バス通行を考慮した ハンプ形状に関する研究

遠藤　元喜[1]・矢ヶ崎　力生[2]・小嶋　文[3]・山中　亮[4]・
神谷　大介[5]・久保田　尚[6]

[1]非会員　埼玉大学大学院　理工学研究科（〒338 - 8570 埼玉県さいたま市桜区下大久保 255）
E-mail: g.endo.963@ms.saitama-u.ac.jp

[2]非会員　埼玉大学大学院　理工学研究科（〒338 - 8570 埼玉県さいたま市桜区下大久保 255）
E-mail: r.yagasaki.090@ms.saitama-u.ac.jp

[3]正会員　埼玉大学大学院准教授　理工学研究科（〒338 - 8570 埼玉県さいたま市桜区下大久保 255）
E-mail: akojima@mail.saitama-u.ac.jp

[4]正会員　株式会社中央建設コンサルタント（〒901-2126 沖縄県浦添市宮城 5 丁目 12 番 11 号）
E-mail: yamanaka@cyuo.co.jp

[5]正会員　琉球大学准教授　工学部（〒903-0213 沖縄県那覇市沖縄県中頭郡西原町千原 1 番地）
E-mail: d-kamiya@tec.u-ryukyu.ac.jp

[6]フェロー会員　埼玉大学大学院教授　理工学研究科環境社会基盤専攻（〒338 - 8570 埼玉県さいたま市桜区下大久保 255）
E-mail: hisashi@mail.saitama-u.ac.jp

日本において，ハンプは規制速度が 30km/h の生活道路に適用することを前提として開発が進められてきた．しかし，規制速度への適切な速度抑制が求められる道路には 40km/h 規制の道路もあること，また乗用車だけではなくバス通行がある道路への適用も求められていることから，新たな検討が必要とされている．本研究では，バスも走行する制限速度 40km/h の道路に設置できるハンプの形状の検討を目的とし，ハンプの長さと車両の振動，搭乗者の不快・危険感について分析した．実験場にて乗用車・トラック・バスを用意し，傾斜部の形状が同じで平坦部の長さの異なるハンプをそれぞれ通過させ，速度，搭乗者の不快・危険感，車両の鉛直加速度，周辺振動・騒音を測定し，分析を行った．分析の結果，ハンプの長さと車内の振動の大きさには非線形の関係が見られ，アンケート調査の結果からは，車内の振動が大きくなると不快・危険感が大きくなる関係が見られた．以上の結果から，バスの振動を抑え，乗客の不快感・危険感を小さくするハンプの長さがあることが判明した．

Key Words: *Speed Limit, hump, Bus, In-vehicle acceleration*

1. はじめに

日本において，ハンプは，主に規制速度 30km/h の生活道路への設置を前提として開発されたものであり，実質的かつ継続的な速度抑制が可能なデバイスとして，わが国でも定着しつつある．しかし，規制速度への適切な速度抑制が求められる道路には 40km/h 規制の道路もあること，また乗用車だけではなくバス通行がある道路への適用も求められていることから，新たな検討が必要とされている．本研究では，バスも走行する制限速度 40km/h の道路に設置できるハンプの形状の検討を目的とし，ハンプの長さと車両の振動，搭乗者の不快・危険感について分析を行う．

ハンプは平坦部と傾斜部からなる．ハンプは平坦部を設けることで自動車の車体全体が持ち上がる．これにより速度超過の自動車の搭乗者には不快感を与えるという仕組みである．適切な平坦部の長さは，それが持つ車体を持ち上げるという役割から，通過する車両のホイールスパンによって変わることがわかる．実際にアメリカではバスの通行に適したハンプとして，通常のハンプよりも長いものが上げられている(Weber et al. 2000).そのため，今回の研究では一般的なものより長い平坦部のハンプを考える．平坦部の長さが 14m までの長さであれば，一般の車両に対して速度抑制の効果がある(野田ほか 2020)こ

とがわかっており，今回の研究ではよりバスの走行を考えたハンプの平坦部の長さについて検討する．

2. 実験概要

(1) 実験日時, 実施場所

実験日時は令和 4 年 6 月 20 日（月），21 日（火），22 日（水）の 3 日間行った．実施場所は国土交通省国土技術政策総合研究所内の実験場である．

(2) 実験に用いるハンプの種類

ゴム製のフレキシテックを用いて平坦部の長さが異なる（2m,4m,6m,8m,10m,12m の 6 種類）ハンプを実験に用いた．ハンプは走行する車から見て奥側のパーツのみアンカーで固定するように設置し、平坦部を延ばす際は手前にハンプをアンカー固定はせずに延長していった．ハンプの傾斜部長さ・幅・高さはそれぞれ 2m・4m・100mm である．

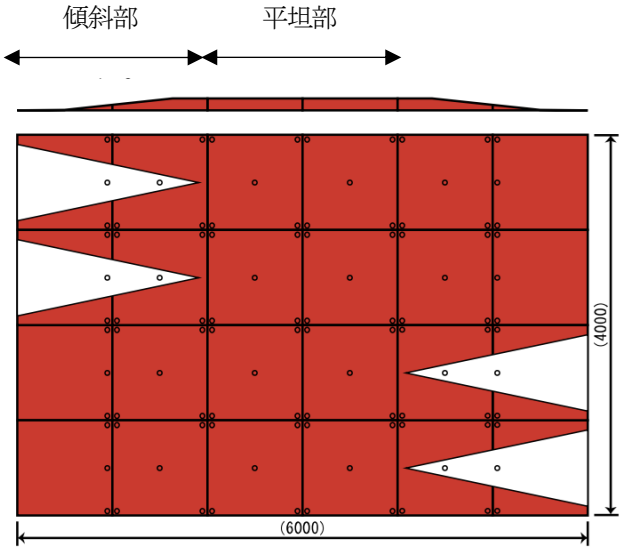


図-1 台形ハンプ（図出典：日本ライナー株式会社）

(3) 対象車両,実験参加者

a)対象車両

対象車両として普通乗用車としてトヨ タプリウス α, 2t トラックとしてトヨタダイナカーゴ，路線バスとして日野 PJ-KV234L1 J-BUS を用意した．

b)実験参加者

乗用車，2t トラックの実験では学生 2 名と中年(40~50 代)2 年，老年(60~70 代)2 名，バスの実験では乗客として 28 名に参加していただいた．バスの運転は，路線バス運行会社から来ていただいた運転手に依頼した．

(4) 計測項目

実験参加者に対する意識調査として不安感覚(不安感)と危険感覚(危険感)の調査を行った．不快・危険感に関する調査は選択肢を 0～6 点の 1 点間隔とし，不快感では，『全く不快感覚が無い：0～6：非常に不快でもう 2 度と通過したく無い』となり，危険感では，『全く危険感覚が無い：0～6：非常に危険でもう 2 度と通過したく無い』となるように回答をお願いした．

車内の鉛直加速度は車内に加速度を設置し計測した．車内の鉛直加速度は，2t トラックと乗用車では助手席の床面に，バスでは前輪車軸の中心点付近の床面に加速度計を設置し計測した．(図-2)

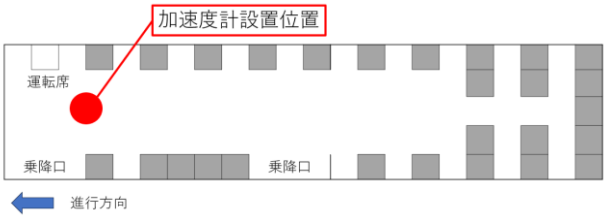


図-2 加速度計設置位置(概要図)

自由速度の走行速度計測は，実験中に録画していたビデオ画像から，ハンプ中央部の 2m 区間での車両通過時間を計測し，区間内の平均速度を算出した．

振動と騒音の測定は地盤振動計・騒音計をハンプ中央部から長さ方向に対し垂直な向きに，5ｍ離れた地点に設置し計測した．その際，振動計は地面に，騒音計は高さ 1.2ｍの位置に設置した．

(5) 実験方法

普通自動車・トラックに被験者を運転手・同乗者又は乗客として乗せ，各ハンプに 20，30，40，50，60km/h の各指定速度で進入させたのち，自由速度で進入させ不快・危険感覚のアンケートを行い，同時に速度・垂直加速度，通過時の周囲に対する騒音・振動を測定した．アンケートは各走行後に毎回回答をお願いした．

バスの実験は，実験参加者を乗客として乗せ，各ハンプに 20，30，40km/h の各指定速度で進入させたのち，不快・危険感覚のアンケートを行い，同時に速度・垂直加速度，通過時の周囲に対する騒音・振動についても乗用車・トラックと同様に測定した．ただし，平坦部 2m のハンプを 40km/h で走行するのは，衝撃が強すぎ危険なため実施しなかった．アンケートは各走行後に毎回回答をお願いした．また，乗車人数が 22~23 と多いパターン(乗車率高)と 5 人と少ないパターン(乗車率低)のそれぞれを実施した．これは乗客の多い都市部と乗客の少ない山村部を考慮したためである．

3. 実験結果

(1) 車内の鉛直加速度と不快・危険感

図-3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10 に車内の鉛直加速度計,搭乗者の不安度，危険度の測定結果を示す．2t トラックと乗用車では各平坦部長さについて各速度で 3 回走行，バスでは 6~12m で 2 回，乗車率高の平坦部 4m の時速 40km で 1 回走行した結果のそれぞれの最大値を平均して示している．アンケート結果もそれぞれの平均したものを示している．バスの乗車率の高い場合は乗客 23 人，乗車率の低い場合は乗客 5 人をのせた．

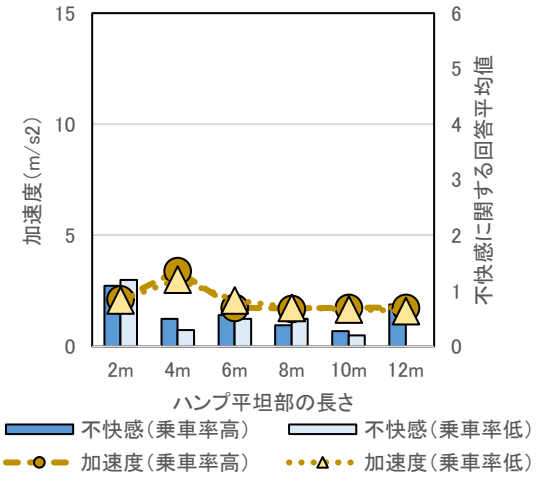


図-3 バスが時速 20ｋｍで走行した際の車内加速度と不快感

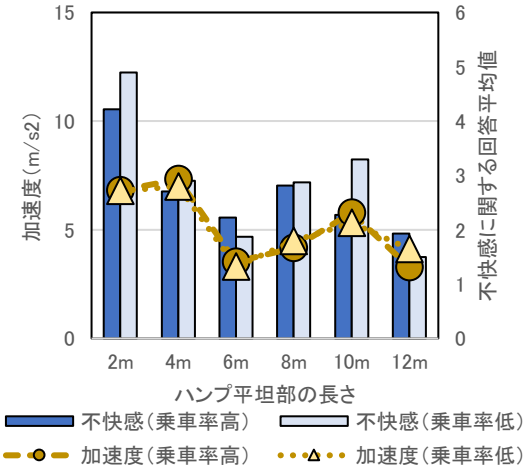


図-4 バスが時速 30ｋｍで走行した際の車内加速度と不快感

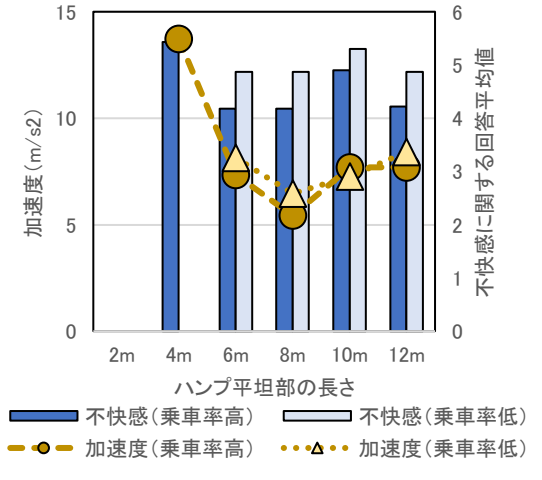


図-5 バスが時速 40ｋｍで走行した際の車内加速度と不快感

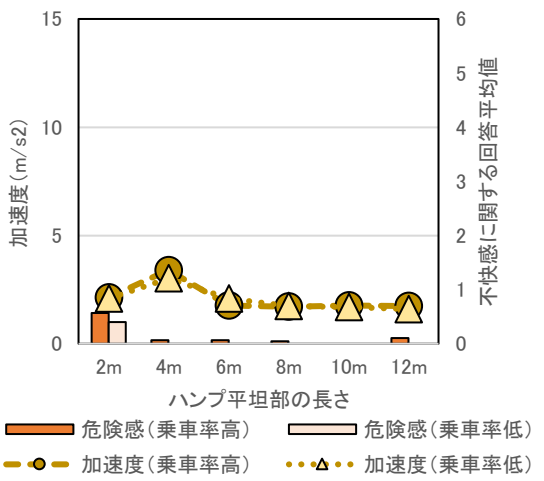


図-6 バスが時速 20ｋｍで走行した際の車内加速度と危険感

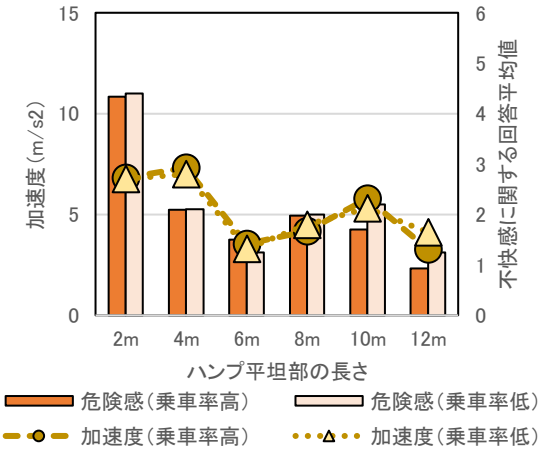


図-7 バスが時 30ｋｍで走行した際の車内加速度と危険感

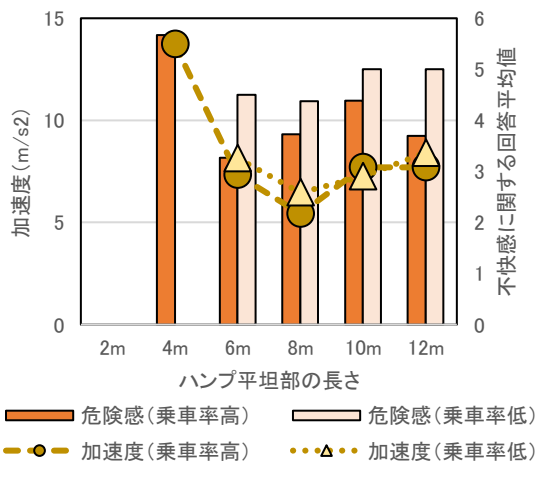


図-8 バスが時速 40ｋｍで走行した際の車内加速度と危険感

バスでは平坦部長さ 2m, 4m においては，どの速度でも鉛直加速度が他の長さに比べ大きい結果となっており，アンケート結果を見ても不快感・危険感を感じている人が多くいる．平坦部長さ 6m, 8m では，加速度最大値とアンケート結果ともに他と比較しても小さい値を示している．平坦部長さ 10m では，2m, 4m ほどではないが，鉛直加速度が大きい値を示している．さらにこの平坦部 10m では，アンケート結果においても，不安感，危険感ともにかなり数値の高い結果となっていた．平坦部長さ 12m では，30km/h 走行時では，鉛直加速度も小さく，アンケート結果でも小さい値を示していたのだが，40km/h 走行になると平坦部長さ 10m と同程度の鉛直加速度，アンケート結果になっている．乗車率高と乗車率低を全体的に比較すると，鉛直加速度に関しては差がないが，40km/h 時のアンケート結果を比較すると乗車率低の方が不安・危険感が高いことがわかる．

2t トラックと乗用車において平坦部の長さで比較すると，2m と 12m では車内の加速度が大きくなり，搭乗者の不快・危険感が強くなっている．また，6m と 8m では車内の加速度は小さくなり，搭乗者の不快・危険感が弱くなっている．ただし，2t トラックの 40km/h においては 6m,8m の加速度が大きくなる傾向もみられる．

これらを踏まえると，路線バスが通過するのに適切なハンプ平坦部の長さは，どの速度でも比較的衝撃が抑え

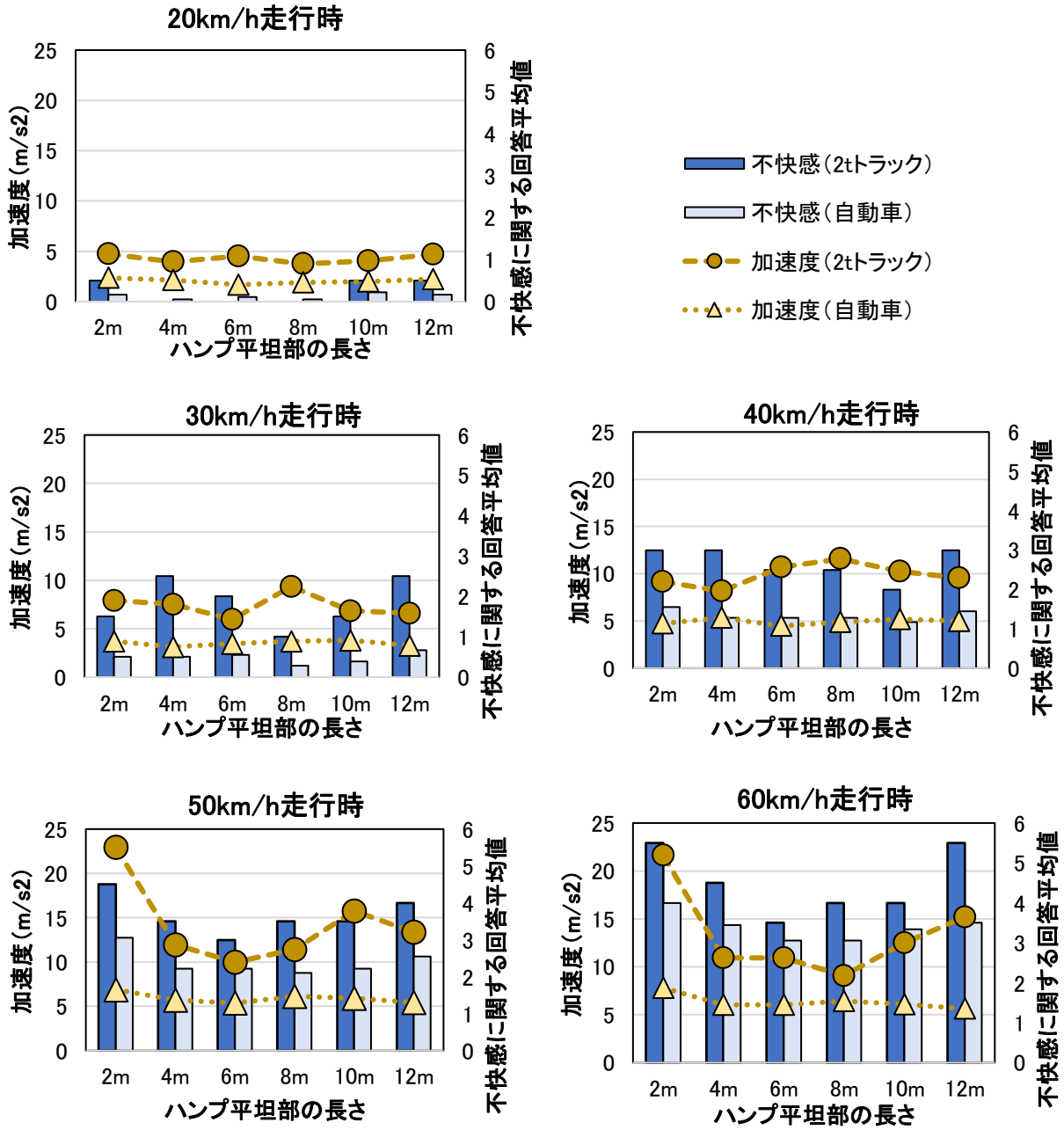


図-9　ハンプ通過時の 2t トラック・乗用車における鉛直加速度最大値と乗客の不快感

られている平坦部長さ 6m 及び 8m であると考える．

乗用車について運転手と同乗者(助手席と後部座席に乗車)のアンケート結果を比較する．表-1,2 に同乗者から運転手の不快感・危険感の平均を引いたものを示す．この表を見るとおおむね正の値をとっており，運転手が衝撃に関して鈍感なことがわかる。また制限速度を超えたときにその傾向が強いことがわかる．

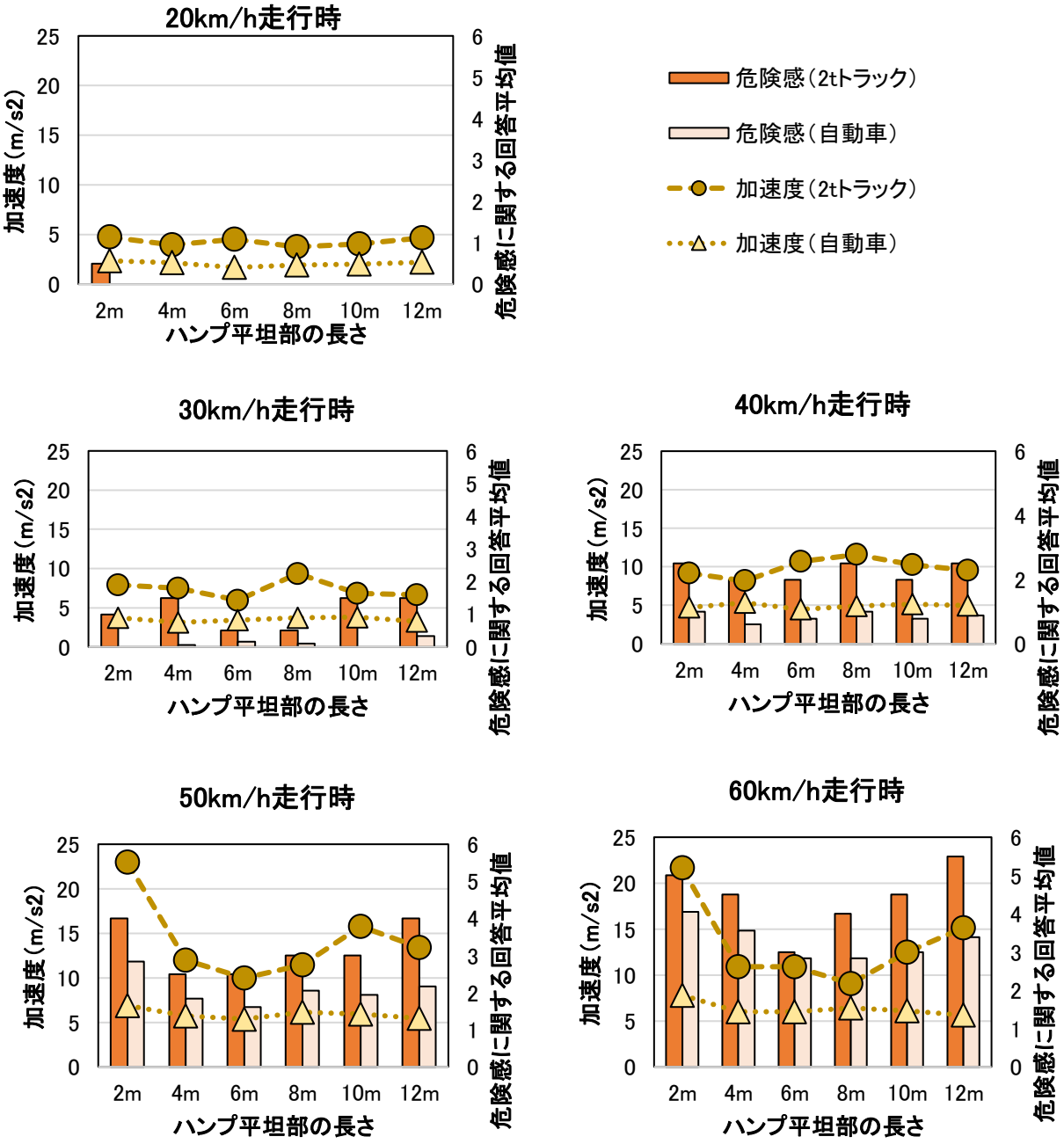


図-10　ハンプ通過時の 2t トラック・乗用車における鉛直加速度最大値と乗客の危険感

表-1　乗用車の運転手と同乗者の不快感の差

時速	平坦部の長さ					
	2m	4m	6m	8m	10m	12m
20km/h	0.25	0.08	0.17	0.08	0.33	0.25
30km/h	0.75	0.50	0.58	0.42	0.33	0.75
40km/h	0.33	0.67	0.67	0.92	0.75	0.67
50km/h	1.08	0.83	0.83	0.92	0.58	0.83
60km/h	1.00	1.17	0.83	0.83	0.75	0.50

表-2　乗用車の運転手と同乗者の危険感の差

時速	平坦部の長さ					
	2m	4m	6m	8m	10m	12m
20km/h	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
30km/h	0.00	-0.17	0.25	0.17	0.00	0.25
40km/h	0.25	0.17	0.67	0.75	0.42	0.33
50km/h	0.50	0.50	0.42	0.83	0.92	0.50
60km/h	0.83	0.58	0.25	0.75	0.75	0.08

2t トラック・乗用車・バスの結果を比較する．**図-11** は各車両がこれまで使われてきた平坦部 2m のハンプを 30km/h で通過した際の垂直加速度と不安感を示したものだ．この図を見るとバスの鉛直加速度と不安感は乗用車と比べて大きな値となっている．2t トラックについては，先ほど運転手は衝撃に対して不安感が低くなるという特性からか不安感は低く抑えられていることがわかる．**図-12, 13** では今回バスの通行に適切だと考えた 6,8m の平坦部のハンプである平坦部 8m のハンプを 30km/h,40km/h で通過した際の垂直加速度と不安感を示している．図-11 と比較すると鉛直加速度が乗用車並みに低下していることがわかる．ただし，不安感は低下しているもののいずれとして高い値であることがわかる．一因には衝撃に対して運転手以外の乗員は敏感に反応するためだと考えられる．

加えて，この加速度とアンケート結果にずれがあったことを踏まえ，加速度計の設置位置がバスの揺れが少ない場所についていた可能性を考える．そのために加速度計の設置位置近くに座っていた前方座席の乗客のアンケート結果と，加速度計の設置位置から離れた位置に座っていた後方座席の乗客のアンケート結果を比較してみる．**表-3, 4** は乗車率高において後方座席に座る乗客の不快感危険感のアンケート結果から前方座席に座る人のそれを引いた値を表したものだ．この値をみるとほとんどの条件で正の値をとっていることがわかる．このことから加速度とアンケート結果にずれがあったのは前方と後方の感じ方が違ったというのも一因だと考えられる．

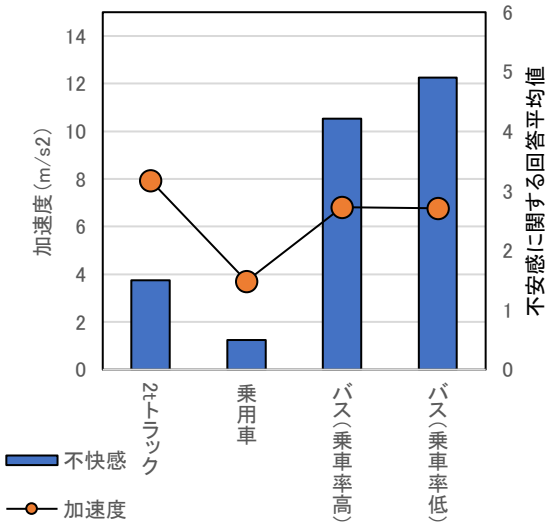


図-11　平坦部 2m のハンプを 30km/h で通過した際の

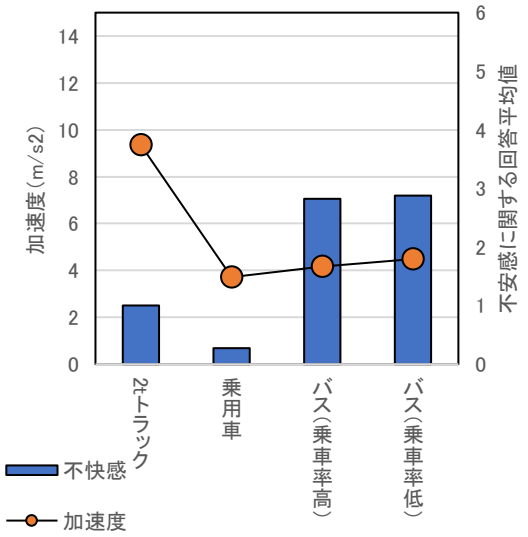


図-12　平坦部 8m のハンプを 30km/h で通過した際の垂直加速度と不安感

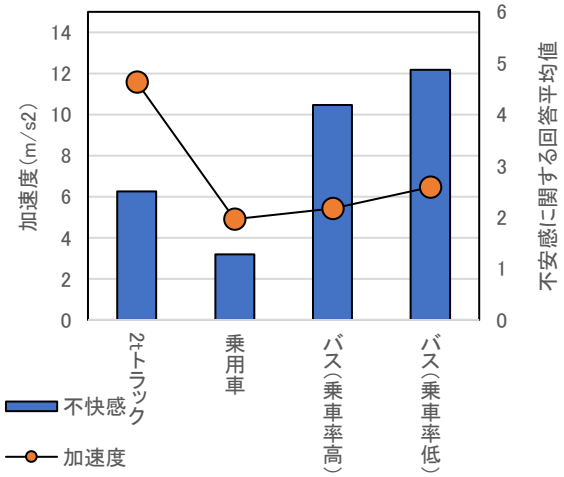


図-13　平坦部 8m のハンプを 40km/h で通過した際の垂直加速度と不安感

表-3　前方の乗客と後方の乗客の不快感の差

時速	平坦部の長さ					
	2m	4m	6m	8m	10m	12m
20km/h	1.7	-0.5	0.9	0.4	0.1	0.4
30km/h	1	-0.1	0.5	0.9	0.2	-0.2
40km/h	-	-0.4	1	1.6	0.7	0.5

表-4　前方の乗客と後方の乗客の危険感の差

時速	平坦部の長さ					
	2m	4m	6m	8m	10m	12m
20km/h	1.6	-0.2	0.1	-0.1	0	0
30km/h	1.2	0.9	0.9	0.4	0	0
40km/h	-	0	1.2	0.9	0.4	0.9

(2)　トラック・自動車自由速度計測

自由速度とは，ハンプ平坦部長さ 2～12m でそれぞれの速度での衝撃を体感した後，運転手が自ら不安感や危険感を感じることはないだろうと判断して，ハンプを通過した際の速度である．今回規制速度 40km/h の道路を想定しているため 自由速度が 40km/h 付近抑えられるかが重要となる．以下のグラフ図-14, 15 に関しては，横軸をハンプ平坦部の長さ，縦軸を計測した自由速度とし，それぞれのサンプルごとにプロットした．そしてそれらの平均を線で結んでいる．2t トラックは，１台で２走行しか行っていないため，サンプル数がそれぞれのハンプ平坦部長さで２つとなっている．乗用車は，２台で３走行行ったため，サンプル数は６つとなっている．

図-14 の 2t トラックの自由速度を見てみると，平坦部長さ 2,4,6,10m では大きく速度が抑えられており，40km/h から大きく離れた結果となっている．平坦部長さ 8m では，サンプル 1 とサンプル 2 の差が大きくなってしまったが，35km/h 近い速度で通過することもあった．平坦部長さ 12m ではどちらも 35km/h の速度で通過していた．これらを踏まえると，2t トラックにおいては平坦部長さ 8m, 12m で最高速度 40km/h から大きな減速を抑えられる可能性が高いことがわかる．

図-15 の乗用車の自由速度を見てみると，平坦部長さ 2m が最も衝撃が大きかったことから自由速度の平均値も最も小さい値を示している．その他の平坦部長さにおいても，だいたい 30km/h 前後と大きくは変らなかった．乗用車の自由速度では，平坦部長さ 8m と 12m では 40km/h で走ることもあったため，2t トラックのパターンと同様に，平坦部 8m, 12m で最高速度 40km/h から大きな減速を抑えられる可能性が高い．つまり自由速度の結果からは，ハンプ平坦部長さ 8m と 12m が適していると言える．

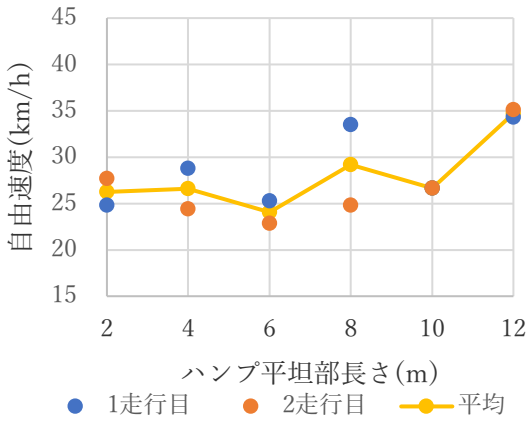


図-14　2t トラックの自由速度

(3)　地盤振動レベル計測結果

2t トラックとバスでは，それぞれの速度で 2 走行実施し，その 2 走行分の平均値をグラフにプロットした．乗用車に関しては，それぞれの速度で 3 走行実施し，その 3 走行分の平均値をグラフにプロットしている．グラフは，横軸を速度，縦軸を振動レベルとしており，各速度で，それぞれのハンプ平坦部長さごとにプロットしている．なお，平坦部 0m とは，ハンプがない状況での振動レベルである．ただし，2t トラック，乗用車の結果は平坦部長さ 12m に関してはファイルが破損していたため，グラフに反映されていない．

振動規制法施行規則にのっとり，第一種区画の昼間の

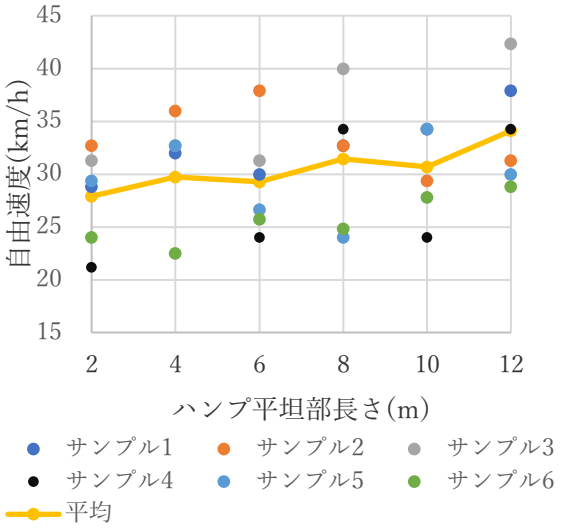


図-15　乗用車の自由速度

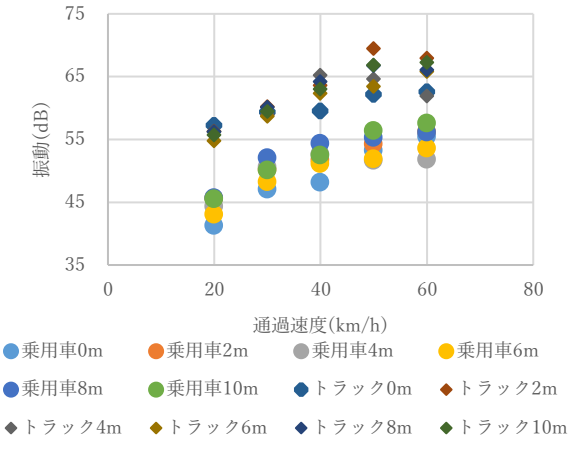


図-16　2t トラックと乗用車の地盤振動レベル

基準である 65dB 以下を基準に問題がないか判断していく．図-16 のグラフを見ると，2t トラックは 40km/h であればどのハンプ平坦部長さであっても 65 デシベルを超えることはなく，最高速度 40km/h を守っていれば問題ないことがわかる．また，乗用車の地盤振動レベルを見てみると，どれも 65dB を大きく下回っているため，最高速度 40km/h で走行しても問題ないことがわかる．これらのことを踏まえると，2t トラックや乗用車はどのハンプ平坦部長さであっても，最高速度 40km/h を守っていれば，地盤振動に関しては問題ないことがわかる．図-17 はバスの地盤振動レベルを示している．20km/h 走行では，どの平坦部長さでも 65dB 以内である．30km/h 走行では，平坦部長さ 2m が 69dB，8m が 67dB と 65dB をわずかに超過している．40km/h 走行では，平坦部 12m 以外は 65dB を超過している．特に平坦部長さ 4m に関しては 70dB を超えて 73dB と，高い数値を示している．

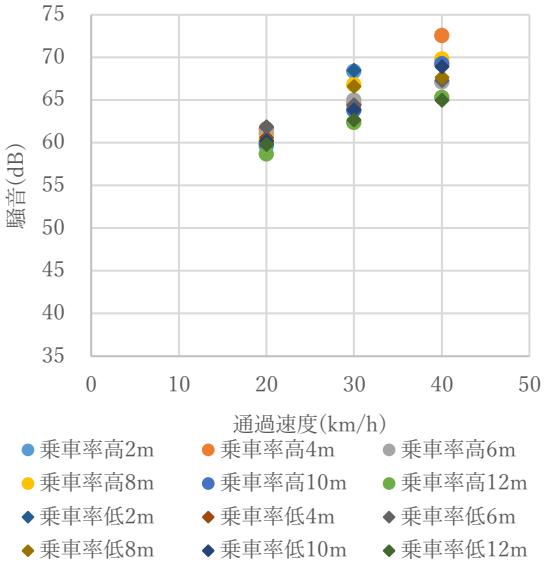


図-17　バスの地盤振動レベル

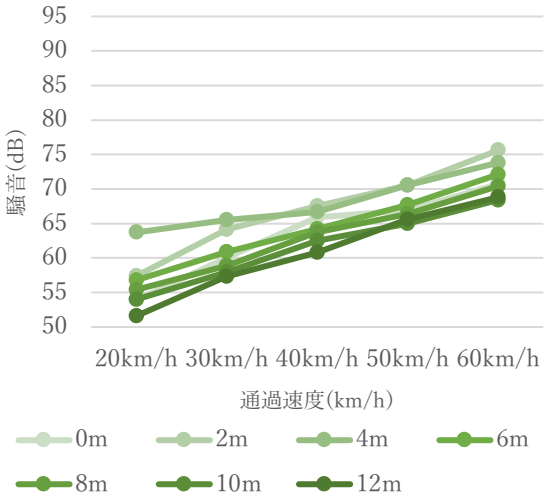


図-18　乗用車の騒音

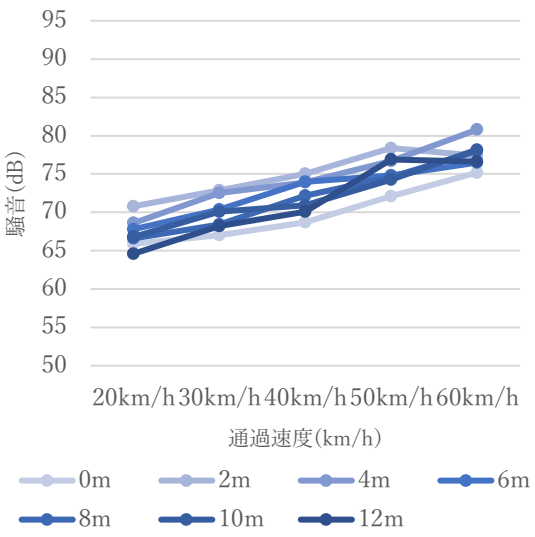


図-19　2t トラックの騒音

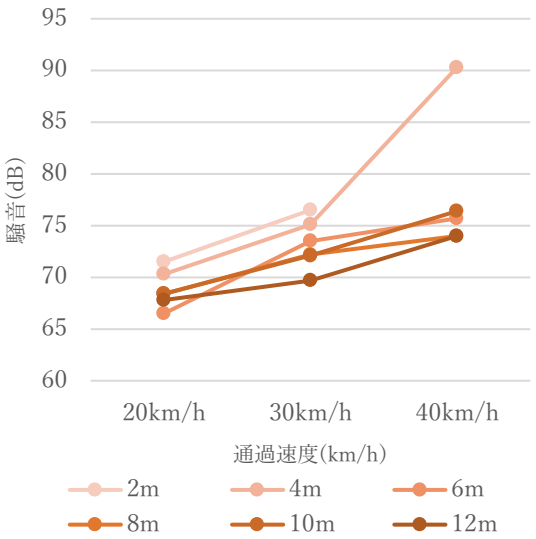


図-20　バス(乗車率高)の騒音

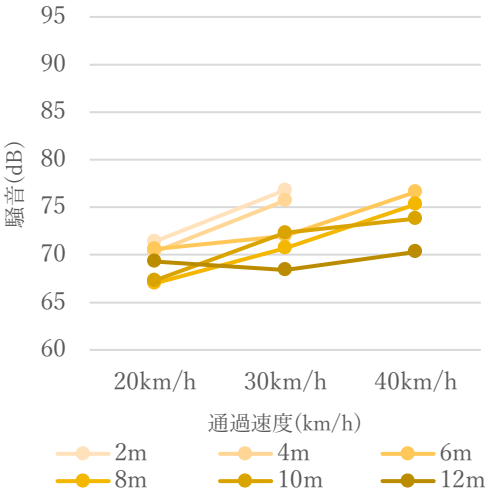


図-21　バス(乗車率低)の騒音

(4) 騒音計測結果

図-18, 19, 20、21 は騒音の計測結果を示したものだ．トラックとバスはそれぞれ 2 回ずつ，自動車はそれぞれ 3 回ずつ測定し，グラフはそれぞれのパターン走行したうちの騒音が最大となっているものをプロットした．ただし，平坦部 2m で 40km/h は計測しておらず，平坦部 4ｍの 40km/h については乗車率（高）の場合で，一回のみ測定した結果をプロットしている．

自動車騒音の要請限度である 75dB を下回るかを考える．図-18 を見ると平坦部 2m のハンプを 60km/h で通過した場合のみ 75dB を上回り，他の場合では下回っていた．図-19 を見ると，2t トラックが 50,60km/h でハンプを通過すると 75dB を超えるような大きな騒音になっていることがわかる．しかし，想定する規制速度以内の 40km/h 以下では平坦部 2m のハンプを除いて 75km/h を上回ることはない．平坦部が短い場合の方が，騒音が大きくなっていたが，これは大きな音が発生する傾斜部により近いことも要因の一つと考えられる．図-19,20 を見ると，通過速度が 30km/h の時点で 2,4m は 75dB を超えており,40km/h では平坦部 12m 以外においてどちらかの乗車率パターンでは 75dB を超えていることがわかる．平坦部が 4m のときの 40km/h のときに大きな騒音が起きていたがこれはバスの底面が路面に接触したからである(図-20)．図-20, 21 を比べると，乗車率が高い場合と低い場合では騒音があまり変わらないことがわかる．

(5) 実験結果の総括

まず前提として，アンケート調査の結果からは，車内の振動が大きくなると不快・危険感が大きくなる関係が見られた．路線バスに関しては 30km/h においても不快感・危険感を感じる人は多く，40km/h においてはほとんどの人がひどく不快感・危険感を感じており，加速度もその揺れの大きさを観測していた．ただし，ハンプの長さが 6,8m(30km/h のときは 12m)のときはその不快感・危険感は抑えられており，比較的乗り心地が良かったといえる．

一般の車両に関しては，40km/h まではあまり不快感・危険感を感じる人は少なかったが，50km/h では不快感や危険感を感じる人が多かった．また，自由速度の結果をみてもどのハンプも 35km/h 以下に速度が抑えられている．そのため今回考えている 40km/h の速度制限がかかっている道路にこれらのハンプは効果的である．

振動に関しては規制速度を守るなどすれば環境に問題はない程度であった．騒音に関しては 40km/h で通過した場合，多くのハンプで大きな騒音となった．ただし，40km/h でこれらのハンプを通行すると大きな衝撃となるため，多少速度落とした通行となり騒音も軽減することが予想される．

4. 結論

平坦部の長さを変えることによって乗用車・トラックは速度を落とすような不快感を与え，バスの乗客の不快感を最小限に抑えられるようにすることで，バス通りに設置でき，一般車の速度は抑制できる形状のハンプを考えることがこの実験の目的であった．そのことを考えると，まずどの平坦部の長さでも速度の抑制効果が期待できることがアンケートや自由速度の計測から確認できた．その中で 6,8m の平坦部のハンプはバスの乗客の不快感危険感が低かったことから，バスの通行を考慮したハンプだと考えられる．その他にも以下のようなことがわかった．

・ハンプを通過した際，運転手より同乗者の方が不快感危険感を感じる傾向がある．

・バスがハンプを通過した際，前方の乗客より後方の乗客の方が不快感危険感を感じる傾向がある．

5. おわりに

今回の研究では，バスも走行する制限速度 40km/h の道路に設置できるハンプについての研究を行ったが，これは多くの場面で利用することも考えられる．行った実験ではバスに立って乗るような客が生じるような乗車率を考えていないので，今後都市部へのバスに対応したハンプを考える場合はそのような条件でも実験する必要があるだろう．また、今回はハンプの平坦部の長さを 2m から 2m 刻みで変えることで条件を変えていたが，今回結果が良かった 6,8m に近い 7m の平坦部ではどうなるかなど，より細かい平坦部の長さ，さらにはその他の形状なども変化させて，そのときにどのように通過する車両の挙動が変わるかも調べることでより理想的なハンプを見つけることもできるかもしれない．

REFERENCES

1) HILIP A. WEBER, JOHN P. BRAAKSMA. Towards a North American Geometric. Design Standard for Speed Humps. *ITE JOURNAL*, 2000, 30-34

2) 野田 和秀, 大橋 幸子, 小林 寛．平坦部の延長が異なるハンプの通行状況．交通工学論文集，2020，第 6 巻，第 2 号（特集号 A），A_41-47

(Received October 13, 2023)
(Accepted October 13, 2023)

HUMP SHAPE CONSIDERING BUS TRAFFIC

Genki ENDO, Riki YAGASAKI, Aya KOJIMA,
Ryo YAMANAKA, Daisuke KAMIYA and Hisashi KUBOTA

In Japan, humps have been developed on the premise that they will be applied to residential roads with a speed limit of 30 km/h. However, there are roads with a 40 km/h restriction that require appropriate speed reduction, and the application is required not only for passenger cars but also for roads with bus traffic, so new considerations are needed. In this study, we aimed to examine the shape of a hump that can be installed on roads with a speed limit of 40 km/h, where buses also travel, and analyzed the length of the hump, vehicle vibration, and passengers' discomfort and sense of danger. Passenger cars, trucks, and buses were prepared at a test site and passed through humps with the same slope shape and different flat sections to measure speed, passenger discomfort/danger, vertical acceleration of the vehicle, surrounding vibrations and noise. As a result of the analysis, a non-linear relationship was found between the length of the hump and the magnitude of vibration inside the car, and the results of a questionnaire survey showed that the greater the vibration inside the car, the greater the discomfort and sense of danger. From the above results, it was found that there is a length of the hump that suppresses the vibration of the bus and reduces the discomfort and sense of danger for passengers.