

平面ラチスアーチの静的および動的過大鉛直荷重下での崩壊挙動に関する研究

建築構造学分野 A04TD026 福島 理沙

1. 序

ラチス構造は、地域の避難所や災害救助の拠点として用いられる体育館や講堂等の公共施設に多く使用されている。阪神・淡路大震災では、ラチス構造を屋根に有する構造物の受けた被害は比較的少なかったことが報告されている¹⁾が、近年、東海地震等の巨大地震の発生の緊迫性が指摘されており、空間構造の耐震性能は重要視されている。ラチス構造は自由度が大きく弾塑性時刻歴解析のような動的解析は計算負荷のかかる解析であるため、静的解析結果と動的解析結果の関連について検討をすることが重要であると言え、特に終局状態での耐荷性能は重要な項目であると考えられる。

そこで本論では、ラチス構造でも特に平面ラチスアーチを対象とし、静的鉛直荷重を受ける場合の静的及び動的過大鉛直荷重下での崩壊挙動を数値解析により明らかにし、比較・考察することを目的としている。

2. 解析モデル

本論で取り扱う解析モデルを Fig.1 に示す。また、境界条件はピン支持 (P) 及びピン・ローラー支持 (PR) の 2 種類とする。モデルに使用する部材は、短期許容応力度設計によって決定している。使用部材を Table 1 に示す。なお、部材間の接合部はすべて剛接合とする。

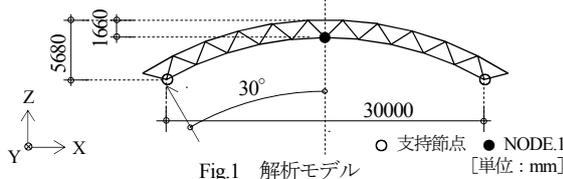


Table 1 部材断面緒元

モデル	断面寸法 (mm)	断面積 (mm ²)	断面二次モーメント (mm ⁴)	細長比
P1	φ89.1×3.2	8.64×10 ²	7.98×10 ⁵	77~109
	φ60.5×3.2	5.76×10 ²	2.37×10 ⁵	116
	φ76.3×3.2	7.35×10 ²	4.92×10 ⁵	121~128
P2	φ89.1×3.2	8.64×10 ²	7.98×10 ⁵	103
	φ89.1×4.5	1.20×10 ³	1.07×10 ⁶	105
PR1	φ114.3×4.5	1.55×10 ³	2.34×10 ⁶	60~85
	φ60.5×3.2	5.76×10 ²	2.37×10 ⁵	116
	φ76.3×3.2	7.35×10 ²	4.92×10 ⁵	91~128
	φ89.1×3.2	8.64×10 ²	7.98×10 ⁵	103~109
	φ114.3×3.2	1.12×10 ³	1.72×10 ⁶	84
PR2	φ114.3×4.5	1.55×10 ³	2.34×10 ⁶	85
	ヤング係数 E(N/mm ²)		2.05×10 ⁸	
降伏応力度 σ _y (N/mm ²)		3.00×10 ²		

3. 静的弾塑性座屈性状

本解析モデルを対象として静的弾塑性解析を行い、モデルの上面節点に負担面積に応じて等分布荷重及び偏分布荷重として載荷した場合の弾塑性座屈挙動を明らかにした。また、本論で用いる部材モデルは接合部を表す剛域、部材を表す梁要素及び弾塑性ばねで構成される。なお、降伏を模擬する弾塑性ばねは、降伏前は弾性体、降伏後は下式の降伏曲面を流動するものとする。

$$F = \left(\frac{N}{N_p}\right)^2 + \sqrt{\left(\frac{M_y}{M_p}\right)^2 + \left(\frac{M_z}{M_p}\right)^2} - 1 = 0$$

Fig.2 に等分布載荷した時の荷重変形関係を示す。なお、横軸は鉛直変位が最大となるモデル下面中央節点 NODE.1 (Fig.1 参照) の鉛直変位であり、P_{LE} は弾性限界耐力、P_{DL} はモデルの固定荷重である。また、Fig.3 に部材降伏過程を示す。

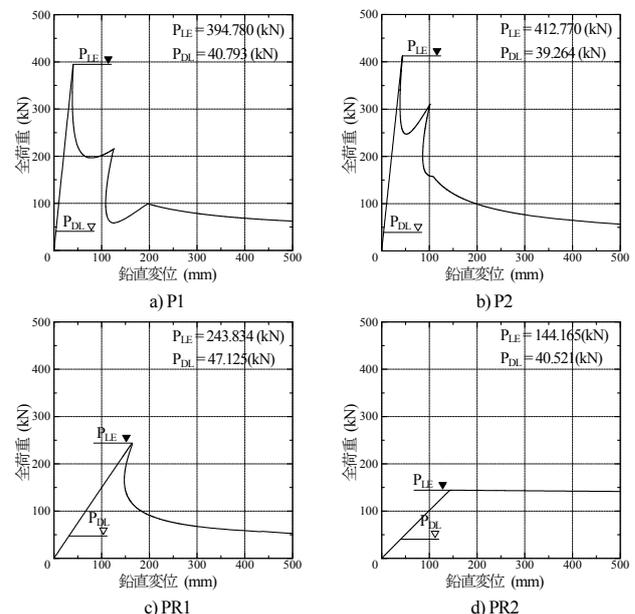


Fig.2 荷重変形関係

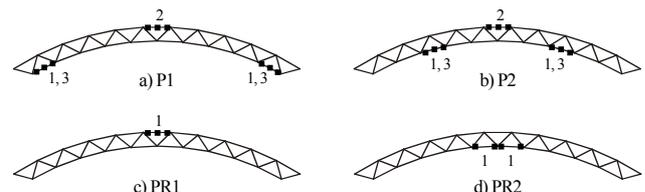


Fig.3 部材降伏過程

モデル下面の中央部材が引張降伏するPR2を除くモデルでは、弾性耐力後に耐力が急激に低下する脆性的な性質を示した。PR2モデルは引張で初期降伏するため弾性限界後の耐力の低下が少ない。また、ピン支持モデルは、初期降伏した後耐力が低下するが、再び上昇し次の部材が降伏し、3つの部材に塑性ヒンジが形成されると崩壊に至る。一方ピン・ローラー支持モデルは1つの部材に塑性ヒンジが形成されると崩壊に至る。

4. 動的弾塑性応答性状

上下地震動に対する応答性状を分析するため、幾何学的非線形性を考慮した弾塑性時刻歴応答解析を行い、初期降伏加速度及び崩壊加速度を算出し、動的崩壊挙動を明らかにした。

本論の弾塑性時刻歴応答解析は以下の手順で行う。まず、入力地震波の最大加速度 A_{max} を 100gal に設定し、弾塑性時刻歴応答解析を行い、 A_{max} を大きくしながら応答解析を繰り返し、最初に骨組みの一部に塑性ヒンジが形成される時の加速度 A_{max} を初期降伏加速度 A_{LE} とする。さらに A_{max} を大きくし、モデル下面の中央節点 NODE.1 が急激に下方に変形し、最大鉛直変位が 1000mm を越えた時を崩壊と判断し、この直前の加速度 A_{max} を崩壊加速度 A_f とする。

使用する地震波は、人工地震波である日本建築センター模擬地震波 BCJ-L2 及び兵庫県南部地震波の海洋気象台データの UD 成分(以後 KOBE と記述)とし、BCJ-L2 は 0 秒から 20 秒の 20 秒間、KOBE は 29 秒から 44 秒までの 15 秒間の地震波を Z 方向に作用させる。

弾塑性時刻歴応答解析より得られた A_{LE} 及び A_f を Table 2 に示す。また、最大入力加速度 A_{max} と最大応答鉛直変位 δ_{max} の関係を Fig.4 に示す。横軸は NODE.1 の最大鉛直変位の絶対値である。また、静的弾塑性解析結果による P_{LE} 時の NODE.1 の鉛直変位 δ_{LE} を破線で合わせて示している。また、 A_{LE} 時の変形図(BCJ-L2 入力時)を Fig.5 に A_f 時の変形図(BCJ-L2 入力時)を Fig.6 に示す。

Table 2 鉛直方向最大入力加速度

モデル	初期降伏加速度 A_{LE} (gal)		崩壊加速度 A_f (gal)		A_f/A_{LE}	
	BCJ-L2	KOBE	BCJ-L2	KOBE	BCJ-L2	KOBE
P1	3960	3300	5690	4370	1.44	1.32
P2	3990	3300	5030	3620	1.26	1.10
PR1	1060	1140	1170	1590	1.10	1.39
PR2	520	1090	1420	4050	2.73	3.72

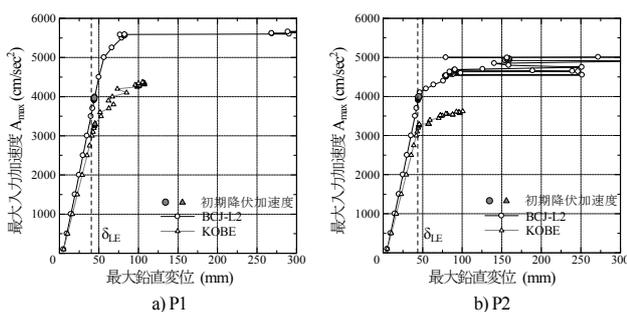


Fig.4 最大入力加速度と最大鉛直変位の関係

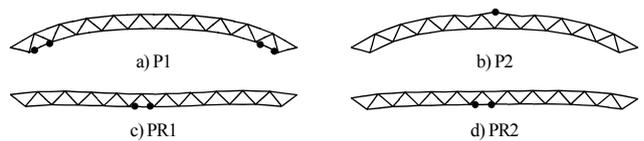


Fig.5 初期降伏加速度 A_{LE} 入力時の変形図(BCJ-L2) (変形倍率 25 倍)

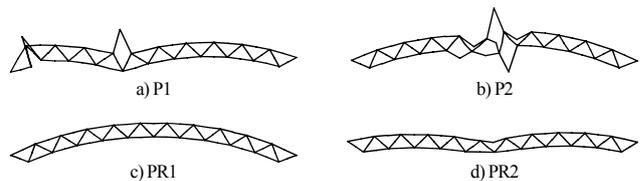


Fig.6 崩壊加速度 A_f 入力時の変形図(BCJ-L2) (変形倍率 5 倍)

Table 2 より崩壊加速度の初期降伏加速度に対する比率 A_f/A_{LE} は PR2 を除くモデルは概ね 1.0~1.5 であるのに対して PR2 モデルは約 3.0 倍の値になっている。また、Fig.4 を見ても PR2 モデル以外は初期降伏加速度を越えると急激に変位が増加することが分かる。これは上記の静的弾塑性座屈性状で述べたように PR2 以外のモデルの脆性的な性質と関係があると思われる。

次に、変形図について比較すると、Fig.5 から分かるように初期降伏部材は PR1 を除いて、静的弾塑性座屈性状での初期降伏部材(Fig.3 参照)と等しくなったが、PR1 モデルは静的鉛直荷重下ではモデル上面の中央部材が圧縮で降伏しているのに対して、動的鉛直荷重下ではモデル下面の部材が引張で降伏した。また、Fig.6 より P モデルの崩壊加速度入力時の崩壊挙動は静的弾塑性解析で得られた降伏部材とは大きく異なることが分かる。これは、Fig.4 から分かるように BCJ-L2 入力時の P モデルは最大変位が複雑であり、崩壊加速度に至るまで、様々な崩壊機構を呈しながら、振動するからであると考えられる。

5. 結論

静的弾塑性解析結果で得られたモデルの脆性的な性質は、弾塑性時刻歴解析においても、地震波の違いに関係なく同様に見られる。また、静的弾塑性座屈性状は境界条件や、部材設計条件により異なるが、動的崩壊挙動に関しては、境界条件や、部材設計条件だけではなく、入力地震波によっても大きく異なるため、様々な観点から考察する必要がある。

[参考文献]

- 1) 阪神・淡路大震災調査報告編集委員会 「阪神・淡路大震災調査報告建築編-3 シェル・空間構造」 1997.10

