

## 特集 2

## 橋 梁 の 被 害

Damages of Highway Bridges

田 村 重四郎\*

Choshiro TAMURA

## 緒 言

本地震によって大きな被害をこうむった構造物の一つに橋梁がある。被災した San Fernando Valley の北部で、山沿いに走っている現在建設中の Foothill Freeway (Interstate Hwy. 210 号線、以下 210 号線と呼ぶ。)と、同地域を北西～南東に走る Golden State Freeway (Interstate Hwy. 5 号線、以下 5 号線と呼ぶ。)とが合わさり、5 号線はそのまま Santa Sasuna 山脈と San Gabriel 山脈との間の谷を通して北部に抜けていて、State Hwy. 14 号線 (以下 14 号線と呼ぶ) がまず分岐しさらにそれ等よりいくつかの道路が枝状に分かれて走っている。この地域はいわば San Fernando Valley より北方に抜ける交通の要衝である。震央より 25 km 前後離れた当該地域で近代的手法、工法によって建設された道路も橋梁も著しい震害をうけたわけで、Highway の橋梁関係のみで総額 670 万ドルに達する損害があった。

Highway の橋梁関係の被害箇所は図-1 に示すように約 60 箇所であり、その被害の主なものを表 1 に示す。

すでに報ぜられているように、210 号線および 14 号線が 5 号線と結ぶインターチェンジでは高架橋が落下し、大きな損害を生じたが、この他小規模な被害であっても特徴ある被害状況が各所で見られる。

同地域では橋梁のみならず道路でも落石や縁石の破壊あるいは路面の亀裂、沈下などが見られたのはいうまでもない。

震害の詳細は、アメリカで行なうであろう発表にまつこととして、ここでは得られた資料と調査した結果をもとに、主に Highway の橋梁の被害についてのべ、参考に供します。何分にも再調査ができないので、誤りがあれば著者の不明のためであり海容を願いたい。

## 1. 被害の概要と橋梁の特色

図 1 で⑥を除いて橋梁の被害はすべて震央距離 25 km の区域内に含まれる。しかるに震央近傍を 14 号線が通っているにもかかわらず、被害は報告されておらず、しかも、半径 25 km の円内でも震央より西および南に引いた両直線の間すなわち 1/4 円にのみ震害のあったのは橋梁被害分布の特徴といえることができる。

一方 State Hwy. 2 号線で La Canda の北東数マイルの区域で道路面の被害のあったことが報告されている。震央距離はおおよそ 25~30 km で震央のほぼ東南の方向に位置する。

被害区域で見られた橋梁の形式は、表にも示してあるように鋼橋はほとんど見られず、上部構はすべて鉄筋コンクリート、プレストレストコンクリートまたは、場所打プレストレストコンクリートの箱桁である。破壊している箱桁断面を見ると 20~25 cm の厚みをもった箱桁で木製型枠が埋めこしになっている。

橋脚は壁構造のものがあるにはあるが、大部分単柱式または多柱式の構造で、この柱の頭部は上部構の箱桁と一体となっている。上部工の橋脚部分は箱抜きが埋められ、両者は一つの門型ラーメンを構成している。斜橋の場合も橋脚の中心線を含む面内で同様のラーメンが形成されている。このことによって橋全体はラーメン構造となっている。単柱あるいは多柱式の橋脚で数スパン連続したラーメン橋は本邦では少なく、主に可動支承により上部工と下部がつながっている。これは地震時の安定性を検討する場合重要である。

次に下部構を支える基礎工であるが、地盤の良好な場合は直接基礎が用いられ、それほどよくない場合、群杭基礎、場所打コンクリート杭基礎が主に使用され、鋼管杭の基礎の例はきわめて少ない。

橋台の形式にも特徴がある。1 割 5 分ないし 2 割の勾配の盛土を行なってその上に小形の橋台が建設されている場合が多く、しかもこの橋台は上部工と一体となっていて、両側の取付道路の土圧は橋桁自体が支持する方式となっている。

連続している桁の場合、橋脚上ではなく、桁の所々にヒンジ支承を設けて桁を接続している。

以上挙げた構造上の特徴は、上部工と下部工が一体となっているコンクリート構造を形づくっているということにまとめられよう。このような特色はこれからのべる地震被害と関連がある。

## 2. 橋梁の耐震設計

カリフォルニア州で採用されている Bridge Planning and Design Manual によれば、橋梁の耐震設計は通常次のように行なわれている。

\* 東京大学生産技術研究所 第 1 部

地下構造および擁壁以外の構造物はすべて次式によって算定される地震 (EQ) 力にもつように設計する。(2) 式を解く場合 Bridge Planning and Design Manual Vol-III 5-56 頁にあるノモグラフを使用する。

(1)  $EQ = KCD$

EQ は構造物の重心に作用する水平力で構造物の剛度により支点におのおの分配される。K は構造物のエネルギーの吸収性を示す係数で次のように定める。

$K = 1.33$  高さが長さの 2.5 倍またはそれ以下の壁体が水平力に抵抗するようになっている場合。

$K = 1.00$  長さの 2.5 倍以上の高さをもった塔または橋脚が水平力を受けもつ場合、

$K = 0.67$  骨組構造物が水平力を受けもつ場合。

(2)  $C = \frac{0.05}{\sqrt[3]{T}}$

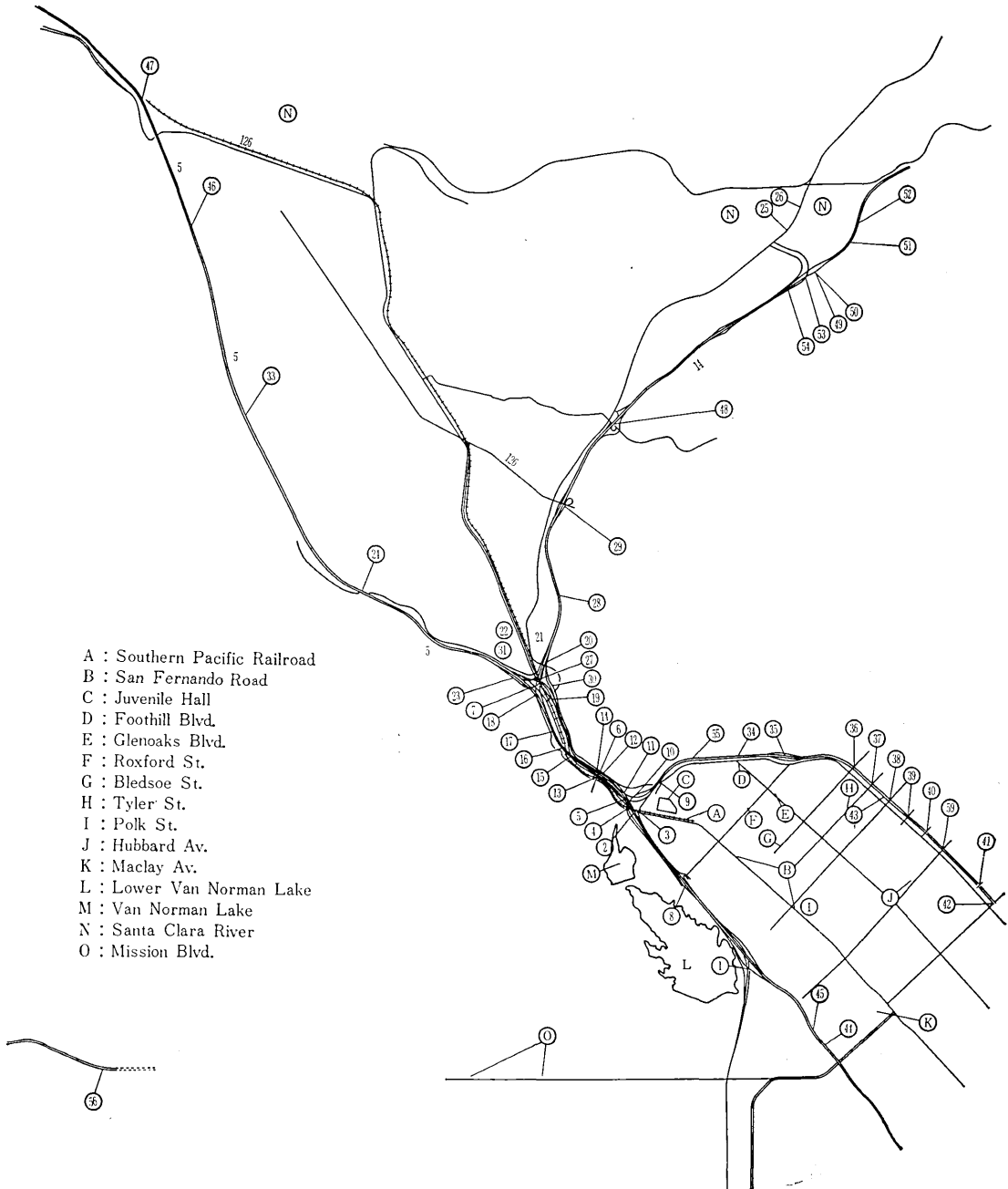


図 1 Route 5/405 Separation\*

表 1\*

番号	橋 の 形 式					被 害
	スパン	上 部 構	最長スパン (ft.)	下 部 構	基 礎	
1	2	PC 箱桁	178	2柱構造	直接基礎	全 壊 撤 去
2	7	RC 箱桁 プレキャスト PCI 型		多柱構造	杭および直接 基礎	半 壊 全般にわたる被害 撤去
3	2	PC 箱桁	122	単柱構造	16'' CIDH 杭	全 壊 撤 去
4	7	RC 箱桁	129		杭および φ6'' CIDH 杭	全 壊 撤 去
5				多柱構造	φ6'' CIDH 杭	下部工に被害, 上部工は北方へ回転 全体を撤去
6				ストラット付 橋台とスパン 25' の構造	70 t 16'' CIDH 杭	半 壊 (上部工の北側 200')
7	9	RC 箱桁 PC 箱桁		単柱構造	16'' CIDH 杭 および φ10' 杭	半 壊 (スパン 3 と 4 および橋脚 4) ヒンジ支承 2カ所 被害 橋台 2カ所 被害
8	3	PC 箱桁		壁式橋脚	直接基礎	右半部が北方へ10'' 移動 ダイアフラムが砕ける 橋台および壁式橋脚: 傾斜 カーテンウォール: 亀裂
9	4	RC 箱型	102	多柱構造	直接基礎	橋脚の座屈および破壊 橋台沈下および破壊
10	3	RC 箱型	91	単柱構造	直接基礎	橋脚頭部の破壊 橋台および翼壁に亀裂
11	3	RC 箱型	107		直接基礎	橋台および橋脚に被害
12		T桁および RC 箱桁		ストラット付 き橋台	杭	橋台の側壁に破壊と亀裂
13	7	RC 箱桁	115		杭および直接 基礎	橋台部にすべり, 横方向の動きによるヒンジ支承 の破壊と亀裂
14	3	RC 箱桁	81	2柱構造橋台	(鋼杭) (直接基礎)	橋台に被害 橋脚頭部に破壊と亀裂
15	1	RC 箱桁	66	ストラット付 き橋台	直接基礎	橋台壁に亀裂と破壊 橋床継手が分離
16	4	RC 箱桁 PC 箱桁		多柱構造	直接基礎およ び鋼杭	ヒンジ支承の破壊と亀裂 橋台および翼壁に被害
17	4	RC 箱桁	134	単柱構造	鋼杭	橋台, バックウォール翼壁に被害
18	10	RC および PC 箱桁	178	単柱構造	φ14' 杭	橋台 1 に亀裂, 架設構はスパン 1, 2 で移動し, soffit と stem に亀裂が発生, 9, 10 スパンの架 設構は沈下, 橋脚 6 の頭部は桁の落下で被害を受 け, 両側に大きな亀裂発生
19	3	RC 箱桁	123			支承点ですれ, ベDESTAL 基礎とジャキイに被 害, 翼壁にも被害,
20	3	RC 箱桁	104	多柱構造		両橋台の翼壁に被害
21	5	RC 箱桁	77	単柱構造	直接基礎およ び 16'' CIDH 杭	両橋台に被害, 橋脚 3 の耳桁に剪断亀裂, 落下し た梁のために3つの穴が貫通, 高欄にも被害
22	10	RC および PC 箱桁	200	単柱構造	16'' CIDH 杭 および直接基 礎	ヒンジ支承 3・4 が破壊 絞め付けボルト取換へ
23	1	RC 箱桁	41	ストラット付 き橋台	直接基礎およ び杭	portal joint の壁面に亀裂破砕, 中央部に近い横 断方向の joint は横断方向にずれ分離した。
24	5	RC および PC 箱桁	208	2柱構造	直接基礎	上部工が横方向へ 1.5'' 移動, 支承に部分的な破壊・亀裂, 高欄被害
25	3	RCT 型梁	66		直接基礎およ び鋼杭	ヒンジ支承が若干横方向へ移動し少し破壊, アプ ローチ舗版の沈下
26	8	RCT 型桁	50	壁式橋脚	鋼杭	橋台 1 に小被害, アプローチの沈下,
27	8	RC 箱桁 PC 箱桁	194	単柱構造	16'' CIDH 杭 φ10' 杭	橋台 1 に中程度の被害, ヒンジ支承 2 が開いた, 第 6 スパン仮設構破壊
28	4	PC 桁	138		16'' CIDH 杭	橋台に小破壊

29	1	PC 箱桁	152		70 ton 杭	全橋台に眼に見える程度の破壊
30	3	RC 箱桁	162	2 柱構造	直接基礎	橋台に若干の被害
31	4	RC 箱桁	126	単柱ラーメン	直接基礎および杭	ヒンジ支承に若干の破壊
32	2	RC 箱桁	110	RC 単柱構造 RC ストラット付橋台	直接基礎	橋脚上部に若干の亀裂と破壊
33	2	鋼桁				橋梁パット (bearing seat) の移動, キーパー剪断
34	1	箱桁 PC	132		杭	翼壁と斜面舗装に若干被害
35	1	箱桁 PC	151		杭	横方向へ 3' 移動し 41' 杭破損, 橋台の再建必要.
36	2	RC 箱桁	107		直接基礎	橋脚の傾斜, 橋台の沈下と破壊, 翼壁に被害.
37		連続 RC 箱桁			直接基礎	橋台上で長い可動ジョイントが開いた. 10' の円柱橋脚上端が破壊. 南取付口で上部構傾斜.
38	1	PC 箱桁	146		杭	翼壁・欄干・斜面の舗装に亀裂, 破砕, 取付盛土が崩れて沈下
39		連続 RC 箱桁			直接基礎	符号 37 の損害と同じ
40	2	RC 箱桁	118		直接基礎	翼壁が沈下, 取付道路舗装版破壊
41	2	RC 箱桁	104		3 柱構造および直接基礎	縦方向の動きのため橋台に被害, 橋脚に小被害
42	1	PC 箱桁	145		杭	側壁すべてと橋台の隅角部に被害. 取付道路に被害.
43		RC 箱桁 樋管 幅 24'				北側入口が破砕, 横断継手開, インバート 3' 沈下, 側壁入口の構造移動
44	3	RC 箱桁	90		杭	ジョイントと橋台の端部で高欄に小被害
45	3	RC 箱桁	106		杭	取付道路舗装破壊, 片持部および高欄に亀裂, 橋台, 壁式橋脚およびカーテンウォールで破砕
46	2	鋼桁				橋梁パットが移動. キーパー剪断.
47	3	RC-T 桁	63	3 柱構造	杭	各所で小破砕
48	1	PC 箱桁	147		直接基礎	橋台がフーチングで 3/8" 移動. 橋台 1 の表面に小規模の破砕と亀裂
49	1	PC 箱桁	156		直接基礎	取付道路 6~18" 沈下 橋台 2 で水平剪断破壊, 橋台 1 にクラック, 梁の下面で破砕横方向変位
50	1	PC 箱桁	161		直接基礎	橋台 2 で著しい剪断破壊と沈下. 破砕箇所では 3' の亀裂が見られる. 橋台 1 の shear block では 3.5" の亀裂
51	1	PC 箱桁	131		直接基礎	橋台 2 で小破壊
52	10	RC 箱桁	95	3 柱構造	杭	2 橋共ヒンジ支承で破砕し RE-bar を露出. 縦方向の移動 3/4", 横方向の移動 2", A-1 でクラック
53	12	RC および PC 箱桁	133			橋脚 10 と 11 で耳桁に鉛直方向のクラック. 橋台 1 と直接基礎は相対的に横に 3" 移動, 橋脚 2 小亀裂
54	3	RS および PC 箱桁	142	2 柱構造	直接基礎	北西側高欄と親柱に被害
55	1	PC 箱桁	148		16" の CIDH 杭	翼壁と斜面舗装に被害
56	1	PC 箱桁	210	3 柱構造	直接基礎	橋台 1 の表面破砕 ずれ止めと端ブロックに亀裂
57		RC 箱桁			直接基礎	翼壁と橋台が 1" 離れる. 橋台壁にクラック
58	2	RC 箱桁	104	RC 柱	直接基礎	北側橋台 4" 沈下
59		擁壁				壁体に被害

60	擁壁		目に見える程度のクラック、破碎.
----	----	--	------------------

(著者註) 橋の形式

○PC 箱桁：現場打プレストレストコンクリート箱桁

○RC 箱桁：鉄筋コンクリート箱桁

下部構

○2 柱構造は 2 column bent の訳。橋脚は桁と一体構造となっていて、この部分の桁は充填され橋脚と桁とで門型ラーメンを構成している。

○ストラット付橋台は strutted abutment の訳。基礎

○フーチング：直接基礎

○CIDH 杭：cast in drilled hol pile で場所打コンクリート杭を指す。

番号 52 の損害で A-1 とあるのは著者不明のまま記載した。

C は構造の剛度を表わす係数で最大 0.10 とする。

$$(3) T = 0.32 \sqrt{\frac{D}{P}} \quad (\text{ただし, 一層の場合のみ})$$

T : 構造物の固有周期

D : 構造物の死荷重に対する反力

P : 構造を水平に一時撓ませるに要する力

EQ の最小値は  $0.02D$  とする。また大きな変位が予測される軟弱地盤に基礎がある場合や Massive な橋脚をもつ場合は別に考えねばならない。

ここでノモグラフとあるのは上下端固定または上端ヒンジ下端固定の柱の場合の断面二次モーメント I と長さ L と D の関係より C を求めるものである。今(2)の C を算定するに当たって  $T = 0.5 \sim 2.0$  (sec) と仮定すれば  $C \approx 0.06 \sim 0.04$  となり、本邦で通常用いられている設計震度にくらべて  $1/3 \sim 1/5$  程度の大きさしかない。

また、橋梁は多くの場合 3 次元で振動するものであって、一層の塔状構造物の場合と同様に地震応答を考慮している点については検討の要があらう。

### 3. 各橋梁の被害

ここでは著者が調査を行ったり、または資料によって判明した被害の内いくつかを橋梁ごとに記述する。

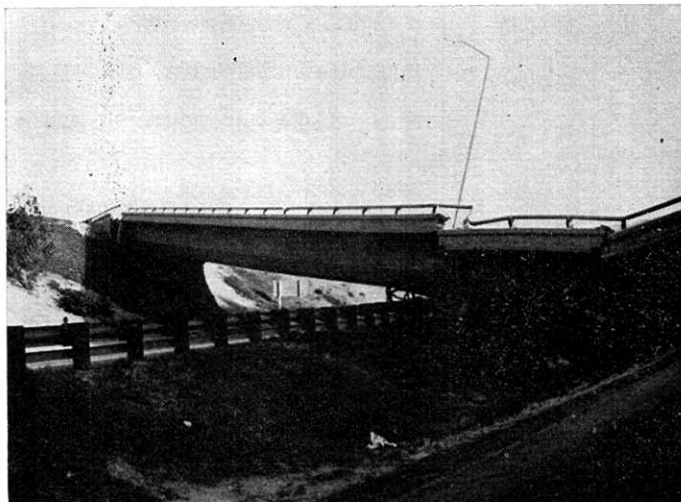


写真 1\*

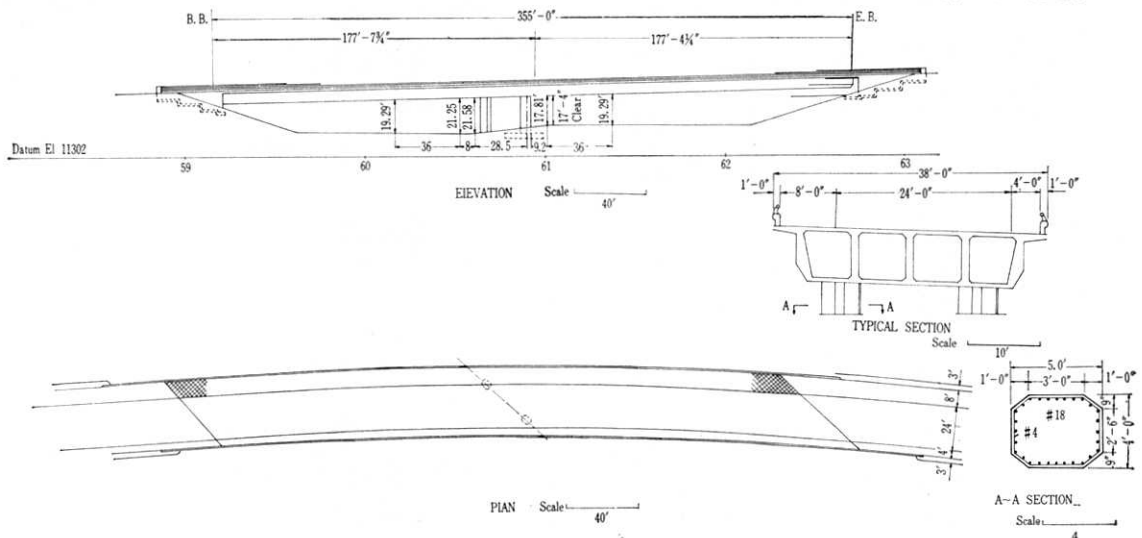


図 2 Route 5(Truck Lane)/405 Separation\*

1) 5号線と405号線との交点での被害(図1の①).

ここでは405号線をまたぐ5号線の南向線の橋桁が折れ落下した. 2スパン全長355'の場所打PSコンクリート箱桁斜橋は, 2本柱橋脚の破壊により, この部分で

折れ405号線上に落ちた. 橋脚の中心線は橋軸方向に対し約44°傾いており, 桁は橋脚の部分の両側でねじれるような破壊を示している. この橋の付近で道路の舗装板が挫屈破壊しているのを見ると橋軸直交方向に大きな力

あるいは変位があったものと推測され, 橋脚の破壊につながったものと思われる(図2).

2) 5号線とRoxford Streetとの交点での被害(図1の③). Roxford Streetをまたぐ5号線の橋梁は上部構は現場打PSコンクリート箱桁型式で, 3スパン全長147'(31'+85'+31'), 下部構は鉄筋コンクリート壁式構造となっており, 基礎は鉄筋コンクリートフーチングである. この橋は一部が北へ10'移動し, 橋台も壁式橋脚も傾斜した.

3) 5号線と210号線との交点の被害(図1の②と④). 複雑に入り組むこのインターチェンジは最も大きい震害をこうむった.

被害はおおむね次の8つに分けられる.

i) 最上位置に架っていた, 橋脚の高さ約15~20mの7スパン約770'の鉄筋コン



写真 2\*

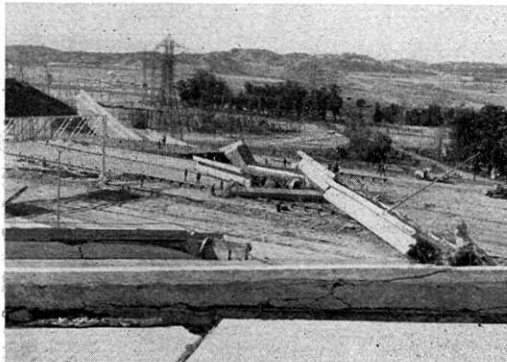


写真 3\*



写真 4\*

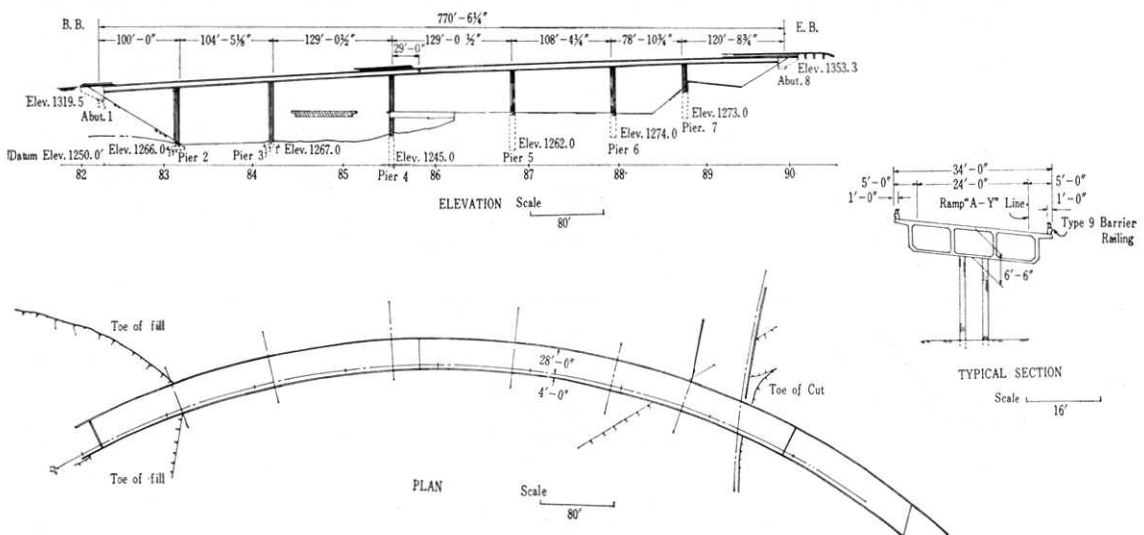


図 3-a Route 210/5 Separation and Overhead\*



- クリート箱桁型式の曲線高架橋は、橋脚諸共橋軸線の外側(西側)に倒壊した(写真 2~4, 図 3a~b).
- ii) i) の橋桁と橋脚の落下のため 5 橋線の南向線側線および 5 号線南向線と 210 号線を結ぶ連絡路の橋梁の一部が破壊した(写真 2).
- iii) 5 号線の南向線, 北向線, 北橋側線はおのおの 7 スパンであるが, この内中央スパン(このスパンのみプレカストプレストレストコンクリート桁および鋼 I 桁からなる)が落橋した. これらの橋梁は構造図に示されるように 7 スパンの内中央スパンのみが吊径間のようになっていて他は一体構造である. 中央スパンの北側は約 2' の桁がかりがあって橋梁パットを使用し, 南側は施工継手となっている. したがって何らかの理由によって中央スパンがのび桁がかりがはずれ落下したものであろう. この橋梁のほとんどすべての橋脚の頭部は剪断と思われる破壊状態を示し, 大方の上部構は西方に移動しているのが

認められる. また, この橋梁のかかっている部分の土質は良好でなく, 表面 4~5 m は細砂質のルーズな土質である(図 4).

ここで i) の曲線高架橋について調べて見る. 倒壊状況を見るに, 8 角柱の橋脚と桁の接合部の被害が少なくかつ桁の被害の少ないことは橋梁がゆっくりと倒れたことを示すものであり, 橋脚根元の鉄筋( $\phi=57\text{ mm}$  の異形鉄筋)の引きぬけが緩漫に進行したことを示している. また橋脚の倒壊方向は橋軸曲線の半径方向外側ではなく, 全部ほぼ西向きに平行になっている. 橋台 1 においては橋梁パットを使用し桁がかりは 2' である. 基礎は橋脚 2, 3 では群坑基礎であり, 他の橋脚の基礎は直径 6' の場所打コンクリート杭である. 因に橋脚の主筋は場所打コンクリート杭に 6' だけ埋込まれている.

以上のことから次のような破壊過程を推測してみた. 設計以上の地震力が構造に作用し, 橋脚の元付部分あるいは場所打コンクリート基礎杭の地中部分に亀裂が生

じ, このことが繰り返されて次第に破損し, 鉄筋コンクリートとのボンドを失い, 次に構造に比較的大きい西向きの地震力が作用して緩やかに倒壊を始め, 橋台における桁がかりがはずれて行き, 全面的に倒壊したのではなからうか.

#### 4) 5 号線と 14 号線との交点での被害(図 1 の⑦と⑧)

ここでは大規模なインターチェンジの建設工事が進行中であった. この被害は, 高さ 38 m の鉄筋コンクリート橋脚とこれに架る 2 スパン約 100 m の鉄筋コンクリート箱桁がほぼ南西方向に倒壊したことおよびこの橋の下で施工中であった高架橋の一部がこのために破壊したことが主なものである.

写真でわかるように倒壊した曲線橋に沿って橋脚高さ 20~25 m のもう 1 本の曲線橋があったが, この橋では(図 1 の②)ヒンジ支承が破壊した. また支堡工を使用して上部構を施工中の橋梁も表の 18 に記す被害をうけているが, 曲線橋の桁の落下による橋脚頭部の損傷を除いては軽微である. さらに本地点では高さ 10 m 前後の 10 数本の橋脚が建設されていたが震害を受けていない模様である(写真 5~6).

ここでは最も高い 38 m の高橋脚 1 本とその両側の桁が落ちたことが注目されよう. 3) の場合と同様ほぼ西向きの大きい地震力によって大きい変位が発生し, 桁がかりがはずれ, 橋脚が根元より折れ, 倒壊に到ったものと推測される.

#### 5) Foothill Boulevard と 210 号線との交点での被害(図 1 の⑨)



写真 5\*

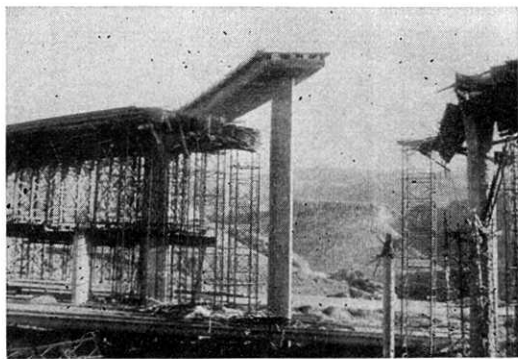


写真 6\*



この橋は4本の柱を橋脚とする4スパン全長 282' の鉄筋コンクリート箱桁の右斜橋である。橋脚の高さは約 20' で下端は回転を幾分許すような構造となっている。また、基礎はフーチングおよび杭基礎となっている。この橋の被害の特色は中央部にある橋脚の4本の柱の内の1本を中心にして上部構が右回りに回転したことにある。同一橋脚の他の3本は写真で見えるように柱の中間で挫屈、剪断の如き破壊状況を示し、 $\phi 57$  mm の異形の主筋が露出して曲り、内部のコンクリートは大きなブロックに割れてしまった。回転の軸となった柱は何んら損傷を受けていないが、多少沈下した形跡がある。橋台も沈下し破碎した(写真 7, 図 5)。



写真 7\*

6) Roxford Street と 210 号線との交点での被害(図 1 の㉔)。この橋は場所打 PS コンクリート箱桁型式の全長 153' の単桁右斜橋

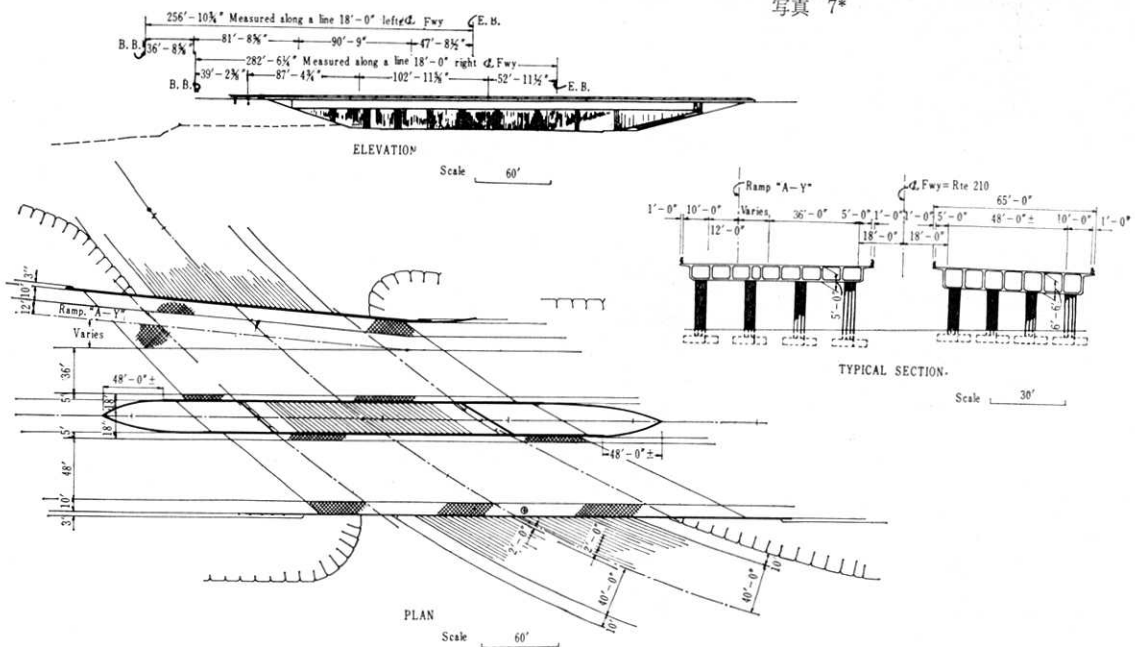


図 5 Foothill Boulevard Undercrossing



写真 8



写真 9

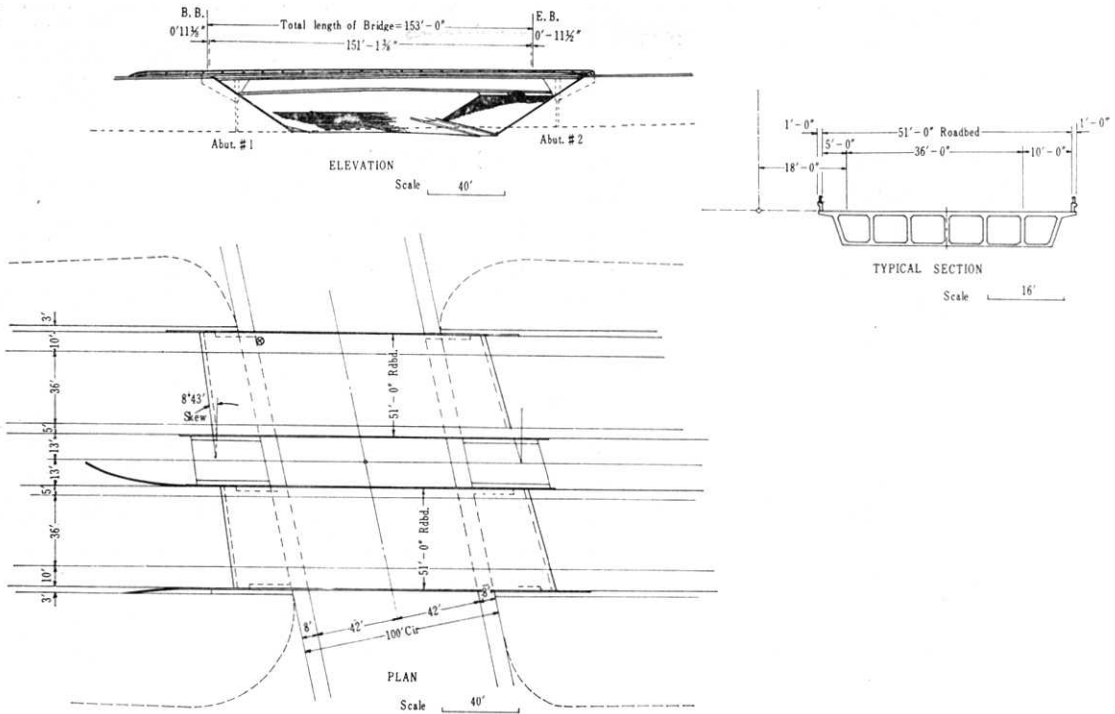


図 6 Roxford Street Undercrossing\*

である。橋桁と橋台は一体に作られ、したがって橋桁が土圧を直接支持している。この橋も 5) の場合と同様に右に回転し、そのため橋の東端では約 3' も道路とのずれを生じ、直径約 1' のコンクリート杭は破壊し、翼壁も破壊した。取付通路に東側で著しい沈下を示した。

7) Tyler Street と 210 号線との交点での被害(図-1 の㉞)。ここでは 210 号線をまたぐ歩道橋が架り、これ

1. 道路標識の設置，移動
2. 迂回路の建設
3. 被害のあった舗装の一次的補修
4. 交通を安全にするため，危険構造物に支柱等を施す。
5. ランプを止める等により交通を制御する。
6. 使用する道路では障害物を除去する。

除去された構造物には i) 405 号線にかかっていた 5 号線の橋桁， ii) 5 号線と 210 号線のインターチェンジにおいて Southern Pacific Railroad と San Fernando Road に架る 4 つの橋桁， iii) 5 号線と 210 号線を結ぶ北西の連絡橋， iv) 5 号線と 14 号線との交点部分での南側の高架橋連絡橋の一部と 14 号線と 5 号線が分離してゆく橋梁および高架橋の一部が含まれている。また一方 Roxford Street から 5 号線と 14 号線のインターチェンジまでの間 5 号線と 14 号線の交通のため 6 車線の迂回路が予定されている。

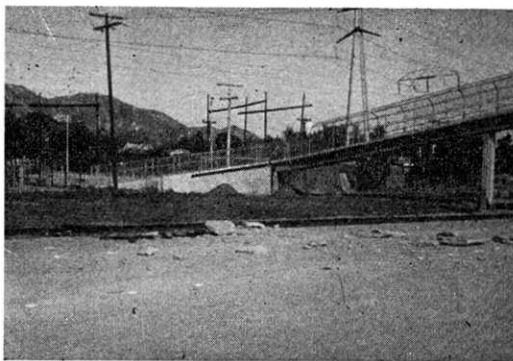


写真 10

に被害があった。上部構は鉄筋コンクリート箱桁，下部構は鉄筋コンクリート柱で基礎はフーチングである。地震により橋台におけるジョイントが聞き，南側登り口では上部構が傾き，円柱橋脚の上端が破壊した。

#### 4. 緊急工事について

地震直後の緊急の対策は次のようなものであった。

#### 5. 橋梁の型式と被害

イ) 前掲の表にも示したように橋桁は大部分鉄筋コンクリートまたは，PS コンクリートの箱桁である。単径間のものは 210 号線で見られるように橋桁と橋台が一体となっている型式のものも多い。このような場合盛土の上には橋台をかねた橋桁がおかれることになり，橋長は増加する。本地震では擁壁型式の橋台の場合に起こる橋台の前傾等の被害はみられない。一方，210 号線上で

Foothill Boulevard や Roxford Street との交点の右斜橋では、橋桁が右回転しているのは注目される。土圧が直接作用する橋桁の端面と橋軸方向が直交していず土圧の作用線は構造の重心を通らないため、地震時の動土圧が橋桁にこのような運動を起こしたのではないかと考えられる。また、これらの橋梁で橋桁の東端の移動が大きいのは斜角の差によるものと見られる。このような型式の橋梁については、盛土の挙動と併せてその動的性状は興味あることである。

次に大部分の橋梁が、橋脚部分が単柱又は多柱の、連続ラーメン構造であることである。このような構造型式の橋梁においては、既述の如く支承がなく直接橋桁に剛結されている。このことは橋脚上端の破壊に密接に関連しているものと思われる。すなわち、橋桁と橋脚は通常動的に異った性質をもっているため、橋脚と橋脚の接続部では設計には考慮していない複雑な応力が発生し、しかも応力集中が考えられるからである。本邦においては支承部分の破壊、アンカーボルトの切断、橋脚の頂部の局部的な亀裂等がしばしばみられる。

桁のヒンジ継手は構造上の弱点であって、本地震でも多くの被害例があった。

#### ロ) 高橋脚橋梁の被害

5号線と210号線、5号線と14号線のおのおののインターチェンジでは幾層にも交差する橋梁の内、最上部の橋梁が橋脚諸共倒壊して、2次的な被害を発生させた。

i) 高橋脚橋梁の場合、橋脚が slender である場合は橋脚は一本の梁のような性状を示して、長い固有振動周期をもつようになる。その結果応答変位や応答速度が増加することが多い。そのため桁のねじれ、設計震度、応答変位、軸方向および軸直角方向の支承、桁がかりなど十分な検討が必要になる。

ii) 両橋梁共、基礎工の場所打コンクリート杭の断面は橋脚の断面にくらべてわずかに大きい程度のものである。そのため基礎工の地表に近い数米の部分には、大きい曲げモーメントや剪断力の作用して亀裂が入り、そのため鉄筋はボンドを失い抜けてしまっ

たものと推測される。橋脚とその基礎との力学関係を明瞭にした上で鉄筋の碇着や継手を考える必要がある。直接基礎についてもまた十分な検討が必要である。

#### ハ) 橋脚の配筋について

一般に橋脚の断面を小さくして、太い鉄筋を多量に使用している例が多い。しかも帯鉄筋は細い鉄筋が使用されている。また、鉄筋で囲まれたコンクリートが塊状に破壊している破壊状態が多い。主鉄筋の配筋量、径と対応した帯鉄筋の径と配筋量を検討すると共にこのような破壊の究明が必要である。

#### ニ) 設計震度

おのおの地震条件の異った所に作られる基礎構造、寸法がそれぞれ異なる橋脚や橋台、その上に造られる上部構で組立てられている橋梁は、複雑な動的性状をもつ3次元構造物である。特に高架橋の場合、地震時には複雑な応答を示す。それ故普通の塔状構造物に使用される設計方法をそのまま適用するについては問題がある。

以上構造上の被害についてのべたのであるが、本被災地域が交通の要衝であることを考えるとき、地震が午前6時ではなくその数時間後に発生した場合、多くの人命が失われたであろうことが想像される。このことは本邦においてもあてはまることであり、橋梁の被害の十分な検討がなされることが要請される。

#### ま と め

本報告は著者が社団法人土木学会が派遣した調査団の1人として本年3月中旬現地を訪れ調査した結果をまとめたものであって文中\*印は Bridge Dep., State of Calif., Dep. of Public Works, Div. of Highways から与えられた資料である。

終るに当たり同行された調査団の方々に謝意を表わし、また、貴重な資料を助言、協力を与へられた人々に深謝すると共に特に多くの資料を提供してくれた Bridge Dep., State of Calif., Dep. of Public Works, Div. of Highways の諸賢に謝意を表す。

なお、本文の一部は土木学会論文集に投稿中である。

(1971年6月15日受理)

