

(20) 地盤および埋設管路に発生する地震時ひずみ

日本钢管(株) 技術研究所 正員 大石 博

1. まえがき

埋設管路・水理トネの地震観測において、二から構造物に発生するひずみは、表面波の波動によるものが、優勢であることが認められている¹⁾²⁾。また、著者らは、文献3)において、“表面波を考慮した埋設管路の地震応答解析法”を、二から構造物の地震時挙動を、よく表現する二を論じた。

そこで、二では、不規則地盤中に表面波が進行した場合の地盤ひずみおよび埋設管路ひずみに関して、前述解析法により、各種シミュレーションを実施したのち、報告する。

2. 表面波を考慮した埋設管路の地震応答解析法の概略

表面波を考慮した埋設管路の地震応答解析法においては、次の事項を仮定している。

- (1) 地震動は、表面波としての伝播のみを考慮する。
- (2) 地盤振動は、埋設管路の存在により影響を受けない。
- (3) 埋設管路は、弾塑性床土上の梁として解析する。

本解析法における平準手順は、次のとおりである。(図-1)

- (1) 管路埋設以前の地盤について、表面波が進行した場合の管路埋設予定地点の変位分布を求める。
- (2) (1)において、任意時刻における変位分布を得るための、埋設管路の地震時応答は、弾塑性床土上の梁の問題として求める。

また、(1)の地盤の変位分布は、次の手順で求められる。

- (1) 表面波としての地盤変位分布を、定常問題として求める。
- (2) (1)で求めた定常状態の変位分布を、7-1工逆変換し、過渡変位応答を求める。

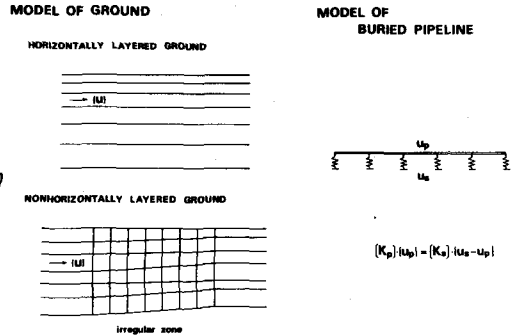


図-1 解析手順

3. 地盤および埋設管路に発生する地震時ひずみ

強震時に地盤および埋設管路に発生するひずみを評価するため、二種類のモデル地盤を想定し、シミュレーションを実施した。解析仮定は、①埋設管路は、φ:609.6mm×材:127mm であり、G.L. 2.1mに、埋設されている。②地表最大加速度は、300galとし、地震動は、宮城県沖地震(1978年6月12日)の地震動(川崎市で取得)を用いる。③周辺地盤と埋設管路を結ぶ土の定数は、右に示すk=3/5V_sを用いる。である。

3.1. 地盤に発生する地震時ひずみ

図-2に、第一層と第二層との間に、地盤の不規則性がある場合(Case-1)の地盤ひずみの解析結果を示す。地盤の土質定数は、G.L. 60mより下、図に示すものを採用し、G.L. 60m以上深に關しては、G.L. 60~100m V_s=500m/sec、G.L. 100~200m V_s=600m/sec、G.L. 200~400m V_s=700m/sec、G.L. 400~700m V_s=800m/sec、G.L. 700~1000m V_s=1000m/sec、G.L. 1000~1500m V_s=1500m/secとし、二からの地盤定数を、基本地盤定数とする。なお、γ/G₀=1/2は、表層G.L. 0~60mの地盤を土の剛性係数、基本地盤

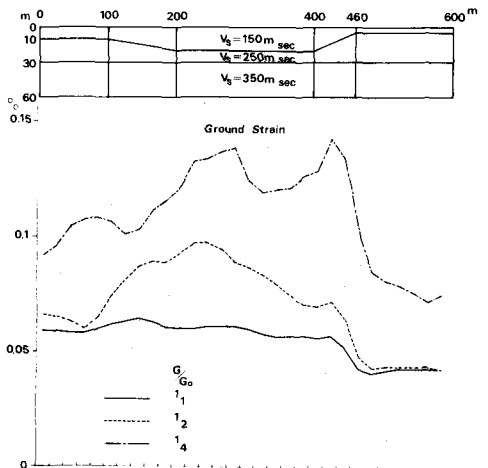


図-2 地盤ひずみ (Case-1)

定数の $\frac{1}{2}$ に1F場合、 $G/G_0 = \frac{1}{4}$ に、同様に、基本地盤定数を $\frac{1}{4}$ に1F場合である。 $G/G_0 = \frac{1}{4}$ の場合、地盤の不規則性による地盤ひずみの増大は、あまり顕著でなく、表層地盤の地盤定数が軟らかくなるに従い、地盤ひずみは、増大し、かつ地盤の不規則性による影響が、顕著にあらわれてくる。

図-3に、第一層と第二層と第三層との間、地盤の不規則性があつた場合(Case-2)の地盤ひずみの解析結果を示す。Case-1の場合と同様、表層地盤の地盤定数が、軟らかくなるに従つて、地盤の不規則性の影響が、顕著にあらわれてくる。また、同じ地盤定数の場合、地盤の不規則性が大きいCase-2の方が、変位ひずみは、大きい。Case-1、Case-2と比較により、地盤を表面層と進行する層に分けておくと、地盤の不規則性により、地盤ひずみは、増大する傾向にあるといえる。

以上の結果は、宮城県沖地震の地震波に対する結果であるが、他の地震波の場合も、同様の結果が得られた。また、入力地震動の差異による地盤ひずみの変化に関しても、表層地盤が、硬い場合、あまり顕著でなく、軟らかくなるに従つて、その影響が、大きくなる。また、 $G/G_0 = 1.100 \sim 1.000$ mの地盤定数の変化による地盤ひずみは、表層地盤が硬い場合、その変化が、若干認められるが、表層地盤が、軟らかくなるに従い、その影響は、ほとんど認められなくなる。

3.2. 埋設直線管路に発生する地震時応力

3.1のCase-1,2の $G/G_0 = \frac{1}{4}$ の地盤条件における埋設直線管路の地震時応力は、図-4,5に示す。埋設管路の地震時応力としては、軸力による軸方向応力と、曲げモーメントによる軸方向応力があり、管径600mm程度の管路の場合、後者は、前者に比べ、非常に小さいので、以下においては、軸力による軸方向応力についてのみ議論する。地震時の埋設管路の挙動に関する大きな問題は、周辺地盤と埋設管路との間に発生するすべりである。図-4,5においては、すべりが発生しない場合の埋設管路の軸方向応力と、すべりが発生する場合の値とを、比較している。すべりの発生機構に関しては、種々の議論が行われており、ここでは、解析上、周辺

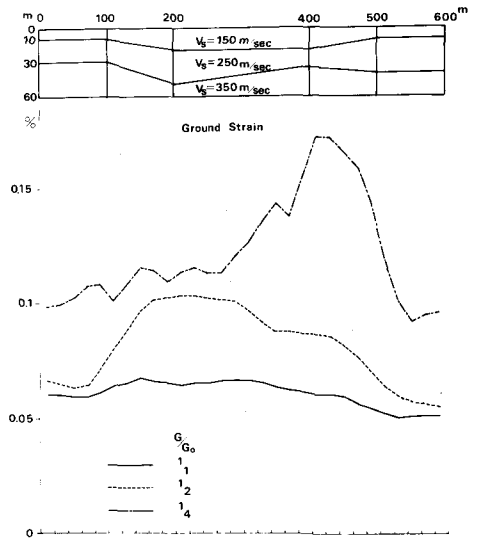


図-3 地盤ひずみ (Case-2)

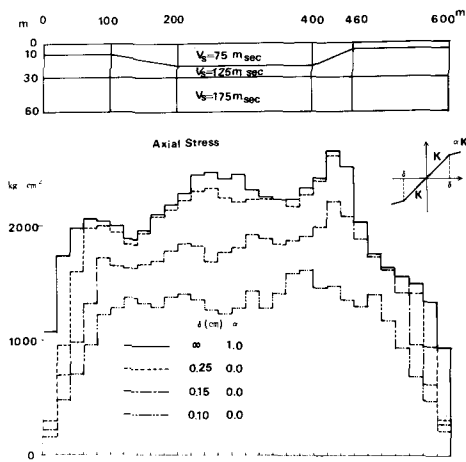


図-4 埋設直線管路の地震時応力 (Case-1)

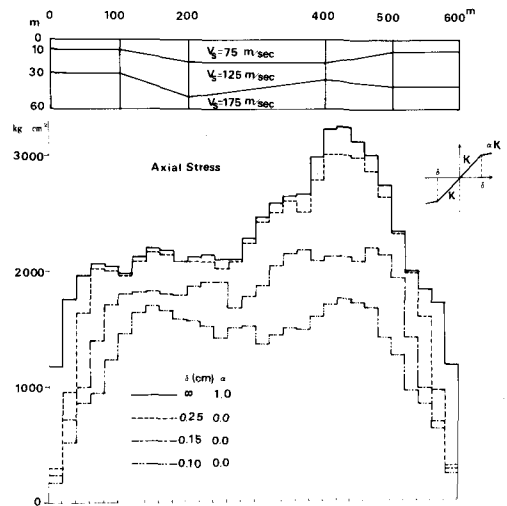


図-5 埋設直線管路の地震時応力 (Case-2)

地盤と埋設管路との間の相対変位が、ある値に達すれば、可べりが発生するとしている。また、可べりが発生する相対変位として、2.5mm, 1.5mm, 1.0mm の三種類を、規定している。なお、静的に管が可べり始めた時の相対変位は、文脈からすると、埋設深さ 2.1m の場合、1.5mm 程度であり、1.0、地震時の様に、動的に繰返しを受けた場合、可べり発生相対変位は、低下すると考えらるるの下、埋設管路には、地盤に発生するひずみより、若干り小工はひずみがあり、主として思われる。

3.3 埋設管路における曲り管の影響

埋設直線管路の中に、曲り管を挿入した場合、直線管路に比べ軸力が増え、この様に变化するが検討するため、シミュレーションを実施した。Case-1 の地盤に關しては、260m ~ 340m の間に、Case-2 の地盤に關しては、340m ~ 460m の間に、曲率半径 10・D (D は、管径) の曲り管を、水平方向に、挿入した。

図-6 には、Case-1 の $q/G_0 = 1/4$ に關して、曲り管を挿入した場合としない場合とを比較した図を示す。同時に、可べりを考慮する場合(可べりが発生する相対変位として、2.5mm と仮定)について、図に示す。また、図-7 には、Case-2 の $q/G_0 = 1/4$ に關して、同様の関係図を示す。

図-6, 7 より明らか様に、曲り管を、軸力集中部に挿入すると、管路に比べ軸力は、低減工はしている。図に示した、可べりを考慮する場合と考慮しない場合について、示しているが、可べりを考慮する場合、軸力による軸方向応力が低減工はする範囲は、広くは、実施したシミュレーションの場合、20m の範囲に曲り管を挿入するにともな、約 20m の範囲の軸方向応力が、低減工はしている。つまり、地盤の非規則性が激しく、 γ に対応の集中が発生すると考えらるる範囲に、曲り管を挿入するとは、軸力による軸方向応力の低減に、有効であるといえる。

また、曲り管の効果に關しては、次の様な事がいえる。曲り管による応力低減影響範囲は、地盤による拘束力は、大きく影響工はする。つまり、地盤拘束力が、非常に大きい場合、曲り管による軸方向応力の低減範囲は、非常に狭くなる。また、可べり発生の有無に關して、応力の低減範囲は、大いに影響工はする。

曲り管の曲率半径に關しては、大きい場合ほど、軸方向応力の低減範囲は、広くは、曲げモーメントにより発生する応力も、小工はする。また、図-6, 7 に示した形状の様に、曲り管を組み合せるとは、応力の低減範囲を、広くするに役立つ。

3.4 埋設管路における剛体構造物の影響

埋設管路の中に、立坑などの様な剛体構造物がある場合、管路に比べ軸力が増え、この様に变化するが、また、管路と剛体構造物の間に、剛性的小工の管路(以下、スネークパイプ)を挿入した場合、発生応力がこの様に变化

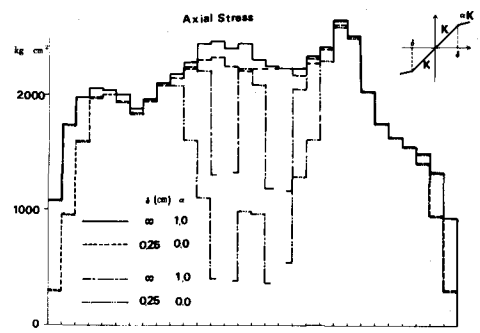
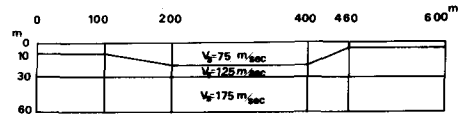


図-6 曲り管による軸応力の変化 (Case-1)

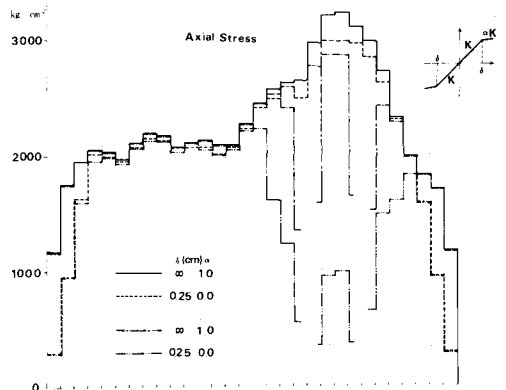
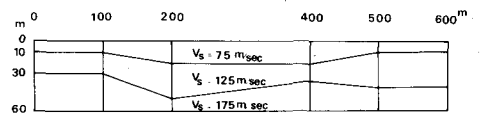


図-7 曲り管による軸応力の変化 (Case-2)

より分らるる、シミュレーションを実施した。

図-8には、 $W:10m \times D:10m \times H:20m$ の剛体構造物に、管路が接続した場合、および、剛体と管路の間に、一般管路に比べて剛性 $1/40$ のスネークパイプを挿入した場合のシミュレーション結果を示す。また、同様に、すべりを考慮した場合についても、図に示す。

図-8に示す様に、剛体構造物との接合部において、軸力による軸方向応力は、剛体構造物のみの場合に比べ、約4割程度増加している。すべりを考慮した場合、増加傾向は、小さく、かつ、剛体構造物との接合部においては、やはり、応力が集中する。曲げモーメントによる軸方向応力も、剛体構造物との接合部において、応力が集中するが、その大きさは、軸力によるものの $1/10$ 程度である。剛体構造物との接合部に、剛性 $1/40$ のスネークパイプを挿入した場合、剛体構造物周辺の応力集中は、低減し、すべりを考慮した場合、応力の低減範囲は、約 $80m$ にも、及んでいる。

図-8において、剛体構造物との接合部におけるスネークパイプの効果を示した。図-9においては、スネークパイプの剛性が変化した時、軸力による軸方向応力がどのように変化するかを、示す。ここでは、剛性比 $1/40$ を基準として、剛性比を、 $1/50$ から $1/60$ まで、変化させている。剛性比が $1/40$ より小さくすると、応力の低減範囲が、若干狭くなり、かつ、いさゝか、どの場合においても、剛体構造物との接合部における応力集中の緩和は、有効に働いている。剛性比が $1/40$ より小さい場合、剛体構造物周辺における応力低減割合は、小さく、かつ、低減範囲は、ほとんど変化していない。

つまり、スネークパイプは、剛体構造物周辺に集中する応力の低減に有効である。また、その剛性比により、集中した応力の低減範囲は、変化するが、剛性比が $1/50$ の場合においても、応力低減に有効に働く。

4. まとめ

表面波を考慮した埋設管路の地震応答解析法を用いて、地震時に不規則地盤下を不規則地盤中の埋設管路に発生するひずみに関して、各種シミュレーションを実施し、以下の様な結論を得た。

- (1) 表面波が地盤を進行する場合に比べて、地盤の不規則性により、地震応力が、増大する。
- (2) 埋設直線管路に発生する地震応力は、すべりの発生機構に、大きく影響を受ける。
- (3) 曲り管・スネークパイプは、埋設管路に発生する地震応力の低減に、有効である。

参考文献 1) 矢作・他：埋設トネロの地震観測と数値解析 第五回日本地震工学シンポジウム 1977年11月

2) 甲井・大石・他：埋設水道管路の耐震性の評価 日本鋼管技報 No. P6 1970年7月

3) 甲井・大石：埋設管打構造物の地震応答解析 土木学会第35回年次学術講演会 1970年9月

4) 高田：埋設管路-地盤との復元力特性と地震応答解析 土木学会論文報告集 第249号 1976年5月

5) 鶴飼：軸方向すべりを考慮した場合の地中埋設管の地震応答解析 土木学会論文報告集 第272号 1977年4月

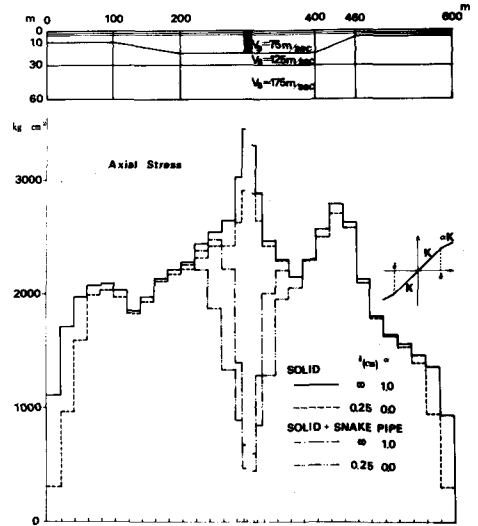


図-8 剛体と接続した管路の軸応力変化

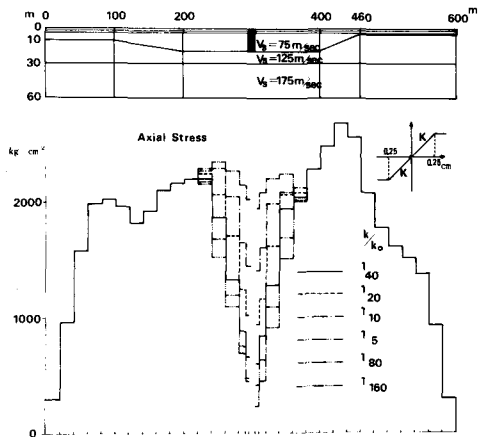


図-9 スネークパイプの剛性変化の影響