

首都高速道路公団 正会員 遠藤有昭

" " 音川庫三

" " 池内武文

I. 概要

本報告の対象となる構造物は上部構造が9径間連続PC箱桁、下部構造がRC橋脚、基礎ぐいが径1.5m、長さ約30mのリバースぐい構造である。本設計に際し耐震性を考慮する事から、上部構造と下部構造の境界に免震材としてSUダンパー及びゴム支承の2方式を想定し、動的解析を行なったのでその結果を報告する。動的解析を通常行なうに際しては、①入力地震波の選定 ②計算用骨組システムの仮定 ③振動方程式の誘導 ④減衰定数の仮定 等種々の問題があるが、ここでは免震材としてSUダンパーあるいはゴム支承と特殊な構造部材を用いるためその仮定もさらに複雑となる。

1)入力地震波の選定 ・設計地点の地震波や地盤の動的振動特性が明らかな場合にはそれを使用するが、本設計の場合比較的代表的な強震記録より①短周期成分が比較的多いEL-CENTRO地震波 ②短周期、長周期両成分を有する十勝沖地震波 ③小規模地震ではあるが長周期成分が多い東松山地震波の3波を想定地震波とした。

2)計算用骨組システムの仮定

(1)橋軸及び橋軸直角方向共通の仮定 a)構造系は平面上の集中質量型振動系に置換するb)構造部材、地盤、くいなどは全て弾性挙動するc)隣接径間の影響は上部工反力のみとするd)入力地震波の位相差は考慮しないe)水平動のみを扱うf)地表波の入力位置はくい頭とする。

(2)橋軸方向の仮定 a)桁の橋軸方向の剛性は橋脚やゴム支承の剛性と比べ220:16:1と非常に大きく、振動による桁の軸変形は無視できるb)橋脚はロッキングスウェイを伴う基礎をもった等価せん断型質量系に置換するc)SUダンパー形式のダンパー材は各橋脚の両側に取付けられるが圧縮では無抵抗と考えられるので片側のみの剛性を評価するd)支承の摩擦機構はクーロン摩擦の法則に従って挙動し最大摩擦力の絶対値は一定とする。

(3)橋軸直角方向の仮定 a)桁、橋脚共曲げとせん断変形を考慮する部材と見なし平面骨組構造とするb)両方式とも支承部分でヒンジ結合と考えられせん断力のみを伝達するc)端部の橋脚は特殊な伸縮継手を取付けるため他の橋脚より剛体なラーメン橋脚である。このため等価単柱に置換する。

3)振動方程式の誘導 (1)SUダンパーの場合 この形式の場合支承の摩擦抵抗が勝っている場合には一本の直線で表わされる線形、非履歴性モデルである復元力特性を有すが、支承の摩擦が切れてからは桁と橋脚は相対運動を始め非線形履歴特性を有する。このような経過を複数個の支承に同時に考慮することは不可能であり、本解析では個々のSUダンパーの履歴特性をバイリニア履歴性に置換し直接積分による時刻歴解析として行なった。

(2)ゴム支承の場合 この形式の場合には振動系は線形モデルであるため時刻歴解析の他に平均応答スペクトル曲線(建設省土木研究所)を用いた最大応答値の計算も行なった。なお橋軸直角方向の構造形は両形式とも桁と橋脚をヒンジ結合した平面構造形として解析した。

4)減衰定数の仮定 "道路橋耐震設計指針・同解説(日本道路協会)"に基づき振動系の固有周期から減衰定数を仮定した。

(1)橋軸方向 SUダンパー形式の桁と橋脚が一体で振動する場合の固有周期は約0.4秒、橋脚単独の場合約0.2秒、ゴム支承形式の全体系の固有周期は線形振動系に置き換えられるので固有値解析より算出すると約1.74秒となる。この結果減衰定数が最小となる固有周期約1.74秒に対する減衰定数で0.02と仮定した。

(2)橋軸直角方向 ・骨組全体系の固有周期では0.5秒程度の短周期振動が卓越することから0.20と仮定した。

(3)地盤 水平動、回転動とも0.10と仮定した。

5)免震材のパネ定数の決定 ・免震材としてのSUダンパー及びゴム支承は、各橋脚でのパネ定数をケーブルの断面積及びゴム支承の厚さであらかじめ計算した各橋脚での作用力に合わせて変化させ均等に分散させるものとした。

II. 橋軸方向の動的解析結果1. ゴム支承形式の固有値解析結果

10次迄の振動モードの結果1次振動のみ固有周期が約1.74秒と長周期で桁の変位が大きく累加モード寄与率49%となった。2次振動以後は固有周期は約0.3秒となり2次振動で桁の軸変形が支配し

た以外は10次迄橋脚のみの振動が卓越する結果となった。この結果から長周期の振動モードに対しては桁に大きな変形を伴ない、短周期の振動モードではゴム支承が免震材として役割を成し主に橋脚のみの変形となる事が言える。

2・SUダンパー形式の解析結果

SUダンパー形式では支承の摩擦とPC鋼材の挙動が関係する非線形挙動であるため、前記した3地震波を入力地震波として解析した。その結果3波とも桁変位は橋脚変位よりかなり大きな変位を示し、桁と橋脚は各々独自に振動する状況を示した。又、支承の摩擦係数0.1と仮定して解析した事から摩擦が切れる迄の桁と橋脚の一体振動時には、0.4~0.5秒程度の短周期振動であり、迂りが生じてからは桁の変位が支配的な長周期振動へ移る事が予想できる結果であった。なお、EL-CENTROと十勝沖地震波の場合には、桁の大振巾時にダンパー材に軸力が生じる相対振動となり、その前後では一体の振動があるのに対し東松山地震波では殆んど一体振動はなく桁の振巾に追従してダンパー材に軸力が発生した。又、各橋脚の振動状況を見るとダンパー材の剛性を変えた事(最大で約30%)で各橋脚への分散はほぼ満足する結果が得られた。これらの解析結果が想定できる目安として2形式の最大応答値の一覧表を表一1, 2に示す。

3・2形式の比較

摩擦抵抗を考慮するか否かの力学モデルの相違は、桁の変位量と橋脚の応答加速度に表われる。桁の最大変位はゴム支承形式の場合でSUダンパー形式の場合の1.35~3.0倍となり、橋脚の変位及びせん断力の応答値ではSUダンパー形式の方が全般的に大きく、最大差で約30%となった。

Ⅲ. 橋軸直角方向の動的解析結果

1・固有値解析結果

15次迄の振動モードの結果、卓越する固有周期はほぼ0.5秒程度の短周期振動であった。1次振動から7次振動迄は桁の曲げ振動が卓越し、8次振動を境に橋脚の振動が卓越する微振動となる。

2・応答解析結果

橋脚下端最大曲げモーメント図を図-1に示す。なおP₁, P₁₀橋脚は特殊な伸縮継手を設けるため他の橋脚より剛体である事を前記したが、P₁は1本橋脚であり他は中間橋脚も含め全て2本柱である。又、P₉~P₁₀間には床版の拡巾部がありこれらの影響が表-1, 2、図-1にも表われている。解析の結果からは桁の最大応答変位、橋脚下端の最大曲げモーメント及び桁の最大応答加速度とも、EL-CENTROの地震波で卓越しており、桁の最大応答加速度から応答倍率(β)を求め他と比較すると、EL-CENTRO: β=2.1~2.3 十勝沖: β=1.2~1.4 東松山: β=1.6~1.8となりやはり短周期成分の地震波の場合が卓越する結果となった。

表一1 橋軸方向 最大応答値一覧表〔SUダンパー形式〕

応答値	桁	P ₁	P ₂	P ₃	P ₄	P ₅	P ₆	P ₇	P ₈	P ₉	P ₁₀
最大変位 (cm)	EL-CENTRO	3.18	2.28	1.25	1.12	1.18	1.17	1.17	1.18	1.11	1.34
	十勝沖 (八戸港)	4.69	2.36	1.28	1.21	1.24	1.24	1.24	1.24	1.21	1.33
	東松山 (Tokyo-12)	1.537	1.67	1.51	1.44	1.55	1.59	1.59	1.55	1.43	1.55
ダンパー材の最大軸力 (ton)	EL-CENTRO	—	—	100	105	118	127	127	118	105	98
	十勝沖 (八戸港)	—	—	140	146	165	176	176	165	146	138
	東松山 (Tokyo-12)	—	—	476	498	564	605	605	564	499	467
橋脚せん断力 (ton)	EL-CENTRO	—	1439	407	375	392	394	394	392	373	434
	十勝沖 (八戸港)	—	1442	439	414	432	437	437	432	412	455
	東松山 (Tokyo-12)	—	1114	724	707	783	817	817	783	703	740
橋脚下端曲げモーメント (t-m)	EL-CENTRO	—	20292	6098	5628	5879	5902	5902	5879	5592	6503
	十勝沖 (八戸港)	—	20326	6591	6216	6480	6548	6548	6480	6173	6825
	東松山 (Tokyo-12)	—	15705	10862	10599	11741	12260	12260	11741	10547	11107

表一2 橋軸方向 最大応答値一覧表〔ゴム支承形式〕

応答値	桁	P ₁	P ₂	P ₃	P ₄	P ₅	P ₆	P ₇	P ₈	P ₉	P ₁₀
最大変位 (cm)	EL-CENTRO	9.50	2.31	0.91	0.92	0.97	1.00	1.00	0.97	0.92	0.91
	十勝沖 (八戸港)	8.72	2.55	0.87	0.89	0.96	1.01	1.01	0.96	0.89	0.86
	東松山 (Tokyo-12)	2.078	1.48	1.15	1.20	1.37	1.47	1.47	1.37	1.20	1.13
ゴム支承のせん断力 (ton)	EL-CENTRO	—	299	312	355	381	381	355	312	294	—
	十勝沖 (八戸港)	—	—	274	286	324	347	347	324	286	—
	東松山 (Tokyo-12)	—	—	646	674	764	818	818	764	674	—
橋脚せん断力 (ton)	EL-CENTRO	—	1442	307	321	364	390	390	364	321	302
	十勝沖 (八戸港)	—	1525	310	321	355	376	376	355	321	306
	東松山 (Tokyo-12)	—	896	615	642	730	784	784	730	642	605
橋脚下端曲げモーメント (t-m)	EL-CENTRO	—	20332	4605	4815	5460	5850	5850	5460	4815	4530
	十勝沖 (八戸港)	—	21503	4650	4815	5325	5640	5640	5325	4815	4590
	東松山 (Tokyo-12)	—	12634	9225	9630	10950	11760	11760	10950	9630	9075

図-1 橋軸直角方向 橋脚下端曲げモーメントの最大値 (減衰定数 h=0.20)

