

清水建設(株) 正員○奥石正巳

九州大学 正員 太田俊昭

九州大学 正員 日野伸一

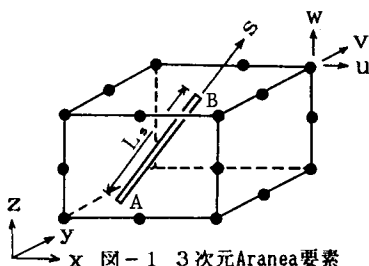
1. まえがき

立体トラス型ジベルを有する合成版構造は、底鋼板とコンクリートを立体トラス型ジベルを用いて合成一体化することによって、コンクリート硬化後の荷重に抵抗する合成構造物である。本合成版構造に関しては現在までの研究¹⁾²⁾により、終局耐力、コンクリートのひずみ、底鋼板のひずみ、たわみ性状などに関しては、底鋼板とコンクリートが破壊荷重近傍まで合成一体化していることより、基本的にRCはりと同様に算定可能であることが明らかにされている。しかし、この立体トラス型ジベル軸部に発生する応力を的確に定量的にとらえる方法は考案されていない。そこで、本論文はこの発生応力を把握するために3次元Aranea要素を用いてFEM解析を行なったものである。

2. 数値解析理論

合成構造物の数値解析を行う際、従来の有限要素法では、要素の節点において補強部材を結合する方法が用いられてきた。しかし、この方法では、コンクリートマトリックス中に配置された補強部材の応力状態を把握するために多数の節点が必要とされると共に、立体トラス型ジベルのような3次元問題の場合には、メッシュの設定が非常に複雑になるという欠点がある。そこで、今回、分割要素内の任意の2点に補強部材を挿入できる有限要素を開発した。

この要素は、図-1に示すように、空間中に8点で構成される20節点アイソパラメトリック要素内に、任意の補強部材を挿入したものであり、本論文において、3次元Aranea要素³⁾と呼ぶことにする。1要素の節点数は20であり、かつ各節点には、x方向変位u、y方向変位v、z方向変位wの3自由度を有するものである。また、補強部材の変形量は、軸力部材として取り扱ったため、棒軸方向変位sのみである。



次に、この3次元Aranea要素について、剛性マトリックスの誘導過程を示す。この要素の剛性マトリックスKは、コンクリート部分の剛性マトリックスKcと補強部材の剛性マトリックスKsの和で示されるが、Kcに関しては文献4)などに詳細に記述してあることよりここでは省略する。

補強部材ABのA端を原点として棒軸方向の座標をs(図-1参照)とすれば部材ABの方向余弦l, m, nは式(1)で示される。

$$l = (X_b - X_a) / L_s, \quad m = (Y_b - Y_a) / L_s, \quad n = (Z_b - Z_a) / L_s \quad \text{-----} (1)$$

s: 0 → Lsのときに、x: Xa → Xb, y: Ya → Yb, z: Za → Zbであることより、全体座標系のx座標とs座標との関係は式(2)で示される。

$$x = l s + X_a = \frac{X_b - X_a}{L_s} s + X_a \quad \text{-----} (2)$$

また全体座標系のx座標と補強部材の midpointに原点をとった無次元座標ξ'との関係は式(3)で示される。

$$x = (1 - \xi') \frac{X_a}{2} + (1 + \xi') \frac{X_b}{2} = \frac{X_a + X_b}{2} + \frac{X_b - X_a}{2} \xi' \quad \text{-----} (3)$$

式(2)、(3)よりsとξ'の関係を求めると式(4)が得られる。

$$\frac{X_a + X_b}{2} + \frac{X_b - X_a}{2} \xi' = l s + X_a \quad \therefore \xi' = \frac{2}{L_s} s - 1 \quad \text{-----} (4)$$

次に補強部材の軸ひずみ ϵ_s は、3次元の方向余弦 l, m, n を用いて式(5)で示される。

$$\epsilon_s = l^2 \epsilon_x + m^2 \epsilon_y + n^2 \epsilon_z + 2lm \gamma_{xy} + 2mn \gamma_{yz} + 2nl \gamma_{zx} \quad (5)$$

ここで、この部材に蓄えられるポテンシャルエネルギー Π を求めると式(6)となる。

$$\Pi = \int_V \epsilon_s^T \sigma_s dV - u^T f = u^T [\int_V E A B^T T T^T B ds u - f] \quad (6)$$

式(6)に最小仕事の定理を適用することにより荷重と変形の関係は、式(7)で表される。

$$d\Pi = du^T [\int_V E A B^T T T^T B ds u - f] = 0 \quad \therefore f = \int_V E A B^T T T^T B ds u \quad (7)$$

式(4)を微分した後、ガウスの数値積分を用いれば剛性マトリックス K_s は式(8)で表される。

$$K_s = \int_V E A B^T T T^T B ds = \frac{E A L_s}{2} \int_{-1}^1 B^T T T^T B d\xi = \frac{E A L_s}{2} \sum_{i=1}^{GP} K_i [B^T T T^T B]_i \quad (8)$$

なお、式(8)における $[B^T T T^T B]_i$ は、 ξ, η, ζ の関数であることより、数値積分を行う際には、ガウスポイント ξ_i における ξ, η, ζ の値を求め必要がある。そこで、まず式(2)、(4)を用いて ξ_i から (X_i, Y_i, Z_i) を求め、これが20節点アイソパラメトリック要素の形状関数 N により (ξ, η, ζ) の非線形式で現されていることより、Newton-Raphson法による繰り返し計算を用いた。

3. 解析結果および考察

TSC合成はりの解析モデルとしては、図-2に示すように、コンクリートを20節点アイソパラメトリック要素で、底鋼板、立体トラス型ジベル、圧縮鉄筋を補強部材要素で表現したものを用いた。また、要素分割はスパン方向に8分割とした。

図-3は、載荷荷重が $P=1.0$ (tf)におけるたわみ分布を示したものである。図中、FEM解析値は、全断面を有効とした弾性解析値に比べて若干大きくなっているが、これは弾性解析値が曲げモーメントのみを考慮したものであり、せん断変形を無視したためであると思われる。また、実験値はFEM解析値、弾性解析値よりも大きめにでているが、これは、作用荷重が小さいため供試体の馴染み量などの測定誤差によるものと思われる。

図-4に引張力が発生する立体トラス型ジベル①の荷重とひずみの関係を示す。図中のFEM解析値は、コンクリートに曲げクラックが発生するまでは、全断面有効($N=7$)とし、クラック発生後はコンクリート引張部分の剛性を無視($N=15$)して解析を行ったものである。また算定式²⁾は曲げクラック発生までは立体トラス型ジベルには、ずれ止め作用によるひずみ ϵ_{ZF} が発生し、クラック発生後にはせん断補強作用によるひずみ ϵ_d が発生すると仮定したものである。この図より、算定式は、設計荷重近傍においてジベルに発生するひずみを安全側に評価しているのに対してFEM解析値は、底荷重レベル、設計荷重レベルのいずれの場合においても精度良く実験値を追跡できることが判明した。

参考文献

- 1) 奥石、太田、日野：立体トラス型ジベル付き合成はりの静力学特性、土木学会第42回年次学術講演会
- 2) 太田、日野ほか：立体トラス型ジベルを有する合成版構造の力学特性と設計法に関する研究、構造工学論文集 Vol.34A (1988年3月)
- 3) E.レーマン、C.F.ファン：アラン織り型要素、船舶技術32巻、PP.84-96、昭和60年
- 4) 有限要素法ハンドブック I 基礎編、培風館

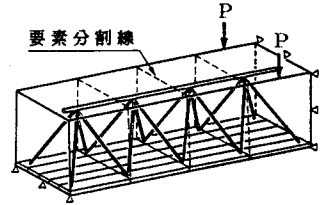


図-2 FEM解析モデル

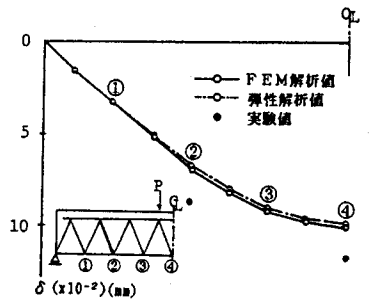


図-3 スパン方向のたわみ分布図

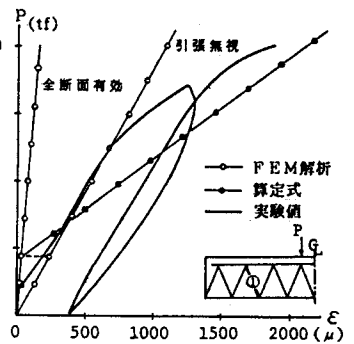


図-4 トラス型ジベルのひずみ曲線