

地下構造物の断面力に及ぼす地盤剛性のひずみ依存性の影響

建設省土木研究所 正会員 村井和彦
 同 上 正会員 星隈順一
 同 上 正会員 運上茂樹

1. まえがき

兵庫県南部地震以後、構造物の耐震設計は、供用期間中に発生する確率の高い地震動および供用期間中に発生する確率は低いものの大きな強度を持つ地震動の2段階で行うようになりつつある。地下構造物においても、大規模地震の影響も考慮した耐震設計法の確立が急務となっている。地震時の地盤の挙動で特徴的なことの一つに地盤剛性のひずみ依存性があり、地震動が大きくなれば地盤の応答変位は大きくなるが、逆に地盤のバネ値は小さくなる傾向となる。本文は、この相反する2つの要因が地下構造物に生じる断面力に及ぼす影響を、地盤の剛性低下の著しい0.1%を越える地盤ひずみ領域においてを解析的に検討した結果をまとめたものである。

2. 解析モデルと解析方法

解析の対象とした地盤剛性のひずみ依存関係を図-1に示す。このうちケース①は、現実的な地下構造物設置地盤を想定し、拘束圧 3.8 tf/m^2 の沖積砂質土($V_s=152 \text{ m/s}$, $\gamma_t=1.9 \text{ tf/m}^3$)を対象としたもの、ケース②は、地下構造物が非常に深い位置に設置されることを想定し、拘束圧 19.0 tf/m^2 の沖積粘性土($V_s=100 \text{ m/s}$, $\gamma_t=1.6 \text{ tf/m}^3$)を対象としたもの、ケース③は、沖積粘性土における地盤剛性のひずみ依存関係の拘束圧による変化を参考に、拘束圧が非常に高くひずみの増大に比べて剛性低下の著しい地盤($V_s=78 \text{ m/s}$, $\gamma_t=1.6 \text{ tf/m}^3$)を全く仮想的に想定したものである。解析の対象とした構造物を図-2に示す。解析は、まず、図-3に示すように地盤と構造物をFEMでモデル化し、地盤のせん断弾性係数をパラメータとして、地盤慣性力に基づく応答変位法¹⁾を用いて一次モードのみ考慮した地盤慣性力を与え、計算された断面力を自由地盤における構造物位置のせん断ひずみで除して、単位せん断ひずみあたりの断面力を求めた。次に、図-1の関係をを用いて想定する入力地震動に対して構造物位置に生じる地盤のせん断ひずみとせん断弾性係数を決定し、せん断弾性係数に応じた単位せん断ひずみあたりの断面力と地盤のせん断ひずみを乗じることにより構造物の断面力を求めた。なお、検討においては、構造物の剛性は降伏剛性を有する線形とし、断面力は地震時の増分のみを対象とした。また、地盤の液状化や地盤と構造物の剥離・すべりについては考慮していない。

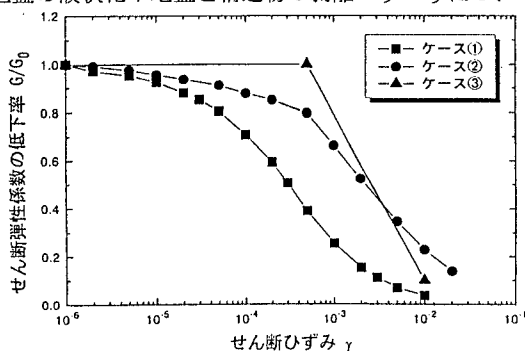


図-1 解析に用いた地盤剛性のひずみ依存関係

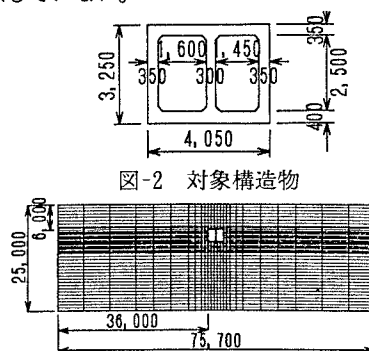


図-2 対象構造物

図-3 FEMによるモデル化

KeyWords: 地盤剛性のひずみ依存性、地下構造物の耐震設計、大規模地震動、2段階設計

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

3. 解析結果

図-4は、構造物の中壁に着目し、地盤のせん断弾性係数と単位せん断ひずみあたりの曲げモーメントの関係を示したものである。これより、地盤のせん断弾性係数が小さい場合は構造物に発生する単位せん断ひずみあたりの断面力が小さいことがわかる。図-5は、地盤のせん断ひずみの大きさと構造物中壁上端の曲げモーメントの関係を示したものである。ここで地盤のせん断ひずみは、概ね震度法レベルと地震時保有水平耐力レベルの中間の地震動により生じると想定される範囲について算定している。これより、ケース①、ケース②の地盤条件では、構造物に生じる曲げモーメントは地盤ひずみの大きさに応じて単調に増大する傾向を有することがわかる。これに対してケース③の地盤条件では、地盤のせん断ひずみが0.8%の時に曲げモーメントが最大となっており、ある地盤ひずみで曲げモーメントが極値を持つ傾向を有することがわかる。極値を有するという事は、震度法と地震時保有水平耐力法との中間レベルの地震動で断面力が最大となることと考えられるので、両者の照査のみならず、中間の地震動レベルに対しても留意する必要があることを意味している。

4. 考察

前述したように今回の解析では、構造物に生じる断面力の算定は式(1)を用いている。

$$M = M_0 \cdot \gamma \quad (1)$$

ここで、 M ：発生断面力、 M_0 ：単位せん断ひずみあたりの発生断面力、 γ ：発生地盤ひずみである。

図-4に示すように単位ひずみあたりの断面力と地盤のせん断弾性係数の関係は、上に凸の曲線となっており、これを仮に

$$M_0 = \alpha \cdot G^\beta \quad (G: \text{地盤のせん断弾性係数、}\alpha, \beta: \text{定数、但し}\beta < 1) \quad (2)$$

と仮定すると、式(1)は、

$$M = \alpha \cdot G^\beta \cdot \gamma \quad (3)$$

となる。一般に、入力地震動が大きくなると γ は増大し G は低下するが、ケース①やケース②の場合は、発生断面力における γ の増加の寄与分と比較して G の低下の寄与分が小さいため、発生断面力が入力地震動に応じて単調に増加する傾向となると考えられる。但し、 G の低下の寄与もあるため地震動の大きさに単純に比例して増大することとはならない。逆に、ケース③の場合は、 G の低下の寄与分が γ の増加の寄与分より大きく、極値を有する傾向となったと考えられる。但しこのような地盤は現実的ではない。

5. まとめ

解析結果より考察すると、地盤剛性低下の非常に著しい場合を除き、一般には、断面力は発生地盤せん断ひずみの大きさ、すなわち入力地震動の大きさに応じて単調に増大することとなる。従って地下構造物について大規模地震動も考慮した耐震検討を行う際においても、震度法レベルと地震時保有水平耐力レベルの2段階で行うことが妥当であると考えられる。また、地盤の剛性低下の影響により、地下構造物の断面力は地震動の大きさに単純に比例して増大することとはならないと考えられる。

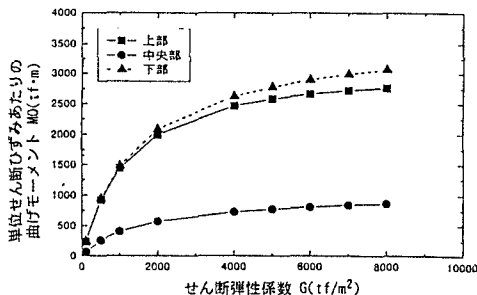


図-4 中壁の単位せん断ひずみあたりの曲げモーメント

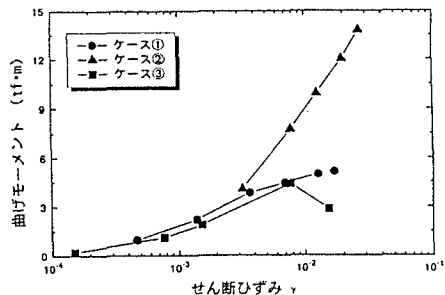


図-5 構造物中壁上部の曲げモーメント

参考文献：1). 大塚、星隈、村井、田中、橘：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、土木学会第52回年次学術講演会、1997。