

I-75 野付牛高架橋（仮称）の免震設計

中神土木設計	正員	林	和虎	北見市役所	高橋	捷彦
北見工業大学	正員	大島	俊之	北見市役所	目黒	三夫
中神土木設計	正員	本間	美樹治	中神土木設計	内林	美樹

1. まえがき

本路線は、国道39号線と並行に北側に位置し、北見市を東西に貫く幹線道路であり、当北見市においてもバイパス的役割りを果たしている路線である。その中でも当橋梁区間は、冬期において沢地形となっており、15%程度の急勾配により下りのみの一方通行箇所となっている為、本橋の整備により、上記の様な交通環境を改善し、車輛、歩行者、自転車の安全通行で、周辺地域の環境の整備を目的とする。本橋梁の設計の流れとしては、平成5年に予備設計を行い、橋梁形式としては、ポストテンション方式PC3径間連続曲線2空箱桁橋で、下部工は、箱式橋台2基、壁式橋脚2基が、基礎形式は、杭基礎で中掘鋼管杭先端根固め工が、比較設計の上で採用されていた。それに続く橋梁実施設計途中において、平成7年に阪神大震災による耐震性確保の問題がクローズアップされ、(社)日本道路協会より『「兵庫県南部地震により被災した道路橋の復旧に係る仕様」の準用に関する参考資料(案)』(以下「復旧仕様」と呼ぶ)が刊行され、本橋も復旧仕様の全面準拠とし設計を行なうことになった。従って、橋梁形式は、基本的に変更せずに免震支承を用いた免震設計を行ない、耐震性の向上を図ることを目的とした。

2. 解析モデル及び材料定数

橋梁の一般図を図-1に示す。橋梁概要としては、①3径間のPCコンクリート箱桁橋である。②クロソイドカーブによる曲線橋である。③橋台に箱式橋台を、橋脚に壁式橋脚を形式採用している。④基礎形式に中掘り鋼管杭基礎とした、という点である。

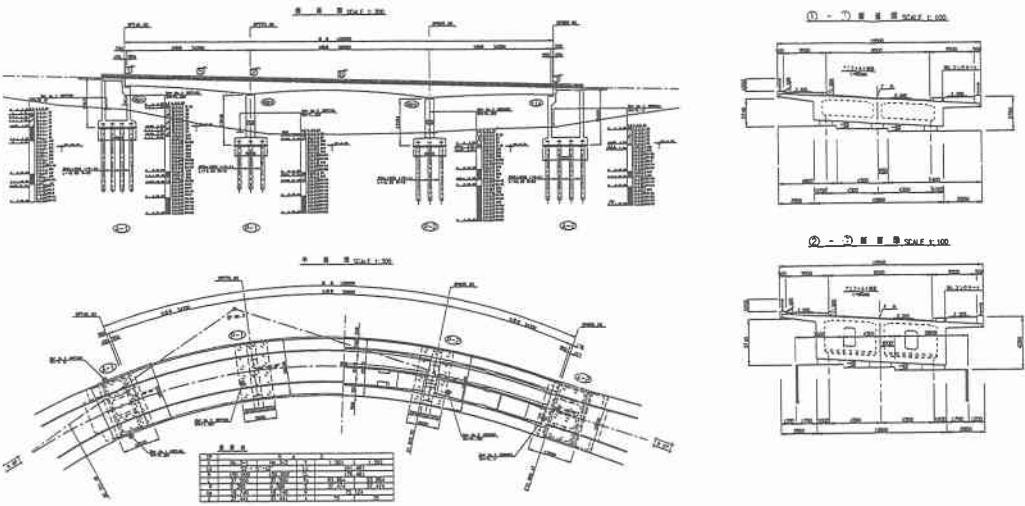


図-1 橋梁一般図

Design of Notukeushi E l. Bridge with Isolator

by Kazutora HAYASHI, Toshihiko TAKAHASHI, Toshiyuki OSHIMA, Mitsuo MEGURO, Mikiji HONMA and Miki UCHIBAYASHI

設計計算の流れとしては、図-2の様に考えた。その際震度法レベル（L-1とする）における下部工、基礎工を仮定断面と呼ぶ。これは従来一点固定の連続桁橋として考えていたが、免震支承による弾性支持により、保有水平耐力レベル（L-2）や、兵庫県南部地震クラスの様な直下型地震（L-3）に対して橋全体が地震に耐えることが可能な下部工、基礎工を設計することにより、仮定断面を照査するという意味合いである。

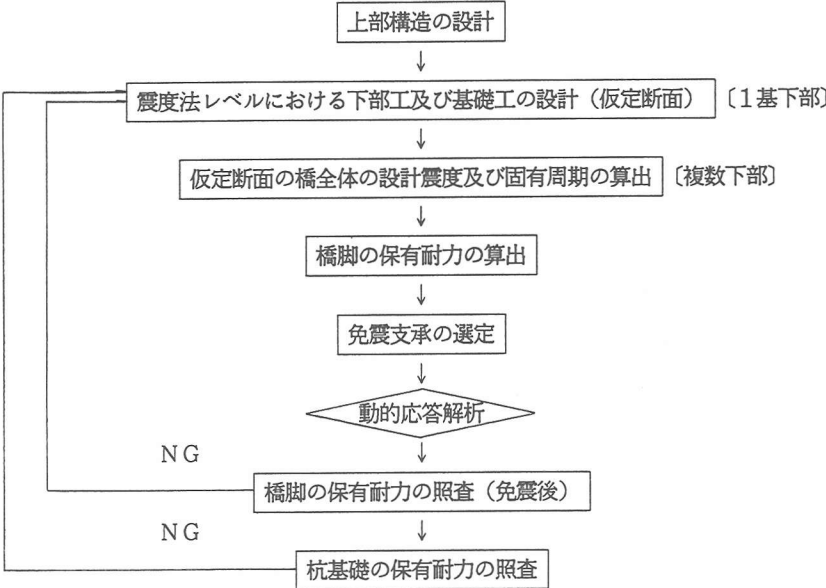


図-2 設計計算の流れ

ここで、免震設計を行なうにあたり、免震設計が適している橋とは①地盤が健硬で、基礎周辺地盤が地震時に安定している場合②下部構造の剛性が高く、橋の固有周期が特に長くない場合③多径間連続橋となっており、免震設計が適していない条件とは、①基礎周辺地盤が、地震時に不安定となる場合②下部構造のたわみ性が大きく、もともと固有周期の長い橋③基礎周辺の地盤が軟らかく、橋を長周期化することにより、かえって、地盤と橋の共振を引き起こす可能性がある場合④一部の支承に負反力が生ずる場合（『建設省 道路橋の免震設計法マニュアル（案）』より抜粋した）とあり、従来一点固定の連続桁として設計水平震度を算出してきたが、設計振動単位を耐震設計上複数の下部構造とそれが支持している上部構造部分からなると見なす場合と考え、仮定断面（橋）が、長周期な橋であるかどうかの判定を行なった。その結果を下図-3に示す。この結果より免震設計を行えるものとした。

又免震設計の目安としては、免震装置を用いた場合の橋の固有周期が、免震装置を用いない場合の橋の固有周期の2倍程度以上にする、我国の地盤条件の特長から、Ⅰ種地盤では1.1秒、Ⅱ種地盤では1.3秒、Ⅲ種地盤では1.5秒程度の固有周期よりも、さらに固有周期を長くとらないと長周期化による慣性力の低減は見込めない為、上記より固有周期を長くする。ここで、本橋梁の地盤条件としては、調査地点は、丘陵性の台地に包含された地

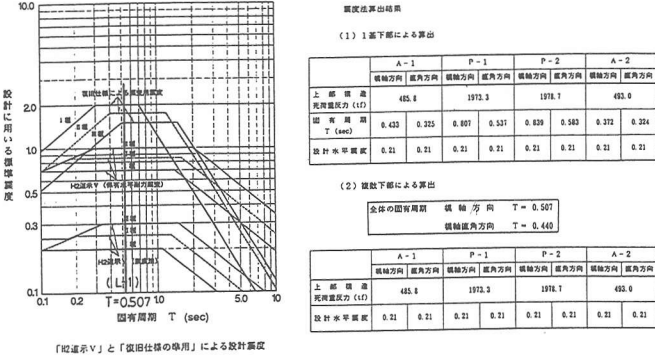


図-3 震度算出結果

形区に位置し、いわゆる軟弱地盤は分布しておらず、沢状地形の低地部を除く洪積世の火山灰ならびに段丘堆積物からなり、さらに比較的浅い深度から新第三紀中新世の堆積物に相当すると思われる凝灰質砂岩が分布する。従って橋梁基礎としては、下部砂礫層あるいは岩盤を支持層とする中掘鋼管杭基礎としている。

ここで、免震設計方針であるが、

1) 免震化パターン

① 橋軸方向と橋軸直角方向全て免震化する。

※② 橋軸方向免震化、橋軸直角方向固定とする。

③ 橋軸方向免震化、橋軸直角方向については、橋台部固定、橋脚部免震化とする。

2) 橋軸方向の定義

① 曲線方向に橋軸中心線と見なす場合

※② 橋台胸壁中心同士を結ぶ方向を橋軸方向と見なす場合

上記の様に、曲線橋である為、免震化の方向定義づけが重要となってくる。今回は、※印部分の設計結果について、検討した。次に使用した支承であるが、免震支承には各種の支承があるが、今回は変位依存型免震装置である、鉛プラグ入り積層ゴム支承（LRB）を採用した。一般図に図-4を示す。

ゴム支承の形状は、平面形状で橋台部は70cm×70cm、ゴム1層厚を1.6cmとし、13層、計20.8cm、鉛プラグ直径D=10cmを4本とし設計する。橋脚についても同様に、免震マニュアル（4, 2, 17）等から、平面寸法130cm×130cm×ゴム1層厚3.0cm、7層、計21.0cm、鉛プラグ直径D=19.0cmを4本とした。これらの寸法、規格は、繰返し計算により決定した。ゴム支承の選定が終了したので、応答解析を行うことになる。本橋は、免震装置として鉛プラグ入り積層ゴム支承（LRB）を用いた免震橋梁であり、動的解析法は上述バネ-マス系の時刻歴応答解析法を用いた。免震化は上述の様な※部の様に、橋軸方向免震化、直角方向は変位を拘束して免震化しないものとした。解析モデルは下図の様なモデルに対して、まず各橋脚単体の自由振動解析を行い、次に各橋脚単体のモードを使用したモーダルアナリシスにより橋梁全体の時刻歴計算を行う。その際、免震支承バネとして、バイリニア型バネを考慮して、主桁、橋脚の加速度・変位の計算を行った。今回入力に用いた強震記録波形は、神戸海洋気象台のN-S成分を使用した。

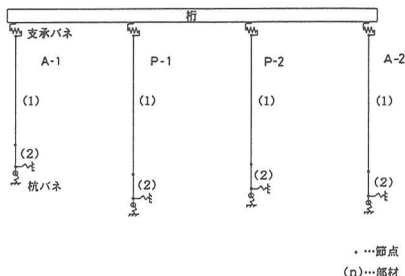


図-5 解析モデル

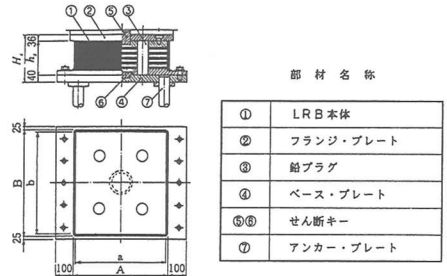


図-4 LRBの一般図

特 性 値	橋 台				備 考
	A1	A2	P1	P2	
支保の水平変位 u_o (cm)	10.89	10.89	10.89	10.89	
ゴムの有効断面積 A_{go} (cm ²)	3823.5	3823.5	14350.2	14350.2	
支保圧力度の剛性 K_{go} (kgf/cm ²)	60.4	59.8	52.7	51.7	< 80
局所せん断 ひずみ照査	鉛直変位 γ_c	0.75	0.75	0.80	
	水平変位 γ_s	0.52	0.52	0.52	< 0.7
	回転角 γ_r	0.21	0.21	0.19	
合計 γ_T	1.49	1.49	1.51	1.50	< 2.0=5/2.5
免震装置の設計変位 u_{sa} (cm)	5.10	5.10	5.10	5.10	
免震装置の有効設計変位 u_{sa} (cm)	3.58	3.58	3.56	3.56	
免震装置の等価剛性 K_{sa} (tf/m)	2033.9	2033.9	7159.7	7159.7	
免震装置の等価減衰定数 h_{sa}	0.271	0.271	0.272	0.272	
橋の固有周期 T (sec)	1.04				
橋の減衰定数に基づく補正係数 C_k	0.9 ($h = 0.272$)				
設計水平震度 K_{hc}	0.19				$C_T = 1.25$
地震時水平力 F (tf)	103.6	103.6	364.8	364.8	計 936.8
上部構造変位量 u_T (cm)	5.10				
局所せん断 ひずみ照査	鉛直変位 γ_c	0.51	0.50	0.62	0.61
	水平変位 γ_s	0.24	0.24	0.24	0.24
合計 γ_T	0.75	0.74	0.86	0.85	< 2.78
免震装置の設計変位 u_{sa} (cm)	32.92	32.92	32.92	32.92	
免震装置の有効設計変位 u_{sa} (cm)	28.45	28.45	28.55	28.55	
免震装置の等価剛性 K_{sa} (tf/m)	824.9	824.9	2845.2	2845.2	
免震装置の等価減衰定数 h_{sa}	0.209	0.209	0.216	0.216	
橋の固有周期 T (sec)	1.65				
橋の減衰定数に基づく補正係数 C_k	0.7 ($h = 0.215$)				
設計水平震度 K_{hc}	0.49				$C_T = 0.83$
地震時水平力 F (tf)	271.5	271.5	936.5	936.5	計 2416.0
上部構造変位量 u_T (cm)	32.92				
局所せん断 ひずみ照査	鉛直変位 γ_c	0.94	0.82	0.82	0.80
	水平変位 γ_s	1.58	1.58	1.57	1.57
合計 γ_T	2.52	2.50	2.38	2.37	< 4.16
免震装置の設計変位 u_{sa} (cm)	47.78	47.78	47.78	47.78	
免震装置の有効設計変位 u_{sa} (cm)	35.37	35.37	35.37	35.37	
免震装置の等価剛性 K_{sa} (tf/m)	733.4	733.4	2517.1	2517.1	
免震装置の等価減衰定数 h_{sa}	0.181	0.181	0.189	0.189	
橋の固有周期 T (sec)	1.75				
橋の減衰定数に基づく補正係数 C_k	0.7 ($h = 0.187$)				$C_T = 1.06$
設計水平震度 K_{hc}	0.63				
地震時水平力 F (tf)	350.4	350.4	1202.8	1202.8	計 3105.4
上部構造変位量 u_T (cm)	47.79				
局所せん断 ひずみ照査	鉛直変位 γ_c	1.74	1.69	0.98	0.96
	水平変位 γ_s	2.30	2.30	2.28	2.28
合計 γ_T	4.04	3.99	3.26	3.24	< 4.16

表-1 LRBの特性値と耐荷力の照査

3. 解析結果

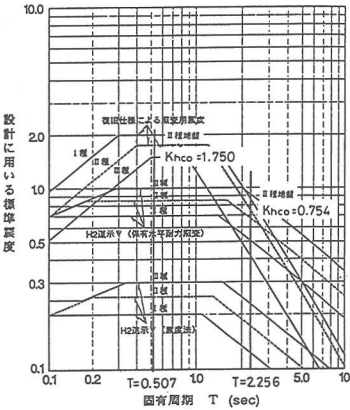
動的解析の結果を図-6に示す。橋全体の固有周期が $T=2.26$ 秒と長周期化し、設計に用いる標準震度 $K_{hco}=1.750$ から、 $K_{hco}=0.754$ と減少し、復旧仕様レベルにおいても、橋脚の保有水平耐力の照査において、 $P_a > K_{ne} \times W$ となり、仮定橋脚断面が、免震支承を用いた橋梁の免震化により、安定化したことを確認できた。

算出結果

		P-1		P-2	
		橋軸方向	橋軸直角方向	橋軸方向	橋軸直角方向
設計水平震度	K_h	0.21	—	0.21	—
等価重量	W (tf)	2491.300	—	2462.750	—
降伏変位	δ_y (cm)	3.780	—	3.218	—
終局変位	δ_u (cm)	15.820	—	13.922	—
降伏水平耐力	P_y (tf)	1211.792	—	1291.797	—
終局水平耐力	P_u (tf)	1375.120	—	1465.717	—
せん断耐力	P_s (tf)	4538.922	—	4538.922	—
破壊先行型の判定 曲げorせん断		$P_u < P_s$ ∴ 曲げ破壊先行型	—	$P_u < P_s$ ∴ 曲げ破壊先行型	—
等価固有周期	T_{eq} (sec)	2.256	—	2.256	—
許容塑性率	μ	3.123	—	3.218	—
保有水平耐力	P_a (tf)	1320.677	—	1047.744	—
等価水平震度	k_{he}	0.32	—	0.31	—
等価水平震度×等価重量	$k_{he} \times W$	797.216	—	763.453	—
		$P_a > k_{he} \times W$ ∴ OK	—	$P_a > k_{he} \times W$ ∴ OK	—

P-1 免震前の固有周期 $T_{eq}=0.537 \rightarrow$ 免震後 $T_{eq}=2.256$

P-2 免震前の固有周期 $T_{eq}=0.478 \rightarrow$ 免震後 $T_{eq}=2.256$



「設置済V」と「復旧仕様の準用」による設計震度

図-6 動的解析結果

又、今回は橋脚基礎に杭基礎工を採用しており、橋脚基部に塑性ヒンジを発生させ、橋や基礎に被害を与えない様にする事から、橋脚の保有耐力より基礎の耐力が上回る様にしなければならない。従って変位法により照査したが、変位法では、橋軸方向は許容値以内に入り安定であるが、橋軸直角方向は、杭頭押し込力によりNGとなり変位法による照査を満足しなかった。又、杭基礎の非線形解析による照査を行なったが、基礎の耐力<橋脚柱の耐力となりNGとなってしまった。従って、杭本数を変位法を満足する本数まで増やして、再検討を行なった。橋軸直角方向を3列から6列にして、変位法による照査を満足した。よって、杭本数変更後の動的解析を行ったところ、橋全体の周期が $T=2.097$ 秒と若干短周期化し、変位も0.1cm減少したが、全体に影響を与えるものではないことがわかった。

4. まとめ

今回は、免震橋梁の実施設計を、市販のプログラムソフトを活用して、復旧仕様及び免震マニュアルに準じて設計を行っていったが、長周期化し地震力の低減を図ると不安定な構造になったり、支承や伸縮継手に能力の大きいものを使用したりと経済性とは相反する結果となることが予測され、設計サイドとして、どこまで耐震性の向上を図るかは、道路管理者、防災管理者との意志確認が是非不可決であることがわかった。

今、耐震層及び示方書が発刊されつつあり、今後の耐震設計のあり方が示されようとしているが、本橋も設計という立場から、もう少し経済性を追求して、バランスのとれた橋梁を設計したいと思っている。

〔参考文献〕

- 1) (社) 日本道路協会：「兵庫県南部地震により被災した道路橋の復旧に係る仕様」の準用に関する参考資料 (案)
- 2) (財) 土木研究センター：建設省道路橋の免震設計法マニュアル (案) (1992.12)
- 3) (社) 日本道路協会：道路橋示方書・同解説 I～V (1990.2, 1994.2)