

電力中央研究所 正会員 ○ 遠藤 達巳
電力中央研究所 正会員 塩尻 弘雄
東京電力(株) 山本 康博

1. まえがき

底版と側壁円筒を剛結した構造体(LNG地下タンク等)では、剛結部の使用限界状態を照査し、剛結構造の成立性を確認する観点から、軸対称及び非軸対称荷重作用下で発生するひびわれの進展性を解析的に予測する必要がある。本報告では、FEMひびわれ解析と縮尺モデル実験を比較した結果、ならびに軸対称と非軸対称荷重下における隅角部に着目したひびわれ解析結果を示したものである。

2. 実験と解析結果の照合

1) 実験概要：形状寸法は図-1に示すとおりで、使用したコンクリートは $\sigma_{ck}=300\text{kg}/\text{cm}^2$ 、鉄筋は鉛直筋、フープ筋ともD6である。水平荷重は、図-1に示す様に鉛直方向に三角形分布、円周方向は等圧とCOS分布の偏圧の2種類となるよう多数の集中荷重で置換して加力した。また側壁頂部に鉛直荷重を加えた。

2) 解析概要：等圧モデルに関しては、軸対称解析、また偏圧モデルは3次元1/4モデルとして解析を行なった。等圧モデルでは鉛直筋については単位角度当りの鉄筋量を実験と一致させ、フープ筋も円周剛性を有する点要素として表現した。偏圧モデルでは、実験より鉄筋本数は少ないが、総鉄筋量が実験と等しくなる様にした。コンクリートの破壊規準及び構成則は基本的にはKupferの実験式を用い、ひびわれ後のせん断剛性は歪依存性を持たせた。また、鉄筋とコンクリートは完全付着とした。

3) 解析結果：図-2に等圧モデルのひびわれパターンの解析結果及び実験結果を示す。ひびわれを Smeared Crackモデルとして取扱っているため、領域としてひびわれが表現されているが、ひびわれ発生位置及び荷重は実験と解析が良く一致していること、また進展状況に関しても、実験においてコアを取って調べた最終状態でのひびわれ深さと解析結果も良い一致を見た。偏圧モデルにおける内壁のひびわれパターンの実験と解析結果を図-3、4に示す。3次元場でのひびわれは、四角形のプレートとそれに垂直な直線で表現している。ここで、この直線はひびわれ発生時の主応力の方向を、プレートはひびわれ面を意味している。実験と解析の比較の結果、位置及び進展状況は良好な一致を示している。

全体の変形性状の比較として、側壁の中央

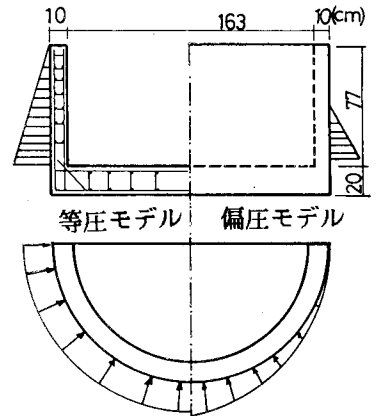


図-1 試験体の形状寸法

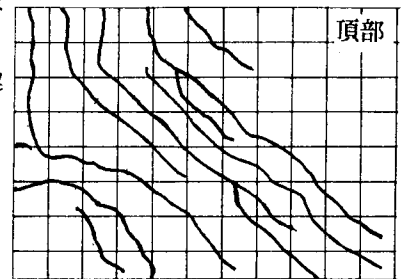


図-3 偏圧モデル実験ひびわれ性状

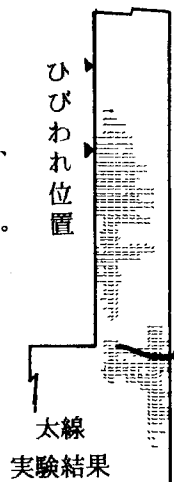


図-2 等圧モデルのひびわれ性状

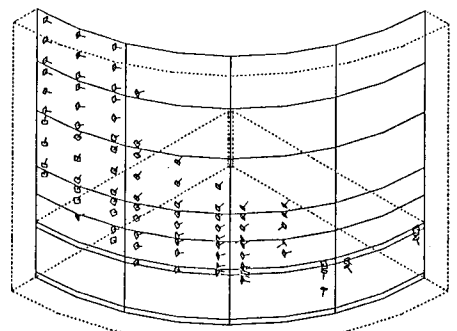


図-4 偏圧モデル解析結果(内壁面)

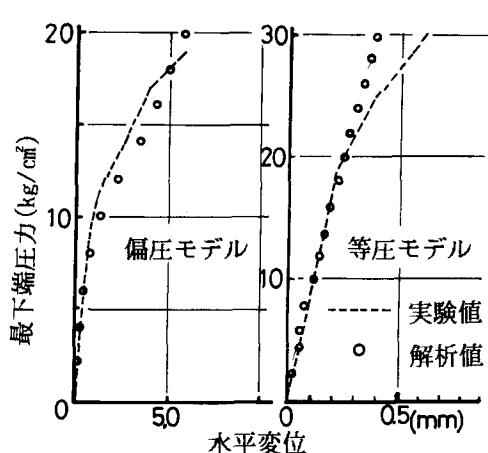
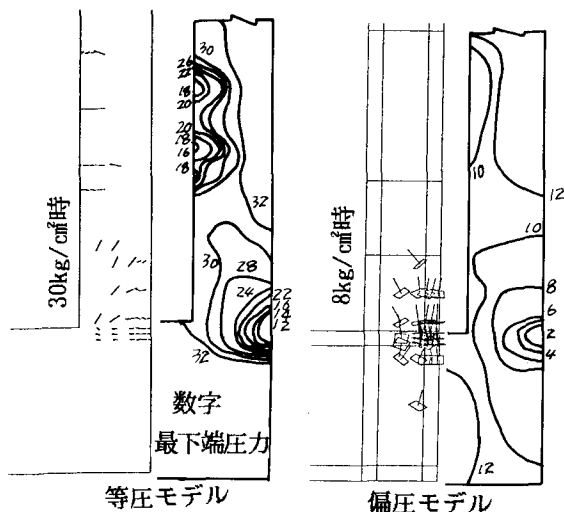


図-5 側壁中央変位



部分の変位を図-5に示す。実験と解析結果は、図-6 同モデルにおけるひびわれパターンの比較一致している。ただし、等圧モデルの高応力レベルについては、実験結果が軸対称性を保持していないため、弱点部の塑性化が進行し、解析より大きな変形を示していた。

以上のことより、解析の妥当性が確認された。

3. 軸対称及び非軸対称荷重下のひびわれ性状の相違

以上の解析は実験の数値シミュレーションであり、荷重分布形状等が異なっており、等圧と偏圧の結果は単純に比較できない。そこで、隅角部の進展性に着目し、条件を全く同じくして、等圧と偏圧の比較を目的とした数値実験を行なった。

図-6に等圧モデルのひびわれパターン、及び荷重最大点における偏圧モデルのひびわれパターンを示す。併せて水平面に入るひびわれ領域の等圧線を示す。

等圧モデルは水平面に入るひびわれだけであるが、偏圧モデルでは、側壁の円周方向曲げにより鉛直方向にもひびわれが発生しており、全体として見れば全く異なったひびわれ性状である。しかし、図に示すように、隅角部のひびわれのみに着目する限りでは、発生荷重は異なるものの、両者はほぼ同様のひびわれパターンとなった。この隅角部の底版上面のひびわれの進展深さに関する両者の比較を図-7に示したが、両者とも外圧に対してほぼ直線的にひびわれが進展している。進展速度として考えれば、偏圧の方が約2倍であり、同じ深さに対する荷重比は3倍程度となっている。また、図-8に示すように、鉄筋ひずみに関しても、ひびわれ進展とほぼ同様の結果となっている。

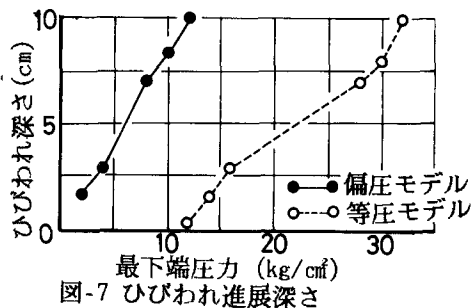


図-7 ひびわれ進展深さ

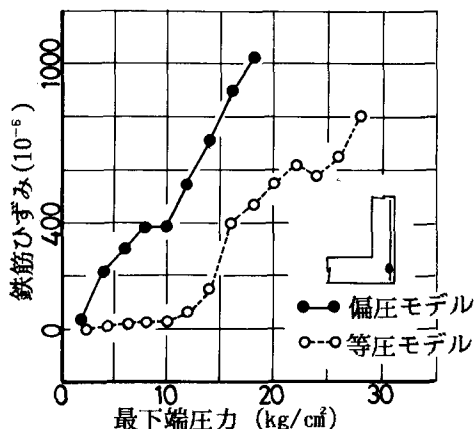


図-8 鉄筋歪と最下端圧力の関係

以上のことより、偏圧による隅角部のひびわれは、種々の条件によって比率は多少異なるものの、荷重を偏圧の最大荷重の2～3倍とすることにより、比較的容易な軸対称解析として偏圧を等価置き換えを行なう可能性を示唆できた。