

土 木 研 究 所 資 料

コンクリートげたのせん断に関する実験

その 2

「せん断補強鋼材として鉛直鋼棒と斜引張鉄筋を
併用配置したプレストレストコンクリートげた」

昭和59年 5 月

建設省土木研究所
構造橋梁部橋梁研究室

Copyright © 1984年 by P. W. R. I.

All rights reserved. No part of this book may be reproduced by any means, nor transmitted, nor translated into a machine language without the written permission of the Director of P. W. R. I.

この報告書は、土木研究所長の承認を得て刊行したものである。
したがって、本報告書の全部又は一部の転載、複写は土木研究所長の承認を得ずしてこれを行なってはならない。

ま え が き

土木研究所橋梁研究室では、プレストレストコンクリート橋の設計方法に関する調査研究の一貫として高強度の鉛直鋼棒でせん断補強したプレストレストコンクリートげた（以下、PCげた）の載荷実験を行い、鉛直鋼棒の補強効果ならびに問題点を究明することを目的に検討を重ねている。

すでに前報（土木研究所資料第1357号）において主に鉛直鋼棒、斜引張鉄筋を単独に配置したコンクリートげたの載荷実験の結果について報告を行った。

その研究成果は道路橋示方書Ⅲ「コンクリート橋編」（以下、道示）の改訂等に反映され、鉛直鋼棒については従来の斜引張鉄筋と同様な設計方法をとれば基本的には支障ないことがわかっている。

しかしながら、より合理的な鉛直鋼棒の設計を行うには、鉛直プレストレスの斜引張りひびわれ発生荷重、ウェブ圧縮破壊耐力に及ぼす影響、ならびにひびわれ分散性から決定される最小鉄筋量等、解明しなければならない問題点も残されている。

そこで前実験で得られた結果を踏まえ、大型供試体による載荷実験をひきつづき実施することにした。実験では設計上、より一般的な場合と考えられる鉛直鋼棒と斜引張鉄筋を併用配置したPCげたを対象としている。本資料はその載荷実験の結果をとりまとめたものである。

昭和59年5月

構造橋梁部橋梁研究室

室 長	佐 伯 彰	一
研究員	箕 作 光	一
	平 山 伸	司
	井 川 敏	正

目

次

ま え が き

1. 現行設計法と問題点	1
2. 実 験 概 要	3
2.1 供 試 体	3
2.2 材 料 特 性	7
2.3 載 荷 方 法	8
2.4 測 定 方 法	11
3. 実験結果とその考察	14
3.1 実験結果の概要	14
3.2 せん断補強鋼材の応力度に関する特性	20
3.2.1. 応力度の算出方法	20
3.2.2 斜引張鉄筋と鉛直鋼棒との比較	23
3.3 斜引張ひびわれに関する特性	26
3.3.1 斜引張ひびわれ発生荷重	26
3.3.2 せん断力との関係	26
3.3.3 せん断補強鋼材応力度との関係	28
3.3.4 鉛直プレストレスの効果	30
3.4 ウェブ圧縮破壊耐力	31
4. 結 論	39
あ と が き	40
参 考 文 献	40
付 図	43

1. 現行設計法と問題点

道示では、せん断力が作用するプレストレストコンクリート部材について設計荷重作用下では、斜引張ひびわれを生じさせないようにし、終局荷重作用下では、ウェブ圧縮破壊、斜引張破壊を生じさせないように規定している。

したがって、設計荷重作用下では部材全断面有効として計算した、主引張応力度がコンクリートの許容斜引張応力度よりも小さくなるようにしなければならない。

また、終局荷重作用下に対しては、道示一表2.5.1のコンクリートの平均せん断応力度の最大値よりも下回ることを確認することによって、ウェブ圧縮破壊に対する安全性を確保するとともに、せん断補強鋼材を降伏させないことにより、斜引張破壊に対する安全性を確保することが必要となる。

一方、長径間プレストレストコンクリート橋や等断面連続げたの支点付近では、大きなせん断力に対処するため、従来の斜引張鉄筋の代替として高強度の鉛直鋼棒が、設計・施工上の理由によりしばしば用いられている。

これは、鉛直鋼棒が次のような特長を有していることによっている。

- (1) 鉛直プレストレスを導入することにより、主引張応力度を低減できること。

設計荷重作用時に対する照査において道示に示される許容斜引張応力度を超過する場合、ウェブ厚等を増加させることなく対処できる。

- (2) 高強度であることから、必然的にせん断補強鋼材量を少なくできること。

道示に示されるせん断補強鋼材量の算出式を式(1)に示している。

$$A_w = \frac{1 \cdot 15 \cdot S_{h'} \cdot a}{\sigma_s \cdot d (\sin \theta + \cos \theta)} \quad \left. \begin{array}{l} \\ \Sigma S_{h'} = S_h - S_p - S_c \end{array} \right\} \dots\dots\dots (1)$$

ここに

A_w ; 間隔 a および角度 θ で配筋されるせん断補強鋼材の断面積 (cm^2)

$S_{h'}$; 間隔 a および角度 θ で配筋されるせん断補強鋼材が負担するせん断力 (Kg)

$\Sigma S_{h'}$; $S_{h'}$ の合計 (Kg)

S_h ; 部材の有効高 d の変化を考慮したせん断力 (Kg)

S_c ; コンクリートの負担するせん断力 (Kg)

S_p ; PC鋼材の引張力のせん断作用方向の分力 (Kg)

σ_s ; せん断補強鋼材の応力度 (Kg/cm^2)

同式より鋼材の強度が高くなれば、鋼材量を少なくできることがわかる。

数種類の鋼材が錯綜する部分にあたる支点付近の終局荷重作用時に対する照査の結果、非常に

多量の斜引張鉄筋を配置しなければならない場合に対して有利となる。

道示では上記のような特長を有する鉛直鋼材に対して、とりあえず数例の実験結果に基づき、従来の斜引張鉄筋と同様にトラスモデルによる設計方法を示している。

しかしながら、一方、現状において次のような明確になっていない問題点も残されている。

(1) 鉛直鋼棒は斜引張鉄筋に比較し、コンクリートとの付着強度が小さいため、ひびわれ分散性が低下し、ひびわれ幅が大きくなることが考えられる。

ひびわれ幅が大きくなれば、道示においてコンクリートが負担するせん断力 S_c の中に含めて考慮されているダウエル効果、骨材のかみ合い効果が低減し、 S_c が減少するため、式(1)の $\Sigma Sh'$ が増加し、斜引張破壊耐力が低下することが考えられるほか、部材の耐久性確保の観点からも問題となる。

(2) 鉛直プレストレスにより斜引張ひびわれ発生荷重を大きくできることは定性的には理解されるが、定量的な評価については十分とはいえない状況にある。

(3) 鉛直プレストレスの効果により斜引張ひびわれ角度が小さくなることから、トラスモデルの圧縮斜材に作用する圧縮力が増し、その破壊耐力が低下することが考えられる。

したがって本実験では上記の問題点の検討を中心にせん断補強鋼材として鉛直鋼棒と斜引張鉄筋を併用して用いた場合の全般的なせん断耐荷性状について検討することにした。

2. 実験概要

2.1 供試体

本実験を実施するにあたっては、図-1(1)~(3)に示すタイプA~Cの計3体の供試体を製作した。表-1にそれらの諸元を示している。

表-1 供試体の諸元

供 試 体		A		B		C	
せん断補強鋼材	鉛 直 鋼 棒	SBPR 80/95 φ13 @400		SBPR 80/95 φ11 @400		SBPR 80/95 φ9.2 @400	
	斜引張鉄筋	SD30 2D10 @400		SD30 2D10 @300		SD30 2D10 @200	
せん断補強鋼材 比 (%)	鉛 直 鋼 棒	0.24		0.17		0.12	
	斜引張鉄筋	0.25		0.34		0.51	
	計	0.49		0.51		0.63	
桁 の 左 右		左サイド	右サイド	左サイド	右サイド	左サイド	右サイド
鉛直鋼棒の有効引張応力度 (Kg/cm ²)		5000	2000	5000	2000	5000	2000
鉛直方向有効プレストレス (Kg/cm ²)		11.8	4.7	8.5	3.4	5.9	2.4
軸 方 向 鋼 材	上 側	SBPR 95/110 2φ 23		SBPR 95/110 2φ 23		SBPR 95/110 2φ 23	
	下 側	SBPR 95/110 2φ23、4φ32		SBPR 95/110 2φ23、4φ32		SBPR 95/110 2φ23、4φ32	
軸方向鋼材の有効引張応力度 (Kg/cm ²)	上 側	4500					
	下 側	4500					
軸方向有効プレ ストレス (Kg/cm ²)	上 縁	-0.7					
	中 立 軸	63.4					
	下 縁	129.8					

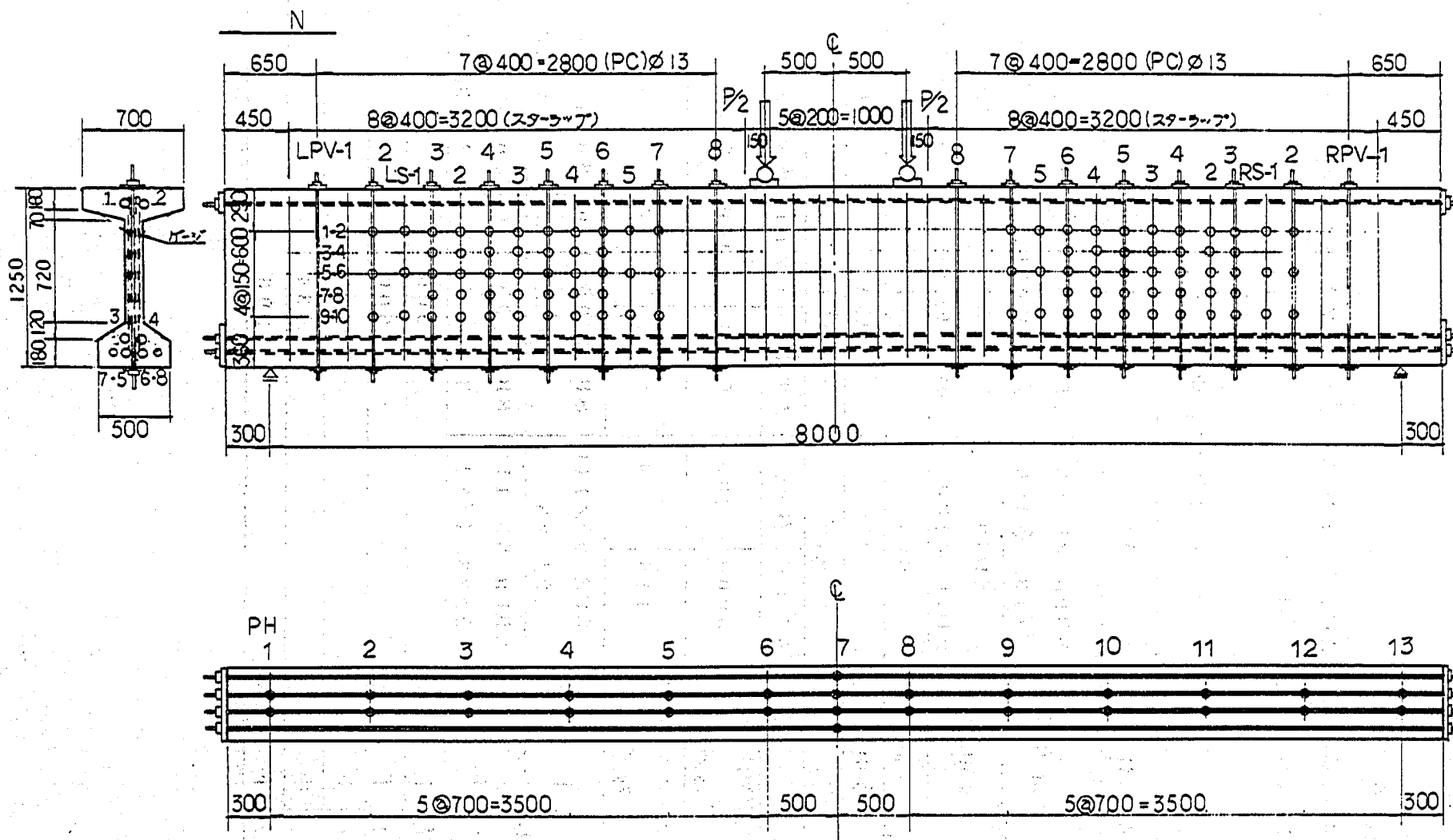


図-1(1) ひずみゲージ貼付位置(鋼棒および鉄筋)(タイプ-A)

図-1(2) ひずみゲージ貼付位置(鋼棒および鉄筋)(タイプ-B)

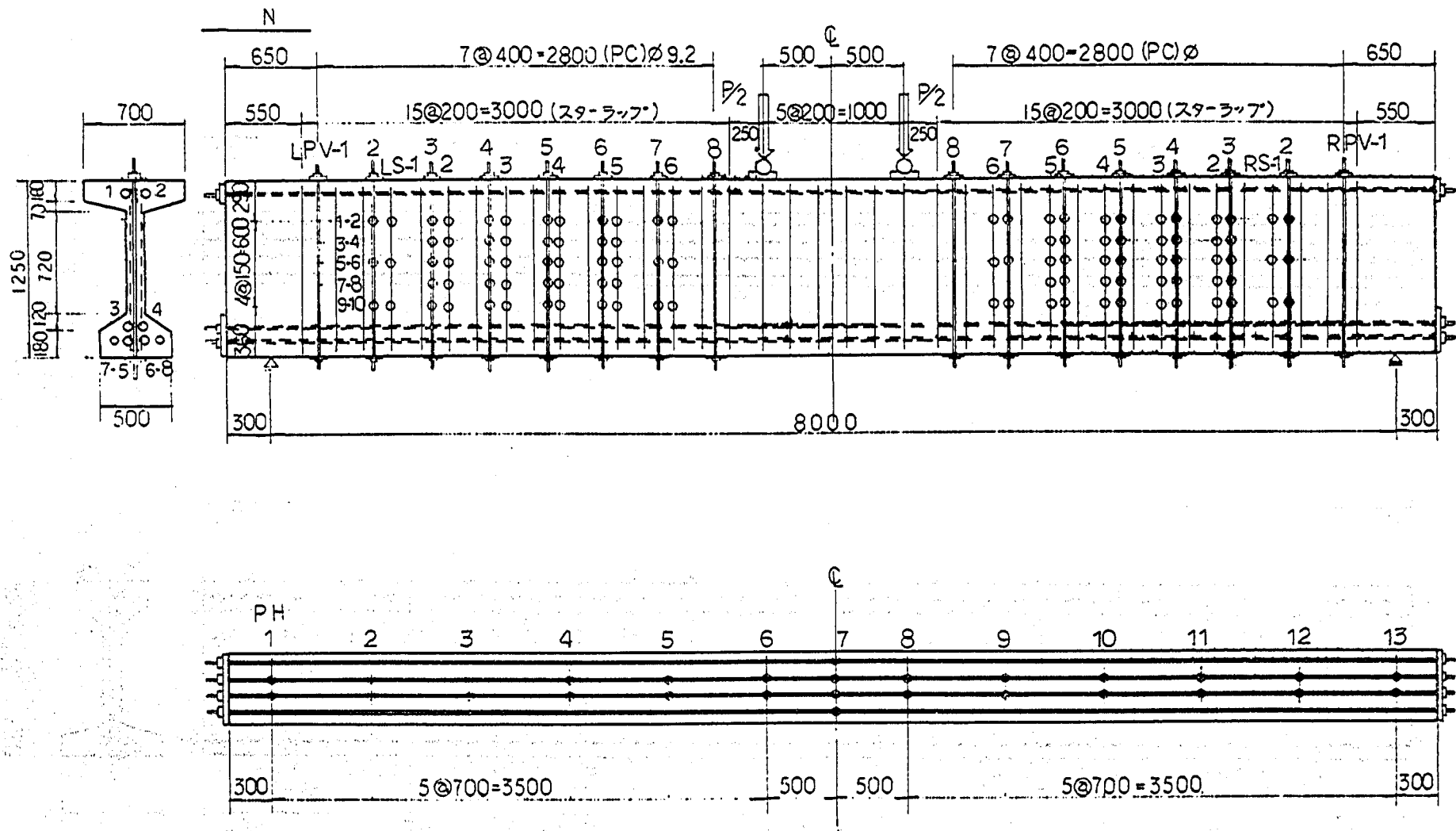


図-1(3) ひずみゲージ貼付位置(鋼棒および鉄筋)(タイプ-C)

供試体の大きさは、3体とも同じであり、長さ8.6 m、けた高1.25 m、上フランジ幅0.7 m、下フランジ幅0.5 mとしている。なお、ウェブ厚は3体とも14 cmであり、上フランジ幅とウェブ幅の比は5.0である。

せん断補強鋼材については、鉛直鋼棒、斜引張鉄筋を併用配置し、両者の鋼材量の比率を表-1に示すようにそれぞれ変化させている。ただし両者の合計したせん断耐荷力はほぼ等しくなるようにしている。

鉛直プレストレスの大きさは、斜引張びびわれ発生荷重の変化、ならびにせん断耐荷性状に及ぼす影響を調べるため、各供試体ともスパン中心を境に左右で変えている。

供試体の設計はすべてせん断補強鋼材の降伏がウェブ圧縮破壊、曲げ破壊よりも先行するように行った。

なお、各破壊耐荷力は下記の設計基準等を参考にした。

- i) せん断補強鋼材降伏耐力 道示(1980)
- ii) ウェブ圧縮破壊耐荷力 CEB-FIPモデルコード(1978)²⁾
- iii) 曲げ破壊耐荷力 道示(1980)

その他、構造細目はできるかぎり道示に従っている。

2.2 材料特性

供試体製作に用いたセメントは早強ポルトランドセメントであり、コンクリートの配合はスランプ8 cm、目標強度400 Kg/cm²とした。粗骨材、細骨材は八王子産の碎石、砕砂を用いた。表-2、表-3にコンクリートの配合および硬化コンクリートの力学的性質を示す。

表-2 コンクリートの配合

粗骨材 の最大 寸 法 (mm)	スラン プの範 囲 (cm)	空気量 の範囲 (%)	水セメ ント比 (%)	細骨材 率率 (%)	水 量 (Kg/m ³)	セメン ト 量 (Kg/m ³)	細骨材 量量 (Kg/m ³)	粗 骨 材 量		混和剤 量ポリ ス/5L (Kg/m ³)
								13~20 mm (Kg/ m ³)	5~13 mm (Kg/ m ³)	
20	8±25	3±1	43.8	44.3	16.3	372	790	603	403	3.72

表-3 コンクリート強度

供 試 体	種 別	試験本数(本)	平均強度 (Kg/cm ²)	ヤング係数の平均値 (Kg/cm ²)
A	圧 縮	4	476	2.86 × 10 ⁵
	引 張	5	34.6	
B	圧 縮	4	442	2.73 × 10 ⁵
	引 張	5	35.9	
C	圧 縮	4	443	3.03 × 10 ⁵
	引 張	5	36.1	

PC鋼棒はB種1号SBPR95/110を軸方向鋼棒に、A種1号SBPR80/95を鉛直鋼棒に用いた。また、斜引張鉄筋には、SD30、D10を用いた。表-4にPC鋼棒、鉄筋の引張強度試験の結果を示している。

表-4 鉄筋、PC鋼棒の強度

規 格	試験本数(本)	項 目	平均値 (Kg/cm ²)	ヤング係数の平均値 (Kg/cm ²)
SBPR80/95 φ9.2	3	降 伏 点	9900	2.04 × 10 ⁶
		引 張 強 さ	10520	
SBPR80/95 φ11	3	降 伏 点	9100	2.04 × 10 ⁶
		引 張 強 さ	10077	
SBPR80/95 φ13	3	降 伏 点	9250	2.04 × 10 ⁶
		引 張 強 さ	10237	
SBPR95/110 φ13	3	降 伏 点	11300	2.03 × 10 ⁶
		引 張 強 さ	11654	
SBPR95/110 φ17	3	降 伏 点	10900	2.00 × 10 ⁶
		引 張 強 さ	11864	
SBPR95/110 φ23	3	降 伏 点	11400	2.03 × 10 ⁶
		引 張 強 さ	12290	
SBPR95/110 φ32	3	降 伏 点	10500	2.01 × 10 ⁶
		引 張 強 さ	—	
SD30 D10	3	降 伏 点	3220	1.76 × 10 ⁶
		引 張 強 さ	5363	

2.3 載 荷 方 法

載荷試験は、建設省土木研究所構造物実験施設にある3000t万能試験機を使用し、載荷試験用げたを利用して対称2点集中荷重を作用させることにより実施した。写真-1、2に供試体の設置状況を示している。スパンは3体とも8.0mとし、せん断スパンを3.5mとした。したがってせん断スパン比は3.15となっている。

載荷過程を図-2に示している。斜引張ひびわれが発生するまで載荷し、その後、20回程度の繰返し載荷を行い、つづいて除荷、再び荷重を増加させて破壊に至らしめた。

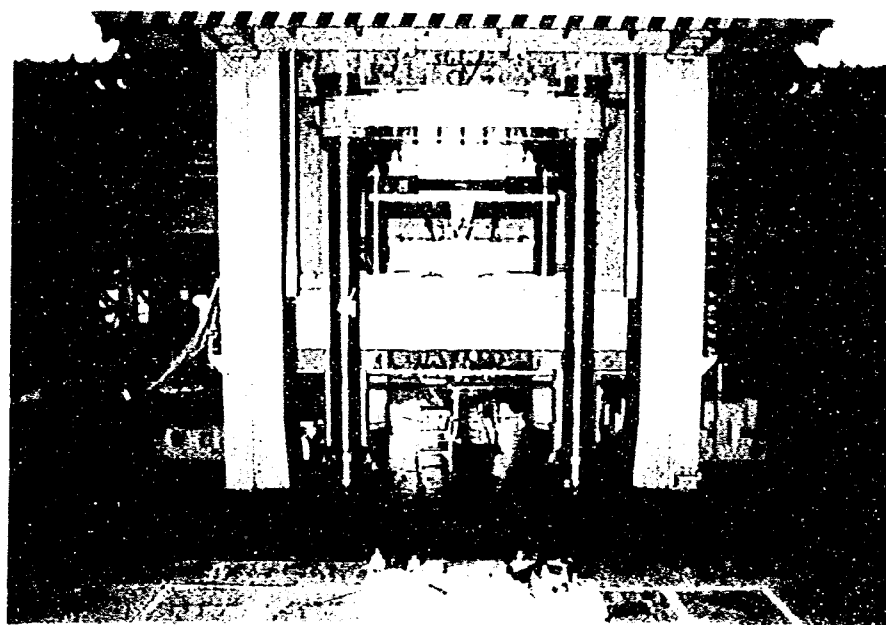


写真-1

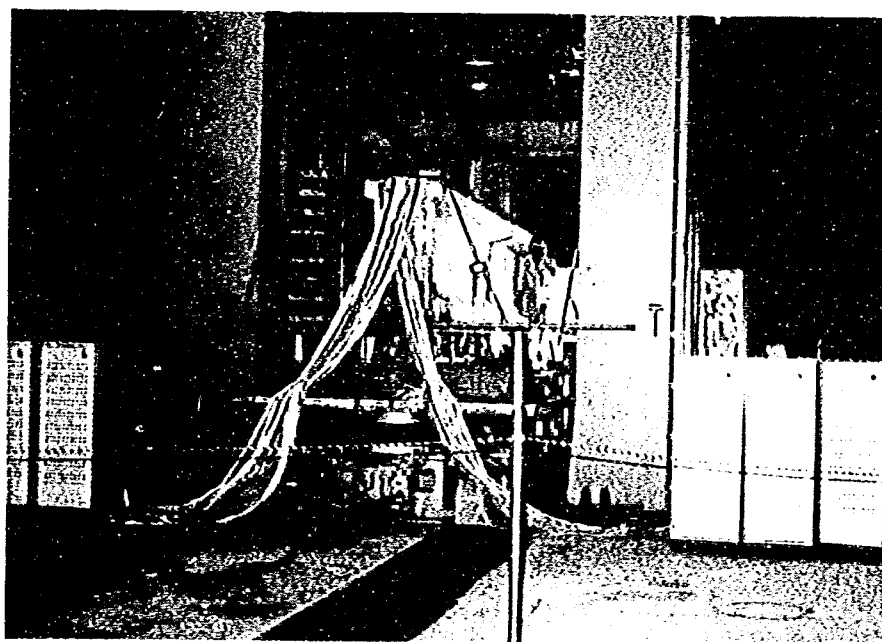


写真-2

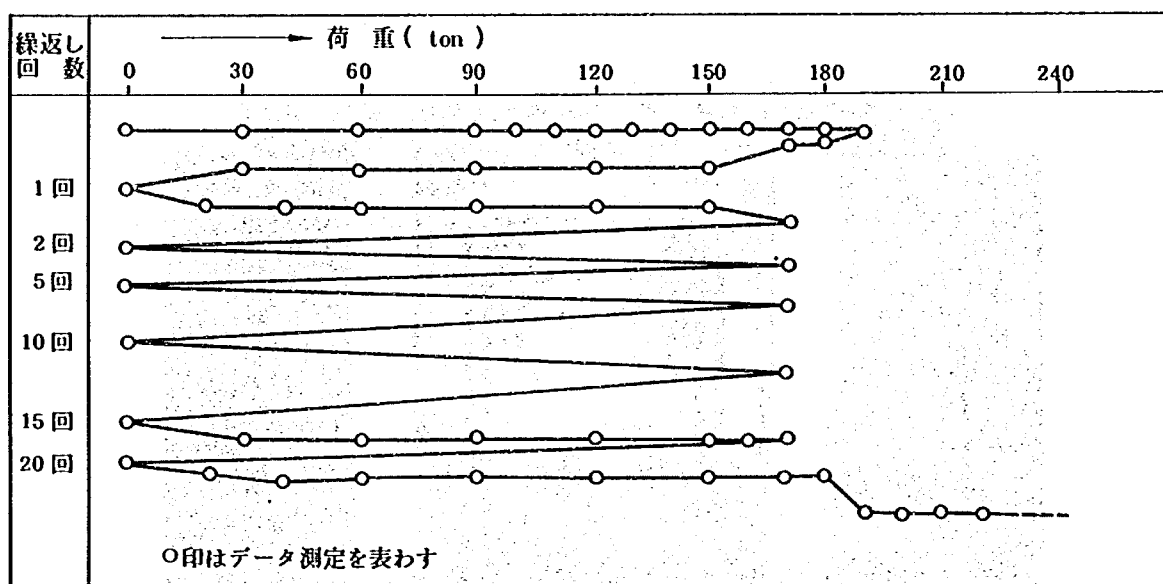


図-2 載荷過程

2.4 測定方法

載荷に際しては、変位計によるたわみの測定、電気抵抗式ひずみゲージによる鉛直鋼棒、斜引張鉄筋およびコンクリート表面のひずみを所定の荷重時に測定した。

鋼材のひずみ測定位置を図-1(1)~(3)に、コンクリート表面のひずみ測定位置を図-3に示している。

またウェブのコンクリート表面には図-4に示すように10cm間隔の標点を設け、コンタクトゲージを用いて斜引張ひびわれ幅の測定を行った。なお、ひびわれ幅はルーペによっても測定を行っている。

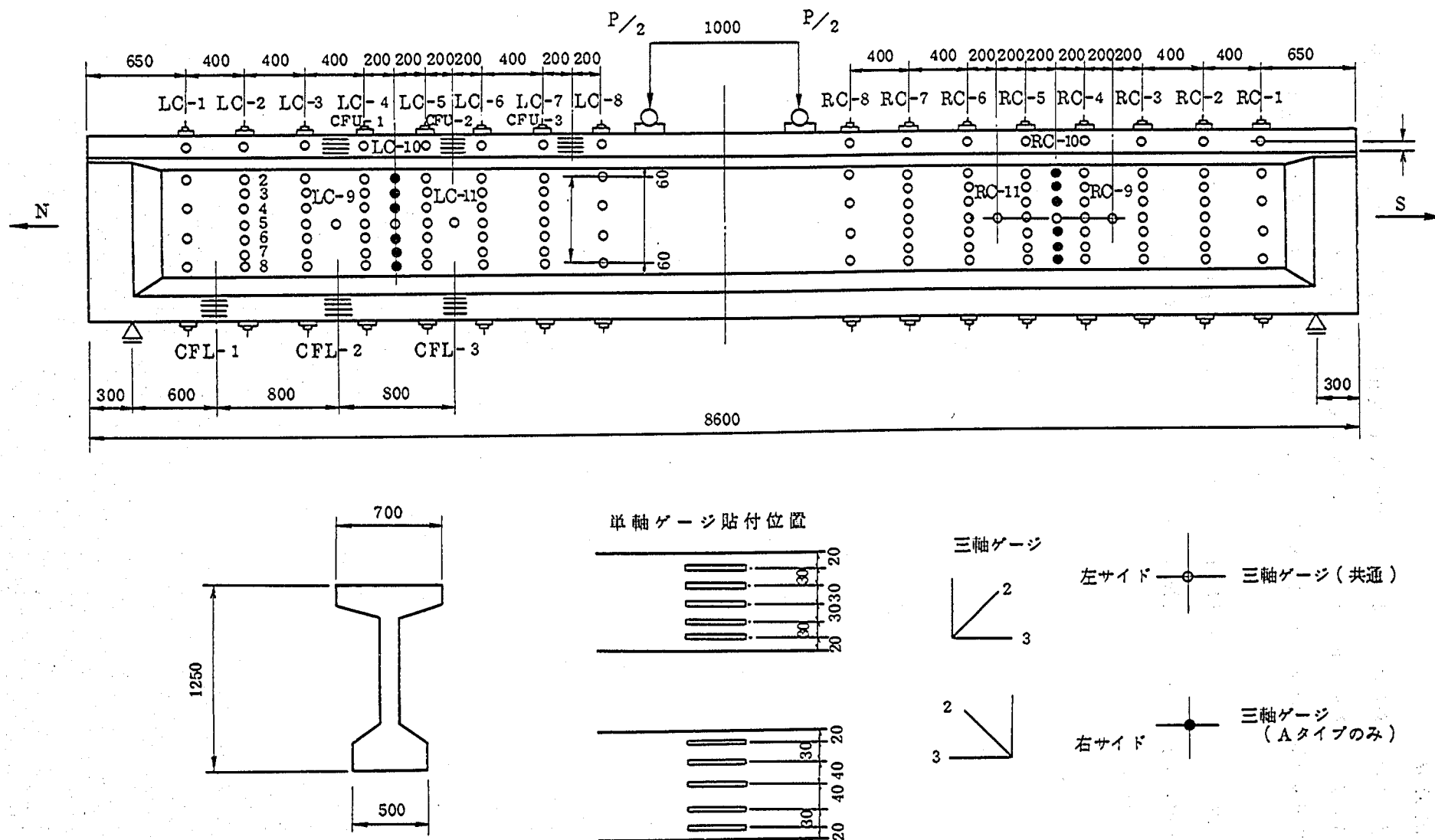


図-3 コンクリートゲージ貼付位置 (A~Cタイプ)

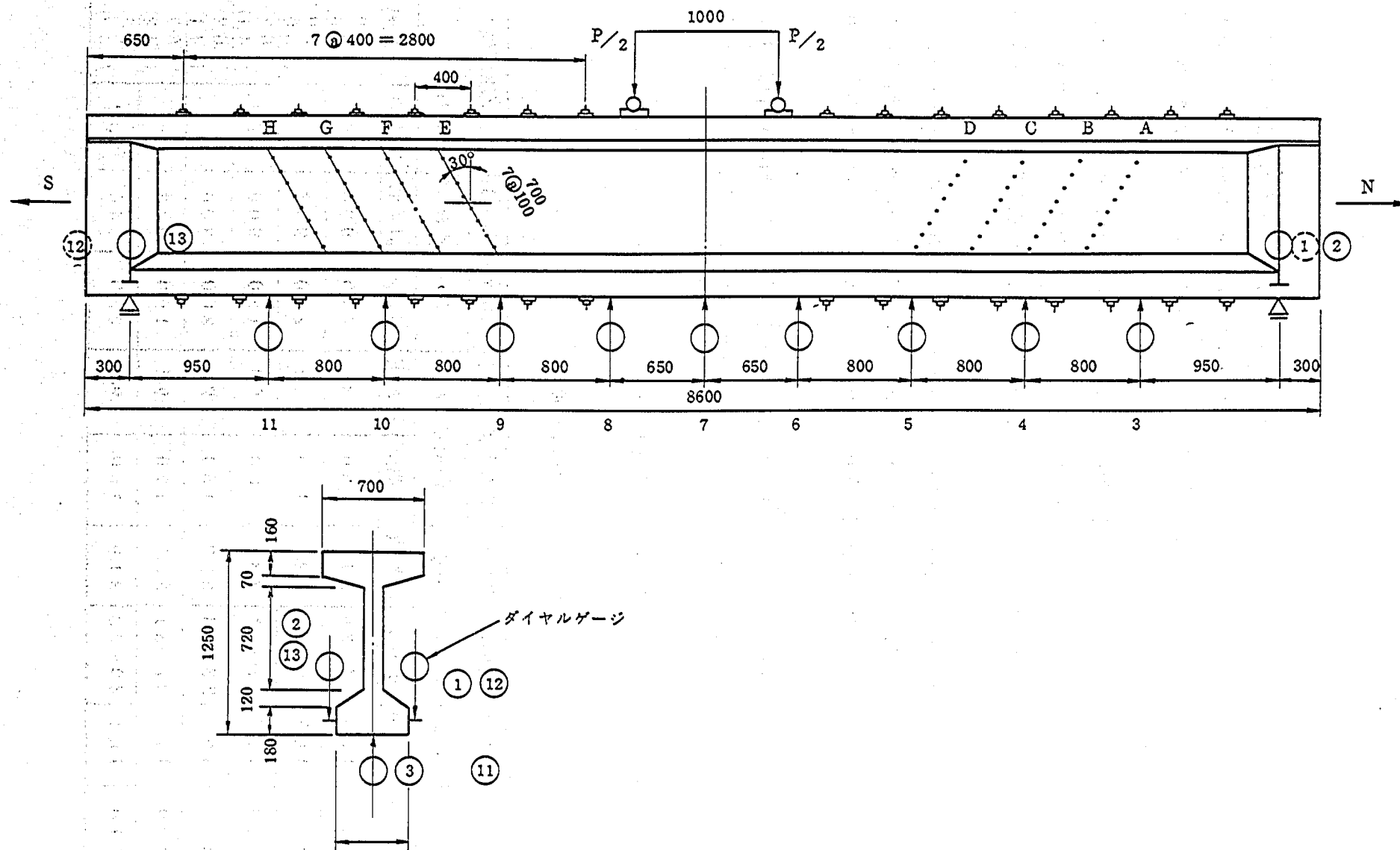


図-4 コンタクトゲージおよびダイヤルゲージ取付位置 (A~Cタイプ)

3. 実験結果とその考察

3.1 実験結果の概要

斜引張ひびわれ発生荷重、角度、せん断補強鋼材の降伏荷重、ウェブ圧縮破壊荷重等の実測値と計算値を表－5にまとめて示している。また図－5(1)～(3)に各供試体の荷重とスパン中央の変位の関係を図－6(1)～(3)に全般的な部材のひびわれ形状およびウェブ圧縮破壊箇所を示している。(写真－3, 4参照)

供試体は3体ともウェブ圧縮破壊形式で耐荷力を失なった。その破壊に至る経過は、120 ton前後でスパン中央部に曲げひびわれが発生し、続いて、斜引張ひびわれがせん断スパン中央部付近の断面図心位置に発生したあと、斜引張鉄筋、鉛直鋼棒の順に降伏し、その後に圧壊している。

表－5中の計算値は鉛直鋼棒、斜引張鉄筋、コンクリートの材料試験の結果(表－3, 4参照)を前述した各耐荷力算定式に代入し、算出したものである。なお、ウェブ圧縮破壊力の計算におけるCEB－FIP式の適用にあたっては、コンクリートの材料係数 $\delta_m = 1.0$ とした場合の計算値を示している。

斜引張ひびわれ発生荷重および角度の計算値は部材を弾性体とみなし、断面図心位置(PC鋼材換算断面)における主引張応力度がコンクリートの引張強度に達する時にひびわれが生じるとして求めている。

以下、各項目について実験結果を示し、考察する。

表－5 実験結果の概要

供試体	桁の左右	斜引張ひびわれ		斜引張ひびわれ		せん断補強鋼材の降伏荷重 (ton)				ウェブ圧縮破壊	
		発生荷重 (ton)		発生角度 (deg)		斜引張鉄筋		鉛直鋼棒		荷重 (ton)	
		実測値	計算値	実測値	計算値	実測値	計算値	実測値	計算値	実測値	計算値
A	左	146	180	24～36	34.6	160	93.4	210	99.8	245	390 (260)
	右	138	165	26～34	32.4	150	74.2	240	99.8	—	390 (260)
B	左	138	177	27～31	33.8	160	86.0	180	90.0	230	362 (241)
	右	123	166	28～34	32.2	150	72.2	200	90.0	—	362 (241)
C	左	120	172	27～31	33.1	170	89.2	190	94.6	—	363 (242)
	右	110	164	29～33	31.9	160	79.6	220	94.6	232	363 (242)

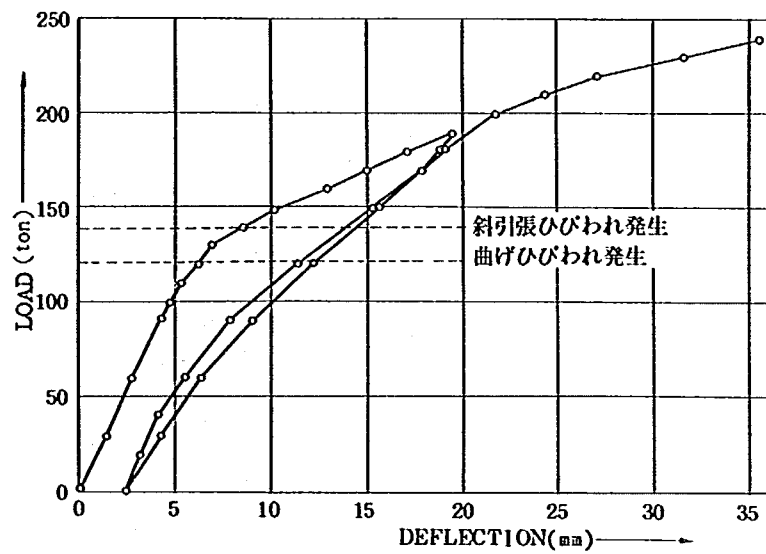


図-5(1) 供試体 A

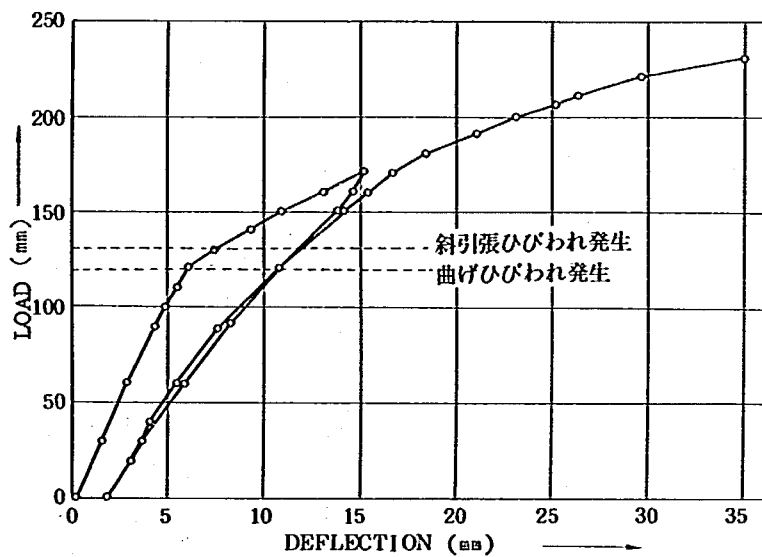


図-5(2) 供試体 B

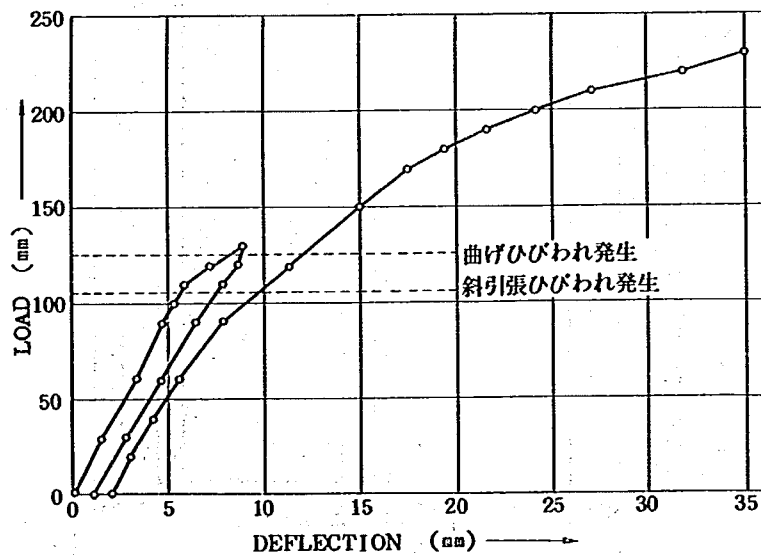


図-5(3) 供試体 C

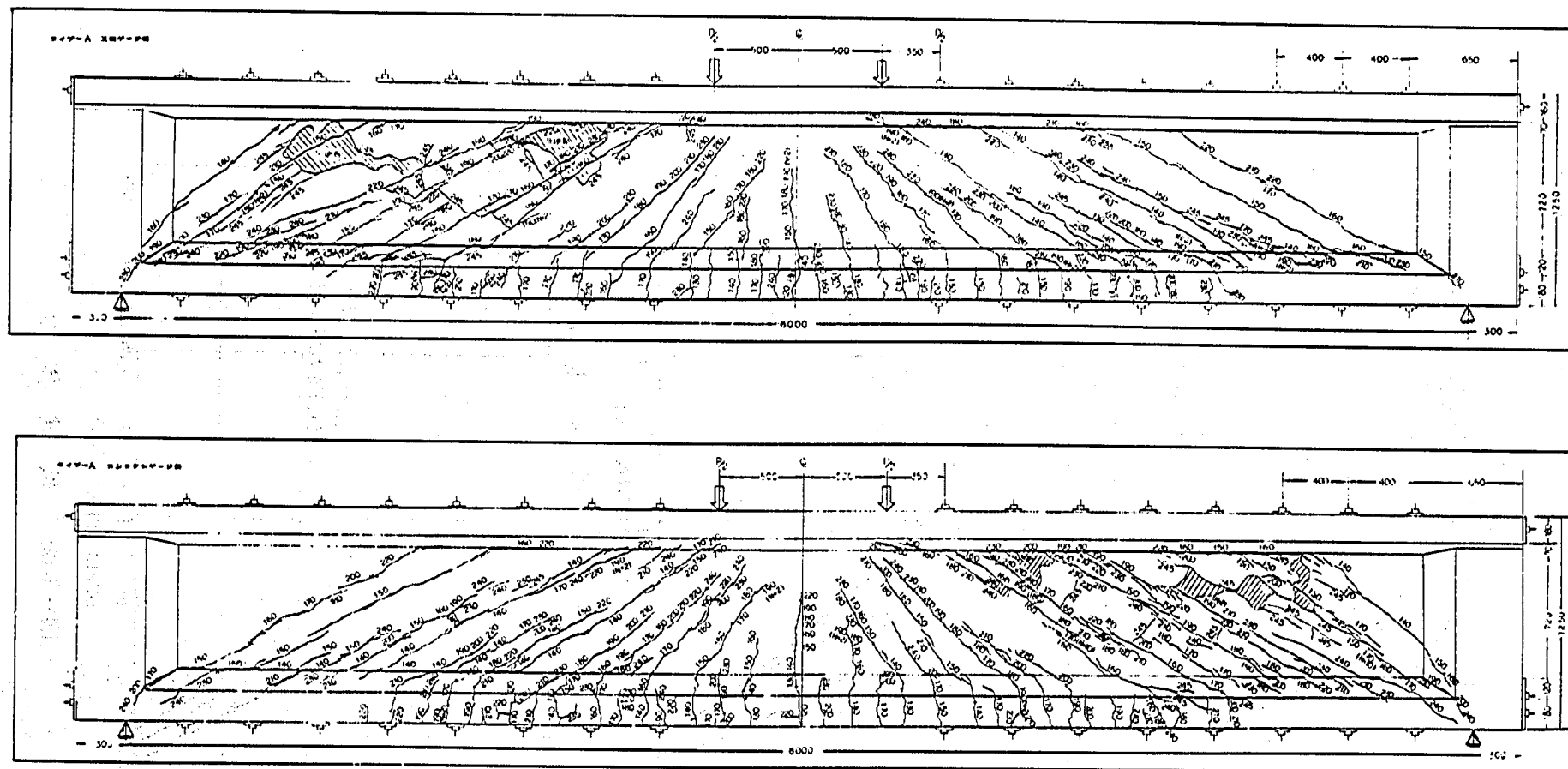


図-6(1) ひびわれ発生図(供試体A)

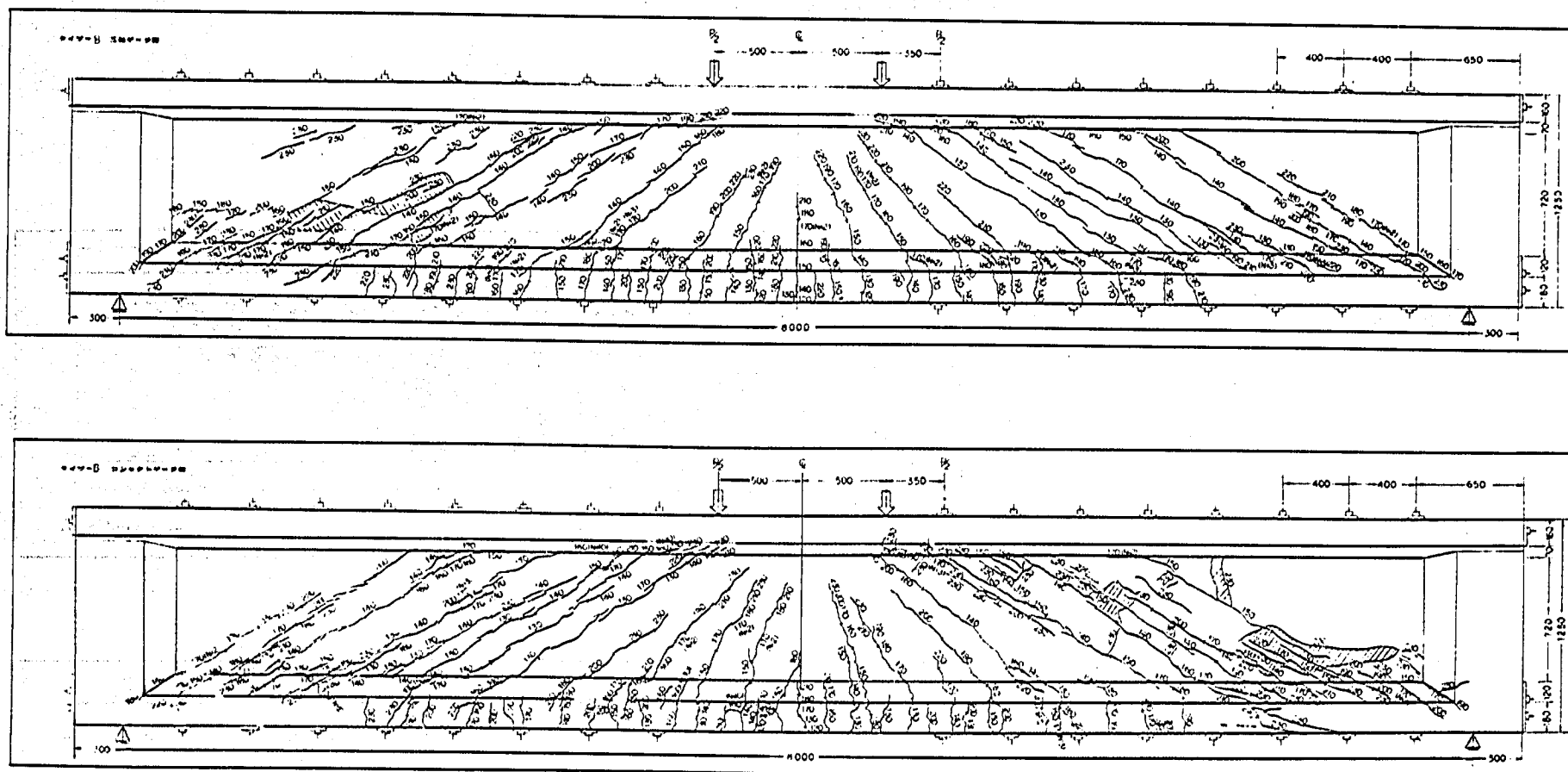


図-6(2) ひびわれ発生図(供試体B)

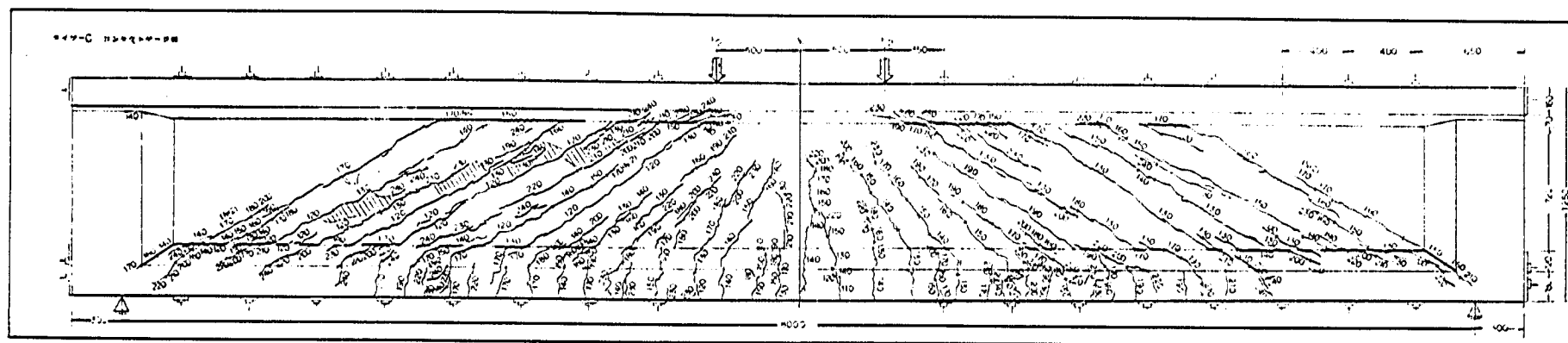
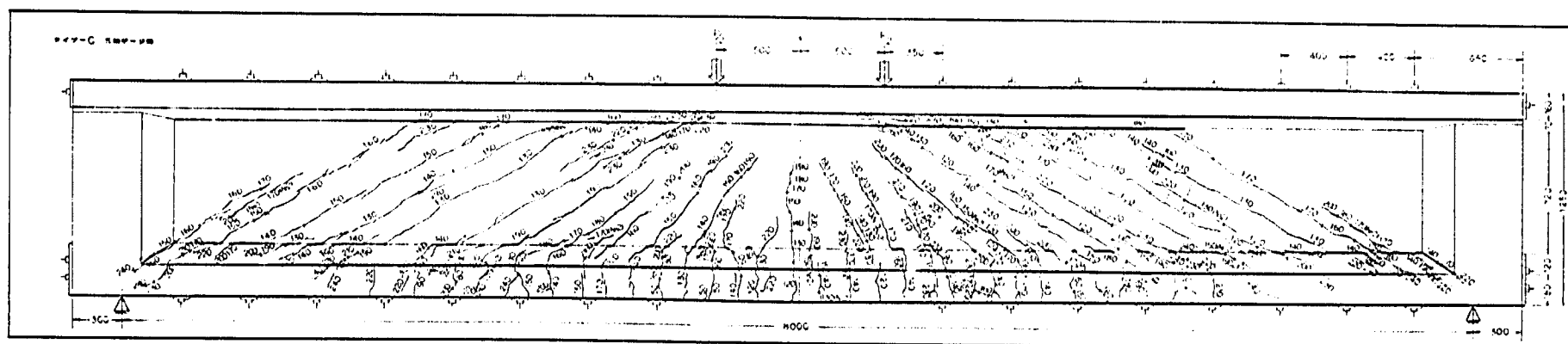


図-6(3) ひびわれ発生図(供試体C)

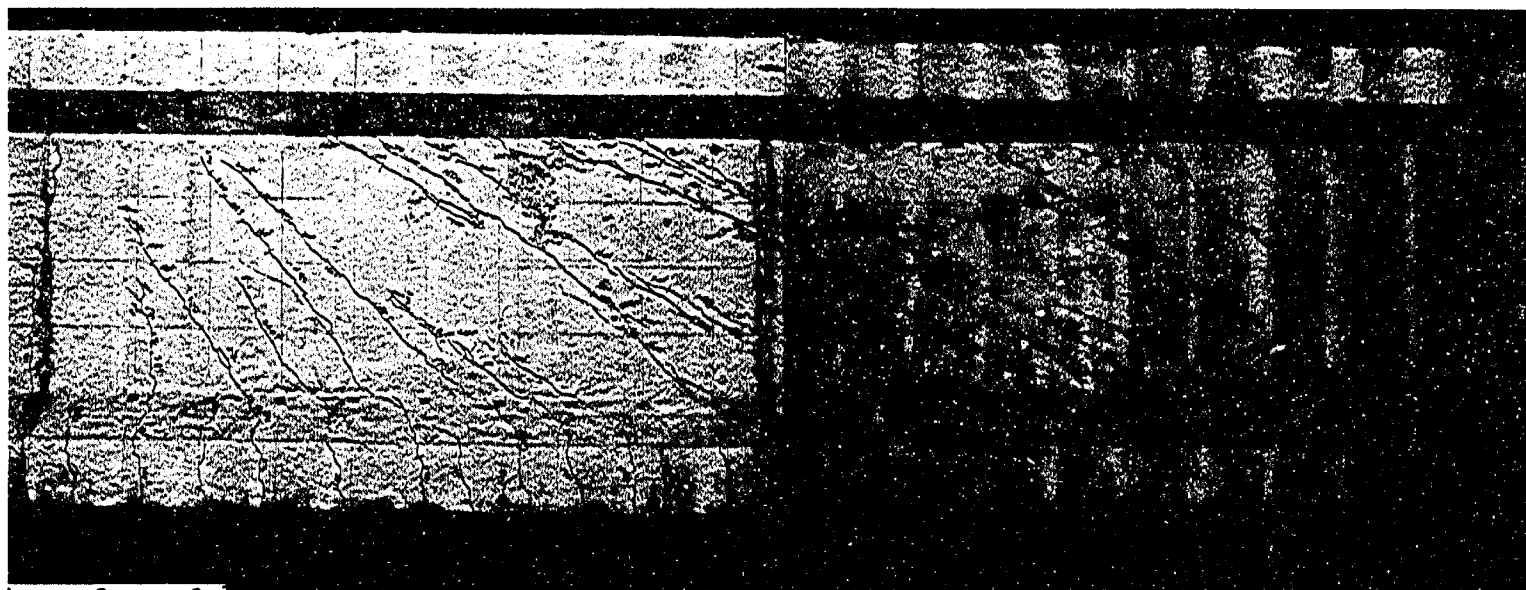


写真 - 3

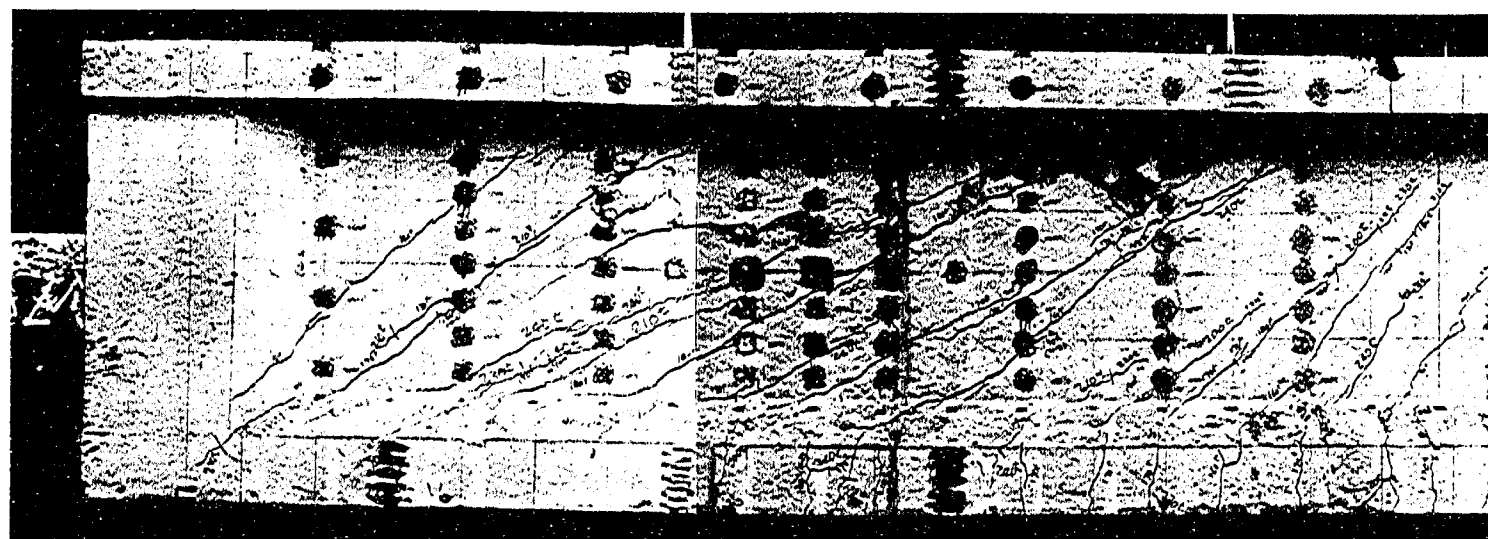


写真 - 4

3.2 セン断補強鋼材の応力度に関する特性

3.2.1 応力度の算出方法

前回の実験結果ならびに既往の実験等³⁾により、セン断補強鋼材のセン断力と鋼材応力度の関係は模式的に図-7のようになることがわかっている。

セン断力が小さく、斜引張ひびわれが生じていない状態では鋼材応力度はほとんど変化がなく、ひびわれが発生した段階で応力度が急激に増加する。その後、鋼材応力度はセン断力に比例して増加する。

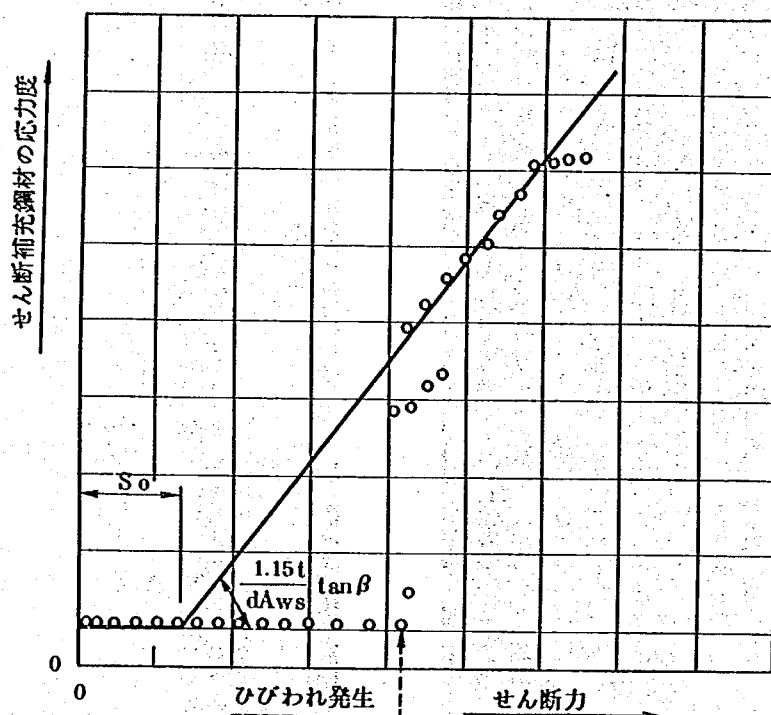


図-7 セン断補強鋼材の応力度とセン断力の関係

本実験で得られた鉛直鋼棒、斜引張鉄筋の応力度とセン断力の関係をそれぞれ付図-1 (1)~(6)、付図-2 (1)~(6)に示しているが、定性的にはほぼ同様な結果が得られている。ただし、中には実験中に鋼材に貼付したゲージの状態が悪化したり、局所的な応力集中のために若干、その性状が乱れているものも見受けられる。

前報においては、図-7のように示されるこの鋼材応力度とセン断力との関係をトラスモデルに基づいて定量的に評価することを考え、鋼材応力度を算出する一般式を誘導したが、本実験で得られた結果をもとにその妥当性を検証してみる。

前報(9)式よりセン断補強鋼材として鉛直鋼棒と斜引張鉄筋を併用配置した場合の鋼材応

力度は次式で示される。(図-8 参照)

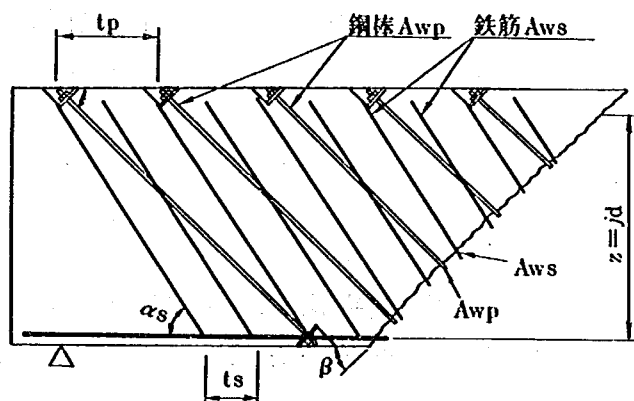


図-8 斜めひびわれ面での力の釣合い(説明図)

$$\sigma = \frac{\frac{1.15(S - S_c)}{d} \tan \beta - \frac{A_{wp}}{t_p} \sigma_{pe}}{\frac{A_{wp}}{t_s} + \frac{A_{wp}}{t_p}} \dots \dots \dots (2)$$

ここに、

σ ; せん断補強鋼材の応力度 (kg/cm²)

S ; 部材に作用するせん断力 (kg)

S_c ; コンクリートが負担するせん断力 (kg)

A_{wp} ; 鉛直鋼棒断面積 (cm²)

A_{ws} ; 斜引張鉄筋の部材軸方向の間隔 (cm)

t_s ; 斜引張鉄筋の部材軸方向の間隔 (cm)

t_p ; 鉛直鋼棒の部材軸方向の間隔 (cm)

σ_{pe} ; 鉛直鋼棒の有効引張応力度 (kg/cm²)

β ; 部材軸とひびわれ面との交角 (deg)

d ; 部材の有効高 (cm)

上式よりせん断補強鋼材が荷重を負担する時、言換すれば応力度が生じる時のせん断力を求めると次のようになる。

$\sigma = 0$ より

$$S_o = S_c + \frac{d \cdot \cot \beta}{1.15 t_p} A_{wp} \cdot \sigma_{pe} \dots \dots \dots (3)$$

付図には(2), (3)式を用いて計算した鋼材応力度とせん断力との関係を示している。なお、

実線は斜引張ひびわれ角度 β を 45° として求めたものであり、破線は β を 30° と仮定して描いたものである。

また、コンクリートが受け持つせん断力 S_c については道示に示される下式に従い求めている。

$$S_c = \tau_a \left(1 + \frac{M_d}{M_o} \right) b_w \cdot d \quad \dots\dots\dots (4)$$

ここに、

τ_a ; コンクリートの許容せん断応力度 (kg/cm^2)

M_d ; 終局荷重作用時に部材断面に作用する曲げモーメント ($\text{kg} \cdot \text{cm}$)、ここでは破壊抵抗曲げモーメントとしている。

M_o ; プレストレス力によるコンクリート応力度が部材引張縁で零となる曲げモーメント ($\text{kg} \cdot \text{cm}$)

b_w ; 部材のウェブ厚 (cm)

付図を見ると、全般的な傾向として、トラスモデルに基づく式(3)より算定した計算値は安全側の結果を与えていることがわかる。特に斜引張ひびわれ角度 β を 45° とした場合は、計算値は実測値と大きく異なっている。

一方、 $\beta = 30^\circ$ の場合については、 $\beta = 45^\circ$ の場合と同様、中にはかなり過大な応力度を与えているものもあるが、斜引張鉄筋、鉛直鋼棒とも降伏応力度付近では式(3)の計算値は十分な精度で鋼材応力度を評価していることがわかる。そして鉛直鋼棒に関して、有効プレストレス $2000 \text{ kg}/\text{cm}^2$ とした場合のせん断力と鋼材応力度の関係については、特に $\beta = 30^\circ$ とすれば式(3)の計算値は実測値を再現可能であると判断される。この $\beta = 30^\circ$ は各供試体の斜引張ひびわれ発生角度の実測値と表-5からわかるようにほぼ等しいことから式(3)を適用するにあたっては、弾性理論に基づく主応力計算で斜引張ひびわれ角度を算出し、その角度を用いれば、鉛直鋼棒と斜引張鉄筋を併用配置した場合でも、十分に鋼材応力度を評価できるものと考えられる。

前述の式(1)に示す道示の斜引張鉄筋の算出式は古典的な Mörch のトラスモデル、いわゆる斜引張ひびわれ角度(圧縮斜材角度)を 45° とし定して設けられたものであり、このために表-5のせん断補強鋼材の降伏荷重の実測値と計算値が大きく異なっていると考えられる。

したがって鉄筋コンクリート部材の場合には、斜引張ひびわれ角度 β を 45° とする仮定は大きな誤差なく鋼材応力度を評価できるものとして受容できるが、軸方向プレストレス、鉛直プレストレスが導入されたプレストレストコンクリート部材の場合には、上記した理由により、プレストレスの効果を斜引張ひびわれ角度に反映させ、せん断補強鋼材量を算

定する必要があると考えられる。

3.2.2 鉛直鋼棒と斜引張鉄筋との比較

斜引張鉄筋との比較で鉛直鋼棒の応力度とせん断力の関係を調べるため、供試体 B について、鉛直鋼棒と斜引張鉄筋の応力度のせん断力の関係を図-9(1)~(5)に併記して示している。

斜引張鉄筋については、斜引張りびわれ発生とともにせん断力を負担し、応力度が生じることが明らかになっているが、鉛直鋼棒も同様な挙動を示すことが同図より確かめられた。

また、現行の鉛直鋼棒の設計基準（道示）では鉛直鋼棒の耐荷力は次式で示される範囲までとしている。

$$\sigma_s = \sigma_{pe} + \sigma_{sy} \leq \sigma_{py} \dots\dots\dots (5)$$

ここに、

σ_{pe} ; 鉛直鋼棒の有効プレストレス (kg/cm^2)

σ_{sy} ; 斜引張鉄筋の降伏点 (kg/cm^2)

σ_s ; 鉛直鋼棒の応力度 (kg/cm^2)

上式は鉛直プレストレスを小さくすれば、鉛直鋼棒本来の強度を十分に利用できない場合があることを間接的に示している。

本実験では σ_s を $\sigma_{pe} + \sigma_{sy}$ とするのがよいか、 $\sigma_s = \sigma_{py}$ であるか調べたが、図-9(4)、(5)より鉛直鋼棒は σ_{py} まで十分期待できることが明らかになった。

全般的な鋼材応力度とせん断力の関係の特徴については鉛直鋼棒と斜引張鉄筋を併用配置した場合でも、両者の顕著な相違点は見られず、斜引張鉄筋が降伏するまで、共働してせん断力を受け持っていることが確認された。

このことから鉛直鋼棒と斜引張鉄筋を併用配置する場合でも耐荷力に関する限り、鉛直鋼棒は斜引張鉄筋と同様な考え方で設計を行えばよいと考えられる。

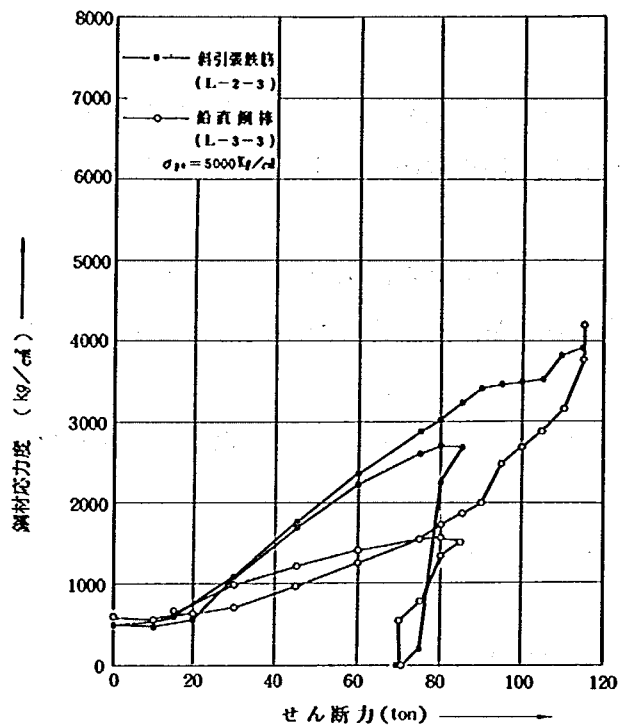


図-9(1) せん断力～鋼材応力度

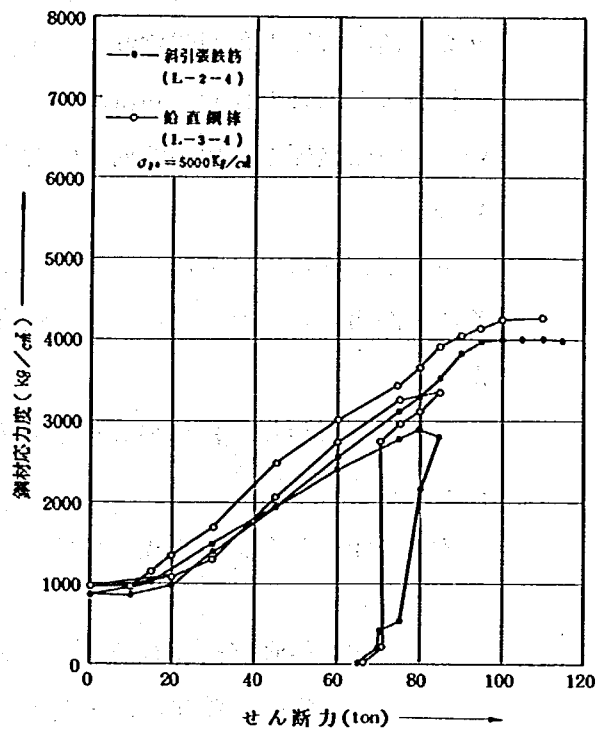


図-9(2) せん断力～鋼材応力度

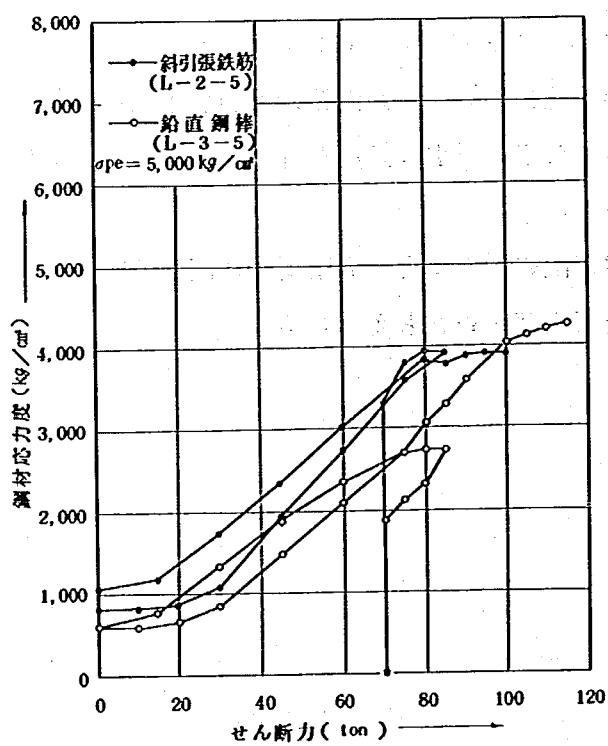


図-9(3) せん断力～鋼材応力度

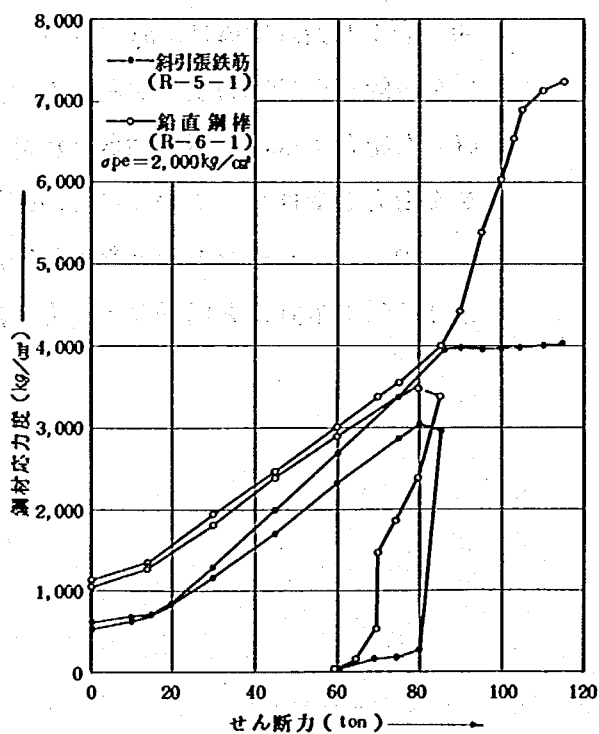


図-9(4) せん断力～鋼材応力度

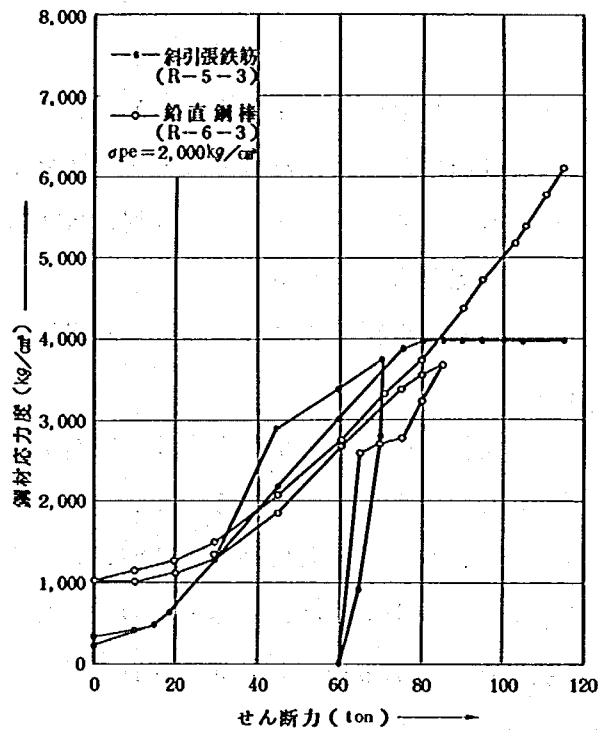


図-9(5) せん断力～鋼材応力度

3.3 斜引張ひびわれに関する特性

3.3.1 斜引張ひびわれ発生荷重

表－5の実測値と計算値を比べると、斜引張ひびわれ発生荷重は計算値の方がかなり大きな値となっていることがわかる。その原因としては曲げひびわれの影響により部材を弾性体とする仮定が満足されていないことのほかに、コンクリートシリンダーの割裂強度試験の引張強度と実際の供試体の引張強度が異なること等が考えられる。

逆に実測値から判断し、主応力計算で斜引張ひびわれ発生荷重を求める場合は割裂強度試験の8割程度の値を用いればよいと考えられる。

一方、斜引張ひびわれ発生角度について見ると、実測値のバラツキが大きく、明確な評価はできないが、計算値は実測値の上限にほぼ一致していることが認められる。

鉛直プレストレスの斜引張ひびわれ発生荷重、角度に及ぼす影響については前述したようにその影響を明確に把握するため、各供試体ともスパン中央を境に左右でその大きさを表－1に示すように変えている。その結果、各供試体の斜引張ひびわれ発生荷重のスパン左右での差は実測値、計算値、それぞれ以下のようにになっている。

		実 測 値	計 算 値
供 試 体	A	11 (ton)	15 (ton)
	B	15	11
	C	10	8

ここで計算における鉛直プレストレスの効果の評価としては単純に主応力計算において鉛直方向応力を加味することにより考慮している。また、その場合のコンクリートの有効断面は鉛直プレストレスの効果がスパン全体にわたって均一であると仮定して求めている。

実測値は斜引張ひびわれ発生荷重の大まかな値から求めたものであり、多少の誤差を含んでいるが計算値は各供試体ともほぼ一致している。以上より鉛直プレストレスは、十分に斜引張ひびわれ発生荷重を大きくできる効果があること、また定量的な評価としては主応力計算で考慮できることが確認された。

3.3.2 セン断力との関係

図－10(1)～(4)は各供試体間の斜引張ひびわれ幅の相違が見分けることが可能と思われる代表的な位置の斜引張ひびわれ幅とせん断力との関係を示したものである。

ひびわれ幅はすべてコンタクトゲージにより測定したものであり、繰返し回数21回目に対するものである。なお、縦軸上の切片は、繰返し回数20回目の残留ひびわれ幅を表わしている。

ひびわれ幅については統計的に処理、評価されるものであり、定量的にせん断力との関係を明らかにすることは非常に困難であるが、これらの図より定性的な傾向として次のよ

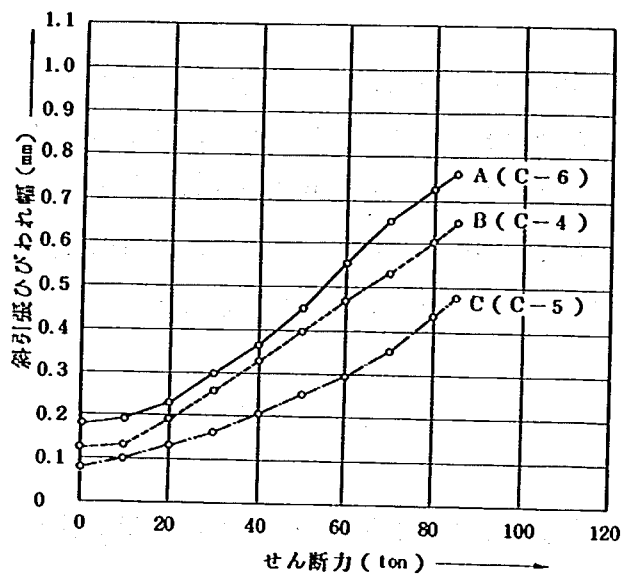


図-10(1) せん断力～斜引張ひびわれ幅

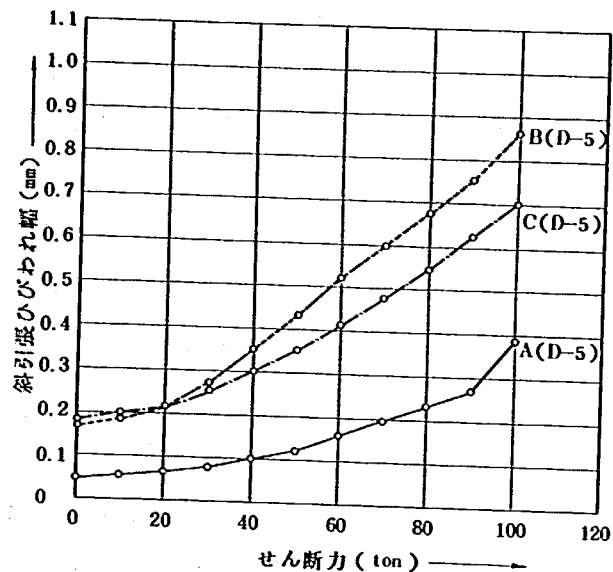


図-10(2) せん断力～斜引張ひびわれ幅

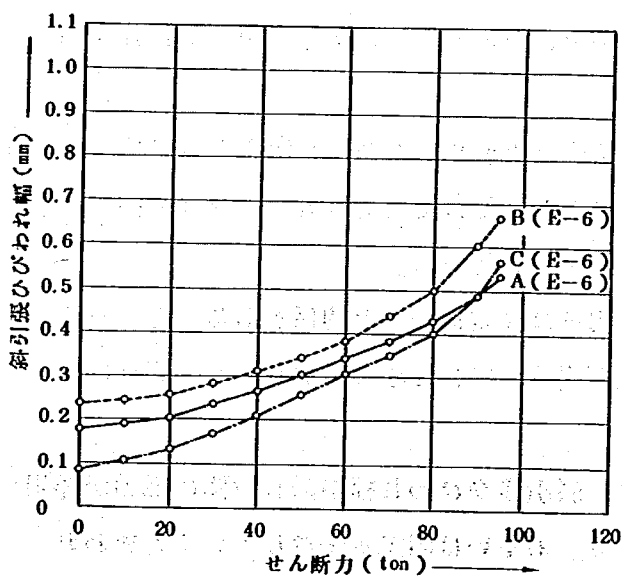


図-10(3) せん断力～斜引張ひびわれ幅

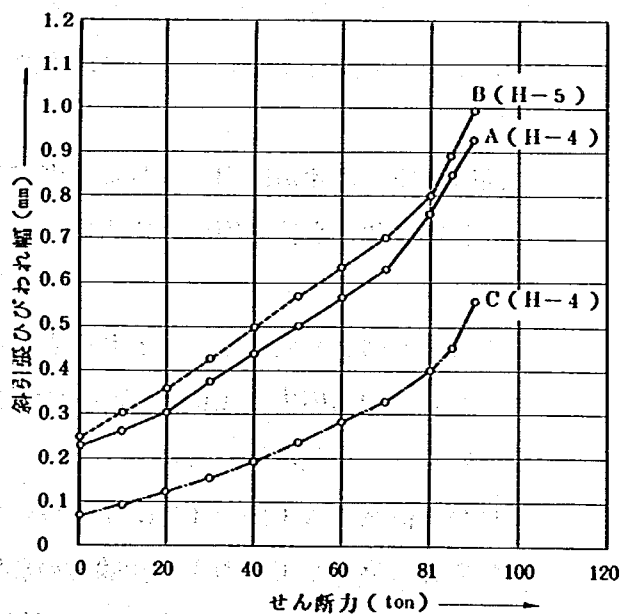


図-10(4) せん断力～斜引張ひびわれ幅

うな点が結果として導かれる。

- (1) 斜引張鉄筋のせん断補強鋼材量の中で占める割合が増加するにしたがって斜引張ひびわれ幅が小さくなる傾向が認められる。

ただし、図-10(2)に示されるように鉛直鋼棒の占める割合が最も高い供試体Aの斜引張ひびわれ幅が逆に小さい場合がある。その理由として考えられるものにひびわれ幅の測定点が斜引張鉄筋の近傍にあるかの影響が挙げられる。つまり測定点D-5(図-4参照)は供試体A、B、Cとも鉛直鋼棒が存在する断面に位置しているが、斜引張鉄筋がB、C、Aの順に鉛直鋼棒から離れて配置されており、斜引張ひびわれ幅の大きさがその順序に対応している。

このことから、主に斜引張鉄筋が斜引張ひびわれの増大を制える機能を発揮していると考えられる。

- (2) コンクリート部材の耐久性確保の観点から斜引張ひびわれ幅についても許容値が設定されることが考えられる。特に残留ひびわれ幅が重要となろう。

曲げひびわれ幅と鉄筋応力度との関係、曲げひびわれ幅と鉄筋腐食度との関係に着目した既往の研究によれば、ひびわれ幅を0.1 mm以下程度に制えるべきであると言われている。

この主旨にそって、本実験の結果から斜引張ひびわれ幅(残留値)を0.1 mm以下程度に制えるためには、斜引張鉄筋と鉛直鋼棒のせん断補強鋼材比率を供試体C程度以下に相当するものにすることが必要となってくる。

3.3.3 せん断補強鋼材応力度との関係

せん断補強鋼材(鉛直鋼棒)の応力度と斜引張ひびわれ幅との関係を図-11(1)~(3)に示している。

同図は横軸にせん断力、縦軸に鉛直鋼棒の応力度と斜引張ひびわれ幅をとっている。また、各供試体とも鉛直鋼棒の応力度、斜引張ひびわれ幅はそれぞれR-6-3(図-1参照)、D-5(図-4参照)の位置の値をプロットしている。

これらの図より斜引張ひびわれ幅と鋼材応力度は非常に密接な関係があることが認められ、鋼材の増加応力度 $1,000 \text{ Kg/cm}^2$ に対して斜引張ひびわれ幅の増加量 0.2 mm がほぼ対応していることが読み取れる。

なお、供試体A(図-12(1))については、斜引張ひびわれ幅が鉛直鋼棒に応力が作用したあとに発生しているが、実験時の測定ミス、あるいは誤差が関連していると思われ、実際には供試体B、Cと同様な関係が得られると考えられる。

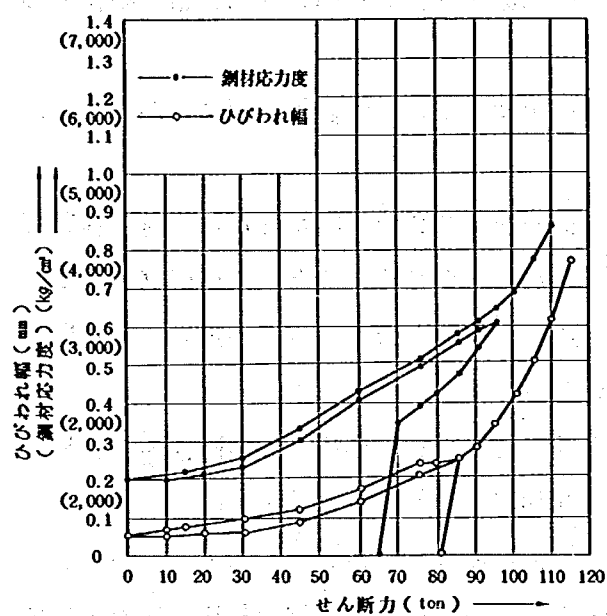


図-11(1) 供試体 A

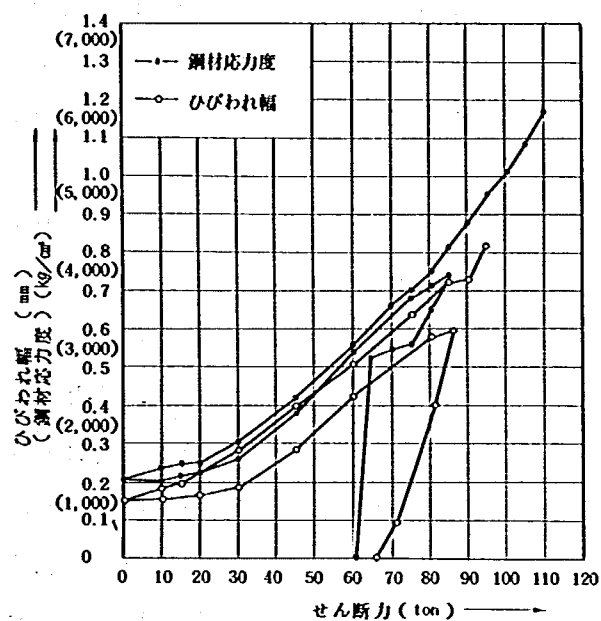


図-11(2) 供試体 B

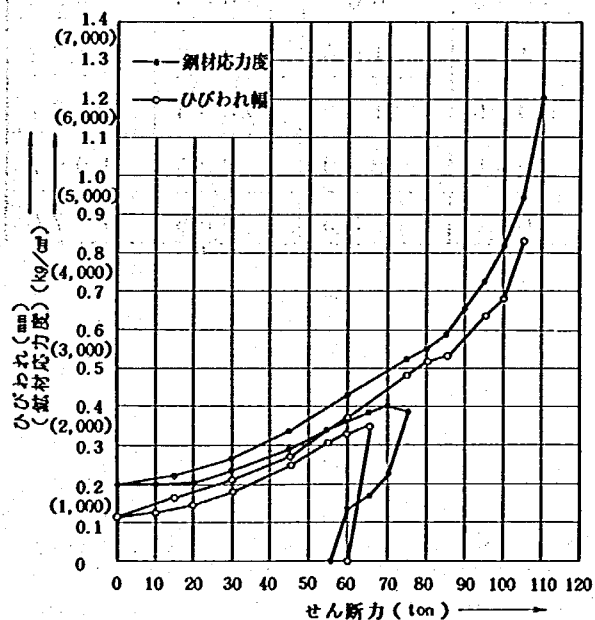


図-11(3) 供試体 O

3.3.4 鉛直プレストレスの効果

鉛直プレストレスと残留斜引張ひびわれ幅との関係ならびに斜引張鉄筋、鉛直鋼棒の残留応力度との関係を表-6に示している。

鉛直プレストレスによる斜引張ひびわれ幅の復元性について同表より次の点が明らかになった。

各供試体とも鉛直プレストレスの大きい桁左側の残留ひびわれ幅ならびに鋼材の残留応力度が右側よりも小さくなっており、残留ひびわれ幅を小さくするために鉛直プレストレスは有効に作用している。ただし、各供試体の比較……緊張力の大きさの違いによる影響については今回の実験では明確な点は認められなかった。

一方、このことは逆接的に鉛直鋼棒と斜引張鉄筋を合わせた全体のせん断補強鋼材量が同じであれば、残留斜引張ひびわれ幅等はあまり影響を受けないと言える。

したがって、残留斜引張ひびわれ幅の制限を考える場合は、鉛直プレストレスの大きさのみならず、せん断補強鋼材量、鉛直鋼棒と斜引張鉄筋のせん断補強鋼材比率等を総じて検討していくことの必要性があると思われる。

表-6 鉛直プレストレスと残留斜引張ひびわれ幅の関係

供 試 体		A		B		C	
桁 の 左 右		左サイド	右サイド	左サイド	右サイド	左サイド	右サイド
有効引張応力度 (Kg/cm^2)		5000	2000	5000	2000	5000	2000
緊張力 (ton)		6.64	2.65	4.75	1.90	3.32	1.33
残留ひびわれ幅の平均値 (mm)		0.100	0.159	0.096	0.150	0.094	0.137
せん断補強鋼材 の残留応力度 (Kg/cm^2)	斜引張鉄筋	544	737	598	820	836	1097
	鉛直鋼棒	532	1134	626	1286	866	1176

3.4 ウェブ圧縮破壊耐荷力

ウェブ圧縮破壊耐荷力は、コンクリート部材のせん断耐荷力の上限値を意味するため、せん断補強鋼材量を算出する場合にも、このウェブ圧縮破壊耐荷力を上限の指標としなければならず、道示に示されている平均せん断応力度の最大値の規定も、この主旨にそって定められている。

本実験の供試体はすべて前述したようにウェブ圧縮破壊に至った。その破壊に至る過程で次の点が推察される。

“せん断補強鋼材の降伏後も斜引張ひびわれの進展に対し、十分抵抗し、斜引張ひびわれ先端における塑性回転能を期待できる適量の鋼材量が配置されていれば、せん断圧縮破壊あるいは斜引張破壊に至らずに十分なせん断余剰耐荷力を有し、最終的にはウェブ圧縮破壊で部材の破壊に至る場合が多い。

表-5中のウェブ圧縮破壊耐荷力の計算値はCEB-EIPの算出法に基づいているが、実測値はそれをかなり下回っている。さらにかつた内のコンクリートの材料係数 $\delta_m=1.5$ を考慮した値もわずかであるが下回っている。

図-12(1)~(3)には、ウェブコンクリート表面に貼付したゲージのひずみから計算した各供試体の破壊直前の主ひずみ分布を示している。同図には同時にウェブ圧縮破壊箇所を示している。また、図-13(1)~(6)に主にウェブ圧縮破壊箇所の荷重と主圧縮ひずみの関係を示している。

図-12(1)~(3)によりウェブ圧縮破壊箇所の特徴として各供試体とも集中荷重載荷点と支承との結ぶ線に沿って主圧縮ひずみが大きく、その線上付近で圧縮破壊が生じていることが認められる。

図-13(1)~(6)により主圧縮ひずみが供試体Aで $1000 \sim 1200 \times 10^{-6}$ 、供試体Bで $1400 \sim 1600 \times 10^{-6}$ 、供試体Cで $1000 \sim 1200 \times 10^{-6}$ の時に破壊していることがわかる。ちなみにウェブ全体を平均的に見れば、主圧縮ひずみが $1200 \sim 1400 \times 10^{-6}$ 程度で破壊が生じている。

Bennettらの報告⁴⁾によれば、ウェブ圧縮破壊時の主圧縮ひずみは $1800 \sim 2000 \times 10^{-6}$ であったとしている。Bennettらが行った実験は、斜引張鉄筋のみでせん断補強した小型供試体を対象としたものであり、直接比較することについては寸法効果等の問題があるが、本実験の供試体は小さな主圧縮ひずみで破壊していることになる。

このように本実験の供試体はCEB-EIPの値、Bennettらの実験結果よりも小さな荷重、あるいは主圧縮ひずみでウェブ圧縮破壊が生じていることになる。その原因については今後、検討しなければならないが基本的には次のような点が考えられる。

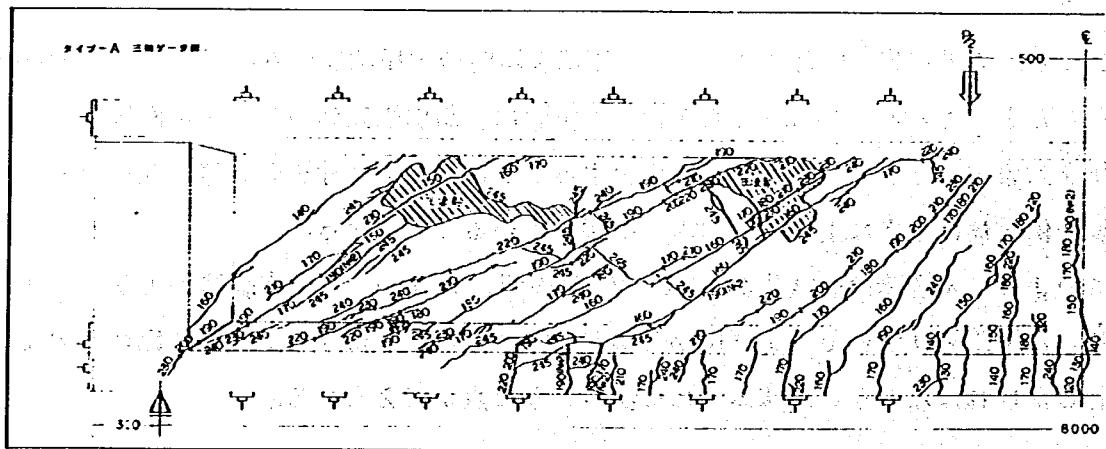
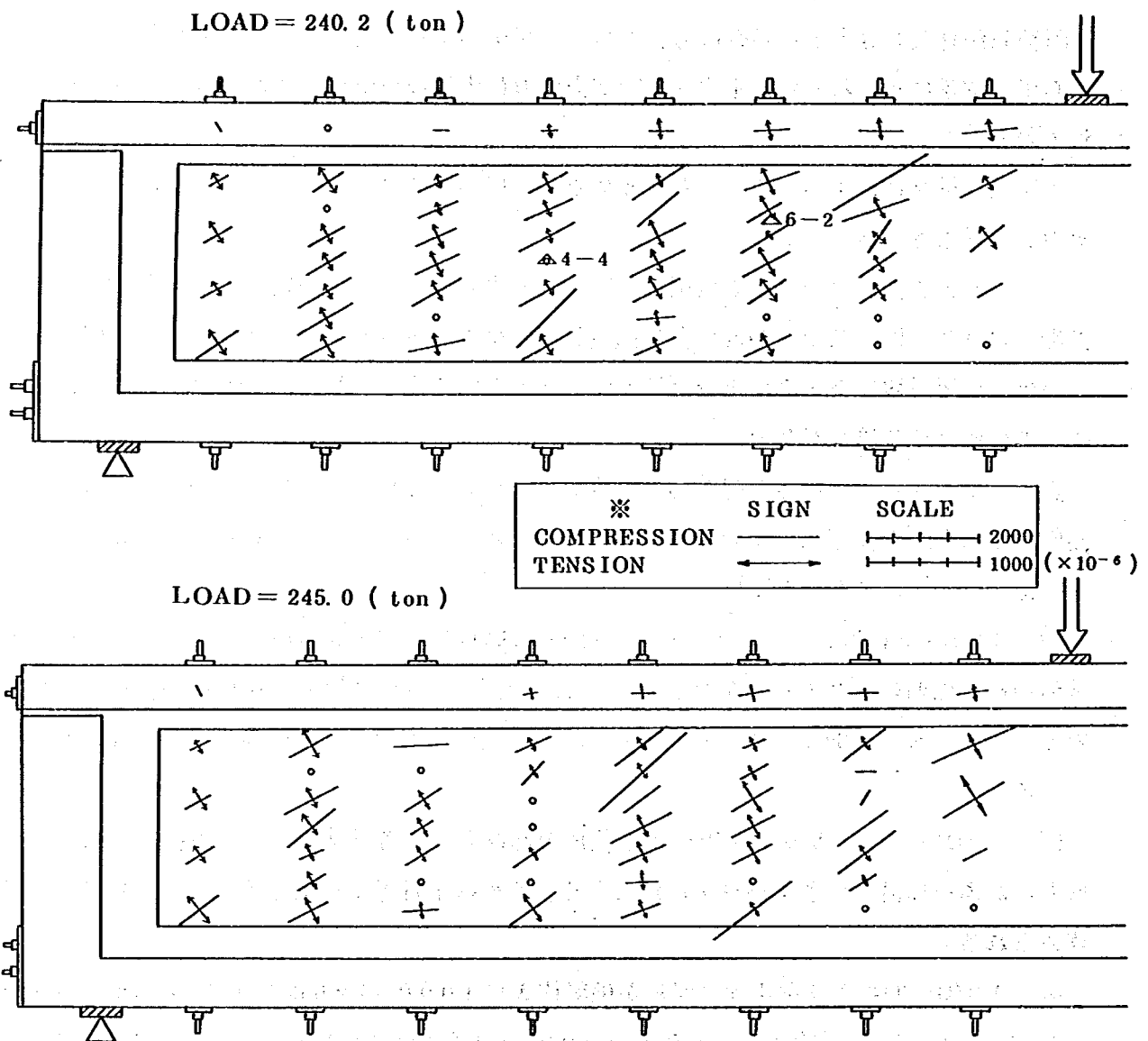


図-12(1) ウェブ側面の主ひずみ分布とウェブ圧壊箇所の関係
(タイプA)

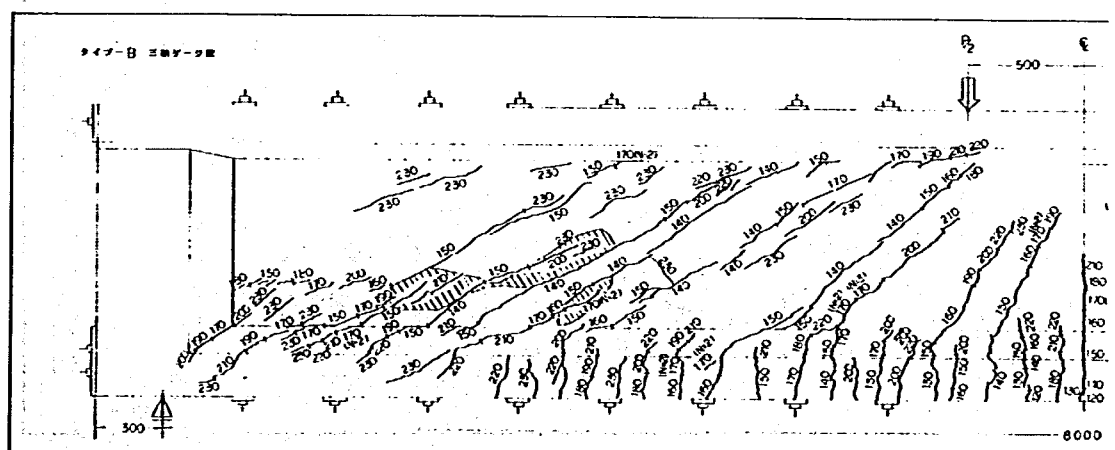
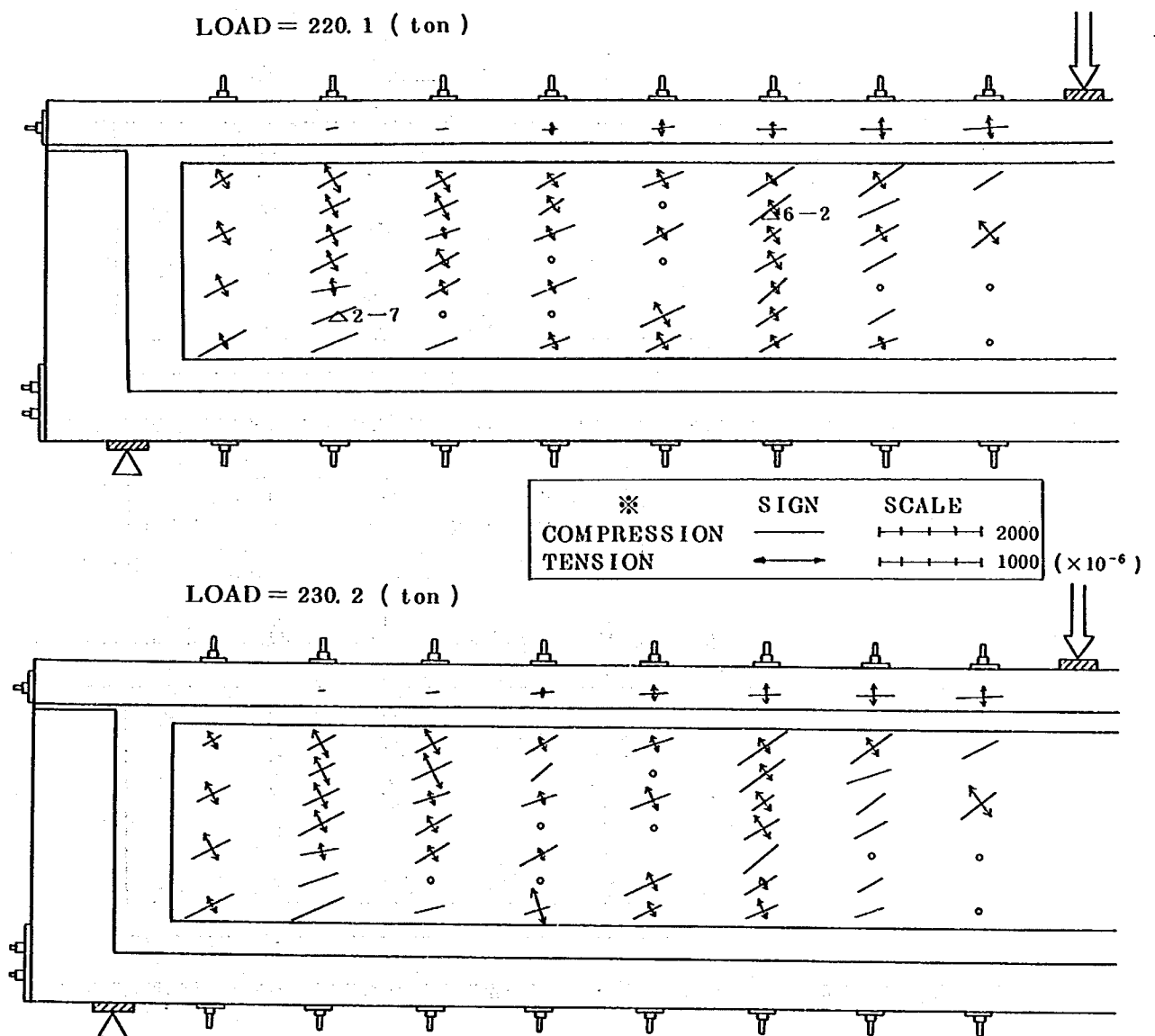


図-12(2) ウェブ側面の主びずみ分布とウェブ圧壊箇所の関係
 (タイプB)

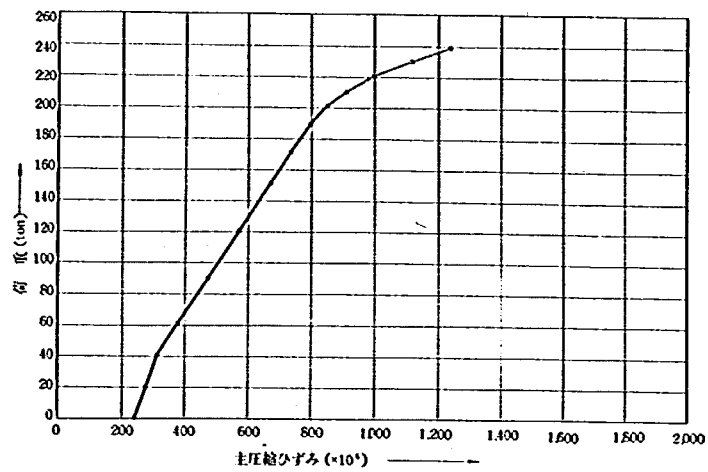


図-13(1) 荷重～主圧縮ひずみ（供試体A左サイド4-4）

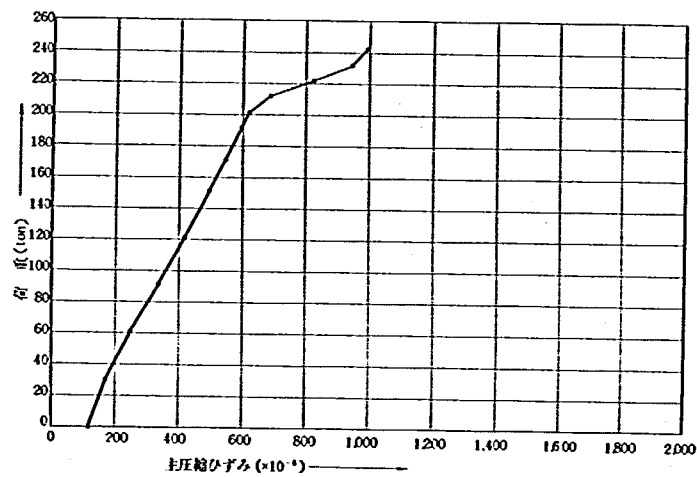


図-13(2) 荷重～主圧縮ひずみ（供試体A左サイド6-2）

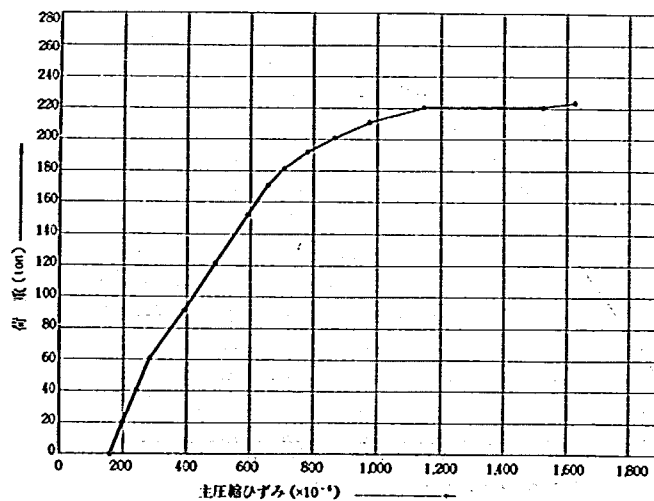


図-13(3) 荷重～主圧縮ひずみ（供試体B左サイド6-2）

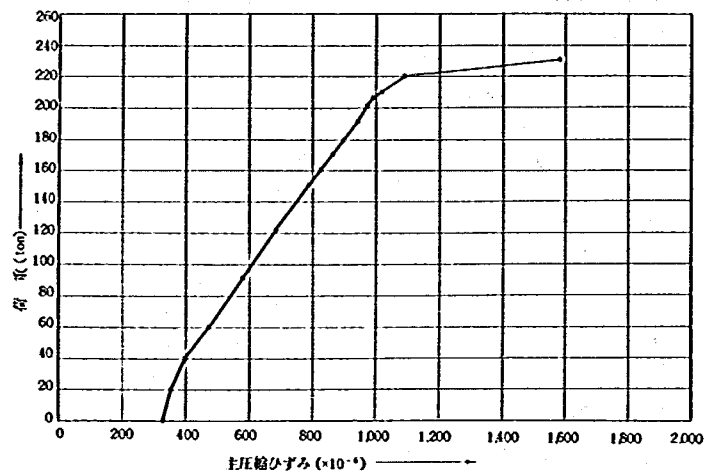


図-13(4) 荷重～主圧縮ひずみ（供試体B 右サイド2-7）

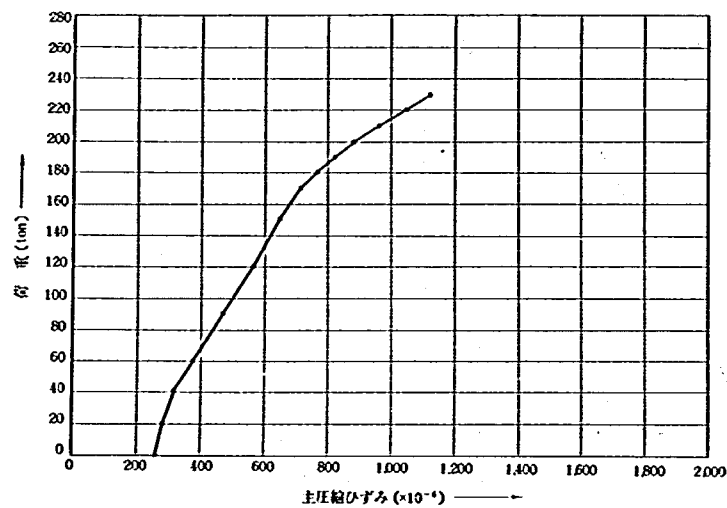


図-13(5) 荷重～主圧縮ひずみ（供試体C 右サイド4-6）

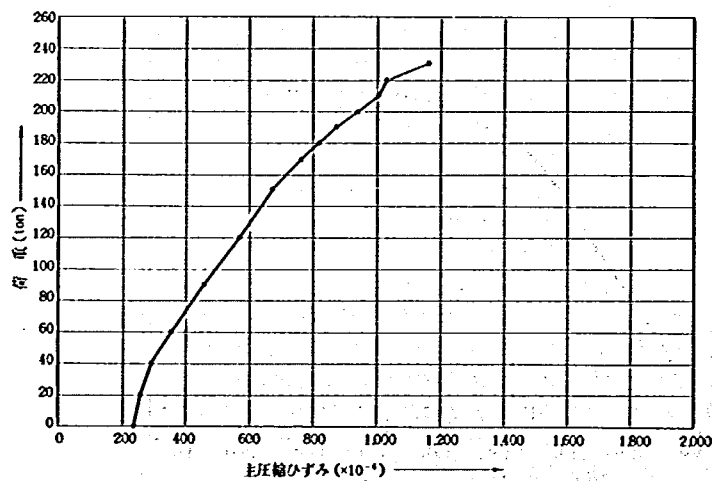


図-13(6) 荷重～主圧縮ひずみ（供試体C 右サイド5-4）

- (1) 図-14に示すようなトラスモデルに基づき、鉛直断面における部材軸方向および鉛直方向の力のつり合いからウェブ圧縮破壊時のせん断応力度を求めると次のようになる。⁵⁾

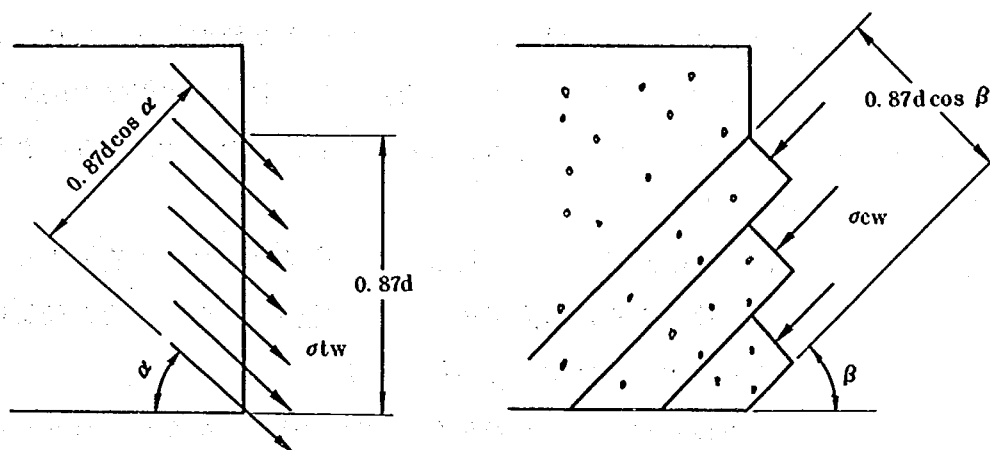


図-14 ウェブに作用する内力

$$\frac{A_w \sigma_{tw}}{b w t} \sin^2 \alpha = \sigma_{cw} \sin^2 \beta \dots \dots \dots (6)$$

$$S = 0.87 d b w (\sigma_{cw} \sin \beta \cos \beta + \frac{A_w \cdot \sigma_{tw}}{b w \cdot t} \cdot \sin \alpha \cos \beta) \dots \dots \dots (7)$$

ここに

σ_{cw} : ウェブコンクリートの圧縮応力度 (kg/cm^2)

σ_{tm} : せん断補強鋼材引張応力度 (kg/cm^2)

t : せん断補強鋼材の配置間隔 (cm)

A_w : せん断補強鋼材断面積 (cm^2)

S : 部材に作用するせん断力 (kg)

α, β, d : 前掲 (図-14 参照)

式-(6)、(7)で σ_{tm} を消去すると

$$\tau = \frac{S}{b w d} = 0.87 \sigma_{cm} \sin \beta \cos \beta (1 + \tan \beta \cot \alpha) \dots \dots \dots (8)$$

ここで斜引張りびわれ角度の仮定として 30° と 45° の場合について上式に基づいて計算すると

$$\tau_{30} = 0.435 \sigma_{cm} (1 + \cot \alpha)$$

$$\tau_{45} = 0.377 \sigma_{cm} (1 + 0.577 \cot \alpha)$$

となり $\beta=30^\circ$ の場合は $\beta=45^\circ$ の場合に比べて、鉛直にせん断補強鋼材を配置した場

合 ($\alpha = 90^\circ$) には、 $\tau_{30}/\tau_{45} \div 0.86$ となり、約 15 % 程度、ウェブ圧縮破壊耐荷力が低下すると言える。なお、 45° の斜め方向に配置した場合 ($\alpha = 45^\circ$) には $\tau_{30}/\tau_{45} \div 0.68$ となり約 30 % 程度低下することがわかる。

このことは軸方向プレストレス、鉛直プレストレスにより斜引張ひびわれ角度が小さくなれば、ウェブ圧縮破壊耐荷力が低下することを意味しており、本実験の供試体の斜引張ひびわれ角度が 30° 前後であったことを考え合わせると、その影響により小さな荷重で圧縮破壊が生じたと考えられる。

- (2) 一般に斜引張鉄筋は、圧縮斜材の破壊に対しては、柱部材のフープ筋のような効果を發揮すると思われる。本実験のように鉛直鋼棒でせん断補強した場合、その効果はほとんど期待できず、小さな圧縮ひずみで破壊する可能性がある。

しかしながら、鉛直鋼棒と斜引張鉄筋のせん断補強鋼材比率がそれぞれ異なる各供試体間でウェブ圧縮破壊耐荷力があまり異なることからこの影響は小さいとも考えられる。

4. 結 論

本実験で得られた結果を要約すると次のようになる。

- (1) せん断補強鋼材として鉛直鋼棒と斜引張鉄筋を併用配置した場合の応力度の算出法に関して主応力計算により求めた斜引張ひびわれ角度をとれば、前報で示した提案式より十分な精度をもって鋼材の応力度を算出できることが明らかになった。
- (2) 鉛直鋼棒の耐荷力の有効範囲として道示では $\sigma_{pe} + \sigma_{sy}$ となっているが、実験の結果、鉛直プレストレスの大きさにかかわらず σ_{py} まで十分期待できることが明らかになった。
- (3) せん断補強鋼材応力度と斜引張ひびわれ幅の大きさとは非常に密接な関係を有しており、鋼材応力度の増加量 1000 kg/cm^2 に対して斜引張ひびわれ幅の増加量は、ほぼ 0.2 mm 程度になることが明らかになった。
- (4) 鉛直プレストレス、軸方向プレストレスの影響により斜引張ひびわれ角度が小さくなり、ウェブ圧縮破壊耐荷力がかなり低下することが示唆された。

あ と が き

本実験はプレストレストコンクリート橋の設計に関する調査研究の一貫として実施したものであり、鉛直鋼棒については前実験の結果と合わせ、かなりその特性が把握できた。

しかしながら、一方ではウェブ圧縮破壊が現行道示、CEB-FIPで想定している荷重よりも小さな荷重で起こりうることが示唆された。

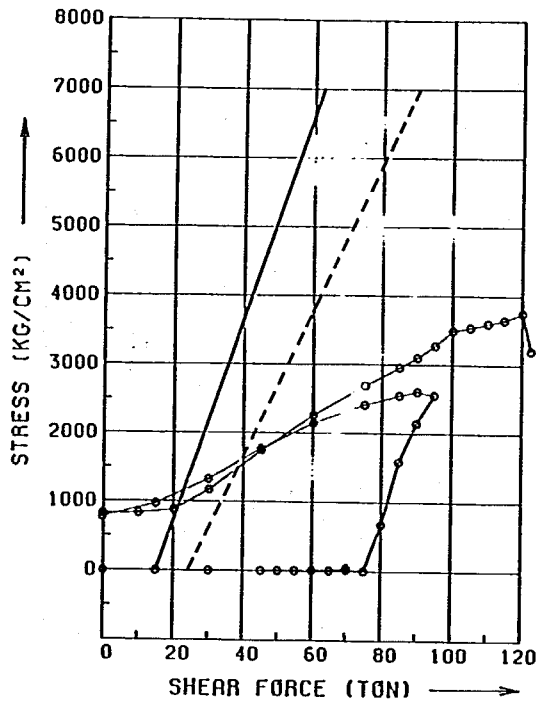
従って今後もこの問題の解明を図ることを中心にプレストレストコンクリート橋の合理的な設計を確立するために継続して検討を重ねていく予定である。

参 考 文 献

- 1) 佐伯彰一、高野義武、白浜浩：“コンクリートげたのせん断に関する実験その1”：（土木研究所資料）第1357号、1978年1月
- 2) CEB-FIPモデルコード：1978年
- 3) たとえば、土木学会：“鉄筋コンクリート設計法の最近の動向”：コンクリート・ライブラリー第41号：1975年11月
- 4) E. W. Bennett, B. M. A. Balasooriya（松貝勇訳）：“Shear Strength of Prestressed Beams with Thin webs Failing in Inclined Compression”：コンクリート・ジャーナルVol.11, No.7, July 1973
- 5) 猪股俊司、“プレストレストコンクリートの設計・施工”技報堂、1979年4月

付 図

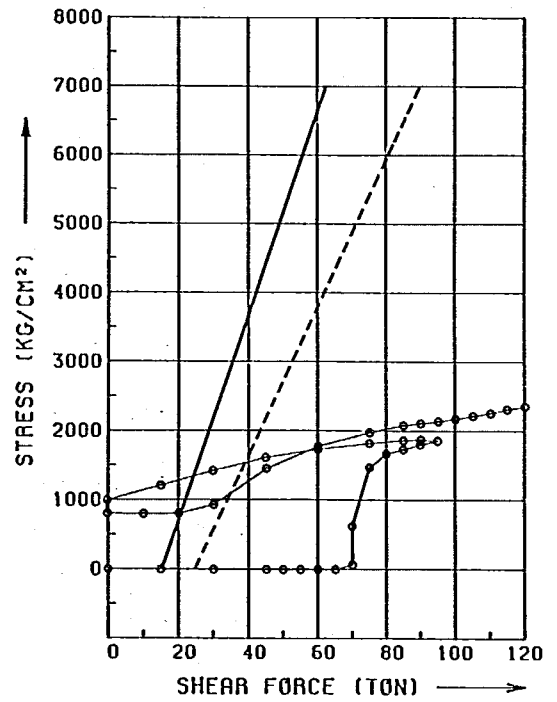
YIELD STRENGTH= 3950 KG/CM²



STRESS OF SHEAR REINFORCEMENT
* TYPE-A (NO.R-1-3) *

付図-1 (1)

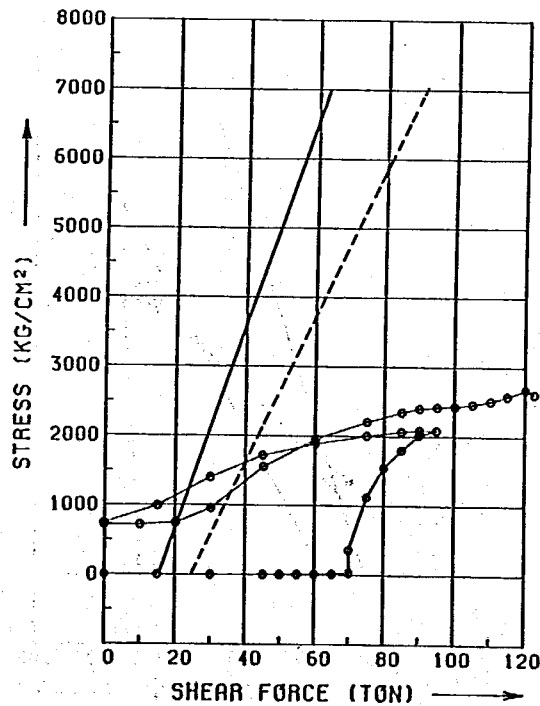
YIELD STRENGTH= 3950 KG/CM²



STRESS OF SHEAR REINFORCEMENT
* TYPE-A (NO.R-2-4) *

付図-1 (2)

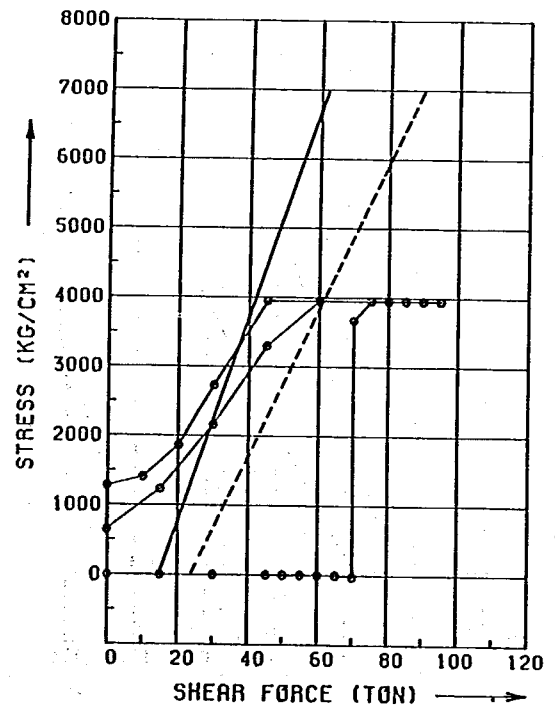
YIELD STRENGTH= 3950 KG/CM²



STRESS OF SHEAR REINFORCEMENT
* TYPE-A (NO.R-3-3) *

付図-1 (3)

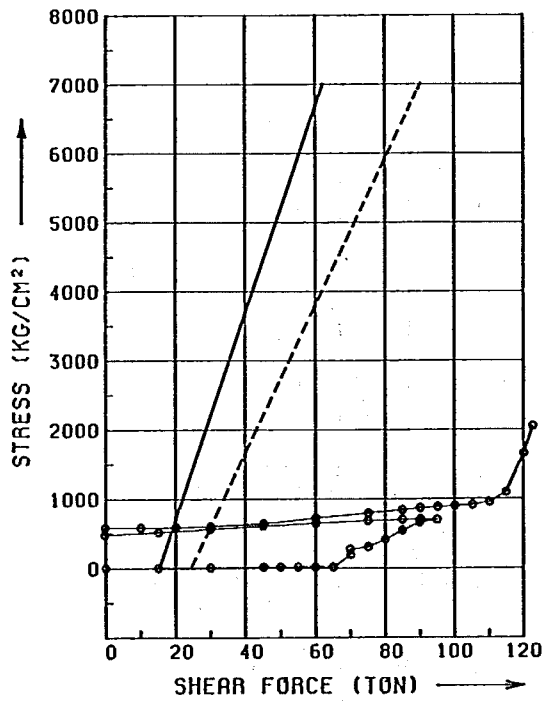
YIELD STRENGTH= 3950 KG/CM²



STRESS OF SHEAR REINFORCEMENT
* TYPE-A (NO.R-4-3) *

付図-1 (4)

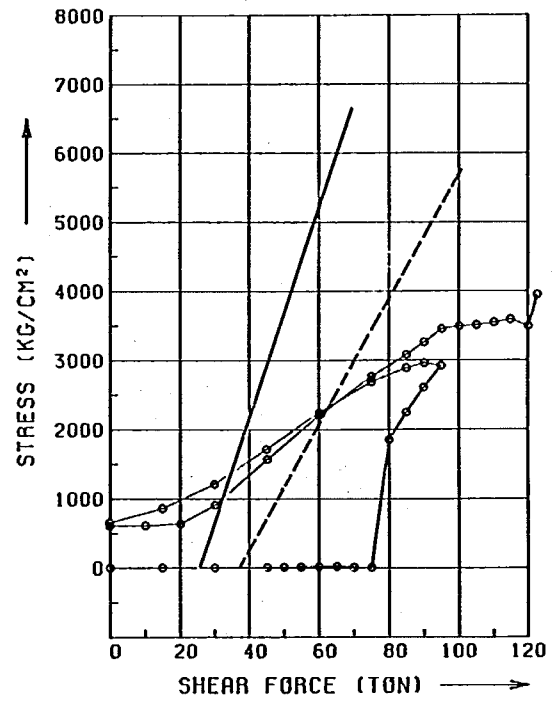
YIELD STRENGTH= 3950 KG/CM²



STRESS OF SHEAR REINFORCEMENT
* TYPE-A (NO.R-5-3) *

付図-1 (5)

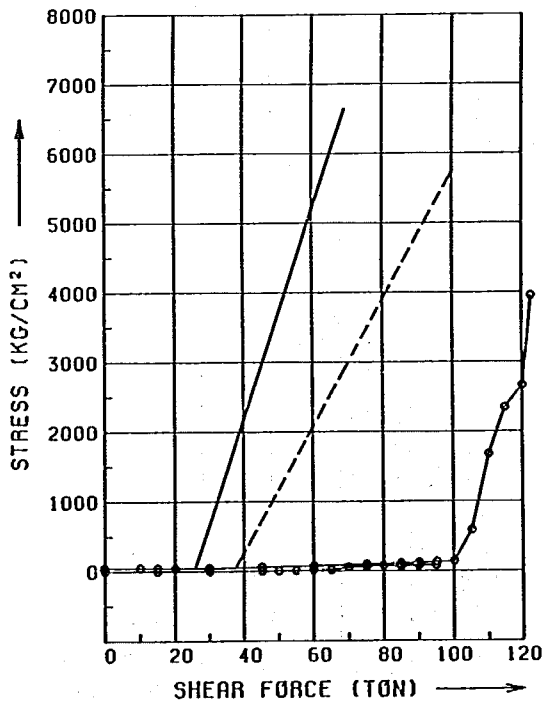
YIELD STRENGTH= 3950 KG/CM²



STRESS OF SHEAR REINFORCEMENT
* TYPE-A (NO.L-1-3) *

付図-1 (6)

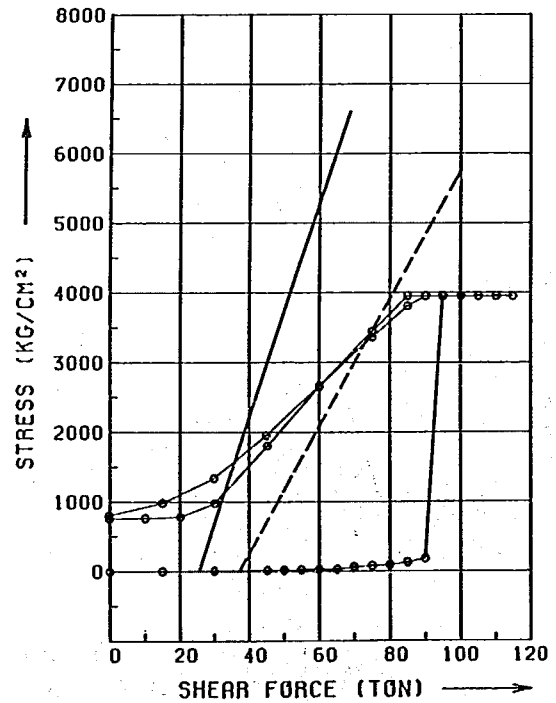
YIELD STRENGTH= 3950 KG/CM²



STRESS OF SHEAR REINFORCEMENT
* TYPE-A (NO.L-2-3) *

付図-1 (7)

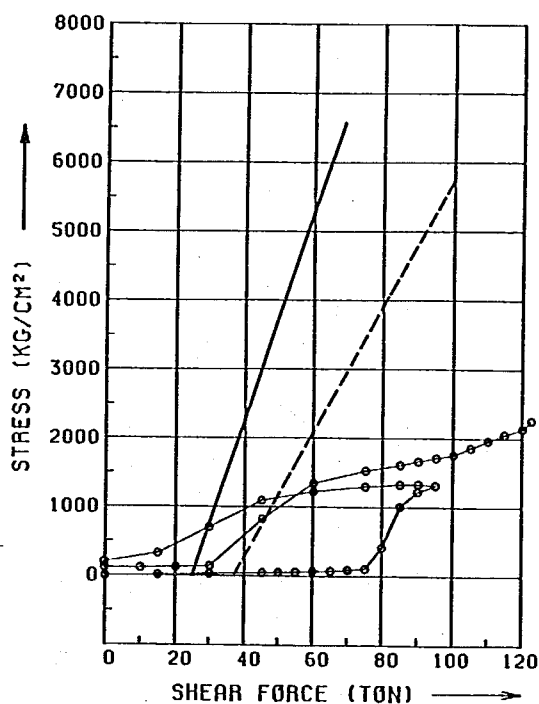
YIELD STRENGTH= 3950 KG/CM²



STRESS OF SHEAR REINFORCEMENT
* TYPE-A (NO.L-3-3) *

付図-1 (8)

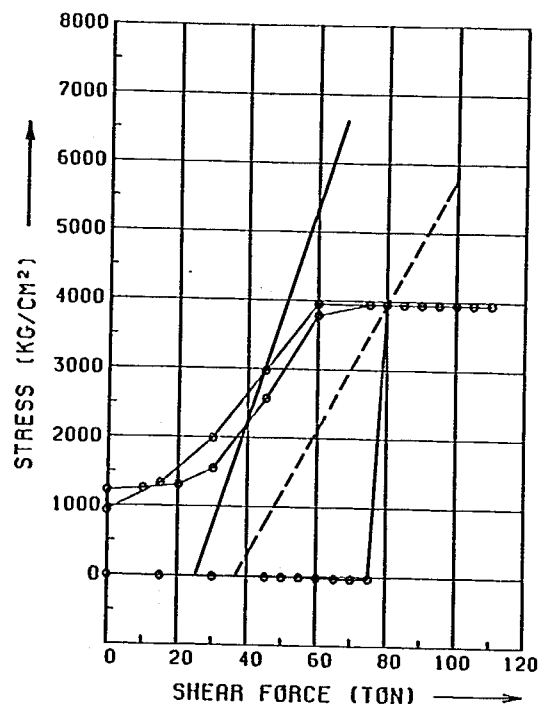
YIELD STRENGTH= 3950 KG/CM²



STRESS OF SHEAR REINFORCEMENT
* TYPE-A (NO.L-4-3) *

付図- 1 (9)

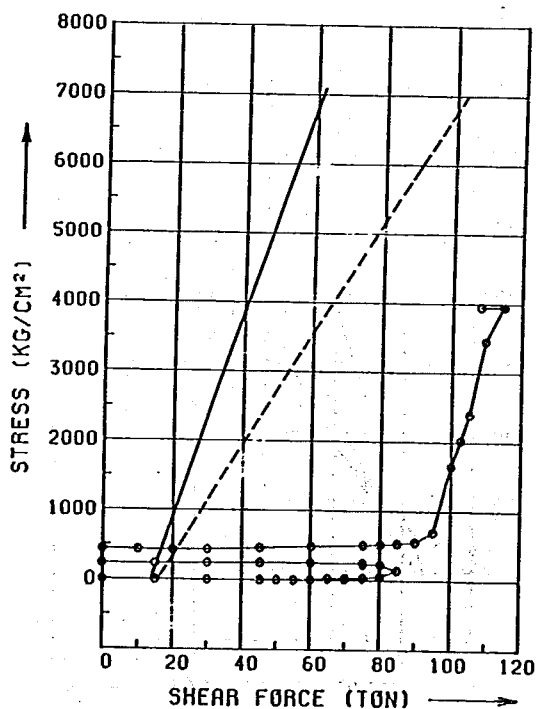
YIELD STRENGTH= 3950 KG/CM²



STRESS OF SHEAR REINFORCEMENT
* TYPE-A (NO.L-5-3) *

付図- 1 (10)

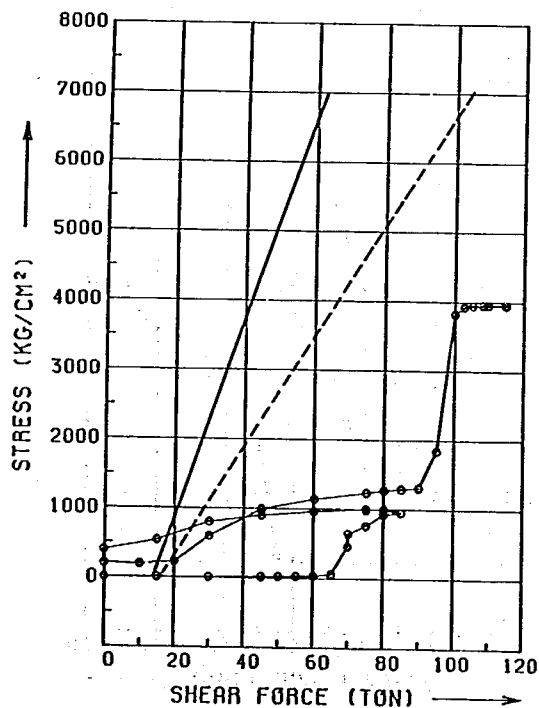
YIELD STRENGTH= 3950 KG/CM²



STRESS OF SHEAR REINFORCEMENT
* TYPE-B (NO.R-1-3) *

付図- 1 (11)

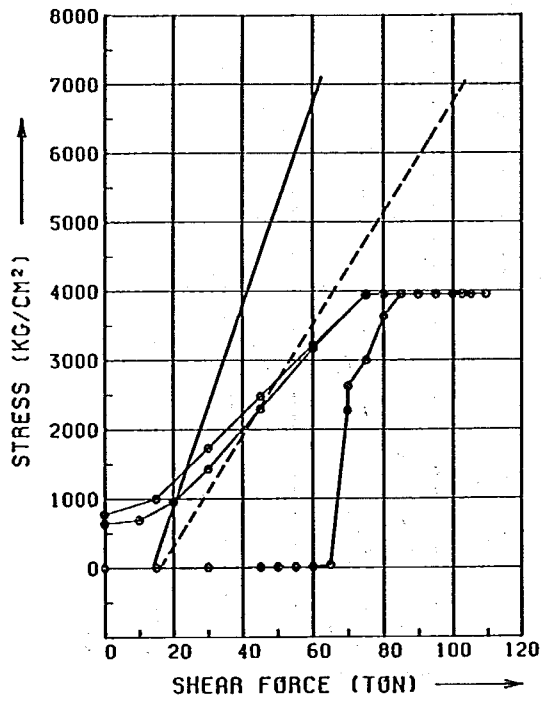
YIELD STRENGTH= 3950 KG/CM²



STRESS OF SHEAR REINFORCEMENT
* TYPE-B (NO.R-2-3) *

付図- 1 (12)

YIELD STRENGTH= 3950 KG/CM²

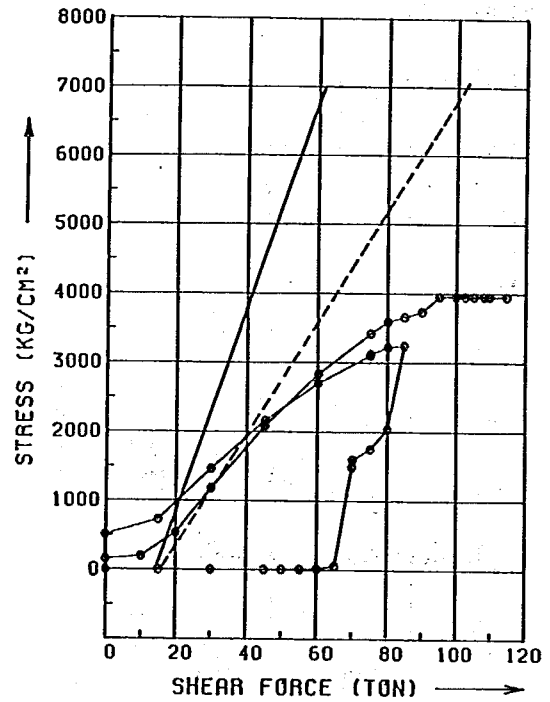


STRESS OF SHEAR REINFORCEMENT
* TYPE-B (NO.R-3-3) *

付図- 1 (13)

YIELD STRENGTH= 3950 KG/CM²

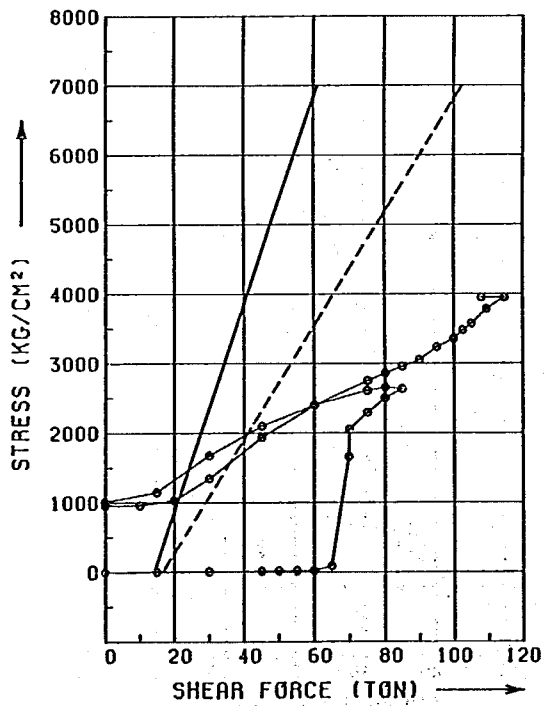
YIELD STRENGTH= 3950 KG/CM²



STRESS OF SHEAR REINFORCEMENT
* TYPE-B (NO.R-4-3) *

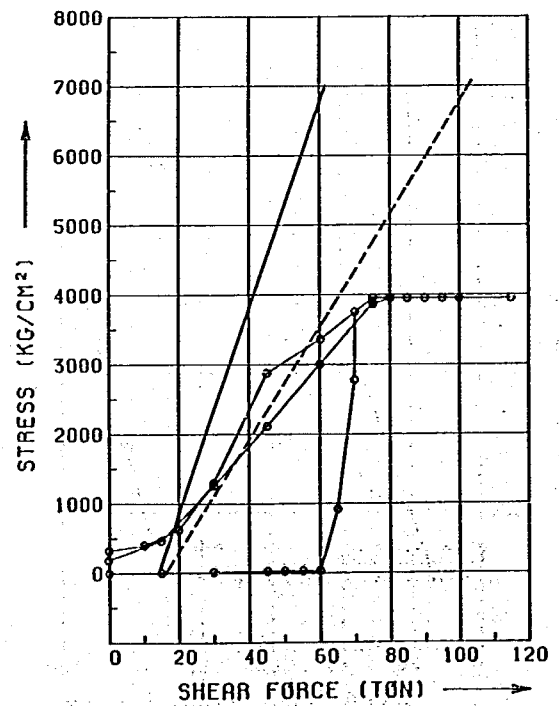
付図- 1 (14)

YIELD STRENGTH= 3950 KG/CM²



STRESS OF SHEAR REINFORCEMENT
* TYPE-B (NO.R-5-3) *

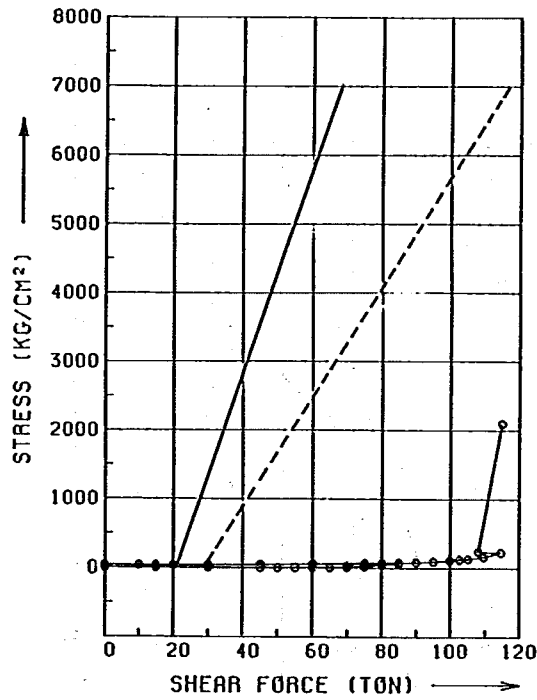
付図- 1 (15)



STRESS OF SHEAR REINFORCEMENT
* TYPE-B (NO.R-6-3) *

付図- 1 (16)

YIELD STRENGTH= 3950 KG/CM²

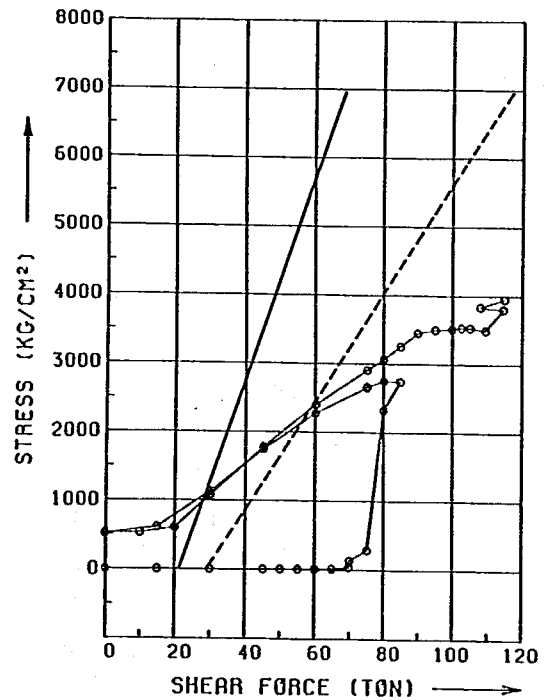


STRESS OF SHEAR REINFORCEMENT
* TYPE-B (NO.L-1-3) *

付図-1 (17)

YIELD STRENGTH= 3950 KG/CM²

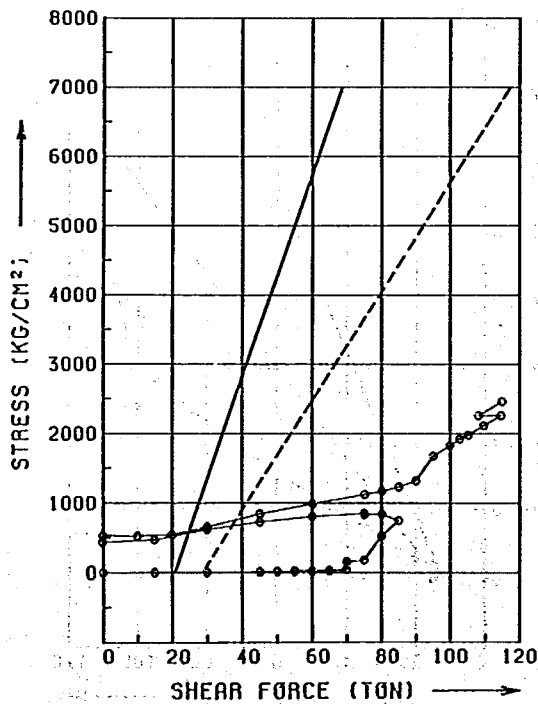
YIELD STRENGTH= 3950 KG/CM²



STRESS OF SHEAR REINFORCEMENT
* TYPE-B (NO.L-2-3) *

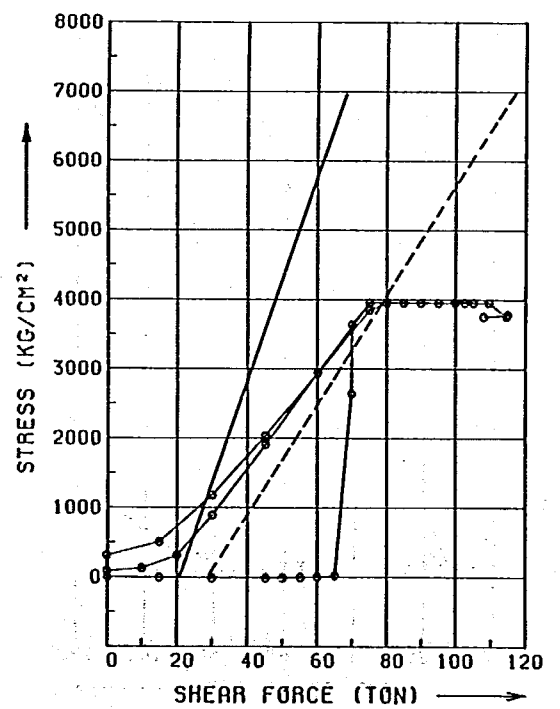
付図-1 (18)

YIELD STRENGTH= 3950 KG/CM²



STRESS OF SHEAR REINFORCEMENT
* TYPE-B (NO.L-3-3) *

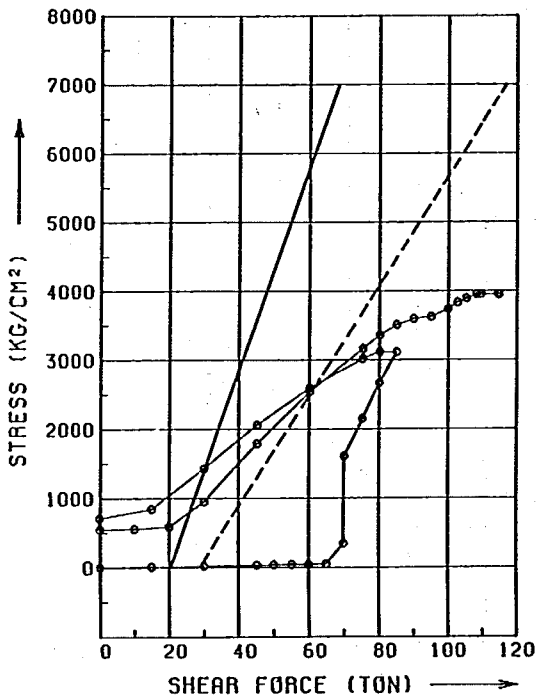
付図-1 (19)



STRESS OF SHEAR REINFORCEMENT
* TYPE-B (NO.L-4-4) *

付図-1 (20)

YIELD STRENGTH= 3950 KG/CM²

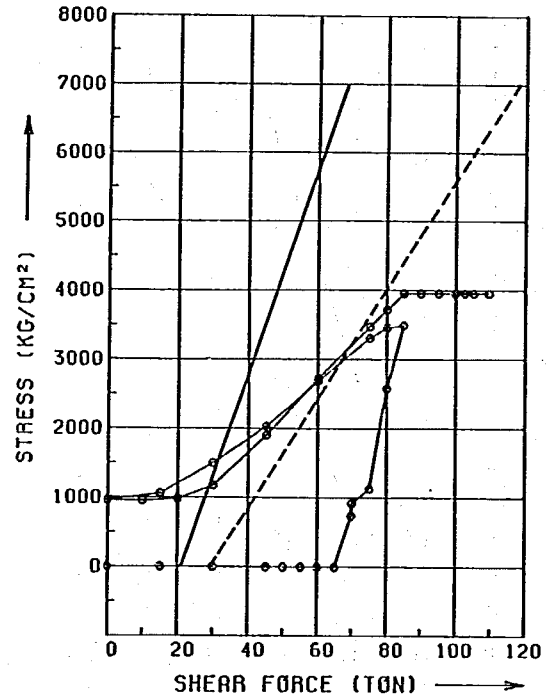


STRESS OF SHEAR REINFORCEMENT
* TYPE-B (NO.L-5-2) *

付図-1 (21)

YIELD STRENGTH= 3950 KG/CM²

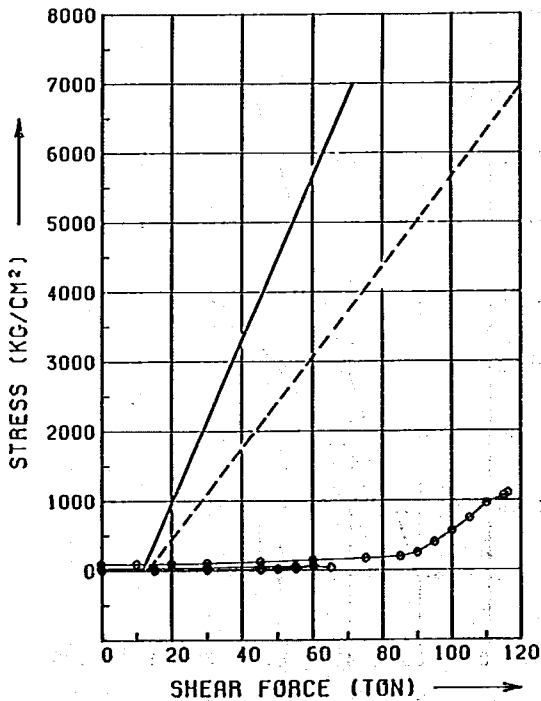
YIELD STRENGTH= 3950 KG/CM²



STRESS OF SHEAR REINFORCEMENT
* TYPE-B (NO.L-6-3) *

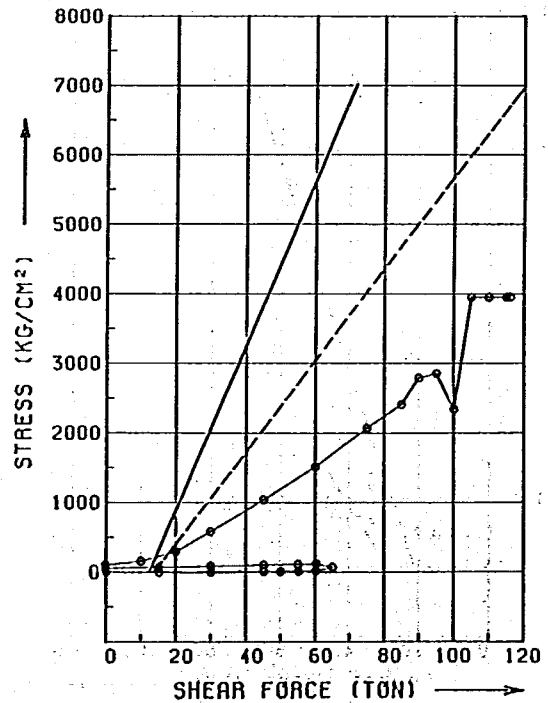
付図-1 (22)

YIELD STRENGTH= 3950 KG/CM²



STRESS OF SHEAR REINFORCEMENT
* TYPE-C (NO.R-1-3) *

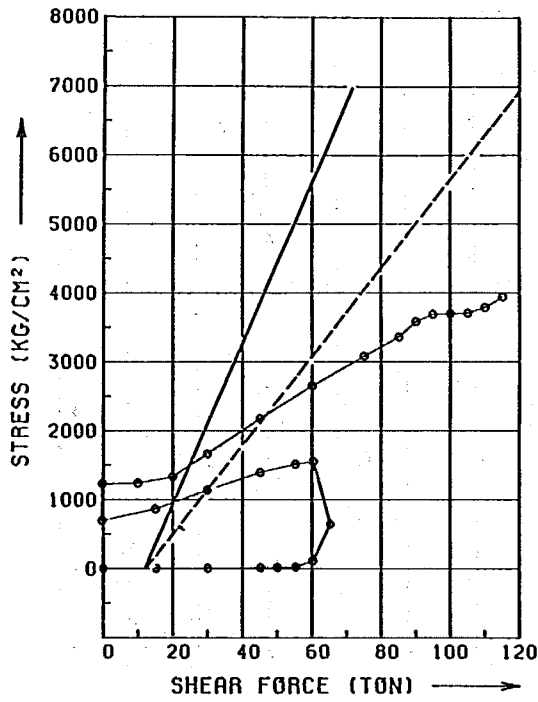
付図-1 (23)



STRESS OF SHEAR REINFORCEMENT
* TYPE-C (NO.R-2-3) *

付図-1 (24)

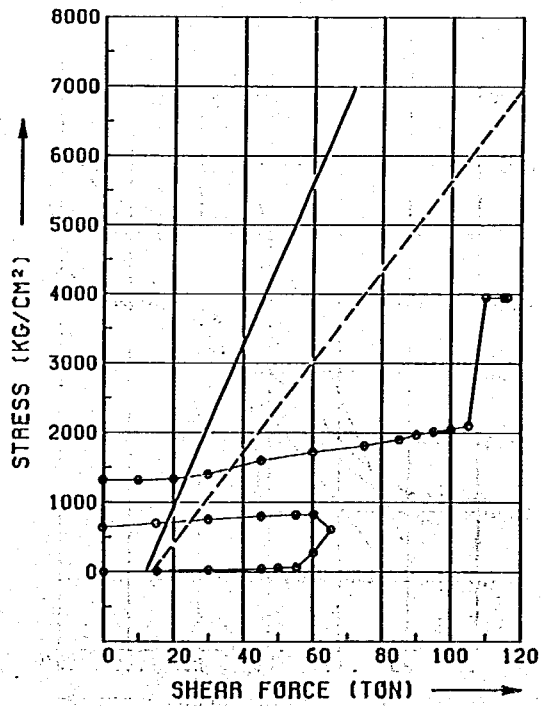
YIELD STRENGTH= 3950 KG/CM²



STRESS OF SHEAR REINFORCEMENT
* TYPE-C (NO.R-3-3) *

付図- 1 (25)

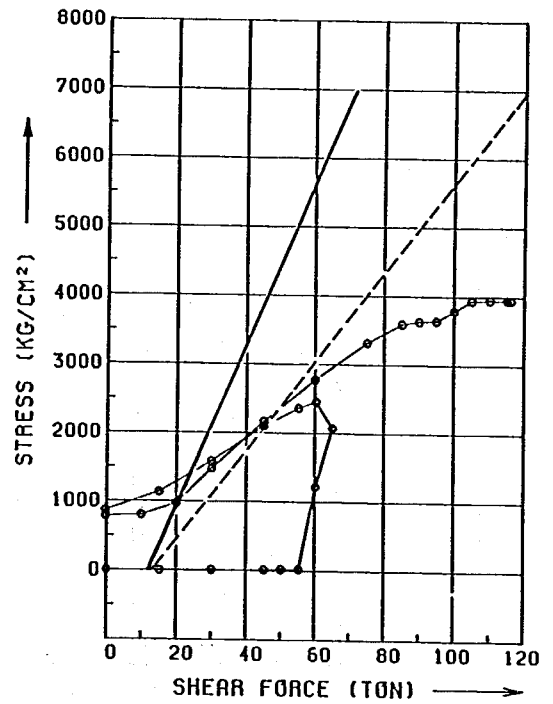
YIELD STRENGTH= 3950 KG/CM²



STRESS OF SHEAR REINFORCEMENT
* TYPE-C (NO.R-5-3) *

付図- 1 (27)

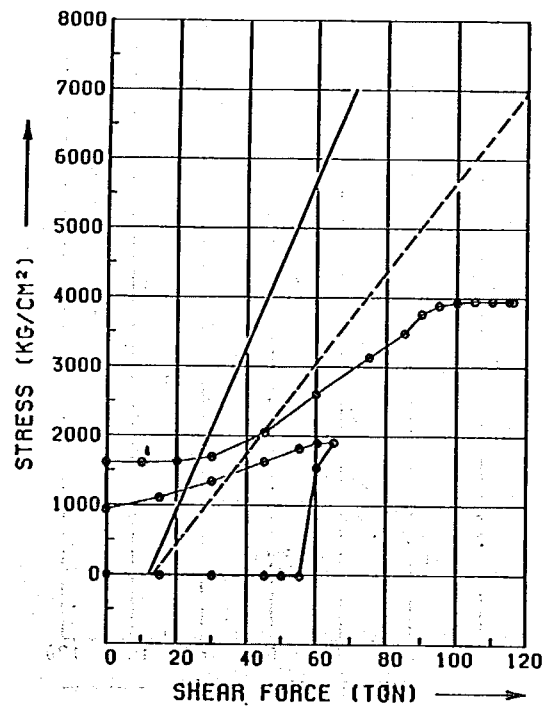
YIELD STRENGTH= 3950 KG/CM²



STRESS OF SHEAR REINFORCEMENT
* TYPE-C (NO.R-4-3) *

付図- 1 (26)

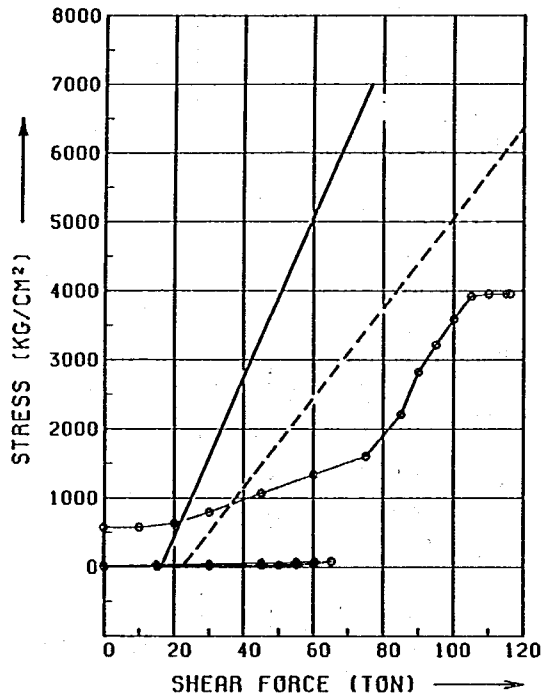
YIELD STRENGTH= 3950 KG/CM²



STRESS OF SHEAR REINFORCEMENT
* TYPE-C (NO.R-6-3) *

付図- 1 (28)

YIELD STRENGTH= 3950 KG/CM²

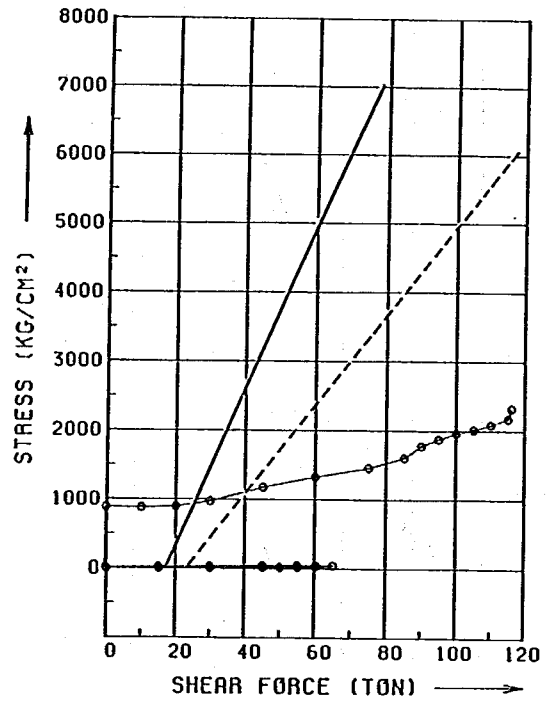


STRESS OF SHEAR REINFORCEMENT
* TYPE-C (NO.L-1-3) *

付図-1 (29)

YIELD STRENGTH= 3950 KG/CM²

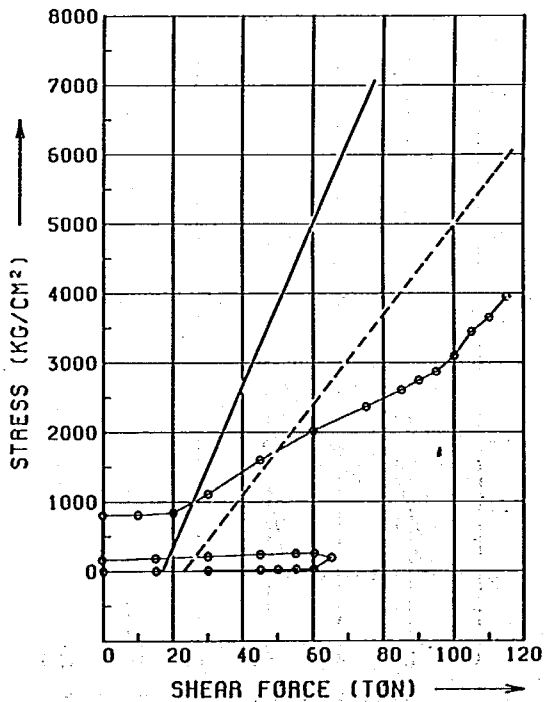
YIELD STRENGTH= 3950 KG/CM²



STRESS OF SHEAR REINFORCEMENT
* TYPE-C (NO.L-2-3) *

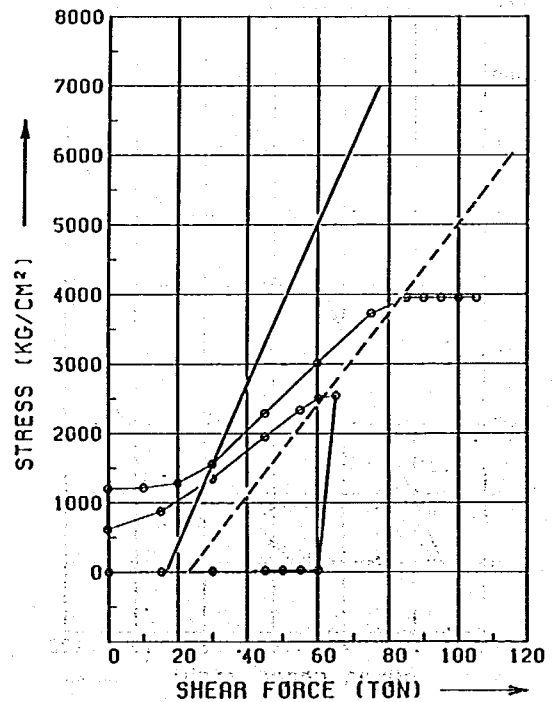
付図-1 (30)

YIELD STRENGTH= 3950 KG/CM²



STRESS OF SHEAR REINFORCEMENT
* TYPE-C (NO.L-3-3) *

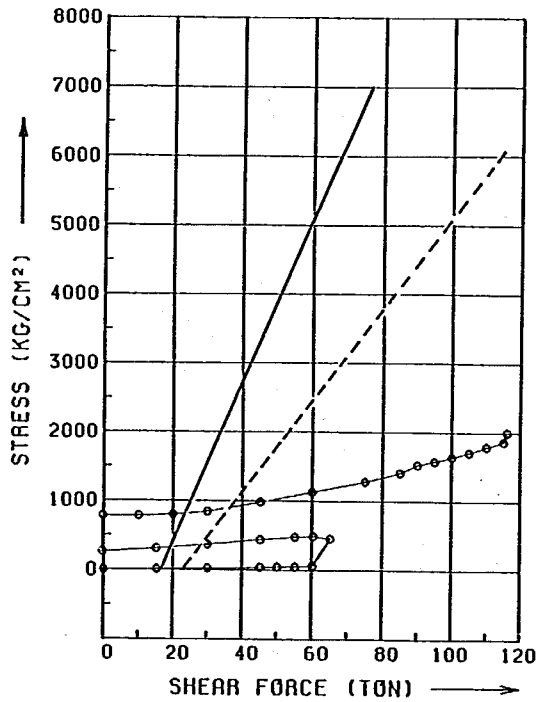
付図-1 (31)



STRESS OF SHEAR REINFORCEMENT
* TYPE-C (NO.L-4-3) *

付図-1 (32)

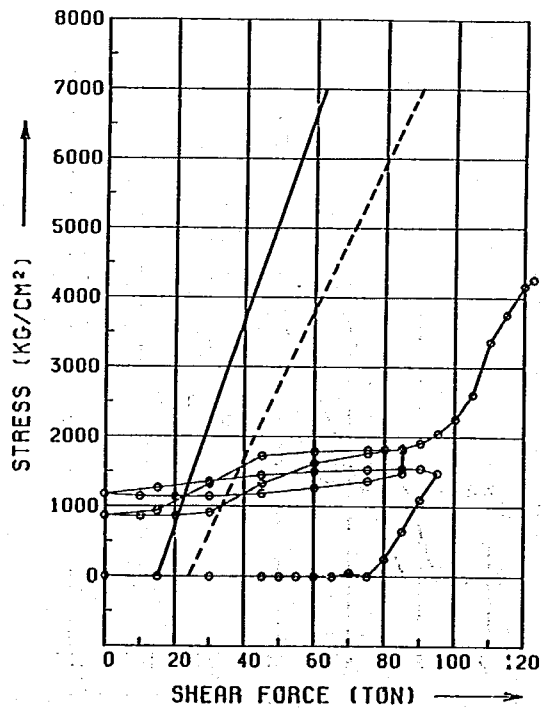
YIELD STRENGTH= 3950 KG/CM²



STRESS OF SHEAR REINFORCEMENT
* TYPE-C (NO.L-5-3) *

付図- 1 (33)

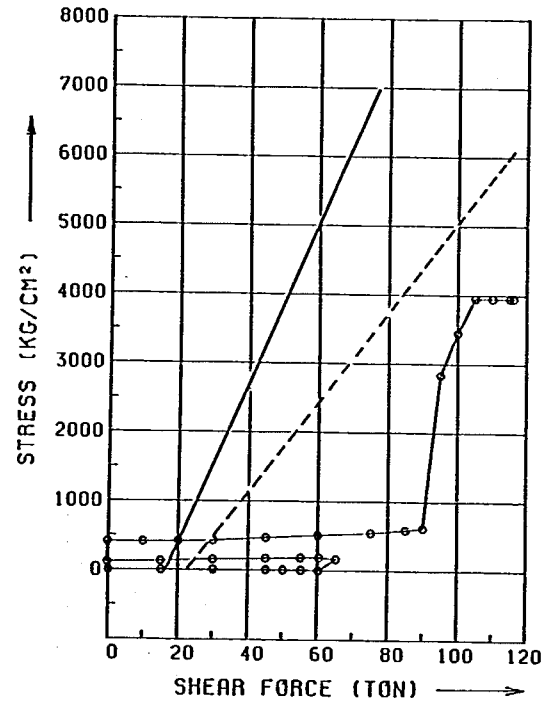
YIELD STRENGTH= 9250 KG/CM²
PRESTRESS = 5000 KG/CM²



STRESS OF SHEAR REINFORCEMENT
* TYPE-A (NO.R-1-3) *

付図- 1 (35)

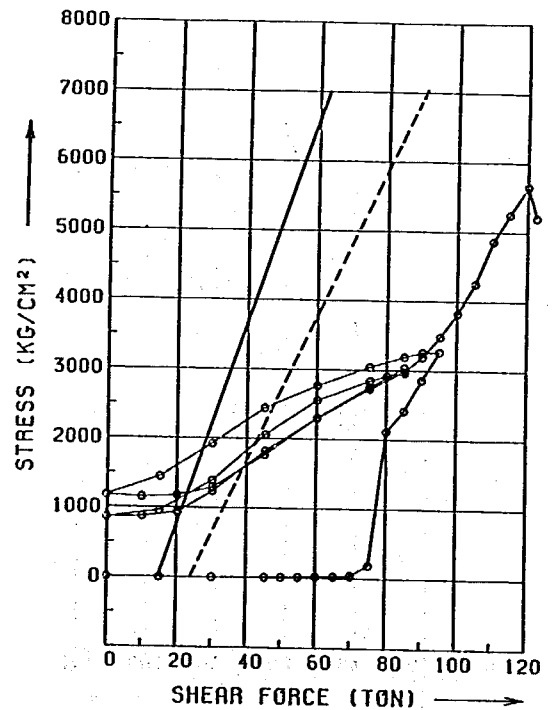
YIELD STRENGTH= 3950 KG/CM²



STRESS OF SHEAR REINFORCEMENT
* TYPE-C (NO.L-6-3) *

付図- 1 (34)

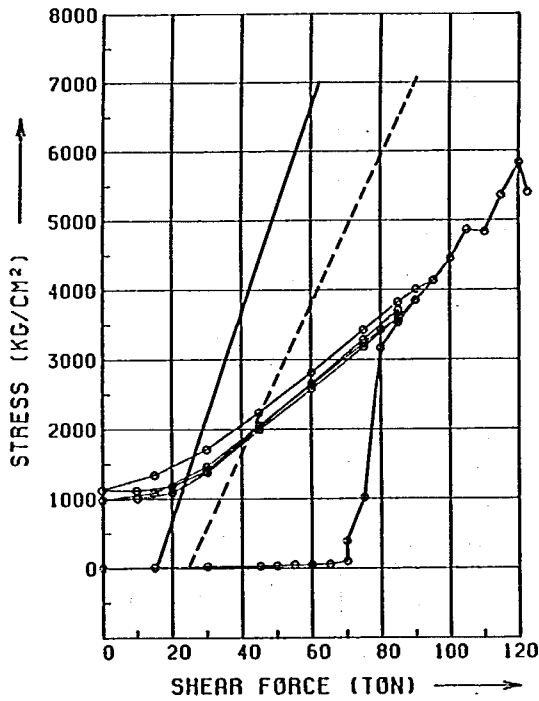
YIELD STRENGTH= 9250 KG/CM²
PRESTRESS = 5000 KG/CM²



STRESS OF SHEAR REINFORCEMENT
* TYPE-A (NO.R-2-3) *

付図- 1 (36)

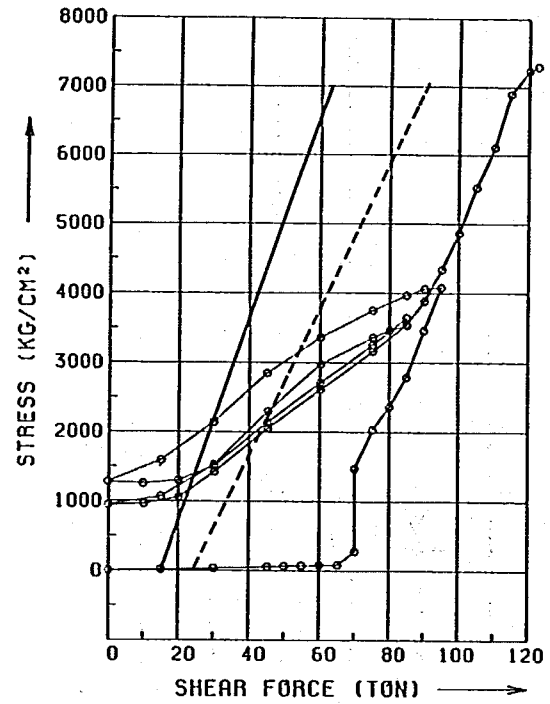
YIELD STRENGTH= 9250 KG/CM²
PRESTRESS = 5000 KG/CM²



STRESS OF SHEAR REINFORCEMENT
* TYPE-A (NO.R-3-3) *

付図- 2 (1)

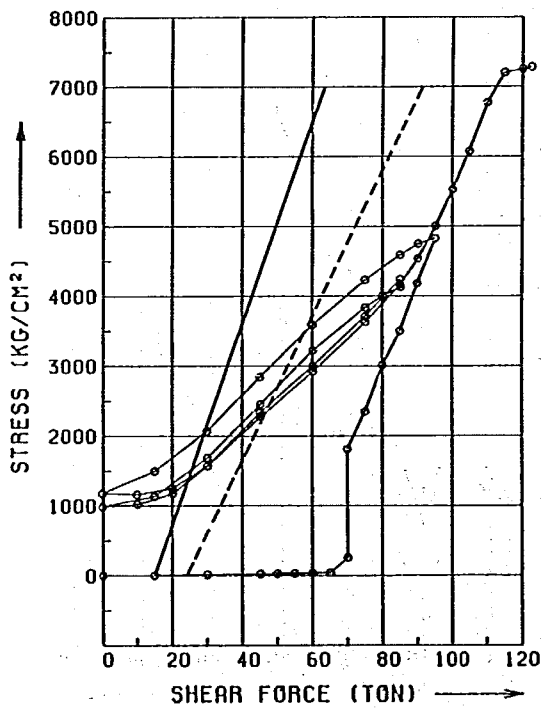
YIELD STRENGTH= 9250 KG/CM²
PRESTRESS = 5000 KG/CM²



STRESS OF SHEAR REINFORCEMENT
* TYPE-A (NO.R-4-3) *

付図- 2 (2)

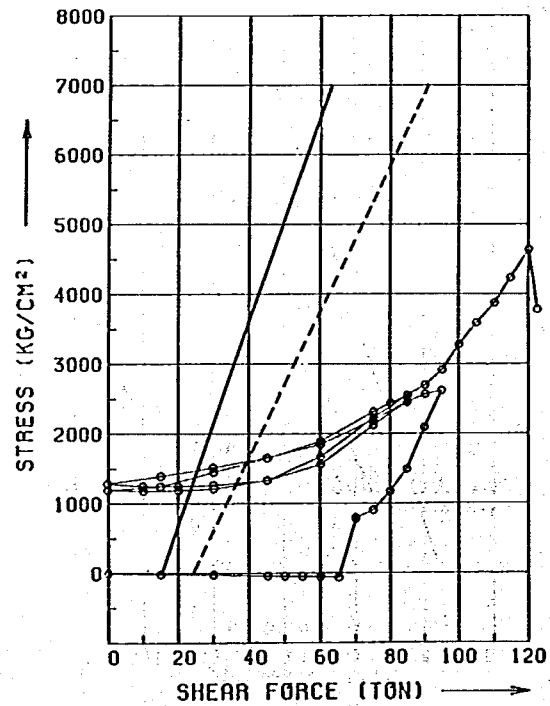
YIELD STRENGTH= 9250 KG/CM²
PRESTRESS = 5000 KG/CM²



STRESS OF SHEAR REINFORCEMENT
* TYPE-A (NO.R-5-3) *

付図- 2 (3)

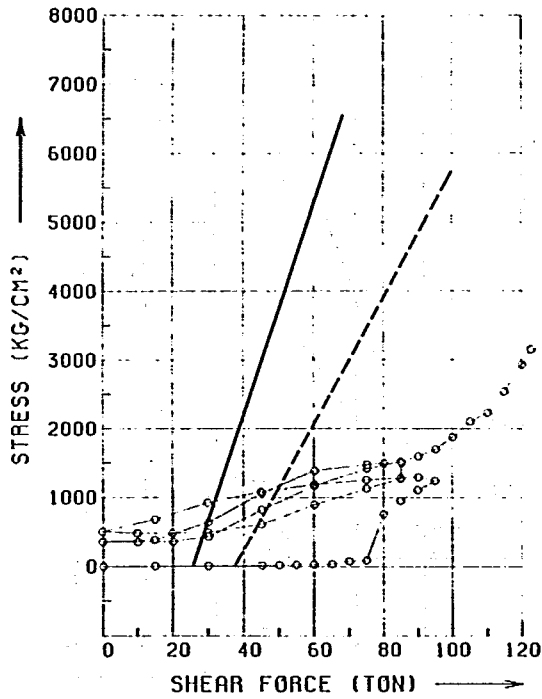
YIELD STRENGTH= 9250 KG/CM²
PRESTRESS = 5000 KG/CM²



STRESS OF SHEAR REINFORCEMENT
* TYPE-A (NO.R-6-5) *

付図- 2 (4)

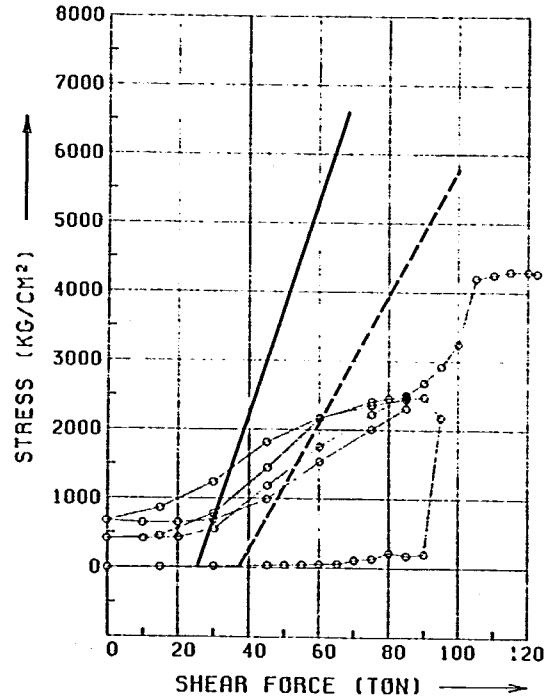
YIELD STRENGTH= 9250 KG/CM²
PRESTRESS = 5000 KG/CM²



STRESS OF SHEAR REINFORCEMENT
* TYPE-A (NO.L-2-3) *

付図-2 (5)

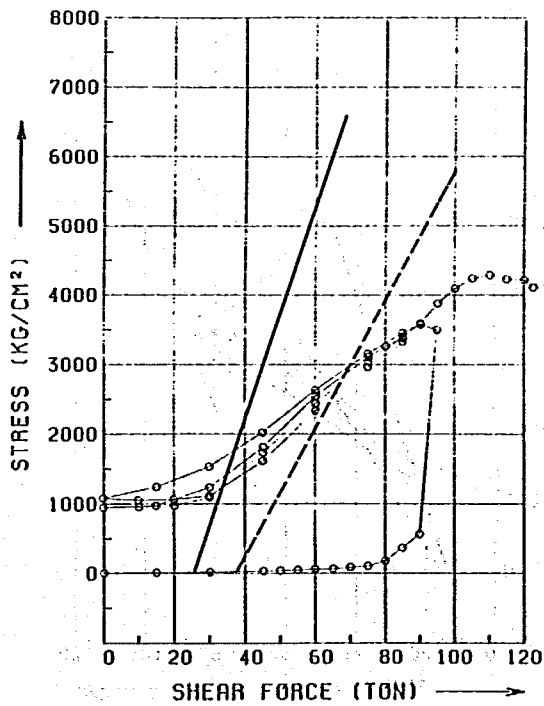
YIELD STRENGTH= 9250 KG/CM²
PRESTRESS = 5000 KG/CM²



STRESS OF SHEAR REINFORCEMENT
* TYPE-A (NO.L-3-3) *

付図-2 (6)

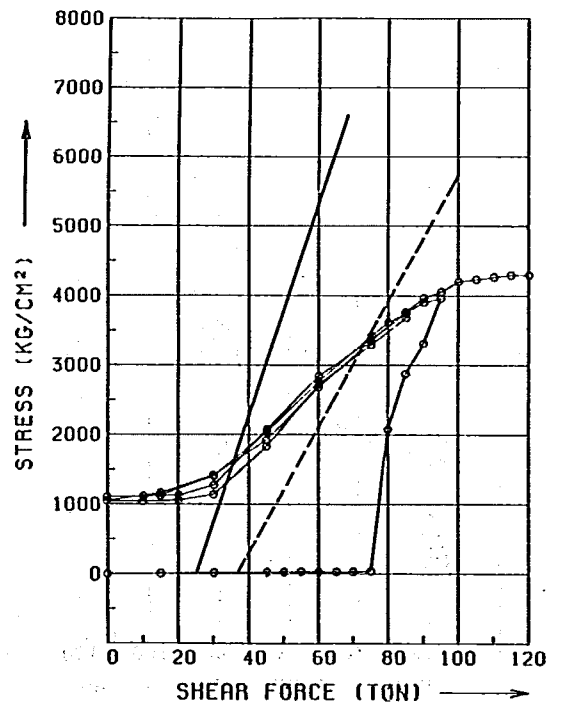
YIELD STRENGTH= 9250 KG/CM²
PRESTRESS = 5000 KG/CM²



STRESS OF SHEAR REINFORCEMENT
* TYPE-A (NO.L-4-3) *

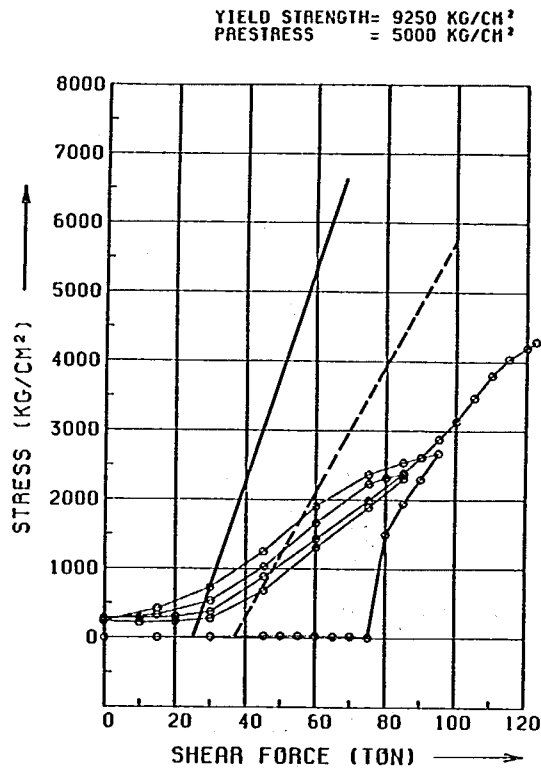
付図-2 (7)

YIELD STRENGTH= 9250 KG/CM²
PRESTRESS = 5000 KG/CM²



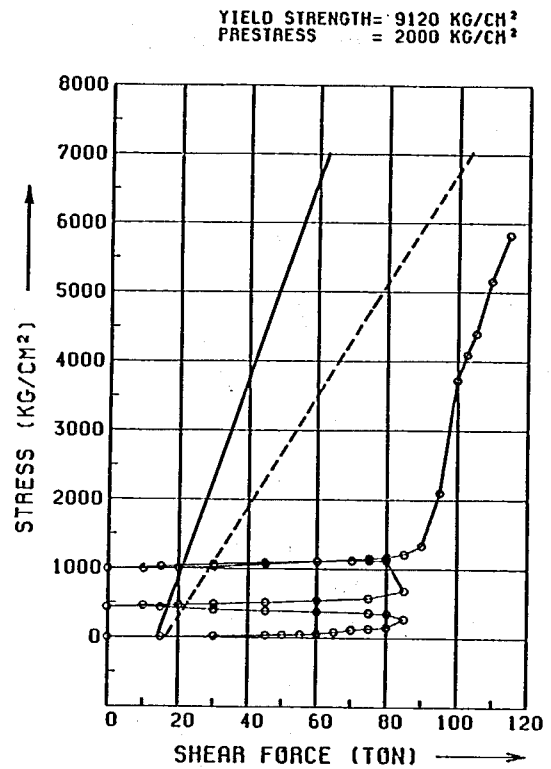
STRESS OF SHEAR REINFORCEMENT
* TYPE-A (NO.L-5-3) *

付図-2 (8)



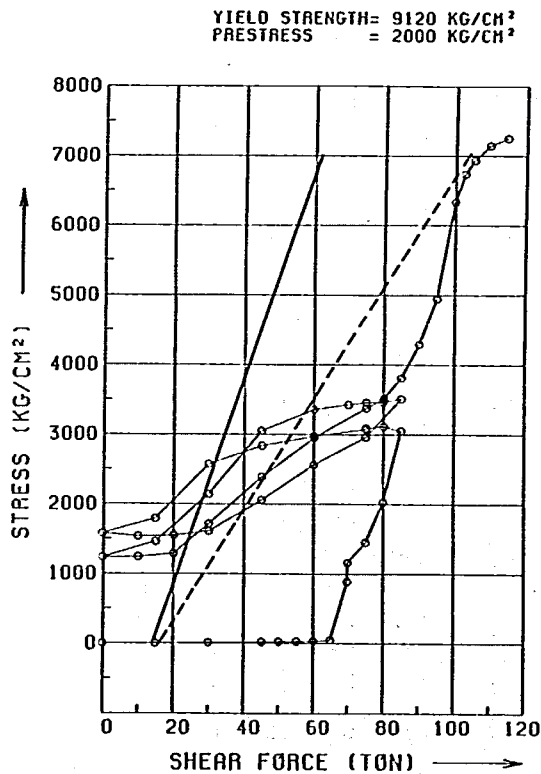
STRESS OF SHEAR REINFORCEMENT
* TYPE-A (NO.L-6-3) *

付図-2 (9)



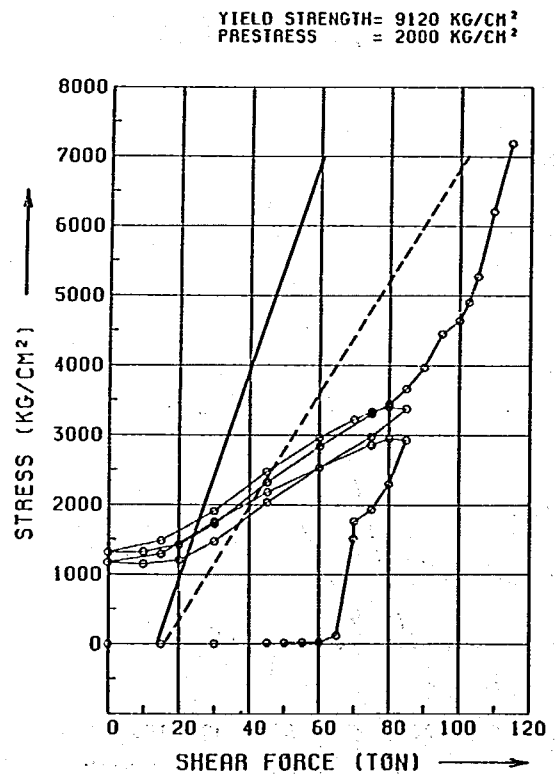
STRESS OF SHEAR REINFORCEMENT
* TYPE-B (NO.R-1-3) *

付図-2 (10)



STRESS OF SHEAR REINFORCEMENT
* TYPE-B (NO.R-2-3) *

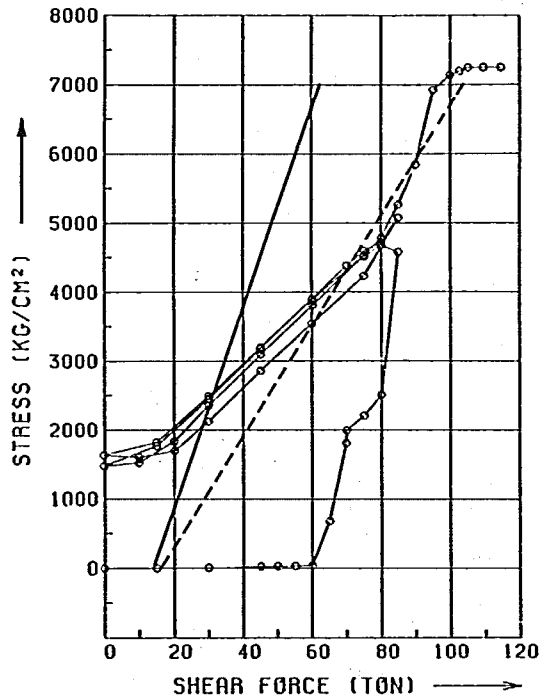
付図-2 (11)



STRESS OF SHEAR REINFORCEMENT
* TYPE-B (NO.R-3-3) *

付図-2 (12)

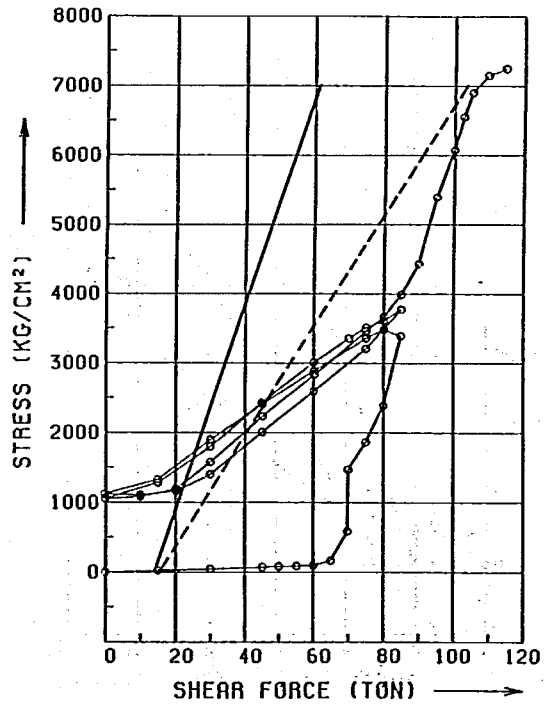
YIELD STRENGTH= 9120 KG/CM²
PRESTRESS = 2000 KG/CM²



STRESS OF SHEAR REINFORCEMENT
* TYPE-B (NO. R-4-3) *

付図- 2 (13)

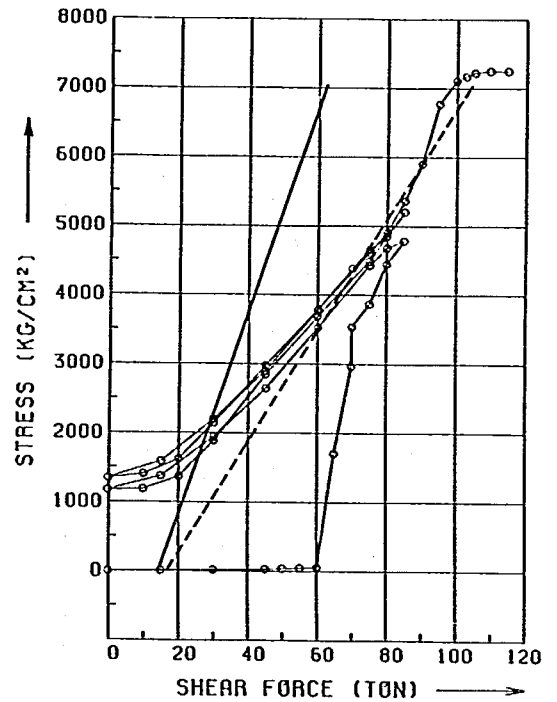
YIELD STRENGTH= 9120 KG/CM²
PRESTRESS = 2000 KG/CM²



STRESS OF SHEAR REINFORCEMENT
* TYPE-B (NO. R-6-1) *

付図- 2 (15)

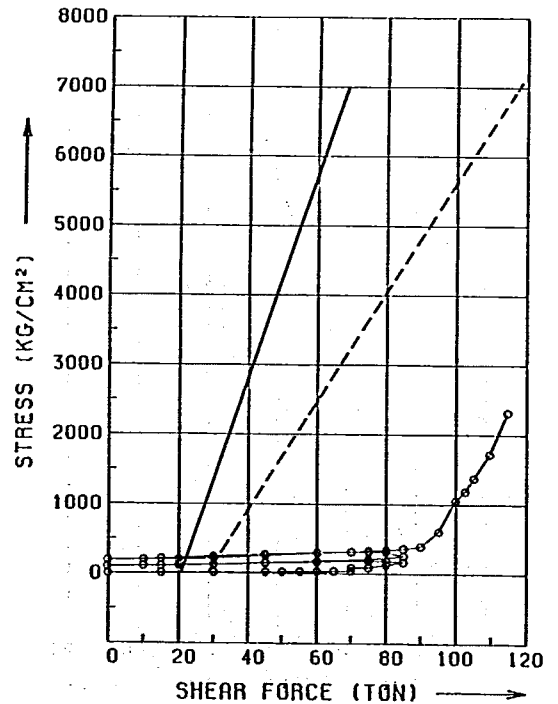
YIELD STRENGTH= 9120 KG/CM²
PRESTRESS = 2000 KG/CM²



STRESS OF SHEAR REINFORCEMENT
* TYPE-B (NO. R-5-3) *

付図- 2 (14)

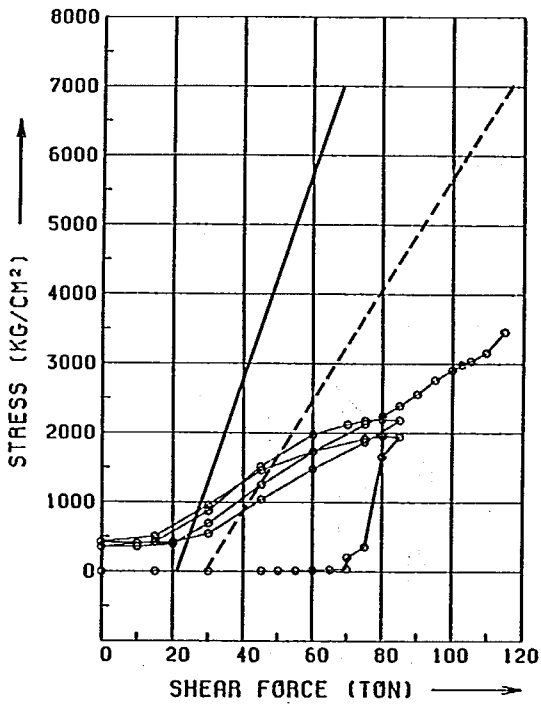
YIELD STRENGTH= 9120 KG/CM²
PRESTRESS = 5000 KG/CM²



STRESS OF SHEAR REINFORCEMENT
* TYPE-B (NO. L-1-3) *

付図- 2 (16)

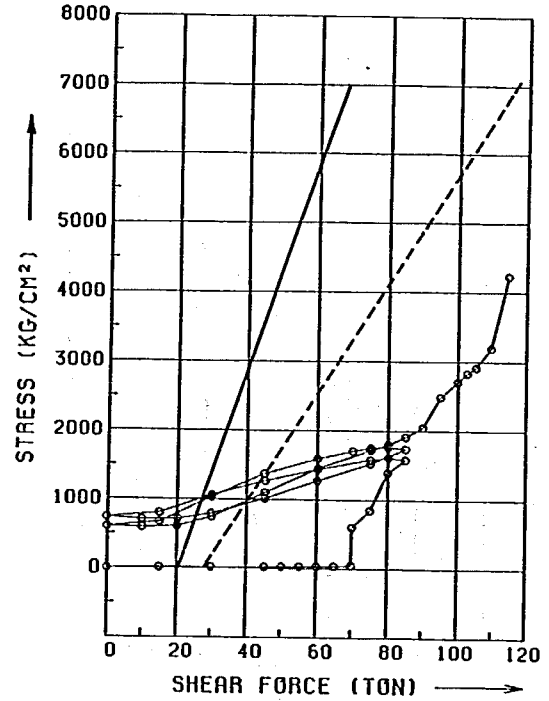
YIELD STRENGTH= 9120 KG/CM²
PRESTRESS = 5000 KG/CM²



STRESS OF SHEAR REINFORCEMENT
* TYPE-B (NO.L-2-3) *

付図- 2 (17)

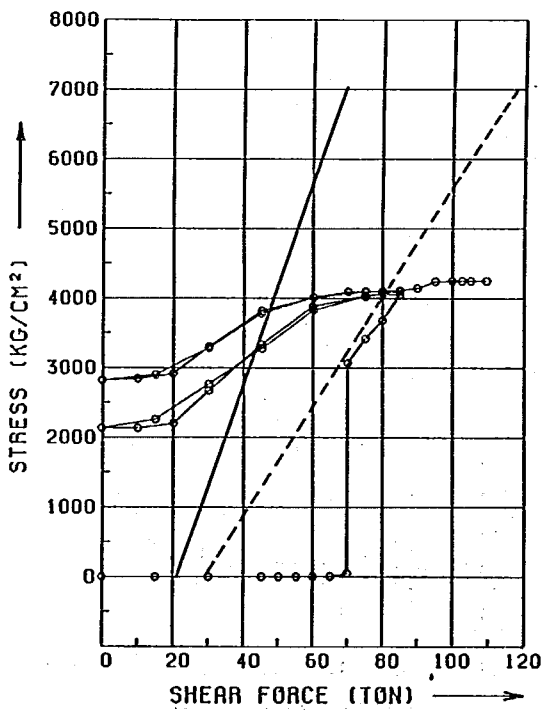
YIELD STRENGTH= 9120 KG/CM²
PRESTRESS = 5000 KG/CM²



STRESS OF SHEAR REINFORCEMENT
* TYPE-B (NO.L-3-3) *

付図- 2 (18)

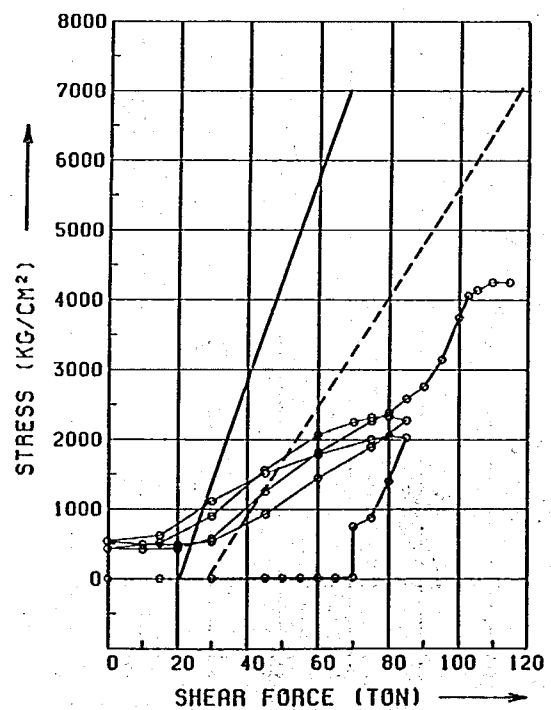
YIELD STRENGTH= 9120 KG/CM²
PRESTRESS = 5000 KG/CM²



STRESS OF SHEAR REINFORCEMENT
* TYPE-B (NO.L-4-3) *

付図- 2 (19)

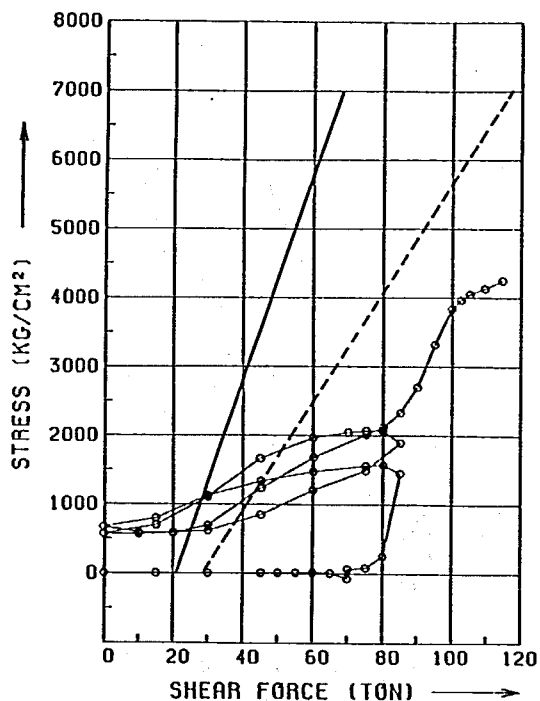
YIELD STRENGTH= 9120 KG/CM²
PRESTRESS = 5000 KG/CM²



STRESS OF SHEAR REINFORCEMENT,
* TYPE-B (NO.L-5-3) *

付図- 2 (20)

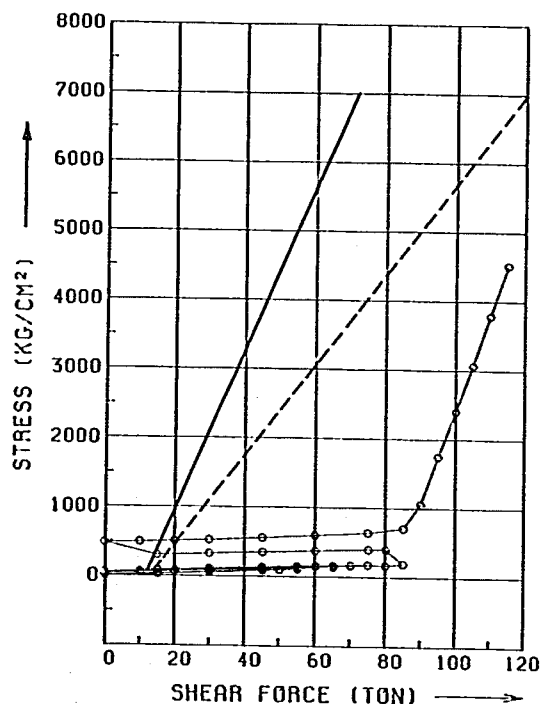
YIELD STRENGTH= 9120 KG/CM²
PRESTRESS = 5000 KG/CM²



STRESS OF SHEAR REINFORCEMENT
* TYPE-B (NO.L-6-3) *

付図- 2 (21)

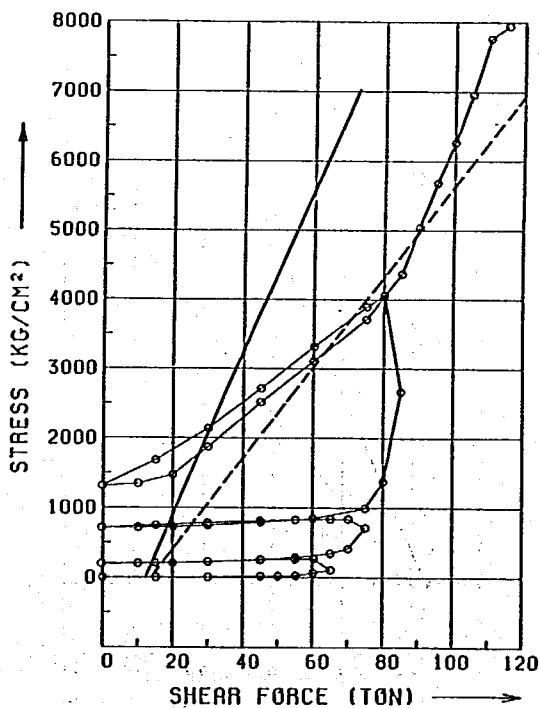
YIELD STRENGTH= 9900 KG/CM²
PRESTRESS = 2000 KG/CM²



STRESS OF SHEAR REINFORCEMENT
* TYPE-C (NO.R-1-3) *

付図- 2 (22)

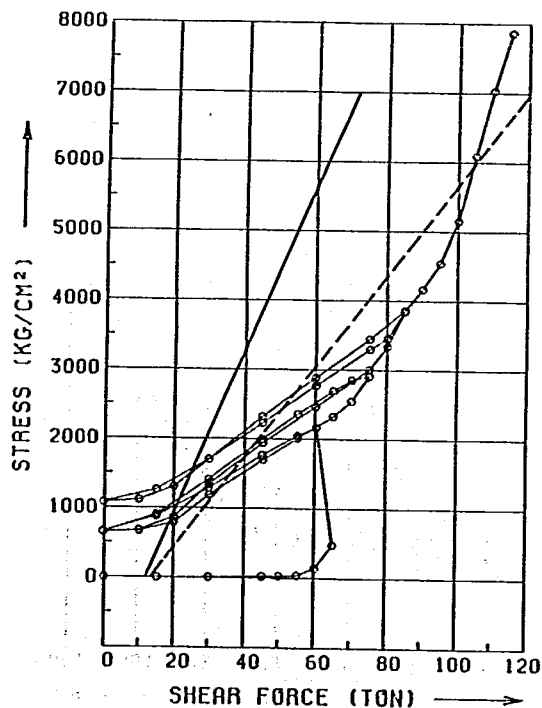
YIELD STRENGTH= 9900 KG/CM²
PRESTRESS = 2000 KG/CM²



STRESS OF SHEAR REINFORCEMENT
* TYPE-C (NO.R-2-3) *

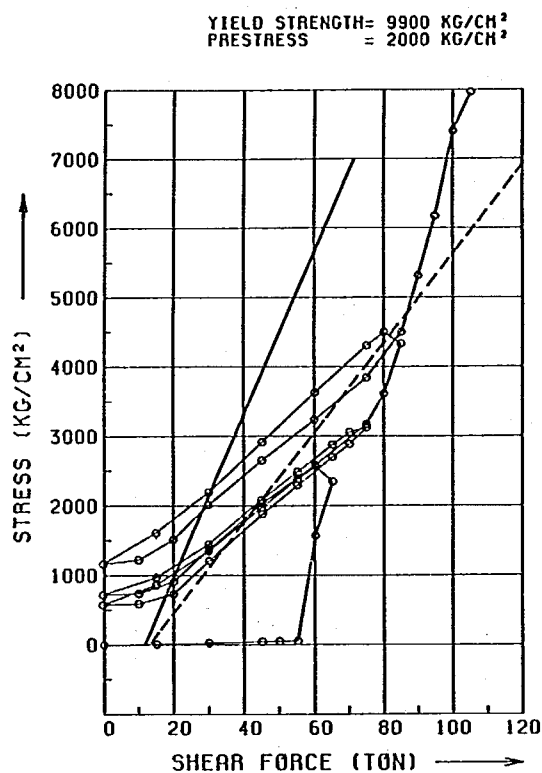
付図- 2 (23)

YIELD STRENGTH= 9900 KG/CM²
PRESTRESS = 2000 KG/CM²



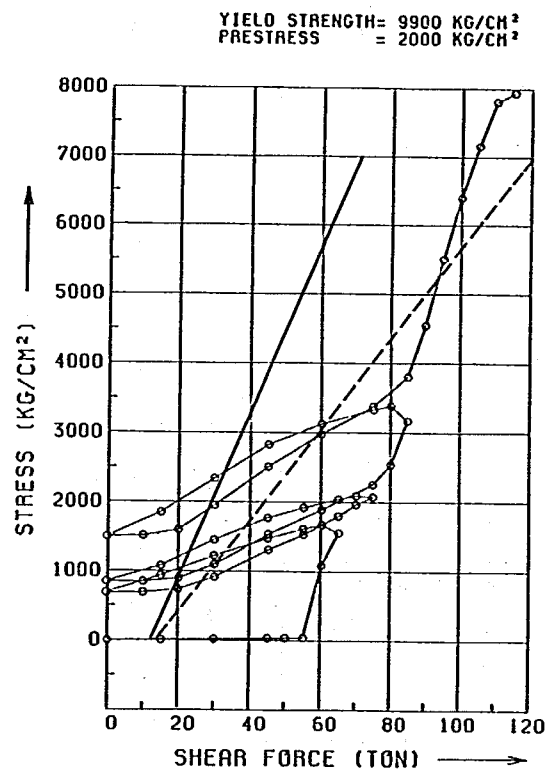
STRESS OF SHEAR REINFORCEMENT
* TYPE-C (NO.R-3-3) *

付図- 2 (24)



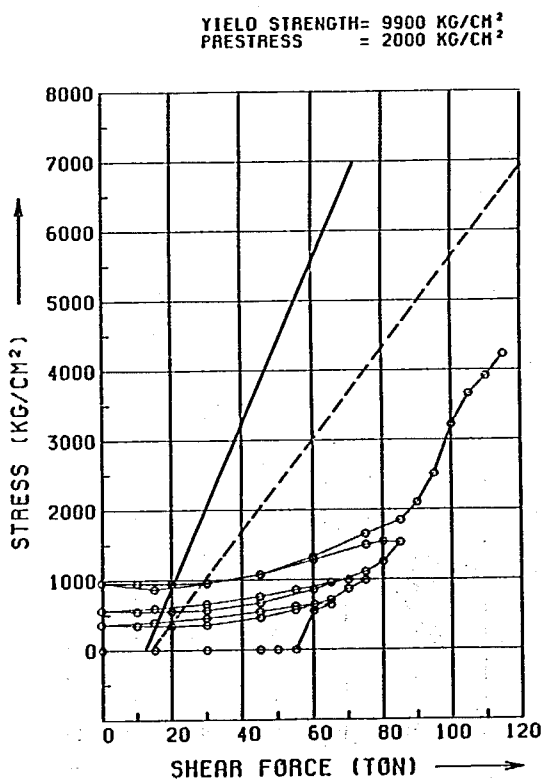
STRESS OF SHEAR REINFORCEMENT
* TYPE-C (NO.R-4-3) *

付図- 2 (25)



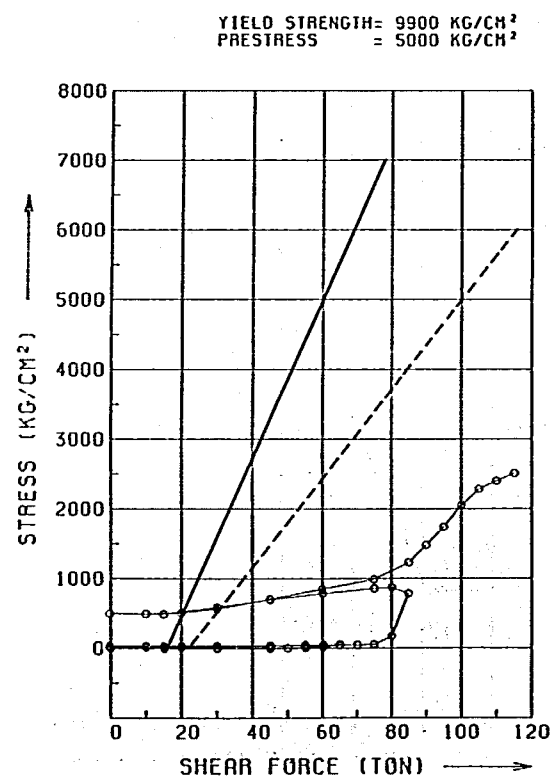
STRESS OF SHEAR REINFORCEMENT
* TYPE-C (NO.R-5-3) *

付図- 2 (26)



STRESS OF SHEAR REINFORCEMENT
* TYPE-C (NO.R-6-5) *

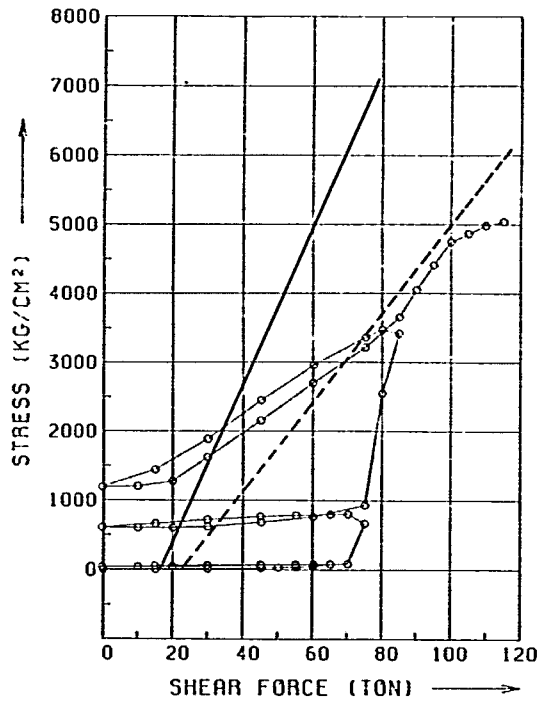
付図- 2 (27)



STRESS OF SHEAR REINFORCEMENT
* TYPE-C (NO.L-1-3) *

付図- 2 (28)

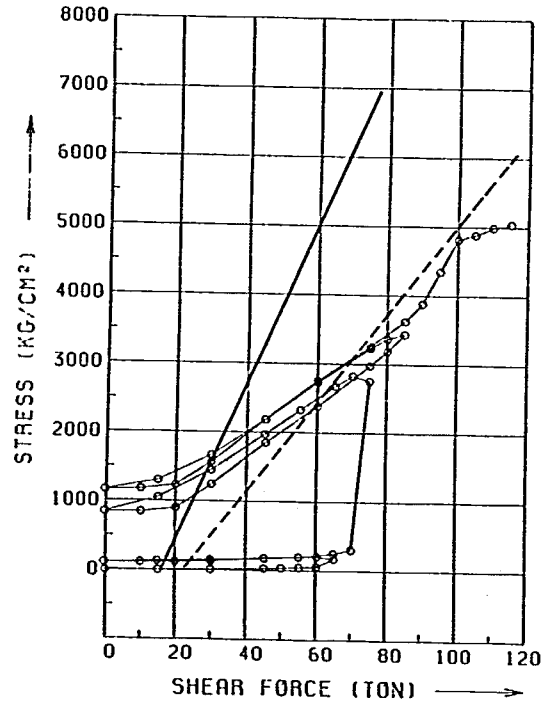
YIELD STRENGTH= 9900 KG/CM²
PRESTRESS = 5000 KG/CM²



STRESS OF SHEAR REINFORCEMENT
* TYPE-C (NO.L-2-3) *

付図-2 (29)

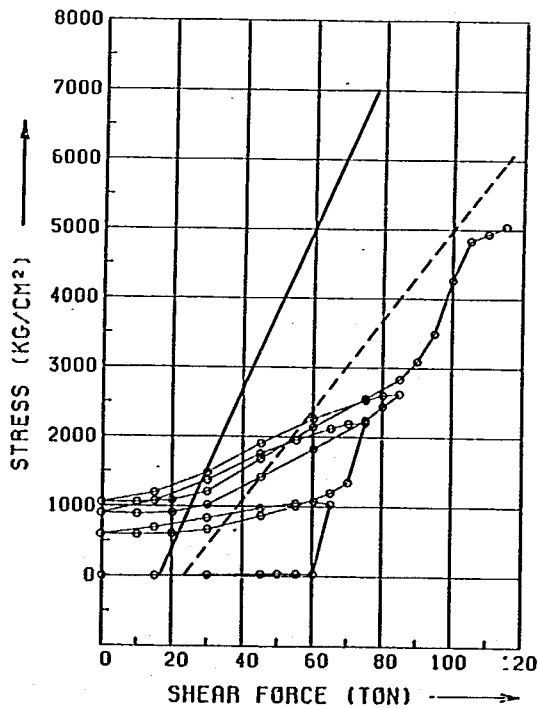
YIELD STRENGTH= 9900 KG/CM²
PRESTRESS = 5000 KG/CM²



STRESS OF SHEAR REINFORCEMENT
* TYPE-C (NO.L-3-3) *

付図-2 (30)

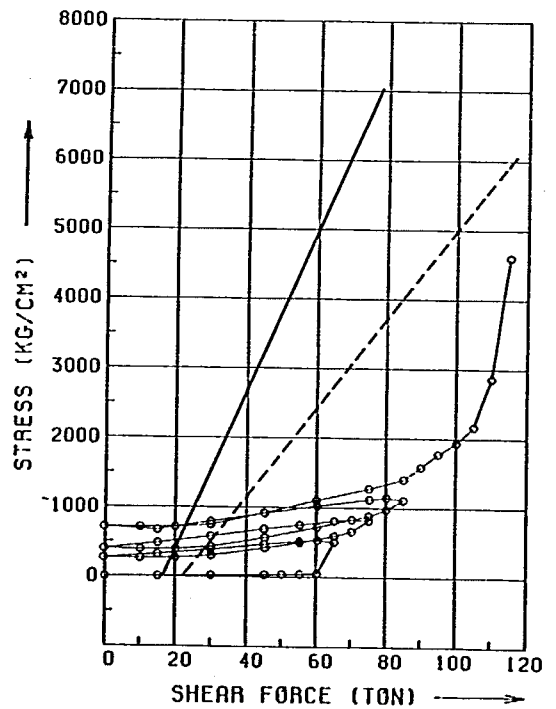
YIELD STRENGTH= 9900 KG/CM²
PRESTRESS = 5000 KG/CM²



STRESS OF SHEAR REINFORCEMENT
* TYPE-C (NO.L-4-3) *

付図-2 (31)

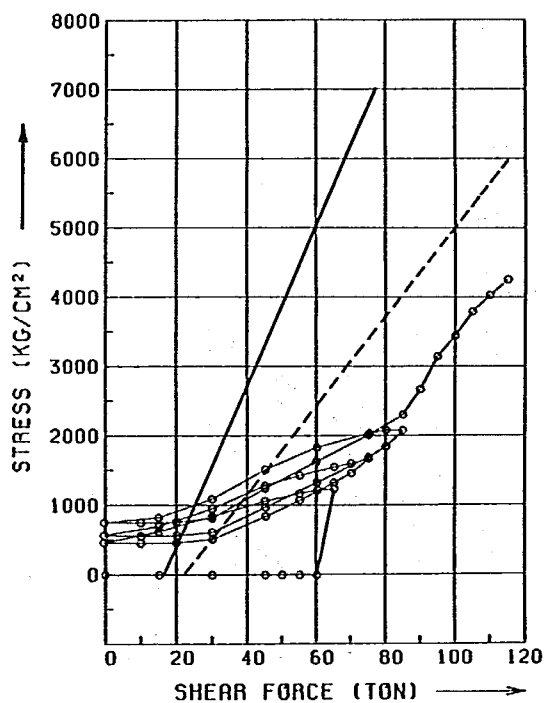
YIELD STRENGTH= 9900 KG/CM²
PRESTRESS = 5000 KG/CM²



STRESS OF SHEAR REINFORCEMENT
* TYPE-C (NO.L-5-3) *

付図-2 (32)

YIELD STRENGTH= 9900 KG/CM²
PRESTRESS = 5000 KG/CM²



STRESS OF SHEAR REINFORCEMENT
* TYPE-C (NO.L-6-3) *

付図-2 (33)

コンクリートげたのせん断に関する実験
その2

「せん断補強鋼材として鉛直鋼棒と、斜引張鉄筋を併用配置したプレストレストコンクリートげた」

土木研究所資料2094号

昭和59年5月(1984)

建設省土木研究所 橋梁研究室

佐伯彰一、箕作光一、平山伸司、

井川敏正

キーワード：橋梁，プレストレストコンクリートげた，せん断

要旨

せん断補強鋼材として鉛直鋼棒と斜引張鉄筋を併用配置したプレストレストコンクリートげたのせん断特性を把握し，設計方法を検討するために実施した実験について取りまとめたものである。

郵便はがき

305-□□

四十円切手
をはって下
さい

茨城県筑波郡

豊里町大字旭一番地

建設省土木研究所

橋梁研究室 御中

No. 18

No. 18

配布先氏名

配布先住所

土木研究所資料第2094号 部

上記のとおり受領しました。

所 属 (住所)

氏 名

印