

RPA ツールを用いたトンネル再現解析自動化システムの検討

大成建設（株） 正会員 ○中野渡 博道, 植野 雄貴, 大塚 勇

1. はじめに

トンネルの情報化施工では、掘削が完了した区間の計測値と解析値が合うような地盤の弾性係数や側圧係数等の物性値を数値解析によって同定し、得られた物性値を用いて次区間の掘削解析を実施してトンネル変形や支保応力等を予測する。この地盤の物性値の同定は、入力する物性値を変更し解析を繰り返すことで、計測値と解析値が合うような物性値を探索するため、多大な時間を要する。そこで、作業効率化コンテンツとして注目されている Robotic Process Automation（以下、RPA）ツールを用い、自動で順解析を繰り返し行い、計測値を再現できる物性値を同定するシステムの検討を行う。本稿では、この RPA ツールを用いたトンネル再現解析自動化システムの検討について報告する。

2. システム概要

RPA ツールとは、人が PC 上で行う作業をソフトウェアが代行して作業するソフトウェア型の自動化ツールであり、主に定型作業において能力を発揮する。そのため、本システムでは、制御ツールおよび、既存の解析ソフト、RPA ツールを組合せて一連のシステムとすることで、RPA ツールが実施する作業を定型化して再現解析の自動化を実現した。

(1) 物性値の同定の流れ

図 1 に物性値同定のフローを示す。自動化の前準備として、通常の再現解析と同様に解析データの作成を行い、そのデータを制御システムに導入する。次に、同定を開始する物性値、計測値を制御システムに入力する。その後は、RPA ツールが「制御ツールから解析データを抽出→それを用いて解析ソフトで解析を実施→結果を制御ツールに反映→（必要な場合は）制御ツールに解析データの修正指示」を繰り返す。これにより、物性値の同定が自動で完了する。本稿では、同定する物性値を地盤の弾性係数、側圧係数とし、合わせる計測値を天端沈下、内空変位とする。

(2) 物性値の同定方法

図 2 に同定方法の概念図を、以下にアルゴリズムを示す。

- ① 弾性係数、側圧係数のとりうる最大、最小の組合せとして解析データを 4 ケース作成し、解析を実施する。
- ② ①の解析結果（4 ケース）から計測値を再現しうる物性値を図 3 に示す方法で推定する。
- ③ ②で推定した物性値を用いて解析を実施して解析値と計測値を比較する。解析値が計測値と一致していない場合は、推定した物性値を中心に範囲を絞って①～③を繰り返す。

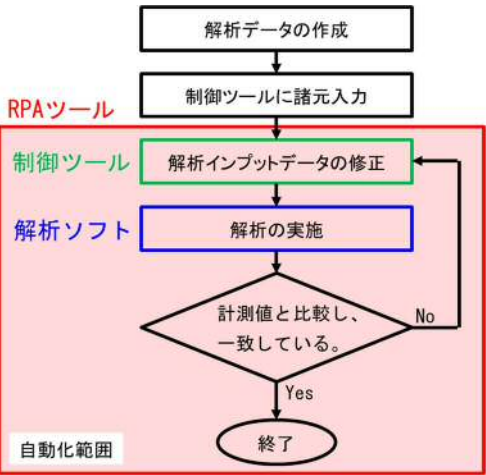


図 1 物性値同定のフロー

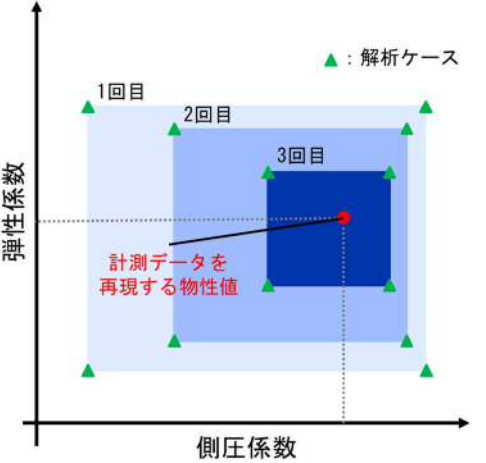


図 2 同定方法の概念図

$$\begin{cases} \delta_s = a * E + b * k \\ \delta_{uc} = c * E + d * k \end{cases}$$

δ_s : 天端沈下	δ_{uc} : 内空変位
E : 弾性係数	k : 側圧係数
a, b, c, d : $\Delta\delta_s/\Delta E, \Delta\delta_s/\Delta k, \Delta\delta_{uc}/\Delta E, \Delta\delta_{uc}/\Delta k$	

※ a, b, c, d は、弾性係数または側圧係数に対する、天端沈下または内空変位の変化の割合である。解析結果より算出する。

$$\begin{cases} E = \frac{d\delta_s - b\delta_{uc}}{ad - bc} \\ k = \frac{a\delta_{uc} - c\delta_s}{ad - bc} \end{cases}$$

図 3 物性値推定方法

キーワード 山岳トンネル, RPA, 自動化, 再現解析
連絡先 〒163-0606 東京都新宿区西新宿 1-25-1 大成建設(株)土木本部土木設計部 TEL 03-5381-5296

図 3 に②で実施する物性値の推定方法を示す。トンネル変形は弾性係数、側圧係数と線形関係にあると仮定し、解析結果より a , b , c , d (物性値に対する変位量の変化の割合) を算出して連立方程式を解くことで E , k (弾性係数, 側圧係数) を算出する。

3. 本システムの適用例

本稿では、避難坑 (D I 相当) を対象に、二次元解析を用いて再現解析を実施した適用例を示す。

(1) 解析について

図 4 に解析モデル図、表 1 に解析物性値を示す。解析ステップは、初期応力解析→全断面掘削→支保設置とし、支保設置前の応力解放率を 30% とする。吹付けコンクリート ($t=10\text{cm}$) は曲げに抵抗しない軸力部材、鋼製支保工 ($H-100\times 100$) は曲げ・軸力ともに抵抗する部材、ロックボルトは省略する。また、同定する地盤物性値の初期値は、参考文献¹⁾に示される D I パターンの参考値である弾性係数 $E=5.0\times 10^5\text{ kN/m}^2$, ポアソン比 $\nu=0.35$ (側圧係数 $k=0.54$) とする。

(2) 適用結果

本システムを適用した結果、計測値を再現する地盤の物性値は、弾性係数 $E=5.9\times 10^5\text{ kN/m}^2$, ポアソン比 $\nu=0.17$ (側圧係数 $k=0.21$) と同定された。表 2 に変位の比較、図 5 にトンネル変形図を示す。天端沈下, 内空変位ともに、解析結果と計測値で良い一致を示す結果となった。一方で、下半の右側脚部では解析結果と計測値で乖離が見られる。これは、解析では地盤を均質モデルとしているため局所的な沈下を表現することが難しいことと、同定する計測値として脚部沈下を考慮していないことに起因していると考えられる。

そして、従来の手動による再現解析では作業時間を約 2 時間要していたが、本システムにより約 5 分に短縮することが可能となった。

4. おわりに

本稿では、RPA ツールを用いたトンネル再現解析の自動化方法および、その適用例を示した。これにより、再現解析に RPA を導入する方法と、その有用性示すことができた。今後の課題を以下に示す。

- ・ 天端沈下, 内空変位以外の計測値が考慮可能な同定方法の検討
- ・ 弾性係数, 側圧係数以外の物性値 (粘着力, 圧縮・引張強度等) や応力解放率の同定が可能な同定方法の検討

参考文献

1) 日本道路公団：試験研究所技術資料第 358 号トンネル数値解析マニュアル, 1998 年

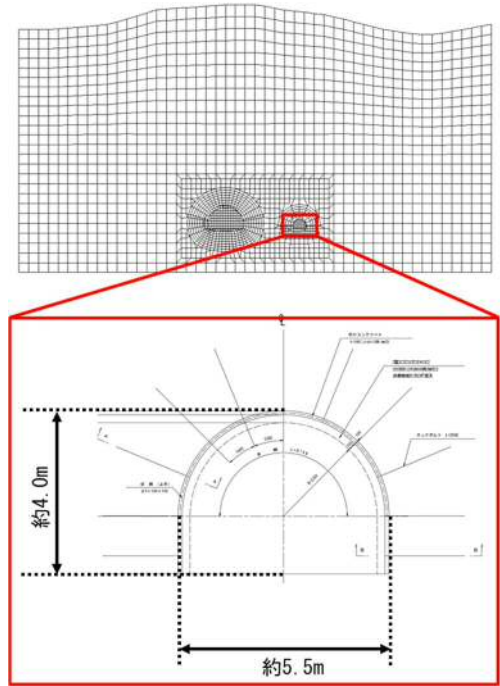


図 4 解析モデル図

表 1 解析物性値

部材	解析モデル	弾性係数 (kN/m ²)	単位体積重量 (kN/m ³)	ポアソン比	断面積 (m ²)	断面二次モーメント (m ⁴)
地盤	ソリッド	再現解析による	18.5	0.40 (※)	—	—
吹付けコンクリート	ビーム	4.00×10^6	23	0.20	1.00×10^{-1}	—
鋼製支保工	ビーム	2.00×10^8	77	0.30	2.16×10^{-3}	3.78×10^{-6}

※初期応力解析時のポアソン比は、再現解析により同定された側圧係数より算出する。

表 2 変位の比較

	計 測 値 (mm)	解析結果 (mm)	解析/計測 (%)
天端沈下	-9.0	-9.00	100.0
内空変位	-1.8	-1.81	100.6

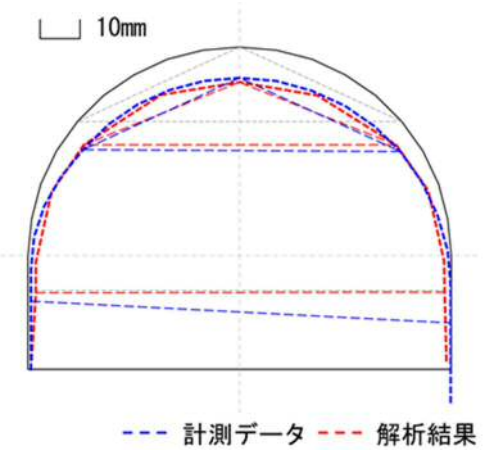


図 5 トンネル変形図