

## 組立式マンホールの地震応答解析と耐震計算法

神戸大学工学部 工学部会員 高田 至郎  
 神戸大学大学院 学生員 上田 智宏

### 1. はじめに

日本下水道協会では、「下水道施設の地震対策指針と解説」を兵庫県南部地震被害の状況を踏まえて、1997年に大幅に改定した。この「指針」に記載されている計算例のマンホールは、組立式マンホールのようにブロックを組立てて構成するものではなく、一体構造のマンホールで取り扱われている。組立式マンホールをこの計算例に従って耐震検討を行うと、多くの設置条件においてレベル2地震動では組立式マンホールを使用できない状況となり、この結果は兵庫県南部地震における組立式マンホールの被害状況と異なるものとなる。そのため、組立式マンホールとしての耐震設計法を開発することが必要である。本研究では、応答変位法による外力の算出を行い、断面力の算出の際にはマンホールを弾性床上はり<sup>1)</sup>でモデル化し、そのブロック間に継手ばねを介在させ、ブロックが地盤変位に追随するモデルを採用した。

### 2. 解析対象モデル

組立式マンホールは、1号ユニホール(内径900(mm)、外径1050(mm))を用い、底版までの深さは5.23mである。ブロックの構成は、受枠～斜壁を1ブロック、各直壁を1ブロック、管取付壁・底版を1ブロックとした合計4ブロックの構成とする。図-1に組立式マンホールの解析モデルを示す。また、表-1に構造諸元をまとめて示す。マンホールが埋設される地盤条件は基盤までの表層が24.70mである。また、応答変位法に基づいて算出した入力地震動を表-2に示す。Uh(z), Dz(z), Ph(z)は深さzにおける水平方向変位振幅、地盤の相対変位そして地震時水平力である。

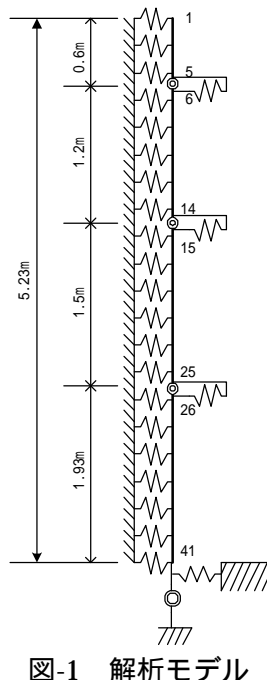


図-1 解析モデル

表-1 構造諸元

せん断弾性波速度	V <sub>s1</sub> (m/s)	101.0
	V <sub>s2</sub> (m/s)	137.0
	V <sub>s3</sub> (m/s)	144.0
	V <sub>s4</sub> (m/s)	172.0
	V <sub>s5</sub> (m/s)	126.0
	V <sub>s6</sub> (m/s)	183.0
地盤特性値	T <sub>G</sub> (s)	0.706
地盤の固有周期	T <sub>S</sub> (s)	0.88
設計応答スペクトル	S <sub>i</sub> (cm/s)	24(80)
マンホール深さまでの平均N値	N	6.32
地盤の弾性係数	E <sub>0</sub> (kgf/cm <sup>2</sup> )	176.96
マンホール側面の面積	A <sub>n</sub> (cm <sup>2</sup> )	5.49 × 10 <sup>4</sup>
側面の換算載荷幅	B <sub>n</sub> (cm)	234
水平方向地盤反力係数	K <sub>n</sub> (kgf/cm <sup>3</sup> )	2.528
マンホール底面の面積	A <sub>b</sub> (cm <sup>2</sup> )	8.66 × 10 <sup>3</sup>
基礎の換算載荷幅	B <sub>b</sub> (cm)	93
鉛直方向地盤反力係数	K <sub>v</sub> (kgf/cm <sup>3</sup> )	5.05
水平方向せん断ばね係数	k <sub>s</sub> (kgf/cm <sup>3</sup> )	1.443
躯体の断面2次モーメント	I(cm <sup>4</sup> )	5.97 × 10 <sup>6</sup>
底面の回転ばね定数	K (kgf・cm/rad)	3.01 × 10 <sup>7</sup>
底面のせん断ばね定数	K <sub>s</sub> (kgf/cm)	1.25 × 10 <sup>4</sup>

表-2 入力地震動

位置	Kh (tf/m <sup>3</sup> ) × 10 <sup>3</sup>	深さ (m)	レベル1地震動				レベル2地震動			
			Uh1(z)	Uh1(5.23)	Dz1(z)	Ph1(z)	Uh2(z)	Uh2(5.23)	Dz2(z)	Ph2(z)
			(cm)			(tf/m <sup>2</sup> )	(cm)			(tf/m <sup>2</sup> )
地表面	2.53	0.00	4.29	4.05	0.24	5.97	14.3	13.5	0.78	19.8
第1継手	2.53	0.60	4.29	4.05	0.23	5.86	14.3	13.5	0.77	19.5
第2継手	2.53	1.80	4.26	4.05	0.21	5.23	14.2	13.5	0.69	17.4
第3継手	2.53	3.30	4.20	4.05	0.14	3.56	14.0	13.5	0.47	11.9
底面	2.53	5.23	4.05	4.05	0.00	0.00	13.5	13.5	0.00	0.00

### 3. 解析手法

マンホールは、図-1に示すように部材間に回転ばねとせん断ばねを有する継手で連結されている弾性床上のはり要素としてモデル化する。このはりモデルに、地盤の相対変位を地盤の水平ばねを介し

て強制変位として作用させ、継手部や部材に発生する断面力を求める。マンホール底面と地盤の間にマンホール底面の回転・せん断ばねを考慮する。ユニホールの継手構造は次のような特性を有する。遊びを有する金属プレートで連結され、遊びの範囲を越えると金属プレートの変形特性を有する継手である。実験結果から、ばね定数モデル

キーワード：組立式マンホール、弾性床上はり、耐震設計、応答変位法、非線形解析  
 連絡先：〒657-8501 神戸市灘区六甲台町 神戸大学工学部 TEL 078-881-1212 FAX 078-803-6069

としては、変形特性の異なる継手の非線形性を表現できるものとしてトリリニアモデルを採用した<sup>2)</sup>。図-2、表-3 にそのモデルと入力値を示す。K<sub>1</sub>、K<sub>2</sub>、K<sub>3</sub> はそれぞれ直線 1、2、3 における曲げ剛性である。また、M<sub>12</sub>、M<sub>23</sub> は直線 1~2、直線 2~3 の降伏モーメントである。ただし、せん断ばねについては、ばね定数が複雑であること、回転ばねの共存下ではせん断ばねの影響が比較的小さいことから、計算上は考慮しないこととした。解析モデルは総節点数 41、はり要素数は 37 で、継手部分は 4 ブロックからなる構成のため、節点番号 5・6、14・15、25・26 の間に 3 箇所設定してある。以上の条件でレベル 1・レベル 2 地震動における非線形計算を行い、部材変位・せん断力・曲げモーメントを算出した。また、本解析結果をユニホール工業会<sup>2)</sup>が提案している計算手法（はり要素を地盤集中ばねで支えるモデル化）による計算値と比較している。

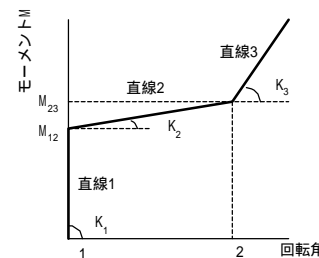


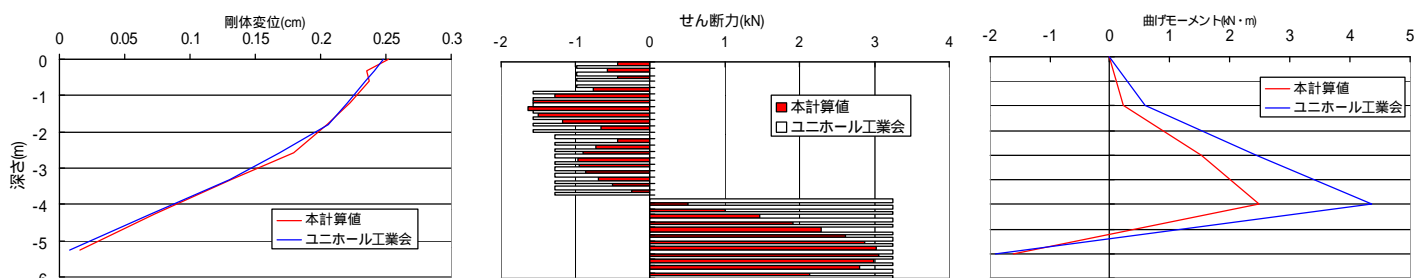
図-2 M- 曲線<sup>2)</sup>

表-3 継手の回転ばねデータ<sup>2)</sup>

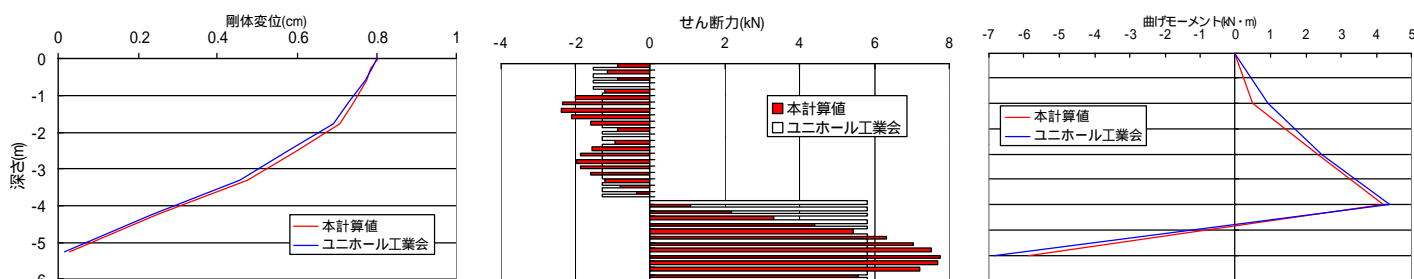
継手番号	深さ (m)	曲げ剛性			降伏モーメント	
		K <sub>1</sub>	K <sub>2</sub>	K <sub>3</sub>	M <sub>12</sub>	M <sub>23</sub>
		(kgf・cm/rad) × 10 <sup>4</sup>			(kgf・cm) × 10 <sup>4</sup>	
1	0.60	1.00 × 10 <sup>9</sup>	1.00	2.14 × 10 <sup>5</sup>	0.92	0.95
2	1.80	1.00 × 10 <sup>9</sup>	1.00	2.14 × 10 <sup>5</sup>	2.46	2.48
3	3.30	1.00 × 10 <sup>9</sup>	1.00	2.14 × 10 <sup>5</sup>	4.37	4.39

4. 解析結果

レベル 1 および 2 地震動の解析結果について図-3 に示す。レベル 1 地震動はどの継手も直線 1 (図-2 参照) の応答範囲であったが、レベル 2 地震動の場合は継手番号 2、3 が直線 2 の応答範囲に移行した。ユニホール工業会の解析値では、レベル 1 地震動で継手番号 2、3 が直線 2 に移行し、レベル 2 地震動では 3 箇所の継手が直線 2 の応答範囲になった。本計算値はレベル 2 地震動ではじめて非線形性を示したため、ユニホール工業会の計算値に比べてレベル 1 地震動の計算値は小さくなったと考えられる。レベル 2 地震動では非線形軌跡がほぼ同じで近い計算値となった。組立式マンホールとしての耐震設計法は未だ確立されておらず、本計算手法が耐震設計に用いることが可能と考えられる。



a) レベル 1 地震動



b) レベル 2 地震動

図-3 応答計算値 (左端：部材変位，中央：せん断力，右端：曲げモーメント)

【参考文献】

1) Warren C Young : ROARK'S Formulae for Stress and Strain , McGRAW-HILL INTERNATIONAL EDITIONS , pp.136-155 , 1979.12  
 2) 全国ユニホール工業会：ユニホール耐震計算，全国ユニホール工業会，2000.6