

ゴム支承を採用した箱桁下フランジのFEM解析

上田 隆博¹⁾ 玉田 和也²⁾

阪神・淡路大震災以来、鋼製支承からゴム支承への取り替えおよび仕様変更が行われている。ゴム支承を使用する場合、鋼製支承を使用する場合に比べてソールプレートの面積が大きくなるため、荷重集中点の構造は従来とは異なり、留意が必要と思われる。そこで、ゴム支承の採用が箱桁(1box・1沓)下フランジの支承付近にどのような影響を及ぼすのかをFEM解析により検討した。また、荷重集中点の補強案として、支点上垂直補剛材による補強と横リブによる補強の効果について調べた。

はじめに

1995年1月17日午前5時46分ごろに発生した兵庫県南部地震は、淡路沖を震源とする直下型地震で大きな被害をもたらした。

この地震では鋼製支承の破損が著しいため、震災後制定された復旧仕様では、支承は可能な限り免震支承を含むゴム支承を用いることが望ましいとされている。そのため、現在鋼製支承からゴム支承への取り替えや仕様変更が行われている。

この場合、ソールプレートの面積が補剛材の大きさに比べて著しく大きくなることによる種々の検討課題があるが、今回は箱桁(1box・1沓)の下フランジの板曲げに着目して検討を行った。

1. FEM解析

(1) 目的

ソールプレートの面積が大きくなったことにより支点上付近の下フランジにどのような影響が現れるかについて、下フランジ、特にソールプレートまわりの板曲げに着目してFEM解析により検討を行う。また、荷重集中点の補強案として、支点上垂直補剛材による補強と横リブによる補強の効果についての検討も行う。

FEM解析にはプログラムCOSMOS/Mを使用する。

(2) 解析モデル

図-1に示す箱桁(1box・1沓)端部支承まわりについてモデル化を行う。下フランジおよびソールプレートを長方形シェル要素に、ダイヤフラム、腹板、縦リブ、支点上垂直補剛材を棒要素とする。

モデル1としてソールプレート上に縦リブがある場合(図-2)、モデル2としてソールプレート上に縦リブがない場合(図-3)の2つのモデルについて検討する。

(3) 境界条件

下フランジの境界条件は図-2に示すように、腹板ラインおよび横リブラインを単純支持とする3辺単純支持板とし、水平方向には腹板とダイヤフ

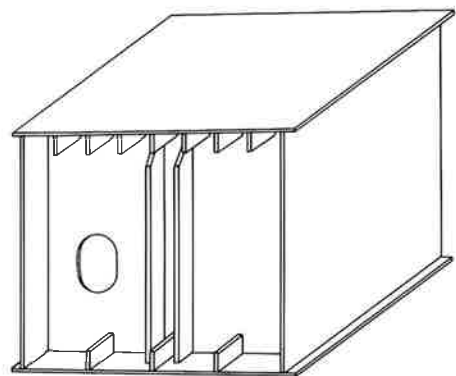


図-1 箱桁端部構造図

1) 長岡技術科学大学実務訓練生 2) 大阪設計部設計一課

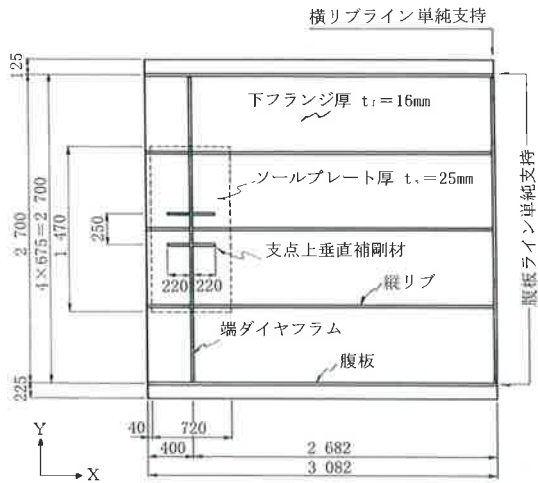


図-2 解析モデル (モデル1)

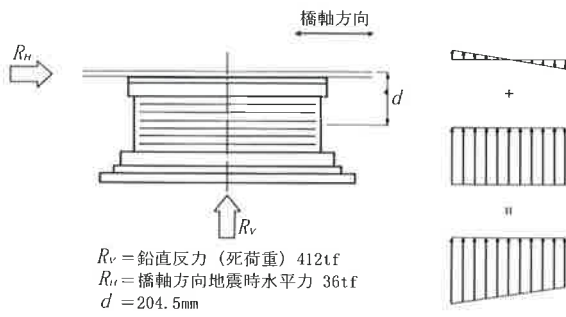


図-4 荷重条件 1

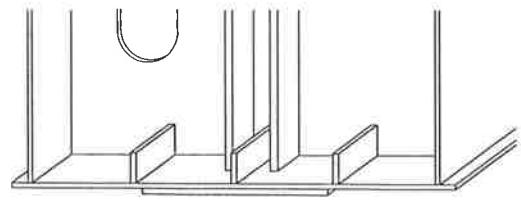


図-3 解析モデル (モデル2)

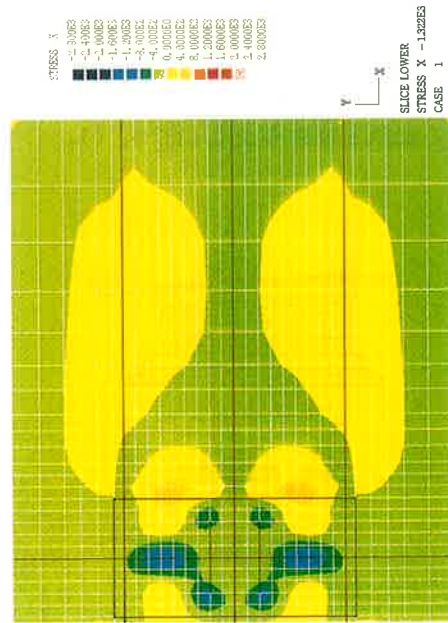


図-8 X方向応力図 (荷重条件1・モデル1)

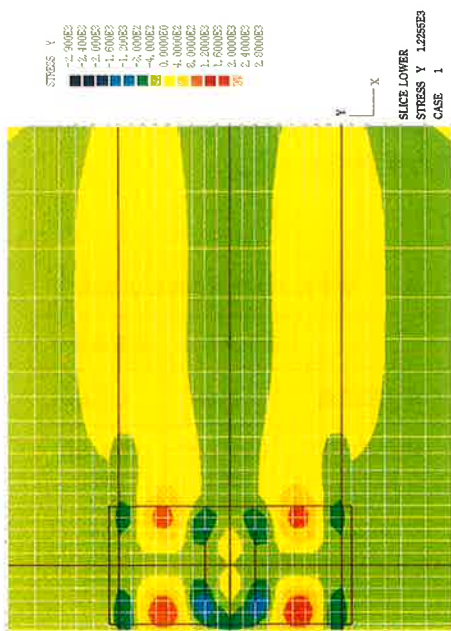


図-9 Y方向応力図 (荷重条件1・モデル1)

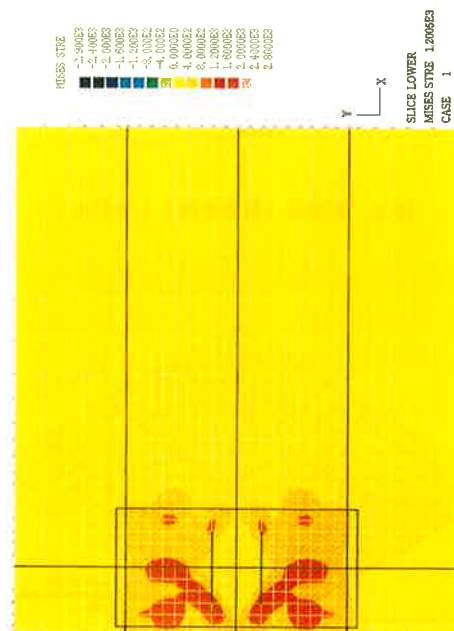


図-10 Mises応力図 (荷重条件1・モデル1)

ラムの接点でY方向に、横リブと縦リブの接点でX方向に固定する。

(4) 荷重条件

荷重としては、橋軸方向の地震時水平反力による曲げモーメントと死荷重による鉛直反力を与えた場合(荷重条件1)、活荷重による桁の回転を与えた場合(荷重条件2)の2つの荷重条件を考える。

荷重条件1の場合は水平反力と死荷重の合力をソールプレートに載荷し、荷重条件2の場合はダイヤフラムラインを軸としてソールプレートに1/150radの強制変位を与える(図-4, 5)。

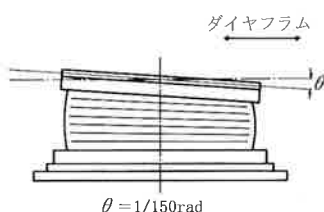


図-5 荷重条件2

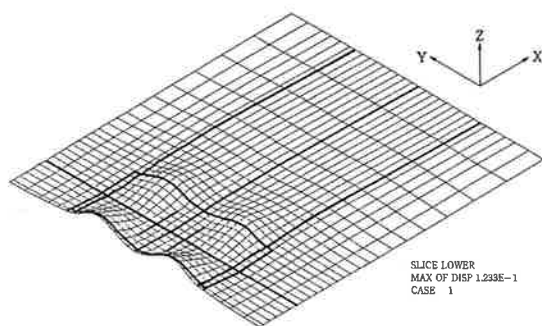


図-6 変形図(荷重条件1・モデル1)

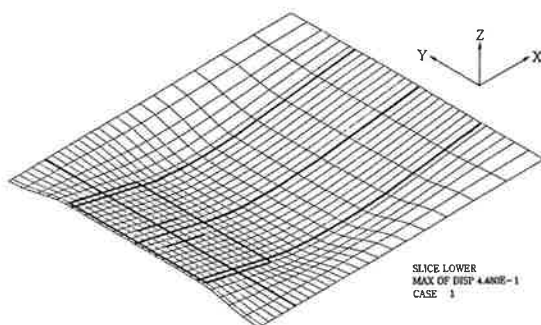


図-7 変形図(荷重条件2・モデル1)

2. 解析結果

(1) ソールプレート上に縦リブがある場合

2つの荷重条件による解析結果を表-1, 図-6~13に示す。

変形図について、荷重条件1の場合図-6に示すように、最大変位が箱桁端部の縦リブ間の中央に発生しており、縦リブおよびダイヤフラムが入っている箇所では板の変形が抑えられているのがわかる。また、ダイヤフラムを軸としてソールプレートの両側が上方向に変形しており、下フランジに対しては地震時水平力による曲げモーメントよりも死荷重反力の影響の方が大きいことがわかる。表-1に示す荷重条件1の場合の最大変位量 1.2 mm に対し、地震時水平力による曲げモーメントだけを考えた場合の最大変位量は0.12mmであり全体の1/10程度であった。また、図-7に示すように、荷重条件2の場合、強制変位によりソールプレートに剛体変形を与えているため、下フランジ中央付近で最大変位が発生しており、その値は荷重条件1に比べ 4.5 mm と4倍近く大きい値になっている。しかし、ゴム支承の場合、支承本体で回転変形をある程度吸収できるため、箱桁下フランジのソールプレートに外力として作用する回転角は、今回与えている1/150radよりも小さな値になると考えられる。

応力図について、荷重条件1の場合は図-8~10に示すように、ダイヤフラムおよび支点上補剛材に大きな応力が集中して発生していることがわかる。応力度としては表-1に示すように、X方向、Y方向、Mises(相当応力度)ともにSM490Y材の許容応力度内であった。

表-1 モデル1の荷重条件による比較

	荷重条件1	荷重条件2
最大変位量	1.2(mm)	4.5(mm)
最大応力度	(kgf/cm ²)	(kgf/cm ²)
X方向	1322	846
Y方向	1226	813
Mises	1230	759

荷重条件 2 の場合は図-11~13に示すように、X方向の応力がダイヤフラム沿いに、Y方向の応力が腹板やダイヤフラム沿いに広い範囲で発生していることがわかる。そのため応力度の最大値は許容応力度の 1/2 以下の小さな値であった。

以上の結果により、ソールプレート上に縦リブがある場合(モデル 1)は危惧されたソールプレートまわりの板曲げはそれほど大きな値が発生せず、荷重条件 1, 2 のどちらの場合の最大応力度も許容応力度内であり、下フランジの板曲げに対しては安全であるといえる。

(2) ソールプレート上に縦リブがない場合との比較

荷重条件 1 の場合のモデル 1 とモデル 2 の比較を表-2に示す。

図-14に変形図を示す。最大変位はモデル 1 と同様に下フランジ自由端で発生し、最大変位量はモデル 1 の約 2 倍の 2.8 mm であった。

モデル 1 ではソールプレートに作用している鉛直力に対し、直接縦リブが抵抗しているため変形が抑えられていたが、モデル 2 ではソールプレート上に縦リブがないため、ソールプレートに作用する鉛直力に対し下フランジを介して縦リブが抵抗することになる。そのため、ソールプレート部に対して剛性の小さな下フランジに大きな変形が発生している。

図-15にY方向応力図を示す。縦リブがソールプレート上にないため、モデル 1 に比べてソールプレート付近の応力が大きくなっている。

次に表-2に示す応力度の値について、モデル 2 の場合はY方向の最大応力度は1849kgf/cm²で許容応力度内であるが、X方向およびMisesの応力度はモデル 1 の最大応力度と比べ約 2 倍であり、許容応力度を大きく超える値であった。

表-2 荷重条件 1 のモデルによる比較

	モデル 1	モデル 2
最大変位量	1.2(mm)	2.8(mm)
最大応力度	(kgf/cm ²)	(kgf/cm ²)
X方向	1322	2854
Y方向	1226	1849
Mises	1230	2562

以上の結果より、縦リブがソールプレート上にない場合には下フランジに大きな応力が発生するので、なんらかの補強が必要であると考えられる。

3. 荷重集中点構造の補強方法

荷重集中点構造の補強方法として種々考えられるが、今回は支点上垂直補剛材を追加する方法(補強法 1)、横リブをソールプレート端に配置する方法(補強法 2)についてその効果を検討する(図-16, 17)。

補強法 1 : 支点上垂直補剛材と同断面の補剛材を追加する。

stiff 220 × 25

補強法 2 : 一般部の横リブ断面を追加する。

flg 150 × 9

web 350 × 9

荷重条件 1 の変形図を図-18および19に、Y方向応力図を図-20および21に示す。

表-3より、最大変位量について補強前の変位量に対して補強法 1 の場合は約 1/4 に、補強法 2 の場合は約 1/9 に小さくなっている。最大変位量が発生する位置は、補強法 1 の場合は下フランジの自由端部、補強法 2 の場合はソールプレート部である(図-18, 19)。

次に応力度について、垂直補剛材を追加した場合も横リブを追加した場合もどちらも補強前の応力度と比べて約 1/2 以下であり、補強前のY方向応力図(図-15)と補強後のY方向応力図(図-20, 21)を比較すると、下フランジの板曲げに対しても効果が現れていることがわかる。

以上の結果より、垂直補剛材や横リブによる荷重集中点の補強は十分効果があることがわかる。

表-3 補強効果の比較(モデル 2)

	補強前	補強法 1	補強法 2
最大変位量	2.8(mm)	0.7(mm)	0.3(mm)
応 力 度	(kgf/cm ²)	(kgf/cm ²)	(kgf/cm ²)
X方向	2854	1055	891
Y方向	1849	1016	633

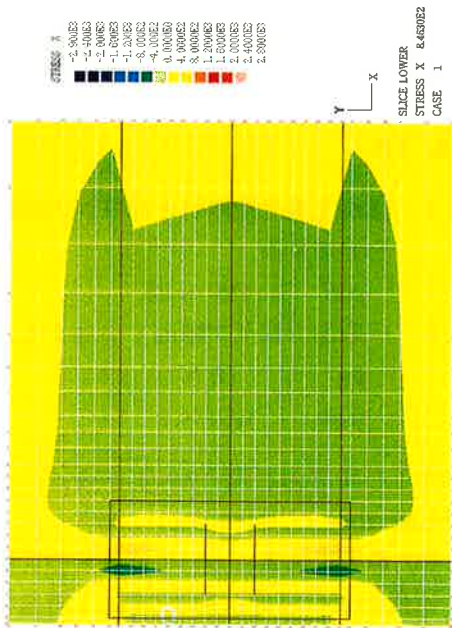


図-11 X方向応力図 (荷重条件2・モデル1)

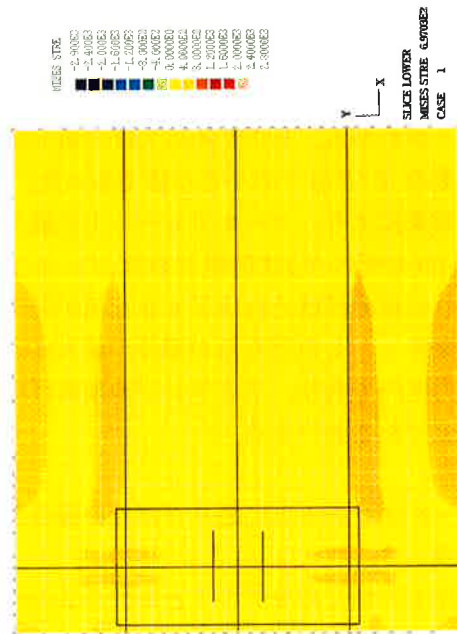


図-13 Mises応力図 (荷重条件2・モデル1)

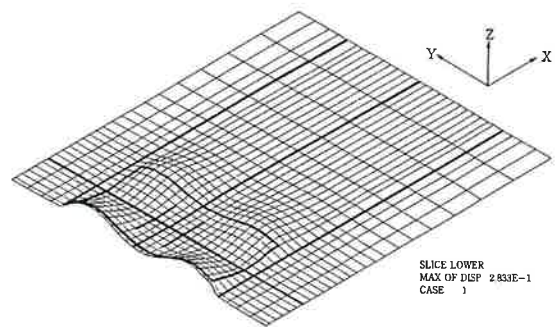


図-14 変形図 (荷重条件1・モデル2)

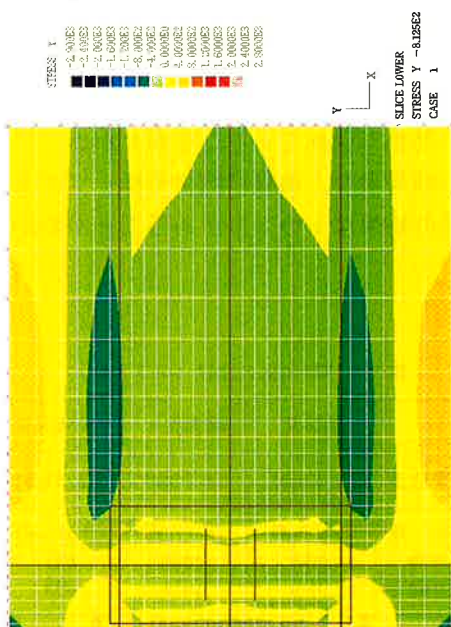


図-12 Y方向応力図 (荷重条件2・モデル1)

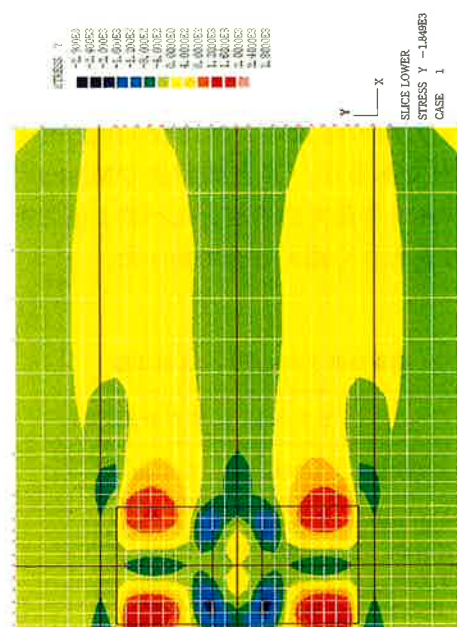


図-15 Y方向応力図 (荷重条件1・モデル2)

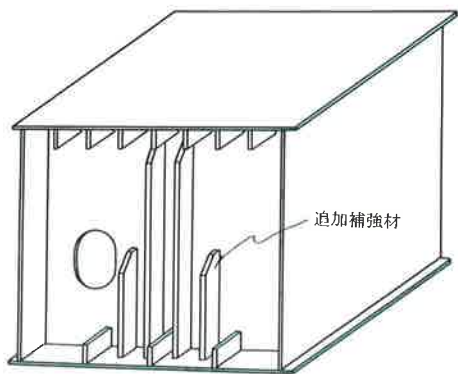


図-16 支点上垂直補剛材による補強 (補強法 1)

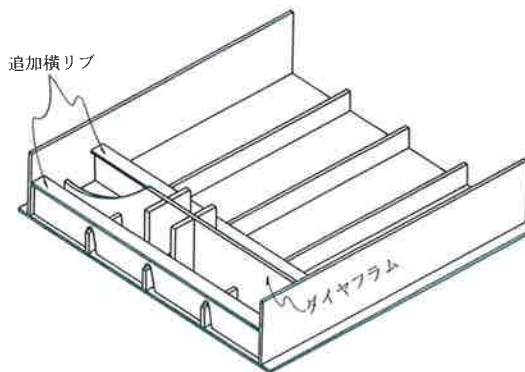


図-17 横リブによる補強 (補強法 2)

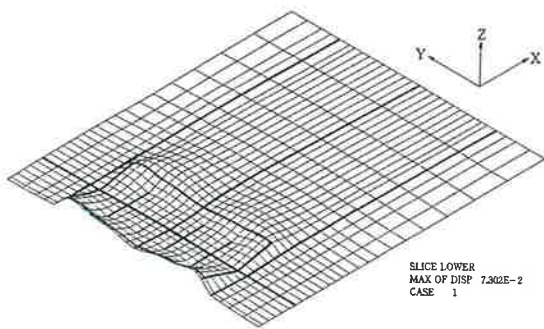


図-18 変形図 (荷重条件 1・補強法 1)

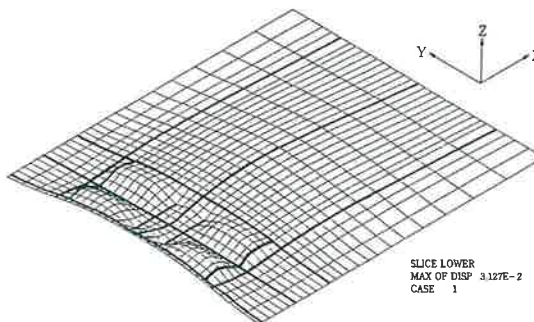


図-19 変形図 (荷重条件 1・補強法 2)

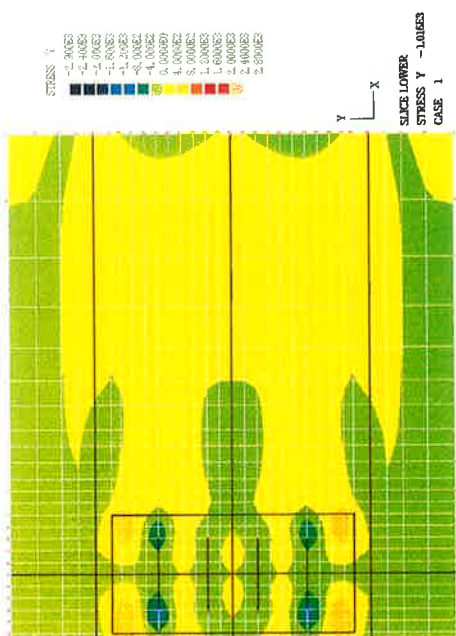


図-20 Y方向応力図 (荷重条件 1・補強法 1)

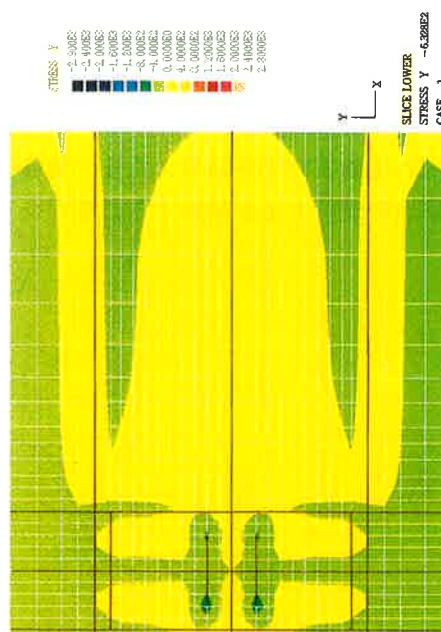


図-21 Y方向応力図 (荷重条件 1・補強法 2)

あとがき

今回の解析では、ゴム支承を使用することによりソールプレートの面積が大きくなるため、下フランジのソールプレートまわりの応力が大きくなるのではないかとということで、下フランジに着目したモデルを作成し解析を行った。縦リブがソールプレート上にあるモデル(モデル1)と縦リブがソールプレート上にないモデル(モデル2)の2つのモデルについて解析を行った。その結果、モデル1の場合は応力がダイヤフラム、支点上垂直補剛材および縦リブに集中するため、下フランジには大きな応力は発生しなかった。しかし、モデル2の場合は縦リブがソールプレートよりも外側にあるため、下フランジのX方向応力度が許容応力度を超える値になり、構造変更が必要である。

また、荷重集中点構造の補強案として支点上垂直補剛材による補強法、横リブによる補強法の2つについて解析を行い、その結果これら2つの補強案の有効性が確認された。

今後は以下の検討が必要であると考えます。

①荷重条件の設定方法

ゴム支承のモデル化、反力の分布形状などを検討する。

②荷重集中点構造の3次元モデルによる解析

今回の解析からもわかるように、ダイヤフラムおよび支点上垂直補剛材はもとより、縦リブも荷重集中点構造として反力を伝える働きをしており、反力の伝達経路を調べる必要がある。

③補強材断面の決定方法

上記の①および②を踏まえた上で実務的な補強構造の設計方法を検討する必要がある。