

V-170 鉄筋コンクリート製薄肉円筒シェル構造モデル実験

東京大学 学生員 松井 雅志
東京都立大学 正員 山崎 淳
東京大学 学生員 上田 多門

1. 目的 近年の原子力発電の重要性の高まりと共に、その安全性を確保するための原子炉格納容器が注目されている。原子炉格納容器は様々な理由により、鋼製からコンクリート製へと変わった。日本におけるコンクリート製格納容器の技術規準は整備されつつあるが、最終的に確立されるに至ってははいない。過去における格納容器に関する実験例は少なく、現在も技術規準作製の資料とするための各種実験が行なわれている。格納容器で問題となる主要な外力は事故時内圧、及び地震時水平力である。本研究は地震時水平力による面内せん断力に注目し、約1:40のモデル実験を水平加力、及びねじり加力の2種の載荷方法で行なう事により、格納容器の安全性評価の資料とする事を目的としたものである。(1)では実験の概要及び考察を述べる。

2. 実験の概要

本実験における供試体は図-1に示すとうりである。鉄筋には異形棒鋼D6SD30を用い、軸方向に48本、周方向に20本、各々一層に配筋し、鉄筋比は軸方向、周方向共に1.29%である。載荷方法を図-2に示す。載荷は100ton油圧ジャッキを使用し、交替で行なった。載荷のサイクルを図-3に示す。円筒部はモルタル製とし、セメント細骨材比を1:3とした。表1及び2に鉄筋及びモルタルの諸定数を示す。

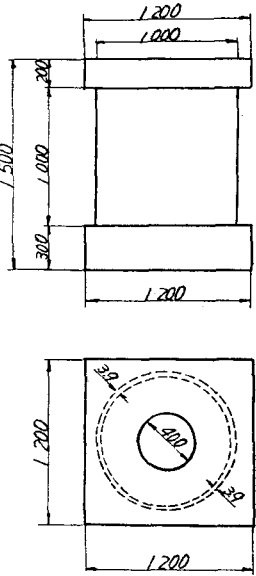


図-1 供試体の形状

表1. 鉄筋の諸定数

降伏強度	降伏ひずみ	弾性係数	引張強度	破断強度
3250 K _g /cm ²	1734 × 10 ⁻⁶	1.88 × 10 ⁶ K _g /cm ²	5207 K _g /cm ²	3633 K _g /cm ²

表2. モルタルの諸定数

	圧縮強度	引張強度	弾性係数	ポアソン比
水平加力	453 K _g /cm ²	41.4 K _g /cm ²	3.0 × 10 ⁵ K _g /cm ²	0.20
ねじり加力	456 K _g /cm ²	35.1 K _g /cm ²	3.0 × 10 ⁵ K _g /cm ²	0.20

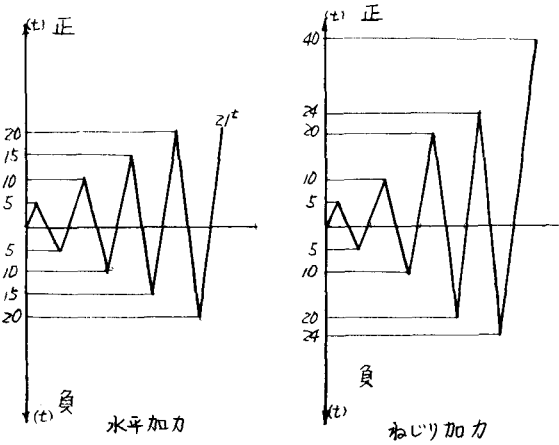


図-3 載荷サイクル

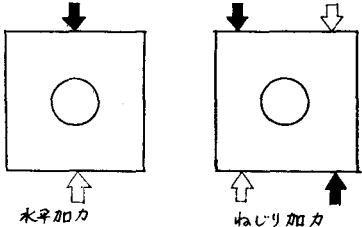


図-2 載荷方法

3. 実験結果

実験結果を表3に示す。なお、表中の圧30%とは、正方向載荷で、終局せん断耐力の30%である事を示す。

4. 弾性解による応力分布

水平加力を受ける円筒シェルの応力状態を有限要素法で求めた。図-4に示す①～③の軸上の要素の応力は表4に示すようになった。なお、FEM解によれば円筒最下部での水平力に対する面内せん断力の負担分は92%で、残りの8%が面外せん断力の負担分である事がわかる。

表3 実験結果

	ひびわれ	軸方向鉄筋降伏	周方向鉄筋降伏	終局せん断耐力及び破壊状況
水平加力実験	正 30% 負 30%	正 50% 負 30%	正 80% 負 50%	40 kg/cm ² 下スラフの破壊
ねじり加力実験	正 12% 負 15%	正 43% 負 27%	正 43% 負 40%	68 kg/cm ² モルタルの崩壊

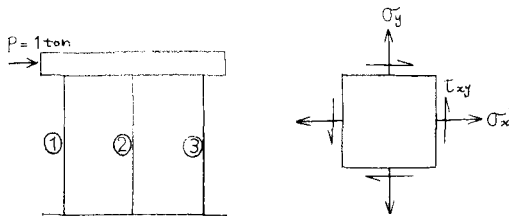


図-4

5. 考察

i) 荷重-水平変位間の初期剛性について； 水平加力実験における水平方向変位とFEM解析による水平方向変位との比較をすると、実験結果の方が大きい。これは微小な内部ひびわれのために剛性が低下した事によると考えられる。

ii) 曲げによる水平変位とせん断による水平変位の比較；

水平加力実験における水平方向変位を曲げによるものと、せん断によるものと分離したところ、せん断による変位の方が大きい事がわかった。なお、曲げによる変位はモルタル表面のひずみから曲率を求める事から求め、せん断による変位は全変位から曲げによるものを差し引いた値とした。

iii) ウェブ有効断面積について； せん断終局耐力の算定などに必要となるウェブ有効断面積を総断面積の1/2と仮定して、次のような検討を行なった。上述のii)の方法により求めたせん断による水平変位からせん断変形角 γ を求め、一方、ねじり加力実験から求めた初期せん断弾性係数 G 、及びウェブ有効断面積を1/2とした値を用いて γ を求め、両者を比較すると、良い一致が見られる。この事よりウェブ有効断面積は総断面積の1/2と考える事ができる。

iv) 破壊モード及び終局耐力について； 破壊モードとして次の3つが考えられる。

a) 軸方向鉄筋量が少なく、円筒部引張側は脚部の変形が過度に進み、そのため圧縮最外縁のコンクリートが圧壊する曲げ破壊。鉄筋は軸方向で降伏し、周方向では必ずしも降伏しない。b) 周方向鉄筋量が少なく、大きい斜めひびわれ発生後、水平方向の変形が進み、圧縮側脚部のコンクリートのすれを起こす斜め引張破壊。鉄筋は周方向で降伏し、軸方向では必ずしも降伏しない。c) 軸方向、周方向の鉄筋量の釣合いがとれていて、過度の水平方向変位や曲げによる回転が起これば、載荷点から圧縮側脚部に至る圧縮ストラットの形成が可能になり、ストラットの圧壊が生じるせん断圧縮破壊。鉄筋は両方向共に降伏する。本水平加力実験での円筒部の破壊モードを推測すると、終局時に軸方向鉄筋の多くが降伏しており、周方向鉄筋では1部が降伏している事から、a)又はb)の破壊モードであると考えられる。次に既往の実験結果及び本実験結果と、数種類の耐震壁のせん断終局強度式及び曲げ耐力の精算値との比較の結果、以下の事がいえる。1) 終局耐力の実験値は、どれも曲げ耐力より小さい。従ってここで求めた曲げ耐力は終局耐力の上限である。2) ウェブ有効断面積を1/2として求めたせん断終局強度は実験値に比較的近い。

表4

軸①	②	③
σ_x	σ_y	τ_{xy}
0.08504	0.003874	0.06879
0.4784	0.08180	-0.5394
0.1664	1.637	0.1566
-0.1344	-0.006471	0.1279
0.9244	0.1104	-0.9567
0.1723	1.684	0.1601
-0.01272	-0.03529	0.01777
1.380	0.1380	-1.381
0.1734	1.700	0.1615
0.008234	-0.002050	-0.003600
1.836	0.1659	-1.807
0.1727	1.678	0.1613
-0.02958	-0.003888	0.03095
2.240	0.1941	-2.232
0.1727	1.701	0.1616
-0.01377	-0.001997	0.01470
2.746	0.2227	-2.660
0.1737	1.722	0.1626
0.2873	0.02148	-0.2752
3.202	0.2515	-3.087
0.1718	1.694	0.1611
0.6580	0.05021	-0.6318
3.636	0.2802	-3.496
0.1575	1.559	0.1489