

運輸省港湾技術研究所

# 港湾技術研究所 報告

---

---

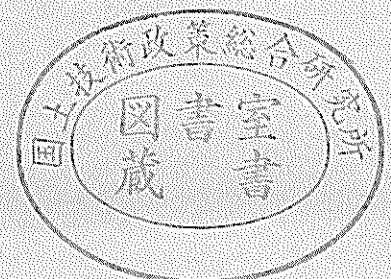
REPORT OF  
THE PORT AND HARBOUR RESEARCH  
INSTITUTE

MINISTRY OF TRANSPORT

---

VOL. 26      NO. 1      MAR. 1987

NAGASE, YOKOSUKA, JAPAN



# 港湾技術研究所報告 (REPORT OF P.H.R.I.)

第26巻 第1号 (Vol. 26, No. 1), 1987年3月 (Mar. 1987)

## 目 次 (CONTENTS)

1. Variation of Wave Power Extraction due to Incident Angle and Directional Wave Spreading — A Study on Development of Wave Power (5 th Report) ..... Shigeo TAKAHASHI, Kazuyuki MYOSE, Yasutoshi YOSHIMOTO and Satoru TANAKA ..... 3  
(波力発電ケーソンの波の入射角と方向分散性による空気出力の変化 — 波エネルギーに関する研究 (第5報) — ..... 高橋重雄・明瀬一行・吉本靖俊・田中 智)
2. 地震応答解析のための土の動的特性に関する実験的研究 ..... 善 功企・山崎浩之・梅原靖文 ..... 41  
(Experimental Study on Shear Modulus and Damping Ratio of Natural Deposits for Seismic Response Analysis ..... Kouki ZEN, Hiroyuki YAMAZAKI and Yasufumi UMEHARA)
3. コンクリート舗装の新しい目地構造の開発 ..... 八谷好高・佐藤勝久・田中孝士 ..... 115  
(Development of New Joint for Concrete Pavements ..... Yoshitaka HACHIYA, Katsuhisa SATO and Takashi TANAKA)

### 3. コンクリート舗装の新しい目地構造の開発

八谷 好高\*・佐藤 勝久\*\*・田中 孝士\*\*\*

#### 要 旨

コンクリート舗装の目地について、試験舗装に対する載荷試験ならびに有限要素法を用いた数値解析を実施することによって、合理的な目地構造を開発した。

コンクリート舗装の合理的な目地構造の条件としては、次のものが挙げられる。

- (1) 温度変化等がもたらすコンクリート版の伸縮によって目地が開いても、荷重伝達機能が良好さを保持できること
- (2) 連続鉄筋コンクリート舗装の端部において顕著にみられるような、目地に沿った方向のコンクリート版の移動(ずれ)を吸収できること
- (3) 従来型の目地と比較しても、工事費が割高とならないこと

今回開発した目地構造は、従来のかぎ型目地同様、凸部と凹部の目地部材のかみ合わせにより荷重伝達を図るものであるが、目地部材の形状と製作方法に改良を加えた。

- (1) 応力集中の程度が小さくなるように、目地部材の角ばりをなくして、曲線形状とした。
- (2) 目地が開いても荷重伝達機能が良好であるように、目地部材に水平部分を設け、凸部と凹部の目地部材が接触できるようにした。

- (3) 目地部材が破壊する危険性を小さなものとするために、凸部の目地部材のプレキャスト化を図った。目地部材を製作する上での制約から、プレキャスト化によっても目地部材の強度が確保できない恐れのある場合には、鋼繊維を混入するといった方法により対処することができる。

ここで提案することとした目地構造の部材寸法は、以下に示すものである。

- (1) 目地部材の厚さはコンクリート版厚の0.2倍
- (2) 目地部材の曲線部分の長さはコンクリート版厚の0.1倍
- (3) 目地部材の水平部分の長さはコンクリート版厚の0.1倍

\* 土質部 主任研究官(舗装補修担当)

\*\* 土質部 滑走路研究室長

\*\*\* 土質部 滑走路研究室

### 3. Development of New Joint for Concrete Pavements

Yoshitaka HACHIYA\*

Katsuhisa SATO\*\*

Takashi TANAKA\*\*\*

#### Synopsis

Concrete pavements incorporating various types of innovative jointing systems have been tested and numerical analysis has been carried out comprehensively to develop a rational joint for concrete pavements.

Functions of the rational joint are considered that;

- (1) load transfer at the joint is kept sufficient while the joint opens,
- (2) concrete slab can move along the joint, especially in case of continuously reinforced concrete pavement, and
- (3) construction and maintenance cost of the rational joint is satisfactorily low.

An improved keyed joint, of which mechanism of load transfer is tongue-and-groove interlock as well as conventional keyed joint, is found to have the possibility to be the most rational joint. The improved keyed joint differs from the conventional keyed joint both in shape and in construction procedure. The tongue has a hybrid shape composed of flat part and rounded part. The flat part is essential in order to keep load transfer of the joint sufficient when joint opening becomes more or less larger, and the rounded part is needed for the purpose of lessening the severity of stress concentration in the concrete around the tongue. The tongue is constructed before placing the concrete for slab.

It is recommended that;

- (1) the thickness of the tongue is  $2/10$  of that of the concrete slab,
- (2) the rounded part of the tongue is a half-circle, and
- (3) the length of flat part of the tongue is  $1/10$  of the thickness of the concrete slab.

---

\* Senior Research Engineer, Soils Division

\*\* Chief of Runways Laboratory, Soils Division

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

## 目 次

要 旨	115
1. ま え が き	119
2. 従来型目地構造の問題点と新しい目地構造の開発の方向	119
2.1 従来型の目地とその問題点	119
2.2 新しい目地構造に関する基礎的研究	120
2.3 新しい目地構造の開発の方向	125
3. 改良かぎ型目地の部材寸法の検討	126
3.1 検討の基本方針	126
3.2 目地近傍の応力集中に関する数値解析	126
3.3 試験舗装の力学的挙動	129
3.4 目地部材の寸法の総合的評価	135
4. 改良かぎ型目地の合理的な部材寸法の提案	136
4.1 コンクリートの版厚が35 cm の場合	136
4.2 種々のコンクリート版厚の場合	138
5. 結 論	139
6. あ と が き	140
参 考 文 献	140

## 1. まえがき

わが国の空港では、コンクリート舗装は一部の空港の滑走路、誘導路に用いられているほかは、大部分がエプロンに用いられている。空港舗装でも、特に、エプロンの舗装は広大で、面的なものであるが、もちろん路盤に支持された一枚のコンクリート版ではなく、一辺の長さが数mのく(矩)形の版が連結されたものになっている。この連結部が目地であり、コンクリート版の乾燥、温度変化といったことによるクラックの発生を防止している。

航空機等の荷重が舗装に載荷されることを考えると、目地が構造的には弱点である。わが国の空港コンクリート舗装の設計法<sup>1)</sup>では、中央部載荷での応力に対して適切な安全率を設定することにより版厚を算定するようになっており、目地部載荷によりコンクリート版に生ずる応力を直接的には計算していない。これは、目地では荷重伝達装置により良好な荷重伝達機能が供用期間中維持できるとみなしているためである。しかし、目地の荷重伝達機能は、目地構造によって異なるほか、繰り返し載荷、自然環境の作用によって低下することもあるので、必ずしも供用期間中にわたって良好なままではないものと思われる。

このようなことから、目地には、温度変化といったことに応じてスムーズに開閉できることはもちろんのこと、目地がある程度開いたり、航空機荷重が繰り返し載荷されたりしても、その荷重伝達機能は良好さを保つことが要求される。また、連続鉄筋コンクリート舗装(以下ではCRCPと略す)の場合には、温度変化といったものによって生ずるコンクリート版の伸縮が大きいため、これに用いる目地は、目地に沿った方向の版の移動(ずれ)に対処できるといった機能を有することが必要となる。このほか、近年の緊縮した予算の下では、舗装の建設費をできるだけ抑えることも重要なことである。この費用に関していえば、舗装の版厚等は変更できないので、目地に注意が向けられることであろう。

これをまとめれば、目地の備えるべき条件は、

- ① 目地の荷重伝達機能が良好なこと
- ② 目地に沿った方向の版の移動に対処できること
- ③ 建設費が安いこと

になろう。この三点を目標として、新しい合理的な目地構造を研究開発することとした。

本報告は、この研究開発の成果をまとめたものである。2.で従来型の目地構造にみられる問題点を明らかにして、新しい目地構造の開発の方向を示し、3.では目地

寸法の検討を実験と数値解析により行い、4.で具体的な目地寸法を提案する。5.では本研究で得られた成果をまとめとして示す。

## 2. 従来型目地構造の問題点と新しい目地構造の開発の方向

### 2.1 従来型の目地とその問題点

わが国の空港舗装で使用される目地は表-1に示したものである<sup>2)</sup>。縦目地では、自由縁部からある範囲まではタイバーを使用することとしているほかは、スリップバーを使用することとなっている。また、施工目地にはかぎ型目地も使用できることとなっている。横目地では、膨張目地として端部を増厚した突合せ目地を使用できることとなっているほかは、スリップバーを使用することとなっている。

目地の目的はいうまでもなく、温度変化等によりコンクリート版に生ずる応力を軽減することである。この目地はコンクリート舗装にとって弱点の一つであり、目地部では段差、ポンピング等、種々の破損がみられるが、これらの破損は目地の荷重伝達機能と密接な関係があると認識されている。

コンクリート版の温度変化等がもたらす目地の開閉によって荷重伝達機能がどのように変化するかを調査した結果によれば、以下の点が明らかになっている。<sup>2)</sup>

- ① かぎ型目地、のこみぞ目地は、ともに、目地が開くにつれて荷重伝達機能が低下するが、その度合はかぎ型目地のほうが著しい。
- ② スリップバー目地では、目地幅を25mm(膨張目地幅の標準値)まで開いても荷重伝達機能は当初の良好さを維持している。

表-1 空港コンクリート舗装の目地

位置	目的	構造
縦目地	施工目地	かぎ スリップバー付き突合せ
	収縮目地	スリップバー付きのこみぞ タイバー付きのこみぞ
横目地	施工目地	スリップバー付き突合せ
	収縮目地	スリップバー付きのこみぞ
	膨張目地	スリップバー 端部増厚

注) 目地を設ける場所によっては、タイバーを使用することが必要となる。

③ かぎ型目地では応力集中により目地が破損する危険性がある。

米国のポルトランドセメント協会 (PCA) でも、この荷重伝達機能に注目して種々の目地構造の力学的な性状を調査している。1973年に発表された PCA の空港コンクリート舗装の設計法<sup>3)</sup>では、膨張目地を省略するならば、タイバーを用いないで、のこみぞ目地、かぎ型目地だけを使用できることとなっている。1975年には PCA はその設計法に示してある目地を含め、種々の目地構造について載荷試験を実施した結果として以下のことを示している<sup>4)</sup>。

- ① タイバーを使用すべきこと
- ② タイバーを使用した場合、のこみぞ目地は供用性が良好であるが、角ばりのあるかぎ型目地の使用は避けるべきであること
- ③ スリップバー目地の荷重伝達機能は良好であること  
このほかにも、かぎ型目地には破損が多くみられるので、その使用を避けるべきとの指摘<sup>5)</sup>があることをみても、かぎ型目地には荷重伝達の点からみて問題があることは間違いない。

CRCP の目地には無筋コンクリート舗装の目地ではあまりみられない問題がある。CRCP は、版の長手方向に連続した鉄筋を配置することによって、横断方向に生ずるクラックの幅を微細なままに保持できることを特徴としており、横方向収縮目地をなくした舗装である。温度変化によるコンクリート版の伸縮についていえば、版の両端部分は路盤との間で相対的に動くものの、その内側の部分は路盤によりほぼ完全に拘束されている。この伸縮量は、当然、版の長さによって異なるので、隣接する版の長さは同じにする必要がある。しかし、舗装区域内に何らかの施設を設けなければならないといったことで隣接する版の長さを同じにできないときは、両者の間で

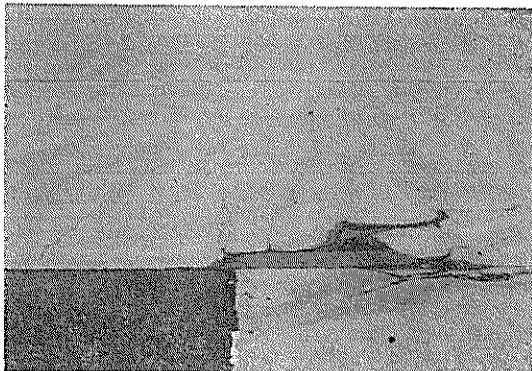


写真-1 CRCP に生じたクラック

相対的なずれが生ずるため、スリップバーのような目地を用いるとコンクリート版にクラックが発生することとなる (写真-1)<sup>6)</sup>。

## 2.2 新しい目地構造に関する基礎的研究

さまざまな研究機関で目地の荷重伝達機能に注目した研究が行われ、さらに新しい目地を開発する試みも一部で行われているものの、現段階では合理的なものはまだ現れていないようである。ここでいう合理的な目地とは、1. で述べたように、荷重伝達機能、目地に沿った方向の版の移動、建設費の三条件が満たされるものである。そこで、このような合理的な目地構造を開発するための基礎実験として、当所の野比実験場に試験舗装を製作してその力学的な性状を調べることにした。この試験舗装には、従来型の目地構造も含めて新しく考案したものを製作してあり、これらの目地に対する載荷試験を実施したほか、自然環境の作用による目地幅の変化も把握した<sup>7)</sup>。

### (1) 試験舗装

試験舗装の平面図と断面図は図-1 に示すとおりである。舗装は7区画からなり、それらの版厚は、A-1~A-5区画が45cm、A-6、A-7区画がそれぞれ38、30cmとなっている。

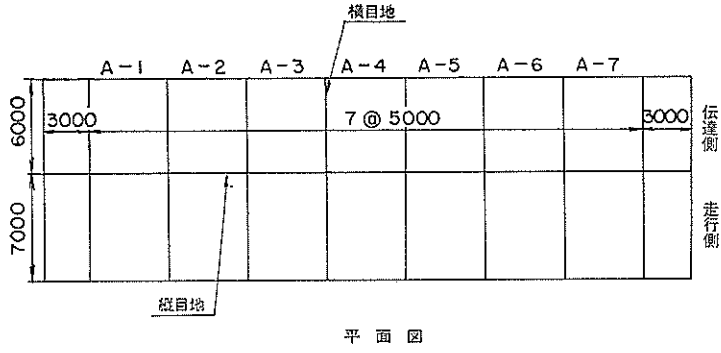
この試験舗装の縦目地の構造は表-2 に示してある。かぎとスリップバーを併用した目地 (A-3、A-4区画) のかぎの形状はA-1区画のものと同じである。また、スリップバーの寸法は、A-2区画のものと同じであるが、その設置間隔はA-2区間 (40cm) に比べて広く、A-3、A-4区画は、それぞれ、80、140cmとなっている。A-5区画の改良型目地は図-2 に示すように、かぎの形状を半楕円形にして応力集中を緩和するとともに、かぎの凹部と凸部の接触面を水平方向に50mmの長さで確保することによって目地が開いても荷重伝達機能が良好さを保つようにした。また、部材のプレキャスト化を図って所定

表-2 試験に供した目地

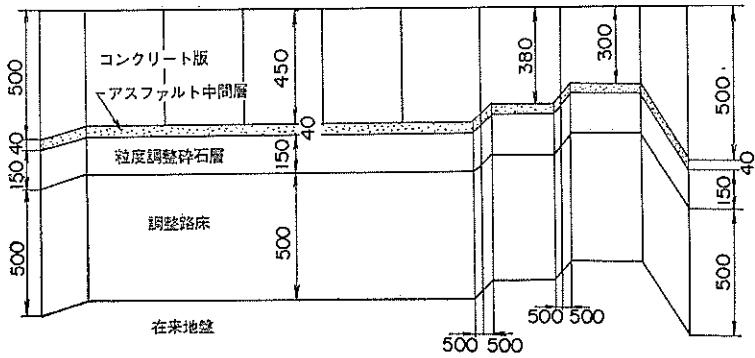
区 画	目 地 構 造
A-1	かぎ
A-2	スリップバー付き突合せ
A-3	かぎとスリップバーの併用
A-4	かぎとスリップバーの併用
A-5	かぎの改良
A-6	かぎ
A-7	かぎ

注) かぎの形状ならびにスリップバーの寸法、設置間隔は空港コンクリート舗装構造設計要領に準拠

コンクリート舗装の新しい目地構造の開発



(単位: mm)



断面図

図-1 試験舗装A

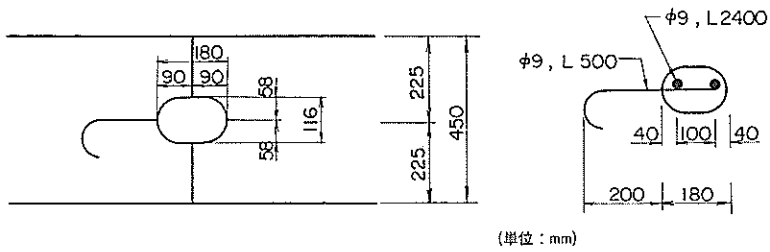


図-2 改良かぎ型目地

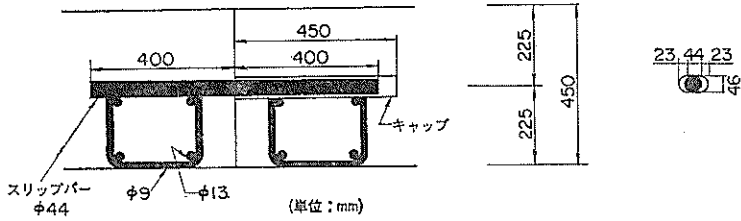


図-3 キャップ付きスリッパ目地



の強度を確保した。このほか、各区画の横目地として図-3に示すようなキャップ付きスリップバー目地を採用してその実用性を調べた。

粒度調整砕石路盤上での支持力係数  $K_{75}$  (直径75 cmの載荷版によるもの) は平均で  $7.8 \text{ kgf/cm}^2$  であり、現場養生したコンクリートの曲げ強度は材令9, 13箇月で、それぞれ、41,  $47 \text{ kgf/cm}^2$  であった。

(2) 載荷試験

載荷試験は、目地が閉じた状態と、目地幅が5 mmまで1 mmずつ開いた状態で実施したが、目地近傍に荷重を加えてそれに対する舗装の挙動を調べた。単輪載荷試験では直径40 cmの硬質ゴム付き平板を使用し、脚載荷試験では重量90 tfのDC-8型タイヤ配置の載荷脚をもったトレーラーを使用した。このほかに、トレーラーを縦目地近傍に沿って10000回まで走行させ、繰り返し載荷が舗装の挙動に及ぼす影響を調べた(走行載荷試験)。

(3) 自然環境下での目地幅の変化

自然環境下での目地幅の変化を把握するために、この試験舗装の横目地の目地幅を定期的に計測した。計測は昭和58年1月に舗装を製作して以来、ほぼ3年間にわたって、6箇所の横目地のうち4箇所で行った。ここに示したデータは、舗装の温度が最も低くなると思われる午前4時のものである(図-4)。

打設後3箇年では最大目地幅が2.6 mm程度になっている。また、年間を通じて最も目地幅が小さくなると思われる夏季のデータをみればわかるように、完全には前の年の値には戻らないものがある。これらの事実から、

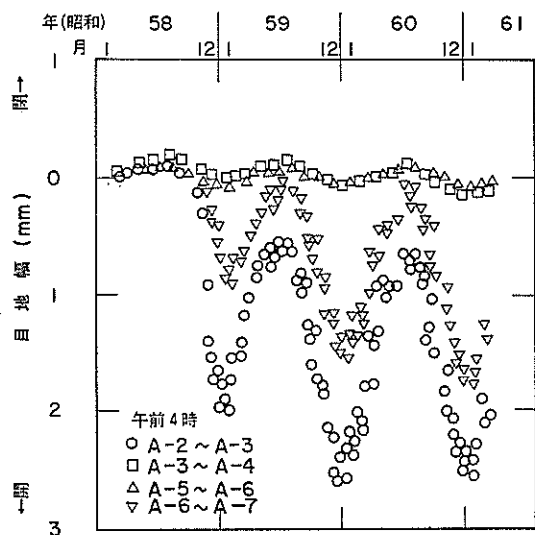


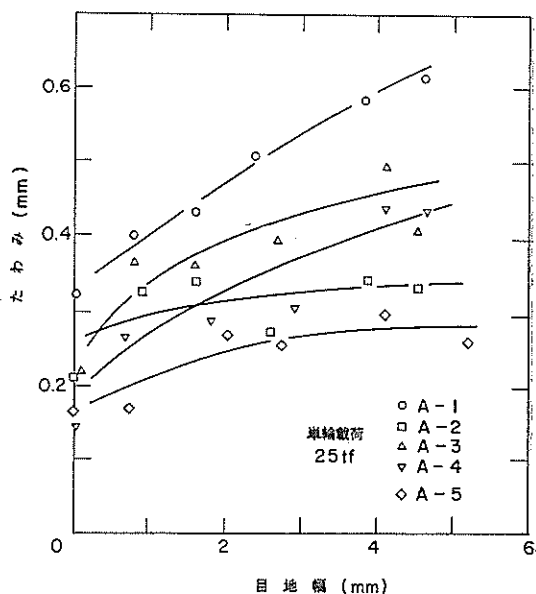
図-4 目地幅の変化

版と路盤との間の摩擦がすべての版で必ずしも同一でないこと等のために、冬季にいったん開いた目地は夏になっても完全には元どりに閉じないことや目地の開閉が特定の版に集中することが実際の舗装でもかなり多く起こっていると推定される。その上、実際の空港舗装は試験舗装に比べて広大であることから、これが発生する可能性は非常に大きいものと思われる。

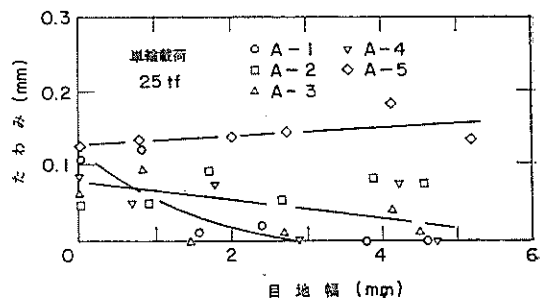
(4) 種々の目地構造の荷重伝達機能

それぞれの目地構造でのたわみと目地幅の関係を示したのが図-5である。ここで示したたわみは単輪載荷試験で得られた目地近傍のたわみであるが、このたわみを用いて荷重伝達率  $E_{ff,d}$  を(1)式により定義する。

$$E_{ff,d} = \frac{d_u}{(d_t + d_u)/2} \times 100 \quad \dots (1)$$



(a) 載荷側



(b) 非載荷側

図-5 目地幅がたわみに及ぼす影響

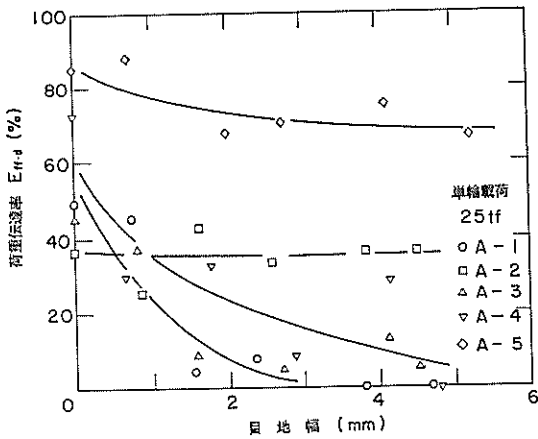


図-6 目地幅が荷重伝達率 ( $E_{ff,d}$ ) に及ぼす影響

ここに、 $d$  はたわみを表し、 $d_u$ 、 $d_w$  はそれぞれ、載荷側、非載荷側のたわみを意味する。

図-6はこの荷重伝達率  $E_{ff,d}$  を目地幅に対してプロットしたものである。図-5、6から、かぎ型目地に目地幅の影響が顕著にみられ、目地が開くにつれて荷重伝達が十分に行われなくなることがわかる。これに対して、改良かぎ型目地では目地が開いても非載荷側のたわみはほとんど変化していないことがわかり、荷重伝達率でみると目地幅5mmとなっても  $E_{ff,d}$  は70%というようにあまり低下していない。またスリッパ目地では目地幅が変化しても  $E_{ff,d}$  はほぼ一定であるのに対し、かぎとスリッパを併用した目地ではその低下が著しい。

脚載荷試験ではたわみが測定できないため、路盤の垂

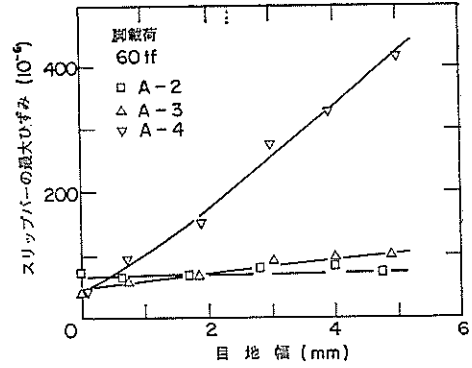
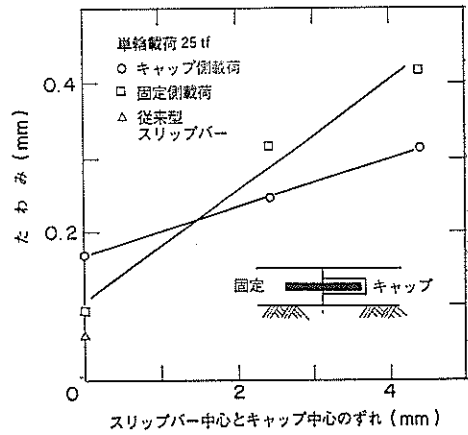
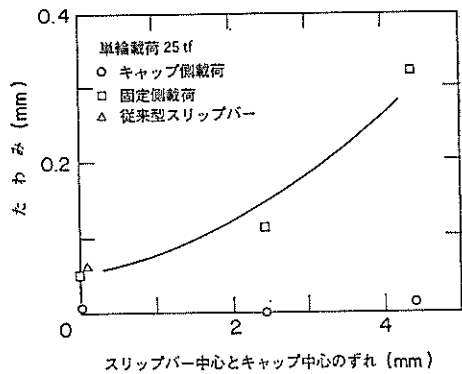


図-8 目地幅がスリッパの最大ひずみに及ぼす影響



(a) 載荷側



(b) 非載荷側

図-9 キャップ付きスリッパ目地のたわみ

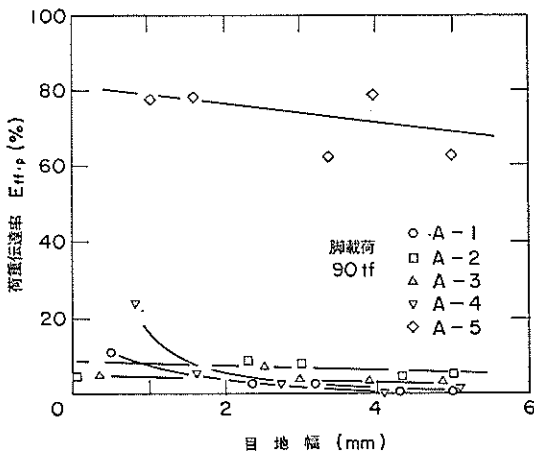


図-7 目地幅が荷重伝達率 ( $E_{ff,p}$ ) に及ぼす影響

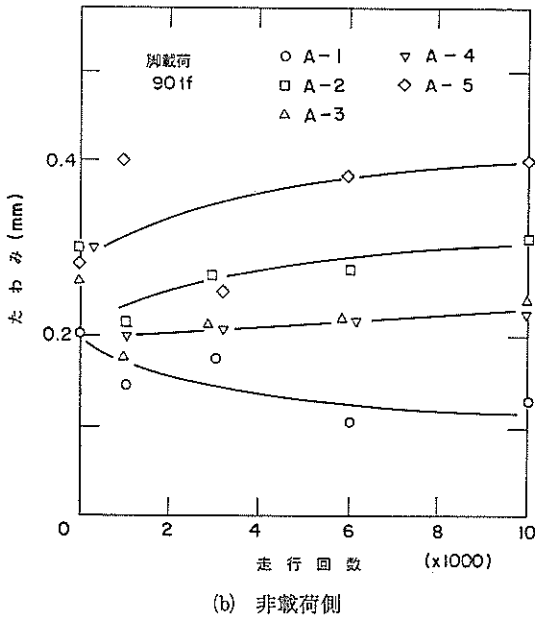
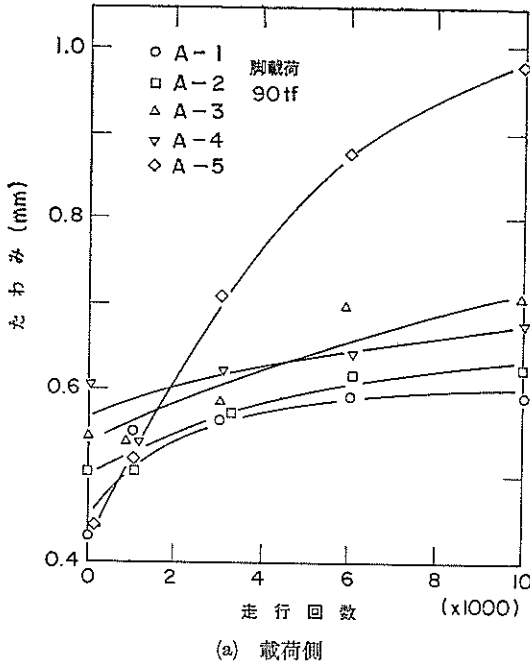


図-10 繰り返し走行によるたわみの変化

直応力を用いて荷重伝達率  $E_{ff,p}$  を算出した。その定義は(2)式のとおりである。

$$E_{ff,p} = \frac{p_u}{(p_l + p_u)/2} \times 100 \quad \dots\dots(2)$$

ここに、 $p$  は路盤の垂直応力を表し、 $p_l$ 、 $p_u$  はそれぞれ

れ、載荷側、非載荷側のものを意味する。

図-7はこの  $E_{ff,p}$  を目地幅に対してプロットしたものである。ここで用いたのは、縦目地から水平方向に20 cm 離れていて粒度調整砕石路盤の表面から10 cm 下方の点のデータである。A-5区画のものを他の区画のものに比較すれば、改良型目地の荷重伝達機能が極めて良好であることがこの図からもわかる。

スリッパを使用している目地でのスリッパの最大ひずみを目地幅に対して示したのが図-8である。区画によらず目地が開くにつれてスリッパのひずみが増加すること、さらにその増加割合は、A-2区画に比して、A-3、A-4区画のほうで大きいことが認められるが、A-3、A-4区画では、目地が開くにつれて、かぎでの荷重伝達はほとんど行われず、スリッパだけで荷重を伝達するようになるためであると思われる。

キャップ付きスリッパは意図したとおりに目地に沿った方向の版の移動に対処できることがわかった。図-9はスリッパ中心とキャップ中心のずれがたわみに及ぼす影響を示したものである。非載荷側のたわみにはスリッパのキャップ側に載荷した場合と固定側に載荷した場合で顕著な違いがみられ、この目地は荷重伝達機能の点ではかなり問題のあることがわかる。

走行試験の結果として、図-10にはたわみを走行回数に対して示した。走行回数の増加につれて、各区画とも載荷側のたわみが増加しており、A-1区画以外では非載荷側のたわみも増加していることがわかる。A-1区画では走行回数の増加につれて非載荷側のたわみが減少しており、目地の荷重伝達機能が低下してくることを明らかに示している。

この10000回の走行試験後の目地の荷重伝達率と目地幅の関係を図-11に示す。図-6に示した走行試験前のものと比較すると、各区画とも走行載荷の影響で荷重伝達

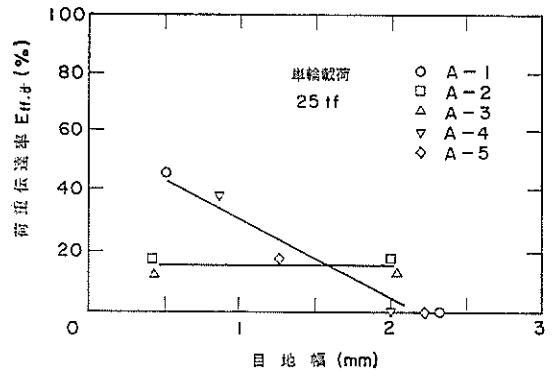


図-11 目地幅が荷重伝達率 ( $E_{ff,d}$ ) に及ぼす影響

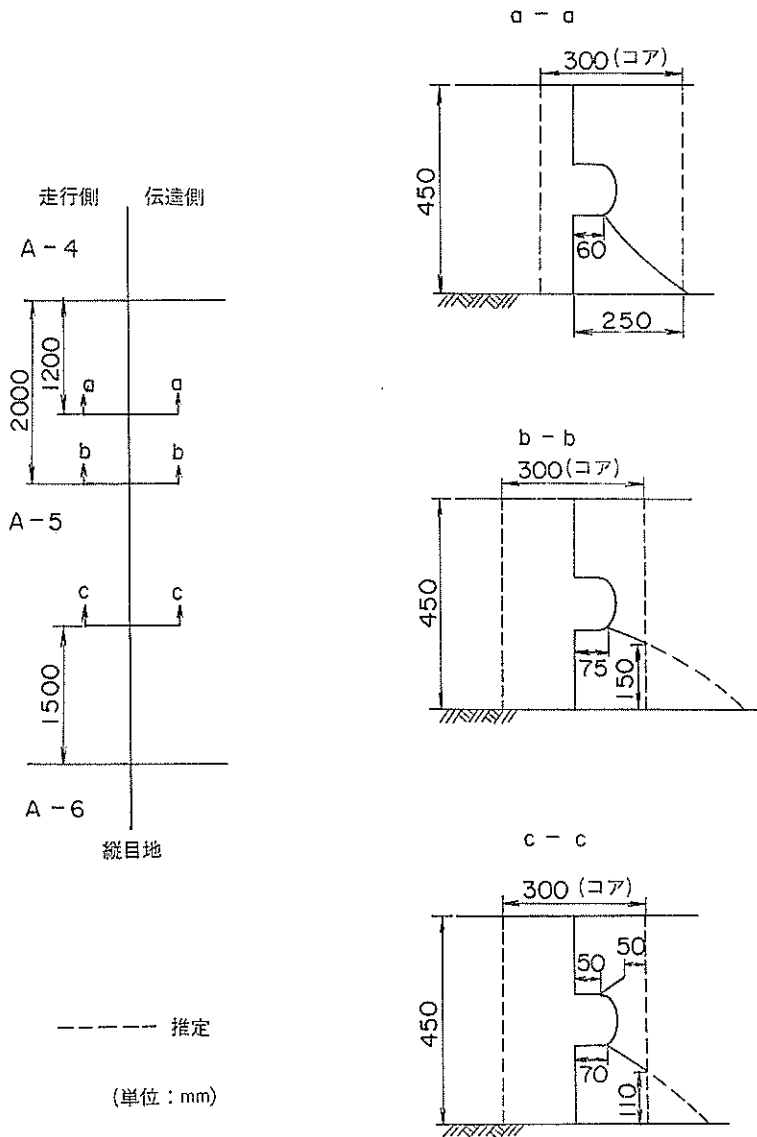


図-12 改良かぎ型目地に生じたクラック

機能はかなり低下したことがわかる。なかでも A-5 区画の機能の低下が著しく、走行試験前は目地幅 5 mm でも  $E_{ff,d}$  は 70% にまでしか低下しなかったが、試験後は目地幅 2 mm で  $E_{ff,d} = 0$  となっている。この原因は目地部に生じたクラックであることが、走行試験後に採取したコアによって確認された (図-12)。

### 2.3 新しい目地構造の開発の方向

野比実験場に製作した試験舗装に対する荷重試験で得られたことを要約して、新しい目地構造を開発するため

の方針を示せば、以下のようになる。

かぎとスリップバーを併用した目地は、たわみ、荷重伝達率ならびにスリップバーの最大のひずみをみてわかるように、目地幅が小さい間にかぎのかみ合わせにより荷重を伝達するが、目地が開くにつれてスリップバーだけで荷重を伝達するようになる。したがって、ここで用いたようにスリップバーの設置間隔を標準的なものよりも広くすると、目地が開いた場合の荷重伝達機能は低下するものと思われる。

キャップ付きスリッパは意図したとおり目地に沿った方向の版の移動に対処できる。しかし、スリッパのキャップ側と固定側に載荷した場合のたわみをみればわかるように、キャップの形状を改良してスリッパとの間の上下の隙間を小さくしないかぎり、荷重伝達は期待できない。

走行試験前は良好な荷重伝達機能を維持していた改良かぎ型目地には、繰り返し載荷を受けて応力集中によるクラックが発生した。しかし、目地部材の寸法を改良すれば、応力集中があまり激しくないものが開発できることと思われる。この改良型目地は目地に沿った方向の版の移動に対処でき、しかもスリッパのような鉄筋を使用しないことから建設費も安価であるので、この形式の目地は、1.で示した三つの開発目標を達成できる可能性が極めて高いものと思われる。

このようなことから、合理的な目地構造の研究開発は、かぎ型目地の改良を図る方向で進めることとし、3.以降には、具体的な目地部材の寸法の検討結果について述べる。

### 3. 改良かぎ型目地の部材寸法の検討

#### 3.1 検討の基本方針

2.で述べたように、改良かぎ型目地は、目地が開いてもその荷重伝達機能は良好であり、プレキャスト化した部分にはクラックが入らなかったことから、合理的な目地構造はこの方式によって開発できる可能性が大きいものと考えられる。

これに基づいて、新しい目地構造としては、かぎ型目地を改良するもので、

- ① 目地近傍での応力集中の危険性を小さくし、目地が開いてもその荷重伝達機能が良好さを保持できるように、かぎ型目地の部材から角ばりをなくして曲線形にするとともに、水平部分を確保すること
- ② 目地部材がせん断破壊する危険性を小さくするために、プレキャスト化を図ってその強度を確保することの二点をその基本方針とする。

目地部材の形状についての考察は次のようにして進める。まず、目地近傍の応力集中について数値解析により検討して、試験に供すべき目地部材の寸法を決定する。次に、それらを用いた試験舗装に対して載荷試験を実施することによって目地の耐荷力を調べる。そして、これらにより得られた成果を詳細に検討して合理的な目地部材の寸法を提案することにしてしよう。

目地部材はプレキャストにより製作することにしたが、目地部材が比較的小さいことを考えると、骨材の最

大粒径を小さくしたり、コンクリートの流動性を高める必要があるため、目地部材のプレキャスト化を図っても十分な強度を確保できない恐れが出てくる。しかし、この場合でも、鋼繊維補強コンクリートを使用するといったことで対処できるため、この目地部材に破損は生じないものとして解析を進めた。

#### 3.2 目地近傍の応力集中に関する数値解析

かぎ型目地は隣接するコンクリート版の接合部に設けた台形状の凸部と凹部のかみ合わせにより荷重を伝達する形式のものであり、目地近傍の応力集中に起因する破損例も多い。荷重伝達に関しては2.で述べたように試験舗装によって検討できるのに対し、応力集中に関しては数値計算によらざるを得ない。この目地部の応力集中に関しては数値解析の有効性が確かめられているので<sup>2)</sup>、ここでもそれをもとに平面ひずみ条件下での2次元連続体要素についての有限要素法を用いた。舗装として600cm(長さ)×35cm(厚さ)のコンクリート版がWinkler支承の路盤で支持されているものと考え、その舗装に等分布荷重が加えられた場合を解析した(図-13)。ただし、ここでは1枚のコンクリート版のみを考慮しているので、目地での荷重伝達をモデル化するには、荷

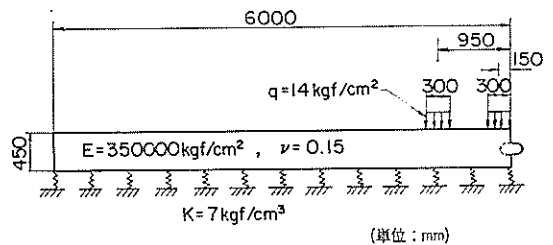


図-13 計算条件

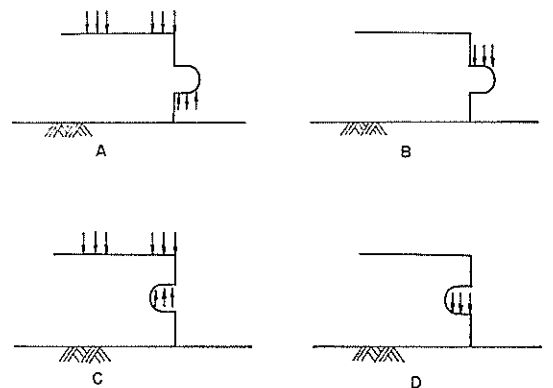


図-14 載荷状態

重伝達率に応じた力をモデルの目地部材に加えることによつた（舗装に加わる荷重が 840 kgf であるので、荷重伝達率が100%のときに目地部材に加わる力は420 kgf となり、この場合が応中集中にとって最も厳しい）。

目地部における載荷形式としては次の4種類を考えた（図-14）。

- ① 凸部のほうのコンクリート版に荷重（840kgf）が載って、凹部からの反力として凸部に上向きに 420 kgf が加わるもの（載荷状態A）
- ② 凹部のほうに荷重が加わった場合で、凸部には下向きに 420 kgf が加わるもの（載荷状態B）
- ③ 凹部のほうのコンクリート版に荷重（840 kgf）が載って、凸部からの反力として凹部に上向きに420kgf が加わるもの（載荷状態C）
- ④ 凸部のほうに荷重が加わった場合で、凹部には下向きに 420 kgf が加わるもの（載荷状態D）

このような方法により、野比実験場の試験舗装に用いたかき型目地とその改良型目地を解析した結果をまとめると次のようになる<sup>9)</sup>。

- ① 今回開発しようとしている、せん断力によって荷重伝達を図るといった形式の目地では、応力集中が破壊原因となり得、しかも荷重伝達機能が良好なほど破壊の危険性も大きい。
- ② 目地の凹部、凸部ともに、目地をはさんで反対側の版に荷重が載荷された場合（載荷状態、B、D）が応力集中に関して厳しいものとなっている。
- ③ 凸部と凹部とでは、凹部のほうで応力集中による破壊の危険性が大きい。凸部のせん断破壊の危険性は、コンクリートに所定の強度が確保されているならば極めて小さい。

この解析結果から、凹部、凸部とも、目地をはさんで反対側のコンクリート版に荷重が加えられたときが応力集中にとって厳しいことがわかったので、改良かき型目

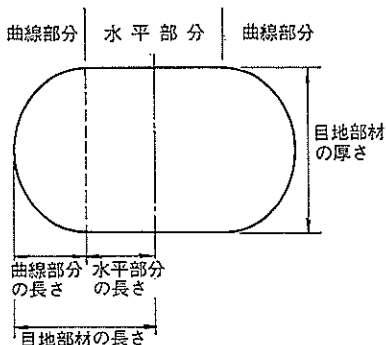


図-15 目地部材の形状

地の部材寸法についての検討は、この載荷状態に対して行うことにした。また、改良かき型目地の部材の断面形状は水平部分と曲線部分とが組み合わされたものである（図-15）、厳密に言えば、目地が閉じた状態と開いた状態とでは載荷状態が違ふ。そこで、状態1として目地部材全体に荷重が加わる場合（目地が閉じた状態）、状態2として水平部分のみに荷重が加わる場合（目地が開いた状態）を考えた。なお、以下で用いる目地部材の厚さ、長さの定義は図-15に示してある。

試験に供すべき目地部材の寸法を検討するために実施することにした数値解析の計算条件は表-3に示すとおりである。コンクリート版厚 35 cm は土木学会空港舗装研究委員会の答申<sup>9)</sup>に沿うものであり、路盤支持力係数 7

表-3 計算条件

コンクリート版	
弾性係数 (E)	350000 kgf/cm <sup>2</sup>
ポアソン比 (ν)	0.15
版厚 (h)	35 cm
路盤	
支持力係数 (K)	7 kgf/cm <sup>3</sup>
荷重	840 kgf

表-4 目地部材の曲線部分の長さ

目地部材の厚さ (mm)	曲線部分の長さ (mm)
52	20
70	16
70	30
88	28

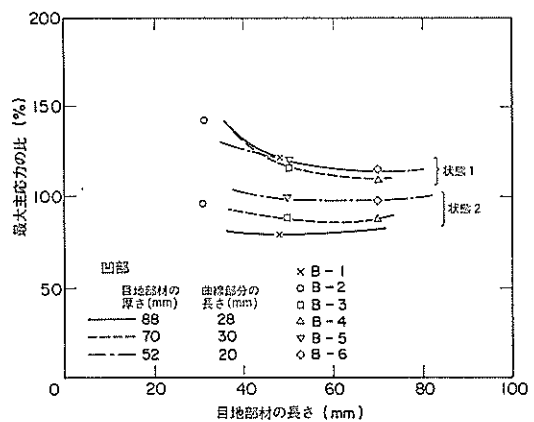


図-16 目地部の最大主応力（凹部）

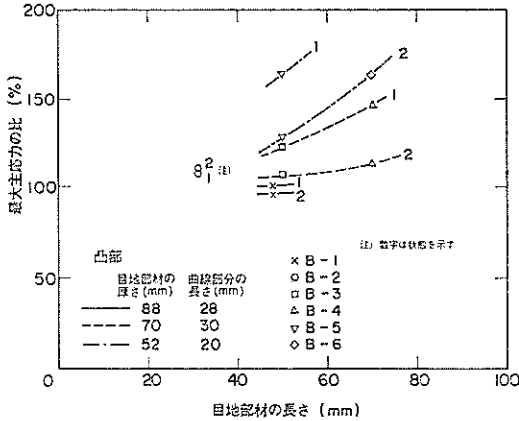


図-17 目地部の最大主応力(凸部)

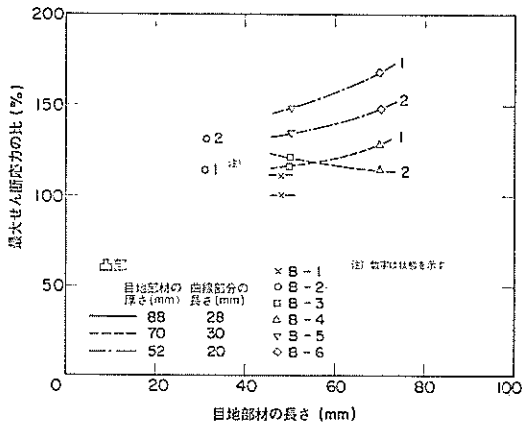


図-18 目地部の最大せん断応力

kgf/cm<sup>3</sup> は設計において標準とされているものである。目地部材の厚さはコンクリート版厚の 0.25, 0.2, 0.15 倍とした。これは、野比実験場の試験舗装で用いた目地部材が大き過ぎたとの反省から、目地部材を薄くする方向で検討することにしたためである。ちなみに、その試験舗装で用いた目地部材の寸法は、空港コンクリート舗装構造設計要領に示されたかぎ型目地の標準寸法(高さ、長さはそれぞれ版厚の 0.25, 0.1 倍)を参考にして決定されたものである。目地部材の長さでは、曲線部分の寸法を表-4に示すように決定した。これは野比実験場の試験舗装で用いた曲線部分の形状を念頭に置いたものであり、縦長の半楕円形となっている。水平部分の長さを種々に変えながら数値計算を実施して、応力集中の程度を調べた。

解析結果を図-16~18に示す。図-16, 17はそれぞれ、凹部、凸部の最大主応力であり、図は凸部の最大せん断

応力である。ここに示した最大主応力の値は、後述する試験舗装の B-1区画の凸部の状態 1 の最大主応力を 100 としている。最大せん断応力に関しては B-1区画の凸部の状態 1 のものを 100 としている。

凹部の最大主応力に関してわかることは、まず、状態 1 に比べて状態 2 のほうが応力集中が激しいことである。また、状態 1 では目地部材が厚くなるほど生ずる応力も大きくなっているが、状態 2 ではそれと異なり、目地部材が長くなるほど発生する応力は小さく、しかも、目地部材の厚さが版厚の 0.2 倍のものが最も小さくなっている。

凸部の最大主応力に関しては、状態 1, 2 とも、目地部材が長いほど応力集中が激しくなっている。また、目地部材が厚いものほど発生する応力は小さいことがわかる。載荷状態による違いをみれば、状態 2 に比べ状態 1 のほうが激しくなっているが、この傾向は目地部材が厚いものほど著しくなっている。

最大せん断応力をみると、目地部材の厚さが版厚の 0.2 倍で状態 2 のものを除けば、目地部材が厚いものほど応力集中が激しい傾向になっている。しかし、凸部のせん断破壊の危険性は、最大主応力でみられる曲げ破壊の危険性に比べて非常に小さい<sup>7)</sup>。

これらのことから目地部材の厚さについては次のようにまとめられる。まず、凹部に関しては、版厚の 0.2 倍程度の厚さ(70mm)の場合が応力集中を防ぐという点からみて最も望ましいことがわかる。次に、凸部に関していえば、目地部材を薄くすれば凸部の破壊する危険性が大きくなるものの、目地部材をプレキャスト化することを考えると、破壊の危険性は極めて小さくなる。したがって、目地部材の厚さとしては版厚の 0.2 倍とすることが妥当であろうと思われる。目地部材の長さに関しては、凸部については目地部材を長くすると著しく不利となり、凹部に関してもあまり長くすると不利になってくる傾向がみられる。

表-5 試験に供した目地部材の寸法

区画	目地部材の厚さ(mm)	水平部分の長さ(mm)	曲線部分の長さ(mm)
B-1	88	20	28
B-2	70	15	16
B-3	70	20	30
B-4	70	40	30
B-5	52	30	20
B-6	52	50	20

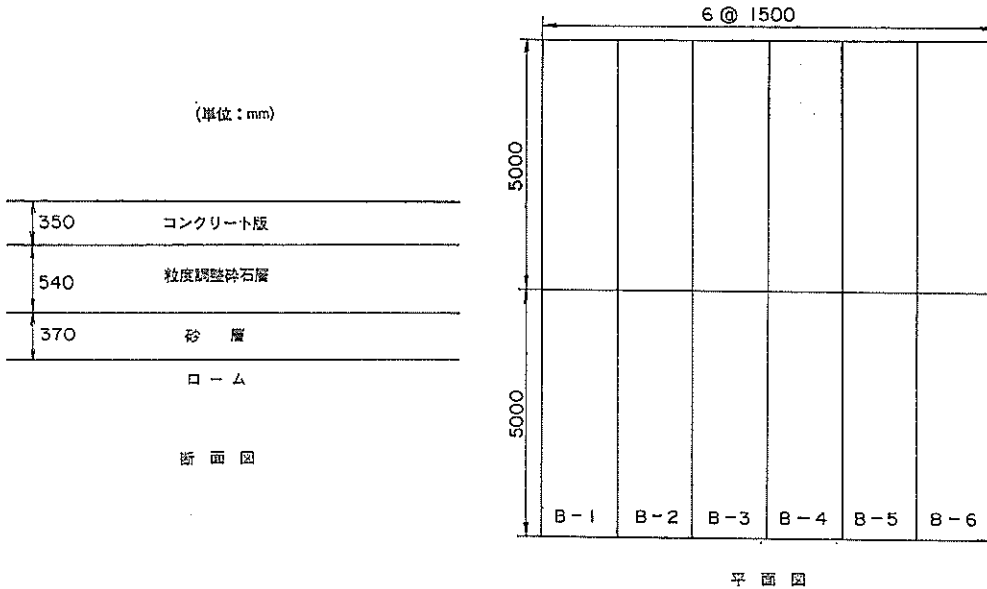


図-19 試験舗装B

### 3.3 試験舗装の力学的挙動

3.2に示した数値解析の結果から、試験舗装に用いる目地部材の寸法としては、表-5に示すように、目地部材の厚さが版厚の0.25, 0.2, 0.15倍(88, 70, 52mm)の3種類、目地部材全体の長さは30, 50, 70mm程度の3種類を考えた。このような寸法の目地部材を設けた試験舗装を製作して、載荷試験を実施し、合理的な部材寸法を見出すことにする。

#### (1) 試験舗装

試験舗装は当所の原型載荷実験槽内に製作した。試験舗装の平面図、断面図は図-19に示すとおりである。舗装は6区画から成っている。1区画は幅1.5m、長さ10mの舗装であり、その中間部には試験に供する目地を設けた。

下層路盤として厚さ37cmの砂層、上層路盤として厚さ54cmの粒度調整碎石層を用いた。上層路盤上での支持力係数 $K_{75}$ は平均で12.6kgf/cm<sup>2</sup>であった。コンクリートの版厚は35cmである。図-20に示す目地部材の製作に当たっては、これらの部材が比較的小さいために、骨材の最大寸法を10mmとするとともに、水セメント比を若干大きくした。このような措置による強度低下を小さくするために鋼繊維を混入することとしたが、鋼繊維は直径が0.7mm、長さが30mmであり、混入量は80kg/m<sup>3</sup>であった。載荷試験を行ったときと同時期に、現場養生した供試体に対して行った試験の結果からは、舗

装に用いたコンクリートの曲げ強度と圧縮強度は42kgf/cm<sup>2</sup>、390kgf/cm<sup>2</sup>であった。また、弾性係数とポアソン比はそれぞれ、280000kgf/cm<sup>2</sup>、0.19であった。目地部材については、曲げ、圧縮強度がそれぞれ、34,330kgf/cm<sup>2</sup>、弾性係数とポアソン比が220000kgf/cm<sup>2</sup>、0.27であった。

#### (2) 載荷試験

載荷試験としては静的載荷試験と繰り返し載荷試験の2種類を実施した。ともに、直径50cmの硬質ゴム板を介して舗装に荷重を加えた。載荷位置は目地近傍で、目地から載荷板中心までの距離は29cmである。なお、これらの載荷試験は目地が閉じた状態で実施した。載荷試

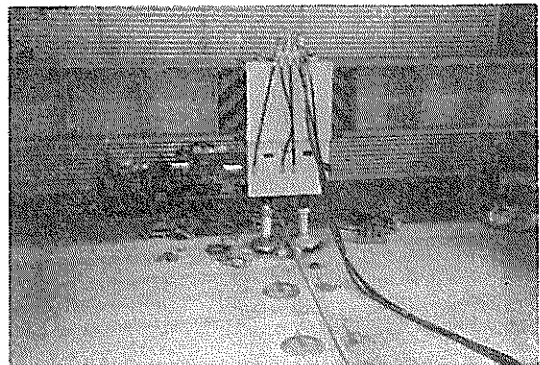
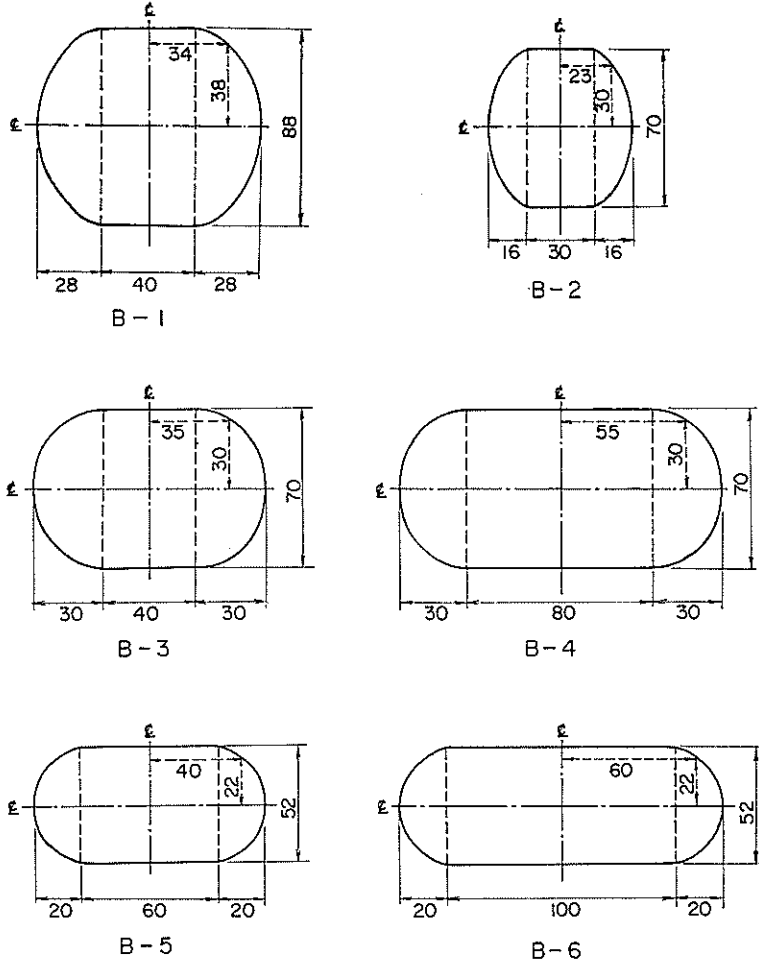


写真-2 載荷試験の状況





(単位: mm)

図-20 試験に供した目地部材

験のようすを写真-2に示す。

静的載荷試験では、片方の版だけに荷重を加えたときの舗装の挙動を観察することとしたが、これを目地をはさんで両側の版で実施した。この静的載荷試験は後述する繰り返し載荷試験の前後に行った。この試験では、主として、荷重に対するたわみや応力の変化について調べた。荷重は最大で 50 tf である。

繰り返し載荷試験では、繰り返し荷重に対する目地の耐荷性を調べた。この試験では、一定の大きさの荷重を周期 2 秒で目地をはさんで両側の版に交互に載荷した。荷重を 10000 回まで加えても目地が破壊しないとき、あるいは舗装にクラックが入らないときは、荷重レベルを上げて繰り返し載荷試験を実施した。繰り返し載荷荷重

の大きさは、10, 20, 25, 30, 35, 40, 45, 50 tf である。載荷装置の最大容量が 50 tf なので、50 tf を 10000 回載荷しても舗装が破壊しない場合は、荷重の大きさをそのままにして舗装が破壊するまで載荷試験を継続した。

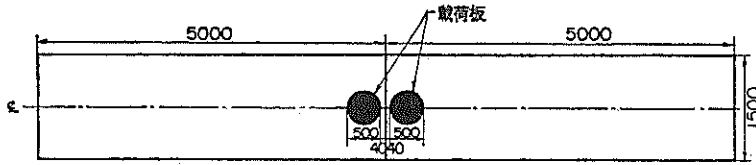
この舗装の力学的挙動を観察するために、土圧計（路盤内）、ひずみ計（コンクリート版内、目地部材表面、コンクリート版表面）を設置した。また、目地近傍では、舗装面のたわみを測定した。載荷試験における載荷板の位置、計器の位置を図-21に示す。

(3) 載荷試験による舗装の評価

試験の結果としてはたわみと路盤の垂直応力に注目した。

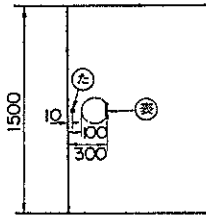
図-22, 23 はたわみと路盤垂直応力の実測例である。

コンクリート舗装の新しい目地構造の開発



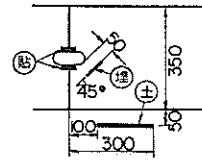
全体図 (平面)

(単位: mm)



詳細図 (平面)

- たわみ計
- 土圧計
- △ 表面ひずみ計
- ◇ 貼付ひずみ計
- 埋込ひずみ計



詳細図 (断面)

図-21 載荷試験の位置と計器の設置位置

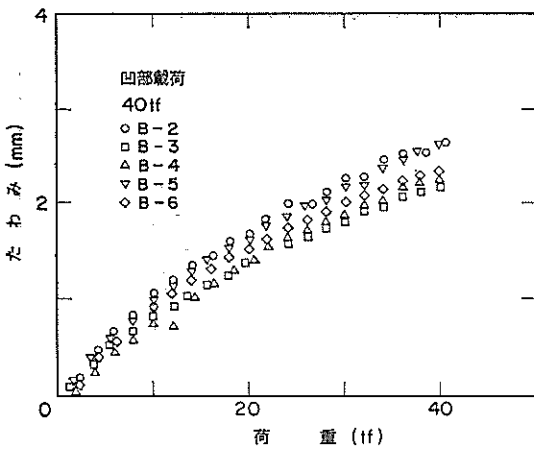


図-22 荷重の増加によるたわみの変化

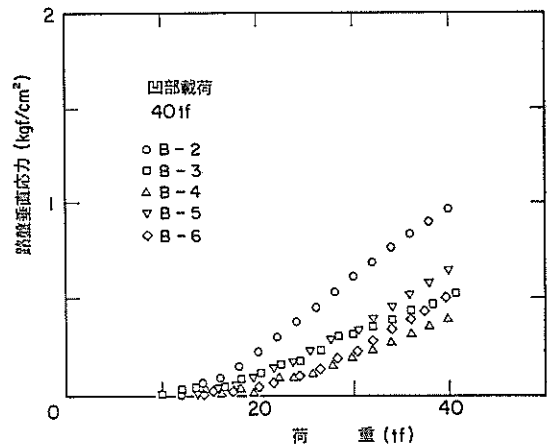


図-23 荷重の増加による路盤垂直応力の変化

ここに示したデータは荷重40tfの繰り返し載荷試験をする前のものである。たわみは荷重の増加につれて増加しているのに対して、路盤垂直応力をみると、荷重が比較的小さい間は目地近傍の路盤には垂直応力は生じておらず、荷重がある大きさに初めて応力が生じ始めることがわかる。

10000回の繰り返し載荷の影響がどのように現われるかを見ることにしよう。図-24は図-22に示したものに繰り返し載荷試験後のデータを書き加えたものである。各区画とも繰り返し後のデータは前のものに比べて若干小

さな値を示すようであるが、前後による差はわずかである。繰り返し載荷の進行に伴うたわみと荷重の関係の例として図-25にはB-3区画のデータを示した。同一の荷重レベルでみると、繰り返し荷重を多く受けるにつれて相対的にたわみが増加してくることがわかる。さらに、繰り返し載荷中のたわみを示したのが図-26であるが、どの区画も載荷回数が増加するにつれてたわみは増加していることがわかる。これらのことから、繰り返し載荷によって路盤に永久変形が生じ、繰り返し荷重のレベルが増加するにつれてそれが進行しているものと思われる

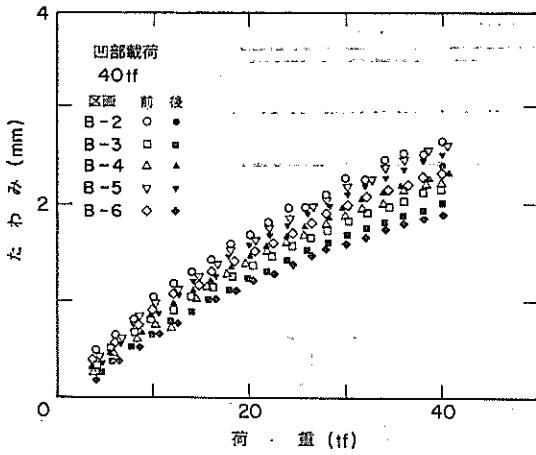


図-24 繰り返し載荷がたわみに及ぼす影響

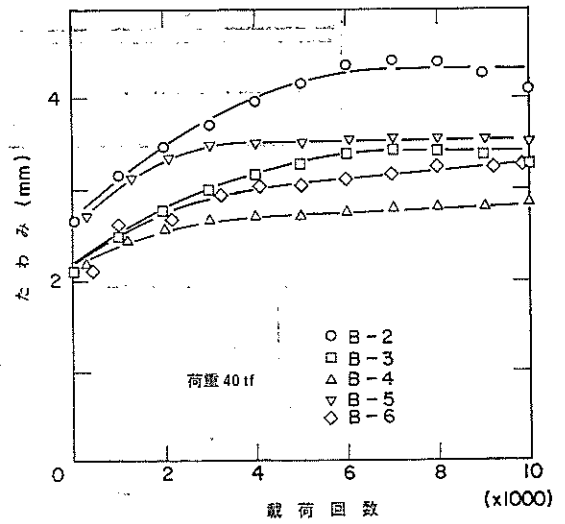


図-26 繰り返し載荷中のたわみの変化

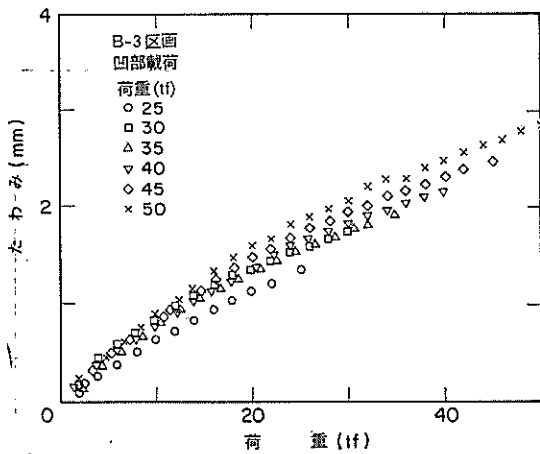


図-25 繰り返し載荷がたわみに及ぼす影響 (B-3 区画)

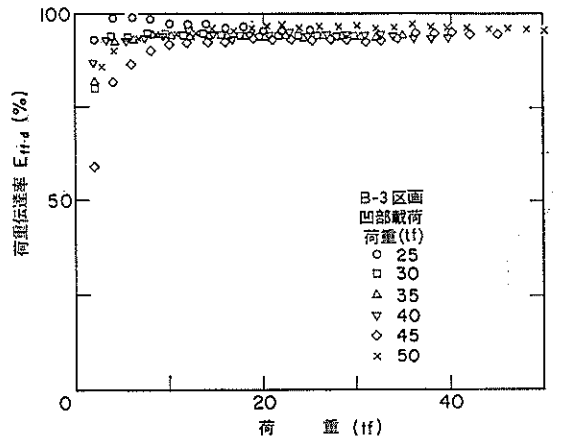


図-27 繰り返し載荷が荷重伝達率 ( $E_{ff,a}$ ) に及ぼす影響 (B-3 区画)

る。

B-3区画のデータを例にとって繰り返し載荷の影響についてさらに考察を加えると、たわみを用いた荷重伝達率  $E_{ff,a}$  をみれば、繰り返し荷重のレベルが上がってきても目地の荷重伝達機能は良好さを保っているようである (図-27)。これに対して、路盤垂直応力を用いた荷重伝達率  $E_{ff,p}$  をみると、繰り返し載荷が進行するにつれて荷重伝達機能は低下しているかのようである (図-28)。たわみと路盤垂直応力による荷重伝達率がこのように異なることについては、コンクリート版と路盤との間に空隙があることにより説明できる。たわみはコンク

リート版の表面で測定しているのに対し、路盤垂直応力は路盤内部で測定しているため、コンクリート版と路盤との間に空隙があれば、コンクリート版だけがたわんで、路盤にはそれが伝わらず、見かけ上  $E_{ff,a}$  は小さな値となるものと考えられる。したがって、目地の力学的な機能を総合的に評価するためには  $E_{ff,p}$  による必要があることとなる。

次に、目地部材の寸法の違いが舗装の挙動に及ぼす影響をみることにしよう。まず、たわみについて示せば図-29、30 のようになり、45 tf ではたわみの大きい順に、凹部側載荷ではB-2、B-5、B-6、B-3、B-4区画、凸

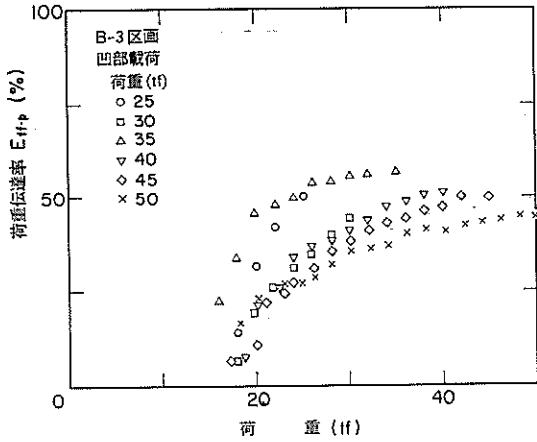


図-28 繰り返し載荷が荷重伝達率 ( $E_{ff,p}$ ) に及ぼす影響 (B-3 区画)

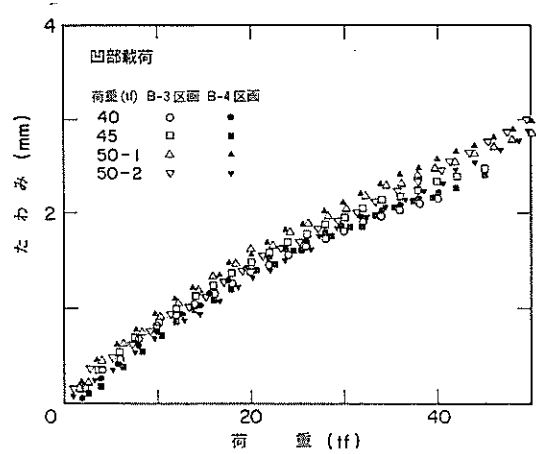


図-31 B-3 区画と B-4 区画の比較

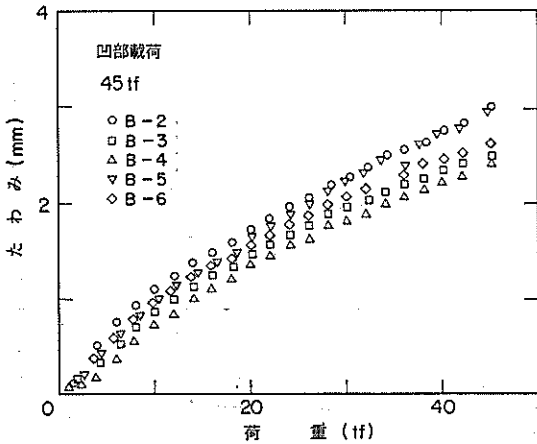


図-29 区画によるたわみの違い (凹部)

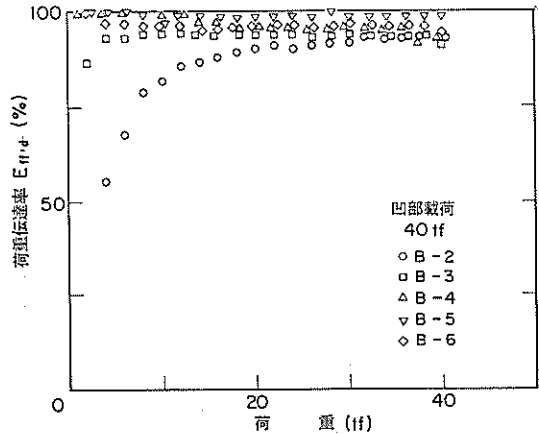


図-32 区画による荷重伝達率 ( $E_{ff,a}$ ) の違い

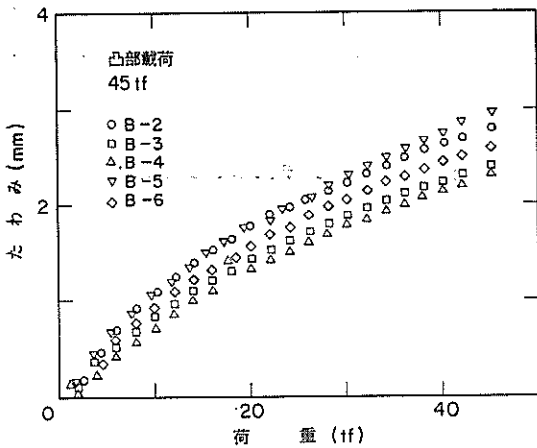


図-30 区画によるたわみの違い (凸部)

部載荷ではB-5, B-2, B-6, B-3, B-4区画の順となっている。これを前に示した図-22のデータ (40 tf) と比べてみると、B-3, B-4が入れ替わっているのが違う点である。この2つの区画をみると荷重が大きくなるにつれて、B-4区画よりB-3区画のたわみが大きくなる傾向があるものの、はっきりとはしていない (図-31)。

たわみを使った荷重伝達率  $E_{ff,a}$  をみれば、図-32に示したように、B-2区画のものは他の区画のものに比べて小さいことが認められるものの、その他の区画の間には有意な差がみられないようである。このB-2区画については図-33にも示したように10000回の繰り返し載荷試験の前後によっても荷重伝達機能に差がみられ、明らかに繰り返し載荷によって荷重伝達機能が低下したこと

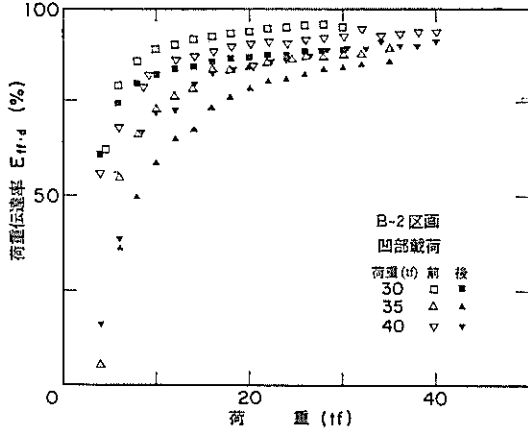


図-33 繰り返し荷が荷重伝達率 ( $E_{ff,d}$ ) に及ぼす影響 (B-2 区画)

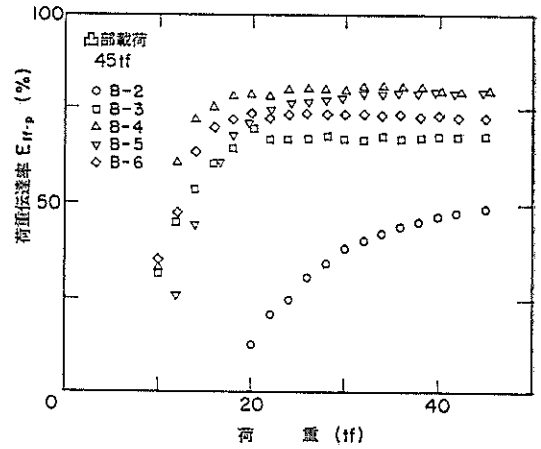


図-35 区画による荷重伝達率 ( $E_{ff,p}$ ) の違い (凸部)

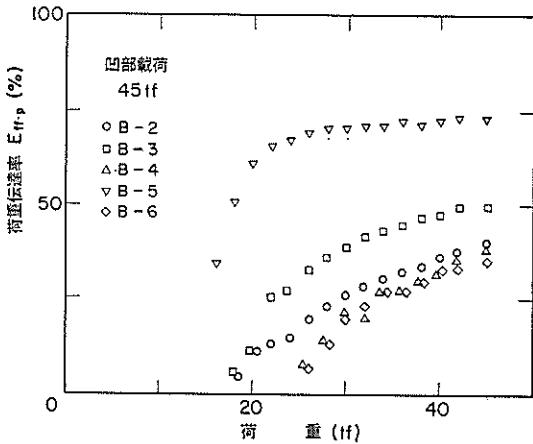
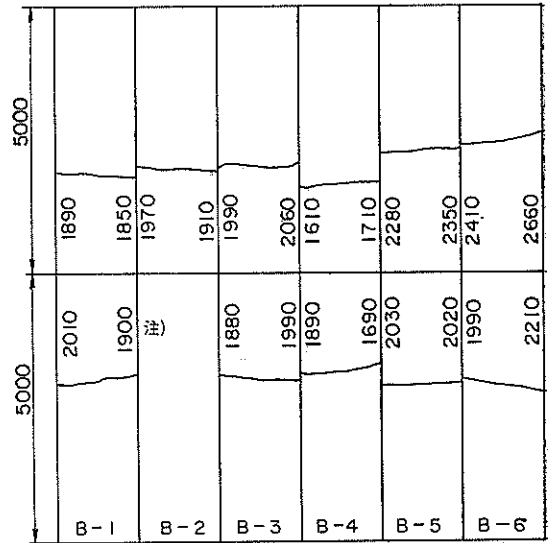


図-34 区画による荷重伝達率 ( $E_{ff,p}$ ) の違い (凹部)

を示している。これは、他の区画が  $E_{ff,d}$  には繰り返し荷の影響がみられないのと対照的であり、B-2区画では目地の荷重伝達機能そのものが低下していることを意味している。

路盤垂直応力を使った荷重伝達率  $E_{ff,p}$  をみれば、45 tfでの凹部側の計測では大きいものから、B-5、B-3、B-2、B-4、B-6区画の順となっているし、凸部側ではB-4、B-5、B-6、B-3、B-2区画の順となっている(図-34、35)。この  $E_{ff,p}$  から判断できる路盤の永久変形については、凹部、凸部荷重の両方からみてB-2、B-6区画には問題がありそうだと推定されるもの、あまりはつきりしない。

以上に述べた繰り返し荷試験ならびにその前後に実施した静的荷試験で得られたことをまとめると次のよ



(単位: mm)

注) 数字は目地からクラックまでの距離を示す

図-36 クラックの状況

うになる。繰り返し荷によって、路盤には永久変形が生じ、コンクリート版との間に空隙が発生する。また、一部の目地では繰り返し荷によって荷重伝達機能が低下する。目地部材の寸法の違いについてみれば、まず、たわみと路盤垂直応力の両方からみて、B-2区画のものは荷重伝達機能の点では問題がありそうなのがわか

る。このほかの区画では、 $E_{ff,d}$  ではあまり差はないものの、たわみのそのものの値をみると大きい順にB-5、B-6、B-3、B-4区画となっていること、路盤垂直応力からみるとB-6区画のものに問題がありそうなことがわかる。

3.4 目地部材の寸法の総合的評価

本節では、これまでに行った検討の結果から明らかにした目地近傍の応力集中、目地の荷重伝達機能、路盤の永久変形に関する知見を総合して、目地部材の寸法について考察を加えることにする。

繰り返し載荷試験の結果、クラックは図-36に示すように目地から2 m程度離れた地点に目地に平行に生じた。このクラックが発生したときの荷重と載荷回数については表-6に示すとおりである。耐荷性という点からみると、B-4区画が最も優れていて、次にB-3区画となっていることがわかる。これらの2区画が50 tfの繰り返し載荷中に破壊したの に 比 べ、それ以外のものは45 tfで破壊している。B-6区画は6000回程度、B-2、B-5区画は1000回未滿が破壊時の載荷回数であった。

表-6 繰り返し載荷試験の結果

区 画	破壊荷重 (tf)	破 壊 回 数
B-1	40	<1000
B-2	45	<1000
B-3	50	10000
B-4	50	22000
B-5	45	<1000
B-6	45	6000

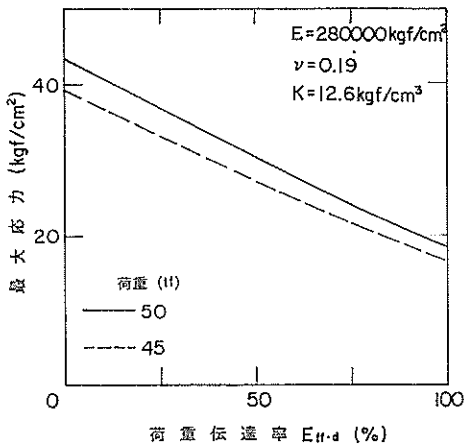


図-37 荷重伝達率とコンクリート版表面の最大応力

さて、このクラックが入った原因を探ることにしよう。クラックは表面に入ったので、当然、負のモーメントについて考える必要がある。これについては、Winkler支承上の板の有限要素法を使って、コンクリート版に生ずる応力を計算した<sup>29)</sup>。

この応力に影響を及ぼす因子としては、まず、目地の荷重伝達機能が考えられる。目地で伝達されるせん断力の大きさを種々に変えることによって得られた、目地の荷重伝達率とコンクリート版表面に発生する最大応力(引張り)の関係を示したのが図-37である。米国連邦航空局の空港コンクリート舗装の設計法は $E_{ff,d}$ を88~89%とみなしているようであるが<sup>29)</sup>、この程度の $E_{ff,d}$ で目地の荷重伝達機能が良好であると考えられる場合には、荷重が50 tfとなってもコンクリート版表面に発生する応力は21 kgf/cm<sup>2</sup>と、コンクリートの曲げ強度(42

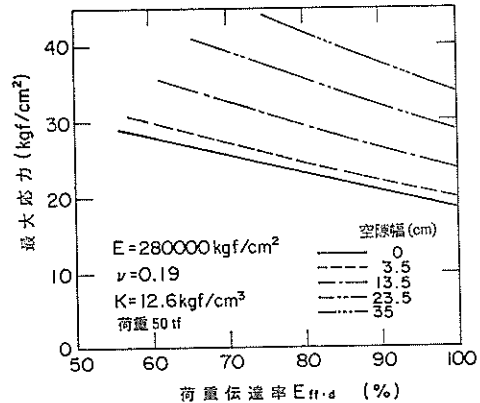


図-38 目地部の空隙とコンクリート版表面の最大応力

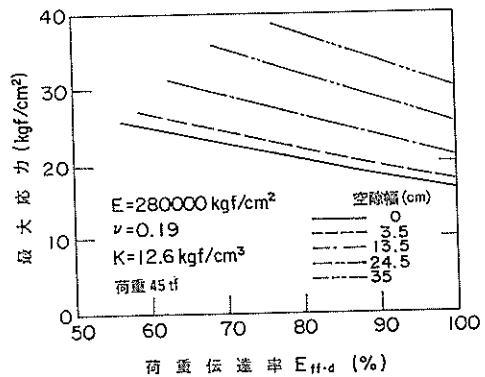


図-39 目地部の空隙とコンクリート版表面の最大応力

kgf/cm<sup>2</sup>)の半分程度にすぎないが、荷重伝達機能が低下するにつれて発生する応力も大きくなり、破壊に至る危険性の大きくなるのがわかる。このことから、少なくともB-2区画では、目地の荷重伝達機能が低下したために、コンクリート版に過大な応力が生じてクラックが発生したことが明らかである。

次に、載荷試験により生じたと思われるコンクリート版と路盤との間の空隙が、コンクリート版に生ずる応力に及ぼす影響について調べることにしよう。ここでは、空隙が目地の両側に同じ大きさで区画の全幅にわたってできるものとして計算したので、図-38、39で空隙幅が3.5cmとしてあるものは目地の両側に3.5cmずつの帯状の空隙があることを意味している。

これらの図は荷重が45、50tfであるときにコンクリート版に生ずる応力を示したものである。目地が非常に良好な荷重伝達機能を有していたとしても、路盤の永久変形が進行するにつれてコンクリート版に生ずる最大応力は増加することがわかる。たとえば、荷重伝達率が95%である目地を有する舗装区画に50tfが載荷された場合を考えると、空隙がない場合は20kgf/cm<sup>2</sup>程度だった最大応力は、空隙が生じ、それが大きくなるにつれて増加し始め、約15cmの空隙幅では25kgf/cm<sup>2</sup>、約25cmでは30kgf/cm<sup>2</sup>までになる。荷重が45tfの場合でも空隙幅が20cmで最大応力は27kgf/cm<sup>2</sup>程度になっていることがわかる。コンクリートの曲げ強度が42kgf/cm<sup>2</sup>であることを考えれば、目地の荷重伝達機能が良好であっても路盤に永久変形が生じればコンクリート版にクラックの入る可能性は極めて高くなるものと思われる。このクラックの入った順番と図-29~31から推定される路盤の永久変形が大きさがほぼ一致することからそれが裏付けられる。

このコンクリート版にクラックの入った順番と図-16に示した応力集中の程度の順番が一致することは興味深い。応力集中の程度が高いということは、目地近傍に生ずる応力も大きいこと、ひいては、ひずみや変形も大きいことを示しており、荷重伝達機能の低下しやすさ、路盤の永久変形のしやすさといったものに結びつくことを意味しているものと思われる。このように考えることによって、試験舗装によらなくても、数値計算によれば最適な部材寸法を算定できることとなる。

最後に解体調査の結果について述べよう。野比実験場で用いた改良かぎ型目地では、応力集中に起因するクラックが生じて目地の荷重伝達機能が低下したので、原型載荷槽に製作した試験舗装では応力集中の危険性が最も小さな目地部材の寸法を特定しようというのが大きな目

的であった。繰り返し載荷によってコンクリート版にクラックが生じた後に舗装を解体したところ、目地部の応力集中に起因するとみられるクラックは、B-1区画を除けば発生していなかった。このB-1区画は目地部材の厚さが版厚の0.25倍であるが、この比率は野比実験場で用いたものと同じである。このことから目地部材の厚さを版厚の0.25倍とすることは不適当であることが確認された。

空港コンクリート舗装の版厚設計法では、設計反復作用回数を20000回とした場合のコンクリート版厚は、設計荷重により版下面に生ずる引張り応力が曲げ強度の1/2となるようにして決定されるようになっている。Westergaardの中央部載荷公式<sup>9)</sup>によって今回の載荷状態で荷重が40tfのときに版下面に発生する応力を求めると36kgf/cm<sup>2</sup>となることがわかった。これはここで用いたコンクリートの曲げ強度(42kgf/cm<sup>2</sup>)の約85%に相当するが、40tfの荷重の10000回の繰り返し載荷に対してB-1区画以外のどの区画も破壊しなかったことを考えると、版と路盤の間に空隙が生ずることや何らかの原因で目地の荷重伝達機能が低下することがなければ、この形式の目地は実際の舗装に用いられても十分な耐荷性を示すものと思われる。

#### 4. 改良かぎ型目地の合理的な部材寸法の提案

本章では、前章までの検討で得られた結果に基づいて解析を進め、合理的な目地部材の寸法を提案する。

##### 4.1 コンクリートの版厚が35cmの場合

3.で示した試験舗装での載荷試験の結果から、目地部材の厚さとしてはコンクリートの版厚の0.2倍が最適であろうとの結論を得た。さらに、B-2区画とB-3、B-4区画を比較すればわかるように、目地部材の長さはある程度大きくする必要のあることがわかった。これらの目地部材の寸法、特に曲線部分の長さは現行のかぎ型目地の寸法を参考にしたものであるので、厚さに比べて長さが短い半楕円形となっている。コンクリート版厚が35cmの場合について、以下ではこの曲線部分の形状についての検討から始めることにする。

対象とした目地部材の曲線部分の長さは次の4種類である。

- ① B-2区画に用いたもの(16mm)
- ② B-3、B-4区画に用いたもの(30mm)
- ③ 曲線部分が半円形となるもの(35mm)
- ④ 曲線部分の長さが目地部材の厚さの1/2を超えるもの(45mm)

目地部材の水平部分の長さを種々に変えて計算した結

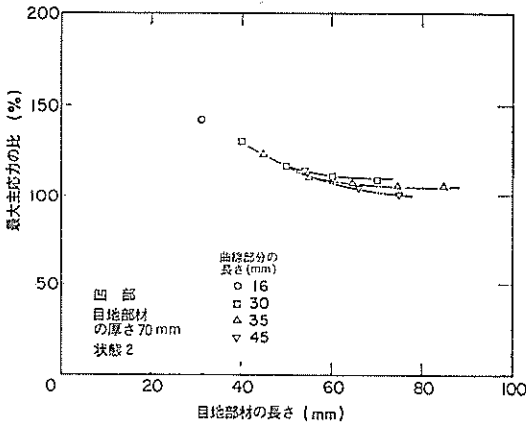


図-40 目地部の最大主応力 (凹部)

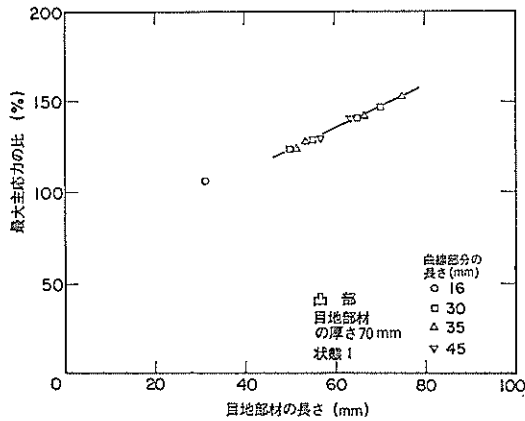


図-41 目地部の最大主応力 (凸部)

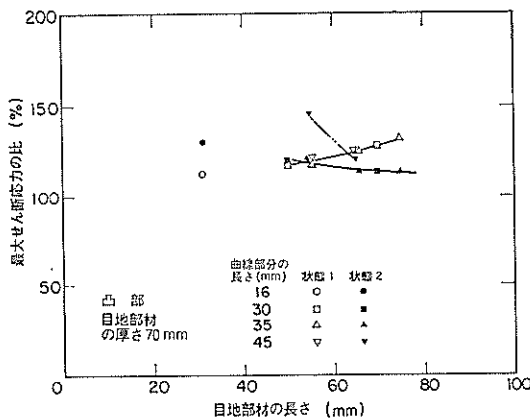


図-42 目地部の最大せん断応力

果が図-40~42である。これらの図は、それぞれ、凹部の最大主応力、凸部の最大主応力、凸部の最大せん断応力を示している。計算手法は3.で用いた平面ひずみ条件下の2次元連続体要素についての有限要素法と同じものである。図の縦軸に示した応力の基準値は図-16~18のものと同様に、最大主応力に関してはB-1区画の凸部の状態1の場合、最大せん断応力に関してはB-1区画の凸部の状態1の場合を100としている。

凹部では、図-40からわかるように、目地部材がある程度長ければ（この例では60mm程度以上）、曲線部分が長くなるにつれて、発生する応力は小さくなるようである。しかし、これ以下の長さでは曲線部分の長さの影響は見られない。

凸部の最大主応力は、図-41からわかるように、曲線部分の長さに関係なく、目地部材全体の長さが決まれば一義的に決まるようである。すなわち、目地部材全体の長さが大きくなるにつれて最大主応力は大きくなっている。

凸部の最大せん断応力については、目地部材全体の長さによって応力集中が激しくなる荷重状態が違って、目地部材が短い間は状態2のほうが激しく、目地部材が長くなると状態1のほうが激しくなっている（図-42）。曲線部分の長さが45mmで状態2のものを除けば、曲線部分の長さによる差はみられない。

3.で述べたように、目地部材として鋼繊維補強コンクリートによるプレキャスト化を図ったものを用いているので、応力集中による目地部破壊の危険性については、凹部の最大主応力に注目すべきであろう。また、目地部の応力集中と目地の荷重伝達機能の間に密接な関係のあることからみて、応力集中の程度が小さいものは荷重伝達機能も良好であるものと考えられる。

凹部では、図-40で示したように、目地部材が比較的に長い場合は、曲線部分の長いほうが応力集中の程度は小さい。したがって、曲線部分の長いほうが有利なこととなるが、以下に示す理由により、その長さを35mm、すなわち曲線部分を半円形とすることにした。

- ① 目地が開いても荷重伝達機能が良好さを保てるように、目地部材にはある程度長い水平部分が必要となる。その反面、目地部材があまり長くなると目地部材下方のコンクリートの締め固めが十分にできなくなる恐れがでてくる。このようなことからみて、曲線部分をあまり長くすることはできないだろう。
- ② 実際の施工では、ここで提案される断面で長さ数mの目地部材がプレキャストで製作されて、現場で長手方向に接合されることとなる。この目地部材を用いた



コンクリート版が長手方向に移動できるためには、目地部材と目地部材の接合部ばかりでなく、長手方向で少しでも断面が違っていれば不都合なことになる。したがって、完全に同一断面の目地部材を作ることが必要となるが、そのためには楕円形よりも円形が有利であろう。その際、型枠として鋼管等の既製品が使用できれば、工費の点からみても有利となる。

次に、目地部材の水平部分の長さをどの程度確保すべきかといった点について考えよう。前述のように、この部分の長さをあまり短くすると目地が開いた場合に荷重伝達機能が低下することが懸念される。しかし、あまり長くすると目地部材全体も長くなり、目地部材下方のコンクリートの締め固めに問題が出てきそうである。図-40をみればわかるように、目地部材の厚さが35mmのものでは水平部分が30mm程度以上、すなわち、目地部材全長が65mm程度以上になれば最大主応力はあまり変化しない。コンクリートの締め固めの点からいえば目地部材は短いほうが望ましく、さらには図-41で示される凸部の最大主応力からみても目地部材は短いほうが有利である。4.2で述べる版厚が35cm以外の場合のことを考慮に入れて水平部分の長さについて総合的に判断すると版厚の0.1倍、すなわち版厚が35cmのときは35mmが目地部材の水平部分の長さとして妥当なものであると結論づけられる。

#### 4.2 種々のコンクリート版厚の場合

4.1ではコンクリート版厚が35cmの場合の目地部材の合理的な寸法を示したが、この目地構造の一般化を図るために、ここでは種々の版厚に対するものを示すこととする。

路盤支持力係数が7 kgf/cm<sup>3</sup>である場合のコンクリート版厚として空港コンクリート舗装構造設計要領に記載されているものは表-7のようになっている。ここでは4種類の設計荷重(LA-1~LA-4)で、設計反復作用回数区分がNの場合、すなわち、版厚38, 35, 30, 20cmの場合を取り上げて、目地部材の寸法について検討することにする(35cmの版厚については4.1で詳述)。

表-7 空港コンクリート舗装のコンクリート版厚

設計荷重	設計反復作用回数の区分	
	M	N
LA-1	34	38
LA-2	31	35
LA-3	27	30
LA-4	20	20

ここでの検討に使う手法は、版厚35cmの場合と同じ有限要素法による数値解析である。版厚35cmの場合については、試験舗装に対する載荷試験の結果から最適な目地部材の厚さが版厚の0.2倍であることが示され、さ

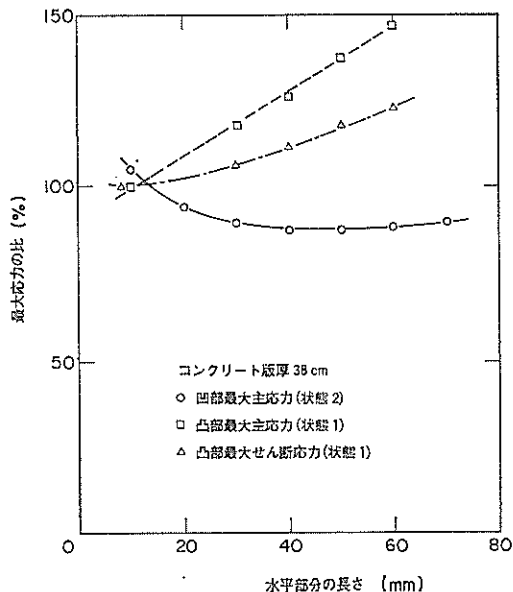


図-43 目地部の最大応力(コンクリート版厚38cm)

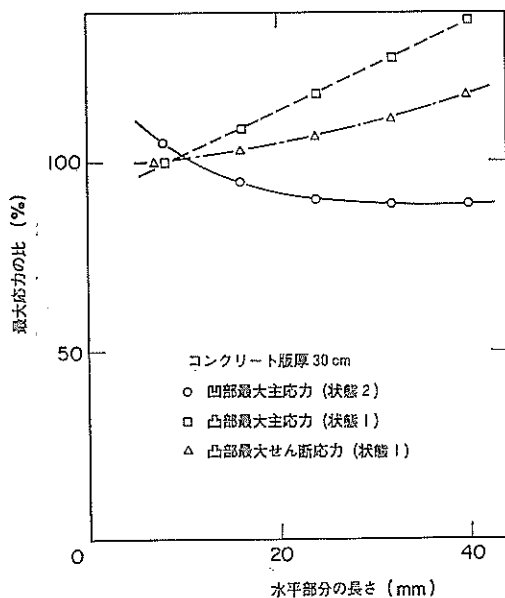


図-44 目地部の最大応力(コンクリート版厚30cm)

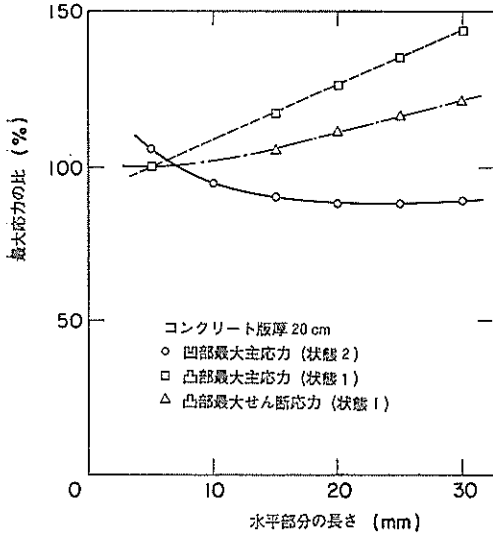


図-45 目地部の最大応力(コンクリート版厚20cm)

らに、数値解析等の結果から目地部材の曲線部分の形状は半円形が望ましいとの結論が得られた。そこで35cm以上の版厚の場合でも、版厚に対する目地部材の厚さの比率と曲線部分の形状については版厚35cmのものと同じとした。そのため、ここでは部材の水平部分をどれだけにするかといった点が検討項目となる。

図-43~45にはそれぞれ、版厚38, 30, 20cmの場合の最大応力を示す。凹部、凸部とも、応力集中が激しいほうのデータであり、凹部は目地が開いている状態(状態2)、凸部は目地が閉じている状態(状態1)である。これらに示した最大主応力は基準値に対する比率で表しているが、この基準値は凸部の最大主応力であり、版厚38, 30, 20cmの場合の基準値は目地部材の水平部分の長さが、それぞれ、10, 8, 5mmのものである。また、これらの図には最大せん断応力も示してあるが、最大主応力のときと同じ寸法の場合の最大せん断応力を基準値としている。

応力集中が原因と考えられる目地の破損と密接な関係にあると思われる凹部の最大主応力に注目すれば、最も応力集中の危険性の少ない目地部材の水平部分の長さは、版厚の0.1倍程度になっていることがわかる。したがって、最適な目地部材の寸法は、

- ① 厚さがコンクリート版厚の0.2倍
- ② 曲線部分の長さが版厚の0.1倍、すなわち、形状は半円形
- ③ 水平部分の長さが版厚の0.1倍であると結論づけられる。

## 5. 結論

コンクリート舗装の目地について、試験舗装に対する載荷試験ならびに有限要素法を使用した数値解析を実施して、合理的な目地構造が開発できた。この研究開発の過程をまとめて、本報告の結論とする。

(1) 新しい目地構造として、まず、キャップ付きスリッパ目地、かぎとスリッパの併用型目地、改良かぎ型目地の3種類を考えて、試験舗装によってそれらの力学的な機能を評価した。その結果、改良かぎ型目地が合理的な目地構造たる以下の条件をすべて満たす可能性の大きいことがわかった。

- ① 温度変化等がもたらすコンクリート版の伸縮により目地が開いても、荷重伝達機能が良好さを保持できること
- ② 連続鉄筋コンクリート舗装の端部において顕著にみられるような、目地に沿った方向のコンクリート版の移動(ずれ)を吸収できること
- ③ 従来型の目地と比較しても、工事費が割高とならないこと

(2) 改良かぎ型目地は従来のかぎ型目地同様、凸部と凹部の目地部材のかみ合わせにより荷重伝達を図るものであるが、以下に示すような対策を講ずることにより荷重伝達機能に関しては著しく改善できた。

- ① 応力集中の程度が小さくなるように、目地部材の角ばりをなくして、曲線形にした。
- ② 目地が開いても荷重伝達機能が良好なように、目地部材に水平部分を設け、凸部と凹部の目地部材が常時接触できるようにした。

(3) このような形式の目地は(2)で示したように非常に優れた荷重伝達機能を有しているが、その反面、目地に過大な応力が生じ、目地部が破壊する危険性のあることが数値解析によりわかった。その危険性を小さなものとするために、凸部の目地部材のプレキャスト化を図ったが、このような措置により部材を比較的小さくすることが可能となった。さらに、目地部材を製作する上での制約から、プレキャスト化によってもその強度が確保できない恐れのある場合には、鋼繊維を混入したり、セメント量を増加したりすることによって対処できる。

(4) コンクリート版厚が35cmの場合の最適な目地部材の寸法を検討するために試験舗装を製作して繰り返し載荷試験等を実施して、目地の荷重伝達機能、耐荷性といった目地の力学的な機能について総合的に評価した。さらに、目地部の応力集中に関する数値解析を実

施した。その結果、目地部材の厚さがコンクリート版厚の0.2倍で、しかも目地部材の比較的長いものが適当であることがわかった。

(5) (4)に示した35cmのコンクリート版厚の場合の試験舗装に対する載荷試験と応力集中に関する数値解析の結果、ならびに種々のコンクリート版厚の場合に対して詳細な数値解析をした結果から、目地部材の合理的な寸法は以下のものであることがわかった。

- ① 目地部材の厚さはコンクリート版厚の0.2倍
- ② 目地部材の曲線部分の長さはコンクリート版厚の0.1倍
- ③ 目地部材の水平部分の長さはコンクリート版厚の0.1倍

## 6. あとがき

コンクリート舗装の目地の合理化を図るべく行ってきた、新しい目地構造の研究開発の成果を示すことができたと思われる。目地はコンクリート舗装の弱点の1つであり、目地に起因するコンクリート版の破壊、目地の破損がよくみられる。現に、野比実験場に製作した試験舗装に対して載荷試験を実施したところ、荷重伝達機能は良好さを保持しながら目地部にクラックが入った例、目地が破損するとともにコンクリート版も破壊した例がみられた。今回提案した目地構造は、目地が開いても荷重伝達機能が良好で、しかも目地部の応力集中の程度が小さいので、コンクリート版の破壊、目地の破損の危険性は大幅に軽減できたと思われる。

本報告は、合理的な目地構造の開発を目標として、新東京国際空港公団と共同で研究してきた成果のうち、港湾技術研究所の担当分をとりまとめたものである。この研究開発は昭和57年度から実施してきたが、その間に2回の試験舗装の製作・載荷試験を経て、ここによりやく最適な目地部材の寸法を提案するに至ったわけである。しかし合理的な目地構造の研究開発においては、目地部材の寸法もさることながら、目地部の施工が重要な問題であり、施工性について十分な検討がなされ、施工法が確立されて初めて当初の目標が達成できることになるのは言うまでもない。このような施工法の合理化、目地部

材の供用性といった点については、新東京国際空港公団において現在研究が進められている。そして近々それらの結果についても報告できるものと思われる。

改良かぎ型目地を開発する過程で製作した試験舗装とそれに対して実施した載荷試験ならびに目地部の応力集中に関して行った数値解析は大型航空機を対象としたものであった。したがって、今回提案したものは大型航空機用の空港舗装に問題なく用いることができることはいうまでもなく、それ以外の小型航空機を対象とした空港舗装、あるいは港湾のエプロン舗装や道路舗装に用いられたとしても十分な安全性があるのは間違いない。また、工費をみてもスリッパ目地を用いる場合に比べれば安価であることが十分期待できる。

試験舗装に対する載荷試験とその解析にあたり協力していただいた当所土質部滑走路研究室の深海正彦研究官に対し深く感謝いたします。(1986年11月29日受付)

## 参考文献

- 1) 運輸省航空局：空港コンクリート舗装構造設計要領，1977，105 p.
- 2) 福手 勤，入谷好高，山崎英男：コンクリート舗装の目地部における荷重伝達機能，港湾技術研究所報告，Vol. 21，No. 2，1982. 6，pp. 223～228.
- 3) Packard, R. G. : *Design of Concrete Airport Pavement*, Portland Cement Association, 1973, 61 p.
- 4) Ball, C. G. and L. D. Childs: *Tests of Joints for Concrete Pavements*, Portland Cement Association, 1975, 18 p.
- 5) Brown, P. P. and M. P. Jones: Navy Experience in Eliminating Keys from Construction Joints of Concrete Airfield Pavements, *Proc. of 1st International Conference on Concrete Pavement Design*, 1977, pp. 223～228.
- 6) 土木学会空港舗装研究委員会：新東京国際空港の舗装に関する研究，1985，258 p.
- 7) 八谷好高，佐藤勝久，田中孝士：コンクリート舗装目地の荷重伝達機能に関する比較試験，港湾技研資料，No. 521，1985. 6，25 p.
- 8) たとえば，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. 6，20 p.