

新神戸トンネル有料道路のPC舗装

—主として試験について—

橋 詰 義 男*
峯 村 伸 夫**

1. はじめに

神戸は六甲山系を境に細長く東西にのびた市街地と西北神戸地区に分かれているが、近年裏六甲側の北神戸地区は、大規模な住宅地の開発造成が行われていて、人口は増加の一途をたどっている。現在、両市域を結ぶ交通機関には、神戸電鉄と、県道神戸三田線および六甲山トンネルがあるが、いずれも相当の混雑度を呈している。この新神戸トンネルはこれらの交通緩和を図るため、六甲山の環境を破壊せずに短絡し、両地域間の結びつきをなおいっそう強め、市民の利益増大に寄与する目的で建設

されたもので、延長約7kmの第3種2級道路である(図-1)。

本トンネルのような長大トンネルで、しかも都市地域の生活幹線道路として毎日市民が通勤、ビジネス等に利用することを考えると、その安全性、耐久性、走行性において一般道路以上にサービスレベルの高い舗装形態が要求される。その他トンネル内舗装で欠くことのできない特殊条件、すなわち、湧水の変化による路盤支持力が低下をきたしても、たわみ性があり、曲げ抵抗が大であること、また経済性を考慮し下層路盤材にトンネル掘削により発生する“ずり”を使用しても、それに対応でき

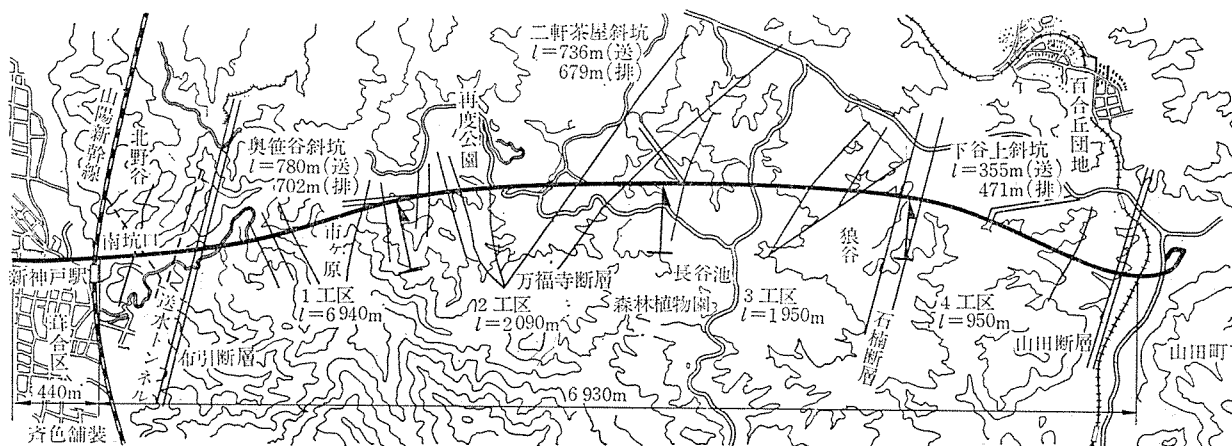


図-1 新神戸トンネル平面図



写真-1 ケーブル配置

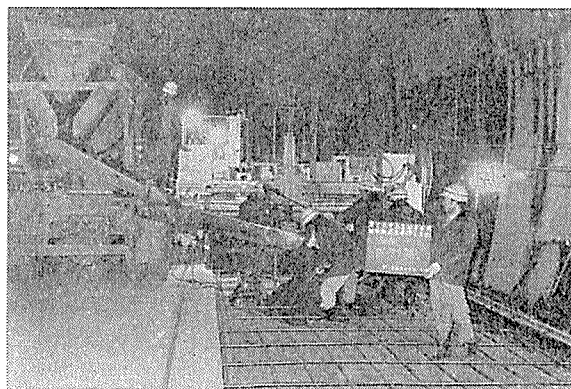
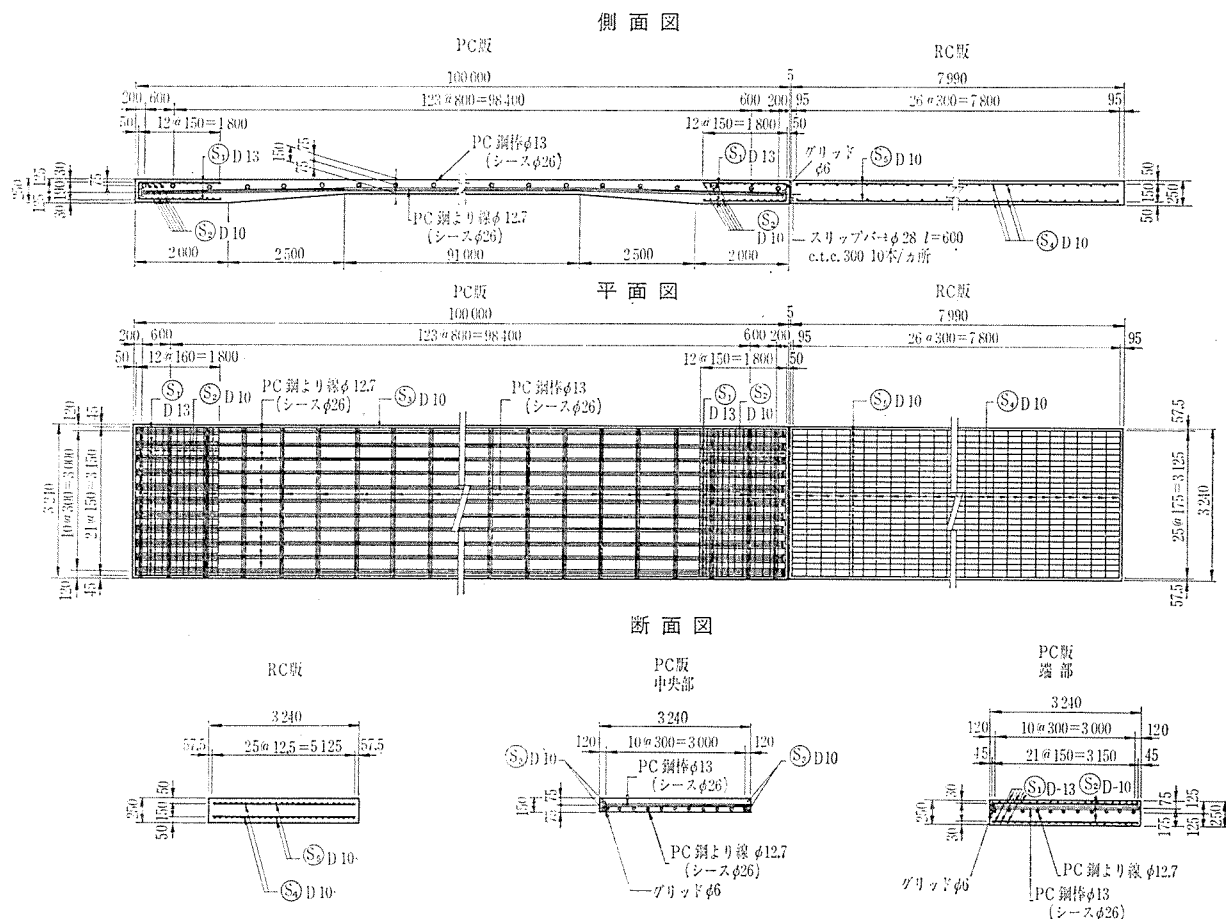


写真-2 コンクリート舗装

* 神戸市土木局防災部 ** ビー・エス・コンクリート(株)



図—3 100 m PC 版設計図

済効果の再検討を加えた結果、有効かつ経済性の最適スパンは 130 m であるとの判断から PC 版の二次施工を行った。

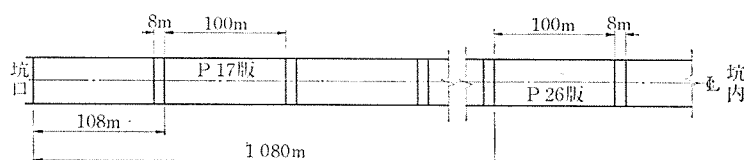
3. PC 舗装版の各種試験

(1) 試験の目的

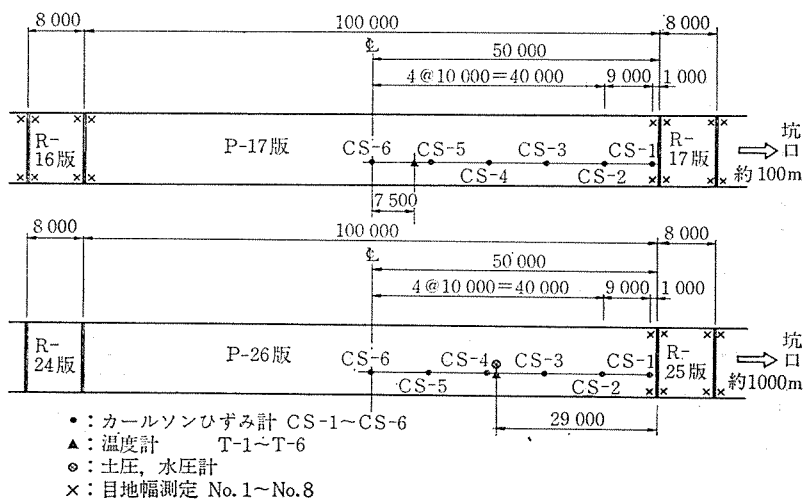
耐荷性、耐久性に富み、かつたわみ性にも優れている PC 舗装は使用目的も多いことから、近年目ざましい発展を遂げつつある。その用途としては、一般道路はもとより、港湾、飛行場エプロン、コンテナヤード等があげられ、各地で採用施工されている。

これらの舗装版に関しては、あらゆる試験および長期間の追跡調査が実施され、その結果から設計内容を統一し、版の性状も明らかにされつつある。

そこで今回は、設計施工条件の異なる長大トンネル内の施工であり、過去に例をみない PC 舗装版であるので、設計条件として仮定した諸数値の妥当性およびその性状を明らかにし、今後のトンネル



図—4 測定版位置図



図—5 全体図 (測定ゲージ位置)

内PC舗装の設計、施工に適切な助言を与える目的で本試験を計画実施したものである。

(2) 試験の概要

試験目的に基づきPC版の性状を調べるため下記の5項目について試験を実施した。

- 1) 縁部載荷試験
- 2) カールソンひずみ計による舗装版のひずみ測定
- 3) カールソン型埋設温度計による舗装版の温度測定
- 4) 土圧、間隙水圧測定
- 5) 目地幅の測定

上記の試験を坑口より約100m付近のP17版上り線および坑口より約1000m付近の下り線P26版について実施した(図-4, 5)。また縁部載荷試験は、施工上のミスにより発生したと思われる一部きれつのある版(きれつ幅0.2mm)近傍において行った。

トンネル内の温度は外気温に大きく左右されず変化が少ない。ただし坑口付近では外気温とほぼ同様であるが直射日光がないので一般の明り部と異なる。これらの温度条件がPC版の乾燥収縮ならびにクリープに与える影響を測定する。

湿度は温度と同様、トンネル坑口付近と坑内中央部とは異なり、また湧水が路盤の毛細管現象でPC版底面を常時湿潤状態にする。これらがPC版にどのような影響があるのか測定を行った。またトンネル内に湧水はつきものであり、地下水の変位は年月の経過により移動しそのため路盤材の細粒分が流出する危険性がある。これにより路盤の不等沈下をきたし、支持力低下を起す。この時点でPC版がどのような挙動を示すのかを関連づけるため、土圧測定および水圧測定を行い、湧水の影響を測定するものである(写真-3)。

次に測定時期を示すと次のとおりである。

- ① コンクリート打設直後(P17版—49年2月7日, P26版—49年2月20日)
- ② 仮緊張時点(P17版—49年2月9日, P26版—49年2月22日)

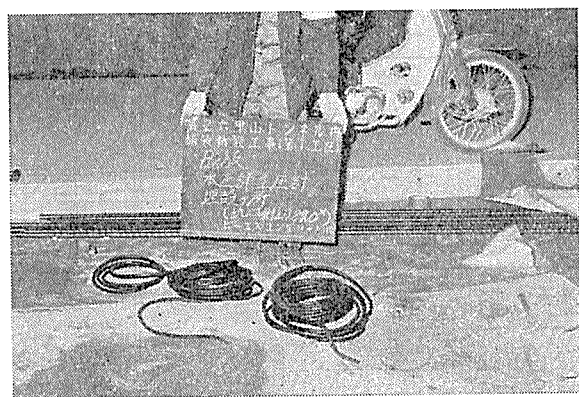


写真-3 土圧計、水圧計の埋設

- ③ 本緊張時点(P17版—49年2月15日, P26版—49年3月3日)

- ④ 本緊張後1か月(P17版—49年3月14日, P26版—49年4月3日)

- ⑤ 本緊張後4か月(P17版—P26版とも, 49年6月21日)

- ⑥ 本緊張後7か月(P17版—P26版とも, 49年9月17日)

- ⑦ 本緊張後12か月(P17版—P26版とも, 50年2月20日)

上記の各時期に24時間測定を行った。なお、縁部載荷試験はPC舗装版の材令が5か月経過した49年5月末に行った。

(3) 縁部載荷試験

a) 試験方法および試験器具 載荷試験はもっともきびしい条件である縁部載荷とし、載荷条件は設計内容と同一の接地半径20cmの載荷板を使用して行った。

測定はポリエステルひずみゲージ(60mm)を使用し、図-6に示す位置のコンクリート表面ひずみおよび載荷点の沈下量について測定を行った。

載荷方法は設計荷重が8tであるから、0から2tきざみで10tまで載荷し、荷重を取り去り、0とし再度2tきざみで設計荷重の2倍の16tまで載荷試験を実施した。

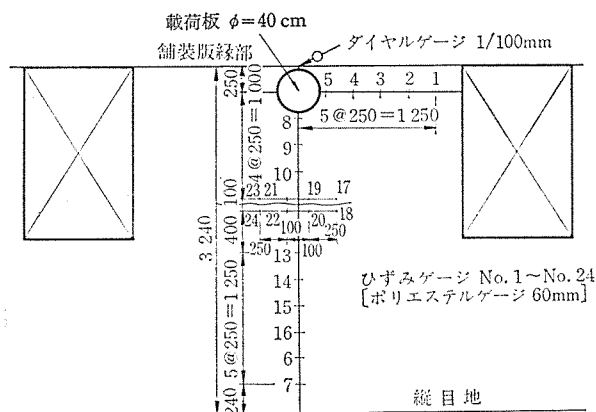


図-6 ゲージ位置

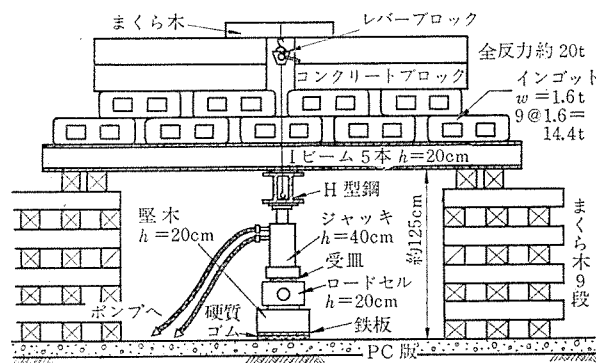


図-7 試験器具

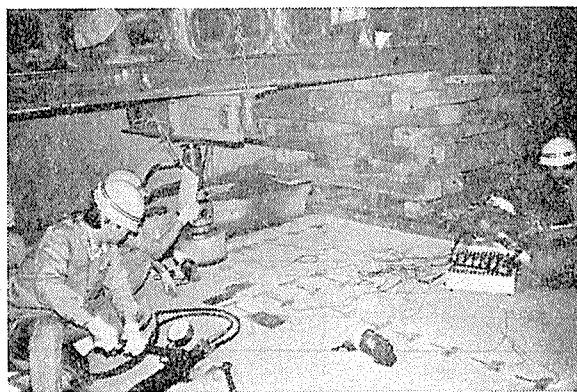
試験器具は、図一7に示すように 30t 油圧ジャッキを使用し 50 t ロードセルによりキャリブレーションを行いながら所要の荷重を載荷した。また、荷重を等分に分布させるため、堅木 ($h=20\text{ cm } \phi 40\text{ cm}$)、鉄板 ($t=10\text{ mm } \phi 40\text{ cm}$) および硬質ゴム ($t=15\text{ mm } \phi 40\text{ cm}$) をジャッキと PC 版の間にセットし、載荷に対する反力は I ビーム、インゴットおよびコンクリートブロックを積み上げ、約 20 t の荷重を反力とした。測定は 60 mm ポリエステルひずみゲージ、ストレインインジケーター、スイッチボックスおよび 1/100 mm ダイヤルゲージを使用した (写真一4)。

b) 測定結果 前述した試験方法、器具により測定した結果のデータシートを整理し、荷重-ひずみ曲線を描けば 図一8、9 となる。また版幅方向におけるひずみ分布は 図一11 となり、測点 No. 10 が最大となる。版長方向のひずみ分布を 図一12 に示す、載荷点部の沈下量を図示すれば 図一13 となり沈下量は設計値より小さい。

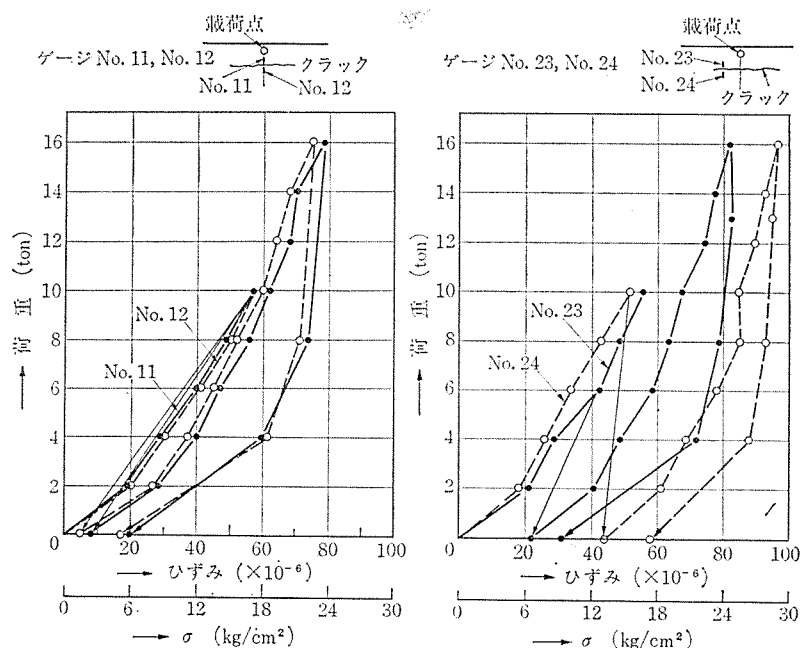
c) 考 察

1) きれつ近傍の荷重-ひずみ曲線 (図一8、9) は、設計荷重の 2 倍の載荷重 $P=16\text{ t}$ まで直線性を保持しており急激な塑性的変形を呈していない。また幅員方向のひずみ分布 (図一11) より載荷重 $P=16\text{ t}$ での最大引張ひずみは $\epsilon=106 \times 10^{-6}$ で応力度に換算すると約 30 kg/cm^2 である。

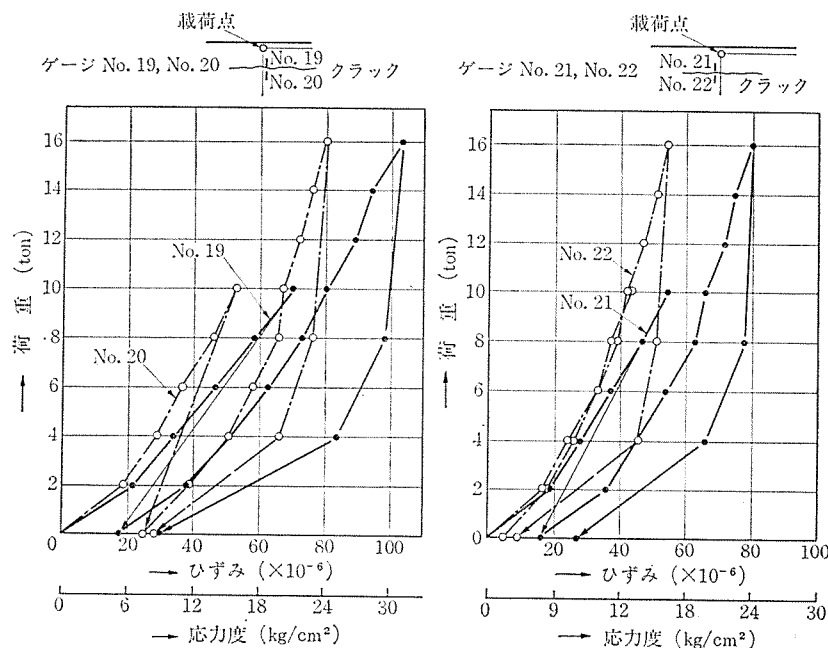
以上の 2 点よりプレストレスを導入



写真一4 載荷試験



図一8 クラック近傍のコンクリート表面ひずみ



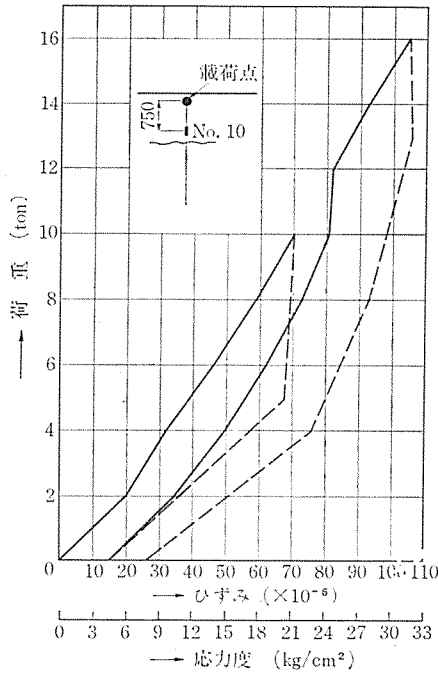
図一9 クラック近傍のコンクリート表面ひずみ

した舗装版には荷重によりきれつが発生することは考えられない、したがって、このきれつはプレストレス導入前の施工時点もしくはコンクリート硬化時点に発生したものと思われる。

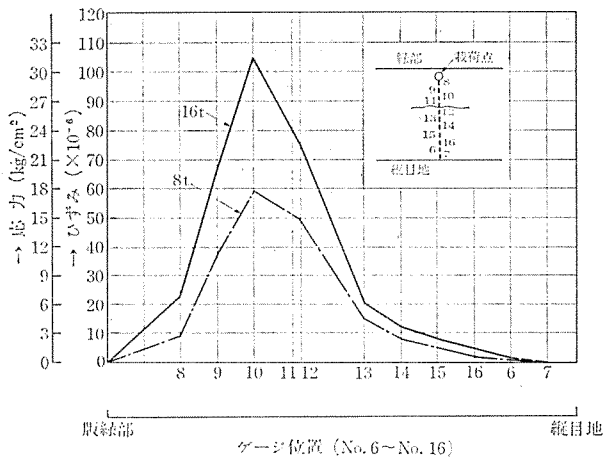
2) 幅員方向のコンクリート版表面ひずみは、載荷点より 75 cm 離れた位置で最大となり凸形の緩やかな形状となっている (図一11)。

また、きれつをはさんだ近傍 2 点のひずみは、ほぼ連続的な挙動を示している (図一8、9)。

以上の点より 16 t までの載荷重に対して、きれつ部分は完全に曲げモーメントおよびせん断力を伝達している



図—10 最大ひずみ発生位置 (No. 10) の荷重-ひずみ曲線



図—11 載荷荷重 8 t, 16 t における版幅方向ひずみ分布

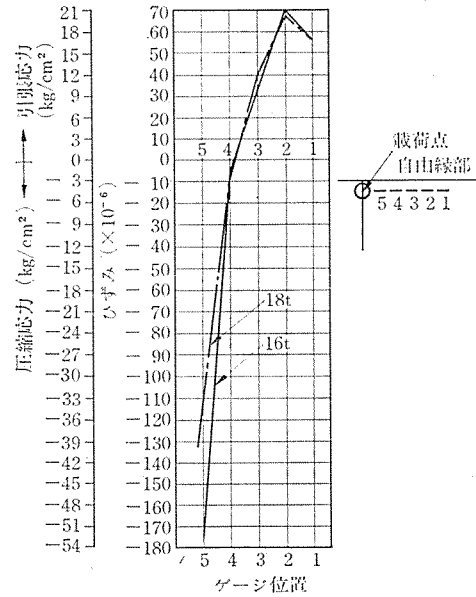
と考えてよい。

3) 測定した各点の荷重-ひずみ曲線および荷重-たわみ曲線 (図—8, 9, 10, 13) は直線的であり, 勾配の急変あるいは不連続性は見られない。

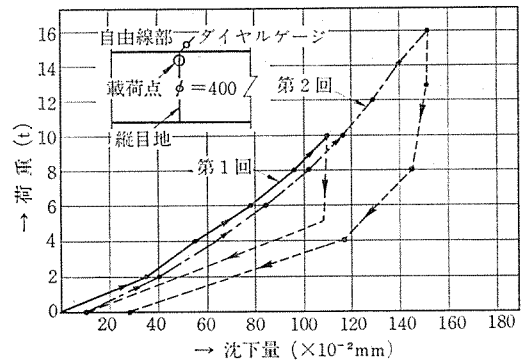
また第1回載荷 ($P=0\sim 10$ t), 第2回載荷 ($P=0\sim 16$ t), の荷重-ひずみ曲線, 荷重-たわみ曲線は一定している。なお各点の残留ひずみと残留たわみ量は大きくなく, PC版の復元性は良好であるといえる。

以上の点より, PC版の挙動は弾性的であり, 前述の1), 2) を考慮すると, 力学的に現在のきれつは PC 版の挙動および耐荷能力に, ほとんど影響をおよぼしていないと考えられる。

4) 載荷点部のたわみ量は 図—13 より載荷量 $P=10$ t で, $\delta=1.1$ mm である。縁部載荷時のたわみ計算式 $\delta=\frac{1}{\sqrt{6}}(1+0.4\mu)\frac{P}{K_{75}l^2}$ を適用し, 現場の路盤支



図—12 載荷荷重 8 t, 16 t における版長方向ひずみ分布



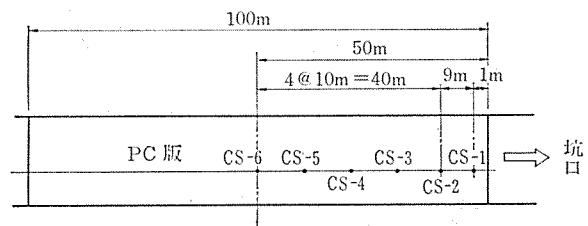
図—13 載荷点部の沈下量

持力 $K_{75}=22$ kg/cm³, $\mu=0.15$, 版厚 $h=15$ cm, $P=10$ t で計算すると, $\delta=1$ mm となり実測値とほぼ同じたわみ量を示している。

参考までに設計時のたわみ計算値は ($K_{75}=7.6$ kg/cm³, $h=15$ cm, $P=8$ t) $\delta=1.78$ mm である。

(4) カールソンひずみ計による舗装版のひずみ測定

a) 試験方法 コンクリートのクリープ, 乾燥収縮および導入プレストレス測定のため坑口より100 m地点の P17 版および約 1 km 付近の P26 版内にカールソン型ひずみ計をおおの6個計 12 個 (図—14) を埋設 (図—15) してそのひずみ量を約 1 か年間前述の時期に



図—14 ひずみ計埋設位置平面図

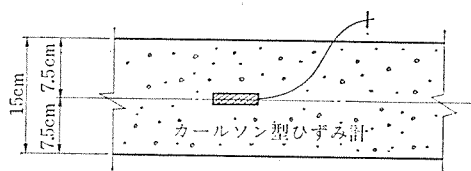


図-15 ひずみ計埋設状況

測定を行った。

b) 測定結果 測定データはゲージおよびコンクリートの温度補正を行い整理した。なお、コンクリートの線膨張係数はダミー版より求めた数値、 $10.04 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$ を用いた。

P17 版の本緊張は 2 月に行ったが、その時点では隣接車線版および測溝等が未施工であった。したがって、P17 版の応力導入時には路盤摩擦のみの拘束であると考えられる。P26 版については 3 月に本緊張を実施した関係上、隣接車線版および側溝、路盤摩擦による拘束が考えられる。

測定結果を図-16 に示す。第 1 回測定時は、P17、P26 版ともに 1 か月目、第 2 回測定時には、P17 版は 4 か月目、P26 版は 3 か月目であり、第 3 回測定時は、P17 版は 7 か月、P26 版は 6 か月、第 4 回測定時には P17 版が 12 か月、P26 版が 11 か月目である。

c) 導入応力度 今回の測定においてコンクリートの弾性係数を求める試験が行えなかったが、P C 版の導入応力を求めるためには、コンクリートの弾性係数を求める必要があるため、P17 版の測点 Cs-2 と Cs-6 の導入ひずみ値を用いて弾性係数と路盤摩擦係数を求めるとコンクリート弾性係数 $E_c = 2.03 \times 10^5 \text{ kg/cm}^2$

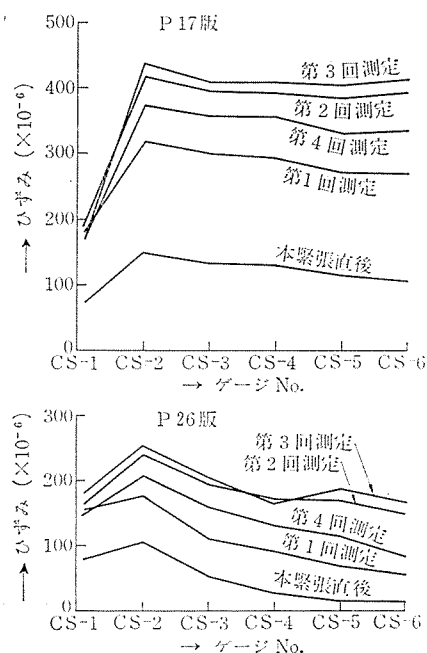


図-16 舗装版のひずみ分布 (版長)

路盤摩擦係数 $f = 0.48$

また P17、P26 版の Cs-1 の測定ひずみを用いてコンクリート弾性係数を求めると、

$$E_c = 2.56 \times 10^5 \text{ kg/cm}^2$$

次に路盤摩擦係数 f を求める。

P26 版の測点 Cs-2 と Cs-6 のひずみの差は Cs-2 と Cs-6 間の路盤摩擦拘束とシース摩擦損失によるひずみを表わしている。これらの関係式より算出すると

路盤摩擦係数 $f = 0.66$

以上の二通りより求めたコンクリート弾性係数を用いて P17、P26 版の導入応力度を計算して整理すれば表-1, 2 になる。

表-1, 2 に路盤摩擦係数、設計値 $f = 1.0$ 、仮定値 $f = 0.0$ とした場合の値を記した。導入直後の応力は $f = 0.0$ つまり路盤摩擦によるプレストレスの損失がないと考えた場合より小さな値になるはずである。ところが P17 版の $E_c = 2.56 \times 10^5 \text{ kg/cm}^2$ としたときの Cs-2~Cs-6 の応力度はいずれも仮定値 ($f = 0.0$) の値を越えているので、コンクリート弾性係数 $E_c = 2.03 \times 10^5 \text{ kg/cm}^2$ とするのが妥当であると思われる。よって以後コンクリート弾性係数 $E_c = 2.03 \times 10^5 \text{ kg/cm}^2$ 、路盤摩擦係数 $f = 0.48$ とする。

表-1, 2 より版端部における初期導入応力は P17、P26 版の測点 Cs-1 の導入直後のひずみ値はほぼ同じであるので、両者ともに同程度の緊張力が与えられたことを示している。P17 版の導入応力は版中央部で 21.5 kg/cm^2 の値を示し、設計値 14.3 kg/cm^2 より大きかった。

その原因は路盤摩擦係数が設計値 $f = 1.0$ より小さく、そのために導入時の損失応力が少なかったためであると考えられる。P26 版の中央部における導入応力は、 3.2 kg/cm^2 が設計値 $f = 1.0$ に比してかなり小さい。

初期導入応力が P17 版と同程度である点から考えて

表-1 P17 版の導入応力度

ひずみ計ゲージ No.	CS-1	CS-2	CS-3	CS-4	CS-5	CS-6
測定 ひずみ $\times 10^{-6}$	-72.0	-148.0	-134.0	-130.0	-114.0	-106.0
応力度 $E_c = 2.03 \times 10^5$	14.6	30.0	27.2	26.4	23.1	21.5
$E_c = 2.56 \times 10^5$	18.4	37.9	34.3	33.3	29.2	27.1
設計値 ($f = 1.0$)	18.8	28.4	24.7	21.1	17.6	14.3
仮定値 ($f = 0.0$)	18.8	30.9	29.7	28.6	27.6	26.8

表-2 P26 版の導入応力度

ひずみ計ゲージ No.	CS-1	CS-2	CS-3	CS-4	CS-5	CS-6
測定 ひずみ $\times 10^{-6}$	-73.0	-103.0	-51.0	-27.0	-14.0	-16.0
応力度 $E_c = 2.03 \times 10^5$	14.8	20.9	10.4	5.5	2.8	3.2
$E_c = 2.56 \times 10^5$	18.7	26.4	13.1	6.9	3.6	4.1
設計値 ($f = 1.0$)	18.8	28.4	24.7	21.1	17.6	14.3
仮定値 ($f = 0.0$)	18.8	30.9	29.7	28.6	27.6	26.8

注：CS-1 は端部増厚と補強鉄筋による拘束がある。

も、この数値は小さ過ぎると思われる。カールソンひずみ計による測定値だけで導入応力を求めるのは疑問がある。

目地幅変化の面からも検討を加えてみよう。

d) 目地幅変化による P 26 版の導入応力 P 26 版の導入直後の応力はカールソンひずみ計による測定結果は設計値よりも小さく、なおその後のひずみ変化からも応力を推定することはできない。

そこで目地幅の測定結果より導入応力を求めてみる。

一般に舗装版の目地幅の変化量は、版内に埋設しているひずみ計によるひずみ変化量からも算出ができ、その値は目地幅を直接スケール等で測定した結果とほぼ一致するものである。

応力導入時からの目地幅変化は舗装版の弾性ひずみ、乾燥収縮ひずみ、クリープひずみ、および温度変化によって生ずる。

P 26 版の応力導入時 (50 年 3 月) から約 1 年間 (51 年 2 月) の目地幅の変化を見る。

応力導入時と 51 年 2 月の温度差はほとんどなく、温度変化による目地幅変化は考えられない。したがって、P 26 版の目地幅変化量 $\Delta l = 1 \text{ cm}$ で、これより全ひずみ量

$$\varepsilon = \frac{\Delta l}{L} = 200 \times 10^{-6}$$

となる。

乾燥収縮、クリープひずみの設計値に対する比率を P 17 版と同程度とすれば、P 26 版も同程度とした場合の設計断面 (Cs-6) のプレストレスは、

$$\frac{\varepsilon - \varepsilon_e}{2.03 \varepsilon_e + 150 \times 10^{-6}} = r \quad (\text{設計値と測定値との比率})$$

ただし、 ε : 全ひずみ量 (200×10^{-6})

ε_e : 弾性ひずみ (P 17 版で 46×10^{-6} , P 26 版で 83×10^{-6})

上式より P 26 版の Cs-6 のプレストレス量 σ_p を P 17 版の比率より算出すると、次のようになる。

P 17 版

$$\frac{(200 \times 10^{-6}) - (46 \times 10^{-6})}{2.03 \varepsilon_e + 150 \times 10^{-6}} = 0.64 = r$$

$$\therefore \sigma_p = \varepsilon_e \cdot E_c = 46 \times 10^{-6} \times 2.03 \times 10^5 = 9.3 \text{ kg/cm}^2$$

P 26 版

$$\frac{(200 \times 10^{-6}) - (83 \times 10^{-6})}{2.03 \varepsilon_e + 150 \times 10^{-6}} = 0.37 = r$$

$$\therefore \sigma_p = \varepsilon_e \cdot E_c = 83 \times 10^{-6} \times 2.03 \times 10^5 = 16.8 \text{ kg/cm}^2$$

上記結果より、P 26 版のプレストレス量は $9.3 \sim 16.8 \text{ kg/cm}^2$ であると思われる。

e) P 17 版と P 26 版の乾燥収縮ひずみとクリープひ

ずみ P C 版は埋設されたカールソンひずみ計で測定されるひずみには、乾燥収縮ひずみ、クリープひずみ、そのほか版の伸縮によって生ずる拘束ひずみも含まれている。

乾燥収縮ひずみとクリープひずみは常に圧縮ひずみであるが、拘束ひずみは季節によって圧縮ひずみになったり、引張ひずみになったりする。つまり、冬から夏にかけては、圧縮ひずみであり、夏から冬にかけては引張ひずみである。

本測定試験では、乾燥収縮ひずみとクリープひずみの合計ひずみとして、P 17, P 26 版の測定値より算出することにする。なお実際には温度変化による拘束力が舗装版に働いているから、それによる拘束ひずみも考慮しなければならぬ。

乾燥収縮ひずみとクリープひずみの増加が大きい初期においては、温度変化による拘束ひずみの影響はみられないが、乾燥収縮、クリープがほぼ終了に近づくと拘束ひずみによる影響が表われてくる。図—16 で見ると第 4 回の測定ひずみは、第 3 回測定ひずみより小さくなっている。

それは、乾燥収縮、クリープが第 3 回測定時にはほぼ終了しており、その後のひずみ変化は温度変化に伴う拘束ひずみを表わしていると考えられる。つまり第 3 回測定 (夏) よりも第 4 回測定 (冬) の温度が低いので、舗装版に拘束力が働き、引張ひずみが生じたためであると考えられる。

導入後 1 年目の乾燥収縮ひずみ+クリープひずみは第 4 回測定値から導入時ひずみを差し引いた値である。それは導入時と第 4 回測定時の温度差がないから拘束ひずみはないものとした考え方でよいものと思われる。

以上の考えに基づいて一年後の乾燥収縮ひずみ+クリープひずみを計算した結果を表—3 に示す。

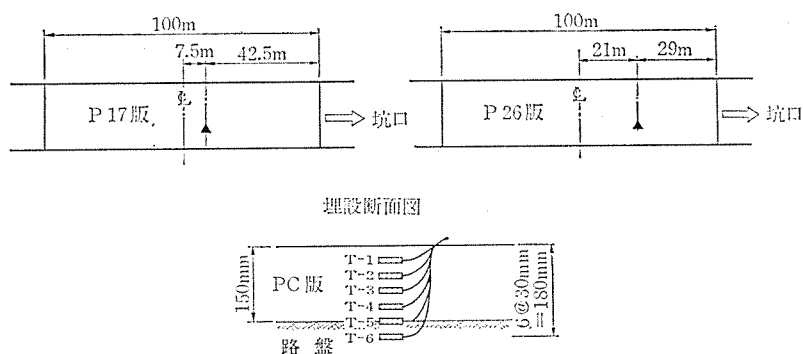
また、その値は乾燥収縮、クリープによる最終ひずみと考えてもよいと思われる。

表—3 P 17 版, P 26 版 1 年後の乾燥収縮ひずみ+クリープひずみ

ゲージ位置		CS-1	CS-2	CS-3	CS-4	CS-5	CS-6
導入時のひずみ ε_i	P 17	-72	-148	-134	-130	-114	-106
	P 26	-73	-103	-51	-27	-14	-16
第 3 回測定ひずみ ε_3	P 17	-174	-436	-408	-408	-404	-414
	P 26	-178	-253	-202	-167	-188	-168
第 4 回測定ひずみ ε_4	P 17	-173	-373	-358	-356	-331	-337
	P 26	-146	-209	-158	-129	-114	-88
クリープ乾燥収縮ひずみ ε_0	P 17	-101	-235	-224	-226	-217	-231
	P 26	-73	-106	-107	-102	-100	-67
温度による拘束ひずみ ε_t	P 17	+1	+63	+50	+52	+73	+77
	P 26	+32	+44	+44	+36	+74	+85

ただし、 $\varepsilon_0 = \varepsilon_4 - \varepsilon_i$ (ε_0 中には時間の進行に伴い導入される弾性ひずみも含む)

$\varepsilon_t = \varepsilon_4 - \varepsilon_3$ (+は温度下降時、-は上昇時)

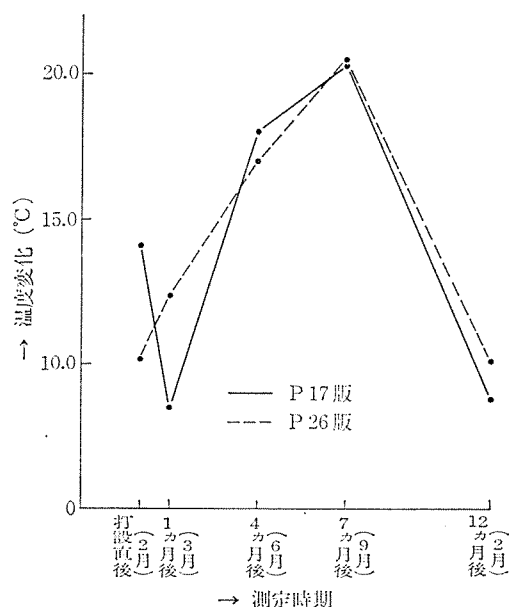


図—17 温度計埋設位置平面図

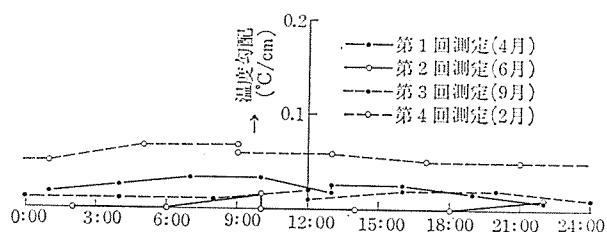
(5) カールソン型埋設温度計による舗装版の温度測定

a) 試験方法 トンネル坑口および中央付近の温度の相異ならびに温度分布を測定する。

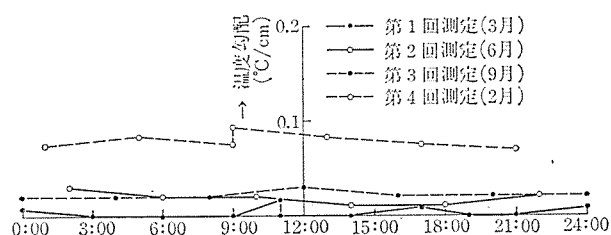
測定ゲージは埋設型温度計を 図—17 のように埋設す



図—18 PC 舗装版断面の温度年変化 (平均温度)



図—19 舗装版の温度勾配 (P17 版)



図—20 舗装版の温度勾配 (P26 版)

る。

b) 測定結果 第1回測定から第4回測定までの値を整理し、図—18 に温度年変化を、温度変化測定時期によって表わした。図—19, 20 は温度勾配について図示したものである。

この結果から見る限り、トンネル内における、PC舗装版内部の年間温度差は 10°C 程度であり、温度勾配は $0.0\sim 0.09^{\circ}\text{C}/\text{cm}$ 程度と非常に安定している。なお、設

計値との比較考察は後章で述べるとして、トンネル内に施工されたPC舗装は、明り部に施工されたPC舗装よりも適した環境にあることは言をまないであろう。

(6) 路盤の土圧、間隙水圧

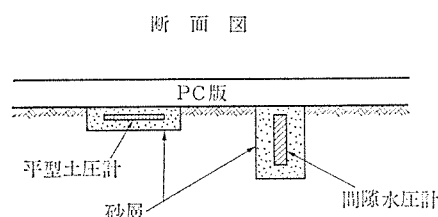
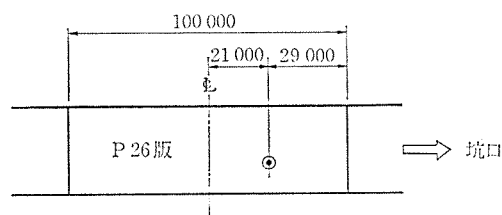
a) 試験方法 平型土圧計および間隙水圧計を用いて上層路盤の土圧、間隙水圧を測定する (図—21)。

b) 測定結果 第1回測定から第4回測定までの土圧および間隙水圧の変化を变化量—測定時期により図—22 に示した。

この変化図から、まず土圧に関しては第1回から第4回測定までその値は徐々に増加している。そしてその増加は交通量の増加に比例していると考えられるため、土圧増加の最大の要因は交通量の増加であると思われるので、今後適当な時期に再測定を実施する予定である。変化図を見ると、夏から秋にかけて徐々に水圧が増加し、秋から冬にかけては減少している。

このことから春から秋にかけての雨期時の水圧増加、冬期渇水時における水圧の減少というトンネル特有の季節的な水圧変化をつかみとることができる。

さらにこの変化図から土圧と水圧との関係をさぐりだしてみると、もしこの変化図において、ある時期に水圧



図—21 土圧・水圧計埋設位置平面図

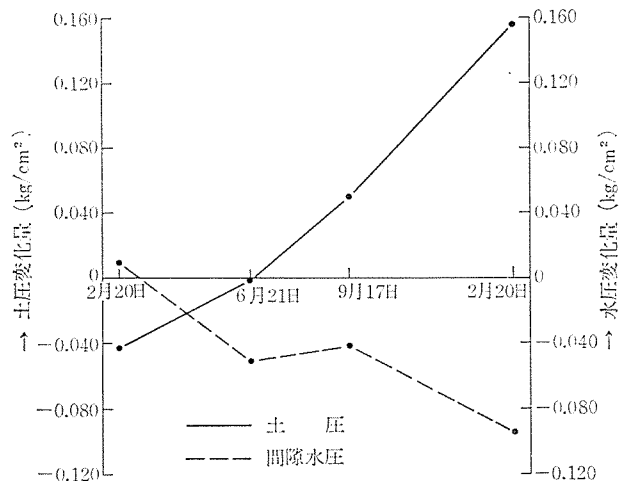


図-22 土圧および間隙水圧の変化

が上昇し始め、土圧が下降線をたどり始めたとすれば、湧水による路盤の弱化が起っているのであろうと予想されるのであるが、現時点における限り、そのような現象は見られず、路盤は良好に保たれていると判断できる。

(7) 目地幅の測定

a) 測定方法 温度変化およびコンクリートのクリープ、乾燥収縮等により、舗装版がどのような挙動を示すかを調べるために、目地幅の測定を行う。測定方法は図-23に示すように、版端部にピンを埋め込み、ピンとピンとの間隔をノギスにより測定する。

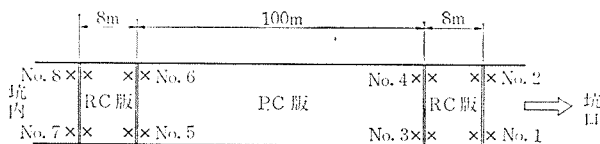


図-23 目地幅測定用ピン埋込み位置

b) 測定結果 本舗装の目地構造はPC版(100m)に比べRC版長(8m)が短いので、目地幅の変動は、PC版の伸縮と考えてもさしつかえないと思われる。図-24はP17版、P26版の版端目地幅の伸縮で各測定日における目地の伸縮の年間の推移を表わしたものである。

図-24によるとP17版はトンネル内方向に2~3mm移動している。これは坑口側の目地の広がりが大ききこと、6月と9月の測定において坑口側とトンネル内側との目地の動きに差があることなどから推測される。

また同時に版の平均温度を図示したが、目地の伸縮が必ずしも版の温度と一致せず、特に初期の測定では版のクリープ、乾燥収縮の影響により温度とは逆の挙動を示している。もしRC版の移動がないものとすれば、PC版の最大縮みはP17版で12mm、P26版では10.5mmであり、目地幅に注目すると最大広がり量は、P17版坑口側で7mm、トンネル内側で5mm、P26版では

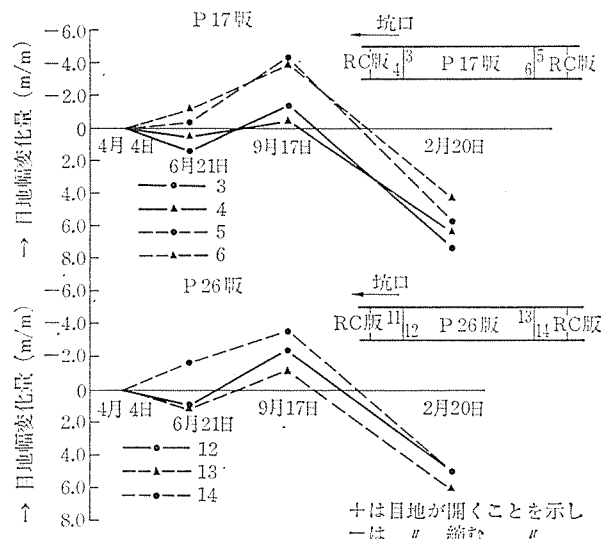


図-24 目地幅の測定

坑口側で5mm、トンネル内側で5.5mmであった。また9月と2月測定値を比較して版の伸縮をみれば、P17版、坑口側で8mm、トンネル内側で9mm、版全体で17mm、P26版坑口側で7mm、トンネル内側で7.5mmで版全体で14.5mmである。なお、このときの温度差は約11℃であった。

クリープ、乾燥収縮による目地幅の広がり量は、路盤の摩擦等が存在するため確認はできないが、2月測定の版温度が測定基準時の版温度とほぼ等しい値となっていることから、クリープ、乾燥収縮による収縮量は、PC版の最大縮み、および目地幅の最大広がり量と一致するものと思われる。

以上のように目地幅の挙動はいずれも、P26版に比べP17版のほうが大きな値を示しており、なかでもP17版の坑口側の値が最大である。このことはP17版付近(坑口より108m地点よりのPC版)がトンネル内と屋外との環境変化地点であると考えられるが、明り部PC版の挙動と比較しても小さな値となっており、P17、P26版ともPC舗装版として良好な環境内にあることが推測される。

4. 結 論

(1) 載荷試験

縁部載荷試験の考察でも述べたごとく、設計荷重の2倍(16t)の輪荷重に対してもPC版は急激なひずみ変

化、沈下量変化を示すことなく、弾性的な挙動を示すとともに、ひずみ分布もきわめて良好な連続性を示し、残留ひずみ、残留たわみ量は大きくなく良好な復元性を示している。

(2) 導入応力

応力導入直後のひずみをカールソンひずみ計により測定した結果、P17 版の導入応力は測定断面の版中央部で 21.5 kg/cm^2 であり、設計値の 14.3 kg/cm^2 よりも少し大きかった。

また P26 版については測定断面で 3.2 kg/cm^2 であり、設計値より小さく、この値が実際の導入応力であるかどうか疑わしく、目地幅変化量より求めた $9.3 \sim 16.8 \text{ kg/cm}^2$ のほうが実導入応力であると考えられる。

(3) 乾燥収縮およびクリープ

乾燥収縮およびクリープは、P17 版、P26 版ともに約 6 か月でほぼ終了したものと思われる。また乾燥収縮とクリープの最終合計ひずみ量は、最終乾燥収縮ひずみ 150×10^{-6} 、最終クリープ係数 2.0 とした設計値と比較すると、P17 版で 60%、P26 版で 50% 程度であった。トンネル内 P C 舗装版は、明り部 P C 舗装版よりも乾燥収縮およびクリープに対してよい環境状態にあると思われる。

表-4 クリープ・乾燥収縮ひずみの設計値との比較

ゲージ位置		CS-1	CS-2	CS-3	CS-4	CS-5	CS-6
測定値 ϵ_0	P17	-101	-235	-224	-226	-217	-231
	P26	-73	-106	-107	-102	-100	-67
設計値 ϵ_d	P17	-294	-446	-418	-410	-378	-362
	P26	-296	-356	-252	-204	-178	-182
ϵ_0/ϵ_d	P17	0.34	0.53	0.54	0.55	0.57	0.64
	P26	0.25	0.30	0.42	0.50	0.56	0.37

ここで設計値とは、クリープ係数 $\phi=2.0$ 、乾燥収縮ひずみ $\epsilon_s=150 \times 10^{-6}$ とし導入時測定ひずみ ϵ_i より求めたものである。

$$\epsilon_d = 2.0 \times \epsilon_i + 150 \times 10^{-6}$$

(4) 温度測定

トンネル内に施工された P C 舗装版は、明り部 P C 舗装版に比較して温度的に安定し恵まれている ($10.4^\circ\text{C} \sim 11.8^\circ\text{C}$)。

すなわち、トンネル外のコンクリート版の年変化と比較してみると、版の温度は年間を通じて最低は冬期日出前で、最高は夏期昼間に生じ、その最大差は厚 20 cm 版で 30°C 程度であることから、トンネル内の温度がいかに安定しているかがわかると思う。

また、版内部 1 日の温度差は 図-19, 20 に示すごとく非常に小さく、P17 版で 1.2°C 、P26 版で 1.0°C が最高であった。一般的にトンネル外の日変化の最大温度差は夏季で 20°C (版厚 20 cm) である。

次にこの上下面温度差から温度勾配を算出すると、P

17 版で 0.09°C/cm 、P26 版では 0.07°C/cm となる。ちなみに、明り部でコンクリート舗装版を設計する場合、温度勾配として温度上昇時に 0.7°C/cm を用いている。

以上の結果をもとに設計時の仮定諸数値の検討を行ってみる。温度が関係する応力は、そり拘束応力で、設計条件としてトンネル 1 日温度差が 6°C 、版内部上下面温度差が 3°C とした。この条件より発生するそり拘束応力は、 $\sigma_t=3.4 \text{ kg/cm}^2$ となる。

これに対し今回実験から求めた実測値を使用して、そり拘束応力を算出すると、

P17 版

$$\sigma_t = 0.35 \times 1.0 \times 10^{-5} \times 3.25 \times 10^5 \times 1.1 = 1.3 \text{ kg/cm}^2$$

P26 版

$$\sigma_t = 0.35 \times 1.0 \times 10^{-5} \times 3.25 \times 10^5 \times 0.8 = 0.9 \text{ kg/cm}^2$$

となる。

以上の算出結果より、そり拘束応力は設計値に対して実際には約 1/3 程度しか作用しておらず、施工された P C 版の安全率が高められていることが判明した。

(5) 土圧、間隙水圧測定

土圧、水圧に関しては特に大きな値の変化は見られず、湧水による路盤への影響もないと推定される。

現時点での路盤は良好な状態にあるといえる。

しかし、供用開始後の変化については、再測定を行いその結果を待たなければならない。

(6) 目地幅の伸縮について

目地幅の日変化量は前述したごとく、日温度変化の最大が P17 版で 1.3°C 、P26 版で 1.1°C と小さく、目地の広がり量も P16 版 12 mm、P26 版 10.5 mm であった。

普通一般に、明り部の最大縮み量は 90 m P C 版で平均 17 mm 程度と報告されている。それと今回の測定値を比較すると約 70% である。ただし、今回の版長は 100 m であり、中間の R C 版の縮み量を 0 とした考え方であることから、実際にはトンネル外舗装版との比較はさらに小さいものと思われる。また、坑口 100 m 地点版 (P17 版) と 1 km 坑内版 (P26 版) の縮み量は、前者の 85% 程度が後者の縮み量である。

上記のことから坑口より 100 m 程度以上がトンネル内環境と考えてもさしつかえない。

今回測定したトンネル内 P C 舗装目地幅の伸縮は、舗装版がおかれている環境、すなわち、年温度差が屋外に比して 1/3 程度であり、クリープ乾燥収縮も小さいという好条件にあり、明り部 P C 舗装の 6~7 割程度であることが示された。

5. おわりに

以上、トンネル内のPC舗装について述べ、特にPC版の各種試験結果について報告した。ここでは、トンネル内と明り部舗装との比較を行うと同時に、理論と実際の比較検討も併せ行ったのであるが、数値的には大きな差異はなく、非常に経済的断面で設計がなされていたと確信している。

なお、今後の設計施工にあたり片側施工をする場合は他の構造物と接する部分の摩擦損失量も、十分考慮する

必要がある。また、シースの摩擦係数も直線に近い場合は設計条件の $1/2$ 程度 ($\mu=0.002$) ではないかと思われる。今後の舗装版として、省資源化、省力化に対処するため、これら試験結果はもとより、供用開始後の追跡調査を怠ることなく定期的の実施し、PC舗装進展に寄与する考えである。

稿末にあたり、本舗装の実施にご指導賜りました京都大学岡田清教授をはじめ、関西道路研究会の各氏に誌上を借りて厚くお礼申し上げます。

1976.10.12・受付

◀刊行物案内▶

く い 基 礎 の 最 近 の 進 歩

—PC くいの正しい使い—

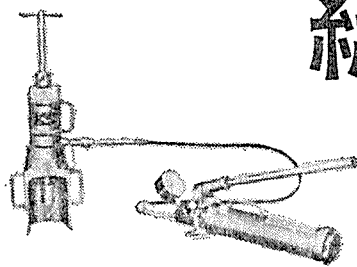
体 裁：A4判 246 ページ

定 価：2000 円（会員別頒価 1800 円）送料 300 円

内 容：1) PCくい、2) PCくい基礎の設計、3) PCくいの施工、4) 超高強度コンクリートくい、5) 超大径くい

お申込みは PC 技術協会へ

PC 用 油 圧 機 器 の 総 合 メ ー カ ー



センターホールジャッキ・モリプラー
PAT.No. 467154

住友 DWジャッキ
PAT.No. 226429

製 造 元

K.K 平 林 製 作 所

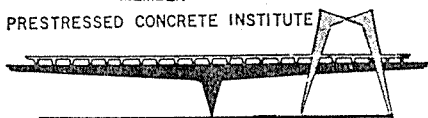
京都市宇治市槇島町目川8
TEL 宇治(0774) 22-3770番

発 売 元

草 野 産 業 株 式 会 社

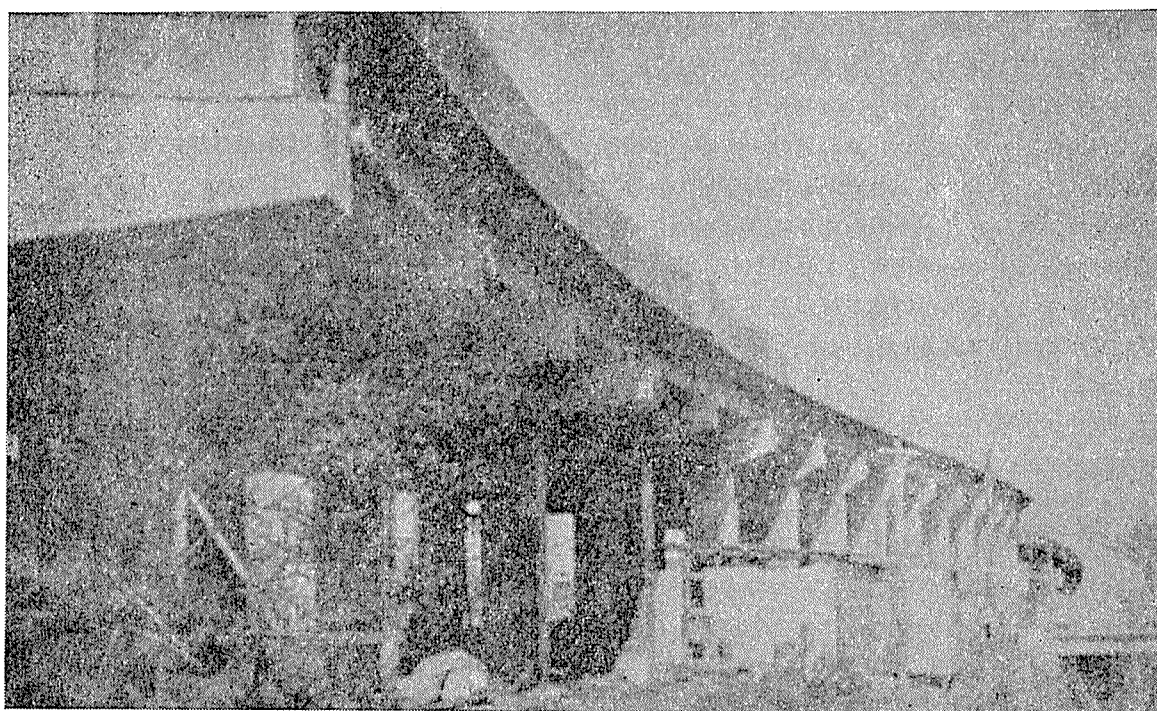
本 社
大阪市東区備後町1丁目11番地
TEL 大阪(261)~8710・8720
東京事務所
東京都千代田区神田錦町3丁目21番地
柴田錦橋ビル TEL (201)~3546

MEMBER
PRESTRESSED CONCRETE INSTITUTE



興國のPC鋼線

鋼線・より線・異形線



★興國のPC鋼線・より線・鋼棒は国内はもとより海外の土木・建築に好評を得ております★



日本工業規格表示工場 B. B. R. V. 工法用鋼線認定工場 P. C. I. (アメリカP. C. 協会) 会員

興國鋼線索株式會社

本社	東京都中央区宝町2丁目9番地 宝町清水ビル	電話	東京 (561) 2 1 7 1 代表
大阪営業所	大阪市西区阿波通り1の67の1 大急ビル550	電話	大阪 (541) 3 5 9 5 代表
東京工場	東京都江東区亀戸町九丁目19-15号	電話	東京 (681) 5 3 7 1 代表
大阪工場	大阪府貝塚市堤3 0 0 番地	電話	岸和田貝塚(3)3701 代表
新潟工場	新潟県加茂市上条1 3 6 9 番地	電話	加茂 (2) 0 2 8 0 代表