

直下地震で見られる跳び石現象に関する一考察

明石工業高等専門学校専攻科 学生員○長谷川 尚輝
 JR 東海(株) 浅田 宗磨
 日工(株) 山内 里絵
 明石工業高等専門学校 正会員 石丸 和宏

1. はじめに

世界の中でも特に地震が多い日本では、多発する地震に対して予知・対処することは永きに渡る課題である。今年で発生から20年を迎える兵庫県南部地震(1995年, M7.3)は、大都市部で発生した直下地震であり、多くの土木・建築構造物が破壊された。その破壊状況には、震源が遠方にある海洋型地震では見られない破壊形態であるものがあつた。さらに六甲山の岩石の浮き上り、墓石の飛び跳ね、敦盛塚の上段の石の落下、ピアノや家具の飛び跳ね、車両の跳び上りなどの証言もある¹⁾。この物体の跳躍現象は兵庫県南部地震だけでなく、過去の直下地震においても多くの報告²⁾が存在し、特に震源近傍では、様々な跳躍現象がみられ、直下地震の対策には、それらの現象を解明することは重要である。



図1 地震による跳び石現象

これまで、石丸ら³⁾は過去の直下地震において発生した跳躍現象を再現するために、衝撃的な鉛直方向に力を加えることで、敦盛塚の上段の石のみが落ちる現象を模型実験で行い、衝撃力の大きさと作用時間の関係により、再現できることを確認した。しかしながら、それらの入力波は地震計には記録されていない。そこで本研究では跳び石現象を水平動による実験を試みた。大町、荒井、竹田⁴⁾による実験では明らかにされていない跳躍現象が発生する加速度、周波数の範囲を調べる。方法として、土質地盤の代用である波型スポンジゴムを用い振動台にこのスポンジを設置し、さらにそのスポンジの上に球体を載せて

加振している。この実験の再現を行い、跳躍する周波数および加速度を調べるとともに、土質地盤についても跳び石現象の再現を試みた。

2. 弾性地盤による振動実験

石の跳躍現象を再現するため、地盤を弾性体とみなして波型ウレタンスポンジの窪みに球体を置き、水平振動実験を行った。大町らによる実験と同じ供試体である鋼球、コルク球、発泡スチロール球の計3種類の球体を用意した。鋼球は直径10mm、質量4.1g。コルク球、発泡スチロール球はそれぞれ直径が15mmと20mm、質量が0.33gと0.14gである。本実験では、振動台の最大加速度以上の加速度を得るために、設置台を作成し、応答加速度を利用することでより大きな加速度が得られるようにした(図-1)。

図-1のように機器、装置を構成し各種球体を載せ水平加振させた。振動台の設定や重りの載荷によって応答加速度を一定にし、周波数を変化させ、球体の挙動の観察および必要な数値を記録した。

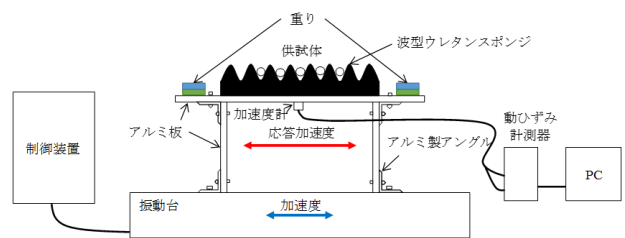


図-1 実験概略図

3. 土質地盤による振動実験

土質地盤における供試体の挙動を加振実験によって調べた。土質地盤を構成する土は真砂土とし、供試体は弾性地盤による振動実験でも用いた球体に併せて、ビー玉および石を用いた。湿潤状態の真砂土をバットに敷き詰め、供試体を数個載せる(図-2)。実験手順は弾性地盤による振動実験と同様にして行った。

キーワード：直下地震, 跳び石, 跳躍, 鉛直動, 水平動

連絡先 〒674-8501 兵庫県明石市魚住町西岡 679-3, TEL : 078946-6141, FAX : 078-946-6184

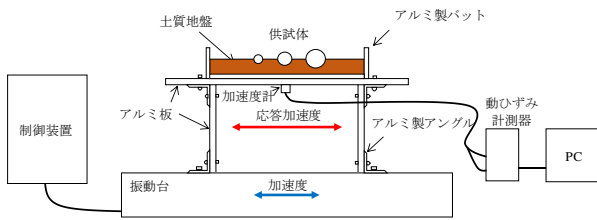


図-2 実験概略図(土質地盤)

4. 結果および考察

4.1 弾性地盤での跳躍について

弾性地盤を用いた実験では鋼球, コルク球, 発泡スチロール球の3種類すべてに跳躍現象が生じた. 今回は跳躍の有無の判断基準として, 一度でも隣の窪みに球体が移動したかどうかで決めた. 鋼球は波型ウレタンスポンジとの衝突を繰り返し, 徐々に反発力を得るような形で最終的に窪みから跳びだしていた(図-3). これはすべての球体で見られた現象であり, 今回の実験で観測された跳躍現象は以上の過程から生じたものであると推察される.

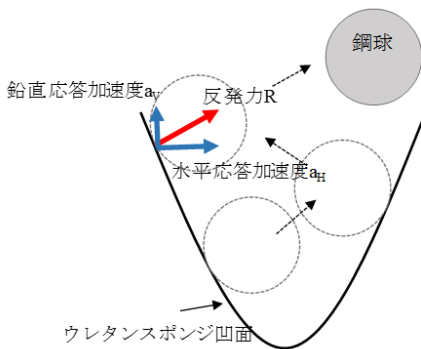


図-3 跳躍過程

次に, 脚長 20cm の設置台における鋼球の跳躍結果を示す(表-1). 跳躍範囲は周波数 11~19Hz, 加速度 12~30m/s²であった. 10Hz から 13Hz に 1Hz ずつあげると跳躍に必要な最小加速度が減少するが, 14Hz 以降では振動数が大きくなると跳躍に必要な加速度は増加傾向にあることがわかった.

4.2 土質地盤での跳躍について

水平加振のみで跳躍現象が見られたのは弾性地盤のみであった. それに対し, 土質地盤では跳躍現象は起こらなかったものの, 加振中にコルク球が窪みから転がり出る現象が見られた. 発泡スチロール球を除けば, どの球体も窪みを乱しており, 加振中に球体が周囲の地盤を変形させていた. 過去に報告されている跳躍現象で注目すべき点は窪みがほぼ乱されていないことであり, 実験結果と異なる. しかしなが

表-1 脚長 20cm の設置台における鋼球の結果

	周波数 (Hz)																																					
	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30																	
応答加速度 (m/s ²)	10	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x				
	11	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x			
	12	x	x	x	o	o	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x		
	13	x	x	o	o	o	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x		
	14	x	o	o	o	o	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x		
	15	o	o	o	o	o	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x		
	16	o	o	o	o	o	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x		
	17	o	o	o	o	o	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x		
	18	o	o	o	o	o	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x		
	19	o	o	o	o	o	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x		
	20	o	o	o	o	o	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x		
	21	o	o	o	o	o	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	
	22	o	o	o	o	o	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	
	23	o	o	o	o	o	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	
	24	o	o	o	o	o	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	
	25	o	o	o	o	o	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
	26	o	o	o	o	o	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
	27	o	o	o	o	o	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
	28	o	o	o	o	o	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
	29	o	o	o	o	o	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
	30	o	o	o	o	o	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x

ら, 今回の土質地盤においては, 土質の粒度, 締め固め, 含水比等による跳躍現象に及ぼす影響まで考慮できておらず, 今後の追加実験が必要であるが, 実験の様子を観察すると水平動の入力のみでは物体が窪みを乱さずに跳躍することは非常に難しいと考えられる.

5. 結論

本研究では物体が水平動の入力によりどのような挙動を示すか, 弾性地盤と土質地盤を用いて振動実験を行った. この実験から得られた結論を以下に示す.

- ①弾性地盤では直径や質量によらず, 球体は特定の領域において跳躍する.
- ②弾性地盤における跳躍メカニズムは, 波型ウレタンスポンジの凹面との衝突を繰り返すことで発生する.
- ③土質地盤では水平動のみによって物体が窪みを乱さずに跳躍している可能性は低い.

参考文献

- 1)園田, 小林, 永野: 兵庫県南部地震—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, p.187, 1997
- 2)翠川三郎: 地震時に物体の跳躍現象が生じた事例の調査, 地震 vol.47, pp.333-340, 1994
- 3)石丸, 成枝, 高原, 矢野: 地震による物体の跳躍現象に関する実験, 明石工業高等専門学校研究紀要第 55 号, pp.18-21, 2013
- 4)大町, 荒井, 竹田: 地震による半埋没物体の跳躍について, 構造工学論文集, Vol.33A, pp.595-606, 1987