

名古屋大学 学生員 ○草間 晴幸

名古屋大学 正 員 福本 秀士

1. はじめに 板の大変形弾塑性解析は、解析手法の発達および大型計算機の出現に伴い、数多くの研究がなされてきた。しかし、それらの大部分は荷重が単調載荷の場合であり、繰り返し荷重が作用した場合についての数値計算的検討は、ほとんどなされていない。この認識にもとづいて、本論文は繰り返し荷重が作用する板の挙動について研究するものである。繰り返し荷重を受ける構造物の荷重履歴特性については、従来、単一部材、または、簡単なラーメンを対象として、耐震解析の見地より研究が数多く行われているが、これらを構成する板要素の面外、または面内荷重に対する荷重履歴特性についての、解析的研究はほとんど行われていない。本論文では、解析の対象を面外荷重を受ける周辺単純支持板とし、繰り返し荷重に対する履歴変形挙動を求めるものである。

2. 解析手法 本論の数値計算は、主として単調荷重の場合を解析の対象とした板の大変形弾塑性解析〔文献1〕の解析手法を参考にし、さらに解の収束性と良好にする手法を導入した、解析方法によって行った。この手法の特長は、負荷-除荷過程における塑性についての物理量が、たわみへの補正項となつてゐることである。板の履歴変形挙動を示す支配方程式は、幾何学的にも材料的にも非線形となり、それらの非線形関数を含んだ、たわみと膜力に関する連立微分方程式となる。本解析手法では、板を微小領域に分割することにより、閉じた解が得られ、次式によつて示される。

$$w = \frac{16}{\pi^2} \left[\frac{1}{D} \left(q F_0 + \sum_j \pi_j F_j \right) - \frac{4}{b} \sum_i \sum_k (F_i)_k F_k \right] \quad (1) \quad \phi = \frac{16 E}{\pi^2} \left[\sum_j \Lambda_j F_j - \sum_i \sum_k (F_i)_k F_k \right] \quad (2)$$

ここで、 w は板の中央面のたわみ、 ϕ は A_{avg} の応力関数、 E 、 D 、 t はそれぞれヤング係数、板剛度、板厚である。添字 i 、 j は分割領域を表わし、 π_j 、 Λ_j は分割領域の幾何学的非線形関数の代表値、 F_i 、 F_k は分割領域の材料的非線形関数の代表値である。 L は非線形関数の時間積分を和分に置換した場合の荷重増分段階を示す。 F_0 、 F_i 、 F_j は影響係数であり、各分割領域の中心座標を定めることにより、あらかじめ計算することができる。なお、領域分割数は板全体で (9×9) とし、境界条件は隅点拘束とした。

3. 履歴変形挙動 用いた繰り返し荷重のタイプは、次の3通りである。①単調載荷曲線が包絡線になるような繰り返し荷重、②変位の上下界値を一定値とする繰り返し荷重、③荷重の上下界値を一定値とする繰り返し荷重。図-1はタイプ①の場合であり、 $b=100\text{cm}$ 、 $b/t=80, 60, 40$ の3通りの幅厚比の板に対する荷重変位曲線である。曲線0-Ⅰは弾性たわみ曲線であり、面外荷重の作用する板の荷重変位関係は、荷重パラメーターを q/q_{elastic} 、変位パラメーターを w/t とすると、 b/t の値に関係なく1本の曲線で表わすことができる。0-Ⅱ、0-Ⅲ、0-Ⅳはそれぞれ $b/t=80, 60, 40$ に対する単調載荷の弾塑性曲線である。 $\circ, \square, \triangle$ 印はそれぞれ $b/t=40, 60, 80$ の場合の弾性限界である。 $b/t=80$ の場合、繰り返し荷重の載荷方法は、まず①まで増加し、この点から①→④→⑦→⑩と除荷を行う。次に⑩→⑦→④→①→②と再び負荷、次に②→⑤→⑧→⑪と除荷を繰り返す。このようにして、3本の除荷-負荷曲線を描いた。 $b/t=60, 40$ に対する除荷開始点は、0-Ⅱ曲線から求めた除荷曲線と、それぞれ0-Ⅲ曲線、0-Ⅳ曲線との交点とした。計算により得られた興味ある点は、除荷曲線と再負荷曲線が同一経路となること。また、繰り返し負荷曲線は単調載荷曲線に達するまで($b/t=80$ では点①、②、③)、完全に弾性挙動を示すこと。さらに、除荷曲線は $b/t=80, 60, 40$ に対して図のような座標軸上で表し前述したように除荷曲線を求めると、弾性載荷曲線が一本で代表されたのと同様に、除荷曲線もほぼ一本の曲線で代表できるように思われる。

図-2は除荷開始時における、板の塑性領域の広がり具合を示しており、これによれば $b/t = 60, 40$ とでは塑性領域の広がり具合がほぼ類似しており、除荷曲線の経路および w/t なる残留変形の値がほぼ類似している理由であると思われる。図-3はタイプ②の荷重履歴による板の荷重変形特性である。 $b/t = 40$ であり、変位の上下界値は $w/t = \pm 1$ とした。この図から、いわゆる STRENGTH DEGRADATION の傾向が見られる。図-4はタイプ③の荷重履歴による荷重変形特性である。図-3との比較のため $b/t = 40$ 、荷重の上下界値は $8\alpha^4/Et^4 = \pm 21.45$ とした。この図より、いわゆる STIFFNESS DEGRADATION の性状が認められる。

4. まとめ 以上、最も簡単な板要素について、履歴変形挙動を調べた。荷重パラメーター、変位パラメーターを、従来の弾性大変形曲線に対するものを用い、履歴挙動を統一的に理解しやすくした。また、梁-柱等に用いられたる通りの繰返し荷重タイプについて解析した。今後、同様の考察を面内繰返し荷重に対する板の後座屈挙動へも、発展させる予定である。

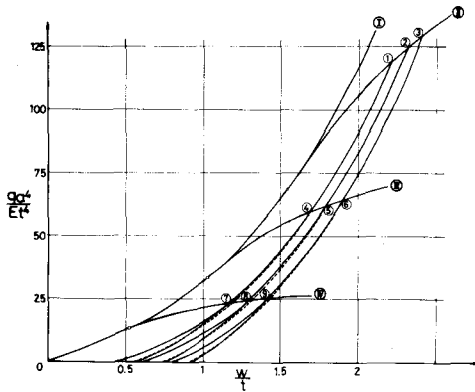


図-1

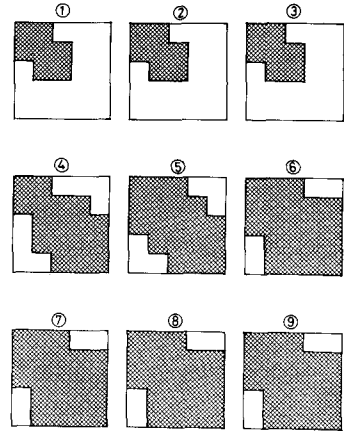


図-2

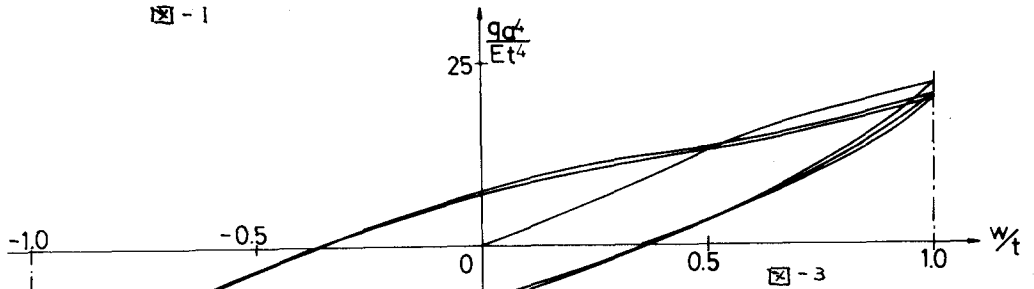


図-3

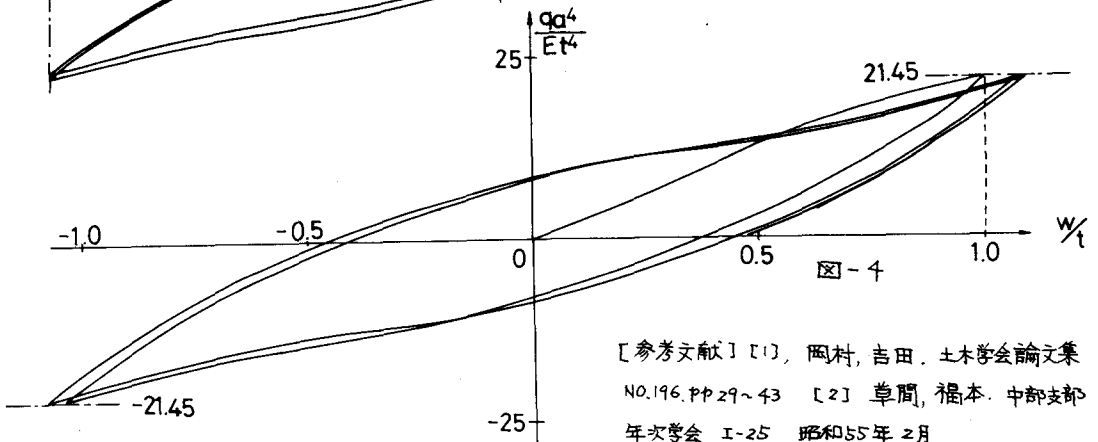


図-4

【参考文献】〔1〕、岡村、吉田、土木学会論文集
NO.196, pp.29~43 〔2〕草間、福本、中部支部
年次学会 I-25 昭和55年2月