

V-6 軽量コンクリートを用いた鉄筋コンクリート部材のせん断強度に関する基礎研究

東京大学大学院 学生員 松貝 勇

1 まえがき

鉄筋コンクリート梁のせん断破壊は非常に複雑な現象であるため、そのせん断破壊機構に関する解明は現在なお不十分な状態である。特に軽量コンクリートを用いた梁のせん断性状は、普通コンクリートの梁以上に不明確な点が多い。本報告は、軽量コンクリート梁のせん断強さ・せん断破壊形式等のせん断性状に関して行なった基礎研究をとりまとめたもので、腹鉄筋を用いない矩形梁ならびにスターラップを配置した丁形梁のせん断試験の結果を、普通コンクリート梁の場合と比較して論じたものである。本研究を行なうに際し、東京大学国分正胤教授ならびに岡村 甫助教授より御指導を賜った。また、実験にあたっては土木教室コンクリート実験室の方々に多大の援助を頂いた。ここに厚く御礼申し上げます。なお、本研究に対し、昭和43年度吉田研究奨励金に授与されたことも深謝致します。

2 梁のせん断強さとせん断破壊型式について

せん断スパン長さと梁の有効高さとの比率 a/d が、梁のせん断性状に大きな影響を及ぼすことは、既に広く知られている。

筆者は、 a/d を 2.0 および 4.5 とした腹鉄筋のない矩形梁の載荷試験を行なって、せん断圧縮破壊を起こす場合、ならびに、斜引張破壊を起こす場合の両者について、軽量コンクリート梁(軽量梁)と普通コンクリート梁(普通梁)のせん断強さを比較した。

載荷試験の結果は表-2 に示すようである。各梁におけるコンクリートの圧縮強度 (σ_c) は 223~533 kg/cm^2 と相違しているので、下式によって σ_c が 300 kg/cm^2 の場合に換算した梁のせん断強さ T_{300} を用いて比較を行なった。

$$\text{せん断圧縮破壊: } T_{300} = T_u \times \frac{300}{\sigma_c}$$

$$\text{斜引張破壊: } T_{300} = T_u \times \sqrt{\frac{300}{\sigma_c}}$$

a/d を 2.0 とした場合には、梁はすべてせん断圧縮破壊を起こした。軽量梁の $T_u (=S_u/bd)$ は、普通梁の 117% であって、この場合軽量梁において T_u は幾分大きくなっている。

(表-1) 骨材の比重および吸水量

	粒 径 (mm)	軽量骨材M (非造粒型)	軽量骨材B (造粒型)	天然骨材N (富士川産)
比 重	15~10	1.37	1.52	2.65
	10~5	1.30	1.54	2.65
	5~	1.90	1.89	2.63
吸水量 (%)	15~10	16.3	16.6	1.20
	10~5	15.1	17.1	1.20
	5~	17.3	9.9	1.67

(表-2) 載荷試験結果 (腹鉄筋なし)

a/d	骨材	養生 日数	コンクリート強度 (kg/cm^2)		T_u (kg/cm^2)	T_{300} (kg/cm^2)
			σ_c	σ_t		
2.0	N	W*	316		31.2	29.6 > 33.9 38.2 (1.00)
		D	328	28.7	41.7	
	M	W*	293	26.0	35.7	36.4 > 39.6 46.2 (1.17) 36.1
		D	223	18.5	34.2	
		D	315	17.0	37.9	
		D	315	17.0	37.9	
4.5	N	W	328	30.6	14.4	13.9 > 13.9 13.8 (1.00)
		D	328	28.7	14.5	
	M	W	233	22.3	9.2	10.5 > 10.6 10.8 [0.76] 9.5 11.5 7.8 8.6
		D	223	18.5	9.5	
		W	305	20.8	9.6	
		D	266	18.3	10.4	
		W**	533	29.0	10.4	
		D**	519	18.2	11.3	
		W	21日			
		W*	7日			
		W**	56日			

注) W 21日 } 湿潤 D 14日 } 乾燥
W* 7日 } D** 49日 }
W** 56日 } $b \times d = 15 \times 16 \text{ cm}$, $p = 2.39\%$

しかし、せん断圧縮破壊の場合、斜ひびわれの (表-3) 粗骨材の影響

位置の相違などによって梁のせん断強度はかなり変動することとを考慮し、かつ、既往の研究結果を参照すれば、軽量梁のせん断強度は普通梁の場合とほぼ等しいものと考えることができる。

骨材	種類	σ_c (kg/cm^2)	σ_c (kg/cm^2)	斜ひびわれ時 τ_c (kg/cm^2)	破壊時 τ_u (kg/cm^2)
N	モルタル	344	31.5		11.6 (0.76)
	コンクリート	336	31.9		15.2
M	モルタル	279	25.5	8.5 (0.85)	10.8 (1.08)
	コンクリート	(279)		10.0*	10.0*

$$* \tau_c = \tau_u = 10.6 \times \sqrt{279/300}$$

α/d を 4.5 とした梁はすべて斜引張破壊を起しており、コンクリート強度が特に大きい場合 ($\sigma_c > 500 \text{ kg/cm}^2$) を除くと、軽量梁の τ_u は普通梁の 76% に低下している。

(表-4) 乾燥の影響

すなわち、コンクリートの圧縮強度を等しくすれば、コンクリートが圧縮破壊するせん断圧縮破壊の場合には、軽量梁のせん断強度は普通梁とほぼ等しいが、コンクリートが引張破壊する斜引張破壊の場合には、軽量梁のせん断強度は普通梁の約 75% に低下することが示されたのである。

骨材	養生	σ_c (kg/cm^2)	σ_c (kg/cm^2)	τ_u (kg/cm^2)
N	W	328	30.6	14.4
	D	328	28.7 (0.94)	14.5 (1.01)
M	W	233	22.3	9.2
	D	223	18.5 (0.83)	9.5 (1.03)
	W**	533	29.0	10.4
	D**	519	18.2 (0.63)	11.3 (1.09)
B	W	305	20.8	9.6
	D	266	18.3 (0.88)	10.4 (1.08)

3 粗骨材のかみあいが梁のせん断強度に及ぼす影響

水中養生を行なった場合、軽量コンクリートの引張強度は、圧縮強度を等しくした普通コンクリートの引張強度とほぼ同程度であるといわれていること、また、4.1に述べるように、梁のせん断強度は乾燥による引張応力の悪影響をほとんど受けないことも考え合わせると、斜引張破壊する軽量梁のせん断強度が普通梁に比べて小さいのは、主として、軽量骨材と河川産骨材との品質の相違によるものであることが推測される。すなわち、普通コンクリートを用いた梁では曲げひびわれが粗骨材を横切ることは少ないので、粗骨材のかみあいにより、ひびわれが生じてもせん断力を伝達することとができるが、軽量骨材はセメントペーストとの付着が良好である反面、骨材自身の強度は小さいので、軽量梁に載荷する場合、粗骨材粒が破断し曲げひびわれは粗骨材を横切って発達することが多く、骨材のかみあいによって伝達されるせん断力はかなり小さくなる。そのため、曲げひびわれ先端部のコンクリートに発生する斜引張応力は軽量梁において大きくなり、曲げひびわれが斜ひびわれに発達しやすくなるものと考えられるのである。

上述の考察を検討するために、普通モルタル、普通コンクリートおよび軽量モルタルを用いた梁 ($\alpha/d = 4.5$) の試験を行なった。載荷試験の結果は表-3のようである。

普通モルタルを用いた梁の τ_u は、普通コンクリート梁よりも約 25% 小さく、軽量コンクリート梁の τ_u とほぼ等しい値であった。軽量モルタルを用いた梁は、他の梁とは異なってせん断圧縮破壊を起したが、この場合にも、斜ひびわれ発生時のせん断応力度 τ_c は、軽量コンクリート梁の $\tau_u (= \tau_c)$ の計算値よりも 15% 低下した。

これらの結果は、粗骨材のかみあいが梁のせん断強度に大きな影響を及ぼしていることを示してお

り、軽量梁のせん断強さが普通梁よりも低下する理由の一つは、軽量粗骨材が弱く、軽量コンクリートの斜めがわれに対する抵抗が小さいためであることも示唆している。

4 乾燥が軽量鉄筋コンクリート梁のせん断強さに及ぼす影響

軽量コンクリートは乾燥による引張強度の低下が著しいので、軽量梁のせん断強さも乾燥によって低下することが懸念される。しかし、コンクリートの圧縮によって破壊に至るせん断圧縮破壊の場合には、乾燥による引張強度の低下が梁のせん断強さに及ぼす影響はきわめて小さいものと考えられ、既往の研究結果からこのような傾向が認められる。一方、斜引張破壊の場合には、乾燥による引張強度の低下の影響が著しいことが予測されるのであるが、このような場合について乾燥の影響を検討した実験はきわめて少ない。ここでは、 q/α が大きく、斜引張破壊を起こす場合について、乾燥が梁のせん断強さに及ぼす影響を検討したのである。

表-4は、 q/α を4.5とした場合の試験結果である。7日間湿潤養生を行なった後、恒温室(20℃ RH50%)内で14~49日間乾燥させた鉄筋コンクリート梁と、湿潤養生を継続した鉄筋コンクリート梁の T_u はほぼ等しく、その比率は普通コンクリートの場合に101%、軽量コンクリートの場合には103~109%であった。一方、乾燥供試(φ15×15)の引張強度は湿潤供試体よりも小さく、普通コンクリートでは湿潤供試体の94%、軽量コンクリートでは湿潤供試体の63~88%であった。すなわち、コンクリートを乾燥させると、引張強度は低下したが、梁のせん断強さは全く低下しなかったのである。

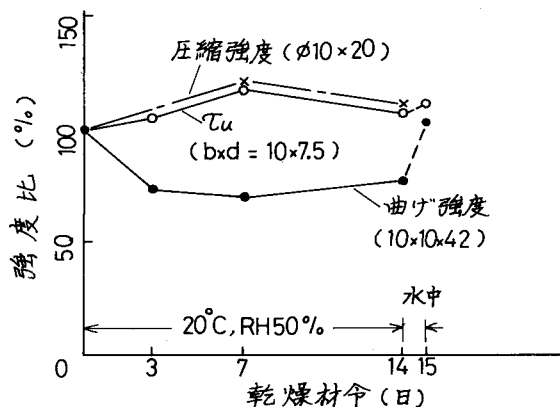
この結果は従来定説と著しく相違するので、さらに小型の梁($q/\alpha=6$, $p=1.9\%$)の試験も行なって、乾燥が軽量梁のせん断強さに及ぼす影響を検討した。すなわち、コンクリート打設後7日向水中養生を行なった後、所定材令まで恒温室内で乾燥させた場合、ならびに、14日間乾燥させた後1日向水中に浸した場合について、梁のせん断強さとコンクリートの曲げ強度とも試験したのである。

図-1に示されたように、コンクリートの曲げ強度は7日間の乾燥によって30%低下している、また、乾燥後1日向水中に浸すことにより7日強度の103%にまで回復している。しかし、軽量梁のせん断強さは乾燥させても低下せず、また、水中に浸してもほとんど増加していない。

これらの結果は、乾燥によってコンクリート表面部に発生する引張応力が軽量梁のせん断強さにはほとんど影響を及ぼしていないことを明瞭に示すものである。せん断圧縮破壊の場合に乾燥による強度低下が起こらないのはむしろ当然であるが、コンクリートの引張強度の影響が著しいと考えられる斜引張破壊の場合においてさえ、乾燥に伴うせん断強さの低下が全く認められなかったことは注目に値する。

この原因は以下のものであると思われる。すなわち、引張供試体・曲げ供試体はひびわれの発生によって直ちに破壊するので、このような場合には、乾燥によってコンクリート表面部に発生している引張応力の影響が著しく現われるのである。一方、鉄筋コンクリート梁の

(図-1) 乾燥の影響



場合には、曲げひびわれの発生によってコンクリート表面部の引張応力が解放された後にせん断破壊を起すので、この種の内部応力の影響がさめて小さくなったものと考えられる。本実験に用いた梁は鉄筋量が比較的多いので、鉄筋量が少ない梁でも全く同様の結果が得られるとは限らないが、乾燥収縮による引張応力はせん断耐力に余り影響しないことが示されたのである。

5 せん断補強程度の相違が梁のせん断強さに及ぼす影響

腹鉄筋がない軽量梁のせん断試験はこれまでにかなり行なわれているが、腹鉄筋を配置した場合の実験は少なく、軽量梁における腹鉄筋の効果については不明な点が多い。既往の研究によれば、普通コンクリート梁においては q/d の値、および、せん断補強の程度が変わると、腹鉄筋の補強効率も相違することが認められている。そこで、代表的と考えられる各種の場合について軽量梁と普通梁とのせん断強さを比較するために、 q/d が小さい場合(2.0)と比較的大きい場合(4.0)とについて、せん断補強程度を2種($Kr\sigma_{ty} = 11.6, 58.2 \text{ kg/cm}^2$)に変化させたT形梁の試験を行なったのである。

載荷試験の結果は図-2に示すようである。軽量梁のせん断強さは、試験したいずれの場合においても普通梁より小さかった。せん断補強程度がかなり小さい場合には($Kr\sigma_{ty} = 11.6 \text{ kg/cm}^2$)、梁はすべてスターラップが降伏した後にせん断破壊を起した。この場合、軽量梁の $T_u (= S_u/bd)$ は普通梁の約90%であって、せん断スパン比(q/d)の影響はほとんど認められなかった。

せん断補強程度を著しく大きくした場合($Kr\sigma_{ty} = 58.2 \text{ kg/cm}^2$)には、 q/d を4とした普通梁は曲げ破壊を起したが、その他の梁は、スターラップが降伏する以前にせん断破壊を起している。軽量梁と普通梁の T_u の比率は約85%であって、スターラップが降伏した後にせん断破壊を起す場合よりも低下している。せん断スパン比はこの場合にもほとんど影響を及ぼしていないものと考えられる。

これらの実験結果により、せん断スパン比の大小、あるいは、せん断補強程度の大小に拘らず、軽量梁のせん断強さは普通梁よりも低下すること、さらに、せん断補強程度が大きい場合にはこの傾向がより著しくなるが、せん断スパン比の値は軽量梁と普通梁のせん断強さの比率にあまり影響を及ぼさないことが認められたのである。

参考文献

村田二郎、軽量鉄筋コンクリート桁の曲げおよびせん断試験、構造用軽量骨材シンポジウム、日本ACI、昭和39年

四本亮光他、物領橋床版の軽量コンクリートに関する研究、コンクリートライブラリー 第24号

桧貝 勇、軽量鉄筋コンクリート桁のせん断強度について、コンクリートライブラリー 第24号、1969

