundamental research on the evaluation of waterproofing in the discontinuous parts of outer walls of underground concrete

#### Abstract

The water pressure acting on underground structure parts is higher than that acting on the ground, so discontinuities such as joint parts and cracks tend to be a weak point in waterproof function. Therefore, in order to ensure waterproofing in discontinuous parts, it is necessary to conduct an appropriate evaluation of the waterproofing of discontinuous parts.

In this research, we devised a simple test method for confirming the waterproofing effect of discontinuous parts and confirmed that it is possible to simply and quantitatively perform a relative comparison of the waterproofing effect when applying the typical waterproofing construction method for discontinuous parts.

|        |                                  |
|--------|----------------------------------|
| キーワード: | 地下構造、止水効果、透水試験<br>打継ぎ処理、ケイ酸質系防水材 |
|--------|----------------------------------|

## §1. はじめに

地下構造部は、地上よりも高い水圧が作用することから、打継ぎ部やひび割れ等の不連続部は、防水機能上の弱点となりやすい。したがって、不連続部における防水性を担保させるためには、不連続部の防水性に関する適切な評価を行い、最適な材料や工法の選定が肝要になる。

地下構造部の防水性および止水性に関連する研究事例として、試験方法関連では、打継ぎ部やひび割れ部の試験<sup>1)-2)</sup>、漏水現象を再現させた加圧透水試験<sup>3)-4)</sup>等が挙げられる。また、コンクリートの内部組織の緻密化に寄与するとされているケイ酸質系塗布防水材の防水発現機構の検証を行った事例<sup>5)-7)</sup>等が挙げられる。しかしながら、拡張した打継ぎ部や比較的大きなひび割れにケイ酸質系塗布防水材料を適用した場合については、検証された事例が少ない。また、試験に際しては、よりコンパクトかつ簡易的な試験方法が望まれると考える。

そこで、本研究では、上述するような不連続部の止水効果を確認するための簡易的な試験方法を考案し、不連続部に対する代表的な止水工法を適用した際の止水効果について基礎的な検討を行った。

## §2. 試験概要

### 2.1 試験項目

各試験の概要を表1に示す。各試験では、不連続部に適用する各止水工法による止水効果の確認を目的とした。

シリーズ1の試験では、打継ぎ部の処理方法の違いが及ぼす止水効果について検証を行った。

シリーズ2の試験では、模擬的に作製した欠損箇所に対するケイ酸質系塗布防水材の有無および塗厚が及ぼす止水効果について検証を行った。

### 2.2 試験装置

本研究では、表1のいずれの試験シリーズにおいても、図1の試験装置を用いた試験を行った。

本試験装置では、地下深い構造物を想定し、試験体に水深30m相当の0.29MPaの水圧(図1のビュレット圧)をかけることとした。圧力により試験体を透過した水は、導水チューブを通り、ビーカーに誘導され、精度0.01gの電子天秤で自動的に透水量を計量できるようにした。

### 2.3 試験体の形状寸法

試験体の形状寸法は、いずれの試験シリーズにおいても、φ100×200mmの円筒型とした。試験シリーズごとの詳細については、次章以降でそれぞれ示す。

## §3. 打継ぎ処理の違いによる止水効果の確認

### 3.1 試験体水準および試験体概要

#### (1) 試験体水準

シリーズ1の試験では、表2に示す4つの打継ぎ処理方法を要因とした透水試験を行った。

Nがレイタンス除去等の打継ぎ処理を施さない工法であるのに対し、Hは、高圧水処理のみを施した工法である。また、IおよびCは、いずれも打継ぎ処理剤を施した工法である。

Iの工法は、先打ちコンクリート面のレイタンス層に処理剤を含浸させた後に打継ぎ工法である。

Cの工法は、先打ちコンクリートの打込み直後に凝結遅延効果のある処理剤を塗布し、翌日に高圧水で脆弱層を除去する工法である。

#### (2) コンクリートの計画調合

シリーズ1のコンクリートの調合を表3に示す。

表1 試験項目

| シリーズ  | 不連続部 | 止水工法          | 主要な検証事項                   |
|-------|------|---------------|---------------------------|
| シリーズ1 | 打継ぎ部 | 打継ぎ部の処理       | 打継ぎ処理方法の違いによる止水効果         |
| シリーズ2 | 模擬欠損 | ケイ酸質系塗布防水材の利用 | ケイ酸質系塗布防水材の有無および種別による止水効果 |

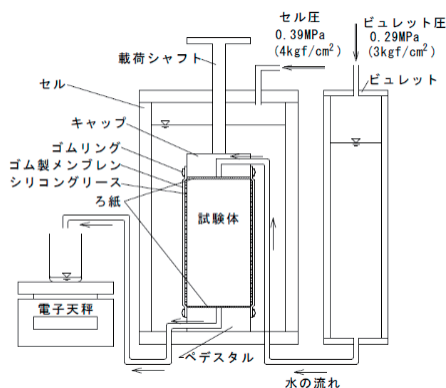


図1 試験装置概略

表2 シリーズ1の試験水準

| 略称 | 打継ぎ処理剤 |        | 高圧水処理 |        |
|----|--------|--------|-------|--------|
|    | 種類     | 使用時期   | 吐出圧   | 実施時期   |
| N  | —      | —      | —     | —      |
| H  | —      | —      | 7MPa  | 打込んだ翌日 |
| I  | 含浸型処理剤 | 打込んだ当日 | —     | —      |
| C  | 塗布型処理剤 | 打込んだ当日 | 7MPa  | 打込んだ翌日 |

表3 シリーズ1のコンクリート調合

| W/C (%) | SI (cm) | Air (%) | S/A (%) | 単位容積重量(kg/m <sup>3</sup> ) |     |     |      | 混和剤 (C%) |
|---------|---------|---------|---------|----------------------------|-----|-----|------|----------|
|         |         |         |         | W                          | C   | S   | G    |          |
| 50.7    | 15      | 4.5     | 43.5    | 178                        | 351 | 758 | 1006 | 1.0      |

### (3) 透水試験用の試験体作製

シリーズ1の試験体を作製するにあたっては、打継ぎの間隔を14日間あけて、図2に示すように、先打ちと後打ちの2層に分け、全体として、600×200×400(200×2段)mmのコンクリート部材を作製した。後打ちから1週間の養生期間を与えた後、打継ぎラインがφ100の円の中心線となる位置からコア抜きしたものをシリーズ1の試験体とした。なお、試験体の作製および試験時において、2層のコンクリートが打継ぎ部およびその近傍で割裂せずに終始接した状態を保持するためにD6の鉄筋を配筋してコンクリート部材を作製した。

### 3.2 試験方法および評価基準の設定

図1に示すように、試験体側面には、グリースを塗布し、円筒状のゴム製メンブレンで覆った状態で試験装置に設置した。なお、試験体側面には、セル圧として、ビュレット圧よりも高い0.39MPaの圧をかけることによって、試験体とメンブレンの境界からの透水を防止した。

試験に際して、装置上側の入口側のチューブ、ろ紙は、水で満たしておき、出口側のチューブ、ろ紙は、乾燥させた状態で試験を行った。

シリーズ1の試験では、全断面からの単位時間当たりの透水量(以下:透水速度)を評価指標とした。本研究では、5時間程度の加圧を行っても、透水速度が $10^{-7}(\text{g/s})$ 未満の場合、「漏水なし」と評価することとして、以降の透水試験は行わなかった。

### 3.3 シリーズ1の試験結果

シリーズ1の試験結果を図3に示す。打継ぎ処理を施さなかった試験体Nは、いずれも透水し続け、裏面側に漏水が確認された。また、高圧水処理のみを施した試験体Hは、いずれも裏面側への水滴が確認されなかった。

一方、打継ぎ処理剤を施した2つの試験体のうち、高圧水処理を施さず、含浸型処理剤のみを施した試験体Iは、Nよりもおおむね2桁ほど、透水速度が抑制されていたが、完全には防ぎきるに至らず、裏面側へ漏水が確認された。また、塗布型処理剤と高圧水処理を併用した試験体Cは、試験体Hと同様に裏面側への水滴がいずれも確認されなかった。

以上より、本試験の範囲では、打継ぎ部に高圧水処理を施すことで、高い止水効果を確認することができた。

### 3.4 シリーズ1の考察

試験体Hおよび試験体Cでは、打継ぎ部に高圧水処理を施したことで打継ぎ部のレイタンスが除去され、打継ぎ部の付着が強くなったため、高い止水効果を発現したと考える。

なお、本試験の結果からは、高圧水処理のみの試験体Hと塗布型処理剤を併用した試験体Cの相対的な優劣までは評価できていない。ただし、塗布型処理剤を塗布した後に高圧水処理を施すことにより、写真1に示すように、目視で確認可能なほど表面処理ができるため、レイタンスの除去状態が確認しやすいだけでなく、付着力がより強固になると推察される。したがって、実施工においては、高圧水処理だけではなく、塗布型処理剤も併用した工法の方が漏水のリスクを低下できる工法であると考えられる。

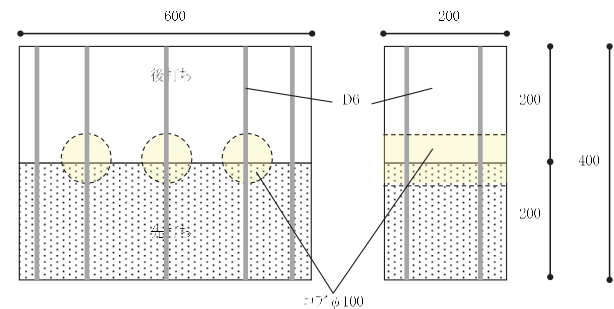


図2 打継ぎ試験体概略図(左:立面 右:断面)

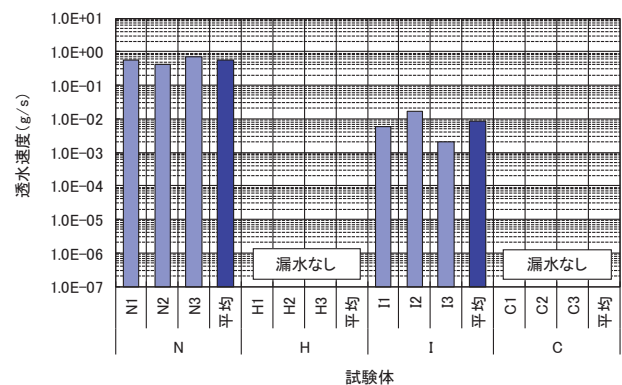


図3 シリーズ1の透水試験結果



高圧水処理のみ

塗布型処理剤併用

写真1 打継ぎ部を処理した後の表面比較

## §4. ケイ酸質系塗布防水材料による止水効果の確認

### 4.1 試験体水準および試験体概要

#### (1) 試験体水準

シリーズ2の試験では、表4に示す模擬欠損厚(以下:欠損厚)とケイ酸質系塗布防水材料(以下:防水材料)を要因とした透水試験を行った。なお、比較用として、防水材料を塗布しない試験体も試験対象とした。

PSの防水材料は、JASS 8 T-301<sup>8)</sup>に適合したものであり、樹脂が含有されたPタイプである。

TSの防水材料は、厚塗りタイプである。

#### (2) モルタルの計画調査

防水材料を施す下地用のモルタルの調査を表5に示す。シリーズ2の試験では、後述するように、試験体の中央に設置した黄銅板を引き抜き、欠損部を模擬的に作製する方針とした。そこで、密実な試験体を作製するために、コンクリートの代用として、モルタルの試験体をシリーズ2の試験では用いた。

#### (3) 試験体作製

シリーズ2の試験体形状・寸法を図4に示す。シリーズ2の試験体は、型枠中央に黄銅板を設置し、モルタルの打込みを行い、オートグラフにより、翌日には、黄銅板を引き抜くことで、写真2に示すような模擬欠損を作製した。

養生については、材齢7日で脱型をした後、20℃60%RHの恒温恒湿室で材齢6週まで養生した。養生後、型枠の底板面を塗布面として、サンドペーパー(#40)で塗布面を目荒し後、欠損部に防水材料を塗り込むことなく、塗厚が極力均一になるように塗布した。

塗布後は、フィルムで覆い、20℃60%RHの恒温恒湿室で2週間の養生期間を経たものを試験体として用いた。

### 4.2 試験方法および評価方法

シリーズ2の試験においても、シリーズ1と同様、透水速度による評価を行った。

シリーズ2の試験では、室内側への防水施工を想定し、防水材料が背面水圧を受けるように、図1に示す試験装置の出口側に塗布面を設置した。また、防水材料よりも入口側の経路は、水で満たしておき、出口側の表面は、軽微な漏水現象(滲み程度)を目視観察できるように乾燥状態で透水試験を実施した。測定時間は、加圧開始後の透水速度が安定するまでの時間とし、20時間以上経過しても、漏水が確認されなかった場合、本試験範囲内では、「漏水なし」と評価することとして、以降の測定は行わなかった。

シリーズ2の試験では、防水材料による止水効果を経時的に観察すべく、各水中養生期間における透水速度を求めることにした。具体的には以下の通りである。

防水材料塗布後2週目に初期値(水中養生0週)を計測した。その後、20℃で水中養生し、水中養生期間4週、8週、(ただし、NSは11週まで)、16週の各時点で透水速度を計測した。なお、「漏水なし」と評価した試験体は、以降の水中養生期間を延ばした試験を行わなかった。

### 4.3 シリーズ2の試験結果

ケイ酸質系塗布防水材料を塗布しなかったNSの結果を図5、Pタイプを塗布したPSの結果を図6、厚塗りタイプを塗布したTSの結果を図7にそれぞれ示す。

NSでは、欠損厚に限らず、水中養生期間が11週まで

表4 シリーズ2の試験水準

| 略称   | ケイ酸質系塗布防水材料 | 防水材料使用量(kg/m <sup>2</sup> ) | 塗厚(mm) | 水・防水材料比(%) | 模擬欠損部厚さ(mm) | 試験体数 |
|------|-------------|-----------------------------|--------|------------|-------------|------|
| NS03 | 無塗布         | —                           | —      | —          | 0.3         | 2    |
| NS05 |             |                             |        |            | 0.5         | 2    |
| PS03 | JASS8 Pタイプ  | 1.5                         | 1.2    | 28         | 0.3         | 2    |
| PS05 |             |                             |        |            | 0.5         | 2    |
| TS03 | 厚塗りタイプ      | 5.0                         | 3.0    | 24         | 0.3         | 2    |
| TS05 |             |                             |        |            | 0.5         | 2    |
| TS10 |             |                             |        |            | 1.0         | 2    |

表5 シリーズ2のモルタル調査

| W/C (%) | SI (cm) | Air (%) | 単位容積重量(kg/m <sup>3</sup> ) |     |     |       | 混和剤(C%) |
|---------|---------|---------|----------------------------|-----|-----|-------|---------|
|         |         |         | W                          | C   | S   | (G)   |         |
| 52      | 15      | 4.5     | 175                        | 338 | 799 | (966) | 1.4     |

※)ウエットスクリーンで粗骨材を除去し、モルタル試験体とした

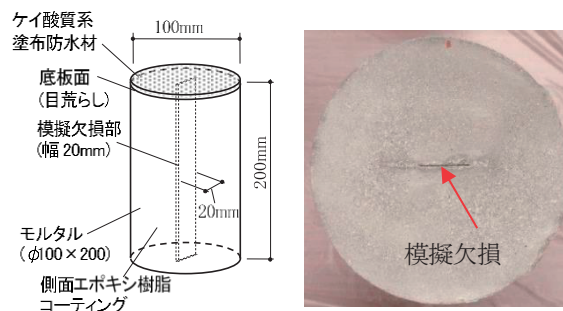


図4 試験体形状(シリーズ2)

写真2 模擬欠損

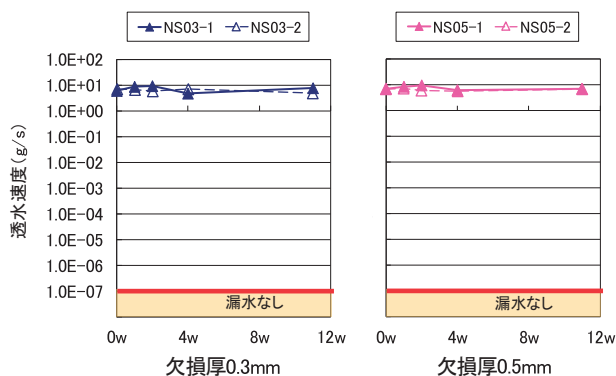


図5 NSの透水速度と水中養生期間の関係



経過しても、透水速度が低下せず、漏水が止まらなかった。

防水材のタイプ別に透水速度と水中養生期間の関係を比較すると、水中養生 0 週においては、TS の方が 1~2 桁ほど小さく、水中養生期間の延びに伴い、いずれの種類も透水速度の低下傾向が確認された。本研究において設定した「漏水なし」の基準に基づくと、PS03-2 を除き、PS では、最長 8 週ないしは 16 週、厚塗りタイプの TS では、最長 4 週でそれぞれ「漏水なし」<sup>注1</sup>となった。なお、いずれの試験体も背面水圧を受けていたが、防水材の塗膜の剥離や破損等は、確認されなかった。

以上より、ケイ酸質系塗布防水材の塗布による高い止水効果を確認することができた。とりわけ、塗厚の厚いものは早期に高い止水効果が発現したことが確認された。

#### 4.4 シリーズ2の考察

##### (1) 透水速度低下の発現機構

水中養生期間が延びても、NS の透水速度は低下がみられなかったことから、PS と TS の透水速度の低下は、下地のモルタルの影響ではなく、防水材中から溶出したケイ酸

イオンがモルタル内に浸透・拡散し、モルタル内の毛細管空隙中のカルシウムイオンとの化学反応の後、生成されたケイ酸カルシウム水和物によって、防水材および欠損部が緻密になった<sup>9)</sup>ためと推察する。ただし、本試験では、結晶生成の観察を行っておらず、結晶生成と透水速度の相関を十分に考察できていない。したがって、走査型電子顕微鏡 (SEM) 等を用いた結晶生成の分析を実施し、結晶生成と透水速度の相関性の検証が別途必要になると考える。

##### (2) 塗厚および防水材使用量の違いによる影響

シリーズ 2 の試験では、図 6 および図 7 に示すように、水中養生 0 週、4 週、8 週、16 週の各時点で透水速度の計測を行ったため、設定した「漏水なし」に到達するだけの十分な止水効果が発現した厳密な時期の把握には至っていない。ただし、塗厚も厚く、防水材使用量も多い、TS の方が止水効果の発現時期が早かった。この点については、防水材の塗布の時点で十分な塗厚を確保しているため、早期の止水効果の発現に寄与したものとする。また、TS の方が止水効果の発現時期の同一水準の試験体間での時間差が抑制されていたが、そもそも、TS の方が早期に止水効果が発現することに加え、止水効果の発現に与える塗厚誤差の影響が小さくなったことによるものとする。

##### (3) 欠損厚の違いによる影響

PS については、同一水準間での結果に差異が大きく、欠損厚の違いによる、傾向を把握することはできなかった。なお、PS03-2 については、上述したように、塗膜の剥離や破損等は確認されなかったため、試験体の欠損は生じていないと推測するが、透水速度が下がり切らなかった原因は説明できていない。

TS については、欠損厚 0.3mm と 0.5mm では、水中養生 0 週の時点で「漏水なし」の試験体もあったが、欠損厚 1.0mm では、いずれの試験体も水中養生 4 週を要した。

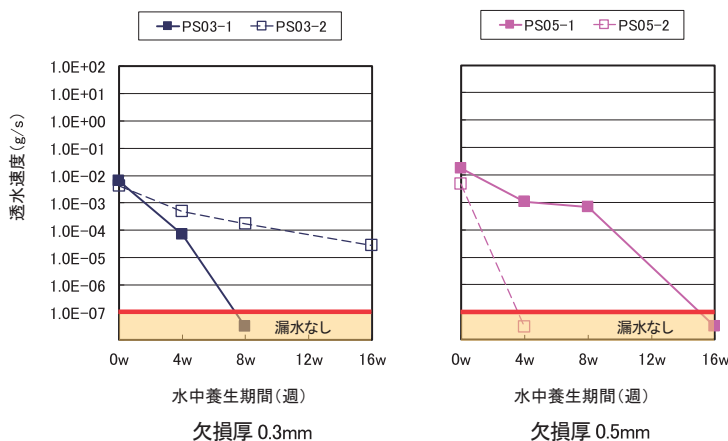


図 6 PS の透水速度と水中養生期間の関係

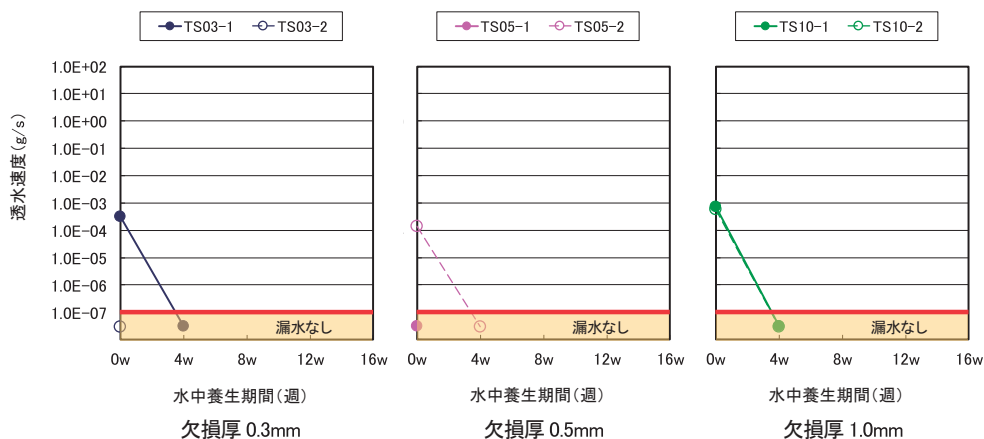


図 7 TS の透水速度と水中養生期間の関係

この点については、TS が塗厚の厚い仕様であることから、小さい欠損に対しては、防水材自身の厚さで十分に透水を抑制できたが、大きい欠損に対しては、欠損が大きい分、欠損部近傍が十分に緻密化するまでに時間を要したことが要因になったと考える。

## §5. 適正な評価方法の確立に向けた課題点

本研究では、実験室でも試験が可能な小型の試験体を用いた試験方法を考案したが、実構造物に対して、各止水工法を適用した際の止水効果が発現するまでの期間等の予測には至っていない。しかしながら、実施工における、打継ぎ処理やケイ酸質系塗布防水材が多用されることに鑑みると、地下構造部における止水性を適正に評価する評価方法として確立するためには、各止水工法を実構造物に適用した際の止水性評価と本試験方法に基づいた評価結果の整合性を確認した上で、考案した試験方法に基づく止水性評価の適否の検証が必要になると考える。

## §6. まとめ

本研究では、地下構造部における防水機能上の弱点となりやすい打継ぎ部や打継ぎ部が拡幅することにより生じるひび割れ部などの不連続部に対し、代表的な止水工法を適用した際の止水効果について基礎的な検討を行った。本研究によって得られた知見は以下のとおりである。

- 1) 本研究で考案した透水量と計測時間から透水速度を求める試験方法によって、止水効果を簡便かつ定量的に相対比較することが可能である。
- 2) 打継ぎ部に高圧水処理を施すことで、高い止水効果が発現される。
- 3) ケイ酸質系塗布防水材の水中養生期間が延びるほど、透水速度は低下する。とりわけ、塗厚の厚いものの方が高い止水効果が発現される。
- 4) 実構造物を対象とした種々の検証を重ねることにより、本試験方法に基づいた止水性の評価の適否の検証が今後の課題点である。

## 注 釈

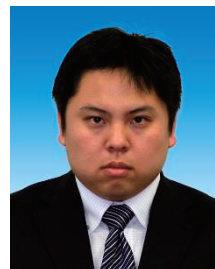
注1. 図5～図7のグラフは対数表示のため、裏面側に水滴が確認されなかった透水係数が0 (g/s) の試験体データについては、便宜上、3.0E-08として、漏水なしの区域にプロットした。

## 参 考 文 献

- 1) 田中享二、申英珠：打込み中に生じたモルタルの打足し接続部の透過性と細孔構造、日本建築学会構造系論文集、第529号、pp.7-12、2000.3
- 2) 手塚基広、松井勇、逸見義男、守屋哲夫：高水圧下におけるコンクリートの打継ぎ部およびひび割れ部の水密性試験の提案、日本建築学会技術報告集、第13巻、第26号、pp.411-414、2007.12
- 3) 岡本肇、田中享二、清水市郎、久下高豊：地下躯体の外防水先やり工法の評価試験方法に関する研究、日本建築学会構造系論文集、第76巻、第661号、pp.455-464、2011.3
- 4) 岡本肇、田中享二：地下躯体の先やり外防水工法の防水性の評価試験方法の提案、日本建築学会構造系論文集、第76巻、第667号、pp.1569-1576、2011.9
- 5) 田中享二、呉祥根、松本洋一、小池迪夫：ケイ酸質塗布防水材料によるコンクリートの内部組織の変化、湿潤環境下における防水工法の研究 その1、日本建築学会構造系論文集、第416号、pp.47-56、1990.10
- 6) 田中享二、呉祥根、小池迪夫：ケイ酸質塗布防水材料が下地モルタルの透水性に及ぼす影響、湿潤環境下における防水工法の研究 その2、日本建築学会構造系論文集、第422号、pp.27-36、1991.4
- 7) 田中享二、呉祥根、小池迪夫：ケイ酸質微粉末混合セメント系塗布防水材料が下地モルタルのひび割れおよび打継ぎ部分に及ぼす密実化効果、湿潤環境下における防水工法の研究・その3、日本建築学会構造系論文集、第435号、pp.11-18、1992.5
- 8) 日本建築学会：建築工事標準仕様書・同解説 JASS 8 防水工事、JASS 8 T-301、pp.407-409、2008.2
- 9) ケイ酸質系塗布防水材協議会：防水原理・特徴、<http://keisanshitsu.com/about.html>

## ひ と こ と

漏水は大きな不具合事象の一つですが、予期せずに漏水が起きてしまうことも多いので、防水技術の開発に取り組んでいきたいと考えます。



藤沼 智洋