

運輸省港湾技術研究所

正会員

福手 勤

〃 〃

山崎 英男

1. よえがき

我国および欧米の多くの機関において、空港のコンクリート舗装はWestergaardの中央載荷公式によって設計されてきている。つまりコンクリート版のジョイント部における荷重伝達は十分に行なわれ、版は十分な広がりをもち、かつ路盤に接しているものと仮定されている。しかし実際には、かき型ジョイントではその直角方向にはモーメントは伝達されず、またスリップバーを設けたジョイントにおいても荷重の伝達は不連続になる。さらに路盤が不均沈下したような場合には、コンクリート版との間に空隙が生じ、荷重～たわみ、荷重～応力などの関係が非線形になる。このような状態では厳密にはWestergaard式の仮定にそぐわなくなってくる。筆者らはこのような状態においても数値計算可能な有限要素解析(FEM)プログラムを開発し、数値解析を試みたのでその一部を報告する。

2. 有限要素解析プログラム

本FEMプログラムは、いわゆるWinkler基礎上の平板理論に基づき、それにジョイント部での荷重伝達の不連続性を考慮したものであり、舗装全体の外力と変位のつり合いは次式で表わされる。

$$\{F\} = ([K_{s,D,k}] + [K_B])\{\delta\} \quad (1)$$

ここに $\{F\}$ は外力ベクトル、 $[K_{s,D,k}]$ は長方形版要素、スリップバーを近似した棒要素、かき型ジョイントを近似したヒンジ要素などの剛性マトリックスを合成したもので、 $[K_B]$ は路盤反力の剛性マトリックス、さらに $\{\delta\}$ は節点変位ベクトルである。また、版と路盤の間に空隙がある場合には、 $[K_B]$ が $\{\delta\}$ によって変化するため、最終的な $\{\delta\}$ を求めるためには繰返し計算を行なうことになる。

なお上式で、版と路盤間の空隙やジョイントを考へない場合には、Westergaardの理論式から得られる結果と一致するはずである。実際に両者から得られる結果を比較したところ、誤差は2%以内であることを確認した。

3. ジョイントで結合されたコンクリート舗装の解析

CASE I

図-1に示すように $2000 \times 800 \text{ mm}$ のスリップバー3本で結合された細長いコンクリート版での載荷試験の結果を解析した。路盤のK値は実測値(7.5 kgf/cm^2)より 4 kgf/cm^2 、コンクリートの弾性係数、ポアソン比は供試体の実測値からそれぞれ 30000 kgf/cm^2 、 0.2 を使い、荷重は 20 tf で $20 \text{ cm} \times 20 \text{ cm}$ に等分布している。計算されたコンクリート版表面のひずみ分布は図-2に示される通りである。同図中には実測値も併記されているが、計算値と実測値はよい一致をみせているといえよう。

また同じコンクリート版において、ジョイントの開口中が最大たわみに及ぼす影響を図-3に示した。同図から、開口中の増大につれてたわみも大きくなり、膨張目地のようにその中が季節的に大きく変化するジョイント

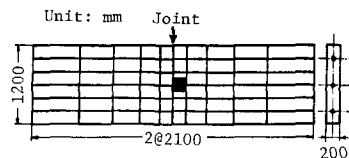


図-1 版の大きさと要素分割 (Case I)

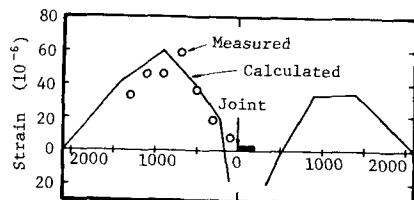


図-2 版表面のひずみ分布

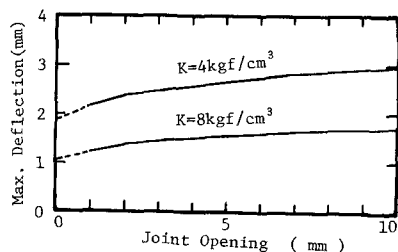


図-3 ジョイント開口幅と最大たわみ

では、それに付随してたわみも変化することが計算からも裏付けられる。

CASE II

次に図-4に示すような $7m \times 7m$ のコンクリート版2枚がスリップバー(φ38mm)で結合された舗装の挙動を数値解析した。版厚は5cm、路盤支持力は13kg/cm²、また荷重は大型航空機の一脚荷重($P=90.t$ 、複々車輪)を想定した。荷重がジョイントに対しA、B、Cの位置に載荷された時の走行線上Y方向、X方向のひずみの分布を図-5、6に示す。図-5においては、予想されるとおり、縁部に載荷された時(A)の縁部方向のひずみは、中央部載荷(B)やジョイント部載荷(C)の最大ひずみに比較してかなり大きくなること、また(C)はジョイント部においてわずかにひずみ分布に不連続性が認められるものの、最大ひずみの大きさは(B)の場合とほとんど等しくスリップバーが十分に機能していることが認められる。

これに対し図-6においては、(C)のひずみ分布は(B)とかなり異なっている。つまり(C)においては脚直下の正のモーメントが小さくなり、それを補うような形で、ジョイントを隔てた版における負のモーメントが増加している。またその負のモーメントの大きさは(A)の場合とほぼ等しくなる。このことからスリップバー方向のモーメント分布はジョイントの影響を大きく受けるものと考えられる。

CASE III

CASE IIと同様な舗装で、ジョイントの種類をスリップバーからかぎ型ジョイントに変えて、図-4の(C)の位置で載荷した時のX方向のひずみ分布を図-7に示す。同図中には図-6の(C)の分布も記入されているが、ジョイントにおいてはせん断力しか伝達されず、載荷側の版での正のモーメントは小さく、負のモーメントが大きくなる様子がうかがえる。

4. 路盤と版の間に空隙があるコンクリート舗装の解析

図-4において、1枚の版のみを考え、路盤との間に空隙がある場合を数値解析した。荷重は23.5tの大きさで版中央に $2.8m \times 2.8m$ の面積に等分布させ、路盤との空隙は図-8のようにY方向の不等沈下を仮定している。空隙の大きさがコンクリート版のXおよびY方向のひずみ分布に及ぼす影響が図-8に示されている。この図から、路盤との間のわずかな空隙が版のひずみに大きな影響を及ぼすことが予想され、ポンピングやプレキャスト版舗装の不十分なグラウトなどは、極力避ける必要があることが読み取れる。

5. あとがき

今回は、主に数値計算の結果しか利用できなかったが、今後信頼できる実験値を収集し、それらを十分な精度で説明できるように本プログラムを改良していくつもりである。

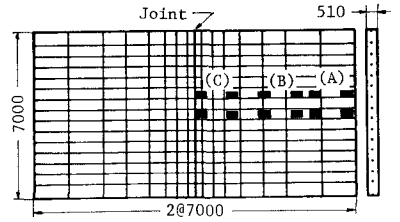


図-4 版の大きさと要素分割 (Case II)

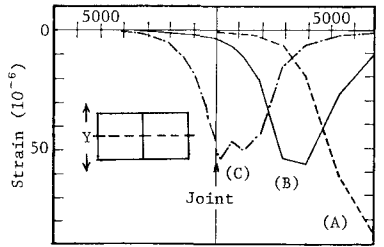


図-5 Y 方向ひずみ分布

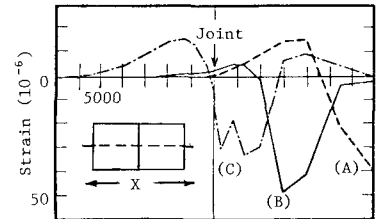


図-6 X 方向ひずみ分布

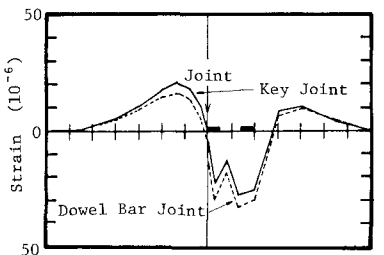


図-7 ジョイントの種類とひずみ分布

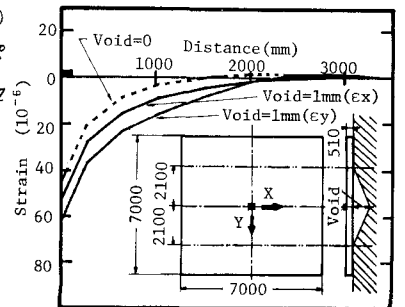


図-8 路盤の不等沈下とひずみ分布