

開削トンネルの曲げひび割れの検討における一考察

(公財) 鉄道総合技術研究所

正会員 ○柳川 一心 牛田 貴士

仲山 貴司 焼田 真司

1. はじめに

限界状態設計法による「鉄道構造物等設計標準・同解説 開削トンネル」¹⁾は、平成13年3月に発刊されてから10年以上が経過しており、この間、社会的に維持管理の重要性が注目されるなか、新規事業に対しても維持管理に配慮した設計方法の充実が望まれている。本研究では、長期的な部材の耐久性の検討に用いるコンクリートの曲げひび割れ幅について、開削トンネルの置かれている地下環境と施工過程を考慮して算定する方法を検討したので、その結果を報告する。

2. 曲げひび割れ幅が設計結果に与える影響

耐久性の検討では、鋼材の腐食やコンクリートの劣化に対して構造物が要求する性能以下とならないよう、有害物質のコンクリート中の浸透を予測するとともに、コンクリートに発生する曲げひび割れ(=構造ひび割れ)幅を式(1)で算定し、制限値以内となるように構造スペックを決定する²⁾。

$$w_d = 1.1k_1k_2k_3k_4\{4c + 0.7(c_s - \phi)\}\left[\frac{\sigma_{se}}{E_s} + \varepsilon'_{csd}\right] \quad (1)$$

ここに、 k_1, k_2, k_3, k_4 : 定数、 c_s : 鋼材の中心間隔、 c : 鋼材のかぶり、 ϕ : 鉄筋径、 ε'_{csd} : コンクリートの収縮等の影響を表す数値、 σ_{se} : 鋼材位置のコンクリート応力度が0の状態からの鉄筋応力度の増加量、 E_s : 鋼材のヤング係数

この式(1)中の ε'_{csd} について従来の開削トンネルの設計では $\varepsilon'_{csd}=150 \times 10^{-6}$ が用いられてきた。ただし、現在、地上構造物では地上環境と施工過程(ひび割れの発生材齢として考慮)をもとに表-1が定められ、また、田辺ら³⁾の現場計測の逆解析では $\varepsilon'_{csd}=300 \times 10^{-6}$ が当該の開削トンネルでは妥当であったとされる。この ε'_{csd} が設計結果に与える影響は大きく、開削トンネルの設計で用いる ε'_{csd} を再検討する必要性が示唆されていた。

例えば、上記の(a) $\varepsilon'_{csd}=150 \times 10^{-6}$ 、(b) $\varepsilon'_{csd}=300 \times 10^{-6}$ と(c)地上構造物の最大値 $\varepsilon'_{csd}=450 \times 10^{-6}$ で、標準的な開削トンネル⁴⁾の試設計(耐久性の検討)を実施した結果を図-1に示す。(a)→(b)では部材の照査値(応答値/限界値)が約20%増加し、(b)→(c)ではさらに約15%増加した。(c)では、ほとんどの部材で照査を満足しない(照査値>1.0)結果となった。この結果からも、 ε'_{csd} が設計結果に与える影響は非常に大きいことがわかる。

3. 開削トンネルにおけるひび割れ発生時期

前述したように、田辺ら³⁾の研究から開削トンネルでは $\varepsilon'_{csd}=300 \times 10^{-6}$ を一つの目安とすることができる。ただし、地上構造物では施工過程に応じて異なる⁵⁾とされており、開削トンネルにおいてもこの影響を検討する必要がある。図-2に開削トンネルの概略の施工過程と作用の関係を示す。上床版に着目すると、①上床版の型枠支保工解体時には部材自重、②埋戻し時には土被り荷重などの永久作用、③完成時には自動車荷重などの変動作用が作用する。そこ

で、上床版を両端固定梁でモデル化して曲げモーメントを算出し、自重、土被り荷重で部材のコンクリート表面における引張応力度がコンクリートの曲げひび割れ強度を超過する

表-1 地上構造物に用いる ε'_{csd} ($\times 10^{-6}$)²⁾

ひび割れ発生材齢	ε'_{csd}	備考
30日	450	部材自重により曲げひび割れが発生する場合(RC構造の桁または梁等)
100日	350	永久作用により曲げひび割れが発生する場合(外ケーブル方式によるPRC構造の桁、スラブ等)
200日以上	300	永久作用および変動作用により曲げひび割れが発生する場合(内ケーブル方式によるPRC構造の桁、ラーメンと高架橋の柱部材等)

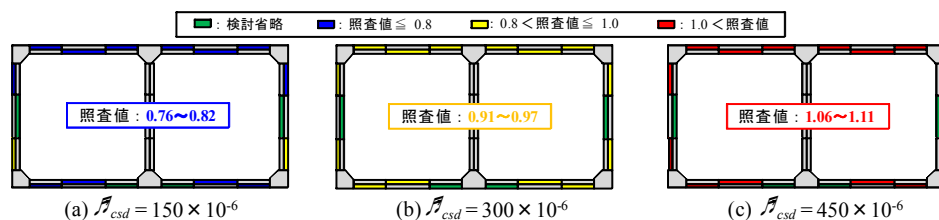
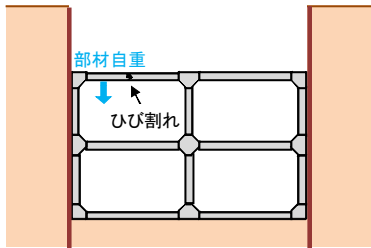


図-1 曲げひび割れの検討における各部材の照査値

キーワード 開削トンネル, 耐久性, ひび割れ

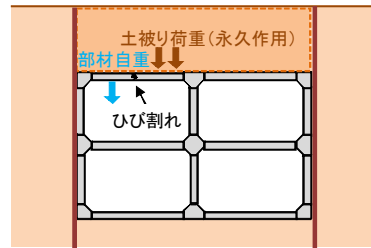
連絡先 185-8540 東京都国分寺市光町 2-8-38 (公財) 鉄道総合技術研究所 構造物技術研究部 トンネル TEL:042-573-7266

【①上床版の型枠支保工解体時】



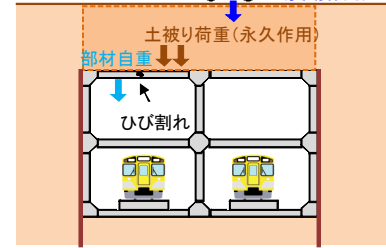
部材自重により曲げひび割れが発生

【②埋戻し時】



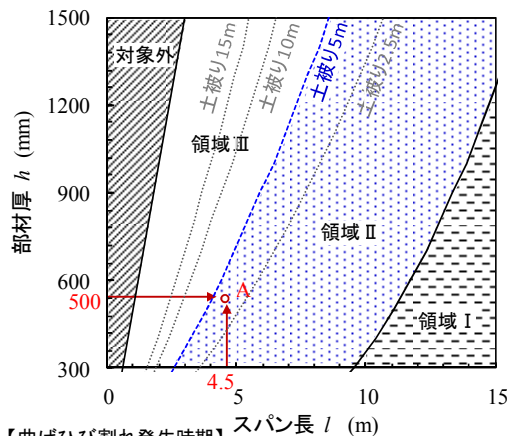
永久作用により曲げひび割れが発生

【③完成時】



変動作用により曲げひび割れが発生

図-2 開削トンネルの施工過程と作用の関係



【曲げひび割れ発生時期】

領域Ⅰ：部材自重が作用した時点

領域Ⅱ：永久作用(土被り圧)が作用した時点

領域Ⅲ：変動作用が作用する以降(or曲げひび割れが発生しない)

対象外：ディープビーム部材($l/h < 2.0$)

図-3 曲げひび割れ発生ノモグラムの一例

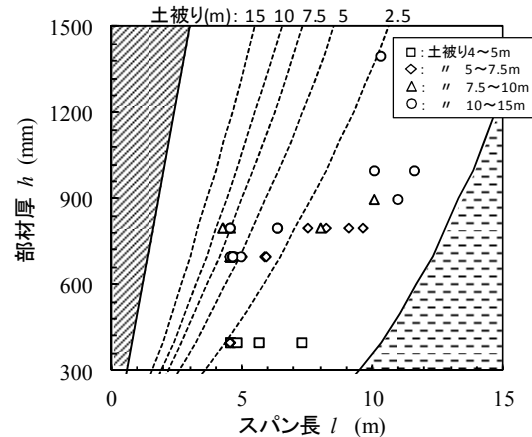


図-4 分析結果

時期を求めた。図-3は、コンクリートの設計基準強度 24N/mm^2 、粗骨材の最大寸法 25mm の場合で、施工過程と曲げひび割れの発生時期の関係をノモグラム化したものである。例えば、土被り厚 $H=5\text{m}$ 、部材厚 $h=500\text{mm}$ 、スパン長 $l=4.5\text{m}$ の開削トンネルの場合、図-3のA点と土被り 5m の点線を基に判定することとなり、領域Ⅱに該当するため、永久作用により曲げひび割れが発生することとなる。同様に、田辺ら³⁾の研究が実施された開削トンネルのデータを引用すると図-4になる。この結果、すべて領域Ⅱに該当する結果となった。

4. 地下構造物に用いる $\varepsilon'_{\text{csd}}$ の設定

上床版のコンクリート打設から埋戻しまでの期間は工事規模や全体工程によって異なるが、概ね1カ月程度を要することが想定される。そこで、田辺ら³⁾の $\varepsilon'_{\text{csd}}=300 \times 10^{-6}$ は表-1中の30日にあたるものと考えられ、地下環境では地上構造物に比べて収縮の影響が小さいことがうかがえる。 $\varepsilon'_{\text{csd}}$ が表-1と同様にひび割れ発生材齢とともに低下すると仮定すれば、ひび割れ発生材齢100日では $\varepsilon'_{\text{csd}}=200 \times 10^{-6}$ 程度、200日では $\varepsilon'_{\text{csd}}=150 \times 10^{-6}$ 程度となり、図-3のノモグラムから導かれる曲げひび割れが発生する施工過程とその時期によっては、従来の $\varepsilon'_{\text{csd}}=150 \times 10^{-6}$ となる場合もあると考えられる。

5. おわりに

開削トンネルにおける曲げひび割れ幅の算定に用いる $\varepsilon'_{\text{csd}}$ の考え方を提案した。今後は、側壁や下床版についての同様な検討、ノモグラムに施工過程に応じた軸力の考慮や鉄筋の拘束効果などの検討を進めていく。

参考文献

- 1) 鉄道総合技術研究所：鉄道構造物等設計標準・同解説 開削トンネル，2001
- 2) 鉄道総合技術研究所：鉄道構造物等設計標準・同解説 コンクリート構造物，2004
- 3) 田辺将樹，大石敬司，山本努，本間実，松川俊介：開削トンネルの形状寸法および荷重条件と曲げひび割れの発生状況に関する一考察，トンネル工学報告集第16巻/pp.455-460，2006.11
- 4) 鉄道総合技術研究所：鉄道構造物等設計標準・同解説（開削トンネル）設計計算例 開削トンネル（1層2径間），（財）研友社，2002.12
- 5) 石橋忠良，津吉毅：コンクリート桁の表面の曲げひび割れ幅の算定法に関する研究，土木学会論文集 No.484/V-22，pp.33~40，1994.2