

III-14

限界状態設計法によるトンネルセグメントの試設計

（財）鉄道総合技術研究所 正会員 ○佐藤 豊・渡辺 忠朋・小山 幸則

1. はじめに 現在最も簡便にトンネルセグメントの断面力を求める方法である慣用計算法を用いて、限界状態設計法による試設計と許容応力度法による設計との比較を行ない、許容応力度法で用いられる安全率について考察を行なったのでここに報告する。

2. 限界状態と照査方法 トンネルセグメントの限界状態として、終局限界状態と使用限界状態を考え、以下に示す方法で安全性の検討を行なった。

2.1 終局限界 終局限界状態では断面破壊に対する安全性の検討を行なうため、セグメントを曲げモーメントと軸方向圧縮力が作用する単位幅を有する梁部材にモデル化して、断面の破壊について照査式(1)により安全性を検討した。本報告では既存の許容応力度法との整合性の把握を目的としたため、断面のせん断、ねじりに対する破壊の検討、メカニズムの限界状態の検討、変位・変形に対する安全性の検討は省略し、コンクリートの応力-ひずみ曲線は図-1に示すような曲線を仮定した。

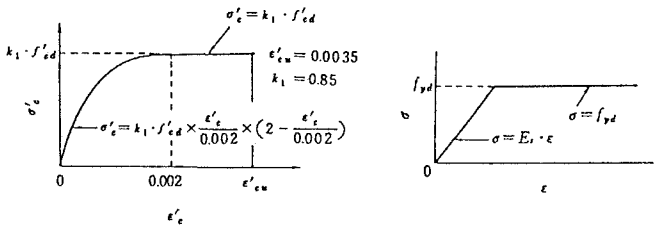


図1 コンクリートと鉄筋の応力-ひずみ関係

表1 検討断面の概要

検討断面	①	②
キロ程	3k730m	5k460m
土被り (m)	12.8	29.5
地盤反力係数 K (kg/cm ²)	0	5
側方土圧係数 λ	0.65	0.45
主鉄筋	8-D22 (A _s =30.97cm ²)	
断面 (B×H) cm	100×30	
応力度 (kgf/cm ²)	鉄筋 (σ _{sa} =2000)	1940
	エクソート (σ _{ca} =160)	136
		1276
		157

$\gamma_1 S_d / R_d = 1.0$ (1)
ここに、 γ_1 : 構造物係数、 S_d : 設計断面力、 R_d : 設計断面耐力である。

2.2 使用限界 使用限界状態については耐久性に影響を及ぼすひびわれの発生に対する安全性の検討をするため、全断面有効時の引張側コンクリートの縁応力度を求めたが、この値が設計曲げ強度以上であったため、式(2)に示すひびわれ算定式を用いてひびわれ幅の算定を行なった。なお、ここで用いた鋼材の腐食に対する環境条件は一般の環境とした。また、終局限界状態で述べたのと同様の理由から、外観や水密性、変位・変形の検討は省略した。

$$w_i = k_i \cdot \{4c + 0.7(C_s - \phi)\} \cdot \{\sigma_{se} / E_s + \varepsilon_r\} \quad (2)$$

k_i : 鋼材の付着性状を表す定数で、一般に異形鉄筋の場合1.0

c : 対象鋼材のかぶり (cm)

C_s : 鋼材の中心間隔 (cm)

ϕ : 鋼材径 (cm)

σ_{se} : 鉄筋応力度の増加量 (kgf/cm²)

E_s : 鉄筋のヤング係数 (kgf/cm²)

表2 終局限界状態の検討に用いた部分安全係数

部分安全係数		検 討 ケ ー ス					
		A	B	C	D	E	F
荷重係数 γ_f	鉛 直	1.0	1.1	1.0	1.2	* 0.75	* 0.5
	水 平			1.2	1.0		
	自 重			1.1		1.0	
構造解析係数 γ_R		1.0					
材料係数 γ_m	エクスト γ_c	1.3					
	鋼材 γ_s	1.0					
部材係数 γ_o		1.15					
構造物係数 γ_1		1.1					

*印は荷重修正係数

ε_r : コンクリートの乾燥収縮およびクリープ
 によるひびわれ幅の増加を考慮するため
 の数値で、一般の場合 150×10^{-6} 程度

3. 部分安全係数と計算条件 設計断面として半径3.45m、土被り12.8mと29.5mの2つの断面を選び、荷重係数を変化させて、終局限界状態と使用限界状態の安全性をトンネル頂部の正曲げについて検討した。なお、断面力の算定に当たっては原則として実設計で用いられた荷重や係数の値をそのまま特性値として採用し、計算をすすめた。表-1に検討断面の概要を、表-2に終局限界の安全性の検討に用いた部分安全係数の一覧を示す。

4. 計算結果と考察 表3(a)に土被り12.8mの、(b)に土被り29.5mの計算結果を示すが、全体として限界状態設計法による検討では、設計断面が十分に安全であるという結果が導き出された。以下に終局時と使用時に分けて計算結果について述べる。

①終局限界状態について 終局限界状態の安全性を検討するため、当該断面の必要鉄筋量を求めたほか、終局時の安全性について検討した結果、ケース①-D以外は全て安全性に十分な余裕があり、断面や、鉄筋量の減少が可能である。つまり、比較的土被りの浅いトンネルで、水平方向の荷重に対して垂直方向の荷重が極端に大きい場合を除けば、限界状態設計法により設計された断面より許容応力度法で設計された断面は、大きな安全性を有する結果となった。

②使用限界状態について 使用限界状態におけるひびわれ幅の検討では、表3に示す通り、土被りの

浅いトンネルで全ての荷重係数1.0のとき制限値を超える。そこで通常の使用限界状態の検討においては、平均的作用荷重を考慮すれば良いので、土圧による荷重を低減した。その結果、鉛直と水平の載荷重が終局限界状態の特性値の0.5倍のとき、制限値内に納まることがわかった。また、土被りが深いトンネルでは使用限界状態に対しても、常に十分な安全性を有していることが明らかになった。

5. 結論 セグメントの部材設計を限界状態設計法で試設計したことによって、本報告での条件において許容応力度法の安全率に余裕があることが結論として導き出された。本報告がトンネルの部材の安全率や作用荷重の仮定を再考する一助となれば幸いである。

参考文献

コンクリート構造物設計標準に関する委員会報告書 1991.3 (財)鉄道総合技術研究所

表3(a) 土被り12.8mの検討結果一覧

検討項目		検 討 ケ ー ス					
		①-A	①-B	①-C	①-D	①-E	①-F
荷重係数 γ_i	鉛 直			1.0	1.2	* 0.75	* 0.5
	水 平	1.0	1.1	1.2	1.0		
	自 重			1.1		1.0	
断面力	曲げモーメント (tfm)	21.10	23.21	4.59	41.82	16.72	12.34
	軸力 (tf)	79.72	87.69	95.71	79.68	59.68	39.65
必要鉄筋量 (終局) cm^2		17.21	19.24	5.20	51.38	----	----
終局時安全性 R_d/S_d $\gamma_i=1.1$		1.73	1.58	7.09	0.68	----	----
エグゼットの繰応力度 (kgf/cm^2)	圧縮	136.8	----	----	----	107.9	79.0
	引張	113.8	----	----	----	91.4	68.9
ひびわれ幅 (使用) cm 許容=0.0145		0.0190	----	----	----	0.0161	0.0132

*印は荷重修正係数

表3(b) 土被り29.5mの検討結果一覧

検討項目		検 討 ケ ー ス					
		②-A	②-B	②-C	②-D	②-E	②-F
荷重係数 γ_i	鉛 直			1.0	1.2	* 0.75	* 0.5
	水 平	1.0	1.1	1.2	1.0		
	自 重			1.1		1.0	
断面力	曲げモーメント (tfm)	23.17	25.49	16.64	34.33	18.28	13.38
	軸力 (tf)	156.93	172.62	188.36	156.89	117.59	78.25
必要鉄筋量 (終局) cm^2		8.06	9.83	5.20	26.42	----	----
終局時安全性 R_d/S_d $\gamma_i=1.1$		2.13	1.94	2.67	1.20	----	----
エグゼットの繰応力度 (kgf/cm^2)	圧縮	158.6	----	----	----	124.4	90.2
	引張	101.6	----	----	----	82.3	62.8
ひびわれ幅 (使用) cm 許容=0.0145		0.0128	----	----	----	0.0113	0.0099

*印は荷重修正係数