

神戸大学大学院 学生員 永井淳一
 金沢大学工学部 正員 北浦 勝
 金沢大学工学部 正員 宮島昌克

1. はじめに

近年、ライフラインは都市生活に欠かせぬ重要なものとなりつつある。従ってその耐震安全性を知り、さらに安全性を高める必要がある。ところで、日本海中部地震においては、地盤の液状化によりライフラインに多大な被害が生じた。その中でも、液状化に伴って生じた地盤の永久変形がライフラインに与えた影響が大きかったと思われる。そこで、本研究では液状化の発生に伴い地盤変形が生じた場合の埋設管路の応答の概要を解明するため、液状化によって引き起こされる地盤変形のモデル化を行い、修正伝達マトリックス法を用いて管路の応答解析を行いその安全性について検討した。

2. 解析モデル

液状化に伴う地盤変形の様子は図-1(a)に示されるようなものであると考えられるので、本解析においては地盤変形を円弧すべり面を用いて図-1(b)に示すように仮定した。従来の円弧すべりと異なる点は、土の強度が低下したところで破壊面が生じすべり易いことを考慮し、液状化範囲の両端とその中間部の液状化地盤の最深部の3点を通る円弧をすべり面としている点である。また、変動土砂は円弧すべり面に沿って一様に回転するものとした。このモデルを用いて埋設管路に働く外力を求め、これを管路に作用させて管路の応答を求めた。ここで管路に働く外力は、応答変位法の考え方により地盤と管路との相対変位と地盤ばね定数との積より求めるものとする。本研究で用いる円弧すべり面モデルと、実際との対応を確かめるために、ここではSeedらがアラスカ地震の際にTurnagain Heightsで発生した液状化による地盤崩壊を詳細に報告している¹⁾それを参考に検討を行った。SeedらによるとTurnagain Heightsにおける崩壊は、レンズ状になった薄い砂質土の層が液状化したために、液状化していない上層部の地盤が崩壊したと報告している。図-2(b)は同地の崩壊方向に沿って作成された地盤断面図であり、図-2(a)は図-2(b)より作成された復元図である。本解析に用いる地盤変形のモデルの妥当性を確認するために図-2(c)に示す様な崩壊による土砂変位のベクトルを求め、その長さを図-2(d)に示した。同図より崩壊が段階的にいくつかのグループに分かれて発生していることが予想されるが、このことは、Seedらの報告と一致している。そこで、最後に発生したとみられる地盤崩壊について本モデルとの対応を検討する。最後の崩壊のときの斜面は図-2(c)に点線で示すようなものであったと予想される。図-2(c)を拡大したものが図-3(a)である。同図をもとに斜面方向の土砂移動量を本解析方法によって求めたものを点線で、また実際に図-3(a)より求めた土砂移動量を棒グラフで、それぞれ図-3(b)に示した。同図より、計算結果のほうがやや大きい値を示すものの計算結果と実際の土砂崩壊が定性的・定量的によく一致しており、本解析モデルは十分妥当であると思われる。しかし、このケースは上述したようにレンズ層が液状化したことによる段丘の崩壊であり、このような場合のほか、地表面まで液状化し緩い傾斜地が地盤変形する場合も報告されている。この場合は、変形地盤の地盤ばね定数が液状化に伴い低下しているものとして取り扱い、地盤変形の形状は円弧すべりでモデル化できるものとして解析を行った。

3. 解析条件および結果

解析結果の一例として、呼び径500mmのダクタイル鋳鉄管が100m連結されており、両端が固定されているとの条件のもとで管路の中央40mが液状化し、地盤変形が生じた場合を示す。ここで斜面の傾斜角を 12° 、安息角を 4° 、液状化深さを8m、管路埋設深さを1.5mとした。その結果、地盤変位量は管軸方向で3.5m、管軸直角方向で最大3.4mとなった。したがって、図-3(b)の約 $1/3$ の値を仮定していることになる。ここで崩壊部の地盤ばね定数を $1/10$ であると仮定すると、管の最大歪で $2 \times 10^{-5}\%$ となり、許容歪の0.12%と比較

すると非常に小さく、また継手引き抜け量、継手回転角についても、それぞれ 0.017cm 、 4×10^{-6} となりそれぞれの許容値の 6cm 、 4° に比較して安全上まったく問題ないことになる。また、液状化する範囲が 10m 、 20m 、 30m 、 40m の場合のおおのの管の最大継手引き抜け量を図-4に示す。同図より 10m の場合の引き抜け量が 0.001cm 、 40m の場合 0.017cm となっていることがわかり崩壊範囲の増大と共に加速的に引き抜け量が増加していることがわかる。以上より、呼び径 500mm のダクタイル鋳鉄管に関しては、 40m 程度の範囲が液状化し、それに伴って地盤が変形しても、破壊の危険性が小さいことが明らかとなった。また本解析で用いたモデルで液状化によって引き起こされる地盤変形を大局的にはあるが再現できることが確認できた。その他の解析結果については講演時に譲る。

参考文献 1) H.B.Seed: Landslides During Earthquakes due to Soil Liquefaction, J.SMFD, ASCE, Vol.94, No.SM5, 1968.

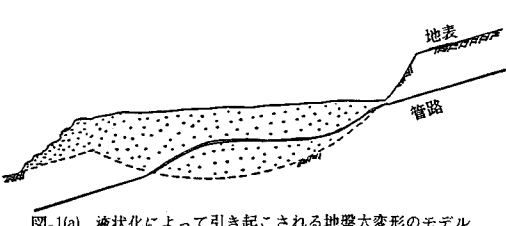


図-1(a) 液状化によって引き起こされる地盤大変形のモデル

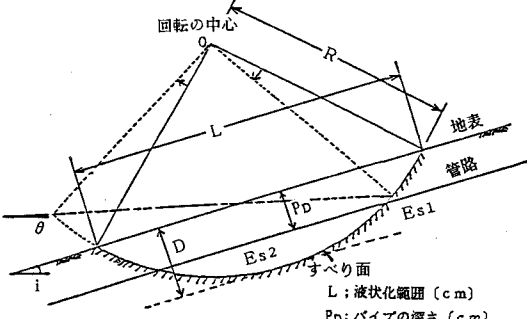


図-1(b) モデルのパラメーター

- L; 液状化範囲 (cm)
- Pb; パイプの深さ (cm)
- D; 液状化深さ (cm)
- i; 斜面傾斜角 ($^\circ$)
- θ ; 安息角 ($^\circ$)
- Es1; 非液状化領域の地盤ばね定数 (kgf/cm)
- Es2; 液状化領域の地盤ばね定数 (kgf/cm)
- R; 回転半径 (cm) (kgf/cm)

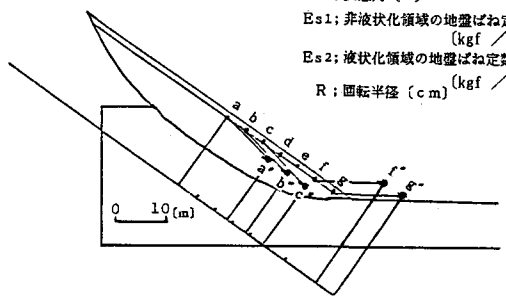


図-3(a) 円弧すべり面を用いた土砂移動量計算の妥当性 (各点の変位ベクトルについて)

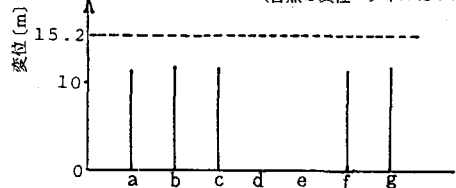


図-3(b) 円弧すべり面を用いた土砂移動量計算の妥当性 (各点の斜面方向の変位量)

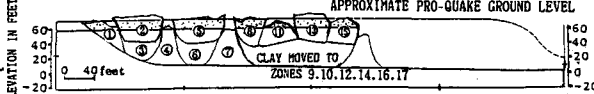


図-2(a) Turnagain Heights における地盤崩壊前の断面図

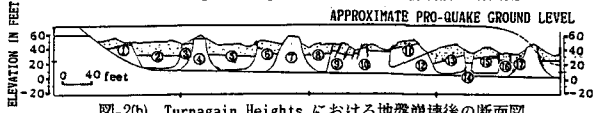


図-2(b) Turnagain Heights における地盤崩壊後の断面図

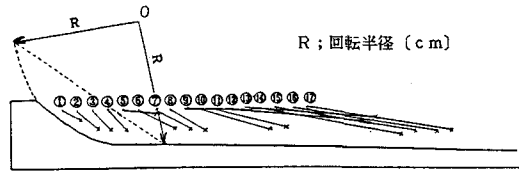


図-2(c) Turnagain Heights における鉛直断面内の各点の変位ベクトル (この鉛直断面に直交する変位は無視している。)

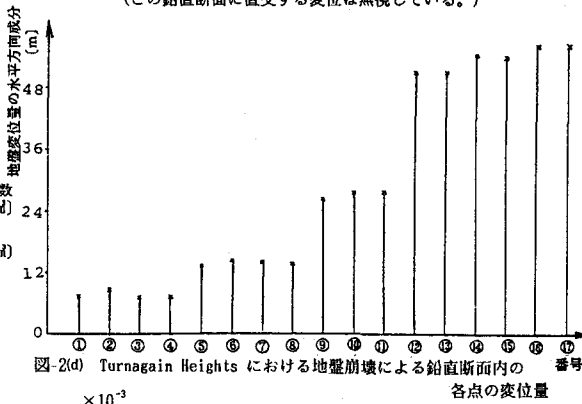


図-2(d) Turnagain Heights における地盤崩壊による鉛直断面内の各点の変位量

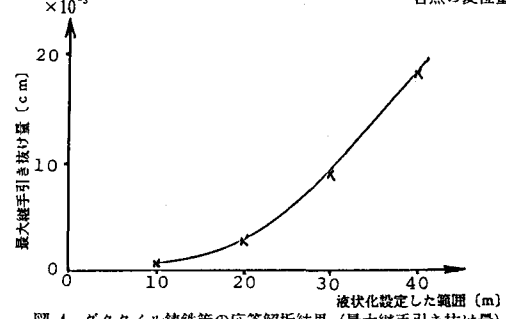


図-4 ダクタイル鋳鉄管の応答解析結果 (最大継手引き抜け量)