

# トピックス

## パイプ・イン・パイプ工法における セメント系充填材の長期防食効果について

### 1. はじめに

パイプ・イン・パイプ (PIP) 工法による水道管更新等の工事では、既設管と新設管の間隙にセメント系充填材 (エアミルク、エアモルタル等) を裏込めすることで、セメントのアルカリ成分により、鋼管外面を不動態化させ、鋼管の外面防食を行っている。しかしながら、これらの充填材に関する防食性能の経年変化については、これまで十分な調査研究が行われていなかった。

今回、東京都水道局と日本水道鋼管協会 (WSP) は、PIP工法による更新後28年経過した境和田堀線のセメント系充填材および鋼管外面の経年変化について調査を行い、セメント系充填材の長期防食効果について検証した。

### 2. 調査概要

#### 2.1 調査物件

- 1) 調査配管：境和田堀線  
鋼管内径  $\phi$  1,800mm  
旧コンクリート管内径  $\phi$  1,894mm
- 2) 場所：杉並区浜田山3丁目7番地
- 3) PIP更新工事施工：1987年 (昭和62年)  
(旧コンクリート管施工：1923年)
- 4) 調査時期：2015年
- 5) 経過年数：28年
- 6) 充填材：エアミルク



写真1 鋼管による更新工事施工状況 (昭和62年)

#### 2.2 調査内容

- 1) 鋼管の外面腐食状況 (目視による)  
試験体採取位置の鋼管外面を観察し、腐食の有無を目視にて確認。
- 2) エアミルクの充填状況 (目視による)  
試験体採取位置でのエアミルクの充填状況を、目視にて確認。
- 3) エアミルクの経年劣化状況  
(溶解変質試験および中性化試験)  
サンプル採取した試験体を用いて、中性化試験およびCaの溶脱を確認する溶解変質試験を実施。

#### 2.3 エアミルクの試験体採取位置

エアミルクの試験体は、旧コンクリート管の上部 (10H~2H位置) をコアボーリングした箇所から採取した。採取位置を、図1に示す。

### 3. 調査結果

#### 3.1 鋼管の外面腐食状況

試験体採取位置におけるエアミルクの下の鋼管状況を写真2に示す。鋼管の状況を観察すると、エアミルクは鋼管表面の全面に密着して残っていた。密着したエアミルクをテストハンマーで剥離したが、鋼面に錆は認められず、施工当時の状態を保っていることが確認できた。

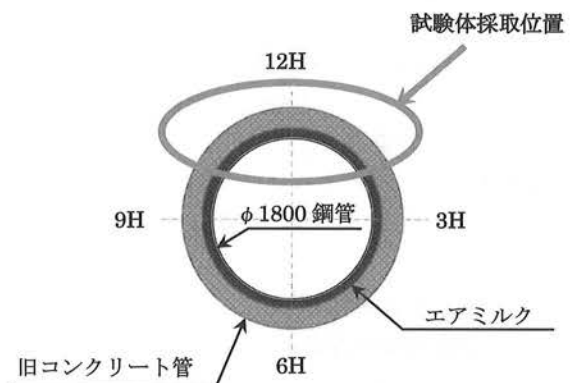


図1 試験体採取位置図

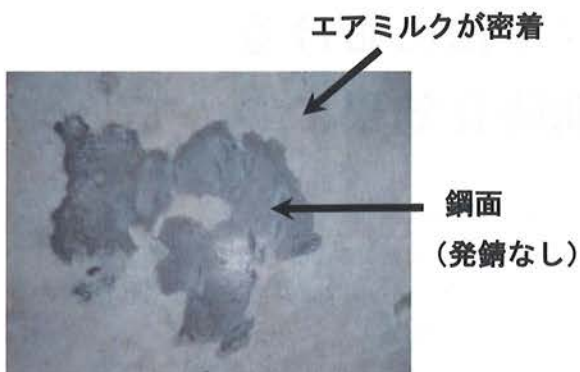


写真2 上部の鋼面状況 (発錆なし)



写真3 エアミルクの充填状況

### 3.2 エアミルクの充填状況

鋼管と旧コンクリート管との隙間のエアミルク充填状況を、写真3に示す。

写真3に示されるように、全周にエアミルクが十分に充填されていることが確認できた。

## 4. エアミルク劣化試験

### 4.1 試験項目の選定

エアミルクが劣化し、アルカリ環境によって形成されていた鋼面の不動態皮膜が破壊されること

で、鋼管外面の腐食が発生する。

この不動態被膜が破壊されることに最も影響のある要因としては、以下に記すセメント成分の溶解変質と中性化が挙げられることから、本調査の試験項目とした。

#### 1) セメント成分の溶解変質

溶解による変質は、セメント系材料中の水和成分が土中の水に溶解（溶解成分の主体はCa）し、組織内のpH等が低下する現象である。その結果、高pHの環境が維持されず、鋼面の不動態皮膜が破壊され、腐食が発生する。

#### 2) 中性化

セメント系材料中の水酸化カルシウムは、大気中の二酸化炭素と反応し、炭酸カルシウムを生成する。生成された炭酸カルシウムは、pH8.5~10程度になることから、中性化と呼ばれている。中性化によって、鋼管外面は高pHの環境が維持されず、表面の不動態皮膜が破壊され、腐食が発生する。

## 4.2 セメント成分の溶解変質試験

### 1) 試験方法

セメントの水和物である水酸化カルシウムは、Caの溶解度が高く、水と接触することで、主成分であるCa量が減少する。また、セメント成分の一つであるSiは水と接触しても、Caの溶解にかかわらずシリカゲルとしてコンクリート中に残存するため、Siの量は一定となる。以上のことから、セメント充填材に溶解変質が起こると、Caの量は減少し、Siの量は一定であることから、結果としてセメント水和物のCa/Si比が低下することになる。

以上のことから、ここでは、セメント系充填材のセメント成分の溶解挙動を確認するために、CaおよびSiの濃度分布を、電子線マイクロプローブ分析装置（EPMA）を使用して測定することとした。

なお、試験体は、測定にあたり、鋼管側と旧コンクリート管側の各元素の濃度分布が確認できるよう写真4に示すように切断加工した。

### 2) 試験結果

EPMA測定によるCaとSiの濃度比分布を図2

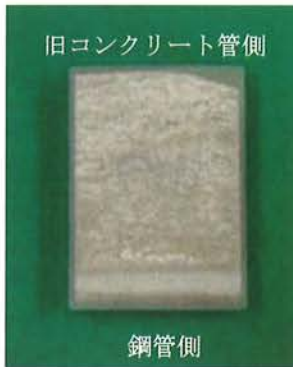


写真4 試験体断面

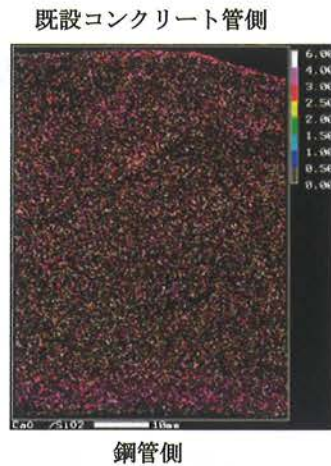


図2 Ca/Siの濃度比分布

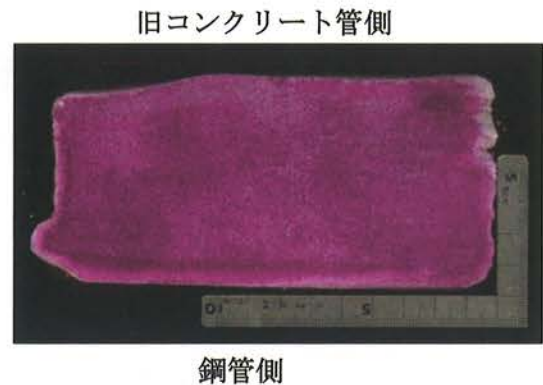


写真5 中性化試験の結果

に示す。

エアミルク断面のCaとSiの濃度比は、鋼管側と旧コンクリート管側に大きな変化はなく、CaとSiの存在割合がほとんど一定であることを示している。

図2に示すCaとSiの濃度比は、約1.5以上であるのでpH12以上の高アルカリ環境にあり、試験体のエアミルクの防食機能は十分であるといえる。

以上、EPMA測定により、試料断面のCa/Si濃度比が一定であり、pHも12以上であると想定され、Caの溶解は進行していないと判断できる。

#### 4.3 中性化試験

##### 1) 試験方法

中性化試験は、鋼管側と旧コンクリート管側を含む切断面に1%のフェノールフタレイン溶液を噴霧して行う。その結果に基づき、赤色に変化しない部分を中性化領域、赤色に変化する部分(pH10以上)を非中性化領域と判断することとした。

フェノールフタレインを噴霧する試料の断面は、EPMA測定を実施するために切断した面(EPMAに使用した試料の反対の断面)とした。

##### 2) 試験結果

中性化試験の結果を写真5に示す。試験の結果、エアミルク断面の全体が赤く発色していたことから、エアミルクの中性化は進行していないことが確認できた。

#### 5. まとめ

##### 5.1 エアミルク充填状況と鋼面の腐食状況

- 1) 鋼管上部のコアボーリングにて撤去した部分の鋼面には、エアミルクが密着しており、エアミルクの下にある鋼面に、錆などの異常は認められなかった。
- 2) 充填状況を目視確認した結果、エアミルクは、鋼管と旧コンクリート管の隙間の全体に十分に充填されていた。

##### 5.2 溶解変質試験、中性化試験の結果

- 1) 溶解変質試験の結果、Ca/Si濃度比が一定であることから、Caの溶解は進行していないことがわかった。
- 2) 中性化試験の結果から、エアミルク断面の中性化は、鋼管側、旧コンクリート管側ともに進行していないことが確認された。

以上、今回の調査試験の結果、施工後28年経過したセメント系充填材(エアミルク)は、鋼管と旧コンクリート管との間隙に十分に充填されており、Caの溶解変質、中性化等の劣化は確認されず、鋼管表面に錆の発生もないことから外面の防食効果は十分に機能していると判断した。

この事例から、パイプ・イン・パイプ工法におけるセメント系充填材に経年劣化はなく、長期間に渡って鋼管外面の防食効果が期待できると考えられる。