

(63) 地層急変部が埋設管の地震応答に与える影響について

熊本大学工学部 正員 秋吉 卓
 八代工業高等専門学校 正員 〇栗田邦彦
 熊本大学大学院 学生員 松元和久

1. まえがき 地中埋設管の地震時挙動は、入射地震動の変位に大きく依存しているが、表層の厚さや剛性が急に变化する地層急変部においては、変位やひずみが増大するといわれており、このような地盤に埋設された管路の被害例も数多く報告されていることから、地層急変部における埋設管の地震応答特性を明らかにする必要がある。そこで本研究では、表層に急変部を持つ単純な地盤モデルを考え、まづその地表面での変位とひずみの応答と地層の形状や諸量との関連を検討し、埋設管への入力となる入射波動の特性を明らかにしようとした。さらに、地表面の応答波形を入射波と考えて、従来の平面波に対するすべりを考慮した管路の解析手法を適用して、地層急変部の幾何学的特性が管ひずみ・継手部の応答に与える影響についても検討を加えた。

2. 数値計算結果と考察 解析の対象とする地層モデルは図1のように、基盤の中に地表面と平行な層を有する左右対称な二次元弾性体とし、両側部と中央底部の間に深さの急変する傾斜層を持つものを考えた。この地盤モデルに左下方より入射角 θ （地表面より測る）で、平面SH波である地震波が入射する場合を考え、境界要素法を用いて、主として地表面での応答を求めた。また、地震波としては、El Centro 地震記録(1940)のNS成分の加速度RMSを50galとして用いている。さらに、地表面での応答波形を直交する2成分に分解し、図2のような、等間隔に継手を有する管と等価な一様管路への入射波として、管軸に対して角度 ϕ で入射させたときの管ひずみと継手伸縮量とを、従来のすべりを考慮した解析手法より求めた²⁾。数値計算においては、基盤のせん断波速度 $C_2=400$ m/sを固定し、表層のせん断波速度 $C_1=50, 100, 200$ m/sおよび入射角 $\theta=0^\circ, 45^\circ, 90^\circ$ の3通りを考えた。管の諸元として、管半径0.3 m、管長100 m、管への入射角 $\phi=45^\circ$ などを標準値として、土と管の境界面での無次元摩擦抵抗 $\bar{c}_s = c_s/G = 10^{-3} \sim 10^{-6}$ などを用いた。

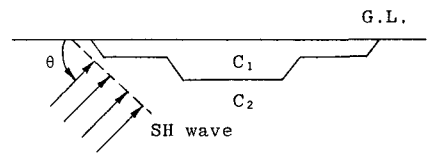


図1 地盤と平面波のモデル

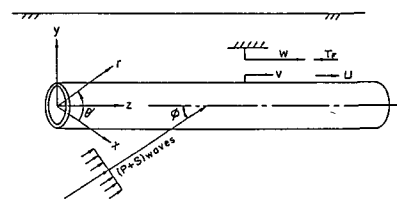


図2 埋設管路モデル

図3, 4は地表面ひずみの周波数応答関数の一例で、図3は水平入射($\theta=0^\circ$)、図4は斜め入射($\theta=45^\circ$)の場合であるが、低周波数では地表のひずみは大きく、周波数が高いと地層急変部にひずみが集中しやすいことがわかる。図5~8は、この周波数応答関数と入射SH波とのFourier変換積より地表面ひずみの時間応答を求めたものである。図5は $\theta=0^\circ$ 、図6は $\theta=45^\circ$ の場合で、地層急変部において波形が乱れるが、振幅はそれほど大きくならない。一方、表層中央部において両図とも、卓越周期2~3秒の表面波がはっきりと現われており、これがほぼ平面的に伝播していく様子が読みとれる。このことより、地層がほぼ一様な平行部においては、ひずみは低次モードのみが選択されて単純な波形となることから、構造物への入射波形としては利用しやすい形となっている。しかし、地層傾斜部においては、波形が乱れ、振幅も複雑に変化するので、埋設管への入力としては若干注意する必要がある³⁾。図7は、図5, 6の $C_1=100$ m/sに対し、 $C_1=200$ m/sと硬い表層の例であり、地層全体でほぼ一様な平面波的に伝播しているが、これは当然のことながら、表層が硬いほど表層内での重複反射が少なく

なり、波形の乱れが少なくなったためと考えられる。図8は表層底部の幅が2Kmと広がった場合の地表面ひずみの時間応答であり、図5-7と同様、表面波が発生しているが、表面波が十分発達するまでは、平行層の中央部において振幅は小さく、急変部に近い所で振幅が大きくなっており、急変部での複雑な重複反射の影響が出ているといえよう。

図9は表層が平行な一層のみの場合のLove波の位相曲線で、図5-8の走時曲線から表層底部と側方部における波速を大まかに読みとり、それぞれを图中に○、●印で示している。厚さD=20mの表層の側方部では卓越波速Cが平面波の見かけの速度に近いのに反し、D=70mの中央部ではCは表面波の曲線にのりつき、表面波の発生を裏付けている。

以上のように層状地盤では表面波が発生しやすいことが分かったが、ここでは従来の平面波に対する埋設管の応答を考える。図10, 11, 12に、地表面ひずみと、図5-8等に示した波形を入射波としたときの管ひずみと継手伸縮量のRMS値を示している。図10は地震波の基礎面への入射角θが0°, 45°, 90°の場合で、(a)の地表面ひずみは平行層の部分で水平入射に近いほどほぼ一様に大きいといえるが、(b),(c)の管応答では、入射方向による顕著な差は見られない。また、接触面での摩擦抵抗の低下に伴い、すべりが生じて管ひずみが低下し、継手伸縮量が增大しているが、とくに(c)の伸縮量は全体的にすべりに至ればその分布形が地表面ひずみの分布形状に類似しており、地層の形状特性より管応答の概略の分布を推定することも可能と考えられる。図11では表層のS波速度C₁が小さいほど(a)の地表面ひずみは増大し、(b)の管ひずみも大きくなるが、C₁=50m/sではすべりのため逆に管ひずみはやや小さくなっている。一方、(c)の継手伸縮量は(b)の管ひずみの傾向と増減関係が相補的であり、C₁が小さく、すべった場合に継手に負担がかかっている。最後に、図12は表層底部の幅を変えた場合で、(a)(b)(c)の各図とも平行層において、その長さに関係なくほぼ一様な増大が見られ、管応答と地表面ひずみとがよく対応している。また、伸縮量は傾斜部で急に増大しており、急変地盤においては十分な注意が必要となる。

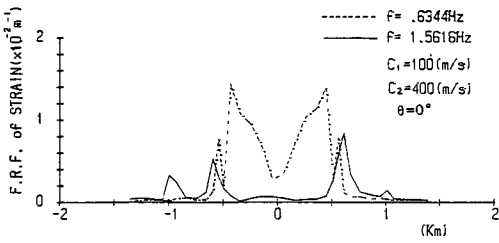


図3 地表面ひずみの周波数応答関数の一例

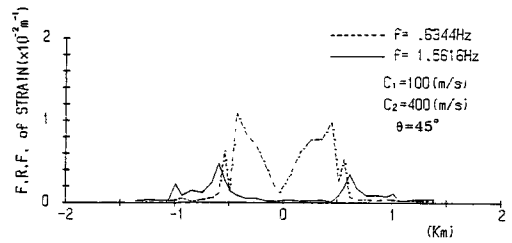


図4 地表面ひずみの周波数応答関数の一例

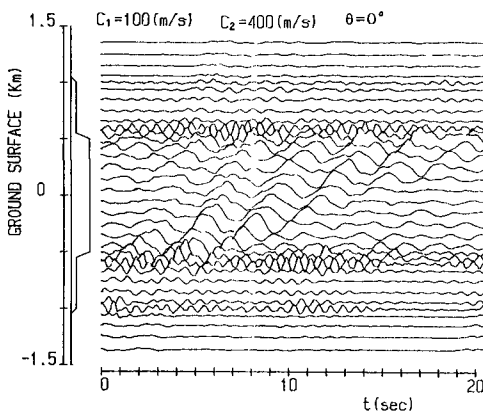


図5 地表面ひずみの伝播 (θ = 0°)

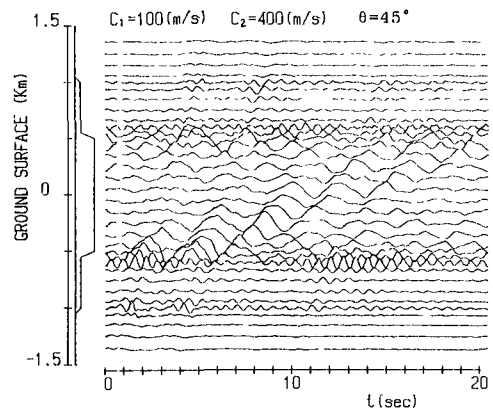


図6 地表面ひずみの伝播 (θ = 45°)

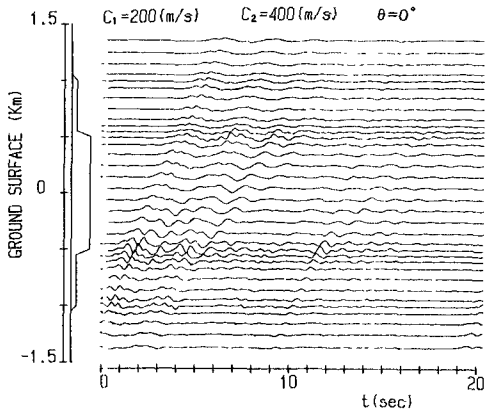


図7 地表面ひずみの伝播 ($\theta = 0^\circ$)

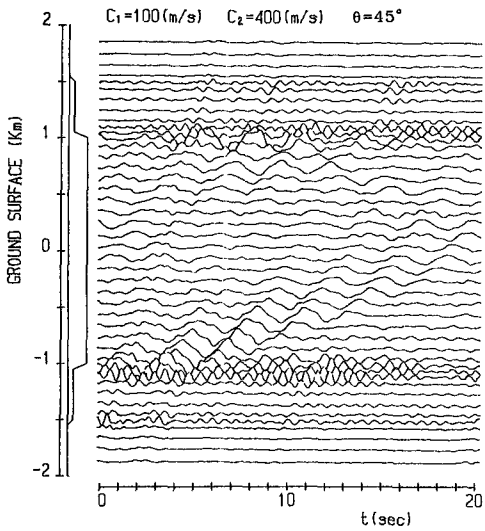


図8 地表面ひずみの伝播 ($\theta = 45^\circ$)

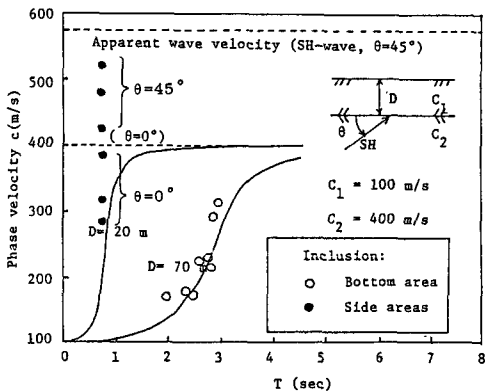
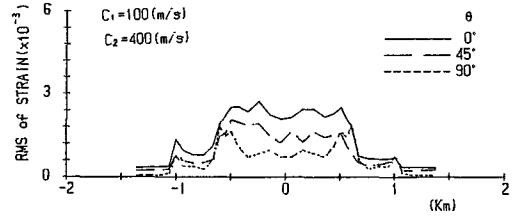
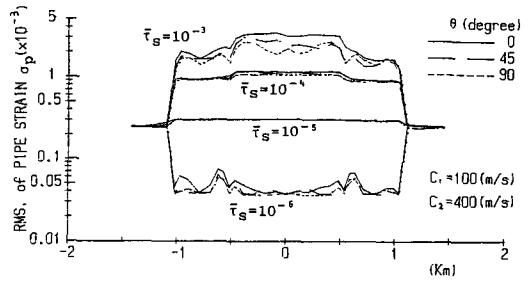


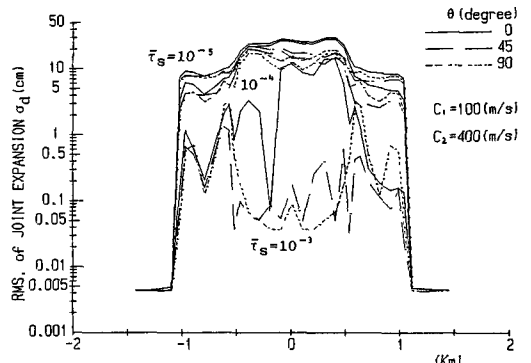
図9 単層地盤のLove波の位相曲線



(a) 地表面ひずみのRMS

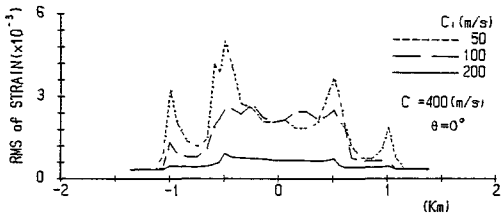


(b) 管ひずみのRMS

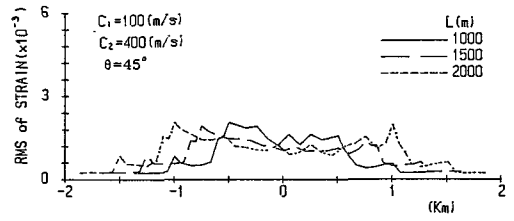


(c) 継手伸縮量のRMS

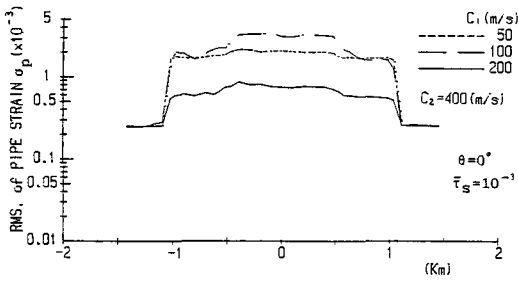
図10 地表面ひずみ・管ひずみ・継手伸縮量のRMS分布



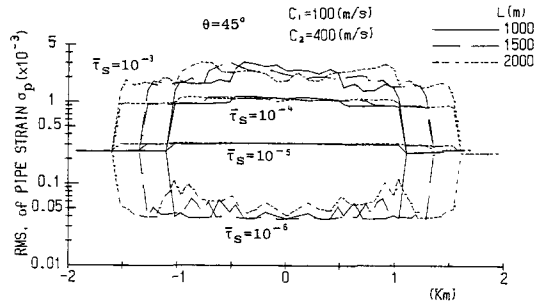
(a) 地表面ひずみのRMS



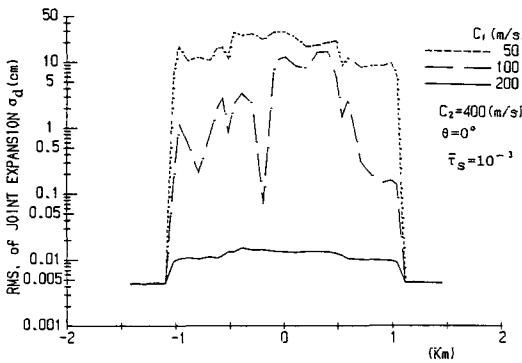
(a) 地表面ひずみのRMS



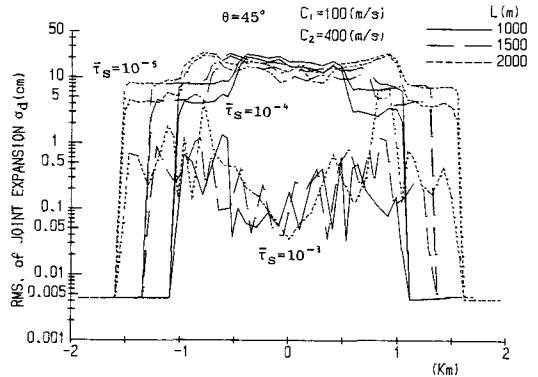
(b) 管ひずみのRMS



(b) 管ひずみのRMS



(c) 継手伸縮量のRMS



(c) 継手伸縮量のRMS

図11 地表面ひずみ・管ひずみ・継手伸縮量のRMS分布

図12 地表面ひずみ・管ひずみ・継手伸縮量のRMS分布

参考文献 1) Toki, K., T. Sato: Seismic Response Analyses ..., Natural Disaster Science, Vol. 5, No. 1, 1983, pp. 31~52. 2) 秋吉 卓・栗田邦彦: 軸方向すべりが..., 土木学会論文報告集, 第334号, 1983年6月, pp. 25~34. 3) ガス導管耐震設計指針, 日本ガス協会, 1982, pp. 197~218.