

V-23

三軸圧縮応力を受ける高強度コンクリートの強度および変形特性

北海道大学工学部 ○学生員 勝山 裕之
 北海道大学大学院工学研究科 フェロー 大沼 博志
 北海道大学大学院工学研究科 正会員 名和 豊春
 北海道大学大学院工学研究科 学生員 石川 徹也

1. はじめに

近年、大水深の海洋構造物や大深度地下構造物、高層建築物などの建設において、自重低減や経済性から高強度コンクリートに対する需要が高まっている。そして同時に、合理的な設計を可能にするコンクリート構造物の三次元的解析法の確立も求められている。本研究では、三方向から不均一の独立な応力が作用した際のコンクリートの応力-ひずみ挙動を実構造物に近い状態で再現するため、三方向の応力を任意に変化させることが可能な純三軸圧縮試験を行った。高圧縮応力状態での高強度コンクリートの力学的特性を明らかにすると共に、Rendulic 応力面上の破壊包絡線を八面体直応力と八面体せん断応力を用いて表し、既存の表示式¹⁾の高強度コンクリートに対する適用性を評価した。

2. 三軸圧縮試験の概要

セメントは日本セメント株式会社製の普通ポルトランドセメントを使用した。細骨材は鶴川産の海砂を使用し、粗粒率は 2.87 であった。またその比重および吸水量はそれぞれ 2.67 および 1.43% であった。粗骨材は最大寸法 10mm の玉砂利を使用し、その比重は 2.65 であった。混和剤は高性能 AE 減水剤をセメント重量の 0.40% 使用した。コンクリートの配合を表-2-1 に示す。

コンクリートの練り混ぜには強制練りミキサーを使用し、練り混ぜ時間はすべての材料投入後 3 分間とした。三軸圧縮試験用供試体は 10cm×10cm×10cm の立方体とし、3 連の鋼製型枠に 2 層に分けて打設した。打設数時間後に上面のレイタンスを取り除き、水セメント比 28% のセメントペーストでキャッピングをし、供試体を脱型して試験前日まで水中養生した。養生槽から取り出した供試体は、平滑性を得るために研磨砂で研磨した。材齢 28 日および試験時における $\phi 10\text{cm} \times 20\text{cm}$ の円柱供試体の一軸圧縮強度、ヤング係数およびポアソン比を表-2-2 に示す。

加圧盤と供試体との剛性の違いによって生じる端面拘束の影響を取り除き、供試体に作用する応力分布を理想的な状態にするため、加圧盤と供試体との間に減摩材を挿入した。本試験では、平均摩擦係数が 0.014 のテフロンシート(厚さ 0.1mm) 2 枚とシリコングリースの減摩材を使用した。また、摩擦係数は横方向の拘束荷重の大きさによって変化し、拘束荷重が大きくなると減少する。この横方向拘束荷重と摩擦係数との関係を図-2-1 に示す。試験機は三主応力方向の荷重をそれぞれ独立させて任意に与えることのできる純三軸圧縮試験装置を使用し、各方向の最大容量は、2000 kN である。

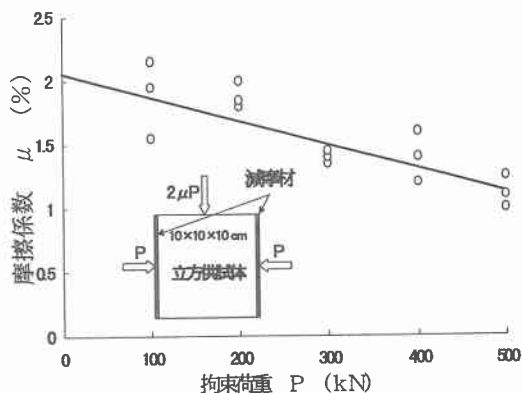


図-2-1 拘束荷重と摩擦係数の関係

Ultimate Strength and Deformation Property of High Strength Concrete under Triaxial Compressive Stresses by H.Katsuyama, H.Ohnuma, T.Nawa, T.Ishikawa

試験の載荷方法は、まず所定の側圧($\sigma_2 = \sigma_3$)を加え、これを一定保持しながら最大主応力(σ_1)を増加させる側圧一定試験と、軸圧(σ_3)を一定保持しながら側圧($\sigma_1 = \sigma_2$)を増加させて破壊に至らしめる軸圧一定試験の2通りとした。

表-2-1 コンクリートの配合

粗骨材の 最大寸法 (mm)	スランブ 値 (cm)	水セメン ト比 W/C (%)	細骨材率 s/a (%)	単位量(kg/m³)				
				水 W	セメント C	細骨材 S	粗骨材 G	混和剤
10	15.0	33.0	44.5	160.0	484.9	792.0	980.4	1.939

表-2-2 コンクリートの力学的性質

	材齢 28 日				三軸試験時				
	圧縮強度	ヤング係 数	ポア ソン 比	単位体積 質量	材齢	圧縮強度	ヤング係数	ポア ソン 比	単位体積 質量
	(N/mm²)	(kN/mm²)		(kg/l)	(日)	(N/mm²)	(kN/mm²)		(kg/l)
Series I	59.6	—	—	—	39	68.2	36.9	0.21	2.54
Series II	68.2	36.8	0.23	2.51	36	68.0	36.6	0.23	2.49

3. Rendulic 応力面上における終局強度の表示

1 主応力軸を含み他の 2 主応力軸と等角をなす平面を Rendulic 応力面といい、図-3-1 に示すように、この平面と終局強度曲面との交線が Rendulic 応力面上における終局強度包絡線である。八面体直応力(σ_{oct})が一定の場合、静水圧軸よりも上にある曲線は、八面体せん断応力が最大となる点(τ_{oe})に相当し、静水圧軸よりも下にある曲線は、八面体せん断応力が最小となる点(τ_{oe})に一致する。さらに、($\sigma_1 > \sigma_2 = \sigma_3$)の包絡線で $\sigma_2 = \sigma_3 = 0$ の場合、および($\sigma_1 = \sigma_2 > \sigma_3$)の包絡線で $\sigma_3 = 0$ の場合の終局強度はそれぞれ一軸圧縮強度(σ_c)および等二軸圧縮強度に等しい。

三軸圧縮試験で得られた Rendulic 応力面上の終局強度を図-3-2 に示す。普通強度のコンクリートに対して Rendulic 応力面上の終局強度包絡線は、八面体せん断応力(τ_{oe} , τ_{oc})と八面体直応力(σ_{oct})を用いて次式の二次放物線によって数式表示されて

いる^り。Rendulic 応力面上において八面体直応力と八面体せん断応力を用いた、終局強度包絡線の表示式と実験結果との比較を行った。図-3-2 から明らかなように、表示式は実験結果よりも終局強度を若干小さく評価する傾向にあるが、全体的にみると両者はほぼ一致することが示された。したがって、既存の表示式は、一軸圧縮強度が 60N/mm² 程度の高強度コンクリートに対しても十分に適用できると考える。

また、静水圧軸に垂直で八面体直応力(σ_{oct})が一定である平面を偏差応力面といい、普通強度のコンクリートの場合には、この面上における終局強度包絡線は中間主応力の影響を受けて正三角形を外側に膨らま

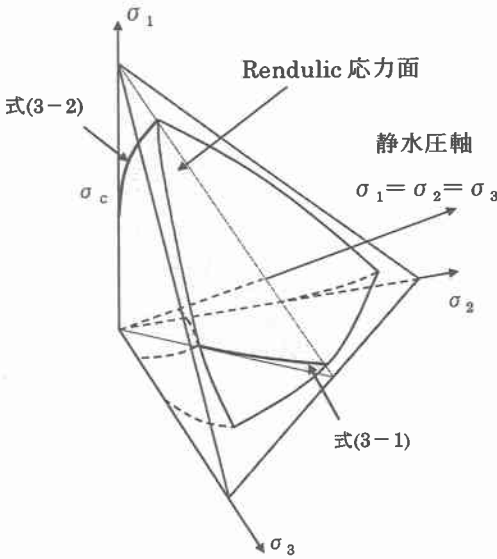


図-3-1 Rendulic 応力面の概念

せたような曲線を描くことが知られている²⁾。高強度コンクリートに対してもこの偏差応力面上の終局強度包絡線を得るために、試験を行う予定である。

$$\frac{\tau_{oc}}{\sigma_c} = 0.0689 + 0.6868 \left(\frac{\sigma_{oct}}{\sigma_c} \right) - 0.0964 \left(\frac{\sigma_{oct}}{\sigma_c} \right)^2 \quad (3-1)$$

$$\frac{\tau_{oc}}{\sigma_c} = 0.2040 + 0.8424 \left(\frac{\sigma_{oct}}{\sigma_c} \right) - 0.1204 \left(\frac{\sigma_{oct}}{\sigma_c} \right)^2 \quad (3-2)$$

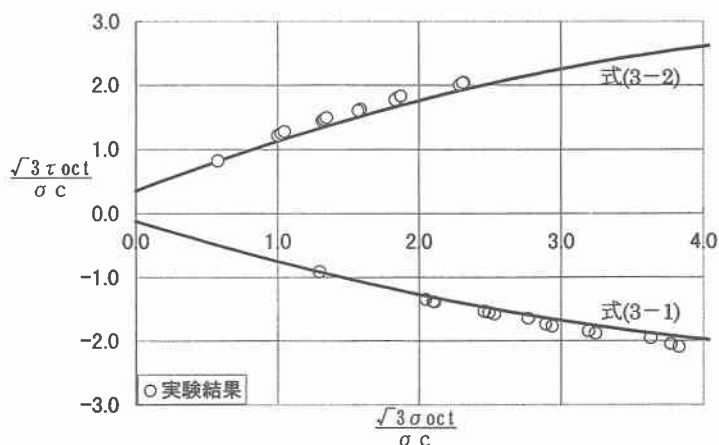


図-3-2 Rendulic 応力面における終局強度包絡線の表示

4. 三軸圧縮応力下の破壊形態および変形特性

側圧一定試験では、側圧が低い場合は最大主応力方向に沿った縦のひびわれが生じ、高い場合は最大主応力方向に対して斜めのひびわれが生じた。また、軸圧一定試験では、軸圧が低い場合は最大主応力方向に対して多数の斜めひびわれが生じたが、高い場合は最大主応力方向に沿った縦のひびわれが生じた。

Rendulic 応力面試験で得られた三軸圧縮応力下のコンクリートの応力-ひずみ曲線を、側圧一定試験については図-4-1 に、軸圧一定試験については図-4-2 に示す。これらの応力-ひずみ曲線の特徴は拘束圧の増加に伴い終局強度は一軸圧縮強度の数倍に達し、このとき主応力方向および拘束圧方向の終局ひずみが著しく増大することである。

高強度コンクリートの応力-ひずみ曲線は、一軸圧縮応力下においては脆性破壊型の挙動を示し、靱性が小さいことが知られている。しかしながら、三軸圧縮応力下においては拘束力が大きくなるにしたがい、マイクロクラックの成長が抑制されるために、コンクリートの性質は脆性から延性へと変化する。また、三軸圧縮試験では試験機の剛性が高いので、通常の一軸圧縮試験からは得られない応力-ひずみ曲線のひずみ軟化領域をも求めることができた。

三軸圧縮応力を受ける高強度コンクリートの軟化領域を含めた応力-ひずみ曲線の構成式に関しては今後の研究課題としたい。

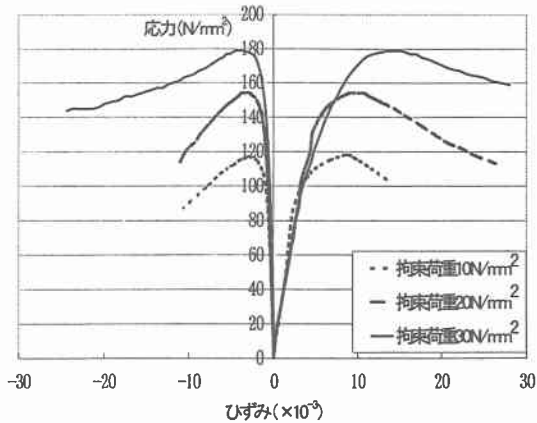


図-4-1 側圧一定破壊試験の応力-ひずみ曲線

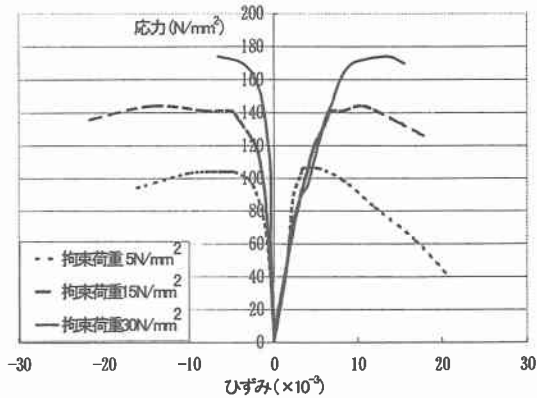


図-4-2 軸圧一定破壊試験の応力-ひずみ曲線

5. 結論

本研究から、以下の結論が得られた。

(1) 圧縮強度が 60 N/mm^2 程度の高強度コンクリートに対しても、普通強度のコンクリートと同一の表示式を適用して Rendulic 応力面上の終局強度を算定することができることが明らかにされた。

(2) 高強度コンクリートは一軸圧縮応力下では脆性的な挙動を示すが、三軸圧縮応力下においては脆性から延性へと変化し、著しい終局強度および終局ひずみの増加を示した。

参考文献

- 1) 大沼博志, 青柳征夫: 三軸圧縮応力下におけるコンクリートの強度特性, 電力中央研究所研究報告, No 381021, 1981 年 12 月
- 2) 石川徹也, 大沼博志: 三軸圧縮応力を受けるコンクリートの応力-ひずみ構成式, 土木学会北海道支部論文報告集(第 I, V, VI 部門), 第 54 号(A), pp.674-679, 1998 年 2 月
- 3) 畑中重光, 服部宏己, 近藤洋右, 谷川恭雄: 3 軸圧縮下の普通・高強度コンクリートの応力-ひずみモデル, コンクリート工学年次論文報告集 vol.13, No.2, pp.31-36, 1991