

III-B 104 異形断面トンネルの合理的設計法に関する実験的研究

早稲田大学 学生員 大西 元
 早稲田大学 学生員 花房 幸司
 西松建設(株) 正会員 小林 正典
 早稲田大学 正会員 小泉 淳

1. はじめに

従来、シールドトンネルの断面形状は、未固結の滞水土砂地山においては力学的に優位であることや、機械掘削に適していることなどにより、主として円形が用いられてきた。しかしながら、特に過密化した都市域では、既に多数の地下構造物が存在し、そのため占有できる地下空間はますます狭くなり、占有面積の問題に加えて掘削発生土の処理の問題など、地下空間のより有効な利用に対する要求が高まってきている。このためトンネルの用途に応じて不要断面を減らし掘削断面積を小さくすることのできる異形断面トンネルの開発が進められている。

本研究は楕円形断面および矩形断面シールドトンネルを対象に、それらの模型実験を行い、その合理的な設計法について考察したものである。

2. 実験概要

まず図1のように計測器を設置した装置に、アクリル製の模型トンネルを垂直に設置し、実験土槽に豊浦標準砂を巻き出し、実験模型を作成する。次に、図1における載荷板2、4方向（以降、水平方向と呼ぶ）を固定し、載荷板1、3方向（以降、鉛直方向と呼ぶ）を載荷用スクリージャッキを一定方向に一定量回して、その方向のロードセルの値が約 $100\text{gf}/\text{cm}^2$ になるまで所定の載荷ステップで載荷する。その後鉛直方向を固定し、水平方向を同様に載荷する。載荷ステップごとに、トンネル模型に貼付したひずみゲージで、発生するひずみを計測する。

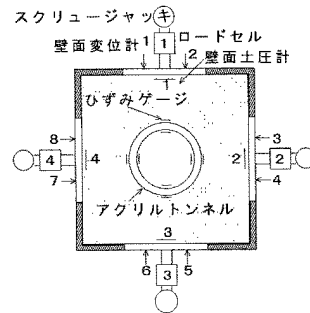


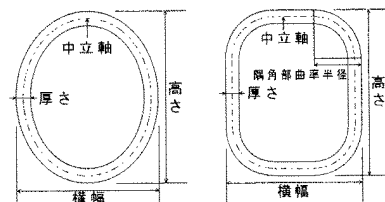
図1 実験土槽概要図

表1は、使用した模型地盤の物性値と、アクリル製のトンネル模型の断面形状および弾性係数を示したものであり、図2はトンネル断面形状の一例を示したものである。

3. 解析方法

トンネルに発生する断面力は、トンネルを曲がりはりおよび直線はり、セグメント継手およびリング継手を各々せん断ばねと回転ばねにモデル化し、作用する荷重を主働的な土圧とし、地盤反力は受働的な地盤ばねに評価して解析した。この方法ははりばねモデル計算法と呼ばれ、変形が地盤側に向かうときのみ地盤ばねをつける部分ばねモデルと、トンネル断面全体に地盤ばねをつける全周ばねモデルとがある（図3および4）。本研究ではこの両者を用いて解析を行った。なお、今回の実験では継手を設けない様な断面のトンネル模型を用いたため、せん断ばねおよび回転ばねのばね定数は無限大として解析を行った。また作用させる荷重は図3、4に示すPV、PHに実験値を代入したものを用い、荷重条件をPH/PV比で評価した。地盤ばね定数は表2に示す値を用いた。

表 1 模型地盤とトンネル模型の各種諸元							
模型地盤の物性値							
地盤材料	豊浦標準砂						
単位体積重量	1.58gf/cm ³						
相対密度	82%						
トンネル模型の諸元							
断面形状	楕円形			矩形			
扁平率、縦横比	0.8	1.0	1.2	0.8	0.8	0.8	
高さ	20cm	20cm	20cm	20cm	20cm	20cm	
幅	16cm	20cm	24cm	16cm	16cm	16cm	
厚さ	0.3cm	0.3cm	0.3cm	0.3cm	0.3cm	0.3cm	
隅角部半径	—			0cm	2.5cm	5.0cm	
弾性係数	3.30×10 ⁻⁴ kgf/cm ²						



(a) 楕円形断面 (b) 矩形断面
 図2 トンネル断面形状

表2 解析に用いる地盤ばね定数		
解析方法	地盤ばね定数 kgf/cm^3	
	圧縮側	引張側
部分ばねモデル	4.386	—
全周ばねモデル	4.386	2.193

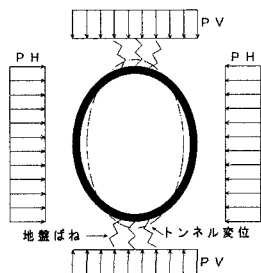


図3 部分ばねモデル

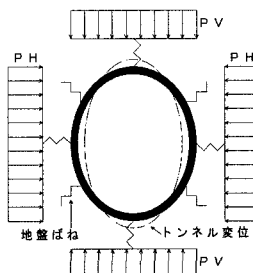
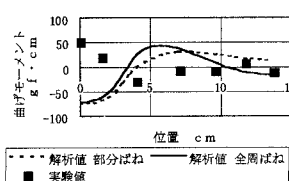


図4 全周ばねモデル

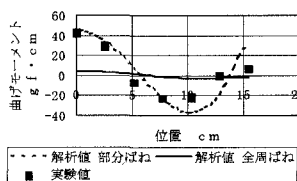
4. 実験値および解析結果

各々の断面形状の実験結果および解析結果の一例を図5に示す。



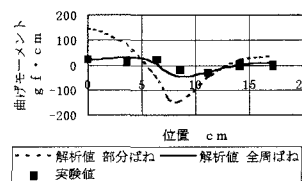
(a) 楕円形偏平率0.8

PH/PV=0.891



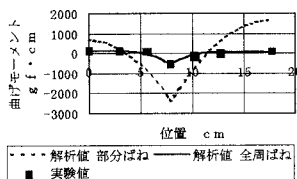
(b) 楕円形偏平率1.0(円形)

PH/PV=0.932



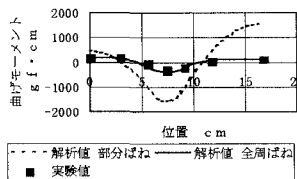
(c) 楕円形偏平率1.2

PH/PV=0.969



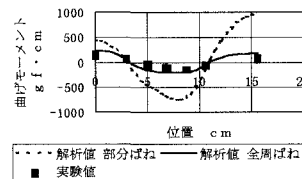
(d) 矩形縦横比0.8、隅角半径0cm

PH/PV=0.842



(e) 矩形縦横比0.8、隅角半径2.5cm

PH/PV=0.899



(f) 矩形縦横比0.8、隅角半径5cm

PH/PV=0.872

図5 各断面形状における曲げモーメント図

図5から、楕円形偏平率0.8および1.0の時にやや実験結果と解析結果に差が見られるが、全体的に全周ばねモデルの解析結果の方が実験結果によく一致しており、特に矩形の場合には明らかに全周ばねモデルの方が一致していることがわかる。矩形断面の場合には、断面のほとんどの部分がトンネル内空方向に変位するため、部分ばねモデルでは地盤ばねの影響を受けにくいのに対して、実際にはこの部分にも何らかの地盤の影響があり、全周ばねモデルの方がよく一致する結果になったものと思われる。

5. 結論

本研究から、異形断面トンネルの力学的挙動は、はりばねモデルのうち全周ばねモデルを用いる方がよく評価でき、特に矩形断面について非常に有効であることがわかった。