

地盤ひずみに着目した修正震度による応答震度法の適用性

(株)日建設計シビル 正会員 西山誠治
(株)日建設計シビル 正会員 川満逸雄

1. はじめに

近年、地下構造物のFEMを用いた静的解析として応答震度法¹⁾がよく用いられる。応答変位法のような地盤ばねの不明確さがなく、地盤を含めた解析モデル全体に震度を与えるという荷重作用方法も比較的簡便で、有用な手法である。その震度は、ある時刻の加速度分布から算定されるのが一般的である。しかし、減衰の影響が大きい場合では、加速度から求まる震度では十分な解析精度が保てないことがある²⁾。そこで、地盤ひずみに着目した修正震度を定義し、この修正震度による応答震度法によれば精度が向上することを示す。さらに、修正震度により求まる地震時荷重を、FEMを用いた他の静的解析手法の地震荷重と比較して、考察する。

2. 検討の概要

1層2径間の鉄道一般軌道部の開削トンネル(図1)を対象とする。表層地盤の厚さ20mの一様地盤(沖積粘性土 $N=3, V_s=140\text{m/s}, \gamma=16\text{kN/m}^3$)を対象とし、トンネルの土被りは5mとする。地盤には沖積粘性土の動的変形特性を考慮する。応答震度法では地盤は1次元解析の収束剛性、構造物は弾性とし、FEMモデルの幅は190mとする。入力地震動は鉄道基準のL2地震動スペクトルIIを用いる。

3. 検討結果

(1) **1次元地盤応答** 等価線形化法による1次元地盤応答解析(SHAKE)を実施する。構造物上下版間の変位が最大時刻の応答値を図2に示す。収束減衰値は15%程度と大きめで、かつ着目時刻では速度応答がある程度存在している。

(2) **応答震度法** 1次元解析の収束剛性を用い、着目時刻の加速度分布を用いた応答震度法の結果を図3に示す。遠方地盤の変位分布では1次元解析結果が再現できていない。減衰力を無視しているためと考えられる。

(3) **修正震度による応答震度法** 地盤歪みに着目した修正震度を考える。これは岩盤中の地下空洞の耐震設計等で用いられている手法と同様であるが、軟質地盤でひずみが大きく、減衰力の影響が大きい場合に着目してこそ有効な方法と考えられる。最終的に地盤に再現したいのは地盤ひずみであるので、せん断応力 $\tau = G_{eq} \times \gamma$ とし、これを再現する震度を以下のように算出する。

$$k_{heq} = (\tau_{i-1} - \tau_i) / (h_i \cdot \gamma_i) \quad \text{ここに、} k_{heq} : \text{等価震度、} \tau_i : i \text{層のせん断応力、} h_i : \text{層厚、} \gamma_i : \text{単位重量}$$

このようにして算出した等価震度を図3に示し、この修正震度による応答震度法の結果を図4示す。修正震度を用いた場合の遠方地盤の変位分布は1次元解析結果(SHAKE)に一致する。

(4) **構造物の断面力の確認** 応答震度法、修正応答震度法および収束剛性による動的解析について、構造物に発生する断面力を比較して図5に示す。応答震度法は過大評価しているが、修正応答震度法は動的解析とほぼ整合する。

(5) **減衰の影響の確認** つぎにこのような差異が、減衰の影響であることを確認する。1次元地盤解析の収束剛性を用い、減衰を小さく設定したケース(全層 $h=0.02$)の地盤応答解析の上下版相対変位最大時刻の結果を図6に示す。震度および修正震度を合わせて図7に示す。両者は一致しており、減衰の影響が小さい場合は、震度と修正震度は一致することから、応答震度法で整合の悪い場合は、減衰の影響と考えられる。

4. 修正応答震度の考察

FEMを用いた解析法として応答震度法とFEM応答変位法³⁾⁴⁾がある。減衰力を無視できる場合、両者は等価であることが、立石により示されている³⁾。しかし、減衰の影響がある場合は、FEM応答変位法の方が精度がよい²⁾。

FEM応答変位法は、ひずみに着目して荷重を構築している。ひずみに起因する復元力は、慣性力および減衰力とつりあっているため、FEM応答変位法は減衰力の影響も考慮した荷重形態といえる。一方、応答震度法では、加速度すなわち慣性力に着目している。これと釣り合うのは、復元力(ひずみ)および減衰力であるので、慣性力のみを考慮では、減衰力の影響が大きい場合は、ひずみが再現できない。修正震度は、ひずみによる復元力(=慣性力+減

キーワード：地下構造物、応答震度法、修正震度

連絡先：〒102-8117 東京都千代田区飯田橋2-18-3 TEL(03)5226-3070 FAX(03)5226-3075

衰力) から算定されているため、これによりひずみが再現できる。これは、遠方地盤ではFEM 応答変位法における自然地盤変位を再現する等価な節点力に相当する。構造物近辺では、FEM 応答変位法では周面せん断力を载荷する必要があるが、応答震度法ではこれに相当するせん断力が自動的に発生する。

FEM 応答変位法は、空洞地盤に自然地盤変位を発生させる節点力の算定には、一般にはマトリクス演算を必要とし、汎用の解析コードでの解析は困難であることや、空洞地盤周囲には周面せん断力を载荷するなど、やや煩雑な手順が必要となる。一方、応答震度法は、同一深度の地層毎に等価な重量を設定して横方向に一樣な震度を与えれば、汎用の解析コードで比較的簡便に計算できる利点がある。

修正震度による応答震度法は、応答震度法の簡便さはそのままに、FEM 応答変位法と同等の精度の検討が可能になる有用な手法と考えられる。

謝辞：土木学会地震工学委員会 地下構造物の合理的な地震対策研究小委員会(委員長 岩橋都立大教授) WG3 SWG1 のける解析モデル等を使用させて頂きました。記して感謝致します。

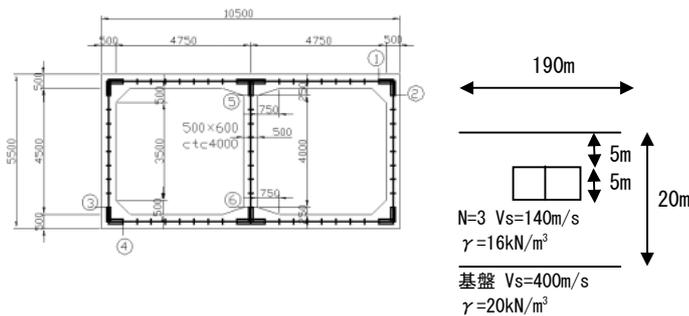


図1 対象構造物

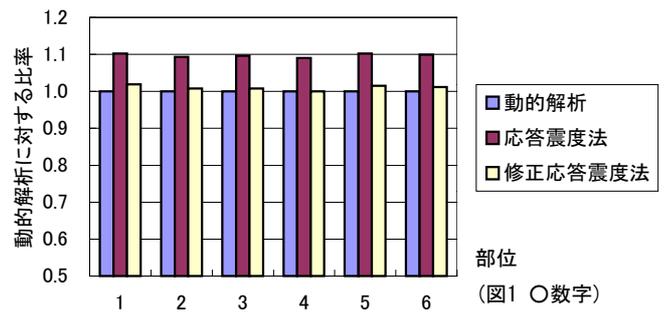


図5 断面力(曲げモーメント)の比較

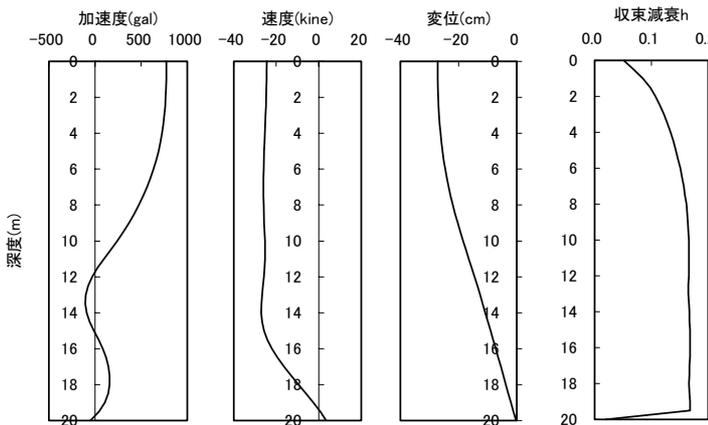


図2 1次元解析結果(層間変位最大時)

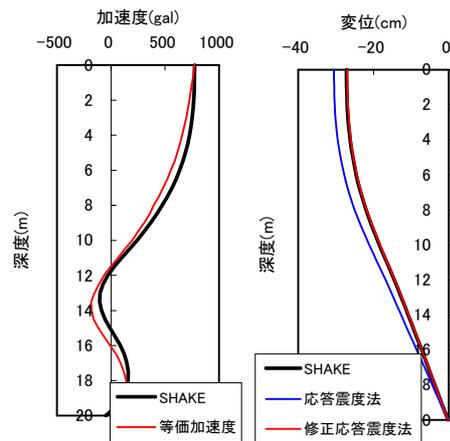


図3 等価震度(加速度)

図4 応答震度法結果(遠方地盤変位)

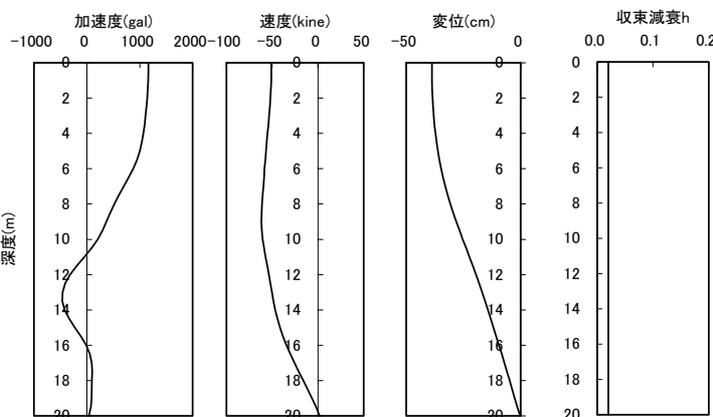


図6 1次元解析結果(減衰=0)

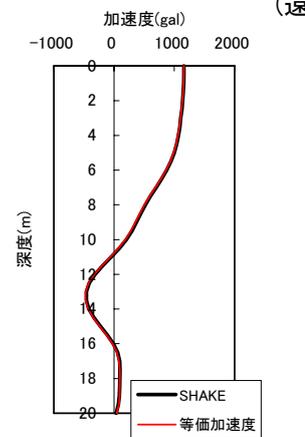


図6 等価震度(減衰=0)

参考文献： 1) 片山幾夫 他：地下構造物の実用的な準動的解析手法「応答震度法」の提案，第40回土木学会年次学術講演会，1984，2) 佐藤成，劉如山：地下構造物の横断方向の耐震設計における静的FEM解析法の適用性について，第33回地盤工学研究発表会，1998年など 3) 立石章：静的FEMを用いた地中構造物横断面方向の耐震計算法における地震荷重の作用方法の研究，土木学会論文集No519/I-32 4) 大田他：応答変位法を用いた地下構造物の耐震検討について，第2回阪神・淡路大震災に関する学術講演会論文集，1997