

ベルトコンベヤ衝突検知システム

清水建設 正会員 ○藤井 暁也
清水建設 正会員 小野澤龍介
清水建設 正会員 宮岡 香苗

1. はじめに

「東京外かく環状道路本線トンネル(南行)大泉南工事」は、東京外かく環状道路(関越～東名)の約16kmの区間のうち、大泉JCTから井の頭通りまでの延長約7kmの南行本線トンネルを、掘削外径16.1mの大断面シールドにより施工するものである。シールド掘削土は約5.5km離れた土砂仮置き場までベルトコンベヤにて搬送する計画となっており(図-1)、そのうち長距離曲線対応コンベヤ区間は、高速道路の中央分離帯にベルトコンベヤを設置する(図-2)。これより、万が一通行車両がベルトコンベヤに衝突した場合、ベルトコンベヤの停止による工事の中断のみならず、損傷によるベルトコンベヤ設備の倒壊や、運搬土砂の高速道路へ飛散といった大きな第三者災害が予測されるため、ベルトコンベヤの稼働にあたり車両の衝突を即時に検知することが求められた。本稿では、ベルトコンベヤへの車両衝突を検知するシステムの開発と、現場での実装結果について報告する。

2. システム概要

システムは、加速度センサをベルトコンベヤのフレームに設置し、観測値の変化により車両の衝突を検知するものとした。システム構成を図-3に示す。加速度センサの観測値は、無線通信にてクラウドサーバに送信され、端末で監視することが可能である。車両の衝突により加速度に大幅な変化が生じた場合、端末側に警報が発報される。

今回使用した加速度センサには、ボッシュ(株)製3軸加速度センサ「TRACI」(図-4)を選定した。TRACIは幅11.1cm×奥行き8.2cm×高さ3.8cm、重さ138.0gの軽量デバイスであり、マグネットで簡単に設置できる。TRACIの仕様を表-1に示す。加速度だけでなくGNSSにより位置データも取得する。内蔵アルカリ電池は約3～5年連続使用可能であるため、ベルコン稼働中のセンサ交換が少なく済む。また、使用可能温度の範囲は-40℃から+55℃と広く、IP69の高度な防水性能を持つため、屋外の過酷な現場環境に適している。データ通信には、各センサの通信データ量は

キーワード 加速度センサ、ベルトコンベヤ、LPWA、LoRa WAN

連絡先 〒104-8370 東京都中央区京橋二丁目16-1 清水建設(株) 土木技術本部 TEL:03-3561-3886



図-1 ベルトコンベヤ設置区間

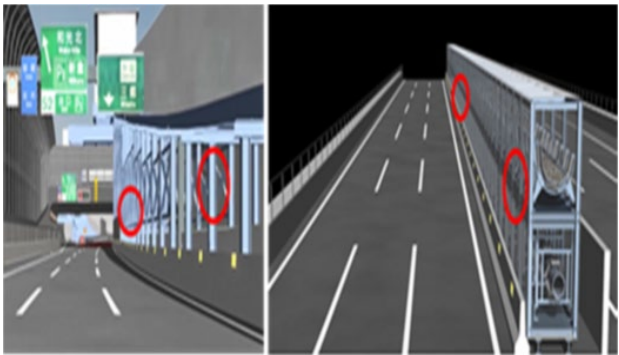


図-2 高速道路に設置するベルトコンベヤ



図-3 システム構成図



図-4 BOSCH 製加速度センサ TRACI

表-1 TRACI仕様

取得データ	加速度, 位置
電池	アルカリ電池内蔵型
使用可能温度	-40℃～+55℃
防水性能	IP69
通信	LoRa WAN

小さいが高頻度の通信が必要なこと、センサの設置が広範囲に渡り長距離通信が必要なことから、長期間に渡るデータ取得に向けた低電力化が求められることから、低電力広域無線通信網（LPWA：Low Power Wide Area）の一つである LoRa WAN を採用した。表-2 に LoRa WAN の仕様を示す。TRACI は LoRa WAN 経由でデータを送信可能である。

また、取得したデータは Web ブラウザ上でダッシュボード表示し、現場事務所やベルトコンベヤ操作室でリアルタイムに監視できるようにした（図-5）。

表-2 LoRa WAN 仕様

使用周波数	920MHz 帯
通信速度	上り/下り 250bps～50kbps
電波到達距離	数km～十数km



図-5 ダッシュボード表示例

3. 現場運用結果

上記システムを現場に試験的に導入し、データ取得を行った。加速度センサの現場設置状況を図-6 に示す。振動検出方向は、ベルトに対して横方向（X 軸）、ベルトの進行方向（Y 軸）、ベルトに対して垂直方向（Z 軸）の 3 軸とし、TRACI の設置は約 10m 間隔とした。

ベルトコンベヤ通常運転時のセンサ観測値を図-7 に示す。Z, X, Y 軸方向については $0.2G \sim 0.5G$ ($2.0m/s^2 \sim 5.0m/s^2$) 程度の微小な振動であることがわかった。車両の衝突検知には閾値の設定が必要である。そこで、車両の衝突を想定して模擬的な衝撃をベルトコンベヤ架台に与え、加速度を観測した。得られた観測値を図-8 に示す。この結果により、安全率も考慮して衝突検知基準を $2.5G$ ($24.5m/s^2$) に設定した。

衝突検知基準を設定してシステムを試験運用したが、車両の衝突が無いにも関わらず基準値である $2.5G$ 以上の加速度を計測する事象が発生した。原因としては、大型車両の走行時の振動、ベルトコンベヤ自体の稼働振動、現場職員の点検通路移動による振動であり、高速道路の車両の通行状況や、ベルトコンベヤの機械の構造、架台の構造により大きな振動が発生しやすい場所があることが判明した。これについては、今後継続的にデータを取得して、設置箇所に応じた検知基準（例 $4.5G$ にて運用開始）を設けていくことで改善が可能になると考えられる。

4. おわりに

本件では、加速度センサを用いたベルトコンベヤへの車両衝突検知システムの構築および現場運用を行った。基準値の設定に課題は残るものの、加速度センサの観測値は衝突検知に十分有効であることや、データをブラウザ上でリアルタイムに監視することで現場の迅速な対応を実現できることを確認した。本システムは、車両の衝突検知のみならず故障の予兆診断の検証も開始している。従来、ベルトコンベヤの点検は休日に作業員が目視で行っていたが、長距離に渡る設備の点検を正確かつ迅速に行うのは大変な作業であった。データを継続的に取得し、異常値が検知できるようになれば、日常の点検優先度を定め業務の大幅な生産性向上が見込まれる。また、本件では固定設備であるベルトコンベヤを対象としたが、加速度センサを用いた設備の監視は自由に動き廻ることが可能である。今後はこのシステムを他の設備へも展開し、建設現場の更なる生産性および安全性の向上に努めていく所存である。

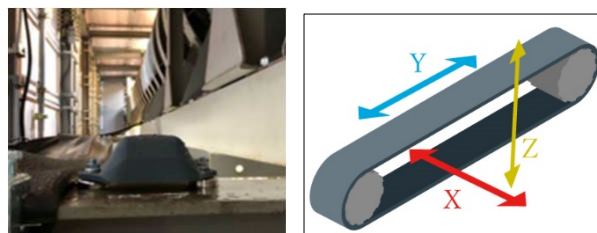


図-6 センサ設置状況

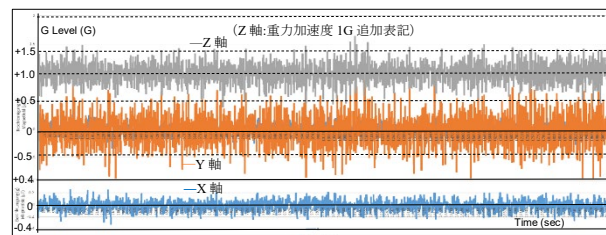


図-7 通常運転時の観測値

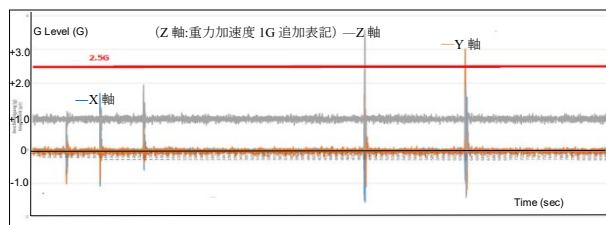


図-8 架台に衝撃を与えた際の観測値