衝撃加速刺激の作用方向と転倒方向

小美濃幸司（鉄道総合技術研究所），永田久雄（労働省産業安全研究所），
大野央人（鉄道総合技術研究所）

Falling directions of a standing person to directions of impulsive forces

Koji OMINO(Railway Technical Research Institute), Hisao NAGATA(National Institute
Industrial Safety, Ministry of Labour), Hisato OHNO(Railway Technical Research Institute)

1.はじめに

21世紀に向けての鉄道技術開発のありかたについての運輸技術審議会の答申S U C C E S S 21計画に示された重点技術開発課題の中に、事故時の乗客の被害軽減技術の開発が盛り込まれている。筆者らはこの目的のため、踏切事故などで列車が衝突した際に、乗客がどのように被害を受けているかについて、調査をはじめた。その中でも、安全対策に向けて非常に重要なポイントとなるのが、衝撃を受けた乗客が車内でどのような挙動をとるのかを明らかにすることである。本研究のなかで、その一つの手段として、乗客の挙動のコンピュータシミュレーションを考えており、そのためには衝撃に対する人間の挙動の基礎データを整える必要がある。

昨年の調査によれば、立っていた乗客のほとんどが転倒している列車衝突事故の例で、脱線をしていないにもかかわらず、すべての乗客が一樣に列車の衝突方向に動かされてはいないことがわかった。この挙動をシミュレーションするためには、衝撃を受ける前の姿勢が、衝撃後の挙動にどの程度影響を与えているのかをまず明らかにすることが必要である。そこで、今回の基礎実験では、人間が立っている向きの違いが、転倒する方向にどの程度影響するのか、そして人間の転倒する方向が人間の意志によってどの程度まで制御できるのかを検討した。

2.方法

被験者に5つの方向から加速度刺激を暴露し、その加速刺激の方向に対する転倒の方向を調べた（図1）。

アクセラレータによる加速方向

2.1.被験者

18才から23才までの健常な女子学生17名を被験者とした。身長は152cmから174cm、体重は46kgから65kg足のサイズは20.9cmから24.7cmであった。

2.2.実験装置

実験には被験者を乗せて直線加速するリニアアクセラレータを使用した。

図1. 加速度刺激の与え方

この装置には、腰部の変位を計測するための巻き尺式変位計と、姿勢の確認のためのCCDカメラが取り付けられている。また、リニアアクセラレータの実際の出力を計測するため、加速度計を床下に取り付けている。

2.3.実験条件

被験者に暴露する加速度刺激には、加速時間0.2、0.3、0.5sの3種類の矩形波を設定し、それぞれの刺激強度は被験者が転倒する最少の加速度からはじめて、リニアアクセラレータの出力限界の加速度までとした。この出力限界は、被験者の体重などに依存するためばらつきがあるが、上記3種類の加速時間に対しそれぞれ300、250、200 cm/s^2 程度であった。

また、リニアアクセラレータ内で被験者の立

つ向きを変えることにより、加速度刺激の方向について5種類の条件設定をした。

被験者の立ちかたとして、足幅について20cm、30cmの2種類の条件を設け、その左右の足の開きを 34° とした。実験中は、腕を体側におろし、水平前方を注視して立つように指示した。

2.4. 転倒の判定と転倒角度の計測

加速による転倒の基準は、リニアアクセラレータの手すりに寄りかかったか、片足が浮いた場合とした。転倒角は腰部の計測点が刺激前にあった位置から刺激後15cm移動した点へのベクトルと刺激の加速度ベクトルの水平面方向の成分のなす角とした。

3. 結果

図2に、足幅20cm、加速度刺激暴露時間0.3s、加速方向 45° の条件におけるある被験者の転倒方向(θ)を示す。この場合、低い加速度で転倒する場合に、転倒方向が加速度刺激の方向に強く依存している傾向(すなわち、姿勢の向きに依存している傾向)がみられる。また、加速度が大きくなるにしたがい、転倒方向が加速度方向に一致するようになる。この結果は、人間が足と床との接触による力を利用した転倒方向の制御が、加速度の大きさに対して効果が小さくなるためであると考えられる。この例の場合、そうした制御の限界点(加速度)が、 300cm/s^2 とみられる。

一方、概して上記の傾向がみられるものの、すべての被験者において、常に上記の例の傾向を示すとは限らなかった。ここに、足幅20cm、加速度刺激暴露時間0.3sの場合の、すべての被験者データを図3に示す。この結果から、加速度の方向が矢状面方向からずれている場合には、加速度の低い時に、転倒方向のバラツキが大きく、加速度が大きくなるにしたがい、転倒方向が加速度の方向に一致するとともに、そのバラツキが小さくなる傾向にあることがわかった。このバラツキが上記に述べた転倒の制御により生じているものと仮定すれば、このバラツキが十分小さいとみなされる点が、上記に述べた転倒方向の制御の限界点の一般化したものと考えられる。

図2. 加速度刺激の強度と転倒方向の1例
(姿勢の方向 $\alpha = 45^\circ$ の場合)

図3. 加速度刺激の強度と転倒方向

尚、この研究は、運輸省の補助金のもとに「事故時の乗客の安全性に関する技術開発」の一環として進められている。