

地震時のトランポリン効果に関する振動台実験

九州大学大学院 学生会員 ○川上 司 九州大学大学院 正会員 陳 光斉

1. はじめに

2008年に発生した岩手・宮城内陸地震の際に、基盤強震観測網 KiK-net 一関西観測点において、4022gal という非常に大きな上向きの加速度が観測された。しかも、上向きの加速度が下向きの加速度より 2.5 倍以上大きいという非対称性を持つ。また、同年発生した四川大地震において、300t の巨石が高さ 71.5m の斜面から水平距離で 58m 打ち出され、推定された必要な加速度は観測された値よりはるかに大きい。これらのような極端な異常運動を説明するために、地震によるトランポリンモデルが提唱された¹⁾。しかし、地震によるトランポリン効果は本当にあるか、その発生メカニズムや発生特性などについてはまだ検証されていない。

そこで、本文では振動台実験を行い、トランポリン効果を検証し、その影響を受けた物体の挙動及び加速度の増幅について考察した。また、材質の違いがトランポリン効果に及ぼす影響について検討した。

2. 内容

2.1 トランポリン効果

陳らが提案したトランポリン効果の理論を説明する²⁾。図-1 に示すように地震時に物体が地面に落下している状態を仮定する。地面と衝突後、物体が打ち上げられる速度 v_{out} は式(1)によって得られる。

$$v_{out} = k_{re}v_{in} + k_{vtr}V \quad (1)$$

ここで、 k_{re} :反発係数、 k_{vtr} :速度変換可能率、 V :地震の鉛直速度である。地震の鉛直速度 V は、地震の鉛直加速度 a を用いて式(2)で与えられる。

$$V = \int_t^{t+\Delta t} a(t)dt \quad (2)$$

物体が複数重なる場合、加速された下の物体が衝突することで、上の物体が更に加速する。その結果、物体が地震の鉛直加速度以上の加速度をもつ現象がトランポリン効果である。

2.2 実験概要

写真-1 に実験装置を示す。加速度計を付けたブロックを振動台で加振し、各ブロックの加速度を計測した。加速度は正弦波で与えた。ブロックには材質による違いを比較するため、コンクリートとレンガを用いた。材料の物性値を表-1 に示す。実験条件は振動数と加速度、ブロックの層数を変化させ、実験条件は表-2 に示す値を用い、1つの材質につき 48 パターン実験した。

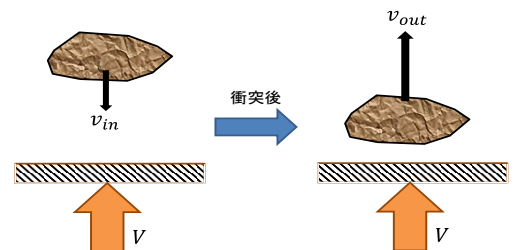


図-1 地震時のトランポリン効果



写真-1 実験装置

表-1 材料の物性値

	コンクリート	レンガ
密度(kg/m ³)	2.22 × 10 ³	2.18 × 10 ³
寸法(m)	0.10 × 0.21 × 0.06	

表-2 実験条件

振動数(Hz)	4	6	8	
加速度(gal)	600	800	1000	1200
ブロック層	1層	2層	3層	

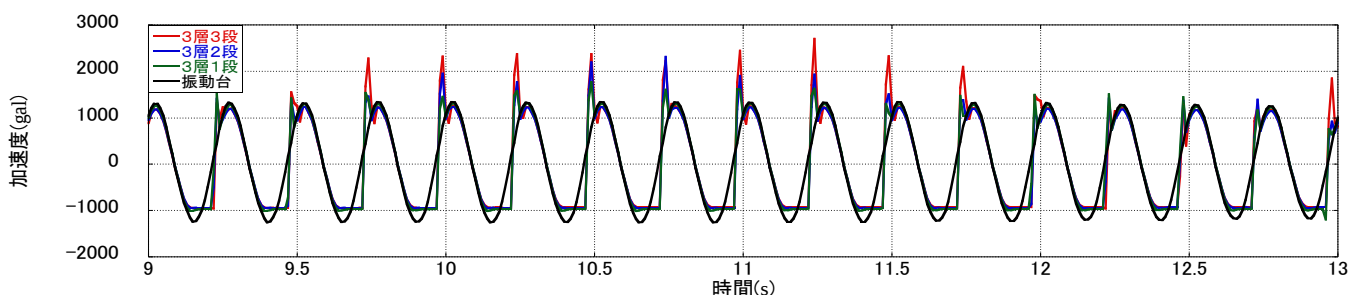


図-2 コンクリート・4Hz・1200gal・3層の加速度

2.3 実験結果

図-2 に材料:コンクリート, 振動数:4Hz, 加速度:1200gal, 3 層で加振した場合の加速度の結果を示す. なお, 上のブロックから 3 段, 2 段, 1 段と数える. 3 層 3 段の上向き加速度が最も大きく 2700gal となり, 入力加速度に比べて 125%程度増加した. また, 下向きの加速度は 1000gal 程度となっており, これはブロックが振動台から離れて自由落下するためである. 加速度の推移から, 自由落下中のブロックが振動台に衝突した瞬間に大きな加速度を得ることが分かった.

表-3 に 3 層における実験条件ごとに入力加速度に対する増加率を示す. 加速度の増幅が見られたのは 1200gal のときのみであった. コンクリートとレンガを比較すると, レンガの加速度の方が大きくなった. コンクリートでは 3 層 3 段のブロックの増加率が最大となった. これは, トランポリン効果の理論と合致する. 一方でレンガでは 8Hz を除いて 3 層 1 段のブロックの増加率が最大となった. これは, レンガの場合, レンガ同士の反発係数 k_{re} より, レンガと振動台の反発係数 k_{re} が大きいためであると考えられる.

表-4 に入力加速度 1200gal の条件で, 層数と振動数を変化させた時の入力加速度に対する増加率を示す. コンクリートでは, 2 層の時も 3 層と同じく最上段のブロックの増加率が大きくなった. 一方, レンガでは 2 層と 3 層では傾向が異なり, 3 層では上のブロック程増加率が減少するのに対し, 2 層では上のブロック程増加した. また, 1 層の時に全ブロック中最大となる 300%程度の増加率となり, これもレンガと振動数の反発係数 k_{re} が大きいためだと考えられる. 両材料ともに層数によらず, 振動数が小さいほど加速度の増加率は大きくなった. 図-3 に加速度 1200gal における加速度増加率を示す. 図からも振動数が小さくなることで増加率が大きくなる傾向にあることが分かる.

3. 結論

本文では振動台実験を行い, トランポリン効果が物体に及ぼす影響について考察した. 結論を以下に示す.

- 1)全ての試験条件において, 入力した加速度よりブロックの加速度が大きくなり, トランポリン効果が検証された. 24 ケース中 21 ケースはいずれかのブロックがトランポリン効果による加速度の増加率 5%以上となり, 増加率 5%以下のブロックのみとなったのは加速度 600gal のレンガの 3 ケース(4,6,8Hz)だけであった.
- 2)1200gal の加速度を与えることで, トランポリン効果が発生し振動台上のブロックの加速度は最大で入力加速度から 330%増加した. 加速度の増加量は振動数が少ないほど増加した.
- 3)コンクリートでは層の上にあるブロック程加速割合が大きくなり, トランポリン効果の理論と合致した. レンガでは層の下ブロックほど加速割合が増加し, 1 層の時に最大の加速度となった. これはレンガと振動台の反発係数 k_{re} がレンガ同士の反発係数 k_{re} より大きいためだと考えられる.

【参考文献】 1)青井真ら:地震動の非対称性の発見とトランポリン効果, 科学, pp.366-370, 2009. 2) Yingbin Zhang: New Analysis Method For Earthquake Induced Landslides Considering Tension Failure And The Trampoline Effect, Kyushu-Univ, 2013.

表-3 条件によるトランポリン効果の影響(%)

振動条件	材質	コンクリート			レンガ		
		3層3段	3層2段	3層1段	3層3段	3層2段	3層1段
4Hz	600gal	7.0	6.4	12.9	1.6	3.0	2.3
	800gal	4.5	4.5	10.7	6.3	5.0	3.7
	1000gal	2.0	2.2	8.1	12.3	6.8	6.8
	1200gal	125.3	92.9	47.6	102.6	112.7	174.8
6Hz	600gal	0.8	0.6	8.1	2.3	2.3	2.3
	800gal	3.2	3.3	9.4	6.3	3.6	3.7
	1000gal	0.1	0.5	6.4	11.9	6.2	6.8
	1200gal	125.0	78.3	79.0	94.0	102.3	150.9
8Hz	600gal	3.2	3.3	9.3	2.7	2.3	2.3
	800gal	4.0	3.0	8.6	2.5	2.9	2.9
	1000gal	1.6	0.9	6.4	18.5	5.7	5.7
	1200gal	87.3	76.6	67.7	124.5	108.1	80.6

表-4 層数によるトランポリン効果の影響(%)

振動条件	材質	コンクリート					
		3層3段	3層2段	3層1段	2層2段	2層1段	1層1段
1200gal	4Hz	125.3	92.9	47.6	92.6	108.6	160.9
	6Hz	125.0	78.3	79.0	84.5	62.9	100.2
	8Hz	87.3	76.6	67.7	79.7	55.5	55.5

振動条件	材質	レンガ					
		3層3段	3層2段	3層1段	2層2段	2層1段	1層1段
1200gal	4Hz	102.6	112.7	174.8	153.6	83.5	230.3
	6Hz	94.0	102.3	150.9	115.8	73.5	217.5
	8Hz	124.5	108.1	80.6	146.1	58.3	199.3

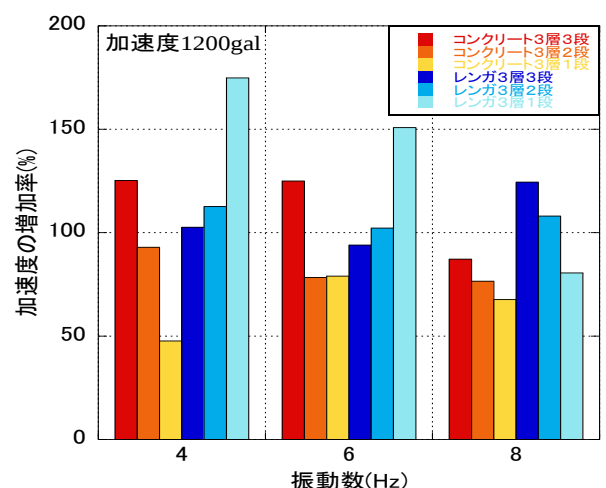


図-3 振動数による加速度増加率の変化