

組合せ応力をうける鉄筋コンクリートはり部材 の終局せん断耐力理論および実験

その 2 せん断力をうける鉄筋コンクリートはり部材のコンクリート
部分の挙動についての基礎的な実験 No. 1

坪井善勝・末永保美

前報 (Vol. 16 No. 7) の組合せ応力をうける鉄筋コンクリート部材のせん断終局耐力理論に引続き、解析に必要な $\sigma-\tau$ interaction curve について実験的に検討を行なったものである。圧縮側におけるコンクリート部分の軸圧縮力とせん断応力の分布状態はスターラップ量およびコンクリート強度、シャースパン比の変化に伴ってどのように変化し、さらにせん断負担能力に影響をおよぼすか、鉄筋コンクリートはり部材について中形試験体で実験を行なった。結果の解析については紙面の都合上すべてを報告することができないので本報では実験結果のみとし、次報に解析結果について詳述する予定である。

1. 実験計画

本報告は前報 理論解析の一連の研究であり、組合せ応力をうけるはり部材のコンクリート部分の挙動について基礎的な実験研究を行なうべく計画したものである。

従来、これら試験については数多く報告されてきているが、いずれも耐力のみを問題とした実験である。

本計画は前報理論解析に必要なコンクリート内の応力伝達および分布、また圧縮側における軸圧縮力とせん断応力の分布など調べる目的で以下のような計画を行なった。

試験体断面は 10 cm × 20 cm とし主鉄筋量を一定として

シリーズ I (BSS 型). シャースパンを変化させる。

シャースパン: 1.15 D, 1.5 D, 2.0 D, 2.5 D,
3.0 D, 4.0 D, 5.0 D.

シリーズ II (BBS 型). 引張側主筋のボンドを変化させる。

ボンド: 普通丸鋼, 異形丸鋼, 普通丸鋼 (ボンドなし)。

シリーズ III (BMC 型). 人工せん断き裂を入れる。

シャースパン: 2.5 D, き裂角 $\alpha=60^\circ, 67^\circ, 71^\circ$
シャースパン: 2.0 D, き裂角 $\alpha=45^\circ, 60^\circ, 67^\circ$
シャースパン: 1.5 D, き裂角 $\alpha=45^\circ, 60^\circ$
シャースパン: 1.0 D, き裂角 $\alpha=45^\circ$

以上 24 体について実験を行ない、計画の詳細については付表を参照されたい。

2. 試験体の断面形状

はり断面は 10 cm × 20 cm, 主筋は 13 mm ϕ を圧縮側 3 本, 引張側 5 本挿入。せん断補強のためのスターラップは 6 mm ϕ を 10 cm 間隔に入れた。

各シリーズ試験体の代表例を第 1 図に示す。

3. 試験体の製作

(1) 鉄筋の諸性質

主鉄筋は丸鋼 13 mm ϕ , SS 39, 異形丸鋼 D 13 mm ϕ およびスターラップ丸鋼 6 mm ϕ の市販品を使用した。それぞれの機械的性質を次表に示す。

鉄筋種類	直径	降伏点応力 kg/cm ²	引張破断応力 kg/cm ²	伸び率
丸鋼 13 ϕ	13.0 mm	3 060	4 460	34.3%
異形鋼 13 ϕ	12.7 mm	3 537	5 116	25.7%
丸鋼 6 ϕ				

(2) コンクリートの性質

コンクリートは 4 週圧縮強度 200 kg/cm², スランブ 20 cm を目標として調合比を決定した。調合比は 1 : 2.53 : 3.04 とし、水セメント比は 70% とし、使用した骨材のふるい分析の結果は第 2 図に示す。

(3) 養生および材令

試験体はコンクリート打ち後、約 65 時間で脱型、水中養生を行なった。材令は試験体打込みのずれによるコンクリート強度のばらつきを少なくする意味で実験をおくらせたのでかなり長くなっている。

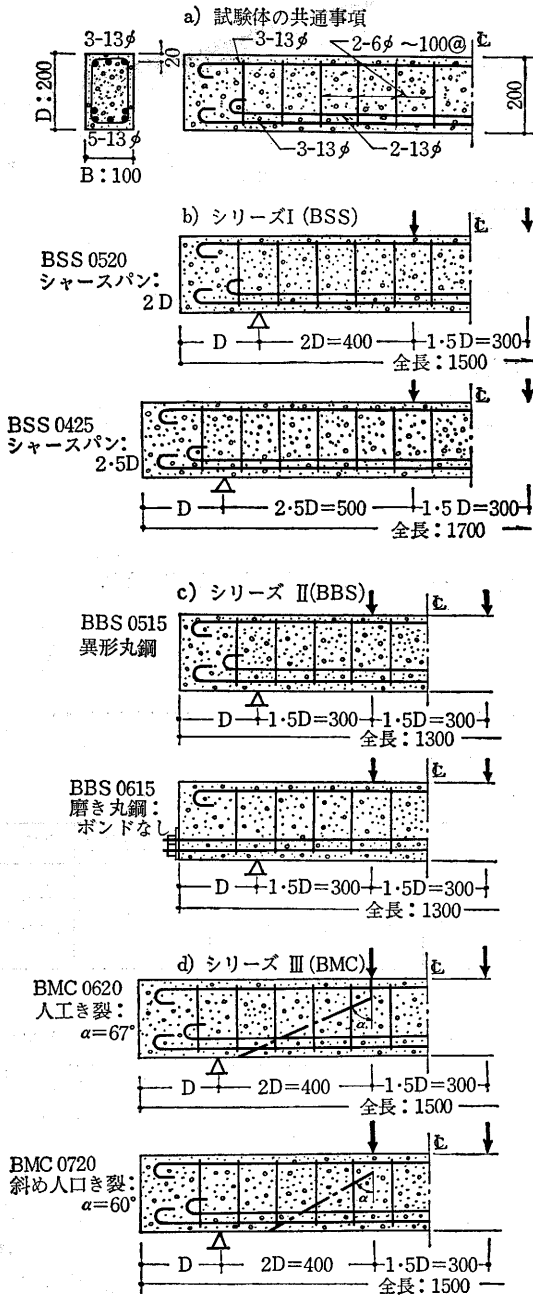
4. 試験方法、装置および測定方法

(1) 試験方法および装置

試験は第 3 図のように一方球座、他方ローラとして三重点荷重とした。荷重は正方向一回限りとし、最大耐力後もしばらく加力を続け、その後の性状を調べた。

(2) 測定方法

撓み測定は 1/100 mm, 10 mm ストロークのダイヤルゲージを使用、第 3 図のような測定方法で測定を行なった。



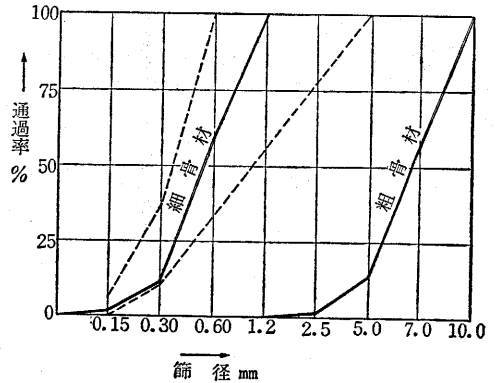
第1図 試験体の断面形状

歪み測定はワイヤーストレインゲージを圧縮鉄筋の中央およびコンクリート面に貼り測定を行なった。

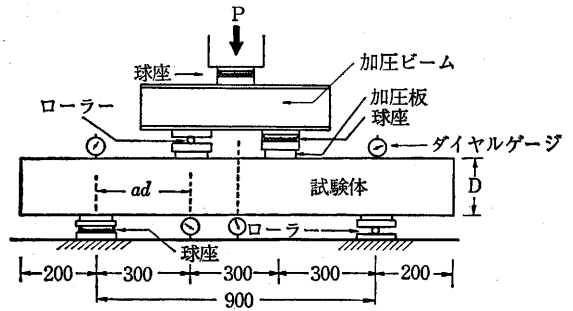
5. 実験結果

(1) き裂発生状況

き裂発生状況および破壊状況を写真3に示す。各シリーズの試験体についての状況は次のとおりである。
シリーズ (I):
初き裂発生位置は写真に示されているように上下加力



第2図 骨材の粒度分布



第3図 加力方法および装置

点を結ぶ対角線を基準として、 $a=1.33$ ではやや上方に、 $a=1.74\sim 3.49$ までは a の増加にともなって、しだいに下方に移動している。それらは梁中央部にいずれも $\alpha=45^\circ$ に近いき裂角を持って表われている。

シャースパン比 $a=1.33$ 、 $a=1.74$ では初き裂が進展し、上部加圧板付近に垂直に近いき裂が発生、初き裂が大きく開いて破壊に至った。

$a=2.32$ 、 $a=2.91$ の傾向は上下加力点を結ぶ対角線の上方に、コンクリートの引張方向に向かうゆるやかな凸型のき裂が生じ、これがどんどん進展しせん断終局耐力に至った。

またシャースパン比 $a=3.49\sim 5.82$ のものでは、せん断き裂は写真のように対角線と交差して発生、以後せん断き裂幅の進展はあまりみられず、むしろ曲げき裂の進展が著しかった。 $a=3.49$ のものが、せん断と曲げによる同時破壊であり、 $a>3.49$ の場合はほとんど曲げ破壊である。

シリーズ (II):

引張主鉄筋に普通丸鋼を使用した試験体の破壊状況はシリーズ (I) と同様である。引張主鉄筋に異形丸鋼を使用した試験体の状況は写真に示すように、普通丸鋼を使用した試験体に比べて曲げき裂の数が多くなり、せん断き裂は集中的に発生、せん断破壊を呈した。

引張主鉄筋のボンドをなくした試験体は荷重段階のごく初期において、2本の曲げき裂が発生し、ただちに圧

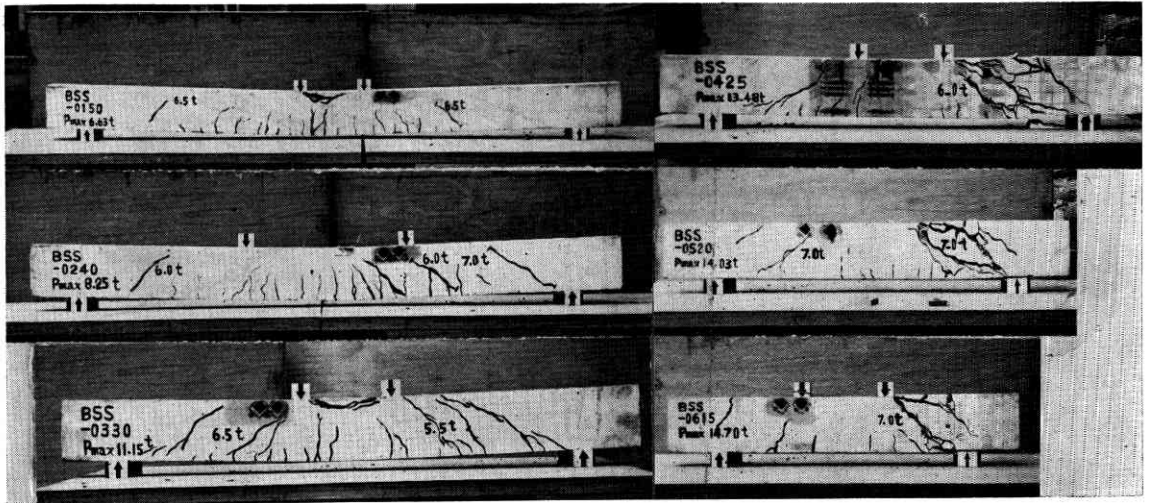


写真1 シリーズ (I)

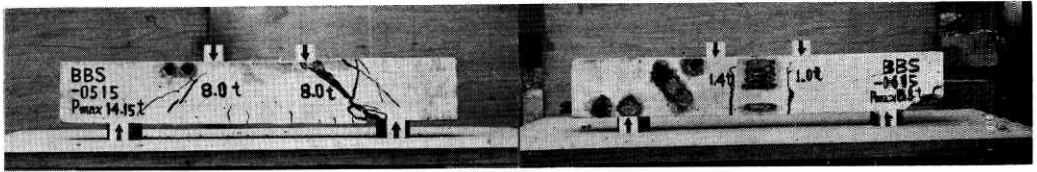


写真2 シリーズ (II)



写真3 シリーズ (III)

縮筋付近まで進展した。その後は端部コンクリートの拘束力不足のため、最終耐力時までのデータをとることができなかった。

シリーズ (III):

本シリーズのき裂の進展状況は写真に示すように、荷重の初期において挿入したプレートに沿ってき裂が進み、以後人工斜めき裂の上側にき裂が発生し進展するが最終的には人工垂直き裂部のすべり破壊を呈した。

(2) 剛 性

各試験体について、せん断応力 $\tau(Q/bj)$ と F_0 および撓み δ とシャースパン ad との関係を示す。

シリーズ (I) の剛性比較:

シャースパン比 $a=1.33\sim 5.82$ の7個の試験体について、 τ/F_0 と δ/ad の関係を第4図に示す。同図に見るように、せん断破壊した場合と曲げ破壊した場合の最

大耐力後の性質が著しく異なっており、またせん断破壊の脆さを示している。

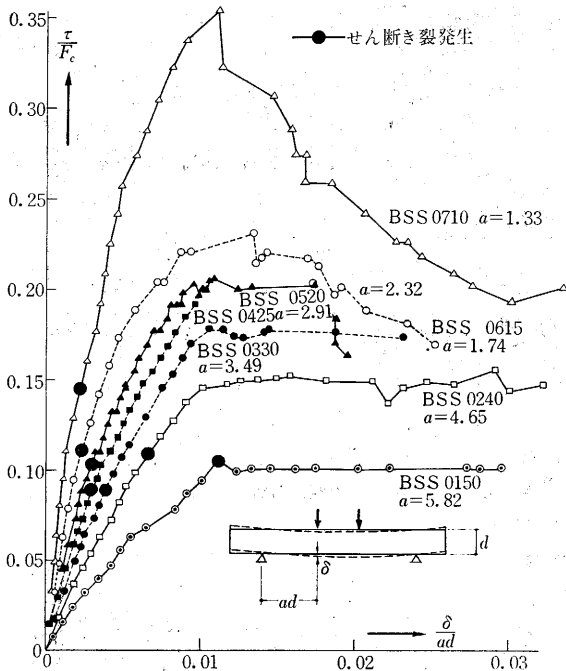
シリーズ (II) の剛性比較:

主筋のボンドが梁の剛性におよぼす影響を比較したものが第5図である。これによると $a=1.74$, $a=2.91$ ともにボンドの大きい方が梁の剛性が大きくなっている。

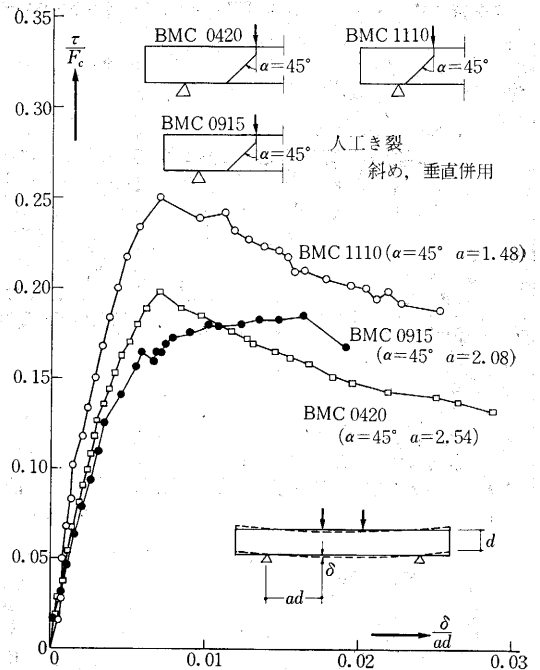
一般的に梁のせん断実験においては、せん断応力度が小さいときから、すでに曲げき裂の発生をみるために初期剛性も低下の傾向があるが、特に本シリーズでは主筋ボンドにかなりの差があるために初期き裂発生および進展状態に大きな差が表われ、剛性に大きく影響している。

シリーズ (III) の剛性比較:

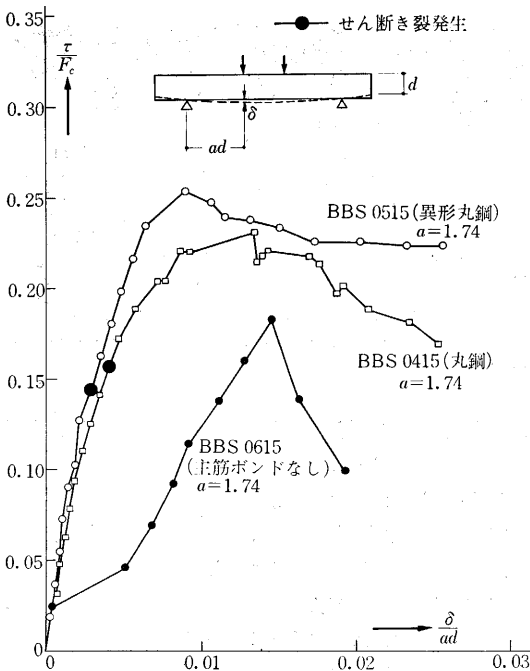
第6~8図は人工き裂角 $\alpha=45^\circ, 60^\circ, 67^\circ$ のそれぞれのき裂角度において、シャースパン比 a を種々変化



第4図 シリーズ (I) 試験体の剛性比較



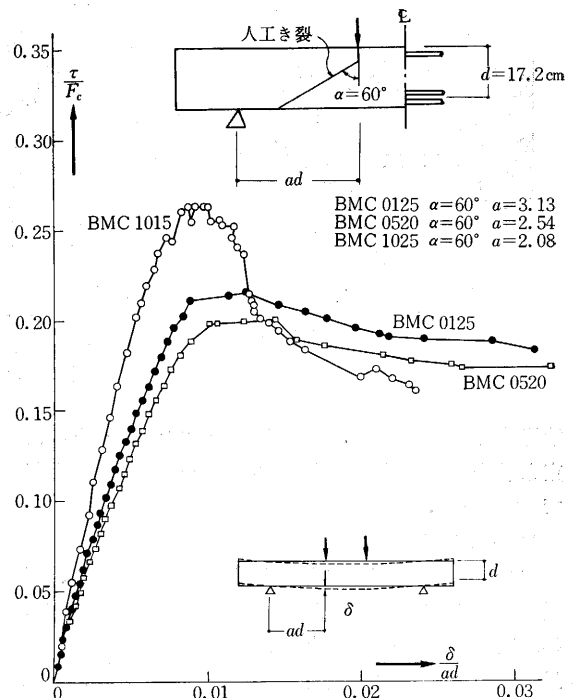
第6図 \$\alpha=45^\circ\$ 試験体の剛性比較



第5図 シリーズ (II) (\$a=1.74\$) 試験体の剛性比較

させた場合の剛性の比較図である。これらのき裂角においてはシャースパンが短いほど剛性が大きであることを示している。

第9図はシャースパン比 $a=2.54$ として人工き裂角 α を変化させた場合、および人工き裂を斜めのみのか裂とした場合、また、垂直き裂のみの場合、などについて



第7図 \$\alpha=60^\circ\$ 試験体の剛性比較

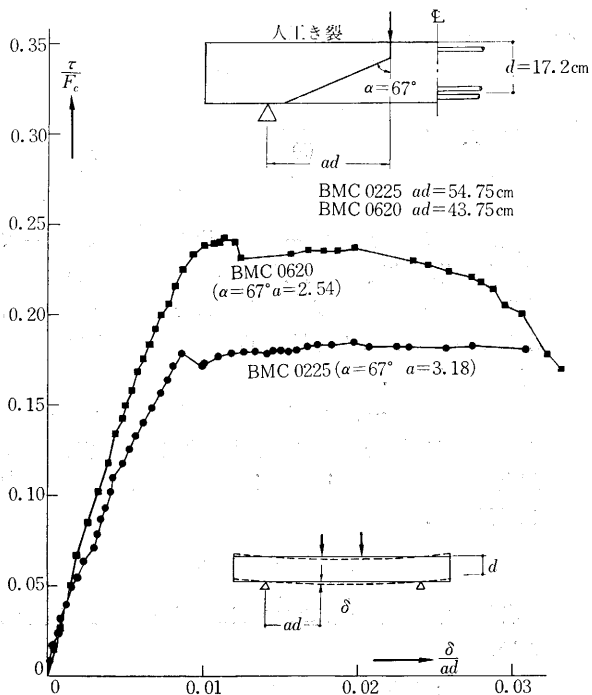
比較検討したものである。

第10図はシャースパン比がほぼ一定のものについて比較したものである。

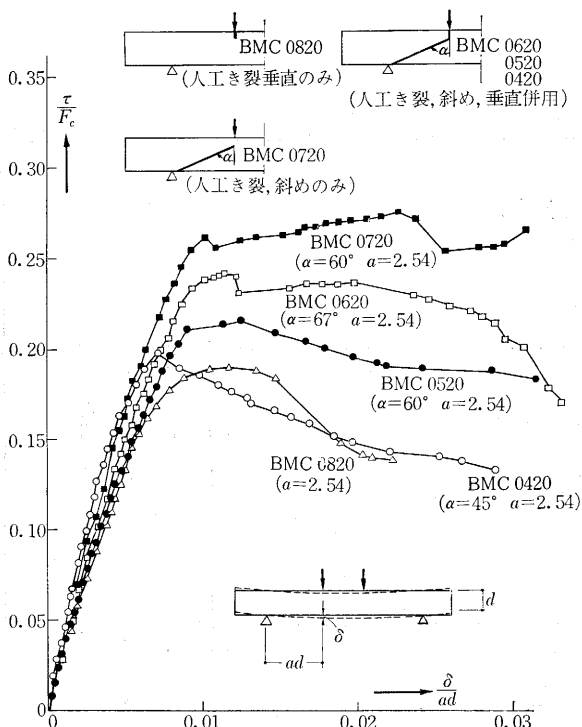
(3) せん断耐力についての検討

せん断耐力についてのシャースパン比の影響について

は第 11 図に、主筋ボンドの影響については第 12 図に、および人工き裂を入れた場合の比較について第 13 図にそれぞれ示した。



第 8 図 $\alpha=67^\circ$ 試験体の剛性比較



第 9 図 $a=2.54$ で人工き裂角を変化させた場合の剛性比較

シリーズ (I) において τ/F_c と a の関係は図からもわかるように従来どおりほぼ双曲線にそって変化していることがわかる。また初期き裂発生時の τ/F_c は a にはあまり関係なく、ほぼ一定となっている。

(4) せん断スパン比 a と k の関係について

せん断スパン比 a の変化にともなう k 値の変動について第 13 図に例を示す。ただしまだ十分な解析検討を行っていないので詳細な考察については次報その 3 にて検討する予定である。

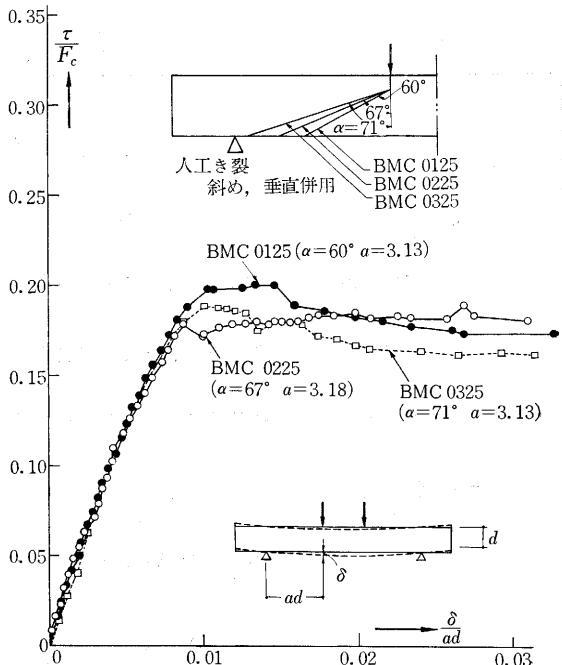
第 13 図から、初期き裂発生時においては k 値と a の間には a が 1.74 より大きい範囲では a の増加にともない k 値は減少してくる傾向にある。しかしき裂の観測は肉眼によったためプロットした値には多少のずれがあることを考慮すれば a に関係なくほぼ一定の値であると思われる。

破壊時付近 ($\sigma_0/F_c=95\%$) では $a=1.74$ 以上のときは a の増加にともない k 値はゆるやかな凸型の曲線にしたがって減少している。さらに a が増加したとき、 $a=4.65$ 、 $a=5.82$ の試験体では、曲げ破壊し、 k 値はほぼ一定値となる傾向を示している。

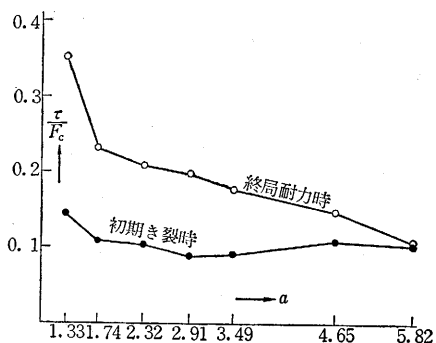
以上のように k 値と a との定性的な関係がほぼ得られるようであるが、なおこの関係を定量的に決定する考察は次報にすることとし、今回は実験結果のみを報告する。

6. むすび

せん断力をうけるはり部材が、せん断圧縮破壊性状



第 10 図 $a=3.13\sim 3.18$ 人工き裂角を変化させた場合の剛性比較

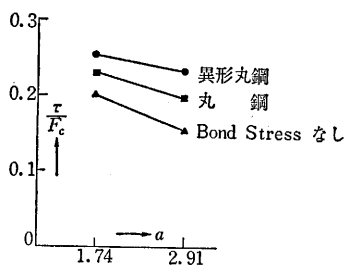


第 11 図

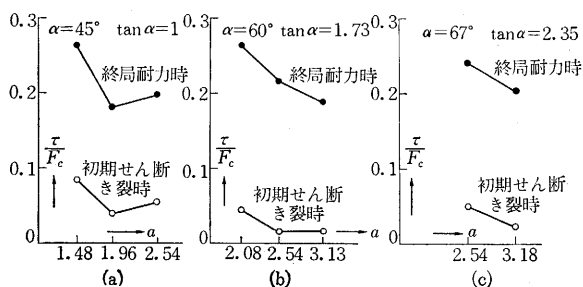
を示した場合のコンクリート圧縮部分に働くせん断応力 $k \cdot F_c$ における k 値について定性的な結果が得られた。定量的な検討に関しては紙面の都合上次報にゆずることとした。

せん断終局耐力について τ/F_c と a の関係は従来どおりほぼ双曲線にそって変化し、初期き裂発生時の τ/F_c は a にあまり関係なく一定となっている。

人工き裂を入れた場合の終局耐力について、この場合



第 12 図



第 13 図 き裂角 α を一定にした場合の比較

の終局耐力は一定のシヤースパン比のもとではシリーズ I の試験体の破壊き裂角と等しいか、やや大きい角度の人工き裂を有するものが大きな耐力を示し、人工き裂角がシリーズ I の破壊き裂角から偏するにしたがい耐力は著しく減少する。

次にコンクリートのせん断圧縮応力度曲線は $\sigma_0/F_c = 0.7 \sim 0.9$ に最大値を有する凸形の曲線として表われる。以上の定量的な $\sigma-\tau$ interaction curve については次報に詳述する。

7. 実験結果一覧表

各試験体の実験結果については別紙一覧表を参照されたい。

参考文献：省略

(1965 年 4 月 14 日受理)

次号予告 (7 月号)

研究解説

振幅フィルターを用いた回折実験.....	朝倉利光 菊地恭孝
円筒形織成薄膜記憶素子を用いた高速記憶装置 (1).....	渡部弘之 松野之昭
キナクリドンの化学.....	西久夫

研究速報

Cu—Cr 合金の復元現象について.....	西川精一 長田和 小田繁
建築音響の模型実験に用いる (500 c/s~100 kc) $\frac{1}{3}$ オクターブバンドパスフィルターの試作.....	石井聖光 朝生周二 伊藤篤男

鉄筋コンクリートはりせん断実験結果一覧表

試験体 分類	試験体 番号	材 齢			コンクリ ート強度	主 筋	シャ ー ス パ ン	シャ ー ス パ ン 比	人 工 き 裂 角 α	実 験 目 的	実 験										破 壊 き 裂 角 α	共 通 事 項
		製作月日	試験日	材 齢							初 き 裂 荷 重 時					最 大 荷 重 時						
					シリ ン ダ ー	引張強度	ad	a	荷 重		Q/bj	Q/bjF_c	kF_c	k	荷 重	Q/bj	Q/bjF_c	kF_c	k			
		1964年 月 日	月 日	日	kg/cm ²	kg/cm ²	cm	kg	kg/cm ²			kg/cm ²		kg	kg/cm ²		kg/cm ²					
BSS	0150	0826	1210	106	211.3	2873	100	5.82	シャ ー ス パ ン 比 の 影 響	6500	21.6	0.104	18.9	0.089	6630	22.1	0.105	—	—	※ (51°)	コンクリート調合 重量比: セ: 砂: 砂利 1: 2.53: 3.04 水セメント比 70% スランブ……別表	
BSS	0240	0919	1210	82	183.0	2940	80	4.65		6000	19.9	0.109	20.6	0.112	8250	27.4	0.149	33.3	0.182	(53.5°)		
BSS	0330	0926	1210	75	206.0	2996	60	3.49		5500	18.3	0.089	19.9	0.097	11150	37.0	0.180	35.7	0.173	61°		
BSS	0425	0828	1203	97	225.5	3030	50	2.91		6000	19.9	0.089	27.4	0.121	13480	44.7	0.198	—	—	60°		
BSS	0520	0828	1130	94	225.5	3037	40	2.32		7000	23.2	0.106	30.3	0.135	14030	46.6	0.207	44.3	0.196	52°		
BSS	0615	0826	1130	96	211.3	3023	30	1.74		7000	23.2	0.110	32.4	0.153	14700	48.8	0.231	41.8	0.189	47°		
BSS	0710	0926	1120	55	206.0	3023	22.95	1.33		9000	29.9	0.145	18.2	0.088	21950	72.8	0.354	44.5	0.201	42.5°		
BBS	0125	0828	1203	97	225.5	3030	50	2.91	主 筋 付 着 の 影 響	6000	19.9	0.089	19.9	0.097	11150	37.0	0.164	—	—	断 面 b : 10 cm D : 20 cm d : 17.2 cm j : 15.05 cm		
BBS	0225	0919	1217	89	185.0	3537	50	2.91		5000	16.6	0.090	27.1	0.147	12840	42.7	0.198	—	—		55.5°	
BBS	0325	1002	1219	78	146.0	3045	50	2.91		—	—	—	—	—	6850	22.8	0.156	21.4	0.147			
BBS	0415	0826	1130	96	211.3	3023	30	1.74		7000	23.2	0.110	32.4	0.153	14700	48.8	0.231	44.3	0.196			
BBS	0515	0919	1210	82	185.0	3537	30	1.74		8000	26.6	0.144	24.4	0.132	14150	35.2	0.191	—	—		49.0°	
BBS	0615	0826	1219	115	146.0	3023	30	1.74		—	—	—	—	—	8800	29.2	0.200	—	—			
BMC	0125	0919	1218	90	213.0	3045	53.75	3.13	人 工 き 裂 に よ る 影 響	1000	3.32	0.016	0.2	0.001	11850	39.4	0.185	24.4	0.114	60°	主筋: () 内は異形鉄筋 イ) 引張: 径 13 mm(DB) 数量 5本(5本) 鉄筋比 3.86% (3.69%) ロ) 圧縮: 径 13 mm(DB) 数量 3本(3本) 鉄筋比 2.31% (2.21%) ハ) 異形鉄筋使用の試験体は BBS 0225 BBS 0515 あばら筋 径 5.64 mm 10 mm 間隔 wF_s 3480 kg/cm ²	
BMC	0225	0926	1217	82	202.0	3030	54.75	3.18		67°	1500	4.98	0.025	—	—	12400	41.2	0.204	22.3	0.110		67°
BMC	0325	0926	1216	81	202.0	3045	53.75	3.13		71.2°	3000	9.96	0.049	1.8	0.009	11500	38.2	0.189	13.5	0.066		71.2°
BMC	0420	0919	1216	88	185.0	3117	43.75	2.54		45°	3000	9.96	0.054	1.3	0.007	11000	36.5	0.197	9.7	0.052		45°
BMC	0520	0919	1218	90	213.0	3117	43.75	2.54		60°	1000	3.32	0.016	—	—	13850	46.0	0.218	41.1	0.192		60°
BMC	0620	1002	1217	76	191.0	3117	43.75	2.54		67°	3000	9.96	0.052	4.1	0.021	14420	47.9	0.251	37.5	0.196		67°
BMC	0720	1002	1216	75	183.0	3037	43.75	2.54		※※※ 60°	2000	6.65	0.036	3.4	0.018	15150	50.3	0.275	28.7	0.156		60°
BMC	0820	0828	1218	112	225.5	3037	43.75	2.54		※※※	7000	23.2	0.106	6.8	0.030	12900	42.9	0.180	41.2	0.183		
BMC	0915	0919	1214	86	213.0	2996	33.75	1.96		45°	2500	8.31	0.039	2.9	0.014	11550	38.2	0.196	19.8	0.094		45°
BMC	1015	1002	1214	73	183.0	2996	35.75	2.08		60°	2500	8.31	0.045	2.8	0.015	14530	48.3	0.264	23.4	0.128		60°
BMC	1110	1002	1214	73	191.0	2873	25.5	1.48	45°	5000	16.6	0.087	6.8	0.036	15100	50.2	0.262	20.6	0.108	45°		

※初期せん断き裂角 ※※DIAGONAL ※※※VERTICAL CRACK