

熊本大学工学部 正員 秋吉 卓
 八代工業高等専門学校 正員 〇瀬田 邦彦
 熊本大学工学部 学生員 久保 聡

1. まえがき 埋設管路の動特性の特徴は大口径の直管で柔かい地盤ほどすべりやすいことであり、これが地震時に直管継手の破損を引起す要因の一つとも考えられているが、一方管路網を形成している実際の管路では直管のすべりが曲管部や結合部の継手にもかなりの負担をかけることが予想されるため、従来の研究だけではまだ不十分な点が残されているようである。そこで本研究は弾性結合した埋設管路網に平面P・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、主として軸方向すべりが管応力の応答に及ぼす影響など埋設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 弾性地盤中に水平に埋設された数本の支管が、任意の角度で弾性結合している図-1のような管路網に、斜め方向よりP・S波が入射する場合を考える。管路の軸方向・軸直角方向変位を u_i, v_i とすると、軸方向・曲げに関する方程式はP波入射の場合のみ示すと次式のようなになる。

$$ES(\partial^2 u_i / \partial x^2) + k_{x1} u_i = k_{x1} w_i \cos \psi \cdot e^{-ik_3 x} \quad \dots (1)$$

$$EI(\partial^2 v_i / \partial x^2) + N_i(\partial^2 v_i / \partial x^2) = K_i w_i \sin \psi \cdot e^{-ik_3 x} \quad \dots (2)$$

ここに、 E : 管のYoung 率, S : 管の実断面積, k_{x1} : 地盤のばね係数, k_3 : 波数, w_i : 入射P波の変位振幅, I : 管の断面二次モーメント, N_i : 管の軸力, K_i : 単位長あたり横方向土圧。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ことを考慮すると、(1)・(2)式の近似解は次式のように表わすことができる。

$$u_i = H_{a1} w_i \cos \psi \cdot e^{-ik_3 x} + \{u_{i1} - H_{a1} w_i \cos \psi\} e^{-\lambda_1 x} \quad \dots (3)$$

$$v_i = H_{b1} w_i \sin \psi \cdot e^{-ik_3 x} + \left\{ \lambda_2 \{u_{i1} - H_{b1} w_i \sin \psi\} + \delta_{i1} \right\} e^{-\lambda_1 x} - \left\{ \lambda_1 \{u_{i1} - H_{b1} w_i \sin \psi\} + \delta_{i1} \right\} e^{-\lambda_2 x} \right\} / (\lambda_2 - \lambda_1) \quad \dots (4)$$

ただし、 H_{a1}, H_{b1} : 管の軸方向・軸直角方向周波数応答関数(文献2)参照), $u_{i1}, v_{i1}, \delta_{i1}$: 管端の軸方向・軸直角方向・回転変位, $\lambda_1 = \sqrt{-k_{x1}/ES}$, $\lambda_2 = \sqrt{-N_i/2EI + \sqrt{(N_i/2EI)^2 - K_i/EI}}$, $\lambda_3 = \sqrt{-N_i/2EI - \sqrt{(N_i/2EI)^2 - K_i/EI}}$ 。

各継手には軸方向・せん断・回転に対する継手剛性を考慮して、各継手ごとに軸力・せん断力・回転モーメントの釣合いを考えると管端変位が得られるので、(3)・(4)式より管の軸応力 $S_a(x)$ ・曲げ応力 $S_b(x)$ は次式のように表わされる。

$$S_a(x) = G_1(x) \cdot w_1 + G_2(x) \cdot w_2 \quad \dots (5) \quad S_b(x) = H_1(x) \cdot w_1 + H_2(x) \cdot w_2 \quad \dots (6)$$

ここに、 w_2 : 入射S波の変位振幅, $G_1(x), G_2(x)$: P・S波に対する軸応力の周波数応答関数, $H_1(x), H_2(x)$: P・S波に対する曲げ応力の周波数応答関数。P波入射の場合のみ示すと次式のようなものである。

$$G_1(x) = -E\nu(u_{ij}^* - H_{a1} \cos \psi_j) e^{-\lambda_1 x} - i k_3 H_{a1} \cos \psi_j e^{-ik_3 x} \quad \dots (7)$$

$$H_1(x) = -E\nu_j / (\lambda_2 - \lambda_1) \cdot \left\{ \lambda_2 \{ \lambda_2 (u_{ij}^* - H_{b1} \sin \psi_j) + \delta_{ij}^* \} e^{-\lambda_1 x} - \lambda_1 \{ \lambda_1 (u_{ij}^* - H_{b1} \sin \psi_j) + \delta_{ij}^* \} e^{-\lambda_2 x} \right\} + E\nu_j k_3^2 H_{b1} \sin \psi_j \cdot e^{-ik_3 x} \quad \dots (8)$$

ただし、 $u_{ij}^*, v_{ij}^*, \delta_{ij}^*$: 単位入射波に対する i 番目継手 j 番目管路端部の軸方向・軸直角方向・回転変位, ν_j : 管径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を50galに低減したものを標準とした。これに対する管応力等はすべてRMSとして図示した。図-2より直管にすべりが生じると継手伸縮量はこれを吸収して破損の恐れが出てくるので継手を多く入れてすべりを防止すべきである。

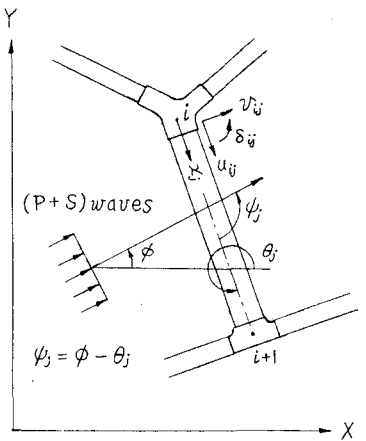


図-1 管網モデル

図-3～9は簡単な丁型継手による管網の例であるが、図-3～5では入射方向と継手の締結度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。図-6,7よりすべりの度合いによっては管径が大きくなると応力集中が起こり、図-8,9より柔かい地盤ほどすべりによる応力集中が増すことがわかる。直管の継手と同様、管網においても埋設深を大きくする等すべりに十分注意する必要がある。

*参考文献 1) 鶴飼貞三:土木学会論文報告集, 第272号, pp.27～37, 1978. 2) 秋吉 卓・利田邦彦:土木学会論文報告集, 第334号, 1983.

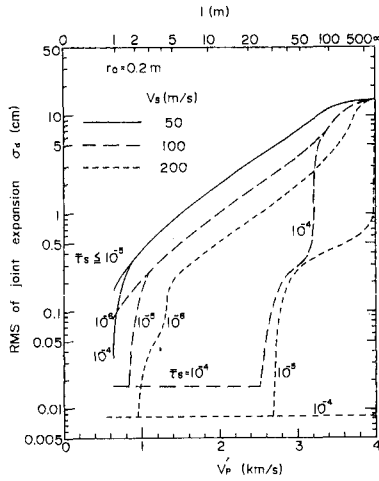


図-2 継手伸縮量のRMS値

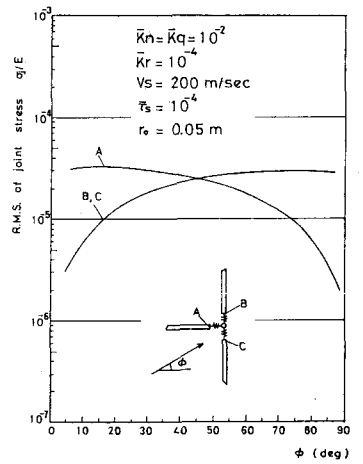


図-3 入射角に対する管応力のRMS値

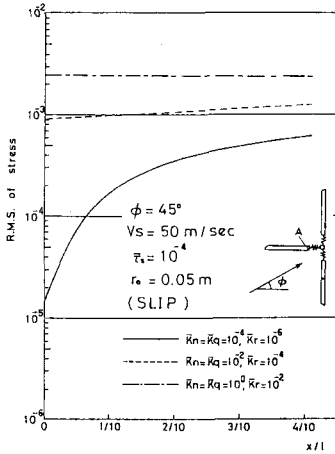


図-4 管応力RMS値の分布

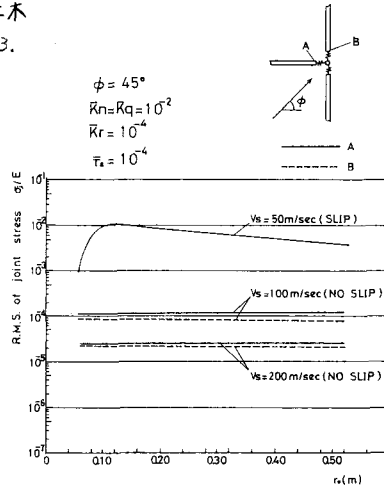


図-6 管半径に対する管応力のRMS値

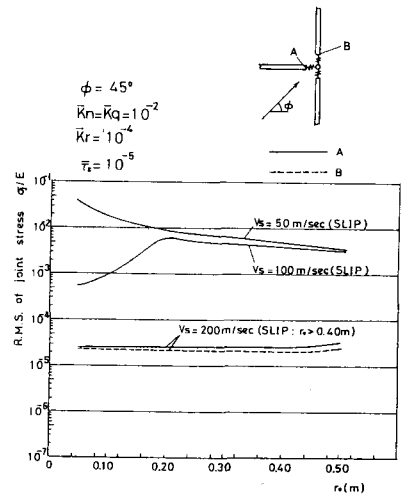


図-7 管半径に対する管応力のRMS値

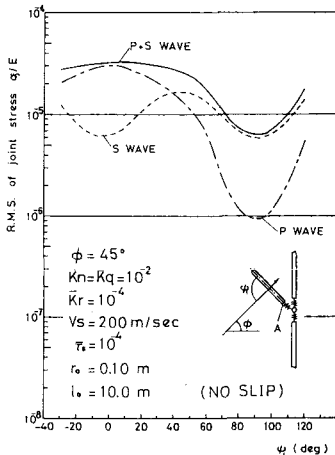


図-5 入射方向に対する管応力のRMS値

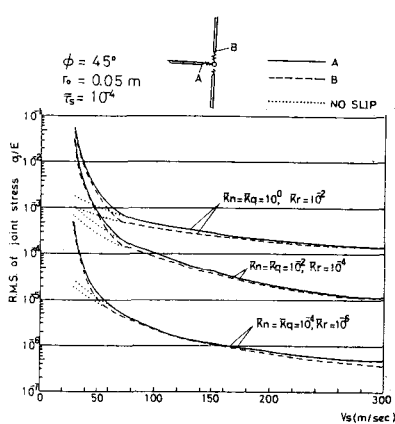


図-8 土のせん断波速度に対する管応力のRMS値

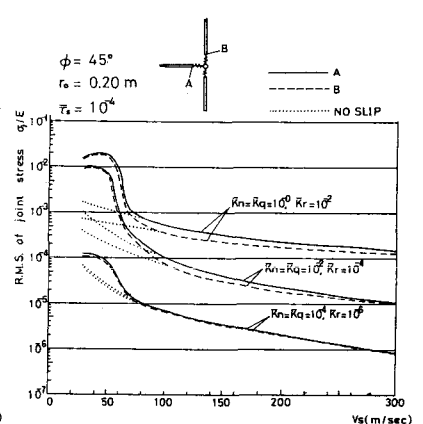


図-9 土のせん断波速度に対する管応力のRMS値