

モーレイの要素を用いた局所荷重を受ける腹板パネルの弾塑性挙動解析

広島大学工学部 正員 藤井 堅
日本アイ・ビー・エム(株) 正員 ○有待 孝

1. まえがき

局所荷重を受ける腹板パネルの挙動を明らかにするため、弾塑性有限変位解析を行った。解析にはモーレイの要素¹⁾を用いた。

また、実際の送り出し工法における状態により近づけるため、ラウンディングシュ部²⁾の評価に着目し、等応力載荷と等変位載荷について解析した。さらに、異なった荷重幅による崩壊メカニズムの違いについても考察した。

2. モーレイの要素とプログラムへの対応

モーレイの要素は、低次変位関数を用いているので定式化が極めて容易である。変位関数 w は、相対たわみ w' (式 1)と剛体たわみ w^R (式 2)の和として表わされる(式 3)。

$$w' = N_{1n} \partial w'_1 / \partial n + N_{2n} \partial w'_2 / \partial n + N_{3n} \partial w'_3 / \partial n, \quad \dots \dots \dots (\text{式 1})$$

$$w^R = w_1 L_1 + w_2 L_2 + w_3 L_3, \quad \dots \dots \dots (\text{式 2})$$

$$w = w' + w^R, \quad \dots \dots \dots (\text{式 3})$$

また、節点変位成分は3頂点でたわみ w 、3中点で法線傾斜 $\partial w / \partial n$ を選んでいる。本来ならば、この合計6成分について定式化を行えば良いが、解析プログラムとの対応を考慮して、(式 4)のような節点に関する9つの変位成分に変換を行った。

$$w_1, \partial w_1 / \partial x, \partial w_1 / \partial y, w_2, \partial w_2 / \partial x, \partial w_2 / \partial y, w_3, \partial w_3 / \partial x, \partial w_3 / \partial y. \quad (\text{式 4})$$

ここに 6×9 変換マトリックスが必要となるが、この導出に際しては $\partial w / \partial n$ が s の1次式のときに成立すべき条件

$$\partial w_1 / \partial n = (\partial w_1 / \partial n + \partial w_2 / \partial n) / 2 \quad \dots \dots \dots (\text{式 5})$$

と、 x 成分と y 成分への分解を表わす式

$$\partial w_1 / \partial n = \partial w_1 / \partial x \cos \gamma_{12} + \partial w_1 / \partial y \sin \gamma_{12} \quad \dots \dots \dots (\text{式 6})$$

から変換マトリックスが導出できる。

3. 解析モデル

解析に用いたモデルは、高さ $h=100\text{cm}$ 、幅 $d=100\text{cm}$ 、腹板厚 $t_w=2.5\text{mm}$ のパネルである。鋼材の降伏応力 $\sigma_y=3041\text{kg/cm}^2$ 、ポアソン比 $\nu=0.3$ とした。境界条件は、等応力載荷と等変位載荷(図 1 参照)とし、荷重幅 $C=10\text{cm}$ 、 50cm の2ケース、計4ケースである(表 1 参照)。解析にあたってはパネルの対称性から右半分のみを解析した。要素分割は応力集中と塑性域の進展等を考慮して、ラウンディングシュ部付近を十分小さくした。境界条件は両モデルにおいて、フランジ接合辺では面外たわみに対して固定、面内方向変位は自由とし、端断面では面外たわみについては単純支持、面内方向変位は、モデルによりそれぞれ図1に示すような拘束を与えた。初期たわみは桁に対してやせ馬型の初期たわみを与え、 $w=w_0 \times \cos(\pi x/d) \times \sin(\pi y/h)$ とした。ここで、 w_0 は中央点の初期たわみで、道路橋示方書を参考にして $w_0=h/250=4\text{mm}$ とした。

また、数値計算においては変位増分制御を用いた。

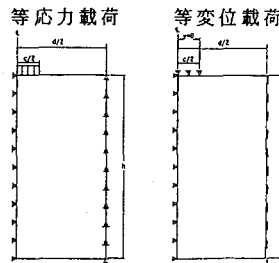


図1 解析モデル

表1 モデル名と諸条件

モデル名	載荷方法	荷重幅
ケース1	等応力載荷	10cm
ケース2	等応力載荷	50cm
ケース3	等変位載荷	10cm
ケース4	等変位載荷	50cm

4. 解析結果

図2は、載荷点における荷重-鉛直方向変位曲線である。荷重幅 $C=10\text{cm}$ の場合と $C=50\text{cm}$ の場合で、載荷点における鉛直方向変位がそれぞれ、約 0.06cm 、 0.075cm となるまで解析した。これは、増分つり合い式による解析過程での収束が非常に悪くなったことと、塑性域の進展などから、この時点での荷重がほぼ最高荷重であるとみなすことができると判断したためである。この図から明らかなように、荷重幅を大きくすると等応力載荷と等変位載荷それぞれの場合で耐荷力に大きな差が現われている。

図3にケース3の最高荷重時の面外たわみを示す。図に示すように、すべてのケースに共通して見られた特徴は、腹板パネルが支承部直下で局部的にくぼみ、パネル中央付近で大きいたわむことである。

図4に最高荷重時の塑性域を示す。ここでも小さい荷重幅では、等応力載荷と等変位載荷にあまり差が現われていない。しかし、荷重幅を大きくすると、等応力載荷では等変位載荷に比べ応力集中がみられず、塑性域もあまり進展していない。また、荷重幅の違いによって降伏する位置が異なることを図は示している。これは、荷重幅が大きいケース2とケース4では、荷重幅が小さいケース1とケース3に比べ曲げの影響が大きく、ラウンディングシュエ部の外側に塑性域が進展するものと考えられる。ケース2を除く他の3ケースでは、フランジ接合辺に沿って第1塑性関節線が発達し、それを取囲む形で第2塑性関節線が発達しており、既往の研究により得られた結果^{2,3)}と類似している。

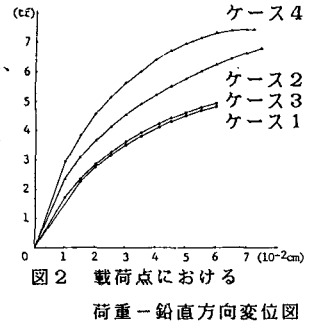


図3 変位の例

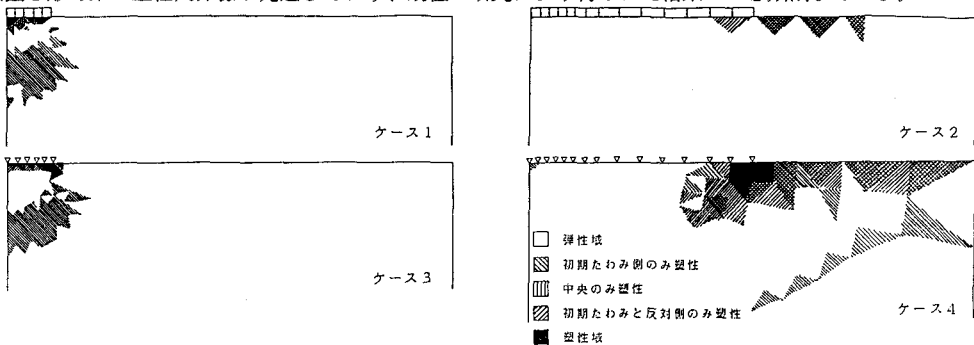
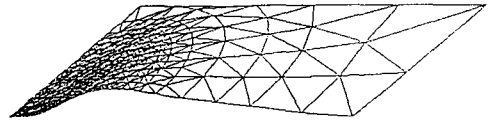


図4 塑性域

5. あとがき

今回、局所荷重を受ける腹板パネルについて支承部分の評価法、荷重幅の違いによる4つのケースを想定して解析を行なった。荷重幅の小さいケース1とケース3では、崩壊メカニズムにほとんど差は見られなかったが、荷重幅の大きいケース2とケース4では、最高荷重に大きな差が現われた。

また、どのケースにおいても、その崩壊メカニズムは既往の研究により得られた結果に従っており、低次変位関数を用いた要素でも実用上十分な精度が得られているといえる。

参考文献

- 1) L.S.D. MORLEY ; Constant-Moment Plate-Bending Element, Journal of Strain Analysis, Vol.6, 1971
- 2) T.M. Roberts and K.C. Rockey ; A Mechanism Solution for Predicting the Collaps Loads of Slender Plate Girders When Subjected to in plane Patch Loading, Proc. Inst. Civ. Engrs, part2, vol.61, 1975
- 3) Shigeru Shimizu, Shigenori Horii & Shunya Yoshida ; The Collaps Mechanisms of Patch Loaded Web Plates, J. Construct. Steel Research, Vol.14, 1989, P321~P337