G&U Ground and Underground
2018.Vol.9

発　行　2018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 Vol.9 Ground and Underground

都市の安全と安心を科学する技術広報誌

G&U

Ground and Underground

2018
Vol.9

インフラの耐久性を考える

耐久性の確保と効率的な維持管理の最新動向

G&U技術研究センター

G&U技術研究センター

G&U

Ground and Underground

2018 Vol.9

【表紙の写真】
下部の6枚は、腐食・老朽化したインフラの事例。このうち上段中央は一般社団法人日本鋼構造協会提供、下段右端は国土交通省提供、その他は本文中で使用したもの。表紙・裏表紙の都市の写真はPIXTA提供

CONTENTS

Prologue

2 鋳鉄製大砲をつくり出した
世界遺産・韮山反射炉

6 鋳鉄製ブロックで築く
耐震補強壁

Topics

32 Storytellers
～マンホールふたの語り部たち～
**マンホールカードが
もたらしたもの**
自治体に聞く、その役割と効果

36 **金錯銘鉄剣**
古代史の謎に迫る一級史料

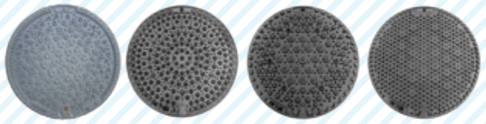
40 G&Uインフォメーション

Close UP

インフラの耐久性を考える
耐久性の確保と効率的な維持管理の最新動向

10 Interview 1
**道路・橋梁分野における
耐久性確保に向けた最新動向**
道路橋示方書の改定を経て――
東京工業大学 教授　二羽 淳一郎 氏

16 **道路の一部である
マンホールふたの設計手法**



20 Interview 2
マネジメントサイクルの確立に向けて
下水道管路の効率的な維持管理と耐久性確保の取り組み――
国土交通省 水管理・国土保全局 下水道部
下水道事業課 事業マネジメント推進室 課長補佐　村岡 正季 氏

26 **腐食環境下での
耐久性向上に向けた対策事例**
- 優れた耐久性と高強度を持つレジンコンクリート
- マンホールふたの腐食対策

30 Report
下水道管きょの効率的な維持管理
～スクリーニング調査技術の開発～

Prologue 1

鋳鉄製大砲をつくり出した世界遺産・韮山反射炉

静岡・伊豆半島、伊豆の国市の郊外に建つ韮山反射炉。
2015（平成27）年７月に世界遺産登録された「明治日本の産業革命遺産」を構成する
23資産の一つとして、にわかに注目を集めています。
海防体制の強化に追われた幕末期、各地に建てられた反射炉の中でも
唯一現存する、実際に大砲の鋳造が行われた反射炉です。
多くの反射炉は、比較的容易な青銅砲の製造のみで役目を終えた中、
韮山では技術的工夫を凝らして鋳鉄での大砲づくりに挑んだことも、
文献などから近年ようやく明らかになってきました。
それでもまだ幾重もの謎のベールに包まれた韮山反射炉の姿。
その解明に取り組む研究者の見解と合わせて、
反射炉の築造に至った背景や構造、大砲鋳造の工程などをご紹介します。

幕末の海防強化を率いた江川英龍

江戸時代末期、幕府は列強諸国の脅威に対抗するために、近代的な軍事技術や制度の導入を急いでいました。その中心的な役割を果たしたのが、韮山代官・江川太郎左衛門英龍（ひでたつ）。「韮山代官」とは、伊豆、駿河、相模、甲斐、武蔵にある幕府直轄地の支配を広く任されていた役人です。江川英龍は海外事情を積極的に学び、蘭学者との親交を通じて西洋砲術も習得。そして、反射炉による鉄製大砲の生産、西洋式築城術による台場の建設、海軍の創設など一連の海防政策の必要性を、幕府に再三訴えていました。

そんな折、1853（嘉永６）年にペリー艦隊が江戸湾に来航。幕府はいよいよ海防体制の抜本的強化に乗り出さざるを得なくなり、提案者の江川英龍をリーダーとして、伊豆の反射炉築造が決定されたのです。

反射炉とは、17～18世紀にヨーロッパで普及した、大砲などを鋳造するための溶解炉。内部の天井がドーム型になった炉体と、煉瓦積みの高い煙突で構成されます。石炭などを焚いて発生した熱を、炉内の天井や炉壁で反射させて一点に集めることで高温を実現し、溶解材料（銑鉄）を溶かす仕組みです。大型の洋式大砲を鋳造するためには、一度に均質の溶湯（溶解した銑鉄）を大量につくり出せる、この反射炉の存在が不可欠でした。

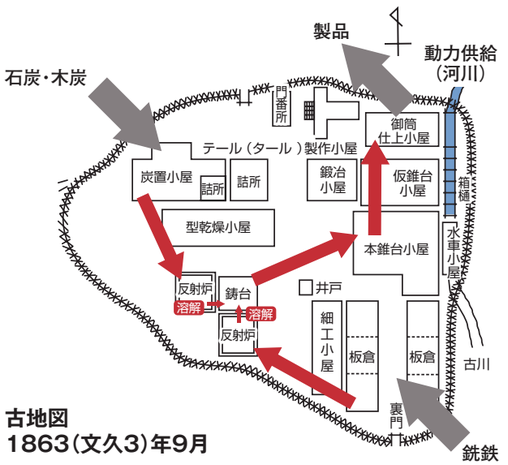
機能を集積した工場システムを構築

英龍に築造を託された伊豆の反射炉は、当初は韮山ではなく下田港（静岡県下田市）の近くで着工されました。ところが、1854（安政元）年３月、下田に入港していたペリー艦隊の水兵が敷地内に侵入する事件が起きたため、あわてて韮山の地に場所を変更したのです。

▲伝・江川太郎左衛門英龍 自画像
（公益財団法人江川文庫所蔵）

しかし、韮山での着工の翌年、江川英龍は激務から体調を崩し、その完成を見ないままこの世を去ります。息子の英敏が跡を継ぎ、1857（安政４）年、連双２基（１基あたり２炉）・計４炉を備えた反射炉本体を中心とする大砲製造工場「韮山反射炉」が完成しました。同じ敷地内には、錐台小屋、御筒仕上小屋、鍛冶小屋、型乾燥小屋、細工小屋など、近くの川には動力源の大型水車も建ちました。大量の鉄を溶かす炉に加え、鋳型の製作から大砲の製造・加工・仕上げまで、一連の機能を１ヵ所に集積した日本最初の近代的な工場システムが構築されたのです。

これと同時期、幕府のほか佐賀や薩摩などの諸藩も、独自に大砲を鋳造しようと反射炉の築造を計画し、全国で８ヵ所が完成に至りました。しかし、実際に鋳鉄を溶かし大砲を製造した反射炉としては、韮山が日本で唯一現存する反射炉となっています。



古地図
1863（文久3）年9月

▲大砲製造工場としての産業システムを形成していた韮山反射炉
（伊豆の国市「韮山反射炉」パンフレット掲載図を一部加工）

少なくとも４門の鉄製大砲を鋳造

韮山反射炉の煙突と炉内部は、高温に耐えられる耐熱煉瓦を組んでつくられています。１基あたりの大きさは幅5.0m・奥行き6.0m、煙突の高さは約15.7m。深く掘り下げた鋳台を囲む形で、２基の反射炉（南炉、北炉）がL字型に配置されています。１炉につき１度に500～700貫（1.9～2.6t）の材料を溶解する能力があります。

煙突の下端部は、炉体の先が突き出して極端に狭まっています。「岬」と呼ばれるこの独特の構造によって、煙突と炉内に圧力差が生まれ、無動力でも強い自然通風が得られる仕組みになっています。

火格子の上で燃料を燃やし、炉内が銑鉄の溶解温度にまで達すると、溶湯は炉床の傾斜に沿って流れ、出湯口の付近に溜まります。この溶湯を撹拌して温度を均一にし、不純物を分離した上で、鋳台に縦に据えた鋳型に直接、連続的に注いで、無垢の砲身の原型をつくります。時間をかけて冷やした原型は、錐台小屋に

運ばれ、水車を動力として砲身全体を回転させながら内側を円形にくり抜き、砲芯部分を仕上げたと推測されます。

ただ、韮山反射炉で製造された鉄製大砲の数は諸説があり、いまだ判然としません。ほんの数年前までは、専門家の間でも「韮山では鉄製の大砲はつくられなかった」と言われていたほどです。しかし近年、世界遺産候補として注目され、当時の操業ぶりを記した古文書の検証なども盛んに行われるようになると、旧来からの定説を塗り替える史実が徐々に明らかになっていきました。今のところ鋳鉄製の大砲は、少なくとも18ポンドカノン砲（全長３m、口径13.5cm）が４門鋳造され、このうち２門は完成し試射も成功したことがわかっています。

短期間で理想的な熱分布に改造

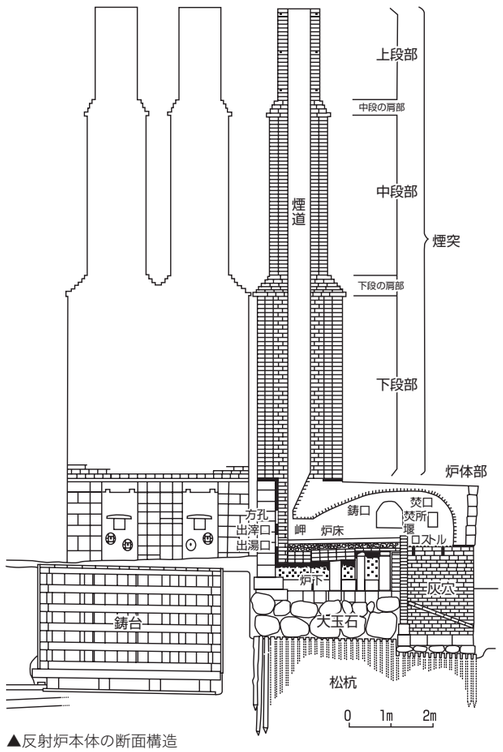
「鉄の融点は約1530℃ですから、以前は周辺の誰もが『あの小さくて簡単な炉で鉄が溶けるわけがない』という認識でした。しかし鉄製大砲に使うのは鉄ではなく、炭素が4.3％以上入った融点約1150℃の鋳鉄。つまり、せいぜい融点より100℃高い約1250℃も出せれば、鋳鉄を溶かして大砲をつくるには十分なのです」

そう話すのは、地元静岡（駿東郡清水町）の大手鋳造会社、㈱木村鋳造所の菅野利猛常務取締役です。同社は1997（平成９）年、創業70周年の記念事業の一環として、鉄製大砲の復元製造に取り組み、韮山町（現伊豆の国市）に寄贈しました。この関わりを機に菅野さんは、当時はまだ多くの謎に包まれていた韮山反射炉に強い興味を引かれ、今も学術的見地から意欲的に調査研究を続けています。自ら小型の実験用反射炉をつくり、韮山反射炉と同条件下で1250℃まで昇温できることも確認しました。

韮山反射炉には、他の反射炉にはない独自の技術的工夫も見られるそうです。

「銑鉄を溶かした時に出る水分を、炉床の土にうまく逃がせないと、溶湯は使い物になりません。韮山では炉の下部に空洞をつくり、蒸気を通す孔を無数に開けた鉄板（半月板）と伊豆石の柱で炉床を支えています。ここまで徹底したつくりの反射炉は韮山だけです」

また、２基建てられた反射炉のうち、最初に稼動した南炉の内部は、熱が溶解材料を置く場所に集まる熱分布になっています。それに対し、大砲製造の実績が豊富だった佐賀藩の支援も受けて、４ヵ月後に完成した北炉は、溶湯が冷めないよう熱を出湯口近くに集める、理想的な形状に改造されていることがわかりました。



▲反射炉本体の断面構造
（伊豆の国市「韮山反射炉」パンフレットより）

川口鋳物師、増田安治郎の技

韮山反射炉で製造されたとされる４門の鉄製大砲。しかし残念ながら今日、１門もその存在を確認することはできません。また、韮山以外の国産の鉄製大砲もわずかに残るのみですが、その一つが三重県志摩市の安乗神社に保存されています。これは、幕府や諸藩の要請を受けて各地で大砲づくりに従事した川口鋳物師、増田安治郎が1844（天保15）年に手がけた、我が国最古の鉄製大砲です。菅野さんは「佐賀や韮山などでも、増田安治郎の技法が役立っていた可能性が非常に高い」と見ています。

この時代の鋳造技術では、シリコンの含量が少ない銑鉄から鋳物をつくると、現代の技術でさえ加工が困難な、硬く脆い不良鋳物になりました（この現象を「チル」と言います）。しかし、シリコンを多く含む銑鉄をつくれるのは、当時まだ我が国に普及していなかった高炉だけだったのです。それなのに、佐賀や韮山ではなぜ、鋳物を加工して複数の大砲を製造できたのでしょうか。

安乗神社の大砲に使われた鋳鉄を分析すると、「過共晶（かきょうしょう）」と言われる組織が見られます。一般的な鋳鉄の炭素量は約4.3％ですが、この溶湯に特殊な方法で炭素分を加えて4.5％まで上げると、溶湯が冷める過程で黒鉛が析出し、チルが生じない「過共晶鋳鉄」に変質させることができたのです。

「高シリコンの銑鉄が手に入らない時代に、加工できる鋳鉄は、増田安治郎の過共晶鋳鉄の製造法でしかつくれなかったはず」

ただし、過共晶鋳鉄にすると強度が一気に落ちるため、大砲の加工・試射はできても、実戦レベルの衝撃には耐えられず、破裂した可能性が高いとのこと。韮山で試射に成功した大砲２門の所在がいまだに確認できないのも、そのせいかもしれません。

今も残る謎、亀甲銑（きっこうせん）はどこから？

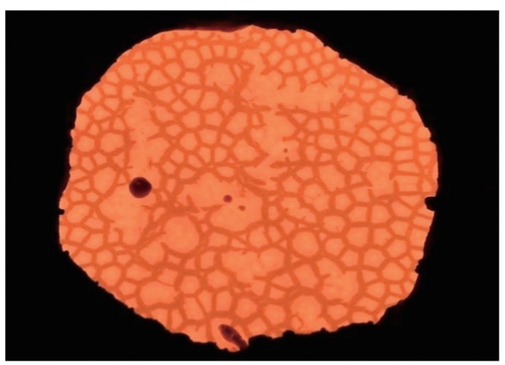
韮山反射炉で1858（安政５）年２月に鋳込まれ、試射も成功した３門目の18ポンドカノン砲。この鋳造時の記録に、全溶解量1300貫目（4870kg）のうち23％の300貫（1125kg）は「亀甲銑」が使われた、との記載があります。これまで韮山にまつわる数々の疑問に向き合ってきた菅野さんが、今も最大の謎として挙げるのが、この「亀甲銑」の存在です。

良質の銑鉄を溶かした時、溶湯の表面に六角形の亀の甲状の模様が現れることが知られています。菅野さん自らの研究によると、湯面にこの亀甲模様が出るのは、シリコンが0.5％以上含まれることが条件。つまり「亀甲銑」という独特の呼び名はおそらく、シリコンが多くチル化しにくい銑鉄を意味する符号のはず。それではこの亀甲銑、いったいどこから運ばれてきたのか。増田安治郎の安乗神社の大砲も、材料に亀甲銑が配合された形跡がうかがえるそうです。

「全体の一部しか使っていないので、よほど高価だったのでしょう。ヨーロッパからの輸入品かもしれませんが、仕入れ先は見当が付きません」と菅野さんは首を傾げます。

修理・補強を重ね、世界遺産に登録

本来の役割を終えた韮山反射炉は、度重なる大規模な修理・補修工事と地域の人々の努力に支えられて現代まで保存され、2015（平成27）年、貴重な文化遺産として世界から認められるまでになりました。


▲良質の鋳鉄湯面に見られる亀甲模様

▲木村鋳造所 菅野利猛常務取締役

築造当時の煙突は漆喰塗りの白亜の塔でしたが、今はむき出しになった煉瓦の周囲を鉄骨トラスでしっかり耐震補強が施され、特徴的な外観を形づくっています。

記念碑前のモニュメントは、木村鋳造所で復元鋳造した鋳鉄製の24ポンドカノン砲（全長3.5m、直径約500mm）。復元作業の際は、往時の鋳造方法ではなく、同社の独自技術「フルモールド鋳造法」が採用されました。これは、発泡ブロックなどの消失性の模型で鋳型の中を満たしたまま溶湯を注ぎ、この模型を溶かしながら溶湯に置き換えて鋳物をつくる現代的技法です。

韮山反射炉から車で５分の場所に、江川英龍をはじめ世襲代官を代々務めた江川家の屋敷が重要文化財として保存されています。菅野さんによると、ここにはまだ多くの古文書が、手付かずで収蔵されているとのこと。今後これらの貴重な文献を紐解くうちに、菅野さんの中に依然残るミステリーの答えは、徐々に明かされていくことでしょう。

▲鋳鉄で復元された24ポンドカノン砲（韮山反射炉記念碑前に展示）

Prologue 2

鋳鉄製ブロックで築く耐震補強壁

地震被害が懸念される建築物の強化を目的とする耐震補強工事の分野で、球状黒鉛鋳鉄（ダクタイル鋳鉄）を用いた資材が活躍を始めています。㈱大林組は鋳造会社の日之出水道機器㈱と共同で、鋳鉄製のブロックで耐震補強壁を構築する新たな工法を確立し、普及に乗り出しました。

コンクリートやFRPのブロックを使う既存の独自技術の特長を活かしつつ、鋳鉄によって大幅に強度を上げてコストの低減も実現した新工法。その概要や開発の背景、今後の展望などについて、大林組技術研究所（東京都清瀬市）を訪ねて話を聞きました。

▲大阪倶楽部会館での適用状況

阪神・淡路大震災を機に対策強化

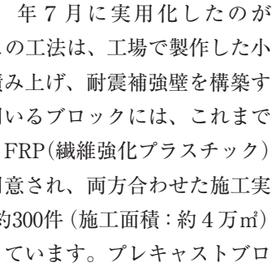
1995（平成７）年１月に発生した阪神・淡路大震災では、住宅やビルの倒壊や火災によって、6400人を超える方々の尊い命が奪われました。この震災を教訓として同年12月、「耐震改修促進法」が施行され、現行の新耐震基準（1981（昭和56）年施行）を満たさない「特定建築物」を引き続き利用するには、耐震診断を実施するとともに、耐震性が不足している建物は必要な改修を行うことが求められるようになりました。

「特定建築物」とは、学校や病院、デパートなど、多くの人が利用する一定規模以上の建物をいいます。これらの耐震性を強化するには様々な方法がありますが、中でも、現場で新たに鉄筋コンクリート製の耐震補強壁を増設する方法が、従来から行われていた代表的な施工法です。しかし、鉄筋を組んで型枠を設け、コンクリートを流し込んで壁をつくるこの在来工法では、各工程で騒音や振動の発生が避けられず、工事用車両の出入りや大掛かりな設備の配置も必要。まとまった施工期間を確保しなければならないため、営業中の商業施設、終日稼働している医療機関やホテル、工場などでは手付かずの箇所も多く、旧耐震基準の特定建築物のうち、まだ６割程度でしか耐震補強が行われていないのが現状です。

採光性、意匠性に富む鋳鉄ブロック

施工時の音や振動を出さず、短期間で終えられる工法があれば、耐震補強をしたくてもできない建物に対応できるはず――。そんな狙いから大林組が開発に取り組み、2001（平成13）年７月に実用化したのが「3Q-Wall工法」です。この工法は、工場で製作した小型のブロックを現場で積み上げ、耐震補強壁を構築するもの。耐震補強壁に用いるブロックには、これまでプレキャストブロックとFRP（繊維強化プラスチック）製ブロックの２種類が用意され、両方合わせた施工実績（2017年１月時点）は約300件（施工面積：約４万㎡）に達するヒット作となっています。プレキャストブロックは密実なコンクリート製のブロックですが、FRP製ブロックは中空のつくりで、素材自体も半透明で光を通すため、設置後も圧迫感が少なく、採光性や通風性を十分確保できるのが特長です。

そして、プレキャスト、FRPに続く第３のバリエーションとして新たに加わったのが、球状黒鉛鋳鉄を材料に使った鋳鉄製ブロックです。約２年の期間をかけて鋳造会社と共同開発を行い、2017（平成29）年６月に一般財団法人日本建築総合試験所の建築技術性能証明を取得しました。ベースとなる四角形のブロックは、一辺の長さが約28cmの正方形で、幅（壁厚方向）は約９cm。FRP製と同じく中空の構造ですから、１個あたりの重さは20kg足らず。作業員一人の力で扱うことができ、狭いスペースでも施工できるよう配慮されています。次ページの概略図のように、この四角形ブロックを三角形ブロックと組み合わせてガイドスチールの内側に斜め格子状に積み、樹脂系接着剤でしっかり貼り合わせて耐震補強壁を構築します。FRP製の２倍以上の強度があるため、より薄い壁厚で同等の補強耐力を確保でき、材料費はFRP製の1/2以下に低減できます。



▲鋳鉄製ブロック（一辺の長さ28cm、幅９cm、１個の重さは20kg）

この鋳鉄製ブロックによる新しい3Q-Wall工法が、大阪市中央区の歴史的建造物「大阪倶楽部会館」の耐震補強工事で初めて適用され、2017（平成29）年10月に竣工しました。写真のように、談話室と窓の間の開口を塞ぐように耐震補強壁が設けられましたが、鋳鉄独特の力強い風合いが、昭和レトロ風の内装に良くマッチしています。施工前と変わらず双方を見通すことができ、窓から差し込む明かりや風も遮りません。

大林組技術研究所構造技術研究部の副主任研究員・穴吹拓也さんは「優しく柔らかい印象のFRP製ブロックも、引き続き多くの問い合わせをいただいています。また、プレキャストブロックが一番適した場所も多くあります。それぞれ持ち味がありますから、施工箇所の状況、建物のデザインや好み、予算などに応じて使い分けてもらえれば」と話します。特にFRP製と鋳鉄製は、耐震補強壁の設置後も採光や見通しを確保でき、意匠性も高いという特長を活かし、宿泊施設のロビーやオフィス、店舗、病院などの耐震補強向けに、２本立てで適用の拡大を図っていく考えです。

鋳鉄の応用が拡がる可能性は

建築基準法はじめ法令・告示等で、使用する各種材料の特性が厳格に規定されている建築分野では、鋳鉄品が活躍するシーンはまだ非常に限られています。現状では、鉄筋同士を接続する機械式継手金物や、鉄筋の曲折定着の代用となる機械式定着金物の材料に鋳鉄が使われているそうです。

「日之出水道機器さんが『何か建築・土木資材の材料に、球状黒鉛鋳鉄は使えませんか』と、この技術研究所に直接ご相談に来られたのが、共同で鋳鉄製ブロックの開発を始めたきっかけです」と振り返るのは、同部上級主席技師の増田安彦さんです。

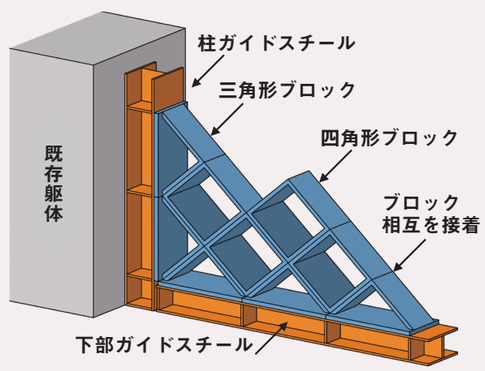
▲大林組 技術本部 技術研究所 構造技術研究部
増田安彦上級主席技師（右）、穴吹拓也副主任研究員

「鋳鉄には馴染みが薄い分野ですから、私もこれまで『鉄を溶かして鋳型に流す』くらいの認識しかありませんでした。でも実際には、鋳造工程の綿密な解析も行って計画的につくられ、強度など品質管理もきちんと行われていることを、共同開発を通じて知り、鋳鉄に対する印象が大きく変わりました。鋳造は一定の形の製品を大量につくることに向いていますから、カーテンウォール※やプレキャスト部材の取付金物などへの適用も考えられます。造形性にも富んだ鋳鉄の応用は、これから拡がるかもしれませんね」（増田さん）

※カーテンウォール　建物の荷重を直接負担しない、建築構造上取り外し可能な壁（非耐力壁）

3Q-Wall（サンキューウォール）工法

大林組が開発し、2001（平成13）年に実用化した耐震補強壁工法。工場で製作した小型のブロックを現場で積み上げて、既存躯体と強固に接着させることで耐震壁を構築する工法で、「3Q」はQuiet（静かに）、Quick（速く）、High Quality（高品質）を意味します。耐震壁に用いる材料には、これまでプレキャストブロック、FRP製ブロックの２タイプがありましたが、新たに鋳鉄製ブロックによる工法が加わり、現場の状況やユーザのニーズに合わせた選択肢がさらに拡がりました。



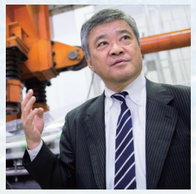
鋳鉄製ブロックを用いた3Q-Wall工法の概略▶

CONTENTS

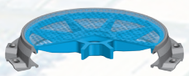
Interview 1

道路・橋梁分野における
耐久性確保に向けた最新動向
道路橋示方書の改定を経て――

東京工業大学 教授　二羽 淳一郎氏



道路の一部である
マンホールふたの設計手法



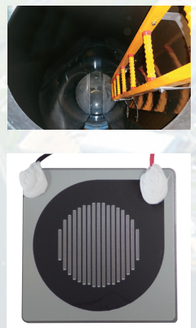
Interview 2

マネジメントサイクルの確立に向けて
下水道管路の効率的な維持管理と
耐久性確保の取り組み――

国土交通省 水管理・国土保全局 下水道部
下水道事業課 事業マネジメント推進室
課長補佐　村岡 正季氏

腐食環境下での
耐久性向上に向けた対策事例

- 優れた耐久性と高強度を持つ
  レジンコンクリート
- マンホールふたの腐食対策



Report

下水道管きょの効率的な維持管理
～スクリーニング調査技術の開発～

Close UP
クローズアップ

インフラの耐久性を考える

耐久性の確保と効率的な維持管理の最新動向

増大し続ける社会インフラの適切なマネジメントが喫緊の課題となる中、
老朽化への対応や長寿命化の推進などにおいては、
施設や設備の「耐久性」を考える視点が不可欠になってきます。
耐久性の確保に向けては、設計段階から考慮したり、
維持管理の面で対応したりするなど様々なアプローチがあり、
インフラの特性に応じた最適な手法を選択することが求められています。
本章では、道路・橋梁や下水道分野における
耐久性確保に向けた取り組みに注目し、
その考え方や事例などについてご紹介します。

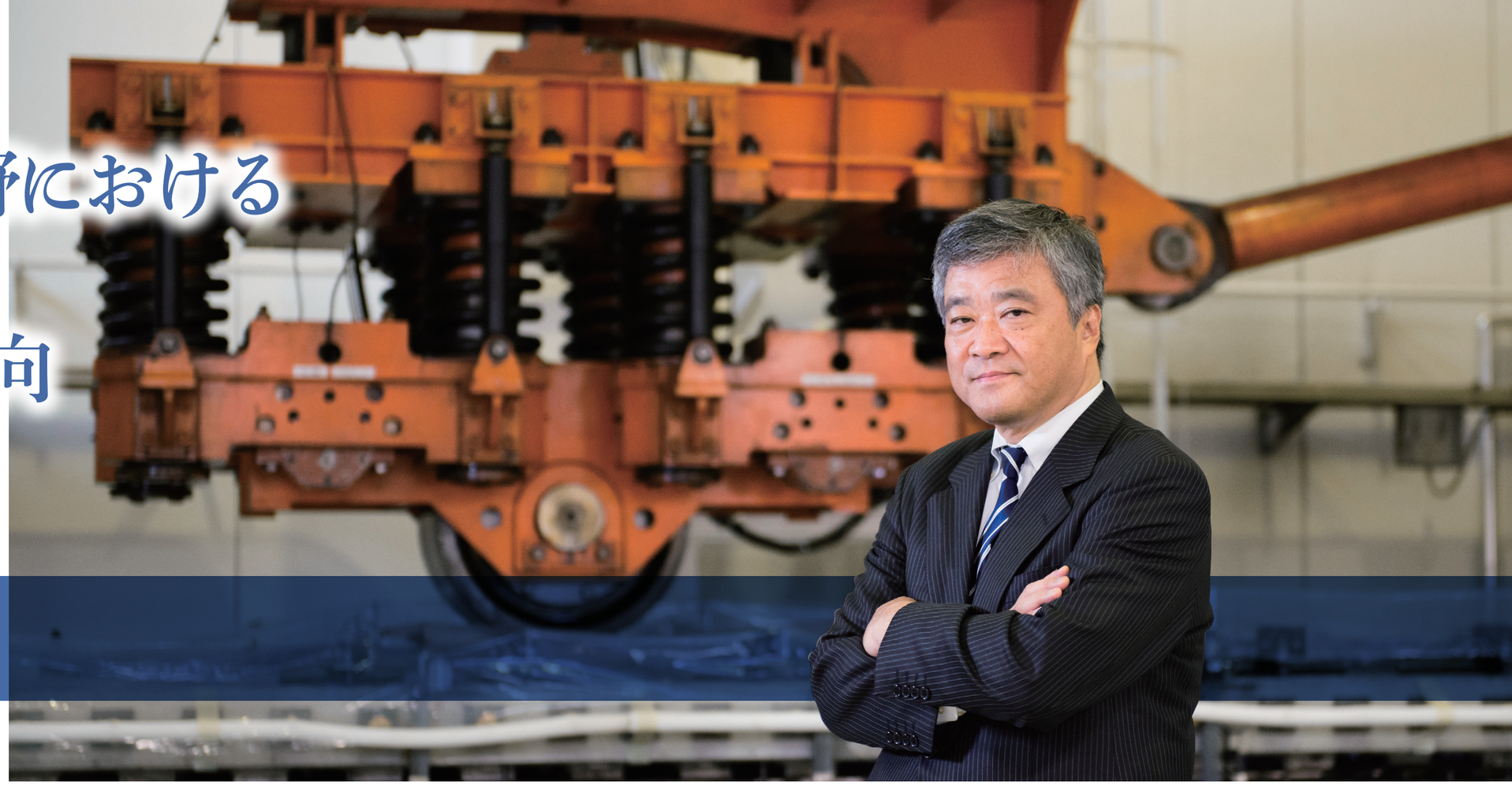
“設計供用期間100年”の羽田空港D滑走路

写真下に見える羽田空港４本目の滑走路。「100年間」という長期耐久性を実現するため、超高強度繊維補強コンクリートや高剛性・高耐力継手などの最新技術が駆使されている。2010年10月に供用開始（提供：羽田再拡張D滑走路JV）

Interview ❶

道路・橋梁分野における耐久性確保に向けた最新動向

道路橋示方書の改定を経て――



二羽 淳一郎 氏

東京工業大学 教授
（環境・社会理工学院 土木・環境工学系）

国土交通省は昨年７月、道路や橋梁の設計に用いる『橋、高架の道路等の技術基準』、いわゆる道路橋示方書について改定を行い、長寿命化や耐久性の確保に関する規定を充実させました。昭和47年の制定以来、最も大幅な変更が加えられることとなり、改定の内容は今年１月１日以降に新規着手される設計に適用されています。今回お話を伺ったのは、コンクリート構造学の専門家であり、「道路技術小委員会 橋梁分野会議※」の座長として道路橋示方書の改定に携わった東京工業大学の二羽淳一郎教授です。改定のポイントやその意義をご説明いただくとともに、道路・橋梁分野における耐久性確保に向けた最新動向などについてお聞きしました。

※国土交通省の諮問機関である社会資本整備審議会の道路部会内に設置され、道路橋示方書の改定に関する審議を行った。

設計供用期間は「100年を標準」新たな手法できめ細やかな設計が可能に

――５年ぶり、７回目となる道路橋示方書の改定が昨年７月に行われました。改定のポイントをご説明ください。

ポイントとしては大きく２つあります。１つは道路橋の安全性や性能に対して、きめ細やかな対応が可能な設計手法を導入したことです。もう１つは道路橋が良好な状態を維持する期間である「設計供用期間」について「100年を標準」とし、その間、適切な維持管理を行うことを規定したことです。

設計供用期間については従来の道路橋示方書の条文で明示されていなかったため、「100年」という数字が打ち出されたことには大きな意味があります。たとえば耐久性や耐疲労性を考える場合、これまでは繰り返し作用する荷重の回数をどう設定するかが難しいところでした。今回の改定で100年という「目標」が決められたことによって、その回数を明確にすることができますので、疲労に対する設計がやりやすくなります。

設計供用期間の議論では、30年や50年という意見もありましたが、更新の手間や経済的なことを考えると、やはりそれでは短すぎます。少し前につくられた羽田空港のD滑走路（2010年供用開始）は、メンテナンスフリーで100年使用できる耐久性を持たせています。道路橋の分野でも供用期間を100年とすることは理解を得られやすいところでしたし、非常に望ましいかたちになったと思っています。

――「きめ細やかな対応が可能な設計手法」とは、具体的にどういうものなのでしょうか。

「限界状態設計法」という設計体系を導入しました。これは道路橋の「限界状態」を３つのレベルで定義し、それぞれの状態に対して安全性や機能を確保するものです。

「限界状態１」は自動車荷重などの通常作用する荷重に対して、支持する能力が損なわれていない状態を指します。「限界状態２」は大地震などの滅多に作用しない荷重に対して、支持する能力は低下しているものの、その影響は限定的な状態。「限界状態３」は、これを超えると構造安全性が失われる状態と定義しています。限界状態設計法によって、橋に求められる性能が明確になりますので、新しい構造や部材でも、性能を満たしさえすれば導入される可能性が大きくなります。

性能を満たすための具体的な設計手法としては、限界状態設計法の枠組みにおける１つの手法である「部

限界状態設計法の導入（国交省資料より作成）

■ 橋の限界状態の考え方

限界状態1	橋としての荷重を支持する能力が損なわれていない限界の状態
限界状態2	部分的に荷重を支持する能力の低下が生じているが、橋としての荷重を支持する能力に及ぼす影響は限定的であり、荷重を支持する能力があらかじめ想定する範囲にある限界の状態
限界状態3	これを超えると構造安全性が失われる限界の状態

■ 荷重と橋の限界状態の関係

通常作用する荷重（自重、自動車荷重、温度や風の影響など）	橋の限界状態１かつ橋の限界状態３に対して安全性を確保
滅多に作用しない荷重（大地震）	橋の限界状態２かつ橋の限界状態３に対して安全性を確保

【にわ・じゅんいちろう】

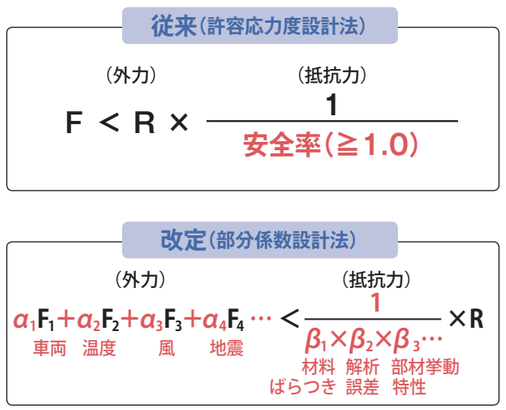
昭和53年３月東京大学工学部土木工学科卒。同58年３月同大大学院土木工学専攻博士課程修了、工学博士。山梨大学助教授、名古屋大学助教授、カンザス大学客員研究員、アジア工科大学助教授（JICA専門家）などを経て、平成10年４月より現職。プレストレストコンクリート工学会・会長（平成25年５月～同27年４月）、土木学会・副会長（平成25年６月～同26年５月）も務める。IABSE Prize '90（国際構造工学会賞）、土木学会吉田賞・田中賞、国土交通大臣賞・産学官連携功労者表彰（フーバーダム・バイパスプロジェクトにおける「鋼製ストラット付きコンクリートツインアーチ橋」の施工技術）など受賞多数。

分係数設計法」を導入しています。

従来は「許容応力度設計法」という手法が採用されていました。これは材料のばらつきや解析上の誤差といった不確定要因を数値化した「安全率」を１つの数値で示すやり方でした。一方、部分係数設計法は不確定要因ごとに細分化して安全率を算出するもので、許容応力度設計法より、きめ細やかな設計が可能になります。たとえば、ある部材の研究が進み、品質のばらつきが減った場合、許容応力度設計法ではそれを安全率に反映させることは難しいのですが、部分係数設計法では個別に安全率を変えることができます。部分係数設計法の導入によって技術の進歩を取り入れやすくなり、構造が合理化され、コスト縮減も期待できると考えています。

部分係数設計法は、橋梁の設計に関するISO規格やユーロコード（欧州構造基準）でも採用されています。日本でもコンクリート構造物の分野では、今から30年以上前の1986年に導入されました。道路橋示方書は、関連する業界内での意思の統一が図れなかったため、部分係数設計法の導入になかなか踏み切れなかった経緯があるのですが、これでようやく世界の流れに追いついてきたと言えるのではないでしょうか。

許容応力度設計法から部分係数設計法へ
（国交省資料より作成）

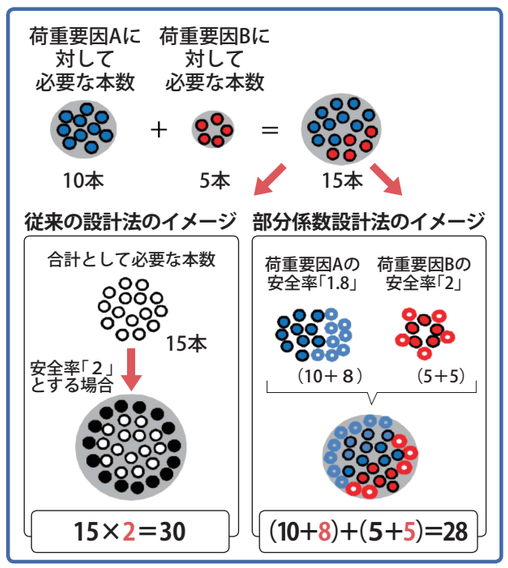


道路橋示方書では耐久性設計の具体例を明記
コンクリートの耐久性確保に向けた取り組み

――供用期間100年に向け、道路橋の長寿命化や耐久性の確保を実現していくためにはどのようなことが必要になるのでしょうか。

改定された道路橋示方書では「長寿命化を合理的に実現するための規定の充実」として、耐久性設計の具体的な方法が３種類明記されました。１つ目は「劣化の影響を考慮した部材寸法や構造とすること」で、塩害の影響度合いに応じたコンクリート橋の「かぶり」

部分係数設計法のイメージ（国交省資料より作成）
〈ケーブルの例〉



長寿命化を合理的に実現するための規定の充実（国交省資料より作成）

耐久性設計の具体の方法	具体例
1．劣化の影響を考慮した部材寸法や構造とする	■塩害の対策 塩害の影響度合いに応じたコンクリート橋の「かぶり」を規定 かぶり／コンクリート表面／鉄筋 ■部材の交換や点検が容易な構造とする 部材交換の有無を考慮して構造に反映させる ジャッキアップに配慮 支承交換や点検が容易な構造
2．部材寸法や構造とは別途の対策を行う	■施工・維持管理の容易さ、耐久性、部材の重要度等を考慮して、適切な防食方法を選定 環境条件等に応じて防食種別の差別化が図られる 耐候性鋼材／重防食塗装 防食多重化（鉄筋防食＋コンクリート表面塗装）
3．設計供用期間内において劣化の影響がないとみなせる構造とする	■環境等に応じて耐食性に優れた材料を用いる 海沿いなど、腐食環境の厳しい環境下での活用が期待される ステンレス鉄筋／FRP緊張材

（鉄筋表面からコンクリート表面までの最短距離）が規定されたほか、部材の交換や点検が容易な構造とすることが示されました。２つ目は「部材寸法や構造とは別途の対策を行うこと」で、施工や維持管理の容易さや、耐久性や部材の重要度などを考慮して、適切な防食方法を選定することが勧められています。３つ目は、「劣化の影響がないとみなせる構造とすること」で、ステンレス鉄筋などの耐食性に優れた部材を用いることが具体例として挙げられています。

100年という数字が示されたことで、目標を共有することができました。それを実現するためには、耐久性や耐食性に優れた部材を最初から使う方法もありますし、あらかじめ交換を見込んで部材を選択するというやり方もあり、様々なアプローチが考えられるでしょう。海沿いの環境条件の厳しい場所で不沈空母のようなものをつくれと言われても、無理な話です。そうした場合は、たとえば30年経ったら部材を交換することを前提とするなどして、施設全体として100年持たせていけば良いのです。

――ご専門であるコンクリートの分野における、耐久性の確保に向けた具体的な取り組みをお教えください。

コンクリートの分野では、コンクリートそのものの品質を向上させることが大前提になります。羽田空港D滑走路の桟橋部には、UFC（超高強度繊維補強コンクリート）でつくられた床版が設置されています。こうした高強度、高耐久性の材料を採用すれば、割と容易に100年間使い続けられると考えられています。

古くからある技術としては、「プレストレストコンクリート」というコンクリート構造が挙げられます。コンクリートは圧縮に対しては強いものの、曲げや引っ張りには弱いという特徴を持っていますが、プレストレストコンクリートはPC鋼材という緊張材であらかじめ圧縮力を与える、つまり「プレストレス」を与えることで、ひび割れが生じにくい構造にしています。断面を薄く、スパンを長くすることできますので、長大橋などで多く採用されています。ただ、「かぶり」がしっかり取られていない、あるいはPC鋼材の周りを充填するセメントグラウトの施工不良などによって、PC鋼材が腐食する事例もあるため、グラウトを注入しやすくしたり、鋼材を樹脂で被覆したりする取り組みが進められているほか、FRP製の緊張材を使用するケースもあります。

また、コンクリートの「プレキャスト化」は、耐久性や品質を確保していくための、大きな流れになっています。プレキャストコンクリートは、工場等で製造したコンクリート部材を現場で組み立てるもので、天候などによって出来栄えが左右される現場打ちのコンクリートよりも高い品質を確保することができます。フランスのフレシネーが実用化し、1946年、パリ近郊のマルヌ川に架けられたルザンシー橋で初めて採用されました。プレキャストコンクリートは、よく継目のところから鋼材が錆びるのではないかと心配されますが、ルザンシー橋は70年以上経った今でも問題なく使われています。

プレキャストコンクリートは、現場作業の工期短縮につながりますので、国土交通省が進めている「生産性革命」にも貢献できる技術です。プレキャストの部材（セグメント）に、現場でプレストレスを与える工

法を「プレキャストセグメント工法」と言い、これによって耐久性はさらに高いものになります。

これらのほか、コンクリート中の鉄筋を継ぐことを目的とした、鋳鉄製の継手も様々なところで使われています。鉄筋は一定の長さに切って運ばれるため、構造物の大きさに応じてつなぐ必要があり、近年では主にガス圧接、溶接、機械式継手の３種類の接合方法が採用されています。鋳鉄製の継手は機械式継手の一つに分類されるもので、スリーブに２本の鉄筋を挿入してモルタルで充填して固める技術です。機械式継手のうち、ねじで接合するタイプでは鉄筋の施工誤差が吸収できない場合がありますが、鋳鉄製の継手では両方の鉄筋が多少ずれていても接合することができるというメリットがあり、最近では浜岡原子力発電所の防潮堤にも導入されています。なお、最も一般的なガス圧接は阪神淡路大震災の時に圧接部がはじけてしまった事例があるなど、作業者の技量に依存します。溶接は疲労強度が下がるため、建築の分野であれば良いのですが、道路橋など大きな荷重の繰返しを受ける分野ではあまり使えないと言われています。

――コンクリートの防食対策についてはどういった取り組みがありますか。

防食の考え方としては２つあります。１つはコンクリートの側で対策を講じること。塗装によりコンクリートの表面を被覆する方法が一般的です。

もう１つは、鉄筋や鋼材を錆びないようにすることです。究極の方法はステンレスを使うことですが、まだ実績が少ないため、道路橋の分野では積極的な導入には至っていません。性能としては普通の炭素鋼材と同様で、沖縄県宮古島市の伊良部大橋（2015年１月供用開始）などでは採用されています。唯一の問題は価格面ですが、ライフサイクルコストを考慮すれば、それほど高いものではないと思います。

▼北米最大の支間長（323m）を誇るコロラドリバー橋
日系企業のJVが施工し、二羽教授の研究成果が橋の安全性照査に適用された（国土交通大臣賞・産学官連携功労者表彰を受賞）。この橋にもプレキャストセグメント工法が採用されている
（写真出所：公益社団法人土木学会HP・平成22年度田中賞作品部門）

将来の維持管理を見据えた設計が加速
輪荷重走行試験の重要性も増していく

――道路橋示方書の改定などを経て、今後の道路橋の設計や維持管理はどのような方向に進むのでしょうか。

新しい設計方法が導入されたことで、できあがる施設が従来と極端に変わることはないと思いますが、要因ごとに安全率を設定することができるようになったため、技術の進歩をこれまでよりスピーディに、設計に反映させることが可能になります。また、設計供用期間100年は、適切な維持管理を行うことが前提になりますので、たとえば施設をつくるときにメンテナンス用の足場をあらかじめ組み込んでおくなど、将来の維持管理を見据えた設計というものが今後加速していくはずです。

維持管理に関しては、平成26年度の道路法の改正で５年に１回の近接目視による定期点検が義務付けられました。今年度で改正から５年目を迎え、そろそろすべての対象施設で１回目の点検が終わります。

点検状況の速報値を見ると、たとえばスパン15m未満の橋では４分の３以上が健全な状態か、少しの予防保全が必要な状態となっているなど、本当に危険な施設はまだそれほど多くありません。５年に１回の定期点検に対しては、自治体の負担も大きいため様々な意見が出ています。１回目の点検で健全な状態だった施設については、２回目は簡易的なチェックにするなど、今後はメリハリをつけたメンテナンスにしても良いのではないでしょうか。

また、耐久性を照査する様々な試験については、今後重要性が増すと考えられます。今日はG&U技術研究センターの輪荷重走行試験機を見学させていただきましたが、国内に数基しかない貴重な施設です。今回の道路橋示方書の改定によって、自動車の繰返し通行に対する橋梁床版などの耐久性確保が一層求められることになりますので、輪荷重走行試験が持つ意味も大きくなります。設計供用期間が100年と示されたことに合わせ、荷重の回数などを見直していくことも必要かもしれません。

道路橋の設計思想に基づくマンホールふた
定期的な交換で100年供用に貢献

――1998年の建築基準法の改正で「性能規定」が導入されたことに伴い、道路橋の分野でもその考え方が採り入れられています。「道路占有物」であるマンホールふたの設計などについて、ご見解をお聞かせください。

マンホールふたは「路上に架かる小さな橋」と考え、道路橋の設計思想に基づき、平成13年の道路橋示方書改定等でも導入された「性能規定」についても採り入れられていると伺いました。がたつきなどへの耐久性を照査する輪荷重走行試験が実施される体制も整備されています。マンホールふたは道路の一部であるため、道路の安全性を確保する上で、これらは非常に重要なことだと思います。

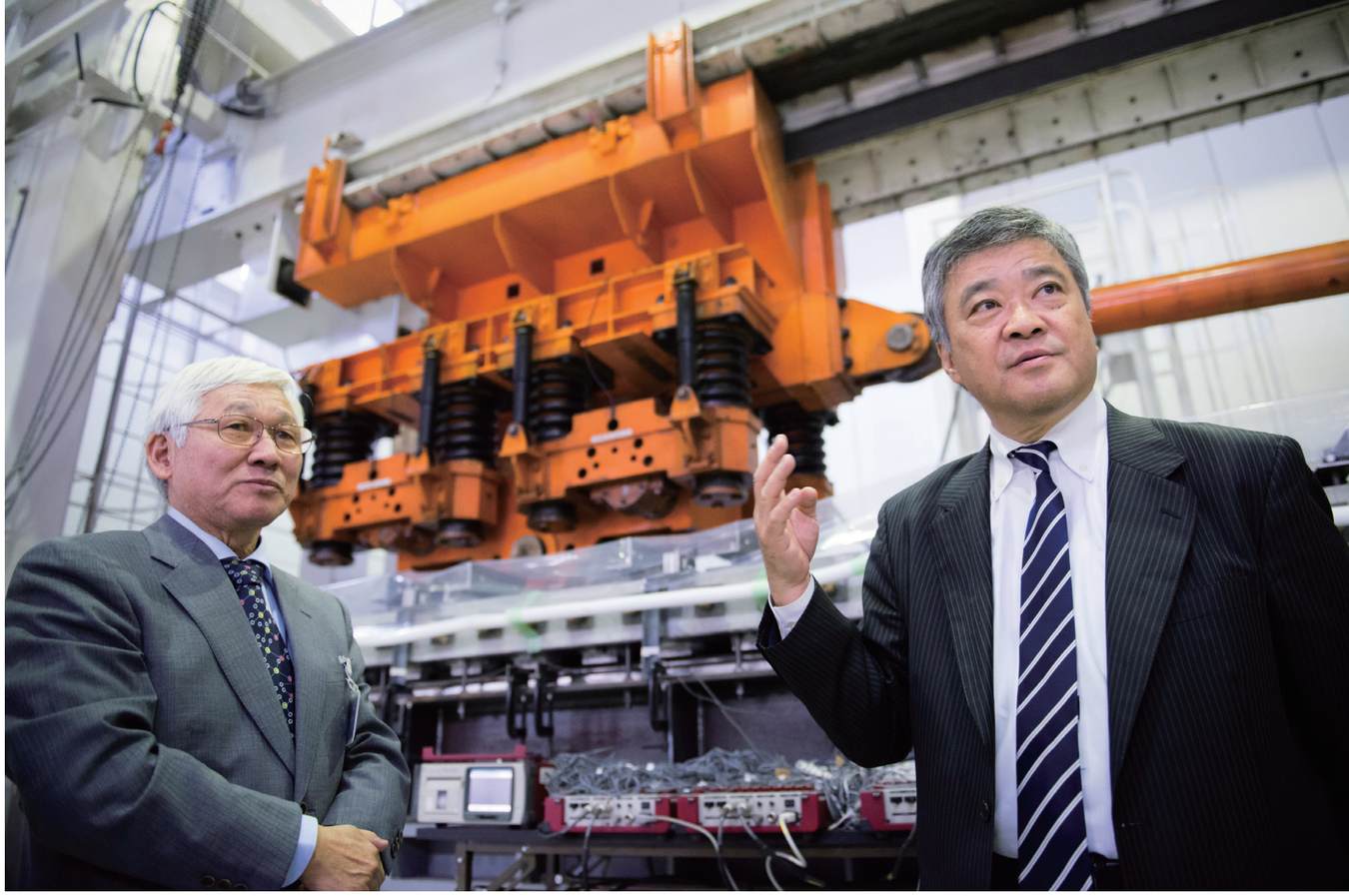
――一部の自治体では、マンホールふたの耐スリップ性能が道路と同水準であることが求められています。

今日はマンホールふた表面の滑り抵抗を測定する「DFテスター」も見せていただき、経年摩耗によってふたが滑りやすくなるリスクを実感できました。今回の道路橋示方書の改定では、橋の伸縮装置の滑り抵抗が路面の水準以上であることが規定されましたので、マンホールふたの耐スリップに向けた取り組みは、道路橋の分野の動きと一致するものだと思います。

――道路橋の設計供用期間100年に比べて、マンホールふたの耐用年数は短いものになっています。道路橋の長寿命化や耐久性確保において、マンホールふたはどのように貢献していけば良いのでしょうか。

100年供用が目標になりましたが、無理をして部材を100年持たせようとするのではなく、それぞれに見合った適切な使い方や交換の仕方を考えていくことが重要です。マンホールふたの場合、車道に設置されたものは15年という耐用年数が設定されているようですので、その期間しっかりと維持管理を行い、定期的に交換していけば良いのではないでしょうか。それによって道路の安全性や耐久性は向上し、結果として長寿命化にもつながっていくと思います。

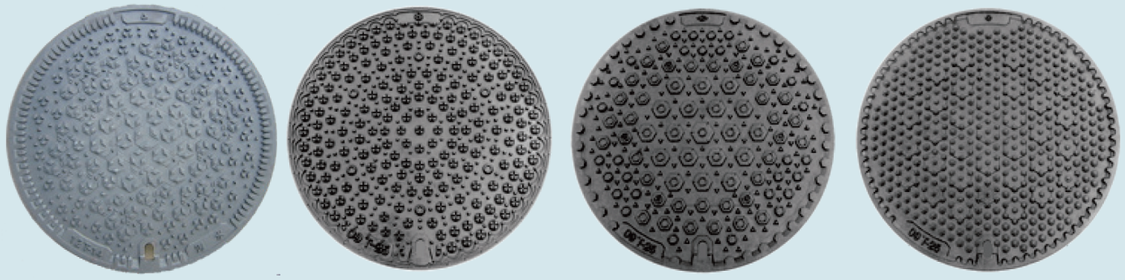
――ありがとうございました。



▲二羽教授には輪荷重走行試験機（写真中央）をはじめ、当社の実験施設を見学していただきました（写真左は当社所長・山木幸夫）

▲「DFテスターR85」のセッティング状況
マンホールふた表面の滑り抵抗を測定する

道路の一部である
マンホールふたの設計手法



▲高品協加盟各社の「次世代型高品位グラウンドマンホール」

マンホールふたの分野では早くから性能規定の導入が進んだほか、設計において「限界性能」の考え方を一部採り入れるなど、安全性や耐久性の確保に向け、下水道業界では先進的な取り組みが進められてきました。下水道施設としてだけでなく、道路の一部としての役割も担っていることから、その設計思想は道路分野の考え方を基準としています。マンホールふたの設計手法や性能を確保するための考え方・取り組みについて、最新の技術動向などと合わせてご紹介します。

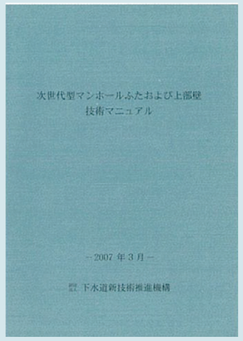
【取材協力】次世代型高品位グラウンドマンホール推進協会（高品協）

変化する設置環境への対応を背景に性能規定化

構造物の材質や寸法、工法を具体的に規定する「仕様規定」に対して、使用者から要求される性能とその照査方法を規定するのが「性能規定」です。マンホールふたに関しては平成17年７月に日本下水道協会規格「下水道用鋳鉄製マンホールふた」（JSWAS G-4）の改正が行われたことを契機に、性能規定の導入が進められてきました。

「『仕様規定』は、使用者である自治体が仕様書で製品を指定し、それをメーカーが納入するというスタイルです。メーカー側としては効率的なものづくりができるというメリットがありますが、一方では新しい技術が採用されにくいというデメリットもあります。マンホールふたが置かれる環境は時代とともに激変しており、特に交通量の増加や車両の大型化、集中豪雨の頻発といった問題について、対応が求められるようになってきました。市民の安全を守るということが自治体とメーカーの責務である中で、こうした問題に対応する新しい機能が付加されたマンホールふたを導入しやすいよう、性能規定という考え方が採り入れられました」

高品協技術委員の清水孝氏は性能規定が導入された背景について、こう説明します。「JSWAS G-4」の改正に続き平成18年3月には、日本下水道協会が設置した「マンホールふたの調達適正化検討会」によって「マンホール蓋調達の今後の方向（案）」という提言が打ち出されました。これらを受けて性能規定化は徐々に進み、現在では約８～９割の自治体に導入されています。



▲民間４社と下水道機構の共同研究により技術マニュアルを発刊

性能規定化の動きに合わせ、マンホールふたに関連する民間企業４社と下水道新技術推進機構（現：日本下水道新技術機構）は平成17年度から共同研究を実施し、「次世代型マンホールふたおよび上部壁」の技術マニュアルを平成19年３月に作成しました。性能規定化によって新たな技術や機能が導入される可能性が高まる一方で、性能やその照査（試験）方法を明確化することが求められます。そこで技術マニュアルでは、飛散防止機能が付加されたり、維持管理作業性が向上したりした「次世代型マンホールふた」について、特徴や性能を整理するとともに、それぞれの性能に対する試験方法などをとりまとめています。

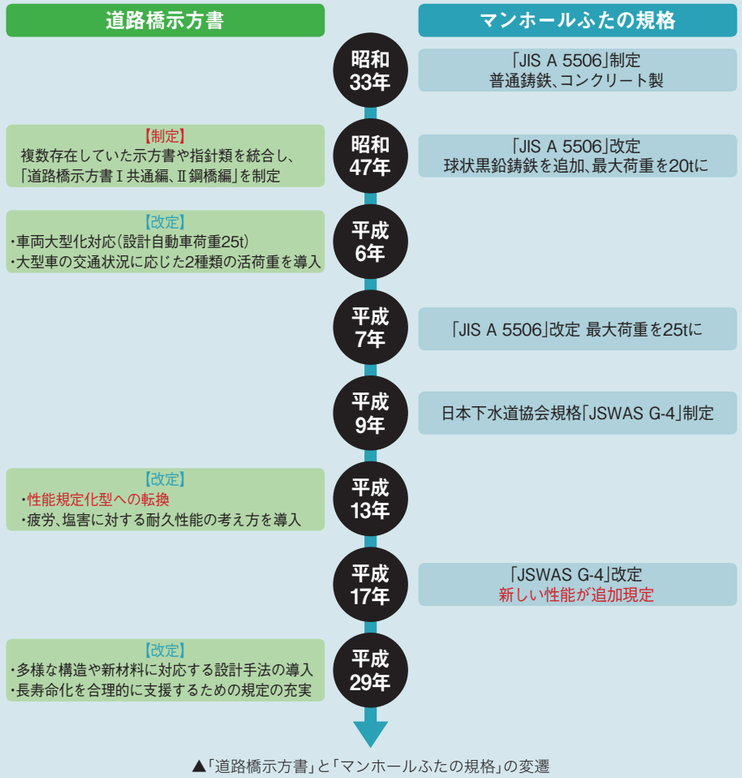
求められる基本的な性能「安全対策８項目」

性能規定化が進められてきたマンホールふたですが、求められる基本的な性能としては、①がたつき防止、②破損防止、③浮上・飛散防止、④スリップ防止、⑤腐食防止、⑥転落・落下防止、⑦不法投棄・不法侵入防止、⑧雨水流入防止、という「安全対策８項目」があります。

「以前はJISや日本下水道協会規格で車両に対する耐荷重性能とがたつき防止機能が定義されていましたが、日本下水道協会が平成11年３月に発刊した『マンホール安全対策の手引き（案）』の中でこの８項目が示されました。今では、マンホールふたの“基礎”になるものと考えられています」（高品協技術委員・大波豊明氏）

この手引きは平成10年９月、集中豪雨によりマンホールふたが浮上・飛散し、マンホール中に２名の方が転落するという人身事故が発生したことを契機に発刊されました。建設省（現：国土交通省）は事故発生後に「下水道用マンホール緊急安全対策検討委員会」を設置し、供用時のマンホールの危険度の判定基準や緊急の安全対策方法等が示されています。

▲マンホールふたに求められる基本的な性能「安全対策８項目」

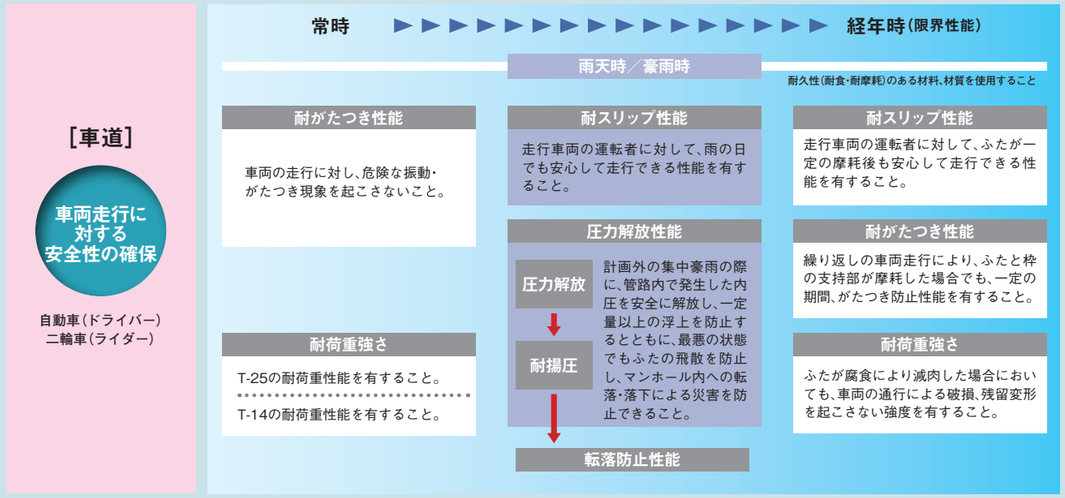


▲「道路橋示方書」と「マンホールふたの規格」の変遷

「道路橋示方書」をもとにした設計思想

“路上に架かる小さな橋”と考えられているマンホールふたの安全性能については、「橋、高架の道路等の技術基準」（道路橋示方書）に準じて検討してきた経緯があります。たとえば平成６年には、車両大型化に対応するため設計自動車荷重を20tから25tにする道路橋示方書の改定が行われましたが、これを受けて平成７年にマンホールふたの規格（JIS A 5506）が改定され、同様の変更が行われました。平成13年に行われた道路橋示方書の改定（性能規定化への転換）や、マンホール安全対策の手引きの発刊といった流れを受けて、平成17年には日本下水道協会規格「JSWAS G-4」が改定され、浮上・防止機能等の性能が新しく規定されています。下水道管路施設では唯一、道路上に設置されているマンホールふたは車両や歩行者との接点となります。安全対策については耐荷重性能をはじめ広範囲な配慮が求められるため、道路橋示方書をもとにした設計思想がかたちづくられています。

なお、マンホールふたの性能や安全対策を考える上で重要になる標準耐用年数は、近年の交通環境の変化やマンホールふたの経年劣化による滑り抵抗の低下等も考慮し、平成15年６月に車道部は15年、その他は30年に変更されています。



▲「次世代型高品位グラウンドマンホール」の要求性能
「耐スリップ性」「耐がたつき性」「耐荷重強さ」については、初期性能だけでなく「限界性能」も確保する

次世代型高品位GMでは「限界性能」を確保
性能検証には第三者機関の試験施設・機器を活用

性能規定化の機運が高まり始めていた平成18年４月、マンホールふたメーカー４社によって「次世代型高品位グラウンドマンホール推進協会」（高品協）が設立されました。同協会は長期にわたる「安全性能の確実性」と「経済性」を実現する「次世代型高品位グラウンドマンホール（GM）」の研究開発とその普及を進めています。

高品協技術委員の堀ノ内卓氏は、「『安全８項目』のうち、特に重要なものとして、『耐スリップ性能』『耐がたつき性能』『耐荷重強さ』の３項目にフォーカスし、従来製品より安全で、より高い耐久性能を設定しています」と、次世代型高品位GMの特徴を説明します。

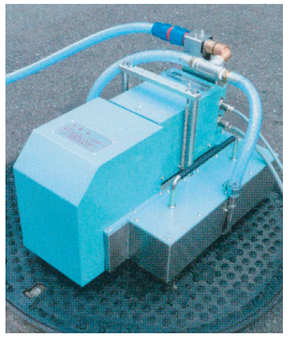
次世代型高品位GMでは、マンホールふたが長期間設置されるものであることを考慮し、これらの３項目について設置初期の性能だけなく、時間経過とともに変化する状態までを想定した「限界性能」が確保されています。

「たとえば車道部に設置するマンホールふたであれば、耐用年数である15年に達した時の状態を想定し、その時に実現しなければならない性能を確保することが求められます。また、性能をしっかりと評価することも重要になってきますので、試験施設・機器にて検証を行っています」（堀ノ内氏）

「耐スリップ性能」の検証では、マンホールふたの表面を想定水準まで摩耗させた状態にし、「DFテスターR85」などの専用機器で滑り抵抗を測定します。「耐荷重強さ」については、鉛直方向に荷重載荷できる荷重試験機が使われます。「耐がたつき性能」の検証には、大型車両に使用されるダブルタイヤによる「輪荷重走行試験」にて実フィールドに近い検証を行っています。

滑り抵抗試験（耐スリップ性能）

表面模様を摩耗状態（耐用年数を想定）にし、DFテスターR85などで滑り抵抗を確認する。

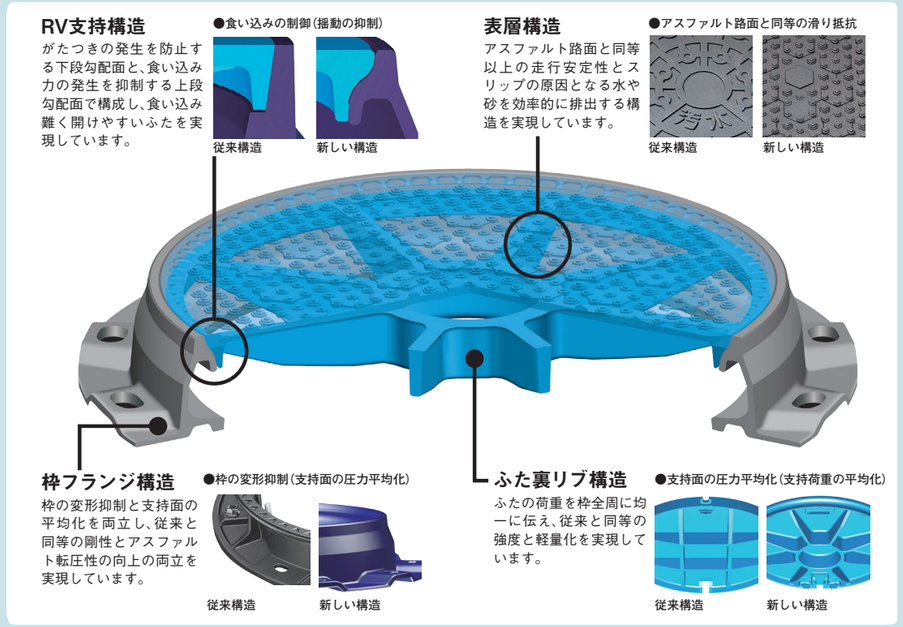


耐荷重試験（耐荷重強さ）

鉛直方向に荷重載荷し、耐荷重強さを確認する。

輪荷重走行試験（耐がたつき性能）

車道部のマンホールふたの耐用年数15年に相当する負荷が加わった状態を促進試験にて確認する。



◀「次世代型高品位グラウンドマンホール」４つの基本構造

次世代型高品位GMは、限界性能の考え方を一部採用した設計手法により長寿命化を実現しています。平成21年には日本下水道新技術機構から「建設技術審査証明」の交付を受け、耐用年数15年（車道部）の２倍以上の耐久性を有することが証明されました。普及促進に向けた高品協の活動が実を結び、現在では全国660都市を超える自治体で次世代型高品位GMが採用されています。

耐腐食性能の規定化、設置環境別の対策を
道路橋示方書の改定を踏まえ、試験方法を議論

道路領域の基準と足並みをそろえながら、取り巻く環境の変化に対応し、マンホールふたはその設計手法や性能を進化させてきました。次世代型高品位GMに関しては、上図に示した４つの基本構造によって高度な安全性能と長寿命化を実現していることに加え、降雪地域向けの「除雪車対応タイプ」、豪雨対策として大量の内圧排気を可能にした「グレートタイプ」といったラインナップも用意し、“適材適所”の技術開発・普及促進が図られています。

その一方で清水氏は、今後の課題として「腐食対策」を「積み残しの一つ」として挙げています。

「下水道管路施設の腐食対策において、マンホールふたについては研究や検証が進んでいません。ふたの腐食は硫化水素が主な原因ですが、硫化水素の濃度はマンホールの深さなどによって大きく異なるため、設置環境に応じた対策を考慮していく必要があります。当協会では毎年20～30個程度、腐食したふたの現地調査を行っており、将来的には耐腐食性能を規定化していきたいと考えています」（清水氏）

平成29年７月には、マンホールふたの設計で基準としている道路橋示方書の７回目の改定が行われました。制定以来、最も大幅な変更が加えられた今回は、長寿命化や耐久性の確保に関する規定が充実され、30年１月以降に着手する設計に適用されています。

「今回の改定では、耐久性確保に関する新たな考え方が示されました。これに対して、マンホールふた業界の取り組みがどこまで整合するのか、検討を進めています。新たな設計手法の導入はありますが、現時点ではこれまでのマンホールふたの設計方法・検証方法を変更しなければならないような影響はないと考えています。これを契機に議論を進め、長期にわたる『安全性能の確実性』と『経済性』の向上を図っていきます」（堀ノ内氏）

▲取材にご対応いただいた高品協技術委員の皆さん（左から清水孝氏、大波豊明氏、堀ノ内卓氏）

Interview ②

マネジメントサイクルの確立に向けて

下水道管路の効率的な維持管理と耐久性確保の取り組み――

国土交通省 水管理・国土保全局 下水道部
下水道事業課 事業マネジメント推進室 課長補佐※
村岡 正季 氏

執行体制の脆弱化、老朽化施設の増加、厳しい経営環境といった人・モノ・カネの課題を抱える下水道事業。この対応策を示すため、国土交通省は平成29年８月に「新下水道ビジョン加速戦略」を策定しました。その重点項目の１つに位置づけられているのが「マネジメントサイクルの確立」です。日常の維持管理の情報を蓄積し、いかに効率的な修繕、改築につなげていくか。今後の維持管理の大きなテーマであるとともに、耐久性確保の取り組みを進める上でも重要な考え方になります。同省下水道部下水道事業課事業マネジメント推進室の村岡正季課長補佐(当時)に、「マネジメントサイクルの確立」のねらいや、下水道管路に関する維持管理の現状と今後の方向性、耐久性確保に対するご見解などを伺いました。

※現 国交省下水道部下水道企画課課長補佐

維持管理を起点としたサイクルの確立へ 30年度に管路マネジメントのモデル事業も

――国交省が策定された「新下水道ビジョン加速戦略」（以下、加速戦略）では、８つの重点項目の１つとして「マネジメントサイクルの確立」が位置づけられ、その主要施策として「維持管理情報を活用した新たなマネジメントサイクルの確立と実践」が挙げられています。このねらいと、加速戦略を踏まえた今後の取り組みをご説明いただけますか。

加速戦略では、いわゆる人、モノ、カネの課題の解決に向けて重点施策を整理し、その施策の１つとして「マネジメントサイクルの確立」を位置づけました。老朽化対策の意味合いだけでなく、下水道事業の持続を実現させるための１つの方策であり、マネジメントサイクルを確立して効率的な老朽化対策を行うべきとの思想から生まれた概念です。

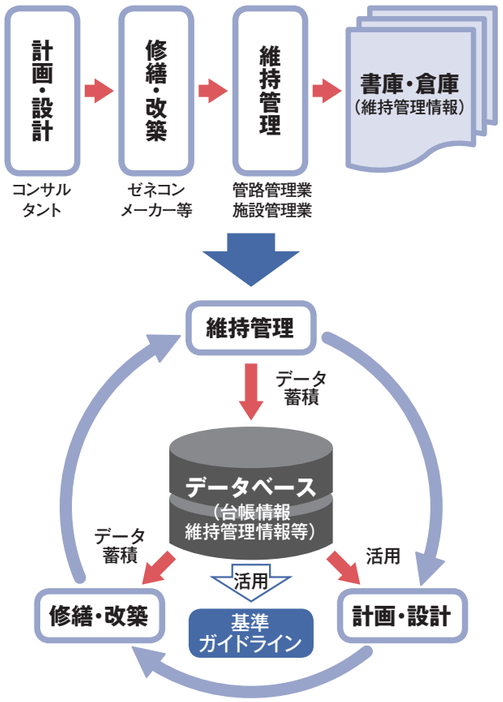
政令指定都市など大都市では既に自前で施設の情報をデータベース化し、比較的うまくマネジメントサイクルを確立、実践しているところもあります。しかし、中小都市の多くは施設情報をほとんど整理・蓄積できておらず、下水道法に定められた下水道台帳は持っていても、そこでとどまっており、データベース化は遅れている状況です。加速戦略のもととなった「新下水道ビジョン」（26年度策定）の議論にあたってデータベース化の状況を調査したのですが、台帳のデータベース化を終えている自治体は約７割で、維持管理情報が入っている自治体は全体の約２割に過ぎず、５万人以下の中小規模の自治体に限っては数％という結果でした。国交省の最新調査によると、少し数字が高くなりましたが、台帳のデータベース化を終えている自治体は約８割ですが、維持管理情報が入っている自治体は３割強という状況です。

マネジメントサイクルの確立ができない、すなわちなかなかストックマネジメントが進まない理由として、「ストックマネジメントは特殊なもの」と、どうしても自らハードルを上げてしまう市町村が多いことがあります。そこで加速戦略では、“維持管理を起点とした”というキーワードを掲げました。そこには、日常の維持管理情報を蓄積し、それをマネジメントサイクルにのせていくことから始めればよく、決して難しいことではないというメッセージを込めています。

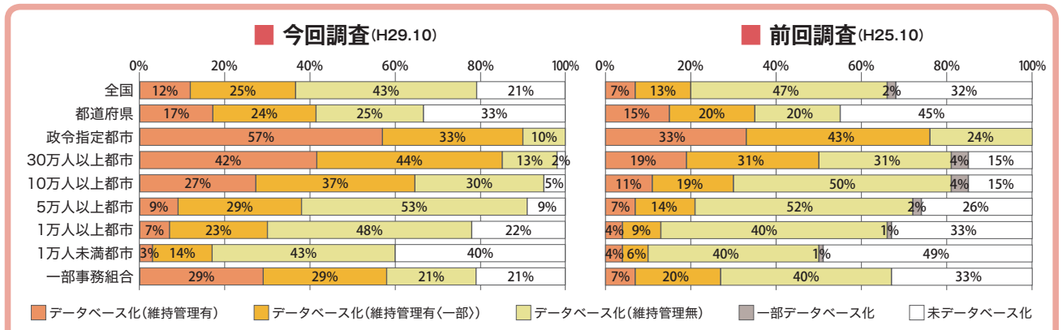
維持管理の情報は、各自治体で持っていることと思いますが、それらの情報は倉庫や書庫、もしくは担当者の机の引き出しの中に眠っていて活かされていない状況にあると考えています。そうした情報を活用して、うまくストックマネジメントにつなげていければ、点検や調査が省力化できるでしょうし、そうした情報がデータベースを中心に蓄積されれば自然とマネジメントサイクルができあがっていくのではないかと考えています。

加速戦略では、マネジメントサイクルの確立に向けて直ちに着手する新規施策としてモデル事業の実施を記載しています。昨今のICTの開発動向は非常にスピーディであるため、まず市場にどういうニーズや課題があるのかを認識しておく必要があると考え、29年度は基礎検討を行いました。そして、30年度から下水道革新的技術実証事業（B-DASHプロジェクト）の中でモデル事業を立ち上げて進めていきたいと考えていま

マネジメントサイクルの構築イメージ
（国交省「新下水道ビジョン加速戦略」より作成）



管路施設に関する下水道台帳のデータベース化状況（国交省資料より作成）



※データベース化：個々の管路施設の諸元等をGIS、台帳システム等のデータベースで管理するもの
※維持管理有：点検・調査履歴、調査結果（緊急度等）、改築履歴、修繕履歴の全てをデータベースで管理するもの
※維持管理有<一部>：点検・調査履歴、調査結果（緊急度等）、改築履歴、修繕履歴のいずれかをデータベースで管理するもの
※一部データベース化：データベース化済みの処理区と、未対応の処理区が混在するもの

す。施設の情報は当然ですが、清掃や点検、修繕や改築の履歴、地域住民の苦情も含めた維持管理情報をデータベースに蓄積し、次の修繕や改築に活かす試みです。現在、点検の頻度を定量的に示しているのは、点検を義務付けている腐食の恐れがある管路施設のみです。しかし、27年度末現在の全国の管路総延長約47万kmのうち、腐食の恐れのある管路延長は5000km程度ですから、46万km以上の管路の点検については各自治体が適切な時期に適切な方法で行うことにしかなっていません。モデル事業を通じて、最終的にはそうした部分の定量的な頻度の考え方をお示ししたい思いもあります。

優先度設定のガイドライン策定を視野に
管路、マンホール、ふたの一体的管理で効率化

――維持管理情報を蓄積したデータベース化が遅れているため、点検・調査や修繕・改築の優先度が適切に設定できない悩みを持つ自治体もあると思います。優先度の設定方法について国のご見解を教えてください。

優先度の設定にあたっては、地域性や使用条件なども考慮しなければならないので、基本的には各自治体の判断でやっていただくべきだと考えます。ただし、大都市と中小都市ではそもそも施設のストック量や供用期間が異なるため、なかなか１つの市町村や管理者だけで設定することが難しい場合もあります。そこで先に説明したモデル事業等を通じて情報を集め、優先度が設定できるようガイドライン等で目安をお示しし、水平展開を図っていきたいと考えています。

そのためにも、モデル事業ではデータ量を増やしていけるような提案を求めたいと思っています。目安を設定するには、どうしても１つの市町村だけではデータ量が不足するので、例えば県単位などのまとまりで情報を吸い上げ、スクリーニング調査などに応用できないかと考えています。

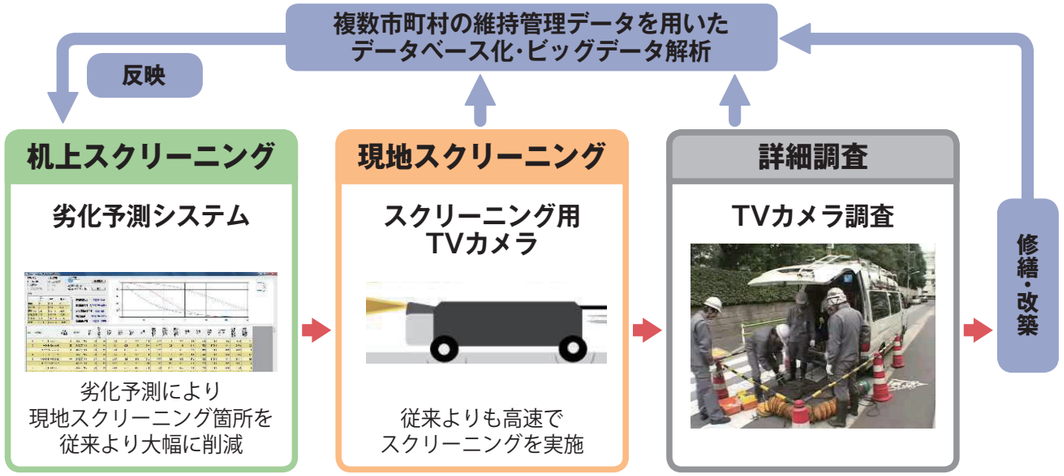
――維持管理情報の蓄積、データベース化の遅れについては、マンホールふたに関しても顕著になっています。そのため不具合があると事後対応になっているのがほとんどで、きちんとやりたいという自治体でも何からどうやって始めればいいか悩まれています。

マンホールふたは下水道施設の中でも特殊です。内部では腐食環境や、内圧による飛散の危険もありますし、一方、道路側ではスリップが起こる可能性があります。非常にリスクが高い施設と言えます。しかし下水道台帳の中で明示の義務がないため、どこにどのような種類のマンホールふたが設置されているかを把握できていない自治体もあるようです。まずは施設がどこに、いくつあるかという基本的な情報を蓄積していただかないと、その次のステップにはなかなか進まないと思います。場当たり的に住民からの苦情を対処していくとなると、予算等の面でも対応できないこともありえます。まず自らの状況を知っていただくことが１つの大きなステップですし、それも含めて維持管理情報のデータベース化を進めていただければと思っています。

点検や調査に関しては、下水道施設ですべて同じ対応が必要かというと、そうではありません。ふたも同じです。常に状態を見ておかなければならない重要な箇所と、交通量が多くない、腐食が少ないなどの箇所を、同じ頻度で点検する必要はないと思います。また、施設状況を把握するための調査でも、管路、マンホール、ふたをそれぞれ分けて行うと三度手間になりますので、一体的に行うなど効率的に進めていただきたいと思います。

【むらおか・まさき】
平成9年3月北海道大学衛生工学科卒、同年４月～19年3月民間企業（上下水道プラントメーカー）に在籍。19年４月日本下水道事業団採用、26年東日本設計センター機械設計課（課長代理）、29年4月より現職。さいたま市出身。

平成30年度下水道革新的技術実証事業（B-DASHプロジェクト）
新規実証技術例「ICTを活用した効率的管路マネジメント技術」（国交省資料より作成）



――効率的な維持管理に向けて、国ではAIやロボット、センシング、ビッグデータ、IoTなどの技術活用も検討されています。

技術者不足を補うためのロボットやAI技術、施設の劣化を自動的に感知するセンシング技術など、活用できるものは活用していきたいと考えています。ただ開発スピードが非常に早いので、これはいいなと思っているうちに、次々と新しい技術が出てきます。国交省としてもタイムリーに施策を決めるため、先々を見越して取り込んでいく必要があると考えています。

今までの下水道技術開発はどちらかというと、もっとローテクというか、堅牢な古い技術だけど長持ちさせることに重きが置かれていました。これからは最新技術を下水道に活用することが必要な時代になってくると思います。

下水道管路メンテナンス年報を公表
点検や対策先送り等の課題も浮き彫りに

――道路領域では、設計の技術基準である道路橋示方書が改定され、30年１月より適用されています。耐久性の確保に関する規定が充実された点が改定のポイントですが、下水道管路領域での耐久性確保に向けた取り組みや今後の課題について教えてください。

耐久性の確保が必要との背景から、27年度に下水道法を改正して「維持修繕基準」を創設し、腐食の恐れのある管路については５年に１回の点検を義務付けました。これを受け29年11月には「下水道管路メンテナンス年報」を公表しました。これは、腐食の恐れのある管路延長約5000kmの点検状況を中心に、点検・調査の実態を広くお示しする内容になっています。

初めての公表だったこともあり、今後の課題がいくつか浮き彫りになりました。その１つが腐食の恐れのある管路の点検の実施率が非常に低かったことです。５年に１回の点検頻度であるため、事業の平準化という観点からも２割には届いて欲しかったのですが、10％程度にとどまってしまいました。結果を見ると、最終年度の５年目に多くの点検を残している自治体も多かったので、そうした自治体に対しては、もう少し前倒しして事業の平準化を求めていきたいと思っています。

繰り返しになりますが、維持修繕基準で点検を義務付けている施設にはマンホールも含まれています。マンホール本体だけ見て、ふたを見ないというのは片手落ちになると思いますし、同じタイミングで点検できる箇所ですので、マンホールとマンホールふたの一体的な点検は必要不可欠だと思います。そもそもマンホールふたが開かないという話もよく聞きます。その時点で点検ができないことになるので、何らかの対策が必要になるかと思います。

さらに、点検が調査まで結びつかないことも課題です。点検をして異常があった箇所を調査する流れにな

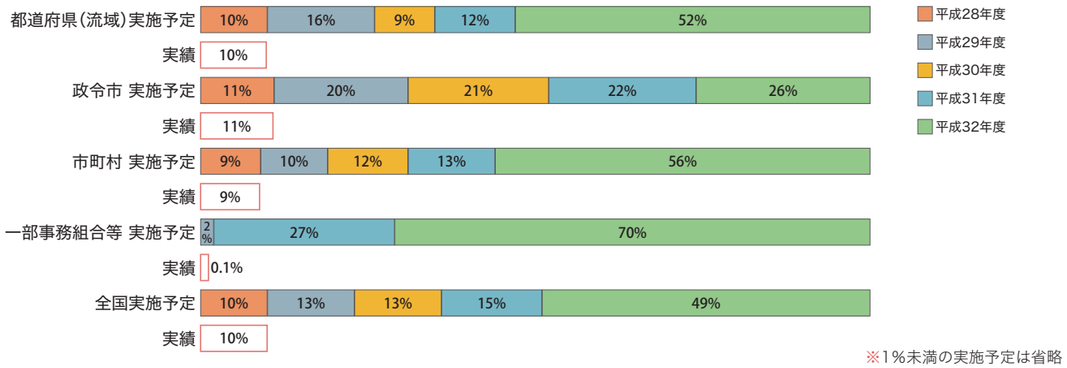
平成28年度における下水道管路の点検実施状況（腐食のおそれの大きな箇所）

（国交省「下水道管路メンテナンス年報」より作成）

■ 管きょの点検延長

集計区分	対象数	点検実施数	点検実施率
管きょ（km）	5,016.9	490.1	9.8%

■ ５年間の点検実施予定および実績（全地方公共団体合計）



※1%未満の実施予定は省略

りますが、点検時に異常が分かっていながら、調査を実施できていないところもあり、こうした箇所は速やかな調査を促していきたいと考えています。

また、速やかに措置する必要がある「緊急度Ⅰ」と判定したにもかかわらず、対策が先送りになっている箇所もありました。予算の制限といった理由もあるのかもしれませんが、「緊急度Ⅰ」と判定した以上は早急に対策をする必要があります。ユーザーに対して予算がないから実施できないという言い訳は通用しないと思います。

すべて延命化ではなく、高耐食性部材の採用もスリップや錆に耐久性の高いふたは有効

――管路更生ではガイドラインが改訂され、50年の耐用年数を確保するために一部の試験方法が変更されました。ふたに限らず、下水道管路施設の耐用年数確保の取り組みについてはいかがお考えでしょうか。

耐用年数を延ばす、施設を延命化するという考え方は当然あると思います。一方で標準耐用年数という現時点における評価指標もあるので、一概にどちらかだけとは言えませんが、コンクリート構造物は50年、マンホールふたにおいては車道部15年、その他は30年という標準耐用年数を少しでも伸ばしていく動きは評価したいと思います。実際、100年近く使っている管路もありますし、逆にもっと短いところがあるのも実態です。長く使える箇所は長く使っていただき、腐食リスクの高い箇所についてはある程度短いスパンで交換していただく。すべて延命化ではなく、こうした優先度の付け方も重要だと考えます。

――耐久性確保というと、特に下水道分野では後から対策を講ずることが中心になっていますが、そもそも初めから耐久性に優れたものを使うなどの考え方についてはいかがお考えでしょうか。

ノーメンテナンスということは難しいでしょうけれど、特に腐食が想定される箇所などで耐食性に優れたものを初めから採用しておき、万が一の時に備えることは有効な手段だと思います。どうしても後付けというか、対処療法的にやると、予算や人の問題で適切な時期に対応できない可能性もあります。レジンコンクリートのような耐食性の高い材料や防食ふたなどを採用していくことも有効な手段だと思います。

――マンホールふたの耐久性確保に関するご見解をお聞かせください。

マンホールふたは、一般市民が接触する数少ない下水道施設の１つと認識しています。その分、劣化が進んでしまうと、スリップやがたつき、浸水時の飛散など一般市民に直接影響をおよぼす可能性があります。そうした中で防食性に優れ、耐久性の高いマンホールふたはあって然るべきものだと思います。錆びやすさやスリップを考慮すれば耐久性の高いふたが開発されるのは当然のことですし、有効な取り組みの１つだと思います。

管路施設は耐用年数が長いため、つくったらそのままになっている傾向があり、どちらかというと耐用年数の短い処理場やポンプ場の設備に注目が集まります。そんな中、維持修繕基準の創設などで管路施設にも目を向けていただくよう努めていますが、マンホールふたは耐用年数が短いものの、忘れられがちな施設で、自治体からもどうやって対応していいか分からないといった声も聞かれます。国としても何らかの取り組みを行う必要があると考えています。

▲腐食により段差が生じたマンホールふた

話は逸れるかもしれませんが、今、マンホールカードに注目が集まっている中で、マンホールふたのスリップや飛散といった事故があると、ブームに水をかけてしまうことになりかねません。その意味からも施設の安全性を確保する視点は重要だと考えています。

――防食ふたに関してですが、コンクリート構造物のように防食性能が体系的に整理されておらず、性能確認の方法が各メーカーで異なるため、地方公共団体からはどう評価してよいか分からないといった声が聞かれます。

一律の基準、方法で評価していくことは重要だと思います。評価基準や方法が異なると同じ土俵で比べられず、そこにコストの軸も入ってくると、何が良くて何が悪いのか、価格だけで評価されかねません。評価条件は一律にしておいたほうが、使う側としては使い勝手がいいと思いますし、ひいては一般市民の方の利益にもつながると思います。例えば評価の一律化に関する提案があれば力になれるところは力になりたいと思います。

効率的な維持管理へ各業態の連携密に

――最後に効率的な維持管理に向けた今後の国の方向性について総括いただけますか。また、業界へのメッセージも一言お願い致します。

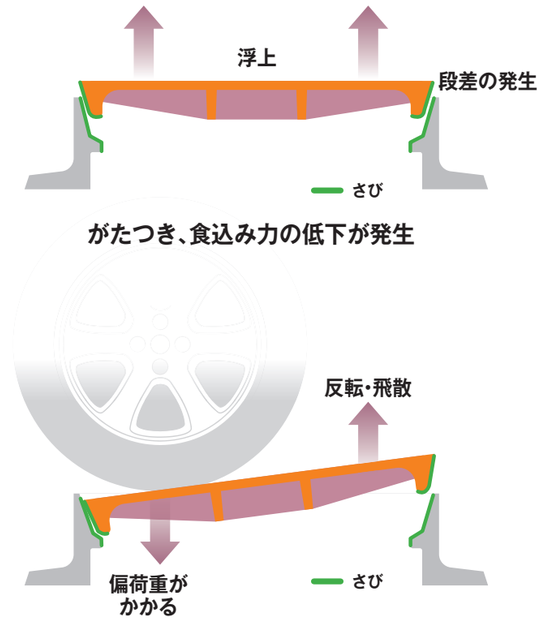
加速戦略でお示しした「マネジメントサイクルの確立」は、ストックマネジメントを進めていく上での１つの施策に過ぎません。国交省では、ストックマネジメントを自発的に取り組んでいただく環境づくりとして勉強会や「SM通信簿」などにも取り組んでいますし、下水道管路メンテナンス年報や全国データベースなどによる国民への発信も重要と考えています。また、将来的にはICT等による省力化や簡素化も進めていければと思います。

個人的には、ある程度データが蓄積されて施設や設備の傾向が把握できれば、すべての施設が時間計画保全で管理できる時代も訪れるのではないかと考えていますし、そのほうが効率的です。既にある自治体では経済的耐用年数という考え方を取り入れています。標準耐用年数に縛られずに、維持管理の手間も考慮したライフサイクルコストを把握して修繕、改築につなげていく。それがやがてストックマネジメントサイクルに乗って、スパイラルアップが図られていく。こうした方向に進めていければと思います。

管路施設は建設や維持管理、改築更新などの業態が独立しているように感じます。もっと連携を密にしていただけると、一気通貫で効率的な維持管理や修繕・改築がまわっていくと思いますので、自らと立ち位置の違う業界の方々とも積極的に意見交換を図っていただけると幸いです。

――ありがとうございました。

【参考】マンホールふた勾配面の腐食によるがたつき、浮上・飛散のメカニズム



優れた耐久性と高強度を持つ

レジンコンクリート

プレキャスト化で生産性の向上にも貢献

セメントや水を一切使用せず、合成樹脂（液状レジン）によって骨材を固めてつくる「レジンコンクリート」。優れた耐久性を持ち、その高強度ゆえに製品の薄肉化・軽量化が可能になるため、通信分野をはじめ上水道や下水道など、インフラの様々な場面で使われています。

▲セメントコンクリートに対して高い耐酸性を有するレジンコンクリート
【強酸性（pH1.5）温泉浸漬結果】

セメントや水を一切使わず、樹脂を結合材とした「コンクリート」

昭和20年代後半、電電公社（旧日本電信電話公社、現NTT）が世界に先駆けて研究に着手し、30年代中盤に実用化されたレジンコンクリート。通信用のマンホールやハンドホール（マンホールより小さい点検用の孔）の材料として普及が進んだ後、電線共同溝や上下水道などのインフラに適用範囲を拡大させていき、様々な用途に活用されています。

セメントコンクリートがセメントと水の水和反応でつくられるのに対し、レジンコンクリートはこれらを一切使用せず、合成樹脂（液状レジン）を結合材として、骨材（砂利、砂、充填材）を固めてつくられます。液状レジンには硬化時間が自由に調整できる不飽和ポリエステル樹脂が用いられることが一般的で、用途によってエポキシ樹脂やアクリル樹脂なども使用されます。

優れた耐久性、高強度で軽量化 省資源化やCO_2排出量の削減も

水とセメントが主な材料のセメントコンクリートは、安価に製造できるというメリットを持つ一方、劣化現象が起きやすいという弱点があります。たとえばアルカリ性のセメントの内部に空気中のCO_2が入ることによって起きる「中性化」が進行すると、鉄筋が錆びて膨張し、コンクリートの全体の劣化につながります。コンクリート中のアルカリ成分が反応性を有する骨材と反応して異常膨張が生じる「アルカリ骨材反応」も、ひび割れを引き起こす原因です。

一方、レジンコンクリートではこうした劣化現象は起きません。液状レジンの強固な結合力によって骨材が密実に固められているため、優れた耐久性を持っています。また、セメントコンクリートに対して圧縮強さは３倍以上、曲げ強さや引張強さは５倍以上と、高い強度があることから、製品を薄くしたり軽くしたりすることが可能です。このため省資源化や、製造・輸送・設置におけるCO_2排出量の削減にもつなげることができます。

▲腐食が進行したコンクリートマンホール

▲レジンマンホールによる更生例

下水道分野での実績が増加 マンホール更生や推進工法で採用

「レジンコンクリートは開発された当初、画期的な材料ではありましたが、普及拡大を図る上では価格や鉄筋が入っていないという構造が課題になりました。実用化から50年以上をかけ、価格面や構造面での課題を克服しつつ、セメントコンクリートに対して付加価値の高い分野で少しずつ、市場を開拓してきた経緯があります」と話すのは、日本レジン製品協会の守屋洋会長です。

同協会がまとめた平成26年度のレジンコンクリート製品の分野別実績では、全体の２万9589tに対して情報（通信・電力・共同溝）が最も多く１万1038t（37.3％）、次いで上水道が9015t（30.5％）、下水道が7882t（26.6％）。この３分野で95％近くのシェアになっています。また、近年（平成23～26年度）の推移を見ると、下水道分野がその実績を伸ばしていることがわかります。

下水道分野では、硫化水素による腐食などによって耐荷力が低下したマンホールの内側に、レジンマンホールを入れて更生する工法が注目されています。レジンコンクリートは耐薬品性に優れており、特に硫化水素に起因する硫酸腐食にはきわめて高い抵抗性があるため、腐食の激しい環境でも優れた効果を発揮します。

この工法は、（公財）日本下水道新技術機構の建設技術審査証明を受けています（平成26年３月）。円形１号（φ900）と円形２号（φ1200）のマンホールを対象とし、更生用のレジンマンホール単体で自立強度を有するほか、耐震レベル１、２の地震動にも対応します。既設マンホールの劣化状態や施工のバラツキによる影響が小さく、布設替えをせずとも、新設のレジンマンホールと同等の耐久性が確保される技術です。

管きょの推進工法でも、レジンコンクリートは使われています。高強度を利用して管厚を薄くすることで、セメントコンクリート製のヒューム管の場合と比べて、外径や推進機をサイズダウンできるというメリットがあるためです。管内面が滑らかでヒューム管より３割程度、水が流れやすい特徴も持っているため、さらに内径を小さくすることも可能。管材の単価はヒューム管より高いものの、推進費や立坑費も含めたトータル工事費で見ると、レジンコンクリートのほうが安くなるケースがあるといいます。

水路トンネルの補修でも活躍 無電柱化推進で共同溝の市場拡大

近年、案件が増えてきているレジンコンクリートの適用事例としては、水道事業や農業用水、水力発電の「水路トンネル」での活用があります。レジンコンクリートのパネルを水路の内壁に貼ることで、既設コンクリートの劣化や目地損傷などを補修・補強する工法です。既存施設の長寿命化を図るとともに、水が流れやすい特徴を活かした通水能力の向上も期待されます。

また、電線の地中化で使用するレジンコンクリート製の「電線共同溝特殊部」（C・C・BOX）はこれまでに３万5000基以上の納入実績があり、平成28年12月に「無電柱化の推進に関する法律」が施行されたことで、そのニーズはさらに高まりを見せています。

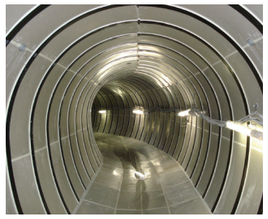
「無電柱化に関しては、ライフライン系では唯一、新設の市場が拡がっていくと思います。ただ、電線地中化は非常に大きな費用（１kmあたり約５億円以上）がかかりますので、我々の業界としてもコストダウンが課題となっています」（守屋氏）

高い施工性、分割して現場で接着 プレキャストで生産性向上に貢献

レジンコンクリートは、施工性の高さも大きな特徴の一つです。大半が工場製作の「プレキャスト」で、成形は常温２時間程度で完了します。短納期が実現し、現場作業が少ないため工期短縮も図れます。また、セメントコンクリートに対して1/2～1/3の重量のため運びやすく、施工条件が厳しい場所でも製品を分割して現場で接着すれば、大きい構造物をつくることも可能に。レジンは接着性が高いため、接着部も本体と同じ強度を保つことができるのです。

「コンクリートのプレキャスト化は、国土交通省が生産性向上のため取り組む『i-Construction』でも推進されています。レジンコンクリートの特徴は、そうした動きと一致するものと考えています」（守屋氏）

インフラの長寿命化や耐久性の確保に加え、生産性向上への貢献も期待されるレジンコンクリート。老朽インフラへの対策が急がれる今、その活用が求められる材料と言えるでしょう。今後は炭素繊維との複合材料の開発など、さらなる材質の高度化についても進められる予定です。



▲レジンコンクリートのパネルで水路を補修。表面が滑らかなため通水能力の向上が期待される

▲電線共同溝特殊部（C・C・BOX）接着部も本体と同じ強度を保てる

■ **国内レジンコンクリート製品実績表**（日本レジン協会調べ）

（単位：t）

分野	用途	H23	H24	H25	H26
下水道	パイプ	3,430	3,823	4,531	5,366
	マンホール	1,405	1,283	1,222	1,536
	小型マンホール	1,041	1,034	981	980
	小計	5,875	6,140	6,735	7,882
上水道	水道用下桝	8,031	8,285	9,331	9,015
情報	通信・電力・共同溝	11,346	9,237	11,237	11,038
景観（車止め、溝蓋等）		622	514	555	605
その他		1,025	948	1,365	1,049
合計		26,899	25,124	29,223	29,589

日本レジン製品協会 守屋 洋 会長

昭和52年3月北海道大学工学部土木学科卒、同年4月日本電信電話公社（現NTT）に入社。平成20年6月に退職し、同年7月にレジンコンクリート製品の製造販売を手掛ける㈱サンレックに入社、同25年9月から代表取締役社長。同26年6月からは日本レジン製品協会の会長も務める。

腐食環境下での
耐久性向上に向けた対策事例

マンホールふたの腐食対策

株式会社G&U技術研究センター

【執筆】
研究開発部
宮田 義一

マンホールふたの腐食は、安全上の様々なリスクを引き起こします。たとえば、腐食によってふたと受枠に段差が生じると歩行者の支障となり、車両通行でふたが飛散することにもつながりかねません。錠や蝶番が腐食して機能不全に陥ると、豪雨時にふたが浮上・飛散する危険性が高まります。そのため腐食対策がなされたふたを使用することで、改築サイクルが長くなり、ライフサイクルコストの低減につながるものと考えます。

ここでは、防食工法をはじめとするマンホールふたの腐食対策をご紹介するとともに、ふたの腐食のメカニズムや、腐食対策に関する今後の方向性などをまとめました。

塗装、めっき、溶射、ライニング材料置換や中ふたによる対策も

金属分野の防食工法は、一般的に「被覆防食」「材料置換（耐食金属）」「電気防食」「インヒビター」の４種類に大別され、このうちマンホールふたには被覆防食と材料置換が妥当と考えられます。電気防食では流電用の設備が必要になるため、ふたに適用するのは現実的ではなく、インヒビターに関しては腐食抑制剤を添加することから、下水環境では使用できないためです。

被覆防食には、主に「塗装」「めっき」「溶射」「ライニング」があります。

「塗装」のうち「電着塗装」は、エポキシ系やアクリル系などの塗料に浸漬し、高電圧をかけて被覆する方法で、形状の複雑なところでも均一に塗装することが可能です。一方、「粉体塗装」は、エポキシ系やアクリル系などの樹脂を粉状のままエアガンなどで吹き付けて被覆する方法で、塗膜を厚くできることが特長です。被覆方法の用語ではありませんが、数百μm以上の塗装は「厚膜塗装」と呼ばれることがあります。

「めっき」には「電気めっき」と「溶融めっき」があり、膜厚を厚くできる溶融めっきが防食用として多く使用されています。

「溶射」は、溶融した金属を粒状のまま吹き付けて被覆する方法です。粒と粒の間に空孔（空気の穴）ができることから、粘度の低い塗料を染み込ませて封孔処理を行うことが必要になります。封孔処理の後にさらに塗装するのが一般的で、一種類の塗料で封孔と塗装を同時に行う場合もあります。

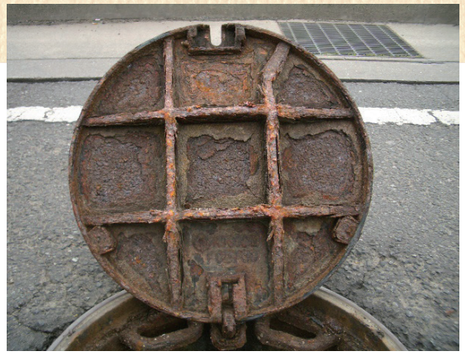
明確な基準はないものの、一般的に被覆材の厚さが1mm以上のものを「ライニング」と呼びます。「シートライニング」は、ポリエチレンやポリプロピレンなどの樹脂をシート状に成形して張り付ける手法です。「常温硬化ライニング」では、エポキシ樹脂やポリエステル樹脂などを塗り、常温硬化させて皮膜を形成します。

材料置換では、耐食材料としてステンレス鋼が多く使用されています。また用途によっては、ニッケル合金やチタン合金が使われることもあります。

上記の一般的な手法をベースにマンホールふたに適した被覆防食と材質置換を検討する必要があります。

このほか、マンホールふたの防食対策として、ふたの内側に「中ふた」を設置する手法も採用されています。管路内の環境とふた近傍の環境を遮断することで、ふたの裏面と硫化水素との接触が避けられ、腐食を抑制することが期待できます。

また、塩害等が懸念される場合は、ふた表面に防食対策等を施す場合があります。

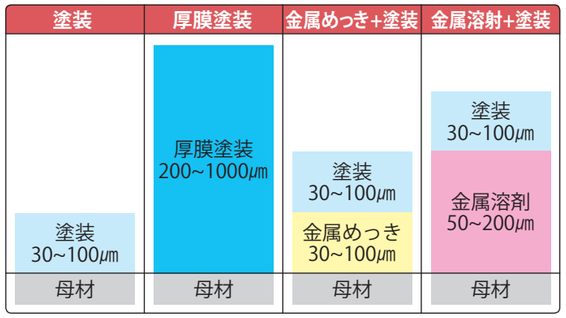


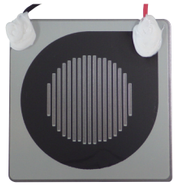
▲腐食が進んだマンホールふた

■ 金属分野における防食工法の種類と原理

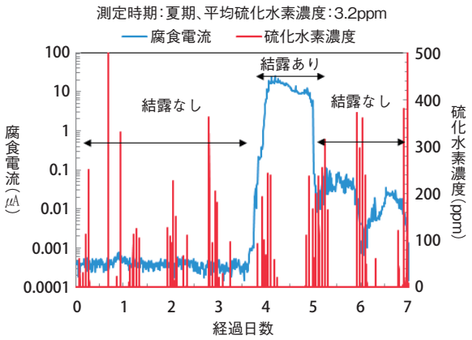
防食工法	原理
被覆防食	腐食する金属を周囲の環境から遮断する方法。有機物皮膜、無機物、金属などを被覆して、対象金属を防食する
材料置換（耐食金属）	金属材料そのものを、耐食性の高い金属に置き換える方法
電気防食	対象金属に外部から電流を流し、腐食速度を低下させる方法
インヒビター	腐食する金属を周囲の環境から遮断する方法。有機物皮膜、無機物、金属などを被覆して、対象金属を防食する

■ 被覆防食工法の断面構造





▲ACMセンサ



▲ACMセンサで計測した腐食電流と結露の関係
結露の発生が腐食に影響

マンホールふたの腐食メカニズム 水分が存在する環境で腐食は進行

マンホールふた裏面の腐食は、「硫化水素を起因とする酸による腐食（酸性腐食）」と「酸素と水による腐食（中性腐食）」に分けることができます。両者に共通しているのは結露が生じることです。水分が存在しない環境下では腐食は進行しません。

酸性腐食とは、下水環境特有の硫化水素を起因とした腐食のことです。酸による腐食では、結露水中に硫化水素が溶けこみ、硫黄酸化細菌の働きで硫酸が生成します。硫酸は水素イオンと硫酸イオンに解離し、腐食原因物質である水素イオンが防食層へ浸透して、母材（鋳鉄）まで到達すると腐食が始まります。母材の表面には酸化鉄などが生成し、赤錆で表面が覆われた状態になるのです。

一方、中性腐食とは、金属特有の酸素と水のある環境下の腐食のことです。酸素と水による腐食では、結露で生成した水膜中に酸素が溶け込み、これが腐食原因物質となって防食層へ浸透します。溶存酸素が母材まで到達すると、溶存酸素還元反応による腐食が進行し、母材の表面は赤錆で覆われた状態になります。

環境の腐食性をモニタリングするためには、腐食が起きると流れる電流（腐食電流）を計測する「ACMセンサ」が活用されています。硫化水素濃度や温度・湿度なども同時に測り、それらと腐食電流の相関関係を見ることが可能です。上のグラフでは、前半の結露がない時は0.001μA以下であり、後半に結露が発生すると電流が増加して10μA以上になっています。5日経過以降、再び結露がなくなると急激に電流が低下しており、結露の発生が腐食に影響していることが、如実に見て取れます。

明確な性能評価の基準化が課題 設置基準を整備する必要も

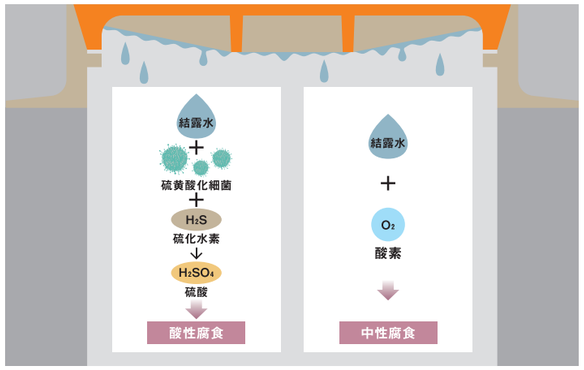
マンホールふた裏面の腐食対策に関する今後の課題としては、明確な性能評価の基準化が挙げられます。

現状、防食ふたの性能確認の方法は各メーカーで異なるため、自治体が積極採用するに至っていません。

金属一般の腐食性評価で用いられているのは、塩水噴霧試験ですが、マンホール内は硫化水素と微生物の働きで硫酸酸性の環境になるため、ふたは硫酸浸漬試験による検証が有効な手段の一つです。

腐食環境別の設置基準を整備することも、今後の課題です。下水環境におけるコンクリート構造物の腐食に関しては、硫化水素濃度を指標とした環境分類（Ⅰ～Ⅳ類※）を行っていますが、マンホールふたに関しても、こうした分類に応じた設置基準の整備が必要だと考えています。

マンホールふたはコンクリート構造物と異なり、水と酸素によっても腐食が進行するため、硫化水素が発生しない環境であっても安心できません。このため、硫化水素濃度による環境分類と、結露の有無や湿度などを指標とした環境分類を併用して、設置基準を整備していく必要があります。当社では、マンホールふたの腐食環境に応じた最適な対策についてのソリューション提案を行っておりますので、お気軽にお問い合わせください。



▲結露は外気温（蓋の表）と管路内（蓋の裏）の気温差によって発生しやすい
塗膜に傷やはがれがあるとより腐食が進行する

※「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」（編著：地方共同法人日本下水道事業団、発行：一般財団法人下水道事業支援センター／平成24年４月）

下水道管きょの効率的な維持管理

～スクリーニング調査技術の開発～

全国で47万kmに上る管きょの維持管理をいかに効率的に行うかが下水道事業の大きな課題となっています。こうした中、管きょ内の状態を効率的に点検・調査する技術の開発やスキームの検討が進められています。その最新動向や適用状況、実際の点検・調査を通じて得られた管きょ内腐食に関する知見などについて、公益社団法人日本下水道管路管理業協会（＝管路協）の伊藤岩雄氏と飯島達昭氏にお聞きしました。

▲腐食が進んだ管きょ内部

「管きょマネジメントシステム技術」スクリーニングと詳細調査

国土交通省国土技術政策総合研究所は平成25年度、下水道革新的技術実証事業（B-DASHプロジェクト）として、地方公共団体が抱える膨大な管きょストックの効率的な点検・調査並びに維持管理を図る「管きょマネジメントシステム技術」の実証研究を行いました。これは、「調査計画の策定→巡視・点検→管内調査→改築（長寿命化）、修繕→調査計画への反映」といった管路管理の流れ（PDCA）を適正に管理するシステムで、核心部分となる管内調査に「スクリーニング調査技術」と「詳細調査技術」を位置づけています。スクリーニング調査とは、広範囲にわたる管きょを迅速に調べ、緊急的対応が求められる異常の発見や、詳細調査の対象箇所の絞り込みを実施するもの。一方、詳細調査とは、対象箇所を詳しく調べ、異常の程度を見極めて改築・修繕等の対策を判断するための情報収集を行うものです。これらを組み合わせることにより、低コストかつ迅速に、管きょの異常判定と緊急度判定を行うことが可能になっています。

▲管きょマネジメントシステムのPDCAサイクル

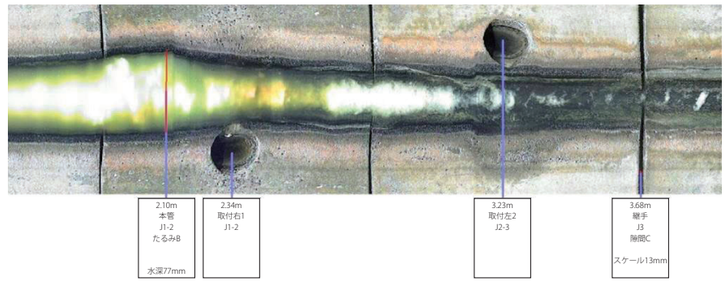
▲管口カメラ

管口カメラと展開広角カメラ

B-DASHプロジェクトでは、「管口カメラ」「展開広角カメラ」「画像認識型カメラ」「衝撃弾性波検査法」「管路形状プロファイリング」「傾斜計測計」といった技術の効果が実証されました。なかでも管清工業㈱・㈱日水コン・八王子市共同研究体が取り組んだのが、「管口カメラ点検と展開広角カメラ調査及びプロファイリング技術」です。管口カメラはスクリーニング調査技術として、展開広角カメラとプロファイリング技術は詳細調査技術として位置づけられています。

▲展開広角カメラ

管口カメラは伸縮可能な操作棒の先にカメラとライトをつけた機器で、地上からの操作で点検・調査を行うことができます。マンホール内に入らないため安全性が高く、調査の日進量を飛躍的に向上させることが可能です。管口カメラは阪神淡路大震災の際、広範囲にわたる被害状況を効率的に調査するため、国内で初めて使われました。その後、利用事例はそれほど増えませんでしたが、B-DASHプロジェクトを機に徐々に認知度が高まり、普及が進み始めています。機器の改良も進展しており、最新式のものはカメラの角度を調整する機能やズーム機能が向上し、より遠くまで鮮明な画像が得られるようになっています。



▲展開広角カメラで撮影した管きょ内部の展開図

展開広角カメラは画角190度の広角レンズを搭載したテレビカメラ機器です。管内走行と同時に管内の展開画像を作成するため、管壁面の状況を容易に把握でき、日進量は450mと従来のテレビカメラの約1.5倍とされています。

腐食のおそれの大きい管きょの点検状況は約１割

管きょ内の状況を効率的に点検・調査する技術開発が着実に実施されている一方、全国の自治体における管きょの維持管理の取り組みは現在、どのように進められているのでしょうか。

国土交通省は下水道法に基づき、下水道管理者に対して、腐食のおそれの大きい管きょを５年に１回以上点検することを義務づけていますが、これに関して平成29年11月、平成28年度の実施状況を公表しました。それによると、全国の管きょのうち腐食のおそれの大きいものは約5000kmで、点検実施率は約１割（約490km）にとどまることが明らかになりました。

飯島氏は地方公共団体における管きょの維持管理の取り組みが、遅れていることを危惧しています。「財政的、人的に余裕がない中小都市ほど維持管理に手が回らないようです。布設後あまり年数が経過していない間は維持管理をしなくても良いと考えている自治体もありますが、本来は損傷の程度が小さいうちに発見して対処することが、管きょの寿命を伸ばす上で重要です」

▼管路協・伊藤岩雄氏

管きょが腐食環境にあるときはふたも腐食している

「腐食のおそれの大きい箇所」としては、維持管理指針等に「圧送管の吐き出し先」「段差・落差の大きい箇所」「伏越し下流部」などが例示されていますが、腐食度合は実際に調査をしてみないとわからないことが多いようです。

「圧送管の吐き出し先はほとんど硫化水素が発生しており、そのまま放置すれば必ず腐食が進む環境と言えます。一方、段差や落差の大きい箇所や伏越し下流部では、硫化水素が発生しているところと発生していないところがあります。これは上流部の下水の流下、滞留状況などが影響するからです。どういう場所で硫化水素が発生するのか、逆に例示された箇所以外にも腐食しやすい環境はないのか。そうしたことを把握するためにも、できるだけ早期に点検・調査を行うべきだと考えています」

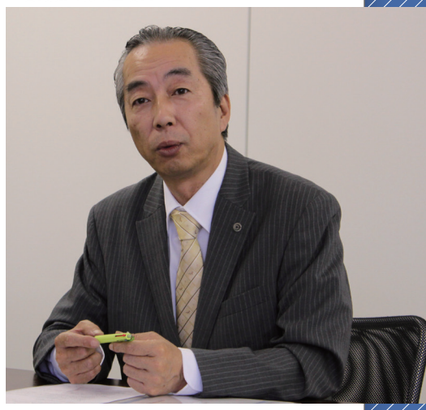
さらに飯島氏は「管きょが腐食環境にあるときは、マンホールふたも腐食していることが多い」と指摘。「ふたと受枠の勾配面が腐食して肉厚になると、ふたを開閉しづらくなるため、現場では苦労します」と話しています。マンホールふたの点検・調査はともすれば見逃されがちですが、こうしたことを踏まえると、その重要性が改めて認識されます。管きょと合わせて実施することによって効率化を図るなど、対策が求められるところです。

適正な維持管理に向け活動災害支援協定にも注力

管路協では、下水道管きょの適正な維持管理のために、資格試験等を通じた技術者の養成や研修会・講習会の開催、積算資料や維持管理マニュアルといった図書の刊行、新技術支援事業を通じた会員の技術開発の側面支援など、様々な活動を展開しています。

「近年では災害発生時に迅速な復旧支援活動ができるよう、自治体との災害時支援協定の締結にも力を入れており、協定締結数は143件（平成29年12月1日現在）に上ります。管路管理に関わる全国的な公益法人として、当協会の重要な役割だと考えています」(伊藤氏)

▼管路協・飯島達昭氏



Storytellers

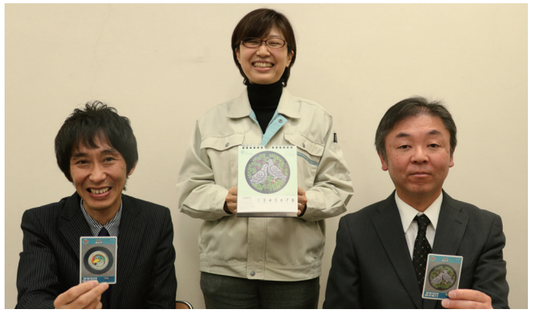
マンホールふたの語り部たち

マンホールカードがもたらしたもの
自治体に聞く、その役割と効果

平成28年４月、第１弾として30種類（28自治体）の配布が開始したマンホールカード。「配布場所は１種類１ヵ所」「１人１枚まで」といったコレクター心理をくすぐる仕掛けと、「マンホールふた」をモチーフとした珍しさもあって人気が沸騰し、新聞、雑誌、テレビなど様々なメディアで取り上げられています。平成29年12月までに作成されたマンホールカードは293種類（252自治体）。累計発行枚数は140万枚を超え、一大ムーブメントを巻き起こしています。

コレクションアイテムとして注目されることが多くなっているマンホールカードですが、そもそもは「下水道のプレゼンス向上」を目的につくられています。さらには、現地に行かなければ入手できない「ご当地アイテム」として、地域活性化などへの貢献も期待されるところです。ブームの裏側で、マンホールカードは自治体でどのような役割を担っているのでしょう。作成までの経緯やカードがもたらした効果と合わせて、埼玉県下水道局と同県越谷市を取材しました。

▲埼玉県下水道局の皆さん（左から下水道管理課企画・調整担当の杉山文明主査、鈴木康広主事、下水道事業課計画・管理・エネルギー担当の若狭公一主査）



▲埼玉県越谷市の皆さん（左から環境経済部観光課の水口圭副課長、建設部下水道課の佐藤亜実主幹、松尾雄一課長）

埼　玉　県　下　水　道　局
流域下水道８種類のカードを作成
ファンも職員も、カードを通じて“楽しむ”を体感

埼玉県下水道局は県内にある８つの流域ごとにデザインの異なるマンホールカードを作成し、平成29年４月から各流域の水循環センター（下水処理場）で配布しています。30年３月現在、一つの自治体がつくったカードの種類としては最多を誇り、各流域の特色を表現した多彩なカードを入手しようと全国から多くの人が訪れています。

自分達が楽しめる下水道のPRを

県がカードを作成する直接のきっかけとなったのは、普段から密な関係にあるさいたま市の影響です。

「平成28年２月に開催された下水道職員健康駅伝大会でのこと。いつものとおり、お互いに頑張ろうとエールを交わしていたさいたま市が、並みいる強豪を押しのけ見事に優勝したのです。優勝チームに贈られたのが、GKP（下水道広報プラットホーム）が満を持して発表するマンホールカードを最初に、しかも無料で作成できる権利でした。何ともうらやましかったことを覚えています」

こう話すのは、カードの作成に携わった若狭公一主査です。さいたま市も含めたマンホールカードの第１弾が発行されたのは、約２ヵ月後の28年４月。好評を博しているという噂は、すぐに聞こえてきました。

「次の年に流域下水道50周年を迎えるため、県としても何か面白いことはできないかと探っていたところでした。下水道のPRについては管理者からも常々、『自分たちが楽しまないと周りには伝わらない』と言われていました。マンホールカードはまさに自分たちも楽しめる、うってつけのアイテムだと感じました」

８種類のカードをサミットで初披露

８つの流域下水道それぞれのカードを作成して、埼玉県の流域下水道を余さずPRしたい――。県は強い思いを持って、GKPに相談しました。そうしたところ、流域下水道50周年記念事業の一つとしてGKPと協力し、マンホールサミットを29年１月に川越市で開催することが決定。その場で８流域下水道のカードを初披露し、来場者に先行配布することになりました。

早速、作成に取り掛かった県は、カードに掲載するマンホールふたの選定や情報収集に当たり、ふたを直接管理する各流域の下水道事務所に協力を仰ぎました。

「最初はカードづくりにかける熱い思いをうまく伝えられず、意思疎通に齟齬をきたすこともありましたが、次第に熱意が伝わり作業が円滑に進むようになりました。事務所によっては５つの流域を管理しているところもあり、５枚のカードを作成するとなると、担当された方は相当きつかったはずです。各事務所には大変な苦労をかけました」

サミットは約1000人を収容できる会場で開催されたため、県はカードが足りなくならないよう少し多めに、８種類入り1000セット以上の袋詰めを用意しました。８種１セットは最後まで話を聞いた方だけに配布され、結局、ほとんどが捌けるほどの大盛況になりました。

▲「下水道展'17東京」の埼玉県・埼玉県下水道公社のブースでは、マンホールカードを景品にしたじゃんけん大会が開催され、大人気だった

「GKPのバックアップもあって、マンホールカード、サミット、流域50周年事業を融合させる取り組みを成功させることができました。当時GKPでマンホールカード、サミットを担当された方々とは、寝る間を惜しんで作業に当たりました。彼らのピュアで熱い思いが、下水道広報の可能性を切り拓いたと言っても過言ではありません。携わった方々には、心から敬意を表したいと思います」

下水道に興味を持ってもらう“入り口”

29年４月に始まった一般配布。同年12月までに１種類あたり1200～1800枚程度がマンホールカードファンの手に行き渡りました。イベントなどがあった月は配布枚数が多くなり、29年８月に東京で開かれた下水道展では全種類合わせて約5000枚を配りました。

「観光とタイアップするなどしてもっと大々的にやっている自治体もあると聞いていますが、埼玉県の場合はあくまで下水道のPRに特化しています。水循環センターの中にはアクセスが不便なところもありますが、わざわざ足を運んでくれる方がいて、有難いと同時に

埼玉県が作成した８種類のマンホールカード

▶上段左から荒川左岸南部流域、荒川左岸北部流域、荒川右岸流域、中川流域。下段左から古利根川流域、荒川上流流域、市野川流域、利根川右岸流域

▲ミス日本「水の天使」の浦底里沙さん（右端）と「ミス着物」の岡部七子さん（右から二人目）も水循環センターでマンホールカードを入手

凄いなあと感心しています」

カードの影響もじわじわと現れています。

「下水道というワードが、普段の会話やSNSの中で当たり前のように飛び交うようになったことが大きいですね。近年は水循環センターの来場者数が年々減っていたのですが、カード効果もあってか、徐々に増えつつあることもうれしいことです」

昨年４月に着任し、マンホールカードを担当している杉山文明主査と鈴木康広主事。「下水道を知らない方に下水道を紹介する時に、マンホールカードは親しみやすいツールとして有効です」（杉山主査）、「そもそも埼玉県に下水処理場がたくさんあることをカードで初めて知った人も多く、下水道に興味を持ってもらう“入り口”になっています」（鈴木主事）と、両氏もカードの効果を実感しています。

「県で一つの統一したデザインをつくる」「８枚揃えれば一つの模様になる」など、今後の展開へのアイディアも尽きません。杉山主査は「他の自治体の取り組みも参考にしながら“埼玉らしさ”を模索し、皆さんが楽しんでもらえるものにしていきたい」と抱負を語ってくれました。

マンホールカードから発展した、こんな試みも。「２月14日に県と下水道公社の主催で職員研修を兼ねた研究発表会を開きました。『下水道担当者マンホーラー養成大作戦』と銘打って著名なマンホーラーを講師に招き、カードを含めマンホールふたの楽しみ方を語ってもらい、市町・組合を含め約120人の職員が集まりました。PR手法を学んでもらうというよりは、マンホールふたを通じて自ら楽しみ、考え方を柔軟にしてもらいたいというメッセージを込めた取り組みです」（若狭主査）

埼　玉　県　越　谷　市

３課合同でカード作成に取り組む 下水道のPRに加え、観光面での効果もねらう

２種類のマンホールカードを作成し、１枚目を平成28年12月、２枚目を29年４月から配布している埼玉県越谷市。配布場所を工夫することによって、下水道のPRツールとしての活用はもちろん、観光面での効果もねらっています。

下水道、観光、広報広聴の３課合同で取り組む

下水道は、わたしたちの生活で毎日使われているにも関わらず、地下に埋設されている施設が多いこともあって、その存在が認識されづらくなっています。このため下水道の事業主体である自治体では、PRの必要性を強く感じてはいるものの、効果的な手法をうまく見出せないまま、悩んでいるところが多いのではないでしょうか。

埼玉県越谷市もそうした自治体の一つでしたが、マンホールカードの人気の噂を耳にした同市建設部下水道課の松尾雄一課長は、「もしかしたらこれは、我々が求めている下水道のPRツールになるのかもしれない」と感じ、その作成に乗り出します。松尾課長はさらに、他の自治体ではカードを入手しに遠方からも人が集まっていたことに着目し、観光面での効果も期待できると考えて観光課に協力を要請。PRに関するノウハウを持つ広報広聴課も交えて、３課合同でマンホールカードの作成に取り組みました。

下水道と観光、シラコバトとガーヤちゃん

１枚目のカードの図柄は、国の天然記念物にも指定されている「シラコバト」のイラストがあしらわれたマンホールふた。昭和58年から設置されており、市内の約２万8000個のマンホールふたの多くに、このデザインが採用されています。カードを手に入れに来た折に市の物産品などにも目を留めてもらおうと、配布場所は東武スカイツリーライン・越谷駅の高架下にあった越谷市物産展示場に。反響は上々で、「欲しい人に行き渡った後には、一気に下火になるのでは」（松尾課長）という心配もよそに、コンスタントに配布が進んでいきました。

さらに市は、２枚目のカード作成にも取り掛かります。「良い機会なので、マンホールカードを本格的に観光に活用させてもらおうと、市のご当地キャラクターとして定着していた『ガーヤちゃん』を使うことに決めました」と話すのは、環境経済部観光課の水口圭副課長。物産展示場は隣接地に新設移転し、観光物産拠点施設「ガーヤちゃんの蔵屋敷」としてリニューアルされようとしていました。そこで、新たにガーヤちゃんをモチーフとしたマンホールふたをつくって「蔵屋敷」の近くに設置し、あわせてマンホールカードも作成したのです。

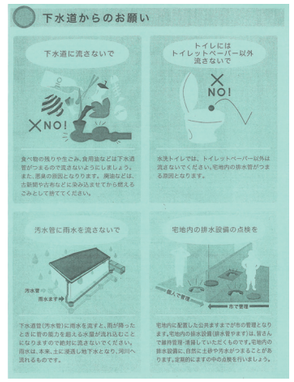
ガーヤちゃんのマンホールふたには、付加機能としてAR（拡張現実）機能を設定しました。広報広聴課では市の刊行物である市勢要覧や案内図にARを採り入れており、そのノウハウが活かされたものです。マンホールふたにスマートフォンをかざすと、北越谷元荒川堤の桜並木や越谷レイクタウン、南越谷阿波踊りなど、市の名所・名物をガーヤちゃんが紹介する映像を視聴できる仕組みになっています。

越谷市が作成した２種類のマンホールカード

▼左は「シラコバト」、右は「ガーヤちゃん」のマンホールふたがモチーフ

PRの入り口、市を知ってもらうきっかけに

物産展示場が移転したことで、シラコバトのカードは越谷レイクタウンの「水辺のまちづくり館」で配布されることになりました。水辺の景観が広がる越谷レイクタウンは、平成20年４月にまちびらきされたニュータウン。なかでも流通大手・イオングループの商業施設は、年間5000万人以上が訪れる市の目玉スポットです。こうした場所で配布することも、観光面での効果をねらった越谷市ならではの仕掛けと言えるでしょう。



▲マンホールカードとともに配布している「下水道からのお願い」。下水道の適切な使用方法などがまとめられている

▲「蔵屋敷」の近くに設置されたガーヤちゃんのマンホールふた。AR機能が組み込まれ、スマートフォンをかざすと市のPR映像を視聴できる

シラコバトとガーヤちゃん、いずれのカードも4000枚弱を配布し、在庫がなくなると増刷待ちの状態になる人気ぶりです。カードを入手した人のうち、市外から来た人の割合は６～７割を占めているといいます。

マンホールカードの効果について松尾課長は、「目に見えて現れているものはなかなかないのですが、期待を込めて言えば、下水道のPRの入り口になると思っています」と話しています。マンホールカードの配布場所では、カードとともに下水道の正しい使い方に関するチラシも渡しています。カードをきっかけに下水道に関心を持ってもらい、使い方や使用料の負担などに対する理解を深めてもらいたい考えです。

暮らしやすく、利便性が高い越谷市。人口約34万人の中核市である一方で、観光に立脚しているわけではないため、知名度の向上は課題となっています。まずは知ってもらい、関心を持ってもらうこと。マンホールカードはそのきっかけになる可能性を秘めています。「デザインやイメージからブランド力を高めていくマンホールカードの手法は、観光課から見て非常に参考になります。マンホールカードに興味がある人は、観光的な視点やセンスも持っていると思いますので、このきっかけを大事にして、そうした方々に対する次の仕掛けをつくっていかなければと考えています」（水口副課長）

▼東武スカイツリーライン・越谷駅東口の高架下にある、観光物産拠点施設「ガーヤちゃんの蔵屋敷」。ガーヤちゃんのマンホールカードが配布されている

金錯銘鉄剣

古代史の謎に迫る一級史料

日本の古代史、特に残存する史料が少ない七世紀以前の歴史には、いまだ多くの謎が残されています。所在地を巡って論争が続く「邪馬台国」が有名ですが、その邪馬台国に代わり４世紀から５世紀にかけて畿内（今の奈良県とその周辺地域）を中心に勢力を拡大し、のちの律令国家につながる基盤をつくった「ヤマト王権」も、成立過程や実態はよくわかっていません。

謎多き古代史を語る上で極めて貴重な史料が埼玉県行田市の古墳から出土し、埼玉県立さきたま史跡の博物館（埼玉県行田市）に保管されています。100年に一度の大発見と言われる「金錯銘鉄剣」です。同館の鈴木秀雄学芸員に、その歴史的な価値や位置づけについてお話を伺いました。

鉄剣に刻まれた115の文字が意味するものとは――。

▲埼玉県行田市にある稲荷山古墳

◀国宝・金錯銘鉄剣（埼玉県立さきたま史跡の博物館保管）

《銘文》

（表）辛亥年七月中記乎獲居臣上祖名意富比垝其児多加利足尼其児名弖已加利獲居其児名多加披次獲居其児名多沙鬼獲居其児名半弖比

（裏）其児名加差披余其児名乎獲居臣世々為杖刀人首奉事来至今獲加多支鹵大王寺在斯鬼宮時吾左治天下令作此百練利刀記吾奉事根原也

《銘文の読み下し》

辛亥の年七月中記す。乎獲居の臣。上祖、名は意富比垝、其の児、多加利の足尼、其の児、名は弖已加利獲居、其の児、名は多加披次獲居、其の児、名は多沙鬼獲居、其の児、名は半弖比、其の児、名は加差披余、其の児、名は乎獲居の臣。世々、杖刀人の首と為り、奉事し来たり今に至る。獲加多支鹵大王の寺、斯鬼の宮に在る時、吾天下を左治し、此の百練の利刀を作らしめ、吾が奉事の根原を記す也。

出土から10年後、X線検査で115の文字を発見

埼玉県行田市にある埼玉古墳群は、９基の大型古墳から成る全国でも有数の大型古墳群です。その一つ、稲荷山古墳は、埼玉古墳群の中で最も初期に造られた前方後円墳で、全長は約120mにおよびます。1968（昭和43）年、その稲荷山古墳から他の副葬品とともに、長さ73.5cmの鉄剣が出土しました。これが、のちに国宝に指定される「金錯銘鉄剣」です。しかし出土した当時は、表面が鉄錆に覆われており、剣に刻まれた文字に気づく研究者はいませんでした。

出土から10年経った1978（昭和53）年、腐食の進行を防ぐため、鉄剣を含む稲荷山古墳の出土品約150点の保存処理を行うことになりました。鉄剣の保存処理は、表面を覆う土や砂などの除去作業から始まりましたが、その作業中、偶然にも金線が露呈する部分が発見されました。そこでX線検査を行ったところ、鉄剣の両面に115の文字が刻まれていることが判明。表面に溝を彫って金を埋め込んだ「金象嵌※」と言われる技法で文字が刻まれていることから「金錯銘鉄剣」と称され、その歴史的価値の高さから、まず1981（昭和56）年に重要文化財に指定、続いて1983（昭和58）年に国宝に指定されました。

5世紀末の歴史的事実を伝える

金錯銘鉄剣が歴史的・学術的に価値が高いと言われる理由の一つが、史料として確かな来歴を持つ点です。「鉄剣には、銘文を記した年として『辛亥年』という文字が刻まれており、年代が確定している史料としては国内で最も古いものになります。そもそも国内の古墳から出土した刀剣で文字が記されている例自体が珍しく、現在見つかっているものでも数点しかありません。その上、具体的な製作年代が刻まれているケースは非常に稀です」と話すのは、「金錯銘鉄剣」を保管・展示している「埼玉県立さきたま史跡の博物館」の鈴木秀雄学芸員です。

「『辛亥』とは、十干（甲、乙、丙……）と十二支（子、丑、寅……）を組み合せた干支と呼ばれる中国由来の暦年代表示で、60年に一度まわってきます。稲荷山古墳が造られた年代は、出土した土器や様々な遺物から、５世紀後半から６世紀初頭にかけてと考えられています。そのため、鉄剣に記された『辛亥年』は西暦471年か、あるいは531年と推定されますが、鉄剣とともに出土した須恵器（陶質の土器）の形状の年代から、471年が有力視されています」

古代史の出来事がいまだ多くの謎に包まれている理由として、信用できる史料が圧倒的に不足している点があります。古代史の文献史料としては『古事記』や『日本書記』がまず頭に浮かびますが、これらは８世紀前半に編纂されており、時代を遡るほど記述内容の妥当性を検証する必要があります。その点、金錯銘鉄剣に刻まれた115の文字は、その時代（５世紀末）を生きた人間が記した歴史的な事実として信憑性が高く、極めて貴重な史料と言えるのです。

謎の人物、ヲワケの８代にわたる系譜

金錯銘鉄剣に刻まれた115の文字から成る銘文は、

※「象嵌」とは、地の素材を彫り、その部分に他の材料をはめこんで模様を表す技法。金（金工）象嵌、木（木工）象嵌などがある。

▲埼玉県立さきたま史跡の博物館 鈴木秀雄学芸員

古墳時代の刀剣に記された文字としては最も長文であり、文意も明瞭です。ここからは銘文の具体的な内容を見ていきます。

「辛亥の年七月中記す」から始まる前半部は、鉄剣を作らせた「乎獲居（ヲワケ）の臣」という人物の「上祖（かみおつや）」（先祖）である「意富比垝（おほひこ）」から８代にわたる系譜を説明しています。現代で言えば家系譜のようなもので、古墳時代からすでに家系を誇るという考え方があったことがわかります。

続いて「世々、杖刀人（じょうとうじん）の首（しゅ）と為り」とあります。「杖刀人」は刀剣で武装した職種のことで、武官をさすと考えられています。その「首」ということなので、ヲワケの家系は先祖代々、護衛隊長のような身分で大王（おおきみ）（=天皇）に仕えてきたと解釈できます。

「ヲワケという人物が一体何者であるかは、この人物を記した史料が他に見つかっていないため、定かではありません。いくつかの説があり、地元・北武蔵（現在の埼玉県）の豪族で稲荷山古墳に埋葬された本人であるとも、元々は畿内の有力豪族で、東国に派遣されて土着し、稲荷山古墳に葬られたとも言われています。しかし最近の研究では、ヲワケは畿内の有力豪族で、稲荷山古墳の被葬者は別人という説が最も有力です。杖刀人として勤めについた北武蔵の豪族の師弟が、杖刀人の首であるヲワケから鉄剣を与えられたと考えられています」

ワカタケル大王の実在を証明

後半部は鉄剣の製作に至る理由が述べられていますが、ここで注目されるのが「獲加多支鹵（ワカタケル）大王（おおきみ）」という人名です。ワカタケル大王は、『古事記』に「大泊瀬幼武」、『日本書紀』に「大長谷若建」と記され、ともに「オオハツセワカタケル」という諡（おくりな）（生前の事績への評価に基づき死後におくられる名のこと）を持つ、第21代雄略（ゆうりゃく）天皇と考えられています。「吾天下を左治し」は、ワカタケル大王が天下を治めるのを私（ヲワケ）が助けたという意味です。そして、それを誇りとし、記念として「百練の利刀」（何回もたたいて鍛え上げたよく切れる刀）を作らせて、「吾が奉事の根源」（私と一族の由緒）を書き残しておくと記されています。

「雄略天皇はヤマト王権の勢力拡大に大きな役割を担ったとされる天皇で、謎の多い「倭の五王」の１人としてもその名を知られています。倭の五王は、『宋書』倭国伝という中国の歴史書に記された倭の５人の王、讃・珍・済・興・武のことで、各王がどの天皇にあたるかは諸説ありますが、武については雄略天皇であることで研究者の意見がほぼ一致しています。雄略天皇が５世紀末に実在していたことを裏付ける史料としても、金錯銘鉄剣は重要な価値を持っていると言えます」

貴重な史料をいかに守るか

1500年以上もの長い間、古墳の中でその姿を保ち続けた金錯銘鉄剣。しかし、酸化による腐食が進行しており、いつ折れてもおかしくない状態であることもまた事実です。そのため、さきたま史跡の博物館では、展示ケースを二重にし、内側のケースには窒素ガスを封入して酸化を防いでいます。

「これまで金錯銘鉄剣を他の博物館へ貸し出したことは３度あります。そのうち最も遠方が福岡県でしたが、その際も窒素ガスを充満させた専用の移動用アクリルケースを作り、陸路で搬送しました」

いつ何時発生するかわからない地震に備え、展示ケースの耐震性は高いものにしてあります。2011（平成23）年３月11日に発生した東日本大震災で行田市は震度５強の大きな揺れに見舞われ、博物館の他の展示品は割れる等の被害が出ましたが、金錯銘鉄剣の展示ケースはびくともしなかったそうです。

「金錯銘鉄剣は国民の財産。いかに状態を保ちながら未来永劫残していくか。その責任は重いと感じています」

鉄剣を復元する試み
素材未解明も当時の技術を窺い知る

金錯銘鉄剣を復元する試みも行われています。2007（平成19）年に美術刀剣を研究・製作する有志でプロジェクトチームが組まれ、2013（平成25）年に完成、埼玉県に寄贈されました。復元された鉄剣は、さきたま史跡の博物館において概ね２年に１度のペースで、実物と比較できる特別展示が行われています。

プラスチックなどで外見を表すレプリカ製作とは異なり、当時の材料や技術をも再現する復元作業には多大な労力と時間を要しました。鉄素材や鍛えの回数などの関連調査から始まり、象嵌や研磨といった工程でも試行錯誤が繰り返されています。

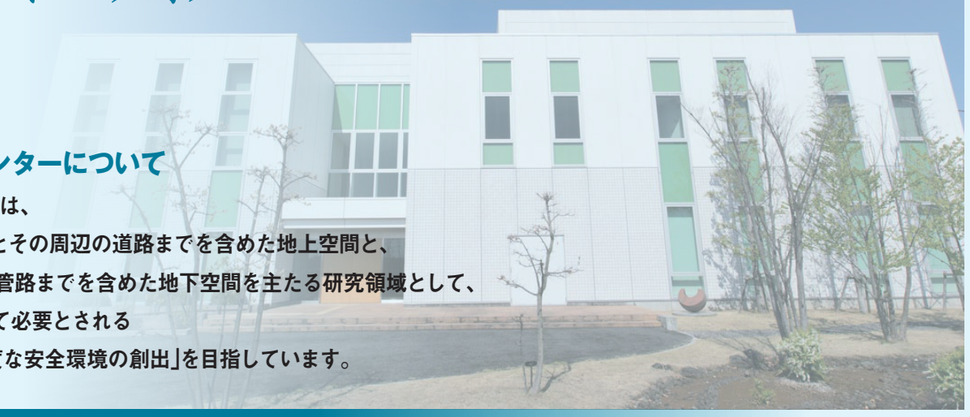
復元の過程では、鉄剣の素材を解明することが課題となりました。しかし、その詳細な分析は不可能であることが結論付けられ、素材そのものの正確な再現は見送られています。素材については、冶金学者の中でもいまだ結論が出ていません。ただ、当時の刀の鍛錬技術を探る中で同時期に出土した刀剣を詳しく観察すると、「鬆（す）」と呼ばれる小さい穴があいている箇所が多いことがわかりました。当時、鉄はその材料を朝鮮半島から入手していたと考えられ、貴重なものでした。このため、鉄の素材をなるべく減らさないよう、少ない鍛錬回数でまとめ上げる技術が求められていたと推察されます。

また、日本の古墳から出土した刀剣に金や銀、銅で象嵌されたものはいくつかありますが、金錯銘鉄剣の象嵌の数は群を抜いています。鉄と同様、極めて貴重だった金がふんだんに使われていることからも、この鉄剣の希少性が認識されます。ではなぜ、当時の先端技巧を駆使し、贅を尽くしたこの鉄剣を、一杖刀人であったヲワケが作ることができたのでしょうか。それはやはり、当時権力を掌握していた大王から命じられてのことにほかならない、との見方が自然ではありますが、金錯銘鉄剣とその時代を読み解く上で、一番の命題となっています。

▼二重ケースで展示されている金錯銘鉄剣
酸化防止のため、窒素ガスが封入されている

▶“現代の名工”を含むプロジェクトチームによって復元された金錯銘鉄剣

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

鋳鉄材（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「管きょ更生工法における設計・施工管理ガイドライン」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。

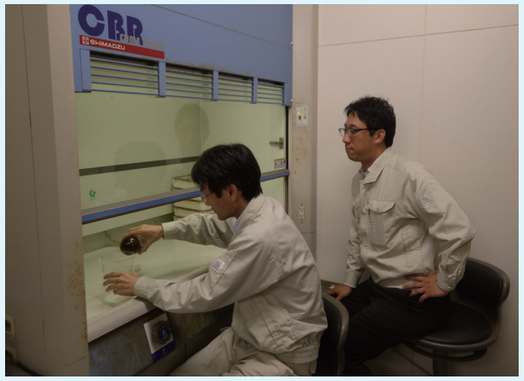
▲輪荷重走行試験

▲プラスチック管材の引張試験

▲マンホールふたの荷重試験

■ 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。



▲防食対策品の性能評価の妥当性検討

▲マンホールの内圧対策の検討

■ 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。

▲研修や見学を通じたコンサルティング

▲腐食や内圧などの実態把握と対策提案

▲道路構造物（雨水桝など）の現象、メカニズム検証

お客様のニーズの多様化、高度化に対応できますよう、
日々スキルの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。

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様々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ご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、事業体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。

読者のみなさまもぜひ、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

▲ 2018年度ミス日本「水の天使」の浦底里沙さんによる展示場での模擬体験

※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）を通じて海外の皆さまをお招きして

▲ 下水道広報プラットホーム（GKP）のGJリンク全国ワークショップによる見学

■ 展示室をリニューアルしました

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安全性や技術についてわかりやすくご理解いただくため、映像や模型を使用しながら説明を行う展示室があります。

このたび開設10年を迎え、展示室を一部リニューアルいたしました。これまで同様マンホールふたに関する展示を基軸としつつも、マンホール本体や道路排水等の周辺施設へも対象領域を広げ、G&Uの研究・開発領域に関しての説明が行えるようにしています。

特に老朽化対策や豪雨対策のインフラマネジメントに関する対策を検討する一助となるような場と考えておりますので、ぜひ、ご来場ください。

また、マンホールふたと同じ鋳鉄が使われている歴史的価値が高い貴重な構造物として、旧国立競技場のマンホールふた、東京駅の鋳鉄柱、横浜市水道創設時の鋳鉄管についても新たに展示しております。

▲リニューアルした展示室のようす

▲鋳鉄製構造物の展示ブース

■ 海外からの見学者も多数、見学会を通して関係構築

G&U技術研究センターでは、海外からの見学者を受け入れており、集計を開始した平成21年４月から30年3月末までの10年間で、計49ヵ国・281名の方々をご案内しています。

海外からの見学者からは、特にマンホールふたの価格や材質、腐食対策、G&Uの業務範囲などについて、多くのご質問をいただいています。デザインふたへの興味を持たれている方も多く、「どのような道路環境で使われているのか」「購入したい場合はどうすればよいのか」といった声が寄せられることもありました。

また、海外ではふたの盗難や、豪雨時のふた浮上などの問題が発生しているところがあるため、日本がこれらの対策を講じていることに対しては、高い関心を持っているようです。

平成27年12月には、ベトナム建設省のグエン・ホン・ティエン技術インフラ局長（当時）ら同国政府関係者が来所されました。その後平成29年2月には、マイ・フォン技術インフラ局長らが来所されています。G&Uの輪荷重走行試験機や浮上試験機、水理シミュレーションモデルなどの見学により、日本の技術をご体感いただいたほか、意見交換も実施。ベトナム側からは、「今後もG&Uとの継続的な協力関係を望む」とのコメントをいただいています。

海外からの見学者への対応は、G&Uの取り組みや日本の技術を紹介することに加え、参加国の現状や課題を知るうえでも良い機会になります。見学会を通して友好な関係を構築し、今後のグローバルなネットワークの形成につなげていきたいと考えています。

▲ベトナム・ティエン局長（当時。手前右から三人目）らが見学（H27.12）

▲豪雨時のふた浮上対策に関する試験には高い関心が寄せられている（写真奥の右から5人目がマイ・フォン局長）

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、埼玉県の中央部に位置する川島町（かわじままち）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５分

■ 技術広報誌G&U バックナンバーのご紹介

第8号（2017年）

■Prologue「東京駅を100年支えた鋳鉄柱」「港都・横浜を100年潤した鋳鉄管」
Close Up「インフラメンテナンスのこれから」

「100年」「長寿命」をキーワードとし、序章ではマンホールふた等の材質である鋳物にスポットを当て、100年以上使用された東京駅の鋳鉄柱、横浜水道鋳鉄管を紹介。本編では、社会インフラを長期にわたり使用するためのメンテナンスの重要性や取り組み状況、今後の展望などを、学識者の方や国、地方自治体の方にうかがった。

第7号（2016年）

■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」

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、1964年の東京オリンピックで脚光を浴び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を取り上げている。本編では、社会インフラ全般の老朽化の中でも特に「腐食」に焦点を当て、腐食が引き起こす社会的リスクを明らかにしながら、様々な対策や取り組みについて紹介。

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について、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、様々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。

■ 出版物

マンホールの博物誌

■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）

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していただけます。
http://www.gucenter.co.jp/pablication.html

編集後記

Vol.9では「耐久性」に焦点をあて、H30年１月より施行された改定道路橋示方書の話題を切り口として、道路や下水道管路領域の「耐久性」について取り上げました。橋梁は、更新の手間や経済性の観点から「設計供用期間について100年を標準とし、その間、適切な維持管理を行うこと」が規定されました。他のインフラでもこのような考えが広まっていく可能性があることを、取材を通じて感じました。

また、韮山反射炉での大砲製造、金錯銘鉄剣など、幕末や古代の製造技術について取材する中では、モノづくりを行った当時の人たちの知恵やパワーを垣間見ることができました。

本誌の制作にあたり、お忙しい中取材にご協力いただいた皆様に改めて御礼申し上げます。

●編集事務局U

編集協力:公共投資ジャーナル社　アートディレクション&デザイン:中井辰也
制作進行・印刷:ダイヤモンド・グラフィック社