

# 水道管の耐震設計における地盤の不均一度係数に関する一考察

金沢大学大学院博士前期課程環境デザイン学専攻 学生会員 ○大浦 健匠  
(株)国土開発センター 正会員 七郎丸 一孝  
金沢大学理工研究域 正会員 宮島 昌克

## 1. はじめに

平成 23 年 3 月 11 日の東北地方太平洋沖地震は、道路、上水道、下水道等のライフラインに未曾有の被害をもたらした。上水道については約 257 万戸で断水するといった大きな被害が出ており、復旧には 1 ヶ月以上を要した。また、今後発生することが予想される巨大地震では、水道管被害を最小限に抑えるために管路の耐震化が求められる。更に現在、我が国の水道管は更新期にあり、今後新設される水道管においても適切な耐震設計が行われ、巨大地震にも耐えることが求められる。

水道管の耐震設計は、水道施設耐震工法指針・解説に定められており、式(1)を用いた比較的簡便な応答変位法による静的解析が行われている<sup>1)</sup>。

管路の地震被害は、地盤条件の変化域で多く発生することが分かっているため、式(1)において地盤の不均一度係数が考慮されている。

$$\varepsilon_G = \eta \times \frac{\pi U_h}{L} \quad (1)$$

$\varepsilon_G$  : 基準地盤歪み(管軸方向)

$\eta$  : 地盤の不均一度係数

$U_h$  : 管軸上の地盤の水平変位振幅(m)

$L$  : 波長(m)

地盤の不均一度係数の値は表-1 に示す通りである。この値は 1978 年の宮城県沖地震のガス管被害を参考に設定されており<sup>2)</sup>、近年の水道管の地震被害との適合性が確認されていない。また、七郎丸らの研究<sup>3)</sup>によると、250m メッシュで地形が分類されている微地形分類図における、地形の不均一な地形(微地形境界部)に被害が集中していることが分かっている。

よって本研究では微地形分類に着目し、最適な不均一度係数を検討する。

表-1 地盤の不均一度係数  $\eta$

不均一度の程度	不均一度係数 $\eta$	地盤条件
均一	1.0	洪積、均一な沖積地盤
不均一	1.4	層厚の変化がやや激しい沖積地盤、普通の丘陵宅造地
極めて不均一	2.0	河川流域、おぼれ谷などの非常に不均一な沖積地盤、大規模な切土・盛土の造成地

## 2. 微地形分類図を用いた管路被害の分析

微地形分類図は、J-SHIS 地震ハザードステーションからダウンロードできる GIS データであり、各地点の微地形が 250m メッシュで分類されている。微地形分類図において対象メッシュの周囲 8 メッシュのうち、一つでも対象メッシュと異なる微地形分類が存在する地点を微地形境界部と定義し、境界以外と管路被害率を比較すると、図-1 に示すように境界部で被害率が高くなっていることがわかる。

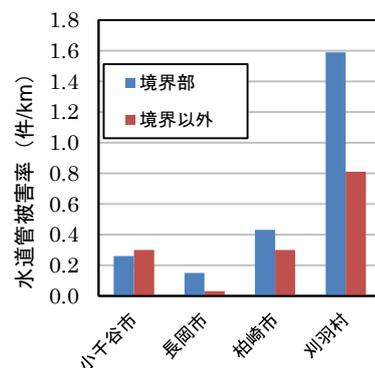


図-1 新潟県中越地震での管路被害

## 3. 解析手法

本研究では、均一な地盤を仮定した場合の地盤ひずみと、不均一な地盤を仮定した場合の地盤ひずみの比である地盤ひずみ比  $C$  を設定し、不均一度係数

を検討する。地盤ひずみ比  $C$  を式(2)に定義する。

$$C = \frac{\epsilon_G'}{\epsilon_G} \quad (2)$$

$C$  : 地盤歪み比 (管軸方向)

$\epsilon_G'$  : FEMによる動的解析で算定した不均一地盤に対する地盤歪み (%)

$\epsilon_G$  : 応答変位法によって算定した均一地盤に対する地盤歪み (%)

更に2011年東北地方太平洋沖地震における管路被害地点において、地盤ひずみ比  $C$  を算定し不均一度係数を検討する。解析対象管はダクトイル鋳鉄管のA形・K形継手とした。

また、被害地点を微地形境界部と境界以外に分け、さらに微地形区分を「K形継手等を有するダクトイル鋳鉄管の耐震適合性地盤判定支援ハンドブック<sup>4)</sup>」の耐震適合性の有無を参考に「良い地盤」と「悪い地盤」に分類し、計4ケースに分類した。各ケースの解析位置の詳細を表-2に示す。均一な地盤のひずみの算定は、解析対象位置近傍のボーリングデータを用いて式(1)において  $\eta$  を考慮せずに計算する。不均一な地盤のひずみに関しては2つのボーリングデータから地盤断面モデルを作成し、汎用ソフト

(SoilPlus)を用いた2次元FEM解析によって算定した。

表-2 解析位置

CASE	微地形区分	境界条件	地域名	微地形名称
1-1	悪い地盤	境界	仙台	後背湿地
1-2			仙台	後背湿地
1-3			石巻	後背湿地
2-1	良い地盤		仙台	砂礫質台地
2-2			-	-
2-3			-	-
3-1	悪い地盤	境界以外	石巻	砂州・砂礫洲
3-2			仙台	後背湿地
3-3			石巻	砂州・砂礫洲
4-1	良い地盤		仙台	砂州・砂礫洲
4-2			仙台	砂州・砂礫洲
4-3			仙台	砂州・砂礫洲

不均一な地盤のひずみの算定は、2次元線形有限要素法を用い、モデルの物性値等は設計用領「道路編」<sup>5)</sup>を参照し、ポアソン比は0.45とした。数値解析手法はNewmark  $\beta$ 法 ( $\beta=1/4$ )による直接積分とし、入力地震動は兵庫県南部地震とした。

#### 4. 解析結果

解析結果を表-3に示す。地盤ひずみ比  $C$  はCASE1の微地形境界部悪い地盤で大きくなる傾向がみられる。またCASE4の境界以外良い地盤で  $C$  の平均が最も小さくなった。

現行の不均一度係数の最大値は2.0であるが、今回算定した地盤ひずみ比  $C$  は大きいもので10.45と両者を比較すると大きな差がある。よって現行の不均一度係数では地盤が不均一なことによる地盤ひずみの増幅が過小評価してしまう可能性がある。

表-3 解析結果

CASE	微地形区分	境界条件	均一地盤における歪み $\epsilon_G$ (%)	不均一地盤における歪み $\epsilon_G'$ (%)	地盤歪み $C$ ( $\epsilon_G'/\epsilon_G$ )	Cの範囲	Cの平均
1-1	悪い地盤	境界	0.130	1.358	10.450	0.60	6.53
1-2			0.072	0.615	8.540		
1-3			0.257	0.155	0.600	10.45	
2-1	良い地盤		0.073	0.127	1.740	-	-
2-2			-	-	-	-	-
2-3			-	-	-	-	-
3-1	悪い地盤	境界以外	0.135	0.312	2.310	0.56	1.31
3-2			0.036	0.020	0.560		
3-3			0.327	0.343	1.050	2.31	
4-1	良い地盤		0.237	0.213	0.900	0.41	0.86
4-2			0.019	0.024	1.260		
4-3			0.073	0.030	0.410	1.26	

#### 参考文献

- 1) 社団法人日本水道協会：水道施設耐震工法指針・解説 2009年度版，I総論，2009。
- 2) 西尾宣明：埋設管の地震時被害率予測法に関する一提案，土木学会論文報告集，No. 316，pp. 1-9，1981。
- 3) 七郎丸一孝：水道管の耐震設計における地盤の不均一度係数に関する研究，金沢大学提出博士論文，2013。
- 4) 財団法人水道技術センター：K形継手等を有するダクトイル鋳鉄管の耐震適合性地盤判定支援ハンドブック，pp. 5-11，2011。
- 5) 国土交通省北陸地方整備局：設計要領[道路編]，2006。