

I-37 弾塑性解析による木造アーチの破壊形式に関する一考察

(株) 昭和土木設計 正員 ○山本 亮
岩手大学大学院工学研究科 佐々木 寛幸
岩手大学工学部 正員 岩崎 正二

1. まえがき

近年、RC 橋、PC 橋等の一般橋梁の設計法が、これまでの許容応力度法から限界状態設計法に移行しつつある中で、土木学会木橋技術小委員会でも、木橋の性能照査型設計指針の作成を目指した取り組みが行われている。我国における木質構造の限界状態設計法に関する検討は、日本建築学会を中心に行われてきたが、日本建築学会ではそれらの成果を「木質構造限界状態設計指針（案）・同解説」として出版している。著者らは昨年の研究報告¹⁾で、塑性域の広がりやを考慮した木材はり要素の弾塑性剛性マトリックスを、軸力項を考慮した公式に拡張した。その際、引張破壊および圧縮破壊条件としては、圧縮縁での破壊を圧縮ひずみによって制限することで、圧縮破壊から引張破壊までの判定が連続的に可能となる軸力と曲げモーメントに関する破壊相関曲線²⁾を導入したが、せん断力による破壊については考慮しなかった。しかし、木材のせん断力は、他の強度に比べて極めて小さいので、せん断力による破壊を考慮することは重要であると思われる。そこで本研究では、昨年の研究報告¹⁾を木材はり要素のせん断破壊が考慮出来るように拡張した。本研究で提案する弾塑性解析手法を用いることで、木平面骨組構造物の破壊形式（引張破壊、圧縮破壊、せん断破壊）についての詳細な検討が可能になった。本報告では、木造アーチを例として、荷重条件、境界条件等を変化させたパラメトリック解析を行い、はりせいスパン比 h/l による破壊形式の変化について明らかにした。

2. 破壊形式

2.1 せん断破壊

図-1(a) は断面全体が弾性域の場合のせん断応力分布を示し、図-1(b) は断面に弾性域と塑性域が存在する場合のせん断応力分布を示している。本研究のせん断力による破壊条件としては、図-1(a), (b) に示すように部材要素内に生じる最大せん断応力 τ_{max} が、せん断強度 τ_c に到達した場合破壊するものとする。

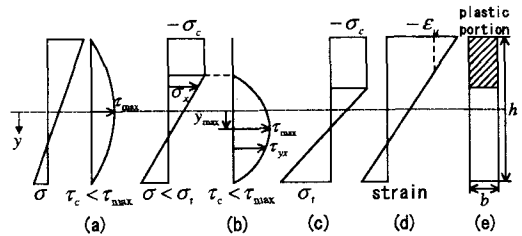


図-1 直応力とせん断応力分布およびひずみ分布

2.2 引張破壊および圧縮破壊

図-1(c) は引張破壊時の直応力分布を表し、引張縁の直応力が引張強度 σ_t に達した場合破壊となる。また、図-1(d) は圧縮破壊時のひずみ分布を表し、圧縮縁のひずみが破壊ひずみ ϵ_u に達した場合破壊となる。

3. 木造アーチモデル

木橋等に使用される典型的な木造構造物として、図-2に示す2次放物線アーチモデルを取り上げ解析した。断面幅は50mm、断面高さは h mm とし、スパンは1000mm、ライズ比は0.14である。材料特性値は、弾性係数 $E = 9560\text{N/mm}^2$ 、せん断弾性係数 $G = 1130\text{N/mm}^2$ 、圧縮強度 $\sigma_c = 47.5\text{N/mm}^2$ 、引張強度 $\sigma_t = 81.8\text{N/mm}^2$ 、せん断強度 $\tau_c = 8.5\text{N/mm}^2$ である。本研究では、木造アーチの断面高さ h を変化させることで、はりせいスパン比 h/l による破壊形式の変化を明らかにする。荷重条件は中央集中荷重と等分布荷重とし、各荷重条件のもとで境界条件が両端ヒンジ支持と両端固定支持の4ケースについて弾塑性解析を行った。解析モデルの要素数は10、節点数は11とし、図-2中に節点番号を示す。なお、等分布荷重は、節点荷重に置き換えて計算している。

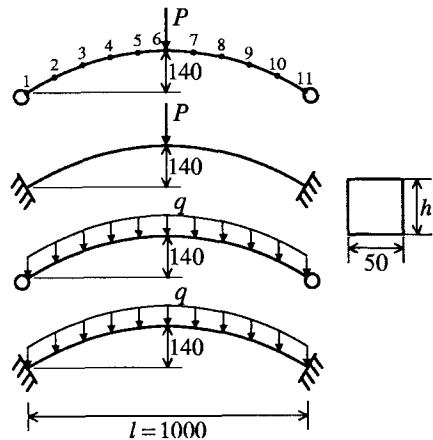


図-2 2次放物線アーチモデル（単位：mm）

4. 数値計算結果と考察

図-3, 4は、横軸をはりせいスパン比 h/l とし、縦軸をアーチ中央部（節点番号6）の下縁の直応力とした破壊形式曲線である。図中の弾性域せん断破壊と塑性域せん断破壊とは、それぞれ図-1(a)と(b)に対応するせん断応力分布で破壊することを示している。図中に縦線を引くことで、破壊形式が h/l の変化とともに異なる破壊形式に推移していくことを示す。また、弾性域せん断破壊ⅠとⅡは、それぞれアーチに塑性域の進展が存在する場合と存在しない場合の破壊を表している。

図-3は、両端ヒンジ支持と両端固定支持の場合のアーチ中央部に集中荷重を載荷させた場合の破壊形式曲線を示している。どちらの境界条件の場合も h/l が大きくなるに従い、破壊形式は引張破壊、圧縮破壊、塑性域せん断破壊、弾性域せん断破壊Ⅱの順に移行している。両ケースともに、破壊形式曲線の形状はほぼ同じであるが、塑性域せん断破壊と弾性域せん断破壊Ⅱの境界 h/l の値は、両端固定支持の場合の方が両端ヒンジ支持に比べて約0.06小さくなることが分かった。

図-4は、等分布荷重を載荷させた場合の破壊形式曲線を示している。両端ヒンジ支持の場合、 h/l が大きくなると破壊形式は圧縮破壊、塑性域せん断破壊、弾性域せん断破壊Ⅰ、弾性域せん断破壊Ⅱの順に移行するが、両端固定支持の場合は、弾性域せん断破壊Ⅰが存在しなかった。また、両ケースでは破壊形式曲線の形状も異なり、両端固定支持の方が、圧縮破壊と塑性域せん断破壊の境界 h/l の値は、両端ヒンジ支持に比べて約0.155小さくなることが分かった。

図-5は、 $h/l = 0.1$ の場合における4ケースの破壊時の塑性域進展図と破壊節点（点線円）を示している。中央集中荷重の場合、各境界条件において塑性域進展図と破壊節点は同じ傾向を示し、 h/l が大きくなり破壊形式が変化した場合も塑性域進展図と破壊節点に大きな変化はなかった。しかし、等分布荷重の場合、境界条件が変わると塑性域進展図と破壊節点に違いが見られ、両端ヒンジ支持の場合には、 h/l が約0.236より大きくなると破壊節点が支点付近へ移動することが分かった。

5. まとめ

本報告では、木造アーチの荷重条件、境界条件等を変化させたパラメトリック解析を行い、はりせいスパン比 h/l による破壊形式の変化について明らかにした。今後は、ライズ比による影響についても検討したいと考えている。この種の研究により、木平面骨組構造物の破壊状態を明らかにすることは、今後の木橋設計指針の作成に貴重な資料を提供するものと考えられる。

参考文献

- 1) 岩崎正二, 戸出秀明, 宮本裕, 佐々木寛幸, 五郎丸英博: 塑性域の広がり考慮した木骨組構造物の弾塑性解析, 土木学会東北支部技術研究発表会講演概要, I-44, pp.88-89, 2003.
- 2) 亀井義典, 長谷部薫, 薄木征三: 曲げと軸力を受けるひずみ軟化部分の相互作用曲線, 土木学会東北支部技術研究発表会講演概要, I-21, pp.40-41, 1988.

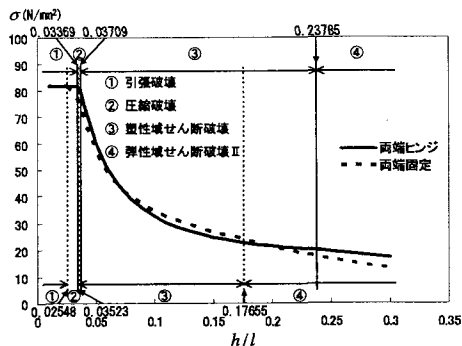


図-3 破壊形式曲線（中央集中荷重）

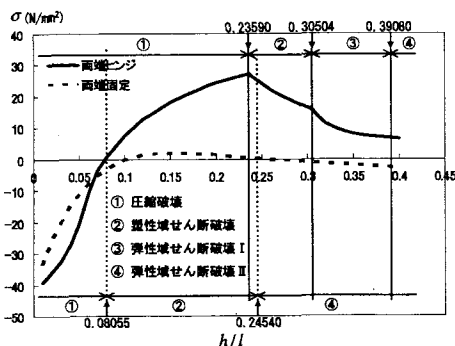


図-4 破壊形式曲線（等分布荷重）

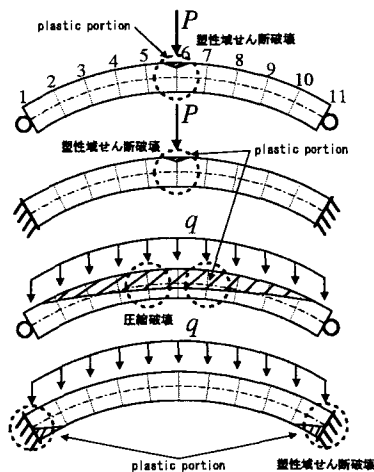


図-5 塑性域の進展図と破壊節点 ($h/l = 0.1$)