

鉄道用複線シールドトンネルの限界状態設計法における荷重係数の影響について

長岡工業高等専門学校 学生会員 ○荒牧 和沙
 学生会員 桑原 正也
 正会員 岩波 基

1.はじめに

シールドセグメントの設計は、主に許容応力度設計法が採用されているが、2006年改訂の「トンネル標準示方書シールド工法・同解説」¹⁾(以後、トンネル標準示方書と称す)では限界状態設計法についての記載がなされた。しかし、部分安全係数に目安としての幅をもたせて記述しており、その設定の考え方に関する記述はない。つまり、限界状態設計法による設計結果に大きな影響がある部分安全係数について設定方法が十分に確立していないのが現状と言える。特に、荷重係数については、設計結果への影響が最も大きいと考えられるがその値の設定について定まっておらず、解析結果への影響についても十分には確認がなされていない。

そこで、本検討では限界状態設計法の終局限界状態における荷重係数に着目し、鉄道用複線シールドトンネルについてトンネル標準示方書の荷重係数の値における目安の幅が設計の照査値へ与える影響を検討した。

2.検討条件および方法

現在の許容応力度設計法の設計結果と整合性を確保した上で荷重係数の設定方法について適切な方法を提案するためには、各種荷重の統計データを分析した上で、あらゆる条件における荷重係数の設計結果への影響を把握することが必要である。ここでは、その第一段階として以下の検討条件で構造計算を行った。まず、シールド工法による鉄道トンネル実施例集²⁾より施工実績が最も多い外径10mの鉄道用複線シールドトンネルについて、実績²⁾から表-1に示したセグメントの仕様を設定した。鉄筋量については許容応力度設計法にて許容値を満足することを確認してある。また、セグメントの材料について今回の検討で採用した物性値をまとめたものが表-2である。さらに、表-3に示したように土かぶりかセグメント外形の約2倍のケース1と約3倍のケース2について構造計算を行った。地盤条件は、表-3のように一様な締まった砂質土地盤を想定して、地下水位が土被りの中間にあるものとした。前に述べたようにトンネル標準示方書¹⁾では、限界状態設計法の終局限界状態における荷重係数の目安の値には幅を持たせてある。そこで、本検討では、表-4に示すように鉛直土圧の荷重係数が1.05、他はすべての荷重係数を0.1刻みに設定した。したがって、全ての組合せで96

表-1 セグメントの仕様

ケース	1		2	
セグメントの種類	RC平板形		RC平板形	
外径(m)	10		10	
セグメント幅B(m)	1.2		1.2	
セグメント分割数	8等分割		8等分割	
リング継手数	32		32	
セグメント厚さh(m)	0.35		0.35	
鉄筋	鉄筋量(As)	D13×3	鉄筋量(As)	D16×8
	両面からの鉄筋かぶり(mm)			55

表-2 セグメントの物性値

コンクリート	
設計基準強度(N/mm ²)	48
許容曲げ圧縮応力度(N/mm ²)	16
ヤング係数(kN/mm ²)	31.4
鉄筋	
鉄筋の種類	SD345
許容応力度(N/mm ²)	200
降伏強度(N/mm ²)	345
ヤング係数Es(kN/mm ²)	210

表-3 地盤条件

ケース	1	2
土被り(m)	20	30
地下水位(GL-m)	10	15
土の種類	締まった砂質土	
土水の扱い	土水分離	
N値	15	
単位体積重量γ (kN/m ³)	18	
側方土圧係数λ	0.55	
地盤反力係数k (MN/m ³)	10	

表-4 採用した荷重係数

	荷重係数の採用値
鉛直土圧	1.05
側方土圧係数	0.8, 0.9, 1.0
水圧	0.9, 1.0
地盤反力係数	0.9, 1.0
自重	1.0, 1.1
上載荷重	1.0, 1.1, 1.2, 1.3

表-5 最大曲げモーメントの平均値と軸力の平均値

ケース	1	2
最大曲げモーメントの平均値(kN・m)	235.2	314.4
最大曲げモーメント時の軸力の平均値(kN・m)	1552.8	2288.7

キーワード シールドトンネル, セグメント, 限界状態設計法, 荷重係数

連絡先 〒940-8532 新潟県長岡市西片貝町888番地 長岡工業高等専門学校 TEL0258-34-9276

表-6 最大と最小の荷重係数の組合せ

ケース	1		2	
	最大	最小	最大	最小
設計の照査値	1.320	0.431	0.965	0.345
土圧	1.05	1.05	1.05	1.05
側方土圧係数	0.8	1.0	0.8	1.0
水圧	0.9	1.0	0.9	1.0
地盤反力	0.9	1.0	0.9	1.0
上載荷重	1.3	1.0	1.3	1.3
自重	1.0	1.1	1.0	1.1

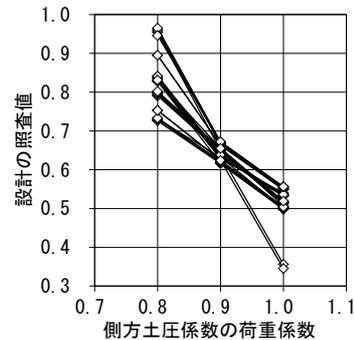
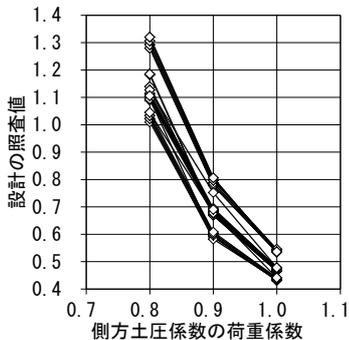


図-1 側方土圧係数と照査値の関係(ケース1) 図-2 側方土圧係数と照査値の関係(ケース2)

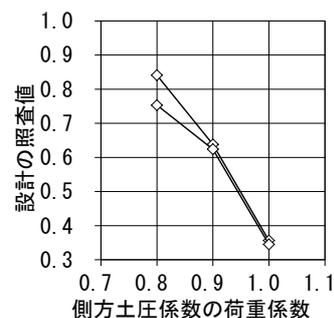
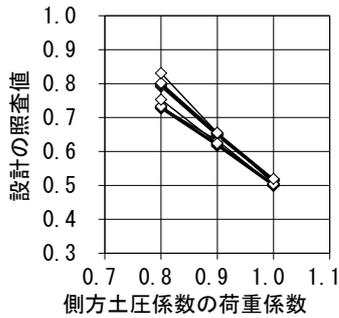
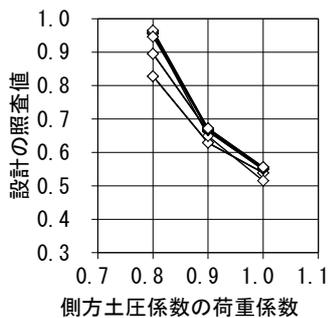


図-3 側方土圧係数と照査値の関係 (パターン1) 図-4 側方土圧係数と照査値の関係 (パターン2) 図-5 側方土圧係数と照査値の関係 (パターン3)

ケースの解析を行った。

解析には、3 リングのモデルを用いてはりばねモデル計算法によって行った。本検討では、算定した最大曲げモーメントをその時の軸力に対する曲げ耐力で除したものを設計の照査値とし、この値によって設計結果への影響の評価を行った。

3.計算結果

ケースごとに全 96 種類の構造解析を行い、最大曲げモーメントとその時の軸力を算定した。2 ケースのそれぞれの最大曲げモーメントとその時の軸力の平均値を表-5 に示す。

表-6 に設計の照査値が最大となった荷重係数の組合せと最小になったそれを示す。ケース 1 では最小の照査値 0.431 に比べ、最大の照査値は 1.320 となり 3 倍以上の違いを生じた。また、ケース 2 でも、最小の照査値 0.345 に比べ、最大の照査値は約 3 倍の 0.965 となり荷重係数の設定によって、終局限界状態については大きく照査結果が異なることが分かった。なお、今回、検討に採用している設計の照査値は、終局限界状態の照査において、構造物係数が 1.0 のとき、照査値が 1.0 以下で安全であり、構造物係数が 1.3 では、照査値が 0.77 未満で安全であることを示す値である。

図-1 は、ケース 1 において、側方土圧係数の荷重係数の変化によって設計の照査値がどのように変化するかを表したグラフである。側方土圧係数が増加すると照査値が大きく低減する。特に、0.8 が 0.9 に変化すると照査値が最も大きく減り、約 0.5 程度変化する。図-2 は、ケース 2 において、同様に側方土圧係数と照査値の関係を表したグラフである。図-2 からわかるように図-1 と同様に側方土圧係数と照査値は反比例している。しかし、図-3~図-5 に示すように軸力の値によってパターンが 3 種類に分かれる。

4.おわりに

本検討の結果から、ケース 1, 2 とともに照査値の最小値と最大値に 3 倍の違いを生じ、側方土圧係数の荷重係数は、その他の荷重係数が同じでも、設計結果に大きな影響があることが判明した。

これらのことから、荷重係数の設定方法の確立が急務である。

【参考文献】

1) 土木学会トンネル工学委員会：2006 年制定、トンネル標準示方書[シールド工法]・同解説
 2) 鉄道総合研究所鉄道技術推進センター：シールド工法による鉄道トンネル実施例集(その4)、2010.3