



耐震性貯水槽設置の様子



仙台市での応急給水の状況

写真は東日本大震災発生後、応急給水拠点として活躍した水道管。耐震性貯水槽と呼ばれ、平常時は水道管の一部として機能するが、災害時には水を貯水槽内に確保し、応急給水が可能となる。老朽管の更新に加えて、地震対策や水道管の耐震化も重要な課題となっている。

(写真提供：日本水道鋼管協会)

特集

寿命100年に挑む水道管

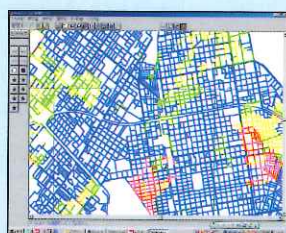
上水道が今、問題となっている。高度成長期に布設された水道管が耐用年数を超え、今後、老朽管が着実に増えていくからである。また、震災時の断水を最小限に防ぐため、水道管の耐震化も急務となっている。しかし経済的な理由から、水道管の更新・耐震化は思うように進んでいない。

本格的な更新時期を迎える水道管

人間の体内のすみずみに血管が張り巡らされ、栄養と酸素が供給されているように、地下には無数の水道管が張り巡らされ、私たちの暮らしに欠かせない水が届けられている。全国の水道管路*の総延長は約62万km、地球を15周する長さである。日本は97%を超える水道普及率(2009年度)を誇り、これは世界でも最高水準となっている。

*水道管路=導水管、送水管、配水管

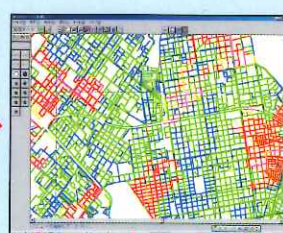
老朽度の将来予測シミュレーション



現在



10年後



20年後

危機管理上、地域は公表できないが、基盤目状に巡らされた水道管が、10年後、20年後に着実に老朽化していく様子がシミュレーションされている。

しかしながら、水道管を取り巻く状況は必ずしも良好とはいえない。現在の水道管は高度成長期に布設されたものが多く、なかには戦前に布設された水道管が現在に残っているケースもある。40年という水道管の法定耐用年数を超えているものが全体の約2割を占め、今後、10年間でこの割合は倍増する見通しだ。つまり更新が必要な水道管がいっせいに増えることになる。

近年では水道管の漏水事故が相次いでいる。例えば東京・葛飾区荒川河川敷で、昭和12年に布設された水道管が破裂し、地面が大きく陥没した。8000m³の漏水があり、700m³の土砂が流出し、40万戸に濁水の影響があった。また練馬区北町の市街

老朽度ランク

- I 貫通腐食した状態
- II 内外圧に耐えられない状態
- III 内外圧に対する安全率が不足する状態
- IV 腐食深さが管の腐食しろ2mmを超える状態
- V 腐食深さが管の腐食しろ2mm以下の状態

(資料提供：日本ダクタイル鉄管協会)

■水道管の経年劣化の例



経年化による内面錆こび



経年化・土壌腐食による孔食

■漏水事故の例

2003年8月22日
葛飾区四ツ木
(荒川左岸野球G)
φ1,500mm 铸铁管
昭和12年布設
漏水事故の主な被害
・濁水影響戸数 40万戸
・8,000m³ 漏水
・700m³ 土砂流出



野球グラウンドが大きく陥没した



破裂した水道管の破片

(資料提供：(社)日本水道協会)

地では、昭和35年に布設された水道管が漏水し、道路が陥没、冠水したことにより交通規制がしかれた。付近では床上・床下浸水等の被害に見舞われた。漏水は水道管の老朽化や施工不良、外部からの荷重、腐食性土壌等による腐食、電食等のさまざまな要因が考えられ、複数の要因が相乗しているケースも多いが、最近では老朽化が原因と考えられる事故が目立っている。

現在、全国の大規模水道事業者を中心に水道管の調査が行われているが、老朽度評価を基に行なわれた将来予測では、10年後、20年後に老朽管が着実に拡大していく。

しかし、人口減少等で水道料金収入が伸び悩み、工事費の確保が難しいため、更新ペースは年間1%を割り込み、更新が一巡するまでに100年以上かかる計算になる。

求められる地震に強い水道管

水道管には耐震性も強く求められている。

東日本大震災では広範囲にわたって断水が起こった。地震発生後、160万を超える世帯で断水が発生し、加えて4月に起こった余震でも一部地域で断水した。全国から給水車が被災地に向かい、また各地からの応援によって応急復旧が実施された。2011年10月末現在、津波により家屋等が流出した地域以外は水道水の供給をほぼ再開しているが、復旧には1～2か月を要した。

水道管の耐震化は、耐震性に優れた水道管(耐震管)に更新していくことが必要となる。「耐震管」とは、過去に起こった地震の被害状況から耐震適合性が認められたもので、塗覆装鋼管(溶接継手)、離脱防止機能継手付ダクタイル铸铁管、配水用ポリエチレン管(融着継手)の3種が選ばれている*。



東日本大震災で被災した離脱防止機能継手付ダクタイル铸铁管(耐震管)。土砂が流出して管がむき出しの状態になっているが、管に被害はなく機能は維持されていた。過去の地震において耐震適合性が確認された耐震管は今回の地震においても安全性が確認された。
(資料提供：日本ダクタイル鉄管協会)

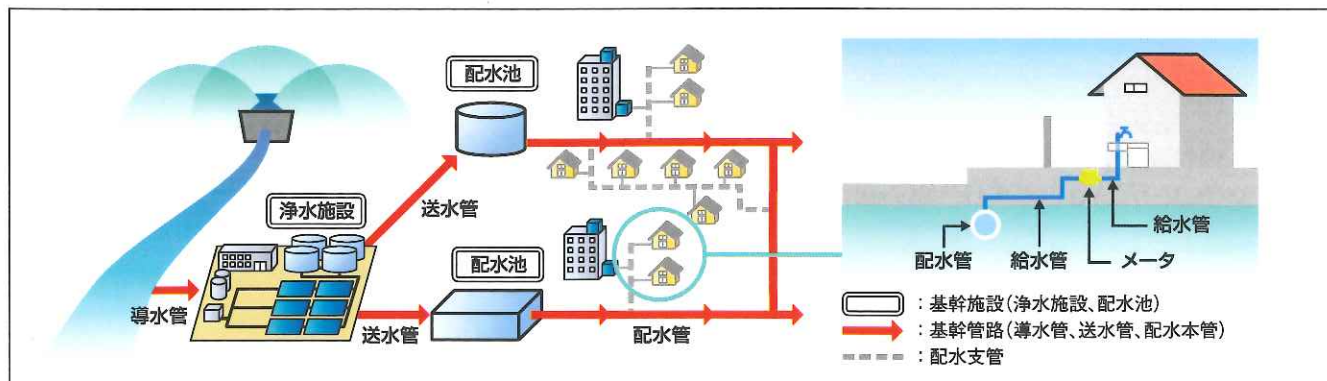
しかし、水道管の耐震化はあまり進んでいない。基幹管路の総延長のうち、耐震適合率は、全国平均が約30%にとどまっている。また都道府県別では、たとえば山梨県9.7%、岡山県14.4%に対し、神奈川県65.3%、千葉県48.2%と、地域によって大きな開きがある。

*「管路の耐震化に関する検討報告書」(厚生労働省平成19年3月)におけるレベル2地震動に対して耐震適合性が認められたもの。ただし配水用ポリエチレン管は新しい管種のため、十分な被災経験がないことから耐震性能が検証されるには未だ時間を要すると考えられている

水道管の役割と種類

水道管路は、河川や貯水池などから原水を浄水場にする「導水管」、浄水場から配水場に水を送る「送水管」、配水場から家庭の前まで水を送る「配水管」から構成される。配水管から各家庭に引き込む管は「給水管」に分類される。

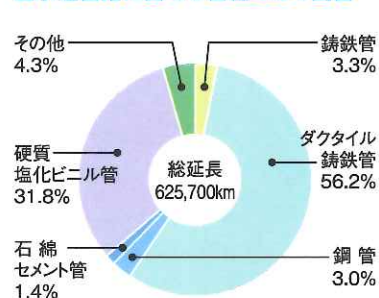
■水道施設の概要



■各種水道管の特徴

	長 所	短 所
塗覆装鋼管 主に大口径管(最大でφ4000mm)に使用	・強度が高い・靱性が高い・衝撃に強い ・溶接継手により一体化でき、継手離脱対策が不要	・溶接やその検査には有資格者が必要となる ・電食対策が必要 ・可とう継手の挿入が必要な場合がある
ダクタイル鋳鉄管 φ2600～75mmに使用	・強度が高い・靱性が高い・衝撃に強い ・継手の種類が多く、適材適所に使用できる	・重量が重い ・異形管部の継手の離脱に対し、防護を必要とする場合がある
硬質塩化ビニル管 主にφ150mm以下で使用	・耐食性に優れている ・耐電食性に優れている ・重量が軽い・施工性が良好	・低温時に耐衝撃性が低下する ・有機溶剤、熱、紫外線に弱い
配水用ポリエチレン管 φ150mm以下で使用	・耐食性に優れている ・耐電食性に優れている ・重量が軽い・施工性が良好	・熱、紫外線に弱い ・有機溶剤による浸透に注意する必要がある ・融着継手では、雨天時や湧水地盤での施工が困難

■水道管路に占める管種ごとの割合



(出典：平成21年度水道統計)

管の口径は水源に近いほど大口径のものが、家庭に近づくほど小口径のものが使用されている。水道管路の管種は、塗覆装鋼管、ダクタイル鋳鉄管、硬質塩化ビニル管、配水用ポリエチレン管等がある(上表参照)。

このなかから、布設場所の内圧(静水圧と水撃圧)と外圧(土圧と路面荷重)、土壌の性質、施工条件、工事費や維持管理費、耐用年数、実績等が考慮されて、選定されている。

塗覆装鋼管は、強度が高く、靱性に富み、衝撃に強い事が特長で、最大でφ4000mmにおよぶ大口径管に主に使用されている。溶接継手により一体化でき、継手離脱対策が不要である一方で、溶接やその検査には有資格者が必要とされる。

ダクタイル鋳鉄管は重量は重い、強度、靱性に優れ、衝撃に強く、継手種類が多く適材適所に使用できる等の特長がある。φ2600～75mmまで幅広く使用されており、使用量は最も多い。

硬質塩化ビニル管は耐食性、耐電食性に優れ、重量が軽く施工性が良いという特長があるが、低温時において耐衝撃性が低下したり、有機溶剤、熱、紫外線に弱く、耐久性は金属管に比べると低い。主にφ150mm以下で使用されている。

配水用ポリエチレン管は耐食性に優れ、重量は軽い、熱や紫外線などに弱い。近年の材料の改良もあって小口径管に使用が増えてきている。

その他、現在は使用中止であるが埋設管の中に残っているのが鋳鉄管、石綿セメント管で、耐震性が低く、特に石綿セメント管は環境問題が懸念されるため、早急な更新が必要となっている。

寿命100年に挑む水道管

単純計算では更新が100年一度のペースとなるため、100年の寿命を目指した水道管の開発がそれぞれの管種ごとに進められている。

水道管の外表面は地中での、内表面は水中での長期耐久性が求められ、さらに容易に損傷しない衝撃強さや腐食性土壌環境から管を保護する電気絶縁性等が求められる。特に鋼管において長寿命化の課題となるのが管の耐食性向上である。

主に大口径管に使用されている塗覆装鋼管の経年劣化は、鋼管の防食材料の劣化(吸水や酸素・水の透過に伴う付着力の低下、ふくれ、剥離)とこれに伴う鋼管の腐食減肉である。そこで、外面防食材をこれまでのアスファルト塗覆装から、耐食性の高いプラスチック被覆に切り替えた。プラスチック被覆は2種あり、熱硬化性樹脂を鋼管外面に加温・吹き付けにより被覆した「ポリウレタン被覆」と、接着剤で熱可塑性樹脂を被覆した「ポリエチレン被覆」がある。

このプラスチック被覆を外表面に施し、さらに塗料の改良と膜厚設計を行ったエポキシ樹脂塗装を内面に施した水道用プラスチック被覆鋼管の期待耐用年数は、これまで実施した劣化促進試験等のデータから推測すると100年以上あると考えられる。現在、埋設環境下の長期防食性能実証試験が行われており、15年目の調査では劣化がないことが報告されている。

パイプ・イン・パイプ工法



老朽化した既設管の中に新設管を送り込み溶接している

更新工事の軽減

水道管の更新・耐震化の必要性が高まりながらも、遅々として工事が進まないのは、工事費の確保が難しい等の経済的な理由に加えて、市街地における交通量の増加や他の地下埋設物の増加等によって開削工事が困難になっているためである。健全な水道システムを維持させて行くには、効率的、かつ効果的な施工方法が必要となっている。例えば「パイプ・イン・パイプ工法」は、古い管の中に新しい管を送り込んで、接合していく施工方法で、従来の地面を全面的に掘削していく開削工法に比べ、掘削工事を部分的に抑えることができる。特に市街地において、用地問題や交通問題、工事公害問題等が軽減でき、土木工事費も縮減可能となっている。

(写真提供：日本水道鋼管協会)

また、鋼管は地震に対する構造安全性が十分に確認された耐震管として位置づけられているが、東日本大震災ではコンクリート構造物との取り付け部に設置された「伸縮可とう管」が脱管被害を受けたため、長期断水を招いた。伸縮可とう管は、軸直角方向・軸方向それぞれの変位吸収性能を有しているが、当該箇所では軸方向変位が許容値を超えて作用したものと推測される。

最近、限定的ではあるが、この伸縮可とう管の代替としても適用可能な「断層用鋼管」が開発された。日本には2000以上の活断層が存在するが、断層面で大規模な地盤変状が生じると、断層を横過して布設された埋設管は亀裂や漏水を起こす可能性が高い。開発された断層用鋼管は、管の中で変形しやすい箇所にあらかじめ座屈波形を設けてあり、大変位に対応可能となっている。管が変形しても、通水能力は阻害されず、荷重等に対する強度も保つ。地震に強い鋼管として今後の適用が期待されている。

■塗覆鋼管の長期耐久性



水道用プラスチック被覆鋼管

○プラスチック被覆鋼管(耐外面腐食)の期待耐用年数*

ポリウレタン被覆鋼管	常温下では100年以上
ポリエチレン被覆鋼管	常温下では100年以上

○鋼管内面塗装の期待耐用年数*

塗装系	期待耐用年数
水道用液状エポキシ樹脂塗料	100年以上
水道用無溶剤形エポキシ樹脂塗料	100年以上

塗料の耐用年数はブリストア（ふくれ）発生が鋼面の50%となった時点として判定を行っている。

※現在、期待耐用年数と膜厚について、水道鋼管長寿命化研究委員会（委員長：増子東大名誉教授）にて詳細を検討中。

(資料提供：日本水道鋼管協会)

新しい外面耐食塗装で100年をめざす

最も広く用いられているダクタイル鋳鉄管は、新しい外面耐食塗装を開発することで、寿命100年に挑戦している。

比較的腐食性の強い環境において、経年により最小管厚のダクタイル鋳鉄管が設計安全率を下回る管厚になるまでの期間は30年程度とされている。これに70年以上の寿命が期待できる新たな外面塗装を組み合わせることができれば、寿命100年の水道管が実現できる。

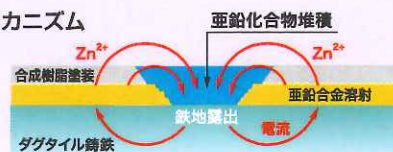
これまでのダクタイル鋳鉄管の外面塗装は、亜鉛溶射の上に合成樹脂塗装が施されていたが、今回はこの亜鉛を、錫、マグネシウムを添加した亜鉛合金に変えた上で溶射量を増大させた。また溶射皮膜中には微細な空隙が多く存在し、これが水や酸素との接触を増やし、溶射皮膜を消耗させる要因となっ

ていたが、無機系微粒子を溶射皮膜に塗布して空隙を封じることで、犠牲陽極効果の持続期間を従来に比べ大幅に延長させている。鉄管素地に達する傷（クロスカット）を付け、塩水噴霧試験の際に走査型振動電極法で電流密度を測定した結果、初期には傷部に腐食を示す電流ピークが認められるが、次第に電流ピークが消え、腐食生成物により傷が塞がって防食されていることがわかる。さらに複合サイクル試験の結果より、この亜鉛合金溶射と封孔表面処理、そして合成樹脂塗装を施した外面耐食塗装の寿命は、腐食性の強い環境で70年以上と推定される。

また、管内面のエポキシ樹脂粉体塗装等についても、20年以上経過した粉体塗膜の調査結果から劣化速度を求めると、100年を越える耐久性を有すると推定される。

■ダクタイル鋳鉄管の長期耐久性

○防食のメカニズム

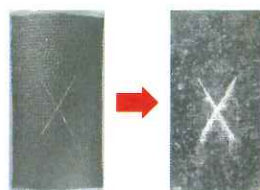


○外面耐食塗装と従来仕様の防食期間

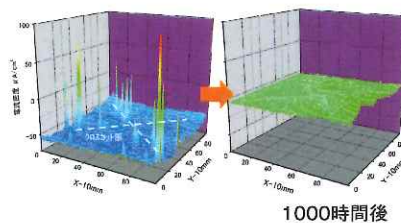
	腐食性の強い環境 (国土95%以内を 想定)での防食期間	腐食促進試験 ¹⁾ での防食期間
[従来]亜鉛溶射皮膜(溶射量 130g/m ² 、塗装なし、傷なし)	2年以上 (実験値)	約3日 (平均実験値)
[新]外面耐食塗装(溶射量 325g/m ² 、塗装あり、傷あり)	70年以上 (推定値)	120日以上 (実験値)

1) 複合サイクル試験(JIS K5600-7-9サイクルA)

○塩水噴霧試験における防食効果の検証



試験前 350日後
傷部(クロスカット部)
に対する防食性能
(溶射皮膜厚:約20μm、上塗りあり)



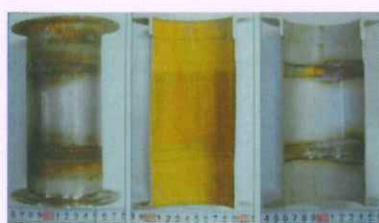
走査型振動電極法(SVET)
による傷部の電流密度
(測定範囲:10x10mm、クロスカット長さ10mm、上塗りなし)

(資料提供:日本ダクタイル鉄管協会)

■ステンレス鋼管の長期耐久性

○施工後23年 経過した給水管

ステンレス鋼管の異常
が認められず、一部溶
接焼けがみられる部分
もあったが、腐食は認め
られなかった。



洗浄前の外観 洗浄前の内面 洗浄後の内面

○メカニカル継手の推定寿命(熱影響による推定寿命)

温度	80℃	70℃	25℃
耐用年数	40年以上	80年以上	100年以上
用途	給湯	給湯・冷温水	給水

注)ただし24時間連続使用の場合

ステンレス配管の寿命はメカニカル
継手に使用されるゴムパッキンの耐
用年数に依存している。

(資料提供:ステンレス協会)

■ライニング鋼管の長期耐久性

○施工後40年経過した塩化ビニルライニング鋼管



内面に若干のもらい錆と思われる
変色が確認されたが、ライニング材
の剥離、浮きなどの欠陥は認められ
ず、接着力も初期の規格値を満た
し、長期耐久性が認められている。

(資料提供:日本水道鋼管協会)

強度を要する縦方向の配管に多く使用されているライニング鋼管の耐久性向上も進められている。ライニング鋼管は赤水の発生を抑えるため鋼管の内面に耐食性に優れた硬質塩化ビニルやポリエチレンがライニングされているが、ライニングによる防食被覆鋼管にとって、継手接合部は鉄地が露出し、完全に防食することはできなかった。そこで1985年に管端防食継手が開発され、管継手と樹脂コアを一体成形することで、鋼管切断面と管継手の鉄部を水から完全に遮断することが可能になった。これによって鋼管端面の腐食による赤水や漏水が発生することはなくなった。

40年以上使用されたライニング鋼管が調査され、これは管端防食継手が開発される前の事例であるが、長期耐久性を保有することが確認されており、今後、管端防食継手の適用が増えることで、ライニング鋼管のさらなる長寿命化が期待できる。

いつでもどこでも蛇口から安全な水が飲める国はそう多くはない。今回の地震で、そのありがたさを再認識した人も少なくなかったであろう。更新工事の財源確保は大きな課題であるが、利用者の意識が変われば、更新ペースは加速していく可能性がある。次の100年に耐える水道管の開発は進展している。新しい水道インフラをどう構築していくのか、本格的な更新時期が目前に迫った今、人々の関心と多くの議論が必要となっている。

(本記事における各種水道管の技術詳細については特集記事参照)

●取材協力:(社)日本水道協会、日本水道鋼管協会、日本ダクタイル鉄管協会、ステンレス協会

●文:藤井美穂

暮らしに身近な給水管の長寿命化

給水管の長寿命化も進められている。近年、公道下の配水管から給水メーターまでを結ぶ給水管にステンレス鋼管を採用する水道事業者が増えている。一般的には塩化ビニルライニング鋼管やポリエチレン管等の使用が多いが、関東の主要都市を中心にステンレス鋼管の採用が目立ってきている。特に積極的なのが東京都水道局で、従来給水管に使用され問題となっていた鉛管はステンレス鋼管に置き換えられている。最近では耐震性を備えた波状ステンレス鋼管が多く採用されるようになっている。

ステンレス鋼管の最大の特性は優れた耐久性である。ステンレス協会ではステンレス配管の寿命を最低40年と推定しているが、これはメカニカル継手に使用されるゴムパッキンの耐用年数に依存しており、使用水温が常温であれば、100年以上の使用も可能であると推定している。

この優れた耐久性から、集合住宅等の共用部配管に超高耐久なステンレス配管システムを導入し、いわゆる「200年住宅」と呼ばれる超長期住宅を実現させようという提案もなされている。

また、配水管から家庭へ引き込む給水管や、集合住宅内で