

九州大学 工学部 正員 小坪 清 眞  
九州工業大学 正員 高西 照 彦

1. まえがき

大地震に際しては、地盤が単純な線型振動を行っているとは考え難い。地盤の非線型性を考慮した鋼管橋脚の地震応答を厳密に解析することは非常に面倒で、数値計算を行う場合に現在の高速度の電子計算機を用いてもかなりの計算時間を必要とする。本論はまずオノに、地盤の非線型性を考慮した鋼管橋脚の地震応答の近似解析法を述べ、実際に数値計算を行ってこの近似解析法の妥当性と検討すること、オノに、地盤の性質をいろいろ変えて橋脚の地震応答を計算し、地盤の非線型性が橋脚の変位応答に及ぼす影響を見積ることとその目的としている。

2. 近似解析法の基本的考え方

地盤はその下層基盤から入射する地震波によって図-1に示すように *bilinear* なせん断応力-歪曲線に従うせん断振動を行うものとする。また、地盤反力( $w$ )に対する地盤と橋脚の相対変位( $u-y$ )についても図-1と同様な *bilinear* な関係を仮定する。つぎに橋脚についてはこれを線型振動の範囲で考える。したがって非線型性は地盤のみについて考える。

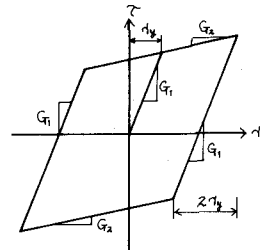


図-1 せん断応力-歪曲線

地盤を多質点系に置換してその非線型振動を考えると、その振動型及び固有振動数は振中の函数となるが、振動型に関しては線型振動のそれと比較してその差はそれほど大きくないものとするれば、今考えている非線型振動と線型振動の振動型の重ね合わせによって近似することが出来る。その際固有振動数についてはそれを振中の函数と考える。前述のように振動型が振中の大きさに関係しないということから、等価線型系の概念とそのまま多質点系に拡張して適用することができ、したがって面倒な多質点系の非線型振動をいわゆる *modal analysis* の概念で処理することが可能になる。つぎに減衰に関しては、各質点それぞれ振動型で正弦振動を行うときに生ずる *hysteresis loop* の面積が等価線型系において速度に比例する抵抗によって消費されるエネルギーに等しくなるように減衰定数を選ぶ。したがって減衰定数も振動振中によってその値が変ることになる。<sup>(\*)</sup>

地盤の非線型振動についてはその変位応答において、多質点系による厳密解と *modal analysis* による近似解とが比較的良好に一致するという結果を既に得ているので、本論の地盤変位の計算にはその方法とそのまを用いることができる。したがって、あとは地盤反力の非線型性を考慮して橋脚の地震応答を計算すればそれで求める結果が得られることになる。

3. 鋼管橋脚の振動モデル

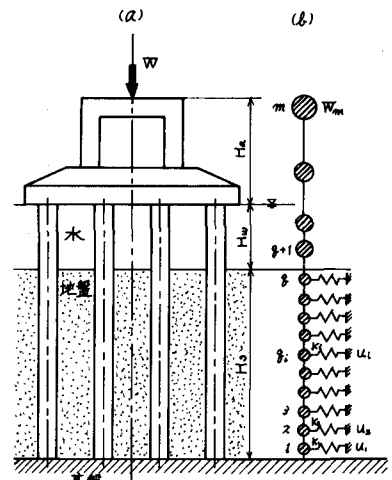


図-2 鋼管橋脚と振動モデル

解析に用いた鋼管橋脚を図-2(A)に示す。図-2(A)の橋脚と地盤とそれぞれ図-2(B)に示すような多質点系に置換して地震応答計算を行った。

#### 4. 鋼管橋脚の変位応答理論

鋼管橋脚の変位応答理論については厳密解と近似解の兩者について既に他に詳論<sup>(\*)</sup>してあるので、本論ではすべてこれを省略する。

#### 5. 数値計算例及び考察

本論で述べた非線型振動の近似計算理論の妥当性を検討するため、つぎに述べるような条件の場合について数値計算を行った。

地盤の深さは $H_s=15^m$ とし、それを10等分した。土の単位体積重量 $\rho=1.8^t/m^3$ 、地盤のせん断弾性係数 $G$ は図-3に示すように各質点間では一定とし、 $G$ を各質点の中間にプロットすればそれは下端で $G_0=80^kg/cm^2$ 、地表面で0の三角形分布の直線上にのるものとした。地盤反力係数を $G$ との関係は $G/k=20$ とした。塑性域と弾性域におけるそれぞれ $G$ の比、 $k$ の比はいずれも0.4を採用した。また、地盤の歪の弾性限界は0.002とし、地盤反力のそれは $0.003^m$ とした。地盤の粘性による減衰係数は一例として0.25を採用した。

鋼管橋脚については、鋼管外径 $1.5^m$ 、鋼管数11本、地中長さ $15^m$ 、水中長さ $5.5^m$ 、空中高さ $8.85^m$ である。この鋼管橋脚と地中部は10等分、水中部は8等分、空中部は2つに分けて全質点数を14個とした。質点の重量は水及び土の附着質量をも考慮してその分を加算してある。なお、橋脚の下端はピン支と仮定して計算を行った。

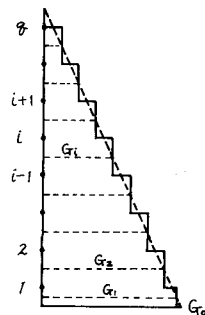


図-3 Gの分布

入力地震波としてはElCentro地震波(1940.5.18. N-S成分)を用いた。計算結果の一例を図-4に示す。同図は橋脚天端の変位応答を描いたもので、

実線は非線型振動のmodal analysisによる近似解法の結果を示し、点線は従来の線型振動解の結果を示したものである。

応答計算には一応地盤、橋脚とも5次振動まで採用して計算を行った。しかし地盤については3次位まで、橋脚については2次位までとれば本論の変位応答の計算には十分であった。

なお、地盤の性質をいろいろ変えた場合については現在計算中でありその結果については講演時に発表する予定である。

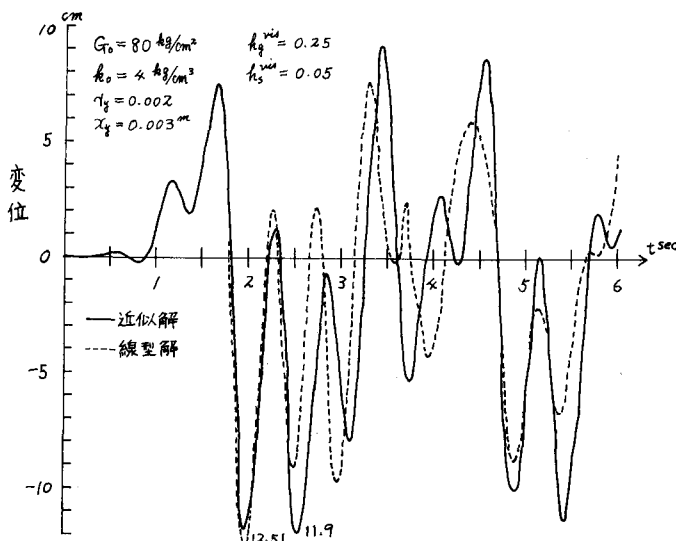


図-4 変位応答曲線

(\*) 小坪・高西「地盤振動の非線型性を考慮した鋼管橋脚の地震応答解析」 第10回地震工学研究発表会 昭和44年7月