

鉄筋コンクリート床版のひびわれ・弾塑性解析の一手法

大阪大学工学部 正員 前田幸雄  
 大阪大学工学部 正員 松井繁之  
 大阪大学大学院 学員 小島一雄

1. はじめに

鉄筋コンクリート構造が鋼構造に比較して、その崩壊に至るまでのたわみ応力などの忠実な解析が遅れているのは、それ自身が複合材料であるコンクリートが持つ独特な挙動が実験的に解析的に充分研究されていないところに原因していると思われる。1969年に Kupfer, Hilsdorf, Rusch<sup>2)</sup>は、巧みな実験によつて2軸応力状態におかれたコンクリートの崩壊に至るまでの信頼できる資料を得た。この実験から得られたコンクリートの崩壊条件などを基礎に、FEMによる構造解析が試みられてきた。本研究もまた、同様のFEM解析を行つたが従来の解析に較べて大きく異なる点は、コンクリートを理想弾塑性材料と仮定せず、Kupfer<sup>3)</sup>の資料に基づいて忠実に応力-歪関係を追跡したことにある。更に、Linh<sup>4)</sup>によつて指摘されたコンクリート層の残留剛性効果“tension stiffening effect”についても考慮し、実験で得られた、たわみ応力などの応答と比較を行つた。

2. 解析手法

線型曲率分布をする長方形曲げ要素と、同じく線型ひずみ分布をする長方形膜要素を合わせた1節点4自由度の長方形有限要素を用いた。基本的な手法は文献(1)による。各要素は図1のように層状化手法を用いて、厚さ方向に幾層かに分離しており、この手法の適用により厚さ方向に変化するコンクリート及び鉄筋の材料挙動特性を導入することが出来、結果的に1要素の複合特性が厳密に評価できることになる。ここでは個々の鉄筋は1枚の層と換算し、その弾性係数はx, y両方向にそれぞれ鉄筋量に見あうだけの値を持つ。コンクリート層は図2に示したKupfer<sup>3)</sup>に依る崩壊条件で、引張を含む範囲では大きな主応力に直交にひびわれ、2軸圧縮の範囲では圧壊する。ひびわれが發生した層では、材料特性を示すマトリックスは主応力方向に、次のように表示できる。

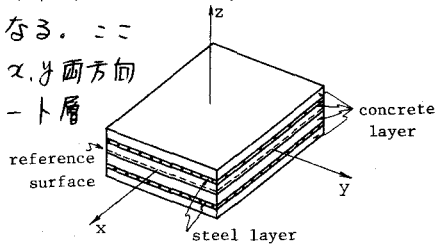


図1 層状化手法

$$[D] = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 \\ 0 & E & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

E: コンクリート初期弾性係数

このマトリックスは全体座標に変換して、一般のFEMの[D]マトリックスが得られる。

$$[D] = [T]^T [D] [T]$$

[T]については、文献(1)。

崩壊に至るまでのコンクリートの[D]は、Kupfer<sup>3)</sup>

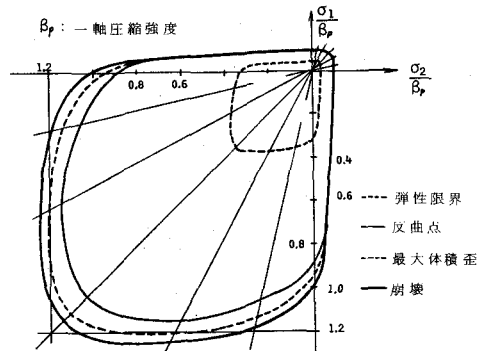


図2 崩壊条件

が与えた接線剪断係数, 接線体積係数の表示<sup>4)</sup>によ, て, 次に示される型<sup>5)</sup>を持つ。

$$[D_e] = \begin{bmatrix} 4G_x \frac{3K_x + G_x}{3K_x + 4G_x}, & 2G_x \frac{3K_x - 2G_x}{3K_x - 4G_x}, & 0 \\ 2G_x \frac{3K_x - 2G_x}{3K_x - 4G_x}, & 4G_x \frac{3K_x + G_x}{3K_x + 4G_x}, & 0 \\ 0, & 0, & G_x \end{bmatrix} \quad \begin{aligned} K_x &= \frac{G_x / G_0}{e^{-(c\gamma_{oct})} [1 - p(c\gamma_{oct})^m]} & G_x &= \frac{[1 - a(\frac{\gamma_{oct}}{\sigma})^m]}{1 + (m-1)a(\frac{\gamma_{oct}}{\sigma})^m} \end{aligned}$$

a, m, c, p は, Kupfer<sup>3)</sup>が規定した定数,  $\gamma_{oct}$  は八面体剪断応力と歪,  $G_0, K_0$  はそれぞれ初期剪断, 体積係数である。σ は 1 軸圧縮強度を示す。もちろんこの [D<sub>e</sub>] は, 応力歪の状態に依存する非線型マトリックスであり, 収れん計算の対象となる。これに依, て, 理想弾塑性性としての仮定では得られないようなコンクリートの 2 軸圧縮の高応力状態での体積変化にともなうポアソン比の大きな変化が追跡でき, 従, て局所的な応力分布の忠実な応答が期待できる。非線型追跡者は, 主として "initial stress" 状態<sup>4)</sup>に依, た。

### 3. 計算例

図4に概略を示した床版を実験・解析し, 結果を比較した。図5のように崩壊状態でのたわみ応答が改善されている。図6のひびわれ図は, みごとな一致をしている。たわみが, 低い荷重段階で誤差があるのは, 梁くひびわれが入, た要素で, bond slip の影響を大きく受けているからである。そこで, ひびわれ後に突然応力をゼロにするのではなく, 図3のように少しずつ応力を著としてゆくという, マクロ的な bond slip 現象の導入を行, た。計算例として, 単純な鉄筋コンクリート梁を解析したが, 紙面の都合で図表は省く。コンクリート層が連続的に bond slip の範囲を拡げゆく, 局所的な, 応力歪の解析的な応答が改善できた。

最後に, 本研究に文部省科学研究補助金を受けたことを付記する。

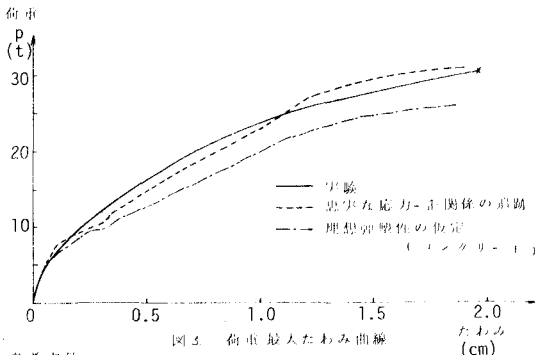


図5 荷重最大たわみ曲線

参考文献

- 1) Hand, et al., Structural Research Series No.389, Univ. of Illinois, 1972. 2) Kupfer, et al., J.ACI, vol.66, No.8, 1969.  
3) Zienkiewicz, et al., Int. J. Num. Meth. in Eng., vol.1, 1969 4) Kupfer, et al., J. ASCE, vol.99, EM-4, 1973.

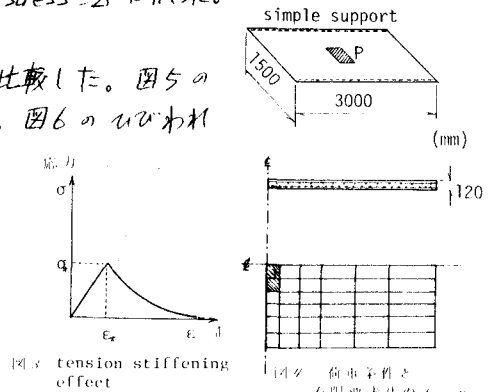


図4 荷重条件と有限要素法のメッシュ

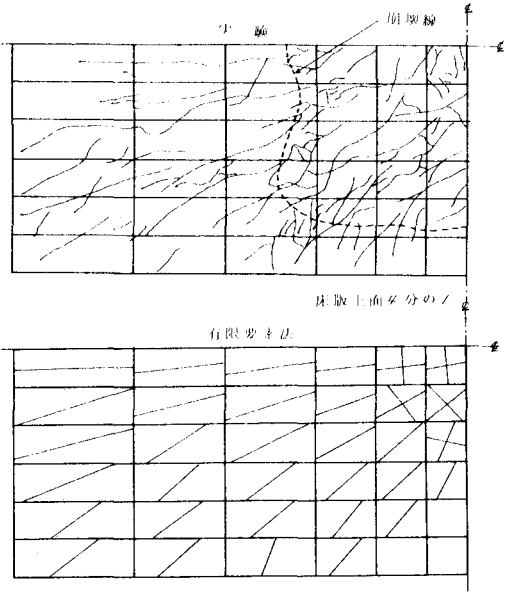


図6 崩壊状態でのひびわれ図