

前田建設技術研究所 正 荒井 健
電力中央研究所 正 青柳 征夫
前田建設技術研究所 正 山田 一字

1. ま え が き

鉄筋コンクリート製原子炉格納容器においては、地震時における円筒壁ウェブ部分のせん断耐力を評価し安全性の検討を行うことが要求されている¹⁾。一般に鉄筋コンクリート製格納容器は縦横二方向に配筋されているので、図-1に示すように大きい方の主引張応力方向に近い方向をもった鉄筋がまず降伏し、後にもう一方の鉄筋が降伏することによって終局耐力に至る。従来提案されてきた各種の鉄筋コンクリートシェル要素の応力・変形解析法は、第一の鉄筋降伏までの荷重段階を対象としたもので、その後第二の鉄筋降伏に至るまでの適用性を保証していないのが普通である。そこで、本報告では、前報^{5), 6)}による解析方法を拡張し、第二方向の鉄筋降伏荷重を算定する手法を誘導し、実験結果と比較したものである。

2. 終局耐力算定式の誘導

図-2はX,Y直交二方向に配筋されたシェル要素に、主力 N_1, N_2 ($N_1 > 0, N_1 \geq N_2$) が作用した場合のひびわれ面における力の作用状態を示したものである。ここで α は N_1 に対するX方向鉄筋との角度で、 ϕ はY方向鉄筋とひびわれのなす角度である。XおよびY方向鉄筋のシェル要素単位幅当りの力をそれぞれ Z_x および Z_y 、ならびにひびわれ面で伝達されるせん断力を H とし、ひびわれ面での力の釣り合いを考える。

図-2(b)より Z_x, Z_y は①と②式で表わすことができる。

$$Z_x = N_1 \cos^2 \alpha (1 + \tan \alpha \tan \phi) + N_2 \sin^2 \alpha (1 - \cot \alpha \tan \phi) + H \tan \phi \quad \text{--- ①}$$

$$Z_y = N_1 \sin^2 \alpha (1 + \cot \alpha \cot \phi) + N_2 \cos^2 \alpha (1 - \tan \alpha \cot \phi) - H \cot \phi \quad \text{--- ②}$$

X方向鉄筋が降伏した後、Y方向鉄筋が降伏する荷重 $N_{1Y \text{ yield}}$ (終局耐力) を算定するに当り、次の仮定を設けるものとする。

[仮定]

- (1) X方向鉄筋降伏後の外力荷重増分に対して、X方向鉄筋は荷重を負担せず、X方向鉄筋の荷重負担増分 $\Delta Z_x = 0$ である。
- (2) 外力荷重増分はY方向鉄筋の荷重増分 ΔZ_y とひびわれ面で伝達されるせん断力の増分 ΔH によってのみ抵抗される。
- (3) X方向鉄筋降伏前後において、コンクリートシェル要素における支配的なひびわれ方向 ϕ は変化しない。

その結果、X方向鉄筋が降伏した後のひびわれ面における力の釣り合いは、図-3のごとくなる。

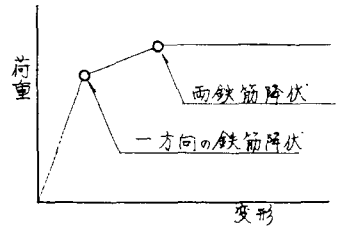


図-1 荷重-変形の概念図

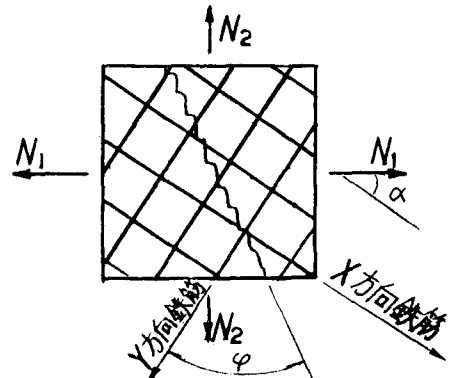


図-2 (a) 外力の作用状態

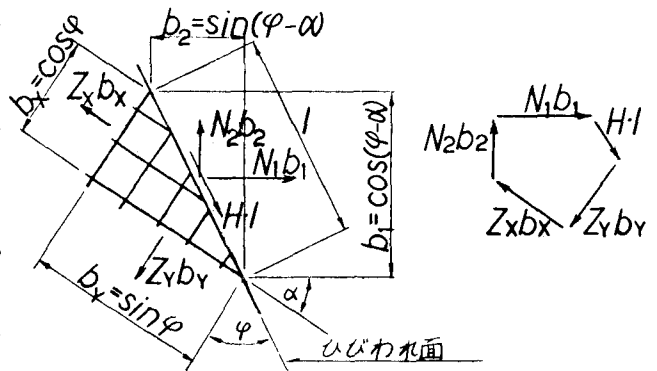


図-2 (b) ひびわれ面での力の釣り合い

ここで、 $\Delta N_1 = N_1 - N_{1x \text{ yield}}$

$\Delta N_2 = N_2 - N_{2x \text{ yield}}$

$\Delta Z_Y = Z_Y - Z_{Yx \text{ yield}}$

$N_{1x \text{ yield}}, N_{2x \text{ yield}}, Z_{Yx \text{ yield}}$ はそれぞれ N_1, N_2 および Z_Y の X 方向鉄筋降伏時の大きさを示す。

X 方向鉄筋降伏後、①, ②式は $K = \Delta N_2 / \Delta N_1$ を用いることにより、次のようになる。

$$0 = \Delta N_1 \{ \cos^2 \alpha (1 + \tan \alpha \tan \phi) + K \sin^2 \alpha (1 - \cot \alpha \tan \phi) \} + \Delta H \tan \phi \quad \text{③}$$

$$\Delta Z_Y = \Delta N_1 \{ \sin^2 \alpha (1 + \cot \alpha \cot \phi) + K \sin^2 \alpha (1 - \tan \alpha \cot \phi) \} - \Delta H \cot \phi \quad \text{④}$$

これらの③, ④式は、 $\Delta H, \Delta Z_Y$ および ΔN_1 についての連立方程式であり、 ΔN_1 について整理すると⑤式になる。

$$\Delta N_1 = \Delta Z_Y \sin 2\phi / \{ (1+K) \sin 2\phi + (1-K) \sin 2\alpha \} \quad \text{⑤}$$

したがって、X 方向鉄筋降伏時の Y 方向鉄筋応力度 ($Z_{Yx \text{ yield}}$) が与えられれば、Y 方向鉄筋降伏までの荷重増分 ΔN_1 が得られる。

$$\Delta N_{1Y \text{ yield}} = \Delta Z_{Yx \text{ yield}} \sin 2\phi / \{ (1+K) \sin 2\phi + (1-K) \sin 2\alpha \} \quad \text{⑥}$$

ここで、 $\Delta N_{1Y \text{ yield}} = N_{1Y \text{ yield}} - N_{1x \text{ yield}}$

その結果荷重 $N_{1Y \text{ yield}}$ は最終的に⑦式で与えられる。

$$N_{1Y \text{ yield}} = \{ (Z_{Yx \text{ yield}} - Z_{Yx \text{ yield}}) \sin 2\phi \} / \{ (1+K) \sin 2\phi + (1-K) \sin 2\alpha \} + N_{1x \text{ yield}} \quad \text{⑦}$$

3. 実験結果との比較

実験により得られた X 方向鉄筋降伏荷重および Y 方向鉄筋降伏荷重と、本提案方法による計算値との比較を表-1 に示す。ここで、X 方向鉄筋降伏時の荷重ならびに Y 方向鉄筋力は、文献 5), 6) に報告した方法によって計算した。Y 鉄筋降伏荷重の (実験値/計算値) の平均は 0.98 で変動係数は 10.6% となり、X 鉄筋降伏荷重の算定精度に比べてくに劣ることなく計算値は実験値に比較的よい一致をみせており、著者らの提案方法は実用的には十分な精度で両方の鉄筋降伏時の耐力を評価できるといえよう。

参考文献) 1) 通産省資源エネルギー庁：原子力発電用コンクリート格納容器に関する技術基準(案) 昭 52.7 2) H. Leitz: Eisenbewehrte Platten Bei Allgemeinem Biegun-

zustand. Die Bautechnik 1923 Heft 16-17 3) N. B. Duchon: Analysis of Reinforced Concrete Membrane Subject to Tension And Shear ACI Journal 1972. 9 4) Th. Baumann: Tragwirkung Orthogonaler Bewehrungsnetze Beliegender Richtung In Flachentragwerken Aus Stahlbeton Berlin 1972. 5) 篠田ら、面内力を………、36 回年講 6) 内田ら、面内力を………、36 回年講

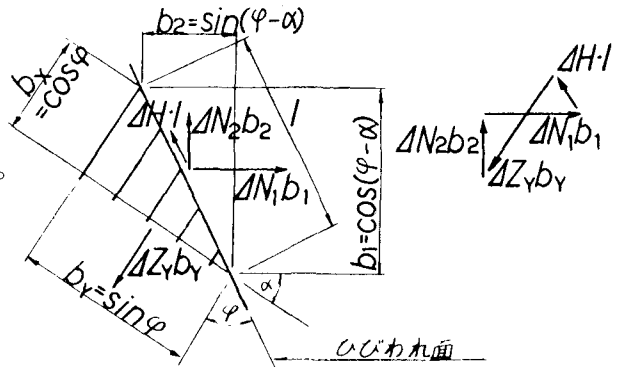


図-3 X 鉄筋降伏後の力の釣り合い

表-1 実験値と計算値との比較

試験体番号	鉄筋比 p (%)	a	初期導入ひびわれφ	K N2/N1	x 鉄筋降伏荷重		実/計	y 鉄筋降伏荷重		実/計
					実験値	計算値		実験値	計算値	
12	0.713	12.5	-	1.0	38.0	40.5	0.94	42.0	40.5	1.04
7	0.713	22.5	-	0	36.0	35.6	1.01	44.0	51.9	0.85
8	0.713	22.5	-	0.5	36.0	35.0	1.03	41.0	45.5	0.90
15	0.713	30	-	0	38.0	34.4	1.10	48.5	46.5	1.04
2	0.713	30	-	0.5	34.0	37.6	0.90	48.0	44.7	1.07
4	0.713	30	-	1.0	36.0	40.5	0.89	38.5	40.5	0.95
19	0.713	45	-	0.5	44.5	40.5	1.10	49.0	40.5	1.21
3	0.713	30	30	0	33.5	34.4	0.97	40.0	46.5	0.86
17	0.713	30	57	0.5	47.5	37.6	1.26	47.0	44.7	1.05
10	0.713	22.5	22.5	0.5	34.5	35.0	0.99	40.5	45.5	0.89
27	0.713	22.5	-	0.5	60.0	56.4	1.06	64.0	71.9	0.89
26	0.713	45	-	0	61.5	67.2	0.92	69.0	67.2	1.03
24	X=1.183 Y=0.592	22.5	-	0	51.0	54.2	0.94	58.5	64.2	0.91
平均値							1.01			0.98
変動係数							10.2			10.6