新小仏トンネルでの密閉式吊下げ型コンベアの騒音・振動計測について

清水建設(株)　正会員　○宮瀬　文裕　正会員　菊池　順
清水建設(株)　正会員　長尾　裕貴　正会員　松浦　悠斗
清水建設(株)　正会員　永尾　謙太郎　正会員　韮澤　洋平
中日本高速道路(株)　正会員　前川　和彦　正会員　小林　綾乃

1．はじめに

中央自動車道　新小仏トンネル工事は，中央自動車道　八王子ＪＣＴ～相模湖ＩＣ間の渋滞対策事業で，上り線の既存小仏トンネルの北側に 1 車線運用の 2.3km のトンネルを新設する（**図-1**）．当初計画では，掘削土砂をトンネル坑内から約 400m離れた仮置き場へダンプトラックで運搬する予定であった．仮置き場までの工事用道路は，幅約 5m と狭隘でカーブと上り下りが連続する．そのため，ダンプトラックのすれ違いが困難な箇所があり，工事進捗上の課題であった．その解決策として，幅が約 0.8m で狭隘な場所にも設置可能で，平面と高さ方向の変曲点で乗継ぎが不要な密閉式吊下げ型コンベア（以下，吊下げコンベア）を，国内のトンネル工事で初めて導入した．通常のベルコンでは，乗継ぎ部で土砂が落下する際に騒音(音源のパワーレベル 98dB[1])と振動が発生し，近隣民家の苦情の発生要因となることがある．吊下げコンベアは，この課題解決に有効と考えられるが，騒音，振動に関する計測データが数少ない状態であった．これまでに筆者らは，騒音，振動の計測データが少ない機材，工法について騒音，振動を計測し，解析や現場対策に活用できるデータを蓄積してきた[2)3)]．今回，吊下げコンベアの騒音，振動の計測を実施した．騒音は，卓越する周波数帯の把握のため 1/3 オクターブバンドで計測した．振動は，卓越する振動方向の把握のため，水平 2 方向と鉛直の計 3 方向を計測した．モーターのように騒音，振動の大きさに時間的な変化がないのか，バックホウ掘削のように変化があるのかを把握するため，等価騒音 L_{Aeq}，等価振動 L_{Veq} と時間率騒音 L_{A5}，時間率振動 L_{V10} の両方を計測した．計測場所は，主要な騒音と振動発生源であるモーター付プーリーとベルコン走行部とした．騒音計測結果から，モーター付プーリー，ベルコン走行部で L_{Aeq} と L_{A5} は 70dB 程度で，モーターのような一定の騒音であり，卓越周波数はともに 500～2,000Hz 付近であった．振動計測結果から，モーター付プーリー，ベルコン走行部で L_{Veq}，L_{V10} は 3 方向とも 20～30dB 程度で，モーターのような一定の振動であった．騒音，振動の計測結果から，吊下げコンベアは，通常のベルコンよりも騒音，振動に低減効果があることが確認された．本論文では，吊下げコンベアの概要，計測方法，計測結果について述べる．



図-1　新小仏トンネル工事の施工場所

キーワード　密閉式吊下げ型コンベア，トンネル，騒音，振動

連絡先　〒104-8370　東京都中央区京橋二丁目 16-1 清水建設株式会社 土木技術本部　ＴＥＬ090-2664-4718

２．吊下げコンベアの概要[4)]

吊下げコンベアは，中央自動車道　新小仏トンネル工事にて，国内のトンネル工事で初めて採用した．本工事は，中央自動車道 八王子ＪＣＴ～相模湖ＩＣ間の渋滞対策事業である．上り線の既存の小仏トンネルの北側に１車線運用の 2.3km のトンネル新設工事と八王子ＪＣＴまでの 1.8km 区間にて上り線を現在の２車線から３車線に拡幅する工事である（**図-1**）．

吊下げコンベアの現場での設置状況を**写真-1** に示す．**写真-1** に示すように，緩やかに水平にカーブしながら，写真の手前側から奥側へと，ベルコンが上がっていく状況である．従来のベルコンは，水平方向，鉛直方向の変曲点では，**写真-2** に示すような乗り継ぎ部により進路を変える必要がある．吊下げコンベアの土砂運搬時の状況を**写真-3** に示す．ベルトを上部のガイドローラとサポートローラで吊り下げて支える構造となっており，ガイドローラによる開閉機構（**図-2**）により袋状に変形する．ローラの設置を水平方向，鉛直方向にカーブさせることで，水平と鉛直の曲線に対して乗り継ぎが不要で対応できる．従来のベルコンは，ベルトとその上の土砂を下からローラで支持するため，ベルト等とローラの衝撃により騒音（音源のパワーレベル 90dB），振動が発生しやすい．一方，吊下げコンベアは，ベルトを吊り下げて搬送するため，ベルト等とローラ間での衝撃による騒音，振動は極めて小さい．吊下げコンベアの駆動は，2 箇所のモーター付きプーリー部でベルコンを駆動しており，この部分が主要な騒音（キーンと高い音），振動の発生源となる．吊下げコンベアの設置長は 405m で，土砂の搬送能力は 200t／h で，通常のベルコンより少し小さい．



写真-1　吊下げコンベアの設置状況



写真-2　通常のベルコンの乗り継ぎ部

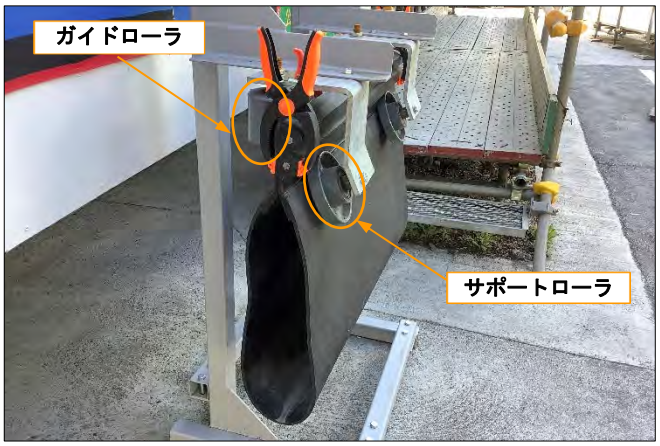


写真-3　土砂運搬時のベルコンの状況

３．騒音の計測方法および計測結果

(1)騒音の計測方法

騒音の計測場所は，主要な騒音の発生源であるモーター付プーリー部とベルコン走行部とした．騒音計測には，リオン社製の騒音計 NL-42 を使用した．騒音計は，モーター付プーリー部とベルコン走行部の中心部から 2.5m 離れた位置で，地面から 1.2m の高さにて三脚に設置した．計測状況を**写真-4～5** に示す．

モーターのように騒音に時間的な変化がないのか，それともバックホウでの掘削のように変化があるのかを

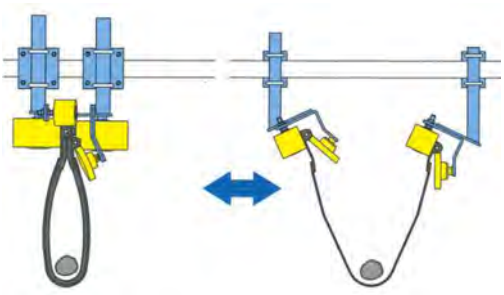


図-2　ガイドローラによる開閉機構

把握するため，等価騒音 L_{Aeq}，と時間率騒音 L_{A5} の両方を計測した [5]．また，卓越する周波数帯を把握するため，1/3 オクターブバンドで計測した．等価騒音 L_{Aeq}，時間率騒音 L_{A5} とも計測時間は 1 分間，計測回数は 3 回とした．

(2) 騒音の計測結果

モーター付プーリー部の計測結果を**表-1～2** に，ベルコン走行部の結果を**表-3～4** に示す．1/3 オクターブバンド中心周波数の範囲は，100Hz 以下の低周波音の状況も把握できるように，63Hz～8K(8,000) Hz の範囲で整理を行った．モーター付プーリー，ベルコン走行部とも，3 回の計測値のバラツキが小さいことから，平均値を算出して代表値として評価することとした．

a) モーター付プーリー

モーター付プーリーは，**表-1～2** に示すように，平均の AP が L_{Aeq} で 69dB，L_{A5} で 70dB とほぼ同一であり，時間的に騒音の大きさが変動しないモーターのような騒音であった．平均値をグラフ化したものを**図-3～4** に示す．これらの図に示すように，L_{Aeq} と L_{A5} の周波数分布はほぼ同一であった．卓越周波数は，630Hz～2K（2,000）Hz で，騒音対策が困



写真-4　モーター付プーリーでの計測状況



写真-5　ベルコン走行部での計測状況

表-1　騒音計測結果 L_{Aeq}（モーター付プーリー）

回数	AP*	1/3 オクターブバンド中心周波数（Hz）																					
		63	80	100	125	160	200	250	315	400	500	630	800	1.0K	1.25K	1.6K	2.0K	2.5K	3.15K	4.0K	5.0K	6.3K	8.0K
1	69	32	38	38	39	42	47	43	49	52	53	61	55	55	59	55	62	54	60	57	50	51	47
2	69	34	38	38	39	44	47	45	49	51	54	61	56	57	60	55	61	55	61	57	50	50	48
3	69	33	38	39	39	44	48	45	49	51	55	62	56	57	60	56	62	54	58	57	51	51	47
平均	69	33	38	38	39	43	47	45	49	51	54	61	56	57	60	56	62	54	60	57	50	50	47

＊AP（オールパス）：各周波数成分を，すべてデシベル合成した値

表-2　騒音計測結果 L_{A5}（モーター付プーリー）

回数	AP	1/3 オクターブバンド中心周波数（Hz）																					
		63	80	100	125	160	200	250	315	400	500	630	800	1.0K	1.25K	1.6K	2.0K	2.5K	3.15K	4.0K	5.0K	6.3K	8.0K
1	69	36	42	42	42	46	51	45	51	54	56	63	58	58	61	56	63	55	62	58	50	52	48
2	70	39	41	41	41	47	51	48	52	53	57	63	59	60	62	57	63	56	62	59	51	51	49
3	70	37	41	42	42	48	52	49	51	54	58	64	58	59	62	57	63	55	59	58	52	52	48
平均	70	38	42	42	42	47	52	48	51	54	57	64	58	59	61	57	63	56	61	58	51	51	48

表-3　騒音計測結果 L_{Aeq}（ベルコン走行部）

回数	AP	1/3 オクターブバンド中心周波数（Hz）																					
		63	80	100	125	160	200	250	315	400	500	630	800	1.0K	1.25K	1.6K	2.0K	2.5K	3.15K	4.0K	5.0K	6.3K	8.0K
1	68	32	41	39	40	42	47	49	50	53	57	58	60	57	58	56	59	58	56	50	43	42	39
2	68	32	40	41	41	43	48	49	49	52	57	59	60	57	59	56	59	57	56	50	44	42	41
3	68	34	40	40	40	43	46	49	50	54	58	58	60	58	58	56	59	58	56	50	44	42	40
平均	68	33	40	40	41	43	47	49	50	53	57	58	60	57	58	56	59	58	56	50	44	42	40

表-4　騒音計測結果 L_{A5}（ベルコン走行部）

回数	AP	1/3 オクターブバンド中心周波数（Hz）																					
		63	80	100	125	160	200	250	315	400	500	630	800	1.0K	1.25K	1.6K	2.0K	2.5K	3.15K	4.0K	5.0K	6.3K	8.0K
1	69	35	44	42	42	45	51	51	52	54	59	60	62	59	59	57	60	60	57	51	44	43	41
2	69	36	43	43	45	46	52	51	51	54	59	60	62	58	60	57	60	59	57	52	45	43	47
3	69	39	43	44	43	47	49	51	52	55	59	60	62	59	59	57	60	60	57	51	45	43	43
平均	69	37	43	43	43	46	51	51	51	54	59	60	62	59	59	57	60	59	57	51	45	43	45

難な 100Hz 以下の低周波音は 40dB 程度と小さかった.

b) ベルコン走行部

ベルコン走行部は，**表-3～4** に示すように，平均の AP が L_{Aeq} で 68dB，L_{A5} で 69dB とほぼ同一であり，モーター付プーリーと同様に，時間的に騒音の大きさが変動しないモーターのような騒音であった．平均値をグラフ化したものを**図-5～6** に示す．これらの図に示すように，L_{Aeq} と L_{A5} の周波数分布はほぼ同一であった．卓越周波数は 500Hz～2K（2,000）Hz で，騒音対策が困難な 100Hz 以下の低周波音は，モーター付プーリーと同様に，40dB 程度と小さかった．

4．振動の計測方法および計測結果

(1) 振動の計測方法

振動の計測場所は，モーター付プーリーと同様に，主要な振動の発生源であるモーター付プーリー部とベルコン走行部とした．振動計測には，リオン社製の振動計 VM-53A を使用した．振動計は，モーター付プーリー部とベルコン走行部の中心部から 2.5m 離れた騒音計と同じ位置にセンサを設置した．計測状況を**写真-4～5** に示す

騒音と同様に，モーターのように振動に時間的な変化がないのか，それともバックホウでの掘削のように変化があるのかを把握するため，等価振動 L_{Veq}，と時間率振動 L_{V10} の両方を計測した [5]．また，卓越する振動の方向を把握するため，水平 2 方向



図-3　L_{Aeq} の平均値の周波数分布（モーター付プーリー）

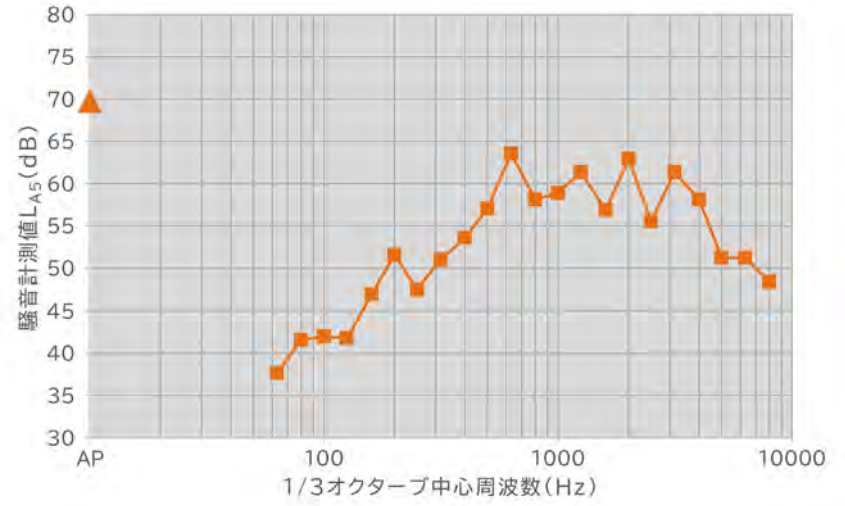


図-4　L_{A5} の平均値の周波数分布（モーター付プーリー）

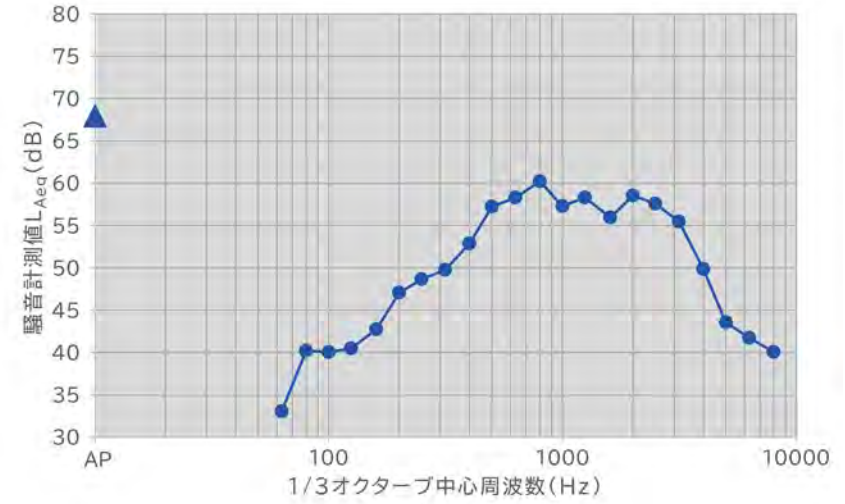


図-5　L_{Aeq} の平均値の周波数分布（ベルコン走行部）

と鉛直の計 3 方向を計測した．水平 X 方向は，ベルコンの移動と並行方向，水平 Y 方向は X 方向と直角方向となるように，センサを設置した．等価振動 L_{Veq}，時間率振動 L_{V10} とも計測時間は 1 分間，計測回数は 3 回とした．

(2) 振動の計測結果

モーター付プーリー部の計測結果を**表-5** に，ベルコン走行部の結果を**表-6** に示す．モーター付プーリー，ベルコン走行部とも，3 回の計測値のバラツキが小さいことから，平均値を算出して代表値として評価することとした．

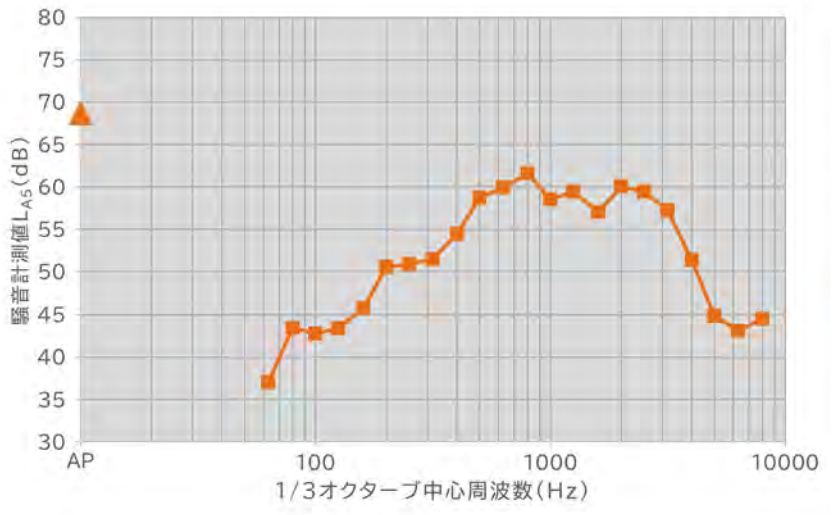


図-6　L_{A5} の平均値の周波数分布（ベルコン走行部）

表-5　振動計測結果（モーター付プーリー）

回数	振動計測値					
	L_{Veq}(dB)			L_{V10}(dB)		
	X 方向	Y 方向	Z 方向	X 方向	Y 方向	Z 方向
1	27	23	29	29	24	30
2	27	23	29	28	24	31
3	27	23	29	29	24	31
平均	27	23	29	29	24	31

表-6　振動計測結果（ベルコン走行部）

回数	振動計測値					
	L_{Veq}(dB)			L_{V10}(dB)		
	X 方向	Y 方向	Z 方向	X 方向	Y 方向	Z 方向
1	15	14	18	16	16	20
2	15	16	19	16	18	20
3	15	15	19	17	17	19
平均	15	15	19	16	17	20

a) モーター付プーリー

モーター付プーリーは，**表-5** に示すように，平均の振動値は L_{Veq}，L_{V10} は 3 方向とも 30dB 程度と小さく，卓越した振動の方向は確認できなかった．L_{Veq}，L_{V10} は 3 方向でほとんど差がなく，時間的に振動の大きさが変動しないモーターのような振動であった．人が揺れを感じる振動値は，50～60dB であることから，モーター付プーリー部の振動は，人が感知できない大きさと言える [6]．

b) ベルコン走行部

ベルコン走行部は，**表-6** に示すように，平均の振動値は L_{Veq}，L_{V10} は 3 方向とも 20dB 程度と小さく，卓越した振動の方向は確認できなかった．また，モーター付プーリー同様に，人が感知できない大きさの振動であった．L_{Veq}，L_{V10} は 3 方向でほとんど差がなく，時間的に振動の大きさが変動しないモーターのような振動であった．

5．騒音，振動値の予測

(1) 騒音値の予測

騒音源から任意の位置の距離減衰による騒音値は，点音源の場合は式（1）を用いて予測できる [7]．

【距離減衰による騒音の予測式】

$L_{PA}=L_{WA}-20\times\log_{10}(r)-8$・・・式（1）

ここに，

L_{PA} ：任意の予測地点（受音点）における騒音レベル（dB）

L_{WA} ：点音源のパワーレベル（＝騒音源での大きさ）（dB）

r ：重機などの稼働位置から任意の予測地点（受音点）までの距離（m）

モーター付プーリー，ベルコン走行部において，L_{PA} を計測値の平均値 AP，r を計測距離 2.5m とすると L_{WA} が予測できる．なお，**表-1～2** に示すように等価騒音 L_{Aeq} と時間率騒音 L_{A5} の平均値 AP はほとんど変わらな

いが，安全側の予測をするために，数値の大きな時間率騒音 L_{A5} の数値を L_{PA} に採用する．モーター付プーリー，ベルコン走行部における騒音の予測式を以下に示す．

【距離減衰による騒音の予測式：モーター付プーリー】

$L_{PA}=86-20\times\log_{10}(r)-8$・・・式（2）

【距離減衰による騒音の予測式：ベルコン走行部】

$L_{PA}=85-20\times\log_{10}(r)-8$・・・式（3）

ここに，

L_{PA} ：任意の予測地点（受音点）における騒音レベル（dB）

r ：モーター付プーリー，ベルコン走行部の稼働位置から任意の予測地点（受音点）までの距離（m）

モーター付プーリーの騒音の予測式（2）より，近接民家が距離 50m に存在する場合の騒音予測値は，44dB となる．騒音値 40dB 程度は，図書館相当の騒音値であり，静穏な環境とされる騒音レベルと予想される[8]．

(2)振動値の予測

振動源から任意の位置の距離減衰による振動値は，式（4）を用いて予測できる[9]．

【距離減衰による振動の予測式】

$L(r)=L(r_0)-15\times\log10(r/r_0)-8.68\times\alpha\times(r-r_0)$・・・式（4）

ここに，

L（r）：任意の予測地点における振動レベル（dB）

$L(r_0)$：基準点の振動レベル（dB）

基準点までの距離が 5m の場合は 5m 離れのﾃﾞｰﾀ

r ：重機の稼働位置から任意の予測地点までの距離（m）

r_0 ：重機の稼働位置から基準点までの距離（例えば 5m）

α ：内部減衰係数

通常は 0.01 を使用する

詳細なデータが入手できる場合は，下記の数値を使用することも可能．

関東ローム層 ：0.01

砂礫層 ：0.01

粘土，シルト層 ：0.02～0.03

軟弱シルト層 ：0.04（東京下町，臨界海埋立地のいわゆる軟弱地盤）

造成地盤 ：0.03～0.04

モーター付プーリー，ベルコン走行部において，L（r）を計測値の Z 方向の平均値，r を計測距離 2.5m，r_0 を 5m，内部減衰係数を 0.01 とすると L（r_0）が予測できる．なお，**表-5～6** に示すように等価振動 L_{Veq} と時間率振動 L_{V10} の平均値はほとんど変わらないが，安全側の予測をするために，数値の大きな時間率振動 L_{V10} の数値を L（r）に採用する．モーター付プーリー，ベルコン走行部における振動の予測式を以下に示す．

【距離減衰による振動の予測式：モーター付プーリー】

$L(r)=26-15\times\log10(r/5)-8.68\times0.01\times(r-5)$・・・式（5）

【距離減衰による振動の予測式：ベルコン走行部】

$L(r)=15-15\times\log10(r/5)-8.68\times0.01\times(r-5)$・・・式（6）

ここに，

L（r）：任意の予測地点における振動レベル（dB）

r ：モーター付プーリー，ベルコン走行部の稼働位置から任意の予測地点までの距離（m）

モーター付プーリーの振動の予測式（5）より，近接民家が距離 50m に存在する場合の振動予測値は，7dB となる．人が揺れを感じる振動値は，50～60dB であることから，振動値 7dB は，人が感知できない大きさと

言え，静穏な環境とされる振動レベルと予想される[6)]．

６．まとめ

新小仏トンネル工事では，狭隘な工事道路での掘削土運搬の課題解決のため，密閉式吊下げ型コンベア（吊下げコンベア）を，国内のトンネル工事で初めて導入した．吊下げコンベアは，通常のベルコンに比べ騒音，振動とも小さいが，騒音，振動の計測データが少ない状態であった．そこで，騒音と振動の計測を実施し，以下の知見を得た．

- 騒音の計測結果から，騒音源であるモーター付プーリー，ベルコン走行部で等価騒音 L_{Aeq} と時間率騒音 L_{A5} は 70dB 程度（計測距離 2.5m）で，モーターのような一定の騒音であった．卓越周波数は，ともに 500～2,000Hz 付近であった．
- 振動の計測結果から，振動源であるモーター付プーリー，ベルコン走行部で等価振動 L_{Veq} と時間率振動 L_{V10} は水平 2 方向，鉛直方向の 3 方向とも 20～30dB 程度（計測距離 2.5m）で，モーターのような一定の振動であった．
- 騒音，振動の計測結果と文献をもとに，騒音，振動の予測式を設定し，近接民家（50m 離れ）での騒音と振動を予測した．その結果，騒音の予測値 40dB 程度，振動の予測値 10dB 以下となった．

謝辞

騒音と振動の計測にあたり，中日本高速道路（株）および新小仏トンネル現場事務所の関係者には，多大な協力をいただいた．ここに感謝の意を表する．

参考文献

１）仮設防音設備　設計・積算要領書　第 2 版，pp.44，防音設備協会，平成 23 年 4 月

２）小宮山 由起江，秀嶋 桂，宮瀬 文裕，谷川 将規，硬質地盤における鋼矢板施工時の騒音・振動計測，土木学会 第 72 回年次学術講演会，VI-489，平成 29 年 9 月

３）関口 雄介，若松 洋介，都築 顕司，佐藤 充史，宮瀬 文裕，ＬＮＧ貯槽の基礎部鋼管杭打設時の振動 －水平成層地盤での実測例－，第 43 回環境システム研究論文発表会講演集，pp.45-50，2018.11VI-98，2015.10

４）前川 和彦，菊池 順，長尾 祐貴，トンネル工事での密閉式吊下げ型コンベアの採用の検討，土木学会 第 77 回年次学術講演会，Ⅳ-278，令和 4 年 9 月

５）建設工事に伴う騒音振動対策ハンドブック（第３版），pp.48-51，社団法人 日本建設機械化協会，平成 13 年 2 月

６）建設工事に伴う騒音振動対策ハンドブック（第３版），pp.70-72，社団法人 日本建設機械化協会，平成 13 年 2 月

７）建設工事に伴う騒音振動対策ハンドブック（第３版），pp.51-52，社団法人 日本建設機械化協会，平成 13 年 2 月

８）仮設防音設備　設計・積算要領書　第 2 版，pp.12，防音設備協会，平成 23 年 4 月

９）建設工事に伴う騒音振動対策ハンドブック（第３版），pp.63-65，社団法人 日本建設機械化協会，平成 13 年 2 月