

水道管路設計に関する日米指針の比較 ～日本水道協会指針と米国 ALA 指針～

神戸大学 学生員 ○田熊 靖史

神戸大学 フェロー 高田 至郎

神戸大学 正会員 鋏田 泰子

1. 概要

本研究では、水道施設耐震工法指針¹⁾(以下、日水協指針)と 2005 年に American Lifelines Alliance によって米国で発行された耐震設計指針²⁾(以下、ALA 指針)における管路設計手法を比較することにより、日米での耐震設計基準の違いを分析した。日米それぞれの指針に従い、継手管では継手変位を、一体管では管体ひずみを算出することにより設計値の比較を行った。

2. 設計法の比較

日水協指針では応答変位法が用いられており、想定地震動の設定にはレベル 1 地震動とレベル 2 地震動が採用されている。レベル 1 地震動では設計応答速度 S_v を最大で 12kine とし、レベル 2 地震動では 70～100kine の範囲で選択することとしている。本値により地震の規模を設定し、埋設条件・管路条件等を考慮し、それらの地震動に対する管体応力・継手変位等の管路応答値を求める。そして、計算結果と管路の許容値を比較し安全性の照査を行う。

一方、ALA 指針には ESM 法(Equivalent Static Method)とチャート法の 2 種類の設計法がある。ESM 法では、確率的地震外力分析(PSHA)により求められる PGV(地表最大速度)を用いて、計算式により管体に発生する管体ひずみ・継手変位を計算する。理論式により管路応答値を求め、管路に必要な耐震性を決定する点は日本の設計法と同じである。チャート法では、地震発生状況下で保持すべき目標性能に応じて機能クラス(I～IV)を選択する。そして、確率的地震外力分析(PSHA)により PGV を求め、PGV と機能クラスの組み合わせにより管路設計分類(カテゴリ A～E)を決定すれば、カテゴリの分類に従って管種ごとに使用すべき継手・溶接が決定される手法である。日本の設計法と大きく異なるのは、地震外力のレベルと管路の重要度の組み合わせにより継手・溶接の種類を決定する点にある。

3. 設計値の比較(日水協・応答変位法と ALA・ESM 法)

日水協指針における設計速度値 S_v と ALA 指針の PGV を同値とすることによって、弾性設計の場合の設計値を比較した。なお、軟弱地盤・硬質地盤・工学的基盤の 3 ケースを想定し、これらに相当する日水協指針でのせん断波速度は $V_s=70 \cdot 130\text{m/s}$, $200 \cdot 270\text{m/s}$ および 340m/s とした。

一体管において、日水協の設計基準は、レベル 1 地震動に対しては弾性領域の設計であり、管体応力が降伏ひずみ以下になるように設計すること、または、管体ひずみが坐屈ひずみ $23t/D$ (t : 管厚, D : 管径)以下になるように設計することが規定されている。一方、レベル 2 地震動に対しては塑性域での設計であり、管体ひずみが坐屈ひずみ $46t/D$ 以下になるように設計することが基準である。つまり、レベル 2 地震動に対してはレベル 1 地震動の 2 倍程度のひずみまで許容していることになる。ALA の設計基準は基本的に弾性域での検討であり、2.5 倍の安全率をもって、管体応力が降伏応力以下であることが規定されている。以上より、レベル 1 地震動に対しては、 $S_v=PGV$ の時の「日水協指針による管体ひずみ」と「ALA の管体ひずみを 2.5 倍したもの」を比較することによって、日米の設計値を比較できると考えた。また、レベル 2 地震動に対しては、 $S_v=PGV$ の時の「日水協による管体ひずみを 2 で除したもの」と「ALA の管体ひずみを 2.5 倍したもの」を比較することによって設計値を比較できると考えた。なお、設計応答速度 50kine をレベル 1 地震動とレベル 2 地震動の境界値と仮定した。

一方、継手管において、日水協の設計基準は、継手変位が設計照査用最大伸縮量以下になるように設計するように規定されている。ただし、継手の設計は継手変位にある程度の余裕を見込む必要があるため、本文では安全率を

キーワード 日本水道協会, ALA, 水道管, 耐震設計

連絡先 〒657-8501 兵庫県神戸市灘区六甲台町 1-1 神戸大学 TEL 078-803-6047

2として、継手変位を2倍したものを設計値とした。ALAの設計基準は、継手の許容最大伸縮量が平均継手変位の7倍以上になるように規定している。以上より、「日水協指針による継手変位を2倍したもの」と「ALAによる平均継手変位を7倍したもの」を比較することによって、日米の設計値を比較できると考えた。

日本の設計値を米国の設計値で除したものを日米比と定義し、一体管における、日米の設計値を図-1に、せん断波速度別の日米比を図-2

に示す。継手管におけるそれらを図-3、4に示す。一体管のレベル1地震動に対する設計値は、地盤硬さにより日本のほうが3～6倍程度大きな値となり、レベル2地震動に対しては、1.5～3倍程度大きな値となった。継手管については、地盤硬さにより2～6倍程度日本のほうが大きな値となる。これらから、同じ設計応答速度で比較した場合、一体管・継手管共に日水協指針の方が設計値を数倍大きく設定しており、地盤が軟弱なほど、その差は大きくなることが知られた。

4. 設計値の比較(日水協・応答変位法とALA・チャート法)

日水協指針の応答変位法とALA指針のチャート法の設計値の比較を行った。ただし、チャート法はESM法を簡略化したものであり、ESM法と基本的には同じであると考え、前節の結果を利用して比較した。チャート法では管体応力値などの具体的な数値は扱わないため、ALA指針で想定している地震外力(PGV)に相当する日水協指針の地震外力(S_v)を求め、それに対応するALA指針の管路設計分類を調べた。管路設計分類とはPGVの値と表-2に示す機能クラス(管路の重要度)の組み合わせにより、カテゴリA～Dに分類され、その分類に従い管路の耐震強度を決定する手法である。地盤硬さにより日米比が異なることは前節で述べたが、安全側に考慮するため、工学的基盤での日米比を用いて、一体管・継手管別に、ALA指針の地震外力に相当する日本の値を求めた。その結果とALA指針の管路設計分類を併せて表-1に示す。機能クラスIは全てカテゴリAに分類されるため省略した。また、ALA指針のカテゴリA～Dが対応する日水協指針の設計レベルも併せて示す。

ALA指針でのカテゴリAは非耐震であるため、日水協指針では記述されていない範囲である。また、カテゴリBはレベル1地震動に対して使用する一般的な耐震性のものに相当するとし、カテゴリC,Dはレベル2地震動に対して使用する耐震性の高いものに相当すると考えられる。その結果、送水管のクラスⅢ、Ⅳという非常に重要な管路には日本と同程度の耐震性が考慮されているが、地震動のレベルや管路の重要度が低い場合には非耐震となっており、日水協指針と比較すると、設計レベルを低く規定していることが知られた。

表-1 日水協指針の S_v と ALA 指針の管路設計分類

設計応答速度(kine)		配水管／機能クラス			送水管／機能クラス			A …日水協指針に記述無し B …日本の一般型に相当 C …日本の耐震型に相当
一体管	継手管	Ⅱ	Ⅲ	Ⅳ	Ⅱ	Ⅲ	Ⅳ	
$0 < S_v \leq 9$	$0 < S_v \leq 14$	A	A	A	A	A	A	
$9 < S_v \leq 36$	$14 < S_v \leq 28$	A	A	A	A	A	B	
$36 < S_v \leq 54$	$28 < S_v \leq 43$	A	A	A	A	B	C	
$54 < S_v$	$43 < S_v$	A	B	B	B	C	D	

表-2 機能クラスの分類

機能クラス	耐震重要度	記述
I	なし	地震時に破損しても生活に支障のない管路
Ⅱ	普通	多くの水道の共通管路
Ⅲ	重要	損傷時に経済や生活に損害を与える管路
Ⅳ	非常に重要	地震後も機能を維持している必要がある管路

参考文献

- 1) (社)日本水道協会：水道施設耐震工法指針・解説 1997 年版, 1997.3
- 2) American Lifelines Alliance：Seismic Guidelines for Water Pipelines, 2005.3