

1. まえがき コンクリート部材がねじりモーメントを受けた場合の挙動については不明の点が多く、特にひびわれ発生後およびねじりと曲げがあるいはせん断との組み合わせ応力を受ける場合については研究が進んでいない。したがって、本研究は無筋、鉄筋および鉄骨鉄筋コンクリート部材に純ねじりから純曲げまでその間にねじりと曲げモーメントの比を变化させ、それに伴う部材の挙動を調べるのを目的として、供試体を作成し、実験的研究を行なったものである。

2. 実験の計画 供試体は表-1に示すように合計43本であり、その形状寸法は図-1に示すものである。鋼材(鉄骨および鉄筋)比は、鉄筋および鉄骨コンクリートで各3種類、鉄骨鉄筋コンクリートで5種類とした。載荷の方法は、図-2に示すように、純ねじりに対して同図(a)のような方法で、供試体に純ねじりに近い状態の載荷を行なった。純曲げおよびねじりと曲げの組み合わせに対する載荷は図-2(b)に示す方法で行ない、載荷ビームに作用する荷重Pの位置を变化させて、ねじりと曲げの比(α)を变化させた。載荷は純ねじり($\alpha=\infty$)、純曲げ($\alpha=0$)および図-3に示すように、3種のねじりと曲げの組み合わせ($\alpha=1.8, 1.0, 0.4$)について行なった。なお、図-3載荷計画で、 $\alpha = \frac{M_t/M_{tu}}{M_b/M_{bu}}$ であり、 M_{tu} 、 M_{bu} は純ねじり、純曲げ強度； M_t 、 M_b は組み合わせ応力時のねじり、曲げ強度を示す。使用材料は、

表-1 供試体の計画

荷重	記号	α	鋼材比(%)			種類	本数	備考
			鉄筋	鉄骨	計			
純ねじり	C-0- ∞	∞	-	-	-	C	3	無筋
	R-20- ∞	"	2.0	-	2.0	RC	2	
	R-10- ∞	"	1.0	-	1.0	"	2	
	R-05- ∞	"	0.5	-	0.5	"	1	
	SC-39- ∞	"	-	3.9	3.9	SC	1	鉄骨コンクリート
	SC-25- ∞	"	-	2.5	2.5	"	1	鉄骨コンクリート
	SC-26- ∞	"	-	2.6	2.6	"	2	鉄骨コンクリート
	SR-59- ∞	"	2.0	3.9	5.9	SRC	2	
	SR-45- ∞	"	2.0	2.5	4.5	"	1	
	SR-49- ∞	"	1.0	3.9	4.9	"	2	
	SR-35- ∞	"	1.0	2.5	3.5	"	1	
	SR-46- ∞	"	2.0	2.6	4.6	"	1	鉄骨コンクリート
曲げとねじり	S'-39- ∞	"	-	3.9	-	S'	1	鉄骨コンクリート
	S'-25- ∞	"	-	2.5	-	"	1	鉄骨コンクリート
	S-39- ∞	"	-	3.9	-	S	1	鉄骨コンクリート
	R-10-1.8	1.8	1.0	-	1.0	RC	1	
	SR-49-1.8	"	1.0	3.9	4.9	SRC	2	
	SR-35-1.8	"	1.0	2.5	3.5	"	1	
	R-20-1.0	1.0	2.0	-	2.0	RC	1	
	R-10-1.0	"	1.0	-	1.0	"	1	
	SC-39-1.0	"	-	3.9	3.9	SC	1	
	SR-59-1.0	"	2.0	3.9	5.9	SRC	1	
	SR-49-1.0	"	1.0	3.9	4.9	"	2	
	SR-35-1.0	"	1.0	2.5	3.5	"	1	
純曲げ	R-10-0.4	0.4	1.0	-	1.0	RC	1	
	SR-49-0.4	"	1.0	3.9	4.9	SRC	1	
	SR-35-0.4	"	1.0	2.5	3.5	"	1	
	R-20-0	0	2.0	-	2.0	RC	1	
	R-10-0	"	1.0	-	1.0	"	2	
	SC-39-0	"	-	3.9	3.9	SC	1	
	SR-59-0	"	2.0	3.9	5.9	SRC	1	
	SR-49-0	"	1.0	3.9	4.9	"	1	
	SR-35-0	"	1.0	2.5	3.5	"	1	
計		合計43本、無筋3本、鉄筋コンクリート12本、鉄骨コンクリート6本、鉄骨鉄筋コンクリート19本、標鉄骨3本						

図-2 載荷方法

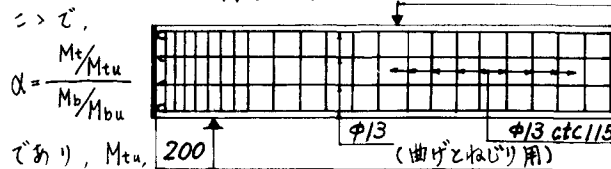
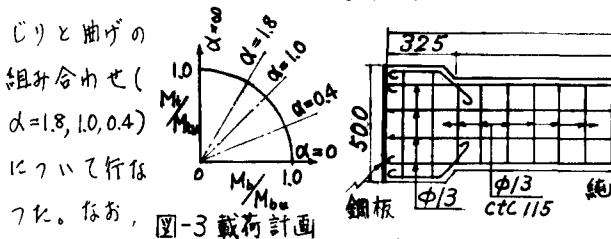


図-1 供試体

断面形状

RC部材 SRC部材

表-2および表-3に示すもので、コンクリートの配合は、28日強度が280 kg/cm²となるように定めたものを、鉄筋はSR24、鉄骨はSS41を使用した。

表-2 使用コンクリートの示方配合

粗骨材 最大径 (mm)	スラップ 比 (%)	水セメント 比 (%)	細骨材 率 (%)	量 (kg)			
				水	セメント	細骨材	粗骨材
25	11	59	42.3	179	303	805	1097

3. 実験の結果と考察

(1) 純ねじりについて、表-4にひびわれ発生

表-3 材料試験結果

(単位 kg/cm²)

および破壊の実験値、

実験値と計算値の比較

が示してある。ひびわ

れ発生荷重と弾性理論

による計算値の比はA/aで示

てあり、鋼材の影響を考慮し

た式と実験値の比はA/aで、斜

め曲げ式に組み合わせ応力時

のコンクリートの強度低下を

考慮した計算値との比較をA/c

で示している。この実験の結果

では、鋼材の影響を考慮し

た式による計算値が最も精度

が高いことが示されている。

破壊荷重の実験値と計算値

の比較は、B/d, B/e, B/fの各欄に示してある。B/dの欄の純ねじり強度算定式は $M_{tu} = 1.6 A' a_v G_{sy} / s_v$, B/e

の欄の算定式は、本実験および既往の実験結果を参考とした実験式

$M_{tu} = 2.0 (0.5 p_u + 0.75) s_v \cdot a_v A' G_{sy}$, (ここで p_u はスラップ比で%

で示す) によつて鉄筋コンクリート部材について計算を行ない、鉄

骨鉄筋コンクリート部材については、裸鉄骨の強度を鉄筋コンク

リート部材強度に累加したものを実験値と比較した。B/fの欄は $M_{tu} =$

$2A' \sqrt{a_v G_{sy} / s_v} \cdot A_e G_{sy} / 2(b+d)$ と実験値の比較を行なつた。B/a, B/f いづれの場合も鉄骨は鉄筋に換算して

ある。平均値で比較すると、B/aが最も良好一致を示しているが、各数値の値は良くない。B/fは最も精

度が低い。この原因の

主なものは、実験にお

いては鋼材は必ずしも

降伏応力に達してい

ないにもかかわらず計

算においてはすべての鋼

材は降伏応力に達して

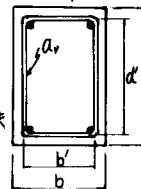
いることと思われる。

B/eの欄の値は精度が高

供試体種別	構造	コンクリート			鉄筋		鉄骨		鋼材
		σ_{cu}	σ_{tu}	$E_c \times 10^3$	σ_{sy}	σ_{su}	σ_{sy}	σ_{su}	
純ねじり用	R-C	315	26.5	2.43	3090	4400	-	-	2.10
	SRC	317	28.6	2.35	"	"	2850	4440	
曲げねじり用	R-C	305	23.0	2.38	3030	4590	-	-	2.10
	SRC	317	21.8	2.38	"	"	2850	4440	

表-4 純ねじり実験の結果と計算値との比較

記号	実験値 (t-m)		ひびわれ荷重と計算値の比較			破壊荷重と計算値の比較			備考
	ひびわれ 荷重 (A)	破壊荷 重 (B)	A/a	A/b	A/c	B/d	B/e	B/f	
C-0-∞	3.71	3.71	1.22	-	0.82	-	-	-	
R-20-∞	4.60	12.35	1.59	1.05	1.05	0.76	1.20	0.66	
R-10-∞	4.50	8.12	1.12	0.96	0.78	1.06	1.06	0.87	
R-0.5-∞	4.65	5.05	1.27	1.17	0.86	1.02	0.81	0.82	
SC-3.9-∞	4.00	13.35	0.97	0.79	0.63	1.11*	-	-	
SC-2.5-∞	4.50	9.27	1.27	1.18	0.82	1.41*	-	-	
SC-2.6-∞	2.76	2.76	0.78*	-	0.56*	-	-	-	鉄骨工形断面
SR-5.9-∞	5.00	20.80	1.48	0.90	1.00	0.79	1.07	0.57	平均値よりの
SR-4.5-∞	5.00	15.11	1.37	0.98	0.94	0.85	1.04	0.47	値は除く
SR-4.9-∞	4.25	20.80	1.22	0.88	0.83	1.12	1.35	0.77	△印は 累加理論
SR-3.5-∞	5.00	17.11	1.23	1.04	0.83	1.61	1.60	0.73	** 裸鉄骨の強度
SR-4.6-∞	5.00	10.95	1.40	-	0.95	-	-	-	鉄骨工形断面
S'-3.9-∞	-	11.85	-	-	-	1.54**	-	-	
S'-2.5-∞	-	6.74	-	-	-	2.21**	-	-	
S'-3.9-∞	-	6.75	-	-	-	0.88**	-	-	
平均値			1.29	0.99	0.87	1.03	1.16	0.70	



A' = b'd'
a_v; スラップ-骨の断面距離
d; 軸方向鉄筋の全断面距離
b; スラップの応力
Gsy; 軸方向鉄筋応力
※ 示すは降伏応力
S; スラップの軸方向断面

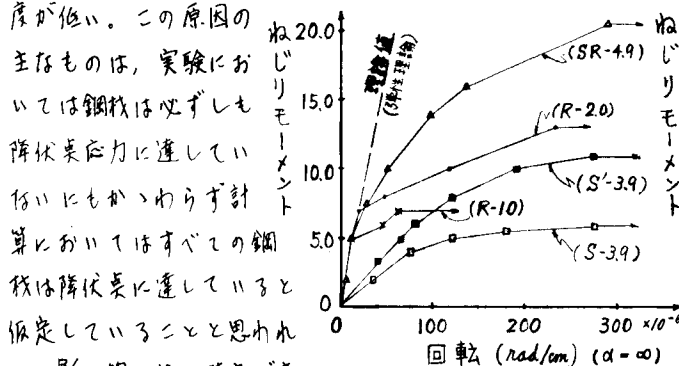


図-5 ねじりモーメントと回転角

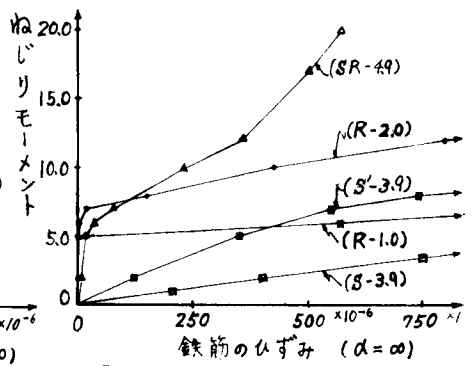


図-6 ねじりモーメントと鉄筋のひずみ

いとはいえないが、この実験の範囲では一応安全側の算定値を与えるものである。図-5~7には、ねじりモーメントと回転角、鉄筋のひずみおよびひびわれ幅のねじりモーメントの関係が示されている。これから、ひびわれ発生前においては、部材の回転は弾性理論による値とほぼ一致し、鉄筋には応力がほとんど発生していないことが明らかである。ひびわれ発生後には、部材のねじり剛性は急速に低下するが、鋼材量の多いものの剛性は高い。鉄筋応力は急速に増大するが、鋼材量の多いものの応力増大は遅い。図-7には部材軸方向に測った平均ひびわれ幅とねじりモーメントの関係が示されている。許容ひびわれ幅を0.2mmとすると、これに相当するねじりモーメントは図より、SR-4.9に対して約14t-m、R-1.0に対してはひびわれ発生モーメントと考えるのが妥当であろう。

(2) 曲げとねじりの組み合わせおよび純曲げについて。表-5に実験結果がまとめて示してある。ひびわれ発生モーメントの実験値と計算値の比較に採用した算定式は、弾性理論によるもので、平均で約26%の安全側の値を与えている。破壊モーメントについては、図-8に示すように破壊に関する曲げとねじりの相関関係を示す曲げとねじりの相関関係を $(M_t/M_{tu})^2 + (M_b/M_{bu})^2 = 1.0$

と仮定し、各部材の純曲げおよび純ねじりモーメントの実験値を M_b/M_{bu} 軸および M_t/M_{tu} 軸上の1.0におき、上式の関係があるものとして破壊モーメントを算定し、実験値と比較したものが表-5に示されており、図-8には実験結果がプロットされている。平均値については、この実験の範囲では比較的良い近似を与えているものと思われる。図-9、10には、 $\alpha = 1.0$ の場合のねじりモーメントと回転角、鉄筋のひずみの関係が示されており、部材の回転については純ねじりの場合と同様なことが推定される。鉄筋のひずみについても純ねじりとほぼ同様であるが、曲げモーメントの作用によりいづれの試体においても下面の軸方向鉄筋の方が側面のものより同一ねじりモーメントにおいて、大きなひずみが発生していることが分かる。

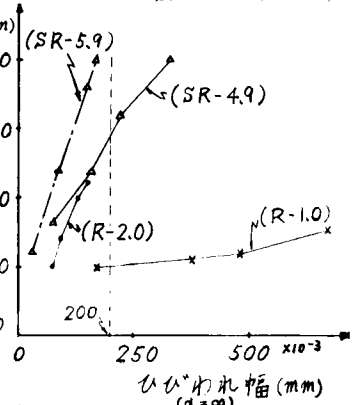


図-7 ねじりモーメントとひびわれ幅

表-5 曲げとねじりの実験結果と計算値との比較

記号	α	実験値 (t-m)				実験値と計算値の比較			
		曲げ		ねじり		曲げ		ねじり	
		$M_b(M)$	$M_t(M)$	$M_b(C)$	$M_t(C)$	M_b/C	M_t/C	M_b/C	M_t/C
R-1.0-1.8	1.8	2.30	2.66	3.9	5.9	1.23	1.23	0.87	0.86
SR-4.9-1.8	*	2.40	1.68	15.7	16.1	1.16	1.19	0.75	0.96
SR-3.5-1.8	*	2.30	1.70	12.7	14.2	1.07	1.07	0.95	0.95
R-2.0-1.0	1.0	3.10	2.08	10.9	9.1	1.37	1.37	1.17	1.14
R-1.0-1.0	*	3.10	2.13	6.7	5.5	1.38	1.40	1.03	0.97
SC-3.9-1.0	*	2.70	1.03	19.9	8.6	1.27	1.27	0.95	0.90
SR-5.9-1.0	*	2.70	0.99	35.9	14.6	1.23	1.26	0.98	0.94
SR-4.9-1.0	*	3.00	1.40	23.9	13.4	1.30	1.32	0.93	0.89
SR-3.5-1.0	*	3.10	1.56	15.5	9.3	1.44	1.45	0.80	0.77
R-1.0-0.4	0.4	2.90	0.82	9.1	2.5	1.24	1.26	1.07	0.84
SR-4.9-0.4	*	2.70	0.68	33.1	7.1	1.19	1.20	0.97	0.89
SR-3.5-0.4	*	2.90	0.74	26.3	6.0	1.19	1.17	1.03	0.94
R-2.0-0	0	4.00	-	12.9	-	1.92	-	0.70	-
R-1.0-0	*	2.90	-	8.7	-	1.25	-	0.84	-
SC-3.9-0	*	3.00	-	24.4	-	1.52	-	1.25	-
SR-5.9-0	*	2.60	-	51.8	-	1.32	-	1.40	-
SR-4.9-0	*	2.60	-	36.6	-	1.29	-	1.16	-
SR-3.5-0	*	3.40	-	27.8	-	1.64	-	1.41	-
		平均値		$\alpha=0.4$		1.26	1.27	0.96	0.92
				$\alpha=0$		1.49	-	1.13	-

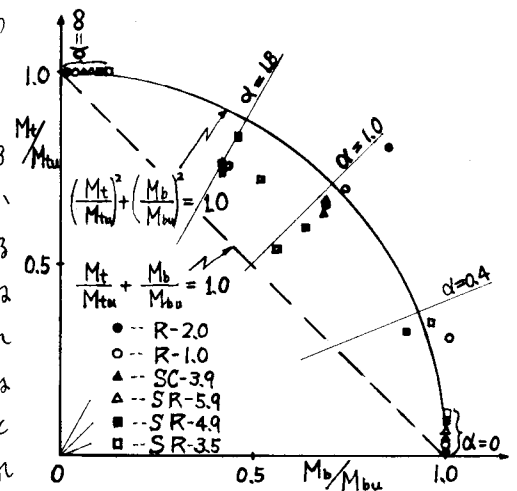


図-8 曲げとねじりの相関関係線(破壊時)

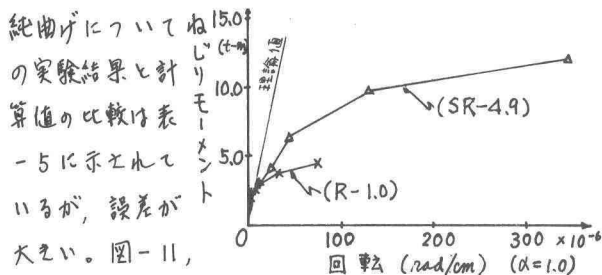


図-9 ねじりモーメントと回転角

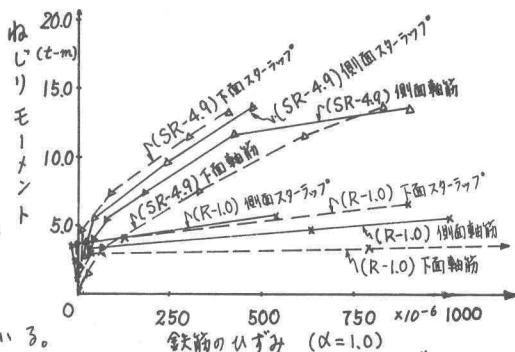


図-10 ねじりモーメントと鉄筋のひずみ

ひびわれ発生前においては、純ねじりあるいは曲げとねじりの組み合わせ応力時と同様のことが明らかである。破壊時におけるひびわれ発生状態は写真に示すようなもので、これは鉄筋コンクリート ($\rho=1.0$) 供試体の側面である。ひびわれは $\alpha=0$ の場合、供試体の下縁より発生、 $\alpha=\infty$ の場合は供試体上面のほぼ中央附近より発生、 $\alpha=0.4$ では下面、 $\alpha=1.0$ では下面、 $\alpha=1.8$ においては、下面あるいは側面の中央附近より発生している。

(3) まとめ 本研究で得られた主な結果および問題点を要約すると、次のようになる。a) ひびわれ

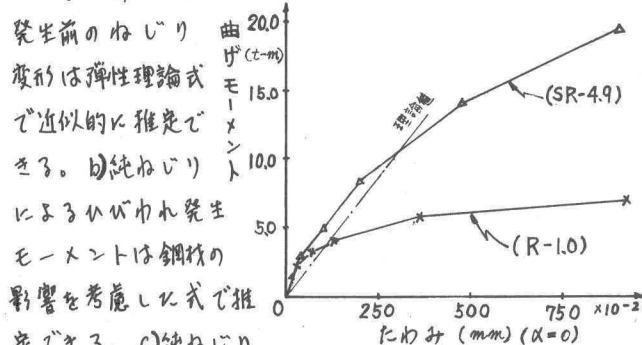


図-11 曲げモーメントとたわみ

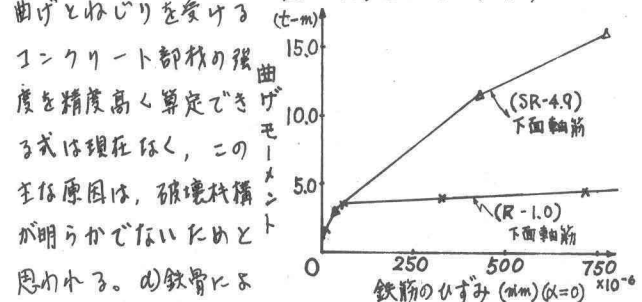
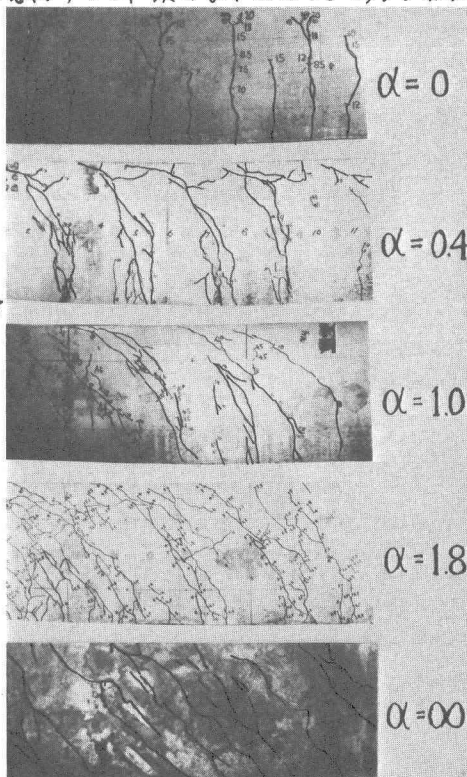


図-12 曲げモーメントと鉄筋のひずみ

ければならぬ (表-4 参照)。



R-1.0 桁のひびわれ発生状態 ($\alpha=0 \sim \infty$)

4. あとがき 本研究を行なうに際し、東京都立大学村田二郎教授、東京大学西岡隆講師および首都公団津野知男神奈建次長のご指導を頂き、供試体の設計、製作、資料の整理などについては、KK 駒井鉄工堀山氏、KK 日本技術開発松井氏のご協力を頂きました。なお、この研究に對して昭和45年度の吉田研究奨励金の授与をうけた。こゝに深甚の謝意を表します。