

連続ベルコンシステムによる土砂搬送

(R35mS カーブ、カセット部地上配置)

Earth and Sand Transportation by Continuous Belt conveyor (R35mS-Curve, Placement of the Cassette Member above the Ground)

黒川 昌俊*¹ 渡辺 雅之*²
Masatoshi Kurokawa Masayuki Watanabe
後本 良介*³ 恩地 研輔*⁴
Ryosuke Notimoto Kensuke Onji

【要旨】

国内では、トンネル及びシールド現場において、連続ベルコンシステムによる土砂搬送施工実績が増加している。金沢共同溝工事では、平面線形R35m Sカーブ及び立坑深さ約36mという条件下にて、特殊技術を用いた連続ベルコンシステムでの掘削土砂搬送を採用した。本稿では施工概要と実績について報告する。

【キーワード】 R35mS カーブ ベルト反転装置 連続ベルコン 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号線の地下に延長2,284mの共同溝を泥土圧式シールド工法で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計画である。

本工事は、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2200m）を土砂運搬した。

本工事での連続ベルトコンベアの特徴は、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、地上部に配置したこと、またR35m急曲線Sカーブを含む複雑な線形に対応したことである。

本稿ではこの連続ベルコンでの施工実績について報告する。

2. 工事概要

2.1 工事概要

当工事は、シールド延長L=2284m、セグメント外径φ5450mm、泥土圧シールド機により一次覆工を行うものである。（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、上り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R35mのSカーブ、R150mのSカーブが各1箇所ある、曲線半径R35mについては、左カーブ約33m～直線約32m～右カーブ約32mの全長約100mにわたるSカーブ線形区間となっている。縦断線形は、既存埋設物からの離隔条件より、発進部から1974.6mは、上り勾配0.308%、残りの到達部までの309.4mは、上り勾配4.164%の急勾配である。（図-1）



写真-1 φ5.6m泥土圧シールド機

1. 関東土木支店 金沢シールド(作)
2. 関東土木支店 首都高豊洲(作)

3. 関東土木支店 多摩シールド(作)
4. 関東土木支店 大崎シールド(作)

2.2 地質概要

シールド路線の地形は横浜市南部に位置しており、海岸沿いで標高 TP+2~3m の平坦な埋立地である。埋立地の下位は直下に周辺の基盤をなしている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分される。

シールド路線の埋立地は、周辺の台地・丘陵地の未固結の岩石を削って、湿地ないしは浅海を埋め立ててゆく方法により造成されており、従って埋立土は砂質土主体・粘性土主体・泥岩片主体およびそれらの混合土からなるなど、雑多な土質構成となっている。

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。層厚は 60~200m である。

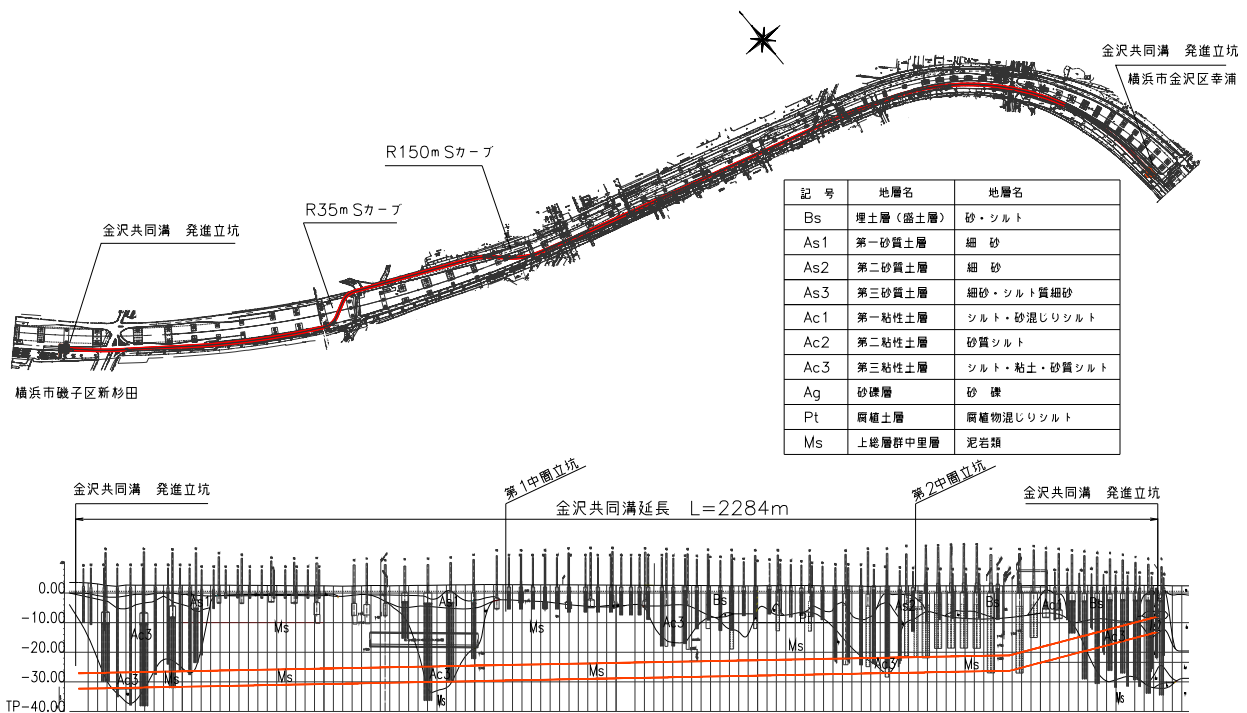


図-1 金沢共同溝工事平面縦断面図

3. 連続ベルコンシステムの特徴

本工事の掘削に伴う土砂搬送設備フローは、シールド機→スクリュコンベア→後続台車→ベルコン（シールドベルコン）3基→連続ベルコン→垂直コンベア→地上部

ベルコン→土砂ピットである。(図-2) この設備のうち、連続ベルコン→垂直コンベア→地上部ベルコンの一連のシステムの特徴を以下に述べる。

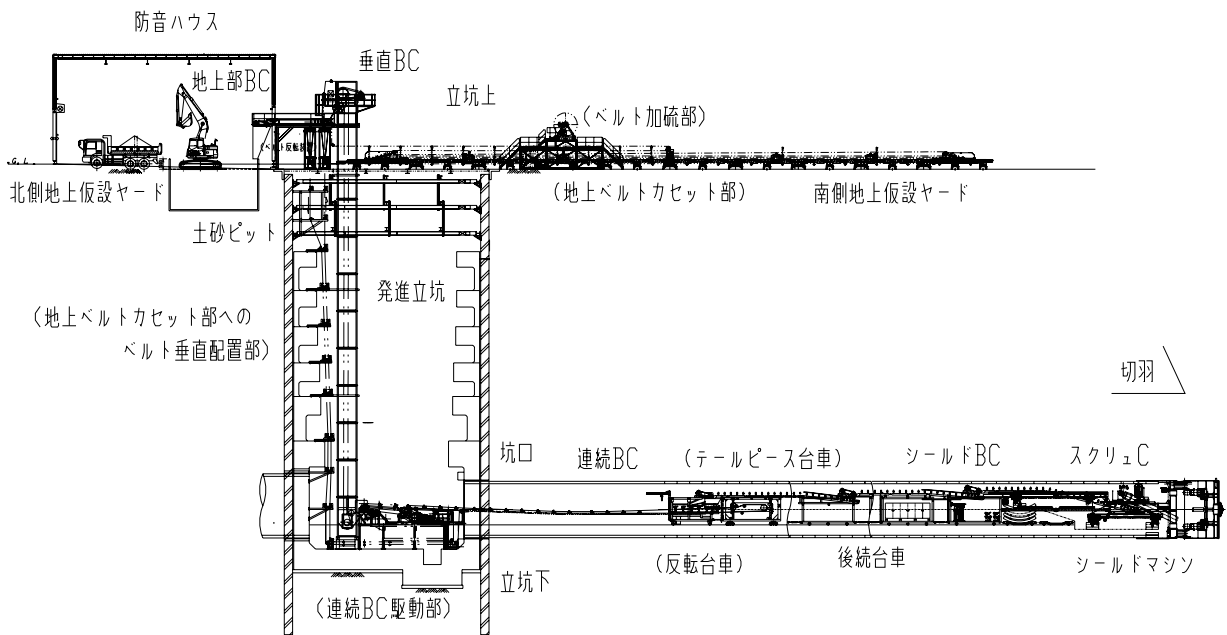


図-2 金沢共同溝工事土砂搬送設備概要

3.1 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 150m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。ここでの現場条件の場合、立坑下坑口から坑内の範囲が設置スペースとなる。

しかし、同一平面上の立坑下坑口からの坑内設置にした場合、通常の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）の長さ、初期掘進長が長くなる。それに伴い、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でも内径φ5.0mでの坑内作業となる。その対策として、カセット部及び延伸加硫ヤード（全長約6.3m）を地上部に配置する国内初の試みを実施した。

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）その結果、次に示すような効果があった。



写真-2 地上カセット配置状況

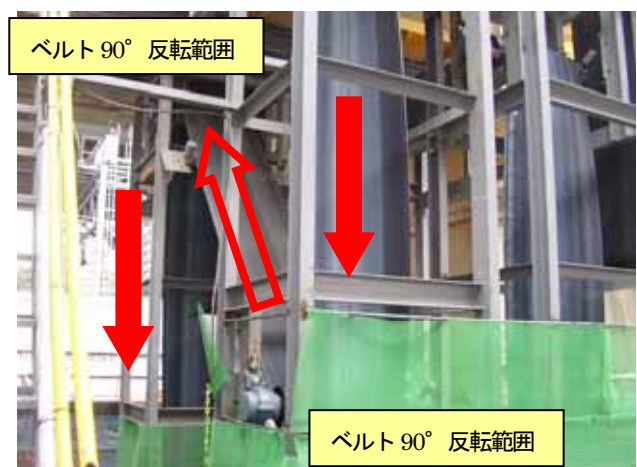


写真-3 地上ベルト反転装置

- ① シールド掘削開始前の地上仮設備施工時に合わせて、地上カセットの配置が事前に据付可能となり、初期掘進から本掘進への段取替期間が5日間(10方)短縮できた。
- ② 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)が不要であった。
- ③ 全長63mに及ぶ長尺なカセット部(部材最大3t)の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できた。
- ④ 掘進長150m²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時間であった。

参考) 通常加硫延伸作業: 約8時間



写真-4 R35m (左カーブ 区間)

3.2 R35mSカーブ対応の連続ベルコン

(1) 特徴

坑口から500m地点のR35mSカーブ区間100mにおいて、下記のR35mS字急曲線対応特殊ローラを用いた。

【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、4Ply)のものを使用している。(図-3、写真-4、写真-5)



写真-5 R35m 区間キャリア側 (右カーブ 入口)

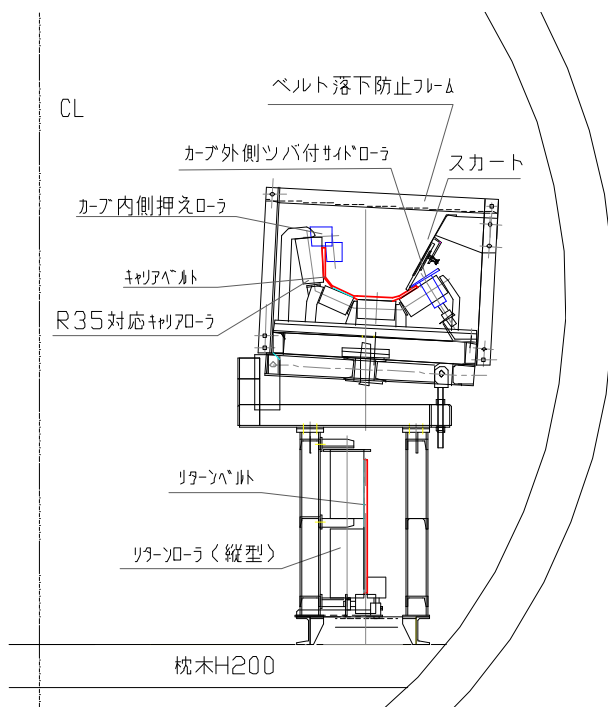


図-3 R35m 急曲線対応連続ベルコン断面

【R35m 区間リターン側】

カーブ入口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より、発生するベルト張力を大幅に低減させるものである。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。(図-3、写真-6、写真-7)



写真-6 R35m区間リターン側ベルト反転装置



写真-8 R35m区間土砂塊対策スカート



写真-7 R35m区間リターンベルト縦型配置

(2) 追加改良事項

本工事での急曲線の施工条件を踏まえ追加改良したR35m Sカーブ対応策は下記事項である。

【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 φ 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）こ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。

(3) 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した。また現地にも掲示し周知を図り、施工性と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、問題とはならなかった。

4. 連続ベルコン実稼動における状況

4.1 地上ベルト反転装置での不具合

連続ベルコンの特徴である地上カセット配置を可能としているベルト反転装置（ベルトを90°反転させ、坑内ベルトセンターを地上で2.5mシフトさせる装置）に下記の不具合が発生した。

- ① ベントプリーシャフトのせん断（写真-9）
- ② ベントプリーベルト接触面での亀裂

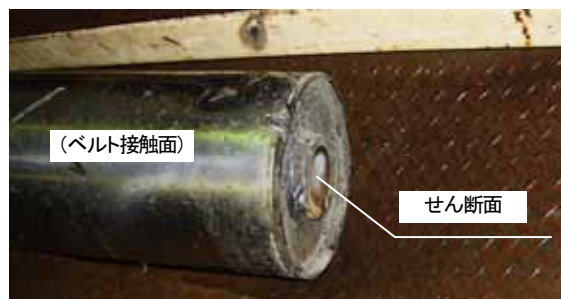


写真-9 ベントプリーシャフトせん断状況

原因としては、想定以上の荷重がかかったものと思われる。結果的には強度不足であった。

その対策を以下に示す。

- ① ベントプリーの強度アップ対策品への交換
(表-1, 図-4)
- ② 反転装置支持台への振動(共振)防止対策
→振動の多い上部配置の地上(横引) ベルコン受け架台との縁切り
- ③ 関連するローラ類の浸透探傷試験の実施
- ④ 地上~立坑下間のローラ類落下防止対策
→防護ネット, 防護柵の追加設置
- ⑤ プリー、ベルト強度の再検証
→ベルト荷重がプリーに対して均等でなく、局部的に作用した場合の安全側での対策品の強度チェック(軸径, ベルト接触面たわみ, 軸受)

(2) R35mS カーブ区間でのベルトめくれ不具合

坑口から約500mに位置するR35mSカーブの左カーブ区間において、キャリア側ベルトのカーブ外側端部が起点となってベルトがめくれる不具合が発生した。めくれ不具合は2回発生し、2回目は、めくれたベルトがフレームに拘束された状態になり、加硫部にて破断した。

(写真-10, 写真-11)

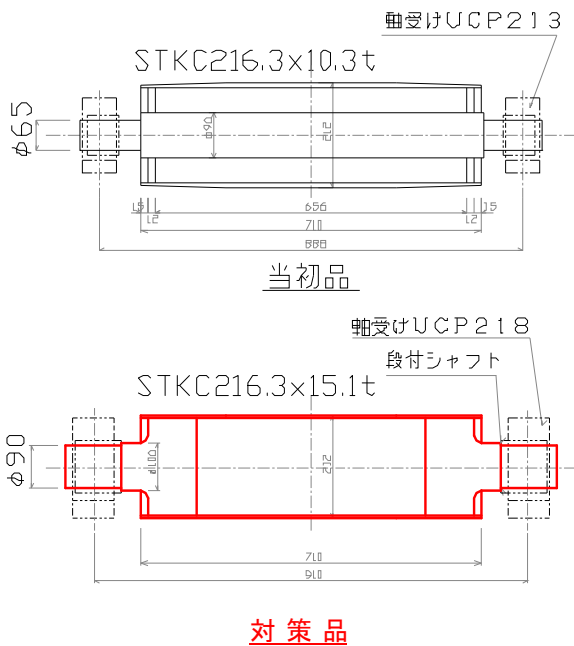


図-4 ベントプリー対策前後の比較

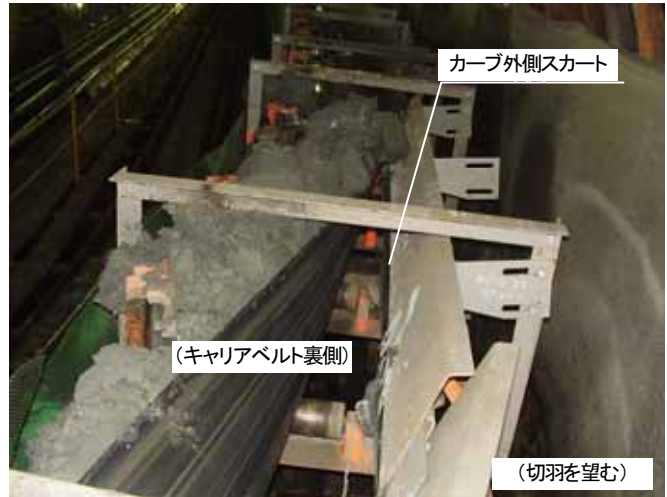


写真-10 ベルトめくれ状況1(R35m 左カーブ)



写真-11 ベルトめくれ状況2(R35m 左カーブ入口)

原因としては、ベルト端部（耳部）の損傷が起点となったものであった。R35m区間Sカーブ対応の連続ベルコンは、カーブ内側を特殊押えローラにてベルト端部を強制的に押え、ベルトをR35m曲線に対応させるものであるが、それまでの稼働において、ベルト端部損傷が激しく強度低下し、カーブ内側に位置する押えローラに喰い込む形になっていた。これによりカーブ外側に位置するツバ付サイドローラとベルト端部のラップが無くなり、稼働中にベルトがめくれてしまう不具合となった。

これを受けて表-2に示す対策を実施した。

結論的には、このR35m対応技術は、土砂搬送設備として線形条件をクリアする有効な技術である。しかし、この不具合からも分かる様にカーブ線形からのベルトへの負担が想定以上に大きかった。R35m区間だけでなく、その他の線形条件（R150mSカーブ150m等）、稼働時間、搬送距離に比例してベルト端部損傷が激しかった。今後、カバーゴム～帆布間の断面的な接着強度アップによるベルト端部の強度改良が必要と考える。

表-2 R35mカーブ区間でのベルトめくれ不具合対策項目

対策項目	対策前	対策後	目的・効果
損傷ベルトの置換	損傷しているベルト区間を特定し、巻取り（取り除き）、新品ベルトを新たに挿入加硫する。		ベルト端部のカーブ内側押えローラへの喰込みを無くし、カーブ外側ツバ付サイドローラとのラップを確保する。
カーブ外側ツバ付サイドローラの改良	ツバ径φ40mm	φ60mmへの改良（交換）	カーブ外側ツバ付サイドローラとベルト間のラップを確保する。
カーブ外側ツバ付サイドローラの増設	ツバ付サイドローラ装備数 50個	ツバ付サイドローラ装備数 62個	
「ベルト片寄検知器」によるベルト異常検出	装備無し	R35 左カーブ：3箇所 R35 右カーブ：1箇所	R35mSカーブ区間にて、ベルトがめくれる様な異常発生時、瞬時に停止させる。 (写真-12及び写真-13)
「回転検出検知器」によるベルト異常検出	駆動部に1個装備	R35 左カーブ：1個 R35 右カーブ：1個	
電流値上限インタロックの追加	インバータ盤過電流 定格×150%、1min以上	電流値上限インタロック追加 電流値300A、5sec以上 (任意設定)	ベルト異常時緊急停止
電流値データの取込及びトレンド把握	装備無し	掘進管理へ取込、電流値状況の把握	電流値トレンドから異常状態の把握



写真-12 ベルト片寄り検知器（両側設置）



写真-13 ベルト回転検出器

(3) 連続ベルコン蛇行・安全対策

連続ベルコンベルト蛇行・安全対策として、取付ピッチを事前に明確にした計画的な安全対策を実施した。取付品、取付ピッチは表-3に示す。

表-3の取付ピッチで計画的に実施したことにより、下記の効果があった。

- ① 経験が必要なベルト蛇行調整が最小限となった。
- ② 蛇行調整の手間が大幅に削減された。
- ③ 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た。
- ④ 連続ベルコン坑内フレーム区間全体での安全性が向上した。

前述した R35mカーブ区間でのベルトめくれ不具合（めくれ全長 150m）の際、ベルト落下防止フレームにより、ベルトがフレーム外部に落下する事はなく、安全上有効である事が確認できた。

これらの対策は、連続ベルコンシステムの安全対策の標準形になると考える。



写真-14 蛇行・安全対策品
(ベルト落下防止フレーム・サイトローラ)

表-3 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
サイトローラ	直線及びR1400、3000m	@30m	ベルトの蛇行，片寄りを抑止 (写真-14)
	R300, 400, 460, 600m	@9m	
	R35, 150m	@1.5m	
自動調芯ローラ (キャリア及びリターン)	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-14)
	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 注) R35mカーブでのベルトめくれ不具合対策と重複 (写真-12及び写真-13)
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	テールステーション台車 (ベルト先端部)，インバータ盤 地上カセット部		

5. 総括

連続ベルコン R35m急曲線対応技術は、ベルト強度の点で改良の余地を残したが、実施工を通じて重要な実績となった。また、カセット部を地上配置した施工も重要な実績である。ポイントとなるのは、「ベルト反転装置」である。これを有効に適用する事によって、土砂搬送設備として連続ベルコンを選定、計画する上で様々な現場条件を満足すると考える。

もう一つ重要なのは安全面である。国内では、山岳トンネル、シールド現場において連続ベルコンによる土砂搬送は施工実績が増加している。しかし、安全面では不十分な面が多い。金沢共同溝工事でも同様であった。特に、ベルトの蛇行調整を経験といった曖昧な部分に頼り、稼動状況確認後の事後対応でなく、計画段階から安全側で立案し、線形条件に応じた計画的対応、配置が重要である。ここでの不具合を踏まえ、実施した「連続ベルコン蛇行・安全対策」は、先に述べた技術以上に重要である。

金沢共同溝工事だけでなく、連続ベルコンにて土砂搬送を行った千駄ヶ谷シールド、道公天生の施工上の問題点とその対策事例、改善すべき点等を集約させ、整理把握する事が今後必要である。この様な集約・蓄積データは、山岳トンネル、シールドを中心とする土砂搬送設備について、貴重なノウハウ、実績として、全社的に水平展開が可能になると考える。

Summary : Excavated materials have been transported on continuous belt conveyor systems at shield tunnelling sites in Japan in an increasing number of cases. In the construction of the Kanazawa utility tunnel with an S-shaped curve with a radius of curvature of 35 m and a vertical shaft with a depth of approximately 36 m, excavated materials were transported on a continuous belt conveyor system using a special technique (reversing the belt from a cassette placed at the ground level that contains a continuous belt). This paper outlines the construction and results.

Key Words : R35m S-curve A belt Inversion Device Continuous Belt conveyer Meandering Safety measures