

I-293

曲線箱桁のずり挙動と強度に関する一考察

— 跨座式モノレール用鋼曲線箱桁を事例として —

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、道路線形の多様化とともに曲線橋の需要が高まってきており、曲線橋にねじり剛性の大きい曲線箱桁が用いられ、実際に多く架設されている。しかし、このような現状にもかかわらず、曲線桁に関する確立された設計基準はなく、我国でも直線桁の設計基準が準用されているにすぎない。一方、鋼橋設計の世界的動向は、許容応力度設計法から構造物の真の強度に基準をおいた限界状態設計法に移行されつつある。しかし、曲線箱桁の終局強度に関する解析的及び実験的研究は少なく、終局強度把握のための十分な基礎的資料は得られていない。曲線箱桁橋では、中間ダイアフラムの配置が不十分な場合、鉛直荷重のみによっても断面変形(ずり変形)によって大きな直応力度が生じる。著者らは、鋼曲線箱桁橋の中間ダイアフラム配置法に関する実用に供しやすい合理的な簡易方策をすでに提案¹⁾したが、それを用いると、ずり変形によって生ずる直応力度及び変形量をそれぞれ橋梁構造物の二次応力度及び二次変形量レベル以内に制御することができる。しかし、ずり変形が曲線箱桁の終局強度に対してどの程度の影響を及ぼすかについては、全く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を考慮した終局強度解析を行い、一例として跨座式モノレール用鋼曲線箱桁の静的耐荷試験結果との比較を行い、ずり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. ずり挙動を考慮した終局強度解析法

曲線箱桁のずり変形は、主に桁断面内の直応力度を増加させ、降伏を一部早めさせることにより、桁剛性を低下させるような影響があるものと思われる。そこで本研究では、曲線箱桁のずり挙動の影響を、付加ひずみとして取扱い、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ことにした。ずり挙動の影響を曲線部材終局強度解析過程に組み込む手順を以下に示す。①外力としてのずりモーメント $M_{dw, ext}$ 及び初期応力状態での断面内の弾性領域のみを有効としてずりに関する接線剛性係数 El_{dw} を計算する。②接線剛性係数 El_{dw} に対応するずり変形量 V 及びずりひずみ量 ε_{dw} をBEFアナロジー理論に基づいて計算する。③ひずみ量 ε_{dw} を荷重増分法における先行状態の初期ひずみ場に加算し、それを新たな初期ひずみ場とし、それに対応する応力状態 σ_{dw} を計算する。④ σ_{dw} に対応する内力としてのずりモーメント $M_{dw, int}$ を計算する。⑤ $M_{dw, ext}$ と $M_{dw, int}$ の比較を行う。両者が一致しない場合、強制ずりひずみ量を与えてこれを初期ひずみ場に加算し、新たな初期応力場を仮定し、更に $M_{dw, int}$ の計算を行い、 $M_{dw, ext}$ との比較を行う。このような逐次収斂計算を両者が一致するまで繰り返す。逐次収斂計算過程を図-1のフローチャートに示す。両者が一致した場合、その時の応力場を初期応力場とした先行状態を基にして、曲線部材の非線形構造解析を行う。非線形構造解析では、部材の幾何学的非線形性及び材料非線形性を考慮し、変位法に基づく有限要素法を併用した修正荷重増分法を用いて計算を行った。非線形構造解析手法の詳細は文献2)を参照願いたい。

3. 終局強度特性

現在沖縄県那覇市で導入が計画されている跨座式モノレール用鋼曲線箱桁の1/4スケールサイズの断面の模型桁1体について静的耐荷試験を行い、解析結果との比較検討を行った。実験に用いた供試体は、曲率

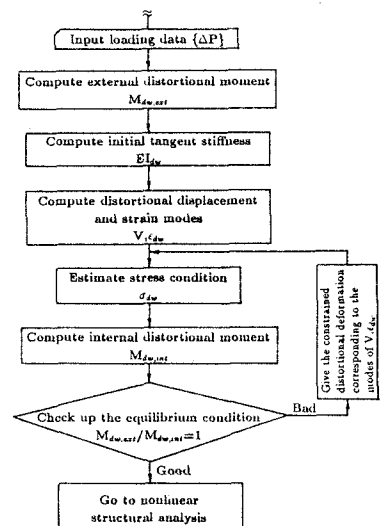


図-1 ずり挙動を算定する計算過程

半径12m、中心角 30° であり、供試体の断面形状及び諸量を図-2に示す。著者らが提案した中間ダイアフラム設計法¹⁾を用いると、本供試体の場合、中間ダイアフラムは10枚必要であるが、ここでは半分の5枚の中間ダイアフラムを配置して実験を行った。なお、荷重は一点集中荷重としてスパン中央に載荷を行った。

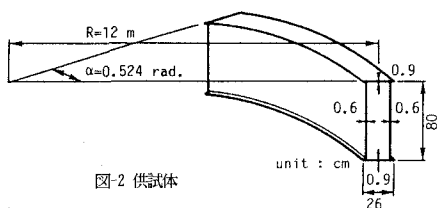


図-2 供試体

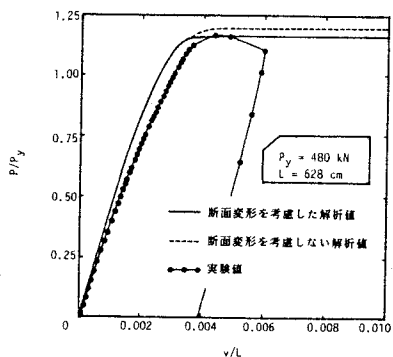


図-3 荷重-たわみ関係

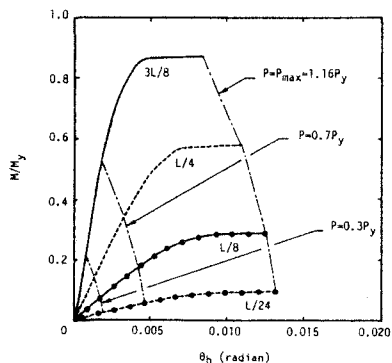


図-4 曲げモーメント-たわみ角関係

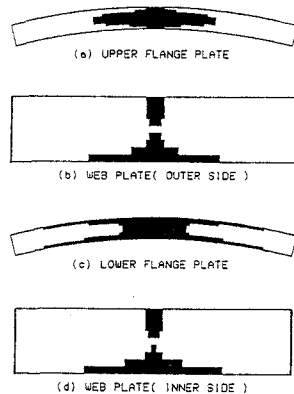


図-6 終局状態における塑性域の広がり

荷重とスパン中央のたわみの関係を図-3に示す。図中、実線がずり変形を考慮した場合の解析値、破線がずり変形を考慮しない場合の解析値及び●が実験値である。実験で得られた最大荷重は $P_{max}=1.173P_y$ であった。ずり変形を考慮した解析結果から得られた最大荷重は $P_{max}=1.16P_y$ であり、実験結果とよく一致していると思われる。ずり変形を考慮しない解析結果から得られた最大荷重は $P_{max}=1.21P_y$ であり、ずり変形を考慮した場合の解析結果との差は4%である。これより、本供試体の場合、ずり挙動が終局強度に及ぼす影響は小さいものと考えられる。ずり変形を考慮した場合の解析結果から得られた曲げモーメントとたわみ角の関係を図-4に示す。図には $3L/8$ 、 $L/4$ 、 $L/8$ 及び $L/24$ 地点の関係が示されている。図から明らかなように、曲げモーメントとたわみ角の関係において非線形挙動が見られる。同様に、図-5にねじりモーメントとねじり角の関係を示す。図から明らかなように、ねじりモーメントとねじり角の関係は終局状態に至るまではほぼ線形関係にある。なお、 $M-\theta$ 関係及び $T-\theta$ 関係において、ずり変形を考慮した場合と考慮しない場合の両者の性状にはほとんど差は見られなかった。ずり変形を考慮した解析結果から得られた終局状態における塑性域の広がり分布を図-6に示す。荷重が小さい段階において、ずり変形を考慮した場合とずり変形を考慮しない場合の塑性域の広がりには多少差が見られたが、終局状態での塑性域の広がりには両者はほぼ同じであった。

4. あとがき

本研究では、曲線箱桁の終局強度を、ずり変形挙動、幾何学的非線形性及び材料非線形性を考慮して解析を行い、跨座式モノレール用鋼曲線箱桁の静的耐荷試験結果との比較を行った。本実験に用いた曲線桁の場合、終局挙動に及ぼすずり挙動の影響は二次量程度と見なされる。

謝辞—本実験において沖縄県土木建築部都市モノレール対策室より貴重な御助言を賜った。また、本実験に用いた供試体は桜田機械工業(株)、(株)東京鉄骨橋梁製作所、(株)春本鐵工所、(株)宮地鐵工所より提供していただいた。各位に深謝致します。

参考文献

- 1) Yabuki, T. and Arizumi, Y.: A Provision on Intermediate Diaphragm Spacing in Curved Steel-Plated Box-Bridge-Girders, Proc. of JSCE, No.410, 1989.
- 2) 倉西・矢吹: 鋼アーチ橋の極限強度に及ぼす横構剛性の影響について、土木学会論文報告集, No. 305, 1981.

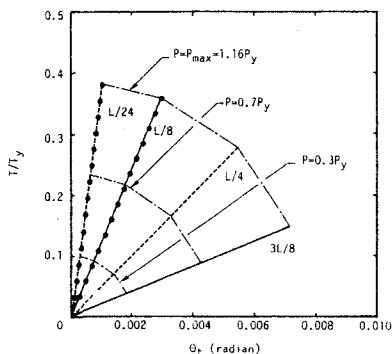


図-5 ねじりモーメント-ねじり角関係