

第 I 部門

被災事例と海震および証言に基づく強力な鉛直地震動について

(一財) 地球システム総合研究所 正会員 ○前原 博
 内陸直下地震における耐震問題研究会 代表 フェロー 櫻井 春輔
 同研究会 委員 フェロー 園田恵一郎

1. はじめに

東日本太平洋沖地震で原発事故が発生し、その耐震脆弱性が露呈した。大津波だけでなく強力な鉛直地震動も例外扱いは許されず考慮しなくてはならない現象なので、兵庫県南部地震での被災事例を中心に特徴を調査し纏め、5年前より順次発表してきた¹⁻⁹⁾。

その結果、強力な鉛直地震動には地震の初期段階の場合だけでなく、主震動より後の場合の二種類があることがわかった。そして後者の波は平面的には局在波の特徴を持っていることが明らかになった⁹⁻¹¹⁾。

本文ではこれらの論証と波の特徴について、その要点を整理し、近年得られた事例について紹介する。

2. 衝撃的鉛直地震動による橋脚破壊の典型例

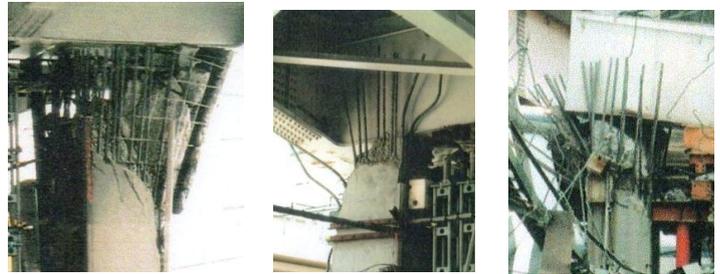
兵庫県南部地震で生じた鉛直地震動による橋脚破壊の典型例を図-1 と図-2 に3例ずつ示す¹²⁻¹⁴⁾。これらにはRC橋脚の上端部に裸鉄筋が直立している。図-1の3例では柱頭部のコンクリートが引張力で壊されている。

図-1(a)ではコア・コンクリートが跳び出ており、上の横梁との隙間を短時間で跳び出すには高周波でないといけない²⁾。図-2の3例では橋脚の上横梁が柱上部コンクリートの一部と一緒に上に突き上げられて、梁側面部に巻かれていた柱の帯筋を切断した直後に、柱躯体部を圧縮破壊している。上横梁は側方にズレていない。裸鉄筋がこのような直立していることは、この破壊には水平力が関与してないことと、この破壊が主震動の後で生じたことを表している²⁾。

3. 海震の現象と後発鉛直キラールパルス

前述の破壊がいつ起きたかを知る手掛かりは、図-3に示す明石海峡内のフェリー2隻の証言¹⁵⁾から得られた。あさぎり丸(1千ト級)は間をあけて衝撃を2度受け、2度目の方が遙かに強かった。クイーンダイヤモンド号(9千ト級)は閃光時の突き上げを受けた後、大きく翻弄された時にウォーターハンマーより数倍強い衝撃を受けた。この翻弄は主震動が起こした表面波が離岸距離(約2km)の船に到達(速度約700m/分)した時と考え主震動の約3分後と推定した⁴⁾。

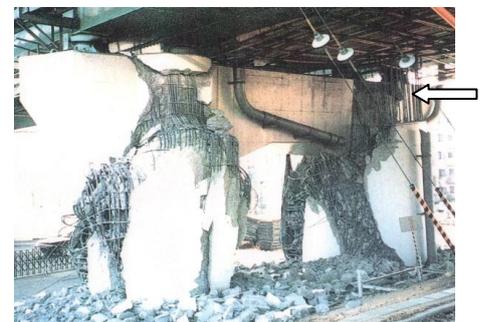
一方、高速道路の倒壊区間のピルツ橋脚の状態を調べると、図-4(縦向きの航空写真¹⁶⁾を横に図示)に示すように中央部から西側で高欄線が大きく下がっている部分が3ヶ所ある。そこでは4基の橋脚の柱長さが3m弱短くなっている。その内の2基は図-5に示すように、図(a)神P133では柱鉄筋が全周で外方向に提灯座屈をして柱は座滅破壊し、図(b)神P136では鉄筋の直角クビレが斜めの全断面



(a) 神 P465 山側 (b) 神 P472 海側 (c) 神 P477 海側
 図-1 裸鉄筋の直立(独立二本柱の橋脚区間)¹²⁾

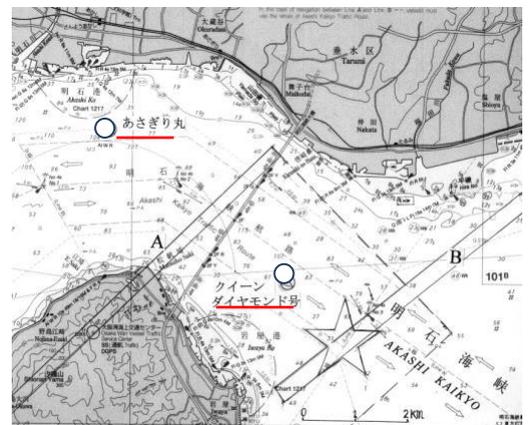


(a) 神 P150(矢印部に裸直立鉄筋)¹³⁾ (b) 神 P240(同左)¹⁴⁾



(c) 神 P688(矢印部に裸直立鉄筋)¹⁴⁾

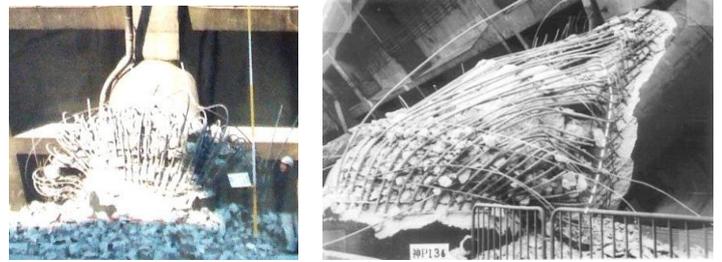
図-2 裸鉄筋の直立(T型と門型の橋脚)



A; 野島断層 B; 須磨断層 ☆; 震央
 図-3 あさぎり丸とクイーンダイヤモンド号の位置



図-4 橋脚倒壊区間の航空写真¹⁶⁾(縦向きを横に図示)



(a) 神 P133 (全周で提灯座屈)¹⁷⁾ (b) 神 P136 (クビレ全断面に分布)¹²⁾
 図-5 軸圧縮破壊の痕跡(ピルツ橋脚倒壊区間)(↑白破線付記)

に見られ(白破線を付記), この面に沿って落下して

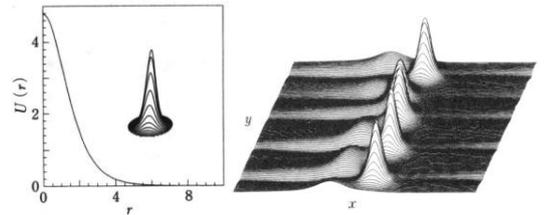
柱長さを短くした. 柱の軸圧縮破壊の痕跡は倒壊の前に起きている.

付近の住民の証言¹⁵⁾では主震動が治まった後に見た置時計は5時48分で, 階下の孫2人が気になり, 階下に降りようと屋外階段の踊り場に出た時に大音響を聞いて, その後にスローモーション的に倒れる高速道路の光景を見ている. この大音響は破壊的な鉛直衝撃波動が到達し, 主震動で損傷した橋脚(鉄筋の塑性率3程度で自立)の内4基を破壊して, この区間の倒壊の引き金になったと考えられる⁴⁾.

すなわち強力な鉛直地震動は主震動より2~3分遅れて到達しており, 前述の海震での発生時期と似た現象が生じている. またその生じ方場所により連続した破壊場所もあるが, 図-1, 図-2, 図-5の例のように, 多くは隣り合う橋脚で異なる破壊程度や形態を生じている⁸⁾. その地震波は主震動が痛めた構造物をさらに破壊する後発鉛直キラーパルスとでもいえる波で, そのイメージは平面的にはエネルギーが局所的に集中した局在波の形態で, 図-6に示す釣鐘型¹⁸⁾の形の孤立や列状の波が想像される⁹⁾.

4. まとめにかえて

橋脚の破壊形態と海震や住民の証言を基に, 地震時の破壊的な鉛直波動の存在と発生形態の特徴を述べた. 近年に得られた図-7に示す函館大学校舎の被災写真¹⁹⁾は十勝沖地震(M7.9, 1968, 震央距離100km超)での破壊例で, 裏側の写真も得られた. 校舎中央部の複雑な破壊は側面へのはらみがなく局所的な鉛直震動により生じたと考えられる. 衝撃的な鉛直震動は震源断層の近傍だけでなく遠く離れた場所でも生じることを示し, この現象の解明と対策が急がれる.



(a) 切断図と立体図 (b) 列状の発生例
 図-6 釣鐘型孤立波の例(ソリトン)¹⁸⁾



1階は全面破壊・中央部の柱は全階で破壊
 図-7 函館大学校舎の破壊例¹⁹⁾

参考文献

- 1) 前原博, 櫻井春輔: 構造物の特徴的な地震時破壊例と関連事象による新しい見解, 土木学会関西支部 平成24年度年次学術講演会, I-48, 平成24年6月.
- 2) 前原博, 櫻井春輔: 構造物の地震時衝撃破壊の代表例について, 国交省近畿地整局 平成24年度研究発表会, 防災・保全部門No.19, 平成24年7月. [HPよりDL可]
- 3) 前原博, 櫻井春輔: 兵庫県南部地震でのピルツ橋区間の倒壊原因の見直し, 土木学会関西支部 平成25年度年次学術講演会, I-30, 平成25年6月.
- 4) 前原博, 櫻井春輔: 海震と証言による橋脚の地震時破壊原因の見直し, 国交省近畿地整局 平成25年度研究発表会, 防災・保全部門No.13, 平成25年7月. [HPよりDL可]
- 5) 前原博, 櫻井春輔: 地震予知の実施例の紹介と実用化に関する展望, 土木学会関西支部 平成26年度年次学術講演会, I-38, 平成26年5月.
- 6) 前原博, 櫻井春輔: 地震時の破壊的衝撃動の特徴と地震直前予知の実用化について, 国交省近畿地整局 平成26年度研究発表会, 防災・保全部門No.22, 平成26年7月. [HPよりDL可]
- 7) 前原博, 櫻井春輔: 地震時の強力な衝撃的鉛直動の局在波動的形態の検証に向けて, 土木学会関西支部 平成27年度年次学術講演会, I-44, 平成27年5月.
- 8) 前原博, 櫻井春輔: 阪神淡路大震災での衝撃的鉛直地震動とその局在波動的性質, 国交省近畿地整局 平成27年度研究発表会, 防災・保全部門No.19, 平成27年6月. [HPよりDL可]
- 9) 園田恵一郎, 前原博, 櫻井春輔: 見落とされている強力な衝撃的鉛直地震動の問題を考える, 安全工学シンポジウム2014, GS6-2, 平成27年7月.
- 10) 前原博, 園田恵一郎, 櫻井春輔: 巨大地震での高架橋RC橋脚の鉛直衝撃破壊とその出現形態, 日本地震学会 2015年度秋季大会 講演予稿集S22-13, pp48, 2015年10月.
- 11) 櫻井春輔, Chouh Nawawi, 石川信隆: 兵庫県南部地震(1995)における上下動は存在した, 日本地震学会 2015年度秋季大会 講演予稿集S22-14, pp48, 2015年10月.
- 12) 前原博収蔵の写真資料.
- 13) 阪神高速道路公団監修, 阪神高速道路管理技術センター: 震災から復旧まで [写真集], 平成9年1月.
- 14) 阪神高速道路公団: 大震災を乗り越えて一震災復旧工事誌一, 平成9年9月.
- 15) 園田恵一郎, 小林治俊, 長野圭: 兵庫県南部地震一初期上下動の証言について, 大阪市立大学工学部紀要・震災特別号別刷, pp189-260, 1997.1.
- 16) 朝日新聞社: 報道写真全記録大震災一年, pp4, 1996年1月.
- 17) 阪神高速道路株式会社: 震災資料保管庫 震災状況写真集(橋脚) No.13 より該当部分を複写編集.
- 18) 川原琢治: ソリトンからカオスへー非線形発展方程式の世界一, p161, 朝倉書店, 1993.5.
- 19) <http://www.setsunan.ac.jp/~cibata/Photo3.htm>