

ISSN 0386-5878

土木研究所資料第3462号

土木研究所資料

場所打ち杭の正負交番載荷試験

平成8年11月

建設省土木研究所
耐震技術研究センター耐震研究室

Copyright ©(1996) by P.W.R.I.

All rights reserved. No part of this book may be reproduced by any means, nor translated into a machine language without the written permission of the Director General 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、複製は、土木研究所長の文書による承認を得ずしてこれを行ってはならない。

場所打ち杭の正負交番載荷試験

A CYCLIC LOADING TEST FOR CAST-IN-SITE REINFORCED CONCRETE PILES

耐震技術研究センター 耐震研究室 前 室 長 大 塚 久 哲^{*)}
研 究 員 星 隈 順 一
研 究 員 長 屋 和 宏
交流研究員 村 井 和 彦^{**)}

要 旨

場所打ち RC 杭の耐力と変形性能を検証することを目的として、実寸規模の単杭に対して正負交番載荷実験を行い、損傷の過程を観察するとともに、変形性能の検討を行った。その結果、平成6年道路橋示方書に規定される設計基準に準拠して設計された場所打ち RC 杭は、せん断支間比が2.5程度であっても最終的な破壊形態は曲げ破壊となることが確認された。また、本文では杭体のじん性率に関する定義を行い、これに従えば杭体のじん性率は6.8であった。さらに、M- ϕ 法による変形性能解析を行い、平成2年道路橋示方書モデルよりも、帯鉄筋による拘束効果を考慮した復旧仕様モデルを用いた方が、実験結果との適合性が良いことが明らかになった。

キーワード：場所打ち RC 杭，変形性能，正負交番載荷実験
曲げモーメント－曲率解析，耐震設計

*) 現九州大学工学部教授

**) 交流研究員在職期間（平成8年4月～平成9年3月）

目 次

1. はじめに	1
2. 場所打ち杭の正負交番载荷実験	2
(1) 実験供試体	2
(2) 载荷条件	4
(3) 実験結果	5
3. 変形性能の解析	12
4. 結論	15
参考文献	16

1. はじめに

道路橋の耐震設計においては、震度法をベースとした許容応力度設計から、部材の耐力や変形性能を考慮して設計する限界状態設計法へと移行する趨勢にある。橋脚基礎については、地中の構造物であり震災直後における被災の発見や被災に対する迅速な復旧が困難であることから、橋全体としての耐震設計を考えた場合、橋脚基礎に大きな損傷を生じさせるような設計は好ましくないと考えられる。こうした観点から、地震時保有水平耐力の照査では、橋脚基礎には橋脚躯体と同等もしくはそれ以上の耐力を確保しておくことが求められている¹⁾。しかしながら、壁式や小判型橋脚を有する基礎の橋軸直角方向に対する耐震設計では、基礎の耐力を橋脚躯体と同等以上にすることが合理的でない場合もある。また、地盤が液状化して基礎に対する水平地盤反力度が低下するような場合には、基礎に大きな水平変位が生じることも考えられる。したがって、設計条件に応じては、基礎に対しても変形の非線形特性を考慮した耐震設計法が必要となる。

基礎の耐力や変形性能は、基礎本体の曲げモーメント-曲率の特性、水平地盤反力度-水平変位の特性、杭頭反力-杭頭軸方向変位の特性に応じて変化するため、これらの諸特性を適切に評価することが重要である。水平地盤反力度-水平変位の特性ならびに杭頭反力-杭頭軸方向変位の特性については、実杭や模型杭に対する既往の載荷実験結果を基に、統計的な分析が行われ、設計用としてのモデルが提案されている²⁾。一方、基礎本体については、基礎形式に応じて構造特性が異なることから、基礎形式ごとに曲げモーメント-曲率の特性を適切にモデル化する必要がある。ここで、基礎には様々な形式があるが、本研究では、場所打ちRC杭を対象としている。

場所打ちRC杭に関しては、平成6年道路橋示方書Ⅳ下部構造編³⁾（以下道路橋示方書下部構造編と称する）や杭基礎設計便覧⁴⁾の中で、その構造細目が規定されている。しかしながら、この構造細目に準拠して設計された場所打ちRC杭がどの程度の変形性能を有しているかについては、まだ十分な検討がされていない。

こうした背景から、本研究では、変形性能と損傷度の関係に着目して場所打ちRC杭の正負交番載荷実験を行った。さらに、場所打ちRC杭に対する変形性能の評価方法を検討するとともに、杭体に生じた損傷度の観点から計算値と実験結果との比較を行い、本評価方法の妥当性を検討した。

2. 場所打ち杭の正負交番載荷実験

(1) 実験供試体

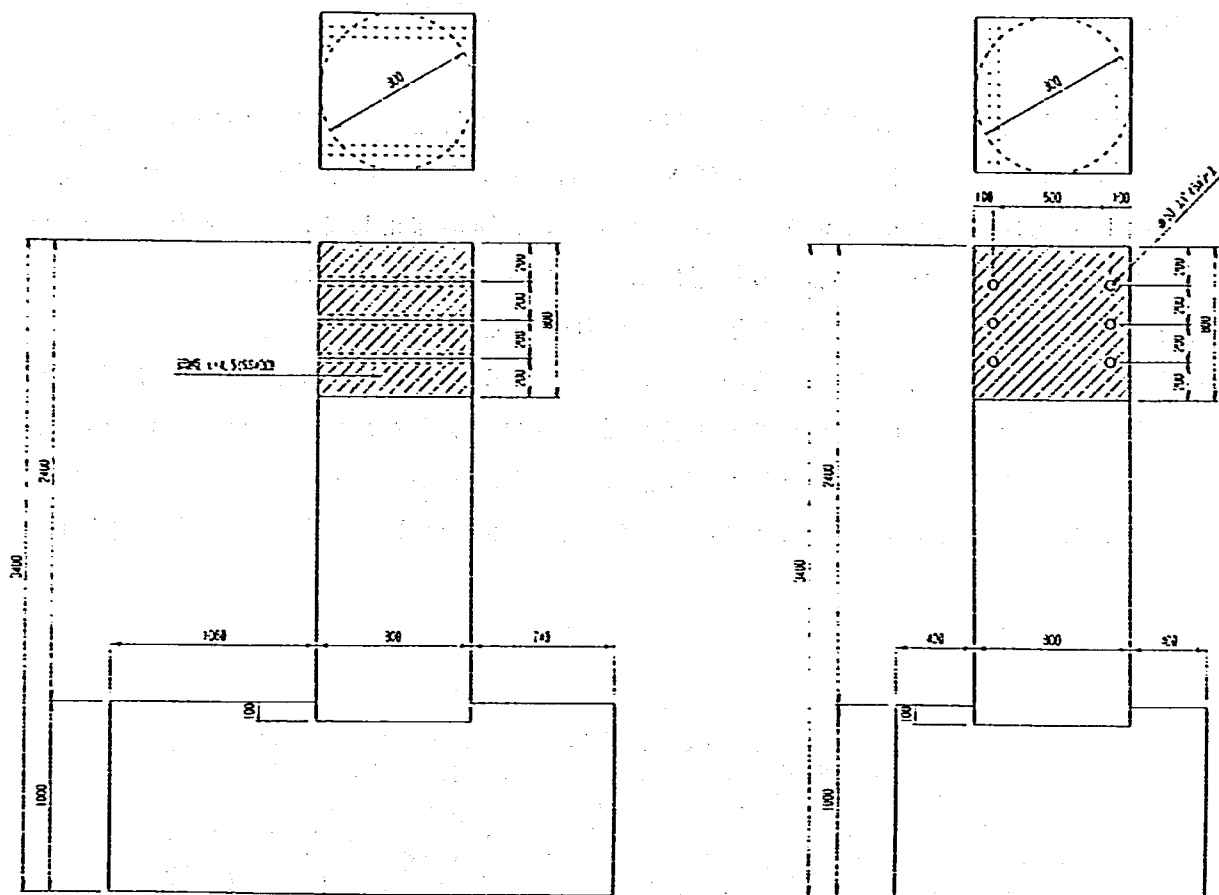
供試体の断面諸元を表-1及び図-1に示す。今回の実験で用いた供試体は、深さ約35mまでN値が2の軟弱な地盤条件を想定し、標準設計された杭断面（杭径1.5mの場所打ち杭）を、長さの相似率で約1/2とした模型である。なお、軸方向鉄筋及び帯鉄筋の配筋条件、杭とフーチングの結合法等に関しては、道路橋示方書下部構造編及び杭基礎設計便覧に準拠した。すなわち、軸方向鉄筋としてはD22を用い、軸方向鉄筋比は1.23%とした。また、帯鉄筋としてはD13を用いた。帯鉄筋の中心間隔については、対象とした杭体がフーチング底面より杭径の2倍の範囲内であることを考慮して15cm、帯鉄筋比は側断面積の0.2%とした。帯鉄筋の継手は溶接長130mm(10D)のフレアV型溶接を採用した。杭とフーチングとの結合は、道路橋示方書に示されている場所打ち杭方法Bとした。また、フーチングには実験で作用させる程度の荷重では損傷が生じないように、十分な配筋を施した。

杭頭部から載荷点までの距離は2.0mであり、せん断支間比は2.5と設定した。このせん断支間比は、杭の場合には、地盤の横方向反力係数が小さいところに用いられることが多く、杭頭部に生じる応力はせん断支間比で2に相当する場合が多いこと⁵⁾、また、軟弱地盤条件下での杭の試設計結果からも、地震時に杭頭部に生じる曲げモーメントとせん断力の組み合わせは、せん断支間比に換算すると2.5~3.0程度であったこと⁶⁾、また既往のこの種の研究でも、せん断支間比を2.5前後としている実験が多い^{7)~11)}ことなどから設定した。

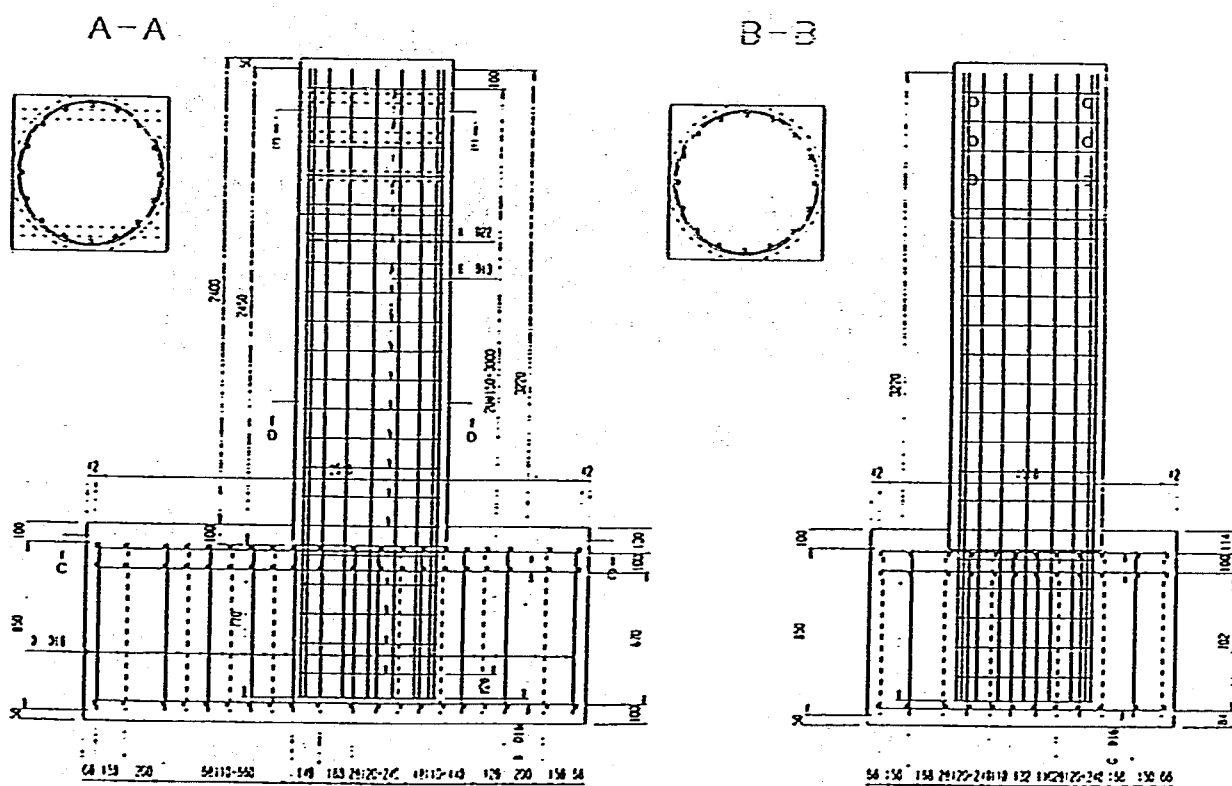
鉄筋の降伏強度、コンクリートの圧縮強度は表-1の通りである。後述する解析には、表-1に示される試験結果を用いることとした。

表-1 供試体の諸元

供試体 径 (cm)	軸方向鉄筋				帯鉄筋				コンクリート 圧縮強度 (kgf/cm ²)
	材質	径	軸方向 鉄筋比	降伏強度 (kgf/cm ²)	材質	径	帯鉄筋比	降伏強度 (kgf/cm ²)	
80	SD295	D22	1.23%	3642	SD295	D13	0.20%	3641	334



(a) 供試体諸元



(b) 配筋図

図-1 実験模型供試体

(2) 載荷条件

実験では、写真-1に示すように、供試体を反力壁に固定し、動的加振機（最大加振力125tf、最大ストローク $\pm 125\text{mm}$ ）を供試体先端部に取り付けて、水平荷重を加えた。杭には、通常軸方向にも上部構造や橋脚躯体による死荷重等が作用しており、また、地震時には軸力も変動することから、軸力の影響は重要であるが、本実験では、杭体の変形性能評価を行うことに重点を置いていることから、軸力は加えていない。

実験は、まず初期載荷として、杭頭部における引張側最外縁の軸方向鉄筋のひずみを計測しながら、この鉄筋が降伏するまで正負交番で静的に変形を増大させた。降伏後は、降伏時に載荷点に生じる変位を降伏変位 δ_y とし、 $n\delta_y$ ($n=1,2,3,\dots$)の振幅変位で、変位制御により正負交番載荷した。同一変位振幅での繰返し回数は10回とし、載荷振幅速度は 1cm/sec とした。

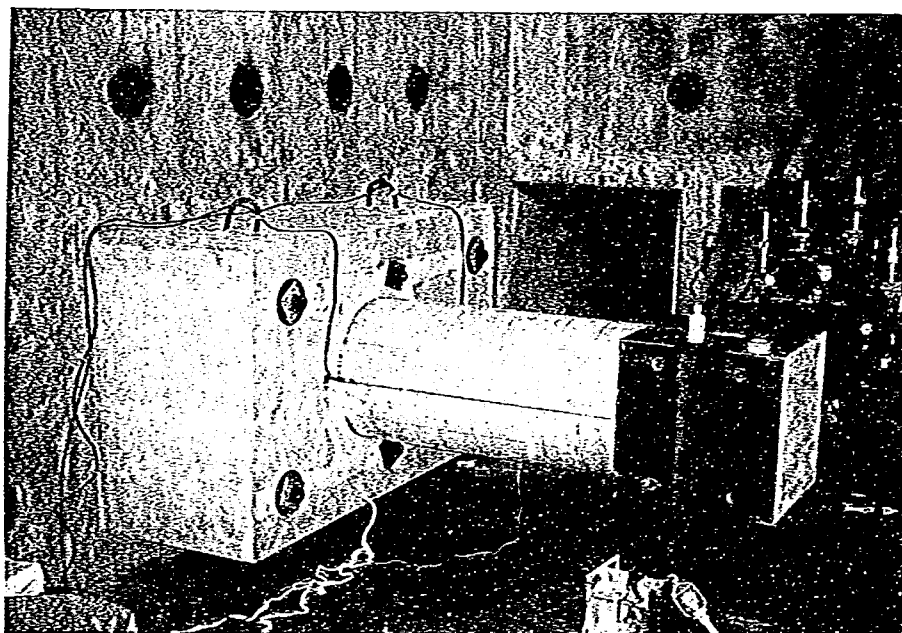


写真-1 載荷状況

(3) 実験結果

1) 損傷の進展と破壊性状

図-2及び図-3、写真-2～4に杭体における損傷の進展状況を示す。1 δy の載荷では水平方向にわずかなクラックが生じ、4 δy までの載荷においては特に杭頭部における水平方向クラックが徐々に進展した。5 δy の載荷時には被りコンクリートの剥離が開始し、6 δy では杭頭部から15cm程度の範囲、7 δy では20～30cm程度の範囲、8 δy では30～45cm程度の範囲での剥離が徐々に進展していった。また8 δy ではコアコンクリートにおいても顕著な損傷が発生している。9 δy では軸方向鉄筋に軽微な座屈が認められ、10 δy では軸方向鉄筋が2本破断した。

破壊モードは、曲げ破壊であり、せん断的な破壊形態は確認されなかった。杉村や池田らの研究結果によると、せん断支間比が2.5程度であるとせん断破壊が先行することが述べられている^{9) 12)}。しかしながら、これらの研究は中空断面のプレストレストコンクリート杭を対象とした実験によるものであり、コンクリート断面、主鉄筋や帯鉄筋等の条件が、本研究で対象としている場所打ち杭とは必ずしも一致していない。本実験で供試体が曲げ破壊を呈したのは、杭体の設計において、道路橋示方書IV下部構造編³⁾および杭基礎設計便覧⁴⁾に準拠して、フーチング底面より杭径の2倍の範囲内では十分な帯鉄筋を配置しているためであると考えられる。これらの規定に示される構造細目を満たせばせん断支間比2.5であっても曲げ破壊となる。

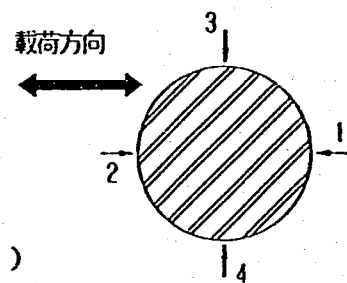
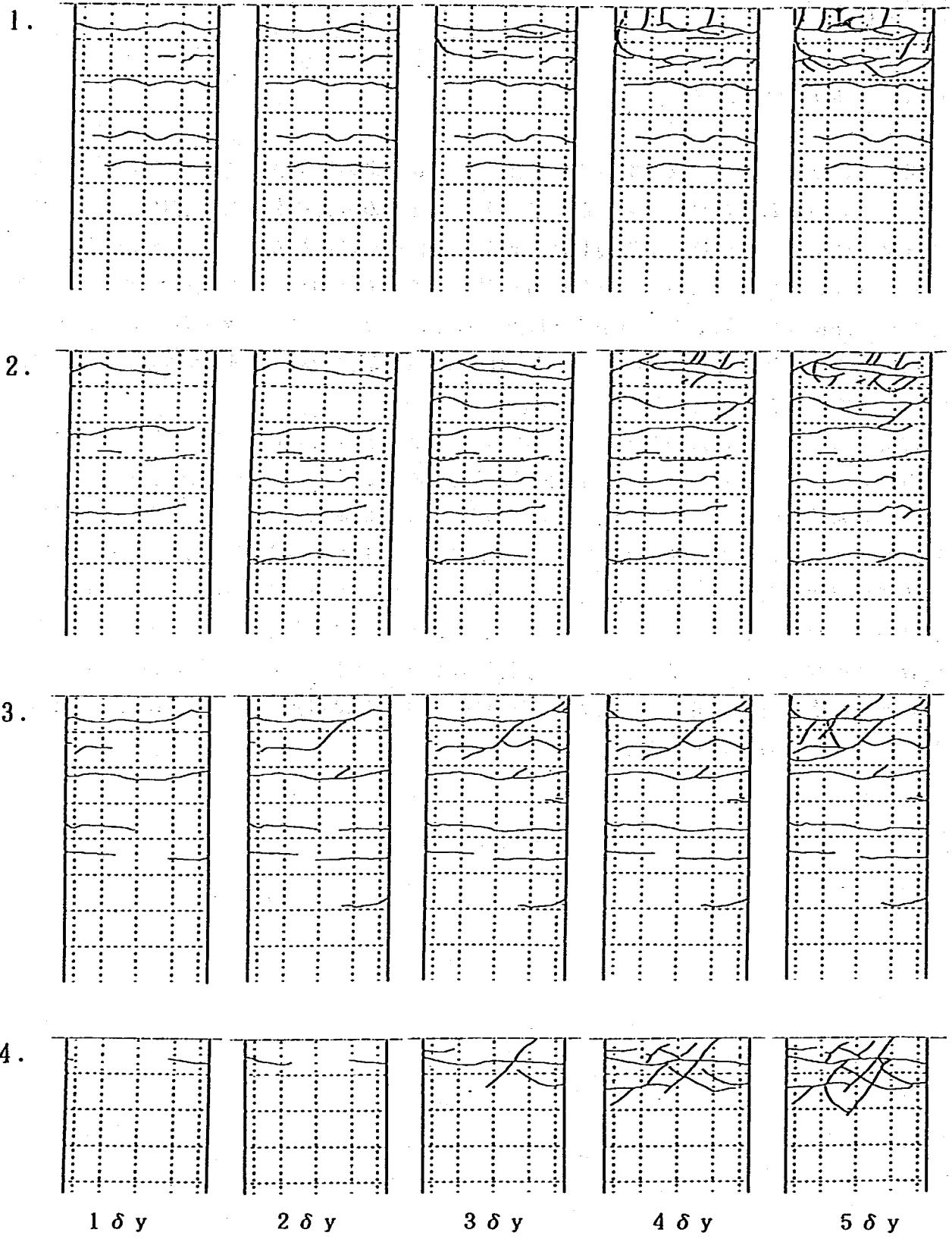


图-2 破坏性状图 ($1 \delta y \sim 5 \delta y$)

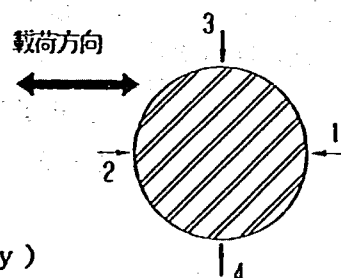
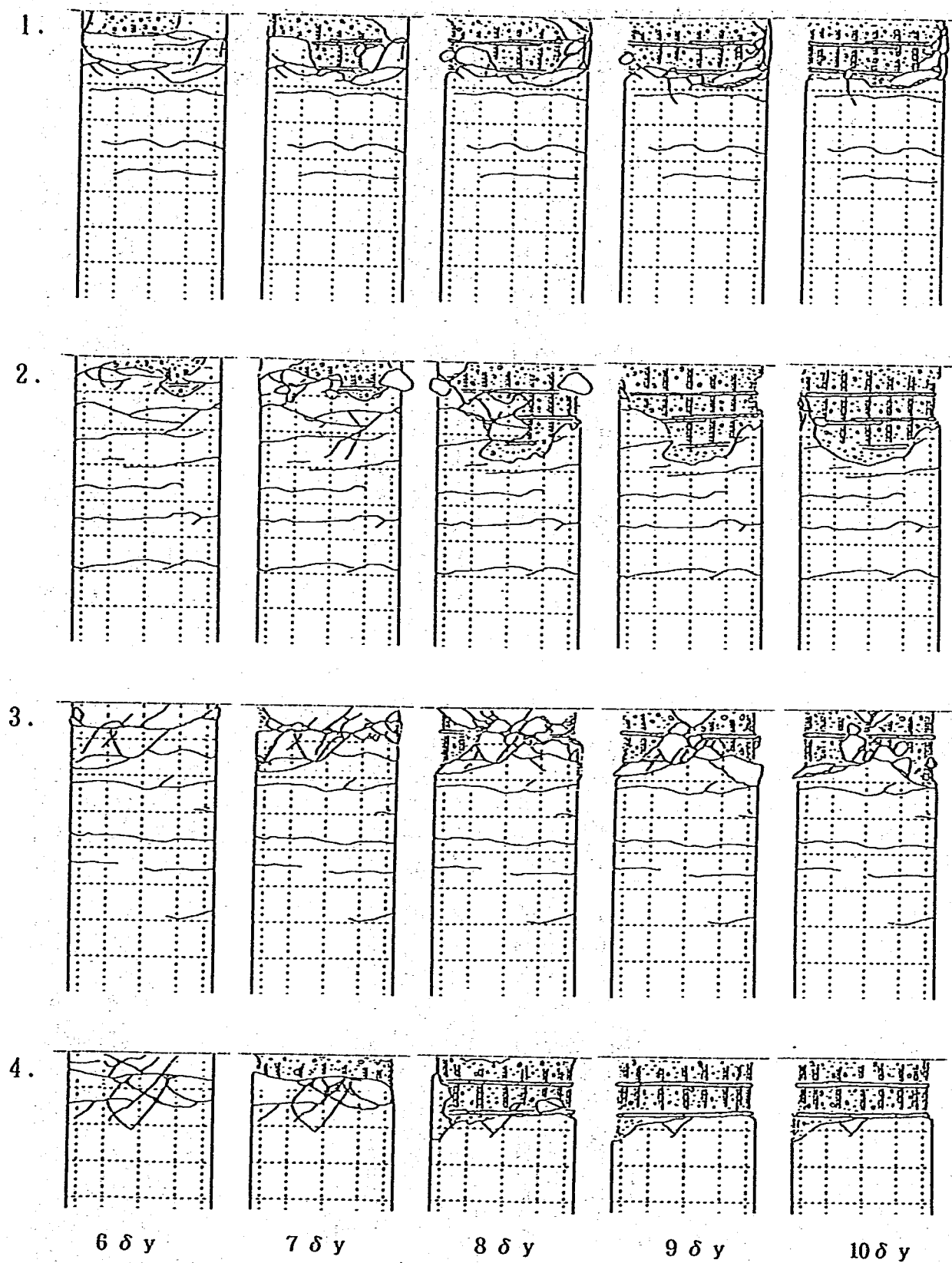
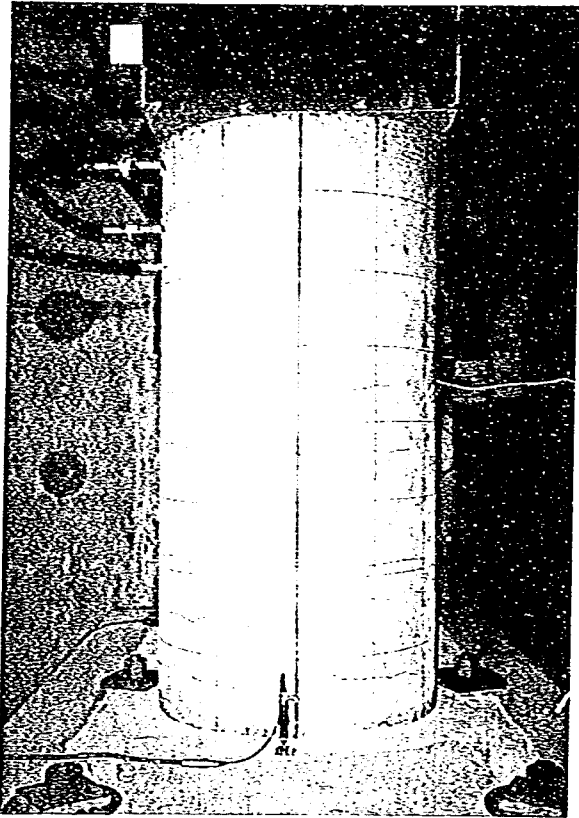
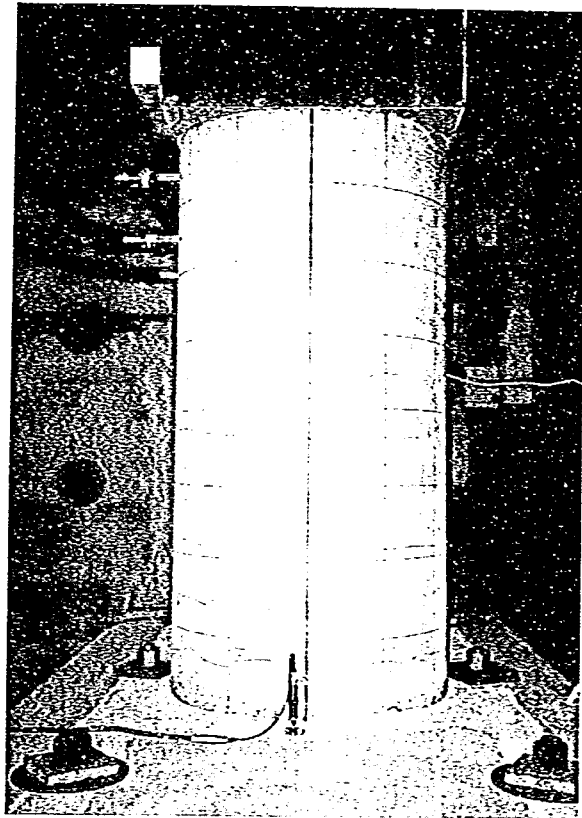


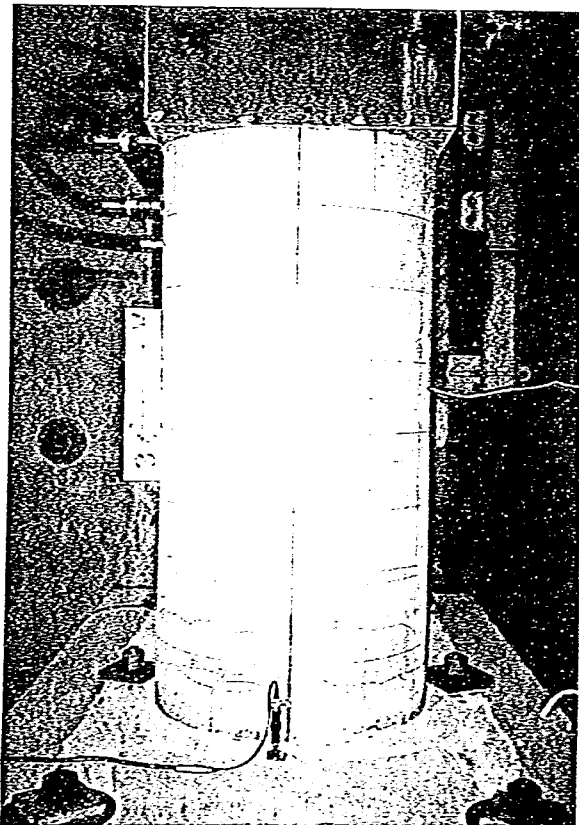
图-3 破坏性状图 ($6\delta y \sim 10\delta y$)



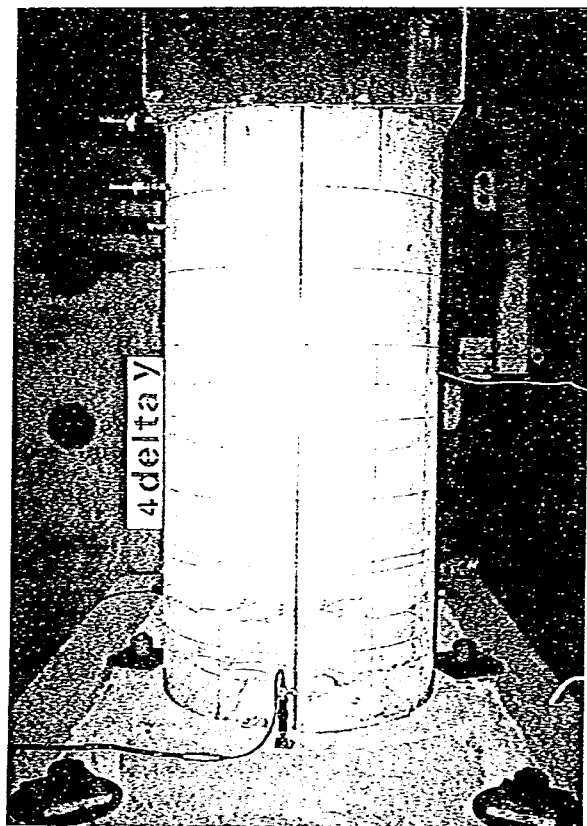
(a) $1 \delta y$ 終了時



(b) $2 \delta y$ 終了時

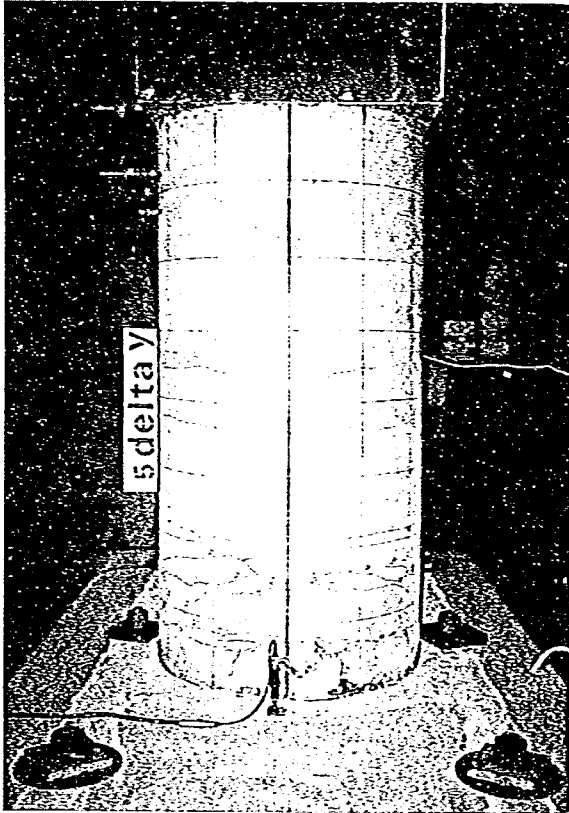


(c) $3 \delta y$ 終了時

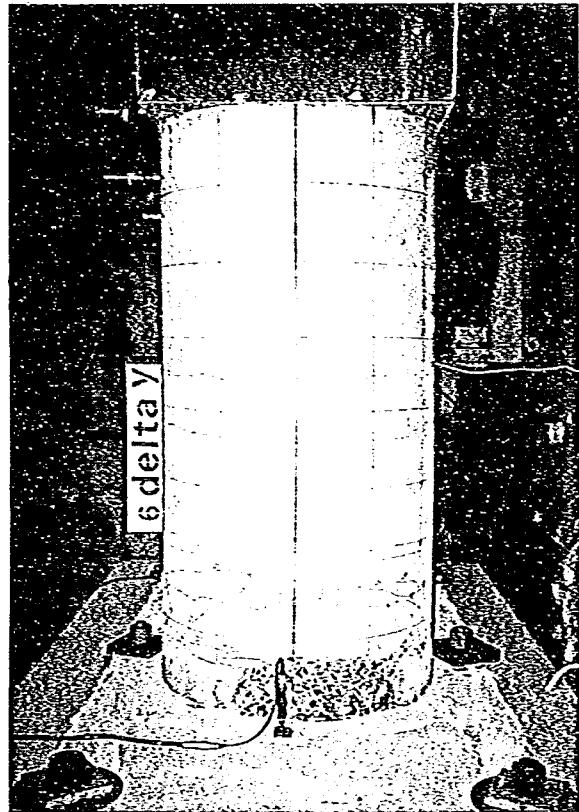


(d) $4 \delta y$ 終了時

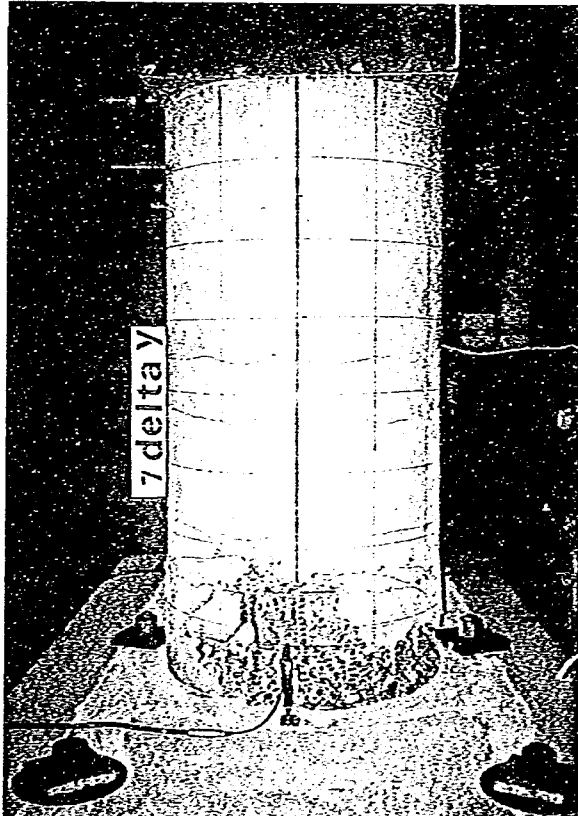
写真-2 供試体の損傷状況 ($1 \delta y \sim 4 \delta y$)



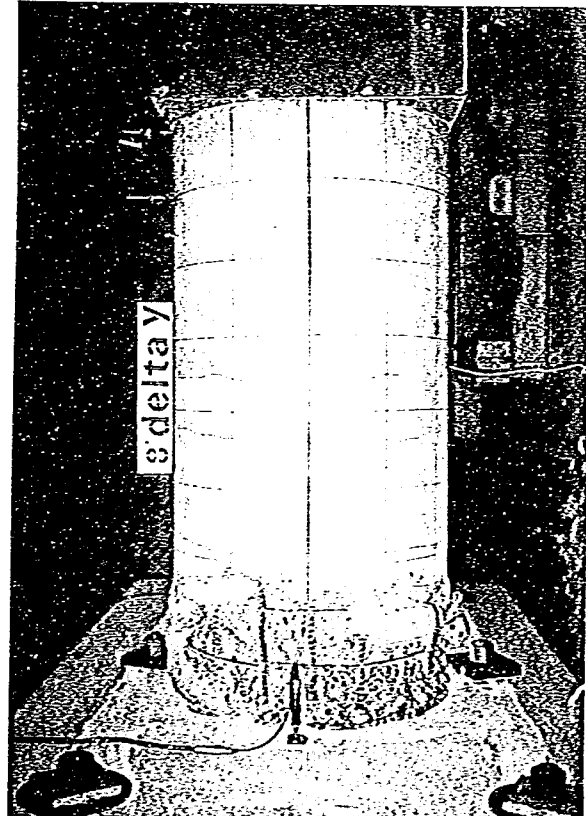
(a) $5 \delta y$ 終了時



(b) $6 \delta y$ 終了時

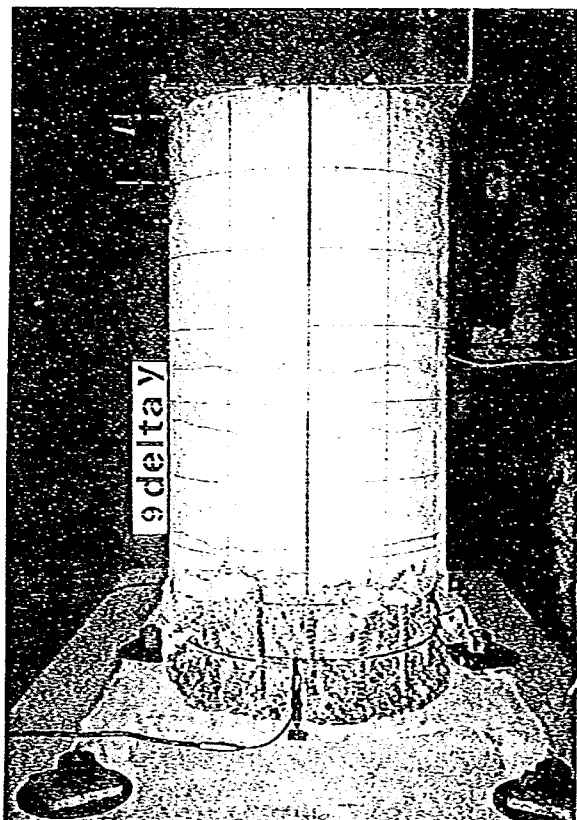


(c) $7 \delta y$ 終了時

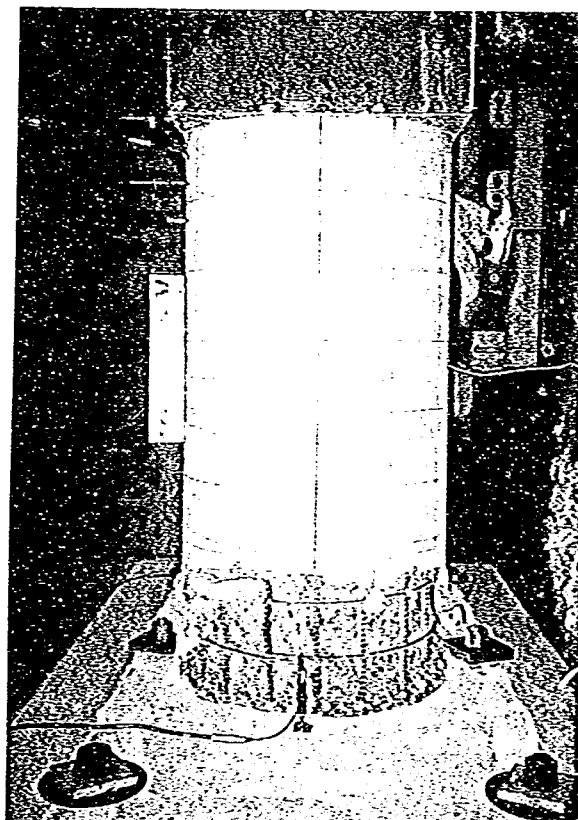


(d) $8 \delta y$ 終了時

写真-3 供試体の損傷状況 ($5 \delta y \sim 8 \delta y$)



(a) $9\delta y$ 終了時

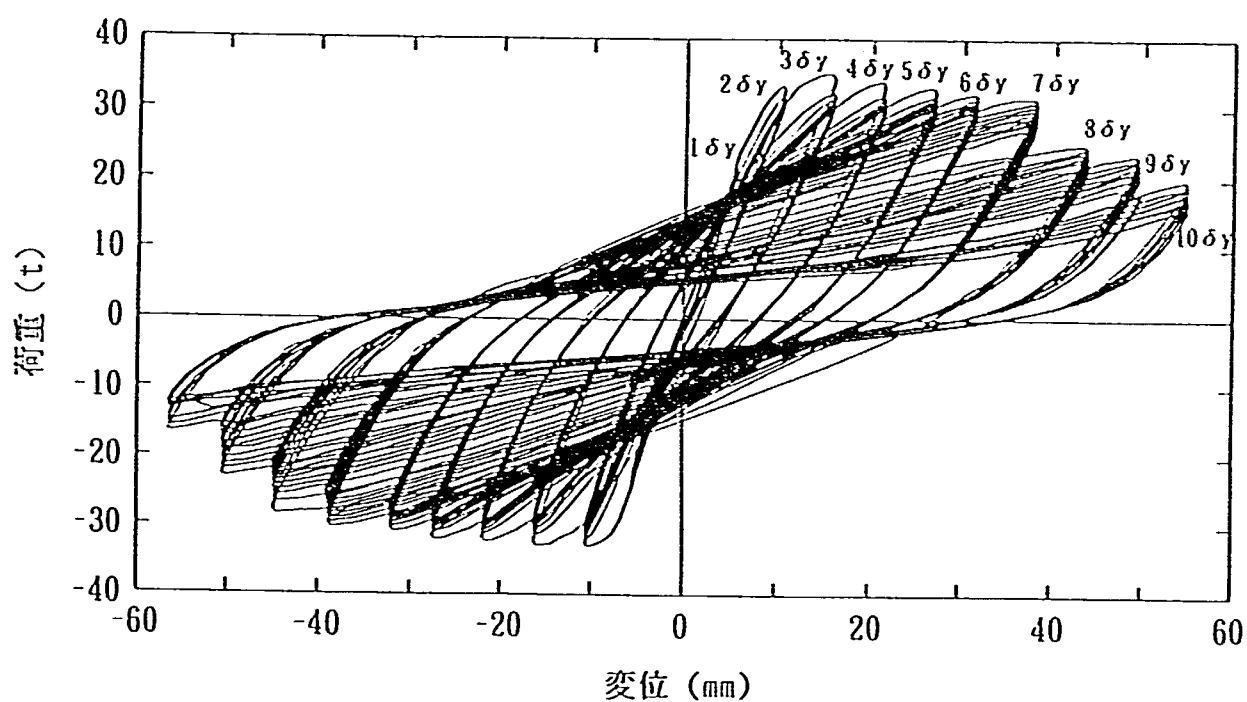


(b) $10\delta y$ 終了時

写真-4 供試体の損傷状況 ($9\delta y \sim 10\delta y$)

2) 荷重－変位の履歴曲線

図－4 に供試体に加えた水平力と載荷点で生じた水平変位の関係を履歴曲線として示す。水平荷重は $1\delta y$ 以降も上昇し、 $3\delta y$ の変形が生じた時点で最大値となっている。その後変形が $7\delta y$ までは、最大耐力と概ね等しい程度の水平耐力を維持し、 $8\delta y$ より水平耐力が低下しはじめ、 $10\delta y$ で降伏耐力を下回った。このように軸方向鉄筋比が1.2%程度でかつ十分な帯鉄筋が配筋されていることにより、降伏変位の7倍の変形を受けても、最大耐力に近い水平耐力が発揮できたものと考えられる。



図－4 荷重－変位の履歴曲線

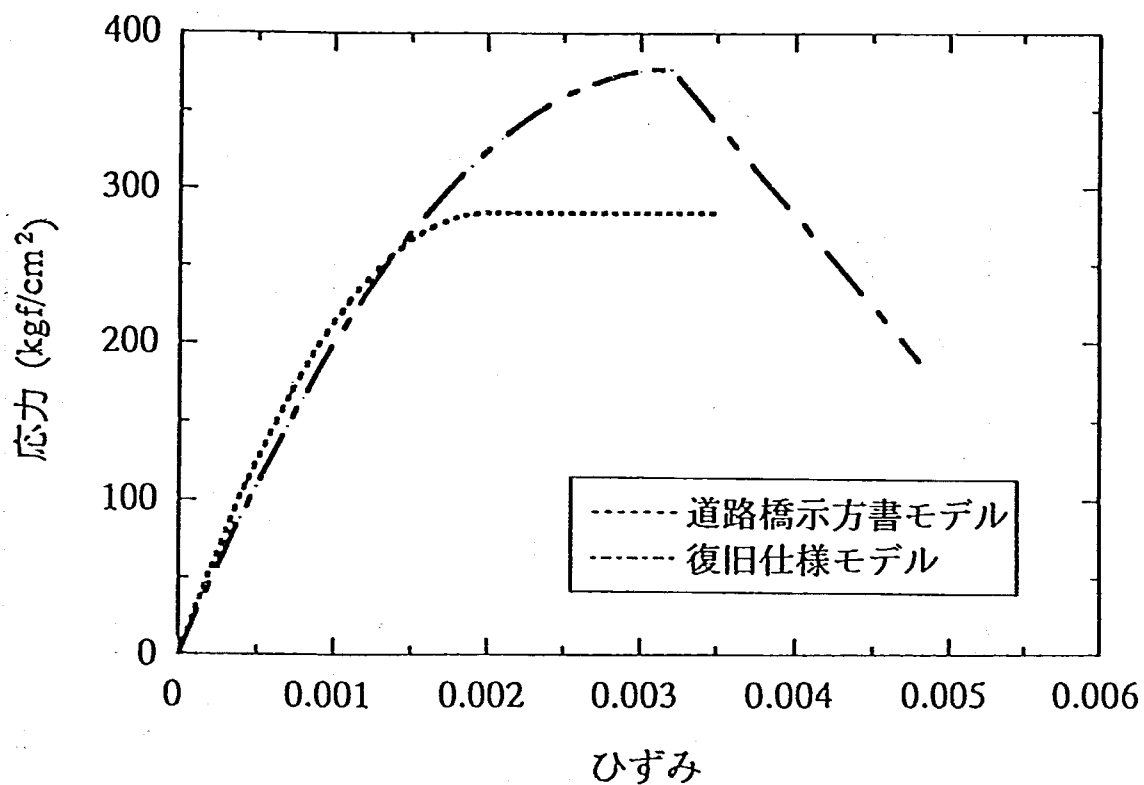
3. 変形性能の解析

鉄筋コンクリート部材の変形解析手法としては、様々な手法があるが、コンクリートの非線形性と鉄筋の完全弾塑性を考慮したM- ϕ 法による手法が代表的である。この手法は、既に鉄筋コンクリート橋脚の変形解析法として平成2年道路橋示方書V耐震設計編¹²⁾（以下道路橋示方書耐震設計編と称する）にも取り入れられており、耐震設計においても実用されている。また今後橋脚-基礎系のじん性評価を行う場合にも、杭の変形解析が鉄筋コンクリート橋脚と同様の手法である方が、設計上簡便であることから、ここではM- ϕ 法によるじん性評価を行うものとする。

解析に用いたコンクリートの応力-ひずみ曲線は、道路橋示方書耐震設計編に規定されているもの（以下道路橋示方書モデルと称する）と、兵庫県南部地震により被災した道路橋の復旧に係る仕様および復旧仕様の解説（案）¹⁾に規定されているモデル（以下復旧仕様モデルと称する）の2種類とした。これらの応力-ひずみ曲線を図-5に示す。また終局変位 δu は、表-3に示す定義1と定義2の2種類について検討した。ここで定義1は、終局変位 δu を、杭に作用させた荷重Pと作用点における変位 δ の関係において、荷重が最大値をとった後に降伏耐力にまで低下した時の変位と定義するものである。また定義2は、荷重-変位の履歴曲線より耐力が低下しようとする直前の変位を終局変位 δu と定義するものである。

図-6に実験により得られた載荷履歴の包絡線とここでの解析により得られた荷重-変位の関係を、また表-4に実験結果と解析結果との耐震性能の比較を示す。実験結果から得られるじん性率は、採用する終局変位が定義1の場合は9.39であり、定義2の場合では6.84である。定義1における終局変位時は、杭頭部の被りコンクリートが完全に剥離し、コアコンクリートにも顕著な損傷が進展している状態である。また、軸方向鉄筋においては、座屈から破断へと損傷が進展しつつある。一方、定義2における終局変位時は、杭頭部の被りコンクリートの剥離が徐々に進展しつつあるものの、コアコンクリートや軸方向鉄筋には明確な損傷は認められない。

解析結果から得られるじん性率は、道路橋示方書モデルを適用した場合は4.86、復旧仕様モデルの場合は7.62である。このように、じん性能の解析結果が大きく異なるのは、コンクリートの応力-ひずみモデルにおける終局ひずみの定義に起因するものである。道路橋示方書モデルでは、コンクリートの終局ひずみは一律に0.0035と規定しており、帯鉄筋の効果や部材としての損傷度という観点からの定義ではないために、じん性率としては実験結果よりもかなり低く評価される。一方、復旧仕様モデルを適用した場合、帯鉄筋によるコンクリートの拘束効果を見込み、かつ軸方向鉄筋の座屈等の大きな損傷に至る前で終局ひずみを定義しているため、荷重-変位の関係は、道路橋示方書モデルを適用した場合よりも適合性がよいことがわかる。



図－５ 解析に用いたコンクリートの応力－ひずみ曲線

表－３ 終局変位の定義

定義 1	荷重－変位の履歴曲線において、荷重が最大値をとった後に降伏耐力にまで低下した時の変位
定義 2	荷重－変位の履歴曲線において、耐力が低下しようとする直前の変位

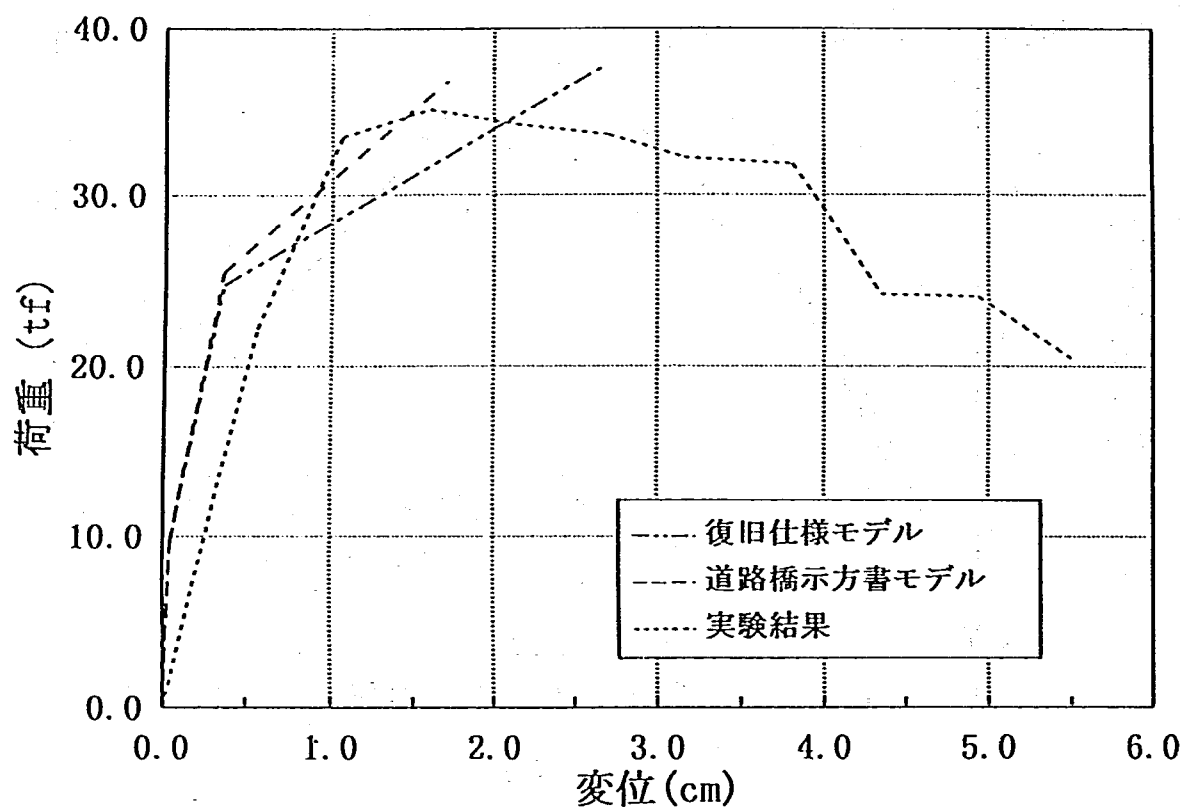


図-6 履歴包絡線と解析結果

表-4 耐震性能の比較

		実験結果		解析結果	
		定義 1	定義 2	道路橋示方書 モデル	復旧仕様 モデル
耐力	降伏耐力 P_y (tf)	22.2	22.2	25.4	24.7
	最大耐力 P_u (tf)	35.1	35.1	36.8	37.8
	P_u / P_y	1.58	1.58	1.45	1.53
変性 性能	降伏変位 δ_y (cm)	0.557	0.557	0.352	0.354
	終局変位 δ_u (cm)	5.23	3.81	1.71	2.70
	じん性率 δ_u / δ_y	9.39	6.84	4.86	7.63

4. 結論

本論文では、場所打ち杭を想定した模型供試体による正負交番載荷実験を行い、杭体の耐力及び変形性能について明らかにするとともに、じん性能の評価手法の検討を行った。得られた結論を以下に示す。

1) 今回の実験は、地震時に杭頭部に生じる断面力を再現できるように、せん断支間比を2.5と設定したが、破壊形態は曲げ破壊であった。これは、杭頭部には、コンクリート側断面積比で0.2%以上の帯鉄筋が配筋されているためである。従って道路橋示方書下部構造編に準拠して設計された場所打ち杭は、最終的な破壊形態は曲げ破壊となると考えられる。

2) 軸方向鉄筋比が1.23%で、軸力を負荷しないという条件下では、杭体のじん性率は終局変位を耐力が降伏耐力にまで低下した時と定義すると9.39、耐力が低下しはじめたときと定義すると6.84であった。

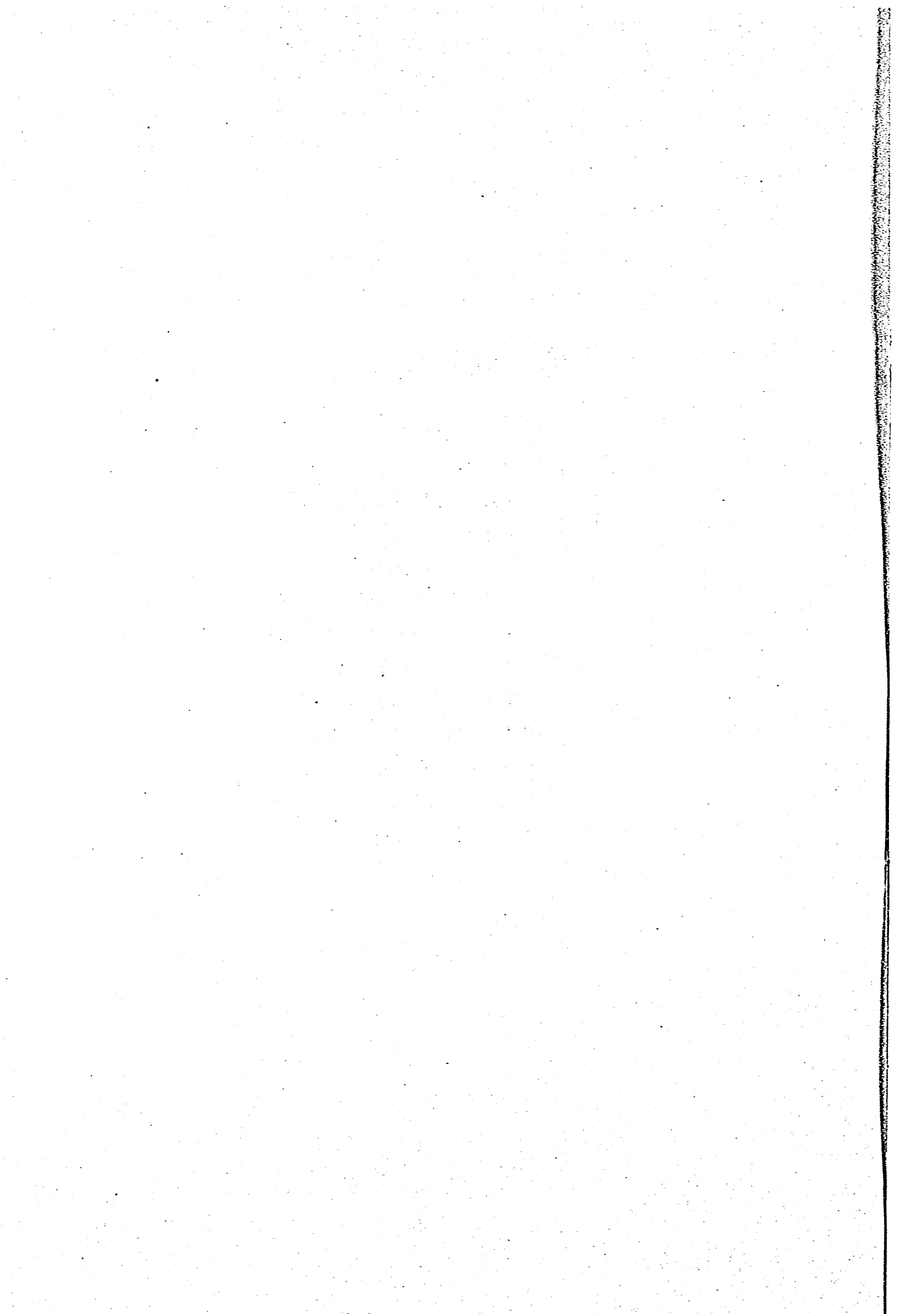
3) 杭体のじん性能の評価法としては、従来鉄筋コンクリート橋脚の変形解析に適用しているM- ϕ 法が簡便である。変形性能という観点からは、本M- ϕ 法に適用するコンクリートの応力-ひずみ曲線として、終局ひずみを一律に0.0035とする道路橋示方書のモデルより、拘束効果や損傷度を考慮して定義している復旧仕様モデルの方が、今回の実験結果との対応はよかった。

参 考 文 献

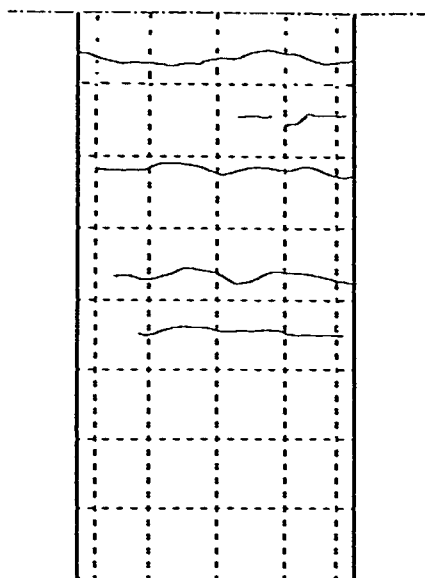
- 1) 建設省道路局：兵庫県南部地震により被災した道路橋の復旧に係る仕様、1995年2月
- 2) 岡原美知夫、高木章次、中谷昌一、木村嘉富：単杭の支持力と柱状体基礎の設計法に関する研究、土木研究所資料第2919号、平成3年1月
- 3) 日本道路協会：道路橋示方書・同解説Ⅳ下部構造編、平成6年2月
- 4) 日本道路協会：杭基礎設計便覧、平成4年10月
- 5) 杉村義広、大岡弘：1978年宮城県沖地震による既製コンクリート杭の被害調査報告、建築研究資料No.31、建設省建築研究所、1981年7月
- 6) 矢部正明、川島一彦、星隈順一：軟弱地盤中における杭基礎の地震時断面力に関する検討、第22回地震工学研究発表会講演概要、平成5年7月
- 7) 倉橋修雄、城攻、柴田拓二、大野和男：P C杭の曲げせん断抵抗性状について（軸力＝0の場合）、建築学会大会学術講演梗概集、pp1559-1560、1981年9月
- 8) 小沢昭彦、真柄祥吾、城攻、柴田拓二：フーチングに接合した高強度P C杭の耐力変形性能、建築学会大会学術講演梗概集、pp1749-1750、1982年10月
- 9) 杉村義広、中田慎介、川島俊一、阿部道彦：高強度プレストレストコンクリート杭の曲げせん断実験、建築研究報告No.106、建設省建築研究所、1984年6月
- 10) 黒正清治、和田章、小林克巳、武秀彦、堀井昌博、木原碩美：高強度P C杭の曲げ変形性能に関する実験研究（その1）～（その3）、建築学会大会学術講演梗概集、pp2135-2140、1982年10月
- 11) 池田尚治、椿龍哉、山口隆裕：プレストレストコンクリート杭の靱性向上に関する研究、第4回コンクリート工学年次講演会論文集、pp.365-368、1982年
- 12) 池田尚治：コンクリート杭体のせん断強度に関する問題点、基礎工、pp.29-32、昭和58年4月
- 13) 日本道路協会：道路橋示方書・同解説Ⅴ耐震設計編、平成2年2月

付 録 資 料

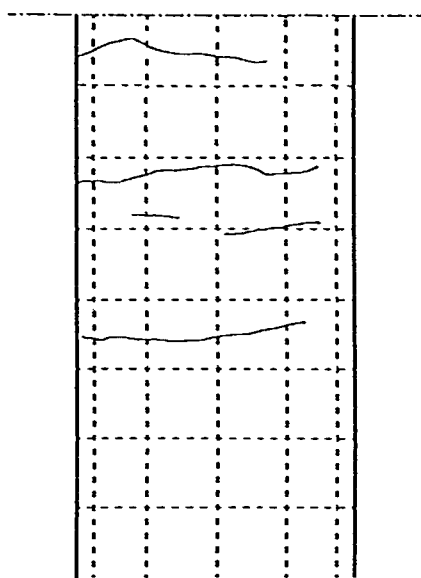
1. 損傷の進展状況のスケッチ
2. 測定位置図
3. 各載荷段階における測定結果
 - 1 δy (降伏時)
 - 2 δy (最大耐力時)
 - 5 δy (最大耐力維持域)
 - 7 δy (最大耐力低下開始時)
 - 8 δy (終局時)
 - ・荷重－伸び出し変位曲線
 - ・荷重－主鉄筋ひずみ曲線
 - ・荷重－帯鉄筋ひずみ曲線



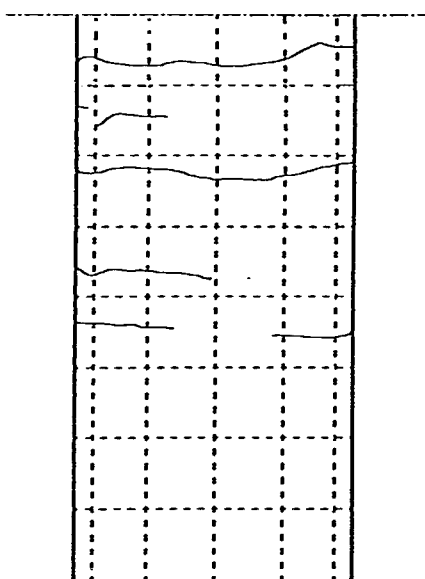
1.



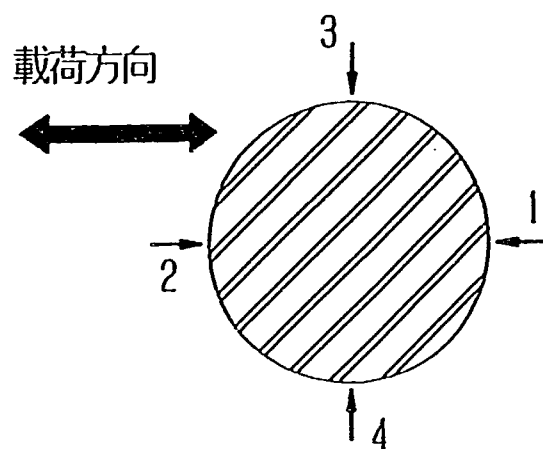
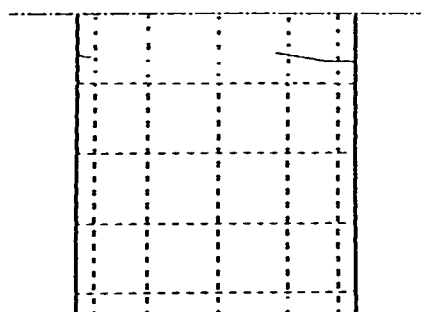
2.



3.

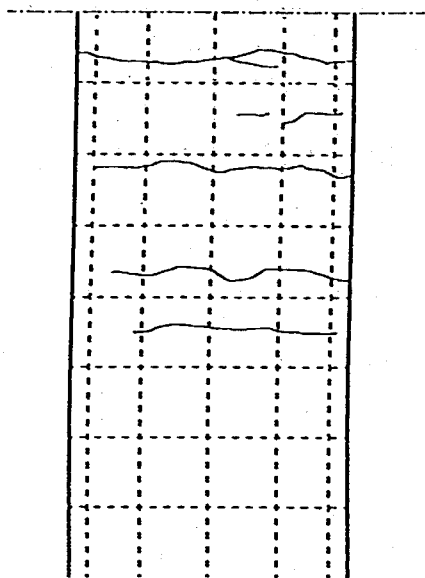


4.

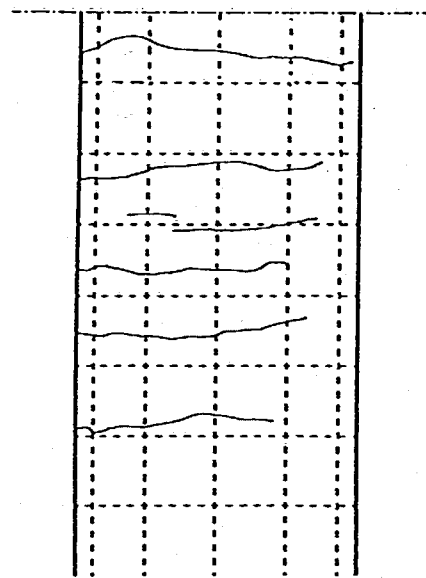


破壊性状図 (1 δ y)

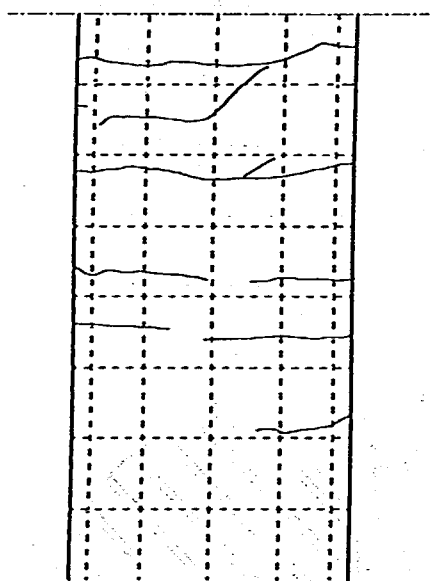
1.



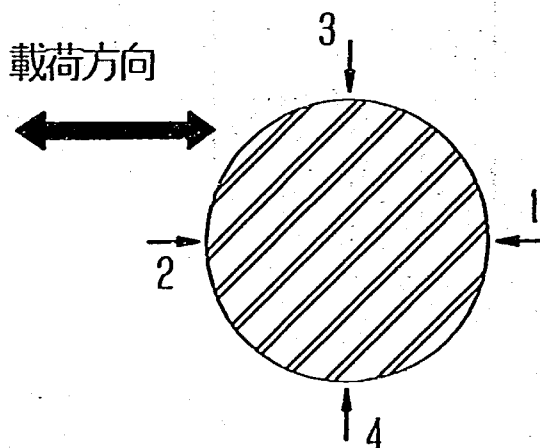
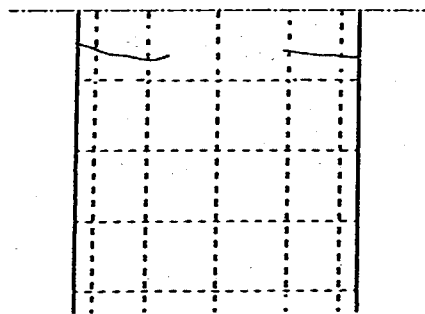
2.



3.

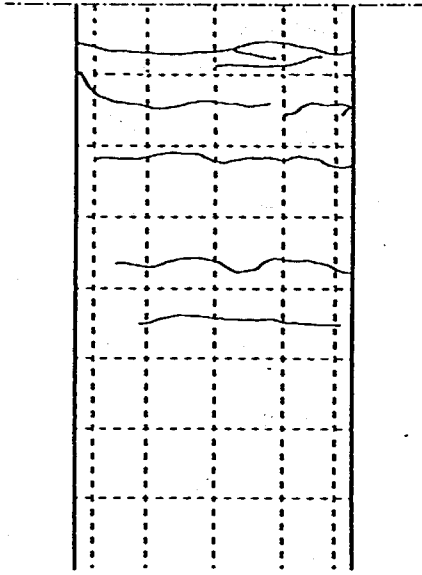


4.

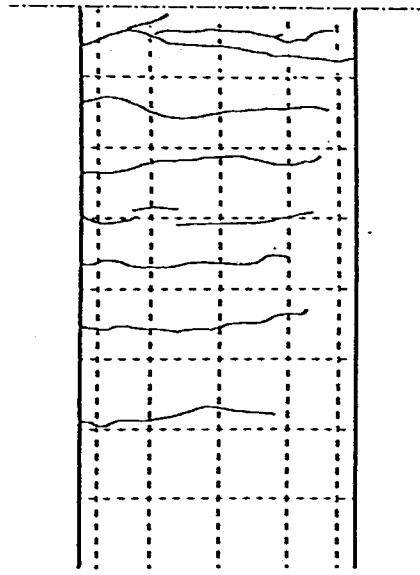


破壊性状図 ($2 \delta y$)

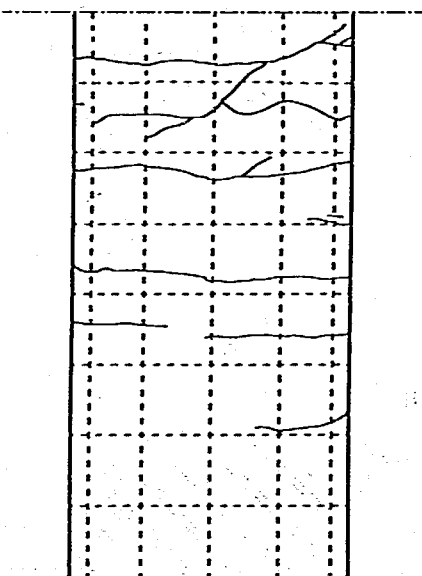
1.



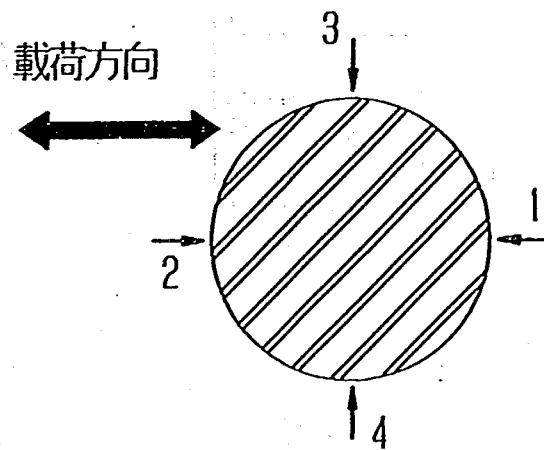
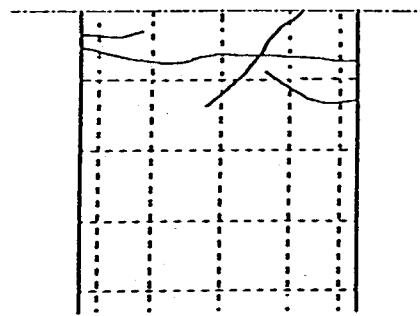
2.



3.

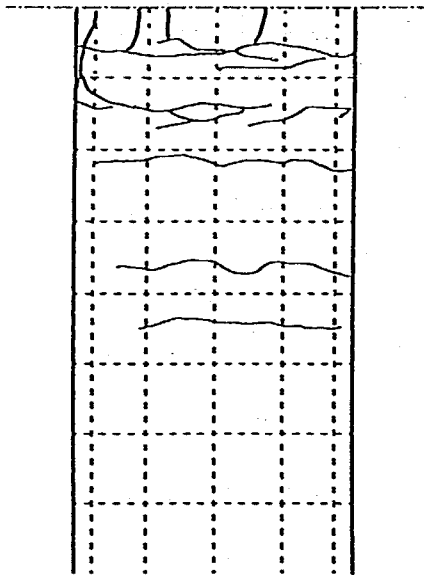


4.

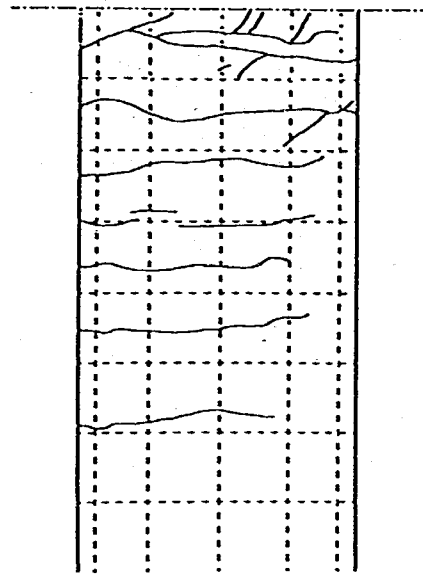


破壞性狀圖 (3 δy)

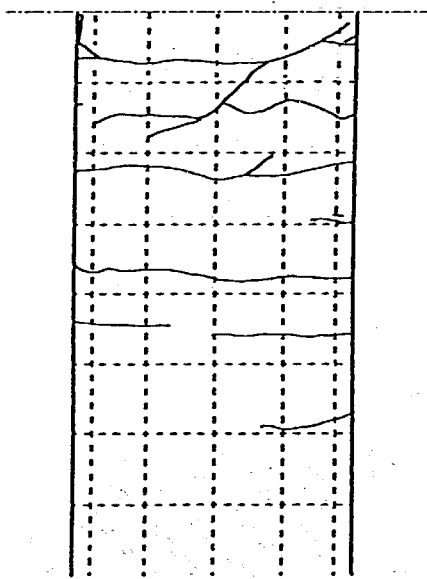
1.



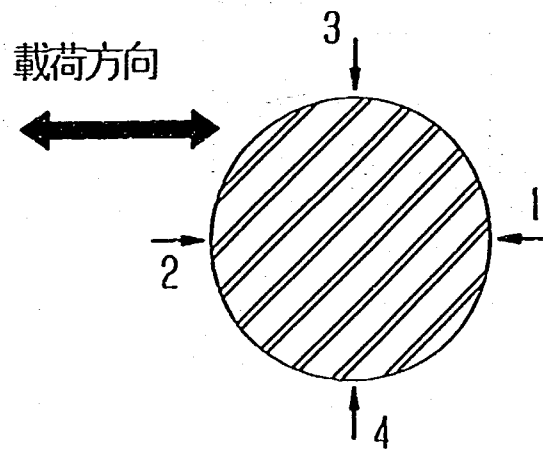
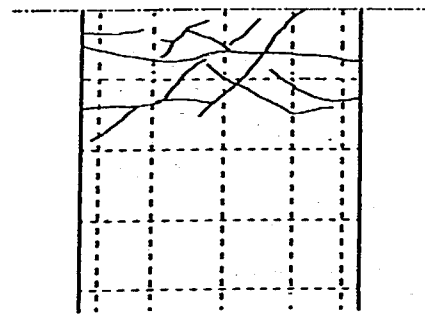
2.



3.

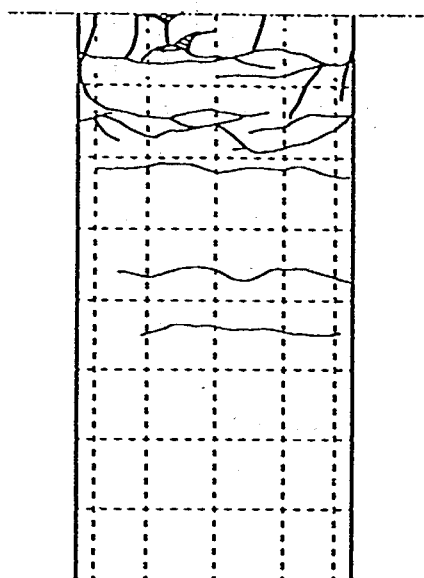


4.

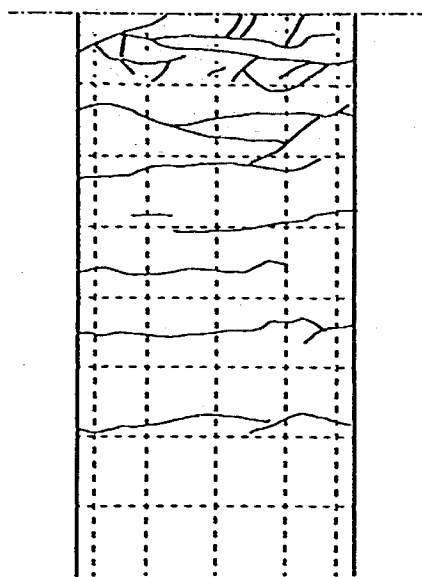


破壊性状図 (4 δy)

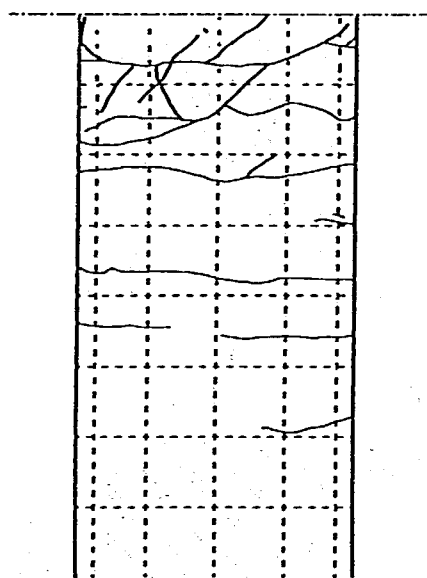
1.



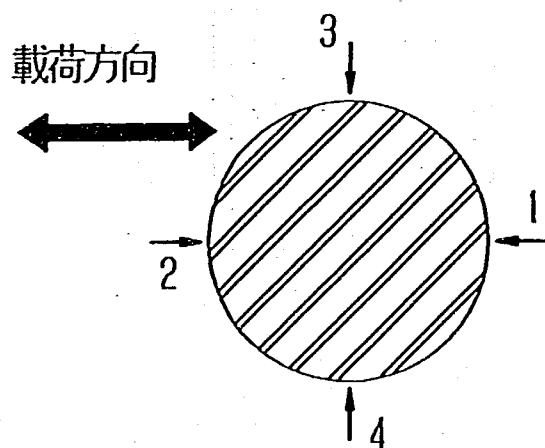
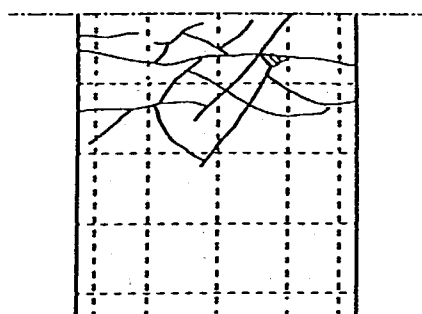
2.



3.

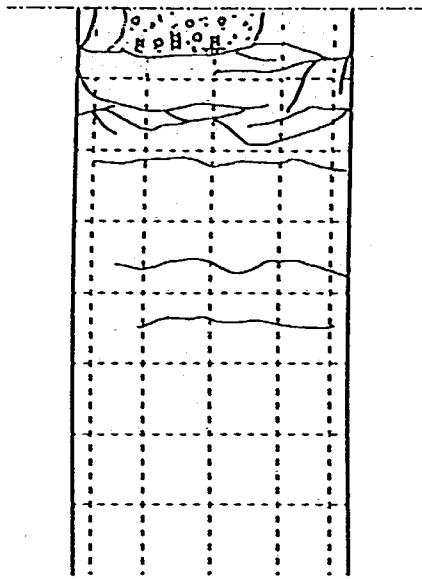


4.

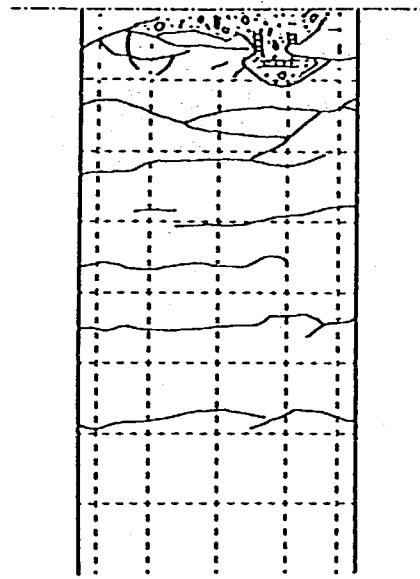


破壞性狀圖 (5 δy)

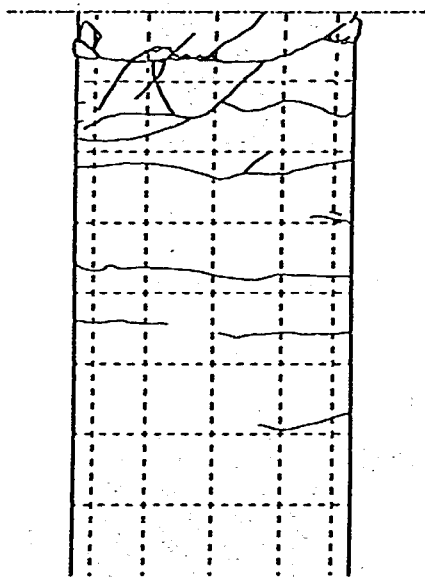
1.



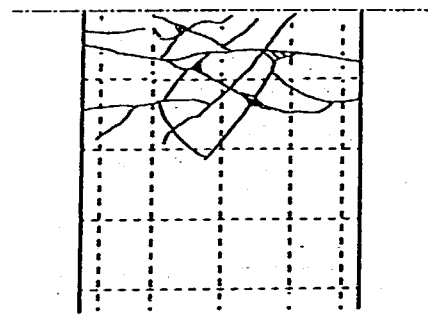
2.



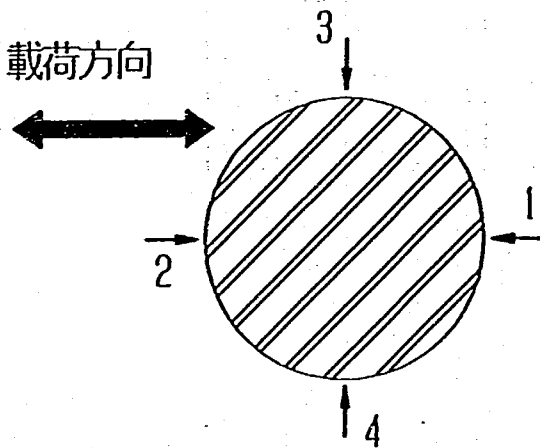
3.



4.

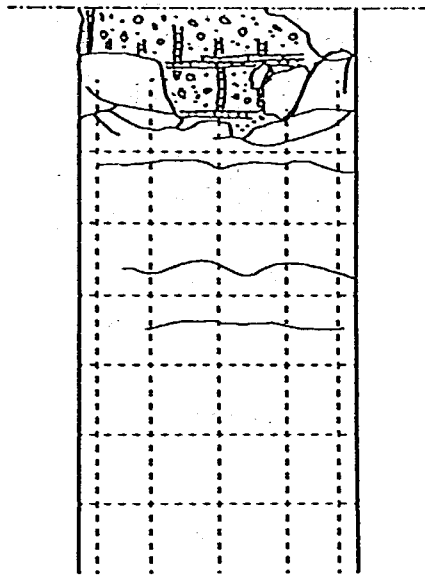


載荷方向

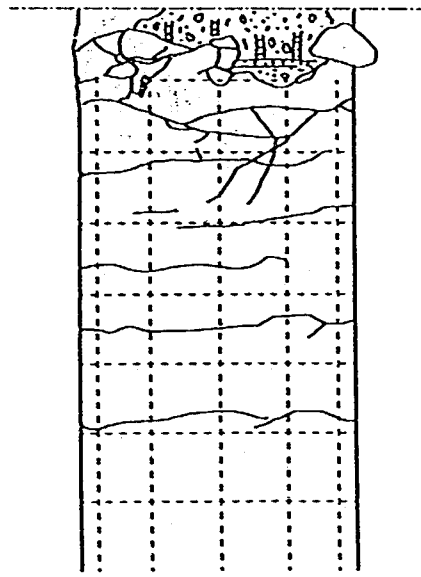


破壊性状図 (6 δy)

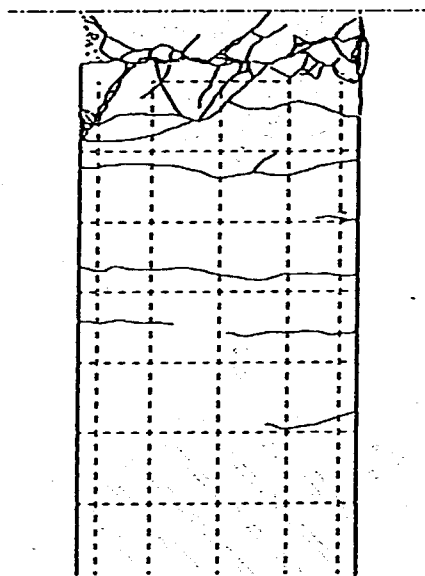
1.



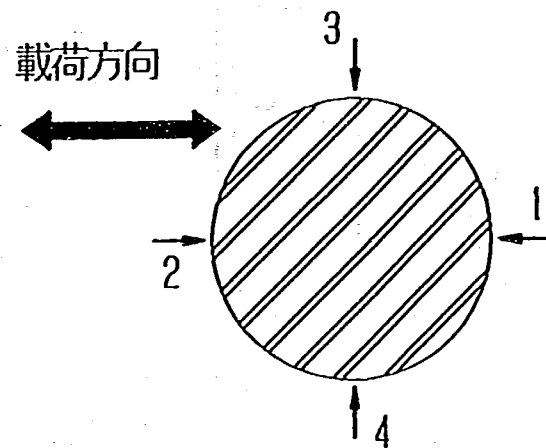
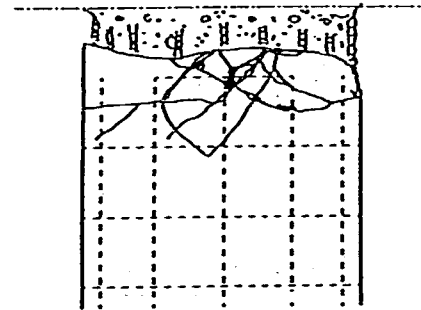
2.



3.

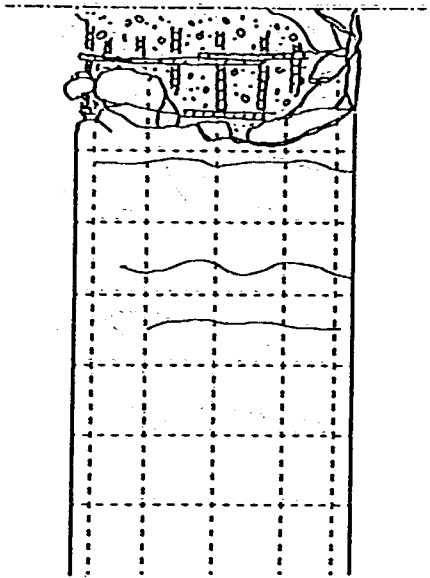


4.

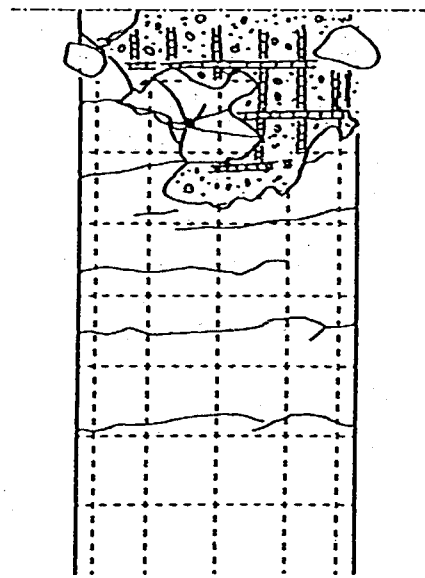


破壊性状図 ($7 \delta y$)

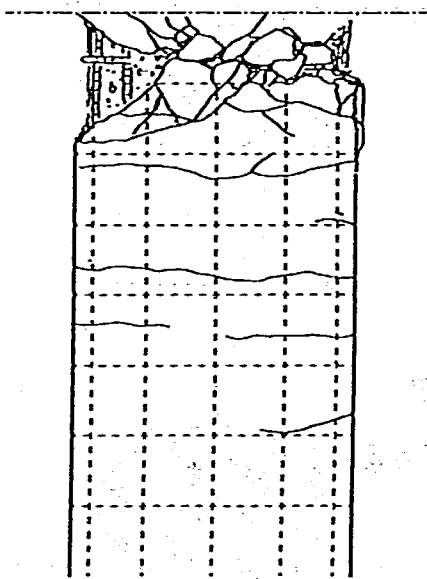
1.



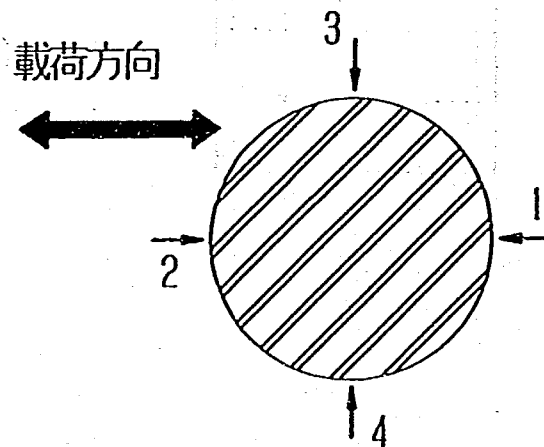
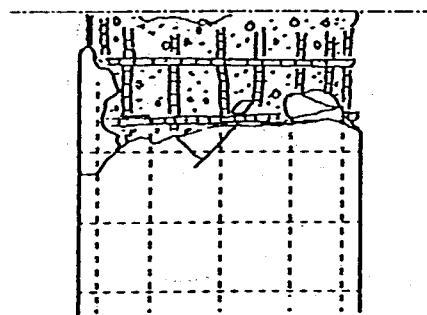
2.



3.

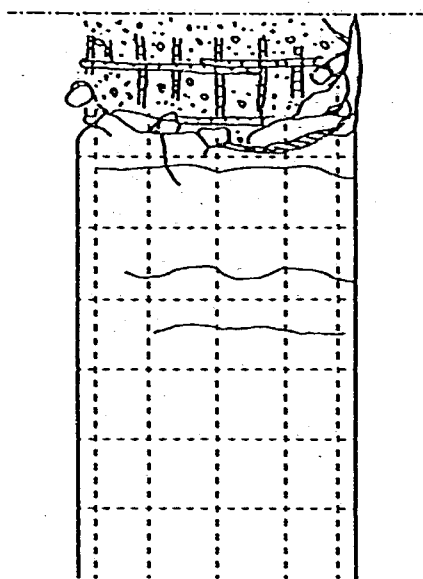


4.

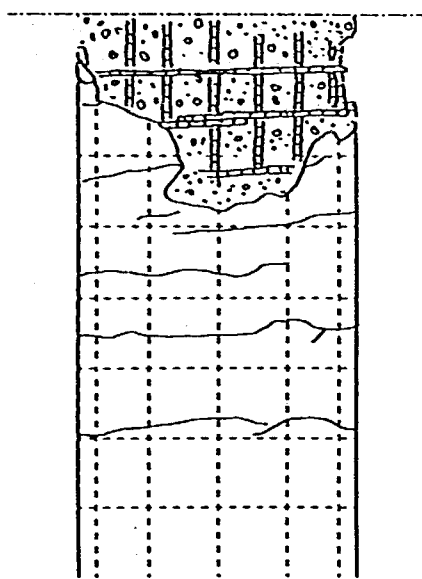


破壊性状図 (8 δ y)

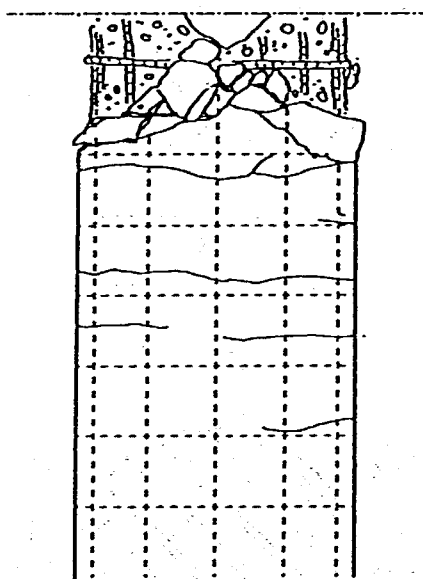
1.



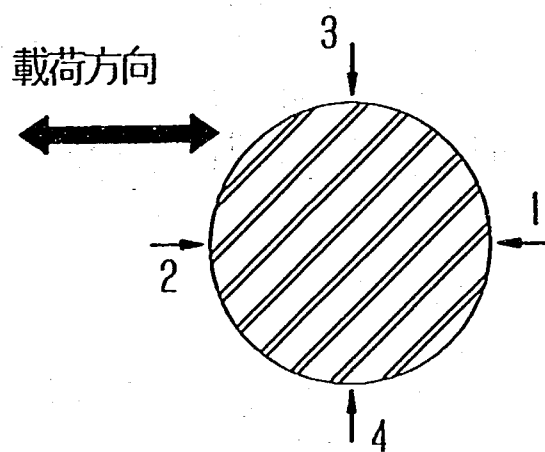
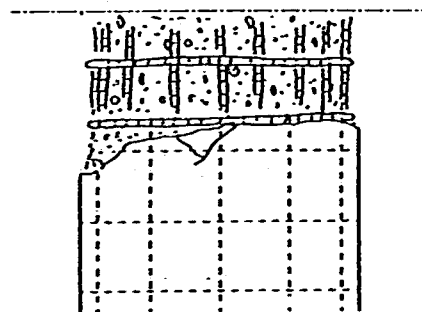
2.



3.

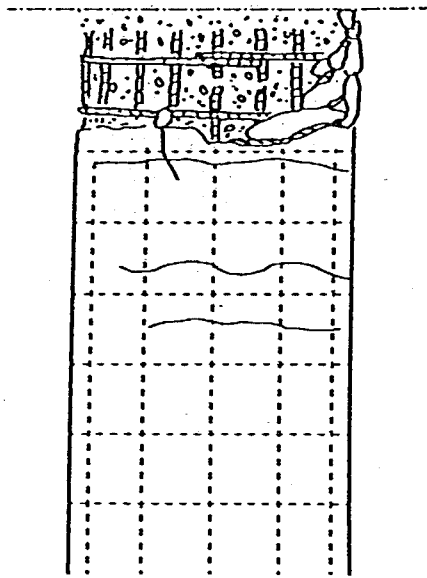


4.

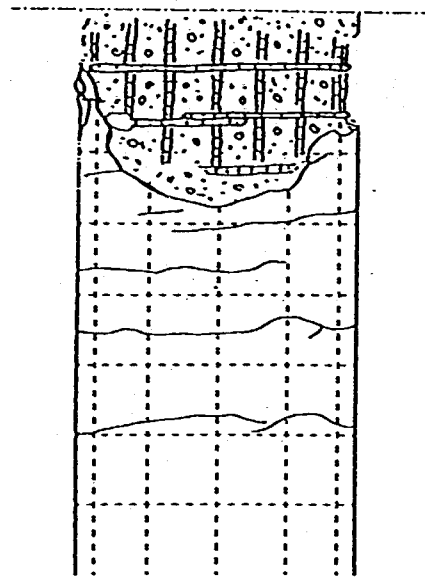


破壞性狀圖 (9 δy)

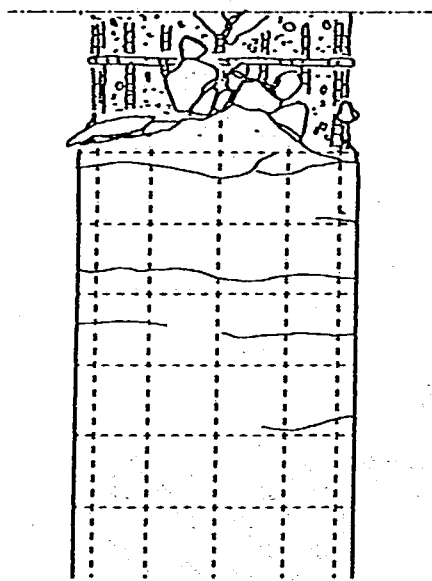
1.



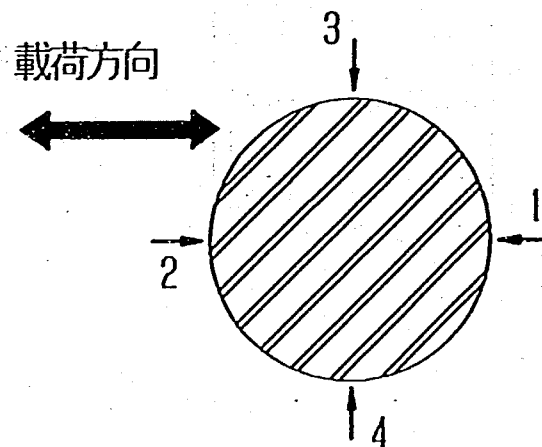
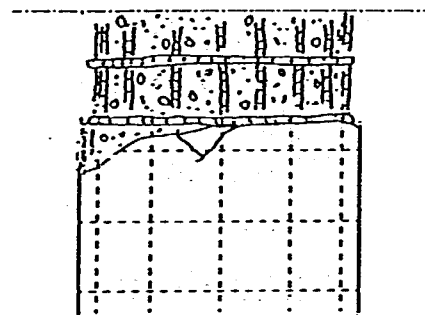
2.



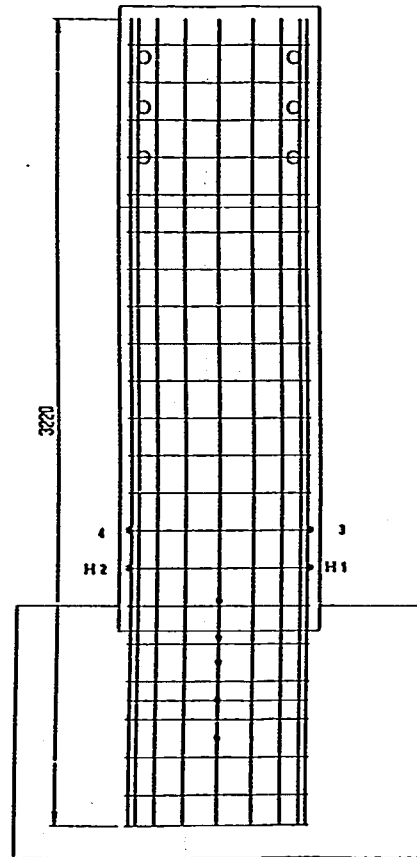
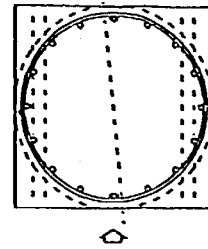
3.



4.

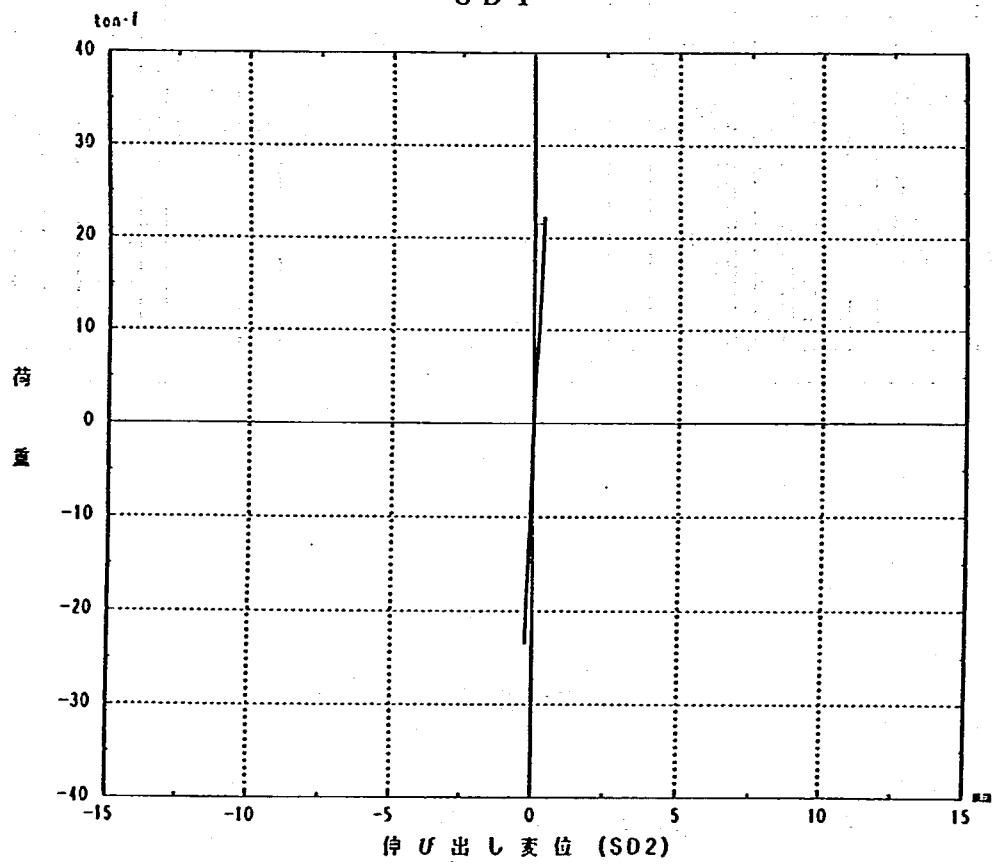
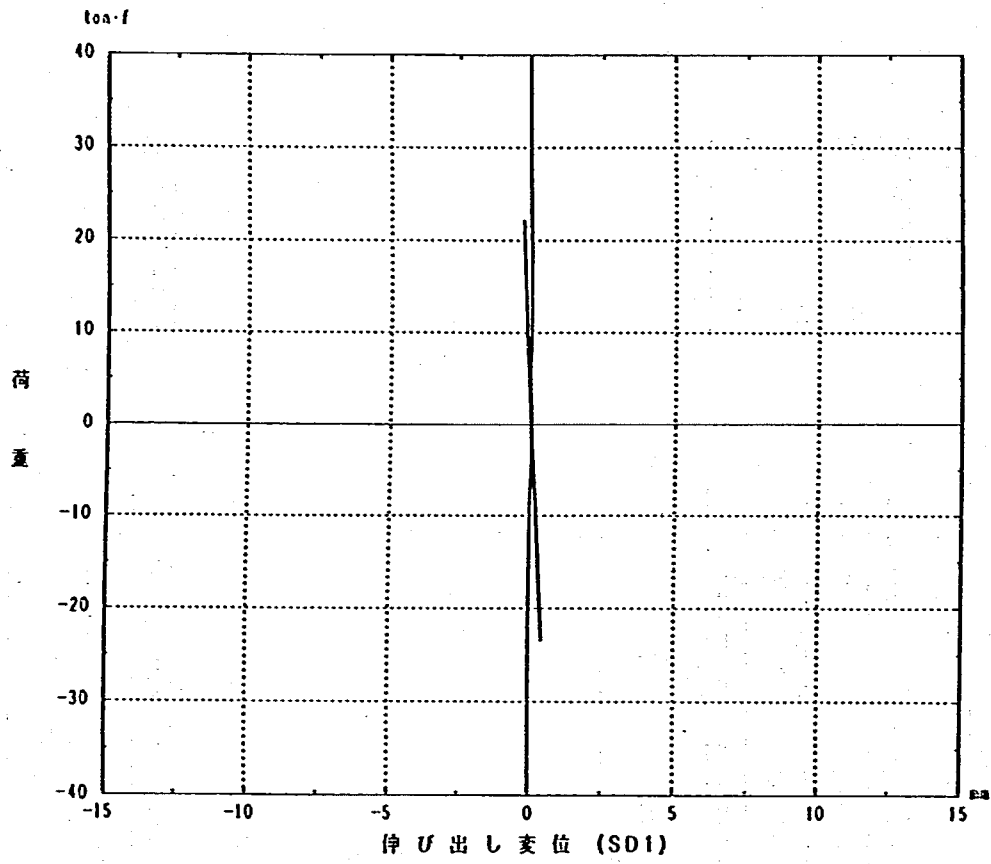


破壊性状図 (10 δ y)

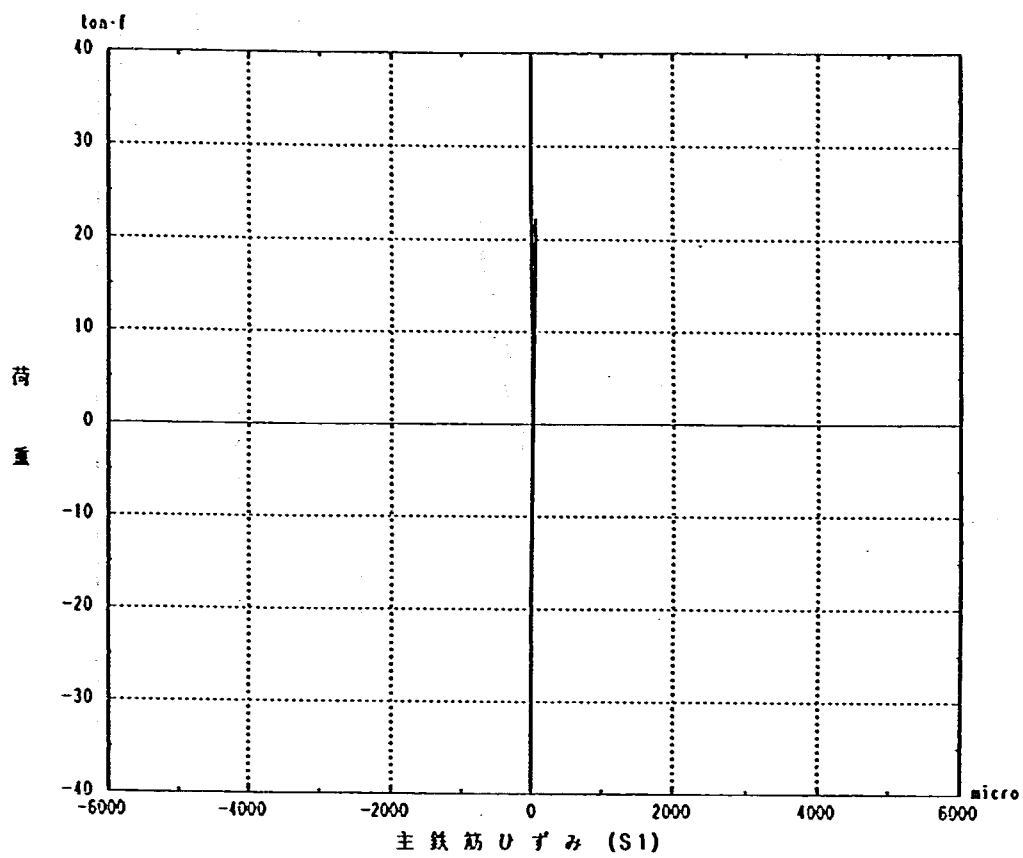


・ ゲージ位置

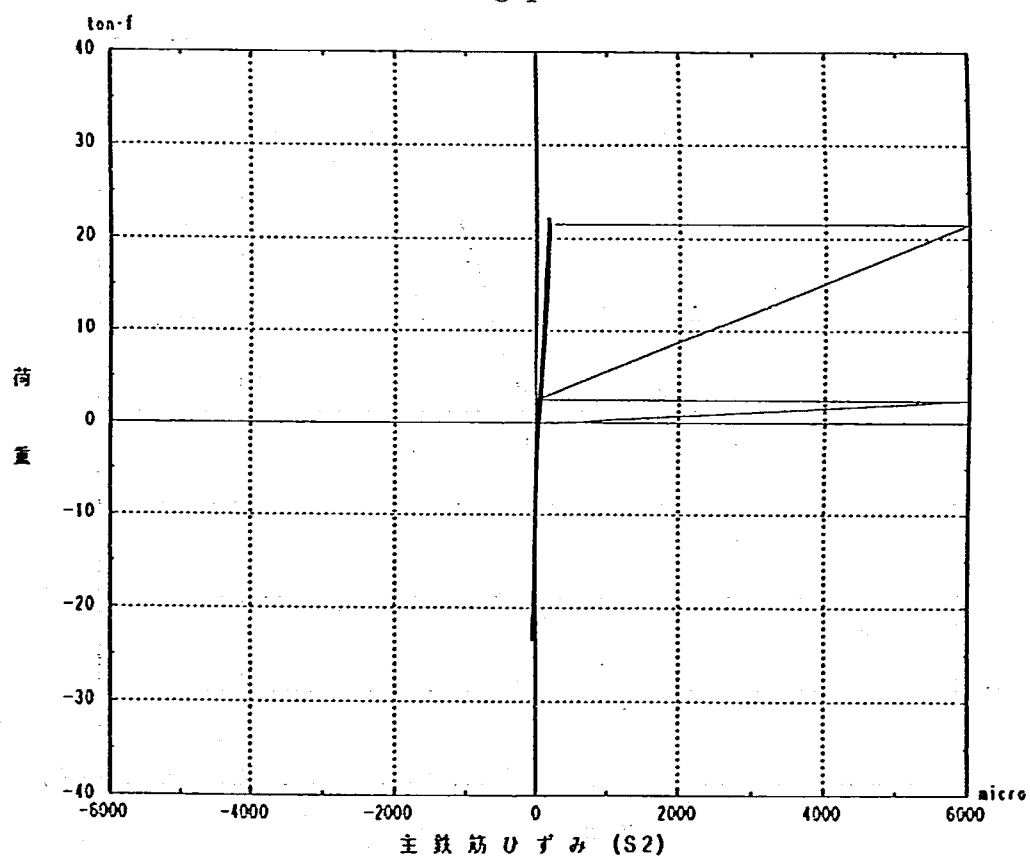
測定位置図



荷重 - 伸び出し変位曲線 ($1 \delta y$: 降伏時)

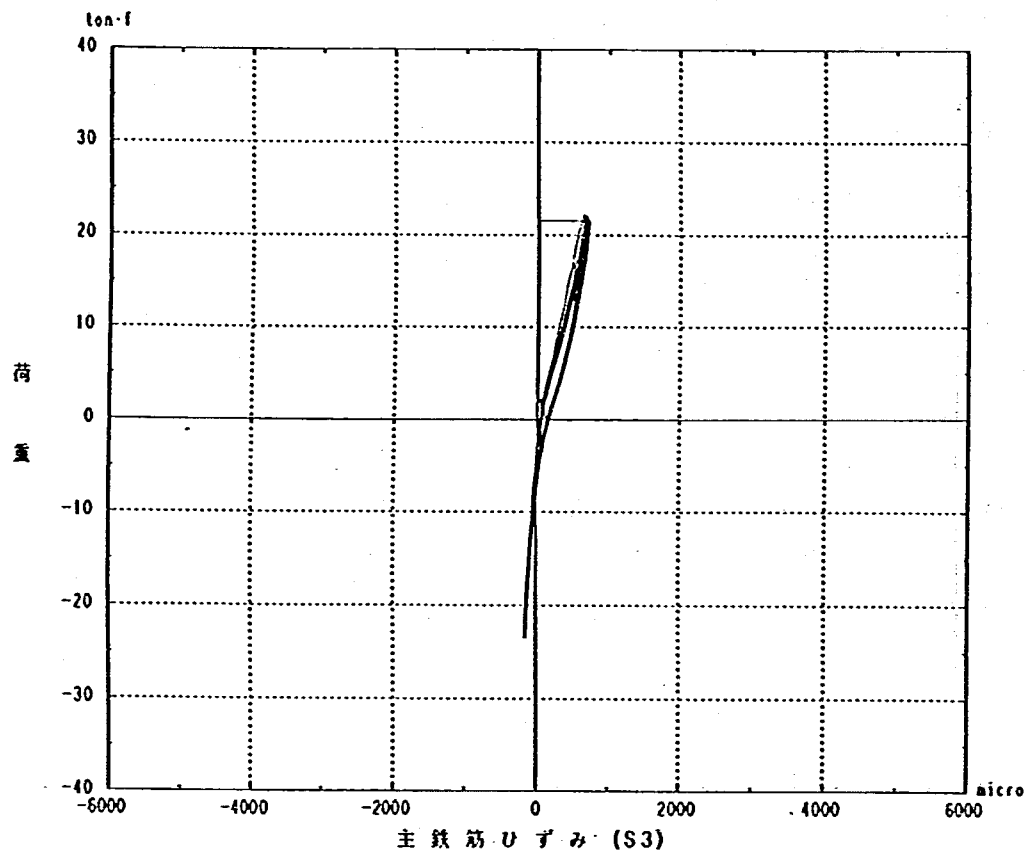


S 1

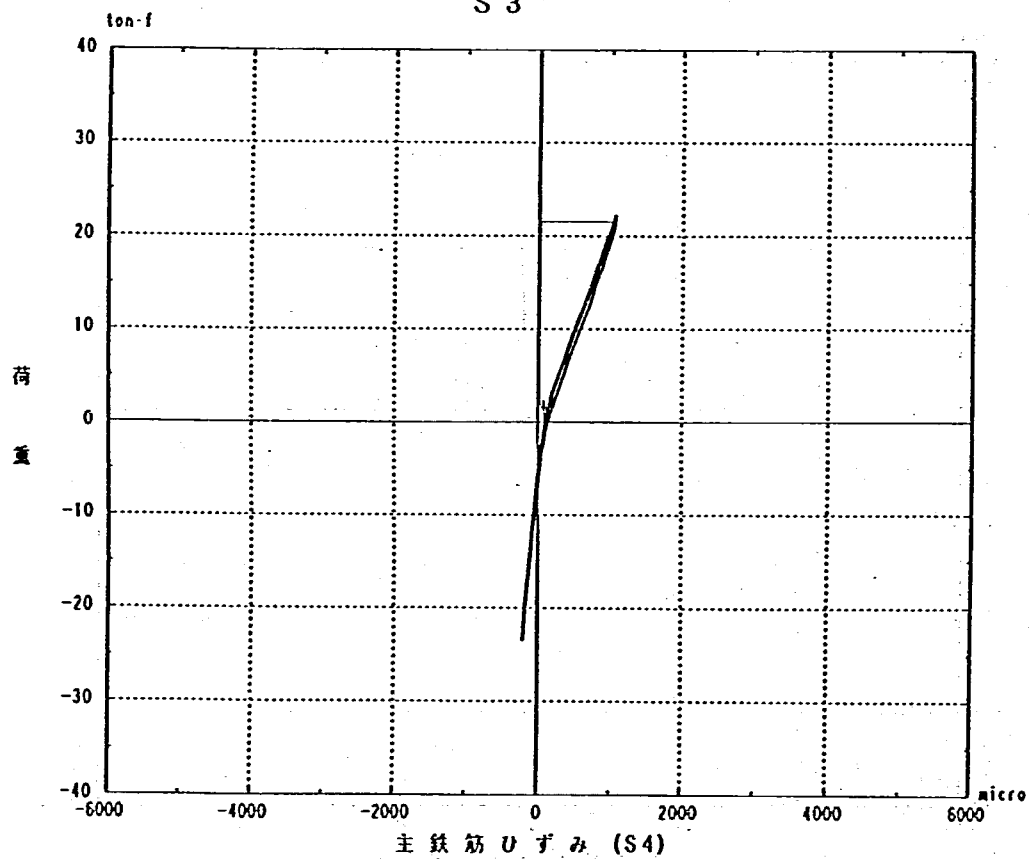


S 2

荷重-主鉄筋ひずみ曲線 (1' δy : 降伏時)

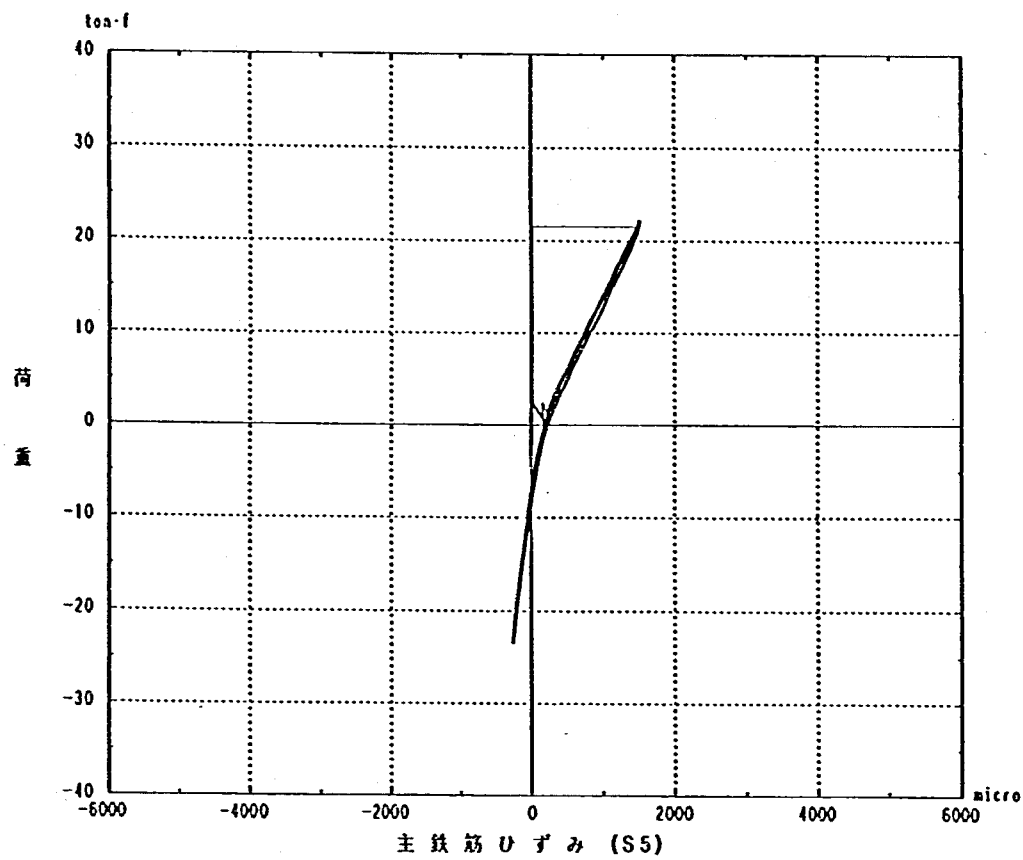


S 3

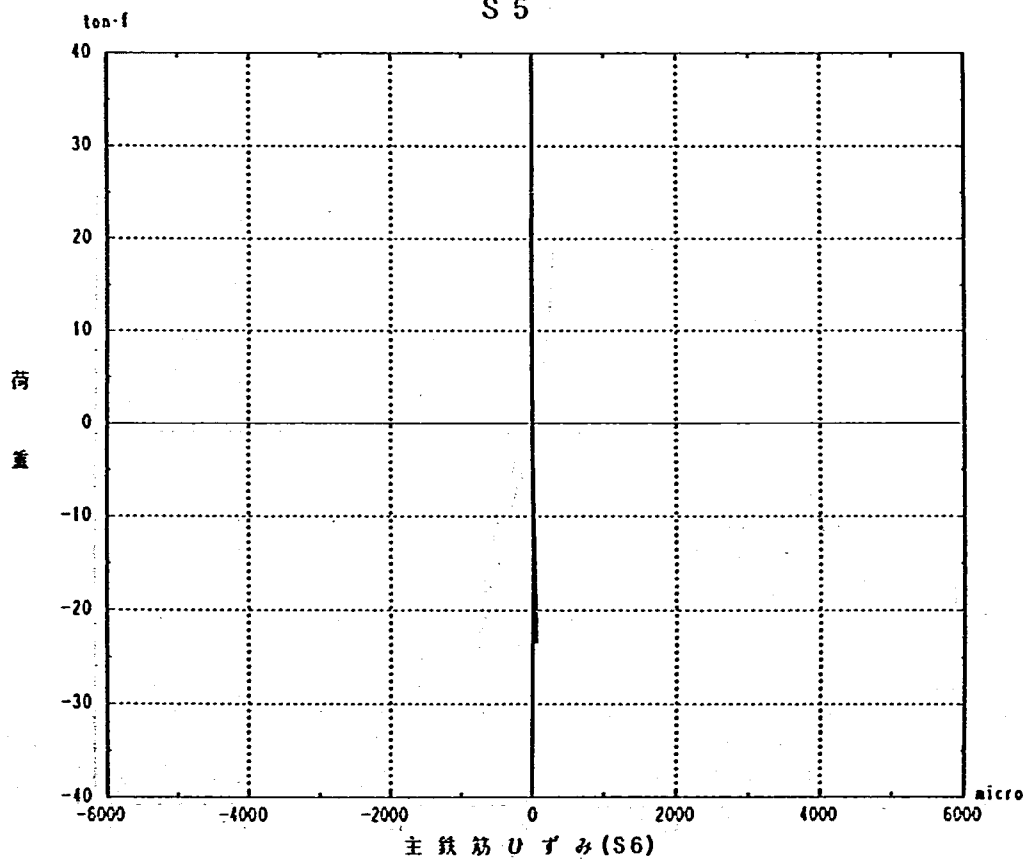


S 4

荷重-主鉄筋ひずみ曲線 ($1 \delta y$: 降伏時)

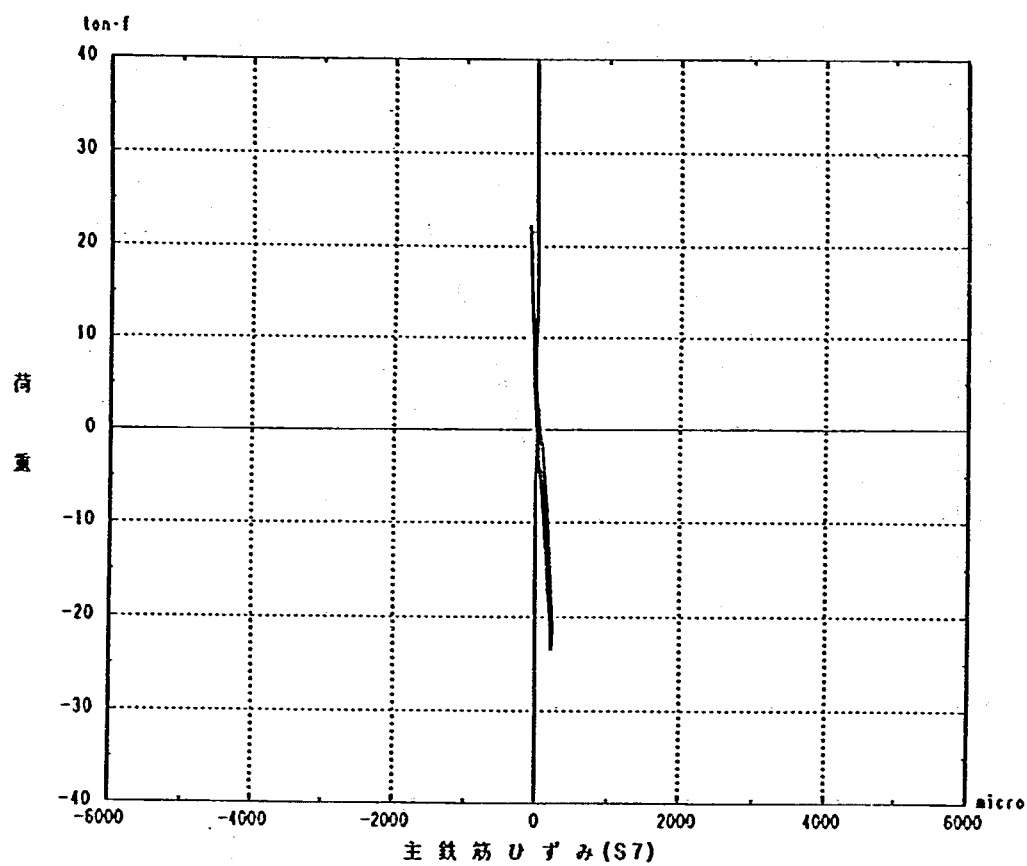


S 5

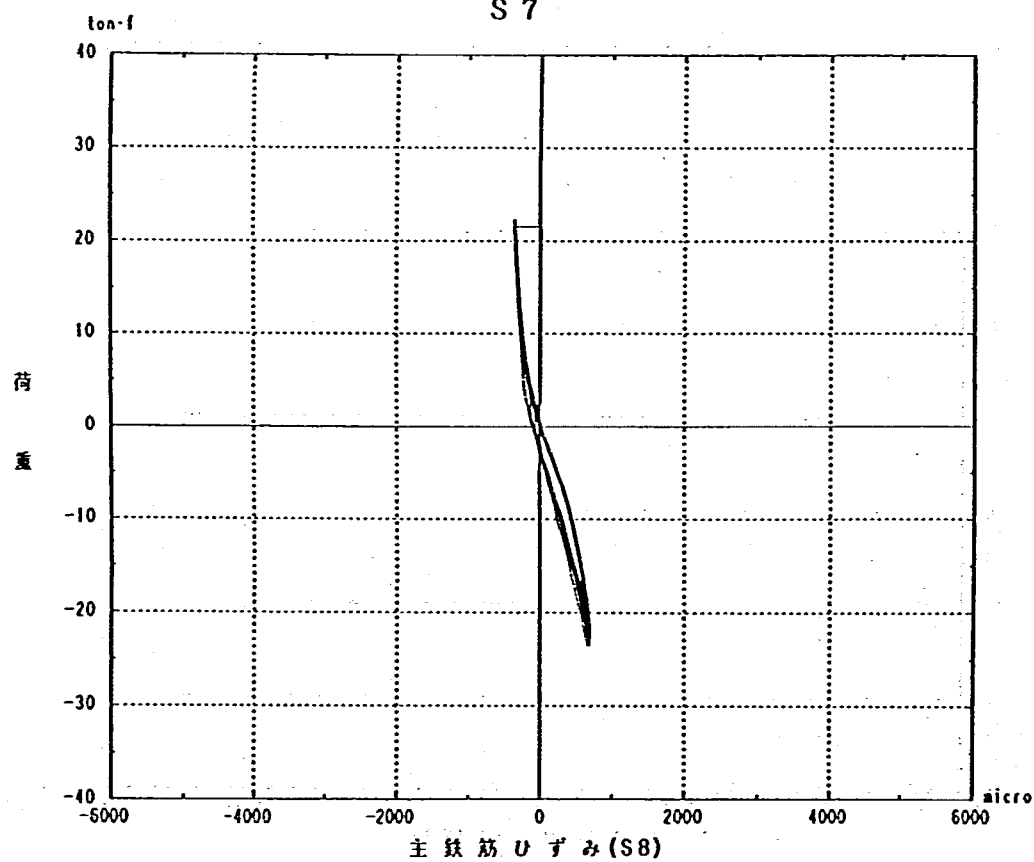


S 6

荷重－主鉄筋ひずみ曲線 (1 δ y : 降伏時)

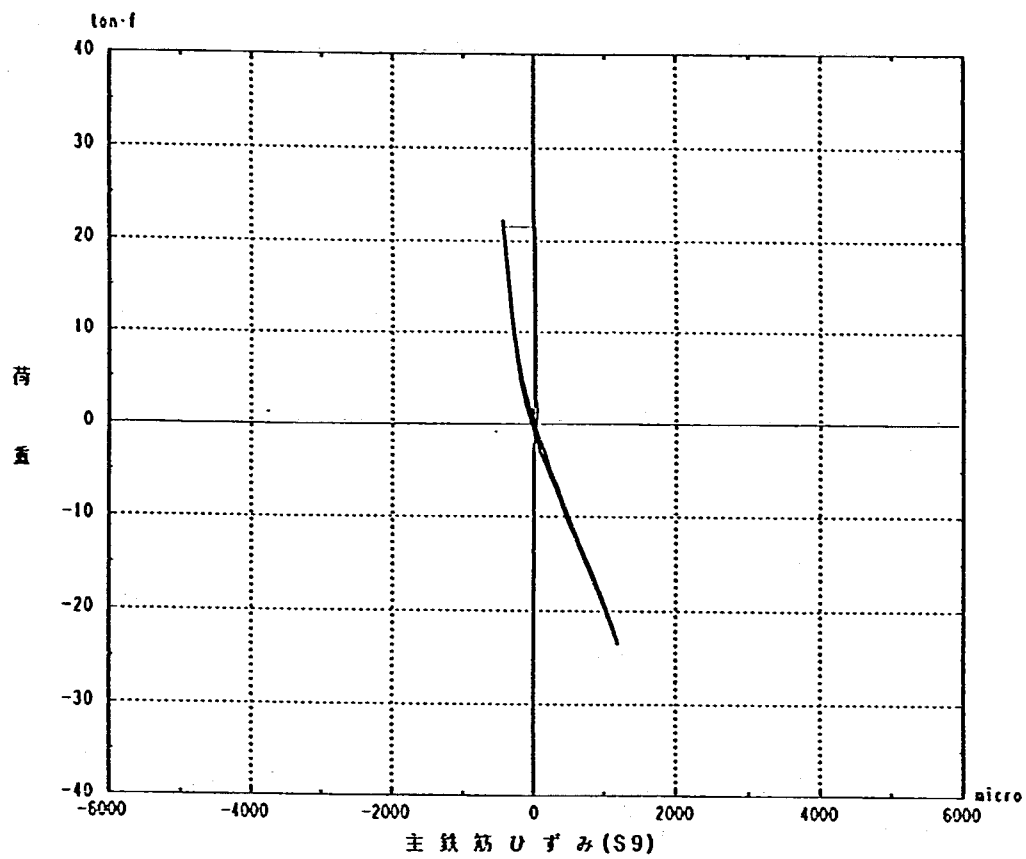


S 7

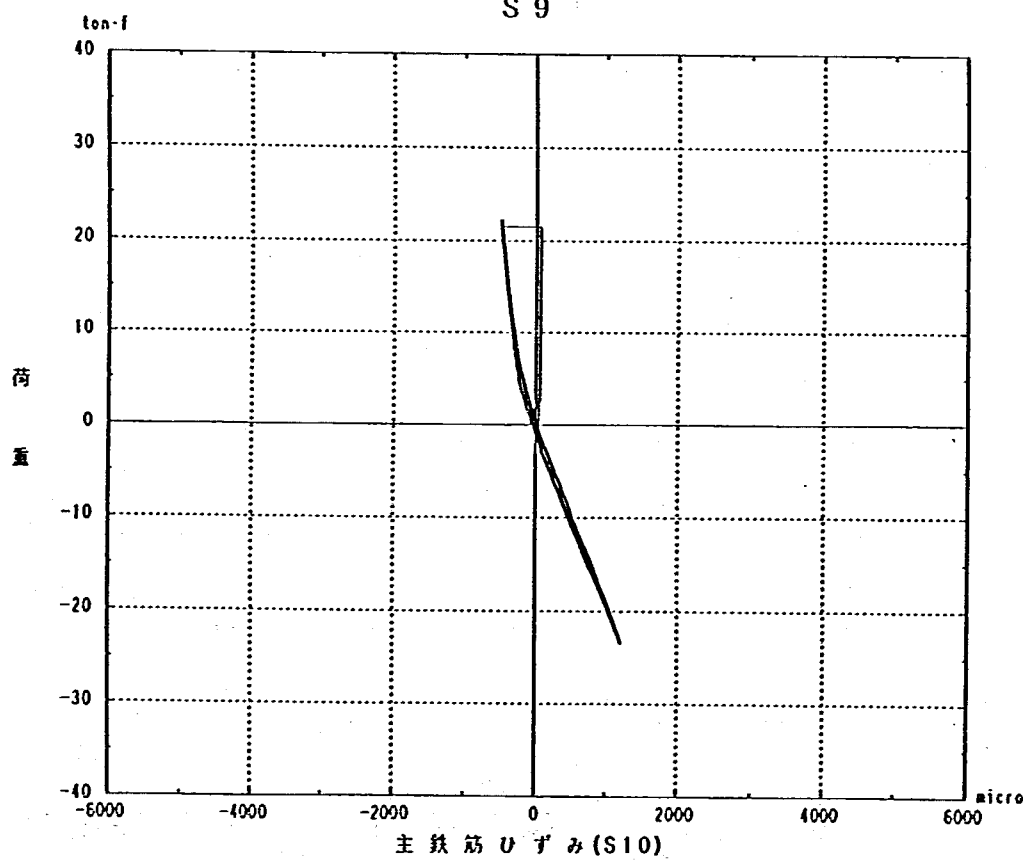


S 8

荷重-主鉄筋ひずみ曲線 (1 δy : 降伏時)

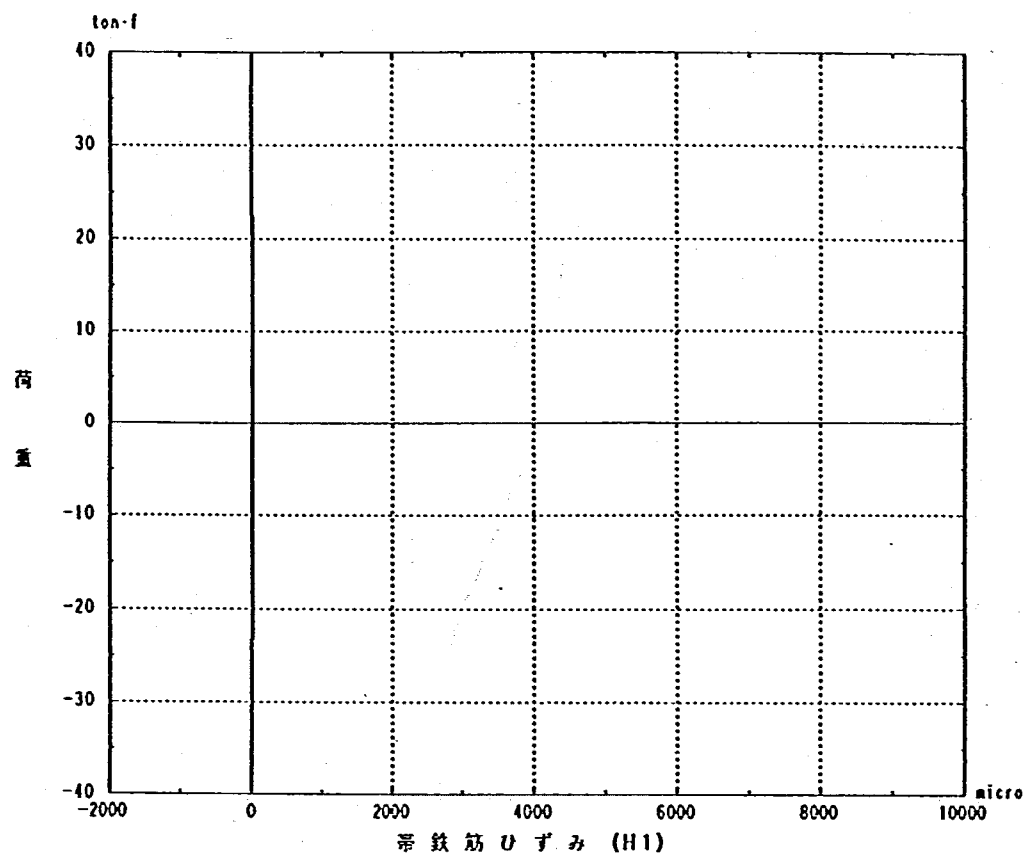


S 9

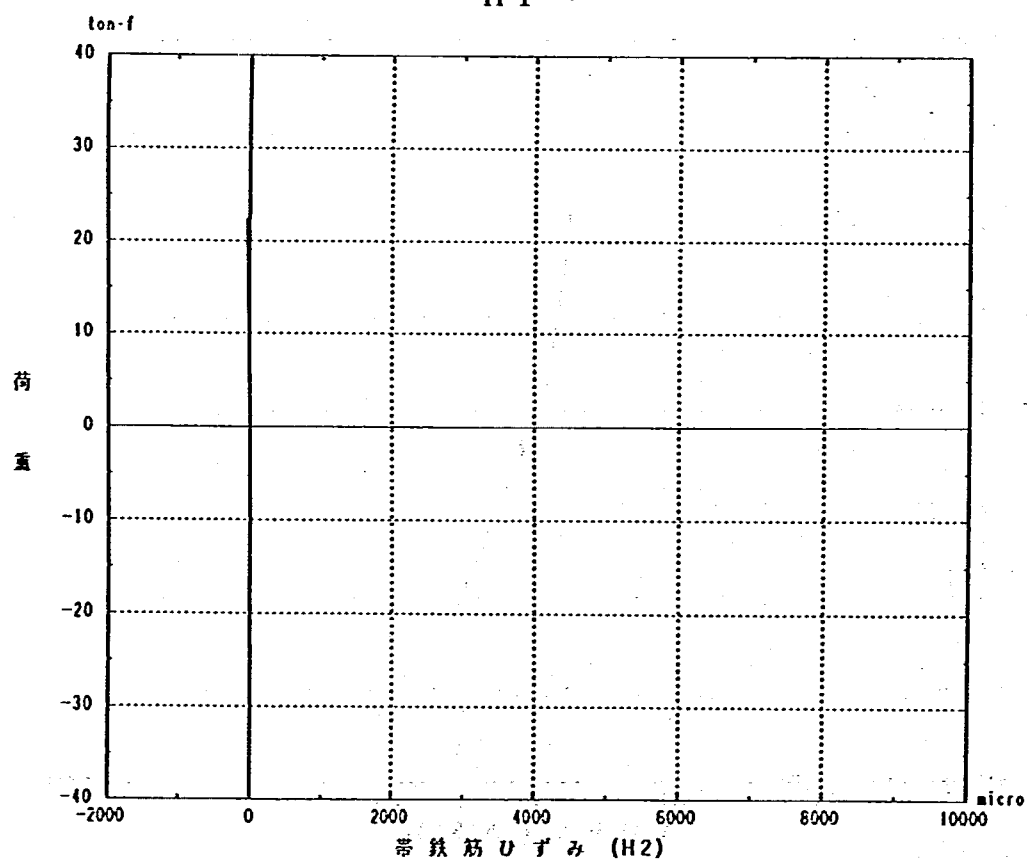


S 1 0

荷重-主鉄筋ひずみ曲線 (1 δy : 降伏時)

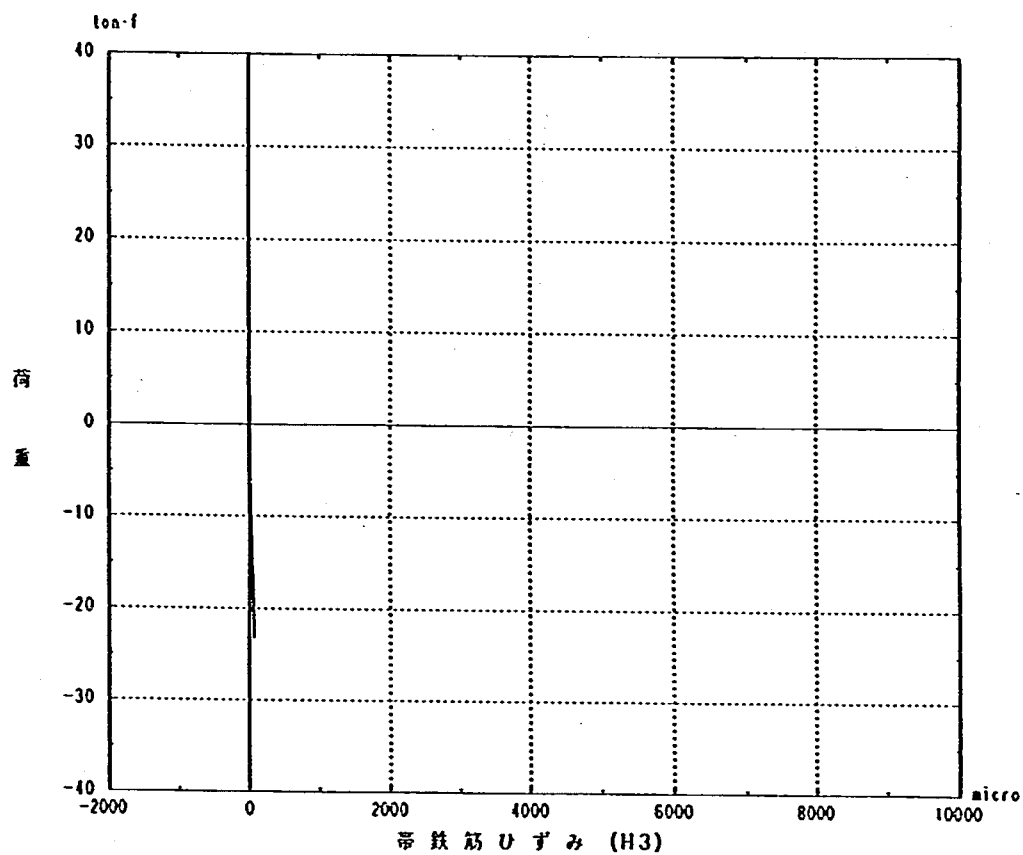


H 1

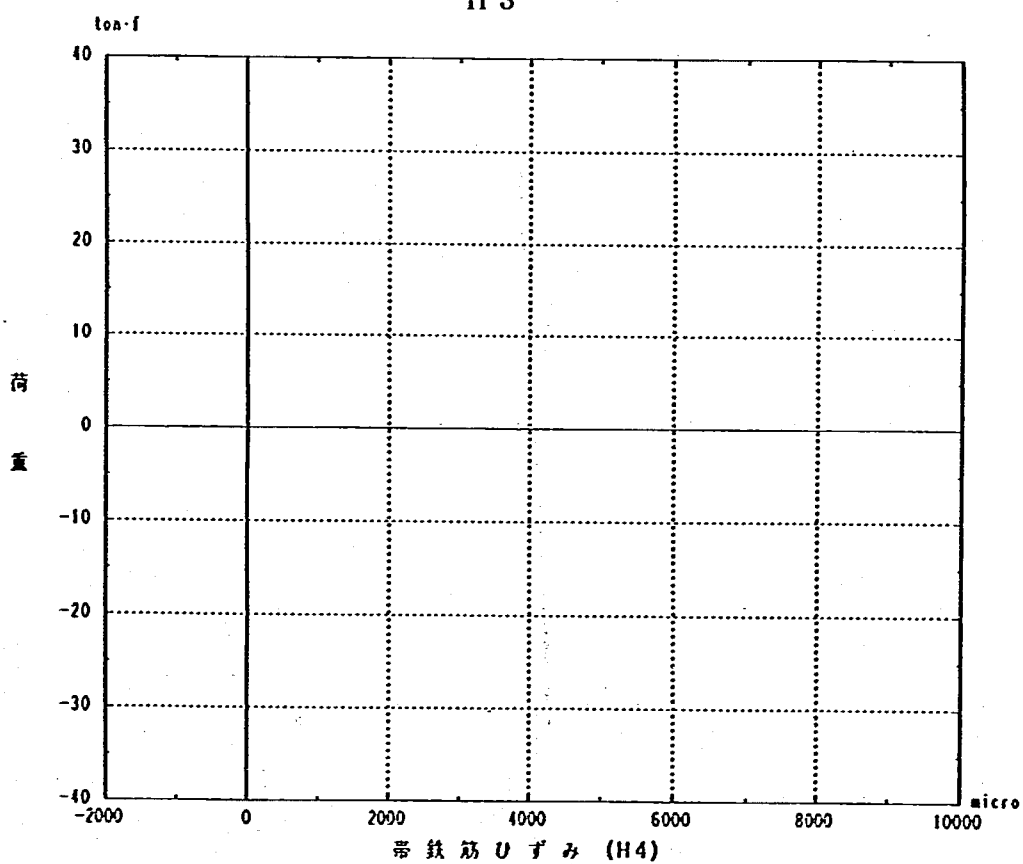


H 2

荷重－帯鉄筋ひずみ曲線 (1 δy : 降伏時)

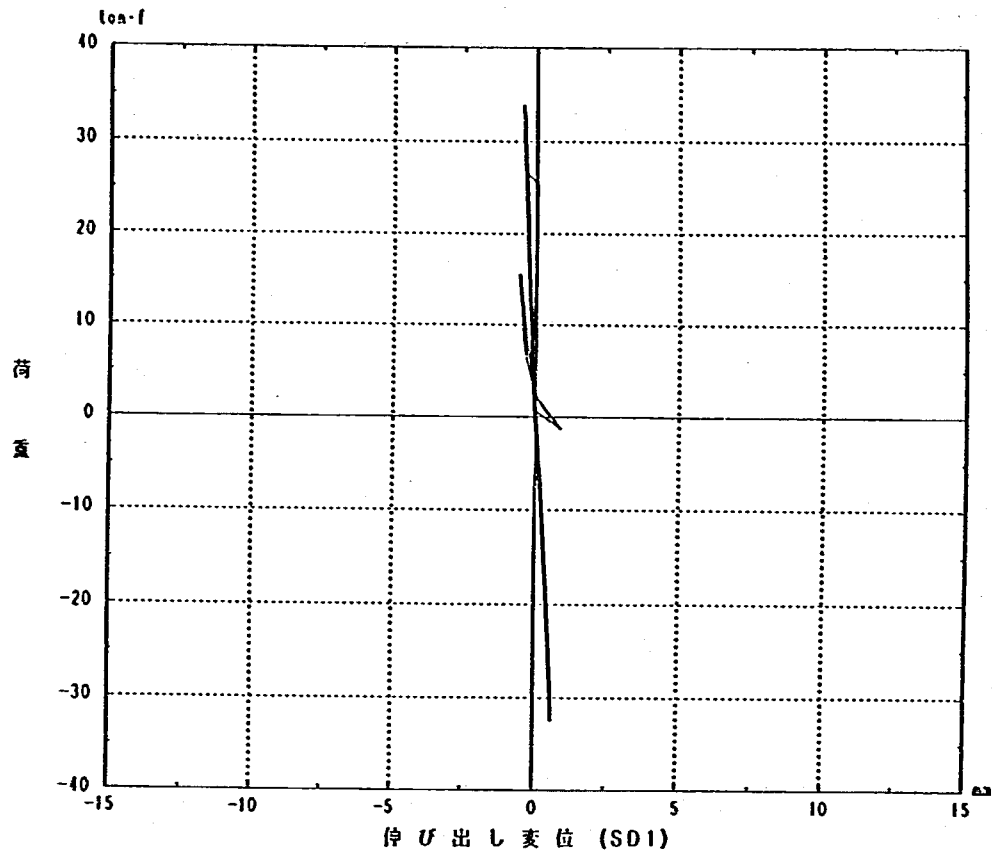


H 3

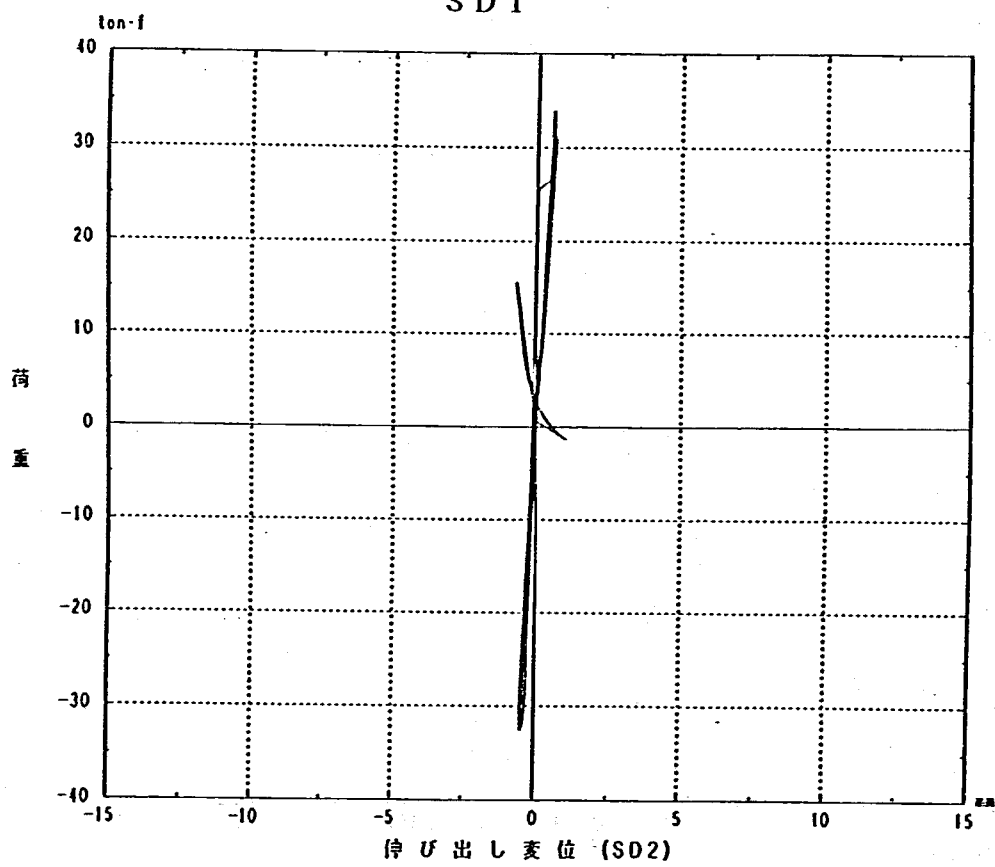


H 4

荷重 - 帯鉄筋ひずみ曲線 (1 δy : 降伏時)

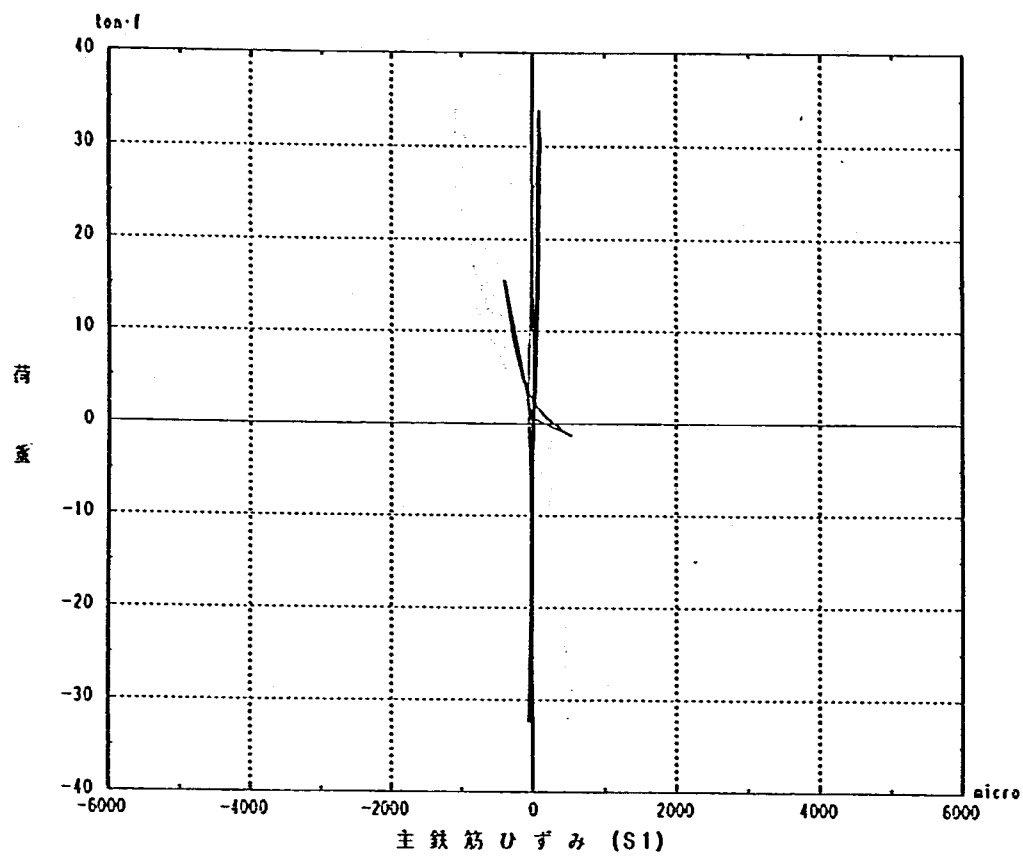


SD 1

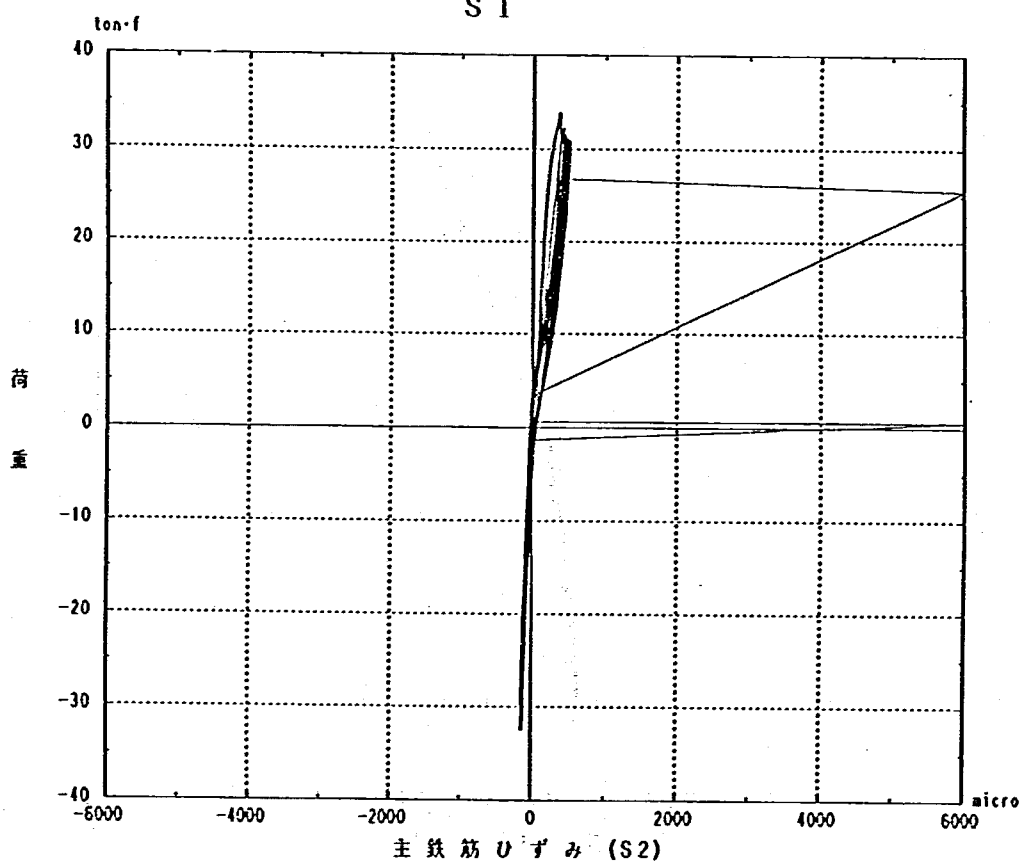


SD 2

荷重 - 伸び出し変位曲線 ($2\delta y$: 最大耐力時)

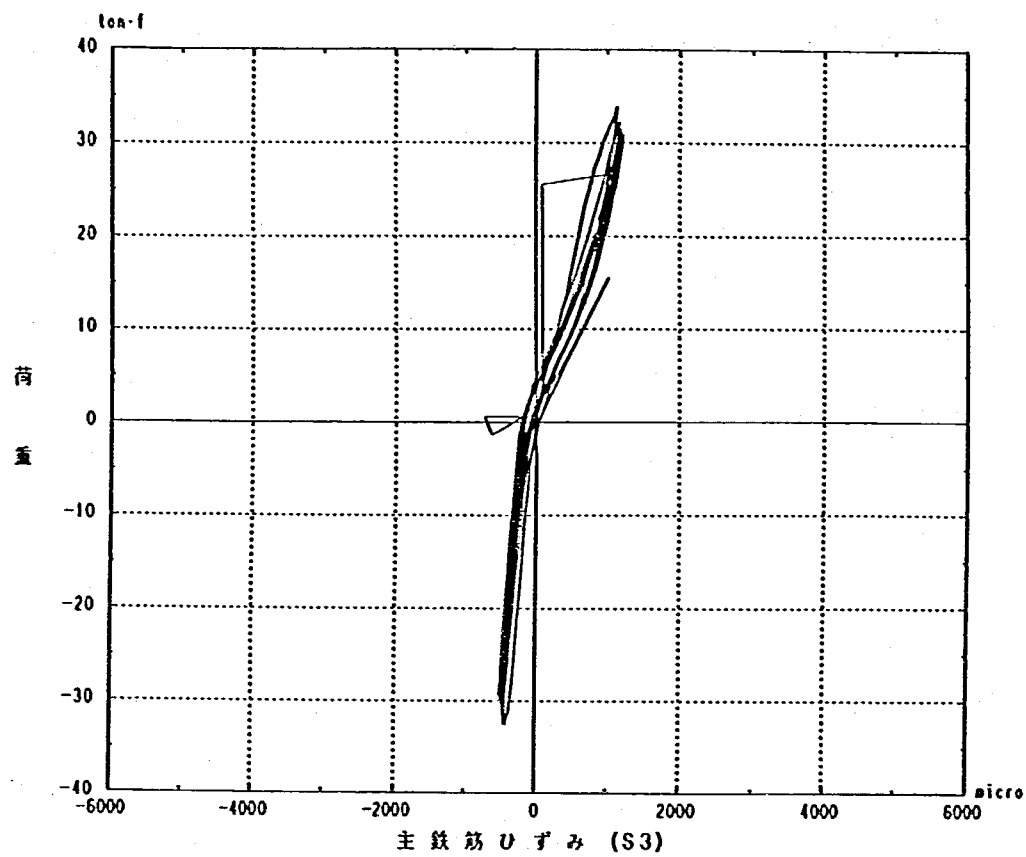


S 1

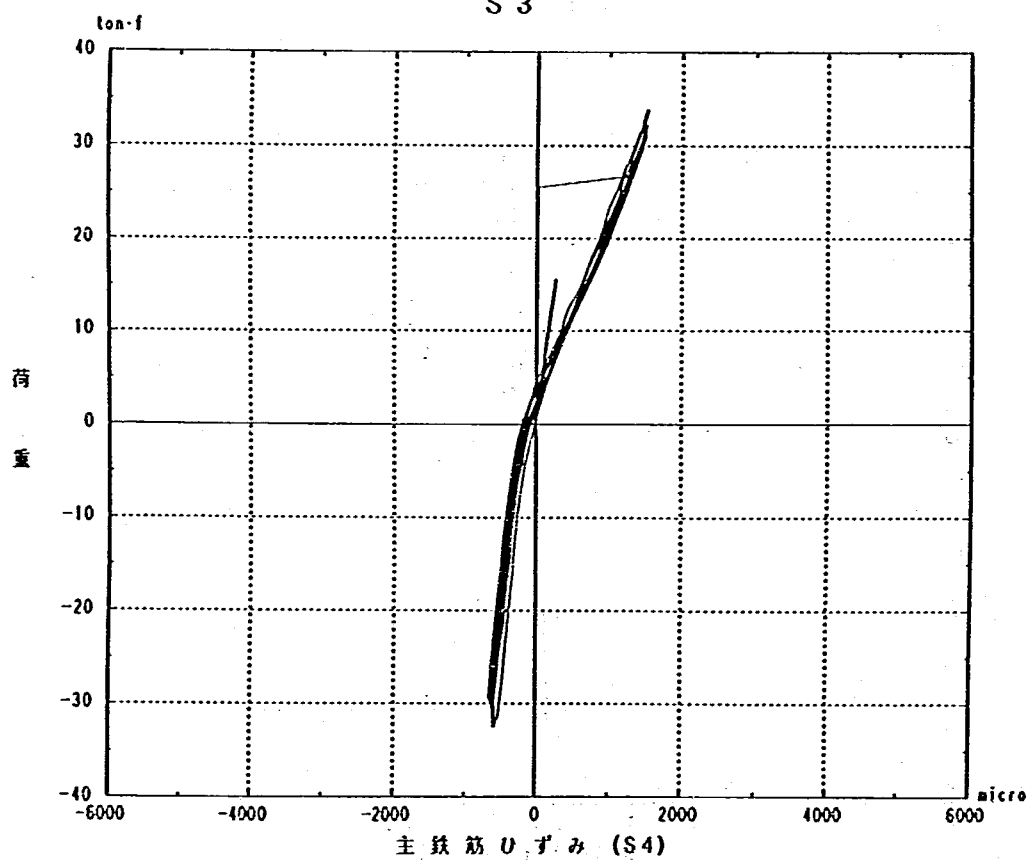


S 2

荷重 - 主鉄筋ひずみ曲線 (2 δy : 最大耐力時)

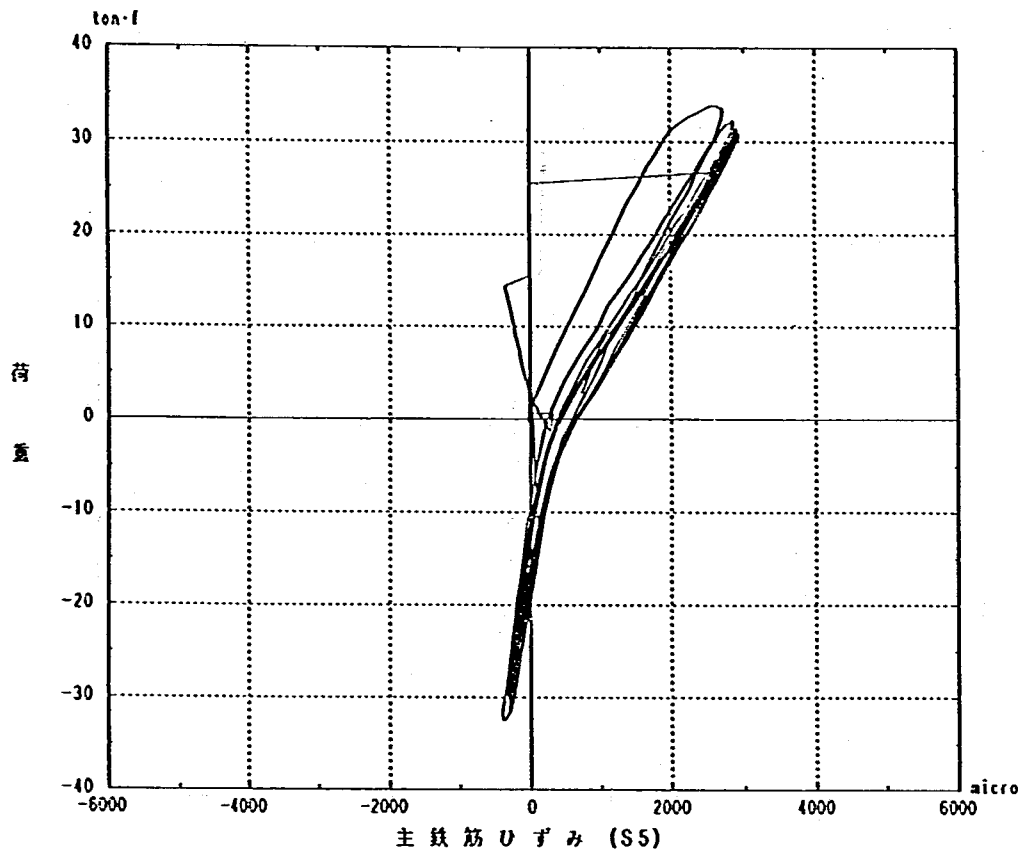


S 3

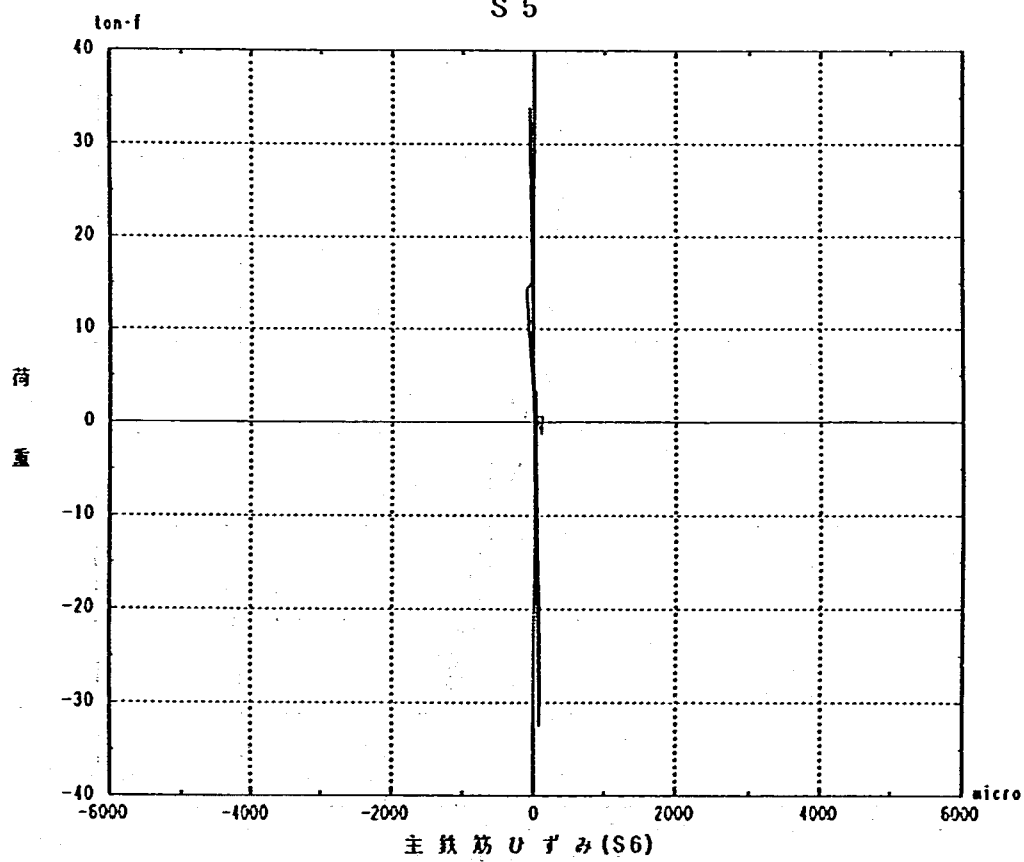


S 4

荷重－主鉄筋ひずみ曲線 ($2\delta y$: 最大耐力時)

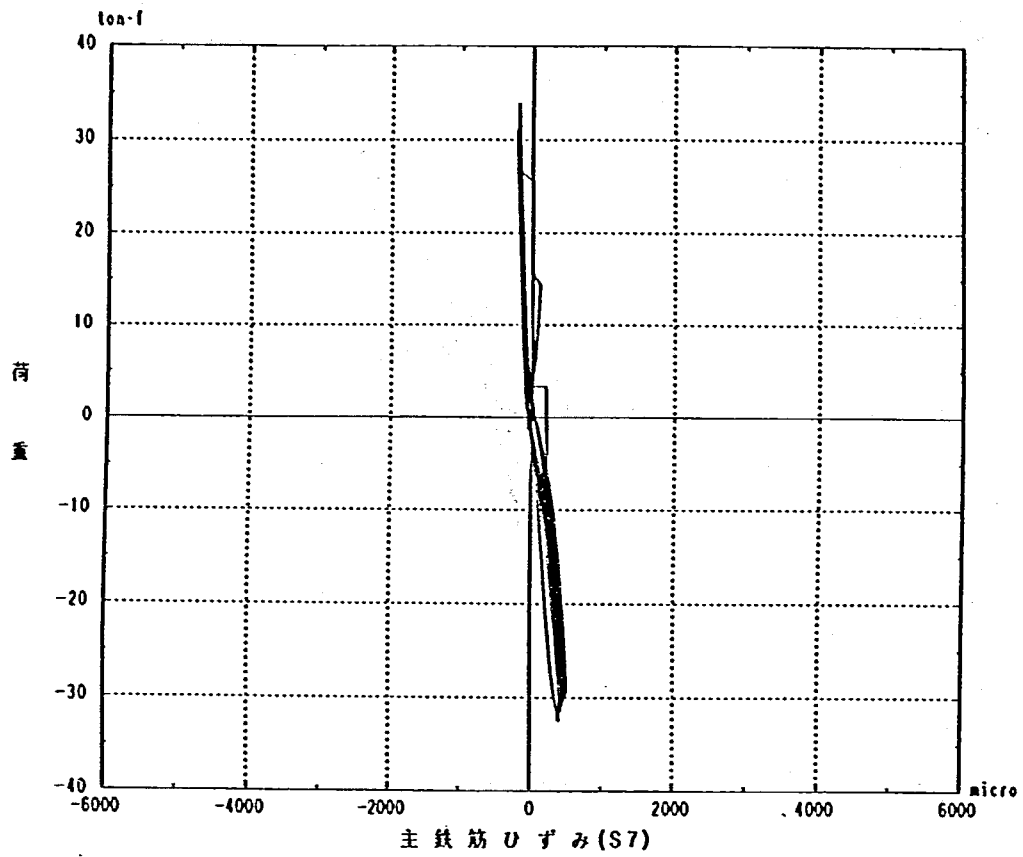


S 5

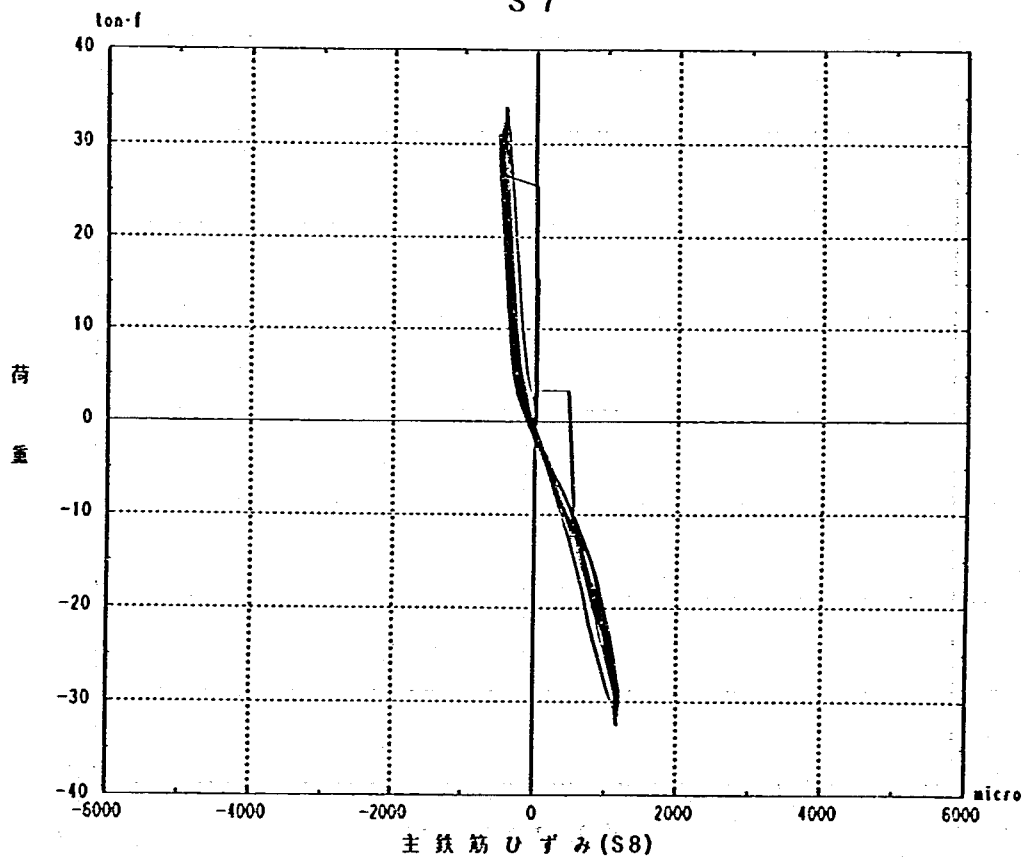


S 6

荷重-主鉄筋ひずみ曲線 ($2\delta y$: 最大耐力時)

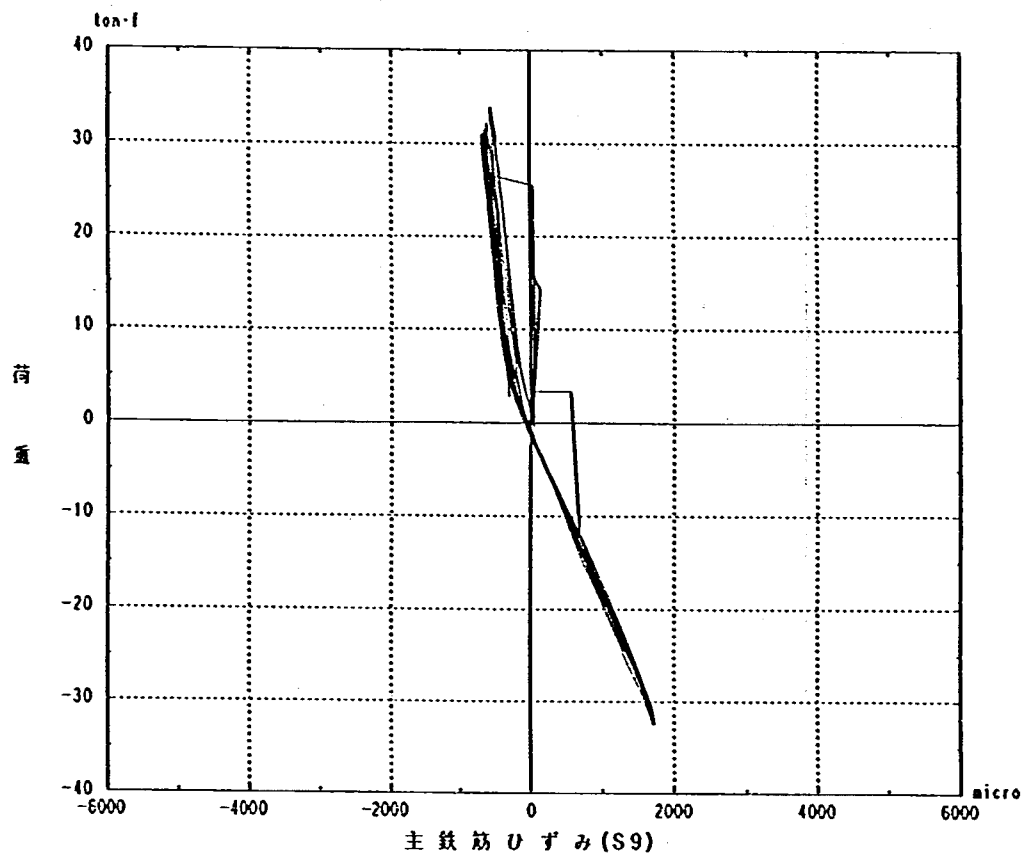


S 7

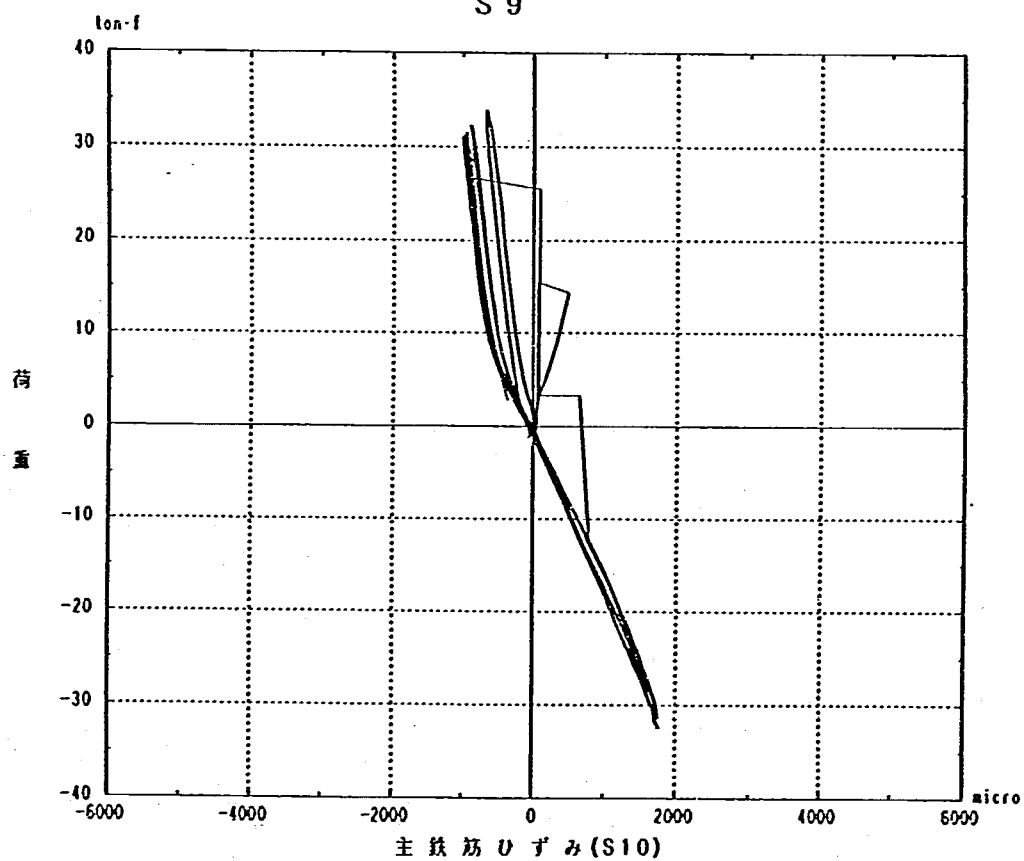


S 8

荷重-主鉄筋ひずみ曲線 ($2\delta y$: 最大耐力時)

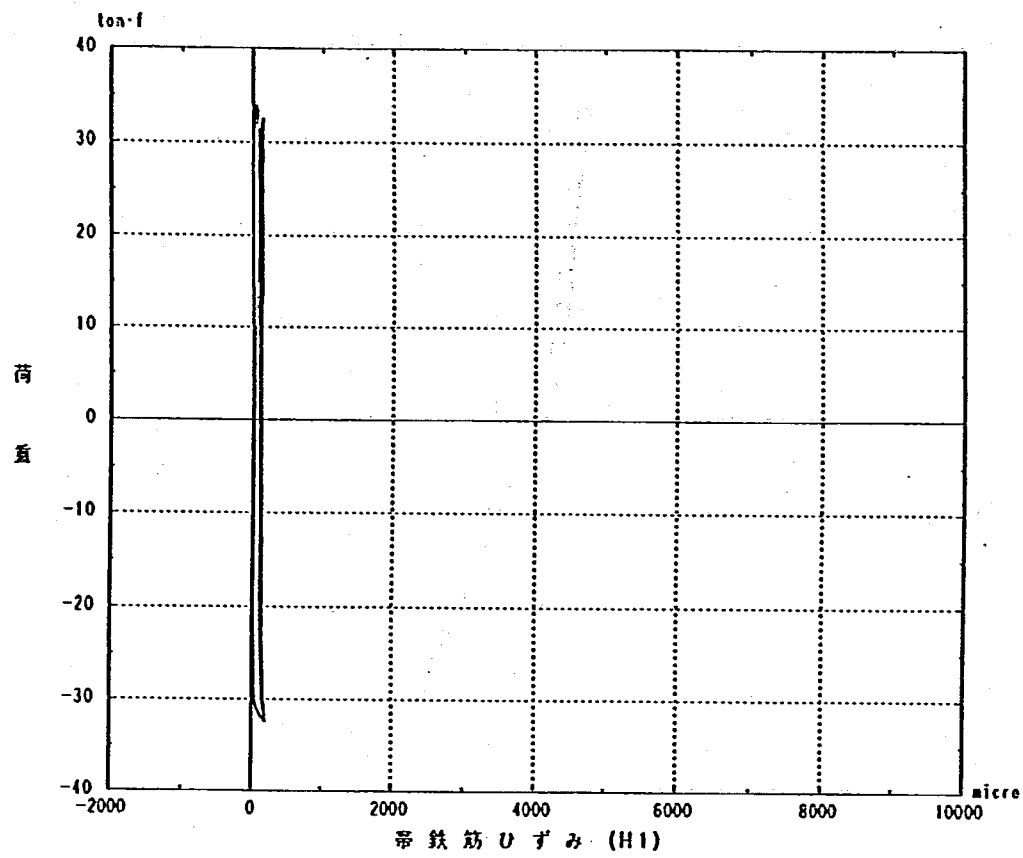


S 9

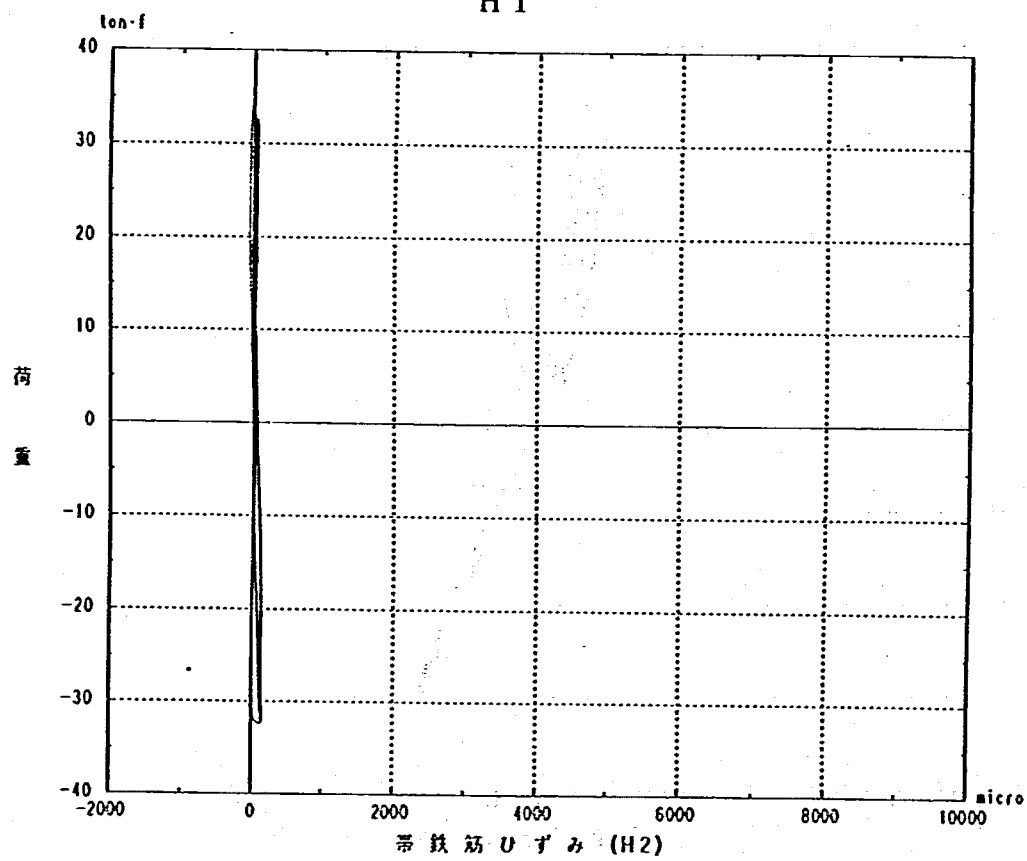


S 1 0

荷重-主鉄筋ひずみ曲線 (2 δy : 最大耐力時)

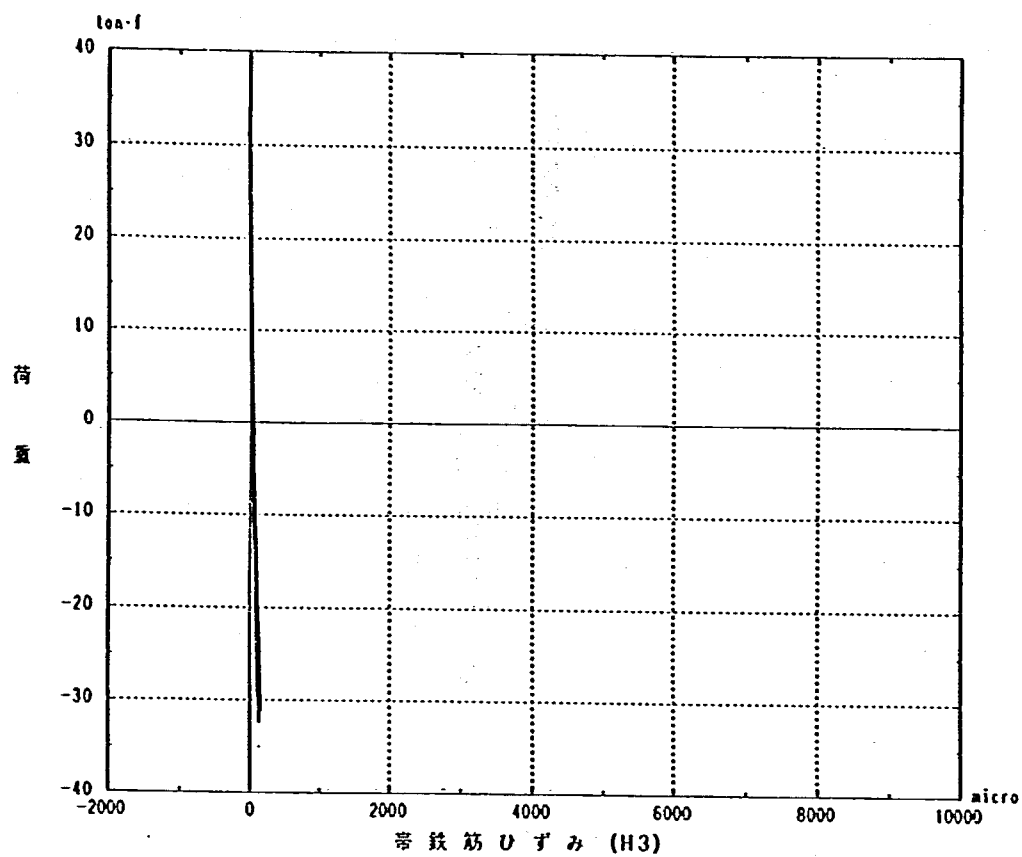


H 1

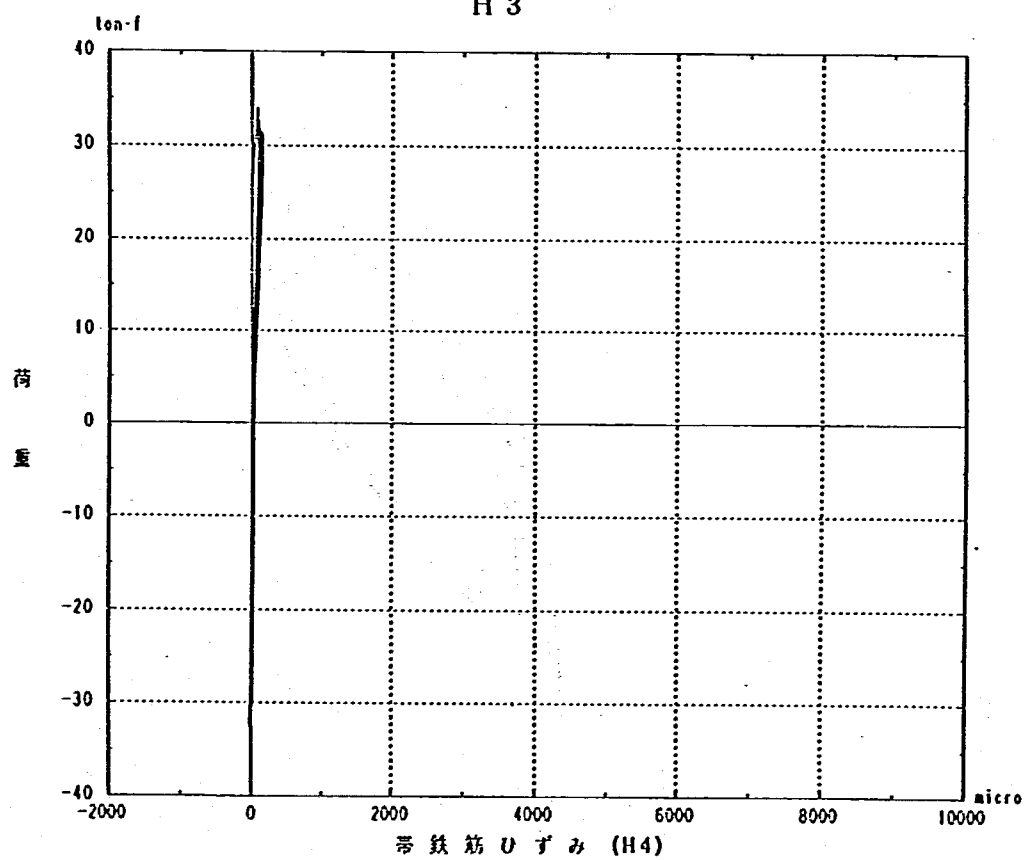


H 2

荷重—帯鉄筋ひずみ曲線 ($2\delta y$: 最大耐力時)

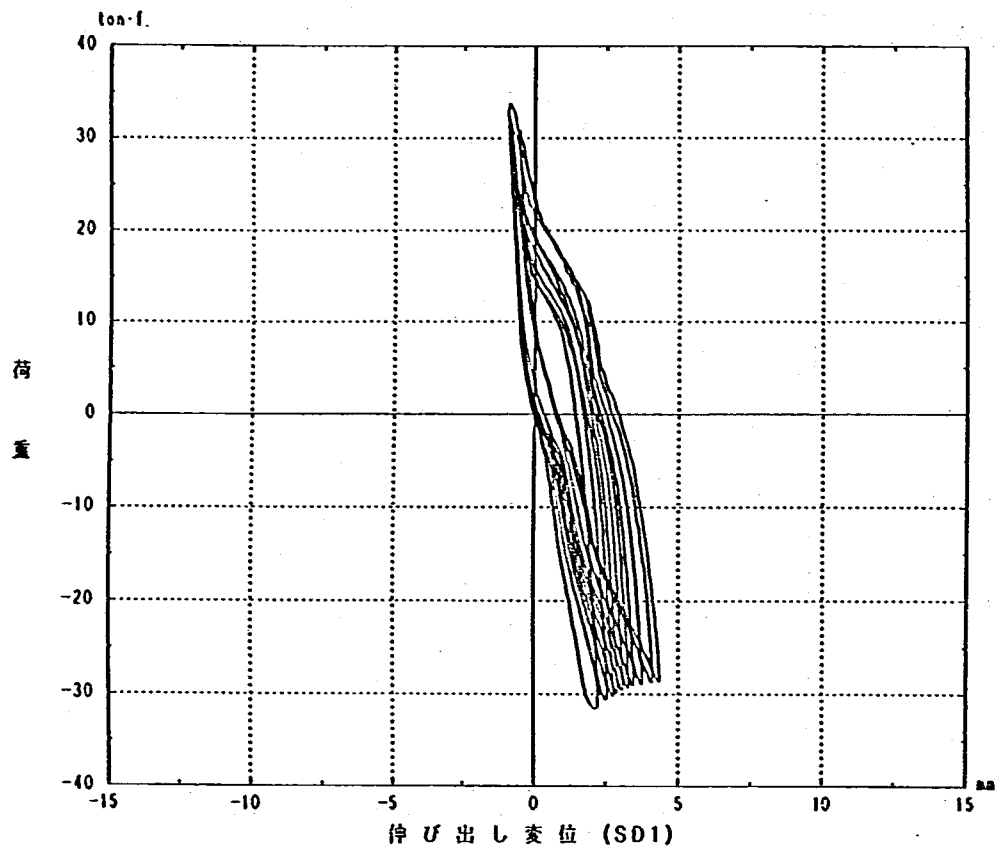


H 3

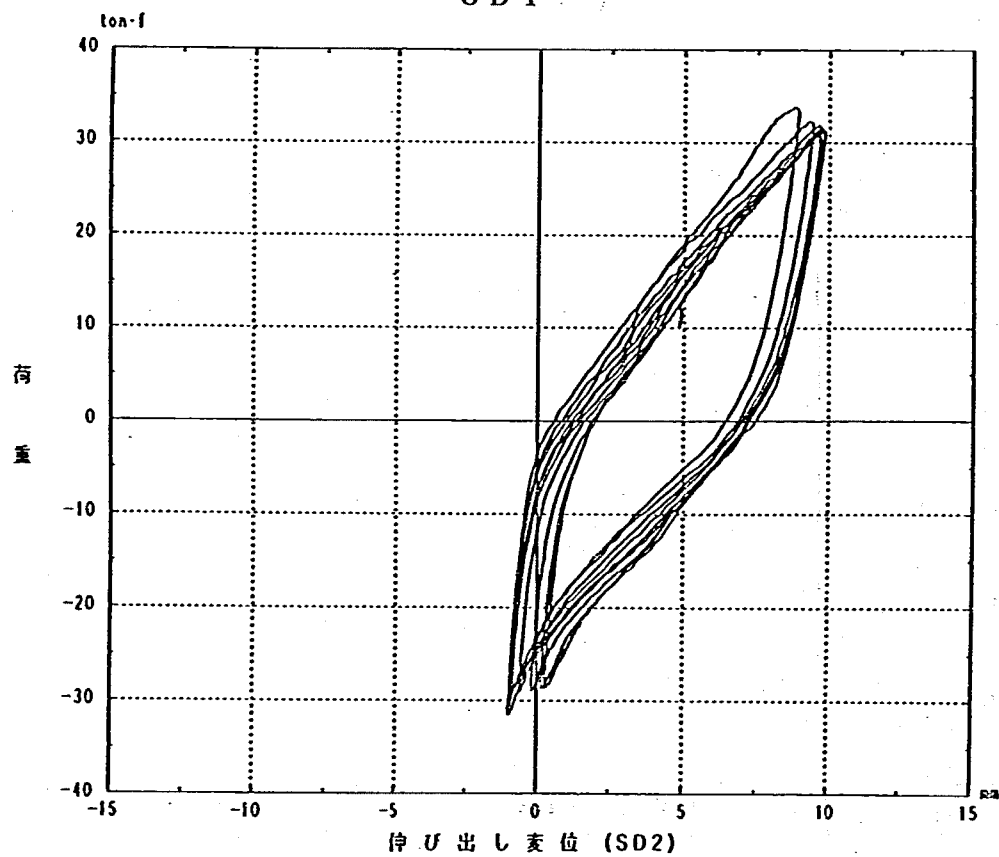


H 4

荷重 - 帯鉄筋ひずみ曲線 ($2\delta y$: 最大耐力時)

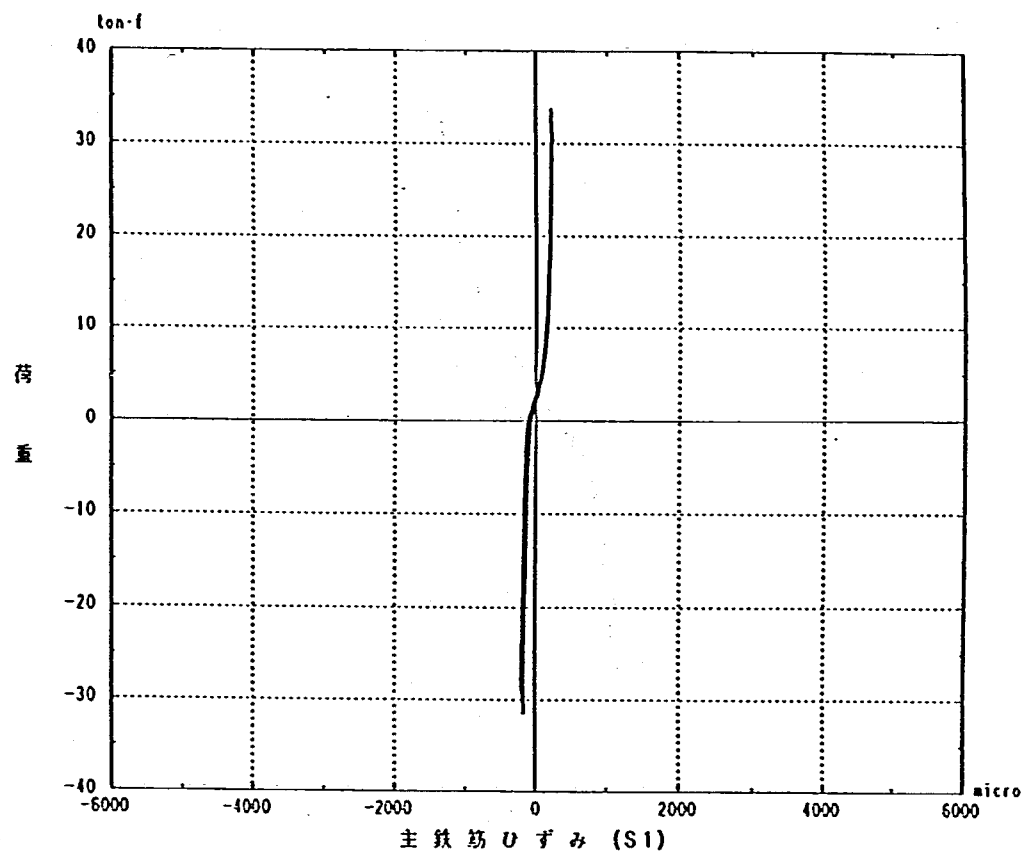


SD 1

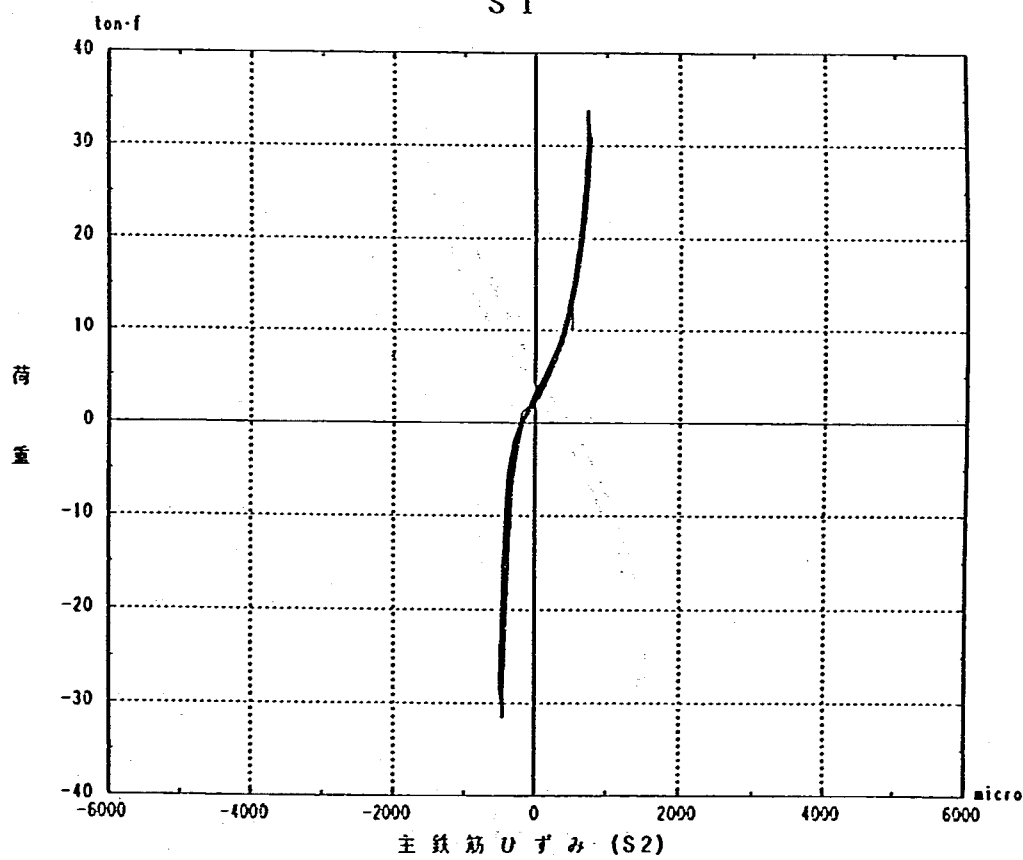


SD 2

荷重－伸び出し変位曲線 ($5\delta y$: 最大耐力維持域)

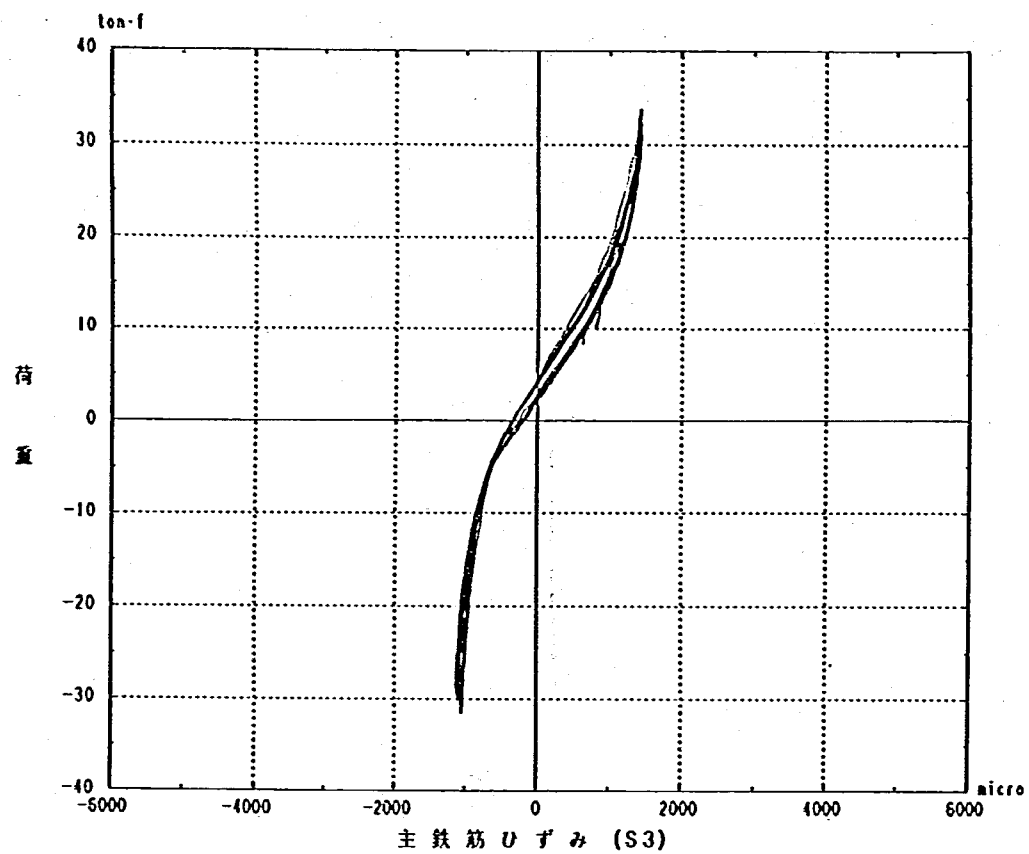


S 1

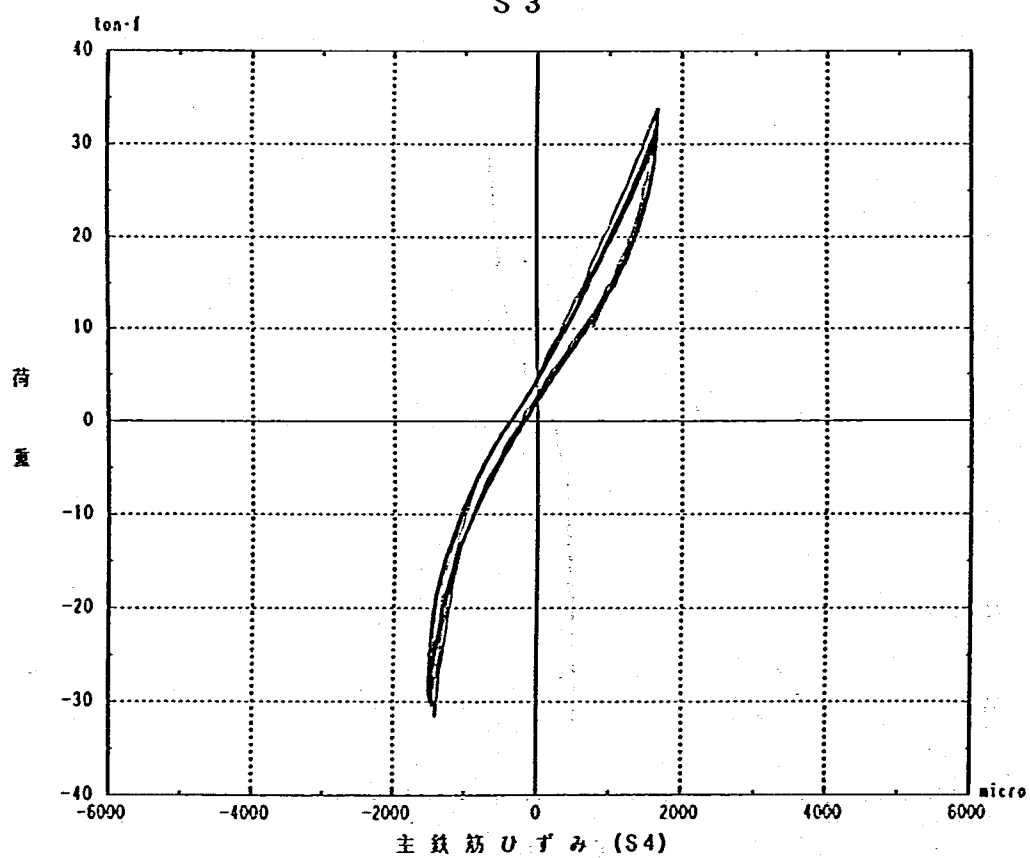


S 2

荷重-主鉄筋ひずみ曲線 (5 δy : 最大耐力維持域)

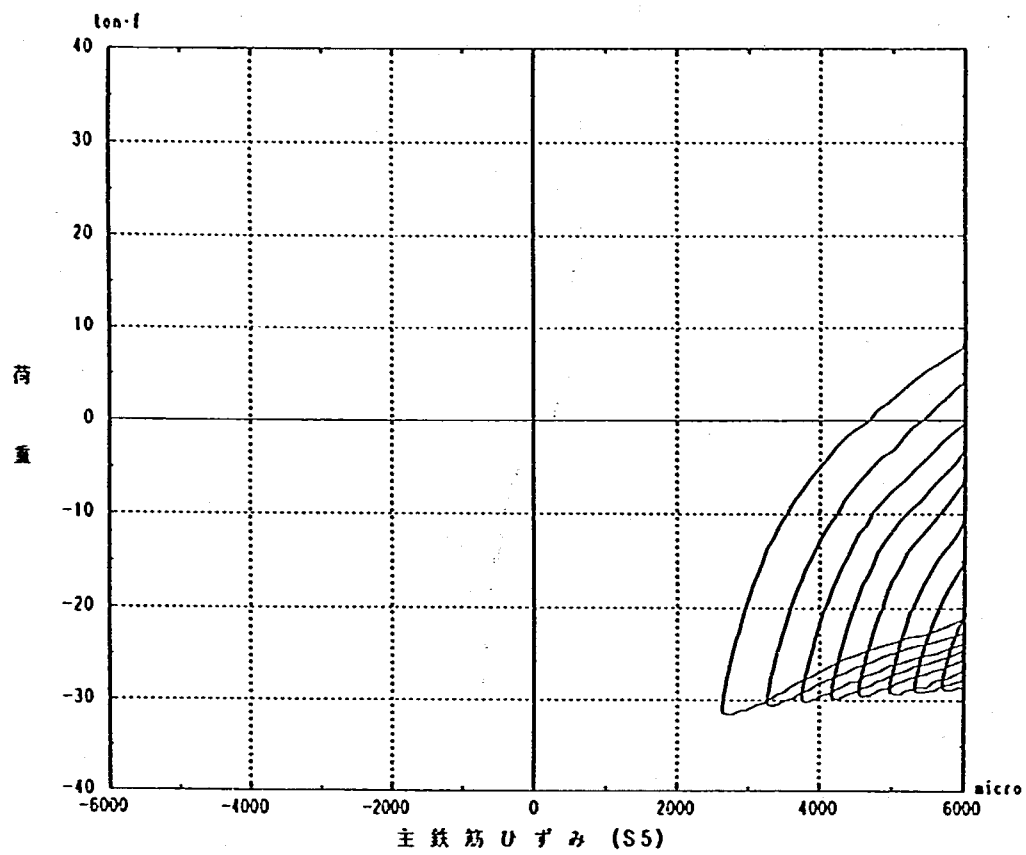


S 3

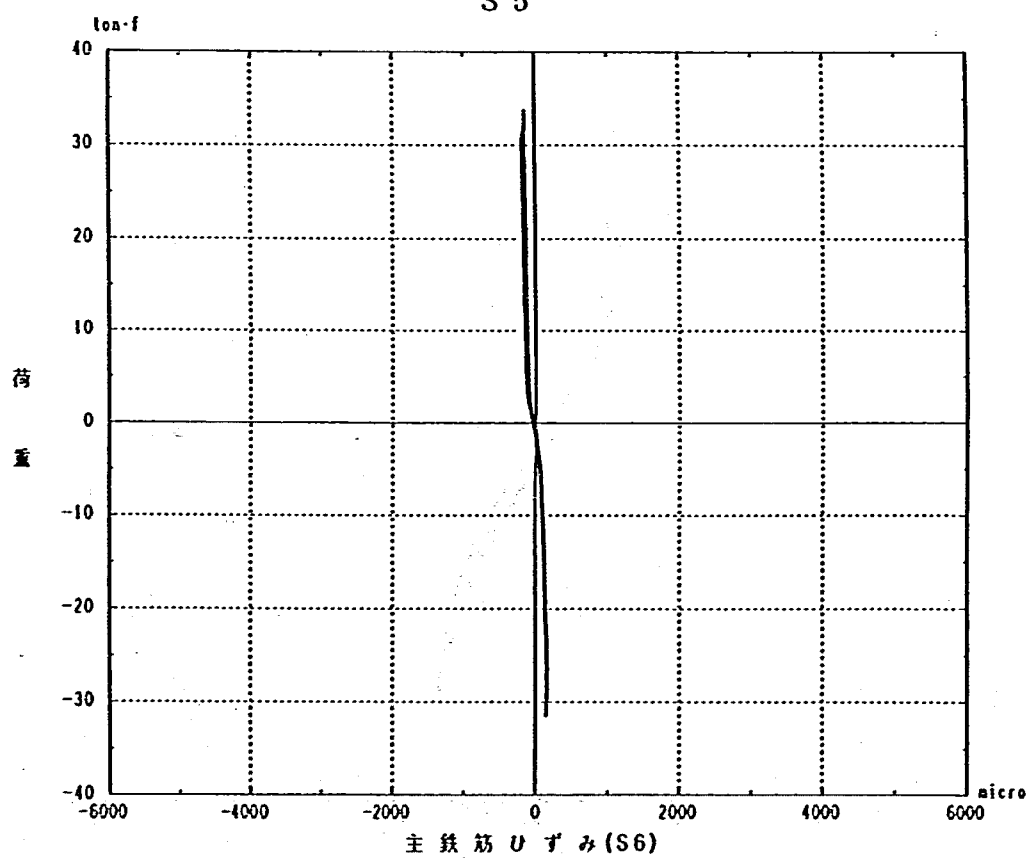


S 4

荷重－主鉄筋ひずみ曲線 ($5\delta y$: 最大耐力維持域)

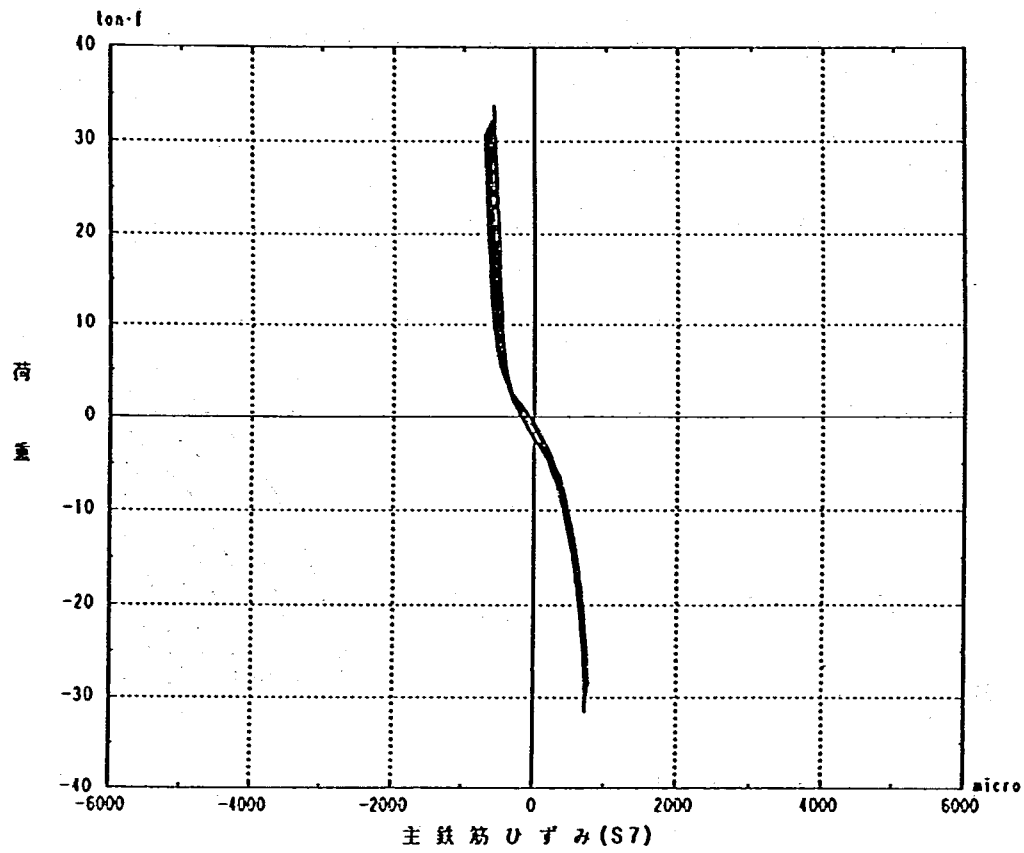


S 5

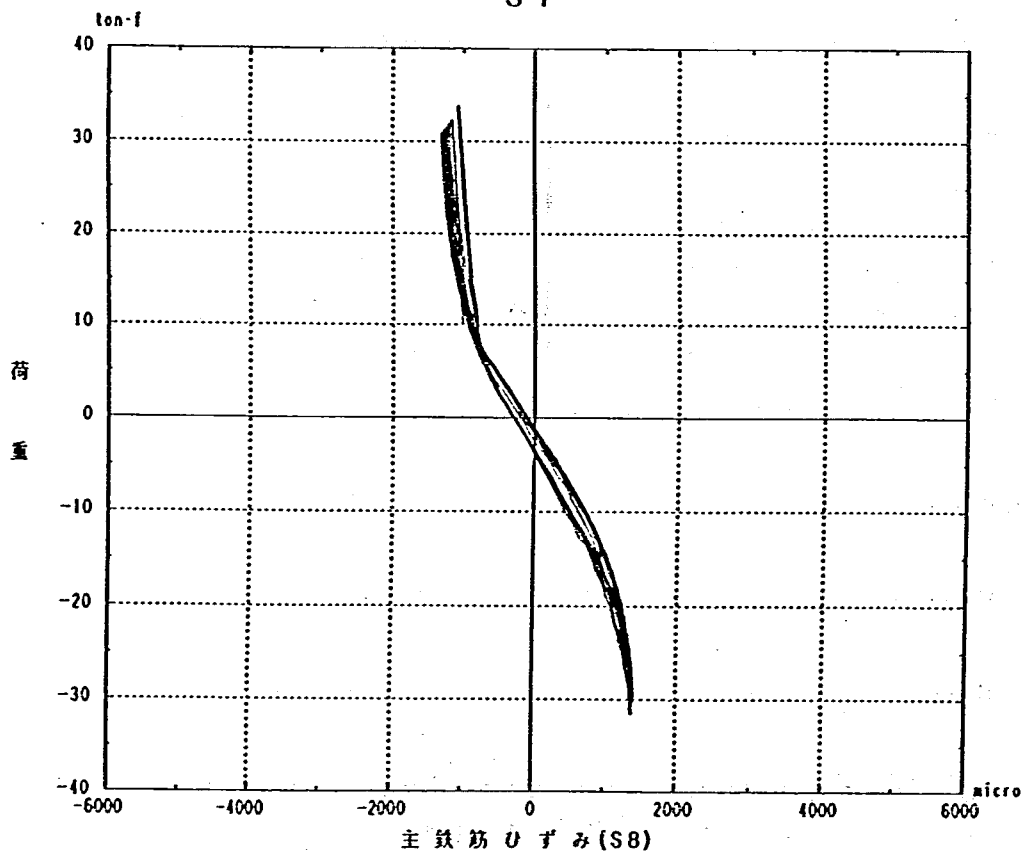


S 6

荷重-主鉄筋ひずみ曲線 (5 δy : 最大耐力維持域)

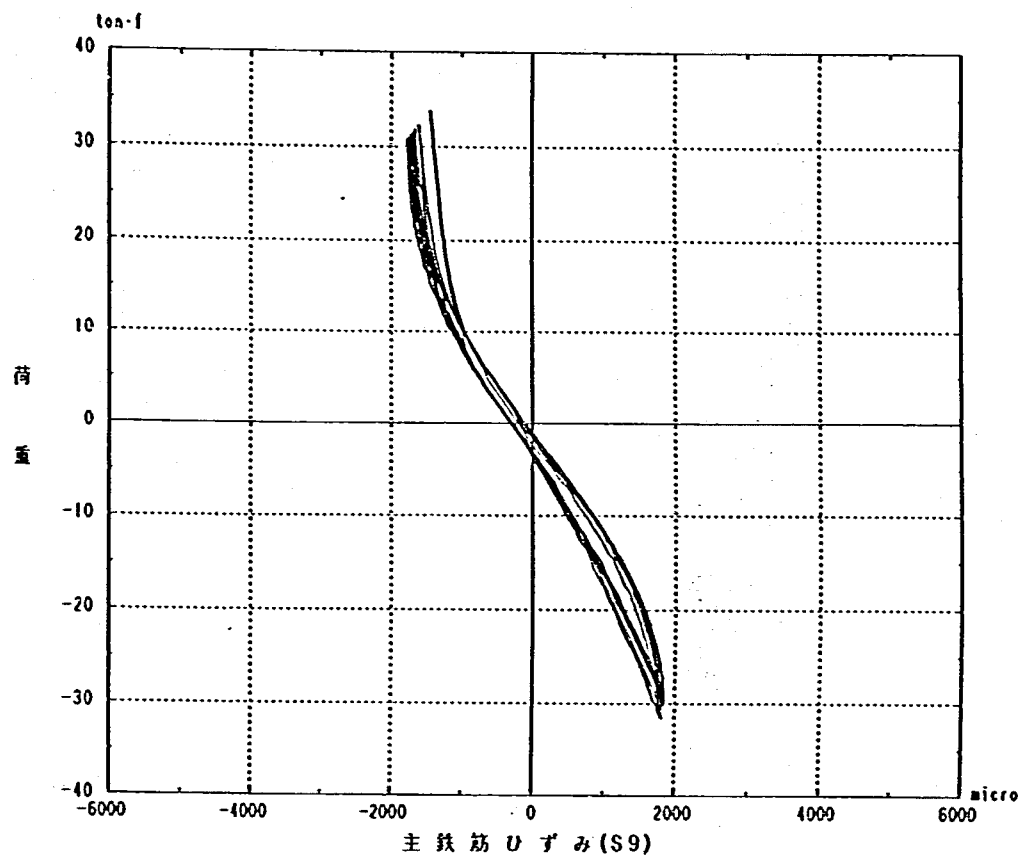


S 7

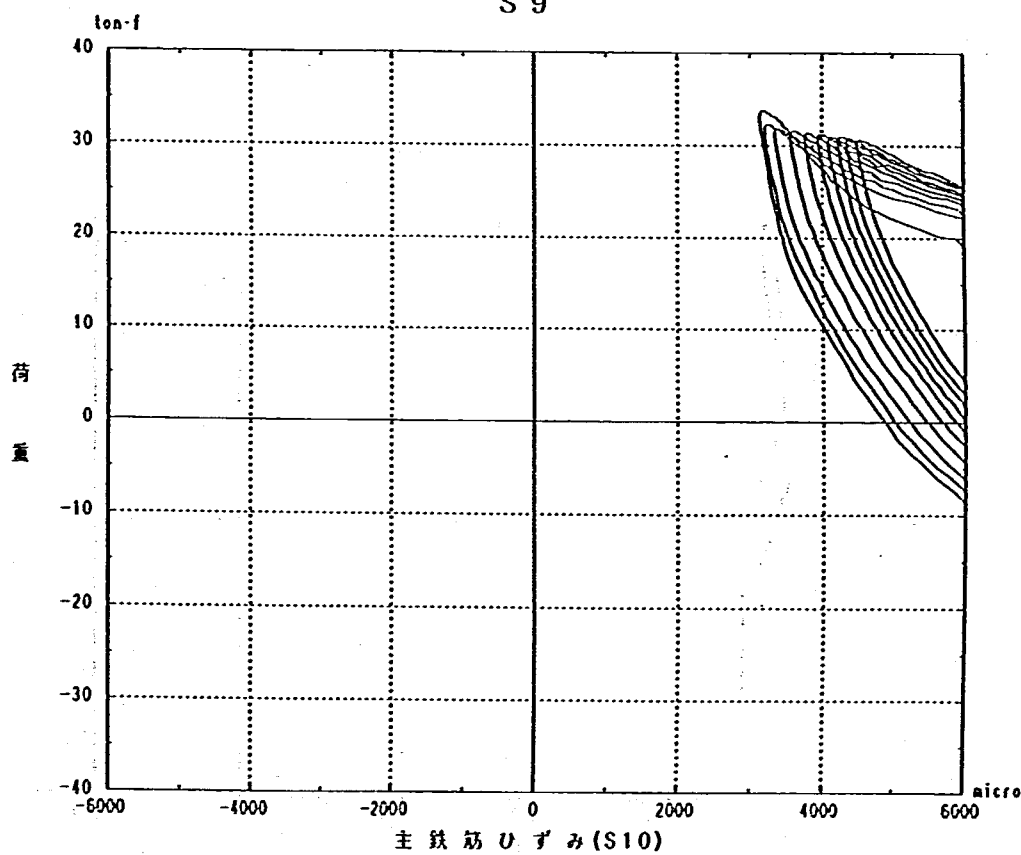


S 8

荷重-主鉄筋ひずみ曲線 ($5 \delta y$: 最大耐力維持域)

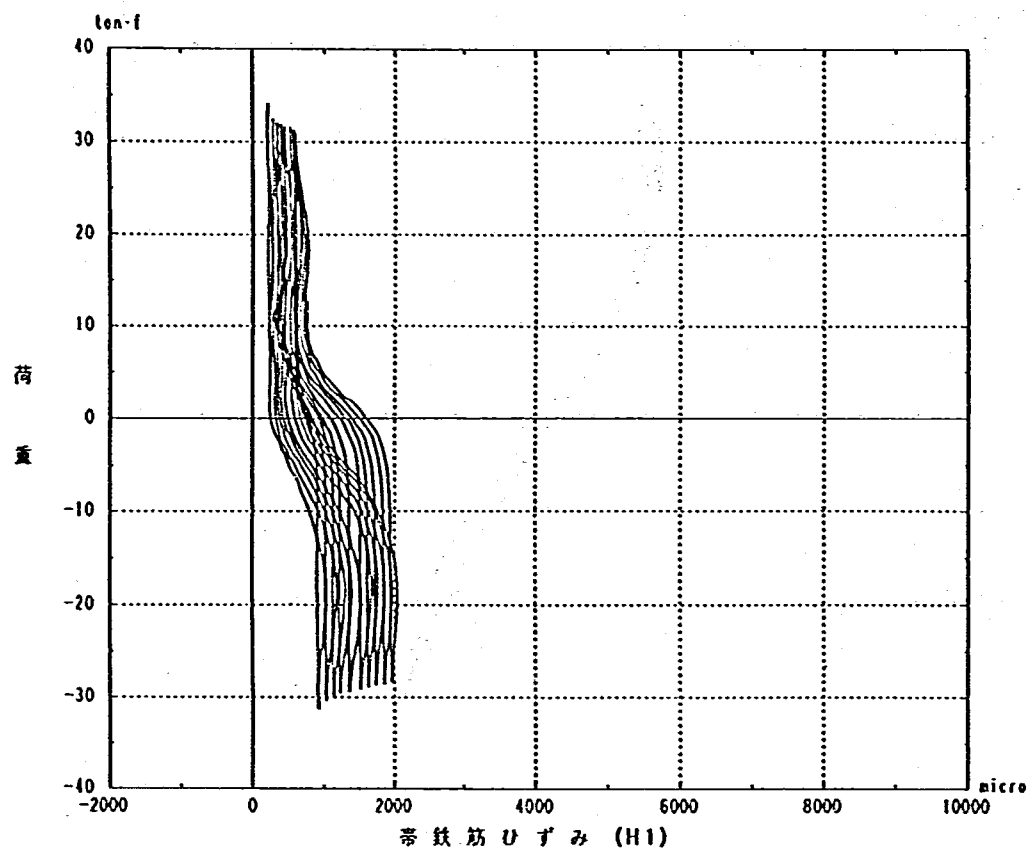


S 9

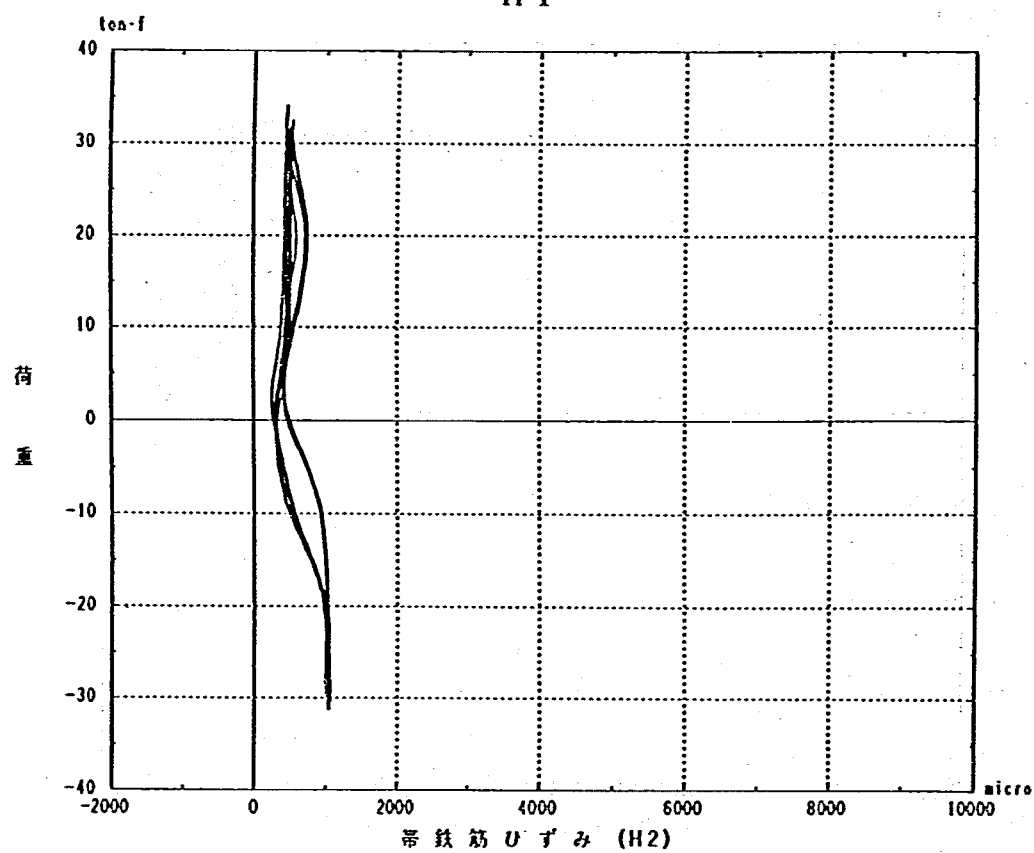


S 1 0

荷重-主鉄筋ひずみ曲線 (5 δy : 最大耐力維持域)

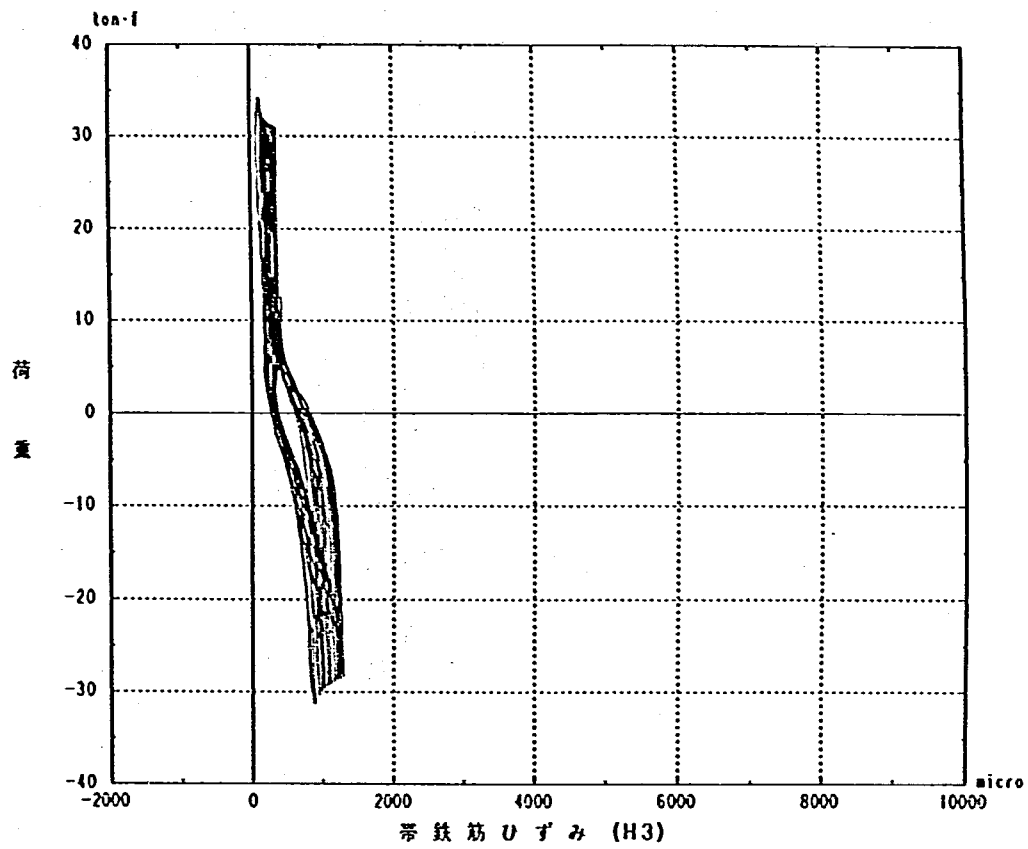


H 1

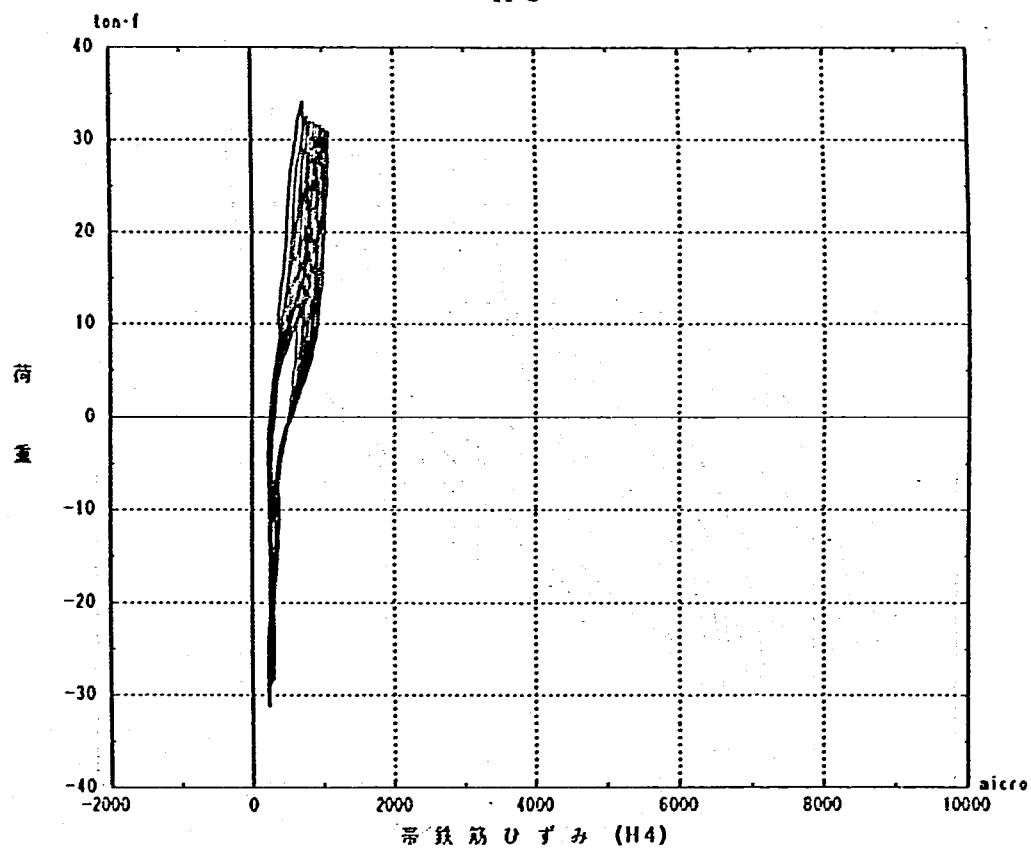


H 2

荷重－帯鉄筋ひずみ曲線 (5 δy : 最大耐力維持域)

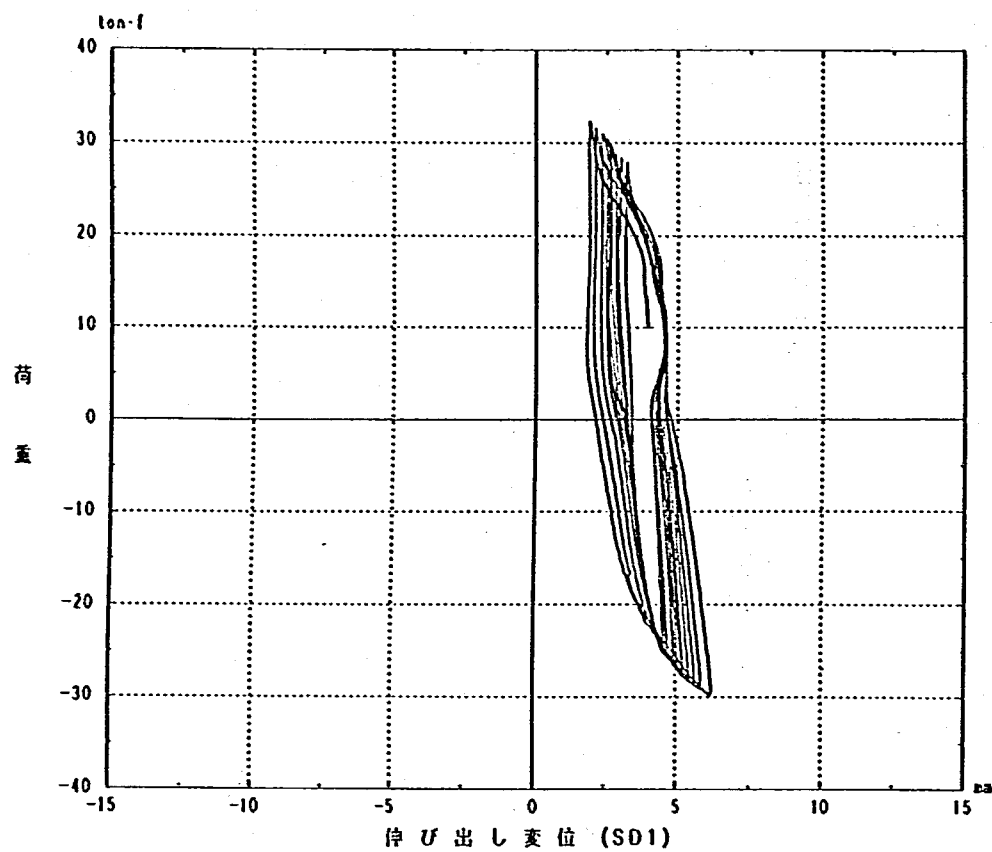


H 3

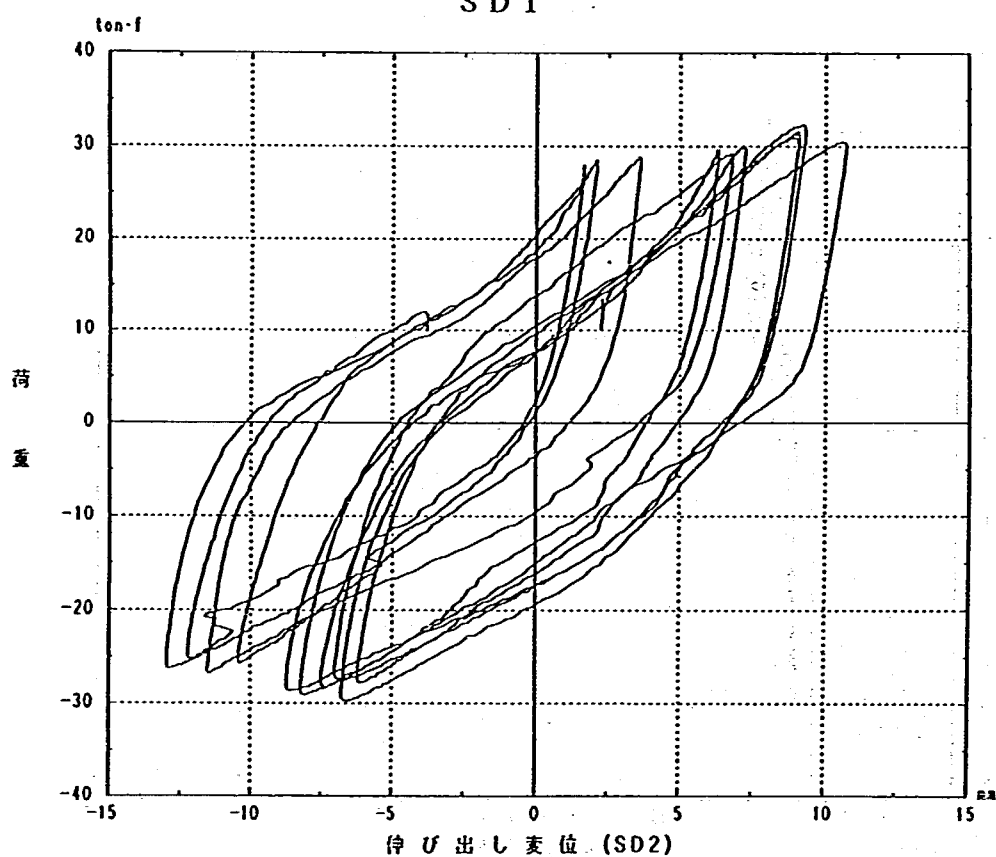


H 4

荷重 - 帯鉄筋ひずみ曲線 (5 δy : 最大耐力維持域)

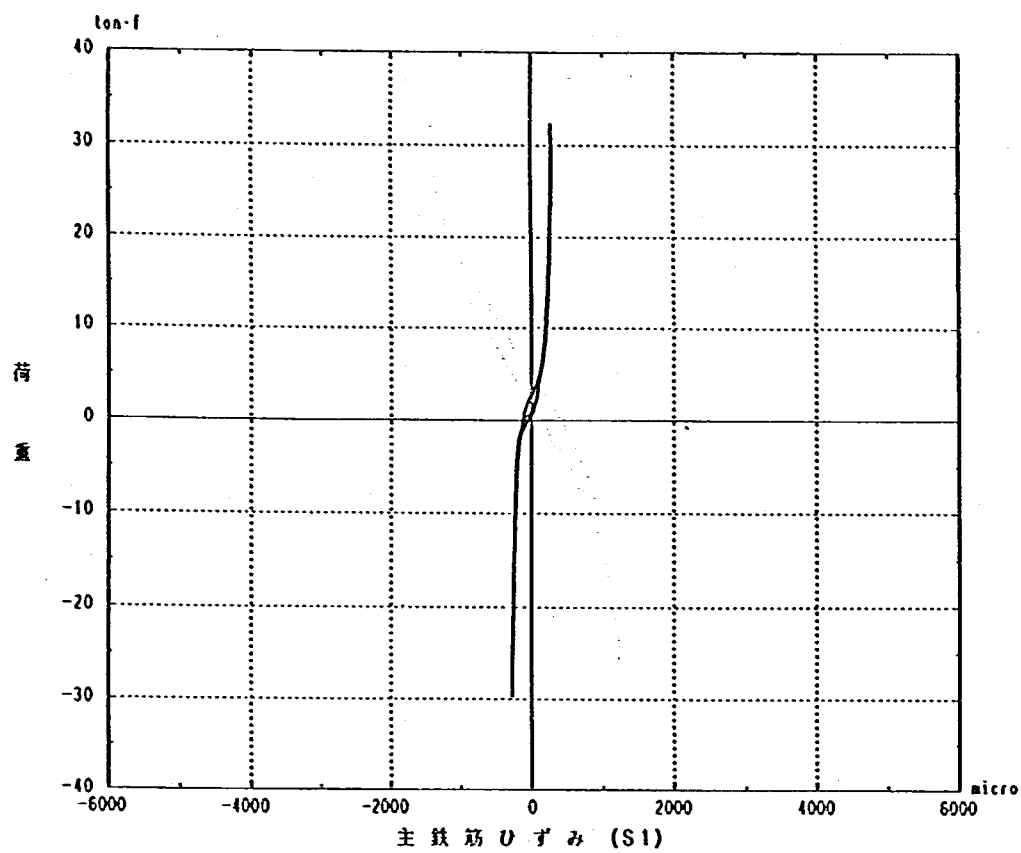


SD 1

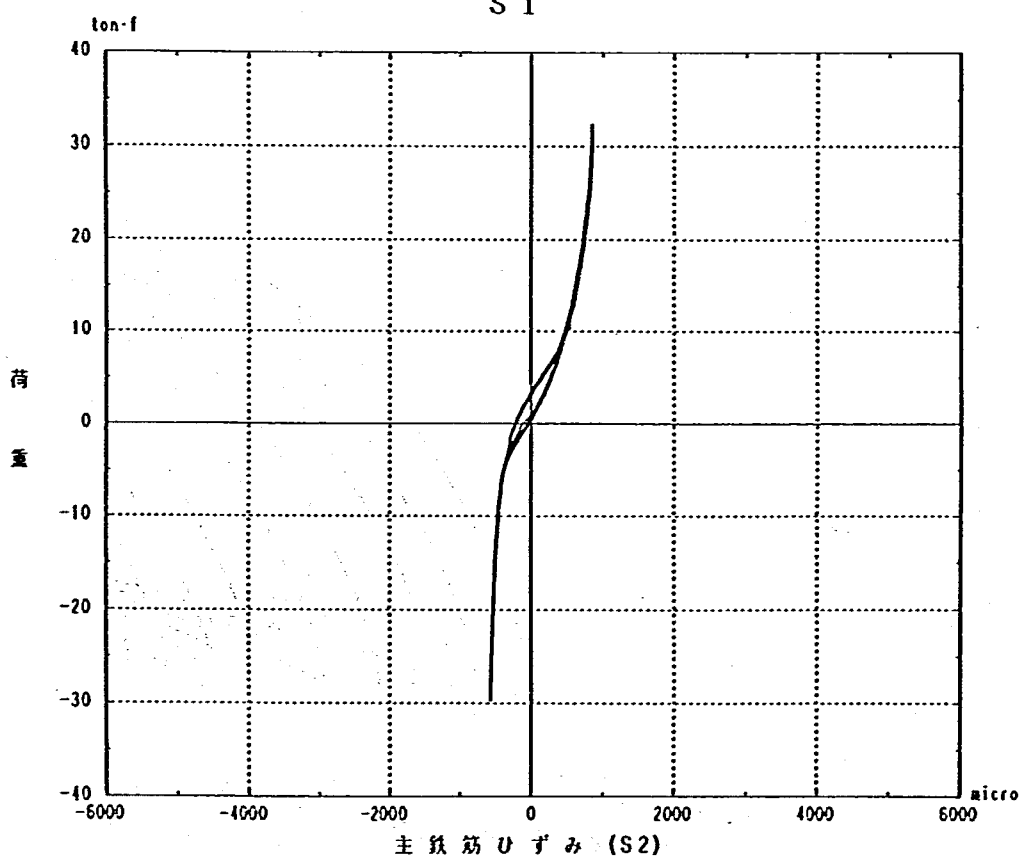


SD 2

荷重-伸び出し変位曲線 ($7\delta y$: 最大耐力低下開始時)

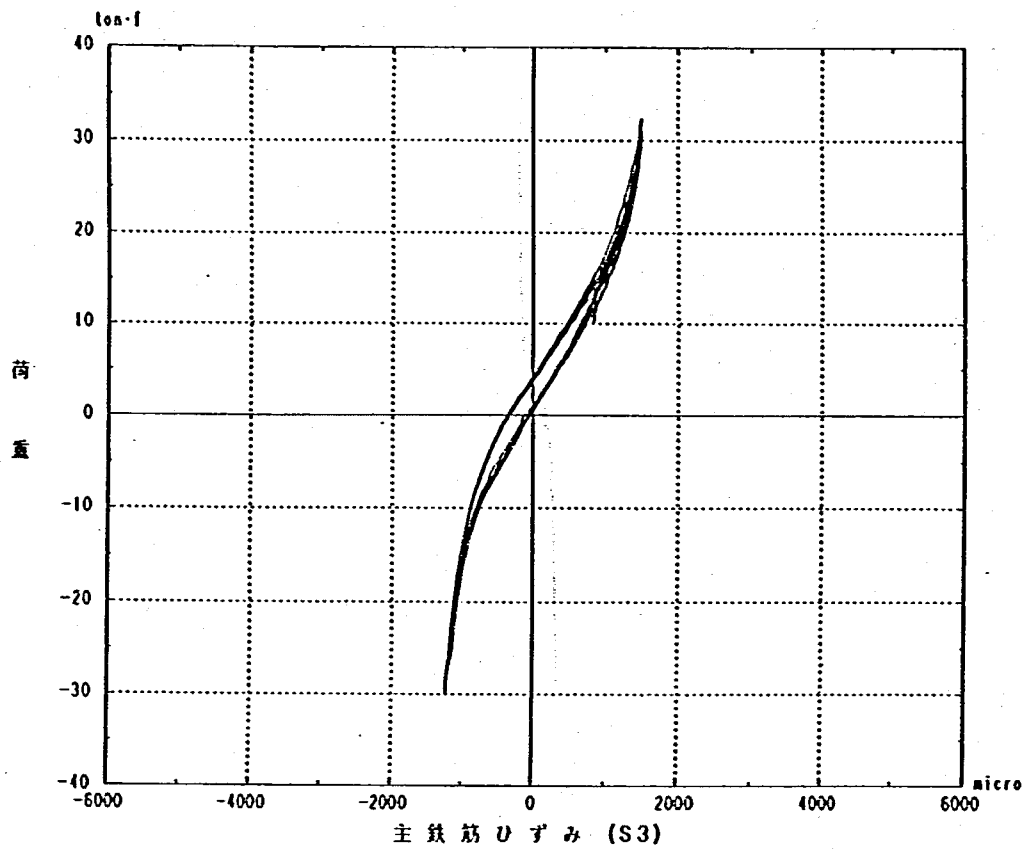


S 1

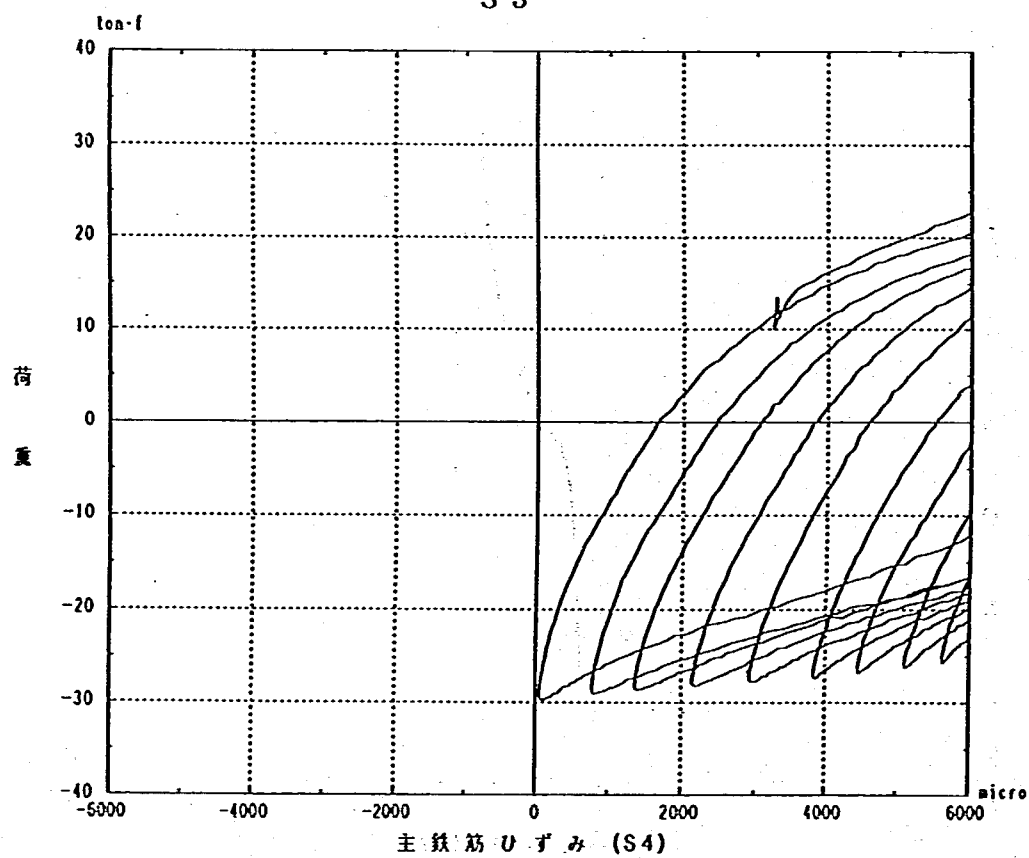


S 2

荷重-主鉄筋ひずみ曲線 ($7 \delta y$: 最大耐力低下開始時)

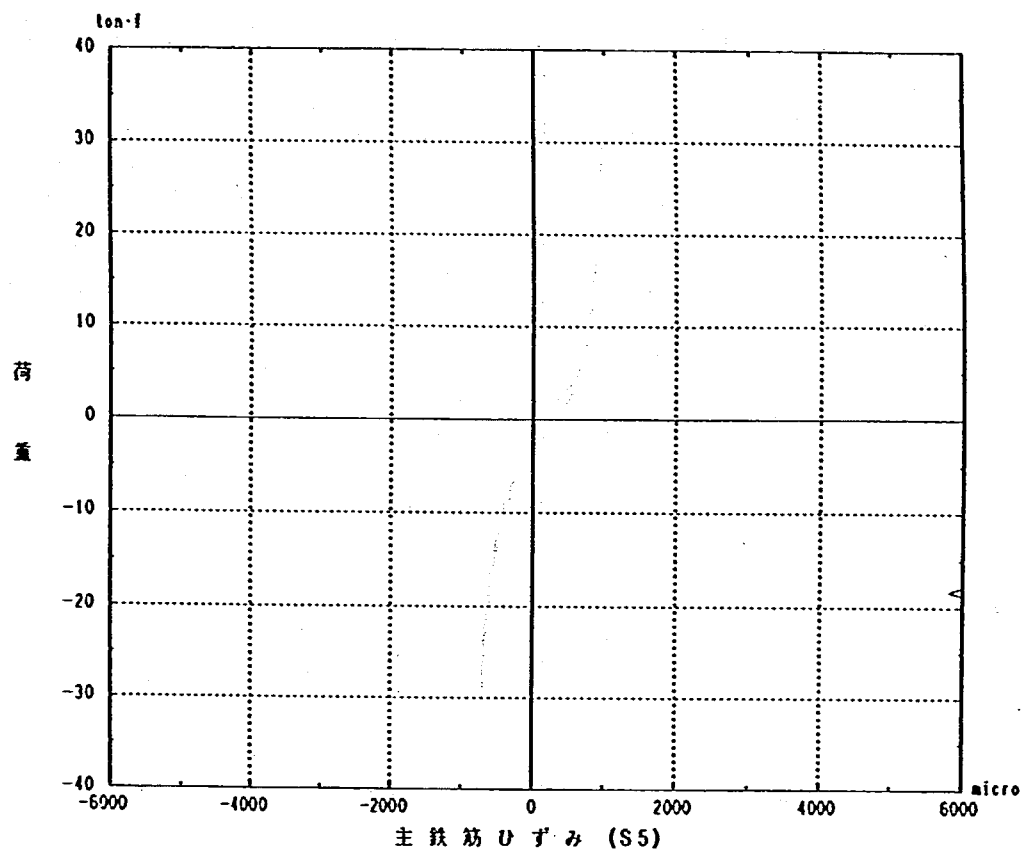


S 3

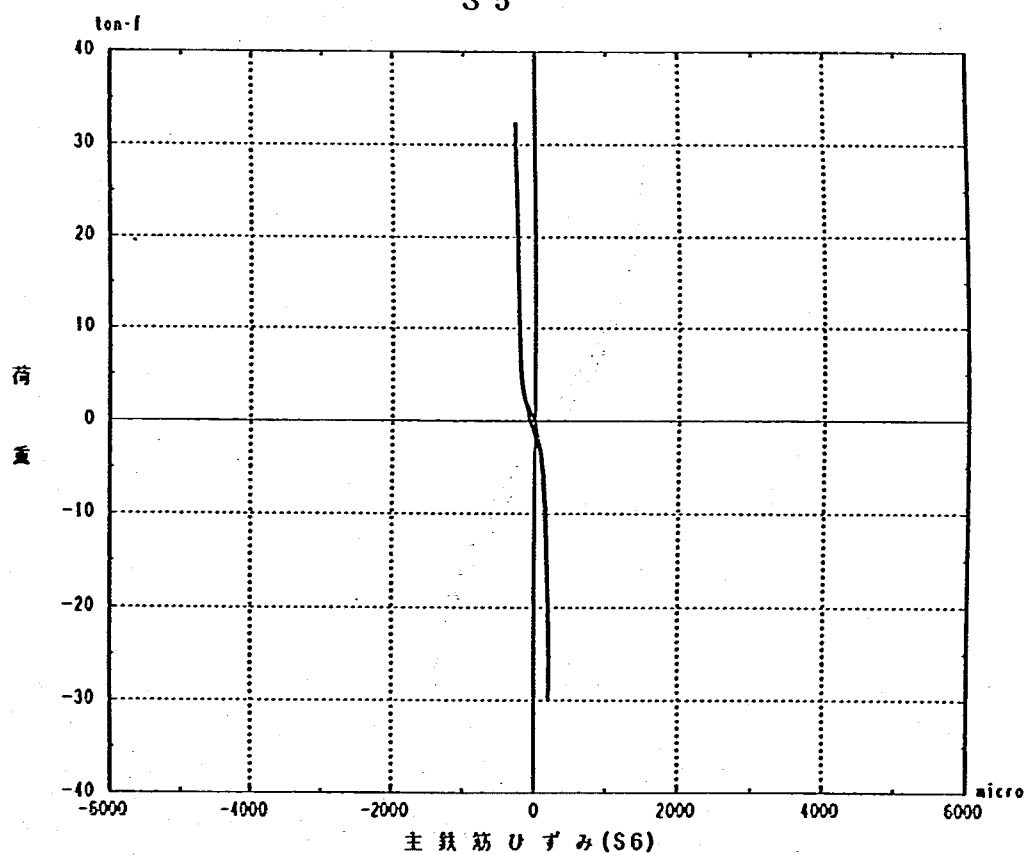


S 4

荷重-主鉄筋ひずみ曲線 ($7\delta y$: 最大耐力低下開始時)

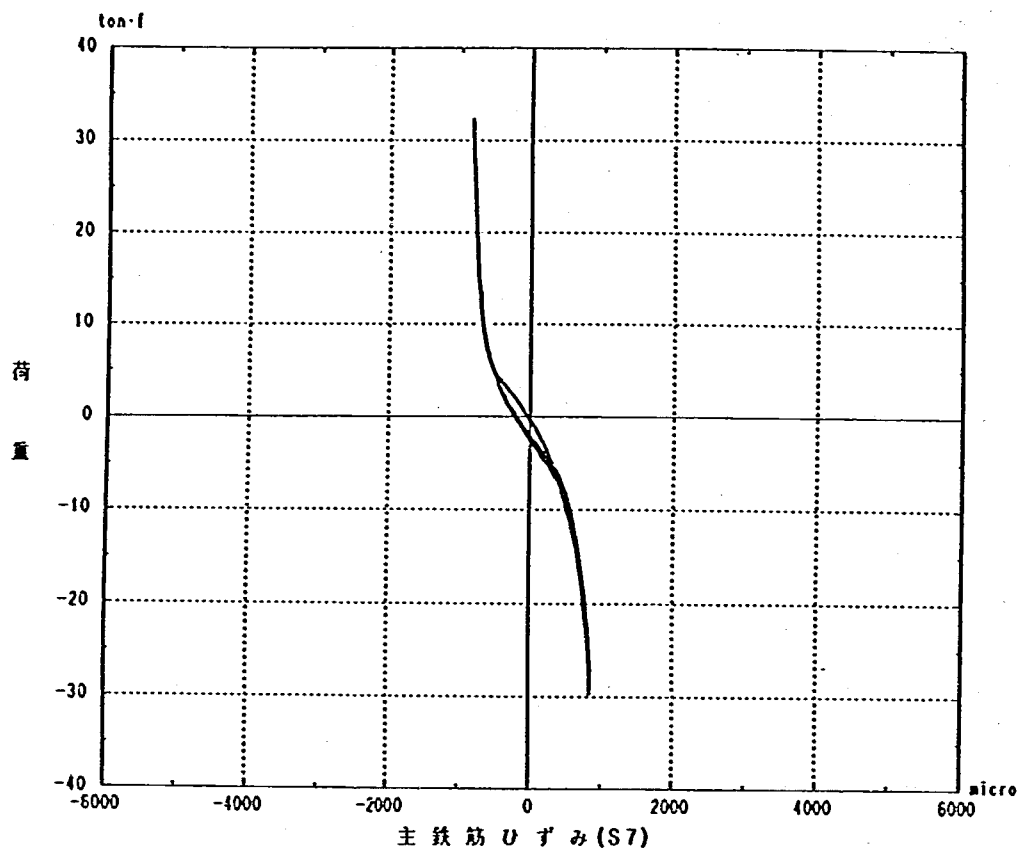


S 5

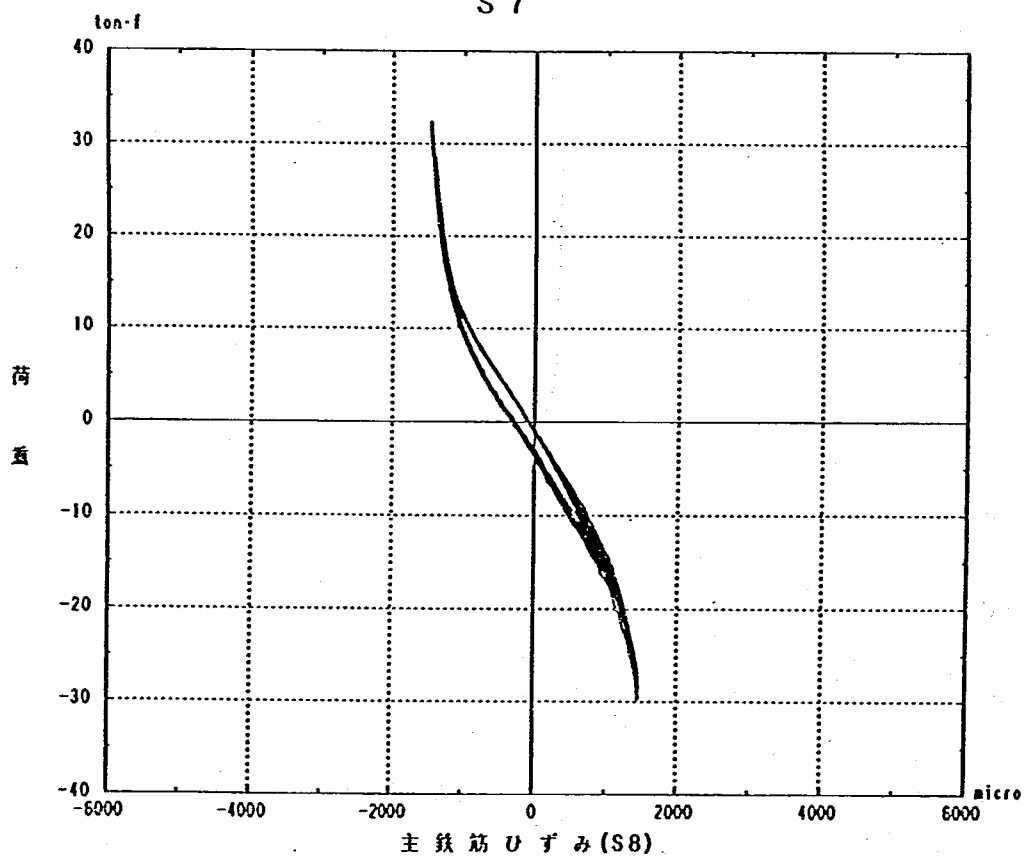


S 6

荷重-主鉄筋ひずみ曲線 (7 δy : 最大耐力低下開始時)

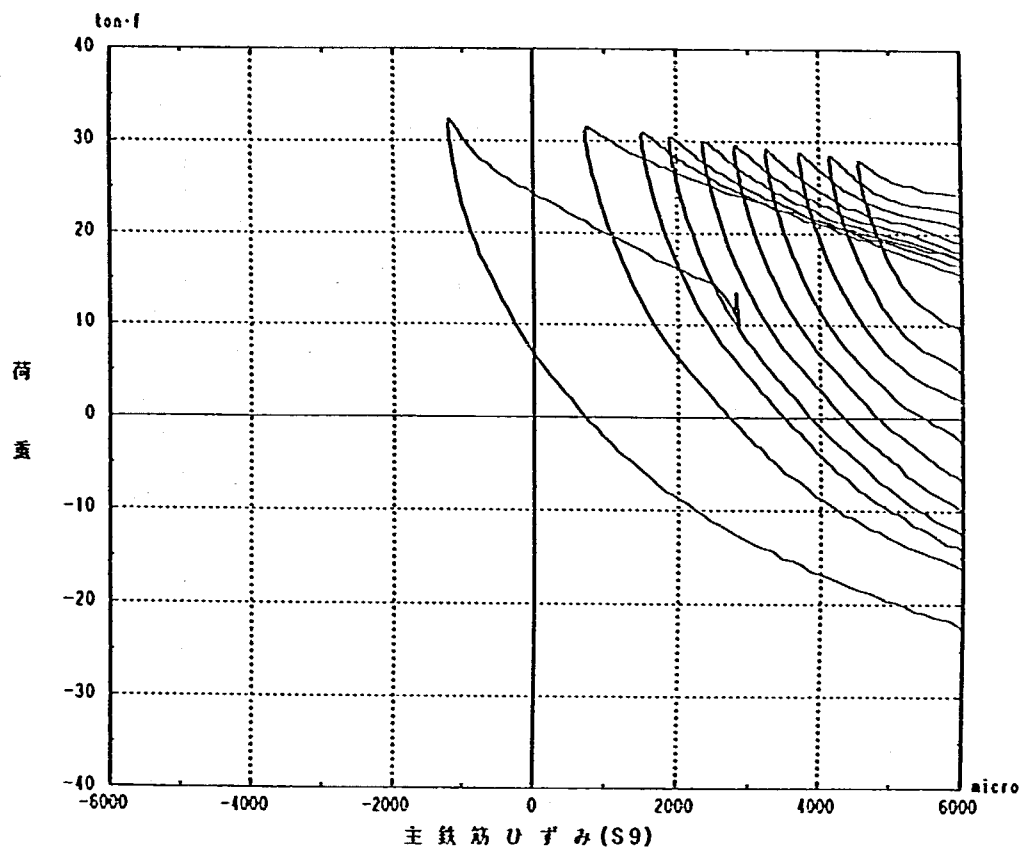


S 7

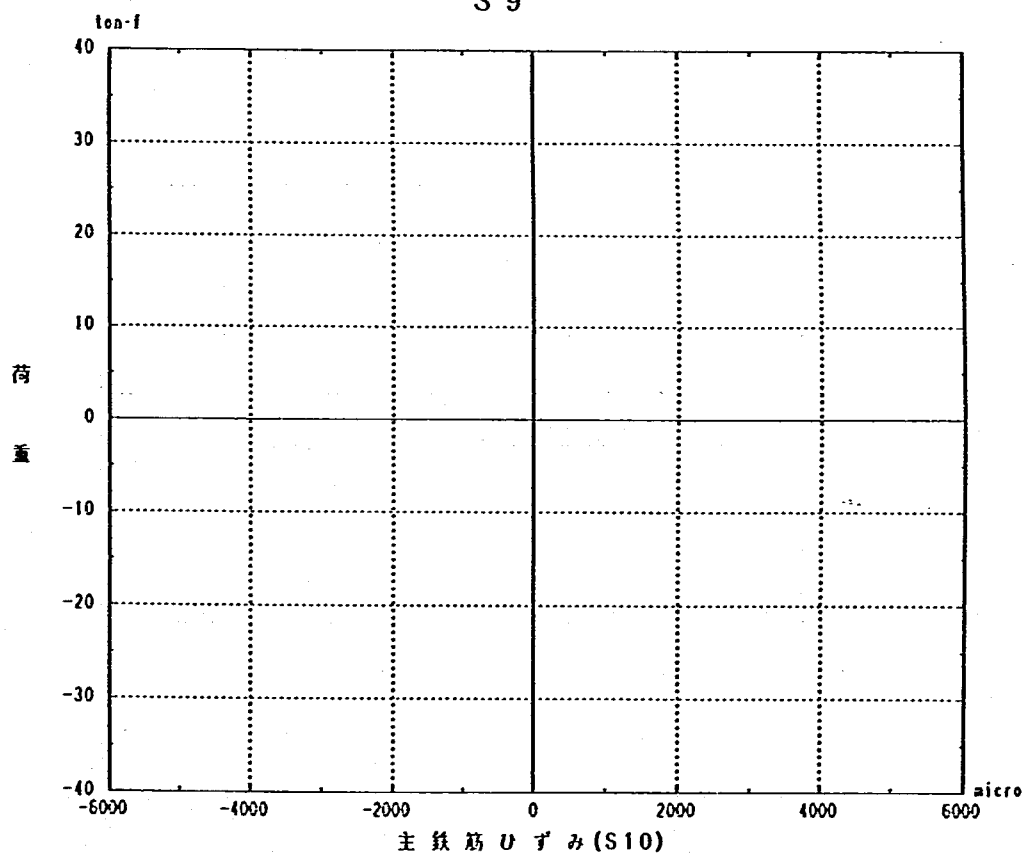


S 8

荷重-主鉄筋ひずみ曲線 ($7\delta y$: 最大耐力低下開始時)

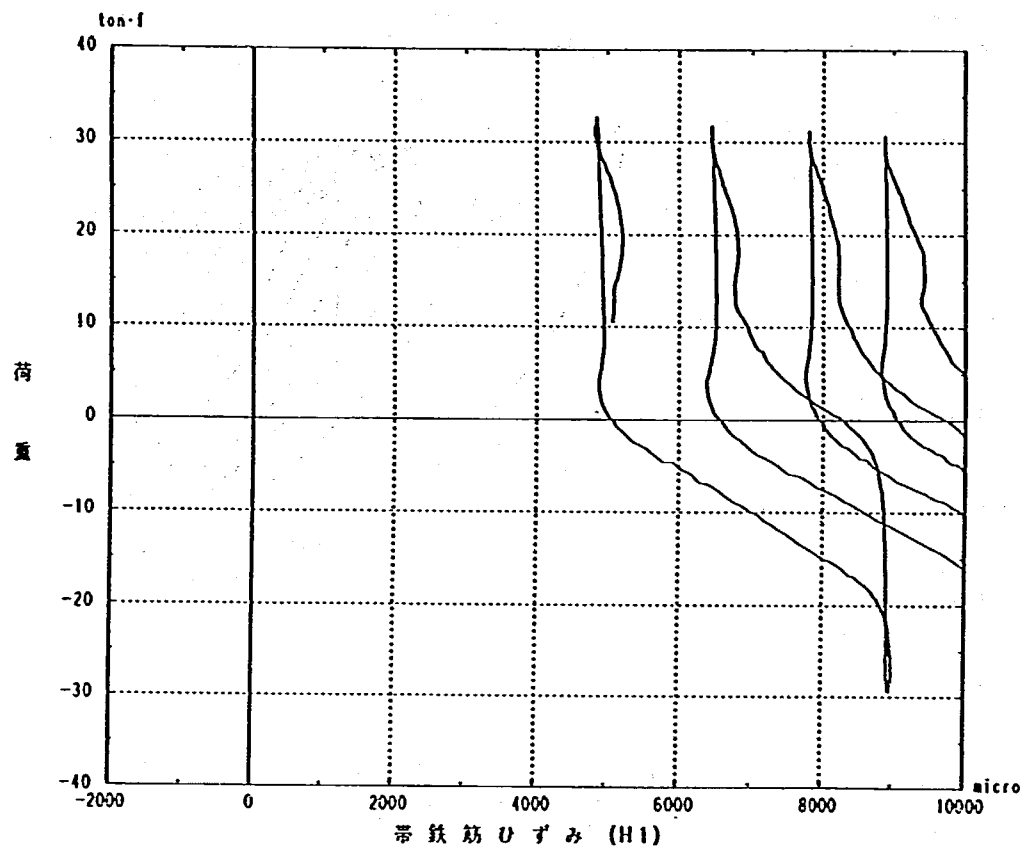


S 9

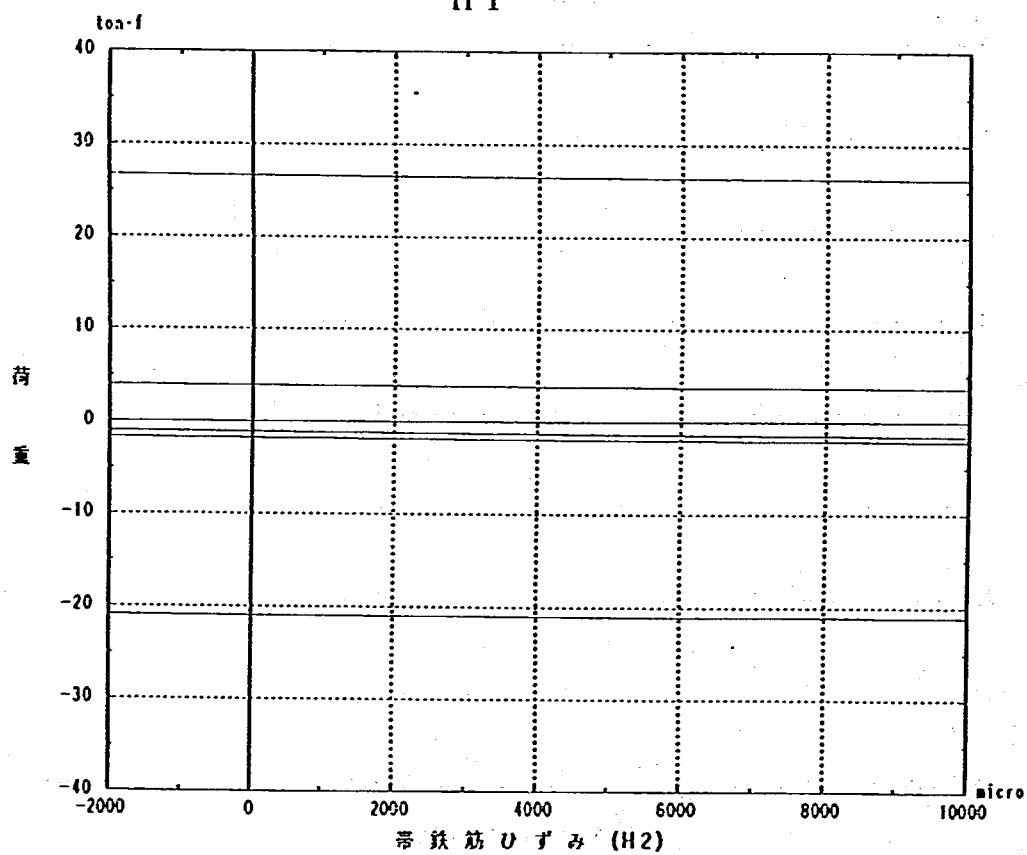


S 1 0

荷重-主鉄筋ひずみ曲線 (7 δy : 最大耐力低下開始時)

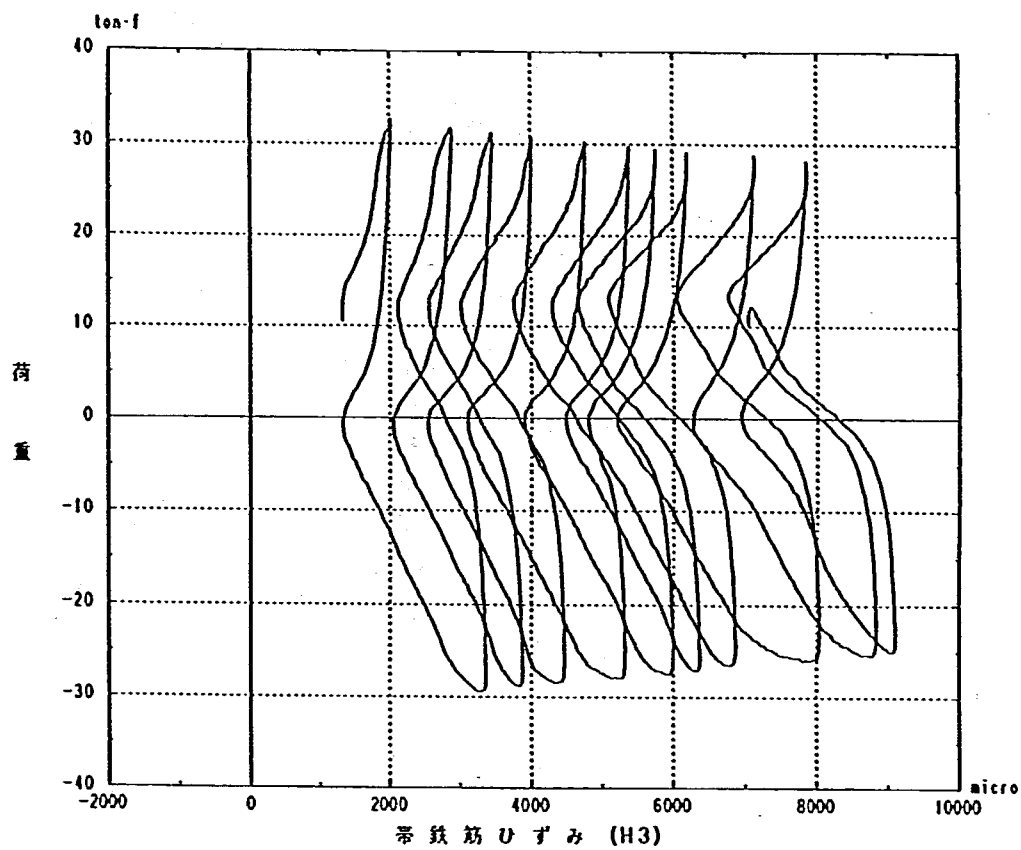


H 1

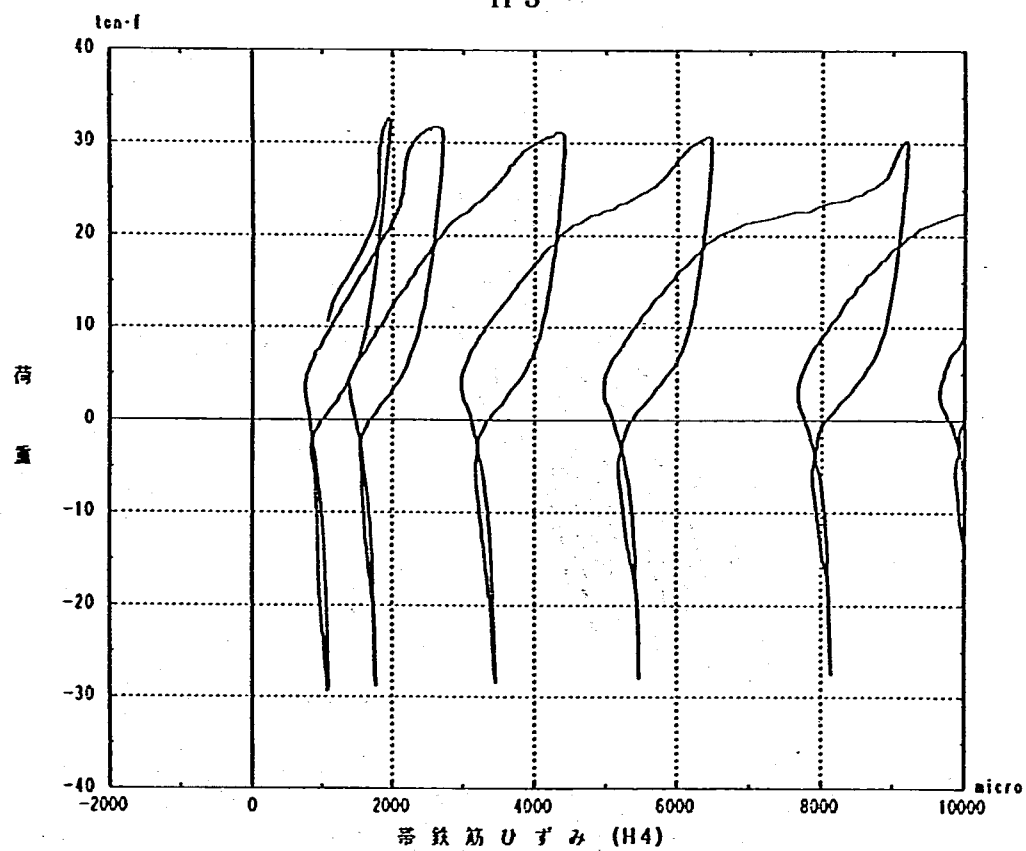


H 2

荷重－帯鉄筋ひずみ曲線 (7 δy : 最大耐力低下開始時)

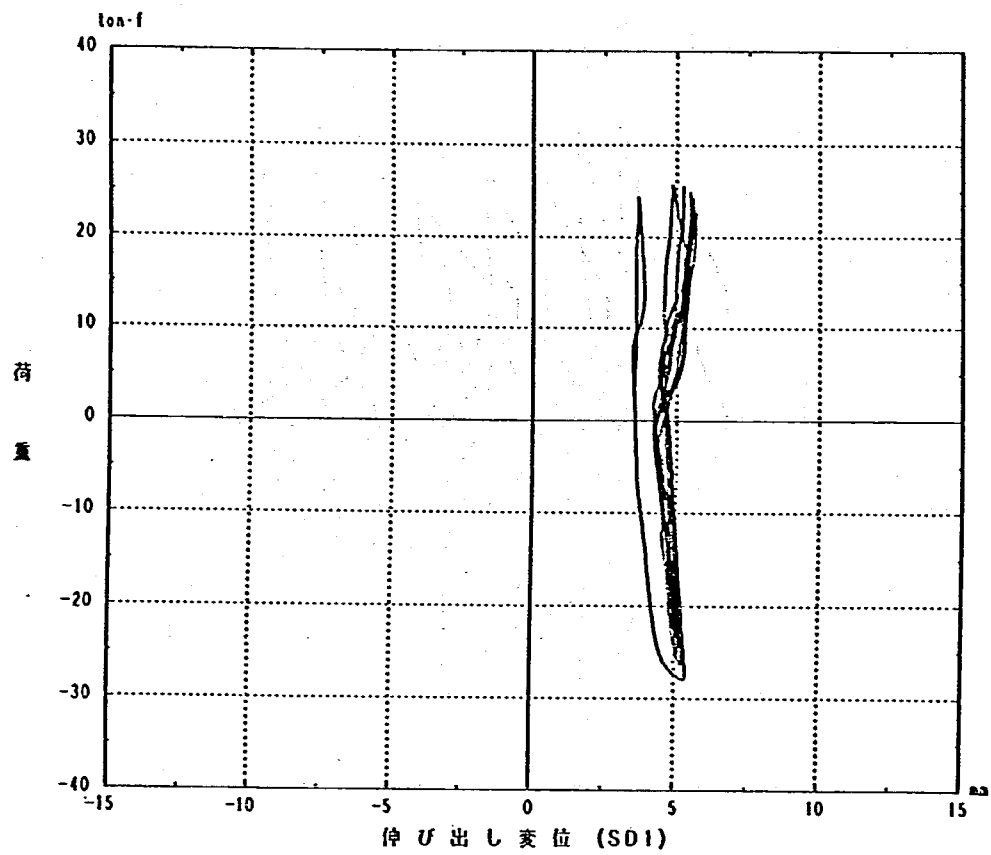


H 3

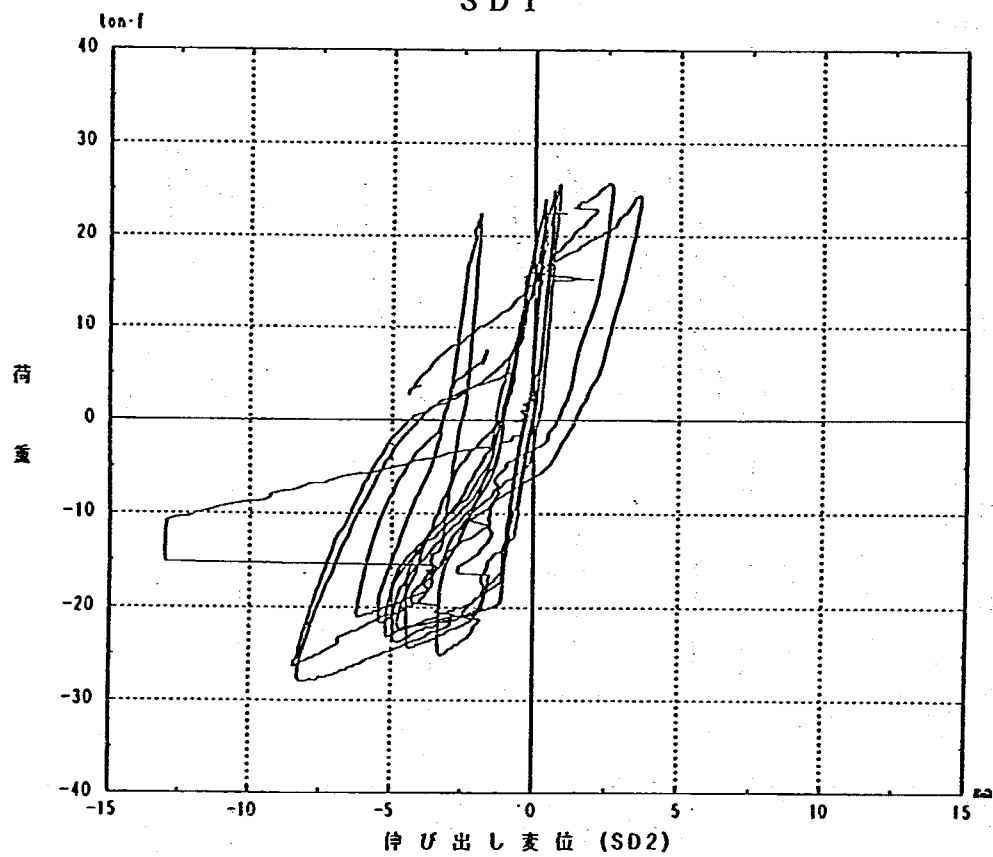


H 4

荷重－帯鉄筋ひずみ曲線 ($7\delta y$: 最大耐力低下開始時)

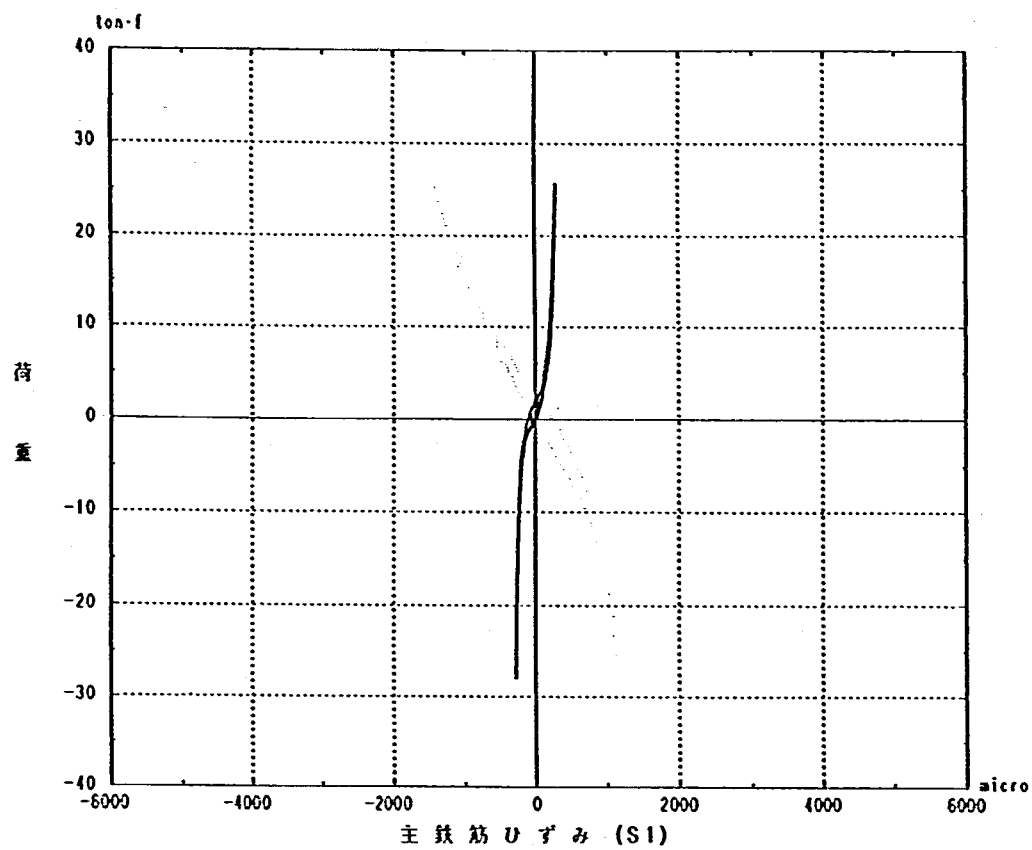


SD 1

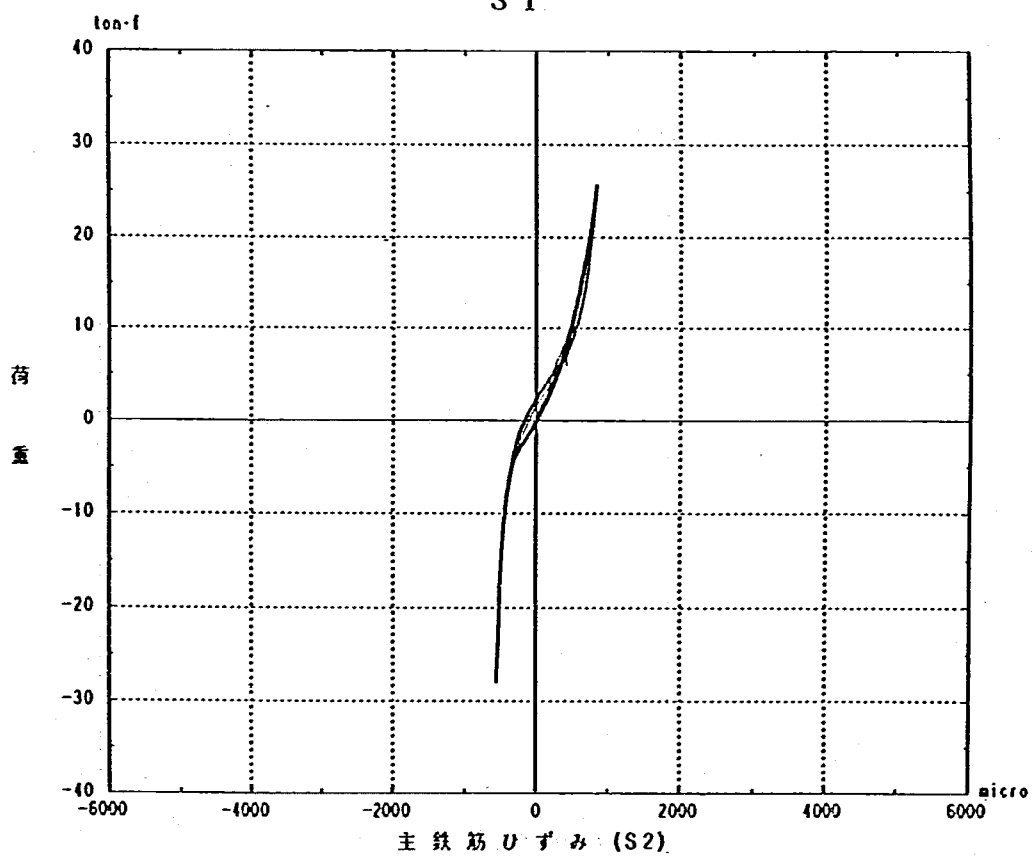


SD 2

荷重-伸び出し変位曲線 ($8\delta y$: 終局時)

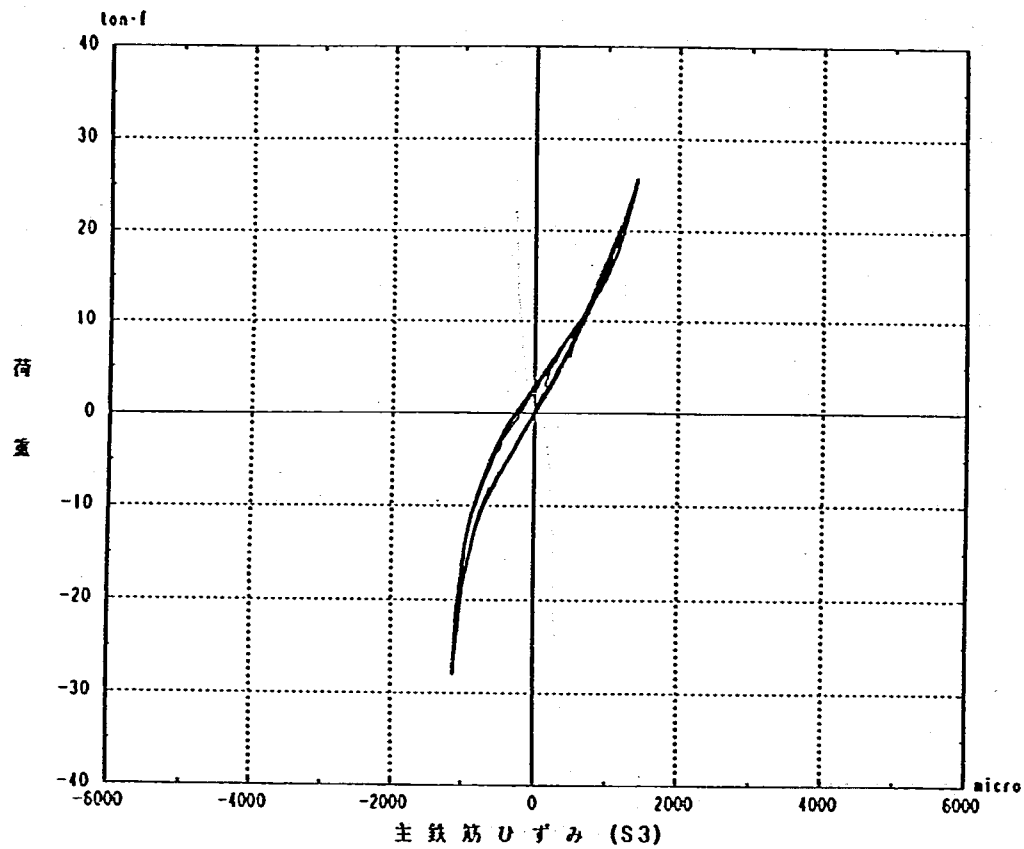


S 1

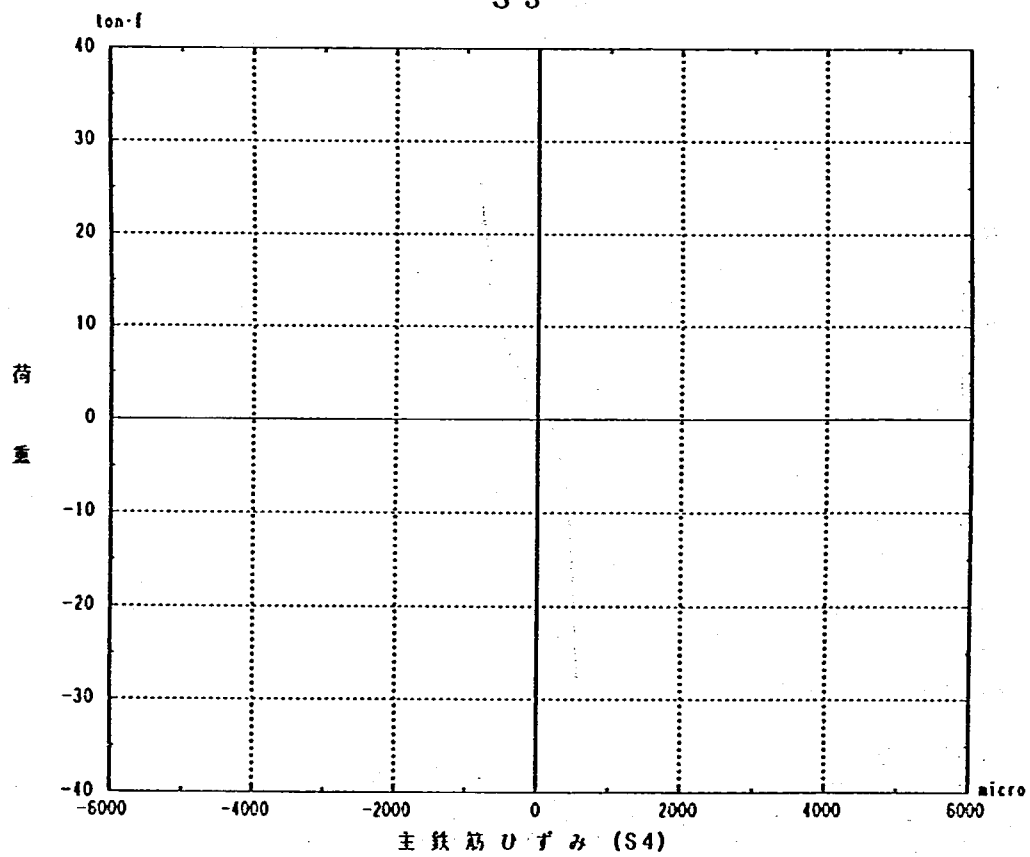


S 2

荷重-主鉄筋ひずみ曲線 ($8\delta y$: 終局時)

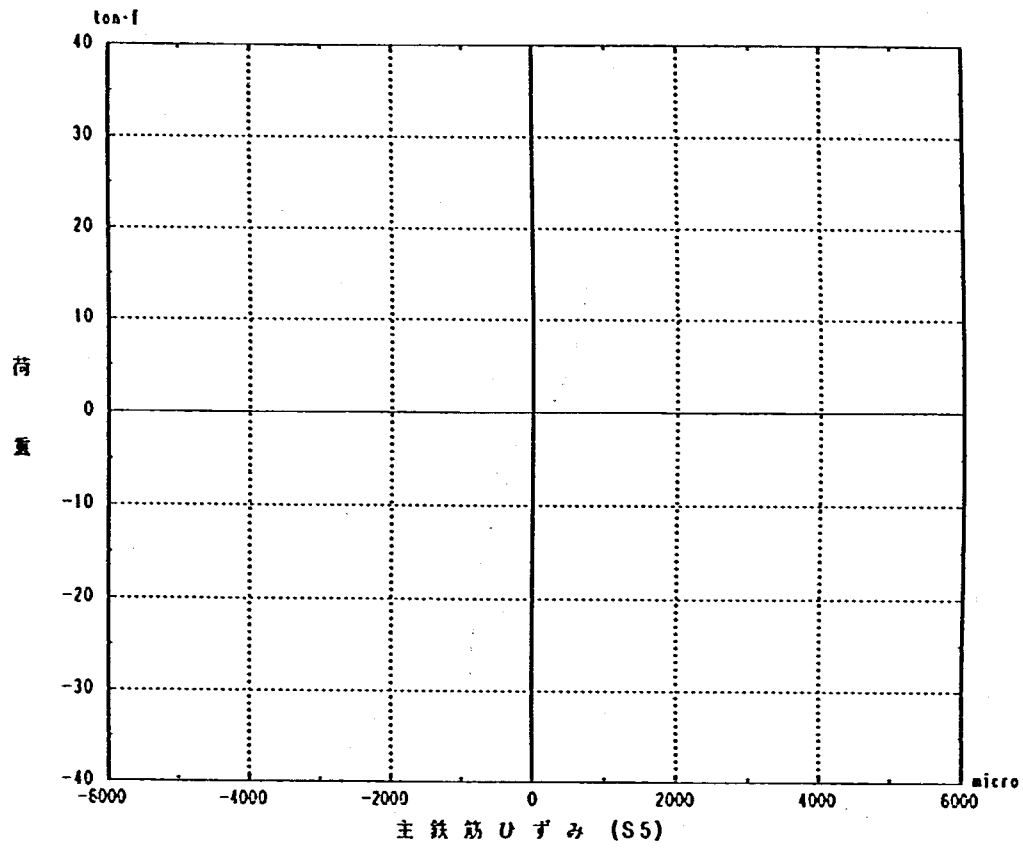


S 3

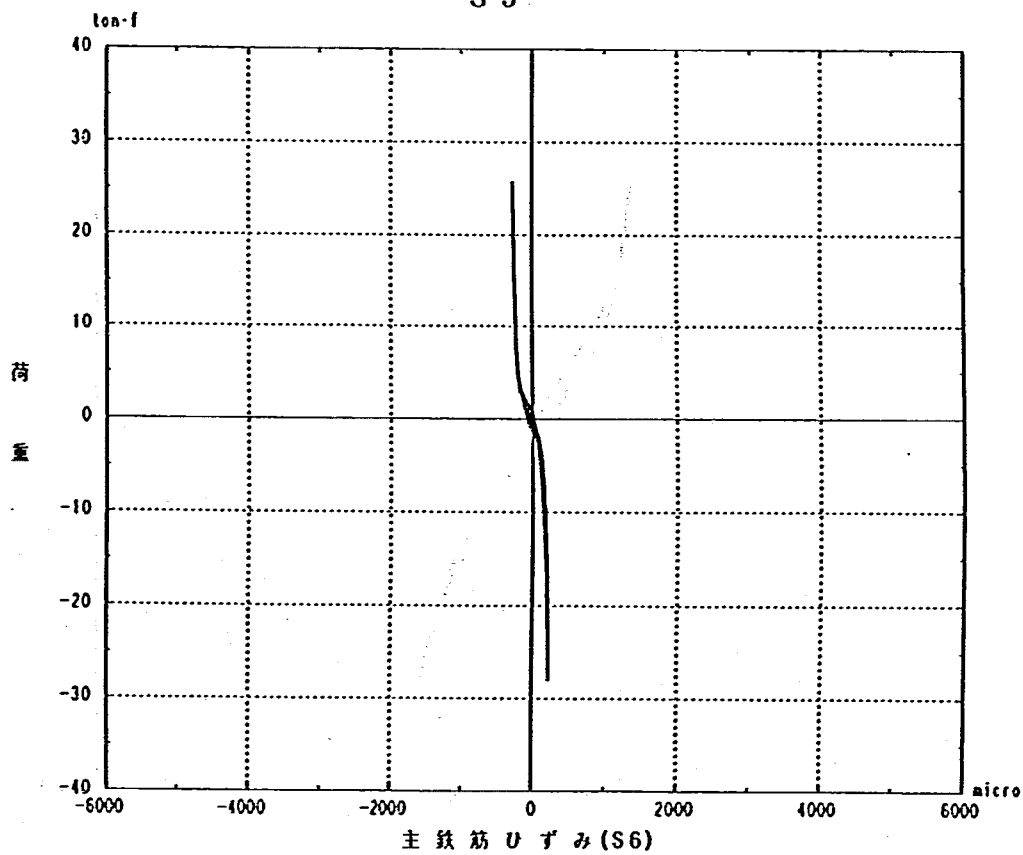


S 4

荷重－主鉄筋ひずみ曲線 (8 δ y : 終局時)

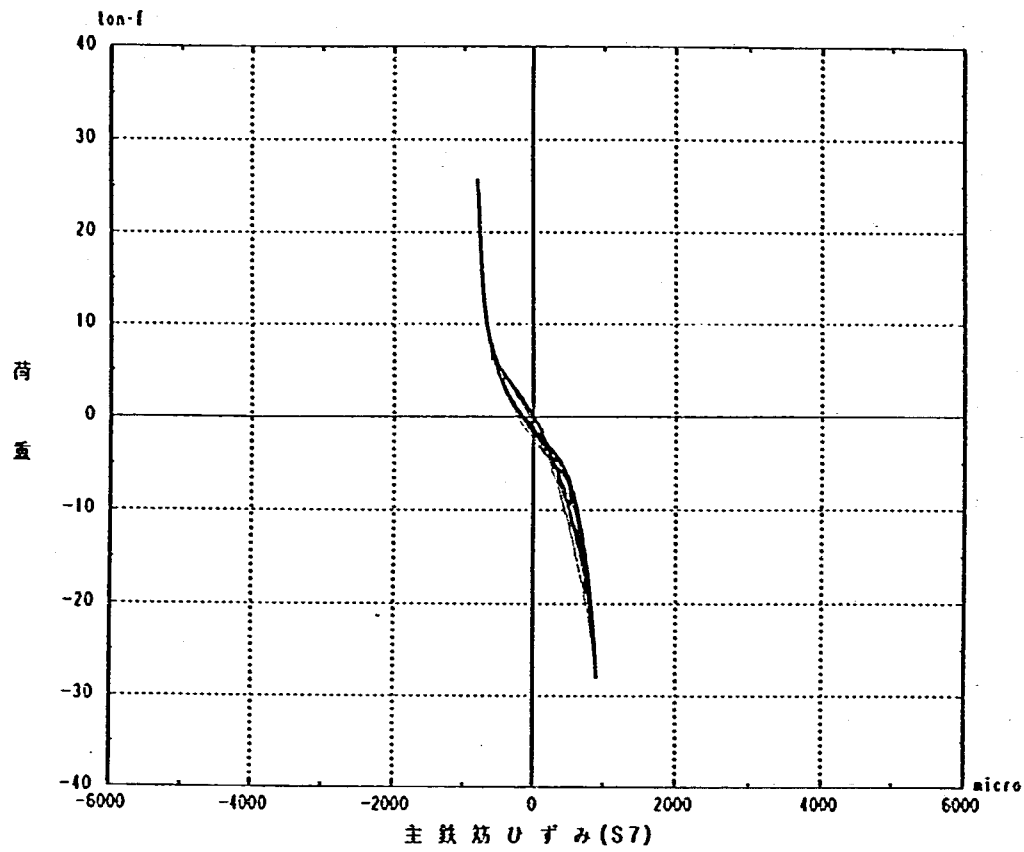


S 5

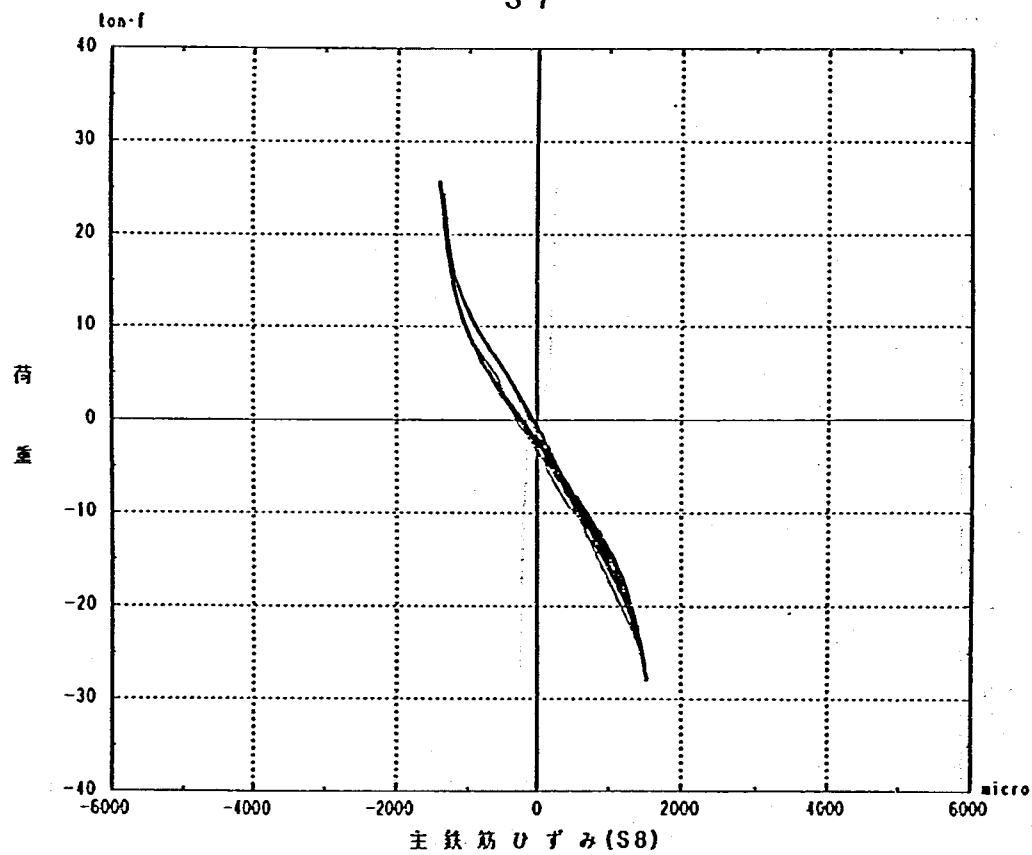


S 6

荷重 - 主鉄筋ひずみ曲線 (8 δ y : 終局時)

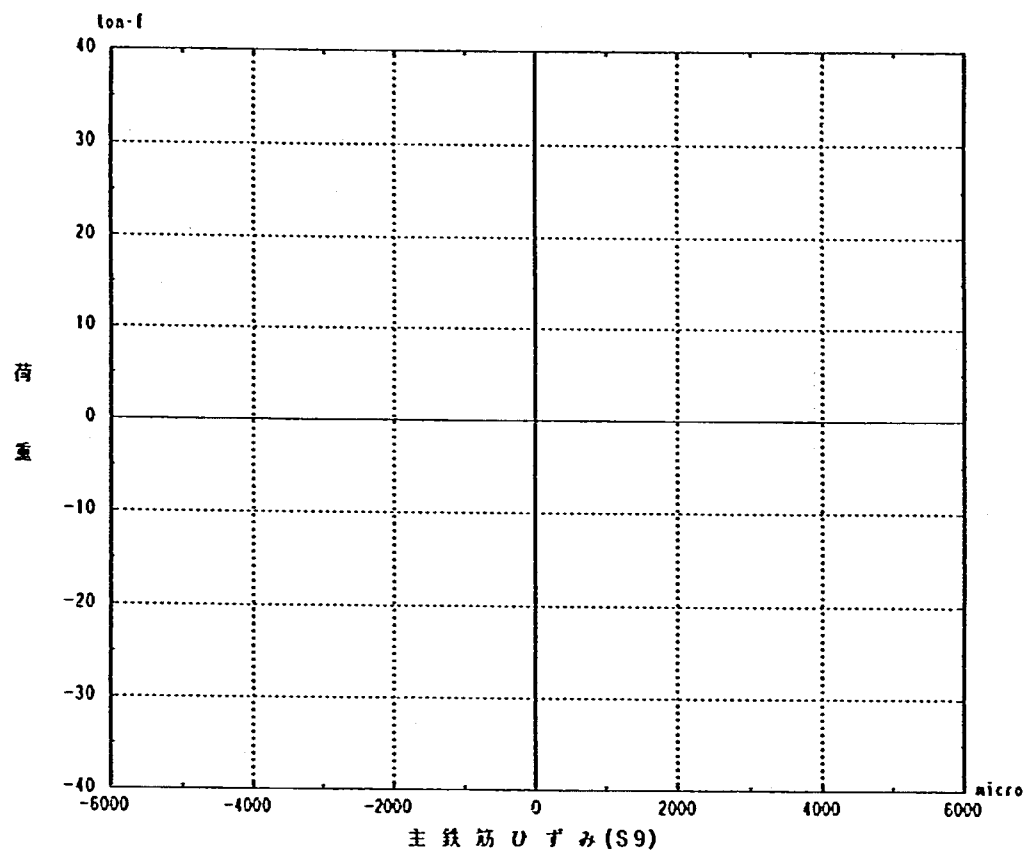


S 7

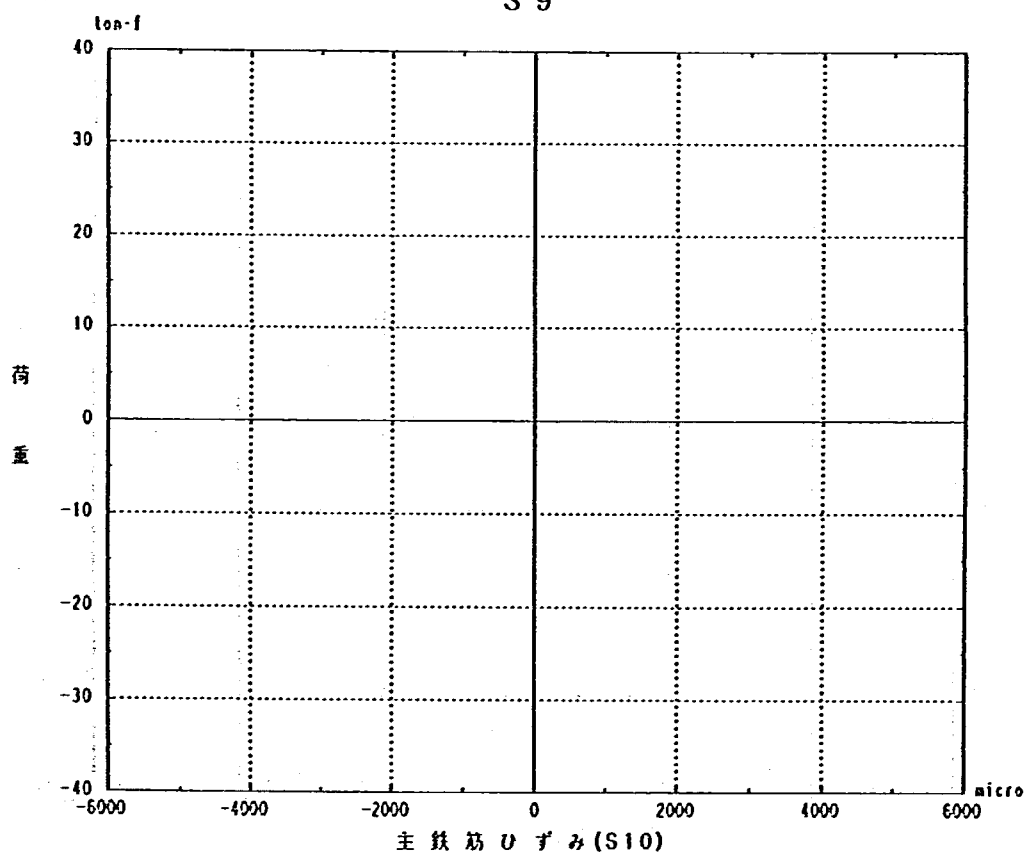


S 8

荷重 - 主鉄筋ひずみ曲線 (8 δ y : 終局時)

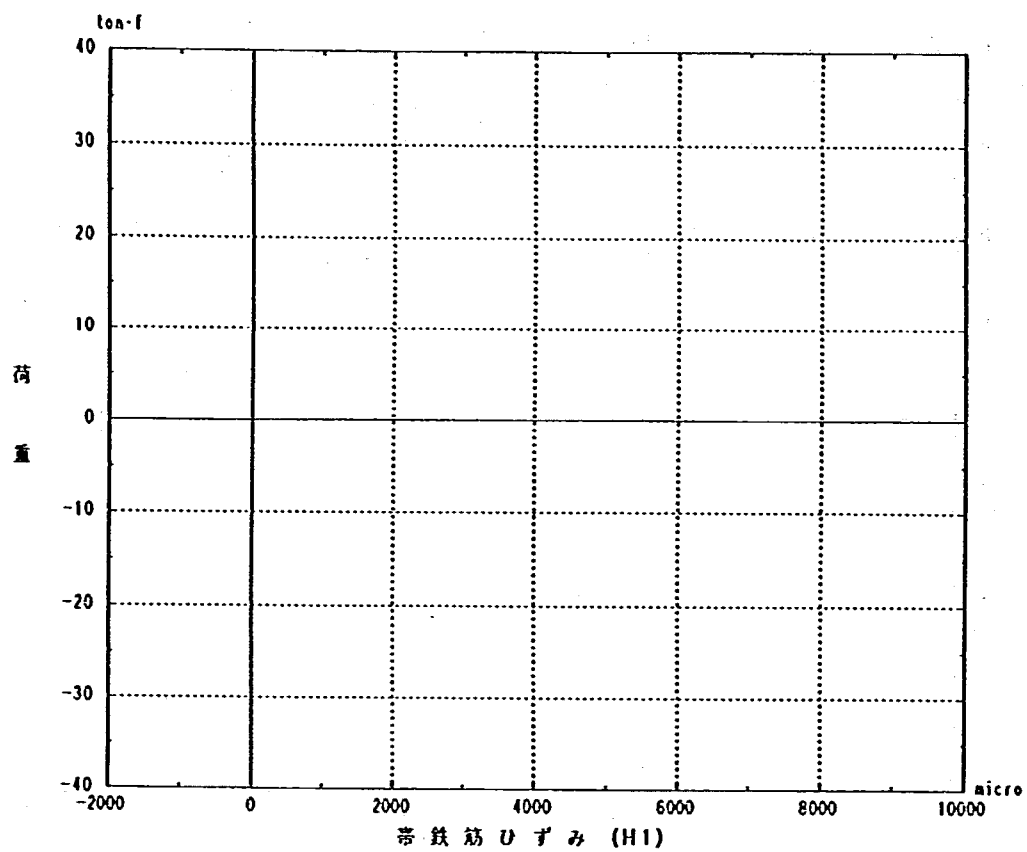


S 9

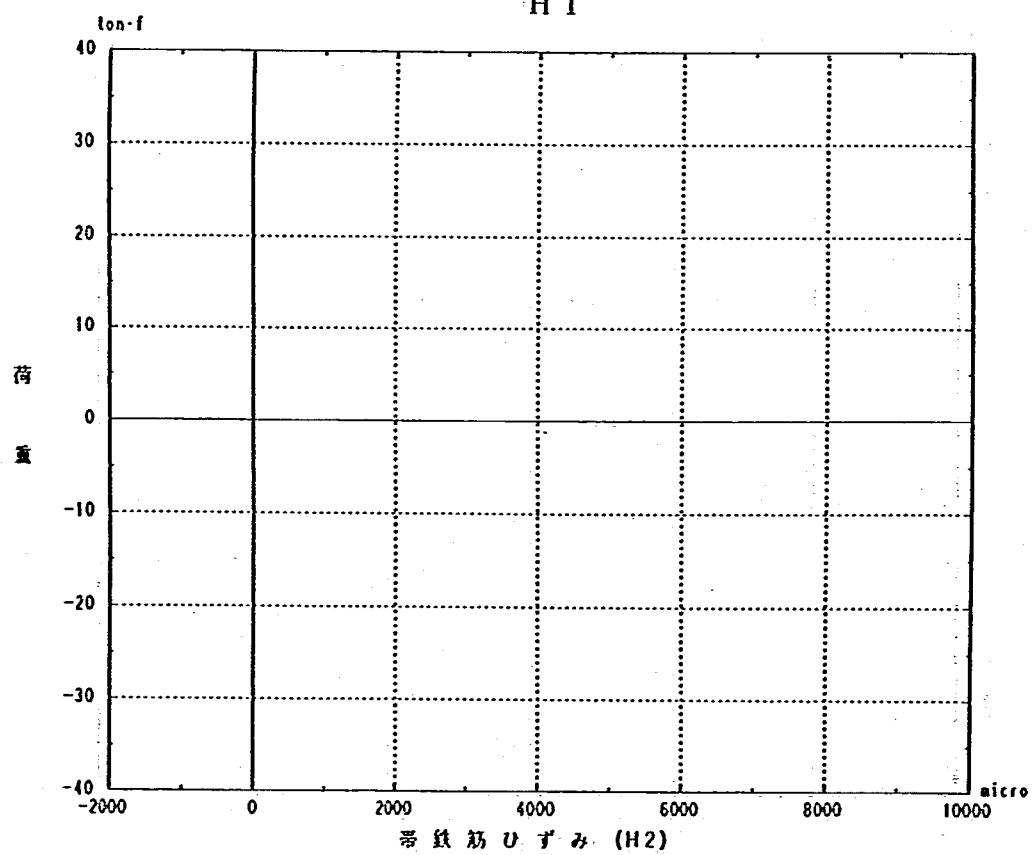


S 1 0

荷重-主鉄筋ひずみ曲線 (8 δy : 終局時)

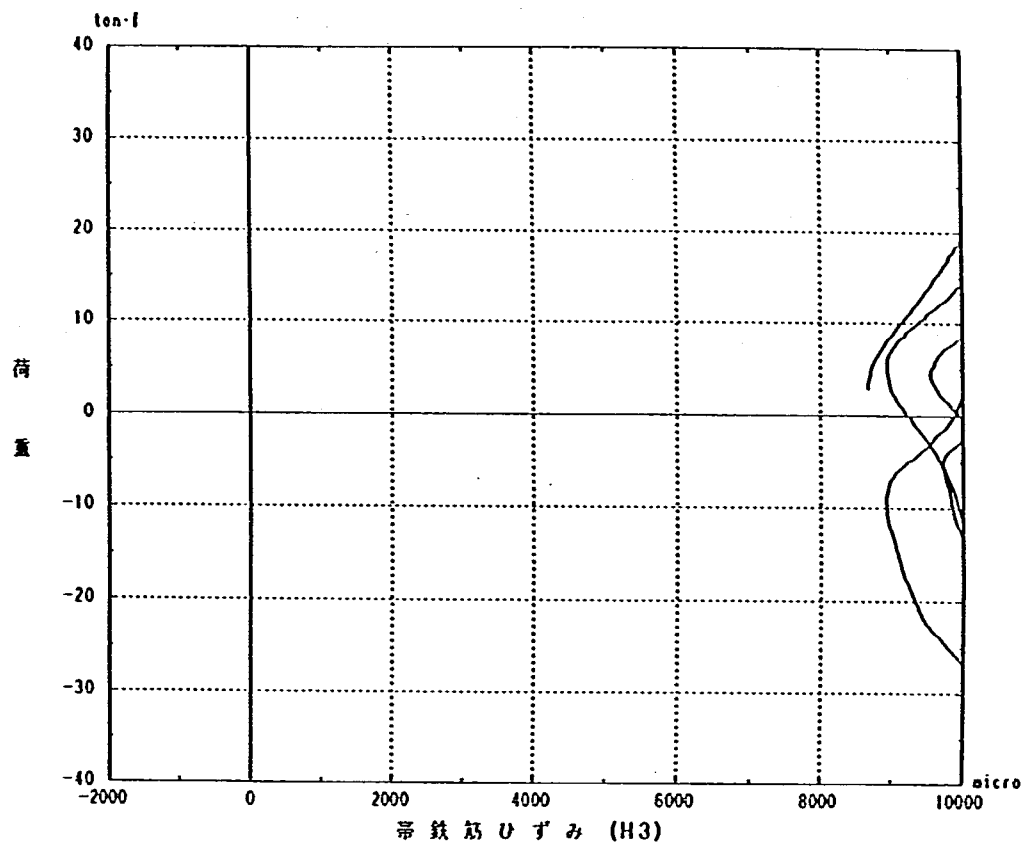


H 1

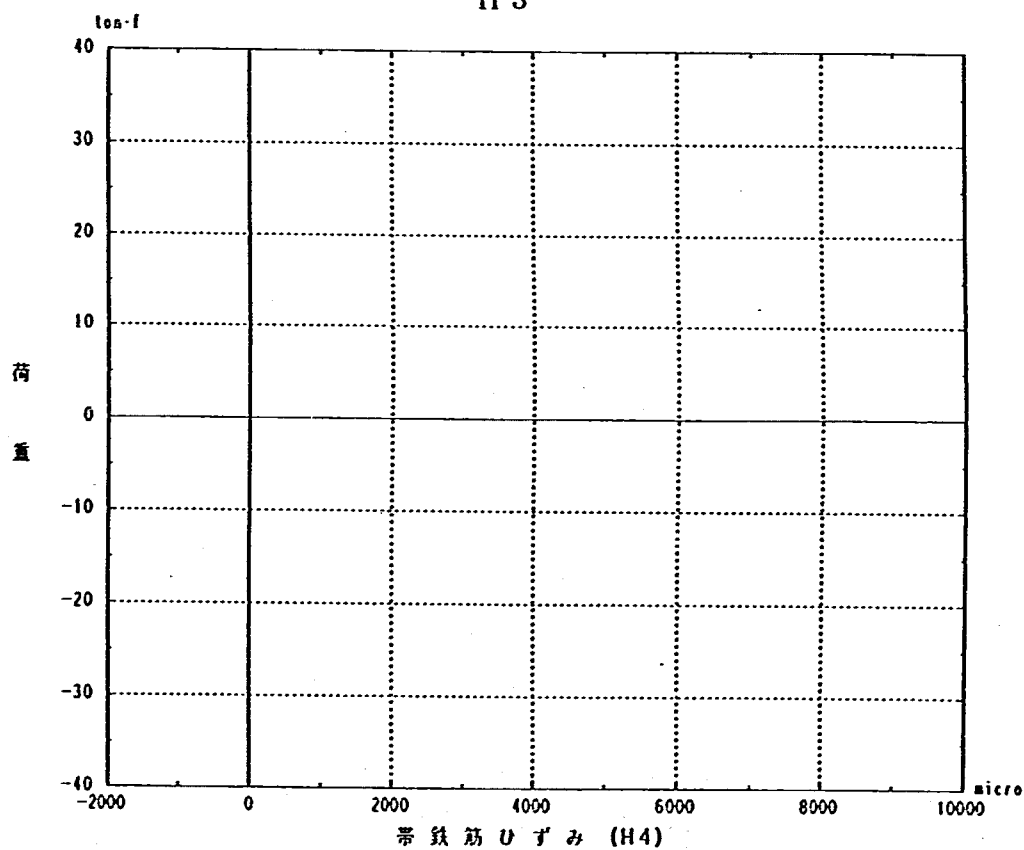


H 2

荷重—帯鉄筋ひずみ曲線 (8 δ y : 終局時)



H 3



H 4

荷重-帯鉄筋ひずみ曲線 ($8\delta y$:終局時)