

地下埋設管（フレキシブルパイプ）に地震時に生じる応力

木更津工業高等専門学校 環境建設工学科 学生会員 木村 真也

1. まえがき

都心部においては、下水管等の多くの地下埋設施設が老朽化している。そこで老朽下水管を修復する一手法として、内部にフレキシブルパイプ（FP）を挿入し、旧管との空隙をモルタル等で充填する工法が考えられる。本報告は文献1)で報告したように静的解析で大きな応力の生じた、軟弱地盤における地下埋設管に、地震時に生じる応力の解析・考察結果について報告する。

2. 方法

(1) 解析条件

・解析地盤モデル

境界範囲：図-1に示すように 20.0×20.0×10.0（m）でGL-4.0～-6.0mに直径2.0mの管渠が位置する。

地層構成：沖積軟弱地盤を想定し基盤層Bを沖積砂礫、側方原地盤Sを沖積粘性土、埋戻層Uを砂質土とした3ブロックの解析モデルを想定した。解析に用いた物性値は理論式・推定式より表-1のように設定した。

・境界条件

静的解析：底面-固定、側面-鉛直方向自由、水平方向固定

動的解析：底面-管直角方向に加速度、他方向固定

側面-管直角方向自由、他方向固定

・構成則モデル

管渠：線形モデル。

地層：任意の応力-ひずみ曲線を再現できる（HDモデルの双曲線）Drucker-Prager型を降伏条件とするモデル。

・作用力

静的解析（常時）：Z方向の重力のみ

動的解析（地震時）：図-2に示す最大化速度 $\alpha_{max}=200gal$ の入力波を基盤層底面管直角方向（X）に入力。

(2) 解析ケース

管渠材質：フレキシブルパイプは一般に縦断方向に波型をしており、断面方向と縦断方向とで断面剛性等の平均的物性値が大きく異なると考えられ、その値を求めることは難しい。今回は管のEが $10^3 \sim 5t/m^2$ の値となると想定し、E3, E4, E5の3ケースの計算を行った。（FPの断面剛性等は実験的に求めるために実験準備中）

(3) 計算結果と出力

管要素の応力は、図-3に示すように要素に対して接線方向 σ_t 、半径方向 σ_r 、長手方向 σ_L の3成分とした。

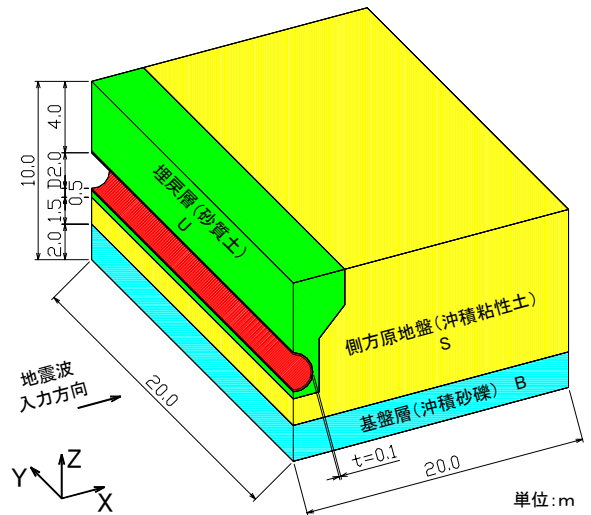


図-1 解析地盤モデル (作成：木村)

表-1 各地層の物性値 (作成：木村)

項目	名称	記号	地層区分			単位・備考
			砂質土 U	沖積砂礫 B	沖積粘性土 S	
単位重量			1,700	1,900	1,600	kg / m ³
粘着力	c		1.0	1.0	2.0	tf / m ² (=9.8 k Pa)
せん断抵抗角			30	35	5	°
弾性係数	E		1000	2000	300	tf / m ² (=9.8 k Pa)
ポアソン比			0.40	0.35	0.50	
せん断弾性係数	G		3.9 E+6	6.8 E+6	9.8 E+5	Pa, G = E / 2 (1+ν)
体積弾性係数	K		2.2 E+6	3.4 E+6	4.9 E+5	Pa, K = E / 3 (1+2ν)
せん断強度			5.0	10.0	2.0	tf / m ²

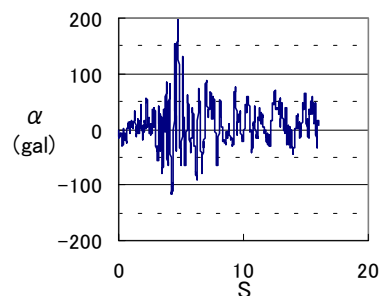


図-2 入力波

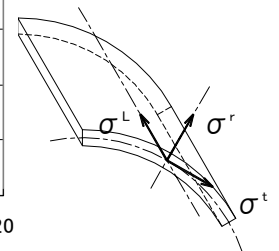


図-3 応力説明図

(作成：木村)

キーワード：老朽下水管修繕・可撓管・FEM・Drucker-Prager型非線形モデル・地震時応答解析
 連絡先：〒292-0041 木更津市清見台東2-11-1、木更津工業高等専門学校 TEL&FAX 0438-30-4155

3. 計算結果

FEM 解析出力結果のうち作用力別応力分布図を図-4に示す。いずれのケースにおいても常時発生応力が地震時増分応力（最大値）に比べて数倍大きく、Eが増加するほど最大応力も大きくなった。

σ_t は常時はほぼ全断面圧縮であるが、地震時増分は上・側部引張、下部圧縮である。

σ_r は常時は上半部圧縮、下半部引張であるが、地震時増分は上・下部引張、側部圧縮である。

Eごとの常時・地震時増分（最大値）及び常時+地震時増分の3ケースにおけるE別応力分布図を図-5に示す。いずれのケースにおいても上記の通り地震時増分は常時に比べ微小であるため、その和は常時とさほど変わらないオーダーとなった。

4. まとめ

今回の解析では図-1のような状況において、地下埋設管に生じる地震時応力は常時応力が支配的であることがわかった。この結果は構成モデルが違うので単純には比較できないが、文献2) 4章の応答変位法による鉄筋コンクリート管耐震計算例で示された、地震時増分断面力は常時断面力の1割程度という結果2) に類似する。

関東大震災において水道管の被害が最も多く報告されたのは下町ではなく下町と山の手の境界地域である。今後そのような地層構成に変化の有る断面でもこの解析を行いたい。また地震波を管直角方向だけでなく管長手方向・管鉛直方向等に入力したときや加速度レベルを増大させたときの性状も確認する必要がある。

今回の解析は管の物性値が不明なままである。今後模型実験などを行い管の物性やFEM解析の妥当性を確認する所存である。

5. あとがき

本研究にはまだ多くの検討事項があり、研究が進展し、成果が得られ次第順次報告していく所存である。なお木更津工業高等専門学校 田中邦熙教授には種々ご指導いただきました。ここに謝意を表します。

【参考文献】

- 1) 木村真也：地下埋設されたフレキシブルパイプの応力-変形特性、第37回地盤工学研究発表会、2002.6
- 2) 日本下水道協会：下水道施設耐震計算例、2001.4
- 3) 川島一彦：地下構造物の耐震設計、鹿島出版会、1994.6
- 4) 田中修二：下水道管渠学、環境新聞社、2001.3
- 5) 最上武雄：土質力学 第5章、技報堂、1969.8
- 6) 地盤工学会：土質調査試験結果の解釈と適用例、1979.8

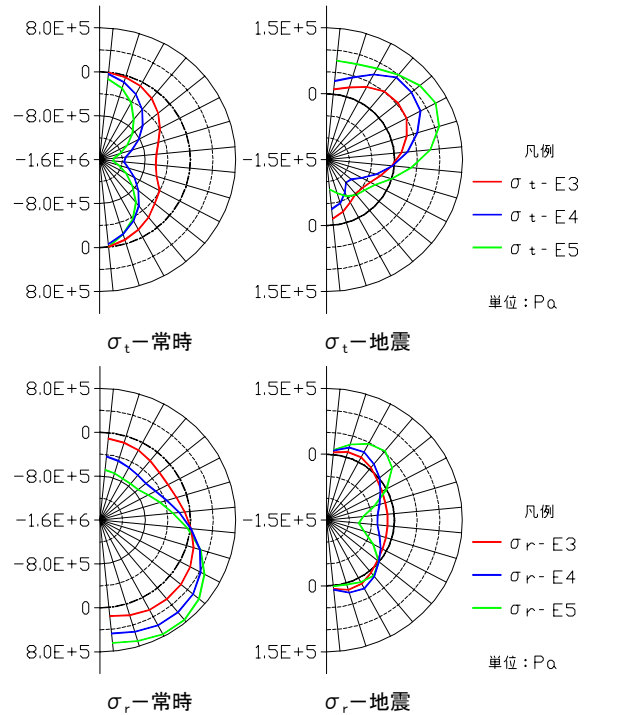


図-4 作用力別応力分布図（作成：木村）

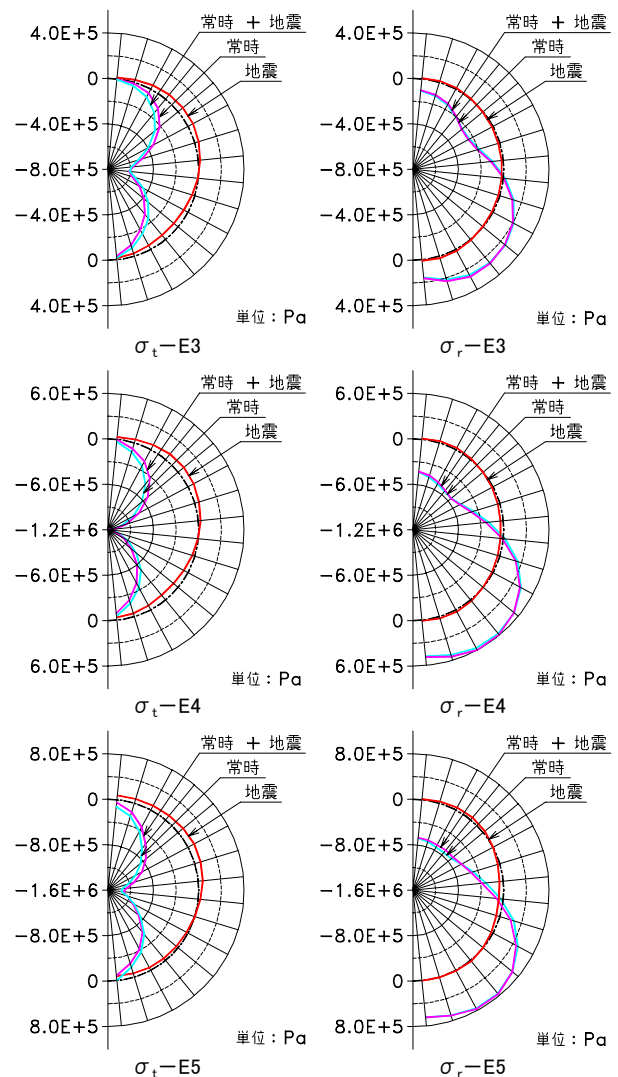


図-5 E別応力分布図（作成：木村）