

部分係数設計法による RC セグメントシールドトンネルの試計算

阪神高速道路 正会員 岡本 信也 正会員 伊佐 政晃
オリエンタルコンサルタンツ 正会員 ○福岡 雅俊 正会員 梅林 福太郎 正会員 張 寧

1. はじめに

阪神高速道路のシールドトンネルの横断面の設計は、トンネル標準示方書に基づいた許容応力度設計法を適用している。一方、「トンネル標準示方書 シールド工法編(2016 年制定)」では、性能照査型の設計体系である限界状態設計法が導入されている。また 2017 年 7 月の「橋、高架の道路等の技術基準」の改定に伴い、道路橋の設計には部分係数設計法が導入され、性能照査型の設計法に移行している。そこで、本論は、許容応力度法を適用した RC セグメントシールドトンネルの設計結果に対して、部分係数設計法を適用した照査を行い、その結果を比較し、両設計結果の差異について考察を行ったものである。

2. 適用基準と検討方法

適用基準は、阪神高速道路(株)「構造物設計基準第 3¹⁾」,「シールドトンネル設計マニュアル²⁾」(以下、設計基準), 道路橋示方書・同解説³⁾ (以下、道示) を用いた。

表-1 に設計項目と照査基準値を示す。ここで、部分係数法では、設計基準の照査項目に対応する道示の照査式及び部分係数を考慮することとした。また、表-2 に適用した作用係数を示す。作用係数は、作用の種類に対応する道示の荷重組合せ係数及び荷重係数を考慮することとした。シールドトンネル横断面の設計手法は、2 リングによるはり-ばねモデルを用いた。また地震時は、はり-ばねモデルによる応答変位法を用い、設計地震動はサイト特性を考慮して作成された最大級シナリオ地震動を用いた。

表-1 照査項目と照査基準値

	部材	照査項目	照査基準値	
			許容応力度設計法 【設計基準】	部分係数設計法 【道示】
常時設計	セグメント本体部	曲げ	許容曲げ応力度	曲げの制限値(道示Ⅲ編)
		せん断	許容せん断応力度	せん断の制限値(道示Ⅲ編)
		耐久性	許容ひび割れ幅の照査	鉄筋引張応力度の制限値
耐震設計	セグメント継手部	曲げ	許容曲げ応力度	曲げの制限値(道示Ⅲ編)
	セグメント本体部	曲げ	許容塑性率	許容塑性率(H14道示Ⅴ編)
		せん断	せん断耐力	せん断の制限値(道示Ⅲ,Ⅴ編)
		曲げ	目開き量の照査	目開き量の照査
	セグメント継手部	せん断	せん断耐力	せん断の制限値(道示Ⅱ,Ⅲ,Ⅴ編)

表-2 作用係数

作用の種類	作用の組合せ		作用の特性		$\gamma_p \times \gamma_q$
	設計状況の区分	荷重組合せ係数 γ_p	作用特性の分類	荷重係数 γ_q	
自重	永続作用 支配状況	1.00	死荷重(D)	1.05	1.05
鉛直土圧			土圧(E)	1.05	1.05
水平土圧			土圧(E)	1.05	1.05
水圧			水圧(HP)	1.05	1.05
上載荷重			死荷重(D)	1.05	1.05
地震の影響	偶発作用 支配状況	1.00	地震荷重	1.00	1.00

3. 検討断面

図-1 に検討断面を示す。検討断面は土被りが 20m 程度で、硬質地盤中に先行シールドと後行シールドが併設する。本体構造は RC セグメント、セグメント継手はコーンコネクター継手構造である。

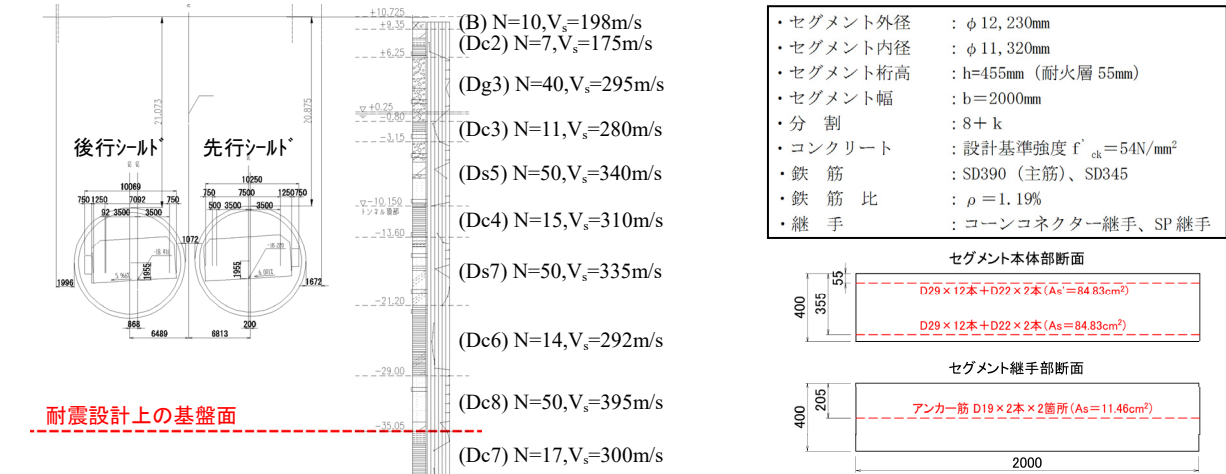


図-1 検討断面および部材条件

キーワード 部分係数設計法, 限界状態設計法, シールドトンネル, RC セグメント
連絡先 〒151-0071 東京都渋谷区本町 3-12-1 住友不動産西新宿ビル 6 号館 オリエンタルコンサルタンツ TEL.03-6311-7860

4. 試算結果（常時設計）

表-3 に本体部と継手部の常時の曲げに対する照査結果を示す。表中の数値は、設計値の制限値(許容値)に対する比率を示している。この結果、本体部では道示の方が設計基準よりも制限値(許容値)に対して余裕がある結果となった。一方継手部では道示の方が設計基準よりも余裕がない結果となった。本体部と継手部で大小関係が異なるのは、許容応力度法の設計値と許容値の比率と、部分係数法における設計値と制限値の比率が、設計断面の軸力・曲げモーメントのバランスや、鉄筋比等の断面の条件により異なるためであると考えられる。表-4 に本体部のせん断に対する照査結果を示す。両設計法の結果をコンクリートのみのせん断抵抗で比較すると、道示の方が設計基準よりも余裕がない結果となった。これは、せん断の制限値(抵抗係数×せん断力の特性値)が、許容せん断応力度よりも小さく評価されたためである。表-5 に耐久性に対する照査結果を示す。道示の引張鉄筋の応力度の制限値に対する照査結果の方が、設計基準によるひび割れ幅に対する照査結果よりも若干余裕のある結果となった。

5. 試算結果（耐震設計）

表-6 に本体部の地震時の曲げに対する照査結果を示す。ここで、道示の照査は、構造細目上の事由により H29 道示の照査式が適用不可であるため、H14 道示に従った。設計基準の照査式と H14 道示の照査式は、安全係数が若干異なるものの同様の式であるため、照査結果は同程度となった。表-7、表-8 に本体部と継手部のせん断に対する照査結果を示す。本体部の設計基準のせん断耐力式は、トンネル標準示方書の式を準用している。せん断照査の比較の結果、道示では軸力による補正を考慮しないのに対して、トン示は考慮するため、コンクリートが負担できるせん断力に差異が生じ、この結果、道示の制限値が、設計基準の制限値の 5 割程度となり、道示の方が厳しい結果となった。継手部のせん断耐力式は、コンクリートの摩擦と鋼製接合キーのせん断抵抗の和とし、道示はこれに対応する抵抗係数を考慮した。照査結果は同程度であった。

表-3 常時設計 曲げに対する照査結果

設計手法			設計値/ 制限値or許容値		本体部		継手部	
					先行S	後行S	先行S	後行S
設計基準	許容応力度		σ_c/σ_{ca}		0.61	0.46	0.87	0.80
			σ_s/σ_{sa}		0.09	0.21	—	0.05
			$\sigma_{s'}/\sigma_{sa'}$		0.73	0.49	0.09	—
道示	耐荷性能	限界状態1	M/M_{yd}		0.48	0.41	0.69	0.88
		限界状態3	M/M_{ud}		0.41	0.44	0.72	0.97

表-4 常時設計 せん断に対する照査結果

設計手法			設計値/制限値or許容値		本体部	
					せん断抵抗	先行S 後行S
設計基準	許容応力度		τ_c/τ_a		コンクリートのみ	0.36 0.22
			S_h/S_{ucd}		コンクリートのみ	0.55 0.38
道示	耐荷性能	限界状態3	S_h/S_{usd}		コンクリート+せん断補強筋	0.42 0.29

表-5 常時設計 耐久性に対する照査結果

設計手法			設計値/制限値or許容値		本体部	
					照査内容	先行S 後行S
設計基準	耐久性		w/w_a		許容ひび割れ幅	0.31 0.46
			σ_s/σ_{sl}		引張鉄筋の応力度の制限値	0.09 0.32

表-6 耐震設計 曲げに対する照査結果

設計手法			設計値/ 制限値or許容値		本体部	
					先行S	後行S
設計基準	許容塑性率		μ_d/μ_a		0.15	0.24
			ϕ_d/ϕ_y		0.55	0.94
道示	許容塑性率		μ_d/μ_a		0.19	0.30
			ϕ_d/ϕ_y		0.61	0.98

表-7 耐震設計 せん断に対する照査結果(本体部)

設計手法			設計値/制限値or許容値		本体部	
					せん断抵抗	先行S 後行S
設計基準	せん断耐力		S/V_{yd}		コンクリート+せん断補強筋	0.85 0.79
			S_h/S_{usd}		コンクリート+せん断補強筋	1.52 1.38

表-8 耐震設計 せん断に対する照査結果(継手部)

設計手法			設計値/制限値or許容値		継手部	
					せん断抵抗	先行S 後行S
設計基準	せん断耐力		S/V_{cwd}		コンクリート+鋼製接合キー	0.73 0.86
			$S/(抵抗係数 \cdot V_{cwd})$		コンクリート+鋼製接合キー	0.67 0.81

6. まとめ

本検討では、曲げは常時、せん断は地震時が決定ケースとなった。曲げに対しては、常時設計において、本体部は設計基準の方が厳しく、継手部は道示の方が厳しい結果となった。一方、本体部のせん断に対しては、常時も地震時も道示が厳しい結果となった。本稿は試設計であり、今後は、合理的なシールドトンネルの設計を行うため、シールドトンネルの特性を考慮した照査体系について、調査・検討を行っていく必要がある。

参考文献：

- 1)阪神高速道路：設計基準第3部，2017.4. 2)阪神高速道路：シールドトンネル設計マニュアル，2011.2.
- 3)日本道路協会：道路橋示方書・同解説I～V，2017.11.