

運輸省港湾技術研究所

# 港湾技術研究所 報告

---

---

REPORT OF  
THE PORT AND HARBOUR RESEARCH  
INSTITUTE  
MINISTRY OF TRANSPORT

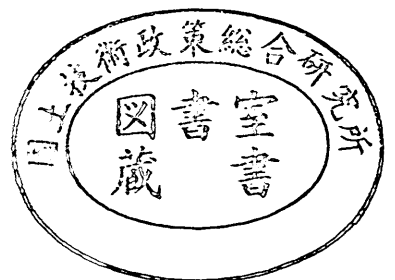
---

VOL. 19

NO. 4

DEC. 1980

NAGASE, YOKOSUKA, JAPAN



# 港湾技術研究所報告 (REPORT OF P.H.R.I.)

第19巻 第4号 (Vol. 19, No. 4), 1980年12月 (Dec. 1980)

## 目 次 (CONTENTS)

1. 曲面スリットケーソンの水理特性に関する実験的研究  
.....谷本勝利・原中祐人・富田英治..... 3  
(A Hydraulic Experimental Study on Curved Slit Caisson  
.....Katsutoshi TANIMOTO, Suketo HARANAKA, Eiji TOMIDA,  
Yoshikazu IZUMIDA and Satoshi SUZUMURA)
2. 漂砂および海浜特性の観点に立った我が国海浜の地域区分.....田中則男..... 55  
(The Delimitation of Coastal Regions in Japan from the View Point of Coastal  
Engineering .....Norio TANAKA)
3. ホーンジョイントによる PC プレキャスト版舗装の開発  
.....佐藤勝久・福手 勤・山崎英男・犬飼晴雄..... 101  
(Development of PC Precast Slab Pavement Connected with Horn-joints  
.....Katsuhisa SATO, Tsutomu FUKUTE, Hideo YAMAZAKI and Haruo INUKAI)

### 3. ホーンジョイントによる PC プレキャスト版舗装の開発

佐藤勝久\*・福手勤\*\*

山崎英男\*\*\*・犬飼晴雄\*\*\*\*

#### 要 旨

閉鎖時間が長く取れない滑走路等の舗装工事のため、養生期間の不要なコンクリート舗装として、従来の工法での欠点を改良した新しいタイプの PC プレキャスト版舗装を開発した。

従来の PC 鋼材による横締め方式の PC プレキャスト版舗装では、版相互の平坦性が取りにくい、破損版を部分的に取り換えられない等の欠点があったので、これらができるようにプレキャスト版を目地部で連結することを考え、そのためのホーンジョイント（ホーン形状のポリエチレン製の中空管に円弧状結合鉄筋を版敷設後版表面から挿入し、両者の隙間をグラウトしたもの）を考案した。

試験舗装等を実施し、試験した結果、ホーンジョイントによる PC プレキャスト版舗装構造は、版を Westergaard の載荷公式に基づき設計し、ホーンジョイントの結合鉄筋を直線スリップバーに準じて設計すれば、大型航空機に対しても大きな耐荷力・耐久性・供用性を持つことが、またこの舗装工法については、版の結合方法のほかに、版と路盤の隙間へのグラウト方法や、版敷設時の版相互の段差防止および是正方法等の関連技術について新しい開発もあったことから、極めて簡単・じん速な施工性を持つことが判明した。またホーンジョイントは、目地部で円弧状結合鉄筋を切断すれば、ホーンからグラウトや鉄筋が抜き取れる構造になっているので、この特質を生かし、破損版を部分的に取り外して新しい版に取り換えることができることもわかった。

---

\* 土質部 滑走路研究室長

\*\* 土質部 舗装構造解析主任研究官

\*\*\* 土質部 滑走路研究室

\*\*\*\* ビーエスコンクリート（株）道路事業部

## Development of PC Precast Slab Pavement Connected with Horn-joints

**Katsuhisa SATO\***

**Tsutomu FUKUTE\*\***

**Hideo YAMAZAKI\*\*\***

**Haruo INUKAI\*\*\*\***

### Synopsis

A new type of prestressed concrete (PC) precast slab pavement was developed, which improves some defects of conventional PC precast slab pavement tightened in the transverse direction with prestressing tendons.

In order to be able to lay and keep slabs exactly level and to exchange old damaged slabs without disturbing all the adjacent slabs, a new type of joint named "horn-joint" was developed. This technique is inserting an arc-shaped steel bar from the surface of the slab into an arc-shaped plastic tube cast in the slab and grouting the gap between the bar and the tube.

The results of a series of experiments show that PC precast slab pavements connected with horn-joints have sufficient load carrying capacity, durability and performance under heavy aircraft loading condition when the slabs are designed by using Westergaard's interior loading formula and steel bars for the horn-joints are designed by the same method as conventional dowel bars.

Furthermore, the method to grout between base courses and precast slabs and the method to prevent and correct unevenness between neighboring slabs were improved.

---

\* Chief of the Runways Laboratory, Soils Division

\*\* Senior Research Engineer, Soils Division

\*\*\* Member of the Runways Laboratory, Soils Division

\*\*\*\* Chief Engineer, Road Department, PS Concrete Co. Ltd.

## 目 次

要 旨 .....	101
1. ま え が き .....	105
2. 基本技術の検討 .....	105
2.1 概 説 .....	105
2.2 プレキャスト版の結合 .....	105
2.3 プレキャスト版と路盤の隙間処理 .....	108
2.4 プレキャスト版接合部の平坦性 .....	110
2.5 プレキャスト梁を用いた試験舗装による予備試験 .....	110
3. PC プレキャスト版試験舗装の製作および施工性の検討 .....	112
3.1 試験舗装の製作 .....	112
3.2 施工性の評価 .....	114
4. 大型航空機荷重による載荷試験に基づく耐荷力および供用性の検討 .....	115
4.1 載荷試験の方法 .....	115
4.2 静的載荷試験による耐荷力の評価 .....	117
4.3 走行試験による供用性の評価 .....	122
4.4 ホーンジョイントの合理的構造 .....	123
5. 破損版の補修方法の検討 .....	125
6. 空港舗装への適用性 .....	126
7. 結 論 .....	126
8. あとがき .....	128
参考文献 .....	128

## 1. まえがき

近年の航空需要の増大は著しく、交通体系の中での航空の役割は極めて大きくなっている。このような状況下では、滑走路や誘導路などの舗装の補修には大きな制約が付く。昼間の施設閉鎖がほとんど不可能なため、夜間工事で、翌朝には交通開放しなくてはならない場合が多い。

養生期間をほとんど必要としないアスファルト舗装は、このような条件には合致する。しかし近年出現した大型航空機によりわだちぼれが顕著に生ずる場合がある<sup>1)</sup>。わだちぼれに対処するにはコンクリート舗装であるが、通常のコンクリート舗装は長期の養生期間が必要であるため、前述のような場合には用いられない。コンクリート舗装で養生期間を必要としないタイプの開発が望まれる。

このような目的に合うものとして、工場製作のプレストレストコンクリート (PC) プレキャスト版を現場で敷きならべる舗装が従来から考えられていた。しかし従来の工法は、敷きならべた PC プレキャスト版を横締めするものであるため、版相互の平坦性が取りにくい、中の 1 枚の版だけを取り外して補修することができない等の欠点を持っていた。

そこで今回このような欠点を改良するため、目地部で連結のできる PC プレキャスト版舗装を考案した。そしてこの改良型の PC プレキャスト版舗装について試験舗装を製作し、各種試験を実施し、施工性及び構造上の強度などを検討した。本報告では、このような検討の結果と、それらに基づくこの改良型 PC プレキャスト版舗装の空港舗装への適用性の評価を述べる。

## 2. 基礎的事項の検討

### 2.1 概 説

今回のプレキャスト版舗装の研究では、従来のプレキャスト版舗装での問題点の解決とともに、従来の工法では対応できなかった条件下でのプレキャスト版舗装を可能にすることであった。

新型プレキャスト版舗装の開発は、次のような目標に沿って行われた。

- ① 空港舗装の荷重の大きさと交通量に対して、耐力・耐久性・走行性等の十分な性能を有すること。
- ② 従来工法以上の急速施工性を有すること。これを

実現するため、主要な作業が平行してできるようにすること。また、特殊作業、熟練作業をできるだけ避け、簡単で、単純な作業とすること。

- ③ 将来、必要に応じプレキャスト版を取り外し、再組み立てが簡単に行える舗装であること。

これらの目標を達成するため、基礎的事項として、以下の技術について検討した。

#### ① プレキャスト版の結合

プレキャスト版相互の結合には、以下の機能を有する結合構造が必要である。

##### (i) 収縮目地機能を有する結合構造

温度変化、乾燥収縮、クリープ等によってコンクリート版に発生する応力を軽減するためには、版相互を完全に剛結する結合（たとえば、PC 鋼材による結合、ボルト結合）よりは収縮量を吸収できる、すなわち 1~2mm の水平移動ができるような収縮目地結合が望ましい。またプレキャスト版の組み立て、解体、再組み立てが容易にできるような構造であることも必要である。

##### (ii) 膨張目地機能を有する結合構造

舗装延長が長い場合には、100~150m 間隔に温度変化によるコンクリート版の膨張量を吸収できる膨張目地が必要である。

#### ② プレキャスト版と路盤の隙間処理

プレキャスト版の敷設に際しては、路盤の不陸、プレキャスト版の製作誤差等によって、版と路盤の間に隙間が生ずるのは避けられない。この隙間は版の耐力を低下させるので、適当な材料で完全に充填する必要がある。

#### ③ プレキャスト版相互の平坦性

プレキャスト版を敷設した直後は、版相互の接合部には、路盤の不陸が存在し、また工場でのプレキャスト版製作過程におけるコンクリートの不均一なクリープや乾燥収縮による版の変形等から、版相互の間に段違いが生ずるのが普通である。走行性の面からこの段差を是正し、平坦性を確保する必要がある。

以下では、上記の技術課題について検討した結果を説明する。

### 2.2 プレキャスト版の結合

#### (1) 収縮目地結合

##### (a) ホーンジョイント構造

前述の開発目標に沿って、図-2.1 に示すホーンジョイント構造を考案した。これは、以下のようなものである。

- ① プレキャスト版製作時に、版の接合面に沿って、テーパ付き ( $\phi_1 > \phi_2$ ) 弧状 (半径  $R$ ) 中空管を埋設する。中空管内にはグリースを塗布する。
- ② 版敷設後、この中空管に、版の表面側から円弧状 (半径  $R$ ) の結合鉄筋を挿入し、中空管と鉄筋の隙間にグラウトを充填する。グラウトの硬化により相互の版が結合される。
- ③ 結合鉄筋を目地部で切断すると結合が解除できる。
- ④ 結合を解除した版を除去した後、版表面の中空管頂部を打撃して、中空管内部の固化したグラウトと結合鉄筋を押し出すと、結合前の元の状態に戻る。必要に応じ再度版を結合することができる。

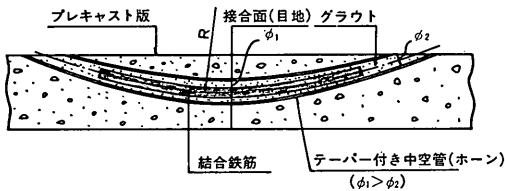


図-2.1 ホーンジョイントの構造

中空管が角 (つ) の形状であるところから、中空管をホーン (horn)、これを用いた本結合構造をホーンジョイント (horn-joint) 構造と以下呼ぶことにする。

(b) 抜き取り試験

ホーンジョイントの特長は、単に結合するだけでなく、ホーン内のグラウト材と結合鉄筋が抜き取れることによって、結合の解除、再結合ができる点にある。

版表面側のホーンの内径 ( $\phi_2$ ) は、ここが結合鉄筋の挿入孔であり、 $\phi 38$  mm の結合鉄筋を使用する場合を想定し、内径  $\phi_2 = 40$  mm とした。一方版端面側の径 ( $\phi_1$ ) は、これが大きいほど抜き取りが確実、容易になると考えられるが、版の断面欠損を考慮すると、これもできる限り小さくするのが望ましい。抜き取ることができるテーパの大きさを調べるために以下の試験を行った。

抜き取り試験は、寸法が  $R = 1,300$  mm,  $\phi_2 = 40$  mm で  $\phi_1 = 60, 70, 80$  mm の 3 種類のホーンに対し実施した。外径が同一なむくの木製体を使用し、その表面をエポキシ樹脂でコーティングし、さらにその上にグリースを塗布したものをコンクリート中に埋設し、材令 2 日でこの

木製体が抜き取れるか否かを調べた。

その結果、3 種類の木製体とも、コンクリート表面側からこの木製体の頂部を手ハンマーで打撃することにより、押し抜くことができることがわかった。

そこで、実際に使用するホーンの内径は、 $\phi_1 = 60$  mm,  $\phi_2 = 40$  mm とした。

(c) 荷重伝達能力試験

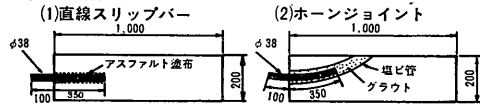
(i) 試験方法

この試験は、現場打ちコンクリート版に通常使われ、荷重伝達能力が十分なものと評価されている直線スリッパ目地構造と比較して、ホーンジョイント構造の荷重伝達能力がどの程度であるかを調べるために行ったものである。

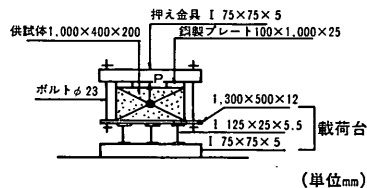
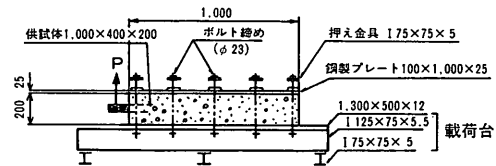
供試体は、長さ 1 m, 幅 40 cm, 厚さ 20 cm で、1 つは、直線スリッパ目地構造を代表するものとして、供試体製作時にその端部に  $\phi 38$  mm のスリッパ (表面にアスファルト塗布) を埋設 (埋込長 35 cm) したもので、他は、ホーンジョイント構造を表すものとして、その端部に塩ビ製の中空管 ( $\phi_1 = \phi_2 = 60$  mm) を埋設し、それにスリッパと同品質の円弧状結合鉄筋 ( $\phi 38$  mm,  $R = 1,300$  mm, 埋込長 35 cm) を挿入し、グラウトを充填したものとした。

上記供試体を、図-2.2 に示すような試験台の所定位置にセットし (供試体の表面縁部に鋼製プレートを重ね、押え金具を介してボルトによって試験台と固定)、供試

(I) 供試体



(II) 載荷試験方法



(単位mm)

図-2.2 目地荷重伝達能力基礎試験用供試体および載荷試験装置

体の端面より突き出している  $\phi 38$  mm の結合鉄筋に、油圧ジャッキを用いて上向きの鉛直力を段階的に加え、各荷重段階で鉄筋の変位を測定した。

(c) 試験結果

図-2.3 は、直線スリッパ構造とホーンジョイント構造の供試体について、供試体端面にひびわれが発生したときの荷重と、鉄筋の変位が 2 mm のときの荷重について比較したものである。ホーンジョイント構造については、試験時のグラウト材の材令が異なる 2 種類の供試体について示している。

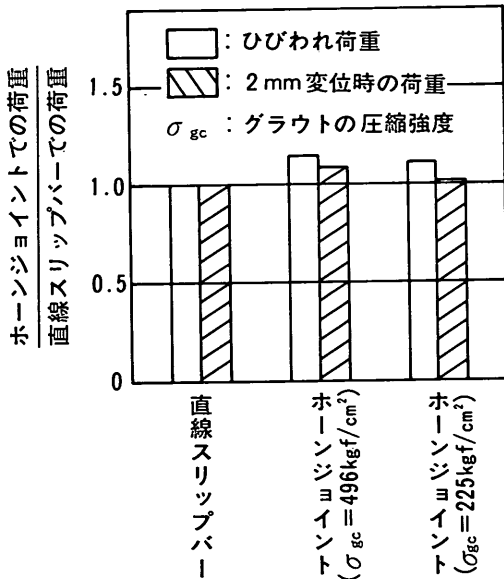


図-2.3 目地荷重伝達能力基礎試験結果

この図におけるひびわれ荷重および 2 mm 変位時の荷重は、これらの結合構造を舗装版に使用した場合の荷重伝達能力の目安を与えるものと考えられ、同図より、ホーンジョイント構造の荷重伝達能力について以下のことがいえる。

- ① グラウトの圧縮強度が大きいと、荷重伝達能力も大きくなる。
- ② グラウトの圧縮強度がコンクリートの強度 (545 kgf/cm<sup>2</sup>) の半分程度であっても、荷重伝達能力は直線スリッパ構造のそれと同等である。

以上の結果から、ホーンジョイント構造の荷重伝達能力を直線スリッパ目地構造のそれと同等以上にすることは容易であり、したがって、この構造を実際のプレ

キャスト版舗装に適用する場合の結合鉄筋の径、長さ、配置間隔等は、従来のスリッパと同様な方法によって決定することができると考えられた。

(d) ホーン充填用グラウト

グラウトの選定条件を以下とした。

- ① 2 時間で実用強度に達すること。
  - ② 注入後、顕著なブリージング、体積収縮がないこと。
  - ③ 特別な注入機器を用いずに、プレキャスト版の表面から流し込むことのできる流動性を有すること。
  - ④ 作業性を考慮し 20 分間の可使用時間を有すること。
- 以上の条件を満たすものとして、基礎試験の結果、W/C=45%、マイティー 150=2%、ジェットセッター=0.4% のジェットセメントグラウトが選定された。

(2) 膨張目地結合

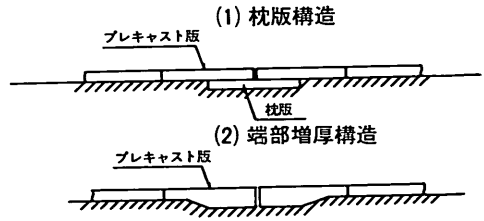
従来、膨張目地構造としては、① 枕版の設置、③ 端部を増厚する方法が考えられていた (図-2.4)。

しかし、前者は急速施工性、後者は荷重伝達効果がないこと等の点から、望ましい構造とは考えられなかった。

今回この対策として、プレキャスト版製作時に、版中央部に、通常現場打ちと同様な直線スリッパ構造の膨張目地を設け、この版を膨張目地が必要な位置に通常のプレキャスト版の代りに配置し、膨張目地を作ることを考えた (図-2.4)。

この膨張目地を有するプレキャスト版と他の版とは、前述のホーンジョイント構造で結合することになる。

(I) 従来の方法



(II) 今回の方法

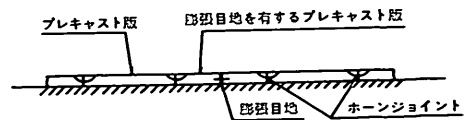


図-2.4 膨張目地構造



### 2.3 プレキャスト版と路盤の隙間処理

#### (1) グラウト材料

従来のプレキャスト版舗装では、路盤上に支持台を設け、この上に版を載せ敷設する方法を用いる場合が多かった。しかし、作業の単純化、省力化、コスト面あるいは作業時の突発的事故対策等の種々の検討から、版を直接路盤上に敷設する方法が望ましいと考えられた。

この路盤上に直接版を敷設する場合は、版と路盤の間に生ずる隙間がある値から 0mm までの不均一な隙間になるため、微少な隙間にまでも注入が可能なグラウト材料が必要である。

アスファルト系グラウトについて、コンクリート版を路盤上に直接設置して注入試験を行った結果、このような条件下でグラウトを充填することは極めて困難であることがわかった。アスファルト系グラウトの充填が困難であった理由は以下であった。

- ① 隙間が小さい場合、アスファルトの温度降下が激しく流動性が低下する。
- ② 注入圧を大きくすると注入しやすくなるが、反面、版が浮き上がる現象が生ずる。
- ③ 隙間が小さい場合、注入系路が一定しやすく、全面にわたる充填ができない。

そこで、セメント系グラウトに的を絞って、グラウト試験を行った。

セメント系グラウトとしては、急速施工性およびグラウトの諸性状が良好であると考えられたジェットセメントを使用した。

#### (2) グラウト試験

##### (a) 試験方法

グラウト材料に関して、以下の室内試験を行った。

##### ① 流動性試験

グラウトの流動性に及ぼす水セメント比 (W/C) およびジェットセッター添加量の影響を調べた。試験は、土木学会規準<sup>2)</sup>の J ロート法によった。

##### ② ブリージング試験

プレキャスト版下へグラウトを充填後、ブリージング量が大きいと、充填不良と同じ結果になるので、この量を調べた。試験は土木学会規準<sup>2)</sup>によった。

##### ③ 収縮変形

φ100×200 mm のモールドにグラウトを採取し、固化した後 (材令 2 時間)、一度モールドを緩めてグラウトとモールドの付着を完全に切り、再度組み立て、このモールドに 図-2.6 中に示すようにダイヤルゲージを取り付

け、以後の収縮量を長期測定した。

##### ④ グラウトの圧縮強度および弾性係数試験

φ50×100 mm 円柱供試体を作成し、JIS A 1108 によって圧縮強度を測定した。

弾性係数は、同円柱供試体の側面にポリエステルひずみゲージを貼付し測定した。

これらに用いた供試体の養生は、後述するグラウト工法の性質上、裏込めしたグラウトは乾湿の影響を大きく受けないと思われるので、脱型後表面にエポキシ樹脂を塗布し室内に静置した。

次に、グラウトの注入工法に関して実施した試験について記す。

この試験では、コンクリート版の代わりに、グラウトの充填状況が観察しやすいように透明なアクリル板 (2m×2m) を製作し (写真-2.1)、この試験板を用いて行った。

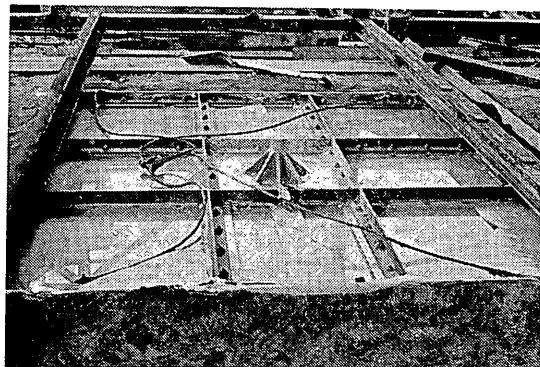


写真-2.1 グラウト工法試験用アクリル板

グラウト試験は、この試験板を試験路盤上に敷設し、これが注入時の圧力によって浮き上がらないように H 型鋼で両側のアンカー梁に固定し、グラウトの流動性、注入圧力、グラウト孔の形状、隙間の大きさ、路面の状態等をいろいろ変化させてグラウトを注入し、そのときの充填状況を観察した。

##### (b) 試験結果

各種配合のグラウトの流動性を表わすものが 図-2.5 である。グラウト工法試験からは、グラウト可能な流動性の限界はフロー値が 6~7 秒で、グラウト作業時間は約 20 分なので、これを 1 つの目安としてグラウトの配合を次のように決めた。

- ① 使用セメント：ジェットセメント
- ② 配合：W/C=80%、ジェットセッター=0.4%

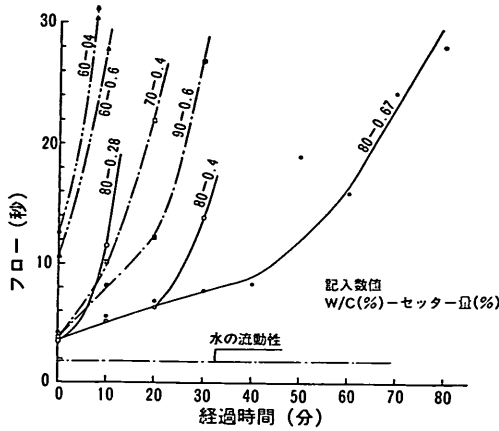


図-2.5 ジェットセメントグラウトの流動性

この配合のグラウトに対し、ブリージング、収縮変形、強度等を試験したが、顕著なブリージング現象は現われず、固化してからの収縮変形量も図-2.6 のようで、収縮変形の割合としては0.1%以下であるので、注入後のグラウトの収縮は問題とならないであろう。またグラウトの圧縮強度と材令の関係が図-2.7で、これより注入後約1.5時間で通常路盤材として使用しているセメント安定処理材の設計強度<sup>3)</sup>の30 kgf/cm<sup>2</sup>を越え、路盤材料として十分な強度に達することがわかる。このときの弾性係数は約20,000 kgf/cm<sup>2</sup>であった。

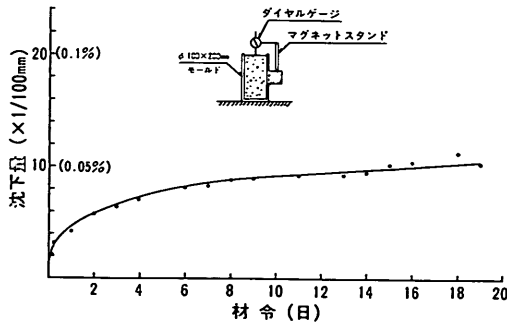


図-2.6 ジェットセメントグラウトの固化後の収縮変形

このように、上記配合のグラウトは、グラウト材料としての性状は満足すべきものであることがわかったので、引き続き、グラウト工法に関する試験を実施した。そしてこの試験の結果から、以下のような工法が適当であることがわかった。

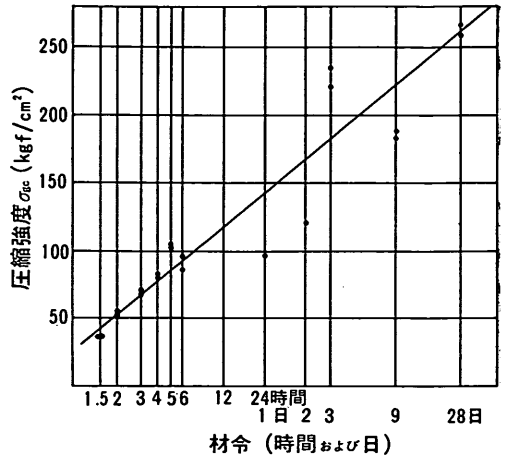


図-2.7 ジェットセメントグラウトの圧縮強度

① プレキャスト版の下面をビニールフィルムで被覆し、版の側面に接着する(図-2.8)。

グラウトは、版の下面とビニールフィルムの中に充填される。このため隙間が微細であっても、注入されたグラウトは、グラウト孔の周囲に急速に広がり全面に充填される。

このビニールフィルムは、充填を確実にするためだけでなく、版側面からグラウトが流出するのを防止できるので、従来のグラウトでは必要であった流出防止壁が不要になり、また敷設した版から順次グラウト作業を開始できるという利点もでる。

② グラウトの注入は、ポンプ等による圧入を避け、約1mの高さからの自然落下による。

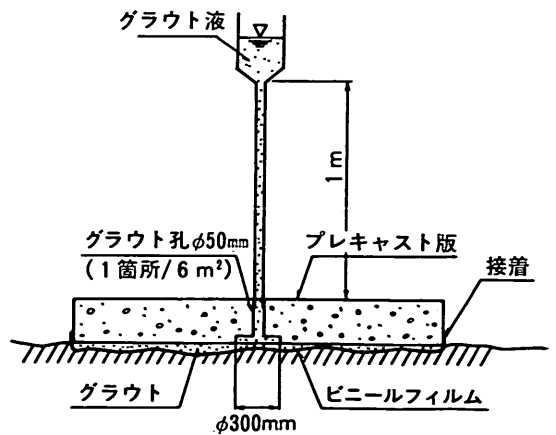


図-2.8 セメント系グラウトに適するグラウト工法

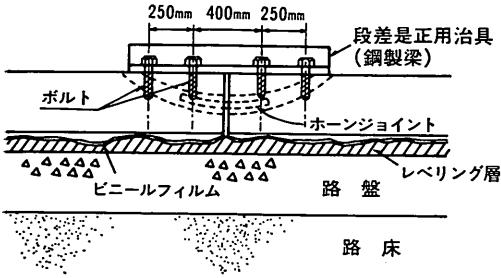
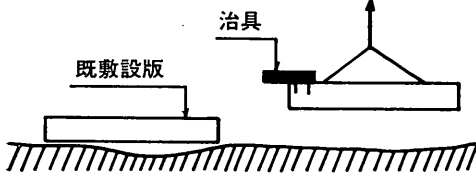


図-2.9 プレキャスト版の段差防止および是正用具

① 治具の取り付け



② 敷設時



③ 既敷設版より高い場合

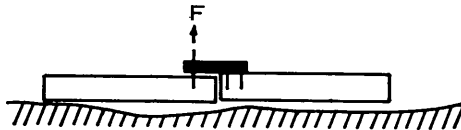


図-2.10 プレキャスト版の段差防止および是正方法

③ グラウト孔の形状は、図-2.8 に示すように、下面で  $\phi 300$  mm に拡孔する。これは、吐出口に固化物等が詰まるのを防止するためである。

④ グラウト孔は、約  $6\text{m}^2$  につき1箇所設ける。

2.4 プレキャスト版接合部の平坦性

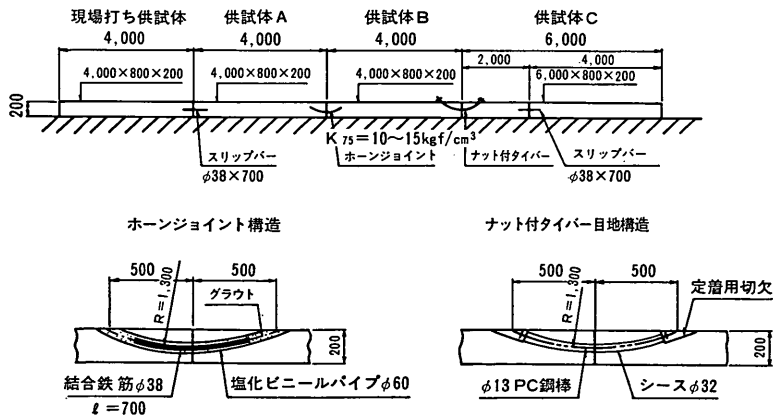
敷設時のプレキャスト版相互の段差を是正し、結合部の平坦性を確保するために、図-2.9 に示す治具を用いて版の調整を行うことを考えた。この治具は、図-2.10 のように、敷設するプレキャスト版の接合縁部に取り付け(①)、この治具を既敷設版に載せることにより(②)、既敷設版より低く敷設されるのが防止できる。逆に、既敷設版より高く敷設された場合には、治具にジャッキを載せ、既敷設版とボルトで連結し、ジャッキで引張り上げ(③)(敷設中の版は引き下げられる)、このボルトを治具に固定することによって、目地部の段差を解消するものである。

2.5 プレキャスト梁を用いた試験舗装による予備試験

(1) 試験舗装の製作

検討した技術課題のうち、ホーンジョイント構造、膨張目地構造およびプレキャスト版下の裏込めグラウトの方法について、その効果、施工性などを調べるためにプレキャスト梁による試験舗装を製作した。

試験舗装は、碎石路盤(実測路盤支持力係数  $K_{75}=10\sim 15\text{kgf/cm}^2$ )の上に不陸整正層(砂とセメントの空練り重量比7:1)を設け、図-2.11 に示す3種類のプレキャスト梁(供試体 A, B, C)を作成し、2列に敷設した。供試体相互の結合は、ホーンジョイント構造とボルト定着構造とした。供試体の中央部には、2.2 (2) で検討し



(単位: mm)

図-2.11 プレキャスト梁による試験舗装

た膨張目地を設けた。供試体に使用したコンクリートの  
 載荷試験時の圧縮強度および弾性係数は各々 500 kgf/  
 cm<sup>2</sup> および 255,000 kgf/cm<sup>2</sup> であった。

供試体敷設後、2.3 で検討したグラウト材料、注入工  
 法によって裏込めグラウトを行った。

ホーンジョイント構造の結合作業は、結合鉄筋 (φ38  
 mm, l=700 mm, R=1,300 mm) の供試体表面からの挿  
 入とグラウトの充填で、載荷試験時のグラウトの圧縮強  
 度は、約 600 kgf/cm<sup>2</sup> と推定された。

ボルト定着構造については、φ13 mm の PC 鋼棒を挿  
 入し、油圧ジャッキを用いて 13 tf で緊張し、支持板に  
 定着した。

最後に、端部にコンクリートを打設し、供試体 A と直線  
 スリッパー (φ38 mm, l=700 mm) によって結合した。

試験舗装に対しては、土砂を満載した後輪 2 軸のダン  
 プトラック (軸荷重: 13 tf) を用い、静的試験と 100 回  
 の往復走行試験を実施した。

静的試験は、走行試験の前後に行い、上記ダンブトラ  
 ックの後輪を所定位置に停止させ、そのときのコンクリ  
 ート表面のひずみおよびたわみを測定した。

(2) 試験結果

試験舗装の製作をとおして、プレキャスト版下の裏込  
 めグラウトについて、供試体の側面からの観察と試験終  
 了後撤去したこれらの供試体の底面のグラウトの付着状  
 況から、微細な隙間まで完全にグラウトが行き渡ったこ  
 とが確認され、またホーンジョイント構造の結合作業に  
 ついては、なんらの問題もなく実施できたことから、こ  
 れは従来の結合工法に比べより施工性に優れているもの  
 と推察された。

載荷試験からは、ホーンジョイント構造部と直線スリ  
 ッパー目地構造部の比較として、図-2.12~2.14 の結  
 果が得られた。

図-2.12, 2.13 は、両者の構造に対し 2 種類の載荷状  
 態におけるコンクリート表面のひずみ分布の比較を示し  
 たものである。両構造とも、いずれの載荷状態において  
 も基本的には大きな違いはなく、目地部の荷重伝達が十  
 分になされているようである。図-2.13 中には、弾性支  
 承上の梁の理論による理論値 (計算条件は、梁の長さを  
 18 m, 幅を 80 cm, 厚さを 20 cm, コンクリートの弾性  
 係数、ポアソン比をそれぞれ 255,000 kgf/cm<sup>2</sup>, 0.15,  
 路盤の支持力係数を 15 kgf/cm<sup>3</sup> とした) も示している  
 が、実測値は理論値の中央部と端部の中間にある。

また図-2.14 は、両構造におけるコンクリート表面で

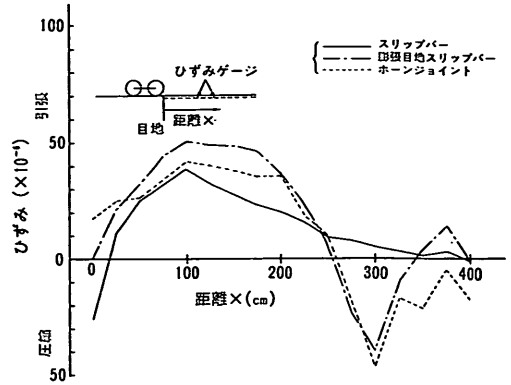


図-2.12 目地の種類によるコンクリート表面のひずみ分布の比較 (1)

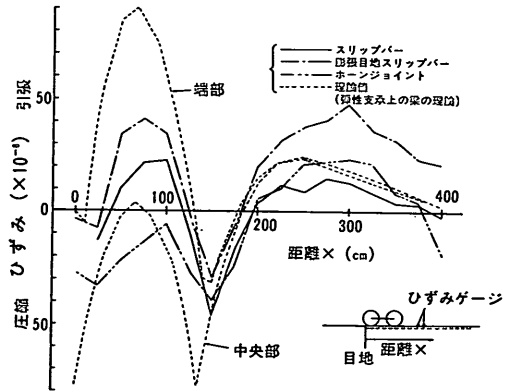


図-2.13 目地の種類によるコンクリート表面のひずみ分布の比較 (2)

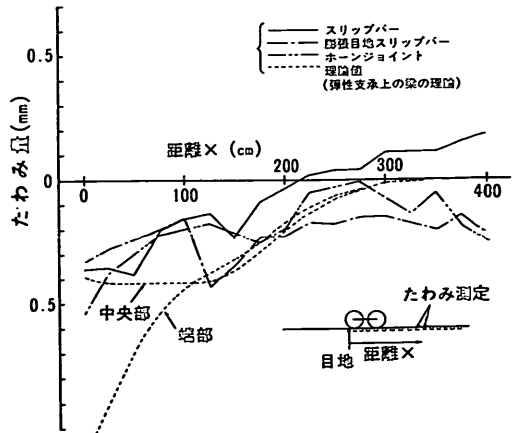


図-2.14 目地の種類によるコンクリート表面のたわみ分布の比較

のたわみ分布の比較で、ひずみ同様両構造の間に顕著な違いはみられない。

ひずみとたわみについてのこのような結果から、ホーンジョイント構造の荷重伝達機構は、直線スリップパー目地構造のそれと実質的に同じであり、その荷重伝達能力についてもまた、直線スリップパー目地と同等と考えられる。これは、2.2 の基礎試験の結果と同じである。

なお参考までに実施したナット付きタイバー目地は、施工性が悪い点と、構造的には定着用切欠が弱点になるなどから、本予備試験の段階で実用性が少ないとして検討対象から外された。

### 3. PC プレキャスト版試験舗装の製作および施工性の検討

#### 3.1 試験舗装の製作

##### (1) PC プレキャスト版の設計および製作

###### (a) 版の設計

試験プレキャスト版は、DC-8-63 型航空機の中央部載荷を対象にし、表-3.1 に示す設計条件により版厚を 20 cm、有効プレストレス量を 29 kgf/cm<sup>2</sup> とした。また運搬と現場での取り扱い性を考慮して、長さ 10 m、幅 2.3 m (版重量 11.5 tf) とした。

表-3.1 PC プレキャスト版の設計条件

プレキャスト版厚, $h$ (cm)		20
設計荷重 DC-8-63	複車輪の横中心間隔, $S$ (cm)	80
	複々車輪の縦中心間隔, $S_T$ (cm)	140
	脚荷重, $P$ (tf)	73.6
	タイヤの接地半径, $a$ (cm)	20
設計路盤支持力係数, $K_{75}$ (kgf/cm <sup>3</sup> )		15
コンクリート	圧縮強度, $\sigma_{ok}$ (kgf/cm <sup>2</sup> )	400
	曲げ強度, $\sigma_{bk}$ (kgf/cm <sup>2</sup> )	50
	弾性係数, $E_o$ (kgf/cm <sup>2</sup> )	$3.5 \times 10^5$
PC 鋼材 $\phi 23$ mm PC 鋼棒 (アンボンド)	引張強度, $\sigma_{pu}$ (kgf/cm <sup>2</sup> )	9,500
	降伏点強度, $\sigma_{py}$ (kgf/cm <sup>2</sup> )	8,000

###### (b) ホーンジョイントの設計

基礎試験および梁による予備試験から、ホーンジョイント構造の荷重伝達能力は直線スリップパー目地構造と同等であることが予測されていたので、通常のスリップ

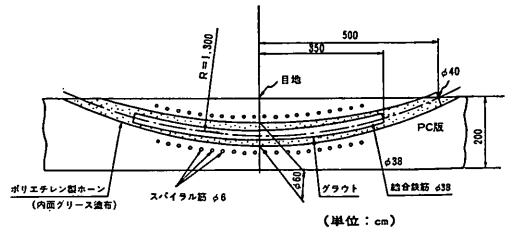


図-3.1 ホーンジョイントの寸法

パーの設計<sup>3)</sup>を行い、図-3.1 に示す構造と配置間隔 (42 cm) を決めた。

ホーンは製作の容易さから、ポリエチレン製とした。(写真-3.1)。

###### (c) 版の製作

試験プレキャスト版は、(a), (b) の計算に基づいたホーンジョイントで結合するホーンジョイント PC プレキャスト版と、すでに荷重伝達がほぼ完全であると評価されている PC 鋼棒で横締めして結合する横締め PC プレキャスト版の 2 種類を製作した。横締め版の縦方向の中央には、2.2 (2) に示したスリップパーによる膨張目地も設けた。

各プレキャスト版の構造を 図-3.2 に示す。

また、プレキャスト版に使用したコンクリートの載荷試験時の圧縮強度は 430 kgf/cm<sup>2</sup> で、弾性係数は 250,000 kgf/cm<sup>2</sup> であった。

###### (2) プレキャスト版の敷設

試験舗装は予備試験と同じく、砕石路盤 ( $K_{75}=10\sim15$  kgf/cm<sup>3</sup>) の上に厚さ 2 cm 程度の不陸整正層 (砂:セメントの空練り重量比 7:1) を設け、(1) で製作した PC プレキャスト版を 図-3.3 のように配置した。

プレキャスト版の敷設は、版の接合部に 2.4 で検討した段差防止用の治具を取り付け、クレーンを使って行った (写真-3.2)。このとき生じた 15 mm 程度の段差は、前述の是正方法によってほぼ完全になくすことができた (写真-3.3)。

横締めプレキャスト版は、治具を取り付けた状態で  $\phi 23$  mm の PC 鋼棒によって結合した。

横締め後、ホーンジョイント版も含めた全プレキャスト版について、2.3 で検討したグラウト材料および工法で裏込めグラウトを行った (写真-3.4)。注入されたグラウトの量から、敷設プレキャスト版と路盤の間に平均 7 mm の隙間が生じていたと推測された。載荷試験終了後、プレキャスト版を解体し裏返してみたところ、グラ



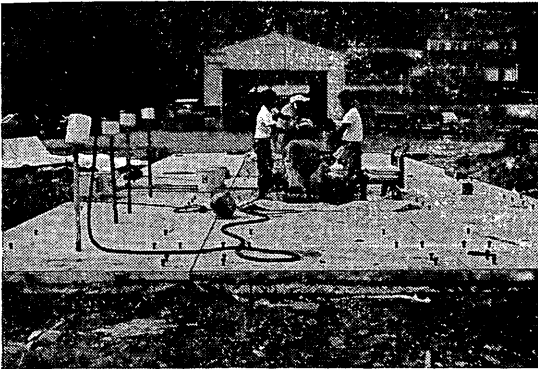


写真-3.4 プレキャスト版下面へのグラウト

ウトが完全に充填されていた。写真-3.5 がこの状況を示している。

裏込めグラウト後材令1日で、版相互を結合する前のホーンジョイント版について載荷試験を実施した。

この載荷試験終了後、ホーンジョイント版を結合した。結合鉄筋の挿入(写真-3.6)、グラウトの充填等の結合作業は、極めて簡単、迅速に行うことができた。充填

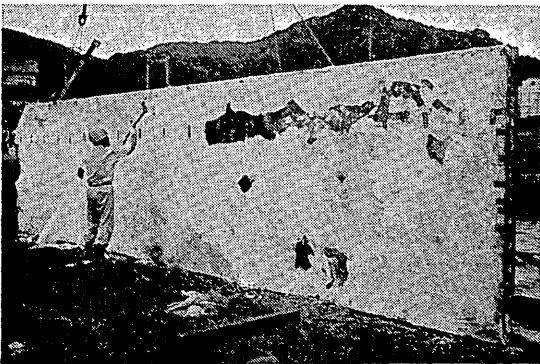


写真-3.5 グラウトの充填状況

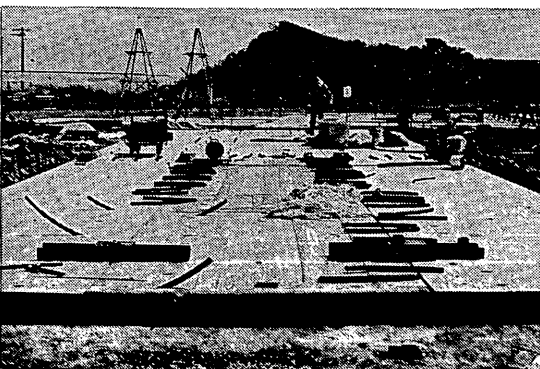


写真-3.6 ホーンジョイントへの結合鉄筋の挿入

に用いたグラウトの載荷試験時の圧縮強度は、260 kgf/cm<sup>2</sup>であった。

### 3.2 施工性の検討

表-3.2, 3.3 は、今回実施した結合方法と裏込めグラウト方法の施工性について、今までの方法と比較したものである。

また、プレキャスト版相互の段差防止および是正作業については、今まで特に実施していなかったため、写真-

表-3.2 PC プレキャスト版の結合方法の施工性

	ホーンジョイント	PC 鋼材による横締め
結合の時期	敷設した版から順次結合することができる。	一体化するすべての版を敷設してから結合する。
結合作業	結合鉄筋の挿入とグラウト充填で、熟練作業、特殊作業が不要。	PC 鋼材の挿入・緊張・跡埋めコンクリート等の PC 作業が必要。
作業区域	舗装区域内ですべての作業ができる。	舗装区域外に、PC 鋼材の挿入・緊張のための作業空間が必要。
結合精度	版、路盤等の製作精度が多小落ちても結合作業に影響しない。	PC 鋼材のための孔の位置が多小ともずれると、PC 鋼材の挿入が困難となる。(一体化する版が多くなるほど困難が増す。)

表-3.3 プレキャスト版下面へのグラウトの施工性

	新しく開発した方法	従来の方法
グラウトの時期	敷設した版から順次行うことができる。	版の敷設、一体化の後に行う。
グラウト作業	自然流下による注入作業だけで簡単である。	版周囲にグラウト流出防止壁を設け、グラウトポンプ等で圧入する。
プレキャスト版の設置	路盤の上に直接敷設する。	路盤面より1~2cm高く設置する。
急速施工用グラウト材	ジェットセメントミルク1時間で実用強度になる。フリージング・固化収縮・温度収縮がほとんどない。	アスファルトグラウト温度収縮が大きい。

ホーンジョイントによる PC プレキャスト版舗装の開発

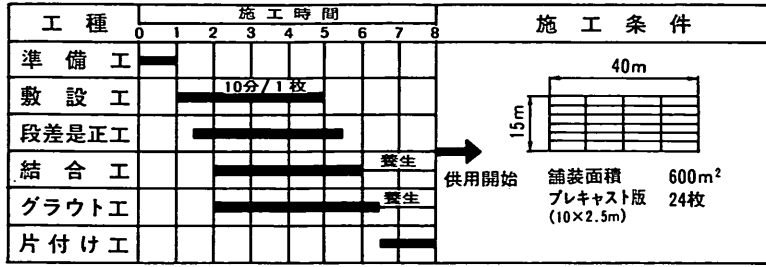


図-3.4 ホーンジョイントによるプレキャスト版舗装の標準的な施工工程

3.3 のような治具を用いる今回の方法が、全体の施工性を損うものではないかと懸念された。しかし試験舗装を実施した結果、治具は敷設作業の前にプレキャスト版に取り付けられるため、取り付けてしまえば従来どおりの敷設作業によって大部分の段差が防止でき、是正作業は残りの段差に対して行えばよいということがわかり、したがってこの方法は、施工性を損わずに段差を防止する方法として評価できた。

試験舗装で実施した段差防止および是正方法・版結合方法・裏込めグラウト方法等を使用した場合のプレキャスト版舗装工法の標準的な工程は、図-3.4 のように考えられる。

この工程表でみるとおり、この工法では上記のような主要な作業をすべて平行して行うことができるので、この工法による舗装能力は、プレキャスト版の敷設速度によって決まるといえる。

この工法によれば、1 晩で 600m<sup>2</sup> 程度のコンクリート舗装が可能であり、空港舗装等の夜間打換え工法として、実用性が大きいと考えられる。

#### 4. 大型航空機荷重による載荷試験に基づく耐力力および供用性の検討

##### 4.1 載荷試験の方法

PC プレキャスト版試験舗装に対して、版敷設、裏込めグラウト終了後、図-4.1 に示す試験位置において、表-4.1 の数種の載荷試験を実施した。

単独版に対する載荷試験は、版連結前に若干交通がある場合があることを考慮して行った。連結版に対しては、段階脚荷重載荷試験と単輪載荷試験とによって耐力力を、また所定の走行線に沿った繰返し走行試験で耐久性・供用性を試験した。

載荷試験には、大型航空機の DC-8-63 と同一な車輪

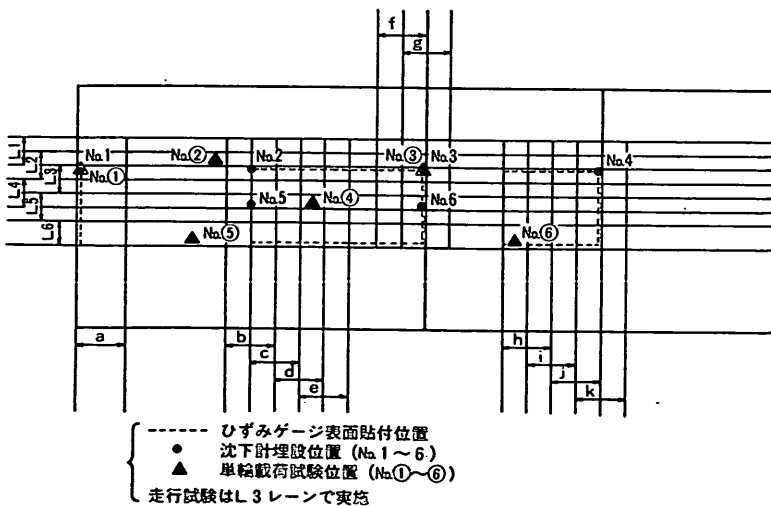


図-4.1 PC プレキャスト版試験舗装の測定計器と載荷試験位置



表-4.1 PC プレキャスト版試験舗装での載荷試験の種類

試験の種類		脚荷重	測定項目	試験位置
単独版に対する試験		50.8 tf	・路盤沈下量 ・プレキャスト版 表面のひずみ分布	L 3-a, c, f L 5-a, c, f
連結版に対 する試験	段階脚荷重 載荷試験	28.2 tf 50.8 tf 62.2 tf 73.6 tf	同上	L 3-a, c, f, i, j, k L 5-a, c, f, j
	繰返し走行 試験	73.6 tf	同上	L 3 レーンを 5,000 回走行 10, 50, 100, 500, 1,000, 5,000 回時に L 1, L 2 の a, c, f, i, j L 3-a~k
	単輪載荷試 験	直径 30 cm の載荷板に て 0~85 tf まで	・プレキャスト版 表面のひずみ分布 およびたわみ分布	図-4.1 の No. 1~No. 6

配置（複車輪間隔：80 cm，複々車輪間隔：140 cm）を持った写真-4.1 のような走行荷重車を用いた。走行荷重車の脚荷重は，上載インゴット数を変えて調整した。各載荷試験では，試験舗装に設置した沈下計やひずみ計その他により，舗装の挙動を測定した。図-4.1 には各種計器の平面位置も示されている。表-4.1 には測定項目がまとめられている。

また PC プレキャスト版試験舗装終了後，プレキャスト版を撤去し，一部路盤を作り直し，図-4.2 に示すような各種ホーンジョイントに対する載荷試験を行った。この試験により，路盤支持力が小さいときのホーンジョイントの挙動と，ホーンジョイントの合理的な構造につ

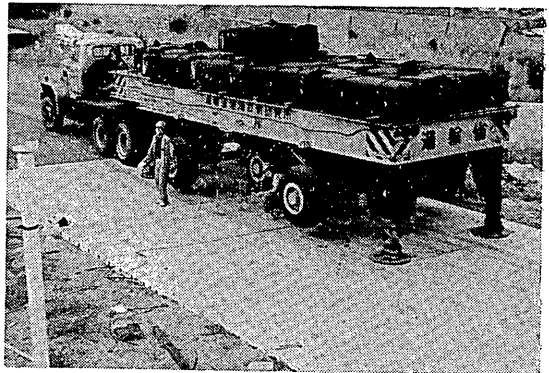


写真-4.1 原型走行荷重車

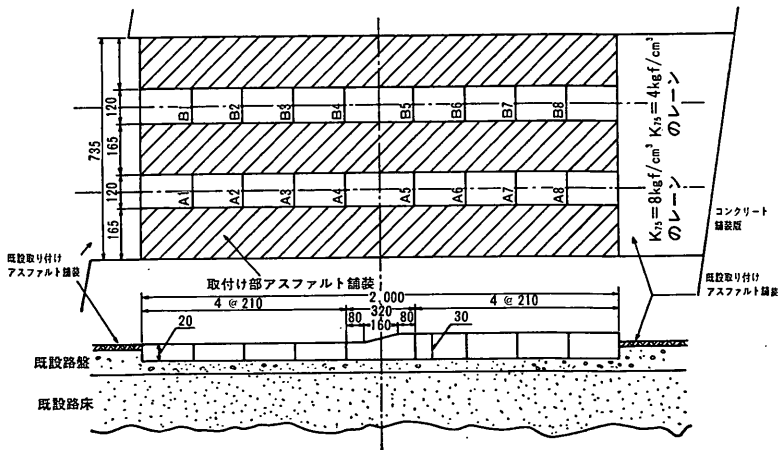


図-4.2 各種ホーンジョイントの試験舗装

表-4.2 試験したホーンジョイントの種類

目地の種類	路盤の支持力係数 $K_{75}$ (kgf/cm <sup>3</sup> )	版厚 (cm)	ホーンの曲率半径 (mm)	鉄筋の配置
A1	$K_{75}=8$	20	1,000	φ 29-5 本
A2	$K_{75}=8$	20	1,500	φ 29-5 本
A3	$K_{75}=8$	20	1,000	φ 38-3 本
A4	$K_{75}=8$	20	1,500	φ 38-3 本
A5	$K_{75}=8$	30	1,000	φ 29-5 本
A6	$K_{75}=8$	30	1,500	φ 29-5 本
A7	$K_{75}=8$	30	1,000	φ 38-3 本
A8	$K_{75}=8$	30	1,500	φ 38-3 本
<hr/>				
B1	$K_{75}=4$	20	1,000	φ 29-5 本
B2	$K_{75}=4$	20	1,500	φ 29-5 本
B3	$K_{75}=4$	20	1,000	φ 38-3 本
B4	$K_{75}=4$	20	1,500	φ 38-3 本
B5	$K_{75}=4$	30	1,000	φ 29-5 本
B6	$K_{75}=4$	30	1,500	φ 29-5 本
B7	$K_{75}=4$	30	1,000	φ 38-3 本
B8	$K_{75}=4$	30	1,500	φ 38-3 本

き検討した。載荷試験は、直径 30 cm の載荷板による 40~50 tf までの単軸載荷試験とした。

4.2 静的載荷試験による耐荷力の評価

(1) 単独版の耐荷力

図-4.1 に示す単独版に対し、版連結前に走行荷重がある場合を想定し、走行荷重車の走行前と、10 回の走行後に、静的載荷試験を行った。載荷試験の脚荷重は 50.8 tf とした。

図-4.3, 4.4 は、代表的な位置における版表面のひずみ分布である。図中には Westergaard の載荷公式による理論値および F.E.M. による理論値（両者はほとんど同じになる）も示しているが、実測値の方が若干小さな値となっている。実際のプレキャスト版は、鉄筋や PC 鋼材で補強されているため、版としての弾性係数が見掛け上、理論値を計算するとき用いる弾性係数（コンクリートの圧縮試験から求めたもの）よりも大きくなって、このような差が生じたのであろう。なお理論計算は、路盤の支持力係数を 15 kgf/cm<sup>3</sup>、コンクリートの弾性係数、ポアソン比をそれぞれ 250,000 kgf/cm<sup>2</sup>, 0.15 として行った。

今回測定のと都合で載荷試験の脚荷重を標準荷重 (73.6 tf) より小さくしたので、標準荷重載荷時の検討は、安全側に、理論からの推定値によってみた。理論値では最大ひずみは 265 μ 程度で、これによればコンクリート版に生ずる最大曲げ引張応力度は、コンクリートの弾性係

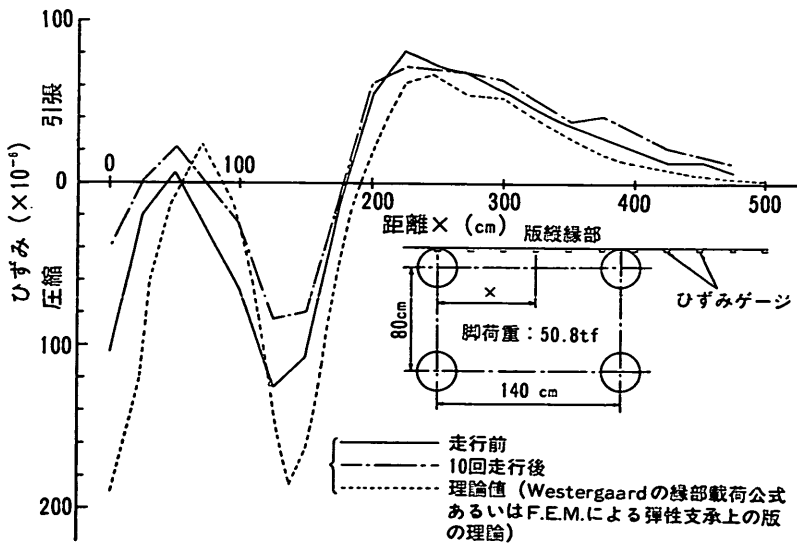


図-4.3 単独版の縦縁部の版表面のひずみ分布

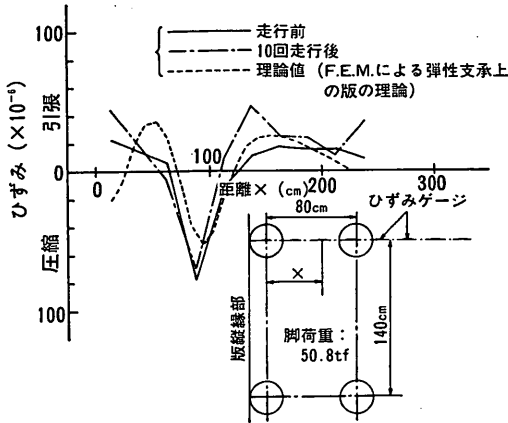


図-4.4 単独版の縦縁部直角方向の版表面のひずみ分布

数を  $280,000 \text{ kgf/cm}^2$  として  $74 \text{ kgf/cm}^2$  である。コンクリートの曲げ引張強度が  $45 \text{ kgf/cm}^2$ 、有効プレストレス量が  $29 \text{ kgf/cm}^2$  なので合計は  $74 \text{ kgf/cm}^2$  となり、単独版の状態では、版下面に荷重応力によりひびわれが入るか入らないかのぎりぎりである。

しかし一方、PC 舗装に対しては、コンクリート版の下面に入ったひびわれは通常の交通においてはなんら供用性に有害でないことが判明している<sup>5)</sup>ので、今回版連結前後に PC プレキャスト版にひびわれが入ったとしても、版を連結すれば発生ひずみや応力が小さくなることを考慮すれば、単独版の状態でも若干の交通に開放することは特に問題ないと考えられる。もし単独版の状態ですらひびわれを許容しないというならば、不経済となるがプレストレス量を多くしてやればよい。

図-4.5 は単独版の各載荷位置のたわみを示している。図中には F.E.M. による理論値も示しているが、たわみに対してはプレキャスト版の弾性係数はあまり影響を与えないことから、実測値と理論値はよく一致している。これらの結果をみると、版の中央部・縁部・ぐう角部のたわみ量の差が大きい。特に版の縁部とぐう角部のたわみ量が大きく、路盤が不等沈下を起す可能性がある。版を相互に連結し、縁部やぐう角部の

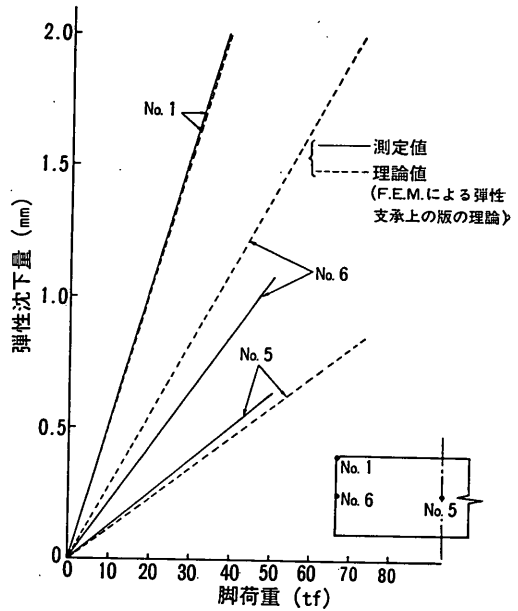


図-4.5 単独版の各載荷位置のたわみ

たわみ量を低減させ、路盤に与える影響を少なくする必要がある。

(2) 連結版の耐荷力

(a) 脚荷重載荷試験

PC プレキャスト版を連結後、脚荷重を段階的に増加していき、版縁部（長手方向）とそれに直角な方向（幅員方向）の版表面のひずみを測定した結果が 図-4.6, 4.7

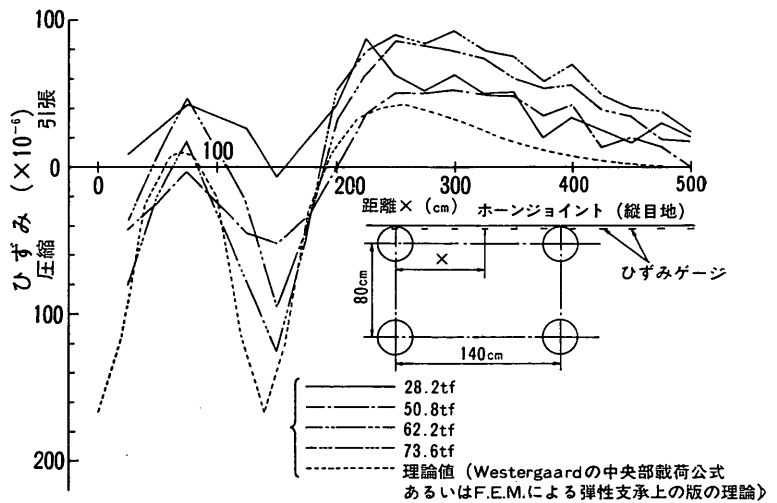


図-4.6 段階脚荷重載荷試験におけるホーンジョイントによる連結版の縦目地部の版表面のひずみ分布

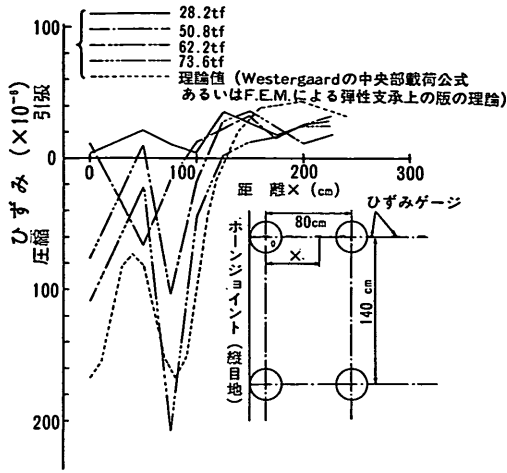


図-4.7 段階脚荷重載荷試験におけるホーンジョイントによる連結版の縦目地部直角方向の版表面のひずみ分布

である。荷重の増加にともない表面ひずみも増加していく。図中には、脚荷重 73.6 tf のときの Westergaard の中央部載荷公式あるいは F.E.M. による弾性支承上の版の理論の中央部の理論値もあわせ示しているが、版連結後の版縁部のひずみは、中央部載荷の理論値に近いといえる。

図-4.8 は、脚荷重が 50.8 tf のときの単独版と連結版の版縁部の版表面のひずみ分布を比較したもので、ホーンジョイントで版を連結することにより、連結版に発生するひずみが全体的に小さくなっていることがわかる。

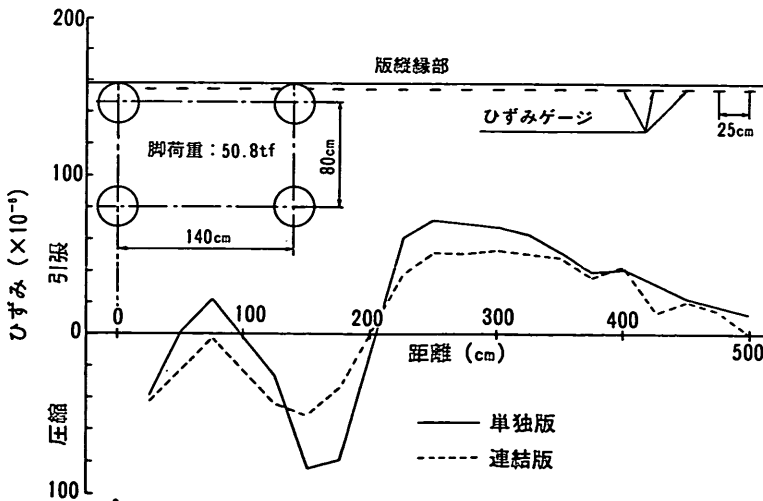


図-4.8 単独版と連結版の縦縁部の版表面のひずみ分布の比較

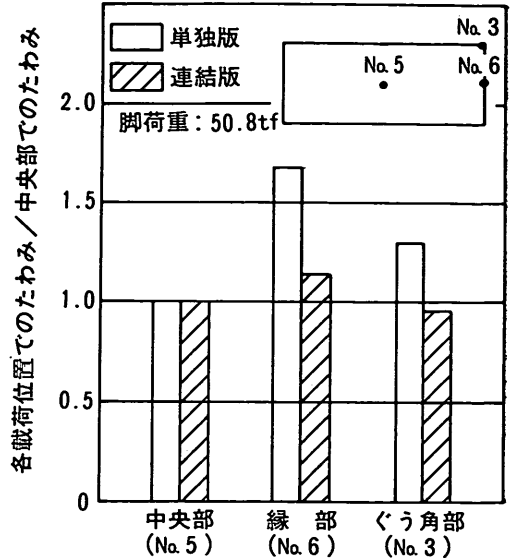


図-4.9 単独版と連結版での版の各載荷位置のたわみの比較

ホーンジョイントによる連結の効果は、図-4.9 のたわみの結果からもわかる。単独版の場合には、版中央に比べ縁部・ぐう角部のたわみが極めて大きいのが、版を連結した後は、縁部・ぐう角部のたわみも版中央と大差なくなる。

これらのことから、ホーンジョイントには直線スリッパと同等あるいはそれ以上の荷重伝達能力があることが推察され、ホーンジョイントで連結されたプレキャスト版では、版縁部も版中央と同様に取り扱えると考えられる。

このように版連結の効果がみられる PC プレキャスト版なので、標準荷重の 73.6 tf の脚荷重でも実測の最大ひずみは 150  $\mu$  程度と小さく、PC 版の下面ひびわれひずみの 265  $\mu$  と比較して、連結後は、下面ひびわれの危険はほとんどないといえよう。

(b) 単輪載荷試験

これまでの試験で PC プレキャスト版舗装の耐荷力がある程度確認されたが、さらに PC プレキャスト版舗装の強度を知るため、直径 30 cm の載荷板を用いて 85 tf までの単輪

載荷試験を実施した。

下面ひびわれは 30 tf 前後で発生する。版下面にひびわれが入った後も荷重を増加していくと、PC 版特有のモーメントの再配分が生じ、下面のひびわれを起す正のモーメントは増加せず、上面のひびわれを起す負の曲げモーメントが載荷点に近づきながら急増していく<sup>6)</sup>。この負の曲げモーメントの最大の位置に円形のひびわれが発生する。この表面ひびわれの発生荷重の計算は、変断面の計算を逐次進める繰返し計算法<sup>5)</sup>によるか、または、Meyerhof によって提案された式<sup>7)</sup>を用いるか、あるいは、Johansen の“降状線理論”を使用して導いた柳下の式<sup>8)</sup>を用いて行う。柳下の式を用いると、限界荷重、降状線半径、限界たわみ量はそれぞれ、中央部載荷で  $P=80$  tf,  $r=75$  cm,  $\delta=0.24$  cm, 縁部載荷で  $P_e=50$  tf,  $r_e=70$  cm,  $\delta_e=0.53$  cm となり、今回の載荷で表面ひびわれの発生が予想された。

図-4.10, 4.11 にホーンジョイントで連結された PC プレキャスト版のぐう角部における X 方向, Y 方向のひずみ分布を示した。どちらからも、負の最大曲げモーメントの位置が載荷点に近づいていくのがわかる。X 方向と Y 方向を比較すると、Y 方向の最大引張ひずみ発

生位置が載荷点に近いが、これは、せん断ひずみも加わったためと考えられる。

このぐう角部では、70 tf 付近で載荷版に近接してほぼ円形の表面ひびわれが生じた。この半径は、降状線半径より小さく、その形状より判断して、このひびわれは押し抜きせん断によるのではないかと考えられた。しかし、押し抜きせん断力による応力を計算すると、 $\tau'_0=55$  kgf/cm<sup>2</sup> となり、一方圧縮強度  $\sigma_c=400$  kgf/cm<sup>2</sup>, 引張強度  $\sigma_t=32$  kgf/cm<sup>2</sup><sup>9)</sup> とし  $\tau_0=(\sigma_c-\sigma_t)/2$  からせん断強度を求めると 184 kgf/cm<sup>2</sup> で、これから、せん断力だけではひびわれが入らない。ぐう角部であることから曲げも大きく、これらが合成されて破壊に至ったものであろう。一方中央部では、表面ひびわれの発生はみられなかった。

ぐう角部においては、支持断面が 1/4 と小さく、せん断力に若干弱いようである。しかし表面ひびわれ発生荷重は約 70 tf で、大型航空機の一輪あたりは 20 tf ぐらいであることから、安全率が 3 以上あることになり、ぐう角部の押し抜きせん断に対しても十分強度があると考えられる。

図-4.12~4.14 はたわみの分布である。No. 3 のぐう

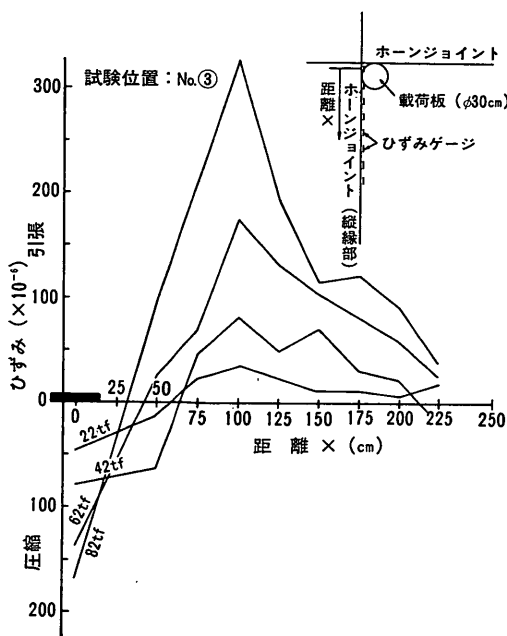


図-4.10 単輪載荷試験におけるホーンジョイントによる連結版のぐう角部の版表面のひずみ分布の変化

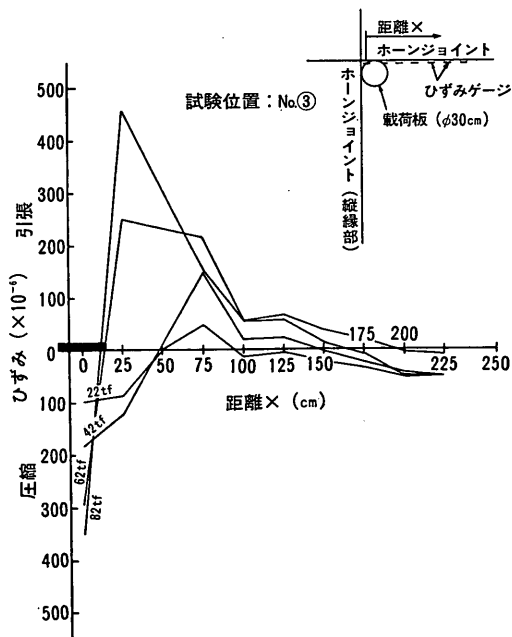


図-4.11 単輪載荷試験におけるホーンジョイントによる連結版のぐう角部の版表面のひずみ分布の変化

ホーンジョイントによる PC プレキャスト版舗装の開発

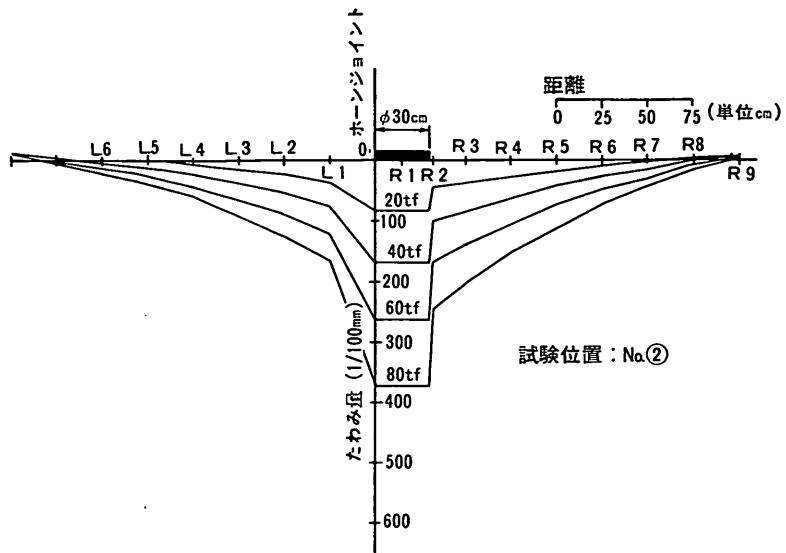


図-4.12 単輪荷重試験における、ホーンジョイントによる連結版の版縦縁部のたわみ分布の変化

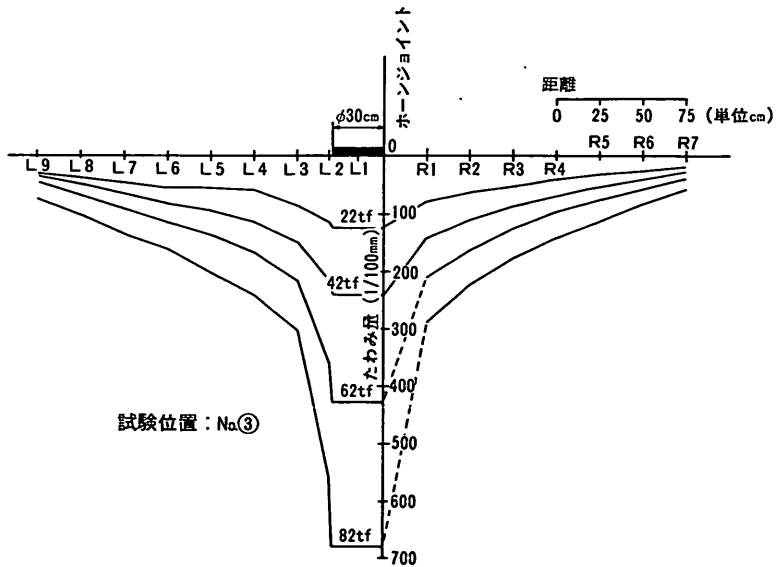


図-4.13 単輪荷重試験における、ホーンジョイントによる連結版の版ぐう角部のたわみ分布の変化

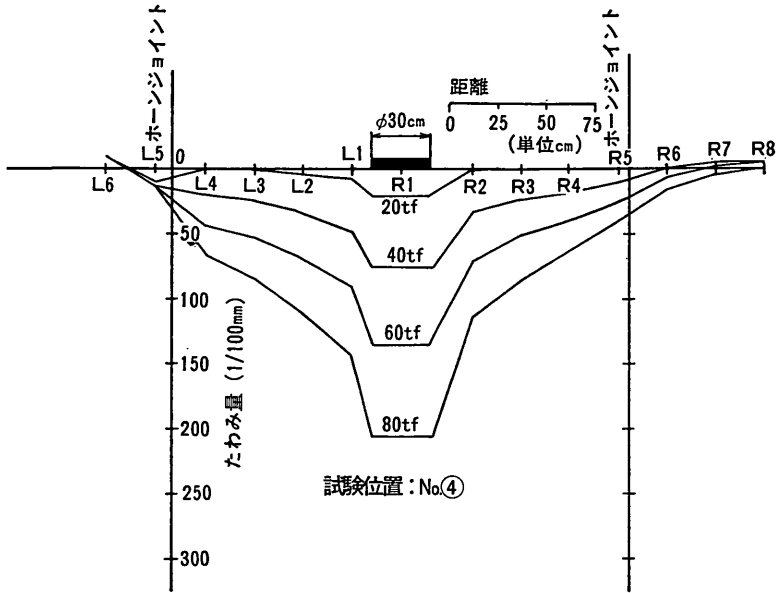


図-4.14 単輪載荷試験における、ホーンジョイントによる連結版の版中央部のたわみ分布の変化

角部で非常に大きな値を示している。分布をみると、荷重の増加にともないたわみが載荷板の近くで急増し、押し抜きせん断破壊の状況を示している。

表-4.3 に 60 tf のときの各試験位置での最大たわみ量をまとめている。これによると、No. 4 の版中央部、No. 6 の PC 鋼棒での横締め版の縦目地部が同程度で、ホーンジョイント部も小さな値を示し、十分な荷重伝達が行われていると考えられる。

表-4.3 単輪載荷試験における連結版各載荷位置の 60 tf のときの最大たわみ

試験位置	最大たわみ量 (mm)
No. ①	6.00
No. ②	2.65
No. ③	4.10
No. ④	1.36
No. ⑤	2.12
No. ⑥	1.50

#### 4.3 走行試験による供用性の評価

ホーンジョイントで連結された PC プレキャスト版舗

装が繰返し交通を受けても供用性に問題がないかどうかを検討するため、図-4.1 に示す走行レーン上を走行荷重車（脚荷重：73.6 tf）で走行試験した。走行回数は 5,000 回で、同一点の車輪通過回数は 10,000 回であった。

繰返し走行にともなう、ホーンジョイントで連結されたプレキャスト版表面のひずみ分布の変化を示したものが図-4.15、4.16 である。図中には Westergaard の公式あるいは F.E.M. による中央部載荷および縁部載荷の理論値も示している。これらの図より、繰返し走行によって最大ひずみは若干増加するものの、走行回数 5,000 回で 150 μ 程度であり、これは中央部載荷の理論値とほぼ同じくらいであることがわかる。しかも版下面にひびわれが入るときのひずみは、265 μ 程度なので、繰返し走行に対してもホーンジョイントで連結された PC プレキャスト版の耐久性は十分であると考えられる。

図-4.17 は、ホーンジョイントの縦目地部と、PC 鋼棒による横締め版の縦目地部でのたわみの比較で、ホーンジョイントでも PC 鋼棒による横締めとほとんど変わらないことがわかる。PC 鋼棒で横締めした PC 版および目地は、十分な耐久性・供用性を持つことが証明されているので、ホーンジョイントも同様に、十分な耐久性・供用性があると考えられる。

ホーンジョイントによる PC プレキャスト版舗装の開発

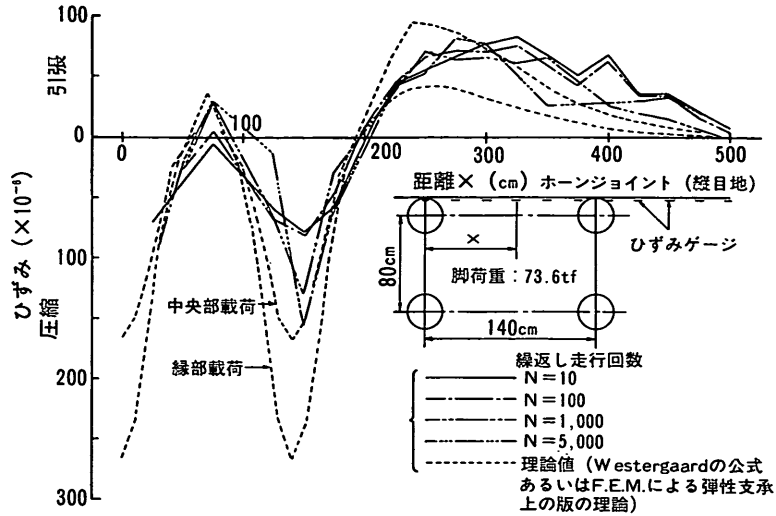


図-4.15 ホーンジョイントによる連結版の版表面のひずみ分布の繰返し走行にともなう変化 (1)

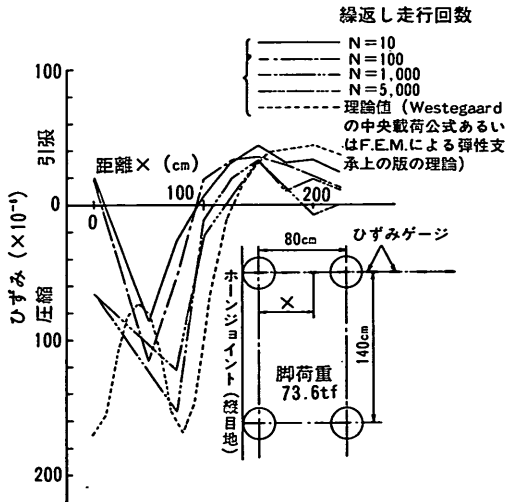


図-4.16 ホーンジョイントによる連結版の版表面のひずみ分布の繰返し走行にともなう変化 (2)

4.4 ホーンジョイントの合理的構造

基礎試験と実規模の PC プレキャスト版による試験舗装をとおし、直線スリッパーと同等の荷重伝達能力を持つとしたホーンジョイントによる PC プレキャスト版舗装が、大型航空機に対しても十分な耐荷力・耐久性・供用性を持つことが判明した。ここではもう一歩進んで、この舗装構造にとっての中心であるホーンジョイントについて、他の条件下での構造設計はどうすべきか、

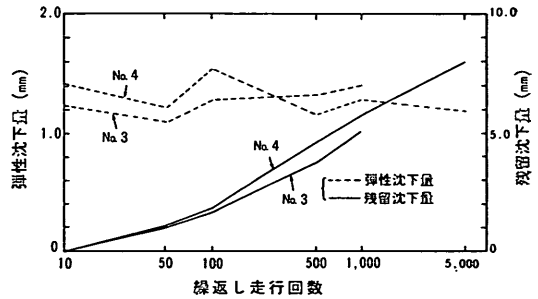


図-4.17 連結版目地部の路盤沈下量の繰返し走行にともなう変化

また合理的な構造はどうか等を、図-4.2 の試験舗装の実施をとおして検討してみた。

図-4.18 は、ホーンおよび結合鉄筋の曲率半径を変えた場合のジョイント部の段差(片方の版に載荷し、隣接版との間のたわみ量の差を取る)の違いで、全般に曲率半径の小さな方が小さい。これは、載荷時の結合鉄筋の移動が曲率半径が小さいほど少ないためと考えられる。このように荷重伝達性能に関しては、ある程度曲率半径を小さくする方がよさそうである。しかし一方、2.1でも述べたように、ホーンジョイントは、収縮目地機能も兼ね備えていなくてはならないため、あまり曲率半径を小さくすることは、版の移動を妨げることになり問題である。版の移動という点では、実規模の試験舗装で、曲率半径 1,300 mm で実施し、この場合なんらの問題が



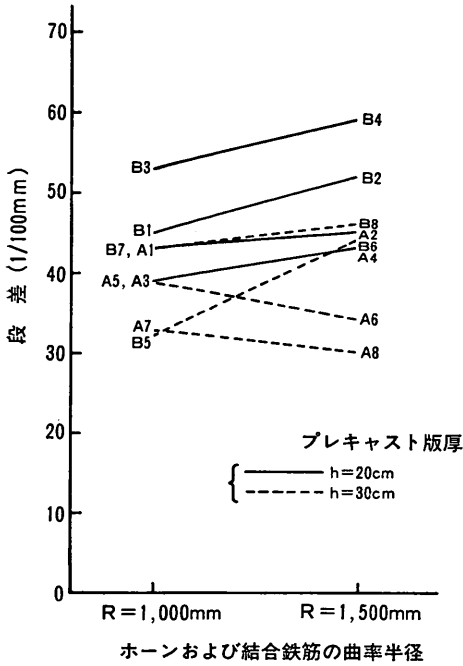


図-4.18 プレキャスト版目地部の段差に及ぼすホーンおよび結合鉄筋の曲率半径の影響

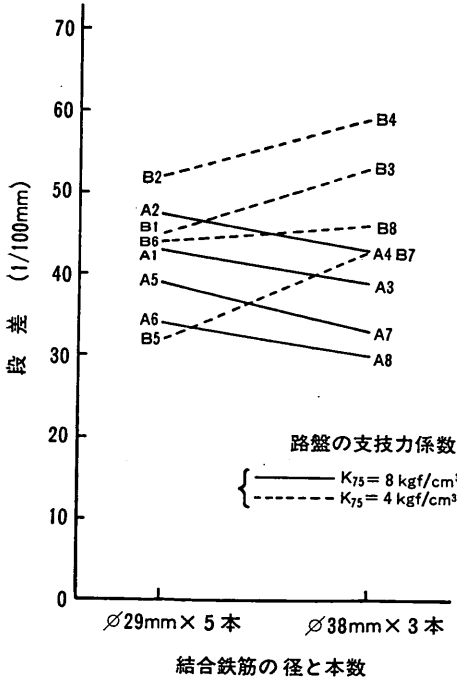


図-4.19 プレキャスト版目地部の段差に及ぼす路盤の支持力および結合鉄筋の径と本数の影響

なかった。そのほか施工性を考慮すると、曲率半径 1,300mm 前後が適当と考えられる。

図-4.19 は、結合鉄筋の量は同一にし、径と間隔(本数)を変えた場合のジョイント部の段差の違いである。この結果には、路盤の支持力の違いによる明確な傾向がみられる。この傾向から、路盤の支持力の小さいときのホーンジョイントは、結合鉄筋の径を小さくし本数を多くした方が望ましく、逆に路盤の支持力の大きいときは、太い径の鉄筋で本数を少なくしてもよいといえそうである。ホーンジョイントの鉄筋の径および間隔は、このような事実のほか、施工上の問題も加味して適当な値を選ぶようにする。

図-4.20 は結合鉄筋に生ずる最大引張ひずみを示したものである。この図から鉄筋の最大引張ひずみは、プレ

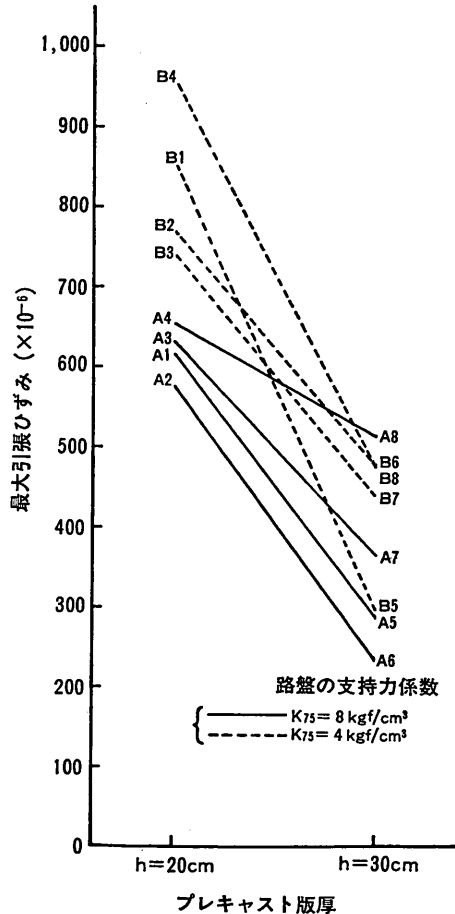


図-4.20 ホーンジョイントの結合鉄筋に生ずる最大引張ひずみに及ぼす路盤の支持力およびプレキャスト版厚の影響

キャスト版の厚さおよび路盤の支持力の影響を大きく受けることがわかる。特に、路盤の支持力が小さく版厚が薄くなると最大引張りずみは極めて大きくなる。このような結果から判断すると、路盤の支持力が小さいときは、プレキャスト版の厚さを厚くすることも考慮していかねばならない。

結合鉄筋の許容引張応力度の  $1,600 \text{ kgf/cm}^2$  から逆算したホーンジョイント1本の許容支持力をまとめたものが表-4.4である。この計算では簡単のために、各目地でのホーンジョイントはみな同一の荷重を支持するとしている。一方、通常のスリッパーの設計により、ホーンジョイントの結合鉄筋の寸法と同一の直線スリッパー1本に期待する支持力を求めてみた<sup>10)</sup>ものも表中に示している。これらを比較すると、今回の載荷試験からの許容支持力のはるかに大きく、ホーンジョイントの結合鉄筋に対しては、直線スリッパーの設計は十分安全側にあると判断される。

表-4.4

ホーンジョイントの種類	許容引張応力 ( $1,600 \text{ kgf/cm}^2$ ) 時の鉄筋1本当りの荷重 (kgf)	スリッパー1本で、曲げ強さで伝達できる荷重 (kgf)
A1	7,300	1,003
2	7,900	1,003
3	12,100	2,257
4	11,600	2,257
5	15,900	1,003
6	19,800	1,003
7	22,000	2,257
8	14,900	2,257
B1	5,300	1,003
2	5,900	1,003
3	10,200	2,257
4	7,900	2,257
5	15,700	1,003
6	9,600	1,003
7	17,400	2,257
8	16,100	2,257

## 5. 破損版の補修方法の検討

1. でも述べたように、従来の横締めによる PC ブレキャスト版舗装では、中の1枚の版が破損して取り換えを必要とするときは、横締め用の PC 鋼材をすべて解き放つため、相当広範囲の版まで影響を及ぼすことになり、このタイプの舗装の版の補修性は極めて悪いものであった。

今回考案されたホーンジョイントによる PC ブレキャスト版舗装は、このような欠点を改善することを大きな目的としていた。そこで、PC ブレキャスト版の試験舗装で、連結版に対して一連の載荷試験を終了した後、図-3.3 中に示す1枚の版を解体し、再組み立てし、ホーンジョイントによる PC ブレキャスト版舗装の場合は、版の取り換え作業が、他の版にあまり影響を及ぼさずに容易にできるかどうかを検討した。

まず版は、次の手順によって解体された。

- ① ホーンジョイントの円弧状鉄筋の切断 (写真-5.1)
- ② 版の取り外し (写真-5.2)



写真-5.1 ホーンジョイントの結合鉄筋の切断



写真-5.2 ブレキャスト版の取り外し

再組み立て作業は、次の手順によった。

- ① 路盤の整正
- ② 解体版および隣接版のホーンから鉄筋およびグラウトの抜き取り (写真-5.3)
- ③ 版の再敷設
- ④ 版相互の段差是正
- ⑤ 版下面へのグラウト
- ⑥ 円弧状鉄筋の挿入とホーン状中空管と鉄筋の隙間へのグラウト



写真-5.3 ホーンからの鉄筋およびグラウトの抜き取り

この試験施工は特に問題なく実施できた。この結果から、ホーンジョイントによる PC プレキャスト版舗装は限られた版を補修する場合、上記手順により部分的な施工で良好に実施できると考えられる。

## 6. 空港舗装への適用性

ホーンジョイントによる PC プレキャスト版舗装は、試験施工と各種試験舗装に対する載荷試験をとおし、十分平坦性が取れ、施工速度も速く、耐荷力・耐久性・供用性が大きく、破損版の取り換えも容易であることが確認されたことから、空港舗装として十分利用していいと考えられる。

この場合、PC プレキャスト版のプレストレス量等の設計は、単独版の状態に対しては Westergaard の縁部載荷公式により、各版を連結した状態に対しては Westergaard の中央部載荷公式によれば十分安全であ

る。またホーンジョイントについては、曲率半径は 1,300 mm 前後を選択しておけばよく、結合鉄筋の径や間隔は原則的には現場打ちの直線スリップバーに準じて決めればよい。しかし路盤の支持力が小さいときは、施工上許される範囲内で結合鉄筋の径を小さくし、ホーンジョイントを多数入れることを心掛けるべきである。同様に路盤の支持力が小さいときは、ジョイントの構造上、プレキャスト版の厚さを厚くする方向での検討も必要である。

一方施工上は、従来の PC 鋼材による横締め方式と異なって、版の敷設と平行して敷設版を順次ホーンジョイントで連結していけるので、施工速度が著しく速くなることから、種々制限が多くじん速施工を要求する空港での工事には、適用性が極めて大きいと考えられる。

今回このホーンジョイントのほか、プレキャスト版の平坦性を取るための治具、プレキャスト版と路盤の隙間へのグラウト工法等の関連技術も付随して開発された。これらを総合することにより、従来の工法では得ることができなかった良好な施工ができるようになり、この新しい工法が、現在あるいは将来空港舗装が直面するであろう問題に対し、有効な対策の 1 つになるであろうと考えられる。

## 7. 結 論

目地部で連結できる PC プレキャスト版舗装の開発研究を行い、次のような結論が得られた。

### (1) プレキャスト版の結合

- (i) プレキャスト版を目地部で結合し、解除し、再結合できる構造で、しかもある程度の収縮目地機能を持つものとして、ホーンジョイントが適する。
- (ii) ホーンジョイントの荷重伝達能力は、現場打ち直線スリップバーと同等以上で、大型航空機に対しても大きな耐荷力・耐久性がある。
- (iii) ホーンジョイントの構造では、荷重伝達性能や収縮目地機能を考え、曲率半径を 1,300 mm 前後とし、中のグラウト等が抜き取りやすいように、ポリエチレン製の中空管にはテーバーを付ける。テーバーの大きさは、コンクリート版厚が 20 cm のとき、版表面で  $\phi 40$  mm、版端面で  $\phi 60$  mm 程度にする。
- (iv) ホーンジョイントの結合鉄筋の寸法や間隔は、現場打ち直線スリップバーに準じて設計すればよい。この場合、路盤の支持力が大きいときは、太

## ホーンジョイントによる PC プレキャスト版舗装の開発

い径の鉄筋を使い本数を減らし施工性を上げられるが、路盤の支持力が小さいときは、細い径の鉄筋を本数を多くして使う方が望ましい。

- (v) 路盤の支持力が小さいときは、ホーンジョイントの鉄筋が受ける応力等から、プレキャスト版厚を厚くすることが望ましい。
- (vi) ホーンジョイントによるプレキャスト版の結合作業は、ホーン状中空管への結合鉄筋の挿入と、中空管と鉄筋の隙間へのグラウトで、極めて簡単で、じん速にできる。
- (vii) 膨張目地結合としては、プレキャスト版製作時に、版の中央に所定の目地幅を取って直線スリップバーを埋設しておくことにより対処できる。

### (2) PC プレキャスト版の設計

- (i) 載荷試験で版に生ずるひずみと応力は、当初は、Westergaard の理論値より若干小さく、繰返し載荷とともに若干増加し、10,000 回程度の繰返し回数で理論値に近くなる。
- (ii) 単独版のときに比べ版を連結すると、発生するひずみやたわみは著しく小さくなる。また版のぐう角部や縁部での値が、中央部の値に近くなる。
- (iii) (i), (ii) の結果等から、PC プレキャスト版の設計は、単独版のときは Westergaard の縁部載荷公式を、連結した後は Westergaard の中央部載荷公式を適用して行えばよい。

### (3) プレキャスト版の平坦性

- (i) プレキャスト版を敷きならべる路盤の最上層に、厚さ 2 cm 程度の砂とセメントの空練り重量比 7 : 1 による不陸整正層を設けると、版敷設時の平坦性が取りやすい。
- (ii) プレキャスト版敷設に際して生ずる段差は、図-2.9 のような治具を用いて簡単に是正できる。

### (4) プレキャスト版と路盤の隙間の処理

- (i) グラウト材としては、セメント系が望ましく、特に、早期強度を発現するジェットセメントミルク (W/C=80%, ジェットセッター=0.4%) は、ブリージングや収縮変形が少なく良好である。
- (ii) プレキャスト版底面をビニールフィルムでくるんでグラウトすると、自然流下でもグラウトは、微細な隙間にも十分行き渡る。
- (iii) (ii) の事実から、版を、従来のように支持台の上に乗せるのではなく、路盤上に直接置くことがで

きる。

- (iv) 直径 50 mm 程度のグラウト孔を、プレキャスト版下面で 300 mm 程度に拡孔しておくこと、グラウトの施工性がよくなる。
- (5) ホーンジョイントによるプレキャスト版舗装の施工および施工性
  - (i) ホーンジョイントによるプレキャスト版舗装の施工は、次のような手順によればよい。
    - ① 路盤の製作, ② 版の敷設, ③ 版相互の段差是正, ④ 版と路盤の隙間へのグラウト, ⑤ 版相互の連結 ((1) の (vi))
    - (ii) プレキャスト版底面をビニールフィルムでくるんでいることから、グラウト作業が版敷設、版相互の段差是正作業と平行してできるので、従来の方式に比べ施工速度がかなり速くなる。
    - (iii) ホーンジョイントによるプレキャスト版では、版を敷きならべると平行して版の連結作業ができるため、従来の方式に比べ施工速度が著しく速くなる。
  - (6) 破損プレキャスト版の取り換え
    - (i) ホーンジョイントによるプレキャスト版では、部分的に破損版だけを取り外し、新しい版と取り換えることができる。
    - (ii) 破損版の取り換え作業は、次のような手順によればよい。
      - ① ホーンジョイントの円弧状鉄筋の切断, ② 版の取り外し, ③ 路盤の整正, ④ 隣接版のホーンから鉄筋およびグラウトの抜き取り, ⑤ 新しい版の敷設, ⑥ 版相互の段差是正, ⑦ 版下面へのグラウト, ⑧ 円弧状鉄筋の挿入とホーンと鉄筋の隙間へのグラウト
      - (iii) 地盤の不等沈下等で版相互の平坦性が低下した場合でも、(ii) に準じた方法で版の再敷設が可能である。
    - (7) 空港舗装への適用性
      - (i) ホーンジョイントによる PC プレキャスト版舗装は、十分な平坦性が取れ、大きな耐荷力・耐久性・供用性があるので、大型航空機の空港舗装にも適用性が高い。
      - (ii) 各種工程が平行して実施できるようになり、施工速度が著しく上がったことから、種々制限が多くじん速施工を要求する空港での工事に、極めて大きな適用性がある。

## 8. あとがき

## 参 考 文 献

まえがきで触れたように、近年空港舗装で既設舗装の補修に関しいくつかの重大な問題に直面している。この新しいタイプの PC プレキャスト版舗装は、このような問題の解決の 1 つの有効な手段になると考えられたので、基本試験・試験舗装をとおり、その施工性・構造的な強度・版の補修性等を検討し、空港舗装への適用性を評価してみた。

その結果、空港舗装として十分な強度を持ち、施工性も優れていることがわかり、空港舗装の新しい建設および既設舗装の補修等に有効な工法と考えられた。

今後は実際の空港等での使用をとおり、より一層の実用性の向上を図っていくことが望まれる。

なお本研究成果は、港湾技術研究所とピーエスコンクリート（株）の共同研究により得られたものであり、研究成果のうち、舗装版の連結構造（ホーンジョイント）およびプレキャスト舗装版下の空隙充填（グラウト）方法については、特許出願中であることを付記する。

(1980年9月30日受付)

- 1) 森口 拓, 他: 空港アスファルト舗装のわだちぼれ, 港湾技術研究所報告, Vol. 12, No. 4, 1973年12月, pp. 75~130.
- 2) 土木学会: プレストレストコンクリート標準示方書, 昭和53年, 210 pp.
- 3) 運輸省航空局: 空港コンクリート舗装構造設計要領, 1977年, 105 pp.
- 4) 福手 勤: 空港コンクリート舗装厚設計への電算プログラムの応用, 港湾技研資料, No. 262, 1977年6月, 20 pp.
- 5) 福手 勤, 他: 第三種設計法による PC スラブの空港舗装への適用性に関する研究, 港湾技術研究所報告, Vol. 18, No. 3, 1979年9月, pp. 37~63.
- 6) Melville, P. L.: Review of French and British procedures in the design of prestressed pavements.
- 7) Meyerhof, G. G.: Load-carrying capacity of concrete pavements, Proc. of ASCE, SM 3, Vol. 88, June 1962, pp. 89~116.
- 8) 柳下 肇: プレストレストコンクリート舗装の強度, 第12回日本道路会議論文集, 昭和50年10月, pp. 299~300.
- 9) プレストレストコンクリート技術協会, 日本コンクリート会議: コンクリート構造物設計施工国際指針, 鹿島出版会, 昭和46年4月, pp. 49~50.
- 10) たとえば, 竹下春見: 新編道路工学, 金原出版, 昭和36年, pp. 221~226.

# 港湾技術研究所報告 第19巻 索引

	論文名・著者名	巻号	頁
<b>水工部</b>			
	直立消波ケーソンの上床版に働く揚圧力—空気圧縮モデルによる検討— ..... 谷本勝利・高橋重雄・村永 努.....	19 1	3~ 31
	曲面スリットケーソンの水理特性に関する実験的研究 ..... 谷本勝利・原中祐人・富田英治・和泉田芳和・鈴木諭司.....	19 4	3~ 53
	漂砂および海浜特性の観点に立った我が国海浜の地域区分..... 田中則男.....	19 4	55~ 99
<b>海洋水理部</b>			
	再浮遊した底泥の酸素消費実験..... 細川恭史・三好英一・堀江 毅.....	19 3	3~ 36
	波高計部による方向スペクトルを用いた反射波推定法の検討..... 合田良実.....	19 3	37~ 70
	大型く(矩)形浮体の波浪中の動揺と係留力に関する研究(第1報) —模型実験による検討— ..... 高山知司・永井紀彦・菊地 治・諸石一幸.....	19 3	71~103
<b>土質部</b>			
	石灰・セメント系安定処理土の基本的特性に関する研究(第2報) ..... 寺師昌明・田中洋行・光本 司・新留雄二・本間定吉.....	19 1	33~ 62
	埋立護岸における裏込砂の浄化効果に関する実験..... 門司剛至.....	19 2	3~ 66
	ホーンジョイントによるPCプレキャスト版舗装の開発 ..... 佐藤勝久・福手 勤・山崎英男・犬飼晴雄.....	19 4	101~128
<b>構造部</b>			
	広帯域入力地震動の合成方法の提案..... 井合 進・土田 肇.....	19 1	63~ 96
	けい留中の大型タンカーの衝突力..... 上田 茂・佐藤喜一.....	19 2	67~114
	海上風の性質とそれによるく(矩)形浮体の動揺解析..... 清宮 理.....	19 2	115~167
	大型く(矩)型浮体の波浪中の動揺と係留力に関する研究(第2報) —数値シミュレーション手法について—..... 上田 茂・白石 悟.....	19 3	105~143
	繰り返し荷重を受ける鉄筋コンクリートばりの疲労強度(第2報) ..... 上田 茂・小島 晃.....	19 3	145~190

## 設計基準部

- 有限要素法による鉄筋コンクリートスラブの弾塑性解析……………関口信一郎……19 2 169~185
- 係船岸におけるたわみ性控え工の設計法に関する研究……………杉並仁茂……19 3 191~273

# Index of Report of P.H.R.I. Vol. 16

Vol. No.    pp.

## Hydraulics Division

- Uplift Forces on a Ceiling Slab of Wave Dissipating Caisson with  
a Permeable Front Wall—Analytical Model for Compression  
of an Enclosed Air Layer—  
..... Katsutoshi TANIMOTO, Shigeo TAKAHASHI and Tsutomu MURANAGA.....19 1 3~ 31
- A Hydraulic Experimental Study on Curved Slit Caisson  
..... Katsutoshi TANIMOTO, Suketo HARANAKA, Eiji TOMIDA,  
Yoshikazu IZUMIDA and Satoshi SUZUMURA.....19 4 3~ 53
- The Delimitation of Coastal Regions in Japan from the View Point of  
Coastal Engineering .....Norio TANAKA.....19 4 55~ 99

## Marine Hydrodynamics Division

- Oxygen Uptake by Resuspended Sediments  
..... Yasushi HOSOKAWA, Eiichi MIYOSHI and Takeshi HORIE.....19 3 3~ 36
- Examination of the Resolution of Incident and Reflected Wave by  
Means of Directional Spectra with a Wave Gauge Array  
..... Yoshimi GODA.....19 3 37~ 70
- Motions and Mooring Forces of a Rectangular Floating Body in  
Wave (1st report)  
..... Tomotsuka TAKAYAMA, Toshihiko NAGAI, Osamu KIKUCHI  
and Kazuyuki MOROISHI.....19 3 71~103

## Soils Division

- Fundamental Properties of Lime- and Cement-treated Soils (2nd Report)  
.....Masaaki TERASHI, Hiroyuki TANAKA, Tsukasa MITSUMOTO,  
Yuji NIIDOME and Sadakichi HONMA.....19 1 33~ 62
- Experimental Study on Purification Effect of Backfilling Sand Used  
for Revetments for Reclaimed Land.....Takeshi MONJI.....19 2 3~ 66
- Development of PC Precast Slab Pavement Connected with Horn-joints  
.....Katsuhisa SATO, Tsutomu FUKUTE, Hideo YAMAZAKI  
and Haruo INUKAI.....19 4 101~128



## Structures Division

A Synthesis Method of Input Ground Motions of a Wide Period Range .....	Susumu IAI and Hajime TSUCHIDA.....	19	1	63~ 96
Impact Forec by VLCC Moored to Dolphin .....	Shigeru UEDA and Kiichi SATOH.....	19	2	67~114
The Properties of Wind above Sea and the Oscillation Analysis of Floating Bodies (Rectangular Cross Section) subjected to Wind Force .....	Osamu KIYOMIYA.....	19	2	115~167
Motions and Mooring Forces of a Rectangular Floating Body in Wave (2nd report).....	Shigeru UEDA and Satoru SHIRAIISHI.....	19	3	105~143
Study on Fatigue of Reinforced Concrete Beams .....	Shigeru UEDA and Akira KOZIMA.....	19	3	145~190

## Design Standard Division

Elasto-plastic Analysis for Reinforced Concrete Slabs by Finite Element Method .....	Shin-ichiro SEKIGUCHI.....	19	2	169~185
Studies on the Design Method of Flexible Anchorages of the Quaywall .....	Hitoshige MATSUNAMI.....	19	3	191~273