

山岳トンネルベルトコンベヤずり出しシステムの開発と覆工振動対策

吉富幸雄¹・川上純²・清水恵助³

¹正会員 工修 大成建設㈱ 土木技術部(〒163-0606 東京都新宿区西新宿1- 25- 1)

²正会員 工博 大成建設㈱ 土木技術研究所(〒245-0051 神奈川県横浜市戸塚区名瀬町344- 1)

³正会員 工博 九州工業大学 建設社会工学科(〒804-8550 福岡県北九州市戸畑区仙水町1- 1)

山岳トンネルにおいて、ずり出し時の環境改善は大きな課題の一つである。筆者はこのずり出し方式において、ダンプを用いないベルトコンベヤ方式によるずり出しシステムを開発したものである。狭隘なトンネル空間へのシステム導入に当たっては、ベルトコンベヤの振動が覆工コンクリートに与える影響や掘削と併行して作業する覆工コンクリートやインバートへの作業性が懸念された。本論文は、ベルトコンベヤの振動が覆工コンクリートに与える影響を調べるため振動を測定し、振動対策として施工性を考慮したベルトコンベヤの位置と支持方法を提案したものである。さらに、これらの振動による覆工コンクリートへの影響を検討したものである。

Key Words : tunnel, muck haulage, belt conveyor, crusher, work environment

1. はじめに

近年、山岳工法のトンネル工事においては、社会的に塵肺訴訟が大きな問題としてクローズアップされており、施工時の環境改善が大きな課題になっている。特にずり出し時の作業環境は悪く、ダンプの排出ガスや走行による粉じんにより劣悪な環境で作業が行われているのが現状である。

従来、トンネルのずり出し方式は、トンネル延長が長くなると換気を考慮し内燃機関を使わないレール方式が一般的に採用されていた。しかし近年、掘削工法にNATMが多く採用されるようになり、施工性に優れたタイヤ方式が多く採用されている。

タイヤ方式においては、車両に黒煙除去装置や排出ガスの浄化装置を取り付ける方法、また換気容量の増加や集塵機を用いて環境改善が行われているが、ダンプが走る以上、排出ガス、粉じんが坑内全域で発生するため、抜本的な環境改善にならないのが現状である。このようなずり出し時の環境を改善するためには、粉じんの発生しないずり出し方法の開発が不可欠と考え、ベルトコンベヤ方式によるずり出しシステム（以下、ベルトコンベヤずり出しシステムという）を開発した。ベルトコンベヤずり出しシステムは、近年TBMで

掘削に採用されているが、山岳工法のトンネル工事では採用がなかった。それは、山岳工法のトンネル掘削では掘削だけでなく、覆工コンクリート、インバートも併行して施工されるため、各作業に支障を与えずにベルトコンベヤを配置する方法が難しかったからである。また狭隘なトンネル空間へのシステム導入に当たっては、ベルトコンベヤの覆工コンクリートへの振動の影響も問題と考えられた。

本論文では、ベルトコンベヤの振動が覆工コンクリートに与える影響を調べるため、振動源を精査し振動測定を実施し、振動対策として施工性を考慮したベルトコンベヤの位置及び支持方法を提案したものである。さらに、これらの振動による覆工コンクリートへの影響も合わせて検討した。

2. ずり出しシステムの概要および問題点

(1) ベルトコンベヤずり出しシステムの問題点

ベルトコンベヤずり出しシステムを山岳工法の発破掘削で採用する場合の問題点は以下の点であった。

- 掘削の進行に伴いベルトコンベヤ長さを随時延長する必要がある。

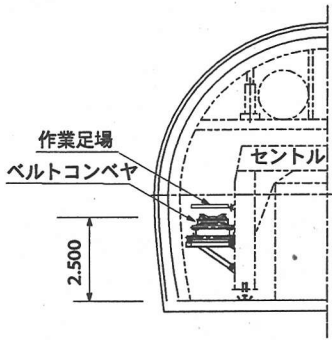


図-4 セントル部におけるベルトコンベヤ位置

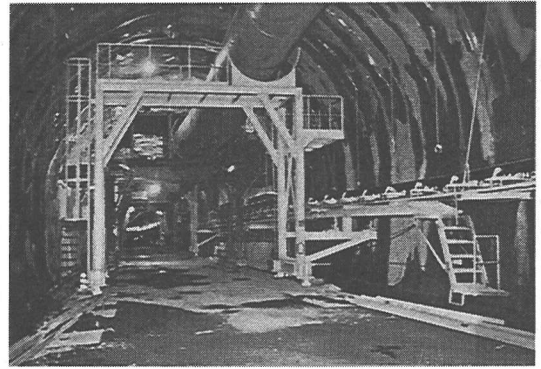


写真-2 移動式支持台車 (切羽側)

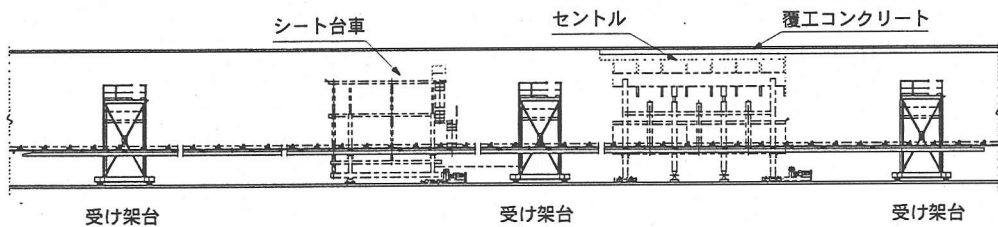


図-5 移動式支持台車

3. ベルトコンベヤの位置および支持方法

山岳工法のトンネル工事では、掘削だけでなく覆工コンクリート、インパートを併行して工事が進められる。そのため掘削以外の作業においてはベルトコンベヤは邪魔になるため、出来るだけ各作業に支障しない位置に配置する必要がある。ここでは各作業エリアにおけるベルトコンベヤ配置を決める条件及び支持方法について述べる。

(1) 覆工作业部におけるベルトコンベヤ

a) ベルトコンベヤ高さ

覆工作业はセントルの移動、妻部の型枠、セントル下部の型枠やコンクリート打設等の作業が行われるが、ベルトコンベヤ通過により作業に支障を与えず、ベルトコンベヤ稼動時に作業員の安全を確保できる位置に据付けなければならない。それら条件を考えると、路盤より約 2.5m の高さでセントルのガントリーとウォールの間にベルトコンベヤを配置するのが最適と考えられる。この位置はウォールをサポートするパイプサポートが位置するが基本的には作業に支障なく、またセントル作業足場の下部に位置し、ベルトコンベヤの稼動時も覆工作业員の安全を確保できると考えて決

定した。図-4 にベルトコンベヤの据付け位置を示す。

b) 覆工作业部のベルトコンベヤ支持

覆工作业部は防水シート張りおよび覆工コンクリートが行われている区間で、ベルトコンベヤの支持方法には以下の条件を満たす必要がある。

- ・掘削面には防水シートが張られるため、掘削面が吊る方式以外でベルトコンベヤを支持する必要がある。
- ・防水シート張り台車やセントルは掘削作業に関係なく前後に移動可能である。
- ・覆工の作業場所は順次移動するため、ベルトコンベヤ支持も随時受け代える必要がある。

以上の条件を満足する機構として移動式支持台車を製作した。移動式支持台車を図-5 に示す。

移動式支持台車は3台の受け架台とベルトコンベヤを支持するビームから構成されている。移動は先頭の受け架台と後尾の架台に取り付けられたモーターの駆動によって行う。中間の受け架台はシート張り台車よりワイヤで牽引される構造となっており、ビームとは固定されてなく、ローラを介してビームを支持する構造になっている。

シート張り台車は先頭部の架台と中間の架台の間に位置し、その間を移動可能になっている。

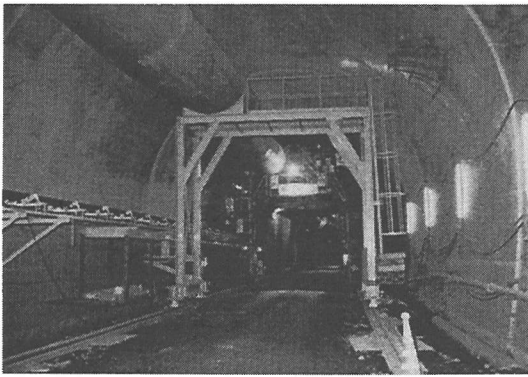


写真-3 移動式支持台車（坑口側）

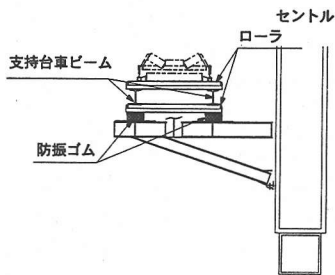


図-6 セントル部の支持方法

また、ビームの撓みを抑えるため、シート張り台車はローラを介してビームを支持する構造になっている。

一方、中間の架台と後尾の架台の間にはセントルが位置し、その間をセントルは前後に移動可能になっている。セントルはシート張り台車同様ビームの撓みを抑えるため、防振ゴムを取付けたローラを介して支持する構造になっている。図-6 にセントル部の支持構造を示す。

この移動式支持台車により、ベルトコンベヤを支持しながら、防水シートの台車の移動やセントルの移動が可能になり、ベルトコンベヤの組立てや解体をすることなく連続的に支持することが可能となった。

(2) 掘削部のベルトコンベヤ

掘削部では、切羽からの湧水処理や路盤の維持のため、断面両サイドに側溝を設ける場合が多く、路盤からのベルトコンベヤ支持は邪魔になる。また掘削部は、重機の離合が激しく低い位置にベルトコンベヤを配置すると作業に支障する。あまり高い位置に配置するとベルトコンベヤからの落石があった場合に危険であるため、覆工と同様に路盤より約2.5mの位置に配置した。一方ベルトコンベヤの固定方法は、延長時容易に支持できる構造にする必要があるため、掘削側面より片側チェーンで吊り、他方はアンカーで固定する構造と

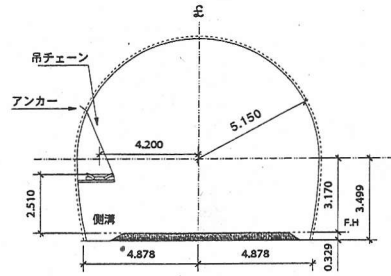


図-7 掘削部付近の側壁部のベルトコンベヤ支持方法

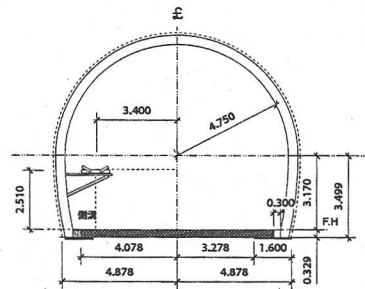


図-8 覆工完了部のベルトコンベヤ支持方法

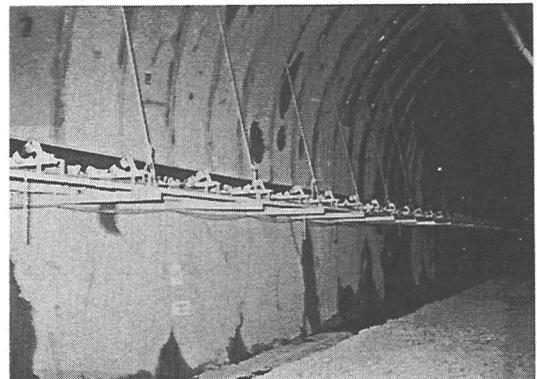


写真-4 掘削部付近の側壁部のベルトコンベヤ支持方法

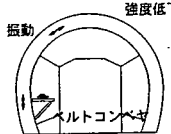
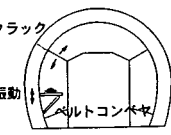
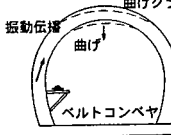

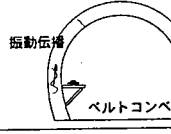
した。図-7 に掘削部のベルトコンベヤ支持構造を示す。

(3) 覆工完了部のベルトコンベヤ

覆工完了部においては、通行車両や路盤の維持管理のために設けられる仮設側溝の維持管理及びインバート施工などに支障を与えない位置にベルトコンベヤを配置しなければいけない。そのため覆工作業部と同様に路盤より約2.5mの高さに配置した。

一方、ベルトコンベヤの支持方法は覆工コンクリート側面よりブラケットで支持する構造とした。

表-1 ベルトコンベヤ振動による覆工コンクリートへの影響

発生原因	概要	発生モード
①養生中のコンクリート強度低下	初期材合のコンクリートに振動が加わり、材料分離等を起こして、強度が低下する。	振動 強度低下 
②セントルの継ぎ目部の相対変位	セントルの天端部と側壁部のパネルが振動により相対変位し、その境界部にクラックが発生する。	クラック 振動 
③曲げ振動による曲げ変形	トンネルの内空方向の振動により、コンクリートに曲げが発生して、曲げクラックが発生する。	曲げクラック 振動伝播 曲げ 
④動的荷重	ベルトコンベヤの動的荷重が加わり、引張りクラックを助長させる。	荷重増大 動的荷重 ベルトコンベヤ 
⑤引張り波	振動により引張り波が生じて、コンクリートに引張りクラックが発生する。	振動伝播 ベルトコンベヤ 

4. ベルトコンベヤの振動による覆工コンクリートへの影響

(1) 概要

ベルトコンベヤを支持する構造は、覆工完了部ではブラケットにより覆工コンクリートで支持し、セントル部ではベルトコンベヤの振動が弱齢時のコンクリート強度発現に悪影響が出ることを防ぐために防振ゴムを介した方法を採用した。

ここでは、実際にベルトコンベヤ稼働時の覆工コンクリートおよびセントルの振動を測定し、振動の発生状況とそのコンクリートへの影響について検討を行った。

(2) 振動による覆工コンクリートへの影響

ベルトコンベヤの振動による覆工コンクリートへの影響としては、表-1に示す5項目が考えられる。

(3) 検討項目

表-1の覆工コンクリートへの影響を検討するため、振動測定は、表-2に示す4項目について行った。

表-2 振動の検討項目と測定内容

検討項目	測定内容
振動発生源の検討	ベルトコンベヤ駆動部および中間ブラスターからの距離とブラケットの振動の振幅の関係を測定
ベルトコンベヤの動的荷重	動的荷重を測定するために、ベルトコンベヤ架台にひずみゲージを貼り、静的荷重と比較して動的荷重を測定
覆工コンクリートの振動モード	覆工コンクリートに振動計を取り付けて振動測定を行い、振動モードおよび最大値をと共振の有無を測定
セントルの振動	セントルの各部分で振動を測定し、最大値を測定と防振ゴムの効果を比較し、防振ゴムの効果を測定

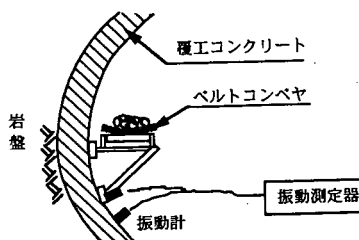


図-9 ブラケットでの振動測定位置

(4) ベルトコンベヤの振動発生源について

a) 測定方法

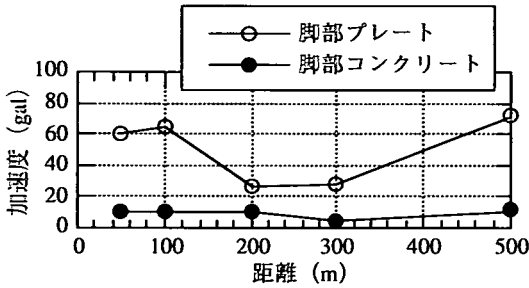
ベルトコンベヤの振動は、ベルトコンベヤの駆動部から発生するもの、およびベルトコンベヤのローラを掘削ずりが乗り越える時に発生するものが考えられる。そこで、ベルトコンベヤの振動発生源を検討するために、駆動部からの距離と振動の振幅の関係について測定を行った。

ベルトコンベヤの駆動部は、トンネル坑口に設置してある。ベルトコンベヤは、駆動部から50m間はトンネルの底盤に支持され、それ以降はブラケットにより覆工コンクリートに支持されている。また、坑口から1600mの位置には中間ブラスターが設置されている。なお、中間ブラスターの前後300m間では、振動の伝播をより低減するために、ブラケットの脚部プレートと覆工コンクリートの間には、厚さ2mmのゴムを挟んである。

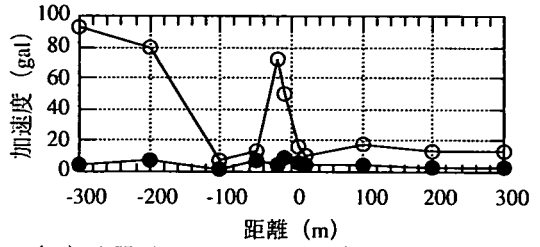
振動測定は、掘削ずりの搬出中に、図-9に示すブラケットの脚部プレートとその2cm横の覆工コンクリートで行った。測定器は、携帯型振動計VM-61(リオン社製)を使用した。

b) 測定結果

図-10に駆動部および中間ブラスターからの距離



(a) 駆動部からの距離と加速度の関係



(b) 中間ブースターからの距離と加速度の関係

図-10 ベルトコンベヤの駆動部および中間ブースターからの距離と加速度の関係

と加速度の関係を示す。脚部プレートの加速度は10～70galであり、その横の覆工コンクリートの加速度は、脚部プレートをコンクリートに固定している部分で5～12gal、ゴムを挟んである部分で3～9galであり、ゴムを挟むことにより、覆工コンクリートの振動は30%程度低減している。

図-10から分かるように、ベルトコンベヤの駆動部および中間ブースターからの距離と振幅との相関は見られないため、ベルトコンベヤの走行およびベルトコンベヤのローラを掘削ずりが乗り越える時に振動が発生していると考えられる。

なお、脚部プレートで加速度が100gal近くと大きくなっている部分があるが、これはプレートが斜めになってプレートの一部しかコンクリートに接していなかったり、固定用のボルトの一部が緩んでいる等の固定度がやや緩かった箇所である。しかし、その部分でも覆工コンクリートの振動は大きくなっておらず、ブラケットの固定度は覆工コンクリートへの振動伝播に対しては影響していないことが分かる。

(5) ベルトコンベヤの動的荷重

a) 測定方法

ベルトコンベヤの振動が覆工コンクリートに与える動的荷重を求めるために、図-11に示すように、ベルトコンベヤのブラケットの基部にひずみゲージを貼り、掘削ずり搬出時の動的ひずみを測定した。また、ベルトコンベヤに静的荷重(人間)を加えた場合のひずみを測定し、両者の比較からベルトコンベヤの動的荷重を算定した。

b) 測定結果

図-12に700Nの静的荷重時とベルトコンベヤ稼働時のひずみ測定結果を示す。両者を比較すると、700N静的荷重時のひずみ 37.47μ に対し、ベルトコンベヤ稼働時のひずみ 48.77μ で動的荷重は910N(実効値230N)と考えられ、覆工コンクリートに悪影響を与えるような動的荷重は発生していないことが分かる。

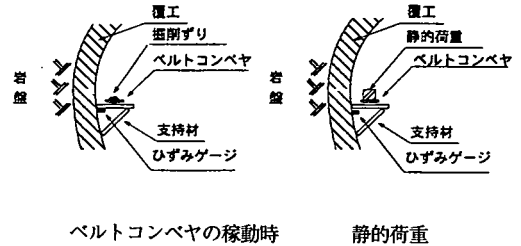


図-11 ベルトコンベヤの動的荷重の測定方法

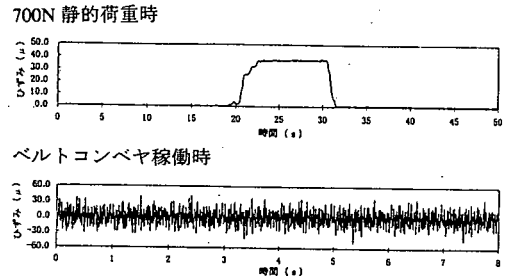


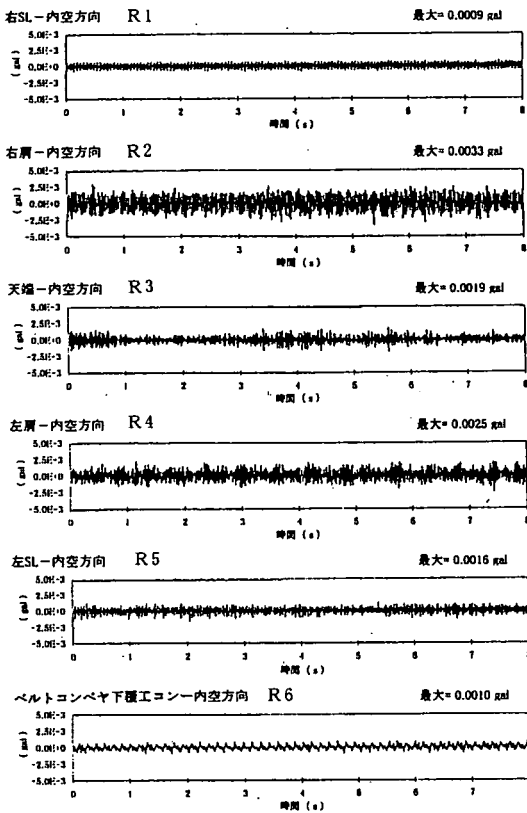
図-12 700N静的荷重時とベルトコンベヤ稼働時のひずみ測定結果

(6) 覆工コンクリート部における振動モードの検討

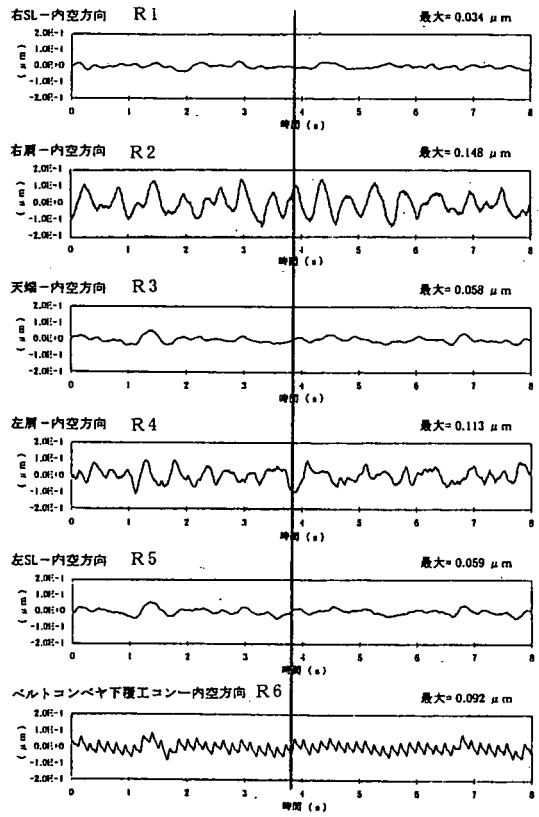
a) 測定方法

ベルトコンベヤの振動により、覆工コンクリート部が共振を起して振動が増幅しているかどうかを検討するために、覆工コンクリート部に振動計を取り付けて同時測定を行い、振動モードおよび最大値を測定した。

測定位置を図-13に示す。図中の矢印は、振動の測定方向である。振動モードを検討するために、測定は内空方向(R方向)を主に行い、ベルトコンベヤが取り付けられている左側および天端ではトンネル周方向(θ 方向)の測定も行った。振動計は、振動技研社製のSTP-100を使用し、加速度および変位の測定を行った。



(a) 加速度波形



(b) 変位波形

図-14 覆工コンクリートの振動波形

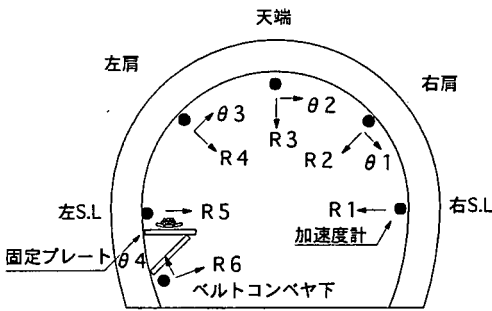


図-13 覆工コンクリート部における振動測定的位置

各測定時の最大値は表-3 のようになっており、最大振幅は右肩部で加速度で 0.003gal、変位で $0.15\mu\text{m}$ 以下と小さい値となっており、共振による増幅は認められない。なお、ベルトコンベヤ稼働時の振幅は、停止時の 1.5 倍程度である。

ベルトコンベヤ下の測定位置はブラケットの固定プレートから 2m 離れた位置にある。固定プレート近傍 (左 S.L.) では数 gal 程度の振幅であったが、2m 離れると 0.001gal と急激に減衰しており、覆工の振動はベルトコンベヤを固定しているブラケットの極く近傍に限られることが分かる。

c) 振動モードとその影響の検討

測定結果によると、覆工コンクリートの振動による変形は、図-15 のように天端があまり動かず、右肩と左肩が逆位相で変形するモードが主となっていた。この変形モードを覆工の天端からスプリングラインまでを図-15 のように梁にモデル化し、その梁に等分布荷重が作用するとして、コンクリートに発生する応力を算定する。

b) 測定結果

ベルトコンベヤ稼働時の加速度および変位波形の例を図-14 に示す。加速度波形の卓越振動数は 30~40Hz であり、変位波形での卓越振動数は 1~4Hz である。

図-14 の変位波形に直線で示した時刻での振動の位相では、天端は変化が少なく、右肩と左肩は逆位相で振動している振動モードが見られる。

表-3 各測定点の最大振幅

測定点	方向	ベルトコンベヤ 停止時		ベルトコンベヤ 稼働時	
		加速度 (gal)	変位 (μ m)	加速度 (gal)	変位 (μ m)
右S.L	R1	0.0008	0.047	0.0009	0.034
右肩	R2	0.0021	0.098	0.0033	0.148
天端	R3	0.0003	0.047	0.0019	0.058
	θ 2	0.0002	0.057	0.0017	0.055
左肩	R4	0.0021	0.095	0.0025	0.113
	θ 3	0.0013	0.052	0.0014	0.057
左S.L	R5	0.0017	0.053	0.0016	0.059
ベルトコ ンベヤ下	R6	0.0009	0.081	0.0010	0.092
	θ 4	0.0009	0.088	0.0010	0.088

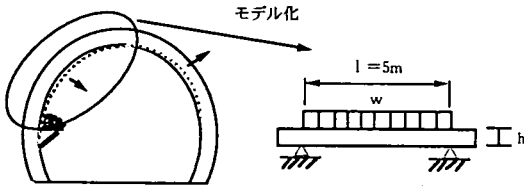


図-15 覆工コンクリート部における
振動モードのモデル化

梁の縁応力の最大値 σ_{max} と最大変位 y_{max} の関係は、以下の式で表される。ここで、 h は梁の高さ、 E はコンクリートのヤング率、 l は梁の長さである。

$$\sigma_{max} = \frac{24hE}{5l^2} y_{max} \quad (1)$$

式(1)に $l=5m$, $h=30cm$, $E=25750N/mm^2$ および y_{max} として測定された最大変位 $2.8 \times 10^{-4}mm$ を代入すると、 $\sigma_{max}=4.15 \times 10^{-4}N/mm^2$ となる。このように、振動により発生する曲げ応力は非常に小さく、覆工には影響がないことが分かる。

以上の検討は、硬化後のフレッシュコンクリートに対するものであり、弱材令時のコンクリートに対して以下に検討する。梁の曲げ変位 y_{max} は、外力が一定ならば材令 t 日のヤング率 $E(t)$ に反比例する。また、式(1)から分かるように、梁の応力 $\sigma_{max}(t)$ は $E(t)$ および $y_{max}(t)$ に比例するので、 $\sigma_{max}(t)$ は材令に関わらず一定となる。

今、材令 t 日のフレッシュコンクリートの引張強度 $f_t(t)$ とヤング率 $E(t)$ を、材令 t 日の圧縮強度 $f'_c(t)$ の関数

表-4 各材令時のコンクリートの物性値と
振動による発生応力、変位

材令 t (日)	圧縮強度 $f'_c(t)$ (N/mm^2)	引張強度 $f_t(t)$ (N/mm^2)	ヤング率 $E(t)$ (N/mm^2)	発生応力 σ_{max} (N/mm^2)	発生変位 y_{max} (mm)
1	5.5	0.82	11000	4.15×10^{-4}	6.5×10^{-4}
2	9.38	1.07	14400		5.0×10^{-4}
4	14.5	1.33	17800		4.0×10^{-4}
7	18.8	1.52	20400		3.5×10^{-4}
28	27.0	1.82	24400		3.0×10^{-4}
91	30.0	1.92	25800		2.8×10^{-4}

として以下の式で近似する。

$$f_t(t) = 0.35 \sqrt{f'_c(t)} \quad (2)$$

$$E(t) = 4700 \sqrt{f'_c(t)} \quad (3)$$

曲げによる縁応力の最大値 σ_{max} が、フレッシュコンクリートの引張強度 $f_t(t)$ に達する時の限界変位 y_{maxc} は、式(1)で $\sigma_{max}=f_t(t)$ と置き、式(2)、(3)を代入すると以下の式となり、材令に関わらず一定になる。

$$y_{maxc} = 1.55 \times 10^{-5} \frac{l^2}{h} \quad (4)$$

式(4)に $l=5m$, $h=30cm$ を代入すると $y_{maxc}=1.29mm$ となる。表-4 にコンクリートの各材令時の物性値と振動による発生応力および発生変位を示す。

ベルトコンベヤが覆工に固定されるのは、セントルから2ブロック後であるため、早くても打設4日後である。表-4 から、材令4日のコンクリートの許容値である引張強度は $1.33N/mm^2$ であり、振動により発生応力は $4.15 \times 10^{-4}N/mm^2$ と非常に小さく、弱材令時でも振動の影響はない。なお、表-4 から、材令1日でも影響ないことが分かる。

(7) ブラケット近傍の検討

覆工コンクリートでは、ベルトコンベヤを支持しているブラケットの近傍で $12gal$ の振動が発生していた。この振動による影響を検討する。

振動がコンクリート中を伝播する時に発生する応力 σ は、以下の式となる。

$$\sigma = \sqrt{\rho E / g} * V \quad (5)$$

ここで、 ρ は単位体積重量、 g は重力加速度で V は

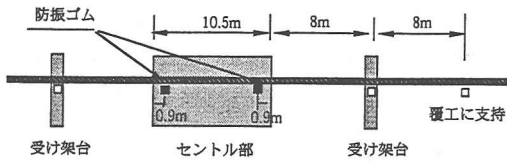


図-16 セントル部におけるベルトコンベヤ支持図(側面図)

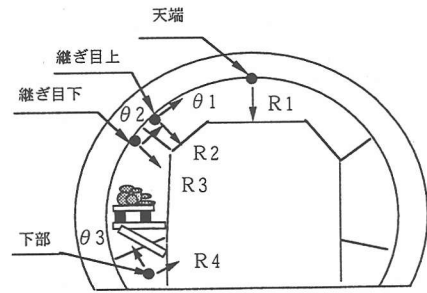
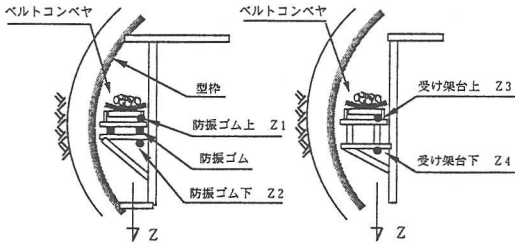


図-18 セントル部での測定位置



(a) セントル部での測定位置 (b) 受け架台での測定位置

図-16 セントル部および受け架台部上下における測定位置

速度振幅である。式(5)に、 $\rho = 2.4 \times 10^5 \text{ N/mm}^3$ 、Eは表-4の材令4日の値とする。加速度の卓越振動数は $f = 30 \text{ Hz}$ であるので、速度振幅 $V = 12 \text{ gal} / 2\pi f = 0.064 \text{ cm/s}$ を代入すると、振動により発生する応力は、 $\sigma = 0.0042 \text{ N/mm}^2$ となる。材令4日時のコンクリートの引張強度は 1.33 N/mm^2 であるので、振動によるコンクリートの引張りひび割れの可能性はないと言える。

(8) セントル部における振動

a) 測定方法

ベルトコンベヤは図-16に示すように、セントルの手前約8mで一旦ベルトコンベヤ受け架台で受けてから、セントル部で防振ゴムを介して支持されている。セントル部では、この防振ゴムの効果とセントル各部での振動を測定した。振動測定は、セントル手前のベルトコンベヤ受け架台、防振ゴム部およびセントルの3箇所において行った。

受け架台および防振ゴムでの測定は、図-17に示すように、上下方向(Z方向)の振動を測定した。セントルでは、図-18に示すように振動が大きいと考えられるセントル脚部、継目部および天端で測定した。測定方向は内空方向(R方向)を基本とし、セントル下部と継目部では周方向(theta方向)も測定した。

b) 測定結果

表-5に各測点での振動の最大値を示す。

表-5 セントル部の各測点での振動最大値

測点	方向	加速度 (gal)	速度 (cm/s)	変位 (μm)
防振ゴム上	Z1	62.2	0.09	13.7
防振ゴム下	Z2	33.3	0.03	4.77
受け架台上	Z3	26.2	0.17	23.9
受け架台下	Z4	26.8	0.20	24.9
セントル天端	R1	1.02	0.03	9.46
セントル継目上	R2	1.21	0.02	7.19
	$\theta 1$	1.52	0.02	7.10
セントル継目下	R3	1.49	0.02	5.53
	$\theta 2$	1.34	0.02	9.80
セントル脚部	R4	1.81	0.03	11.09
	$\theta 3$	3.13	0.05	12.46

ベルトコンベヤの受け架台や防振ゴムの上での振動は、加速度で20~60gal、変位で13~25 μm であったが、防振ゴムの下では、変位は5 μm と小さくなっていた。

また、セントル部の振動は加速度1~3gal、変位で5~12 μm と小さな値となっており、セントル継目部でも特に振動の増幅は認められない。

c) 防振ゴムの振動低減効果

防振ゴムの振動低減効果としては、防振ゴムの設置前と設置後の振動を比較して検討すべきであるが、今回は防振ゴム設置前の測定が行えなかったので、防振ゴムを設置していない支持台車の受け架台の振動を防振ゴム設置前の振動と考えて防振効果を検討する。

図-19に防振ゴム下および支持台車の受け架台における変位波形とそのフーリエスペクトルを示す。防振ゴム上および受け架台では8.5Hz、18Hz、26.5Hzに卓越振動数があり、それぞれ1次、2次、3次の振動と考えられる。防振ゴム下のフーリエでは、8.5Hzは1/6に18Hzは1/10に低減しており、また変位最大値も1/5に低減しており、防振ゴムの効果が認められる。

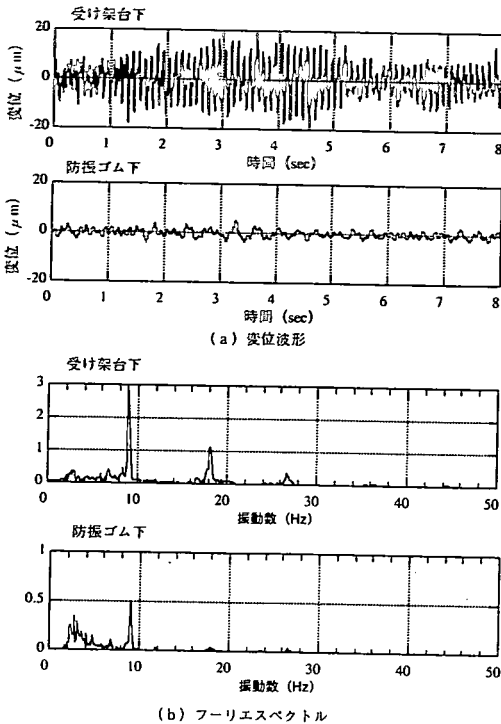


図-19 受け架台下と防振ゴム下の変位波形とそのフーリエスペクトル

d) コンクリートへの影響

養生中のコンクリートに対する振動の影響に関する既往の研究はあまり見られないが、道路のリニューアル工事における養生中のコンクリートの振動の影響を検討した事例では、振動の振幅が1mm以下の場合、コンクリートの強度低下はなく、逆に強度が高くなる傾向にあるとの報告がある²⁾。また、衝撃的な振動に関しては、発波振動を対象として、100Hzで加速度2000galの振動を数十回加えた場合、強度は高くなる傾向にあるとの報告がある³⁾。

今回の計測では、セメント部の振動は変位で5~10μm、加速度は1~3galであり、既往の研究よりも大幅に小さいため、ベルトコンベヤの振動による養生中のコンクリートへの影響はないと言える。

5. まとめ

(1) ベルトコンベヤの位置および支持方法

覆工作業部は移動式支持台車により、ベルトコンベヤ稼働に関係なく覆工作業が可能になった。また、掘削部も掘削側面よりチェーンおよびアンカーで吊るこ

とにより掘削作業に支障することなくベルトコンベヤを配置する事ができた。覆工完了部、インバート部もブラケットにより支持する事によりインバート作業に支障なくベルトコンベヤを配置することができた。それぞれ作業箇所を支障なくベルトコンベヤを配置し、また支持することで山岳工法のベルトコンベヤずり出し方式が可能になった。

(2) ベルトコンベヤ振動による覆工コンクリートへの影響について

a) 既設の覆工コンクリート部

- ・ベルトコンベヤの振動は、駆動部から発生しているのではなく、ベルトコンベヤの走行およびベルトコンベヤのローラを掘削ズリが乗り越える時に振動が発生している。
- ・ベルトコンベヤ稼働による動的荷重は910Nであり、問題となるような動的荷重は発生していない。
- ・ベルトコンベヤ稼働時の覆工コンクリートの振動の最大振幅は、以下のとおりである。

加速度：0.003gal,

変位：0.15μm

ベルトコンベヤ停止時の1.5倍であった。

- ・振動により発生する覆工コンクリートの曲げ応力は、 $4.15 \times 10^4 \text{N/mm}^2$ と推定され、材令4日の覆工コンクリート引張り強度 1.33N/mm^2 と比較して非常に小さく、振動の影響はない。

b) セメント部

- ・防振ゴム上および受け架台では8.5Hz、18Hz、26.5Hzに卓越振動数があり、8.5Hzは1/6に18Hzは1/10に低減しており、また変位最大値も1/5に低減しており、防振ゴムの効果が認められた。
- ・セメント部の振動は変位で5~10μm、加速度は1~3galであり、既往の研究よりも大幅に小さくベルトコンベヤの振動による養生中のコンクリートへの影響はないものと考えられた。

以上のように、ベルトコンベヤの振動は、既設の覆工コンクリートおよびセメント部において、覆工コンクリートへの影響はないものと考えられた。

6. おわりに

山岳工法におけるベルトコンベヤずり出しシステムの導入において、課題であったベルトコンベヤの位置、支持方法またベルトコンベヤの振動が与える覆工の影響について検討したが全く問題が無いことが分かった。これらの方法により山岳工法におけるベルトコンベヤ

ずり出し方式が可能となった。

振動を受けるコンクリートの諸性質について、セメント・コンクリート, No.287, 1971.

参考文献

1) (社) 土木学会：コンクリート標準示方書施工編, 1996.

3) 福留和人, 喜多達夫：若材令時コンクリートへの荷重および衝撃振動の影響, 間組研究年報, 1986, pp143-155

2) 山下宣博, 平野 実, 塚山隆一, 神垣典明：養生中に継続

(2001.4.24 受付)

STUDY ON THE DEVELOPMENT OF BELT CONVEYOR MUCKING SYSTEM IN TUNNEL

Yukio YOSHITOMI, Jun KAWAKAMI and Keisuke SHIMIZU

It is one of the most important problems in tunneling jobs to improve its working environment. Particularly in muck haulage, dump trucks have been used for mucking out, and this causes an inferior work environment in tunnels due to exhaust gas and dust produced by dump trucks. The authors developed the Continuous Conveyor System for the removal of spoil excavated by drilling+blasting method instead of dump truck transportation. Generally, excavation, concrete lining and invert work are concurrently executed in tunnel construction. The difficulty was to complete the conveyor system that would not disturb another works. This paper describes the arrangement and support measures of belt conveyor that were the most important point in this development and for applying this system to muck haulage in tunnels.