

秋田大学 正員 ○長谷部 薫
秋田大学 正員 薄 木 征 三

1. はじめに

近年、曲線格子桁橋の施工例が数多く見られるようになってきた。このような曲線格子桁橋の力学的挙動の解析はこれまで数多く発表され、弾性解析のみならず弾塑性解析に関する研究も報告されている。しかしながら、幾何学的非線形性を考慮した曲線格子桁の弾塑性解析に関する論文はあまり見られない。本報告は、幾何学的非線形性および部材の材料学的非線形性の影響を考慮した曲線格子桁の弾塑性解析を行い、得られた数値計算結果の妥当性を室内模型実験結果との比較により検討する。解析方法は、仮想仕事の原理に増分理論を適用して式の展開を行うが、増分理論において断面力-変位関係を線形化し、初期たわみを無視した線形化有限変位理論となっている。また、非弾性の影響を断面の剛性の低下として考慮し、部材の降伏条件には Von-Mises の降伏条件式を用いた。

2. 解析方法

薄肉曲線部材の二次の変位場は、棒理論の仮定より次のようになる¹⁾。

$$u = u_0 - y\varphi - x\frac{\varphi^2}{2}, \quad v = v_0 + x\varphi - y\frac{\varphi^2}{2}$$

$$w = w_0 - y(\phi_x - \phi_y\varphi) - x(\phi_y + \phi_x\varphi) - \omega\psi_z \quad \text{----- (1)}$$

ここで u_0, v_0, w_0 は座標原点の x, y, z 方向への変位、 φ は断面のねじれ角、 ϕ_x, ϕ_y は微小変位理論での接線回転角、 ψ_z は線形化したねじれ率である。ひずみ-変位関係式より、直ひずみ ε_0 とせん断ひずみ γ_s は、

$$\varepsilon_0 = \varepsilon_z + \frac{1}{2} \{ \phi_x^2 + \phi_y^2 + (x^2 + y^2) \varphi'^2 \} - x(\phi_y' + \phi_x'\varphi + \frac{\varphi}{R})$$

$$- y(\phi_x' - \phi_y'\varphi - \frac{\varphi^2}{2R}) - \omega\psi_z' \quad \text{----- (2)}$$

$$\gamma_s = \theta\psi_z$$

式(1)、(2)を仮想仕事の原理に代入し、増分理論を適用して2軸対称 I 形断面の場合の式の展開を行う。部材要素の重心軸上の点の変位を軸方向の座標の三次式で近似し、剛性方程式を導く。曲線格子桁の解析には変換マトリックス²⁾を用い、部材座標系表示から全体座標系表示の剛性マトリックスに座標変換し解析を行う。剛性方程式において、荷重増分を与えて節点変位増分を求めるためニュートン・ラフソン法で繰り返し計算を行った。非弾性域の解析は、非弾性の影響を断面の剛性の低下として考慮する。材料は完全弾塑性体とし、ひずみ硬化は無視する。また、分割して得られる部材要素は、それぞれの内部で部材軸方向に

断面の降伏部分が一定であるとする。

降伏判定の方法は、断面を細分割し、各微小分割要素の図心の応力より Von-Mises の降伏条件式を用いて行った。

3. 数値計算例

数値計算に用いられた曲線格子桁は

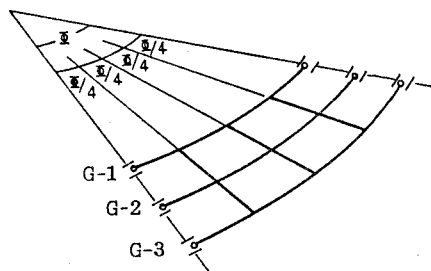


図-1

表-1 形状寸法および断面定数

	Φ (rad.)	R (m)	F (cm ²)	J_x (cm ⁴)	J_y (cm ⁴)	J_r (cm ⁴)	J_ω (cm ⁶)
主桁 G-1	0.4	6.1	16.14	28.51	393.6	2.833	854.9
主桁 G-2	0.4	6.5	16.14	28.51	393.6	2.833	854.9
主桁 G-3	0.4	6.9	16.14	28.51	393.6	2.833	854.9
横 桁			11.30	14.44	178.0	1.502	270.0

室内実験用模型桁³⁾で、図-1に示すように2軸対称I形断面をもつ3-曲線主桁と3-直線横桁から構成されている。この曲線格子桁の形状寸法と断面定数は表-1に示されており、横桁は格子剛度が約16の同一断面を用いている。降伏応力 $\sigma_y = 3200 \text{ kg/cm}^2$ 、ヤング率 $E = 2.1 \times 10^6 \text{ kg/cm}^2$ 、およびせん断弾性係数 $G = 7.9 \times 10^5 \text{ kg/cm}^2$ とし、残留応力分布は圧延H形断面の理想化された分布形を用いた。剛性法による要素分割は、各曲線主桁に対して要素数18、各直線横桁に対して4要素とした。また、断面分割はフランジ部をそれぞれ30分割、ウェブ部を20分割しており、残留応力は断面の板厚方向には一定である。

図-2は、鉛直集中荷重Pが中桁中央点に作用した場合の主桁中央各節点の鉛直たわみと荷重との関係を示したものである。実線は数値計算結果で黒丸印は耐力実験値³⁾である。崩壊荷重の実測値は約8.5 tである。

図-3は、集中荷重Pが内桁中央点に作用した場合の主桁中央各節点の鉛直たわみと荷重との関係を示したものである。

図-4は、集中荷重 $P = 5.6 \text{ t}$ が内桁中央点に作用した場合の部材の降伏域の広がり方を示している。外桁で降伏した箇所は見られず内桁G-1と中桁G-2に対する数値計算結果を図示している。

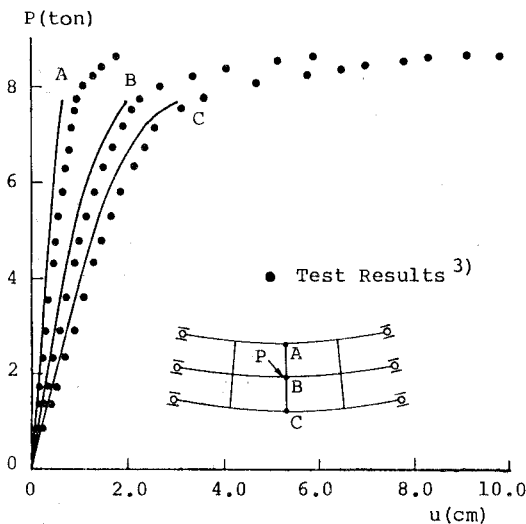


図-2 荷重-鉛直変位曲線

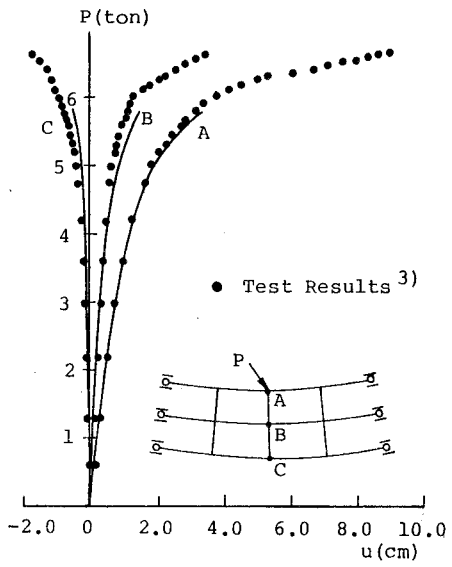


図-3 荷重-鉛直変位曲線

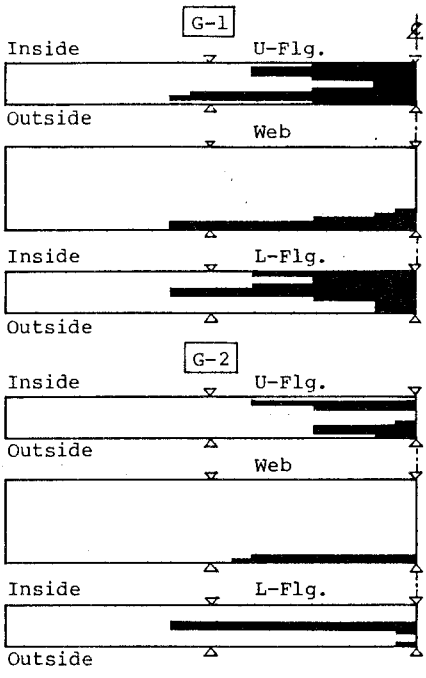


図-4 降伏状態 (▽△: 横桁取付部)

参考文献

- 1) 薄木：変形を考慮した薄肉断面円弧アーチの曲げねじれ座屈、土木学会論文報告集，No.263,1977
- 2) 渡辺ら：曲げねじれをもった曲線桁橋の剛性マトリックス法による解析、土木学会論文報告集，No.218,1973
- 3) 加藤ら：曲線格子桁の耐力力に関する実験的研究、昭和60年度 東北支部技術研究発表会講演概要