

杭式橋梁基礎の振動解析

早稲田大学 理工学部 学生会員 守屋 武海

早稲田大学 理工学部 フェロー 清宮 理

1. はじめに

杭式基礎の地震時応答解析を行うにあたって、地盤と杭基礎とを剛結合とした場合と、地盤バネを考慮した場合では結果に差が生じてくることが考えられる。そこで、構造物と地盤をケース 1.バネ無し（剛結合）、ケース 2.線形バネ、ケース 3.非線形バネで材料非線形性を考慮した地震応答解析を行い、計算結果の比較について述べる。

2. 計算モデル

(1)概要：今回計算に用いたのは、図-1 に示すような橋脚で、RC 製であり橋脚の高さは 12.5m である。基礎は杭形式で、杭長 30m、杭径 1.2m である。表層地盤は図-2 に示すように長さ 165m、厚さ 40m であり、地盤は比較的軟弱で、-40m の箇所を入力地震動の基盤面とした。解析に際しては、杭および地盤部は非線形性を考慮し、上部構造および橋脚躯体は非線形性を考慮しなかった。

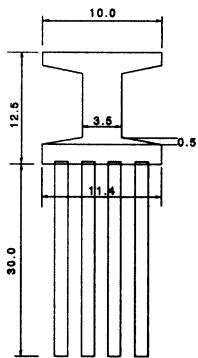


図-1 橋脚図

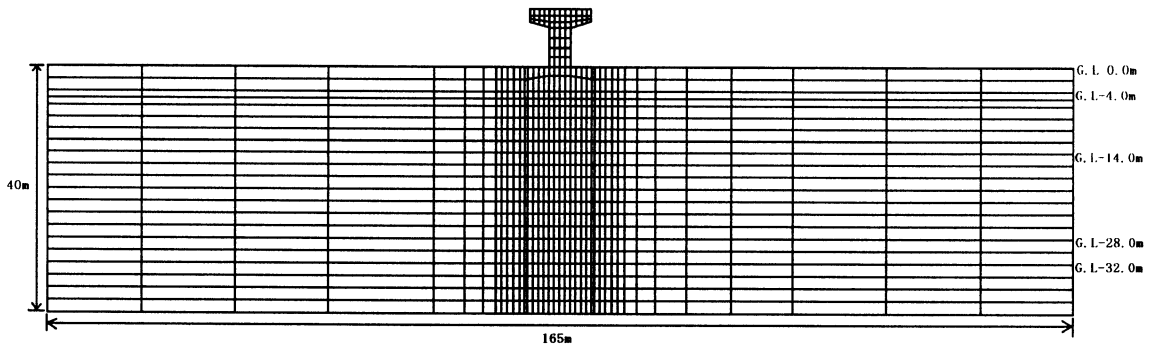


図-2 解析モデル

(2)構成部材：杭は、ヤング率 $2.5 \times 10^6 \text{tf/m}^2$ 、ポアソン比 0.16、単位体積重量 2.35tf/m^3 である。また、区間により材質が異なる。杭体の条件および $M-\phi$ 関係を表-1 に示す。コンクリートの圧縮強度は 240kgf/cm^2 である。地盤部の非線形性は $R-O$ モデルとして、一軸圧縮強さを $q_u = 1 + N/5 \text{tf/m}^2$ で計算し、降伏応力 C を q_u の $1/2$ とした。地盤条件を表-2 に示す。地盤と杭とを結ぶバネ（地盤バネ）は水平・鉛直方向の 2 方向を考えた。水平方向地盤バネ定数 K_H は、水平方向地盤反力係数 k_H から $K_H = k_H D l$ (D : 杭径、 l : 層厚) の式で求め、鉛直方向地盤バネ定数 K_V は K_H の 3 倍とした。また、この非線形地盤バネの降伏応力は、水平方向地盤バネの降伏力を $P_{HV} = 9CDl \text{tf}$ で、鉛直方向地盤バネの降伏力を $P_{VU} = \pi CDl \text{tf}$ で計算した。上部構造および橋脚躯体は、ヤング率 $2.1 \times 10^6 \text{tf/m}^2$ 、ポアソン比 0.16、単位体積重量 2.35tf/m^3 とした。

表-1 杭体の条件および $M-\phi$ 関係

	区間 (m)	長さ (m)	主鉄筋	帯鉄筋	Mc(tf・m)	ϕ_c (1/m)	My(tf・m)	ϕ_y (1/m)	Mu(tf・m)	ϕ_u (1/m)
断面1	G.L-4.0~-6.4	2.4	D29 28本	D16ctc150	54.4	0.000186	158.8	0.002126	247.6	0.02639
断面2	G.L-6.4~-14.0	7.6	D29 28本	D16ctc300	54.4	0.000186	160.4	0.002102	242.6	0.01585
断面3	G.L-14.0~-34.0	20	D29 14本	D16ctc300	50.9	0.000186	86.7	0.001914	131.9	0.02122

キーワード：橋梁、地震応答解析、有限要素法、材料非線形

連絡先：〒169-8555 東京都新宿区大久保 3-4-1 早稲田大学 51 号館 16F-01 TEL/FAX 03-5286-3852

(3)入力地震動：入力地震動には兵庫県南部地震の - 82m で観測されたポートアイランド観測地震波（最大加速度 679Gal）を用いた。

3. 計算結果

左から 1 列目の杭の断面力の時刻歴を図-3 に示す。最大軸力はケース 1 では 150.0tf（4.77sec）、ケース 2 では 125.4tf（4.77sec）、ケース 3 では 119.7tf（4.78sec）であった。最大曲げモーメントはケース 1 では 206.4tf・m（4.76sec）、ケース 2 では 214.0tf・m（4.79sec）、ケース 3 では 211.3tf・m（4.79sec）であった。最大軸力では地盤バネを考慮しなかった場合のほうが 2 割程度大きくなったが、最大曲げモーメントはほとんど同じような値を示した。また、今回の解析においては地盤バネの非線形性はほとんど最大曲げモーメントの結果に影響しなかった。

表-2 地盤条件

地層	区間	平均N値	γ (t f/m ³)	G_0 (tf/m)	ポアソン比
埋土	0.0～-4.0	4	1.8	2962.10	0.49
粘性土	-4.0～-14.0	2	1.7	2753.65	0.49
粘性土	-14.0～-28.0	8	1.8	7346.94	0.49
砂質土	-28.0～-32.0	16	1.9	7878.69	0.49
砂質土	-32.0～	50	2.0	17726.81	0.49

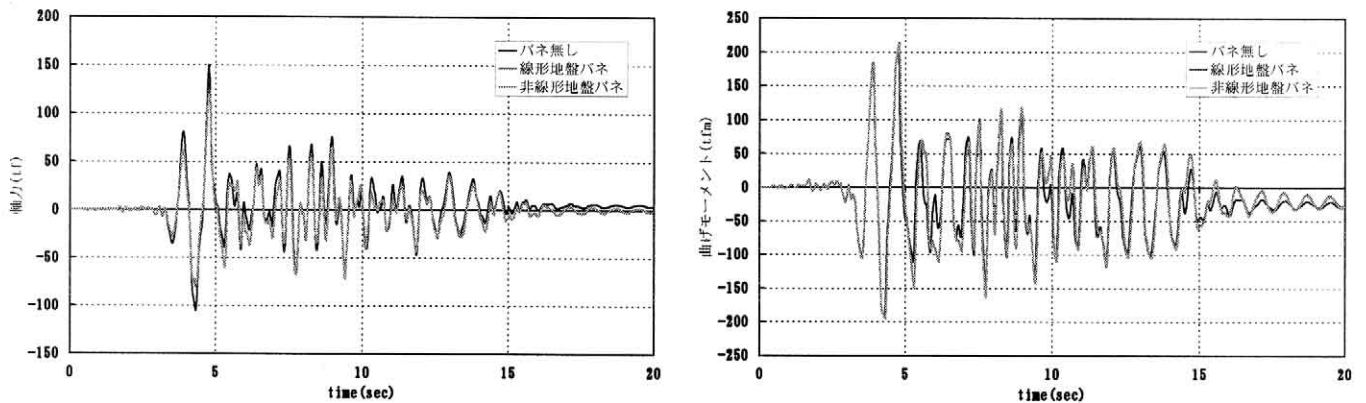


図-3 杭 1 列目の断面力の時刻歴

次に 1 列目の杭の最大曲げモーメントを図-4 に、また杭の最大水平変位を図-5 に示す。

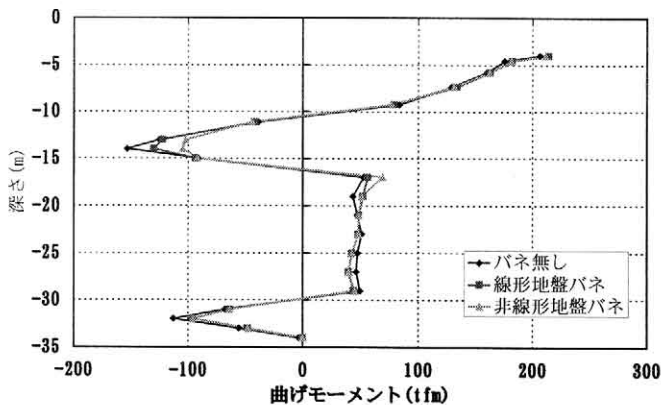


図-4 杭の最大曲げモーメント図

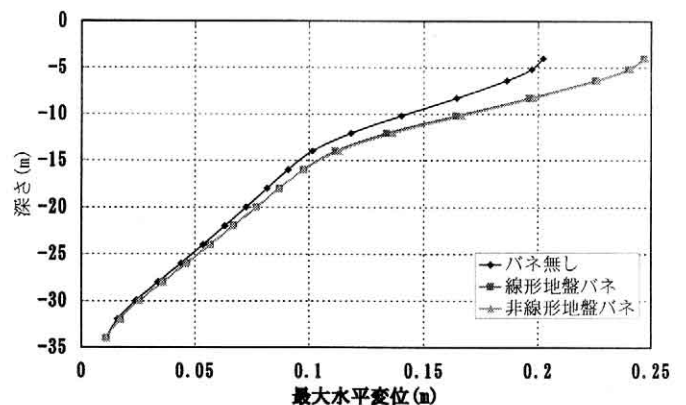


図-5 杭の最大水平変位図

最大曲げモーメントは 3 ケースとも杭頭部であり、値もほとんど変わらなかった。しかし G.L. - 14m においては、ケース 1 では - 153.2tf・m、ケース 2 では - 130.0tf・m、ケース 3 では - 104.5tf・m と 3 ケースとも異なる値を示した。また、G.L. - 32m においては、ケース 1 では - 112.9tf・m であるのに対し、ケース 2、3 では約 - 96tf・m と、少し小さい値を示している。最大水平変位は 3 ケースとも杭頭部が最大であったが、ケース 1 では 20.2cm、ケース 2、3 では約 24.7cm と 4.5cm 程度の差が出ており、地盤バネの有無がかなり影響しているが、地盤バネの非線形性を考慮する影響は見られない。

4. まとめ

今回の検討では、地盤バネを考慮することにより時刻歴の形状が多少異なってくること、杭の最大水平変位に差が出ることがわかったが、地盤バネの非線形性の影響は小さかった。また、地盤条件の大きく変わる位置では杭に発生する断面力に大きく影響することがわかった。今後、各種の条件で検討を進めていきたい。