

下水道管路の地震時対策に 関する調査・研究

1. 研究の目的

下水道は、生活環境の改善、浸水被害の解消、公共用水域の水質保全等の役割を果たす重要な社会基盤施設である。

また、下水道は、上水道、電力、ガス、通信等と並ぶ重要なライフライン施設のひとつであり、市民生活や社会活動を支える基盤施設として、地震時等の非常時にもその機能を確保することが求められている。

今回の兵庫県南部地震によって、下水道はこれまでにない大きな被害を受けた。下水道地震対策技術調査検討委員会（以下、「検討委員会」と呼ぶ）では、「下水道の地震対策についての第一次提言（平成7年4月11日）」¹⁾及び「下水道の地震対策についての第二次提言（平成7年8月3日）」²⁾を行い、下水道施設の被害調査、今後の地震対策のあり方が取りまとめられている。同提言において、下水道の重要な管きよ及びその他管きよの構造面での対策として、管きよ間の接続部、マンホールと管きよの接続部において、耐震継手の使用が提案されている。

本機構では、既存の耐震継手と耐震管材の耐震性能を評価することを目的として、以下の調査・検討を行っている。

- ① 地震による管路施設の被害形態
- ② 管路施設の地震対策事例
- ③ 可とう性継手の耐震性能評価
- ④ 既存の可とう性継手の耐震性能調査

- ⑤ 可とう性継手の設置費用についての調査検討

①、②については、それぞれ、中尾他³⁾、(財)下水道新技術推進機構⁴⁾に示されている。本報は、③～⑤について報告する。なお、この研究は、本機構の固有研究として行ったものである。

2. 地震による管路施設の被害形態

地震による管路施設の被害形態は、平成6年度には、図-1に示す調査フローに従って調査・検討している。本年度は、平成6年度の成果に神戸市下水道局「阪神・淡路大震災における下水道復旧の記録（平成7年7月）」⁵⁾を追加した。

下水道施設が被害を受けた主な地震とその被害の概要を表-1に示す。表-1に示される管路施設被害に関するキーワードは、軟弱地盤、液状化、直下型地震、地盤急変部等が挙げられている。

3. 可とう性継手の耐震性能評価

3.1 概要

下水道管路の地震対策として、管きよ本体および継手に伸縮・可とう性を持たせることが、一つの有効な方法である。耐震継手の耐震設計指針としては、(財)国土開発技術研究センター「地下埋設管路耐震継手の技術基準（案）、昭和52年3月」⁶⁾（以下、「耐震継手の技術基準」と呼ぶ）があり、耐震計

算法、継手の性能評価等について記述されている。この耐震継手の技術基準は、上・下水道、ガス、電力、通信等の地下に埋設された管路全体を対象にしており、下水道管路だけに言及したものではない。

したがって、下水道管路については、前述の「検討委員会」での提言、あるいは土木学会「土木構造物の耐震基準等に関する提言（平成7年5月23日）」⁷⁾に照らし合わせてみて、以下の項目を検討する必要があると思われる。

- ① 下水道管路の耐震性能の照査に使用する2段階の地震動強さ
- ② 下水道管路が保有すべき耐震性能
- ③ 兵庫県南部地震による被災状況に照らした現行の耐震基準の見直し
- ④ 兵庫県南部地震による被災状況に照らした既存管路の耐震診断および補強
- ⑤ 耐震基準等の見直しに必要な研究開発の促進

これらの上記項目については、「検討委員会」において検討中であるが、本機構においては、②項の下水管きよが保有すべき耐震性能のうち、耐震継手の耐震性能評価の方法を検討する。

管きよの重要度別の設計震度、地盤の歪、可とう性継手の変形性能の関係を図-2に示す。上記の関係並びに、可とう性継手の耐震性能と下水道の機能との関係を明確にすることにより、耐震継手の耐震性能評価が可能となる。

3. 2 地中構造物の耐震継手の評価について

地中構造物の耐震継手の評価について文献調査を行った。

(1) 耐震計算法について

建設省、日本道路協会、日本水道協会及び通産省・資源エネルギー庁等において、地下構造物に関する基準や指針類で規定されている。

計算法として、震度法、応答変位法および動的解析法があるが、地下構造物は、応答変位法を使う場合が多い。

(2) 耐震継手のモデル化について

耐震継手のモデル化の考え方を以下に示す。

「耐震継手を有する埋設管は、一様連続な梁にモデル化する。荷重の作用によるはりの軸線の変形が、同じ荷重による埋設管の軸線の変形とみかけ上一致するように、梁の軸剛性や曲げ剛性を決める。このようにして決めた剛性を埋設管の「等価軸剛性」、「等価曲げ剛性」と呼び、これらを総称して「等価剛性」という。また、埋設管を「弾性床土上の梁」として解析する関係から、トン

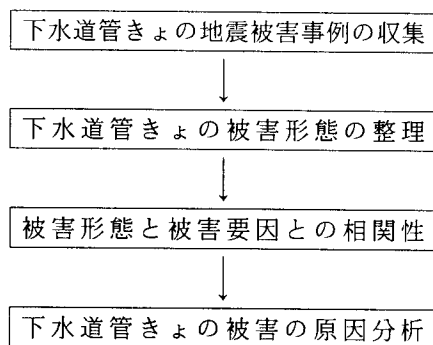


図-1 下水道管きよの地震被害形態の調査フロー

表-1 下水道施設が被害を受けた主な地震とその被害の概要

地震名	管路施設被害	ポンプ・処理場被害
関東地震 M=7.9 1923. 9. 1	被害250箇所 山手と下町の境界で被害	影響なし
新潟地震 M=7.5 1964. 6. 16	液状化による被害大 総延長の70%被害	液状化による被害大 機能停止箇所多数
宮城県沖地震 M=7.4 1978. 6. 12	軟弱地盤の被害大 未供用幹線被害大	機能停止箇所多数
兵庫県南部地震 M=7.2 1995. 1. 17	液状化による被害大 直下型地震型被害	液状化による被害大 機能停止箇所多数

地震発生	地盤振動 → 下水道管の変形		
設計震度	地盤の歪	耐震性能	可とう性継手と管材の性能(凡例)
強震	大歪	レベル1	◎
中震	中歪	レベル2	○
弱震	小歪	レベル3	▽
微震	微歪		×

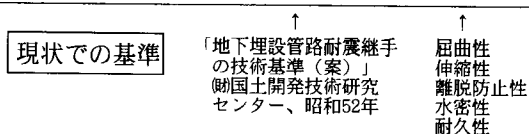


図-2 管きよの重要度別の設計震度、地盤の歪、可とう性継手の変形性能の関係

ネルをモデル化した梁のことを「等価剛性梁」という呼び方をする。

埋設管の免震技術としては、埋設管の変形性能を高める可とう性継手を配置する構造がある。ある意味では、構造的に弱点を設けることとなる。可とう性継手のモデルとして、等価剛性を用いることが多い。」⁸⁾

野田・森田⁹⁾の、「プレキャスト共同溝の耐震継手の研究」、志波・川島・大日方・加納¹⁰⁾、西野・吉田、小泉¹¹⁾の「シールドトンネルの耐震継手の研究」等でも、耐震継手を等価剛性として評価し、その等価剛性の評価方法等について検討している。

(3) 耐震継手の耐震性評価

木戸・岡本¹²⁾は、地震や地盤の不等沈下発生時のシールドトンネルに発生する変形量を算定し、その変形量に応じて、その発生する変形量を吸収する耐震継手を設置することを提案している。

この考え方は、和佐・吉田・田中¹³⁾に踏襲されている。ダクタイトルやスチールセグメントを用いて強度を高め力に抵抗するという従来の対策を取らずに「軟弱地盤中のシールドトンネルの耐震問題」として捉え直し、地震時挙動を実験や解析により明らかにした上で、剛性低減区間を設けてひずみを吸収し断面力を低下させる対策を提案している。

3. 3 地震動強さと管きよ間の耐震継手の変形性能の関係

耐震継手の耐震性能は、地震動強さと変形性能の関係、及び地震後の下水道としての機能により、評価される。地中建造物の耐震継手の評価に関する文献調査に基づいて、地震動強さと耐震継手の変形性能の関係についての考え方を検討した。

(1) 検討フロー

「耐震継手の技術基準」では、局所の不連続部で生じる地震時の地盤の歪を、耐震継手の変形性能で吸収するものとして、耐震継手の伸縮・可とう性の性能を規定している。この考え方を踏まえて、地震動強さと耐震継手の変形性能の関係の算定方法を検討した。算定方法のフローを図-3に示す。

設計震度、地震時の地盤歪の算定方法及び継手の耐震性能の区別については、「検討委員会」において見直されるものを使用する。

1) 地震動強さと「管きよ間の耐震継手」の変形性能の関係

評価方法についての一つの考え方を以下に示す。

(Step 1) 検討委員会で提示されるであろう手法により、2段階の地震動強さに対して、地震時の地盤歪を算定する。

(Step 2) 地盤の地震時歪が耐震継手にどの

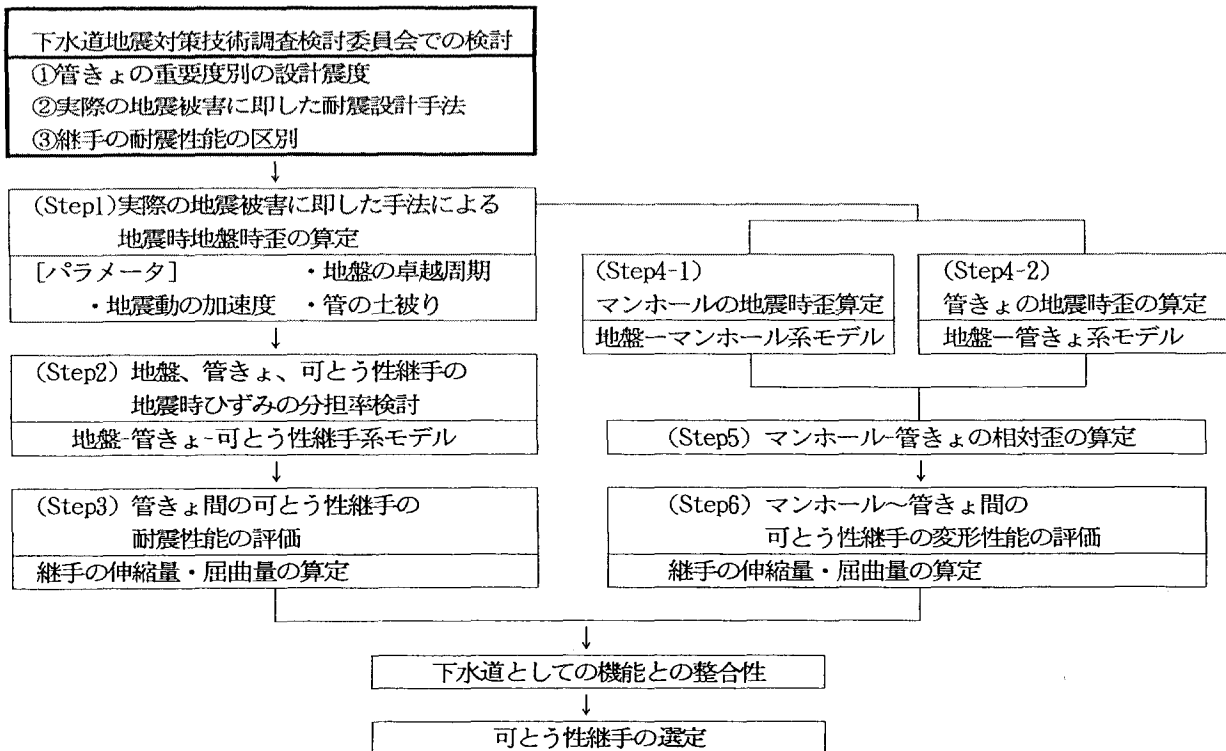


図-3 管路の可とう性継手の耐震性評価フロー

程度吸収するのかを検討するために、地盤-管きよ-耐震継手系を弾性床上の梁としてモデル化し、地盤、管きよおよび耐震継手に生じる地震時歪を求める。

(Step 3) Step 2で求めた耐震継手の歪を外力とした静的解析により、耐震性能である屈曲量(軸直角方向)、伸縮量(軸方向)を算出する。

2) 地震動強さと「マンホール~管きよ間の耐震継手」の変形性能の関係

「マンホール~管きよ間の耐震継手」の耐震基準は現存しないので、その変形性能の評価方法を確立する必要がある。評価方法について一つの考え方を以下に示す。

(Step 1) 実際の地震被害に即した手法により、2段階の地震動強さに対して、地震時地盤歪を算定。

(Step 4-1) Step 1で求めた地震時地盤歪を外力として、地盤-マンホール系をばね-質点系モデルを用いた解析を行い、マンホールの地震時歪を算定する。

(Step 4-2) Step 1で求めた地震時地盤歪を外力として、地盤-管きよ系をばね-質点系にモデルを用いた解析を行い、管きよの地震時歪を算出する。

(Step 5) マンホールと管きよの相対歪を算定する。

(Step 6) Step 5で求めた相対歪を外力とした静的解析により、耐震性能である屈曲量(軸直角方向)、伸縮量(軸方向)を算出する。

Step 6で算定された耐震継手の変形性能に対して、下水道としての機能との整合性をとって可とう性継手の選定を行う。

4. 既存の可とう性継手の耐震性能の調査

可とう性継手メーカーに対して、各メーカーの保有する可とう性継手および管材の耐震性能についてのアンケートを行い、その取りまとめを行った。¹⁴⁾

可とう性継手および管材の屈曲性、伸縮性、離脱防止性、水密性、耐久性を耐震性という観点で再評価する。ここで、耐震性評価方法としては、「耐震継手の技術基準」における耐震性能評価方法を用いた。

5. 可とう性継手の設置費用についての調査検討

管路に可とう性継手を設置すれば、多少でも震害を免れるという想定のもとに、可とう性継手を設置した場合としない場合の費用比較の検討を行った。検討フローを図-4に示す。

(1) 検討対象区域

約65haの下水処理区をモデル地区として、費用比較を行った。処理区内の管きよとして、ヒューム管及びシールドトンネルがある。ヒューム管の管径は、φ250~800であり、シールドトンネルの管径は、φ2,200~2,400である。主要管きよであるφ250のヒューム管の総延長は、約20kmである。シールドトンネル(管径φ2,400)の延長は、約1kmである。

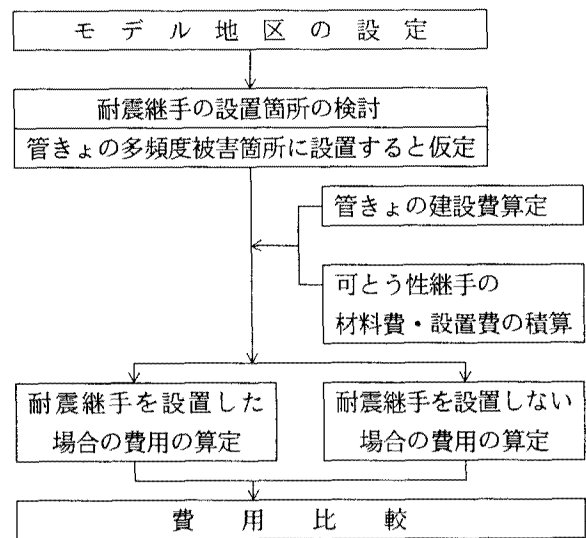


図-4 可とう性継手の費用比較の検討フロー

(2) 可とう性継手の設置箇所の設定

宮城県沖地震における典型的なマンホール付近での管きよの被害¹⁵⁾を図-5に示す。管きよの被害箇所は、マンホールと管きよの接合部および1~2本目の管きよに集中していることがうかがえる。被害事例を参考にして耐震継手を設置する箇所を、マンホールと管きよの接合部およびマンホールから1~2本目の管きよの接合部とし、1スパン当たり4ヶ所の可とう性継手を想定して可とう性継手の経済性の検討を行う。

(3) 検討の手順及び検討結果

可とう性継手の経済性の検討の手順は、以下に示すとおりである。

- ① 検討対象区域における、下水道管きよの管径、土被り、延長、スパン数及び取付管の数を公共下水道台帳施設平面図より求めた。
- ② 可とう性継手の種類の選定

本検討においては、可とう性継手の設置費用の幅を知るうえで、一番高いものと、一番安いものを選定した。この検討では、可とう性継手の性能レベルについては度外視している。本報では、一番安い設置費用の場合の結果を示した。

③ 耐震構造・普通構造工事費の比較

可とう性継手は、その機能によって価格が異なるが、ここでは低価格のもので比較を行った。管路建設費は、建設省下水道積算基準等より積算した。また、可とう性継手の設置費用は、各メーカーへのヒアリングに基づいて算定した。

その結果を図-6に示す。このモデルケースでは、工事費の増額は3%程度であった。

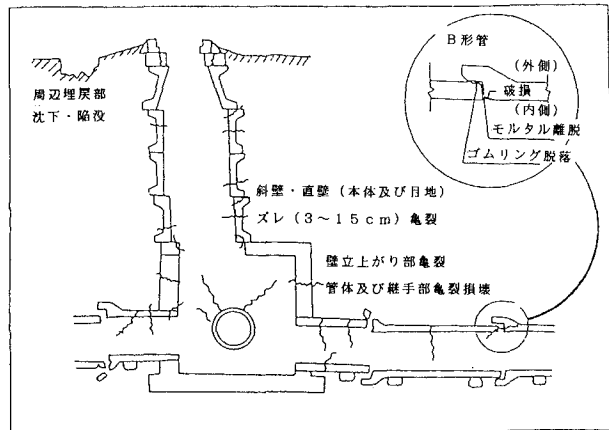


図-5 マンホール付近での管きよの被害状況¹⁵⁾

6. おわりに

将来起こり得る地震に対して、下水道管路の耐震強化に関する具体的な対策を明示する必要がある。対策の1つとして、耐震継手の設置が考えられる。そこで、耐震継手の耐震性能評価方法の提案を行い、かつ、耐震継手の費用比較を行った。これらの成果については、下水道地震対策技術調査検討委員会での調査検討結果を踏まえつつ、さらなる検討調査が必要と考えられる。

参考文献

- 1) 下水道地震対策技術調査検討委員会：下水道の地震対策についての第一次提言，平成7年4月11日
- 2) 下水道地震対策技術調査検討委員会：下水道の地震対策についての第二次提言，平成7年8月3日
- 3) 中尾他：下水道管路の地震時対策のあり方に関する調査・研究，下水道新技術研究所年報（2/2巻），pp. 93-98, 1995.6.
- 4) (財)下水道新技術推進機構：耐震性管路材料技術資料-特別編集版-，1995年9月
- 5) 神戸市下水道局：阪神・淡路大震災における下水道復旧の記録，平成7年7月
- 6) (財)国土開発技術研究センター：地下埋設管路耐震継手の技術基準（案），昭和52年3月
- 7) 土木学会：土木構造物の耐震基準等に関する提言，平成7年5月23日
- 8) 川島一彦：地下構造物の耐震設計，鹿島出版会，1994年
- 9) 野田・森田：可撓性継ぎ手を有するプレキャスト共同溝の耐震設計，トンネルと地下，1995年2月，pp. 21-29
- 10) 志波・川島・大日方・加納：シールドトンネルの耐震解析に用いる長手方向覆工剛性の評価法，土木学会論文集，第398号，1988年10月，pp. 319-327

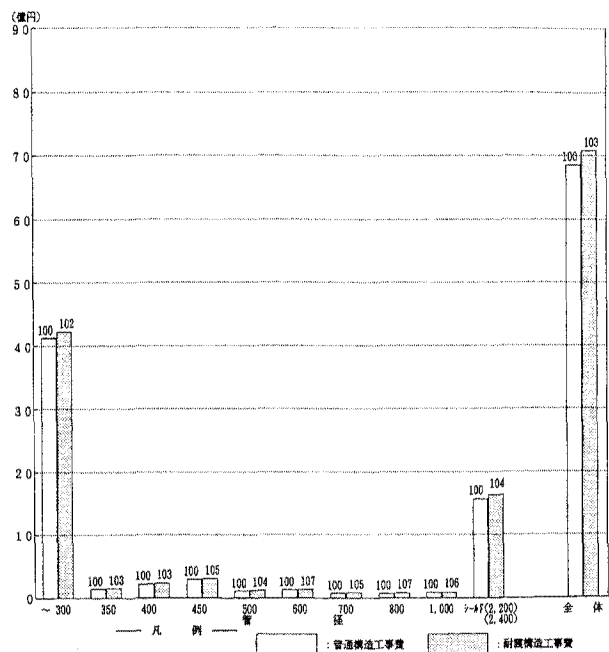


図-6 耐震継手の設置費の費用比較

- 11) 西野・吉田・小泉：シールドトンネル縦断方向の現場載荷試験とその考察，土木学会論文集，第376号，1986年12月，pp. 131-140
- 12) 木戸・岡本：可とう性を有するシールドトンネルリング継手の開発とその設計法，熊谷技報47号，1990.2
- 13) 和佐・吉田・田中：軟弱地盤中のシールドトンネルの地盤および覆工剛性急変部の耐震設計法，土木学会論文集 No.510，pp. 69-79, 1995.3
- 14) (財)下水道新技術推進機構：下水道管路の地震時対策のあり方に関する調査・研究，1996年3月
- 15) 国土庁長官防災企画課：宮城県沖地震に関する総合的調査報告書，昭和56年3月

● この調査に関する問い合わせは

技術部長	中尾 正和
研究第二部主任研究員	山下 順市
技術部研究員	関根 浩次
技術部研究員	林 和生