

不均質地山によるトンネル構造の安定性低下が地表面へ与える影響を予測

鉄道・運輸機構 九州新幹線建設局 大村鉄道建設所長 正会員 江島 武
清水・青木あすなろ・菱興 特定建設工事共同企業体 正会員○松野遼太郎 藤野 晃 福田 毅

1. はじめに

九州新幹線（西九州ルート）の内、長崎県大村市に位置する木場トンネルは、延長約 2.9km で山岳工法により施工を行っている。本トンネルでは、一部の小土被り区間を、土被り 1D 未満の市道直下（土被り：9.7m）、内田川直下（土被り：6.3m）の順に横断する（図 1）。

近年、小土被りトンネルの施工において地表面陥没に至る事象がみられる。土木研究所では、博多道路陥没を受けて「類次する条件下での都市 NATM および地下空間での工事における留意点」¹⁾として、小土被りトンネルの施工における設計上の留意点を整理している。

本トンネルにおいてもこの留意点を踏まえ、地質の不均質性の把握、危険側とならない解析物性値の採用、物性値を複数変えたパラメータスタディの実施等について検討を行った。本報告ではこれらについて報告する。

2. 地山の不均質性を考慮した物性値

既往のボーリング調査結果より、構成する地層は基盤岩の安山岩（Kan）上に沖積層（Ag1）が分布する構造となっている。また、劣化・脆弱化が激しい流紋岩が部分的に確認されている。

上記の留意点に習い、検討対象位置の地山の力学特性を把握するために既往のボーリング調査結果の整理を行った。整理するにあたり、力学試験が実施されているものはその値を採用し、データ数が少ないものに関しては標準値²⁾を採用することとした。地盤の固さを示す指標である変形係数は各試験（孔内水平載荷試験、一軸圧縮試験、標準貫入試験）の結果より推定式を用い算出した。

岩種ごとに得られた変形係数をプロットしたものを図 2 に示す（最大値：赤枠、最小値：青枠）。各試験結果によるばらつきが見られ、各岩種とも不均質な性状を呈していることが確認できる。

地山の不均質性を考慮し各岩種の変形係数を採用するため今回は最大値、平均値（外れ値を除く）、最小値の 3 ケースの物性値を用いることとした。なお、その他の解析に用いる地山物性値は表 1 に整理した。

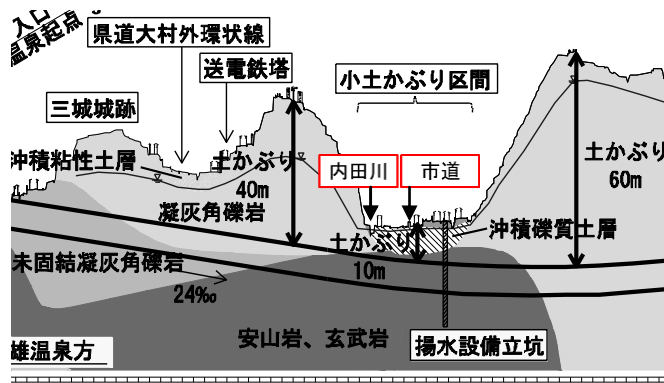


図 1 検討箇所位置図

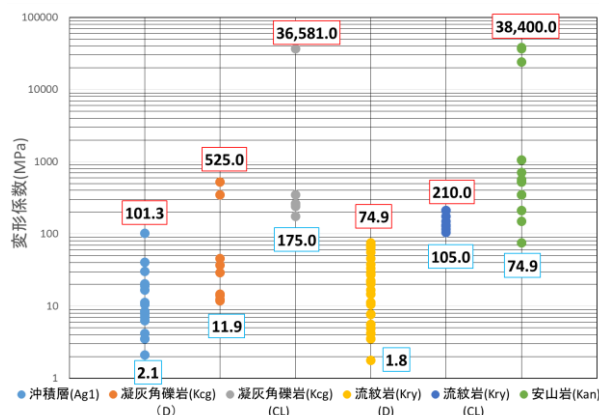


図 2 変形係数まとめ

表 1 解析に用いる地山物性値

解析パラメータ	沖積層 (Ag1)	凝灰角礫岩 (Kcg) (D)	凝灰角礫岩 (Kcg) (CL)	流紋岩 (Kry) (D)	流紋岩 (Kry) (CL)	安山岩 (Kan)
変形係数 E [MPa]	[最小] 2.1 [平均] 30.3 [最大] 101.3	11.9 45.7 36581.0	175.0 240.7	1.8 29.3	105.0 128.6	74.9 567.1
単位体積重量 [kN/m ³]	16.0	20.0	24.7	15.2	20.0	24.6
ポアソン比 ν_0	0.4	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3
粘着力 C [kN/m ²]	20.0	140.0	588.0	85.0	431.0	500.0
内部摩擦角 ϕ [deg.]	30.0	21.0	22.0	20.0	21.0	40.0
引張強度 t [kN/m ²]	4.0	30.0	60.0	14.0	30.0	100.0

表 2 解析モデルと解析ステップ

step	モデル図	備考
1		初期応力解析
2		全断面掘削 応力解放率 40%
3		支保工設置 応力解放率 60%

キーワード 山岳トンネル, 小土被り, 河川直下, 施工管理

連絡先 〒104-8370 東京都中央区京橋 2-16-1 清水建設株式会社 地下空間統括部 TEL: 03-3561-3887

3. 解析条件

小土被り区間において直上に道路、河川があり特に変状に注意が必要な2断面を抽出して予測解析を行った。この断面での地質構造は表層の沖積層と基盤岩の安山岩に流紋岩が挟まれる形となっている。解析領域は左右境界5D、下方境界は1D程度とした。表2へ解析ステップ、図3に市道直下解析モデル、図4に内田川直下解析モデルを示す。

4. 予測解析結果と実測値の比較

図5に市道直下、図6に内田川直下の掘削完了時のトンネル横断方向地表面沈下分布を示す。市道直下では概ねトンネル中心で最大沈下量を示し、内田川直下ではトンネル中心から若干ずれた位置で最大沈下量が確認できる。解析では変形係数最小値の際、市道直下では23mm、内田川直下では79mmの地表面沈下が発生することが予想された。想定しうる最小の変形係数が分布する可能性は小さいが、部分的に分布した際は大きな沈下が発生することを確認した。予測結果を踏まえ、地表面沈下量を常時監視し解析値と比較し地山のおおよその特性を把握することにより市道直下の施工を行うこととした。

市道施工完了時の地表面沈下量実測値は9mm(図5青字)となった。この値は予測結果の変形係数平均とほぼ同等の値である。計測結果を基に、地表面沈下へ特に影響があると考えられるトンネル上部の物性値の見直しを行い、内田川直下の予測解析を再度行った。

予測地表面沈下量は10mm(図6緑字)、内田川直下施工完了時の地表面沈下量実測値は6mm(図6青字)となった。この値は予測結果の変形係数最大値とほぼ同等の値であり本区間は比較的堅い地山であったと考えられる。

5. まとめ

予測解析を行うに当たり変形係数を代表値(平均値)等のみで評価するのでは地山の強度を実際より高く見積もってしまう可能性がある。近年の小土被りトンネルの陥没事故を受け、地山の不均質性を勘案し、岩種ごとに変形係数を変えた複数の予測解析を行った。

実際に地質が不均質であったことを確認したと共に、計測結果は予測解析の範囲内だったため解析は妥当であったと考える。先行して施工した市道直下の計測結果を考慮して物性値を見直すことで内田川直下の解析精度が向上したと考えられる。

参考文献

- 1) 土木研究所, 福岡地下鉄七隈線延伸工事現場における道路陥没に関する検討委員会報告書 平成29年5月
- 2) 独立行政法人鉄道建設・運輸施設整備支援機構, 山岳トンネル設計施工標準・同解説 平成20年4月

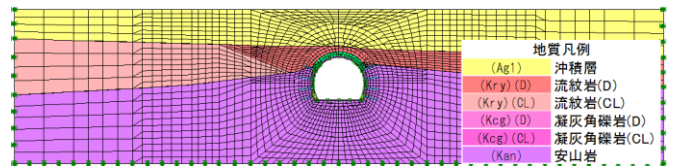


図3 解析モデル【市道直下】

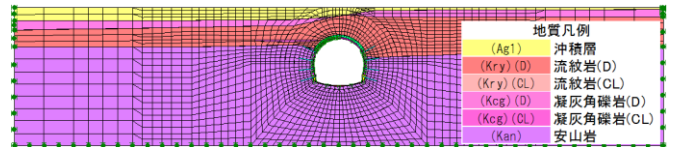


図4 解析モデル【内田川直下】

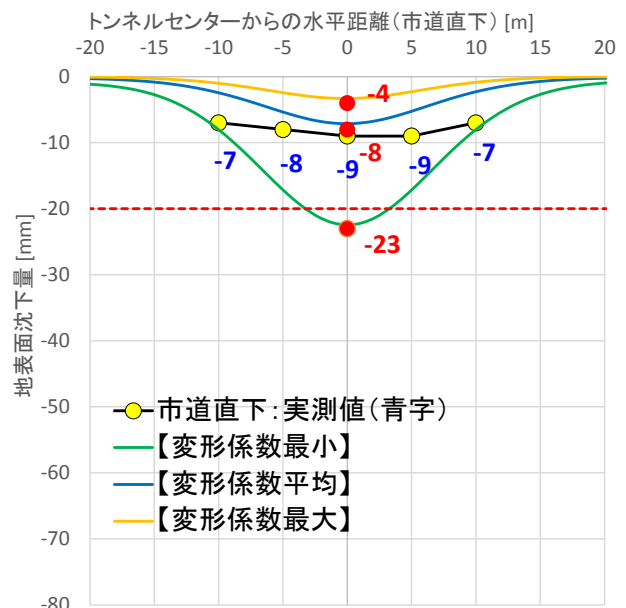


図5 市道の地表面沈下量

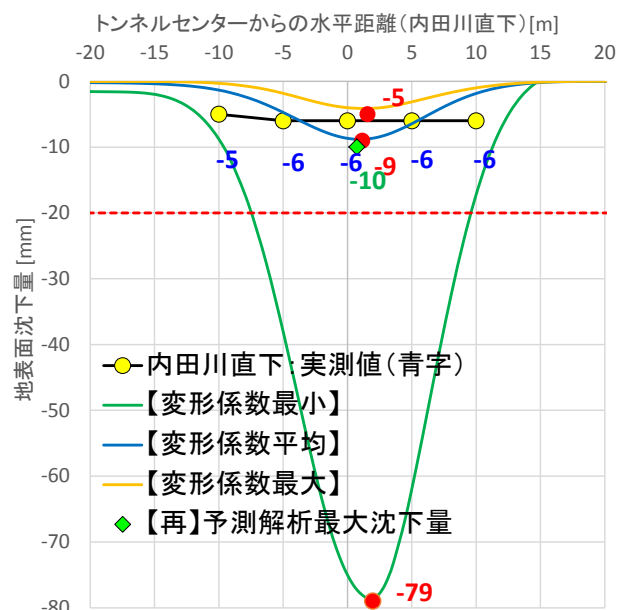


図6 内田川の地表面沈下量