

V-137 集中荷重を受けるRC球形シェルの破壊状況について

フジタ工業(株)技術研究所 正会員 青 景 平 昌
 同 上 正会員 和 泉 四 郎
 同 上 正会員 丸 田 春 樹

§ 1 はじめに

薄肉シェル構造物の設計は、その形状、周辺の支承状態、載荷状態を考慮して、薄肉シェル理論によって一般に行なわれているが、破壊の形態については材料的な非線形はもとより、幾何学的非線形あるいは安定問題を含めた解析手法が必要であり、現状では確立されるに到っていない。ここでは、中央に開口を有し周辺に補強リングを設けたRC製の球形シェルの鉛直載荷試験を行ない、この種のシェル構造物のひびわれ状況および破壊状況について実験的に把握し、弾性理論に基づく解析手法と比較検討したので報告する。

§ 2 供試体

供試体は、図-1に示すように、スパン 6.2 m 、ライズ 1.2 m 、曲率半径 4.6 m 、肉厚 10 cm 、周辺補強リング $20 \times 25\text{ cm}$ の形状であり、シェル部の配筋は断面中央にD6とD9を交互に 30 cm ピッチに配置している。

補強リングは、自重、上載荷重、供試体の吊上げ時に引張応力が生じないようにプレストレス (10 Kg/cm^2) を導入した。供試体は予め補強リングを作成しプレストレスを導入した後、シェル部を製作した。使用コンクリートの実験時の圧縮強度は 380 Kg/cm^2 、ヤング係数は、 $2.7 \times 10^5\text{ Kg/cm}^2$ であった。シェル部に用いたD6、D9の鉄筋は降伏応力 $\sigma_y = 3500\text{ Kg/cm}^2$ 、引張強度 $\sigma_u = 5700\text{ Kg/cm}^2$ であった。

§ 3 載荷および計測方法

載荷試験は、図-2に示すように周辺の補強リング部分を単純支持した状態で行なった。加力はセンターホールジャッキを用いて、開口部の補強リングの上に設置した載荷梁を介して行なった。計測は図-2に示す位置の変形とひずみ量について行なった。変形は計測用不動梁に取付けたダイヤルゲージにて、載荷点および3断面の鉛直方向と水平方向、補強リングの水平、鉛直、回転を測定した。また、ひずみは、ストレインゲージによって、シェル部の1、2、3断面の母線方向と円周方向のコンクリート表面ひずみ、1断面の鉄筋ひずみ、補強リングの鉄筋ひずみとコンクリート内部ひずみを測定した。加力は 50 ton まで 5 ton ピッチの漸増繰返しとし、最大荷重 53 ton で終了した。

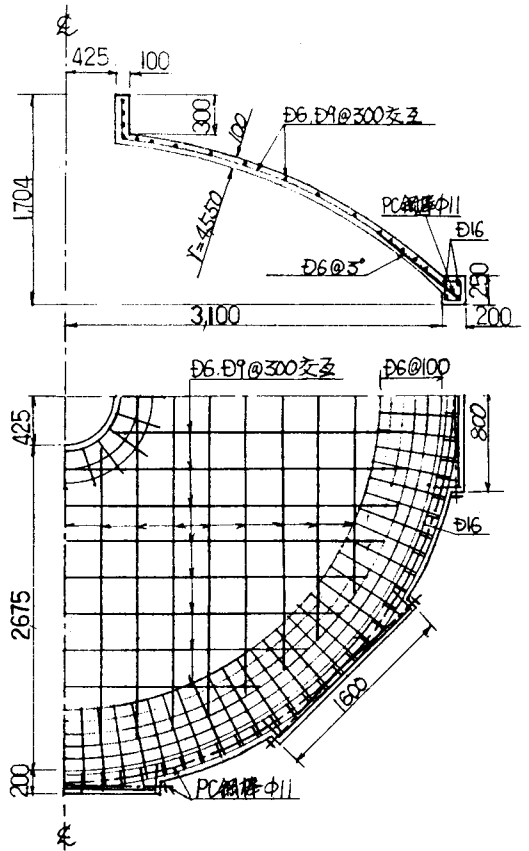


図-1 供試体の形状寸法および配筋図

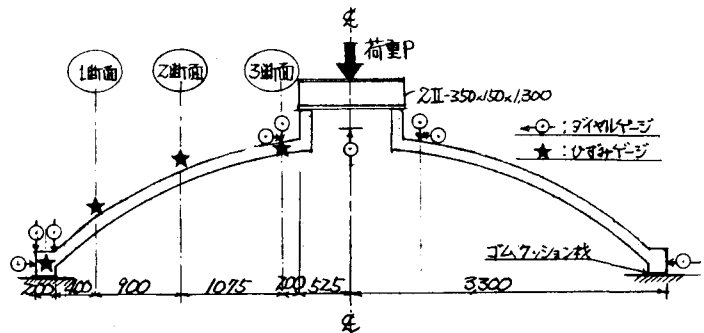


図-2 載荷方法および計測位置

§ 4 ひびわれ発生状況

図-3にひびわれ発生状況を示す。ひびわれは、荷重43 tonの時にシェルの補強リング近傍からシェル中央に向けて発生し、45 tonの時にボンという鈍い音を伴って母線方向に断面貫通ひびわれが生じ、50 ton位までに順次母線方向ひびわれが等間隔に生じた。さらに鉛直荷重52 tonでこれまで見られなかった円周方向ひびわれが、中央の補強リング縁より約1.0 mの位置に環状に発生し、その後荷重の増加はほとんどなく、この環状に発生したひびわれ線を軸にシェル中央部分が陥没した。この環状のひびわれは、シェルの内面には見られなかったことから、終局的にはこの部分で曲げ破壊したものと考えられる。

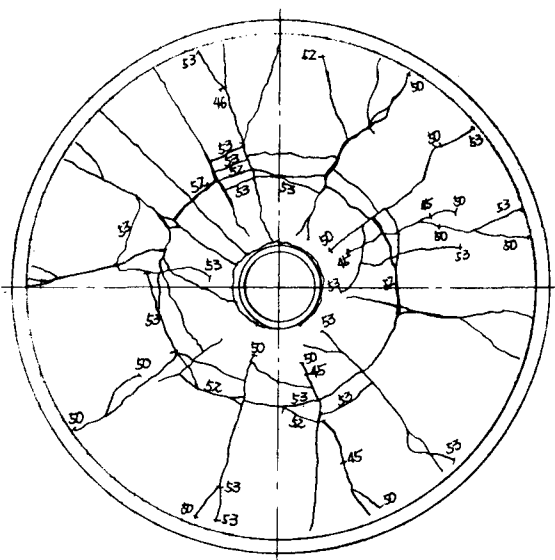


図-3 ひびわれ発生状況

§ 5 変形

図-4に載荷点近傍の3断面の鉛直方向変位と荷重の関係を示す。図より、変形は鉛直荷重43 tonまではほぼ弾性的で、最大荷重53 ton時の中央の変形は1.04 cmであった。比較のため、NASTRANによる弾性理論線を図中に併記している。この種の構造物に対する一般的な理論解は、変形およびひずみ分布とも比較的良好な一致をみている。しかし、配筋量にもよるが、ひびわれ発生から破壊に至る過程はかなり急激であった。

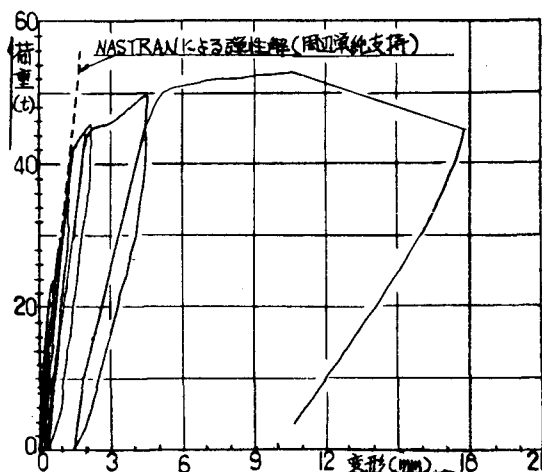


図-4 荷重-変位曲線(3断面鉛直方向)

§ 6 破壊状況

荷重43 tonで母線方向に初ひびわれが生じたが、ひびわれ前の円周方向のひずみは、周辺部にわずかに引張が生じている部分を除くと、ほとんどの断面が圧縮状態で、ほぼ弾性的な挙動を示していた。したがって、これらの母線方向のひびわれが座屈によって併発した可能性が考えられた。そこで図-5に示す解析にて座屈の検討を行なったところ、座屈荷重は7641 tonとなり実験結果とは極端にかけはなれた値となった。しかし一次の座屈モードは、図-5に示すように、載荷点から母線方向にほぼ1.0 mの位置に変曲点が現われ中央が陥没する傾向を示し、実験結果の環状の降伏線と一致した位置であった。また、周辺部の補強リングは、荷重46 tonで降伏し始めて剛性が急激に低下する傾向も認められた。したがって、本供試体の破壊は座屈によって生じた可能性はあるものの座屈荷重に大きい差があることより、補強リングの剛性低下によってシェル周辺部の拘束力が低下し、まず母線方向にひびわれが生じ、さらに環状の曲げひびわれの発生で崩壊機構が形成されたものと考えられた。

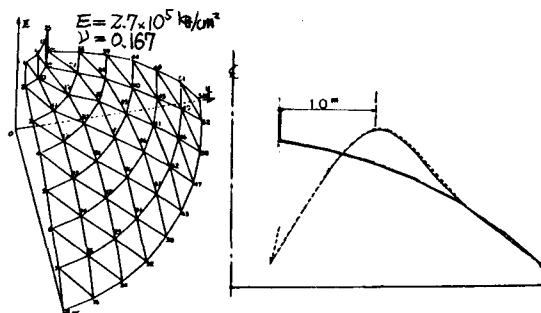


図-5 NASTRANによる解析モデルと座屈モード

§ 7 おわりに 本実験は、当社技術研究所内で実施したLNG地下タンクの大型模型総合実験の一環として、LN₂による冷却実験の終了後に載荷したものである。