

# 地震に強いライフラインを設計する

## ～下水道管路施設耐震計算システム～

Sewerage Transportation Facilities Seismic Design System

西方 博幸

Hiroyuki NISHIKATA

川田テクノシステム㈱  
開発部開発二課

本間 康浩

Yasuhiro HONMA

川田テクノシステム㈱  
開発部開発二課

田巻 嘉彦

Yoshihiko TAMAKI

川田テクノシステム㈱  
設計部技術課

秋山 基伊

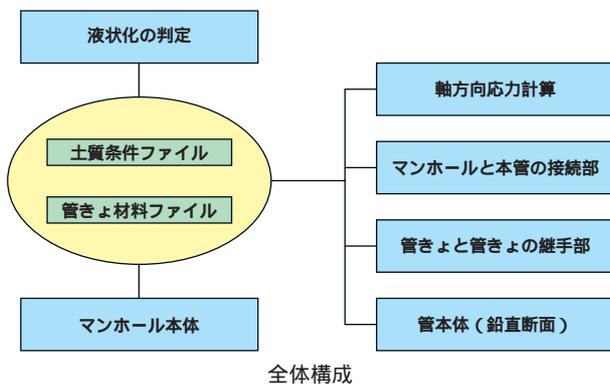
Motoi AKIYAMA

川田テクノシステム㈱  
開発部開発二課

下水道の目的には、生活環境の改善、浸水防除、公共用水域の水質保全などがあり、市民生活に欠かせないライフラインとして、地震災害時にもこれらの機能を保持する必要があります。阪神・淡路大震災を契機に、下水道の地震対策の必要性が強く認識されていますが、今回、下水道管路施設の耐震計算システムを開発したので以下に報告します。

### 全体構成

下水道管路施設で最も一般的な円形管きよの耐震計算の全体を下に示します。なお、ここでは誌面の制約から管本体の鉛直断面に絞って述べることにします。



### 震度法でなく応答変位法を採用

#### (1) 震度法<sup>1),2)</sup>

橋脚のような地上構造物の最も代表的な耐震設計は、震度法です。震度法は佐野利器博士が提唱したわが国オリジナルの概念で、世界的に採用されています。計算の流れは、設計地震動(震度)の設定、地震荷重(慣性力)の算定、構造物の構造解析、が一般的です。

これは、構造物の重量が構造物周囲の空気よりはるかに大きく、地震の影響としては構造物の慣性力が重要で、その大きさが設計震度の値と直結しているという理由に

よります。

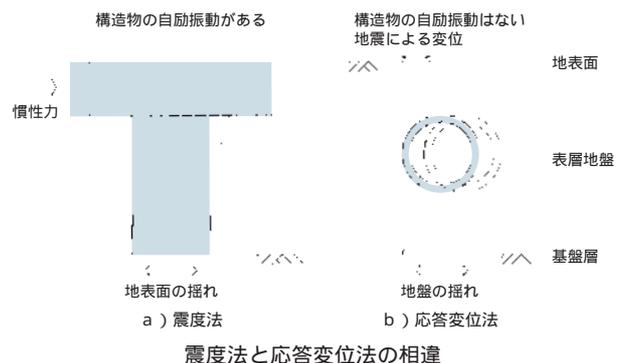
#### (2) 応答変位法<sup>1)-3)</sup>

一方、下水管は空洞となっているので、見かけの単位重量が周辺地盤の単位体積重量と比較して小さくなっています。したがって、地震の影響としては、地震動に伴って周辺地盤に生じる変位、変形が重要であって、周辺の地盤の揺れが地震荷重に深く関係しています。このため、地盤の揺れから地震荷重を算定するステップとして、設計地震動に対する地盤の地震応答解析という解析ステップが途中に必要となり、設計地震動の設定、地盤の地震応答解析、地震荷重の算定、下水管・地盤の構造解析、の手順で計算されます。

パイプのような線状地中構造物の地盤の地震応答解析にはさまざまな種類がありますが、下水道協会は、応答変位法を採用しています。この手法は、解析手法が明解であることと、計算が比較的簡易にできるという特徴があります。

なお、応答変位法は、成田国際空港へ航空燃料を輸送するパイプラインの敷設に際して、わが国で最初に採用されたもので、サンフランシスコ湾を横断するBARTトンネル(沈埋トンネル)の耐震設計の原理(Kuesel,1969)を踏襲した内容となっています。

震度法と応答変位法の相違を下図に示します。



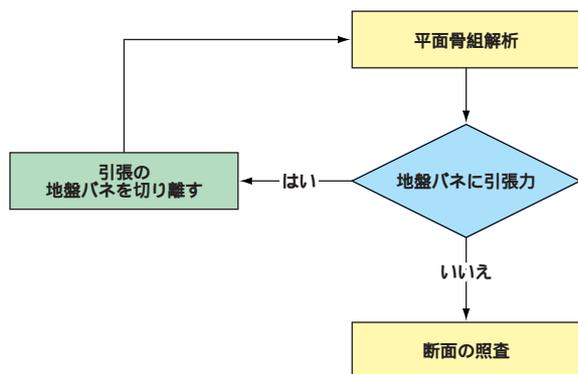
## 引張の働く地盤バネを切り離す

### (1) 解析モデル

応答変位法では、下水管を梁要素の骨組モデルとします。そして、周辺地盤をバネで支持します。バネで支持するのは、地盤は押されて変形しても、ある範囲内であればその荷重を取り除いたら元に戻るという原理を考えたものです。

### (2) 引張の地盤バネを切り離す方法

地盤は荷重によって圧縮させられますが、地盤が引張られることは考えられません。したがって、図に示すように引張の働く地盤バネを切り離して計算する必要があります。



引張バネの切離し

引張の地盤バネを切り離す方法には、荷重増分法を採用しました。この方法は、徐々に荷重を加え、その度ごとに引張の地盤バネを切り離すものです。言い換えれば、時間をかけて少しずつ荷重を載荷していくと同時に平面骨組解析をし、引張バネを切り離すことを繰り返し、目的の荷重に達したら計算終了という手順となります。

### 地盤バネを切り離した例

解析例として、以下に、荷重図、解析前のバネ、解析後の地盤バネ、変位図を示します。

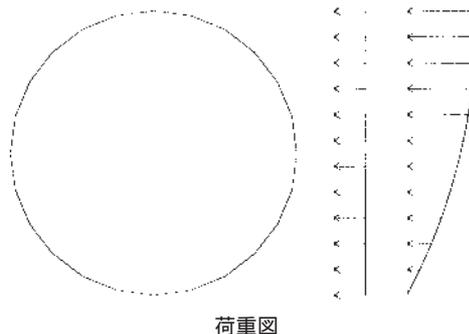
図を見るとわかるように、上部の鉛直方向の地盤バネ

において、解析前は6本あったものが解析後は3本になっています。つまり3本を引張の地盤バネとして切り離したということです。

下部の鉛直方向の地盤バネにおいては、解析前6本に対し解析後は5本であって、1本が切り離されています。

水平方向の地盤バネは、解析前、解析後ともに同じなので、引張は生じなかったことを示しています。

ここで変位図と比較してください。下水管全体が左側へ移動しているとともに、上側にも変形していることがわかります。



荷重図

### おわりに

下水道普及率が50%を超えた現在、既存の下水道施設が地震に対して安全か否か実態を調査する業務が増えてくると考えられます。今後は、本システムとGIS(地理情報システム)を組み合わせ、市街地に巨大なネットワークを築き上げた下水道の耐震診断を行い、地震による危険度マップを作成するようシステムを発展させたいと考えています。

### 参考文献

- 1) 下水道管きよ学入門, 月刊下水道, Vol.19, No.5.
- 2) 開削トンネルの耐震設計, 土木学会, 平成10年10月20日.
- 3) 下水道施設の耐震対策指針と解説 - 1997年版 -, 日本下水道協会, 平成9年9月10日.

