

III-467

鋼製セグメントを用いたシールドトンネル急曲部の挙動に関する研究

早稲田大学 村上 博智・井戸 明
東洋大学 小泉 淳
K.K.大林組 山口 貴志

1. はじめに

シールドトンネルは、道路下に構築されることが多く、電力・通信および上下水道等の比較小口径のトンネルでは、道路の線形に合わせて施工されることが多い。特に、道路の交差する付近では、急曲線施工を免れない。

本研究は、急曲線区間のセグメントに新たに性能の高いセグメントを使用することによって、特別な補助工法なしでシールドトンネルの急曲線施工を考えたものである。

2. 検討の概要

(i) 構造モデル

直線区間に接続する急曲線区間のシールドトンネルは、その中心線を折れ線で表示して図-1, 2に示す棒構造モデルで評価した。図-1に示す解析モデル(1)は荷重点の拘束がない場合を示し、図-2に示す解析モデル(2)は荷重点に拘束がある場合を示す。解析モデル(1)によって求めた荷重点の変位がセグメントリングとシールドテールとのクリアランス以下であればその解析結果はそのままトンネルの挙動を示し、クリアランスを超える場合には解析モデル(1)と解析モデル(2)との組み合わせによってその挙動を示すことができる。また、トンネル周辺の地盤を評価するばねのうち k_{gr} はトンネル周辺地盤の反力を、 k_{gl} はトンネルの周辺摩擦を評価するものである。

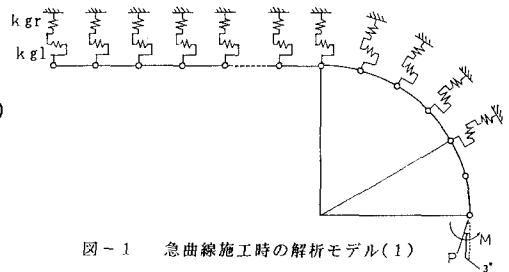


図-1 急曲線施工時の解析モデル(1)

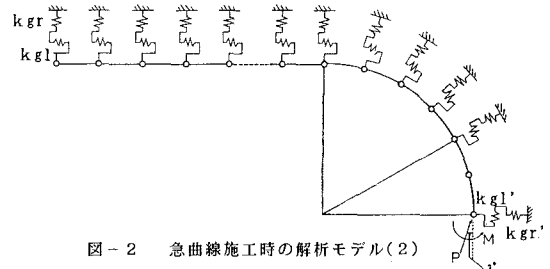


図-2 急曲線施工時の解析モデル(2)

(ii) 荷重

トンネルがカーブを切る際には、シールド内に装備された推進用のジャッキのうちトンネル横断面内でカーブの外側のものを用いる。急曲線施工時に等間隔に配置されたジャッキのうち、トンネルの鉛直直径面から片側のジャッキのみをフルに用いたとすれば、トンネルをモデル化した棒構造モデルの先端には、軸荷重 P と外力モーメント M が作用することになる。なお、図-1, 2に示すように軸荷重 P は現場の施工状況を考慮してトンネルの軸より3度傾斜して作用させた。

(iii) 解析ケース

解析は、セグメント外径、曲線半径、地盤条件および曲線区間のリング数を加味して表-1に示す81ケースについて試算を行ないリング継手断面の検討を行なった。

表-1 解析ケース

セグメント外径 D (mm)	3150	4550	6000
曲線半径 R (m)	20, 30, 40	30, 40, 50	40, 50, 60
地盤反力係数 k (kg/cm ²)	0.25, 1.0, 2.0		
曲線区間の リング数	30, 55, 80		

3. 解析結果とその考察

図-1, 2の解析モデルを用いて求めた曲げモーメント図の一例を図-3に示す。この断面力を用いて、主げたに生ずる曲げ応力度、セグメントリングの圧縮縁の最大圧縮応力度およびリング継ぎボルトの引張応力度を求めた。なお本研究における許容応力度は、ジャッキ推力が施工時における一時的荷重であるので、表-2に示すように一時的荷重に対する許容応力度を用いた。

計算の結果では正の最大曲げモーメントが生ずる位置での応力度が最大となり、急曲線用のセグメントとして標準セグメントを用いるとすればいずれも表-2に示す許容応力度をはるかに超える値となった。本研究では主げた、縦リブおよびセグメント継手の継手板の板厚を増加することにより、またリング継ぎボルトの強度区分を高めることによってこれらの強度不足に対処した。

以上の考え方に従い、標準セグメントを基本として断面寸法を変更して上記の計算手順を繰り返して計算して表-2に示した許容応力度以内におさめることができた結果の一部が表-3に示してある。なお表-3は曲線区間のリング数が30リングの場合について示してある。表中の板厚は市販寸法のものであり（）内は必要最小限の主げた板厚である。

図-4は地盤反力係数と主げた板厚との関係、図-5は曲線半径と主げた板厚との関係が示されている。当然のことながら地盤反力係数が大きくなるにつれて、また曲線半径が大きくなるにつれて主げた板厚は小となるがその変化は顕著ではない。

4. おわりに

本研究はシールドトンネル急曲線施工時の挙動を解析する構造モデルを提示し、これを用いて実際に計画された急曲線施工を例に検討を加え、急曲線施工に適合した性能を持つセグメントの設計法を提示したものである。

従来一般的に行なわれていたように、なんらかの補助工法を用いて、急曲線区間を施工するの一つの方法であり、そのいずれを選ぶかは夫々の経済性を検討した上のことになろうが、補助工法を用いずにこれを施工することが、シールド工法の本来の姿であると考えている。

なお、本研究は鋼製セグメント工業会からの委託によるものである。

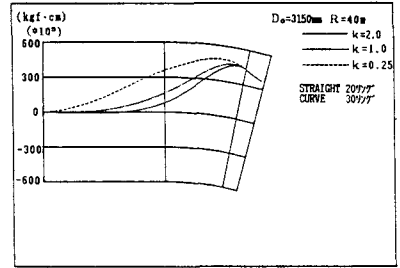


図-3 曲げモーメント図

表-2 一時的荷重に対する許容応力度

種類	SS41	SM50	ボルト 8・8
曲げ・圧縮 (kgf/cm ²)	2300	3100	—
引張 (kgf/cm ²)	—	—	6400

表-3 板厚・ボルトの検討結果

外径D ₀ (mm)	曲線半径 R (m)	地盤反力係数 k (kgf/cm)	標準 セグメント	0.25			1.0			2.0		
				SM50	SS41	SM50	SS41	SM50	SS41	SM50	SS41	SM50
3150	20	主桁 (mm)	9	28 (27.4)	36 (33.9)	28 (27.8)	36 (32.6)	28 (27.4)	36 (31.8)	28 (27.4)	36 (31.8)	28 (27.4)
		縦リブ (mm)	8	14	15	14	15	14	15	14	15	14
		継手板 (mm)	9	14	15	14	15	14	15	14	15	14
		ボルト	M20 4・6	M20 8・8	M20 8・8	M20 8・8	M20 8・8	M20 8・8	M20 8・8	M20 8・8	M20 8・8	M20 8・8
4550	30	主桁 (mm)	16	36 (32.7)	36 (37.5)	36 (32.8)	36 (37.9)	36 (32.4)	36 (37.5)	36 (32.4)	36 (37.5)	36 (32.4)
		縦リブ (mm)	12	16	20	16	20	16	20	16	20	16
		継手板 (mm)	16	25	30	25	30	25	30	25	30	25
		ボルト	M22 4・6	M22 8・8	M22 8・8	M22 8・8	M22 8・8	M22 8・8	M22 8・8	M22 8・8	M22 8・8	M22 8・8
6000	40	主桁 (mm)	16	30 (28.6)	36 (34.3)	30 (29.3)	36 (34.0)	30 (29.1)	36 (33.6)	30 (29.1)	36 (33.6)	30 (29.1)
		縦リブ (mm)	9	12	18	12	18	12	18	12	18	12
		継手板 (mm)	16	16	32	16	32	16	32	16	32	16
		ボルト	M24 4・6	M24 8・8	M24 8・8	M24 8・8	M24 8・8	M24 8・8	M24 8・8	M24 8・8	M24 8・8	M24 8・8

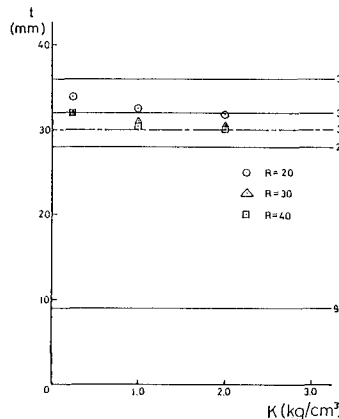


図-4 主げた板厚と地盤反力係数との関係
D₀=3150mm, SS41, 30リング

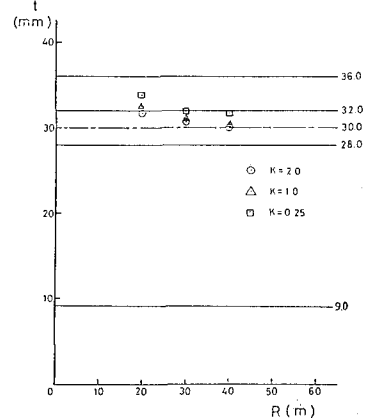


図-5 主げた板厚と曲線半径との関係
D₀=3150mm, SS41, 30リング