

長大メガネトンネルにおけるセンターピラー作用荷重に関する検討

阪神高速道路公団 正会員 関本 宏

阪神高速道路公団 正会員 藤井 康男

阪神高速道路公団 正会員 ○杉山 裕樹

1. はじめに

北須磨トンネル（仮称）は、神戸市道高速道路2号線（神戸山手線）の白川出入口（仮称）から白川 JCT.（仮称）間に位置する。全長1,107.5mのうち坑口付近の開削トンネル区間を除く山岳トンネル区間は938mで、用地上および道路線形上の制約より、メガネトンネル構造を採用しており、完成すればメガネトンネルとして国内最長となる。メガネトンネルの設計に際して問題となるのは、トンネル中央に構築されるセンターピラーに作用する荷重の考え方である。しかし、メガネトンネルの施工実績は少なく、荷重に明確な指標が示されていないのが現状である。本稿は、既往のメガネトンネルの施工実績調査を行い、計測データを地質ごとに整理し、FEM解析結果も加味してセンターピラーに作用する荷重を総合的に検討したものである。

2. トンネル構造および地質概要

図-1に標準断面を示す。片側2車線のトンネルであり、掘削断面は中央の導坑が約 36m^2 、本坑片側が約 76m^2 （導坑分除く）で、全体では約 190m^2 の大断面となる。また、地質は山岳トンネルの両端約670m区間は、礫岩・砂岩・泥岩・凝灰岩の互層である神戸層群白川累層であり、トンネル中央部の約260m区間は、六甲花崗岩である。さらに、北坑口側は神戸層群を基盤として、V字型の旧沢地を埋めた盛土や崩積土が分布している。土被りは、約6~40mであり、一部区間ではトンネル直上に道路や住宅がある。

3. 施工実績の調査

メガネトンネルの文献および資料により得られたトンネルの計測値をトンネルの土被りおよび作用高さをトンネル径の比率で整理した結果を図-2に示す。なお、センターピラーに作用する荷重は、図-3に示すように便宜的にトンネル中心間の地山がセンターピラーに作用するものと考えている。この結果から、トンネル片側掘削径をDとすると、次のように整理することができる。①土砂地山の作用高さは、 $1.0D \sim 1.9D$ であり、 $2.0D$ 以下といえる。②岩地山の作用高さは、 $0.1D \sim 0.7D$ であり、 $1.0D$ 以下といえる。

4. FEM解析によるセンターピラー作用荷重

土砂部における土被りの浅い $2D$ 以下の場合でのセンターピラーに作用する荷重をFEM解析により、算出した結果を表-1に示す。これによると、土砂部では土被り高さに相当する荷重がセンターピラーに作用していることがいえる。一方、No.-42-5では土被り荷重より大きな荷重が作用している結果となった。これは、センターピラー作用荷重の作用幅をトンネル中心間と便宜上仮定しているためである。

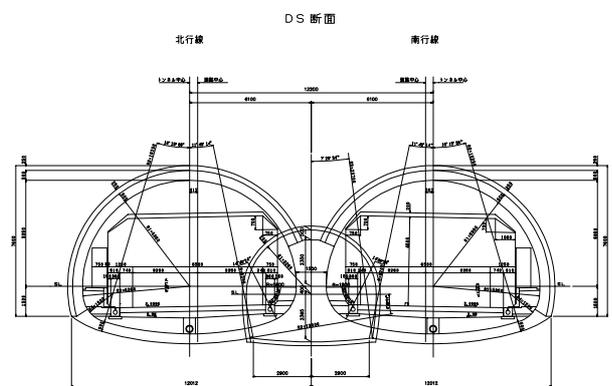


図-1 北須磨トンネル標準断面図

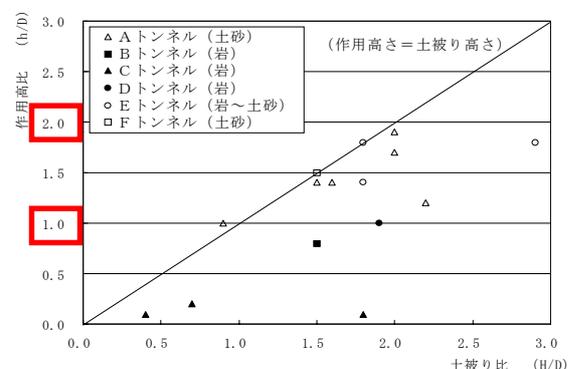


図-2 作用高さと土被りの相関図

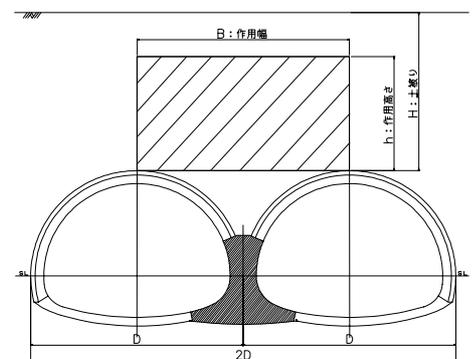


図-3 作用荷重の設定

キーワード メガネトンネル, 都市トンネル, NATM, センターピラー

連絡先 〒650-0041 兵庫県神戸市中央区新港町16-1 阪神高速道路公団神戸建設局 TEL078-331-9801 (代表)

5. 作用荷重の設定

上述より、センターピラー作用荷重は、作用高さを設定し、地山別に次のように分類する。①岩部における作用高さは1.0D、土砂部における作用高さは、2.0Dとした。

6. センターピラーの構造

センターピラーは、本坑トンネルの形状による荷重の違い、地表面状況および施工性を考慮して表-2に示す5タイプで計画した。なお、本坑の覆工を鉄筋補強する区間ではセンターピラーとトンネルを一体化させるため、機械継ぎ手構造にてセンターピラー鉄筋と本坑鉄筋を接続する。

7. センターピラー直下の地耐力の検討

センターピラーを支える地盤の地耐力を導坑底盤部で平板載荷試験を行い、その結果とFEM解析により算出したピラー底盤部の地盤応力度から支持力の検討を行った。その結果を表-3に示す。ここで、センターピラーとトンネルインバートは鉄筋にて接合する計画であり、センターピラーだけによる支持状態は仮設的な状態であると考え、仮設時の許容支持力を採用した。北須磨トンネルは他のメガトンネルより幅の広いセンターピラー底盤幅を採用しており、他のトンネルの地質条件と比較してもとくに悪い部類に属していない。No.-44-10は局所的に悪いところを抽出していることが考えられるが、10m離れたNo.-44では2倍程度以上の支持力が確認されている。縦断方向の影響（剛性）を考慮すれば局所的に沈下する可能性は低いと考えられる。以上より、底盤部の支持力は満足していると判断した。

8. 計測結果によるセンターピラー作用荷重の考察

本坑掘削後の計測値におけるセンターピラー作用荷重について考察を行う。各地点の計測値を表-4に示す。表よりNo.-3-2及びNo.-19-3については設計荷重より小さく1.1D~1.2D程度であった。これは、坑口部であることや岩被りが薄く、かつ造成地であったため、軟岩ではあったが、土砂部相当と考えていたためである。一方、No.-44-10及びNo.-42-5については設計荷重より若干小さめではあるが、1.7D~1.8D程度でほぼ設計荷重相当の荷重が生じており、本設計の妥当性が検証されたものと考えられる。

9. まとめ

得られた知見を総括すると実績調査及びFEM解析によりセンターピラー作用荷重は岩部1.0D、土砂部2.0Dであるといえる。本坑掘削後の計測値とセンターピラー作用荷重を比較した結果、ほぼ設計荷重相当の荷重が生じており、本設計の妥当性が検証された。最後に、本工事の設計・施工に当たり、貴重なご意見・ご議論を頂きました北須磨トンネル施工法検討委員会の方々に深く感謝の意を表します。

表-1 FEM解析結果

断面 項目	No.-44-10	No.-42-5	No.-36-10
土被り (m)	12	13	21
作用荷重 (tf)	338	421	542
作用高さ (m)	12.6	16.0	21.0
備考	盛土層	盛土層	神戸層群 礫岩層

表-2 配筋概要一覧表

断面	タイプ	設計荷重	フーチング部鉄筋	立壁鉄筋
標準断面部	B・Cタイプ	1D	D25@150mm1.5段	D16@150mm
	Dタイプ	2D	D32@150mm1.5段	//
非常駐車帯部	B・C-Lタイプ	1D	D32@150mm1.5段	//
	D-Lタイプ	2D	D32@150mm2段	//
加速車線	D-Kタイプ	2D	D32@150mm2段	D22@150mm

断面図

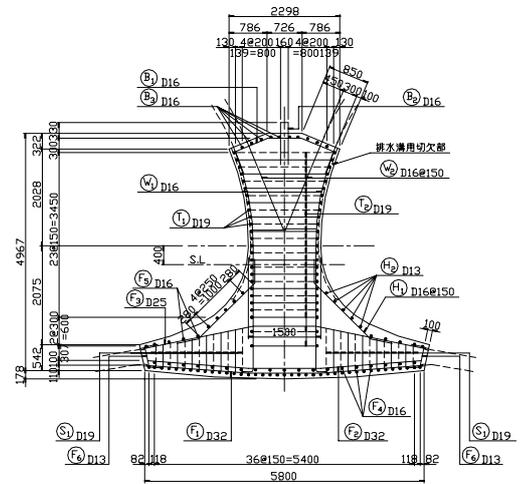


図-4 センターピラー断面図 (Dタイプ)

表-3 地耐力検討結果

試験地点 No.	地質	極限支持力 (tf/m ²)	許容支持力 (tf/m ²)		FEM解析値 (tf/m ²) (平均値)
			常時	地震時	
-47-0	砂岩	294.73以上	98.2以上	147.5以上	—
-44-10	礫岩	98.24	32.7	49.0	48
-44-00	礫岩	165.05以上	55.0以上	82.5以上	—
-42-5	砂岩	196.49	67.5	101.2	68
-42-5	砂岩	294.73以上	98.5以上	147.7以上	—
-36-10	花崗岩	322.24以上	107.3以上	160.9以上	87

表-4 センターピラー荷重の計測結果

計測地点	No.-3-2	No.-19-3	No.-42-5	No.-44-10
土被り換算値 ()内は設計値	1.2D (2.0D)	1.1D (2.0D)	1.8D (2.0D)	1.7D (2.0D)