

能登半島地震等における管路被害に対する 一般社団法人 日本ダクティル鉄管協会の見解



はじめに

- 能登半島地震では、基幹管路を含む多くの水道管路が被災し、大規模な断水が発生するとともに、その復旧は長期化しました。
- 当協会は、この度の被災を重く受け止め、国土の強靱化に向けて水道管路の耐震化の更なる促進のため、管種・継手ごとの耐震性能の評価の検討に関して、全面的に協力させていただきたいと考えております。
- そのためには、管路の被害件数、管路の被害率という結果だけで判断するのではなく、被災現地調査に基づく分析や解析を通じて、地震動および地盤変状に対して管路がどのように挙動し、管路性能に対して何が原因で被災したのかを明確にすることが重要であると考えています。また、繰り返し同様の地震が発生した場合においても管路性能が維持されているか検証することも、併せて重要であると考えています。
- また、当協会の責務として、管路の被害状況、原因等すべての情報を明らかにする必要があり、被災事業者様、応援事業者様をはじめ、すべてのユーザー様に対し、広く情報を提供しています。
- 以下、能登半島地震等における管路被害に対する当協会の見解を示します。

1.耐震継手ダクタイトイル鉄管の被害

1) 管路の被害状況

- 大規模な地盤変位の発生により性能基準値を超える外力により被災。
- 管路の被害について、漏水の有無や程度、管体や継手の機能、耐久性の低下等、定義づけが必要。
- 管種ごとの耐震性能を評価するにあたっては、被害箇所を6か所として計上することが妥当であると考えます。

管路の被害

被災場所	当該地の震度	呼び径、継手	被害数	被害形態等
輪島市	6弱	呼び径400NS形 ※1	4件	継手離脱、2箇所×2継手
輪島市（旧門前町）	6弱	呼び径100NS形	1件	折れ
能登町	6強	呼び径200GX形	1件	継手離脱

合計 6件

その他の被害 ※2

被災場所	当該地の震度	呼び径、継手	被害数	被害形態等
輪島市（旧門前町）	6強	呼び径100NS形	3件	施工不良による継手離脱
	6弱		2件	施工不良による継手離脱
	6弱		2件	大規模な道路崩壊による消失

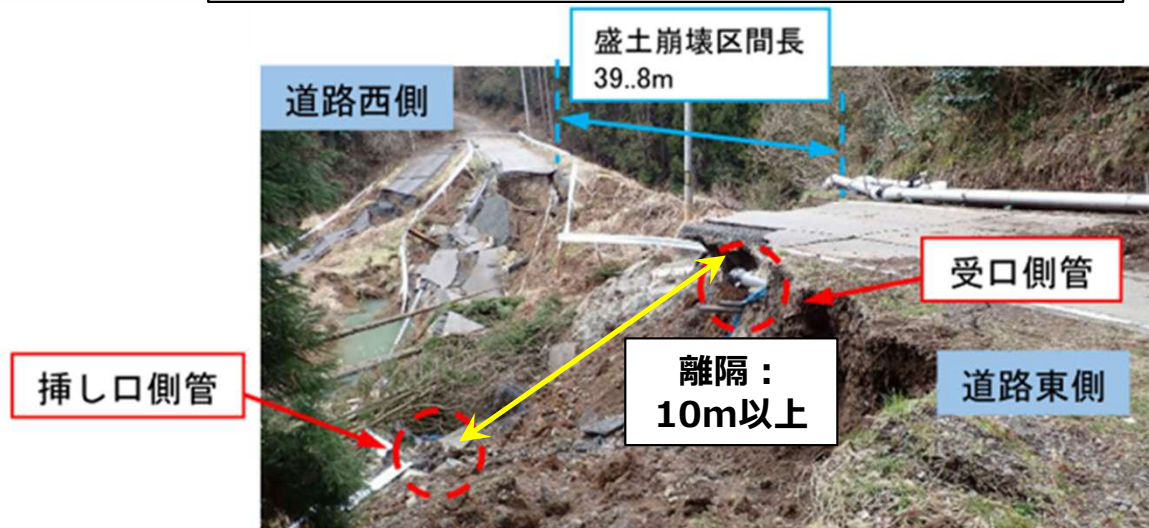
- ※1 輪島市の呼び径400NS形の被災は、同一現場において4箇所の継手離脱が確認されたことから、4件として整理した。
- ※2 施工不良による継手離脱5件は、東日本大震災や熊本地震の被害集計に準じ、管路被害率の集計から除外した。消失2件は、北海道胆振東部地震に準じ、管路被害率の集計からは除外した。
- ※3 輪島市、能登町の両事業者様には詳細報告を行い、ご承認をいただき、当協会HP等に掲載済み。

【管路の被害状況】

輪島市 呼び径400NS形 **継手離脱**
大規模な斜面崩壊（最大水平変位7.3m）



能登町 呼び径200GX形 **継手離脱**
盛土道路の大規模崩壊（最大変位5m以上）



輪島市（旧門前町） 呼び径100NS形 **折れ** 土砂崩れによる道路崩壊



道路仮復旧後



配管復旧作業

1.耐震継手ダクティル鉄管の被害

2) 管路の被害調査、原因究明

【考え方】

- 当協会では、**管路被害率が低いことだけを以て耐震管と位置付けることは十分ではない**と考えています。
- 耐震継手ダクティル鉄管の被災した場所の特定、地盤条件、地盤変位量、被災管路の特徴等を把握し、地震前後の管路挙動の調査、FEM解析や実験等を通じて再現し、継手・管体の性能と照合するなど、管路被害の原因究明を行い、必要に応じて対策を講じていくことで、はじめて管路の耐震化を進めることができると考えています。

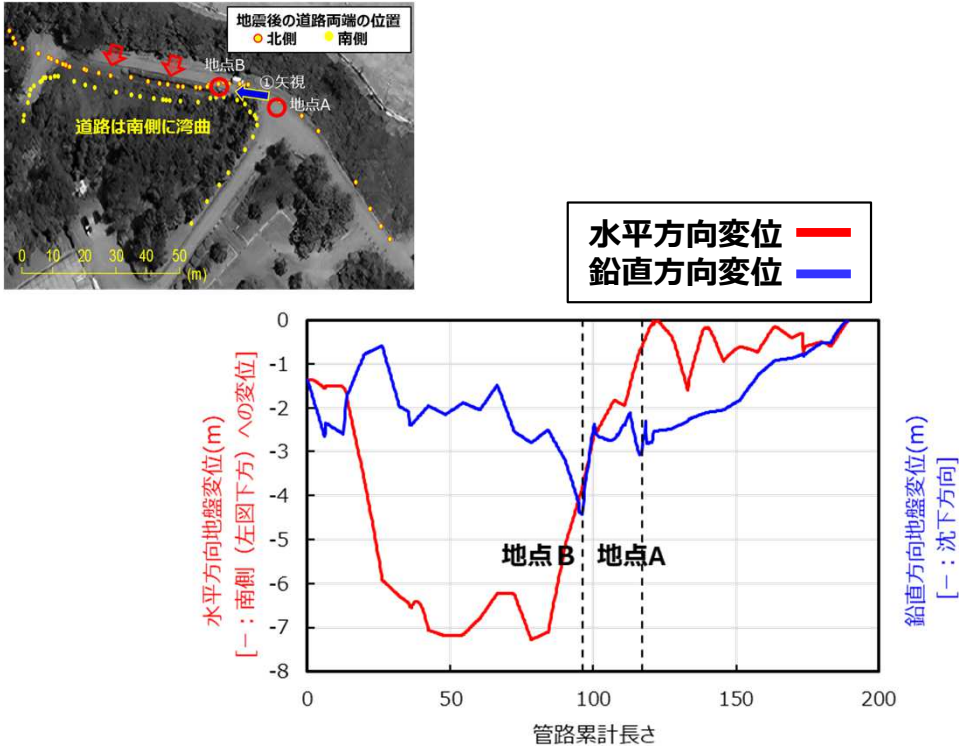
【被害調査、原因究明の手法】

- 1.地盤変位の調査(被災場所の状況把握及び地震前の地図データとの照合)
- 2.地震前後の管路挙動調査
- 3.回収された被災管の調査
- 4.FEM解析による管路挙動の再現、ほか

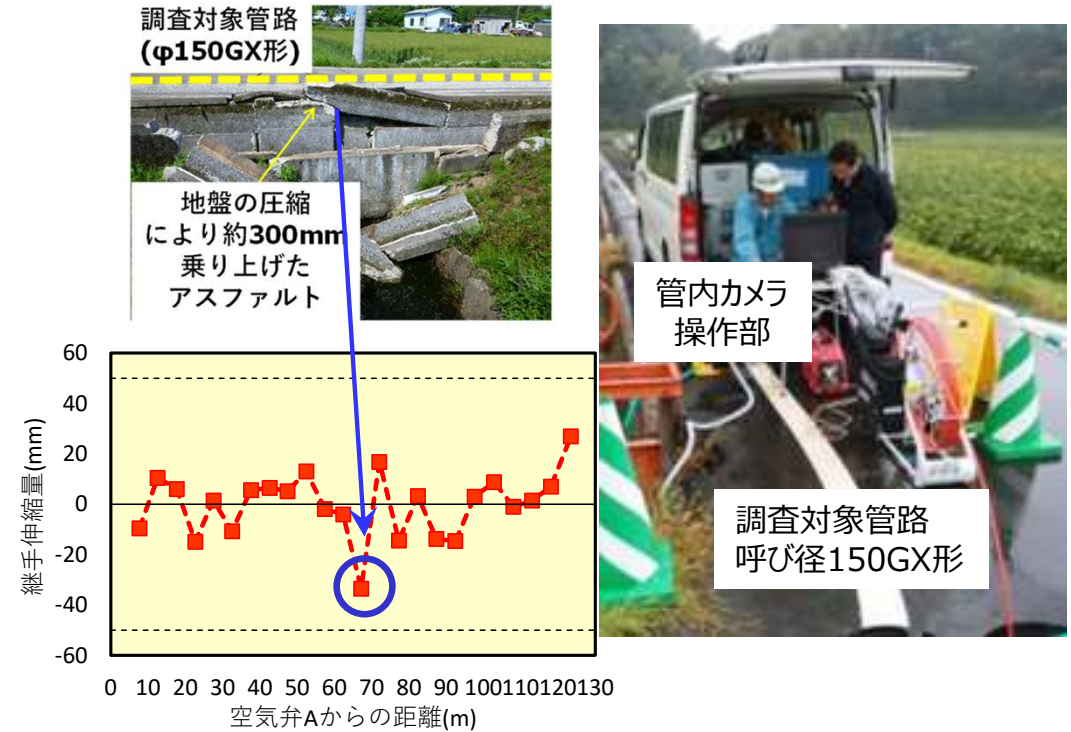
【被害調査、原因究明の手法】

【1.地盤変位の調査】

(被災場所の状況把握及び地震前の地図データとの照合)



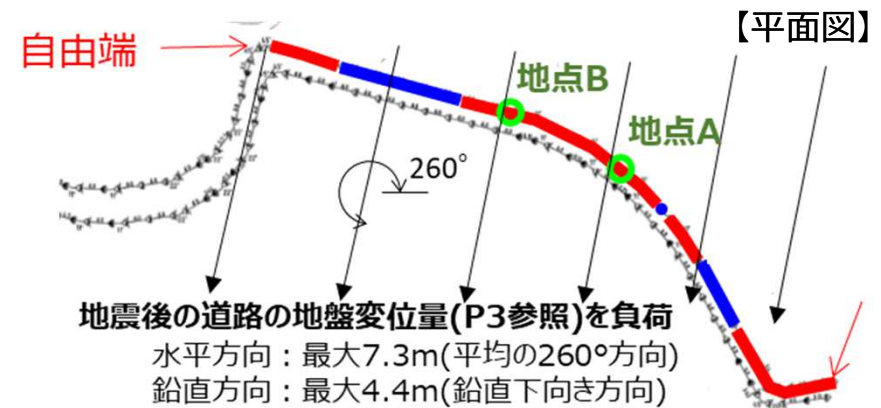
【2.地震前後の管路挙動の調査】



【3.回収された被災管の調査】



【4.FEM解析による管路挙動の再現、ほか】



【原因究明の具体例】 耐震継手ダクタイトイル鉄管(輪島市 呼び径400) の被害現場調査

- 被災場所： 大規模に斜面崩壊した輪島中学校グラウンドの南側道路（盛土）
- 被災管路： 送水管・配水管(2条配管：呼び径400NS形、2002年製)
- 被災状況： 大規模地盤変位の境界近傍で、一体化(ライナ付直管)継手が**離脱(4継手)**



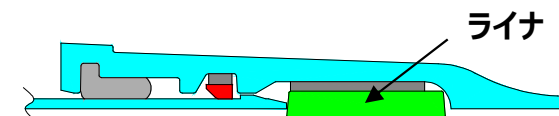
輪島中学校グラウンドの地盤変状



【被災地点Bの状況】



【一体化(ライナ付直管)継手】



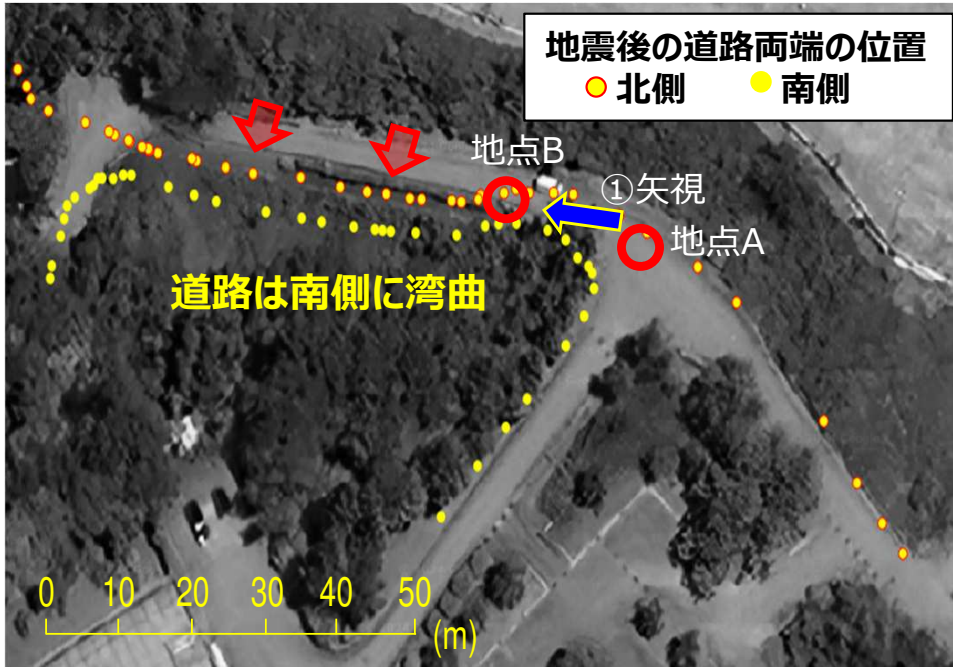
出典：株式会社パスコ 災害緊急撮影：
https://corp.pasco.co.jp/disaster/.assets/20240102-01_144.jpg

【原因究明の具体例】

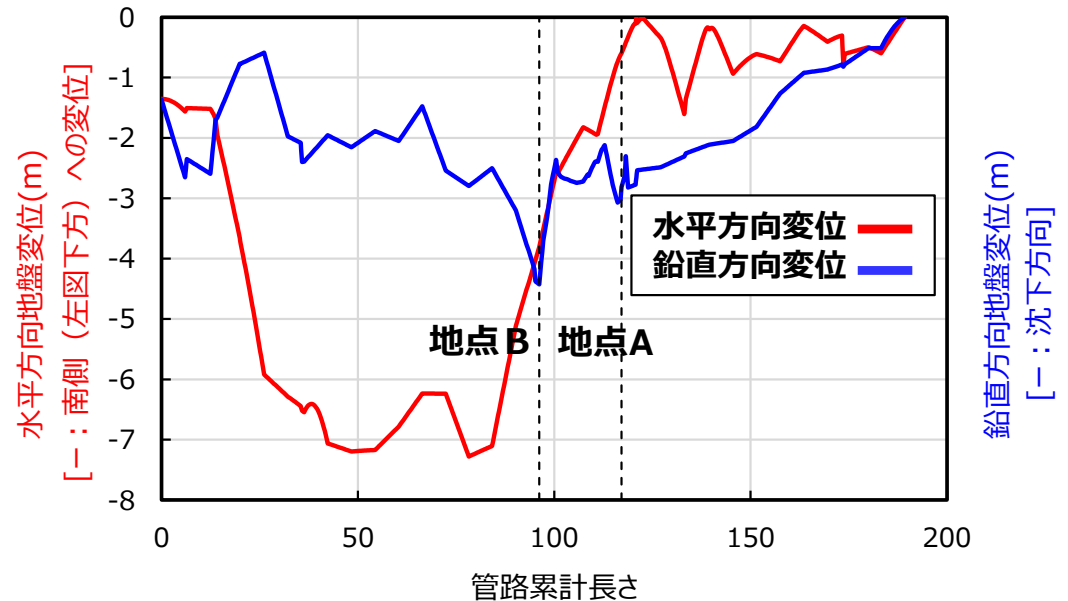
管路の被害調査①(輪島市 呼び径400)：地盤変位の調査結果

- NS形管路が布設されていた南側の道路は曲線状に大きく変形し斜面崩壊。
- 盛土の道路は、水平方向に南南西に最大7.3m変位し、鉛直方向に最大4.4m沈下。

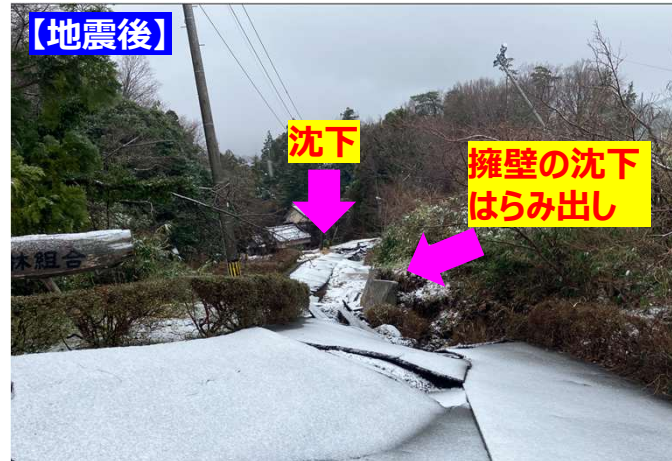
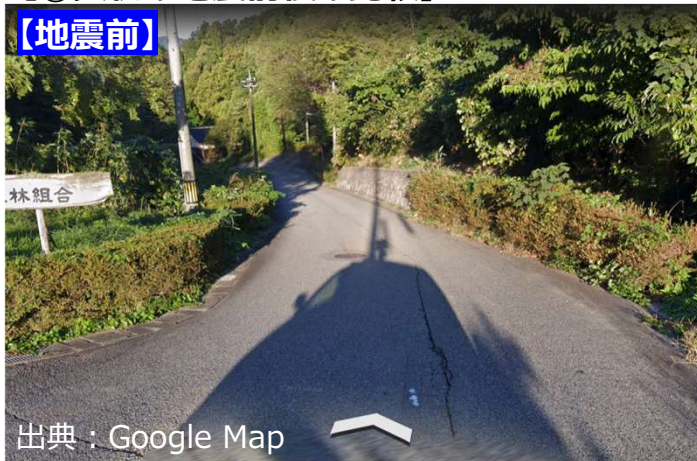
【レーザースキャナによる道路位置の3次元計測】



【地震後の道路の推定変位量】



【①矢視の地震前後の比較】



地震前の道路の位置は以下のデータを用いた。

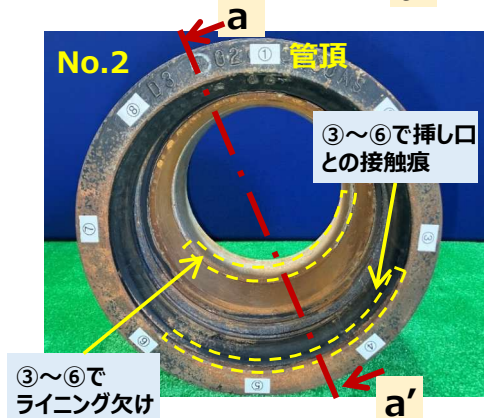
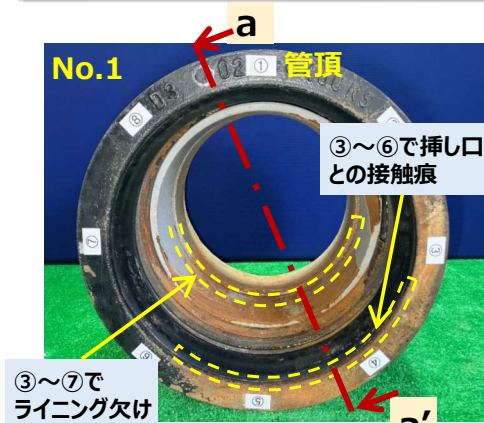
- ・水平方向：国土地理院 標準地図
- ・鉛直方向：基盤地図情報 (数値標高モデル) 5mメッシュ標高データ

【原因究明の具体例】 管路の被害調査②(輪島市 呼び径400)：回収された被災管の調査結果

- 地点Aで受口2口、地点Bで受口1口および挿し口2口を回収できた。
- 受口、挿し口の接触痕等の損傷状況から、離脱した時の継手の屈曲方向および屈曲角度を想定した。
- 地点Aはほぼ鉛直方向（上側に凸）、地点Bはほぼ水平方向（北側に凸）に、継手が屈曲。
- 想定の屈曲角度から、限界曲げモーメントを超える曲げモーメントが負荷されて離脱したと考えられる。

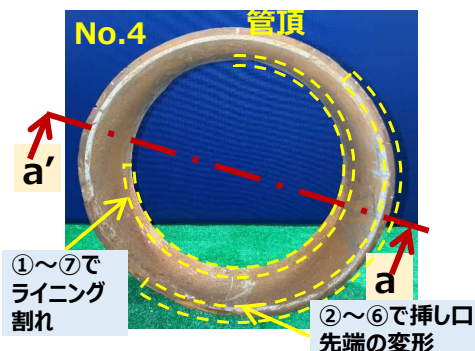
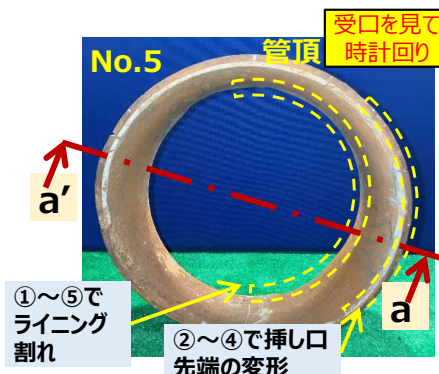
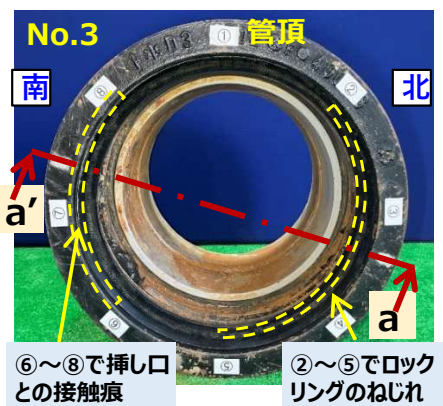
【地点Aで回収】

- No.1、No.2共に、
- 端部内面下側に接触痕有り
 - 受口奥下側のライニングに欠け有り



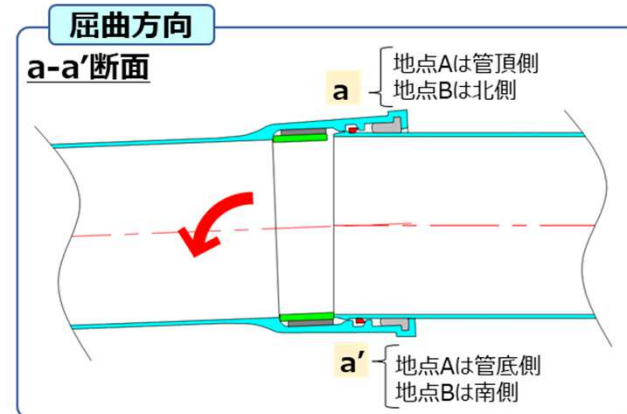
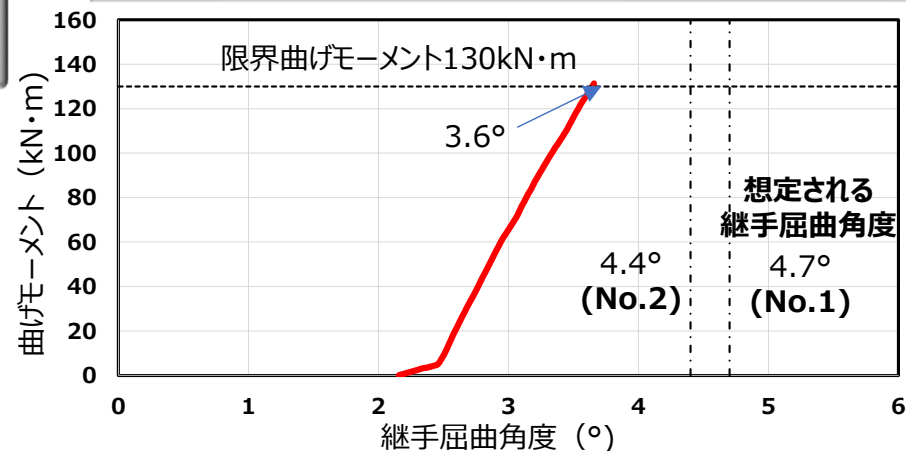
【地点Bで回収】

- No.3とNo.5が接続されていたと推定
- 内面端部南側に接触痕有り
 - 挿し口は北側先端が変形、ライニング割れ有り
 - 切管用挿し口リングは発見されず



【地点Aの例】

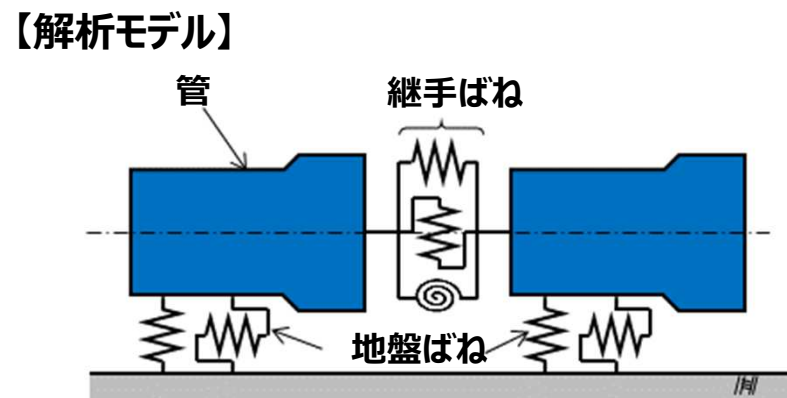
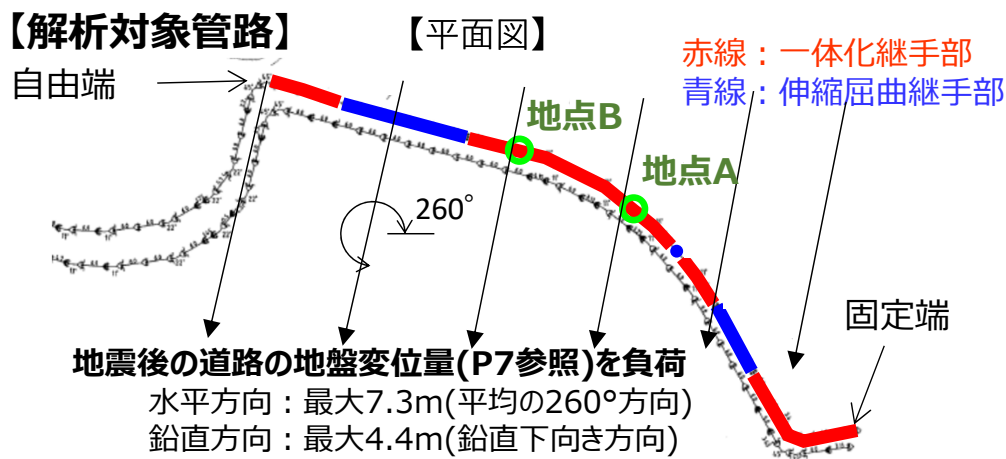
- NS形の曲げモーメントと継手屈曲角度の測定結果と照合
- 限界曲げモーメントを超える曲げモーメントが負荷されたと考えられる。



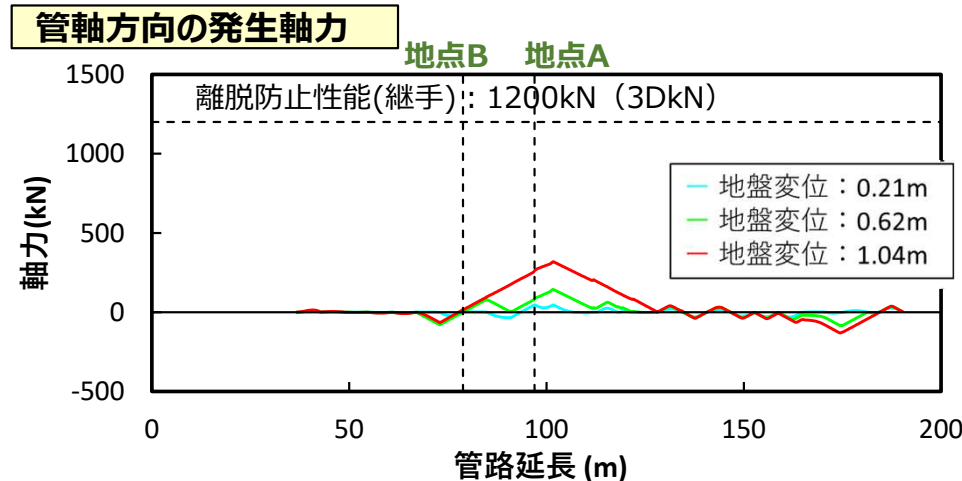
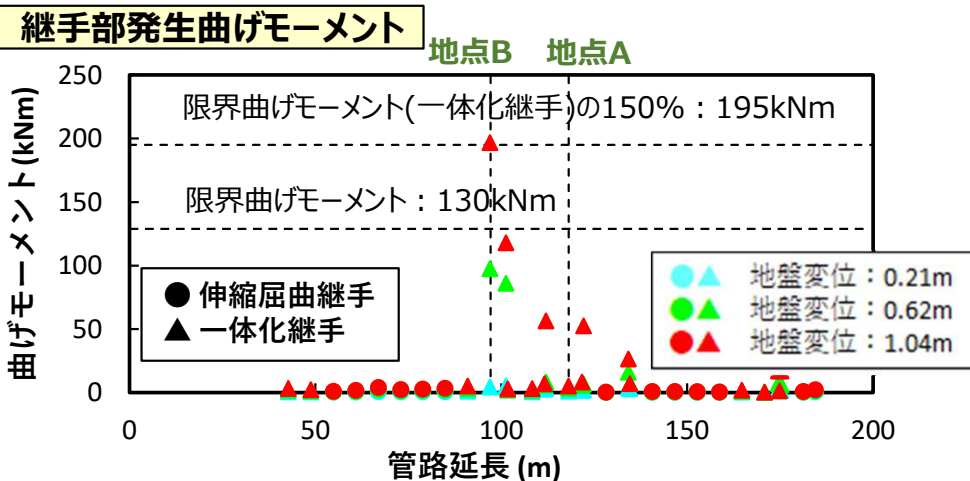
※①～⑧の数字は、受口を見て時計回りに八等分点の位置を示す。

【原因究明の具体例】 管路の被害調査③(輪島市 呼び径400) : FEM解析による検証

- 管路を弾性床上的の梁と仮定し、道路の地盤変位を埋設管路に作用させるFEM解析を実施。
- ここでは、下記のとおり解析条件を単純化した計算結果を示す。
- 幾何学的非線形性を考慮し、地盤変位を徐々に地震後の状態まで一定に増加させた。
- その結果、最初に地点Bの継手は継手性能を超える曲げモーメントが負荷されて離脱し、さらに地盤変位が増加することで、地点Aの継手も同様の大きい曲げモーメントにより離脱したと推定された。



【解析結果】 *地震後の最大地盤変位(合成)は7.8m。ここでは地盤変位が0.21m、0.62m、1.04mの段階の結果を示す。



【その他の被害状況】

輪島市（旧門前町）呼び径100NS形ダクタイトイル鉄管の調査

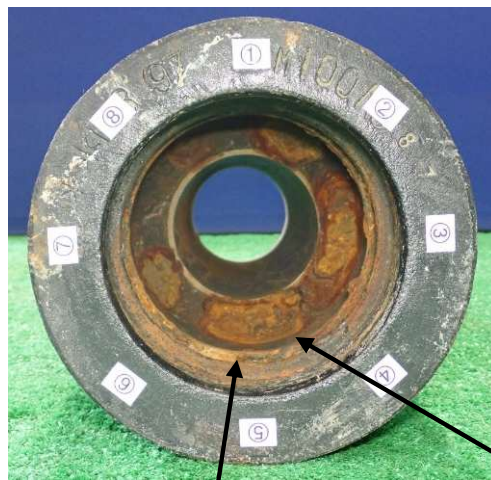
- 被災場所： 輪島市(旧門前町)に集中して8箇所
- 被災管路： 呼び径100NS形 (1997年製)、1997～1998年布設
- 被災状況※： 継手離脱5箇所(①,②,③,⑤,⑧), 管体破損1箇所(④)、管消失2箇所(⑥,⑦)
- 被災原因※ (推測を含む)： 施工不良5箇所(①,②,③,⑤,⑧)、大規模な地盤崩壊3箇所(④,⑥,⑦)

※ ①～⑧は、下図の被災箇所を示す。



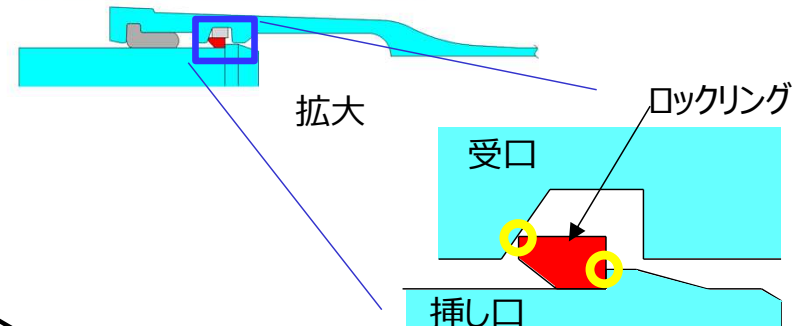
その他の被害調査①(輪島市 呼び径100)：耐震型ダクトイル鉄管の施工不良

- 被災場所： 輪島市（旧門前町）の道路（前頁の位置③）
- 被災管路： 呼び径100 NS形直管
- 被災状況： 約50cmの地盤沈下で直管継手が離脱（1継手）
- 被災原因： 施工不良（挿し口の挿し込み不足：次頁参照）により挿し口がロックリングを越えていなかったため、離脱防止機構が機能せず被災したと推定された。



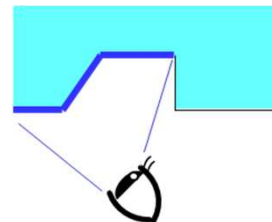
【離脱防止の状態】

継手に高い引っ張り力がかかると、
○部分に**接触痕が残る。**



受口溝壁部に
ロックリングの**接触痕なし**

ロックリングに欠損は無く、背面
に挿し口突部の**接触痕も無し**



<全周>

耐震継手ダクタイトイル鉄管の施工不良(例)と対策

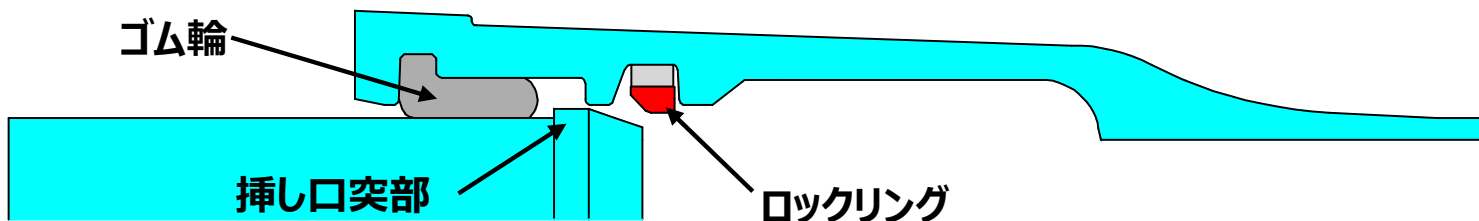
施工不良の扱い

- 挿し口の挿し込み不足の状態では、平常時はゴム輪で水密性能が確保されているが、地震時はロックリングと挿し口突部が引っかからず継手は離脱してしまう（耐震性能を発揮できない）。
- 同様の施工不良は東日本大震災、熊本地震でも確認されたが被害率に計上されていない*1。
- したがって、埋設管路の耐震性能を検討するに当たっては、**施工不良を除外することが妥当である**と考える。

*1 出典：東日本大震災水道施設被害状況調査報告書,平成24年9月,厚生労働省健康局水道課, P3-74
 管路の耐震化に関する検討報告書,平成26年6月,平成25年度管路の耐震化に関する検討会,P16
 平成28年熊本地震への対応について、平成28年11月2日,熊本市上下水道局, P14

対策

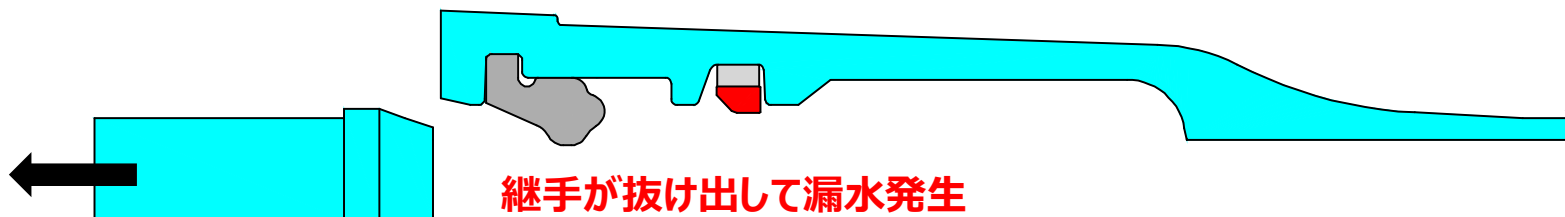
- 現在、水道事業体は配管工に対し、（公社）日本水道協会が行う配水管工技能講習会や当協会の接合講習会の受講を義務付けている。また、当協会では近年、**施工管理システムによる更なる施工品質向上に取り組んでいる。**



挿し口の挿入不足 = 挿し口突部がロックリングを通過していない
 = **離脱防止状態にならず引っ掛からない**



地震時など、引っ張り力が働くと...



その他の被害調査②(輪島市 呼び径100)：耐震継手ダクタイトイル鉄管の消失

- 被災場所：大規模な道路崩壊が発生した輪島市（旧門前町）の道路
- 被災管路：呼び径100 NS形ダクタイトイル鉄管
- 被災状況：道路崩壊箇所で管路が消失。管路は回収できず、破損形態等の詳細は不明。
- 消失の扱い：同様の消失は胆振東部地震でも確認されたが被害率に計上されていない*1。従って、**埋設管路の耐震性能を検討するに当たっては、消失を除外することが妥当である**と考える。

*1.平成 30 年(2018 年)北海道胆振東部地震水道施設被害等調査報告書 (P.48)



被災地点⑥の状況

被災地点⑦の状況



<被災地点⑥>
道路崩落による管路管消失

<被災地点⑦>
道路崩落による管路消失

管路の耐震性評価の対象にする管路被害について

埋設管路の耐震性能を検討するに当たっては、施工不良と消失を除外することが妥当であると考え。したがって、ダクティル铸铁管（NS形継手等）の被害件数及び被害率は、震度によらず7市町を対象とする集計について、被害箇所数が13→6件、被害率は0.08→0.04。震度6強、7の地域を対象とする集計については、被害箇所数が4→1件、被害率は0.08→0.02となる。

（1）国土交通省様資料（震度によらず7市町のすべての地域を対象）の抜粋

管種継手	延長 (km)	被害 箇所数	被害率 (箇所数/km)
ダクティル铸铁管（NS形継手等）	155	13	0.08

当協会の見解

ダクティル铸铁管（NS形継手等）	155	6	0.04
------------------	-----	---	------

（2）国土交通省様資料（震度6強、7の地域を対象）の抜粋

管種継手	延長 (km)	被害 箇所数	被害率 (箇所数/km)
ダクティル铸铁管（NS形継手等）	48	4	0.08

当協会の見解

ダクティル铸铁管（NS形継手等）	48	1	0.02
------------------	----	---	------

1.耐震継手ダクタイトイル鉄管の被害

3) 耐震継手ダクタイトイル鉄管の被害の総括

- 令和6年能登半島地震、青森県東方沖地震、東日本大震災、熊本地震等における管路被害を総括すると、耐震継手ダクタイトイル鉄管は、地震動や地盤変状に対しても、伸縮屈曲、離脱防止等の耐震性能を十分に発揮した。
- 令和6年能登半島地震においては、盛土道路や山間の崖沿い道路等の大規模な崩壊により、6件の管路被害が発生した。
- 地震後の測量結果等から、被災現場の埋設地盤、管路は地震により概ね5m以上の移動を確認した。さらに、管路被害の状況を詳細に分析し、地震時における管路の挙動を再現し、原因を究明した結果、概ね管軸直角方向から、性能を超える外力が管路に負荷されたことにより、耐震継手ダクタイトイル鉄管は被災したと考えられる。
- 令和6年能登半島地震で確認された被害は、地盤崩壊等に伴う局所的な地盤変状により、設計条件を超える外力が管路に作用したことに起因するものであり、当該管種は耐震性を有するものと評価している。
- 以上より、耐震継手ダクタイトイル鉄管は、地震動および地盤変状に対して十分な耐震性能を有することが、複数の大地震で確認されている。

2. K形等、一般継手ダクトイル鉄管の被害

- ① 国土交通省で整理された「K形良い地盤での被害件数の集計」では、新たにリスクを評価する液状化マップ等に基づいて「良い地盤」を抽出してK形の被害率が算定されていることが分かりました。
- ② 一方、従来法による耐震適合地盤の判定については、実際のK形等の管路被害を調べ、その被害数の大小によって地形分類等により実施されたものです。今回、地盤判定方法を見直すのであれば、まず能登半島地震における管路被害について、地盤状況も含め詳細に分析し、その結果を受けて従来法の分析結果と比較・評価することが必要であると考えられます。
- ③ その上で、K形等の耐震適合性が低いと評価される場合は異論はありません。
- ④ 他管種についても、同じ基準での耐震性能の評価をお願いいたします。

K形被害箇所の当協会での確認結果

		土砂災害危険地域包含メッシュ		総計
JWRC分類	液状化危険	該当	該当なし	
良い地盤	0:液状化判定対象外地形	21	9	30
	1:液状化の可能性が非常に低い		1	1
	2:液状化の可能性が低い	9	5	14
	3:液状化の可能性がある	1	7	8
良い地盤計		31	22	53
悪い地盤	0:液状化判定対象外地形	4	4	8
	1:液状化の可能性が非常に低い	3	1	4
	2:液状化の可能性が低い	13	14	27
	3:液状化の可能性がある	17	20	37
	4:液状化の可能性が高い	5	4	9
悪い地盤計		42	43	85
総計		73	65	138

国土交通省の良い地盤の判別方法（ヒアリング）

1. 水道技術研究センターの地盤判定方法（250mメッシュ表層地盤データ）より良い地盤・悪い地盤を判定
2. 国土数値情報の土砂災害警戒区域にかかるメッシュを悪い地盤として判定、良い地盤から除外。
3. 液状化しやすさマップ※を用いて危険度2～4のメッシュ（液状化の可能性が低い、ある、高い）を悪い地盤として判定、良い地盤から除外
4. 上記のいずれにおいても良い地盤として残存したメッシュを、最終的に良い地盤と判定

※国土交通省北陸地方整備局石川県内の液状化しやすさマップのPDF版を重ね合わせ
<https://www.hrr.mlit.go.jp/ekijoka/ishikawa/ishikawa.html>

3. 水道管路が備えるべき耐震性能に関する見解

1) 新技術の積極的な推進

- ・新技術の採用には、技術的な裏付けが可能であることが必要
- ・管路の長い更新サイクルを考慮すると、さらにその重要性は増加

2) 市民、水道事業者への適切な情報提供

- ・水道事業者が耐震性能、耐久性、経済性等を総合的に判断できる情報
- ・管種ごとの特徴、使用にあたっての注意事項の明確化

3) 水道施設の技術的基準を定める省令が求める耐震性能の確保

- ・地震動、地震による液状化、側方流動等によって生ずる影響も配慮
- ・地震動だけでなく、地盤変状に対しても、管種・継手ごとの特性・限界値の明確化が必要
- ・繰り返し発生する地震に対する耐震性の基準が必要

4) 耐震性能を確認するための技術的な検証

- ・水道施設耐震工法指針・解説との整合
- ・必要に応じて抜本的な見直し

5) 耐震性能の客観的な評価

- ・上記1)～4)を進めるに当たっては、管路被害が出た箇所の原因究明、被害が出ていない被災管の継続使用、および耐久性等を含めた耐震性能について、当委員会において同一視点での客観的な分析と評価が必要であると考えます。