

曲管部の管種変更による地震時動水圧の低減効果に関する 数値シミュレーション

Numerical simulation on the reduction of seismic hydrodynamic pressure by changing
pipe types in curved sections

○佐藤 友孝*
SATO Tomotaka

星野 香織*
HOSHINO Kaori

大久保 天*
OHKUBO Takashi

1. はじめに

平成 30 年北海道胆振東部地震では、農業用パイプラインの被災は、泥炭性軟弱地盤における屈曲部に集中しており、屈曲部の変位には、地震時動水圧の発生が影響している可能性がある¹⁾。地震時動水圧は、閉端部、屈曲部、片落部等で発生し、屈曲部での最大値 σ_{max} (式(1)) は伝播速度 v_s に比例する²⁾。伝播速度 v_s (式(2)) は、弾性係数 E が小さい管材では小さく、地震時動水圧も小さくなることが予想される。

$$\sigma_{max} = \rho v_s V \cdot \sin \theta / 2 \cdot \sin(\theta_a + \theta / 2) \quad (1) \quad v_s = \{\rho(1/k + D/Ee)\}^{-0.5} \quad (2)$$

ここに、 ρ は水の密度、 V は地震動速度の最大値、 θ は管屈曲角度、 θ_a は管直線部と振動方向のなす角 (図 1 参照)、 k は水の体積弾性係数、 D は管内径、 e は管の厚さである。

本研究では、上記の性質を利用し、地震時被害を軽減する対策技術として、曲管部に弾性係数の小さい管材を配置することで、地震時動水圧の発生が抑制されるかを検討した。二種類の管材を用いた単純な 90° 曲管部モデルを考え、屈曲部周辺の管材の弾性係数及び延長を変更した数値シミュレーションを実施し、それぞれの地震時動水圧の低減効果および効果的な対策延長を調べた。

2. シミュレーションの方法

特性曲線法による地震慣性項を考慮した弾性体理論に基づく非定常流解析³⁾を実施した。解析モデルは曲管部での動水圧の発生を再現するため、90°の屈曲部を有する管路モデル (図 1) を作成し、 x 方向に周期 1.0 s, 加速度振幅 $1.0 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$ の sin 波を 4 波与えた。点 A を水槽境界として、初期水頭 20 m, 初期流量 $0 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ を与え、点 C は閉塞端とした。時間刻み 0.001s, 空間刻み約 5.7m の計算格子を用い、管の摩擦係数は 0 とした。二種類の管材には、弾性係数の大きい管に鋼管、小さい管にポリエチレン管を用いた (以下、それぞれ SP 管、PE 管)。使用した管材の材料定数を表 1 に示す。屈曲部に配置した PE 管 (弾性係数：小) の延長を対策延長として、

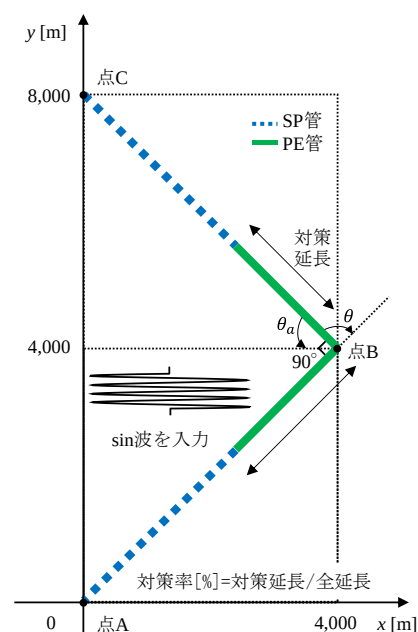


図 1 管路モデル
Pipeline model

表 1 管材の材料定数
Material parameters of pipes

	SP管	PE管
弾性係数 E [Pa]	2.0×10^{11}	2.5×10^9
厚み e [m]	8.0×10^{-3}	3.7×10^{-2}
内径 D [m]	1.0	1.0
伝播速度 v_s [$\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$]	962.4	298.2

*国立研究開発法人土木研究所寒地土木研究所 Civil Engineering Research Institute for Cold Region, PWRI
パイプライン, 地震時動水圧, 数値シミュレーション

全延長に対する割合を対策率とし、各対策率に対して、屈曲点 B における動水圧の挙動および低減効果を評価した。

3. シミュレーションの結果

シミュレーション結果を図 3 に示す。対策率 0%は全区間が SP 管、対策率 100%は全区間 PE 管であり、屈曲部（点 B）ではそれぞれ 22.1 m, 6.8 m の動水圧が発生した。この値は理論式（式（1））により計算された値とほぼ一致する。対策率 0.25%, 0.5%, 1%の対策率の小さい範囲では、対策率の上昇により動水圧のピークは減少し、長周期化および位相の遅れが確認された。対策率 2.5%では、1 波目の動水圧波形は対策率 100%の波形と一致する地震時動水圧まで低減された。同ケースの低減率は 2 波目、3 波目、4 波目になるにつれて減少した。また入力波とは異なる 5 波目、6 波目の波形も見られた。これらは、SP 管と PE 管の異種管境界で伝播速度が異なることにより発生する反射波である。例えば 3 波目においては、曲管部において発生する動水圧の 3 波目とそれ以前に発生した動水圧の反射波が干渉していると考えられる。対策率 5%や 10%では、対策率の上昇により、最大圧が減少したが、対策率 1%と対策率 2.5%を比べると最大圧は対策率 2.5%の方が大きく、対策延長を長くしても波の干渉により曲管部で観測される動水圧が大きくなる場合があることがわかった。

4. おわりに 周期等の波の性質やその干渉と対策延長について、今後検討していく。

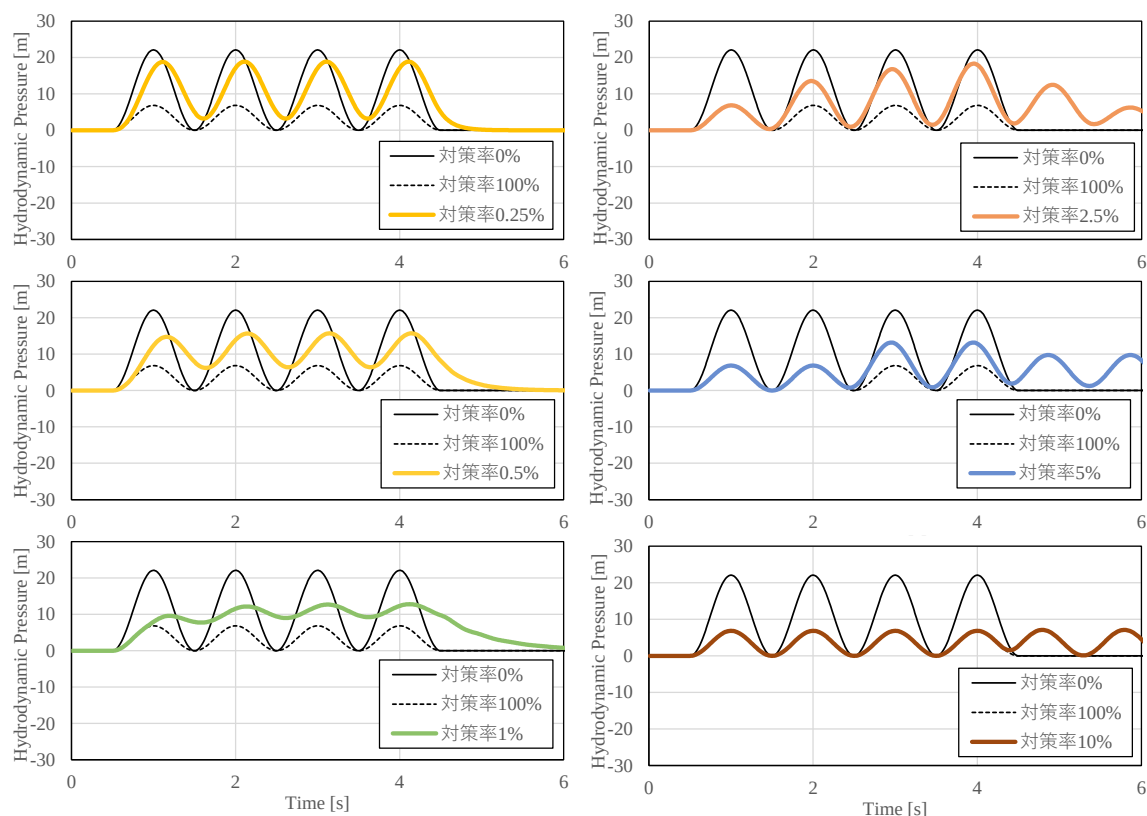


図 3 種々の対策率に対して計算された屈曲部（点 B）での地震時動水圧
Simulated hydrodynamic pressures in curved section (at point B) for several rates of measures

- 参考文献 1) 農林水産省 (2021), 土地改良事業計画設計基準設計「パイプライン」p.403
2) 大久保ら (2020), 農業農村工学会論文集, 310 (88-1), pp.I_135-I_144.
3) 寺田ら (2021), 寒地土木研究所月報, 815, pp.34-38.