

[技術報告]

# グレーチングの強度評価

井川 秀信\*<sup>1</sup>

## Strength Evaluation of a Grating

Hidenobu IGAWA\*<sup>1</sup>

### Abstract

This joint research paper reports stress analysis and strength evaluation results for products commissioned for research by a company. A three-dimensional model of the current product was created using computer-aided design software. Stress analysis was performed using the finite element method to evaluate the strength of the grating. Strength evaluation was performed based on the stress analysis results, and materials useful for design were created. Additionally, several reinforcement models for products with insufficient strength were proposed, and the improvement of products based on stress analysis was also considered.

**Key Words** :Grating, Strength Evaluation, Computer aided drawing, Finite element method, Stress analysis

## 1. 研究の目的

株式会社シマブンは、各種グレーチングを製造および販売している。樹脂製のグレーチングは、一般的な金属製のものに比べ雨の日等に起こるすべり事故の防止、女性のハイヒールの底がグレーチングに挟まるといった事故の防止などに役立っており、家庭内の風呂場付近の側溝、歩行者専用の歩道、広場やプールサイドの側溝等に多く使用されている。

一般的な金属製グレーチングの設計では、理論的なはりの理論に基づいた計算式が用いられている。しかし、同社の製品が樹脂と金属で構成されており、それらの計算式を用いることができない。そのため、同社では製品の強度試験として久留米市リサーチパークに依頼して所定の負荷を加えた曲げ試験を行い、製品の中央部のたわみ（最大曲げたわみ）について実験による測定結果を設計資料として利用している。しかし、製品のたわみ量を基準として設計を行うことは十分とは言えず、製品の安全性を確認するためにさらなる強度評価を行う必要がある。

今回の共同研究では、同社の製品について有限要素法による応力解析を行い、製品の強度評価を行うことを目的としている。具体的には、グレーチングの強度評価を行うため現状の製品を CAD による三次元モデルの作成を行い、それらのモデルを用いて有限要素法による応力解析を行う。得られた応力解析結果から強度評価を行い、設計に役立つ資料を作成する。さらに、強度が十分でない製品については補強モデルを提案し、製品の改良も検討する。

## 2. 研究の概要

### 2.1 解析対象

今回の共同研究で取り上げた製品は、樹脂製のグレーチングである。同製品は、樹脂製のバー（以後、メインバー）とステンレス製の固定バー（以後、クロスバー）で構成されており、メインバーの方向により Fig. 1 に示したマスタタイプと Fig. 2 に示した逆目タイプに分類される。メインバーの断面の形状によりノーマル型と強化型があり、さらにメインバーの高さ  $h$  が約 20[mm]（以後、H20）と約 25[mm]（以後、H25）がある。Fig. 3 に強化型メインバーの断面と寸法を示す。なお、グレーチングの長さは  $L=999$ [mm]、幅は  $W=150$ [mm]～ $600$ [mm]である。

同製品に使用されている材料の機械的性質（引張弾性係数、引張強さ、降伏点、耐力、ポアソン比）を Table 1 に示す。

本研究では、これまで著者および西田らが行った研究<sup>(1)~(3)</sup>を参考に上記の資料から同製品の三次元モデルを作成し、有限要素法（FEM）応力解析を行った。

\*<sup>1</sup> 交通機械工学科  
令和4年10月31日受理

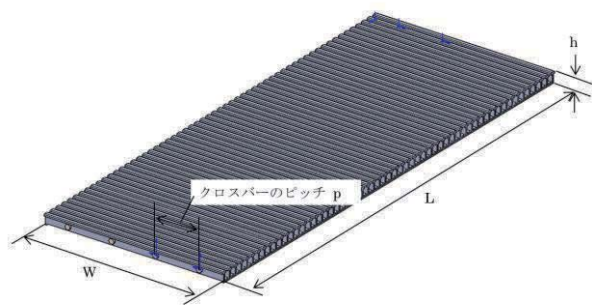


Fig. 1 樹脂製グレーチング（マスタタイプ）

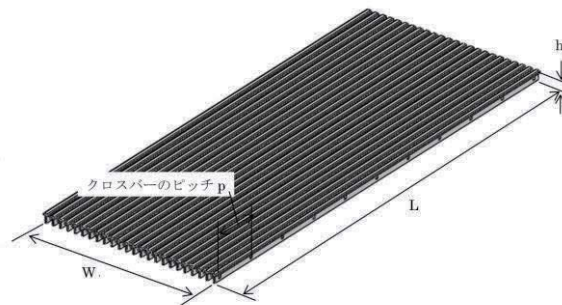
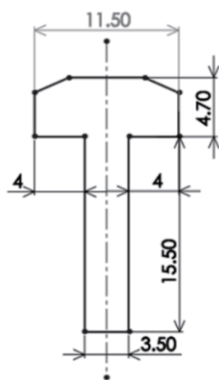
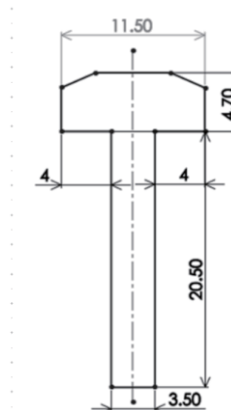


Fig. 2 樹脂製グレーチング（逆目タイプ）



(a)H20 (高さ h=20.2[mm])



(b)H25 (高さ h=25.2[mm])

Fig. 3 強化型メインバー断面と寸法

Table 1 各部品の機械的性質

部品名 (材質)	引張弾性係数[Gpa]	引張強さ[MPa]	降伏応力[MPa]	耐力[MPa]	ポアソン比
クロスバー (ステンレスSUS304)	207	520	260	-	0.27
メインバー (樹脂、ノーマル型)	3.3	64.5	-	32	0.39
メインバー (樹脂、強化型)	3.3	32	-	32	0.39
強化平板 (ステンレスSUS304)	207	520	260	-	0.27
鋼製円柱 (炭素鋼SS)	205	425	282	-	0.29

## 2・2 応力解析の概要

今回の共同研究では、まず、現状のグレーチング製品を CAD のソフトを用いて三次元モデル作成と有限要素法 (FEM) による応力解析を実施し、それらの結果を基に強度評価を行う。次に、現状のグレーチング製品において実用上の強度が不足するものについては補強の方策を検討する。

以下、実際に行った手順を示す。

(1) 現状のグレーチング製品について有限要素法による応力解析を行い、同社が久留米リサーチパークに依頼して行った曲げ試験による実験値 (たわみ量) と比較検討する。同時にメインバーおよびクロスバーに生じる最大応力値 (曲げ応力) を資料として与える。なお、解析は久留米リサーチパークで行った曲げ試験を参考に両端支持はりとして行い、グレーチング中央部に直径 50[mm] の鋼製円柱で 100[kgf] の荷重を加える。実際の解析は、Fig. 4 に示す様に問題の対称性を考慮して 1/4 モデルで行い、加える荷重を 25[kgf] とした。

(2) グレーチングの補強については、同社から提案があったクロスバーの間隔  $p$  を現状の約 100[mm] から約 50[mm] に変更し、FEM 解析結果から現状の製品と比較して補強の効果を検討する。

(3) メインバーの補強について、鋼製（今回はステンレス製）の平板を補強材として用いることを検討した。

- ①メインバーに補強の平板を両側から挟み、平板の厚みを変えたときの変形（たわみ）や応力に与える影響を調べる。
- ②実際に補強したメインバーをグレーチングの一部に置き換え、FEM 応力解析を行って変形（たわみ）や応力に及ぼす影響を調べる。さらに補強の効果について検討を行う。

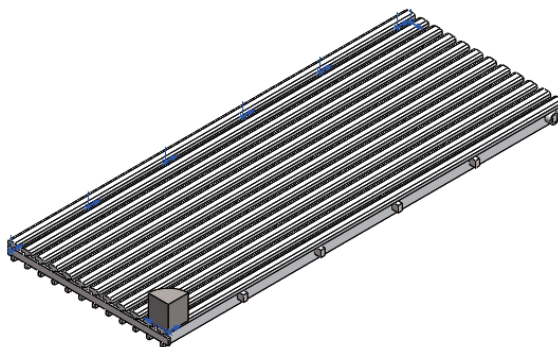


Fig. 4 グレーチングの解析モデル（1/4 モデル）

### 3. 計算結果

#### 3・1 現状のグレーチング製品の FEM 応力解析結果

シマブン社製のグレーチング（現状の製品）について FEM 応力解析を行った結果の一部を Fig. 5～Fig. 8 示す。なお、Fig. 5 と Fig. 6 がマスタタイプのグレーチングのたわみと主応力の解析結果であり、Fig. 7 と Fig. 8 が逆目タイプのグレーチングのたわみと主応力の解析結果である。

製品の識別のために品番を設けており、下記の表記に従う。

（グレーチングの幅寸法  $W$ ） $H$ （グレーチングの高さ寸法  $h$ ）

ここに、グレーチングの幅寸法  $W$  とグレーチングの高さ寸法  $h$  は、Fig. 1～Fig. 3 に示す通りである。なお、グレーチングの長さ  $L=999$ [mm]、クロスバーの間隔  $p=97$ [mm] とした。製品の一部にはクロスバーのピッチ  $p=97$ [mm] に等間隔にできない場合があり、この場合は、グレーチング中央付近のクロスバー間隔で調整した。

同社に提供した資料では、最大たわみ、最大応力値（メインバー、樹脂側）、最大応力値（クロスバー、ステン側）の各値を図、表にまとめ、久留米リサーチパークで行った曲げ試験による各製品のたわみ量（実験値）との比較を示した。その結果、実験値と FEM 解析のたわみ値を比較すると、実験値が FEM 解析値より幾分大きくなるが、全般的に良い一致を示すことが確認できた。

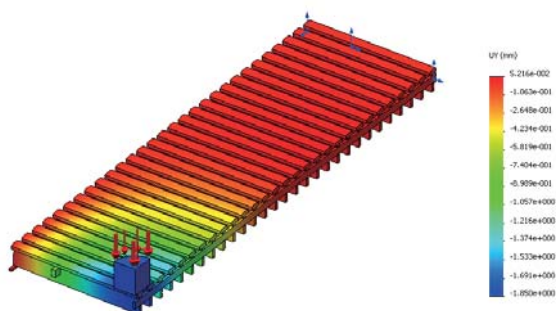


Fig. 5 グレーチングのたわみ（マスタタイプ、強化型、クロスバーピッチ  $p=97$ [mm]、300H25）

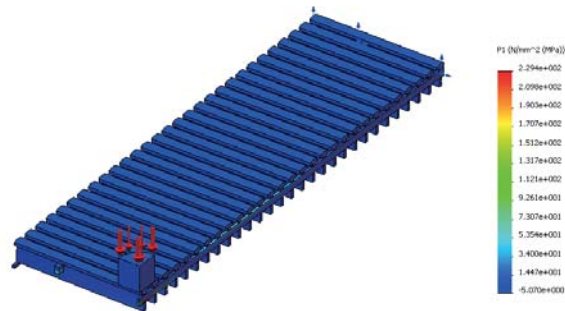


Fig. 6 グレーチングの主応力（マスタタイプ、強化型、クロスバーピッチ  $p=97$ [mm]、300H25）

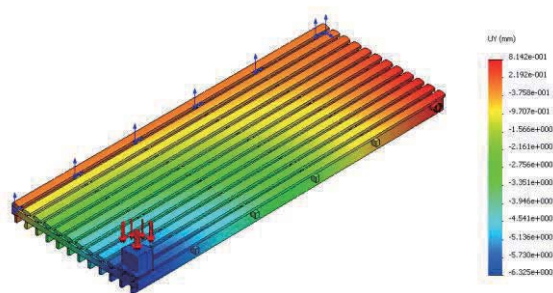


Fig. 7 グレーチングのたわみ（逆目タイプ，強化型，クロスバーピッチ  $p=97$  [mm]，400H25）

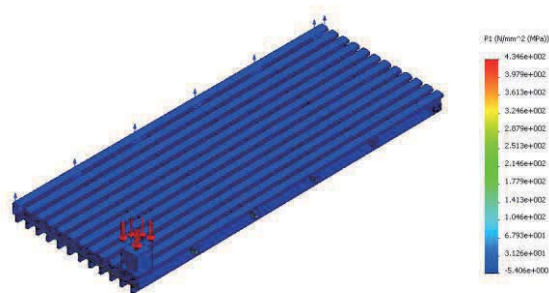


Fig. 8 グレーチングの主応力（逆目タイプ，強化型，クロスバーピッチ  $p=97$  [mm]，400H25）

### 3・2 グレーチングの補強について

前節で検討したグレーチングの強度評価からグレーチングの強化について2種類の補強モデルを提案し、それらの強度について検討する。

#### 3・2・1 クロスバーの追加

提案する補強モデルの1つとして、クロスバーの間隔  $p$  を現状の  $97$  [mm] から半分の  $48.5$  [mm] にし、クロスバーの本数を2倍にしたときのグレーチングについてFEM応力解析を行った。

グレーチングの補強モデル、マスタタイプと逆目タイプについて行ったFEM応力解析結果（たわみ）の一部をFig. 9とFig. 10に示す。

応力解析結果からクロスバーの本数を約2倍に増やすことで最大たわみを3~5割減少できる。また、各部品に生ずる最大応力についても2割程度、減少できる。しかし、一部のグレーチング製品においては、曲げ応力が  $200$  [MPa] を超える場合、すなわち材料の降伏応力を超える場合あり、さらなる補強を検討する必要がある。

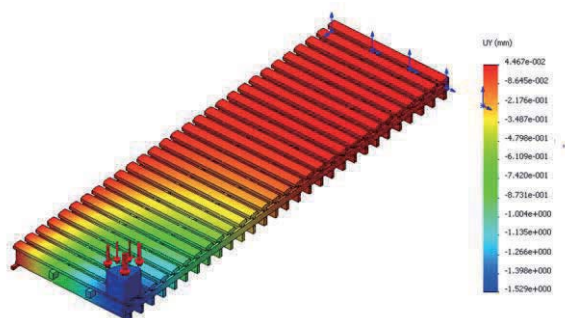


Fig. 9 グレーチングのたわみ（マスタタイプ，強化型，クロスバーピッチ  $p=48.5$  [mm]，300H25）

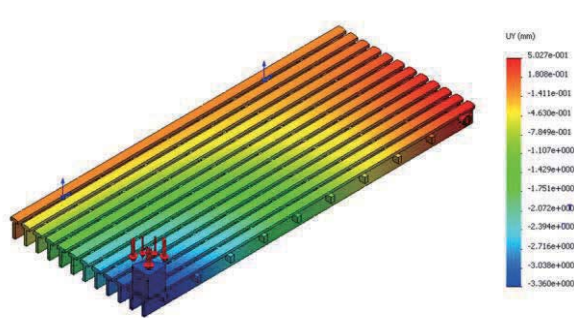


Fig. 10 グレーチングのたわみ（逆目タイプ，強化型，クロスバーピッチ  $p=48.5$  [mm]，400H25）

#### 3・2・2 補強平板によるメインバー（樹脂製）の強化について

グレーチングの主要部分は、メインバー（樹脂製棒）で構成されており、メインバーを補強することでグレーチングの強度が向上することが予想される。なお、この問題は、卒業研究において地域課題研究として行った。

##### (1) ステンレス平板によるメインバー（樹脂製）の補強効果

Fig. 11は、メインバーの両側をステンレス製の平板を挟んで補強したものである。また、Fig. 12(a)にはメインバーの断

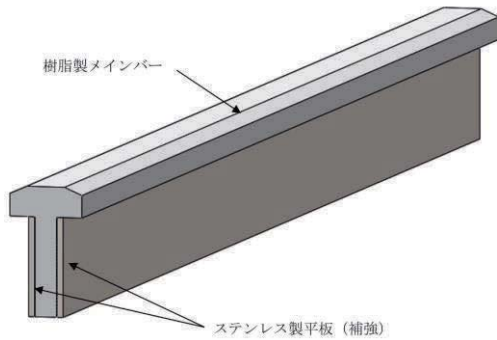


Fig.11 樹脂製メインバーの補強

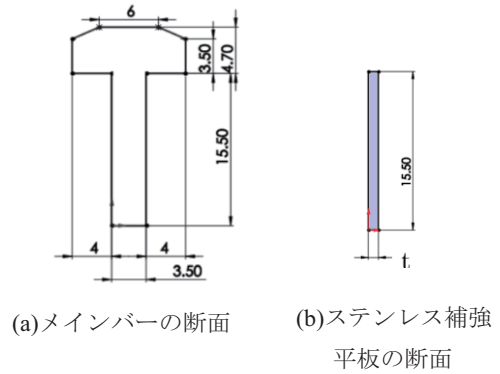


Fig.12 各部材の断面と寸法

面の寸法を示し、Fig.12(b)には補強に用いたステンレス平板の断面の寸法を示す。なお、ステンレス平板の厚み  $t$  は、0.5、1、1.5、2[mm]とした。

以上に基づいて三次元モデルを作成し、有限要素法 (FEM) による応力解析を行った。

### (2) ステンレス製平板で補強したメインバーの強度の検討

Fig.13 は、メインバーを片持ちはりとし、先端に荷重  $P=10$ [N]を負荷したモデルを示している。この条件で FEM 応力解析を行った。

Fig.14 は、Fig.15 のモデルで計算したメインバーの応力解析結果 (主応力) を示したものである。この結果からはりのたわみ、最大応力を求めた。

Table 2 は、補強平板の厚み  $t$  とメインバーのたわみ、メインバー (樹脂製) の最大応力、ステンレス製補強平板の最大応力の解析結果を示したものである。

表中のたわみの理論値は、片持ちはりの最大たわみとして次式で与えられる。

$$\delta = \frac{Pl^3}{3EI} \tag{1}$$

ここに  $EI$  は合成こわさであり、次式から求められる。

$$EI = E_1I_1 + 2E_2I_2$$

$E_1$ :メインバーの引張弾性係数

$E_2$ :補強平板の引張弾性係数

$I_1$ :メインバーの断面二次モーメント

$I_2$ :補強平板の断面二次モーメント

(2)

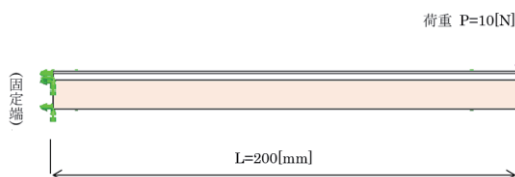


Fig.13 メインバーの負荷条件 (片持ちはり)

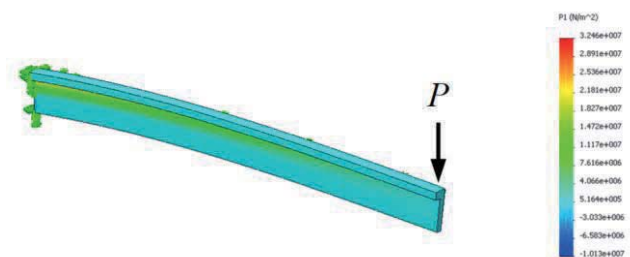


Fig.14 EFM による応力解析結果 (主応力)

応力の理論値は、次式の曲げ応力の式で与えられる。

$$\sigma = \frac{M}{z}$$

$M$  : 曲げモーメント,  $z$  : 断面係数 (3)

Table 2 に示した結果からメインバーの最大応力は、補強板の厚さ  $t$  が大きくなると減少する。メインバーのたわみについても補強板の厚さ  $t$  が大きくなるほど減少する。また、式(1)および式(2)による最大たわみの理論値は、FEM 応力解析による結果（最大たわみ）とほぼ一致している。

Table 2 FEM 解析結果と理論値との比較

平板厚さ	曲げモーメント M=P*L[Nmm]	最大たわみ		最大応力（樹脂）		最大応力（ステンレス）	
		FEM[mm]	理論値[mm]	FEM[MPa]	理論値[MPa]	FEM[MPa]	理論値[MPa]
0.0mm	2500	6.821	6.587	7.382	7.403		
0.5mm	2500	0.704	0.722	1.031		50.77	62.4
1.0mm	2500	0.376	0.382	0.558		27.47	31
1.5mm	2500	0.258	0.26	0.373		18.69	20.8
2.0mm	2500	0.196	0.197	0.289		14.09	15.6

### (3) ステンレス製平板で補強したグレーチングの検討

前述の結果から、グレーチングの幅が 400[mm] を超える製品については、クロスバーの間隔を 48.5[mm] に変更してもグレーチング中央に荷重 100[kgf] を加えたとき、最大たわみ量 4[mm] あるいはクロスバーの最大曲げ応力 200[MPa] を超える場合が多く見られる。

そこで、ステンレス平板によるグレーチングの補強効果について、逆目タイプで強化型 400H25 の製品を取り上げ、樹脂製メインバーに挟み込むステンレス補強板の配置やその数を変えて FEM 応力解析を行った。なお、ステンレス板の厚みは、 $t=1$ [mm] とした。

Fig. 15 及び Fig. 16 は、平板補強したグレーチング（マスタタイプ、強化型、クロスバーピッチ-100, 400H25）のたわみと主応力の解析結果を示したものである。また、Fig. 17 はグレーチングの中央付近の応力分布、Fig. 18 は補強したステンレス製平板（部品 A）の主応力分布、Fig. 19 はクロスバー（部品 B）の主応力分布をグレーチング中央からの距離をパラメーターに示したものである。

樹脂製メインバーの最大曲げ応力は、ステンレス板による補強を加えることでグレーチングの強度が向上し、補強平板なしの場合より応力値、たわみ量をさらに小さくできる。また、マスタタイプと逆目タイプでは、マスタタイプの方がステンレス板による補強を効果的に行うことができる。

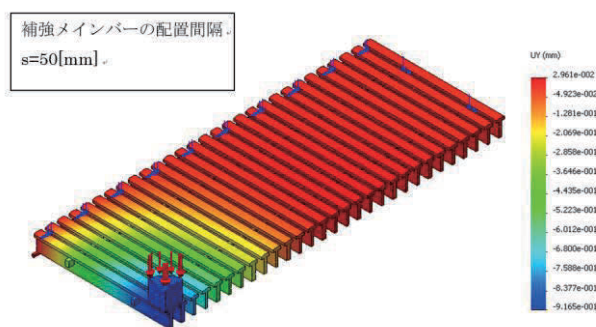


Fig. 15 平板補強したグレーチングのたわみ  
(マスタタイプ、強化型、 $p=97$ [mm], 400H25)

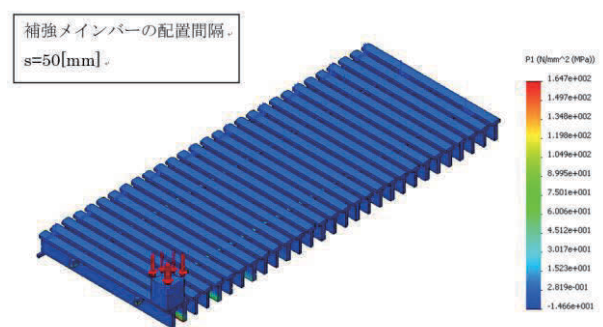


Fig. 16 平板補強したグレーチングの主応力  
(マスタタイプ、強化型、 $p=97$ [mm], 400H25)

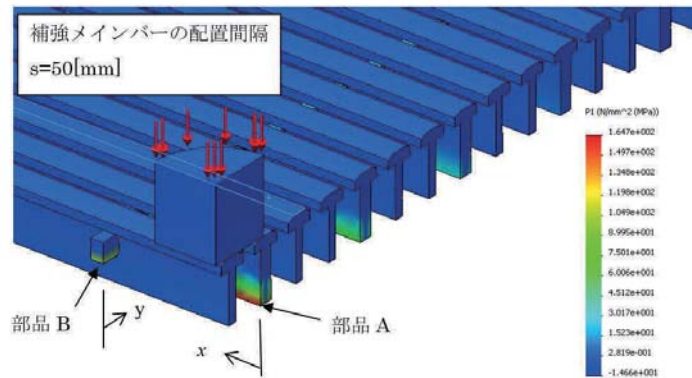


Fig. 17 平板補強したグレーチングの中央付近の主応力  
(マスタイプ, 強化型, p=97[mm], 400H25)

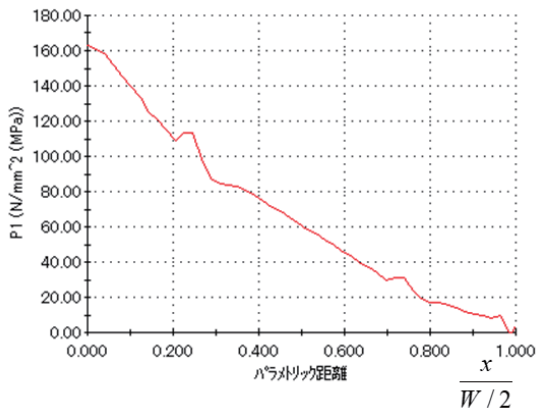


Fig. 18 ステンレス製平板の主応力 (部品 A)

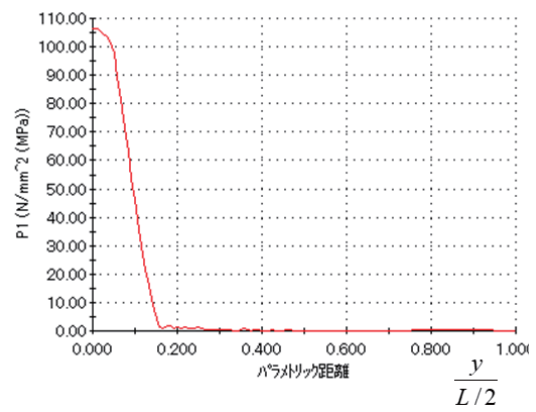


Fig. 19 クロスバーの主応力 (部品 B)

#### 4. まとめ

今回の共同研究では、(株)シマブンの樹脂製グレーチングについて有限要素法による応力解析を行い、以下の研究成果が得られた。

(1) 同社の樹脂製グレーチングの応力解析を行った結果、久留米市リサーチパークで行った曲げ試験による製品の中央部のたわみ(最大曲げたわみ)値と本解析結果は全般的にはほぼ一致することを確認した。その差は最大でも20%程度である。

(2) 今回行った応力解析結果を表、図で整理し、資料としてまとめた。

(3) グレーチングの補強については、クロスバーのピッチを97[mm]から48.5[mm]に変更した場合、メインバーをステンレス製平板で補強した場合について検討し、今後の製品改良に役立つ研究資料を提供した。

#### 文 献

- (1) 井川秀信, “駐車場事故防止ボールの設計開発”, 久留米工業大学 IML 研究報告, No. 1 (2017), pp. 27-34.
- (2) 井川秀信, “回転式コンクリート型枠の改良について”, 久留米工業大学研究報告, No. 42 (2019), pp. 193-200.
- (3) S. Nishida, H. Igawa, N. Hattori, Y. Korogi, “Light-weight design of circular-digging medium-size bucket of construction machine”, Damage and Fracture Mechanics, No. 8 (2004), pp. 245-254.