

# 造成地盤の非線形地震応答解析

東北大学工学部 学生員 〇原 朗芳  
 同上 正員 佐武正雄  
 同上 正員 浅野照雄

## 1 まえがき

1978年の宮城県沖地震では、ガス・水道等の埋設管は丘陵造成地盤において大きな被害が生じた。埋設管の耐震性は地盤のひずみに依存しているのが、地震時の地盤の挙動を把握することは重要である。現在、泉市南光台において地震観測を継続しているが、すでに結果の一部を報告している。<sup>1)</sup>それによれば、切土・埋土から成る地盤に埋設された管の地震時最大歪は、切土と埋土との境界、又は、若干埋土側に入った地点で生ずることが明らかとなっている。このように造成地盤のひずみは局部的に大きくなるので、埋設管の耐震性を検討するためには、地盤の変形特性を十分に考慮する必要がある。後述するように、埋土地盤の剪断剛性の歪依存性は大きいので、強震時の地盤歪は非線形性を考えねばならない。本文は、このような観点から、泉市南光台の切土・埋土地盤を解析の対象とし、FEMを用いた非線形応答解析を行い、線形解析結果と比較し、非線形性の歪に対する影響について検討したものである。

## 2. 解析方法

地盤の地震応答解析を行うのに次の3つの方法によって行った。

- 1) 地盤の剪断剛性・減衰定数の歪依存性のデータを逐時用いる。
- 2) 等価線形モデルを用いる。
- 3) 歪依存性を考慮しない剪断剛性・減衰定数(初期歪におけるもの)を用いる。

即ち、これらの方法のうち、1)2)は剛性・減衰定数の歪依存性を考慮しているが、3)は全く歪依存性を考慮していない。次に方法の概要を述べる。

1)は、既存の剛性・減衰定数の歪依存性のデータを運動方程式の逐時積分する時に用いる。なお積分するとき、各時間ステップ毎に、割線弾性係数が1%以内に収束するまで反復計算を行う。<sup>2)</sup> (割線係数法)

2)は、歪依存性のデータから予想される歪に対する剪断剛性 $G$ と減衰定数 $R$ を仮定し、応答の最大剪断歪( $\gamma_{max}$ )の65%に相当する $G$ と $R$ に一致する(5%以内)ならば、その $G$ ・ $R$ を等価剪断剛性・等価減衰定数とした。

3)は、弾性波試験の速度から求まる剛性を用いた。

以上から、1)は非線形、2)3)は線形計算となる。また、運動方程式の積分はニューマークの $\beta$ 法( $\beta=1/6$ )を、時間ステップ0.001秒で用いた。

FEM解析の対象である泉市南光台の切土・埋土地盤モデルを図-1に示す。切土地盤は凝灰岩質で $v_s=630$ m/s埋土地盤は地山のものを用いており、上部6mは $v_s=160$ m/s、下部は $v_s=290$ m/sである。また、埋土地盤の剪断剛性・減衰定数の歪依存性は図-2に示す通りである。<sup>5)</sup>

なお、地震計は、埋土中央部-1.5mと基盤-14mに設置されている。本文で用いた入力加速度は、基盤で得られた、昭和57年6月1日震度II(宮城県沖)の水平方向の記録(最大加速度20gal)である。

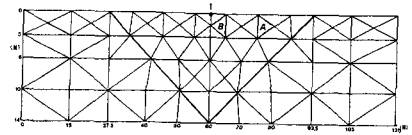


図-1 地盤のモデル

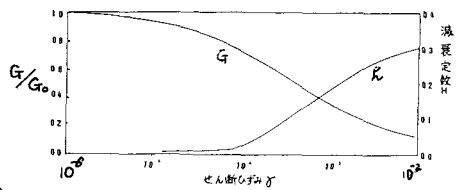


図-2 剪断剛性・減衰定数の歪依存性

### 3. 解析結果と考察

最も加速度応答の大きい埋土中央部(節点番号1)についての結果を図-3に、埋土中央部の歪を図-4に、切土と埋土中央部の中間の歪を図-5に示す。図-3からわかることは、大きな振中の所では比較的3つのモデルのピークが一致しているが、振中の小さい部分では、3つの波形の対応がよくない。また、振中の大きさを比較すると、振中が比較的小さい波では、非線形のものやや小さく(ピークの一一致しているものについて)。また振中の大きい波では、非線形・等価線形がやや大きくなっている。しかし、紙面の都合で全波形を示さなかったが他の箇所では、初期剛性および等価線形の方が非線形より大きくなっている。これは入力波の周期と地盤剛性から決まる固有周期が一致すれば線形の方が大きくなるためと思われる。次に、ピークの位置を比較すると、非線形の波は他の二つと比較するとやや遅れている。これは非線形の効果が見られているものと考えられる。なお、埋土中央部の加速度の実測結果は17gal程度であるから計算結果は大きくなっている。埋土の初期剛性は弾性試験結果に基づくものであり、データの精度で問題がある。

次に、歪(水平方向)について検討すると図4~5から、埋土中央部より、やや切土側の歪が大きくなっているがこの傾向は実測と合致する。また、3つのモデルを比較すると、加速度波の場合と同様な傾向を示している。また、地盤の歪の実測結果はないが、管体の歪のデータは得られている。それによると管体歪は $0.5 \times 10^{-5}$ 程度であり<sup>4)</sup>、これらの方法はやや大きくなっている。

### 4. あとがき

地盤の剛性の歪依存性が比較的大きいの丘陵造成地盤で見られるような切土・埋土が複雑に交錯する地盤では、局所的に大きな歪が生じ、その影響が大きくなると思われるが本解析では非線形モデルは線形モデルと比べ大差ない結果となったが、これは入力加速度が小さかったこと、地震波の卓越周期数が比較的、初期剛性の値に対応する地盤の固有周期に近いためであると思われる。なお、南光台の地震記録は東京ガス(株)技術研究所よりお借りした。また本解析に当り、大学院一年、藤森克也氏の御助力に負う所が大であった。ここに謝意を表します。

参考文献 1) 浅野西尾・坂本大規模宅地造成地盤に埋設された導管の地震時挙動観測、土木学会第37回年次講演会講演概観(1982) P601~2 2) 川本林「地盤工学における有限要素解析」P100~3 3) Seed, H.B., Idriss, I.M. "Soil Moduli and Damping Factors for Dynamic Response Analysis" EERC 70-10 (1970) 4) 石見佐武, 浅野: 丘陵造成地(奥平南光台)における地震観測とその解析, 土木学会東北支部地盤工学研究発表会(1983) 5) 東京ガス(株)技術研究所: 泉南光台における導管の地震観測報告書(第2報)

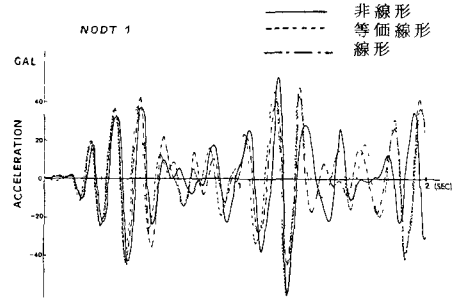


図-3 応答加速度波形(埋土中央部)

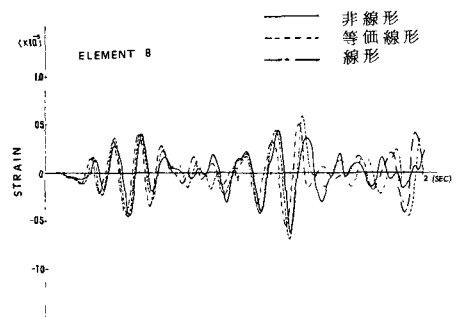


図-4 応答歪(要素B)

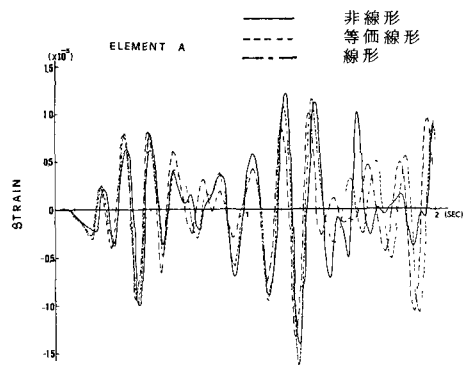


図-5 応答歪(要素A)