

免震を考慮した連続高架橋の地震応答解析

河野 健二¹・ 尹 元彪²

1 正会員 工博 鹿児島大学教授 海洋土木工学科 (〒890鹿児島市郡元1-21-40)

2 工修 新構造技術株式会社 総合技術本部

連続高架橋のような長大構造物を設計する際、耐震性について十分に検討することが重要である。従来の耐震設計法では、構造物の耐力を増大させて安全を確保するようになってきた。しかし、近年の急速な技術の進歩に伴い、地震力を抑制または制御し、そのエネルギーが構造物に伝わらないようにする「免震」という考え方が実用化されるようになった。本研究では、免震装置を連続高架橋の橋脚基部に導入して、免震支承が全体の構造物の応答にどのような影響を及ぼすかについて検討を行った。

Key words: *base isolation, high-elevated continuous bridge, random vibration*

1. まえがき

連続高架橋のような長大構造物を設計する際、耐震性について検討するは重要だと考えられる。一般に構造物は免震構造とすることによって効果的に地震応答を低減することができるため耐震設計に取り入れられるようになった。免震装置が地震動のエネルギーを吸収し、上部構造物の応答を低減させる有効的な手段であることが分かった。

本研究では連続高架橋の地震応答解析に及ぼす免震特性の影響について検討した。本研究では、免震装置を連続高架橋の橋脚基部に導入して、免震支承が全体の構造物の応答にどのような影響を及ぼすかについて検討を行う。解析の方法としては、不規則振動論に基づく地震応答解析法を用いている。これにより構造物の節点の変位、断面力のRMS(Root Mean Square)応答を求め、種々の検討を加えた。

2. 解析モデル

図-1 は本研究で用いた連続高架橋の解析モデルを示している。全長480m、径間120m、両端の橋脚高15m、中央部の橋脚高40mの四径間連続橋で、部材はすべて鋼材である。橋脚下部と基礎部との間に免震装置を導入した。免震装置は、簡素化を計るためバネ-ダッシュポット系に置換することによりモデル化を行った。その履歴復元力特性は、Wen¹⁾の提案による非線形一階微分方程式を用い、さらに、解析にあたってその非線形復元変位に対する等価線形化²⁾を行った。

3. 解析手順

本研究は、図-2のフローチャートに従って免震を考慮した連続高架橋の地震応答解析を行った。まず、入力地震動は地盤の特性を考慮した金井・田治見のパワースペクトル密度関数を用いることとした。次に、免震を考慮した連続高架橋の不規則地震応答解析における全体系の運動方程式を求めるため、動的サブ・ストラクチャー法を用いた。すなわち、切断面を免震装置の天端に採って、上部構造物と免震装置部分をそれぞれのサブ・システムとし、未知境界条件を含んだままそれぞれ定式化する。その後、この二つのサブ・システムを切断面における変位、断面力いわゆる連続性によって総合し、全体系の運動方程式を求める。また、上部構造物系については、有限要素法により定式化し、モーダルアナリシスにより固有値解析を行う。応答に及ぼす影響の小さな高次モードを無視することにより、自由度を縮小した連続高架橋の地震応答解析を行った。不規則振動論に基づき、免震を考慮しない場合と免震を考慮した場合の節点変位、断面力のRMS応答をそれぞれ求め、種々の検討を加えた。

4. 解析結果及び考察

連続高架橋の地震応答解析は、橋軸方向(面内振動)と橋軸直角方向(面外振動)に分けて行われる。解析にあたっては、金井・田治見のパワースペクトル密度関数を用いて入力する際、基礎地盤の減衰定数 ξ_g は0.3とし、その卓越振動数 ω_g

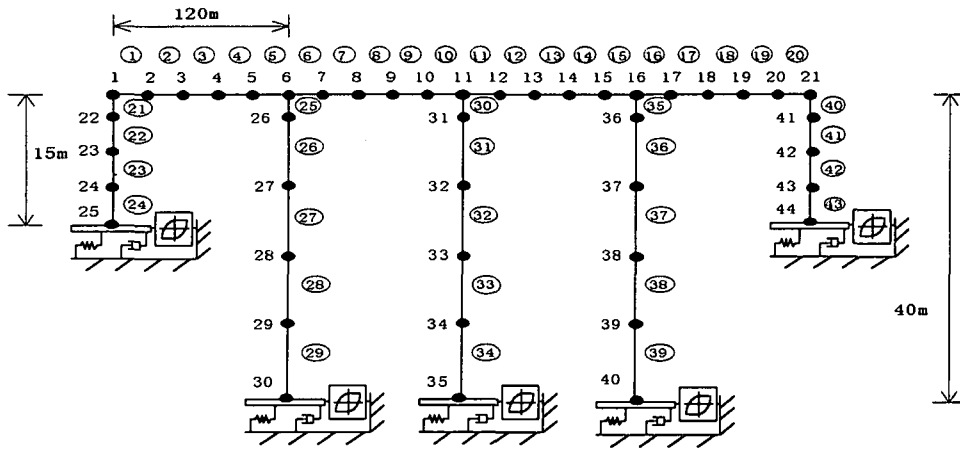


図-1 連続高架橋の解析モデル

は $5\pi, 3\pi, 2.5\pi$ rad/s の 3 ケース、入力強度 $S_0 = 0.01, 0.03, 0.05 \text{ m}^2/\text{s}^3$ の 3 ケースについて検討することとした。また、本研究で用いた免震装置は、3 種類、すなわち Type1 : $F_y = 22.78 \text{ tf.}, \Gamma = 0.254 \text{ cm}, \alpha = 0.05, \beta = 0.1, \gamma = 0.9, A = 1, \eta = 1$ 、Type2 : $F_y = 22.78 \text{ tf.}, \Gamma = 1.016 \text{ cm}, \alpha = 0.05, \beta = 0.1, \gamma = 0.9, A = 1, \eta = 1$ 、Type3 : $F_y = 22.78 \text{ tf.}, \Gamma = 2.54 \text{ cm}, \alpha = 0.05, \beta = 0.5, \gamma = 0.5, A = 1, \eta = 1$ である。

まず、入力強度 S_0 の相違による応答への影響を検討する。図-3、図-4 はそれぞれ面内振動、面外振動時 $\omega_g = 5\pi$ rad/s, $S_0 = 0.01, 0.03, 0.05 \text{ m}^2/\text{s}^3$ の場合の節点 1, 6, 11, 32 の相対変位を示したものである。免震装置を導入した場合の応答は、免震装置のない場合より面内振動時約 5 分の 1 に、面外振動時約 2 分の 1 に低減されたことが分かった。また、入力強度の増加に伴う応答の増加は、免震装置を導入した場合の増加率が導入しない場合より小さい傾向が見られる。

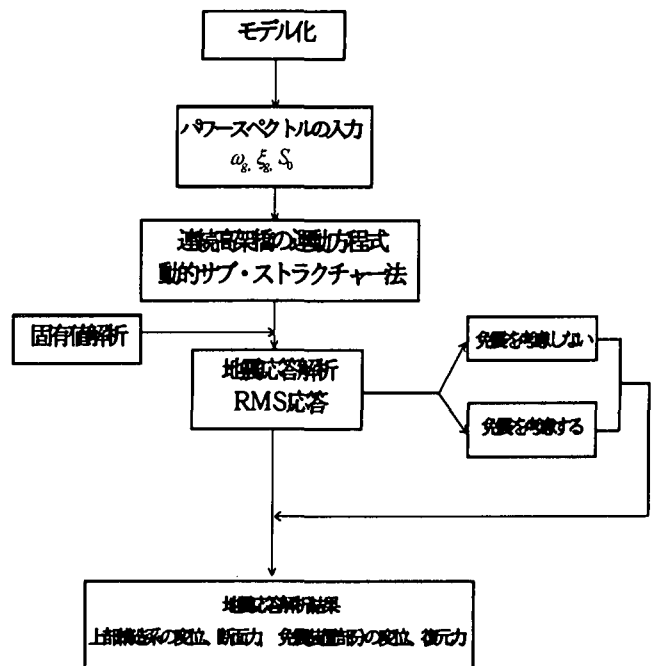


図-2 解析フローチャート

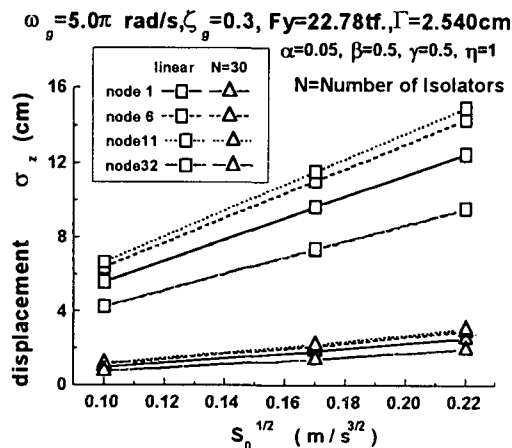


図-3 最大変位と入力強度 (面内)

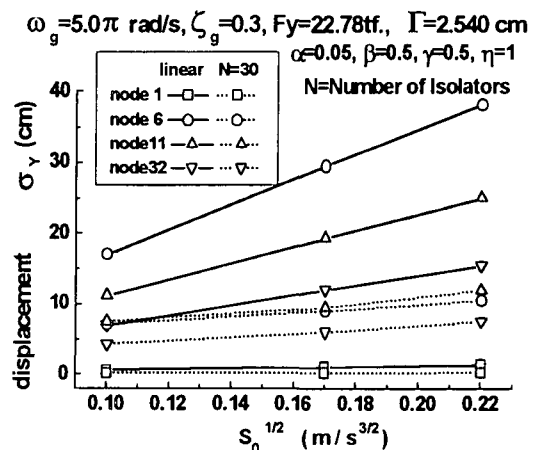


図-4 最大変位と入力強度 (面外)

$S_0=0.01\text{ m}^2/\text{s}^3, \omega=2.5\pi\text{ rad/s}, \zeta_g=0.3, F_y=22.78\text{tf}, \Gamma=0.254\text{ cm}$

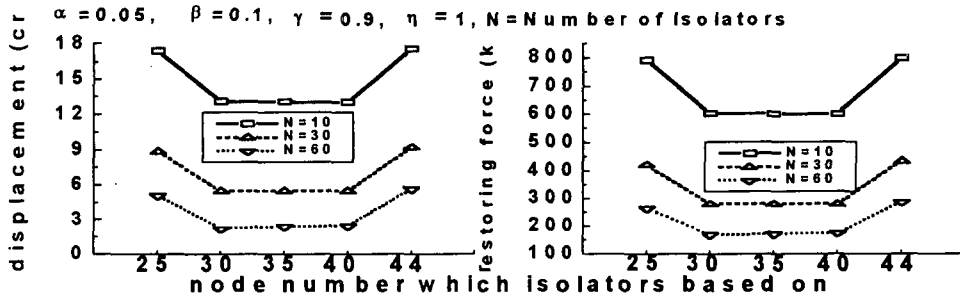


図-5 免震部の最大変位、最大復元力と免震特性の関係(面内)

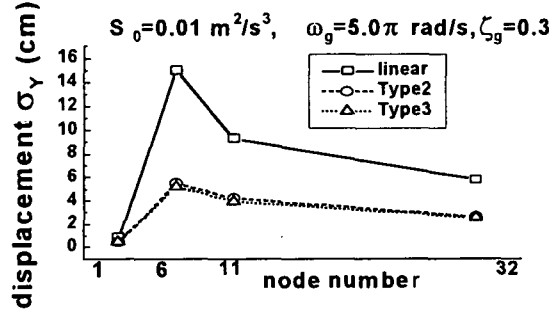
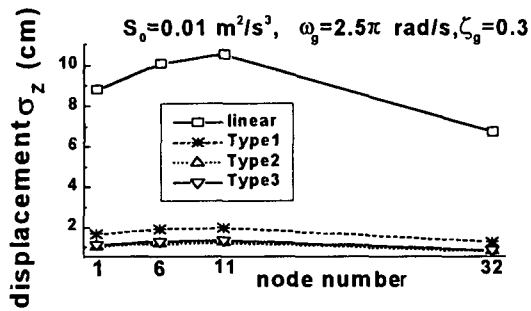


図-6 最大変位に及ぼす免震特性の影響(面内) 図-7 最大変位に及ぼす免震特性の影響(面外)

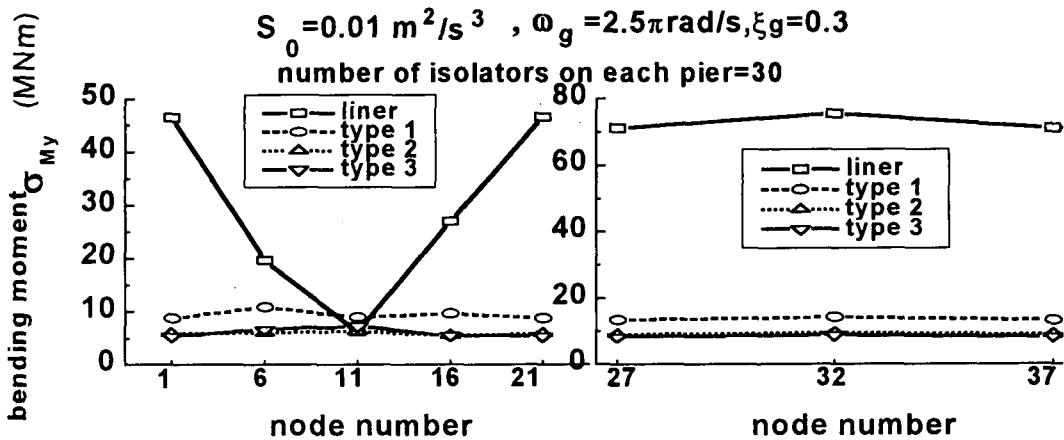


図-8 最大曲げモーメントに及ぼす免震の影響(面内)

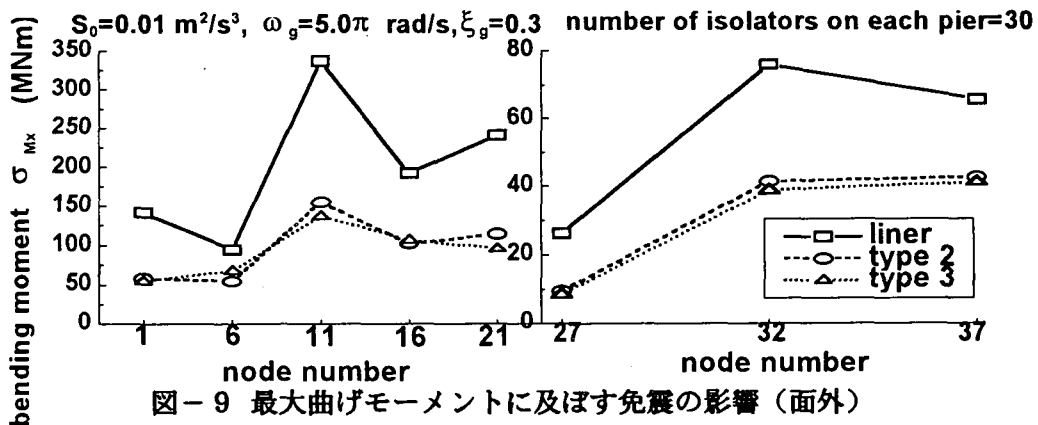


図-9 最大曲げモーメントに及ぼす免震の影響(面外)

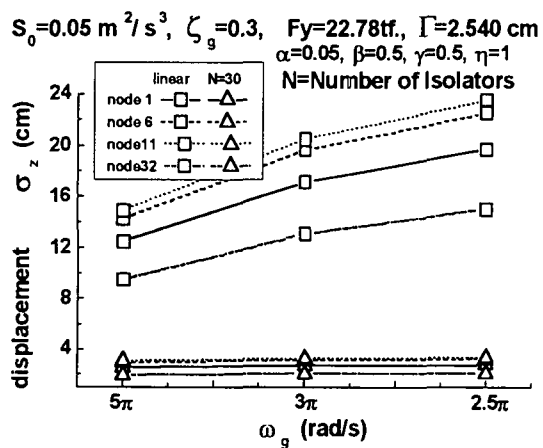


図-10 最大変位に及ぼす地盤の影響（面内）

一方、図-5は応答に及ぼす免震装置の数の影響を示したものである。免震装置の数は多くなると相対変位のRMS応答が大きくなる傾向が見られる。しかし免震装置の数を増加させるとともにアイソレータ1個当たりの変位応答や復元力応答は小さくなる。よって、免震構造物を設計する際、設計条件（例えば、免震装置周辺のクリアランス）や設計要求等に応じて免震装置の個数を決定することが重要である。

免震装置の特性の相違による応答への影響について、図-6、図-7はそれぞれ面内、面外振動に対して異なる免震装置を導入したときの節点1, 6, 11, 32における相対変位を示している。これより、免震の特性の相違によって応答が異なることが分かる。また、図-8、図-9は最大曲げモーメントに及ぼす免震の影響を示したものである。橋脚部においては、免震によって免震装置を導入しない場合に比べ面内振動のとき約7分の1に、面外振動のとき約3分の1に低減されたことが分かった。橋脚と橋桁との結合部における最大曲げモーメントは、面内振動において免震装置のない場合はその分担が極めて不均一であった。これに対して、免震装置を

導入した場合は、最大曲げモーメントをほぼ均一的に各接合部に分担された傾向が見られる。また、面外振動のとき、橋脚と橋桁との結合部における最大曲げモーメントは、免震装置の導入によって低減され、より合理的に分担されていることが分かった。

最後に、図-10は基礎地盤の卓越振動数の相違による応答への影響について示したものである。基礎地盤の卓越振動数の減少に伴う応答の増加は、免震装置を導入するとき大きく低減されることが分かった。従って、免震装置を導入しない場合の応答は、入力強度や基礎地盤の卓越振動数に大きく左右されるのに対し、免震装置を導入した場合の応答はあまり大きく変化しないことが免震装置の有効性を示している。

5. あとがき

本研究では連続高架橋の地震応答解析に及ぼす免震特性の影響について検討した。免震装置が地震動のエネルギーを吸収し、上部構造物の応答を低減させる有効的な手段であることが分かった。免震装置の免震性能に及ぼすアイソレータの数や特性の影響が大きいため、設計する際十分に検討する必要がある。さらに、基礎と地盤の相互作用や橋桁にも免震装置の導入等についても検討する必要があると考えられる。

6. 参考文献

- 1) Y.K.wen: Equivalent linearization for hysteretic system under random excitation, Journal of Applied Mechanics, ASME, Vol.111, No.4, pp.150-154, 1980
- 2) M.C. Constantinou and I.G. Tadjbakhsh: Hysteretic dampers in base isolation: random approach, Journal of structural engineering, ASCE, Vol.111, No.4, pp.705-821, 1985

SEISMIC RESPONSE ANALYSES OF HIGH -ELEVATED CONTINUOUS BRIDGE WITH BASE ISOLATION

Kenji Kawano and Yuan biao Yin

It is suggested that the base isolation system provides significant roles on the seismic response reductions for the high elevated continuous bridge. In this study, the seismic response of the structure with base isolation system is examined with random vibration approach. It is shown that the seismic response of the high elevated continuous bridge can be effectively reduced with the base isolation system.