



安全な水を使えるように、世界各地で大規模な送水プロジェクトが計画されている。

かけがえのない水を世界へ

地球上にある水のほとんどは海水であり、陸上生物が利用できる淡水の量は、ほんのわずかでしかない。途上国などで深刻化する水問題だが、多くの国の水道整備に日本の水道管が貢献している。世界の水プロジェクトに貢献する日本のダクタイル鉄管について紹介する。

水道の発達を支えるダクタイル鉄管

日本で本格的な上水道が整備されたのは江戸時代で、小石川上水や玉川上水などには石樋、木樋が用いられた。铸铁管が使われ始めたのは明治に入ってからで、英国から輸入した铸铁管を使用して、横浜で約44kmの導水路線を1887年に完成させた。

铸铁管の国産化の要望は早くから強く、1893年には大阪の

久保田鉄工所で铸铁管の製造が始まっている。当時の材料は普通铸铁であったが1940年頃より高級铸铁が使用され始めた。

ベルサイユ宮殿の铸铁管が350年以上も使用されていることから分かるように、铸铁管が水道管に用いられる理由はその耐久性にある(図1)。しかし、従来铸铁は、鋼に比べて耐食性、耐磨耗性、成形性などに優れるが、機械的強度で劣る。それを克服し、鋼同様の強度と伸びを持つ材料がダクタイル铸铁で1940年代に米国で発明された(図2)。

ダクタイル铸铁とは、従来铸铁の組織中に細長い片状に分布

現在も使用されている350年前の铸铁管

水道の歴史は、古代メソポタミアや古代エジプト、古代ローマなどにまで遡ることができる。ポンペイの遺跡からは水道用の鉛管が発掘されている。

铸铁管が水道に用いられた最初の例は1412年に作られたドイツのアイクスブルグの水道といわれている。ルイ14世の時代には、ベルサイユ宮殿に水を引くための铸铁管による水道が布設され、現在も使用されている。

(画像提供: (一社)日本ダクタイル鉄管協会)

●ベルサイユ宮殿へ水を送る管路の一部(図1)



していた黒鉛を球状化させ、強度や延性を改良した鑄鉄である。材料にダクタイル鑄鉄を使用した水道管が、ダクタイル鉄管である。

日本はダクタイル鑄鉄の技術を海外から導入し、1957年に世界初の遠心力鑄造法によるダクタイル鉄管の製造・量産化に成功した。以来、ダクタイル鉄管は急速に普及し、上下水道をはじめ世界のインフラ整備で採用されるようになった。

世界で活躍する日本のダクタイル鉄管

日本の鑄鉄管は、早くから海外に輸出されていた。

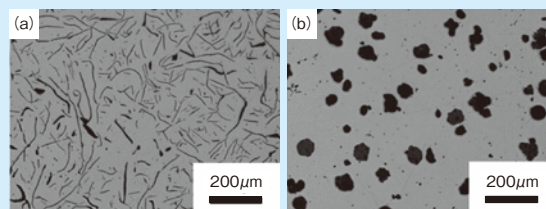
1893年に国産化に成功した日本の鑄鉄管は、1917年にはインドネシアへの輸出を皮切りにして欧州、中東、中国などに輸出されていた。

第二次大戦後も東南アジアへの輸出を中心に、南米やアフリカなどにも輸出された。しかし、1980年代には円高などの影響により、輸出量は大きく減少している。現在はODA（政府開発援助）に関連した輸出が多くなっている。

ODAによる輸出以外では、米国への耐震継手ダクタイル鉄管の輸出が注目される。地震の発生頻度が比較的高い人口密集地域は世界でも少なく、日本のほかには、米国西海岸など限られている。だが、これらの地域では耐震管のニーズは低かった。これは各国の水道管メンテナンスの思想の違いによるものだという。しかし、近年、米国でも災害に強い都市づくりへの関心が高まり、日本製の耐震継手ダクタイル鉄管の採用が始まっている。

導入のきっかけは1994年に発生したノースリッジ地震で、ロサンゼルス市の水道管路の1000カ所以上に被害が生じたことだという。試験施工は2013年に行われ、坂道でカーブの多い地すべり地域が選定された。耐震管としての性能は、これまでに地震などの災害による破損事故が1件も報告されていないことが評価され、検証の主な目的は施工性の確認であったという（図3）。

●普通鑄鉄、ダクタイル鑄鉄の組織の比較（図2）



(a) ねずみ鑄鉄とも呼ばれる普通鑄鉄の組織には片状黒鉛が見られ、衝撃に弱い。(b) ダクタイル鑄鉄では黒鉛は球状になっている。「Ductile」とは、延性のあるという意味である。

（画像提供：名古屋市工業研究所）

●米国サンタクララバレーでの施工例（図4）



耐震継手ダクタイル鉄管の呼び径は1500、1650、1800と大口径の送水管で、50年で約3mずれると予測されている斜面に布設された。

（資料提供：（株）クボタ）

地震への対応とともに、鎖構造により地盤の変動に対応できる耐震継手ダクタイル鉄管は、断層を横断する管路や、地すべりが起こりやすい斜面の管路にも用いられている（図4）。

その後、西海岸の各都市で耐震継手ダクタイル鉄管の導入が進んでおり、現在まで35kmが布設されている。

●さまざまな自然災害に耐えた耐震継手ダクタイル鉄管（図3）



（画像提供：（一社）日本ダクタイル鉄管協会）

（左）大雨による道路崩落、（中央）津波による道路崩壊、（右）液状化による地盤沈下などでも耐震継手ダクタイル鉄管への被害はなかった。強靱な管体と耐震性の高い継手性能は、地震のほか、台風、豪雨、津波などの自然災害にも耐えられることが証明されている。

カタールの水需要に応える日本の技術

灼熱の国カタールでは、これまで海水を淡水化して造水してきたが、コストがかかるのが難点であり、貴重な水を無駄なく市民に届けことが大きな課題だった。首都ドーハで増えつつある水需要に対して、カタール政府は「上水道メグリザーブプロジェクト」を立ち上げた。これは、非常時に備え、市民の暮らしをまかなう水を7日分蓄えるというものである。このプロジェクトで、送水管と連絡管に使用される「ダクタイル鉄管」のうち、全体の2/3にあたる約300km分と、同じく全体の2/3にあたるポンプ34台を日本企業が受注した(図5)。水道管路システムのなかでも大動脈ともいえる重要なパーツのほとんどを担っている。

このプロジェクトでは、日本国内で一般的に使用される6mよりも長い9mのダクタイル鉄管が採用されている。鉄管が長くなると継手が少なくてすみ、施工の手間や費用が抑えられ、漏水のリスクも減らせるためである。

カタールのほかにも、日本のダクタイル鉄管は世界各国に輸出されている(図6)。

●カタールで布設されるダクタイル鉄管(図5)



(画像提供: (株)クボタ)

●日本のダクタイル鉄管の主な輸出先(図6)

紺色が輸出先を表す。

((株)クボタの資料を元に作成。)



地震国日本の水道に求められた耐震性

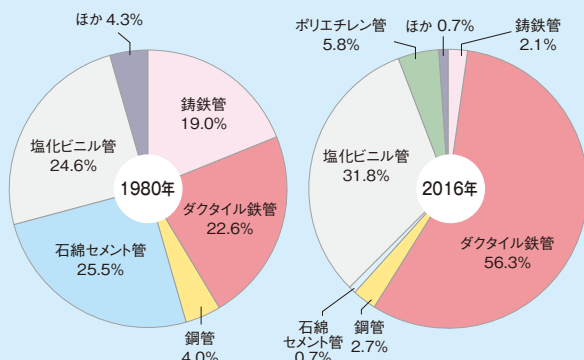
現在、日本の水道の総延長は約70万kmで、そのうちの約半分がダクタイル鉄管である(図7)。なお、水道の総延長には、水源から浄水場までを結ぶ導水管、浄水場から利用者までをつなぐ送水管、配水管などが含まれている。

ダクタイル鉄管そのものの強度は十分であったが、1964年の新潟地震、1968年の十勝沖地震では、継手部分の緩みや、継

手の離脱による漏水、断水が多数発生し、これらの対策が求められることになった。

明治の水道導入以来、铸铁管の継手は「印籠継手」と呼ばれ、ヤーン(麻)と鉛で水密性を保持するのが一般的であったが、その後、ゴム輪を用いた方式が採用されるようになっていた。しか

●日本で使用されている水道管の管材(図7)

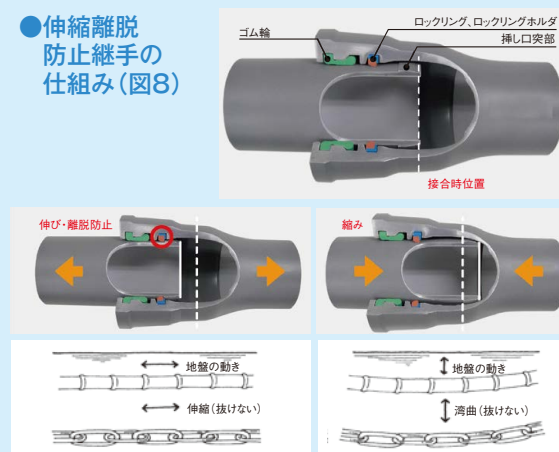


1980年の総延長は約34万kmで、普通铸铁管(CIP)や石綿セメント管(ACP)の割合が多かった。2016年の総延長は約67万kmでダクタイル鉄管が約6割を占めている。

注:各項目の数値は四捨五入しているため、合計は100%にならない。

(資料提供: (株)クボタ(水道統計をもとに作成))

●伸縮離脱防止継手の仕組み(図8)



伸縮離脱防止継手(耐震継手)は、継手が伸縮・屈曲し、かつ離脱防止機構によって継手が抜け出さない構造になっている。耐震継手で構築された管路は「鎖構造管路」と呼ばれている。鎖構造管路は、局所的に集中する地震時の地盤歪を複数の継手の伸縮・屈曲により吸収できるため、繰り返しの大地震にも耐えることができる。管体自体が伸びたり、地盤の圧縮により座屈が生じることなく、長期的に安全である。過去の地震でも、一度も被害は認められていない。

(資料提供: (株)クボタ)

●耐震継手ダクタイル鉄管を接続して吊り上げたデモンストレーション(図9)



自重で管路が湾曲しているが、抜け落ちることはない。

(資料提供: (一社)日本ダクタイル鉄管協会)

し、基本的にソケット部分に差し込むだけの継手では、地震の振動や地盤の変動により管路に圧縮応力がかかることで継手部分から座屈したり、引張応力がかかることで継手が離脱したりすることに対してはほぼ無力であった。

耐震継手の開発は1970年代から開始された。地震に強い管路の継手部に求められる条件が、伸縮、屈曲が自在なフレキシブル構造で、継手部が離脱しないことであることから、伸縮離脱防止継手と呼ばれている(図8)。S形と呼ばれる最初の伸縮離脱防止継手は1974年に日本ダクタイル鉄管協会で規格化された。ロックリングによる離脱防止機構を採用することで、呼び径D(mm)に対して $3 \times D$ (kN)の離脱防止力を実現している。これは、呼び径100mmのダクタイル鉄管であれば、乗用車約30台を釣り上げることのできる力に相当する。以来、改良が重ねられ、施工性の向上と長寿命化を実現したGX形が2010年に規格化されている(図9)。現在、出荷されるダクタイル鉄管の約95%がこの伸縮離脱防止継手を使用した耐震継手ダクタイル鉄管になっている(図10)。

災害に強い水道インフラを整備する

水道管路に被害をおよぼすのは地震には限らない。近年、増加している集中豪雨や強化した台風など、ライフラインをおびやかす脅威は増加している。日本で開発された耐震継手ダクタイル鉄管は、災害からライフラインを守る「ハザードレジリエントダクタイル鉄管(HRDIP)」として、地震国以外でも採用が進んでい

●耐震継手ダクタイル鉄管の出荷延長比率(図10)



水道事業者のニーズに応じて開発された伸縮離脱防止継手であったが、普及には時間を要した。1995年に発生した阪神・淡路大震災で、耐震継手ダクタイル鉄管の被害がまったくなかったことが普及拡大の契機となった。

注: 出荷延長比率はダクタイル直管の総出荷延長に占める耐震管の割合を示す。

(資料提供: (一社)日本ダクタイル鉄管協会)

くと期待される。さらに、耐震性だけでなく、長寿命化もダクタイル鉄管には求められ、100年間の使用が期待できる外面耐食塗装が開発されている。

その一方で、我が国においては人口減少や節水技術の向上で水道使用量は減少し、今後はより細い水道管でも需要をまかなえることになる。都市部の開削工事が難しい場所では、既存の水道管の内部に新しい水道管を敷設するPIP(パイプ・イン・パイプ)工法などの採用が進んでおり、耐震継手ダクタイル鉄管もこれに対応する必要がある。サイズダウンと耐震性向上を同時に実現できることから、注目が高まると予想される。

また、国際社会共通の目標として2015年に定められた「SDGs(Sustainable Development Goals: 持続可能な開発目標)」の6番目の目標「安全な水とトイレをみんなに」では、2030年までに、すべての人々の、安全で安価な飲料水の普遍的かつ平等なアクセスを達成することが謳われている。

途上国での水の確保や、大都市の水道インフラの更新や強化など、日本発のダクタイル鉄管の技術は、今後も世界の水道インフラの整備に貢献していくと期待される。

●取材協力 (一社)日本ダクタイル鉄管協会、(株)クボタ
●文 石田亮一