

第 I 部門

構造部材として用いるガラス板材料の静力学特性に関する実験的研究

大阪市立大学工学部

学生員 ○長町 祐吾

大阪市立大学大学院工学研究科

正会員 北田 俊行

大阪市立大学大学院工学研究科

正会員 山口 隆司

大阪市立大学大学院工学研究科

正会員 松村 政秀

1. 研究背景

ガラス技術の発展に伴い構造物におけるガラスの構造的働きと設計の基礎的研究が行われ始め、ガラス材料は構造物としても利用できるようになり、その役割はますます重要になっている。建築物にはガラス材料を支持構造物としても利用した事例が増え、建築物の質向上に欠かせないものとなっている¹⁾。

(図 - 1)。一方、土木構造物にはガラス材料を使用した事例は数少なく、画一的で重厚なイメージを与えるものが多い。(図 - 2)



図 - 1 ガラス支持構造物



図 - 2 土木構造物

2. 研究目的および研究概要

本研究では、橋梁の主要な構造部材としてガラス材料を使用することにより、これまでの橋梁のイメージとは異なり魅力的で透明感のある橋梁建設を目的とする。第一段階として曲げ試験と今まで行われていない引張試験、せん断試験により、ガラスの材料特性(強度、変形性能)の解明、また得られた結果を用いてガラスの歩道橋の強度計算を行い、ガラス材料の構造部材への活用に向けて検討を行った。

3. 試験概要

試験には一般的なガラスであるフロート板ガラスと柔軟で強靱な特殊フィルムをはさんで飛散防止性、耐貫通性に優れた合わせガラス²⁾を用いる。試験方法は4点曲げ試験、オートグラフによる引張試験、およびパンチングによるせん断試験を行う。

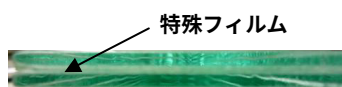


図 - 3 合わせガラス

4. 試験結果

試験により得られたガラスの応力-ひずみ曲線を

図 - 4 に示す。ガラスの種類、板厚に関係なく、比例関係を示すこと、最大強度に達すると突然破断することを確認した。また、曲げ試験では引張側から破壊が生じていることを確認し、曲げ試験の最大強度は最外縁の引張強さとして扱えることがわかる。

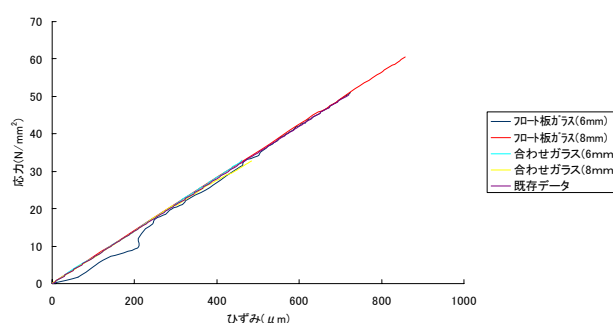


図 - 4 応力 - ひずみ曲線

表 - 1 にガラス材料の材料特性を示す。表 - 1 よりフロート板ガラスの引張強さはプレストレストコンクリートの圧縮強度に近く、ヤング率はその約 2 倍である。合わせガラスはフロート板ガラスに比べ、引張強さ、せん断強さともに強度低下がみられた。これは間に挟まれた特殊フィルムが原因と考えられ、2 枚のガラスを特殊フィルムで接着する際の残留応力が影響していると考えられる。また、ヤング率、ポアソン比はガラスの種類に関係なく同様の値を示した。

表 - 1 ガラス材料の材料特性

	呼び厚さ (mm)	実測板厚 (mm)	引張強さ (N/mm ²)	ヤング率 (N/mm ²)	ポアソン比
フロート板ガラス	6	5.86	44.24	67565	0.23
	8	7.89	51.24	71253	0.23
合わせガラス	6.4	5.95	30.54	67790	0.22
	8.8	8.53	31.95	68609	0.24

板厚と破断強さの関係については、図 - 5a)曲げ試験と b)せん断試験における破断強さ-板厚分布を示す。ここで、色つきのプロットは平均値を示す。引張強さは板厚が増加すると、フロート板ガラスで約 16%、合わせガラスで約 5%増加した。また、せん断強さは板厚が増加すると、フロート板ガラスで約 1%、合わせガラスで約 5%増加した。全体的に、本

試験で用いたガラスの板厚変化では強度への影響は小さいと考えられる。

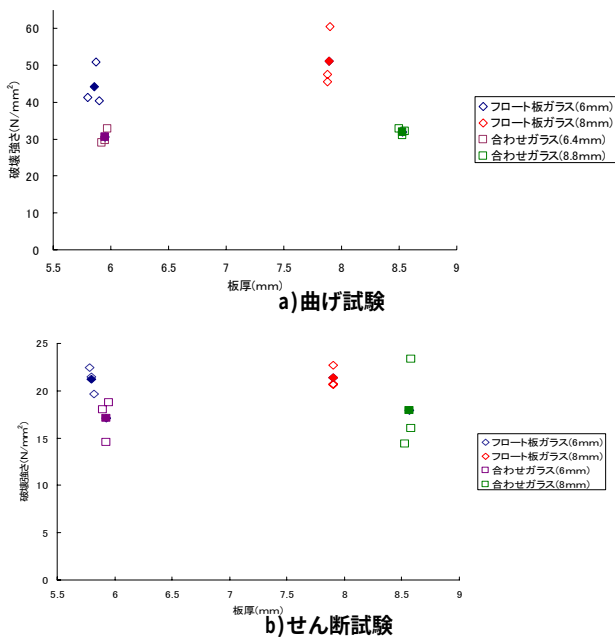


図 - 5 破断強さ - 板厚分布

6. ガラス歩道橋

試験結果を用いて、橋長と腹板の高さの比率を12:1とし、橋長12mの総ガラスプレートガーター橋の強度計算を行った。ここではI桁の強度計算と照査について述べる。表-3に設計条件を示す。また、設計方法は道路橋示方書⁴⁾に基づいている。

表 - 3 設計条件

橋梁形式		ガラスI桁単純橋
橋長		12m
幅員構成		0.5+3.0+0.5m
群集荷重	主桁設計時	3.5KN/m ²
	床版・床組設計時	5.0KN/m ²
材料	ガラス材	主桁、床版、高欄

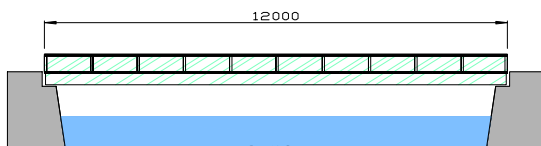


図 - 6 歩道橋イメージ

プレートガーター橋の腹板を周辺単純支持板に理想化すると最大幅厚比は $h/t=174.6$ となる。また、圧縮フランジを自由突出圧縮板と理想化すると、圧縮フランジが降伏点まで座屈しないため限界の最大幅厚比は $b/t=17.3$ となり、ガラスI桁の断面寸法は図-7のようになる。次に、曲げ応力度、せん断応力度および主桁の活荷重たわみとたわみ振動の照査を行う。ここで、ガラスの破断強さはバラツキが大きい特徴を持つため、強度の検討は確率の要因を含める必要がある。ガラスの破断強さ是对数値をとると正規分布として扱えることがわかっている³⁾。そこ

で、試験結果を統計処理し、破壊確率 $1/100000$ の値を算出した。本研究では、この値を許容応力と定め照査を行う。また、活荷重たわみとたわみ振動は立体横断施設技術基準・同解説⁵⁾に準ずることとする。それぞれの値は以下になる。

曲げ応力 $\sigma=12.2(\text{N/mm}^2) < \sigma_a=16(\text{N/mm}^2)$

せん断応力 $\tau=1.80(\text{N/mm}^2) < \tau_a=16(\text{N/mm}^2)$

活荷重たわみ $\delta=6.63(\text{mm}) < \delta_a=L/600=20(\text{mm})$

たわみ振動 1次モード $f_1=13.4(\text{Hz})$

2次モード $f_2=54.5(\text{Hz})$

たわみ振動数は歩行者の歩調である1.5~2.3(Hz)の範囲外となった。

以上より、道路橋示方書に基づき設計

したプレートガーター橋のガラスI桁

は、強度計算上問題ないことがわかった。ただし、腹板厚が薄く、圧縮強度や座屈の問題に対する検討が必要である。

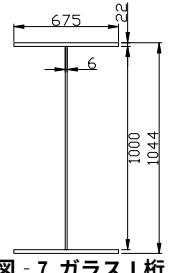


図 - 7 ガラスI桁

7. まとめ

ガラス材料の曲げ、引張およびせん断試験を行い、材料特性の確認、またガラスの歩道橋の強度計算を行い、ガラス材料の構造部材としての活用を検討した。①フロート板ガラスの引張強さ、せん断強さは $47(\text{N/mm}^2)$ 、 $21(\text{N/mm}^2)$ 、ヤング率、ポアソン比は $69000(\text{N/mm}^2)$ 、0.23であった。②合わせガラスの引張強さ、せん断強さはフロート板ガラスより低下した。ヤング率、ポアソン比は同様の値であった。③本試験で用いた板厚では強度への影響は小さい。さらに板厚を大きくし、検討を行う必要がある。④道路橋示方書に基づく設計方法をガラス材料に適用しても強度計算上は問題がない。⑤今後は試験により圧縮強度や疲労などガラスの材料特性の解明、またフランジとウェブの接着方法や現場継手の方法の検討が必要である。

8. 参考文献

- 1) M.Haldimann, A.Luible, M.Overen: Structural Use of Glass, Structural Engineering Documents 10.
- 2) AGC グラスプロダクツ株式会社: 旭硝子板ガラス建材総合カタログ商品編, pp.018, 2008.7.
- 3) AGC グラスプロダクツ株式会社: 旭硝子板ガラス建材総合カタログ技術資料編, pp.4-2-8, 2008.7.
- 4) 社団法人 日本道路協会: 道路橋示方書・同解説, II. 鋼橋編.
- 5) 社団法人 日本道路協会: 立体横断施設技術基準・同解説.