

### 3-1-3 清水谷特殊人孔の止水対策について

中部下水道事務所 お客さまサービス課 川口 晃二

#### 1. 清水谷特殊人孔の概要

##### 1.1 清水谷特殊人孔について

今回止水対策を行った人孔は、東京都千代田区紀尾井町の清水谷公園内にあり、第二溜池幹線の最上流部に位置する特殊人孔（以下「清水谷人孔」という。）である（図 1.1）。

第二溜池幹線は、千代田区紀尾井町付近の浸水対応や閉鎖性水域である皇居内濠の水質改善を目的として建設され、平成 13 年に旧汐留ポンプ所より上流部が完成した。清水谷人孔は、第二溜池幹線全線完成時、暫定貯留施設として使用するため、貯留水を排水する設備が設置された。

現在の第二溜池幹線は、図 1.2 のように最上流に清水谷人孔が位置して、最下流の中央区勝どき五丁目にふかし上げ人孔が設置されている。



図 1.1 清水谷人孔の位置図

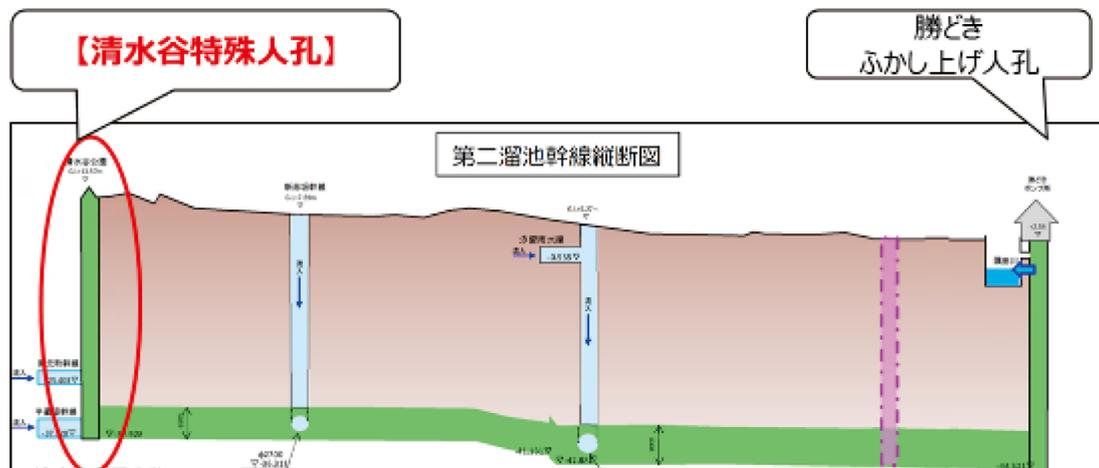


図 1.2 第二溜池幹線縦断面図

## 1.2 清水谷人孔の構造

清水谷人孔は、直径約 16m、深さ約 53m で最大フロア高が約 20m となる大規模特殊人孔である。清水谷人孔の平面図を図 1.3 に断面図を図 1.4 に示す。清水谷人孔は、地下 1 階から地下 6 階までの構造であり地下 1 階は換気機械室、地下 2 階は電気室となっており、地下 5、6 階はウェットエリアがドライエリアと壁を隔てて設置されている。地下 6 階は排水ポンプ室となっており、そこに設置されている排水ポンプでウェットエリアに溜まった貯留水を既設管に排水している。

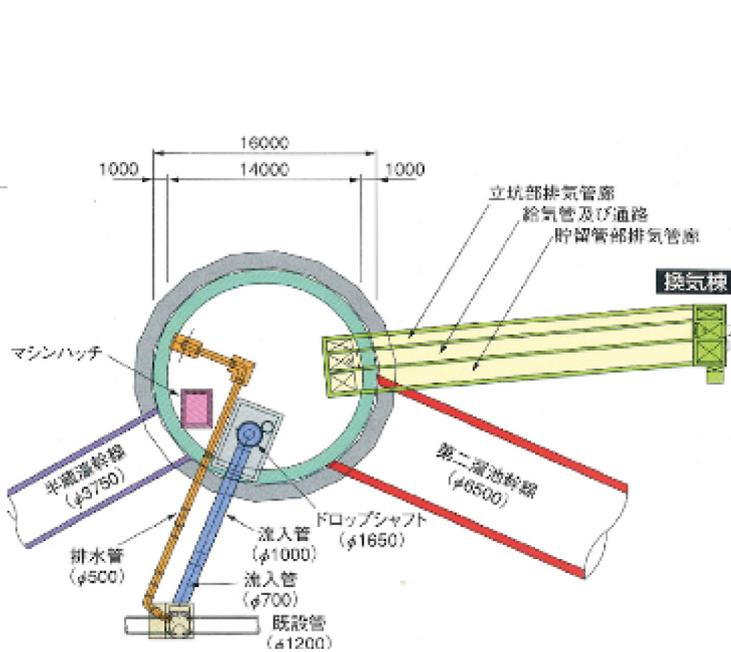


図 1.3 人孔平面図

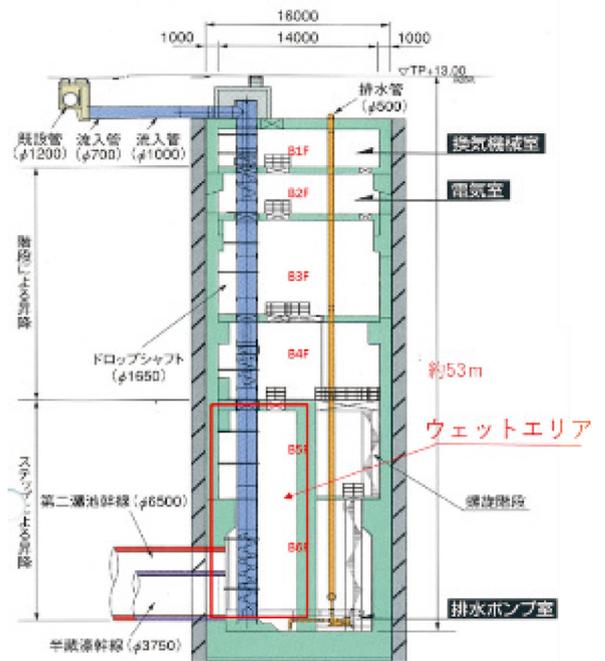


図 1.4 人孔断面図

## 2. 補修前の状況と補修の目的

### 2.1 補修前の清水谷人孔の状況

補修前の清水谷人孔は、壁面には経年によるひび割れに伴う漏水が多数確認されており（図 2.1）、電気設備のあるドライエリアが湿潤環境となり、さび等の影響により電気設備やポンプ設備が故障を繰り返し発生していた。地下 3 階以深の階は漏水の影響により床に水が溜まった状態であり（図 2.2）、地下 5、6 階は上階からの漏水により雨が降っているような状態となっていた。それにより、地下 6 階に設置されている排水ポンプ 3 台が全て故障し正常な運転ができず、必要



図 2.1 漏水状況写真

な排水機能が確保されていない状態であったため、早急に補修を行う必要があった。



図 2.2 漏水状況

## 2.2 これまでの補修の経緯

清水谷人孔は、これまでも漏水等の影響による対策を講じてきた。令和 2 年度には管廊から地下 2 階まで止水工事を行い、令和 3 年度には地下 3 階から地下 6 階までをドローン等を用いて補修前の事前調査を行った。

令和 2 年度の止水工事は、STTG 工法でひび割れ部からの漏水の止水を行った。令和 3 年度の調査はドローン等の DX を用いて人孔内の調査を行い、その調査結果をもとに令和 5 年度に今回報告する地下 3 階から地下 6 階まで止水工事を発注した。

## 2.3 ドローン等を活用した調査について

補修工事に先立って漏水箇所の特定期や原因となっているひび割れ等の計測を行うが、地下 3 階から地下 6 階まではフロア高が高く最高約 20m であり、大規模な仮設足場の設置が必要となり、工期やコスト面を考慮し、ドローン等による調査を採用した。人孔構造、人孔内の環境及び補修工事の設計に必要な精度の情報取得や調査の安全性を考慮し、以下の条件を満たすドローンを選定し、図 2.3 に示す機体を活用することとした。

- ① Φ 600 mm の入孔口から施設内へ安全に入ることができるサイズ・重量であること
- ② 暗所でも躯体状況の撮影が可能な照明とひび割れ幅 1 mm 以上を確認できるカメラを搭載できること
- ③ GPS を使用せずに調査が可能な機体であること
- ④ 施設の損傷を防止するため、プロペラの周囲をガードできる仕様の機体であること

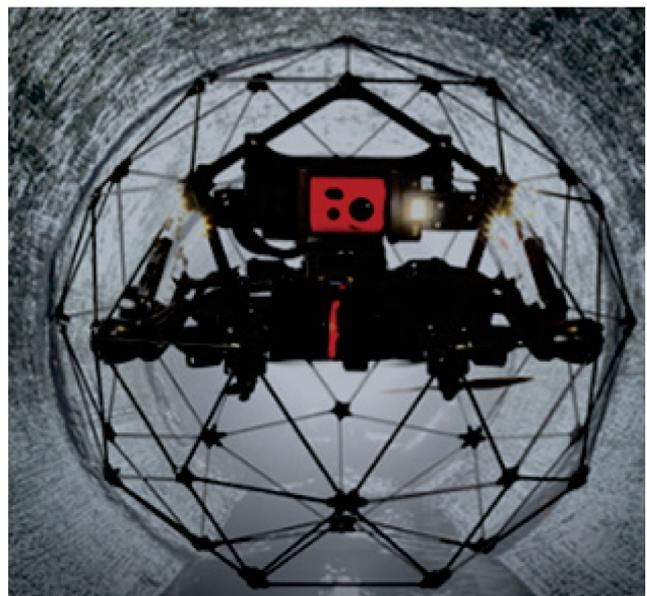


図 2.3 ドローンの外観

## 2.4 調査結果

ドローンを用いて行った調査の結果を図 2.4、2.5 に示す。図 2.4 は、ドローンに搭載したカメラで撮影した画像を展開画像として接合したもので、図 2.5 はその展開画像を解析ソフトを用いて損傷を抽出したものである。

調査の結果、画像からひび割れや漏水等の損傷を確認することができ、それを解析することによってひび割れの幅や延長も確認することができた。この調査でドローン等の調査に加えて目視調査も行い結果を比較したが、ひび割れや漏水等の損傷を目視調査とほぼ同等の精度で確認することができ詳細な情報を収集することができた。

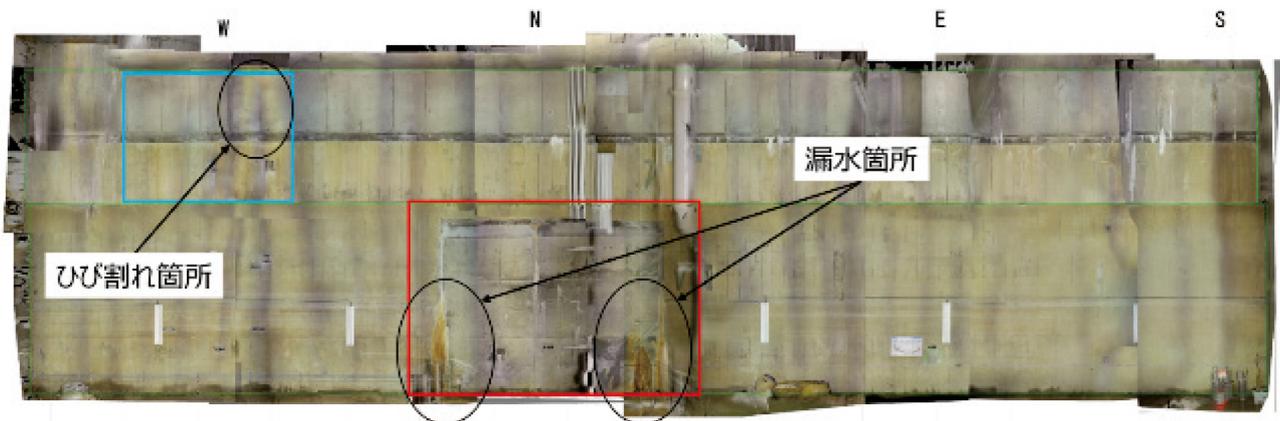


図 2.4 ドローンによる画像展開図

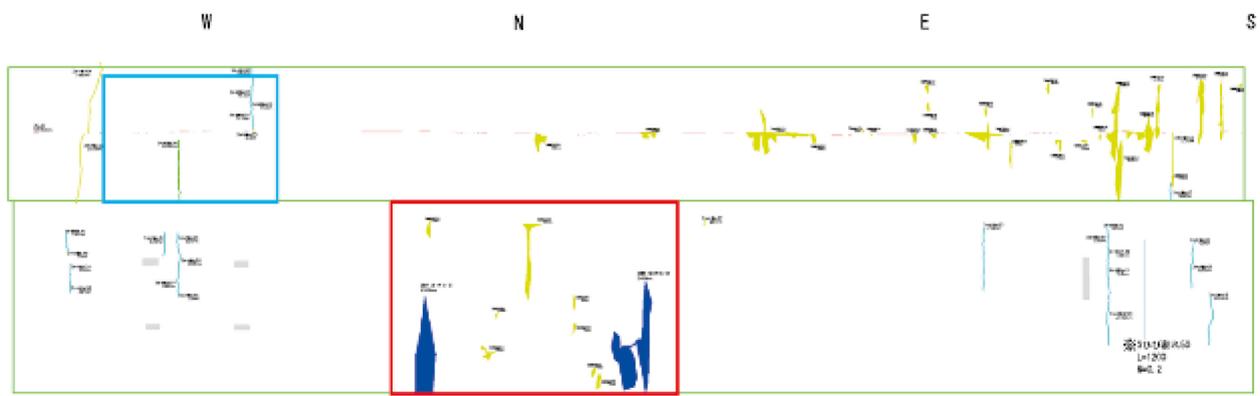


図 2.5 ドローンによる損傷展開図

## 3. 補修内容

### 3.1 工事概要

今回行った工事の概要について簡単に以下で説明する。

工事件名 千代田区紀尾井町付近特殊人孔補修工事  
工事場所 東京都千代田区紀尾井町  
工期 令和 5 年 10 月 20 日から令和 6 年 2 月 28 日  
工事概要 止水対策高圧注入工法 約 280m

### 3.2 対策工法の選定について

ひび割れ部の対策工法は、ひび割れの幅が 0.1 mm～0.65 mm であることから注入工法を主体に検討し、漏水防止を目的に無機系注入材注入工法、アクリル系注入材注入工法、ウレタン樹脂系注入工法、裏面注入止水工法を主に比較検討を行った。表 3.1 に工法比較表を示す。工法比較の結果、アクリル系注入材注入工法の特種ポリマー樹脂注入工法を選定した。

工法を選定するにあたって、主に 3 点を条件にした。1 点目は、人孔内は様々な設備等が設置されており作業スペースが限られていたため、注入設備が比較的小規模であることを条件にした。本工法は、注入ポンプ 1 台に加えて攪拌工具等で施工できるため注入設備が小規模であり適していた。2 点目は、ひび割れ等の変位に材料が追従可能であることを条件にした。地震や温度変化等によってひび割れに変位が生じて、それに繰り返し伸縮して止水効果を発揮するものを選定した。本工法で使用する材料は、硬化後弾塑性体となりクラックに対して変形追従性があり、長期的に止水効果を期待できるものがある。3 点目は、人孔内の至る所で漏水していたため、漏水等に伴うひび割れに対応可能であることを条件とした。以上の条件を主に比較し工法を決定した。本工法は、建築の地下構造物や下水処理場などの地下構造物の躯体コンクリートに発生するクラックや打ち継ぎ目等からの漏水を止める工法であり、大深度人孔である当該現場に適している。

| 工法分類       | 無機系注入材注入工法   | アクリル系注入材注入工法   |  | ウレタン樹脂系注入工法  | 裏面注入止水工法   |
|------------|--|--|--|--|--|
| 工法名        | ハイジェット止水工法   | 特種ポリマー樹脂注入工法   | 2液混合型アクリル樹脂注入工法  | 親水性ウレタン止水工法  | ウォーターセラミック+水性エマルジョン界面活性剤工法   |
| 材料名        | ハイスタップ、ハイスタップZ   | アルファ・ゾルG   | バンデレキシン  | TAP工法  | ビトグラウトUG   |
| 工法概要       | ひび割れに削孔して内部を真空に近い状態にして、注入充填させる。漏水があっても施工可能で、躯体を一体化させる。コンクリートと同等の強度が得られ、長期的な耐久性が期待できる。                              | ひび割れに削孔して注入充填させる。1液で浸透性に優れ、特に打継ぎ目、目地等の可動部の止水補修、振動影響のある止水補修、防水層の劣化漏水部の補修などに対応できる。 | ひび割れに削孔して注入充填させる。2液混合によりゲルタイムの調整が容易である。コンクリート構造物の管口充填補修、環状物境界部止水補修、振動影響による止水補修などに対応できる。                  | ひび割れに削孔して注入充填させる。1液で水を硬化剤として反応するため、隙間な設備での注入止水が可能。硬化後は強固なゴム弾性ゲルを形成する為、振動影響のある構造物にも対応できる。                 | 貫通注入孔を明け、背面にアクリル水性エマルジョン樹脂を注入し、防水層を形成すると共にコンクリート中のひび割れ等の水みちを封鎖し漏水を止める。       |
| 硬化後の状態     | コンクリートと同等の硬化体  | ゴム状の硬化体  | ゼリー状の硬化体<br>(乾燥時はスポンジ状)  | ゴム状の硬化体<br>(乾燥時はスポンジ状)   | ゼリー状の硬化体   |
| 注入圧力       | 低圧(手動ポンプでの注入)  | 高圧と低圧で注入可能   | 高圧と低圧で注入可能   | 高圧と低圧で注入可能   | 高圧と低圧で注入可能   |
| 注入設備       | 注入ポンプ1台+ホッパー等  | 注入ポンプ1台+攪拌工具等  | 注入ポンプ2台  | 注入ポンプ1台  | 注入ポンプ1台+攪拌工具等  |
| 伸縮性        | 伸縮性無   | 追随し伸縮性有  | 追随し伸縮性有  | 伸縮性有   | 若干伸縮性有   |
| 耐久性        | 長期的に安定   | 中期的に安定   | 長期的に安定   | 紫外線・アルカリ性水溶液に弱い  | 中長期的に安定  |
| 硬化速度       | 30分程度で7分、3時間～1日で硬化   | 数時間～1日で硬化  | 10秒～3分程度で硬化  | 1分～3分で硬化   | 半日～2日で硬化   |
| 特徴         | コンクリート自体の一体性が割れ、内部の腐蝕ひび割れ(0.05mm)まで浸透注入可能。伸縮の無いひび割れでの長期的な止水・補修が可能である。無機系のため、腐蝕環境にも影響がなく補修跡の汚れ等も生じない。工法、熟練技術が必要となる。 | 硬化物がゴム状で、高弾性・耐高圧・力性がある。中期的な耐久性も期待できる。縦断し荷重を受けるひび割れ、目地部の補修が可能。比較的注入設備も簡易である。      | 硬化剤によりゲルタイムが調整でき、漏水のあるひび割れなどで開孔による止水が可能。硬化体もゼリー状な為、目地等振動のある箇所での施工が可能。2台のポンプによるノズル先端での混合の為、注入設備は比較的大きくなる。 | 水を硬化剤として反応し、約1.5～2.0mmに浸透して止水効果が得られる為、簡易な設備での止水が可能である。アルカリ性の強い水に長時間浸漬するとゲルが軟化し漏れしてしまうので、長期的な止水効果は期待できない。 | 硬化後は、十分な防水性を有し、体積の減少はほとんどなく、若干の動きにも対応できる。水性材料の為、腐蝕環境に影響を及ぼさない。比較的注入設備も簡易である。 |
| 概算価格(円/㎡)  | 25,000円/㎡程度  | 40,000円/㎡程度  | 80,000円/㎡程度  | 30,000円/㎡程度  | 150,000円/㎡(m)程度  |
| 概要図等       |  |  |  |  |  |
| 本構造物損傷耐適用性 | ・漏水、遊離石灰を伴わないひび割れ  | ・遊離石灰水を伴うひび割れ、打継等  | ・漏水・漏水を伴うひび割れ、打継等  | ・遊離石灰水を伴うひび割れ、打継等  | ・面的な防水対策となり、施工面積が増大し、経済性に劣る。   |

※施工単価はひび割れ幅1mm・深さ50mmで90mm現場を想定。

表 3.1 補修工法の比較表

### 3.3 仮設工について

人孔内は、フロア高が高く仮設の足場を設置しないと天井や壁面を十分に補修できない状態であったため、補修に先立ってまず仮設の足場を設置した。足場材は、円形の躯体や設備が複雑な場所に対応できる手すり先行型緊結足場を使用した。一般的に用いられる手すり先行型枠組足場では、部材が門型となっており複雑な構造に対応して足場を設置することが困難であるため緊結足場を採用した。緊結足場は、支柱材とつなぎ材を組み合わせることで足場を組み立てるため構造が複雑な場所でも柔軟に対応して足場を設置することができる。加えて部材がすべて棒状となっており軽量でコンパクトに梱包もできるため、大深度人孔でも持ち運びやすいという点でも優れていた。

### 3.4 止水工について

止水工は、まず人孔躯体の構造や漏水箇所状況・規模等を確認し注入方法を決定した。注入方法には、背面注入と削孔注入があり、背面注入は広範囲の躯体の劣化等により漏水経路の確定が困難である場合、躯体背面までドリルで貫通削孔し躯体背面に止水材を注入する工法である。削孔注入はひび割れや打継部等からの漏水に対してドリルでひび割れ等を躯体背面寄りまで貫通するように削孔し、そこから止水材を躯体背面やひび割れに注入する方法である。当該現場はひび割れ部から漏水していることが確認できたので削孔注入で止水工を行った。

注入方法が決定すると、施工個所のひび割れや削孔位置をマーキングし施工範囲や注入量等を決定した。マーキング状況の写真を図 3.1 に示す。マーキングを行った箇所に図 3.2 に示すように、 $\phi 10\sim 13\text{mm}$ のドリルビットを用いて所定の深度まで注入孔の削孔を行う。削孔完了後、内部の切削粉を除去し、注入孔に注入プラグ等の注入口を取り付け、止水材の注入を行った。注入状況を図 3.3 に示す。注入は、施工範囲の下部または端部から順を追って行い、圧力ゲージにより最初は低圧で注入し、隣接する注入孔やひび割れへの注入



図 3.1 マーキング状況



図 3.2 削孔状況

材の廻り具合を確認しながら調整する。注入しても漏水が止まらない場合は、その原因を調査し部分的に再度注入を行ったり、別途削孔してそこから止水材を注入する。止水材は、ひび割れの変位に対して材料が繰り返し追随できる、石油系のアスファルト乳剤と硬化剤を攪拌したものを使用した。攪拌状況を図 3.4 に示す。攪拌時間は約 3 分で、硬化時間が 5 分から 20 分であることを確認し材料をポンプで注入する。止水効果確認後、取り付けした注入口を撤去し注入孔をポリマーセメントモルタル等で充填補修し、構築躯体表面を平坦に仕上げて補修完了となる。



図 3.3 注入状況



図 3.4 材料攪拌状況

### 3.5 施工後の状況

施工後の状況を図 3.6 に示す。図は地下 3 階の施工後の写真であるが、止水後は人孔内の漏水がほぼ止まり壁面も床も水が溜まってなくきれいな状態となったことが確認できた。図は止水工事完了から約半年間経過したものであることから、今回の補修が大深度人孔における止水対策として有効であると考えられる。



図 3.5 施工後の状況

・参考文献

東京都下水道局第二基幹施設再構築事務所（平成 29 年 3 月） 第二溜池幹線建設記録誌