

すべりを考慮した埋設管路網の耐震特性について

熊本大学工学部 秋吉 卓
八代工業高等専門学校 ○ 洲田邦彦
熊本大学工学部 松本英敏

1. まえがき 筆者らはこれまですべりを考慮した直管の波動論的解析により、大口径の管路で管長が大なるほどまた柔らかい地盤ほどすべりやすいことや、すべりは管体の応答歪を低下させるが継手部に負担をかけることなどを報告してきた。¹⁾これらの結果は、従来の解析例と対応していることや地震による直管継手の破壊例をかなり説明できることなどを示してきたが、実際の管路では管路網を形成しているため地震時にはその曲管部や結合部に直管の継手部とは違った負担がかかることが考えられ、従来の直管の解析だけでは不十分であろう。そこで本研究では弾性結合した管路網にP波・S波が同時に入射したときの各管路の応答を波動論的に導き、すべりを考慮した管路網の動特性を明らかにしようとするものである。

2. 解析手法 図-1のように弾性地盤中に水平に埋設された本管と支管に斜め方向よりP波・S波が入射する場合を考える。支管の両端はそれぞれ本管と構造物とに直角に弾性結合しているものとし、支管の軸直方向変位を v_2 と表わすと、軸力を考慮した支管の曲げ方程式は次式のように表わされる。

$$EI' \frac{d^4 v_2}{dx'^4} + \frac{d}{dx'} \left(N' \frac{dv_2}{dx'} \right) = p_2' \quad \dots (1)$$

ここに、 I' : 支管の断面2次モーメント、 N' : 支管の軸力、 p_2' : 支管に作用する横方向土圧 $=K_1(\omega_1 \cos \phi - v_2)$ 、 K_1 : 単位長あたりの土圧。

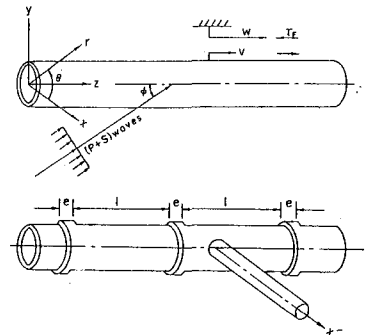


図-1 土・管路のモデル

支管のような柔構造物では、管の剛性に比べて側方土圧の抱束力が大きいので、支管の変形は両端付近を除いては地盤の変形にほぼ等しくなる。この点を考慮し、さらに両端の境界条件として本管と構造物の応答を用いて(1)式の解を近似的に導くと、P波入射の場合に次式のように表わされる。

$$v_2 = \frac{\omega_1 \cos \phi (1 - H_{21})}{(\lambda_1 - \lambda_2) \left(\frac{K_R}{EI'} + \lambda_1 + \lambda_2 \right)} \left[\left(\frac{K_R}{EI'} + \lambda_2 \right) \lambda_2 e^{-\lambda_2 x'} - \left(\frac{K_R}{EI'} + \lambda_1 \right) \lambda_1 e^{-\lambda_1 x'} \right] \quad \dots (2)$$

ここに、 $\lambda_1 = \sqrt{-\frac{N_1}{2EI'} + \sqrt{\left(\frac{N_1}{2EI'}\right)^2 - \frac{K_1}{EI'}}$ 、 $\lambda_2 = \sqrt{-\frac{N_1}{2EI'} - \sqrt{\left(\frac{N_1}{2EI'}\right)^2 - \frac{K_1}{EI'}}$ 、 ω_1 : P波の変位振幅、 K_R : 本管・支管結合部の継手の回転ばね剛性。(2)式より支管の曲げ応力が導かれるがここでは省略する。

次に数本の支管が任意の角度で弾性結合している、図-2のような管路網を考える。各継手ごとに軸力・せん断力・回転モーメントの釣合いより、管端変位が得られるので、これを(2)式と類似の式に適用することにより上述と同様の取扱いができるが、ここでは省略する。

3. 数値計算結果と考察 El Centro (1940) NS-EW を各々入射P・S波とみなして、これらのRMS E50galに低減したものを標準とした。これに対する管歪(応力)および継手伸縮量等はすべてRMSとして図示した。図-3~6より管路のすべりはP波によって引起される可能性が大きく、軟弱な地盤ほどそれが顕著に現われ管体の応力を緩和するのに役立つが、一方継手伸縮量はすべりを吸収するため破壊の恐れが出てくるので、継手を多く入れて管路剛性を下

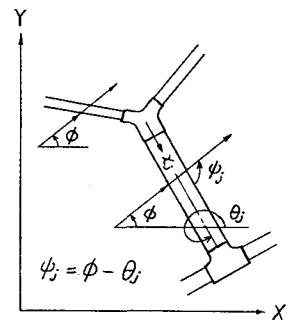


図-2 管網モデル

げてすべりを防止すべきである。図-7の継手の回転ばね剛性の実験特性を考慮して、本管より分岐した支管継手部近傍の応力を計算したのが図-8, 9である。やはり本管のすべりが継手部の応力集中を助長していることがわかる。さらに図-10, 11は簡単なT型継手による管網の例であるが、継手部の締結度と入射方向によって応力集中の度合いが左右されることが示されている。

*参考文献 1) Akiyoshi, T. and K. Fuchida, Proc. Int. Conf. Soil Dyn. and Earthq. Eng. Southampton, pp. 495-511, 1982. 2) 鶴岡忠三, 土木学会論文報告集, 第272号, pp. 27-37, 1978.

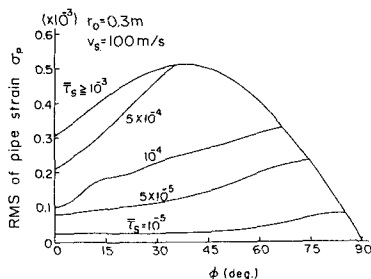


図-3 入射角に対する管歪のRMS値

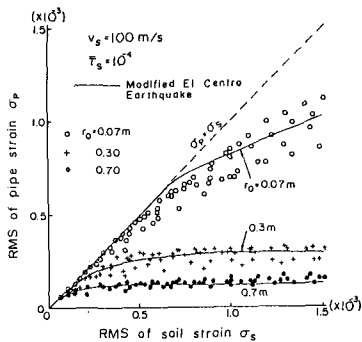


図-5 土の歪と管の歪のRMS値

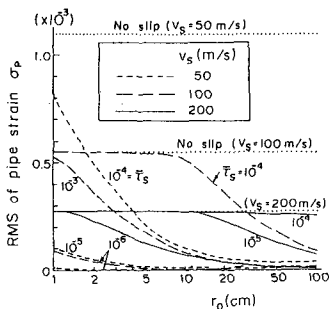


図-4 管半径に対する管歪のRMS値

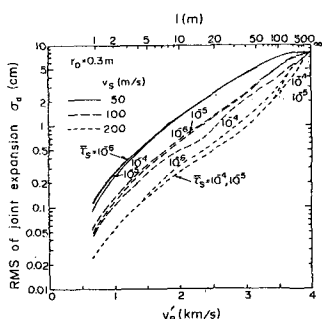


図-6 継手伸縮量のRMS値

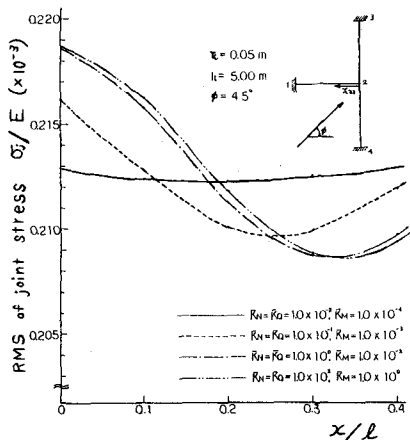


図-10 管路網結合部の応力のRMS値

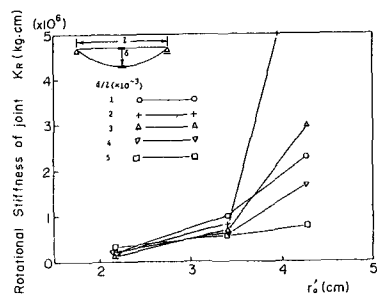


図-7 継手の回転ばね剛性(実験値)

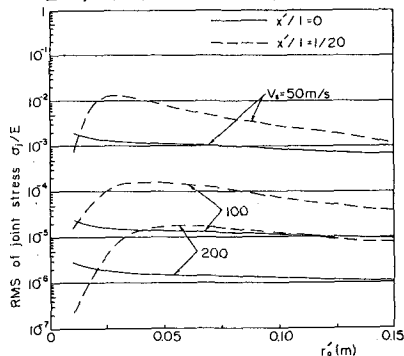


図-8 本管・支管結合部の応力のRMS値
($r_0=0.2m, l=10m, l'=5m, T_s=10^4, K_R^*=10^{-3}$)

