

V-105 シリカフュームを用いた超高強度コンクリートはりの 終局ひずみおよび耐力に関する研究

日本コンクリート工業 正会員 大橋 聡 同 正会員 小寺 満 同 正会員 土田伸治
明星大学 正会員 丸山武彦（元、日本コンクリート工業）

1. はじめに

近年、シリカフュームをコンクリート用混和材として用いることにより、圧縮強度が $1,000\text{kgf/cm}^2$ を超える超高強度コンクリートが比較的容易に得られるようになった。シリカフュームを用いたコンクリートの設計および施工に関して、土木学会から指針（案）¹⁾が出されているが、指針の適用範囲はコンクリートの設計基準強度で $600\sim 1,000\text{kgf/cm}^2$ となっている。これは、国内外において $1,000\text{kgf/cm}^2$ を超える実用例が少なく、また、コンクリートの性状が十分に把握されていない事等に配慮されていると思われる。

本研究は前報²⁾に引き続いて、 $1,000\text{kgf/cm}^2$ を超える超高強度コンクリートと高強度鉄筋とを組合せたRCはりの曲げ試験を通して、終局ひずみおよび曲げ耐力について検討したものである。

2. 実験概要

表-1 コンクリートの示方配合および養生方法の組合せ

2.1 使用材料および配合：コンクリートに使用した材料は、前報²⁾と同じもの（シリカフュームの SiO_2 含有率は94%）を使用し、配合を表-1に示す。高強度鉄筋として、異形PC鋼棒B種およびD種の2種類を用いた。

記号	スラブ 範囲 (cm)	W/C (%)	S/a (%)	シリカフューム率 (%)	減水 剤率 (%)	単位 C量 kg/m^3	*養生方法		
							W	S	A
C1	12±2	42.4	40.0	—	0.6	380	○	—	—
C2	12±2	30.0	42.0	15.0	2.9	400	—	○	—
C3	12±2	28.8	42.0	25.0	5.5	400	○	○	○
C4	12±2	24.0	42.0	30.0	8.0	500	—	○	—

*W：水中養生 S：蒸気養生 A：オートクレープ養生

2.2 試験体および試験方法：試験体の種類は表-2に示すように、コンクリート強度と養生方法および鋼材の組合せ6種類を各2体、合計12体とした。試験体の寸法は図-1に示すように、断面 $b \times h = 10 \times 15\text{cm}$ 、有効高さ $d = 10\text{cm}$ 、全長 $L = 200\text{cm}$ とした。主筋は1本とし、主筋径は曲げ圧縮破壊が先行するように選定した。単純曲げによる2点載荷の曲げスパン内にはスターラップを配置せず、せん断スパンには $\phi 6$ のスターラップを4cmピッチで配置した。

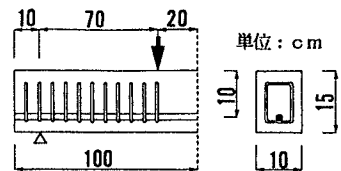


図-1 試験体の寸法形状

3. 実験結果および考察

材料試験と曲げ試験結果の一覧を表-2に示し、曲げモーメントとコンクリートの圧縮縁ひずみの関係を図-2に示す。コンクリートの圧縮強度と曲げ圧縮側の終局ひずみの関係を図-3に示す。

表-2 試験体の種類と試験結果

試験体 No	コンクリート試験 kgf/cm ²		鋼材試験 kgf/cm ²				RCはりの曲げ試験結果										
							曲げ終局ひずみ (μ)			実験値 Mu (tfm)			計算値		比率		
	f _c '	E _c ×10 ⁵	種類-径	f _{sy}	f _{su}	E _s ×10 ⁶	P _t P _b										
								1本目	2本目	平均値	1本目	2本目	平均値	Mud (tfm)	Mud' (tfm)	Mu Mud	Mu Mud'
C1W	718	4.17	D種-D13	14030	15170	1.98	0.976	3867	3775	3821	1.502	1.491	1.496	1.214	1.479	1.233	1.011
C2S	1099	4.26	B種-D23	10830	11850	2.07	1.342	4208	4021	4115	3.150	2.993	3.071	2.432	2.785	1.264	1.103
C3W	1298	4.39	B種-D26	10670	11820	2.07	1.435	3933	4139	4036	3.409	3.640	3.525	2.924	3.332	1.206	1.058
C3S	1242	4.11	B種-D26	10670	11820	2.07	1.517	3757	4149	3953	3.220	3.483	3.351	2.834	3.211	1.183	1.044
C3A	1597	4.55	B種-D26	10670	11820	2.07	1.180	4346	4417	4382	4.130	4.130	4.130	3.377	3.658	1.223	1.131
C4S	1678	4.64	B種-D32	10450	11640	2.16	1.449	4674	4451	4563	4.568	4.498	4.533	3.918	4.290	1.157	1.057

Mudはシリカフューム指針（案）¹⁾より計算し、Mud'は終局ひずみの実験値をシリカフューム指針（案）に適用した

図-2より、曲げモーメント～圧縮縁ひずみ曲線の始点からピーク時までの間は、比較的低強度のものはなだらかな曲線であるのに対して、コンクリート強度が増加するにしたがって直線に近くなる。また、図-3に示すようにコンクリート強度が増加するにしたがって曲げ圧縮側の終局ひずみも大きくなる傾向がある。これは筆者らが行った、一軸圧縮試験でのコンクリートの圧縮強度とその時点でのひずみの関係³⁾と同様の傾向を示している。すなわち、超高強度コンクリートの曲げ圧縮ひずみの最大値は強度にほぼ比例して増加し、一軸圧縮による最大応力時のひずみより常に大きく、強度が大きくなるほど、その差は減少する。図-3の回帰直線によると、圧縮強度が1000、1200、1400 kgf/cm²の場合の終局ひずみはそれぞれ 3900、4080、4260 μ となる。このように超高強度コンクリートの設計に用いる終局曲げひずみはその応力～ひずみ曲線の形とともに、強度の関数とすることが合理的であるが、そのためにはより多くのデータが必要となる。

超高強度RCはりの計算上の終局破壊曲げモーメントの計算値 (Mud) は、コンクリートの圧縮応力度の分布を等価応力ブロックと仮定して、式(1)により計算した。

$$Mud = k_1 \cdot \beta_1 \cdot f_{cd}' \cdot X \cdot b (d - k_2 \cdot X) \quad \dots\dots\dots (1)$$

ここで、シリカフュームを用いたコンクリートの設計・施工指針(案)から $k_1=0.85$ 、 $\beta_1=0.72$ 、 $k_2=0.36$ 、 $\varepsilon_u'=0.0025$ を用い、設計基準強度として、材料試験での実測値を用いて計算した。その結果、実破壊モーメント (Mu) はMudに対して 1.157～1.264の範囲となった。次にコンクリートの曲げ圧縮の終局ひずみの実測値を用いて計算した破壊曲げモーメント (Mud') の場合は、1.011～1.131の範囲となった。従って、指針(案)の終局ひずみ2500 μ を実測終局ひずみ(3820～4560 μ)として求めたMud'の値は約1割程度大きくなる。

以上の結果、本実験における超高強度コンクリートの曲げ耐力は、指針(案)における式を用いて、圧縮強度および終局ひずみに実測値を使用して推定できると思われる。しかしながら、指針(案)でもふれられているように、超高強度コンクリートを用いた場合、脆性的な破壊が懸念されるために、この点について十分考慮する必要がある。

4. まとめ

本実験の範囲での結果をまとめると次のようになる。

- ①モーメント～圧縮ひずみ曲線のピークに至るまでの過程は、比較的低強度なコンクリートはなだらかな曲線であるのに対して、コンクリートの強度が増加するにしたがって直線に近くなる。
- ②コンクリートの終局ひずみは強度が増加するにしたがって大きくなる。
- ③超高強度コンクリートのはりの曲げ圧縮耐力の算定には、終局ひずみを実測最大ひずみに置き換えても実破壊耐力を上廻ることはなかった。

【参考文献】1) シリカフュームを用いたコンクリートの設計・施工指針(案)、コンクリートライブラリ-80、1995.10

2) 小寺他：シリカフュームを用いた超高強度コンクリートに関する実験的研究、土木学会大会、1993

3) 土田他：シリカフュームを用いた超高強度コンクリートの応力・ひずみ曲線に関する実験、日本建築学会大会、1995

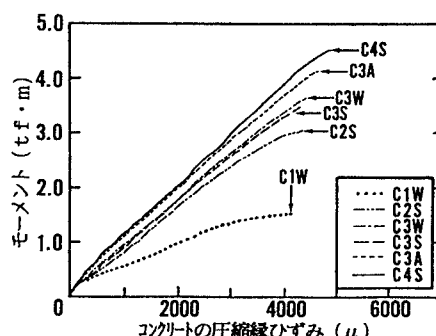


図-2 曲げモーメントとコンクリートの圧縮縁ひずみの関係図

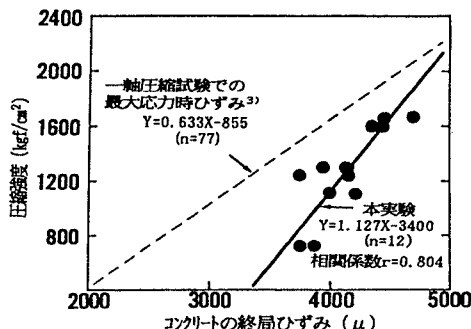


図-3 圧縮強度とコンクリートの終局ひずみの関係図