

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？

— 海震現象や物体の飛び跳ね現象からの考察 —

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

著者らは、東日本大震災の巨大災害の発生を契機に、多くの被災事例を見直し、古くから認識されている海震現象も考慮しながら、鉛直波動に起因する損壊とみられる事例等を整理してきた。また、土木学会関西支部の助成を得て、共同研究グループおよび調査研究委員会として4年間の活動を通して成果報告書を公開した^{1,2)}。

本論文では、特に直下地震による物体の飛び跳ね現象およびこれに関連すると考えられる被害を整理して、衝撃的鉛直地震動の影響を考慮し今後の課題を整理する。

2. 海震の震度階表の存在と船舶工学者の指摘

構造物を破壊する威力を持つ鉛直地震動があることを、構造物の破壊状態から説明してもすぐには納得され難い現状がある。しかし、海震の2種類の震度階表（ルドルフの表-1898年、シーベルクの表-1923年）が100年程も前にできていることと、船舶工学の専門家の指摘「海震で船舶が損壊する時の地震波は疎密波であることは常識である。」を紹介すると、その存在は容易に認識されるようになってきた。なお、海震に関する詳しい情報は文献1)を参照されたい。

3. 地震時の物体の飛び跳ね現象

海震の現象に次いで構造物を破壊する、強力な鉛直地震動が働いたことを連想させる現象に、物体の飛び跳ね現象がある。そこで、本文ではこの現象について特徴的な事例を振り返ってみる。

図1～3は長野県西部地震(1984,M6.8)での事例で、図1は半ば埋もれた倒木が飛び跳ね、立木に当り折れて離れたスケッチである³⁾。図2は角張った玉石が、乱れの無いソケットから跳び出し反転している⁴⁾。図3は巨石(約5t)が跳び出した写真⁴⁾で、国内の跳び石の写真では最大の物である。これらは山の尾根付近で生じ、地形により波が増幅されて生じたと思われた。

図4の例(a,フィリピン地震,1990年, b,ランダース地震,1992年[米国])⁴⁾は平地でも生じることを示している。

図5は兵庫県南部地震(1995,M7.3)での事例で、図5(a)は庭から跳び出した石燈籠の笠石が、外の車を壊している²⁾。誰もが鉛直地震動の作用を想像する決定的な写真であると考えられる。なお、この旧家の方は家が潰れて亡くなっている。図5(b)は敦盛塚の頭部が跳んだ状況²⁾で、頭部のみを飛ばす波は衝撃的となる。

図6は新潟県中越地震(2004,M6.8)での事例で、図6(a)は飯山線魚野川橋梁の数基の橋脚上半部が北西に



立木に当り折損
図1 埋木の飛び跳ね³⁾



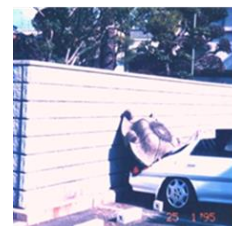
ソケットに乱れなし
図2 埋石の飛び跳ね⁴⁾



長野県西部地震(1984,M6.8)
図3 巨石(約5t)の飛び跳ね⁴⁾



(b) ランダース地震 (1992,M7.4) (a) フィリピン地震(1990,M7.8)
図4 平地での埋石の飛び跳ね⁴⁾



(a) 庭からの跳び笠石 (b) 敦盛塚頭部の落下
図5 兵庫県南部地震(1995,M7.3)での跳び石現象²⁾



(a) JR 魚野川橋脚上半のずれ (b) 整然と並ぶ大根
図6 中越地震(2004,M6.8)での飛び跳ね現象(北西)⁵⁾



キーワード 直下地震、海震、疎密波、衝撃的鉛直地震動、跳び石現象、飛び跳ね現象。

連絡先 〒569-1042 大阪府高槻市南平台 5-53-29 E-mail : h.maehara1@gaia.eonet.ne.jp

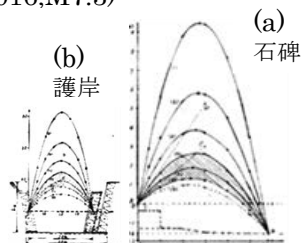


図7 辻ヶ峰の慰霊碑と施設の飛散状況
熊本地震(2016,M7.3)

[以下の図類は文献2)より引用]

放物線の軌跡
斜線部の仰角
 $45^{\circ} \sim 60^{\circ}$

図9 軌跡の推定



大阪府北部の地震(2018,M6.1)
図12 屋根の反転(浄教寺,茨木市)



地表断層交差部
図8 水路護岸の反転



県道府領第1橋
図10(b) 円柱散乱



(a) 橋台上面の擦過痕軽微
図10 橋桁の異常な落下



熊本地震
図13 層間破壊例(1)



兵庫県南部地震
図14 層間破壊例(2)



図11 煙突の3分割破壊と証言

「ドンと突き上げる音の
後に揺れ、外に出た時に
崩れていた」(枚方市)
大阪府北部の地震

約50cm ずれた写真⁵⁾で、ずれ面に横ずれ痕が見られない。図6(b)は旧堀内町の魚野川近くの畑の大根が抜け、北西に向き並んでいる写真⁵⁾で大根ジャンプと呼ばれる。

(以下の図類は文献2)より引用) 図7~10と図13は熊本地震(2016,M7.3)の事例で、図7は益城町の辻ヶ峰の慰霊碑とその施設の飛散状況である。石碑(約3t)は西北西に約5.8m跳ねている。設備品の位置と部材により跳ぶ方向も距離も異なる。

図8は辻ヶ峰の西方で地表断層が水路を横断する場所で、壊れた護岸の塊が反転して南の護岸にもたれている写真である。図9は石碑と護岸の移動距離から鉛直初速度を試算した放物線の軌跡で、仰角 $45^{\circ} \sim 60^{\circ}$ に対し石碑で5~7m/s、護岸で4~5m/sを得た。図10(a),(b)は地震動が大きくなり、熊本県道府領第1橋(跨線橋)を落橋させた写真である。図10(b)の円柱の乱れが異常で、図10(a)の橋台上面の擦過痕や角欠けは軽微なことから、突上げ力により跳ね飛ばされたと推定される。

図11, 12は大阪府北部の地震(2018,M6.1)での事例で、M6級の地震でも強力な鉛直波動が生じ、図11では煙突を3分割し、図12では門建築の屋根を突上げて反転させた事例である。こうした衝撃的な鉛直波動が強力になると、図10の橋の他にも図13や14に示すような建物の層間破壊も起こすことが推測される。

4. むすび

上記で示した種々の損壊例は、強力に衝撃的な鉛直地震動が主となっているものと考えられるが、現状の地震計ではこれを正確に観測できていない。高周波成分を伴うためにその観測には難しさが伴うが、将来の直下地震による構造物の被災を少なくするために、現象を正しく捉えておく必要があると考える。

参考文献

- 1) 土木学会関西支部 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—成果報告書一，pp4-25，平成29年5月。
https://www.jsce-kansai.net/wp-content/upload/2017/05/kyodo_chokka_h27-28.pdf
- 2) 土木学会関西支部 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委員会—成果報告書一，pp1-28，平成31年3月。

- https://www.jsce-kansai.net/wp-content/uploads/2019/06/chosa_chokka_2017-2018.pdf
- 3) 尾池和夫：地震発生のしくみと予知，古今書院，pp5，1989年6月。
- 4) 梅田康弘京都大学名誉教授(日本地震学会名誉会員)提供。
- 5) 仁科巖監修]，久保村圭助，町田富士夫編著：巨大地震と高速鉄道 新潟県中越地震をふりかえって，山海堂，pp68-70，2006年11月。