

I-27 曲線格子桁の塑性耐荷力の実験

北海道大学工学部	正員	渡辺 昇
北海道大学工学部	正員	林川 俊郎
北海道大学工学部	学生員	岡田 泰三
北海道大学工学部	○及川 昭夫	

1. まえがき

近年、地形および地域の自然環境との調和を配慮した道路線形設計上の観点から、曲線格子桁橋の施工例が数多く見受けられるようになってきた。しかし、鋼橋のように薄肉断面部材で構成された曲線格子桁橋は、曲げ、ねじり、および曲げねじり変形(そり変形)の影響を同時に受けるため、その応力分布状態はきわめて複雑である。特に、薄肉I形断面の曲線格子桁橋の場合には、主桁および横桁の上下フランジ部に附加的な垂直応力度(そり応力度)を生じるので、注意を要する。

著者らは、すでに上述の曲げねじりの影響を考慮した曲線格子桁の終局崩壊荷重および塑性崩壊機構を算定するための実用的な弾塑性解折プログラムを開発している¹⁾。しかしながら、曲線格子桁の塑性耐荷力に着目した研究論文は非常に少なく、また、薄肉I形断面部材で構成された曲線格子桁の実験報告も非常に少ないので現状である。

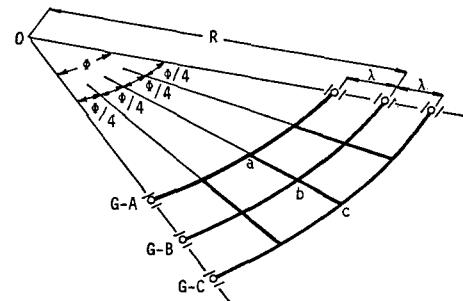
そこで、本研究の目的は著者らが開発した弾塑性解折プログラムによる数値計算結果の妥当性を確認することと、さらに、漸増節点集中荷重を受ける曲線格子桁の部材端の応力分布の変化について調べることである。

2. 室内模型実験

図一に示すような3本主桁・3本横桁で構成された曲線格子桁を3種類製作し、鉛直たわみおよび垂直応力度を測定した。その骨組の形状寸法は表一のとおりである。供試体に用いた材料はH形鋼の最小断面(呼称寸法: H × B = 100 × 50)で、材質はJIS規格のSS41材である。主桁と横桁とのセン断中心軸を一致させるために、また、主桁の下フランジ部に生じ易い横振れ現象²⁾を防ぐために、供試体の主桁および横桁は同一形状寸法のH形鋼を用いた。

供試体製作後、曲げ加工および溶接による残留応力を除去するために、約620°Cで4~6時間炉内で熱処理した。供試体の加熱および炉冷には2日間の工程を要した。なお、焼鍛した同一材料から切り取った試験片を、わが国のJIS規格³⁾に従って引張強度試験を行なった。

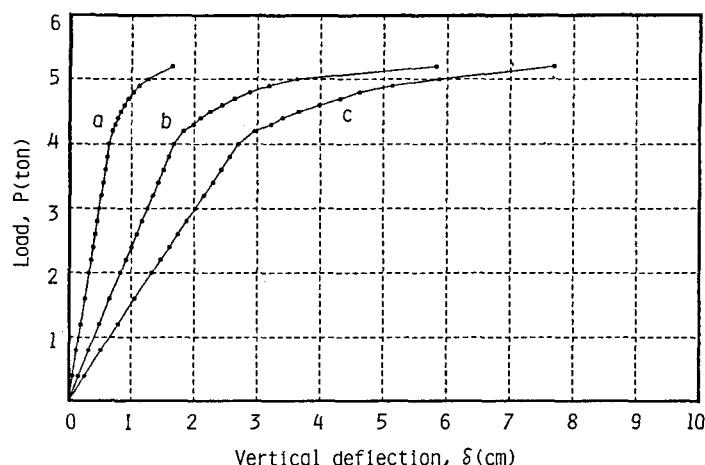
手動の油圧ジャッキにより荷重を



図一 / 室内模型実験用曲線格子桁

Geometry of specimen	Type A	Type B	Type C
Radius of curvature : R	3.3 m	10.0 m	18.5 m
Spacing of main girders: λ	0.3 m	0.3 m	0.3 m
Central angle : φ	40.0°	13.0°	7.0°

表一 / 供試体の形状寸法



図二 / 荷重たわみ曲線 (Type Aの場合)

載荷し、力計によって荷重値を測定する方法を採用した。漸増する荷重に対して、油圧ジャッキおよび力計が常に鉛直方向を保ち、かつ、水平方向への移動を防ぐために、特殊な治具を考案し力計と供試体の間に挿入した。

室内模型実験用曲線格子桁の支持条件は曲げに対して単純支持、ねじりに対して固定支持、曲げねじりに対して自由とした。

3. 測定結果

図-2は最小曲率半径R=3.3mの曲線格子桁(Type A)に集中荷重Pが中桁中央点(図-1の点b)に作用した場合の中央横桁各節点の鉛直たわみδと荷重Pとの関係を示したものである。塑性化は約4tを過ぎてから始まり、約5.2tで崩壊していることがわかる。

図-3は上述と同じ荷重載荷状態におけるType Bの曲線格子桁のP-δ曲線である。

図-4は供試体の中で、最も曲率半径の大きい曲線格子桁(Type C)の内桁中央点(図-1の点a)に集中荷重Pが作用した場合の鉛直たわみδと荷重Pとの関係を示したものである。偏心荷重載荷であるため、外桁の点cのたわみ量が負となっている。曲線格子桁の塑性化は約3.6t前後から始まり、約5.2tで崩壊荷重に達している。

ここで得られた3種類の曲線格子桁の測定結果は、数値計算により求められたP-δ曲線ともよく一致している。その詳細は文献1)に報告されており、ここでは重複をさけるために両者の比較は省略する。

次に、漸増節点集中荷重を受ける曲線格子桁の主桁および横桁断面の応力分布状態について述べる。

ここでは、内桁中央点に荷重載荷し、かつ、応力分布状態が非常に複雑なType Cの曲線格子桁の場合について取り上げることにする。図-5は、あらかじめ数値計算により求められた塑性ヒンジの発生箇所に着目して、7箇所にひずみゲージを貼付した状況を示している。1箇所あたりのひずみゲージの枚数は等間隔に上下フランジ部に5~7枚、ウェブ部に5枚とした。

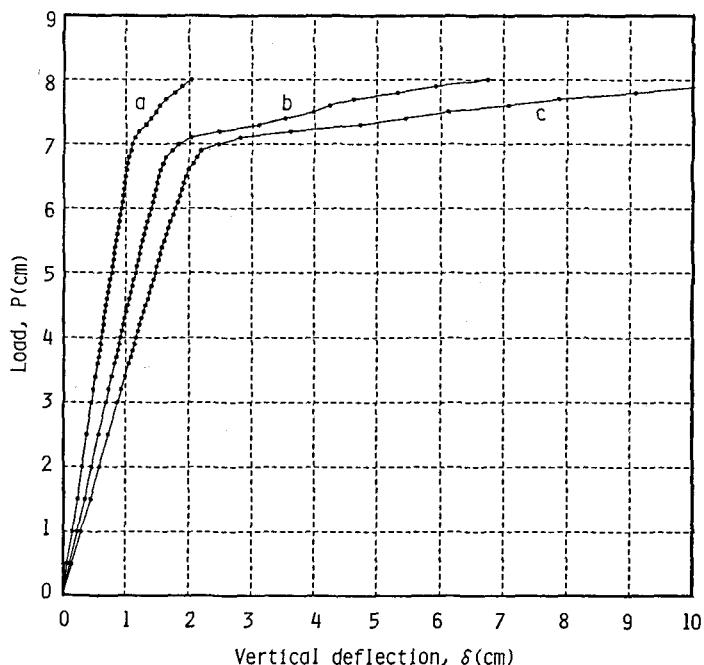


図-3 荷重たわみ曲線 (Type Bの場合)

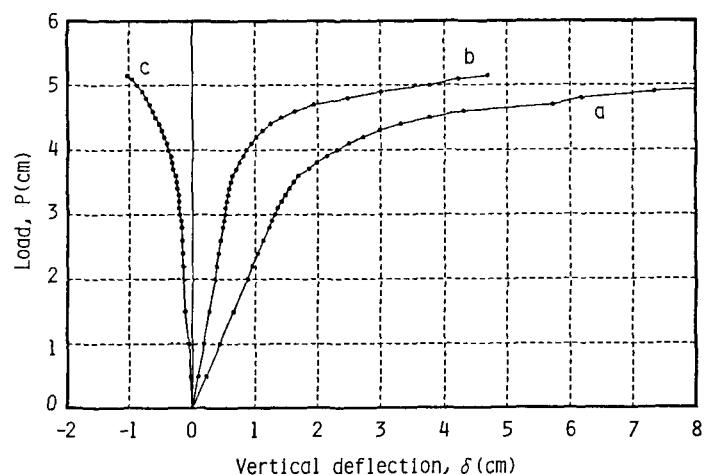


図-4 荷重たわみ曲線 (Type Cの場合)

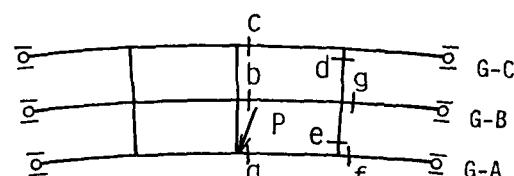


図-5 ひずみゲージの測定箇所

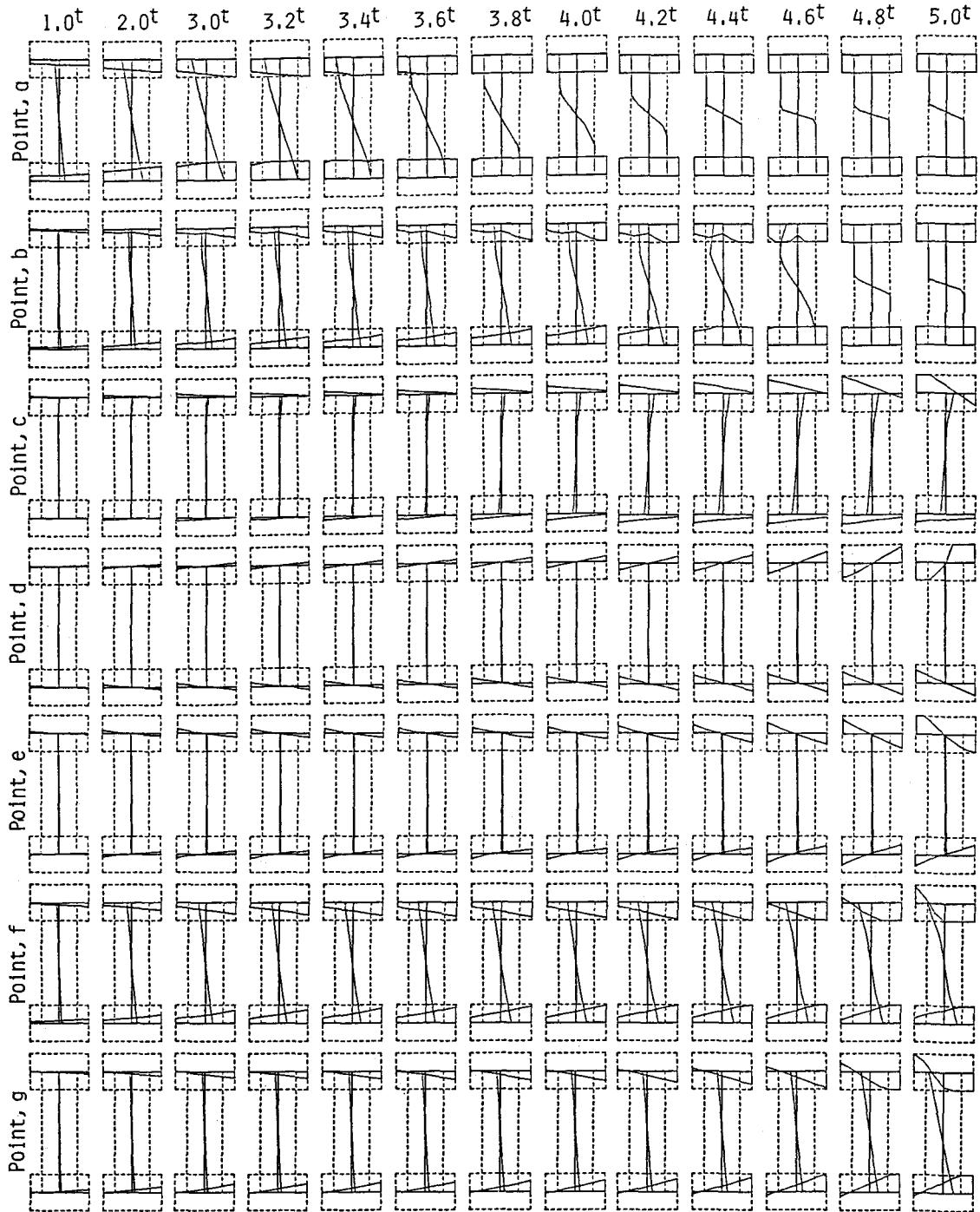


図-6 漸増節点集中荷重を受ける曲線格子桁の垂直応力度分布の変化状態

図-5に示した7箇所の部材端 a~g に着目し、鉛直集中荷重を除々に増したときの各薄肉 I 形断面に発生する垂直応力度と、その応力分布の推移状況が図-6に示されている。載荷点aにおける垂直応力度についてみると、弾性領域においては曲げ応力度 σ_m^0 とそり応力度 σ_w^0 が発生しており、 σ_w^0 にくらべて σ_m^0 の値がやや大きいことがわかる。また、主桁の他の部材端 b,c,f,gについてみると、曲げ応力度と

そり応力度が複合して生じている。一方、横桁の部材端 d,e ではほとんどそり応力度⁰wのみが発生しており、非常に興味深い実験結果である。

図-7、8は著者らが開発した曲線格子桁の弾塑性解析プログラムにより求めた塑性崩壊機構と球状塑性相関曲面における塑性ヒンジの発達状況をそれぞれ示している。図中の算用算数字は塑性ヒンジの発生順序を意味している。また、図-8の m,t,w はそれぞれ曲げモーメント、ねじりモーメント、曲げねじりモーメントの断面力と、それに対応する全断面塑性状態における全塑性モーメント値との比である。

主桁に発生する塑性ヒンジ 1,2 は、図-8からわかるように、曲げモーメントと曲げねじりモーメントが連成しているけれども、ほとんど曲げモーメントが支配的な状態で降伏している。このことは、塑性ヒンジ 1,2 に対応する図-6の着目点 a,b についてみると、崩壊荷重付近の P=5.0t では全く曲げのみで全断面塑性域に達しており、実験結果はこの事実をよく説明している。また、横桁に発生する塑性ヒンジ 3 は図-8より曲げねじりモーメントのみで降伏しており、図-6の着目点 d では、上フランジが曲げねじりで塑性化している様子がよく理解できる。

さらに、塑性ヒンジ 4,5,6 は図-8より、曲げモーメントと曲げねじりモーメントが連成した状態で降伏しており、それらに対応する図-6の着目点 f,g,c での実験結果は、この塑性化の現象をよく裏付けている。

本実験において、載荷荷重がほぼ塑性崩壊荷重に近づいた時に、載荷点（図-1の点 a）付近の主桁の上フランジ部に不安定現象がみられた。つまり、図-9に示すような C タイプの座屈モードが発生した。これは部材の弾性領域における横倒れ座屈（図-9の D タイプ）と塑性領域でみられる局部座屈（図-9の A タイプ）との連成座屈と考えられる⁴⁾。今後、曲線格子桁の塑性耐荷力を検討する場合には重要な問題となるであろう。

4.あとがき

本研究では、薄肉 I 形断面部材で構成された曲線格子桁の模型実験を行ない、著者らの開発した弾塑性解析による数値計算結果の妥当性をほぼ確認することができた。今後の研究課題として、図-9に示したような座屈現象を取り入れた曲線格子桁の塑性耐荷力を検討する必要がある。

最後に、曲線格子桁の室内模型実験に対し多大な御協力をいただいた研究室の大学院生ならびに4年生諸氏に謝意を表します。なお、本研究の数値計算および作図には北大大型計算機を利用した。

（参考文献）

- 1) 渡辺昇・林川俊郎・岡田泰三：昭和59年度土木学会北海道支部論文報告集、第41号、1985.
- 2) 稲農知徳：北海道大学工学研究報告、57号、1970.
- 3) 日本材料試験協会編：材料試験便覧、丸善、1957.
- 4) Hancock,G.J. : Journal of Structural Division, Proc. of ASCE, Vol. 104, No. ST11, 1978.

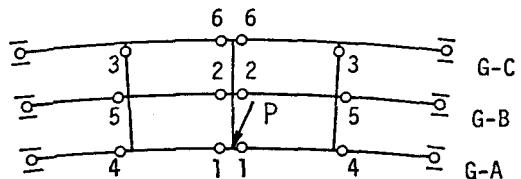


図-7 塑性崩壊機構

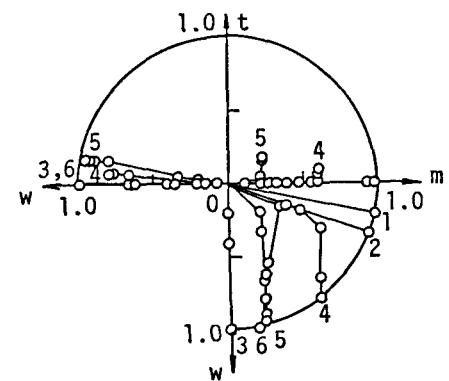


図-8 球状塑性相関曲面

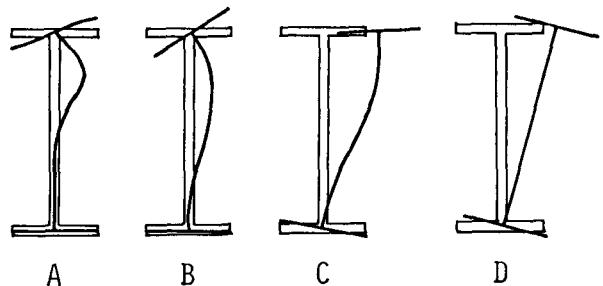


図-9 薄肉I形断面桁の座屈モード

本実験において、載荷荷重がほぼ塑性崩壊荷重に近づいた時に、載荷点（図-1の点 a）付近の主桁の上フランジ部に不安定現象がみられた。つまり、図-9に示すような C タイプの座屈モードが発生した。これは部材の弾性領域における横倒れ座屈（図-9の D タイプ）と塑性領域でみられる局部座屈（図-9の A タイプ）との連成座屈と考えられる⁴⁾。今後、曲線格子桁の塑性耐荷力を検討する場合には重要な問題となるであろう。

4.あとがき

本研究では、薄肉 I 形断面部材で構成された曲線格子桁の模型実験を行ない、著者らの開発した弾塑性解析による数値計算結果の妥当性をほぼ確認することができた。今後の研究課題として、図-9に示したような座屈現象を取り入れた曲線格子桁の塑性耐荷力を検討する必要がある。

最後に、曲線格子桁の室内模型実験に対し多大な御協力をいただいた研究室の大学院生ならびに4年生諸氏に謝意を表します。なお、本研究の数値計算および作図には北大大型計算機を利用した。

（参考文献）

- 1) 渡辺昇・林川俊郎・岡田泰三：昭和59年度土木学会北海道支部論文報告集、第41号、1985.
- 2) 稲農知徳：北海道大学工学研究報告、57号、1970.
- 3) 日本材料試験協会編：材料試験便覧、丸善、1957.
- 4) Hancock,G.J. : Journal of Structural Division, Proc. of ASCE, Vol. 104, No. ST11, 1978.