

八戸発祥！耐震水道管

1 誕生のきっかけ

(1) 十勝沖地震の発生

昭和43年（1968年）5月16日9時49分、八戸沖を震源とするM7.9の十勝沖地震が発生し、青森県、北海道南部を中心に甚大な被害をもたらしました。八戸市内全域にわたって電気や通信が途絶え、各施設の相互連絡が不可能となりました。浄水場機能が麻痺したことで、地震発生2時間後に、ほぼ給水不可能となり、市内全域にわたる断水が発生しました（写真1～3、表1）。

写真1 地震による道路の破損



写真2 運搬給水状況



写真3 水道管の被害状況（継手の抜け出し）



表1 地震による断水被害及び運搬給水状況

断水世帯数	最大延べ5万1,129世帯
運搬給水	5/16～5/25
運搬車両数	延べ111台
運搬回数	延べ640回
従事人員	延べ819人
漏水件数	配水管165件、給水装置947件

(2) メーカーとの共同開発

十勝沖地震で甚大な被害を受けた水道管路の惨状を目の当たりにした当時の田邊一政水道事業管理者は、昭和44年（1969年）に日本ダクタイル鉄管協会に赴き、久保田鉄工(株)（現株クボタ）に地震でも抜けない耐震管の開発を要請しました。このことを契機として、八戸市の耐震管路構想がスタートしました。

開発に当たっては、地震時の埋設管路の挙動を確認することから始め、八戸市と久保田鉄工(株)の協議の中で目標性能をまとめ、それを久保田鉄工(株)が実施していくといった方法が取られました。約1年間で、口径1500mmのS形ダクタイル鉄管試作までの開発工程を完了させました。

2 全国（世界）初！耐震水道管採用

(1) ループ幹線

八戸圏域水道企業団の前身である八戸市水道部では、昭和 47 年度（1972 年度）から着手した八戸市水道事業第二期拡張事業において、管路を主体とした地震対策に取り組みました。

初めに、導水管路及び浄水場や配水池などの構造物について耐震設計を実施し、特に配水管路ではループ幹線構想（図 1）を打ち出し、優れた耐震性能を有する S 形ダクタイトイル鉄管を採用しました。

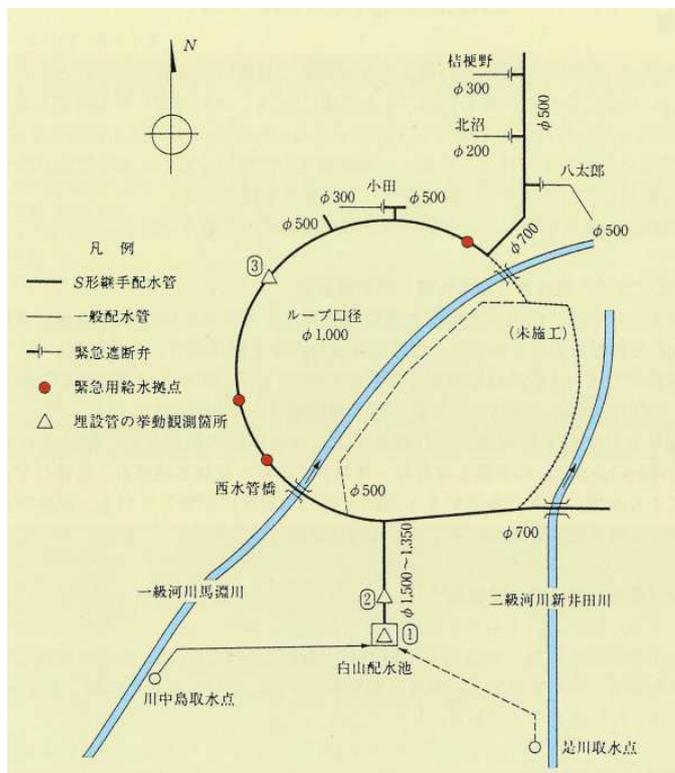


図 1 ループ幹線構想図

(2) 当時の工事内容の紹介（西水管橋）

西水管橋は、馬淵川を横断してループ幹線を結ぶ口径 1000 mm の水道管用単独橋です。橋桁が壊れて水管橋が川に落ちて耐震性能を発揮することにより、管路がつながって通水できるように設計されています。これは、当時の田邊一政水道事業管理者の「地震が起きても市民は生きている。橋が落ちて水を供給しなければならない」といった思想に基づいています。

水管橋の施工は、橋桁上で 2.5t 以上の水道管の配管作業が必要であったため、当時としては特殊な吊り金具を製作し、ケーブルクレーンによって橋脚に据え付ける方法が採用されました（写真 4～9）。水管橋は、昭和 54 年（1979 年）3 月に完成しました（写真 10、11）。

昭和 43 年（1968 年）に発生した十勝沖地震の被害から開発が進められた耐震形ダクタイトイル鉄管の整備により、平成 6 年（1994 年）に発生した三陸はるか沖地震、平成 23 年（2011 年）に発生した東日本大震災においても、西水管橋を含めたループ幹線に全く被害はありませんでした。



写真4 西水管橋の施工状況①



写真5 西水管橋の施工状況②



写真6 耐震管の施工状況①



写真7 耐震管の施工状況②



写真8 水管橋下部の配管①



写真9 水管橋下部の配管②



写真 10 昭和 52 年（1977 年） 西水管橋の施工状況



写真 11 令和 6 年（2024 年） 西水管橋の状況

3 耐震水道管とは

(1) 鎖構造管路

水道管の継手部分が軸方向にスライドし、上下左右に屈曲することができるため、引張・圧縮・屈曲のあらゆる方向への地盤変動に対応可能で、鎖のような柔軟性があるのが特徴です(図2、写真12)。

また、耐震形ダクタイトイル鉄管の継手は、引張方向(抜け方向)に対し、挿し口突部がロックリングに引っかかることで継手が抜け出さない構造(図3)になっています。



図2 耐震形ダクタイトイル鉄管の継手断面図



写真12 耐震形ダクタイトイル鉄管(GX形)の吊り上げ状況

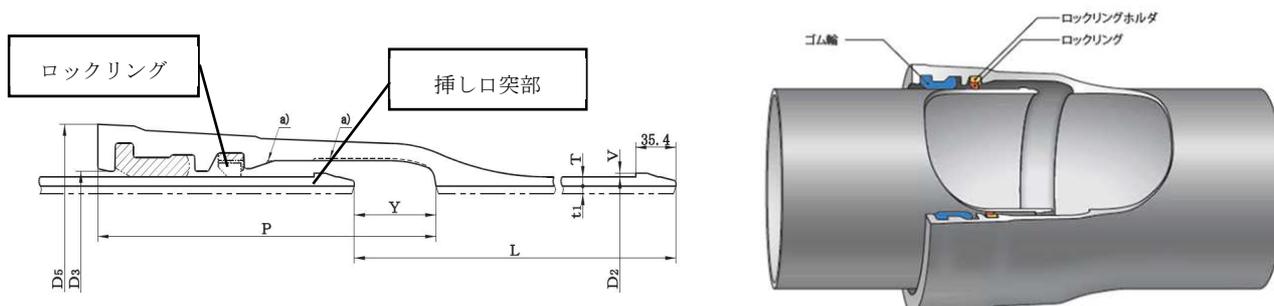


図3 日本ダクタイトイル鉄管協会発行「便覧」、HP参照(GX形)

(2) 離脱阻止力

耐震管の耐震性能の一つに離脱阻止力があり、3DkN (D:口径) 以上の離脱防止性能を有する必要があります。これは、口径 1000 mm の水道管であれば、約 300 t の力で引っ張っても抜けないことを示します (計算例: $3 \times 1000 \text{ mm} \times 1 \text{ kN} = 3000 \times 0.102 \text{ tf} = 306 \text{ tf} \approx 300 \text{ tf}$)。

なお、地下埋設管路耐震継手の技術基準(表 2、3)においては、最高ランクの A 級に分類されています。

表 2 伸縮形耐震継手

項目	区分	継手の性能
伸縮性能	S-1 類	伸縮量 $\pm 0.01 \ell \text{ mm}$ 以上
	S-2 類	伸縮量 $\pm 0.005 \ell \text{ mm}$ 以上 $\pm 0.01 \ell \text{ mm}$ 未満
	S-3 類	伸縮量 $\pm 0.005 \ell \text{ mm}$ 未満
離脱防止性能	A 級	離脱防止抵抗力 $0.3 d \text{ Ton}$ 以上
	B 級	離脱防止抵抗力 $0.15 d \text{ Ton}$ 以上 $0.3 d \text{ Ton}$ 未満
	C 級	離脱防止抵抗力 $0.075 d \text{ Ton}$ 以上 $0.15 d \text{ Ton}$ 未満
	D 級	離脱防止抵抗力 $0.075 d \text{ Ton}$ 未満

(注) ℓ : 管 1 本の有効長 (mm) d : 管外径 (mm)。一般には呼び径とする。

表 3 屈曲形耐震継手

項目	区分	継手の性能
屈曲性能	M-1 類	屈曲角度 $\pm 15^\circ$ 以上
	M-2 類	屈曲角度 $\pm 7.5^\circ$ 以上 $\pm 15^\circ$ 未満
	M-3 類	屈曲角度 $\pm 7.5^\circ$ 未満
離脱防止性能	A 級	離脱防止抵抗力 $0.3 d \text{ Ton}$ 以上
	B 級	離脱防止抵抗力 $0.15 d \text{ Ton}$ 以上 $0.3 d \text{ Ton}$ 未満
	C 級	離脱防止抵抗力 $0.075 d \text{ Ton}$ 以上 $0.15 d \text{ Ton}$ 未満
	D 級	離脱防止抵抗力 $0.075 d \text{ Ton}$ 未満

(注) d : 管外径 (mm)。一般には呼び径とする。

※ 地下埋設管路耐震継手の技術基準(案)からの抜粋

4 耐震水道管の変遷

昭和40年代後半（1970年）から50年代前半（1980年）にかけて、S形及びSⅡ形継手が開発され、耐震形ダクタイル鉄管が全国に普及していきました（表4）。

耐震形ダクタイル鉄管は、平成6年（1994年）の三陸はるか沖地震や、平成7年（1995年）阪神・淡路大震災において被害が無かったことで、その有効性が認識されたため、当圏域における中・小口径管路においても平成7年（1995年）から試験採用を行い、翌年から全面採用としています。なお、先般の東日本大震災でも耐震形ダクタイル鉄管は注目を集めました。

近年では、施工性を飛躍的に向上させたNS形や、さらなる施工性の向上と長寿命化を図ったGX形の誕生によって、耐震形ダクタイル鉄管は今や地震大国日本の水道の必需品となっています。

阪神・淡路大震災以前の耐震形の水道管採用率は、わずか数%に留まっていたましたが、現在は新しく布設される水道管の約90%で耐震形の水道管が使用されています。

表4 耐震継手の変遷と主な地震

	1970年 (昭和45年)	1980年 (昭和55年)	1990年 (平成2年)	2000年 (平成12年)	2010年 (平成22年)	2020年 (令和2年)
耐震継手						
	S/SⅡ形 S形…呼び径500～2600 SⅡ形…呼び径75～450					
						
	NS形 呼び径75～450					
主な地震						
	NS形 呼び径500～1000					
						
	GX形 呼び径75～400					
	<ul style="list-style-type: none"> 十勝沖地震（1968） 八丈島東方沖地震（1972） 根室半島沖地震（1973） 伊豆半島沖地震（1974） 伊豆大島近海の地震（1978） 浦河沖地震（1982） 	<ul style="list-style-type: none"> 宮城県沖地震（1978） 日本海中部地震（1983） 長野県西部地震（1984） 	<ul style="list-style-type: none"> 釧路沖地震（1993） 北海道南西沖地震（1993） 北海道東方沖地震（1994） 三陸はるか沖地震（1994） 阪神・淡路大震災（1995） 鳥取県西部地震（2000） 	<ul style="list-style-type: none"> 芸予地震（2001） 十勝沖地震（2003） 新潟県中越沖地震（2004） 能登半島地震（2007） 新潟県中越沖地震（2007） 鳥取県西部地震（2008） 	<ul style="list-style-type: none"> 東日本大震災（2011） 熊本地震（2016） 北海道胆振東部地震（2018） 	

5 現在の状況

(1) 耐震管率の推移

当企業団では、漏水事故が発生した場合の住民生活への影響等を考慮して、管路の耐震化を進めてきました。

令和5年度（2023年度）末現在、水道管全体の耐震管率が45.7%、基幹管路^{※1}の耐震管率が73.0%となり（図4）、令和4年度の全国平均の基幹管路の耐震適合率^{※2}42.3%に比べ、高い割合となっています。

※1 基幹管路とは、導水管、送水管及び配水本管の総称です。

※2 耐震適合率とは、耐震管の割合と耐震管以外でも布設された地盤の状況を勘案して耐震性があると評価できる管の割合を加えたものです。

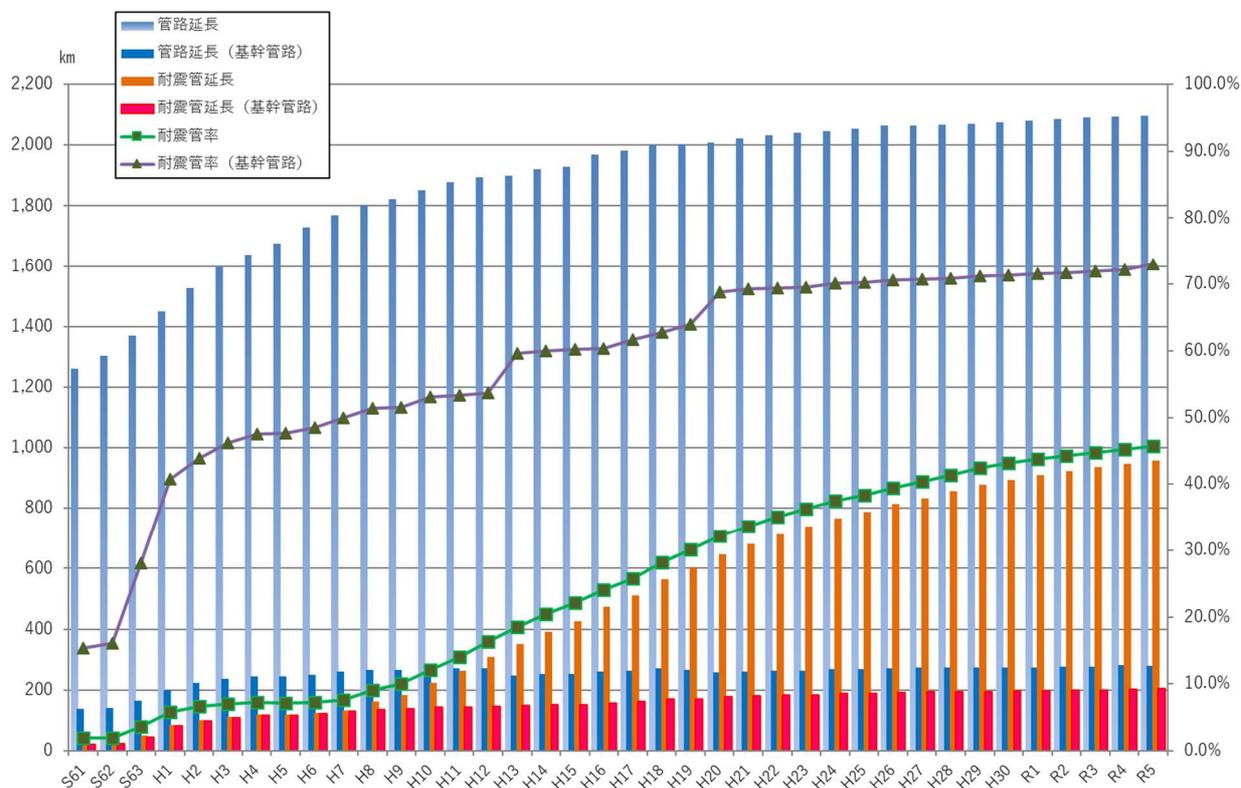


図4 管路の耐震管率

6 水道管路地震観測所

(1) 地震観測の経緯

昭和40年代後半(1970年代前半)、国内外において地震が起きたときの水道管の動きを計測したことがありませんでした。そのため、八戸市水道部では地震に強い水道管を採用すると同時に、この水道管が実際の地震時にどのように動くか観測し、今後の地震対策の研究データの収集をすることが必要と考えました。そこで、八戸市内の耐震管路に地震計、加速度計、ひずみ計及び継手伸縮計を設置し、地震時の水道管路の動きを実際に観測するという世界初の試みを、昭和50年(1975年)にスタートさせました。

(2) 観測方法

地震観測は、耐震管路の種類や埋まっている地盤の条件などから、八戸市内の3か所で行うことになりました。各観測所の観測目的と観測期間は次のとおりです(図5)。

幹線観測所

- 良好な地盤での直線管路の動きの観測
- 昭和50年(1975年)から平成30年(2018年)まで

白山観測所

- 配水池との接合部や曲管部分の動きの観測
- 昭和50年(1975年)から平成24年(2012年)まで

下長観測所

- 軟弱な地盤での直線管路の動きの観測
- 昭和52年(1977年)から平成14年(2002年)まで



図5 地震観測所の概要図

(3) 観測結果とデータの活用

これまで、昭和53年(1978年)宮城県沖地震、平成5年(1993年)釧路沖地震、平成6年(1994年)三陸はるか沖地震、平成15年(2003年)十勝沖地震、平成23年(2011年)東北地方太平洋沖地震等、多くの地震で管路の動きを観測することができました。これらの観測結果から、それまで分かっていた地震時の地盤及び水道管の動き、耐震管の継手の動きなどが明らかとなり、ここで得られた貴重なデータや知見は、全国水道研究発表会や日本水道協会雑誌をはじめとして、数多くの場で発表されてきました。

また、「水道施設耐震工法指針・解説(1997年 社団法人 日本水道協会)」において、

水道管本体と継手部分の動きを示す式が採用されるとともに、八戸圏域水道企業団の地震に備える取組みについて「管路耐震化システムの計画例」として掲載されました。

参 考 文 献

- 1) 八戸圏域水道企業団 (株)クボタ：世界に先駆ける耐震形ダクタイトイル鉄管
- 2) 八戸圏域水道企業団：八戸の水道 50 年史 技術資料編
- 3) (株)日本水道新聞社：地震時挙動観測開始から 25 年の検証～八戸圏域水道企業団の地震対策から～