

I - B 339

大規模自由通路橋の免震支承の2方向ハイブリッド地震応答実験とその立体非線形動的解析

J R東海コンサルタンツ（正会員）岩田 秀治
京都大学 大学院工学研究科（フェロー）家村 浩和
J R東海（正会員）鈴木 一真
大林組 技術研究所（正会員）後藤 洋三

1. はじめに

現在、東静岡駅（仮称）と南北自由通路橋（図-1）が建設されている。その大規模自由通路橋に免震支承（高減衰積層ゴム支承）を採用したことにより、構造物が長周期化し地震力の低減がなされ、かつ減衰効果の機能のため、従来より耐震性が向上すると考えられた。そこで、免震構造の照査として、立体非線形動的解析を行い、また免震支承の地震時の挙動、復元力特性の検証のため、ハイブリッド地震応答実験を行い、安全性の確認を行った。

本橋梁の重要性から地震の慣性力の方向性を考慮し全方向フリーとしているため、動的解析、及びハイブリッド実験とも2方向载荷で行った。ここでは、その特異性、1方向载荷との相違などを主に報告する。なお、免震支承採用の橋梁で桁上全面に構築物が存在する、土木・建築一体化免震構造は、世界でも例のない構造である。

2. 免震支承の2方向ハイブリッド地震応答実験

2.1 ハイブリッド実験の方法

(1) 振動モデル 本実験では、橋梁全体を、図-2のような串団子型の「3層スウェーローッキング・モデル」に置換した。
(2) 運動方程式と数値解析法 橋軸方向と橋軸直角方向について、各々独立に5自由度の運動方程式を立て、中央差分法で数値解析を行った。ただし、コンピュータにフィードバックされる荷重値には2方向载荷の効果が含まれている。

(3) 試験体とモデル比の補正 応答変形の大きさに応じて、実大サイズと1/2縮小サイズの積層ゴム試験体を使い分け、実験結果を実応答として得るためにモデル比の補正を行った。

(4) 加力装置 写真-1に2方向载荷の加力装置を示す。

2.2 ハイブリッド実験ケースと結果

入力地震波は鉄道仕様阪神波³⁾ (G_{3A} , G_{3B})、道路橋示方書⁴⁾ (I-III-1、I-III-2)で、加速度の倍率を様々に変えて用いた。表-1に主な実験結果を示し、写真-2は2方向载荷の免震支承の変形状態を示す。

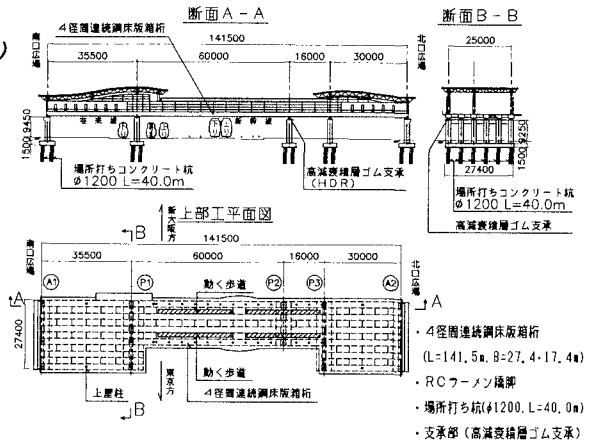


図-1 東静岡自由通路橋 一般図

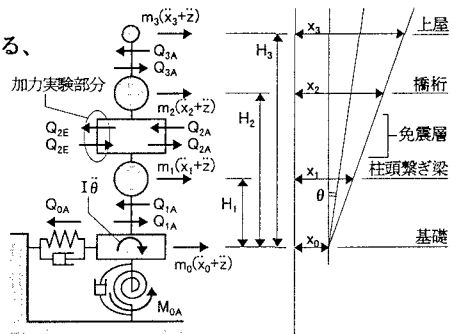


図-2 ハイブリッド振動モデル

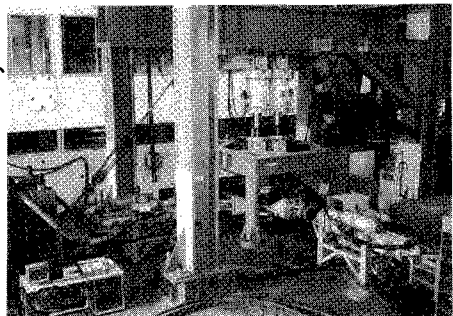


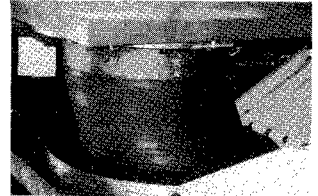
写真-1 ハイブリッド実験 2方向加力装置

キーワード：ハイブリッド地震応答実験、立体非線形動的解析、免震設計、高減衰積層ゴム支承

連絡先：名古屋市中区栄 2-5-1 J R東海コンサルタンツ NTT(052)232-4125 FAX(052)232-4129

2.3 ハイブリッド実験による荷重-変形関係

(1) 実大サイズと1/2縮小サイズによるハイブリッド実験結果 最大応答の差異も数%である。1/2縮小サイズであってもモデル比の補正を適切に行えば、実大と同等な力学的特性が得られ、結果、地震応答にも試験体サイズの影響はほとんどないことが確認できた。



(2) 1方向入力と2方向入力のハイブリッド実験結果 図-3に2方向実験の荷重-変形関係を示す。2方向実験の荷重-変形関係には、局所的に剛性が増減し、Bi-Linearモデルから解離する個所が見られる。また、履歴ループの端部(変形のピーク点)が丸みを帯びたり、全体の形状が瘦せたり太ったり弓なりになったりするなど1方向実験の荷重-変形関係と比べてやや不安定で複雑な挙動を示す。しかし、いずれも最大応答変形に大きな影響を与えるほどではなかった。

写真-2 免震支承 変形状態

2.4 立体モデル非線形動的解析との比較

(1) 解析条件 解析モデルは、下部構造+桁+上屋構造の一体型の立体モデルで、部材の非線形特性は、柱部材としては曲げモーメントと回転角 ($M-\theta$) の関係で履歴法則は武田モデルとし、基礎の非線形性は地盤反力を上限値としたバイリニア型モデルで大地震時の液状化を考慮して水平バネを低減させて対応させた。入力方法はハイブリッド実験と同様に1方向入力と、地震波の時刻調整をして2方向同時入力を行った。

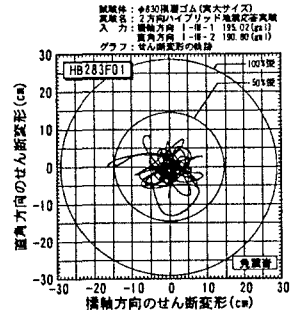
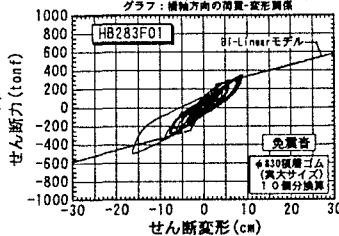


図-3 2方向載荷ハイブリッド実験 荷重-変位関係

(2) 解析結果 支承天端における応答変位を表-1を示す。ハイブリッド実験結果と一致しない主たる要因は、解析モデルの相違によるものだと考えられる。橋軸直角方向は大きくばらつくが、橋軸方向は立体動的解析値と1~22%で推移する。

表-1 ハイブリッド実験・立体非線形動的解析 結果

実験 ケース		ハイブリッド実験		Bi-Linear 解析 (ハイブリッド用簡約モデル)		立体非線形動的解析 (支保: Bi-Linearモデル)	
入力方向数・供試体・倍率	入力方向・入力地震波 L: 橋軸, C: 橋軸直角	橋軸方向 $E \delta_{max} (cm)$	直角方向 $E \delta_{max} (cm)$	橋軸方向 $A1 \delta_{max} (cm)$	直角方向 $A1 \delta_{max} (cm)$	橋軸方向 $A2 \delta_{max} (cm)$	直角方向 $A2 \delta_{max} (cm)$
1-70H-60	L: I-III-1	34.38	—	31.23	—	28.0~28.3	—
1-70H-60	C: I-III-2	—	32.66	—	26.82	—	10.3~27.2
2-70H-60	L: I-III-1, C: I-III-2	33.16	32.44	31.23	26.82	29.2~29.6	10.4~27.5
1-70F-45	L: I-III-1	17.13	—	14.16	—	16.4~16.6	—
1-70F-45	L: I-III-2	18.86	—	14.58	—	16.1~16.3	—
1-70F-45	C: I-III-1	—	13.93	—	11.08	—	7.6~15.7
1-70F-45	C: I-III-2	—	18.57	—	8.31	—	6.0~15.2
2-70F-45	L: I-III-1, C: I-III-2	18.48	18.57	14.16	8.31	17.5~17.9	6.2~16.3
2-70F-45	L: I-III-2, C: I-III-1	18.81	14.81	14.58	11.08	18.0~18.2	7.8~15.4
1-83F-45	L: I-III-1	16.00	—	14.16	—	16.4~16.6	—
1-83F-45	L: I-III-2	17.05	—	14.58	—	16.1~16.3	—
1-83F-45	C: I-III-1	—	14.71	—	11.08	—	7.6~15.7
1-83F-45	C: I-III-2	—	14.09	—	8.31	—	6.0~15.2
2-83F-45	L: I-III-1, C: I-III-2	16.32	13.07	14.16	8.31	17.5~17.9	6.2~16.3
2-83F-45	L: I-III-2, C: I-III-1	16.95	15.03	14.58	11.08	18.0~18.2	7.8~15.4
1-83H-60	L: I-III-1	26.02	—	24.98	—	28.0~28.3	—
1-83H-60	L: I-III-2	26.09	—	23.00	—	26.2~26.5	—
1-83H-60	C: I-III-1	—	26.61	—	24.10	—	15.6~28.8
1-83H-60	C: I-III-2	—	25.86	—	19.77	—	10.3~27.2
2-83H-60	L: I-III-1, C: I-III-2	26.61	23.23	24.98	19.77	29.2~29.6	10.4~27.5
2-83H-60	L: I-III-2, C: I-III-1	26.53	25.31	23.00	24.10	27.9~28.3	16.9~28.8
2-83H-45	L: I-III-1, C: I-III-2	16.79	12.42	14.08	8.31	17.5~17.9	6.2~16.3

但し、立体非線形動的解析値は各下部工の最大応答変位を示す

3. まとめ

今回のハイブリッド実験により、免震支承（高減衰積層ゴム支承）を用いた橋梁の地震時の挙動に関する多くの資料を得た。高減衰積層ゴムが有する複雑な力学的特性を精度よく表現できる解析モデルはなかなか見当たらないが、本実験では簡便なバイリニアモデルとの比較、検討がなされたと考えられる。また、立体非線形動的解析との比較も行え、解析モデルの相違による解析値の相関関係など把握できたと考える。

今後は、得られた知見が、動的解析の高精度化に資するものとなることが期待できると考える。

【参考文献】

- 伯野、家村ほか：「ハイブリッド実験の応用マニュアル」平成2年3月 科学研究費補助金研究成果
- 関、杉山ほか：「2方向地震入力に対する免震構造物のオフライン地震応答実験」第8回日本地震工学シンポジウム
- 「新設構造物の当面の耐震設計に関する参考資料」平成8年3月 財団法人 鉄道総合技術研究所
- 「道路橋示方書・同解説 V耐震設計編」平成8年12月 社団法人 日本道路協会