

令和 2 年 7 月 9 日現在

機関番号：12701

研究種目：挑戦的研究（萌芽）

研究期間：2017～2019

課題番号：17K18899

研究課題名（和文）走行中のトラックの高架橋上での地震時転倒数値解析法の確立と交通危機管理への応用

研究課題名（英文）Investigation on lateral instability of vehicles crossing urban viaducts excited by strong earthquake motions

研究代表者

藤野 陽三（FUJINO, Yozo）

横浜国立大学・先端科学高等研究院・特任教員（教授）

研究者番号：20111560

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 4,700,000円

研究成果の概要（和文）：トラックを9自由度でモデル化し、地震による走行面の揺れが起こす横転や滑動という不安定挙動を予測できるモデルを構築した。実際の都市内高架橋（金港ジャンクション）を対象に地震応答解析を実施し、高架橋では揺れが増幅されるため、1) L2地震レベルではトラックが横転滑動する可能性が極めて高いこと、2) 曲線部ではその半分程度の地震でもそのリスクが高いこと、3) このような不安定を低減するためには車線を変えず減速することが有効 ということが分かった。

研究成果の学術的意義や社会的意義

トラックの高架橋上での地震時転倒は1995年兵庫県南部地震において発生しているが、この問題を扱った研究は世界で皆無であった。都市内高架橋におけるトラックの転倒は地震後の交通機能低下につながる大問題であり、今回の研究でL2レベル地震では曲線部はもとより直線部でも転倒滑動の高い可能性が極めて高いこと、強度がL2の半分程度の地震でも曲線部では転倒の可能性が高いことが判明したことは極めて意義が高いと言える。

研究成果の概要（英文）：The vehicle model including out-of-plane and in-plane motion along with effect of curved line with specific radius, camber angle and longitudinal grade is developed. The vehicle stability is evaluated by the rollover and sideslip stability. Numerical simulations were conducted using a highway junction consisting of four curved sections and two straight sections. Effects of curved bridge radii, level of earthquake, vehicle velocity and driver reaction on the vehicle stability were evaluated. It was found that vehicle moving on a curved bridge during large earthquakes has a larger possibility for rollover and sideslip stability than vehicle moving on a straight section for the same driving velocity and level of earthquake. Reduction of normal forces on vehicle's wheels associated with curved bridge effect and steering angle, effect of road camber at the curved section all contributed to the higher risk of instability in addition to earthquake-induced acceleration of bridge deck

研究分野：構造工学

キーワード：地震 走行自動車 転倒解析 交通

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

2011.3.11 東北地方太平洋沖地震では横浜ベイブリッジ下路桁において走行中のセミトレーラーが一台転倒し、撤去のため 30 時間、交通は閉鎖された。1995.1.17 兵庫県南部地震においても阪神高速高架橋部で 3 台のトラックが転倒した。このように、高架橋や長大橋梁では地震の揺れが増幅されるため、トラックやトレーラーなどの大型ト車両の転倒することは起こり得ることなのである。

都市内高速道路では、風や不適切な運転のために時折車両の転倒が発生してきたが、そのたびごとに渋滞をもたらし、交通機能低下に繋がる厄介な問題として経験してきた。常時数千台の大型トラックが走行している首都高速道路では、曲線部も多く、強震により、かなりの数の車両の転倒が避けられないことを認識すべきである。したがって、およその数を知り、それに備えた事前検討は交通危機管理の上から極めて重要な情報である。しかしながら、走行中の車両の転倒を扱った研究は自動車工学分野を含め、国内外において皆無であり、未踏の問題であり、この問題に挑戦した。

高度に情報化された東京のような世界的な都市で、強震時のあと、最も重要なことは交通の機能を速やかに復帰させることである。地震後に首都高速道路などの高速ネットワークの担うものはとてつもなく大きい。構造的な被害が少ないとしたときに、交通の機能低下が起こるとしたら、車両の転倒による渋滞、駐車場化による機能低下があり得るシナリオの一つであるとの考えが研究の背景にある。

2. 研究の目的

本研究では世界で初めて、1)地震による揺れのある路面を走行する車両の基礎運動方程式を導出し、小型模型実験により検証しつつ、数値解析により曲線部を含む高架橋や大型橋梁の路面でのトラックやトレーラーの転倒可能性を予測し、2)転倒を避けるのに寄与する運転方法を模索するとともに、3)首都高速道路をケーススタディの対象に選び、想定する地震動レベル、交通の状況との関係のもとで転倒車両数の予測を行い、交通危機管理への応用を試みる。

3. 研究の方法

地震により揺れる路面上を走行する大型トラックおよびセミトレーラー、トレーラーの運動方程式を導く。平成 29 年度は大型トラックを対象に研究を行う。

トラックはタイヤの変形による自由度をいれて 9 自由度として、その妥当性を模型振動台上の模型ラジコン車を使った実験、ならびに米国で販売されているトラックの運度シミュレーションプログラム(地震には対応不可であるが、特別な条件で比較可能なケースを想定)により検証する。

高架橋や大型橋梁での地震の揺れのレベルとトラックのパラメータを様々に変え、さらに、いくつかの地震時のドライバーの運転パターンのもとで広範なシミュレーションを実施し、どのような時に転倒しやすいのかを明らかにする。曲線部を含めて首都高速道路を対象に、道路上に数千台のトラックが同時に存在していることを踏まえ、どの程度の数のトラックが揺れにレベルに応じて転倒するのかをシミュレーションを使って定量的に把握する。

転倒の条件を、車、地震入力、高架橋(直線部、曲線部、勾配)などのパラメータとの関係から明らかにする。地震の揺れに対して転倒を極力防ぐ運転形態を研究する。

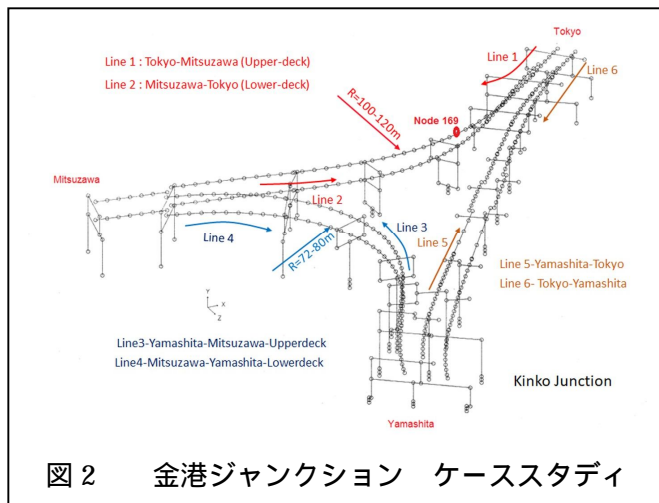
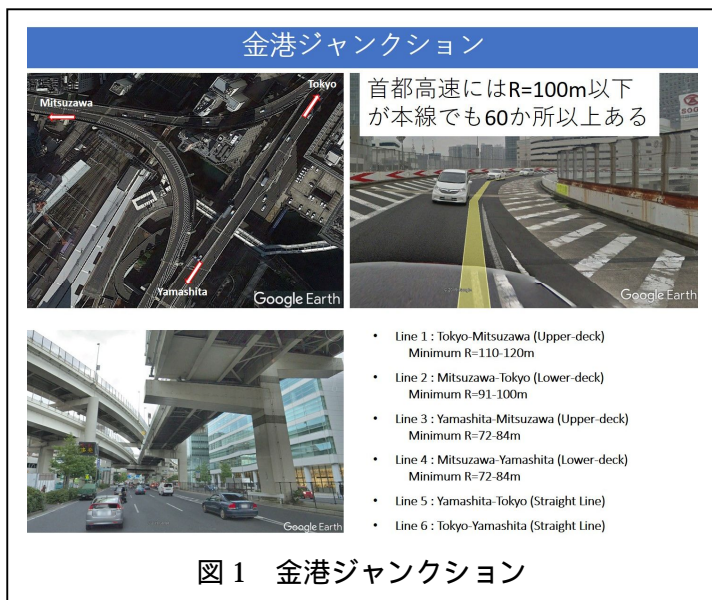
4. 研究成果

トラックを 8 自由度でモデル化し走行面の地震による動きを取り入れた線形モデルを構築した。この方程式は世界で初めて導かれたものである。そのモデルに都市内高架橋モデル(直線部)と組み合わせることにより、地震時の高架橋上の走行中のトラックの応答を求めることができる。トラックの横方向の滑りと一つの車輪の設置圧が負になる状態を不安定の指標とした。車の速度、減速をパラメータにし車両の安定を議論した。その結果高速なほど不安定性が増すこと、減速により安定性が回復することが明らかになった。次に都市内高架橋に多い曲線部でのトラックでの走行時安定性を検討した。検討には横浜駅前の首都高速道路金港ジャンクションを対象とした。その三次元モデルを構築し地震応答を様々なレベルの地震動に対して求め、その揺れを走行中のトラックの入力として求めた。ここではさらに回転半径がパラメータとして加わる。当然のことながら曲率半径が小さいところでは不安定性が増すことになる。ここでもスピード

の減速効果を調べた。原則により安定性が増すことが分かった。レーンを変更して運転することは地震時では危険であることも分かった。以上のことから地震時にはレーンを変えることなく地震の揺れを検知した段階でスピードを落とすことが安定性が増すことになるわけで、首都高速の地震時運転ガイドラインにこの事実を加えていただくことになった。地震時に転倒を防ぐための最適な運転については今後の課題である。

ここで結果の一例を示す、対象としたのは横浜駅前の首都高速横浜金港ジャンクションで直線部と曲線部、半径 100 メートル強と半径 70 メートル強の二つ曲線部からなっている。図 2 は、地震応答解析に用いた金港ジャンクションの構造節点モデルである。このモデルに設計地震動 L2 を入力し各所での弾性地震応答を求めた。比較のために、小さい地震を対象にした 1/4, 1/2, 3/4 の応答に対しても自動車の転倒滑動の安定性を調べた。その結果が図 3 である。×印は不安定を示し、△は一つの車輪が滑るか浮きあがる状態であり、不安定の兆候があることを示す。○は転倒滑動に対し安定であることを意味する。図 3 からは、L2 地震動では速度が極端に低くない限り（時速 20 キロメートル）不安定であり、転倒する確率が直線部曲線部ともに極めて高いことを意味している。地震応答レベルが低くなるに従い安定状態が増すが、曲線半径 70 メートル強では速度が高いと不安定である可能性が高い。数十年に一度程度の再現期間に相当する 1/4 の L2 地震動では曲線部においてもほぼ安定といえる。

安定化を増すために減速の効果を調べたのが図 4 である。図 4 には示してないが、L2 地震ではその効果はほとんど見られなかったが、L2 の半分程度の地震では減速の効果が高いことが判明した。



結果のまとめ

- Effect of Curved Radius ○: N > 0 and No Side Slipping on all wheels (always)
- Effect of Vehicle Velocity △: N = 0 and Side Slipping on one wheel
- Effect of Earthquake Level X: N = 0 and Side Slipping on more than one wheel

地震動 Earthquake : 1/4 L2							Earthquake : 1/2 L2						
Vel (km/h)	Radius 72-84 m		Radius 90-110 m		Straight		Vel (km/h)	Radius 72-84 m		Radius 90-110 m		Straight	
	Line 3	Line 4	Line 1	Line 2	Line 5	Line 6		Line 3	Line 4	Line 1	Line 2	Line 5	Line 6
20	○	○	○	○	○	○	X	X	△	△	△	△	
40	○	○	○	○	○	○	X	X	△	△	△	△	
60	○	○	○	○	○	○	X	X	△	△	△	△	
80	△	△	○	○	○	○	X	X	X	X	X	X	

Earthquake : 3/4 L2							Earthquake : L2						
Vel (km/h)	Radius 72-84 m		Radius 90-110 m		Straight		Vel (km/h)	Radius 72-84 m		Radius 90-110 m		Straight	
	Line 3	Line 4	Line 1	Line 2	Line 5	Line 6		Line 3	Line 4	Line 1	Line 2	Line 5	Line 6
20	△	△	○	○	○	○	X	X	△	△	△	△	
40	△	X	○	○	○	○	X	X	X	X	X	X	
60	X	X	△	△	○	○	X	X	X	X	X	X	
80	X	X	△	△	○	○	X	X	X	X	X	X	

図 3 結果のまとめ

減速の影響のまとめ

Earthquake : 1/4 L2 (Deceleration rate -1 m/s² within 5-6sec)

Initial Vehicle speed (km/h)	Radius 72-84 m		Radius 90-110 m		Straight	
	Line 3	Line 4	Line 1	Line 2	Line 5	Line 6
60	○	○	○	○	○	○
80	△	△	○	○	○	○

Earthquake : 1/2 L2 (Deceleration rate -2 m/s² within 5-6sec)

Initial Vehicle Speed (km/h)	Radius 72-84 m		Radius 90-110 m		Straight	
	Line 3	Line 4	Line 1	Line 2	Line 5	Line 6
60	○	○	○	○	○	○
80	○	○	○	○	○	○

○: N > 0 and No Side Slipping on all wheels (always)
 △: N = 0 and Side Slipping on one wheel
 X: N = 0 and Side Slipping on more than one wheel

Deceleration at rate 1-2 m/s² improves vehicle stability

図 4 減速の影響のまとめ

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計2件（うち査読付論文 2件 / うち国際共著 0件 / うちオープンアクセス 0件）

1. 著者名 Siringoringo Dionysius M., Fujino Yozo	4. 巻 23
2. 論文標題 Lateral Stability of Vehicles Crossing a Bridge during an Earthquake	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Journal of Bridge Engineering	6. 最初と最後の頁 04018012.1~22
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） https://doi.org/10.1061/(ASCE)BE.1943-5592.0001211	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Dionysius M Siringoringo, Yozo Fujino, Masaaki Yabe	4. 巻 -
2. 論文標題 Investigation on vehicle lateral instability when crossing a curved highway bridge during an earthquake	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Structure and Infrastructure Engineering	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

〔学会発表〕 計0件

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
---------------------------	-----------------------	----