

コンクリートブロック舗装の力学性状に関する基礎的研究

A PRELIMINARY STUDY ON MECHANICAL PROPERTIES OF CONCRETE BLOCK PAVEMENTS

西沢辰男*・田井伸治**・松野三朗***

By Tatsuo NISHIZAWA, Sinji TAI and Saburo MATSUNO

For the rational design of concrete block pavements, it is necessary to make clear their mechanical behaviors. The Finite Element Method (FEM) provides a powerful tool to handle discontinuous structures, such as concrete block pavements. Then, we developed the computer program for analysis of concrete block pavements by the use of the FEM.

The triangular and rectangular plate elements are employed to represent concrete blocks. A joint is modeled as a set of springs and the stiffness matrix of the joint element is derived by the principle of the virtual work. The values of the spring coefficients in the joint element should be determined from experiments or field tests. A subbase is assumed to be a Winkler foundation.

By means of this model, the mechanical behaviors of concrete block pavements are examined under various conditions.

1. ま え が き

コンクリートブロック舗装は、強度が高く耐久性にも優れたブロックから成り、部分的な補修が容易なため、住宅地や歩道などの軽舗装だけでなく、車道の交差点や大型貨物トレーラーヤード等、重交通を受け過度の残留変形の予想される部分の舗装にも適用が可能である。

ヨーロッパにおいては、レンガや石による舗装の伝統があるため、その延長上にあるコンクリートブロック舗装が広く利用されている。最近ではかなりの重荷重を受ける港湾や空港の舗装にも大規模に活用されつつある。

このように、コンクリートブロック舗装が、重荷重を受ける地域にまで利用されるようになってくると、その設計法は従来のような経験のみによるものでは不十分であって、コンクリートブロック舗装の力学的な検討に基づいた、より合理的な設計法の確立が望まれる。そのためには、まずコンクリートブロック舗装の力学的挙動を正確に把握しておかねばならない。

コンクリートブロック舗装は、小さなブロックとその間の目地から成る一種の不連続体であり、その力学的挙動は複雑であって、理論的に取り扱うのは非常に難しい。従来の研究¹⁾では、コンクリートブロック舗装のモデル実験より、この舗装は剛性舗装というよりはむしろたわみ性舗装に近い挙動を示すとし、コンクリートブロック表層を、等価な弾性係数をもつ連続体の層と考え、多層弾性理論を用いて解析を行っている。しかしながら、この方法ではコンクリートブロック舗装のたわみは計算できるものの、ブロック内に発生する応力やひずみを計算することができないという欠点をもつ。また、等価な弾性係数の決定法にも明確な方法がない。

近年のデジタルコンピューターの発展に伴って進歩してきた、構造解析用の数値シミュレーションの手段として有限要素法 (FEM) がある。FEMはその理論的明解さや、広範囲の応用性から、構造物の解析に広く利用されている。コンクリートブロック舗装のような不連続体を取り扱う際にも、このFEMが有力な手段となろう。事実、オランダの研究者は、軸対称FEMを用いてコンクリートブロック舗装の解析を行っている²⁾⁻⁴⁾。このモデルは、コンクリートブロックを変形しない剛体とし、ブロック間は線形ばねで連結されているというものである。路盤は、線形鉛直ばねと、連続弾性体とを組

* 正会員 工修 金沢大学助手 工学部土木工学科
(〒920 金沢市小立野 2-40-20)

** 正会員 工修 鹿島建設(株)北陸支店
(〒950 新潟市万代 1-3-4)

*** 正会員 工博 佐藤道路(株)技術研究所
(〒243-02 神奈川県厚木市三田 47-3)

み合わせてモデル化されている。このモデルは、基本的な前提が軸対称であるため、コンクリートブロック舗装特有のブロックの配置パターンを考慮に入れることができない。また、コンクリートブロックを剛体としているため、ブロック内に生ずる応力やひずみを計算することができないという欠点をもっている。

著者らは、平板の曲げ理論に基づく平板有限要素を用いて、コンクリートブロック舗装をモデル化することを考えた。このモデルは、コンクリートブロックは平板要素に分割され、目地はせん断、曲げ、ねじりの3つの線形ばねでモデル化された目地要素に置き換えられる。また路盤は Winkler 基礎と仮定される。このモデルは以下の利点を有している。

- (i) 荷重によってコンクリートブロック内に発生する応力やひずみを計算することができる。
 - (ii) コンクリートブロックの大きさ、形状を考慮に入れることができる。
 - (iii) コンクリートブロックの配置パターンを考慮に入れることができる。
 - (iv) 路盤の剛性を考慮に入れることができる。
- ただし、以下のような欠点を有している。
- (i) 路盤内の応力や変形を計算することができない。

(ii) のちに説明されるように、要素分割数が多くなり、計算にあたっては、大きな記憶容量が必要となる。

本報告では、著者らが開発したコンクリートブロック舗装の有限要素モデルについて述べ、そのモデルを用いて、さまざまな条件でのコンクリートブロック舗装の力学的挙動について検討した結果について述べる。

2. 解析モデル

(1) 平板有限要素⁵⁾

本研究で用いた要素は、平板の曲げ理論に基づく平板要素である。平板要素には2種類あって、そのうちの1つは4個の節点をもつ長方形要素であり、他の1つは3個の節点をもつ三角形要素である (Fig.1)。これら2種類の平板要素を組み合わせることにより、多様なブロックの形状の取り扱いが可能となる。

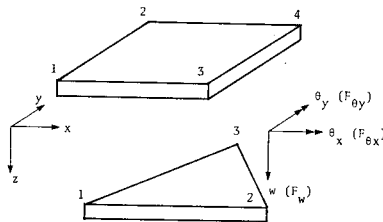


Fig.1 Rectangular and triangular plate elements.

それぞれの節点は3個の仮想力と、対応する3個の節点変位をもつ。3個の力は、鉛直力 F_w 、 x 軸まわりのモーメント F_{ox} 、 y 軸まわりのモーメント F_{oy} であり、対応する3個の変位は、 z 方向のたわみ w 、 x 軸まわりの回転 θ_x 、 y 軸まわりの回転 θ_y である。節点力と節点変位は次のように関係づけられる。

$$|f| = [[K] + [H]] \cdot |d| \dots \dots \dots (1)$$

ここに、

$$|f| = \langle f_1, f_2, \dots, f_n \rangle^T : \text{節点外力ベクトル}$$

$$f_i = \langle F_w, F_{ox}, F_{oy} \rangle^T$$

$[K]$: 平板の剛性マトリックス

$[H]$: 路盤の剛性マトリックス

$$|d| = \langle d_1, d_2, \dots, d_n \rangle^T : \text{節点変位ベクトル}$$

$$d_i = \langle w, \theta_x, \theta_y \rangle^T$$

右肩添字 T はマトリックスの転置記号である。

本研究では、路盤は Winkler 基礎と仮定されている。すなわち、ある節点での路盤反力は、その節点のたわみおよびその節点を共有する要素の面積の和に比例するというものである。この仮定のもとで、路盤の剛性マトリックス $[H]$ は対角要素のみとなり、計算が簡便化される。またその要素は、路盤の反力係数 k と、節点を共有する要素の面積の和の関数となる⁶⁾。

(2) 目地要素

ブロックの間隔が狭く、砂で十分に満たされておれば、目地内に摩擦力が発生し、ブロック間に荷重が伝達される。このメカニズムはまだ十分に明らかにはされておらず、目地部分の理論的取り扱い是非常に難しい。そこで本研究では、目地は目地の両側のブロックの変位の差に比例した力を伝達する一組の線形ばねであると仮定した (Fig.2)。

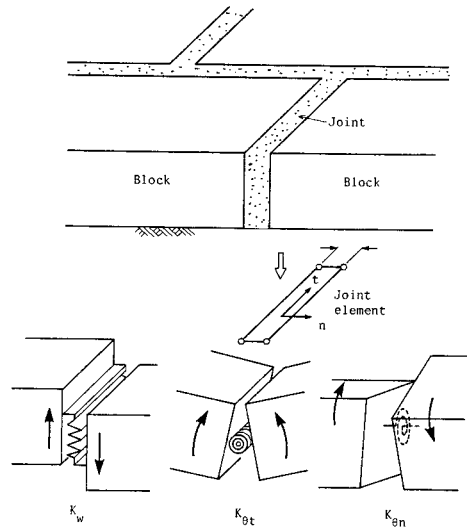


Fig.2 Model of joint.

このことは次式によって定式化できる。

$$\{f_i - f_r\} = [T] \cdot \{d_i - d_r\} \dots\dots\dots (2)$$

ここに、

$$\{f\} = \langle f_w, f_{\theta t}, f_{\theta n} \rangle^T$$

$$\{d\} = \langle w, \theta_t, \theta_n \rangle^T \dots\dots\dots (3)$$

$$T = \begin{bmatrix} K_w & 0 & 0 \\ 0 & K_{\theta t} & 0 \\ 0 & 0 & K_{\theta n} \end{bmatrix}$$

である。添字 l と r は、それぞれ目地の左側と右側の諸量であることを示す。 t と n は、それぞれ目地に沿った座標と、それに垂直の座標である。 $K_w, K_{\theta t}, K_{\theta n}$ はばね定数であり、目地の剛性を示すパラメータである。これらばね定数の機能は、Fig. 2において図式的に描かれている。それぞれのばね定数の値は、実験等の実測データと計算との比較により推定する。

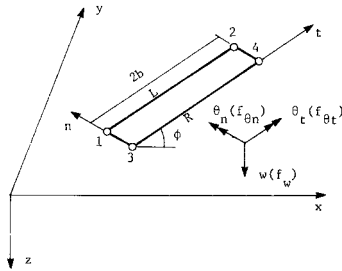


Fig. 3 Joint element.

この目地モデルに対する目地要素の剛性マトリックスの誘導過程について以下で説明する。

Fig. 3に示すような4個の節点1, 2, 3, 4をもつ目地要素を考える。目地の左側(図中 L と書かれている側)と右側(図中 R)の端に沿ったたわみおよび回転を次式のように表わす。

$$\left. \begin{aligned} w_l &= \alpha_1 + \alpha_2 t + \alpha_3 t^2 + \alpha_4 t^3 \\ \theta_{li} &= \alpha_5 + 2 \alpha_6 t \\ \theta_{ln} &= \alpha_2 + 2 \alpha_3 t + 3 \alpha_4 t^2 \\ w_r &= \beta_1 + \beta_2 t + \beta_3 t^2 + \beta_4 t^3 \\ \theta_{ri} &= \beta_5 + 2 \beta_6 t \\ \theta_{rn} &= \beta_2 + 2 \beta_3 t + 3 \beta_4 t^2 \end{aligned} \right\} \dots\dots (4)$$

さてここで式(4)の形状関数が、平板要素との境界辺において適合しているかどうか問題となる。本研究で用いている平板要素の形状関数は不完全4次の多項式で、そのたわみおよび回転は3次曲線となる。したがって、式(4)では平板要素との境界辺において、たわみは連続しているが回転については適合が不完全である。しかしながらこの平板要素の形状関数自体非適合形状関数であり、要素間の境界において回転に不連続を生ずる。

にもかかわらず、要素分割に注意することによってよい近似解を得ることができる。ブロック舗装においては、のちにも述べるようにブロック自体が小さく、要素分割が細くなることから、このような不連続性による誤差も小さいと考え、式(4)の多項式を採用した。

式(4)をマトリックス形式に書き改めると、

$$\{d_i\} = [B] \cdot \{\alpha\}$$

$$\{d_r\} = [B] \cdot \{\beta\} \dots\dots\dots (5)$$

となる。ここに、

$$\{\alpha\} = \langle \alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_6 \rangle^T$$

$$\{\beta\} = \langle \beta_1, \beta_2, \dots, \beta_6 \rangle^T$$

$$[B] = \begin{bmatrix} 1 & t & t^2 & t^3 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 2t \\ 0 & 1 & 2t & 3t^2 & 0 & 0 \end{bmatrix} \dots\dots (6)$$

である。

式を用いると、目地要素の4個の節点変位は、 $\{\alpha\}$ と $\{\beta\}$ により以下のように表わされる。

$$\begin{Bmatrix} d_1 \\ d_2 \\ d_3 \\ d_4 \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} [B]_{l=0} & [O] \\ [B]_{l=2b} & [O] \\ [O] & [B]_{l=0} \\ [O] & [B]_{l=2b} \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \{\alpha\} \\ \{\beta\} \end{Bmatrix} \dots\dots\dots (7)$$

あるいは、

$$\{d\} = \begin{bmatrix} [C] & [O] \\ [O] & [O] \end{bmatrix} \cdot \begin{Bmatrix} \{\alpha\} \\ \{\beta\} \end{Bmatrix} \dots\dots\dots (8)$$

ここに、

$$[C] = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 2b & 4b^2 & 8b^3 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 4b \\ 0 & 1 & 4b & 12b^2 & 0 & 0 \end{bmatrix} \dots\dots\dots (9)$$

である。

式(8)を $\{\alpha\}$ と $\{\beta\}$ について解くと次式を得る。

$$\begin{Bmatrix} \{\alpha\} \\ \{\beta\} \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} [C]^{-1} & [O] \\ [O] & [C]^{-1} \end{bmatrix} \{d\} \dots\dots\dots (10)$$

ここに、

$$[C]^{-1} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ -\frac{3}{4b^2} & 0 & -\frac{1}{b} & -\frac{3}{4b^2} & 0 & -\frac{1}{2b} \\ -\frac{1}{4b^2} & 0 & -\frac{1}{4b^2} & -\frac{1}{4b^2} & 0 & -\frac{1}{4b^2} \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & -\frac{1}{4b} & 0 & 0 & \frac{1}{4b} & 0 \end{bmatrix} \dots\dots\dots (11)$$

である。

式 (10) を式 (5) に代入することにより、目地要素内の変位が4個の節点変位ベクトルにより表現できたことになる。すなわち、

$$\begin{bmatrix} d_i \\ d_r \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} [B][C]^{-1} & [O] \\ [O] & [B][C]^{-1} \end{bmatrix} \cdot \{d\} \dots\dots\dots(12)$$

となる。

外力は節点のみに作用すると考えると、仮想仕事の式は以下のように表わされる。

$$\delta d^T \cdot f = \int_0^{2b} \delta(d_i^T - d_r^T) \cdot (f_i - f_r) dt \dots\dots\dots(13)$$

式 (2) および式 (12) を式 (13) に代入すると次式を得る。

$$\delta d^T \cdot f = \delta d^T \begin{bmatrix} [K^*] & -[K^*] \\ -[K^*] & [K^*] \end{bmatrix} \cdot \{d\} \dots\dots\dots(14)$$

ここに、

$$[K^*] = [C]^{-1} \int_0^{2b} [B]^T [T] [B] dt [C]^{-1} \dots\dots\dots(15)$$

である。

δd は仮想変位であるから、以下の関係を得る。

$$\{f\} = \begin{bmatrix} [K^*] & -[K^*] \\ -[K^*] & [K^*] \end{bmatrix} \cdot \{d\} \dots\dots\dots(16)$$

あるいは、

$$\{f\} = [K_j] \cdot \{d\} \dots\dots\dots(17)$$

ここに、

$$[K_j] = \begin{bmatrix} [K^*] & -[K^*] \\ -[K^*] & [K^*] \end{bmatrix} \dots\dots\dots(18)$$

である。

マトリックス $[K_j]$ が目地要素の剛性マトリックスとなる。なお、 $[K_j]$ は目地要素内の局所座標系によって表わされているので、平板要素の剛性マトリックスと重ね合わせるためには、さらに座標変換を施さねばならない。すなわち、

$$[L] = \begin{bmatrix} L^* & 0 & 0 & 0 \\ 0 & L^* & 0 & 0 \\ 0 & 0 & L^* & 0 \\ 0 & 0 & 0 & L^* \end{bmatrix} \dots\dots\dots(19)$$

ここに、

$$L^* = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & \cos \phi & \sin \phi \\ 0 & -\sin \phi & \cos \phi \end{bmatrix} \dots\dots\dots(20)$$

を $[K_j]$ に作用させてやればよい。ここに ϕ は t 軸と x 軸とのなす角度である (Fig. 3)。すなわち、

$$[\bar{K}_j] = [L]^T [K_j] [L] \dots\dots\dots(21)$$

となり、 $[\bar{K}_j]$ が全体座標系における目地要素の剛性マトリックスとなる。

(3) コンクリートブロック舗装のモデル化

コンクリートブロック舗装は、平板要素と目地要素に分割される。コンクリートブロックは長方形要素と三角

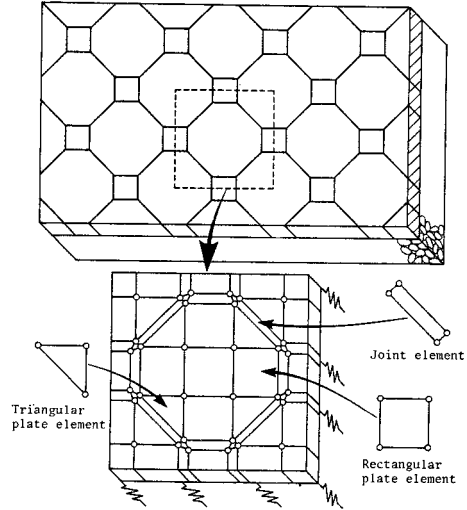


Fig. 4 Idealization of a concrete block pavement.

形要素に分割できるので、多様な形状のブロックに対応できる (Fig. 4)。ただし、要素分割がブロックの大きさに限定されてしまうため、荷重作用点からかなり離れた部分も細かく要素分割を行わねばならない。さらにその間には目地要素が入り込むため、全体の要素数が多くなる。したがって、計算に要するコンピューターの記憶容量がかなり多くなってしまふ。この難点は構造の対称性を考慮したり、荷重作用点から離れた部分の目地を無視し、あえて荒い分割を行うことによっていくらか克服できよう。

3. 数値計算結果および考察

(1) ばね定数

先にも述べたとおり、目地要素のばね定数の値は実測データと計算結果とを比較することによって推定する。今日までにこれに関する有用なデータが少なく、今回はこれらの値についての詳細な検討を行うまでは至らなかったが、数少ない実測値よりばね定数の概略値を算定した。

Fig. 5 は、三浦ら⁷⁾によって行われた実験の実測データと計算結果の比較である。計算はそれぞれのばね定数の値を変化させて行っている。縦軸は路盤上面での鉛直応力、横軸は荷重中心からの距離であって、それぞれ基準値で無次元化された値がとられている。

この図より、せん断ばねがブロック間の荷重伝達に最も大きく貢献しており、しかもそのせん断ばね定数の値が 490 MPa 程度で実測値とよく一致することがわかる。目地のせん断伝達については、オランダの研究者ら²⁾によっても報告されている。よって以後の計算においては、目地要素のばね定数の値を、 $K_w = 490 \text{ MPa}$,

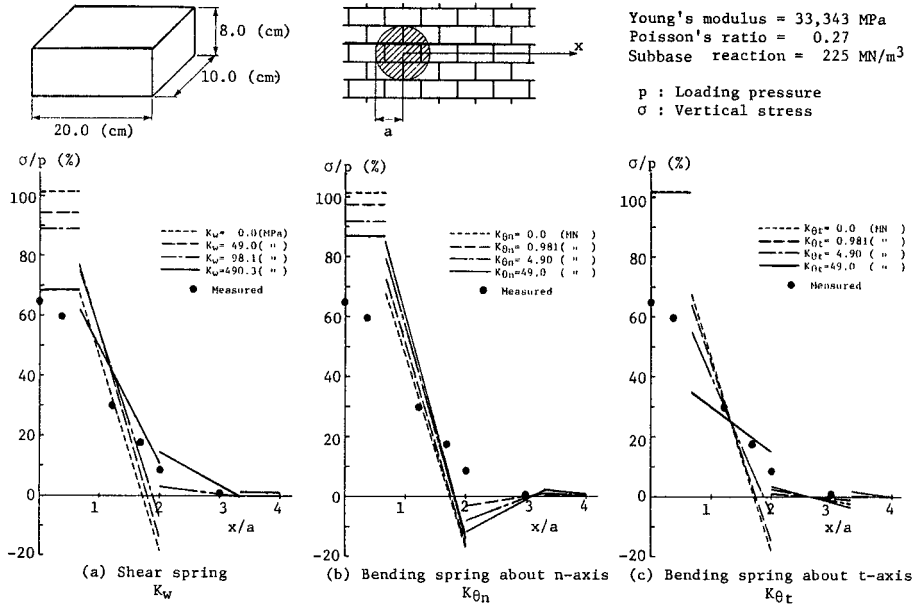


Fig. 5 Distribution of vertical stress at the top of the subbase.

$K_{\theta_t} = K_{\theta_n} = 0 \text{ N}$ とした。しかしこれらの値は支持条件、目地砂の性質、交通履歴などにより変動すると考えられる。特にコンクリートブロック舗装の場合、交通による荷重の繰り返しによって、目地の荷重伝達能力が高まるという、いわゆる「ロックアップ」という特有の現象が知られている⁸⁾。したがって、より実用的なこれらばね定数の評価法の確立が必要である。

(2) ブロックの配置パターン

このモデルは、いろいろな形状のブロックをさまざまな配置パターンで敷き並べられたコンクリートブロック舗装の挙動を解析することができる。ここでは最もポピュラーで、日本でも広く用いられている長方形ブロックの配置パターンであるヘリングボーンボンドと、ストレッチャーボンド (Fig. 6) の2種類について考察してみる。

Table 1 は計算に用いた入力データである。表中のブロックの大きさは、数ミリ程度の差はあるものの日本の

みならず、ヨーロッパにおいても最も標準的なものである。

Fig. 6 (a) は、たわみ形状を示す。ストレッチャーボンドにおいては、 x 方向と y 方向でたわみ形状にやや差がある。すなわち、 x 方向に目地が連続しているため、

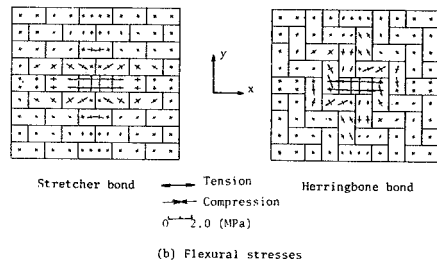
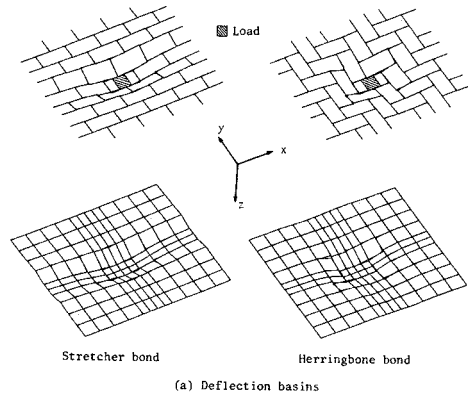


Fig. 6 Effect of laying pattern.

Table 1 Input data.

Properties of blocks	Length	20 cm
	Width	10 cm
	Thickness	8 cm
	Young's modulus	33 434 MPa
	Poisson's ratio	0.27
Subbase reaction		225 MN/m ³
Load	Pressure	0.98 MPa
	Area	10*10 cm ²

Table 2 Effect of laying pattern.

Laying pattern	Maximum Flexural Stress (MPa)	Maximum Deflection (cm)
Stretcher bond	2.4477	0.03871
Herringbone bond	2.5230	0.03580

y方向のたわみの曲率がx方向のそれよりも大きくなっている。ヘリングボーンボンドにはそのような差はみられない。

Fig. 6 (b) は、ブロック下面に発生する曲げ応力の分布状態を示している。ストレッチャーボンドでは直交異方性的な分布を示すが、ヘリングボーンボンドではそのような方向性はみられず、複雑な応力状態である。

Table 2 は、それぞれの配置パターンにおける曲げ応力とたわみの最大値をまとめたものである。この表を見るとたわみはストレッチャーボンドの方が大きく、逆に曲げ応力はヘリングボーンボンドの方が大きいことがわかる。このことはヘリングボーンボンドの方が荷重分散能力が高いことを意味している。

(3) 路盤の剛性

コンクリートブロック舗装においては、路盤の果たす役割は非常に大きい。というのは、一般のコンクリート舗装に比べ荷重分散能力が数段劣るため、コンクリート

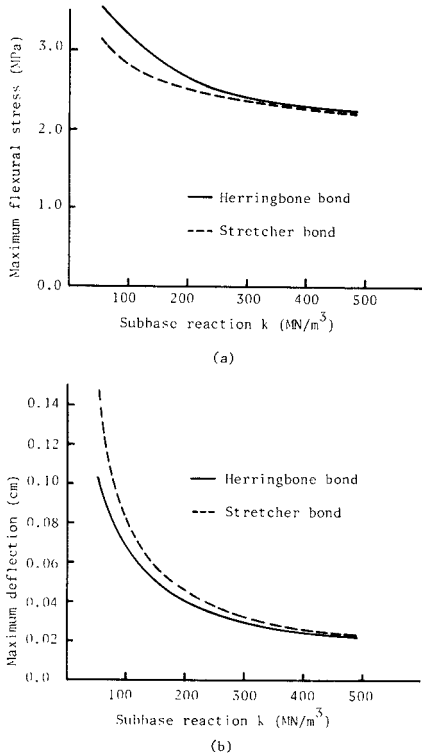


Fig. 7 Effect of subbase rigidity.

ブロック層のみですべての荷重を支えるというわけにはいかないからである。したがって、一般に路盤は比較的高い剛性をもつように施工されている。

Fig. 7 は、路盤の剛性の影響をみるために、路盤の反力係数 k を変化させて計算を行った結果を示している。図中、縦軸は、ブロックの曲げ応力(a図)とたわみ(b図)の最大値を、横軸には路盤反力係数 k がとられている。また実線はヘリングボーンボンド、破線はストレッチャーボンドを示している。

この図より、 k が小さいときには、ストレッチャーボンドとヘリングボーンボンドの挙動の差が大きく現われるが、 k が大きくなると両者の差はほとんどなくなることがわかる。また路盤の剛性は曲げ応力よりもたわみに大きく影響することがわかる。

(4) コンクリートブロックの厚さ

現在使用されているブロックの厚さは8 cmが多い。この厚さは、ブロック舗装に長い伝統をもつヨーロッパで経験的に決められたものである。最近では重交通を受ける舗装において、12 cm という厚さのブロックも用いられている。これらの厚さについて明確な指針があるわけではない。そこでこのモデルによってブロックの厚さについて検討してみた。

Fig. 8 (a) は、目地の剛性がブロックの厚さに無関係と仮定した場合の計算結果である。曲げ応力は、ブロックの厚さが4 cm から8 cm に変化すると急激に減少する。しかしながらたわみは、厚さが目地の剛性に影響しないと仮定しているため、厚さによる変化がほとんどな

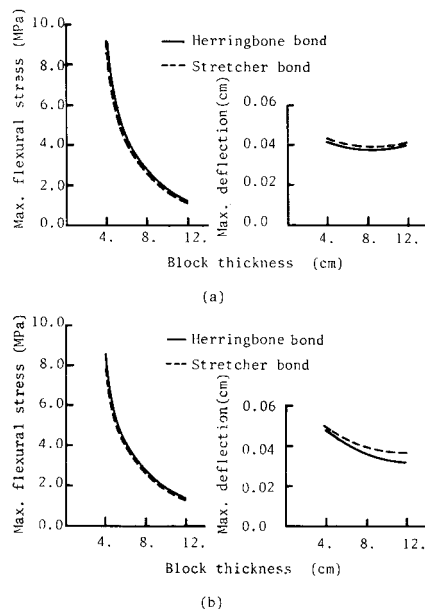


Fig. 8 Effect of block thickness.

い。

Fig. 8 (b) はそれに対し、目地の剛性がブロックの厚さに比例すると仮定した場合の計算結果である。曲げ応力に及ぼすブロック厚の影響は先の場合と同様であるが、たわみに影響が現われてくる。

ブロックの厚さが目地の剛性とどのような関係にあるかは興味深い問題であり、数値計算のみから結論を出すことはできない。この点に関しての実験的な検討が必要である。ただし、曲げ応力についていえば、どちらの仮定においても、ブロック厚の影響は同じ傾向を示し、ブロック厚が8 cm 以上になっても曲げ応力がそれほど減少しないことから、現在多く用いられている8 cm のブロック厚はほぼ妥当なものといえる。

(5) 荷重位置

コンクリートブロック舗装は、小さなブロックから成り目地の分布密度が高いため、交通荷重は必ず目地をはさんで作用し、しかもそのパターンも多様である。したがってそのような荷重位置の影響をみるのは大変興味深い。そこで Fig. 9 に示すような5 ケースの荷重位置を仮定して計算を行った。

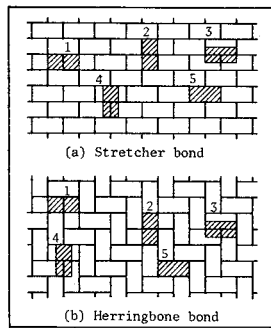


Fig. 9 Loading locations.

Fig. 10 は、それぞれのケースでの曲げ応力の分布状態を示している。図中には、曲げ応力およびたわみの最大値が生じた位置も示してある。同じ荷重接地面、荷重強度であっても、荷重の作用位置により、またブロックの配置パターンにより曲げ応力状態が変化することがわかる。最大曲げ応力は目地の縁部に生ずることが多い。

Table 3 は、曲げ応力およびたわみの最大値をおののケースについてまとめたものである。ストレッチャーボンドの場合、たとえばケース3のような載荷状態は、たわみも大きく曲げ応力も比較的大きい。このことは、ブロック舗装をストレッチャーボンドで車道に施工するとき、車線方向に対しどのようにブロックを配置するかに関連しよう。その点ヘリングボーンボンドは、荷重位置にあまり影響を受けないため、構造的には有利

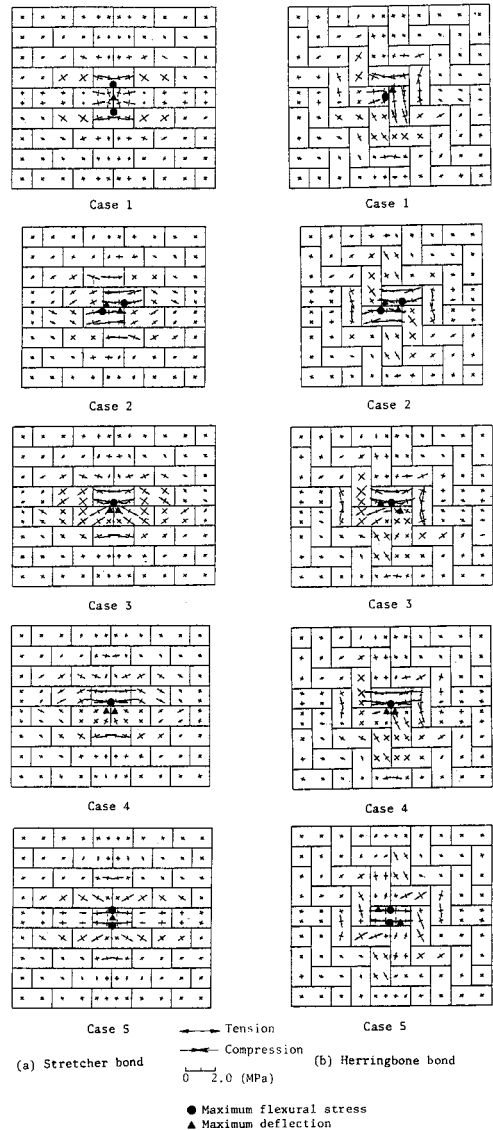


Fig. 10 Effect of loading location.

Table 3 Effect of Loading Location.

Laying pattern	Case	Maximum Flexural Stress (MPa)	Maximum Deflection (cm)
Stretcher bond	1	1.344	0.04941
	2	1.334	0.05444
	3	1.534	0.07154
	4	2.200	0.05290
	5	1.254	0.04116
Herringbone bond	1	1.466	0.04729
	2	1.664	0.04630
	3	1.661	0.04455
	4	2.454	0.04573
	5	1.303	0.03770

であるといえる。

(6) ブロックの形状

一般に、車道等比較的大きな荷重を受ける舗装では、

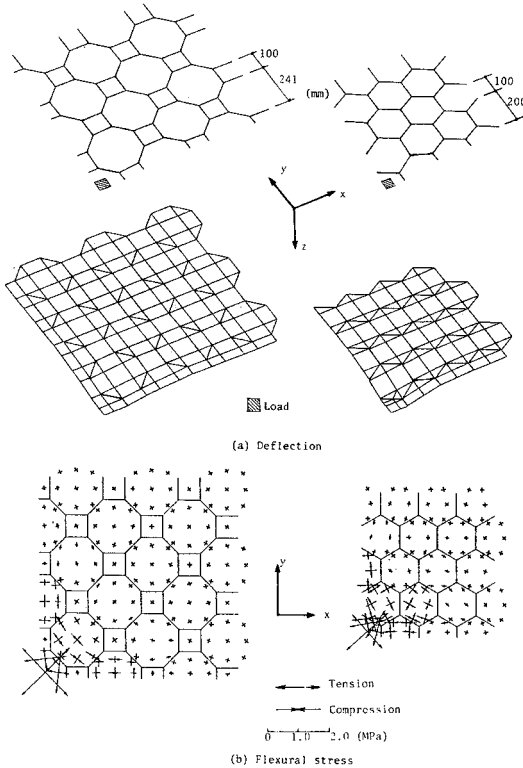


Fig. 11 Mechanical behaviors of shaped blocks.

長方形ブロックが多く用いられているが、他にもいろいろな形状のブロックがある。ここではこれら長方形以外のブロックについても計算を行ってみた。

Fig. 11 は、八角形ブロックと、正方形ブロックを組み合わせたものと、六角形ブロックのものの計算結果である。計算にあたっては、構造および荷重の対称性を考慮して4分の1の部分で計算が行われている。

前者は比較的大きなブロックと小さなブロックを組み合わせたものであり、その場合、荷重作用付近であっても小さなブロックにはほとんど応力が生じておらず、大きなブロックに荷重分散の役割をおわせている。

Table 4 Effect of shape.

Types of shape		Maximum Flexural Stress (MPa)	Maximum Deflection (cm)
Rectangular block 20x10 (cm)	Stretcher bond	2.4477	0.03871
	Herringbone bond	2.5230	0.03580
Square block 20x20 (cm)		1.4246	0.02284
Octagonal and square blocks		1.4278	0.02337
Hecthagonal block		1.7402	0.03502

Table 4 は、長方形ブロック、正方形ブロックおよび先の2種類の形状ブロックについて、それらの力学性状を比較したものである。

この表からは、形状ブロックの方が力学的に有利に見えるが、これはブロックの面積に関連している。このことは、長方形ブロックの2倍の面積をもつ正方形ブロックの場合、曲げ応力やたわみが長方形ブロックの場合よりもかなり小さくなっていることからもうかがえる。ブロック自体の面積が大きくなれば、それだけ目地の分布密度が小さくなるためである。

4. まとめ

本研究で採用した有限要素モデルは、コンクリートブロックを三角形および長方形要素に分割し、目地は目地要素に置き換える。このモデルは、コンクリートブロック舗装特有な条件(ブロックの形状、厚さ、配置パターン、荷重作用位置)を考慮して、その力学的挙動を解析することができる。このモデルによる数値計算の結果より、コンクリートブロック舗装の力学的挙動に及ぼすそれらの条件の影響について検討した。

今後さらにこのモデルを実用的なものにするためには、目地の性状を明らかにし、目地の剛性パラメーターであるばね定数の評価法を確立する必要がある。また路盤の構成を考慮に入れるために、路盤を多層弾性体としたモデルが考えられ、これについては現在検討中である。

本研究の一部は文部省科学研究費の補助を受けて行ったものであり、計算は金沢大学計算機センターのM-170 Fにより行ったことを付記し、謝意を表する。

参考文献

- 1) Shackel, B. : Design of Interlocking Concrete Block Pavements for Road Traffic, Proc. of 1st International Conference on Concrete Block Paving, Newcastle-upon-Tyne, pp.33~37, September, 1980.
- 2) Hoben, L.J.M., et al. : Analysis and Design of Concrete Block Pavements, Proc. of 2nd International Conference on Concrete Block Paving, pp.86~97, April, 1984.
- 3) Kellersman, G.H., et al. : Design Method for Concrete Block Pavements, Proc. of 2nd International Conference on Concrete Block Paving, pp.100~114, April, 1984.
- 4) Working Group D 3 : Behavior of Two Concrete Block Test Pavements on a Poor Subgrade, Proc. of 2nd International Conference on Concrete Block Paving, pp.115~128, April, 1984.
- 5) 小堀為雄・吉田 博：有限要素法による構造解析プログラム, 丸善, 1980.
- 6) 西沢辰男・松野三朗：コンクリートの構造解析における有限要素法の適用性について, 土木学会論文報告集, 第

338号, pp.207~215, 1983.

- 7) 三浦裕二・津田外喜弘・古村 満・神永 晃：インターロッキングブロック舗装について，第13回日本道路会議論文集，1979.
- 8) Clifford, J. M. : A Description of "Interlock" and "Lock up" in Block Pavements, Proc. of 2nd International Conference on Concrete Block Paving, pp.50~54, April, 1984.

(1984.7.13・受付)
