

参—1 連続ベルトコンベア工法

連続ベルトコンベア方式を採用するに当たっての、自由意見を参考にして

- ① 機械に関する資料
- ② 計画時の留意点
- ③ 特殊な事例

を示す。あくまで参考資料である。実際の計画時にはさらに詳細な検討が必要である。

1. 機械仕様等

ベルトコンベアの運搬量の算出方法およびそれに付随する電力量やベルトの安全率等について示す。

またクラッシャーの比較表やベルトの仕様について示す。

詳細な仕様はメーカーに確認してほしい。

1.1.1 機械仕様等

1) ベルトコンベア運搬量

次ページに計算例を示す。

1. ベルトコンベヤ運搬量

$Q = 60AV\gamma$	<p>Q : 運搬量 (t/h)</p> <p>A : 積載断面積 (m²)</p> <p>V : ベルト速度 (m/min)</p> <p>γ : 運搬物の見掛けの比重 (t/m³)</p>
------------------	--

1-1. 積荷の側角 (α)

側角 α	積荷の種類、方法、管理状態
10°	乾燥したこまやかな粉状物
20°	ばら物の大部分 (石炭、砂利、鉱石、原炭類) 普通の設備で普通の管理状態で運搬する場合
30°	運搬物の粒度が比較的大きく、積込み設備が整って常にベルトいっぱい ムラなく積み込まれ、ベルトは常に直行するように管理されている場合

1-2. 積載断面積

$A = K(0.9B - 0.05)^2$	<p>A : 積載断面積 (m²)</p> <p>K : 定数</p> <p>B : ベルト幅 (m)</p>
------------------------	--

キャリアの型式	トラフ角度	K		
		10°	20°	30°
ロールトラフキャリア	25°	0.1113	0.1381	0.1661
	27°	0.11606	0.14238	0.16982
	30°	0.1232	0.1488	0.1754

1-3. 条件

ベルト速度	V =	150	m/min	
見掛け比重	γ =	1.6	t/m ³	
定数	K =	0.1488	(トラフ角30° 側角20°)	
ベルト幅	B =	0.61	m	

1-4. 計算

$$A = 0.1488 \times (0.9 \times 0.61 - 0.05)^2 = 0.0371 \text{ m}^2$$

$$Q = 60 \times 0.0371 \times 150 \times 1.6 = 534.2 \text{ t/h}$$

2. 所要動力の検討

$P = P1 + P2 + P3$	P : 計算動力 (kW)
$P1 = \frac{f(L+Lo)W \cdot g \cdot V}{60000}$	$P1$: 水平無負荷動力 (kW)
$P2 = \frac{f(L+Lo)Q1 \cdot g}{3600}$	$P2$: 水平負荷動力 (kW)
$P3 = \frac{H \cdot Q1 \cdot g}{3600}$	$P3$: 垂直負荷動力 (kW)
	(下りベルトコンベヤの時はマイナスとする)
	f : ローラー軸受の回転摩擦係数
	W : 運搬物以外の運動部分の質量 (kg/m)
	V : ベルト速度 (m/min)
	H : 揚程 (m)
	(トリッパがある場合はトリッパの立上り高さ含む)
	L : 水平機長 (m)
	Lo : 水平修正機長 (m)
	$Q1$: 実際の運搬量 (t/h)

2-1. ローラーの回転摩擦係数(f)と水平修正係数(Lo)

f	Lo	コンベヤの構造
0.03	49	回転抵抗が普通のローラーを使用した場合
0.022	66	回転抵抗が特に少ないローラーを使用した場合
0.012	156	下りコンベヤの制動力を計算する場合
0.45	18	ゴルフ場用マンコン等下面に布面で滑らせるプレート用コンベヤの時

2-2. 条件

キャリアローラー回転部質量	$W1 = 12.6$ kg		
リターンローラー回転部質量	$W2 = 8$ kg		
キャリアローラーピッチ	$L1 = 1.5$ m		
リターンローラーピッチ	$L2 = 3$ m		
ローラー軸受の回転摩擦係数 $f =$	0.03	ベルト速度	$V = 150$ m/min
揚程 $H =$	0 m	水平機長	$L = 2000$ m
水平修正機長 $Lo =$	49 m	実際の運搬量 $Q1 =$	300 t/h
ベルト質量 $w =$	7.3 kg	機械効率 $\eta =$	0.85
重力加速度 $g =$	9.807 m/s ²		

2-3. 計算

$$W = \frac{W1}{L1} + \frac{W2}{L2} + 2 \times w = \frac{12.6}{1.5} + \frac{8}{3} + 2 \times 7.3$$

$$= 25.7 \text{ kg/m}$$

$$P1 = \frac{0.03 \times (2000 + 49) \times 25.7 \times 9.807 \times 150}{60000}$$

$$= 38.73 \text{ kW}$$

$$P2 = \frac{0.03 \times (2000 + 49) \times 300 \times 9.807}{3600}$$

$$= 50.24 \text{ kW}$$

$$P3 = \frac{0 \times 300 \times 9.807}{3600}$$

$$= 0.00 \text{ kW}$$

$$P = 38.73 + 50.24 + 0.00$$

$$= 88.97 \text{ kW}$$

必要動力

$$P\Sigma = \frac{P}{\eta} = \frac{88.97}{0.85} = 104.7 \text{ kW}$$

3. 最大張力

$W_m = \frac{Q_1}{0.06V}$	Fp: 有効張力 (kN)
$F_p = \frac{60 \times P}{V}$	F2: 緩み側張力 (kN)
$F_2 = F_p \times \frac{1}{e^{\mu\theta} - 1}$	F3: 傾斜による張力 (kN)
$F_3 = \frac{W_1 \cdot g \cdot L (\tan \alpha - f)}{1000}$	F4: 最小張力 (kN)
$F_4 = \frac{6.25L_1 (W_m + W_1) g}{1000}$	V: ベルト速度 (m/min)
$F_{max} = F_p + F_2$	P: 計算動力 (kW)
	μ : プーリとベルトの摩擦係数
	θ : ドライブプーリへのベルトの接触角 (°)
	駆動係数 $\frac{1}{e^{\mu\theta} - 1}$: 表1より
	L1: キャリアローラーピッチ (m)
	Wm: コンベヤ1m当りの 運搬物の積載質量 (kg/m)
	W1: 1m当りのベルト質量 (kg/m)
	g: 重力加速度 (9.807m/s ²)
	α : 傾斜角度 (°)
	f: ローラー軸受の回転摩擦係数

3-1. ベルトの巻付角 (θ)

ドライブプーリへのベルトの巻付角はコンベヤの駆動方式により異なりますが、一般的には下表の値を用います。

駆動方式	ベルト巻付角 θ
シングルドライブ	180°
スナッププーリー付シングルドライブ	200° ~ 220°
タンデム型シングルドライブ	220° ~ 240°
タンデムドライブ	400° ~ 440°

3-2. 摩擦係数 (μ)

ドライブプーリへのベルトとの間にはプーリ表面の状態及び材質によって異なりますが、一般的には下表の値を用います。

ドライブプーリの種類	ドライブプーリの表面状態	摩擦係数 μ
裸のプーリー (鋼鉄製)	泥水でぬれている場合	0.1
	湿っている場合	0.1~0.2
	乾いている場合	0.3
溝付ゴムラッキングをしたプーリ	泥水でぬれている場合	0.2
	湿っている場合	0.2~0.3
	乾いている場合	0.35
スリップガードラッキングしたプーリ (セラミック)	泥水でぬれている場合	0.3
	湿っている場合	0.3~0.4
	乾いている場合	0.4

3-3. 駆動係数

$$\frac{1}{e^{\mu\theta} - 1} \quad \text{一覽表}$$

$\theta \backslash \mu$	0.1	0.15	0.2	0.25	0.3	0.35	0.4
180°	2.71	1.66	1.14	0.838	0.639	0.5	0.398
190°	2.55	1.55	1.06	0.775	0.587	0.456	0.362
200°	2.4	1.45	0.991	0.718	0.541	0.418	0.33
210°	2.26	1.37	0.925	0.667	0.5	0.384	0.301
220°	2.14	1.28	0.866	0.621	0.462	0.353	0.275
230°	2.03	1.21	0.812	0.579	0.429	0.325	0.252
240°	1.92	1.14	0.763	0.541	0.398	0.3	0.231
250°	1.83	1.08	0.718	0.506	0.37	0.278	0.212
260°	1.74	1.03	0.677	0.474	0.345	0.257	0.195
270°	1.66	0.974	0.639	0.445	0.322	0.238	0.179
280°	1.59	0.925	0.603	0.418	0.3	0.221	0.165
290°	1.52	0.88	0.571	0.393	0.281	0.205	0.152
300°	1.45	0.838	0.541	0.37	0.263	0.191	0.141
310°	1.39	0.8	0.513	0.349	0.246	0.177	0.13
320°	1.34	0.763	0.487	0.329	0.23	0.165	0.12
330°	1.28	0.729	0.462	0.311	0.216	0.154	0.111
340°	1.24	0.697	0.439	0.294	0.203	0.143	0.103
350°	1.19	0.667	0.418	0.278	0.191	0.134	0.095
360°	1.14	0.639	0.398	0.263	0.179	0.125	0.088
370°	1.1	0.612	0.379	0.249	0.168	0.117	0.082
380°	1.06	0.587	0.361	0.235	0.158	0.109	0.076
390°	1.03	0.563	0.345	0.223	0.149	0.102	0.071
400°	0.991	0.541	0.329	0.212	0.141	0.095	0.065
410°	0.957	0.52	0.314	0.201	0.132	0.089	0.061
420°	0.925	0.5	0.3	0.191	0.125	0.083	0.056
430°	0.895	0.481	0.287	0.181	0.118	0.078	0.052
440°	0.866	0.462	0.274	0.172	0.111	0.073	0.049
450°	0.838	0.445	0.263	0.163	0.105	0.068	—
460°	0.812	0.429	0.251	0.155	0.099	0.064	—
470°	0.787	0.413	0.241	0.148	0.093	0.06	—
480°	0.763	0.398	0.23	0.141	0.088	0.056	—
490°	0.74	0.384	0.221	0.134	0.083	0.053	—
500°	0.718	0.37	0.212	0.127	0.079	0.05	—

表 1

3-4. 条件

プーリとベルトの摩擦係数	$\mu = 0.25$
ドライブプーリへのベルトの接触角	$\theta = 420^\circ$
駆動係数 (表 1 より)	$= 0.191$ (表 1 より)
1 m 当りのベルト質量	$W1 = 7.3 \text{ kg/m}$
傾斜角度	$\alpha = 4.5^\circ$
計算動力	$P = 88.97 \text{ kW}$
ベルト速度	$V = 150 \text{ m/min}$
実際の運搬量	$Q = 300 \text{ t/h}$
ローラー軸受の回転摩擦係数	$f = 0.03$
水平機長	$L = 2000 \text{ m}$
キャリアローラーピッチ	$L1 = 1.5 \text{ m}$

3-5. 計算

コンベヤ 1 m 当りの運搬物の積載質量

$$W_m = \frac{300}{0.06 \times 150} = 33.33 \text{ kg/m}$$

有効張力

$$F_p = \frac{60 \times 88.97}{150} = 35.59 \text{ kN}$$

緩み側張力

$$F_2 = 35.6 \times 0.191 = 6.80 \text{ kN}$$

傾斜による張力

$$F_3 = 7.3 \times 9.807 \times 2000 \times (\tan 4.5 - 0.03) / 1000 = 6.97 \text{ kN}$$

最小張力

$$F_4 = 6.25 \times 1.5 \times (33.33 + 7.3) \times 9.807 / 1000 = 3.74 \text{ kN}$$

最大張力

$$F_{\max} = 35.59 + 6.80 = 42.39 \text{ kN}$$

4. ベルト安全率

$S_f = \frac{\eta T \times b}{F_{\max}}$	<p>b : ベルト幅 (cm) ηT : ベルト強度 (kN/cm) S_f : ベルト安全率 仮設コンベヤ、ベルト加硫接合の場合8以上</p>
--	--

ベルトの選定

ベルト幅	61 cm
張力	630 kg/cm 呼称 (6.2kN/cm)
プライス	3
仕様	W610mm×3P×5 (上ゴム厚) × 2 (下ゴム厚)

4-3-7 ベルトの安全率

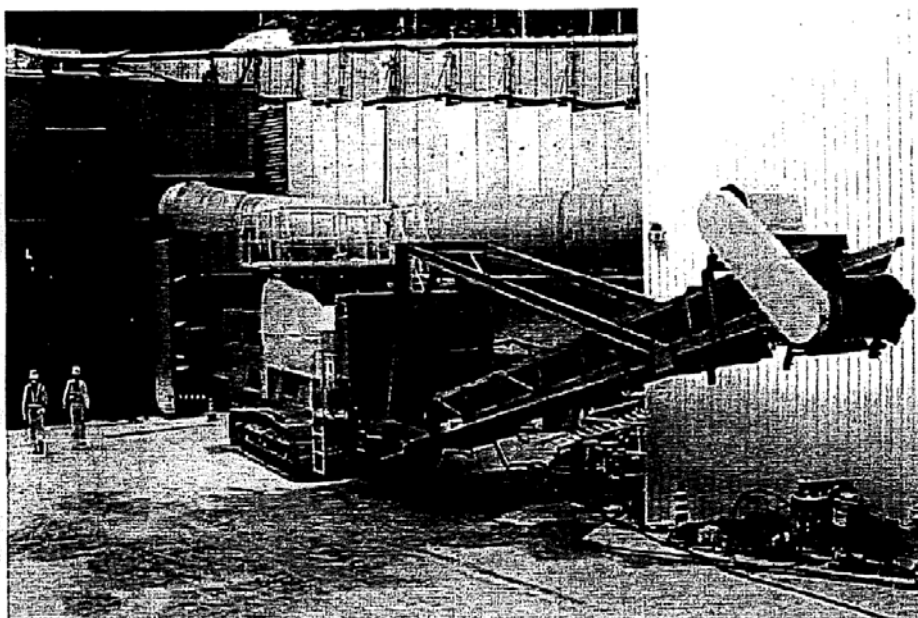
$$S_f = \frac{6.2 \times 61}{42.39} \quad (\text{安全率})$$

$$= 8.9 > 8$$

2) 自走式クラッシャーの選定資料

自走式クラッシャーの例を以下に示す。

写真 (NT300)



I 仕様

項目	NT200(55kW)	NT250(90kW)	NT300(132kW)
製品サイズ(mm)	200~250mm	200~250mm	200~250mm
能力(搬出量)(T/H)	150~250T/H	200~300T/H	250~350T/H
岩石強度(kg/cm ²)	軟岩~準硬岩	準硬岩~硬岩	準硬岩~硬岩
	800kg/cm ² 未満	800kg/cm ² 以上 1000kg/cm ² 未満	1000kg/cm ² 以上 2000kg/cm ² 未満
通常投入サイズ(mm) (最大供給寸法)	350×600×700 (500×800×1000)	350×600×700 (500×800×1000)	400×650×700 (600×950×1000)
投入ホツバの高さ(mm)	3400	3400	3600
投入ホツバの容積(m ³)	2.6m ³	2.6m ³	3.8m ³
ランニングコスト	-----	-----	-----

- * 機械選定は、①破碎したい岩石強度
②必要能力 (ズリ処理にかけれる時間)
- * 能力は、クラッシャ破碎分に破碎不要分を足した能力です。
クラッシャ破碎 200T/Hと発破ズリ内に破碎不要分が30%ある場合は280T/Hとなります。
280T/Hの場合 断面85m²を1.2m掘削したズリを約1時間で処理することになります。
- * 大きく破碎すれば能力は多くなり、小さく破碎すれば能力は少なくなります。
- * ランニングコストは、原石質、水分量 等で大きく異なるため不明です。

3) ベルト仕様の例

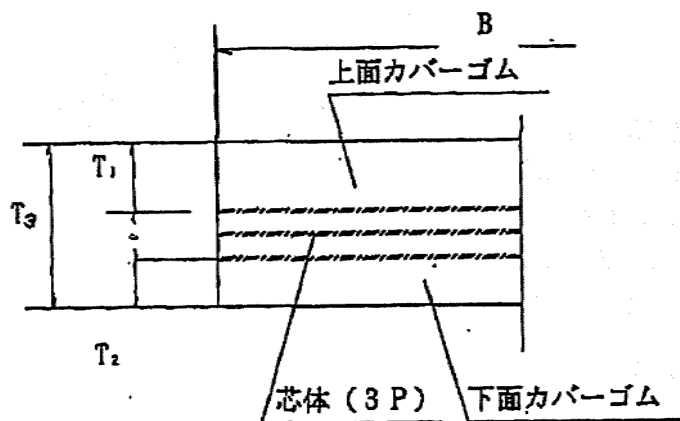
1. サイズ

呼称強力	幅	プライ数	上ゴム厚	下ゴム厚
630/3	610	× 3p	× 5.0	× 2.0

2. 製品荷姿

1巻長さ m	ベルト重量 kg/m	ベルト重量 Ton/巻	梱包重量 Ton/巻	総重量 Ton/巻	荷姿外径 m
300	7.3	2.2	0.2	2.4	2.3

3. 構造図 (寸法交差については JIS k 6322 に準拠)



B mm	Tmm			プライ数	芯体材質	カバー ゴム質
610	T1	T2	T3	3p	ナイロン	JIS-S

2. 計画時の留意点

2.1 計画にあたって留意事項

山岳トンネル工事に連続コンベヤ設備を計画するにあたり必要な項目は、概ね以下のとおりである。

- トンネルの延長
 - ベルコンドライブユニット大きさ
- トンネルの線形
 - カーブ、勾配への対応、ベルコンドライブパワーの検討
- トンネルの断面
 - 坑内施工機械との離合、ブースタードライブの配置
- 連続コンベヤを設置する場所
 - 寒冷地対策の必要
- 時間あたりのずり搬出量
 - クラッシャーの選択、コンベヤの巾、スピード、トラフ角などのコンベヤ仕様の検討
- コンベヤ搬送物（トンネルずり）の性状
 - クラッシャーの選択、コンベヤの巾、スピード、トラフ角、ベルト洗浄などコンベヤ仕様の検討
- セントルフォーム通過部の位置
- 坑口部のレイアウト
 - 坑外コンベヤの配置、ずりの仮置き場所の容量
- 電気容量

2.2 留意事項の内容

2.2.1 クラッシャー

掘削時のずりの大きさは一般にベルト幅の 1/3 以下にするのが望ましい。使用されるベルト幅は 610mm が多い。したがってずりの大きさは 200mm 以下にすべきである。実際の掘削ではこれ以上のずりが発生する。したがってベルトに載せる前に前処理が必要になる。

このため多くの使用例ではテールピースの前にクラッシャーをセットして小割する。クラッシャーの刃の間隔は 200mm 以下にセットする。岩質によっては扁平に割れ一部の方向は 200mm 以上になる場合がある。この場合は刃幅を再度調整する。またクラッシャーに投入するずりもホッパーに入る大きさ以下にする。このため一般には切羽付近にてブレーカーによる小割り作業が必要になる。（またはダンプトラックで坑外に搬出する。なおクラッシャーの能力はベルコンの運搬能力に応じたものにする。さらにずりの投入ホッパーの位置は高いので積み込み機の揚重高さも確認する。

2.2.2 積み込み機

ベルコンのテールピースの設置位置は出来るだけ切羽に近いほうが有利である。一方

発破の退避距離や上半先進の場合のベンチ長、切羽付近の機械の置場などより実際の設置場所は切羽からかなり離れる場合がある。この場合ずり積機は切羽とテーブルピース間を往復することになる。サイクルタイムはこの運搬距離を考慮する必要がある。通常のずり出し時間と同じような所要時間を期待するなら機械の大型化や走行速度の速い機械複数台の使用等を検討する必要がある。

2.2.3 インバート施工

ベルコンの設置場所に関しては機械システム上は坑内のどの位置でも自由である。もっとも楽な設置場所は路盤にじかに設置する方法である。しかしながらこの場合、インバートを施工する場合に邪魔になる。したがって通常はインバート施工に邪魔にならないところとなる。掘削を考慮すれば路盤より 1.5m～2.0m は上にセットしたい。

2.2.4 セントルと設置位置

トンネル工事の工期を考慮すれば掘削と覆工が同時施工になる。したがってベルコンとセントルはお互いにフリーでなければならない。このためセントルの骨組みの空間にベルコンを通すことになる。このため一般には側壁で路盤より 1.5m～2.0m 程度高いところで側壁の吹き付け面から 1m 程度はなれた位置にセットすることが多い。

2.2.5 対象地質

ベルコン工法はずり出し方法なので一般には地質に関係はしない。しかし機構上以下の地質のトンネルでは下記にしめす問題について慎重に検討することが求められる。

1) 粘性土

クラッシャーの刃にこびりつく。これを除去するのは困難である。水をまくことが多いがかえって粘土がべちゃべちゃになったり、コンベアに乗らなったりする。さらにクラッシャーの刃の磨耗をはやめる。

2) 不良地山

掘削後しばらくして後荷がきて変位が大きくなる地山がある。このため切羽後方で縫い返しが発生する場合がある。このときベルコンが作業の邪魔になり撤去することになる。するとこの間切羽の掘進は中止せざるを得ない。またベルコンの当該区間の撤去、再設置が生じる。したがって縫い返しが多発発生しそうな山や何らかの理由で同様な作業が発生しそうなトンネルでは全体工程との関係を検討する必要がある。

3. 特殊な連続ベルコン使用事例

連続ベルコンは長距離を1本のベルコンで処理することでその威力を発揮する。一方その構造から曲線に対しては構造的に対応が困難である。このため採用に至らない例も多い。ここではそれらの問題を解決するためのヒントとして3つの特殊な事例を紹介する。

3.1 急曲線対応 (R30mでの適用事例)

第二東名高速道路 清水第四トンネルでは先進導坑の掘削はTBMで計画されていた。TBMは下り線を掘削しUターンして続けて上り線を掘削する計画である。Uターン部の平面線形はR30mの急曲線である。

ここに連続ベルコンが採用された。曲線部分にはベルトの形状を任意に変更できる複数のキャリアを設置しベルトをU字型に湾曲させて排土がこぼれないようにした。



ベルトコンベアの設置台とローラー
(上部をU字型に湾曲させたベルト)



急曲線での設置状況
(壁面左に設置されているのがベルト
コンベアシステム)

写真 大林組 HP News Release より
参考文献) トンネルと地下 2004年7月号 R30mを含む連続ベルコンを用いたTBM施工

3.2 連続ベルトコンベアUターン装置

単線併設の地下鉄トンネル等でUターン施工が増えている。ここでのずり出しは水平Uターン、立坑の水平—垂直方向転換が必要になる。これを1本の連続ベルコンで可能にしたのが連続ベルトコンベアUターン装置である。この装置は2台の捻転装置で構成されている。装置内に配置したプーリーで90°捻り、コンベアの運転方向を直角に変える。再度捻転装置を通過したベルトは再び直角に運転方向を変える。これでUターンを完了する。この装置の長所はトンネルの離隔やUターンのスペースに左右されないでUターンが可能なこと、またL字やクランクも対応可能な点である。

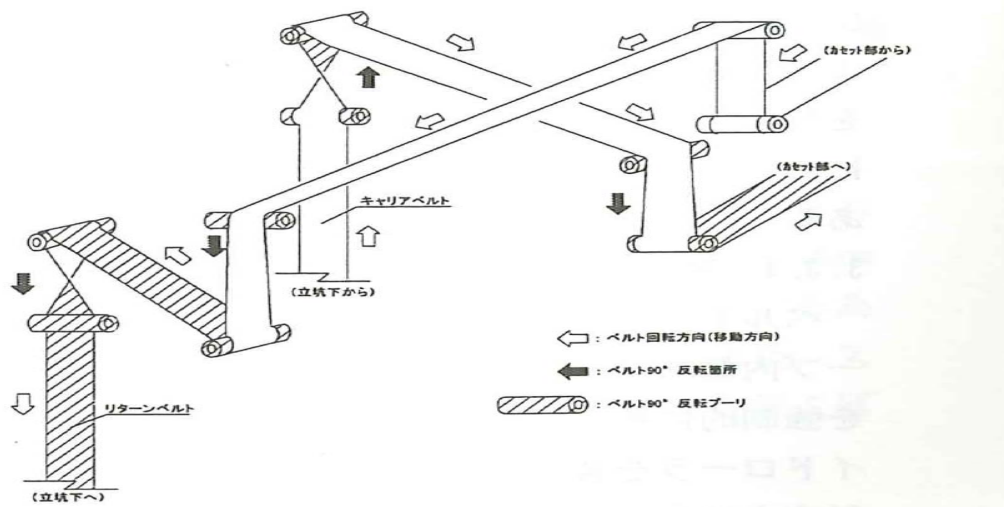


図 ベルト反転装置概念図

参考文献) 第 61 回施工体験発表会 (都市) 日本トンネル技術協会 平成 19 年 9 月
急曲線 S 字カーブと狭隘な立坑用地における連続ベルコンの適用

3.3 連続ベルコンと防音扉の組合せ

連続ベルコンを使用すると坑内から坑外のずり仮置き場まで途切れることなくベルトが連続する。このため坑口付近を完全にふさぐことは出来ない。一方環境面から近隣に対する騒音は規制されて坑口に防音扉を設置する例は多い。ベルコンを使用した場合はこの防音扉を完全に閉められないのが問題である。

そこでこれを解決するために連続ベルコンを坑内部連続ベルコン、連絡用移動式ベルコン、坑外部固定ベルコンの 3 つに分離した事例である。連続ベルコンの末端位置は防音扉の直近にする。坑外部は固定でありトンネル側は防音扉の近く、反対側はずり仮置き場である。連絡用移動式ベルコンはこの 2 つのベルコンをつなぐベルコンでありずり出し時には両端はそれぞれのベルコンにかかる。防音扉使用時は扉が閉まる位置まで移動させる。

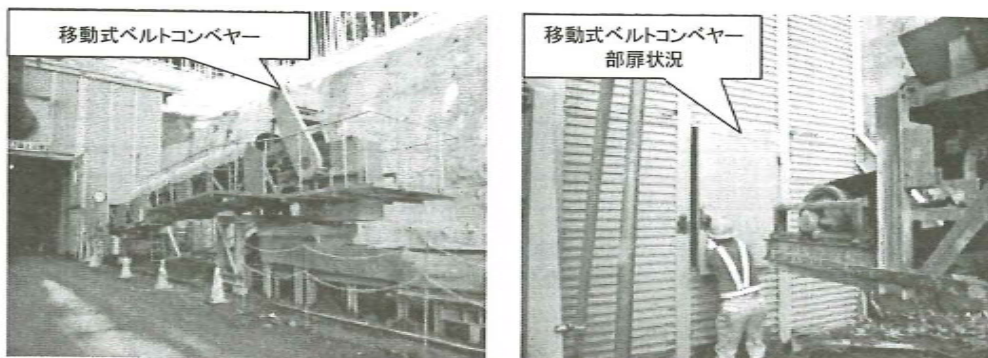


図 移動式ベルトコンベアと防音扉

参考文献 第 62 回施工体験発表会 平成 20 年 10 月 日本トンネル技術協会
民家及び養殖を営む漁場に近接した場所でのトンネル施工