

国内外の設計基準が開削トンネル部材へ与える影響の考察

パシフィックコンサルタンツ（株） 正会員 ○今川純一 北浦実 西尾陽平 清水幸範

1. はじめに

一般に、我が国の鉄道構造物は、鉄道構造物等設計標準・同解説¹⁾（以下、鉄道標準）等の設計基準に準拠して性能照査型設計が行われることが多い。一方、欧州連合では、構造物設計基準を欧州構造基準（以下、Eurocode）に統一して設計を行っている。このことからアジア諸国でも適用が検討されている。このような状況の中、日本企業が海外進出を進めるうえで、Eurocodeをはじめとする海外基準の設計思想、設計手法の習得および設計結果の傾向の把握は必要不可欠であると考えている。

本稿は1層2径間の開削トンネルを対象として鉄道標準とEurocodeによる構造検討を実施し、両者の相違について比較検討および考察を行うものである。

2. 検討断面および地盤条件

検討断面および地盤条件を図1に示す、幅15.0m、高さ7.4mの1層2径間RCラーメン構造の開削トンネル断面を想定する。本断面は駅間のトンネルを想定し、中壁構造とする。

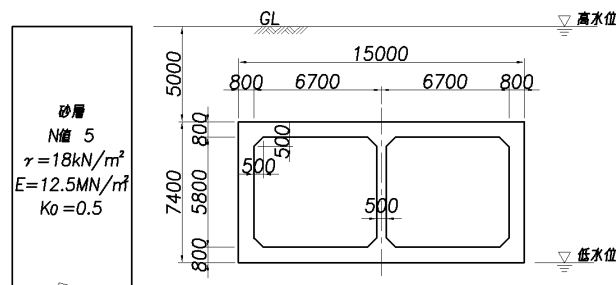


図1 検討断面、地盤条件

なお、図中の各部材寸法は想定である。地盤条件については、ULS 荷重組み合わせ式

$$\sum_{j \geq 1} \gamma_{G,j} G_{k,j} + P + \gamma_{Q,1} Q_{k,1} + \sum_{i > 1} \gamma_{Q,i} \psi_{0,i} Q_{k,i} \quad (1)$$

鉄道標準とEurocodeとの比較を行うため、N値5の砂層の単一地盤とし、地表面荷重は路面交通荷重を想定する。使用する材

料はコンクリート強度24N/mm²、鉄筋はSD345を使用する。なお、SLS 荷重組み合わせ式（ひび割れ）

$$\sum_{j \geq 1} G_{k,j} + P + \sum_{i \geq 1} \psi_{2,i} Q_{k,i} \quad (2)$$

Eurocodeに記載のない荷重や地盤ばね等の設定は鉄道標準に従うこととする。

3. 照査項目

EurocodeではUltimate limit states（以下、ULS）およびServiceability limit states（以下、SLS）に対する照査を実施する。ULSは構造物や構造物を使用する人々の安全性を満たす状態を想定するものであり、躯体の過度な変形や経年劣化を防ぎ、構造物の安全性を確保するものである。常時・地震時・異常時（列車衝突時等）について検討を行うものであるが、本稿では常時についてのみ検討結果を示す。SLSは、通常使用における構造部材の機能を満足する状態を想定するものであり、構造物の外観や使用における快適さ、構造物の機能性を確保するものである。SLSでは部材の応力度およびひび割れ幅についての検討を行う。ここでは、ULSが鉄道標準の安全性に該当し、SLSが鉄道標準の耐久性に該当すると想定し、比較検討を行うこととする。

4. 荷重組み合わせ

Eurocodeでは、式(1)、(2)に示す式により荷重を組み合わせる。式中の“+”は組み合わせることを示しており、

第一項から第四項の永久荷重、プレストレス荷重、主たる変動荷重、従たる変動荷重の組み合わせにより、構造検討を行う。それぞれの項によって荷重係数（ γ , ψ ）の有無や値が異なっており、荷重の組み合わせや係数の大きさは設計者の判断となる。本検討における荷重組み合わせの例を表1に示す。

表1 Eurocodeにおける荷重組合せ表

荷重	ULS（耐力照査）	SLS（ひび割れ照査）
1 固定死荷重	1.00 ～ 1.35	0.00 ～ 1.00
2 鉛直土圧	1.00 ～ 1.35	0.00 ～ 1.00
3 側圧HWL	1.00 ～ 1.35	0.00 ～ 1.00
4 側圧LWL	1.00 ～ 1.35	0.00 ～ 1.00
5 水圧HWL	1.00 ～ 1.35	0.00 ～ 1.00
6 地表面荷重(鉛直)	1.5 or 1.5×0.7	0.00 ～ 0.60
7 地表面荷重(水平)	1.5 or 1.5×0.7	0.00 ～ 0.60

キーワード Eurocode, 開削トンネル

連絡先 〒101-8462 東京都千代田区神田錦町三丁目2番地 パシフィックコンサルタンツ（株） TEL:03-6777-1831

5. 部材検討

ここでは主に部材の曲げに着目した照査結果について示す。照査の概要および照査式を図2および図3に記載する。照査の手順として、鉄道標準による構造検討にて設定した配筋に対してEurocodeによる照査を実施し、安全度の比較検討を行った。配筋要領および照査位置を図4に、照査結果を表2に示す。表2では鉄道標準の安全性とEurocodeのULS、鉄道標準の耐久性とEurocodeのSLSについて比較を行った結果を示す。曲げ耐力については鉄道標準とEurocodeの安全度に大きな差はないことから、照査式は異なるものの、鉄道標準とEurocodeの曲げ耐力の評価結果は同様の傾向にあると言える。一方、ひび割れの照査では差が発生しており、Eurocodeは安全度に余裕があることがわかる。この理由として、ひび割れ照査時におけるコンクリートの引張強度の評価や、曲げひび割れ算出時における ε'_{esd} に起因していると考えられる。

以上より、鉄道標準ではひび割れにより部材諸元が決定される傾向があることにに対し、EurocodeではULSにより部材諸元が決定される傾向があることが言える。

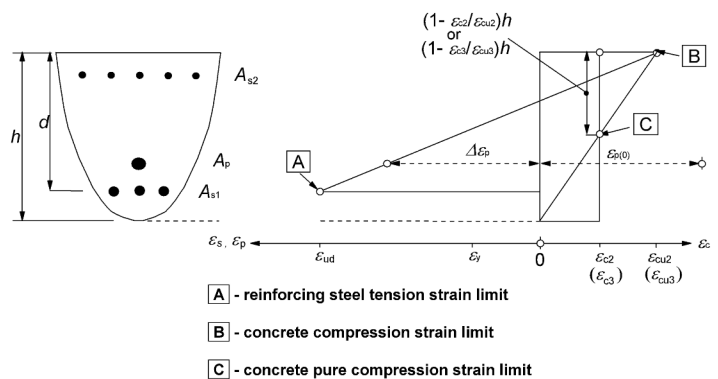


図2 ULS照査概要³⁾

$$W_k = S_{r,max} (\varepsilon_{sm} - \varepsilon_{cm})$$

where
 $S_{r,max}$ is the maximum crack spacing
 ε_{sm} is the mean strain in the reinforcement under the relevant combination of loads, including the effect of imposed deformations and taking into account the effects of tension stiffening. Only the additional tensile strain beyond the state of zero strain of the concrete at the same level is considered
 ε_{cm} is the mean strain in the concrete between cracks

$$\varepsilon_{sm} - \varepsilon_{cm} = \frac{\sigma_s - k_1 \frac{f_{ct,eff}}{\rho_{p,eff}} (1 + \alpha_e \rho_{p,eff})}{E_s} \geq 0,6 \frac{\sigma_s}{E_s}$$

where:
 σ_s is the stress in the tension reinforcement assuming a cracked section. For prestensioned members, σ_s may be replaced by $\Delta\sigma_p$ the stress variation in prestressing tendons from the state of zero strain of the concrete at the same level.
 α_e is the ratio E_s/E_{cm}
 $\rho_{p,eff} = (A_s + \xi_1 A_p) / A_{c,eff}$ (7.3.2 (3))
 A_p and $A_{c,eff}$ are as defined in 7.3.2 (3)
 ξ_1 according to Expression (7.5)
 k_1 is a factor dependent on the duration of the load

図3 SLSひび割れ照査式³⁾

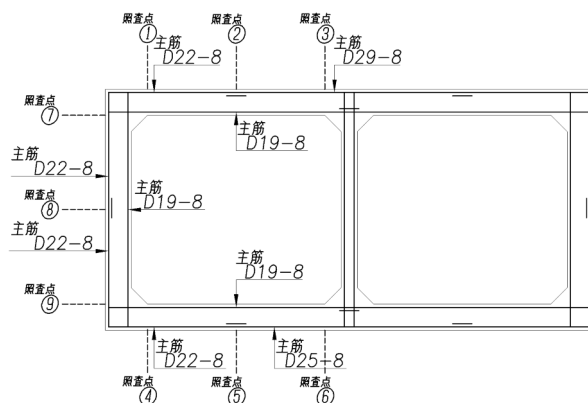


図4 照査位置・配筋要領図

6. おわりに

本稿では鉄道標準およびEurocodeの概略構造検討の比較を行った。結果としてEurocodeはULSにて部材の仕様が決まる傾向にあり、鉄道標準に比べ、同じ部材厚の場合、必要鉄筋量が小さくなる傾向があることを確認した。ただし、本稿における検討は荷重組み合わせおよび照査方法に着目した比較検討であり、Eurocodeの設計体系をすべて反映しているとはいえないため、今後、Eurocodeの設計体系の詳細について理解を深度化する必要がある。また、Eurocodeは、対象国の設計基準を引用することが多いため、Eurocodeに定義されていない内容については、各国の設計基準を把握する必要がある。

参考文献 1)鉄道構造物等設計標準・同解説 鉄道総合技術研究所

2) Eurocode - Basis of structural design, BS EN 1990:2002+A1:2005.

3) Eurocode 2 : design of concrete structures, BS EN 1992-1-1:2004

表2 照査結果一覧

部材	照査点	曲げ耐力		ひび割れ※	
		鉄道標準 (安全性)	Eurocode (ULS)	鉄道標準 (耐久性)	Eurocode (SLS)
上床版	①	0.35	0.41	—	0.35
	②	0.65	0.86	—	0.55
	③	0.59	0.61	0.81	0.42
下床版	④	0.56	0.59	0.82	0.58
	⑤	0.74	0.73	0.97	0.57
	⑥	0.61	0.75	0.91	0.48
側壁	⑦	0.38	0.40	—	0.33
	⑧	0.30	0.40	—	0.23
	⑨	0.59	0.61	0.89	0.56

※ “—”はコンクリートの縁引張応力度が制限値以下を示す。(検討省略)