

## コンクリート舗装の目地部における荷重伝達機能

EFFICIENCY OF LOAD TRANSFER AT JOINTS  
IN CONCRETE PAVEMENTS

福手 勤\*・八谷 好高\*\*

By Tsutomu FUKUTE and Yoshitaka HACHIYA

## 1. ま え が き

現在のわが国の空港コンクリート舗装の設計法は、無限広さの版の中央部に荷重が載荷された場合に対する中央部載荷公式に基づいている。しかし現実のコンクリート舗装は多くの目地によって区切られているため、無限広さの版に対する中央部載荷という仮定は厳密には成立し得ない。また荷重を目地部に載荷した場合は版中央部に載荷した場合よりも大きな曲げ応力が版に発生するため、設計で考慮した値を上回る応力が目地部で発生することもあり得る。このことが、目地部でのひびわれが多く報告される大きな原因となっているものと思われる。

一方、空港舗装は広大で面的な舗装であり、コンクリート版の自由縁部に沿った荷重の走行はほとんど考えられないため、自由縁部を対象とした縁部載荷公式は過大な応力を与えることになり、これを設計に用いることは不経済となる。

これらのことから、空港コンクリート舗装の版厚設計には目地部に発生する応力を用いることが現実的に即して合理的であると考えられる。そこで、本論文ではその目地部の応力に大きな影響を与える目地部における荷重伝達機能に関する検討を実施した。その手法は4種類の目地構造をもつ試験舗装で実施した載荷試験、ならびに目地構造をモデル化した有限要素解析である。

本論文では、まず2.においてコンクリート舗装の解析法について述べた後、3.では試験舗装の製作と載荷試験について説明し、4.において試験結果とその有限要素解析の結果から各目地構造の荷重伝達機能について述べる。さらに5.では空港コンクリート舗装の合理的な版厚設計の考え方を示す。

## 2. コンクリート舗装版の解析法

無筋コンクリート舗装では、コンクリート版に発生する曲げ引張り応力がその許容値を上回らないように版厚を設計するのが一般的である。コンクリート版に応力を発生させるおもな原因は荷重と温度であるが、ここでは本論文に直接関係する荷重による応力に関する解析法について述べることにする。

現在、空港コンクリート舗装版に発生する応力の推定や版厚の設計には Westergaard 公式<sup>1)</sup>が最も広く用いられている。Westergaard 公式は Winkler 地盤(互いに独立した無数のばねを敷きつめたときみなされる地盤)上に置かれた版の中央部載荷、縁部載荷および隅角部載荷のそれぞれに対して得られている。

この Winkler 地盤上の版理論に対し、Boussinesq 理論で記述される弾性地盤上に置かれた版の解析は Hogg<sup>2)</sup>によって行われた。さらに版理論から離れて、Burmister 理論で代表される2層もしくは多層弾性理論もコンクリート舗装の解析に利用できる<sup>3)</sup>。これらは Westergaard 公式と異なり、中央部載荷に対する解しか得られていないためか、実際の版厚設計に用いられることは少ない。

上記の方法は、いずれもコンクリート版の厚さや弾性係数、路盤の支持力などは一定という条件のもとで導かれているため、それらの条件が満足されない状態、たとえば版と路盤が均一に接していない場合や、目地の荷重伝達機能を考慮する場合などには、これらの方法は適用不可能となる。このような場合の解析法としては有限要素法がしばしば利用されている<sup>4)</sup>。

コンクリート舗装の解析に用いられるのは一般に版の有限要素法である。路盤の支持条件は Winkler 地盤、弾性地盤いずれも可能で、中央部、縁部などの載荷形態、境界条件なども任意に選ぶことができる。コンクリ

\* 正会員 工修 運輸省第二港湾建設局横浜調査設計事務所  
次長

\*\* 正会員 工修 運輸省港湾技術研究所土質部滑走路研究室

ート舗装のように版が路盤によって支持されているような版構造物の有限要素法では、各版要素と目地要素の剛性マトリックス（版要素については鉛直方向の変位と水平方向の2軸に関する回転の3個の変位成分を考え、目地要素については鉛直変位成分以外は0となる）を版全体について合成し、外力とのつり合いを考慮すれば、

$$\{F\} = ([K] + [K_B]) \{\delta\} \dots\dots\dots (1)$$

と表わされる。ここに  $\{F\}$  は荷重ベクトル、 $[K]$  は版の全体剛性マトリックス、 $[K_B]$  は路盤反力の剛性マトリックス、 $\{\delta\}$  は節点群の変位ベクトルである。式(1)を解くことによって  $\{\delta\}$  が得られ、応力マトリックスを媒介として曲げ応力も計算されることになる。

式(1)中の  $[K_B]$  は、路盤を Winkler 地盤、弾性地盤のいずれとみなすかによって変化する。後者を採用すると計算機の容量、計算時間とも前者に比較して不利になること<sup>5)</sup>、またコンクリート版のひずみに関しては両者にそれほど差がないこと<sup>6)</sup> などから、本論文では路盤を Winkler 地盤と仮定して解析を行った。

目地の不連続性を表現する方法として、スリップバー目地に対しては棒要素、かぎ型目地やのこ溝目地に対しては一次元ばね要素を用いる考え方がある<sup>7)</sup>。棒要素の特徴は棒の長手方向に曲げモーメントが伝達されることであるのに対し、ばね要素では曲げモーメントの伝達が行われず、せん断力しか伝達されないのが特徴である。今回の実験結果からはスリップバー目地においても曲げモーメントの伝達はほとんど認められなかったため、本論文では目地部における荷重伝達の不連続性はすべてこのばね要素を用いて表現した。

### 3. 試験舗装

図-1 に示すように、試験舗装として縦、横 4.25 m、厚さ 27 cm のコンクリート版 4 枚を支持力係数 ( $K_{ts}$ ) が  $9 \text{ kgf/cm}^3$  ( $88.3 \text{ MN/m}^3$ ) である粒度調整砕石路盤上に施工した。後述のように実験では目地を機械的に開閉させるので、路盤とコンクリート版との間に細砂、クラフト紙、ポリエチレンシートから成る摩擦低減層を施工した。載荷試験と同時期に実施したコンクリートの圧縮試験の結果では、その弾性係数  $E$  が  $260\,000 \text{ kgf/cm}^2$  ( $25.5 \text{ GPa}$ )、ポアソン比  $\nu$  が 0.2 であった。試験舗装の4か所の目地部には次の4種類の目地を施工した(図-2)。

- (a) のこ溝目地 (Dummy Joint)
- (b) かぎ型目地 (Keyed Joint)
- (c) スリップバー目地 (Dowel Joint)

鋼棒の直径 32 mm ( $\phi 32$ )、長さ 550 mm、間隔 340 mm

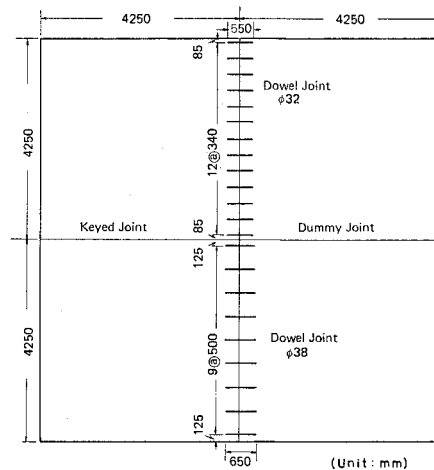


図-1 試験舗装平面図

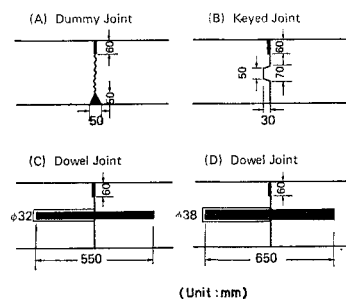


図-2 試験に用いた目地構造

- (d) 同上、ただし鋼棒の直径 38 mm ( $\phi 38$ )、長さ 650 mm、間隔 500 mm

これらの目地を挟んだ両側の版の間に大型のボルト・ナットを挿入し、ナットを回転することによって目地幅を機械的に変化させた。目地が閉じた状態から、のこ溝目地およびかぎ型目地では 3.5 mm まで、スリップバー目地では 25 mm まで目地を開いて、所定の目地幅の時点で載荷試験を実施した。載荷試験では大型航空機の1つの車輪の接地面積とほぼ等しくなるような直径 40 cm の鋼板の下に厚さ 1 cm の硬質ゴムを介して舗装に荷重を加えた。

### 4. 目地構造と目地幅が荷重伝達機能に及ぼす影響

本章では目地部の力学的挙動を実験結果から把握し、さらにそれらを有限要素法で解析することにより、目地構造の種類や目地幅などが荷重伝達機能に及ぼす影響を総合的に検討する。

#### (1) 荷重伝達率の定義

いくつかの種類の日地の効果を相対比較するために

は、目地部における荷重伝達機能を数量化しておく必要がある。目地部での荷重伝達が十分行われていれば載荷されたコンクリート版のひずみやたわみ、路盤の垂直応力などは荷重伝達が不十分な場合よりも小さくなる。このことから、目地効果を表わすためには、何らかの手段でこれらを無次元化したパラメーターを用いることが有効であると考えられる。実際に供用中の舗装での測定のことを考えるとこの中ではコンクリート版のたわみを用いることが最も現実的であろう。そこで目地効果を表わす荷重伝達率として次式<sup>9)</sup>を用いることにする。

$$E_{ff} = \frac{d_2}{(d_1 + d_2)/2} \times 100 (\%) \dots \dots \dots (2)$$

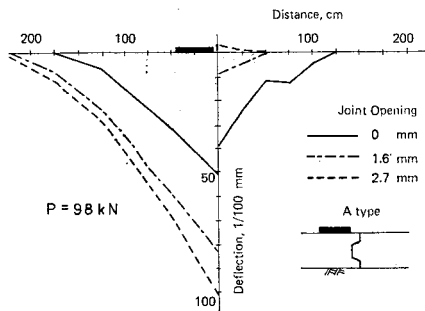
ここに、 $d_1$ 、 $d_2$  はそれぞれ目地を挟んで載荷側と非載荷側の版のたわみである。

## (2) 試験結果

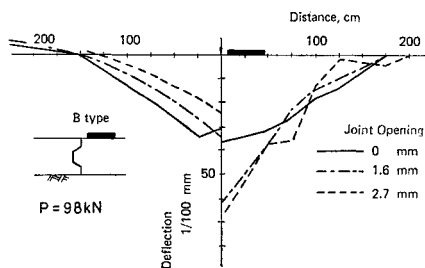
ここでは載荷試験の結果を、コンクリート版表面のたわみ、ひずみおよび荷重伝達率に分けて説明する。

### a) コンクリート版表面のたわみ

目地幅が版表面のたわみ分布に及ぼす影響をかぎ型目地の場合について図-3に示す。いずれも目地に直角方向で、載荷重が 10 tf (98 kN) のときのたわみである。これより目地幅の増加とともに載荷側の版のたわみが増大し、逆に非載荷側の版のたわみが減少していることがわかる。また、同じ目地幅でもかぎの凹部に載荷された場合と凸部に載荷された場合とによってたわみ分布が大きく異なり、最大たわみは凸部に載荷した場合の



(a) 凹部側載荷



(b) 凸部側載荷

図-3 コンクリート版のたわみ分布 (かぎ型目地)

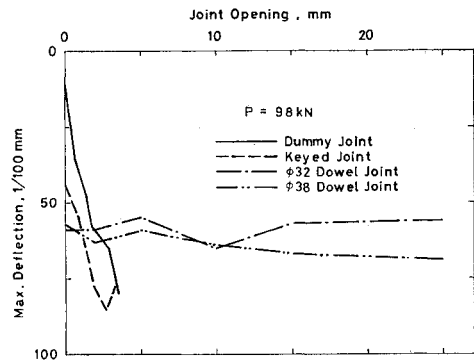


図-4 目地幅と最大たわみの関係

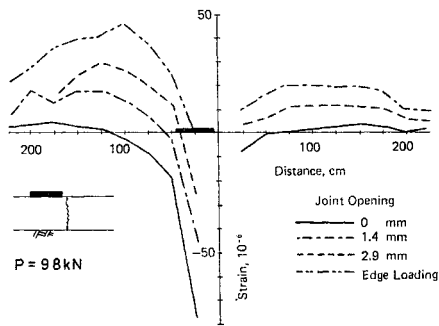
方が小さくなっている。これは目地幅の増加とともにかぎの凹部と凸部の間のすき間の大きさが凸部の上下で等しくなくなり、上側のすき間の方が大きくなった結果と推定される。Ball らによって行われた目地部の挙動に関する数多くの実験結果<sup>9)</sup>でも、凸部に載荷した方がその逆の場合よりも良好な評価が得られており、今回の試験結果はそれを裏付けている。

次に、図-4 には目地幅と最大たわみの関係を示す。かぎ型目地では凹部側載荷と凸部側載荷の平均値を示してある。スリッパ目地では目地幅が 25 mm まで開いてもそれによるたわみの増加はわずかであり、スリッパの効果がよく現われている。これに比べて、この溝目地、かぎ型目地では目地幅が増加すると最大たわみが急激に増加することがわかる。また目地が閉じている状態の両者を比較すると、かぎ型目地がのこ溝目地より大きなたわみを示していることがわかるが、これはかぎ型目地を施工する段階ですでに凹部と凸部の間にわずかなすき間が存在しているためだと思われる。また、閉じられた状態のスリッパ目地もこれと同様で、スリッパの可動側に塗布したグリースやビニールキャップがコンクリート版とスリッパ間のすき間となるような影響を及ぼしたのであろうと考えられる。

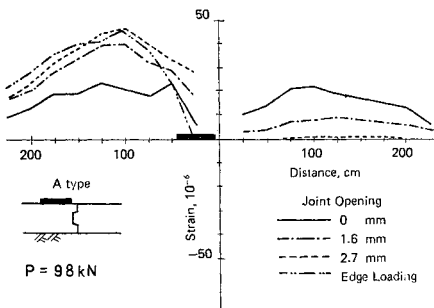
### b) コンクリート版表面のひずみ

図-5 にのこ溝目地、かぎ型目地、スリッパ目地 (φ 32) に直角方向の版表面のひずみ分布を示す。載荷重は同じく 10 tf (98 kN) である。のこ溝目地、スリッパ目地では、荷重の載荷点付近で正の曲げモーメント、荷重から離れるにつれて負の曲げモーメントが生じていることがわかる。またのこ溝目地では目地幅の増加につれてひずみの絶対値が増加していくのに対し、スリッパ目地では変化が小さい。これは前述のたわみの傾向と同じである。

これに対し、かぎ型目地では載荷側の版においても負の曲げモーメントしか発生していないが、これは通常の版理論では説明できない現象である。この現象はコン



(a) のこ溝目地



(b) かぎ型目地

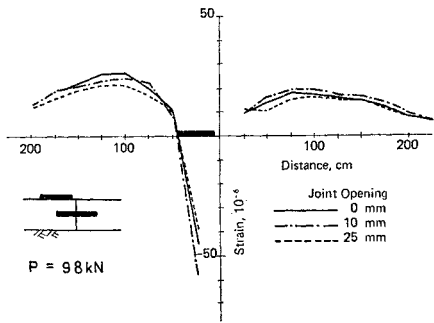
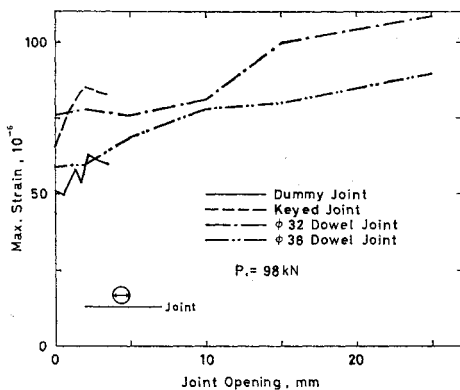
(c)  $\phi 32$  スリッパ目地図-5 コンクリート版表面のひずみ分布  
(目地に直角方向)

図-6 目地幅と最大ひずみの関係 (目地方向)

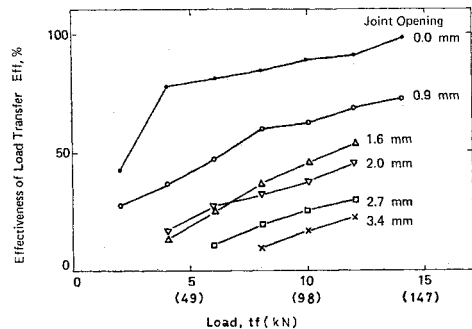
リート舗装の目地部でしばしばみられ<sup>10)</sup>、目地部において版と路盤との間に空隙が生じていればこのような傾向になることが数値計算の結果から推定された。しかし、この溝目地やスリッパ目地ではこのような現象はみられないことから、版と路盤との間の空隙のみにこの現象の原因を求めることは困難であろう。

次に、荷重直下点で目地に沿った方向の版のひずみと目地幅の関係を図-6に示す。これは縁部載荷公式で計算される縁部に沿った方向のひずみに対応するもので、コンクリート版厚の設計にとって最もクリティカルに影響すると考えられているものである。この図から各目地とも、目地幅の増加につれてひずみも増加していることがわかる。これは、目地幅が増加すると荷重により目地部に発生する応力が中央部載荷公式から定められた設計応力を上回ることもあり得ることを意味している。

#### e) 荷重伝達率

かぎ型目地とスリッパ目地 ( $\phi 38$ ) を例にとって、その載荷位置における荷重伝達率と目地幅、載荷重の関係を図-7に示す。両目地とも載荷重が大きくなると荷重伝達率も大きくなるが、これは載荷重が小さいうちは載荷側の版のみがたわみ、非載荷側の版はほとんどたわまないのに対し、載荷重が増大するにつれ両者が一緒にたわむようになるからである。

これに対し、スリッパ目地はかぎ型目地と異なり、載荷重の増加による荷重伝達率の増加は少なく、同時に目地幅の増加による荷重伝達率の減少もわずかで



(a) かぎ型目地

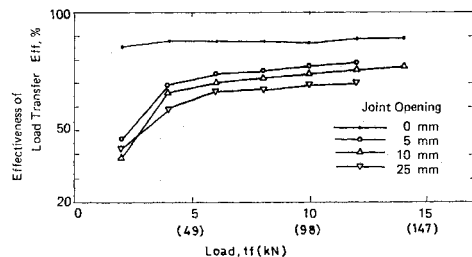
(b)  $\phi 38$  スリッパ目地

図-7 荷重の大きさと荷重伝達率の関係

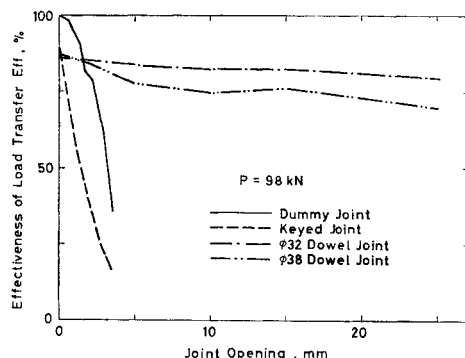


図-8 目地幅と荷重伝達率の関係

る。これは、スリップパー目地では目地が開いても目地を挟んだ2枚の版の間に明らかな空隙ができるわけではなく、スリップパーの支圧応力によるコンクリートの弾性変形<sup>1)</sup>が目地部における段差のおもな原因になっていることに起因するためであろう。

次に目地幅が荷重伝達率に及ぼす影響を 図-8 に示す。この溝目地、かぎ型目地はその荷重伝達機能を骨材やかぎのかみ合わせに求めているため、目地幅の増加につれて荷重伝達率の低下が著しい。これに対してスリップパー目地では目地が 25 mm まで開いても  $\phi 38$  では 70%、 $\phi 32$  では 80% の荷重伝達率が確保されていることがわかる。

以上のことを総合すれば、骨材やかぎのかみ合わせといて機構で荷重を伝達するのこの溝目地とかぎ型目地では、目地部における静的載荷試験の結果から判断する限り、この溝目地の方が優れているといえる。これらと異なる荷重伝達機構をもつスリップパー目地では目地が 25 mm まで開いても良好な荷重伝達機能が保持されていることが認められた。

### (3) 目地部の挙動に関する有限要素解析

(2) に述べた試験結果から、コンクリート版の目地部の挙動がおおよそ明らかになったので、本節においては 2. で説明した有限要素法を用いて解析を加える。

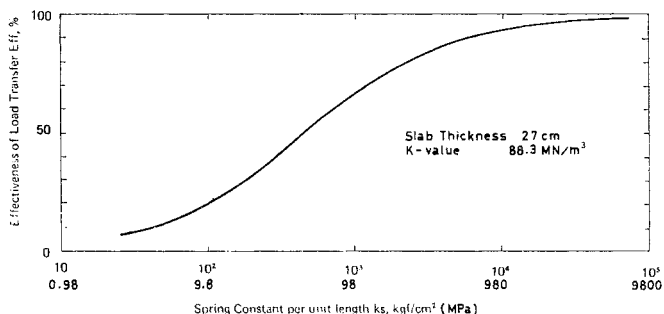


図-9 目地要素のばね定数と荷重伝達率の関係

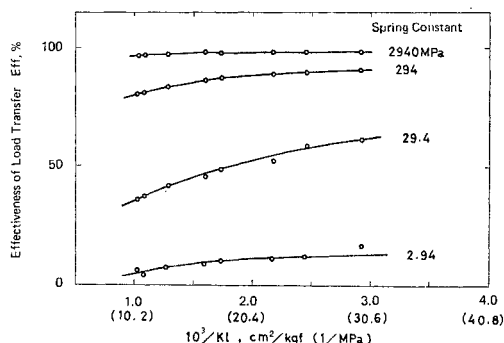


図-10  $Kt$  と荷重伝達率の関係

この溝目地、かぎ型目地とスリップパー目地とで目地部の扱い方が異なるのは、この溝目地、かぎ型目地では目地に沿った方向に連続してばねが連なっているのを計算の段階で近似的に節点に集中させたのに対し、スリップパー目地では最初から目地部のスリップパーの位置の節点にばね要素があるとしている点のみであるので、両者とも同じ扱いが可能である。この解析ではコンクリートの弾性係数  $E$  を  $350\,000\text{ kgf/cm}^2$  (29.4 GPa)、ポアソン比  $\nu$  を 0.15 とした。これらの値は現在のわが国の空港コンクリート舗装の設計に採用されている設計値である。

図-9 に、版厚と路盤支持力係数を今回の試験舗装と同じく 27 cm、 $9\text{ kgf/cm}^2$  ( $88.3\text{ MN/m}^3$ ) とした条件下で計算したばね定数と荷重伝達率の関係を示す。この図から、ばね定数  $K_s$  が大きくなれば荷重伝達率も大きくなり、しかもその変化率は  $K_s$  が  $10^2$  から  $10^4\text{ kgf/cm}^2$  (9.8 から 980 MPa) の範囲で大きいことがわかる。

さらに版厚や路盤支持力係数を変化させて多くの数値計算を行った結果から、路盤支持力係数と剛比半径  $l$  ( $=\sqrt{Eh^3/[12(1-\nu^2)K]}$ ) の積をパラメーターとして<sup>2)</sup> 荷重伝達率  $E_{ff}$  を表わしたのが図-10である。これから荷重伝達率が同一の場合でも、版厚や路盤支持力係数が増加すればばね定数も増加させる必要のあることがわかる。

次に 図-8 と 図-9 から得られる目地幅とばね定数の関係を 図-11 に示す。容易に予想されるように、目地幅の増加とともにばね定数は減少し、またこの溝目地よりもかぎ型目地のばね定数の方が小さいこと、これらに比べてスリップパー目地のばね定数の変化が小さいこともわかる。

さらに 図-11 を利用して得られるある目地幅に対応するばね定数を用いて載荷試験と同一の荷重条件のもとでのたわみ、ひずみを計算し、実測値と比較した例を 図-12 に示す。その計算手法からわかるように、計算さ

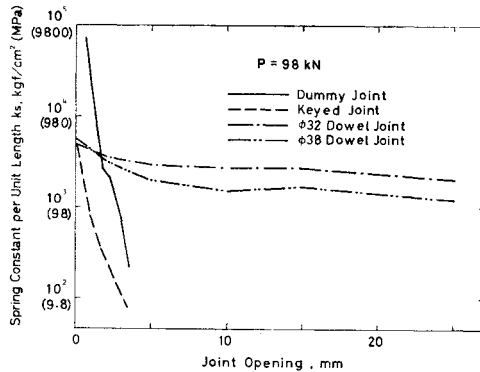
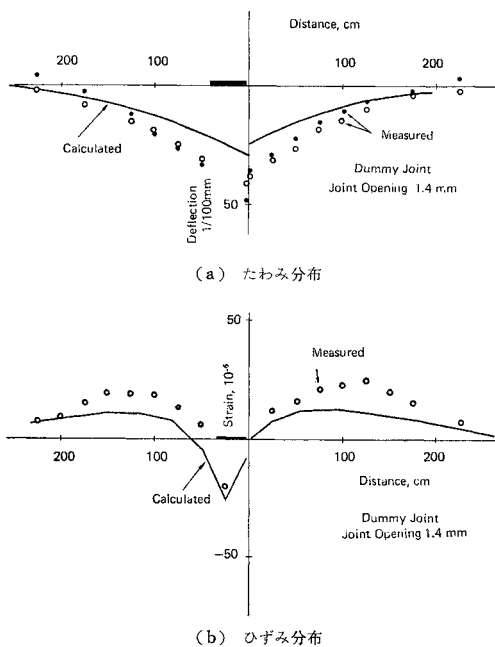


図-11 目地幅とばね定数の関係

図-12 実験結果と有限要素解析の結果の比較  
(この溝目地、目地幅 1.4 mm)

れた荷重伝達率は測定値と等しくなるが、たわみ、ひずみともに実測値の方が大きい。しかし、その分布形状に関しては両者は似通った傾向を示している。

## 5. コンクリート版厚の合理的な設計への応用

これまでに、コンクリート舗装の目地幅が版の挙動に及ぼす影響が明らかになり、また目地部での荷重伝達の不連続性を表わすばね定数を適切に与えることによって有限要素解析も可能であることが示された。本章では、目地部の荷重伝達効果を考慮に入れたコンクリート舗装版厚の設計法に有限要素解析を利用していくことの可能性を検討する。

### (1) ばね定数の合理的表示

有限要素解析を設計に利用するためには目地効果を表わすばね定数を定式化しておくことが便利である。そこで図-10に示したように荷重伝達率  $E_{ff}$  (%) および路盤支持力係数  $K$  (kgf/cm³) と剛比半径  $l$  (cm) の積の関数としてばね定数  $K_s$  (kgf/cm²) を定めることにした。その結果、相関係数 0.99 で次式のように表わすことができた。

$$\log k_s = a - 0.27 \left( \frac{10^3}{Kl} \right) \dots\dots\dots (3)$$

ここに、 $a$  は  $E_{ff}$  の関数で

$E_{ff} < 80\%$  のとき

$$a = 1.775 + 0.025 E_{ff}$$

$E_{ff} \geq 80\%$  のとき

$$a = 17.9 - 0.378 E_{ff} + 0.00252 E_{ff}^2$$

となる。

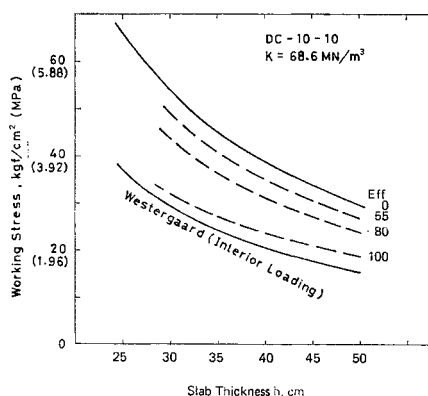
この式は単輪荷重が目地に接して片側の版に載荷された条件のもとに計算されたものであるが、複輪や複々輪についてもほぼ満足すべき精度で表現できる。またこの式は、舗装の路盤支持力係数と剛比半径、荷重伝達率を与えられれば、のこ溝目地、かぎ型目地、スリップバー目地のいずれにも適用可能であることが数多くの数値計算結果から確かめられた。

### (2) 荷重伝達率を考慮した版厚設計曲線

本節では目地部における荷重伝達の不連続性を考慮した場合、中央載荷公式をもとにした従来の空港コンクリート舗装の版厚設計曲線がどのような位置づけになるかを検討する。

ここでは具体的な機種として大型ジェット旅客機の1つである DC-10-10 (満載時総重量 196.4 tf (1.93 MN)、同脚荷重 92.3 tf (905 kN)、タイヤ接地圧 12.5 kgf/cm² (1.23 MPa)) を選び、載荷条件としてコンクリート版の応力に関して最も厳しいものになる縦目地に沿って走行する場合<sup>12)</sup>を選んだ。なおコンクリートの弾性係数  $E$  としては 350 000 kgf/cm² (34.3 GPa)、ポアソン比  $\nu$  として 0.15 を仮定し、7.5×7.5 m の版 6 枚 (15×22.5 m) が 7 kgf/cm³ (68.6 MN/m³) の支持力係数をもつ路盤上にある場合を考えた。

版厚と荷重伝達率を変化させて計算された目地に沿った方向のコンクリート版の曲げ応力を図-13に示す。同図には荷重伝達率が0の場合つまり自由縁部に載荷された場合と、従来の設計法の基礎になっている中央部載荷の場合もあわせて示してある。これから、中央部載荷の場合が最も下に位置し、荷重伝達率の低下とともに曲げ応力は増加し、しだいに縁部載荷の状態に近づいてい



図—13 版厚と荷重伝達率が曲げ応力に及ぼす影響

くこと、荷重伝達率が100%の場合でも目地を横切るモーメントの伝達を無視しているために中央部載荷の場合よりも大きな応力が発生していることがわかる。

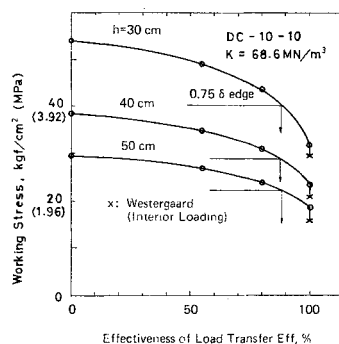
現行のわが国の空港コンクリート舗装の版厚設計法の考え方は、コンクリート版に発生する曲げ引張り応力が、コンクリートの設計基準曲げ強度を所定の安全率で除して得られる許容曲げ引張り応力を越えないように版厚を決定しようとするものである<sup>13)</sup>。載荷試験結果から明らかなように、中央部載荷に比べて目地部の載荷では大きな応力が生ずること、目地幅の増加とともに荷重伝達率は減少していることから、現行の設計法で規定している安全率は実際には期待し得ない値であるといえよう。つまり、規定の安全率とするためには現行よりも厚い版厚が必要となってくる。

一方、米国の FAA (Federal Aviation Administration) では、それまでの設計法による版厚が十分でなかったことを考慮し、従来中央部載荷公式で行っていた設計を縁部載荷公式で行うように、1978年に設計法を改訂している<sup>14)</sup>。ただし目地部での部分的な荷重伝達を期待しているため自由縁部での曲げ応力をその75%にまで減じた値を設計に用いている。これはわが国の道路舗装で、タイバー補強された縦目地部の考え方と同じである。図—13を図—14のように書き直すと、FAA法などで採用されている縁部載荷による応力の75%の応力は、荷重伝達率が88%程度の場合に対応することがわかる。

### (3) 今後の版厚設計法への適用性

本論文でこれまで述べてきた実験結果と解析結果を総合することによって、今後空港コンクリート舗装版厚の合理的な設計法を目指す場合の1つの方向を概念的に示そう(図—15)。

① 路盤の摩擦係数の値によっても異なるが、膨張目地、収縮目地の目地幅は年周期で5から10mm、日



図—14 荷重伝達率と曲げ応力の関係

周期でも数mmのオーダーで変動する場合がある<sup>15)</sup>。これは、荷重伝達率も季節や時刻によって変化することを示している。

② 目地幅が一定の条件下でも、繰返し載荷によって目地の荷重伝達率はしだいに低下する<sup>15)</sup>。これは、繰返し載荷によってみかけ上目地幅が増加することと等価である。

③ ①、②を組み合わせることによって、設計期間中の荷重伝達率の変化を予測する。これをいくつかの期間に分割し、それぞれを代表する荷重伝達率を選び、本章の(1)、(2)で述べたような手法で、各期間の各航空機に対応する曲げ応力を計算する。

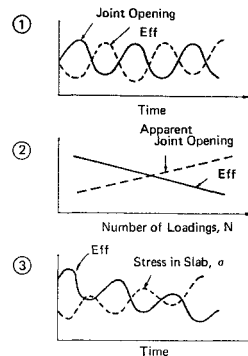
そして、荷重によるこのような応力に、別に求めた温度応力の影響を考慮しながらコンクリートの疲労曲線を用いて疲労抵抗を算出する。この値をすべての期間の航空機について加え合わせた合計が1.0以下になるように版厚を設計する。

この方法を厳密に実行することは煩雑かつ困難であり、その精度にも疑問が残るとすれば、③において設計期間中を代表する荷重伝達率を採用して設計荷重による応力を計算し、あとは現行法と同様に適切な安全率で処理することも考えられる。

## 6. 結 論

これまでに取り扱ってきたことや明らかになってきたことをとりまとめ、本論文の結論とする。

(1) のこ溝目地とかぎ型目地については、目地幅の増加とともに載荷側の版のたわみやひずみが増加し、ま



図—15 コンクリート舗装版厚の合理的設計法概念

た非載荷側で減少して、目地効果が低下した。この溝目地では 3.5 mm、かぎ型目地では 2.0 mm の目地幅で荷重伝達率は 40% にまで減少した。この試験結果からのこの溝目地よりもかぎ型目地の方が荷重により破損する可能性は大きいものと判断できる。

(2) この溝目地、かぎ型目地と同様にスリップバー目地も目地幅の増加につれてたわみ、ひずみが増加するが、目地が 25 mm まで開いても荷重伝達率は  $\phi 32$  で 80%、 $\phi 38$  で 70% まで低下するのみであり、スリップバーの効果が確認された。ただし、スリップバー目地でも曲げモーメントはほとんど伝達しないようである。

(3) 目地部における荷重伝達の不連続性を一次元ばね要素で表わすことによって、コンクリート舗装解析のための有限要素解析プログラムを作成した。このプログラムは、適切なばね定数を与えることによって試験結果をよく近似することができる。そしてこのばね定数を、荷重伝達率、剛比半径、路盤支持力係数の関数として表現した。

(4) 目地部の荷重伝達率を変化させて有限要素解析を実施することによって、実際の航空機荷重による曲げ応力と版厚の関係を示した。その結果、中央部載荷公式をもとにした従来の設計法では、そこで仮定されているような安全率は期待し得ないことが明らかになった。

(5) 以上の載荷試験と数値解析の結果から、目地が開くと版のたわみ、ひずみが増加することがわかった。このような目地部における荷重伝達の不連続性を考慮した合理的な空港コンクリート舗装版厚設計法の考え方を示した。

謝 辞：有限要素法のプログラミングに際しては運輸省港湾技術研究所の小林正樹氏に有益な助言をいただいた。厚く御礼申し上げる次第である。

#### 参 考 文 献

- 1) Westergaard, H.M.: New formulas for stresses in concrete pavements, Transaction of ASCE, Vol. 113, pp. 425~444, 1948.
- 2) Hogg, A.H.A.: Equilibrium of a thin plate, symmetrically loaded, resting on a elastic foundation of infinite depth, Philosophical Magazine, Series 7, Vol. 25, pp. 576~582, 1938.
- 3) たとえば, Barker, W.R.: Introduction to a rigid pavement design procedure, Proc. of 2nd International Conference on Concrete Pavement Design (2nd ICCPD), pp. 135~148, 1981.
- 4) たとえば, Huang, Y.H. and S.T. Wang: Finite element analysis of concrete slabs and its implications for rigid pavement design, HRR, No. 466, pp. 55~69, 1973.
- 5) Chou, Y.T. and Y.H. Huang: A computer program for slabs with discontinuities on layered elastic solids, 2nd ICCPD, pp. 79~85, 1981.
- 6) 福手 勤ほか：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，第 21 巻，第 2 号，pp. 207~236, 1982 年。
- 7) Tabatabaie, A.M. and E.J. Barenberg: Structural analysis of concrete pavement systems, Proc. of ASCE, TE 5, pp. 493~506, 1980.
- 8) Teller, L.W. and E.C. Southerland: A study of the structural action of several types of transverse and longitudinal joint design, Public Roads, Vol. 17, No. 7, pp. 93~94, 1936.
- 9) Ball, C.G. and L.D. Childs: Test of joints for concrete pavements, Research and Development Bulletin RD 026.01 P, Portland Cement Association, p. 18, 1975.
- 10) 新東京国際空港公団ほか：新東京国際空港 第 2 期 基本施設舗装の試験研究報告書，p. 71, 1981 年。
- 11) Yorder, E.J. and M.W. Witzak: Principles of Pavement Design, Second Edition, John Wiley & Sons, pp. 81~126, 1975.
- 12) Barenberg, E.J. and D.M. Arntzen: Design of airport pavements affected by load transfer and support conditions, 2nd ICCPD, pp. 161~170, 1981.
- 13) 運輸省航空局：空港コンクリート舗装構造設計要領，p. 105, 1977 年。
- 14) Airport Pavement Design and Evaluation, FAA Advisory Circular, AC 15015320-6 C, p. 159, 1978.
- 15) 佐鳥悦久・井上武美：春日井バイパスコンクリート舗装版の目地幅の挙動とそり拘束係数の実態，第 10 回日本道路会議一般論文集，pp. 209~210, 1971 年。
- 16) Colley, B.E. and H.A. Humphrey: Aggregate interlock at joints in concrete pavements, HRR, No. 189, pp. 1~18, 1967.

(1983.6.20・受付)