

I-594 地盤の非線形性を考慮した杭基礎のインピーダンスに関する検討

日本道路公団	正会員	高橋 昭一
高速道路技術センター	正会員	酒井 秀昭
鹿島	正会員	増田 潔
鹿島	正会員	吉清 孝

1. はじめに

現在計画中の高速自動車国道のうち多くの路線においては、山岳部を通過する箇所が多くなるため、橋脚高さが高くなり、50mを越える橋脚も多く計画されるようになってきている。このような高橋脚橋梁においては、特に地震時の安全性の確保が重要な課題であり、その耐震設計を行うにあたっては、基礎の地盤ばね定数と減衰定数及び基礎による入力損失などを適切に評価することが重要となる。しかし現行の設計法は実際の地震時の挙動を適切に評価しているとは言い難く、特に杭基礎の場合、

- ① 杭基礎と地盤の動的相互作用
- ② 群杭及びフーチングの埋込み効果
- ③ 強震時における杭周辺地盤の非線形性

などの影響をインピーダンス問題と入力問題について適切に評価することが合理的な耐震設計を実現するために必要である。筆者らは、杭基礎の合理的な耐震設計法の確立に資するため、インピーダンス問題に着目し①と③の影響について野上の提案した解析法<sup>1)</sup>により検討を行ったのでここに報告する。

2. 解析概要

杭基礎と地盤との動的相互作用を検討する場合、地形、地層構成、地盤の3次元的な広がり及び非線形性など杭基礎の応答に影響を与える数多くの要因を、等しくかつ厳密に解析に取り込むことは一般に困難であり、最近の動向としては、地盤を連続体と仮定した弾性波動論に基づく解析法と離散的なモデルによる解析法が用いられている。前者は地盤内への波動の逸散を重視するもので、地盤の線形性を前提とした周波数領域の解析が中心である。また後者は、主に地盤の不均質性や非線形性などの影響を重視するものである。今回採用した野上の方法は、弾性波動論を基に平面ひずみ状態での地盤評価を用いた実用的かつ簡便な時間領域での解析手法で、逸散減衰を考慮することが可能な上、杭周辺地盤の非線形性を考慮することもできる。そのモデルは右図のように杭、近傍地盤及び遠方地盤より構成されており、各構成要素の特徴は以下のとおりである。

① 杭(線形)

平面ひずみ仮定により算定した地盤ばねに支えられる梁要素としてモデル化

② 近傍地盤(非線形、閉領域)

杭近傍の地盤は非線形的な挙動が表現できるように、水平上下方向とも複数のばねとスライダーから構成されるIwanモデルを採用

③ 遠方地盤(線形、開領域)

水平方向への波動逸散を考慮した平面ひずみ仮定に対するNovakの解析解(周波数領域)を近似した直列の3個のVoigtモデル(時間領域)を採用

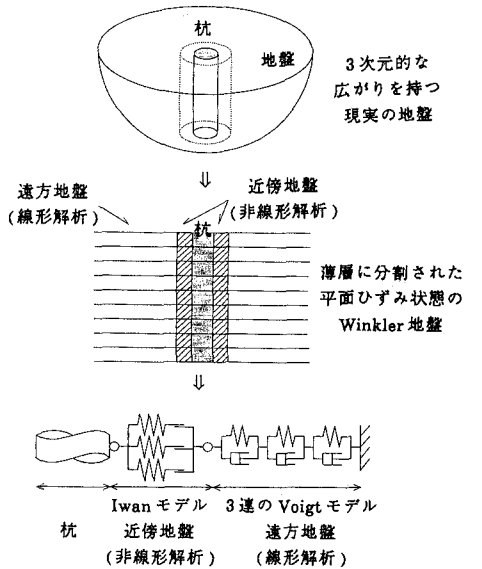


図-1 解析モデル概念図

3. 数値解析例

解析の対象としては、橋脚高さ70mの3径間連続PCラーメン橋を想定し、地盤はⅡ種地盤を仮定した。杭基礎諸元については、通常の設計計算により定め、この中の1本を対象に単杭の解析を行った。

1) 解析条件

表-1 解析用物性値一覧表

① 解析用物性値

重複反射理論に基づく地盤の応答解析を行い、地震時のひずみに応じた地盤定数を設定した。解析用物性値を表-1に示す。

土質	層厚 m	N値	動的特性					層分割
			$\gamma_t$ t/m <sup>3</sup>	$V_s$ m/s	$\nu$	E t/m <sup>2</sup>	G t/m <sup>2</sup>	
Ac	10.0	5	1.6	150	0.49	$1.09 \times 10^4$	$3.67 \times 10^3$	$1.0 \text{ m} \times 10$
As	5.0	20	2.0	160	0.49	$1.56 \times 10^4$	$5.22 \times 10^3$	$1.0 \text{ m} \times 5$
Ds	5.0	30	2.0	210	0.49	$2.68 \times 10^4$	$9.00 \times 10^3$	$2.5 \text{ m} \times 2$
基礎	-	$\geq 70$	2.4	500	0.45	$1.77 \times 10^5$	$6.12 \times 10^4$	$3.0 \text{ m} \times 1$
杭	-	-	2.5	-	0.17	$2.50 \times 10^6$	$1.07 \times 10^6$	-

② 解析モデル

深さ方向に対しては平面ひずみ条件を仮定した。要素分割を表-1に示す。尚、杭頭は回転拘束とし、加振は水平方向のみとした。

③ 周辺地盤の非線形特性

Mohr-Coulombの降伏条件、完全弾塑性型のBi-Linear特性を仮定し、静的非線形解析により近傍地盤の荷重と変位関係を設定した。また、近傍地盤の領域は杭径の倍とした。

2) 解析ケース

地盤と橋梁の固有振動数及び設計時の水平力などを勘案して、加振振動数(0.5、1.0、2.0 Hz)と加振力(400、600 t)をそれぞれ変化させた解析を行い、等価ばね定数及び減衰定数について検討した。

3) 解析結果

定常状態における加振力と変位の関係から算定した杭頭の等価ばね定数及び減衰定数を図-2、3に示す。これを見ると、加振力を増加させると非線形領域が増大し、それに伴い等価ばね定数は減少し、等価減衰定数は増加する傾向にあることがわかる。また杭頭の剛性及び減衰は加振振動数及び加振力に依存することがわかる。

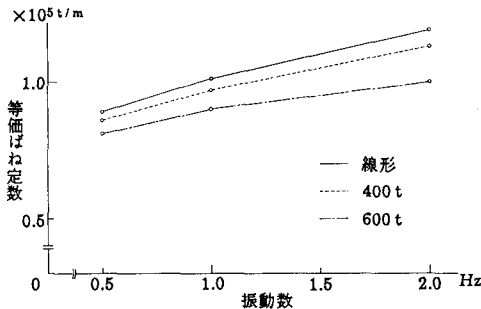


図-2 杭頭の等価ばね定数

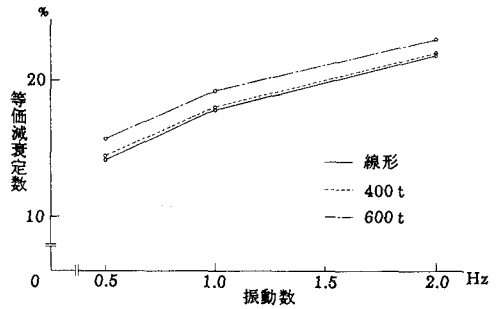


図-3 杭頭の等価減衰定数

4. おわりに

今回の検討において、インピーダンス問題としての杭周辺地盤の非線形性の影響は、等価ばね定数及び減衰定数とも、線形に比べて一割程度の差異であることを確認した。しかし、検討の範囲は限られたもので、また解析手法についても実験などによる検証が必要であると考えられ、今後は入力問題も含め杭基礎の合理的な耐震設計法の確立を目指し、さらに検討を進めていく予定である。尚、今回の検討に使用した解析プログラムはカリフォルニア大学の野上博士と鹿島との共同研究成果である。

参考文献

1) NOGAMI,T., KONAGAI,K., and OTANI,J. : Nonlinear Pile Foundation Model for Time - Domain Dynamic Response Analysis , Proceedings of 9WCEE , Tokyo - Kyoto , JAPAN , 1988