

3次元FEMに基づいたコンクリート舗装横目地におけるダウエルバーモデル

石川工業高等専門学校 正会員 西澤辰男

1. はじめに

コンクリート舗装の横目地は、不連続面となるため、構造的な弱点となりやすい。そこでの荷重伝達を確保するための構造的な補強としてダウエルバーが用いられる。横目地の設計においては、ダウエルバーの形状や配置間隔はほぼ経験的に定められている。現場調査によれば、ダウエルバーが切断されている場合があり、現在の構造が必ずしも適切ではない場合がある。したがって、合理的な力学モデルに基づいた設計法が必要であり、そのための解析法の開発が急務である。本研究では、3次元有限要素法(3DFEM)に基づいたダウエルバーの力学モデルを開発した。ここでは、モデルの概要とその有用性について報告する。

2. モデルの概要

舗装の3DFEMモデルにおいては、コンクリート版、路盤、路床を8節点6面体ソリッド要素に分割する。境界側面は鉛直方向変位のみを許す。底面境界は完全固定である。路盤とコンクリート版の境界面におけるすべり、はがれを考慮できるように厚さ0の境界面要素を挿入している¹⁾。ダウエルバーはその境界面要素に属するが、その機能は、図-1に示すように、目地の開きの部分とコンクリートに埋め込まれた部分に分けて考える²⁾。目地の開きの部分は3Dの梁要素で表現される。梁要素の両端がコンクリート版のソリッド要素と結合するが、その間にコンクリートに埋め込まれたダウエルバーと周辺のコンクリートの相互作用を考慮するために局部変形要素を挟む。この局部変形要素は、コンクリートに埋め込まれたダウエルバーを、弾性支承上の梁でモデル化して定式化されたものである。その基本的な剛性関係は以下のように表される。

$$\begin{Bmatrix} \Delta v' \\ \Delta \theta_x' \end{Bmatrix} = \frac{2\beta^2}{K_c(S^2 - s^2)} \begin{bmatrix} \frac{1}{\beta}(SC - sc) & -(S^2 + s^2) \\ -(S^2 + s^2) & 2\beta(SC + sc) \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \Delta F_{y'} \\ \Delta M_{x'} \end{Bmatrix}$$

(1)

ここに、 $\beta = \sqrt[4]{\frac{K_c \phi}{E_s I_s}}$ 、 K_c =コンクリートとダウエルバーの相互

作用を表現するばね係数、 $E_s I_s$ =ダウエルバーの曲げ剛性、 $s = \sin(\beta L)$ 、 $c = \cos(\beta L)$ 、 $S = \sinh(\beta L)$ 、 $C = \cosh(\beta L)$ 、 L =コンクリートに埋め込まれたダウエルバーの長さ、 ϕ =ダウエルバーの直径である。

式(1)を用いて局部変形要素の剛性マトリックスを導いた。たとえば、内部節点aと梁要素の節点a'の間の局部変形要素の剛性方程式は以下ようになる。

$$\begin{Bmatrix} F_a \\ F_{a'} \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} A^a & -A^a \\ -A^a & A^a \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} d_a \\ d_{a'} \end{Bmatrix}$$

(2)

ここに、 F_a 、 $F_{a'}$ =節点aと節点a'の節点力ベクトル、 d_a 、 $d_{a'}$ =節点aと節点a'の節点変位ベクトル。

内部節点bと梁要素の節点b'の間にも同様な関係が成り立つ。

一方、節点a'、節点b'間の梁要素の剛性方程式は以下のようになる。

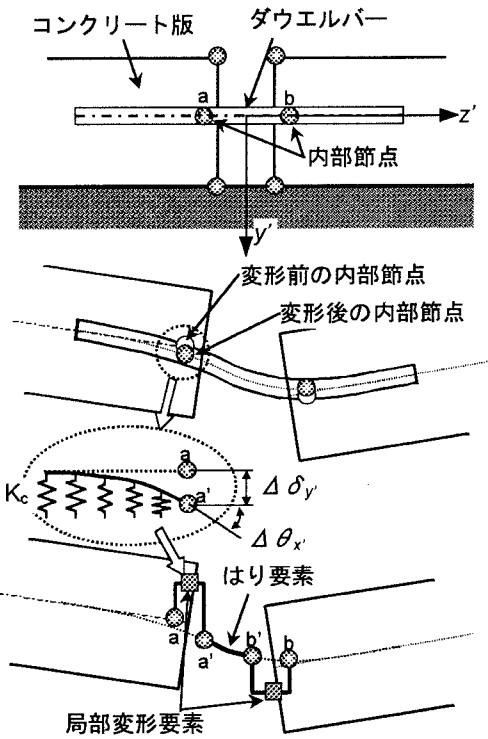


図-1 ダウエルバーモデルの概念

$$\begin{Bmatrix} F_{a'} \\ F_{b'} \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} S_{11} & S_{12} \\ S_{21} & S_{22} \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} d_{a'} \\ d_{b'} \end{Bmatrix} \quad (3)$$

以上の剛性マトリックスを重ね合わせ、 $\{F_{a'} F_{b'}\} = \{0 \ 0\}$ より、以下の剛性方程式を得る。

$$\begin{Bmatrix} F_a \\ F_b \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} A^a & 0 \\ 0 & A^b \end{bmatrix} \left[\begin{bmatrix} I & 0 \\ 0 & I \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} A^a + S_{11} & S_{12} \\ S_{21} & A^b + S_{22} \end{bmatrix}^{-1} \begin{bmatrix} A^a & 0 \\ 0 & A^b \end{bmatrix} \right] \begin{Bmatrix} d_a \\ d_b \end{Bmatrix} \quad (4)$$

式(4)は内部節点に対するものであるが、内部節点における変位をその内部節点が属するソリッド要素の節点変位で表現すれば、ソリッド要素と同様に扱うことができる。

3. 模型実験の解析

コンクリート舗装の模型を室内の土槽に作製し、荷重によるダウエルバーのひずみを計測した実験がある²⁾。その結果を用いて、モデルの妥当性を検討する。模型舗装は図-2に示すようなものである。図の位置に荷重を作用させ、その直下のダウエルバーに貼られたひずみゲージにより曲げひずみを計測した。この模型実験の解析用の要素分割を図-3に示す。計算に用いた数値は、コンクリートの弾性係数=24000MPa、ポアソン比=0.2、土槽の地盤の弾性係数=50MPa、ポアソン比=0.4、 $K_c=100\text{GN/m}^3 \sim 400\text{GN/m}^3$ とした。

4. 解析結果

計算結果と実測結果を比較したものが図-4である。ダウエルバーの軸方向に沿ったバー下面の曲げひずみ分布を示している。実測されたひずみは、中心に対して逆対称の分布をしており、計算結果もその傾向をよく捉えている。計算では K_c の値を 100GN/m^3 から 400GN/m^3 に変化させているが、 K_c を増加すると、コンクリートの拘束が高まり、ダウエルバーのひずみは大きくなる。

実測値は $K_c=100\text{GN/m}^3$ の計算値に近い。

5. まとめ

コンクリート舗装横目地のダウエルバーの力学的挙動を、梁要素と局部変形要素によって表現するモデルを開発し、モデルの妥当性を模型実験結果で実証した。

今後、実際のコンクリート舗装において検証したい。

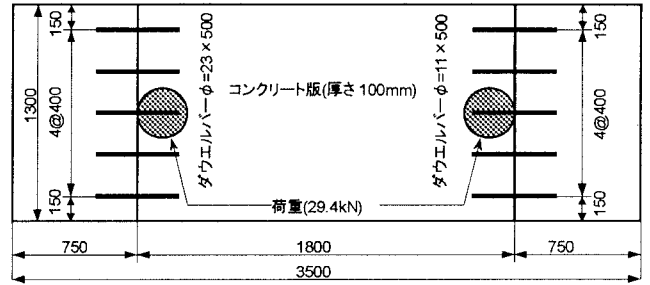


図-2 模型実験の概要

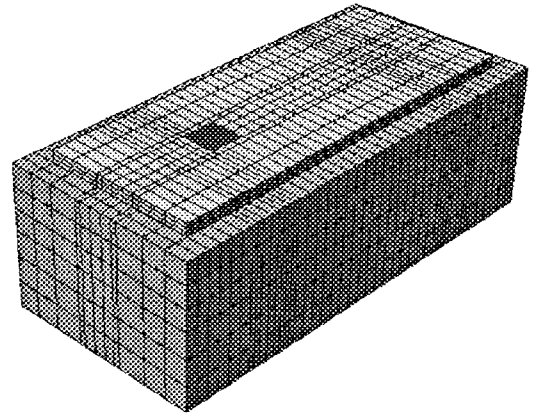


図-3 模型実験解析用の要素分割

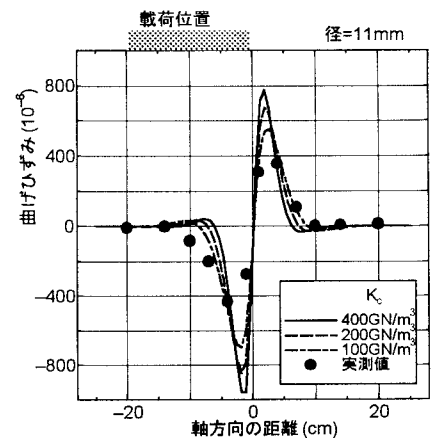
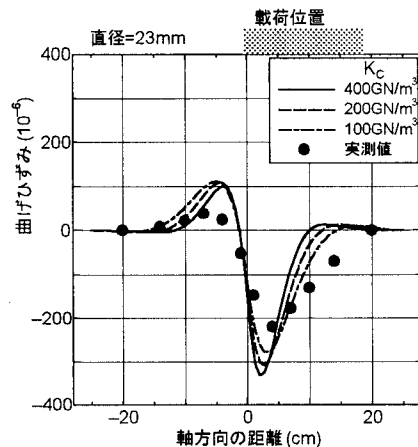


図-4 模型実験解析結果

参考文献：1) 西澤辰男：舗装解析用 3DFEM パッケージ(<http://www.plan.civil.tohoku.ac.jp/pave/hoso-ml/>) 2) 西澤辰男他：コンクリート舗装版横目地におけるスリップバーの力学的モデル，土木学会論文集，第 420 号/V-42，1987。