

都市高速道路開削トンネルの限界状態設計法適用に関する検討

阪神高速道路(株) 正会員 ○西岡 勉, 堀江佳平, 篠原聖二
 (株)オリエンタルコンサルタンツ 正会員 黒崎信博

1. はじめに 阪神高速道路の開削トンネルの設計は、レベル 2 地震動に対する耐震設計を除くと、許容応力度法が基本となっている。本稿では、より合理的な設計が可能となる限界状態設計法を用いた都市高速道路の開削トンネルの試設計を実施し、現行設計法である阪神高速道路の開削トンネル設計指針¹⁾による実施設計との比較を行い、トンネル断面やコストの違いについて分析する。

2. 限界状態設計法による試設計 対象とした都市高速道路の開削トンネルは、図-1 に示すような土被りがそれぞれ 3.1m, 8.4m の 1 層 2 連 BOX の本線と土被り 9.0m の 1 層 1 連 BOX のランプの 3 断面のトンネルである。断面①は沖積層が主体の土質、断面②, ③は洪積層が主体の土質である。

土木学会トンネル標準示方書(開削工法)²⁾(以下、トンネル示方書と略す。)に基づく照査を行った。限界状態設計法の照査項目を表-1 に示す。漏水、変位・変形、損傷、振動による使用限界状態は、開削トンネルの設計上問題となることが少ないため考慮しないこととした。限界状態設計法における荷重組合せと荷重係数、安全係数もトンネル示方書に準拠した。荷重組合せと荷重係数、安全係数をそれぞれ表-2, 3 に示す。

3. 設計結果の比較 許容応力度法を基本とする現行設計法¹⁾と限界状態設計法により設計したトンネル断面の比較を行う。ここでは、限界状態設計法による設計結果の分析を行うため、限界状態の内、使用限界状態のみを考慮して決定した断面と終局限界状態のみを考慮して決定した断面に着目する。疲労限界状態については、繰返し荷重による疲労破壊の照査を実施したが、対象とした開削トンネルではその影響が非常に小さく、比較対象から除外した。断面の寸法は変更せず、鉄筋量の増減により各限界状態の照査項目を満足するように断面設計した。トンネル横断面の奥行き 1m 当たりの全鉄筋量の比較を図-2 に示す。トンネル横断面の全鉄筋量は、土被り、断面形状などにより断面②>断面①>断面③の大小関係となる。断面①, ②では、使用限界状態で決定した断面の鉄筋量が最も多くなり、終局限界状態で決定した断面の鉄筋量が最も少なくなる。このことから、限界状態設計法により設計する断面は使用限界状態で決定した断面となり、許容応力度法で設計した断面よりも鉄筋量が多くなる。許容応力度法と比較して使用限界状態で横断面の主鉄筋

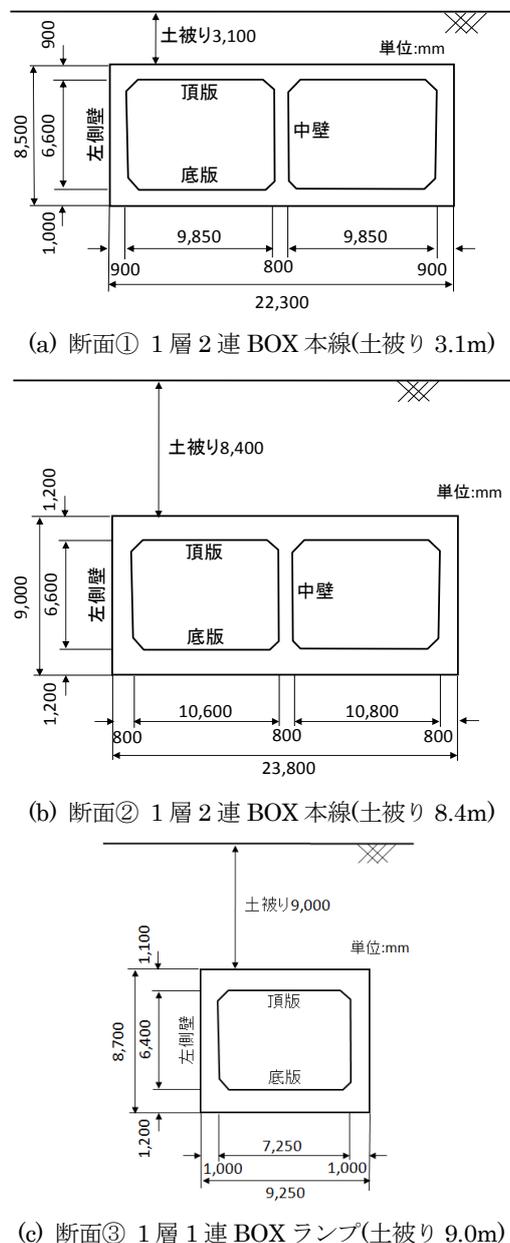


図-1 対象とした開削トンネルの横断面

表-1 限界状態設計法の照査項目

		設計照査項目	
終局限界	断面破壊	設計断面力/設計断面耐力 ≤ 1	
	安定	設計作用力/設計抵抗力 ≤ 1	
	変位・変形	発生変位/たわみ制限値 ≤ 1	
使用限界	ひび割れ	発生ひび割れ幅/許容ひび割れ幅 ≤ 1	
疲労限界	繰返し荷重による疲労破壊	設計変動断面力/設計疲労耐力 ≤ 1	

が増える箇所は、図-3 に示す常時曲げモーメントが大きい、中壁と頂版・底版の接合部、頂版・底版の中央付近、側壁の上端・下端付近である。断面③では、許容応力度法と使用限界状態で決定した断面の鉄筋量は変わらず、終局限界状態で決定した断面の鉄筋量が少なくなる結果となった。使用限界状態では、部材の応力度とひび割れに対して照査を行っており、曲げひび割れ幅で断面が決定している。ただし、対象とした開削トンネルには鉄筋のかぶりが100mmを超過する箇所がある。これは、鋼材の腐食に対する許容ひび割れ幅の算定式²⁾の適用上限を超過するが、本稿では、当該箇所の許容ひび割れ幅として、かぶりの上限値(100mm)相当の許容ひび割れ幅0.5mm(一般の環境)²⁾とした。なお、地震時の照査も実施しており、レベル1地震動に対して主鉄筋、せん断補強筋の変更はなく、レベル2地震動に対してせん断補強筋のみが増加する結果となる。

許容応力度法で設計した断面、使用限界状態および終局限界状態で決定した断面のコスト比較を図-4 に示す。許容応力度法で設計した断面のコストで規準化している。断面①、②では、使用限界状態の断面が許容応力度法の断面に比較して4%のコスト増となる。終局限界状態のみを考慮するならば許容応力度法の断面に比較して6~9%のコスト減になるが、実際は使用限界状態で限界状態設計法の断面が決まるため、4%のコスト増となる。

4. まとめ 都市高速道路の開削トンネルの3断面を対象に限界状態設計法による試設計を行い、許容応力度法により設計した断面と比較した。1層2連BOXの本線のトンネル断面は、使用限界状態、終局限界状態、疲労限界状態の内、使用限界状態が最も厳しく、曲げひび割れ幅の照査で断面が決定する。使用限界状態で決定する断面は、許容応力度法の断面に対して8~10%の鉄筋量の増加(4%のコスト増)になる。

参考文献1) 阪神高速道路公団：開削トンネル設計指針，2005.9，2) 土木学会：トンネル標準示方書開削工法・同解説，2006.7

表-2 荷重組合せと荷重係数

	終局				使用		疲労
	全体	側壁	床版	浮上り	側壁床版	変位等	
自重(固定死荷重)	1.1	1.0	1.1	1.0	1.0	1.0	1.0
トンネル内部の死荷重(付加死荷重)	1.2	1.0	1.2	1.0	1.0	1.0	1.0
土被り荷重及び地表面上の荷重(永久荷重)	1.1	1.0	1.1	1.0	1.0	1.0	-
地表面上の荷重(変動荷重)	1.1	-	1.1	-	1.0	-	1.0
永久荷重による土圧または側圧	1.2	1.2	0.8	-	1.0	-	1.0
変動荷重による土圧または側圧	1.2	1.2	-	-	1.0	1.0	1.0
水圧、揚圧力	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
トンネル内部の活荷重	1.1	-	1.1	-	1.0	-	1.0
地盤変位の影響	1.0	1.0	1.0	-	1.0	1.0	1.0
温度変化の影響	-	-	-	-	1.0	-	1.0
乾燥収縮の影響	-	-	-	-	1.0	-	1.0

表-3 安全係数

		終局	使用	疲労	
構造物解析係数 γ_a		1.0	1.0	1.0	
材料係数 γ_m	コンクリート γ_c	1.3	1.0	1.3	
	鋼材	鉄筋 γ_r	1.0	1.0	1.05
		鋼材 γ_s	1.05	1.0	1.05
部材係数 γ_b	曲げ、軸力を受ける部材の設計断面耐力		1.1	-	-
	軸方向圧縮耐力		1.3	-	-
	設計せん断耐力	コンクリート	1.3	-	-
		鋼材	1.1	-	-
疲労安全性検討に用いる係数		-	-	1.0	
構造物係数 γ_i		1.0	1.0	1.0	

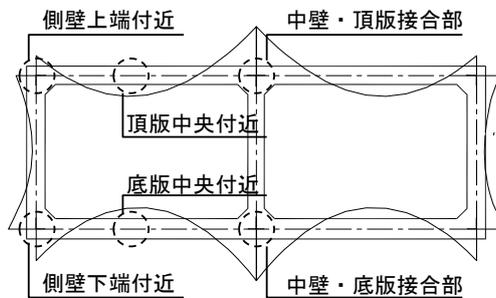


図-3 開削トンネルの常時曲げモーメント図

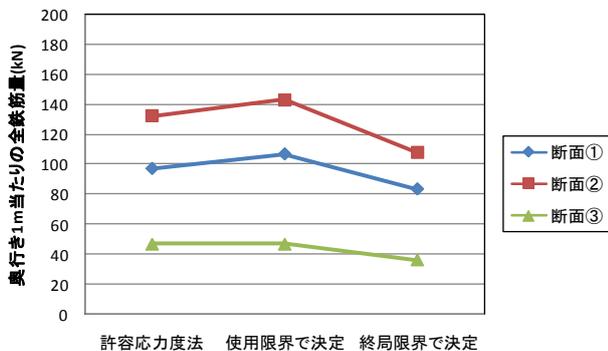


図-2 トンネル横断面の奥行き1m当たりの全鉄筋量の比較

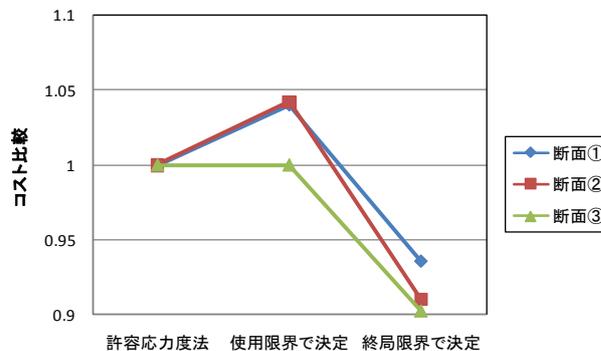


図-4 トンネル横断面の奥行き1m当たりのコスト比較