

(5) 構造形態と人間の力学的感覚

Optimal Configuration of structures and Human Mechanical Impressions

長谷川 明

Akira HASEGAWA¹

According to mechanical conditions, we can find the optimal configuration of the structure, for example, the optimal positions of the supports of beam which give us the minimum of the bending moment, or give us the minimum of the strain energy in the beam. On the other hand, we, human, have some impressions for the structure. Depending on the configuration, we feel that the structure is dangerous, safe or economical et al.. In this study, we consider the relation of the optimal configurations obtained by the mechanical conditions and the configurations obtained from questionnaires. As the structural models, we treat simple two beams and four trusses. We discuss the position of the supports in case of the beams and the angles between two members in case of the trusses.

key words : configurations, human impressions, optimal configurations

1 はじめに

構造物の形態や寸法は、構造物の機能性、安全性、経済性および美観などの多くの条件を満足するものとして設計される。従来、これら形態の決定は、与えられる機能を有する形態の中から、経済性と安全性を照合し、周辺環境との調和を考慮する手順で実施されてきている。しかし、このような構造物が人間社会の中に調和して存在するためには、構造物の形態に対する人間の印象や感覚を考慮する必要があると考えられる。従来考慮されてきた力学的計算に基づく安全性や経済性などの判断基準とともに、この構造形態から受ける人間の感覚についても検討が必要と考える。これまでの構造景観に関する研究においては、特に美しいという感覚について検討されてきているが、構造物の役割を考えると、安心や不安などの印象を人間は受けると考えられる。このため、人間の感覚における力学的な要素の安心や安定感という感覚を与える形態の力学的な検討が必要である。

そこで、安全性や経済性と関係が深い力学的条件から望ましい形態と、人間が感覚的に優れていると考える形態を、それぞれ計算とアンケートから求め、比較考察した。

2 対象モデル

対象モデルは、ごく簡単なモデルとし、図-1に示す支点数の異なる2種類のはりと、集中荷重を受ける4種類の2部材トラスである。

はりA,Bは等分布荷重を受ける等断面張り出しばりで、左右対称構造とし、張り出し部 a が全長 L に対してどのような値であればよいかを検討することとする。設計変数を支間比 a/L と考える。

4種類のトラスは、荷重載荷点の高さ H あるいは距離 L が固定されており、部材角 θ を設計変数と考える。

¹工博 八戸工業大学工学部土木工学科 (〒031 青森県八戸市妙字大開88-1)

3 人間感覚から求められる形態

3.1 アンケートの方法

人間が形態からどのような感覚を受けるかについてはアンケートによって調査した。アンケートでは6種類の構造形態について、はりでは支間比を0.1ずつ異なる図から、トラスでは部材角が 10° ずつ異なる図からそれぞれ該当するものを選ぶ方法をとった。6種類それぞれの構造について、1)一番安心な感じがするもの、2)一番お金がかかりにくいもの、および3)一番不安な感じがするものを選ぶものとした。また、それぞれ選択理由についても選択肢を設け選ぶものとした。

アンケートの対象については、回答が性別や年齢に影響あることが考えられるため、これらを考慮した選択を行った。アンケートの有効回答数は798件で、これは配布数916に対し87.1%の回答率となっている。回答者の構成を表-1に示す。これによると50代と70代の回答数がそのほかの年代に比べ少ない。

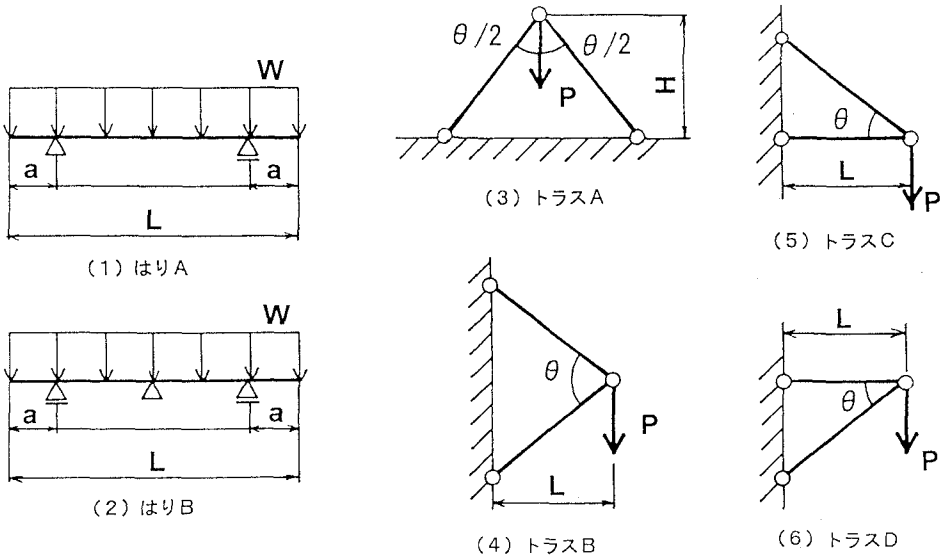


図-1 対象とした6種類の構造

表-1 アンケート回答者構成

	10代	20代	30代	40代	50代	60代	70代	計
男	42	118	25	101	16	47	11	360
女	48	130	56	130	12	48	7	431
計	90	248	81	231	28	95	18	791

配布数916 うち有効回答数791 有効回答率86.4%

3.2 アンケートの結果

ここではアンケート集計の中から得られた主な結果について述べる。

- 1) 図-2 (a) は、はりAについて一番安心な感じがする形態の回答結果である。左図によると性別に関わらず、支間比 $a/L=0.2$ を選んだものが最も多く、次に 0.1 が多いことが示されている。この選択理由としては71%の人がバランスが良いことをあげている。この平均値は 0.16 である。性別および年齢別の平均値を示した右図を見ると、 0.13 (10代男子) から 0.21 (50代女子) まで幅のある結果となっているが、若年層が小さな値をとっている。
- 2) 図-2 (b) から、はりAについて一番経済的と答えた支間の平均値は、ほぼ一番安心な感じがする支間比と同一であったが、支間比の選択にはばらつきが大きいことが示されている。このため、選択理由も、間隔が広い (29%)、バランスがよい (24%)、間隔が狭い (17%) など卓越した回答理由は見あたらない。

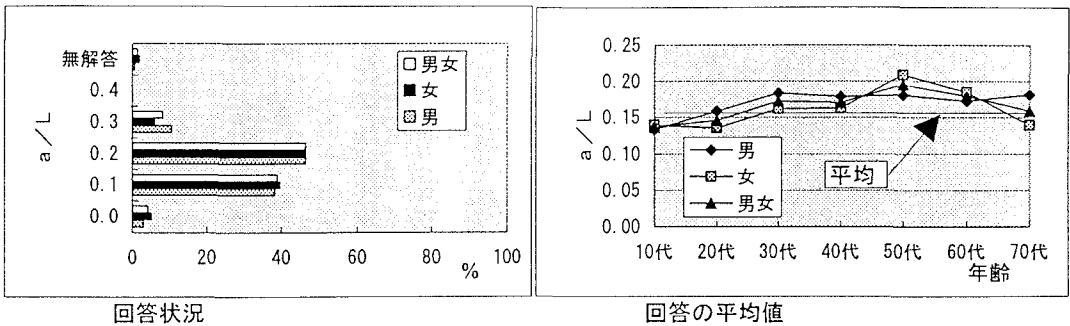


図-2 (a) はりA 最も安心な形態

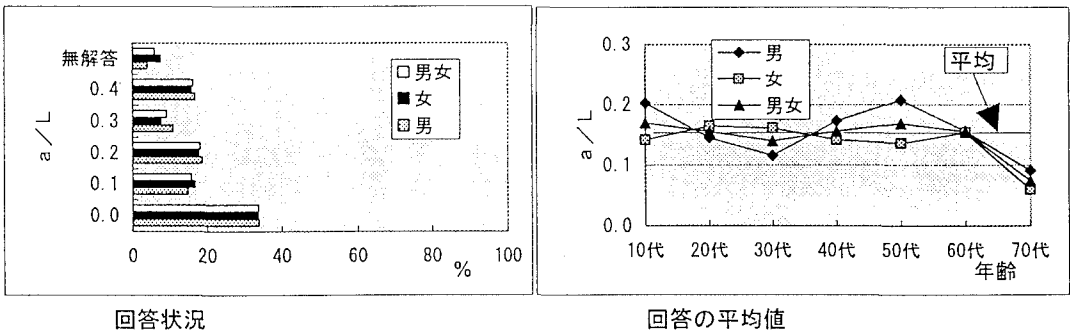


図-2 (b) はりA 最も経済的な形態

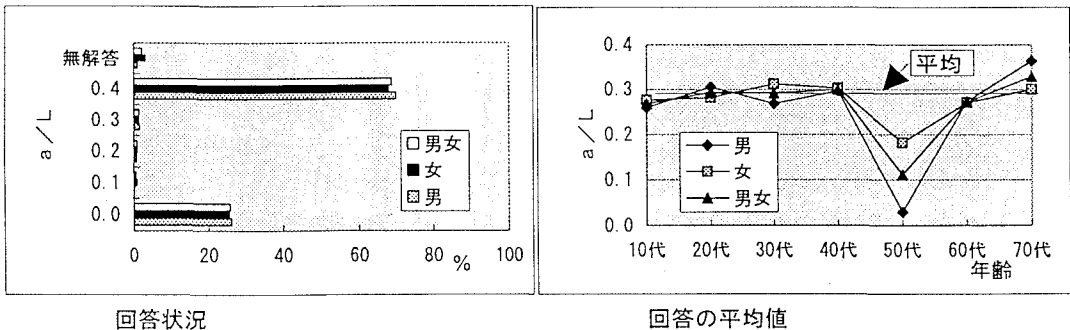
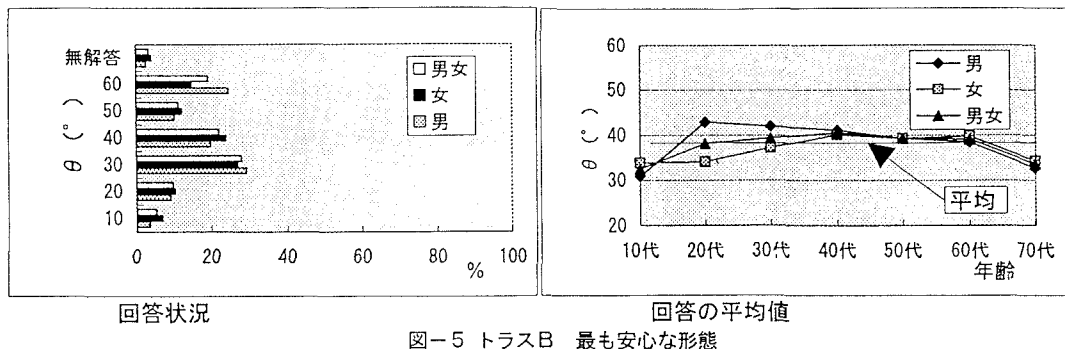
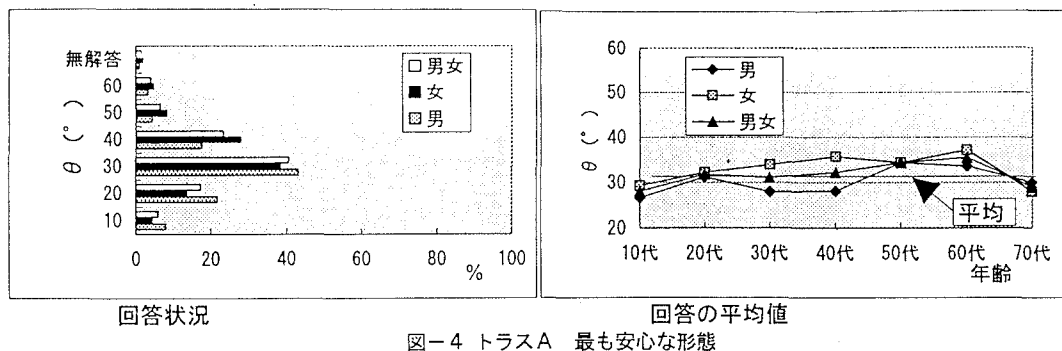
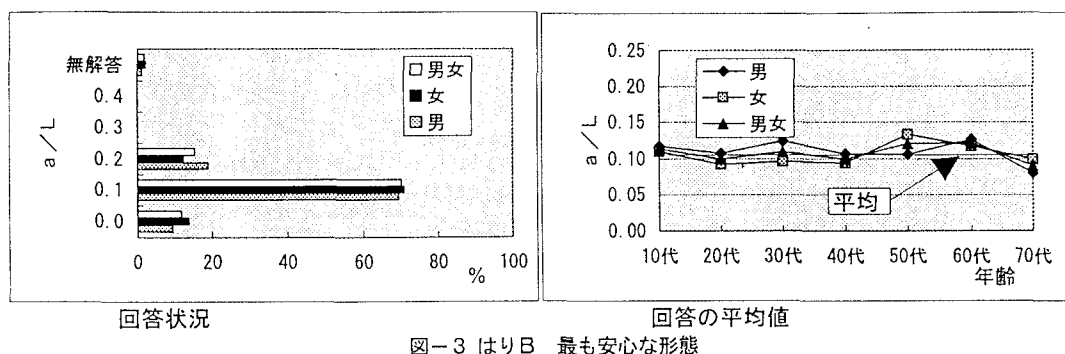


図-2 (c) はりA 最も不安な形態

- 3) 図-2 (c) から、はりAについて一番不安な感じがするものとしては、69%の人が、2つの支点が中央に寄っている支間比0.4を選んでいることがわかる。この理由としては、わずかな荷重の変化で転倒することを意識して回答していると考えられる。一方26%の人が支点が両端にあるとき、すなわち単純ばりの形態を不安であると答えている。これは、支点がはずれる不安から選ばれたものと考えられる。
- 4) 3支点を有するはりBの場合を、はりAの場合と比較すると、安心な感じがする支間比では図-3のように0.1を選んだ回答が70%を占め、はりAに比べ小さな支間比を選んでいることが示されている。一方、不安な感じがする支間比では、81%の回答が3支点が中央に寄った形態を選び、両端に支点がある形態を選ぶ回答は、はりAに比べ半減している。これは、はりBでは両端に支点がある場合でも3番目の支点が中央にあるため不安感を与えないことによるものと考えられる。
- 5) トラスAでは、安心な感じを与える部材角として30°を選ぶ回答が図-4に示すように41%で最も多い。経済的な部材角としては、61%が部材長が最も短い10°を選んでいる。不安な部材角としては60°



が68%, 10°が25%となっており, 60°を回答したものは底面の滑動を, 10°を選んだものは部材の転倒をそれぞれ不安な理由として考えたことが推測される。

- 6) トラスBは, 壁面に取り付けられたトラスである。図-5に示すように, 得られた回答は, 安心な角度としては30°, 経済的な角度としては10°であって, ほぼトラスAと同じ結果となっている。しかし, 不安な角度として選ばれたのは10°が61%, 60°が29%で, トラスAの場合とは逆の選択となっている。なお, 10代の男女と70代女子が他の年代とは異なった回答を寄せている。

4 力学的な計算による最適な構造形態

力学的な条件による最適な構造形態を図-1で示した6種類の構造形態について計算した。最適な構造形態としては, 次の2つの力学的な基準を設けた。

- 1) 許容応力から必要とされる断面を求め, 構造が最小重量で設計される形態。はりの場合には, 等断面ばりと考えていることから, はりに発生する最大曲げモーメントが最小となる形態である。また, トラスでは軸力によって計算される必要な部材体積が最小となる形態である。ここでは**最小重量形態**と呼ぶ。なお, 許容応力は圧縮, 引っ張りともに同一の値をとり, 一定値であるとしている。計算によると, 最小重量形態を与える支間比 a/L は, はりAで0.207, はりBで0.117である。トラスA, B, CおよびDで, それぞれ0°, 90°, 54.7°および54.7°となる。
- 2) 与えられる荷重によって発生するひずみエネルギーが最小となる形態。ここでは**最小ひずみエネルギー形態**と呼ぶ。はりの場合, 曲げモーメントによるひずみエネルギーのみを考えると, はりAおよびはりBでは支間比が, それぞれ0.224および0.146であるとき最小となることが示されている。また, トラスの場合, 許容応力 σ_a と弾性係数 E が一定であるときは, 部材の体積に比例することが計算されることから, トラスの最小ひずみエネルギー形態は最小重量形態と同一となる。

4.1 力学的最適値と人間感覚の比較

表-2にアンケートの平均値と力学的最適値の比較を示す。この表から次のことが言える。

- 1) はりA, はりBの結果から最も安心な支間比は, 力学的な最適値に比べ小さい値をとっている。これは, はりに発生する曲げモーメントが正側すなわち下向きに凸となる変形を起こす支間比を選んでいることを意味する。
- 2) トラスA, トラスBの力学的最適値は, 不安を感じさせる角度に近いものとなって, アンケートから得られる安心できる角度や経済的な角度とは大きく異なっている。
- 3) トラスC, トラスDの安心できる部材角は, 力学的最適値に近い値となっている。

5 結論

本研究は, 力学的条件からみた最適な構造形態と人間の感覚から得られる望ましい構造形態を, ごく簡単な構造について, それぞれ計算とアンケートによって求め比較検討したものである。本研究をまとめると次のようになる。

- 1) 安心な支間比については、力学的な最適値より張り出し部が小さな支間比を選んでいる。これは、はりに発生する曲げモーメントが正側すなわち下向きに凸となる変形を起こす支間比を選んでいることを意味する。2支点のはりでは若年層がより小さい値を選んでいる。
- 2) 不安なはりとしては、支点が中央に寄ったはりに多くの回答（2支点で69%，3支点で81%）が集まった。その一方で、両端に支点がある場合を選んだ回答が2支点、3支点でそれぞれ26%，13%あった。
- 3) 経済的と考える支間比は、安心なはりや不安なはりとは異なって、回答が分散していた。
- 4) はりAとはりBの回答によれば、支点数を考慮した回答が寄せられていることがわかった。
- 5) トラスAとトラスBでは、安心できる部材角として30°を選ぶ回答が最も多いが、不安な角度としては10°と60°に回答が分かれた。

今回のアンケートでは、基礎的な構造に対する安全や経済性の感覚が、性別や年齢によってどのような違いがあるかを調査の対象とした。このことについては、アンケート結果の一部に若干違いが見られるものの、明確な傾向は明らかではない。今後さらに分析する必要があると考えている。

謝辞： 本アンケートは、八戸市立旭ヶ丘小学校、八戸短期大学、八戸老人福祉大学および八戸工業大学第一高等学校の協力を得て実施したものである。また、アンケートの集計、整理について八戸工業大学学生の協力を得た。ご協力いただいた各位に対して深く感謝申し上げます。

参考文献

- [1] 阿部雅人，山下葉，篠原修：非対称橋梁の形態特性とデザイン手法，構造工学論文集，vol.37A，pp.733-745
- [2] 加藤雅史，田中信治，大場邦弘：アンケートに基づく橋梁の景観評価に関する一考察，構造工学論文集，vol.36A，pp.535-542

表ー2 力学的最適値とアンケートの平均

構造の種類	人間感覚		力学的最適値	
はりA a/L	安心	0.160	最小重量	0.207
	経済的	0.156	最小ひずみエネルギー	0.224
	不安	0.289		
はりB a/L	安心	0.105	最小重量	0.117
	経済的	0.164	最小ひずみエネルギー	0.146
	不安	0.343		
トラスA $\theta (^{\circ})$	安心	31.9	最小重量	0.0
	経済的	20.3	最小ひずみエネルギー	0.0
	不安	46.2		
トラスB $\theta (^{\circ})$	安心	38.6	最小重量	90.0
	経済的	22.9	最小ひずみエネルギー	90.0
	不安	27.0		
トラスC $\theta (^{\circ})$	安心	49.2	最小重量	54.7
	経済的	25.1	最小ひずみエネルギー	54.7
	不安	15.5		
トラスD $\theta (^{\circ})$	安心	49.2	最小重量	54.7
	経済的	24.3	最小ひずみエネルギー	54.7
	不安	16.1		