

「森バイパスにおける 特殊コンクリート舗装について」

— 第 1 報 —

正 員 齋 藤 幸 俊 *
同 久 保 宏 **
同 ○ 豊 島 真 樹 ***

1 ま え が き

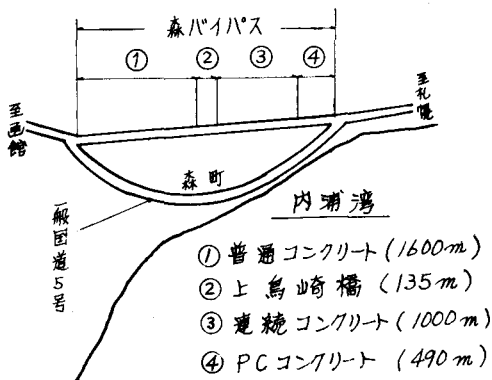
この報文は昭和47年度に森バイパスにおいて、函館開発建設部が施工した連続コンクリート舗装とプレストレスト・コンクリート舗装の設計、施工ならびに諸観測調査結果について取まとめたものである。なお土木試験所では主として、連続コンクリート舗装の設計と諸観測調査を行なった。

また諸観測調査結果の詳細については、第2報として次回の発表で述べることにする。

2 工事施工箇所の状況

一般国道5号森町森バイパス舗装工事延長3509mの内、連続コンクリート舗装区間1000mとプレストレスト・コンクリート舗装区間490mを図-1にあるように選定した。

図-1 施工区間概略図



この区間の地形は一部に半径1500mの曲線部がある他は、ほぼ直線で平坦となつている。

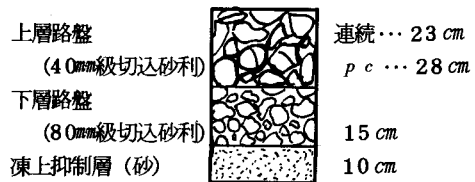
* 北海道開発局土木試験所舗装研究室長

** 同室副室長

*** 同室主任研究員

路床の土質はおおむね火山灰土で、路盤工の構成は図-2に示すとおりである。

図-2 路盤工の構成



交通量は北海道開発局道路工事設計基準によつて、B交通区間とした。

3 連続コンクリート舗装

連続コンクリート舗装は、コンクリート舗装版の縦方向に比較的多量の鉄筋を用い、目地を設けないコンクリート舗装であつて、この場合の鉄筋はコンクリートとの付着によつて、できるだけ数多くのひびわれをコンクリート版に発生させ、その結果個々のひびわれの幅をせまくしようとするものである。

(1) 設計

理論ならびに実験によつて裏付けられた系統的な設計法が未だに確立されていないが、これまでに施工されたアメリカ合衆国の諸州での報告例と昭和35年に土木研究所構内に施工された試験舗装ならびに昭和38年に施工された郡山国道での成果などを参考にして設計を行なった。

(i) 舗装版の厚さ

連続コンクリート舗装では縦方向の鉄筋量が多いので、縁部から発生する横方向のひびわれは十分に緊結されると考えられる。

それで従来の設計例では、縦方向のひびわれのみに対して安全なように、Westergaardの中央

部載荷公式より求まる厚さより1~2割減少した値を用いている事が多い。たとえばアメリカ合衆国では普通のコンクリート舗装厚より25~5cm減、ベルギーでは13~20%減の舗装厚を採用している。

セメントコンクリート舗装要綱より

B交通区分に対して $h=23\text{ cm}$

したがって、連続コンクリート

$$\begin{aligned}\text{舗装版厚} &= 23 \times (0.8 \sim 0.9) \\ &= 18.4 \sim 20.7\text{ cm}\end{aligned}$$

北海道のような積雪寒冷地においては、冬期間のスパイクタイヤなどによる摩耗を考慮して $h=20\text{ cm}$ とした。

(ii) 縦方向鉄筋量

連続コンクリート舗装の縦方向鉄筋はコンクリートの乾燥収縮および温度降下によつて舗装版に収縮力が生じた時、コンクリートに数多くのひびわれを分散して発生させ、コンクリートの収縮力を緩和させる働きをすると考えられる。*V e t t e r* は長さ方向に拘束された鉄筋コンクリート舗装が、コンクリートの乾燥収縮ならびに温度降下を受けた場合、ひびわれ部分の鉄筋応力度を許容応力度以下におさえ、ひびわれ幅の拡大を防ぎコンクリートに新しいひびわれを発生させるという条件から次式を求めた。

$$p = \delta c / (\delta s + Z E s - n \delta c)$$

ここに

p = 鉄筋比 δc = コンクリートの引張強度
 δs = 鉄筋の許容引張応力度 Z = コンクリートの乾燥収縮ひずみ $E s$ = 鉄筋の弾性係数 $E c$ = コンクリートの弾性係数 $n = E s / E c$

異形棒鋼2種SD30を用い、 $E c = 325,000\text{ kg/cm}^2$
 $\delta c = 29\text{ kg/cm}^2$ 、 $Z = 150 \times 10^{-6}$ 、 $E s = 2,100,000\text{ kg/cm}^2$
 $\delta s = 3500\text{ kg/cm}^2$ 、 $n = 6.45$ として p を計算すると p は約0.8%となる。

$\phi 16\text{ mm}$ を使用するとすれば、版幅1m当り8本となる。したがって縦方向鉄筋は異形棒鋼 $\phi 16\text{ mm SD 30}$ を12.5cm間隔に使用する。

(iii) 横方向鉄筋量

横方向鉄筋は縦方向鉄筋の組立て鉄筋の働きをすると同時にコンクリート中で縦方向鉄筋を定着し、また縦方向のひびわれを緊結する作用がある。鉄筋量は経験的に決める事が多く、実際の施工例

では縦方向鉄筋量の1/5~1/10の場合が多い。異形鉄筋 $\phi 13\text{ mm}$ を使用するとすると、縦方向鉄筋量の1/5で、1m当り25本となり、鉄筋間隔は40cmとなる。セメントコンクリート舗装要綱によれば、横方向鉄筋の間隔は約30cmを標準としていることを考慮して、横方向鉄筋は異形鉄筋 $\phi 13\text{ mm SD 30}$ を40cm間隔に使用する。

(iv) 鉄筋網

鉄筋網1枚の大きさは、機能の上からはできるだけ長大である事が望ましいが、製作・運搬・設置の仕易さなどを考えて、1枚の寸法を縦7.5m横1.59m、重量約200Kgとした。施工に当つては、この形状の鉄筋網を横方向に2枚組合せて使用した。

第14回国際道路会議(1971年、プラハ)の結論によると鉄筋の重ね合せの長さは、鉄筋の直径の30倍または40cmを最小値としている。したがって $\phi 16\text{ mm} \times 30 = 48\text{ cm}$ となり、縦方向の重ね合せの長さは50cmとする。横方向については、 $\phi 13\text{ mm} \times 30 = 39\text{ cm}$ となるが、施工上の問題から37cmとした。

鉄筋網の設置深さについては、過去に施工された多くの例に従つて、版の中央部よりやや上方、表面より約8cmの位置に埋設を行なつた。

(V) 版端目地と縦目地の構造

版長が1000mと長いので、その膨脹量もかなり大きくなる事が予想されるので、通常の膨脹目地の他に版の両端部にそれぞれ2本づつ、6mの間隔で緩衝膨脹目地を設けた。なお現在の構造で破壊が生じた場合には、特殊配合ゴムを用いたエクспанションジョイントなどの使用を考えている。

縦目地はセメントコンクリート舗装要綱にしたがつて突合せ目地とし、径9mm長さ1mのPC鋼のタイバーを75cm間隔に使用した。

図-3に定規図、図-4に版端部概略図を掲げる。

図-4 版端部概略図

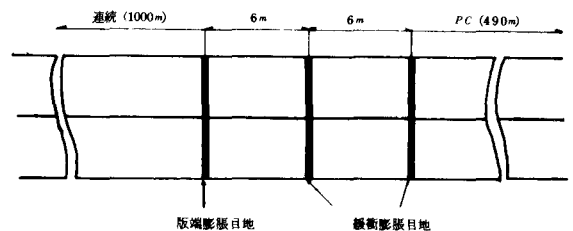
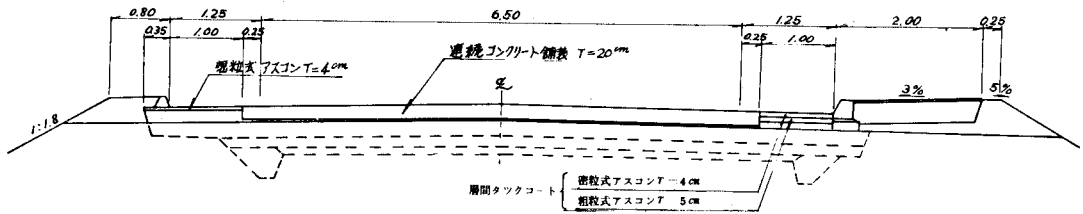


図-3 連続コンクリート舗装定規図 $S=1/50$ (M)



(2) 施工

舗装の施工は6月5日に着手して、6月24日に打設を完了したが、延長1.000m幅員3.5m2車線を舗装するのに要した実稼動日数は12日であつた。

舗設能力は片側3.5m幅について1日平均170m程度であつた。詳しくは表-1を参照されたい。

表-1 コンクリート打設工程表

	月日	天 候	曜 日	気温 (正午)	舗装延長	舗装面積
始点よりみて右側車線	6・5	晴	月	15.2℃	96m	336m ²
	6	晴	火	16.0	204	713
	7	晴	水	22.8	259	908
	8	くもり後雨	木	14.5	74	260
	9	晴	金	19.2	226	792
	10	晴	土	18.9	140	491
始点よりみて左側車線	6・14	晴	水	16.4	209	730
	15	晴	木	18.6	214	750
	16	くもり	金	17.0	65	228
	20	晴	火	16.4	176	615
	23	くもり	金	15.0	230	806
	24	晴	土	17.2	106	371

コンクリートは生コンを使用した、使用ミキサーは28切(0.75m³)傾胴式ダブルであつた。

セメントは普通ポルトランドセメントを使用し、凝結遅延剤としてポゾリスNo.100Rを使用した。

コンクリートの配合は表-2のとおりである。

表-2 コンクリート配合

粗骨材の最大寸法	スランブ	単位水量	単位セメント量	水セメント比	細骨材率	単位細骨材量	単位粗骨材量	混和剤	空気量
25mm	2.5cm	144Kg	320Kg	45%	39%	770Kg	1107Kg	0.8Kg	5±1%

コンクリートの運搬は8トン積リアダンプで行なわれ、所要時間は約20分であつた。運搬したコンクリートは路盤紙を敷いた上に、ブレード式スプレッダーにより、コンクリートの沈下を見込んで下層厚12cmに敷きならして、その上に鉄筋網を設置し上層コンクリートを打設した。締固めは表面振動式フィニッシャーによつて行なつたが端部については棒状バイブレーターによる締固めを行なつた。養生は麻袋による湿潤養生を1週間行なつた。

施工継手箇所では、継手面に接着済の塗布を行なつた。また鉄筋網の縦方向の重なり部分は、縦方向鉄筋1本おきに鉄線で結束して連続性を保つようにした。

(3) 材料の品質と試験結果

(i) 鉄筋

鉄筋の引張強度試験結果は表-3のとおりである。

表-3 鉄筋の品質

	降伏点	引張強さ	伸び	曲げ試験
SD30 D13	36~43Kg/cm ²	51~61Kg/cm ²	20~31%	良
SD30 D16	38~43	53~59	24~27	良

(ii) 路盤支持力

設計目標値は $K_{30} = 15 \text{ Kg/cm}^2$ 以上であるが、延長100mに1点、左右両車線について計20点の平板載荷試験(載荷板直径30cm)を行なつたが、 $16.6 \sim 34.4 \text{ Kg/cm}^2$ 平均で 24.6 Kg/cm^2 という結果で設計目標値を下回るものはなかつた。

(iii) コンクリート用骨材

コンクリート用骨材の各種試験結果は表-4のとおりである。

表-4 骨材試験成績

	粗骨材	細骨材
産地	落部	砂原、大野 (1:1)
粗粒率	6.86	2.72
比重	2.58	2.80
単位重量	1.58 g/cm^3	1.75 g/cm^3
吸水率	2.77%	1.91%
洗試験	0.66%	0.56%
すりへり減量	1.49%	

(iv) コンクリートの強度と性状
各打設日から採取した試料の試験結果の平均値は表-5のとおりである。

表-5 コンクリートの品質

平均曲げ強度	平均スランプ	平均空気量
52.4 Kg/cm^2	2.8cm	4.1%

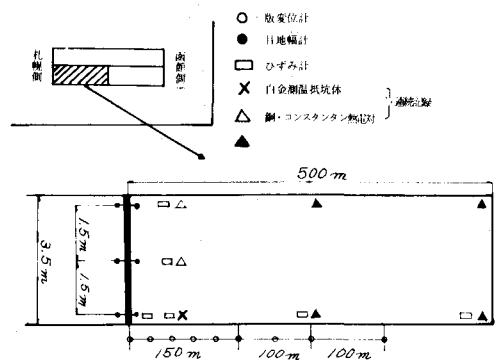
※ 曲げ強度は材令28日のもの

(4) 各種観測調査

(i) 観測調査項目

延長1,000mの内、工事起点(函館側)からみて左側車線の版の札幌寄りの500mの区間を試験区間として選定して、以下のような観測調査を行なつた。なお各計器の平面的埋設位置は図-5のとおりである。

図-5 計器埋設平面図



① ひずみ量

カールソン型ひずみ計を版表面より5cmと版底面より5cmの深さに、上下1組として6組埋設した。

② 目地幅変位置

長さ5cm径9mmの真ちゆう製の指示棒を版端膨脹目地をはさんで2個埋設して、指示棒の中央部にポンチで小さな穴をあけ、その間隔をノギスで測定するもので、3組埋設した。

③ 版変位置

長さ15cm径9mmの鉄製の指示棒を版厚中央部に装着し、一方径22mmの鉄製のロットを路盤下1.4mまで打込んで不動として、指示棒とロットの中央部にポンチで小さな穴を明け、その間隔をノギスで測定するもので、9組埋設した。

㊦ 温度変化

版の表面より3cm、版厚中央部、版の底面より3cmの所に、上中下を1組として、銅・コンスタンタン熱電対を6組埋設し、その内2組を連続記録させた。その他に白金測温抵抗体1組を版内に埋設し、さらに百葉箱に1本格納して、版温度と気温を連続記録させた。

㊧ ひびわれ

試験区間内のひびわれの幅と長さの測定を行なった。また打継ぎ施工目地部については、全舗装区間について観測を行なった。

㊨ 路面のすべり試験

すべり試験車によって、湿潤路面状態における縦すべり摩擦係数を測定した。

(ii) 観測試験結果

路面のすべり試験を除いた試験項目については現在もお調査を継続中であり、またデータの量も多く、その整理と検討を十分には行なっていないので、詳細については次報において述べることにして、今回は得られたデータの一部を紹介するに止める。

(a) 目地幅変位と版端変位

図-6は7月25日に行なった12時間観測の結果を示したものである。目地幅変位は6月26日午前11時、版端変位は6月27日午後1時における測定値を基準値として求めたものである。目地幅変位量は、測定値から基準値を差引いた形で求めているので、変位量がプラスであるということは、目地幅が広がったことを意味している。

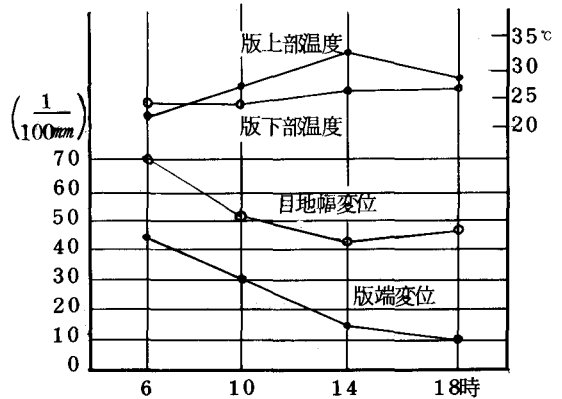
版端変位量についても同様で、変位量がプラスであるということは、版端部が縮まる方向に移動したことを意味している。

図-6をみると、版温度の上昇と共にコンクリートの膨張が起きて、微小ながらも目地幅がせばまり、版温度の低下と共にコンクリートの収縮が起きて、目地幅が広がっていく様子が明瞭にうかがわれる。また版端部の変位もそれを裏付ける動

きとなつていくことがわかる。

図-6 版変位・目地幅変位の日変化

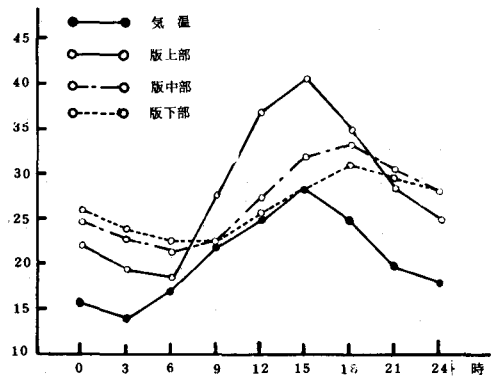
1972年7月25日



(b) 温度変化

図-7は7月19日における気温ならびに版内温度の24時間の変化を示したもので、夏の快晴の日の典型的なパターンとなつている。これをみると、気温の変化によつてまず版の上部が影響を受けるが、コンクリートの熱伝導率が比較的小さいためその影響が版中部、さらに版下部におよぶのはおよそ2~4時間後であることがわかる。また気温の変動幅が(28.5-14)=14.5℃であるのに対して、版上部では(40.5-17)=23.5℃、中部では(33.5-21.5)=12℃、下部では(31-22.5)=8.5℃となつており、版の上部がかなり大きな温度変化を受けていることがわかる。

図-7 気温と版温度の日変化
1972年7月19日



(c) ひびわれ

表-6は試験観測区間500mにおけるひびわれの発生状況を、コンクリートの材令との関係においてまとめたものである。材令4ヶ月（10月25日現在）までの段階において、223本のひびわれが発生しており、ほぼ2.25mに1本の割合となっている。表-6において注目される事は、材令1ヶ月までのひびわれ発生数と、3ヶ月から4ヶ月までの間のひびわれ発生数が多いことである。これは、前者についてはコンクリートの強度が十分に発揮されていない時期である事、また後者についてはコンクリート打設時点の6月末に比べて9月末から10月末の間の平均版温度の著しい低下によって、温度による収縮が急激に進行したことに原因すると考えられる。

表-6 コンクリートの材令とクラックの発生本数

材 令	発生本数	月間発生数
1週間	1本	72本
2週間	40	
1ヶ月	72	
2ヶ月	92	20
3ヶ月	135	43
4ヶ月	223	88

表-7は材令4ヶ月の時点で発生しているひびわれ223本の長さの分布を示したものである。これをみると、長さが3mより大であるものが約半数をしめているものの、その幅については0.05mm以下のものが圧倒的に多く、最大でも0.15mm止まりであることがわかる。12月1日に交通解放が行なわれ、冬期の厳しい気象条件を経過した時点で、ひびわれが大幅に開口するかどうか大きな問題となる。

表-7 材令4ヶ月における
クラックの長さの分布

長 さ		幅	
0～50cm	25本	0.01～0.05mm	144本
51～100	29	0.06～0.10	68
101～200	37	0.11～0.15	11
201～300	28	平均幅	0.06mm
301～全幅	104		
平均長さ	23.2m		

(d) 路面のすべり

試験は9月28日に実施した。試験結果は表-8の左欄にあるとおりである。建設省土木研究所の提案によれば、時速60kmにおける一般道路に対する最小すべり摩擦係数として0.40を与えているので、今回施工した連続コンクリート舗装はすべりに対して十分安全であると言えよう。

表-8 路面のすべり試験結果

	連続舗装	PC舗装
20Km/h	0.73	0.78
40	0.63	0.63
60	0.56	0.55
路面状態 …湿 潤 タイヤ種別 …BG5.60-13 6P 空 気 圧 …1.8kg/cm ² 輪 荷 重 …150Kg		

4 プレストレスト・コンクリート舗装

プレストレスト・コンクリート舗装（以後PC舗装と略す）は、コンクリート版にあらかじめプレストレスを与えておいて、版に生ずる引張応力を減ずることにしたものである。このようにすることによつて、引張強度が小さいというコンクリートの弱点を改善することができるので、版厚を減ずることができ、横目地の数もかなり省くことができる。コンクリート版にプレストレスを導入する工法には種々あるが、森バイパスではプレテンション方式を採用した。プレテンション方式PC舗装は、適当な長さのPC鋼材を一時的に固定するためためのアバットを舗装版の両端に設け、この間に所定のPC鋼材を緊長してアバットに定着した後、コンクリートを打設し、このコンクリートが所定の強度に達した後、目地部分でPC鋼材を切断し、コンクリートとPC鋼材の付着によつて版にプレストレスを導入する工法で、一方アバット部分はポストテンション方式によつて造り、アバットとして使用した後は、道路の一部として使用する。

(1) 設計

(i) 設計条件

- ① 形式 可動式プレテンション方式
- ② 延長 496m

- ③ 設計輪荷重 $P=8.0 \text{ ton}$
- ④ 路盤支持力係数 $K_{75}=7 \text{ Kg/cm}^3$
- ⑤ 路盤摩擦係数 プレテン部 $f=1.0$
アバット部 $f=0.5$
- ⑥ シースの摩擦係数 スtrand $\lambda=0.004\%/cm$
鋼棒 $\lambda=0.003\%/cm$
- ⑦ コンクリートの性質
- 材令28日の圧縮強度 $\sigma_{28}=350 \text{ kg/cm}^2$
- 材令28日の曲げ引張強度 $\sigma_{ca}=45 \text{ kg/cm}^2$
- プレストレス導入時圧縮強度 $\sigma_{ct}=280 \text{ kg/cm}^2$
- ポアソン比 $\mu=0.15$
- クリープ係数 $\phi=2.25$
- 乾燥収縮度 $\varepsilon=20 \times 10$
- 弾性係数 設計荷重作用時 $E_c=3.25 \times 10^5 \text{ kg/cm}^2$
プレストレス導入時 $E'_c=2.9 \times 10^5 \text{ kg/cm}^2$
- 単位重量 $w=2.5 \text{ ton/m}^3$

- ⑧ *P C* 鋼材の性質
- a) *P C* 鋼より線 (*JIS*G3536 *SWPR*7B7本
より $\phi 12.7$)

断面積 $A_p = 0.988 \text{ cm}^2$

弹性系数 $E_p = 2.0 \times 10^6 \text{ kg/cm}^2$

引張強度 $P_u = 18700 \text{Kg}$

降伏点強度 $P_y = 15900\text{Kg}$

レラクセーション 5%

- b) 高周波PC鋼棒 (NPR5φ14)

斷面積 $A_p = 133 \text{ cm}^2$ 引張強度 $P_u = 18,000 \text{ Kg}$

降伏点強度 $P_y = 16.800 \text{ Kg}$

- (ii) 輪荷重応力

P C 舗装のための実用的な設計公式が確立されていないので、これまでに行なわれた設計例を参考にして、版中央部に対しては *Westergaard* の修正式、版縁部に対しては *Westergaard* の縁部載荷公式を使用する。

- a) 中央部載荷公式 (ドイツ「空港PC舗装設計施工規準」による)

$$\delta i = 0.0547 \frac{P}{b^2} \left[\left(\frac{b}{\ell} \right)^2 - 10.184 \log e \left(\frac{b}{\ell} \right) + 3.714 \right]$$

- b) 縁部載荷公式（「セメントコンクリート舗装要綱」による）

$$\delta e = 2.116 (1 + 0.54 \mu) \frac{P}{\mu^2} [\log l - 0.75 \log a - 0.18]$$

ここで h は版厚、 l は剛比半径、 b は等値接地半径である。 l と b の求め方については、「セメントコンクリート舗装要綱」によつた。所定の数値を代入して δ_i , δ_e を計算すると、

$$\delta_i = 30.0 \text{ kg/cm}^2, \quad \delta_e = 50.8 \text{ kg/cm}^2$$

- (iii) 温度応力

- a) 路盤摩擦応力

年間を通してのコンクリート版の温度変化を 30°C と仮定すると、固定域 x (舗装版の自由端から版の動きがなくなる位置までの距離) は次式のとおり、

$$x \equiv E_c \cdot \alpha \cdot \wedge t / (f \cdot w)$$

ここで、 α : コンクリートの熱膨張係数 ($=1.0 \times 10^{-5}$)

Δt : 温度差 (=30℃)

以上の条件から計算すると、 $x=390m$ となつて、全域可動となり、応力は次式によつて決まる。

$$\delta t = w \cdot f \cdot L / 2$$

ここで、 L は版長で	ブレテン部	$\delta l = 12.4 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}$
	アバツト部	$\delta l = 5.6 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}$
	版幅方向	$\delta l = 0.9 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}$

この値は温度上昇時には圧縮応力となり、温度下降時には引張応力となる。

- b) そり拘束応力

Westergaard の式より、

$$\delta t = E_c \cdot \alpha \cdot \theta / 2 (1 - \mu)$$

ここで θ は版上下面の温度差で、 $\theta = \lambda h$ 。 λ は温度勾配で、温度上昇時には $\lambda = 0.7^\circ\text{C}/\text{cm}$ 、下降時には $\lambda = 0.35^\circ\text{C}/\text{cm}$ と仮定する。

したがつて、温度上昇時には $\delta t = 20.1 \frac{\text{kg}}{\text{m}^2}$

温度下降時には $\delta t = 1.0 \text{ } \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}$

- (iv) 曲げ応力度の合計

- a) 版長方向

輪荷重による応力は縁部載荷公式を使用し、温度応力は路盤摩擦応力と温度上昇時のそり拘束応力を考える。

- b) 版幅方向

輪荷重による応力は中央部載荷公式を使用し、
温度応力は路盤摩擦応力と温度上昇時のそり拘束

応力を考える。

したがって、版長方向（プレテン部） $58.5 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}$
 版長方向（アバット部） $65.3 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}$
 版幅方向 $49.2 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}$

(V) 有効プレストレスの計算

A) 版長方向（プレテン部）

PC 鋼より線（JISG3536SWPR7B7本より ϕ 12.7）を版幅 3.5m に 12 本（30cm ピッチ）使用する。
 アバット端部での 1 本当りの緊張力 $P_t = 15900 \text{ Kg}$ とする。

a) 導入プレストレス量

アバット部のシーす摩擦による引張力の損失を
 考えた PC 鋼線の緊張荷重 P_o は、

$$P_o = P_t / (1 + \lambda l)$$

ここで、 l は PC 鋼より線の長さである。

P_o を計算すると、 $P_o = 13483 \text{ Kg}$

したがって導入プレストレス δp は、

$$\delta p = 12 \times p_o / (b \times h) = 30.8 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}$$

(b) 路盤摩擦によるプレストレス損失量

$$\sigma_1 = w \cdot f \cdot L / 2 = 12.4 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}$$

(c) 導入時のコンクリートの弾性収縮による
 プレストレス損失量

$$\sigma_2 = (\delta p - \sigma_1) \cdot \frac{E_p}{E_c} \cdot \frac{A_p}{A_c}$$

ここで、 A_p は PC 鋼より線の断面積であり、 A_c はコンクリートの断面積である。

したがって、 $\sigma_2 = 0.3 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}$

(d) コンクリートのクリープおよび乾燥収縮による
 プレストレス損失量

コンクリートのクリープおよび乾燥収縮による
 PC 鋼材の応力度の減少量 $\delta p \phi$ は

$$\delta p \phi = \frac{\frac{E_p}{E_c} \cdot \phi \cdot \delta c p t + E_p \cdot \epsilon_s}{1 + \frac{E_p}{E_c} \cdot \frac{\delta c p t}{\delta p t} (1 + \frac{\phi}{2})}$$

ここで、 $\delta c p$ は PC 鋼材位置におけるコンクリートの圧縮応力度、 $\delta c p t$ は PC 鋼材位置における
 プレストレス導入直後のプレストレス、 $\delta p t$ は
 プレストレス導入直後の PC 鋼材の引張応力度で
 ある。したがって、 $\delta c p = \delta c p t = \delta p - \sigma_1 - \sigma_2 = 18.2 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}$ 、
 $\delta p t = P_o / A_p = 13.647 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}$ となる。以上
 のことから $\delta p \phi$ を計算すると、 $\delta p \phi = 641.8 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}$ となる。

したがって、 $\sigma_3 = 12 \times \delta p \phi \times A_p / (b \times h) = 1.4 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}$

(e) PC 鋼材のレラクセーションによるフ

レストレス損失量

$$\Delta P = 0.05 \times P_t = 674 \text{ Kg}$$

$$\sigma_4 = 12 \times \Delta P / (b \times h) = 1.5 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}$$

(f) 有効プレストレス

$$\delta c e = \delta p - \sigma_1 - \sigma_2 - \sigma_3 - \sigma_4 = 15.2 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}$$

(g) 合成応力度

$$\delta c = (\text{曲げ応力度の合計}) - (\text{有効プレストレス}) \\ = 58.5 - 15.2 = 43.3 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2} < 45 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}$$

(B) 版長方向（アバット部）

JISG3563SWPR7B7本より ϕ 12.7 を版幅
 3.5m に 12 本使用。1 本当りの緊張力 P_t は降伏
 点荷重の 9 割とする。 $P_t = 0.9 P_y = 14300 \text{ Kg}$

C) 版幅方向

高周波 PC 鋼棒（NPR5） $\phi 14$ を 60cm ピッチ（
 1.7 本/m）で使用。1 本当りの緊張力 P_t は降伏
 点荷重の 9 割とする。 $P_t = 0.9 P_y = 15120 \text{ Kg}$

版長方向のアバット部ならびに版幅方向のプレ
 ストレスは、版長方向のプレテン部に対する場合
 と同様にして求めることができるので詳細につい
 ては略す。

a) 有効プレストレス

$$\text{アバット部 } \delta c e = 21.0 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}$$

$$\text{版幅方向 } \delta c e = 14.1 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}$$

b) 合成応力度

アバット部

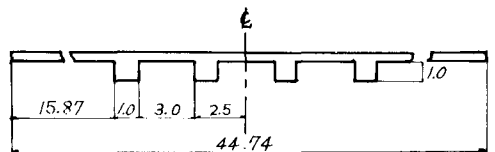
$$\delta c = 65.3 - 21.0 = 44.3 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2} < 45 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}$$

版幅方向

$$\delta c = 49.2 - 14.1 = 35.1 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2} < 45 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}$$

(iv) アバット部の設計

アバット部は施工上の問題から、キー付アバツ
 トと土砂盛アバツトを併用する。キー付アバツト
 の構造は図-8 のようにする。



A) 水平力

緊張時、アバットに発生する水平力は、

$$P_t = 12 \times 15900 \text{ Kg} = 191 \text{ ton}$$

B) アバットの水平抵抗力

アバットの水平抵抗力は、アバット上に積載した土砂重量および舗装版重量による舗装版底面と路盤面との摩擦抵抗力およびアンカーの受働土圧によつて受け持たせる。

(a) 摩擦による水平抵抗力

安全を見込んで、摩擦係数を0.5として計算する。

舗装版

$$44.74 \text{ m} \times 3.5 \text{ m} \times 0.15 \text{ m} \times 2.5 \text{ t/m}^2 \times 0.5 = 29.4 \text{ ton}$$

土砂

$$44.74 \times 3.5 \times 0.70 \times 1.8 \times 0.5 = 98.7 \text{ ton}$$

アンカー

$$4 \text{ 本} \times 3.5 \times 1.0 \times 1.0 \times 2.5 \times 0.5 = 17.5 \text{ ton}$$

摩擦による水平抵抗力の合計は 145.6 ton になる。

(b) アンカーによる受働土圧

$$P_p = \frac{1}{2} \cdot r \cdot H^2 \cdot N\phi + H(2C\sqrt{N\phi} + qN\phi)$$

ここで、 r : 土の単位体積重量 1.6 ton/m^3

H : アンカーの高さ 1 m

$N\phi$: 受働土圧係数

$$N\phi = \tan^2(45^\circ + \phi/2)$$

ϕ は土の内部摩擦角で、 $\phi = 20^\circ$ とすると $N\phi = 2.04$

C : 土の粘着力 0 ton/m^2

q : 上載荷重

舗装版

$$2.5 \text{ t/m}^2 \times 0.15 \text{ m}^2/\text{m}^2 = 0.375 \text{ ton/m}^2$$

土砂 $1.8 \times 0.7 = 1.260 \text{ ton/m}^2$

$$\text{合計} = 1.635 \text{ ton/m}^2$$

以上の事から P_p を計算すると、 $P_p = 4.97 \text{ ton/m}$

したがって受働土圧による水平抵抗力は、

$$4.97 \text{ t/m} \times 3.5 \text{ m} \times 4 \text{ 本} = 69.6 \text{ ton} \text{ になる。}$$

(c) 水平抵抗力の合計

$$145.6 + 69.6 = 215.2 \text{ ton} > 191 \text{ ton}$$

(2) 施工

工事は6月中旬に着手して7月末に完了した。施工上の問題から、工事起点(函館側)からみて右側車線部分を築造した後に、左側車線部分の築造を行なった。工程はまずアバットのアンカー一部のリブの施工より始まる。

次に目地部の枕版の施工を行なった後に型枠工を行ない、路盤表面に路盤摩擦を減少するために

砂を約1cmに仕上げ、アバット部に路盤紙を敷いた。次にアバット部の配筋を行ない、6月25日にアバット部のコンクリートを打設した。麻袋による湿潤養生を行なった後、アバット部に砂利を積載してアンカーとし、6月29日にPC鋼より線の緊張を行なった。次にプレテンション部に路盤紙を敷くと共にシース配置と配筋を行なった。次に6月30日、7月1日、3日の3日間で目地部以外のプレテンション部のコンクリートを打設し、麻袋による養生を行なつて十分な強度が得た後7月6日に目地部においてPC鋼より線をバーナーで切断してプレストレスの導入を行なった。右側車線部におけると同様の手順で、7月23日に左側車線部のプレストレスの導入を終えた。その間7月15日にアバット部のPC鋼棒の横締め(左右両車線を一体にして)を行なっている。7月21日よりアバット部に対するグラウト工を行ない、その後プレテンション部に対する横締めと共にグラウト工を行なった。最後に目地の後埋部にコンクリートを打設して、7月28日に全工程を完了した。

コンクリートは連続コンクリート舗装の場合と同様に生コンを使用した。セメントは早強ポルトランドセメントを使用し、凝結遅延剤としてポゾリス $\text{AK}100R$ を使用した。コンクリートの配合は表-9、グラウトの配合は表-10のとおりである。

表-10 グラウト配合

普通セメント	水 量	水セメント比	ポゾリス $\text{AK}8$	アルミ粉
40Kg	16.8Kg	42%	100g	2g

コンクリートの運搬は傾胴回転型アジテータ車で行ない、運搬時間は約20分であつた。コンクリート打設日の天候は表-11のとおりである。なお図-9に定規図、図-10に全体平面概略図を掲げてある。

表-11 コンクリート打設日の天候

	月日	天候	曜日	気温(正午)	舗装場所
右側車線	6・25	快晴	日	21.9℃	アバット部
	30	くもり	金	18.3	プレテン部
	7・1	晴	土	22.5	"
	3	くもり	月	18.3	"
左側車線	7・13	晴	木	24.1	アバット部
	18	晴	火	25.0	プレテン部
	19	快晴	水	23.4	"

(3) 材料の品質と試験結果

(i) PC鋼材

PC鋼材の引張強度試験結果は表-12のとおりである。

(ii) 路盤支持力

図-10のP2版のアスファルト安定処理路盤およびP8版の切込砂利路盤の車線中央部と路側部において、平板荷重試験(荷板直径30cm)を行なった結果は次のようであつた。

アスファルト安定処理路盤	中央部	40 $\frac{kg}{cm^2}$
	路側部	20 $\frac{kg}{cm^2}$
切込砂利路盤	中央部	40 $\frac{kg}{cm^2}$
	路側部	24 $\frac{kg}{cm^2}$

表-9 コンクリート配合

粗骨材の最大寸法	スランプ	単位水量	単位セメント量	水セメント比	細骨材率	単位細骨材量	単位粗骨材量	混和剤	空気量
25mm	5cm	145Kg	346Kg	41.9%	37.9%	737Kg	1112Kg	0.865Kg	5±1%

図-9 PC舗装定規図 $S = \frac{1}{50} (M)$
(敷砂部)

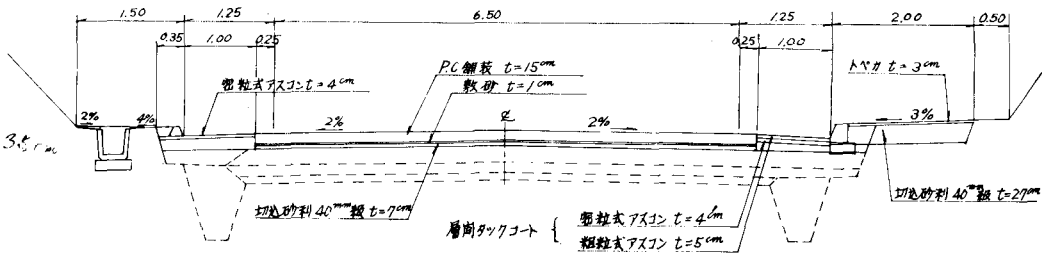


図-10 全体平面概略図

単位 mm						函館
札幌	A 1	P 1	P 3	P 5	P 7	A 3
	A 2	P 2	P 4	P 6	P 8	A 4
44,740 +520		99,480 アスファルト 安定処理路盤	4@520=1,080+3@99,480=293,440 普通路盤(切込砂利)			44,740
A版-アバット部			P版-プレテン部			

表-12 PC鋼材の品質

PC鋼より線

線 径 mm	引張荷重 Kg	降伏点荷重 Kg	心線径と 側線径の差 mm	伸 び %	レラク セーション (10時間 %)	ピッチ 倍	弾性係数 Kg/cm ²
12.80	19,700	17,900	0.14	3.5 <	1.68	14.3	19,600
12.81	19,000		0.14	3.5 <			
12.81	19,600		0.13	3.5 <			

高周波 PC鋼棒

直 径 mm	引張荷重 Kg	降伏点荷重 Kg	伸 び %	ねじ部 引張荷重 Kg
12.87	19,400	17,750	7.0	18,000
12.88	18,990	17,690	7.5	17,950
12.89	18,900	17,600	7.7	17,800

(iii) コンクリート用骨材

連続舗装に使用したものと同じで、表-4のとおりである。

(iv) コンクリートの強度と性状

各打設日から採取した試料の試験結果の平均値は表-13のとおりである。

表-13 コンクリートの品質

平均圧縮強度	平均曲げ強度	平均スランプ	平均空気量
45.0 ^{kg/cm²}	55.7 ^{kg/cm²}	5.1cm	4.9%

※ 強度は材令28日のもの

(4) 各種観測試験

(i) 観測試験項目

① 温度変化

温度ゲージを版表面より1.5cm、以下版底面に向つて3cm間隔に計5個、さらに版底面下5cmの路盤中に1個埋設して計測を行なつた。P2版とP8版に埋設した。

② ひずみ量

カールソン型ひずみ計を版厚中央部に、道路の縦方向に計10個埋設した。P1版とP7版に埋設した。

③ 路盤摩擦測定試験

図-10にあるアスファルト安定処理路盤上のP1版と切込砂利路盤上のP7版をジャツキによつ

て滑動させて、路盤摩擦係数の測定を行なつた。

④ 静的載荷試験

P1版とP7版について、それぞれ版縁部と版中央部で直径40cmの載荷板を用いて、24ton ままでの載荷を行なつて、その時の版の各点のたわみ量とひずみをダイヤルゲージとストレインゲージによつて計測を行なつた。

⑤ 路面のすべり試験

すべり試験車によつて、湿潤路面状態における縦すべり摩擦係数を測定した。

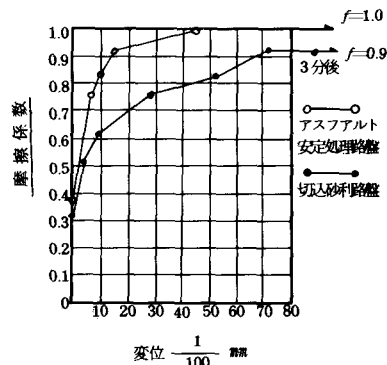
(ii) 観測試験結果

今回は紙数の制約もあり、また十分な考察を行なっていないなどの理由から、路盤摩擦測定試験結果と路面のすべり試験結果について述べ、他の観測試験結果については、次報において詳細に報告することにする。

(a) 路盤摩擦測定試験結果

試験は7月7日に実施した。アスファルト安定処理路盤上にあるP1版と切込砂利路盤上にあるP7版について、荷重と変位の関係を求め、それより変位量と摩擦係数の関係を求めたのが図-11である。

図-11 変位-摩擦係数図



これによると、すべり摩擦係数は、アスファルト安定処理路盤で $f=1.0$ 、切込砂利路盤上で $f=0.9$ であつた。

(b) 路面のすべり試験結果

試験は9月28日に実施した。試験結果は表-8の右欄にあるとおりである。

5 おわりに

北海道において初めて施工された、連続コンクリート舗装とプレテンション式 PC 舗装の設計と施工の大略と試験調査結果の一部を紹介したが、この報文を作成するにあたり、函館開発建設部松尾徹郎道路課長、東紀夫落部道路改良事業所長を始めとする所員の方々、地崎道路株式会社およびピー・エス・コンクリート株式会社に多大なる御協力を頂いたことに感謝の意を表します。

〔参考文献〕

- ① 岩間滋・福田正 コンクリート舗装の構造設計, 理工図書
- ② 福田正・月成稔 連続鉄筋コンクリート舗装に関する2, 3の試験 土木研究所報告第119号
- ③ 福田正 プレストレストコンクリート舗装に関する実験的研究(1) 土木研究所報告第117号
- ④ *CONCRETE ROADS COMMITTEE REPORT, PERMANENT INTERNATIONAL ASSOCIATION OF ROAD CONGRESSES, XIVth CONGRESS in PRAGUE, 1971*