

トンネル換気用ダクトPC天井板

— 西栗子トンネル PC 天井板工事報告 —

富士野昭典*・北見武夫**
 輿水千尋***・荒川敏雄****

1. ま え が き

換気を必要とする道路トンネルは、従来より、各所に施工されているが、換気用ダクトは、トンネルアーチ部分よりステンレス等のつり金具で天井をつり、車道空間と隔離するのが通例であり、PC板としては、関門トンネルにその実績がある。しかしこのつり金具は高価であり、そのうえ、維持費等がかさむので、西栗子トンネルでは、PCプレキャスト曲り板を用いたアーチ構造とし工費の節減、工期の短縮をはかった。

西栗子トンネルは、国道13号線福島・米沢間にあり延長2675mで、道路トンネルでは関門、笹子についてわが国第3位の長大トンネルであり、昭和38年6月に着工、昭和41年3月にしゅん工した。天井板工事は、昭和40年11月下旬より、トンネル内舗装工事と並行して行なった。以下にこの天井板の設計、製作、架設について報告する（写真-1、図-1~3）。

2. 設 計

天井板の計算は、2ヒンジアーチとして行ない、架設時の作業荷重および換気による風圧について検討した。

一般に、換気による風圧は作業荷重に比べて小さく、かつアーチの応力状態は等分布荷重より偏載荷重載荷時が危険側となるので、応力計算は作業荷重について行なえば十分であると考えられるが、偏平なアーチであるので架設後の塑性変形の板への影響は見逃せないものと思われる（表-1）。

(1) 架設時の作業荷重に対する検討

- * 建設省東北地方建設局福島工事事務所長
- ** 建設省東北地方建設局福島工事事務所調査課長
- *** ピー・エス・コンクリート株式会社仙台事務所工務課長
- **** ピー・エス・コンクリート株式会社技術部

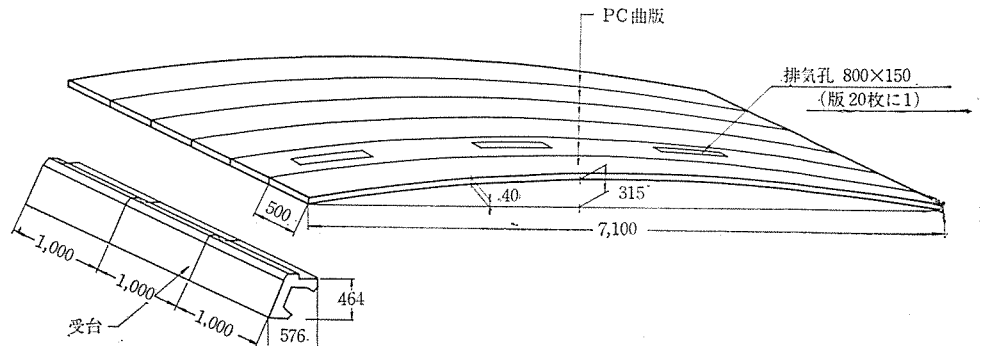


写真-1 架設したPC天井板

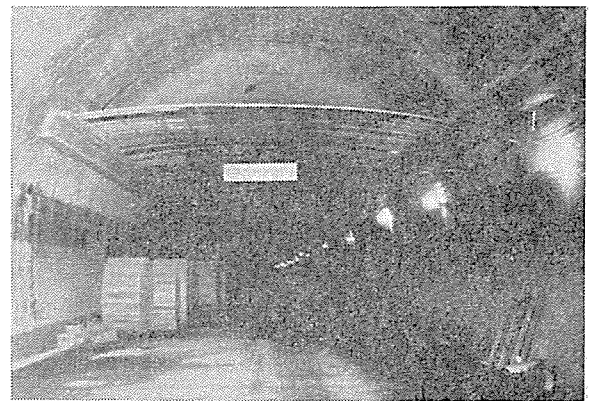


図-1 西栗子トンネル標準断面

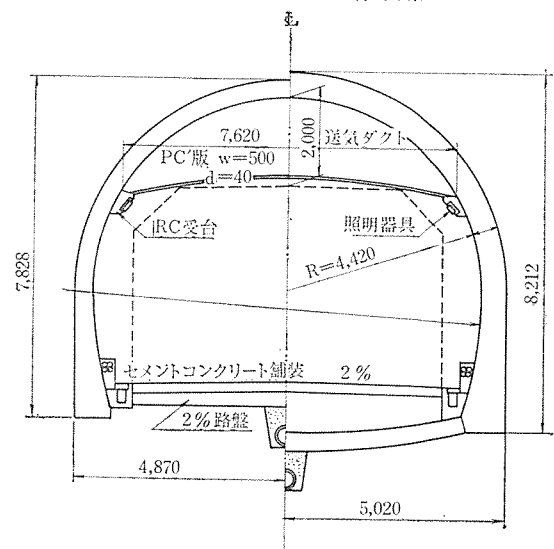


図-2 天井の構造

図-3 天井板構造図

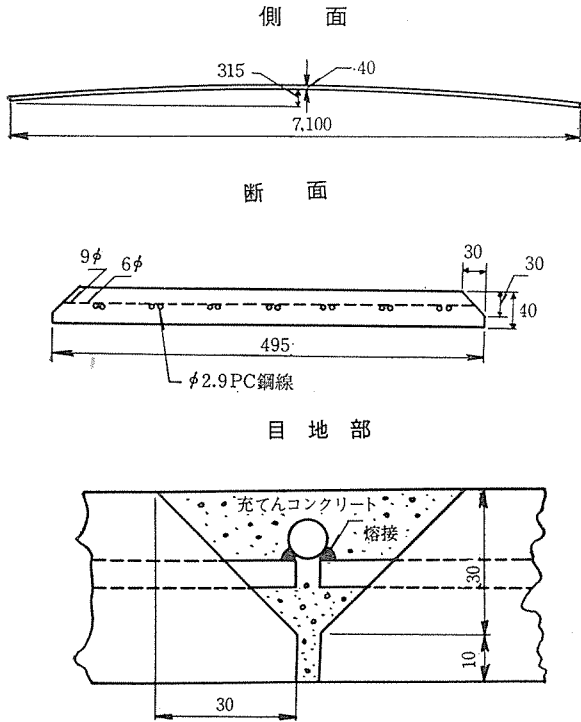


表-1

設計条件

形式	プレテンション方式プレレストコンクリート2ヒンジアーチ	
スパン	7.10 m	
荷重	作業荷重 180 kg/m ² , 換気による風圧 130 kg/m ²	
アーチ形状	$y=4f/l^2 \cdot (l-x)x$, $l=7.10$ m, $f=0.315$ m	
コンクリート	$\sigma_{28}=500$ kg/cm ²	
PC鋼線	$\phi 2.9$ $\sigma_{pu}=165$ kg/mm ²	

断面諸数値

幅	$b=50$ cm	断面係数	$Z=133$ cm ³
厚さ	$h=4$ cm	回転半径	$r^2=1.33$ cm ³
断面積	$A=200$ cm ²	PC鋼線の偏心	$e_p=0$
断面2次モーメント	$I=267$ cm ⁴	有効プレレスト	$P_e=10500$ kg

$I \cos \varphi = I_c$, $A \cos \varphi = A_c$ と仮定し、アーチの形状を放物線 $y=4f/l^2 \cdot (l-x)$ とすると、偏平アーチの不静定反力 H は、

$$\begin{cases} H = \frac{5}{8} (\xi - 2\xi^3 + \xi^4) \cdot \frac{l}{f} \cdot r \quad \left(\xi = \frac{x}{l} \right) \\ r = \frac{1}{1+\mu} \quad \mu = \frac{15}{8} \cdot \frac{1}{f} \cdot \frac{I_s}{A_s} \end{cases}$$

より求められる。数値を代入して、

$$\mu = 0.0025, \quad r = 0.998$$

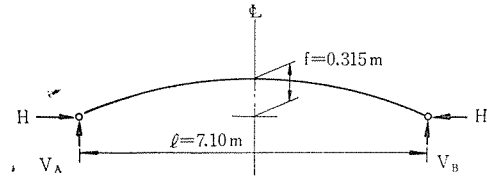
$$H = 14.05(\xi - 2\xi^3 + \xi^4) \quad \text{となる (図-4)}.$$

曲げモーメントおよび軸力は、

$$\begin{cases} M = \mathfrak{M} - H \cdot y = y(\mathfrak{M}/y - H) \\ N = \mathfrak{N} \sin \varphi + H \cos \varphi \end{cases}$$

ただし、 $y_{l/4} = 3/4 f = 0.236$ m

図-4



で計算され、 $r=1$ の場合、最大最小曲げモーメントは $l/4$ 点に生ずる。 $l/4$ 点の曲げモーメントの影響線の面積は、

$$A_{M_{\max}} = 0.500 l, \quad A_{M_{\min}} = -0.486 l$$

軸力の影響線は、

$$N = \mathfrak{N} \sin \varphi + H \cos \varphi = \left(\mathfrak{N} \frac{\sin \varphi}{\cos \varphi} + H \right) \cos \varphi$$

第1項 $\mathfrak{N} \tan \varphi$ は H に比較してきわめて小さく、無視しうる。さらに $\cos \varphi \approx 1$ であるから $N \approx H$ として計算する。影響線面積は、

$$\begin{cases} A_H = 2.412 l \\ A_{H(0.435l)} = 1.049 l \quad (M_{\max} \text{ の荷重}) \\ A_{H(0.565l)} = 1.363 l \quad (M_{\min} \text{ の荷重}) \end{cases}$$

自重 $p_d = 50$ kg/m, 作業荷重 $p_l = 90$ kg/m とすると、上記各影響線面積より、

$$M_d(l/4) = y_{l/4} \cdot p \cdot (A_{M_{\max}} - A_{M_{\min}}) = 117.8 \text{ kg} \cdot \text{cm}$$

$$N_d(l/4) = p \cdot A_H = 856 \text{ kg}$$

$$M_{\max} = y_{l/4} \cdot p \cdot A_{M_{\max}} = 7540 \text{ kg} \cdot \text{cm}$$

$$M_{\min} = y_{l/4} \cdot p \cdot A_{M_{\min}} = -7330 \text{ kg} \cdot \text{cm}$$

$$M_{\max} \text{ 時の } N = 670 \text{ kg}$$

$$M_{\min} \text{ 時の } N = 871 \text{ kg}$$

$$N_{\max} = 1541 \text{ kg}$$

となる。

自重による曲げ応力度は、

$$\sigma_d = \frac{N_d}{A} \pm \frac{M_d}{Z} = +5 \text{ kg/cm}^2$$

最大曲げモーメントによる曲げ応力度は、

$$\sigma_{M_{\max}} = \frac{N_{M_{\max}}}{A} \pm \frac{M_{\max}}{Z} = -53$$

最小曲げモーメントによる曲げ応力度は、

$$\sigma_{M_{\min}} = \frac{N_{M_{\min}}}{A} \pm \frac{M_{\min}}{Z} = +60$$

有効プレストレスを $\sigma_{pe} = p_e/A = 53$ kg/cm² とし曲りばりとしての曲げ応力は考慮しない。合成応力度は、最大曲げモーメントに対して、

$$\sigma_c = +118 \text{ kg/cm}^2$$

最小曲げモーメントに対して、

$$\sigma_c = +7 \text{ kg/cm}^2$$

軸圧縮力の最大値に対して、

$$\sigma_c = +65 \text{ kg/cm}^2$$

(2) 換気による風圧に対する検討

換気による風圧は満載荷重となるのでアーチ頂点について計算する。

$$H = p \int_0^l \frac{5}{8} \left\{ \left(\frac{x}{l} \right)^4 - 2 \left(\frac{x}{l} \right)^3 + \left(\frac{x}{l} \right) \right\} \frac{l}{f} r dx$$

$$= \frac{pl^2}{8f(1+\mu)}$$

$$M_s = \mathfrak{M} - H \cdot f = \frac{pl^2}{8} \cdot \frac{\mu}{1+\mu}$$

荷重 $p = p_d + p_s = 50 + 65 = 115 \text{ kg/m}$ を代入して計算すると、 $H = 2290 \text{ kg}$, $M_s = 182 \text{ kg/cm}^2$, $\sigma_c = +66 \text{ kg/cm}^2$ (上縁) + 63 kg/cm^2 (下縁) となり、応力度については問題はない。

この載荷状態におけるたわみの一般式は次式で示される。

$$\delta = \int \frac{M\bar{M}}{EI} ds + \int \frac{N\bar{N}}{EA} ds$$

トンネル内の温度変化は微小と考えこれを無視した。同様に、せん断の項も無視することとする。

$$y = \frac{4f}{l^2} (l-x), \quad H = \frac{pl^2}{8f(1+\mu)} \quad (\mu = 0.0025)$$

$$M = p/2(l-x) \cdot x, \quad N = H \cos \varphi$$

$$\bar{M} = 1/2 x \quad (x=0 \sim l/2)$$

$$\bar{H} = \frac{25}{128} \cdot \frac{l}{f} \cdot \frac{1}{1+\mu}$$

としてアーチ頂点のたわみを計算すると、

$$\int \frac{M\bar{M}}{EI} ds = 2 \cdot \frac{1}{EI} \int_0^{l/2} \left\{ \frac{p}{2} (l-x)x - H \cdot y \right\} \times \left\{ \frac{1}{2} x - \bar{H} \cdot y \right\} dx = \frac{5pl^4}{768EI} \left(\frac{\mu}{1+\mu} \right)^2$$

$$\int \frac{N\bar{N}}{EA} ds = \frac{1}{EA} \cdot \frac{pl^2}{8f(1+\mu)} \cdot \frac{25}{128} \cdot \frac{l}{f} \cdot \frac{1}{1+\mu} \int_0^l dx$$

$$= \frac{25pl^4}{1024EAf^2} \left(\frac{1}{1+\mu} \right)^2$$

$(\mu/1+\mu)^2 \approx 0$ となるので、曲げの項も無視できる。自重のみの場合、 $p = 50 \text{ kg/m}$ を代入すると、

$$\delta_{cd} = 0.389 \text{ mm}$$

風圧 $p = 65 \text{ kg/m}$ により、

$$\delta_{cs} = 0.506 \text{ mm} \quad \text{となる。}$$

(3) コンクリートのクリープ・乾燥収縮の不静定反力におよぼす影響および、それらによる変形に対する検討

プレキャスト部材であるから、架設前の塑性変形による影響は考慮する必要はないが、架設後、荷重やプレストレスにより、コンクリートに収縮がおり、応力度は変化し、変形が生ずるものと考えられる。

荷重(自重および風圧)によるクリープの影響は、弾性理論により $H = -\delta_{a0}/\delta_{aa}$ で求められるが、いまクリープ係数を φ とすれば、

$$H_{1+\varphi} = -(1+\varphi)\delta_{a0}/(1+\varphi)\delta_{aa} = H$$

となり、無筋コンクリートの場合、荷重によるクリープは不静定反力には影響しない。

プレストレスによるクリープの影響は、この場合、PC鋼線の偏心がなく、また、プレテンション部材であるからプレストレス導入時の不静定反力は生じないので、これらによる部材の回転角の変化は生じない。したがって軸方向力による圧縮ひずみのみを考慮すればよいが、プレストレス $P = \text{一定}$ 、全断面クリープ係数一定と考えれば、前記荷重と同様、クリープによる不静定反力は生じないと考えられる。

乾燥収縮による不静定反力は、

$$H_s = H_{s0} \left(\frac{1 - e^{-\varphi\infty}}{\varphi\infty} \right)^2$$

で求められる。

$$H_{s0} = -\frac{\varepsilon_c l}{\delta_1}$$

(クリープが起らないとした場合の不静定反力)

$$\delta_1 = \int \frac{y^2}{EI} ds + \int \frac{ds}{EA} = 1.41 \times 10^3 / E_c$$

$$E_c \cdot \varepsilon_c \cdot l = 5.68 \times 10^4 \quad (\varepsilon_c = 20 \times 10^{-5})$$

$$H_{s0} = -40.4 \text{ kg}$$

ゆえに、

$$H_s = -40.4 \times \frac{1 - e^{-2.0}}{2.0} = -17.1 \text{ kg} \quad (\varphi = 2.0)$$

以上により、塑性変形による不静定反力は無視しうるものと考えられる。

荷重によるクリープ変形は、静定基本系の支点位置で曲げモーメントにより、

$$\Delta l_M = \int \frac{M}{EI} y ds = \frac{1}{EI} \int (M_0 - M \cdot y) \cdot y dx$$

$$= \frac{pl^3 f}{15EI} \cdot \frac{\mu}{1+\mu}$$

軸力により、

$$\Delta l_N = \int \frac{N \cos \varphi}{EA} dx = \frac{1}{EA} \cdot \frac{pl^3}{8f(1+\mu)}$$

の水平移動が生ずるものと仮定する。

$(\mu/1+\mu) \approx 0$ であるから軸力の項のみを考慮する。クリープ係数 $\varphi = 2.0$ とすると $\Delta l = 0.406 \text{ mm}$ となる。実際には支点の移動は生じないのであるから、アーチ頂点においてつぎの鉛直たわみを生ずる。

$$\delta_c = \left(\mathfrak{D} + \frac{y}{l} \right) \Delta l^3$$

ただし、 \mathfrak{D} :アーチ頂点における水平反力影響線の縦距
ゆえに、

$$\delta_c = \left(4.391 + \frac{315}{7100} \right) \times 0.406 = 1.80 \text{ mm}$$

(荷重によるアーチ頂点のたわみにクリープ係数を乗じたものは $\delta_c = \varphi(\delta_{cd} + \delta_{cs}) = 2.0 (0.389 + 0.506) = 1.79$ mm) プレストレスによるクリープたわみも上記同様に考えると、静定基本系の支点位置で、

$$\Delta l = - \int_0^l \varepsilon_{01} t^n ds$$

だけ水平移動する。

プレストレスによる鉛直分力を考慮すると、

$$\delta_c = \left(\mathfrak{D} + \frac{y}{l} \right) \Delta l + \int_0^{l/2} \varepsilon_{01} t^n \tan \varphi dx$$

ただし、鉛直分力による項は微小なるためここでは無視する。

$$\Delta l = \varphi \cdot \frac{\sigma}{E} \cdot l = 1.88 \text{ mm}$$

ゆえに、

$$\delta_c = \left(4.391 + \frac{315}{7100} \right) \times 1.88 = 8.34 \text{ mm}$$

同様に乾燥収縮によるものは、

$$\Delta l = \varepsilon_s \cdot l = 1.42 \text{ mm}, \delta_c = 6.30 \text{ mm}$$

となる。

したがって、弾性変形によるアーチ頂点のたわみは、

$$\delta_c = 0.389 \times 0.506 = 0.895 \text{ mm}$$

塑性変形によるアーチ頂点のたわみは、

$$\delta_c = 1.80 + 8.34 + 6.30 = 16.44 \text{ mm}$$

となり、かなり大きい値を示す。これは $f=315$ mm に対し 5.2% の値となる。しかし水平反力も等しく 5.2% 変化し、アーチ形状も放物線のまま f の値のみが 5.2% 変化したとすれば、曲げモーメントには大きな影響はない。

以上により、応力度については作業荷重時が最大となり、これに対する検討を行なっておけば十分と思われる。塑性変形は応力度に与える影響は無視できるが、変形はかなりの値を示す。計算では $\varphi=2.0$ としたが、プレキャスト部材であるので、架設までにある程度の時間をとることができれば、変形量を減ずることができると考えられる。

3. 板の製作および試験

トンネル完成工期より推して、全 5350 枚を製作するには、1日少なくとも 40 枚製作しなければならなかった。当然、製作方法が問題になったが、既存の設備を利用するのが確実であり、もっとも有利であると判断してロングライン方式により製作することとした。

量産の前に、板の力学的性状を知るとともに量産した場合の問題点を把握するため、まずインディビジュアル方式で試作試験を行なった。

各部材に所定のプレストレスを導入することは、部材

強度の上から当然のことであるが、プレキャスト板を並列する構造から、各板のプレストレスによる変形もできる限り等しくしなければならなかった。緊張方法、PC 鋼線位置を保持するスペーサー、型わくの構造等が問題となった。型わくは、その変形、回転等から鋼製とした。コンクリートは、打設中端部へ向って流れやすく、材料の分離がおこりやすいので、配合、振動締め固め方法、打設方法等を検討し、ウォークラブルなコンクリートが得られるよう努めた。緊張方法のみが量産の場合のそれと異なるので完全な解決はできなかったが、その他の問題は試作の段階で解決できた。

緊張時、摩擦による PC 鋼線引張力の損失は予想に反して大きかったので、ロングライン方式で製作する場合、アバット内の各板のプレストレスを等しくするため、PC 鋼線引張力を等しくすることが重要な課題であった。したがって後述するような PC 鋼線押し下げ方法を採用することとした。

実際の製作は、1日当たり 42 枚 (1アバット 7枚 × 6列) であった。1工程当りの作業順序はつぎのとおりである。

- 1) ベースチャンネル上にアーチ型の型わくをならべる。

写真-2 型 わ く

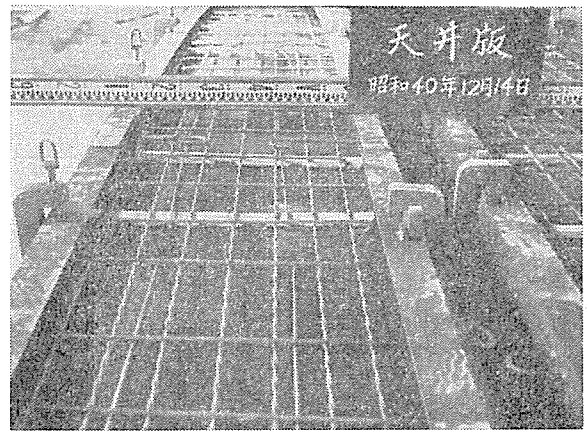


写真-3 PC 鋼線押し下げ装置

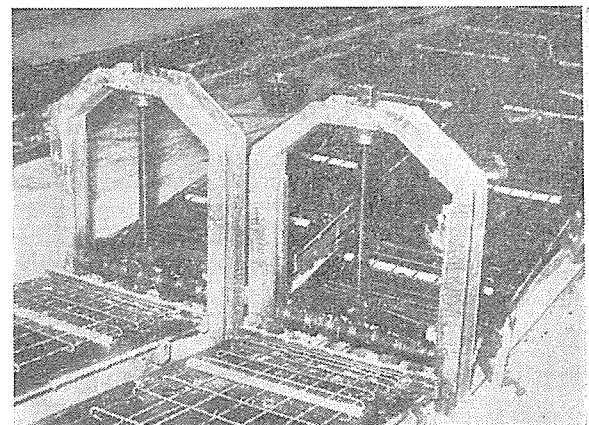


写真-4 コンクリート打設



写真-5 天井板製作状況

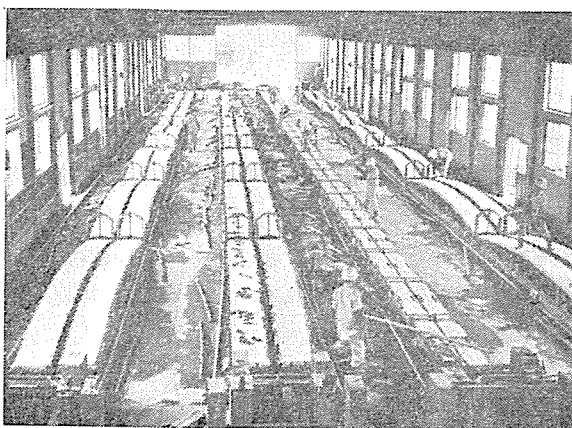
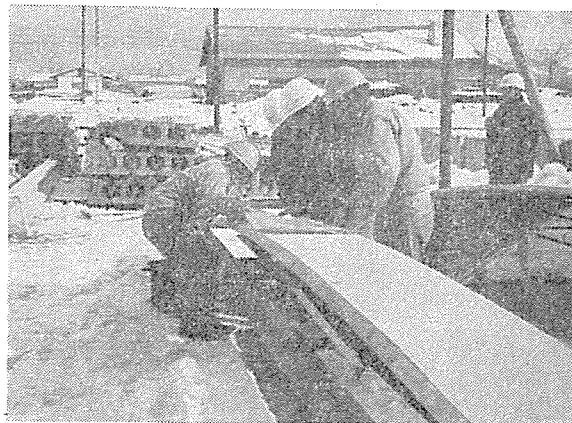


写真-6 検 査



げによる伸びの分だけ 2) による引張力に加算されるわけである。すなわち、最初に水平に引張るときの PC 鋼線応力度は、

$$\sigma_{p0} = \frac{\sigma_{pi} - \frac{\Delta l E_p}{L}}{1 - \gamma}$$

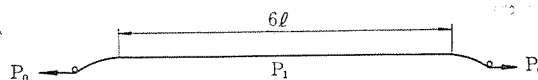
ただし、 σ_{p0} : 第1次緊張時 PC 鋼線応力度

σ_{pi} : 導入時引張応力度

Δl : 押し下げによる伸び

γ : 第1次緊張時摩擦損失係数 (図-5 参照)

図-5 第1次緊張



実験の結果、摩擦損失係数は $\gamma = (1 - P_0/P_1) = 0.15$ であった。 σ_{pi} は高温養生による補正を行なったものである。第1次緊張で PC 鋼線を σ_{p0} で引張り、中間6カ所を一定の速さで同時に押し下げる。この場合、両端の板には前記の摩擦による引張力の減少があり、さらに定着時のセットの損失があり、これらのために両端で第2次緊張を行なった。

製作した板について荷重試験を行ない、力学的性質を確かめたが、結果は期待したとおりで、満足しうるものであった。

製作後、取り出した板はかなりの可撓性があり、架設

写真-7 荷重試験 (天井板)

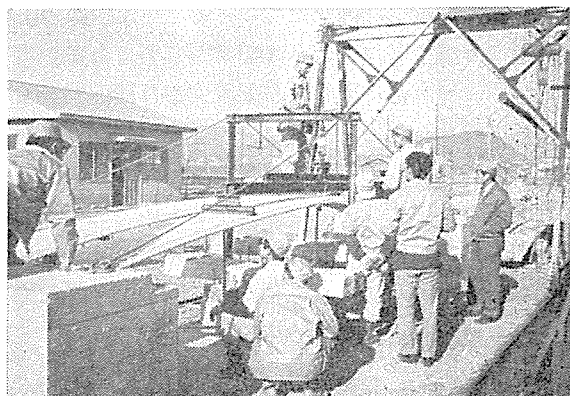
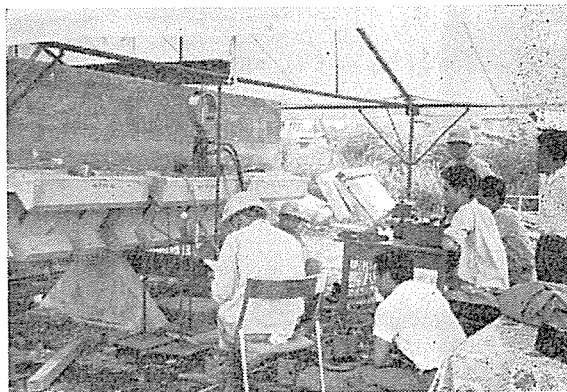


写真-8 荷重試験 (受け台)



2) PC 鋼線の緊張、押し下げ時の摩擦損失を考慮しまず水平に緊張する。

3) 各型わく間で PC 鋼線を押し下げ、アーチに沿って所定の緊張力を与える。両端で2次緊張。

4) コンクリート打設。

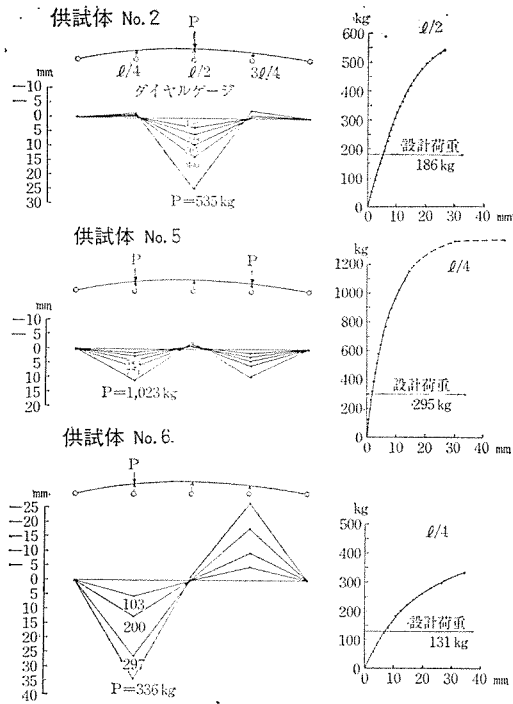
5) 養生

6) プレストレスの導入。

7) 製品の取出し。

2), 3) の項目については、製作前に実験により確認した。プレストレス導入時の PC 鋼線引張力は、押し下

図-6 荷重試験・荷重-たわみ曲線の一例



時に、各板のそりの多少の差は容易に調整しうる事が予想された。しかし一度両端を固定した後は想像以上の大きな剛度を示した(図-6、写真-7,8)。

4. 架 設

天井板の架設は、トンネル工事の最終段階に行なわれるのが一般で、架設計画をたてるにあたって、他の工種の工程進捗を阻害しないような配慮が必要である。

本トンネルの場合、天井板の架設工事は路面舗装工事と並行して行なわれたため、材料の運搬、路面の状態等を考慮し、写真-9 に示すような架設用台車を製作し、工事を進めた。

板の架設においてもっとも留意したのは、スパン長の確保である。ちなみに支点移動による影響を計算してみると、支点移動 Δl による水平反力は、

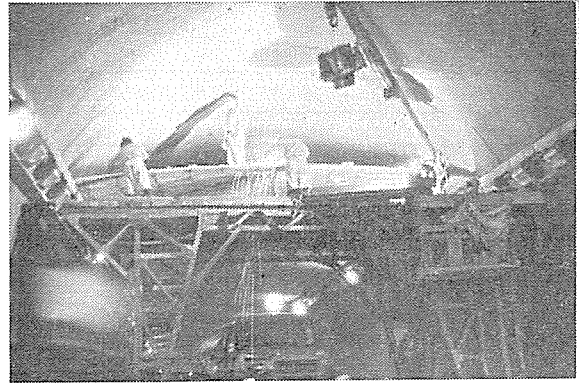
$$H = \frac{\Delta l}{\int \frac{y^2}{EI} ds + \frac{\cos^2 \varphi}{EA} ds} \approx \frac{\Delta l}{\frac{5}{8} \cdot \frac{f^2 l}{EI}}$$

で表わされ、数値を入れて計算すると、

$$H = 28.4 \Delta l \text{ kg} \quad (\Delta l \text{ は mm の単位})$$

すなわち、1 mm の移動で、 $H=28.4 \text{ kg}$ となりアーチ頂点の曲げモーメントは、 $M=895 \text{ kg}\cdot\text{cm}$ 曲げ応力度で $\sigma_c = \pm 6.7 \text{ kg/cm}^2$ となる。またアーチ頂点のたわみは、 $\delta = 4435 \Delta l$ となり他の応力、たわみに比較してかなり大きな値となる。そのため図-7、写真-11 に示すように、まずトンネル覆工コンクリートの仕上がり面の凹凸を受け台背面の突起部で調整し、受け台前面間隔をほぼ所定の長さになるよう受け台を取りつけ、板スパンに

写真-9 PC 板架設台車



については受け台に埋め込まれたボルトに $40 \times 40 \times 3.0$ の山形鋼を現場溶接し、支点位置を一定にする構造とし、受け台取付完了後、スティールテープで正確に測定し、山形鋼の位置を決定した。山形鋼は1本 4m の長さのものを使用し、板1枚1枚のずれをなくし、外観をそろえるようにした(図-7、写真-10,11)。

板のそりについては、スパンの長さを一定にすれば、板相互のずれはきわめて少ないはずであるが、製作後、架設時までの間のクリープの進行、また、運搬時における板相互のひずみのずれにより、架設時における板相互のそりに若干の差が生じた。

運搬時には7枚の板を1組とし、正規のそりを有する

図-7 受 台

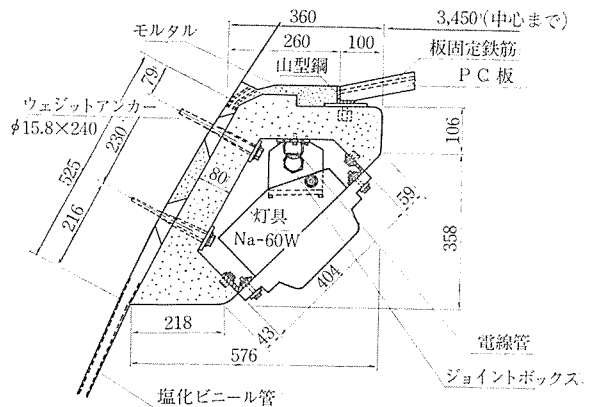


写真-10 受け台取付け、裏込めモルタルでん充



写真-11 支 承 部



台の上に重ねて運搬したのであるが、工場より現場まで約 80 km、一部改良工事の道路があったためか、重ねた板のうち下の方の板がライズ不足の状態になる傾向があった。

このそりのずれの調整は、正規のライズを有する板を規準に「□」形の治具で新たに架設した板を固定し、またこの治具のみで調整のとれない板は、台車上のジャッキで押し上げ治具で固定したのち、板継ぎ鉄筋（目地鉄筋 $\phi 9$ mm）を溶接し板を固定した。この鉄筋は施工時に板相互のずれを調整し、外観を平滑に整えるとともに集中荷重（作業荷重）に対し剛度を増し、振動を少なくするうえにきわめて有効な働きをしている（写真-12、13）。

さらに板相互の目地には、目地通し鉄筋（ $\phi 9$ ）を端部

写真-12 継ぎ鉄筋溶接目地モルタルてん充

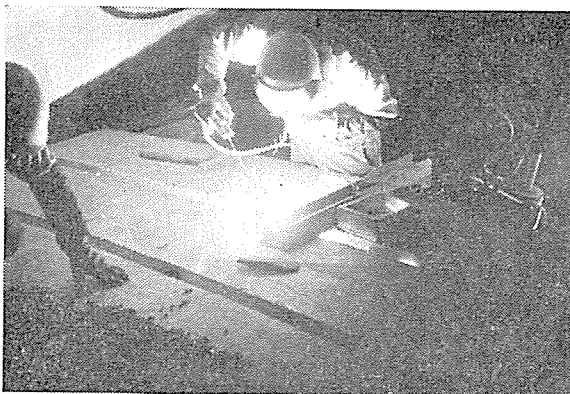
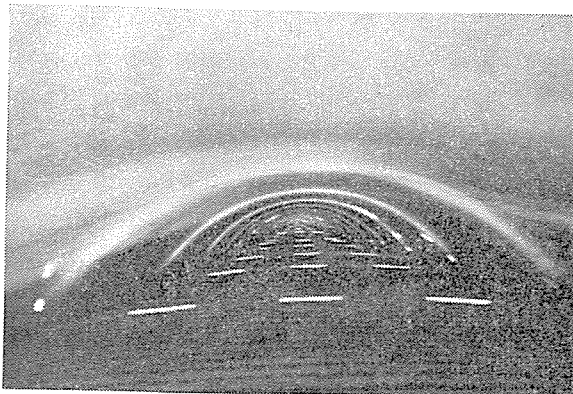


写真-13 完成したダクト



の継ぎ鉄筋と支点山形鋼に溶接したが、これは送風機逆転時における揚力に対して考慮したものである。架設は 1 組の台車で坑口から片押しで進められたが、その実績工程および歩掛りは表-2 のとおりである。

実績工程

受け台取付け：平均 69.4 m/日（最高 160 m/日）

天井板架設：平均 30 m/日（最高 40 m/日）

ただし平均日工程は、架設開始後完了まで休日もふくむ平均延べ進捗（作業日は 2 交代実働 10 時間）による。

表-2 実績歩掛り

1) 受台取付 1 m 当り（ブロック 2 個）

種 別	名 称	単 位	数 量	摘 要
ブロック取付	世話役	人	0.030	ウエジットアンカー 締付まで
	人 夫	人	0.100	
荷 卸 小 運 搬	運転工	人	0.030	
	人 夫	人	0.030	
アングル溶接	溶接工	人	0.060	
	人 夫	人	0.060	
型わく組下し	大工	人	0.050	背面タルモル
	人 夫	人	0.100	
モルタル打設	人 夫	人	0.500	練りまぜふくむ
	跡 片 付 け	人 夫	0.005	

2) 天井板取付け 1 m 当り（板 2 枚当り）

種 別	名 称	単 位	数 量	摘 要
P C 板取付け	世話役	人	0.060	
	人 夫	人	0.120	
荷 卸 小 運 搬	運転工	人	0.060	
	人 夫	人	0.060	
鉄 筋 溶 接	溶接工	人	0.120	鉄筋切断手間とも
	人 夫	人	0.060	
モルタル打設	世話役	人	0.040	
	人 夫	人	0.300	
跡 片 付 け	人 夫	人	0.003	練りまぜ小運搬ふくむ目地および支点部

5. む す び

天井板は、曲率半径はきわめて大きいとはいえ、曲り板であるので、設置したあとのトンネル内が広く感じられ、ダクト内の排水はきわめて良好である。しかしわが国では初めての試みでもあり、構造・その他にまだ改良されるべき点多々あると思われる。例えば、受け台の形式、プレキャスト板相互の目地等である。

外国では、スイスの Mosi tunnel で、栗子トンネルとほぼ同時期に、同様形式の天井板が使用されている⁴⁾。

本設計の採用を認められた、建設省道路局、土木研究所、東北地方建設局の関係諸氏に敬意を表するとともに板製作にあたってピー・エス・コンクリート株式会社、および架設にあたった村上建設株式会社関係各位の熱意と努力に謝意を表するものである。

参 考 文 献

- 1) 日本道路公団：関門トンネル工事誌，土木学会
- 2) 猪股俊司：プレストレスト コンクリート，技報堂
- 3) 土木学会編：土木工学ハンドブック，技報堂
- 4) Mosi tunnel：Strasse und Verkehr Nr. 13 Dezember

1966. 12. 27・受付