

山岳トンネル工事用機械の事故事例及び ヒヤリ・ハットに関する報告書

(社)日本建設機械化協会 機械部会 トンネル機械技術委員会 事故災害防止分科会 (山岳)

近年の建設業労働災害発生状況は、年々減少傾向にあるとは言え、製造業に次ぐ事故の多さで、死亡災害及び休業4日以上死傷災害では全産業の約22%前後であり、特に、死亡災害は全産業の35%近くあり全産業の中でも一番多くなっている。一方、全産業の機械による労働災害は、平成18年労働者死傷病報告によると休業4日以上労働災害で26.5% (35,642人)を占めていて、さらに、このうち建設用機械による災害は、5.6% (1,971人)となっている。特にトンネル工事は、各工種のなかでも機械化が最も進んでおり、使用する機械も多く、過酷な条件下での使用から事故も起きやすいと考えられる。トンネル機械の発展を見るように、建設機械はますます多様化が進み、新たな建設機械での事故も懸念され、さらなる事故防止対策が必要となってくる。これを受けて機械部会トンネル機械技術委員会では事故災害防止を事業活動とし分科会を立ちあげ、現状の山岳トンネル機械の事故事例およびヒヤリ・ハットを調査・研究し、それぞれの機械の事故防止対策としてまとめることとした。

キーワード：トンネル工事、トンネル機械、安全、安全対策、事故事例、事故対策

1. はじめに

機械による全労働災害の課題は、大きく分けると以下の3項目と言われている。

- ①機械は大きなエネルギーを有することから、指の切断など身体に障害を残す重篤な災害が少ないこと。
- ②機械は製造段階で安全対策（機械の危険部分をなくす、危険部位にガードを設ける等の保護方策）を施すことにより、危険性を確実に低減させることができること。
- ③非定常作業（保守点検、清掃、トラブル処理等）時の災害も多く発生しており、このような作業を想定した対策も必要であること。

以上の課題は、建設機械も同様であり、しかも一般の製造業が工場で使用するのは異なり、施工条件に左右されることが多く、リスクはさらに大きくなる。

特にトンネル機械は、作業空間が狭隘で施工延長も長く、作業環境や地質に左右されるため、施工条件を十分に考慮し、安全対策を行う必要がある。

(1) トンネル機械の現状と課題

トンネル機械による労働災害を撲滅するためには、安全対策として考えられる全てのリスク対策を機械側に安全装置として組み入れていく必要がある。究極は機械のロボット化、自動化であり、危険作業を人ではな

く機械に任せていくことである。

しかし、現状では、技術的にもまだまだ困難であり、機械のコストが大幅に高くなる。また、究極のロボット化・自動化に至らないまでも多くのリスクを機械側に安全対策として装備するとコストが高くなるだけでなく、安全確認の現状技術では機械の方が人の感覚よりも遅く、施工効率が低下する場合があります。全体として工期が延び工事原価が高くなる。

従って、この安全性と施工性とコストのバランスを考えて、機械の安全対策としての確認・操作を人に任せられることは任せ、リスクの大きいものに対しては機械に安全装置として設計・製作されているのが現状である。しかしながら機械による労働災害のより一層の減少を図るためには、大きなコストアップに至らず、施工効率を低下しないで、リスクを安全装置として機械側に装備することを見直していかなければならない。

本報告書では、アンケート調査のデータ分析に基づき、トンネル機械のリスク対策及び改良・改造から新技術の方向性を検討していく。

(2) トンネル機械における安全性への考え方

平成13年6月厚生労働省より、全ての機械は製造段階から使用段階の両方において機械の安全化を図る目的から、「機械の包括的な安全基準に関する指針」(機械包括安全指針)が公表された。また、労働安全衛生

法の改定，国際的な機械安全規格の動向から平成19年7月にこの指針を全面的に改定した。この指針の内容は，全ての機械に適用できる包括的な安全確保の方策に関する基準を示したもので，機械メーカ，ユーザのそれぞれが実施すべき事項を示している。

本報告書の考え方もこの指針に基づき，機械メーカ，ユーザとしての施工者，それぞれの立場からトンネル工事特性のリスクを考慮し，トンネル機械の製造から使用に至るまでの安全対策を検討する。

2. アンケート調査における事故事例及びヒヤリ・ハットの現状

(1) 調査の概要

トンネル機械技術委員会では，過去の山岳トンネル機械の事故及びヒヤリ・ハットの事例を調査し，機械の製作段階での改良から現場での使用における事故再発防止対策についてまとめていく方針とした。

そこで，トンネル機械技術委員会構成会社の製作メーカ，レンタル会社，施工会社に「山岳トンネル機械の事故事例及びヒヤリ・ハットに関するアンケート調査票」を平成19年10月1日に発行した。アンケート調査対象会社は機械部会トンネル機械技術委員会，建設業部会の構成会社54社とし，対象は山岳トンネルで使用する全ての機械での事故事例及びヒヤリ・ハットとした。

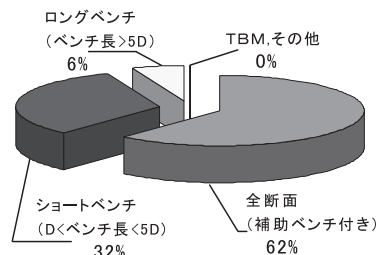
回答数については，事故事例が17社37件，ヒヤリ・ハットが11社23件であった。これらを分科会で集計し，重複回答等を除いた結果，有効回答数として事故事例35件，ヒヤリ・ハット22件を得ることができた。全国の工事実績に対して少ない件数ではあるが，ほぼ包括した山岳トンネル機械の事故事例及びヒヤリ・ハットを収集できたと考えられる。

(2) トンネル概要別の分類

事故事例，ヒヤリ・ハット事例をトンネル概要別の分類として工事場所，掘削工法，掘削延長，掘削断面積，掘削方式，ズリ運搬方式，トンネルの用途の7項目に分類した。その中の一例を下記に示す。

(a) 掘削工法別の事故事例 (図—1)

掘削工法別の事故事例は，回答数34件中，全断面が21件62%で，次いで，ショートベンチが11件32%，残り2件がロングベンチという結果であった。全断面およびショートベンチの事故比率が高く，掘削工法別の実際の工事実績傾向に近いと考えられる回答を得られた。



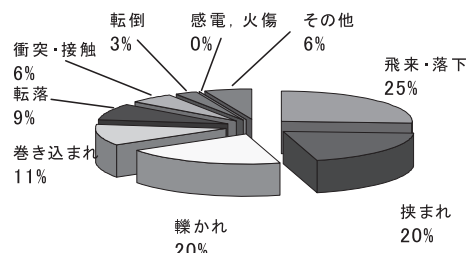
図—1 掘削工法別の事故事例

(3) 現場調査における現状分析

事故事例，ヒヤリ・ハット事例を現場調査における現状分析として事故の発生した年，月，被災原因，被災時の作業，被災した人数，被災者の職種，年齢，経験年数，就労日数，被災状況，事故発生時間帯，使用機械，事故発生の要因，機械的要因の14項目に分類し現状分析を行った。その中の一例を下記に示す。

(a) 被災原因別の事故事例 (図—2)

被災原因別の事故事例は，回答数35件中9件が飛来・落下によるもので25%を占める。次いで7件が“挟まれ”と“轢かれ”で各々20%であった。



図—2 被災原因別の事故事例

3. アンケート調査を踏まえた発生状況の分析

(1) 建設業と建設機械の原因別死亡災害

安全衛生情報センターの労働災害統計(平成19年)によると建設業全体の休業災害の原因別では『墜落・転落』34.4%，『衝突・接触』11.6%，『挟まれ』10.9%，『飛来・落下』10.8%の順で68%を占める。建設機械(建設機械，動力運搬機，車両)での休業災害の原因別分類では，『墜落・転落』32.2%，『挟まれ・巻き込まれ』27.5%，『轢かれ』10.0%，『交通事故』8.1%の順で78%を占めている。

これに比べ，今回のアンケートの集計によるトンネル工事での原因別の分類では『飛来・落下』，『轢かれ』，『挟まれ』，『巻き込まれ』の四つの原因で82%を占めている。建設業で最も多く34%も発生している『墜落・転落』はトンネルでは9%と少なく，建設業全体では11%しか発生していない『飛来・落下』が今回のアンケートのトンネル工事では28%も発生している。ま

た、建設機械系で比較すると『墜落・転落』が32%と最も多いが、トンネル工事では『轢かれ』が上位を占めている(図-3)。以上のことからトンネル内での災害の特徴が見えてくる。

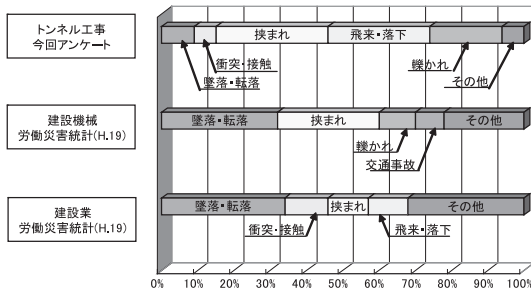


図-3 建設業全体の原因別分類と今回アンケートの比較

- ①『飛来・落下』が多いことは、トンネルの危険箇所が切羽に集中しており、落石や吹付モルタルの剥離に起因する事故が多いことがうかがえる。
- ②『挟まれ』『巻き込まれ』が多いことはトンネル内が狭く、重機が多く稼働していることに起因することがうかがえる。
- ③『轢かれ』が多いことはトンネル内が狭いことや、照明の影が出来るために暗いことなどの理由が挙げられる。
- ④『墜落・転落』が少ないことは切羽付近で稼働する建設機械に関しては手摺、昇降設備等が完備されており、対策は整っているとと言える。
- ⑤いわゆる交通事故に該当する車両との接触事故が少ないことは、通常作業での交通ルール(制限速度の遵守や歩車道の分離)が良く守られていることを物語る。

従って今回のアンケートで集計した被災原因のうち、『飛来・落下』、『轢かれ』、『挟まれ』、『巻き込まれ』の四つの原因についての分析を以下に述べる。

(2) 主要原因の分析

(a) 飛来・落下の分析

28%を占める『飛来・落下』が9件と最も多い。このうち装薬中のモルタルの肌落ちや、コソク中の落石など切羽面からの飛来落下による災害は3件、掘削の際の岩塊の跳石による災害は2件、吹付作業における急結剤の噴出による災害が2件である。それ以外は吹付機の配管の落下とジャンボブーム上を歩行中落下した災害がそれぞれ各1件ある。NATMの普及により切羽以外のトンネル部分からの飛来落下災害が激減している。また、切羽面に吹き付けを行い、切羽の養生が一般化してきたことも減少の理由であろう。しか

しながら依然切羽が不安定な状態であることに変わりなく、切羽からの落石やモルタルの落下は重大災害となっており死亡や重度障害が残るケースが多い。コソクや装薬の作業を切羽から離れて作業可能な方法やそのための機械の開発を考えていかなければならない。

(b) 轢かれの分析

轢かれが原因での災害は7件ありこのうち3件はバックホウ、残り2件はトラックによるものでドリルジャンボとバッテリー機関車が各1件である。この災害の特徴的なことは、ブレーキの制動不能による暴走で轢かれた事例が1件で、それ以外は停止している状態から動き出した場合に被災した事例が6件である。そのうち5件は後退時に被災している。このことはトンネル内が照明の関係で視認しにくいことや、騒音が大きく合図が聞こえないこと(耳栓を着用している)などが二次的な要因となっており、トンネル特有の作業環境と関連しているといえる。

(c) 挟まれる分析

挟まれる原因の多くは人的要因により発生している。誤操作や近道行為、取り付け金具の不良など不安全行動によるものが多い。運転者からの死角で発生した挟まれ災害が吹付機アウトリガで1件発生している。

(d) 巻き込まれの分析

巻き込まれは穿孔機械や運搬機械で発生しており、定常的な稼働状況での災害は削孔中のロッド接続時、合図の不徹底によるものが1件で、それ以外は機械トラブル等の発生による故障修理中あるいは緊急時での発生となっている。いずれも不安全行動や合図の不徹底によるもので、人的要因が発生原因となっている。

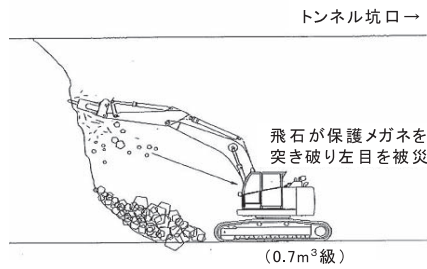
4. アンケート調査を踏まえたトンネル機械の安全対策

事件事例及びヒヤリ・ハットのアンケート調査において災害時の機械を選定し、事例と対策を紹介するとともに各機械の安全対策を分析した。特に、アンケート調査における事故発生の要因が仮に人的要因、管理的要因であっても、機械側としてどのような安全対策を施せば、この事故が回避できたのかを検討した。その一例を下記に示す。

(1) ブレーカの事件事例での発生状況と対策及び改善

①発生状況

ブレーカで切羽を掘削中、掘削時の飛来石が運転席前面に張ってある防護用の金網を通過し、オペレータの目を直撃した(図-4)。



図一 4 プレーカでの事故発生状況



写真一 2 ダンプトラックでの事故発生状況

②対策及び改善

運転席の前面窓に張ってある金網（メッシュ 80 × 150 mm）の内側に、窓全体を覆う透明のポリカーボネート板を設置し、飛来する大塊は金網、それ以下の塊はポリカーボネート板でブロックすることで、キャビン内の運転者を防護することとした（写真一 1）。



写真一 1 対策及び改善

ブレーカ使用中の事故事例はヒヤリ・ハットと合わせて 4 件であった。発破後の落ちそうな岩を取り除いたり、掘削面の整形をしたりと作業の性格上、機械の機能上、飛来や落石による事故事例が多い。

ブレーカの機械メーカーとしての安全対策は、防護ネット・柵などの防護設備を機械側に取付けて飛来・落下物を受け止めるようにする。また、粉塵抑制のための散水時の事故報告からベースマシンに水タンク・水ポンプ・噴射ノズルを設置し、ブレーカ掘削時に自動散霧する事で散水する等の措置が取られている。

施工者としての安全対策は、飛石・落石に対する防護設備の設置や作業指揮者の配置、作業員の配置計画や作業範囲・立入禁止区域の明示及び側方通過、横断時の合図の取り決め、危険予知訓練等が上げられる。

(2) ダンプトラックの事故事例での発生状況と対策及び改善

①発生状況（写真一 2）

トンネル切羽掘削ズリを 20 t ダンプトラックで坑外へ運搬中、トンネル坑口から 100 m 付近でベッセルと運転席を連結しているヒッチという部品φ 245 mm、肉圧 35 mm の中空ロッドが破断した。このため運転

席とベッセルが完全に切り離されて、運転席が前に傾き急停車したため膝を骨折した。

②対策及び改善

事故車両を検証すると、ヒッチ部分の肉盛加修、溶射などの修理の前歴があったことが分かり、そのため熱応力による歪み、疲労破壊が原因であった。その対策としてリース業者の整備点検書、修理内容確認を徹底した。

ダンプトラックに関する事故事例及びヒヤリ・ハットのアンケート調査結果は 8 件と多く、このうち事故事例では 4 件、ヒヤリ・ハットでは 4 件であった。

狭隘な坑内で、各重機の稼働及び修理、走行のため各作業員が死角になり、バック時、走行中での接触及び轢かれたり、過酷な条件下による整備不足、運転操作ミスの中で発生している。これらの発生状況に対して、機械メーカーとしての安全対策はバックモニターの標準装備、全輪制動のロックブレーキ装備、乗降の安全性の考慮、走行スピード制限装置等の安全性を優先した装備としている。

施工者としての安全対策は、施工条件、使用条件の確認や操作訓練、坑内照度、誘導員・合図・坑内速度等の坑内基準の規定と管理的要因事項が求められている。ダンプトラックは坑内を搬入出する重機の中でも最も多いため坑内の運行規則の根幹となるものである。このため、作業員、機械メーカー、リース業者と一体となって、上記安全性を高めていくことが必要である。

5. トンネル機械の安全性に対する今後の方向性

前章においてアンケート調査結果での事故事例及びヒヤリ・ハットを分析し、現状技術を踏まえて安全対策を述べた。それらを発展的に捉え、技術開発を含めた安全性の将来的にあるべき方向性の一例を示す。

(1) 掘削機械（油圧ショベル）

事故事例では、機械が動き始める時点での事故が多く報告されており、その原因としては、合図の不徹底、

走行方向安全確認不足や旋回範囲内の機体近くへの侵入が挙げられている。機械メーカーとして事故事例を踏まえた安全対策の開発が進められている。しかし機械の安全装置のみでは事故災害を完全に無くすことは出来ず、事故やヒヤリ・ハットの発生は、殆どの場合、人的要因が複合して発生している。近接センサーや作業員に取り付けられた発信装置による自動停止機能では、不十分な識別機能が施工性を阻害する場合もあり、システムの改善開発が進められている。さらなる安全技術の向上には、機械メーカーと施工側との協調による技術や経験の融合が不可欠といえる。

(2) 積込み機械（ホイールローダ）

機械メーカーによる操作性、構造面での現状の安全技術は、過去の事故発生状況やユーザからの要望を踏まえて改善されている例が多い。また、施工者による現状の安全対策は、機械メーカーの現状の安全技術を施工者が現場に受入れて、安全管理を行うというシステムになっている。したがって、現場での安全性向上のためには、機械メーカーと施工者が相まって、安全技術の向上とそれに基づく現場管理を行う必要がある。

今後の改善方向として、例えば、切羽の立入禁止区域（ホイールローダ稼働中）に作業関係者以外が立ち入った場合、または、稼働中のホイールローダに人が接近した場合に、ホイールローダを自動停止させる装置やオペレータ以外がホイールローダに接近している場合はエンジン始動できないなどの改善方法が考えられ、機械メーカーおよび施工者にて、開発が一部進んでいるようである。安全性に対する今後の方向性は、機械メーカーと施工者が各々の技術と管理を互いに分掌し、協調することにより、さらに、向上できる方向にあり、それぞれに大きな期待が持たれている。

(3) 運搬機械（ダンプトラック）

ダンプトラックの災害は、トンネル工事の中でも比較的多く、その事故の反省から最近では、今までオプションだった技術が標準化されている機械メーカーもある。バックモニターなどが良い例である。今後は、多くの技術を含めてオプションとしている機械メーカーでも標準化が益々進んでいくと考える。今後のダンプトラックの安全性に対する技術開発の方向性は、轢かれ、挟まれ防止のための対物、障害センサや運行管理の一端としての無線もしくは映像によるオペレータと作業員あるいは作業員同士のリアルタイムな同時連絡、将

来的には、GPS等を利用した運行管理技術が開発され、無人化の方向にコストも踏まえて進んでいくと考える。

6. まとめ

山岳トンネル機械の事故事例及びヒヤリ・ハットに関する報告書を纏める中で、実に多くの事故やヒヤリ・ハットが現場で日常のように発生しているものであると考えさせられる。ここで、これまでの日本の機械安全、労働安全における安全確保の仕方を振り返ってみると、機械の設計では、その機械を使用することを前提に安全に製作するというよりは、機能とコストが重視されて来た。実際の現場の安全確保は、これまでの現場の作業員・技術者が優秀であったためか、主として現場内での安全教育や作業員の注意で実現されて来た。安全は、技術で確保するよりは、どちらかというところと教育・訓練で実現することに重点が置かれて来たのである。たとえ事故が発生しても、責任は現場の作業員や、機械性能に帰され、真の原因を追究して、現場の意見を取り入れて機械の設計にまでフィードバックすることが少なかったために、機械を用いて作業する場合の安全を確保する技術が十分に育たなかったように思われる。

「絶対安全」はあり得ないという認識に立てば、リスクを洗い出し、リスクの排除が可能である。作業現場における安全対策の考え方は、従来の防護具と作業員への教育や訓練に依存する受け身の安全から、ヒューマンエラーは必ず起こるものと仮定し、機械メーカーはヒューマンエラーが事故につながらないように機械に安全設計を施し、万一の場合にも事故を起こさない機械を目指す考え方へと移り変わっていく必要があるであろう。安全として望ましい形は、例えば機械であれば「機械の包括的な安全基準：平成18年厚生労働省」に則って、倫理観と使命感を持って製品に安全を作り込んで行くこと、例えば現場であれば「法の遵守」を基本に自己の経験と知識の蓄積に基づき信念をもって施工に携わることであろう。両者がお互いに安全の重要性を認識し、大事にする文化を構築することが大事である。

最後に、今回「山岳トンネル機械の事故事例及びヒヤリ・ハットに関する報告書」を作成するにあたりアンケート等にご協力頂いた方々に感謝すると共に皆様のご安全を祈願致します。