

大阪大学大学院 学生員 加藤 久人

大阪大学 正員 前田 幸雄

大阪大学 正員 松井 繁之

1. はじめに

最近の大型電子計算機およびマトリックス法の発展はあらゆる鋼構造物の弾塑性解析を可能にしつつある。しかし、コンクリート構造物に対してのそれは構成材料そのものの複合性および異種材料からなる複合構造性のゆえに、非常に複雑であり、立ち遅れていると言わざるをえない。小島は Kupfer, Hildorf, Rusch が実験によって得た、二軸応力下のコンクリート挙動特性を層状化 F.E.M. に用い、R.C. スラブの曲げ挙動解析に適するプログラムを作成し、適切な解を得た。本報告ではプログラムに若干の修正を加え解析例を増やした。

このプログラムではコンクリートにひびわれを生じた場合、その層の剛性をひびわれ直角方向に一気に失わせる手法、すなわち、ひびわれ現象を不連続現象としてとらえている。ところが、実際には、ひびわれ発生による剛性の低下はその様な不連続現象でなく、コンクリートと鉄筋の付着力の存在のため連続現象のはずである。確かに、コンクリートのひびわれ面での応力伝達ゼロであるが、ひびわれ間のコンクリートは依然として生きており、鉄筋とのボンドによって伝達された応力を保持し、ひびわれ後も若干の剛性を残しているものと考えられる。この現象は Lin らによって指摘された残留剛性効果、*tension stiffening effect* と呼ばれるものである。²⁾

本研究は、このプログラムを使用し、数種の床版を解析することによって、この残留剛性効果を F.E.M. 解析において無視することの是非を考察したものである。

2. 解析法

解析は一節点5自由度を持つ直方体要素を考え、さらにこの要素をいくつかの層に分割して考える。一層内において応力、ひずみは各々 $\{\sigma_x, \sigma_y, \tau_{xy}\}$ $\{\epsilon_x, \epsilon_y, \gamma_{xy}\}$ の平面三成分を考慮する。

コンクリートには Fig. 2 の如く Hand の手法による、3直線で理想化した σ - ϵ 関係を与え、その境界(屈折点)は層内の3応力を主応力 $\{\sigma_1, \sigma_2\}$ に変換し、これを Fig. 3 の判定曲線図にプロットして決定した。ひびわれ後のコンクリートでは残留剛性効果を導入せず、ひびわれ発生直後にその直角方向の応力をゼロとし、かつ同方向に剛性ゼロの層に変化すると考えた。

鉄筋は Fig. 1 に示す様に上側、下側各々一枚の鉄板層に換算した。換算には本来の鉄筋全断面積、有効高さをを用いた。また鋼の σ - ϵ 関係は2直線で理想化しその境界(屈折点)はひずみで判定した。

尚、荷重増分および付加荷重の収束計算には反復法を併用した、混合法を用いた。

3. 解析例

解析は次の3例、すなわち No.1, 昭和39年示方書に準拠した、厚さ 18cm, 2.5×3.8m の R.C. 床版, No.2, 現行示方書に準拠した、厚さ 12cm, 1.5×3m の R.C. 床版, No.3, 鋼筋断面にコンクリートを充填した、厚さ 12cm, 0.83×2m のボックス床版である。これらの概略図を Fig. 4, b, 8, に、また、その各々の荷重-たわみ関係の実験結果と解析結果を、

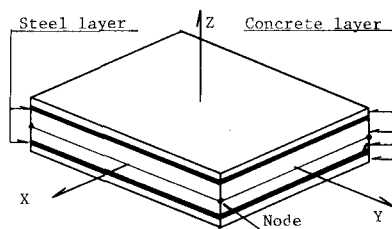


Fig. 1 Layered model of F.E.M.

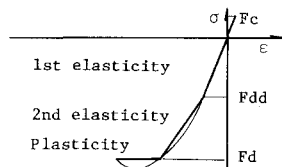


Fig. 2 Stress-strain relation of concrete

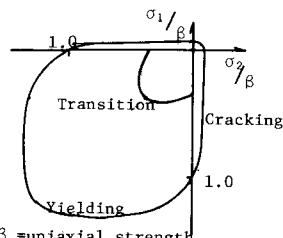


Fig. 3 Yield criteria in principal stress

Fig. 5, 7, 9, に示す。Fig. 7 に Kupfer 3 の実験によるコンクリートの曲線状の σ - ϵ 関係を忠実に導入した、小島による解析結果を併記した。

さて、これらの結果から総じて曲げ崩壊荷重は実験値とよい一致を示し、荷重の全過程において荷重-たわみ関係もほぼ良好な一致を見ていると言える。よって、本研究の層状化有限要素法によって RC 床版のひびわれ、弾塑性解析は十分な精度をもって追跡できることが判った。

以下順を追って考察を加える。

①コンクリートの σ - ϵ 関係を直線で理想近似しても鉄筋の降伏荷重付近までは十分追跡可能であることが判るのである。

②ここで、注目すべき No. 1~3 の構造上の相違点はその鉄筋量である。No. 1 は旧方書に準じるため配筋鉄筋量の主鉄筋量に対する比が 35%、一方、No. 2 においては新方書に準じるため、その比は 70% である。さらに、No. 3 では鉄筋が実質 0.6mm 厚の鋼板に代るため No. 1~2 に比べはるかに鉄筋量の多い床版となる。

Fig. 5 の No. 1 の結果において曲げ崩壊荷重付近では実験値と解析値はほぼ一致した。しかし、それ以前の荷重においては解析値のたわみが大きく現れた。この荷重域とは版全体の多くの要素で活発にひびが生じる部分である。この低荷重における解析値先行の傾向は Fig. 7 の No. 2 においても No. 1 に比し非常に小さいが生じた。一方 Fig. 9 の No. 3 ではこの様な傾向は全く見られず実験における曲げ崩壊荷重付近での鋼板とコンクリートとの滑りを除外すれば、解析値と実験値はほとんど全ての荷重で一致した。

よって、ひびわれ発生荷重付近での解析値が実験値を上まわる現象は鉄筋量が多くなるにつれて減少することが理解できるであろう。このことは鉄筋量が多い場合、断面の応力の多くが鉄筋に受けとられるため、例えコンクリートにひびが入り、断面剛性が低下してもその変化量が小さいためその差異が表面化しないことを示すものである。換言すれば、適量の鉄筋が配置されていれば、残留剛性効果を F.E.M. 解析において忠実に表現しなくても、挙動解析が可能であるということが結論づけられる。

ただし、残留剛性の影響が出現しない鉄筋量について適量限界値については、解析例も少なく結論づけられない。

本解析による、床版上下面のひびわれパターン、鉄筋のひずみ等についても実験値とよい一致を見たことより、本解析方法の妥当性を確認した。これらの結果については当日発表する。

1) 前田・松村・小島：鉄筋コンクリート床版のひびわれ・弾塑性解析の手法、関西支節年次学術講演概要、I-34、1976。

2) Lin, C.S. and A.C. Scordelis: Nonlinear Analysis of RC Shells of General Form, ASCE, ST3, 1975。

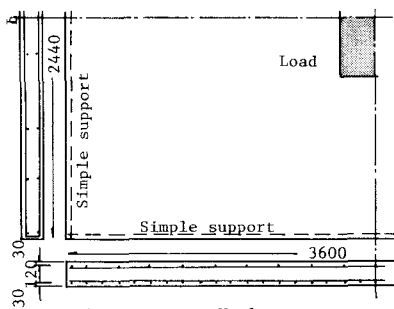


Fig. 4 RC Slab No. 1

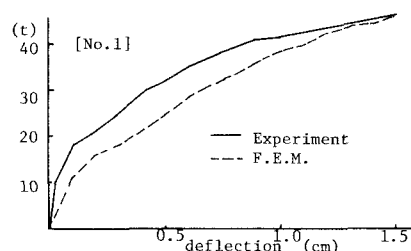


Fig. 5 Load versus max. deflection

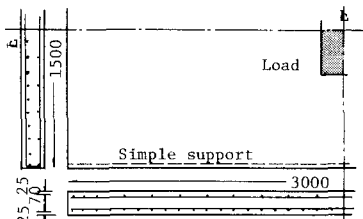


Fig. 6 RC slab No. 2

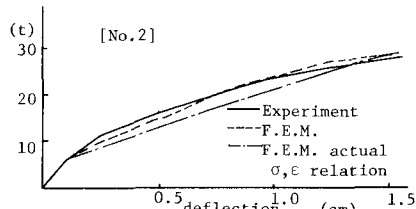


Fig. 7 Load versus max. deflection

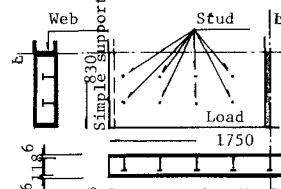


Fig. 8 Box type slab No. 3

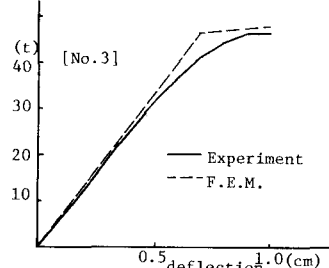


Fig. 9 Load versus max. deflection