

千葉県姉ヶ崎地区のPC舗装について

鷓 沢 晃*
 林 保 雄**
 柳 下 肇***
 鎌 田 太***

1. ま え が き

プレストレスト コンクリート舗装（以下PC舗装と略す）は、1946年フランスのルザンシーにおける橋梁取付け道路と、1947年のオルリー空港の滑走路に始まり、以後欧州各国では、本格的試験工事が数多く実施され、きわめてよい結果が報告されている。

空港の滑走路としては、すでに数百万 m² も施工され实用段階に入っているが、しかし一般道路としてはなにか延び悩み続けている感があった。その理由は、技術的問題よりむしろコストの面にあると考えられる。空港の滑走路の場合は、飛行機荷重が大きいので、舗装版に大きな応力が生じ、PC舗装の長所を十分に発揮でき、他の工法よりコスト面でも安くなる。一般道路の場合は、他の工法にくらべ高価になるという理由で敬遠されてきた。しかしながら一般道路でも地盤が軟弱な場合、あるいは最近のように車が大型化し、しかも交通量が急激に増加すると、従来の常識的なセメント コンクリート舗装やアスファルト舗装では、その荷重に耐え得ないという例がはなはだ多くなっている。あえて、これらの舗装で過酷な輪荷重に耐えさせようとするれば、かなり工事費がかさんでくる。さらに最近では、高速度で走行するようになり、目地数の少ない舗装が要求され、また舗装用骨材の供給が悪化しており、骨材が少なくすむ舗装が経済的に有利になりつつある。このように考えてみると、PC舗装は、一般道路としても滑走路の場合と同様その長所を十分に発揮できるので、コストの面でも他の工法にひけをとらないところが最近多くなっているように思われ、一般道路としてのPC舗装も实用段階に入りつつあるように思われる。

以下、現在千葉県姉ヶ崎地区の埋立地内でもとくに地

* 千葉県開発局五井姉ヶ崎工事事務所 所長

** " " 工務課長

*** ピー・エス・コンクリート株式会社東京営業所

盤の軟弱なところに施工しているPC舗装工事について報告する。

2. 概 要

東京のお茶ノ水駅から総武線に乗り約1時間で千葉駅に着く。ここで房総半島の東京湾に沿って走っている房総西線に乗り換え約30分、7つ目の駅が当工事現場最寄りの駅姉ヶ崎である。房総西線は、まだ電化されておらず長い煙突から煙を出して走る機関車に引かれ、ガタゴト行くと、こんなに東京に近い所でローカル気分が味わえるところがあったのかと驚く。しかしながら、海岸側の窓越しの風景は、大きなコンビナート工場の連続で二度驚かされる。これが現在千葉県が開発局を設け、約1億5000万 m² もの土地造成を行ない企業誘致をしているところの一部である。

本件のPC舗装道路は、上記土地造成のうち千葉県開発局五井姉ヶ崎工事事務所が担当している養老川から姉ヶ崎に至る約9km間の埋立地内の1号線道路中 図-1に示すごとく、とくに地盤の悪い出光地区の1kmと三井地区の3kmのものである。

道路断面は、図-2に示すごとく幅50mの道路で、うち幅員8mの車道2本をPC舗装で施工した。

その他概要は表-1のとおりである。

表-1 出光・三井地区におけるPC舗装の概要

	出 光 地 区	三 井 地 区
施工場所	1号線道路、出光興産および東京電力前	1号線道路 三井石油化学前
方 式	ポストテンション 可動方式	プレテンション 可動方式
延 長	2km (スパン 50~100m)	6km (スパン 50m)
幅 員	8m	8m
面 積	16000 m ²	48000 m ²
版 厚	12cm	12cm
施 工 者	ピー・エス・コンクリートKK	ピー・エス・コンクリートKK

3. 路床および路盤

ポンプ船による深さ約4.5mの埋立地で、写真-1で

図-1 PC 舗装施工場所

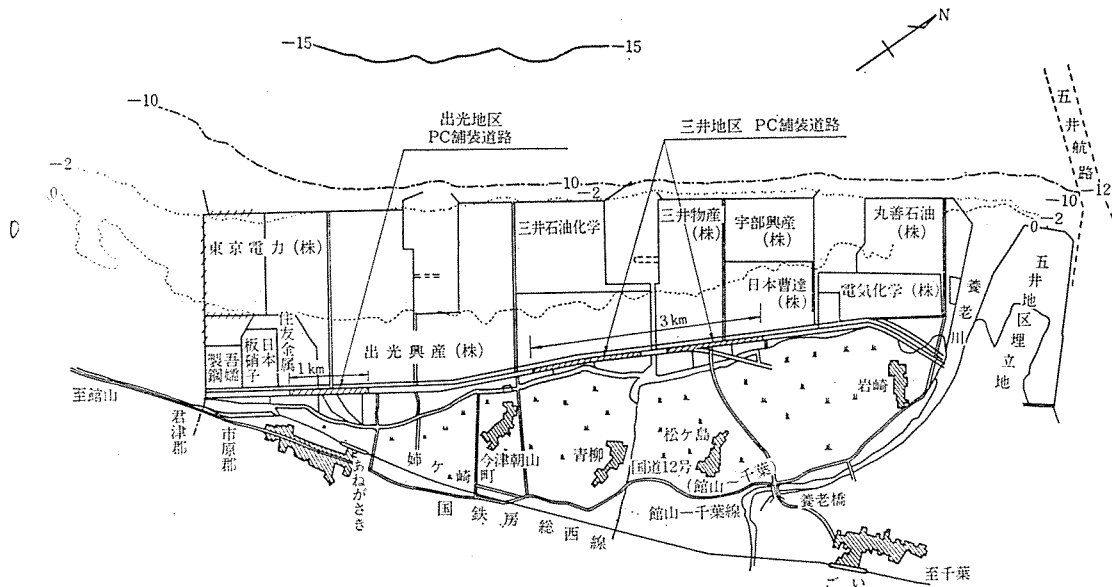
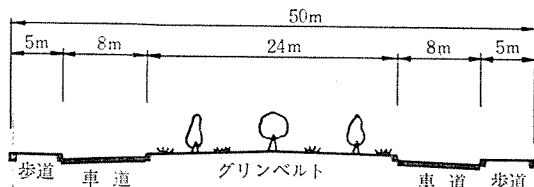


図-2 1号線道路断面図



もわかるように、表層を見たところ非常に軟弱な地盤であるように見られるため、出光地区および三井地区に試験工区を設け、調査ボーリングおよびスエーデン式貫入試験で地層堅硬度相対密度を調べた。また調査ボーリングで採取した試料で土質試験を行なった。土質試験は、力学試験で一軸圧縮、三軸圧縮および圧密試験、物理試験で単位体積重量、真の比重、含水比、液性限界、塑性限界および粒度分布の諸測定である。

ボーリングおよび貫入試験から表面 50 cm の厚みはシルト層で、この部分のサウンディング抵抗は 25~75 kg しかなく、乾燥状態にもかかわらず強度はまったくない。表面以下の土層も全工区についてほとんど変化なく、シルトをふくむ細砂が支配的で、N 値は 5 以下、1.2 の値が多い。貫入試験およびサウンディング抵抗が安定するのは、-4.5~-5.0 m 以下で、おおむね N 値は 10 以上、 R_{25} で 10~20 を示している。孔内水位は、全工区ほとんど表面下 50 cm 位のところにあり、砂層は十分滞水している。土質試験の結果は、表-2 のとおりである。上記地盤調査の結果、工区内のもっとも軟弱なところに 30 m の試験路盤を構築した。これは路盤支持力係数 $K_{75}=3 \text{ kg/cm}^3$ を目標として、入れ換え砂、鉍滓の厚さおよび組合わせを変えて 4 種類の路盤をつくったものである。

載荷試験、施工面、経済面より結論として鉍滓を直接踏み込み、出光地区では約 60 cm、三井地区では、約 2 m の路盤をつくった。

表-2 土質試験結果

力学試験	圧縮強さ	乱さない 乱した	$q_u=0.08\sim0.42 \text{ kg/cm}^2$ $q_u=0$
	内部摩擦角	圧密急速せん断 非圧密、非排水	$K=15^\circ\sim22^\circ$ $K=0^\circ$
	粘着力	圧密急速せん断 非圧密、非排水	$C=0.02\sim0.10 \text{ kg/cm}^2$ $C=0.06\sim0.15 \text{ kg/cm}^2$
物理試験	真の比重	比	2.6~2.7 一部 2.5
	含水比	液性限界 塑性限界	40~180 % 139.9~57.5 % 72.4~25.8 %
透水性試験	透水係数	砂質土	平均 $5 \times 10^{-6} \text{ cm/sec}$
		粘性土	$1 \times 10^{-7} \text{ cm/sec}$

4. PC 舗装版の設計概要

構造設計は、主に昭和 36 年、37 年の 2 年間にわたって建設省土木研究所構内で行なわれた PC 試験舗装の試験データにもとづき行なった。

(1) 設計条件

- 寸法 版長 (版 1 枚当り) 50 m
版幅 8 m
版厚 12 cm
- 設計輪荷重 輪荷重 8 t
接地半径 20 cm
- 路盤支持力係数 $K_{75}=3 \text{ kg/cm}^3$
- 路盤摩擦係数 (すべり摩擦係数に換算して) 1.0
- 舗装版の温度変化量 30°C
- コンクリートの性質 圧縮強度 $\sigma_{28}=300 \text{ kg/cm}^2$

プレストレス導入時
 $\sigma_{ct} = 240 \text{ kg/cm}^2$
 ポアソン比 $\mu = 0.15$
 膨張係数 $10^{-5}/^\circ\text{C}$
 クリープ係数 2.0
 乾燥収縮度 12.0×10^{-5}
 ヤング率 2000000 kg/cm^2
 レラクゼーション 3%

7) PC鋼材の性質

(2) 版厚の決定

建設省土木研究所のPC試験舗装の経験から、施工面、経済性を考えて12cm厚とした。

(3) プレストレス量の決定

舗装版に応力を生ぜしめる外力は、輪荷重と温度変化量とした。輪荷重による設計曲げモーメントとしては、図-3に示すPC舗装版表面にひびわれを生ぜしめる負の曲げモーメントを考えている。負の最大曲げモーメントの値は、正の最大曲げモーメントの1/5とし、正の最大曲げモーメントは、式(1)の縁部載荷時のウエスタガードの式より求めた。ただし実際の輪荷重は、くり返し動荷重であるから安全率2を掛け16tの静荷重とした。

$$\sigma_e = 2.116(1 + 0.54\mu) \frac{P}{h^2} \left[\log_{10} \frac{l'}{b} + 0.026 \right] \dots (1)$$

$$l' = \sqrt[4]{\frac{Eh^3}{12(1-\mu^2)K_{30}}} \quad K_{30} = 2.2 K_{75} \dots (2)$$

ここに

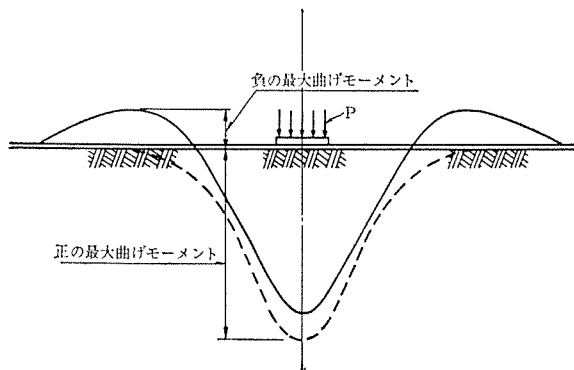
- σ_e : 版縁部載荷時に舗装版に生じる最大応力。
- μ : コンクリートのポアソン比=0.15
- P : 輪荷重=8t×2(安全率)=16t
- h : 舗装版厚=12cm
- l' : K_{30} で求めた剛比半径
- b : 等価接地半径=20cm

以上の値を式(1)に代入すると、

$$\sigma_e = 117.4 \text{ kg/cm}^2$$

ゆえに負の曲げモーメントによって生じる応力は、

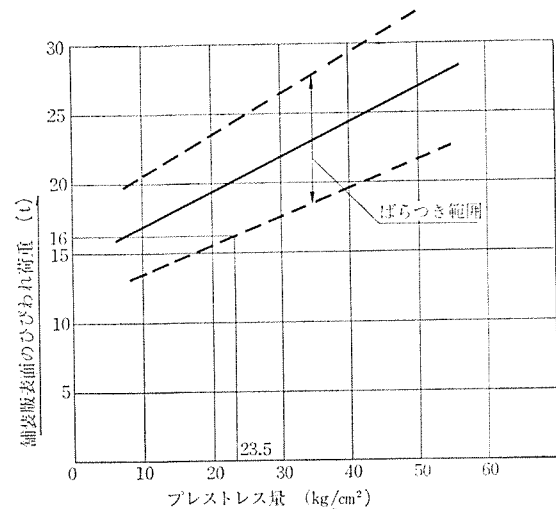
図-3 曲げモーメントの分布



$$\frac{1}{5} \sigma_e = \frac{1}{5} \times 117.4 = 23.5 \text{ kg/cm}^2$$

また、建設省土木研究所PC試験舗装の試験データであるプレストレス量と表面ひびわれの荷重の関係 図-4と比較すると、輪荷重16tに対し、23.5 kg/cm²のプレストレスを導入しておけば十分安全であることもわかる。それで輪荷重に対して有効プレストレス23.5 kg/cm²を導入することにした。

図-4 建設省土木研究所構内試験結果でコンクリート曲げ強度50 kg/cm²、路盤支持力係数3~4 kg/cm³、舗装版厚12cmの場合にPC舗装版の縁部に載荷したときのプレストレス量と舗装版表面のひびわれ荷重との関係



一方温度変化により生じる応力は、路盤摩擦拘束による応力だけ考え、温度差30°Cで版長50mでは、完全に固定される区間は生じないため次式で求めた。

$$\sigma_t = f \cdot w \cdot x \dots (3)$$

ここで f : 路盤摩擦係数=1.0

w : コンクリート単位体積重量=2.5×10⁻³ kg/cm³

x : 舗装版自由端から応力を求める位置までの距離=2500cm

式(3)に以上の値を代入すると

$$\sigma_t = 6 \text{ kg/cm}^2$$

ゆえに設計有効プレストレスは、つぎのように決定した。

$$\sigma_{pe} = \frac{1}{5} \sigma_e + \sigma_t = 23.5 + 6 = 29.5 \approx 30 \text{ kg/cm}^2$$

横方向プレストレスは、温度変化により生じる応力を考えず、輪荷重に対する安全率も1.5にして約18 kg/cm²の有効プレストレスを導入している。

5. PC舗装版の構造および施工

(1) 出光地区

姉ヶ崎駅に降りると、海側に出光興産の大きな石油精製所が見える。その前をとおっている一号線道路の2 km が当工区のポステンション可動方式PC舗装道路である。

この工区は、三度に分け発注し、いろいろ失敗もあり逐次改良されたので、最後に発注した500 m 分につき説明する。

図-5 ポステンション可動方式

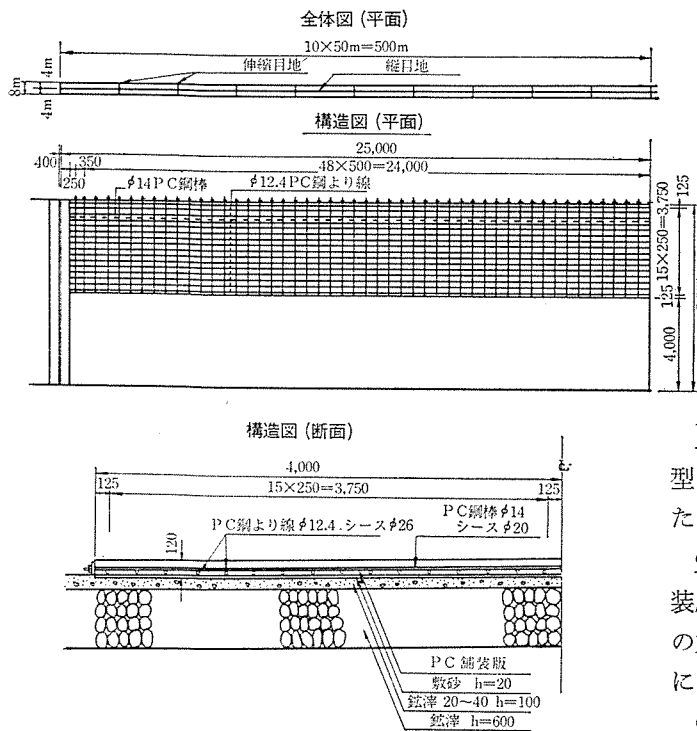
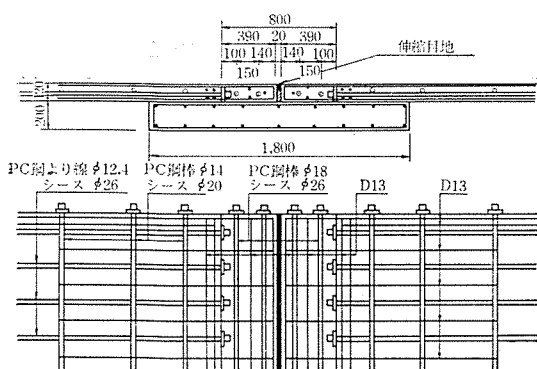


図-6 出光地区伸縮目地詳細図



全長 500 m で、50 m 間隔に 30 mm の伸縮目地を設け、幅員 8 m の中央に縦目地(施工目地)がある。版厚は 12 cm である。

縦方向ケーブルは、φ12.4 mm のPC鋼より線と、φ26 mm のフレキシブル シースを使用し、版厚 12 cm の下縁から 5 cm のところに 25 cm 間隔に配置されている。横方向ケーブルは、φ14 mm のPC鋼棒とφ20 mm のフレキシブル シースを使用し、縦方向ケーブルの上に 50 cm 間隔に配置してある。

伸縮目地のところは図-6 に示すごとく、伸縮目地の下に幅 8 m、厚さ 20 cm、長さ 1.8 m のRC 構造の目地部補強用枕版を設けてある。枕版の上、伸縮目地の前後 40 cm ずつ、計 80 cm は、縦ケーブル緊張用ジャッキ使用のため、間をあけておき、縦緊張完了後、PC版から出ている鉄筋でRC構造とし跡埋めコンクリートを打設する。ただし、横方向は、φ18 mm PC鋼棒でプレストレスを導入してある。

伸縮目地には、節なし杉板と、はめ込み式合成ゴム目地材を使用し、縦目地には、トップシールを注入している。

つぎに施工法を施工順序にそって説明する。

a) 敷砂工 誤差 ±5 mm 以内の路盤と伸縮目地補強用枕版ができ上がると、なるべく粒径のそろった海砂または山砂を厚さ 2 cm に敷き十分湿らせた上をローラー転圧した。これは、プレストレス導入時と温度応力に影響する路盤摩擦力を減少させることを目的とする。

b) 型わく工 高さ 12 cm、厚さ 3.2 mm の鋼製型わくを使用し、φ22、 $l=500$ mm の鉄製ピンで固定した。

c) 路盤紙工 PC舗装版は、一般コンクリート舗装版に比べ版厚が薄いためコンクリートの水分が路盤の方に吸収されると仕上げが困難となることから路盤紙に 0.05 mm のポリエチレンフィルムを使用した。

d) 鉄筋、PCケーブル組工 縦ケーブルは、シースにPC鋼より線をとおし組めるが、横ケーブルは鋼製型わくに孔をあけてないので鋼棒をとおして組むわけにはゆかない。それでコンクリート打設中シースをつぶす危険性があるため、シースのなかに鉄筋または硬質ビニール管を入れてそれを防いでおり脱型後鋼材を入れた。ケーブルの高さ方向の位置は、縦、横ケーブルの交差点に約 4 cm 立方のモルタルスペーサを下にかましてとらせている。鉄筋は、すべて異形鉄筋を使用した。

e) コンクリート工 コンクリートは、レデーミクスト コンクリートを使用した。配合は表-3 のとおりである。

表-3 レデーミクスト コンクリートの配合 (1 m³ 当り)

セメント (kg)	水 (kg)	粗骨材 (kg)	細骨材 (kg)	w/c	S/A	最大粗骨材	スランプ (cm)
351	143	614	1285	40.7	32.7	25 mm	3~6

コンクリート打設は、フレキシブル バイブレーターと木製タンパーで締固め、簡易フィニシャーと木製フロートで表面の平坦性をとり、最後に帚目仕上げとした。

f) 養生工 帚目仕上げ後、穴あきビニール フィル

ムで表面をおおい散水し、数時間後麻袋に換え十分な散水を行なった。

養生は2日間だけ行ない、材令2日目に行なった仮緊張以後は、まったく行なわず、なんらきれつは生じなかった。

g) 緊張工 縦方向プレストレス導入は、二度に分けて行なった。すなわち、コンクリート打設後48時間後に仮緊張を、材令6日目後に本緊張を行なった。仮緊張は、温湿度変化、乾燥収縮などによるきれつ発生保護とコンクリート自身の曲げ強度をあげるプレストレス養生を目的として、片引きでケーブル1本当り3tでプレストレスを導入した。本緊張は、ケーブル1本当り13.5tで両引きで設計プレストレスを導入した。

横締めは、伸縮目地のところ80cm間の跡埋めコンクリート打設後最後に行なった。緊張力は、1本当り12tである。

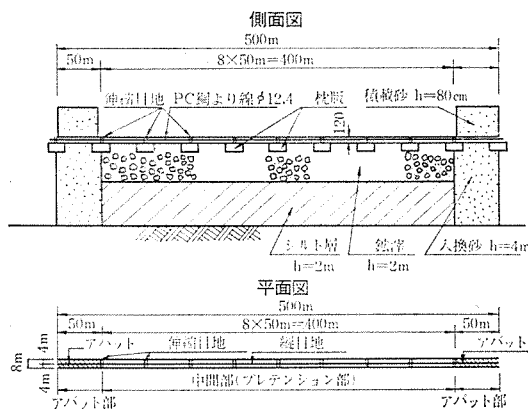
h) グラウト工 緊張後PC鋼材とシースとの空間にセメントモルタルのグラウトを行なった。

(2) 三井地区

当工区は、出光地区から同じ一号线道路を千葉の方へ約3km上ったところから延長3kmのプレテンション可動方式のPC舗装道路である。出光地区と同様、車道は、グリーンベルトをはさんで上下線二本並行にとおっているため、幅員8mで延長6kmとなる。

図-7に示すごとく、50m間隔に30mmの伸縮目地があり、その下にRC構造の厚さ20cm、幅8m、長さ2mの目地補強用枕版が設けられてある。また幅員8mの中央に縦目地を設け、幅4m分ずつ施工した。版厚は12cmである。

図-7 プレテンション可動方式



延長500m間隔に、緊張されたPC鋼より線を一時的に定着しておく版長50mのアバット部がある。これは、出光地区のポストテンション可動方式とまったく同じ構造で施工され、その上に80cm厚の砂を載せ、重量約600tのアバットとしたものである。緊張時、地表

面より2~4m間にあるシルト質粘土層面に沿ってのせん断滑動が考えられるので、アバット部の路盤だけは、旧海底地盤まで約4m砂を入れ換えた。

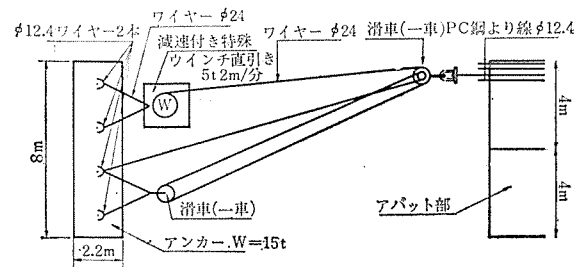
PCケーブルは、縦方向にφ12.4mmのPC鋼より線を版厚12cmの中央に25cm間隔に配置され、横方向には、φ20mmのPC鋼棒とφ26mmのフレキシブルシースを使用し、縦ケーブルの上に1m間隔に配置されている。

施工順序にそって説明する。

a) 敷砂工, b) 型わく工, c) 路盤紙工 は出光地区とまったく同様である。

d) 縦ケーブル緊張工 プレテンション部は、PC鋼材とコンクリートとの付着力によってプレストレスが導入されるものであるため、コンクリート打設前に500m間隔にあるアバット部を利用してPC鋼材を緊張する。ケーブル1本の長さは500mで、両端アバット部のシース孔をとおし緊張される。ケーブル1本当りの緊張力は、13.5tで、その際PC鋼線の伸び量は、約3.2~3.5mであるので、伸び量2.5mまでは、図-8に示すように減速付き(2m/min)直引き5t特殊ウインチで片引きで行ない、残り70cm~1m分を2台のジャッキを使用し、両引きで行ない両アバット端に定着した。

図-8 特殊ウインチによる緊張時のワイヤ配線



緊張時一番心配されたのは、アバット部のすべりの問題である。アバット部は幅8mででき上がっているが、中間部(プレテンション部)は幅4m分ずつ施工を行なうため16ケーブル分、216tの水平力が重量600tのアバットに作用することになる。実測の結果は、緊張時に1mm以上のすべりは生じなかったし、ケーブル切断時までの路盤のクリープによる移動量も生じなかった。

e) 鉄筋, 横PCケーブル組み 縦ケーブル緊張後鉄筋および横ケーブルを組んだ。

f) コンクリート打設工 縦目地を境いに幅4m分ずつ打設した。50m間隔にある伸縮目地のところに、幅25mmのスチロライト(発泡体)をコンクリートの絶縁材として使用し、中間部延長400mの中央からアバット部に向い2班で連続的に打設した。コンクリート打

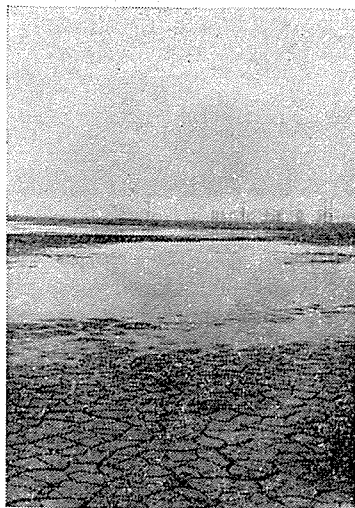
設方法、コンクリートの配合は、出光地区と同じである。

g) 養生工 出光地区と同様ビニールフィルムと麻袋で6日間、十分な散水養生を行なった。

h) 縦プレストレス導入工 コンクリート打設後6日目に、伸縮目地のところに埋込まれているスチロライ

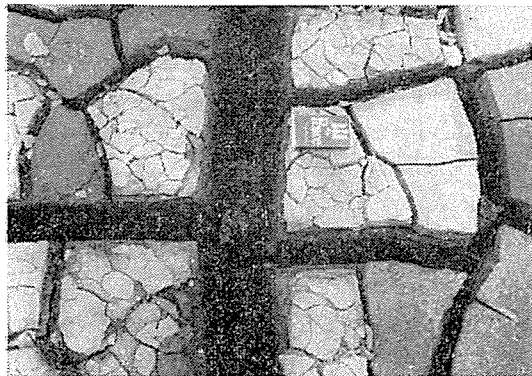
写真—1 道路施工前の全景

ポンプ埋立の順序過程から生じたと思われる細粒土のプールの堆積を形成し間引き水の脱出がおそく、きわめて軟弱である。



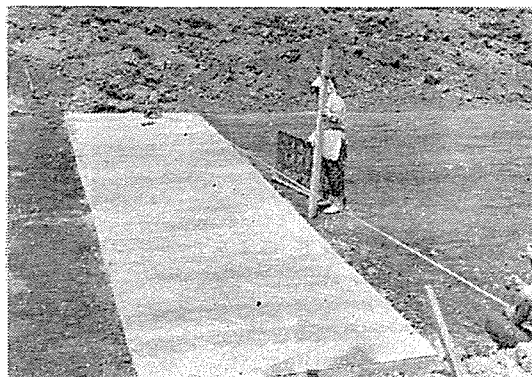
写真—2 埋立土の表面が乾燥した状態

2 m ぐらいは棒切れを人力で容易にさし込むことができる。



写真—3

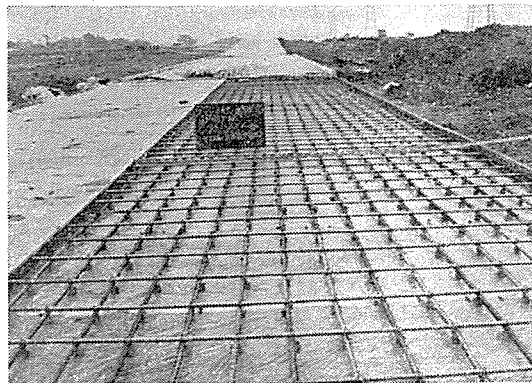
PC舗装版の伸縮目地の下に $8 \times 2 \times 0.2$ m の鉄筋コンクリートの枕版をおく



トを取りのぞき、各目地のところでPC鋼線をガス切断し、プレストレスを導入した。切断時の付着長の問題

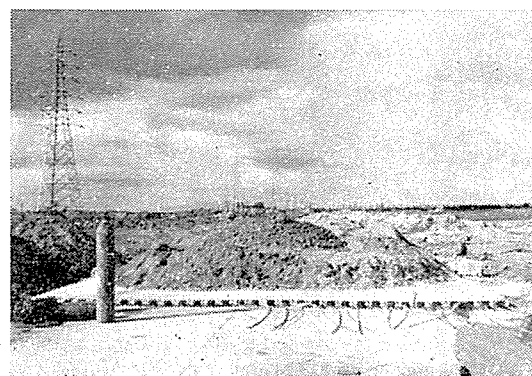
写真—4 アバットとなる版の配筋状態

縦ケーブルは $\phi 12.4$ mm PC鋼より線と $\phi 26$ mm のフレキシブルシースを使用し、版厚 12 cm の下縁から 5 cm のところに 25 cm 間隔に配置。横ケーブルは $\phi 14$ mm PC鋼棒と $\phi 20$ mm のフレキシブルシースを使用し、縦ケーブルの上に 50 cm 間隔に配置し、ケーブルの交点に約 4 cm 角のモルタルスペーサーをおいてケーブルの位置を確保する。アバット部はコンクリート打設後にポストテンション方式で緊張し、応力を導入する。



写真—5 でき上がったアバット部

幅 8 m、長さ 50 m、版厚 12 cm のポストテンション PC 舗装版の上に高さ 80 cm 砂をのせ約 600 t のアバットとした。



写真—6 プレテンション部縦ケーブル

延長 500 m 間隔にアバットがあるため縦ケーブルの長さは 1 本 500 m 以上となる。縦ケーブルは $\phi 12.4$ mm の PC 鋼より線。版厚中央に 25 cm 間隔に配置

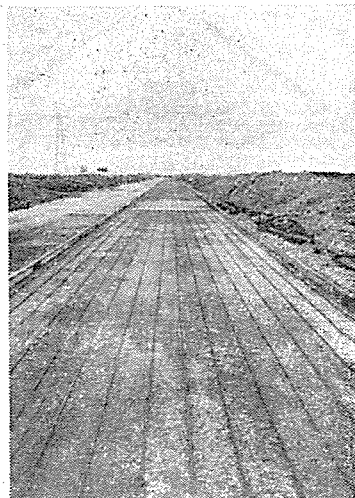


写真-7 特殊ウインチでの緊張

アバットにおける縦ケーブルの緊張。緊張力 13.5 t に対しケーブルの伸び量は 3.2 m 以上。このうち 2.5 m はウインチで引いた。

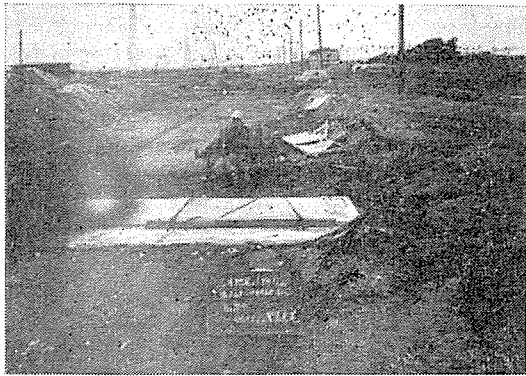


写真-8 ジャッキによる緊張

特殊ウインチでの緊張後、残り 70 cm をストランド用腹胴ジャッキで緊張した。縦ケーブルはアバット部分のシーズ孔をとおり 500 m 先にあるアバット部外端で固定されている。

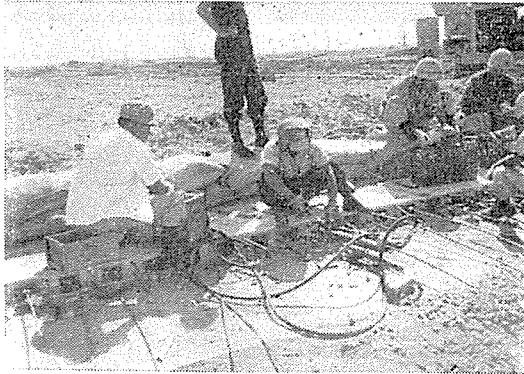
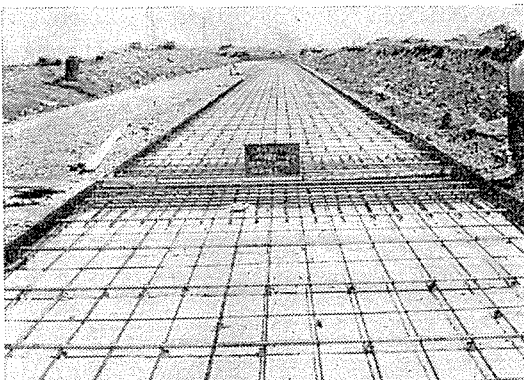


写真-9 プレテンション部配筋状態

縦ケーブルの上に横ケーブルを 1 m 間隔に組み立てた。横ケーブルは $\phi 20$ mm の鋼棒と $\phi 26$ mm のフレキシブルシースである。縦ケーブルは延長 500 m の間を 13.5 t の張力で引かれている。ケーブルの下に敷かれている路盤紙には 0.05 mm のポリエチレンフィルムを用いた。



である切断端の PC 鋼より線のめり込みはほとんどなかった。

i) 横締工・グラウト工 $\phi 20$ mm(第 4 種)の PC 鋼棒、一本当り 24 t で緊張した。緊張後 PC 鋼材とシ

写真-10 プレテンション部コンクリート打設

コンクリートはレディミクストコンクリートを使用し圧縮強度 $\sigma_{28}=300$ kg/cm²、スランプ 3~5、最大粗骨材 25 mm である。

フレキシブルバイブレーターと木製タンパーでコンクリートを締め、簡易フィニシャーと木製フロートで表面の平坦性をとり最後に帯目仕上げとした。

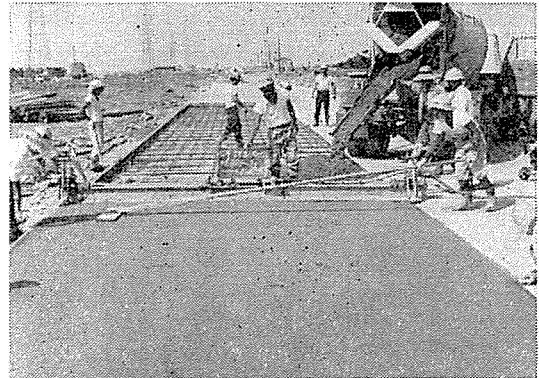


写真-11 初期養生

コンクリート打設直後に穴あきビニールフィルムでおおい常時散水して初期養生を行なった。

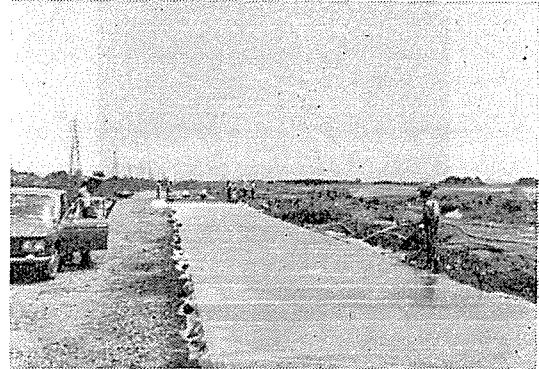


写真-12 後期養生

コンクリート打設数時間後にビニールフィルムの上に麻袋を敷き 6 日間散水養生を行なった。



ースとの空間にセメントモルタルのグラウトを行なった。

写真-13 縦方向プレストレス導入

コンクリート打設後6日目に、伸縮目地の所で縦ケーブルをガス切断し、コンクリートと鋼材の付着力によってプレストレストを導入した。

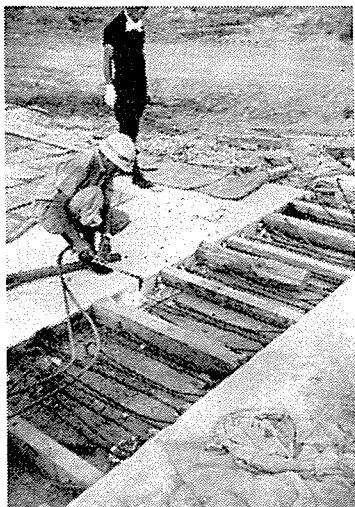


写真-14 横方向プレストレス導入

縦方向プレストレスト導入後、1m 間隔に配置されている鋼棒1本当り24tで緊張し、プレストレス導入した。横方向はポストテンション方式である。緊張後鋼棒とシースの空間にセメントモルタルをグラウトした。



6. む す び

以上、出光地区のポストテンション可動方式と、三井地区のプレテンション可動方式の工事の内容を報告したが、この工事に従事し種々な体験をとおしていえることは、軟弱地盤のように、輪荷重によってコンクリート舗装版に大きな応力を生ぜしめる場合には、横方向にもプレストレストを導入する必要があることや、プレテンション方式の技術的、経済的有利性など多くの経験をしたが、結論として軟弱地盤上のPC舗装および重交通路線

写真-15 完成されたPC舗装道路

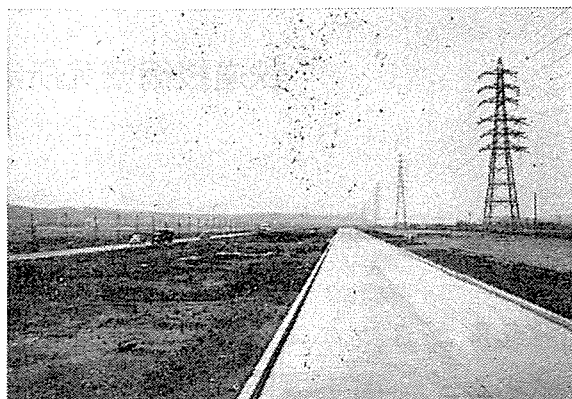
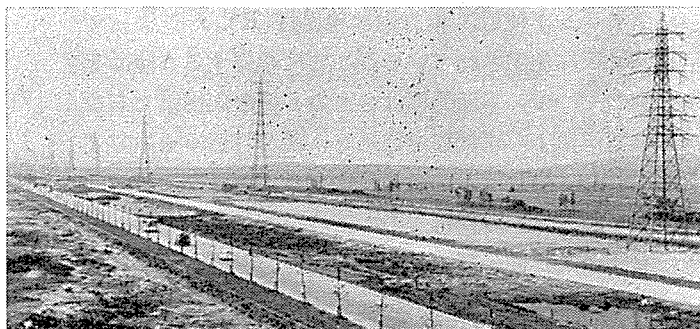


写真-16 完成されたPC舗装道路



のPC舗装は、技術的にはもちろん、コスト面でも経済的となり、実用価値の十分にあることをこの報告を閉じたいと思う。

終りに、この工事の完成に終始御指導下さった、路盤の面での、東北大学 河上房義博士、建設省土木研究所 福岡正己博士、舗装の面での、早稲田大学 神山 一博士、建設省土木研究所 松野三朗氏、日本道路公団 岩間滋博士、建設省大宮国道工事事務所 福田 正氏に厚く感謝の意を表するものである。

参 考 文 献

- 1) 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)，(2)，土木研究所報告 117号，123号
- 2) 竹下春見・岩間 滋：道路舗装の設計，オーム文庫
- 3) 岩間 滋・福田 正：コンクリート舗装の構造設計，理工図書，新道路シリーズ(9)
- 4) 三浦 進・山内恒夫・福田 正・柳下 肇：名神高速道路PC試験舗装工事報告，プレストレスト コンクリート Vol 6, No. 5 Oct. (1964)
- 5) P. L. Melville: "Review of French and British Procedures in The Design of Prestressed Pavements", Highway Research Board Bulletin 199

(1966. 9. 15・受付)