

I-243 サンフェルナンド地震で被害を受けた高架橋についての研究(その4)

構造解析のまとめ

首都高速道路公団 正員 玉野治光
 # # 小林 敏
 オリエンタルコンサルタンツ # 〇忍足 正

1 ま え が き

本報告は、昨年行なった「サンフェルナンド地震で被害を受けた高架橋についての研究」(その1)～(その3)の総括と、道路橋耐震設計指針との対比および我国の基準に基づいて設計したものと、原橋との設計上からの比較、等を主体としたものである。

解析を行なった高架橋は ROUTE 14/5, 5/405, 210/5 の3橋であるが、各橋の概要および破壊状況、等については昨年(I-163, 164, 165)を参照されたい。

2 地震加速度と応答加速度の関連

上述の3橋について、橋脚天端における応答加速度を次に示す3種類の方法で求め、それらの値を比較してみる。①道路橋耐震設計指針に使用されているスペクトル曲線に基づいて求めたもの(図-1参照)。②ミイリカンバレーで記録された地震波より作成した応答スペクトル曲線に基づいて求めたもの(図-1参照)。③ミイリカンバレー記録を入力した振動解析結果としての応答加速度。

比較を行なう基準としては、振動解析を行なった結果、いずれかの橋脚が終局耐力に達した時の地震加速度をえらんだ。その場合、各橋の橋脚天端における応答震度は図-2, 3および表-1のようになる。なお、修正震度法により応答震度を求める場合、各橋脚の固有周期は道路橋耐震設計指針4.4.2により求めた。

以上の3橋に関する橋脚天端における応答震度をみると、固有周期の長い橋脚においては、振動解析による結果とスペクトル曲線を用いた修正震度法による結果とが比較的近い値を示しているが、固有周期1秒前後を境とし、周期が短くなるにしたがい修正震度法による応答値が、道路橋耐震設計指針によるスペクトル曲線を用いた場合およびミイリカンバレー記録によるスペクトル曲線を用いた場合とも、振動解析による応答値よりも大きくなる傾向にある。

なお、道路橋耐震設計指針のスペクトルは、1種地盤の値を用いたものである。

表-1 ROUTE 5/405 高架橋橋脚天端における応答震度の比較

	応 答 震 度
震 度 法	0.2
修正震度法	0.25
振 動 解 析	0.46

3 橋脚が終局耐力に達する時点の震度

振動解析より求められた断面力と静的解析より求められた断面力より、橋脚天端における応答震度が修正震度法によるものと振動解析によるものとで比較的近い値を示している ROUTE 14/5 および 210/5 高架橋のうち、代表的な橋脚について、橋脚柱断面が終局耐力に達する時点の作用地震力(地盤位置)を表-2, 表-3に示す。

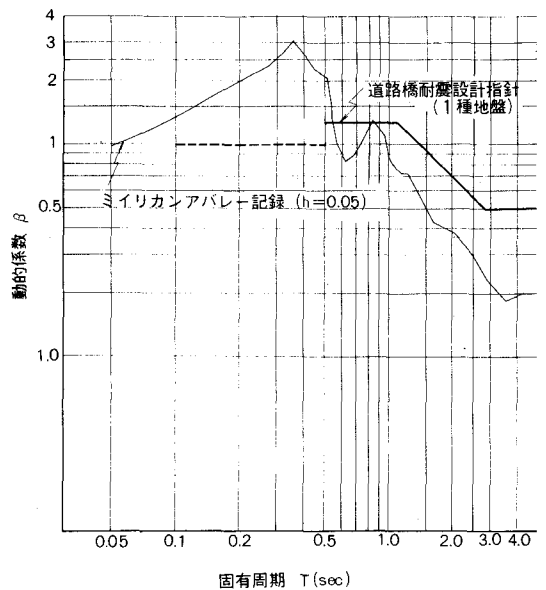


図-1 道路橋耐震設計指針およびミイリカンバレー記録の動的係数の比較

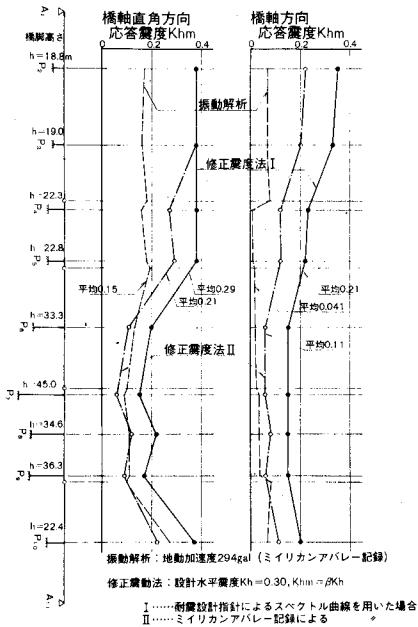


図-2 ROUTE 14/5 高架橋の橋脚天端における応答震度の比較

表-2 ROUTE 14/5 高架橋

橋脚番号	解析方法	終局耐力に達する震度		
		M-N	S-N	S-Mt
P ₆	震度法	0.18	0.28	0.19
	修正震度法	0.24	0.38	0.26
	振動解析	0.92	—	—
P ₈	震度法	0.14	0.22	0.19
	修正震度法	0.19	0.30	0.22
	振動解析	0.72	1.34	0.30

ただし、ここにおける作用力は、修正震度法の場合は道路橋耐震設計指針に、振動解析の場合はミイリカンパレー記録にもとづいて計算したものである。また、橋脚の終局耐力は、曲げモーメント (M)、軸力 (N)、せん断力 (S) およびねじりモーメント (Mt)、のうちのいずれか二つの組合せ応力のもとに求めたものである。

つぎに、震度法、修正震度法および振動解析の各々による計算結果をみると、発生断面力のうち曲げモーメントおよびせん断力は、振動解析、修正震度法、震度法の順にその値が増加する傾向にある。しかし、ねじりモーメントのみは、振動解析結果が修正震度法による値よりも多少大きくなる傾向にある。この結果は、静的計算と動的計算との間に現われる当然の結果と云え、実際の発生断面力も地盤の震度と橋脚天端における応答震度に大きな開きがある場合、構造計算上のモデル化が正当であれば、震度法よりも修正震度法、修正震度法よりも振動解析がより現実に近いものと推定される。

したがって、表-2、3に示されるように、静的計算からみれば両橋とも曲げモーメントによる破壊が先行するが、実際には振動解析結果が示すように、ねじりを主とした破壊が先行し、その時点で震度は0.2~0.3に達していたものと考えられる。このような今回の解析結果によれば、これらの高架橋は地震時に、設計震度の4~5倍以上の地震力が作用したものと推定される。

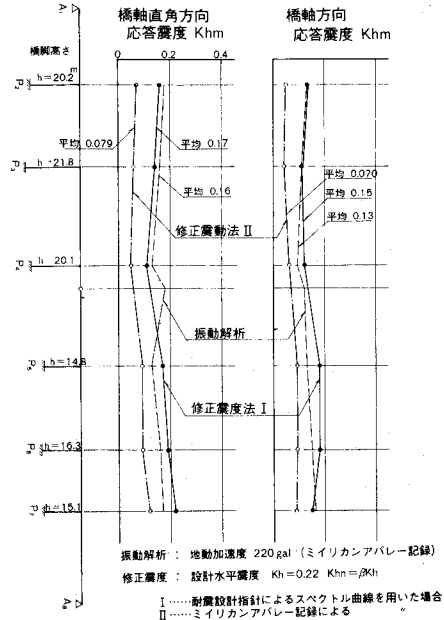


図-3 ROUTE 210/5 高架橋橋脚天端における応答震度の比較

表-3 ROUTE 210/5 高架橋

橋脚番号	解析方法	終局耐力に達する震度		
		M-N	S-N	S-Mt
P ₄	震度法	0.18	—	—
	修正震度法	0.24	—	—
	振動解析	—	—	—
P ₅	震度法	0.14	0.23	0.16
	修正震度法	0.19	0.31	0.21
	振動解析	0.33	0.56	0.22

4 日本の基準による設計

解析を行なった3橋の上部構造をそのままとして、橋脚および基礎を我国の基準により設計した。設計基準に首都高速道路公団のものを使用し、カリフォルニアの基準とあわせて表-4に示す。設計震度は重要度別補正係数を1.1、橋脚の高さが15mを境にして高くなると単に割り増す補正係数(β)を用いた。設計した橋脚断面の比較を図-4に、断面力および終局耐力を表-5に示す。

表-4 設計条件 (kg/cm²)

	カリフォルニア基準	首都公団基準
コンクリート	$\sigma_{Ck} = 280, 230, 210$	$\sigma_{Ck} = 270$
鉄筋	$\sigma_{Sy} = 4200$ $\sigma_{Sa} = \frac{1680}{1400}$	$\sigma_{Sy} = 3000$, $\sigma_{Sa} = 1800$
設計震度	$K_h = K \cdot C$ $K=1$ $C=0.05/\sqrt{T}$	$K_h = V_1 \cdot V_2 \cdot V_3 \cdot K_0 \cdot \beta$ $\beta = 1.25, 1.0, 1.1$

表-5 設計断面力および終局耐力

橋脚	作用軸力 (t)	設計モーメント (t·m)	設計震度	終局モーメント (t·m)	終局耐力に達する震度	
14/5	P ₆	2750	12,120	0.25	2,1100	0.44
	P ₈	1610	13,400	0.25	1,9300	0.36
5/405	560	1,110	0.20	2,060	0.37	
210/5	P ₄	876	2530	0.22	4,140	0.36
	P ₅	697	2920	0.22	4,050	0.31

5 まとめ

以上の解析の結果、比較的固有周期の長い橋梁において、橋脚の応答震度は、我国の道路橋耐震設計指針にもとづいて計算したものと、実際の地震記録(ミイリカンパレーで記録された地震波)をもとに振動解析を行なった結果を比べると、比較的同じような値を示す傾向にある。しかし、その固有周期が短かく(1秒程度以下)なるにしたがい、両者の差が大きくなる傾向にあった。つぎに作用断面力を見ると、静的方法で計算した場合は、曲げモーメントの断面構成における影響が大である。しかし、振動解析によれば、ねじりモーメントによる影響が卓越する傾向にあり、実際に破壊された高架橋を観察しても、ねじりによる影響の大きかったことが推察されるので、静的解析にくらべ動的解析の方がより実際の応力状態に近かったものと考えられる。また破壊時に作用した水平震度は、0.2~0.3に達していたものと考えられる。したがってこれらの高架橋が破壊されるまでには、震度法による静的計算で設計された原設計(水平震度0.06程度)の4~5倍以上の地震力が作用したものと推定される。

以上の結果から考え、震度法および許容応力法で構造物を設計すれば、結果的にその構造物の破壊にいたるまでの安全率は、かなり大きくなるものと思われる。

標準設計水平震度を0.2とする日本の設計震度を用いて設計した結果は、当然予想されたように大型の橋脚となり、橋脚断面積で約2~4倍、基礎はピア基礎がフーチング基礎となり、大幅に剛性の大きな橋脚が設計された。各橋脚の中で比較的高い橋脚の固有周期は、原設計において1.5~2.5秒程度であったものが0.6~1.0秒程度になり、道路橋耐震設計指針によれば修正震度を用いる範囲にある。

なお、紙面の都合で省略したものは当日発表する予定である。

最後に、本解析は首都高速道路公団、玉置、秋元、オリエンタルコンサルタンツ、清野、横溝、諸氏の御協力により行なわれたもので、ここに謝意を表します。

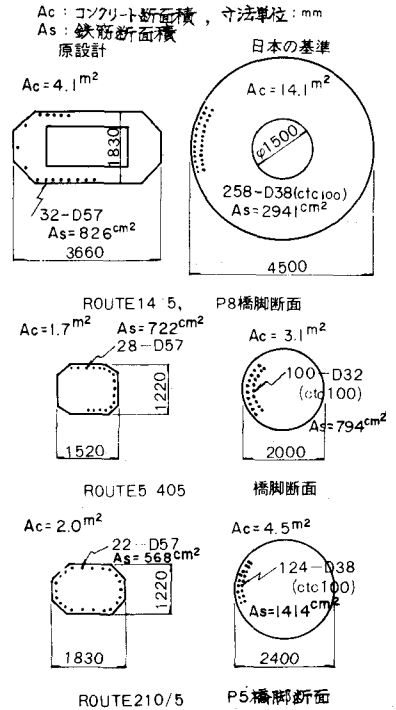


図-4 原設計と首都高速道路公団規準による設計との橋脚柱断面、配筋の比較