第VI部門

2026年9月4日(金) 14:40 ~ 16:00 | 2号館3階31（北海学園大学）

BIM／CIM(5)

座長：工藤 新一（前田建設工業）

14:50 ~ 15:00

[VI-1521] トンネル坑門工位置形式検討へのジェネレーティブデザインの導入（その１）－設計プロセスと設計条件の整理－

*坂本 昇[1]、平田 祐也[1]、草野 一郎[1]、畑 浩太[1]、岩崎 聡[2]、藤田 尚史[2]、宮内 芳雄[2] (1. 八千代エンジニヤリング株式会社、2. ONESTRUCTION 株式会社)

キーワード：トンネル坑門工設計、ジェネレーティブデザイン、業務プロセス、形式知化、多目的最適化

山岳トンネルの坑門工位置検討は熟練技術者の経験に依存する部分が多く，作業時間の短縮と品質の平準化が課題となっている．本研究は，ジェネレーティブデザイン（GD）導入に向け，自動化工程の明確化と設計知識の形式知化を行うことを目的とする．熟練者へのヒアリングをもとに，検討プロセスをBPMNで5フェーズに整理し，GDによる自動化対象と人的判断領域を明確に区分した．設計知識を「入力条件」「制約条件」「評価条件」の3層として体系化し，GDの多目的最適化アルゴリズムで機械処理可能な形式へと変換した．本検討により，実業務の暗黙知をGDシステムの設計に直接接続するための概念的基盤が構築された．

© 2026 Japan Society of Civil Engineers

トンネル坑門工位置形式検討へのジェネレーティブデザインの導入（その１）
－設計プロセスと設計条件の整理－

八千代エンジニヤリング株式会社　正会員　○坂本　昇　非会員　平田　祐也，草野　一郎，畑 浩太
ONESTRUCTION 株式会社　正会員　岩崎　聡，藤田　尚史，宮内　芳維

１．はじめに

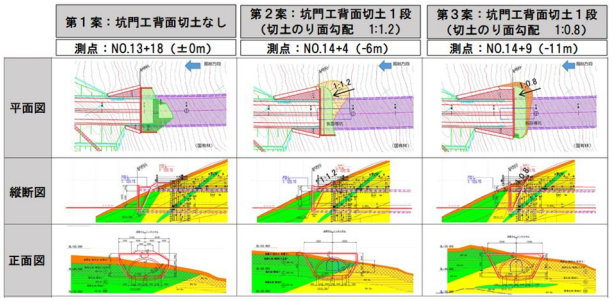
山岳トンネル詳細設計のうち坑門工設計は，トンネルの出入口である坑門の位置・形状・構造を決定するうえで重要な設計項目の一つである．坑門工設計のうち，坑門工の位置形式を決定する坑門工比較設計（以下，坑門工位置検討）は 1 坑口あたり 3 案程度の比較案を抽出，比較表を作成し，推奨案を選定している．坑門工位置検討への適用に向けた試行的検討[1)]では，面壁型で坑門左右がすべて切土案において地形およびトンネルの 3 次元モデルを用いて Rhinoceros®（3 次元モデリングツール）/Grasshopper®（Rhinoceros®上で動作するビジュアルプログラミング言語）と多目的最適化（NSGA-II）を組み合わせることで 1,000 案を約 80 分で生成・評価できる技術的有効性を確認した．しかし，実務適用に向けて，「業務のどの工程を自動化対象とし作業時間の短縮を図るか」，「設計知識をいかに機械処理可能な形式に変換し，技術の平準化を図るか」という 2 点が未解決の課題として残されていた．

本稿では，熟練技術者へのヒアリングに基づき，上記の課題に取り組む．具体的には，配置検討の業務プロセスを BPMN（Business Process Model and Notation）[2)]により体系的に整理し，設計知識を「入力条件」「制約条件」「評価条件」の 3 層として形式知化した成果を報告する．システムへの実装の詳細等は連携論文を参照されたい．

２．坑門工位置検討での作業上の課題

坑門工位置検討は，表-1 に示す 3 案程度の比較案について平面図，縦断図・正面図を作成し，これをもとに算出した数量や概算工事費，施工性，維持管理等の設計箇所に即した比較項目を比較表にとりまとめ，総合評価を行っている．比較案作成は，平面図から読み取った地形線をもとに縦断図，正面図を作成しているが，数量や概算工事費の算出，比較表作成も合わせて 2～4 週間の作業期間を有している．坑門工位置や形状の設定方法は，基準・要領等では，土被りや坑口付け等の一部の記載はあるが，坑門形状の設定方法等の具体的な記載が少なく，熟練技術者の経験･ノウハウ（暗黙知）に依存する場面が多く，経験の浅い技術者が検討した場合に同等の品質レベルに達しない場合がある．そのため，作業時間の短縮，品質確保に向けた技術力の平準化が課題である．

表-1 トンネル坑門工比較案（例）



３．BPMN による検討フローの整理

坑門工位置検討のフローの可視化に向けて熟練技術者（経験年数 30 年以上）へのヒアリング（以下，ヒアリング），共同研究者との協働により，従来の検討フローについて BPMN を用いて図-1 に示す 5 フェーズに整理した．各タスクは「手作業」「システム操作」「送受信」「自動処理」の 4 種に分類し，処理の性質を可視化した．ジェネレーティブデザイン（Generative Design，以下 GD）による自動化の対象はフェーズ 1（坑口位置検討）からフェーズ 3（設計）

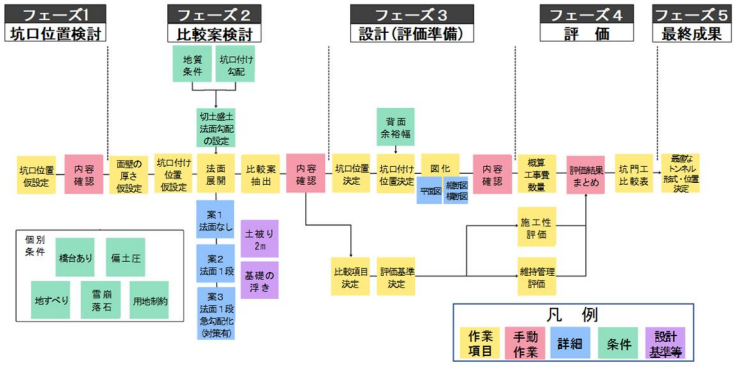


図-1　BPMNによる坑門工位置検討フローの整理

キーワード　トンネル坑門工設計，ジェネレーティブデザイン，業務プロセス，形式知化，多目的最適化
連絡先　〒111-8648 東京都台東区浅草橋 5-20-8 CS タワー
八千代エンジニヤリング（株）　事業統括本部 国内事業部 都市・地下空間部

© Japan Society of Civil Engineers

とした．フェーズ 4 以降（数量・工事費算出，図化，比較表作成），フェーズ 5（成果作成）は，基準・要領等では決まらない現地固有の判断や発注者との合意形成を必要とするため，技術者の判断を要する領域として明示的に区分した．BPMN の作成により，従来は熟練技術者の経験として暗黙的に存在していた検討の流れと技術的な判断の分岐が，共有・参照可能な形で可視化された．フェーズ 1〜3 を GD の自動化対象として明示したことで，技術者が人的判断に集中すべき領域（評価・合意形成）との境界が明確になり，システム設計の基盤として機能する．

4．設計ルールの形式知化

(1) 3 層構造による体系化

ヒアリングにより得られた設計知識を表-2 に示す「入力条件」「制約条件」「評価条件」の 3 層として体系化した．各区分はそれぞれ独立した役割を持つ．入力条件は，設計者が操作すべき情報の自由度を「既存データ（変更不可の前提データ）」「固定値（検討内で固定するパラメータ）」「変数値（探索対象）」に分類して構造化する．制約条件は，「設計として成立するか」を判定し，満たさない解を評価前に自動除外する役割を担う．評価条件は，成立案の中から「より優れた案」を選別する指標であり，比較検討の評価指標である概算工事費を採用した．

(2) 実業務の知見からシステム設計への接続

本稿で提示した 3 層構造は，単なる設計条件の記録にとどまらず，「何を変えながら案を生成するか（変数値）」，「どの案を非成立として自動判定するか（制約条件）」，「何をもって最良とするか（評価条件）」という多目的最適化アルゴリズムの設計と直接対応する構造を持つ．これにより，ヒアリングで得た実務知見を機械的に処理可能な形式として定義できたことが，システムとの連携を可能にした本取組の本質的な貢献である．

(3) 既往検討からの改善点

設計条件の入力管理を Grasshopper®内部から外部ファイルへ分離することで，Grasshopper®に不慣れな技術者でも設計条件を操作できる構造とした．これらの実装の具体的な構成については連携論文に詳述する．

表-2　坑門工位置検討における設計条件の区分

区分		役割	項目 ※一部抜粋
既存データ		必ず読み込む前提のデータ	・地形データ（TINサーフェス等） ・平面・縦断線形（LandXML等） ・トンネル内空断面形状
入力条件	固定値	検討内で固定するパラメータ	・面壁厚（想定） ・面壁天端高 （内空天端高+余裕高） ・土工幅員 ・切土・盛土のり面勾配
入力条件	変数値	探索対象となる設計変数	・坑門工位置（測点1mピッチ） ・坑口付け位置
制約条件		設計案が成立しているか判断する基準	・坑門工背面盛土とトンネルの余裕幅
評価条件		設計案の優劣を判断する基準	・土量、法面積 ・概算工事費

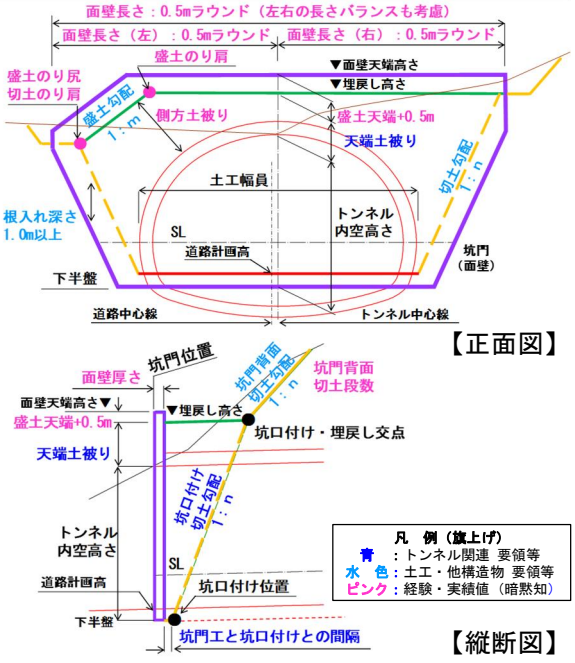


図-2　坑門工位置形状 検討概要図

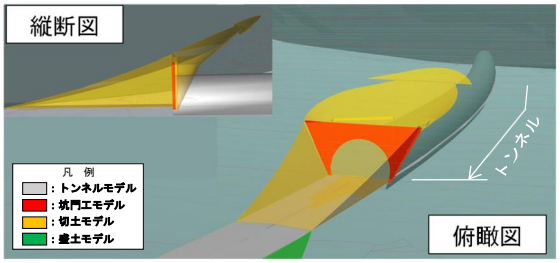


図-3　検討結果モデル出力（面壁型・切土主体案）

5．まとめ

本稿では，ヒアリングに基づき，坑門工位置検討の業務プロセスを BPMN により整理し，設計知識を入力条件・制約条件・評価条件の 3 層として形式知化した．これにより，実業務の暗黙知を GD システムの設計に直接接続できる概念的基盤が構築された．今後は，本稿で整理した検討プロセスおよび設計条件の妥当性，ならびに GD システムとの接続による設計支援効果については，実プロジェクトへの適用を通じて検証を進める予定である．また，今後の課題は，面壁型以外の坑門形式への対応，プロジェクトや発注者の要求に応じた柔軟な比較検討が可能なシステムへの構築である．

参考文献

1)　平田祐也，岩崎聡，草野一郎，坂本昇，中田泰輔，藤田尚史，宮内芳維，畑浩太：パラメトリック設計と多目的最適化を用いたトンネル坑門工配置支援の試行的検討，土木情報学シンポジウム講演集，vol.50，pp.245-248，2025
2)　Object Management Group : "Business Process Model and Notation (BPMN)". Object Management Group. https://www.omg.org/bpmn/, (参照 2026-03-30)

© Japan Society of Civil Engineers