

電力中央研究所 正会員 ○大 沼 博 志

電力中央研究所 正会員 青 柳 征 夫

1. はじめに 原子力発電所に建設されるプレストレストコンクリート製の格納容器・圧力容器などの容器構造物、コンクリートダム等は、従来の土木建築用コンクリート構造物に比べ内圧、地震および温度荷重あるいはこれに対処するために導入される大きなプレストレスによって、コンクリートは一般に多軸応力状態にある。このため、設計を合理化し、また経済性ととも安全性をより一層高めるためには、この多軸応力状態を考慮して許容応力度を定め、また応力の多軸性を考慮した応力-ひずみ構成式を作成し、これを用いて応力解析を行なうことが肝要になると考えられる。本研究は、上記の問題点の究明を計るための基礎的な資料を得ることを目的として、三軸圧縮応力下におけるコンクリートの終局強度並びに非線形な変形挙動について検討を加えたものである。

2. 三軸圧縮試験の概要

三主応力を任意に与えることのできる純三軸圧縮試験機（最大荷重は一方向が300トンで、他の二方向が200トンである）を用いて、10cmの立方供試体について三軸圧縮試験を実施した。加圧盤と供試体の摩擦による端面拘束の影響を除去するために、静摩擦係数が1.4%の減摩材（テフロンシート2枚とシリコングリース）を供試体と加圧盤の接触面に挿入した。三軸圧縮試験では供試体の全面が加圧盤によって塞がれるために、コンクリートのひずみは加圧盤間の変形から算定した。試験方法は次の三種類である。すなわち、最小主応力一定試験は、最小主応力を一定に保持し、中間主応力と最大主応力の比を一定にしながら漸次荷重を増加させた。偏差応力面試験はまずあらかじめ定めた静水圧（八面体直応力 $\sigma_{oct} = (\sigma_1 + \sigma_2 + \sigma_3) / 3$ と同一）を加え、この静水圧応力

表-1 コンクリートの配合

を一定に保持しながら三主応力を任意の一定割合で変化させた。また、Rendulic 応力面試験は偏差応力面の特別な応力状態であり、Rendulic 応力面上の終局強度包絡線を求めるためのものである。

	目標 強度 (kg/cm^2)	粗骨材 最大径 (mm)	単 位 量 (kg/m^3)				水 量 比		濃 度 割 合	スパン
			水 W	セメント C	細骨材 S	粗骨材 G	W/C (%)	S/A (%)		
A	300	10	168	305	994	829	55	55	0.80	11~15
B	400	10	167	363	970	809	46	55	0.94	6~17

3. 三軸圧縮応力下におけるコンクリートの終局強度基準

最大荷重に相当する応力をここでは終局強度と定義する。三軸圧縮試験で得られた終局強度の結果から、三軸圧縮応力下のコンクリートの終局強度包絡面を三主応力の関係で誘導した。まず最初に、偏差応力断面の方向角 θ （図-2参照）が 0° と 60° に相当するRendulic 応力面の終局強度包絡線をそれぞれ以下のよう

$$\theta = 0^\circ \text{ の場合: } \frac{\tau_{oe}}{\sigma_c} = 0.090 + 0.653 \left(\frac{\sigma_{oct}}{\sigma_c} \right) - 0.0877 \left(\frac{\sigma_{oct}}{\sigma_c} \right)^2 \quad \dots\dots\dots (1)$$

$$\theta = 60^\circ \text{ の場合: } \frac{\tau_{oc}}{\sigma_c} = 0.213 + 0.812 \left(\frac{\sigma_{oct}}{\sigma_c} \right) - 0.111 \left(\frac{\sigma_{oct}}{\sigma_c} \right)^2 \quad \dots\dots\dots (2)$$

$$\text{ここで, } \tau_o = \frac{1}{3} \sqrt{(\sigma_1 - \sigma_2)^2 + (\sigma_2 - \sigma_3)^2 + (\sigma_3 - \sigma_1)^2}$$

次に、任意の方向角 θ に対する八面体せん断応力(τ_{oct})は、偏差応力断面の終局強度包絡線が楕円線分によって表わすことができると仮定して、⁽¹⁾上記の八面体せん断応力(τ_{oe} , τ_{oc})と方向角の方向余弦の関数で次のように表示した。

$$\tau_{oct}(\theta) = \frac{2\tau_{oc}(\tau_{oc}^2 - \tau_{oe}^2) \cos \theta + \tau_{oc}(2\tau_{oe} - \tau_{oc}) \sqrt{4(\tau_{oc}^2 - \tau_{oe}^2) \cos^2 \theta + 5\tau_{oe}^2 - 4\tau_{oe}\tau_{oc}}}{4(\tau_{oc}^2 - \tau_{oe}^2) \cos^2 \theta + (\tau_{oc}^2 - 2\tau_{oe}^2)} \quad \dots\dots\dots (3)$$

この表示式による算定値と実験結果を比較した図-1と図-2から明らかなように、こゝで誘導した終局強度包絡面の表示式は、実験結果と相当に良い近似を示すことが明らかにされた。

4. 三軸圧縮応力下におけるコンクリートの変形特性

三軸圧縮応力下においてコンクリートはひずみ能力が著しく増加し、またその増加率は終局強度のそれよりも大きい。従って、三軸圧縮下の応力-ひずみ構成式を誘導する際にはこれらの変形特性を実際の性状にできる限り近く模擬することが重要である。そのため、ここではDarwinによって提案された等価一軸ひずみ理論に基づく、増分型の応力-等価一軸ひずみの構成関係式⁽²⁾を用いた。また、この構成式に、(a)Saenzによって提案された非線形の応力-ひずみの表示式、(b)前節で誘導した終局強度包絡面の表示式、(c)本研究のRendulic 応力面試験から誘導した終局強度包絡面と同一形式の終局ひずみ包絡面の表示式、および(d)ひずみの三次式で表わしたポアソン比の表示式を組み合わせた。いくつかの応力径路に対する応力-ひずみ曲線の実測値(図-3)との比較から、本研究であてはめを行なった構成式は、三軸圧縮応力下のコンクリートの応力-ひずみ挙動をそれ程精度よく算定することができなかった。しかし、等価一軸ひずみ理論を基礎にしたこの構成式は簡便なものであり、またさらに改善を行なえば、そのあてはめ精度を高めることができると思われる。

5. あとがき この研究は常温の三軸圧縮に関するものであるが、今後は引張応力を含んだ一般的な三軸応力状態や、温度依存性について研究を行なう予定である。本研究は吉田研究奨励金を授与されたものであることを記し、ここに深謝いたします。

参考文献(1)K.J.Willam,他, Constitutive Model for the Triaxial Behavior of Concrete.
(2)A.A.Elwi & D.W.Murray, ASCE, EM 4, August 1979.

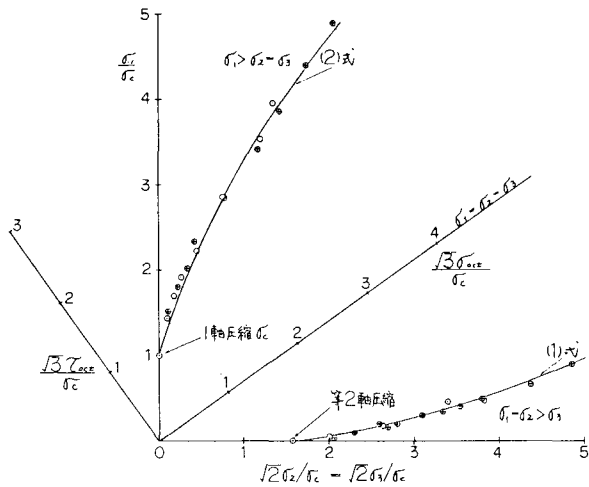


図-1 Rendulic 応力面における終局強度包絡線

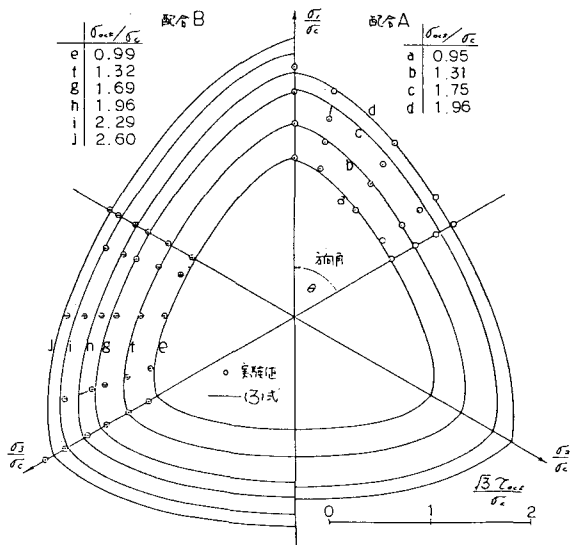


図-2 偏差応力面における終局強度包絡線

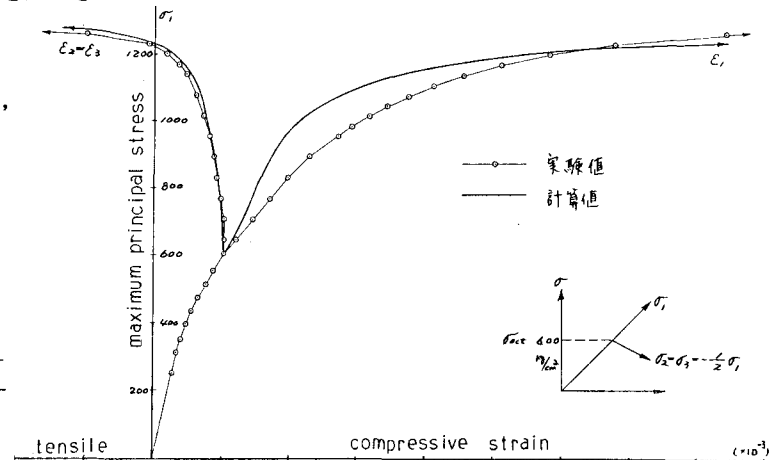


図-3 コンクリートの最大主応力とひずみの関係