

琉球大学	正員	有住	康則
琉球大学	正員	矢吹	哲哉

1. まえがき 近年、曲線橋にねじれ剛性の大きい曲線薄肉箱桁が用いられ、実際に多く架設されている。曲線箱桁では、中間ダブツムの配置が不十分な場合、鉛直荷重のみによっても箱桁は元々の断面形状を保持し得ず、断面変形が生じる。主要な断面変形として、ずり変形と箱桁構成鋼板要素の局部座屈がある。このような断面変形が生じると、桁剛性の低下と局部応力の増大をもたらし、曲線箱桁の機能を低下させる。したがって、曲線箱桁では、このような断面変形を防止するため、十分な剛性を有する中間ダブツムを適当な間隔で配置しなければならない。曲線箱桁の弾性挙動及び弾性理論に基づいた中間ダブツムの設計法については多くの研究が行われている。しかし、断面変形が曲線箱桁の終局強度に及ぼす影響については研究が少なく、十分に解明されていないのが現状である。そこで本研究では、曲線箱桁についてずり変形と箱桁構成鋼板要素の局部座屈の影響を考慮した終局強度解析を行い、一例として鋼曲線箱桁の静的耐荷試験結果との比較を行い、断面変形が曲線箱桁の終局強度に及ぼす影響について考察を行った。

2. 断面変形を考慮した終局強度解析法 本研究では、主要な断面変形であるずり変形と局部座屈を考慮して曲線箱桁の終局強度解析を行う。ずり変形の影響は、ずり変形によって生じたひずみを付加ひずみとして取扱ひ、曲線部材の終局強度解析過程中的荷重増分法における先行状態での初期ひずみ場に組み込み考慮する。一方、箱桁を構成する鋼板要素の局部座屈の影響は、修正応力-ひずみ曲線を用い^{1) 2)}、これを終局強度解析に組み込み考慮することにした。本解析に用いた修正応力-ひずみ曲線を図-1に示す。なお、文献1)、2)においては、座屈後のひずみ硬化及びひずみ軟化を仮定しているが、箱桁構成鋼板に対して明確な保証が確立してないため、本解析では簡潔に座屈後は完全無剛性型として仮定した。また、板の座屈特性に基づき図-1に示したように、幅厚比 $b/t \leq 40$ では座屈は生じないものとし、 $40 < b/t \leq 80$ ではひずみが ε_b に達すると局部座屈が生じるものとして取り扱う。なお、幅 b は、圧縮フランジでは全幅を、ウェブでは図-2に示すように圧縮ひずみが生じている領域の幅とした。既報告データ^{1) 2)}より、局部座屈時のひずみは次のように与えられる。

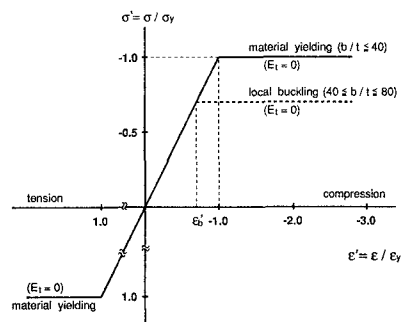


図-1 応力-ひずみ曲線

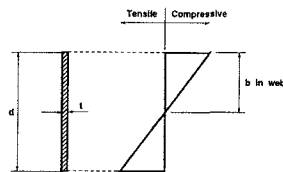


図-2 U_{17} のひずみ分布

3. 終局強度特性 薄肉鋼曲線箱桁の終局強度特性を調べる目的で、沖縄県那覇市で導入が計画されている跨座式モノリット用鋼曲線箱桁の1/4スケールサイズ断面の模型桁2体 (MODEL M-3、M-5) について静的耐荷試験を行い、解析結果との比較を行った。実験に用いた供試体は、曲率半径12m、中心角30°であり、供試体の断面形状及び諸量を図-3に示す。M-3桁は中間ダブリンを3枚、M-5桁は中間ダブリンを5枚等間隔に配置した。荷重は一点集中荷重として断面中央に載荷した。本供試体の場合、圧縮フランジの幅厚比は $b/t=26.0 \sim 28.9 < 40$ であり、圧

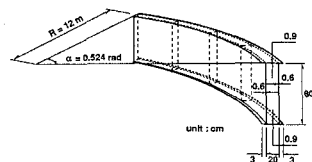


図-3 供試体の断面形状及び諸元

縮ラジツにおいて局部座屈は生じない。一方、 ω_{17} においては $b/t=39.1/0.6=65.2>40$ であり、局部座屈の影響を考慮しなければならない。なお、 ω_{17} における座屈発生時のひずみは $\varepsilon_b=(1.55-0.01375 \times 65.2) \varepsilon_y=0.654 \varepsilon_y$ である。

荷重とスパン中央のたわみの関係を図-4、5に示す。荷重は、ずり変形及び局部座屈の影響を考慮せず曲げと曲げねじりの影響を考慮した線形理論によって得られた弾性限界荷重 P_y によって無次元化されており、たわみはスパン長 $L=628\text{cm}$ によって無次元化されている。図中、 $\square$ がずり変形のみを考慮した解析値、 $\times$ がずり変形と ω_{17} の局部座屈の影響を考慮した場合の解析値及び $\bullet$ が実験値である。実験で得られた最大荷重は、M-3桁が $P_{max}=0.97P_y$ 、M-5桁が $P_{max}=1.11P_y$ であり、中間ゲージ77mmの配置が少ない場合、断面変形の影響で耐荷力が低下している。実験値と解析値を比較すると、初期荷重段階より桁剛性に差が見られるが、これは ω_{17} の面外変形（はらみ出し変形）による影響と考えられる。一方、終局強度については、ずり変形と ω_{17} の局部座屈の影響を考慮した解析結果が実験による最大荷重をよく評価していると考えられる。中央断面外側 ω_{17} の荷重と直ひずみの関係の一例をM-5桁について図-6に示す。図から明らかなように、M-5桁では $P=0.57P_y$ 、荷重時に ω_{17} の圧縮部において局部座屈が生じた。ずり変形と ω_{17} の局部座屈の影響を考慮した解析結果より得られた終局状態における塑性域及び局部座屈域の広がり分布の一例をM-5桁について図-7に示す。図から明らかなように、中央断面近傍の圧縮側 ω_{17} において局部座屈が生じている。

4. あとがき 本研究では、ずり変形挙動、箱桁構成鋼板要素の局部座屈及び材料非線形性を考慮した非線形構造解析手法を示し、それを用いて曲線箱桁の終局強度解析を行い、静的耐荷試験結果との比較を行った。ずり変形及び ω_{17} の局部座屈を考慮した解析結果は実験による終局強度をよく評価していると思われる。今後の課題として、 ω_{17} 圧縮部の面外変形の影響を考慮し、箱桁構成鋼板の局部座屈に対する合理的な構成式（修正応力－ひずみ関係）を導出し解析を行い、更に、数多くの曲線箱桁の耐荷力試験を行い、それらの結果より終局強度に基づいた中間ゲージ77mmの配置法を確立する必要があると考える。

参考文献

- 1) Little, G.H.: The Strength of Square Steel Box Columns-Design Curves and their Theoretical Basis, The Structural Engineer, Vol. 57A, No. 2, 1979.
- 2) Shanmugam, N.E. et al.: Strength of Thin-Walled Square Steel Box Columns, Journal of Structural Engineering, Vol. 113, No. 4, 1987.
- 3) 倉戸・矢吹: 鋼アーチ橋の極限強度に及ぼす機械剛性の影響について、土木学会論文報告集, No. 305, 1981.
- 4) 有住・矢吹: 曲線箱桁のずり挙動と強度に関する一考察、土木学会第45回年次学術講演会講演概要集, I-293, 1990.

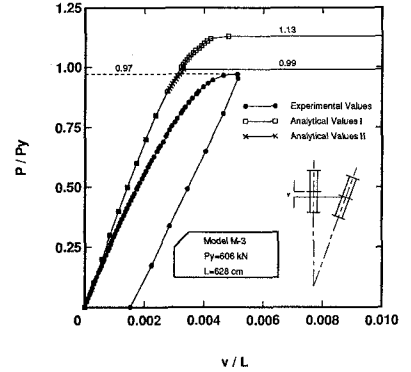


図-4 荷重－たわみ関係（M-3桁）

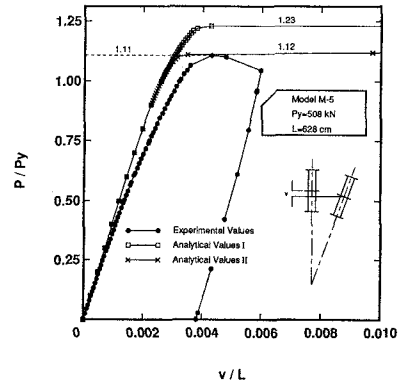


図-5 荷重－たわみ関係（M-5桁）

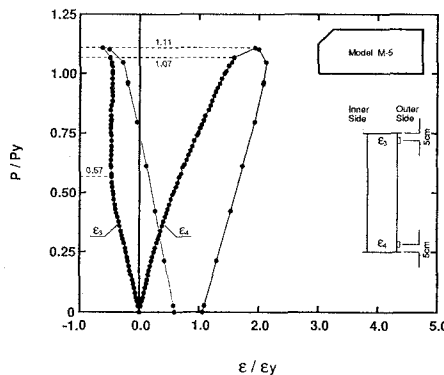


図-6 荷重－ひずみ関係（M-5桁）

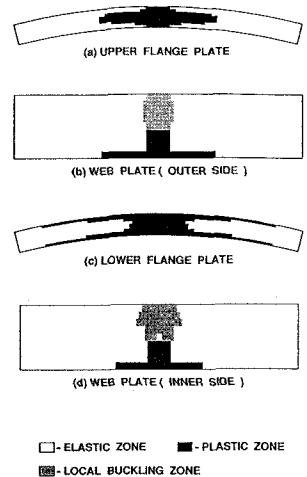


図-7 終局状態における塑性域及び座屈域の広がり（M-5桁）