

第I部門 斜面崩壊を受ける水道配水用ポリエチレン管の破断メカニズムについて

神戸大学大学院自然科学研究科	学生員	○田中 祐樹
神戸大学工学部	フェロー	高田 至郎
神戸大学工学部	正会員	鎌田 泰子
神戸大学工学部	正会員	RADAN IVANOV
水道用ポリエチレンパイプシステム研究会	非会員	福島 修司
配水用ポリエチレン管協会	非会員	山本 祐司

1. はじめに

2004年10月26日に発生した新潟県中越地震において新潟県長岡市山古志(旧山古志村)南平(池谷)地区で大規模斜面崩壊が生じた。現地には水道配水用ポリエチレン管($\phi 50$)が埋設されており, この崩壊によって地盤流動域の境界近くで2ヶ所の破断が確認された。一方では, 切断された道路から15m程度残存しながら管路中央部で延伸破壊しており, 他方では3m程度残存しながら, EF継手近傍で白化部分が短く, 引きちぎられたように破断していた。本稿では, 管路破断現象を数値解析によってシミュレートし, 管路の破壊メカニズムを明らかにすることを目的とする。また, 口径が異なる管路の破断に至るまでの地盤流動量について検討した。

2. 解析モデル

本研究では, 個別要素法を用いて解析を行った¹⁾。解析モデルは図1に示すような延長92mの管路を想定し, 5m直管には1m間隔に要素を配して, 11.25°の曲管は長さの1/2間隔に要素を配して, その要素間をはりで連結させた。流動範囲は30m, 流動方向は方位151.25°とした。地盤流動速さは2m/sとしている。山古志南平に埋設されていた口径 $\phi 50$ mmの管路の他に, $\phi 75$, $\phi 100$, $\phi 150$ mmの管路について検討した。表1は管路の口径別の外形・管厚を, 表2は材料特性を示している。地盤流動の荷重モデルは2ケース(図2)を用い, 地盤流動する範囲にある地盤要素に強制変位として外力を与える。図3では, 本解析で用いた管路のM- ϕ 関係を示した。日本ガス協会の指針²⁾に基づき, 管軸直角方向と管軸方向の地盤ばね係数を決定しており, 沈下側の管軸直角方向地盤ばね係数は地盤変位を受けない側の係数の1/3倍とした。破損した $\phi 50$ mmの非沈下側の直角方向地盤ばね係数は $3.5(\text{N}/\text{cm}^3)$, 管軸方向ばね係数は $2.9(\text{N}/\text{cm}^3)$ としている。

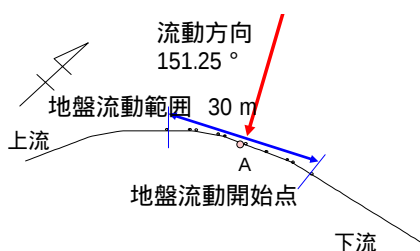


図1 解析モデル

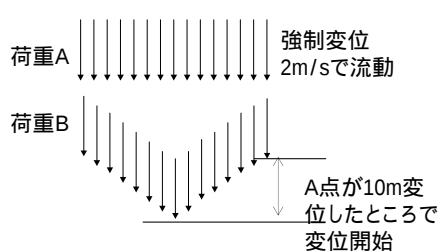


図2 荷重モデル

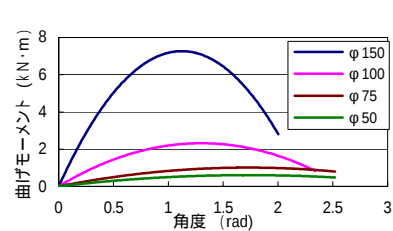


図3 管体曲げ特性

表2 管路口径

呼び径 (mm)	50	75	100	150
管の外形 (mm)	63	90	125	180
管厚 (mm)	5.8	8.2	11.4	16.4

弾性係数 (N/mm^2)	1,000
引張強度 (N/mm^2)	28
曲げ強さ (N/mm^2)	28
破壊ひずみ	0.08

3. 管路破断状況の再現と検証

現場と同じ口径 $\phi 50$ mmの管路の挙動について荷重モデルAとBによる解析を行った。20m地盤流動した後の管路破断変形図を図4に示す。図中の管路上の○は地盤流動域の境界を示している。管路の上流側では流動域から少し離れた

ところで破断しており, (b), (c)の破断状況と比較すると, (c)の変形状況の方が現場の状況をよく再現しているといえる.

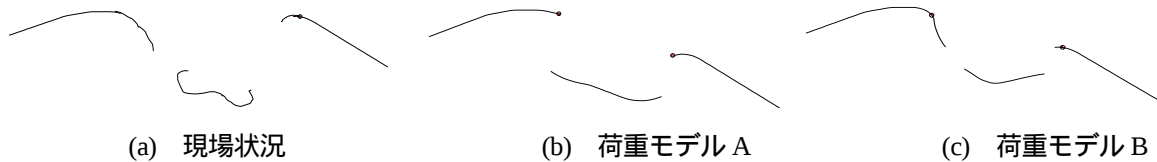


図4 管路変形状況

次に, (c) の上流側・下流側における管路破断直前における軸力と曲げモーメントの分布図を図5と図6に示す. 横軸は地盤流動域を含む地盤流動開始点から管路に沿った距離を表し, 流動地盤の中心から上流側を負, 下流側を正とした. 2.85 秒時に破壊始点より管路長さ 7.4m の上流側地点で, 引張抵抗力 29 kN に達して管路に引張破断が生じ, 6.4 秒時には地盤流動開始点より 15.4m 下流側で $0.2\text{kN} \cdot \text{m}$ の卓越した曲げモーメントが加わりながら引張破断することがわかる. つまり, 上流側では純引張による破断が生じており, 下流側では引張力の他に曲げも働いていた破断メカニズムであったことが推定できる. これは, 別途管路引張試験を行った結果とも整合的である³⁾. また, 横軸に地盤流動変位量, 縦軸に管路内に生じる最大発生ひずみとして, 8%のひずみで管路が破断するまでの関係を図7に示した. 管路破断は上流側で先に破断するため, 発生しているひずみは上流側での最大ひずみといえる. 上流側と下流側の破断箇所の地盤流動に応じた管路のひずみ速度^{注1)}の分布を図8に示す. 管路が塑性化始めると, 早いひずみ速度が発生していることがわかる.

注1) ひずみ速度 = (ひずみ増分) / (ひずみ増分間の時間(秒)) × 100(%)

4. 南平(池谷)地区の斜面崩壊を想定した口径毎の限界地盤流動量

管路が破断した時点での地盤流動量を限界地盤流動量とした場合の口径別の解析結果を表3に示した. いずれの荷重モデルにおいても, 大口径の管路になれば, 限界地盤流動量は増し, 管路は斜面の地盤流動に対してより安全となる.

表3 限界地盤流動量(m)

管種	荷重モデル	管口径			
		φ 50	φ 75	φ 100	φ 150
WPE	A	5.0	6.6	8.5	15.6
	B	5.7	8.7	10.8	-

5. まとめ

(- 破断せず)

- 管路軸に対して傾斜した強制変位が与えられるため, 管路の上流側では引張力が, 下流方向では曲げが加わりながら引張力が働くメカニズムになることがわかった.
- 口径がφ 150mm であれば, 今回の地盤崩壊が発生しても破断に至らなかったと考えられる.

(参考文献)

- 1) 高田至郎・ラダンイワノフ・森田典和: DEM による地中継手管路の大変形解析, 建設工学研究所論文報告集, 第 45 号, pp. 111-122, 2003.
- 2) 日本ガス協会: ガス導管耐震設計指針, 1982
- 3) 水道用ポリエチレンパイプシステム研究会・配水管ポリエチレン管協会: 新潟中越地震 破断品再現実験 報告, 2005

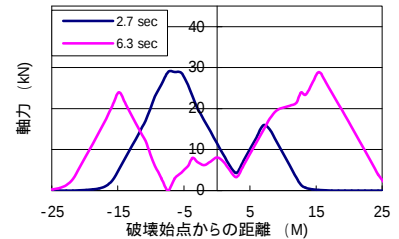


図5 軸力図

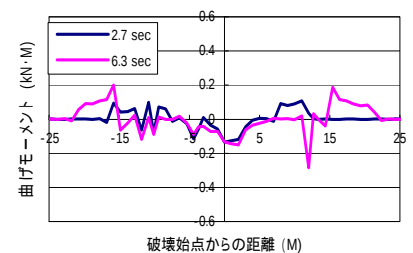


図6 曲げモーメント図

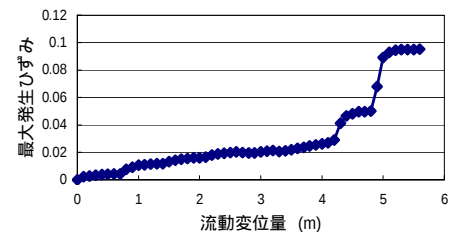


図7 最大発生ひずみと流動変位量

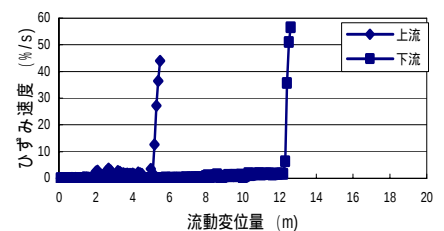


図8 破断箇所のひずみ速度