

サイン曲線弓形ハンプで発生する衝撃音の予測・評価の方法と軽減について*¹

Prediction and reduction of impact noise generated from a vehicle jumping in a single sine curve segmental hump*¹

松下雅典*²・渡辺義則*³・寺町賢一*³・浦英樹*³・飯塚菜々*⁴

By Masanori MATSUSHITA*²・Yoshinori WATANABE*³・Kenichi TERAMACHI*³・Hideki URA*³・Nana IITSUKA*⁴

1. はじめに

住区内の区画街路などの生活道路は買い物、通勤、通学など様々な目的で利用される。住民にとって日常生活に直接関わる身近な道路である。従って、そこでは住民の安全が担保されるべきである。しかし、生活道路はその性質上、幅員が狭く、しかも、歩行者、自転車、自動車などが混合して通行する。その空間に相当な速度で走行する車が存在すると、必然的に交通事故の危険性が増す。実際、歩行中の交通事故死者数の約60%は自宅から500m以内で発生している。

住区内道路の交通安全を確保するための“暮らしのみちゾーン”¹⁾の形成(国土交通省)では、ハンプが効果的な速度抑制デバイスとして用いられている。しかし、衝撃的な騒音も問題となっており、住民の要求により撤去されている例もある²⁾。それゆえ、ハンプの普及にはこの問題を解決することが必要である。

2. 実験概要

ハンプはコンクリート製で、縦断方向の路面がサインカーブを描き、縦幅4.00m、横幅5.00m、凸部の高さ0.10mである。次の条件で車両を走行させ、騒音レベルを測定する。

試験車両は2車線道路の片側1車線中のハンプ中央を走行させる。

車両走行位置と騒音観測点(A、B、C)との間の道路端に遮音壁(合板4枚使用)を設ける。遮音壁(合板)はハンプ中央線を起点として長さ7.00m、高さ0.90mである(図-1、図-2)。

小型貨物車(1t車)を速度25、30、35、40km/hでそれぞれ10回程度走行させるように運転者に指示する。測定毎にハンプ通過時の車両挙動をビデオ撮影する。

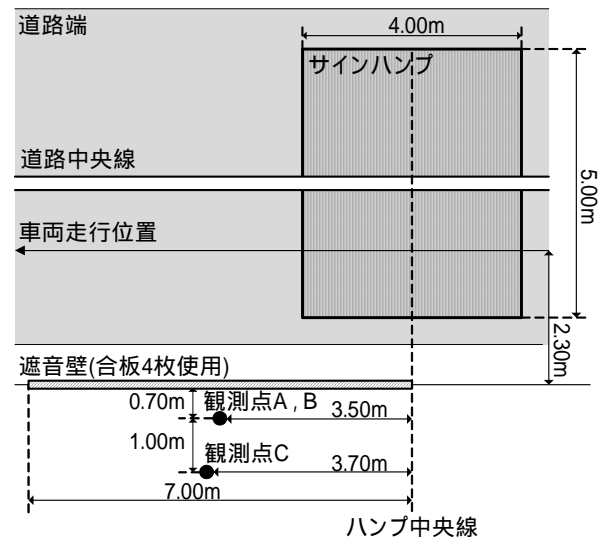


図-1 観測点の位置関係(平面図)

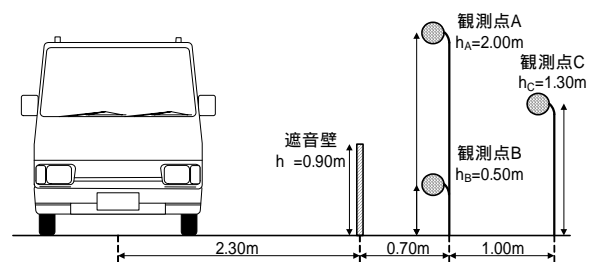


図-2 観測点の位置関係(側面図)

3. 周波数分析

各観測点における卓越周波数を探るため、周波数分析を行ったところ、100Hz~10000Hzの分析結果が大きな値を示している。そこで、本研究ではこれらの周波数範囲で検討した。

4. サインハンプで発生する衝撃音の発生高さの特定

衝撃音はある地点で発生する固定音源であり、衝撃音位置は片側車線中のハンプ中央線上にあるとする。また、観測点B、Cにおいて、遮音壁で回折し、直接観測点に達する音を $n=1$ 、地面で反射して観測点に達する音を $n=2$ とする(図-3)。車両の進行方向を正、ハンプ中央線を原点として衝撃音の水平方向発生位置を $a(m)$ (後輪のサ

*¹ キーワード：地区交通安全、速度抑制装置、騒音

*² 学生員、九州工業大学大学院工学研究建設社会工学専攻(福岡県北九州市戸畑区仙水町1-1 TEL093-884-3108)

*³ 正員、九州工業大学大学院工学研究建設社会工学研究系

*⁴ 美建工業(株)(広島県福山市駅家町近田30番地)

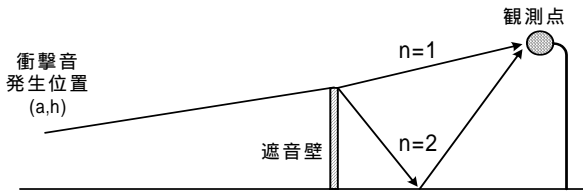


図 - 3 音の経路

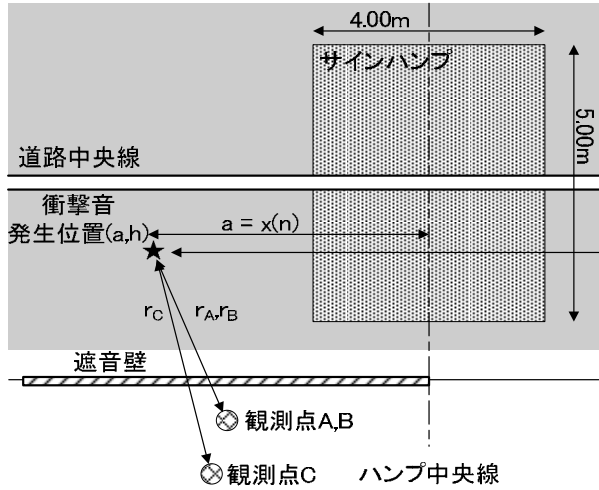


図 - 4 衝撃音発生位置

スペンションが最も沈み込んだ位置とし、ビデオから求めた)、地面を原点として、地面からの衝撃音発生高さ $h(m)$ を以下のように推定する。

それぞれの経路 ($n=1,2$) について観測点、周波数毎に騒音レベル $SL_{n,i,f}(dB)$ を式(1)から求める。

式(1)で求めた周波数毎の騒音レベル $SL_{n,i,f}$ を式(2)に代入し、100Hz~10000Hz の周波数を合成した騒音レベル $SL_{n,i,100-10000}$ を求める。

式(2)で求めた $SL_{n,i,100-10000}$ を式(3)に代入し、2つの経路 ($n=1,2$) の音を合成した騒音レベル $SL_{i,100-10000}$ を求める。

衝撃音の発生高さ $h(m)$ を 0.01m 刻みで、0.00m~1.20m まで 121 回、 \sim の計算を行い、騒音レベルの計算値と実測値の差の二乗和の平方根 X を式(4)から算出し、それが最小となる h を衝撃音発生高さとする。

$$SL_{n,i,f} = PWL_{A,f} - 20 \log r_i - 8 - R_{n,i,f} \quad (n = 1, 2 \quad i = B, C) \dots (1)$$

$$SL_{n,i,100-10000} = 10 \log \left(10^{\frac{SL_{n,i,100}}{10}} + \dots + 10^{\frac{SL_{n,i,10000}}{10}} \right) \dots (2)$$

$$SL_{i,100-10000} = 10 \log \left(10^{\frac{SL_{1,i,100-10000}}{10}} + 10^{\frac{SL_{2,i,100-10000}}{10}} \right) \dots (3)$$

$$X^2 = (SL_{B,100-10000, (実測値)} - SL_{B,100-10000, (計算値)})^2 + (SL_{C,100-10000, (実測値)} - SL_{C,100-10000, (計算値)})^2 \dots (4)$$

$SL_{n,i,f}$: それぞれの経路 ($n=1,2$) についての観測点 i 、周波数 $f(Hz)$ の騒音レベル (dB)

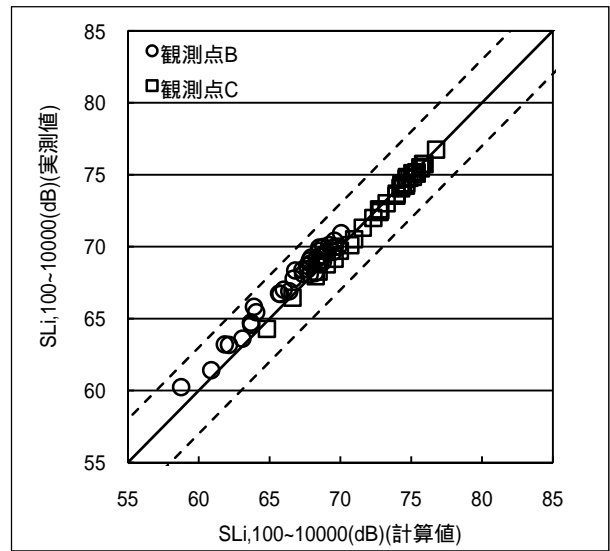


図 - 5 $SL_{i,100-10000} (i=B,C)$ の実測値と計算値の比較

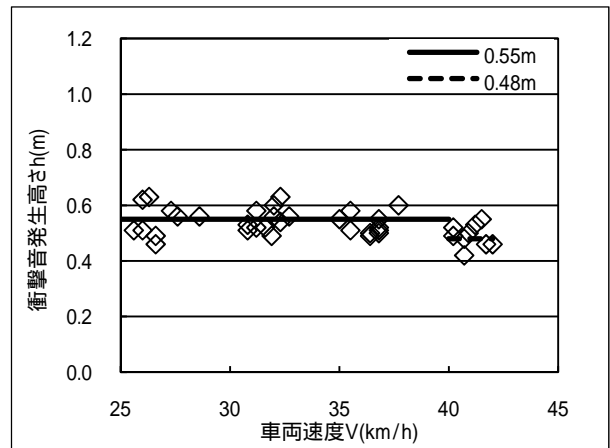


図 - 6 車両速度と衝撃音発生高さの関係

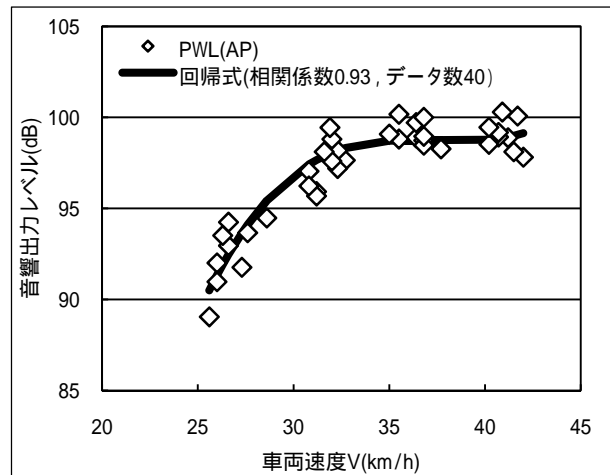


図 - 7 PWL と車両速度の関係

$PWL_{A,f}$: 観測点 A から算出した周波数 $f(Hz)$ の音源の音響出力レベル (dB)

r_i : 衝撃音発生位置から各観測点までの距離 (m)

$R_{n,i,f}$: 遮音壁の影響がある場合の各経路 ($n=1,2$) についての観測点 i 、周波数 $f(Hz)$ の減音量 (dB)

$SL_{i,100-10000}$: 2つの経路 ($n=1,2$) の音のレベルを合成した観測点 i の騒音レベル (dB)

以上の手順から求めた $SL_{i,100-10000}$ の計算値と実測値を比較すると、両者はほぼ同等の値を示している(図-5)。また、車両速度 V と衝撃音発生高さ h の関係を図-6 に示す。衝撃音発生高さは 40km/h 未満では 0.55m、40km/h 以上では 0.48m となった。

また、PWL と車両速度 V の関係から音響出力レベルを算出できる回帰式(5)を得られた(図-7)。

$$PWL = 0.005225V^3 - 0.58584V^2 + 21.86854V - 173.0566(25.6\text{km/h} \leq V < 42.0\text{km/h}) \dots(5)$$

5. 予測式の導出

1000Hz のときの観測点 A における実測値 ($SL_{A,1000}$) を基準として、各周波数の相対レベル U_f を図-8 に示す。各速度における U_f を平均したものが表-1 である。尚、表-1 中の $U_{100} \sim U_{10000}$ を合成すれば $U_{OA} = 11.5\text{dB}$ である。

音響出力レベルの回帰式として式(5)を得ているので、周波数毎の音響出力レベル PWL_f が式(6)より計算できる。

$$PWL_f = PWL - U_{OA} + U_f \dots(6)$$

また、衝撃音の水平方向発生位置 $a(m)$ は速度の関数として式(7)で表わされる。

$$a = 0.13V - 1.66 \dots(7)$$

これらのことを利用して、車両がハンブを通過する際に生じる騒音レベルのピーク値を以下のように予測する。

1) 沿道に遮音壁がない場合

$$SL_i = PWL - 20\log r_i - 8 \dots(8)$$

2) 沿道に遮音壁がある場合

$$SL_{n,i,f} = PWL_f - 20\log r_i - 8 - R_{i,n,f} \dots(9)$$

$$SL_{n,i} = 10\log \sum_{f=100}^{10000} 10^{SL_{n,i,f}/10} \dots(10)$$

$$SL_i = 10\log (10^{SL_{1,i}/10} + 10^{SL_{2,i}/10}) \dots(11)$$

各観測点における騒音レベルの実測値と上述の式を用いて求めた予測値を比較したものを図-9 に示す。図-5 と比較すると約 2dB 精度が落ちる。これは、衝撃音発生高さ h と音響出力レベル PWL を推定したことによるものである。

6. 評価基準の提案

環境基準は等価騒音レベル L_{Aeq} (音の強さの時間的な平均値、単位 dB) を評価量に用いて、表-2 の基礎基準を基に定められている³⁾。しかし、本研究では車両がハンブ通過する際に発生する衝撃音(ピーク値)を評価するため、「大規模小売店舗を設置する者が配慮すべき事項に関する指針」の解説⁴⁾に準拠して評価方法を考えた。文献⁴⁾では騒音源全体が発生する騒音を L_{Aeq} で総合的に予測・評価するだけでなく、それぞれの騒音源が発生する騒音の最大値についても、騒音規制法における夜間の

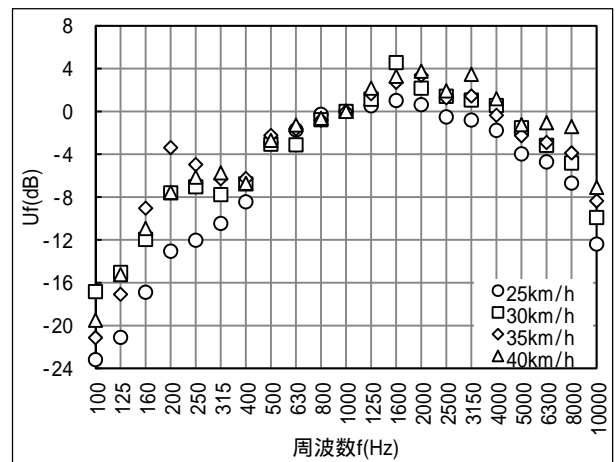


図-8 各速度における周波数 f と相対レベル U_f の関係

表-1 各周波数の相対レベル

周波数(Hz)	100	125	160	200	250	315	
$U_f(\text{dB})$	-20.2	-17.1	-12.2	-7.9	-7.5	-7.6	
400	500	630	800	1000	1250	1600	2000
-7.0	-2.7	-1.9	-0.6	0.0	1.4	2.9	2.5
2500	3150	4000	5000	6300	8000	10000	
1.0	1.3	-0.1	-2.3	-3.0	-4.2	-9.4	

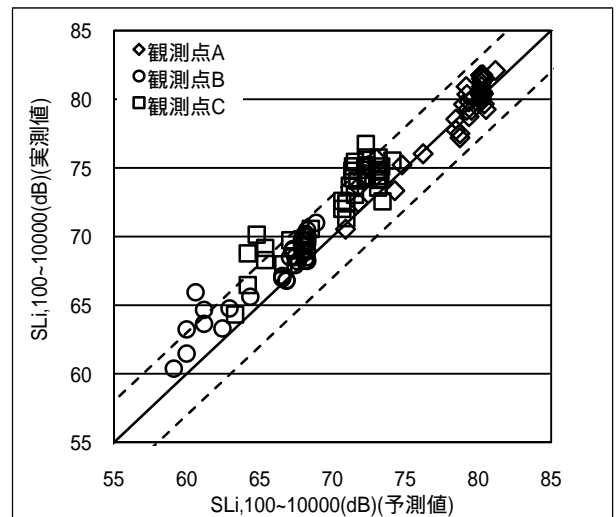


図-9 $SL_{i,100-10000}(i=A,B,C)$ の実測値と予測値の比較

表-2 騒音の影響

時間帯	影響判定基準	$L_{Aeq}(\text{dB})$	知見
夜間	Grade1 (基礎基準)	35	一般の人に睡眠影響が生じない上限値
	Grade2	40	一般の人に睡眠影響が現れ始める上限値
昼間	Grade1 (基礎基準)	45	通常の屋内で、1mの距離でくつろいだ状態で話して、100%明瞭な会話了解度を達成
	Grade2	55	通常の屋内で、1mの距離でくつろいだ状態で話して、かなりの程度の会話了解度が期待できる

規制基準値で評価を行っている。規制基準値は、金属加工機などを設置している特定の工場や事業場の敷地境界線における騒音の大きさの許容限度であり、90%レンジの上端値 L_5 で予測を行っている⁵⁾。金属加工機は衝撃的な音を発生させるものも含まれると思われる。そこで、ハンブから発生する衝撃音も同様に評価できると考え、

L₅での評価基準を提案する。さらに、本研究では昼間においてもこの評価方法を適用する。

まず、道路交通騒音を測定したところ L_{Aeq} と L₅ の差は 6dB (標準偏差 0.9dB、データ数 24、交通量 216~522 台/h 大型車混入率 0~20%) となった。また、窓開けの場合では 9dB、窓閉めの場合では 24dB 減音することが報告されている³⁾。そこで、90%レンジの上端値 L₅ での評価基準値を表-3 のように提案した。

表 - 3 評価基準値 L₅

		夜間	昼間
窓開け	Grade1	50	60
	Grade2	55	70
窓閉め	Grade1	65	75
	Grade2	70	85

L₅:90%レンジの上端値 単位: dB

7. ハンプから発生する騒音の軽減策

ハンプが住民の苦情により撤去された主な原因は車両がハンプを通過する際に発生する衝撃音だと考えられる。既往の研究⁶⁾より、衝撃音が発生するのは 25km/h 以上である。そこで、本研究では表-4 の条件で検討する。4章で求めた衝撃音発生高さ (0.55m) と式(5)~(11)より、それぞれの条件で騒音レベルのピーク値を予測した。評価には、表-3 の評価基準値を用い、軽減策を考えた。以下にその一例を示す。

夜間、窓を開けたままの場合では、予測した全範囲で Grade2(55dB)を満たさない。窓を閉めた場合、1階では衝撃音発生位置から半径約 6m 以内、2階では約 5m 以内で Grade1(65dB)の基準を満たせず、1階のハンプに近い範囲では Grade2(70dB)も満たさない(図-10、図-11)。そこで、高さ 2.0m のブロック塀を遮音壁として活用すると、1階では全範囲で Grade1 の基準を満たせるが、2階では衝撃音発生位置から半径約 5m 以内の所で Grade1 の基準を満たさない(図-12)。このような場合は、ハンプを住居から遠ざける、または寝る場所をハンプから遠ざける必要がある。尚、昼間は夜間よりも評価基準値が大きいので、窓を閉めるだけで基準を満たせる。

8. まとめ

衝撃音の発生高さ h は 40km/h 未満では 0.55m で、40km/h 以上では 0.48m である。
 衝撃音の水平方向発生位置 a を式(7)で表現した。
 衝撃音の音響出力レベルを算出できる式(5)を得た。
 騒音のピーク値 (衝撃音) を評価する基準として表-3 を提案した。
 窓の開閉・ブロック塀の利用・ハンプの設置場所の工夫・寝る場所 (部屋) の変更に着目して、その軽減量について検討した。

表 - 4 軽減策を提案するための条件

速度	時間帯	観測点	窓	ブロック塀
25km/h	夜間	1階(1.5m)	開け 閉め	なし
	昼間	2階(4.0m)		1.5m 2.0m

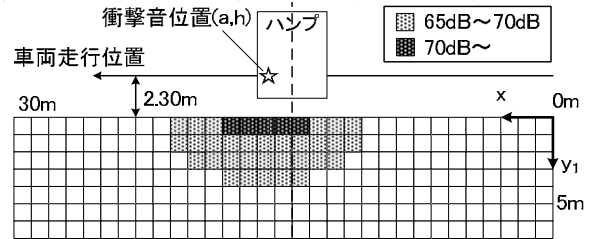


図 - 10 衝撃音の伝播図(夜間、1階、窓開め、塀なし)

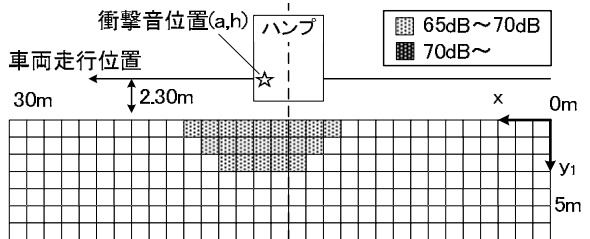


図 - 11 衝撃音の伝播図(夜間、2階、窓閉め、塀なし)

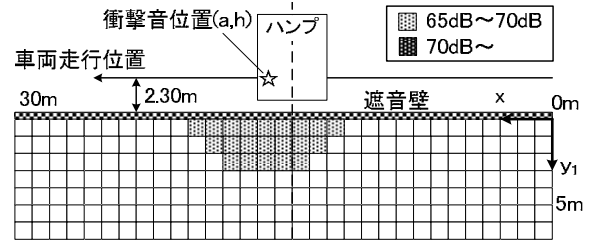


図 - 12 衝撃音の伝播図(夜間、2階、窓閉め、塀高2.0m)

謝辞 本研究は、平成 21 年度~22 年度科学研究費補助金 (挑戦的萌芽研究) の交付を受けて行った研究であることを付記し、研究遂行の機会を与えられたことを感謝いたします。

参考文献

- 1) 国土交通省道路局ホームページ: 歩行者・自転車のための道路行政, 暮らしのみちゾーンの形成
- 2) 清田勝 他: ハンプを主体とした交通安全対策の有効性, 平成 17 年度土木計画学研究論文, 2004
- 3) 環境庁大気保全局: 「騒音に係る環境基準について」の環境庁告示について, 環境庁報道発表資料, 1998
- 4) 経済産業省: 「大規模小売店舗を設置する者が配慮すべき事項に関する指針」の解説, 2001
- 5) 環境庁大気保全局: 騒音規制法の解説, 新日本法規出版株式会社, 1994
- 6) 渡辺義則 他: サイン曲線弓型ハンプで跳躍する車から発生する衝撃音の測定とそれを考慮した沿道騒音の予測, 交通科学, 第 39 巻, 第 2 号, pp.31~38, 2009