

耐震性管路の開発の方向性 に関する調査・研究

1. 調査研究の背景と目的

兵庫県南部地震により、ライフラインの一つである下水道施設は、管路施設、処理場施設、ポンプ場施設等の被害を受け、一時的に機能停止を余儀なくされる打撃を受けた。

特に管路施設は、面的に広大な範囲で損傷を受け、被害の把握、復旧に多大な時間と経費を要する結果となった。

このことから、(社)日本下水道協会より「下水道施設の耐震対策指針と解説」(以下「指針と解説」と示す)の改定が、平成9年8月になされ兵庫県南部地震と同規模のレベル2地震動対策を考慮した下水道施設の耐震性のレベルアップが要求されている。

一方、昨今の財政事情からコスト縮減が叫ばれており、耐震対策を講じるにあたってはコスト面での工夫が求められている。

このような状況下において(財)下水道新技術推進機構では、管路施設の耐震設計に関する以下の固有研究を実施している。

- ・平成6、7年 下水道管路施設の継手についての研究
- ・平成7年 耐震性管路材料—特別編集版—の発刊
- ・平成8年 提案型管路材料の発刊

今後は、これらの研究成果をもとに更に研究を進展させ、管路施設の「安全で経済的な耐震方策」の実用化が求められている。

また、上述の「指針と解説」では、指針の性格上から管路施設の耐震設計手法については詳記されているものの、実用的な方策までには及んでいない。

本調査・研究においては、円形管路施設を対象として、適切な耐震性能について検討評価を行うとともに、コスト縮減を考慮した耐震性管路の今後の開発の方向性について検討を行うものである。

2. 調査・研究内容

本調査・研究内容を以下に示す。

- (1) 埋設企業者への耐震対策のヒアリング調査
震災後いち早く耐震対策を講じている大坂・神戸を基盤とした埋設企業者に対してヒアリングを行い具体的にどのような耐震対策を行っているかについて把握し、他の埋設企業者の耐震対策から参考にできる対策工を抽出する。
- (2) 耐震性向上のための投資の妥当性
下水道管路施設への耐震対策のための投資効果の観点からの検討を行い、適切な投資額を試算する。
- (3) 既製品耐震性能調査
最後に限られた資源を効率的に活用するため

に、既製品の耐震性能を評価し、開発を行うべき下水道管路施設の仕分けを行う。

以上の調査・研究事項を踏まえて今後の下水道管路施設の耐震対策、耐震性管路の開発の方向性を示すものとした。

3. 調査・研究結果

3.1 埋設企業者への耐震対策のヒアリング調査

(1) ヒアリング目的

調査研究に先立ち、耐震設計法のレビューを行った結果、想定地震外力や要求耐震性能等の基本的な耐震設計の考え方は、水道施設等の地中埋設線状物では同様であることが分かった。

しかし、実際に各耐震設計法に準拠した考え方で耐震計算を行い、具体的にどのような耐震化方策を講じているかについては、既に耐震化事業を行っている自治体や企業者に確認しなければ実態が把握できない。

したがって、震災以後いち早く耐震対策を講じている大坂・神戸市内を基盤としている企業者へのヒアリングを行い、耐震対策の実態を把握するとともに、耐震性管路の開発の方向性を検討する

上での基礎データを得ることを目的としてヒアリング調査を行った。

- ① 耐震計算法の考え方
- ② 各部位の耐震化方策
- ③ コスト縮減対策

(2) 耐震設計法に対する考え方

各埋設企業者の耐震設計法に対する考え方は表-1に示すように、管きょ網のネットワーク化を重視していること、地上・地中に洩れるものを輸送している水道、ガス及び下水道の管材の耐震性向上が重要であることが言える。

(3) 各部位の耐震化対策

各埋設企業者の各部位の耐震化方策に対する考え方を表-2に示す。ヒアリング結果からは以下のとが言える。

- ① 構造的に不連続となるようなマンホールと本管等の接続部においては、全ての企業者が可とう性継手等を採用し、地震時の地盤の挙動を吸収させようと考えている。
- ② 液状化方策は、全ての企業者において液状化層が広く深い場合は、個々の企業者が対策を講じても効果が少ないので、具体的な対策工は考えていない。

表-1 各地中線状埋設企業者の耐震設計法に関する基本的な考え方

項目	準拠する耐震設計法	耐震設計の重点項目
1. 神戸市建設局下水道河川部	改定後の「下水道施設の耐震対策指針と解説」	<ul style="list-style-type: none"> ・重要幹線は、○500mm以上 ・可とう性管材採用 ・処理場間を結ぶネットワーク幹線の計画
2. 神戸市水道局	改定後の「水道施設耐震工法指針・解説」	<ul style="list-style-type: none"> ・重要幹線は、○300mm以上 ・メカニカル継手の管材採用 ・管材の強化とともに水道システム全体のネットワーク化
3. 大阪ガス(株)	「ガス導管耐震設計指針」 なお、高圧導管については平成11年度を目途に指針改定中	<ul style="list-style-type: none"> ・管材の強化とともにガスシステム全体のネットワーク化 ・震災時の管理対策
4. 関西電力(株)	「社内規定」 なお、社内規定は見直すことは考えていない。	<ul style="list-style-type: none"> ・電力システム全体の多重化(管材の強化は考えていない)

表-2 各地中線状埋設企業者の各部位の耐震化方策

項目	神戸市建設局 下水道河川部	神戸市水道局	大阪ガス(株)	関西電力(株)
1. 管きよ本体	可とう性管材の採用により、地震時の地盤変位に追従させる。	継手構造が強化されたメカニカルな継手構造を有するダクタイル管、鋼管の採用。	印ろう、ネジ継手等の古い規格の管きよは布設しない。管材としては、水道と同様の管材を使用する。	特になし
2. 管きよと管きよの継手部	特になし	同上	同上	既存のもので予め耐震性の機能を有する継手で対応する。
3. マンホール本体	駆体接続部のボルト締め及びゴム輪による締め付け方策。	なし	なし	特になし
4. マンホールと管きよの接続部	短管と可とう性継手をマンホールと管きよの接続部に設置する。	なし	なし	・既存のもので予め耐震性の機能を有する継手で対応する。
5. 液状化方策	下水道だけが対策を講じても効果がないと考える。	管径の大きい管きよは、埋立地などの液状化エリアには極力布設しない。	・現在検討中	液状化方策は、道路機能として道路管理者が考えるべきである。
6. その他	取付管及び柵についても可とう性の材質のものを採用する。	空気弁室と管きよの接続部には、可とう性を有する継手を採用する。		液状化が想定される地区、建屋との接続部には、可とう性を有する継手を設置する。

表-3 各地中線状埋設企業者のコスト縮減対策の考え方

神戸市建設局 下水道河川部	神戸市水道局	大阪ガス(株)	関西電力(株)
<ul style="list-style-type: none"> ・塩化ビニル性の小型柵の設置 ・人孔間の延長 ・塩化ビニル性の人孔の設置 ・シールド二次覆工の省略 	<ul style="list-style-type: none"> ・水道の埋設深をできるだけ浅くすること。 	<ul style="list-style-type: none"> ・布設頻度の高い、低圧管については、従来の鋼管、ダクタイル管に対して単価的にはほぼ半額のポリエチレン管を採用する。 	<ul style="list-style-type: none"> ・地中線については、特に耐震化耐震化方策を講じていないので、コスト縮減対策はない。

(4) コスト縮減

各埋設企業者が現時点で考えているコスト縮減の考え方を表-3に整理した。結果的には、各企業者とも何らかのコスト縮減対策を考えているが、抜本的な対策工とは言えない。

3.2 耐震性向上のための投資の妥当性

下水道管路施設が、同じインフラ施設である電気、NTT、ガス、水道と比較して、高価な管材を布設しているのか、あるいは下水道の公共性に見合うような管財を布設しているかについて検討し、耐震性向上のための適切な投資額を試算した。

(1) インフラ施設の管材への投資額の検討

1) 検討対象範囲

各地中埋設管路の管材への投資額を求める検討対象範囲は、インフラ施設が全て地中線化されている大都市域の任意の地域30haを抽出した。

これは、高度に都市化された地区でなければ、全て地中線されていることは考えにくいため、再開発事業が完了している地域を対象に投資額の試算を行うものとした。

2) 管材の延長・単価の設定

管径別の延長は、既存の地下埋設物調査図か

ら整理した。管材の設定については、地下埋設物調査図に記載されていないことから、各埋設企業者への聞き込み調査より最も多く使用されている一般的な管材とし、その単価については建設物価等を参考にして設定した。

3) 公共料金使用料の把握

「下水道が公共性に見合うような管材を布設しているか」については、各埋設企業者の管材への投資額と公共料金の徴収額との相関関係から推定するものとした。

参考資料は、東京都総務局統計部経済統計化が発行している平成8年報「都民のくらしむき」東京都生計分析調査 H9.9発行を使用し、一般家庭が平成8年度に支払った月平均の公共料金を整理した。

4) 試算結果

① 下水道が管材に投資している額が最も低い。

表-4に示すように管材への投資額の高い順位は、1. 電気、2. 上水道、3. ガス、4. NTT、5. 下水道となっている。この要因は、管材単価のウエイトよりも、埋設管の延長に比例している。

表-4 各地中埋設企業者の管材に対する投資額

項目	下水道		上水道		ガス		電気		NTT	
管材への投資額 (円)	48,847,100	13%	79,951,000	22%	55,677,000	15%	132,948,000	36%	50,329,000	14%
布設延長(m)	5,772.75	12.4%	9,054.00	19.5%	8,827.00	19.0%	13,870.00	29.9%	8,901.00	19.2%
仮定した管材	○500mmまでは塩化ビニル管 ○600mm以上はヒューム管		鋼管		鋼管		PFP管		硬質ビニル管	
主な管径	○250~○1350mm		φ100~φ800mm		φ50~φ400mm		1条1段~5条4段 1本当たりφ150mm		1条1段~6条5段 1本当たりφ75mm	
布設延長1m当たりの平均管材単価 (円/1m)	8461		8830		6307		9585		5654	

② 公共料金の支出額も下水道が最も低い。

表-5に示すように、公共料金の支出額の高い順は、1. 電気, 2. NTT, 3. ガス, 4. 上水道, 5. 下水道となっている。

これは、東京都23区1世帯当たりの使用料金単価の設定にもよるので、一概には商業地区である検討対象地区では言えないが、上記の順に使用頻度または付加価値の高い順とも言える。

表-5 1世帯あたりの公共料金の支出額の比率

項目	下水道	上水道	ガス	電気	NTT
平成8年度の公共料金支出額 (円/月平均)	2,223	3,335	5,675	9,281	6,799
公共料金支出額の割合	8%	12%	21%	34%	25%

③ 上記で示した公共料金の支出額と管材投資額の比率を比較する。

これは、インフラ施設の付加価値を表すものと仮定する。

つまり、**公共料金の支出額/管材投資額**の比率が高ければ、少ない管材投資額で大の利益を上げていることになり、収益性又は付加価値の高いインフラ施設と位置づけられることになる。

表-6から言えることは、下水道の付加価値は、NTT, ガス, 電気について4番目であり、上水道が最も低く試算された。

これは、下水道の管材への投資額が、上水道に対して安価(下水8/11と上水12/23)に

抑えられていることにより、付加価値がやや高く試算されたものである。

上水道は、管材にかかる費用が下水道に対して、約2倍の費用をかけているが、公共料金支出額は、下水道に対して1.5倍に抑えられていることから、付加価値が最も低く試算されてしまう。

裏を返せば、インフラ施設で最も大切な水は、管材には費用をかけているが、使用料は低く抑え市民に供給していることが言える。

上記の事項を簡単にまとめると以下のように整理される。

・付加価値が高い→埋設企業者が利益を上げている。効率良く使用されている。

(NTT, ガス, 電気)

・付加価値が低い→埋設企業者が利益を上げていない。低料金で市民に使用・供給されている。

(上水道, 下水道)

$\frac{\text{使用料金} \rightarrow \text{大}}{\text{管材} \rightarrow \text{大}} \rightarrow \text{民間 (NTT, ガス, 電気)}$

$\frac{\text{使用料金} \rightarrow \text{小}}{\text{管材} \rightarrow \text{大}} \rightarrow \text{水道 (0.52)}$

$\frac{\text{使用料金} \rightarrow \text{小}}{\text{管材} \rightarrow \text{中}} \rightarrow \text{下水道 (0.73)}$

↑
下水道は、やや管材に占める投資額が少ない。

(2) 下水道管路施設への投資額

下水道の管材に対する付加価値は、民間レベルのNTT, ガス, 電力までの付加価値(高水準)まで求めることはないが、同じ公共事業で行われる上水道とは、ほぼ同レベルの水準までの引き上げ

表-6 公共料金の支出額と管材投資額の比率

項目	下水道		上水道		ガス		電気		NTT	
管材への投資額 (円)	48,847,100	11%	79,951,000	23%	55,677,000	14%	132,948,000	38%	50,329,000	13%
平成8年度の公共料金支出額 (円/月)	2,223	8%	3,335	12%	5,675	21%	9,281	34%	6,799	25%
付加価値率	8/11	0.73	12/23	0.52	21/14	1.50	34/38	0.89	25/13	1.92

(付加価値率の数値的には下がる) をしても良いと考えられる。

つまり、公共料金支出額と管材への投資額の比率を上水道の0.52へ近づけることになり、公共料金支出額が一定とした場合に下水道の管材への投資額を増加させていくことになる。

3.3 既製品耐震性能調査

(1) 既製品管路の耐震性能の整理

既設管(既製品)の耐震性能は、下水道管路で一般的に本管で使用されている以下の管材を対象として、屈曲角と抜け出し量の耐震性能を整理した。

- ① 陶管
- ② 鉄筋コンクリート管(ヒューム管)
- ③ 硬質塩化ビニル管
- ④ 強化プラスチック複合管

(2) 試算

試算では、一般的な地盤条件を仮定し、地震時の地盤の挙動により生じる各部位の屈曲角と抜け出し量等を求め、上記で整理した既製品の耐震性能を満足するかについて以下に示す各部位の検討を行った。

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

(3) 要求耐震性能の把握

① マンホールと本管の接続部

マンホールと本管の接続部においては、マンホール側の接続部には地震時の屈曲角や抜け出し量を吸収する耐震性能がない。つまり、耐震化を考えた場合においては、この部位に必ず何らかの耐震化方策が必要とされる。

試算によるマンホールと本管の屈曲角は最大でも1度以下、抜け出し量については最大で3.5cmが試算された。

したがって、上記の要求耐震性能を満足するためには、マンホールと本管の接続部に可とう性を有する継手等を設置し耐震対策を図ることになる。

② 管きよと管きよの継手部

試算による管きよと管きよの継手部においては、既設管(既製品)でほとんど対応可能な耐震性能を有していることが分かった。

管きよと管きよの屈曲角は、最大で1度、抜け出し量は最大で5cm(ほとんどは2cm以下)で、全ての既設管(既製品)の耐震性能で対応

可能である。

③ 管きよ本体

管きよ本体の試算は、ヒューム管(1, 2種管)について本体強度が地震動レベル1, 2に対して対応可能かについて行った。

結果としては、レベル1地震動に対しては、ヒューム管の1種管で対応可能であるが、レベル2では2種管にしなければ対応困難である結果となった。

これは、他の管材においても同様の結果が試算されると推定される。

3.4 下水道管路施設の耐震対策の方向性

以上の調査・研究結果を踏まえて、下水道管路施設の耐震対策として今後行っていかなければならない事項を以下に示す。

① 「幹線、ポンプ所及び処理場のネットワーク化の耐震化方策を図ること」

管材や継手の強化とともにシステム全体のネットワーク化を重視することが、システム全体の耐震化の向上へつながる。

② 「耐震化を考えれば陶管、布設年次の古いヒューム管を優先的に布設替えしていくこと」

阪神・淡路大震災調査報告書等から古い時代に布設された管材(下水管では陶管や布設年次の古いコンクリート管等)が、圧倒的に被害を受けていることから、計画的に更新事業を考慮しながら布設替えを行う必要がある。

③ 「経済性、施工性及び既製品の耐震性能を総合的に勘案し、布設状況及び施設地盤に応じた、適切な耐震性管路の選定方法及び各部位ごとの耐震化方策の考え方を新たに定めていく必要がある」

「指針と解説」では、一般的な耐震対策の考え方がまとめられており、経済性、施工性及び既製品の耐震性能等を総合的に勘案して、土被りや管径などの布設状況及び地盤種別に応じた、効率的な耐震計算方法及び各部位ごとの耐震化方策の考え方の記述が少ないものとなっているためである。

3.5 耐震性管路の開発の方向性

下水道管路施設の耐震性の向上を図るために今後行っていかなければならない各部位の開発の方向性について以下に示す。

(1) 管材

ヒューム管の管本体の強度は、レベル2に対し

て2種管でなければ、ほとんど対応困難であり、地盤条件の如何によっては2種管でも対応できない場合も発生する。

したがって、地震に強い安全な管路施設を布設するためにもワンランク強度を向上させた管材の開発が望まれる。

(2) マンホール本体

- ・地下水位より上位にマンホールが存在する場合、地震時のマンホールのズレを許容できる組立人孔の構造の開発（現在緊結ボルトがマンホールの耐震化方策の主流となっているが、地下水の流入の恐れのないところでは、ゴム輪締め等の経済的で簡易な対応も検討すべきである）
- ・中間人孔などは、塩化ビニル性の小型マンホール（マシンホール）を採用することはコスト縮減につながるので設置の促進を促す必要がある。

(3) 本管とマンホールの接続部

全ての管材、管径に対応できる範囲の可とう性継手の開発（現在は污水管を対象とした○500mm以下が主流となっている）

(4) 取付管

ガス導管や水道給水管は、施工性に富み、耐震性にも優れているポリエチレン管を採用しているので、下水道の取付管においても価格的に採用可能となるように対応することが望まれる。

(5) 本管と取付管の接続部

全ての管材、管径に対応できる範囲の可とう性継手の開発（現在は污水管を対象とした○500mm以下が主流となっている）

(6) 排水設備

- ・塩化ビニル性の小型耐震枠の採用
- ・これから排水設備を設置する家庭等においては、地震時の応急普及が行い易いような位置に布設替してもらうなどの対応を図るべきである。

4. 今後の課題

(1) コスト縮減に対する対応

本調査・研究結果より、他企業の関係からみても下水道管路施設の耐震化を行うことは必要であると考ええる。

しかしながら、現時点においては、正に財政難に陥っていることから、効果的で、かつ、適切

な耐震対策を行い、下水道事業費の増大を極力抑えることが急務である。

このことから、下水道施設の地震対策を行うにあたっては、以下の事項に留意し、コスト縮減を考慮した耐震設計、耐震工事を行うことが望まれる。

- ① 当該設計流域の地盤状況を十分に調査し、耐震対策が必要な地盤であるのか否かについての検討を行うこと。つまり、耐震設計を行う前に耐震設計対象地域又は耐震設計対象基幹線等の仕分けを広いエリアにおいて調査しておくことが考えられる。
- ② 液状化対策は、各埋設企業者のもとより、道路管理者に対しても対策費を負担してもらうことにより、道路下の液状化対策費を埋設企業者と道路管理者で分担して対応することにより、下水道事業者の負担額を削減することが考えられる。
- ③ 耐震設計を行う場合においては、以降で示すような効率的な耐震計算及び適切な耐震化方策を行うことが必要であると考ええる。

(2) 耐震設計の効率化

1) 各部位の耐震計算

- ① 全ての耐震計算に必要な設計対象位置の固有周期と基盤面深度の算定方法は記載されているが、ボーリングデータが無い場合の対応や、周辺に無数に存在する場合の対処方法が記載されていない。

したがって、既にあるボーリングデータを整理して、例えば500×500m程度のメッシュにおける代表的な固有周期と基盤面深度を予め試算しておくと、既設管の耐震診断及び新設管の耐震設計をスムーズに行うことができる。

- ② 「指針と解説」では既設管の耐震診断及び新設管の耐震設計は、如何なる管材、土被り及び地盤特性（固有周期と基盤面深度）においても行わなければならないことになっている。

しかし、既設管（既製品）のもとと保っている耐震性能（屈曲角、抜け出し量、管本体の強度）を把握し、必要耐震性能をあらかじめ計算しておけば、どこまでは耐震計算が必要で、どこから耐震計算が不要であるかを区分しておくことができ、耐震設計を効率的に行うことができる。

2) 各部位の耐震化方策

マンホールと本管接続部の耐震化方策は、以下の2つが挙げられている。

- ・短管の設置（ジョイントを増やし、地震時変位を吸収する）
- ・可とう性継手（可とう性継手の設置により、地震時の屈曲、抜け出しに対して対応可能となるが、経済性に劣る）

上記の使用基準等については、指針に記載されていないので、不等沈下の恐れのある地盤に布設場合は、安全性確保のために可とう性継手を採用し、良好な地盤においては短管の設置に留める等の基準を定めるべきである。

●この調査・研究に関する問い合わせは

技術第一部長	高橋	賢治
技術第一部主任研究員	畔柳	郁夫
技術第二部研究員	越智	聡
技術第二部研究員	間瀬	毅