

I-162 サンフェルナンド地震で被害をうけた高架橋等の地震応答解析

建設省土木研究所 正会員 栗林 栄一
建設省土木研究所 正会員 ○岩崎 敏男

1. まえがき

1971年2月9日午前6時頃、米合衆国カリフォルニア州ロスアンゼルス市の北方約40kmの地域で、サンフェルナンド地震が発生した。地震そのものは、マグニチュード6.6の中規模程度のものであったが、大きな人的損失をもたらした2つの病院のほか、高架橋、ダムその他の構造物に激甚な被害が生じた。ここでは、この地震による土木構造物(とくに高速道路高架橋)の被害の事例を素材にして、動的解析を含む各種の解析を行い、地震時における耐震安全性を検討している。

2. サンフェルナンド地震の概要と強震計の記録

サンフェルナンド地震の概要を示すと次のとおりである。

発生日時：1971年2月9日6時0分4.15秒 (日本時間：同日23時0分4.15秒)

震央位置：カリフォルニア州サンガブリエル山中(34°28.3'N, 118°23.6'W), 深さ：0~12km

規模：マグニチュード6.6, 物件に対する損害額：約2,000億円

この地震では、241台にもよる強震計と114台の簡易強震計が作動し、地震動の波形記録ならび最大振幅が得られ、観測資料の最も豊富な地震として特徴づけられた。強震計記録から求められた、震央距離と最大加速度の関係はFig.1に示すとおりとなっている。この地震では著しい被害を蒙った高架橋およびアースダムは、概ね震央の西南西約15kmに位置しており、Fig.1から平均的な加速度を求めると、地表面において水平加速度500gal程度となる。得られた多数の強震記録を検討した結果、高架橋やダムの動的解析において、構造物の基盤に考慮すべき入力加速度としては、Castaic記録(砂岩地盤上)のN69°W成分が適当であると判断された。

1), 2)

3. 高架橋の解析

被害を蒙った高架橋のうち、特徴的な被害の様相を呈した次の3橋につき、静的解析、動的解析などを実施した。

- 1) ルート210/5高架橋
- 2) ルート14/5高架橋
- 3) Foothill Boulevard 高架橋

ここでの解析では、計算の便宜上、断層地変あるいは地回りなどの地盤変動の影響あるいは、地震波動の伝播現象の影響は考慮しないこととした。従って静的解析では考慮する震度を上部構造全体と同時に作用させ、また動的解析では、入力とする加速度を高架橋の全基礎に同位相に作用させた。

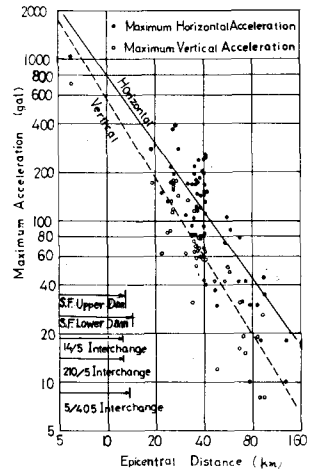


Fig. 1 EPICENTRAL DISTANCE VS. ACCELERATION

ルート 210/5 高架橋

Fig.2の一般図に示すように、全長238.5m、幅員9.8mで中央にヒンジ1箇所をもつ7径間連続ラーメン橋である。上部構造は、スパン24~40mのRC曲線箱げたで、下部構造はよく締った砂質土層に10m前後根入れされたくい基礎をもつ高さ14~20mの1本杭橋脚と盛土上の剛性の低い橋台とからなる。

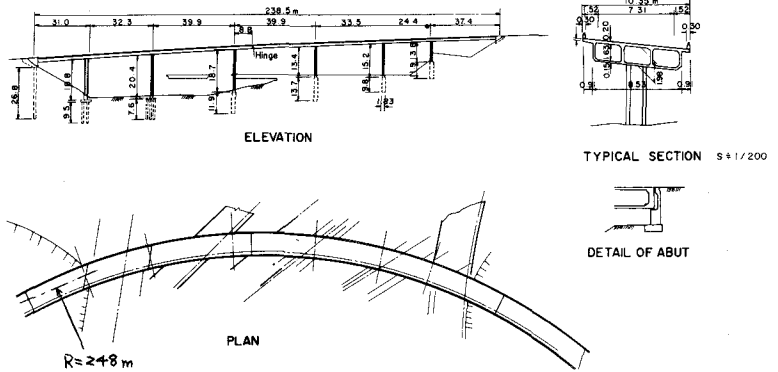


Fig. 2 ROUTE 210/5 SEPARATION & OVERHEAD

本橋を3次元的な立体構造としてモデル化し、減衰定数2%を仮定し、地震応答解析を行い、Fig.3の振動モード、Table1に示す応答値を得た。

これらから1次周期は2.6秒とかなり長いことが判る。全変位は約10cm、かけ違い部の相対変位は約1cmで、かけ違い部がはずれる(18cm必要)までには達していない。一方、応力度については、柱断面に生ずるコンクリートの曲げ圧縮応力度が、設計強度に近い大きな値となっている。

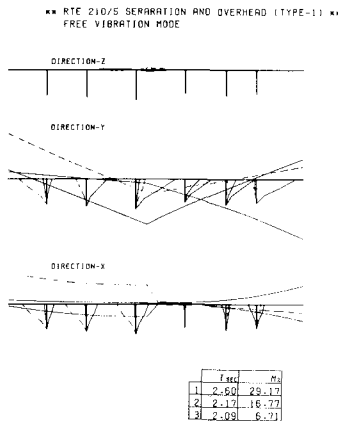


Fig. 3

Table 1 DISPLACEMENT (UNIT: cm)

ケース	質点 11	12	13
設計値	4.7	3.2	3.2
静的解析値	9.6	6.5	6.6
動的応答値	入力①	9.8	8.9
	入力②	6.4	6.4
	入力③	12.9	12.9

Table1で設計値とは、設計震度(0.049)によるもの、静的解析値とは、動的解析結果から地震時に作用したと予想される震度(0.10)を静的に考慮したもの、さらに動的応答値は最大加速度300galを考えたときの応答値を示しており、入力①は前述したCastaic N69°W地震波形を、入力②はCastaic N69°Wの応答スペクトルを、また、入力③は土研平均スペクトル(1970・岩盤)をそれぞれ入力としたものである。

ルート 14/5 高架橋

Fig.4の一般図に示すように、全長411m、幅員9mの9スパン曲線橋である。上部構造はスパン11~44mのRC箱げたと、スパン50m前後のPC箱げたからなり、ヒンジ4つを有している。下部構造は、比較的高い、可撓性の単柱ベント橋脚であり、基礎は直径3m、深さ12mの場所打ちコンクリートぐいで、地盤は砂岩を基岩とする礫まじり砂層の良好な地盤である。本橋についても同様の解析を行った。Fig.5は振動モード図、Table2は応答値を示している。1次周期は5.3秒と極端に長い。このため応答変位は大きく、全変位で24cm、けたのかけ違い部の相対変位は30cmをこえており、中央のかけ違い部がはずれて落橋したと考えるのが妥当である。Table2において、設計値は、

設計震度(0.047)によるもの、静的解析値は動的解析結果から予想される震度(0.066)を考慮したもの、動的応答値はルート 210/5 の場合と同様のものがある。

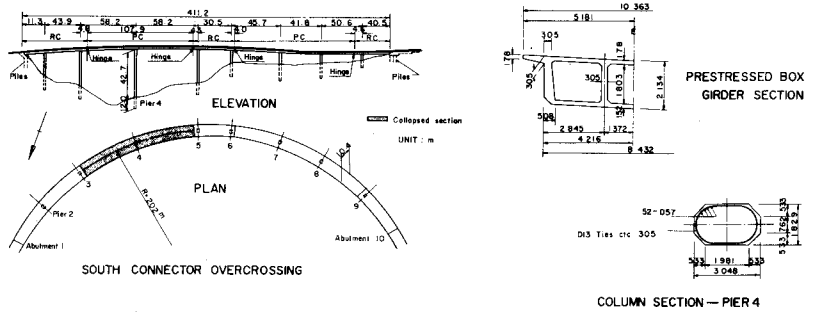


Fig. 4 (B)

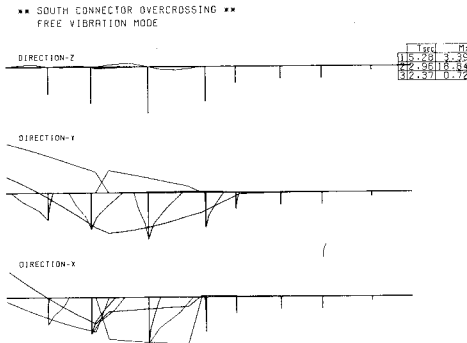


Fig. 5

Foothill Boulevard 橋

Fig. 6 の一般図に示されるように、全長 86.1m、幅員 19.2m の 4 径間連続ラーメン橋(斜度 31.5°)である。上部構造はスパン 12~31m の RC 箱げたで、下部構造は中間橋脚(P₃)の 4 本の柱

が上下端剛結、両側の橋脚(P₂とP₄)が上端剛結、下端ヒンジとなっている。基礎は各脚柱につき独立した直接基礎で、根入れは小さい。本橋の動的解析モデルとして Fig.7 を考え、減衰定数 10% を考慮し、前述の 2 橋と同様の解析を行った。Fig.10 は、振動モードを示し、Table3 および Table4 は応答値の一部である。1 次周期は 0.82 秒で前 2 橋に比すと短い、高さの割には長い周期となっている。

動的解析では土圧の影響を無視している。応答変位は余り大きくないが、応力は非常に大きく、設計値の約 10 倍が発生しており、脚柱に曲げ圧縮による破壊が生じたことが推定される。Table3 および 4 に

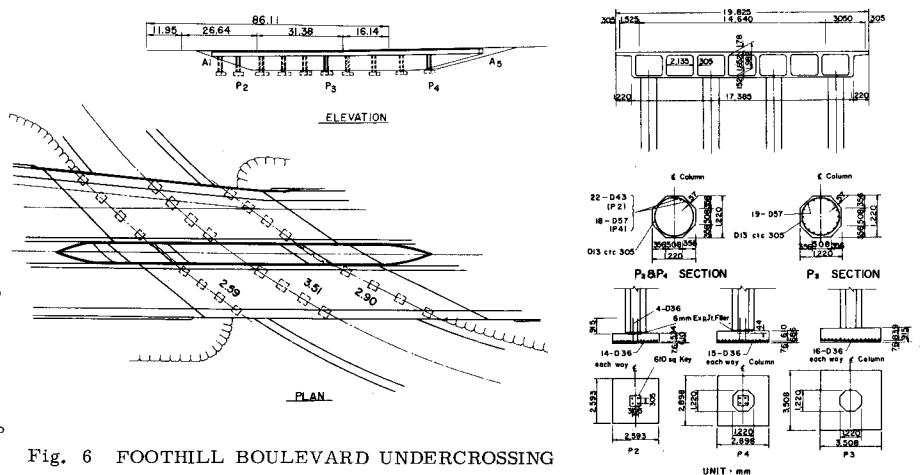


Fig. 6 FOOTHILL BOULEVARD UNDERCROSSING

Table 2 DISPLACEMENT (UNIT: cm)

質点 ケース	8	9	12	15	16
設計値	6.8	30.2	32.3	33.4	1.4
静的解析値	10.2	45.2	48.4	50.1	2.1
動的入力①	10.8	-20.6	-22.7	-23.8	9.4
動的入力②	6.8	22.5	24.3	25.2	9.7
動的入力③	15.3	47.8	50.4	53.5	12.8

において設計値は設計震度(0.05)によるもの、静的解析値は、動的解析から推定される震度(0.46)によるもの、動的応答値は、前記と同様な場合のものである。

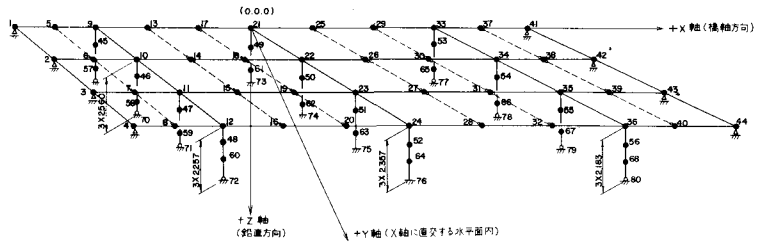


Fig. 7 IDEALIZATION FOR DYNAMIC ANALYSIS OF FOOTHILL BOULEVARD UNDERCROSSING (SOUTHEAST BRIDGE)

Table 3 DISPLACEMENT (UNIT: cm)

ケース 質点	設計値	静的 解析値	動的応答値		
			入力①	入力②	入力③
12	0.3	3.0	3.0	2.8	2.5
24	0.3	3.0	3.0	2.8	2.5
36	0.3	3.0	3.0	2.8	2.5

Table 4 BENDING MOMENT (UNIT: tm)

ケース 質点	設計値	静的 解析値	動的応答値		
			入力①	入力②	入力③
36	55.3	508.4	498.5	484.3	432.4
75	97.6	897.5	871.3	841.1	751.0
76	96.6	888.5	856.3	835.6	746.2

** FOOTHILL BOULEVARD UNDERCROSSING **
FREE VIBRATION MODE

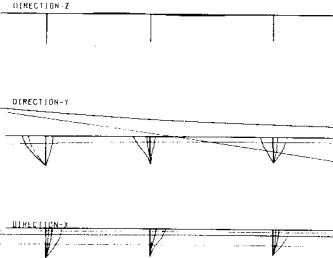


Fig. 8

4. 結 語

サンフェルナンド地震で被害をうけた高架橋3例につき、動的解析を主体とする各種の検討から次の諸点が指摘される。

(1) 我国の道路橋と比較して、下部構造の剛性が著しく小さい。このため水平方向の振動の固有周期がかなり長い可撓性構造となっている。

(2) ルート210/5高架橋では、最大加速度 300 gal の入力を考える限り、変位、応答加速度ともに、特に大きくはない。しかし、応答断面力から求めた橋脚の応力度は極限応力度近くに達しており、幾分大き目の入力加速度を想定すれば、応力超過をきたすことになる。

(3) ルート14/5高架橋では、応答加速度、断面力はさほど大きくはない。しかし応答変位はかなり大きく、かけ違い部がはずれ、これが倒壊の原因になったものと推察される。

(4) Foothill Boulevard高架橋では、応答変位は小さいが、応答加速度と断面力は非常に大きく、橋脚の応力度は極限強度をはるかに超過している。

(5) 以上の解析の結果から、橋梁の震害を防止するためには、力(合理的な設計震度をとる必要がある)による設計のほかに、橋全体としての変位を拘束することが重要といえる。このためには橋脚、橋台の剛性を高めること、連続構造を考慮するなどによる落橋防止対策を重視することが効果的となる。

参 考 文 献

- 栗林栄一ほか：サンフェルナンド地震における高架橋被害の静的検討
- 栗林栄一ほか：サンフェルナンド地震における高架橋被害の動的検討

第12回地震工学研究発表会
昭和47年7月
第12回地震工学研究発表会
昭和47年7月