

V-290

下水道更生管渠の耐震性能に関する数値解析検討

東京都下水道サービス株式会社 高橋 良文 出口 敏行*
日本工営株式会社 正会員○田中 弘 須磨 康正 中野 雅章**

1. はじめに 1984(明治17)年の神田下水から始まり、1995(平成7)年に概成100%の普及率を達成した東京都の下水道事業においては、近年、都市部における大口径老朽管渠の対策が急がれている。多数の既設埋設物が輻輳している都市部では、住民生活や経済環境に与える影響が大きい開削工法による新設管渠の入れ替え工事が次第に困難な状況にあることから、東京都下水道局では任意断面の老朽管渠を非開削工法で、しかも供用しながら更生できる「自由断面SPR工法」を開発した¹⁾。本工法で更生した既設老朽管渠の常時耐荷力は、健全な新品管渠で構築する場合と同等以上となることは既に検証されており²⁾、管渠の維持管理面から言うと、これは「改築」に分類される工法である。一方、兵庫県南部地震での下水道施設の被害経験を教訓として策定された耐震指針³⁾によれば、「重要な幹線管渠に対してはレベル2地震動に対して流下機能を確保する」ことが唱えられている。本報は、自由断面SPR工法で更生された標準的な下水道管渠を対象として、上記指針で規定される地震時条件下での耐震性能について数値解析検討を行ったものである。

2. 検討条件 1) 検討対象管渠：図1に示すRC矩形渠と円形管渠(ヒューム管を想定)の2種類の管渠を対象とした。それぞれ3mクラスの大口径管渠としたのは、後述する応答変位法の地震時荷重が大きく作用するケースを狙ったためである。既設管渠は老朽化しているものとして、管渠内側の部材厚を3cm減肉させたモデル化とした。既設管渠の内側に施工される自由断面SPR工法部位は、このサイズを更生する場合の標準的な設計部材厚(11.5cm)を設定した。2) 埋設条件：前述の耐震指針³⁾で規定するレベル2地震動を考慮した場合に、管渠に作用する応答変位法地震時荷重が最大となるような埋設条件を事前に検討し、図2に示すように表層地盤厚さ25mのII種地盤(想定固有周期0.5秒、逆算N値が約30、地表面での応答変位が4.9cmのレベル)に土被り3.5mで埋設された条件を扱った。3) 地震荷重：耐震指針で規定するレベル2地震動に準じて、図2に示すように管渠の上面と底面の相対区間に水平方向に作用する静的な応答変位振幅荷重と、管渠周面に作用する静的な周面せん断力を考慮した(なお、自重に起因する慣性力は無視した)。4) 数値解析手法：更生管渠の構造設計は、劣化・損傷を有する既設管渠と、新たに施工する更生管渠部材とのRC複合構造であるため、これまでのRC構造物の設計で一般的に用いられている許容応力度法の適用は困難である。しかも本検討はレベル2地震動を対象としたものであるため、終局耐荷力までの挙動を追跡できるRCひび割れ弾塑性FEM解析手法⁴⁾を用いた。5) 解析手順：静的な応答変位法と弾塑性解析手法から、動的な地震時挙動を可能な限り忠実に再現するために、図3に示すステップ解析を実施した。Step1で常時解析を行い、Step2で、まず片側方向へのレベル2地震動荷重を載荷し、次のStep3では反対方向へのレベル2地震動荷重を載荷して地震による交番載荷状態を模擬した。弾塑性解析法を用いているから、Step3はStep2での応力履歴を含んだ状態で解析される。Step3において構造系が破壊しない場合には、Step3の荷重モードを引き続いて増分させるStep4の計算を進め、最後に数値解が求められなくなる時点の終局耐荷力を求めた。

3. 更生管渠の耐震性能 図4に代表的な解析StepでのRCひび割れ発生位置図と、変位モード図を示す。両管渠とも更生管渠の状態では、レベル2地震外力(Step2, 3)に対しては十分な耐荷力を保有しており、Step4の終局耐荷力(これ以上の増分荷重に対しては計算不能)状態までの計算結果が得られている。表1に代表的な数値結果を示すが、矩形渠ではレベル2地震外力の約2倍、円形管渠では約6倍が更生管渠状態での終局耐荷力(構造系が維持できずに断面崩壊を生じる)であり、類似諸元の場合は矩形渠に比べて円形管渠の方が明らかに耐荷力性能が高い。

4. あとがき 今回の検討は、管渠に作用する地震時荷重負荷が極力大きくなるような条件を事前に検討して、管渠諸元や埋設条件を設定しており、いわば安全側の検討結果である。したがって、自由断面SPR工法を適用して標準的に設計・施工された更生管渠の耐荷能力は、レベル2地震外力に対して十分な耐震性能を保有しているとの評価ができる。ただし、既設管の老朽状態や形状寸法が特別な場合、あるいはSPR工法の設計断面が標準タイプから極端に異なる場合は、その都度設計条件に合わせた耐震検討を実施すべきである。

キーワード：下水道管渠、更生工法、耐震、地中構造物、RC弾塑性解析

* 〒100-0004 東京都千代田区大手町 2-6-2 日本ビルデング
** 〒102-8539 東京都千代田区麹町 5-4

TEL:03-5321-1111 FAX:03-5388-1707

TEL:03-3238-8353 FAX:03-3238-8230(地盤構造部)

対象管渠	算定項目		Step1(常時)	Step2(レベル2)	Step3(レベル2)	Step4(破壊時)
RC矩形渠	地震荷重比率			1.00	1.00	2.02
	たわみ[mm]	鉛直方向	-0.183	-0.111	-0.108	0.178
		水平方向	-0.082	-0.248	-0.271	-0.195
円形管渠	地震荷重比率			1.00	1.00	6.02
	たわみ[mm]	鉛直方向	-0.419	-0.368	-0.368	1.366
		水平方向	0.399	0.261	0.261	-0.710

Figure 1 illustrates the dimensions and components of two types of manholes:

- Type 1: RC 矩形渠 (RC Rectangular Channel)**
 - Overall dimensions: 2300mm (width) x 2100mm (height).
 - Internal opening dimensions: 3060mm (width) x 3060mm (height).
 - Wall thickness: 115mm.
 - Corner radius: R=600mm.
 - Material: プロファイル (SPR部材) (Profile (SPR material)).
- Type 2: 円形管渠 (Circular Channel)**
 - Overall diameter: 2100mm.
 - Internal diameter: 1900mm.
 - Wall thickness: 115mm.
 - Material: プロファイル (SPR部材) (Profile (SPR material)).
 - Bottom material: 間詰め材料 (SPR部材) (Filling material (SPR material)).

Additional notes from the diagram:

- 既設管部材 減肉分30mmを考慮 (Existing pipe material, considering 30mm reduction in thickness).
- 単位: mm (Unit: mm).

The diagram illustrates the experimental setup for measuring lateral displacement at the ground surface. It shows a cross-section of a foundation and soil layers.

- Foundation:** A rectangular foundation is shown with dimensions B (width) and L (length). The top surface is labeled "土被り 3.5m". The internal structure includes a central square area with side lengths of 3000 mm.
- Soil Layers:** The foundation is embedded in soil. The total height of the soil layer above the foundation base is indicated as $H=25\text{m}$.
- Displacement Measurement:** The lateral displacement at the ground surface is denoted by ΔU . The displacement profile is shown as a curve starting from zero at the foundation edge and increasing towards the surface.
- Labels:**
 - "周面せん断力 T_s " indicates shear stress along the vertical sides of the foundation.
 - "基底面" refers to the bottom surface of the foundation.
 - "地表面における変位振幅 Δu " refers to the displacement amplitude at the ground surface.
 - "基礎埋設深度 $H=25\text{m}$ " specifies the foundation embedment depth.
 - "日暮地盤" likely refers to the ground conditions or measurement location.

```
graph TD; Step1[Step1: 常時荷重] --> Step2[Step2: 地震時荷重  
(左方向へ載荷)]; Step2 --> Step3[Step3: 地震時荷重  
(右方向へ載荷)]; Step3 --> Decision{判定}; Decision -- "終局耐力以内" --> End[END]; Decision -- "終局耐力に至らない" --> Step4[Step4: 地震時荷重増分  
(終局耐力まで載荷)];
```

The flowchart illustrates the process of calculating seismic loads. It begins with Step 1: 常時荷重 (Normal Load). This leads to Step 2: 地震時荷重 (左方向へ載荷) (Seismic Load (Load in Left Direction)). From Step 2, the process moves to Step 3: 地震時荷重 (右方向へ載荷) (Seismic Load (Load in Right Direction)). Step 3 leads to a decision diamond labeled 判定 (Judgment). If the judgment is 終局耐力以内 (Within ultimate capacity), the process ends at END. If the judgment is 終局耐力に至らない (Does not reach ultimate capacity), the process moves to Step 4: 地震時荷重増分 (終局耐力まで載荷) (Increase in seismic load (Load up to ultimate capacity)).

図4 RCびび割れ発生位置と変位モード図