

Generative Design を用いた トンネル仮設備の最適化配置 について取組み報告

土井 智矢*

Tomoya Doi

平工 哲嗣**

Satoshi Hiraku

1. 序論

トンネル工事における仮設備の配置計画は、施工効率や安全性に直結する重要な要素である。しかし、従来の計画手法は、ベテラン技術者の経験に依存しており、机上での試行錯誤による配置検討が主流であった。そのため、計画の作成に時間がかかるだけでなく、最適とは限らないレイアウトが採用される可能性もあった。

本取組では、Generative Design を活用し、トンネル仮設備の配置計画を最適化する試みを実施した。実施結果および、その有効性と課題について述べる。

2. Generative Design の基礎知識

Generative Design は、コンピュータを活用して膨大な設計案を自動生成し、最適解を導出するアルゴリズムベースの設計手法である。従来、技術者は過去の経験に基づき、手作業で試行錯誤を繰り返しながら配置を決定していたが、Generative Design の導入により、以下のような利点が得られる。(図-1)

- ① 設計の高速化複雑な条件下でも、人間では処理が困難な多変数の組み合わせを短時間で大量に生成できる。
- ② 最適解の導出
複数の評価指標を同時に考慮し、最も効率的な配置案を自動的に抽出できる。
- ③ 客観性の向上
経験則や主観に頼ることなく、定量的なデータに基づいた意思決定が可能となる。
- ④ 新たな可能性の発見
人間の発想では思いつかないような革新的なレイアウトが提案される。

3. トンネル仮設備配置計画への適用事例

Generative Design をトンネル仮設備配置計画に適用するにあたり、各現場所長へのヒアリングを実施し、熟

練技術者のアイデアやノウハウをプログラムに落とし込んだ。従来は技術者の“好み”とされていた暗黙知を整理し、設計案を生成するためのロジックとして活用することで、配置計画の客観性と再現性を向上させた。

本取組において設定した主なロジックは以下の通りである。

- ① 法的制限（離隔距離など）
- ② 技術者の暗黙知（勾配、設備ごとの位置関係、ヤード外インフラ設備との整合性など）
- ③ 仮設ヤード内への配置および、配置 NG エリアへの非配置
- ④ 車両導線の最適化

これらのロジックをもとに、Generative Design を活用した最適化を行い、合理的かつ施工性の高い設備配置計画の策定を試みた。(図-2)

本取り組みにおいて棚卸した熟練技術者の暗黙知は、体系的に整理し、ドキュメント化することで、ナレッジの蓄積と後進技術者への技術継承を図る。

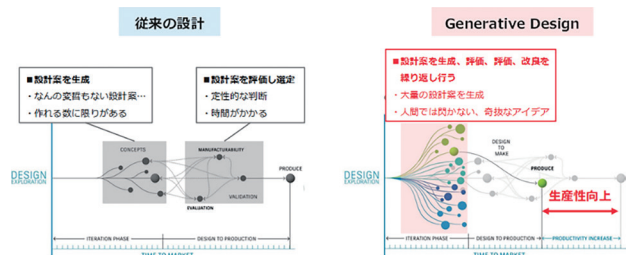


図-1 従来の設計とジェネレーティブデザインの比較

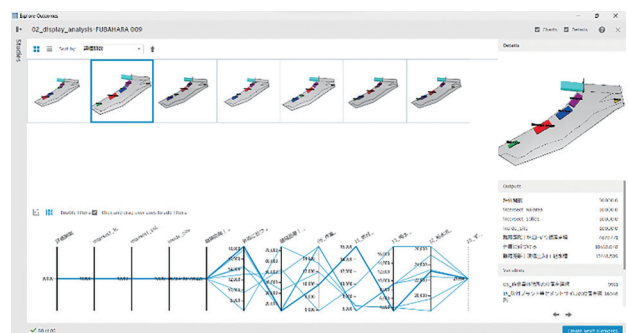


図-2 ジェネレーティブデザインによる解析結果一例

4. 解析手法と評価指数

解析にあたり、NSGA-II (Non-dominated Sorting Genetic Algorithm II) を適用した。NSGA-II は、Revit の Generative Design に活用されている多目的最適化アルゴリズムであり、遺伝的アルゴリズムを基にした進化的手法である。従来の単一目的最適化とは異なり、複数の評価指標を同時に考慮しながら、施工計画における最適な配置案を探索することが可能である。NSGA-II の主要な特徴は以下である。

* DX 戦略室デジタル技術革新部スマート現場推進課

** 土木事業本部土木設計部設計 2 課

① 非優越ソート

候補解は「支配」・「非支配」の関係に基づいて分類され、パレートフロント上のバランスの取れた解が抽出される。これにより、単一解ではなく複数の有力な案が得られる。

② 混雑度ソート

各解の「密度」を評価し、解が均等に分布するように調整される。これにより、偏りのない多様な配置案が生成可能である。

③ エリート選択各世代で高評価の解が次世代へ引き継がれることで、最適解への収束が促進される。これにより、一度見出された優秀な解が淘汰されるリスクが低減される。

5. 解析結果と現場からのフィードバック

既に仮設計画が終了し、工事進行中の現場にて解析を行った結果、図-3、図-4の結果が得られた。解析結果は一度の探索で得られるものではなく、初めに最適化(与えられた条件や制約を考慮しながら、最も良い解を求めるプロセス)もしくは、ランダムにて解析を行った後、固定値となる設備の決定と最適化による解析を繰り返し、解のクオリティを高めていくのである。上記のプロセスを図-5に示す。

図-4の設計案を生成するのに要した時間は1時間27分であった。現場担当者からのフィードバックでは、「このレベルの設計案が短時間で出力されるのは非常に有効だ。Generative Design で得られた設計案を基に、人が最終決定を行うことで、品質を確保しながら生産性の向上につながるのではないか」と期待が寄せられた。



図-3 解析した現場の設備配置の様子

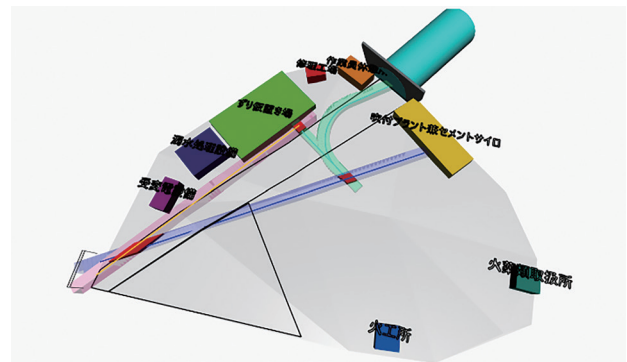


図-4 Generative Design が考えた設計案の一例

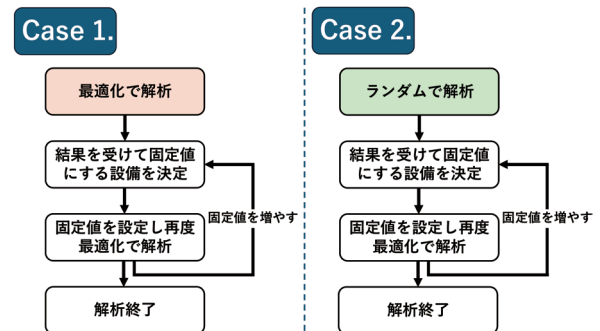


図-5 解析プロセス

6. まとめと今後の課題

本取組では、Generative Design を活用し、トンネル工事における仮設備配置計画の最適化を実施した。従来の経験則に基づく手作業での配置検討に比べ、Generative Design を適用することで、短時間で合理的かつ効率的な配置案を導出することが可能となった。解析結果のレビューからも、技術者による最終調整を加えることで、品質を確保しつつ生産性向上が期待できることが確認された。今後の検討すべき課題として、設計案の実用化への適用精度向上および、Generative Design を利用する人材育成が挙げられる。

7. 将来的展望

今後の展望として、他工種への適用や、車両軌跡データを活用し、燃料消費量やCO₂排出量の分析を行うことで、環境評価の要素を含めた最適化を検討していく。これにより、施工効率の向上に加えて、持続可能な建設計画の策定にも貢献できると考える。

謝辞. 本取組では、ONESTRUCATION 株式会社ならびに西松建設関係各位にご協力頂いた。深く感謝し、お礼申し上げます。