

埋設鉄管の直接診断における効率的な現地ブラスト方法の開発

Development of an Effective Field Blast Method for Direct Diagnosis of Underground High-Quality/Ductile Cast-iron Pipes

山本雅之* 菖蒲光徳** 松浦英次***

Masayuki Yamamoto, Mitsunori Shobu,

Eiji Matsuura

全国の水道事業者から管路更新の必要性や更新の優先順位を明確にする管路調査の依頼が年々増加している。これに伴い、より効率的な現地調査への要望も高まっている。この課題をクリアするため、本研究を通じて現地調査作業の中でも比較的時間が必要となり、老朽度判定に大きな影響を及ぼす腐食量調査で実施する管外面の清掃作業について改善・検討することとした。従来、土壌性状や調査管の腐食状況によっては多大な作業時間および労力を要するにも関わらず、確実に除去するために手作業で付着物を除去する手法を実施していた。本研究では、効率的に現地調査を行うためには、外面清掃作業の効率化が必要と考え、管外面の強固な付着物の除去が可能な手法について種々検討を実施し、高圧洗浄を応用した湿式ブラストが有効であることにたどり着いた。

An increasing number of requests have been received from water suppliers throughout Japan for pipeline investigations that clarify the need for renewal of pipelines and rank the renewal priority. Following this trend, the demand for more effective field investigations is also increasing. To clear the issue, the cleaning operations of the outer surface of pipes will be improved and reviewed. Research reveals that cleaning the outer surface of these pipes takes comparatively longer time than the other operations performed during field investigations, and these cleaning operations are often performed during corrosion quantity investigations which greatly affect the ability to assess the degree of aging. Depending on the soil type and corrosion level, a large amount of time and labor is required for cleaning as incrustations have been removed manually to ensure perfect removal. In this study, we decided that outer surface cleaning operations need to be streamlined for efficient field investigations and discussed the various methods that allow removal of hard incrustations on the outer surface of pipes. As a result, we reached the conclusion that the wet blast method, which incorporates high-pressure washing, is effective.

1. はじめに

日本の水道普及率は今や97%を越え、大部分の国民が利用できるまでになった。しかし、その施設の多くは1960年代の高度成長期を契機に急速に整備されたものであり、今後、老朽化が進み、順次更新時期を迎える。よって、水道事業にとって、これらの更新を推進することが非常に重要となっている。

なかでも管路施設は、そのほとんどが地中に埋設された状態であることから、老朽度の把握が容易にできない。このような問題に対し、効率よい更新事業の実施および腐食事故に対する予防保全策のため、埋設管の腐食量調査を実施する事業者が、近年増加の一途をたどっている。

本研究では、管路調査業務の効率化を目的として、埋設鉄管の老朽度判定に必要な腐食量調査の時間短縮・省力化について検討を行い、高圧洗浄機を応用した現地ブラスト方法が有効であったため、実用化に向けた研究開発を行った。その結果について報告する。

なければならない。現地調査の流れを図1に示す。

現地調査は大きく分けて、掘削完了までに実施する埋設環境調査と掘削完了後に実施する管体、ボルト・ナット調査がある。

通常、管の口径φ900までは全工程を1日で実施が可能であり、φ1000以上では、掘削、調査および仮復旧で2日間の工程となる。

2.2 現地調査における問題点

現地調査を実施する上で、以下の2点について考慮しておかなければならない。

- ・全工程（仮復旧まで）が道路使用許可申請の時刻（17:00の場合が多い）までに完了できるような時間管理
- ・近隣住民、通行人などを考慮し、できる限り騒音や粉塵の少ない作業での実施

掘削工事は、天候、地盤の状況、地下水の状況および調査管周辺の他管種埋設状況などを考慮し、所定の時間を確保しておく必要がある。よって、現地調査を効率化するためには、調査工程の短縮が条件となる。

2. 現地調査について

2.1 現地調査の流れについて

現地での管路調査は、土木工事業者との連携で実施し

* パイプシステム事業本部 鉄管事業部 技術本部 研究部
 ** パイプシステム事業本部 鉄管事業部 技術本部 エンジニアリング部
 *** マイメタリコン株式会社

3. 管路調査工程について

3.1 一般的な管路調査工程

管路更新の検討に必要な管路調査工程は、大きく分けて埋設環境調査、管外面の清掃作業、管体腐食量調査、ボルト・ナット腐食量調査および補修作業となる（図1参照）。いずれの作業も手作業がほとんどであり、この工程を完了させるには、通常で4～5時間程度必要となる。以下に各作業・調査内容を簡単に紹介する。

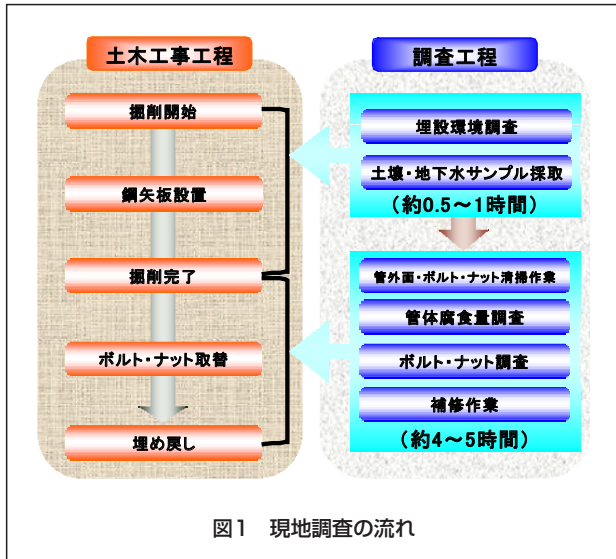


図1 現地調査の流れ

3.1.1 埋設環境調査

埋設環境は腐食の直接的な原因になるため、調査地点の地上の状況、調査管の埋設状況、掘削断面の状況および土壌や地下水のサンプリングなど、調査管がどのような状況下にあるのかを種々調査する。堀上直後の調査管の状況を図2に示す。

3.1.2 管外面およびボルト・ナットの清掃作業

清掃作業は、精度の高い調査データを取得するためには非常に重要な作業となる。

管外面あるいはボルト・ナット表面に付着した土壌やその他付着物（以後、付着物と称す）を手作業による専用工具で除去する。付着物の固着が激しいほど、清掃に時間がかかる。付着物除去作業（ワイヤブラシ）の様子を図3に示す。

3.1.3 管体腐食量調査

管路の老朽度判定には腐食量調査が必要不可欠である。鋳鉄は、黒鉛化腐食と呼ばれる特有の腐食形態をとり、腐食部は非常にもろくなる。黒鉛化腐食部の目視での確認は不可能であり、専用工具で調査範囲全体を隅々まで調査した上で、腐食部の位置を明確にして黒鉛の除去作業を行う。除去後、腐食深さの測定を行うなどのデータ取りを実施する。ここで得られた種々のデータを用いて、管路の寿命予測、老朽度判定などを検討する。黒鉛の除去作業の様子を図4に、黒鉛の除去作業後の調査管の状況を図5に示す。



図2 堀上直後の調査管



図3 付着物除去作業（ワイヤブラシ）



図4 黒鉛化部除去作業



図5 黒鉛化部除去後の調査管

3.1.4 ボルト・ナット腐食量調査

ボルト・ナット腐食量調査は、それらを取外さずに現地で確認する場合と取外して工場を確認する場合がある。いずれも腐食部を除去して老朽度判定を行う。

3.1.5 補修作業

管体腐食量調査で確認された腐食部に、これ以上腐食が進行しないように樹脂埋め（エポキシ系）を施し、調査範囲全体を補修塗料で塗装して調査完了となる。

4. 本研究での検討内容

4.1 調査工程の効率化検討

調査工程の効率化には、清掃作業の短時間化、省力化が必要である。清掃作業は、労力と時間が必要であり、手作業に代わる新手法の開発が必須である。

4.2 新しい手法に必要な条件

新手法が満たすべき条件を整理すると表1のとおりとなる。その中で最も重要なのは、付着物除去性に優れていることである。さらに、調査は市街地で行うことが多く、夜間に実施されることもあるため、騒音や振動、粉塵などが少ないことも必須となる。その他の条件についても、可能な限り満足すべきであると考えられる。

表1 新手法が満たすべき条件

条件	内容
付着物除去性	付着物および黒鉛化腐食部を効率よく除去可能であること
作業性	一般的な掘削スペース（図6）において、管横および管下の付着物除去が可能であること
運搬性	工事規制の都合上、ワンボックスバン1台での運搬および人力積載が可能であること
費用	イニシャルコストが高価でなく、ランニングコストは、従来作業と同程度であること
メンテナンス性	ある程度の期間、メンテナンスフリーで使用可能であること
環境への配慮	騒音、振動、粉塵などが少なく、市街地や夜間作業が可能であること

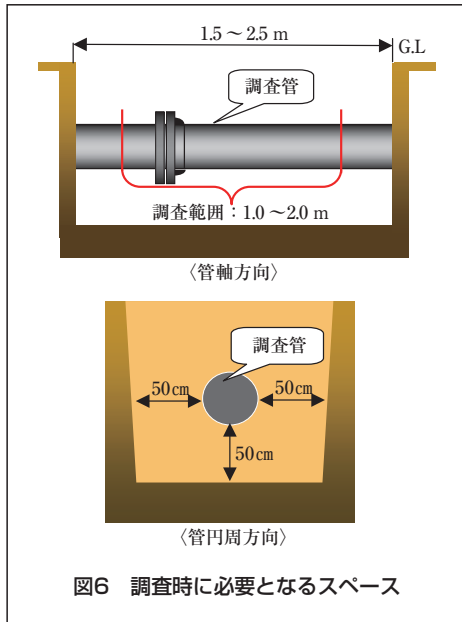


図6 調査時に必要となるスペース

5. 高圧洗浄ブラストに至るまでの経緯

本ブラスト方法の試験の実施に至る前に、種々の可能性について検討を行った。

5.1 電動工具による方法

まず初めに打撃力を重視した手法として、電動工具による方法を検討した。ハンマドリルなどを用いて打撃を与える方法で繰返し現場テストを実施した。しかし、強固に固着した付着物を確実に除去するには、打撃力が小さい上に、付着物が少ない箇所では、逆に管表面に損傷を及ぼす可能性があることが分かった。また、ボルト・ナットや管接合部の清掃にも全く効果が無く、不向きであることが確認できた。

5.2 乾式（エア）ブラストによる方法

鉄管製造ラインおよび室内調査（堀上管の腐食量調査を工場内で実施する）で実績のある乾式ブラストの現地

調査への適用について検討した。付着物除去性は良好であったが、騒音や粉塵の発生が非常に多い。さらに、十分なブラストを実施するには、大型のコンプレッサが必要となる。これらの問題から調査現場への適用が困難と判断した。

5.3 高圧洗浄水による方法

構造物の外壁清掃などに実績のある水による高圧洗浄方法の現地調査への適用について検討した。高圧水（15MPa～20MPa）で清掃しても付着物を十分に除去できず、良好な結果は得られなかった。

これらの検討を通して、管表面に固着した付着物を満足に除去するためには、電動工具などによる打撃や高圧水の投射では不十分であることが判明し、何らかの方法でブラスト材を連続で高圧投射することが不可欠であるとの結論に至った。そこで、高圧洗浄機から放たれる高圧水をエアの代用とし、その高圧水でブラスト材を管表面に投射する方法を考えた。さらに、この手法には、湿式ブラストであることで、粉塵量が少なく、大きなコンプレッサが不要となるメリットがある。よって、本試験にてその可能性について検討し、実用化を目指すこととした。以後、これを高圧洗浄ブラストと称することとする。

6. 高圧洗浄ブラスト試験

6.1 高圧洗浄ブラストの実用化条件

現地調査に高圧洗浄ブラストを適用させるには、使用水压やブラスト材の種類、ガンの形状やホース長、ブラスト材タンクの形状などを決定する必要がある。設定した検討項目およびその内容を表2に示す。なお、高圧洗浄機については、市販機の能力で十分と考え、重量や最大吐出圧力に重点を置いて検討した結果、スーパー工業株式会社製のSEC-1520を採用して試験を進めることにした。

表2 高圧洗浄ブラストの実用化条件と検討内容

検討事項		求められる条件	検討した内容
取り回し作業性	高圧ホース長	・現地での取り回しが容易	・10m ホース（ホースリール使用）について検討
	ブラスト材ホース長	・現地状況を考慮し、10m程度必要	・10m ホースについて検討
	ガン形状	・掘削坑内での取り回しが容易 ・管横および管下もブラスト可能	・銃身形状について検討 銃身長：800mm、230mm、120mm、8mm 銃身曲げ加工、ノズル曲げ加工
	ブラスト材タンク	・現地での取り回し、車載が容易 ・ブラスト材を効率よく吸引できる ・ブラスト材吸引管を固定できる ・雨天時でもブラスト材がぬれない ・ブラスト材の残量が分かりやすい	・専用タンク作製 ・ブラスト材吸引管の挿入角度検討
	ブラスト材吸引管	・ブラスト材を安定して吸引する	・吸引管寸法について検討 ブラスト材部：φ8.5×490mm エア部：φ7.0×410mm
運転条件	水压	・付着物除去性に優れている ・ブラスト材を安定して吸引する ・高圧洗浄機への負荷が少ない	・水压検討 18、17、16、15、14、10MPa
	ブラスト材	・付着物除去性に優れている ・安定して吸引される ・消費量が少ない	・ブラスト材検討 けい砂：5号A、新特5号A、6号、6号A アルミナ：#20、#46、#60、#80、#100

6.2 供試管および試験装置

6.2.1 供試管

φ 150 高級铸铁管あるいはダクトイル铸铁管（経年埋設管の堀上管でブラスト範囲は軸方向に 400mm）

6.2.2 水タンク

φ 500 × 500mm 鋼製タンクを製作（内面 Al 溶射防食）（スケールを貼り、試験前後の水位から水使用量を測定）

6.2.3 ブラスト材タンク

タンク内でのブラスト材の流動性などの確認も考慮して、現地での使用を前提としたものを作製した。製作時に留意した点を表 3 に、作製したブラスト材タンクを図 7 および図 8 に示す。試験時はブラスト材タンクを台秤に載せ、ブラスト作業前後の減量からブラスト材の使用量を求めた。

表3 ブラスト材タンクの留意事項と作製内容

留意事項	留意事項を考慮した作製内容
耐久性を有する	<ul style="list-style-type: none"> ・ SS400 材（t=1.6mm）で作製した ・ 防錆のため、内外面にシリコン溶射をした
現地での取り回し、車載が容易	<ul style="list-style-type: none"> ・ 高さ 500mm、300 × 350mm の形状とした ・ 現地での移動および車載時の固定を考慮し、分離式の運搬用台車を作製した ・ 取っ手を取付けた ・ 底部にドレンを取付けた
雨天時でもブラスト材がぬれない	<ul style="list-style-type: none"> ・ 鋼製の蓋を作製した
ブラスト材の残量が分かりやすい	<ul style="list-style-type: none"> ・ 蓋の一部をアクリル板にした
ブラスト材の効率よい吸引が可能	<ul style="list-style-type: none"> ・ 蓋の中央にブラスト材吸引管の挿入ガイドを設けた ・ プラストホースの折れ曲がり防止のため、挿入ガイド部にスプリングを装着した ・ タンク底部をテーパ状とした

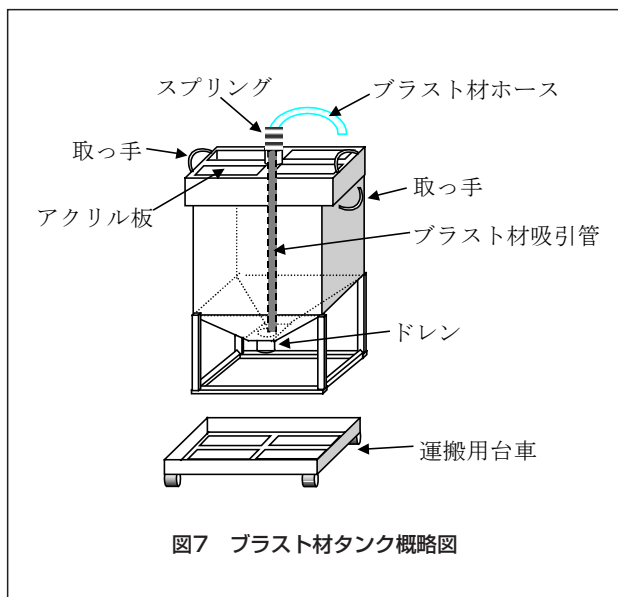


図7 ブラスト材タンク概略図

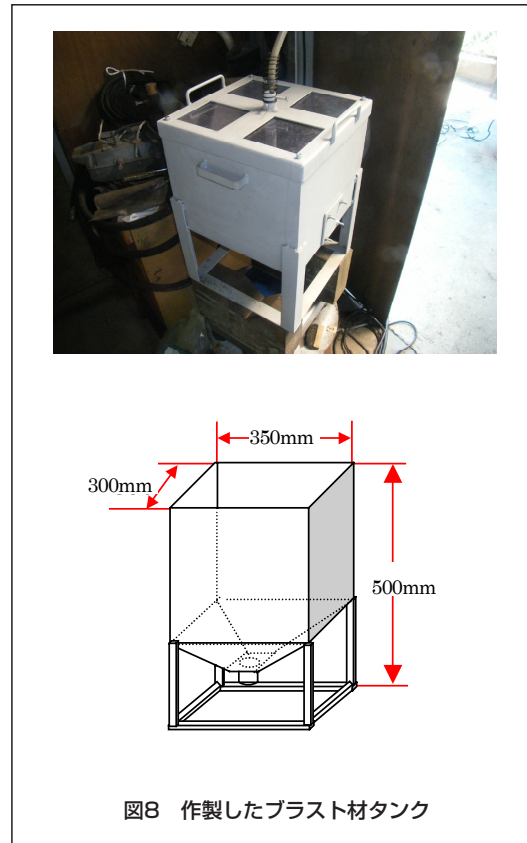


図8 作製したブラスト材タンク

6.2.4 実現場を想定した作業用囲いおよび管台

種々の試験条件での作業性を確認するため、供試管を設置した際に管横および管下が 500mm の作業スペースとなるよう、図 9 および図 10 に示すような管台および作業用囲いを作製し、実際の調査時の掘削スペースを再現した。

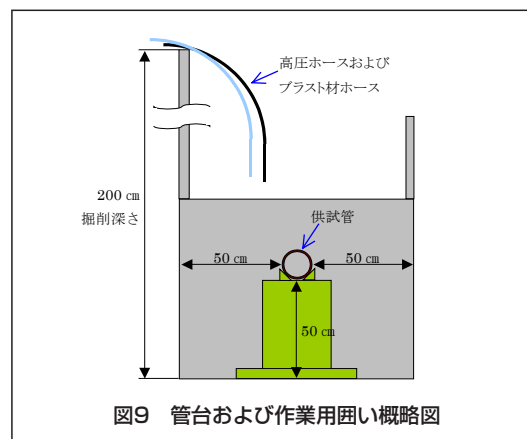


図9 管台および作業用囲い概略図



図10 供試管の設置状況

6.3 試験項目および内容

現地調査において期待する結果が得られる条件を見出すため、各種試験を実施した。以下にその項目および内容を示す。

6.3.1 ガン形状の検討

市販のガンは銃身長が800mmと長く、狭い掘削坑内での作業が困難である。よって、狭いスペースでも管全周にブラストできるガン形状について検討を行った。試験では、管全周を1種類のガンでブラストすることを前提とした銃身長短いガン(230mm, 120mm, 8mm)(図11、12、13参照)と、管下の作業性が困難になることが予想できたため、管下用に特化した銃身として、銃身曲げ加工、ノズル部曲げ加工したガン(図14、15参照)での確認も行った。



図11 銃身長230mm (左下: 標準銃身長800mm)

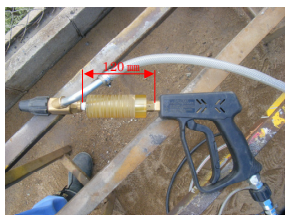


図12 銃身長120mm



図13 銃身長8mm



図14 銃身曲げ加工



図15 ノズル曲げ加工

6.3.2 各種ホース長の検討

現地調査に適した各種ホース長について検討した。高圧ホースについては、最高吐出圧と付着物除去性、ブラスト材ホースについては、ブラスト材の流動性、高圧水からの負圧の影響などを確認し、任意の長さで作業性の最も良い長さの選定を行った。

6.3.3 ブラスト材吸引管の検討

高圧水の噴射時に発生する負圧を利用して、ブラスト材をブラスト材タンクから円滑に吸引するには、ブラスト材吸引管の検討が必要である。本試験では、ブラスト材部φ8.5×490mm、エア部φ7.0×410mmの吸引管を作製し、最も吸引性の優れたタンク内(ブラスト材)への挿入方向(垂直または斜め)について他の試験項目との併用で検討した。ブラスト材吸引管挿入方向の概略図を図16に示す。

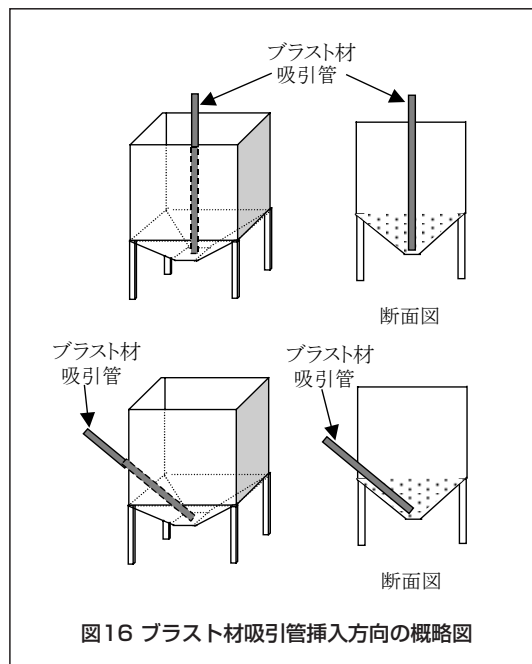


図16 ブラスト材吸引管挿入方向の概略図

6.3.4 水圧条件の検討

使用水量や付着物除去性、ブラスト材の吸引安定性などについて確認するため、水圧を10～18MPaの5水準(任意)の場合についてそれぞれブラストを実施し、現地調査に適した水圧条件の検討を行った。

6.3.5 ブラスト材の検討

付着物除去性に優れたブラスト材を選定するため、各種ブラスト材を使用して供試管にブラストを行い、付着物除去性の比較を行った。

供試ブラスト材を表4に示す。ブラスト材は、付着物除去性に優れ、比較的安価で埋め戻し時の回収が不要(土中成分)なアルミナとけい砂を採用することにした。アルミナは#20～#100の5種類に加え、試射の過程で付着物除去性が良好であった#60と負圧吸引が安定していた#20を容積比で1:1、2:1、1:2の3種類で混合したものを準備して8種類、けい砂については、3号～6号Aの5種類で検討を行った。

なお、試験にはアルミナ:コーワ研磨材工業株式会社製、けい砂:宇部サンド株式会社製のブラスト材を使用した。

表4 供試ブラスト材

ブラスト材		主な粒度分布 (μm)
アルミナ	#20	850～1000
	#46	355～425
	#60	250～300
	#80	180～212
	#100	125～150
けい砂	3号	701～2362
	5号A	295～1651
	新特5号A	147～1168
	6号	74～417
	6号A	53～295

7. 試験結果

7.1 ガン形状の検討結果

検討結果の一覧を表5に示す。

銃身長800mmおよび230mmでは、掘削坑内にガンが入らず、管横および管下の作業ができなかった。120mmでは掘削坑内での作業自体は可能だが、管横や管下ではガンを斜めにしなければ入れることができないため、効果的なブラストができなかった（管表面に対して垂直にブラストすることが最も効果的）。8mmでは、管横や管下においても効率的な作業が可能であった。銃身長8mmによるブラストの状況を、図17および図18に示す。

銃身曲げ加工については、管下のブラストは可能であったが、水がブラスト材ホース中に逆流し、ブラスト材が詰まる現象が見られた。また、ノズル曲げ加工については、ブラスト開始数秒でノズル部にブラスト材の摩耗による穴が開き、実用的ではないことが判明した。

以上より、銃身長8mmのガンが最適であると判断した。

7.2 各種ホース長の検討結果

高圧ホース長に関しては、800mm以外の銃身では、長さや形状に関わらず最高吐出圧が16MPaと一定であり、変化は見られなかった（表6参照）。また、ホースリールを使用すると、15MPaまで圧力低下したが、付着物除去性に大きな変化はなく、今後の現場での取扱いを考慮してホース長10mおよびホースリールの組み合わせの使用が適当であると判断した。

また、ブラスト材ホース長に関しては、高圧ホース長に合わせ（10m）、吸引安定性や吸引量に大きな変化は認められなかったため、ブラスト材ホース長は10mに決定した。

表6 使用機器と最高吐出圧力の変化

銃身	高圧ホース長 (m)	ノズル	最高吐出圧 (MPa)
800mm (標準)	20	直噴ノズル	20
	20	ブラストノズル	18
230mm	20	ブラストノズル	16
120mm	20	ブラストノズル	16
曲げ加工	20	ブラストノズル	16
8mm	10 (ホースリール使用)	ブラストノズル	15

※直噴ノズル：高圧水、ブラストノズル：高圧水+ブラスト材

7.3 ブラスト材吸引管の検討結果

7.3.1 アルミナの場合

吸引が最も安定していたのは、アルミナ#20であった。#46および#60については、不安定な状態が度々認められ、#80、#100においてはほとんどの場合で不安定であり、ブラスト材がほとんど吸引されない場合も認められた。また、いずれのブラスト材においても、吸引管のブラスト材への挿入角度は、斜めより垂直の方が安定する傾向が認められた。

7.3.2 けい砂の場合

吸引が安定していたのは、5号Aおよび新特5号Aであり、これら2種はブラスト材吸引管の挿入角度に関わらず、常に安定した状態であった。

6号は、ほとんどの場合が不安定であり、6号Aは常時不安定で、ブラスト材がほとんど吸引されない場合も

表5 ガン形状検討結果

銃身	ブラスト位置と作業性			備考
	管上	管横	管下	
800mm (標準)	作業困難	作業不可	作業不可	・管上は、現地の状況や呼び径によって作業が困難 ・管横および管下は、掘削スペースにガンが入らず作業不可
230mm	問題なし	作業不可	作業不可	・管横および管下は、掘削スペースにガンが入らず作業不可
120mm	問題なし	作業困難	作業困難	・管横および管下は、管に対してブラストが斜め方向からとなり、全面に対して効果的なブラストが実施できない
8mm	問題なし	問題なし	問題なし	・管全周に対して的確なブラストが可能
銃身曲げ加工	-	-	作業可能	・ブラストは問題ないが、ブラスト材ホース中への水の逆流が起こるため、ホース内でブラスト材が湿って詰まることあり
ノズル曲げ加工	-	-	作業不可	・ブラスト開始数秒後にノズル部の穴あき発生でブラスト中止



図17 銃身長8mmによるブラスト状況（管横）



図18 銃身長8mmによるブラスト状況（管下）

認められた。6号および6号Aの吸引管のブラスト材への挿入角度は、斜めより垂直の方が安定する傾向が認められた。

3号は粒度が大きいため、ホース内での詰まりが発生し、ブラスト作業ができなかった。

7.3.3 ブラスト材吸引不調要因

アルミナおよびけい砂のいずれも、ブラスト材の粒度が細くなるほど吸引が不安定となる傾向が認められ、吸引管のブラストタンクへの挿入角度によっても、安定度が異なることが分かった。

しかしながら、同条件においても好不調の変動が見られる場合があった。実現場で常に安定したブラスト作業を行うためには、不調要因について明確にし、対策を施す必要がある。試験の状況などから考えられる吸引不調要因について、各種対策を実施した結果を表7に示す。

表7 ブラスト材吸引不調要因と対策

考えられる不調要因	対策内容	結果
負圧の低下・変動	ブラスト試験時の水圧確認	15MPa一定問題なし
ノズル部の異常	銃身交換時や吸引不良発生時に、ノズル内部の分解および目視確認	異常なし
ブラスト材への異物混入	ブラスト材タンクへの充填および排出作業時における目視確認	異常なし
ブラスト材ホースのねじれ	ホースの取り直し確認	問題なし
ブラスト材ホースの損傷	目視確認、新品ホースと交換	損傷認められず新品交換後も変化なし
ブラスト材の流動不良	目視確認、エアブロー実施	エアブロー後もホース内で詰まることがある
ブラスト材吸引管の詰まり	目視確認、エアブロー実施	異常なし

運転条件や使用機材に特に異常が認められないにも関わらず、各種対策を実施してもホース内におけるブラスト材の詰まりが認められる場合があり、ホース内に詰まったブラスト材を確認すると、湿気を帯びて塊状となっているのが認められた。ブラスト材は非常に吸湿性が高いため、保管時や作業時に水分が混入しないように管理を行っており、大気中の湿気以外は考えにくい。そこで、各試験条件と試験時の湿度の関係について確認を行なった。

7.3.4 アルミナと湿度の影響

アルミナの湿度と吸引安定性の関係を表8に示す（ブラスト材吸引管：垂直挿入）。

湿度70%以上の比較的湿度の高い場合、#20は湿度の影響を受けておらず、常に安定した状態であった。その他の粒度では、湿度の増加とともに不安定になる傾向が見られた。

表8 湿度とブラスト材の吸引安定性（アルミナ）

湿度(%)	#20	#46	#60	#80	#100
70～72	安定	安定	変動	変動	変動
73～75	安定	不安定	不安定	不安定	不安定
76～78	安定	変動	変動	不安定	不安定
79～81	安定	不安定	不安定	不安定	不安定
82～85	安定	不安定*	不安定*	不安定*	不安定*

※「やや不安定」を含む

7.3.5 けい砂と湿度の影響

けい砂における湿度と吸引安定性の関係を表9に示す（ブラスト材吸引管：垂直挿入）。5号Aおよび新特5号Aは湿度の影響を受けておらず、常に安定した状態であった。6号および6号Aについては、湿度の増加とともに不安定となる傾向が認められた。

表9 湿度とブラスト材の吸引安定性（けい砂）

湿度(%)	6号	5号A	6号A	新特5号A
80以下	安定	安定	安定	安定
80以上	変動	安定	不安定*	安定

※「やや不安定」を含む

7.3.6 ブラスト材吸引管の検討結果

ブラスト材タンクへの吸引管の挿入は、垂直方向が良いことが判明した。

ブラスト材の粒度が小さい場合は、アルミナ、けい砂ともに湿度増加の影響を受けて不安定になった。湿度に関わらず安定吸引が可能なブラスト材は、アルミナは#20、けい砂は5号Aおよび新特5号Aであった。

7.4 水圧条件の検討

7.4.1 水使用量の傾向

水圧を変化させた際の水使用量の傾向を図19に示す。水圧の増加に伴い、水使用量も増加する傾向が見られた。

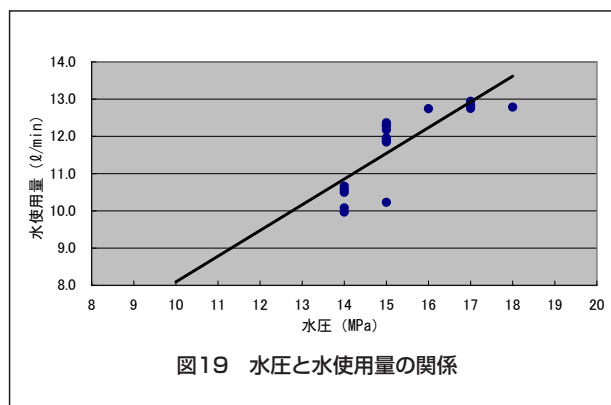


図19 水圧と水使用量の関係

7.4.2 付着物除去性の傾向

水圧の変化に伴う付着物除去性について表10に示す。

表10 水圧の変化と付着物除去性について

水圧 (MPa)	付着物除去性	
	土壌除去状況	腐食部除去状況
10	固着部が残留	完全除去不可 (残留多)
14	概ね除去可能 14MPa 以上で大差なし	概ね除去可能 14MPa 以上で大差なし
15		
17		
18		

付着物除去性については、14MPa 以上の高圧では大差なく、いずれも十分な付着物除去効果を示していた。しかし、10MPa では付着物が除去しきれず、固着した土壌や、腐食深部における黒鉛化部の残留が認められた。各水圧における供試管の付着物除去前後の状況を図20に示す。

なお、作業騒音は、最低圧 10MPa がその他と比較してやや小さい傾向が認められた。しかし、いずれの場合でも、市街地や夜間を使用する際には何らかの対策が必要なレベルと判断できる (80 ~ 100dB)。

また、ブラスト作業中のブラスト材および付着物の飛散については、いずれの水圧でも大差はなく、現場で何らかの飛散防止対策が必要なレベルと判断できる。

7.4.3 水圧条件の検討結果

水圧 10MPa では、付着物除去性が弱く、14MPa 以上の高圧になると、付着物除去性は良好になるが、明確な差は認められなかった。また、高圧であるほど使用水量が多くなる傾向が認められた。騒音については、いずれの水圧でも市街地や夜間の使用時には、何らかの対策が必要なレベルと判断できる。

7.2 項各種ホース長の検討結果から、高圧ホース長は 10m とし、ホースリールを併用することにした。た



図20 各水圧における付着物除去性の比較

だし、その際の最高吐出圧力は15MPaとなり、この条件下（ホース長10m+ホースリールの使用）では、最高出力での連続使用となってしまう。機器に対する負担を考慮すると、15MPa以下での使用が望ましいため、付着物除去性はやや劣るが質的に十分と判断できる14MPaを最適使用水圧として採用することに決定した。

7.5 ブラスト材の検討結果

各種ブラスト材での試験結果を表11に、付着物除去性の関係図を図21に示す。また、各ブラスト材におけるブラスト前後の供試管の状況を図22、23に示す。

最も付着物除去性が優れていたのは、アルミナでは#60、けい砂では新特5号Aであった。粒度が小さい場合は腐食深部の除去は良好であるが、付着物の除去が困難であり、逆に粒度が大きい場合は、付着物の除去は良好であるが、腐食深部の除去が困難となる傾向が認められた。

アルミナ#20と#60の混合については、吸引、付着物除去性の両方を満足できるものはなかった。

7.3項ブラスト材吸引管の検討結果では、アルミナ#60は、吸引性に不安定さが残ることから、同等の優れた付着物除去性で安定した吸引が可能なけい砂新特5号Aの使用が最適であると判断した。

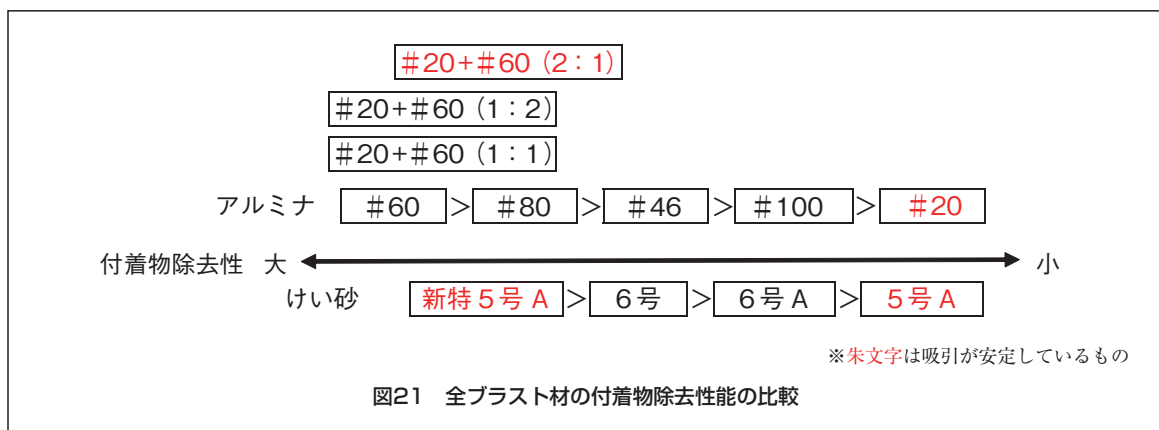
8. 各種ブラスト試験検討結果

種々検討の結果、以下のことが分かった。

- a) 掘削坑内で管全周に対してブラストを行うには、銃身長8mmの短いガンが効果的であった。
- b) ブラスト材吸引管は、本試験で作製したもの（ブラスト材部φ8.5×490mm、エア部φ7.0×410mm）で安定した吸引が可能になることが確認できた。また、ブラスト材タンクへの挿入は、垂直の方が安定した吸引ができた。
- c) 常に吸引が安定しているブラスト材は、アルミナ#20、けい砂5号Aおよび新特5号Aであった。その他のブラスト材については、粒度が小さいものほど湿度の影響を受けて不安定になりやすい傾向が認められた。
- d) 高水圧であるほど、使用水量が増える傾向が認められた。
- e) 水圧10MPaでは、付着物除去性が弱いことが確認できた。
- f) 水圧14MPa以上の高圧では付着物除去性は十分であった。また、それ以上水圧を上げてても明確な差は認められなかった。
- g) 最も付着物除去性に優れていたのは、アルミナでは#60、けい砂では新特5号Aであった。

表11 各ブラスト材における付着物除去試験結果

ブラスト材		土壌除去状況	腐食部除去状況	備考
吸引安定	アルミナ	#20	良好	腐食深部の除去がやや困難
		#20+#60 (1:1)	良好	良好
		#20+#60 (2:1)	良好	良好
		#20+#60 (1:2)	良好	良好
	けい砂	5号A	良好	腐食深部の除去がやや困難
		新特5号A	良好	良好
吸引不安定	アルミナ	#46	良好	良好
		#60	良好	良好
		#80	良好	良好
		#100	固着部除去が困難	良好
	けい砂	6号	良好	良好
		6号A	固着部除去が困難	良好



















ブラスト材	ブラスト前	ブラスト後
アルミナ #20		
アルミナ #46		
アルミナ #60		
アルミナ #80		
アルミナ #100		
アルミナ #20+#60 (1:1)		
アルミナ #20+#60 (2:1)		
アルミナ #20+#60 (1:2)		

図22 アルミナによるブラストでの付着物除去性比較









ブラスト材	ブラスト前	ブラスト後
けい砂 5号A		
けい砂 新特5号A		
けい砂 6号		
けい砂 6号A		

図23 けい砂によるブラストでの付着物除去性比較

9. 高圧洗浄ブラスト条件の決定

一連の試験結果より、調査時における使用条件を下記のとおり決定した。

- ・高圧ホース：10 m（ホースリール使用）
- ・銃身長：8mm
- ・ブラスト材ホース長：10 m
- ・ブラスト材吸引管：ブラスト材部φ 8.5 × 490mm、
エア部φ 7.0 × 410mm
- ・ブラスト材吸引管挿入角度：垂直挿入
- ・使用水压：14MPa
- ・ブラスト材：けい砂 新特5号A

10. 高圧洗浄ブラストの導入に向けて

10.1 決定したブラスト条件での作業量について

決定した使用条件によるブラスト作業結果を表12に、ブラスト前後の供試管の状態を図24～29に示す。

表12 決定した高圧洗浄ブラスト条件による試験結果一覧

No	平均湿度 (%)	ブラスト部位	試験結果				
			作業時間 (sec)	ブラスト材使用量		水使用量	
				(kg)	(kg/min)	(L)	(L/min)
5-3	47	直部	549	9.64	1.05	85.1	9.30
5-4	41	継ぎ手	616	6.82	0.66	84.6	8.24
6-2-1	40	直部	498	8.58	1.03	77.0	9.28
6-2-2	65	直部	372	6.70	1.08	61.8	9.97
6-2-3	72	直部	619	10.20	0.99	110.0	10.66
6-2-4	64	直部	411	6.18	0.90	72.4	10.57
平均作業時間(継ぎ手除く) 8min 10sec			ブラスト材 平均使用量 0.95 kg/min		水 平均使用量 9.67 L/min		

10.2 従来作業との比較

10.2.1 作業時間の比較

調査管φ 600以下、3名での作業時における、本ブラストを使用した場合と従来作業（手作業）との所要時間の比較を行った。比較の結果を表13に示す。

なお、ここに示す所要時間は一般的な場合であり、付着物の状況や腐食の進行状況によって作業時間は異なる。

従来作業では、付着物の除去に3名を要し、調査範囲全体の付着物を完全に除去するために、30～40分程度のケレン作業の後、さらに残存する付着物を完全に除去するために、30分程度のワイヤブラシ作業を実施する。

しかし、これらの作業では腐食部分は明らかににはならないため、テストハンマを使用した調査範囲全体の黒鉛化部除去作業を60～70分程度かけて実施し、腐食部を全て露出させる。

ブラスト手法を使用した場合、固着土壌の除去はブラストで可能であるため、スクレーパおよびケレン作業は最終的な仕上げ程度となる。また、ワイヤブラシ作業を実施する必要も無くなる。ブラスト作業時間は、ワンボックスパンに積載可能なタンク容量などを考慮した場合、10分程度になるものと考えられる。

ブラスト時は作業員1名がブラストを行い、残り2名は地上にて、水およびブラスト材の管理、ホース類の取り回し、防音および飛散防止対策などを行う。ブラスト後は、腐食部分がほとんど露出されているため、テストハンマによる黒鉛化部除去も仕上げ程度で十分である。

以上から、ブラストの導入により、総計で90分程度の時間短縮が期待できる。



図24 管上ブラスト前



図26 管上ブラスト後



図28 ボルト・ナットブラスト前



図25 管下ブラスト前



図27 管下ブラスト後

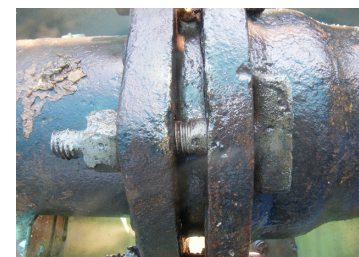


図29 ボルト・ナットブラスト後

表13 管外面の清掃作業時間比較 (min)

	付着物除去作業				黒鉛化部除去作業
	スクレーパ ケレンハンマ	ワイヤブラシ	ブラスト	総時間	テストハンマ
従来作業	30～40	30	－	60	60～70
ブラスト導入	10	0	10	20	10
各作業での時間差	40 減				50 減
管外面清掃作業時間差	90 減				

10.2.2. コスト比較

従来作業時およびブラスト作業時のコスト比較を行った。コストは、管外面とボルト・ナットの清掃作業および腐食量調査に係るものとした。

従来作業時は、付着物除去作業に電動ワイヤブラシを2台使用するため、消耗品として、ワイヤブラシカップを2個必要とする（ワイヤブラシカップは、およそ3地点の調査で1回交換する）。人件費として、表13に示す作業（スクレーパ、ケレンハンマ、ワイヤブラシ、テストハンマ）を2名で実施する工数が必要となる（120分×2名）。

一方、ブラスト作業時は、消耗品として、けい砂新特5号A（ブラスト材）、高圧洗浄機の燃料（ガソリン）および水（高圧水）を必要とする。人件費として、表13に示す作業（スクレーパ、ケレンハンマ、ブラスト、テストハンマ）を1名で実施する工数が必要となる（30分×1名）。

比較の結果、従来作業の約1/4のコストで作業の質を変えずに実施できることが判明した。この結果より、ブラスト作業は、従来作業と比べ、作業時間の短縮と労力低減に加え、コスト面でも有効であることが分かった。

11. おわりに

本高圧洗浄ブラスト方法は、現地調査工程におけるスピードアップおよび省力化の手法として有効であり、埋設経年管の腐食量調査への適用が可能であることが分かった（本手法について特許申請中）。また、経年埋設管の外面付着物除去において、効果的な使用条件を決定するに至った。

今後、実際の現地調査を重ねて、決定した使用条件を確認していくとともに、さらに効率よい運用を目指す所存である。

執筆者

山本雅之

Masayuki Yamamoto

1999年入社

ダクタイル管の研究・開発に従事



菅蒲光徳

Mitsunori Shobu

1995年入社

ダクタイル管の維持管理業務に従事



松浦英次

Eiji Matsuura

マイメタリコン株式会社 代表取締役

