ダクタイル鉄管の長期耐久性・長寿命性を確認

～技術特集・長期的視点で考える最適な管材料の選択のあり方～

管路整備に際しての適切な管材料の選定は水道事業体にとって極めて重要な要素であることは改めて強調するまでもない。また、この管材料に対する評価は、施工性、安定性、維持管理性、強靭性、水質の維持など、多様な視点から判断する必要があるが、とりわけ、長期的な視点によってその性能を検証することは極めて大切な取り組みと言える。そうした中、桂沢水道企業団では、ダクタイル鉄管を全国に先駆けて採用したことを踏まえ、初期に布設された管路の性能を長期的視点によって調査・検証を進めている。本紙では、調査・検証結果についての同企業団への取材を通じて、適切な管材料選定のあり方を考える特集を企画した。

世界で初めて遠心力鋳造法のダク管を採用

桂沢水道企業団が布設後53年経過した管を調査

検証取材レポート

北海道最初の広域水道事業体

桂沢水道企業団は、北海道の道央に位置する南空知地域の岩見沢市・美唄市・三笠町（現三笠市）の2市1町が上水道用水の安定供給を図るため、昭和30年に北海道内で最初の広域水道事業体として設立した。当時は桂沢上水道組合の名称でのスタートだった。その後、昭和33年12月から用水供給を開始し、昭和41年の第一次拡張事業、昭和44年の第二次拡張事業では栗沢町、北村も企業団に参加、供給水量の増加を図るなどして施設の整備を進め、今日に至っている。

丹羽課長

宮崎係長

丹羽真一・同企業団企業局管理課長は「構成団体の岩見沢市、美唄市、三笠市は、北海道開拓の歴史の中でもその入植の歴史は古く、岩見沢は交通要衝地としての利と肥沃な土地に恵まれ、美唄、三笠の両市は石炭産業が隆盛でありましたが、山岳地帯はもちろん、平野部も主に低湿地帯で泥炭土質のため、良質な地下水に恵まれず、飲料水についてはそれぞれ苦労し、悩んでいました。そのような中で、昭和26年から始められた桂沢ダムの建設に伴い、水源を桂沢ダムに求め、取水、導水、浄水、送水等の上水道施設を共同施設として施工するとともに、施工後の上水道用水の供給及び維持管理ならびに経営に関する事務を共同で処理することが、工事費の低減と運営の合理化につながるという観点から、上水道組合を設立し、桂沢ダム事業に参加することにしました」と説明する。

現在の構成団体は、平成18年3月に、旧岩見沢市と旧栗沢町、旧北村が、市町村合併により、新岩見沢市となったことから、現在は、岩見沢市、美唄市、三笠市の3市となっている。平成25年3月31日現在の給水人口は10万4498人、給水戸数は5万3014戸。24年度実績の年間総送水量は1268万9836立方㍍、一日平均送水量は3万4767立方㍍、一日最大送水量は3万8830立方㍍となっている。

また、管路施設については、管種はダクタイル鉄管および鋼管の2種類を使用しており、管路総延長は3万2796㍍。このうち、導水管延長が7736㍍、送水管延長が2万5060㍍となっている。また、口径別では、呼び径300㍉から500㍉未満が1323㍍、500㍉から1000㍉未満が3万1473㍍であり、ほとんどが、呼び径700㍉および600㍉となっている。管種別では、ダクタイル鉄管が1万6534㍍、鋼管が1万6262㍍となっており、耐震適合性がある管の延長は2万1460㍍であることから、管路の耐震化率は65・4%となっている。さらに、ダクタイル鉄管のみで耐震適合性のある管の延長が6521㍍であることから、ダクタイル鉄管における耐震化率は39・4%となっている。法定耐用年数の40年を超えた管路は2万4832㍍であり、これは管路全体の75・7%となっている。

ダクタイル鉄管の関係者に敬意

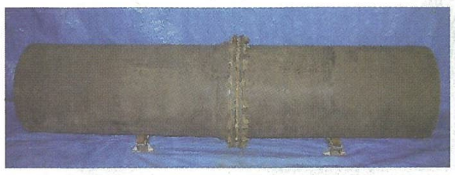
同企業団を語る上で欠くことができない事柄として、世界で初めて遠心力鋳造法によるダクタイル鉄管を採用したことだ。「当企業団の創設事業のうち、昭和31年度～32年度に実施した、延長3856㍍の導水管布設工事で、材質や管路建設費の検討結果などをもとに、呼び径700㍉の遠心力鋳造法によるダクタイル鉄管を採用しました」と説明するのは、宮崎俊之・同企業団企業局管理課工務係長。

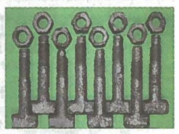
ダクタイル鉄管は、立吹き鋳造法によるものがすでに国内で使用されていたが、現在と同じ遠心力鋳造法によるものはメーカーにおいて開発されたばかりだった。宮崎係長は「国内初、世界初ということもあったのでしょうが、当時は、管の納入が大幅に遅れ、メーカーでも会社の総力を挙げて製造工場の設備整備、管の製造等に努力していただきましたが、設備の手直し等々もあり、その苦労は並大抵のものではなかったようです」と話す。

同企業団がダクタイル鉄管を採用した経緯としては、昭和31年9月に上水道組合が発足してはじめての工事として、導水管の入札を行った際に、当初は管種をアスファルトジュート巻電気溶接鋼管としていたものの、当時の造船ブームによる鋼材価格高騰のあおりを受け予定価格を上回る開札結果となり、不調となった。

「当時、当企業団ではすでに、ダクタイル鉄管の予備知識を得ており、ダクタイル鋳鉄が鋼に比較して、強度においても、伸び率においても同等の能力を持ち、しかも化学的な組成から、その耐食性は鋼よりはるかに高いこと、しかもメカニカルジョイントの出現が溶接継手に比べ有利であると認識していました」と丹羽課長は話す。しかし、新製品であることから、データを収集し、検討を重ねた結果、その優秀性は認められるが、もう少し様子を見る必要があると判断し、導水管の設計対象とはしなかった。

鋼管の入札が不調になったことから、ダクタイル鉄管の採用を再度検討することになり、メーカーと調整した結果、当時は一般的ではなかった遠心力鋳造法によるダクタイル鉄管を採用した。


53年掘り上げ管の外観


同じくボルトナットの外観

宮崎係長は「当時、ダクタイル鉄管の評価が確立されていない時に、しかも立吹き管しか鋳造されていない時に、遠心力鋳造法によるダクタイル鉄管を採用したことは、経済的な要求からとはいえ、今振り返ると冒険であったと思います。今日、ダクタイル鉄管はその地位を確立し、ゆるがないものとなりましたが、ここで改めて先輩諸氏の判断に誤りがなかったことと、それ以上にダクタイル鉄管をここまで育てあげられました関係者の皆様の努力に対して深く敬意を表したいと思います」と述べた。

導水管布設工事に続いて行った呼び径700㍉の送水管布設工事でもダクタイル鉄管を採用した。これらの工事は、酷寒の気象状況の中、昼夜を問わず行われたが、大口径管布設の経験を持つ配管工が少なかった当時の北海道で、接合の容易なメカニカルジョイントを採用したことは工事の進捗に大きく貢献した。

その後、送水量の増加に対応するため、昭和41年度～43年度に第一次拡張事業、44年度～47年度に第二次拡張事業を実施した。第二次拡張事業では、昭和32年度に布設した延長約9000㍍のダクタイル鉄管の内面にセメントモルタルライニングを施工し、通水能力を向上させている。これらの拡張事業で、水道用水供給能力はほぼ完成した。その後は、浄水場排水処理施設や発生土処分地の整備、水質検査体制の整備、浄水場周辺の環境整備などを行い、多様化する上水道へのニーズに応えるべく、施設の維持管理に力を注いでいる。

ダク管の施工性、水密性など評価

同企業団の歴史には、ダクタイル鉄管が大きく関わってきた。丹羽課長はダクタイル鉄管について「ダクタイルとは『延性のある』という意味ですが、その名のとおり、高い強度と延性に優れ、また、内圧・外圧に対して高い安全性を示しますし、大きな外荷重に対してもよく耐えます」と評価する。

続けて宮崎係長は「施工性の面においては、継手、異形管なども豊富に揃っていますし、しかも容易に、簡単・確実に接合でき、継手部の強度・水密性も優れています。また、耐震性については、離脱防止継手、耐震継手など豊富な継手形式が揃っているので、地震などによる地盤沈下や地盤の亀裂にも管路が鎖のように挙動し、地盤の変位に追従するので、管路全体の耐震性も十分に図られます。また、実際に過去の地震においても被害がないこともポイントです」と話す。

53年掘り上げ管の水圧負荷試験の様子

真直水圧および曲げ水圧負荷試験

継手の状態	負荷水圧（MPa）	保持時間（分）	結果
真直状態	0.85	5	漏水なし
	1.40	5	漏水なし
繰返し伸縮（+32.5mm※1，10回）	0.85	5	漏水なし
繰返し曲げ状態（0°⇔+2.5°※2，10回）	0.85	5	漏水なし
屈曲状態（+2.5°）	1.40	5	漏水なし
繰返し曲げ状態（+2.5°⇔−2.5°，10回）	0.85	5	漏水なし
屈曲状態（−2.5°）	1.40	5	漏水なし

※1　呼び径700A形ダクタイル鋳鉄管の真直配管時最大伸び量65mmの1/2に相当。
※2　呼び径700A形ダクタイル鋳鉄管の許容曲げ角度に相当。

維持管理性についても、埋設距離当たりの事故発生件数や、地震時の事故件数などが少なく、維持管理が容易であり、また、万一の事故発生の際にも迅速に補修が行うことができることを評価した。

また、管内面には、モルタルライニング、エポキシ樹脂粉体塗装などが施されているため、優れた水質衛生性があり「水道施設の技術的基準を定める省令」に示された「浸出基準」を満足している安全な水道管となっていること、長期間使用しても、流量・流速はほとんど変わらないこと、耐食性では、管外面にポリエチレンスリーブを装着し、土壌と管体を直接触れさせないことで、極めて腐食性の強い土壌環境に埋設される場合でも、管の腐食を防止できることも評価している。

管路更新時にはダク耐震管を採用

同企業団では、管路の老朽化対策、耐震化対策として管路の整備計画の策定・推進を進めていく必要があるとしているが、財政状況が厳しいことを考慮し「この地域においても道路改良工事などで導水管、送水管の[illegible]の移設工事が頻繁に発生していることから、これらの補償工事に併せて、更新を進めることとし、その他の地域については、漏水発生状況や老朽化状況などを勘案しながら、順次、計画的に更新していきます」と宮崎係長は話す。

また、丹羽課長は「更新に当たっては、耐震継手を有するダクタイル鉄管の耐震管を主力管種として採用しており、今後とも桂沢浄水場の水を飲んでいただいている需要者の皆様に、安全で安心な水を安定的に供給していくことができるよう、また、災害に強い、持続可能な管路施設を未来に引き継いでいくことができるよう努めていきます」と述べた。

中大口径のGX形管にも期待

厚生労働省水道課は今年3月に公表した「新水道ビジョン」において「安全」「強靭」「持続」を水道の理想像として示している。同企業団でも地域水道ビジョンの策定を進めており、その中では浄水施設・管路施設の更新や長寿命化が重要な課題になるとしている。

丹羽課長は「当企業団としては、更新施設の長寿命化による必要投資額の削減を図る観点から、今回の調査結果も踏まえ、管路の法定耐用年数である40年の1・5倍以上にある、60年以上を一つの目標として、管路施設更新の目安として考えています」と話す。

また「これまでも更新に当たっては、NS形などに代表される、離脱防止継手を持ち、管内面にはモルタルライニングを施し、管外面にはポリエチレンスリーブを装着したダクタイル鉄管を採用してきましたが、今後は、管内面に、エポキシ樹脂粉体塗装を施した、いわゆる『高機能ダクタイル鉄管』を採用し、一度整備をしたら60年と言わず、100年先まで使用できる水道管路の整備を目指して行くことができればと考えています。そのような意味では、新しく開発されたGX形管は、100年使用できる次世代の水道管だと聞いています。当企業団で使用している中大口径管については開発中とのことですが、製品化されれば積極的に使っていきたいですね」とGX形管への期待を語った。

管体・ゴム輪の良好な状態確認

53年経過も経年変化なし

ゴム輪・管体等について調査実施

昭和32年に日本で初めて遠心力鋳造法で製造したダクタイル鉄管を採用した同企業団では、初期のダクタイル鉄管の経年変化に関心を持っていたが、平成9年に道路改良のために数本を掘り上げることとなり、約40年間使用した管やゴム輪の実態を確認する機会を得ることができた。また、その後、平成14年には、管としての機能に問題はなかったが、45年間使用した管を掘り上げる機会を得たため、前回の40年掘り上げ管に引き続き、管やゴム輪の実態を確認すべく調査を行い、40年掘り上げ管との比較も含め、その良好な結果について、日本水道協会の「水道協会雑誌」に「報文」として発表している。

今回の調査は、平成22年に、道路改良のための管路の移設工事に伴って、その一部を掘り上げた53年間使用した管が対象。ゴム輪の状態、継手の水密性を調査した。

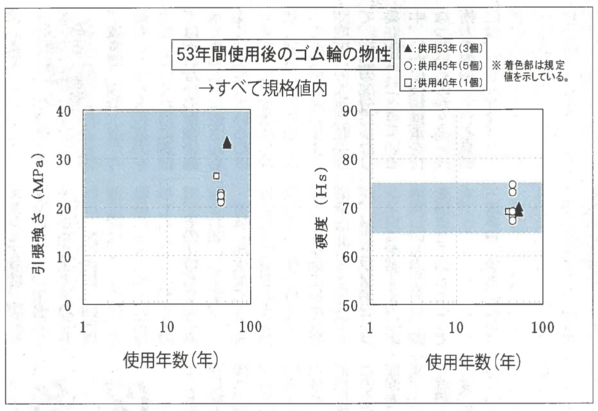
今回、調査を行った埋設管について丹羽課長は「呼び径700㍉A形継手の直管で、管の長さはA形継手部を含む約3㍍。布設時の規定管厚は11・0㍉、外面塗装は、当時のコールタール系塗料で、ポリエチレンスリーブは装着されていません。また、内面は布設してから15年後の昭和47年に、現場でモルタルライニングを施工しています」と説明する。調査は6点について行った。

1点目は、A形継手の水密性で、内に充水し、油圧ジャッキで継手を強制的に繰り返し伸縮させた後、継手部に水圧を負荷しても、継手の水密性に異常がないことを確認した。また、管内に充水し、油圧ジャッキで継手を強制的に繰り返し屈曲させた後、継手部に水圧を負荷しても、継手の水密性に異常がないことも確認した。

2点目は、掘り上げ管の寸法・成分・物性で、掘り上げ管の寸法・成分・物性は、いずれも規定値を満足していた。

3点目は、掘り上げ管外面の腐食状況で、53年掘り上げ管の外面には、塗装が十分に残存していた。また、最大の腐食深さは4・0㍉で、面積の小さな腐食が部分的に点在していた。ボルト・ナットの腐食状況については、腐食はボルト先端ネジ部でやや進行していたが、継手性能に影響を及ぼすような著しい腐食は認められなかった。管周囲の土壌は粘土で、ANSI評価10点以上の腐食性土壌が混在していることを確認している。

4点目は、ゴム輪の形状・物性で、使用されたゴム輪には著しい変形もなく、53年間使用された時点でも、十分な弾力性を有し、物性も規定値を満足していた。



5点目は、現地施工モルタルライニングの状況について。モルタルは現地施工で38年間供用していた。ライニング厚さに対し50%以上は中性化していたが、全厚が中性化している部分はなかった。また、健全モルタル部の「CaO/SiO2比」は、一般的な値で異常はなかった。

6点目は、掘り上げ管の調査結果から、ダクタイル鉄管の耐用年数を評価した。

指標の一つとした「外面腐食」から見た評価結果では、今回調査した53年掘り上げ管の外面腐食深さの最大値は4・0㍉。日本水道協会の水道施設更新指針には、「腐食性の強い土壌」と「一般土壌」に埋設された場合の「ダクタイル鉄管の腐食深さの予測例」が示されているので、これを参考にして、最大値から腐食深さの予測曲線を推定した。

次に、掘り上げ管の内外圧などの設計条件から、腐食残管厚が安全率1・0を確保できる許容腐食深さ6・4㍉を計算で求めた。「つまり、この掘り上げ管の場合、腐食深さが6・4㍉に達すると、残管厚では安全率1・0を満たさないことになります」と説明する宮崎係長。続けて「計算では、53年経過時の4・0㍉はもちろん、100年埋設時に推定される腐食深さも5・1㍉という結果になり、安全率1・0を十分に確保することができ、長期間の使用にも耐えるものと考えます」。

「ゴム輪の耐久性」から見た評価結果については、今回調査した3個に加えて、使用40年、45年経過時のもの計6個についても同様の調査を行ったので、これらを併せた計9個で評価を行った。各ゴム輪の物性値は、個々によってばらつきがあるが、40～53年間使用され続けたものでも、ゴム輪の「引張強さ」と「硬度」はすべて規格値内に入っていることが確認できた。また、応力緩和の経時変化の推定結果に基づいて試算したゴム輪の面圧も十分に保持されていることが確認できた。

丹羽課長は「1点目の結果にもあるように、これらのゴム輪を使用した管の真直および曲げ水圧負荷試験において、継手の水密性が十分に保持されていることが確認できていることから、ゴム輪はさらに長期間使用することができると考えています」と述べた。

調査結果は全国水道研究発表会で発表

宮崎係長は今回の調査結果を総括して「1点目は、継手は繰り返しの伸縮や屈曲をさせても、十分な水密性を保持できていました。2点目は、管外面、ボルト・ナット、ゴム輪、現地施工の内面モルタルライニングは、ほぼ良好な状態を維持していました。3点目は、管外面の腐食やゴム輪の耐久性から、ダクタイル鉄管は50年以上が経過した現在でも、『まだ十分に機能が保持できていること』や『今後長期にわたる供用も十分に期待できること』を確認しました」と述べ、ダクタイル鉄管の長期耐久性や長寿命性が確認できたとしている。

掘り上げ直後の管内面

なお、これらの調査結果の詳細は、10月に福島県郡山市で開催される日本水道協会の全国水道研究発表会で宮崎係長が発表することになっている。宮崎係長は「法定耐用年数が40年の水道管でありますけれども、過去3回にわたって追跡調査を実施してきました。53年間使用した管体やゴム輪、接合部などに問題は無く、まだまだ使用できることが確認できました。このように、長期的な視点によってその性能を検証することは極めて大切なことであると考えており、今後も、60年、70年と経年的に調査を実施し、その実態を確認して、今後の当企業団の施設整備計画に生かすとともに、それらの調査結果を全国の水道関係者に発表することで、それぞれの水道事業体でも、参考にしていただければと考えています」と抱負を語った。