

## 管路施設耐震診断における耐震性能評価事例

(株)極東技工コンサルタント 三宅 信貴

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。本事例市（以下「A 市」という）においても下水道施設の耐震化は十分に進んでいない。

A 市の汚水幹線について本事例で耐震診断を行った結果、すべての管路施設がマンホールと管きよの接続部で耐震性能を満たさない結果となった。しかし、予算の制約があり、すべてのマンホール管口部に耐震補強を実施するには、長い期間を要する。そこで、本事例で提案した、A 市における耐震補強必要箇所の優先度の決定手法を報告する。

**Key Words** : 耐震補強箇所の優先順位付け、マンホール管口部、クラック幅

### 1. 下水道事業の概要

A 市の下水道事業は、流域関連公共下水道として、昭和 46 (1971) 年度に基本計画を策定し、昭和 47 (1972) 年度から事業着手した。その後、市域の拡大による人口増加や生活の向上に伴い、段階的に事業を拡張し、現在では下水道処理区域内人口 162,399 人、下水道処理人口普及率は 87.16%となっている。

汚水管きよのストックは約 935km に達し、このうち、旧耐震基準で設計した平成 9 (1997) 年度以前に施工された管きよが約 444km である。その内訳は、陶管は約 24km (約 5%)、ヒューム管は約 141km (約 32%)、塩ビ管は約 279km (約 63%) である。

本事例は、下水道総合地震対策計画において抽出された以下の「重要な幹線等」(約 12km) を対象に耐震診断を行った。

- ① 平成 9 年度以前に施工されたヒューム管 かつ、
- 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

A 市の汚水管路施設整備延長は、図-1 のとおりである。

表-1 下水道事業の概要

項目	単位	数量	
面積	市域面積	ha 16,114	
	汚水	計画面積	ha 4,203
		処理区域面積	ha 3,362
		整備率	% 79.99
人口	行政区内人口	人 186,314	
	計画区域内人口	人 177,918	
	処理区域内人口	人 162,399	
	水洗化人口	人 151,583	
	下水道普及率	% 87.16	
	水洗化率	% 93.34	
管路施設	汚水	km 935	

※令和4(2022)年度末

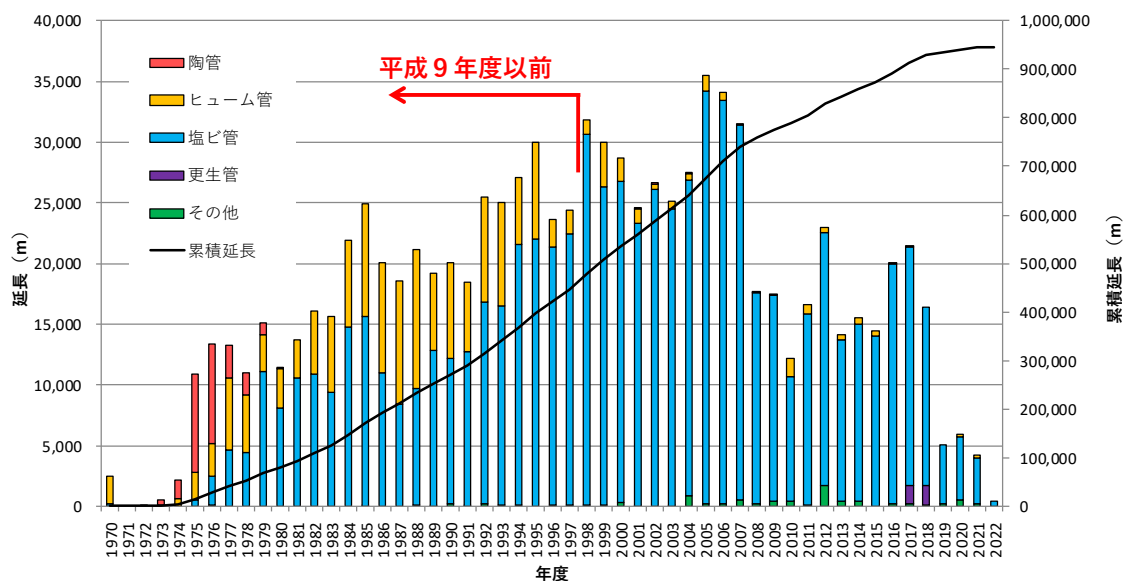


図-1 A市の污水管路施設整備延長

## 2. 耐震診断

### 2-1. 診断項目

本事例の「重要な幹線等」は、レベル 1 地震動には「設計流下能力を確保できる性能」、レベル 2 地震動には「流下機能を確保できる性能」「交通機能を阻害しない性能」を確保する必要がある。

また、今回の検討の対象とした管種はヒューム管であることから、以下の項目について耐震性能を評価した。

表-2 耐震計算マトリックス表（重要な幹線等）一部抜粋

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	拔出量	屈曲角	拔出量	耐力	拔出量	拔出量	拔出量	屈曲角	拔出量	
ヒューム管（閉削用）	L12	L12	L12	L12	L12	L2	L12	L2	L2	L2	L2
ヒューム管（推進用）	L12	L12	L12	L12	L12	L2	L12	L2	L2	L2	L2

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、下水協、P123

### 2-2. 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るため、それぞれ耐震性能に違いがある。A市で採用してきたヒューム管は、管径、工事年度ごとに規格が異なっている。表-3は、本事例で耐震診断を行った約12kmについて、管径、工事年度別に整理したものである。また、耐震診断の対象は平成9年度以前の管路であり、当時は半管を使用していなかったことから、すべて標準管として検討した。

表-3 ヒューム管変遷表

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

### 2-3. 耐震診断結果

管きよの耐震診断は、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について行った。

対象路線は、N 値約 20 以上の礫質土で構成された中位段丘（洪積層）に埋設されている。洪積層は過去の大規模地震においても液状化の事例がないため、対象路線も液状化の可能性は極めて低いと考えられる。また、開削工法で施工された管路への埋戻し土には、施工当時の A 市では良質な発生土（礫質土：透水性が高い材料）を使用しているため、埋戻し土も液状化する可能性は非常に低い。

①管本体は、耐震計算の結果、すべての管路施設において、レベル 1 およびレベル 2 地震動時に発生する応力が、管路が保証する耐荷力より小さくなるため、耐震性能を満足する。

②管きよと管きよの継手部も、耐震計算の結果、すべての管路施設において、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は、各管路の継手部の性能値以下であるため、耐震性能は満足する。

③マンホールと管きよの接続部は、継手部付き短管（切管および半管も同様）あるいは可とう性マンホール継手を使用している場合は、屈曲角の許容値を、可とう性マンホール継手の性能値や管きよと管きよの継手部の性能値を考慮する。しかし、使用していない場合は、屈曲角の許容値は 0° となり、耐震性能を有していないものとなる。（耐震計算の結果、屈曲角は 0° 01' ～0° 15' となる。）

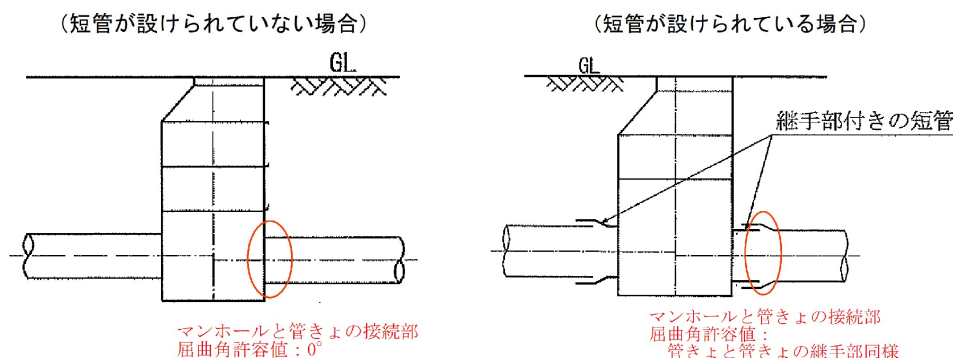


図-2 マンホールと管きよの接続部の考え方

本事例では、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ため、耐震補強対策が必要である。

表-4 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

しかし、予算の制限下ですべてのマンホール管口部について、耐震補強対策を行うのは不可能である。よって、以下に示すとおり、マンホール管口部への耐震補強必要箇所の優先順位付けの提案を行った。

2-4. 耐震補強必要箇所の優先順位付けの提案

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は、「土砂流入が起こらない値以下」である。また、「流下機能を確保できる性能」が求められている。

ここでは、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。よって、クラックの幅が 2.0mm 以上のマンホール管口を対策優先箇所と設定した。

耐震性能を評価する箇所は、管口付近とする。平成 28 年熊本地震において、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ている。これは、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。

クラックの幅を 2.0mm とした理由は以下のとおりである。

出典：土木技術資料

- 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（地盤工学的分類：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：異常程度の診断において、中程度の劣化、異常があると判定される。2.0mm 未満のクラックはランク c であり、軽度なため早急な措置は不要と考える。

地震による屈曲で発生するクラック幅は、管径ごとに異なる。本事例では、クラッ

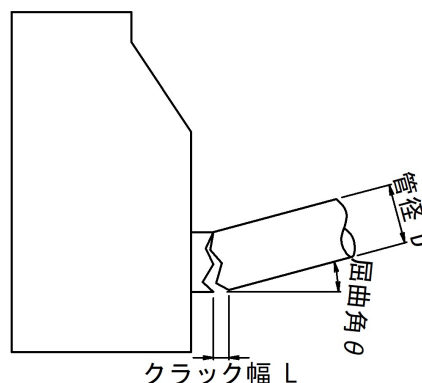


図-3 屈曲角とクラック幅の概念図

表-5 被災後調査結果（スパン数）

調査スパン数	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  
 ※2. 管口は管口から3m以内とする

クラック幅を耐震計算で求めた屈曲角と管径を用い、以下の式により算出する。

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

下表に管径ごとの屈曲角とクラック幅の関係を示す。

表-6 屈曲角とクラック幅

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

許容クラック幅を設け優先順位を設定することにより、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の絞り込みができた。

表-7 優先順位後の事業量および事業費

	マンホールと管きよの接続部			
	従来手法		優先度を考慮した提案	
	耐震化必要	耐震化不要	短期計画対応	中長期計画対応
スパン数	212	0	93	119
事業費（百万円）	412	-	190	-

### 3. まとめ

本事例では、短期計画で対策する管路施設を抽出するために、マンホール管口部のクラック幅を想定した。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）や機能性（避難地下流など）などの重要性を整理することで、各幹線ごとに優先順位を設定し、優先順位が高い幹線から対策する計画とした。

本事例は耐震診断業務であり、後段の詳細設計業務時では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している。管口に切管がある場合は、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があり、事業量の削減につながることから、事業の前倒しも想定される。また、A市はこれまでもレベル 1 地震動以上の地震被害を受けている。そのため、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の確認を行い、知見を蓄積する必要性についても提案している。

### 4. 今後の課題

本事例は、耐震補強必要箇所の優先順位付けとして、マンホールと管きよの接続部に屈曲角から算出した許容クラック幅を設定した。クラック幅を 2.0mm と設定した妥当性を確認するために、今後も被災後の管内調査のデータの蓄積が必要であると考えられる。

また、耐震計算の結果よりすべての管路施設において、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ため、本事例で短期計画に挙げることはできなかった管路施設は、今後、下水道ストックマネジメント計画等の他事業にあわせて対策することが望ましい。

#### 【参考文献】

- 1) 日本下水道協会：下水道施設の耐震対策指針と解説，2014 年版
- 2) 日本下水道協会：JSWAS A-1，平成 23 年版
- 3) 日本下水道協会：JSWAS A-2，平成 30 年版
- 4) 日本下水道協会：JSWAS A-6，平成 12 年版
- 5) 全国ヒューム管協会：ヒューム管設計施工要覧，1977 年版・1986 年版
- 6) 土質工学ハンドブック，1995 年版
- 7) 土木技術資料 59-11(2017)，平成 28 年熊本地震における下水道管路施設被災の特徴