

第6章 ダイヤフラムの設計・製作とFEM解析

6-1 概論

前章で提案したスカラップ構造で、製作コストが低減でき、また強度的に検討すべき箇所を対象にFEM解析を行うこととした。解析を行う部位は、図6-1に示すダイヤフラムの補強プレート部(箱桁-8, pp55参照)であり、改良案では板切りタイプを提案した。そこで、本案の妥当性を検証することとした。

この改良による利点は、以下の通りである。

- ・ロボット溶接が可能となる。
- ・変形量が少なくなり、加熱矯正の時間が低減できる。
- ・箱桁の製作精度が向上する。

この理由については、6-2で述べることとする。

また先に述べたが、メッキ橋ではメッキの施工上ダイヤフラムコーナー部のスカラップ(箱桁-1, pp45参照)を150Rの大きなものを採用しているが、これについて強度的に検討した報告はない。そこで、この部位についても解析の対象とした。

なお、本章で行う解析は文献¹³⁾に示す手法で、(株)サクラダにおいて実施したものである。

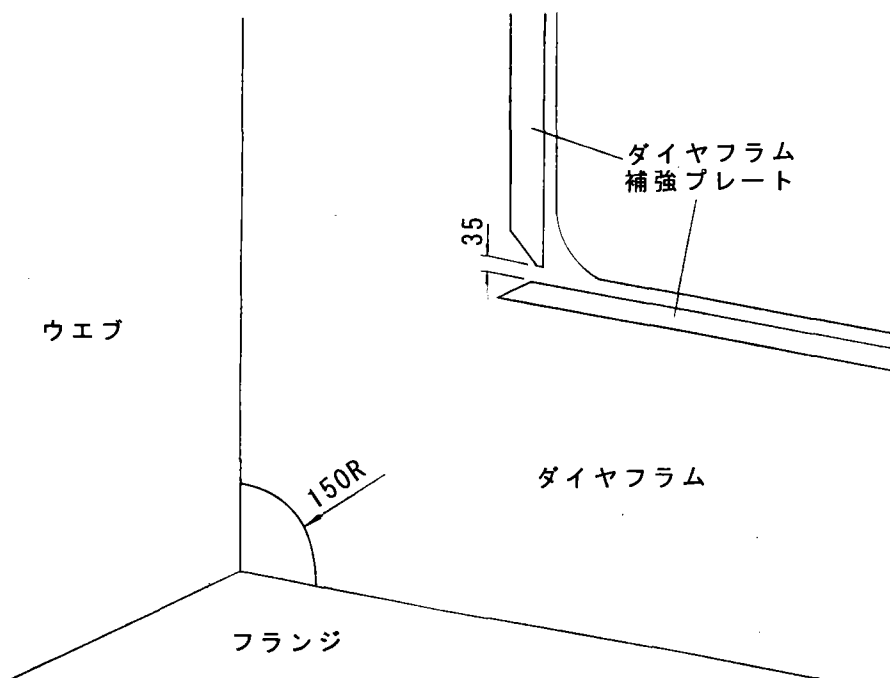
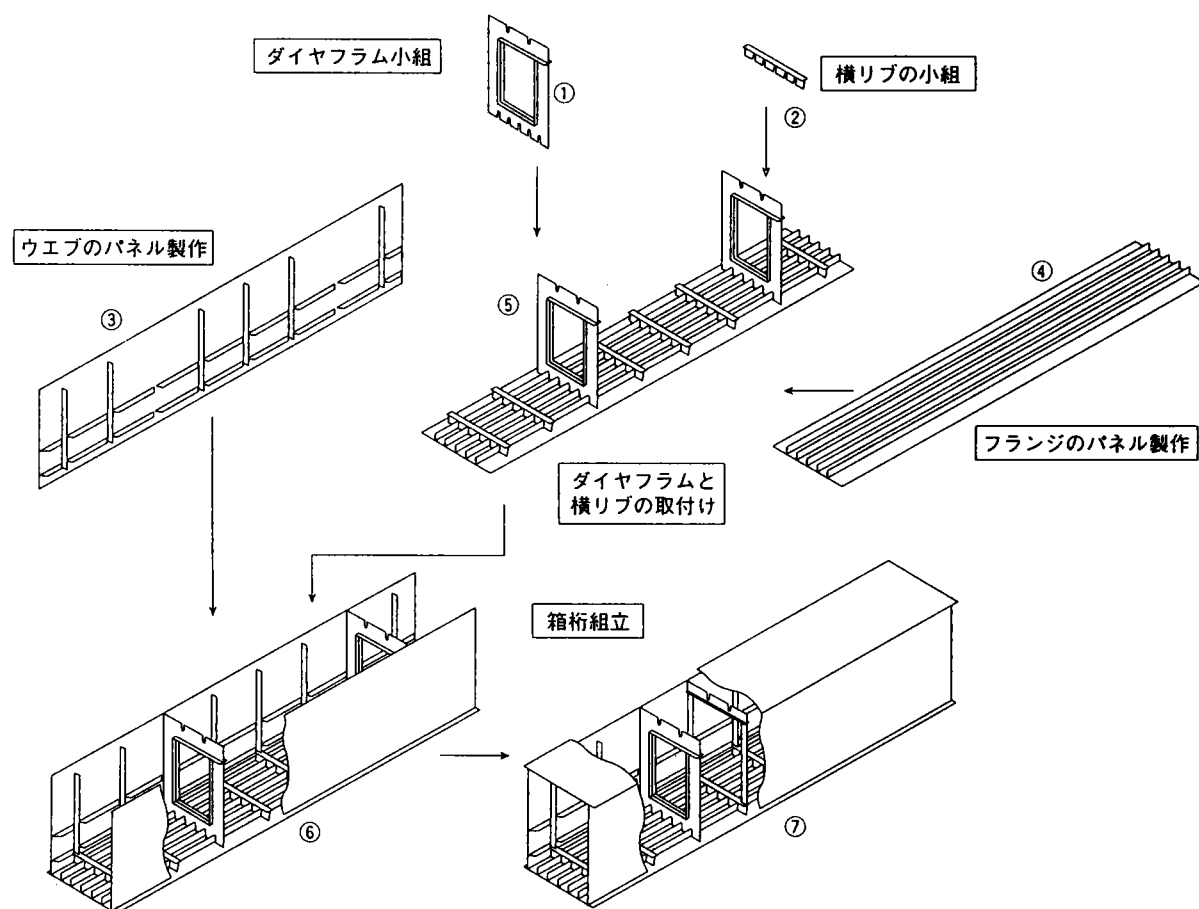


図6-1 解析対象のディテール

6-2 ダイアフラムの製作法

箱桁の製作は、7章のアンケート結果からも明らかであるが、パネル製作ロボットを使用したパネル工法が多くの工場で適用されており、この場合の製作手順を図6-2に示す。

ダイアフラム補強プレートの取り付けは、①の小組時に行われるケースが多い。その際、ダイアフラムを寝かせた状態で、半自動溶接において図6-3に示す溶接線Ⅰを水平すみ肉で行ない、その後、立向き姿勢あるいは部材を90°反転して溶接線Ⅱを行う。また、アンケート調査からも明らかであるが、4工場(13%)では専用のダイアフラム組立ロボットで溶接するケースもあるが、まだ少ない。その後、加熱矯正の工程を経て、フランジパネルに取り付けられる。しかし、小組



(製作手順の解説)

- ①：ダイアフラムの補強プレートの取り付け溶接はCO₂溶接で行うケースが多く、多関節ロボットで製作している工場もある。
- ②：横リブフランジの取り付け溶接は、多関節ロボットあるいは自動溶接機で行っている場合が多い。
- ③：ウェブのパネル製作では、多くの工場でNCロボットや多関節ロボットを用いた自動化が行われている。
- ④：フランジのパネル製作では、多電極自動溶接機で行うケースが多く、NCロボットで行う場合もある。
- ⑤：上フランジに横リブおよびダイアフラムを取り付ける。この際の溶接は仮付け状態であり、本溶接は箱組時に行われる。また、横リブの溶接を多関節ロボットを用い、パネル製作時に本溶接を行う工場もある。
- ⑥：フランジパネルとウェブパネルを取り付け、箱桁の組立作業を行う。この際も変形の防止から仮付け溶接で行われており、本溶接は箱組時に行われる。
- ⑦：下フランジを取り付け、箱形状としてから箱桁内溶接および外面から首溶接を行う。

図6-2 パネル工法における製作手順

時に補強プレートを取り付けると、溶接によりダイヤフラムが面外方向に変形して、加熱矯正が必要となり、この作業に多くの時間を費やす。このため、①の小組時に仮付けしておき、⑦の箱桁組立時に本溶接する工場もある。また、別のケースでは、変形に大きく寄与するのは溶接線Ⅱであることから、小組時に溶接線Ⅰを行って、箱桁組立時に溶接線Ⅱを行っているケースもある。

改良案では、現在多くの工場で適用しているパネル製作ロボットが適用でき、ロボット施工の範囲が拡大する。また、溶接線Ⅱがなくなったことによる、変形量が少なく、加熱矯正作業の低減が計られる。また、面外方向の拘束が小さいので、例え変形したとしても、加熱矯正が行いやすい。

次に、箱組立を行う上でダイヤフラムは、定規代わりとして箱組が行われるので、ダイヤフラムの組立精度が、箱桁の製作精度に直接結びついており、改良案のように変形量が少なくなると、箱桁の製作精度も向上する。

以上のように、本案の改良構造では6-1で示したように利点が多く、製作コストの削減が可能となる。

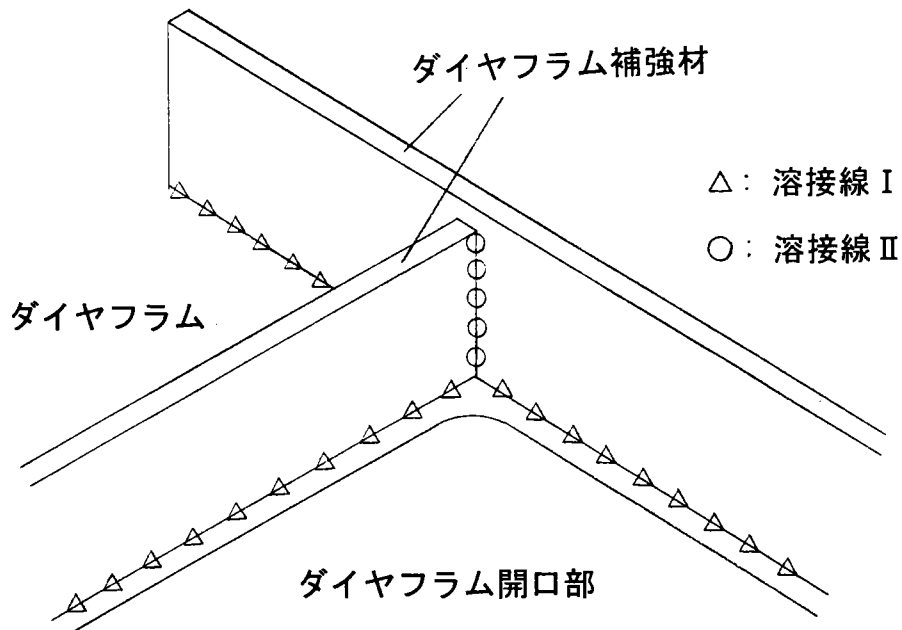
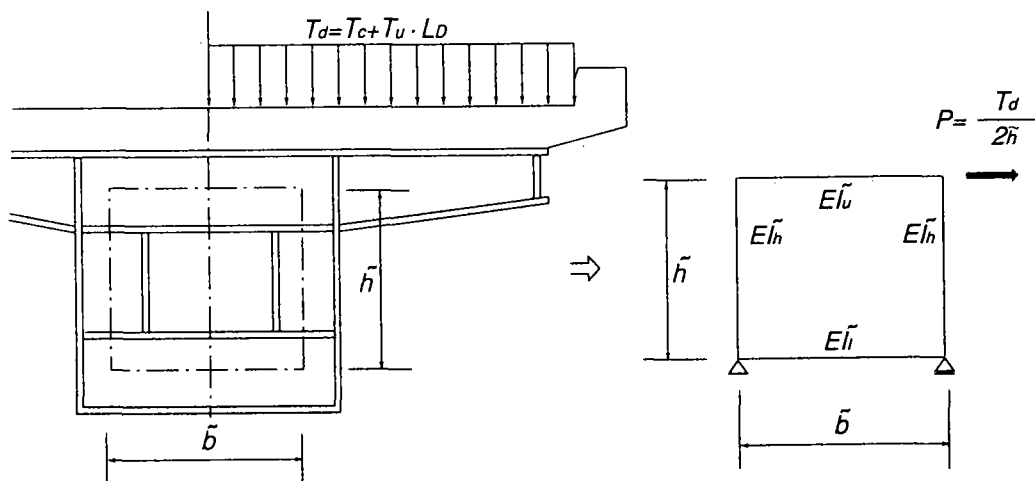


図 6 - 3 ダイヤフラムの詳細図

6-3 ダイアフラムの設計法

箱桁は、活荷重が桁に偏心して作用した場合には、断面変形が生じる。このような変形が起きると、箱桁は著しい剛性の低下と局部応力の増大をきたし、箱桁本来の特徴を失うので、ダイアフラムは十分な剛性を有する構造で、適当な間隔で設置されている。一方、ダイアフラムの応力計算では、死荷重などによる曲げが生じた場合にはフランジ・ウェブが抵抗し、ダイアフラムに作用する応力はほとんどない。通常、設計する場合でも活荷重が桁に偏心載荷(ずりモーメント)された荷重ケースで、ダイアフラムの応力照査を行っている。例えば、中間ダイアフラムでラーメン方式の応力照査をする場合、図6-4に示す荷重状態で計算される。すなわち、フランジあるいはウェブ板厚の24倍まで有効とした上で各部材の断面二次モーメントを求め、ダイアフラムをラーメン構造とし、活荷重によるずりモーメントから、コーナー部に集中荷重が作用するモデルで計算されている。



- T_d : ダイアフラムに作用するずりモーメント
- T_c : 線荷重によるトルク
- T_u : 分布荷重による単位長さ当たりのトルク
- L_D : ダイアフラムの間隔
- I_u : ラーメン上部材の断面二次モーメント
- I_l : ラーメン下部材の断面二次モーメント
- I_h : ラーメン垂直部材の断面二次モーメント
- b : 垂直部材の中立軸間距離
- h : 上下部材の中立軸間距離

(注) 断面二次モーメントを求める場合、フランジあるいはウェブ板厚の24倍まで有効と考えている。

図6-4 ラーメン方式のダイアフラム

6-4 FEM解析モデル

解析モデルとして、鋼道路橋設計便覧¹⁹⁾に示す中間ダイヤフラム設計例(pp181～189)をモデルにダイヤフラムに作用する局部応力について検討した。

計算例は、図6-5に示すように支間長60m、幅員7m、ダイヤフラム間隔6mの単純活荷重合成箱桁橋である。ここで、計算モデルを中間部のラーメン方式で検討することとし、ダイヤフラム形状を図6-6に示す。このモデルを計算する上でラーメンモデル状態とした場合には、図6-4のような集中荷重 $P=10.23\text{tf}$ が作用するモデルで計算されている。この計算の詳細については、鋼道路橋設計便覧¹⁹⁾を参照されたい。

これを解析モデルとするため、荷重を図6-7のように曲げを生じさせる荷重とずりを生じさせる荷重に分割し、ここではずり荷重で解析を行う。

解析モデルとして、図6-8に示す様に支間12mにダイヤフラムを6m間隔で配置し、中央部にずりを生じさせる荷重を作用させた。解析モデルはシェル要素で行い、図6-9に示すように対称性を考慮して桁の1/2モデルとし、解析ソフトは、MSC/Nastranを使用した。

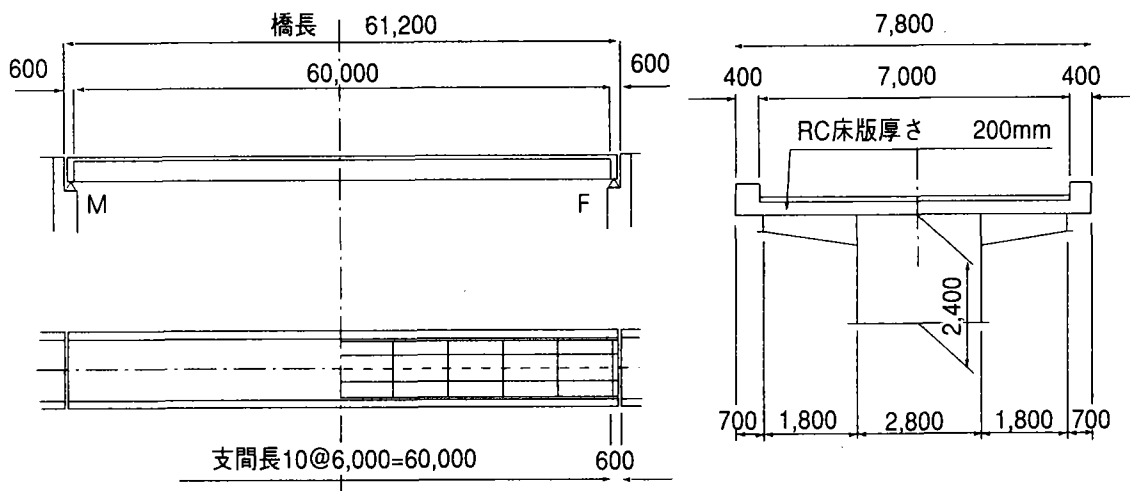


図6-5 設計計算モデル

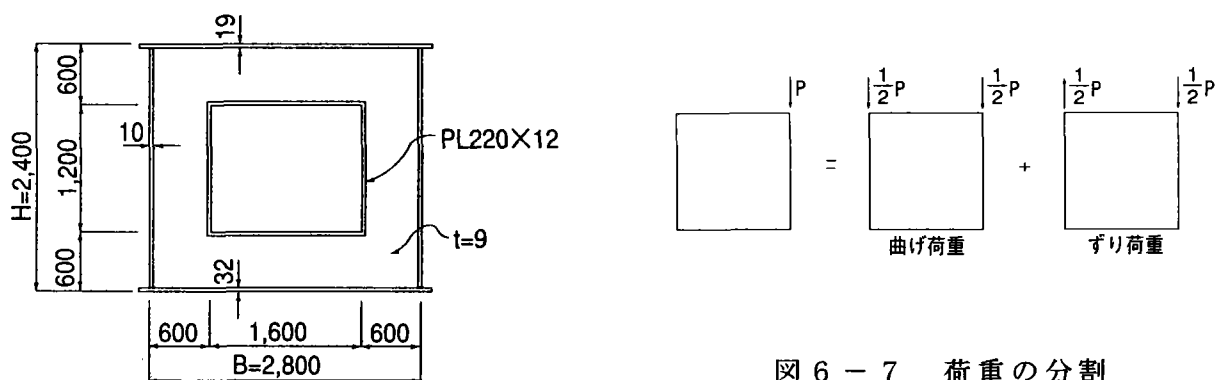


図6-7 荷重の分割

図6-6 ラーメン形式ダイヤフラム

ダイヤフラム形状は2つのモデルで行っており、現状モデルとして図6-10に示すようなモデルで、コーナー部のスカラップを30Rとし、鉛直方向と水平方向のダイヤフラム補強材を結合しているモデルとした。次に、改良モデルとして、図6-11に示すようなコーナー部に150Rのスカラップを設け、鉛直方向と水平方向のダイヤフラム補強材を接合しない板切りタイプとした。

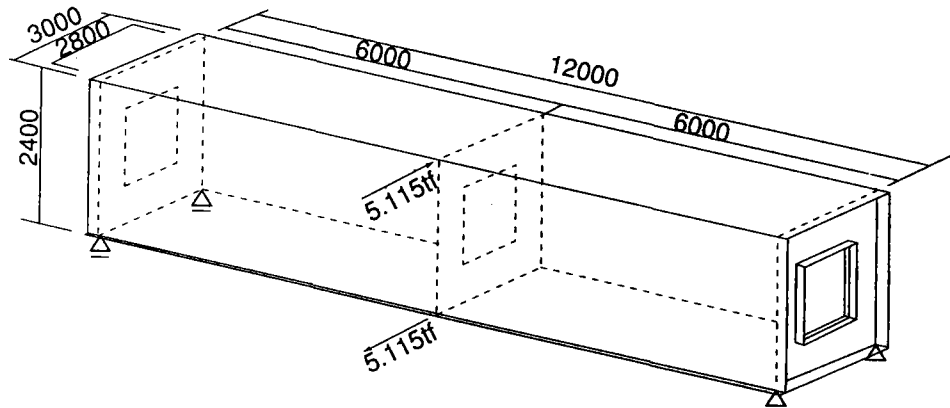


図6-8 解析モデル

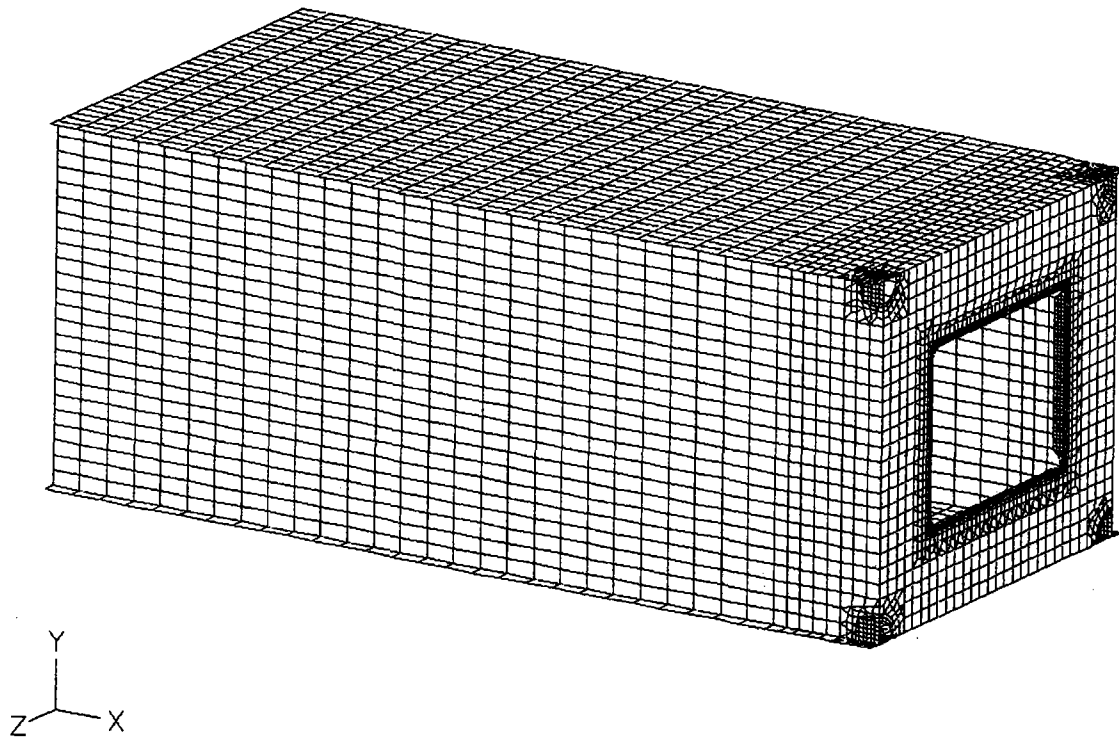
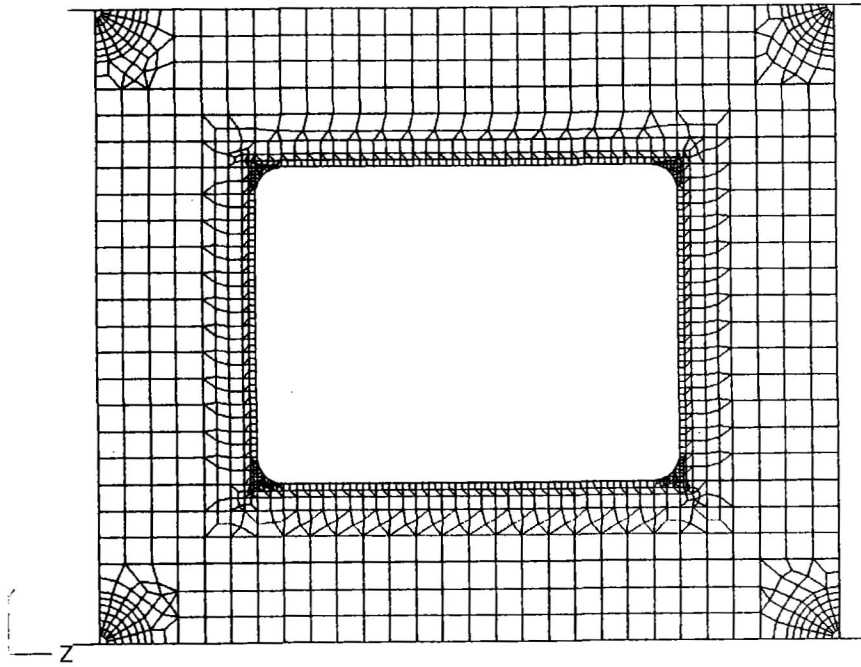
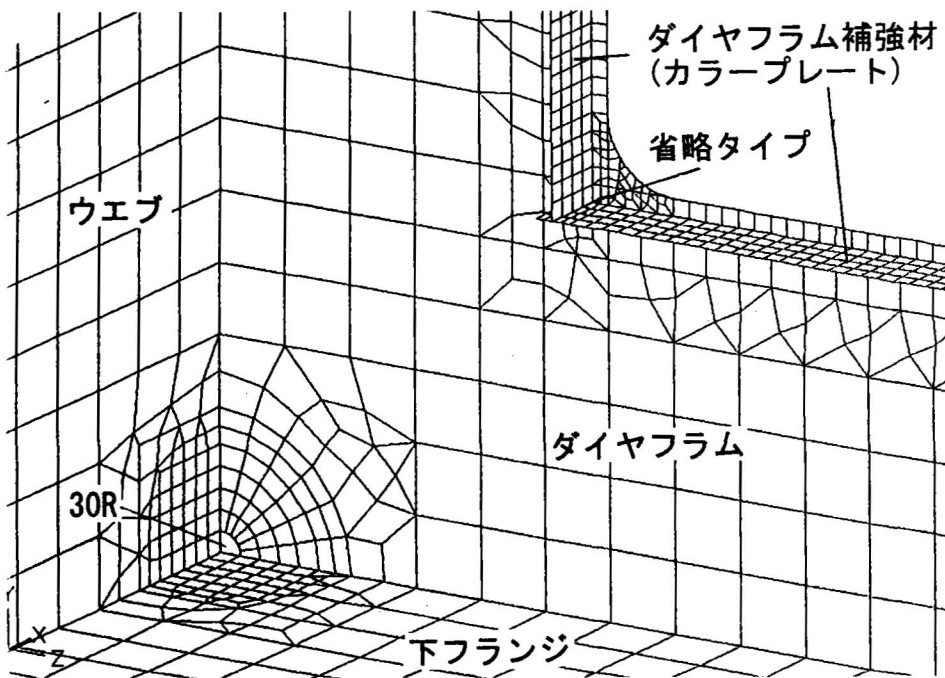


図6-9 解析モデルのメッシュ分割

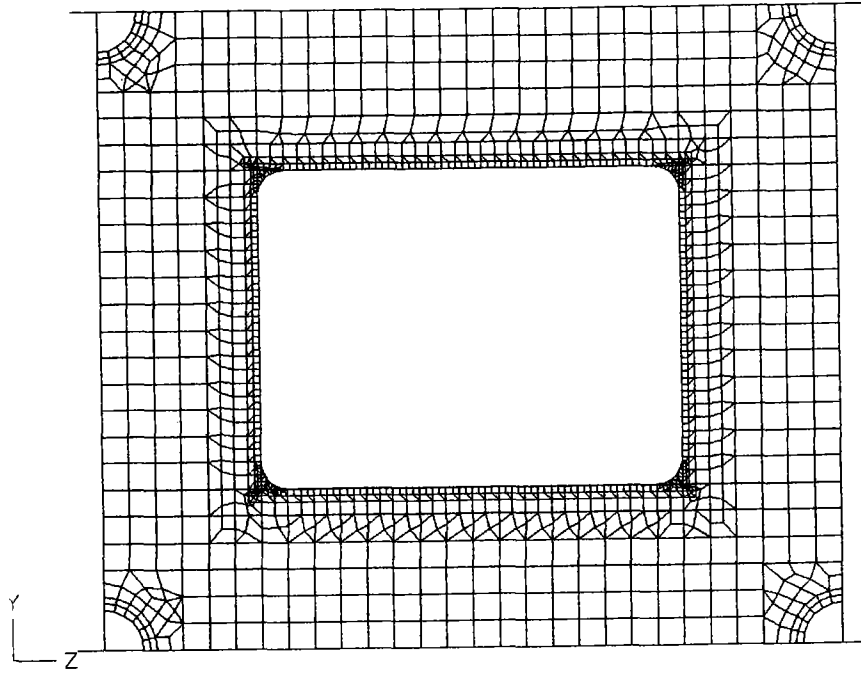


(a) ダイアフラムのメッシュ分割 (全体図)

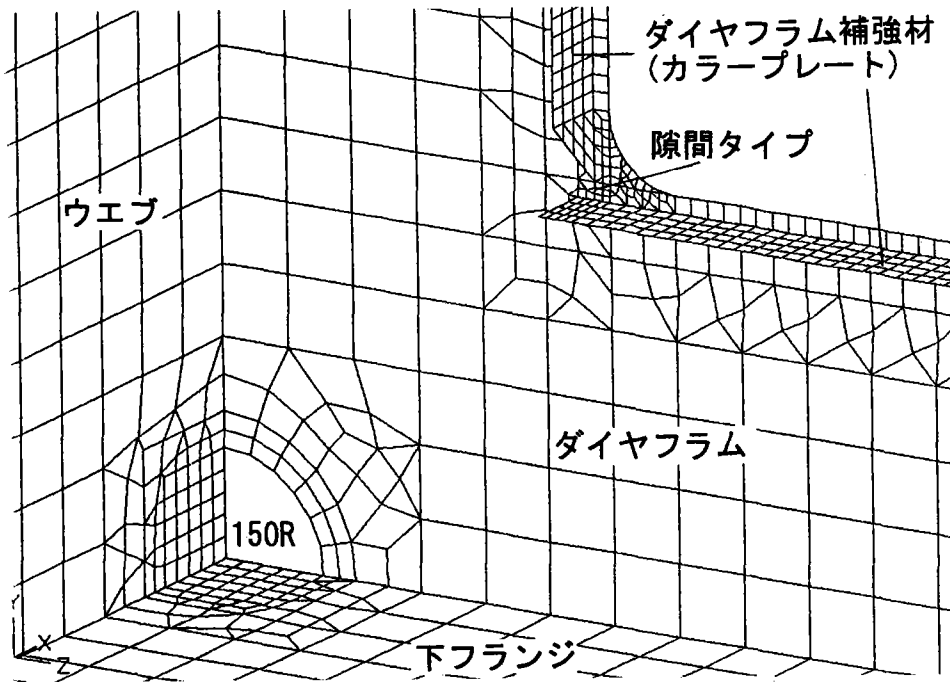


(b) ダイアフラムのメッシュ分割 (詳細図)

図 6-10 現状タイプのメッシュ分割



(a) ダイアフラムのメッシュ分割 (全体図)



(b) ダイアフラムのメッシュ分割 (詳細図)

図 6-11 改良タイプのメッシュ分割

6-5 FEM解析結果

現状モデルの解析結果として、最大主応力のコンター図を図6-12に示す。

最も局部応力が高いのは、ダイヤフラム開口部のコーナー部の近傍であるが、それでも191kgf/cm²程度であり、許容応力の約1/10の応力レベルである。それ以外のところでは、30~50kgf/cm²程度でありダイヤフラムに作用する応力は小さいことが判る。特に、ダイヤフラムのコーナー部では、非常に小さい。

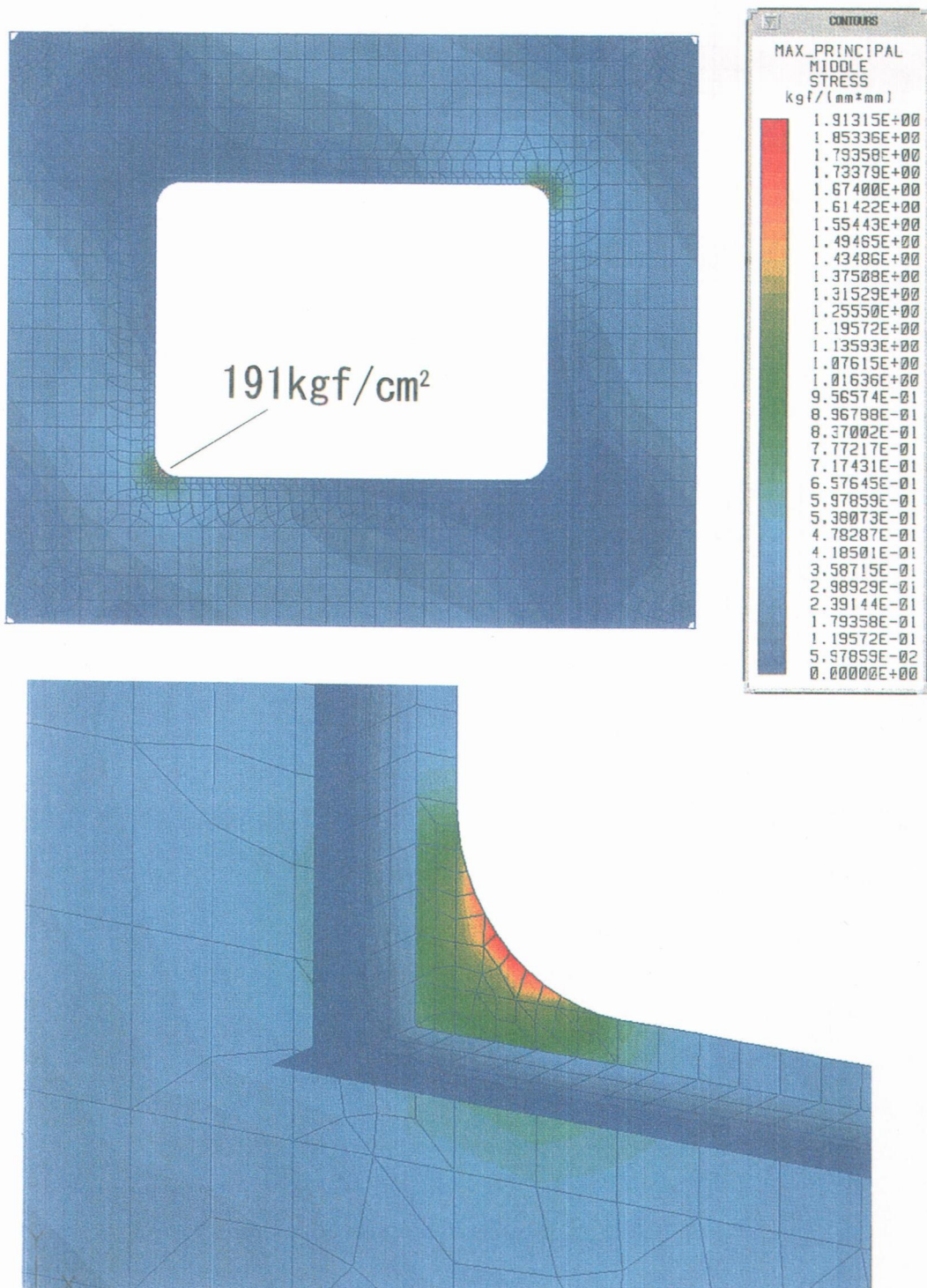


図6-12 従来タイプの解析結果

次に、改良モデルの解析結果を図6-13に示す。この結果も従来モデルと同じ傾向となっており、開口部のコーナー部が $195\text{kgf}/\text{cm}^2$ と現状モデルと比較して、 $4\text{kgf}/\text{cm}^2$ 大きくなっているだけであり、ダイヤフラム補強材間を接合しない板切りタイプでも局部応力にはほとんど影響しないことが判る。また、ダイヤフラムのコーナー部に150Rのスカラップを設けたが、コーナー部での応力レベルが低く、スカラップ近傍での応力集中は見られない。以上のことから、本報告で提案したダイヤフラムの補強材を板切りタイプに改良しても、力学的に問題がないと言える。また、メッキ橋の様にコーナー部のスカラップを大きくしても同様である。

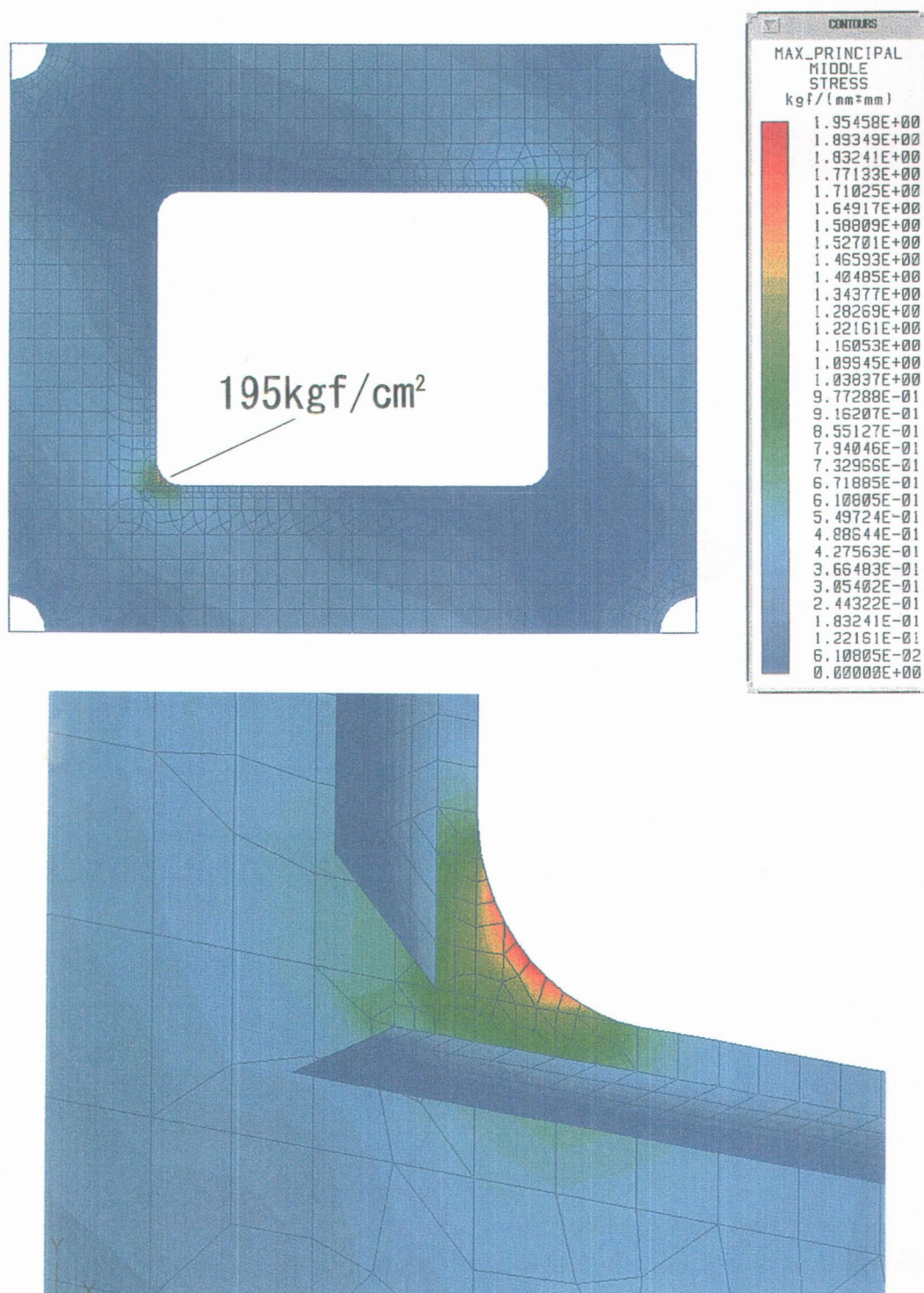


図6-13 改良タイプの解析結果