

液状化地盤における 通信用地中埋設管路の構造検討について

出口大志¹、奥津大²、本田健一²、又木慎治³

¹ 日本電信電話株式会社 アクセス網研究所 (〒305 茨城県つくば市花畑 1-7-1)

² 正会員 日本電信電話株式会社 アクセス網研究所 (〒305 茨城県つくば市花畑 1-7-1)

³ 正会員 日本電信電話株式会社 福岡支店 (〒812 福岡市博多区博多駅東 3-2-28)

NTTでは、平成6年～8年にかけて、通信用中口径管路の耐震構造技術に関する検討委員会及び耐震性能評価に関する調査研究会により、開発中の新しい通信用地中埋設管路に適した耐震設計法を確立した。

検討する際のポイントとして、各種地震外力についての既往の研究成果の調査を含め、通信用中口径管路の重要性を考慮したうえで、それにふさわしい地震動及び地盤変状に関する設計基準値を設定するとともに、実構造物の設計としての現実性をふまえた耐震安全性評価法を設定し、実際の構造について安全性を確認した。

本稿はその検討成果のうち液状化地盤における設計に関する概要をとりまとめたものである。

Key Words : aseismic design methods , liquefied ground , telecommunication conduit facilities

1. 通信用地中埋設管路の概要

NTTの地下管路はマンホール(MH)からMHまでを直管で繋ぐ設備形態であり、通信ケーブルの分岐は全てMH内で行われる。管路は呼び径により大きく2種類に区分される。75mm管路は土被り1～2m程度の位置に多段多条数積み埋設され、管路1条あたり通信ケーブルを1～2条収容する。中口径管路は呼び径が300～600mmで、土被り1.3～6m程度の位置に埋設され、その中に通信ケーブルを布設するためのスペーサを多条数収容する。

今回、中口径管路に関して耐震性を向上させた新しい構造を開発した。

2. 耐震設計基準値の設定

まず始めに、既往の研究成果を参考に設計の対象とする地震外力の設計基準値を検討した。

過去の地震被害の経験から、地下通信設備被害は地盤変状に起因するところが多い。地盤変状により管路継手が折損、離脱、座屈した際に、収容ケーブルに側圧、せん断力等が作用し、ケーブルを切断することにより通信サービス被害となる。

しかし、他のライフライン設備の耐震設計において地盤変状を定量的に取り扱ったものはほとんどなく、参考にできるものはなかった。

そこで、過去の地震で発生した最大クラスの地盤変状に耐えられることを目指し検討することとした。

表-1に今回検討した地震外力の設計基準値を示し、

次項以下において液状化地盤変状に関する設計の検討内容について説明する。

表-1 地震外力の設計基準値

地震による外力	設計基準値
地震波動	震度階Ⅵ (地盤ひずみ 2.8×10^{-3})
液状化による地盤の水平変位	2m (MHスパン長200m)
液状化による地盤の沈下	50cm
軟弱地盤の沈下	30cm
橋台裏盛土地盤の沈下	50cm
地割れ	20cm

3. 液状化地盤における地盤変状の設計基準値

(1) 液状化による地盤の水平変位

液状化による地盤の水平変位発生時には、MHも移動していることが確認されているため、本設計ではMHの相対変位に着目し検討することとした。

まず始めに、新潟地震による新潟市、日本海中部地震による能代市での航空測量による調査結果を基に、管路軸方向、軸直角方向についてMH-MH間の相対変位をMHスパン長により除し、ひずみを求めた。その結果を図-1、2に示す。なお、軸方向に関しては継手特性が圧縮、引張で異なるため、ひずみについてもそれぞれ圧縮ひずみ、引張ひずみを分けて整理した。

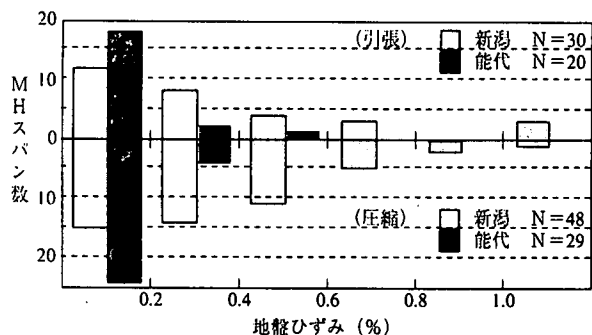


図-1 新潟、能代でのMH間ひずみ（軸方向）

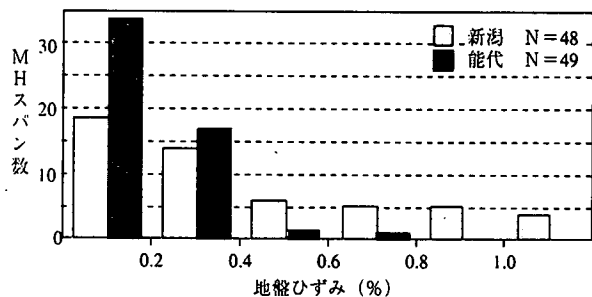


図-2 新潟、能代でのMH間ひずみ（軸直角方向）

これらの図より、MH間のひずみは軸方向、軸直角方向ともに最大で新潟市での1%程度である。

また、新潟、能代の変位分布のモデル化が日米共同研究「地盤変状と地中構造物の地震被害に関する研究」¹⁾の中で鈴木らにより検討されている。それによると、絶対変位量は概ね2m以内となっている。

一方、兵庫県南部地震では埋立地を中心に大規模な液状化が発生し、地下通信管路の一部で被災が確認された。これにより、神戸市管内の被災管路ルート周辺の地盤変位を航空写真測量の手法で測定した結果をもとに、管路ルートに沿って50m毎の等距離で、軸方向、軸直角方向、鉛直方向の絶対変位、ひずみ、相対変位を124区間、6.2kmについて求めた。

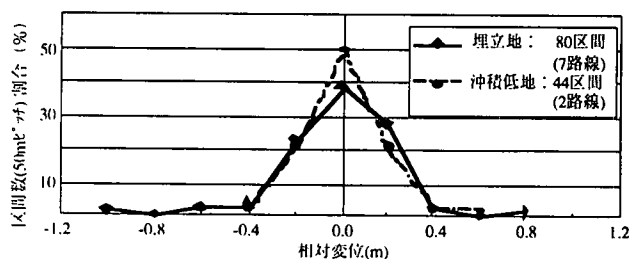


図-3 神戸市管内における管軸方向相対変位分布

管軸方向の50m区間毎の相対変位を図-3に示す。最大変位はポートアイランド中埠頭の護岸近傍に平行に埋設された路線で発生していた。この路線のみ絶対変位で2m以上を記録しており、その他は概ね絶対変位1m以下、ひずみ1%以下となっていた。

以上より、液状化による地盤の水平変位については中口径管路の代表的なMHスパン長200mに対して、相対変位量2mを設計基準値とした。

(2) 液状化による地盤沈下

ここでも、新潟、能代の航空測量結果を用いた。図-4は沈下量と液状化層厚の関係を示したものである。この結果により、ほとんどの沈下量が50cm以下であることがわかる。信濃川堤防付近では1mを超える箇所もあるが、中口径管路は河川堤防付近に設置されることはほぼ無いため考慮しないこととした。

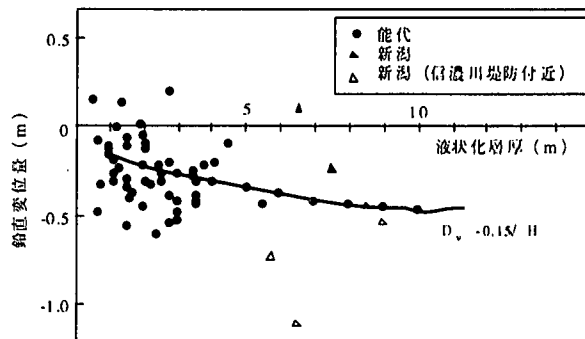


図-4 液状化層厚と鉛直方向変位量の関係

同様に、前述の神戸市管内における被災管路ルート周辺地盤調査からも鉛直方向の絶対変位量は50cm程度という結果が得られている。

4. 評価基準値の設定

地震波動については、許容応力度設計法の範囲内での評価を基本とし、常時許容応力の1.5倍とした。

管路は継手部に伸縮しろと回転性能及び離脱阻止機構を有し、変位を吸収する構造であり、本体より継手部が弱点となる。これにより、地盤変状については、管路継手及びMHとの取付部での発生断面力を対象に、終局的な耐荷性能により評価を行うこととし、基準値を実物実験より得られる限界値とした。

5. 基本解析モデル

解析には地中管路の擬似静的非線形地震応答解析プログラムERAUL²⁾を用いた。

基本解析モデルの要点を以下に述べる。

解析範囲はMHスパン長200mの1区間とし、両端の境界条件としてMHは回転、変形をせず剛体的に地盤につれて動く固定端とする。

管は弾性は要素とし、管路継手及びMHとの取付部ともに、軸方向、回転成分の非線形特性を有する継手で接続する。継手は実物実験結果及び設計スベックに基づきバイリニア型の継手特性を設定する。

管体を拘束する軸方向、軸直角方向の地盤ばねは、既往の種々の実験例や研究成果を参考に、完全弾塑性型のバイリニアモデルを基本とする分布ばねとする。以下の説明において添字を下記の様に設定する。

- k：単位面積あたりの地盤反力係数 (kgf/cm³)
- q：単位面積あたりの降伏後地盤抵抗力 (kgf/cm²)
- K：単位長さあたりの地盤反力係数 (kgf/cm²)
- Q：単位長さあたりの降伏後地盤抵抗力 (kgf/cm²)
- δ：地盤の降伏変位(cm)

下添字-1 L:軸方向, F:軸直角方向

下添字-2 0:一般地盤, 1:液状化地盤

まず q_{L0} については, 周囲の土のせん断強度を超えたときの土の内部摩擦による抵抗であると考え, 「下水道推進工法の指針と解説:1988年版」³⁾ の管と土の摩擦係数を採用して次式により設定する。

$$q_{L0} = \gamma H \tan(\phi/2) \quad (1)$$

k_{F0} は「道路橋示方書」⁴⁾ のくいの横方向地盤反力係数の算定式を用い次式により設定する。

$$k_{F0} = \alpha E_0 D^{3/4} \quad (2)$$

$$E_0 = 28 \text{ N}, \alpha = 0.2$$

管の単位長さあたりでみた場合, 式(3), (4)の関係が成り立つと考える。

$$K_{L0} (= \pi D k_{L0}) = K_{F0} (= D k_{F0}) \quad (3)$$

$$Q_{L0} (= \pi D q_{L0}) = Q_{F0} (= D q_{F0}) \quad (4)$$

k_{F1} , q_{F1} については既往の種々の実験, 研究成果^{5)~11)} を要約すると下記のとおりであり, $k_{F1} = k_{F0}/10$, $q_{F1} = 0.2 \text{ kgf/cm}^2$ のように設定する。

- ① 完全降伏型のバイリニアモデルで近似できる。
- ② 液状化地盤の状態により変化するものの, q_{F1} はたかだか 0.2 kgf/cm^2 程度(図-5参照)である。
- ③ 液状化地盤は粘性流体の挙動を示し, 地盤抵抗力は拘束圧に関係なく一定の傾向がある。
- ④ 地盤抵抗力の低下にしたがって地盤反力係数も $1/10$ 以下に低下する。

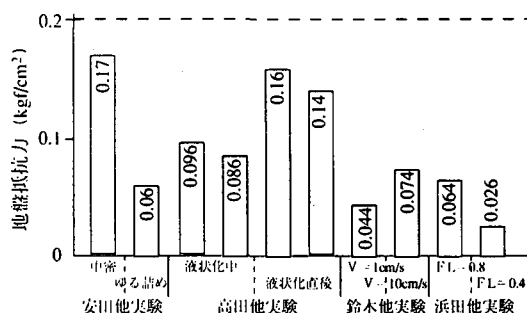


図-5 液状化地盤での軸直角方向地盤抵抗力

軸方向については既往の研究事例が少ないため, $q_{L1} = q_{F1}/\pi$, $k_{L1} = k_{F1}/\pi$ のように設定する。

6. 解析に用いる地震外力モデル

(1) 液状化による地盤の沈下

MH 際から管路中央までの100mの範囲の段差状の不等沈下を想定する。

(2) 液状化による地盤の水平変位

a) 軸方向水平変位

図-6に示すような傾斜地盤での水平変位として, その中のMH-MHの1区間(200m)を取り出し, 最大相対変位量 2 m を想定する。MH もモデル化し, 剛体で, 管路と同等の地盤ばねにより拘束され, 地盤によって強制変位をうけるものとする。

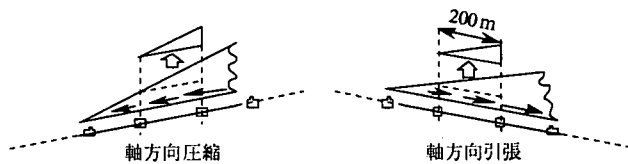


図-6 軸方向水平変位のイメージ

このとき, 片端MHは地盤に対して相対的に固定, 他端MHは相対的に移動させる条件となる。

b) 軸直角方向水平変位

軸方向と同様にMHスパン200mの範囲で考えるが, 軸方向と同じく片方のMH端で最大変位量 2 m となるモデルと, 管路中央部で最大変位量 2 m となるモデルについて検討を行うこととした。このとき, 管路中央部で最大変位量となるモデルでは両端MHは地盤に対して相対的に固定させる条件となる。

c) 兵庫県南部地震を考慮した水平変位モデル

図-7にポートアイランドの中埠頭で測定した管軸直角方向の絶対変位の例を示す。変位分布は様々な間隔で凹凸を繰り返しており, これは他の路線についても同様であった。そこで, これらの絶対変位分布について, 200mを一区間としてモデル化を検討した結果, 図-8に示す7種類のモデルが得られた。

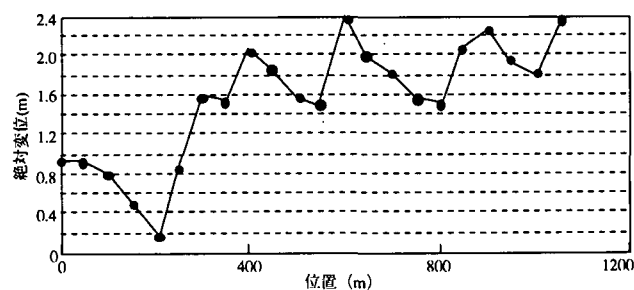


図-7 ポートアイランドの中埠頭における管軸直角方向の絶対変位測定例

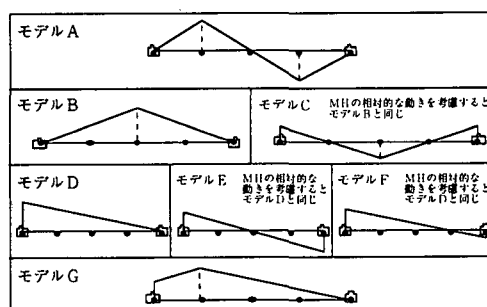


図-8 兵庫県南部地震での液状化地盤の水平変位モデル

両端MHを可動端とし, 相対的な動きをすることにより管路に変位が作用すると考えると, モデルは A, B, D, G の4種類に集約される。モデルB, Dは上記a), b)で検討したモデルに相当する。また, モデルA, Gについては, 測定データにより, ひずみが1%を超えるものはモデルAのみであった。

以上より, 軸方向, 軸直角方向についてモデルAにおいて変位量 2 m としたモデルを追加した。

7. 応答解析結果

ここでは呼び径300mmの解析結果を示す。

(1) 液状化による地盤沈下(沈下量50cm)

応答は段差境界部の局所的な応答にとどまっていることから、モデルの沈下範囲は、ある程度の一般性をもつとともに、管路部とMH際を同時に評価できることが確認された。応答は継手の回転余裕により過大な曲げモーメントの発生が抑えられている。

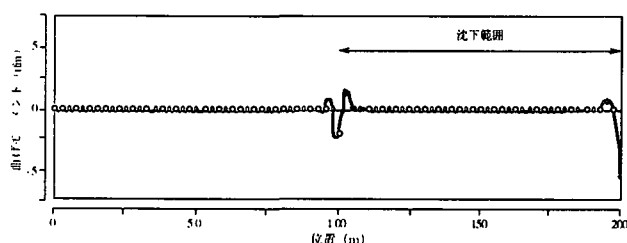


図-9 液状化沈下による曲げモーメント分布

(2) 液状化による地盤の水平変位(相対変位量2m)

検討したいくつかのモデルのうち、ここでは最も厳しい応答を示したモデルでの解析結果を示す。

a) 軸方向水平変位

引張変位については、兵庫県南部地震を考慮したモデルの中央引張となるケースにおいて最大応答がでている。継手伸びしろ分を超える変位に対して引張軸力が発生し、その両端では圧縮軸力となっている。MHとの取付部の伸縮しろの効果により、圧縮軸力のピークは管路部で発生している。

圧縮変位については、片端MH位置で地盤変位が最大となるモデルにおいて区間中央で最大応答がでている。これは継手に縮みしろがないためである。

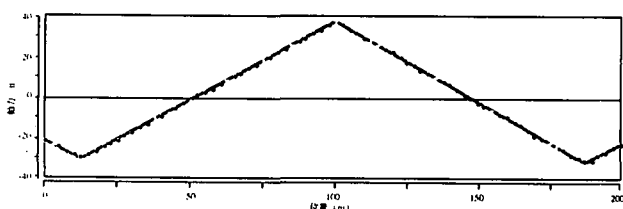


図-10 軸方向水平変位(引張)による軸力分布

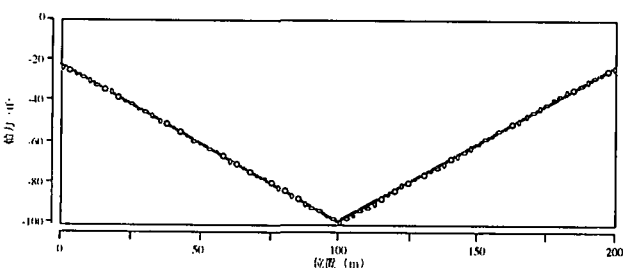


図-11 軸方向水平変位(圧縮)による軸力分布

b) 軸直角方向水平変位

兵庫県南部地震を考慮したモデルで最大応答がでている。地盤変位のピーク位置とMHとの取付部に

において応答が卓越しているが、継手回転余裕の範囲内であり、発生する曲げモーメントは小さい。

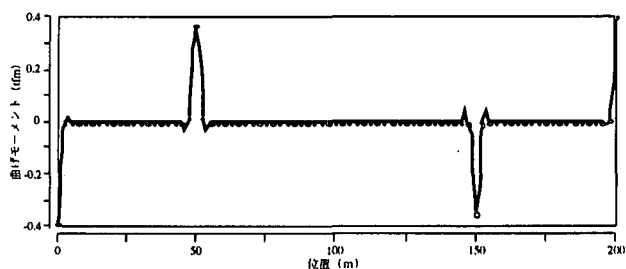


図-12 軸直角方向水平変位による曲げモーメント分布

6. まとめ

中口径管路の耐震性を解析評価した結果、その構造特性を発揮し、設計基準値を全て満足することを確認した。しかしながら、設計基準値や解析に用いたモデル等については、現時点における既往の研究成果によるものであり、その一部ははまだ研究途上にある。今後、地盤変位のメカニズムの解明が進み、変状量や変状パターンの予測がより正確になることにより、これらを反映させることが考えられる。

本検討を進めるにあたり、冒頭の委員会及び調査研究会にご協力いただいた諸先生方並びにメンバー各位に深く感謝の意を表する次第である。

参考文献

- 1) (財)地震予知総合研究振興会：(日米共同研究)地盤変状と地中構造物の地震被害に関する研究,1990.
- 2) 高田至郎：ライフライン地震工学,共立出版,pp.146-151, pp.67-72,1991年9月.
- 3) (社)日本下水道協会：下水道推進工法の指針と解説(1988年版),昭和63年10月.
- 4) (社)日本道路協会：道路橋示方書・同解説Ⅳ下部構造編,昭和55年5月.
- 5) 片桐,高田,田邊：液状化後地盤沈下に対する地盤バネ係数推定実験と管路挙動解析,土木学会第42回年次学術講演会概要集,Ⅰ-496,1987.
- 6) 規矩,安田,吉田：液状化による埋設管の直角方向地盤反力の減少,土木学会第44回年次学術講演会概要集,Ⅲ-273,1989.
- 7) 高田,片桐,孫,山下：液状化地盤の沈下を受ける地中管路の挙動に関する研究,土木学会論文集,第422号Ⅰ-14,1990.
- 8) 鈴木,矢野,佐藤,三浦：埋設管に作用する液状化地盤の抵抗力特性,土木学会第48回年次学術講演会概要集,Ⅰ-129,1993.
- 9) 土居,浜田,湯浅：液状化している砂の粘性係数に関する要素実験,土木学会第48回年次学術講演会概要集,Ⅲ-182,1993.
- 10) 宮島,北浦,細野：液状化過程における地中埋設管の管軸方向地盤ばね定数に関する実験的考察,土木学会第42回年次学術講演会概要集,Ⅰ-495,1987.
- 11) 安田 他：地盤の液状化がライフラインに与える被害の研究,平成元年度文部省科学研究費(一般研究(B))成果報告,平成2年3月.