

橋脚の非線形地震応答解析と耐震補強に関する一検討

(株) 間組	浦野和彦*	(株) 間組	松原勝己*
同 上	山下英俊*	同 上	脇田和試*
同 上	平澤賢治*	同 上	吉見憲一**

4 径間連続橋を対象として、橋桁、橋脚、基礎および地盤を梁-質点系の三次元骨組みモデルに置き換え、橋軸直角方向の非線形地震応答解析を実施した。RC橋脚については、曲げに対する非線形性を考慮した武藤モデルを、免震支承については、バイリニア型の非線形せん断バネを用いた。免震支承を設置した場合（免震橋）とそうでない場合（非免震橋）の地震時挙動を比較し、免震橋において橋脚下部の損傷度が軽減することが示された。さらに、橋脚の保有水平耐力やじん性率について、無補強および鋼板巻き補強の解析結果と実験結果を、帯筋+メッシュ鋼材による補強の解析結果を比較し、帯筋+メッシュ鋼材による補強が鋼板巻き補強と同等の効果を有することが示された。

1. はじめに

阪神・淡路大震災では、道路や鉄道の高架橋の橋脚に甚大な被害が生じました。

従来は震度法で設計されていた橋が多くを占めていましたが、これを機会として、橋脚の高次変形モードの影響や降伏後のねばり強さを把握するため、橋脚の非線形な復元力特性を考慮した動的解析が行われていくと思われます。

本検討では、連続橋の免震化による効果を非線形動的解析による検証を行います。また、橋脚の補強方法の効果を解析結果と実験結果から検証します。

2. 非線形動的解析

(1) 解析モデルと解析手法

解析対象の4径間連続橋を図-1に示します。この橋脚の上部構造および下部構造（基礎を含む）を図-2に示すような三次元曲げせん断梁・質点系にモデル化します。解析モデルの諸元を表-1～表-4に示します。ここで、地盤ばね（水平、回転ばね）は、土質条件より道路橋示方書に基づき算定しました。

キーワード：非線形地震応答解析、免震

* (株) 間組 技術研究所、0298-58-6622

** (株) 間組 大阪支店、06-201-2751

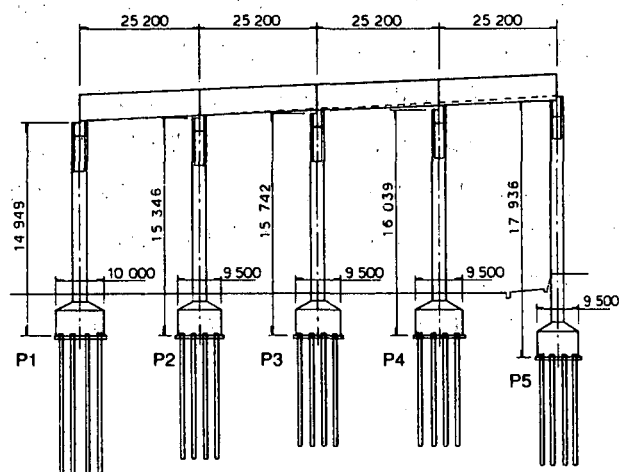


図-1 解析橋梁

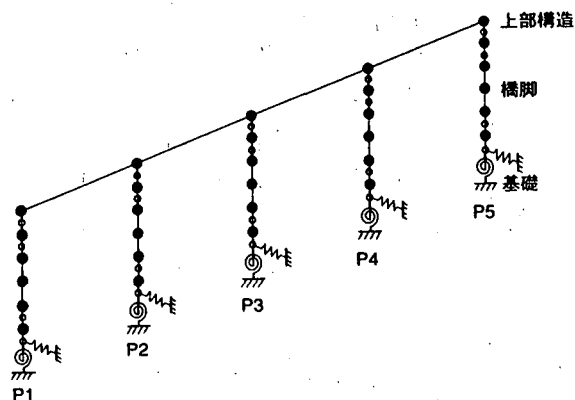


図-2 解析モデル

下部構造の梁要素については、鉄筋コンクリートが曲げ破壊する場合の非線形特性を表現できるトリリニアの剛性低下型の履歴モデル（武藤モデル）を用いました。図-3に履歴モデルを示しますが、ひびわれモーメント M_c 、鉄筋降伏モーメント M_y 等の値は、道路橋示方書に基づいて算定しました。

また、応答解析は、Newmark- β 法による直接積分法応答解析を行っています。

(2) 入力波

入力波は、兵庫県南部地震における神戸海洋気象台で記録された地震動（NS方向、最大加速度818gal）を用い、加振方向は橋軸直角方向とします。入力地震動の時刻歴波形を図-4に示します。

(3) 解析結果

P1橋脚の上部構造と橋脚下部の応答加速度波形を図-5および図-6に示します。これらの比較より上部構造の加速度がかなり低減されているのがわかります。橋脚の損傷状況を見ると、橋脚中央部でひびわれ、橋脚下部において鉄筋降伏を起こしており、かなりの剛性低下を起こしていると考えられます。このため、上部構造まで地震力が伝わっていないと考えられます。

この傾向はP2～P5においても同様に見られます。

表-3 部材データ

部材番号	I端	J端	断面積 $A(m^2)$	断面二次モーメント $I(m^4)$
1	1	2	—	—
2	2	3	45.64	—
3	3	4	27.29	263.47
4	4	5	8.93	6.69
5	5	6	8.93	6.69
6	6	7	8.93	6.69
7	7	8	8.93	6.69
8	8	9	8.93	6.69
9	9	10	90.25	678.8
10	10	11	90.25	678.8

※ヤング係数 $E = 2.65 \times 10^8$

表-4 減衰定数

構造要素	減衰定数
上部構造	0.03
下部構造	0.05
基礎構造	0.10

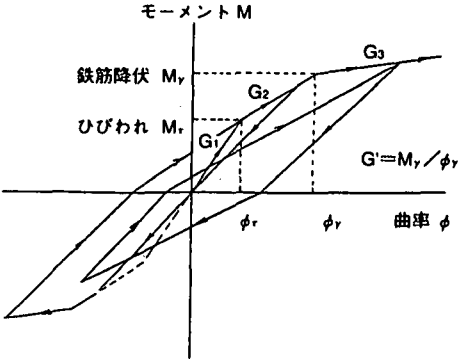


図-3 履歴モデル

表-1 節点データ

節点番号	X座標(m)	Y座標(m)	節点重量(t)
1	0.000	17.656	809.60
2	0.000	15.782	0.00
3	0.000	14.227	316.38
4	0.000	11.730	0.00
5	0.000	10.539	46.70
6	0.000	8.156	46.70
7	0.000	5.774	46.70
8	0.000	3.391	46.70
9	0.000	2.200	0.00
10	0.000	0.989	445.59
11	0.000	0.000	0.00

表-2 支点バネ条件

節点番号	水平バネ定数 (t/m)	回転バネ定数 $(t \cdot m/rad)$
9	9.085×10^5	5.024×10^8

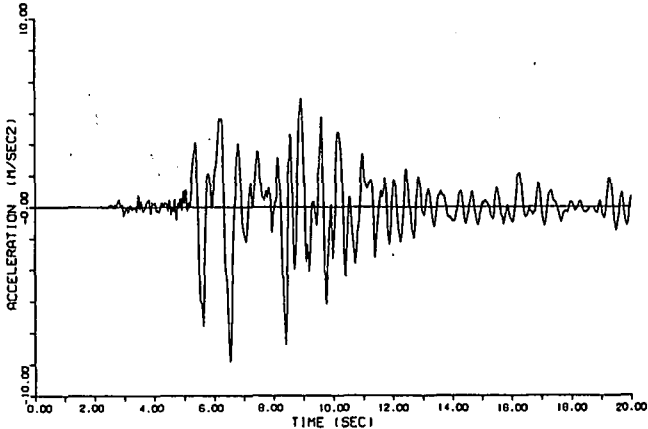


図-4 入力地震動

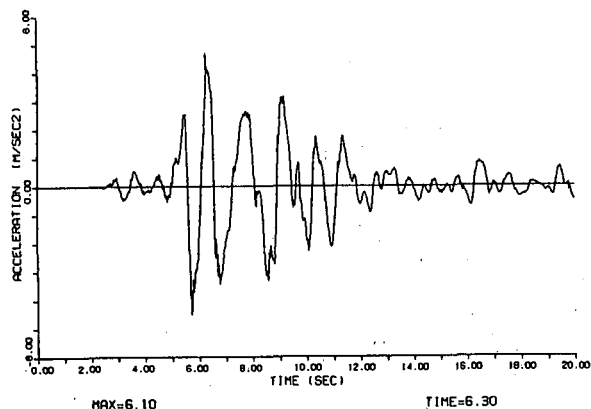


図-5 応答加速度（上部構造）

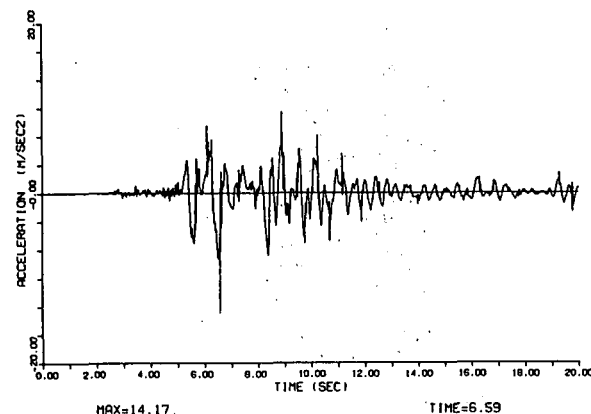


図-6 応答加速度（橋脚下部）

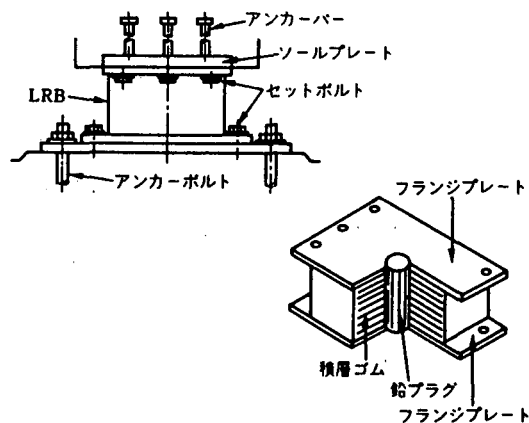


図-7 免震装置

表-5 免震装置の諸元

平面形状	4.5×4.5
鉛プラグ	φ7.0×4
ゴム厚	1.0×10層

単位：cm

3. 免震橋に対する検討

(1) 免震装置の概要

構造物の耐震性を向上させる方法のひとつとして、免震構造があります。橋梁では、上部構造と下部構造の間に免震装置（免震支承）を設置し、地盤の振動を柔らかく吸収します。

ここでは、図-1の解析橋梁を免震橋とした場合の応答の違いを比較、検討します。また、用いる免震装置は、図-7に示す鉛プラグ入り積層ゴム支承とします。免震装置の諸元を表-5に示します。

(2) 解析結果

表-6において、免震橋に対して非線形応答解析を行った場合の応答値を、非免震橋の応答値と比較します。

非免震の場合と比較すると上部構造の加速度が低減されている事がわかります。また、橋脚の損傷度についてもかなり低くなり、橋脚下部において鉄筋降伏は起こさずコンクリートのひびわれに留まっています。この事より、上部構造の加速度の低減は橋脚の剛性低下によるものではなく、免震装置によるものであることがわかります。

表-6 免震橋と非免震橋の比較

	非免震橋	免震橋
固有周期 (sec)	0.75	0.95
上部構造変位 (cm)	20.8	26.3 (17.0)
加速度 (gal)	上部構造	610
	橋脚下部	440
曲げモーメント (t・m)	1420	850
	7000	6500

4. 橋脚の補強に関する検討

(1) 検討概要

免震以外の耐震性を向上させる方法として、橋脚の周りに鋼板を巻く方法が良く用いられています。この補強方法では、橋脚の耐力を上げるのではなく、鉄筋降伏後のじん性を向上させる事を目的としています。したがって、非補強と補強においては履歴曲線に大きな違いがないため、非線形動的解析による大きな違いは見られません。

ここでは、図-8に示す解析モデルにおける耐力および変形能について、実験結果と解析値との比較を行います。

(2) 実験結果と解析値との比較

表－7に実験結果と解析値を示しますが、じん性の伸び等から見て、両者の値はほぼ一致していると考えられます。

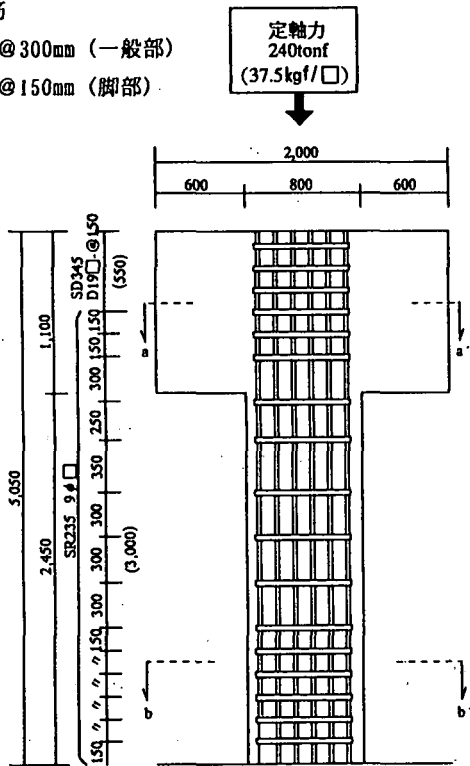
また、図－9に示す帯筋+メッシュ鋼材による補強方法も、鋼板巻き立てと同等な効果が期待できると考えられます。

表－7 実験結果と解析値の比較

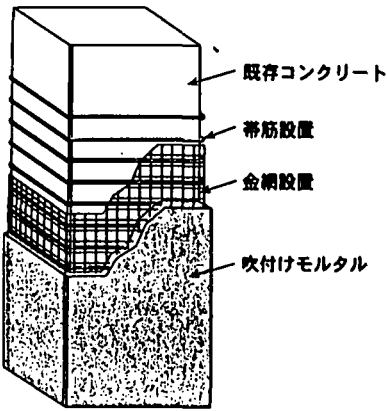
	補強方法	降伏水平 耐力 P_y (tf)	降伏変位 δ_y (mm)	終局水平 耐力 P_u (tf)	終局変位 δ_u (mm)	じん性率 μ
実験結果	無補強	79.8	21.2	85.4	45.7	2.2
	鋼板補強 $t=6\text{mm}$	82.5	13.9	95.9	130.4	9.4
解析値	無補強	66.0	15.1	79.4	23.3	1.5
	鋼板補強 $t=6\text{mm}$	63.5	15.5	84.6	149.1	9.6
	帯筋+ メッシュ鋼材	68.0	13.9	90.9	126.6	9.1

※ 帯筋：高張力鉄筋 16φ@100mm

主筋
20-D32
帯筋
9φ@300mm (一般部)
9φ@150mm (脚部)



図－8 解析モデル



図－9 帯筋+メッシュ鋼材による補強

5. おわりに

本検討では、非線形動的解析等を用いて、橋梁の免震化や橋脚の補強の効果について解析的に検討、確認を行いました。今後は、実験等によりその効果を具体的に検証していきたいと考えています。

【参考文献】

- 1) 川島一彦他：道路橋の耐震設計計算例、1992年 2月
- 2) 建設省土木研究所：道路橋の免震構造システムの開発に関する共同研究報告書（その3）、1992年 10月

ON NON-LINEAR EARTHQUAKE RESPONSE ANALYSIS AND EARTHQUAKE STRENGTHENING FOR BRIDGE PIERS
KAZUHIKO URANO et. al.

Non-linear earthquake response analyses for bridge piers are performed using three-dimensional frame model with beams and masses system. Non-linearity of bending is considered for RC piers and non-linearity of shearing is for base isolation shoes. It is recognized that degree of damage reduces in the bridge using base isolation shoes comparing to the bridge not using base isolation. Also, effect for earthquake strengthening is shown by comparing loading capacity and ductility for earthquake strengthening piers and non-strengthening piers.