

電力中央研究所

正会員 ○大沼 博志

正会員 青柳 征夫

1. まえがき

コンクリート構造物は本来三次元の立体構造物であるので、設計荷重を受ける時、その構成材料であるコンクリートは二次元あるいは三次元的な応力状態にある。したがって、構造物の実際の応力状態に類似する多軸強度試験から得られた強度基準をもとにして設計することがより合理的であると思われる。本報告はまず最初に、多軸応力状態のうち三主応力が全て圧縮である場合の破壊基準について実験的に検討したものである。

2. 実験の概要

三軸圧縮試験には、三主応力方向の荷重をそれぞれ独立に与えることのできる純三軸試験機を使用した(写真1参照)。この試験機の容量は水平の二方向が圧縮200t、引張10tであり、また、垂直方向が圧縮300t、引張15tである。この実験では10cmの立方供試体を用いており、立方供試体を用いる場合には試験機の加圧盤による端面拘束が大きいため、三軸圧縮強度は著しく増大する。この加圧盤と供試体の接触面の摩擦抵抗による端面拘束の影響を除去するために、接触面には摩擦係数が約1.4%のテフロンシートとシリコングリースを組合せた減摩材を挿入した。シリーズIでは、最小主応力(σ_3)を一定値に保持し、中間主応力(σ_2)と最大主応力(σ_1)の応力比(σ_2/σ_1)を一定にしながら漸次荷重を増加させて破壊させる載荷方法を用いた。ここで、 σ_3 は一軸圧縮強度(σ_c)の10%、20%、30%および40%の4種類とし、 σ_2/σ_1 は0、0.2、0.4、0.6、0.8および1.0の6種類とした。シリーズIIでは、静水圧 $\sigma_{oct}=(\sigma_1+\sigma_2+\sigma_3)/3$ を一定値に保ちながら、三主応力を一定の割合で増減させる載荷方法を用いた。静水圧は、A配合の場合には

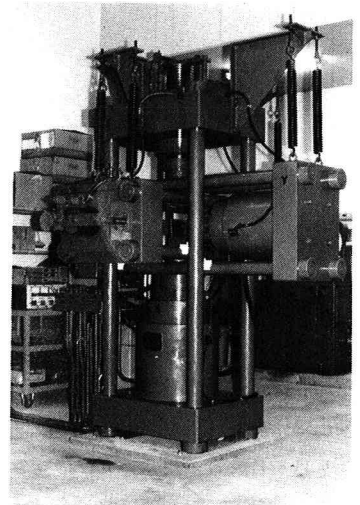


写真1 三軸試験機

表-1 コンクリートの配合

σ_c の0.96、1.31、1.75および1.96倍、またB配合の場合には σ_c の0.99、1.32、1.69、1.96、2.29および2.60倍とし、5種の応力経路とした。コンクリートの配合を表-1に示す。

	目標強度 (kg/cm ²)	粗骨材 最大径 (mm)	単 位 量 (kg/m ³)				水セメント比 w/c (%)	細骨材率 s/A (%)	浪和剤 (kg/m ³)	スランジ 範囲 (cm)
			水 W	セメント C	細骨材 S	粗骨材 G				
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. 三軸圧縮下のコンクリートの破壊強度

実験結果をまとめると次の通りである。(1)コンクリートの三軸圧縮強度は既往の文献に示されているように一軸圧縮強度よりも著しく大きい。(2)その増加の割合は最小主応力(σ_3)と中間主応力(σ_2)によって影響を受けるが、最小主応力の影響の方が大きいことが明らかにされた。図-1に示すように、最小主応力一定面における破壊包絡線群から、最小主応力が小さい三軸圧縮応力状態ではその強度増加は急激であり、また、 $\sigma_3=0.1\sigma_c\sim 0.4\sigma_c$ の範囲では、中間主応力と最大主応力との比が一定の場合には三軸圧縮強度は最小主応力の増加量に比例して直線的に増大することが示された。(3)コンクリートの三軸圧縮強度は、中間主応力の影響も受ける。すなわち、 σ_3 が一定の場合、最初、中間主応力(σ_2)と最大主応力(σ_1)の比(σ_2/σ_1)の増加とともに増大し、 σ_2/σ_1 が

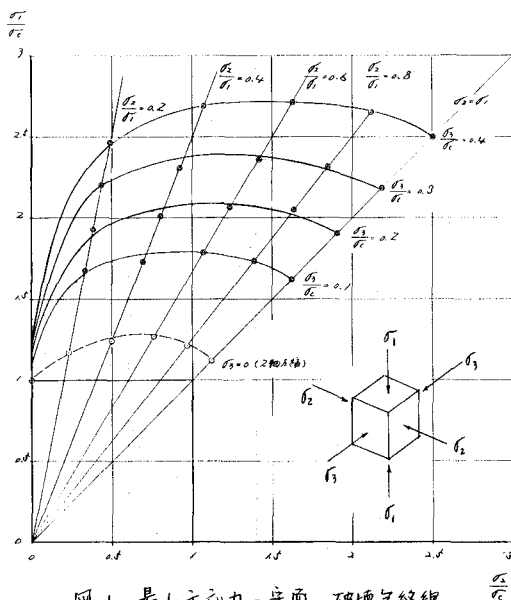


図-1 最小主応力一定面の破壊包絡線

0.6の付近で最大となった。このときの強度は、 $\sigma_{\theta\theta} = 0.1, 0.2, 0.3$, および 0.4 の場合、それぞれ一軸圧縮強度の 1.78 倍, 2.07 倍, 2.36 倍および 2.72 倍であった。しかし、 $\sigma_2/\sigma_1 = 0.6$ に達して以後は、 σ_2/σ_1 の増加に伴い逆に三軸圧縮強度は減少する。 $\sigma_2 = \sigma_1$ の三軸圧縮強度は、 $\sigma_3/\sigma_1 = 0.1, 0.2, 0.3$ および 0.4 のとき、それぞれ σ_c の 1.62 倍, 1.91 倍, 2.18 倍および 2.50 倍であった。(4) 破壊曲面を静水圧軸 ($\sigma_1 = \sigma_2 = \sigma_3$) に垂直な平面 (偏差応力断面) で切断することによって得られる破壊包絡線は、正三角形よりやや膨らんだ形状であり、静水圧の増加に伴って外側に広がっていることが示された(図-2 参照)。すなわち、三軸圧縮応力下のコンクリートの破壊曲面は、

静水圧軸に相当する八面体直応力 (σ_{oct}) と静水圧

軸から破壊曲面までの距離に相当する八面体せん断応力 (τ_{oct}) の関数で表示できると示唆していると思われる。

(5) 偏差応力断面における τ_{oct} の最大値と最小値を表わしている Rendulic 面の破壊包絡線は、 σ_{oct} の低い範囲では曲線であり、 σ_{oct} の増加とともに最大主応力は急激に大きくなる。一方、 $\sigma_{oct}/\sigma_c \approx 1$ 以上の場合には、最大値の破壊包絡線はほぼ直線となることが示された(図-3 参照)。(6) 三軸圧縮応力下のコンクリートの破壊曲面は静水圧軸を中心軸とし、主応力相互間に互換性のあるラッパ状の凸曲面であり、前述の偏差応力断面と Rendulic 断面における破壊包絡線からその概形を容易に推測することができる。(7) 三軸圧縮試験に使用したものと同一の供試体で得られた一軸圧縮強度との比で無次元化して相対的に三軸圧縮強度を表わすと、2種のコンクリート配合に対してほぼ同一の破壊包絡線が得られており、三軸圧縮応力を受けるコンクリートの破壊強度は、配合の影響をほとんど受けないことが示された。

最後に実験に協力して頂いた東京理科大学生、松永篤、三上晴次の両君に深謝します。

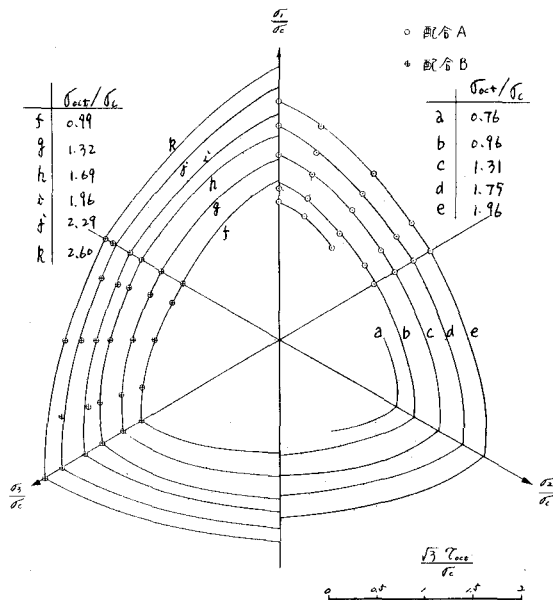


図-2 偏差応力断面における破壊包絡線

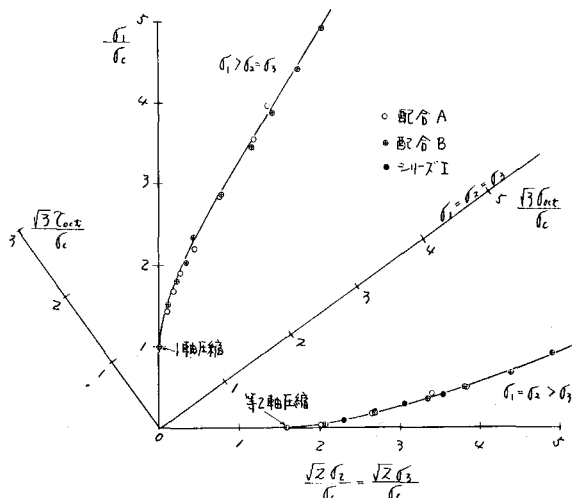


図-3 Rendulic 面における破壊包絡線