軽量プレテンけたの載荷試験*

小林 峰 夫**

The Loading Tests of Pretensioning Prestressed Concrete Girder with Artificial Lightweight Aggregates

by

Mineo KOBAYASHI

(Planning Section, Oriental Concrete Co., Ltd., Osaka)

Recently, artificial lightweight aggregate has often been used in preparation of lightweight concrete for civil engineering structures, particularly as prestressed concrete structures.

It is the objects of the present study to examine several behaviors of lightweight concrete girders, in respect of its elastic limit, flexural and shearing strength, and the results of the examination are discussed in comparison with the results of examination made of the behaviors of normal concrete girders.

The specimens which are made from normal concrete and three kinds of artificial lightweight concrete, having 0.5 meters height of T-shape section and 8.4 meters length, which are specified in JIS A 5316, are tested under static load to failure with various loading conditions as follows.

The flexural test has been carried out by the method according to JIS, having two central loads and 1.0 meter interval, the ages of specimens are 28 days.

The shearing test has been carried out by two central objective loads and their situation has been decided according to the ratio of the shear span to the effective depth a/d , such as 2, 3, 4 and 6. The ages of the specimens are 122 to 156 days when the shear loading tests are practiced.

The results obtained from these tests are discussed in comparison with those of normal concrete, and the main results are as follows ;

- (1) The behavior of the flexural crack of the lightweight concrete girders is less than the normal one and its ratio is about 75 percents.
- (2) The girders with lightweight concrete has almost the same ultimate flexural strength properties as normal concrete girders and may be used with sufficient safety.
- (3) As to the shearing strength against cracking and breaking, the lightweight concrete girders show about 70 to 80 percent rate of normal concrete girders.

(Received Sep. 30, 1968)

1 ま え が き

軽量コンクリートの土木構造物への応用は近年急速に発展し、プレストレストコンクリートにもしだいに利用されるようになってきた。阪神高速道路公団でも最近短径間のプレテンションけたを用いた高架橋の計画が漸次進められている。

本実験では軽量コンクリートを用いたPCプレテンションけたについて、曲げおよびせん断載荷試験を行ない、弾性領域におけるけたの挙動、曲げ耐力、せん断耐力などについて、従来の普通コンクリートのそれらに比べどのような傾向を示すかを検討した。以下これら実験の結果について述べる。

2 材料および供試体

本実験に使用したセメントは早強ポルトランドセメント（小野田セメント社製）、骨材は普通コンクリートに愛知川産粗骨材、野洲川産細骨材（以下Nと略称）軽量コンクリートには人工軽量粗細骨材アサノライト（非造粒型、日本セメント社製、以下Aと略称）、ライオナイト（造粒型、大阪セメント社製、以下Lと略称）メサライト（非造粒型、三井金属社製、以下Mと略称）をそれぞれ使用した。これらの物理的性質を Table I に示す。使用したPC鋼材は $\phi 9.3$ mm の7本よりストランド（神鋼鋼線鋼索社製）でその機械的性質は引張荷重 9810 kg、降伏点荷重 9000 kg、破断時伸び 7.3%、リラクゼーション 1.3%である。

供試体は JIS B-108 S に規定されている断面形状

* 原稿受理：昭和43年9月30日

** オリエンタルコンクリート(株)大阪営業所 大阪市北区芝田町

Table I. Physical properties of used aggregate.

Corase aggregate											
Kinds of aggregate		Specific gravity		Water absorp. (%)	Bulk density (kg/m ³)	Grading (retaining % by weight)					Fineness modulus F.M.
		Saturated surface dry	Oven dry			25	20	15	10	5	
Normal	Echigawa	2.66	—	0.8	1680	100	86.5	68	23	0.4	6.90
Lightweight	Asanolite	1.54	1.42	8.98	860	100	100	100	68	0	6.32
	Lionite	1.40	1.36	2.77	880	100	100	100	57	0	6.43
	Mesalite	1.22	1.12	8.67	730	100	100	100	52	2	6.46

Fine aggregate											
Kinds of aggregate		Specific gravity		Water absorp. (%)	Bulk density (kg/m ³)	Grading (retaining % by weight)					Fineness modulus F.M.
		Saturated surface dry	Oven dry			5	2.5	1.2	0.6	0.3	
Normal	Echigawa	2.58	—	1.67	1670	99.4	92.2	68.2	31.9	9.5	2.2
Lightweight	Asanolite	1.79	1.65	8.35	1030	100	93	60	45	20	2.84
	Lionite	1.96	1.90	3.09	1250	100	76	51	38	30	2.88
	Mesalite	1.87	1.61	16.14	1110	100	88	57	34	20	2.93

のものを使用し、その構造図をFig. 1に示す。これの製作本数は各軽量コンクリートけたに対しそれぞれ6

本、普通コンクリートけたに対し3本の合計21本である。

3 載荷試験方法および測定項目

3・1 曲げ載荷試験

曲げ載荷試験はコンクリートの材令28日に実施し、JIS で定められている試験方法により、Fig. 2に示すような載荷試験装置を用いて中央2点対称集中荷重載荷を行なった。曲げ載荷試験におけるおもな測定項目は、JIS に規定されている載荷試験方法によるけたのひずみおよびたわみの測定、ひびわれ発生荷重から有効プレストレスを推定しひびわれ耐力を検討すること、さらにひびわれの進行状況と破壊荷重の測定によって破壊耐力を検討することである。なお、曲げ試験には同一種類の骨材によるけた2本を供した。

3・2 せん断試験

せん断試験はコンクリートの材令122～156日の間に実施した。試験方法はFig. 3に示

Fig. 1. Dimension of specimen.

Fig. 2. Loading apparatus for bending test.

Fig. 3. Loading apparatus for shear test.

すように対称2点荷重とし、荷重位置と斜め引張りひわれあるいは破壊荷重との関係を知るため、せん断スパンと有効高さとの比、 a/d を2, 3, 4, 6に選んだ。せん断試験における試験項目は、主応力および曲げ応力度の測定、初ひびわれ荷重および破壊荷重の測定、ひびわれ進行状況および破壊状況の観察である。

4 実験結果

4・1 曲げ載荷試験

PCけたの曲げ載荷方法は、JISの規定に基づきFig. 2に示した装置を用い、また荷重は容量50 tのロードセルを用いて確認した。以下本実験で行なった各種の測定結果について述べる。

4・1・1 初ひびわれおよび再びひびわれ荷重について PC鋼線の有効引張応力 σ_{pe} は初期緊張応力 σ_{pi} から各種の損失量、すなわち鋼線のリラクゼーションによるもの $\Delta\sigma_r$ 、導入時コンクリートの弾性変形によるもの $\Delta\sigma_e$ 、コンクリートのクリープ乾燥収縮によるもの $\Delta\sigma_{\varphi}$ を差し引いて求められる。ここで、 $\Delta\sigma_e$ は実測弾性係数を用い($n=E_p/E_c$)で

$$\Delta\sigma_e = n \cdot A_p \cdot (\sigma_{pi} - \Delta\sigma_r) \left(\frac{1}{A_c} + \frac{e_p^2}{I} \right) \quad (1)$$

で、また $\Delta\sigma_{\varphi}$ は最終クリープ係数 $\varphi=1.5$ (軽量)、 $\varphi=2.0$ (普通)と仮定し、さらに載荷時(材令28日)において普通コンクリートはそれの2/5、軽量コンクリートはそれの1/3が経過しているものと仮定し、また乾燥収縮はいずれのコンクリートにおいてもその最終値 2.0×10^{-4} の1/3が経過しているとして、さらに弾性係数比は材令28日実測弾性係数を用いて

$$\Delta\sigma_{\varphi} = \frac{n \cdot \varphi_t \cdot \sigma_{cp} + E_p \cdot \epsilon_{st}}{1 + \frac{n \sigma_{cpt}}{\sigma_{pt}} \left(1 + \frac{\varphi_t}{2} \right)} \quad (2)$$

で求められる。これらの式を用いて載荷試験当日および最終材令における有効張力、有効係数を求めてTable IIに示した。

次に、実測ひびわれ荷重から計算した実測ひびわれモーメントと弾性理論による計算ひびわれモーメントを比較すると、Table IIIのようになる。さらに、実測再びひびわれ荷重から計算した有効張力および有効係

Table II. Effective stress and efficiency of stress at the age of 28 days and the infinity.

Kinds of concrete	σ_{pt} (kg/mm ²)	$\Delta\sigma_r$ (kg/mm ²)	$\Delta\sigma_e$ (kg/mm ²)	$\Delta\sigma_{\varphi}$ (kg/mm ²)	$\Delta\sigma_{\varphi\infty}$ (kg/mm ²)	σ_{pet} (kg/mm ²)	$\sigma_{pe\infty}$ (kg/mm ²)	η_t	$\eta_{t \rightarrow \infty}$
N	120	6.0	8.7	3.7	15.1	101.6	91.9	0.85	0.77
A	120	6.0	16.8	8.4	17.0	88.8	83.6	0.74	0.70
L	120	6.0	14.4	7.8	16.7	91.8	86.2	0.77	0.72
M	120	6.0	17.7	9.1	18.8	87.2	80.5	0.73	0.67

Table III. Observed and calculated cracking moment.

Kinds of concrete	Observed		Calculated		Ratio M_{cr}/M_{cr}'
	Cracking load (t)	Cracking moment M_{cr} ($t\cdot m$)	Total lower fiber stress (kg/cm ²)	Cracking moment M_{cr}' ($t\cdot m$)	
N	18.0 (18.0)	31.5 (31.5)	251.7	32.5	0.97 (0.97)
A	15.0 (14.5) 14.0	26.3 (25.4) 24.5	210.1	27.1	0.97 (0.94) 0.90
L	15.0 (15.5) 16.0	26.3 (27.2) 28.0	224.5	28.9	0.91 (0.95) 0.97
M	14.0 (14.0) 14.0	24.5 (24.5) 24.5	197.9	25.5	0.96 (0.96) 0.96

Table IV. Efficiency of stress derived from observed re-cracking load.

Kinds of concrete	Observed			Efficiency of stress		Ratio η'/η
	Re-cracking load P (t)	Lower fiber stress derived from P (kg/cm ²)	Lower fiber stress considered its own weight (kg/cm ²)	Observed η'	Calculated η	
N	14.5 (14.5)	196.0 (196.0)	218.0 (218.0)	0.98 (0.98)	0.85	1.15
A	12.0 (12.0) 12.0	162.8 (162.8) 162.8	179.4 (179.4) 179.4	0.81 (0.81) 0.81	0.74	1.09
L	12.0 (12.5) 13.0	162.8 (170.2) 177.5	179.4 (186.7) 194.0	0.81 (0.84) 0.87	0.77	1.09
M	12.0 (11.5) 11.0	162.8 (155.9) 149.6	178.0 (171.1) 164.8	0.80 (0.77) 0.74	0.73	1.05

数と計算有効張力および有効係数は Table IV のようになる。

初ひびわれ実測荷重から求めた実測ひびわれモーメントと計算ひびわれモーメントを比較すると、コンクリートの種類にかかわらず実測値のほうが小さく、その比は約0.95である。これは計算ひびわれモーメントの算定においては、けた下縁曲げ引張応力度に曲げ試験供試体による曲げ強度をそのまま用いたいわゆる弾性理論による計算値を用いていること、および有効プレストレスがやや大きめに算定されたことなどによるものと予想されるが、測定誤差を考慮すればこの程度の差は許容してもよいと考えられる。したがって、本実験の範囲内においては軽量PCけたのひびわれ荷重は使用骨材の種類、コンクリート強度などによって若干異なるが、普通コンクリートの場合の75～85%に相当し、骨材別では造粒型骨材のほうが非造粒型骨材の場合よりもややひびわれ荷重が大きいようである。

一方、再びひびわれ荷重から計算した有効係数はいずれのコンクリートにおいても計算で求めた有効係数よりもはるかに大きい値となっている。これは再びひびわれの発見が遅れたことがおもな原因と思われる。

再びひびわれ荷重および計算から求めた有効係数の両者をあわせ考えると、曲げ試験時における軽量コンクリートのプレストレスの減退は、普通コンクリートよりも約15%大きく、有効プレストレスで考えると約75%程度になるものと推定される。これは軽量コンクリートの弾性変形およびヤング係数比 n が大きいこと、およびクリープの進行速度が速いことなどに起因するものと考えられる。したがって、軽量コンクリートの長期材令におけるクリープ、乾燥収縮は普通コンクリートとはほぼ等しいかあるいは小さいと仮定しても軽量コンクリートの有効係数は小さく、有効プレストレスの大きさは弾性変形とヤング係数比の大きさに著しく影響されることがわかる。

4・1・2 曲げ破壊荷重について 曲げ破壊モーメントの計算値は、一般に圧縮側コンクリートの全圧縮力が下縁側に配置された鋼材の全破断力とつりあって破壊すると考えて求めるが、本実験の場合は、鋼材が破断する前にコンクリートが圧潰しているので、コンクリートの最終圧縮ひずみを 3.500×10^{-6} と仮定し、PC鋼線のS-S曲線を用い図上でけたの破壊時の中立軸を求め、これより破壊モーメントを計算することとした。これらの結果と実測値を比較して Table V を得た。これを見ると骨材Mを用いた場合を除き、両者は非常によく合致している。骨材Mの場合は実測破壊荷重が若干小さく現われたためと考えられる。曲げ破壊荷重を骨材の種類別に比較すると、骨材A、Lは普通に対し、0.98とわずかに低く、骨材Mは普通の

Table V. Relationship between observed and calculated ultimate moment.

Kinds of concrete	Observed		Calculated ultimate moment M_u (t-m)	Ratio M_u/M_u'
	Ultimate load P_u (t)	Ultimate moment M_u' (t-m)		
N	34.5	60.4 (60.4)	60.0	1.01 (1.01)
A	32.6	57.0 (58.8)	58.6	0.97 (1.00)
	34.6	60.5		
L	33.6	58.8 (58.7)	58.6	1.00 (1.00)
	33.4	58.5		
M	30.7	53.7 (54.5)	58.2	0.92 (0.94)
	31.6	55.3		

Table VI. Relationship between cracking load and ultimate load.

Kinds of concrete	Cracking load P_c (t)	Ultimate load P_u (t)	Ratio $P_u - P_c / P_u$
N	18.5	34.5	0.47
A	14.5	33.6	0.57
L	15.5	33.5	0.54
M	13.5	31.1	0.57

0.93となっている。

Table VI は初ひびわれ荷重から破壊荷重に達するまでの耐荷率を骨材別に求めたものであるが、これから軽量PCけたのほうが普通PCけたよりも、軽量骨材別では造粒型骨材よりも非造粒型骨材のほうがややひびわれ発生から破壊に至るまでの余裕が大きいことがわかる。

観察した範囲における破壊の形状は、全般的に普通コンクリートでは圧縮部コンクリートの圧潰、軽量コンクリートでは斜め引張破壊と圧潰が同時に起こる傾向を示していた。

4・1・3 曲げ剛性 曲げ剛性はスパン中央部のコンクリート圧縮縁および引張縁のひずみから次式を用いて求めた。

$$\varphi = \frac{|\varepsilon_c| + |\varepsilon_t|}{d} = \frac{M}{K} \quad (3)$$

$$\text{これより} \quad K = \frac{d \cdot M}{|\varepsilon_c| + |\varepsilon_t|} \quad (4)$$

ここで、 φ ：断面の回転角 ε_c ：圧縮縁ひずみ
 ε_t ：引張縁ひずみ d ：はりの有効高さ
 K ：曲げ剛性

各PCけたの曲げモーメントと曲げ剛性との関係を Fig. 4 に示すが、この図から次のことがわかる。いずれのコンクリートにおいても引張側コンクリートに塑性変形が生じ、ひびわれが発生すると曲げ剛性が急激に低下する。ひびわれ発生以前では普通コンクリートけたの曲げ剛性は軽量コンクリートけたに比べて相当大きい。ひびわれ発生後の曲げ剛性の低下率は普通コンクリートのほうが大きく、低下後はコンクリート

Fig. 4. Relationship between bending moment and flexural rigidity.

の種類にかかわらずほぼ等しい値となって破壊に至るものと思われる。

4・1・4 たわみ 本実験において測定したスパンの1/2および1/4の位置でのたわみ量を、実際にはまだひびわれの発生していない JIS 規定のひびわれ荷重(12.6 t)におけるもののみについて各コンクリート別に考察すると、軽量コンクリートのたわみは骨材の種類によって多小異なるが、普通コンクリートけたの1.7~2.2倍のたわみが現われており、一般的に弾性係数の小さい非造粒型骨材コンクリートのたわみが大きくなる傾向を示していた。また、ひびわれ発生後のたわみについて考えると、JIS 破壊荷重付近まではまだ軽量コンクリートのほうが大きい、普通コンクリートとの比は1.5~1.8とひびわれ発生前と比べて小さくなる傾向が得られた。このことは前述の曲げ剛性の低下をあわせ考えると、軽量コンクリートのひびわれ発生以後のたわみの増加率は普通コンクリートよりも小さく、最終破壊時では普通コンクリートとの差がさ

らに小さくなることも予想された。

4・1・5 ひびわれ幅およびひびわれ間隔 曲げモーメント一定区間のコンクリート表面に貼布したプラグ間の変形をフーゲンベルガー型ひずみ計で測定しひびわれ幅およびひびわれ間隔を求めた。このひびわれ幅およびひびわれ間隔は、全ひびわれ幅をその間にはいったひびわれの本数で除して、また、全測定長をその間にはいったひびわれ本数で除してそれぞれ求めた。これらによると、一般的に普通コンクリートのほうが軽量コンクリートよりもひびわれ幅が大きく、かつひびわれ間隔も大きい。すなわち、普通コンクリートではひびわれの数は少ないが、ひびわれ1本あたりの幅が大きいのに対し、軽量コンクリートでは幅の小さいひびわれが数多く発生することがわかった。

4・2 せん断試験

4・2・1 主応力およびその方向 支点付近に貼布した電気抵抗線ひずみ計(ロゼットに貼布)で測定したひずみよりその位置における主応力およびその方向を求め、計算値と比較したが、これによると外力による計算上の主応力は載荷点の位置によって変わらないにもかかわらず、実測値は a/d が大きくなるに従って大きい値を得た。これについては詳述を避けるが、荷重によって載荷点近傍に生ずる二次応力の影響を受ける場合、すなわち a/d の値が小さい場合には主応力の値が小さく、また、反対に a/d の値が大きくなると上記二次応力の影響をあまり受けず、主応力としては大きい値が測定されたものと考えられる。

4・2・2 斜めひびわれ荷重 せん断試験で得られた各種 PC けたの斜めひびわれおよび破壊荷重を Table VII に示す。PC けたの斜めひびわれ荷重に影

Table VII. Observed diagonal tensile cracking and ultimate load.

Kind of concrete		<i>a/d</i>								Reference
		2		3		4		6		Flexural ultimate moment <i>M_{fl}</i> (<i>t-m</i>)
		<i>a</i> =700		<i>a</i> =1 000		<i>a</i> =1 450		<i>a</i> =2 150		
		Load <i>P</i> (<i>t</i>)	Moment due to <i>P</i> <i>M</i> = <i>P</i> · <i>a</i> (<i>t-m</i>)	Load <i>P</i> (<i>t</i>)	Moment due to <i>P</i> <i>M</i> = <i>P</i> · <i>a</i> (<i>t-m</i>)	Load <i>P</i> (<i>t</i>)	Moment due to <i>P</i> <i>M</i> = <i>P</i> · <i>a</i> (<i>t-m</i>)	Load <i>P</i> (<i>t</i>)	Moment due to <i>P</i> <i>M</i> = <i>P</i> · <i>a</i> (<i>t-m</i>)	
N	Diagonal tensile crack	36 (or 40)	25 2 (or 28 0)	—	—	32 (or 35)	46.4 (or 50 8)	—	—	60 4
	Flexural crack	42	29 4	—	—	21	30 5	—	—	
	Ultimate	68	47 6	—	—	42	60 9	—	—	
A	Diagonal tensile crack	28 (or 29)	19 6 (or 20 3)	26 (or 28)	26 0 (or 28 0)	22	31 9	21	45 2	57.1
	Flexural crack	36	25 2	24	24 0	20	29 0	14	30 1	60 6
	Ultimate	65	45 5	46	46 0	35 (or 36)	50 8 (or 52 2)	26	55 9	(58 9)
L	Diagonal tensile crack	30	21 0	26 (or 28)	26 0 (or 28 0)	22 (or 24)	31.9 (or 34 8)	20	43 0	58 8
	Flexural crack	36	25 2	26	26 0	18	26 5	12	25 8	58 5
	Ultimate	62	43 4	44	44 0	35	50 8	27	58 1	(58 7)
M	Diagonal tensile crack	26	18 2	20	20 0	20	29 0	17	36 6	53 7
	Flexural crack	36	25 2	26	26.0	18	26 1	12	25 8	55 3
	Ultimate	58	40 6	39 5	39 5	30	43 5	23	49 5	(54 5)
Note	In this table, described (or) is load of oppositeside cracking or ultimate.

Fig. 5. Relationship between $Q_c/(f_{ct}' + f_h) bw \cdot ds$ and a/d .

響を与える要因としてはけたの断面形状，コンクリートの引張強度，プレストレスの大きさ， a/d などである．ここでこれらの要因を用いて過去に与えられている種々の実験公式を参考にして，縦軸に $Q_c/(f_{ct}' + f_h) bw \cdot ds$ ，横軸に a/d をとって試験値をプロットすると Fig. 5 のようになる．

ここで， Q_c ：ひびわれ荷重

f_{ct}' ：引張強度（割裂強度）

f_h ：平均プレストレス

bw ：腹部の幅

ds ：フランジの高さ

a/d ：せん断スパンと有効高さの比

Fig. 5 から両者の間には双曲線の関係を有することが想像される．さらに，普通コンクリートけたの斜ひびわれ荷重を基準とした場合の各軽量コンクリートけたの斜めひびわれ荷重を表わすと，Table VIII のようになった．これより軽量 P けたの斜めひびわれ耐力は普通コンクリートけたに比べて相当小さいことがわかる．

Table VIII. Diagonal tensile cracking load of lightweight concrete compared with normal one.

Kinds of concrete	a/d	
	2	4
N	1.00	1.00
A	0.78	0.69
L	0.83	0.75
M	0.72	0.63

4・2・3 セン断破壊荷重 Table VII に示した試験結果より，せん断破壊荷重（せん断破壊モーメント）の曲げ破壊モーメントに対する比 M_u/M_{fI} を縦軸に， a/d を横軸にとって試験値をプロットすると Fig. 6 のようになる．この図より， $M_u/M_{fI}=1$ すなわちせん断破壊から曲げ破壊に移行する点 $(a/d)_{TR}$ は図から読み取れるように，N, A, L, M に対しそれぞれ 4.0,

Fig. 6. Relationship between M_u/M_{fI} and a/d .

Table IX. Calculated and observed $(a/d)_{TR}$, $(a/d)_{min}$.

Kinds of concrete	$(a/d)_{TR}$		$(a/d)_{min}^*$	
	Calculated	Observed	Calculated	Observed
N	4.0	4.0	2.11	2.11
A	6.3	7.1	2.64	2.81
L	6.0	6.2	2.58	2.62
M	6.6	7.5	2.70	2.89

$$* (a/d)_{min} = \sqrt{(a/d)_{TR} \cdot \frac{1}{K}}$$

7.1, 6.2, 7.5 程度と推定される．また， M_u/M_{fI} が最小となる点 $(a/d)_{min}$ はこれも図より 2～3 の範囲にあると推定される．そこで Kani が提案しているせん断破壊理論式 $(a/d)_{TR} = M_{fI}/M_u \cdot a/d$ ，および $(a/d)_{min} = \sqrt{(a/d)_{TR}/K}$ を用いて各種コンクリートけたについてそれぞれ $(a/d)_{min}$ ， $(a/d)_{TR}$ を求めてみると Table IX のようになる．これらの結果を総合して，本実験に使用したプレテンけたのせん断耐力の最小値は，使用骨材の種類によっても異なるが，およそ曲げ破壊モーメントの 75% 程度であると推定される．また M_u/M_{fI} の値でせん断耐力をある程度比較できると仮定すれば，普通コンクリートは軽量コンクリートよりもせん断耐力の点で相当すぐれており，また軽量骨材別では造粒型骨材のほうが非造粒型よりもせん断耐力がややすぐれていることがわかる．

4・2・4 ひびわれ荷重と破壊荷重の関係 各骨材コンクリート別に (a/d) に対する斜めひびわれ荷重 (M_{sc}) および曲げひびわれ荷重 (M_{fIc}) と破壊荷重（けたの最終破壊時の荷重で，破壊状態は曲げあるいは

Fig. 7. Relationship between a/d and M_{sc}/M_0 or M_{fIc}/M_0 .

Fig. 8. Idealized diagram of relationship between cracking moment and ultimate moment.

はせん断破壊である) M_0 との比を求めて、これを図示すると Fig. 7 のようになる。また、 M_u/M_{f1} と a/d の関係をあわせ考慮して上記の関係を理想化した想定図を描くと、Fig. 8 のようになる。これらの図を考察すると以下のようなことがいえる。

- (1) ひびわれ発生は $(a/d)=3$ 付近を境界として、これより (a/d) が大きくなると曲げひびわれが、小さくなると斜め引張りひびわれが先行する。
- (2) ひびわれ発生より破壊までの余裕は、 $(a/d)_{TR}$ に近づくほど小さくなり、 (a/d) が $(a/d)_{TR}$ よりごく小さいかあるいはほぼ等しいときけたとして最も危険な状態で、せん断ひびわれが発生すれば破壊荷重の約80%まで経過したことになる。
- (3) $(a/d) > (a/d)_{TR}$ においてはけたは曲げ破壊を呈し、ひびわれ発生より破壊に至るまでの余裕はかなり大きく、ひびわれが発生しても破壊荷重の約50%を経過したにすぎない。
- (4) $(a/d)_{TR}$ が大きい部材ほど、ひびわれ発生から破壊に至るまでの余裕が小さいと推定される。

5 結 語

以上普通、軽量両コンクリートを用いたPCけたについて行なった種々の実験結果について述べたが、これらの結果から、軽量骨材の種類別に軽量PCけたの挙動を厳密に比較すれば若干異なった性質を呈するが、これを普通コンクリートけたと比較すれば、本質的には軽量骨材間の差はないと考えてさしつかえないと考えられる。全般的に軽量PCけたの各種耐力は普通PCけたの70~80%と考えて大きな誤りはないと考えられる。

軽量PCけたは普通コンクリートよりも自重をかなり軽減できるが、その分だけ断面を減らすとそれだけたわみが大きくなるので、断面はあまり変えずにPC鋼材量を減らすような考慮を設計の際に払うべきである(長スパンの場合にはPC鋼線は減らせるが、短スパンの場合にはほとんど減らせない)。さらに曲げや斜めひびわれ耐力がやや劣ることに対する対策としては、補強鉄筋を普通PCけたの場合よりも多くそう入するなどの設計上の注意事項がある。構造物として軽量コンクリートを考える場合、上部工のみについては自重軽減による価格の減はほとんど期待できず逆に割り高につくと思われるが、上部構造物の自重を軽減した分だけ下部工事費を節約できるという考えに立脚すれば、軽量PCけたを用いたほうが経済的な構造物が得られるものと考えられる。

終わりに本実験に関し終始ご指導賜りました鳥取大学西林教授ならびに阪神高速道路公団千葉部長に対し、深甚の謝意を表するとともに、本実験にご協力いただきました日本セメント、大阪セメント、三井金属の方々に感謝の意を表します。