防災対策用の折畳めるシザーズ機構を持つ仮橋プロトタイプの力学的研究

広島大学大学院	学生会員	○近広雄希	広島大学大学院	正会員	有尾一郎
東北学院大学	正会員	中沢正利	広島大学大学院	非会員	田中義和
施工技術総合研究所	正会員	谷倉泉	施工技術総合研究所	正会員	小野秀一

1. 研究背景

X状に交差した、2本の骨組部材から構成されるシザー ズ構造は、伸縮機構を持った展開構造物に利用される。 中央部をピン(ピボット)により連結することで、互いに回 転を許容し、伸縮を可能にしている。そのため建築構造 物の屋根や昇降機などに応用され、使用時にはコンパク トに収納した状態から迅速に展開が可能である。しかし、 このような構造が橋梁形式に用いられたシステムは皆無 である。そこで本研究では、今後の防災対策として、こ のシザーズ機構の基本的な力学特性を把握するとともに、 迅速に展開・収納できる特長を活かした新しい仮設橋モ デルの力学的検討をする。

2. 単位シザーズ構造の力学

Fig.1に単位シザーズモデルを示す。部材長を L_0 、進展傾斜角を θ とすると、格間長 λ および高さ2hは L_0 sin θ = λ , L_0 cos θ =2hと表され、展開・収納状況は角度 θ を用いて表 すことができる。この単位シザーズ構造は力の釣合条件 から解くことができ、作用する各力 V_A , $H_A \sim V_E$, H_E に関す る 6 つの釣合式と交差する各部材 AE および BD に注目 した場合のピボットC点周りにおける 2 つのモーメント の釣合式より、**Table 1**と表される。ただし、C=Locos θ , S=Losin θ である。

例として Fig.1 の片持ちモデルを考える。与条件より、 H_B=V_B=0, H_E=0, 集中荷重 V_E=P として解くと、反力 R_A=P, R_D=0, H_A=-H_D=Ptan のが求まり、断面力 M_C=P/L₀sin θ, $S_{AC}=S_{CE}=Psin\theta$, $N_{AC}=Ptan\theta sin\theta$, $N_{CE}=-Pcos\theta$, $N_{DC}=-P/cos\theta$ ϵ 得る。発生する断面力はFig.3に示すように、軸力、せ ん断力、曲げモーメントと種々の力が作用していること が分かる。 θ と荷重に依存する断面力の関係を**Fig.2**に 示す。構造体を展開するにつれ θ が増加するため、軸力 N_{GE}はθの増加とともに減少していく。しかし、残りの反 力および断面力は増加し、特に部材長に依存する曲げモ ーメント項が支配的な断面力となる。このことから、シ ザーズ構造の部材には軸力だけでなく曲げモーメントが 発生することに注意しなければならない。また単位シザ ーズを基本とし、1.2.…nと格間数を増加する場合におい ても同様に、力の釣合式を解いていくことで全体の未知 反力、断面力を算定することができる。

3. 部材曲げ解析の結果

単位シザーズの釣合条件から、1部材に対して曲げモー メントの抵抗力を把握しておく必要がある。そこでシザ ーズ骨組の実構造物を想定した、I=1146.33cm²,L=1.5m の構造部材を用いて 3 次元 FEM 解析を実施し、弾性範 囲内における応力の進展状況を計測した。Fig.4 と Fig.5 は 43kN 時の解析結果をそれぞれ示す。曲げによる縁応 力よりも、ピボット周りに高い応力が発生していること が分かる。 Table 2 に解析結果および理論値より算定し た、降伏荷重を示す。中心線上にある、下縁部分と上縁 部分およびピボット周りの応力集中部に着目した。

以上より、曲げモーメントの影響よりも、ピボット周 りの応力集中部での影響に注意しなければならないこと が分かる。



キーワード シザーズ構造、モバイルブリッジ、応急仮設橋

連絡先 〒739-8527 広島県東広島市鏡山1-4-1 広島大学大学院工学研究科社会基盤環境工学専攻 TEL 082-424-7792

4. 3格間骨組構造モデルの FEM 解析の結果

軽車両荷重に耐えうる仮設橋を設計する。シザーズの 釣合式を解くことで、発生する曲げ応力を算定し、各作 用応力値が定める使用限界応力内に収まるように検討す る。使用限界応力は、降伏応力である 180MPa に安全率 1.5 を考慮して 120MPa までをとする。

Fig.6 に軽自動車の通行を考えた、3 格間のシザーズ骨 組構造を持つ、スパン長 10.5m、横幅 1.97m、高さ 2m の解析モデルを示す。解析は片持ち展開状態時と展開後 の両端支持状態の 2 パターンを行った。片持ち状態では 自重のみを、両端支持状態では、自重に加え、軽車両を 想定した T1 荷重を考慮し解析を行った。

シザーズの釣合式から導く最大発生応力は、片持ちモ デルの場合、根元交差部分で29.9MPa、両端支持モデル の場合、中央交差部で56.0MPaである。また、ピボット 周りの応力集中部の降伏応力値は、下式に示す下縁部分

での降伏値応力 σ_v^E とピボット周りの降伏応力 σ_v^o の比率

を用いて簡易的に算定する。

 $\alpha = \sigma_Y^O / \sigma_Y^E = 0.683$

これは、応力集中部での降伏応力値が最大縁応力値の 0.683 倍であることを示す。これを適用すると、ピボット 周りの応力集中部での最大応力値は、片持ちモデルの場 合 43.8MPa、両端支持モデルの場合 82.1MPa 相当である と予測できる。

Fig.7 は片持ちモデルの解析結果である。Fig.9 (a)に最 大応力値付近を拡大した図を示す。モデル中央のピボッ ト部分の下縁部分で最大縁応力値 40.1MPa、円孔付近で 30.1MPaを得た。これらは許容限界応力内に十分収まる。 理論値との差を比較すると、それぞれ 10.2MPa、 13.7MPaであり、25.4%、45.7%の誤差がある。

Fig.8 は両端支持モデルの解析結果である。Fig.9 (b)に 最大応力値付近を拡大した図を示す。モデル中央のピボ ット部分の下縁部分で最大縁応力値52.4MPa、円孔付近 で最大応力値111.9MPaを得た。これらは許容限界応力 内に収まる。理論値と比較すると、差がそれぞれ3.6MPa と29.8MPaであり、6.84%、26.6%の誤差が生じた。

これら得られた結果をTable 3にまとめる。

5. 結語

本研究の結論と今後の課題を以下に述べる。

シザーズ構造の平衡力学を考えることによって、この展開構造の基本的な力学特性を把握することができた。
部材曲げ解析を元にシザーズ骨組構造モデルに組み込み、FEM 解析および理論設計による検証を行い、軽車両荷重に耐えうるシザーズ構造の可能性を示唆した。

3) 簡易的に応力集中部の応力を把握し、解析値との整

合性を確認した。

4) 今後は、応力集中部の状態や接触圧の影響をより詳細に考えていく必要があり、力学的実験や FEM 解析を通して、理論値との整合性を確認する。

参考文献

 Ichiro Ario, Yuki Chikahiro, Yoshikazu Tanaka : Dynamic analysis for the prototype of a new type of Mobilebidge, EUROMECH-ENOC, 2011(submitted)

Table 2 単位シザーズの平衡力学						
着目部分	理論値	FEM 解析				
下縁部中央	63.4kN	63kN				
上縁部中央	63.4kN	68kN				
応力集中部	46.2kN	43kN				



Fig.4 部材解析結果

Fig.5 ピボット拡大部



Fig.6 3格間シザーズ骨組構造モデル



Fig.7 片持ちモデルのミーゼス応力分布



Fig.8 両端支持モデルのミーゼス応力分布





(a) 片持ちモデル
(b) 両端支持モデル
Fig.9 最大応力値付近の拡大図
Table 3 理論値と解析値の比較

着目部分	最大縁応力		ピボット周りの最大応力	
展開状態	片持ち	両端支持	片持ち	両端支持
理論値(MPa)	29.9	56.0	43.8	82.1
FEM解析值(MPa)	40.1	52.4	30.1	111.9
理論値と解析値の差(MPa)	10.2	3.6	13.7	29.8
理論値と解析値の誤差(%)	25.4	6.8	45.7	26.6