

鉄建公団今別建設所 正員 村田 一夫

(株) 竹中土木 正員 ○郡山 利行 正員 田川 弘義

竹中技術研究所 正員 中崎 英彦 丹羽 尚樹

1. まえがき

現在一般的に実施されている、施工段階を考慮したトンネルの2次元FEM解析においては、応力解放率をどのように設定するかが、重要な問題となっている。この応力解放率は、解析モデルが単純な円形トンネルの3次元弾性解析によって、しばしば評価されているが、未だ合理的な設定方法がない。

本報告では、津軽海峡線大川平トンネル（北）工事において実施した現場計測結果に基づいて、土被りの浅い場合（ $H=7\text{m}$ ）と深い場合（ $H=59\text{m}$ ）の代表的な断面について行なった上半掘削時の事後解析結果から得られた、応力解放率設定に際しての留意点について述べる。

2. 工事概要と現場計測

大川平トンネル（北）工事区間の地質概要と支保仕様を図-1に示す。本工事区間の地質は、洪積層の砂質土が主体であるが、施工区間によって礫混り砂層、シルト質砂層と地質特性が変化している。本トンネル工事では、A計測のみによる計測管理によって施工を実施した。

3. 現場計測結果

トンネル土被りが浅い場合と深い場合の、代表的な断面における実測結果の経時の変化を、図-2、図-3に示す。図中、破線で示している部分は、上半掘削に伴う変位量を外挿によって求めた推定値である。

次に、P-A'、P-B'の2種類の支保パターン区間（図-1参照）の実測結果を用いた土被りと天端沈下の関係を図-4に示す。本図では、土被りが $3.5D$ ぐらいまでは、土被りが小さい程、最終天端沈下量が大きな値を示しているが、 $3.5D$ 以上では、ほぼ一定量となっている。これは、土被りが浅い場合には、土被りが小さくなる程トンネル上部の全土荷重が減少するにもかかわらず、それ以上にグランドアーチ効果が減少し、支保工に作用する土荷重が増加するため、天端沈下量が大きくなると推定される。また、土被りが深い場合、Terzaghiによれば、支保工に作用するゆるみ土荷重は、土被りに関係なくトンネル掘削断面の幅と高さで規定されるとしており、前記の土被り $3.5D$ 以上の場合の天端沈下量が一定である現象と一致している。

以上の事実を考慮すれば、トンネルの2次元FEM解析を行なう場合、土被りが深い程、切羽の応力解放率（ η ）を大きくする必要があると考えることができる。

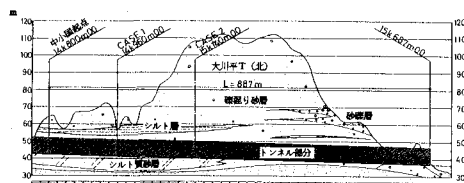


図-1 地盤概要と支保仕様

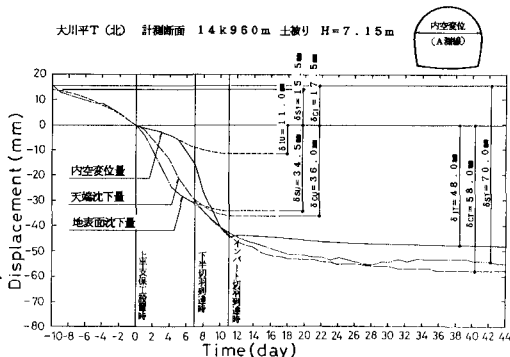


図-2 土被りが浅い場合の実測例 (CASE1)

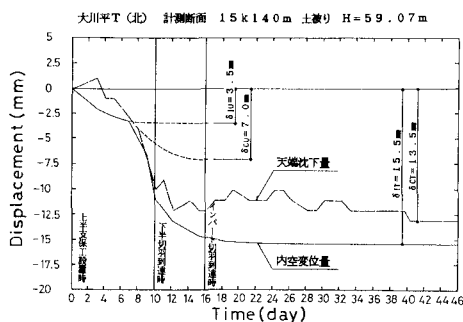


図-3 土被りが深い場合の実測例 (CASE2)

4. 事後解析結果

現場計測結果に基づいた事後解析として、応力解放法による2次元弾性解析を実施した。解析位置は、図-2、図-3に示したものと同一の2断面とし、解析モデルは、図-5に示したものをを用いた。また、表-1に入力定数を、表-2に解析結果と計測結果を対比して示す。

ここで、応力解放率(η)およびポアソン比(ν)は、上半掘削時の天端沈下量および内空変位量の解析値が計測値とほぼ同様になるよう繰返し計算によって設定した。地山の弾性係数(E)は、孔内水平載荷試験により求めた値を用いたが、土被りの浅い場合(CASE1)において、上記の方法のみでは、天端沈下量を計測値と合わせることができなかったため、載荷試験値(110kg/cm²)より小さい値(60kg/cm²)にする必要があった。

これより、土被りが浅い場合(CASE1)においては、解放率が7%と非常に小さく、トンネル支保工には土被り荷重の90%以上が作用したものと考えられ、一方、土被りが深い場合(CASE2)においては、解放率が82%と非常に大きく、支保工設置前にかんりの応力が解放されたと考えられる。また、両者共に、ポアソン比が0.47と大きく支保工にかんり大きな側土圧が作用していたと考えられる。

なお、この解析により得られた支保工の応力は、両ケースとも許容値の80%程度であった。

5. あとがき

大川平トンネルの現場計測結果と事後解析結果の検討によって、応力解放率(η)の値が、土被りの浅い場合(H=7m)の $\eta=7\%$ と土被りの深い場合(H=5.9m)の $\eta=82\%$ とで大きく異なる結果を得た。このことは、トンネルの事前解析において、周辺地盤の安定性、支保設計の検討などを行なう場合、土被り厚さを充分考慮して、応力解放率を設定することが必要であることを示唆している。

しかしながら、応力解放率は、土被り厚さばかりでなく地山強度比などの地盤特性、トンネルの形状寸法、施工方法等に大きく影響され一義的には設定できないものと考えられる。従って、現状においては、水平パイプヒズミ計等を利用した現場計測によって応力解放率を評価することが望ましく、今後、前述した応力解放率に影響を与える要因について、さらに研究を進める必要があると考えている。

参考文献

- 1) 浅井勝稔他「水平パイプヒズミ計による応力解放率の実測と評価」第39回年次学術講演会集 1984

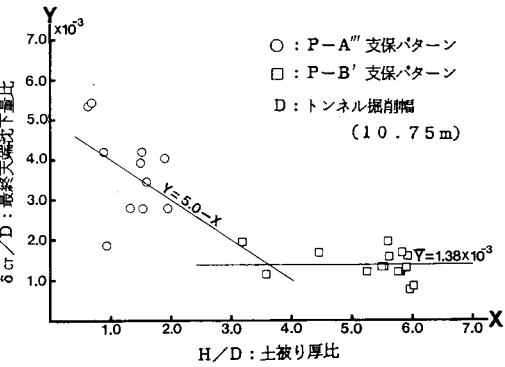


図-4 土被りと天端沈下の関係

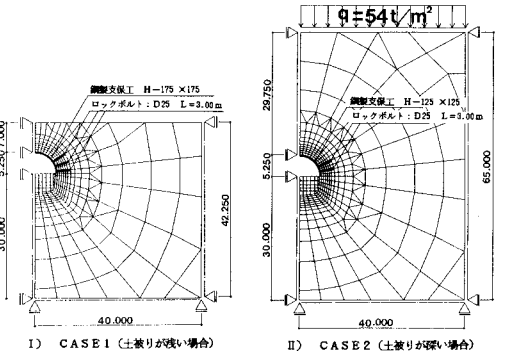


図-5 解析モデル

		CASE 1 (土被りが浅い場合)	CASE 2 (土被りが深い場合)
解析断面		14 k 9 6 0 m	15 k 1 4 0 m
土被り厚さ		7.15 m	59.07 m
支保パターン		P-A'''	P-B'
ロックボルト (TRUSS)		D25 L=3.00m etc 0.8 m n=6本	D25 L=3.00m etc 1.0 m n=4本
鋼製支保工 (BEAM)		H-175x175 etc 0.8 m	H-125x125 etc 1.0 m
鉄付コンクリート (BEAM)		t=17.5 cm E=70,000 kg/cm ²	t=15.0 cm E=70,000 kg/cm ²
地山	E	60 kg/cm ²	1030 kg/cm ²
	ν	0.465	0.47
	γ	1.7 t/m ²	1.8 t/m ²
	ϕ	29°	40°
	c	2.0 t/m ²	3.0 t/m ²
応力解放率 η		7 %	82 %

表-1 入力定数

		CASE 1				CASE 2			
		解析結果 (mm)		計測結果 (mm)		解析結果 (mm)		計測結果 (mm)	
天端沈下量	支保工設置時 δ_{C1}	-17.7		(-17.5)		-73.3		-	
	最終時 δ_{C2}	-50.4		(-53.5)		-80.0		-	
	$\delta_{CU} = \delta_{C2} - \delta_{C1}$	-32.7		-36.0		-6.7		-7.0	
内空変位量	支保工設置時 δ_{I1}	-14.4		-		-71.0		-	
	最終時 δ_{I2}	-25.4		-		-74.5		-	
	$\delta_{IU} = \delta_{I2} - \delta_{I1}$	-11.0		-11.0		-3.5		-3.5	
地表面沈下量	支保工設置時 δ_{S1}	-11.4		-15.5		-		-	
	最終時 δ_{S2}	-38.1		-50.0		-		-	
	$\delta_{SU} = \delta_{S2} - \delta_{S1}$	-26.7		-34.5		-		-	

表-2 解析結果と計測結果の比較
-: トンネル内側への変位