

東京大学工学部 正員 松本嘉司
国鉄東京オニ工事務局 正員 O高木 登

1 序

一般の構造物の設計方法は、構造体を構造モデルに置換え、そこに作用する外的な影響を荷重という力の形に抽象化して、構造モデルを解析し、その結果にもとづいて具体的な形態を決定して行くという手法論に依っている。このため、構造体に作用する影響が力の形で与えられる場合には、それを荷重という形に置換えて取扱うことは容易であるが、変形で与えられる場合には、それに対する検討が十分でない場合が起ってくる。基礎ぐいは地中に埋設された構造物であるため、地震時にくいの周辺の地盤が振動すると、それと共にくいに変形が生ずる。地中構造物についての地震時の観測結果によれば、剛性の比較的小さい棒状の構造物は地盤とほぼ同一の変形をすることが認められる。しかし、このように基礎ぐいが地盤から直接にうける影響は変形で与えられるため、これまでの基礎ぐいの設計において一般的には無視されてきた。すなわち従来の基礎ぐいの設計方法はくいの頭部に作用する外力に対して、基礎ぐいは周辺の地盤によって弾性的に支持されるものとして解析し、設計が行われてきた。

2 動的解析

基礎ぐいの地震時応答と解析する地盤-くい系の振動モデルとしては、Penzgenの方法がある。これにならうて、図-1のような地盤-くい系の振動モデルを設定し、くい周辺の地盤のヤング率、基礎ぐいの曲げ剛性を変えて、くいに作用する動的曲げモーメントを求めてみた。ここでは、周辺地盤も基礎ぐいもすべて弾性体とし、地盤は弾性を表わすばねと粘性減衰を表わすダッシュポットとを並列機構で結合した多質点系でモデル化し、同じように基礎ぐいも多質点系でモデル化し、地盤とくいとの相互作用は弾性を表わす相互

作用は弾性を表わす相互作用ばねと粘性減衰を表わすダッシュポットとの並列機構で結合する。この地盤-くい系の振動モデルの運動方程式は次のように表わされる。

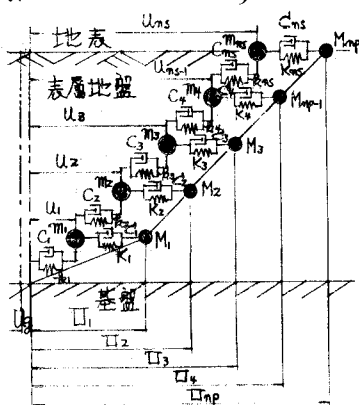
$$M\ddot{U} + C\dot{U} + KU = -F\ddot{U}_g \quad (1)$$

ここに、 M : 質量マトリックス, C : 粘性減衰マトリックス, K : 剛性マトリックス

U : 地盤およびくいの変形ベクトル, $F\ddot{U}_g$: 強制外力ベクトル

以上のような地盤-くい系の振動モデルに対して、地盤の質量 m とくいの質量 M_k はくらべて十分に大きくとって、基礎ぐいとしては直径30, 60のPCぐいで、表層地盤としては深さ10^(cm)について、そのヤング率が15, 150, 1500^(%)の3種に変えて動的解析を行なってみた。この場合のくい頭部の結合条件は固定およびヒンジとし、地震入力としてはEl Centro地震(1940.5.18, カルフォルニアN-S)と十勝沖地震(1968.5.16, 八戸E-W)の地震波を最大100galとして基礎に作用させた。図-2, 図-3はその地震時における表層地盤の各点での絶対最大変位およびくい各部の絶対最大曲げモーメントについての計算結果を整理して示したものである。

この結果について次のようなことが言える。



記号の説明
 M_i ($i=1, NP$): くいの質量(有効質量を含む)
 m_i ($i=1, NS$): 地盤の質量
 K_{ij} ($i, j=1, NP$): 地盤とくいの相互作用ばね定数
 k_{ij} ($i, j=1, NS$): 地盤のばね定数
 C_{ij} ($i, j=1, NP$): 地盤とくいの相互作用粘性減衰定数
 c_{ij} ($i, j=1, NS$): 地盤の粘性減衰係数
 U_i ($i=1, NP$): くいの変位
 u_i ($i=1, NS$): 地盤の変位
 U_g : 地震(鉛直方向は一定と仮定)
 NS : 地盤の総質点数
 NP : くいの総質点数

図-1 地盤-くい系のモデル

1) 表層地盤は基礎に対して地震時にかなりの大きさで振動変形する。これによって基礎ぐいは強制的に変形し、曲げモーメントが発生する。この地盤振動によるぐいの曲げモーメントはぐい先まで全長に亘っており、ぐい先に向って急激には減衰するようなことはない。

2) 表層地盤があまり軟弱でなく、そのヤング係数がある程度の大きさをもつ場合には、地表面での最大変位は小さくなるが、その場合でもぐいには地盤振動による曲げモーメントが作用する。

3) 表層地盤の軟弱さの程度に応じてぐいに作用する曲げモーメントが増大するということはない。これはぐいの剛性にも関係することであるが、極軟弱地盤よりも適度の強度のある地盤の方がぐいに与える影響は厳しくなる場合もあり、曲げモーメントの絶対値も大きくなる。

4) ぐい頭部を固定とすると、地盤振動によってぐい頭部にはかなりの曲げモーメントが作用する。ぐい頭部には上部構造物からの作用する水平力によっても曲げモーメントが集中的に作用するから、これを加算すると軟弱地盤においては、ぐい基礎のぐい頭部はヒンジとすることが望ましいものと思われる。

地震: El Centro, 十勝沖
表層地盤の減衰定数: 0.20
表層地盤の深さ: 10 (cm)
表層地盤のヤング係数: $E=15, 150, 1500$ (kg/cm²)

ぐい頭拘束条件: 固定
ぐい先拘束条件: ヒンジ
ぐいの直径: 30, 60 (cm)
ぐいの材質: PCぐい

ぐいの諸元: $E=4,000,000$ (kg/cm²)
 $I_{30}=0.000319$ (m⁴)
 $I_{60}=0.004522$ (m⁴)

記号の説明:
— $E=15$ (kg/cm²) 太線: El Centro
--- $E=150$ (kg/cm²) 細線: 十勝沖
- - - $E=1500$ (kg/cm²)

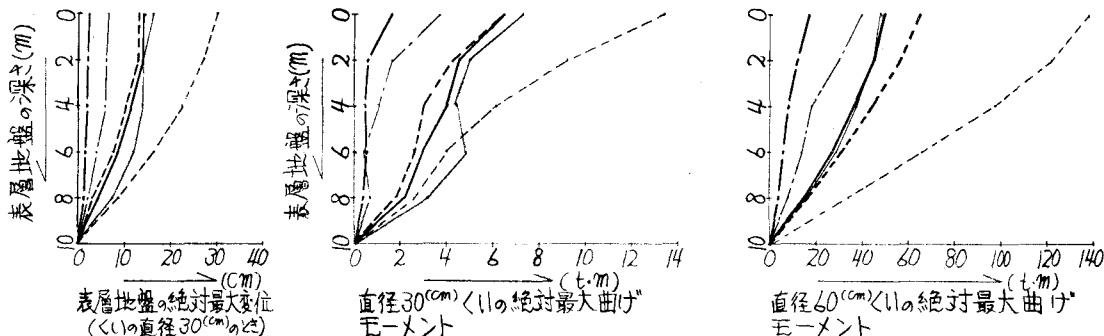


図-2 表層地盤の各点での絶対最大変位およびぐいの各部の絶対最大曲げモーメント

地震: El Centro, 十勝沖
表層地盤の減衰定数: 0.20
表層地盤の深さ: 10 (cm)
表層地盤のヤング係数: $E=15, 150, 1500$ (kg/cm²)

ぐい頭拘束条件: ヒンジ
ぐい先拘束条件: ヒンジ
ぐいの直径: 30, 60 (cm)
ぐいの材質: PCぐい

ぐいの諸元: $E=4,000,000$ (kg/cm²)
 $I_{30}=0.000319$ (m⁴)
 $I_{60}=0.004522$ (m⁴)

記号の説明:
— $E=15$ (kg/cm²) 太線: El Centro
--- $E=150$ (kg/cm²) 細線: 十勝沖
- - - $E=1500$ (kg/cm²)

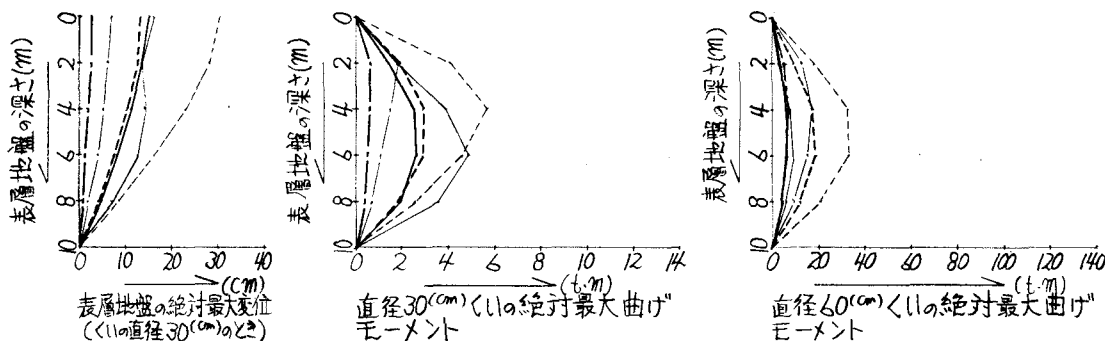


図-3 表層地盤の各点での絶対最大変位およびぐいの各部の絶対最大曲げモーメント