

管路施設耐震診断における 耐震性能評価事例

株式会社 極東技工コンサルタント

中部支社 設計部

三宅 信貴

目 次

1. はじめに
2. 耐震診断
3. まとめ
4. 今後の課題

1. はじめに

近年、全国各地で大規模地震が発生し、下水道施設に甚大な被害をもたらしている。

令和元年以降に日本全国で発生した
震度5以上の地震発生回数

	地震発生回数
震度5	62回
震度6	8回
震度7	1回
計	71回



出典：(公社)日本下水道協会

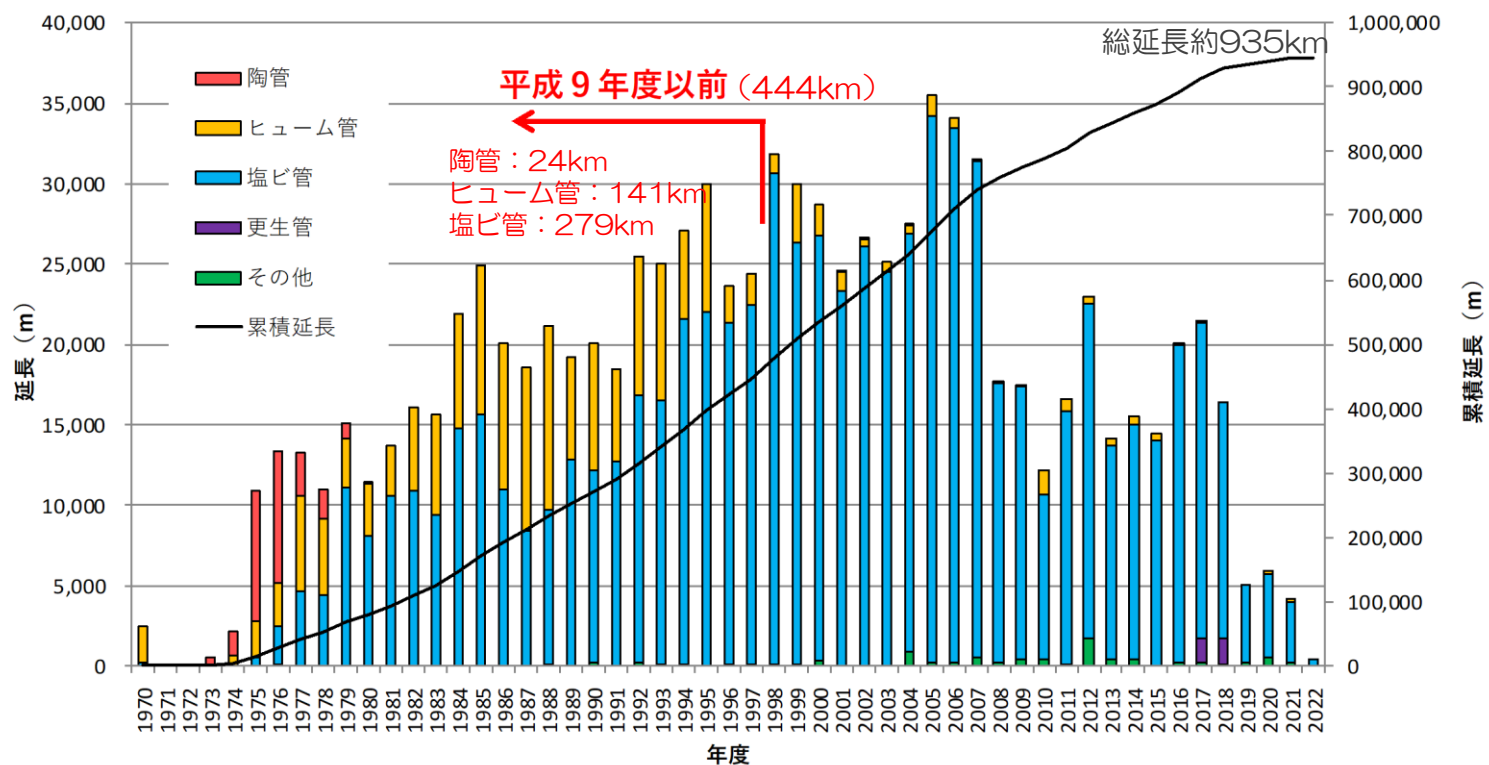
本事例市（以下「A市」という）も下水道管きょの耐震化率は
4割程度と耐震化は十分に進んでいない。

参考

国土強靱化5か年加速化対策

- ・重要施設に係る下水道管路の耐震化率：57%（R4）→64%（R7）

1. はじめに



耐震診断路線（下水道総合地震対策計画で抽出）

①平成9年度以前に施工されたヒューム管

②地震により管路施設の流下機能の確保が困難になった際に、
甚大な被害となる恐れがある幹線管路

約12km

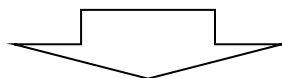
2. 耐震診断

●診断項目

対象管路施設

施設の重要度：重要な幹線等

管種：ヒューム管



検討項目 管路施設	マンホールと 管きよの接続部		管きよと管きよの 継手部		鉛直断面 の強度	傾斜地	地盤の硬軟 急変化・急 曲線等	液状化の 判定	液状化地盤の場合		
	地震動による		地震動による			永久ひずみ による			永久ひずみ による	地盤沈下による	
	屈曲角	拔出し量	屈曲角	拔出し量	耐荷力	拔出し量	拔出し量	拔出し量	屈曲角	拔出し量	
ヒューム管（開削用）	L12	L12	L12	L12	L12	L2	L12	L2	L2	L2	L2
ヒューム管（推進用）											

L12：レベル1・レベル2ともに検討する項目

L2：レベル2を検討する項目

出典：下水道施設の耐震対策指針と解説

※耐震性能

レベル1地震動：設計流下能力を確保できる性能

レベル2地震動：流下機能を確保できる性能

（交通機能を阻害しない性能） ← 軌道や緊急輸送路等下の埋設管路の場合

2. 耐震診断

●ヒューム管規格

ヒューム管は、各規格により耐荷力や継手形状が異なり、耐震性能に違いがある。

A市で採用してきたヒューム管を管径、工事年度別に整理した。

ヒューム管		1973年～		1987年～		1990年～	
		1986年	延長(m)	1989年	延長(m)	1997年	延長(m)
開削 工法	φ 600、 φ 700	B 形	3, 458. 96	B 形	78. 87	B 形	651. 56
	φ 800	B 形	666. 59	—		—	
	φ 900～ φ 1, 100	C 形	644. 01	—		—	
推進 工法	φ 600、 φ 700	T カラー継手（JSWAS A-6）			538. 61	埋込カラー	519. 33
	φ 800～ φ 1, 100	T カラー継手（JSWAS A-2）			3, 002. 35	E 形	2, 915. 44
※埋込カラー：JSWAS A-6、 E 形：JSWAS A-2						合計	12, 475. 72

平成9年度以前は、推進管に半管を使用していなかったため、すべて標準管として耐震診断を行った。

2. 耐震診断

ヒューム管の各規格における耐震性能

工法	形状	管径 (mm)	年代 (年)	ひび割れ 荷重 (kN/m)	破壊 荷重 (kN/m)	曲げ角度		拔出し長	
						許容 (°)	最大 (°)	許容 (mm)	最大 (mm)
開削	B形	600	1973 ~ 1986	36.3	72.6	1° 56'	3° 52'	23.7	47.5
			1987 ~ 1989						
			1990 ~ 1997	29.5	44.2				
			1998 ~						
	700		1973 ~ 1986	40.2	80.4	1° 31'	3° 03'	21.7	43.5
			1987 ~ 1989						
			1990 ~ 1997	32.4	49.1				
			1998 ~						
	800		1973 ~ 1986	44.1	88.3	1° 29'	2° 58'	24.2	48.5
			1987 ~ 1989	47.1	94.1				
			1990 ~ 1997	51.0	102.0				
			1998 ~	53.0	105.9				
C形			1973 ~ 1986	47.1	94.1	0° 31'	1° 02'	9.0	18.0
			1987 ~ 1989			0° 29'	0° 58'	9.0	18.0
			1990 ~ 1997	51.0	102.0	0° 29'	0° 58'	9.0	18.0
			1998 ~	53.0	105.9	0° 26'	0° 52'	9.0	18.0

- 凡例
- ：下水道施設耐震計算例 管路施設編前編, 2015年版, 公社日本下水道協会
 - ：JSWAS A-1 平成23年版
 - ：ヒューム管設計施工要覧, 1977年版, 全国ヒューム管協会

工法	形状	管径 (mm)	年代 (年)	ひび割れ 荷重 (kN/m)	破壊 荷重 (kN/m)	曲げ角度		拔出し長	
						許容 (°)	最大 (°)	許容 (mm)	最大 (mm)
推進	埋込カラー (E形)	600	1990 ~ 1997	46.1	69.7	2° 02'	4° 04'	27.0	54.0
			1998 ~						
		700	1990 ~ 1997	48.1	72.6	1° 45'	3° 31'	27.0	54.0
			1998 ~						
	E形	800	1990 ~ 1997	35.4	57.9	4° 00'	4° 16'	67.0	71.5
			1998 ~						
		900	1990 ~ 1997	38.3	64.8	3° 33'	3° 47'	67.0	71.5
			1998 ~						
		1000	1990 ~ 1997	41.2	71.6	3° 12'	3° 25'	67.0	71.5
			1998 ~						
		1100	1990 ~ 1997	42.7	78.5	2° 56'	3° 07'	67.0	71.5
			1998 ~						
	Tカラー継手 (下水道協会形)	600	1973 ~ 1989	29.4	42.1	2° 02'	4° 04'	27.0	54.0
		700	1973 ~ 1989	32.3	50.9	1° 45'	3° 31'	27.0	54.0
		800	1973 ~ 1989	35.3	57.8	4° 00'	4° 16'	67.0	71.5
		900	1973 ~ 1989	38.2	64.7	3° 33'	3° 47'	67.0	71.5
		1000	1973 ~ 1989	41.1	71.5	3° 12'	3° 25'	67.0	71.5
		1100	1973 ~ 1989	42.6	78.4	2° 56'	3° 07'	67.0	71.5

- 凡例
- ：下水道施設耐震計算例 管路施設編前編, 2015年版, 公社日本下水道協会
 - ：JSWAS A-2 平成30年版
 - ：JSWAS A-6 平成12年版
 - ：ヒューム管設計施工要覧, 1986年版, 全国ヒューム管協会

2. 耐震診断

●耐震診断結果

耐震診断は、以下の3項目で実施

- ①管本体
- ②管きよと管きよの継手部
- ③マンホールと管きよの接続部

①管本体

すべての管路施設で、レベル1およびレベル2地震動時に発生する応力が管路が保証する耐力より小さい

②管きよと管きよの継手部

すべての管路施設で、レベル1およびレベル2地震動による屈曲角と拔出し量が各管路の継手部の性能値以下

耐震性能
あり

2. 耐震診断

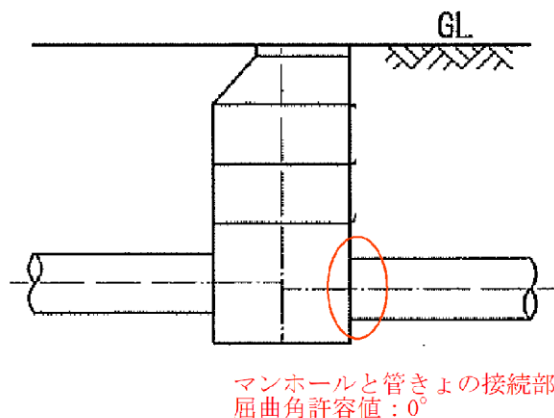
③マンホールと管きよの接続部

- 屈曲角の許容値

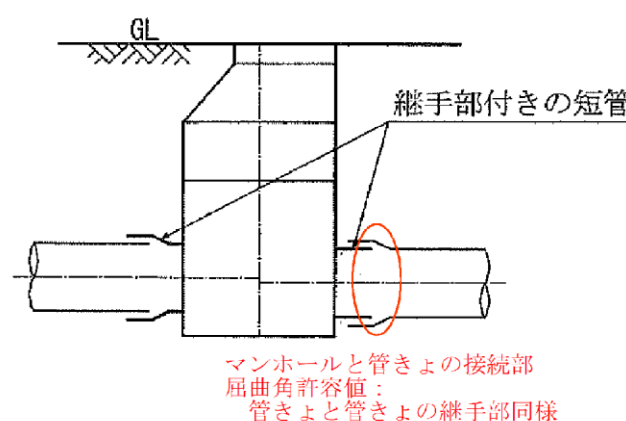
継手部付き短管あるいは可とう性マンホール継手を

使用している場合	可とう性マンホール継手の性能値 管きよと管きよの継手部の性能値
使用していない場合	0°

(短管が設けられていない場合)



(短管が設けられている場合)



2. 耐震診断

③マンホールと管きよの接続部

すべての管路施設に継手部付き短管
あるいは可とう性マンホール継手が設
けられていない
(屈曲角：0° 01' ~0° 15')

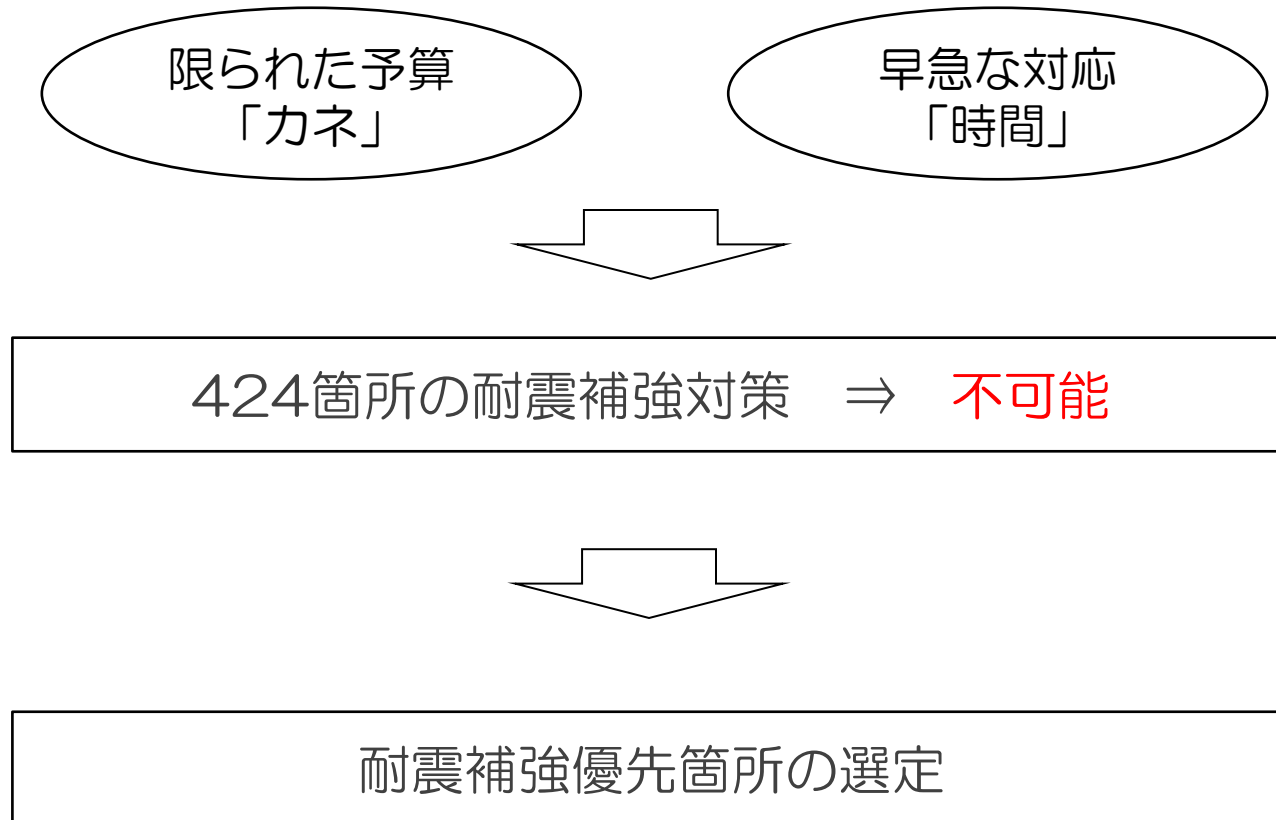
耐震性能
なし

【耐震診断結果総括表】

総スパン数	管本体		管きよと管きよの継手部		マンホールと管きよの接続部	
	耐震性あり	耐震性なし	耐震性あり	耐震性なし	耐震性あり	耐震性なし
212スパン	212スパン	0スパン	212スパン	0スパン	0箇所	424箇所

2. 耐震診断

●耐震補強優先箇所を選定



2. 耐震診断

マンホールと管きよの接続部におけるレベル2地震動に対する機能保持の考え方

流下機能を確保できる性能



土砂流入が起こらない値以下

地震による屈曲で発生するクラックの幅が2.0mm以上の場合に土砂が流入し、流下機能を阻害すると考える。

クラックの幅を2.0mmとした理由

①	粒径による土粒子の分類で「礫」に該当する最小粒径	対象路線は礫質土に埋設されているため、礫（地質工学的分類：2.0mm以上）が流入しない幅とする
②	調査判定基準の「管の円周方向クラック」のランクb相当	異状程度の診断において、中程度の劣化、異状があると判定される。2.0mm未満のクラックはランクcと軽度なため早急な措置は不要と考える

2. 耐震診断

耐震性能を評価する箇所：管口付近

※平成28年度熊本地震において、被災後に管内調査を行った結果、管口付近にクラックが集中していることが分かった。

⇒マンホールと管きよの接続部は、半剛結の状態であり、応力が管口付近に集中するためと推察される。

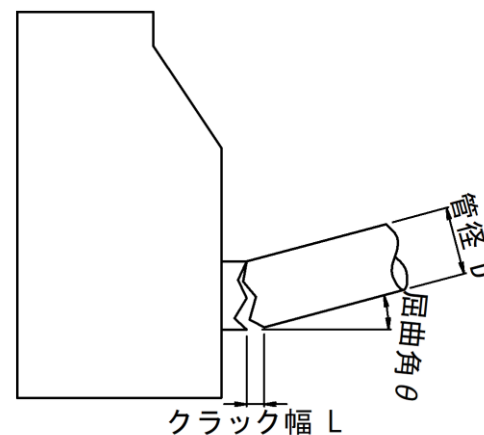
対策優先箇所

⇒クラックの幅が2. 0mm以上のマンホール管口

調査スパン数	(スパン)	
	円周方向クラック	
	管口	管中央
34	18	4
被災スパン割合	53%	12%

※1. 推進工法区間における調査結果である

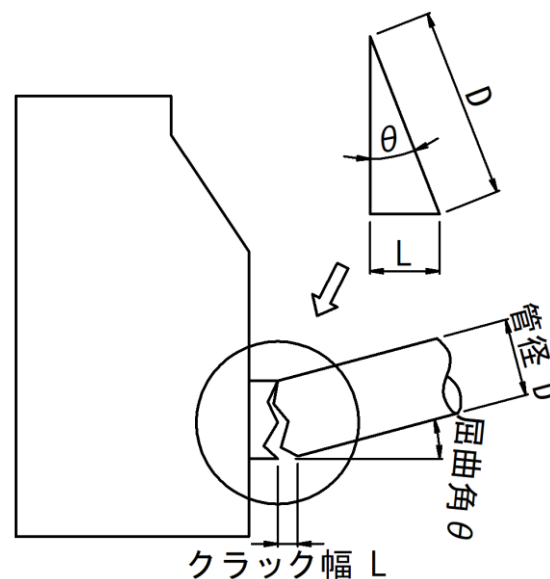
出典：土木技術資料



2. 耐震診断

地震による屈曲で発生するクラックは、管径ごとに異なる。
本事例は、クラック幅を耐震計算で求めた屈曲角と管径を用い、
以下の式で算出

$$\text{クラック幅 } L \text{ (mm)} = \text{管径 } D \text{ (mm)} \times \sin \text{ 屈曲角 } \theta (^{\circ})$$



2. 耐震診断

管径ごとの屈曲角とクラック幅の関係

耐震計算で算出した屈曲角	クラック幅 (mm)					
	小口径管		中大口径管			
	600	700	800	900	1,000	1,100
0° 0' 0" (= 0.00°)	-	-	-	-	-	-
0° 0' 36" (= 0.01°)	0.10	0.12	0.14	0.16	0.17	0.19
0° 1' 12" (= 0.02°)	0.21	0.24	0.28	0.31	0.35	0.38
0° 1' 48" (= 0.03°)	0.31	0.37	0.42	0.47	0.52	0.58
0° 2' 24" (= 0.04°)	0.42	0.49	0.56	0.63	0.70	0.77
0° 3' 0" (= 0.05°)	0.52	0.61	0.70	0.79	0.87	0.96
0° 3' 36" (= 0.06°)	0.63	0.73	0.84	0.94	1.05	1.15
0° 4' 12" (= 0.07°)	0.73	0.86	0.98	1.10	1.22	1.34
0° 4' 48" (= 0.08°)	0.84	0.98	1.12	1.26	1.40	1.54
0° 5' 24" (= 0.09°)	0.94	1.10	1.26	1.41	1.57	1.73
0° 6' 0" (= 0.10°)	1.05	1.22	1.40	1.57	1.75	1.92
0° 6' 36" (= 0.11°)	1.15	1.34	1.54	1.73	1.92	2.11
0° 7' 12" (= 0.12°)	1.26	1.47	1.68	1.88	2.09	2.30
0° 7' 48" (= 0.13°)	1.36	1.59	1.82	2.04	2.27	2.50
0° 8' 24" (= 0.14°)	1.47	1.71	1.95	2.20	2.44	2.69
0° 9' 0" (= 0.15°)	1.57	1.83	2.09	2.36	2.62	2.88
0° 9' 36" (= 0.16°)	1.68	1.95	2.23	2.51	2.79	3.07
0° 10' 12" (= 0.17°)	1.78	2.08	2.37	2.67	2.97	3.26
0° 10' 48" (= 0.18°)	1.88	2.20	2.51	2.83	3.14	3.46
0° 11' 24" (= 0.19°)	1.99	2.32	2.65	2.98	3.32	3.65
0° 12' 0" (= 0.20°)	2.09	2.44	2.79	3.14	3.49	3.84
0° 12' 36" (= 0.21°)	2.20	2.57	2.93	3.30	3.67	4.03
0° 13' 12" (= 0.22°)	2.30	2.69	3.07	3.46	3.84	4.22
0° 13' 48" (= 0.23°)	2.41	2.81	3.21	3.61	4.01	4.42
0° 14' 24" (= 0.24°)	2.51	2.93	3.35	3.77	4.19	4.61
0° 15' 0" (= 0.25°)	2.62	3.05	3.49	3.93	4.36	4.80

：各管径におけるクラック幅が2.0mm以上

2. 耐震診断

許容クラック幅を設定することで、予算に応じた短期計画（5ヶ年）で実施する耐震補強優先箇所を絞り込んだ。

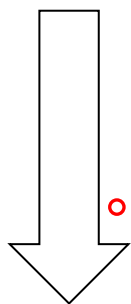
（箇所）

	マンホールと管きよの接続部			
	従来手法		対策優先箇所を考慮した提案	
	耐震化必要	耐震化不要	短期計画対応	中長期計画対応
箇所数	424	0	186	238
事業費（百万円）	412	—	190	—

3. まとめ

耐震診断を実施

(マンホールと管きよの接続部：耐震性能なし)



マンホール管口部の
許容クラック幅を設定

短期計画で対策する管路施設を抽出

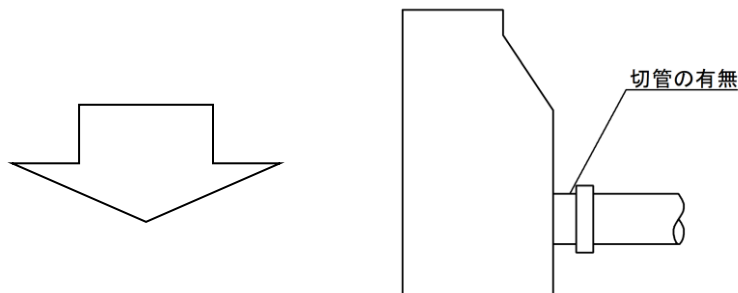
【参考】短期計画で対策する管路施設の優先順位は、各幹線の

- ・埋設状況（緊急輸送路など）
- ・機能性（避難所下流など）

により設定し、優先度の高い幹線から対策する。

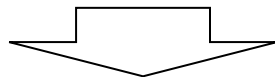
3. まとめ

後段の詳細設計業務時にマンホール管口調査を実施し、管口に切管の有無を調べることを提案



管口に切管がある場合

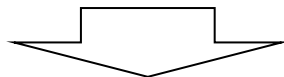
マンホールから管きよと管きよの継手部までの長さが短く、この部分で耐震性能を満たす可能性あり



事業量の削減・事業の前倒し

3. まとめ

A市でレベル1 地震動以上の地震が発生した場合



マンホール管口調査にて本事例で想定したとおり
管口部へ円周方向のクラックが発生しているか確認し、
知見を蓄積する必要性を提案

4. 今後の課題

- ① 耐震補強優先箇所の選定として、マンホールと管きよの接続部に設定した許容クラック幅
(2.0mm) の妥当性確認

⇒今後も被災後の管内調査のデータ蓄積が必要
A市の震度3以上の地震発生回数
(過去10年)

- 震度4：1回
 - 震度3：3回
- ※レベル1地震動想定 of 震度5弱以上の

4. 今後の課題

- ② 耐震計算より、すべての管路施設でマンホールと管きよの接続部に耐震性能を有していない結果であった。

短期計画に挙げることのできなかった管路施設
(許容クラック幅未満の管路施設) への対策

⇒経過年数27年～48年と標準耐用年数を超過しており、老朽による劣化も考えられるため、下水道ストックマネジメント計画等の他事業にあわせた対策が必要

ご清聴ありがとうございました。