

(18) 坑内交差部の施工時における変位挙動

日本道路公団高松建設局 毛利真敏
清水建設（株）技術部 ○ 竹林亜夫
同上 四国支店 安河内孝
同上 松本茂美

1) はじめに

明神トンネルは、四国横断自動車道の、延長3727mのトンネルで現在下り線のみ暫定二車線の施工を行っている。換気方式は、電気集塵機付きの縦流換気方式を採用することになり、それに伴って、高知方坑口から1600m付近に本線トンネル標準部と同等の断面を有する図-1のような集塵機室を建設することとなった。

本線トンネルをショートベンチのNATMで施工し、かつ集塵機室の施工についても、ショートベンチのNATMで施工している。このような集塵機室交差部の施工を全てNATMで施工されたのは、我が国で初めてのケースである。今回現場計測の結果より、坑内交差部の施工時におけるトンネル構造の変位挙動について、報告いたします。

2) 本線トンネルの施工状況と地質

明神トンネルの地質は、主として秩父古生層の、輝緑凝灰岩、粘板岩、砂岩、チャートなどが複雑に分布する多層地山である。特に輝緑凝灰岩や粘板岩は、千枚質で剥離性が大きく一部では粘土化がすすんでいる。集塵機室付近の土被り厚さは、約300mとなっている。

本線トンネルの施工法は、ショートベンチ工法のタイヤ方式を採用している。集塵機室付近の本線トンネルを施工した時の内空変位量と天端沈下量の分布は図-2に示す。この図で非常駐車帯用の拡幅区間（集塵機室送気側）には破碎され粘土化した断層が、数本分布して湧水も伴い、掘削時には切羽が自立しない場合もみられ、特に非常駐車帯終端部では鋼製支保工（H-200×200）および吹付けコンクリート（厚さ20cm）にも変状がみられた。なお、吸気側の地質は、節理は多いものの、送気側と比べると良好な状態であった。

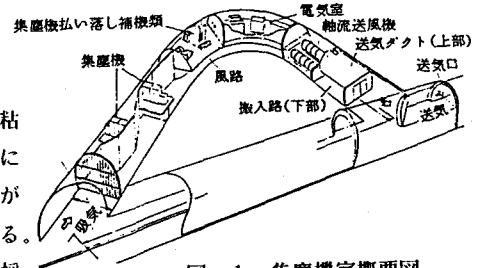


図-1 集塵機室概要図

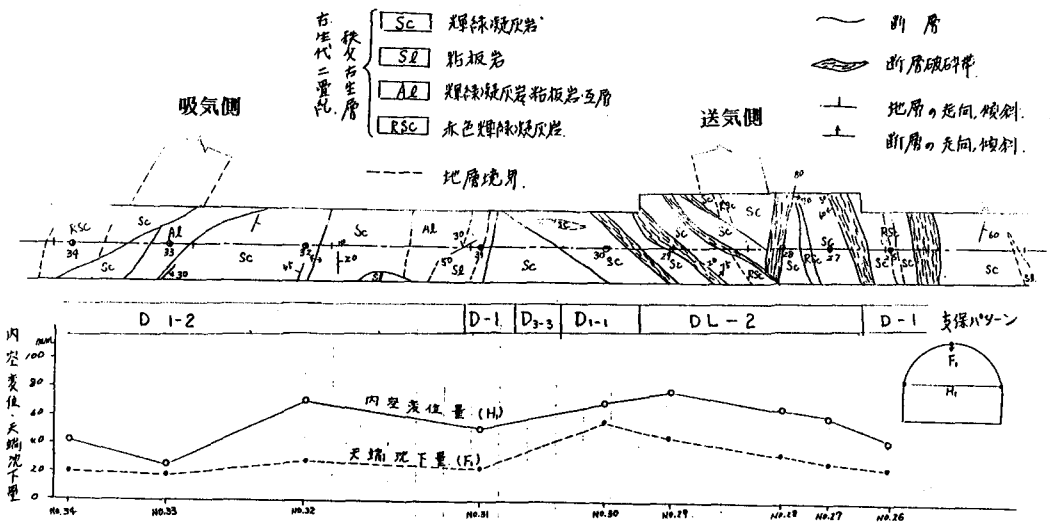


図-2 本線トンネル施工時の地質平面図と内空変位、天端沈下量分布

3) 集塵機室の設計と交差部の補強

本線トンネルの掘削後に、集塵機室の設計が行われたため、設計に際し次の項目が検討された。

- (1) 本線トンネルおよび枝トンネルの補強の範囲の決定
- (2) 本線トンネルの支保の補強について
- (3) 枝トンネルの支保の補強について

以下にその詳細を述べる。

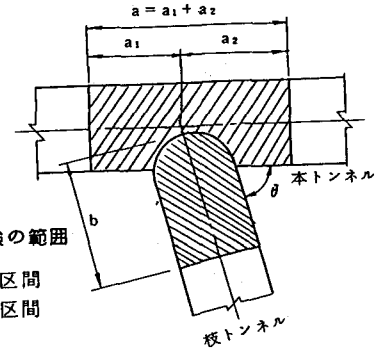


図-3. 交差部における補強の範囲

a: 本トンネルの補強区間
b: 枝トンネルの補強区間

3-1) 補強の範囲の決定

交差部において、トンネル支保の補強を必要とする範囲は、図-3のように本線トンネルと枝トンネルの補強区間に分けられ、明神トンネルの場合には表-1のように設計された。

表-1 明神トンネルの設計例

位置	交差角	集塵機室掘削幅	本坑掘削幅	補強の範囲			
				トンネル名	インバート	ロックボルト	覆工
送気側	75°	11.4m	13.9m	本トンネル	a ₁ = 15.5m a ₂ = 36.5m	a ₁ = 8.5m a ₂ = 22.5m	a ₁ = 15.5m a ₂ = 36.5m
				集塵機室	b = 24.1m	b = 24.1m	...
吸気側	65°	11.4m	11.1m	本トンネル	a ₁ = 18.0m a ₂ = 29.5m	a ₁ = 7.5m a ₂ = 23.5m	a ₁ = 18.0m a ₂ = 29.5m
				集塵機室	b = 22.1m	b = 22.1m	...

3-2) 本線トンネルの補強

本線トンネルの補強区間については、集塵機室の施工に先がけて次のような補強を行った。

- (1) 単鉄筋を配置した覆工コンクリートを打設する。交差部では枝トンネル掘削予定部分は箱抜きして打設する。
- (2) 枝トンネル掘削予定断面の箱抜き箇所周辺には長さ12mのロックアンカーを配置し、覆工を吊り下げる構構とした。
- (3) インバートコンクリート(T=500mm)打設することにより、閉合断面とする。

3-3) 枝トンネルの設計

枝トンネルである集塵機室の設計は、交差部の補強区間とそれ以外の区間とに分けられる。補強区間外の支保については、本線トンネルの標準部の設計に準じて表-2のように決められた。補強区間の支保は地山の変形を極力小さくし、かつ本線トンネルの覆工構造物への影響を最小限とするため、剛性を増加し、さらに沈下防止の支持機構も考慮して、次のように定められた。

- (1) 支保の剛性を高めるため、鋼製支保工はH-200×200を使用し、吹付コンクリート厚さを200mmとした。

表-2 集塵機室設計概要

DD1

- (2) 交差箇所では、アーチの脚部が切断される形状となるため、長さ12mのロックアンカーで吊り下げる支保構造とし、それ以奥の補強区間でも地山の変形を小さくするために長めのロックボルト(T=6m)を配置した。
- (3) 集塵機室の掘削方法は、本線トンネルと同じショートベンチとし、補強区間は吹付けコンクリートによる上半仮閉合を行い、下半掘削時にはインバートコンクリートを打設して閉合断面とする。

鋼製支保工	MU-29 c.t.c 1.0m
吹付コンクリート	t = 150 mm
ロックボルト	ℓ = 4 m 横断方向 c.t.c 1.2m 縦断方向 c.t.c 1.0m

4) 本線トンネル構造物への影響 (施工結果-1)

(1) 本線トンネルの内空変位、天端沈下

集塵機室の掘削により、本線トンネルの覆工コンクリート構造物に生じた内空変位および天端沈下量の分布は図-4のとおりで、つぎのように説明できる。

1. 天端沈下量は、最大4mmと小さく本線トンネル施工時の計測値(図-2)と比較すると、覆工コンクリートによる補強と長尺ロックアンカの補強の効果がうかがえる。
2. 内空変位量は、天端沈下量に比較して大きく、特に交差部にあたる広幅断面部では、局部的に大きくなっている。この箇所はインバートコンクリートで補強している区間である。

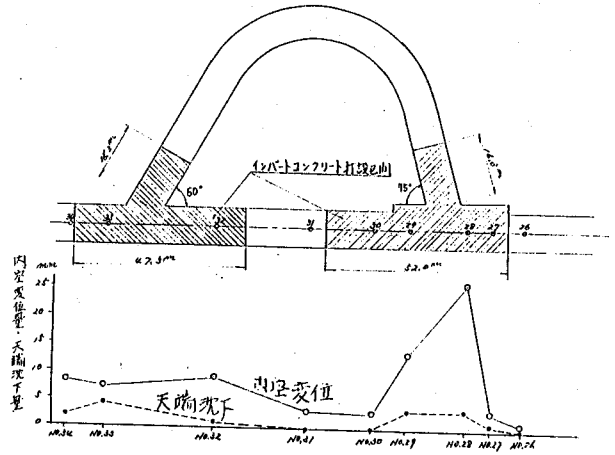


図-4 集塵機室の施工による本線トンネルへの影響

(2) 長尺ロックアンカの挙動

本線トンネル補強部に打設したロックアンカ(L=12m)のうち、非常駐車帯の交差部中央に設置した、M-1の計測結果は図-5とおりで、施工状況を併せて考察すると下記のようなものである。

1. 集塵機室の掘削開始と共にロックアンカの応力が増加し、その割合は上半切羽が約15m地点まで急激で、それ以後は徐々に低減している。
2. 集塵機室の下半部掘削の影響は、上半部に比較して小さく、インバートコンクリートの打設により落ち着く傾向にある。
3. 本線トンネルの覆工の天端沈下量が最大4mmであったことと考え併せると、箱抜き部の覆工をロックアンカで吊り下げる効果が明らかである。

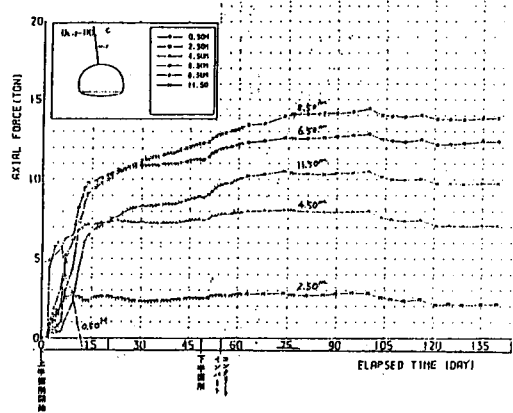


図-5 ロックアンカ軸力経時変化

(3) 覆工応力の計測結果

本線トンネル補強部の覆工コンクリートに設置した応力計のうち、箱抜き部周辺のアーチ肩部のT-5の計測結果は図-6のとおりで、次のような状況であった。

1. 集塵機室の掘削開始直後より約10日間は覆工応力の増加は微小であるが、その後上半部の掘削が本格的になると共に急激に増加し、下半掘削時にもすこし影響を受けるが、インバートコンクリートの打設と共に落ち着く傾向にある。
2. 集塵機室の掘削の影響による覆工応力の増

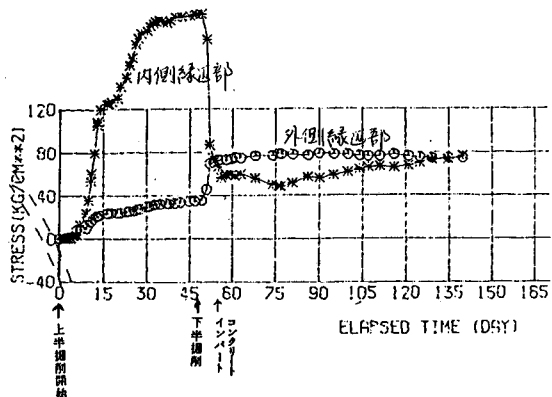


図-6 本線トンネル覆工応力の経時変化

加が最も著しいのはアーチの肩部であった。T-5計器には応力集中が生じ、それによりひびわれの発生がみられる。

3. 覆工の応力分布から、集塵機室の掘削により、覆工に作用する外力が偏圧状であったため、インバートの補強効果が推察される。

5) 集塵機室の計測結果

(1) 集塵機室の内空変位と天端沈下

集塵機室の掘削は、送気側より片押しで行い、各測点における下半部掘削終了後の内空変位と天端沈下量の分布は図-7のとおりで、次のことがうかがえる。

1. 本線トンネルとの交差の影響は、送気側、吸気側ともに、本線の中心線より30～40mに及んでいる。
2. 天端沈下量と内空変位量の比は、交差部では1/3以下であるのに対し、交差部以外の区間では約1/2となり、図-2のように単独トンネルの挙動と変らない。
3. 交差部では、内空変位の挙動が主であることより、集塵機室の上半部掘削に際しては仮閉合を、下半部掘削に際してはインバートコンクリートの打設の必要性がうかがえる。

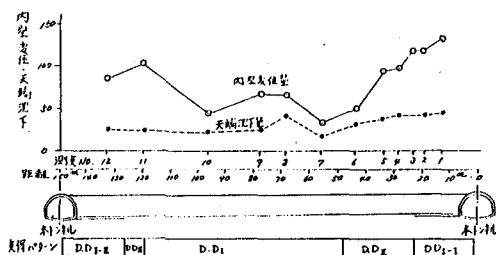


図-7 集塵機室施工時の内空変位と天端沈下量分布

(2) ロックボルトの計測結果

集塵機室補強部の支保構造の挙動を把握する目的で設置した測点N01(送気側本線中心線より14m地点)のロックボルト軸力の経時変化は図-8のとおりで、施工状況を併せて考察すると次のとおりである。

1. 上半部切羽で設置したロックボルトに設置直後より、急激に軸力が増加したため、他の軸力計および岩盤内変位計の計測結果を検討し、直ちに長さ8mのロックボルトの増打と、吹付けコンクリートの仮閉合を効果的にするため、インバートのコーナ部の増し吹きを行った。
2. 軸力計の一部にゲージオーバーの点もみられたが、増しボルトの効果で軸力の増加は落ち着き、その後下半部の掘削により多少の増加はみられるものの、インバートコンクリートの打設と共におちついた。

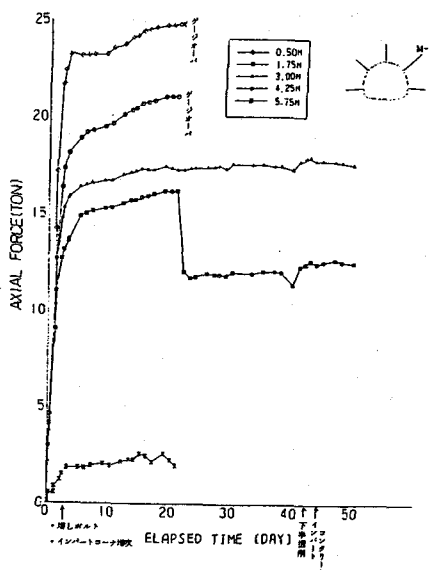


図-8 ロックボルト軸力経時変化図

6) おわりに

秩父古生層の中でも変成を強く受けた地帯では、本線トンネルのみの施工においても内空変位や天端沈下量は比較的小さい。このような箇所に集塵機室のような坑内交差の設計、施工を行った事例はすくない。今後類似工事に多少なりとも参考になれば幸いです。

[参考文献]

- 1) 毛利、他3名：トンネル交差部の地山挙動：第17回岩盤力学シンポジウム 60年2月
- 2) 日本トンネル技術協会：山岳トンネルの坑内交差部の設計、施工に関する研究報告書、60年2月

(18) Ground Behavior around Tunnel Intersection in construction.

by MASATOSHI MOORI	Japan Expressway Public Corporation
TUGUO TAKEBAYASHI	Shimizu Construction Co.,Ltd
TAKASHI YASUKOCHI	Shimizu Construction Co.,Ltd
SHIGEMI MATSUMOTO	shimizu Construction Co.,Ltd

Abstract

The Myozin tunnel where is a part of highway crossing Shikoku island, is about 3700m length. The tunnel is constructed through slate and schalstein of Chichibu Paleozoic Formation which had been weak rock by influence of Median Tectonic Line.

On the tunnel longitudinal flow ventilation system has been adopted. In order to introduce this ventilation system, it is necessary to construct electric bagfilter chamber beside main tunnel.

This chamber is linked to the main tunnel by connecting tunnel, which has same cross-section in comparison with the main tunnel while the connecting tunnel is constructed, complicated redistribution of stress in the natural ground in the vicinity of the main tunnel is anticipated to occur.

In the design and excavation work of electric chamber and connecting tunnel, the following are to be evaluated.

- 1) The range of main tunnel affected by connecting tunnel driving.
- 2) The distance along the connecting tunnel from the main tunnel beyond which connectig tunnel driving does not affect to the main tunnel.
- 3) The required stiffness of supports of the connecting tunnel.

In this paper, the above mentioned items based on the results of measurements while the connecting tunnel was constructed, are discussed.