

I - B458

保有変形能に基づく地中構造物の耐震計算法

佐藤工業(株) 正 中村 晋

1.はじめに

兵庫県南部地震による地中構造物の被害は、鉄道高架橋・道路橋などの様な地上構造物に比べ数は少ないものの、神戸高速鉄道・大開駅の崩壊にみられる様に必ずしも安全ではない構造形式があることを示した。地下鉄の被害は人的災害に直結する可能性が極めて高いことから、地震活動度の高い他地域の地下鉄では中柱の耐震補強が1)破壊モードと変形性能の改善、2)兵庫県南部地震クラスの地震に対して耐えることを目標として現在実施されている¹⁾。

これまでの地中構造物を対象とした設計指針類は許容応力度設計法を基本とし、震度法や応答変位法が主に設計計算法として用いられていた。地震後、それら設計指針類の基本的枠組は、土木学会コンクリート標準示方書-耐震設計編-にみられる様に限界状態設計法へ変更されつつある。その際、応答変位法が耐震計算法として用いられようとしているが、構造体の挙動を非弾性とした場合にはその有用性やモデル化等を再検討する必要がある。いずれにしても、限界状態設計法の枠組みに沿った適切な耐震計算法を確立することが必要であることは明らかである。

ここでは、構造物が保有する損傷モードに応じた変形性能と地震応答変形の関係に基づいて地中構造物の耐震設計を行う手法を提案する²⁾。構造物の保有変形能を各部材の損傷モードに関連づけられた変形能と定義することにより、耐力照査が構造物の地震応答変形との比較という変形能の照査に含まれることが本手法の大きな特徴である。この手法の適用性の検討には、兵庫県南部地震により被災した神戸高速鉄道・大開駅を含む3地点の地盤・構造物モデルを用いた。

2.保有変形能に基づく手法

提案する設計計算法の流れは図-1に示すとおりであり、以下にこの計算手法の概要を示す。

- i)地盤および構造特性に基づき、各部材の非線形性を考慮した構造解析により常時断面力の算出を行う。
- ii)地震時の検討として、構造物の各部材の損傷モードに応じた保有変形能を評価する。ここで、保有変形能とは損傷モードに応じた上・下床版間の相対変位とする。それは、地震時に於ける構造物の応答節点力分布を簡単な節点力分布にモデル化し、対象とする地中構造物が終局状態に至まで徐々にその節点力分布の値を大きくしながら構造物モデルに作用することにより求める。その過程において、各部材の端部および中央部の応答断面力と各損傷モードに対応する部材強度との比較を行い損傷の程度を明かにする。図には、作用節点力のうち水平方向の力の合計である水平荷重と相対変位の関係を示している。以後、この関係を損傷モードに応じた保有変形能と呼ぶ。
- iii)地震時に於ける上・下床版間の応答相対変位を算出する。
- iv)地震時に於ける上・下床版間の応答相対変位と損傷モードに応じた保有変形能を比較し、対象とする地中構造物の各部材の損傷の程度および地中構造物の終局状態に対する裕度の判定を行う。

以下に損傷モードに応じた保有変形能および地震時に於ける上・下床版間の応答相対変位の評価手法を示す。

1)損傷モードに応じた保有変形能

損傷モードに応じた保有変形能は、図-2に示す構造物モデルおよび作用荷重モデルを用い、地震時に於ける地中構造物の挙動を地上構造物と同様に静的な挙動に置き換えることにより求める。作用荷重分布は、構造物の地震時挙動に基づきモデル化した図-2に示す上床版に集中荷重として加える場合と側壁の上床版から下床版に三角形分布荷重として作用する場合のいずれかとする。荷重分布の選択は、地盤と構造物の剛性比、構造物の形状および構造物の深度と関連付けた側壁と上床版に作用する水平荷重比(LR)が1以上の場合に集中荷重、1以下の場合三角形分布荷重とする³⁾。構造解析は、各部材の非線形性を考慮し、荷重を逐次増加させることにより行う。その際、各荷重段階における各部材の損傷の程度を調べ、上下床版間の水平相対変位と荷重の係数に損傷部材位置およびその損傷モードを図-1の様に記述する。

2)地震時に於ける上・下床版間の応答相対変位

対象とする地盤構造に応じ、i)応答係数法、ii)2次元動的解析に基づく手法、iii)1次元動的解析に基づく手法³⁾の3つの手法のうちいずれかにより評価する。ここで、応答係数法はJaw-Nan Wang⁴⁾により提案されている手法であり、基盤上の地盤が一様な均質地盤と見なせる場合に適用出来る。それは、現行指針類で用いられている基盤バクトルと地盤のせん断波速度構造に基づく地盤変位の推定法を用い上・下床版間の相対地盤変位 U_{so} を求め、それに地盤と構造物のせん断剛性比 F と関連付けた応答係数 α を乗じることにより構造物の上・下床版間の応答相対変位を推定しようとする手法である。2次元動的解析に基づく手法は、原子力構造物を対象とした安全照査マニュアル⁵⁾に基づく手法¹⁾である。この手法では、地盤は非線形性を考慮しているものの構造物は地震時に於ける剛性低下を考慮した等価剛性により線形材料としてモデル化されている。1次元動的解析に基づく手法は、構造物を1つの土要素と見なし、構造物と地盤のせん断剛性のひずみ依存特性より土要素の変形特性を求め、構造物の応答相対変位を1次元解析により求める手法である。地盤が水平成層構造と見なせる場合には2次元解析より簡易に応答相対変位を求めることが出来る。

Key words: 地中構造物, 耐震設計法, 保有変形能, 地震応答変形

〒243-02 神奈川県厚木市三田47-3 Tel 0462-41-2172, Fax 0462-41-4784, E-mail S.nakamura@satokogyo.co.jp

3.適用性

中柱破壊時における3地点の地中構造物の保有変形能を図-3、それと地震時応答変形の比較を表-1に示す。保有変形能は、大開駅については集中荷重分布、他の2つの構造物では三角形荷重分布による値を用いた。この結果をみると、大開駅では地震時応答変形が保有変形能の1.5倍と大きな値、高速長田駅では両者が同程度の値となっており、両駅の被害状況とよく対応している。駅間トンネル部では保有変形能が地震時応答変形の約1.5倍となっており、中柱は破壊に至っていないことが分かる。駅間トンネル部は他2地点と側壁の曲げモーメント分布が異なり中央部に極大値が見られる。本検討では、側壁中央部を弾性部材としているため塑性ヒンジ化しないが、3cm程度の変形で中央部における応答断面力が内側鉄筋が降伏曲げモーメントに達している。よって、駅間トンネル部の保有変形能は、中柱の破壊に先立ち生じる側壁の3ヒンジモード化により定まると考えられ、その変形は側壁のひび割れの発生に伴う剛性の低下を考慮すれば地震時応答変形と同程度の値になるものと推定される。

いずれにしても、本報で示した手法は地震被害状況ともよく対応し、設計手法として妥当であると考えられる。

4.あとがき

ここでは、損傷モードと関連づけられた構造物の保有する変形性能と構造物の地震時応答変形の比較に基づく地中構造物の耐震設計手法を提案した。本手法は、変形能の照査により耐力との照査も満足出来るという点が大きな特徴である。神戸高速鉄道・大開駅を含む3地点の地盤・構造物モデルを用いて、その手法の適用性を検討した結果、この手法は被害状況も適切に評価出来ることが明らかとなった。

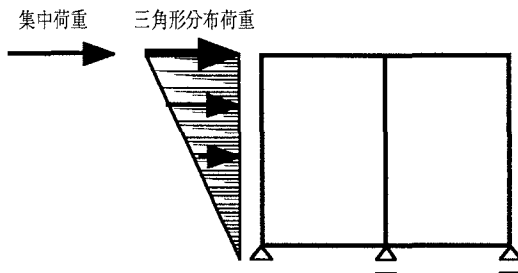


図-2 保有変形能の評価モデル

参考文献

- 1)例えば増田達他、鉄道地下構造物の耐震診断と耐震設計の考え方、基礎工、pp.16-21、1996.10、2)中村晋他、限界状態設計法に基づく地中構造物の耐震計算法の提案、第2回阪神・淡路大震災に関する学術講演回論文集、pp.421-428、1997、3)中村晋、1次元動的解析による地中構造物の水平変形の簡易推定法、第33回地盤工学研究発表会、1997(投稿中)、4)Jaw-Nan Wang, Seismic Design Tunnels, Parsons Brickerhoff Inc., 1993、5)土木学会編、原子力発電所屋外重要土木構造物の耐震設計に関する安全性照査マニュアル、1992.3

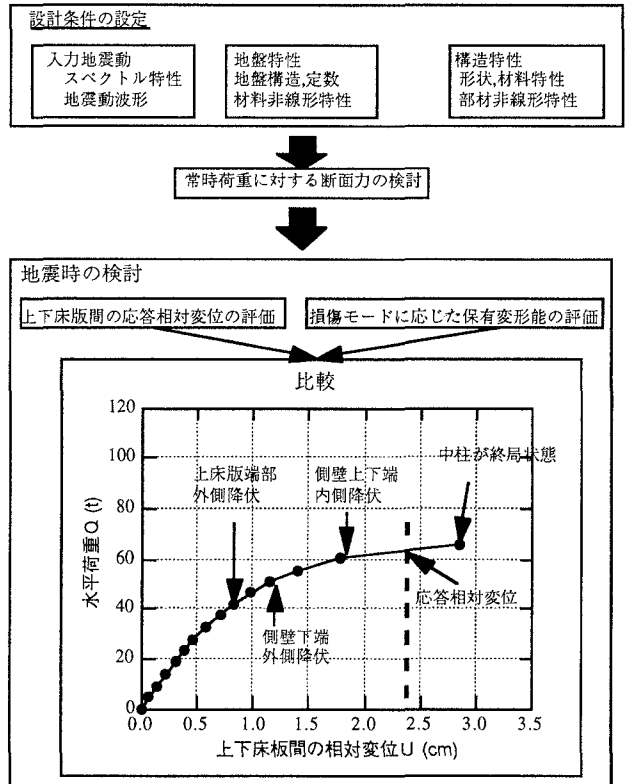


図-1 提案計算手法の流れ

表-1 保有変形能と地震時応答変形の比較

	中柱破壊時の 保有変形能 (cm)	地震時 応答変形 (cm)
大開駅	2.59 (2.85)	3.89
高速長田駅	2.67 (2.54)	2.67
駅間トンネル部	10.28 (11.41)	6.88

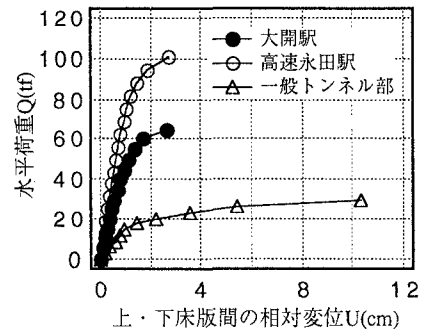


図-3 中柱破壊時の保有変形能