

# 高強度軽量コンクリート梁の曲げ耐力に関する研究

山 本 英 一

**Study on bending strength of high strength light weight concrete beam.**

Eiichi YAMAMOTO

This paper describes the bending strength of a high strength concrete beam, and discuss quantitatively the capability of this beam as a main structural member of decreasing dead load and increasing the strength against surcharged load in a multi storied reinforced concrete building. Thus, we describe the behavior of concrete specimens with a compression strength of approx. 600kgf/cm<sup>2</sup> and a specific density of 1.7 in the bending region.

## 〔I〕 序 論

今日RC造における超高層建築は、様々な努力を重ねながら、一応30階程度のものを可能とした。しかしながら、現状は未だ幾多の問題点を残しているが、其の最たる原因が主材であるコンクリートの重量の大きさにあり、これが要因となって主要材の断面形状に制約をきたし、結果として空間構成までが限定されるのである。斯様な点から、今後のRC造の超高層建築の発展性の一面を考えると、コンクリートの重量軽減、且つ所要強度の増長は必要条件であると言える。従って本研究では、これらの諸点より、人工軽量骨材による高強度軽量コンクリートの活用を試み、其の活用範囲について言及しようとするものである。今回は特にRC梁の曲げ実験から、曲げ領域に於ける初期の性状と、終局時での曲げ耐力等に関して考察を行い、普通コンクリート梁との比較より、其の差異について量的に検討し報告するものである。

## 〔II〕 実験概要

本研究の主たる目的の一つとして、軽量コンクリートの高強度化にあるが、今回の実験に於いては概略的な目標値を次の様に定めた。即ちコンクリートの密度を1.7前後とし、且つ、圧縮強度を500kgf/cm<sup>2</sup>～600kgf/cm<sup>2</sup>とした。尚この目標値については軽量コンクリートの場合、単に水セメント比の変化だけでは得られないので、併せて富調合によるセメントペーストにて強度の増加を図ることとした。以上の点に考慮して調合を行なった。次に曲げ試験に於いては、曲げ耐力と

其の挙動の把握にあるが、本報告では、せん断スパン比を1.0, 2.0, 3.0の3種として実験を行ない、考察検討を加えることとした。

### 1. 使用材料

本報告に於ける主な実験材料はつぎの通りである。

人工軽量骨材	(非造粒型)	N社製
粗骨材	絶乾比重	1.25
細骨材	絶乾比重	1.68
天然骨材	福井県九頭竜産	
セメント	普通ポルトランドセメント	
鉄筋	SD30	SR24
混和剤	高性能減水剤	K社製

### 2. 供試体と試験方法

#### 供試体

予備試験用としては、 $\phi 100 \times 200$ のシリンドラ、及び $100 \times 100 \times 400$ の長方体を使用した。

曲げ試験用としては、

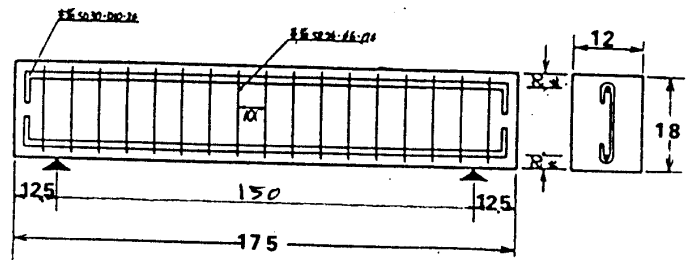
断面  $b \times D = 120 \times 180$  (mm) で

材長  $L = 1750$  (mm) とし、3種のせん断スパン比に応じて製作した。(図1)

#### 試験方法

図2の如く2点集中荷重にて载荷し、供試体のせいを  $d$ 、支点と载荷点間を  $a$  とし、 $a/d = 1.0, 2.0, 3.0$ のせん断スパン比に対応して曲げ試験を行った。

载荷中の供試体の変位量に関しては、歪をワイヤーストレングージにて測定し、たわみに就いてはダイヤルゲージで測定した。



主筋 D10-2  
肋筋  $\phi 6$

図1

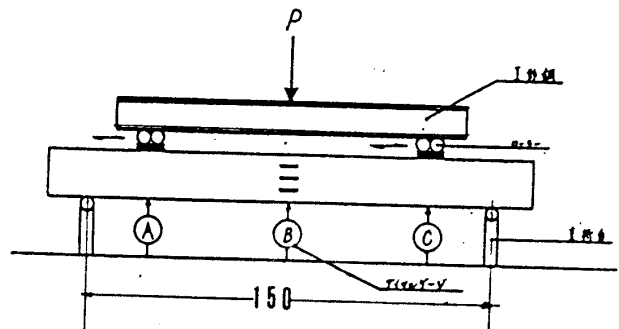


図2

### 3. 調 合

水セメント比を決定するに当たって、先ず圧縮強度 ( $F_c$ ) の上限を  $650 \text{ kgf/cm}^2$  を目標値に定め算定した。即ち、

$$x = \beta 61 / (F/K + 0.34) \text{ より } x = 26.1\% \text{ を得た。 (但し, } \beta = 0.9)$$

しかし、26.1%の水セメント比は実際的ではないので、今回の実験に於いては、30%、35%、40%の3種の中から、施工性の良好なもの、且つ硬化時の特性に関して優れたものを選択することとした。尚、単位水量を $210\text{ l/m}^3 \sim 160\text{ l/m}^3$ とし、単位セメント量は、単位水量より算出した。表1に調合表を示す。

表1 調合表

種別	W/c (%)	水セメント比 (%)	細骨材率 (%)	重量 (kg/m <sup>3</sup> )				混和剤 (%)
				水	セメント	細骨材	粗骨材	
R	30	42	210	700	387	398	3.0	
			38	190	633	377	457	3.1
			38	160	533	416	505	3.8
	35	45	210	600	439	399	3.0	
			40	190	542	415	464	3.0
			40	160	457	454	507	2.0
	40	48	210	525	487	393	1.5	
			43	190	475	462	456	1.5
			42	160	400	489	502	2.5
W	30	40	173	577	629	961	3.0	

R…高強度軽量コンクリート

W…高強度コンクリート

### 〔Ⅲ〕 実験結果

#### Ⅲ-1 予備実験

##### 硬化前について

単位セメント量を平均 $550\text{ kg/m}^3$ と富調合にした為、結果的に粘性の高いコンクリートとなり、打設時での作業性を比較的容易にした。尚、パイプレーター等の加振機のかけ過ぎは、比重の小さい粗骨材の浮上をもたらし、材全体の均一を欠く要因ともなった。

スランプは、混和剤にてコントロールし、平均 $18\text{ cm}$ とした。又、空気量については、 $4\% \sim 7\%$ と、ばらつきが目だった。

##### 硬化後について

##### — 圧縮強さ —

表2に示す如く、当初の予想通り、材例28日強度は $400\text{ kgf/cm}^2$ 程度の強度は安定的に得られた。又、図3で明らかのように、強度は35%時でピークとなり、其の後は下降し強度の伸びは見られなかった。

これらの諸点より、曲げ試験用の調合として、水セメント比35%（呼称21）のものを使用する

表2 コンクリート試験表

種 別	水 セ メ ン ト 比 W/c (%)	呼 称	ス ラ ン プ (cm)	圧縮強度 (kg/cm <sup>2</sup> )		引張強度 (kgf/cm <sup>2</sup> )	弾性係数 (×10 <sup>5</sup> kgf/cm <sup>2</sup> )	密 度 (t/m <sup>3</sup> )
				材令7日	材令28日			
				R	30			
19	17.0	500	565			27.1	2.1	1.75
16	15.5	450	514			19.7	1.8	1.70
35	21	20.0	523		615	31.2	2.2	1.73
	19	18.0	467		579	26.0	2.0	1.72
	16	15.0	410		531	21.0	1.9	1.70
40	21	20.5	481		553	29.0	1.9	1.68
	19	15.5	437		520	22.0	1.9	1.67
	16	16.0	376		408	19.5	1.8	1.62
W	30		15.5	531	610	45.2	3.4	2.31

R…高強度軽量コンクリート

W…高強度コンクリート

こととした。

— 弾性係数 —

圧縮時での弾性係数は(表2)に示す通りで、2.2~1.8(×10<sup>5</sup>kgf/cm<sup>2</sup>)の値を得た。(図4)は水セメント比35%時での応力—ひずみ曲線図であるが、プレーンコンクリートとは明らかに差異が生じ、立ち上がりより歪が大きく生じた。この点からも弾性係数の伸びは期待出来ないようである。

— 引張強さ —

(表2)及び(図5)にて明らかなように、各シリーズ共ほぼ20kgf/cm<sup>2</sup>~30kgf/cm<sup>2</sup>の引張強さを得たが、水セメント比との間にはさほど関係はないようであった。

しかし、単位セメント量との間には割合い量的な変化が見られるので、引張強度に於いても、セメントペーストで強度が支配されると云えるのである。

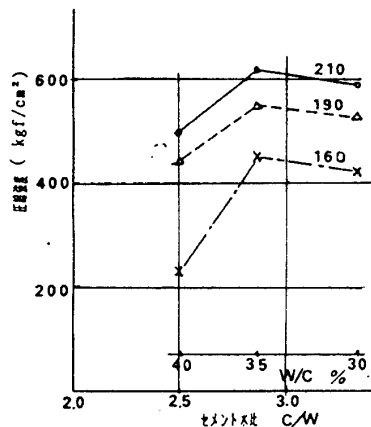


図3 圧縮強度と水セメント比の関係

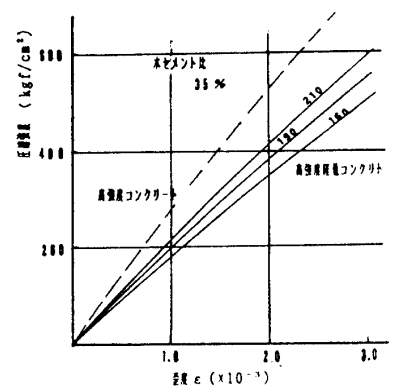


図4 応力—歪み曲線図

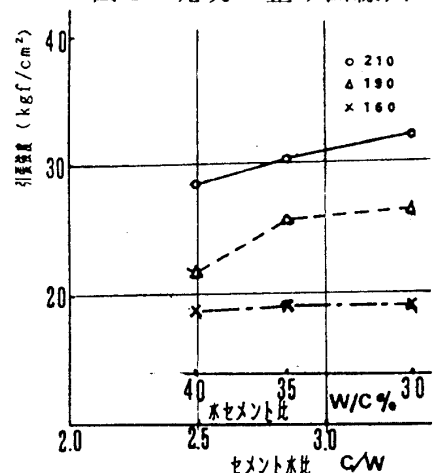


図5 引張強度と水セメント比の関係

Ⅱ-2 RC梁の曲げ試験

(図2)に示したように、せん断スパン比(a/d)を1.0, 2.0, 3.0として2点荷重により曲げ実験を行ったものであるが、其の結果は(表3)に示す通りである。

とくに今回の実験の場合、高強度軽量コンクリートの曲げ特性に就いて明らかにしたい為、初亀裂発生時と終局時について示したものである。

尚、高強度軽量コンクリートの特性をより明確にする為、同形状の高強度コンクリートの梁についても同一条件で実験を行った。

各供試体の記号、番号は次の通りである。

高強度コンクリート……………W 1, W 2, W 3

高強度軽量コンクリート……………R 1, R 2, R 3

添字の数字は、せん断スパン比を示す。

又、Mce, Mc, は実験値, 理論値を示す。

— 初亀裂発生時について —

表3 曲げ実験結果表

種別	コンクリート			曲げモーメント									
	圧縮強度 kgf/cm <sup>2</sup>		弾性係数 ×10 <sup>5</sup> kg/cm <sup>2</sup>	初亀裂時 t m					終局強度 t m				
	圧縮	ひび割れ		実験値 Mce	理論値 Mc	Mce Mc	R/W		実験値 Mue	理論値 Mu	Mue Mu	R/W	
			Mce				Mc	Mue				Mc	Mue
W 1	747	49.2	3.40	0.33	0.36	0.94	/	/	0.73	0.51	1.44	/	/
W 2	664	46.4	3.53	0.29	0.34	0.86	/	/	0.66	0.48	1.36	/	/
W 3	590	43.7	3.34	0.27	0.32	0.85	/	/	0.51	0.47	1.10	/	/
R 1	575	30.8	2.14	0.18	0.22	0.82	0.55	0.61	0.61	0.46	1.33	0.84	0.91
R 2	556	31.2	2.07	0.21	0.23	0.91	0.72	0.68	0.54	0.46	1.17	0.81	0.94
R 3	558	28.5	2.10	0.14	0.21	0.67	0.52	0.66	0.49	0.46	1.07	0.96	0.98
備考	W, 2, 3 ……………高強度コンクリート						断面 b × d = 12 × 16 (cm) 鉄筋 SD30 pt = 0.37 (%) σy = 3800 (kgf/cm <sup>2</sup> )						
	R 1, 2, 3 ……………高強度軽量コンクリート												

初亀裂発生までの耐力については、高強度コンクリートの場合、理論値とほぼ近似した値を得たが、高強度軽量コンクリートについては、理論値の0.67~0.91とバラツキもあり、若干低めの結果となった。一方高強度コンクリートとの比較では、せん断スパン比1.0の場合で55%、2.0で72%、3.0で52%と、予想の60%をやや下回った。(図6, 図7)

— 終局強度について —

個々の終局時の曲げ耐力については、(表3)に示す通りであるが、特徴的な性状として、高強度コンクリー

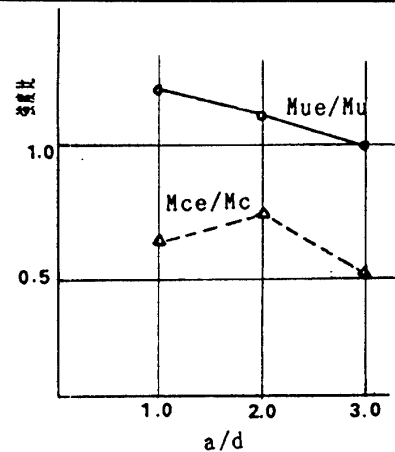


図6 a/dにおける強度比の変化

トの場合でも、高強度軽量コンクリートの場合でも、実験結果は全て理論値より上回った。(図6, 図7)。

とくに、高強度軽量コンクリートに於いては、せん断スパン比1.0→1.33, 2.0→1.17, 3.0→1.07と比較的良好な結果を得た。又、高強度コンクリートに対する強度比に就いても、理論値が90%強、実験

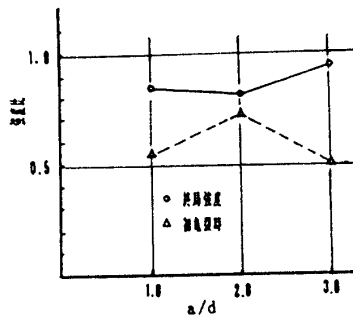


図7 高強度コンクリートと高強度軽量コンクリートとの強度比

値が80%以上という好結果が得られた。尚、せん断スパン比が3.0の場合、高強度コンクリートと高強度軽量コンクリートとの終局強度が殆ど同様であった。(図8)

— たわみに関して —

図9に於いて梁中央部のたわみを示したが、図より明らかな如く、高強度軽量コンクリートの場合が、荷重に対してきわめて敏感に反応し、初期の段階よりたわみが顕著であった。初亀裂発生時でのたわみ量は、3シリーズとも高強度コンクリートの場合の約2倍程度であった。これは材の密度と弾性係数に起因するものと推測される。

— 亀裂発生状況について —

図10は亀裂発生状態を図示したものであるが、各図より明らかなように両者の比較では、高強度軽量コンクリートの供試体の方に亀裂数がかかなり多く見られ、目視可能な範囲では、せん断スパン比1.0と2.0の場合で約2倍、3.0で2.5倍の発生数であった。また亀裂幅については、亀裂数が多い分だけ小さく、終局時でも極端に幅の大きい亀裂は発生しなかった。これは、多孔性の人工軽量粗骨材を使用した結果、コンクリートの性質が骨材で左右されなくなり、或る程度の均一性を生み出したことに起因するものと推測される。

〔IV〕 結 論

今回の実験過程と結果から、概ね次のようなことが言え

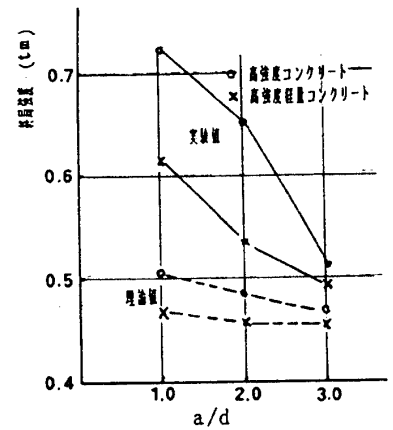


図8 a/dと終局強度の変化

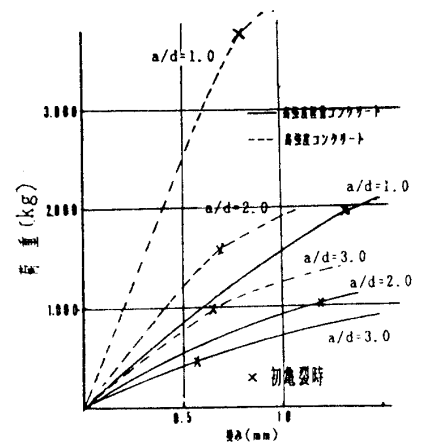


図9 a/dの変化による梁中央の撓み

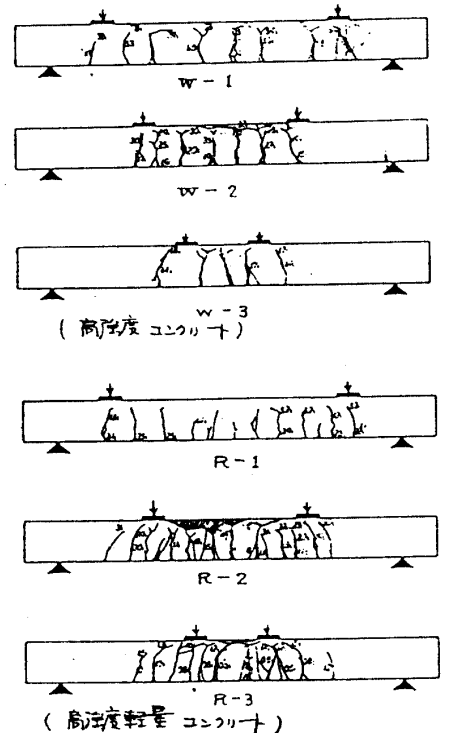


図10

る。

- (1) 圧縮強度 $550 \text{ kgf/cm}^2$ 程度を安定的に得ようとする場合、水セメント比を35%内外とし、そのときのセメントペーストの容積比を35%~40%とする必要がある。
- (2) 引張強度の伸びは圧縮強度に比較して、大きな伸長はなく期待出来ない。
- (3) 圧縮時の歪は、破壊時に於いて高強度コンクリートの1.45倍生じた。この原因は、多孔質粗骨材の密度の低さによるものである。これを改善するには粗骨材表面の硬化処理を行うことが考えられる。
- (4) 曲げ試験での初亀裂発生は、予想に反して早めに生じたようである、このことより、ひび割れ強度は $1.3\sqrt{F_c}$ 程度と推測れる。
- (5) 曲げ試験における終局強度が、理論値より上回った点は、おそらく、圧縮鉄筋も終局時には引張側に転化し、元の引張鉄筋と共に曲げに抵抗したものと考えられる。
- (6) 高強度軽量コンクリートのひび割れが、せん断スパン比の如何に関わらず、高強度コンクリートに比べ、割合均等に生じた。これは、偏った応力集中が無かったこと意味するものと考えられる。

以上の諸点より、軽量コンクリートの強度を増長させることより、主構造材として、特に曲げ材として活用の可能性が見いだせるたと言える。

#### 参 考 文 献

- 1) 山本英一 高強度軽量コンクリートの物理的性情に関する研究 福井工業大学研究紀要 第18号 1988
- 2) 山本英一 高強度軽量コンクリートに関する研究(曲げ領域での挙動について) 日本建築学会北陸支部研究報告 第31号 1988
- 3) 日本建築学会 鉄筋コンクリート構造計算基準 同解説
- 4) 山本常夫 高性能減水剤 コンクリート工学, Vol.26, No.3, 1988