

首都高速道路公団	正員	平林泰明
同	正員	大塚昭夫
同	正員	黒谷舜吾

1. はじめに

近年斜張橋の長径比が増え上部工の重量が増加したため、地震時に発生する大きな慣性力といかに処理するかが斜張橋の設計の1つのポイントとなっている。つまり、通常の斜張橋の橋軸方向の支承形式は、1か所に固定支承を置きその他の可動支承とすることが多いが、橋軸方向地震時には地震力が固定支承に集中するために、それを支え得る堅固な構造が必要となる。しかし、長大斜張橋の多くは幹線境界その他の制約で高橋脚であり、大きな水平力を1つの橋脚で受け持つのは合理的でない可能性がある。したがって、いかに地震力を軽減するか、あるいはどのように地震力を複数の橋脚で効率よく分担するかが長大斜張橋の耐震設計の課題となる。地震力を軽減する有効な手段として構造を柔軟にして固有周期を長くする方法がある。長大斜張橋のほかには、固定支承の非フレッシングシステムを採用したり、バネを利用した弾性支承を設置して地震力を軽減しているものも見受けられる。そこで本報告は、固有周期を長くして地震力を軽減するために、従来より吊橋で使用されているリンク支承を用いて地震時に桁が変位すると振子のように変位と反対方向に復元力が作用することを利用して一種の弾性支承を考え、このような支承を取り付けた斜張橋の地震応答特性と動的解析と模型振動実験とを比べて検討した。

2. 動的解析

解析の対象とした斜張橋は、橋長860m、中央支間460mの三径間連続斜張橋であり、橋軸方向地震による上部構造の地震応答特性に着目した。解析モデルを図1に示す。支承形式は、端橋脚を可動、塔部をリンク長5mの弾性固定としたケース1とそれと比較のため端橋脚を可動、塔部をヒンジ支承による完全固定としたケース2の2種類とした。リンク支承による復元力は、リンクの回転角が大きくなると非線形になるがここでは線形としてモデル化した。解析方法は応答スペクトル解析とし、入力した地震波の加速度応答スペクトル倍率は図2に示す2種類で、基礎下端での入力最大加速度は160galである。図2の加速度応答スペクトル倍率は、横浜地区の岩盤中に設置された地震計が伊豆大島近海地震と宮城県沖地震の際に記録した地震波を整理したものである。減衰定数は、上部構造 $h=0.02$ 、下部構造 $h=0.05$ 、地盤 $h=0.1$ とした。解析結果を表1に示す。1次の固有周期は、ケース2の2.9秒に対してケース1では10.1秒と極めて長くなっている。ケース1で伊豆大島近海地震と宮城県沖地震の応答値を比較すると、桁の水平変位、塔の水平変位は伊豆大島近海地震による応答値のほうが大きい、それ以外の応答値は宮城県沖地震によるもののほうが大きいことがわかる。この理由は、1次のモードが桁の剛性的な水平

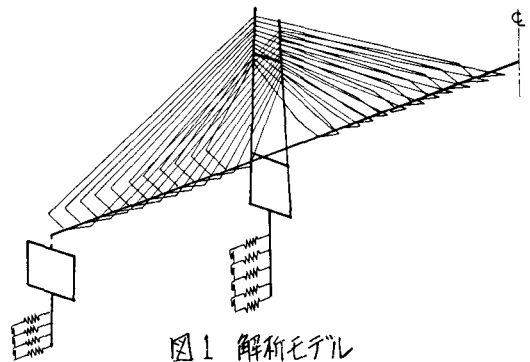


図1 解析モデル

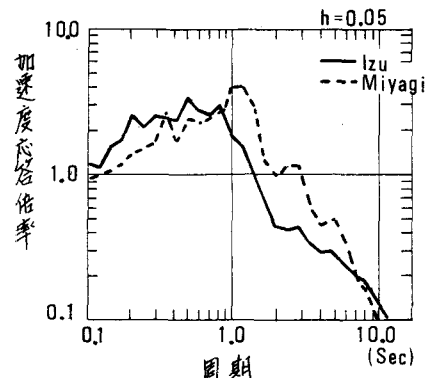


図2 地震波の加速度応答スペクトル倍率

平移動であり、1次の固有周期である10.1秒付近では伊豆大島近海地震の加速度応答スペクトルのほうが宮城県沖地震のそれより大きい。ため伊豆大島近海地震による桁の水平変位が大きく、2次の固有周期より高次をとり7次までの宮城県沖地震の加速度応答スペクトルのほうが大きいので他の応答値では宮城県沖地震のほうが大きくなったものと思われる。次にケース1とケース2を比較すると、伊豆大島近海地震における桁の水平変位、塔の水平変位と水平加速度以外は、ケース1の応答値がケース2の応答値より小さく特に桁、塔の曲げモーメントは非常に小さくなっていることがわかる。また、宮城県沖地震における桁の水平変位は、より柔軟に変位しやすいと考えられるケース1がケース2に比べて約1/2になっている。以上のことから、リンク支承を使用しに斜張橋では、ヒンジ支承の斜張橋に比べて橋軸方向地震時に桁や塔の水平変位は大きくなることもあわが、断面力は小さくなるという解析結果が得られた。

表1 解析結果

着目点	ケース1(リンク支承)	ケース2(ヒンジ支承)
固有値		
1次	T=10.1 (Sec)	T=2.9 (Sec)
2次	T=2.3 (Sec)	T=1.9 (Sec)
入力スペクトル	伊豆	宮城
桁の応答値		
水平変位(cm)	60	47
水平曲げモーメント(kg)	48	50
鉛直変位(cm)	22	70
鉛直曲げモーメント(kg)	289	528
軸力(kg)	684	2100
せん断力(kg)	870	2320
曲げ外れ(kg)	29800	84800
塔の応答値		
水平変位(cm)	61	55
水平曲げモーメント(kg)	823	909
鉛直変位(cm)	639	1110
鉛直曲げモーメント(kg)	880	1140
せん断力(kg)	40500	57700
曲げ外れ(kg)	125000	299000

3. 振動実験

リンク支承の復元力の非線形特性の把握、動的解析結果の検証、リンク長さの振動特性に与える影響等を調べたために模型による振動実験をおこなった。模型は、動的解析で解析対象とした斜張橋の縮尺1/36の模型で、橋軸方向地震では逆対称モードのみが関与するために半橋模型とした。支承形式は、塔部にリンク長8cm、12cm、20cm（実橋換算で2.9m、4.3m、7.2m）の3種類の長さのリンク支承とそれらの比較のためのヒンジ支承の4種類とした。入力地震波は、動的解析と同じ伊豆大島近海地震と宮城県沖地震とし、基礎構造の影響を考慮して塔基部での変形に修正してそれを振動台を介して模型の塔基部に入力した。入力波の最大加速度を100gal、200gal、300galの3段階に変化させた。振動実験の結果いずれの地震波でもリンクの回転角は0.04rad以下であった。リンクの復元力の非線形特性は、リンクの回転角が大きい、回転角が大きいと桁が持ち上がる等のために生ずる。これらを考慮してリンクの復元力を計算すると図3の実線や破線のようになる。この図より地震時のリンクの復元力は線形範囲内であることがわかる。桁の水平変位、塔基部の曲げモーメントの応答値を図4に示す。これよりリンク支承とヒンジ支承の応答値を比較すると、リンク支承のほうが小さく特に宮城県沖地震ではその差が著しいことがわかる。桁水平変位は、動的解析によると伊豆大島近海地震時にリンク支承の応答値が大きくなったが、振動実験では逆に小さくなっている。リンク長の違いが応答値に与える影響は少ない。

4. あとがき

リンク支承を斜張橋の弾性支承として利用し、動的解析および振動実験により復元力が線形範囲内であって応答値も減少するという結果が得られた。リンク支承は構造が単純である、復元力の大きさの調節が容易である等の長所を有しており、今後実橋に適用することを前提にさらに詳細な検討をおこないたいと考えている。

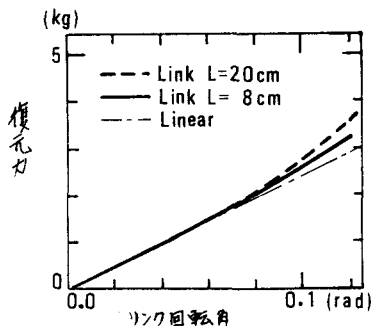


図3 リンク支承の復元力

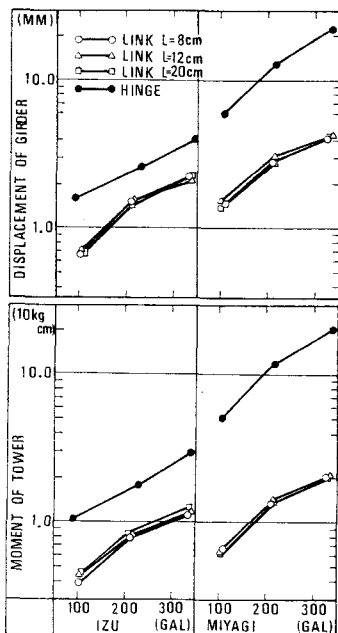


図4 振動実験による応答値