

# 地中構造物の応答変位法における載荷方法についての一考察

(株)復建エンジニアリング ○正会員 西村 隆義

(株)JR 総研エンジニアリング ○正会員 山谷 敦

(株)JR 総研エンジニアリング 川野 有祐

## 1. はじめに

地中構造物の解析では、構造物を棒部材で、地盤を地盤ばねでそれぞれモデル化した応答変位法が広く利用されてきたが、近年の計算機能力向上により、地盤を有限要素でモデル化したより精度の高い解析も行われるようになってきた。応答変位法は、動的解析と比べて破壊形態や破壊順序を明確にするのに適していることから、今後も簡便法として用いられていくと考えられる。そこで、本検討では比較的単純な地中構造物を対象として、FEM モデルを用いた応答変位法解析を行い、変位の入力方法と問題点について検討した。

## 2. 解析方法について

本検討における応答変位法は、まず FEM モデルにより動的解析を行って地震時の変位分布を算定し、その変位分布を同じモデルに静的に入力してプッシュオーバー解析を行うものである。その際、動的解析で得られた全変位の 1/1000 を増分変位として入力した。この方法は、動的解析では考慮することが困難であった応力ひずみ関係の軟化や、軸力変動の影響といった、強非線形性も容易に考慮できる利点がある。本検討では、全応力を増分応力の足し合わせで算定することから、不平衡力を開放するために変位を入力しない節点が必要である。そこで、変位入力節点の分布をパラメータとした解析を行い、動的解析の断面力分布を再現できる最適な変位入力方法を検討した。解析ソフトは DINAS である。

## 3. 解析対象構造物について

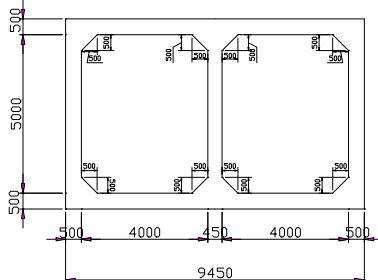


図1 解析対象構造物

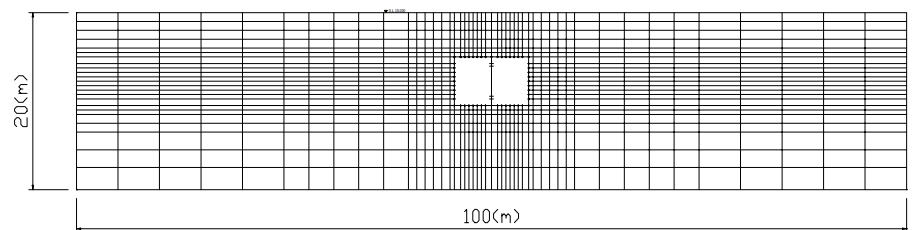


図2 解析モデル

解析対象としたのは、鉄道構造物を想定した上下線 1 線ずつの 1 層 2 径間ボックスカルバートである。寸法はそれぞれ図 1 に示すとおりで、主鉄筋は D22、中壁のみ D19 で構成されているとした。地盤条件は、表 1 に示す諸元で周辺地盤が構成されているものとし、N=40 の地盤の上に構造物が設置されている状況を想定している。地表面から構造物設置面までの深さは 12m で、土被り厚さは 6m、地下水位位置については GL.-2m と仮定した。解析モデルを図 2 に示す。側方のモデル化領域は構造物の全幅の 10 倍程度を見込んで 100m とし、下方境界位置については、構造物設置深さの 2 倍程度の GL.-20m とした。構造物は棒要素で要素長が 1D となるようにし、地盤は 4 節点平面ひずみ要素でモデル化した。非線形特性は、構造物の骨格曲線はトリリニア型の曲げモーメント - 曲率関係 ( $M - \phi$  関係)、履歴特性は修正武田モデルとし、地盤の骨格曲線は修正 R-O モデル、履歴特性は Masing 則によりそれぞれ表現することとした。

表1 解析ケース

|       |                                    |
|-------|------------------------------------|
| case1 | 全節点に変位を入力する                        |
| case2 | 構造物の節点では、剛域になる部分のみに入力する            |
| case3 | 構造物の節点には入力しない                      |
| case4 | case2の状態に加えて、構造物周りの地盤節点 1 つ分も入力しない |
| case5 | case2の状態に加えて、構造物周りの地盤節点 2 つ分も入力しない |

表2 地盤諸元

| 層番号<br>No. | 層厚<br>(m) | 層種別 | N値 | 単位体積重量<br>$\gamma_t$ (KN/m <sup>3</sup> ) |
|------------|-----------|-----|----|-------------------------------------------|
| 1          | 2.0       | 砂質土 | 3  | 15.7                                      |
| 2          | 8.5       | 粘性土 | 14 | 19.6                                      |
| 3          | 9.5       | 砂質土 | 40 | 19.6                                      |

キーワード：応答変位法、地中構造物、FEM

連絡先：東京都中央区銀座 1-1-2 (株)復建エンジニアリング第 2 技術部 Tel.03-3563-3116 Fax.03-3563-3127

各解析ケースの変位入力節点の分布は表1に示した通り Case1 のみ全節点に変位を入力し，case2～5 は不平衡力を開放する節点を設けた．なお，動的解析に使用した入力地震波は，鉄道標準<sup>1)</sup>に規定されている基盤地震動（スペクトル適合波）を用いることとし，入力地震動は本解析モデルの下端に2E波として入力した．境界条件は，地震時解析においては底部および側方とも粘性境界とした．

### 3. 解析結果

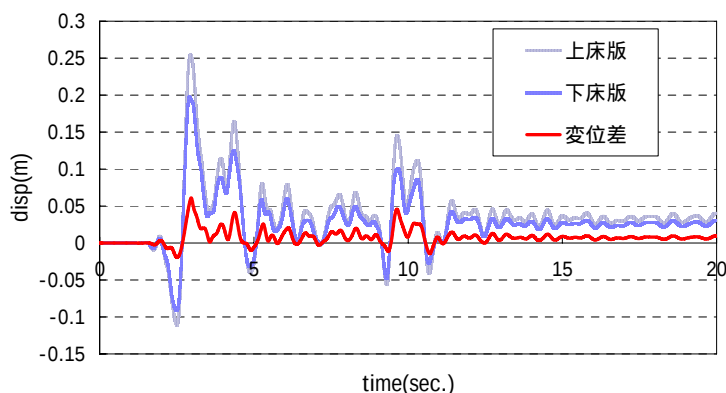


図3 動的解析結果

図3には動的解析の結果を示した．この結果から上床版と下床版の相対変位（図中太線）が最大になる，2.966(sec)の状態について応答変位法を行うこととした．図4には，相対変位最大時の全体の変位状態を示している．図5には動的解析での各部材の損傷状況を示した．全体的には鉛直部材に損傷が発生しており，中壁では下端がMmを超過するなど損傷が特に大きい結果となっている．

表1には前述の条件で行った応答変位法の解析結

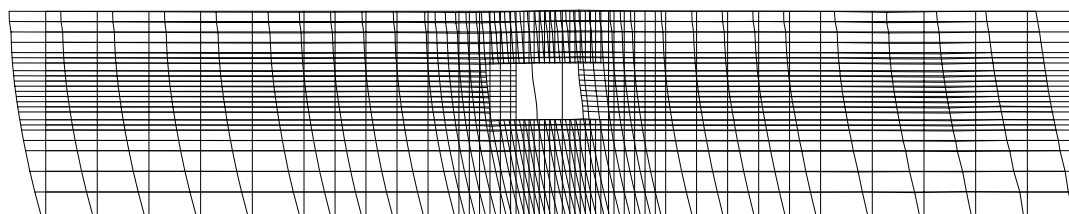


図4 応答変位法時考慮変位

果を示した．同表の値は，動的解析の断面力を，各ケースの断面力で除したものであり，各部材ごとに平均

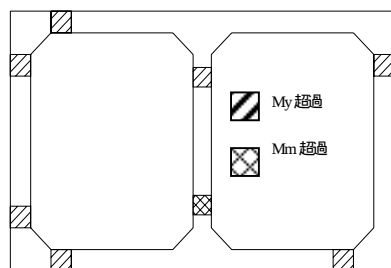


図5 損傷部位

してある．上段がせん断力を，下段がモーメントを比較したものととなっている．

この結果から，せん断力，モーメント共に，case1では精度が低くなっており，case2～5ではほとんど動的解析の結果と大差がないという結果が得られた．また，図5に示した損傷部位も動的解析とcase2～5で全く同じであり，case2～5の解析は精度の高い解析が行えたといえる．

case1の精度が低くなった理由としては，前述したとおり，変位の入力節点を

全ての節点としたことで，不平衡力が解放されず，総計として誤差が大きくなったためである．

case2～5では，差は微小ながらもcase2が最も動的解析に近い値を示しており，想定したような1層2径間の場合は，case2で考慮したように入力節点数を減らしてやることで，ほぼ十分な精度が得られるという結果を得た．

### 4. おわりに

本検討では，一般的な地中構造物の場合，数点の不平衡力を開放する節点を設けることにより，十分精度の高い解析が出来るという結果を得た．今後は，複雑な構造物に対してもこのような検討を行い，変位の入力方法について検討を加えたいと考えている．

参考文献 1) 鉄道総合技術研究所：鉄道構造物等設計標準・同解説 耐震設計編：1999.10

表3 解析結果比較表

| せん断力  |        |        |        |        |        |
|-------|--------|--------|--------|--------|--------|
| 対象部材  | case 1 | case 2 | case 3 | case 4 | case 5 |
| 上床版   | 136.3% | 99.2%  | 102.4% | 102.7% | 103.4% |
| 左側壁   | 116.4% | 99.9%  | 102.2% | 102.2% | 103.1% |
| 中壁    | 461.2% | 100.9% | 100.7% | 100.6% | 100.7% |
| 右側壁   | 218.2% | 102.6% | 103.3% | 103.3% | 103.8% |
| 下床版   | 140.6% | 100.7% | 100.0% | 100.3% | 100.2% |
| 全体平均  | 196.3% | 100.5% | 101.6% | 101.8% | 102.2% |
| モーメント |        |        |        |        |        |
| 対象部材  | case 1 | case 2 | case 3 | case 4 | case 5 |
| 上床版   | 85.0%  | 100.6% | 103.0% | 103.1% | 104.9% |
| 左側壁   | 87.7%  | 137.8% | 100.7% | 94.6%  | 91.6%  |
| 中壁    | 99.6%  | 100.9% | 100.8% | 100.8% | 100.7% |
| 右側壁   | 90.2%  | 103.2% | 99.6%  | 101.5% | 104.2% |
| 下床版   | 312.9% | 86.2%  | 86.2%  | 85.5%  | 85.4%  |
| 全体平均  | 146.7% | 103.8% | 97.4%  | 96.5%  | 96.9%  |