

# R35mS カーブ対応及び国内初のカセット部地上配置仕様 連続ベルトコンシステムによる土砂搬送

堀部貴宏<sup>1</sup>・羽鳥俊司<sup>1</sup>・渡辺雅之<sup>1</sup>・黒川昌俊<sup>1</sup>

<sup>1</sup>飛鳥建設株式会社 関東土木支店 金沢シールド作業所（〒235-0036 神奈川県横浜市磯子区中原 1-1-5 新杉田ビル 3F）

国内では、山岳トンネル（NATM，TBM）及びシールド工事において、連続ベルトコンシステムによる土砂搬送施工実績が増加している。当金沢共同溝工事では、平面線形 R35mS カーブ及び立坑深さ約 36m という厳しい条件下にて、その条件に対応する新たな技術を用いた連続ベルトコンシステムでの掘削土砂搬送を実施した。本稿では、R35m 急曲線 S カーブ対応技術及び国内初の延伸ベルトを収納するカセット部地上配置を可能とした技術の特徴・効果、実稼働における改善事項、実稼働状況を通じて得られた計画・施工上の重要項目について報告する。

キーワード：R35mS カーブ対応，カセット部地上配置，ベルト反転装置，連続ベルトコン蛇行・安全対策

## 1. はじめに

金沢共同溝工事は、横浜市磯子区新杉田～金沢区幸浦までの一般国道 357 号線の地下にシールド工法により共同溝を構築する工事である。

この共同溝には、下水道管，電力ケーブル，通信ケーブル等の公益施設を収容する。

本工事は、横浜市磯子区新杉田に位置する発進立坑から金沢区幸浦までの全長 L = 2284m を泥土圧シールド機により掘進する。掘削に伴う土砂搬送設備として、連続ベルトコンベアシステムを採用し、シールド機から発進立坑までの坑内（全長約 2200 m）を土砂運搬する。

本稿では、連続ベルトコンベアのベルトストック部であるカセット部を坑内が狭隘であるため、地上部（垂直距離約 36m）に配置し、R35m 急曲線 S カーブを含む複雑な線形に対応する連続ベルトコンベアを用いた掘削土砂運搬の国内初の施工について、報告する。

## 2. 地質概要

シールド路線の地質構成は、埋立地に位置することから表層部は埋立土からなり、その下位は、シールド路線付近の基盤をなす上総層群中里層が分布し

ている地域と、中間層として河川浸食によりきざまれた谷（埋設谷）に海成の堆積物が堆積し、その下位に基盤をなす上総層群中里層が分布している地域に区別される。

沖積層は、主に有楽町海進時の堆積物からなり、シルト・砂質シルトなど N 値 0～10 程度の軟弱な粘性土を主体に形成され、上部には砂州などの砂層、最下部（埋設谷底部）には基底礫層もみられる。

上総層群中里層は、塊状無層理の砂質泥岩からなり、うすい砂岩層を挟むこともある。層圧は 60～200m である。



写真-1 5.6m 泥土圧シールド機

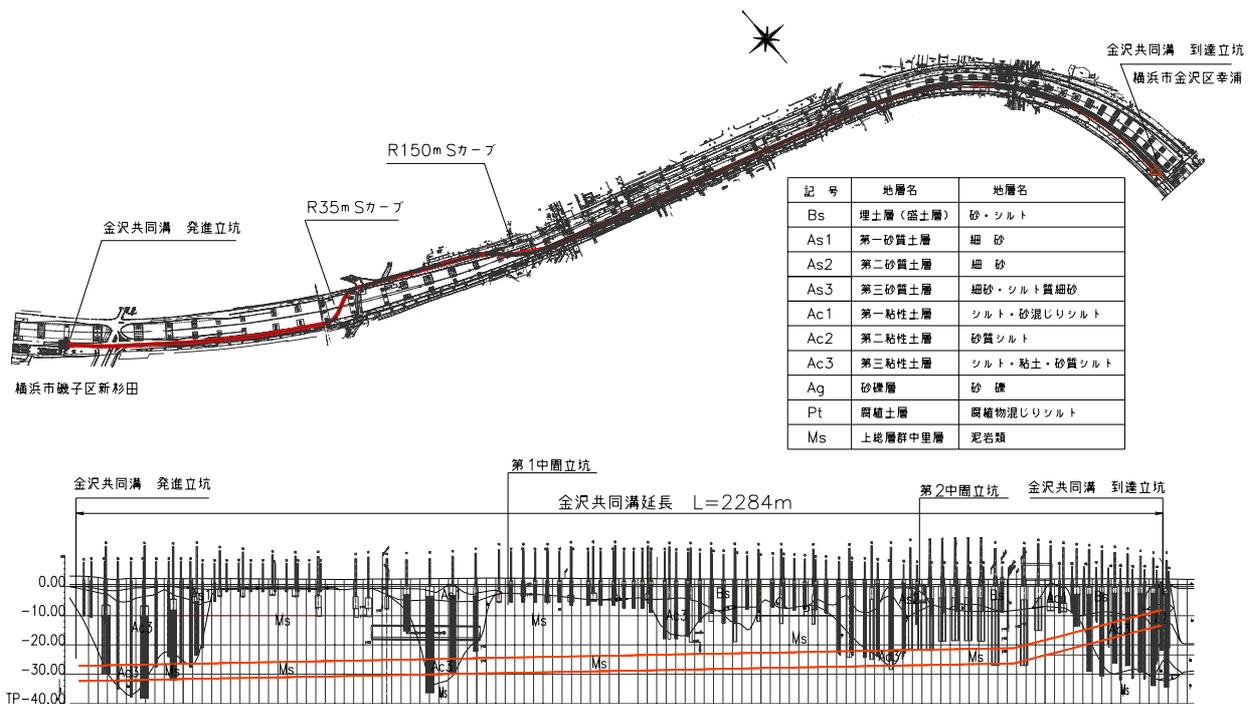


図-1 金沢共同溝工事平面縦断面図

### 3. 工事概要

#### (1) 工事概要

当工事は、シールド延長  $L = 2284\text{m}$ 、セグメント外径  $5450\text{mm}$ 、泥土圧シールド機により一次覆工（掘進）を行うものである。（写真-1）

シールド路線は、計画線路線の真上の国道 357 号線が、上下線各 2 車線、計 4 車線であり、全線に亘って上下間に首都高湾岸線が、上線に沿って金沢シーサイドラインが高架で道路を占有している。道路の沿道は、海側、山側共に全線に沿って、工場、倉庫、商店等が接しており、民家は、道路から離れている。

平面線形は、既存埋設物を避ける為の曲線半径  $R35\text{m}$  の Sカーブ、 $R150\text{m}$  の Sカーブが各 1 箇所ある。その他に  $R300\text{m}$ 、 $R400\text{m}$  等もあり、シールド全延長の約 50% がカーブ線形を占めている。曲線半径  $R35\text{m}$  については 左カーブ約  $33\text{m}$  ~ 直線約  $32\text{m}$  ~ 右カーブ約  $32\text{m}$  の全長約  $100\text{m}$  にわたる Sカーブ線形区間となっている。

縦断面線形は、既存埋設物からの離隔条件より、発進部から  $1974.6\text{m}$  は、上り勾配  $0.308\%$ 、残りの到達部までの  $309.4\text{m}$  は、上り勾配  $4.164\%$  の急勾配である。（図-1）

#### (2) 土砂搬送設備

図-2 に土砂搬送設備概要を示す。シールド機により掘削された土砂は、後続台車上のシールドベルコンを経て、連続ベルコンに乗り継ぐ。連続ベルコンにより坑内から立坑下まで搬送され、立坑下で垂直ベルコンへ乗り継ぐ。地上では、垂直ベルコンから地上部ベルコンを経由して土砂ピットへ搬送される。

### 4. 金沢共同溝工事における連続ベルコンシステムの特徴

#### (1) 連続ベルコンの原理概要

連続ベルコンは、掘削土砂を坑内全線に渡り、一本のベルトで搬送するものである。ベルト先端部は、後続台車に牽引され、掘進に伴いカセット部から延伸ベルトが自動的に送り出される。

#### (2) ベルトカセット部の地上配置

通常、連続ベルコンの延伸ベルト（掘進  $150\text{m}$  分）を収納するカセット部は、駆動部、坑内フレーム部と同一平面上に設置する（従来方式）。従来方式による金沢共同溝工事の現場条件の場合、立坑下坑口から坑内の範囲がカセット部設置スペースとなる（図-2 の立坑下）

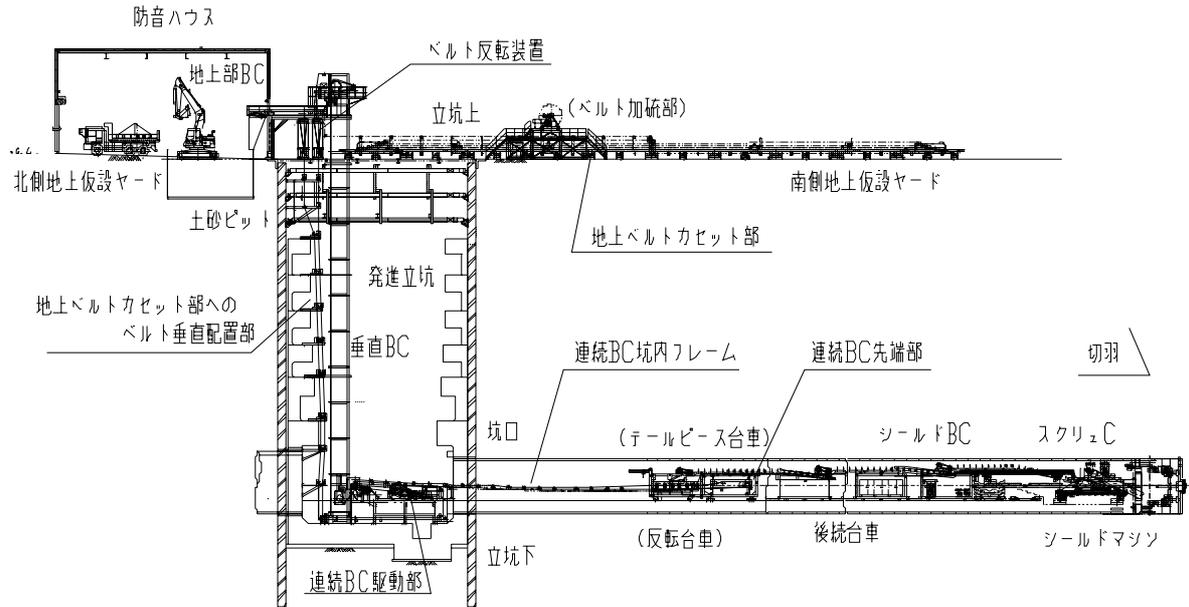


図-2 金沢共同溝工事土砂搬送設備概要

しかし、その場合、後続台車の長さに加えて、連続ベルコン構成機器（駆動部、ベルトカセット部、ベルト延伸加硫ヤードなど）の設備スペースが必要となり、初期掘進長が長くなる。それに伴って、連続ベルコン使用時期が遅くなり、また、カセット部据付工事も 5.0mの坑内作業となる。

その対策として、カセット部及び延伸加硫ヤード（全長約63m）を地上部に設備する国内初の試みを計画し、実施した。

カセット部地上配置は、立坑下の駆動部からキャリア、リターン両ベルトを坑内ベルト芯のまま（トンネルセンターから右1.55m）垂直ベルコン下部を通過させ、垂直ベルコン背面を立坑に沿って、約36m垂直に立ち上げ、地上までベルトを取り出している。ここで地上配置のベルトを90°反転させる「ベ

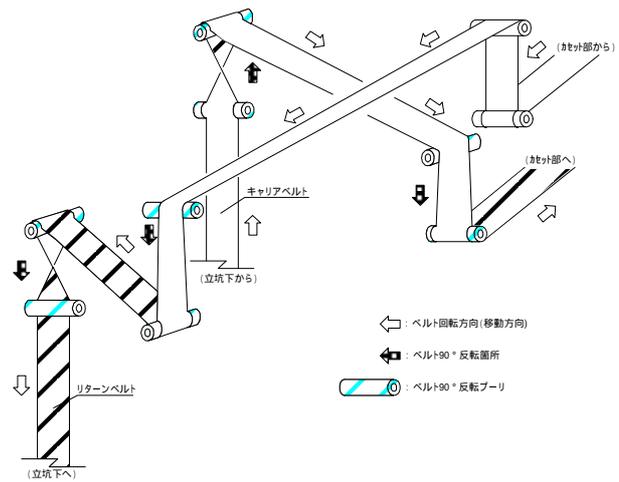


図-3 地上ベルト反転装置概略図

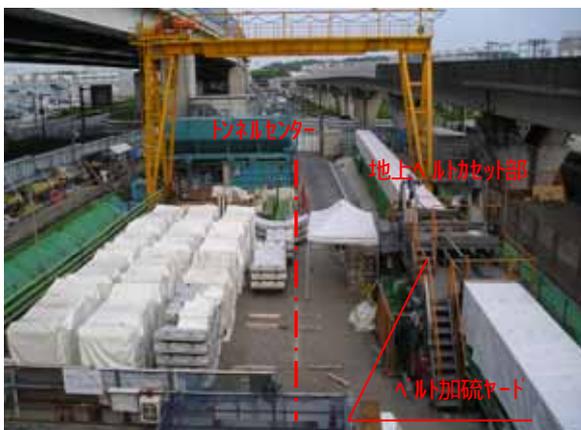


写真-2 地上カセット配置状況

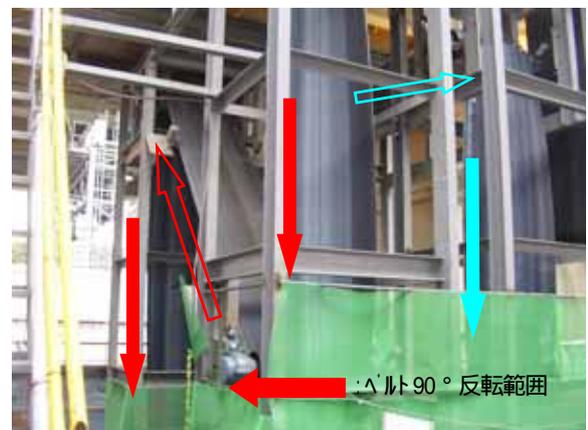


写真-3 地上ベルト反転装置

ルト反転装置」をキャリアベルトに対して2組利用し、坑内ベルト芯から 2.5mシフト（トンネルセンターから 4.05m）させる事でカセット部地上配置を可能にした。（写真-2、写真-3 及び図-3）

その結果、下記のような効果があった。

シールド掘削開始前の地上仮設設置と合わせて、連続ベルコン使用開始前に事前据付が可能となり、初期掘進から本掘進への段取替期間が5日間（10方）短縮出来た。

初期掘進長には、カセット部の設置に伴うスペース分（約63m）が不要である。

全長63mに及ぶ長尺なカセット部（部材最大3t）坑内据付工事を回避でき、地上での広いスペースでの安全な据付工事が可能となった。掘進長150m<sup>2</sup>に必要の連続ベルコン延伸加硫作業が地上及び橋型クレーン下部で全て可能であった。1回あたりの加硫延伸作業所要時間は、約5時間に短縮し、作業効率が大幅に向上した。

参考）通常加硫延伸作業：約8時間

### (3) R35m Sカーブ対応の連続ベルコン

金沢共同溝工事では、坑口から500m地点よりR35m Sカーブ区間100mにおいて、下記のような特徴のR35m急曲線対応の特殊ローラを用いて、計画、実施工した。連続ベルコンにおいて、曲線対応は、技術的な重要項目である。

#### a) R35m 区間キャリア側（土砂搬送側）

ベルトを4個のキャリアローラで受け、カーブ内側を特殊押えローラによりベルト端部を強制的に押え、カーブ外側には、ツバ付サイドローラを装備し、ベルトをR35m曲線に対応させるものである。また、ベルトは、発生するベルト張力に耐え得る高強度（800kgf/cm<sup>2</sup>, 4Ply）のものを使用している。（写真-4、写真-5 及び図-4）

#### b) R35m 区間リターン側

カーブ入りリターン側にリターンベルトを90°反転させる「ベルト反転装置」を設置し、リターンベルトを縦型の配置にしている。これは、カーブ内側へのベルトに作用する力をベルト面で受ける事になり、発生するベルト張力を均等に分布させるものである。カーブ出口リターン側に再度、「ベルト反転装置」を設置し、リターンベルト縦型配置から水平配置へ戻している。（写真-6、写真-7 及び図-4）

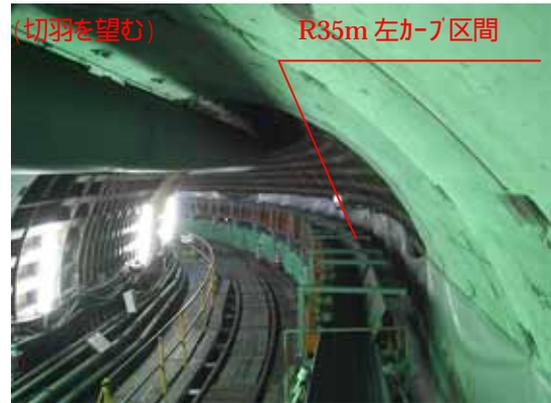


写真-4 R35m 区間坑内状況（左カーブ 入口）

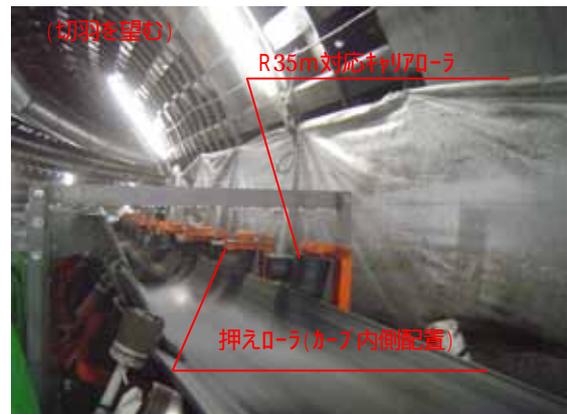


写真-5 R35m 区間キャリア側（左カーブ 入口）



写真-6 R35m区間リターン側ベルト反転装置



写真-7 R35m 区間リターンベルト縦型配置

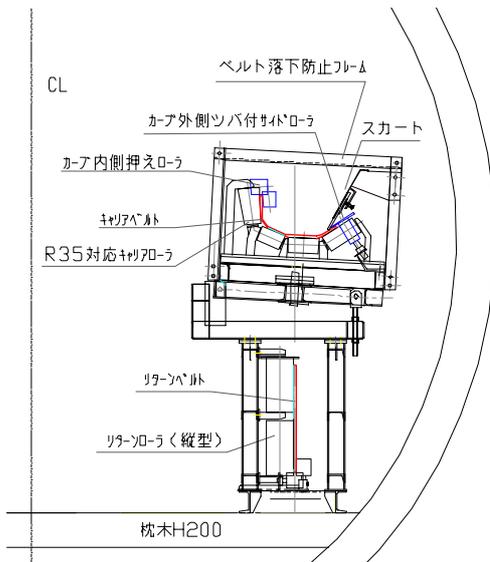


図-4 R35m急曲線対応連続ベルコン断面



写真-8 R35m区間土砂塊対策スカート

## 5. 実稼動における改善事項

### (1) 土砂塊対策

連続ベルコン導入（使用開始）前の初期掘進にお

いて、シールド機スクリュウコンベアから排出される掘削土砂が、想定より大塊形状（max 600mm）であったため、掘削土砂塊のR35mカーブ区間を搬送する際の土砂こぼれ対策として、カーブ区間の積載断面を大きくする為にカーブ外側にスカートを延伸フレーム毎に取付ける構造とした。（写真-8）また、スクリュウコンベア排出口に脱着構造のスリットも装備した。

これらの対策により土砂こぼれがなくなり、トラブルが回避でき 坑内環境も良好に保つ事が出来た。

### (2) R35m Sカーブ区間でのフレーム延伸

全長約 100mにわたる Sカーブ区間での連続ベルコンフレーム延伸作業においては、カーブ区間以外の延伸方法とは異なる為、施工直前だけでなく、施工中もポイントごとに細かく施工フローを重視した作業手順教育を繰り返し実施、現地にも掲示し、周知を図り、施工性、安全性の向上を図った。カーブ区間における連続ベルコン延伸に起因するサイクル低下を懸念していたが、掘進サイクルとの平行作業が、ほぼ実施できた為、問題とはならなかった。

### (3) 連続ベルコン蛇行・安全対策

連続ベルコンの土砂搬送におけるベルト蛇行調整・蛇行管理は、土砂搬送効率を左右する最も重要な管理である。しかしながら、メンテ保守員の経験に寄る面が大きい。この際の蛇行調整などは、稼動状況確認後の事後対策を取る場合が多い。これに起因するベルト蛇行によるロスタイムの低減、安全性の向上対策として、線形条件に応じた取付品の取付ピッチを事前に明確にした計画的蛇行・安全対策を実施した。取付品、取付ピッチは、表-1 に示す。

表-1 連続ベルコン蛇行・安全対策取付ピッチ

【対策品】	線形条件	取付ピッチ@m	目的・効果
サイドローラ	直線及びR1400, 3000m	@30m	ベルトの蛇行, 片寄りを抑止 (写真-11)
	R300, 400, 460, 600m	@9m	
	R35, 150m	@1.5m	
自動調整ローラ (キヤリア及びリターン)	全線	@30m	ベルトの蛇行, 片寄りを修正
ベルト落下防止フレーム	直線及びR35m以外の曲線	@9m	ベルトの蛇行, 異常時のフレーム上からのベルト落下を防止 (写真-11)
	R35m	@0.75m	
ベルト片寄り検知器	R35m	R35m区間 4 箇所	ベルトの異常時の緊急停止 (写真-9 及び写真-10)
回転検出器		R35m区間 2 箇所	
【標準品】	取付箇所		目的・効果
非常停止ワイヤー	全線（坑内～地上）		ベルトの異常時の緊急停止
非常停止ボタン	テーブル・ス台車（ベルト先端部）, イバ・ク盤, 地上掘削部		



写真-9 ベルト片寄り検知器 (両側設置)



写真-10 ベルト回転検出器



写真-11 連続ベルトコン蛇行・安全対策

り、下記の効果があった。

連続ベルトコン保守経験の浅い作業員による人的蛇行管理が最小限となり、ベルト蛇行管理の信頼性が向上する。

蛇行調整の手間が大幅に削減された。

著しいベルト蛇行などによるフレームからのベルト落下という不具合が回避できる。

連続ベルトコン坑内フレーム区間全体での安全性が向上する。

土砂搬送設備として連続ベルトコンの適用範囲が新技術、新しい取組みにより拡大されていく中で、これらの計画的蛇行・安全対策は、稼働率及び安全性向上の面で良い事例(参考事例)になると考える。

## 6. 施工のまとめと今後の展開

### (1) 連続ベルトコン土砂搬送における重要項目

連続ベルトコン R35m 急曲線 Sカーブ対応及びカセット部地上配置という二つの技術を生かした施工を経て、泥土圧シールド工の連続ベルトコンでの土砂搬送における計画上及び施工上の重要項目を表-2 にまとめた。

特に、今回のように新技術を取り入れる場合には、想定し得るトラブルに対しての未然防止対策の実施。計画的ベルト蛇行・安全対策の実施は、不可欠な検討、実施項目であると考ええる。

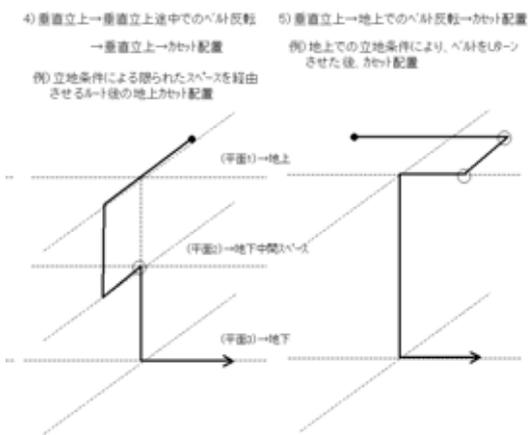
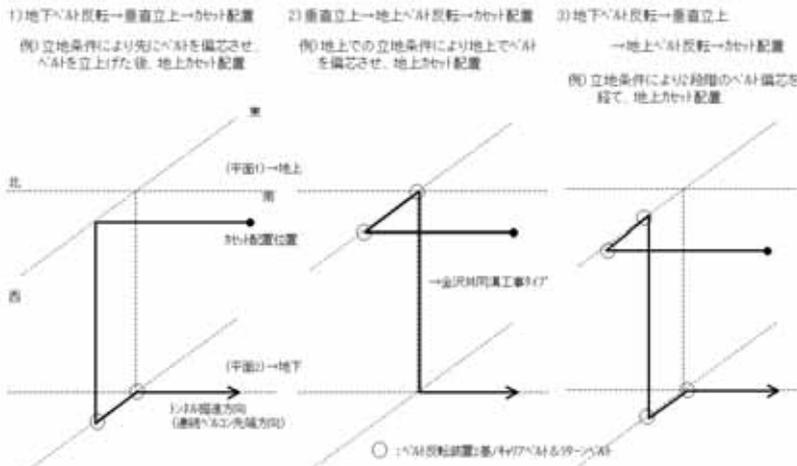
### (2) 今後の展開

現在、シールド、山岳トンネルといったトンネル工事は、長距離、大断面化しており、トンネル掘削に伴う土砂搬送設備としての連続ベルトコンは、重要な設備、工法と言える。

表-2 泥土圧シールド連続ベルトコン土砂搬送における計画及び施工上の重要項目

検討・実施項目	詳細項目・ポイント
計画的ベルト蛇行・安全対策	自動調整ローラ、サイドローラ、ベルト落下防止フレームなど計画的配置
トラブル未然防止対策	片寄り検知器、回転検出器などを利用
土砂搬送性	土砂形状対策(大塊形状)、加泥材、加泥注入率、マシン装備かつ外付
連続ベルトコンシステム仕様	ベルト速度可変、ベルト仕様、重要箇所強度チェック
散水装置の活用	スレーパ機能、粉塵抑制機能
監視カメラ体制	同軸ケーブル、光ファイバー、WEBカメラ方式、乗継部及び特殊線形箇所監視
インターロック	電流値(A)上限、連続ベルトコン上下流設備との条件
電流値表示・データ管理	電流値(A)表示、データ取込～トレンド表示
高調波・ノイズ対策	フィルタ等高調波対策、システムノイズ対策
メンテナンス体制	メン担当選任、メカ点検、点検・メン方法事前周知

【90° ベルト反転装置を利用した場合】



【追記】ベルト反転装置について

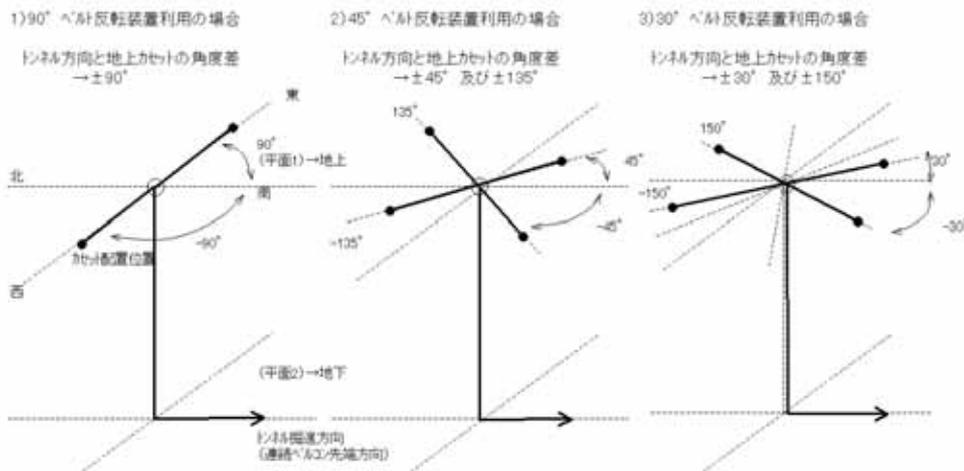


図-5 連続ベルコンカセット部の分離配置例

金沢共同溝工事で実施工したカセット部地上配置という分離配置を可能とした技術は、駆動部、カセット部、坑内フレームが同一平面上に配置する従来方式では、適用不可能であった現場条件にも対応、

適合で出来る。その配置例を図-5に示す。

この技術は、現在、特許申請中である。

このように、今後、山岳トンネル(NATM, TBM)及びシールド工事における様々な現場条件を満足し、

土砂搬送設備として、連続ベルコンの垂直方向への適用範囲を拡大させるものであるとする。

## 7. おわりに

本工事は、報告した連続ベルコンシステムによる土砂搬送を実施し、平成 18 年 10 月に無事、2284m を掘進することができた。

本稿が、今後のトンネル工事における連続ベルコン方式の土砂搬送の計画及び施工上の一助になれば、幸いである。