

I-93 高架構造橋梁の地震応答

建設省土木研究所	正員	大久保 忠 良
建設省土木研究所	正員	栗 林 栄 一
建設省土木研究所	正員	飯 田 裕

まえがき

今日、構造物の地震応答に関しては実測や実験や理論解析など、各種の方法による研究が進められている。それらの研究において、最もしばしば対象とされる構造物に高架構造橋梁が挙げられよう。

旧来、橋梁とは、すなわち上部構造を意味していたのであるが、今日、その地震応答を考える場合に、下部構造を省いて橋梁を理想化することは無意味であるとさえ考えられるに至っている。

下部構造を含めて橋梁全体を理想化する場合に基礎構造を含めることは今日では常識となっている。しかしながら、地盤をも含めて理想化する試みは未だ完全な解決を得ておらず、さらに、地盤ならびに構造物の振動時における挙動の実態についても未解決な事項はすくなくない。

このような状況のもとに、本年2月9日にロスアンジェルス近郊のサンフェルナンドに地震が発生し、マグニチュードが6.6程度でしかないにもかかわらず、高架構造橋梁にも多数の被害が生じ、関係技術者が注目したのみならず一般市民をも驚かせた。

関係技術者が非常に注目を払った理由の多くは、アメリカ合衆国の耐震技術の過大評価に根ざすものであると考えられ、一般市民が驚いた理由の多くは、道路の機能が損なわれた状況を東京などの大都市にあってはめた場合に避難や救援活動に重大な支障をきたし、人命や財産に係わる切迫した問題であると受け止めたことに起因すると考えられる。

この種の誤解や危機の念をめぐり去るためには、このサンフェルナンド地震の災害を通じて得られた貴重な資料や経験を今後の構造物の耐震設計に生かしていくことが大切であろう。本文は、主として実測の面から高架構造橋梁の地震応答について考求したものである。

1. サンフェルナンド地震とその強震記録 (1), (2), (3)

地震の諸元

発生日時 1971年2月9日6時0分41.5秒(日本時間 2月9日23時0分41.5秒)

震源位置 San Gabriel 山中, $34^{\circ}23.8'N$, $118^{\circ}23.6'W$, $H = 0 \sim 12 \text{ km}$

規 模 マグニチュード 6.6 (新潟地震 7.3, 1968十勝沖地震 7.8)

物件に関する損害額 約2000億円(新潟地震1300億円, 1968十勝沖地震530億円)

強震の記録

この地震では、250台の強震計と100台の簡易強震計によって強震の波形記録が得られた。1971年4月までに公開されたアメリカ合衆国政府機関の資料にもとずいて作成した震央距離と加速度の関係はFig. 1に示すとうりとなっている。図中に日本において観測された震央距離と加速度の関係をマグニチュードMが6と7の場合について示してある。³⁾ 強震観測の結果からもサンフェルナンド地震のマグニチュードが6と7の間にあることが裏付けられている。

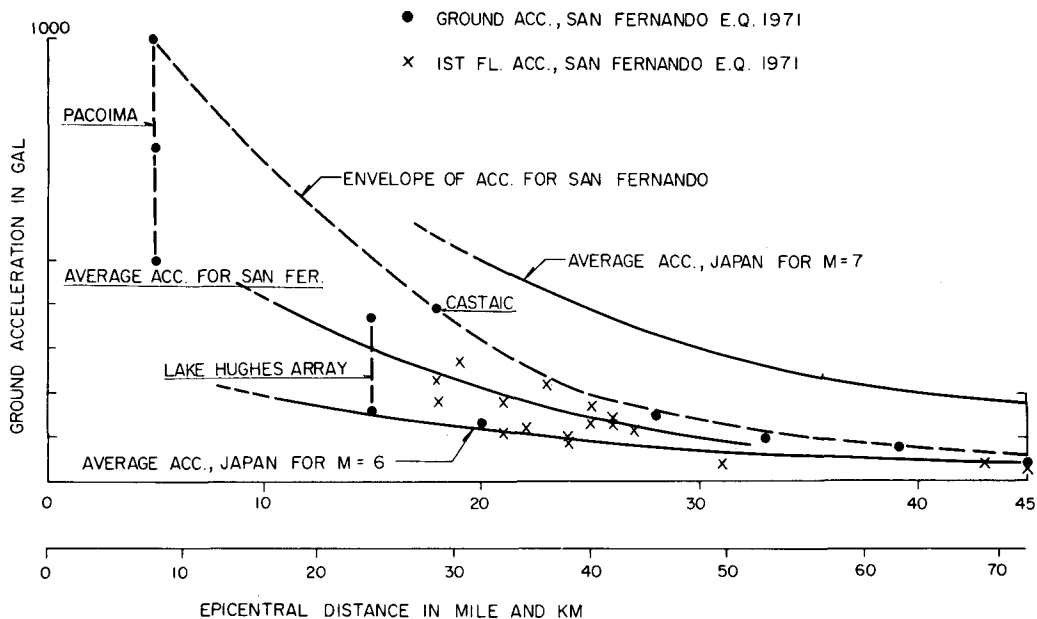


Fig.1. A RELATION BETWEEN EARTHQUAKE ACCELERATIONS AND EPICENTRAL DISTANCES
FOR THE SAN FERNANDO,CALIFORNIA,EARTHQUAKE OF FEBRUARY 9, 1971

PACOIMA ダムの岩盤に設置されていた強震計は 1090 ガルの加速度を記録した。この観測値を含めて包絡線と画くと Fig. 1 の点線のようにになる。しかしながらこの観測値を省いて他の多数の観測値を代表するように震央距離と加速度の関係と画くと図中の太い実線のようにになる。

サンフェルナンド地震で高架構造橋梁が著しい震害を蒙った5号線上のインターチェンジ(5/210, 5/14)は、震央の西南西、約 16 km に位置する。Fig. 1 から震央距離 16 km における平均的な加速度を求めると約 400 ガルになる。橋梁の地震応答については加速度記録は全く無い。

サンフェルナンド地震で記録された加速度波形の周波数特性については、未だ公の見解は出されていない。CASTAIC の波形を1例として Fig. 2 に示す。

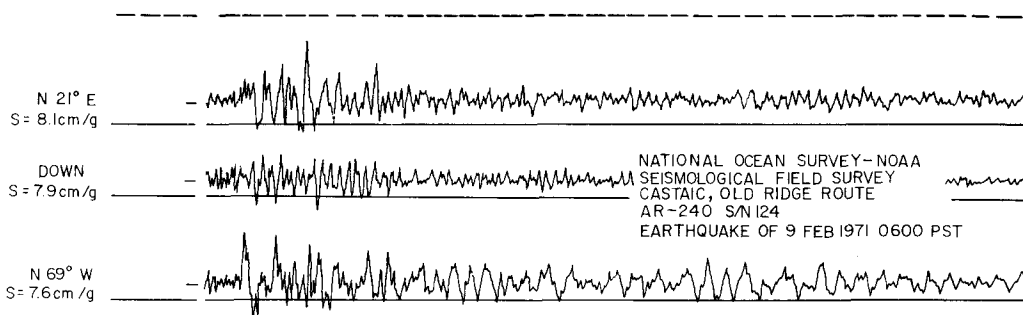


Fig.2. ACCELEROGRAPH RECORD, CASTAIC, OLD RIDGE ROUTES, THE
SAN FERNANDO,CALIFORNIA,EARTHQUAKE OF FEBRUARY 9, 1971

2. サンフェルナンド地震における高架構造橋梁の被害の特徴^{(1),(4)}

20mを超えるような高い橋脚をもつ橋梁では上部構造の支承部がはずれ、それに引きずられて下部構造が倒壊した。

一方、丈の低い橋梁では上部構造が落下するか、あるいは上下部構造がラーメンで結合され、かつ斜橋である場合には下部構造に、よじりによる破壊の痕跡を残した。

いずれにせよ、襲来した地震の強さに比べて、橋梁の剛性と強度が十分ではなく、支承部の構造細目に対する考慮もまた十分ではなかったと云えよう。⁵⁾

被害を蒙った橋梁の総数は、5号線上の2か所のインターチェンジを中心に50橋に及び、再使用不能と云われる橋梁は7組に及んだと云われている。

その内訳は、鋼橋1、PC橋3、RC橋3である。

3. 日本における同規模地震による震央付近にある高架構造橋梁の地震応答の実測例^{(6),(7)}

1968年8月6日に愛媛県西部海岸に発生した豊後水道地震は震源の深さは40kmであるが、マグニチュードは6.6で、宇和島と大分で震度5であった。

この地震の際に震央から20kmに位置する板島橋(県道)において地震と橋脚上で強震の加速度が記録された。それらの波形記録をFig. 3および4に示す。

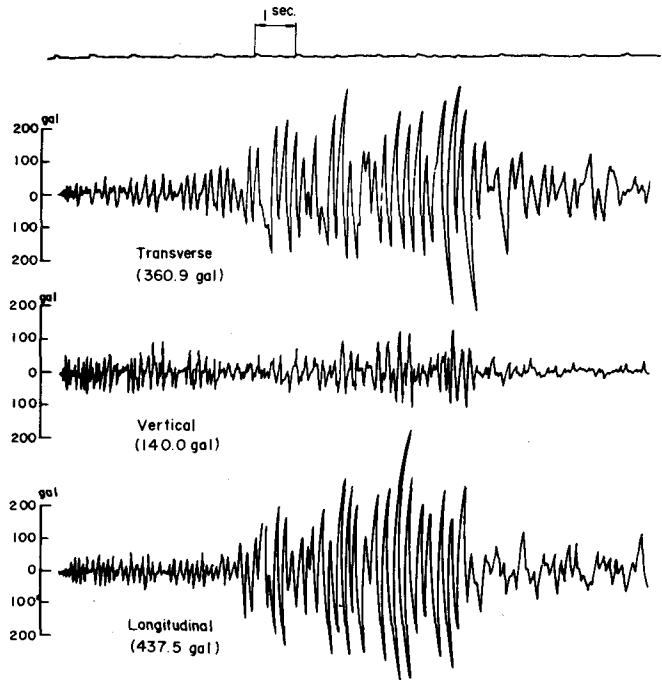


Fig.3. Itajima Bridge 308-Gr-4, The Bungosuido Earthquake
1968 8.6. 01:17

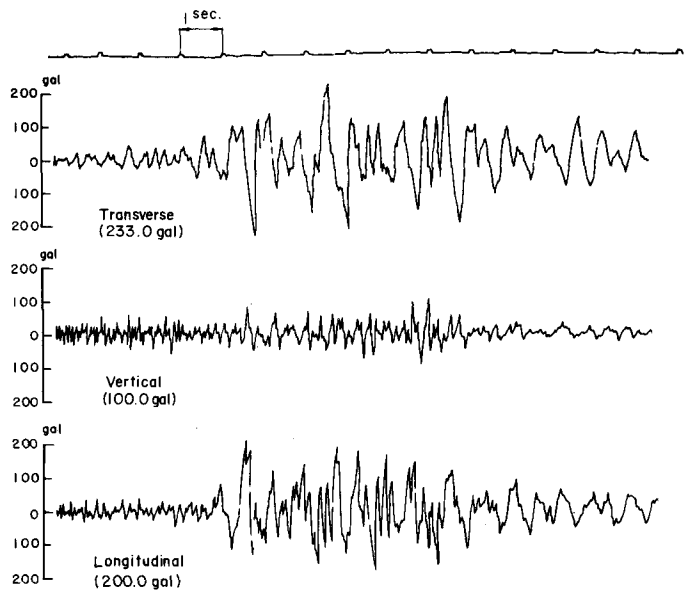


Fig.4. Itajima Bridge 308-P-4, The Bungosuido Earthquake
1968 8.6. 01:17

強震が継続した時間は約 10 秒と云えよう。記録された加速度の大きさはつぎのとおりである。

	橋軸直角方向	鉛直方向	橋軸方向	松代地震の落合橋での実測の平均 ⁷⁾			
地盤上	361ガル	140ガル	438ガル	100ガル	200ガル	300ガル	400ガル
橋脚上	233ガル	100ガル	200ガル	83ガル	118ガル	144ガル	167ガル
増幅率	0.65	0.71	0.46	0.83	0.59	0.48	0.42

参考までに松代地震の折に落合橋(県道)で実測した結果の平均曲線から求めた加速度の大きさと応答の増幅率を示した。これから判断しても板島橋の強震記録が示す値は極くありふれた値であると云えよう。しかしながら、板島橋には何んら被害の痕跡も残さなかった。

4. 結 論

サンフェルナンド地震によって被害を蒙った高架構造橋梁のうち丈の低い橋梁の地震応答を、日本で観測された加測度の大きい強震記録を参考にして求めると、200~250ガル程度にはなりうるものと推定されよう。丈の高い場合については、日本でも必要とする十分に大きな加速度の強震記録が得られていないので、推定し得ない。

ここでは加速度の大きさのみからの立論を試みたのであるが、波形の周波数成分を今後よく吟味していくことが必要である。被害地点の地盤は日本で云えば、洪積層あるいは沖積礫層のような比較的硬質の地盤であるといわれている。従来の波形解析の経験によれば、すくなくとも2つ以上の顕著なピークをパワースペクトル上に示す波形であることが期待できよう。⁸⁾ その場合には、丈の高い橋梁の応答は複合波形・加速度を蒙って選択共振に近い現象を呈することになるが、地盤の加速度の実効値は低く見覆ってもよいことになろう。

参 考 文 献

- 1) ロスアンジェルス地震調査報告会資料 昭和46年4月 建設省土木研究所
- 2) R.P. Maley and W.K. Cloud "Preliminary Strong-Motion Results from The San Fernando Earthquake of February 9, 1971" Geological Survey Professional Paper 733, The San Fernando, California, Earthquake of February 9, 1971: A Preliminary report published jointly by the U.S. Geological Survey and the National Oceanic and Atmospheric Administration, U.S. Department of the Interior and U.S. Department of Commerce.
- 3) 勝又 "地震の規模、震央距離と地震動の振幅、震度、加速度"
土木学会耐震工学委、本四耐震合同研究会資料 S. 45-10-29
- 4) Los Angeles 地震 (San Fernando 地震) 1971 File 1 および 2 土木研究会
- 5) 栗林 "文献からみた日本とアメリカ合衆国の道路橋に対する耐震設計の相違点"
第11回地震工学研究発表会講演概要
- 6) 土木構造物における強震記録(1968) 昭和44年4月 建設省土木研究所
- 7) E. Kuribayashi and T. Iwasaki "Observed Earthquake Responses of Bridges" Proc. of 4 WCEE, Chile Jan. 1969
- 8) 栗林、岩崎、辻 "周波数特性よりみた強震記録の分類" 昭和46年度土木学会全国大会第26回年次学術講演会概要集(第1部門)