

水道管の耐震検討における微地形分類と微地形境界条件を考慮した地盤の不均一度係数の検討

七郎丸一孝¹・宮島昌克²

¹正会員 金沢大学大学院 自然科学研究科博士後期課程 (〒920-1192 石川県金沢市角間町)

E-mail:shichiroumaru_kazutaka@kokudonet.co.jp

²正会員 金沢大学理工研究域環境デザイン学系教授 (〒920-1192 石川県金沢市角間町)

E-mail:miyajima@t.kanazawa-u.ac.jp

埋設管の被害は微地形分類図における微地形境界部において被害率が高く、また、過去の研究等でも地盤の不均一性が高い位置で管路被害が集中することがわかっている。したがって、地盤の不均一性(地盤構成や硬軟の変化域)を考慮した埋設管の耐震検討を行うことが必要となっている。水道施設耐震工法指針・解析2009年度版においても不均一度係数が定められており、この不均一度係数について、平成16年新潟県中越地震および平成19年新潟県中越沖地震による水道管の被害データ、微地形分類図、地盤データを用いて、微地形の種類と境界条件を踏まえた静的解析および動的解析によって地盤歪み算定した。この結果を比較し、微地形の種類と境界条件を考慮した不均一度係数の検討を行った。

Key Words : earthquake- resistant, water pipeline, non-uniformity coefficient, microtopography classification map, microtopography boundary

1. はじめに

平成23年3月11日の東北地方太平洋沖地震に伴う東日本大震災によって、道路、上水道、下水道、電気、ガス等のライフラインにも未曾有の被害をもたらした。ライフライン施設のうち水道については、管路の破損等により宮城県を中心にピーク時で約220万戸の断水が発生¹⁾し、広範囲かつ多大な被害を与えた。2010年現在、水道については普及率が97.5%²⁾であり、突然の断水、減水の影響は計り知れないものとなっている。したがって、水道施設の耐震性を確保することは、生活用水、消火用水や病院等の事業活動等のあらゆる面で不可欠であり、今後新たに設置するものは耐震性を有し、現在埋設されているものは耐震性を高めるための優先順位を決定し、改修していく必要がある。

一方、平成23年東北地方太平洋沖地震に伴う仙台市における水道管路被害率は0.07件/kmであり、平成7年兵庫県南部地震における神戸市0.32件/kmよりも小さかった³⁾。これは悪い地盤における地盤変状が限定的であったことがひとつの要因であり、地盤変状の発生しやすい人工改変部や地盤の不均一性が、水道管等の埋設管に被害を与

えている。埋設管に関する研究や過去の地震被害等からも、地盤の不均一性(地盤構成や硬軟の変化域)が高い地域に管路被害が集中することがわかってきている。また、微地形分類図における境界部にある微地形区分で管路被害率が高い³⁾こともわかってきていることから、地盤の不均一性を考慮した埋設管の耐震検討を行うことが重要であるといえる。

水道施設耐震工法指針・解説 2009 年度版⁴⁾(以下、水道施設耐震工法指針)の不均一地盤における設計方法は、原則として動的解析により地盤の変位を算定し検討することとしている。しかし、平面的に広くネットワークを形成している水道管路等では、比較的容易な応答変位法等による静的解析に、不均一度係数を考慮した設計が時間およびコスト面からも重要視されているのが現状である。水道施設耐震工法指針に示される不均一度係数は、1978 年宮城県沖地震のガス管被害の被害率を基にした西尾の研究³⁾を参考とし、表-1 に示すように設定されている。この不均一度係数は3段階にのみ分類され、設計者の選定によっては、検討結果が大きく左右することとなる。そのため、平成 16 年新潟県中越地震および平成 19 年新潟県中越沖地震における管路被害と設計者

表-1 不均一度係数⁴⁾

不均一の程度	不均一度係数	地盤条件
均一	1.0	洪積地盤, 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

※洪積地盤であっても平坦でない地形の場合は, 不均一な地盤とみなす。

表-2 微地形の区分（「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」⁵⁾に追記）

No	微地形分類	判定	検討区分
1	山地	耐震適合性あり	良い地盤
2	山麓地		
3	丘陵		
4	火山地		
5	火山山麓地		
6	火山性丘陵		
7	岩石台地		
8	砂礫質台地		
9	ローム台地		
10	谷底低地	耐震適合性なし	悪い地盤
11	扇状地		
12	自然堤防		
13	後背湿地		
14	旧河道		
15	三角洲・海岸低地		
16	砂州・砂礫州		
17	砂丘		
18	砂州・砂丘間低地		
19	干拓地		
20	埋立地		
21	磯・岩礁		
22	河原		
23	河道		
24	湖沼		

が容易に入手できる微地形分類図を用いて, 管路被害が微地形境界部に集中することに着目し, 地盤の不均一性を検討した³⁾。表-2に示すように微地形区分を「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」⁵⁾にある耐震適合性の有無と同様に, 「良い地盤」と「悪い地盤」に集約し, 西尾の方法³⁾と同様に被害率を基に検討した結果, 良い地盤の微地形境界以外を基準に不均一度係数を算定すると, 良い地盤の微地形境界部で不均一性が最も高くなることがわかっている³⁾。微地形境界部では, 地盤構成が不均一となることが多く, 固有周期等の地盤の動特性も変化していると考えられる。そこで, 本研究では, 微地形区分の種類, 微地形境界条件を考慮し, 応答変位法による静的解析と

2 次元の地震応答解析による地盤歪みを算定し比較することで, 微地形の種類や境界条件等の特徴を踏まえた不均一度係数を検討する。

2. 不均一度係数

(1) 不均一度係数

水道施設耐震工法指針に水道管路の耐震設計計算が記載されており, 不均一度係数は管軸方向の基準地盤歪みを求める際に用いられる。

基準地盤歪みは一様地盤(水平方向に地層の変化がない地盤)を地震波動が伝播することを想定しているが, 実際に一様地盤はほとんど存在せず, 地層が変化している不均一な地盤が多い。このような場合は, 動的解析等による高度な解析を行い, 動的変形特性を明らかにし耐震解析を行う必要がある。しかし, 水道や下水道等のライフライン施設は, 比較的口径が小さく, 延長が長いいため, 全ての不均一地盤において動的解析を行うことはコストおよび時間の面から合理的ではない。そのため, 静的解析時に設計位置における地盤の不均一さを考慮し, 基準地盤歪みを補正する必要がある。具体的には式(1)にあるように, 管軸方向の基準地盤歪みに地盤の不均一度係数を乗ずることで, 地盤の不均一さを考慮し, 基準地盤歪みを求めている。このため, 動的解析における地盤歪みと静的解析における地盤歪みを比較することで, 不均一度係数に関する特性を把握することが可能と考えている。

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

ここで, ε_G : 基準地盤歪み (管軸方向)

η : 地盤の不均一度係数

U_k : 管軸上の地盤の水平変位振幅(m)

L : 波長(m)

3. 検討概要と解析位置

(1) 検討概要

管路被害率を基に, 微地形区分における良い地盤と悪い地盤の境界部と境界部以外の不均一性の検討を行った結果, 良い地盤の微地形境界部で地盤の不均一性が高いことがわかっている³⁾。不均一度係数は静的解析による地盤歪みに乗じて実際の地盤歪みを推定するため, 動的解析による地盤歪みと静的解析による地盤歪みを比較し,

表-3 解析位置一覧

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	柏崎	後背湿地
1-2			刈羽	谷底低地
1-3			刈羽	砂丘
2-1	良い地盤		小千谷	砂礫質台地
2-2			長岡	砂礫質台地
2-3			柏崎	砂礫質台地
3-1	悪い地盤	境界以外	柏崎	三角州・海岸低地
3-2			柏崎	扇状地
3-3			刈羽	後背湿地
4-1	良い地盤		小千谷	砂礫質台地
4-2			小千谷	砂礫質台地
4-3			小千谷	砂礫質台地

微地形の種類や境界条件による違いを確認することとした。ここでは、平成16年新潟県中越地震における長岡市、小千谷市と平成19年新潟県中越沖地震における柏崎市、刈羽村を対象とし、ダクトイル鋳鉄管の被害位置において地盤モデルを構築し、水道施設耐震工法指針と同方法で1次元の応答変位法による解析と2次元地震応答解析を行う。

解析位置は、微地形区分と管路被害位置を考慮し抽出し、微地形分類図は防災科学技術研究所 J-SHIS 表層地盤⁶⁾を使用した。本データは微地形分類図のなかで最も小さいメッシュサイズで整理されており、ホームページからダウンロード可能であり汎用性が高く、全国的に統一の指標で評価でき、設計者も容易に入手することが可能である。また、管路被害データは（財）水道技術研究センターが厚生労働科学研究費補金「施設更新の優先度を考慮した地震による被害管路の予測等」で収集、整理したものである。

(2) 解析位置

解析位置は管路被害があり、周辺に基盤面がわかるボーリングデータがある箇所とし、微地形の種類、境界条件を踏まえ抽出した。長岡市(図-1)、小千谷市(図-2)、柏崎市(図-3、図-4)および刈羽村(図-4)から表-3 のとおり、管路被害が微地形境界部および境界以外にあるもので、良い地盤と悪い地盤で、各々3 ケース抽出した。

なお、ボーリングデータは、ほくりく地盤情報システム⁷⁾を用いて抽出した。

4. 静的解析による検討

(1) 解析概要

水道施設耐震工法指針の応答変位法による解析では、表層地盤の変位量から地盤歪みを式(1)のとおり求める。静的解析によって既設埋設管の耐震性照査や、新設の埋設管の耐震設計を行う場合は、設計位置近傍のボーリン

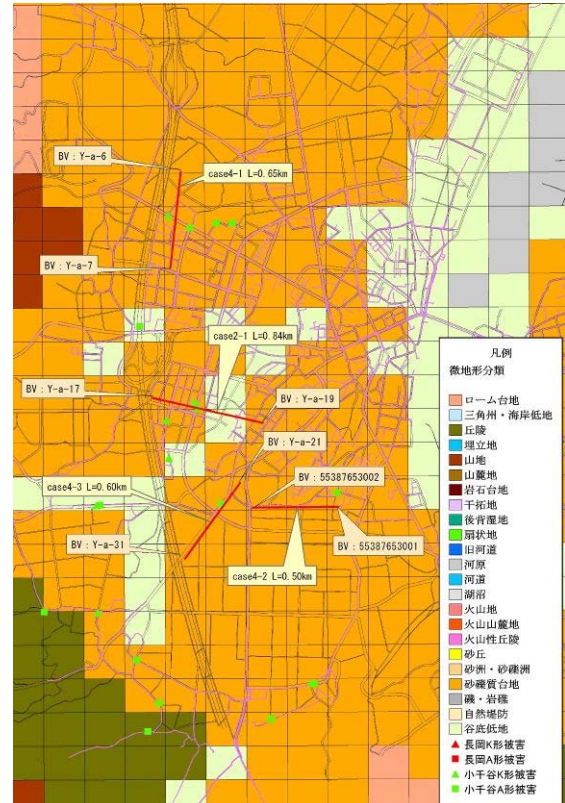


図-1 小千谷市の被害位置と解析位置

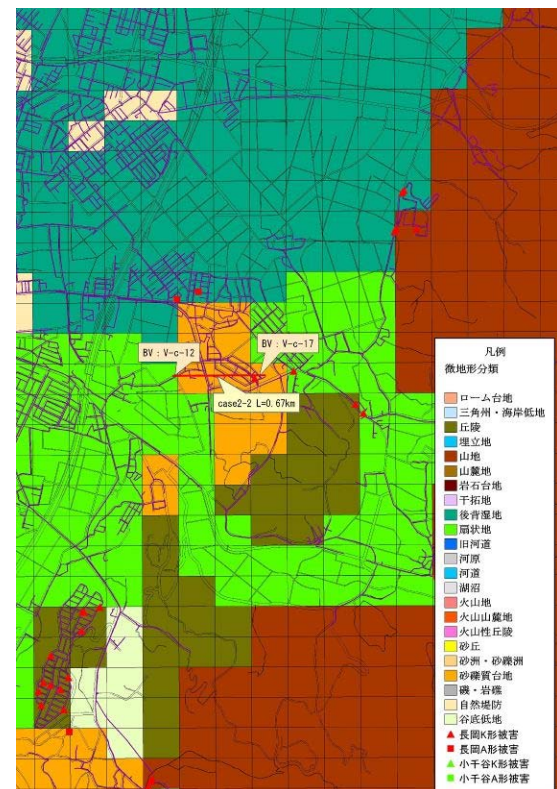


図-2 長岡市の被害位置と解析位置

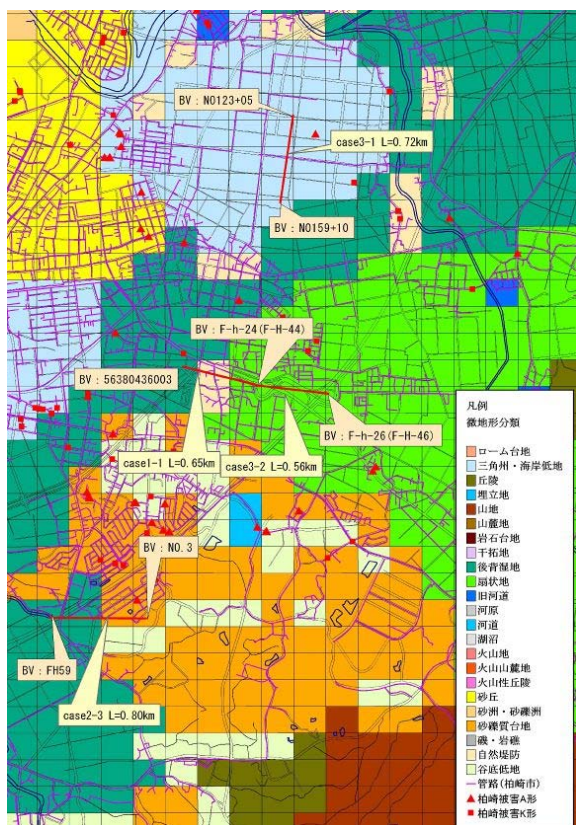


図-3 柏崎市市街地の被害位置と解析位置

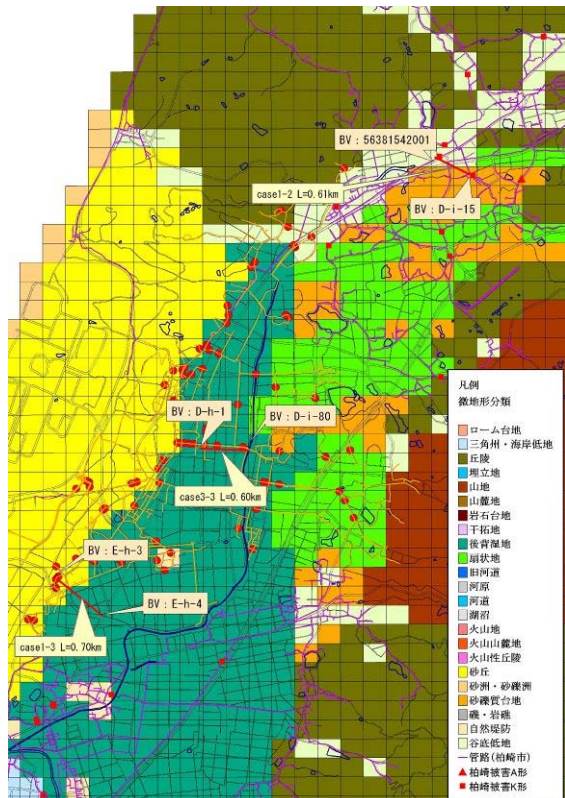


図-4 柏崎市北部および刈羽村の被害位置と解析位置

表-4 応答変位法解析データ

case	微地形区分	境界条件	微地形名称	解析ボーリングデータ
1-1	悪い地盤	境界	後背湿地	56380436003
1-2			谷底低地	56381542001
1-3			砂丘	E-h-3
2-1	良い地盤		砂礫質台地	Y-a-17
2-2			砂礫質台地	V-c-17
2-3			砂礫質台地	柏崎NO3
3-1	悪い地盤	境界以外	三角洲・海岸低地	No123+05
3-2			扇状地	F-H-26
3-3			後背湿地	D-I-80
4-1	良い地盤		砂礫質台地	Y-a-6
4-2			砂礫質台地	55387653001
4-3			砂礫質台地	Y-a-21

グデータを用いて、応答変位法によって基準地盤歪みを算定する。本研究においても、管路被害位置の周辺で同じ微地形区分におけるボーリングデータを用いて、基準地盤歪みを算定する。

(2) 応答変位法による地盤歪み算定時の解析条件

- ①解析位置は、図-1から図-4における管路被害近傍のボーリング位置で、表-3に示す微地形区分と同じ種類の微地形区分にあるものとし、表-4のとおりとした。境界条件が境界以外の場合においては、管路被害位置に近く基準面が明確なボーリングデータを選定した。
- ②ボーリングデータを用いて、水道指針耐震工法指針に示される方法でN値よりせん断波速度Vsを推定し、固有周期を算定した。
- ③管路の設置深さは1.5mとした。
- ④耐震計算手法は、水道施設耐震工法指針の地盤歪みの算定方法と同様であり、速度応答スペクトルも水道施設耐震工法指針に示されるものを用いた。

(3) 解析結果

表-5にボーリングから算定した固有周期と応答変位法により求めた基準地盤歪みの解析結果を示す。実際の設計にはこれらの値に不均一度係数を乗じて、設計上の基準地盤歪みとする。

これらの結果より、CASE4-Iのように良い地盤の微地形区分内であってもⅢ種地盤となり微地形区分だけで地盤構成や固有周期を特定することはできない。しかし、その他の多くでは、悪い地盤ではⅢ種地盤となり、良い地盤ではⅠ種地盤またはⅡ種地盤となっている。したがって、悪い地盤の地盤歪みは、地盤が軟らかく固有周期も大きいことから、地盤歪みは大きく、良い地盤では固有周期も小さく、地盤歪みも小さくなる結果となった。

表-5 応答変位法による地盤歪み

CASE	微地形分類	表層地盤の固有周期 (s)	固有周期に対応する地盤種別	基礎地震動の速度応答スペクトル (cm/s)	管軸位置の地盤の水平振幅 (レベル2) (mm)	波長 (m)	基準地盤歪み (レベル2) (%)
1-1	後背湿地	1.056	Ⅲ	100	213.57	210.483	0.319
1-2	谷底低地	1.032	Ⅲ	100	208.66	200.334	0.327
1-3	砂丘	1.688	Ⅲ	100	341.79	332.723	0.536
2-1	砂礫質台地	0.268	Ⅱ	28	14.72	52.557	0.088
2-2	砂礫質台地	0.304	Ⅱ	32	19.25	60.809	0.099
2-3	砂礫質台地	0.340	Ⅱ	45	30.37	65.881	0.157
3-1	三角州・海岸低地	1.944	Ⅲ	100	393.70	385.058	0.321
3-2	扇状地	1.500	Ⅲ	100	303.70	310.194	0.308
3-3	後背湿地	1.044	Ⅲ	100	211.08	200.600	0.331
4-1	砂礫質台地	0.836	Ⅲ	100	168.57	141.097	0.375
4-2	砂礫質台地	0.176	I	18	5.92	33.800	0.055
4-3	砂礫質台地	0.092	I	8	1.11	18.072	0.019

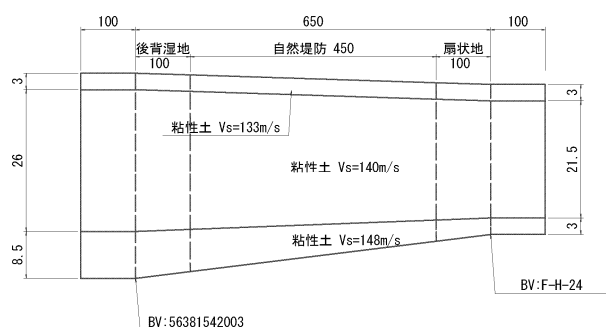


図-5 CASE1-1の解析断面図(単位:m)

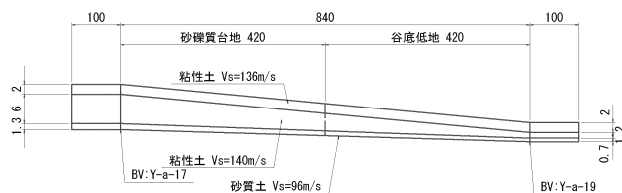


図-6 CASE2-1の解析断面図(単位:m)

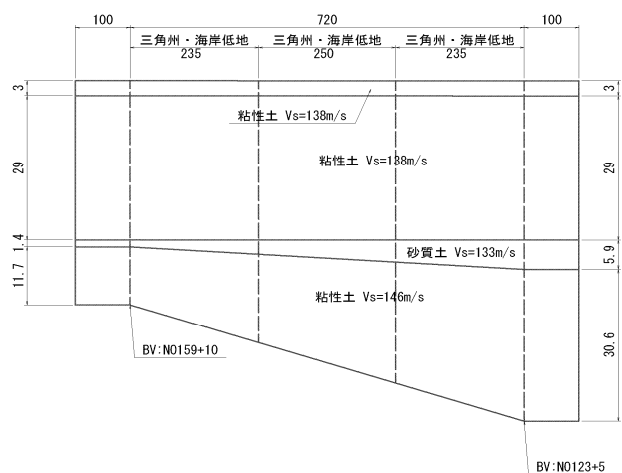


図-7 CASE3-1の解析断面図(単位:m)

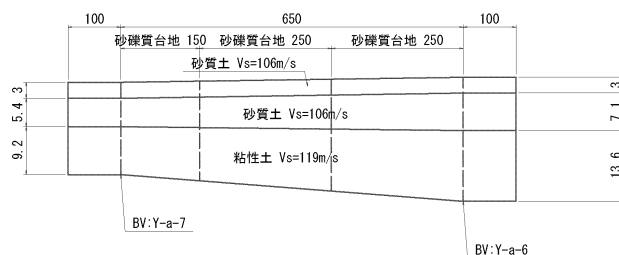


図-8 CASE4-1の解析断面図(単位:m)

5. 動的解析による検討

(1) 解析概要

微地形の種類、境界条件を踏まえて図-1 から図-4 における CASE1-1 から CASE4-3 の位置において、微地形区分内のボーリングと隣接する微地形区分のボーリングから土質断面図を作成しモデル化した。土質断面図は、2 地点のボーリングから同土層を直線で補間しており、2 点のボーリング間における地層の変化は考慮していない。

モデル例として、CASE1-1、CASE2-1、CASE3-1、CASE4-1 における断面図を図-5 から図-8 に示す。土質断面の標高はボーリングデータによるもので、モデル幅は傾斜部およびその周辺に境界の影響がないように、ボーリング間距離に水平な 100m の幅を両側に加えた。物性値における単位体積重量は、設計要領「道路編」⁸⁾を参照し、ポアソン比は 0.45 とした。せん断波速度 Vs は、N 値から水道施設耐震工法指針を参考に推定した。

なお、このモデル図は、2 地点のボーリングデータから同じ土層を直線で結んでいるが、実際の地盤ではより複雑な地盤線であることから、実際よりも小さな地盤歪みになると考えられる。

(2) 解析条件

- ①解析手法は2次元線形有限要素法とした。
- ②数値解析法はNewmark β 法 ($\beta=1/4$) による直接積分法とした。
- ③解析時間0.005sec, 応答解析時間30sec, 計6000ステップとした。
- ④境界条件として、側方境界は鉛直方向を固定、水平方向を自由とし、底面境界(工学的基盤面)は固定とした。
- ⑤入力地震動は道路橋示方書耐震設計編⁹⁾に示される Type211(図-9参照)とした。
- ⑥メッシュ幅は水平方向2mまたは3m, 鉛直方向を1mまたは2mを標準とした。
- ⑦解析プログラムは、汎用ソフトであるSoilPlus¹⁰⁾を用いた。

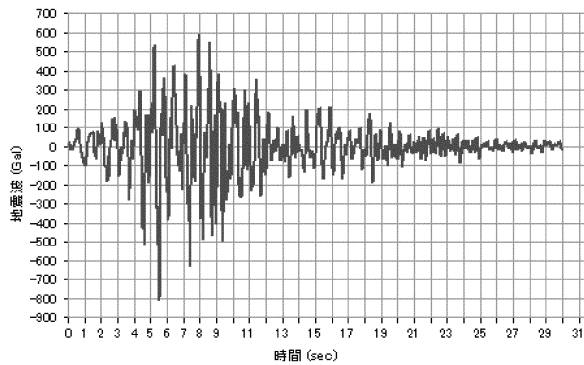


図-9 加速度波形

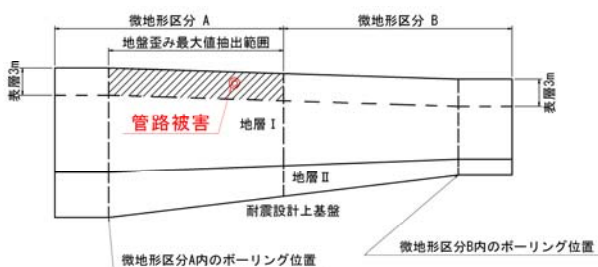


図-10 動的解析地盤歪み抽出範囲

(3) 解析結果

CASE1-1からCASE4-3の12とおりの地盤，境界条件に対して地震応答解析を行い，管路に影響を及ぼす軸方向の歪みを検討した．軸方向の歪み分布図のうち，結果の例としてCASE1-1，CASE2-1，CASE3-1，CASE4-1の歪み分布を図-11から図-14に示す．

応答変位法で算定した地盤歪みは，例えば図-10に示される微地形区分A内のボーリングで地盤歪みを算定した場合は，微地形区分A内における地盤歪みの代表値を示していることとなる．応答変位法で求めた地盤歪みと地震応答解析の結果を比較するため，地震応答解析による地盤歪みは，微地形区分A内における地盤歪みの最大値を抽出した．また，一般的に水道管路の埋設深さは3m以浅程度であることから，地表から3m以内で抽出することとした．

表-6に示すように，地震応答解析により，管路被害があった微地形区分における表層3m以浅の最大軸方向歪みを抽出した結果，全体的に良い地盤の方が歪みは小さくなり，また，境界以外の方が歪みは小さくなる傾向があった．しかし，各ケースによっては異なる傾向もあり，微地形の種類や境界条件だけでなく，地形，地盤の急変の度合いが地盤歪みに影響を及ぼしていると考えられる．

表-6 地震応答解析による軸方向地盤歪み

case	微地形区分	境界条件	微地形名称	表層3m以浅微地形内の 軸方向地盤歪み最大値 (%)	軸方向地盤歪み 平均値 (%)
1-1	悪い 地盤	境界	後背湿地	0.360	0.468
1-2			谷底低地	0.776	
1-3			砂丘	0.269	
2-1	良い 地盤		砂礫質台地	0.121	0.346
2-2			砂礫質台地	0.343	
2-3			砂礫質台地	0.574	
3-1	悪い 地盤	境界 以外	三角州・海岸低地	0.473	0.460
3-2			扇状地	0.595	
3-3	後背湿地		0.311	0.273	
4-1	良い 地盤		砂礫質台地		0.705
4-2			砂礫質台地		0.075
4-3			砂礫質台地		0.038

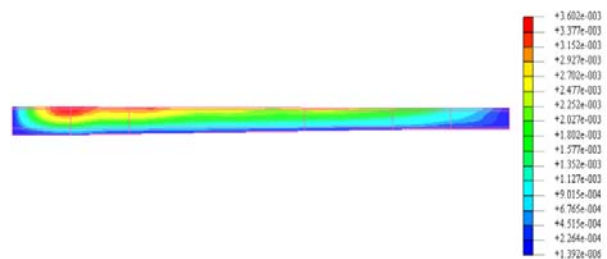


図-11 CASE1-1 軸方向地盤歪み分布

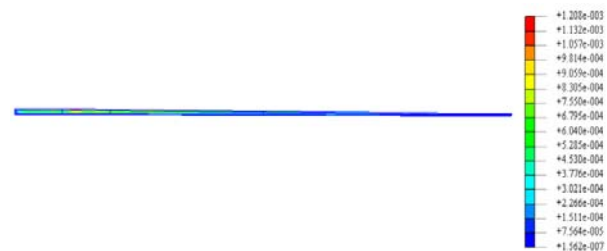


図-12 CASE2-1 軸方向地盤歪み分布

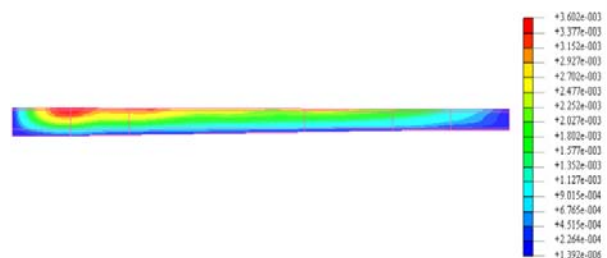


図-13 CASE3-1 軸方向地盤歪み分布

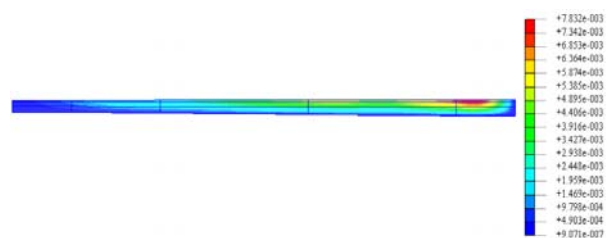


図-14 CASE4-1 軸方向地盤歪み分布

6. 静的解析と動的解析の対比

(1) 地盤歪みの対比

水道施設耐震工法指針では、静的解析時には応答変位法で求めた地盤歪みに不均一度係数を乗じることで基準地盤歪みとしていることから、表-7に示すように各ケースごとに静的解析による地盤歪みと動的解析による地盤歪みの比C（地盤ひずみ比C=動的解析地盤歪み/静的解析地盤歪み）を算定した。各ケースの結果を基に、良い地盤および悪い地盤等の地盤条件と境界条件ごとに地盤歪み比Cを整理した。

地盤歪み比Cの平均値は、表-7に示すように悪い地盤に比べ良い地盤の方が大きくなり、良い地盤の微地形境界部がもっとも大きくなった。良い地盤における動的解析による地盤歪みは、悪い地盤より小さいが、地盤歪み比Cは、大きくなる傾向があることがわかった。また、微地形境界部と境界以外の境界条件による違いについて、

良い地盤では境界部の方が地盤歪み比Cは大きくなったが、悪い地盤では境界以外の方が大きく、境界条件による違いは明確ではない。図-7、図-8に示すCASE3-1、CASE4-1の断面図でわかるように、微地形境界以外でも隣接する微地形との基盤までの深さは異なり不整形地盤であるといえる。したがって、地盤の固有周期等の動特性の変化を踏まえた検討が必要と考えられる。

(2) 地盤の固有周期の変化と地盤歪み比C

動的解析の土質断面図に用いた隣接した微地形区分のボーリングデータより、表層地盤の固有周期を算定した。算定の方法は、水道施設耐震工法指針に示される方法とし、N値からせん断波速度Vsを推定し、固有周期を求めた。また、地盤の動特性の変化が不均一度係数に影響を与えるものと考えられるため、固有周期の距離当たりの変化を求め、その結果を表-8に示す。これらより、固有

表-7 静的解析と動的解析による地盤歪みの対比

CASE		1-1	1-2	1-3	2-1	2-2	2-3	3-1	3-2	3-3	4-1	4-2	4-3
微地形分類		後背湿地	谷底低地	砂丘	砂礫質台地	砂礫質台地	砂礫質台地	三角洲・海岸低地	扇状地	後背湿地	砂礫質台地	砂礫質台地	砂礫質台地
		悪い地盤 境界部			良い地盤 境界部			悪い地盤 境界以外			良い地盤 境界以外		
静的	表層地盤の固有周期 (s)	1.056	1.032	1.688	0.268	0.304	0.340	1.944	1.500	1.044	0.836	0.176	0.092
	地盤の固有周期に対応する地盤種別	Ⅲ	Ⅲ	Ⅲ	Ⅱ	Ⅱ	Ⅱ	Ⅲ	Ⅲ	Ⅲ	Ⅲ	Ⅰ	Ⅰ
	基地地震動の速度応答スペクトル (cm/s)	100	100	100	28	32	45	100	100	100	100	18	8
	管軸位置の地盤の水平振幅 (レベル2) (mm)	213.57	208.66	341.79	14.72	19.25	30.37	393.70	303.70	211.08	168.57	5.92	1.11
	波長 (m)	210.48	200.33	332.72	52.56	60.81	65.88	385.06	310.19	200.60	141.10	33.80	18.07
	①基準地盤歪み (レベル2) (%)	0.319	0.327	0.536	0.088	0.099	0.157	0.321	0.308	0.331	0.375	0.055	0.019
	②表層3.0m以浅 同微地形内最大ひずみ (%)	0.360	0.776	0.269	0.121	0.343	0.574	0.473	0.595	0.311	0.705	0.075	0.038
動的	地盤歪み比 (②動的/①静的) C	1.13	2.37	0.50	1.38	3.46	3.66	1.47	1.93	0.94	1.88	1.36	2.00
	地盤歪み比C範囲	0.50~1.13			1.00~3.66			0.94~1.93			1.36~2.00		
	地盤歪み比C平均値	1.33			2.83			1.45			1.75		

表-8 固有周期の変化と静的解析、動的解析による地盤歪み比

CASE		1-1	1-2	1-3	2-1	2-2	2-3	3-1	3-2	3-3	4-1	4-2	4-3
微地形分類		後背湿地	谷底低地	砂丘	砂礫質台地	砂礫質台地	砂礫質台地	三角洲・海岸低地	扇状地	後背湿地	砂礫質台地	砂礫質台地	砂礫質台地
		悪い地盤 境界部			良い地盤 境界部			悪い地盤 境界以外			良い地盤 境界以外		
①表層地盤の固有周期 (s)		1.056	1.032	1.688	0.268	0.304	0.340	1.944	1.500	1.044	0.836	0.176	0.092
地盤歪み比 (動的/静的) C		1.13	2.37	0.50	1.38	3.46	3.66	1.47	1.93	0.94	1.88	1.36	2.00
隣接微地形	ボーリング間距離 (m)	650	610	700	840	670	800	720	500	600	650	500	500
	ボーリング名称	F-h-24	D-I-1	E-h-4	56381542001	V-c-12	F-h-59	N0159+10	F-H-26 (F-H-46)	D-h-1	Y-a-7	55387653002	Y-a-31
	微地形分類	自然堤防	砂礫質台地	後背湿地	谷底低地	扇状地	後背湿地	三角洲・海岸低地	扇状地	後背湿地	砂礫質台地	砂礫質台地	砂礫質台地
	②表層地盤の固有周期 (s)	0.780	0.412	1.292	0.112	0.804	1.268	1.296	0.760	0.808	0.628	0.296	0.284
	地盤の固有周期に対応する地盤種別	Ⅲ	Ⅱ	Ⅲ	Ⅰ	Ⅲ	Ⅲ	Ⅲ	Ⅲ	Ⅲ	Ⅲ	Ⅱ	Ⅱ
固有周期差 (①-②) (s)		0.276	0.620	0.396	0.156	0.500	0.928	0.648	0.740	0.236	0.208	0.120	0.192
固有周期変化率 (1kmあたり固有周期差) (s/km)		0.425	1.016	0.566	0.186	0.746	1.160	0.900	1.480	0.393	0.320	0.240	0.384

周期の変化と地盤歪み比Cの関係について、良い地盤と悪い地盤にわけて整理した結果が図-15のとおりである。

この結果、周辺地盤に対して固有周期の変化が大きい場合は地盤歪み比Cが大きくなることが明らかとなった。また、固有周期が同程度変化した場合、良い地盤の方が、悪い地盤より地盤歪み比Cが大きくなることがわかった。静的解析時には水道施設耐震工法指針に示される設計時に用いる速度応答スペクトルを用いており、良い地盤の場合は基準地盤歪みが小さくなり、動的解析による歪みとの比が大きくなったものと思われる。通常の設計においても水道施設耐震工法指針による速度応答スペクトルを用いるため、同様の結果となることが想定される。

水道施設耐震工法指針において、静的解析により基準地盤歪みを求める際は、表-1に示すように平坦ではない地形を除き、洪積地盤における不均一度係数は1.0として。しかし、洪積地盤等の良い地盤では固有周期等の地盤の動特性の変化に対して、地盤歪み比Cが大きくなる。したがって、水道管路の埋設位置における地盤だけで判断するのではなく、微地形分類図における微地形境界部および既往のボーリングデータ等から固有周期の変化が大きい位置等では、「不均一」または「極めて不均一」の係数を採用する必要がある。

なお、洪積地盤等の良い地盤では静的解析により求める地盤歪みが小さいため、不均一度係数を乗じても基準地盤歪みは小さく、管路被害が発生するほどの大きな歪みとなることが少ないことを付記しておく。

7. 結論

(1) 本論文は、埋設管のひとつである水道管を対象に、耐震検討を行う上での地盤の不均一度係数について検討することを目的として、近年の地震である平成16年新潟県中越地震と平成19年新潟県中越沖地震における被害位置における情報を基に、静的解析と動的解析によって微地形区分およびその境界部に着目した検討を行った。この結果、次の事項が明らかになった。

- 良い地盤、悪い地盤の微地形境界部および境界以外における地盤歪み比C(動的解析による地盤歪み/静的解析による地盤歪み)の平均値では、良い地盤の境界部が最も大きくなり、良い地盤の境界部で不均一度係数が大きくなる傾向があることが明らかとなった。
- 地盤の急変度合いを示す固有周期の変化率と地盤歪み比Cとの関係を検討した結果、固有周期の変化が大きい場合は地盤歪み比Cが大きくなることが明らかとなった。
- 良い地盤と悪い地盤の地盤歪み比Cを比較した結果、固有周期が同程度変化した場合、良い地盤の方が地盤歪み比Cが大きくなることがわかった。したがって、

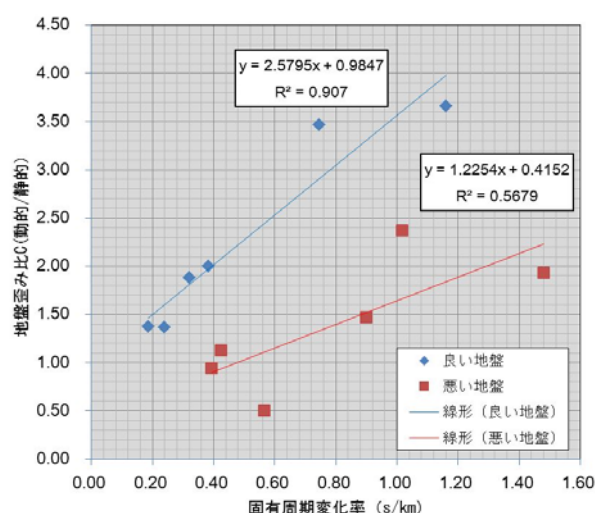


図-15 固有周期の変化と地盤歪み比Cの関係

静的解析で求める地盤歪みについて、良い地盤では地盤の不均一に伴い固有周期が変化すると、地盤ひずみが大きく変化するといえる。

- 洪積地盤等の良い地盤では、固有周期等の地盤の動特性の変化に対して地盤歪み比Cが大きくなるため、微地形分類図による微地形境界部や固有周期の変化が大きい位置では、不均一または極めて不均一の係数を採用する必要がある。

(2) これまで埋設管の不均一度係数について、微地形分類図および微地形の境界部に着目した研究はなく、また、固有周期の変化と地盤歪み比Cの関係を示すことで、ひとつの指標が得られていると考えている。しかしながら、本研究における静的解析の速度応答スペクトルおよび動的解析における地震波は、設計時に用いられる一般的に公開されているものであり、また、地盤断面図も2地点のボーリングデータを基に地層線を直線的に推定しているため、不均一度係数として定量的に評価されていない。そのため、今後は、現地にあった地盤モデルを構築し、定量的に不均一度係数を明らかにしていく必要があると考えている。

参考文献

- 厚生労働省：平成 23 年（2011 年）東日本大震災水道施設被害等調査報告書，2011。
- 厚生労働省 HP：水道普及率の推移，<http://www.mhlw.go.jp/topics/bukyoku/kenkou/suido/database/kihon/suii.html>，(2012 年 8 月 25 日閲覧)。
- 七郎丸一孝・宮島昌克：水道管の耐震検討における微地形分類を考慮した地盤の不均一度係数の検討，土木学会論文集(構造・地震工学)，Vol.68(2012)NO.4，pp.790-799，2012。

- 4) 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号, pp.1-9, 1981.
- 5) 財団法人水道技術センター：K形継手等を有するダクト
イル铸铁管の耐震適合性地盤判定支援ハンドブック, pp.5-
11, 2011.
- 6) 防災科学技術研究所 HP：J-SHIS 表層地盤微地形区分,
<http://www.j-shis.bosai.go.jp/> (2009年7月20日閲覧).
- 7) ほくりく地盤情報システム, (?.?.? 受付)
- <http://www.jiban.usr.wakwak.ne.jp/>(2011年5月20日閲覧).
- 8) 国土交通省北陸地方整備局：設計要領[道路編], 2006.
- 9) 社団法人日本道路協会：道路橋示方書・同解説V耐震設計
編, 2002.
- 10) 地盤・浸透・耐震統合解析システムSoilPlus, 伊藤忠テク
ノソリューションズ株式会社.

STUDY ON NON-UNIFORMITY COEFFICIENT OF GROUNDS FOR EXAMINING SEISMIC PERFORMANCE OF WATER PIPES IN CONSIDERATION OF MICROTOPOGRAPHY CLASSIFICATIONS AND THE BOUNDARY CONDITIONS

Kazutaka SHICHIROUMARU and Masakatsu MIYAJIMA

High damage ratios of embedded pipes are seen in microtopography boundaries in a microtopography classification map. Moreover, the past studies have revealed that ground with high non-uniformity is vulnerable to earthquakes. Therefore, it has become necessary to examine earthquake-proofing performance of embedded pipes for which non-uniformity (area where ground constitutions and hardness and softness vary) of ground is considered. The non-uniformity coefficient is defined in "the seismic methods 2009 edition guideline description waterworks". For this non-uniformity coefficient, the authors calculated ground strain by static and dynamic analyses based on types and boundary conditions of microtopography using data of water pipes damaged by Niigata Chuetsu Earthquake in 2004 and Niigata Chuetsu Offshore Earthquake in 2007, a microtopography classification map and ground data. Their results were compared and the non-uniformity coefficient for which types and boundary conditions of microtopography were considered was examined.