

地下通信設備に対する地盤変位の影響に関する検討

NTT 又木慎治^{*}、奥津 大^{*}
本田健一^{*}、中野雅弘^{*}

平成7年兵庫県南部地震による神戸市地域の地下通信設備ルート周辺の地盤の永久変位を、105路線延べ47kmにわたり、マンホール位置などを基に航空写真測量の手法で測定した。さらに、ポートアイランドと灘区内の12路線で7kmにわたり50mピッチで絶対変位・相対変位・ひずみを軸・軸直角・鉛直の各方向について測定した。これらの変位量を、各路線が設置されている地域を地盤条件に応じて3種類に分類して、地盤種別ごとに比較した。これらの測定結果を基に、地盤変位と地下通信設備の被災との関連性について検討を加えるとともに、地下通信設備の耐震性を評価するためにこれまで採用してきた地盤変位外力モデルの妥当性の検証及び新たなモデルの設定を行った。

1. はじめに

平成7年兵庫県南部地震によって、通信設備は設備センタ（本文では以下ビルと呼ぶ）とお客様端末を結ぶアクセス系通信設備を中心に大きな被害を受けた。アクセス系通信設備のうち、地下通信設備の被災率は架空通信設備のそれと比較して小さく、今回のような地震災害に対して地下通信設備の方が信頼性が高いことが示された。

今回の地震では、本土側で震度階Ⅶの激震地域が分布し、ポートアイランドや六甲アイランドなどの埋立地では大規模な液状化が発生した。地下通信設備の被災率は、前者よりも後者で大きいことが調査により判明した。設備の被災は、地盤条件・外力条件・設備条件などによって決まると考えられる。

ここでは、航空写真測量による地下通信管路周辺の地盤の永久変位の調査を基に、地盤条件および設備被災と地盤変位の関係を検討するとともに、地下通信管路の耐震設計に用いる地盤変位外力モデルの設定を行った結果を報告する。

キーワード：兵庫県南部地震、地下通信管路
地盤変位

・ NTTアクセス網研究所 0298-52-2543

2. 地盤変位測量とその対象地域

平成7年兵庫県南部地震によって被害を受けた神戸市管内の地下通信設備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。その際、精度の高いデータの取得をめざし、地震後基準点座標のGPS測定結果等を取り入れた。また、写真測量では、垂直方向の誤差が大きいため、簡易水準測量を実施した。測定媒体として用いた航空写真の概要を表2-1に示す。

地盤変位は、マンホール（以下MH）及びMH中間点の周辺で4点ほど航空写真測量で直接測定し、このデータから管路図のMH等座標について補完（内挿）した二次データを算出して、これをベクトルデータとして得た。周辺の目標物としてはMH自体の他、路面表示、電柱、フェンス、構造物上の点などを選定した。変位量の算出方法を図2-1、図2-2に測定出力例を示す。

測定対象地域の概要を表2-2および図2-3に示す。

航空写真測量によって得られたMHおよびMH中間点の絶対変位から2点間の相対変位、さらに相対変位を区間長で除して区間の地盤ひずみを算出した。想定される測量精度を表2-3に示す。

表2-1 測定媒体概要

	地震前	地震後
測定媒体	航空写真	
縮尺	1/12,500	1/8,500
撮影年	1990及び1993	1995

表2-2 対象地域・区間の概要

ビル名	路線数	MH点数	中間点数 (算出)	延長(m)
港島	11	82	75	8,369
神戸	26	109	101	6,315
葺合	27	173	149	12,828
灘	17	126	108	7,938
御影 (含む六甲I)	24	140	124	11,681
合計	105	630	557	47,131

表2-3 測量精度

	水平方向	鉛直方向
絶対変位(cm)	21.6	18.7
相対変位(cm)	11.3	15.0

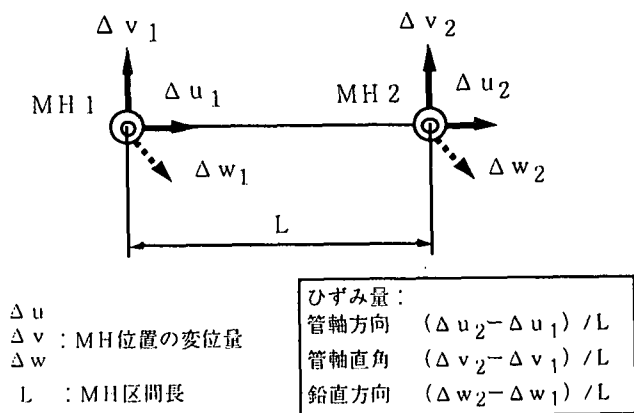


図2-1 変位の算出方法

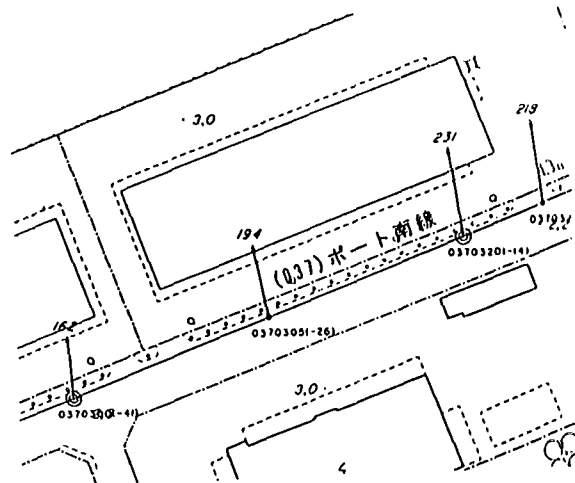


図2-2 地盤変位の測定出力例

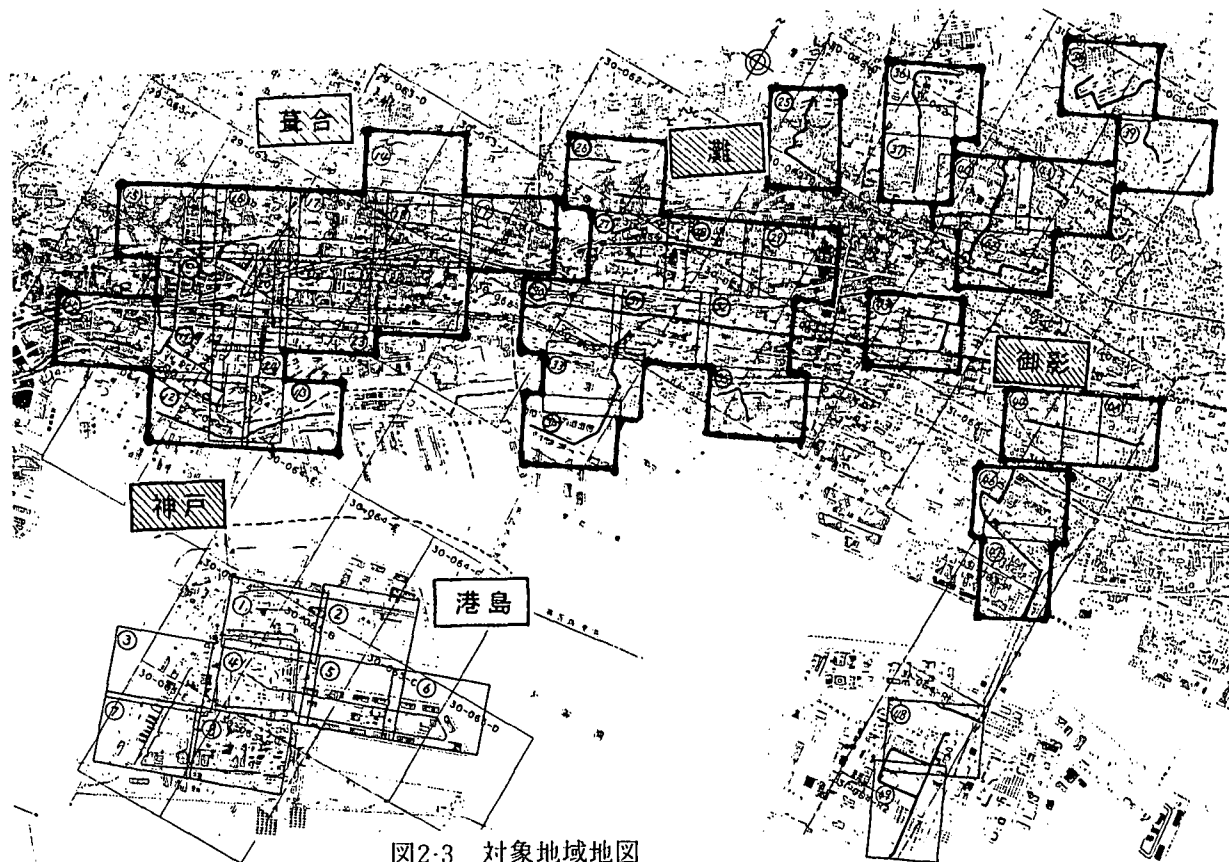


図2-3 対象地域地図

3. 地下通信設備被害と地盤変位

航空写真測量より得られた地盤変位と地下通信設備被害とを比較し、相関性の検討を行った。

(1) ビル別地盤変位の比較

地盤変位測量を実施した地域は図2-3に示した通りであるが、ここで各ビルにおける地盤変位量について比較を行った。各ビル内で調査を行った地下通信設備ルート上の地形構成としては、港島が埋立地、他のビルはそれぞれ埋立地、激震域を含む沖積低地、および山側の丘陵地と複数の地形にまたがっている。図3-1～2にそれぞれのビルにおける水平方向、鉛直方向の絶対変位量の分布と表3-1にその平均値を示す。水平方向変位量についてはポートアイランドにある港島ビル内で大きな変位量が発生していることがわかる。他のビルについても一部大きな変位量が発生しているが、これらはいずれも埋立地で測定されたものであり、液状化による影響と考えられる。鉛直方向については、葺合ビル内で0.4～0.6mの変位量が他のビルと比較して多いことがわかる。変位量の平均値を比較してみると、水平方向については港島がかなり大きな変位が発生したことを示しているが、鉛直方向については他のビルとほぼ同じぐらいの変位にとどまっている。

前述したとおり、港島以外の4ビルは埋立地を含む複数の地形上に設備ルートが分布しているため、単純なビル内の変位量の比較はできないが、液状化が発生した埋立地で、大きな地盤変位が発生していることは確認できた。また地形別の地盤変位については、別途調査を行っており、その内容については後で述べることとする。

(2) 測定区間距離と地盤変位の関係

地下通信設備の耐震性を考える上でMH区間はひとつの評価単位として考えられる。MHは地下通信ケーブルの中継点、ルートの方向転換等の役割を担うものだが、その区間距離は今回測量を実施した地域では平均で80～100m程度である。地下管路の両側にあるMHとMHの相対的な動きで地下管路にどの程度の地盤変位またはひずみが作用しているのかわかれば、地下管路の耐震設計および評価に役立つ

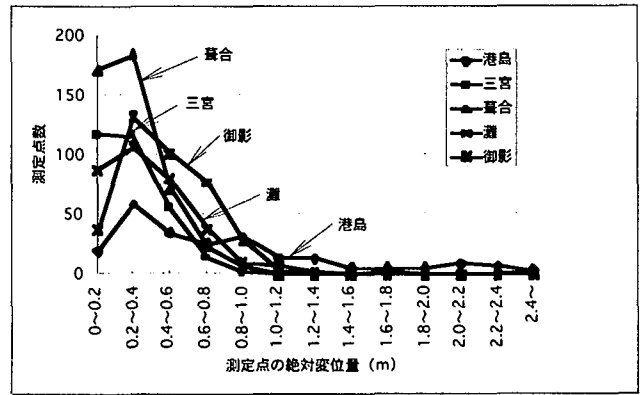


図3-1 各ビルの水平方向絶対変位量分布

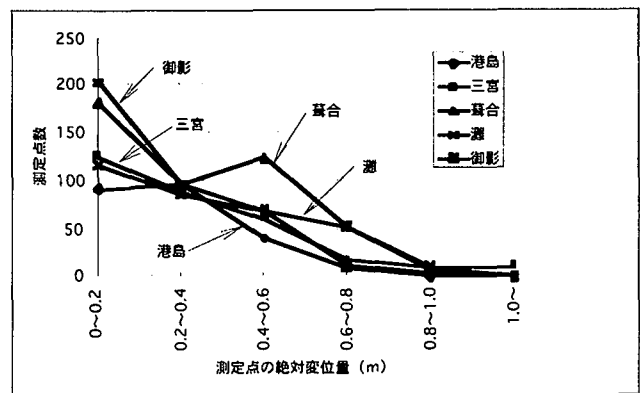


図3-2 各ビルの鉛直方向絶対変位量分布

表3-1 各ビルにおける平均地盤変位量 (cm)

ビル名	水平方向	鉛直方向
港島	81.1	26.3
三宮	33.5	33.0
葺合	30.0	32.6
灘	38.5	34.4
御影	46.9	24.3

ることが可能と考えられる。

図3-3～5は港島における測定区間距離 (MH-MH区間およびMH-MH中間点間) と地盤ひずみ (測定点間の相対変位を区間距離で除したもの) の関係を管軸方向、管軸直角方向、鉛直方向について、それぞれ示したものである。

管軸方向については、一部大きなひずみ (たとえば約3%) が発生しているが、いずれも測定区間距離の短いところで発生している。測定区間距離が長くなるにしたがい、そのひずみ量は収束しており、測定区間距離100m以上ではほとんどが1%以内 (測定点間の相対変位にすると1m以下) の範囲に収まっている。軸直角方向についても、管軸方向の場合

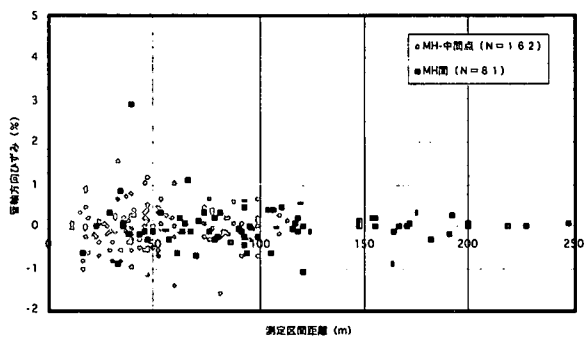


図3-3 管軸方向地盤ひずみと測定区間距離 (港島)

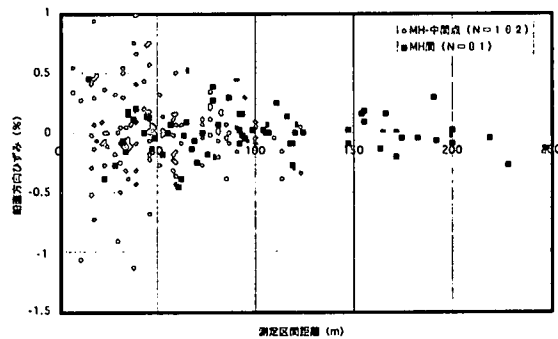


図3-5 鉛直方向地盤ひずみと測定区間距離(港島)

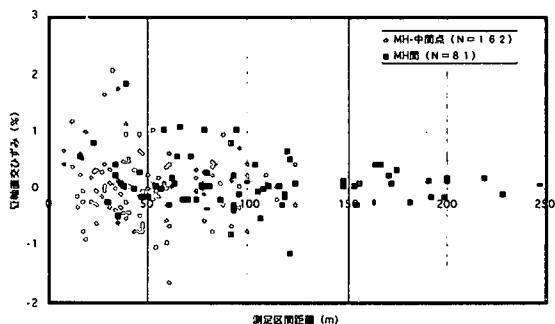


図3-4 管軸直角方向地盤ひずみと測定区間距離 (港島)

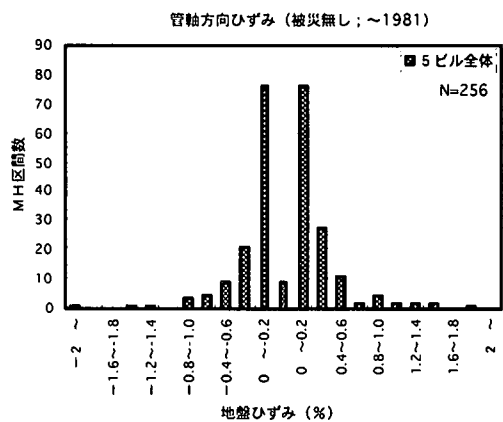


図3-6 被災なし管路 (伸縮性なし) と地盤変位分布

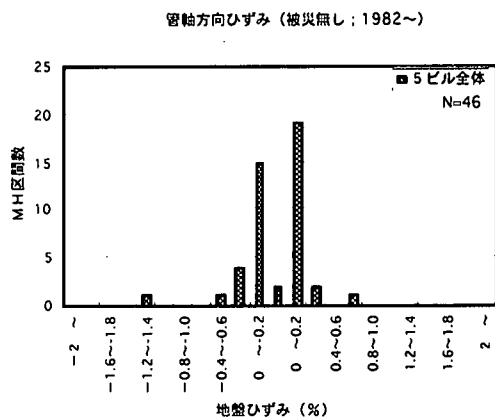


図3-8 被災なし管路 (伸縮性あり) と地盤変位分布

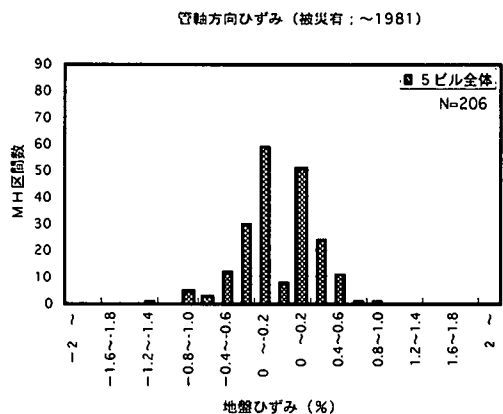


図3-7 被災あり管路 (伸縮性なし) と地盤変位分布

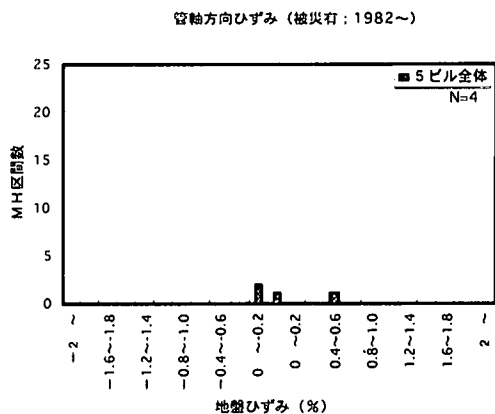


図3-9 被災あり管路 (伸縮性あり) と地盤変位分布

と同様のことがいえる。ひずみ量は、測定区間距離が50mを越えるぐらいから1%程度（測定点間の相対変位にすると50cm以下）の範囲内に収まっている。鉛直方向の場合、測定区間距離が50mを越えるぐらいからひずみ量が0.5%程度の範囲内に収まっている。これらの傾向は他のビルについてもほぼ同様のことが言える。

(3) 管路設備被災と地盤変位の関係

次に、図3-6～9に、管路設備別の被災の有無と管軸方向の地盤ひずみとの関係を示す。管路設備は、1981年以前の伸縮性のない継手を有するものと1982年以降の伸縮性のある継手を有するものとに分けられる。

管路設備別でみると、伸縮性のある管路は被害が少ないことがわかる。しかし、被災有無別でみると地盤ひずみ分布の有意差は見受けられない。これらの要因としては、設備不良が地震被害によるものか否かの曖昧性、地盤ひずみの性質（地盤変位が小さくても測定区間が長くなればひずみは大きくなる）等が考えられる。いずれにしても、さらに詳細な分析が必要と考えられる。

4. 地下通信設備評価に用いる地盤変位のモデル化

管路被災と地盤変位との関係をより詳しく検討するために、地盤変位測定を行った神戸市内105路線の地下通信設備のうち、地形構成も考慮して、ポートアイランドおよび灘区内の12路線について地下通信設備ルートに沿って、50m等距離毎の絶対変位、ひずみ、相対変位を軸方向・軸直角方向・垂直方向についてそれぞれ求めた。連続した路線を等距離測定を行った理由としては、MH区間距離のばらつきによる地盤ひずみのばらつきを除去できるとともに、地下管路の耐震設計および評価に用いる地盤変位モデルの作成が容易になると考えたためである。

(1) 地盤別データの概要・統計データ

対象路線が通る地域を「埋立地」「丘陵地」「沖積低地」の3地域に分類し、地域毎の路線の絶対変位、ひずみ、相対変位の各量を統計的に検討した。そのデータの概要を表4-1に示す。

表4-1 地盤別のデータ概要

	路線数	測点数	区間数	総延長 (km)
埋立地	7	87	80	4.00
沖積低地	2	46	44	2.20
丘陵地	3	21	18	0.90
計	12	154	142	7.10

(2) 地盤変位の比較

図4-1に各地形における50mピッチで測定した地盤の絶対変位および相対変位の平均値を示す。絶対変位は軸直角方向で埋立地で大きくなっている。埋立地については特にポートアイランド中埠頭の路線で大きな値を記録した。この路線は護岸から近く、平行に埋設されていたため、軸直角方向に最大約2.4mの変位を記録した。また、2.0m以上の変位を記録したのはこの路線のみである。

その他の地域・方向については概ね1.0m(絶対値)以下の最大変位となっていた。

相対変位についても全般的に埋立地で大きい値を示している。図4-2に各地形の管軸方向相対変位の度数分布を示す。この図からも埋立地で大きな変位が発生していることがわかる。

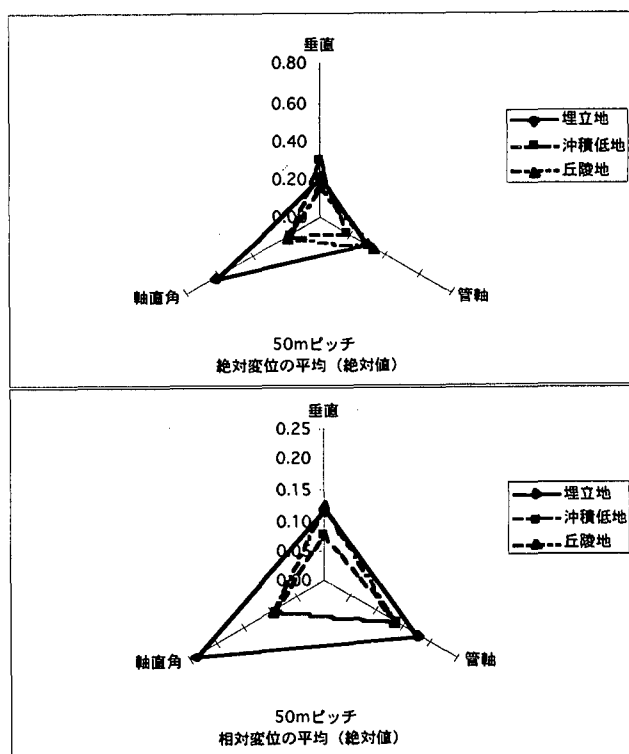


図4-1 各地形の絶対変位・相対変位の平均値比較

なお、地盤ひずみについては、埋立地の水平2方向及び沖積低地の管軸方向以外は、概ね1%以下のひずみとなっていた。最大値は約2.5%で、ポートアイランド中埠頭の路線で記録されていた。

(3)地盤変位のモデル化

NTTでは、平成6年度に中口径管路設備の耐震性評価を実施した。過去発生した地震による地盤変状を参考に、当時としては最大と考えられる地盤変位量を設定し、地盤変位モデルとした。ここでは、今回得られた地盤変位を基に平成6年度における地盤変位モデルの妥当性について検証を行った。

図4-3にポートアイランドの中埠頭で測定した路線の管軸直角方向の絶対変位の例を示す。路線の長さはおおよそ1kmである。見てわかるように波形のように凹凸を繰り返した形状を示している。またその凹凸を繰り返す長さも長いものと短いものがあるように見える。他の路線、方向についても同様に凹凸の形状を繰り返していた。そこで、これらの地盤変位を波形として捉え、地盤変位の波長と振幅で分類し、地盤変位のモデル化を検討した。

中口径管路設備で用いるMH区間は平均200mである。そこで4スパン5点に分けて地盤変位を正弦波にモデル化すると、図4-4に示すような7種類のパターンが考えられる。両側にあるMHはいずれも可動端であり、相対的な動きをすることにより地下管路に地盤変位が作用すると考える。この図4-4は波長200、400、600、800mで考えた場合の地盤変位モデルを表している。それぞれの最大振幅には、地盤変位測定結果から50、100、150、200mピッチでの相対変位を統計処理し、その分布を正規化した確率密度99%の上限値を採用することとした。ただし、相対変位データの数やばらつきの関係で最大値が99%上限値よりも小さい場合には、相対変位量の最大値を最大振幅として採用した。(図4-2参照)なお、前述したようにMHは相対的な動きをするため、地盤変位モデルのパターンbはパターンcと同じモデルであり、パターンdとパターンfはパターンgと同じモデルであると考えられることができる。したがって、考えられるパターンとしては最終的にパターンa、c、e、gの4種類になる。これらのパターンと、図4-5に示した平成6年度に中口径管路設備耐震性評価に

用いた地盤変位モデル(液状化地盤)との比較を行った。そこで、地盤変位がもっとも大きかった埋立地で地盤変位外力の各パターンについて検討を行った。表4-2に各方向の各パターンにおける最大振幅を示す。

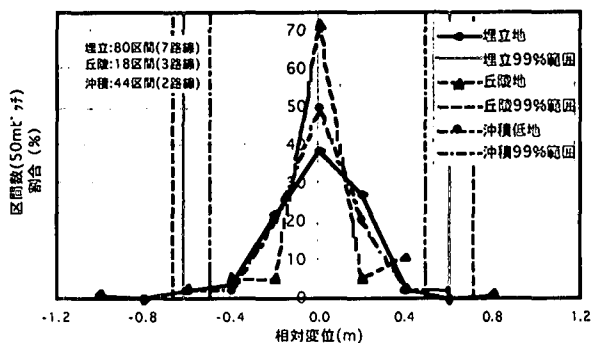


図4-2 管軸方向相対変位度数分布(50mピッチ)

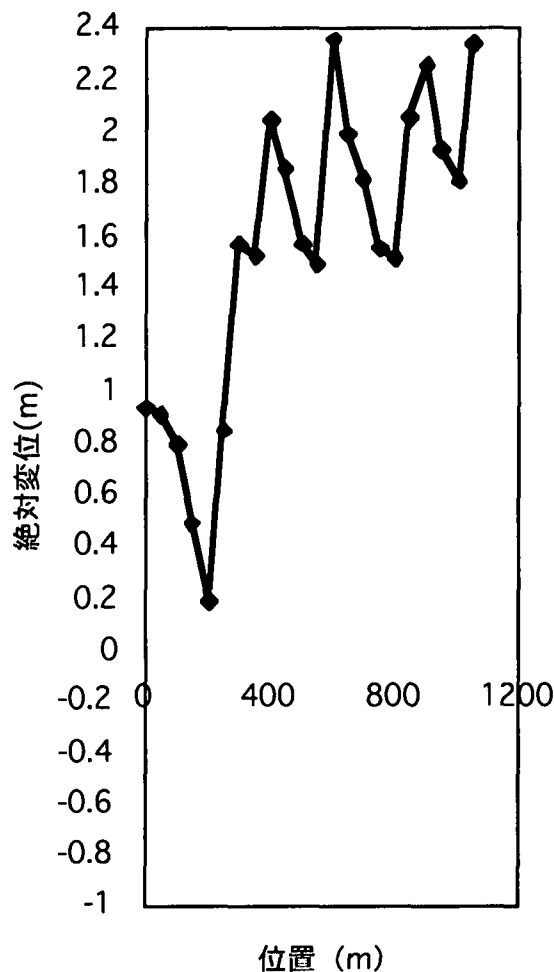


図4-3 ポートアイランド中埠頭における絶対変位測定例(管軸直角方向)

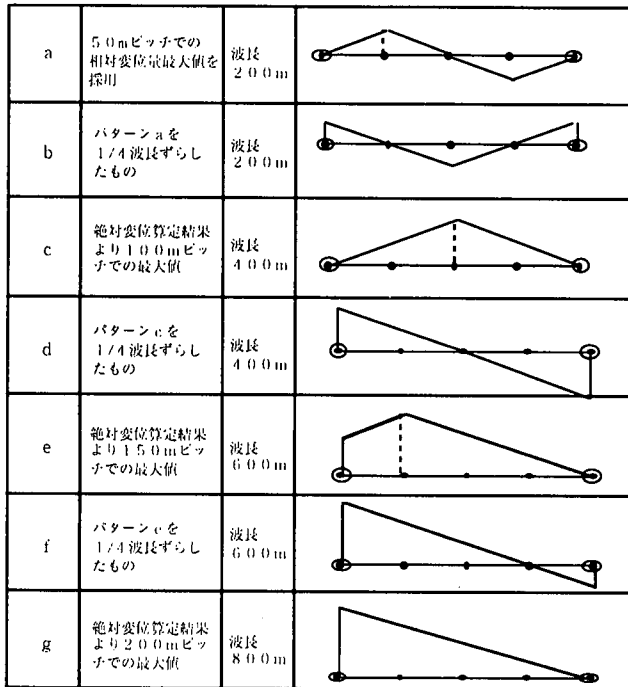


図4-4 今回検討した地盤変位モデル

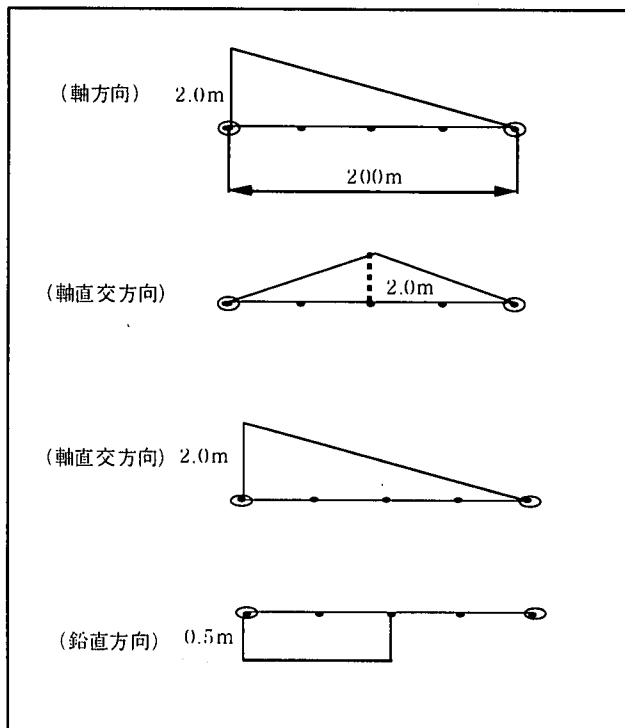


図4-5 平成6年度の中口径管路設備耐震性評価に
用いた地盤変位モデル（液状化地盤を想定）

表4-2 今回検討した地盤変位モデルの設定値

方向	パターン	波長 (m)	最大 振幅 (m)	備考
軸 方 向	a	200	0.61	50mピッチ相対 変位99%上限値
	c	400	0.84	100mピッチ相対 変位99%上限値
	e	600	0.93	150mピッチ相対 変位99%上限値
	g	800	0.96	200mピッチ相対 変位99%上限値
軸 直 角 方 向	a	200	0.91	50mピッチ相対 変位99%上限値
	c	400	1.25	100mピッチ相対 変位99%上限値
	e	600	1.41	150mピッチ相対 変位99%上限値
	g	800	1.49	200mピッチ相対 変位99%上限値
垂 直 方 向	a	200	0.40	50mピッチ相対 変位99%上限値
	c	400	0.57	100mピッチ相対 変位最大値
	e	600	0.56	150mピッチ相対 変位最大値
	g	800	0.51	200mピッチ相対 変位最大値

(4)地盤変位モデルの比較

・管軸方向

管軸方向については、a、c、eのパターンが平成6年度のパターンと異なっている。aは両端のMHから50mの区間で引張（又は圧縮）、中間の100mで圧縮（又は引張）が作用するパターンである。また、このパターンでは波長に対する最大振幅の比が1.22%で前回の1%を上回っている。gパターンはすでに平成6年度モデルと同じであるが、その最大振幅は平成6年度モデルを下回っている。c、eのパターンは最大振幅と1/4波長の長さで除した勾配で比較すると1%を下回る。したがって、aパターンを除けば、平成6年度に使用したモデルを超える外力は今回測定したエリアでは発生していないことがわかった。

・軸直角方向

軸直角方向については、c、gパターンが平成6年度のモデルと同じであるがいずれもその外力の大きさとしては下回っている。管軸方向と同様にaパターン以外は平成6年度のモデルを超える外力は発生していない。

・垂直方向

垂直方向については、いずれのパターンも平成6年度の評価パターンと異なるが、相対変位量の設定値は前回のパターンの0.5mと同程度かそれ以下であった。

5.おわりに

神戸市地域の地下通信設備ルート周辺の地盤変位を航空写真測量の手法を用いて測定を行い、地盤変位と地盤条件、地下設備被災との相関性について検討を行った。その結果、液状化が発生した埋立地を中心に大きな地盤変位が発生していることがわかった。

また、地下設備被災との相関性については伸縮性のある管路と伸縮性のない管路で被災傾向の違いは確認できたが、地盤変位分布との明確な相関性は見られず、今後さらに検討が必要である。

さらに一部の路線を抽出して、等距離で地盤変位を測定し、地盤変位のモデル化を検討し、4種類の地盤変位モデルを作成した。またこれらのモデルを用いて、平成6年度にN T Tで実施した中口径管路設備耐震性評価で用いた液状化地盤の地盤変位モデルと比較を行った。その結果、一部のモデルを除き、外力の大きさは平成6年度に用いたモデルを下回ることがわかった。

今後は地形別の地盤変位分析、地盤変位モデルについてさらに詳細な検討を進めるとともに、中口径管路設備などの地下通信設備の耐震性評価を解析にて検討する予定である。

なお本検討を進めるにあたり、ご指導いただいた神戸大学高田至郎教授、東洋大学鈴木崇信講師に対し、ここに感謝の意を表す次第である。

参考文献

- 1) 又木、出口他：通信用中口径管路設備の耐震設計方法の検討、構造工学論文集 Vol.42A P685-P696 1996年3月
- 2) 又木、本田：阪神・淡路大震災における地下通信管路の被災分析、第1回阪神・淡路大震災に関する学術講演会、P279-P282、1996年1月

INVESTIGATION ON THE EFFECT OF GROUND DISPLACEMENTS ON THE UNDERGROUND TELECOMMUNICATION FACILITIES

Shinji MATAKI, Masaru OKUTSU
Ken-ichi HONDA, Masahiro NAKANO

Ground displacements along the underground telecommunication facility routes in Kobe city due to 1996 Hyogo-ken Nanbu Earthquake has been measured by aerial photograph survey. The amount of measured length was 47 km. The objects of this investigation are to investigate the relationship between ground condition, facilities damage and ground displacements, and study of ground displacement model affected on underground telecommunication facilities.