

構造形態と人間感覚に関する考察

長谷川 明

Considerations on the Optimal Configuration of Structures and Human Impressions

Akira HASEGAWA

Abstract

There are many configuration for structures. 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. According to the configuration, we feel that the structure is dangerous, safe or economical *et al.*

In this study, we treat two beams (one of them has two supports and another has three supports in the beams) and trusses (four kinds of two member trusses) as the structures, and we consider the relation of the optimal configurations obtained by the mechanical conditions and the configurations obtained from questionnaires. We discuss the position of the supports in case of the beams and the angles between two members in case of the trusses.

1. はじめに

構造物の形態をどのようにすることが優れているかについては、その構造物が果たす役割、力学的な条件あるいは周辺との景観など様々な観点から検討する必要がある。実際の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。

そこで、本論は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、比較考察したものである。

2. 対象モデル

対象としたモデルは図-1 に示すごく簡単な6種類の構造である。いずれも単純な構造で、人間にもわかりやすい構造を選んだ。それぞれの構造、荷重の特徴と設計の対象となる変数について述べる。

(1) はり A

2つの支点を持つ等分布荷重を受ける等断面張り出しばりである。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。

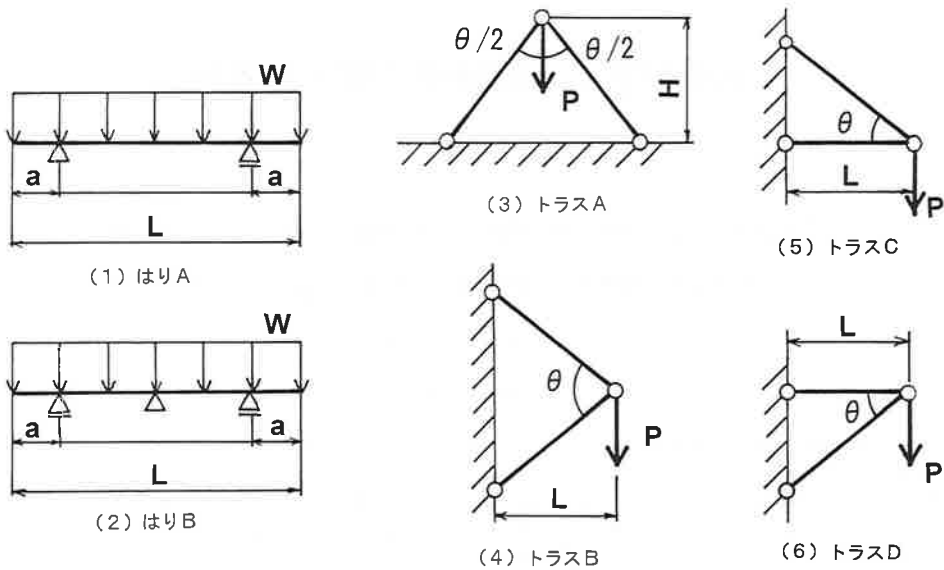


図-1 対象とした6種類の構造

(2) はり B

はり A と同様のはりであるが、中間にも支点を持ち、両脇の支点を含め3つの支点を対称にもつ。はり A と同じく、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。

(3) トラス A

水平面に立てられた2本の部材で鉛直荷重を支える構造である。荷重載荷点の高さ H が固定されており、部材角 θ を設計変数と考える。

(4) トラス B

壁面に取り付けられた2本の部材で鉛直荷重を支える構造である。荷重載荷点と壁面の間隔 L が固定されており、部材角 θ を設計変数と考える。2本の部材は水平面から $\theta/2$ だけそれぞれ傾いている。トラス A と同じ置き方をすれば、トラス A は鉛直荷重、トラス B は水平荷重を受けている点で異なっている。

(5) トラス C

壁面に取り付けられた2本の部材で鉛直荷重を支える構造である。荷重載荷点と壁面の間隔 L が固定されており、部材角 θ を設計変数と考

える。下側の部材は壁面に対し垂直に取り付けられている。

(6) トラス D

壁面に取り付けられた2本の部材で鉛直荷重を支える構造である。荷重載荷点と壁面の間隔 L が固定されており、部材角 θ を設計変数と考える。上側の部材は壁面に対し垂直に取り付けられている。

3. 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、等断面ばか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

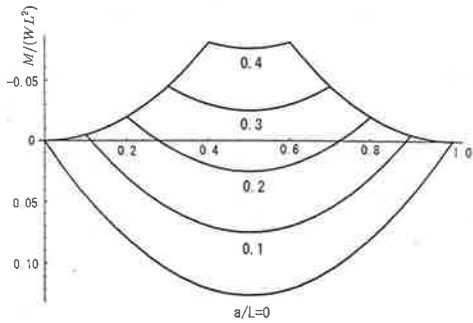


図-2 はり A の支間比 a/L を変化させたときの曲げモーメント図
縦軸は曲げモーメント M を WL^2 で除した数値

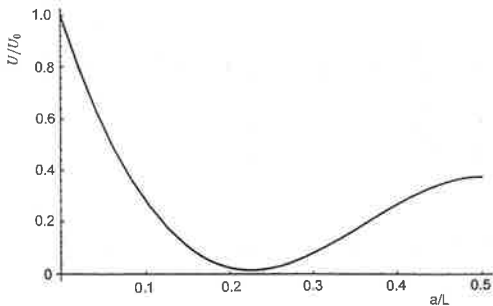


図-4 はり A の支間比 a/L を変化させたときのひずみエネルギー
 U_0 は単純ばりの時のひずみエネルギー

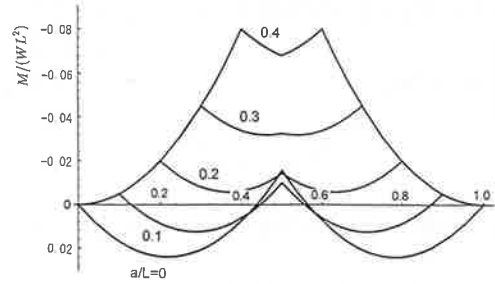


図-3 はり B の支間比 a/L を変化させたときの曲げモーメント図
縦軸は曲げモーメント M を WL^2 で除した数値

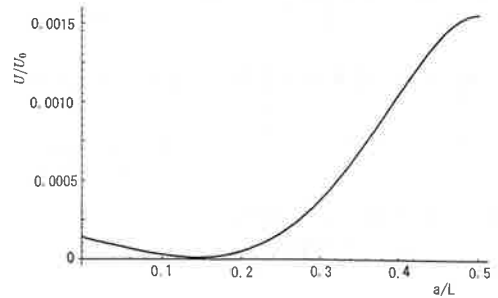


図-5 はり B の支間比 a/L を変化させたときのひずみエネルギー
 U_0 は単純ばりの時のひずみエネルギー

定値であるとしている。

(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。

3.1 はりの場合

(1) 最小重量形態

曲げ応力 σ が断面係数 W を使って

$$\sigma = \frac{M}{W} \quad (1)$$

で計算されることから、はりに発生する曲げモーメント M が最小となる形態を求めればよいことになる。図-2 は、はり A の支間比 a/L を変化させたときの曲げモーメント図を描いたも

のである。また、図-3 は、はり B の支間比 a/L を変化させたときの曲げモーメント図を描いたものである。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。

(2) 最小ひずみエネルギー形態

はりに発生するひずみエネルギー U を曲げモーメントによるものと考え、曲げ剛性 EI と部材長 l から

$$U = \frac{1}{2} \int_0^l \frac{M^2}{EI} dx \quad (2)$$

として計算される。はり A、はり B の支間比を変化させたときのひずみエネルギーをそれぞれ図-4, 5 に示す。この計算から、はり A およびはり B に発生するひずみエネルギーが最小とな

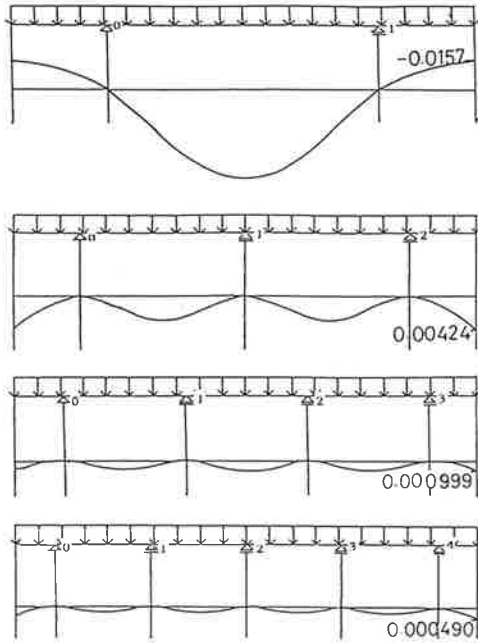


図-6 支点位置と変形（最小曲げモーメントを与える支点位置の場合）

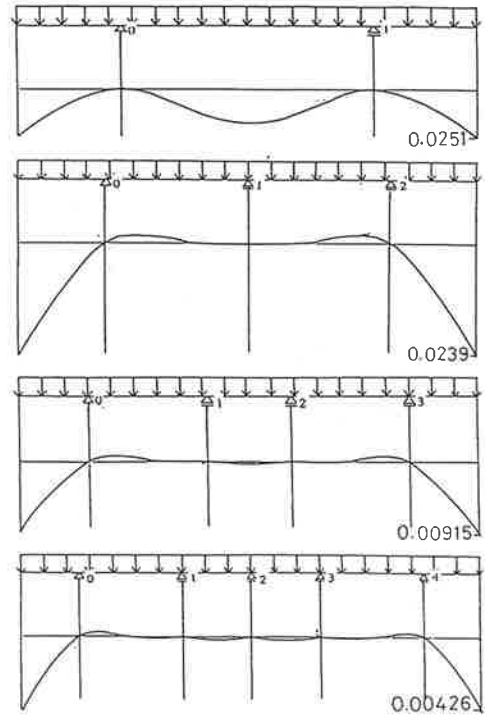


図-7 支点位置と変形（最小ひずみエネルギーを与える支点位置の場合）

る支間比は、それぞれ 0.224 および 0.146 であることが示されている。

図-6, 7 にこれら最小重量形態と最小ひずみエネルギー形態のときのはりの変形を示す。最小重量形態では、支点位置においてたわみ角が 0 に近いことが示されている。

3.2 トラスの場合

(1) 最小重量形態

トラスの応力は軸力 N_i と断面積 A から

$$\sigma = \frac{N_i}{A} \quad (3)$$

と計算されることから、必要とする体積は部材数 n 、部材長 l_i 、許容応力 σ_a を使って

$$V = \sum_{i=1}^n \frac{N_i l_i}{\sigma_a} \quad (4)$$

となる。この体積を部材角 θ で微分して、最小体積を与える部材角を求めると、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。トラス C と D では部材力は圧縮の引張りの違いだけで絶対値は同一である。

(2) 最小ひずみエネルギー形態

トラスのひずみエネルギーは、軸力によって次のように計算される。

$$U = \sum_{i=1}^n \frac{N_i^2 l_i}{2AE} \quad (5)$$

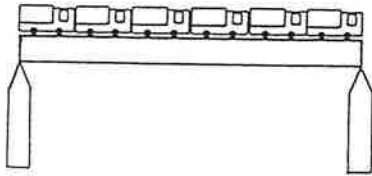
このため、部材の応力が許容応力 σ_a で設計されていると、

$$U = \frac{\sigma_a^2}{2E} V \quad (6)$$

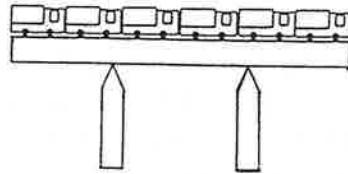
となり、部材の体積に比例することがわかる。このため、トラスの最小ひずみエネルギー形態は最小重量形態と同一となる。

- 1-1. 次の図の中で一番安心な感じがするのはどれだと思いますか？
番号を書いて下さい（ ） またその理由を次の中から選んでください
1. バランスがいい 2. 間隔(かか)が広い 3. 崩れにくそう
4. その他（ ）
- 1-2. 次の図の中で一番お金がかかりにくそうなのはどれだと思いますか？
番号を書いて下さい（ ） またその理由を次の中から選んでください
1. バランスがいい 2. 間隔(かか)が広い 3. 間隔(かか)が狭い
4. 崩れにくそう 5. その他（ ）
- 1-3. 次の図の中で一番不安な感じがするのはどれだと思いますか？
番号を書いて下さい（ ） またその理由を次の中から選んでください
1. バランスが悪い 2. 間隔(かか)が広い 3. 間隔(かか)が狭い
4. 崩れそう 5. その他（ ）

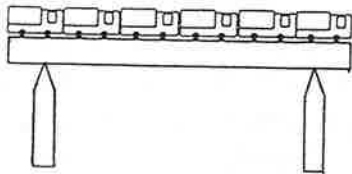
①



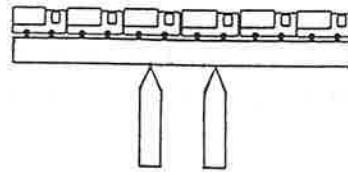
④



②



⑤



③

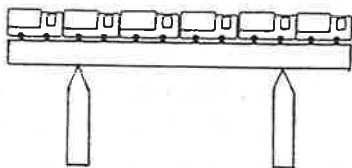


図-8 アンケートの一例

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%

4. 人間感覚から求められる形態

4.1 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で回答する方法をとった。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。図-8にその例を示す。設問では、年齢と性別を記載してから、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。

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791件で、これは配布数916に対し86.4%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、70代の回答数がそのほかの年代に比べ少ないことが示されている。

4.2 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) 表-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。この表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

ランスがよ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表をみると、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) 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。

(3) 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、支点がはずれることを推測した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寄るものと考えられる。

構造形態と人間感覚に関する考察

表-2 設問1（はりA）に対する回答

表-2 (a) 最も安心な形態 回答と支間比の平均値

回答選択状況				a/L の平均値			
a/L	男 (%)	女 (%)	男女 (%)	年齢	男	女	男女
0.0	3.1	5.3	4.3	10代	0.133	0.140	0.137
0.1	38.3	39.7	39.1	20代	0.158	0.135	0.146
0.2	46.7	46.6	46.6	30代	0.184	0.163	0.173
0.3	10.8	6.3	8.3	40代	0.179	0.163	0.171
0.4	0.3	0.0	0.1	50代	0.181	0.209	0.196
無解答	0.8	2.1	1.5	60代	0.173	0.186	0.180
計	100.0	100.0	100.0	70代	0.182	0.140	0.160
				全年代	0.167	0.155	0.160

表-2 (b) 最も経済的な形態 回答と支間比の平均値

回答選択状況				a/L の平均値			
a/L	男 (%)	女 (%)	男女 (%)	年齢	男	女	男女
0.0	33.9	33.6	33.8	10代	0.202	0.143	0.170
0.1	15.0	16.9	16.1	20代	0.146	0.165	0.156
0.2	18.9	17.9	18.3	30代	0.117	0.162	0.141
0.3	11.1	7.9	9.4	40代	0.173	0.142	0.157
0.4	16.2	16.0	16.4	50代	0.207	0.136	0.169
無解答	4.2	7.7	6.1	60代	0.157	0.154	0.155
計	100.0	100.0	100.0	70代	0.091	0.060	0.074
				全年代	0.161	0.152	0.156

表-2 (c) 最も不安な形態 回答と支間比の平均値

回答選択状況				a/L の平均値			
a/L	男 (%)	女 (%)	男女 (%)	年齢	男	女	男女
0.0	26.1	25.5	25.8	10代	0.260	0.277	0.269
0.1	0.3	0.9	0.6	20代	0.306	0.282	0.293
0.2	0.8	0.9	0.9	30代	0.268	0.313	0.292
0.3	1.7	1.4	1.5	40代	0.297	0.303	0.300
0.4	70.0	68.0	68.9	50代	0.030	0.182	0.111
無解答	1.1	3.2	2.3	60代	0.273	0.271	0.272
計	100.0	100.0	100.0	70代	0.364	0.300	0.330
				全年代	0.290	0.288	0.289

表-3 設問2（はりB）に対する回答

表-3（a）最も安心な形態 回答と支間比の平均値

回答選択状況				a/L の平均値			
a/L	男 (%)	女 (%)	男女 (%)	年齢	男	女	男女
0.0	9.4	13.9	11.9	10代	0.117	0.110	0.114
0.1	69.4	71.0	70.3	20代	0.108	0.092	0.100
0.2	19.2	12.5	15.5	30代	0.124	0.096	0.109
0.3	0.3	0.2	0.3	40代	0.107	0.094	0.100
0.4	0.3	0.0	0.1	50代	0.106	0.133	0.121
無解答	1.4	2.3	1.9	60代	0.126	0.118	0.122
計	100.0	100.0	100.0	70代	0.080	0.100	0.091
				全年代	0.111	0.099	0.105

表-3（b）最も経済的な形態 回答と支間比の平均値

回答選択状況				a/L の平均値			
a/L	男 (%)	女 (%)	男女 (%)	年齢	男	女	男女
0.0	30.8	28.3	29.5	10代	0.268	0.191	0.227
0.1	23.9	26.7	25.4	20代	0.132	0.179	0.157
0.2	13.1	7.2	9.9	30代	0.200	0.160	0.179
0.3	2.5	3.7	3.2	40代	0.157	0.136	0.146
0.4	23.9	24.1	24.0	50代	0.164	0.192	0.179
無解答	5.8	10.0	8.1	60代	0.162	0.164	0.163
計	100.0	100.0	100.0	70代	0.200	0.025	0.107
				全年代	0.163	0.165	0.164

表-3（c）最も不安な形態 回答と支間比の平均値

回答選択状況				a/L の平均値			
a/L	男 (%)	女 (%)	男女 (%)	年齢	男	女	男女
0.0	12.8	12.5	12.6	10代	0.280	0.300	0.291
0.1	0.3	0.7	0.5	20代	0.357	0.335	0.345
0.2	1.1	0.7	0.9	30代	0.328	0.355	0.342
0.3	0.8	2.6	1.8	40代	0.359	0.353	0.356
0.4	82.5	80.0	81.2	50代	0.350	0.317	0.332
無解答	2.5	3.5	3.0	60代	0.355	0.370	0.363
計	100.0	100.0	100.0	70代	0.300	0.280	0.289
				全年代	0.344	0.342	0.343

(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 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りに、10° を選んだものは部材の転倒を不安な理由として考えたことが推測される。

表-4 設問 3 (トラス A) に対する回答

表-4 (a) 最も安心な形態 回答と支間比の平均値

回答選択状況				θ の平均値			
θ	男 (%)	女 (%)	男女 (%)	年齢	男	女	男女
10	8.1	4.4	6.1	10 代	26.7	29.4	28.1
20	21.9	13.7	17.4	20 代	31.2	32.2	31.7
30	43.3	38.5	40.7	30 代	28.0	33.9	31.2
40	17.8	28.1	23.4	40 代	28.1	35.8	32.2
50	4.4	8.4	6.6	50 代	34.4	34.4	34.4
60	3.3	4.9	4.2	60 代	33.6	37.1	35.5
無解答	1.1	2.1	1.6	70 代	30.0	28.0	28.9
計	100.0	100.0	100.0	全年代	29.9	33.8	31.9

表-4 (b) 最も経済的な形態 回答と部材角の平均値

回答選択状況				θ の平均値			
θ	男 (%)	女 (%)	男女 (%)	年齢	男	女	男女
10	63.3	58.2	60.6	10 代	22.9	20.4	21.7
20	7.5	8.6	8.1	20 代	17.6	19.0	18.4
30	13.1	9.7	11.3	30 代	17.5	19.6	18.6
40	3.6	6.7	5.3	40 代	20.7	20.9	20.8
50	3.1	2.6	2.8	50 代	15.3	15.3	15.3
60	6.9	9.5	8.3	60 代	21.6	30.7	26.5
無解答	2.5	4.6	3.7	70 代	18.0	21.7	20.0
計	100.0	100.0	100.0	全年代	19.4	21.1	20.3

表-4 (c) 最も不安な形態 回答と部材角の平均値

回答選択状況				θ の平均値			
θ	男 (%)	女 (%)	男女 (%)	年齢	男	女	男女
10	21.7	27.8	25.0	10 代	52.1	45.1	48.4
20	0.8	0.9	0.9	20 代	48.2	45.2	46.6
30	0.6	1.2	0.9	30 代	55.2	45.7	50.1
40	0.6	1.9	1.3	40 代	48.6	43.1	45.7
50	0.8	2.3	1.6	50 代	50.6	50.6	50.6
60	75.0	62.4	68.1	60 代	43.0	36.1	39.3
無解答	0.6	3.5	2.1	70 代	41.8	60.0	51.5
計	100.0	100.0	100.0	全年代	48.4	44.2	46.2

(6) トラス B は、壁面に取り付けられたトラスである。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。

表-5 設問 4 (トラス B) に対する回答

表-5 (a) 最も安心な形態 回答と支間比の平均値

回答選択状況				θ の平均値			
θ	男 (%)	女 (%)	男女 (%)	年齢	男	女	男女
10	3.6	7.0	5.4	10 代	31.0	34.0	32.6
20	9.2	10.4	9.9	20 代	42.9	34.1	38.2
30	29.4	27.1	28.2	30 代	42.0	37.3	39.5
40	20.0	24.1	22.3	40 代	41.1	40.2	40.6
50	10.3	12.3	11.4	50 代	39.4	39.4	39.4
60	24.7	14.8	19.3	60 代	38.4	39.7	39.1
無解答	2.8	4.2	3.5	70 代	32.7	34.3	33.6
計	100.0	100.0	100.0	全年代	40.1	37.2	38.6

表-5 (b) 最も経済的な形態 回答と部材角の平均値

回答選択状況				θ の平均値			
θ	男 (%)	女 (%)	男女 (%)	年齢	男	女	男女
10	56.7	52.2	54.2	10 代	24.0	27.0	25.6
20	4.4	8.1	6.4	20 代	20.9	23.0	22.0
30	11.1	10.7	10.9	30 代	22.1	22.7	22.4
40	8.3	9.0	8.7	40 代	24.9	20.5	22.6
50	3.6	3.9	3.8	50 代	22.7	22.7	22.7
60	11.1	9.7	10.4	60 代	21.8	26.7	24.4
無解答	4.7	6.3	5.6	70 代	23.8	18.3	20.9
計	100.0	100.0	100.0	全年代	22.8	22.9	22.9

表-5 (c) 最も不安な形態 回答と部材角の平均値

回答選択状況				θ の平均値			
θ	男 (%)	女 (%)	男女 (%)	年齢	男	女	男女
10	69.4	53.6	60.8	10 代	41.0	32.1	36.2
20	0.6	1.2	0.9	20 代	21.7	31.3	26.8
30	0.6	2.1	1.4	30 代	20.0	25.5	22.9
40	0.6	1.4	1.0	40 代	19.2	35.3	27.8
50	2.5	2.6	2.5	50 代	33.3	33.3	33.3
60	23.9	33.9	29.3	60 代	20.5	29.2	25.1
無解答	2.5	5.3	4.0	70 代	25.0	48.3	37.4
計	100.0	100.0	100.0	全年代	23.6	30.0	27.0

構造形態と人間感覚に関する考察

(7) トラス C と D は、部材の軸力の圧縮・引っ張りが異なるだけの構造である。2つの構造に対する回答はいずれも同様に安心な感じを与えるものは60°、経済的なものは10°、不安な

感じを与えるのは10°でそれぞれ最も多い回答があった。この2つの構造に対する回答には他の4つの構造の回答にあるような大きく分散した回答は見られない。

表-6 設問5（トラス C）に対する回答

表-6 (a) 最も安心な形態 回答と支間比の平均値

回答選択状況				θ の平均値			
θ	男 (%)	女 (%)	男女 (%)	年齢	男	女	男女
10	1.1	4.2	2.8	10代	42.9	43.7	43.3
20	1.1	1.2	1.1	20代	50.4	45.6	47.8
30	5.0	7.2	6.2	30代	52.8	51.1	51.9
40	17.5	17.9	17.7	40代	52.7	55.0	53.9
50	28.3	36.4	32.7	50代	56.3	56.3	56.3
60	44.4	30.4	36.8	60代	53.0	46.5	49.5
無解答	2.5	2.8	2.7	70代	50.0	35.0	42.0
計	100.0	100.0	100.0	全年代	50.9	47.7	49.2

表-6 (b) 最も経済的な形態 回答と部材角の平均値

回答選択状況				θ の平均値			
θ	男 (%)	女 (%)	男女 (%)	年齢	男	女	男女
10	59.4	47.3	52.8	10代	22.6	25.8	24.3
20	4.2	7.7	6.1	20代	17.7	26.6	22.5
30	4.7	5.6	5.2	30代	20.0	26.9	23.7
40	9.2	8.1	8.6	40代	29.8	27.2	28.4
50	9.4	10.9	10.2	50代	25.3	25.3	25.3
60	9.2	14.4	12.0	60代	23.4	30.0	26.9
無解答	3.9	6.0	5.1	70代	22.0	23.3	22.7
計	100.0	100.0	100.0	全年代	23.0	26.9	25.1

表-6 (c) 最も不安な形態 回答と部材角の平均値

回答選択状況				θ の平均値			
θ	男 (%)	女 (%)	男女 (%)	年齢	男	女	男女
10	86.1	76.1	80.7	10代	25.9	18.7	22.0
20	1.4	3.7	2.7	20代	14.4	16.2	15.4
30	0.8	2.8	1.9	30代	10.0	13.5	11.8
40	0.6	2.1	1.4	40代	10.4	17.3	14.1
50	0.8	1.4	1.1	50代	16.7	16.7	16.7
60	6.7	8.1	7.5	60代	11.1	13.8	12.5
無解答	3.6	5.8	4.8	70代	21.0	27.5	24.5
計	100.0	100.0	100.0	全年代	14.3	16.6	15.5

安心な角度の平均値はいずれも 49.2° で一致した回答が得られた。なお、10代男女の安心な感じを与える形態に関する回答は、トラス C, D のいずれの場合も他の年代に比べて平均値で

7° から 10° 小さい角度を選んでいる。

表-7 設問6 (トラス D) に対する回答

表-7 (a) 最も安心な形態 回答と支間比の平均値

回答選択状況				θ の平均値			
θ	男 (%)	女 (%)	男女 (%)	年齢	男	女	男女
10	2.2	3.0	2.7	10代	41.4	43.3	42.4
20	1.1	2.1	1.6	20代	50.9	45.2	47.8
30	3.9	6.7	5.4	30代	51.6	51.1	51.3
40	19.7	20.2	20.0	40代	52.5	51.2	51.8
50	26.7	31.1	29.1	50代	53.1	53.1	53.1
60	45.8	32.7	38.7	60代	52.2	47.9	49.9
無解答	0.6	4.2	2.5	70代	53.6	40.0	46.4
計	100.0	100.0	100.0	全年代	50.6	48.0	49.2

表-7 (b) 最も経済的な形態 回答と部材角の平均値

回答選択状況				θ の平均値			
θ	男 (%)	女 (%)	男女 (%)	年齢	男	女	男女
10	56.9	48.3	52.2	10代	26.7	30.2	28.6
20	5.3	6.5	5.9	20代	19.0	25.6	22.5
30	5.8	9.7	8.0	30代	24.2	26.2	25.2
40	9.4	9.3	9.4	40代	27.1	16.8	21.6
50	9.4	6.7	8.0	50代	24.7	24.7	24.7
60	8.3	12.5	10.6	60代	22.6	27.2	25.0
無解答	4.7	7.0	5.9	70代	27.0	15.0	20.6
計	100.0	100.0	100.0	全年代	23.1	25.4	24.3

表-7 (c) 最も不安な形態 回答と部材角の平均値

回答選択状況				θ の平均値			
θ	男 (%)	女 (%)	男女 (%)	年齢	男	女	男女
10	85.8	78.4	81.8	10代	27.1	16.3	21.4
20	1.4	3.7	2.7	20代	14.8	17.4	16.2
30	0.6	1.9	1.3	30代	18.4	13.6	15.8
40	0.6	1.2	0.9	40代	12.5	15.6	14.2
50	0.3	1.2	0.8	50代	13.3	13.3	13.3
60	9.7	9.5	9.6	60代	12.2	19.2	15.9
無解答	1.7	4.2	3.0	70代	16.3	25.0	20.9
計	100.0	100.0	100.0	全年代	15.5	16.6	16.1

表-8 力学的最適値と人間感覚

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 θ (°)	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 θ (°)	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 θ (°)	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 θ (°)	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		

5. 力学的最適値と人間感覚の比較

表-8 に 3. で述べた力学的最適値と 4. で述べたアンケートの平均値を示す。この表から次のようなことがわかる。

(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 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。

6. 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、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) ごく簡単な構造形態に対し、力学的条件に基づく最適な形態を求めた。

(2) 同じ構造形態に対して行った人間感覚に関するアンケート結果から、人間の持つ構造に対する感覚について調査した。

(3) 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。

(4) 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。

(5) 経済的と考える支間比は、安心や不安とは異なって、回答が分散していた。

(6) 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る。

(7) 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。

(8) トラス C とトラス D は、部材力の符号のみ異なる構造である。安心できる部材角に対する個々の回答は異なっているが、その平均値は一致した。

(9) トラス C とトラス D の回答には、他で

見られた大きく分散した回答はなかった。

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、八戸市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。アンケートの実施については本学月舘敏 栄助教授と佐藤手織助教授の助言を得た。また、アンケートの集計、整理について本学4年生の協力を得た。協力いただいた各位に対し深く感謝申し上げます。