

下水道施設の非線形解析に関する基礎的研究

－その 1－ 建築一貫構造計算プログラムを用いた非線形解析

(株)エーバイシー フェロー会員 ○本多 顕治郎
 (株)エーバイシー 正会員 福江 清久
 (株)エーバイシー 正会員 植松 祐亮

1. はじめに

1995 年の兵庫県南部地震は、官公庁施設も大きな被害を受け、従来の耐震設計の技術基準類が大きく書き換えられた。さらに 2011 年の東北地方太平洋沖地震は、地震動の他に津波による被害が甚大で、耐津波設計の項目が加えられた。今後、予想される南海トラフ地震に対して、既存施設の耐震補強は急務であり、下水道施設も広範囲かつ急ピッチにその作業が進められている。ところが、実際の下水道の既存施設に対して、新設と同等の耐震性能を求めると莫大な補強工事費になり、事業の実施が困難な状況になる事例が非常に多い。この対応策として、2014 年に改訂された下水道指針¹⁾は、既存施設の耐震診断や耐震補強設計に非線形解析(プッシュオーバー解析)を導入し、部材の要求性能に応じて段階的な耐震性能の設定を可能にしている。

本論は、下水道指針における耐震補強設計の考え方と、大型の下水道施設の非線形解析に建築の一貫構造計算プログラムを適用する場合の計算機能の検証結果について述べる。

2. 下水道指針における耐震補強設計の考え方

一般に、構造物の耐震性能の照査においては、構造物の要求性能を考慮して耐震性能 1～3 の限界状態を定義し、各限界状態の限界値を定める必要がある。下水道施設の非線形解析においては、例えば柱・梁の棒部材(はり要素)では、図-1 に示すように、各耐震性能の限界値に相当する許容塑性率を定めている。また、既設施設も新設と同等の耐震性能 2 の確保を基本とするが、耐震性能 2 の確保が困難な場合、段階的な耐震性能として耐震性能 2' を設定できている。

3. 一貫構造計算プログラムの計算機能の検証

1) 概 要

下水道施設の構造形は、Ⅰ類～Ⅴ類に分類される。この内、Ⅳ類の複合構造物は、一般に柱・梁からなる主架構と地下壁から構成され、大型かつ複雑な形状を有することが多い。この構造物を汎用の 3 次元有限要素解析プログラムでモデル化すると、数万節点を超える事例も少なくない。このため、下水道指針の耐震計算例²⁾

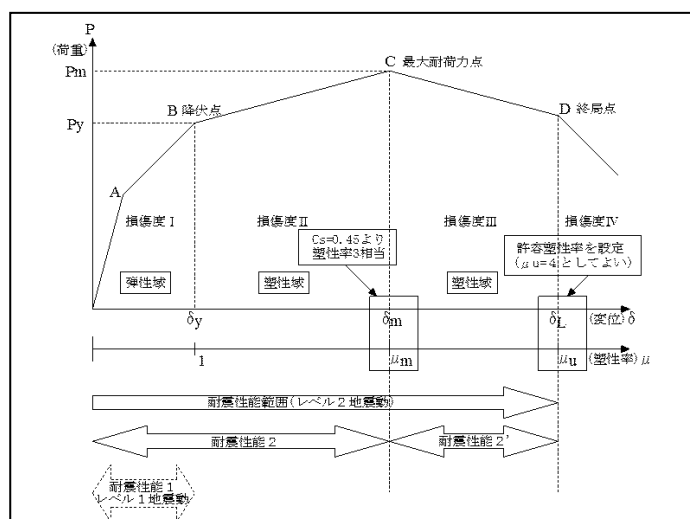


図-1 下水道施設における許容塑性率

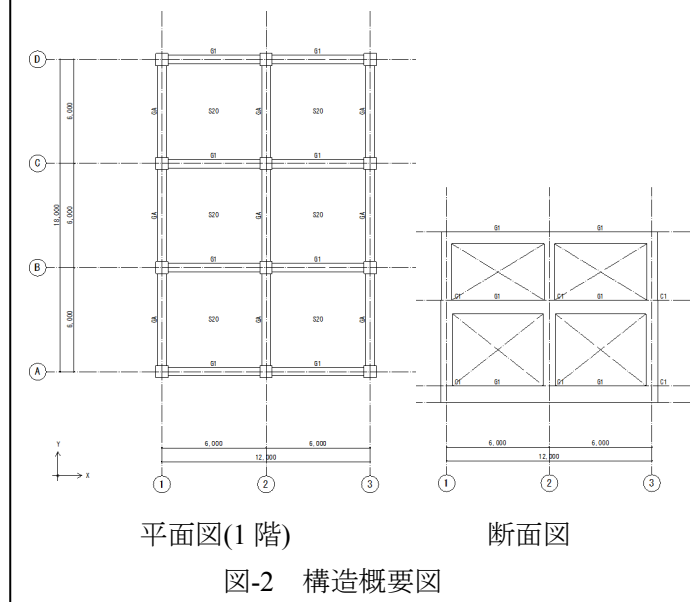


図-2 構造概要図

キーワード 下水道施設, 地中構造物, 非線形解析, プッシュオーバー解析, 塑性率, 損傷度

連絡先 〒530-0043 大阪市北区天満 1-19-4 センチュリーパーク東天満ビル 6F (株)エーバイシー設計部 TEL06-6352-5663

では、大型構造物の柱・梁の主架構に対して、非線形解析の際に建築の構造設計で利用される一貫構造計算プログラムの使用が提案されている。ここでは、一貫構造計算プログラムの計算機能が、下水道施設の土木部分の非線形解析に適用可能か否かについて、検証を行なうものとする。

2) 構造モデルと検証方法

検証に用いた構造モデルは、2×3 スパンの 2 階建てのラーメン構造である。図-2 に構造概要図、図-3 に部材リストを示す。図-3 において、配筋等はレベル 1 地震時(震度 $k_h=0.2$)で設定している。また、レベル 2 地震時を想定した非線形解析における地震時水平力は、震度 $k_h=0.8$ 相当とし、1 階 $P_1=2720$ kN、2 階 $P_2=1628$ kN を載荷した。

計算機能の検証は、建築一貫構造計算プログラム SS3(以下“SS3”と略す)と、土木施設の設計で用いられる汎用の 3 次元有限要素解析プログラム TDAP(以下“TDAP”と略す)の計算結果を比較した。これら 2 つのプログラムは、基本的に曲げ降伏時の剛性低下率等の処理方法に大きな差はない。しかし、本質的な問題として建築と土木における耐力式の差を考慮する必要がある。そこで、SS3 に対しては土木の耐力を考慮するため、図-4 の N-M 相互作用図における変動軸力範囲の軸力 N と曲げ M の関係を直接入力した(以下“耐力入力”と略す)。一方、TDAP においては、非線形モデルを軸力変動トリリニア型として解析した。

3) 解析結果

解析結果の $P-\delta$ 曲線を図-5 に示す。SS3(耐力入力)と TDAP の $P-\delta$ 曲線は、良好な一致を見ている。また、塑性率は回転角で評価しているが、SS3 と TDAP の差は思いの外小さい(図-6 参照)。なお、本検証に用いた構造モデルの塑性率は、すべての部材で許容塑性率 $\mu_a=3$ を下回っており、耐震性能 2 を満足している。

4. おわりに

検証結果より、一貫構造計算プログラムは、下水道施設の土木部分の非線形解析に適用可能であると判断できる。一般に、一貫構造計算プログラムは優れた操作性を有しており、部材数の多い大型構造物の非線形解析で利用機会が増加することが予想される。今後は、一貫構造計算プログラムにおける杭基礎のモデル化や、面外荷重を受ける地下壁の非線形解析に取り組む予定である。

参考文献

- 1)(公社)日本下水道協会:下水道施設の耐震対策指針と解説 -2014 年版-, 2014.5
- 2)(公社)日本下水道協会:下水道施設耐震計算例 処理場・ポンプ場編, 2015.6

大梁リスト 1/30			柱リスト 1/30		
階	符号	位置	階	符号	位置
R	断面	全断面	2	断面	全断面
		断面図			断面図
		B × D			主筋
		上筋			フープ
2	断面	全断面	1	断面	全断面
		断面図			断面図
		B × D			主筋
		上筋			フープ
1	断面	全断面			全断面
		断面図			断面図
		B × D			主筋
		上筋			フープ

図-3 部材リスト

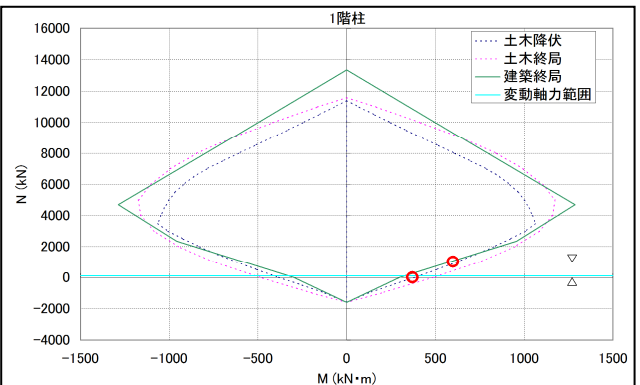


図-4 N-M 相互作用図(インタクションカーブ)

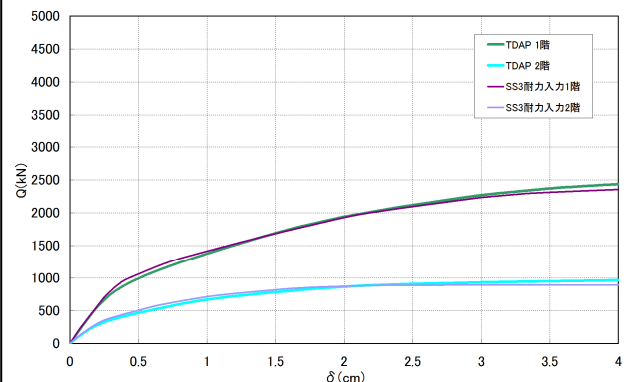


図-5 $P-\delta$ 曲線(SS3 と TDAP)

11		
部材塑性率	部材	
SS3デフォルト	1.660	大梁右
SS3耐力入力	1.673	大梁右
TDAP(回転角)	1.300	大梁右
15		
部材塑性率	部材	
SS3デフォルト	1.505	大梁右
SS3耐力入力	1.537	大梁右
TDAP(回転角)	1.529	大梁右
19		
部材塑性率	部材	
SS3デフォルト	1.546	柱脚
SS3耐力入力	-	柱脚
TDAP(回転角)	1.145	柱脚

図-6 塑性率の抜粋(SS3 と TDAP)