

ガセットプレートを考慮したトラス橋圧縮材の終局強度と変形に関する研究

Study on Ultimate Strength and Deformation of Compressive Truss Bridge Members considering Gusset Plates

橋梁工学分野 吉山 純平

Abstract

トラス橋圧縮材は両端がピン支持された1本の柱と仮定され、道路橋示方書に定められた許容圧縮応力曲線により設計される。しかし、トラス橋ではガセットプレートを有する格点構造が用いられているため、トラス圧縮部材の終局強度や変形性能は、柱単体のそれらと必ずしも一致しない。そこで、ガセットプレートの影響を考慮したトラス圧縮部材の終局強度をFEM解析により評価し、トラス圧縮部材は境界条件の異なる3種類に大別でき、それに応じて終局強度を評価できることを明らかにした。

Compressive truss bridge members are generally designed as a pin-connected member by the allowable compressive stress curve based on the Specifications for Highway Bridges in Japan. However, the ultimate strength and deformation of the compressive truss bridge members are not always the same as those of the pin-connected column member, because the truss members connected by gusset plates at the connection parts in the truss bridge. Therefore, the effect of gusset plates on the ultimate strength of the compressive truss bridge members is discussed based on the FEM analyses. As a result, the ultimate strength of the compressive truss bridge members is can be given by the ultimate strength of compressive column members with 3 different boundary conditions.

1. 研究背景・目的

軸力が卓越して作用する薄肉箱形断面柱部材を複数有する鋼トラス橋は、部材数も少なく、設計・製作も容易であることから、土木分野で広く利用されている重要な構造物である。トラス橋を構成する圧縮部材は、両端の格点部でヒンジ結合され、構面内座屈に関する有効座屈長係数が0.85~1.0の軸力が卓越して作用する1本の圧縮柱と仮定され¹⁾、道路橋示方書²⁾に定められた許容耐力曲線にしたがって設計されている。そして、これら部材の中で構造上一番弱い部材が終局に到達した際、トラス橋全体の終局となる。そのため、トラス橋の終局状態を考えるには、トラス橋を構成する部材個々の強度に着目する必要がある。これまでに、偏心がなく両端が単純支持された鋼長柱の耐力実験³⁾は数多く実施され、部材の最大圧縮荷重、すなわち終局強度を評価するための耐力算定式や耐力曲線が提案されている。しかし、トラス橋の圧縮部材において、格点部はガセットプレートを有する格点構造が用いられていることや、部材断面の重心位置と作用する軸力の軸線位置のずれから、偏心軸圧縮による2次曲げモーメントを受ける。それゆえ、トラス橋構造内におけるトラス圧縮部材の終局強度や変形性能は、ピン支持された軸方向圧縮力を受ける1本の柱のそれらと必ずしも一致しない。さらに、トラス橋の終局を決定する圧縮部材位置における部材端部の境界条件の違いから、その終局強度や変形性能は異なるため、トラス橋圧縮部材の正確な強度を算定するためには、着目する圧縮部材位置にも注意する必要がある。

そこで、本研究では、道路橋示方書の荷重規定に準拠して設計された一般的な鋼ワレントラス橋全体とその

圧縮部材を対象として、トラス橋構造内におけるガセットプレートの拘束による影響を考慮した圧縮部材の端部の境界条件および作用曲げモーメントに着目し、トラス橋構造内における圧縮部材の正確な終局強度および変形モードについて、種々の数値解析を行うことにより明らかにする。そして、得られた結果から経済的かつ合理的なトラス橋圧縮部材の設計に用いる基準耐力曲線を提案する。

2. 鋼トラス圧縮部材の終局強度と変形

本研究では、トラス橋の終局強度の決定に最もクリティカルとなる圧縮部材が、トラス橋構造内で終局状態に至る際の終局強度および変形モードを種々の弾塑性有限変位解析により明らかにする。また、トラス橋全体モデルの中で計算した圧縮部材の終局強度を、トラス橋構造内の圧縮部材を取り出し1本の圧縮柱としてモデル化した場合の終局強度と比較して、着目部材位置ごとの部材端部の支持条件を考慮した、トラス橋圧縮部材の終局強度の簡易的な算定法について示す。解析は、弾塑性有限変位プログラムEPASS/USSP⁴⁾を使用する。

2.1 対象とするトラス橋

本研究で対象とした単純下路式鋼ワレントラス橋の設計条件を表-1に、各部材の配置と名称を図-1に、設計断面の形状を図-2に示す。表-2には各部材の断面寸法および圧縮部材の主な構造パラメータをまとめて示す。

圧縮部材のフランジの幅厚比パラメータ R_f は0.35~0.6、ウェブの幅厚比パラメータ R_w は0.30~0.6、有効座屈長を部材長(格点間距離)としたときの柱部材の細長比パラメータ $\bar{\lambda}$ は0.59~0.96である。

表-1 設計条件

設計支間	(mm)	50,000
有効幅員	(mm)	6,000
主構高 h	(mm)	6,500
弦材幅 b	(mm)	6,900
活荷重	-	A活荷重
形式	-	単純ワーレントラス下路橋

表-2 部材の断面寸法および構造パラメータ

	member's number	b_1 (mm)	b_2 (mm)	h (mm)	t_1 (mm)	t_2 (mm)	A (mm ²)	L (mm)	R_f	R_w	λ
lower chord	L1	310	370	270	9	9	10,980	7,143			
	L2	310	370	270	10	9	11,660	7,143			
	L3	310	370	270	14	12	16,000	7,143			
	L4	310	370	270	14	14	17,080	7,143			
upper chord	U1	370	310	340	9	9	12,240	7,143	0.60	0.60	0.59
	U2	370	310	340	14	13	18,360	7,143	0.40	0.41	0.59
	U3	370	310	340	16	16	21,760	7,143	0.35	0.33	0.60
compressive diagonal member	D1	370	310	340	10	16	17,680	7,417	0.56	0.35	0.62
	D3	290	290	240	10	9	10,120	7,417	0.52	0.38	0.79
	D5	290	290	200	9	9	8,820	7,147	0.58	0.30	0.96
	D7	290	290	200	9	9	8,820	7,147	0.58	0.30	0.96
tensional diagonal member	D2	250	250	278	15	12	10,836	7,147			
	D4	240	240	288	10	10	7,680	7,147			
	D6	180	180	290			5,850	7,147			

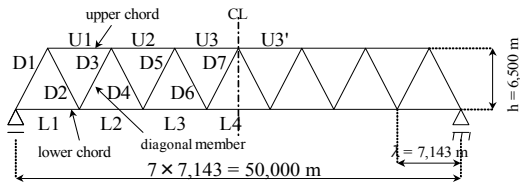


図-1 トラス橋骨組図と部材の名称

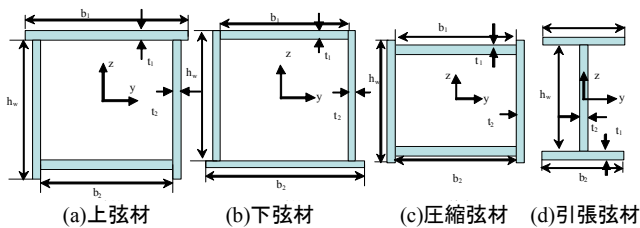


図-2 各部材の設計断面形状

2.2 解析対象とする圧縮部材と解析条件

解析対象とするトラス橋圧縮部材は、隣接部材数や、事前解析により部材両端に作用する曲げモーメントの向きおよび分布が特徴的であった3種類の部材から、上弦材U3、斜材D3および端斜材D1をパラメータに選定した。各解析モデルを図-3に示す。解析モデルは、着目する圧縮部材とその両端のガセットプレートを板要素、その他の部材を梁-柱要素を用いて作成したplateモデルおよびすべての部材を梁-柱要素を用いて作製したbeamモデルの2種類である。plateのガセットプレートの板厚は、弦材が添接板を介してボルト接合によりガセットプレートに連結されていることを考慮して、隣接する板パネルの2倍の厚さとしている。板要素でモデル化した以外の各点部の結合条件は、既往の研究⁵⁾を参考にし、剛結としている。材料構成則は、図-4に示す通りである。部材断面は、設計断面と構造パラメータが一致する等価断面に置き換えている。また、本解析では着目した圧縮部材の終局でトラス橋全体が終局に至るよう、着目部材以外の部材の降伏応力を $\sigma_y = 400 \text{ N/mm}^2$ としている。荷重条件は、トラス橋の終局強度が最も弱くなる時の荷重方法を選定し、下弦材L4の左端の鉛直下向きに強制変位を与えている。

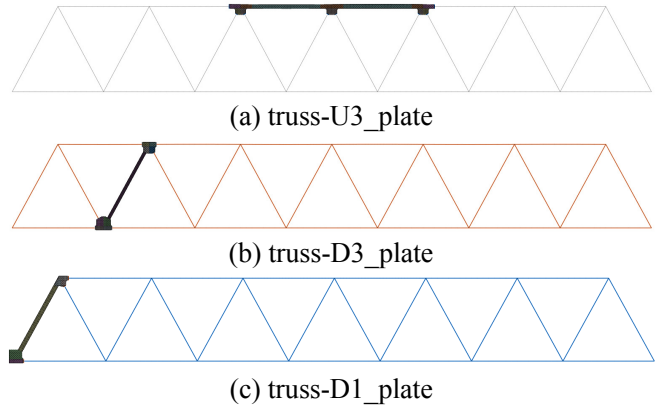


図-3 解析モデル (plate)

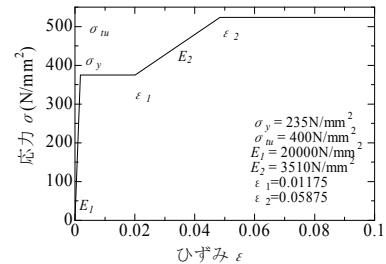


図-4 材料構成則 (SS400材)

2.3 トラス橋圧縮部材の終局時の変形モード

図-5~図-7に終局時の変形図および着目部材の両端と部材中央の応力-ひずみ関係をそれぞれ示す。なお、各解析ケースの終局強度については3章にて後述する。

(1) 上弦材U3

図-5より、上弦材U3は柱部材の部分が全て塑性化することにより終局状態に達し、柱の全体座屈が顕著となる座屈変形をする。また、部材の終局に近づくにつれて、最初に座屈した圧縮部材中央の座屈変形が卓越するため、ガセットプレートと部材の接合部付近に塑性ヒンジが形成され、応力集中の緩和が認められる。したがって、上弦材U3はトラス橋構造内において、両端が固定支持された圧縮柱と同様の変形を呈して終局状態に至ると予想される。

(2) 斜材D3

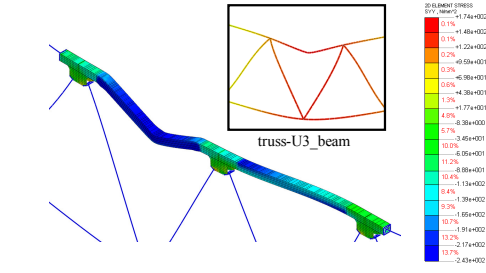
図-6より、斜材D3は部材が終局状態に達する前に、部材上端のガセットプレートと柱部材の接合部において、トラス橋全体の変形とガセットプレートの回転により生じるせん断力の影響を受け、部材軸方向のひずみが急激に増加する。これにより、部材上端がピン支持のような働きをすると考えられる。したがって、斜材D3はトラス橋構造内において、部材の端部が下端で固定支持、上端でピン支持された圧縮柱と同様の変形を呈して終局に達すると予想される。

(3) 端斜材D1

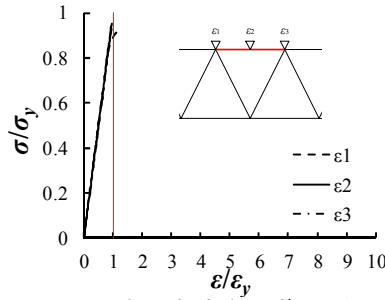
図-7より、端斜材D1は、部材が終局状態に達する以前に、部材上端部、追って部材下端部において、トラス橋全体の変形とガセットプレートの回転によるせん断力の影響により、部材軸方向のひずみが急激に増加する。

表-3 簡易柱モデルの解析ケース

Case	端部境界条件	使用要素	部材長
U3	固定-固定	板要素	Length_type1 Length_type2
		梁-柱要素	Length_type1 Length_type2
D3	固定-ピン	板要素	Length_type1 Length_type2
		梁-柱要素	Length_type1 Length_type2
D1	ピン-ピン	板要素	Length_type1 Length_type2
		梁-柱要素	Length_type1 Length_type2

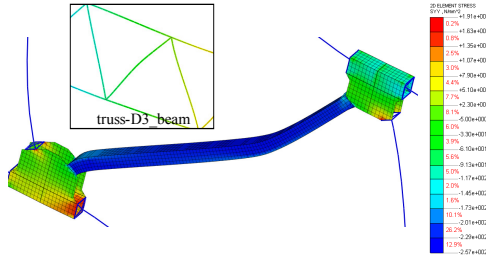


(a) 終局時の変形図 (変形倍率 3 倍)

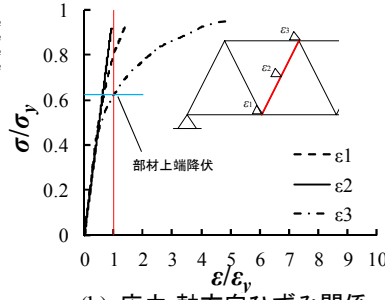


(b) 応力-軸方向ひずみ関係

図-5 上弦材 U3

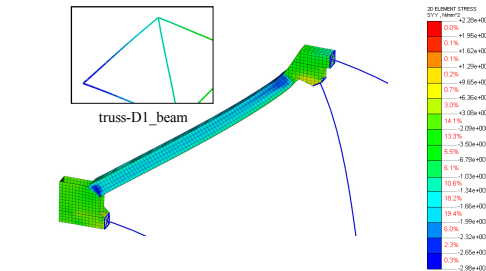


(a) 終局時の変形図 (変形倍率 3 倍)

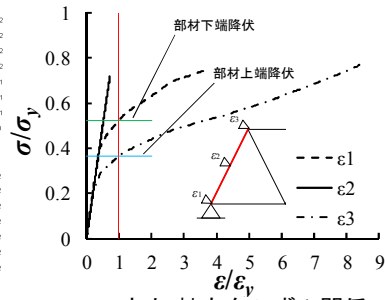


(b) 応力-軸方向ひずみ関係

図-6 斜材 D3



(a) 終局時の変形図 (変形倍率 3 倍)



(b) 応力-軸方向ひずみ関係

図-7 端斜材 D1

これにより、部材両端がピン支持として働き、終局時には部材両端がピン支持された圧縮柱のような変形モードとなる。しかし、柱全体としてもまだ余剰耐力を残したままに終局状態となっており、部材両端が完全にヒンジ化していない状態で部材の終局を迎えていると考えられる。また、どの解析ケースにおいても、plateモデルとbeamモデルとで、終局時の変形形状に違いが認められたが、これは解析モデルにより部材端部の拘束条件の違いによるためである。

3. 簡易柱モデルによるトラス圧縮部材の終局強度評価

前章の結果を踏まえると、終局時の変形モードから、着目する圧縮部材位置が上弦材U3では部材両端が固定支持、斜材D3では部材端部が固定-ピン支持、端斜材D1では部材両端がピン支持された圧縮柱と同等の強度を有すると予想される。そこで、本章ではトラス橋圧縮部材の終局強度を簡易に算出する方法として、トラス橋構造内における圧縮部材を取り出し1本の圧縮柱として考えた簡易柱モデルによる終局強度評価法を提案する。

3.1 簡易柱モデル

簡易柱モデルは、板要素モデル(plate)と梁-柱要素モ

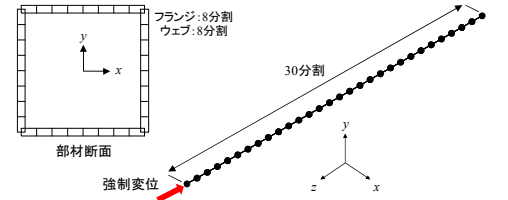


図-8 簡易柱モデル (beam)

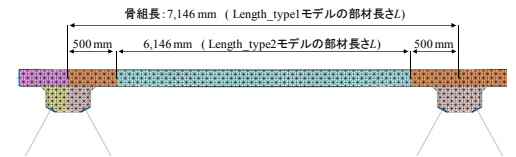


図-9 部材長の取り方 (上弦材U3)

デル(beam)を使用する。各圧縮部材の断面寸法は2章と同様の寸法とする。図-8に、梁-柱要素でモデル化した解析モデルを例に示す。簡易柱モデルの部材長は、図-9に示す上弦材U3の例のように、骨組

長(Length_type1)とガセットプレートにより部材が連結されている長さ分を取り除いた長さ(Length_type2)の2種類を考える。簡易柱モデルの部材端部の境界条件は、2.3節で得られた各圧縮部材における終局時の変形モードから、上弦材U3は両端固定支持、斜材D3は固定-ピン支持、端斜材D1は両端ピン支持として解析計算を行う。簡易柱モデルの解析ケースを表-3に示す。また、簡易柱モデルに考慮する初期たわみは、今回の解析ケースでは、全てにおいて柱部材を構成する板パネルの幅厚比が小さく、細長比が大きい柱の全体座屈が卓越するパラメータのため、無補剛箱形断面柱を構成する板パネルの局所的な初期たわみは考慮せず、解析モデルには、柱としての全体的な初期たわみSin波形(最大値L/1,000)を導入している。

3.2 解析結果

表-4に設計強度と解析による部材の終局強度の比較を示す。表中のトラスモデルの終局強度は、2.3節で得られた各解析結果の値である。また、図-10に各部材における終局時の作用曲げモーメント分布の比較を示す。終局時の曲げモーメント分布は、トラスモデルおよび簡

表-4 設計強度と各解析モデルの終局強度の比較

Critical member	細長比 パラメータ	設計強度	トラスモデル		簡易柱モデル				部材両端 支持条件
			板要素	梁-柱要素	板要素		梁-柱要素		
			truss_plate	truss_beam	column_plate		column_beam		
			λ	σ_{du}/σ_y	σ_{tpu}/σ_y	σ_{tbu}/σ_y	Length_type1	Length_type2	
U3	0.60	0.782	0.978	0.947	0.974	0.979	0.971	0.976	固定-固定
D3	0.79	0.678	0.918	0.929	0.919	0.947	0.916	0.943	固定-ピン
D1	0.62	0.766	0.774	0.740	0.906	0.930	0.902	0.933	ピン-ピン

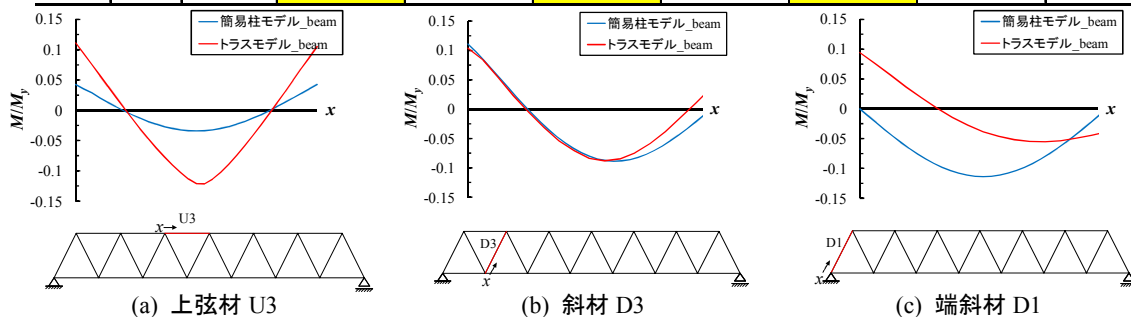


図-10 終局時に部材に作用する曲げモーメント分布の比較

易柱モデルともに梁-柱要素モデル(_beam)より算出している。

表-4より、上弦材U3および斜材D3は、truss_plateの終局強度は、部材の両端をピン支持として設計した設計強度よりも十分な余剰耐力を持ち、かつ、上弦材U3は両端固定支持とした1本の圧縮柱、斜材D3は部材の端部を固定-ピン支持とした1本の圧縮柱の簡易柱モデルの強度とほぼ一致した。図-10より、曲げモーメント分布は値に若干の差は認められるが、分布形状は一致していることが確認できる。さらに、板要素および梁-柱要素のどちらの簡易柱モデルでも、終局強度を正確に求めることができる。一方で、端斜材D1については、トラスモデルは、両端をピン支持とした場合の1本の圧縮柱の簡易柱モデルの終局強度および終局時の曲げモーメント分布と比較すると顕著な差が認められた。これは、トラスモデルでは端斜材D1が部材両端部での曲げによるせん断力の影響により終局状態に達している一方で、簡易柱モデルでは柱の全体座屈が卓越して終局状態に達していることから、トラスモデルと簡易柱モデルにおける終局状態に達する過程の違いが原因であると考えられる。しかし、道路橋示方書に基づいて算出した設計強度と同等の強度を有していることから、端斜材D1は設計と同様に部材の両端をピン支持とした1本の圧縮柱として設計を行ってよいと考えられる。

また、トラス圧縮部材の終局強度を評価する際の部材長の取り方に着目すると、上弦材U3のように部材両端が固定支持された柱の場合では、Length_type1およびLength_type2で終局強度に顕著な差は認められなかった。しかし、斜材D3および端斜材D1のような部材端部が固定-ピン支持、両端ピン支持された柱の場合では、Length_type1の方がLength_type2よりもトラス圧縮部材の終局強度を正確に評価できていることがわかる。これ

は、Length_type2ではガセットプレートで連結されている部材端は回転しないことを前提としているが、実際はトラス橋全体の変形に伴いガセットプレートも回転していることから、部材の有効座屈長が変化し、終局強度に差が生じたと考えられる。

以上より、軸力が卓越するトラス橋構造内の圧縮部材の終局強度は、部材長を骨組長とし、部材端部に適当な境界条件を与えた簡易柱モデルで評価することができる。また、その着目する圧縮部材端部の境界条件は、着目部材の終局強度は正確に評価できないが、truss_beamモデルにより、圧縮部材が終局状態に至った際の、部材に作用する曲げモーメント分布形状を確認することで決定することができる。

4. トラス圧縮部材の部材端部の力学的特性

本章では、ガセットプレート部分の剛性の違いが、トラス橋構造内の圧縮部材の有効座屈長および終局強度に及ぼす影響を評価するため、ガセットプレートの板厚をパラメータとして、ガセットプレートの剛性を変化させた場合について検討する。

4.1 解析モデル

解析モデルは、2章で示した3パターンの板要素でモデル化した解析モデル(normal)を使用し、ガセットプレート部分の剛性を変化させるため、ガセットプレート部の板厚を25%増加させたモデル(strong)および25%減少させたモデル(weak)の2パターンの解析を追加して行う。

4.2 解析結果

表-5に終局強度の結果を示す。結果より、上弦材U3および斜材D3については、橋梁設計時にガセットプレートの強度が十分に確保されている場合、ガセットプレートの板厚の増減が柱部材の終局強度に与える影響が少ないことがわかる。これは、上弦材U3および斜材D3

では、隣接部材の拘束効果により、終局状態に至るまでの部材の変形が柱部材の座屈変形が卓越する位置に集中していることから、柱としての強度は柱部材の座屈変形が支配的であると考えられるためである。したがって、ガセットプレート部の剛性が柱部材の有効座屈長に与える影響がごく小さいと考えられる。一方で、端斜材D1については、ガセットプレートの板厚の増減が、柱部材の終局強度に与える影響は大きい。これは、上弦材U3や斜材D3とは異なり、柱部材が終局状態に達する要因が、柱部材の座屈変形が支配的であるのではなく、柱部材端部の局部座屈変形が支配的であるためである。そのため、ガセットプレート部の板厚の増減により、終局強度も変化する。

表-5 終局強度の結果

Critical member	gasset_normal	gasset_strong	gasset_weak
U3	0.977	0.981	0.976
D3	0.919	0.919	0.921
D1	0.744	0.814	0.739

5. 簡易柱モデルの適応範囲の拡張

これまでは着目部材に限っての終局強度や変形モードなどについて論じてきた。しかし、同じ上弦材や斜材であっても、着目する部材の位置が変わった際に、これまで論じてきた上弦材や斜材の終局強度や変形モードと同等の性能を発揮するかは定かではない。しかし、着目部材の終局強度や終局時の変形モードの決定に、終局時に部材に作用している曲げモーメントが大きく寄与していることは確認できている。したがって、本節では、図-11に示すように、着目する圧縮部材の位置を上弦材はU1およびU2、斜材はD5およびD7'を追加し、梁-柱要素でモデル化した解析モデルによる弾塑性有限変位解析を行い、3章で既に得られている上弦材U3や斜材D3、端斜材D1との終局強度や曲げモーメントの分布との比較し、追加部材の終局強度についての評価を行う。

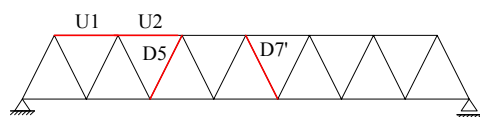


図-11 解析ケース追加部材位置

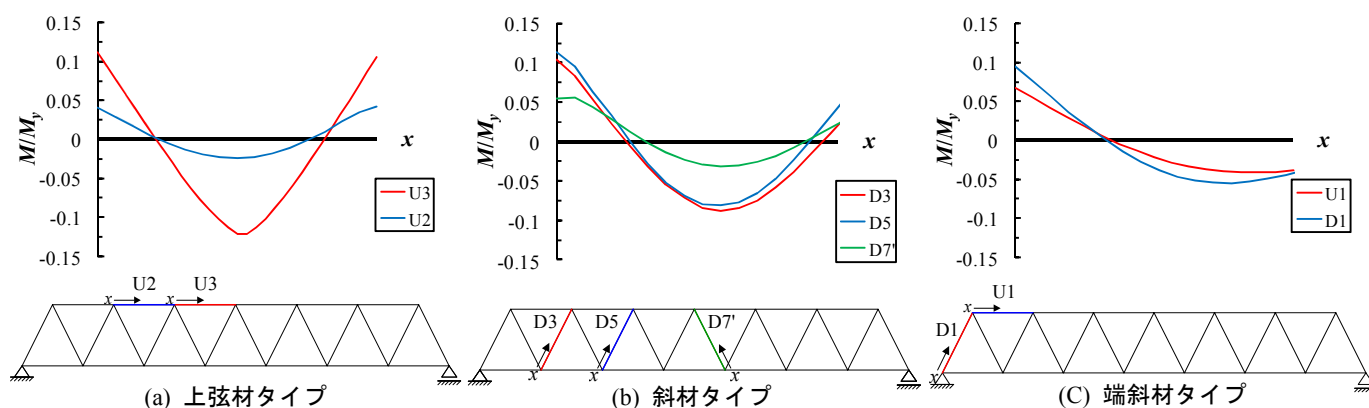


図-12 終局時の曲げモーメント分布の分類

表-6 設計強度と解析結果の比較

部材名	設計	解析	強度上昇率
上弦材	σ_u/σ_y	σ_u/σ_y	(%)
U1	0.782	0.815	4
U2	0.787	0.964	22
U3	0.782	0.947	21
斜材	σ_u/σ_y	σ_u/σ_y	(%)
D3	0.678	0.929	37
D5	0.586	0.921	57
D7'	0.586	0.960	64
端斜材	σ_u/σ_y	σ_u/σ_y	(%)
D1	0.766	0.740	-3

解析ケースごとの終局強度の比較を表-6に、終局時の曲げモーメント分布を類似するものに分類した結果を図-12に示す。

まず、上弦材については、上弦材U1を除く上弦材U2および上弦材U3は、部材端部に作用する曲げモーメントの向きは異なり、終局時の曲げモーメント分布は類似した傾向にある。強度上昇率についても、上弦材U2および上弦材U3は良好に一致している。したがって、終局時の変形モードが両端固定支持された圧縮柱と同じになる場合は、作用する曲げモーメントの値はあまり影響せず、上弦材U2は上弦材U3の部材両端の支持条件と同じと考えることができる。一方で、図-12(c)に示すように、上弦材U1の終局時の曲げモーメント分布は、部材端部に作用する曲げモーメントの向きが等しく、端斜材D1の曲げモーメント分布と類似している。これは、上弦材U1が他の上弦材と比較して、ガセットプレートにより拘束されている隣接部材の数が異なるためである。したがって、上弦材U1に関しては、端斜材D1と同様に柱の強度を安全側で考え、部材両端の支持条件を両端ピン支持とする。

斜材については、どの斜材においても、部材端部に作用する曲げモーメントの向きは等しく、終局時の曲げモーメント分布は類似している。一方で、強度上昇率については違いが認められる。これは、斜材では、各斜材の細長比パラメータや作用する曲げモーメントが部材の終局強度に与える影響が大きいためであると考えられる。しかし、終局強度を安全側に評価することを考慮すると、斜材についてはどの部材も斜材D3の部材両端の

支持条件と同じと考えることができる。

以上の結果を踏まえると、トラス橋構面内における圧縮部材が終局状態に達する際の部材端部の境界条件は、部材端部に作用する曲げモーメントの向きおよびガセットプレートにより拘束されている隣接部材数により分類できると考えられる。したがって、トラス橋圧縮部材の終局強度を簡易柱モデルで算定する際の部材端部の境界条件を、以下の3つのタイプに大別する。

- 1) 上弦材タイプ：両端固定支持
- 2) 斜材タイプ：固定-ピン支持
- 3) 端材タイプ：両端ピン支持

6. トラス橋圧縮部材の基準耐力曲線の提案

本章では、ガセットプレートを介して連結されるトラス橋圧縮部材を1本の圧縮柱と見なし、部材位置ごとの耐力曲線を、その圧縮柱の細長比を変化させたパラメトリック解析により求める。そして、タイプごとに得られた新たな基準耐力曲線を提案する。パラメトリック解析には、3章の簡易柱モデル(`_beam`)を使用する。

パラメトリック解析により得られた上弦材タイプおよび斜材タイプの基準耐力曲線を図-13に示す。また、本解解析により提案する新たな耐力力算定式として、上弦材の耐力力式を式(1)に、斜材の耐力力式を式(2)に示す。なお、端斜材に関しては、従来の設計基準にしたがった耐力力と同等の強度を示したため、これまでの耐力力曲線を使用することとし、本章では言及していない。

従来の道路橋示方書に示されている基準耐力力曲線よりも十分な強度を示しており、本研究で提案した耐力力曲線および耐力力算定式に有用性があると考えられる。また、上弦材および斜材の許容圧縮応力度曲線は、本研究により得られた耐力力曲線を安全率(=1.7)で除したものを考える。

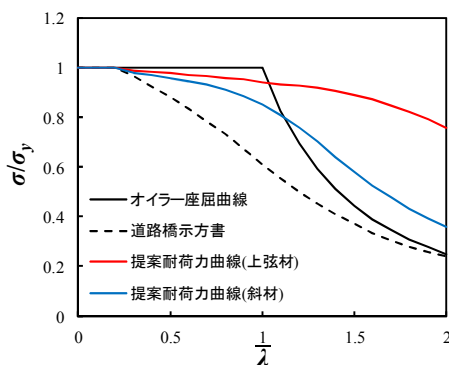


図-13 本研究で提案する基準耐力力曲線

$$\begin{cases} \bar{\sigma} = 1.0 & (\bar{\lambda} \leq 0.2) \\ \bar{\sigma} = 1.0094 - 0.0587\bar{\lambda} - 0.0065\bar{\lambda}^2 & (0.2 \leq \bar{\lambda} \leq 1.0) \\ \bar{\sigma} = 0.7902 + 0.3149\bar{\lambda} - 0.1655\bar{\lambda}^2 & (1.0 \leq \bar{\lambda}) \end{cases} \quad (1)$$

$$\begin{cases} \bar{\sigma} = 1.0 & (\bar{\lambda} \leq 0.2) \\ \bar{\sigma} = 1.0007 - 0.0132\bar{\lambda} - 0.1302\bar{\lambda}^2 & (0.2 \leq \bar{\lambda} \leq 1.0) \\ \bar{\sigma} = 1.5665 - 0.7916\bar{\lambda} + 0.0912\bar{\lambda}^2 & (1.0 \leq \bar{\lambda}) \end{cases} \quad (2)$$

7. 結論と今後の課題

本研究は、トラス橋圧縮部材に着目し、トラス橋構面内における圧縮部材の終局強度および変形性能について、種々の数値解析をもとに検討した。本研究により得られた結果を以下に示す。

- 1) トラス橋構面内で圧縮部材が終局状態に達する際、部材に作用する曲げモーメント分布および部材位置により、終局時の境界条件が異なることがわかった。具体的には、上弦材は部材両端が固定支持、斜材は部材端部が固定-ピン支持、端斜材は部材両端がピン支持された1本の圧縮柱と、それぞれ同等な終局強度および変形性能であることを明らかにした。
- 2) トラス橋圧縮部材の終局強度は、部材長を骨組長とする1本の圧縮柱と考え、部材位置ごとに部材両端に適切な境界条件を与えた簡易柱モデルで弾塑性有限変位解析を行うことにより算出できることを明らかにした。さらに、圧縮部材の部材両端に作用する曲げモーメントの向き、部材終局時の曲げモーメント分布、および隣接する部材数から、トラス橋圧縮部材の境界条件を3つに分類できることを示した。
- 3) 対象としたトラス橋の上弦材と斜材について、本研究で提案する新たな耐力力曲線が使用できる可能性を示唆した。

本研究で得られたトラス橋圧縮部材の終局強度は、残留応力を考慮した場合の強度算定については議論できていない。したがって、提案した基準耐力力曲線の汎用性を高めるためには、残留応力を考慮した場合のトラス橋構面内の圧縮部材の終局強度および変形性能について検討する必要がある。さらに、トラス橋と同じく複数の軸力卓越部材から構成される他の構造物についても、本研究の結果が適用できることを検証していきたい。

参考文献

- 1) 鋼構造委員会 座屈設計ガイドライン改訂小委員会：座屈設計ガイドライン改訂第2版 [2005年版]，土木学会，pp.91-94，2005.10
- 2) (社)日本道路協会：道路橋示方書・同解説 II 耐震設計編，2012.3
- 3) 例えば，宇佐美勉・福本秀士：鋼圧縮部材の連成座屈強度実験と有効幅理論による解析，土木学会論文報告集，第326号，pp.41-50，1982.10
- 4) 大阪市立大学大学院工学研究科都市系専攻橋梁工学分野・JIPテクノサイエンス株式会社システム技術研究所：EPASS/USSP version2.0，ユーザーズ・マニュアル，2008.2
- 5) 例えば，後藤芳顕・川西直樹・本多一成：リダンダンシー解析における鋼トラス橋の引張り斜材破断時の衝撃係数，構造工学論文集，Vol.56A，pp.792-805，2010.3

討議

討議 [谷口 与史也 教授]

上弦材と斜材，端斜材とで終局時の変形モードに違いが生じるのは何故か。

回答

上弦材は，部材中央部の変形が卓越して終局状態に至るため，ガセットプレートと部材の隣接部に応力は集中しない。したがって，上弦材の両端部は終局状態に至るまで固定支持の役割を果たす。しかし，斜材および端斜材は，トラス橋全体の変形と隣接するガセットプレートの回転により，部材の上下端部には曲げモーメントによるせん断力が増加する。その結果，部材上下端部の片方または両方がヒンジ状態となりながら部材が終局状態に達する。したがって，上弦材と斜材，端斜材は終局時の変形モードに違いが生じる。

討議 [山口 隆司 教授]

本研究で提案した上弦材および斜材の耐荷力曲線はどのような目的で使用すると考えているのか。

回答

トラス橋の新設や補修・補強を行う際に，本研究で提案した基準耐荷力曲線を用いると有用であると考えられる。

討議 [鬼頭 宏明 教授]

解析においてトラス構面の面外については考慮しているのか。また，トラス橋の崩壊形のパターンにより，トラス橋圧縮部材の終局時の変形モードも変化するのか。

回答

トラス橋構面が面外には変形しないと考え，解析では面外の変形を拘束している。また，本研究では，トラス橋の崩壊によりトラス部材が順次崩壊していくことを想定しておらず，トラス橋の終局を着目する1つの圧縮部材の終局のみで評価している。そのため，着目する圧縮部材の終局時の変形モードは1つに決まる。

討議 [谷口 与史也 教授]

本研究で提案している上弦材および斜材の終局強度と座屈固有値解析により算出される座屈荷重と比較すると違いは認められるのか。

回答

座屈固有値解析は，弾性内においてトラス圧縮部材に作用する軸力や曲げモーメントの状態により座屈荷重を算出している。しかし，トラス橋圧縮部材の境界条件は，弾性領域と塑性領域とで異なる条件となる。したがって，本研究で得られたトラス圧縮部材の終局強度は，座屈固有値解析により得られる座屈荷重とは異なる。本研究で得られた上弦材および斜材の方が，座屈固有値解析による座屈荷重よりも高い強度を有する。