

立命館大学理工学部 学生員 ○安達 昭宏

立命館大学理工学部 正会員 伊津野和行

1. はじめに

土木構造物の耐震設計では、道路橋に設置される案内標識柱や照明柱などの付帯設備に関する耐震設計基準には明確な規定がない。しかし、軽くて減衰性の低い付帯設備は、地震時に大きく振動する可能性があり、もし破壊すれば道路橋本体の使用性にも影響を与えることになる。一方、建築構造物では、住人や設備の地震挙動も重要なため、耐震設計にあたっては、床応答スペクトルが考慮され、付帯設備の耐震設計基準も明文化されている。

本研究では、高架橋に設置された標識柱を例に取り、土木構造物の付帯設備に関する地震応答を、数値シミュレーションによって検証した。

2. 数値シミュレーション解析の概要

今回の解析では、付帯設備である二次構造物として F 型標識柱を用いた。

図 1 に、F 型標識柱の一般寸法を示す。

高さ	$l = 9.1 \text{ m}$
断面積	$A = 98.9 \text{ cm}^2$
断面二次モーメント	$I = 19600 \text{ cm}^4$
単位長さ当たりの重量	198 kg/m
荷重	3500 kg

ここで、質量が F 型標識柱の 100 倍 (350 ton) の橋を考慮し、その上に以上のような F 型標識柱が設置されていると仮定する。1995 年兵庫県南部地震における神戸海洋気象台記録 NS 成分の入力地震波を用いて、標識柱を線形、橋脚を線形および非線形にした解析を行った。各部材の構造としては F 型標識柱は梁部材、橋脚は水平方向バネとしてモデル化し、減衰定数は標識柱を 0.01、橋脚を 0.05 として解析を行った。図 2 に、モデル図を示す。

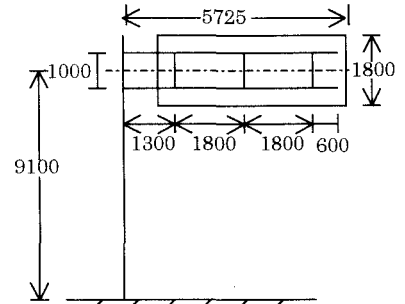


図 1 F 型標識柱の一般寸法

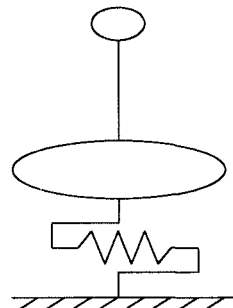


図 2 解析対象構造物のモデル

3. 解析結果

ここでは、数値シミュレーションによる全解析結果をグラフ化して示す。それぞれのグラフは、横軸に橋脚の初期固有周期を 0.1 秒～5.0 秒まで (0.1 秒～1.5 秒までを 0.1 秒刻み、2 秒～5 秒については 1 秒刻み) 変えてゆき、縦軸に標識柱の最大加速度、最大変位、最大曲げモーメントをプロットしたものである。なお、最大変位は、標識柱基部からの相対変位を示し、最大曲げモーメントは、標識柱基部における最大曲げモーメントを示した。橋脚を線形と仮定したグラフを図 3, 4, 5 に、非線形と仮定したグラフを図 6, 7, 8 に示す。

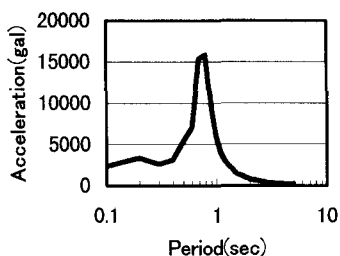


図3 橋脚が線形のときの標識柱の最大加速度応答スペクトル

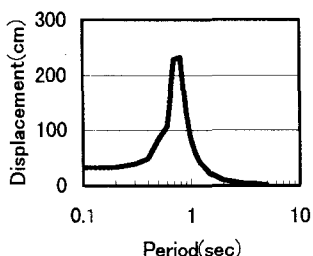


図4 橋脚が線形のときの標識柱の最大変位応答スペクトル

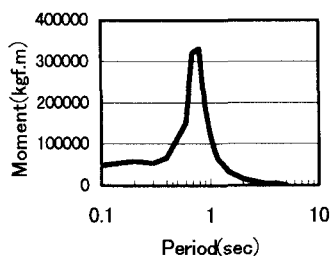


図5 橋脚が線形のときの標識柱の最大曲げモーメント応答スペクトル

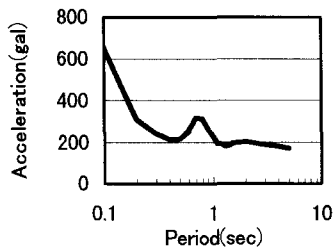


図6 橋脚が非線形のときの標識柱の最大加速度応答スペクトル

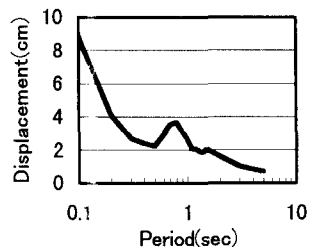


図7 橋脚が非線形のときの標識柱の最大変位応答スペクトル

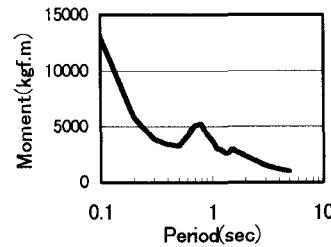


図8 橋脚が非線形のときの標識柱の最大曲げモーメント応答スペクトル

解析結果をみると、橋脚が線形の場合には、図3、4、5から、橋脚の固有周期が0.8秒付近で、加速度で15800gal、変位で231cm、曲げモーメントで331tonf・mというピークがみられる。これは、橋脚の固有周期が付帯設備の固有周期に近いために、共振現象が起これ揺れが増幅されたと考えられる。実際には高架橋の質量に比べ、付帯設備の質量は無視できるほど小さなものであり、付帯設備の固有周期が近くなると大きな応答は避けられない。逆に共振さえ避けることができればある程度小さな応答に抑えることができる。つまり、橋脚の固有周期に応じて付帯設備の固有周期を変えることで、共振現象はある程度防ぐことができると考えられる。また、非線形の場合をみると、図6、7、8から、多少の共振は起こっているが、加速度で312gal、変位で3.66cm、曲げモーメントで5.28tonf.mほどの小さな応答であり、全体的にみても線形を仮定した場合ほど大きな応答を示していない。橋脚は、ある程度の力で、ひび割れ、そして降伏が始まり、それにより初期剛性が低くなり、橋脚の固有周期が長くなる。つまり、付帯設備の周期と波長が合う前に橋脚の固有周期が変わってしまうので、大きな共振を起こさないのである。しかし、橋脚が非線形領域にはいると、橋脚自体が破壊されるおそれがある。ここで、標識柱の安全性を調べるために最大曲げモーメントから応力度を求め、それらが規定の基準降伏点、許容軸方向引張応力度を超えているか、いないかを判定したところ、橋脚が線形の場合にはほとんどが大きく超えているのに対し、非線形の場合には固有周期0.7、0.8辺りでわずかに許容軸方向引張応力度を超えているだけで、その他は基準値をみたしていることがわかった。また、この結果は、橋脚が破壊する場合、付帯設備の損傷は小さくなる可能性が高いことを示唆している。

4. まとめ

地震時、主構造物が線形の場合には、主構造物と付帯設備の固有周期が近ければ、共振現象が起き、付帯設備に影響を与える。それゆえに、付帯設備を建設するにあたっては、それぞれの固有周期をよく知る必要がある。また、主構造物が非線形域に入ると、付帯設備への影響は少なくなると考えられる。橋脚が非線形応答をするレベル2地震動よりも、橋脚が線形応答をすることが予想される震度法レベルの地震動の方が、付帯設備にとっては不利な荷重となり得ることがわかった。