

曲り部を有する地中埋設管の地震応答解析

京大工学部 正員 後藤尚男, 杉戸真太
 京大大学院 学生員 河野一徳

1. まえがき 地中埋設管の地震時挙動に関する研究は、近年ライフライン系の耐震性の問題への関心の高まりとともに盛んに行なわれるようになってきた。しかしながら、その多くは直管部を対象としたものであり、曲り部を有する管路を対象としたものは少ない。またそれも、たとえばShinozuka・Koike¹⁾の研究のように、ほとんどが90°の曲り管を対象としており、しかも地震波の入射方向の変化が応答量に与える影響を考慮していないことなど、またまた多くの課題が残されている。以上の理由から、本研究では曲り部の角度(ϕ)および地震波の入射方向(θ)に任意性を与えて応答解析を行ない、すべりを考慮した場合に直管部で低減される応力が、曲り部では逆にどの程度まで生じるかを検討した。

2. 曲り部での応力の算定 図1に示すように、地震波を曲り部付近で地盤の変位振幅が最大となるように入射させ、その場合の曲り部での応力状態を求める。この際、管を曲り部で2つのエレメントに分け、両エレメント間に力のつり合い条件および変位の適合条件を適用する。すなわち、両エレメントは曲り部で切断された場合、図2のような変位をそれぞれ示すが、実際には曲り部での変位は一致しており、そのために図3に示すような力が両エレメントに働くと考えられる。各エレメントが材端に曲げモーメント、せん断力を受ける場合の変位は、各エレメントを半無限長さを持つ弾性支承上のはりとみなして求め、また材端に軸力を受ける場合の変位は、Poulos^{2,3)}が行なった杭基礎に荷重を載荷した場合の応答特性に関する解析結果を適用した。管の材端に軸力Nが作用した場合の管の材端での管軸方向変位量 ρ は次式で得られる。

$$\rho = (N/L \cdot E_s) I_p$$

ここにLは軸力が有効に作用する管の長さ、 E_s は地盤の弾性係数、また I_p は変位影響係数^{2,3)}と呼ばれているものである。以上の条件を用いれば、未知量(M, Q, N)6に対して、力のつり合い条件3、変位の適合条件3の計6つの式が成立する。なお入力地震波としては縦波と横波を扱った。表1に解析に用いたパラメータを示す。

3. すべりの影響 管と地盤との間にすべりが生じた場合、直管部においては、軸力すみの低減にともなう軸応力の低減が起るが、逆に曲り部ではそのしわ寄せを受けて応力の集中が生じることが知られている。地震入力時の曲り部を有する管路の応力分布を表わした図4(b)(c)が明確に二

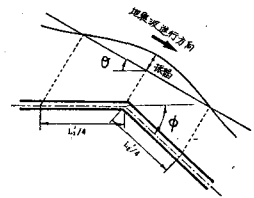


図1. 解析に用いたモデル

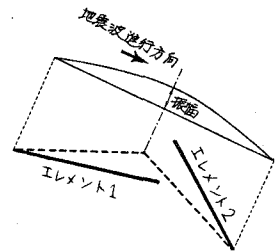


図2. 管路を曲り部で分けた場合の各エレメントの変位

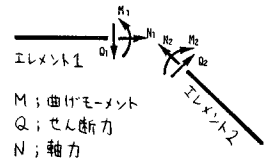


図3. 各エレメントに働く力

GOTO HISAO, SUGITO MASATA, KONO KAZUNORI

のことを示している。すなわち、すべりの生じる場合(c)は曲り部付近に応力のピークが存在し、逆にすべりの生じない場合(b)は曲り部付近での応力は小さく、直管部での応力が問題となる。

4. 地盤ばね定数の影響 一般に地盤がかたければ管と地盤との間にすべりは生じにくく、やわらかければすべりは生じやすくと考えられる。つまり、地盤がやわらかい程曲り部付近での応力は大きくなると考えられるが、図5のグラフ(実線:変位振幅4cm)が示しているように、管路のほとんどの部分ですべりが生じる場合は、地盤がやわらかい程応力は低減する傾向がある。すなわち、同じように管がすべる場合は、地盤がかたい方が曲り部付近での応力は大きくなるということを示している。

5. 曲り部の角度・地震波の入射方向の影響 図6(a)(b)に、縦波および横波に対する各条件下での曲り部付近での最大応力を示した。縦波横波の場合とも、曲り角が小さくなる程入射角の変化の影響を敏感に受け、またその応力の大小の差が大きくなるという傾向がみられる。すなわち曲り角が大きい場合はどの方向から地震波が入射した場合でも、ほぼ同じような応答を示すのに対して、曲り角が小さい場合は、ある特定の入射角に対して高い応力を示すほかは、応力は小さめになっている。この原因としては、入射角の変化により、各エレメントのすべりの状態が曲り角によって異なるといことが考えられる。また図6(a)(b)は、曲り角が90°よりもむしろ60°、45°の方が生じる応力が大きくなることを示している。

6. あとがき ここでは、曲り部に最大変位が生じるように地震波を想定して解析を行ない、直管部でのすべりが曲り部付近での応力に及ぼす影響を調べた。さらに、入力地震波の位相の変化を考慮に入れた解析を行なうことが今後の検討課題である。

参考文献 1) Shinozuka, M. and Koike, T., "Estimation of Structural Strains in Underground Lifeline Pipes", ASME, June 1979.
 2) Poulos, H.G. and Davis, E.H., "Elastic Solution for Soil and Rock Mechanics", John Wiley and Sons, Inc., 1974., pp. 269-282.
 3) Mattes, N.S. and Poulos, H.G., "Settlement of Single Compressible Pile", ASCE, Vol. 95, No. SM1, 1969., pp. 189-207.

表1. 解析に用いたパラメータ

パラメータの種類	パラメータの値
地盤の変位振幅 (u)	4, 2.1 cm
地盤ばね定数 (k)	1200, 750, 300, 150 kg/cm ²
管厚 (d)	1.0, 0.5 cm
管径 (D)	40 cm
地震波の波長 (L)	240, 120 m
曲り部の角度 (φ)	90, 60, 45, 22½, 11½°

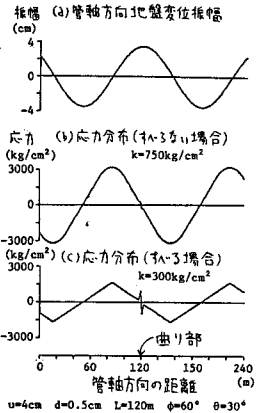


図4. 管軸方向の応力分布

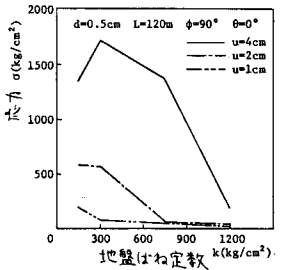
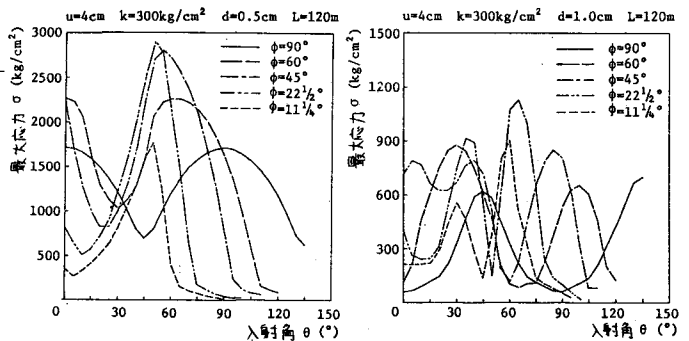


図5. 地盤ばね定数と曲り部付近の最大応力の関係



(a) 縦波の場合

(b) 横波の場合

図6. 地震波の入射方向・曲り部の角度と曲り部付近の最大応力の関係