

## RC スラブの疲労押抜きせん断強度に関する基礎的研究

FATIGUE STRENGTH OF REINFORCED CONCRETE  
SLABS FAILING BY PUNCHING SHEAR

角田与史雄\*・藤田嘉夫\*\*

By Yoshio KAKUTA and Yoshio FUJITA

## 1. ま え が き

コンクリート構造物の設計においては、一般に終局強度に基づく破壊安全性と使用状態における性状との両者を念頭において検討がなされるが、大きな繰返し荷重を受ける部材では、さらに疲労破壊に対する安全性の検討が必要となる。

コンクリート構造物の疲労強度に関連する研究は19世紀末に始まり<sup>1)</sup>、以来今日まで数多くの研究が行われてきた。しかしその大多数は、コンクリートの圧縮または曲げに対する疲労強度、および異形鉄筋の疲労強度の問題に集中しており、鉄筋コンクリート(RC)部材のせん断に対する疲労強度をはじめ、上記以外の問題についての研究は、実用上の重要性にもかかわらず、意外に少ないのが現状である。その中であって最近わが国で検貝<sup>2),3)</sup>によって行われたRCはりのせん断に対する疲労強度の研究は、われわれに貴重な情報を提供している。

本研究は、RCスラブの押抜きせん断に対する疲労強度について実験的に検討した結果をまとめたものである。なお、実際のスラブにおける繰返し荷重は、移動荷重として作用するのが普通であるが、本研究では疲労押抜きせん断強度についての基礎的な情報を得ることを主目的とし、もっぱら、スラブ中央位置に載荷する場合について実験を行った。

## 2. 供試体および実験方法

実験はA~Gの7つのシリーズに分けて行ったが、ここではその主要部分である実験C、EおよびFについて供試体および実験方法の概要を述べる。

\* 正会員 工博 北海道大学助教授 工学部土木工学科

\*\* 正会員 工博 北海道大学教授 工学部土木工学科

## (1) 実験 C

供試体は辺長120cm×140cm、厚さ10cmの長方形スラブで、長辺を単純支持、短辺を自由とする一方向スラブとして実験を行った。なお、支間は100cmである。

鉄筋はスラブ下面側にのみ配置し、有効厚は主鉄筋に対して8.0cm、配力鉄筋に対して7.0cmとした。使用した鉄筋はすべてSD35のD10(降伏点3850kg/cm<sup>2</sup>(377N/mm<sup>2</sup>),引張強さ5450kg/cm<sup>2</sup>(534N/mm<sup>2</sup>))を使用した。鉄筋の中心間隔は主鉄筋が9.0cm、配力鉄筋が12.75cmで、おのおの鉄筋比は0.99%および0.80%である。

コンクリートは目標強度を350kg/cm<sup>2</sup>(34.3N/mm<sup>2</sup>)とし、水セメント比55%を用いた。セメントは早強ポルトランドセメント、骨材は川砂利および海岸砂を使用した。供試体は1週間の湿潤養生のち実験室中に保存し、材令21日以降に実験に供した。実験日におけるコンクリート強度は平均351kg/cm<sup>2</sup>(34.4N/mm<sup>2</sup>)であった。

実験は、スラブ中央位置に辺長10cmの正方形鋼板を接着剤で貼り付け、その上から荷重をかけた。支承は鋼丸棒を幅10cmの2枚の鋼板ではさむことによってローラーとし、鋼板とスラブ下面および支承台との間は、透き間が生じないように接着剤で貼り付けた。なお、スラブの隅角部の浮上りは自由とした。

疲労試験に先立って4枚のスラブの静的破壊試験を行った。その結果、いずれのスラブも押抜きせん断により破壊し、破壊荷重はそれぞれ13.8t(135kN),13.7t(134kN),14.0t(137kN),13.45t(132kN)であった。そこで、その平均値13.7t(134kN)を基準として疲労試験用のスラブの繰返し上限荷重の値を定めることとし、上限荷重/静的破壊荷重比 $S_0=0.45, 0.50, 0.55, 0.60, 0.65, 0.70, 0.75, 0.80$ および0.85の9種類

について実験を行った。その際、同じ  $S_0$ -値に対する破壊時の荷重繰返し回数（破壊回数）のばらつき状態をある程度知り得るよう、 $S_0=0.60\sim 0.75$  の 4 種類については各 6 枚以上のスラブについて実験を行った。試験したスラブの合計数は 39 枚である。

なお、繰返し下限荷重は 1.0 t (9.8 kN) に固定し、載荷速度は毎分 250 回とした。

また、実験に際しては所定の繰返し回数ごとに疲労試験機を停止し、繰返し上限荷重までの静的載荷試験を行って、載荷周縁に最も近い位置にある主鉄筋および配力鉄筋の各 1 本のひずみを測定した。また、一部のスラブについては、載荷周縁の近くのスラブ上面のコンクリートのひずみの測定も同時に行った。

## (2) 実験 E

このシリーズの供試体は実験 C と同じだが、同一のスラブに対して 2 種類以上の  $S_0$ -値を組み合わせて作用させた点が実験 C との大きな違いである。試験したスラブは合計 13 枚からなり、1 枚を除き、 $S_0$  は 0.60 と 0.70 の組合せと 0.65 と 0.75 の組合せとした。その載荷過程は図-1 に示すとおりで、 $A_1, A_2, B_1, B_2$  の 4 種類からなる。その際、1 過程当たりの荷重繰返し回数  $\Delta n_1, \Delta n_2$  は、実験 C で得られた結果をもとに、該当の  $S_0$ -値を一定として載荷したときの破壊回数のほぼ 1/10 に相当する値、また、 $\Delta n_3, \Delta n_4$  は同じく 1/5 に相当する値に選んだ。

なお、本実験では新たに購入した骨材を用いたため、コンクリートの配合試験に基づいて水セメント比を 50% に下げたが、結果的にはコンクリート強度は平均  $380 \text{ kg/cm}^2 (37.2 \text{ N/mm}^2)$  となり、実験 C に比べて約 9% 高い値になった。

## (3) 実験 F

このシリーズの供試体は、鉄筋の中心間隔を主鉄筋に対して 4.5 cm、配力鉄筋に対して 15.0 cm とすることにより、主鉄筋比を 1.98%、配力鉄筋比を 0.68% にした点が実験 C とのおもな相違点である。これにより、配力鉄筋比/主鉄筋比は実験 C に対して 0.81 であるのに対し、本実験では 0.34 と非常に小さい値になってい

る。

ここでも使用骨材の変更により、コンクリートの水セメント比を 52% に修正した。スラブの試験日におけるコンクリート強度は平均  $345 \text{ kg/cm}^2 (33.8 \text{ N/mm}^2)$  で、目標値をやや下回った。

疲労試験に先立って行った 4 枚のスラブの静的破壊試験の結果、いずれも押抜きせん断により破壊し、破壊荷重はそれぞれ 15.5 t (152 kN)、15.25 t (149 kN)、16.25 t (159 kN) および 15.8 t (155 kN) であった。疲労試験ではその平均値 15.7 t (154 kN) を用いて繰返し上限荷重の値を定めることとし、 $S_0=0.65, 0.70$  および 0.75 の 3 種類に対して各 7 枚、合計 21 枚のスラブについて実験した。

以上に述べた事項以外については、すべて実験 C と同一にした。

## 3. 実験結果および考察

### (1) 繰返し荷重下におけるひずみ性状

実験 C および F のスラブは、いずれも 2~3 t (20~30 kN) で曲げひびわれが生じ、繰返し上限荷重に達したときにはスラブ中央部に亀甲状のひびわれ形態が形成された。

載荷位置の近傍で測定した 1 回目の載荷時の主鉄筋および配力鉄筋のひずみの平均値は図-2 および 3 に示すとおりである。これによれば、実験 C では主鉄筋のひずみが配力鉄筋のひずみを上回り、 $S_0$  の値が 0.70 以上では 1 回目の載荷時から主鉄筋は降伏点を越えたのに対し、配力鉄筋はすべてのスラブで弾性範囲内にあった。それに対して実験 F のスラブでは、配力鉄筋のひずみが主鉄筋のひずみを上回り、 $S_0=0.75$  の場合には 1 回

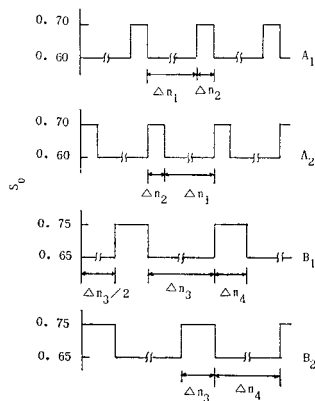


図-1 実験 E の載荷過程

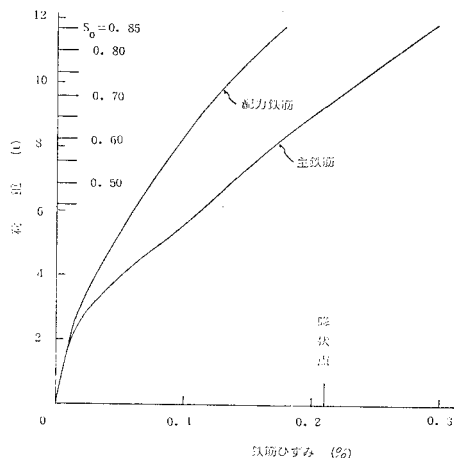


図-2 実験 C の 1 回目の載荷時の鉄筋ひずみ

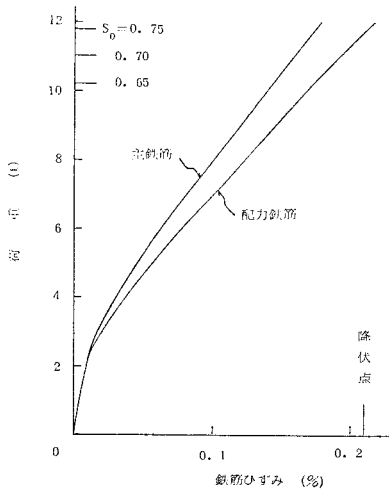


図-3 実験 F の 1 回目の載荷時の鉄筋ひずみ

目の載荷時から配力鉄筋はほぼ降伏点に達した。なお、図-2 および 3 に示した関係は、各スラブで測定されたひずみの平均値を用いたものであり、個々のスラブではひずみの測定値にばらつきがあり、実験 C では  $S_0=0.65\sim 0.75$ 、実験 F では  $S_0=0.70, 0.75$  の場合に、それぞれ主鉄筋または配力鉄筋にその降伏点を超えたものと超えないものとが混在した。

繰返し荷重下においては、主鉄筋、配力鉄筋およびスラブ上面で測定したひずみはいずれも徐々に増加する傾向を示した。しかし、ごく一部のスラブ（たとえば図-4 の主鉄筋）を除いてひずみの急激な増加はみられず、破壊直前まではほぼ安定した性状が示された。それは、鉄筋が弾性範囲内にある場合のみでなく、1 回目の載荷時には弾性範囲内にあったが、荷重繰返しの過程で降伏点を超えたもの、および 1 回目の載荷時から降伏点を超えていたものも含めて、共通にみられる性質であった。図-4~6 は荷重繰返し回数  $n$  に伴う鉄筋ひずみの変化、図-7 は同じくスラブ上面ひずみの変化に関する測定例を示したものである。

実験 C および F ではひびわれ幅の測定を省いたが、それらに先立って行った実験 A の測定結果によれば、ひびわれ幅は荷重繰返しの初期には目立った増加を示したが、その後は安定した性状を保つことが示された。その測定例を図-8 に示す\*。

(2) 破壊性状

実験 C および F のスラブはすべて押抜きせん断型の疲労破壊をした。その破壊形態は、静的押抜きせん断破

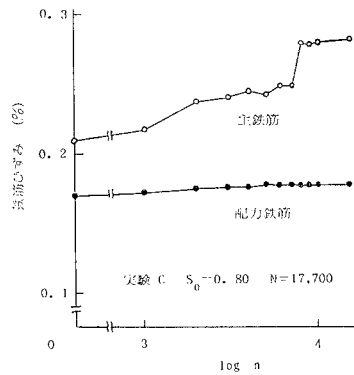


図-4 繰返し上限荷重下の鉄筋ひずみ

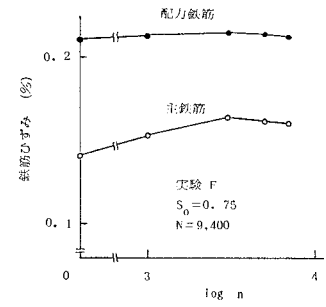


図-5 繰返し上限荷重下の鉄筋ひずみ

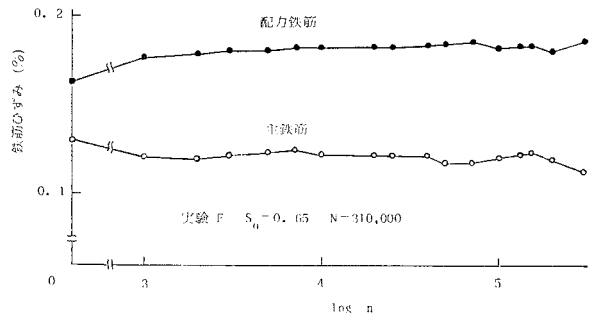


図-6 繰返し上限荷重下の鉄筋ひずみ

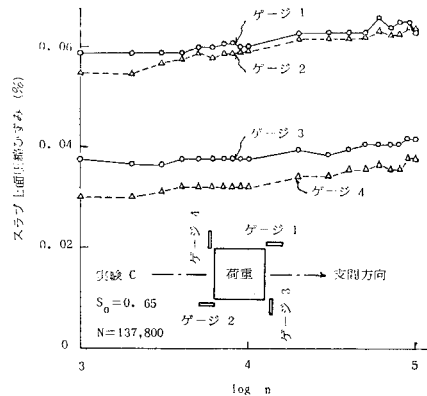


図-7 繰返し上限荷重下の載荷点近傍におけるスラブ上面ひずみ

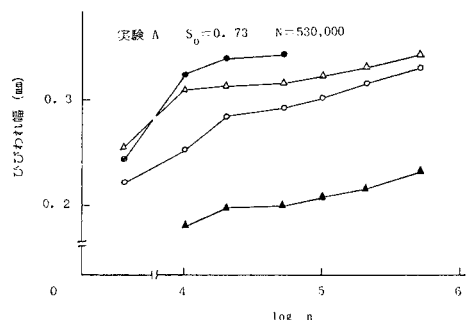


図-8 繰返し上限荷重下のひびわれ幅

\* 直交二方向のひびわれ幅をコンタクト型ひずみ計を用いて測定した。

壊と区別しにくいものであったが、唯一の相違点として実験 C のスラブの一部に主鉄筋の脆性破断を伴っているのが観察された。実験中常時スラブの観察を続けたのではなかったため、鉄筋の破断がいつ起こったかを正確に知ることはできなかったが、鉄筋の破断時に発したと思われる音を聞いたところによると、音を発した直後に押抜きせん断破壊が起こった場合もあれば、音を発した後さらに数万回の荷重繰返しに耐えるものもあった。

おのおのの  $S_0$ -値に対して試験したスラブの破壊回数  $N$  の値を表-1 および 2 に示す。また、それらの関係を図-9 および 10 に示す。

図-9 によれば、実験 C で主鉄筋の破断を伴ったスラブは  $S_0$  の値が低い場合に集中しており、それらのデータに対する  $S_0$ - $\log N$  関係の勾配は、鉄筋破断が起らなかったデータに対する勾配に比べて明らかに急なものとなっている。このことは、最終的な破壊形態は同じ押抜きせん断型であったとしても、鉄筋の破断がスラブの破壊回数に対して重大な影響をもったことを如実に物語っていることを意味している。

いま、主鉄筋の破断を伴ったスラブについて、おおよっぱな近似ではあるが、図-2 に示した  $S_0$  と鉄筋ひずみとの間の関係を用いることにより、スラブの破壊回数と主鉄筋応力との間の関係として示したのが図-11 である。本研究では鉄筋の疲労破断を直接の研究対象にし

表-1 実験 C の破壊回数

$S_0$	$N$			
0.85	1 900	5 200		
0.80	800	17 700	20 000	
0.75	600	1 300	8 000	29 300
	31 400	32 100	50 400	85 800
0.70	3 100	8 100	19 500	35 800
	37 000	100 000	156 900	204 300
0.65	78 600	105 100	123 700*	137 800
	201 800	204 700	365 400*	
0.60	137 200	228 500	325 500	379 600
	716 400*	788 300*		
0.55	368 500*	409 900*		
0.50	445 600*	601 000*		
0.45	1 241 000*			

\* 主鉄筋の破断を伴ったもの。

表-2 実験 F の破壊回数

$S_0$	$N$			
0.75	500	2 100	2 200	2 300
	3 500	9 000	9 400	
0.70	700	1 600	4 400	5 100
	35 700	40 000	167 800	
0.65	21 000	164 000	310 000	526 100
	527 000	823 400	1 150 000	

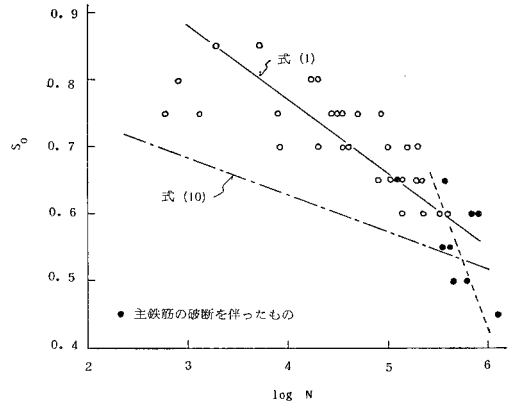


図-9 実験 C の  $S_0$ - $\log N$  関係

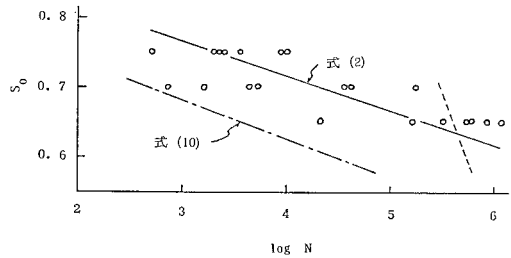


図-10 実験 F の  $S_0$ - $\log N$  関係

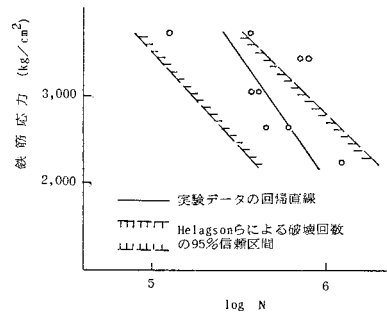


図-11 実験 C の鉄筋破断データに対する鉄筋応力- $\log N$  関係

ていないため、使用した鉄筋自身の疲労強度については特別の実験を行っていない。そこでここでは、Helagson ら<sup>4)</sup> が異形鉄筋の疲労試験による多数のデータの統計的解析によって得た破壊回数の 95% 信頼区間を参考のため図中に示してある。これによれば、本実験における主鉄筋の破断に関するデータは、Helagson らの信頼区間にはほぼ含まれており、主鉄筋の破断が押抜きせん断破壊に伴って生じたのではなく、主鉄筋自身の疲労破断が過早な押抜きせん断破壊をもたらしたことを裏付けている。

ところで、図-11 による鉄筋応力と破壊回数の関係を用いることにより、実験 F のスラブの配力鉄筋の疲労破断に対する  $S_0$ - $\log N$  関係を推定すれば、図-10

の点線に示すようになる。これによれば、 $S_0=0.65$  の場合には配力鉄筋の疲労破断が起こる可能性が十分にあることが示されている。しかし実際には、前述のように鉄筋の破断がみられなかった。その理由は明らかでないが、かぶりの大きい配力鉄筋は、かぶりの小さい主鉄筋に比べて疲労に対し有利な性質があるのかもしれない。しかし、このような性質が常に存在するのか、それとも本実験で偶然に現われたものであるのかは不明であり、この点の解明は今後の実験データの積み重ねに期待したい。

RC スラブの静的押抜きせん断破壊は、過大な鉄筋比をもつ場合を除き、鉄筋が降伏点に達するときの荷重よりもかなり高い荷重で生ずるのが普通である。また、降伏線型の曲げ破壊が起こる場合も同様である。そのため、静的耐力を基準として  $S_0$  の値を定めれば、 $S_0$  がかなり低い荷重段階から鉄筋にかなり高い応力が作用することになる。したがって鉄筋の疲労破断は、 $S_0$  が中ぐらいの値をとる場合に起こりやすいといえることができる。図-12 は、その様子を模式的に描いたもので、集中的な荷重の繰返しを受けるスラブの疲労強度は、 $S_0$  の値が大きい場合には疲労押抜きせん断強度、 $S_0$  が中ぐらいの値の場合には鉄筋の疲労強度、そして、鉄筋の応力がその疲労限に達しないような低い  $S_0$ -値では、もしも疲労破壊が起こるとすれば、疲労押抜きせん断強度によって支配される可能性があることを示唆したものである。

(3) 一定荷重繰返し下の疲労押抜きせん断強度

同一の  $S_0$ -値に対して6枚以上のスラブについて実験を行ったときの、おのおの  $S_0$ -値における  $\log N$  の分布状況を正規確率紙に描けば、図-13 および 14 に示すとおりとなる。これによれば、 $\log N$  のばらつきの大きさは個々の場合でかなり異なったものとなっているが、それぞれがほぼ直線に近い傾向を示している。本実験で得た程度のデータ数では、ワイブル分布その他の分布関数と比較していずれの適合性がよいかを判断することはできないが、上記の結果からみて、 $N$  のばらつきは、実用上最も簡便な対数正規分布に従うと仮定しても十分であるといえることができよう。

ところで 図-13 によれば、 $S_0=0.60$  および  $0.65$  の場合に比べて  $S_0=0.70$  および  $0.75$  における  $\log N$  のばらつきが大きいのが目立つ。その理由を本実験のデータのみから正確に判断するのは困難であるが、一つの可能性としては、 $S_0$  が  $0.70$  以上のスラブ

では主鉄筋が降伏点を超過しているものが多いのに対し、 $S_0$  が  $0.65$  以下のスラブでは多くの場合に主鉄筋は弾性範囲内にあることを挙げるができる。実験 F のスラブでも  $S_0=0.75$  の場合には約半数のスラブで配力鉄筋が降伏点を越えたが、 $\log N$  のばらつきはむしろ  $S_0=0.70$  の方が大きくなっている。このスラブでは配力鉄筋比が主鉄筋比の約  $1/3$  しかないことから、配力鉄筋の降伏の影響が現われなかったものと推定される。いずれにせよ明確な結論は出せないが、主鉄筋の降伏が  $\log N$  のばらつきを大きくした可能性は、あり得ることであろう。

前述の 図-9 および 10 は、鉄筋の破断を伴わずに破

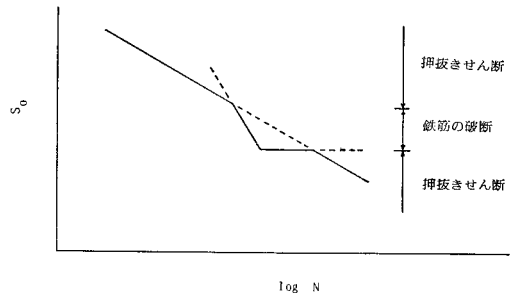


図-12 RC スラブの疲労破壊様式の推定図

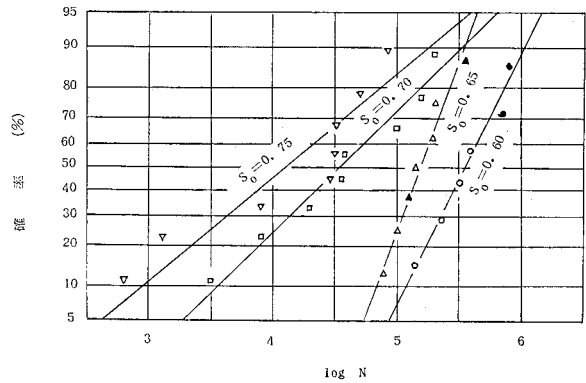


図-13 実験 C の  $\log N$  の分布 (正規確率紙)

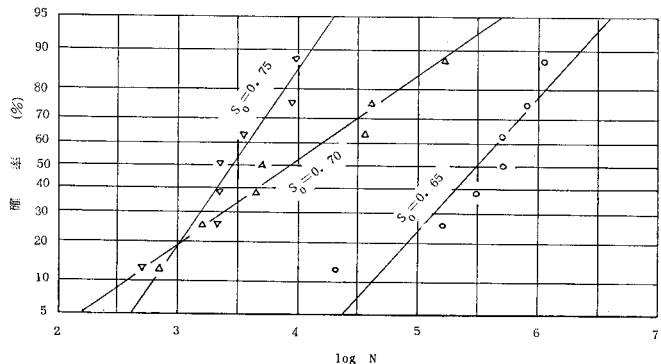


図-14 実験 F の  $\log N$  の分布 (正規確率紙)

(5) 設計用の疲労押抜きせん断強度

本研究で行った実験の範囲は限られており、その結果のみから設計に用いるべき疲労押抜きせん断強度について一般性をもった値を定めることには多少無理があるが、従来この種の提案がほとんど行われていないことを考慮すれば、たとえ暫定的な性格のものであるとしても、なんらかの設計上の目安を与えておくことは工学的に意義のあることであろう。

いま、実験 C および F によって得られた  $S_0$ - $\log N$  の回帰直線、式 (1) および (2) を見比べれば、相互にかなり異なった勾配を有していることがわかる。RC スラブの押抜きせん断破壊は、鉄筋とコンクリートからなる複合体としての破壊形式の一種であるが、基本的にはコンクリートの破壊条件に支配されると考えることができる。そこでこれまで比較的多くの研究が行われているコンクリートの圧縮疲労に関する研究で得られている  $S_0$ - $\log N$  関係を参考にすることとし、最も豊富なデータに基づいて回帰分析を行った松下ら<sup>9)</sup>の研究によれば、自身の行った実験および他研究者の行った実験のデータを用いることにより、次式を得ている。

$$\log N = 16.4 \frac{1 - S_0}{1 - S_u} + 0.29 \dots\dots\dots (6)$$

本研究においては  $S_u = 0.07$  で実験しており、上式は次のようになる。

$$\log N = 17.9 - 17.6 S_0 \dots\dots\dots (7)$$

上式を式 (1) および (2) と比較すれば、式 (2) は上式と比較的類似した関係となっているが、式 (1) の  $S_0$ - $\log N$  関係は勾配が大きすぎることをわかる。それはおそらく、主鉄筋が降伏点を越えている  $S_0 \geq 0.70$  における破壊回数の大ききばらつきと関係あると考えられ、式 (1) の勾配が  $S_0$  の低い範囲に対してもそのまま適用し得るとは考えにくい。そのことを確かめるため、実験は  $S_0$  が 0.45~0.55 と比較的低い範囲でも行ったが、いずれも主鉄筋の疲労破断が起こったため、残念ながら純粋な疲労押抜きせん断破壊を得ることができなかった。そこで、著者らの主観的な判断を交え、以下のように設計用疲労強度を導出することにした。

前述の 図-13, 14 の正規確率紙には、各  $S_0$ -値における  $\log N$  の分布とともに、その回帰直線も示してある。これより危険側の確率 5% に相当する  $\log N$  の値を求め、 $S_0$  との関係を示したのが 図-17 である。その回帰直線は次のようになる。実験 C のスラブに対して、

$$\log N = 15.24 - 16.80 S_0 \dots\dots\dots (8)$$

実験 F のスラブに対して、

$$\log N = 15.51 - 17.77 S_0 \dots\dots\dots (9)$$

上の 2 式の勾配は、式 (7) の勾配と類似しており、前述

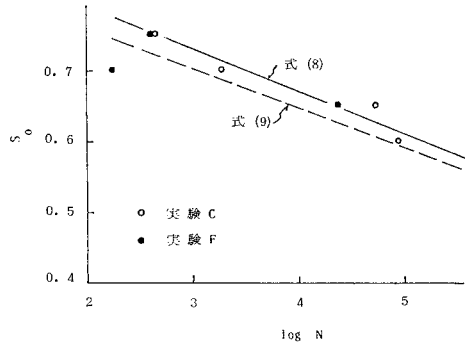


図-17 危険側の確率 5% に対する  $S_0$ - $\log N$  関係

の理由により式 (1) および (2) のもつ勾配よりも実際であると判断し、これらを安全側に包含する関係として、次式を設計用疲労押抜きせん断強度式とすることを提案したい。

$$\log N = 14 \frac{0.85 - S_0}{0.85 - S_u} \dots\dots\dots (10)$$

なお、本研究では  $S_u$  の影響については実験を行っていないが、コンクリートの圧縮疲労に対する松下らの研究<sup>9)</sup>等からみて、押抜きせん断に対しても修正 Goodman の関係が成り立つものと仮定し、上式を求めた。ただしその際、疲労強度のばらつきを静的強度の補正によって考慮することとし、修正 Goodman 図における静的破壊点を、静的強度の 85% に置き換えてある。

図-9 および 10 には実験 C および F に対する上式の計算値を示してあるが、主鉄筋の破断の生じたものを除き、すべてのデータを安全側に包含していることがわかる。また、組合せ荷重を与えた実験 D および E に対しても、式 (10) を用いれば、すべてのデータが安全側 ( $D > 1$ ) に包含される。

表-5 および 図-18 は、実験 A, B および G で得られた実験結果をまとめて示したものである。なお、最初に行った実験 A では鉄筋の破断が起こらなかったため、実験 B では鉄筋の破断の有無についての観察を省

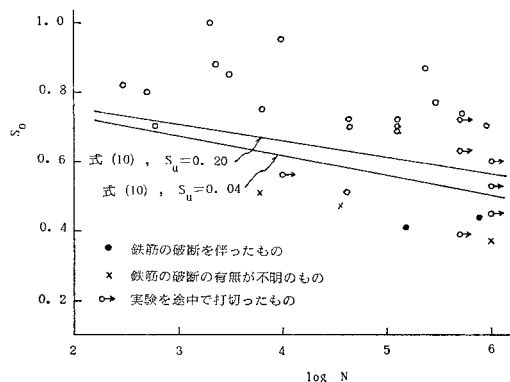


図-18 実験 A, B および G の破壊回数

表-5 実験 A, B, G の結果

実験シリーズ	スラブ別	$S_0$	$S_u$	$N$	備 考
A	I	0.72	0.14	>500 000	スパン 150 cm, 厚さ 14 cm, $p_1=0.82\%$ , $p_2=0.73\%$ , D13
		0.39	0.08	>500 000	
		1.01	0.20	2 000	
		0.56	0.11	>10 000	
		0.95	0.19	9 500	
	0.85	0.17	3 000		
	II	0.87	0.17	234 000	スパン 150 cm, 厚さ 14 cm, $p_1=0.82\%$ , $p_2=0.77\%$ , D16
		0.53	0.11	>1 000 000	
	III	0.63	0.13	>500 000	スパン 150 cm, 厚さ 14 cm, $p_1=0.50\%$ , $p_2=0.41\%$ , D13
0.73		0.15	530 000		
0.77		0.15	288 900		
B	IV	0.72	0.07	43 000	スパン 100 cm×100 cm***, 厚さ 15 cm, $p_1=0.89\%$ , $p_2=0.97\%$ , D10
		0.88	0.07	2 300	
		0.72	0.07	126 000	
	V	0.51	0.05	6 000**	スパン 100 cm×100 cm***, 厚さ 15 cm, $p_1=2.02\%$ , $p_2=2.20\%$ , D10
		0.37	0.05	1 000 000**	
		0.82	0.05	300	
		0.70	0.05	600	
	VI	0.47	0.04	36 000**	スパン 100 cm×100 cm***, 厚さ 15 cm, $p_1=0.45\%$ , $p_2=0.49\%$ , D10
		0.51	0.04	41 000	
		0.41	0.04	152 000*	
		0.44	0.04	750 000*	
	G	IX	0.80	0.06	500
0.75			0.06	6 300	
0.70			0.06	879 500	
0.70			0.06	43 900	
0.60			0.06	>1 000 000	
0.70			0.06	123 500	
0.45			0.06	>1 000 000	
0.70			0.06	128 500	

\* 鉄筋の破断を伴ったもの。 \*\* 鉄筋の破断の有無が不明のもの。

\*\*\* 4辺支持。

略したところ途中で鉄筋の破断が発見されたため、過去にさかのぼって調査したが、すでに廃棄したスラブがあったため、鉄筋の破断の有無の不明のものが生じた。図-18 によれば、鉄筋の破断のないことが確認されたスラブのデータの大部分が、式(10)の  $\log N$  を上回っていることが示されている。

#### 4. ま と め

本研究は、一定荷重または組合せ荷重の繰返し載荷試験を行うことにより、RC スラブの疲労押抜きせん断破壊についての基本的な性状を調べた。得られたおもな点を列挙すれば、次のとおりである。

(1) 鉄筋およびコンクリートのひずみは荷重の繰返しに伴って徐々に増加したが、鉄筋が弾性範囲内にある場合のみでなく、降伏点を超えている場合にも、多くの場合に安定したひずみ性状が示された。

(2) 静的には押抜きせん断破壊によってその耐力が定まるスラブであっても、繰返し荷重を受ける場合には

鉄筋の疲労破断によってその疲労強度が支配されることがあり得る。それは、繰返し上限荷重/静的破壊荷重比  $S_0$  が 0.5 前後の中ぐらゐの範囲で起こりやすい。

(3) 疲労押抜きせん断破壊における破壊回数  $N$  のばらつきは、ほぼ対数正規分布に従うと考えてよい。

(4) 疲労押抜きせん断破壊に対する  $S_0$  と  $\log N$  の関係は、ほぼ直線に近似し得る。

(5) 押抜きせん断に対する 100 万回疲労強度は、片振りの場合で、静的押抜きせん断強度の 55% 前後と推定される。

(6) 組合せ荷重に対する疲労押抜きせん断強度の評価には、Miner の仮説を利用することができる。

(7) 今後多くの実験データの積み重ねが行われるまでの間の暫定的な設計用疲労押抜きせん断強度として、次式を提案する。

$$\log N = 14 \frac{0.85 - S_0}{0.85 - S_u}$$

終わりに、本研究の多くは文部省科学研究費の補助を受けて行ったものである。また、実験 A および B は北海道開発局土木試験所構造研究室の全面的な協力を得て行ったものであり、実験に際しては当研究室の多くの方々にお世話になった。また、実験 C~G は北海道大学工学部構造工学研究室で行ったものであり、木村勉技官をはじめ、多くの卒業生より多大な協力を受けた。ここにあわせて関係各位に深く感謝申し上げる。

また、本研究は文部教官、故 松井 司氏の参加のもとに行われた。研究の途上で他界された同氏に対し、心から感謝と哀悼の意を表したい。

#### 参 考 文 献

- 1) Nordby, G.M.: Fatigue of Concrete—A Review of Research, ACI Journal, Vol. 55, No. 2, Aug., 1958.
- 2) 国分正胤・松貝 勇: 繰返し荷重を受ける鉄筋コンクリートばりのせん断性状, セメント技術年報, XXV, 1971.
- 3) 松貝 勇: 鉄筋コンクリートばりのせん断破壊に関する基礎研究, 土木学会論文報告集, 第 279 号, 1978.11.
- 4) Helagson, T. and J.M. Hanson: Investigation of Design Factors Affecting Fatigue Strength of Reinforcing Bars—Statistical Analysis, ACI SP-41, 1974.
- 5) 角田与史雄・井藤昭夫・藤田嘉夫: 鉄筋コンクリートスラブの押抜きせん断耐力に関する実験的研究, 土木学会論文報告集, 第 229 号, 1974.9.
- 6) Okamura, H. and T. Higai: Proposed Design Equation for Shear Strength of Reinforced Concrete Beams without Web Reinforcement, 土木学会論文報告集, 第 300 号, 1980.8.
- 7) Chang, T.S. and C.E. Kesler: Static and Fatigue Strength in Shear of Beams with Tensile Reinforcement, ACI Journal, Vol. 29, No. 12, June, 1958.
- 8) Stelson, T.E. and J.N. Cernica: Fatigue Properties of Concrete Beams, ACI Journal, Vol. 30, No. 2, Aug., 1958.
- 9) 松下博通・徳光善治: 生存確率を考慮したコンクリートの圧縮疲労強度に関する研究, 土木学会論文報告集, 第 284 号, 1979.4. (1980.12.5・受付)