

水道管路の地震被害と埋設管路の耐震設計法について

日本上下水道設計（株） 正会員 市川 浩

日本上下水道設計（株） 正会員 大嶽公康

1. はじめに

水道をはじめとする、ガス・下水・共同溝など線状地中構造物の耐震設計は、地震時の挙動が地盤変状に支配されるため、従来から応答変位法が用いられている。応答変位法は一様地盤中に構造物が埋設されていると仮定した弾性床上の梁理論に基づいており、動的解析等に比べ簡便な手法であることから、実務的な計算法であるが、計算結果に大きく影響を及ぼす地盤ばねや地盤変位分布、波長などの算定方法に課題があると言われている¹⁾。

本研究では、兵庫県南部地震における水道管路の被害と応答変位法による継手構造管路の計算値を比較するとともに、応答変位法における重要な入力条件である地盤速度振幅及び変位振幅について考察した。

2. 水道管路(DCIP管)の被害実態と応答変位法による耐震性照査の比較

(1) 兵庫県南部地震の水道管路(DCIP管)の被害実態

兵庫県南部地震によるDCIP管路の被害は、過去の地震と同様に鎖構造継手(S,S形等)の被害例は報告されていないが、一般継手(K形等)の被害は95%が継手の抜け出しによるものであり、小口径管路の被害率が高くなっている。また、神戸市におけるDCIP管路の被害を地形別に分類すると、液状化沖積平野や人工改変山地、谷・旧水部における被害率が集中しているが、非液状化沖積平野や良質地盤においても全体の32%程度の被害が生じている²⁾。

(2) 応答変位法を用いたDCIP K形管の耐震性照査

ケーススタディとして、水道施設耐震工法指針・解説（以下、水道耐震指針）の計算法³⁾を用いて、一様地盤における75～1000mm(10種)のK形DCIP管を対象とし、耐震性の照査を行った。

a. 計算条件

常時荷重：内圧75Pa, 自動車荷重T-25, 温度荷重10

地震時荷重：地震動レベル2の設計速度スペクトルの上限値

対象地盤： $T_g=0.15\sim 2.4s$ の一様地盤（10種）

b. 計算結果

図1はDCIP管の継手変位量の計算結果を許容変位量に対する割合とし

て示しているが、 $T_g=1.0s$ 以上の地盤における200mmの管路を除き、継手の抜け出しが発生しない結果となった。

兵庫県南部地震では、非液状化の良質地盤においてもDCIP管路の被害が発生しているが、DCIP管の耐震性照査では、全ての口径において、種地盤では安全率が2倍程度確保されており、また75mmは他の口径に比べ、実被害において最も被害率が高いが、計算では最も安全率が高い結果となった。管路被害は老朽度や局所的な地形の影響などの要因による可能性もあるが、計算値と実被害とは異なる結果となった。

3. 地盤速度振幅及び変位振幅の比較

埋設管路の地震挙動観測や振動実験により、地震時の地盤ひずみは管路の挙動に直接影響することが知られており⁴⁾、埋設管路の耐震設計においては地盤ひずみの大きさを適切に評価することが重要である。本研究では地盤ひずみに与える影響が大きいと考えられる地盤速度振幅及び変位振幅について着目し、地震時観測値、水道耐震指針の設計応答スペクトルを用いた計算値、国土地理院の三角点変位量を比較検討した。

(1) 計算方法

キーワード：埋設管路，地盤速度振幅，地盤変位量

連絡先：〒105-0024 東京都港区海岸1-9-15 日本上下水道設計（株）水道事業本部 TEL03-3432-4321

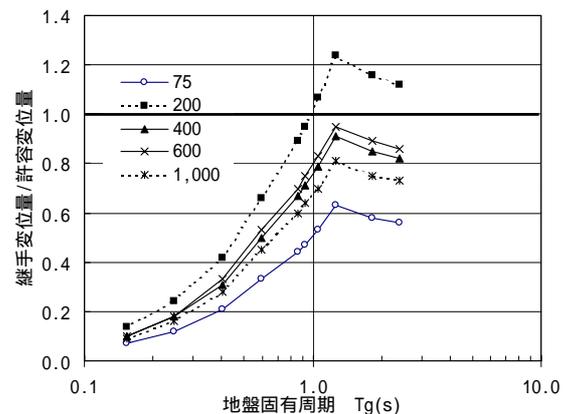


図1 DCIP管の継手変位

地震時観測値：兵庫県南部地震の地表面の加速度波形を軸線補正した後、数値積分により算出した。

水道耐震指針の計算値：観測地点の土質柱状図及びPS検層結果から地盤固有周期を算定し、水道耐震指針の設計応答スペクトル及び計算式により地盤速度振幅（Sv）、地盤変位（Uh）を算出した。

三角点変位量：地震波の観測地点近傍の国土地理院の三角点を対象とし、地震前と地震後の座標値から三角点の変位量を算出した。

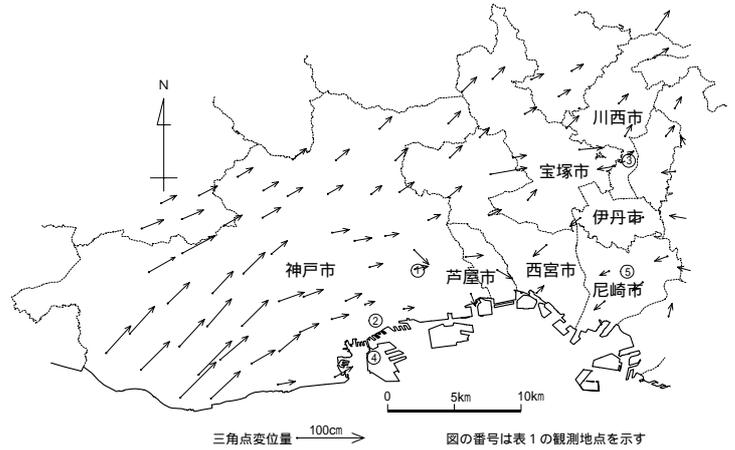


図2 対象地点及び三角点変位量

表1 地盤速度振幅及び変位振幅の比較と管路被害率

観測地震波							備考
耐震指針 計算値	Tg(s)	0.19	0.33	0.44	1.31	1.48	地盤固有周期
	速度 Sv(cm/s)	18.0	38.0	55.0	100.0	100.0	
	変位量 Uh(cm)	0.7	2.5	4.9	26.5	30.0	
観測波	T(s)	0.7	0.65	0.6	1.9	1.4	卓越周期
	Amax(cm/s ²)	584.3	802.0	421.9	341.2	506.6	観測値
	Svmax(cm/s)	77.5	122.8	40.5	90.5	50.5	計算値
	Umax(cm)	21.1	44.6	9.8	38.2	28.4	計算値
三変位点量	基準点名	鉄塔下	雲中 小学校	松山	-	園田 学園	
	三角点種別	四等	四等	四等	-	四等	
	変位量U(cm)	21.6	17.1	8.1	-	16.6	地震前 - 地震後
周辺管路被害(1km ² 当り)		3件	19件	0件	15件	1件	

：新神戸、葦合、：猪名川、：ポートランド、：総合技術研究所
各地点の管路密度は平均化されていない。

(2)計算結果

図2は対象とした地震波の観測地点及び三角点の変位量を示しており、計算結果は表1及び図3、4に示すとおりである。三角点の変位量は永久変位量であり、地震波の観測地点とは数百m~1km程度離れているが、両地点は同じ地質である。

地盤固有周期が比較的短い新神戸及び葦合における地盤速度振幅及び地盤変位振幅は、水道耐震指針の計算値に比べ観測値及び三角点変位量の方が大きな値を示している。また、これらの観測地点では管路被害も発生していることから、水道耐震指針の設計速度スペクトル及び変位量算定式は短周期の地盤に対し、実測値を過小評価している可能性がある。

4. おわりに

兵庫県南部地震においてDCIP管路は非液状化の良質地盤（種地盤）でも被害が発生したが、水道耐震指針の設計法による埋設管路の耐震性照査では、これらの地盤では被害が発生しない結果となった。また、種地盤では速度振幅及び変位振幅の実測値に比べ、水道耐震指針の計算値が過小評価する場合がありますと考えられ、これが管路被害と耐震設計法の不整合の一要因となっている可能性がある。しかしながら、管路の被害要因には今回の計算では考慮していない管路の老朽度や局所的な地形の影響、管路網形状などがあると考えられるため、今後はこれらについて詳細な検討を追加した上で、埋設管路の耐震設計法の課題と改善点を明確化する必要があると考えられる。

参考文献

- 1) 土木研究所資料；第3584号 地下構造物の耐震設計法に関する研究，1998
- 2) 日本水道協会；1995年兵庫県南部地震による水道管路の被害と分析，1996
- 3) 日本水道協会；水道施設耐震工法指針・解説，1997
- 4) 岩本利行；地震と管路の研究，KUBOTA TECHNICAL REPORT No.12,1994

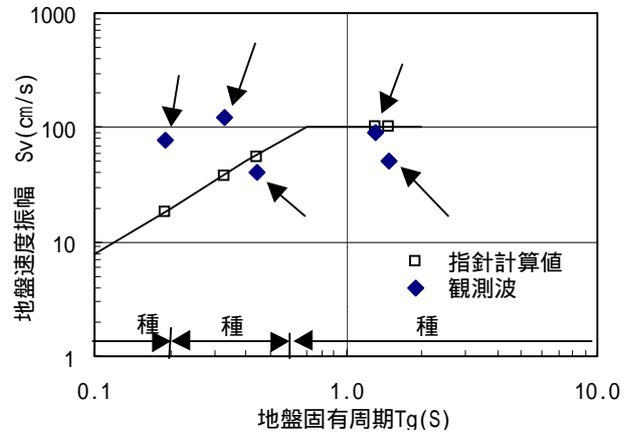


図3 地盤速度振幅の比較

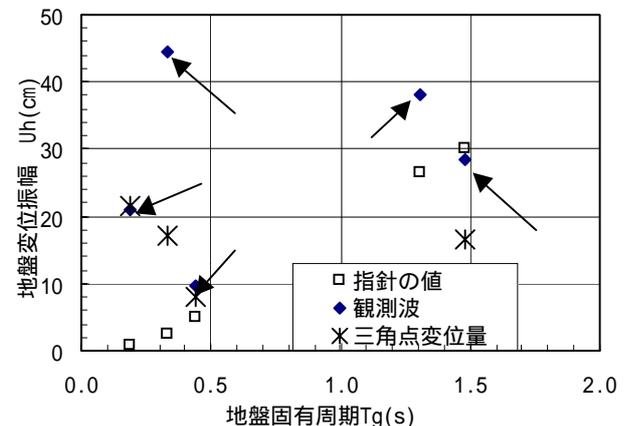


図4 地盤変位振幅の比較