

相対変位を算出する場合の隣接する免震橋の モデル化範囲に関する検討

Study on the modeling range of seismic isolated bridge where it adjoins
in the case of computing relative displacement

中央コンサルタンツ (株) ○正員 黒田保博 (Yasuhiro Kuroda)
中央コンサルタンツ (株) 正員 菅 勝司 (Katsuji Suga)
中央コンサルタンツ (株) 正員 野田勝哉 (Katsuya Noda)

1. はじめに

近年、地震による慣性力を低減・分散させ、エネルギーを吸収することによって、地震動により発生する構造物本体の応答を低減させようとする免震構造の採用事例が増えている。阪神高速 3 号神戸線の弁天工区においては、橋脚の基部に免震支承を設置した立体ラーメン橋が建設されている¹⁾。また、ダブルデッキラーメン橋の柱基部に免震支承を配置した場合の研究もなされている²⁾。

しかし、免震構造により構造物が長周期化すると大規模地震時の上部構造変位は増大し、隣接する橋梁に大きな影響を及ぼす。特に免震化されたラーメン橋と柱基部を固定としたラーメン橋が隣接するケースを想定した場合、免震橋の変位に加え位相差が大きく生じるため、相対変位が非常に大きくなることが予想され、適切な遊間を設定することが重要となる。

道路橋示方書において、掛違ひ部における相対変位の算出は動的解析によって求めることを原則としている³⁾。ただし、動的解析により相対変位を精度良く算出するためには、対象とする橋梁全体をモデル化する必要があるが、長大橋の場合にはモデル化が非常に煩雑となり、また解析に膨大な時間がかかるなどの問題がある。

本論文では、上記のような柱下端の支持条件が極端に異なるラーメン橋が隣接する場合を想定し、相対変位を算出する場合のモデル化範囲について検討を行った。また、橋軸直角方向地震時において掛違ひ部に作用する地震時水平力について、モデル化範囲の違いによる検討を

行ったのでここに報告する。

2. 解析モデル

2-1 橋梁タイプ

本論文で対象とする橋梁は、基部剛結タイプと基部免震タイプの 2 種類からなる。このうち、本論文で着目するのは基部剛結タイプであり、隣接する基部免震タイプのモデル化範囲について検討する。

図-1、図-2 に示すように、基部剛結タイプは橋長 430m の Type A、B からなる 9 径間連続鋼立体ラーメン橋で、主桁と鋼製橋脚の横梁が剛結合、鋼製橋脚とフーチングはアンカーフレームにより剛結合となっている。基部免震タイプは橋長 950m の 14 径間連続鋼立体ラーメン橋（不等径間）で、主桁と鋼製橋脚の横梁が剛結合、全橋脚の基部には免震支承が設置されている。

この 2 タイプの橋梁は、図-2 に示すように P10 から P11 の主桁間にゲルバーヒンジを挿入して、掛違えとしている。掛違ひ部の支承条件は、橋軸方向に可動、橋軸直角方向は固定となっており、基部免震タイプの免震支承は橋軸方向および橋軸直角方向とも免震構造となっている。

2-2 復元力特性

基部剛結タイプは、下層柱を非線形部材とし、それ以外の部材は全て線形部材でモデル化した。下層柱の復元力特性としては、橋軸方向解析の場合は $M-\phi$ 関係に

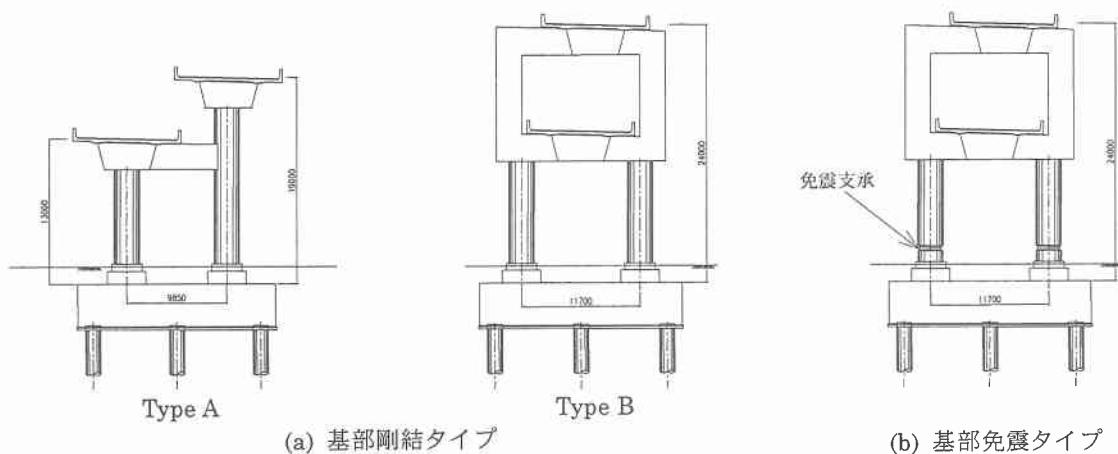


図-1 脚正面図

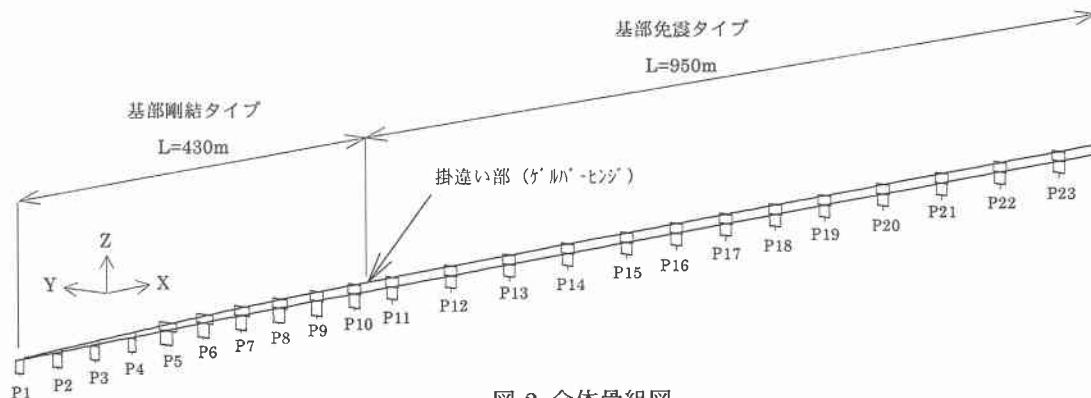


図-2 全体骨組図

基づくバイリニアモデル、橋軸直角方向解析の場合は軸力変動バイリニアモデルとした。

基部免震タイプは、全ての部材を線形部材でモデル化し、柱基部に設置される免震支承の復元力特性は、LRB特性に基づくバイリニア型でモデル化した。

掛違い部における可動支承の境界条件は、橋軸方向に自由、橋軸直角方向に固定とする。

2-3 解析ケース

上記 2 種類の橋梁形式に対して、掛違い部における相対変位および橋軸直角方向地震時に作用する水平力を算定するために、基部剛結タイプと基部免震タイプの全径間 (9+14 径間) をモデル化したものを解析ケース 1 とした。この解析ケース 1 を基本として、基部免震タイプのモデル化範囲を小さくした場合として +8,+6,+4,+2,+1 径間とした解析モデルを作成した。表-1 に解析ケース一覧を示す。

3. 固有値解析

解析ケース 1 の固有値解析結果として、1 次、2 次、10 次、14 次のモード図を図-3 から図-6 に示す。

この結果から、基部剛結タイプと基部免震タイプは独立した挙動を示し、両者は連性した挙動を示さないことがわかった。

基部免震タイプにおける橋軸方向の主要振動モードは、1 次モードであり、固有周期は 1.495sec である (図-3)。このモードは、免震支承の変形を中心とした振動モードが卓越していることがわかる。基部免震モデルにおける橋軸直角方向の振動モードは 2 次モードであり、固有

周期は 1.323sec である (図-4)。この振動モードでは、P10 (基部免震モデルの起点付近) から P16 までの 6 径間が変位する振動モードであり、高い寄与率を示している。

基部剛結タイプにおける橋軸方向および橋軸直角方向の主要振動モードは、10 次、14 次モードであり、固有周期はそれぞれ 0.893sec、0.676sec (図-5、図-6) である。

次に、基部免震タイプのモデル化範囲を小さくした場合の解析結果として、基部免震タイプに着目した固有周期を表-2 に示す。この結果から、全径間モデル化したケース 1 と同等の固有周期を表現できる解析ケースは、橋軸方向でケース 2 (+8 径間モデル)、橋軸直角方向ではケース 3 (+6 径間) までである。

ここで、基部免震タイプにおける橋軸直角方向の主要振動モードを図-7 から図-11 に示す。これらの主要振動モード図から橋軸直角方向においては、ケース 1 の変形形状 (6 径間分が変位するモード) を基本にして、橋

表-1 解析ケース

ケース	モデル化対象径間	
	基部剛結タイプ	基部免震タイプ
ケース1	全径間 (9径間)	全径間 (14径間)
ケース2		+8径間
ケース3		+6径間
ケース4		+4径間
ケース5		+2径間
ケース6		+1径間

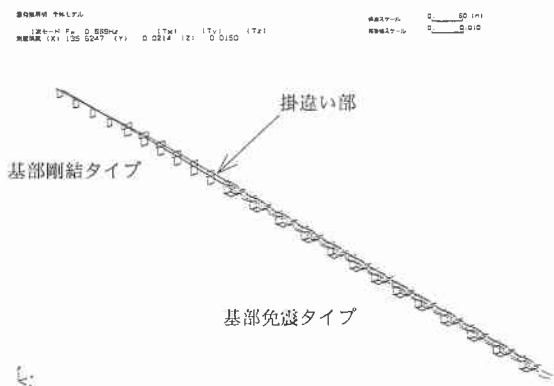


図-3 ケース 1 の 1 次モード (橋軸方向)

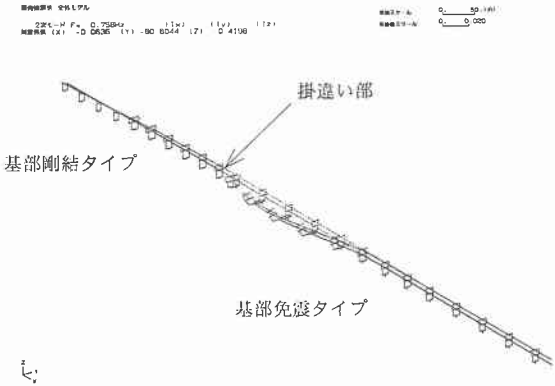


図-4 ケース 1 の 2 次モード (橋軸直角方向)

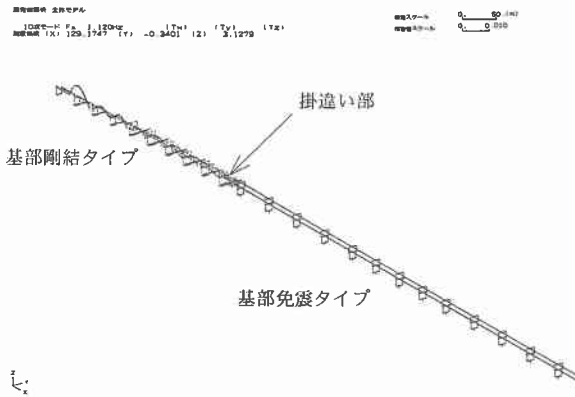


図-5 ケース 1 の 10 次モード（橋軸方向）

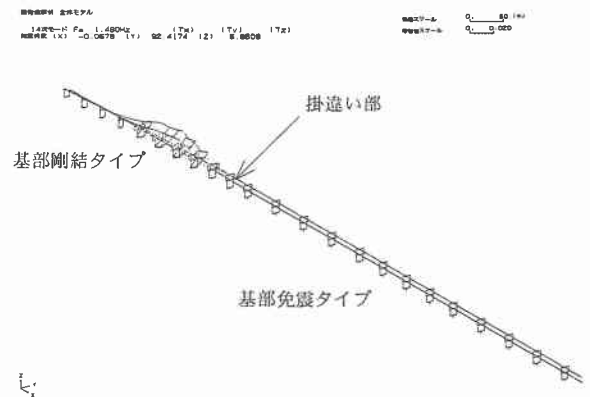


図-6 ケース 1 の 14 次モード（橋軸直角方向）

軸直角方向に変位している結果となっている。特にケース 2、ケース 3 は、全径間モデル化したケース 1 の振動モード（図-4）を近似しており、また固有周期も非常に近い結果となった。

表-2 ケース毎の固有周期

ケース	固有周期(sec)	
	基部免震タイプ	
	橋軸方向	橋軸直角方向
ケース1	1.4948	1.3228
ケース2	1.4993	1.3228
ケース3	1.5361	1.3263
ケース4	1.5898	1.3405
ケース5	1.6474	1.3021
ケース6	1.8149	1.1223

4. 相対変位及び地震時水平力の算出

4-1 解析手法

掛違い部の相対変位および地震時水平力を算出する際に用いた解析手法は以下である。

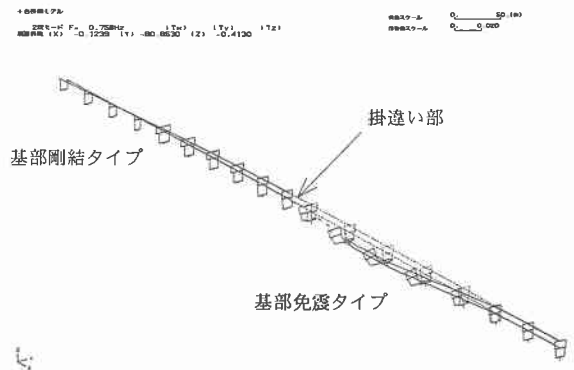


図-7 ケース 2（橋軸直角方向）

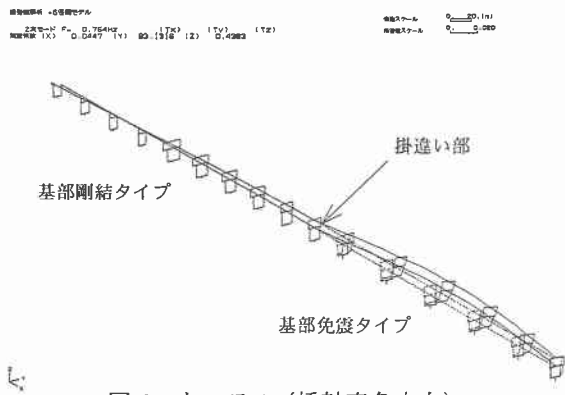


図-8 ケース 3（橋軸直角方向）

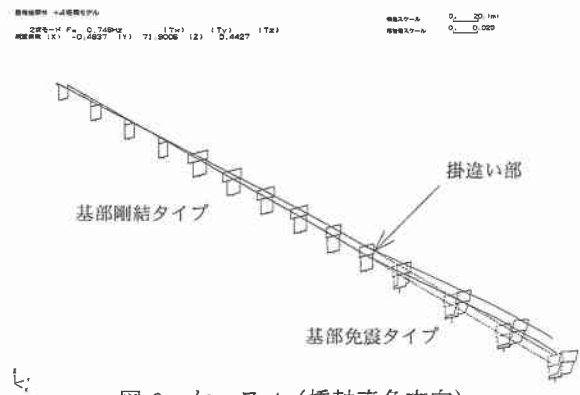


図-9 ケース 4（橋軸直角方向）

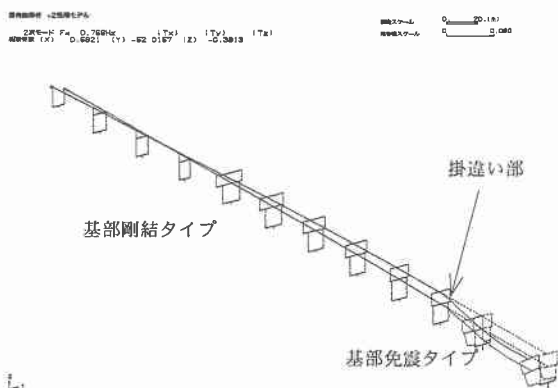


図-10 ケース 5（橋軸直角方向）

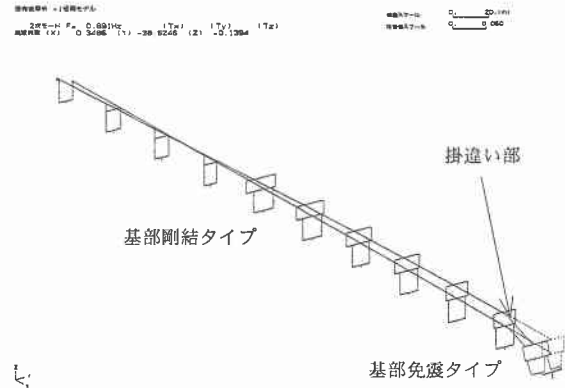


図-11 ケース 6（橋軸直角方向）

解析方法：非線形時刻歴応答解析

地震波：振幅補正標準波形タイプ II-III-1

積分法：Newmark β 法 ($\beta=0.025$)

積分間隔：0.002sec

減衰：剛性比例減衰

4-2 掛違い部の相対変位（橋軸方向）

掛違い部に生じる相対変位は、各設計モデルの桁同士が近づく変位（遊間が狭くなる変位）を正の値、桁同士が離れる変位（遊間が広がる変位）を負の値とした。

図-12 は、ケース 1 における掛違い部の変位をプロットしたものである。基部剛結タイプの橋軸方向変位は 0.3m 程度だが、基部免震モデルは 0.65m 程度の変位があり相対変位では正の方向および負の方向とも 0.75m 程度と非常に大きくなっている。

図-13 はケース毎の相対変位（+、-方向）を表したものである。この結果から、正方向の相対変位ではケース 1 に対して約 1/2 程度モデル化したケース 2 がほとんど変わらない結果となった。ただし、ケース 3、ケース 4 およびケース 5 まではほぼ比例で相対変位が変化している。ケース 6 になると、大きく相対変位が変化する。ケース 1 に対する誤差は、ケース 3 は約 3.6% 程度、ケース 4、ケース 5 では 7.0、9.2% 程度となっている。また、負方向の相対変位の値も正方向相対変位と同じ傾向で、ケース 1 に対するケース 3、4、5 の誤差はそれぞれ、約 2.2、5.7、8.5% 程度となっている。

この誤差の要因は、基部免震タイプのモデル化範囲を小さくすることで、各ケースの固有周期が変化し、位相差がより大きく生じることによるものと考えられる。

4-3 掛違い部に働く地震時水平力（橋軸直角方向）

図-14 に橋軸直角方向地震時における各ケースの掛違い部に作用する地震時水平力を示す。地震時水平力はケース 1 に対しケース 2、ケース 3 は、ほとんど変わらない結果となった。ただし、ケース 4、ケース 5 では地震時水平力が増加し、ケース 6 では極端に水平力が減少する。また、ケース 1 に対しケース 3 の誤差は約 2.0% 程度となっている。ケース 1 の 2 次モードは第 1 径間から第 6 径間にかけて変位を生ずる変形モードであり、それ以降の径間の変形はほとんどでていない。第 1 径間から第 6 径間までの約 1/3 程度モデル化したケース 2、ケース 3 では、ケース 1 との地震時水平力の誤差はほとんどない。この結果から、地震時水平力は橋軸直角方向の主要モードの影響が大きいと考えられ、地震時水平力は、橋梁の橋軸直角方向における振動特性を包括することにより適切に求められることを示している。

5. まとめ

本論文では、柱下端の支持条件が異なるラーメン橋が隣接する場合を想定し、掛違い部の相対変位および橋軸直角方向地震時に作用する水平力を算出する際のモデル化範囲を検討した。

その結果から、基部剛結タイプに着目した場合、隣接する基部免震タイプのモデル化範囲としては、相対変位

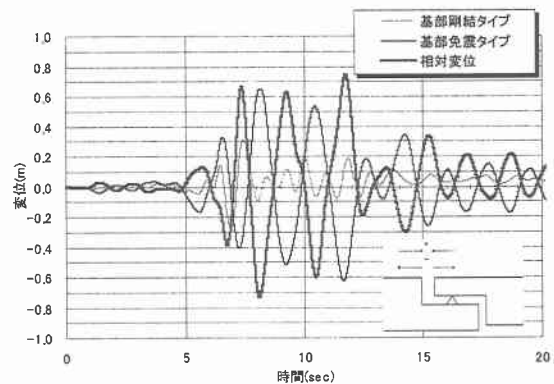


図-12 掛違い部変位図（ケース 1）

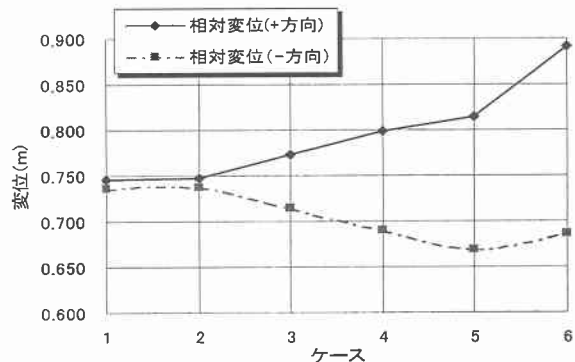


図-13 ケース別相対変位図（+、-方向）

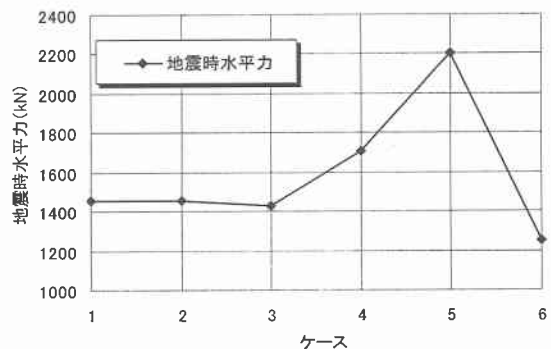


図-14 ケース別地震時水平力図

を算出する場合は 1/2 程度、橋軸直角方向地震時水平力を算出する際は、主要振動モードを近似できる範囲として 1/3 程度のモデル化で十分な精度を得られることが確認できた。今回のような特殊な立体ラーメン橋が連続する場合の設計において、煩雑なモデル化を行わずに、相対変位および橋軸直角方向地震時に作用する水平力を求めることができ、設計の効率化を図れることがわかった。

参考文献

- 1) 林 秀侃、川北司郎：阪神高速 3 号線弁天工区の復旧事例、橋梁と基礎、Vol.30、No8、pp48-52、1996.8.
- 2) 大塚久哲、栗木茂幸、朴 禎根、その他：鋼製ダブルデッキラーメン高架橋の免震化に関する考察、構造工学論文集、Vol.45A、pp.869-878、1999.3.
- 3) (社) 日本道路協会：道路橋示方書・同解説、V 耐震設計編、1996.