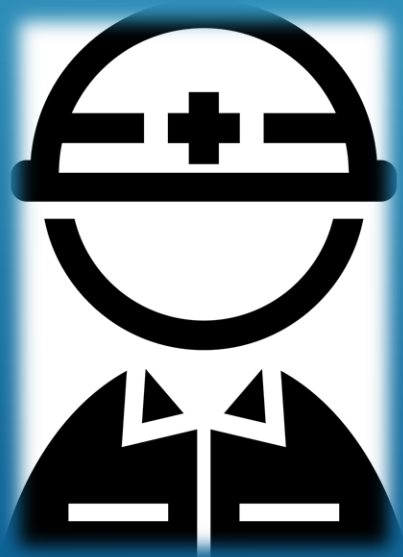


設計・施工段階での安全対策



戸田建設(株) 高橋 浩

1. 設計段階での安全対策

- 設計段階から予測可能なリスクをできる限り除去・低減することが肝要
- 現状の設計において予測しうる問題点のいくつかに対する改善案を紹介



(報告書)7. 設計段階での安全対策

7.1 坑口付けのり面設計に関する課題

7.2 支保工のつなぎ材に関する課題

7.3 吹付けコンクリートの金網に関する課題

7.4 加背割に関する課題

7.5 工程計画に関する課題

7.6 鋼製支保工下部のインバート掘削に関する課題

7.7 箱抜き工に関する課題

7.8 支保パターンの選定に関する課題

7.9 早期閉合に関する課題

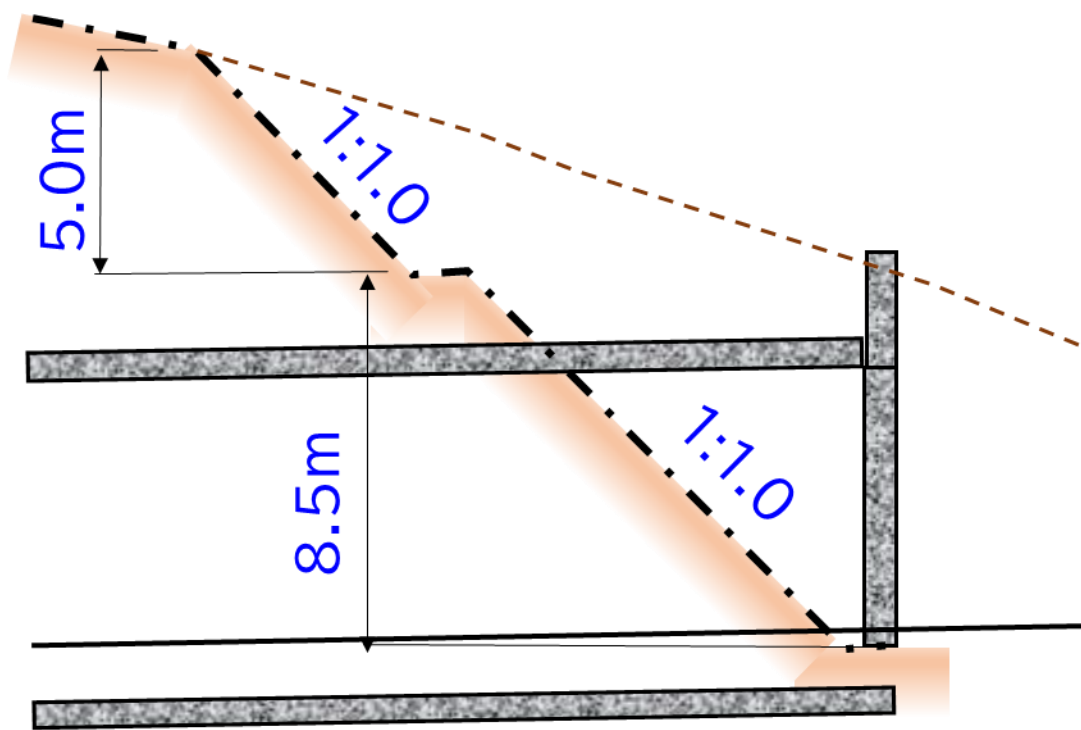
7.10 工事用仮設道路に関する課題

1-1 坑口付けのり面設計に関する課題

課題

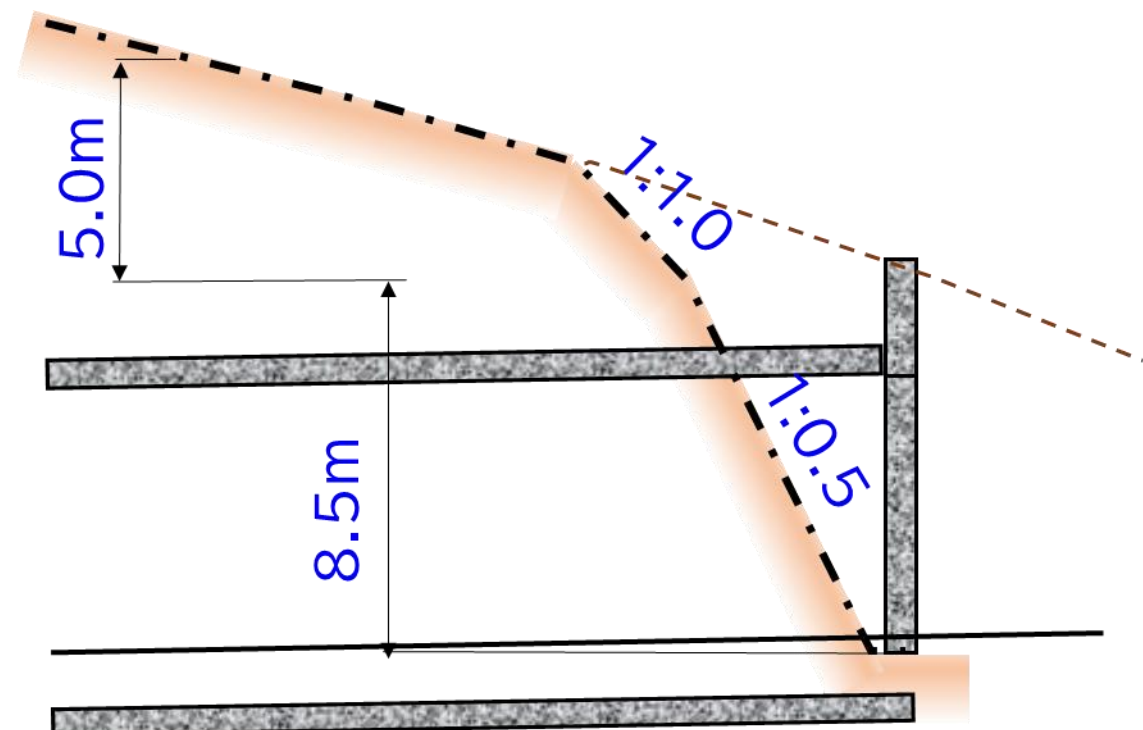
- 坑口付け掘削は、慣例的に坑門等の構造物を構築するための**仮設切土**という位置付け
- 多くは**構造物掘削と見なしての設計業務**
- 切土高さが高い、仮設切土での残置期間が長い**等の特殊性
- のり面直下を長期にわたり施工機械や作業員が通行するため、**安全性の担保が必要**

のり面勾配が緩い
→ 支保工建込み等の施工性が低下



事例-1

仮設切土と永久のり面間に小段なし
→ 1段の切土高さが非常に高い



事例-2

安全上(施工上)問題がある設計事例



改善案（安全設計）

- 坑口部のり面として、安全な施工が可能となる新たな坑口のり面設計を実施
- 「仮設のり面」から「トンネルの坑口のり面」へ設計思想の転換
- 構造物掘削ののり面ではなく本設のり面の設計基準を適用

a) のり面勾配

- ・地質状況に応じて1 : 0.5 程度の勾配を標準

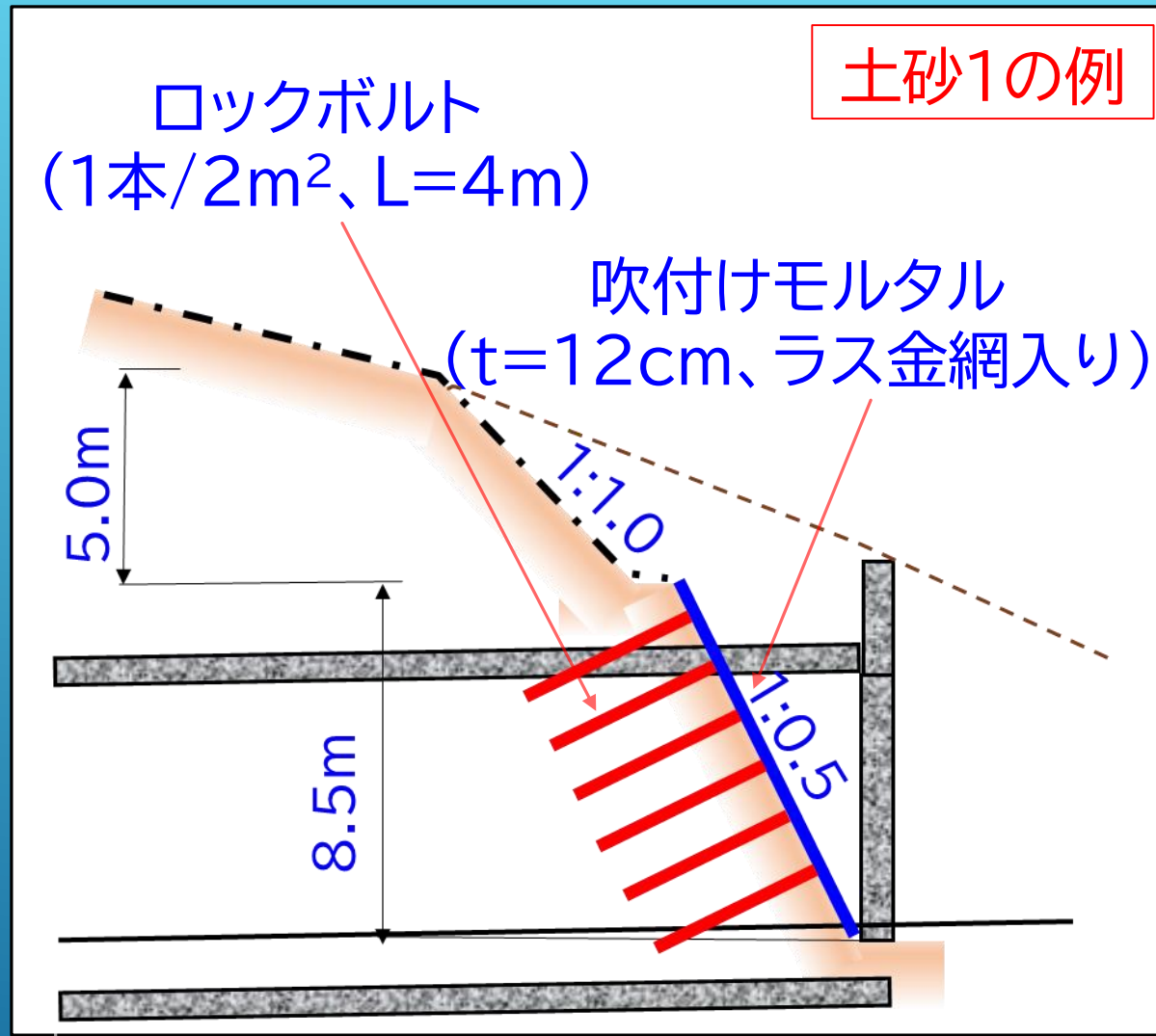
b) 小段

- ・現状の設計では仮設のり面と永久のり面との間に小段がない
→ 施工時に10 m以上の切土が発生
- ・仮設のり面と永久のり面の境界には小段を設置することを原則

c) のり面保護工

- ・実際には多くが吹付けによる被覆+ロックボルトによる補強が採用
- ・坑口部のり面については円弧すべりや直線すべ等により適切に安定計算を行い、適切な補強工を設計として計上

岩種	坑口付け 切羽勾配	切土のり面の補強工	備考
硬岩	1:0.5	吹付けコンクリート・モルタル t=10cm	
軟岩	1:0.5	吹付けコンクリート・モルタル t=10~15cm ロックボルト 2~3m, 1本/2m ²	切土補強工の経験的 手法に準拠
土砂1	1:0.5	吹付けコンクリート・モルタル t=10~15cm ロックボルト 4~5m, 1本/2m ²	固結度が高い場合
土砂2	1:0.5	安定計算により, 吹付けコンク リート・モルタル, ロックボルトを 設計	斜面崩壊が懸念され る場合



安全設計の推奨案

1-2 吹付けコンクリートの金網に関する課題



課題

- 設計ではDⅠ上半、DⅢ上下半に金網を設置
- 金網設置は高所での上向き作業で**苦渋かつ危険作業**
- 金網設置作業中に**肌落ちによる複数の災害事例あり**



金網設置作業
(切羽直近高所での上向き作業)

改善案（安全設計）

- D I、DⅢパターンは繊維補強コンクリートや高強度吹付コンクリートを標準
→ 金網設置作業の省略が可能



従来



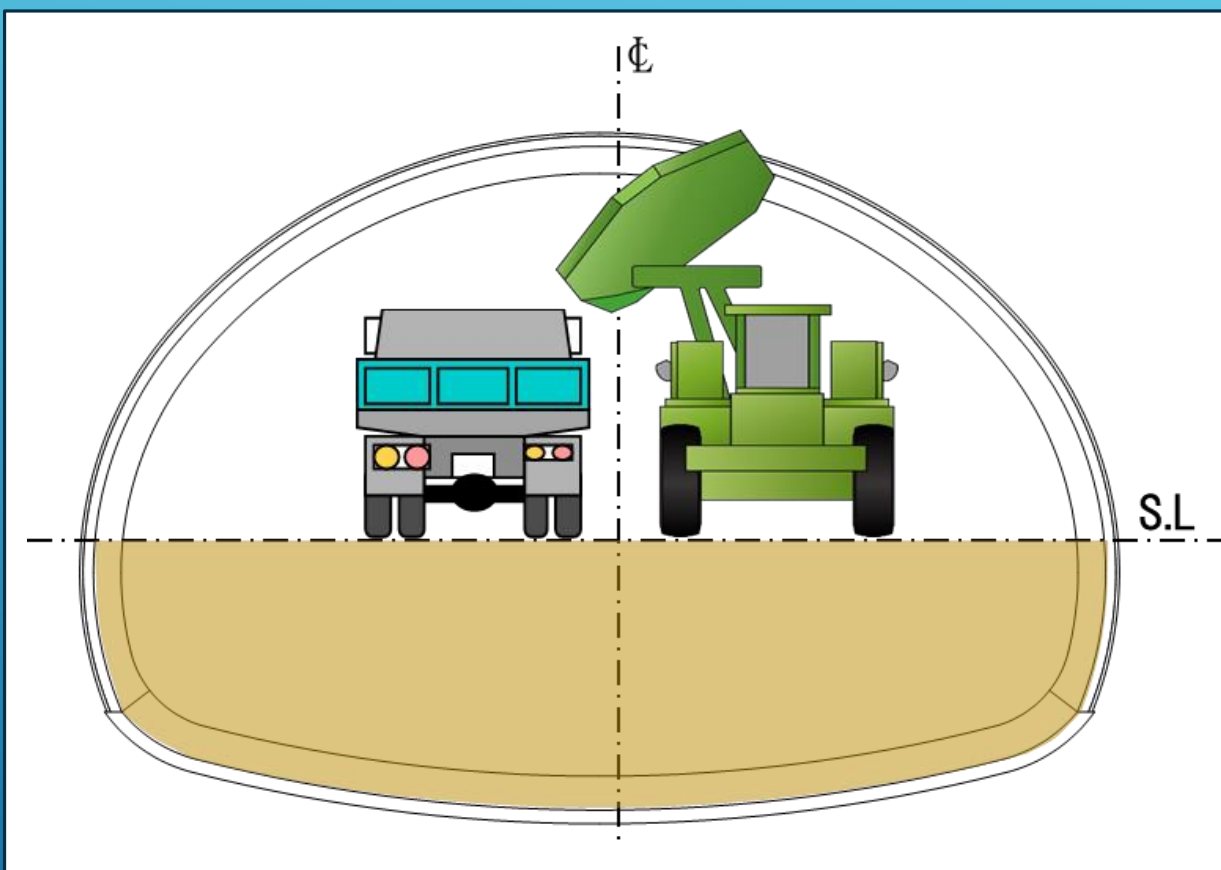
安全設計

1-3 加背割りに関する課題

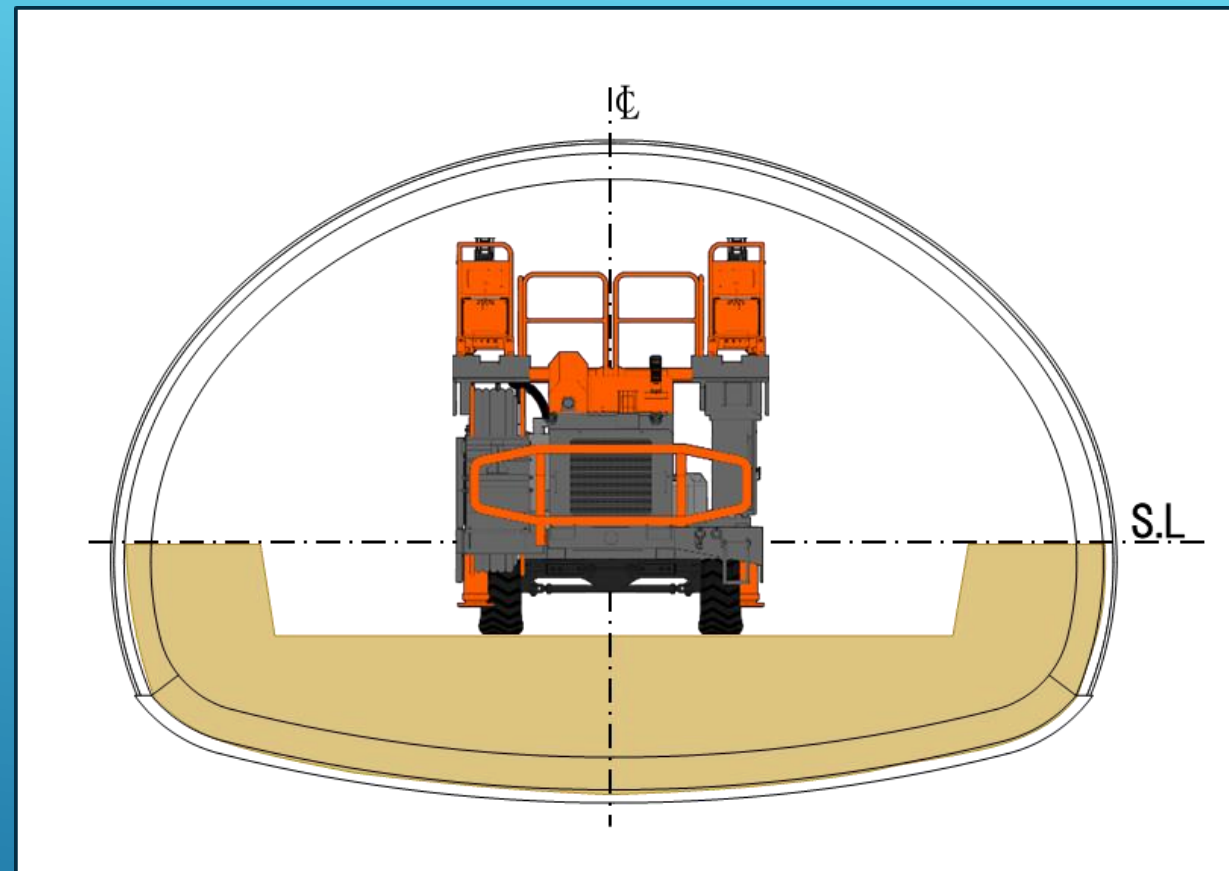


中小断面の課題

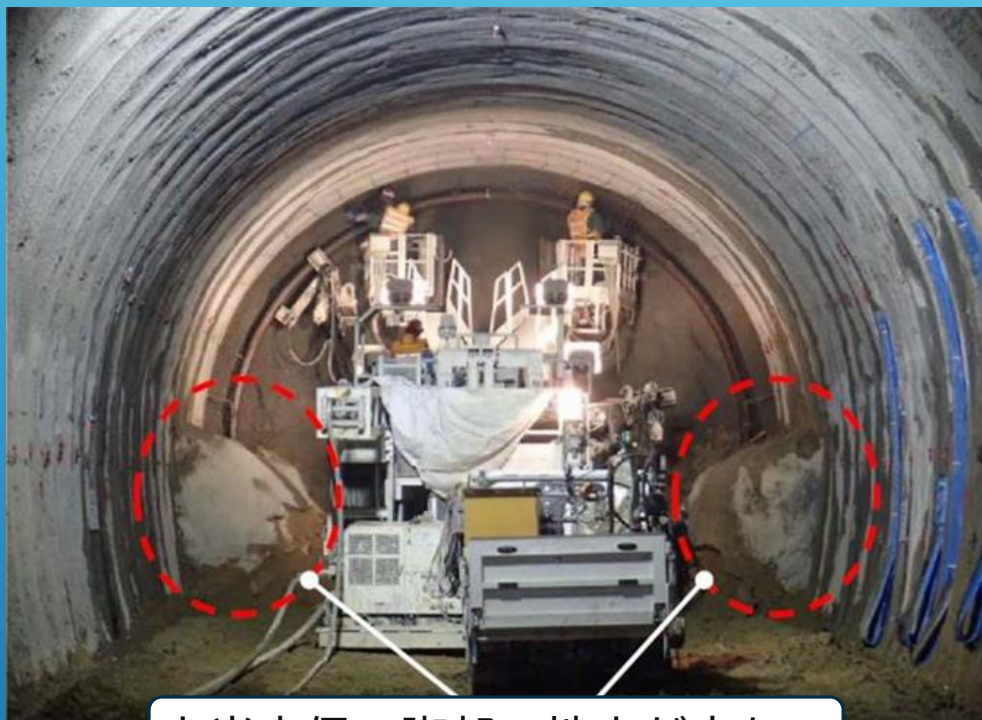
- 施工性等は考慮せず特段の対応もなく多くの設計事例は **S.Lが加背割りライン**
- 実施工では大型機械が稼働できず **大背を落とした加背割**で設計変更せずに施工している事例が相当数
 - **掘削断面としては不安定**（崩落事例もあり）



積算の割切りで設定した事例
(施工不可)



施工可能となるように設定した事例
(掘削断面として不安定)



上半支保工脚部の地山が少ない

大背を下げた事例
(掘削断面として不安定)



大背を残した事例
(掘削断面の安定化)



1-3 加背割りに関する課題

大断面の課題

- 機械のリーチの関係から加背割りの高さは6m以下
- 長さ6mのロックボルトの施工が困難
- 上向きロックボルトの施工は落下の恐れもあり作業員にとっては苦渋かつ危険な作業

改善案（安全設計）

- 設計掘削断面に応じた加背割りが可能、あるいは現状のS.L.にこだわらない設計が可能な要領が必要
- 標準積算の施工機械の組合せで施工可能な断面等の適用範囲を細かく明示する等
- 大断面での6mの上向きロックボルトは自穿孔ボルトの使用、定着材の注入が不要なスウェレックスボルトの採用

1-4 箱抜き工に関する課題

課題

- 鋼製支保工を切断・補強するため、**地山の安定性を損なう可能性あり**
- 配筋が複雑になる他、コンクリート打設時もセトル内での通常作業とは異なる**危険な作業**
- 覆工コンクリート自体は構造部材ではなく、特に**標準厚さを有しない箱抜き部分には覆工は不必要**

改善案（安全設計）

a) 再掘削が生じない内空断面の設計

- ・ 拡幅掘削となる支保工補強の標準案を作成

b) 当初から施設配置を考慮して建築限界を設定

- ・ 掘削量増加に伴うコストは増大するが断面変化がなく構造的に良好（隅角部からのひび割れ等が生じにくい）
- ・ 設備の更新等維持管理上も箱抜き的位置・大きさに左右さず時代に合った更新ができるため、メリットは大

従来の方法
(切羽後方での
箱抜き掘削)



安全設計の例
(拡幅支保工採用
による切羽での
箱抜き掘削)



1-5 工事中仮設道路に関する課題

課題

- 仮設計画ガイドブックに示される最急縦断勾配例の最大値15%を用いた例もあり
 - **ズリ満載で曲線の急勾配を下る危険な状態が発生**
- 曲線半径100m 程度でも**視距確保のための拡幅が計画されていない場合**もあり

改善案（安全設計）

- a) 少なくとも道路構造令に示される最急縦断勾配12%以下($V=20\text{km/h}$ 、やむを得ない場合)とし安全性を担保
- b) 縦断勾配、通行する車両、大型車通行頻度等に基づき適切に舗装の種別や舗装構成等を設定
- c) 作業員用の通行空間と車道空間を物理的に分離する構造(ガードレールの設置、マウントアップ構造)

2. 施工段階での安全対策

- 従来からの安全管理に加えて、工学(設備)的対策と管理的対策の考え方、残留リスクの低減に向けた支援的保護システムの導入について提言
- 災害発生時の原因究明と改善に資する方法としてはヒューマンファクター分析が有用



(報告書)8. 施工段階での安全対策

8.1 工学(設備)的対策の提言

8.2 管理的対策の提言

8.3 支援的保護システムによる残留リスクの低減

8.4 坑内照明の向上による災害リスクの低減

8.5 施工現場における安全設備・技術の実装事例

2-1 工学(設備)的対策の提言

機械・設備等による隔離・停止・危険源の制御等

課題

- 切羽作業での災害発生数は全体の46%で、うち75%が肌落ち災害
- 削孔、装薬、吹付けコンクリート、ロックボルト、支保工等の切羽作業に関して自動化・遠隔化等により作業員を危険源から隔離することの標準化が急務

改善案

- 切羽作業の自動化・遠隔化を目的とした実用段階の技術がトンネル規模や事業者の経済力等に関わらず多くのトンネル工事に対して合理的に実装可能にする
 - **標準設計への組み込み** (積算基準での標準化) が必要
- 実装可能な技術を実証するための試験施工を組み込んだ工事発注等、**発注者による積極的関与が重要**



4ブームフルオートジャンボ



鋼製支保工建込みロボット



ロックボルト自動打設機

2-2 管理的対策の提言

- ①情報共有・伝達手段
- ②教育訓練
- ③坑内環境整備
- ④業務改善
- ⑤職務能力(Competency)の向上

③坑内環境整備

照明による視認性向上、路盤整備による走行安定性向上や歩行安全性の向上等によって、リスクの低減が可能



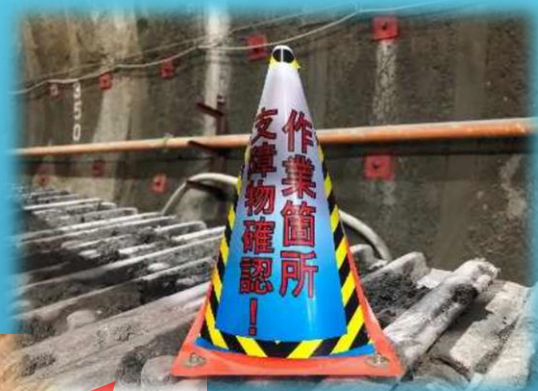
立入禁止区間の明示



制限速度の明示

④業務改善

- 「行動分析学」の考え方を応用
- 報酬(言語的称賛や歓喜等の報酬的な状況)を使い、安全行動を増やし、不安全行動を減らす安全管理手法を採用
- 現場内の意思疎通の改善やストレス軽減により従事者の健康とウェルビーイング(身体的・精神的・社会的に良好な状態にあること)を確保
 - ヒューマンエラーの抑制、健全な現場運営に貢献



重機履帯に設置したミニカラーコーン

作業員接近アラーム

(元請:大成JV滝室坂トンネル東 協力業者:成豊建設)

2-3 支援的保護システムによる残留リスクの低減

- 支援的保護システムとは、**残留リスクを対象**とし、適切な**ICT 機器を組み合わせ**て人の注意力のみに依存することなく、行動の実行段階でのヒューマンエラー等による**危険側誤りの確率を可能な限り減少**させるためのシステム
- 作業者等人的の行動に関する補助的システム、作業者・車両等位置確認システム、生体情報管理システム等が該当

ビーコンを用いた位置情報管理システム



警告照明システム



重機制御システム



重機周囲監視カメラシステム



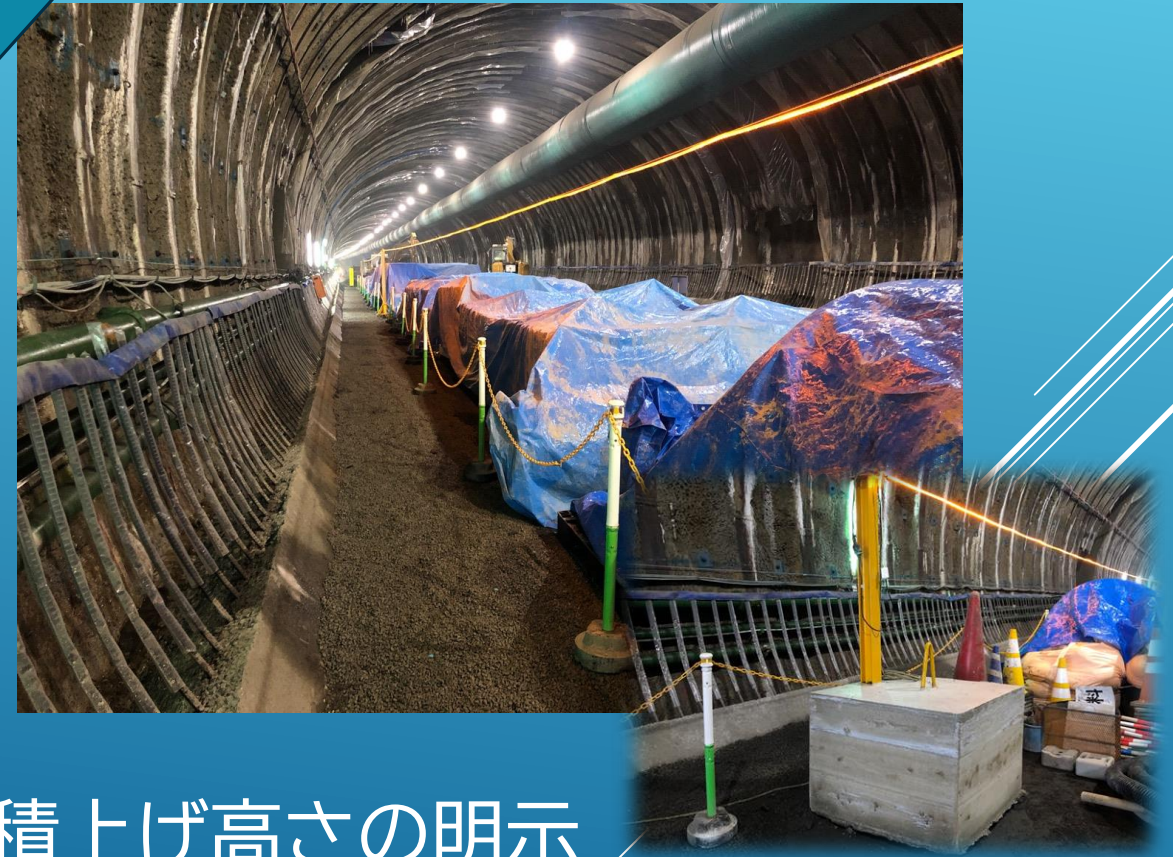
トンネル工事における人と重機の接触災害リスク低減システム(清水建設)

- トンネル規模や施工者の経済力に関わらず標準的に採用できる安価な支援的保護システムとして「**ビーコンを用いた簡易坑内安全管理システム**」が各所で実装
- 将来的には坑内Wi-Fi とともに生産性向上と安全性向上の両者に貢献できる**仮設備として標準化**が望まれる

2-4 施工現場における安全設備・技術の実装事例

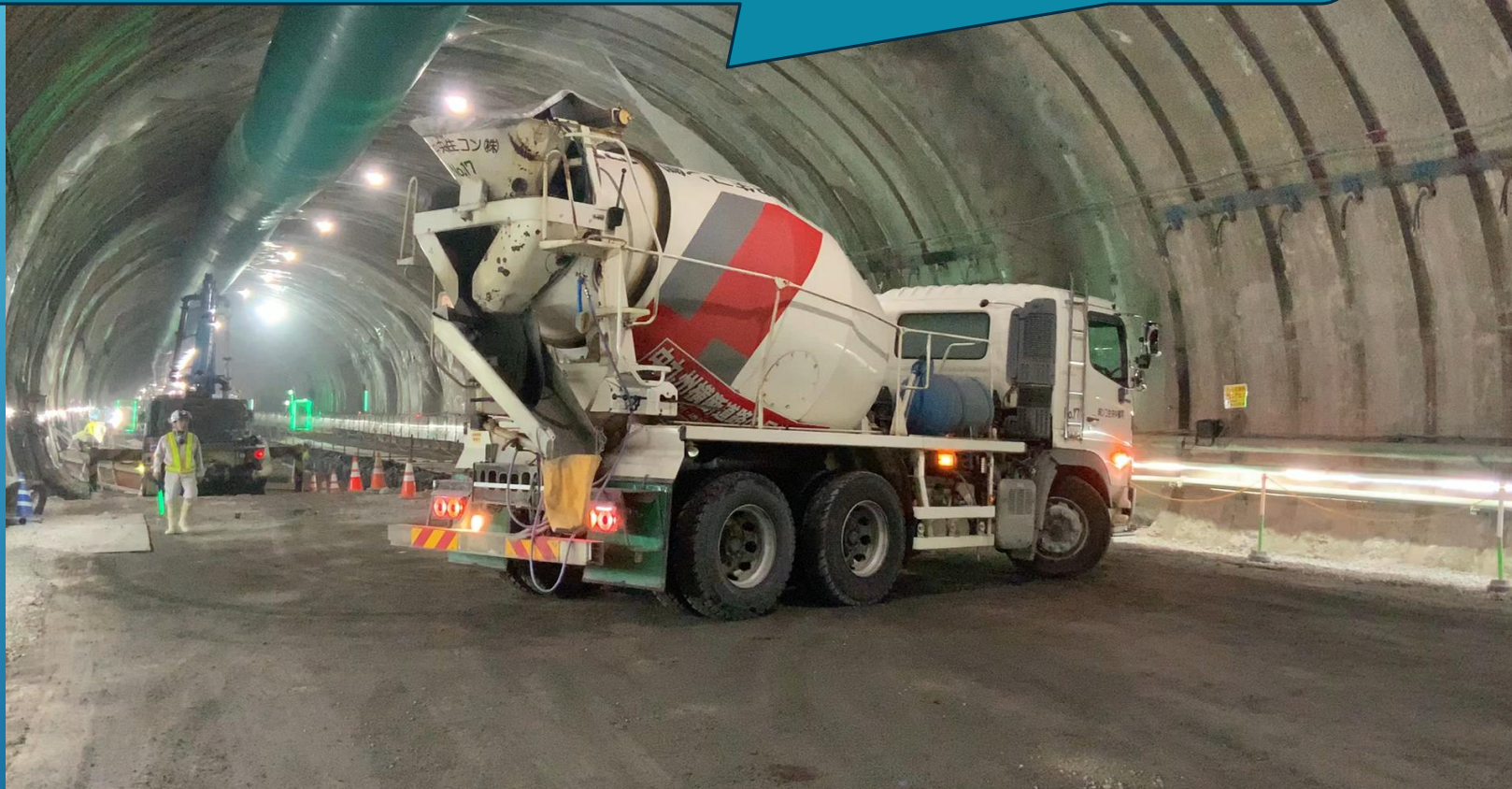


積上げ高さが2m以上の【はい作業】と
ならないように高さを明示



LEDによる資材積上げ高さの明示
(元請:大成JV滝室坂トンネル波野工区 協力業者:成豊建設)

坑内転回場等に人が侵入した際にAIカメラで感知し、
警告を発して重機・車両運転手に気付かせる



AIカメラによる侵入警告

(元請:大成JV滝室坂トンネル東 協力業者:成豊建設)

容易に大容量の局所照明が設置可能



照明搭載バギー

(元請:大成JV滝室坂トンネル東 協力業者:成豊建設)

新規入場者教育を受けたタグ所有者のみ入坑可能



ETCゲート(入退場ゲート)の設置
(元請:大成JV滝室坂トンネル東 協力業者:成豊建設)

監視員が遠隔にて重機の停止が可能



遠隔停止システムの導入

(元請:大成JV滝室坂トンネル東 協力業者:成豊建設)



VRによる安全教育（戸田建設）

ご清聴

ありがとうございました

