

# サンフェルナンド地震における高架橋被害の静的検討

建設省土木研究所 正員 栗林栄一、正員 岩崎敏男

日本技術開発KK 正員 工藤慎一、正員 石川喜男、正員 ○岸本俊雄

## 1. 概要

サンフェルナンド地震で、高速道路の高架橋は大きな被害を受けた。これらのうち、被害の大きかったものについて、その原因追求するために静的に検討を試みた。ここでは、対象とする構造物の構造系を設定して計算し、その結果と被害状況を対比して考察した。計算に用いた水平震度は、後で紹介される「サンフェルナンド地震における高架橋被害の動的検討<sup>1)</sup>」に示すような、現地で測定された地震波を用いた動的解析結果を参考に決めた。

## 2. 対象とした構造物の構造形式、被害状況および高架橋附近の地質

高架橋附近の基盤は第3紀の縮成礫岩、シルト岩、泥岩またはこれらの互層からなり、その上に浅い沖積世の土砂が堆積しており、比較的良好的地盤で、地下水位は一般に低い。

次に対象とした3橋の構造形式、被害状況を述べる。<sup>2),3),4)</sup>

### (1). 5号線と210号線のインターチェンジ橋 (ROUTE 210/5 高架橋)

本橋は[図-1]に示す様に、中央に1個のヒンジを持つ7径間連続ラーメン橋で、上部工はRC曲線箱桁、下部工はくい基礎をもつ1本柱であり、最も激しい被害を受けた。橋台およびヒンジ支承の桁がかりが浅いため支承がはずれ、橋脚基部に過大な曲げモーメントを生じ、この部分が打損して橋桁全体が側方に倒壊したと考えられている。橋台は、いわゆる“ちよんのせ橋台”といわれる、高盛土上にある簡単な構造で、水平、鉛直両方向に変位しやすいものであったことが被害を助長したと考えることが出来る。この地域では地盤の永久変位が観察されている。

### (2). 210号線とFoothill Boulevardの立体交差橋

本橋は[図-2]に示す様に、4径間連続ラーメンの斜橋(斜角 $31.5^\circ$ )で、上部工はRC箱桁、下部工は中間の4脚(P3)が、上下端剛結、両側の脚(P2およびP4)が、上端剛結、下端ヒンジ構造になっている。基礎は各脚柱につき独立した直接基礎である。被害は東行き路線の中央P3橋脚の4本の脚のうち3本が大きな損傷を受け、主鉄筋が彎曲し、コンクリートが破壊している。また、両側のP2、P4橋脚については、上端の桁との接合部において、コンクリートの脱落がみられ、一部主鉄筋が露出した。橋台の位置では斜角が増大する方向への永久変位(約7.5cm)が観察された。

### (3). 5号線と14号線のインターチェンジ橋 (ROUTE 5/14 高架橋)

本橋は[図-3]に示す様に、中央に4個のヒンジを持つ9径間連続ラーメン橋で、上部工はRC箱桁とPC箱桁で構成されており、下部工は比較的高い、フレキシブルな単柱バント橋脚である。被害は東から3本目の橋脚上の橋桁がはずれ、橋脚の基部から打損し、ほぼ円周方向に倒壊している。

1). 第12回地震工学研究発表会論議「サンフェルナンド地震における高架橋被害の動的検討」栗林、岩崎他

2). ENGINEERING FEATURES OF THE SAN FERNAND EQ., ENGINEERING ASPECTS OF THE 1971 SAN FERNAND EQ.

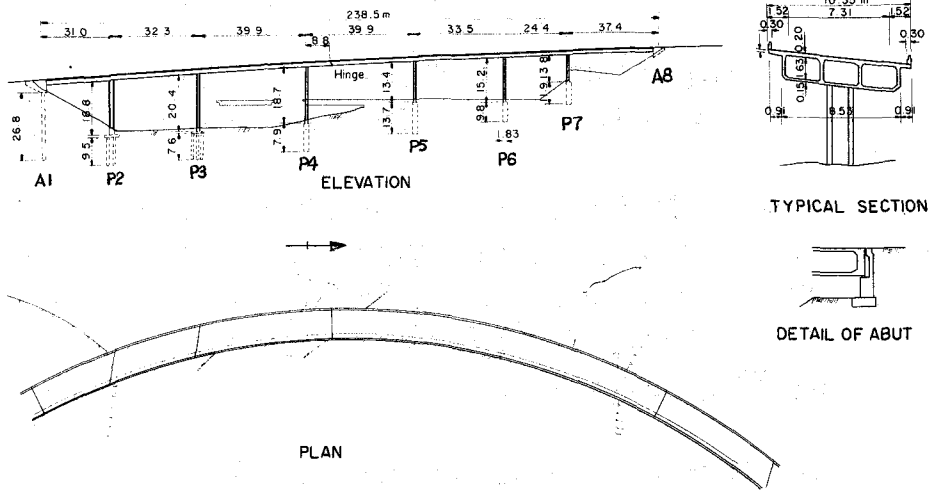


图-1 ROUTE 210/5 高架橋一般図

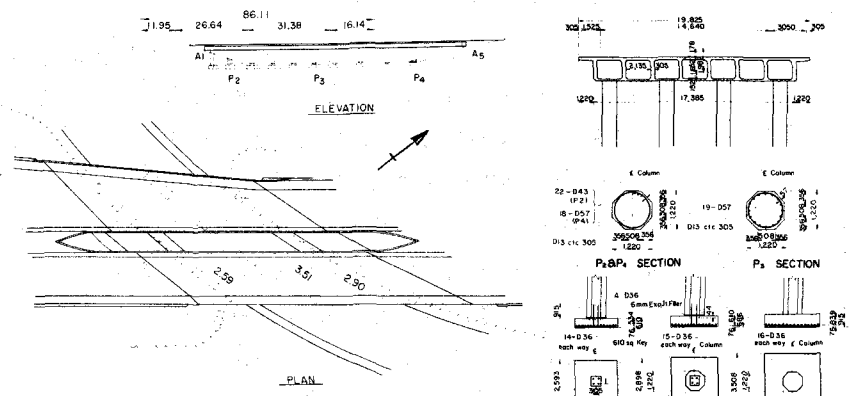


图-2 Foothill Boulevard 高架橋一般図

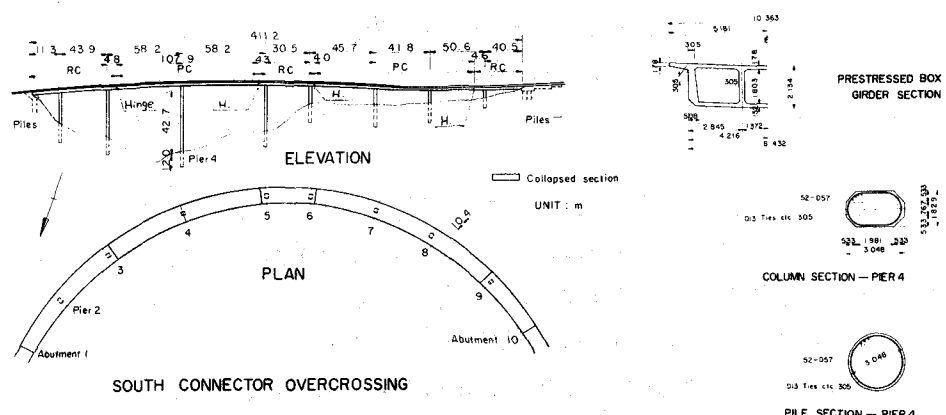


图-3 ROUTE 5/14 高架橋一般図

### 3. 計算法

#### (1). ROUTE 210/5 高架橋

中央のヒンジが、はずれていない状態での構造物を[図-4]の様にモデル化し、立体骨組解析を行った。上部工は、3シェルの箱桁を1本の曲り梁とし、各橋脚は任意の方向に向いているので、方向性を考慮した。中央

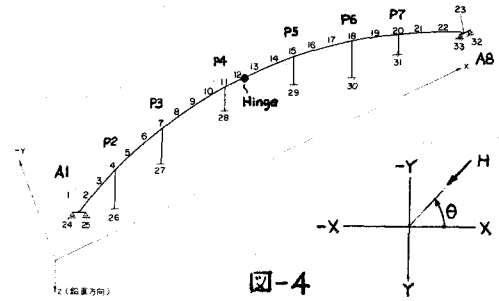


図-4

のヒンジの条件は、鉛直および橋軸直角方向に対してピン、橋軸方向に対してはフリーとした。橋台は構造上、桁の橋軸方向の移動を拘束するとはみなせないで、橋軸および橋軸直角方向共にフリーとし、鉛直方向に対しては固定として扱った。又捩りに関しては箱桁中の長さを持つ剛心部材を仮想した。橋脚柱の固定条件は、P<sub>1</sub>、P<sub>2</sub>についてはフーチングの上面を固定とし、P<sub>3</sub>~P<sub>6</sub>のパイロメントについては、地表面から1/βの長さの位置を仮想固定点とした。水平震度は動的解析よりR<sub>H</sub>=0.10とし、全方向を対象に計算した。鉛直震度については考慮していない。

#### (2). Foothill Boulevard 高架橋

版と骨組という組合せの構造解析が望まれるところであるが、水平荷重に対する曲げが支配的なため、上部工は7シェルの箱桁を4本の梁に分割した。橋脚、橋台上には実橋の横梁を主桁および橋脚に剛結し、またこの横梁間で水平荷重に対して

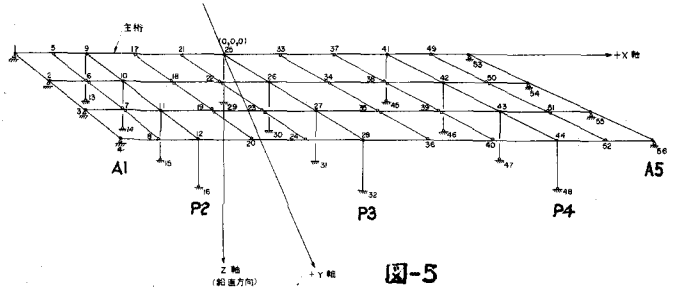


図-5

各主桁が単独に変形しない様に、箱桁の上下フランジに相当する断面積だけを持つ部材を挿入した。橋脚は実橋の本数とし、上部工と剛結し、下端は中間橋脚ではフーチングの上面を固定、両橋台側橋脚はフーチングの上面をピンとした。橋台は5/210同様、橋軸および橋軸直角方向共にフリーである。モデルは[図-5]に示す。荷重としては、水平震度を動的解析より0.46とし全方向を対象に計算した。また[図-6]に示す様に、本橋は斜橋であるので、橋台に於く地震時土圧のすべりによる捩りについても別途計算した。

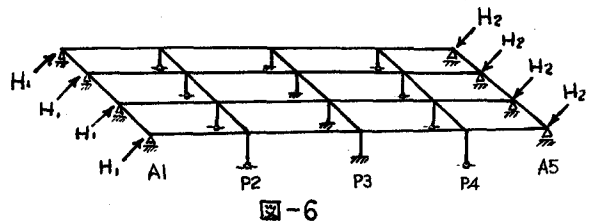


図-6

基本的には、ROUTE 210/5 高架橋に準じ、モデルは[図-7]に示す。水平震度は、動的解析より0.066で計算した。

#### (3). ROUTE 5/14 高架橋

基本的には、ROUTE 210/5 高架橋に準じ、モデルは[図-7]に示す。水平震度は、動的解析より0.066で計算した。

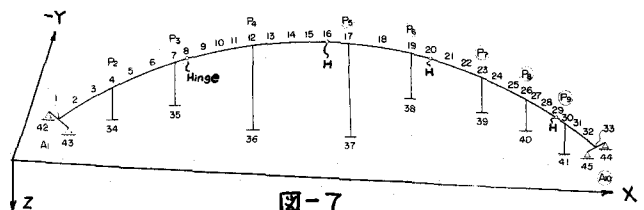


図-7

#### 4. 計算結果

(1) 変位量 (単位: cm)

ROUTE 210/5 ( $k_H=0.1$ )

節点	$\theta=0^\circ$		$\theta=90^\circ$	
	X	Y	X	Y
1	-10.0	-1.7	0.3	-8.4
4	-9.8	-1.1	-0.4	-10.5
7	-9.6	-0.6	-1.0	-13.1
11	-9.6	-0.0	-1.3	-16.9
12	-6.5	0.1	2.4	-17.7
15	-6.6	0.6	2.1	-14.5
18	-6.8	1.3	1.5	-11.7
20	-7.0	2.0	0.9	-10.2
23	-7.7	3.4	0.2	-8.7

F.B高架橋 ( $k_H=0.46$ )

節点	$\theta=0^\circ$		$\theta=90^\circ$	
	X	Y	X	Y
1	-3.0	0.1	-0.1	2.5
9	-3.0	0.2	-0.1	2.7
25	-3.0	0.2	-0.1	3.0
41	-3.0	0.3	-0.1	3.7
53	-3.0	0.3	-0.0	4.8
4	-3.0	0.2	-0.4	3.0
12	-3.0	0.2	-0.4	3.2
28	-3.0	0.3	-0.4	3.5
44	-3.0	0.3	-0.5	4.4
56	-3.0	0.4	-0.5	5.7

ROUTE 5/14 ( $k_H=0.066$ )

節点	$\theta=0^\circ$		$\theta=90^\circ$	
	X	Y	X	Y
1	-7.4	1.4	4.0	-7.1
4	-8.5	0.6	0.4	-9.8
7	-10.1	-1.3	3.1	-13.8
8	-10.2	-1.5	3.4	-14.3
12	-48.4	9.6	8.7	-18.5
16	-50.1	0.2	9.6	-12.7
17	-2.1	-0.9	1.4	-11.3
19	-2.2	0.8	1.0	-3.4
20	-2.2	1.1	0.8	-2.4
23	-1.3	0.9	0.8	-1.5
26	-1.1	0.4	0.5	-0.8
29	-0.1	-0.7	-0.3	-0.1
30	0.0	0.0	0.0	0.0
33	-3.5	2.5	2.5	-1.9

(2) 柱つけ根の最大応力度 (単位  $\text{kg}/\text{cm}^2$ )

ROUTE 210/5

節点	$\sigma_c$	$\sigma_s$
26	191	3700
27	185	3540
28	145	1850
29	181	3210
30	130	2590
31	206	4080

F.B高架橋 (\*印は柱上端)

節点	$\sigma_c$	$\sigma_s$	$\tau$
11*	220	3930	6.5
43*	213	3320	8.1
30	337	5630	24.2
32	298	4450	24.4

柱に作用するねじりモーメント  
 $M_T = 31.5 \text{ tm}$ ,  $\tau_T = 8.1 \text{ kg}/\text{cm}^2$

材質

コンクリート  $\sigma_{ck} = 228 \text{ kg}/\text{cm}^2$

鉄筋  $\sigma_{sy} = 4200 "$

#### 5. 考察

(1). ROUTE 210/5 高架橋 (設計水平震度  $k_H=0.049$ )

計算結果では、柱断面に生ずるコンクリートの曲げ圧縮応力度が、設計基準強度に近い大きな値となった。これに対して、橋脚下端の主鉄筋 ( $\phi 57 \text{ mm}$ ) をかこむ帯鉄筋が少なく、柱の軸方向耐力にぬばり強さがなかった事、また柱と基礎との結合部において、柱主筋の全長が発揮出来る定着がなかったため、附着が切れ、主筋が引きぬかれたものと推定される。上部工のヒンジは、はずれ易い構造であったが、解析の結果では、ヒンジがはずれる様な変位は生じなかった。従って倒壊は橋脚下端の破壊により大変形が生じ、上部工のヒンジがはずれ落橋に至ったものと推定される。

(2). Foothill Boulevard 高架橋 (設計水平震度  $k_H=0.05$  程度)

本橋は、計算結果にある様に、柱上下端とも非常に大きな応力が生じたと推定される。特に固定橋脚においては、せん断力も大きく、せん断応力度は、換りせん断応力度も加算すると  $\tau_{max} = 32 \text{ kg}/\text{cm}^2$  となる。従って、曲げでも、せん断でも破壊が生じる状態であったと推定される。実際の破壊は、柱の中間部でせん断破壊の様になっていた事からも、固定橋脚には大きな水平力が作用したと推定される。

(3). ROUTE 5/14 高架橋 (設計水平震度  $k_H=0.047$ )

この高架橋については、計算結果にある様に、高橋脚の天端で大きな変位 (約  $50 \text{ cm}$ ) が生じたと推定される。従って倒壊の原因は、高橋脚の前後にあるヒンジのかけちがい幅が  $35 \text{ cm}$  であった事と、特別な落橋装置がなかった事から、ヒンジがはずれ落橋したものと推定される。

3). 土木学会論文集 第195号, 4). 土木研究所資料 第739号