

I - B454

地盤慣性力に基づく応答変位法を用いた地下構造物横断方向の耐震設計法

九州大学工学部(前建設省土木研究所) フェロー 大塚久哲
 建設省土木研究所 正会員 星隈順一・正会員 村井和彦
 (株)オリエンタルコンサルタンツ フェロー 田中 努・正会員 橘 義規

1. はじめに

一般に、地下構造物の耐震設計は、応答変位法により行われている。応答変位法は、地震時に生じる地下構造物の応力を、地盤変位を強制的に構造物に与えることによって静的に計算しようとする耐震設計法であるが、現行指針に規定されている手法にはいくつかの改良が必要である。本文は、現行指針の延長上でいくつかの改良を加え、簡便で実務的なFEMを用いた応答変位法を提案するとともに、動的解析結果と比較し、その妥当性を検証するものである。

2. 現行指針からの改良

現行の指針では、応答変位法は図-1の手順で行われている。このうち、共同溝設計指針¹⁾では縦断方向に①②が規定されており、駐車場設計指針²⁾では横断方向に③の地盤ばねをFEMを用いて算定する方法や、④の強制変位の他に周面せん断力と躯体慣性力を与える方法が規定されている。しかし、これらの指針では、表層地盤を固有周期が等価な均一地盤に置換する方法を採用しているが、現実には多層地盤であることが多く、変形モードが余弦関数とは異なるとともに、固有周期の近似が悪くなる場合があることが指摘される。また、耐震計算上支配的である地盤ばねの算定方法に不確定要素が多く、構造物の剛性が低い場合、地盤以上の変形が生じることがあるなどの矛盾もある。そこで、このような問題を解決するために、多層地盤の固有値を理論解にて求める³⁾とともに、地盤ばねの算定を回避できるFEMを用いた応答変位法を提案する。

3. 計算方法

本手法は、図-2のように表層地盤をソリッド要素で、地下構造物を梁要素でモデル化し、両者に慣性力を静的に作用させる手法である。慣性力としては、1次モードのみを考慮することとし、多層地盤の固有値をもとに、設計地震動の加速度応答スペクトルに応じて式(1)で表される値である。

$$F(z) = \gamma_1(z) / g \cdot A(z), \quad A(z) = \phi(z) \cdot \beta \cdot S_a \quad (1)$$

ここで、 z : 深さ、 $F(z)$: 慣性力、 $\gamma_1(z)$: 地盤の単位体積重量、 g : 重力加速度、 $A(z)$: 地盤の絶対加速度、 $\phi(z)$: 地盤の1次モード振幅、 β : 地盤の1次の刺激係数、 S_a : 地盤の1次固有周期に対する絶対加速度応答スペクトル値である。本手法を、以後「地盤慣性力に基づく応答変位法」と称することにする。

4. 既往のFEMを用いた解析法との比較

FEMを用いた応答変位法に関しては、既にいくつかの方法が提案されている。それらの特徴を本手法も含めてまとめると表-1のようになる。比較的簡単で精度が良いのは、地盤応答震度法と地盤応答変位法と考えられるが、本手法は、これらと同様な方法を踏襲しているが、1次モードのみを考慮した応答スペクトル法に該当するものであり、実務的な簡略化を図っている。したがって、地下構造物の耐震設計法として有効な方法であると考えられる。

5. 適用例

図-2の地盤モデルに対して、道路橋示方書の許容応力度法レベルの地震動(1種地盤)を入力した時の応答を、動的解析および現行の地下駐車場設計指針による結果と比較した。図-3に地盤の最大変位を、図-4に地下構造物側壁の最大曲げモーメントを示す。これらより、このような条件では、現行指針の方法では動的解析結果との誤差が生じるが、本手法ではほぼ一致することがわかる。

keywords: 地下構造物, 耐震設計, 地盤慣性力, 応答変位法

〒812 福岡市東区箱崎6-10-1 TEL 092-642-3266 FAX 092-642-3266

〒305 つくば市大字旭1 TEL 0298-64-4966 FAX 0298-64-4424

〒213 川崎市高津区久本3-5-7 TEL 044-812-8815 FAX 044-812-8825

6. 結論

本文では、構造計画時に耐震性を考慮するために有効で、かつ一般の設計技術者でも対応可能な「地盤慣性力に基づく応答変位法」を提案し、十分な精度を有することを明らかにした。今後は、高次モードの影響などの検討を行い、本手法の適用範囲を明らかにする予定である。最後に、本研究は、建設省土木研究所、土木研究センターおよび民間17社による共同研究「地下構造物の免震設計に適用する免震材の開発」の1テーマとして研究した解析手法の妥当性を検証したものであり、関係各位に謝意を表する。

表-1 FEMを用いた応答変位法の比較

計算法	地盤モデルの範囲	地震外力の与え方	地盤モデル境界条件	特徴
FEMを用いた応答変位法（濱田ら ⁴⁾ ）	表層地盤全体	両側境界面に強制変位を与える。	側方境界強制変位	地盤モデルの幅が広いと、中央部の変形が小さくなる。
地盤応答震度法（片山ら ⁵⁾ ）	構造物の周囲	地盤と構造物に慣性力を与える。	底面固定他は自由	事前に、SHAKEの結果の最大相対変位が生じる時刻の加速度分布を得る必要がある。
地盤応答変位法（立石 ⁶⁾ ）	構造物の周囲	同上	周面せん断力	静的サブストラクチャ法として導いた方法。周辺地盤のモデル範囲は小さくてよい。
FEM応答変位法（太田ら ⁷⁾ ）	表層地盤全体	地盤に節点力、構造物に慣性力と周面せん断力を与える。	底面固定他は自由	地盤に与える荷重は、切り欠き地盤に自然地盤の変形を生じさせたときの節点力である。
地盤慣性力に基づく応答変位法（本手法）	表層地盤全体	地盤と構造物に慣性力を与える。	同上	地盤の1次モードのみの応答スペクトル法に該当する。

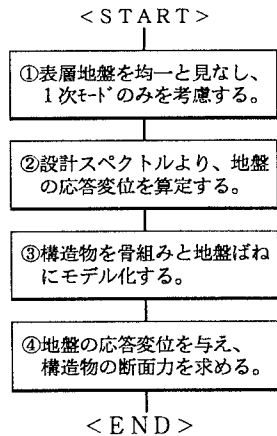


図-1 現行の応答変位法の流れ

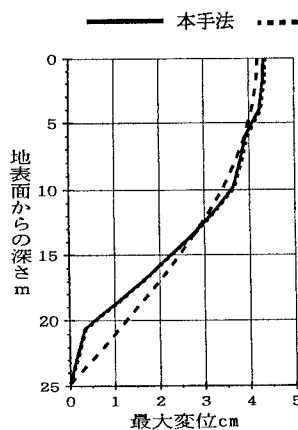


図-3 地盤の最大変位

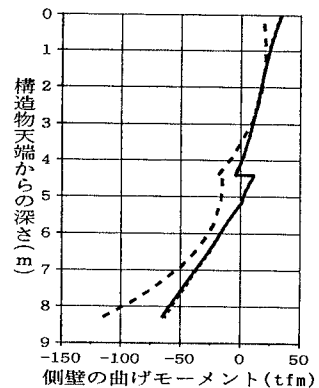


図-4 側壁の最大曲げモーメント

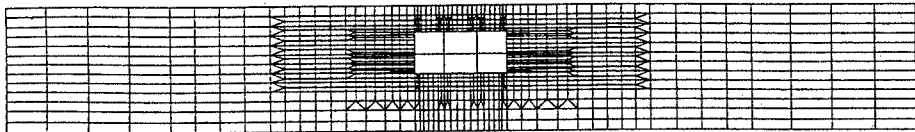


図-2 解析モデル(モデル：幅180m×高さ25m、土かぶり5m)

参考文献：1)共同溝設計指針，(社)日本道路協会，pp. 52～80，昭和61年3月◆2)駐車場設計・施工指針・同解説，(社)日本道路協会，pp. 155～186，平成4年11月◆3)田中：表層地盤の固有周期の簡易算定法に関する検討，日本地震工学シンポジウム，地震学会・土木学会・日本建築学会・日本土質工学会他，pp. 1441～1448，1982◆4)濱田・泉・岩野・志波：岩盤空洞の地震時ひずみの解析と耐震設計，土木学会論文集，No. 341，pp. 197～205，1984◆5)片山・足立他：地下埋設構造物の実用的な準動的解析法「応答震度法」の提案，土木学会第40回年次学術研究発表会，pp. 737～738，1985. 9◆6)立石：静的FEMを用いた地中構造物横断面方向の耐震設計法における地震荷重の作用方法の研究，土木学会論文集，No. 519，pp. 139～148，1995. 7◆7)太田・西田・北嶋・佐藤：応答変位法を用いた地下構造物の耐震設計について，第2回阪神・淡路大震災に関する学術論文集，pp. 437～444，1997. 1