

大阪大学工学部

正員 梶川靖治

大阪大学工学部

正員 前田幸雄

1. まえがき 合成げたのずれ止め用スタッドの溶接された鋼板が繰返し引張力を受ける場合、スタッド溶接部の余盛止端部に疲労亀裂が生じ、鋼板の疲労強度は著しく低下する。図-1は、筆者らが3種の鋼材について行った疲労試験結果¹⁾であり、黒皮付き母材とスタッド付き鋼板のS-N曲線および200万回強度についての切欠き係数 β の値を示す。図-1より明らかなように、スタッド付き鋼板の200万回疲労強度は母材の約40%程度しかなく、 β もかなり大きな値となっている。このような疲労強度の低下の原因としては、溶接熱による冶金的不質変化、溶接引張残余応力の発生なども上げられるが、最も大きな影響因子は鋼板表面に円柱状の突起物が取り付くという幾何学的形状変化による応力集中ではないかと考えられる。そこで、これを確認するために、スタッド付き鋼板を3次元連続体問題と看做し、有限要素法により弾性応力解析を行い、鋼板中の応力の流れがスタッドによりどのようなに乱されるのか、また、スタッド根元部の応力集中がどの程度のものであるかなどを定性的かつ定量的に把握しようと試みた。

2. モデル化と要素分割 鋼板に溶接されたスタッドは、一般に図-2(a)のような形状をしており、その余盛形状は溶接方法あるいは溶接条件により大きく左右され、1本のスタッドにおいてさえも、その外形に沿ってかなり変化し一様ではないのが普通である。ここでは、サイファーク方式で溶接されたスタッドについて、その溶接部断面のマクロ写真をもとに、良好な溶接状態にあるものはほぼ図-2(a)のような形状・寸法をしていることから、(b)図のような帯板と円柱とからなるモデル化を行った。溶接余盛側面と帯板表面とのなす角度 θ は、応力集中に対し極めて大きな影響をもつと考えられるが、要素分割上の問題もあり、一応 $\theta=90^\circ$ とすることにした。また、モデルは全体に均一な材料で構成されていると仮定した。

X軸方向のみに一軸引張力を与えるため、2軸対称問題となり、全体の4分の1について図-3のような要素分割により解析した。なお、座標値はすべてスタッド軸部半径 $d/2$ で無次元化した。使用した3次元有限要素は、三角柱1次要素、四角柱1次要素および直方体要素の3種であり、スタッド軸部、余盛部および帯板のすべての部分が平面的に見れば同一の分割形状となるようにX-Y平面に平行な層状分割と採用した。なお、最小要素の大きさは $0.02 \times 0.025 \times 0.03$ であり、最大要素は $2.5 \times 1.072 \times 0.6$ で

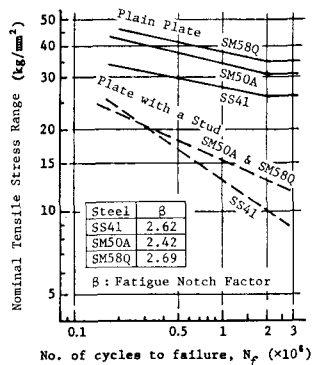


図-1 疲労試験結果

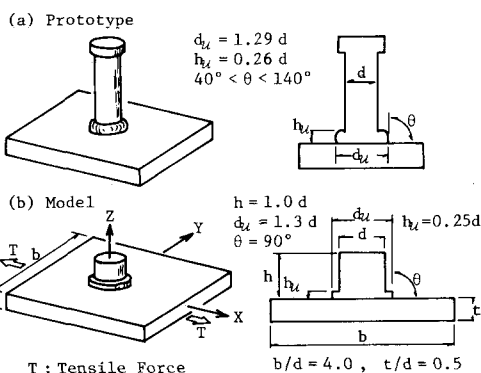


図-2 スタッドのモデル化

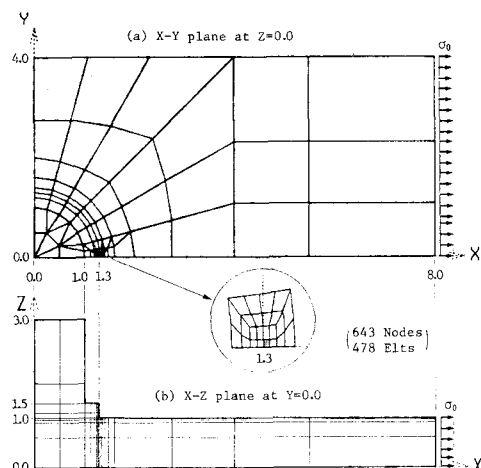


図-3 要素分割

あった。また、多元連立方程式の解法は共役勾配法によった。

3. 計算結果 図-4 (a) ~ (c) に X 方向垂直応力度 σ_z の X, Y, Z の各方向における帯板内の応力分布を示す。なお、「応力」の座標値はすべて帯板の公称平均応力 σ_0 で無次元化した値であり、いわゆる「応力集中度」を表わしている。これらの図より、帯板の中ではスタッド糸盛止端部の荷重に最も近い位置、すなわち $(X, Y, Z) = (1.3, 0.0, 1.0)$ の点に向って応力が三次元的に集中していく様子が明確に把握できる。この応力集中が最大となる点は、スタッド付き鋼板の引張疲労試験における疲労亀裂発生位置と一致していることから、やはり幾何学的形状の変化が大きな影響因子であることが理解できる。

応力の集中状況は、図-4 (a) にみられるように板厚の Z 方向の変化が最も著しく、帯板の上面近く ($Z = 1.0$) で急激に増大している。しかし、この表面付近の大きな応力集中も、最大点から X あるいは Y 方向に 1.0 すなわち軸部の半径くらい離れれば、ほぼ平均応力程度になってしまう。Y 方向の分布 (c) 図は、X あるいは Z 方向に比べ応力の集中が緩やかであるが、これは、糸盛部が X-Y 面内で円形をしており不連続点がないためである。

今回の計算では、応力集中の最大値は図-4 (a) にみられるように要素重心位置で 2.61 であり、信頼性に欠けるが、帯板表面では 3.92 ~ 4.22 の値が得られた。これらの値は要素分割、特に応力集中付近の要素の大きさに敏感に影響されるため、正確な値を求めるのは困難であるが、一応の目安にはなると考えられる。もし、実際にこのように大きな応力集中が生じているとすれば、スタッド付き鋼板の疲労強度が円孔付き鋼板のそれよりも低いという事実をある程度説明できるものと思われる。

図-5 に応力集中部周辺における最大主応力 σ_p の分布状況を示す。なお、(b) 図は $Y = 0.0$ に最も近い要素について描いたものである。(a) 図の X-Y 面内における各点の主応力は、いずれも X 軸とほぼ平行であり、スタッド糸盛部 (1.0 ~ 1.3 の間) が存在するにもかかわらず、応力の流れがほとんど乱されていない。また、(b) 図の X-Z 面内においては、帯板上面の糸盛部の取りついている付近で応力の流れが上向きに変わり、スタッド軸部内にもわずかながら応力が流れこんでいるのがわかる。

文献: 1) 前田・梶川, 第3回年次講演会概要集, I-184.

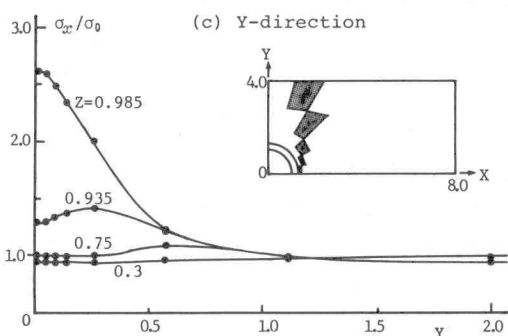
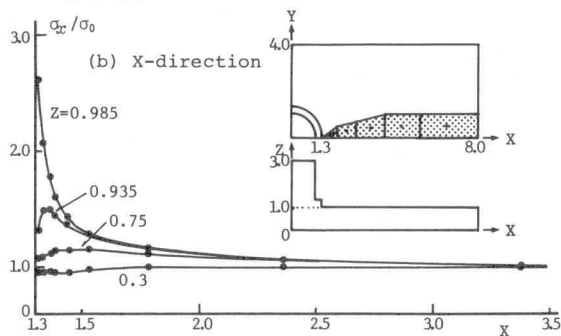
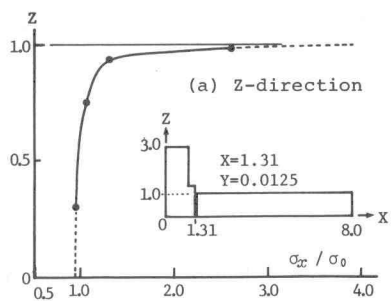


図-4 帯板内の応力分布

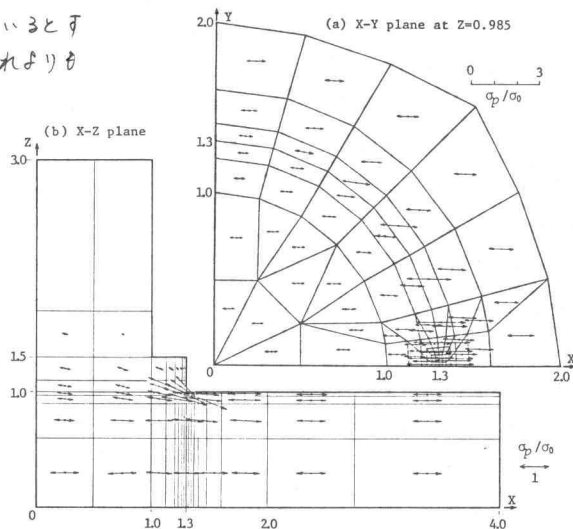


図-5 主応力分布