

JAEE 地盤反力委員会の方向性 2021/8/4

東洋大学

鈴木崇伸

土と構造物の相互作用問題

- 地中構造物には死荷重として自重の他に土圧が作用し、また活荷重として地表荷重が作用する。地震時には土と構造物の挙動が異なることに起因する表面力が活荷重として作用する。地震時の相対変位による表面力を地盤反力と定義する。
- 地中に建設される構造物の解析や設計では、土と構造物の挙動を結合して考える必要がある。土と構造物の一体解析を行うか、両者を分離して相互作用の力学モデルを使って解析する方法がある。
- 相互作用の力学モデルは構造物の変形特性により異なるが、はりモデルの場合、分布力あるいは分布バネが多く採用されている。これらの力学モデルは地盤のパラメータと構造のパラメータを含む。
- 相互作用が問題とされる構造物にはフーチングや杭などの基礎構造物、トンネルや管などの地下構造物、擁壁などの抗土圧構造物などがあげられる。

地中構造物の地盤反力特性の課題

- 相互作用の力学モデルは構造物の解析モデルによって決まる。
- 構造物をはりモデルとする場合、土の弾性的性質を表す分布バネが用いられており、相対変位が大きくなると分布バネの降伏を考える場合もある。
- 構造物をシェルモデルとする場合にも、バネが用いられるが、単位面積当たりのバネであり、はり解析の分布バネとは基本的に異なる。四半世紀前にはシェルモデルを4点につけたはりの分布バネで引っ張る計算が行われていた。
- 地盤と構造物を3次元FEモデルとすると一体解析が可能であるが、地盤と構造物の境界面の力学モデルが必要とされる。また地盤の変形パラメータを決める必要がある。
- バネ値の設定は地盤の弾性定数から決める方法や実験値から決める方法があり、混乱が見られる。特に地盤の変位量が大きくなると地盤反力特性の評価が難しい。

管の地盤反力特性の設定法の例

指針	主な内容
日本水道協会、水道施設耐震工法指針・解説2009	地盤のせん断剛性率 ($G = \rho V_s^2$) とヤング率をはりの分布バネとする方法 滑りを考える場合は実験値
日本ガス協会の指針	土槽実験結果をもとにはりの分布バネ係数と最大地盤拘束力を決めている。 埋設深さによって変化する方法 また平板載荷試験による地盤反力係数 K_{30} の方法も記載されている
ALA, 2005	はり解析用の地盤反力特性を最大地盤反力と降伏変位で定義している。 管の移動する方向もパラメータにしている。 最大地盤反力は地盤のせん断強度を基本量としており、埋設深さによって変化する 降伏変位は経験値と思われるが、管軸方向は数mmから10mm程度、管軸直角方向は埋設深さの3%程度を推奨している。

地盤反力特性には地盤の弾性的性質とせん断強度が利用されているが、すっきりした説明になっているものはない。

地盤反力 $R=K(\delta_g - \delta_s)$

- 地盤反力 R は地盤変位 δ_g と構造物変位 δ_s の相対変位に比例する.
- 地震時の地盤変位 δ_g は地震工学の人間が決める.
- 構造物変位 δ_s は構造工学の人間が決める.
- 比例係数 K は地盤工学の人間が決めることになるが, 構造物パラメータによるため単純ではない.
- 結局単純なバネモデルであっても, 地震工学, 構造工学, 地盤工学の融合問題となり, 適切かどうかの判断は難しい.
- 地震外力となる地盤変位 δ_g を大きく設定しても, 比例係数 K を小さく見積もれば地盤反力は小さくなり, 構造物変位も小さくなる. 逆の操作も可能であり, 適切な評価が望まれる.

土の力学的性質の複雑性

- 土はひずみレベルや載荷速度, 水の影響によって力学的特性が変化する材料であり, 鉄やコンクリートのようには簡単ではない
- ひずみレベルが 100μ 程度以下ならば弾性, 100μ から1%程度は弾塑性, 1%以上ではせん断破壊を前提とした剛塑性とする考え方が定着している.
- 土圧の計算をとっても, 鉛直は土被り圧(γH), 水平は静止土圧係数を考えて低減する考え方が一般であるが, 構造物が入るといろいろな公式が提案され, 何をを使うかは指針によることになる.
- また載荷速度や水の影響に関しても, 排水, 非排水の強度の問題になって非常に複雑な問題となる.
- 構造物も加えた相互作用の問題となると, 土木の中の分野横断領域となり, 研究者の数も少なく, 古い設計の考え方が改訂されることがなく現在に至っている.

コンピュータ解析技術の進展

- 21世紀に入ってコンピュータの性能が飛躍的に向上し、FEをはじめとした構造解析技術も急速に発展している。CGも改善されて何となくあっているような計算結果が簡単に得られるようになった。
- 地震工学分野でもFEを使った解析が推奨されるようになり、地盤の弾塑性まで扱う市販ソフトが使われるようになってきている。ただし動的解析はひずみレベルによりせん断剛性を低下させる等価剛性法が一般的となっている。
- 地盤のFE解析において弾塑性解析あるいは剛塑性解析のV&Vが進めば、実験の代用とすることができ、これまでの経験的な設計式を高精度化できる可能性がある。
- しかし土は複雑な力学的性質であるため、汎用のFE解析の延長では十分な精度があるかはわからない。

素朴な懸念

- 地中構造物の設計法は昭和時代からあまり変わっていないが、はり分布バネのモデルは不変の計算法でいいのか？
- 分布バネの特性に関しても、昭和時代の経験式が引用されるが、不変の実験定数が決まっているとは思えない。
- 昭和時代には設計手法としてはり解析しか使えなかったが、今はお金と手間暇をかければ高度な構造解析を行うことができる。地盤-構造物の相互作用の問題に関して令和の新しい展開を目指す必要があるのではないか。
- このことに興味のある研究者が集まって意見を出し合い、今後の方向性が示せれば、有意義な研究会の成果になると考える。
- 土と構造物の相互作用問題は土木建築の地震工学者の間で長年扱ってきた問題であり、地震工学会で議論する場を設定することとした。