

# ZETA補強板の設計

酒 卷 正 守・三 浦 公 亮・小 野 縁

Design of Zeta-Stiffened Panels

By

Masamori SAKAMAKI, Koryo MIURA and Yukari ONO

**Abstract:** The purpose of this paper is to report the recent developments of the study of the zeta-stiffened panel. First, the mechanism of stiffening by a doubly corrugated plate is explained in some details and then, the guiding principle of optimizing the zeta-stiffened panel. The automation of fabricating the structural model of complicated configuration, such as this panel, by use of the NC machine is also discussed in the paper.

## 概 要

この報告は、ゼータ補強板の研究の近況を報告するにある。まずゼータ補強板の剛性とそのメカニズムを説明し、これによりゼータ補強板の形状最適化の方向を示す。またこれによって設計をおこなったモデルの試案を示す。また一般に、この種の新しい構造モデルの自動化製作のために設備した数値制御モデル製作装置について説明する。

## 1. 緒 言

ZETA補強板について最近の研究状況を報告する。ZETA補強板は第1図に示すような、直交二方向に周期的な折れ曲がりをもつ曲面板を補強材として用いた補強板の総称である。

従来知られている補強板の構造概念は、補強材を一方向あるいは二方向に配したものであり、また、より一様な補強効果を求めるためのアイソグリッド構造などである。これらの考え方は、いずれも梁の曲げについての材料をできるだけ中性軸より遠ざけて分布させるという、I形梁の考えを二次元的に拡張したものである。ZETA補強板も、この“より一様な補強効果”を目標とするものであるが、アイソグリッド構造と較べると、その荷重を受持つ仕組みが全く異なること、製作方法も単一材よりの削り出し加工でなく、一枚の曲面板（補強材）を合わせるだけという単純な方法で得られるなどの特徴を有している。

このような補強板の構造概念が三浦[1]により提案され、また谷沢[2]らによってその特性が調べられ、評価がなされた。その後いくつかの計算が補充されて、ZETA補強板の等価剛性諸量および応力分布などがより明確になってきたので、これについて述べる。

## 2. 新しい構造形態の創造

これらの実験および数値解析に用いられたモデルは、元来ZETA・サンドイッチのコアとして作られたものを転用しており、ZETA補強板の特異な性質を発見し、評価することには一応役立った。しかし、これがそのまま補強板としての種々の要求に合致した形状を有することは全く保証されない。そこで、これまでの研究結果を考慮に入れて、はじめから補強材として用いることを前提として、形態を決めようと考えている。

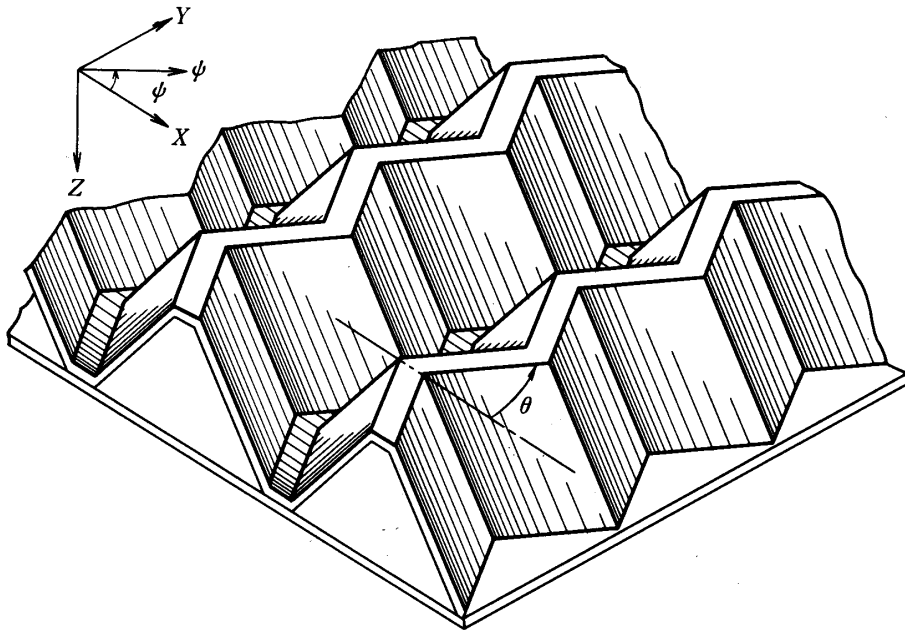
いうまでもなく、構造形態は、つくられた形態の適性ばかりでなく、その加工製造のプロセスについての検討を欠かすことができない。ZETA補強板の補強材は、薄板のプレス成型加工という製造法を前提としているから、それに適した形状が要求されるであろう。このことは、結局は金型の設計の問題に帰する。著者等の研究室では、こういった事情をふまえて、大学の研究室規模で、構造形態の創造に関する研究を実行するに適當な、研究施設の一つのプランを計画中である。ZETA補強板は対象として一つの好例であるので、これを核にこのプランを説明して識者の参考に資したい。

## 3. ZETA補強板の等価剛性と応力分布

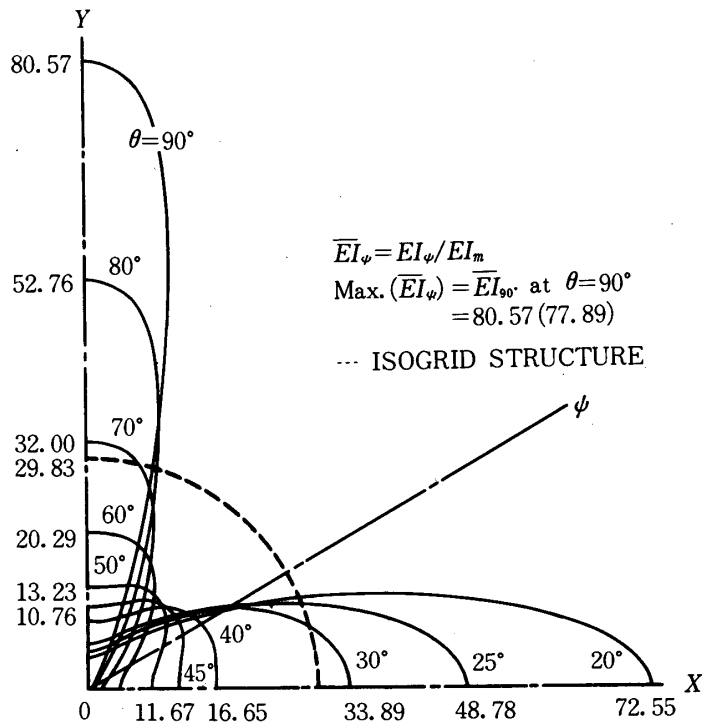
ZETA補強板の剛性とそのメカニズムを認識するために、文献[3]より代表的な図を引用して示す(第2～4図)。これらのポーラー・ダイアグラムで、規格化に用いられた $EI_m$ 、 $GJ_m$ 等は、補強材・面板をならした単一の板厚のものである。また $\theta$ は補強材の折れ曲り角(第1図)、 $\psi$ は $X \cdot Y$ 面 $X$ よりとった角である。また比較のため、同量の材料、同一の周期性・補強材高さ、同一の面板を用いたアイソグリッド構造のハンドブック値を示した。実際はアイソグリッドとはいえ、極性をもっており、図のように円等方性になることはない。

これらを見ると、振りおよび引張り剛性に関しては、使用モデルですでに十分な値をもっているように思われる。しかしながら、曲げ剛性については、等方性に近いとはいえ、その絶対値が未だアイソグリッドの値に比較して低い。従ってZETA補強板のコンセプトの改良の研究の、主たる目標は曲げ剛性の改良にあるとあって良いであろう。文献[4]の谷沢等の研究はその一つの方向に沿っている。

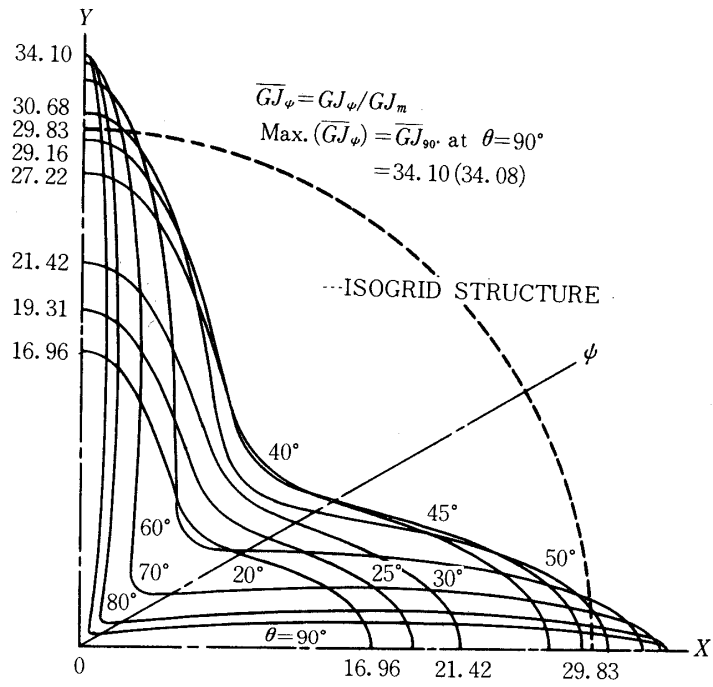
これに関連して、ZETA補強板の $X$ 方向の曲げ剛性発生メカニズムは参考になる。第5図は、 $X$ 方向の曲げにおける主要な応力の流れを、メッシュで示したものである。主要な流れは面板より凸の「尾根」を経て頂点に至り、ここで二手に分れ、「稜線」を経て両隣りの頂点に至る。これより尾根を下って面板に入るのである。これはデザインについて、強化すべきところを示している。



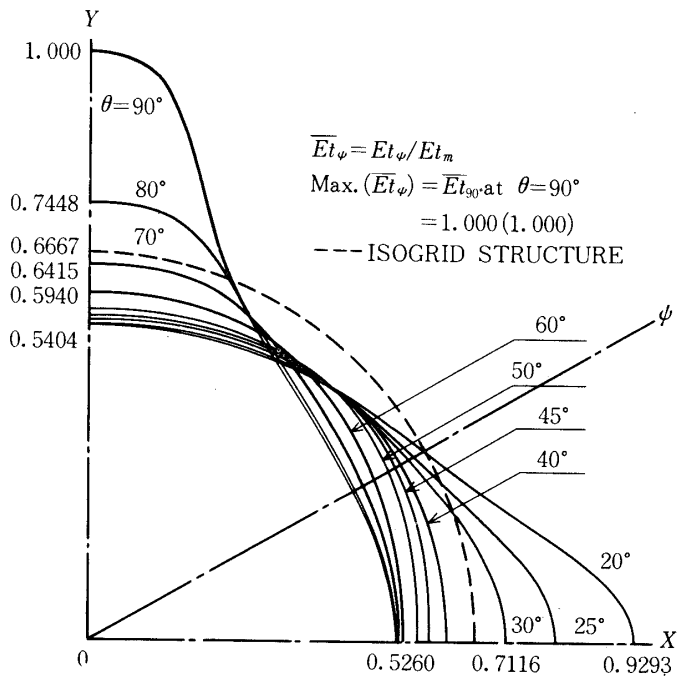
第1図 ZETA補強板の形状



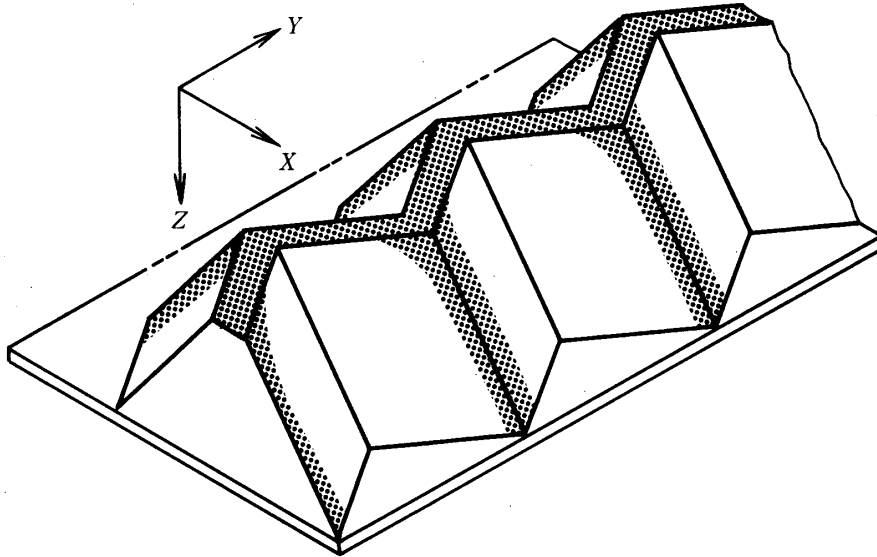
第2図 等価曲げ剛性の方向性



第3図 等価振り剛性の方向性



第4図 等価引張り剛性の方向性



第5図 応力の流れ

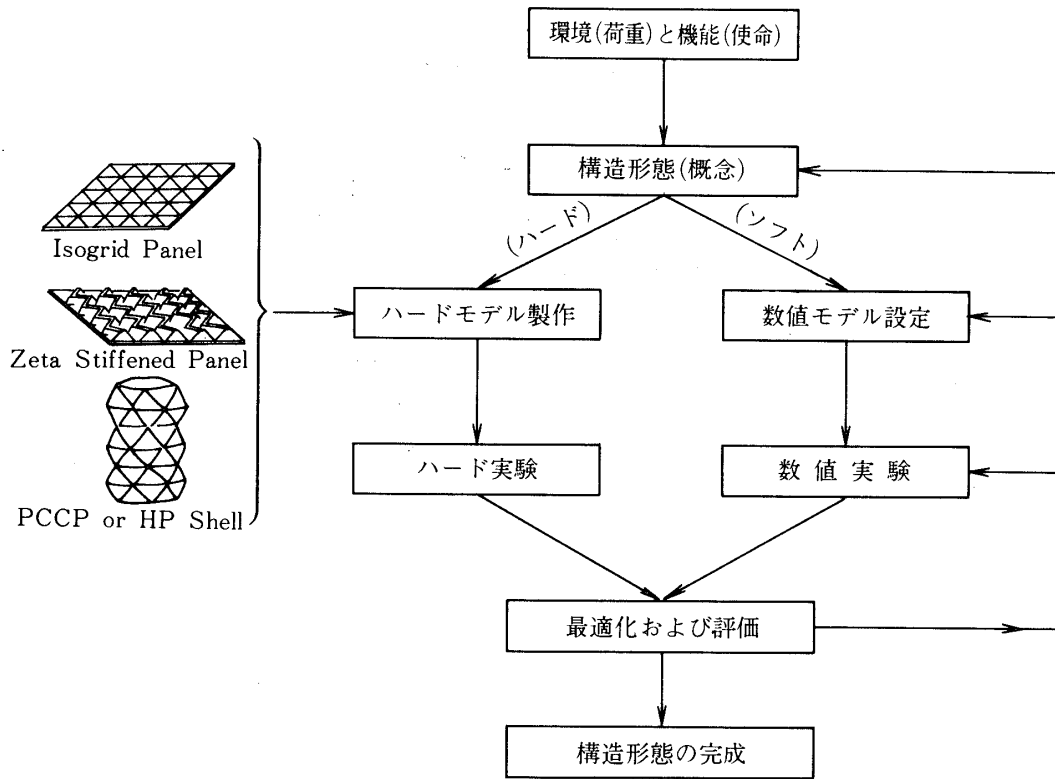
#### 4. 構造実験解析の一つのシステム

以上に述べたZETA補強板に限らず、これからの構造モデルは従来のそれのように単純ではなくなる。そこで数値解析において数値モデルを組立てる如くに、実験解析においてもハードモデルを自由に製作し、これを想定される環境条件に適合させた各種負荷テストに供し数値解析と並行して評価を得ることが要求されよう。このような要求に応える研究システムを第6図に示す。

図に示されているように数値解析あるいは実験解析において、その目指すものは最適化でありハード、ソフトのそれぞれの実験結果に絶えずこのことが評価され、適宜フィードバックされて、構造形態の完成への歩みとなっていく。ソフトの流れは従来から行われている電子計算機を利用した数値解析であり、一方ハードモデルの製作において考えられる装置として数値制御工作機械（例えばNCフライス盤）などが適当である。この過程では供試モデルを直接加工製作する場合と、金型を作り、その金型より選択する材料に応じてプレス加工（メタル薄板）あるいは加熱・真空成形（プラスチックシート）などによりモデルを製作することが考えられる。我々の研究室では薄肉構造を取扱うことが多いので、主として後者の方法に拠っている。

ハード実験の設備も、負荷装置、測定装置それぞれについて自動化を計ることにより、データの取得および利用の効率を高めることが必要である。

我々はこの研究システム実現の一ステップとして数値制御によるモデル製作装置（4軸制御、6軸タレットヘッドNCフライス、制御装置FANUC-3000C）を設備し、当面ZETA補強板を対象としてハード、ソフトそれぞれの面から研究を進めている。



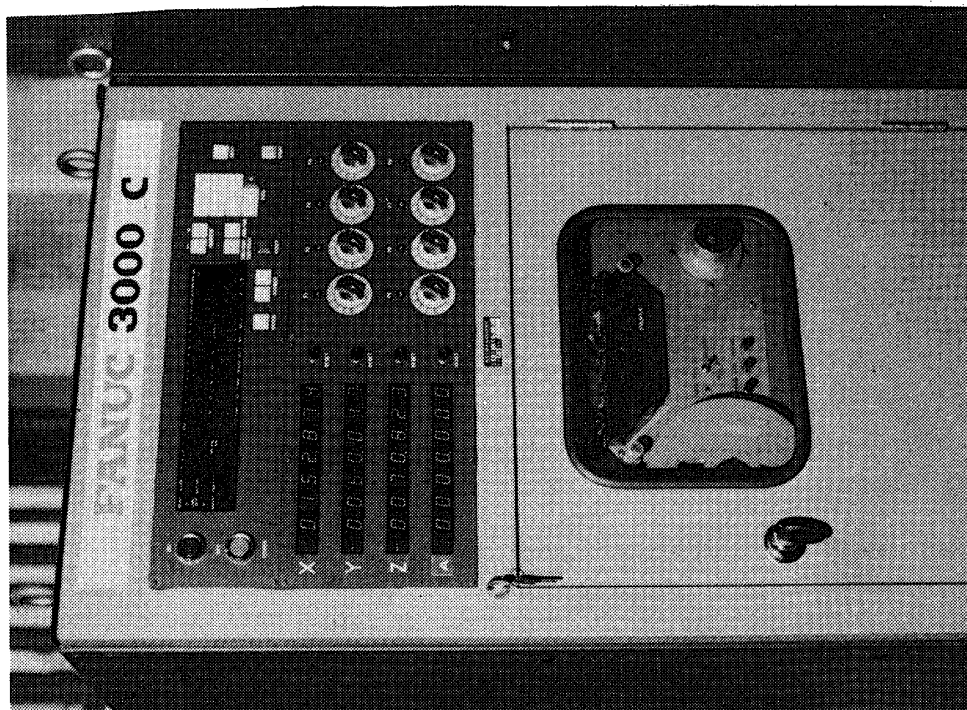
第6図 構造形態最適化研究の流れ

本装置の機械本体および制御部を第7図、第8図に示す。

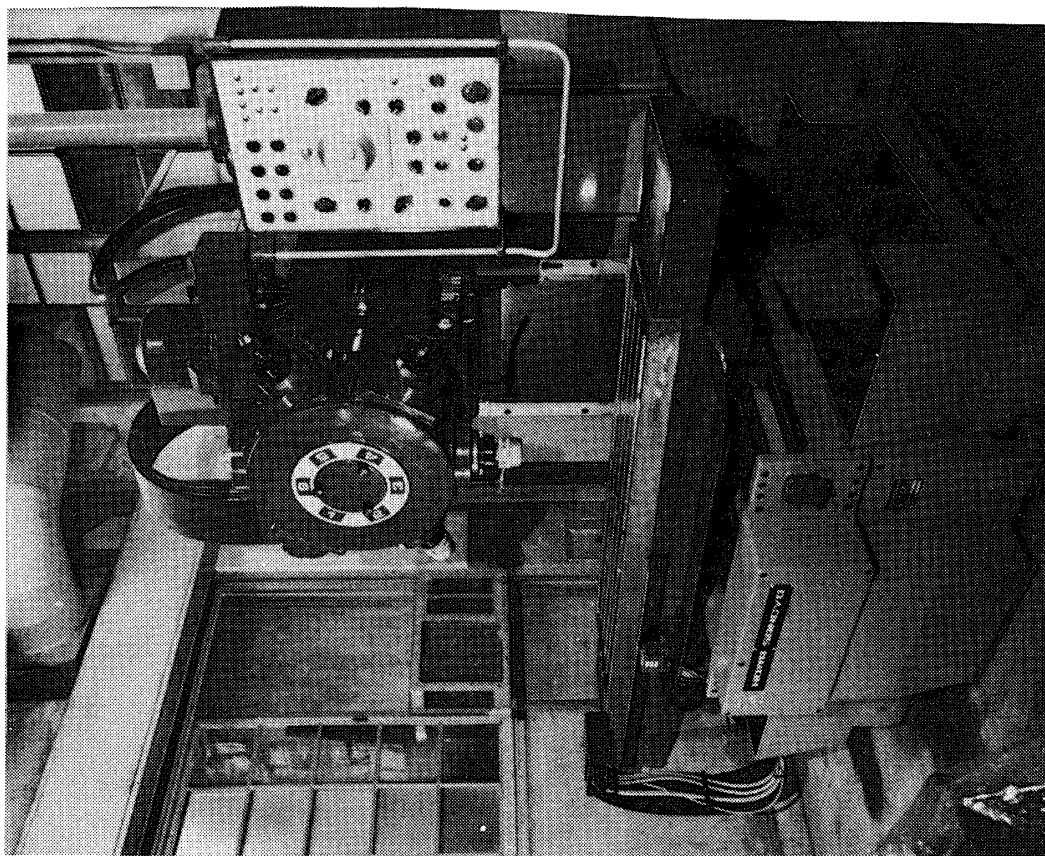
### 5. ZETA補強板の試作

初めにも述べているように、新しい構造形態を考えこれを実現させるにあたっては、その加工製作のプロセスについての考慮も必要である。

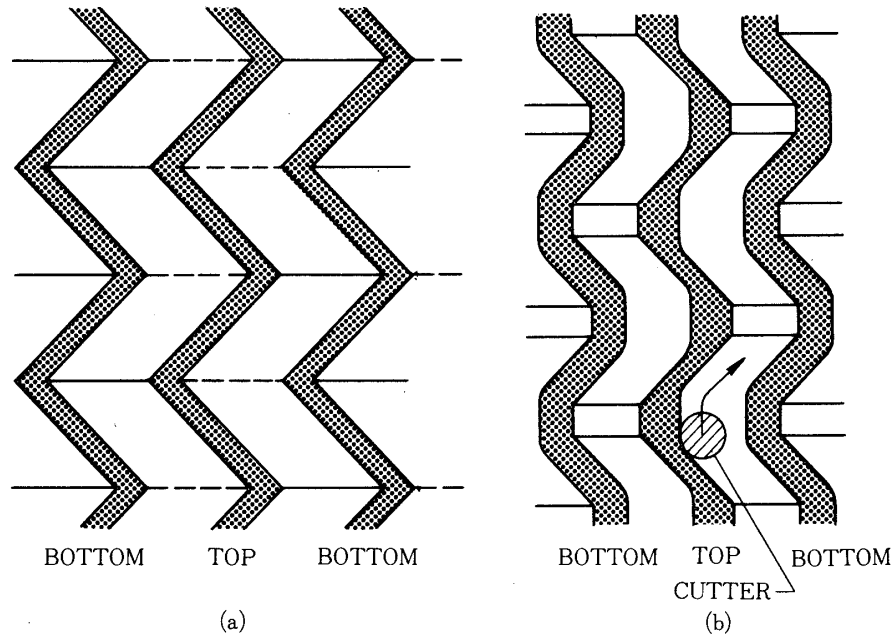
例えば第9図(a)に示すシャープな折れ曲がりのある形状では、その内側を切削することはフライスカッター(エンドミル)の直径、工具の通路を考えると、不可能ではないが、能率的なプログラムは考えられない。また、機械の制御機能が増したとしても切削加工にはある程度の制限を受けることは止む得ない。ZETA補強板の設計・製作にあたってはこれらの点を考慮し、第9図(b)に示すような形状を考えた。このようにすると工具径を適当に選択することにより、直線と円弧補間、コーナーオフセットなどの制御機能により任意の寸法に加工することができる。またこの形状は、第5図に示すような曲げの場合の応力の主要な流れの部分を強化することになり、強度的にも望ましいものである。このようにして製作した金型の一例を第10図に、またZETA補強板を第11図に示す。



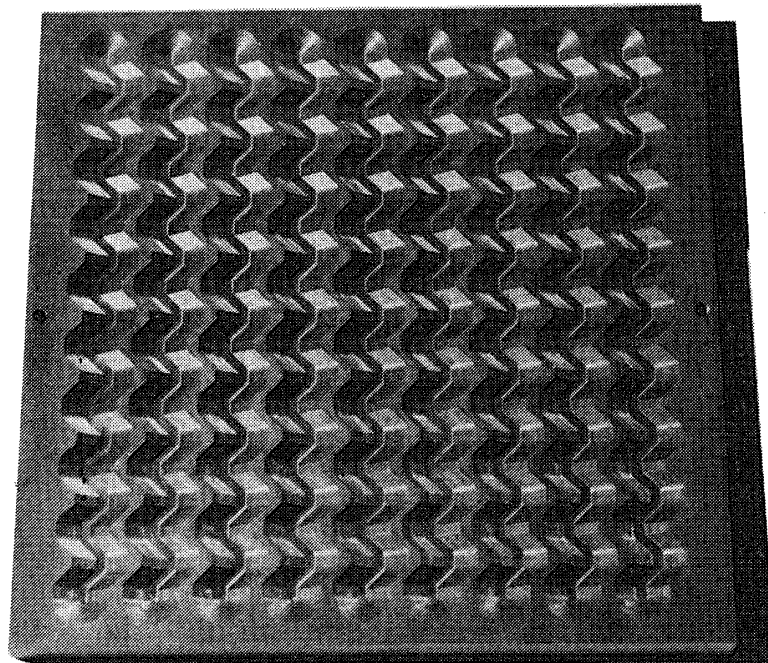
第8図 数値制御モデル製作装置(制御部)



第7図 数値制御モデル製作装置(機械部)

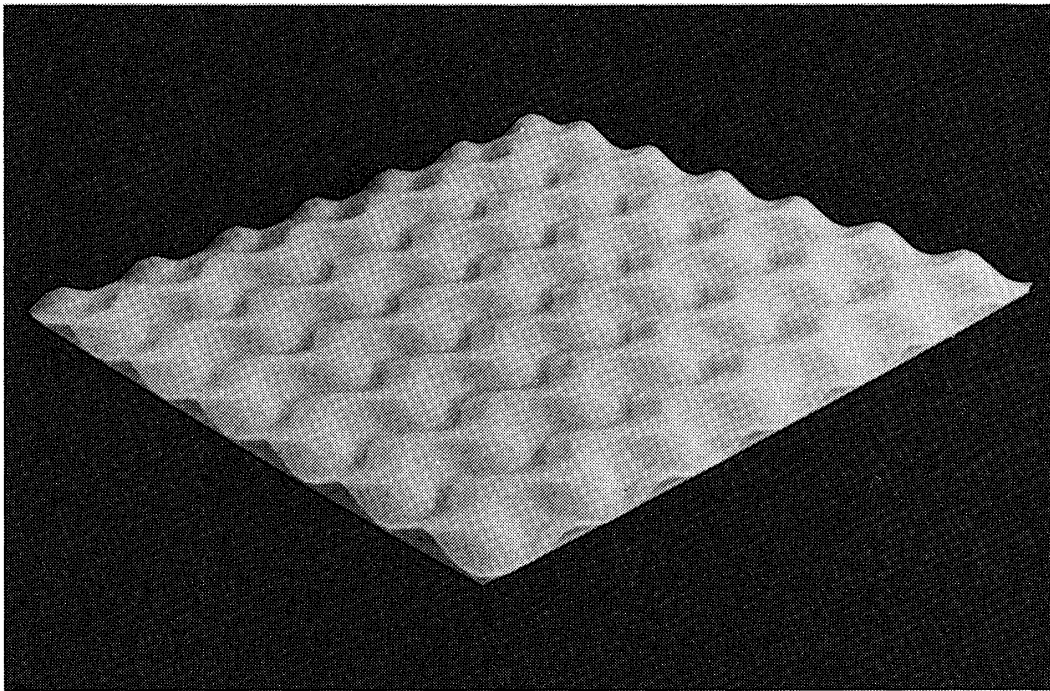


第9図 加工条件による形状の変換



第10図 ZETA補強板成形金型





第11図 ZETA補強板

### 5. 結 言

ZETA補強板について最近の研究状況を述べ、また新しい構造実験解析の研究方法として加工のプロセスも考慮したシステムを提案した。更に、補強効果を高めるための形状パラメータの最適化も重要な課題であり、いくつかのZETA補強板の試作ならびに実験を計画中である。

最後に本金型の加工、製作にあたり多くの労を煩わした本所工作工場の各位、とりわけ中川 廣掛長ならびに中村 宏技官に深く感謝する次第である。

1979年11月30日 航空力学部

### 参 考 文 献

- [ 1 ] 三浦公亮, 酒巻正守; ゼータ補強板の研究(そのII), 第20回構造強度に関する講演会講演集, 1978.
- [ 2 ] 谷沢一雄, 三浦公亮, 菊地文雄; ゼータ補強板の研究(そのI), 第20回構造強度に関する講演会講演集, 1978.
- [ 3 ] Tanizawa, K., Kikuchi, F., Miura, K.; Determination of Equivalent Rigidities of Zeta-Stiffened Panel, Proc. of the 28th Japan National Cong. for Appl. Mech., 1978 (To be Published).
- [ 4 ] 谷沢一雄, 菊地文雄, 三浦公亮; ゼータ補強板の剛性研究(第2報), 第21回構造強度に関する講演会講演集, 1979.