

## 第 I 部門

## 直下地震の被害には衝撃的鉛直地震動の影響はないのだろうか？

## — 阪神・淡路大震災から25年 —

地球システム総合研究所 正会員 ○前原 博

大阪市立大学名誉教授 フェロー 園田恵一郎

山口大学名誉教授 フェロー 宮本 文穂

## 1. はじめに

阪神・淡路大震災の地震が発生した直後は“建造物の破壊状況には縦揺れの影響が大きい”と誰もが思ったのですが、後日地震計の記録が発表されてからは、“建造物の破壊原因は横揺れの影響に集約される”に変わって行きました。

近年の土木学会関西支部での共同研究グループと調査研究委員会の研究成果から、建造物を破壊する衝撃的鉛直地震動の現象があることがわかってきましたので<sup>1,2)</sup>、その代表的な事柄と現象の特徴について以下に述べます。

## 2. 物体の飛び跳ね現象

地震時に物や墓石等が飛んだ事例は多くあります。建造物を壊す威力を持つ鉛直地震動を連想さず代表例として、図1は長田区内の旧家の庭の石灯籠の笠石が塀を超えて外の車を壊した状況です。そのお家は潰れ、お住居の方は亡くなられました。図2は熊本地震での益城町の慰霊碑（推定約3ト）とその周辺施設が跳ね飛び散乱した状況です。この現象を起こす地震波も地震計ではまだ捉えられていません。（なお、本文で用いる図は文献1）、2より引用しました。）

## 3. 海震現象からの教訓

海で地震を受けるとそれは海震と言われます。水中では横波（せん断波）は伝わらず縦波（疎密波）のみ伝わります。海洋上の木造船が海震で壊れ、沈没する場合を最上階として、海震の震度階表（ルドルフの震度階表[10段階、1898年]、シーベルグの震度階表[6段階、1923年]）が作られており、日本では2種類とも使われます。図3は3万トン級のタンカーが海震の被害を受けた事例で、船殻補強材が座屈し、航行機器が壊れ航海不能になりました。船舶工学の専門家は「海震で船舶が損壊する時の地震波は疎密波である事は常識である。」と指摘しています。耐震基準は横波が対象で、陸では半世紀程海震（縦波）の事例が忘れられています。

兵庫県南部地震時に明石海峡を航行中の多くのフェリーは海震を受けました。その中のクイーン・ヤマト号(9千トン級)とあさぎり丸(1千トン級)は海震を2度受け、2度目の方が強烈でした。クイーン・ヤマト号の船長の証言には、「上空に青白いせん光を見て突き上げられて、大きな波に翻弄された瞬間、ウォーターハンマーより数倍激しい衝撃におそわれた」とあります。当時の海面は穏やかで9千トン級の船を翻弄さす波は、陸地が地震で揺れそれによる表面波が船に伝わったとして、離岸距離は約2km、波速は約700m/分から、その時間間隔は約3分と推定できました。この海震現象から海震の波には2種類あることと、それには時間差があり、時間的に主要震動より後により強い衝撃を受けています。

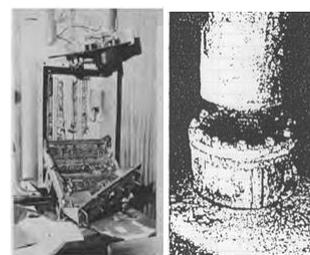
また、大阪湾で漁をしていた船の中に2度目の海震を受けた漁船があることも伝わっており、2度目の海震は疎らに起きています。海震のこの特徴は次に述べる高架橋の橋脚の破壊事例と体験証言とも整合します。



神戸市長田区の旧家  
図1 庭からの跳び笠石



図2 辻ヶ峰の石碑と付属施設の散乱状態（熊本地震）



(a)備品の落下 (b)配管の切断  
[タンカー, 3.25 万ト]  
(ジブラルタル沖地震 1969.2, M8.0)

図3 海震による損壊例



P465 山側柱(東面)  
柱頭部引張破壊  
図4 典型例(その1)



P477 海側柱(東面)  
柱頭部引張破壊  
図5 典型例(その2)



ピルツ橋の倒壊  
図6 区間の全景



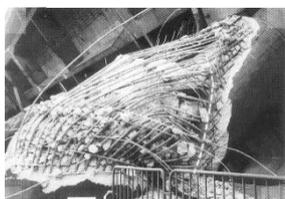
白色の高欄線の下がる部分・3ヶ所に着目,  
ピルツ橋倒壊区間  
図7 斜め航空写真



(a) P132(西面) (b) P132(南面)  
東西面共対称的な破壊形態,  
基部の外側へのふくらみ少なし。  
図8 曲げによる倒壊橋脚の代表例



(a) 133(東面) (b) P133(南面)  
コンクリートの破壊線が柱軸線に直角,  
基部の鉄筋が南側にも湾曲,  
基部の鉄筋は東西両側に大きく湾曲。  
図9 提灯座屈の痕跡がある橋脚



(a) P136(南東面) (b) P136(西面)  
引張域迄鉄筋の直角クビレ分布(白色破線),  
ズレ破壊の痕跡,  
北東-南西方向に割れが発達, 北西部に落下跡。  
図10 軸圧縮破壊の痕跡がある橋脚



塑性率3程度の損壊例  
図11 P607の被災状況



ピルツ橋走行者桑原浩治氏の路面の描画  
図12

#### 4. RC 橋脚の破壊例と教訓

図4と図5は独立したRC単柱2本が一橋脚を構成し、上部の橋桁の剛な横梁を支える区間内で、柱頭部1m余りが引張力により破壊した典型例です。裸鉄筋が直立している事は、この破壊は主揺動より後に破壊したことを表し、その破壊原因は水平力ではないことを示しています。図6はピルツ橋の倒壊区間の全景で、図7はその斜め空撮で白色の高欄線の変化を見易くしたものです。図8は柱基部が損傷を受け柱が倒壊した代表例で、このように倒壊すると柱長は短くなりません。しかし倒壊17基の中間4基に図9と図10に代表される軸圧縮破壊の痕跡があり、柱長が縮まっています。橋脚の時刻歴応答解析では鉄筋の塑性率は3程度なので、図11のように柱は損傷しても自立します。

この倒壊区間の路面を走行していた桑原浩治氏の証言では、“道路が横に揺れた後に、縦に振動しはじめ、道路の継ぎ目が上に行ったり、下に行ったりした”ことを話されています<sup>23)</sup>。図12は桑原氏が描かれた路面の絵です。

#### 5. 考察と今後の課題

地震計で捉えられていない構造物を破壊する衝撃的鉛直地震動が地震の主震動より後にも局地的に生じています。兵庫県南部地震による犠牲者数は6434人の内、窒息・圧死の方は77%に達し<sup>3)</sup>。犠牲者の大半の方に衝撃的鉛直地震動の影響があると推測されるので、この特殊な波の発生分布と犠牲者の分布の関連を調べ直すことが必要です。さらに、地震現象を正しく観察・観測し、破壊事例を再検証して、地震の現象を正確に伝承する必要があります。

#### 参考文献

- 1) 土木学会関西支部 平成27-28年度 共同研究グループ 直下地震における耐震問題に関する研究 成果報告書, 平成29年5月. [https://www.jsce-kansai.net/wp-content/uploads/2017/05/kyodo\\_chokka\\_h27-28.pdf](https://www.jsce-kansai.net/wp-content/uploads/2017/05/kyodo_chokka_h27-28.pdf)
- 2) 土木学会関西支部 平成29-30年度 調査研究委員会

- 都市直下地震での鉛直方向の免震構造に関する調査研究成果報告書, 平成31年3月. [https://www.jsce-kansai.net/wp-content/uploads/2019/06/chosa\\_chokka\\_2017-2018.pdf](https://www.jsce-kansai.net/wp-content/uploads/2019/06/chosa_chokka_2017-2018.pdf)
- 3) 神戸新聞 NEXT, データで見る阪神・淡路大震災, p3, <https://www.kobe-np.co.jp/rentoku/sinsai/graph/sp/index.shtml>