

トンネルの施工穿孔データを利用した脆弱部の出現確率の評価技術

鹿島建設(株) ○宮嶋保幸 白鷺 卓 山本拓治
西川幸一 福田博之

1. はじめに

筆者らは、山岳トンネルの安全と安定した品質を確保するため、コンピュータジャンボによる穿孔データを利用した地球統計学による切羽前方の予測技術の開発を行っており、前方5mの地山の硬軟分布について高精度に予測できることを確認した¹⁾。ここでは5mよりさらに前方の地山状況を予測するため、前方探査として実施する削孔検層データを取り込んだ予測について検討を行った。その結果、穿孔データの空間的な相関性を評価しながら前方を予測するには、地球統計学的シミュレーションを利用することが有効であることがわかった。

2. 地球統計学(クリギング)による切羽前方予測

装薬やロックボルトの施工穿孔データから地球統計学(クリギング)によって切羽前方を予測した場合、前方5m程度の範囲まで予測が可能であることを確認できた¹⁾。今回、この予測技術を適用した箇所(TD. 920~975m, L=55m)では、トンネルの左側に脆弱な蛇紋岩が分布しており、前方への連続性を確認するため、削孔検層によって前方30mの破壊エネルギー係数を取得した。そこで、切羽から5mよりも前方の予測精度向上を期待して、施工穿孔データとともに削孔検層のデータを取り込んだ予測を行った。図-1は、地球統計学(クリギング)によって3次元的に解析した結果から、破壊エネルギー係数分布をスプリングラインの高さで示した平面図である。また、平面図の下に、削孔検層の結果を示している。削孔検層の結果からは、低い破壊エネルギー係数が連続しており、前方の蛇紋岩の分布を検知していることがわかる。しかしながら、削孔検層データを施工穿孔データとともにクリギングによって予測した平面図を見ると、脆弱部の範囲がTD. 965m付近からトンネル全体に分布するように過剰な評価がされている。実際の前方の地山状況は、写真-1にTD. 969.4mの切羽写真を示すように、蛇紋岩が切羽左側に断続的に出現するものの右側は比較的硬質な緑色岩が分布していた。クリギングによる予測がこのような結果を示す原因として、切羽前方右側には、バリオグラムで確認できる空間的相関性が有意な範囲(5m以内)¹⁾に既知の穿孔データがなく、推定値が互いに同じような値で分布する平滑化効果が現れたためと考えられる²⁾。すなわち、削孔検層により安全側の評価ができたものの、今回のように複雑な地質では、1本の削孔検層からクリギングによって数10m前方を評価するには限界があったと考えられる。

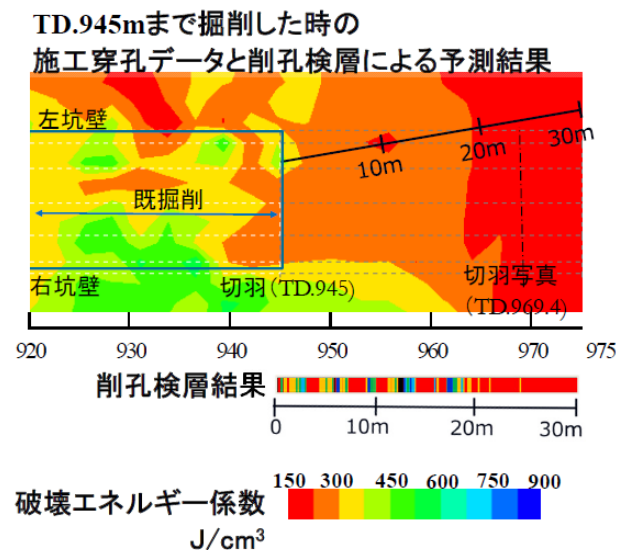


図-1 クリギングによる切羽前方予測結果
(平面図)

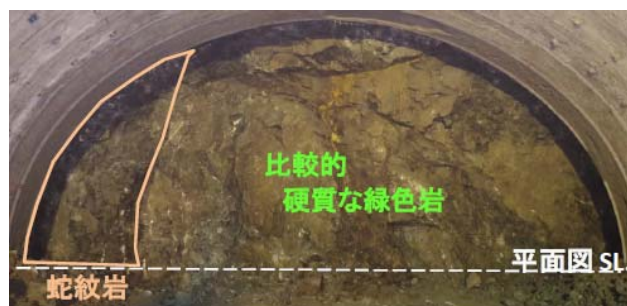


写真-1 TD. 969.4mの切羽状況

キーワード 地球統計学, 削孔検層, 地山評価, ICT, 可視化, CIM

連絡先 〒182-0036 東京都調布市飛田給 2-19-1 鹿島建設(株)技術研究所 TEL042-489-8109

3. 地球統計学的シミュレーションによる切羽前方予測

筆者らは、破壊エネルギー係数を弾性波速度に換算するためのデータベースを構築している³⁾。これを利用すれば、**図-1**に示す破壊エネルギー係数分布から弾性波速度に換算し、さらに道路トンネルの設計に利用されているように、弾性波速度から地山等級を評価できる。今回の区間では、弾性波速度が3km/sec以下となる地山等級がD IおよびD IIを脆弱部として定義し、データベースに基づいて破壊エネルギー係数が285以下の所を前方予測のターゲットとした。脆弱部の評価には、脆弱部の出現率を定量評価することができる地球統計学的シミュレーション(Sequential Gaussian Simulation)を用いた。ここではシミュレーションを100回実行し、各箇所の破壊エネルギー係数が285以下となる回数を脆弱部の出現率として評価した(**図-2**)。①図にはTD.945mまで掘削した時の施工穿孔データだけで予測した結果を示し、②図には①図に加えて削孔検層データを加味した結果を示し、③図には②図の後、TD.965mまで掘削を進めた時の結果を示す。①図では、前方に穿孔データがないため、脆弱部の分布を評価できていない。一方、②図では削孔検層を加味することで前方の脆弱部を把握するとともに、**図-1**のような平滑化効果による不具合は見られない。また、前方の予測結果が**写真-1**に示す地山状況と整合しており、シミュレーション解析の利用による削孔検層を加味した予測精度の向上を確認できた。これは、シミュレーション解析では、データ分布密度が低い範囲に対しても、バリオグラムに基づく空間的相関性を100回の試行の過程で逐次、考慮できるためと考えられる。さらに③図に示すように、掘削の進捗の度に解析を更新することで、予測精度をより向上させることが可能となる。

4. おわりに

クリギングや地球統計学的シミュレーション解析から得られる前方予測には、それぞれの特徴があり、削孔検層を加味するような前方予測にはシミュレーション解析が適していることがわかった。これらの結果を適切に併用すれば、切羽崩落や工事の安全性確保に貢献できると考えている。一方、**図-2**の③図で確認できるTD.945m左側の脆弱部を②図では予測できていないことや、脆弱部の出現率の評価方法については、今後のさらなる精度向上と検討が必要と考えている。

参考文献

- 1) 白鷺卓, 宮嶋保幸, 山本拓治, 西川幸一, 福田博之: トンネルの施工穿孔データを利用した前方地山の予測技術, 土木学会第72回年次学術講演会, 2017(投稿中)。
- 2) Wackernagel, H. (地球統計学研究委員会訳編): 地球統計学, pp. 113-115, 森北出版, 2003。
- 3) 白鷺卓, 犬塚隆明, 宮嶋保幸, 小林幸司, 河本貴史, 井上量介: 削孔検層と速度検層によるトンネル切羽前方の弾性波速度分布の予測, 土木学会第71回年次学術講演会, VI-394, pp. 787-789, 2016。

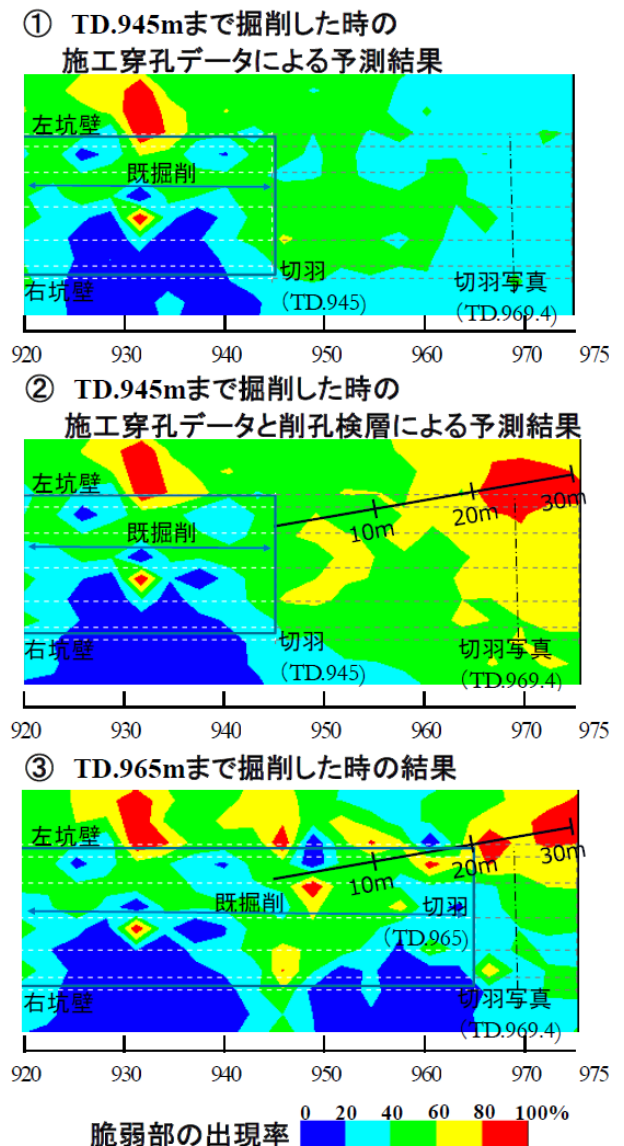


図-2 地球統計学的シミュレーションによる切羽前方予測結果(平面図)