

日本道路公団	高松建設所	高知工事事務所	毛利 真敏
日本道路公団	高松建設所	高知工事事務所	山川 俊幸
清水・森本共同企業体			峯 敏治
清水建設(株)			正会員○岡田 滋

1. はじめに

四国横断自動車道の明神トンネルにおいて換気方式を検討した結果、縦流換気方式を採用する事になり、それに伴って高知方坑口から約1600m付近に本線トンネル標準部と同等の断面を有する集塵機室を建設することになった。

本坑が単独に建設される場合には切羽周辺を除けば2次元の問題として考えられるのに対して、集塵機室が本坑と分岐する場合、大断面の交差部は構造的にも3次元の問題となり複雑な挙動をするため、集塵機室の設計に際しては、次の様な点を考慮しなければならない。(1)本坑掘削時の支保パターンに加えて集塵機室掘削のための本坑の補強が必要となるが、合理的な補強とその範囲をどの様に決めたらよいのか。(2)集塵機室の掘削が本坑に影響を及ぼすが、その影響の程度は集塵機室の支保状況あるいは支保の剛性により異なるため、集塵機室の設計に際してはどの範囲をどの様な支保で設計すればよいのか。(3)(1)および(2)を決める場合、3次元の挙動を把握し、これをいかに地山の挙動に合った合理的なしかも単純なモデルでおきかえたらよいのか。

本検討は、明神トンネル集塵機室が現在施工中であるため、施工の終了している排気側について上記(1)、(2)の問題に焦点をあて集塵機室の設計と施工及び施工中得られた計測結果から検討を加えることとする。なお、明神トンネルは本坑を上半先進ベンチカットのNATMで施工し、集塵機室の掘削もNATMで施工する初めてのトンネルである。

2. 明神トンネル集塵機室交差部の概要

明神トンネルは、四国横断自動車道の大豊～南国区間のうち最長の3727mのトンネルであり、現在下り線のみ暫定二車線の施工を行なっている。(図-1)

集塵機室は高知方坑口から約1600m付近に位置し(図-2)集塵機室周辺の地質は秩父古生層に属する輝緑凝灰岩、粘板岩あるいはそれらの互層からなっている。集塵機室排気側(本坑非常駐車帯)には、破碎され粘土化した断層がいくつか走っており、湧水もあって本坑掘削時に切羽が自立しない場合も見られ掘削終了後も、STA. 69+25付近では鋼製支保工(H-200×200)および吹付コンクリートに変状が見られた。吸気側は、クラッキーではあるが排気側とくらべると比較的良好である。

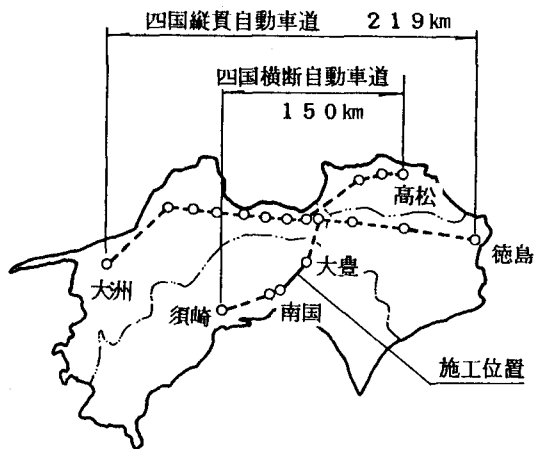


図-1 位置図

3. 交差部設計概要

集塵機室の設計基本方針を次の様に決定した。

(1)本坑を1次覆工のみで集塵機室の掘削を行なった場合、変形が生じて巻厚を侵し縫い返しを余儀なくされ

る可能性が高い。それを避け、力学的安定性を得るため本坑の覆工コンクリートは集塵機室掘削予定断面の部分だけ箱抜きして打設する。この場合、鉄筋コンクリート補強とする。

- (2) 本坑、集塵機室とも取合部付近はインバートコンクリートにより全断面閉合とする。
- (3) 本坑側は、二次覆工前にロックボルト、ロックアンカーを増ボルトして補強する。
- (4) 集塵機室掘削の施工は本坑と同じ上半先進ベンチカット工法とし、取合部付近は上半仮閉合をする。

設計概要を表-1 および図-4 に示す。

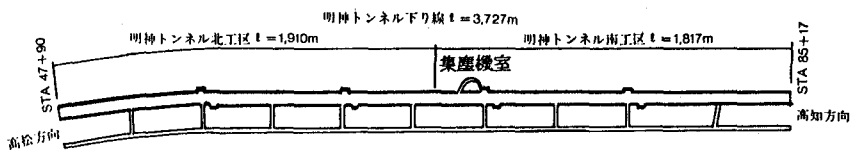


図-2 明神トンネル平面図

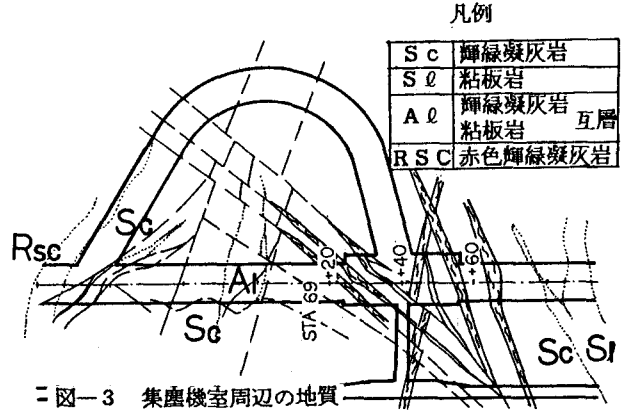


図-3 集塵機室周辺の地質

表-1 (a) 排気側本坑設計概要

設計	非常駐車帯 DL-2	鋼製支保工	H-200×200 c.t.c.l. 0 m
		吹付コンクリート	t=200mm
		ロックボルト	ℓ=6m (横断方向 c.t.c.l. 0 m 縦断方向 c.t.c.l. 0 m)
	標準部	鋼製支保工	MU-29 c.t.c.l. 0 m
		吹付コンクリート	t=150mm
		ロックボルト	ℓ=4m (横断方向 c.t.c.l. 2 m 縦断方向 c.t.c.l. 0 m)

補強	ロックボルト (ロックアンカー)	非常駐車帯	補強延長 24.5 m	ℓ=8m 274本 ℓ=12m 39本
		標準部	補強延長 6.5 m	ℓ=6m 60本
	覆工コンクリート		補強延長 31.5 m	主筋 D22φ250 配筋 D19φ300
			20.5 m	主筋 D19φ250 配筋 D16φ300
	インバートコンクリート		補強延長 52.0 m	t=500

(注) ロックアンカー ℓ=12m は上記数量の他 集塵機側に6本打設

表-1 (b) 吸気側本坑設計概要

設計	標準部 D1-2	鋼製支保工	MU-29 c.t.c.l. 0 m
		吹付コンクリート	t=150mm
		ロックボルト	ℓ=3m (横断方向 c.t.c.l. 2 m 縦断方向 c.t.c.l. 0 m)

補強	ロックボルト (ロックアンカー)	補強延長 31.0 m	ℓ=6m 247本 ℓ=12m 28本
	覆工コンクリート	補強延長 47.5 m	主筋 D19φ250 配筋 D16φ300
	インバートコンクリート	補強延長 47.5 m	t=500

(注) ロックアンカー ℓ=12m は上記数量の他 集塵機側に6本

表-1 (c) 集塵機室取合部設計概要

設計	DD1-1	鋼製支保工	H-200×200 c.t.c.l. 0 m
		吹付コンクリート	t=200mm
		ロックボルト	ℓ=6m (横断方向 c.t.c.l. 2 m 縦断方向 c.t.c.l. 0 m)
		上半板インバート	t=200

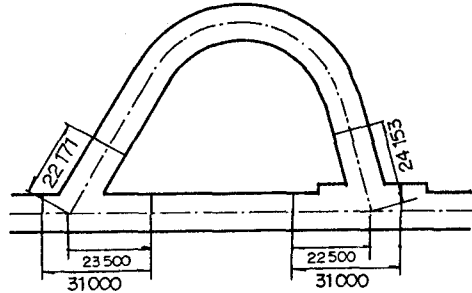


図-4 (a) 本坑ロックボルト補強範囲
および集塵機室補強範囲

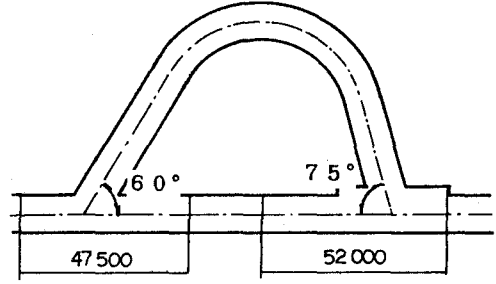


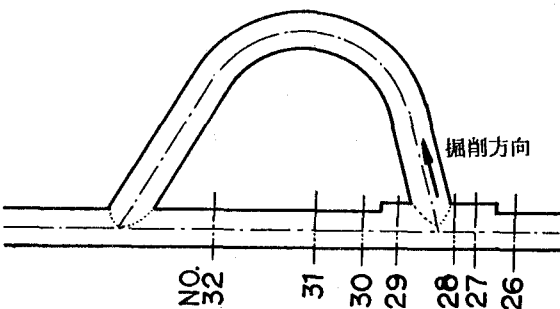
図-4 (b) 本坑鉄筋コンクリートおよび
インバートコンクリート範囲

4. 計測結果からの検討

4. 1 本坑が影響を受ける範囲

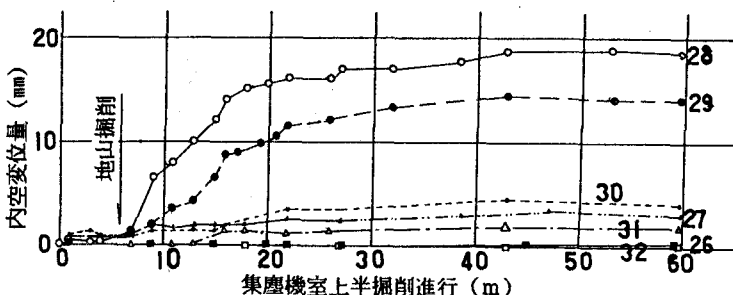
図一5は本坑の覆工コンクリートのSL位置での水平相対変位測定位置を、また図一6は変位を集塵機室の掘削進行との関係で表わしたものである。

図中の矢印は、本坑の一次覆工のはつりが終了して地山の掘削を本格的に開始した位置である。集塵機室は本坑に斜交しているため、最初鈍角側の掘削になり、次に鋭角側の掘削も開始される。本坑の一次覆工をはつっている時は覆工の



図一5 計測断面位置図

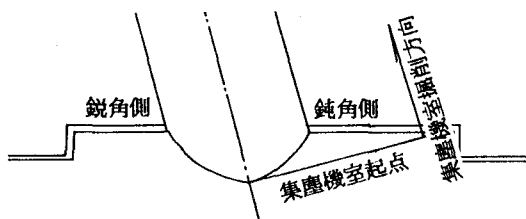
変位はほとんどないが、地山の掘削が本格化されるとすぐに本坑の計測断面NO. 28, NO. 29の変位が急増している。これはトンネル周辺の地山が支持リングとしての役割をはたしトンネルの安定を保っているところを掘削することにより応力再配置が生じるためであろう。その後、集塵機室上



図一6 集塵機室の進行と本坑内空変位の関係

半切羽が20m（本坑トンネル径をDとした時、本坑から約1.3Dの離れ）をすぎるところから変形が収束に向かい30m程度（本坑から約2Dの離れ）で収束している。

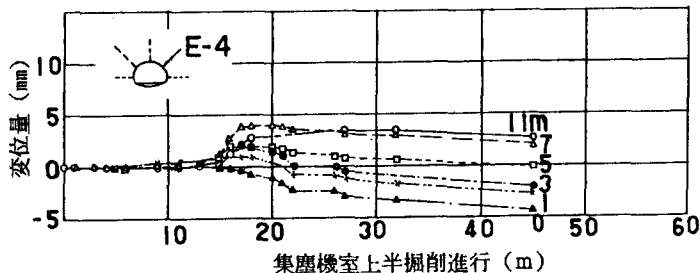
NO. 31の変位は、集塵機室の上半切羽が14～16m（本坑から約1Dの離れ）に来たとき変形が始まっているが、これは後述するように集塵機室掘削で上半切羽が14～16m付近に来たとき、鋭角側の地山の動きが急激に変化していること、およびそれと前後して本坑計



図一7 集塵機室排気側説明図

測側断面NO. 31付近の覆工コンクリートにクラックが生じていることよく合致している。

図一8は本坑の計測断面NO. 29の位置に設置した地中変位計の計測結果である。この図から集塵機室上半切羽が14m付近に到達したとき急激に地山が変位して



図一8 集塵機室の進行と地中変位の関係

いることがわかる。ここではE-4しか示していないが、これ以外の地中変位計のデータから、地山の動きは集塵機室側で非常に顕著で集塵機室と反対側では比較的小さいことがわかった。

この様に、集塵機室が本坑と斜交するため集塵機室掘削の進行に伴い本坑が受ける影響位置が鈍角側から鋭角側へ更にその先へと拡大してゆく傾向が認められ、その範囲はかなり広いものであった。

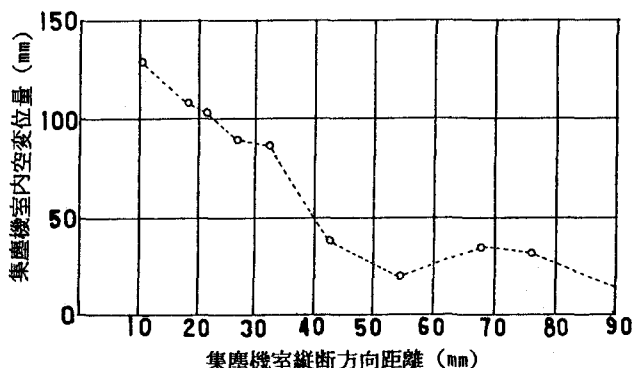
以上は、集塵機室上半掘削時に得られた観察、計測結果から述べてきた。下半掘削時には計測NO. 28、

NO. 29、すなわち集塵機室のすぐ近くで、内空相対変位あるいは地山の変位が全変形量の3割ぐらい出ているが、その他の計測断面では変化が見られず、下半掘削の影響範囲はかなり狭いことをうかがわせる。

これは、集塵機室の設計にあたって鋼製支保工にH-200を使う等一次覆工にかなりの剛性をもたせたこと、上半掘削時に上半インバートを吹付コンクリートで施工し断面の仮閉合を計ったことなどで、集塵機室上半施工時に極力ゆるみを抑えたことにより、下半掘削時の本坑への影響範囲を集塵機室近傍に限定できたのであると考えられる。

4. 2 集塵機室の支保剛性

設計の段階から集塵機室の本坑への影響を極力小さくするためには、集塵機室の支保剛性を大きくして集塵機室の変形をおこさせないことが重要と考え、鋼製支保工にH-200×200を使う等配慮した。しかし本坑の掘削により変化した応力を集塵機室掘削により再度変化させる事は予想以上にその影響が大きかった。図一9は集塵機室の各計測断面における水平相対変位の最大値を縦断方向にプロットしたものであるが本坑近くで変形が大きく、離れるに従って小さくなっている様子がよくわかる。この図では、本坑から30mくらい離れるまで変形が大きくなっており交差部のこの範囲にまで及んでいることをうかがわせる。4. 1で既に述べた集塵機室掘削の本坑覆工コンクリートに与える影響は30mくらい(本坑から約2Dの離れ)までであるという事とよく合致している。



図一9 集塵機室縦断方向の内空変位量(最大値)

以上の事から、本坑へ与える影響を極力小さくするためには、本坑からの2D(D:トンネル径)くらいの範囲はかなり剛性の高い支保を行なう必要があるように思われる。

実際にも、最初は当初設計通りの施工を行なったが、本坑の計測結果や集塵機室の計測結果から施工途中で一度切羽をとめて、ロックボルト $l=8$ mの増ボルトを行なったり、上半の側壁足もととインバートとの取り付け部を増吹付して前にもまして丸みをつける等の補強を行ない、これ以降しばらくの間設計を変更して支保の剛性を高める対策をとることにより無事排気側の施工を終らせることができた。

5. おわりに

明神トンネルでの集塵機室の施工および計測結果から、主として集塵機室掘削から受ける本坑の影響範囲と影響を及ぼす集塵機室の範囲及びその支保剛性について述べた。すなわち(1)集塵機室が本坑と斜交するため集塵機室掘削の進行に伴い本坑が受ける影響位置が鈍角側から鋭角側へ、更にその先へと拡大してゆく傾向が認められ、その範囲はかなり広いものであることがわかった。(2)本坑へ与える影響を極力小さくするためには、本坑から2D(D:トンネル径)くらいの範囲はかなり剛性の高い支保を行なう必要がある。

ただし、本検討は地質のあまり良くない場所での結果であり、かならずしもこの結果がすべてのトンネルにあてはまるとは限らないが今後の設計の参考になれば幸いである。今後は計測結果を踏まえて大断面交差部の設計計算あるいは解析のための合理的かつシンプルなモデルについて検討してみたいと考えている。

(55) Ground behavior around the tunnel intersection

Japan Highway Public Corporation

Masatoshi Mori

Toshiyuki Yamakawa

Joint Venture Shimizu & Morimoto

Toshiharu Mine

Shimizu Construction Co.Ltd.

Shigeru Okada

On the Myozin tunnel which is a part of highway crossing Shikoku island, longitudinal flow ventilation system has been adopted. In order to introduce this ventilation system, it is necessary to construct electric bagfilter chamber beside the main tunnel.

This chamber is linked to the main tunnel by connecting tunnel, which has the same cross-section as the main tunnel. When the connecting tunnel is constructed, complicated re-distribution of stress in the natural ground in the vicinity of the main tunnel is anticipated to occur.

In the design of electric chamber and connecting tunnel, the followings are to be evaluated.

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

In this paper, We discuss the above mentioned items based on the results of measurements.