

# 損傷の進展が地下構造物横断方向の地震時外力に及ぼす影響

九州大学工学部 学生員 井手智明  
戸田建設 正会員 村井和彦  
九州大学大学院 フェロー 大塚久哲

## 1. はじめに

構造物の耐震性検討を静的に行う場合には、作用する外力の評価が重要である。橋梁などの地上構造物では、地震時に作用する外力としては慣性力が支配的であり、簡単な系を対象とする場合は、地震時保有水平耐力法のように単純な静的作用荷重を考慮する方法により、地震時における応答損傷状態や耐力を適切に評価することが可能である。一方、地下構造物については、村井ら<sup>1)</sup>が地盤と構造物の接触面に作用する相互作用力と物体力である慣性力に分類したうえで、法線方向の相互作用力分布が構造物剛性や部材の剛性変化および損傷程度に応じて大きく相違することより、単純な荷重による方法で評価することは困難であることを示している。

しかしながらこの解析は、地盤や構造物を等価線形弾性体としてモデル化した周波数領域の複素応答法を用いているため、損傷進展時の過渡状態や地震終了時の状態を評価することはできない。大規模地震動時において地下構造物が非線形領域に入る場合に対しては、このような状態の評価も重要となる。そこで本研究では、文献<sup>1)</sup>と同様の地下構造物横断方向モデルを対象とした非線形動的時刻歴解析を実施し、損傷の進展に伴う地震時外力の変化に着目した検討を行ったものである。

## 2. 解析条件および解析ケース

本研究では、N値3の粘性土とN値20の砂質土を想定した表層地盤厚30mの単一層地盤を対象とし、構造物は土被り5mの位置に設置される矩形断面のものとした。解析モデルを図-1に示す。非線形特性としては、地盤は修正R-Oモデルを、構造物はトリリニア型骨格曲線と修正武田型復元力特性をそれぞれ採用し、構造物を線形としてモデル化した場合と非線形特性を考慮した場合について比較することにした。入力地震動は基盤における大規模地震動を想定し、兵庫県南部地震において神戸大学にて観測されたEW成分(max:305gal)を用いた。相互作用力は、地盤と接する構造物の節点を二重化し、これを十分剛なバネ要素で結合し、その内力として求めた。

## 3. 解析結果

図-2および図-3は、それぞれ粘性土地盤と砂質土地盤を対象に、構造物の代表的な位置の法線方向の地震時増分相互作用力(以下相互作用力)の時刻歴と代表的な時刻における損傷状態について、構造物のモデル化に起因する相違を比較して示したものである。図より両地盤とも、ひび割れ発生時刻以降では両モデルにおける相互作用力に相違が生じており、非線形性を考慮する場合は地震終了時においても作用荷重が残留することがわかる。図-4および図-5は、2種類の地盤条件において構造物のモデル化に起因する相互作用力の相違が顕著となる時刻、を対象に、法線方向相互作用力の分布を構造物の変形および損傷状態とともに示したものである。これらより、構造物のモデル化に起因する法線方向相互作用力の相違は、特に側壁において顕著であることがわかる。また、図-6は、粘性土地盤を対象に、図-4と同時刻における接線方向相互作用力の分布を示したものである。これより接線方向については、構造物のモデル化に起因する相互作用力の相違は、隅角部を除くと小さいことがわかる。図-7は、砂質土地盤を対象に、地震終了時における法線方向相互作用力分布を構造物の変形とともに示したものである。これより、構造物の非線形性を考慮した場合は、地震終了時においても残留変位とこれに対応した残留荷重が作用していることがわかる。なお今回のケースでは構造物が降伏にまで至る損傷は生じていない。

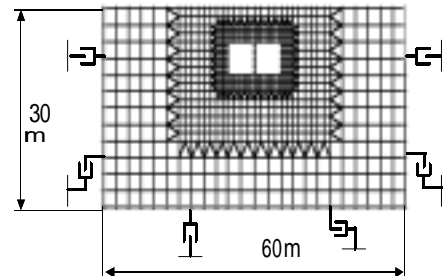


図-1 解析モデル

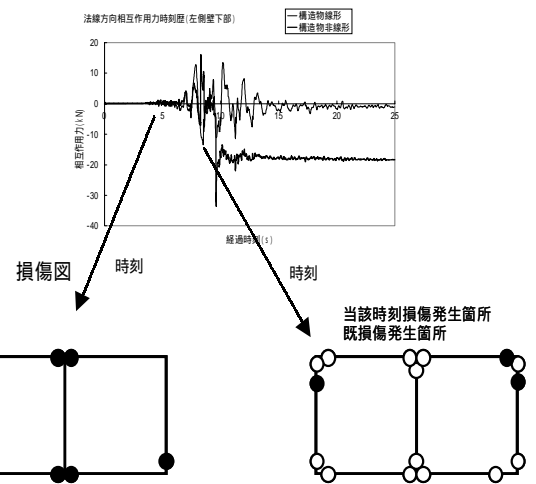


図-2 相互作用力時刻歴波形  
(粘性土地盤、左側壁下部)

Keywords: 地下構造物、地震時外力、相互作用力、慣性力

連絡先: 〒 812-8581 福岡市東区箱崎 6-10-1 九州大学工学部工学研究科、TEL 092-642-3268

また、慣性力については、文献<sup>1)</sup>において、構造物の剛性によらず自由地盤の応答加速度より算定したもので概ね評価できるとの知見が得られており、本研究においても、構造物のモデル化に起因する慣性力の相違は小さいことを別途確認している。

#### 4. 実務設計に関する考察

本研究では、損傷の進展に伴う地下構造物横断方向に作用する地震時外力の変化に着目し、接線方向相互作用力および慣性力の変化は小さいが、法線方向の相互作用力が大きく変化するとの結果を得た。応答変位法など静的な骨組み系モデルを用い、構造物が非線形領域に入ること考慮する設計を行う場合は、このような非線形性の進展に伴う外力の変化を精度良く評価できる荷重条件や支持条件のモデル化が必要であると考えられる。

また、構造物の非線形性を考慮した場合、地震終了時における構造物の残留変形や、これに対応した残留荷重が評価できる。地下構造物の耐震性評価においては被災後の常時荷重に対する照査も重要であるが、その際には、このような残留荷重の影響も併せて考慮する必要があると考えられる。

#### 参考文献

- 1) 村井和彦、大塚久哲、矢暮亘：地震時における地下構造物横断方向の変形と外力に関する基礎的考察、構造工学論文集Vo1.46A、2000.3

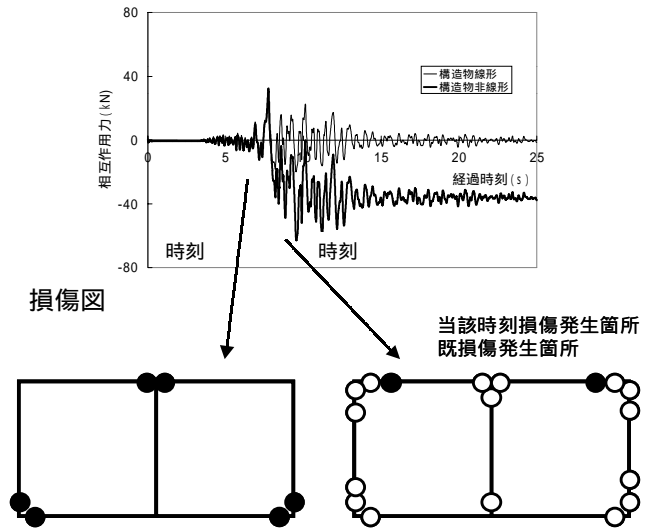


図-3 相互作用力時刻歴波形  
(砂質土地盤、左側壁上部)

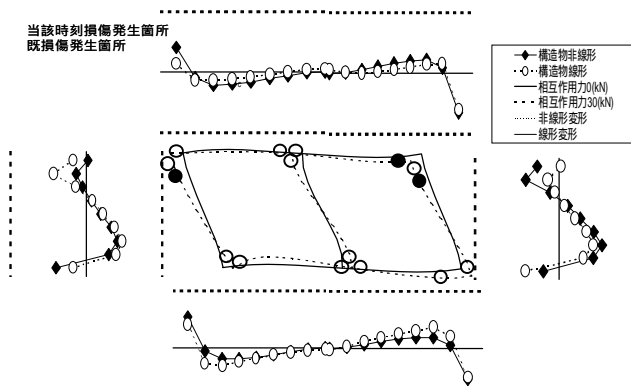


図-4 法線方向相互作用力(粘性土地盤)

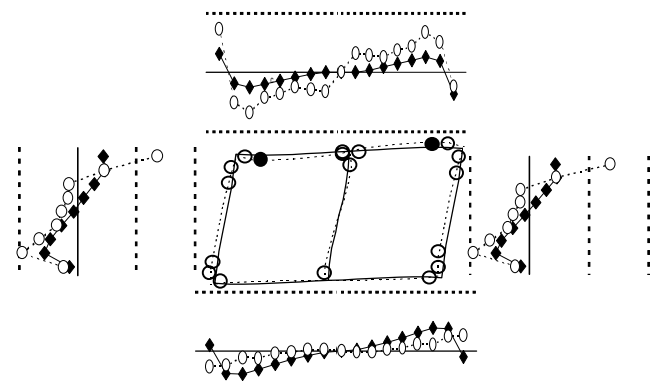


図-5 法線方向相互作用力(砂質土地盤)

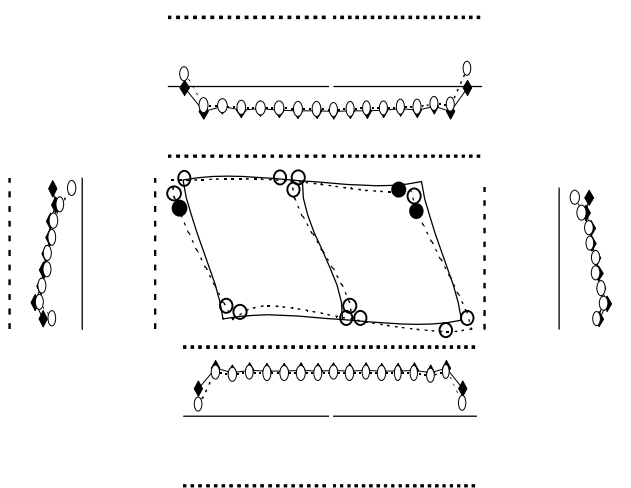


図-6 接線方向相互作用力(粘性土地盤)

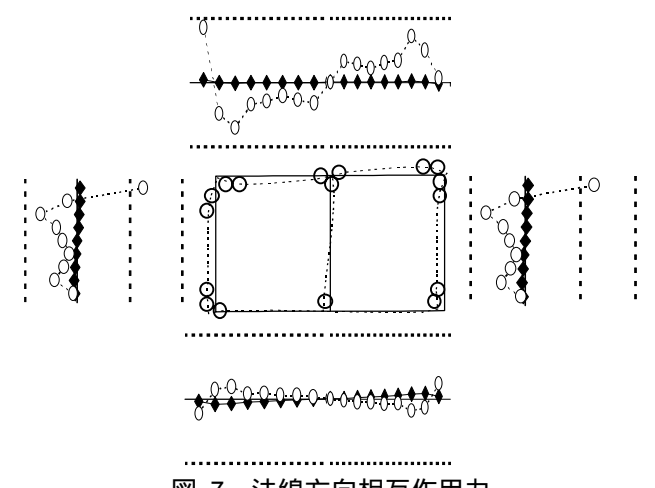


図-7 法線方向相互作用力  
(砂質土地盤、地震時終了時)