

都市の安全と安心を科学する技術広報誌

2016  
Vol.7

G&U Vol.7 Ground and Underground

# G&U

Ground and Underground

*Prologue*

知られざる鋳物の実力

*Close Up*

インフラマネジメント時代における

腐食のリスクとその対策

G&U Ground and Underground  
2016.Vol.7

発行 2016年6月

発行人 山木 幸夫

発行所 株式会社 G&U技術研究センター  
〒350-0164

埼玉県比企郡川島町大字吹塚 732-157

TEL: 049-299-1028 FAX: 049-299-1026

URL: <http://www.gucenter.co.jp/>

G & U 技術研究センター

G&U技術研究センター



表紙の写真：旧国立競技場の聖火台

高度経済成長とインフラ構築の幕開け。老朽化が進む日本の社会インフラを考える上で、整備の起点となった1964年の東京オリンピックを避けることはできません。オリンピックの開会式で脚光を浴びたのが、写真の聖火台。実は、鋳物でつくられています。インフラ整備の象徴的な存在であり、「知られざる」鋳物。本号のPrologueとClose UPのテーマを結ぶものとして、取り上げました。

## C O T E N T S

### Prologue

## 2 知られざる鋳物の実力

4 Cover Story 川口鋳物師と聖火台

8 技術の進化がひろげる鋳物の適用範囲

10 鋳造技術の革新へ  
3Dプリンタが拓く鋳物の可能性



### Column

## 32 鋳物の仕事師

若林鋳造所 五代目当主 天命鋳師  
若林 秀真氏



## 36 Storytellers ～マンホールふたの語り部たち～

愛好家が教えるふたの魅力と  
こだわりの楽しみ方

清水 貴司氏/白浜 公平氏/竹内 正則氏



## 40 “彩の国”の和紙づくり

小川和紙とユネスコ無形文化遺産に  
登録された細川紙



## 44 G&Uインフォメーション



### Close UP

インフラマネジメント時代における

## 14 腐食のリスクとその対策

### 16 Introduction

インフラの老朽化が招く社会的リスク



### 18 INTERVIEW

管路施設の適切なマネジメントに向けて

国土交通省水管理・国土保全局 下水道部下水道事業課 企画専門官  
本田 康秀氏 (現 埼玉県下水道局 参事(兼)下水道事業課長)



### 22 Part 1 腐食環境下における

マンホールふたの維持管理

●東京都下水道局 施設管理部 管路管理課



### 24 Part 2 マンホールふたの腐食劣化に関する

基礎的研究

●株式会社G&U 技術研究センター

〈解説〉金属の腐食について

国立研究開発法人 物質・材料研究機構 特別研究員  
篠原 正氏



### 28 Trend watching

下水道台帳などの机上情報で  
マンホールふたの腐食を予測

●次世代型高品位グラウンドマンホール推進協会



### 29 Report

ライフラインの腐食環境を的確に察知  
水道分野における劣化予測技術の最前線——

●株式会社ベンチャー・アカデミア



埼玉県川口市の鋳物工場。  
溶解炉の「キューボラ」から  
1500度の金属が流れ出る  
【提供：朝日新聞社】



# 知られざる鋳物の実力

## Prologue

「鋳物」と聞いて、何を思い浮かべますか？  
鉄瓶、茶釜、風鈴、鍋……  
もちろんすべて正解ですが、それだけではありません。  
自動車や船舶の部品、工作機械、電子機器。  
マンホールふたや上下水道管などにも鋳物は使われています。

自由にデザインできる優れた造形性と  
耐熱、耐摩耗といった強さを兼ね備える鋳物は、  
わたしたちの日々の暮らしを、  
産業を、社会インフラを支えているのです。

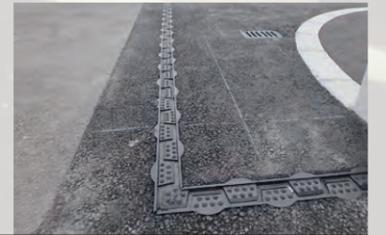
本章では、ふだんあまり語られることのない  
鋳物の実力に迫ります。  
旧国立競技場に設置されていた聖火台の誕生秘話から、  
鋳造技術の最前線と未来像まで。  
知られざるその世界の一端をご紹介します。

## Contents

Cover Story  
川口鋳物師と聖火台



技術の進化がひろげる  
鋳物の適用範囲



鋳造技術の革新へ  
3Dプリンタが拓く  
鋳物の可能性





Cover Story

# 川口鋳物師と聖火台

「文吾さん、火がつかますよ」

1964年10月10日。

鈴木文吾さんは、自らがつくった天水鉢を納めに長野県の善光寺に来ていました。

寺の人に呼ばれて社務所のテレビを見ると、映し出されていたのは、東京オリンピックの開会式。

最終聖火ランナーが今まさに、その火をともそうとしていました。

川口鋳物師の意地と誇りが詰まった、漆黒に輝く聖火台に。

提供：川口鋳物工業協同組合／池田美術株式会社  
撮影：池田甚兵衛氏

▶鈴木萬之助さん(右)、三男・文吾さん。二人がつくった三峯神社(埼玉県秩父市)の天水鉢の前で。文吾さんの半鐘には「長寿風呂」の文字。万之助さんがつくっていた五右衛門風呂のことで、ヒット商品でした(写真出所:寺島萬里子「川口鋳物師 鈴木文吾」、2004年、東京図書館、49ページ)。



## 鋳物で成し得たデザインと強さ

平和な日本の姿をオリンピックで世界へ示したい——。敗戦から数年後、日本はオリンピック招致に向けた声明を発表しました。1958年には「第3回アジア競技大会」を東京で開催し、招致に向けた国際的なアピールを展開。そして、その舞台として建設されたのが、国立競技場(国立霞ヶ丘競技場)でした。

競技場の建設は、建設省(当時)の角田栄氏と建築家の片山光生氏が中心となり計画されました。象徴となる聖火台の設計は片山氏ほか4人の手によるもので、高さと最大直径2.1m、重さ2.6t。逆円錐形の胴回りを参加国数の「23」本の線が囲む、独特の意匠が考案されました。

聖火の燃焼にはガスが使われることが決まり、聖火台の製作にあたっては耐久性や耐熱性が重要視されました。まだチタンなどは普及していなかったため、材質に選ばれたのは当時最も強い金属であった鉄。さらに、その大きさや複雑なデザ

インの実現が考慮されたところ、自由に成形ができる「鋳造」によってつくられることになったのです。

当初、聖火台の製作は大手の造船会社へ発注が打診されていましたが、費用面などで折り合いがつかず、交渉は難航しました。そうした中、鋳物工業で隆盛をきわめていた埼玉県川口市に、この話が舞い込んできたのです。

## 人生最後の仕事に賭ける

「工期3ヵ月、費用20万円」という厳しい条件。当時700軒ほどの鋳物工場があった川口でも引き請け手がなかなか見つからない中、「採算を度外視しても、この仕事を請けることは川口の名誉であり義務」と手を挙げたのが、「川口内燃機鋳造所」でした。

しかし、これほど大型の鋳物は大量生産用の鋳造法である「生型法<sup>※1</sup>」ではなく、美術鋳物などをつくる「惣型法<sup>※2</sup>」

※1 代表的な鋳型法。湿った砂で鋳型をつくり、乾燥工程を省いて溶かした金属を注ぐ。形状が単純で、量産するものに用いられる。  
※2 茶釜や鍋、梵鐘など、軸を中心として回転体となるものに用いられる。煩雑な工程と熟練の技が必要。「双型法」とも。

である必要がありましたが、内燃機鋳造所内に扱える職人はいませんでした。そこで、惣型法の名工として知られた同市の鋳物職人、鈴木萬之助さんに白羽の矢が立ったのです。

萬之助さんの四男・昭重さんに、当時のお話を伺いました。

「家先で長男の幸一が金額と納期を見て、『それじゃできるわけがない、手間賃にもならない』と断っていたんだね。でも、奥で晩酌をしていたおやじが出ていって、『図面を見せてみる』と。三男の文吾に、『お前が手伝うならやろうじゃないか』と言ったんだ」

萬之助さんはその時66歳。すでに第一線からは退き、半ば隠居の状態だったといえます。しかし、「職人は損得を考えてはいけない」と息子たちを諭し、直接の弟子である文吾さんと「人生最後の仕事」に賭けることになったのです。1957年の暮れ、競技場完成まであと3ヵ月という時でした。

## 湯入れ、流れ出る鋳鉄

作業は翌日から始まりました。普通に考えれば、半年はかかる仕事量です。昼夜を問わず作業は続けられ、幸一さんや次男の常雄さん、内燃機鋳造所の社員など、多くの人が関わりました。

「文吾ははじめからうちへは帰ってこないで、工場に寝泊まりしながら仕事をしていたね」

約2ヵ月後の2月14日、いよいよ鋳鉄を流し込む「湯入れ」の段階に。川口市長も駆けつけ、大勢の人が見守る中、1500℃の鉄が鋳型に注ぎ込まれます。しかしその瞬間……

「バーンって、鋳型を固定していたボルトが飛んでしまった。鉄が下に流れていく時は良かったんだよね。でも、それが反動で上に戻ってくる時、ボルトに圧力がかった。もちろん試験場で圧力は計算したんだけど、ボルトを四分（12.7mm）じゃなくて、六分（19.05mm）にすればよかった」

流れ出る鋳鉄。湯入れは失敗です。納期まではあと1ヵ月。



▲延べ123人が製作に関わり、使用した型枠は6.5tにも及びます。  
(提供：川口鋳物工業協同組合／池田美術株式会社、撮影：池田甚兵衛氏)

萬之助さんは、ショックで寝込んでしまいます。

「全精力を使い果たしたんだろうね。好きなお酒も飲まなくなっちゃった」

持病のぜんそくを抱えながらの大仕事。9日後、体調が悪化した萬之助さんは、帰らぬ人となってしまいます。

## 川口が一つになった

おやじの弔い合戦だ——。

文吾さんをはじめ息子たちは、そんな思いで再び聖火台づくりに戻ります。金枠は残っていたため、もう一度それを使って鋳型をつくることできる。湯入れまでは一度やった作業で要領も得ている。木型職人だった昭重さんも勤務先に休暇を申し入れ、作業に加わりました。手伝える人は、みんな集まりました。

「川口が一つになって、協力してくれたんだ」

そして3月5日、二度目の湯入れの日を迎えます。

「文吾は、『これで失敗したら腹を切って死ぬしかない』とまで言っていた」

注ぎ込まれた鋳鉄は、鋳型の中にとどまりました。六分に代えたボルトは、その圧力に耐えたのです。今度は成功です。文吾さんは、涙を流しました。

実は萬之助さんの死について家族は、文吾さんに伝えていませんでした。亡くなったことを知れば、仕事ができなくなると考えたからです。工場に寝泊まりしていた文吾さんは人づてに知ることで、葬儀に出ることができませんでした。

「聖火台が出来上がって、幸一が文吾に言ったんですよ。『今晚、お前が出られなかったおやじのお通夜を、みんなでやろう』って」



▲湯入れに失敗した聖火台は、修復して川口市の青木町公園に。文字碑には、「永遠に鋳物師親子の偉業を称える」とあります。

▶鈴木萬之助さんの四男・昭重さん。鋳型の型枠である「木型」の職人。現在は後進の育成に携わるほか、市民向けの鋳物教室でも教えています。「東京オリンピックの開会式は、文吾の代わりに私と長男の幸一が行かせてもらった。前日までの大雨があがって、海が上にいっちゃったような真っ青な空でね。二人で双眼鏡で観て、聖火台に火がついたときには、涙がポロポロ出たよ」



## 炎や風雨に耐え、使われ続ける聖火台

聖火台は、1958年3月の国立競技場の完成に無事間に合いました。1964年の東京オリンピックでは日本中の注目を集め、その後も様々な大会で火を灯し続けます。新国立競技場の建設に伴って、東京オリンピックからちょうど50年後の2014年10月10日にいったん撤去。現在は宮城県石巻市の石巻総合運動場に貸与されています。

「文吾は毎年、自分のカミさんと国立競技場に通い、ごま油で聖火台を磨き続けていた。油が鉄に染み込むことでコーティングになり、雨から守ることができる。それから、聖火台の上



▲鈴木文吾さんは2008年に他界。亡くなる前年まで聖火台を磨き続けました。  
(提供：平出眞治氏)

の方がガスで焼けてしまうっていうんで、火が直接当たらないように、レンガを積んだりもしていたね」

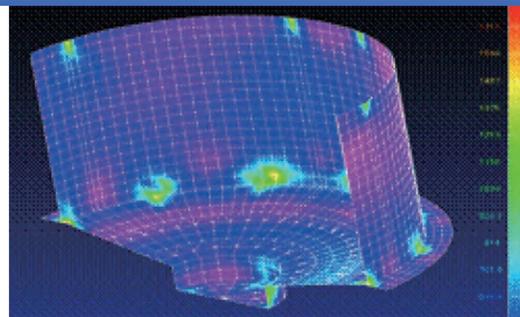
「鉄は、放っておけばさびてしまう。でも、手入れが良ければ長持ちする。文吾は『聖火台は嫁に出した娘と同じだ』と言っていたよ。遠くから見守るだけじゃなくて、たまには近くに行って、面倒を見てあげなきゃいけないってね」

聖火台は設置されてから今年で58年が経ちます。炎や風雨にさらされる過酷な環境にあるにもかかわらず、大きな傷みはありません。東京オリンピックで戦後復興の象徴となった聖火台は今、震災からの復興を見届けるかのように、石巻で希望の明かりを灯しています。



▲石巻総合運動場に設置された聖火台。いしのみ復興マラソンで使用された様子。  
(提供：石巻市)

# 技術の進化がひろげる 鋳物の適用範囲



▲FEM解析のイメージ (提供: (株) 日水コン)

紀元前 3600 年ごろの古代メソポタミアで、  
青銅を溶かし、型に流し込むことから始まったとされる鋳物。  
成形の自由度が高く、複雑で独特な形状のものも量産できる特長を持ち、  
文明や産業の発展に大きく貢献してきました。  
現代の社会インフラにおいても鋳物は様々な場面で活用されており、  
技術の進化によってその性能は向上し、適用範囲もひろがりを見せています。  
ここでは、社会インフラを支える鋳物の活用事例について紹介します。

## 球状黒鉛鋳鉄への転換と設計技術の進化 インフラとしての信頼性向上したマンホールふた

鋳鉄は黒鉛と基地組織で形成されており、その強度は基地組織の強度と「連続性」で決まります。ねずみ鋳鉄（片状黒鉛鋳鉄）は、黒鉛が花びら状に広く分布しているため基地の連続性が低くなり、強度が低い材質です。一方、球状黒鉛鋳鉄（ダクタイル鋳鉄）は、黒鉛が球状に独立して存在するため基地の連続性が高くなり、ねずみ鋳鉄より飛躍的に強度が向上しています。

鋳物製品である下水道用のマンホールふたは全国に 1400 万基以上設置され、安全・安心な社会の実現に貢献するインフラとして機能しています。しかし、下水道の黎明期におけるマンホールふたは、ねずみ鋳鉄（片状黒鉛鋳鉄）が使われており、割れや破損など、様々な問題を抱えていました。とりわけ高度経済成長に伴うモータリゼーションの進展により、道路環境が過酷になる過程において、その傾向は深刻化していきました。

安全性能に対する社会的な要請が高まる中、球状黒鉛鋳鉄（ダクタイル鋳鉄）製のマンホールふたが開発されました。

強度を高め、荷重に耐えるしなやかさ（靱性）も兼ね備えるとともに、ねずみ鋳鉄の時代に 80kg だった重量を 40kg へと軽くすることにも成功しました。

また、設計技術の進化によって、マンホールふたの性能はさらに向上しました。

「FEM 解析<sup>\*</sup>」（Finite Element Method: 有限要素法）の導入によって製品全体の応力状態が予測しやすくなったことで、最適な形状の製品を高い精度で供給することが可能になったのです。

マンホールふたは従来、下水道管路施設の一部としてしか認識されていませんでしたが、このように材質や設計技術の進化によって、道路の一部としての安全性能も満たすことができるようになり、社会インフラとしての信頼性を向上させています。

<sup>\*</sup>FEM 解析: 複雑な形状を持つ対象物を小さな領域に分割してモデル化し、全体の挙動を予測する手法。構造力学をはじめ、様々な分野で活用されている。

	ねずみ鋳鉄 (片状黒鉛鋳鉄)	球状黒鉛鋳鉄 (ダクタイル鋳鉄)
顕微鏡写真	 黒鉛 基地	 黒鉛 基地
破断面 (SEM画像)	 ねずみ鋳鉄と球状黒鉛鋳鉄の違い	

▲ねずみ鋳鉄と球状黒鉛鋳鉄の違い

## 社会インフラでの適用範囲を拡大 橋梁分野でも鋳物が活躍

日本の社会インフラは、本格的な整備が始まった 1960 年代初頭から 50 年が過ぎ、一斉に老朽化へと向かっています。建設からメンテナンスの時代に移行する中では、事業体の厳しい財政状況も鑑みながら、安全性や維持管理性を熟慮し、トータル・ライフサイクルでの経済性を重要視して、インフラ構造物を整備・更新していくことが求められています。

主要なインフラのひとつである橋梁でも老朽化は進んでおり、様々な問題が顕在化しています。たとえば「塩害」や「アルカリ骨材反応<sup>\*</sup>」によるコンクリートのひび割れ。また、建設時からの車両荷重の増大や交通量の増加に伴い、鋼製部材の疲労劣化や溶接部の施工不良による疲労破壊も顕在化しており、老朽化対策と合わせた構造物の機能向上や、「予防保全型」の維持管理に向けた取り組みを進めていかなければなりません。

こうした中、温度変化などによる橋桁の伸び縮みを吸収し、安全で円滑な車両走行を確保する「伸縮装置」に関しても、今後の維持管理において、いくつかの課題を解決していく必要があります。

大型の伸縮装置では、部材にかかる荷重も大きくなります。車両通行により繰り返し曲げ応力が発生し、衝撃や疲労によって破損することがあるため、「疲労劣化」への対応が重要です。

つぎに、維持管理に伴う「施工性」です。従来型の伸縮装置は本体の剛性を補うために後打ちコンクリートで一体化する構造が一般的でした。そのため、取り換え時には、コンクリートのはつり作業や鉄筋の切断作業に大きな手間がかかることが問題となっています。

もうひとつは、「平たん性」です。多くの伸縮装置は、後打ちコンクリート部分で車両からの荷重を受ける構造になっているため、アスファルト路面との境界面に段差が発生することがあります。段差は、ドライバーの不快感や近隣住民の騒音クレームを招いたり、床版などの劣化を助長したりすることにもつながりかねません。

こうした課題の解決に向け、鋳物製の伸縮装置が登場し始



▲鋳物製橋梁伸縮装置  
高い剛性により、コンクリートによる補強が不要に。

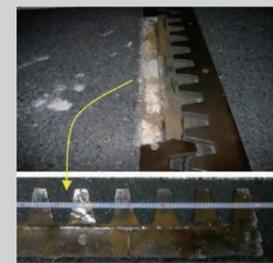


▲伸縮装置の表面  
自由な造形性により表面を半円形状にし、スリップ防止対策も実現されている。

### 従来型の伸縮装置が抱える課題



▲コンクリートはつりや鉄筋切断での作業負担



◀溶接部の疲労破壊  
(出所: 施工技術総合研究所研究資料)  
▼伸縮装置付近の段差  
(出所: 国土交通省国土技術政策総合研究所研究資料)

めています。

材質には、荷重や衝撃に対する強さと伸びが特長のダクタイル鋳鉄が採用されています。過酷な道路環境に耐えられることは、マンホールふたの進化の過程で証明されています。また、設計には FEM 解析が導入され、最適形状の検証が行われています。これにより、伸縮装置本体の剛性を飛躍的に高め、後打ちコンクリートを打設しなくても適切な強度が確保されることになりました。鋳物製の伸縮装置は、鋼製では溶接していた部分が鋳物では一体で成型できることで疲労リスクが低減され、メンテナンス時代にふさわしい、高い耐久性と施工性を兼ね備えたものとして評価されています。なお、複雑な形状を造形できる鋳物の特性を活かし、装置の表面は複数の突起を設けた半円形状に。車両通行時の衝撃や振動を軽減させるほか、雨天時のスリップ防止対策にも効果を発揮しています。

これまでに確立された技術を応用することにより、新たに橋梁分野の構造部材に適用された鋳物の力。今後さらに、その適用範囲がひろがるのが期待されます。

<sup>\*</sup>アルカリ骨材反応: コンクリート中のアルカリ成分が骨材中の特定の鉱物と反応し、膨張を起こす現象。ひび割れの発生や鉄筋の破断につながる可能性がある。

# 铸造技術の革新へ

## 3Dプリンタが拓く鋳物の可能性

鋳造の現場では、砂でつくった鋳物の型枠である「砂型」の造形に3Dプリンタ技術が活用されはじめています。造形工程の簡略化や、複雑な形状のものを高い精度でつくれることなどが期待されていますが、一方では造形にかかる時間がネックとなり、その活用は限定的なものになっています。こうした中、造形速度を従来の10倍にまで高め、鋳物の生産性や品質を大幅に向上させようというプロジェクトが、経済産業省（経産省）の主導で進められています。3Dプリンタ技術によって、鋳物の可能性はどう拓かれるのでしょうか。プロジェクトのリーダーを務める、国立研究開発法人産業技術総合研究所（産総研）の岡根利光氏にお話を伺いました。



▲3Dプリンタで造形した砂型（自動車のターボチャージャー）



おかね・としみつ  
東京大学大学院工学系研究科修士、工学博士。㈱ニコン、東京大学工学部金属学科助手を経て、産総研入所。現在、製造技術研究部門デジタル成形プロセス研究グループのグループ長を務める。

### 試作品から量産品へ

経産省が進めているのは、「超精密三次元造形システム技術開発プロジェクト」。三次元積層造形技術（3Dプリンタ技術）による砂型の造形装置の性能を上げ、鋳物の品質や生産性の向上、国内製造業の国際競争力強化につなげることが目的です。プロジェクトは2013年7月に発足。産総研のほか、光造形装置メーカーのシーメット、鋳造メーカーのコイワイや木村鋳造所、鋳造品のユーザーである日産自動車やIHIなど、TRAFAM（技術研究組合次世代3D積層造形技術総合開発機構）のメンバーである13者が参画、早稲田大学などが評価を行う体制がとられています。

「3Dプリンタ技術には、レーザーなどを使って、直接金属製品をつくる方法もありますが、非常に高価です。一方、インクジェットによる3Dプリンタ技術で砂型をつくり、鋳造するとい

うやり方は、それに比べてコストが抑えられ、様々な製品の試作品に適用されています。ただ、スピードの観点で見た場合、量産品に対してはどうかというところがあります。量産だと、結局従来の砂型をつくる方法に戻ってしまうため、スピードが大きな課題になっています。プロジェクトでは、造形速度の向上に主眼を置きながら、装置の開発を進めています」

### 一体成型で工程簡略化、複雑形状も可能に

鋳物の砂型は、外側の主型と、内側の空洞部分である中子をそれぞれ作成し、双方を組み合わせることで完成させます。複雑な形状の場合、主型と中子は複数に分割してつかなければなりません。分割が多くなると、製品の精度が落ちることが懸念されます。主型と中子の組み立ては手作業のため、それらにかかる時間とコストも課題になっており、製品の

複雑さには限界があるのが現状です。しかし3Dプリンタの活用によって、こうした課題が一旦に解決されることになります。

「主型、中子の『一体成型』が可能になります。複雑な形状の製品も3次元CADのデータからダイレクトにつくることができ、製品の精度や製造スピードの向上にもつながります」

3Dプリンタによる砂型の造形では、まず装置に砂を均一に敷き詰め、そこにインクジェットノズルでバインダ（硬化剤）を塗布して固めます。製品の3次元CADデータを薄切り状態にした「2次元スライスデータ」をもとにこの工程を繰り返して製品形状を1層ずつ「積層」し、最後に余分な部分を落とすことで砂型が完成。従来のように、主型のための模型をつくったり、主型や中子を組み立てたりという工程が省かれ、劇的に簡略化されることになります。

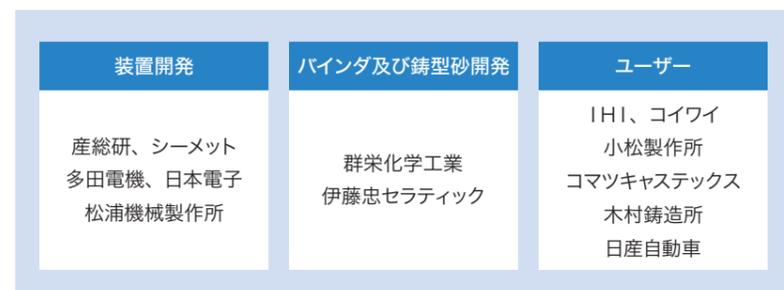
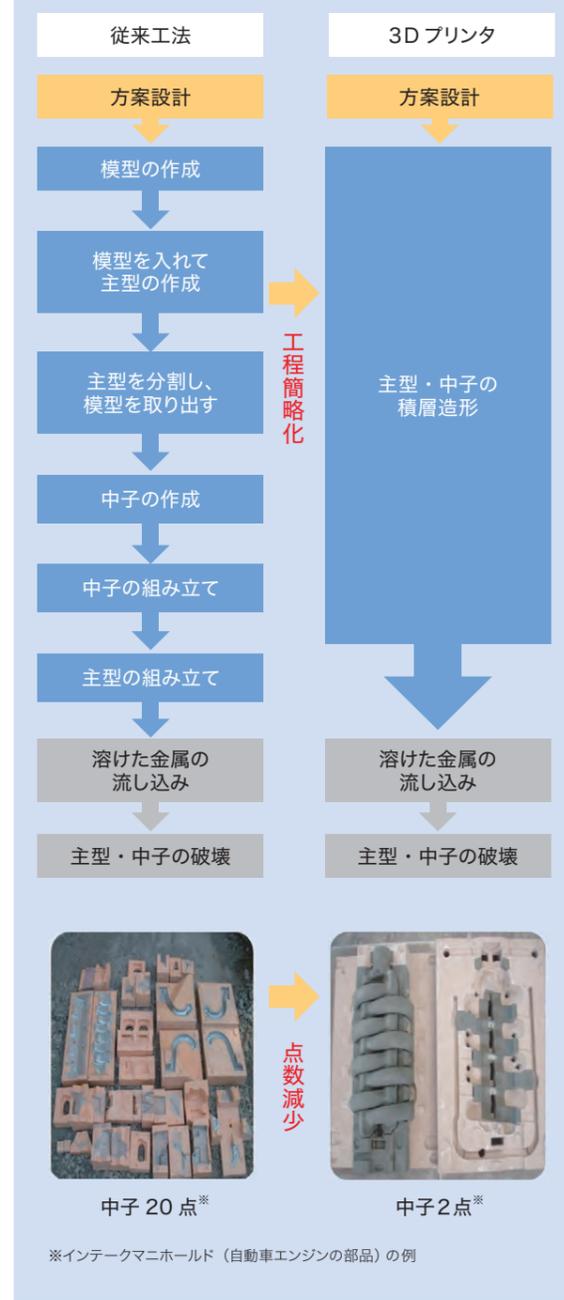
また、3Dプリンタの活用は鋳物の薄肉化や軽量化につながることも期待されています。コイワイ、ヤマハ発動機、日産自動車、早稲田大学、産総研のコンソーシアムは、経産省のプロジェクトに先立ち、二輪車フレームの試作品でそれらの検証を行っています。

「普通であれば、板材をプレスして、溶接して……ということが必要な部品で、重さは15kgほどになります。これを鋳物でつくってもっと軽くできないかと考え、中子の砂型製造で3Dプリンタを使いました」

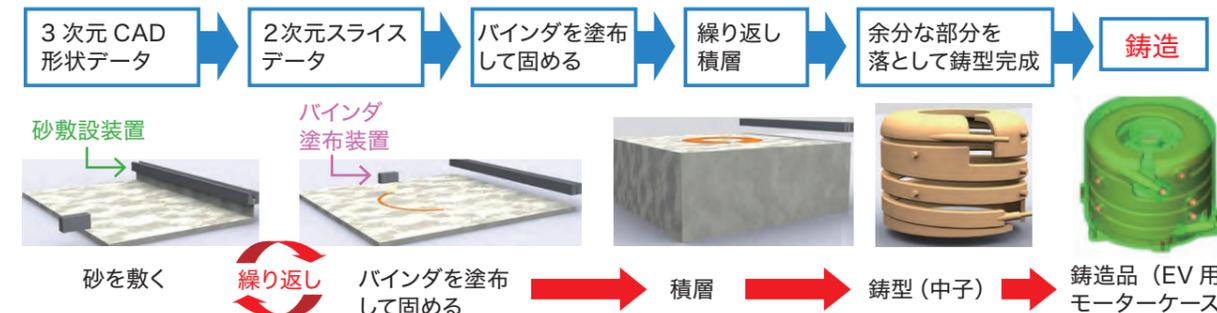


▲中空一体閉鎖構造の砂型で試作された二輪車のフレーム

### ■砂型の造形 従来工法と3Dプリンタの違い



▲超精密三次元造形システム技術開発プロジェクト 実施体制



▲3Dプリンタを活用した砂型の造形過程

フレームを中空化させる「中空一体閉殻構造」を採り入れたことで重量は4.6kgに抑えられ、約60%の軽量化が実現。フレームの平均肉厚は、従来の半分程度の2.5mmにすることに成功しています。

「同じ剛性で軽量化できた意味は、大きかったと思っています。また、鋳物の薄肉化を図る上では、金属を薄い隙間に流す高い技術も求められます。この研究には鋳造メーカーさんにも参加していただき、その方法を検証していただきました」

## 造形速度 10 倍に、世界最速クラスめざす

現在、砂型の造形装置の最大速度は国産が時間あたり1万cc、海外では5万ccのものが出ています。経産省のプロジェクトでは、現状の10倍の10万ccという世界最高クラスの造形速度を持つ装置を開発し、2018年度に販売開始することが目標に掲げられています。

「スピードが10倍になれば、自動車部品の量産などにも使え、可能性が大きく広がります。プロジェクトではすでに5万ccの装置が動き出しており、10万ccについても開発を進めているところです」

10万ccの装置は、畳一畳分ほどの広さ（縦1m、横1.8m）で、高さは0.7m。この装置により、たとえば自動車エンジンの骨格部分であるシリンダーヘッドの型を8～10時間で100個ほどつくることも可能になるといいます。

「夕方ボタンを押して1晩置けば、朝にはできている感じでしょうか。1日100個として1ヵ月フル稼働させれば3000個。日産のマーチのような月産3000台クラスの車種のシリンダーヘッドが、1台の装置でつくられることになります。また、複数の種類の砂型を1台の装置の中で同時に造形することも可能です」

様々な工程と手作業を伴っていたものが1台の装置によって完結してしまう、まさに革新的な技術の開発が進められています。

「ただ、スピードを向上させていく上では、バインダーやインクジェット等の量の調整など、いくつかの課題をクリアしていかなければなりません。なかでも、砂を敷く技術は案外難しい面があります。インクジェットの技術はデジタルなので、どのくらいの速さで動かすかという事は、実は見通しが利きやすい。しかし、砂を均一にきれいに敷くというのはアナログですので、工夫が必要になってきます」

## ボリュームゾーンとオーダーメイド

次ページの図は、日本における現在の鋳造技術の領域や今後のターゲットが示されたものです（岡根氏作成）。

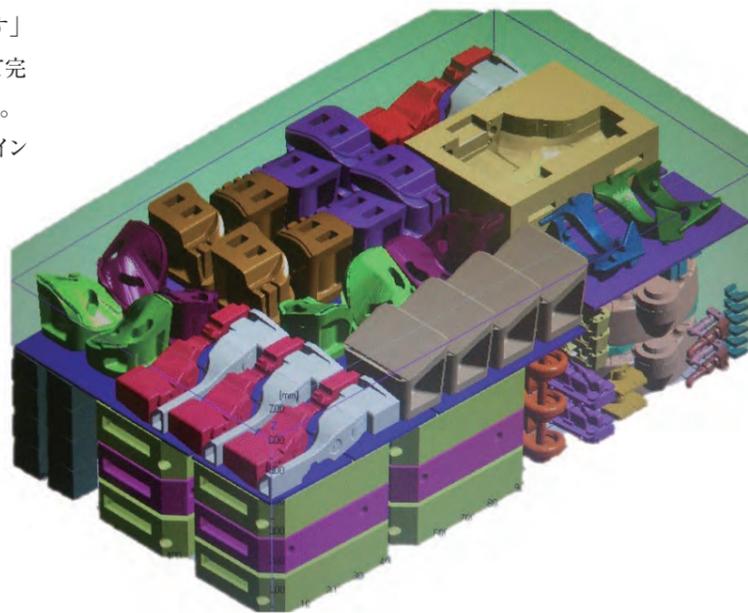
「国費を投入したプロジェクトですので、自動車用



▲開発中の造形装置（能力：5万cc/h）



▲3Dプリンタで複雑な形状の造形も実現（自動車のシリンダーブロック）



▲1台の造形装置で少量多品種の砂型を同時に造形することも可能

の部品やディーゼルエンジン、水力発電用水車など、やはりボリュームゾーンに役立つ技術でなければなりません。それも、早く生産できるとか、複雑な形状に対応できるとか、付加価値が必要です。また、その一方では、飛行機の部品や人工骨など、少量生産やオーダーメイドでつくるといってもやっています。まずは、こうしたところをめざしていかなければなりません」

付加価値という点で考えると、3Dプリンタ技術が進んでいるドイツやアメリカなど海外との差別化も課題です。

「まずはスピード。それから、鋳物の耐熱性についても向上させたいと考えています。また、『複層化』ということにもトライしていこうと思っています」

鋳型は金属を固めるだけでなく、熱を冷やすという機能も持っています。ただ、鋳型をそのまま冷やすと気泡が生じてしまうため、通常は優先して冷やしたい部分に「冷やし金」という金属の板を張り付けています。

「複層化では、層によって冷やすさを変えます。これにより、方向性を持って金属が固まる『指向性凝固』という状態にすることが可能になります」

従来の鋳造では、気泡を吸い取るための金属（押し湯）を余分に鋳型に注入しています。複層化によって、こうしたものが不要になり、歩留まりの改善も期待できるかもしれません。

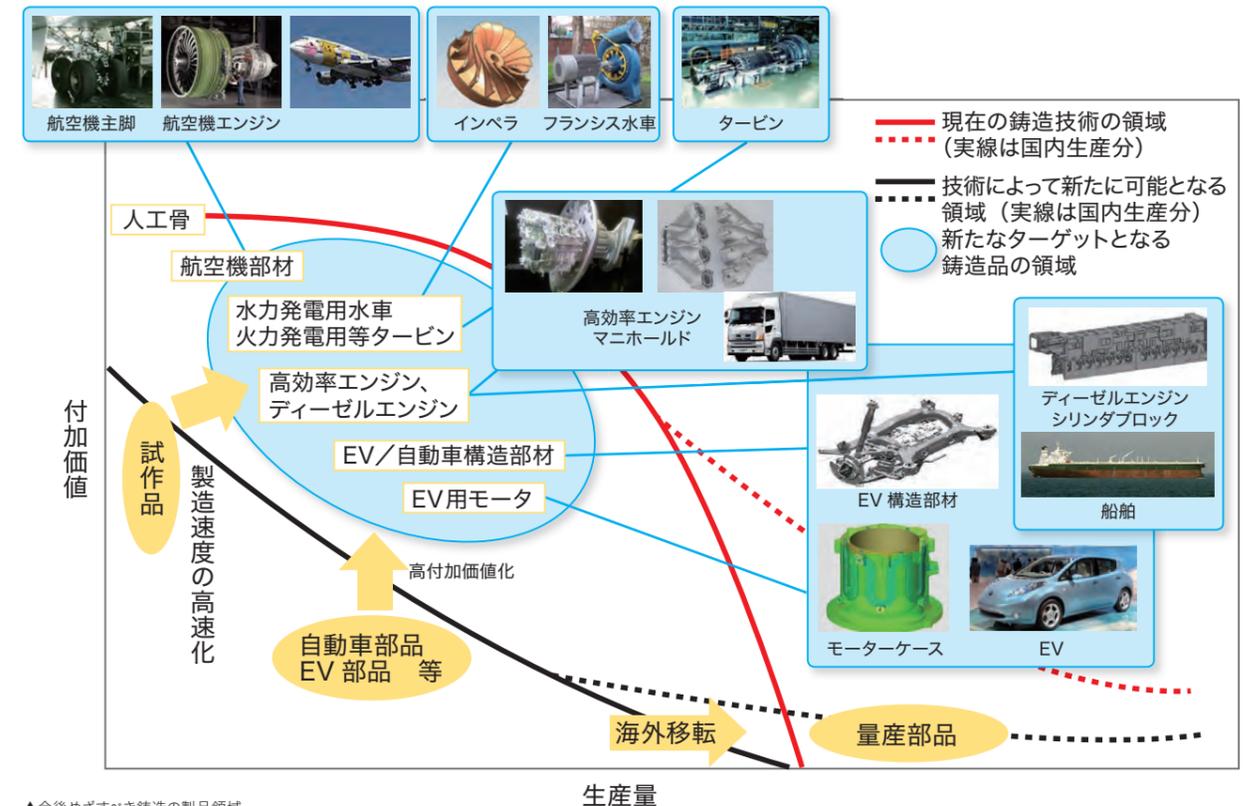
## 鋳物をもっと自由になれる

工程の簡略化、生産性の向上、形状の複雑化……。3Dプリンタは、これからの鋳造技術を、そして鋳物を大きく変えるかもしれません。そうした中で、鋳造に携わる企業や人はどのように対応していけばよいのでしょうか。

「二輪車のフレームに関してお話ししたように、薄くて精度の高い鋳型ができたとしても、溶けた金属を充填する技術は鋳造メーカーが持っています。複層化の設計などにも鋳物の専門家のノウハウが必要。工夫するところはむしろ、増えてくるのではないかと考えています」

3Dプリンタによって、鋳型の精度は技術的には0.2mmや0.1mmにすることも可能なため、現状より薄い鋳物をつくることもできるようになるといいます。3次元CADデータをもとにつくるため、補修部品のために鋳型を何年も持ち続けなくてもよくなる——。いままでできなかったことが、3Dプリンタによって実現する未来。

「3Dプリンタは今後、鋳造で当たり前のように使われるようになるでしょう。普及が進めば、価格も安くなり、より使いやすくなる。鋳物で何ができるのか、もっと自由に考えられる余地ができたということではないでしょうか」



▲今後めざすべき鋳造の製品領域

# インフラマネジメント時代における 腐食のリスクとその対策

世界に例を見ないスピードで構築された日本の社会インフラ。

一斉整備の契機となった1964年の東京オリンピックから50年が過ぎ、  
加速度的に増える老朽化ストックの戦略的な維持管理が求められています。

“つくる”時代から“マネジメント”の時代へ。

本章では、「インフラマネジメント時代」とも言うべき今、  
老朽化と密接な関係にある「腐食」にどう立ち向かえば良いのかを考えます。

腐食が引き起こす社会的なリスクを明らかにしながら、  
様々な角度からのアプローチ、取り組みを取り上げました。

## Contents

### Introduction

インフラの老朽化が招く社会的リスク

### INTERVIEW

管路施設の適切なマネジメントに向けて

国土交通省水管理・国土保全局

下水道部下水道事業課 企画専門官 本田 康秀氏

### Part 1

腐食環境下におけるマンホールふたの維持管理

東京都下水道局 施設管理部 管路管理課

### Part 2

マンホールふたの腐食劣化に関する基礎的研究

株式会社G&U 技術研究センター

〈解説〉金属の腐食について

国立研究開発法人 物質・材料研究機構 特別研究員 篠原 正氏

### Trend watching

下水道台帳などの机上情報でマンホールふたの腐食を予測  
次世代型高品位グラウンドマンホール推進協会

### Report

ライフラインの腐食環境を的確に察知



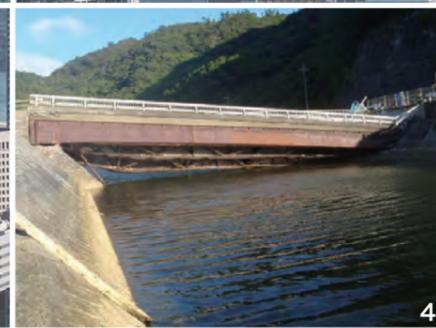
6



2



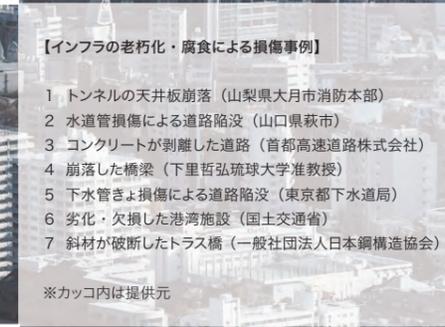
7



4



3



### 【インフラの老朽化・腐食による損傷事例】

- 1 トンネルの天井板崩落（山梨県大月市消防本部）
- 2 水道管損傷による道路陥没（山口県萩市）
- 3 コンクリートが剥離した道路（首都高速道路株式会社）
- 4 崩落した橋梁（下里哲弘琉球大学准教授）
- 5 下水管きよ損傷による道路陥没（東京都下水道局）
- 6 劣化・欠損した港湾施設（国土交通省）
- 7 斜材が破断したトラス橋（一般社団法人日本鋼構造協会）

※カッコ内は提供元



1



5

## ◆迫る老朽化、「50年経過施設」が増加

日本の社会インフラの構築は、1964年の東京オリンピック開催、高度経済成長期が大きな契機となりました。本格的な整備が始まってから半世紀以上が経過する中、様々な施設に老朽化の波が押し寄せています。

下表は、国土交通省が試算した建設後50年以上経過する社会インフラの割合です。

道路橋の場合、平成25年3月に18%となっているその割合は平成45年3月には67%に。下水管きよについては、2%から10倍以上の24%に増加が見込まれています。トンネル、河川管理施設、港湾岸壁も平成45年3月には半分以上が50年以上を経過することが予測されています。

また、下のグラフは、法定耐用年数（40年）を超過した水道管路の割合の推移です。平成18年度に6%だったものが、平成26年度には約2倍の12.1%まで増加しています。

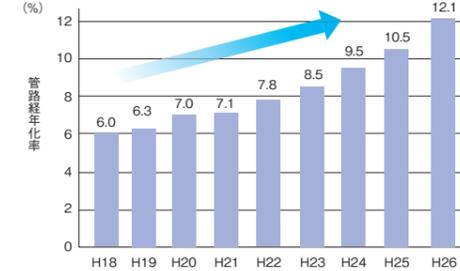
老朽化対策は喫緊の課題となっており、効率的・戦略的なマネジメントが求められています。

### ■「50年経過施設」(国交省所管)の割合

	H25.3	H35.3	H45.3
道路橋 約40万橋 (橋長2m以上の約70万橋のうち建設年度判明のみ)	18%	43%	67%
トンネル 約1万本	20%	34%	50%
河川管理施設 約1万施設(水門等、国管理施設)	25%	43%	64%
下水管きよ 総延長約45万km	2%	9%	24%
港湾岸壁 約5千施設(水深-4.5m以深)	8%	32%	58%

出所：国土交通白書 2015（建設年度不明の施設は割合の算出から除外されている）

### ■耐用年数超過した水道管路の割合



出所：厚生労働省資料

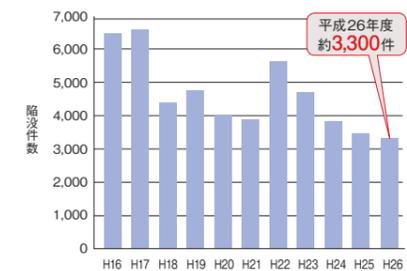
## ◆下水管起因の道路陥没、「年3300件」

下水管きよが何らかの理由により破損し、周囲の土砂などが引き込まれることで起こる道路陥没は、毎年3000～4000件程度発生しています（平成26年度は約3300件）。陥没の深さは50cm以下が全体の9割を占めているものの、中には数mに達するケースもあり、重大な事故につながりかねないリスクをはらんでいます。

原因としては、取付管や本管などの不具合、老朽化などが挙げられるほか、硫化水素濃度が高い場所においては、腐食による管破損が影響していることもあります。陥没が発生すると、下水道の使用制限や交通規制など、市民生活にも大きなダメージを与えかねません。こうした道路陥没は、腐食等の老朽化による水道管の破損で引き起こされる事例も見られます。

用制限や交通規制など、市民生活にも大きなダメージを与えかねません。こうした道路陥没は、腐食等の老朽化による水道管の破損で引き起こされる事例も見られます。

### ■下水管起因の道路陥没の推移



出所：国交省下水道部調べ



▲下水管きよの破損による道路陥没(延長15m、深さ5m)

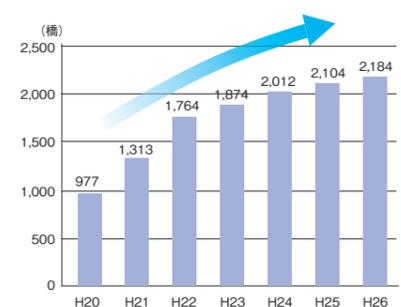
## ◆地方管理橋梁で増える「通行規制」

老朽化によって引き起こされるメインケーブルの破損や主桁の腐食、コンクリート床版の剥離などにより、地方公共団体が管理する橋梁で、通行規制や通行止めが増えています。下のグラフは、その推移を示したものです。平成20年度に977橋だった通行規制等は、平成26年度には2倍以上の2184橋となっています。

全国には約70万橋もの橋梁があり、このうち約66万橋を地方公共団体が管理しています。しかし、国土交通省の調べによると、市区の1割、町の3割、村の6割で橋梁の保全業務に携わる土木技術者が存在せず、適切な維持管理を進める上での技術力不足が課題となっています。

通行規制等は、渋滞や事故などを誘発する恐れがあり、社会的影響も大きくなります。同省は、点検に際して緊急かつ高度な技術力を要する地方公共団体の施設について「直轄診断」を実施するなど、財政、技術両面での支援を強化しています。

### ■橋梁の通行規制等の推移



出所：国交省道路局調べ。2m以上の地方管理橋梁



▲老朽化により通行止めとなった橋梁



▲鋼製杭橋脚が著しく腐食(通行止め)

## ◆法改正により「点検義務化」へ

平成24年12月の中央道笹子トンネル天井板崩落事故など、社会インフラにおける老朽化の問題が顕在化する中、国土交通省は平成25年を「社会資本メンテナンス元年」と位置づけました。平成26年5月には全府省庁に先駆けて「国土交通省インフラ長寿命化計画(行動計画)」を決定し、メンテナンスサイクルの

構築に向けた道筋を提示しています。平成25年から27年にかけては、道路法、河川法、港湾法、下水道法等において、施設の維持修繕に関する技術的基準(維持修繕基準)が創設され、定期的な点検が義務付けられました。たとえば道路法においては、長さ2m以上の橋梁(約70万橋)とすべてのトンネル

(約1万本)等について、5年に1回の頻度での近接目視による点検が義務化。下水道法においても、下水の貯留等により腐食の恐れがある部分について、5年に1回以上の頻度で点検を行うことが義務化されました。施設の適切な維持管理が、より強く求められるようになっていきます。



▲橋桁の点検



▲点検車による橋脚の点検



▲下水道路の管口カメラ調査



下水道事業は今、従来の整備中心から維持管理・更新を含むマネジメントへ舵が切れようとしています。平成27年5月に成立した改正下水道法では、その象徴的な施策として「維持修繕基準」が創設されました。また今年度からは、施設管理の全体最適を推進する新たな財政支援制度も確立されます。これらの施策や制度を受け、今後、管路施設のマネジメントはどう変わっていくのでしょうか？国土交通省下水道部企画専門官(当時)の本田康秀氏にインタビューしました。

## INTERVIEW

# 管路施設の適切なマネジメントに向けて

国土交通省水管理・国土保全局 下水道部下水道事業課 企画専門官  
(現 埼玉県下水道局 参事(兼)下水道事業課長)

本田 康秀氏

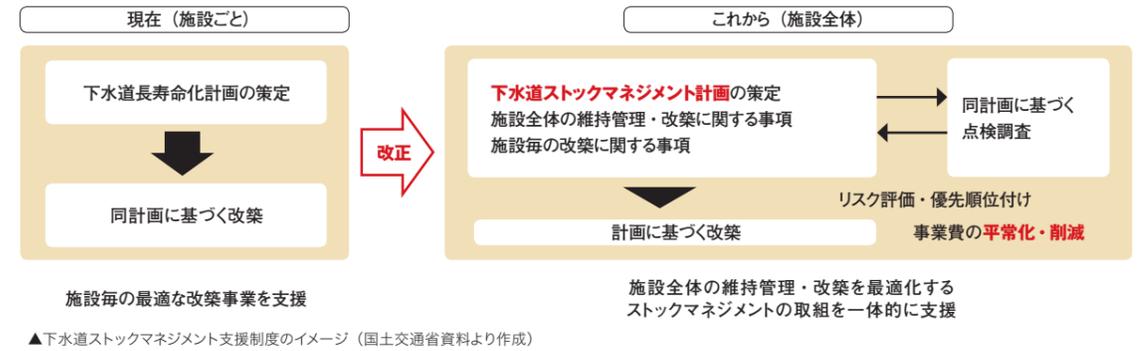
### 維持修繕の精神が導入された法改正、管理方法を管理者自ら考えることが重要

——改正下水道法の成立を受け昨年11月に施行された維持修繕基準について、創設の背景や、その意義を教えてください。

「公物管理法」に関する近年の流れとしては、平成25年に道路法で維持修繕基準が設けられ、河川法や海岸法などでも同様の措置がなされました。今回、遅ればせながら下水道法でもこの基準が設けられたわけです。従来の下水道では規定されていなかった「適切に維持修繕を行う」という精神が入った点は、改正下水道法でも大きなポイントになっています。

道路法等でも同じですが、そもそもの背景として、「壊れてから直す、交換する」といった従来の考えから、より長持ちさせ、長持ちをさせた上で取り替える時はより適切な方法を選択するという予防保全的な考えに変わってきていることが挙げられます。そのため、今回も「維持」というプロセスの重要性が着目されました。

下水道の維持修繕基準の主な特徴としては、3つあります。1つ目は、施設全体として維持修繕を適切な時期に適切に行うことが決められている点です。そして、維持という行為の中でもとりわけ「点検」は、目視その他適切な方法で適切な時期に行うとされています。これが2つ目です。3つ目は、その点検についてもとりわけ腐食のおそれのある排水施設(この場合、管きよとマンホール)に限っては5年に1回以上行うようにと、定量的な頻度を義務付けています。



▲下水道ストックマネジメント支援制度のイメージ (国土交通省資料より作成)

土木構造物が中心の道路や河川に比べると、下水道施設は土木・建築から機械・電気設備に至るまで多岐にわたっています。ですから、予防保全的に管理をすることが適切な時期の適切な点検であることもあれば、予防保全的でない方法が適切な管理方法である施設もあります。我々とすれば、施設の特性に応じた維持管理のあり方をきっちり管理者の判断で考えていただくことが重要だと思っていますし、そのため関係する法令だけではなく、技術的な助言として、「下水道事業のストックマネジメント実施に関するガイドライン—2015年版—」(以下、ガイドライン)をお示しすることで、そうした動きを後押ししています。

### ストックマネジメント支援制度を創設、計画策定に必要なプロセスも財政支援へ

——法改正を踏まえた国の施策を教えてください。

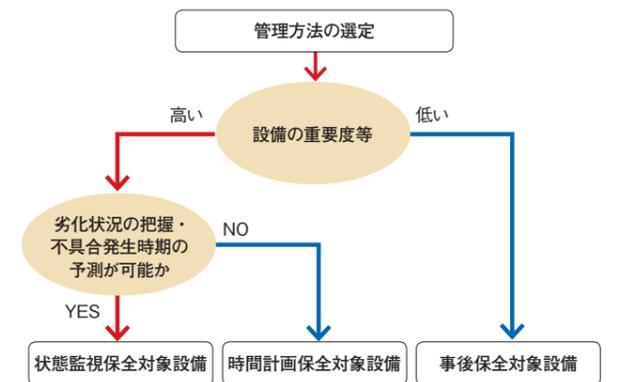
財政的な支援として、28年度から新たな制度「下水道ストックマネジメント支援制度」を用意しています。従来の長寿命化支援制度では、改築の時点がトリガーとなった財政支援の仕組みであったため、状態監視保全的な行為が誘導されない傾向にありました。しかし新制度では、状態監視保全の施設を絞り込み、劣化・損傷を把握するための点検・調査を計画的に実施していただく場合は、それらの行為を財政支援の対象に含めます。維持修繕基準では点検という行為を特別に取り上げましたが、当然、予算面でも、改築を効率化させるための点検、そこをトリガーとした調査、診断、そして改築事業、これら一連の行為を効率的な改築事業の一環として財政支援をしていきたいと考えています。新制度は、ストックマネジメント計画を予算支援のために作っていただくことも目的なのですが、その計画を作成するためのプロセス——例えば資産全体をきっちりデータベース化する、そこに点検・調査の結果を加えていただくなどの行為にも財政支援が行えるようにします。ストックマネジメント計画に位置づけた事業はさることながら、その計画を作る上でデータベース化や点検・調査の履歴を蓄えるといった行為を含め、ストックマネジメント計画の作成につながるものであれば、改築事業を効率化させる上で財政支援が

できると考えています。

### 維持修繕基準の理念を踏まえ、施設全体の一体的管理による効率化を

——管きよの腐食点検以外の維持管理はどのように考えればよいでしょうか。一見、腐食点検以外の施設は後回しでも構わないようにも捉えられますが……。

その点はしばしば地方公共団体からもご指摘をいただきますので、この場で改めて申し上げておきたいと思います。維持修繕を適切に行うという維持修繕基準の理念は、管きよとマンホールの腐食箇所の点検だけでなく、下水道施設全体にかかります。繰り返しになりますが、同基準では点検という行為を、維持の行為の中から特出して適切な方法で行うことを謳っている部分と、定量的な頻度で行うよう限定的に定めている部分で構成されています。5年に1回以上の腐食点検以外の施設をどうするかと言うと、点検は適切な頻度で適切な方法で行う必要がありますし、点検以外の維持の行為についても適切に行う必要があるのです。ただし、その定め方は管理者の判断に応じていろんな方法があります。例えば管きよの一般部の点検の頻度の定め方や、マンホールふた、ます、取付管も含めた管路施設全般をどのような管理方法で考えていけばよいかに関してはガイドラインでも言及しています。ですから、5年に



▲管理方法の選定フローの例 (『下水道事業のストックマネジメント実施に関するガイドライン—2015年版—』より作成)

## ■管路施設の損傷劣化事例



▲腐食の進んだ管きよ（提供：国土交通省）



▲ふた枠との段差



▲摩耗したふた

1回以上云々は非常に象徴的ではあるのですが、管理者がそこだけにとらわれることなく、維持修繕基準の意味合いを理解し、施設全体を一体的にどういうふう点検、維持管理していけばよいのか、よく考えていただくことが重要だと考えています。

## 道路の一部としての役割も持つふた、設置環境等に応じたメリハリつけた管理を

——マンホールふたの管理方法としては具体的にどのような方法が考えられるでしょうか。そもそもマンホールふたは状態監視保全をしなくてよい、対象にならないと捉えられる場合もあるようですが。

まず前提として、マンホールふたは道路の一部であり、経年劣化によるスリップやガタツキ、破損などが起こりうる道路機能としての性格を有しています。その上で管路施設の一部として腐食の問題がありますし、社会環境の変化に伴い浮上防止などの機能向上を求められるケースもあります。

こうしたことを踏まえガイドラインでは、マンホールふたを含め、状態監視保全の考え方で定期的に点検する方法もあれば、時間計画保全の考え方で一定の時期が来れば取り替えていく方法もあると、柔軟性を持たせて記述しています。当然、状態監視保全を行う施設は平素から劣化の状態を把握することが前提になります。あとはその施設が損傷した時のリスク、事故の重大さ、重要度、安全性などに影響が大きいのか、劣化の予兆が把握できる・できないなど、そうした要素を加味しながら決めていくという考え方を示しています。

ですから、当然、管轄する下水道の全てのマンホールふたを一律に扱う必要はありません。交通量や腐食が大きい箇所などの環境も加味し、状態監視保全に基づき平素から腐食や摩耗などの損傷劣化を点検していく方法や、時間計画保全に基づき浸水対策や地震対策などの性能向上の視点から機能不足の旧式のふたをいっせいに取り替えてしまう方法など、設置環境等に応じたメリハリつけた管理方法を定めていただければ

ればと思います。

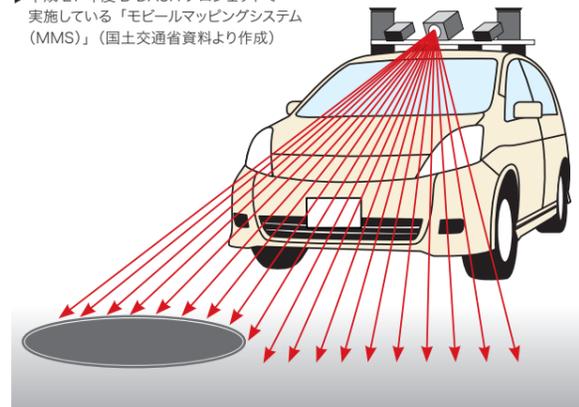
その際のポイントは、管理者自らがこうだと、きっちり対外的に説明できるものをどう考えるかだと思います。当然、予算や人的リソースの制約もあるでしょうから、対地域的な安全性の確保や下水道機能の確保など全体をきっちり勘案し、管理方法にメリハリをつけてくださればと思います。今までは法令上で維持・修繕に関する措置の規定がなかったので、何となく事後で対応してきた部分もおありになると思いますが、これからは「これは時間計画、これは状態監視でなければいけない」などと管理者自ら考えて、決めていただくことが重要と考えています。

## ふたは基本情報のデータベース化から、点検義務化は絶好の機会

——施設の特性に応じた管理方法を定める前段として、地方公共団体がすべきことは何でしょうか。

管きよの本体は、台帳の整理やそれを電子化の中で、布設年次や位置に関する基本的な情報が比較的整理されていきます。一方、ふたは、そうした基本情報の整理が一部の都市を除くと置き去りにされているのが現状ではないかと思っています。そのため、ふたに関しては、いつ設置したのか、その機

▶平成27年度B-DASHプロジェクトで実施している「モバイルマッピングシステム(MMS)」(国土交通省資料より作成)



能は何なのか、劣化はどの程度進んでいるかなどの情報を管理者がきっちりデータベース化することがまずは最初のステップだと思います。データベース化し、その上で交換する、あるいは当面交換せずに点検を続けていくなどといった方法を決めていただく。その土台づくりが大事です。また、公務員は人事異動が定期的に行われますから、情報の伝承という観点からも施設状況のデータベース化は有意です。

ふたのデータベース化にあたっては、横浜市などで行われた例ですが、道路に車を走らせて現状把握等を行う簡易なスクリーニング調査技術もあります。地方公共団体の中には「調査=ふたを開ける」とイメージされる方もおられるかもしれませんが、開蓋せずとも調査ができる手法があることも周知していく必要があると思います。

——定量的な点検が義務化された管きよの腐食箇所を対象に、マンホールを開ける際に合わせてふたを点検するという方法は考えられないでしょうか。

当然、腐食しやすい部位ですから、ふたを開けてふたの裏の状況を合わせて見る方法も有効です。下水道法では点検の結果、点検した年月日の記録を次の点検まで保存することも義務化されますので、該当する管きよと一緒にふたの状態を確認して記録していくやり方も考えられると思います。

また、データベース化を進める観点から言えば、他施設の点検調査に付帯してマンホールふたの基本情報を収集することも有効な手段です。そうした意味では、今回の法改正による管きよ腐食箇所の点検義務化は、材質や荷重強度などのふたの基本情報を合わせて収集できる絶好の機会だと思います。

## 技術開発や課題解決型の提案により、維持管理・更新の後押しを

——最後になりますが、マネジメント時代を迎える下水道事業において業界が果たすべき役割をどうお考えですか。叱咤激励も込めて一言お願いします。

大事なことは、いかに地方公共団体の施設管理を効率化し、

品質を確保するかです。管きよ本体だと、更生工法もありますし、レジンコンクリートなど腐食しにくい材質の開発も進んでおり、基本的には改築を行えば耐腐食性能が向上するものだと思います。当然、ふたの世界においても、取り替えればそれなりに腐食しづらくなる製品の開発が必要です。それが、今のふたの価格と比べてそう高価なものにならないような、地方公共団体が導入しやすい形での製品開発にもつながれば、実際に地方公共団体の維持管理・更新を後押しするのではないかと期待しています。

一方、マンホールふたは鑄鉄製であり、腐食しやすい材質ですが、コンクリートのように腐食メカニズムに基づいた対策が体系的に整理されていません。ふたと受枠の勾配面の腐食が進行し、ふたが反転・飛散して事故が発生するという報告も聞いていますので、腐食メカニズムの研究とその解明は不可欠だと思います。G&U技術研究センターではふたの腐食研究について基礎研究領域から取り組んでいると聞いています。腐食の発生メカニズムの解明が、重点的な点検箇所の設定や環境に応じた腐食対策の手法を明確にし、維持管理の重点化・効率化に繋がることを期待したいですね。

もう1つ、地方公共団体における執行体制の脆弱化という課題を考えると、今後の下水道事業では、多様なビジネスモデルの構築が重要だと考えています。地方公共団体も民間との新しい契約形態を求めています。例えば5年間の包括的民間委託を導入し、その間に得

られた知見を次期改築事業として提案することも契約内容に含めようとかが、いろいろな形が考えられると思います。管路の世界ではモデル的な事例が出てきています。地方公共団体、メーカー、地元業者が連携した新しいビジネスモデルを構築することは、事業に新たな付加価値を与えることも期待できます。こうした商売戦略を練ることも民間に担っていただきたい役割の1つです。新たなビジネスモデルを地方公共団体へどんどん提案していただきたいと思っています。先進的な新しいビジネスモデルを開拓するのにFS（フィージビリティ・スタディ、実現可能性調査）が必要であれば、国も予算をつけて後押しできると思います。



### PROFILE

ほんだ・やすひで 東京大学工学部都市工学科卒業。平成7年に建設省に入省した後、関東地方整備局横浜国道事務所調査第一課長(14年4月～)、内閣官房副長官補(安全保障・危機管理担当)付内閣事務官(16年4月～)、国土交通省下水道部下水道事業課課長補佐(18年7月～)、同下水道企画課課長補佐(20年4月～)、横浜市環境創造局下水道計画調整部担当課長(24年4月～)、国土交通省下水道部下水道事業課企画専門官(26年4月～)等を経て28年4月から現職。

# 腐食環境下におけるマンホールふたの維持管理

## 不具合等の未然防止に向けた取り組み

取材協力: 東京都下水道局 施設管理部 管路管理課

東京都下水道局が管理する区部のマンホールふたは約 48 万個。河川横断箇所等の伏せ越しや圧送管開放部、勾配変化部の管きよなど、硫化水素ガスが発生しやすい地域に設置されているものもあります。昨年の下水道法改正では「維持修繕基準」が創設され、腐食のおそれ大きい排水施設の点検は 5 年に 1 回以上とすることが義務づけられました。マンホールふたについても、環境に応じた適切な維持管理が求められる中、都では腐食に伴う不具合等の未然防止に向けた取り組みを進めています。マンホールふたの腐食によって引き起こされるリスクとあわせ、この取り組みの内容について施設管理部の杉山純管路管理課長にお聞きしました。



杉山 純 管路管理課長

### ■マンホールふたの改良等を進める一方、一部で腐食も顕在化

東京都は、マンホールふたのガタツキ等の不具合や豪雨等に伴う浮上・飛散事故を防止するため、急勾配受け浮上・飛散防止型構造のマンホールふたを採用しています。平成4年以降、平受け構造のマンホールふたから順次交換を進めており、現在、全体の半数以上が急勾配受け浮上・飛散防止型構造マンホールふたになっています。

安全性や維持管理性の向上の観点から、マンホールふたの改良も重ねています。最新型は、マンホールふたの表面の摩耗の状態がわかるようにスリップサイン（下の写真）が設けられており、適切な交換時期を把握することで、スリップ事故等の未然防止に努めています。また、設置年度や設置場所など維持管理に必要な管理番号（下図）が付されており、地

域住民からの苦情等にも迅速に対応できるようにしました。

こうした取り組みの一方で、古くなったマンホールふたにおいては、一部で摩耗や腐食等が発生しています。こうした不具合は、マンホールふたのガタツキやズレ、豪雨時の飛散などにもつながりかねないため、予防保全に向けた対策が求められています。



▲スリップサイン（丸で囲った箇所）3mm 減ったら交換の目安

「都型・標準マンホールふた」

文字キャップ	01	3H	0H	60
	管理図内の人孔番号	管理図内の固有記号		管きよ布設年度
文字キャップ色	合流管、汚水管…黄色 雨水管…青色	識別記号…緑色		1900年代…黄色 2000年代…青色

※23区の下水道管きよは、すべて管理図によって把握しており、上記のマンホール番号は、管理図の番号・記号と対応しております。

▲マンホールふたの管理番号

### ■腐食環境下にあるマンホールふたを重点点検

都では通常、各地域を一定期間ごとに巡視し、地上からの目視によってマンホールふた表面のガタツキやふた枠の段差量などを確認しています。巡視の結果に応じ、ふたを開けて内部を確認し、強度や機能に問題があれば交換等が行われることとなります。

「さらに、腐食のおそれ大きい環境にあるマンホールふたについては、重点的に点検を行っています。具体的には、伏せ越しや圧力管開放部、勾配が著しく変化する箇所、高落差（滝落とし）箇所やその影響範囲など、硫化水素ガス

が発生しやすい地区に設置され、一定期間が経過したマンホールふたが対象です。損傷、腐食箇所の早期の発見につなげ、効果的な予防保全を図っています」

「区部では、下水道管の老朽化や陶製取付管の破損に起因する道路陥没事故が、平成 26 年度に約 600 件発生しました。平成 12 年度には 1500 件以上発生していたことを考えると減少傾向にはあ

りませんが、道路陥没は地域住民、交通等への影響が大きいことから、現在は下水道管の老朽化対策や陶製取付管を衝撃に強い塩化ビニル製取付管に交換する取り組みに注力しています。マンホールの腐食や故障の発生件数は、それらと比べるとわずかではあります。マンホールふたの浮上・飛散等はひとたび起きれば事故につながるおそれがあります。下水道法の改正にあわせ、マンホールも含めた下水道管の調査頻度を高め、調査延長を約 2 割アップさせる考えです」

### ■同じ条件でも腐食の進捗が異なる メカニズムの解明に期待

マンホールふたの腐食の仕組みについては、未だわかっていない部分があります。腐食の原因の分析は、適正な維持管理に向けた課題とされています。

「同時期、同環境内に設置したマンホールふたでも腐食等の劣化の進捗が異なる事例があることは把握していますが、その原因は十分に解明されていません。腐

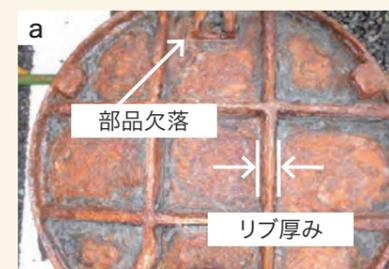
食等のメカニズムの解明が進めば、より適正で効率的な維持管理手法がとれるのではないのでしょうか」

杉山氏は、この分野の研究開発に期待を寄せます。

「現在のマンホールふたについては、安全性や機能性、維持管理性等の面で高く評価をしています。しかし、交通量

が激しい箇所、腐食のおそれの大きい箇所など、厳しい環境下にあるマンホールふたがある中、より長期に機能を確保できる新技術の開発は重要です。都としては、48 万個のマンホールふたの予防保全や適切な維持管理を積極的に進めていくとともに、こうした新技術の動向についても注視していきたいと思っています」

### 【参考】他都市におけるマンホールふたの腐食事例



▲部品欠落とリブ厚みの減少



▲枠勾配面の腐食生成物堆積



▲段差の発生（急勾配受け構造）

出所：「下水道マンホールふたの健全度評価に基づく維持管理方針に関する検討調査（F市）」（公益財団法人 日本下水道新技術機構 2013年度 下水道新技術研究所報）

# マンホールふたの腐食劣化に関する基礎的研究

## 硫化水素や結露の影響明らかに腐食対策技術の評価手法確立めざす

株式会社G&U技術研究センター



研究開発部 桑原 裕樹  
(現 公益財団法人 日本下水道新技術機構 研究第二部)

社会インフラの老朽化による腐食の問題が顕在化する中、マンホールふたにおいても、腐食によって様々な安全上のリスクが発生しています。例えば、ふたの開閉不能や、開閉後のふたがかみ合わないことで発生するがたつき。さらに腐食が進行すると、破損や、受枠との嵌合部の減肉によるふたの反転が生じ、歩行者が転落するリスクを招くことになります。豪雨時におけるマンホールふたの浮上飛散防止機能は錠や蝶番が担っていますが、腐食劣化によって機能不全となることも懸念されます。

各マンホールふたメーカーが腐食対策品を販売しているものの、明確な評価基準が存在しないため、自治体が積極的に採用するには至っていません。また、マンホールふたを点検した際に、あとの程度の寿命であるのかを判断する方法が確立していないため、実際に問題が発生してから取り替えるケースがほとんどです。

コンクリート構造物については、硫化水素ガスに起因する硫酸による腐食メカニズムが明らかになっており、硫化水素濃度による腐食環境の分類とその対策について、「下水道コンクリート構造物の腐食抑制技術及び防食技術マニュアル」(2012年4月 日本下水道事業団)に示されています。一方、マンホールふたについては、硫酸による腐食に加えて、結露のような水と酸素が存在するだけでも腐食が進行するため、その腐食メカニズムはコンクリート構造物よりも複雑です。

G&U 技術研究センターでは、フィールドでの調査や実験を通じ、硫化水素や結露の腐食への影響に関する知見を整理することにより、腐食環境の分類と環境に応じた腐食対策技術の選定基準・評価手法の確立をめざしています。ここでは、これまでに得られた新しい知見の一部を紹介します。

### ■「エイジロン」で硫化水素と腐食の関係を検証

G&U 技術研究センターは、地方共同法人日本下水道事業団との簡易提案型共同研究(2014年10月～2015年3月)において、下水道環境を模擬できる環境試験装置「エイジロン」(写真1)を用い、硫化水素濃度の影響を検証しました。

エイジロンでは、下水処理場から導入した下水を試験槽内に溜め、硫化水素供給装置により硫化水素を供給しながら硫化水素濃度、試験槽内の温度を制御することで、硫黄酸化細菌を繁殖させ、



写真1 エイジロン(上:内部、右:外観)



硫酸を生成することができます。

硫化水素濃度を0ppm、50ppm、200ppmと変化させると、硫化水素を含む環境では黒色の腐食生成物が生成し、硫化水素を含まない環境では赤色の腐食生成物が生成しました(写真2)。硫化水素を含むと、異なる形態の腐食が進行することが示唆されています。

硫化水素濃度が高いほど、腐食速度は大きくなり(図1)、腐食生成物中には多くの硫酸イオンが生成されます(図2)。このことから、硫化水素濃度が高いほど、より多くの硫酸が生成し、硫酸による酸性腐食により腐食が進行することが確認されました。

### ■硫化水素が存在すると腐食速度は約3倍に

実環境での硫化水素濃度とマンホールふたの腐食状態の関係を確認するため、フィールドでの比較調査も実施しました。「硫化水素が検出される環境」(48時間の累積値が1ppm以上)と「検出されない環境」(同0ppm)で、腐食速度に大きな違いが見られ、硫化水素が存在する環境では、ほとんど硫化水素が存在しない環境の約3倍もの腐食速度を示しました(図3)。

ただ、硫化水素濃度と腐食速度の関係(図4)については、実験で得られたような明確な差が見られておらず、実験と実環境の整合が今後の課題となっています。

### 硫化水素の影響(エイジロンによる実験)



硫化水素濃度により異なる腐食形態を示した

写真2 エイジロンに100日間暴露後の铸铁試験片外観

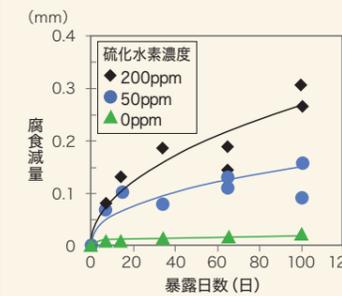


図1 暴露時間と腐食減量の関係

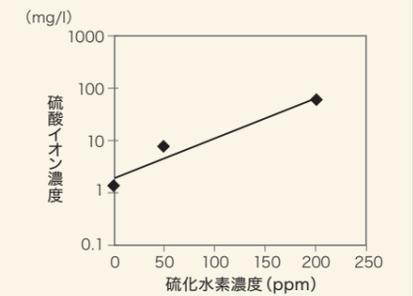
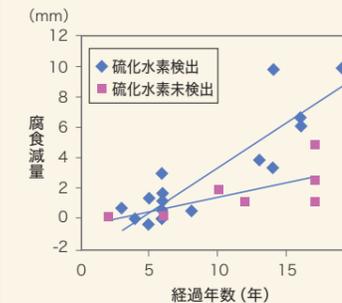


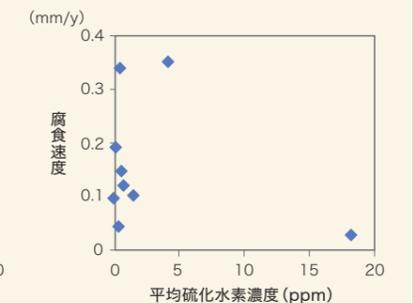
図2 エイジロンに100日間暴露後の腐食生成物中に含まれる硫酸イオン濃度

### 硫化水素の影響(フィールド調査)



硫化水素が存在する環境では約3倍の腐食速度

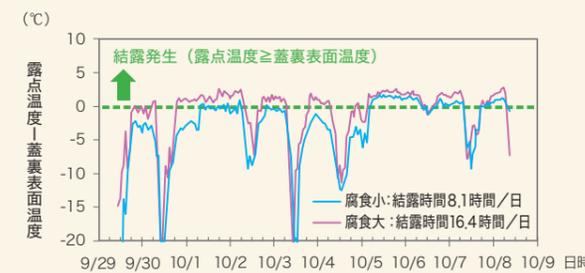
図3 蝶番の腐食量に対する硫化水素の影響



硫化水素濃度と腐食速度に明確な関係は見られない

図4 硫化水素濃度と蝶番腐食量の関係

### 結露の影響(フィールド調査)



1日あたりの結露時間が長いほど腐食が進行

図5 結露発生条件と腐食状態の比較



腐食 大

腐食 小

## ■「結露」も腐食を促進する

マンホールふたの腐食に影響を及ぼす最も大きい環境因子は、コンクリート構造物と同様に硫化水素です。しかし、硫化水素の存在しない環境でも、結露のような水と酸素が存在すると、マンホールふたの腐食は進行します。この点は、コンクリートと異なる点です。

硫化水素の検出されない環境で、腐食状況の異なる2ヵ所のマンホールふたの結露発生状況を比較しました。マンホールふたは外気に接しているため、外気温

度が低い場合、表面温度がマンホール内の温度よりも低くなりやすく、結露が発生しやすい状態になっています。

結露が発生する具体的な条件は、「露点温度 $\geq$ ふた裏表面温度」。空気は温度によってある一定量の水蒸気を含むことができ、その量は温度が高いほど多くなります。空気の温度を下げていくと、空気中に含むことができる水蒸気量が減少していき、結露が発生。この温度が露点温度です。

図5に2ヵ所のマンホールふたに関する結露発生条件の時間変化を示しました。露点温度とふた裏表面温度の差が $0^{\circ}\text{C}$ 以上の条件で結露が発生し、結露発生条件を満たす時間を「結露時間」とすると、1日当たりの結露時間が長いほど、腐食速度が大きくなることが確認されています。このことから、硫化水素がほとんど発生しない環境でも、結露によって腐食が促進されることが明らかになっています。

## 解説 「金属の腐食について」

国立研究開発法人 物質・材料研究機構 (NIMS)  
材料信頼性評価ユニット 腐食研究グループ

### 特別研究員 篠原 正氏

2001年に報告された調査\*によると、日本の「腐食コスト」は3兆9281億円。腐食による経済的損失は莫大なものであり、より一層の対策が求められています。ただ、ひとくちに腐食といっても、そのメカニズムや特性は材質によって様々。

そこで、NIMSの篠原正氏に金属の腐食についてご説明いただくとともに、アドバイザーを務めるG&U技術研究センターのマンホールふた腐食研究に関しても、お話を伺いました。

\*腐食防食協会と日本防錆技術協会が設置した「腐食コスト調査委員会」が実施。腐食コストは当時のGDP比で0.77%と試算した。

しのはら・ただし 東京大学大学院工学系研究科(金属材料学) 修了、工学博士。東京大学工学部助教授、横浜国立大学大学院客員教授、NIMS材料信頼性評価ユニットグループリーダーを経て現職。腐食防食協会、日本鉄鋼協会の理事などを歴任。金属腐食、大気腐食のエキスパート。



## 金属の腐食は電気化学反応

金属の腐食というと、思い浮かぶのは「さび」。では、「さびる」という現象は、どのような仕組みなのでしょう。

「よく理科の教科書などでも、『さびが生じるには水と酸素が必要』と書かれていますね。金属は、電子(自由電子)と陽イオン(金属イオン:金属原子から自由電子が抜けたもの)で成り立っています。これに水が接すると、金属の原子がイオン化して水に溶けだします。一方、残された電子は水中の溶存酸素を消費し、水酸化物イオンになります」

金属の溶解は「アノード反応」(酸化反応)、電子の消費は「カソード反応」(還元反応)と呼ばれます。2つの反応が同

時に起こり、鉄イオンと水酸化物イオンが結合・酸化したものが「さび」ということです(図1)。

また、アノード反応は金属が電子を放つ反応、カソード反応は電子を使う反応です。鉄の中を電子が移動する、つまり

電流が流れていることになり、このような状態は「局部電池」と呼ばれています。

「金属の腐食は、化学反応と電子の移動が同時に行われる『電気化学反応』だと言えます」

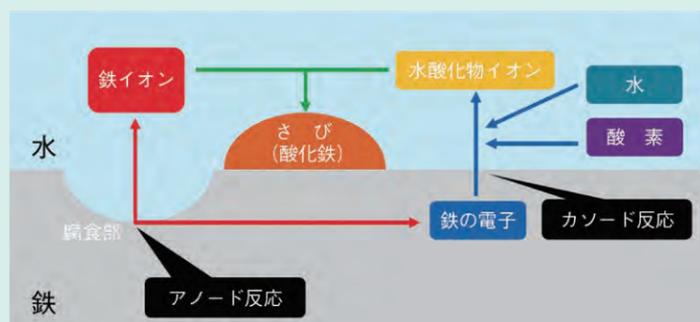


図1 金属(鉄の例)の腐食の仕組み

## ■環境に応じた腐食対策技術の評価手法確立へ

これまでの研究において、硫化水素の存在や結露の発生が腐食に大きく影響することが確認されました。今後は、硫化水素濃度や結露発生の有無を条件として腐食環境を分類し、環境に応じた最適な腐食対策技術の評価手法確立をめざします。また、硫化水素や結露以外の腐食因子(開閉操作時の摩擦、排ガス等の外部環境)の影響についても、検証しなければなりません。

環境の腐食性を定量化する方法としては、大気腐食環境での環境腐食性を評価する際に使用されている「ACMセンサ」(写真3=センサ表面の腐食によって発生する腐食電流を測定)の活用が期待されます。G&U技術研究センターでは、ACMセンサの下水道環境への適用に向けて詳細研究を進めています。



写真3 ACMセンサ外観

## メカニズムがわかれば、正しく評価できる

「金属は、それぞれ腐食しやすい酸性度(pH)があり、その範囲が決まっています。コンクリートなどとは違い、金属の腐食には水が大きな影響を及ぼしますので、水(溶液)のpHが重要になってきます」  
中でも広範囲に腐食域を持つのが鉄。「つまり、鉄は腐食しやすいということです。鉄を上手に使いこなすことは、材料分野に携わる人間の腕の見せどころとも

言えます」

篠原氏は、G&U技術研究センターのマンホールふた腐食研究でアドバイザーを務めています。

「铸铁であるマンホールふたについては、濡れる環境と硫化水素の影響でさびる、ということで片づけられてきました。しかし詳しいメカニズムは、実は意外と明らかになっていないのです」

「メカニズムがわかれば、腐食のレベルを正しく評価することができます」と篠原氏は強調します。

「ここはこういう環境だから、こういう材料、対策が必要だろうという予測法や管理法を立てることもできるようになるでしょう。さらに、たとえば腐食を防ぐ新しい材料が開発された時に、その性能を試験・評価することも可能になると思います」

## 腐食の挙動をACMセンサで把握

篠原氏は、環境の腐食性をモニタリングできる「ACMセンサ」の開発に携わっています。

「ごく簡単に構造を説明すると、鉄板の上に銀ペーストが貼付されているものです。先に申し上げたように、金属の腐食は電気化学反応ですので、腐食が起きると電流が流れ、この値を読み取る仕組みです」

ACMセンサでは、湿度や温度も同時に測り、それらと電流値との相関関係を見ることが出来ます(図2)。

「たとえば、この時間帯に雨が降ったから、あるいは結露があったから、これだけ腐食が進んだというように、腐食の挙動を把握することが可能になります」

ACMセンサは、これまでに道路や橋梁を中心とした公共施設、住宅、プラント設備および自動車など、様々な環境の腐食モニタリングで活用されており、腐食の挙動が少しずつ明らかになっています。

「どういう条件ならどのくらい腐食するかということがわかれば、環境の腐食性の評価が可能になり、効率的な対策の立案が可能になります」

G&U技術研究センターの研究では、ACMセンサを現場のマンホールふたの裏に設置し、ふたの実環境の腐食性を

電流値として定量的に計測しようという、新たな試みが進められています。

「やはり現場が一番大事ですので、マンホールの中がどういう状況になっているか、アクティブに調べていく必要があると考えています」

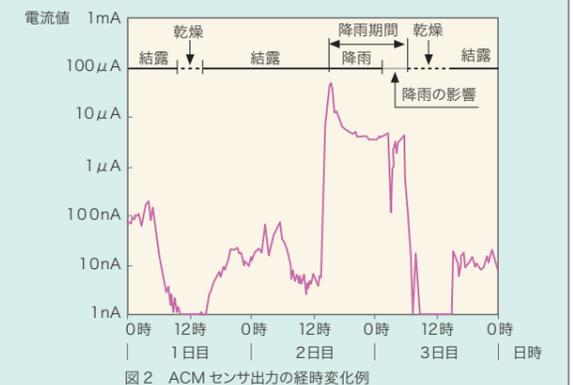
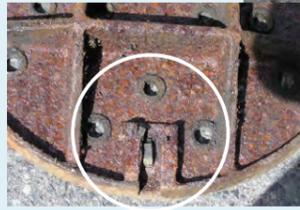


図2 ACMセンサ出力の経時変化例

下水道台帳などの机上情報でマンホールふたの腐食を予測  
 〈次世代型高品位グラウンドマンホール推進協会〉

マンホールふたの腐食については、ふたを開けないとその状況を把握することができず、現地でふたを開けるのは時間も労力もかかります。

そこで、下水道台帳にある情報や、維持管理に関する情報を特定の「予測式」に当てはめることにより、マンホールふたの腐食度合いをある程度予測しようという試みが行われています。腐食度合いは、現在だけでなく、将来についても予測することが可能。当面の対応が必要な箇所をスクリーニングできるとともに、たとえば「5年後に腐食によって更新対象となるマンホールふたがいくつあるか」といった具体的な数値を予測することができ、事業者がマンホールふたの将来的な更新総量を把握する上でも、活用されることが期待されます。



▲腐食でリブが減り強度低下

◀蝶番部品の脱落で機能消失

研究概要

1. 硫化水素の発生しやすい管路構造の抽出

マンホールふたの腐食に関して多大な影響を与えている硫化水素の発生は、管路構造の特徴に大きく影響されます。そのため、硫化水素が発生しやすいといわれているマンホールポンプの吐出口、伏せ越し、管底段差、高所流入が含まれるマンホールを調査対象としました。

2. 腐食状態予測の分析を可能にするため、マンホールふたの劣化状態を定義

マンホールふたの劣化状態を定義するため、製品の状態を5段階に分類しました。劣化状態を定義する部分は、リブ（ふた裏の補強部）の寸法や蝶番の寸法です。これらの寸法計測により、耐荷重性能の劣化状態や、機能部品の劣化状態が把握できます（下の表はリブ寸法の例）。

■マンホールふたの劣化状態の定義（リブ寸法の場合）

ランク・判定	スコア	状態の定義	
E 問題なし	0	初期	腐食なし
D 危険度は小であるが経過観察要	1	リブ幅が初期の85～100%	腐食は進行しているが問題なし
C 危険度が中程度で計画的な対応措置が必要	2	リブ幅が初期の75～85%	発生応力が疲労限に近づいている
B 危険度が大きく早期の措置が必要	3	リブ幅が初期の50～75%	発生応力が疲労限をオーバー
A 危険度が非常に大きく緊急に措置が必要	4	リブ幅が初期の50%以下	発生応力が耐力をオーバー

3. 現地調査

現地調査にて、マンホールふた裏のリブの寸法を計測し、「2」に従い、スコア化（数値化）しました。

4. 机上情報の整理

下水道台帳や維持管理情報などから管路構造、経過年数、管径、マンホールポンプにおける運転時間等を収集し、整理しました。

5. 調査結果分析

現地調査結果と机上情報を統計的に解析（重回帰分析）することで予測式を作成しました。現地調査結果と予測式との相関係数は、リブの場合 0.75（下図）となり、高い相関関係が見られました。

■現地調査と予測との差（リブの場合）



# ライフラインの腐食環境を的確に察知

## 水道分野における劣化予測技術の最前線

腐食のリスクが指摘される社会インフラの代表例として、たびたび取り上げられる水道施設。

我が国には今、約65万kmの水道管が張り巡らされ、その6割に铸铁管が使われています（2014年、厚生労働省データ）。

金属が腐食する大きな要因とされるのが酸素と水の存在。つまり、水道管が埋設された湿っぽい土の中は、まさに腐食にうってつけの環境だと言えるのです。

見えない場所でじわじわと着実に劣化が進む水道管の健全度を的確に見定めて、事故の未然防止や効率的な改築更新に取り組むことが、水道事業者が直面する重要な課題となっています。こうしたニーズに応える新技術を開発して世に送り出している、横浜国立大学との産学連携企業（株）ベンチャー・アカデミアを取材しました。



▲水道管の老朽化が時には甚大な事故を招く (2014年9月3日付・京都新聞掲載/京都市山科区)

同じ土壌環境、同じ材質で腐食劣化を予測.....腐食センサ

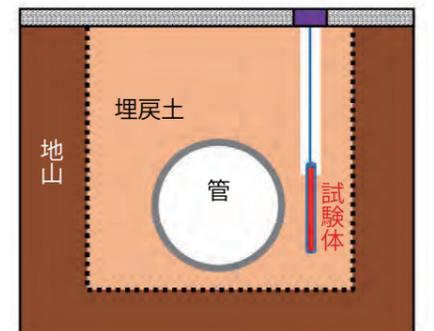
2005年6月、横浜市磯子区で大口径（φ800mm）の配水管から大量の水道水が地上に吹き出す事故が発生しました。その後の調査によると、とりわけ腐食性が強い土壌（海成粘土層）に、1970年に埋設したダクタイル铸铁管が腐食して孔が開いたことが原因だとわかりました。

横浜市は1887年、我が国最初の近代水道が整備された街です。そのため、古い水道管の点検・調査や更新事業も以前から盛んに行われていますが、特殊な土壌の影響を受け、時にはこうして法定耐用年数（40年）を待たず、腐食による事故が起きることも珍しくありません。

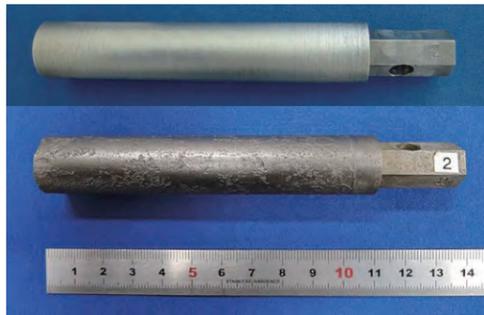
従来より効率的な調査方法で、少しでも多くの箇所の現況をきめ細かく把握できないか……。この漏水事故を機に横浜市水道局は、専門的なノウハウを持つ（株）ベンチャー・アカデミア（朝倉祝治代表取締役）と共同で「腐食センサ」の開発に乗り出しました。

腐食センサは、現場の埋設管と同じ材質規格の铸铁材を使って作製する棒状の試験体。これを管の周囲の土壌中に数本ずつ設置して

埋め戻し、所定の期間（通常は半年～1年程度）が経過したのちに引き抜きます。回収した試験体の重さを測り、埋設前の



▲腐食センサ埋設時のイメージ



▲試験体の変化（上：埋設前、下：1年埋設後）

重さと比較して、腐食による減肉量や腐食速度を算出。この結果を経験式に当てはめれば、埋設管自体の現在の老朽度・腐食健全性を間接的に把握でき、残る耐用年数（余寿命）を予測できるというわけです。

ベンチャー・アカデミアは共同研究を通じてこの技術を確立したのち、2007年度からこれまでに、横浜市水道局管内27カ所の調査地点に129本の試験体を埋設しました。一方で、回収時期を迎えた試験体は順に掘り返して腐食状況を測定し、解析を行ったデータを水道局に報告しています。市水道局では、このデータをマッピングシステムに反映・蓄積しながら、いっそう効率的・経済的な管路の維持管理・更新の計画づくりに役立っています。

古くから埋設されたままの水道管が今

どれくらい腐食・劣化しているか。あとどれくらい安全に使用できるか。それを知るために、今でも一般的な方法として定着しているのが、実際に地面を掘り返して確認する開削管体調査です。ベンチャー・アカデミアもこれまで、横浜市やさいたま市から約100件、この調査を

請け負ってきた実績があります。しかし、交通規制をして大掛かりに掘削する必要があり、ガス管や電気ケーブルなど他の地下埋設物を誤って破損するおそれもあります。その場で管の腐食孔を見つけ出して正確に浸食深さを測定するには、熟練者のノウハウと経験も不可欠。さらに、通水したままの工事のため、深い腐食孔からいきなり高圧の水が噴き出すことも



▲開削管体調査の様子

あるなど、危険と隣り合わせの作業です。現場をじかに見られる確実性と引き換えに、多くの費用と時間、リスクを伴う調査方法と言えます。

それに比べれば、比較的小さな掘削で、水道管と同じ土壌環境に同じ材質の試験体を埋めて、その腐食状況から水道管の健全度や余寿命を推察する「腐食センサ」は、経年施設を多く抱えた水道事業者にとって、きわめて心強いツールとして活用してもらえそうです。2014年9月には横浜市との共同特許を取得できました。今後の開発・改良目標について、同社・朝倉代表は「試験体を長い期間埋設して回収するのではなく、腐食が進む過程がリアルタイムでわかるようなセンサにしていきたい」と、引き続き測定精度や機能性の向上、さらに低コスト化にも努めていく考えです。



▲管体の表面に腐食孔を発見

## 地中に潜むさまざまな腐食リスク

下の写真は、鋳鉄管の典型的な局部腐食です。原因としては、工事中に石や機材などが管体にぶつかって塗膜が剥げ、そこを起点に腐食が進んだ可能性があります。地中で成長する木の根つ



▲管体の腐食の例

こが、埋設後に塗膜や管本体を傷つけるケースもあります。また、埋め戻し土に混ざった粘土が管体に張り付くと、周辺のシルト等と比べ、粘土の部分だけ通気性が悪くなり、腐食の進み具合を加速化します。この現象は「通気差腐食」と呼ばれます。

右の写真は、黄銅製のバルブが長年かかって自然に腐食した状態です。黄銅は銅と亜鉛の合金ですが、水気の強い環境に長期間置かれると、電位差により亜鉛が溶出して腐食が起こり



▲バルブの腐食の例

ます（脱亜鉛腐食）。写真の白い部分は亜鉛の錆び、緑色の部分は一般に「緑青」と言われる銅の錆びです。

このように、地中に埋設された水道管や部材は、複雑で多様な腐食のリスクに常にさらされています。

## 埋設現場の土壌腐食性を精度よく測定

SCテスター

すでに触れたように、既設の水道管外面の腐食の進み具合は、時間の経過だけでなく、管を取り巻く土壌の性質（土壌腐食性）に大きく左右されます。つまり、埋設場所ごとの土壌腐食性のデータを的確に把握し、それを埋設後の経過年数のデータとかけ合わせることで、不測の事故を防ぎ、実態に即した更新計画を描くことができるのです。

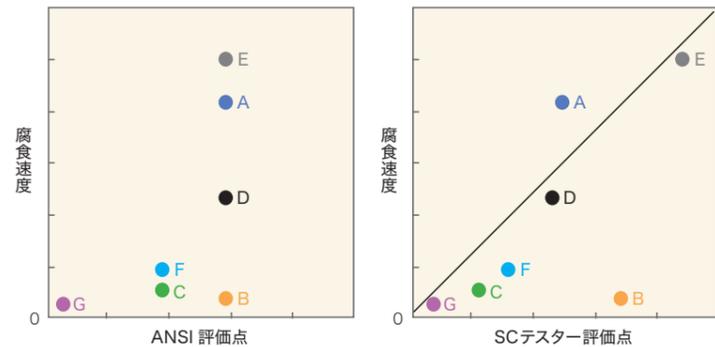
現在、土壌腐食性を評価する方法として世界中で一般的に用いられているのが、米国規格協会（ANSI）が定めた「ANSI評価」というものです。これは、腐食に関わる主要な5項目（電気伝導度、ORP<sup>※</sup>、pH、含水比、硫化物の有無）を測定し「評価点」に数値化するのですが、測定は土壌を試験場などに持ち込んで行うため、現場の土壌の状態（湿り気など）が変質するほか、腐食に強く影響する通気性も考慮されないという課題も指摘されています。

そこでベンチャー・アカデミアでは、電気化学的手法を用いた現場測定型の装

置「SCテスター」を実用化し、普及に乗り出しています（2014年12月特許出願）。写真のとおり、専用の測定杖と計測機器で構成され、測定の際はまず、路盤などに直径2センチ程度の穴を開けて、埋設管に近い土壌中に測定杖を打ち込みま

す。そして、測定杖の先から微弱な電流を地中に流し、その応答をもとに、腐食に最も関与する通気性（酸素）と湿り気（水）を同時に測定することができます。穴開けの時間を除けば、1回あたり計1時間ほどあれば計測作業が終了します。

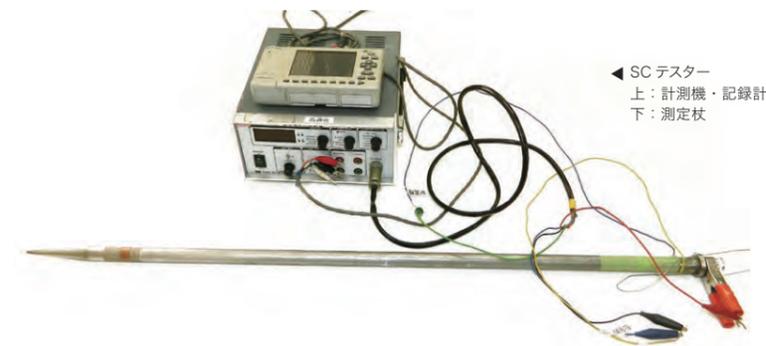
国内各地の実際の土壌を対象に、ベンチャー・アカデミアが行った比較テストによると、ANSI評価の場合は、同じ評価



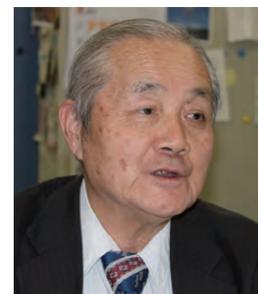
▲腐食性の評価点（ANSI / SCテスター）と腐食速度の相関イメージ

点の土壌でも腐食速度はばらつきが非常に大きいのにに対し、SCテスターでの評価点は、実際の腐食速度との間に相関があることが、上のグラフから見て取れます。「空気がどれくらい通りやすいか。水分がどれくらいあるか。この2つの要素で土壌の腐食性はほぼ決まるのです」と朝倉代表。もちろん、テスターで測定した数値の解析には、同社が長年蓄積してきた膨大なデータや独自のノウハウが活かされていることは言うまでもありません。

従来方法よりも高い精度で、しかも現場で手軽に迅速に、土壌腐食性を測定できるというこの新技術。水道事業者の正式な採用はまだこれからの段階ですが、管路更新計画を立てる際の1次スクリーニングなどにとっても役立つのではないのでしょうか。ベンチャー・アカデミアでは引き続き、実証試験のデータ収集に努めるとともに、前述の腐食センサや開削管体調査とトータルで、適時適切な改築更新のための提案を水道事業者に働きかけています。



▲SCテスター  
上：計測機・記録計  
下：測定杖



株式会社 ベンチャー・アカデミア  
朝倉 祝治 代表取締役  
Shukuji Asakura

1963年、横浜国立大学工学部電気化学科を卒業後、1968年、東京大学大学院化学系研究科博士課程修了（工学博士）。1972年から30年余にわたり、横浜国立大学工学部／大学院工学研究院に在籍、講師・助教授・教授を務める（現在は名誉教授）。「大学に無尽蔵に眠る学問知識や学術的資源を社会に役立てたい」との思いから、2004年に（株）ベンチャー・

アカデミアを設立。2013年9月より同社代表取締役。専門分野は腐食防食工学、反応系の安定性計測、化学センサなど。大学で培った「教育力」を活かした社会人向けのリカレント教育にも意欲を注ぐ。関連学会、中央省庁・自治体等行政機関、公的団体の委員会等のメンバーも数多く務めている。

# 鑄物の仕事師

若林鑄造所 五代目当主 天命鑄師  
若林 秀真氏



温故知新、自然体のものづくりを信条に、  
千年余の歴史を今に伝え、将来へとつなぐ

我が国に残る鑄物製造の中でも最古とされる「<sup>てんみょう</sup>天命鑄物」。その重い歴史と伝統を背負いつつ、第一線で数々の作品を生み出している鑄物師がいます。格調高い茶の湯釜をはじめ、神社仏閣の鐘や<sup>とうろう</sup>燈籠、<sup>かにぐち</sup>鰐口、仏像、装飾品……。伝統を重んじつつも、進取の気性で新しい技を取り入れる「温故知新」の心がけ、そして、謙虚で身構えない「自然体」の姿勢を、ものづくりの信条としています。代々大切に引き継がれてきた、貴重な道具・資料こそが「技」「伝統」であり、まちの歴史。それを後世に伝える活動もまた、現代に生きる天命鑄物師の使命と自らに課しています。

若林 秀真 わかばやしほつま

1953年、栃木県佐野市生まれ。栃木工業高校を卒業と同時に、父・彦一郎氏のもとで鑄物師としての道を歩み始める。奈良・東大寺の大佛釜などを手がけてきた、天明釜製作の第一人者。今年で創業170年目を数える老舗の五代目当主として、意欲的な創作活動を行うかわら、伝統文化を末永く伝承するための取り組みに力を注ぐ。

## 千年余の歴史を刻む、佐野天明の鑄物づくり

江戸時代まで下野国佐野天明（古くは「天命」と表記）の名で呼ばれた栃木県佐野市は、千年以上の歴史を持つ鑄物のまちです。天慶2年（939年）、この地を治めた武将・藤原秀郷公が、武具を製造するために、大坂河内国から5人の鑄物師を移り住ませたことが始まりとされています。

やがて、鑄物業が徐々に発達して鑄物師も増え、鋤や農具、鍋や釜などの日用品、寺社の梵鐘や半鐘、鰐口、燈籠、仏像、茶の湯釜や花器などの工芸品にいたるまで、さまざまな鑄物製品がつくれるようになります。特に、茶道が隆盛を迎えた安土桃山時代には、天明の茶の湯釜は「西の芦屋、東の天明」と並び称され、福岡県の芦屋町を中心に栄えた芦屋釜とともに一世を風靡しました。江戸時代の釜の鑑定控えには、「上作の天明釜は大判金で五十枚程」との記述があり、「茶聖」と呼ばれた千利休が天明釜で一會を催したとも伝えられ

## 先代が残した道具と資料が、自分を真の鑄物師に育てた

江戸末期、弘化3年（1846年）に創業した若林鑄造所。今年でちょうど170年目を迎えました。代々、茶器・花器などの美術工芸品や神社仏閣の宝物から、食器や鍋・釜、農具など日用品まで、幅広く手がけてきました。

若林秀真さんは高校を出てすぐ、先代の父・彦一郎さんのもとで鑄物師の道に踏み入ります。幼い時分から父親を尊敬し憧れを抱いていた青年にとって、その進路はごく自然な選択でした。しかし、わずか10年後の28歳の時、父親が先立ち、五代目当主として鑄造所を背負うことになりました。

「技術を学ぶには、10年間は確かに短かったかもしれない。でも、基礎をしっかり見せてもらえたと、残してもらった道具や

資料も大きなヒントを与えてくれる。あとは僕自身の応用力が試されています」

先代は、特殊な仕事に取り組むたび、その手順や留意点など、克明な資料を和紙に筆書きで残しました。昔から使われてきた鑄造用具も、きちんと整理整頓して所蔵されています。その数は実に1万点を超え、このうち1453点が平成23年（2011年）に栃木県の有形民俗文化財の指定を受けました。「百年以上も前の道具一式がこれだけまとまって残っている例はほかにないでしょう。道具をきちんと残すことこそが、次の世代に技術や伝統を残すこと。父はその本質を本当に良くわかっていました」



▲漂とした空気が張り詰める工房の中

▶大正時代の初期まで使われていた木炭吹き溶解炉。非常に重く移動が困難なため、この炉を中心に工房を建て替えるを得なかったそうです（現在はつば溶解で工芸品をつくっています）。



▲整理して保管された道具類



▲かつて使用された鋤の製品型も展示



## 外からの技術を取り入れ、進化させてこそ「伝統」

芦屋釜は地肌が滑らかで地紋が鮮明なのに対して、天明釜は佻びた肌合いに力強い造形が特徴です。芦屋釜のような華やかな文様は少なく、無地のものや、せいぜい糸目地紋などが一般的です。また、釜の口縁が肩の部分から高く立ち上がった「甑口」が多く使われ、胴の両側に付ける鑢付（釜を持ち上げる時に釜鑢を通すための耳）はなだらかな山の稜線を象った「遠山鑢付」が目立ちます。ただ、このように一定の傾向はうかがえるものの、芦屋釜や京釜に比べれば、作風や形状、製法などの厳密な定義づけはないといえます。

仕事に就いて間もない20代のころ、江戸名越家（徳川幕府の御用釜師）の流れを汲む鑄物師に教えを乞うため、神奈川・北鎌倉の工房に足しげく通った時期があります。この時学んだ技術は、佐野にはない技術でした。それが今では、「僕が求める釜肌を表現するには最適な方法」と、若林さん独自の作風に欠かせないものとなっています。

## 経文 861 文字を鑄出した、京都・三千院の呼び鐘



▲東大寺 大佛釜 (1992年)

若林さんの代表作と言えるのが、38歳の時に手がけた奈良・東大寺の大佛釜。この製作時の摩訶不思議なエピソードを教えてくださいました。

釜を披露する茶席の日取りも差し迫ったころ、鑄込みの日を迎えました。もし失敗すればもう時間的に挽回できない。念には念を入れて、同じ鑄型を4つも用意して鑄込みに臨みました。ところが、最初の鑄型に湯を入れると、いきなり湯口で爆発が起きました。さらに2つ目も、3つ目も、同じように爆発を繰り返したのです。そして、「親父、助けてくれ」と念じながら、唯一残った鑄型に湯を入れると、ようやく成功。この最後の型でつくった茶釜が今、東大寺に所蔵されています。

「それまで20年鑄物をつくってきて、爆発なんて初めての経験。あの若さで東大寺の仕事に抜擢されて、天狗になっていたのですね。上からの戒めだったのだと、今思えば納得できます」

近年手がけた大作は、京都大原・三千院の呼び鐘「三千歳之鐘」。3年がかりで製作し、平成25年（2013年）7月、同院に奉納されました。鐘は高さ60センチ、最大直径28センチ、重さ24キロの青銅製。最大の特徴は、三千院のご本尊、薬師瑠璃光如来の経典『本願功德経』前段の経文861文字が、その小さな鐘の内側に鑄出されていることです。

製作の依頼が舞い込んだ時、「その鐘の音や響きに触れた人たちが皆、お薬師様の思いをいただくことができるよう、鐘

それは、鑄上がった釜に再び熱を加えて表面処理する「焼き抜き」という技。釜を耐火煉瓦で囲い、炭とコークスを使って800～900℃の高温で溶ける寸前まで強く焼成します。これを毎日朝から夕方まで、3日間繰り返し、表面に厚く生成された酸化膜をきれいに磨き落とすのです。すると、600～700グラム、多ければ800グラムほど釜の重量が落ち、最初の荒々しい鑄肌はカドが取れて、柔らか味のある肌理になります。さらに、仕上げに漆を塗って焼き付ければ、鑄肌に丈夫な皮膜ができ釜を錆から守ります。千利休の釜師、辻与次郎の手による釜も、これと同様の加工が施されていたといえます。

「自分の作品の表現方法ですから、『こうでなければ』という決まりはないでしょう。根幹さえしっかりしていれば、外からの技術を取り入れながら、独自の技術に変えていけばいい。それが伝統というもの。古いものをただ頑なに守るのが伝統ではありません」

そのものをお薬師様にしたい」と考え、若林さんの方から持ちかけました。しかし、言ってみれば、その具体的な方法は見当が付きません。とことん時間をかけて考え抜いた末、ふとアイデアが閃きました。まず、直径・高さが約1センチの円柱状の粘土のチップを、経文の文字の数だけ用意。次に、経文を薄い和紙に書き写して1字ずつ切り抜き、裏返してチップに貼り付けます。筆で水を含ませ、粘土が少し柔らかくなってきたところへ、和紙の上から裏書きの文字を、薄いヘラで慎重に押し込んで凹ませるのです。こうして何日も徹夜をして861個のチップを仕上げ、これをバランスよく配列して鑄型（中子）に埋め込むことで、思い描いたとおりの作品を完成させることができました。奉納された鐘は今、お薬師様が安置された本堂（宸殿）の廊下に吊るされ、主だった法要のつど打ち鳴らされています。



▲三千院 三千歳之鐘 (2013年)



▲経文をへら押しした、素焼きの粘土のチップ（原寸大・約1cm）

▼内側には金箔で浮かび上がる『本願功德経』の経文



▲蠟型法で製作した一点物の茶托（ブロンズ製、10cm×7.5cm）。蜜蝋と松脂を混ぜた蠟材を細紐状に伸ばし、巧みに繋ぎ合わせて原型を作成。これに土を被せて焼き固め、蠟材を溶かして取り除けば鑄型の完成です。幅1ミリほどの複雑な空隙に溶けた青銅を注ぎ、切れ目なく隅々に行き渡らせるのは至難の業。「若いころ、勢いに任せてつくった」と語る精緻な逸品です。



▶小学生への講座の様子（錫鑄込み体験）

## 伝統を未来につなぐこと もうひとつの大切な仕事

古くは数百人の鑄物職人で賑わった佐野天明のまちも、今では同業者は10軒ほど。少しずつ後継者は減り、貴重な鑄造用具や資料文献も失われつつあります。

「鑄物屋の中にあつてこそ価値がある道具ですが、塀を越えて外に出ればただのごみになります。その価値を一人でも多くに伝えていくことも大切な仕事です」

若林家に所蔵されてきた約1万点の道具や資料。これらを100年後、200年後にきちんと伝えようと、平成19年（2007年）、従兄の若林洋一さん（84歳）とともに「天明鑄物伝承保存会」を設立しました。若い世代を対象にした後継者育成講座、子ども向けの体験教室など、天明鑄物の歴史や鑄物づくりの魅力を広く伝えPRする活動も展開しています。この保存会の取り組みは、平成25年（2013年）12月、日本ユネスコ協会連盟から「プロジェクト未来遺産」として登録されました。工

芸分野の伝承活動が登録されたのは初めてのケースです。

活動の一環として、近隣の市立天明小学校の6年生に毎年、鑄物づくりを教えています。自分たちのまちに受け継がれた伝統文化を知り、誇りに感じてもらいたい……、そんな思いで始めたこの教室も、今年で12年目を迎えました。また、昨年5月には、佐野厄除け大師・惣宗寺境内で、古天命釜を使った「天命釜顕彰茶会」も初めて催しました。

たった2人で立ち上げた保存会。今では鑄物関係者だけでなく、一般の人も含め70人近い会員が活動を盛り上げてくれています。

これからも脈々と「天明鑄物のまち佐野」であり続けるため、先祖代々続いてきた鑄物づくりを次に伝えるため、地道な活動に尽力する若林さんに、今を生きる天明鑄物師の、もうひとつの姿を見た思いです。



天明の鑄物師は、茶釜だけをつくってきたわけではない。方広寺の巨鐘づくりは何十トンもの金属を溶した命懸けの修羅場。そういう人たちが、ほんの3、4キロの茶釜をつくるのだから、パワフルになるのも当然のことでしょう。巨大なものから繊細なものまで、すべての経験を積んだ上で、その極め付きとして、ひとつの茶釜をつくる。そんな天明鑄物師の端くれになりたいと願っています。

# Storytellers

## マンホールふたの語り部たち

### 愛好家が教える ふたの魅力と こだわりの楽しみ方

マンホールふた特有のデザインや歴史に魅了される人たちが増えています。今回は、そんな中でも特に独自の楽しみ方を追及している御三方にご登場いただきます。全国のふたファンが集う魅惑のイベント「マンホールナイト」を立ち上げ、運営メンバーの中心として活動する清水貴司さんには立ち上げの経緯や活動内容などを、同じく運営メンバーであり、マンホールナイトではプレゼンターの常連でもある白浜公平さんと竹内正則さんには、ふたの魅力や自身のふたとの出会い、ユニークな楽しみ方などを語ってもらいました。



▲回を重ねるごとに盛況さを増すマンホールナイト



▲マンホールナイトの写真コンテストで特別賞を受賞した竹内さんの作品



▲東京帝国大学（現東京大学）のふた



▲東京都下水道局の「蔵前水の館」に展示されている古い鉄蓋。右は白浜さん

### 大真面目にふたの研究発表を行う場、マンホールナイト

マンホールナイトは、愛好家たちがマンホールふたに関する研究成果を持ち寄り、発表する場です。過去のラインナップを見てみると、「水道蓋入門」「JIS 蓋の構造表記方法」「暗渠概論」「マンホール鉄蓋における地域固有な地紋の広域受容について」と、専門家顔負けの学術的なタイトルが並びます。ところが、プレゼンターの話術や馴染みやすい切り口によって、マンホールふたのことをよく知らない人でも楽しめるから不思議です。

当時、大学生だった清水さんがマンホールナイトを初めて企画したのは2011年。ツイッターで同じ趣味を持つ人たちと出会い、「仲間がこんなにいるんだ」と思ったのがきっかけでした。

「マンホールふたは当時、愛好家と呼ばれる先達は何人かいたけれど、一般的な広がりという意味ではまだまだでした。一方でふたのデザイン性や歴史の面白さに気づいている人がある程度いることも分かりました。このタイミングでイベントを立ち上げれば波に乗れるんじゃないかと思いました」

イベントの原動力はふたへの情熱とあくなき探究心です。「一般の人が『何それ?』と思うようなことを大真面目に研究するのがコンセプト。おちゃらけた、ファッション感覚のイベントだとここまで大きくならなかったと思います。はじめは各自のマンホールふた探索の楽しみ方を発表していましたが、最近は謎を解き明かしていくことが楽しくなってきました。『こんなふたを見つけたよ』ではなく、『こういうふたを探すためにどういう行動をしたらいいか』が切り口になり、どんどん研究色が強くなってきています。少しずつ謎は解けてきていますが、もっと探求していこうという精神が強いのでネタは尽きませんね」

15名程度から始まったイベントも、回を重ねるごとに倍々と増えていき、昨年開催された直近の回では100名近くが集まりました。今後は、増えていく新しいファンと、昔からのコアなファンの思いを両方汲みながら、いかにバランスよく運営していくかが思案のしどころです。

「いま、会場は区のホールを借りて行っていますが、収容人数やグッズ販売などに制限があります。増え続けている参加者やグッズ販売のリクエストを考えると、イベント企画会社とのタイ



清水 貴司氏（しみず たかし）

1990年、東京都新宿区生まれ。学生時代の2011年にマンホールナイトを立ち上げる。現在は、通信機器等の製造販売会社に勤務しつつ、マンホールナイトの企画・運営を主導している。

アップもありかなと考えています。実際、そうした会社から声がかかっていることも事実です。ただ、今の運営メンバーは皆、自ら企画するのが大好きですし、実際にこれまで我々だけでイベントをやってきた自負もありますから、わざわざ、そういう会社に頼らない方がいいのではとの意見もあります。商業的な味が出てくると、がめつい感じもしますね。とはいえ、そうした会社から声がかかること自体は、イベントの認知が上がってきた証拠だと思っています」

そもそも清水さんがふたに興味を抱いたのは小学生の時。当時住んでいた相模原市のマンホールふたを見て、汚水と雨水の違いがあることに疑問を持ち、東京都水道局に勤めていた祖父にいろいろと教わるうちにのめり込んでいきました。その後、祖母の実家があった高田馬場で旧行政区分時代の古いふたと出会い、ふたの背後にある歴史にも興味広がりました。

「80年以上も前に設置されたものを知らずに踏んでいると思うと不思議な感じがしました」

そんな清水さんのここ最近の最大の関心事が、マンホールふたに付された管理番号と台帳システムの相関性についての研究です。

「東京都などではマンホールふたの表面に台帳管理上必要な番号が付けられています。その番号と位置関係の法則を突きとめ、番号を入力するだけで該当するマンホールがどこにあるかを示すマッピングシステムをつくりました。次の段階としては、マンホールの下に流れる下水がどこの処理場で処理されているかが一目で分かるようなシステムに改良したいですね」



▲マンホールナイトではポスター展示などの併催企画も



▲東京都下水道局のふたに付された人孔番号

## その土地の“今”を表すデザインふた、“昔”に思いを馳せる骨董ふた

マンホールふたの楽しみ方は様々ですが、その代表的なものがデザインふたと骨董ふたではないでしょうか。マンホールナイトの企画・運営メンバーの一人である白浜公平さんに、ふたの持つデザイン性と歴史の魅力について、ご自身のエピソードを交えながら語っていただきました。

「ふたとの出会いは20代の中頃です。当時、大学院生だった私は、ある日、筑波宇宙センターで有名な茨城県つくば市を観光で訪れました。その時にロケットと土星が描かれたデザインふたを路上で偶然発見して、『何これ、面白いな』と。そもそも天文学的にはありえない構図なのですが、そんなことはおかまいなしに、自治体の特徴が一目で分かるインパクトの強い図柄に惹かれました。それで、現地にあった他のマンホールふたも見てみると、別の種類のデザインもあるのです。あとで調べてみると、市町村合併前の旧茅崎町のマンホールふたでした。自治体ごとに特徴があるんだと知って、一気にデザインふたにハマりました」

それからはまだ見ぬデザインふたを求めて全国各地に足を運び、新発見の図柄や珍しいデザインなどを写真に収める作業に没頭します。もともと知らない土地を歩くのが好きな白浜さん。マンホールふたと出会ったことで、まち歩きの楽しみが増えたと言います。

「デザインふたには自治体のPRしたいことが詰まっていて、それをきっかけに観光ができる点が魅力です。このまちにはこんな特産物があるんだと、ふたを見て初めて知ることもしばしば。その土地の名勝が描かれているケースも多く、その場所を訪れ、図柄の構図と同じ写真を撮影する“ロケ地巡り”も楽しいです」

ある時、ふいに骨董ふたとの出会いが訪れます。デザインふた探して静岡県磐田市に遠征した時でした。

「現地でもたまたま見つけた古いふたを調べてみると、電車が



白浜 公平氏 (しらはま こうへい)

1977年、静岡県伊東市生まれ。マンホールナイトの企画・運営に初期から携わる。マンホールふたを題材としたブログ「駅からマンホール」の管理人。

走っていたのが約6年半という幻の鉄道会社、光明電気鐵道のものでした。設置後100年近くも経過していることが分かり、この一件からふたの背景の歴史を探る作業に魅力を感じるようになりました」

その後は、主に戦前に設置された骨董ふたを探しては写真に収めるようになり、インターネット上で立ち上げた「路上文化遺産データベース」でそのコレクションを公開しています。

「骨董ふたに関しては東京が面白いですね。昭和18年に市と府が合併して都になった歴史など、時代区分が明確なのでふたの設置年度が特定しやすい。軍隊ものと呼ばれる旧陸軍・海軍関係のふたや、東京大学など古くからある大学の構内に設置されたふたなど、バラエティも豊かです」

とはいえ、骨董ふたは安全面や機能面から取り替えなければならない時期がやってきます。ややもすれば、ふたの更新を進める自治体や業界と、骨董ふたファンの間で意見が対立するのではないかと感じてしまいますが、白浜さんは「決してそんなことはない」とファンの声を代弁します。

「ただ、交換した古いふたは、すぐに廃棄しないで、何らかの形で残しておいてほしいですね。マンホールふたはその土地の歴史の象徴でもあるので、できれば公共の資料館や歴史館などで保管してもらえないか。そんな願いはあります」



▲マンホールふたに興味を持つきっかけとなった茨城県つくば市のデザインふた



▲静岡県伊東市の「門脇吊橋」と「門脇灯台」が描かれたふた。上が実際の風景



▲骨董ふたの魅力に気づかされた光明電気鐵道(静岡県磐田市)のふた

## 萌え点、ギラリ、エンピツ拓本……独自の楽しみ方を追求する

記念すべき第1回のマンホールナイトは、“いいふたの日”にちなんで2011年11月2日に開催されました。会場は東京都北区王子にある古書カフェ「くしゃまんべ」。この店の店長であり、イベントの企画・運営に初期から携わる中核メンバーの一人が竹内正則さんです。

「マンホールナイトを立ち上げた時、マンホール歴は他のメンバーと比べると浅く、2年程度でした。興味を持ったきっかけは、自分の生まれ育った王子の古いマンホールふたがテレビ番組で紹介されていたのを見たことです。昭和7年以前に設置された旧王子町の“王”を紋章化したデザインで、そんな古い遺産が近所にあることに驚くと同時に親しみを覚えました」

もともと何事にもいったんハマると、とことんやらないと気がすまない性格。既存概念にとらわれない、独創性にあふれた楽しみ方を次々と発明していきます。

「いろんな種類の古いふたを見ていくと、表面に刻まれた漢字に本来ない“点”が付いているふたがあることに気づきました。例えば『弁』や『枺』、『器』などの字に“点”が1つ添えられている。しかも、すべてが同じ位置というわけではなく、各文字で“点”の位置に数種類のパターンがあるのです。ふたをつくった職人の癖なのか理由は判然とはしないのですが、この謎に面白さを感じて、この点のことを“萌え点”と命名しました」

マンホールふたを被写体に独自の撮影方法も編み出します。「鉄道好きの間では知る人ぞ知る、走っている電車の太陽の光が反射した瞬間を撮影する“ギラリ”という手法があります。これをマンホールふたに応用しました。ふたの持つ静止した空間と鋳物の持つ永遠性に、太陽や街灯の光の反射を重ねることで動的な魅力を加味できますし、その演出が鋳物の永遠性をより強調します」



竹内 正則氏 (たけうち まさのり)

1972年、東京都北区生まれ。マンホールナイトの企画・運営に初期から携わる。第1～3回の会場として利用した古書カフェ「くしゃまんべ」の店長。

最近のお気に入り、鉛筆と紙だけを用意して、マンホールふたから拓本を取る“エンピツ拓本”です。

「実際に路上のマンホールの上に紙をかぶせ、その上を鉛筆でなぞって行きます。後で色をつけたりして補整する場合がありますが、鉛筆だけでも十分な拓本が取れます。昔から鉛筆の収集が趣味で、鉛筆とふたで何かコラボレーションができないかと考えていました」

もともと墨を使ったマンホール拓本はあったようですが、“エンピツ拓本”は竹内さんのオリジナルです。

「ふたのボツボツした手触り感、鋳肌感を再現できるのはエンピツ拓本ならではの、鉛筆の芯に特有の光の反射具合が、ふたの表面のそれと似ているところが魅力です。いずれはエンピツ拓本を掛軸にして、お茶会でも開いたら最高ですね」

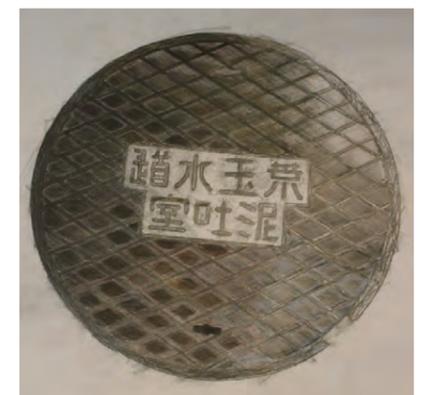
コレクションの真髄は“分類”だと話す竹内さん。「萌え点」や“ギラリ”もそうですが、名前を付けることで人の共感を得られますし、意図することを共有できます。今後もニッチな楽しみ方を見つけては新たな分類を提案していきたいですね。マンホールふたは、鉄道などの分野と違ってまだまだ謎も多いですし、発見する喜びや楽しむ余地が大きいと思っています」



▲“萌え点”の例。竹内さんは点の位置から上を“萌え尻尾”、下を“ハンカチ落とし”と命名



▲“ギラリ”コレクションの1つ(竹内さん撮影)



▲エンピツ拓本のコレクション

小川町にある  
埼玉県伝統工芸会館

小川和紙・細川紙が展示されてお  
り、紙漉き体験ができる「和紙工  
房」もある



# 小川和紙と ユネスコ無形文化遺産に登録された 細川紙

「絹五百年、和紙千年」という言葉があるように、長い歳月を経ても腐食・劣化しにくいのが和紙です。この比類ない耐久性は、植物の皮や根、流水など、自然界の素材だけでつくる製法にあります。また、製造過程で化学物質や薬品を使わないため、人や環境にやさしい、資源循環型の商品としても注目されています。最近では、丈夫さや耐久性とともに、天然素材の持つ美しさや癒しの効果、人体への安全性などが評価され、文字や絵をかく紙のほか、室内装飾や照明具、美術品の修復、スピーカーの一部、食品保存用紙に使われるなど、その用途は多様化しています。

小川和紙は、埼玉県の伝統的手工芸品の一つです。中でも小川和紙の銘品とされる細川紙（埼玉県小川町、東秩父村）は、1978（昭和53）年に国の重要無形文化財に指定され、2014（平成26）年11月には、石州半紙（島根県浜田市）、本美濃紙（岐阜県美濃市）とともに、「和紙：日本の手漉き和紙技術（Washi, craftsmanship of traditional Japanese hand-made paper）」として、ユネスコの無形文化遺産に登録されています。



▲細川紙

「手漉き和紙たにの」訪問

埼玉県伝統工芸士 谷野裕子さんが語る

## 「小川和紙と細川紙について」

和紙づくり工房「手漉き和紙たにの」を訪ねて、細川紙技術保持者で、埼玉県の伝統工芸士としても活躍されている谷野裕子さんにお会いしました。小川和紙と細川紙についてお話を伺うとともに、和紙づくりの“現場”を見せていただきました。



▶和紙づくり工房  
「手漉き和紙たにの」

### 小川和紙の銘品、細川紙は “強靱な紙”です

小川を中心とする比企・秩父・男衾<sup>おぶすま</sup>地域の和紙づくりは、農家の副業として続けられてきました。米や野菜をつくる農地の片隅に楮<sup>こうぞ</sup>を植え、農作業の合間に紙漉きして、副収入を得ていたのです。美濃紙のように、お殿様や藩に守られて紙づくりをしてきたわけではありません。ときがわ町<sup>じこうじ</sup>に慈光寺という1300年前に建てられた天台宗のお寺があります。そこには1100年前に書かれた写経があって、「国宝」に指定されています。由緒あるお寺が写経などに使う紙を必要としたこと、古くから紙漉きをしてきた歴史が繋がります。

小川和紙の中でも銘品とされる細川紙は、製法にいくつかの決まりがあって、それを守ってつくられます。原料は国産の楮、水は井戸水か川水、煮熟には草木灰かソーダ灰を使用、手漉きは流し漉き、ネリ（粘液）はトロアオイなどです。一つでも外れたら、細川紙ではなくなります。高野山麓にあった細川村で漉かれていた「細川奉書」が起源とされていて、武

州小川に伝えられたとされています。

江戸が商業の中心地になり、江戸に近かった小川の細川紙が多く使われるようになって、代表的な生産地になりました。細川紙は丈夫なため、商人の大福帳や記録紙などに適していました。火災があった時など、大福帳を井戸や水ガメに放り込み、鎮火後に取り出して、乾かせば使えます。それくらい強靱な紙です。その軽さにも驚かされます。電話帳2～3冊分くらいの厚さの大福帳でも、指で吊り下げられるくらいです。

### ユネスコが無形文化遺産に登録したのは、 日本の紙漉き技術

登録は3紙となっていますが、“無形”文化遺産ですから、ユネスコに登録したのは紙そのものではなく、紙をつくる職人の技術（craftsmanship）です。つまり、日本の紙漉き技術が無形文化遺産として登録されたということです。

和紙は同じ人がつくっても、違った土地では違った紙になります。紙漉き技術が無形文化遺産になりましたが、たとえ製法が同じでも、つくる地域によって異なる紙ができるのが和紙

▼慈光寺



▶大福帳





## PROFILE

谷野さんは以前、会社のシステム開発を担当する傍ら、管理職として支店を出すため、何度も埼玉に足を運んでいました。「都会生活に疲れていた」こともあり、秩父山麓の自然の美しさや、紙漉きを見て「本当に紙をつくっている、凄い」と感動したことが、紙漉き職人を志すきっかけでした、と語ります。「和紙が斜陽の時代ですから、雇ってくれるところはなかった」。そんな時に、埼玉県の小川和紙養成事業の募集を目にします。すぐに手を挙げ、応募者が多かったため、「こちらに移住しますから、採用して欲しい」と頼み込んだと言います。無事、紙漉き職人になれたのですが、当初は「家の外で紙漉きするような生活で、主人は東京や横浜まで遠距離通勤していました」と、ご苦労も多かったようです。そして今は、埼玉県の伝統工芸士として自分の工房を持ち、ご主人や息子さん、それに研修生に囲まれて、一緒になって和紙づくりに励んでいます。

の特徴です。産地の数、漉き手の数だけ和紙の種類があり、大変素晴らしいことです。

## 原料を使い分けることで紙質が変わる繊細さ

和紙の原料に使われるのは楮のほか、<sup>かんひ</sup>雁皮、<sup>みつまた</sup>三桮など。楮はくわ科ですが、雁皮と三桮はじんちょうげ科のため、繊維が短く、光沢のある美しい紙になります。にじみが少なく、源氏物語のように、かな文字を連綿と綴るような時は雁皮が使われました。しかし、雁皮は栽培が難しく、成長も遅いので、使用量が減っています。三桮の歴史は浅く、製紙技術や印刷技術が発達してから使われるようになりました。透かし印刷などに適しているため、紙幣は三桮です。三桮は生育が遅く、3年くらいかかります。楮は繊維が長く丈夫、強い紙になります。秋から冬にかけて楮を刈り取りますが、カブだけ残しておく翌年には育ってくれるので、毎年収穫ができます。

細川紙に限らず、丁寧につくと良質な紙になり、長持ちします。「和紙は木」ですから、身近にあると心地よく、癒されます。また、化学薬品を使わないクリーンな製法ですので、人や環境にやさしい、ロハス（LOHAS: Lifestyles Of Health And Sustainability）な商品です。

## 技術を伝え、残すにはしっかりと受け皿が必要

東京オリンピック（1964年）の頃から高度成長が始まり、大量消費に適した洋紙が主流になって、和紙は一気に衰退しました。小川の紙漉き屋も昔はたくさんありましたが、今は数えるほどです。

伝統工芸は“つくる環境”がないと技術を残せません。そのため、和紙の市場をもっと広げたい。ユネスコが宣伝してくれたので、これまで無関心だった人からも声がかかるようになりました。ホテルのインテリア担当者とか、個人で買いにこられる方もいます。文字や絵をかく紙としてだけでなく、室内装飾や照明具、鑑賞用、スピーカー、食生活でも薬品を使っていないので、お味噌を保存する内ふたとか、用途は広がっています。宇宙飛行士の山崎直子さんは、宇宙で和紙繊維のソックスを履いていました。海外での評価も高く、文化財や美術品修復の紙市場は、和紙が独占しています。今は忙しい、「風が吹いた」のです。

無形文化遺産は技術ですから、次の人に伝えて、残していきます。技術を伝え、残すにはしっかりと受け皿が必要となります。技術継承のため、うちの工房でも研修生をインターンシップで受け入れて、育てた研修生を他の産地に派遣しています。また沖縄やインドネシアなど、遠方まで行って指導もしています。暑いところは和紙づくりに向かないのですが、現地の植物を使って、現地の水や空気で作れば、その土地特有の和紙ができるのです。

## 和紙づくりの“現場”



### 楮

和紙の原料は楮のほか雁皮、三桮があり、パルプも使われる。細川紙は国産の楮のみ使用する。楮は那須産や土佐産が有名だが、小川町でも育てている。



### ネリ（粘液）に使われるトロロアオイ

アオイ科の植物でオクラの仲間。トロロアオイの根を水につけると透明な粘液をだす。トロロアオイをネリ（粘液）に使うようになってから、「流し漉き」の技術は格段に進歩したといわれる。



### ナギナタビター

白皮をほぐす時には、手打ちやそれに準ずる方法がとられる。繊維を細かくするナギナタビターの使用も認められている。



### 水にさらして、不純物を取り除く

細川紙は楮の白皮部分を使う。繊維をやわらかくするため楮煮（草木灰やソーダ灰を入れて煮込む）した後、井戸水や川水につけてさらし、白皮についているチリや不純物をつつひとつ手作業で取り除く。



### 紙漉き「流し漉き」

細かく砕いた白皮とネリ（トロロアオイの粘液）を水槽に入れ、漉舟<sup>きまふね</sup>の中で箕<sup>すけ</sup>を揺すりながら丁寧にすくい取り、一枚ずつ紙にしていく。紙漉きには「流し漉き」と「溜め漉き」があるが、細川紙の場合は、竹でできた箕<sup>すけ</sup>を使つての「流し漉き」と決められている。



### 紙干し

水抜きした紙を一枚ずつ、炭を燃やして温めた鉄板に貼り付けて、乾燥させる。板に貼って、天日で干すこともある。

# i G&Uインフォメーション

## G&U 技術研究センターについて

G&U 技術研究センターは、グラウンドマンホールとその周辺の道路までを含めた地上空間と、マンホール本体および管路までを含めた地下空間を主たる研究領域として、これからの時代に向けて必要とされる「都市空間における高度な安全環境の創出」を目指しています。

### Photo diary ~私たちの日常~

G&U 技術研究センターは、路面と地下空間に視点を据え、そこにあるマンホールふたや本体、周辺管路を対象とした研究・試験業務に、日々取り組んでいます。

### ■ 試験検証

铸铁材（マンホールふたなど）をはじめ、プラスチック管材やコンクリート材の耐久性試験などの専門的な試験検証を行っています。当センターは、国際 MRA に対応した ISO/IEC17025 に適合した登録試験所 (JNLA080255JP) です。

プラスチック材試験では、(公社) 日本下水道協会の「管きよ更生工法の設計・施工管理に関するガイドライン (案)」に準

拠した機械・物理試験や耐薬品試験、管材の性能試験（粗度係数測定・追従性試験等）などを評価・検証するとともに、お客様の実情に合わせたソリューションもご提案しています。



▲荷重試験



▲輪荷重走行試験



▲プラスチック材引張試験



▲モルタルの流動性試験

### ■ 研究開発

公的研究機関や大学などの学際との共同研究や意見交換、蓄積された各種データを基盤とした研究を通じて現象メカニズムの解明を行い、リスクを未然に防止するために必要となる技術の研究開発を推進しています。



▶マンホールふたの腐食実験 (恒温恒湿室)

### ■ コンサルティング

お客様が抱えておられる課題や問題解決に向け、研究開発によって蓄積した技術データやフィールドデータを基盤とした最適なソリューションをご提案しています。



▲マンホールふた調査による性能評価



▲打ち合わせの様子



お客様のニーズの多様化、高度化に対応できますよう、日々スキル向上に努めております。お困りごとなどがございましたら、お気軽にお問い合わせください。



### ■ 所長就任ご挨拶

平成 28 年 1 月 1 日付で G&U 技術研究センターの代表取締役役に就任しました。

当センターは平成 18 年 4 月に開所しており、平成 28 年 4 月で 10 年が経過いたしました。

定期的に行っているマンホールふたの実験見学会では、これまでに 6400 名を超える方々にご来場いただき、おかげさまで、下水道関係の方々にも認知されつつあります。また、国内だけでなく JICA 等を通じた海外からの視察団、近年では近隣の小学生や関東地方の大学生など、幅広い方々に多数ご来場いただき、業界関係者以外への下水道のアピールにも微力ながら貢献しています。

これまでの当センターの活動は、主として「ふた」を中心に試験・研究に取り組んでまいりました。G&U という社名は、主たる試験・研究領域「Ground & Underground」の頭文字であり、今後は名実ともにふた周辺の G（道路領域）と U（地下領域）の領域にも活動範囲を拡げ、特にインフラマネジメントに関わる活動を強化してまいります。また、道路関係の皆様にも G&U 技術研究センターを知っていただき、利用していただけるよう努力してまいります。

今後ともよろしくお願い申し上げます。



代表取締役所長  
山木 幸夫

## G&U レポート

### ■ ISO/IEC17025 試験所認定対象業務にコンクリート材の試験が追加されました

2016年5月、かねてからコンクリート材の試験に関するISO/IEC17025認定に向けて取り組んできた結果が、ようやく実を結びました。

この認定により、金属材料、高分子材、そしてコンクリート材といった社会インフラ施設の主要材料の物性試験を、ISO/IEC17025認定試験所として受託できる体制となります。

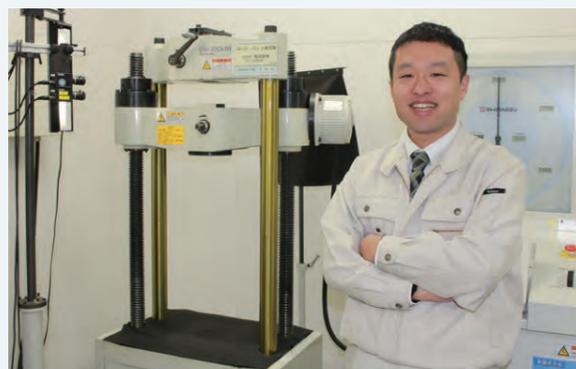
コンクリート材試験の認定取得に向けて取り組むきっかけとなったのは、管更生工法の自立管の試験で当センターをご利用いただいたお客様から寄せられた「複合管の充てん材の試験はできないか」といった数多くのお問い合わせでした。そこで、お客様の声に応えるために、認定を取得することはもとより、試験の精度（品質）をいかに確保するかに重点を置いて取り組んでまいりました。

自らの試験の精度を確認するには、物性が明らかなるものを用いて試験を行い、同じ値となるかどうか確認する方法が一般的です。金属材料と高分子材は、物性が明らかなるものが存在するのですが、コンクリート材の場合は、作製してから経過日数（「材齢」といいます）によって物性が変化するため、試験のたびに同じ材齢のものを準備しなければならないという課題がありました。そのため、公表されている物性どおりの値を得るまで、コンクリート材の作製と試験を繰り返し、試験に影響する因子を明らかにした後、試験の精度を安定させる手順として標準化

いたしました。併せて、当センターに試験技量が備わっていることを対外的に立証するため、認定機関が主催する技能を確認する試験にも3年にわたって参加し、試験技量の確認と維持に努めてきました。

今回の認定によって、複合管の充てん材の圧縮強度試験や、2014年12月に取りまとめられた「下水道用マンホール改築・修繕工法に関する技術資料」における、複合マンホール更生工法の充てん材の圧縮強度試験もISO/IEC17025認定試験所として対応できる形となりました。

コンクリート材の試験は上記のような試験だけではなく、土木学会基準でも定められていますので、今後も幅広く対応できるよう取り組んでまいります。



▲試験のことならお気軽にご相談ください。

### ■ 新技術等の検証業務のご案内

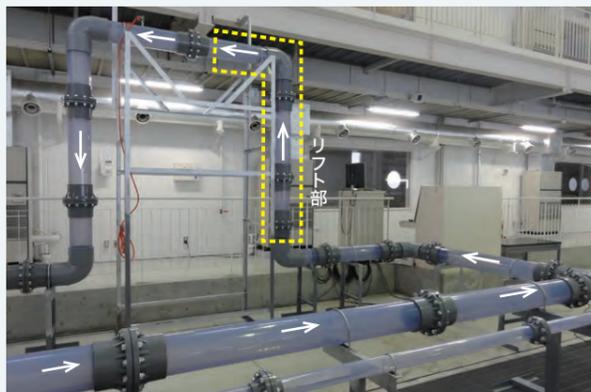
当センターでは、第三者的立場から、新技術等の分析、検証業務を行っています。今回、アイスピグ研究会様より業務委託を受け、アイスピグ管内洗浄工法<sup>※</sup>の洗浄効果の分析検証を行いました。

業務の中では、透明配管を使用した高低差のあるリフト部を有するモデル管路を屋内実験場に構築し、同洗浄工法の洗

浄プロセスの可視化を行っております。

当センターでは、客観的な立場から、各種工法や新技術に関する分析・検証業務を行っています。お困りごとや、ご相談などがございましたら、お気軽にお問い合わせください。

<sup>※</sup>アイスピグ管内洗浄工法は、特殊アイスシャベットを管内に注入し、アイスピグを形成し、水圧で押し流すことで汚れや堆積物を管外に排出する工法。



▲配管モデル全景



▲垂直方向に重量物(管内の黒い部分)が運搬されている



▲重量物(砂)



▲重量物(玉石)



### 見学会のご案内

G&U 技術研究センターでは、マンホールふたに求められるさまざまな安全性能を明らかにする性能検査をはじめ、当センターが取り組んでいる試験研究の状況を体感いただくことを目的として、毎月2回の見学会を実施しています。

この見学会には、事業者や業界関係者だけでなく、JICA（国際協力機構）を通じて海外の方々や、一般の方々も多数来場され、「マンホールふたの奥深さを体感でき、そのリスクを身をもって知ることができた」などのご意見をいただいています。

見学会では、マンホールふたに関わるリスクなどを模擬実験（デモンストレーション）と、映像や模型を併用して説明を行っ

ています。実際に見て、その音を聞いて、迫力や危険性を感じていただくことで理解が深まるよう配慮しているほか、一般の方々には専門用語を使わずにわかりやすく説明するよう心がけています。中でも好評なのが、普段は地下に埋まって見ることができない下水道管路施設を忠実に再現している「水理シミュレーションモデル」と、豪雨時の下水道管路内の現象を実際のマンホールふたで再現する「浮上試験機」です。

読者のみなさまぜひ、体感なさってください。詳しい内容やお申込みの方法は当センターのホームページをご覧ください。

<http://www.gucenter.co.jp/topics/kengaku.html>



▲2016年度ミス日本「水の天使」の須藤櫻子さんによる展示場での模擬体験  
<sup>※</sup>ミス日本「水の天使」：生命の豊かさを支える美しい水のための人々の努力と、世界の水インフラの発展に貢献できる日本の素晴らしい経験と技術をわかりやすく伝える役割を担う。



▲JICA（国際協力機構）を通じて海外のみなさまをお招きして



▲地域の小学生の社会科見学会として

### アクセスマップ

G&U 技術研究センターは、埼玉県川越市の北側、埼玉県中央部に位置する川島町に拠点を置いており、都内からは車で2時間程度の場所にあります。

#### アクセス

川越駅、桶川駅、鴻巣駅から車で約30分、  
圏央道「川島IC」より車で約7分



## ■ 技術広報誌 G & U バックナンバーのご紹介



第 6 号 (2015年)

### ■ Prologue「暮らしと社会を支えてきた鋳物」 Close Up「安全への知恵と工夫」

序章ではマンホールふた等の材質である鋳鉄にスポットを当て、鋳物の特長や魅力について基礎的な情報を紹介し、本編では、昨今の局地的豪雨による浸水被害の視点から、鋳物のメリットを生かした浸水対策における鋳物の活躍等について、国の動向や最新情報を交えながら紹介。



第 3 号 (2008年)

### ■長寿命化 次世代につなぐ安全

「長寿命化」を取り上げて、社会生活の基盤を支える都市、道路、下水管路、マンホールふたの視点から、「寿命」という不確定要素が多く介在する現象を、それぞれの現状や取り組み、今後の技術的な課題や展望などを考察する。



第 5 号 (2011年)

### ■「東日本大震災」におけるマンホール及び その周辺の「液状化」の被害について

2011年3月に発生した「東日本大震災」における被害を、マンホールおよびその周辺の「液状化」の観点にて取材。地域別の被害状況を写真で詳細に描写し、今回の震災における液状化の特徴や今後の対策などを考察する。



第 2 号 (2006年)

### ■なぜ、すべるのか？ 道路環境の安全を考える

二輪車のスリップ事故や、歩行者の転倒事故など、クローズアップされる道路の「すべり」。その原因とメカニズムを探り、すべてに関係するそれぞれの現場で分析を行って、これからの道路環境の安全を考える。



第 4 号 (2010年)

### ■安全性の第三者評価について考える

近年発生した耐火材の偽装事件などは、性能評価の問題点を暴露する大きな事件であったが、その背景には、意図的な不正行為を行う企業があるだけでなく、性能評価の制度上の不備があったとも言える。これらを教訓に、安全性を評価する仕組みはいかにあるべきか、性能検証を行う試験機関はいかにあるべきか、第三者評価について考える。



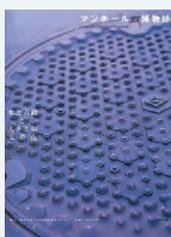
第 1 号 (2006年)

### ■性能規定化の動向とマンホールふた

より高度な「安全」を求める市民の要望が高まるなか、あらゆる分野で性能規定化への動きが加速し、さまざまな取り組みが行われている。あらためて「市民の安全」の視点から、あるべき姿の性能規定を探る。

バックナンバーは当センターのホームページからダウンロードいただけます。 <http://www.gucenter.co.jp/publication.html>

## ■ 出版物



### マンホールの博物館

#### ■水と道路と人々の交差点

マンホールふたの歴史、過去、現在、そしてこれからの問題・課題。その変遷をたどるとともに、さらに進化を続ける次世代技術の胎動をわかりやすく紹介する。

ダイヤモンド社 (税抜 2,800 円)

## 編集後記

1964年の東京オリンピックから50年が経過し、社会インフラ全般の老朽化が進み、不具合や事故が顕在化し始めています。当センターの試験対象のひとつであるマンホールふたについては、機能不足によるリスクのみがクローズアップされがちですが、摩耗や腐食などの経年劣化によるリスクもあり、本誌では特に腐食について取り上げました。「マンホールふたも時間とともに劣化する」ということをご理解いただき、適切な維持管理を行っていただけることを切に願うばかりです。

Cover Story で掲載した聖火台については、ここで掲載しきれなかったエピソード（裏話）も取材時に聞かせて頂くことができ、個人的には聖火台にとっても愛着が湧きました。新国立競技場でも、この聖火台が日の目を見ることを願います。

本誌の作成にあたり、お忙しい中取材を快諾頂いた皆様にこの場を借りてお礼申し上げます。

●編集事務局 U