

ひずみ軟化モデルを適用した沈下予測に関する検討

鉄道建設・運輸施設整備支援機構 正会員 飯田廣臣 ○井浦智実*)
 神 戸 大 学 正会員 芥川真一 堂場直樹**)
 鉄 道 総 合 技 術 研 究 所 正会員 小西真治***)

1. はじめに

都市部のトンネル施工では、地表部における生活・交通機能の確保が重要であり、掘削による周辺環境への影響を設計で十分に検討しておく必要がある。従来から沈下予測には FEM 解析が適用されているが、都市部の土砂地山（特に砂質地山）ではせん断挙動や共下がり等の急激な沈下への対応が困難であった。そこで、筆者らは地表面沈下の管理指標となる沈下勾配について適切な評価の実現を目指し、「ひずみ軟化を考慮した非線形解析」（以下、ひずみ軟化モデル）¹⁾について検討を進めている。本報告では、現在施工中の東北新幹線六戸トンネルを対象とし、ひずみ軟化モデルを適用した沈下予測の検証結果について述べる。

2. ひずみ軟化モデルの概要²⁾

桜井らは「地山に生じるすべり挙動はせん断ひずみに応じたせん断剛性の低下で表せる」とし、応力 $\{\sigma'\}$ とひずみ $\{\varepsilon'\}$ の関係を x' 軸がせん断すべり線と一致する局所座標系 (x', y') で式(1)、式(2)のように仮定している。ここで、式(2)における m は物理的にはせん断弾性係数と弾性係数の比 (G/E) であり、ゆるみによる損傷（せん断剛性低下、誘導異方性）を表現している。

上記概念に加え、本研究では「材料強度（粘着力 C および内部摩擦角 ϕ ）が初期段階で定義される値から破壊後に順次低下して残留値に至る」という考え方を導入する。また、解析では、Sterpi が提案する「 C 、 ϕ が初期値 (C_i, ϕ_i) から収束値 (C_r, ϕ_r) に低下する時のせん断ひずみ増分は材料ごとに一定の値 $\Delta\gamma$ であり、低下中の強度定数 - せん断ひずみ関係は図-1のように線形関係である」という考え方をを用いる。

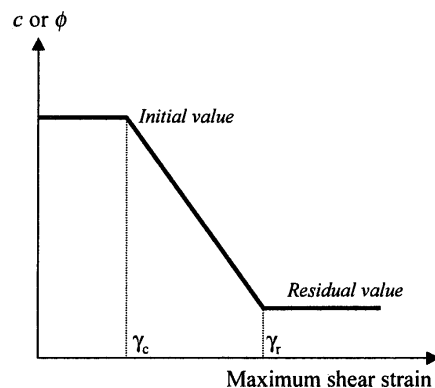


図-1 強度定数低下モデル概念図

$$\{\sigma'\} = [D']\{\varepsilon'\} \quad \dots (1)$$

$$[D'] = \frac{E}{(1+\nu)(1-2\nu)} \begin{bmatrix} (1-\nu) & \nu & 0 \\ \nu & (1-\nu) & 0 \\ 0 & 0 & m(1+\nu)(1-2\nu) \end{bmatrix} \quad \dots (2)$$

$$m = \frac{1}{2(1+\nu)} - d \quad \dots (3)$$

$$d = (m_e - m_r) [1 - \exp\{-100\alpha(\gamma - \gamma_e)\}] \quad \dots (4)$$

表-1 トンネル概要

トンネル名	東北新幹線六戸トンネル
対象地盤	洪積砂層（N 値 30 程度）
土被り	平均 13m
地盤物性	$D_o = 80 \text{ MN/m}^2$ $C_i = 30 \text{ kN/m}^2$, $\phi_i = 35^\circ$
掘削工法	上半先進工法
対策工	水位低下工法（DW, WP） 自穿孔ボルト $L = 7\text{m} @ 15$ 本 先受鋼管 $L = 2\text{m} @ 45$ 本
支保パターン	吹付け 200mm, 支保工 150H パターンボルト $L = 3\text{m} @ 10$ 本

3. 対象トンネル（東北新幹線六戸トンネル）の概要

研究の対象とした東北新幹線六戸トンネルは、洪積台地を通過する延長 3,810m の山岳トンネルである。対象となる地盤は、新第三紀鮮新世～第四紀更新世に堆積した洪積砂層であり、地下水位が高く、粘性土の介在により一部被圧している。

掘削工法、支保パターン等の施工条件を表-1に示す。本トンネルでは、砂質地山における切羽の安定性を確保するために、事前の水位低下を基本として掘削を行っている。

キーワード：土砂地山、ひずみ軟化、地表面沈下、沈下勾配、せん断ひずみ

連絡先：*) 〒020-0034 盛岡市盛岡駅前通 1-41 TEL 019-626-9679 FAX 019-626-9642

**) 〒657-8501 神戸市灘区六甲台町 1-1 TEL 078-803-1026 FAX 078-803-1050

***） 〒185-8540 国分寺市光町 2-8-38 TEL 042-573-7266 FAX 042-573-7248

4. ひずみ軟化モデルによる沈下予測

計測値に対する沈下予測解析の検証では、従来法である弾性解析、弾塑性解析とひずみ軟化モデルについて比較を行った。なお、ひずみ軟化モデルでは、地山強度（粘着力 C 、内部摩擦角 ϕ ）の残留値を初期値の 80% として解析を行った。

(1) 地表面沈下に関する検証結果

地表面沈下に関する検証として、計測値と解析結果を沈下量と沈下勾配で整理した。図 - 2 に示すように、実際の沈下量は従来法（弾性・弾塑性）の 4 倍以上となり、当該地山では地山の強度低下を評価したひずみ軟化モデルの有効性が確認された。また、都市部において施工時の管理指標となる沈下勾配に着目しても、図 - 3 に示すように従来法で表現できない沈下勾配をひずみ軟化モデルで評価することができた。

(2) 掘削時の地山挙動に関する考察

検証断面では、トンネル直上で 50mm 程度の沈下が発生し、天端や上半脚部においても同程度の沈下が生じた。このことから、当該地山では掘削によって砂質地山特有のせん断挙動が発生し、トンネル上部では共下がり現象が生じたと考えられる。図 - 4 は 3 手法のせん断ひずみ分布を比較したものであるが、ひずみ軟化モデルではトンネル側壁部から地表にかけてせん断ひずみが集中した領域が確認される。このせん断集中域の両側の地山はそれぞれ不連続な挙動を示し、上部地山がそのまま沈下する共下がり現象が解析で再現されている。

5. まとめ

土砂地山における沈下予測手法としてひずみ軟化モデルの適用性で検証したところ、地山の強度低下を評価した本手法が砂質地山のせん断挙動に対して有効であることが確認された。今後は検証断面を更に追加し、地山の強度低下に関する検討を継続していく予定である。

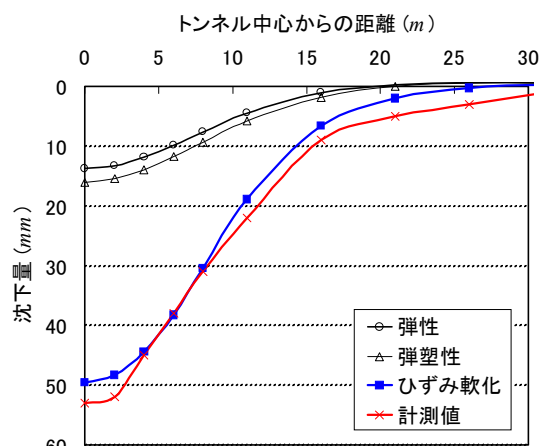


図 - 2 地表面沈下の検証結果

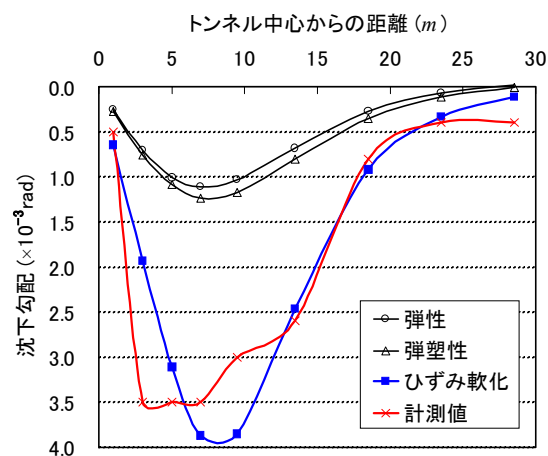
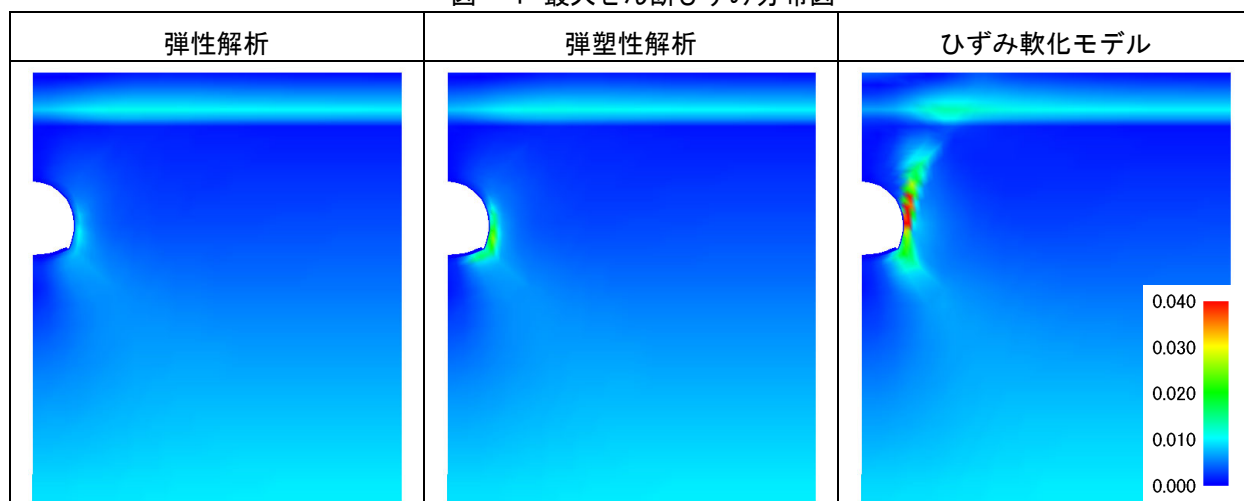


図 - 3 沈下勾配の検証結果

図 - 4 最大せん断ひずみ分布図



【参考文献】

- 1) 松長, 木谷, 小西, 芥川, 村上: 沈下予測へのひずみ軟化モデルの適用性に関する検討, 第 37 回地盤工学研究発表会 2002. 7
- 2) S. Akutagawa, T. Kitani, K. matsumoto and Mizoguchi. S: Numerical modeling of a nonlinear deformational behavior of a tunnel with shallow depth, Modern Tunneling Science and Technology, (IS -Kyoto), Adachi et al eds, 2001. 10