

3 ヒンジトラスにおける力学的感性に関する研究 ～その2：圧縮軸力が作用する非対称形トラスを対象とした場合～

○香取 亨*1 堤 和敏*2

キーワード：力学的感性 力学的合理性 設計ノウハウ 3 ヒンジトラス

1. 研究背景、目的

耐震偽装事件は、現行制度の問題点を浮き彫りにした以外に、必ずしもすべての建築士が、十分な力学的感性（直感）を持ち合わせているわけではないこと、一般社会と構造設計者間での常識の乖離を再度認識させた。本研究では、力学的感性に着目する。一般的に感性を養うためには、「本物」に触れることが重要であるが、力学的感性における「本物」とは何であろうか。本研究では、「本物」を最適解であると仮定し、力学的感性を養うためには、設計対象領域と荷重条件及び境界条件を与えられた構造形態について、構造形態の最小重量となる力学的合理性を有する最適な形態を特定し、その形態を分析することにより、設計ノウハウを身に付けることであると考えている。

既報¹⁾では、引張軸力が作用する3ヒンジトラスを対象とした。本報では、圧縮軸力が作用する非対称形トラスの左右の部材を異断面・同断面とした時の2パターンを対象とした。本研究の目的は、荷重とスパン長、頂点位置を変数として、最少重量となる形態高さを求め、両パターンを比較し、力学的感性を養うための設計ノウハウを提供することである。

2. 圧縮軸力が作用する左右異断面非対称形トラス

対象とするモデルを図1に示す。圧縮軸力が作用する部材の設計では、座屈を考慮しなければならないため、断面形状が重要である。対象とする断面形状パラメータを図2に示す。

2-1. 定式化

前回の論文¹⁾²⁾³⁾を参考とする。

2-2. 解析結果

Nの値を100～200kNまで20kN間隔、Lの値を300～600cmまで50cm間隔、形態高さの値を50～200cmまで0.05cm間隔、仮定2と仮定3のA部材と仮定3のB部材の断面成の値を1～20cmまで0.01cm間隔、a1を0.1～0.5まで0.1間隔で設定し、最適形態高さrと最適断面成Dを求める。得られた結果を図3、4に示す。ここで、圧縮力、スパン長、材料強度の値に影響されないように式(1)のように基準化を行う。

$$N1 = \frac{N}{F \cdot L^2}, r1 = \frac{r}{L}, a1 = \frac{a}{L}, DA1 = \frac{DA}{L} \cdot \frac{a}{L}, DB1 = \frac{DB}{L} \cdot \frac{a}{L} \quad (1)$$

2-3. 指数関数の近似式と検証

図3、4より、高さ比に関して、仮定1は直線として、仮定2と仮定3及び断面成比はほぼ指数関数で近似可能である。したがって近似式は、高さ比に関して仮定1と仮定3は、a1=0.3、0.5の値を使用し、仮定2はa1=0.1、0.3、0.4の値を使用して求める。断面成比に関しては、a1=0.1、0.3、0.5の値を使用して近似式を求め、式(2)～式(6)に示す。

○外力比・頂点位置と高さ比

$$\text{仮定1: } r1' = -0.0706a1 + 0.2853 \quad (2)$$

$$\text{仮定2: } r1' = (1.4115a1 + 0.1168)N1^{(0.315a1 - 0.037)} \quad (3)$$

$$\text{仮定3: } r1' = (-0.749a1 + 2.243)N1^{(-0.0635a1 + 0.2154)} \quad (4)$$

○外力比・頂点位置と断面成比

A部材:

$$D1A' = (-1.2162a1^2 + 0.9635a1 - 0.0023)N1^{(-0.2603a1 + 0.3921)} \quad (5)$$

B部材:

$$D1B' = (0.3615a1 - 0.0083)N1^{(0.0198a1 + 0.2445)} \quad (6)$$

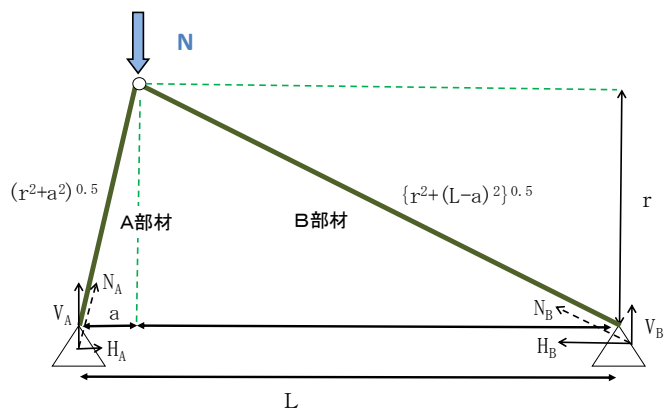


図1. 圧縮軸力が作用する非対称形トラス

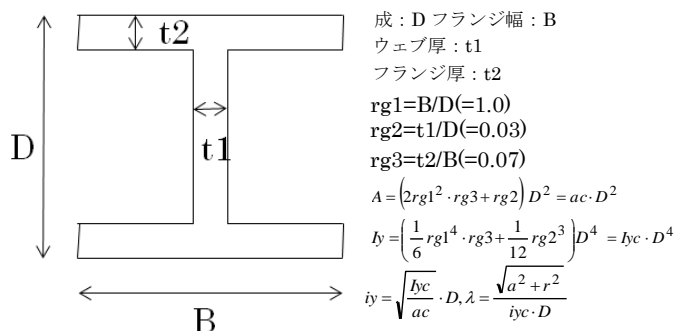


図2. 断面形状比図

成：D フランジ幅：B
ウェブ厚：t1
フランジ厚：t2
rg1=B/D(=1.0)
rg2=t1/D(=0.03)
rg3=t2/B(=0.07)
 $A = (2rg1^2 \cdot rg3 + rg2) D^2 = ac \cdot D^2$
 $Iy = \left(\frac{1}{6} rg1^4 \cdot rg3 + \frac{1}{12} rg2^3 \right) D^4 = Iyc \cdot D^4$
 $Iy = \sqrt{\frac{Iyc}{ac}} \cdot D, \lambda = \frac{\sqrt{a^2 + r^2}}{Iyc \cdot D}$

一方、式 (2) ～式 (6) の有効性を確認するための検証は高さ比に関して仮定 1 及び仮定 3 は $a1=0.4$ で、仮定 2 は $a1=0.2$ で設定した。また、断面成比に関しては $a1=0.2$ 及び 0.4 で設定した。許容応力度を満足する最少重量となる最適高さ比 $r1$ と最適断面成比 $D1$ を求め、実際値と推定値の比較図を図 5、図 6 に示す。

2-4. 考察

分析結果よりえられた考察を以下に述べる。

1. 仮定 1 に関しては、外力や材料強度に依存せず、スパン長と頂点位置に依存するが、仮定 2 と仮定 3 に関しては、外力、スパン長、頂点位置に依存する。
2. 高さ比に関して、 $a1=0.1\sim 0.2$ の範囲では、仮定 2 のみが存在し、 $a1=0.3\sim 0.4$ の範囲になると仮定 1～仮定 3 すべてが存在する。また、 $a1=0.5$ では、仮定 1・仮定 3 が存在することがわかる。
3. $a1$ の値が増加していくにつれ、断面成比は大きくなる。また、 $a1=0.1, 0.2, 0.3, 0.4, 0.5$ の断面成比に対する増分はほぼ同程度である。
4. 高さ比に関して仮定 1 は直線として、仮定 2 と仮定 3 はそれぞれ外力比の指数関数として近似可能である。また、断面成比に関しては、各仮定を同一の外力比の指数関数で近似可能である。図 5、6 より求めた指数関数の精度は、高さ比の $a1=0.2$ のみ 5% 以上の誤差が生じた。これについては、今後基準化の方法も含めて、さらに検討を行う予定である。

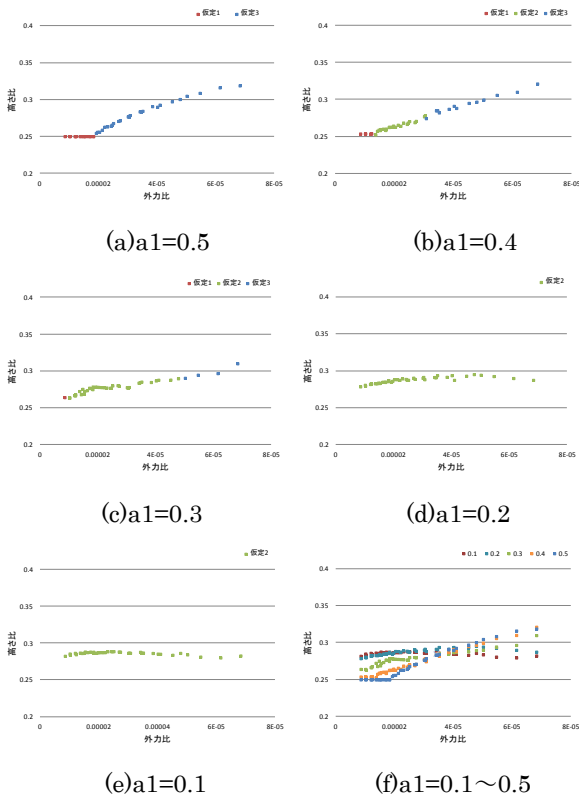


図 3.異断面：高さ比

5. 図 3 (f) より、高さ比に関して外力比の増加に伴い頂点位置比の逆転現象が生じたが、断面成比に関しては生じない。これについて、今後さらに検討を行う予定である。

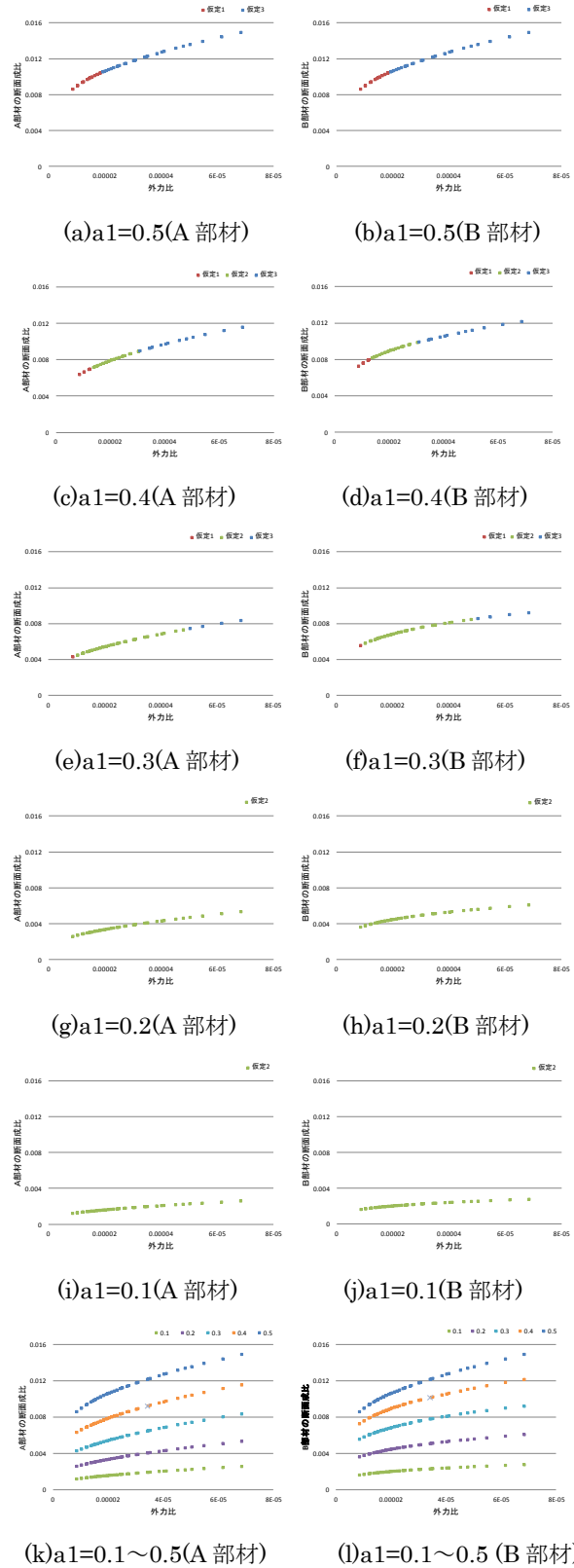


図 4.異断面：断面成比

3. 圧縮軸力が作用する左右同断面非対称形トラス

対象とするモデル, 断面形状は左右異断面の場合と同じである。

3-1. 解析方法

外力, スパン長, 形態高さ, 断面成, 頂点位置を設定し, 各仮定の細長比と応力比を満足する重量を求め, 最小重量となる形態高さと断面成を求める。尚, 本研究では, 最小重量となる形態高さと断面成を求めた。また, 部材断面を求める際, 両部材の応力比を比較し, 応力比 (圧縮応力度/許容圧縮応力度) が最も 1 に近い部材断面を他方の部材断面に採用した。

3-2. 解析結果

左右異断面と同様に N の値を 100~200kN まで 20kN 間隔, L の値を 300~600cm まで 50 cm 間隔, 形態高さの値を 50~200cm まで 0.05cm 間隔, 断面成の値を 1~20cm まで 0.01cm 間隔, a_1 の値を 0.1~0.5 まで 0.1 間隔で設定し, 最適形態高さ r と最適断面成 D を求める。得られた結果を図 7, 図 8 に示す。ここで, 圧縮力, スパン長, 材料強度の値に影響されないように式 (1) のように基準化を行う。

3-3. 指数関数の近似式と検証

図 7, 図 8 より, 高さ比に関して仮定 1 と仮定 2 は同一直線として, 仮定 3 及び断面成比は, ほぼ指数関数で近似可能である。したがって近似式は, 高さ比に関して仮定 1 と仮定 2 は $a_1=0.1, 0.3, 0.5$ の値を使用し, 仮定 3 は $a_1=0.3, 0.5$ の値を使用して求める。また, 断面成比に関しては $a_1=0.1, 0.3, 0.5$ の値を使用し, 近似式を求め, 式 (7)~式 (9) に示す。

○外力比・頂点位置と高さ比

$$\text{仮定 1・2: } r_1' = 0.1916a_1 + 0.3483 \quad (7)$$

$$\text{仮定 3: } r_1' = (-3.345a_1 + 3.541)N_1^{(-0.163a_1 + 0.2651)} \quad (8)$$

○外力比・頂点位置と断面成比

$$D_1' = (0.364a_1 - 0.0074)N_1^{(0.022a_1 + 0.2457)} \quad (9)$$

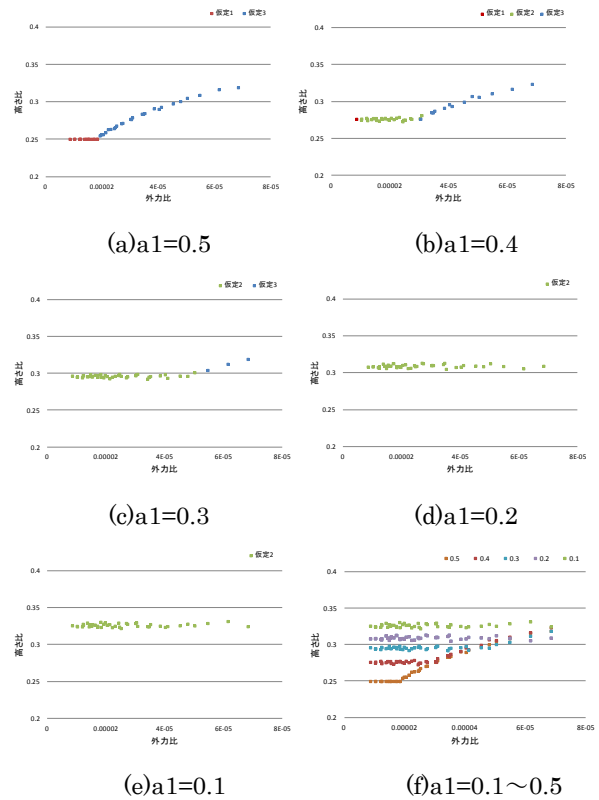


図 7.同断面：高さ比

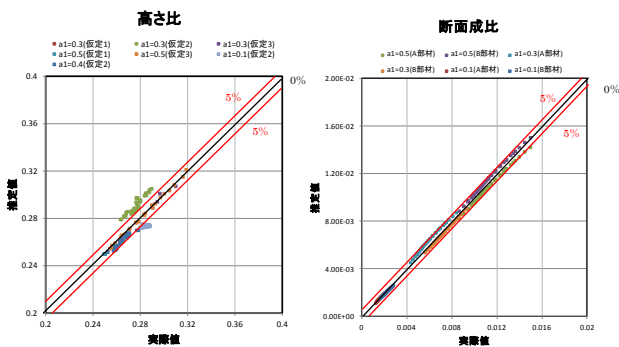


図 5.異断面：近似式を求めたデータに対して

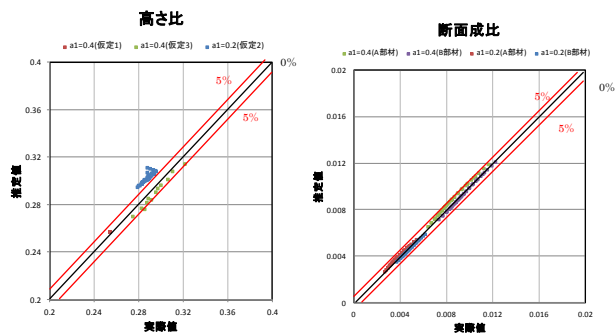


図 6.異断面：検証データに対して

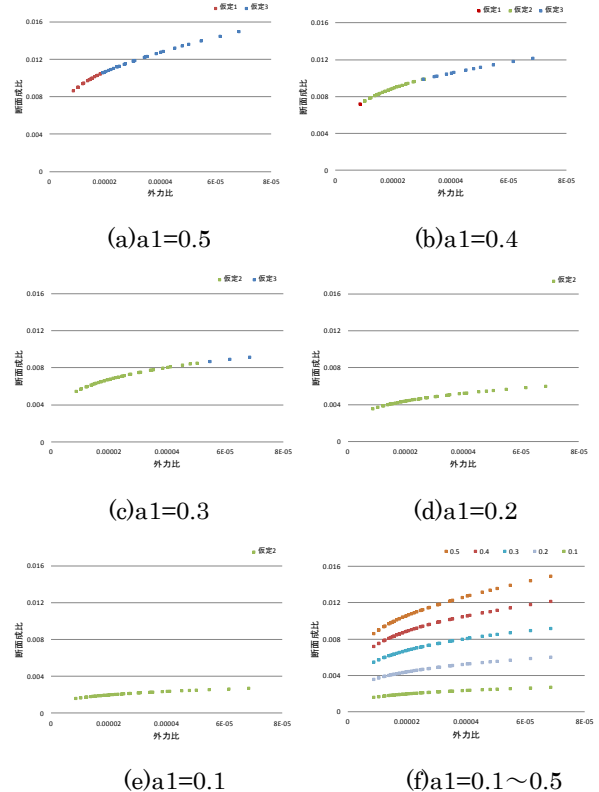


図 8.同断面：断面成比

一方、式 (7) ～式 (9) の有効性を確認するための検証は、高さ比に関して仮定 1・2 は $a1=0.2, 0.4$ 、仮定 3 は $a1=0.4$ で設定した。また、断面成比に関しては $a1=0.2, 0.4$ で設定した。許容応力度を満足する最少重量となる最適高さ比 $r1$ と最適断面成比 $D1$ を求め、実際値と推定値の比較図を図 9、図 10 に示す。

3-4. 考察

分析結果よりえられた考察を以下に述べる。

1. 仮定 1 と仮定 2 に関しては、外力や材料強度に依存せず、スパン長と頂点位置に依存するが、仮定 3 に関しては、外力、スパン長、頂点位置に依存する。
2. 高さ比に関して、 $a1=0.1\sim 0.3$ の範囲では、仮定 2 のみが存在し、 $a1=0.4$ では、仮定 1～仮定 3 すべてが存在する。また、 $a1=0.5$ では、仮定 1・仮定 3 が存在することがわかる。
3. $a1$ の値が増加していくにつれ、断面成比は大きくなる。また、 $a1=0.1, 0.2, 0.3, 0.4, 0.5$ の断面成比に対する増分はほぼ同程度である。
4. 高さ比の仮定 1 と仮定 2 は同一直線として、仮定 3 は、外力比の指数関数として近似可能である。また、断面成比に関しては、仮定 1・仮定 2・仮定 3 まとめて一つの外力比の指数関数で近似可能である。図 7～8 より求めた近似式の精度は、高さ比・断面成比ともに 5% 以内にあり式の精度がよいことがわかる。
5. 図 7 より、仮定 2 の高さ比が仮定 1 と同様に外力比にかかわらず一定である。

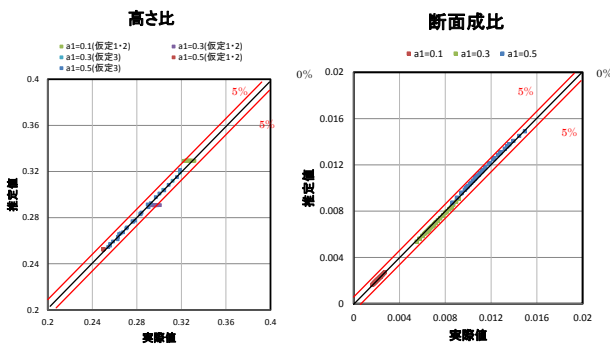


図 9.同断面：近似式を求めたデータに対して

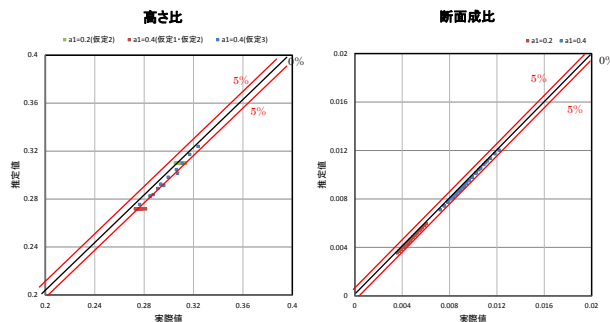


図 10.同断面：検証データに対して

6. 高さ比に関して、外力比の増加に伴い、 $a1=0.3\sim 0.5$ 範囲で逆転現象が生じるが、断面成比に関しては、頂点位置比の逆転現象が生じない。これについては、今後さらに検討を行う予定である。

4. 結論

本報では、力学的感性を養うためには、最適解を提供する必要があるとの認識のもので、圧縮軸力が作用する非対称形トラスの左右の部材を異断面・同断面とした時の 2 パターンについて分析した。結論を以下に述べる。

1. 図 3、図 7 より仮定 2 に関して、異断面の場合は曲線を描いているが、同断面の場合は一定である。
2. 図 5、6、9、10 より、断面成比に関して、同断面と異断面ともに式の有効性がみられたが、高さ比に関して異断面の仮定 2 のみ 5% 以上の誤差があった。
3. 高さ比に関して同断面・異断面ともに頂点位置比の逆転現象が生じたが、断面成比に関しては生じなかった。
4. 形態高さに関して、異断面と同断面と比較すると同断面の方が高くなる。
5. 断面成比に関して、異断面と同断面と比較すると A 部材は同断面の方が大きくなるが、B 部材は異断面の方が大きくなる。

以上より、圧縮軸力が作用する非対称形トラスについて力学的感性を養うための設計ノウハウを提供できた。今後は、3 ヒンジトラスでのより多くのパターン(部材形状パラメータの変更など)、さらには、より複雑な形状について検討し、これらの最適形状を求めてその考察を行い、力学的感性を養うための設計ノウハウを提供する予定である。

[参考文献]

- 1) 香取亨・堤和敏、3 ヒンジトラスにおける力学的感性に関する研究、第 34 回情報・システム・利用・技術シンポジウム論文集、2011 年 12 月、pp135-138
- 2) 香取亨・堤和敏、3 ヒンジトラスにおける力学的感性に関する研究～圧縮軸力が作用する異断面非対称トラスを対象とした場合～、日本建築学会大会学術講演梗概集(東海)、2012 年 9 月、pp1-2
- 3) Toru Katori・Kazutoshi Tsutsumi、A study on mechanical sensibility and the optimal design～In case of three hinge truss～, The Seventh China-Japan-Korea Joint Symposium on Optimization of Structural and Mechanical Systems Huangshan, June, 18-21, 2012, China

*1 芝浦工業大学 大学院生
*2 芝浦工業大学 教授・工博