

免震支承の等価線形化解析

山口大学工学部    ○学生員    石田 邦洋  
 山口大学工学部    正員        中村 秀明  
 山口大学工学部    正員        浜田 純夫

1. まえがき

近年、支承部分に鉛プラグ入り積層ゴムや、高減衰積層ゴムを用いた免震橋梁が脚光を浴びている。このような免震支承は、非線形な履歴特性を有しており、その動的解析では、ひずみ増分法等により剛性が時々刻々と変化する毎に剛性マトリクスを作り変え、直接積分する方法が用いられている。しかしこの直接積分する方法は、膨大な計算が必要となるため免震支承の非線形な履歴を、それと等価な剛性や減衰に置き換えた等価線形化法等が用いられている。本研究は、免震橋梁モデルによる非線形地震応答解析を直接積分法、等価線形化法で実施し、比較検討したものである。

2. 解析方法、モデル

本解析で用いる免震支承は、鉛プラグ入り積層ゴムや、高減衰積層ゴムを想定し、図-1に示すバイリニア型の復元力曲線をもつものとする。このような免震支承をもつⅠ、Ⅱ種地盤上の橋脚2モデルを図-2に示すような、ロッキング・スウェイモデルに置き換え、上部構造を一質点にモデル化し、ひずみ増分法による直接積分する方法と、等価線形化法を用いた線形解析との結果を比較した。モデルの諸元を表-1に示す。

等価線形化する場合のバイリニア型復元力曲線の等価剛性 $k_{eq}$ および等価減衰 $h_{eq}$ は、図-1に示す様に定義し、繰り返し計算で求められた有効振幅 $X_{eff}$ から式(1)、(2)で求められる。ここで、最大振幅 $X_{max}$ から有効振幅係数を求める係数 $\beta$ は1とした。

$$h_{eq} = \frac{2}{\pi} \cdot \frac{1 - K_2/K_1}{1 + K_2/K_1 \cdot (\mu - 1)} \cdot \frac{\mu - 1}{\mu} \quad (1)$$

$$k_{eq} = \frac{K_1 + K_2(\mu - 1)}{\mu} \quad X_{eff} = \beta \cdot X_{max} \quad (2)$$

$$\mu = X_{eff} / X_j$$

表-1 解析モデルの重量と水平剛性

節点	MODEL 1		MODEL 2	
	重量tf	バネ定数(tf/m)	重量tf	バネ定数(tf/m)
1	721.35	$K_1 = 6068.4$ $K_2 = 933.6$	721.35	$K_1 = 6144.8$ $K_2 = 945.2$
2	96.88	$0.92 \times 10^5$	105.30	$1.53 \times 10^5$
3	203.13	$0.84 \times 10^5$	236.90	$1.49 \times 10^5$
4	357.60	$K_H = 1.41 \times 10^5$ $K_R = 2.26 \times 10^6 \text{tfm/rad}$	468.10	$K_H = 5.76 \times 10^5$ $K_R = 4.58 \times 10^6 \text{tfm/rad}$

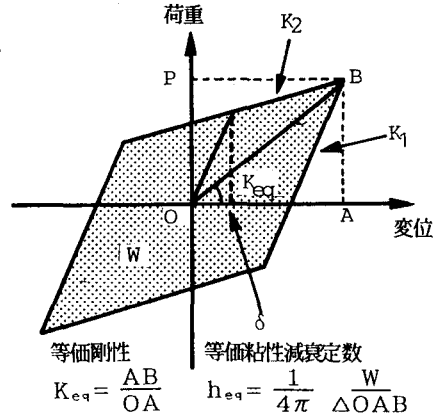


図-1 免震装置部の復元力特性

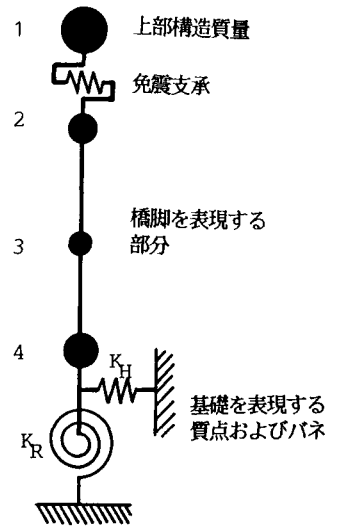


図-2 動的解析モデル

地震応答解析では、修正開北橋記録、修正板島橋記録の2種類の地震波形を最大加速度を100, 200, 300, 400, 500galに修正し用いた。応答計算は、ニューマークのβ法 (β=1/6) を用い時間刻み0.01秒で行った。なお、粘性減衰はレーリー減衰とし、次式で与えた。

$$[C] = \alpha[M] + \beta[K]$$

剛性Kは直接積分では、時刻t=0における初期剛性を、また等価線形化法では、等価剛性を用いた。係数α, βについては、1次、2次モードに対して減衰定数が0.05になるよう定めた。

3. 解析結果

入力波の最大加速度をそれぞれ100~500まで変化させた場合の上部構(質点1)および橋脚上部(質点2)における最大応答加速度計算値を図-3~6に示す。図-3は直接積分法で計算し、I種地盤上の免震橋梁について、図-4は直接積分法でII種地盤上の場合、また図-5、6は等価線形化法で同じ計算を行った結果である。まず始めに図-3の直接積分法で求めたI種地盤上の免震橋梁の挙動をみると、上部構の加速度が橋脚上部よりも小さくなっており免震の効果が現れている。また、非線形解析にもかかわらず、応答値は入力加速度に対し比例的である。図-3と5、図-4と6を比べると、直接積分法による解析値と等価線形解析による解析値は入力加速度が大きい領域では、若干等価線形化法による値が大きめの値になっているものの両者は比較的良く一致している。

4. まとめ

本研究は、免震橋梁モデルによる非線形地震応答解析を直接積分法、等価線形化法で実施したものである。直接積分法による解析値と等価線形化法による解析値は比較的良く一致しており、免震橋梁の動的解析に、等価線形化法を用いることができるものと思われる。

【参考文献】

- 1)道路橋の免震設計法ガイドライン(案)(免震装置を有する道路橋の耐震設計研究報告書)(財)国土開発技術研究センター、平成元年3月
- 2)道路橋示方書・同解説 V耐震設計編

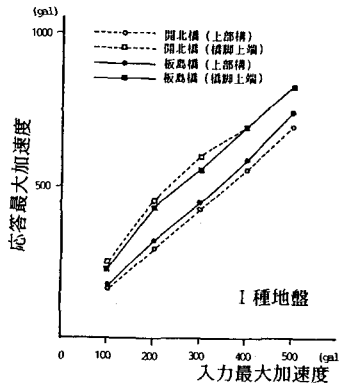


図-3 応答最大加速度 (直接積分法)

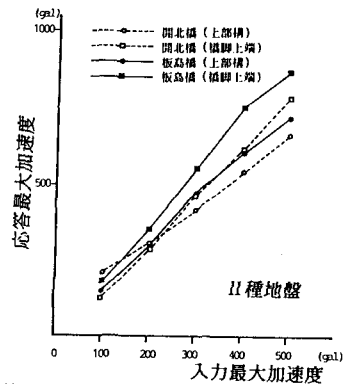


図-4 応答最大加速度 (直接積分法)

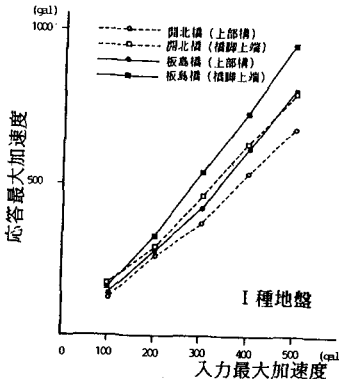


図-5 応答最大加速度 (等価線形解析)

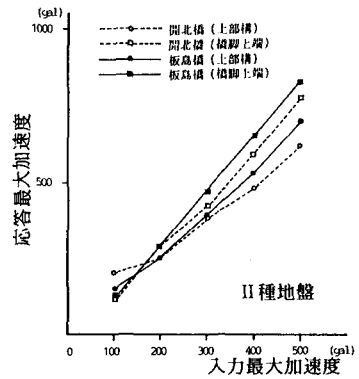


図-6 応答最大加速度 (等価線形解析)