

足洗川渡河橋梁工事着手前における 振動伝播状況の結果報告について

水野 雄介¹, 茨 和希²

¹高島土木事務所 道路計画課

²大津土木事務所 道路計画課

県道伊香立浜大津線道路整備事業は、比叡山の麓である大津市坂本八丁目から千野一丁目までのL=1.7kmに及ぶ道路バイパス事業である。本工事区間は、地すべり等防止法第3条で指定された地すべり等防止区域「雄琴地区」を縦断する計画のため、一部の区間において、工事中及び道路供用後の地すべりや振動等による住環境の悪化が懸念された。そのため、住宅地に最も隣接する区間において、従来の環境影響検討による調査と合わせて、工事中の振動の影響（バックホウ及びロードローラ）や地盤による振動伝播特性を把握する調査、振動が伝わりやすい地盤を通過して周囲より振動が大きくなるホットスポット現象の確認調査を実施した。上記の調査結果とその対策方法について報告する。

キーワード 環境調査, 工事振動, 伝播実験, 地すべり

1. はじめに

県道伊香立浜大津線道路整備事業（千野・坂本工区）は、湖西地区に位置し、起点を大津市千野一丁目から終点を大津市坂本八丁目までの延長L=1.7kmの道路バイパス整備事業である。



図-1 位置図

本事業区間は、急峻な地形を有するとともに、図-2に示すとおり、地すべり等防止法第3条により地すべり防止区域「雄琴地区」に指定された地域を縦断する。当該区間内に9か所の地すべり箇所を有し、その中で、高さ10m前後の高盛土・切土、谷部を延長100mを超える長大橋で渡る計画となっていることから、施工順序、施工計画、施工方法等に十分な配慮が必要となる事業である。



図-2 地すべり防止区域

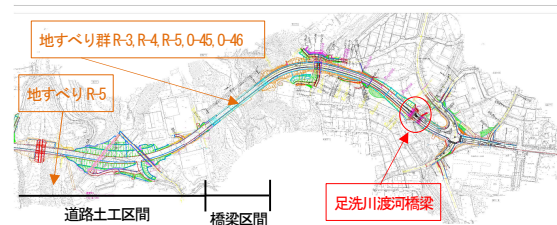
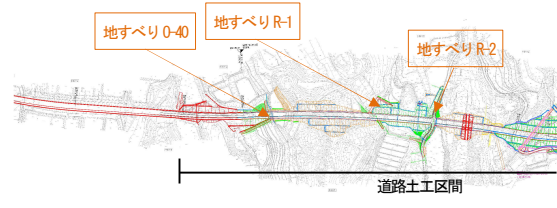


図-3 事業計画図



図4 地すべり防止区域を示す看板

当該事業区間の一部には住宅地が存在し、周辺には、地すべり防止区域であることを示す看板が複数個所、設置されている(図-4)。そのため、地元住民の地すべりや軟弱地盤に対する問題意識は強く、特に当該事業区間の沿道となる住民にとっては、本事業による工事及び道路供用後の地すべりへの影響、また騒音や振動といった住環境悪化への懸念から、長期間にわたり本事業に対する理解が得られない状況であった。

2. 調査の目的

従来の環境調査(振動, 騒音, 大気質等)と併せて、坂本八丁目13区付近の工事予定区間において、振動を試験的に発生させ、住宅地への振動伝播状況、振動に対する影響を把握し、住民の懸念を払しょくすることを目的として振動伝播調査を実施した。併せて本調査により、地盤変動影響調査(工損調査)の実施範囲を確定する基礎資料を作成することを目的とした。

3. 調査の内容

(1) 現地調査日

2022年(令和4年)11月7日(月)9時~16時

(2) 起振源

道路工事予定地に建設重機(バックホウ, ロードローラ)を起振源として配置し、それらを試験的に稼働させ、周辺での振動レベル等を測定することとした。図-5に起振源設置地点の状況を示す。また、現道部では通常の道路交通(自動車)とともに、ユニックを走行させて道路敷地境界の振動レベルを測定した。さらに、試験的に振動を発生させることから、実際の工事や道路交通による振動より大きな振動を加えた。



図-5 起振源(バックホウ, ロードローラ)

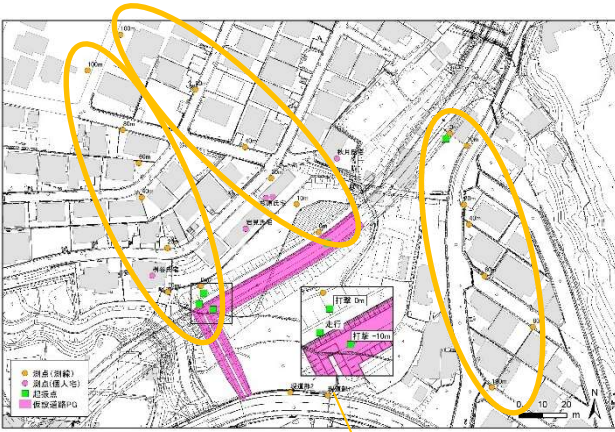
(3) 現地調査地点

測定地点の配置は、振動発生源からの振動の距離減衰を把握するため3測線を設定した。各測線の測定地点(測点)の配置を図-6に示す。測線1と測線2については、道路計画区域に調査用道路として砕石敷を行い(図-7)、調査用道路上で起振源を稼働させた。また、現道部においても、振動レベル等の測定を行った。

- 測線1 : 擁壁の変位監視位置(No.9+94付近, 西側)
- 測線2 : 計画道路が沖積層を通過する位置(No.9+40付近, 西側)
- 測線3 : 計画道路が切土となり東側に地すべり地形を有する位置(No.8+80付近, 東側)
- 現道部1: 大津市道幹 1073号(横断側溝あり, 横断側溝上り・下りの舗装面にひび割れあり)
- 現道部2: 大津市道幹 1073号(横断側溝なし)



図-6 起振源設置地点の状況



(現道部1：横断側溝及び舗装面ひび割れの状況)

図-7 振動伝播の把握地点位置

測線 1~3 に関しては、振動伝播把握地点で測定し、地元住民から要望があった場所については、住宅地内での追加測定を行った。

振動伝播把握地点：0m(道路敷地境界),10m,20m,40m,60m(測線2を除く),80m,100m

なお、調査地点の地形は、北西から南東に向けて低くなる傾斜地となっている。各測線の断面標高を図-9に示す。測線1と測線2においては測点10mから25mの間に擁壁があり、標高が急に高くなる位置関係である。

(4) 測定方法

振動測定は、JIS Z 8735「振動レベル測定方法」に定める方法によるものとした。測定に用いた振動レベル計と測定条件を表-1に、測定機材の接続系統を図-8に示す。

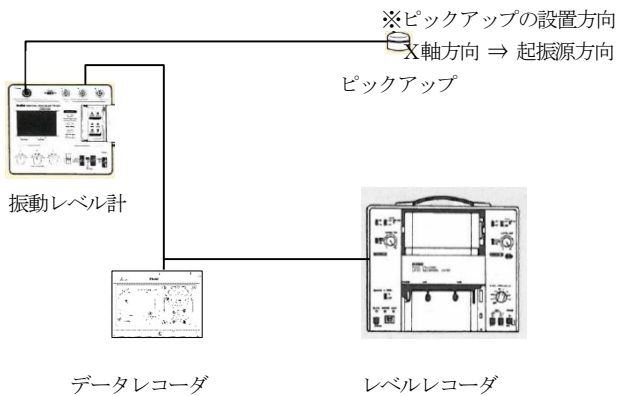


図-8 測定機材の接続系統

表-1 測定条件と測定器

項目	内容
振動	測定項目:振動レベル 振動レベル計の補正回路:感覚補正あり 振動レベル計のメモリーに0.1秒間隔でレベル瞬時値を記録し、後日コンピュータ処理により統計値(Lx値)等を算出
使用測定器	振動レベル計:リオン株式会社 VM-52A, VM-53A, VM-55 データレコーダ:リオン株式会社 DA-20, TEAC株式会社 ES8, グラフテック株式会社 GL980 (一部の地点でデータレコーダにより周波数分析用に振動レベル計のAC出力を記録) レベルレコーダ:リオン株式会社 LR-20,LR-06 (一部の地点でレベル波形のモニター用)

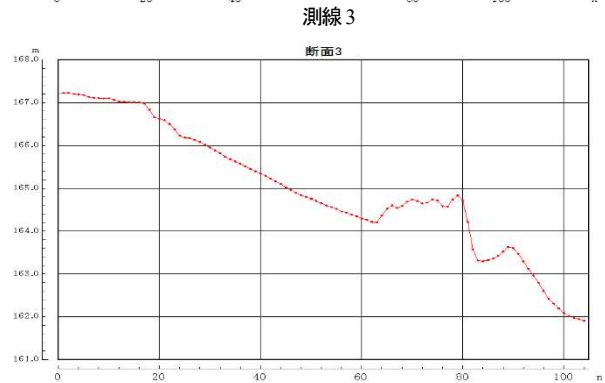
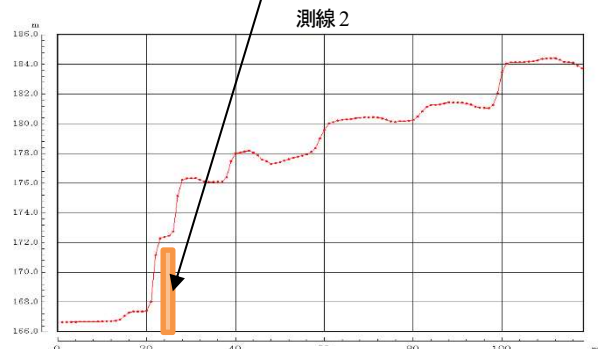
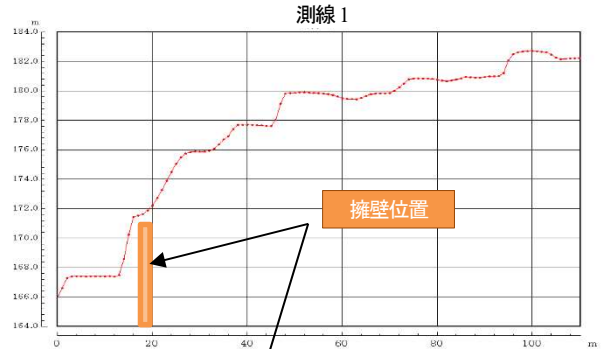


図-9 測線の断面標高

4. 振動の環境保全目標

振動の大きさを評価する指標は、「振動規制法の規制基準・要請限度」が一般に用いられている。なお、振動の環境基準は定められていない。そのため、環境保全目標としては、振動規制法に基づく規制基準・要請限度が適用される。振動規制法の規制基準は、表-2に示す。

表-2 振動の規制基準・要請限度

●道路交通振動														
<p>道路交通振動の要請限度(昭和51年・総理府令) (単位:デシベル)</p> <table border="1"> <tr> <th rowspan="2">時間の区分</th> <th rowspan="2">区域の区分</th> <th>第1種区域</th> <th>第2種区域</th> </tr> <tr> <td>昼間 午前8時～午後7時</td> <td>65</td> <td>70</td> </tr> <tr> <td>夜間</td> <td>午後7時～翌日午前8時</td> <td>60</td> <td>65</td> </tr> </table>				時間の区分	区域の区分	第1種区域	第2種区域	昼間 午前8時～午後7時	65	70	夜間	午後7時～翌日午前8時	60	65
時間の区分	区域の区分	第1種区域	第2種区域											
		昼間 午前8時～午後7時	65	70										
夜間	午後7時～翌日午前8時	60	65											
第1種区域	第1種低層住居専用地域、第2種低層住居専用地域、第2種中高層住居専用地域、第2種中高層住居専用地域、第1種住居地域、第2種住居地域、準住居地域、市街化調整区域、都市計画区域外の一部													
第2種区域	近隣商業地域、商業地域、準工業地域、工業地域、工業専用地域													
出典：大津市の環境（令和2年度版）														
●建設振動														
<p>振動規制法に係る特定建設作業の振動規制基準（概要）</p> <ol style="list-style-type: none"> 敷地境界線で75デシベルを超えるものでないこと。 除外の場合を除いて、第1号地域（静寂、住宅地域等）では19～7時、第2号地域（第1号地域以外）においては22～8時、までに発生するものでない。 除外の場合を除いて、第1号地域では1日10時間を超えない、第2号地域では1日14時間を超えないこと。 除外の場合を除いて、連続して8日を超えないこと。 除外の場合を除いて、日曜日その他の休日でないこと。 <p>出典：地方公共団体担当者のための建設作業振動対策の手引き（環境省水・大気環境局）</p>														
●環境振動														
<p>振動規制法に係る特定施設の規制基準 (単位:デシベル)</p> <table border="1"> <tr> <th rowspan="2">時間区分</th> <th colspan="2">区域区分</th> </tr> <tr> <th>昼間 午前8時～午後7時</th> <th>夜間 午後7時～翌日午前8時</th> </tr> <tr> <td>第1種区域</td> <td>60</td> <td>55</td> </tr> <tr> <td>第2種区域</td> <td>65</td> <td>60</td> </tr> </table>				時間区分	区域区分		昼間 午前8時～午後7時	夜間 午後7時～翌日午前8時	第1種区域	60	55	第2種区域	65	60
時間区分	区域区分													
	昼間 午前8時～午後7時	夜間 午後7時～翌日午前8時												
第1種区域	60	55												
第2種区域	65	60												
<p>工場等に係る振動規制と騒音規制の区域区分との関係</p> <table border="1"> <tr> <th>地域</th> <th>振動規制区域区分</th> <th>騒音規制区域区分</th> </tr> <tr> <td rowspan="2">住居系地域</td> <td rowspan="2">第1種区域</td> <td>第1種区域</td> </tr> <tr> <td>第2種区域</td> </tr> <tr> <td rowspan="2">商業系・工業系地域</td> <td rowspan="2">第2種区域</td> <td>第3種区域</td> </tr> <tr> <td>第4種区域</td> </tr> </table> <p>出典：大津市の環境（令和2年度版）</p>				地域	振動規制区域区分	騒音規制区域区分	住居系地域	第1種区域	第1種区域	第2種区域	商業系・工業系地域	第2種区域	第3種区域	第4種区域
地域	振動規制区域区分	騒音規制区域区分												
住居系地域	第1種区域	第1種区域												
		第2種区域												
商業系・工業系地域	第2種区域	第3種区域												
		第4種区域												
●測定処理（評価対象）														
<p>本調査では、「道路交通振動測定マニュアル（2022年8月環境省水・大気環境局自動車環境対策課）」に示された、L₁₀を評価対象とした。</p>														

ただし、規制基準・要請限度を遵守していても、振動に関する苦情が寄せられる場合があることから、人が振動を感じるはじめるといわれている55dBや50dBにも注視することとした。

規制基準・要請限度の評価は、発生する振動の状況で次のとおり評価指標が決められている。道路交通振動及び建設作業振動は変動する場合が多いので、L₁₀測定結果が評価指標としてよく用いられる。

- (a) 定常振動：測定器の指示値が変動せず又は変動が少ない場合は、その指示値。
- (b) 間欠振動：周期的又は間欠的に変動する場合は、その変動ごとの指示値の最大値の平均値。
- (c) 不規則大幅に変動する振動：不規則かつ大幅に変動する場合は、測定値の80パーセントレンジの上端値(L₁₀)

5. 調査の結果

(1) 分析対象と実験内容

測定分析の対象とした振動分析対象と試験内容を表-3に示す。

表-3 分析対象と試験内容

測線部1 測線部2	時刻	実験内容	測点										
15:24:00	15:24:00	通過車両(軽トラック)	0m	10m	20m	40m	60m	80m	100m	A宅	S宅	T宅	F宅
測線1	時刻	実験内容	0m	10m	20m	40m	60m	80m	100m	A宅	S宅	T宅	F宅
10:48:00	10:38:10	トラック(叩き)	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
10:52:00	11:02:10	トラック(叩き)	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
11:04:00	11:14:10	トラック(移動車)	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
11:16:00	11:26:10	トラック(移動車)	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
11:28:00	11:38:10	トラック(移動車)	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
11:40:00	11:50:10	トラック(移動車)	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
11:44:00	11:54:10	トラック(移動車)	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
11:48:00	11:58:10	トラック(移動車)	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
11:52:00	12:02:10	トラック(移動車)	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
測線2 1回目	時刻	実験内容	0m	10m	20m	40m	60m	80m	100m	A宅	S宅	T宅	F宅
10:52:00	11:02:10	トラック(叩き)	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
10:56:00	11:06:10	トラック(L ₁₀)	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
10:58:00	11:08:10	トラック(L ₁₀)	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
10:58:00	11:08:10	トラック(L ₁₀)	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
11:02:00	11:12:10	トラック(L ₁₀)	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
11:02:00	11:12:10	トラック(L ₁₀)	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
測線2 2回目	時刻	実験内容	0m	10m	20m	40m	60m	80m	100m	A宅	S宅	T宅	F宅
11:28:00	11:38:10	トラック(叩き)	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
11:32:00	11:42:10	トラック(L ₁₀)	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
11:36:00	11:46:10	トラック(L ₁₀)	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
11:40:00	11:50:10	トラック(L ₁₀)	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
11:44:00	11:54:10	トラック(L ₁₀)	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
11:48:00	11:58:10	トラック(L ₁₀)	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
測線3	時刻	実験内容	0m	10m	20m	40m	60m	80m	100m	A宅	S宅	T宅	F宅
15:28:00	15:28:10	トラック(叩き)	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
15:32:00	15:32:10	トラック(L ₁₀)	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
15:36:00	15:36:10	トラック(L ₁₀)	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
15:40:00	15:40:10	トラック(L ₁₀)	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○

備考1) 表中の○印は測定したことを示す。一印は測定なしを示す。

備考2) バックホウ（叩き）は、バックホウのショベルで地面を打撃した。

備考3) ロードローラとは、ローラを振動させて路面を締め固める重機である。

ロードローラ (L₀)・・・加振周波数：33.3Hz 加振力：172kN

ロードローラ (Hi)・・・加振周波数：28.3Hz 加振力：255kN

(2) 振動レベルの距離減衰

a) 各起振源による距離減衰

起振源から遠くなるほど振動レベルが低下していることが確認された。また、擁壁の位置で減衰量が大きくなることが確認された(図-10)。

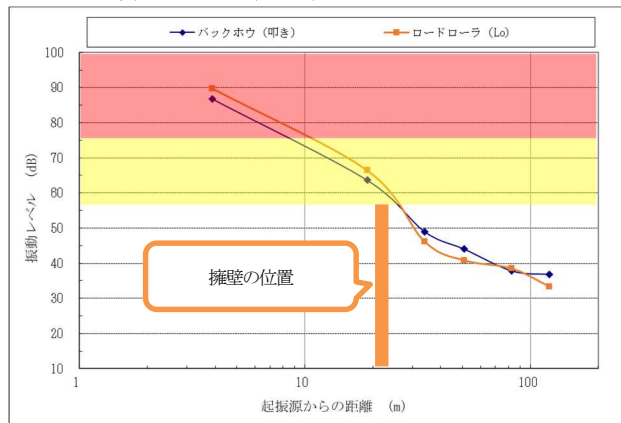


図-10 測線2における起振源からの距離減衰

b) 各測線による距離減衰

工事振動の予測式と比較して、本調査箇所では傾向として実測値の距離減衰が大きいことが確認された(図-11)。

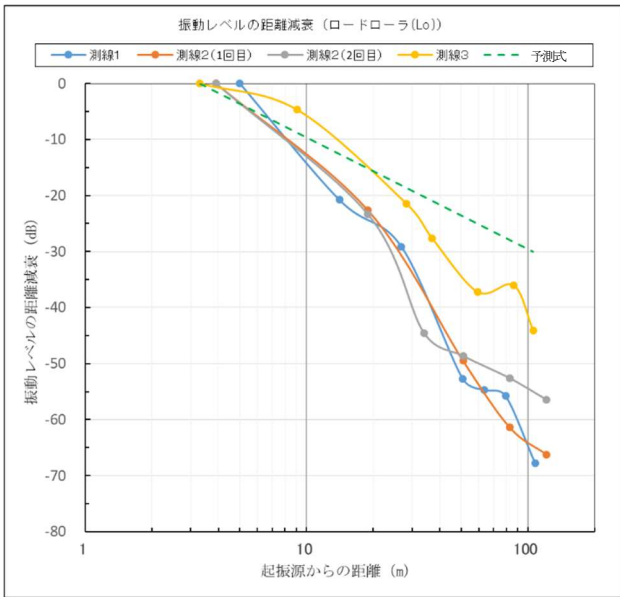


図-11 各測線における距離減衰と予測値との比較

また、測線1及び測線2が近い減衰を示し、起振源から20m付近までの初期の減衰が大きい。これは、擁壁や高低差を有し、地表面の長さが水平距離より長くなっているためと考えられる。一方、測線3は20m以上で、工事振動の予測式より大きな減衰を示した。

工事振動の予測式（「道路環境影響評価の技術手法」）

$$L(r) = L(r_0) - 15 \cdot \log_{10} \left(\frac{r}{r_0} \right) - 8.68\alpha(r - r_0)$$

ここで、

- $L(r)$: 予測地点における振動レベル (dB)
- $L(r_0)$: 基準点における振動レベル (dB)
- r : ユニットの稼働位置から予測地点までの距離 (m)
- r_0 : ユニットの稼働位置から基準点までの距離 (5m)
- α : 内部減衰係数 ($\alpha = 0.01$ とした)

c) 振動レベルを規制基準 (75dB) に抑えた場合

振動レベルの距離減衰の結果から逆算し、0m (道路敷地境界) での振動レベルを規制基準 (75dB) に抑えた場合の振動レベルの距離減衰状況の想定を図-12に示す。その結果、住宅の位置では、50dB以下と想定される。

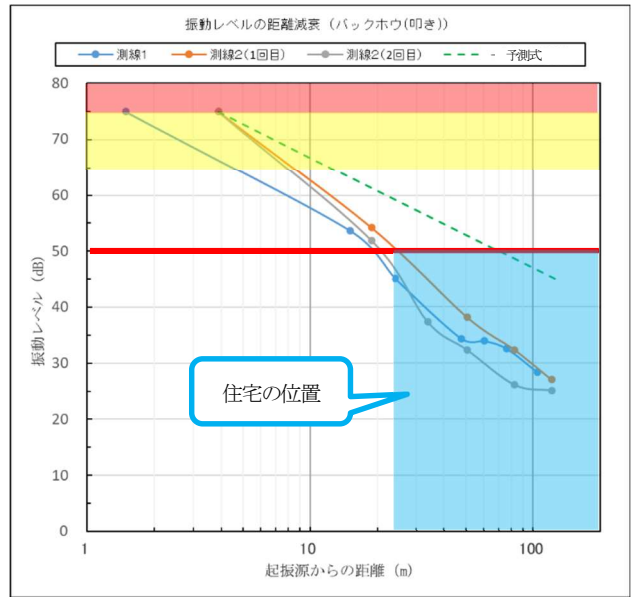


図-12 規制基準 (75dB) に抑えた場合の距離減衰

(3) 住民アンケート結果

調査当日における地域住民の振動の感じ方について地元住民アンケート調査を行った。地元住民アンケートの回答を図-13に示す。

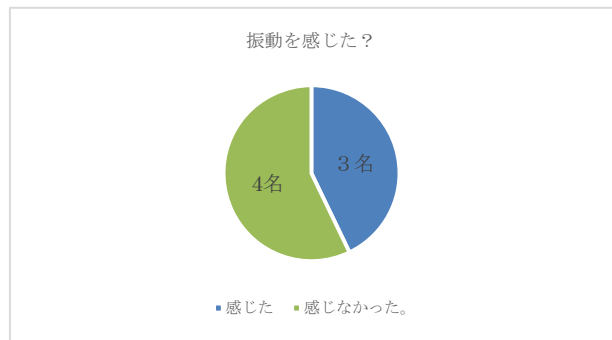


図-13 地元住民アンケート結果

7名から回答があり、3名から「振動を感じた」との回答が寄せられた。「振動を感じた」と回答された方はいずれも計画道路に面した住宅地からであった。計画道路に面していない住宅地では、「振動を感じた」との回答は無かった。「振動を感じた」と回答のあった時点での、起振源での振動レベルを表-4に示す。その結果、起振源での振動レベルが75dBを超える時に50dBを超える振動（騒音の影響も加わっている可能性あり）を感じている可能性がある。

表-4 振動を感じたと回答された時点での起振源の振動レベル

(単位: dB)				
道路敷地境界での振動レベル		住宅地での振動レベル		備考 (側線、起振源等)
Lmax	L10	Lmax	L10	
91.2	89.2	52.4	46.9	側線2 (1回目)、ロードローラー (Hi)
84.3	75.7	51.6	44.2	側線2 (1回目)、バックホウ (叩き)
91.5	82.2			側線3 (1回目)、ロードローラー (Lo)
82.0	71.4			側線3、バックホウ (叩き)
91.5	82.2			側線3、ロードローラー (Lo)
82.0	71.4			側線3、バックホウ (叩き)
96.6	91.3	54.6	52.0	側線1、ロードローラー (Hi)
76.7	64.5	53.0	44.2	側線1、バックホウ (叩き)

※: 住宅地での振動レベルが最も大きい試験と、道路敷地境界で振動レベル (L₁₀) が70dB前後の試験をまとめた。

(4) 家の中における振動レベル

起振源で75dB以上の振動を起こすと、振動に対する苦情が多くなるとされる50～55dBの値が一部の住宅地で確認された。

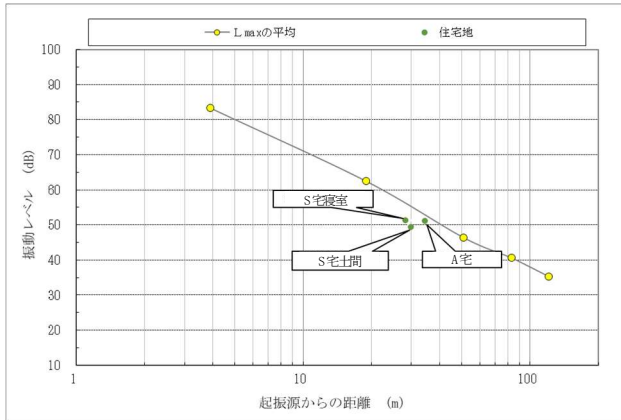


図-14 家の中における振動レベル（起振源：バックホウ）

6. 評価・考察

今回の調査結果により、道路敷地境界付近で振動の規制基準・要請限度を超えなければ、工事期間中及び道路供用後に、特別な対策は不要と結論づけた。また、振動は主に地表面を伝達していると考えられることから、懸案事項の一つとなっていたホットスポット（振動が伝わりやすい地下地盤を通過して地表面に振動が伝わり周囲より振動が大きくなる現象）の出現は確認されず、地下地盤での振動伝播を遮断するなどの特別な対策を行う必要はない。

万が一、道路敷地境界付近で振動の規制基準・要請限度を超える場合には、振動に対する苦情が多くなる50dB以上の振動が住宅地で発生することも想定されるため、各期間におけるリスクと対策を次に示す。

(1) 工事期間中のリスクと対策

ロードローラ（加振時）などの振動発生が想定される重機を使用する場合、一時的に大きな振動が生じる可能性があることがリスクである。その対策として、以下の2点を挙げる。

① 観測体制の構築

75dBを超える可能性のある重機を使用する場合には、振動レベルの観測体制を構築し、逐次発生振動状況を把握し、75dBを超えた場合には、速やかに出力の低下や工法の検討等の対策を行う。



図-16 騒音・振動計

② 地盤変動影響調査（工損調査）の実施

本調査で最も大きな振動が発生したロードローラ（Hi & Lo）使用時に住民からの苦情が発生する可能性のある50dBを超える範囲で、地盤変動影響調査（工損調査）を行い、住宅への影響を調査する必要がある。

道路敷地境界からおおむね40mの範囲で地盤変動影響調査（工損調査）を行う。

(2) 道路供用時のリスクと対策

舗装や道路構造物の劣化により、段差等が生じ、道路敷地境界付近で60dBを超える振動が生じる可能性があることがリスクとして考えられる。その対策として、以下の2点を挙げる。

① 維持管理体制の構築

コンクリート構造物と盛土部などの道路構造の変化点では、埋戻土等の相違の観点から、特に盛土部でやや沈下する可能性があり、段差や舗装面のひび割れが発生する可能性が考えられる。このため、沈降の差異を早期に発見するための定期的な管理や適切な補修が必要である。

② 占用物件埋設時の舗装復旧指示

水道管等の占用物件が埋設される場合の舗装復旧の際に、各占用者に対し、段差が生じないように指示を行うなど、維持補修係、管理調整課など横断的に適宜適切に情報提供を行う体制が必要である。

7. 謝辞

今回の調査には、本調査の受注者であるアジア航測株式会社様を初め、調査用道路の設置、ロードローラやバックホウ等の重機の準備・調達を行った有限会社滋賀総業様など多くの方々のご協力により、調査を行うことができた。その中でも、特に藤森茂之先生（中央復建コンサルタンツ株式会社）には、本調査方法の計画段階から、ご助力を頂くとともに、地元協議にも、発注者とともにご参加いただきました。この場を借りて、深く感謝いたします。