特集

大規模災害に備える下水道
～直下型地震・火山噴火～

富士山噴火等の大規模な災害に備え、下水道管きょ内に堆積した火山灰等の除去技術を開発



山岸 清隆

東京都　下水道局
計画調整部　技術開発課長

1　はじめに

富士山噴火に伴う広域降灰は、都民生活や都市活動に大きな影響を及ぼすおそれのある災害の一つであり、下水道をはじめとする都市インフラにおいては事前の備えが重要です。

下水道は、家庭や事業場から発生する汚水を速やかに排除して公衆衛生を確保するとともに、降雨時には宅地や道路等に降った雨水を排除し、市街地を浸水から守る役割を担う重要な基幹インフラです。そのため、火山灰の流入等により下水道管きょの流下機能が損なわれた場合、汚水の滞留による生活環境の悪化に加え、道路冠水や浸水被害の拡大を招くおそれがあります。

特に東京 23 区では合流式下水道を広く採用していることから、道路上に堆積した火山灰が降雨に伴って雨水ます等を通じて下水道管内へ大量に流入する可能性があります。このため、火山灰の堆積や固結による流下機能への影響を最小限に抑えるための対策が求められています。

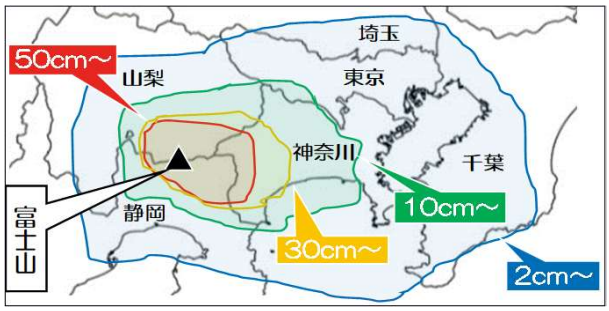
そこで東京都下水道局では、火山灰等の流入により下水道管内で堆積・固結が生じた場合の除去技術の開発に取り組みました。

本稿では、本技術開発の背景を示すとともに、既存技術を活用した開発の考え方、機器改良の内容及び実証実験の概要について報告します。

2　技術開発の背景

宝永４（1707）年 11 月に発生した宝永噴火では、江戸でも最大５cm の降灰があったと記録されています。

また、同規模の噴火が発生した場合、**図−１**に示すとおり、都内で２～ 10cm の降灰が予測されています。



図−１　降灰可能性マップ[1)]

さらに、2020 年度に内閣府中央防災会議が公表した報告書では、降灰による下水道施設への主な影響として、「火山灰が下水道管内に流入・堆積し、管路が閉塞するおそれ」が指摘されています。

火山灰が下水道管内へ流入した場合、その影響は単なる堆積にとどまりません。火山灰は細粒分を多く含み、粒子形状が角ばっているなど、一般的な土砂とは異なる特徴を有していることから、下水道管内に流入した際の性状や挙動、さらには除去の難易度が課題となっていました。

そこで東京都下水道局では、令和２年度から令和５年度まで、火山灰が下水道管内へ流入した場合の性状や挙動に関する基礎調査を実施しました。その結果、火山灰は水を含むことで締まり、一般的な砂よりも硬く固まる傾向が確認されました。また、粒子が角ばっていることから粒子同士のかみ合わせが強く、除去時の抵抗が大きくなることも明らかとなりました。

これらの結果から、火山灰は降雨や下水に含まれ

る水分の影響により固結しやすく、たるみ部や伏越部等の流速が低下しやすい箇所では堆積が進行する可能性があるとともに、大量に流入した場合には通常の土砂以上に除去が困難となり、流下阻害や閉塞を招くおそれがあることが確認されました。

一般に、下水道管内に堆積・固結した土砂等の除去には高圧洗浄が有効であり、東日本大震災においても、液状化により下水道管内へ流入した土砂の除去に活用された実績があります。しかしながら、火山噴火災害時には広域的な降灰の影響により給水制限や断水が発生し、高圧洗浄に必要な大量の水を確保できない可能性があります。また、道路交通の混乱、災害対応業務の集中等により、洗浄機器や運搬車両の確保も困難になることが想定されます。このため、災害時においては、水を用いずに火山灰等を除去できる技術が重要となります。

さらに、発生時期を予測できない災害に備えるに当たっては、災害時専用の特殊機器を新たに開発・配備するのではなく、平時から使用されている施工機械や維持管理技術を活用し、必要最小限の改良によって実用化を図ることが望ましいと考えられました。これは、調達性、運用性及び維持管理性の観点からも有効です。こうした考え方のもと、東京都下水道局では、既存技術の活用を前提とした新たな除去技術の開発を進めることとしました。

3　技術開発の考え方と既存技術の選定

技術開発にあたっては、災害時の実装を見据え、次の３つを開発目標として設定しました。

第一に、給水制限や断水により水の使用が制限された場合でも対応できることです。

第二に、基礎調査で明らかとなったような、下水を含んで固く締まり、管内で固結した火山灰等を撤去できることです。

第三に、既存技術を活用しつつ、施工性や施工時間を踏まえ、緊急時にも迅速に対応可能な技術であることです。

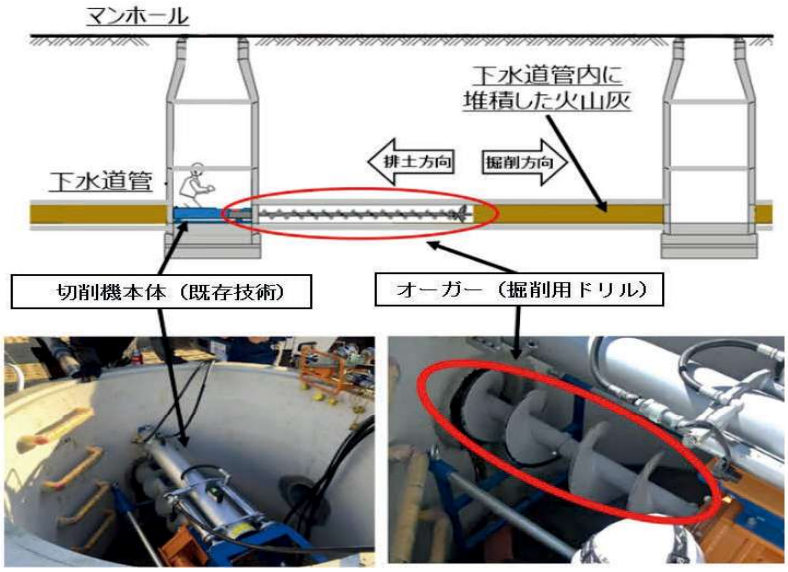
既存技術の選定にあたっては、機器調達や現場への適用のしやすさに加え、平時の維持管理や施工で蓄積された知見を活用できることを考慮し、東京都下水道サービス株式会社と連携して、下水道事業において使用実績を有する工法や機器を対象に適用可能性の検討を行いました。

検討の結果、下水道マンホールの耐震化工事で用いられる既設人孔耐震化工法の切削機に着目しました。この切削機は、下水道管と人孔の接続部のコンクリートを切削するために使用されるものであり、人孔内での施工実績が豊富で、駆動機構や固定機構が比較的簡素であること、人孔内から施工できることなどから、災害時の緊急対応への応用可能性が高いと考えられました。そこで、本来は接続部のコンクリートコア抜きに用いる部品を、小口径管推進工法で使用されるオーガー（掘削ドリル）に付け替えて使用する方法について検討しました。

基礎実験の結果、この方式により、下水道管内に堆積・固結した火山灰等を機械的に掘削し、回転するオーガーにより外部へ搬出できる可能性があることを確認しました。（図−２）

一方、基礎研究を進める中で、実用化に向けた課題も明らかとなりました。

第一に、機器設置やオーガーの本管挿入時に必要



図−２　開発技術の概要

となる芯出し作業など、施工準備に時間を要する点です。災害時には短時間で施工に着手することが重要であり、準備に時間を要する構造は実用上の制約となります。

第二に、機器設置のために人孔内のインバート撤去が必要となる点です。インバートの撤去範囲が大きい場合、施工の手間や復旧時の負担が増大します。

第三に、内径 90cm の人孔では作業空間が限られるため、標準サイズのオーガーを継ぎ足しながら施工することが困難な点です。実際の現場では内径 90cm 人孔が多く、狭隘な条件下でも施工可能とすることが実用化に向けた重要な要件でした。

4　機器改良と実証実験

4．1 機器改良

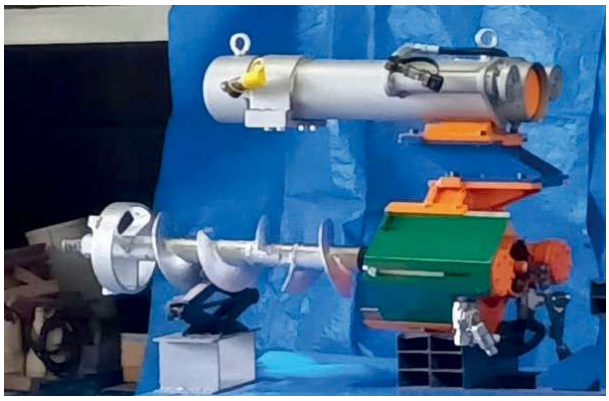
これらの課題を解決するため、まず切削機を支える上下シャフトの構造を見直し、上部シャフトのみで固定可能な構造へ改良しました。この改良により、部品点数を削減し、機器の据付けを簡素化するとともに、下部シャフトが不要となったことで、オーガー挿入時の芯出し作業が容易となりました。あわせて、人孔底部のインバートについても、撤去が必要な範囲を大幅に縮小できるようになり、施工負担の軽減につながりました（**写真−1**）。

次に、内径 90cm の人孔内でもオーガーの継ぎ足し作業を可能とするため、新たに上部シャフトに装着する専用アダプタを製作しました（**写真−2**）。これにより、人孔内の作業空間を確保し、限られたスペースの中でもオーガーの取回しが可能となりました。

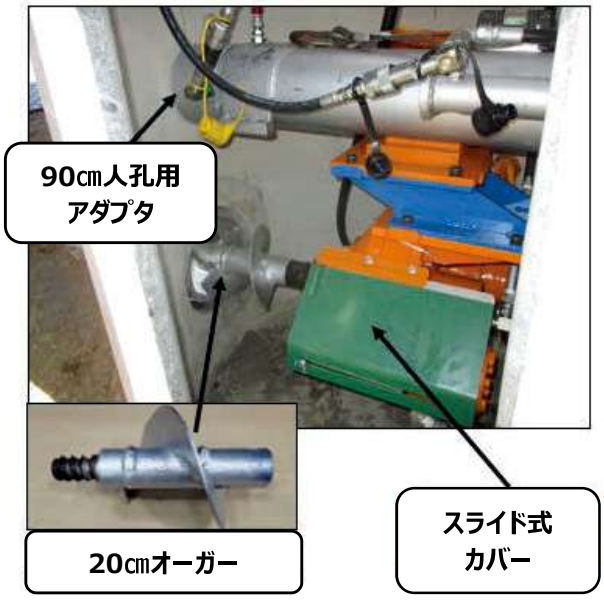
また、狭隘な人孔内では、回転するオーガーへの接触や巻込み等の危険が想定されたことから、安全性向上のためオーガー全体を覆うスライド式カバーを新たに製作・装着しました（**写真−2**）。

さらに、標準では 1 本あたり 80cm であるオーガーについて、20cm の短尺オーガー（**写真−2**）を採用し、狭い空間でも継ぎ足しや取り外しを行い易い構成としました。

このように、本技術は既存機器の単純な転用ではなく、災害時における緊急施工に求められる条件を満たすため、施工準備時間の短縮、狭隘空間への適応及び安全性の向上を図る改良を段階的に加え、既存技術を基盤としながら現場条件に適した実用的な仕様としました。



写真−1　切削機の全景



写真−2　機器改良の概要



写真−3　実規模の模擬施設（1 号人孔）

4．2 実証実験

改良した機器の施工性及び有効性を確認するため実規模の模擬施設を用いた実証実験を実施しました。

実験施設として、地上に内径 250mm の本管及び 1 号人孔の模擬施設を設置し（**写真−3**）、実際



写真−4　管内に充填し、密実にした川砂の状態

の施工条件を可能な限り再現しました。なお、管内の除去状況を外部から確認できるよう、本管の一部をアクリル製とし、内部の挙動を観察可能な構造としました。

また、管内に充填する模擬堆積物については、火山灰の堆積・固結状態を再現するため、川砂を管内に充填した後、水締め及び突き固めを行うことで密実な状態を作り出しました（**写真−4**）。これは、災害時に火山灰が降雨や下水によって湿潤化し、時間の経過とともに締まり、除去しにくい状態となることを想定したものです。

実験では、改良した機器を人孔内に設置し、オーガーを本管内へ挿入して模擬堆積物の掘削及び搬出を行いました。

その結果、管内の堆積物を順次掘削し、人孔側へ搬出できることを確認しました（**写真−5**）。

また、上下シャフト構造の見直しにより部品数が減少し、特に芯出し作業が容易となったことで、準備時間の短縮が可能であることを確認しました。

さらに、90cm 人孔用アダプタの装着により、狭隘な人孔内でもオーガーの継ぎ足し作業が可能となり、施工性が向上しました。加えて、スライド式カバーの装着により、作業時の安全性にも一定の効果があることを確認しました。



写真−5　実験時のオーガーの掘削・除灰状況

これらの結果から、本技術は、給水制限や断水等により高圧洗浄用の水が確保できない状況においても、下水道管内に堆積・固結した火山灰等を除去し得る技術として有効であることが示されました。

また、既存機器を活用することで、災害時専用機器の新規開発・長期保管に伴う負担を抑制しつつ、実装性の高い技術として整理できました。

5　おわりに

東京都下水道局では、東京都下水道サービス株式会社をはじめ、民間企業や大学等の研究機関と連携し、下水道事業が直面する様々な課題に対して、日常の工夫・改善から新技術の開発・導入まで、幅広く取り組んでいます。

本技術は、富士山噴火等の大規模災害時を想定し、水を使わずに下水道管内に堆積・固結した火山灰等を除去することを目指して開発したものであり、既存技術を活用することで実用性と即応性を両立した点に意義があります。

富士山噴火のような大規模火山災害は、ひとたび発生すれば首都圏の都市基盤に広範な影響を及ぼすおそれがあります。下水道においても、汚水や雨水を流す機能を早期に回復することは、都民生活の維持、公衆衛生の確保及び浸水被害の軽減のために極めて重要です。本技術は、そのための有効な対応手段の一つとして活用が期待されます。

今後は、実災害時における運用を見据え、施工手順の更なる合理化や適用範囲の検証を進めるとともに、災害発生時における下水道機能の早期回復に資する技術の確立を図っていきます。

東京都下水道局は、今後も技術開発を通じ、都民の生活と都市活動を支える持続可能で強靭な下水道システムの構築に取り組んでいきます。

参考文献

1）富士山火山防災マップ