

木造住宅密集地区における震度別車両通行確率を用いた

避難所配置の診断・評価と強靱化施策への適用

大阪府立大学工業高等専門学校 総合工学システム学科 都市環境コース 教授 北村 幸定

1. 背景と目的

地区の最大震度を表したハザードマップが、各自治体において作成・公表されているが、リスクの極めて高い木造住宅密集地区の細街路を対象として、地震時にどの道路がどの程度の確率で車両通行不可となるか、といったミクロな脆弱性診断はなされていない。

そこで本研究では、筆者らの既往研究で提案した震度別車両通行確率を用いることにより、木造住宅密集地区である大阪府寝屋川市の香里地区を対象として、脆弱な箇所を詳細に可視化する。そして、地震発生後において、地区内の避難所が短期・長期的な視点から有効に機能するかどうかについて診断を行う。そして、避難所配置計画のあり方について、定量的な視点から考察することにより、建物の耐震化・不燃化や土地区画整理事業、無電柱化等といったハード面のみならずソフト面から、地区全体の強靱化施策に寄与することを目的とする。

2. 方針と経過

1) 震度別車両通行確率の定式化

震度別車両通行確率の考え方について記述し、定式化する。

2) 現地調査・基礎情報の整理

道路ネットワークデータに住宅位置情報、建物情報の他、電柱・電線位置情報、避難所に関する情報を付加し、分析の基礎となる情報を整理する。また、香里地区内の道路は寝屋川市が管理する市道であることから、寝屋川市役所に対して、市道管理や避難所の整備・維持管理に対するヒアリングを行い、現地調査の補足を行う。

3) 震度別車両通行確率を用いた脆弱な箇所の可視化

香里地区における震度 6 強、震度 7 における地区の震度別車両通行確率を図示する。これにより、住民に対してより具体的な防災意識の熟成を図れるとともに、地震発生時において地区内のより迅速な救急活動や避難活動につながるものとする。

4) 避難所配置計画のあり方検討

避難所が短期・長期的な視点から有効に機能させるためにどの道路を強靱化すればよいか、について、具体的な案を提示する。

5) 強靱化施策による車両通行確率の変化

建物の耐震化・不燃化や土地区画整理事業、無電柱化等といったハード面の対策を行ったときに、3)の震度別車両通行確率がどのように変化するかを定量的に表す。

6) まとめ

以上の成果を、具体的な結論として取りまとめる。

3. 得られた結果

1) 震度別車両通行確率の定式化

震度別木造・非木造建物の倒壊確率は近年の地震の代表的な例である阪神・淡路大震災の建物の倒壊事例に基づき、東京消防庁が考案した関係式¹⁾より求めた。電柱の震度別倒壊確率については、筆者の既往研究²⁾を参考にした。木造家屋、非木造家屋、電柱の震度別倒壊確率の結果を表-1に示す。

表-1 木造家屋、非木造家屋、電柱の震度別倒壊確率

倒壊確率	震度6強	震度7
木造建物 ($\alpha_{w,si}$)	12.5%	44.2%
非木造建物 ($\alpha_{N,si}$)	1.6%	8.5%
電柱 ($\alpha_{p,si}$)	0.27%	7.27%

次に、道路における震度別車両通行確率は、図-1に示す道路幅員、木造建物・非木造建物・電柱の倒壊確率、道路に隣接する木造建物・非木造建物の建ち方、ならびに道路内にある電柱の建ち方により算定されるものとした。本研究では木造建物・非木造建物・電柱の建ち方のパターン数を、2)のデータを用いて、リンクごとにカウントした。

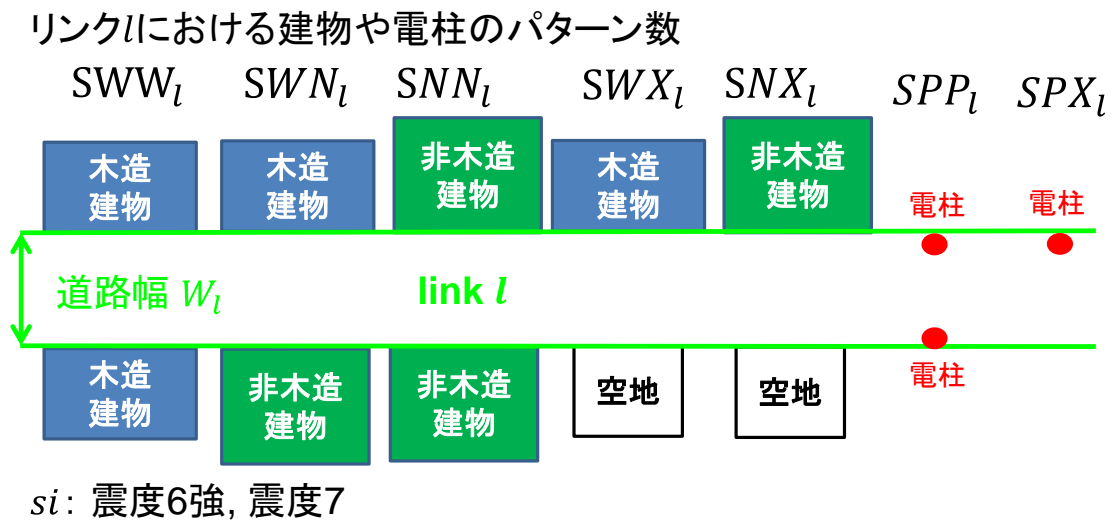


図-1 震度別車両通行確率算定のための木造建物・非木造建物ならびに道路内にある電柱の建ち方

最終的に、道路における震度別車両通行確率は、以下の式(1)~(3)を用いた。

a) 道路幅が $W < 5.5m$ のとき

図-1に示す道路両側にある木造建物・非木造建物・電柱のいずれか1つが倒壊したときに、この道路が車両通行不可になると仮定する。これより、車両通行確率は道路両側にある木造建物・非木造建物・電柱が全て倒壊しない確率と等しくなることから、震度 si 、リンク*l*における車両通行確率 $PC_{l,si}$ は式(1)のように表す。

$$PC_{l,si} = (1 - \alpha_{bw,si})^{2 \cdot SWW_i + SWN_i + SWO_i} \times (1 - \alpha_{bn,si})^{SWN_i + 2 \cdot SNN_i + SNO_i} \times (1 - \alpha_{e,si})^{2 \cdot SPP_i + SPO_i} \quad (1)$$

b) 道路幅が $5.5m \leq W < 13.0m$ のとき

図-1 に示す道路両側に木造建物・非木造建物・電柱があり，それが両側とも倒壊したときのみ，この道路が車両通行不可になると仮定する．これより，車両通行確率 $PC_{l,si}$ は式(2)のように表す．

$$PC_{l,si} = (1 - \alpha_{bw,si}^2)^{SWW_i} \times (1 - \alpha_{bw,si} \alpha_{bn,si})^{SWN_i} \times (1 - \alpha_{bn,si}^2)^{SNN_i} \times (1 - \alpha_{e,si}^2)^{SPP_i} \quad (2)$$

c) 道路幅が $13.0m \leq W$ のとき

木造建物・非木造建物・電柱がどのように倒壊しても，道路は車両通行可能として，車両通行確率 $PC_{l,si}$ は式(3)のように表す．

$$PC_{l,si} = 1 \quad (3)$$

2) 現地調査・基礎情報の整理

一般財団法人日本デジタル道路地図協会（DRM協会）が保有するDRMデータ³⁾を用いて，寝屋川市の香里地区の細街路と交差点ごとに，ノードとリンクを設定した．また，国土基盤情報⁴⁾における建物データを用いて，木造建物・非木造建物の位置を抽出した．そして，関電サービスが保有する有償の電柱位置情報データ⁵⁾から電柱の位置データを抽出し，以上のデータをオーバーレイした．その結果を図-2に示す．



凡例: — :道路 ●●:電力柱・通信柱 太枠建物:非木造建物 細枠建物:木造建物

図-2 香里地区（一部エリア）の道路・木造建物・非木造建物・電柱位置情報

3) 震度別車両通行確率を用いた脆弱な箇所の可視化

香里地区のリンク総延長32.2kmに対し、震度別車両通行確率でのリンク延長割合がどの程度になるかを、また式(1)～(3)に基づき震度6強ならびに震度7での「震度別車両通行確率」を可視化したものを図-3に示す。

当該地区においては震度6強の場合、全体の34.5%の道路の車両通行確率が80%以上となっており、主要道路だけでなく、地区の中に入る道路においても比較的車両通行確率が高いリンクが多い。しかしながら震度7の場合、全体の60.2%の道路の車両通行確率が20%以下になっている。

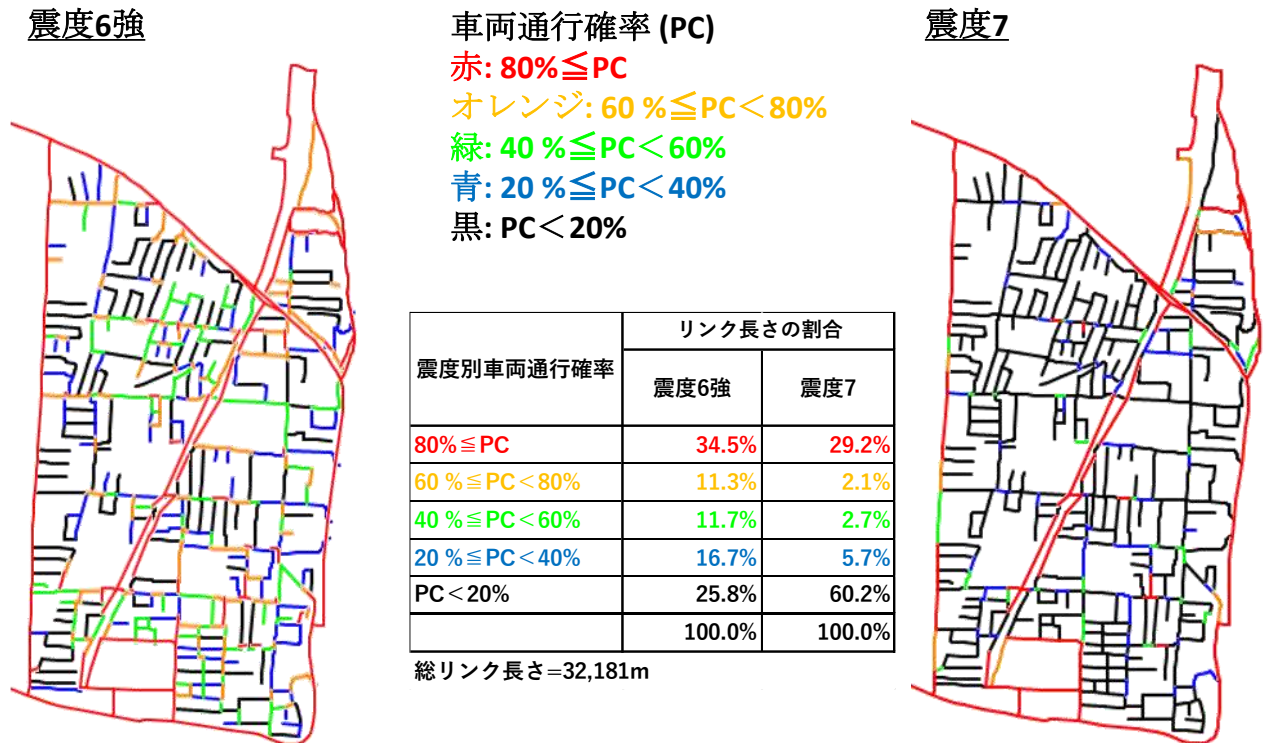


図-3 香里地区における震度別車両通行確率

4) 避難所配置計画のあり方検討

図-4 に香里地区における避難所・一時避難所と主要道路の位置を示す。避難所としては、地区内に北小学校・田井小学校・第三中学校の3箇所、一時避難所として田井西公園の1箇所、計4箇所が寝屋川市によって定められている。避難所の規模としてはかなり大きいこと、また当地区は住宅が密集しているおり、他の代替地がないことから、今ある4箇所の避難所を有効に機能させることが重要であるとする。すなわち、災害時において、避難所と外部とのアクセスを常時確保するということが、本地区での避難所配置計画のあり方の根底となると考える。

そこで、避難所と主要道路の図を重ね合わせると、現状では、避難所・一時避難所は全て主要道路に面しておらず、地区外からのアクセスを考えると問題がある。しかし、将来において京阪本線の連続立体交差化事業が完成した場合には、未開通の主要道路が開通するため、田井小学校・第三中学校・田井西公園の3箇所が主要道路に面することになり、地区外からのアクセスはかなり改善され、避難所としての機能を有効に果たすことができる。

しかしながら、未開通の主要道路が開通するだけでは、地区内から避難所までのアクセスが不十分である。特に第三小学校の南側のエリア・北小学校の東側のエリアにおいては、災害時に避難所

や主要道路までアクセスすることは困難な状態であるといえる。そこで、本研究では、図-5 に示す地区内に入る道路ならびに主要生活道路⁹⁾の改善を実施することにより、災害時において、地区外から全ての避難所へのアクセス，ならびに地区内から避難所へのアクセスを常時確保するという強靱化施策を実施するものとする。

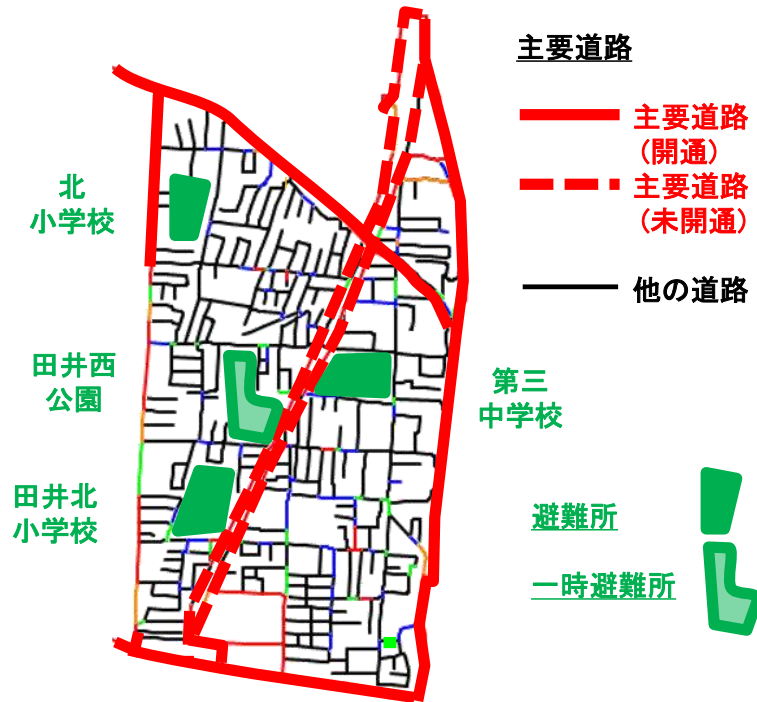


図4 香里地区における避難所・一時避難所と主要道路の位置

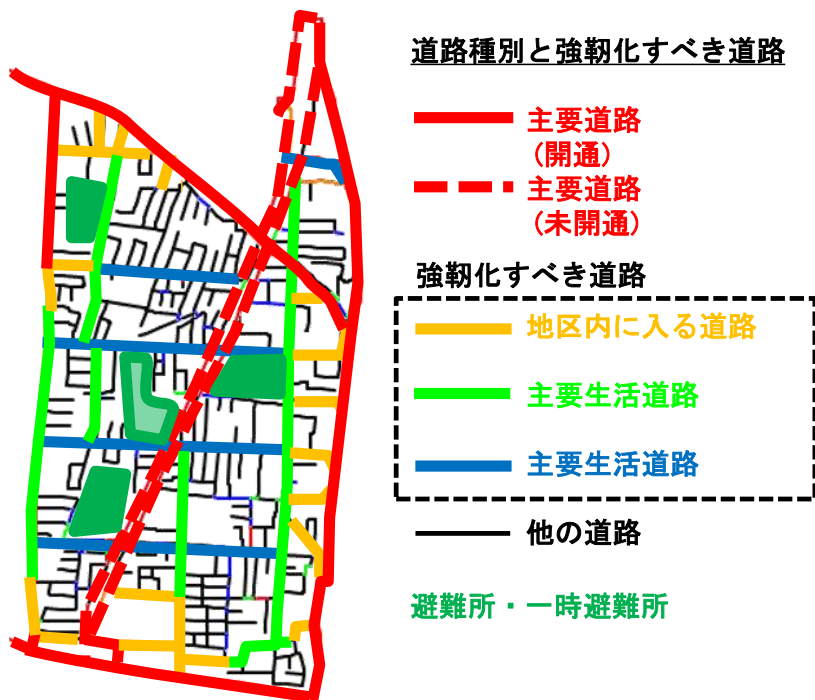


図-5 香里地区における強靱化すべき道路

5) 強靱化施策による車両通行確率の変化

図-5 に示す地区内に入る道路ならびに主要生活道路は全長 8,988m あり、これは香里地区全体の道路延長 32,181m の約 27.9%に相当する。

地区内に入る道路ならびに主要生活道路の改善，強靱化施策として，次の a) b) c) を提案する

- a) 道路拡幅：幅 5.5m 未満の道路を 5.5m 以上に拡幅する
- b) 木造建物の非木造化：道路に面する木造建物を全て非木造建物に建替える（道路幅は変更無）
- c) 無電柱化：道路に面する電柱を全て地中化する（道路幅は変更無）

そして，式(1)~(3)より，地区内に入る道路ならびに主要生活道路を対象として，現状 0) ならびに各強靱化施策 a) b) c)において，震度別車両通行確率の分布がどのように変化するか，を表-3 に示す。

表-3 強靱化施策による震度別車両通行確率の分布

0) 政策無し

震度別車両通行確率	リンク長さの割合	
	震度6強	震度7
80% ≤ PC	16.6%	7.5%
60% ≤ PC < 80%	18.3%	3.6%
40% ≤ PC < 60%	19.5%	5.6%
20% ≤ PC < 40%	24.1%	9.3%
PC < 20%	21.5%	74.0%
	100.0%	100.0%

a) 道路拡幅

震度別車両通行確率	リンク長さの割合	
	震度6強	震度7
80% ≤ PC	100.0%	26.8%
60% ≤ PC < 80%	0.0%	17.1%
40% ≤ PC < 60%	0.0%	27.3%
20% ≤ PC < 40%	0.0%	14.7%
PC < 20%	0.0%	14.2%
	100.0%	100.0%

b) 木造建物の非木造化

震度別車両通行確率	リンク長さの割合	
	震度6強	震度7
80% ≤ PC	79.4%	13.7%
60% ≤ PC < 80%	20.6%	23.0%
40% ≤ PC < 60%	0.0%	26.7%
20% ≤ PC < 40%	0.0%	20.2%
PC < 20%	0.0%	16.4%
	100.0%	100.0%

c) 無電柱化

震度別車両通行確率	リンク長さの割合	
	震度6強	震度7
80% ≤ PC	16.6%	8.8%
60% ≤ PC < 80%	18.3%	2.3%
40% ≤ PC < 60%	19.5%	5.6%
20% ≤ PC < 40%	25.2%	10.2%
PC < 20%	20.4%	73.2%
	100.0%	100.0%

a) 道路拡幅についての評価

表-3 の 0), a)より，対象となる道路において，震度 6 強では車両通行確率は全て 80%以上になるが，震度 7 では道路拡幅により車両通行確率が比較的高い道路（PC ≥ 80%）の割合が 7.5%から 26.8%に増加することがわかる。そのため，道路拡幅が可能な場合は，道路拡幅を促進することが有効であると考ええる。

b) 木造建物の非木造化についての評価

表-3 の 0), b)より，対象となる道路において，震度 6 強では車両通行確率はいずれも 60%以上で

あるが、震度 7 では、建物の全非木造化により、比較的低いリンクの車両通行可能確率（ $PC < 20\%$ ）の道路の割合が 74.0%から 16.2%に減少していることがわかる。従って、車両通行確率が比較的低い道路で拡幅が困難な場合は、建物の非木造化を促進することが有効であると考ええる。

c) 無電柱化についての評価

表-3 の 0), c)より、震度 6 強ではほとんど効果がないが、震度 7 では若干の効果があることがわかる。したがって、特に重要な道路では、電柱の撤去を促すことが効果的であると考ええる。

4. 具体的な結論

本研究では、1)にて、木造建物と非木造建物、および電柱の倒壊確率を考慮した震度別車両通行確率に関する式を提案し、それに用いる震度別の木造建物と非木造建物および電柱の倒壊確率を推定した。

3)にて、木造住宅密集地である寝屋川市香里地区において、各リンクの震度別車両通行可能確率を算出し、可視化した。その結果、当該地区においては震度 6 強の場合、全体の 34.5%の道路の車両通行確率が 80%以上となっており、主要道路だけでなく、地区内の道路においても比較的車両通行確率が高いリンクが多い。しかしながら震度 7 の場合、全体の 60.2%の道路の車両通行確率が 20%以下になっており、この場合、地区内の道路においてはほぼ車両通行確率が 20%以下になることが明らかとなった。

4)にて、香里地区における避難所配置計画のあり方として、「災害時において、避難所と外部とのアクセスを常時確保する」ことが重要であるということを記載した。その上で、図-5 に示す地区内に入る道路ならびに主要生活道路 8,988m の改善を実施することにより「災害時において、地区外から全ての避難所へのアクセス、ならびに地区内から避難所へのアクセスを常時確保する」という強靱化施策の必要性を述べた。

以上のことから、5)にて香里地区において強靱化施策 a) 道路拡幅、b) 木造建物の非木造化、c) 無電柱化、を実施したときの震度別車両通行確率の分布がどのように変化するか、について評価を行った。その結果、a) 道路拡幅、の施策によって、震度 7 では車両通行確率が比較的高い道路（ $PC \geq 80\%$ ）の割合が 7.5%から 26.8%に増加することから、「道路拡幅が可能な場合は道路拡幅を行うこと」、b) 木造建物の非木造化、の施策によって、建物の全非木造化により、比較的低いリンクの車両通行可能確率（ $PC < 20\%$ ）の道路の割合が 74.0%から 16.2%に急減していることから、「比較的低い車両通行確率の道路において道路拡幅が困難な場合は建物の非木造化を行うこと」、c)無電柱化、の施策によって、震度 7 では若干の効果があることから、「特に重要な道路では、電柱の撤去を促すこと」、が有効であることを示した。

本研究の最終目標は、以上のような知見をさらに発展させて、強靱化対策のコストと効果を定量的に評価し、災害対応・復旧計画、防災計画の観点から優先的に実施すべき対策を提案することにある。また、本研究で提案した指標が、脆弱性の可視化、住民の防災教育、様々な強靱化対策の合意形成ツールとして活用されれば幸甚である。

5. その他

【謝辞】

当報告書は、一般社団法人近畿建設協会の研究助成をもとに作成を行いました。なお、香里地区内の詳細データにつきましては、寝屋川市役所都市基盤整備部道路管理課様のご協力により資料を貸与していただきました。また本研究助成を元に、東京都足立区、横浜市西区へ現地調査を実施し、リスクの極めて高い木造住宅密集地区に対して、どのような補助政策が実施されているのか、また実現しやすい改善施策としてどのようなものがあるか、についていろんな視点から考えることができました。この場を借りて感謝の念を表します。

【参考文献】

- 1) 東京消防庁：震災時における新たな危険性の評価，<http://www.tfd.metro.tokyo.jp/kk/pdf-data/21kst03.pdf>
- 2) 白柳博章，北村幸定：地震時における細街路単位でのリンク通行確率ならびにノード到達確率の提案～密集市街地での脆弱性の評価と防災対策の向上を目指して～，第 60 回土木計画学研究発表会・秋大会，CD-ROM, pp. 1-7, 2019.
- 3) 一般財団法人日本デジタル道路地図協会（DRM協会）：DRMデータベースの紹介，<https://drm.jp/>
- 4) 国土交通省国土地理院：国土基盤情報，<https://www.gsi.go.jp/kiban/>
- 5) 関電サービス：電柱位置情報データ，https://www.denchu-koukoku.jp/ad_services/
- 6) 寝屋川市役所：密集住宅地区における取組，[http:// www.city.neyagawa.osaka.jp/shisei/seisaku/planvision/matidukuri/1545722889890.html](http://www.city.neyagawa.osaka.jp/shisei/seisaku/planvision/matidukuri/1545722889890.html)

【添付論文】

- 1) 北村幸定，白柳博章：木造住宅密集地区における震度別車両通行確率 の定量化と強靱化施策の評価，土木学会論文集D3（土木計画学），Vol.77(No.5) pp.1-9（登載決定）
- 2) Yukisada KITAMURA & Hiroaki SHIRAYANAGI：VULNERABILITY MITIGATION POLICIES IN A DENSELY POPULATED AREA USING THE PASSABLE PROBABILITY OF TRAFFIC VEHICLES BY SEISMIC INTENSITY，2022PRSCO（投稿予定）