

I-47

曲線格子桁橋の塑性崩壊荷重と横構の効果

北海道大学工学部 正員 林川 俊郎

北海道大学工学部 栗田 公雅

北海道大学工学部 正員 平沢 秀之

北海道大学工学部 正員 佐藤 浩一

1. まえがき

近年、曲線格子桁橋は地形および自然環境との調和を配慮し道路線形設計上から数多く用いられるようになってきている。しかし、薄肉断面部材で構成された曲線格子桁橋は、曲げモーメントやねじりモーメントとともに曲げねじりモーメントを同時に受けるためその応力分布状態は複雑である。曲線格子桁橋の合理的な設計を行うためには、構造系全体の崩壊荷重の評価が重要である。これに関しては、曲線格子桁橋の塑性解析法を提案した林川¹⁾や、球状降伏関数の妥当性を示した渡辺ら²⁾や、曲線I形断面の降伏後のそり解除を確認した今井ら³⁾の研究がある。しかし、曲線格子桁橋の塑性崩壊荷重に与える横構の効果に関する研究は、まだ数少ない。

そこで、本研究の目的は渡辺ら⁴⁾が誘導した曲げねじり変形を考慮した曲線格子桁の剛性マトリックスを用い、座屈や引張降伏を考慮した横構が塑性崩壊荷重に与える影響について検討することである。

2. 塑性解析

2-1. 仮定

本論文では曲線格子桁橋の塑性解析の定式化に以下のような仮定を用いる。

1) 材料は剛塑性体とし、ひずみ硬化および塑性流れは無視する。また、塑性ヒンジは各部材要素の端部のみに発生するものとし、塑性域の拡がりは無視する。

2) 材料の降伏せん断応力度 τ_0 はVon Misesの降伏基準に従い、 $\tau_0 = \sigma_0 / \sqrt{3}$ とする。ただし、 σ_0 は材料の降伏垂直応力度である。

3) すべての外部荷重は節点に作用し、その強度は一定でかつ等しい割合で増加する。

4) 部材は薄肉断面の曲げねじり理論に従うものとし、その変形は微小である。

5) 降伏関数は曲げモーメント、ねじりモーメント、曲げねじりモーメントについて考慮し、せん断力の影響は小さいものとして無視する。

6) 主桁・横桁に関しては、塑性崩壊に至る過程で局部座屈あるいは横倒れ座屈などの不安定現象は生じないものとする。

7) 横構の座屈荷重を求める際、主桁と横構との連結はヒンジ結合とする。

2-2. 降伏関数

曲線格子桁橋の塑性崩壊に関する従来の研究では、曲げモーメントとねじりモーメントからなる降伏関数が主に使用されてきた。一般的に、曲線箱形部材および中実部材の断面力は曲げモーメントとねじりモーメントが支配的であり、この降伏関数は妥当であろう。しかし、曲線I形部材より構成された曲線格子桁橋では曲げねじりモーメントも考慮する必要がある。

一般的に薄肉断面部材が曲げ、ねじり、曲げねじりモーメントを同時に受けるとき、その降伏関数は次のように表現できる。

$$f(m, t, w) = 0 \quad (1)$$

ここで、

$m = M_y / M_{yo} \quad t = T_s / T_{so} \quad w = M_w / M_{wo}$ (2)

添字oは断面が完全塑性状態における全塑性モーメントを意味している。また、 T_s はSt. Venantのねじりモーメントである。本研究では、次の降伏関数を用いて塑性解析を行う²⁾。

$m^2 + t^2 + w^2 = 1$ (3)

2-3. 解析方法

薄肉I形断面をもつ曲線部材要素の剛性マトリックスに関しては、曲線格子桁の部材要素数に関係なく正確な解が求められる渡辺らの方法⁴⁾を用いる。次に、横桁や横構に対応する薄肉直線部材要素の剛性マトリックスが必要になる。その剛性マトリックスの誘導に関しては文献4)と5)に詳しく述べられているので、ここでは省略する。また、上横構と下横構に関しては軸力のみが伝達される部材として取り扱い、上下横構全体としてはあたかも曲げ部材のように抵抗する。そこで、上下横構を単純曲げを受ける一本のはりと仮定すると、この仮想曲げ部材を他の構成部材とともに重ね合わせ、全体の剛性方程式を解くことにより横構の曲げモーメントを求めることができる。この曲げモーメントから上横構および下横構それぞれの軸力を求め、座屈または引張降伏の照査を行う。

3. 数値計算結果

3-1. 数値計算例

数値計算例には実在橋の断面諸元を参考にした。その曲線格子桁橋の形状は、図-1に示すような4本の曲線主桁と5本の直線横桁および横構より構成されている。支間長は中央部で30m、曲率半径100m、主桁間隔2.2mであり、曲率半径の大きい外桁より主桁A・B・C・Dとした。

主桁と横桁に用いた部材はI形断面で材質はSM520Bである。その断面寸法は表-1に示す。横構に用いた部材は等辺山形鋼で材質はSM400である。横構の剛性の差異が、塑性崩壊荷重に与える影響について調べるために横構がない場合と主桁の断面2次モーメントに対して約10%、15%、20%に対応する横構を用いた場合の4タイプについて比較検討した。その横構の断面寸法は表-2に示す。

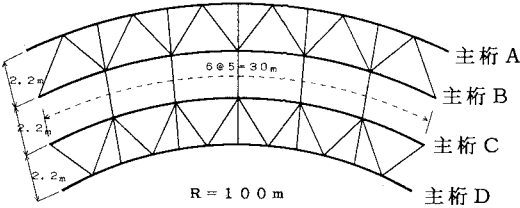


図-1 一般図

表-1 主桁、横桁の断面寸法

		フランジ	ウェブ
主 桁	主桁A	310×19	1600×9
	主桁B	380×22	1600×9
	主桁C	370×19	1600×9
	主桁D	260×13	1600×9
横 桁		200×10	1180×9

単位(mm)

表-2 横構の断面寸法と主桁との断面2次モーメント比

	断面寸法 (A×B×t)	断面2次モーメント比
Type-I	—————	横構なし
Type-II	100×100×10	10 %
Type-III	130×130×12	15 %
Type-IV	175×175×12	20 %

単位(mm)

3-2. 塑性崩壊荷重

図-2は主桁A中央点に集中荷重が載荷した時の主桁A中央点の荷重-たわみ曲線であり、4タイプの横構について比較したものである。図-3・4・5は主桁B・C・D中央点に集中荷重が載荷した時の各主桁中央点の荷重-たわみ曲線である。

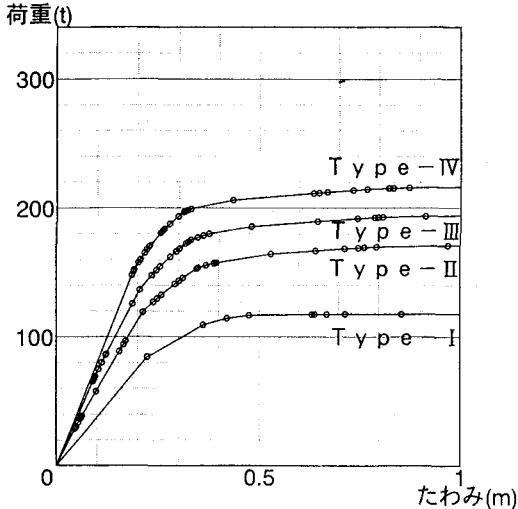


図-2 荷重-たわみ曲線（主桁A）

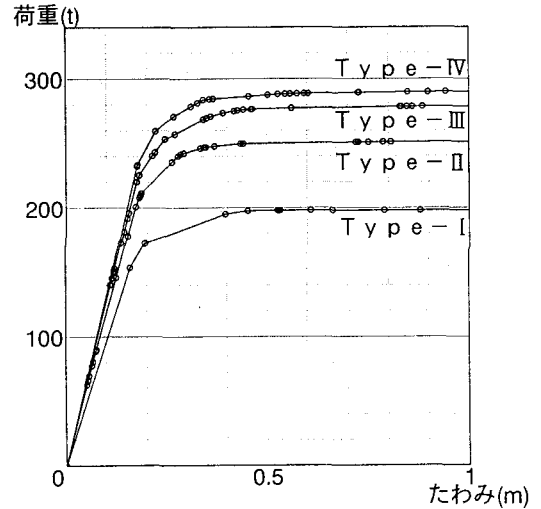


図-3 荷重-たわみ曲線（主桁B）

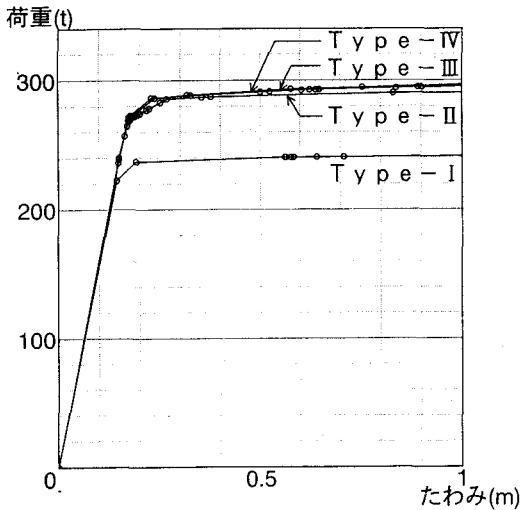


図-4 荷重-たわみ曲線（主桁C）

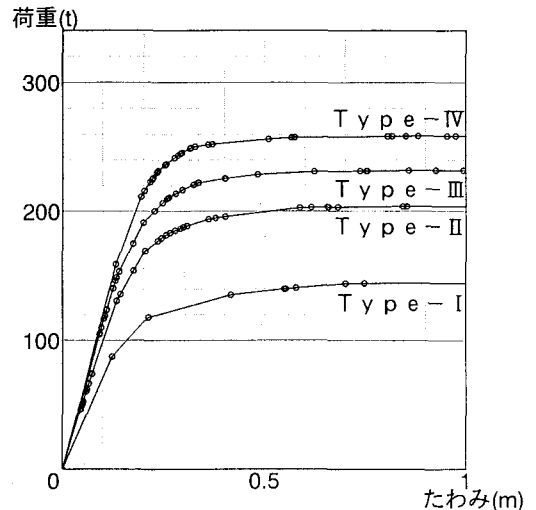


図-5 荷重-たわみ曲線（主桁D）

上図からわかるように、横構のないタイプIはいずれの場合も他のタイプより塑性崩壊荷重が小さい。また、主桁Cに載荷した場合を除くと横構の断面寸法が大きいタイプほど塑性崩壊荷重が増している。主桁Cに載荷した場合の部材の降伏は、曲げモーメントのみが支配的であると考えられる。そのため崩壊荷重は他の主桁の載荷状態より大きくなっている。この場合、横構は曲線格子桁橋全体の曲げ変形に対して影響が少ないものと考えられ、横構の有無は塑性崩壊荷重に影響するが、横構の剛性の差異はあまり影響がないと思われる。主桁や横桁に塑性ヒンジが発生すると、上図の荷重-たわみ曲線は急に折れる傾向にあり、横構が座屈または引張降伏した場合には荷重-たわみ曲線はほとんど直線的である。この主たる原因は、曲線格子桁橋全体の剛性の低下が主桁や横桁の塑性化に依存しているためと思われる。

3-3. 崩壊機構と相関曲面

図-6は主桁A中央点に、図-7は主桁C中央点に集中荷重が載荷した場合の、タイプIIに関する崩壊機構と相関曲面である。崩壊機構の図中の数字は塑性ヒンジや座屈および引張降伏が発生した順番を表し、図中の記号は○が塑性ヒンジを、□が上横構の座屈を、■が下横構の座屈を、△が上横構の引張降伏を、▲が下横構の引張降伏を表している。

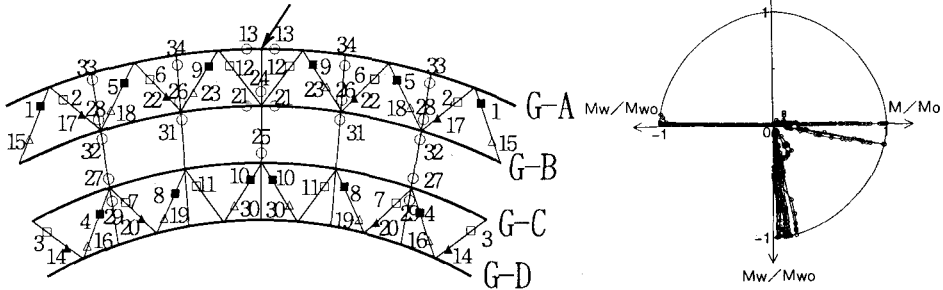


図-6 崩壊機構と相関曲面（主桁A）

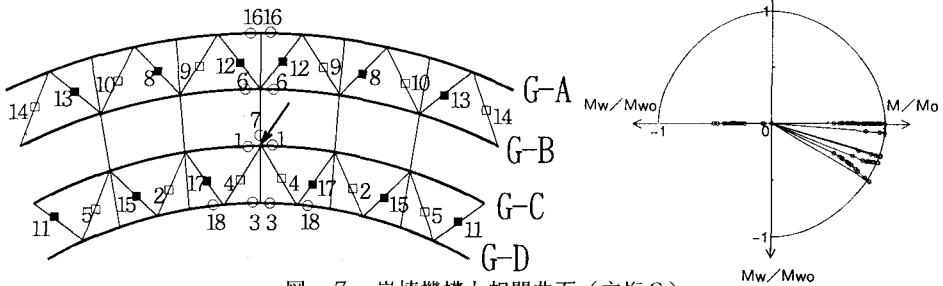


図-7 崩壊機構と相関曲面（主桁C）

崩壊機構についてみると、主桁Aに載荷した場合は支点部付近の横構から順に座屈して、次に同じく支点部付近から順に引張降伏する傾向にある。ほとんど全ての横構が座屈および引張降伏してから主桁や横桁に塑性ヒンジが発生する。主桁Cに載荷した場合は主桁に第1塑性ヒンジが発生し、その後横構が座屈する傾向がある。次に相関曲面についてみると、主桁Aに載荷した場合は主桁は曲げモーメントで、横桁は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塑性ヒンジが発生している。主桁Cに載荷した場合は、ほとんど曲げモーメントのみで塑性ヒンジが発生していることがわかる。しかし、いずれの場合においてもSt. Venantのねじりモーメントの影響は小さい。

4. あとがき

本研究は、曲げねじり変形を考慮した曲線格子桁の剛性マトリックスを用い、座屈や引張降伏を考慮した横構が塑性崩壊荷重に与える影響について検討した。主桁Aに偏心荷重が作用した場合、横構の断面寸法が大きくなるにつれて、塑性崩壊荷重が大きくなる傾向がある。一方、主桁Cに集中荷重が作用した場合、横構の有無は塑性崩壊荷重に影響するが、断面寸法の差異はあまり影響しないことがわかる。一般的に、横構は二次部材として取り扱われるが、曲線格子桁橋の塑性崩壊荷重にはかなり効果があることがわかった。

《参考文献》

- 1) 林川 俊郎: 曲線格子桁の塑性崩壊荷重の計算法と実験, 土木学会構造工学論文報告集, 第39号, pp. 1121-1134, 1993.
- 2) 渡辺 昇・林川 俊郎・岡田 泰三: 薄肉I形断面をもつ曲線格子桁の弾塑性解析に関する研究, 北海道大学工学部研究報告, 第126号, pp. 1-14, 1985.
- 3) 今井 富士夫・太田 俊昭: 曲線I形部材の降伏関数に関する考察, 土木学会論文報告集, 第380号, pp. 349-354, 1987.
- 4) 渡辺 昇・移農 知徳・藤井 裕司: 曲げねじり剛性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, 第218号, pp. 1-8, 1973.
- 5) 鷹羽 信勝・成岡 昌夫: 変形法による任意形状の薄肉断面格子桁の解析, 土木学会論文報告集, 第178号, pp. 1-9, 1970.