

1. まえがき ; 異種構造部材を結合する合成構造では、結合面での付着特性が重要な問題となり、付着のみで結合できない場合、すれ止めを設けて一体化を図る必要がある。すれ止めは、主として部材間のせん断力を伝達させるものであるが、その伝達力は、すれ止め位置で局所的に作用するため、その近傍での応力は三次元状態となる。本報告は、この三次元応力の解析法と、すれ止め近傍の応力特性を示したものである。

2. 解析手法 : 図-1は、スラグにすれ止め(スタッド)を埋込み、水平力を作用させた状態を示したものである。スラグを均質な等方弾性体とすれば、本問題は、スタッドの部分に剛度変化領域を有する三次元体として扱おうとができ、スタッドを含む部分の基礎方程式を円筒座標系で示すと次のようになる。

$$\left. \begin{aligned} \lambda_0 \frac{\partial \epsilon}{\partial r} + G_0 \left\{ \frac{2\partial \epsilon_r}{\partial r} + \frac{1}{r} \frac{\partial \gamma_{r\theta}}{\partial \theta} + \frac{\partial \gamma_{r2}}{\partial z} + \frac{2(\epsilon_r + \epsilon_\theta)}{r} \right\} &= -\frac{1}{n^2} \tau_r \frac{\partial n}{\partial r} \\ \lambda_0 \frac{\partial \epsilon}{\partial r} + G_0 \left\{ \frac{\partial \gamma_{r2}}{\partial r} + \frac{1}{r} \frac{\partial \gamma_{\theta 2}}{\partial \theta} + \frac{\partial \epsilon_z}{\partial z} + \frac{\gamma_{r2}}{r} \right\} &= -\frac{1}{n^2} \tau_{r2} \frac{\partial n}{\partial r} \\ \lambda_0 \frac{\partial \epsilon}{\partial z} + G_0 \left\{ \frac{\partial \gamma_{r2}}{\partial r} + \frac{2\partial \epsilon_\theta}{\partial \theta} + \frac{\partial \gamma_{\theta 2}}{\partial z} + \frac{2\gamma_{r\theta}}{r} \right\} &= -\frac{1}{n^2} \tau_{\theta 2} \frac{\partial n}{\partial r} \end{aligned} \right\} \quad \text{--- (1)}$$

ここに、 λ_0 , G_0 はスラグの弾性定数で、 n はスラグに対するスタッドのヤング率比である。

式(1)の右辺は、スタッドに作用する項であるが、これを $T_r = -\frac{1}{n^2} \tau_r \frac{\partial n}{\partial r}$, $T_\theta = -\frac{1}{n^2} \tau_{\theta 2} \frac{\partial n}{\partial r}$, $T_z = -\frac{1}{n^2} \tau_{r2} \frac{\partial n}{\partial r}$ とおくと、これは、均質な三次元体中に働く体積力と同等の物理量である。さらに、 T_r , T_θ , T_z は $\frac{\partial n}{\partial r}$ を含むため、スタッドの周面にのみ働き、その面力は次のようになる。

$$t_r = -\tau_r \left(1 - \frac{1}{n}\right), \quad t_\theta = -\tau_{\theta 2} \left(1 - \frac{1}{n}\right), \quad t_z = -\tau_{r2} \left(1 - \frac{1}{n}\right) \quad \text{--- (2)}$$

すなわち、スタッドによる特性は、式(2)に示す仮想力を作用させることにより得られる(方法1)。図-2は、スタッド周面の応力と、そこに作用させる仮想力の関係を示したものである。この関係を用いると、次のような簡易法も考えられる。すなわち、スタッドの挙動が棒の曲げ理論で近似されるものとみなせば、スタッドに作用する力は、図-2(a)の周面応力であり、それらを積分した力を図-3(a)のように作用させてスタッドが解析できる。一方、三次元体は、式(2)より $(1 - \frac{1}{n})$ 倍した力を図-3(b)のように作用させて解析でき、このようにして求めた三次元体の変形が上述のスタッドの変形と等しい条件によって近似的な解をうることとができる(方法2)。

なお、方法1, 2とも三次元体中に作用させる力を未知量とし、スタッドの幹部に与える強制変位、および、境界積分法による自由面の作成を含め変位法を用いて連立方程式を導き、解くことができる。

ここに、三次元体中に作用させる力による解は、1つの自由面を有するMindlin解を矩形積分したものとする。

3. 計算結果 : 図-4に解析モデルを示した。なお、スタッドの幹部は剛体とし、水平変位(u_0)を与えた。図-5は、スタッドの応力と変形を示したものである。図-6は、

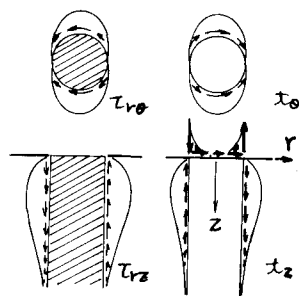
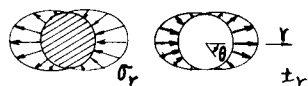


図-2(a)
すれ止め周面の
応力

図-2(b)
三次元体に作用さ
せる仮想力

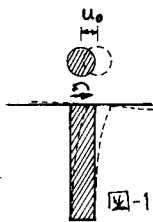


図-4

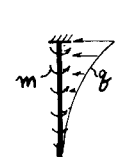


図-3(a)
すれ止めには作用
する力

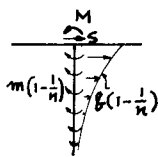


図-3(b)
三次元体に作用さ
せる力

方法1, 2 による結果を比較したものである。この結果より、方法2の簡易法でも、すくい止め近傍の応力を十分な精度で解析しうることがわかる。なお、図-5, 6の結果は、半無限体の場合である。表-1に、自由面を作成しスラグにした場合の結果を上記の結果と対比して示したが、両者は、ほとんど差がないことがわかる。したがって、ジベル近傍の応力解析は、半無限体として扱ってもよいと思われる。次に、スタッド相互間の干渉を調べるため、図-6に示す3つのケースについて、スタッド近傍の応力分布を、図-7に示した。さらに、表-2には、応力値を対比して示した。なお、本解析では、両端の二本のスタッドには方法2の簡易法を適用した。これらの結果より次のようなことがわかる。スタッド周囲に作用する応力の範囲は、表面から約2.5倍の深さまでである。また、スタッド前面には横列応力も発生する。スタッドの直隔が5d程度で、応力の干渉は約5~8%程度見られる。

現在、スタッド背面のく離による影響、およびスタッド長さによる変化も検討中である。

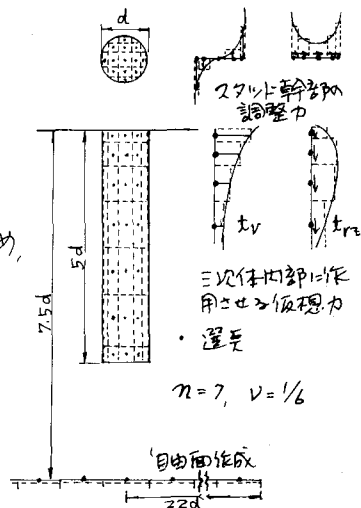


図-4 解析モデル

表-1

	σ_r $z=0.125d$	τ_{rz} $z=0.5d$
半無限体	3.46	0.81
スラグ	3.50	0.83

$\theta=0, \gamma=0.5d \quad (\times 5/d^2)$

表-2

	σ_r $z=0.125d$	τ_{rz} $z=0.5d$	$\tau_{\theta\theta}$ $z=0.125d$
Y-21	3.50	0.83	2.30
Y-22	3.32	0.94	2.09
Y-23	3.79	1.07	1.29

$\times (5/d^2)$

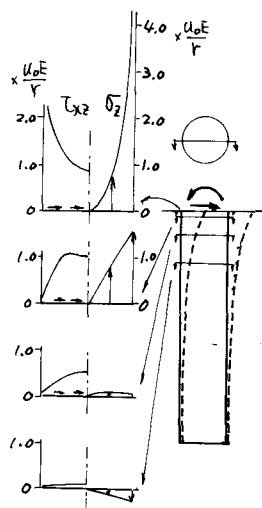


図-5 スタッドの応力と変形

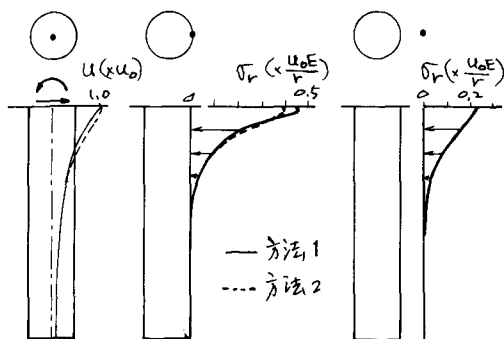


図-6 方法1, 2による解析結果

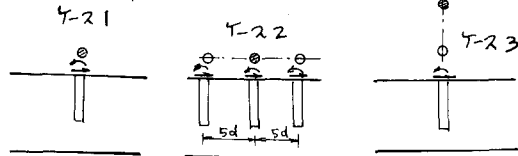


図-7 解析ケース

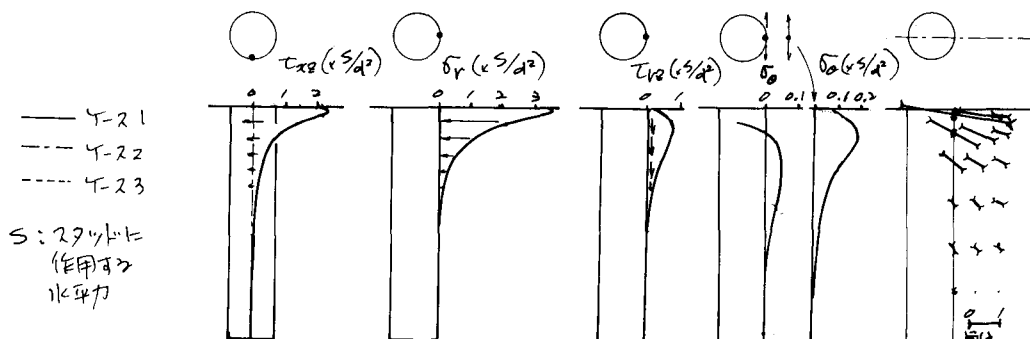


図-8 すくい止め近傍の応力