

運転シミュレータを用いた地震時の 走行安定性に関する検討

山之内 宏安¹・山崎 文雄²

¹学生員 ²正会員 東京大学生産技術研究所 (〒106-8558 東京都港区六本木 7-22-1)

現在、日本の高速道路においては、地震時に最大加速度 80Gal 以上が観測された場合には、安全確認のため通行止めすることになっている。しかし、最近の調査研究によれば、この基準程度の地震動では、構造物に被害が生じないことが分かってきている。しかし、現行の基準を緩和させるに当たっては、構造物被害のみならず、車両の走行安定性も考慮されなければならない。そこで本研究では、運転ゲーム機を使用し、振動台上で様々な地震動を加えることにより、地震時における運転者の走行安定性への影響を模擬的に検証した。その結果、大きな地震動下では、実際の道路上で地震時に生じうる交通事故を推測させる結果が得られ、地震波特性が走行安定性に大きな影響を与えることが分かった。

Key Words: driving simulator, drivers' behavior, expressway, seismic motion

1. はじめに

現在、日本道路公団が管理する高速道路においては、各観測所に設置された地震計が記録する最大加速度を指標として通行規制を行っており、地震時に 80Gal 以上が観測された場合に通行止め、50Gal で 50km/h の速度規制が実施される。しかし、最近の調査や研究によれば、上記の基準で通行規制を行っても、その後の構造物の点検で異常が発見される事は稀である¹⁾ことが分かってきている。従って、通行規制に伴う利便性の低下と経済損失を考えると、現行の速度規制基準を見直していく必要がある。しかし、現行の基準を緩和させるに当たっては、構造物の被害面のみならず、車両の走行安定性も考慮されなければならない。どの程度の強さや性質を持った地震動が車両走行を不安定にさせ、運転者の車両操作が困難になるのかについて検討する必要がある。

そこで本研究では、運転ゲーム機を使用し、振動台上で様々な地震動を加えることにより、地震時における運転者の走行安定性への影響を模擬的に検証することにした。実験は、揺れの強さと地震動の特性に着目し、様々な条件下での運転者が示す地震時の運転操作反応を観察し、実験結果と被験者のアンケート調査をもとに、心理面も含めた人体の揺れに対する感覚、及び運転操作への影響について定性的に検討した。

2. 兵庫県南部地震時の運転者アンケート

まず、地震で走行車両が不安定になる現象や運転者の反応をアンケート調査から検討する。走行中に地震に遭遇した運転者をアンケート調査した例は少ないが、近畿通商産業局環境保安課が兵庫県南部地

震の発生時に神戸・大阪付近で走行していた運転者を対象に調査を行っている。対象者は、危険物積載大型車の運転者 25 名で、それぞれの走行位置を図 1 に示す。

アンケートによれば、地震が発生した際に走行が



図 1 兵庫県南部地震時に走行していた運転者の位置

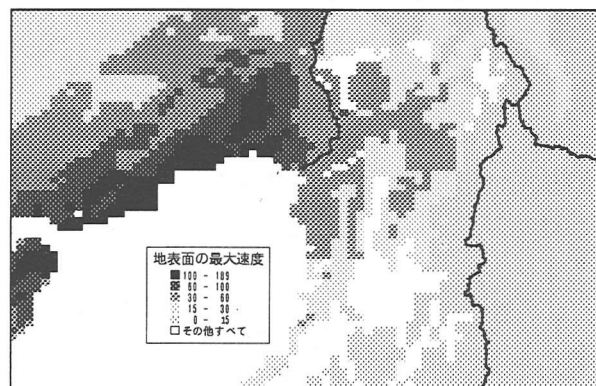


図 2 兵庫県南部地震の地表面最大速度の推定分布

不安定になるのは、ハンドルをとられて車両が左右に揺さぶられる操作的側面と、前方の路面が波打つため、走行しづらくなる視覚的側面が原因であった。

しかし、地震の発生直後に、すぐ地震と判断出来た運転者は5割程度と少なかった。認知出来なかった運転者はパンクしたか路面の状態が悪い、あるいは車両に異常が発生した、と判断していた。地震と判断できた運転者についても、ハンドル操作の異常から判断した人は少なく、道路灯の揺れや路面の波打ちから判断した人が多かった。

山崎・大西らが提案する¹⁾、阪神大震災における地表面最大速度の推定分布(図2)と図1を比較して、地震動の強さと走行不安定性の関係を調べたところ、地表面最大速度が約30cm/s以上で走行困難になることが分かった。また、阪神高速湾岸線を走行中の運転者が、ハンドル操作が困難だったと回答しており、地表面の最大速度が小さくても、高架橋上では走行不安定になる可能性が高い事を示唆している。走行中の道路が、高架橋上や一般道路上であった事など、道路条件がそれぞれ違うため、地震動の強さと走行不安定性の関係を一概に言えないが、今後も地震に遭遇した運転者を調査していく必要がある。

3. 運転ゲーム機を用いた走行実験

3.1 実験設備および被験者

実験に使用したドライビングシミュレータ(図3)は、大手ゲーム機メーカーのSEGAから提供を受けた。本格的なシミュレータは自動車メーカーが保有するなど日本で数台しかなく、地震入力を加えるには改良が必要で、すぐに利用できる環境にはない。また、本格的なシミュレータほど、乗り物酔いに似たシミュレータ酔いがするため、本実験のように、様々な条件を変えて行う実験には課題も多い。逆に運転ゲーム機であれば、シミュレータ酔いも少なく、実際に、実験でシミュレータ酔いをしたと回答した被験者は29名中、1名しかいなかった。

実験は、東大生産技術研究所千葉実験所にある2次元(水平1方向+鉛直方向)振動台を使用し、運転ゲーム機を振動台に剛結し、地震時における車両の動的特性を排除した形で行った。水平方向の加振については、運転走行上、より影響が強いと推定される、運転者から見て横揺れの方向に行った。

被験者は、日常運転ゲーム機に慣れ親しんでいる運転免許を保有する学生29名(男子28名、女子1名)を対象とした。

3.2 走行条件

走行条件は、被験者にシミュレータを用いて、ある一定速度で左側車線を運転してもらい、実際に運転しているつもりで、車両が側線からはみ出ないように走行することとした。運転中、揺れを感じた場



図3 実験に使用した運転シミュレータ

合には、走行出来そうであればそのまま走行し、操作が困難になれば減速して停止してもよいこととした。また、もし停止するなら安全に道路端に停止してもらうことも指示した。

3.3 実験内容

実験は地震時走行に対する「慣れ」の影響が反映されないよう、以下の段階に分けて行った。

(1) 地震動の大きさによる走行安定性の違い

1995年兵庫県南部地震において神戸海洋気象台で観測された南北方向の地震記録を用い、最大加速度の大きさを変えて水平方向加振した。本実験では、地震波を最大加速度が100, 200, 300Galとなるよう相似的に縮小して加え、どの地震波が走行困難だと感じたかを被験者の操作面・心理面から検証した。

その結果、図4に示されるように、9割近くの被験者が最大加速度300Galの地震波を走行困難だと答え、また最大加速度200Galの地震波については半数近くが困難と感じ、100Galは一人も走行困難と感じず、問題なく運転を継続した。最大加速度200Galの地震については大半の被験者が走行上問題なく運転していたが、9割以上の者が実際に運転していた場合には、車を停止するだろう、と回答している。

最大加速度300Galの地震波は、運転の続行は危険

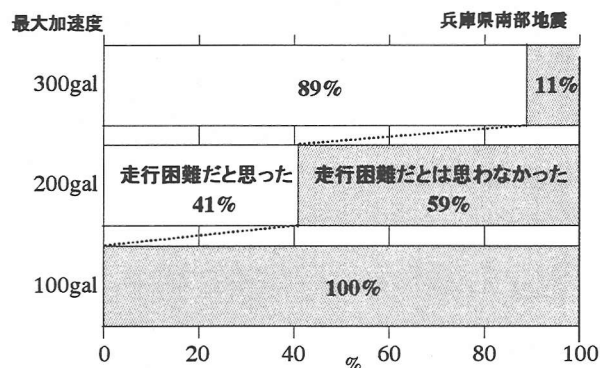


図4 地震動の大きさによる走行安定性の違い

だと感じて減速・停止をする者が多く、ハンドル操作に問題がない被験者も、恐怖を感じていた。被験者の中にはハンドルを大きくとられ、画面の中で車両が側壁に衝突してしまう者も見られた。シートに座り、ある程度シートベルトで体が固定されてはいても、加振中は頭が振り子のように激しく揺さぶられる。ハンドル操作に問題がなくても恐怖を覚えるのは、この上体の不安定さと視界の不明瞭さが原因で走行持続させることが困難と感ずるためである、と推定される。

また、ハンドル操作に問題がないように見えても、本人の自覚がないまいつの間にか左右に車移動してしまうケースも見られた。この結果は、実際に道路上で地震があった場合、並走する車両との側方衝突の可能性を示していると言えよう。

(2) 地震波特性の違いによる走行安定性の違い

続いて、地震波の違いによる走行安定性の違いを検証するため、水平方向と鉛直方向の2方向同時加振の実験を行った。地震波は、図5に示される神戸海洋気象台で観測された兵庫県南部地震の記録、1940年5月18日に記録されたエルセントロ記録、温根沼大橋（桁）にて観測された1994年10月4日北海道東方沖地震の3つの記録を採用し、各地震波を水平方向の最大加速度が300Galになるようにスケーリングし、鉛直方向については、実地震波での水平・鉛直方向の最大加速度比を保つよう設定した。

同じ最大加速度でも各地震波の性質は大きく異なる。エルセントロ地震波は、図6に示されるように、速度の大きい、大きな揺れが持続する性質の地震であり、神戸地震波は、他の地震波に比べ突発性が強いが、大きな揺れの短い地震波である。また、図7に示す、絶対加速度応答スペクトルについても、1Hz以上の周期でエルセントロ地震波が最も大きな値を示しているのが分かる。

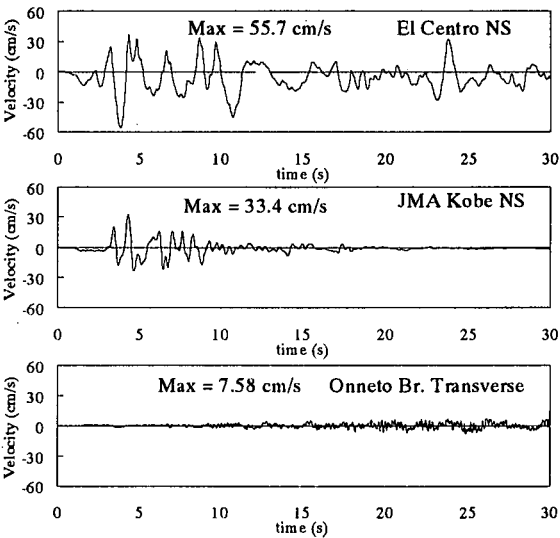


図6 各地震波の水平方向の速度波形

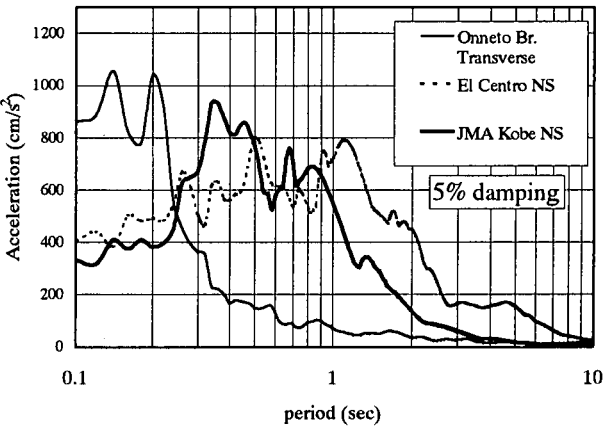


図7 各地震波の絶対加速度応答スペクトル

実験の結果、図8に示されるように、エルセントロ地震波を最も走行困難と回答した被験者が全体の約7割と最も多く、温根沼大橋の地震波については一人も走行困難だとは思わなかった。

エルセントロ地震波は速度の大きい、大きな揺れが持続する性質の地震であったため、走行困難と回

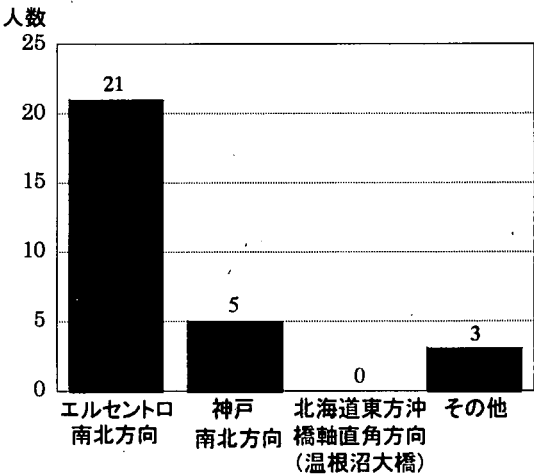


図8 最も走行困難だと感じた地震波

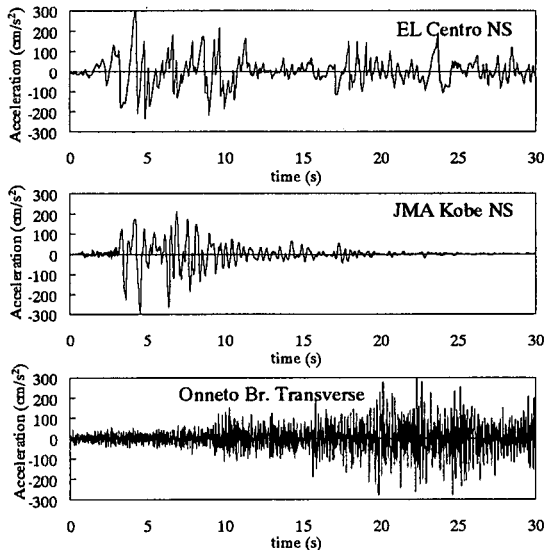


図5 各地震波の水平方向の加速度波形

答する人が多かったと考えられる。神戸地震波は、エルセントロ地震波と比較的近似したスペクトル特性を有し、突発性が強いものの、大きな揺れの短い地震波であったために、走行困難と感じる人が少なかった。温根沼大橋の地震波に対し走行困難と感じた人が皆無だったのは、スケーリング後の速度振幅が最も小さいとともに、漸増性のある地震波で、運転者の走行対応が容易だった、と考えられる。

また、神戸地震波を最も走行困難と感じた人が「加振中ずっと走行が困難と感じた」と回答している傾向があった。アンケートによれば、加振中上体の揺れを軽減しようとハンドルに強くしがみつき、かつハンドル操作を正常に戻すことに意識が向きがちになるのが原因であった。この地震波を選択した被験者は、神戸地震波の特性である突発性に驚き、冷静さを多少失うことで、ハンドル操作かアクセル操作の一方に意識が集中してしまう傾向が見られ、加振直後、驚いて思わずアクセルを踏んでしまったり、もしくはハンドル操作に気を取られ減速するのを忘れてしまったものと推定される。一方で、エルセントロ地震波を最も走行困難と感じた被験者は、加振開始直後は走行不安定になるものの、すぐに走行を正常に戻す傾向が見られた。これは、体を振動に抵抗することなく、上体が揺れることを許しながら、運転操作するため、振動の影響がそれほどハンドル操作に影響を及ぼさなかった、と考えられる。

また、「道路脇に停止できそうなら停止して欲しい」との指示に対し、走行が困難で停止しようとした被験者の中で、エルセントロ波、神戸波では安全に道路脇に停止しようと考えた者はほとんどいなかった。逆に、車両が左右に揺られて、真ん中で停止している例が多く、地震時はハンドル制御に気がとられがちになるか、恐怖心を感じるのが原因で微妙な走行調整は難しくなると考えられる。これは実際の道路で、上記の理由で追突あるいは側方衝突を起こす可能性があることを示唆していると言えよう。

3.4 シミュレータへの被験者評価

実験後に本実験で使用したシミュレータに対する被験者の評価をアンケート調査²⁾した。その結果を図9に示す。

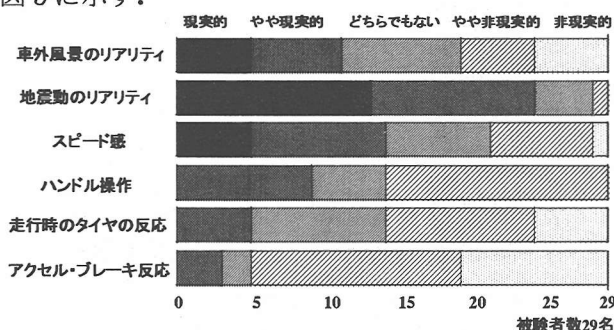


図9 シミュレータ各要素に対する現実感評価

ハンドル操作とアクセル・ブレーキの反応では、非現実的と回答する意見が多く、スピード感や車外風景のリアリティに関しては、被験者によってその現実感の捉え方に大きなばらつきが見られた。

ハンドル操作は、ハンドルを少し回すだけで、車両が大きく曲がる性質が運転ゲーム機にあったため、反応が敏感すぎる点で非現実的と回答する意見が多かった。また、アクセルに関して、アクセル・ブレーキの応答が非常に敏感で、急加速・急減速をするためか、非現実的と厳しい評価をする人が多かった。スピード感については、それなりの現実感があると評価されているが、前後左右に自動車が並走しておらず、スピード感を認知しにくかった、と回答した人が多かった。これらの課題を今後のシミュレータ実験へ反映させていく必要がある。

4 まとめと今後の課題

本研究では、地震時における運転者の走行安定性への影響を調べることを目的とした。実際に走行中に地震に遭遇した運転者のアンケートを分析し、振動台上に設置した運転ゲーム機を加振する実験を行い、その実験のアンケート調査をした。

以下、その結果を記す。

(1)兵庫県南部地震の地震で走行していた運転者は、地震によってハンドルがとられる操作面と、路面の波打ちによる視覚面で走行不安定になる傾向があった。また、地震と判断できた人は以外と少なく、道路灯の揺れや路面の波打ちで初めて地震と認知できた運転者が多かった。地表面最大速度約 30cm/s 以上で走行不安定になる傾向があるが、道路の構造が走行安定性に大きな影響を与えることが分かった。

(2)兵庫県南部地震による地震波の最大加速度を変えて加振したところ、最大加速度 200Gal 以上の地震波に対し、走行困難になることが分かった。大きな地震動下では、安全に停止出来ない可能性が強く、実際の道路上で地震時に起こりうる交通事故を推測させる結果を得た。

(3)地震波の特性によって走行安定性に大きな差が見られた。突発性の地震動よりも、速度の大きい持続的な地震に対して走行困難と感じる人が多かった。

上記の運転シミュレータ実験は簡易なものであるため、走行車両と路面の相互作用の影響、また地震によるハンドルへの影響は考慮されていない。車両の動的特性を検証し、シミュレータ実験に反映させていくことが今後の課題である。

参考文献

- 1)山崎文雄, 山崎文雄, 大西淳一, 田山聡, 高野辰雄: 高速道路構造物に対する地震被害推定式の提案, 第10回日本地震工学シンポジウム論文集, pp.3491-3496, 1998
- 2)横山秀史・永田茂・山崎文雄・海老原学: 迷路実験による緊急時の人間行動特性, 土木学会論文集 No. 441/ I - 18, pp.107-115, 1992.