

フルグラス・ブリッジの最適形状と接合部に関する研究

建築構造学分野 A05TD026 宮脇和紀

1. 序論

ガラスは透明性が高く、昔から建築材料としてよく用いられており、最近ではガラスの優れた圧縮力を利用して、構造体としても用いられるようになってきている。しかし引張耐力は小さく、接合部などに集中応力がかかるとすぐ崩壊し、慎重な設計が必要である。

本研究では、まず 2 章で床板と手すりを H 型にしたガラスをアーチ状に繋げた橋を提案し、手すりと床板のサイズをパラメーターとして、一番引張応力の小さい理想的なモデルを解析的に探索する。3 章では集中応力がボルト接合より小さくなる高力ボルトを用いて接合部のディテールを設計し、力学的特性を調べる。4 章では 2 章で決定したモデルの一番応力がかかっている部位を特定し、その応力を 3 章で用いたモデルに荷重としてかけて、必要ボルト本数を算定する。解析手法は汎用構造解析プログラム NEI Nastran を用いて、線形解析を実施する。

2. フルグラス・ブリッジの最適形状の決定

2.1 解析条件

本章では手すりと床板の組み合わせと境界条件を変えることによってガラスの材料特性に対して最適な形状を検討する。手すりと床板の組み合わせ方として Fig 1、2 に示した 6 種類とする。手すりと床板の接合部は剛接合とする。境界条件を図 3 に示す。作用させる荷重は等分布荷重及び偏分布荷重として取り扱い、床版に 4900 (N/m<sup>2</sup>) の積載荷重を等分布荷重では全面積にかけ、偏分布

荷重は床版の半分にかける。さらに自重の荷重をかける。なおモデルはシェル要素でモデル化している。ガラスの材料特性を Table1 に示す。

Table1 ガラスの材料特性

	比重	圧縮強度 (N/m <sup>2</sup> )	引張強度 (N/m <sup>2</sup> )	曲げ強度 (N/m <sup>2</sup> )	ヤング係数 (kN/m <sup>2</sup> )
ガラス	2.5	8.00×10 <sup>8</sup>	4.50×10 <sup>7</sup>	4.50×10 <sup>7</sup>	7.16×10 <sup>7</sup>
コンクリート	2.3	2.40×10 <sup>7</sup>	2.40×10 <sup>6</sup>	2.40×10 <sup>6</sup>	2.30×10 <sup>7</sup>
鉄 (SM490)	7.85	4.90×10 <sup>8</sup>	4.90×10 <sup>8</sup>	4.90×10 <sup>8</sup>	2.10×10 <sup>8</sup>

2.2 解析結果

ほとんどのモデルにおいて床版は幅方向である Z 軸方向では梁のように働き、スパン方向である X 軸方向ではアーチのように働いている。また手すりの中央部分の X 軸方向の最大応力を比べてみると手すりが床版より上にあるモデル A 形状、C 形状が小さくなっており、逆に床版の中央部分の X 軸方向の最大応力は大きくなっていった。つまり中央部の手すりに対する床版の位置によって引張応力を負担する割合が変化しているのである。すべての形状の拘束 a と b で比べてみると最大変位は拘束 b の方が大きくなっている。また手すりにおいて A 形状、B 形状以外は拘束 b の最大主応力の方が大きいという結果になった。これは A 形状と B 形状の端部の手すり部分が床版より下にあるからだと思われる。これらより最適なモデルが A 形状の拘束 a モデルだということが明らかになった。主な形状の解析結果を Table2 に示す。

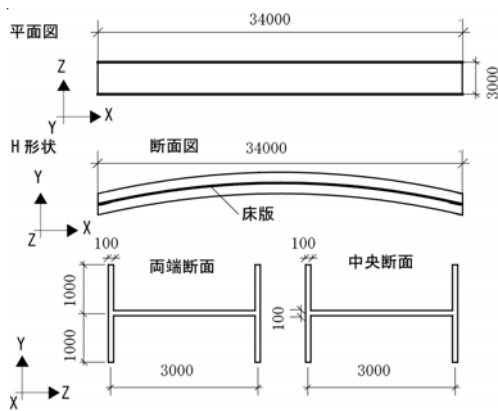


Fig.1 H形状モデルの形状及び寸法

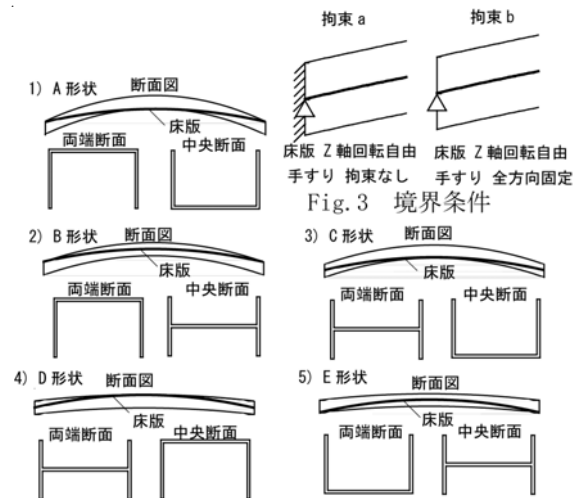


Fig.2 その他のモデル形状

Table2 主な形状の解析結果

解析モデル	最大主応力 (N/m <sup>2</sup> )		最大変位 (mm)	手すり部材中央のX軸方向最大主応力	床版部材のX軸方向最大主応力 (N/)
	手すり	床版			
等分布荷重					
H型拘束a	6.76 × 10 <sup>4</sup>	2.51 × 10 <sup>4</sup>	4.74	-1.52 × 10 <sup>4</sup>	-1.88 × 10 <sup>4</sup>
H型拘束b	2.81 × 10 <sup>4</sup>	1.88 × 10 <sup>4</sup>	5.43	-1.46 × 10 <sup>4</sup>	-2.76 × 10 <sup>4</sup>
等分布荷重					
A変形拘束a	9.14 × 10 <sup>4</sup>	3.55 × 10 <sup>4</sup>	2.87	-1.13 × 10 <sup>4</sup>	-6 × 10 <sup>4</sup>
A変形拘束b	3.1 × 10 <sup>4</sup>	2.55 × 10 <sup>4</sup>	4.02	-2.23 × 10 <sup>4</sup>	-1.78 × 10 <sup>4</sup>
等分布荷重					
B変形拘束a	1.25 × 10 <sup>4</sup>	2.79 × 10 <sup>4</sup>	3.5	3.02 × 10 <sup>4</sup>	-2.97 × 10 <sup>4</sup>
B変形拘束b	2.7 × 10 <sup>4</sup>	1.77 × 10 <sup>4</sup>	6.12	-1.66 × 10 <sup>4</sup>	-2.91 × 10 <sup>4</sup>
等分布荷重					
C変形拘束a	5.71 × 10 <sup>4</sup>	3.59 × 10 <sup>4</sup>	3.47	-1.39 × 10 <sup>4</sup>	-5.06 × 10 <sup>4</sup>
C変形拘束b	2.46 × 10 <sup>4</sup>	3.02 × 10 <sup>4</sup>	3.68	-1.97 × 10 <sup>4</sup>	-1.31 × 10 <sup>4</sup>

3. 高力ボルトを用いたディテールの解析

3.1 解析条件

ガラス同士の継手、中央部のガラスの仕口、中央部以外のガラスの仕口の3つのモデルをTable3に示した条件の下に解析する。それぞれ

Table3 解析条件及び名称

モデル名称	モデル形状	荷重条件
ST	継手	引張荷重
SSZ		せん断荷重
SM		曲げ荷重
CM1	中央部以外の仕口	曲げ荷重
CS1		せん断荷重
CM2	中央部の仕口	曲げ荷重
CS2		せん断荷重

のモデルをFig.4に示す。モデルに安全率2を考慮した許容引張荷重  $2.25 \times 10^7 (N/m^2)$ 、許容せん断荷重  $5.00 \times 10^6 (N/m^2)$ <sup>8)</sup>、許容曲げ荷重  $2.25 \times 10^7 (N/m^2)$ をそれぞれかけて集中応力の値を検討し、そこから設計式をつくっていく。安全率はそれぞれのモデルの最大引張応力を許容引張応力で除した値とする。また、ボルトの許容応力度は高力ボルト接合設計施工指針に従って解析する。なお、ガラス部分をソリッド要素、ボルトヘッドと座金は剛体要素、ボルトは梁要素でモデル化している。

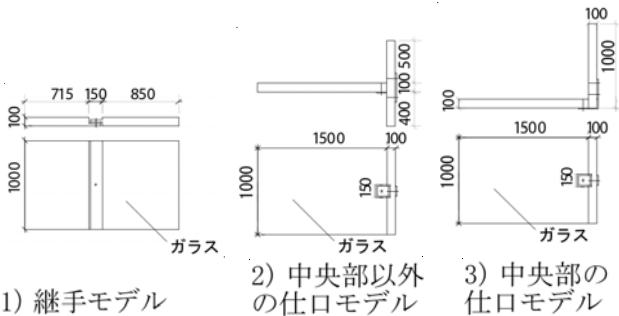


Fig.4 接合部のモデル形状及び寸法

3.2 解析結果

引張応力が1番大きかったのは引張荷重をかけたSTモデルで安全率が73であった。それに比べるとSMモデルは安全率も比較的小さく、ガラスの許容曲げ耐力はボルトの許容曲げ耐力とそれほど変わらないので、ボルトの設計も考慮に入れて設計しなければならない。手すりとは床版の仕口の接合部を比べると、CM1 < CM2 < CS1 < CS2の順番で安全率が大きくなっている。ボルトの許容耐力を見てもCS2モデル以外は全部ガラスの許容耐力より下回っており、CS2モデルについてもそれほど変わっていない。つまりガラスの設計はもちろんボルトの設計も慎重に行わなければ、ボルトの方から先に降伏してしまうという結果になった。解析結果をま

とめた表をTable4に示す。

Table.4 解析結果

解析モデル	ST	SSZ	SM	CM1	CS1	CM2	CS2
ガラス							
安全率	73	16	5.9	3.4	5.4	4	7.6
安全率を考慮した場合の荷重 (N)	3.08 × 10 <sup>7</sup>	3.13 × 10 <sup>7</sup>	0.637 × 10 <sup>7</sup>	1.10 × 10 <sup>7</sup>	9.26 × 10 <sup>6</sup>	0.938 × 10 <sup>7</sup>	6.58 × 10 <sup>6</sup>
ボルト							
許容引張耐力 (N)	4.46 × 10 <sup>4</sup>	4.46 × 10 <sup>4</sup>	4.46 × 10 <sup>4</sup>	4.46 × 10 <sup>4</sup>	8.92 × 10 <sup>4</sup>	4.46 × 10 <sup>4</sup>	8.92 × 10 <sup>4</sup>
許容引張耐力 (N)		2.19 × 10 <sup>4</sup>	2.19 × 10 <sup>4</sup>	2.19 × 10 <sup>4</sup>		2.19 × 10 <sup>4</sup>	
摩擦接合部の許容曲げ耐力 (N・m)			0.78 × 10 <sup>4</sup>	0.29 × 10 <sup>4</sup>		0.29 × 10 <sup>4</sup>	
引張接合部の許容曲げ耐力 (N・m)				0.837 × 10 <sup>4</sup>			
モデルの許容荷重 (N)	3.08 × 10 <sup>7</sup>	31.3 × 10 <sup>6</sup>	0.637 × 10 <sup>7</sup>	0.29 × 10 <sup>7</sup>	8.92 × 10 <sup>6</sup>	0.29 × 10 <sup>7</sup>	6.58 × 10 <sup>6</sup>

4. 必要ボルト本数の算定

4.1 解析条件

2章の結果よりA形状の拘束aモデルにおいて1番応力がかかっている接合部を特定し、接合部モデルにその応力を荷重としてかけ必要ボルト本数を算定する。

Table5に荷重条件及び名称を示す。

Table5 荷重条件及び名称

接合部	引張荷重 (N)	面内せん断荷重 (N)	面外せん断荷重 (N)	名称
手すりの継手	-1.04 × 10 <sup>5</sup>	6.84 × 10 <sup>4</sup>	1.12 × 10 <sup>4</sup>	B1
	3.11 × 10 <sup>4</sup>	0.953 × 10 <sup>4</sup>	0.796 × 10 <sup>4</sup>	B2
	-2.78 × 10 <sup>5</sup>	1.35 × 10 <sup>5</sup>	0.538 × 10 <sup>4</sup>	B3
床版の継手	0.091 × 10 <sup>4</sup>	5.06 × 10 <sup>4</sup>		S1
	0.11 × 10 <sup>4</sup>	4.52 × 10 <sup>4</sup>		S2
	0.151 × 10 <sup>4</sup>	0.443 × 10 <sup>4</sup>		S3
中央部以外の床版と手すりの仕口	0.229 × 10 <sup>4</sup>	0.974 × 10 <sup>4</sup>		B SA 1
	0.0086 × 10 <sup>4</sup>	1.98 × 10 <sup>4</sup>		B SA 2
中央部の床版と手すりの仕口	0.209 × 10 <sup>4</sup>	1.34 × 10 <sup>4</sup>		B SB 1
	0.227 × 10 <sup>4</sup>	1.33 × 10 <sup>4</sup>		B SB 2

4.2 解析結果

Table6 必要ボルト本数

解析モデル	ガラスの許容耐力に対する1m当たりボルト本数	ボルトの許容耐力に対する1m当たりボルト本数
B1	1.2	1.6
B2	1.2	0.8
B3	2	3.1
S1	1.4	0.3
S2	1.4	0.3
S3	1.3	0.2
B SA 1	0.5	0.8
B SA 2	0.3	0.3
B SB 1	0.3	0.8
B SB 2	0.3	0.8

解析から得られた必要ボルト本数をTable6に示す。手すりとは床版の仕口の接合部では継手の接合部に比べてボルトの必要本数が少なく、手すりとは床版の仕口モデルはボルトの許容耐力によって必要ボルト本数が決まるということがわかった。手すりの継手の接合部では1m当たり必要ボルト本数が3.1本とかなり多く、接合部の大部分を鉄板で覆われるという結果になってしまった。

5. 結論

- 1) 拘束条件aのA形状モデルが、引張応力が手すりとは床版にバランスよくかかっており、引張応力が大きい部位もない最適なモデルである。
- 2) STモデルが最も大きい集中応力が発生し安全率が73必要であった。しかしその他のモデルはそれほど高くなく、CM1, CS1, CM2モデルはボルトの方が先に降伏する結果となった。
- 3) 必要ボルト本数が1m当たり3.1本の部位もありガラスの透明性がかなり損なわれる結果となってしまった。しかし、他の高力ボルトを用いた橋などと比べると必要ボルト本数は少なく、接合部においてさらなる改良を加えれば、ガラスの透明性を維持していけるはずである。