

橋梁走行中の大型トラックの地震時転倒解析

横浜国立大学 学生会員 ○成田 顕次 正会員 シリンゴリンゴ ディオン
フェロー 藤野 陽三 正会員 西尾 真由子

1. はじめに

2011年3月11日の東日本大震災時に横浜ベイブリッジ下路桁スパン中央付近で3軸6輪セミトレーラーが転倒し、それを撤去するのに約30時間を費やした。過去にも1995年の兵庫県南部地震では阪神高速神戸線において大型車トラックが3台転倒している。

橋梁の耐震化が進んでいる中で、将来、予想される大規模地震において、橋梁に被害が無くとも走行中の大型車が転倒し、地震後の交通機能が大きく低下することが懸念される。丸山ら¹⁾は普通乗用車を想定した6自由度の車両モデルを作成し、地震動を作用させ、地震時の運転者の行動に関する研究を行っている。そこでは車両の転倒についての検討はなされていない。

そこで本研究は地震により振動する橋梁上を走行する大型車の転倒解析のために、まず複雑なセミトレーラーではなく2軸4輪車両モデルを定式化し、横浜ベイブリッジ上を走行する大型車の地震時の転倒可能性の詳細な分析を行い、その要因を明らかにする。

2. 大型トラックのモデル化

図1(a), (b)に示すように車両の重心位置を原点に前後方向をx軸、左右方向をy軸、上下方向をz軸とし各軸方向、回転方向に発生する運動方程式を組み立てた。x軸、y軸方向に関する運動方程式は以下のようになる。

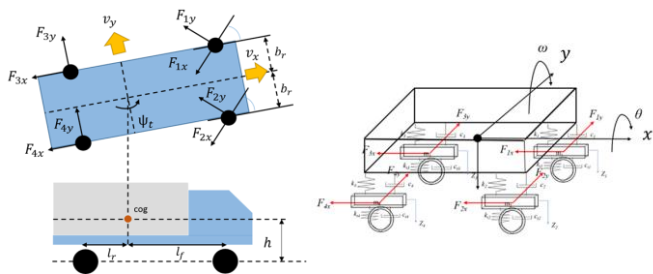


図1 車両モデル図

$$\sum F_f = m(\dot{v}_x + v_y \dot{\psi} + \ddot{x} \sin \psi + \ddot{y} \cos \psi) = - \sum_i \sum_j (F_{iy} \sin \delta_{ij} - F_{ix} \cos \delta_{ij}) \quad (1)$$

$$\sum F_s = m(\dot{v}_x + v_y \dot{\psi} - \ddot{x} \sin \psi + \ddot{y} \cos \psi) = - \sum_i \sum_j (F_{iy} \sin \delta_{ij} - F_{ix} \cos \delta_{ij}) \quad (2)$$

ここで m : 車両の質量, v : 速度, ψ : ヨー速度, F_x : タイヤに発生する駆動力・制動力, F_y : 横力を示している。 \ddot{x}, \ddot{y} : 路面加速度。また、z軸方向の運動方程式は以下ようになる。

$$\sum F_v = m(\ddot{z}_F + \ddot{z}_{eq}) + c_n(\dot{z}_F - \dot{z}_n) + k_n(z_F - z_n) = 0 \quad (3)$$

$$\sum F_{vi} = m_i(\ddot{z}_n + \ddot{z}_{eq}) + c_i\{\dot{z}_i - (\dot{z}_F - b_i \dot{\theta} - l_f \dot{\omega})\} + c_{ii} \dot{z}_i + k_i\{z_i - (z_F - b_i \theta - l_f \omega)\} + k_{ii} z_i = 0 \quad (4)$$

ここでの c : バネ上減衰定数, k : バネ上ばね定数, m_i : バネ下質量, c_i : バネ下減衰定数, k_i : バネ下ばね定数である。 \ddot{z}_{eq} は鉛直方向の地震動。

路面加速度を入力とし、Newmark β 法を用いて時刻歴応答解析を行い、車体に発生する作用を求め車両の転倒を判定する。

3. 車両の転倒条件

車両の転倒として図2(a), (b)のような2つのモードが考えられる。1つは式(5)に示すように車両に発生する回転モーメントが抵抗値を超えた場合の転倒である。もう一方は式(6)に示すようにタイヤに働く横力が摩擦による抵抗力を上回る場合にスリップが発生し、路肩などにぶつかる場合の転倒につながるケースである。

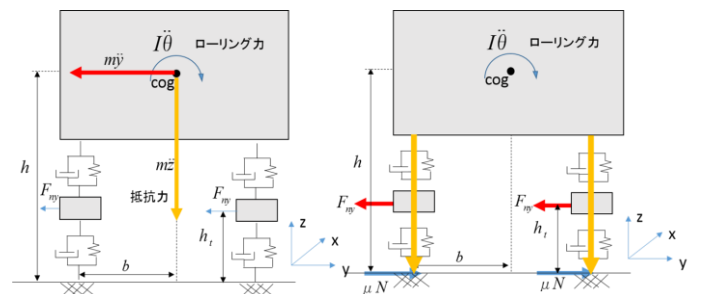


図2 転倒モデル図

図2 転倒モデル図

キーワード : 車両モデル, 地震応答解析, 橋梁, 転倒解析

連絡先 : 〒240-8501 横浜市保土ヶ谷区常盤台 79-5 TEL 045-339-4243 FAX 045-348-4565

$$F_{ny} \times h_t + m \ddot{y} \times h - I_a \ddot{\theta} \times h > m(g \pm \ddot{z}) \times b_l \quad (5)$$

$$F_{ny} > \mu \left\{ \left(\frac{m}{4} + m_n \right) (g \pm \ddot{z}) + \frac{I \ddot{\theta}}{4} \right\} \quad (6)$$

ここでの I_a : 慣性ロールモーメント, θ : ロール角, h : 重心高さ, h_t : バネ下部分の重心高さ, b : 車輪重心間の距離である. これらの式を用いて転倒の判定を行った.

4. 解析結果

4.1 解析条件

本研究では AASHOTO が公開している 2 軸 4 輪トラックの H20-44 の車両パラメータを用いた(表1). また路面入力として, 東北地方太平洋沖地震時の横浜ベイブリッジ下路スパン中央での加速度を入力振動とした. また, 積載条件, 入力加速度をパラメータとして, 転倒条件を検討した.

表 1 AASHOTO H-20-44 車両諸元

2軸4輪トラック	記号	積載なし	単位
バネ上質量	m	5233	kg
バネ下質量	m1,m2	725	kg
	m3,m4	725	kg
慣性ロールモーメント	la	57690	kg*m ²
慣性ピッチモーメント	lb	19373	kg*m ²
慣性ヨーモーメント	lz	推定値	kg*m ²
サスペンションばね定数	k1,k2	242604	N/m
	k3,k4	1903172	N/m
タイヤ縦ばね定数	k1t,k2t	875082	N/m
	k3t,k4t	3503307	N/m
減衰項	c1,c2	1314	N*s/m
	c3,c4	7445	N*s/m
前輪軸と重心間の距離	lf	2.704	m
後輪軸と重心間の距離	lr	1.556	m
左輪と重心間の距離	bl	1.1	m
右輪と重心間の距離	br	1.1	m
重心高さ	h	0.91	m

4.2 東北地方太平洋沖地震のスケーリングによる結果

東北地方太平洋沖地震時の横浜ベイブリッジでは架設地点で震度 5 弱を観測したが下路スパン中央付近で水平橋軸直角方向の最大加速度 2.99m/s², 最大変位 62cm と観測された. このデータでスケーリングを行い, 振動入力倍率による転倒安全比率, 滑動安全比率を求めた(図3, 図4). 転倒安全比率は回転モーメントを抵抗モーメントで除したものであり, 滑動安全比率はタイヤに働く横力を摩擦による抵抗力で除したものである. 転倒安全率, 滑動安定率共に 1.0 以上を転倒と定めた. 本研究で用いた車両が 10t 近く積載し一定速度で走行している場合, 東北地方太平洋沖地震の規模による横浜ベイブリッジの振動規模では十分に転倒する可能性

があることが分かった. また, 本震の 1.5 倍の応答で滑動安全比率が高く, スリップによる転倒の可能性も高くなることが分かった.

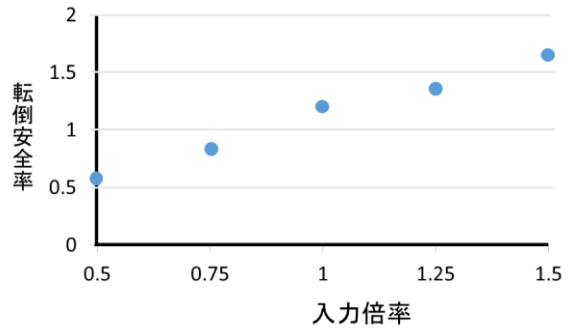


図3 転倒安全率

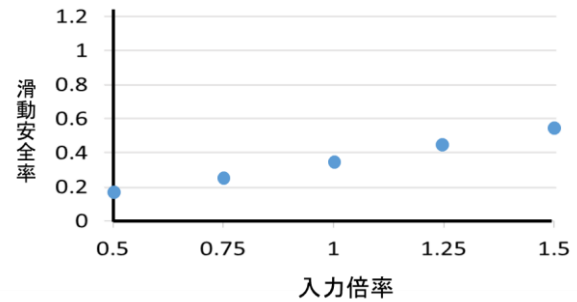


図4 滑動安全率

5. 結論

本研究では, 車両の転倒に大きく起因するロール運動を考慮した車両振動時刻歴応答解析の定式化をした. また転倒の条件として 2 つの条件から転倒判定を行った結果, 東北地方太平洋沖地震における横浜ベイブリッジの応答では大型車の回転による転倒が起きる可能性が十分高いことが分かった. また, 重心高さが転倒に大きく影響することや積載量の増加と共に抵抗モーメントの低下が見られたことや積み方によっては転倒の可能性が変化することなどが見られた.

今後の課題として運転者のハンドル操作を入力としたモデルへの拡張や橋梁と車両の連成モデルの拡張を検討する必要がある

参考文献

- 1) 丸山喜久,山崎文雄,山之内宏安:高速道路走行車両の地震応答解析,土木学会論文集 No.696/I-58,249-260,2002.1
- 2) 高野修一:大型車のロール特性を考慮した車両運動特性の研究,2004年6月 東京農工大学大学院博士論文
- 3) 矢野圭二朗:走行姿勢を考慮した車両応答モデルの同定とVIMS キャリブレーション,2010年3月,東京大学卒業論文
- 4) 安倍正人著:自動車の運動と制御 (第2版),東京電機大学出版局 2014年2月20日
- 5) 自動車技術会編:新編自動車工学便覧,第2編,1982年1月1日