

高強度コンクリート部材の設計法 に関する共同研究報告書

—高強度コンクリートPCはり部材の
曲げせん断強度に関する調査—

平成7年3月

建設省土木研究所
材料施工部コンクリート研究室
(社)プレストレスト・コンクリート建設業協会

Copyright © (1995) 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 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。

高強度コンクリート部材の設計法に関する 共同研究報告書

—高強度コンクリートPCはり部材の曲げせん断強度 に関する調査—

コンクリート研究室 室長 河野 広隆
主任研究員 渡辺 博志
(社)プレストレスト・コンクリート

建設業協会 宮地 清
中 條 友義
深山 清六
野村 貞広
岩本 久信
長井 健雄
藤田 学
手塚 正道
府内 洋一
田中 政章

要旨

設計基準強度400～800kgf/cm²の高強度コンクリートを用いたせん断補強鉄筋の無いプレテンション方式PCはり部材のせん断耐力について、載荷実験をまじえた検討を行った。調査の対象とした影響因子は、従来より提案されている多くのせん断耐力の算定式を参考にコンクリート強度、プレストレス量、部材有効高、せん断スパン比等を選定した。これらの実験結果をもとにそれぞれの影響因子のせん断耐力への効果及び相互効果について検討し、せん断ひび割れ強度に及ぼすプレストレスの影響の適切な評価を行った。

キーワード：高強度コンクリート、プレストレストコンクリート、せん断

目 次

第1章	まえがき	1
第2章	研究の概要	2
第3章	せん断補強鉄筋の無いプレストレストコンクリートはりのせん断強度	3
3. 1	研究目的	3
3. 2	供試体の概要	3
3. 3	使用材料	9
3. 3. 1	コンクリート示方配合	9
3. 3. 2	使用材料試験結果	10
3. 4	実験方法	13
3. 5	実験結果	18
3. 5. 1	材料試験結果	18
3. 5. 2	せん断載荷試験結果	21
3. 6	せん断ひび割れ強度に及ぼす各種要因	24
3. 6. 1	コンクリート強度	24
3. 6. 2	せん断スパン比	26
3. 6. 3	プレストレス量	28
3. 6. 4	寸法効果	31
3. 7	まとめ	34
第4章	プレストレス力のせん断ひび割れ発生強度に及ぼす影響について	35
4. 1	概要	35
4. 2	既存の研究	35
4. 3	実験結果に基づくプレストレスの効果に関する考察	37
4. 3. 1	decompression momentと曲げせん断ひび割れ荷重の関係	37
4. 3. 2	initiating crackの発生状況から考えたプレストレスの効果	39
4. 4	プレストレストコンクリートはり供試体に生じていたひずみ及び応力の分布状況	44
4. 4. 1	概要	44
4. 4. 2	軸ひずみ測定結果から得られる曲げモーメントー曲率の関係	44
4. 4. 3	せん断応力の実測結果	48
4. 4. 4	プレストレスによるせん断ひび割れ発生荷重の定量的評価について	56
第5章	既存の設計基準と実験結果の比較	60
5. 1	概要	60
5. 2	各設計基準で規定されたコンクリートの負担する平均せん断応力度	60
5. 3	コンクリートに導入されているプレストレスの影響について	62
5. 4	まとめ	65
第6章	結論	66
参考文献		68

第1章 まえがき

高強度コンクリートは高性能AE減水剤等の開発とともにその強度範囲も大きく広がり、性能や品質も年々進歩してきた。このような高強度コンクリートを実構造物に応用することができれば、部材断面の縮小が可能となり、構造物の死荷重の減少によるスパンの長大化、あるいはプレキャスト部材についていえば、部材の軽量化による運搬効率の向上、施工の省力化が可能となる。このため高強度コンクリートの土木構造物への積極的な利用が望まれるところである。ところが、土木構造物にこれまで利用されてきたコンクリートは、一部の工場製品を除き強度の上限が設計基準強度で 500kgf/cm^2 に限定されており、高強度コンクリートが一般部材に積極的に利用されているとはいえない状況にある。

圧縮強度が 500kgf/cm^2 を越える高強度コンクリートは、 500kgf/cm^2 以下の一般のコンクリートに比べ、

- 1) 圧縮応力が作用した場合に応力がピークに達した後に急激に破壊するといったぜい性的な性質が強い。
- 2) 圧縮強度の増進の割には引張強度の伸びが少ない。

などの特長がある。高強度コンクリートをプレストレストはり部材に応用すれば、導入するプレストレス量を増加させることにより、コンクリートの引張強度が増加していなくても曲げひび割れ荷重を増やすことができるので曲げひび割れの面からは、2)の欠点を十分補うことが出来る。一方、高強度コンクリートの利用により部材断面の縮小を図った場合、断面に作用するせん断応力が大きくなるため、せん断破壊に対する検討が重要となる。せん断ひび割れ強度は主としてコンクリートの引張強度に支配されると考えられるので、引張強度の伸びが小さい高強度コンクリートにおいては、一層慎重な検討を要する。

ここでは、高強度コンクリートPC部材のせん断ひび割れに対する実用的設計法を確立する上での基礎資料を得るため載荷実験を実施し、せん断ひび割れ強度に及ぼす各種要因について検討を行った。検討の中心としたのは、部材の寸法効果、コンクリート強度の及ぼす影響、プレストレス量の及ぼす影響である。特に部材に導入されるプレストレス量に対するせん断ひび割れ強度の増加について定量的な検討を実施した。プレストレス量を増加させることにより部材のせん断ひび割れ強度が上昇することを実証できれば、高強度コンクリートの引張強度の伸びが少ないといった欠点が実質上ほとんど問題とならなくなるためである。

本報告書は、高強度コンクリートを用いたプレキャストPC部材のせん断載荷試験結果及び上記項目に対する検討結果をとりまとめたものである。

第2章 研究の概要

これまで鉄筋コンクリートはり部材・プレストレストコンクリートはり部材のせん断強度に関する研究が数多く行われ、各種設計基準類には、これらの研究成果を反映したせん断力に対する設計手法が定められている。

せん断荷重に対する照査は、曲げ荷重に対する照査とならび設計体系の根幹を成すものである。せん断荷重に対する照査方法は、一般的には、コンクリートで負担するせん断力と、スターラップ等によるせん断補強鉄筋で負担するせん断力に分離し、Morshによるトラス理論により算定される。ところが、コンクリートが負担するせん断力については、理論的な取り扱いが困難であり、載荷実験データを基に定められているのが現状である。

過去には、Kani¹⁾によりせん断補強筋を有しない鉄筋コンクリートはりのせん断載荷試験から、くしの歯理論が提案され、せん断破壊形態の明解なモデル化及びそのモデルに基づくせん断破壊強度の定量化が成された。くしの歯状のコンクリート部分を片持ばりと仮定して、この部分が曲げ破壊する時の荷重をもってせん断強度としているが、ひび割れ状況によりくしの歯部分の片持ばり強度が異なること、またその予測ができないことから必ずしも実用的なものではない。この他にもせん断モーメント理論等が開発されているが、十分確立されたものではないようである。

ここでは、高強度コンクリートを用いたPC部材のせん断耐力の設計計算法を明らかにすることを目的としている。せん断耐力の算定にあたって、せん断補強鉄筋の負担分はトラス理論に準じるとの前提に立ち、コンクリートの負担分を加えあわせることとしている。

このため、せん断ひび割れ時のコンクリートの負担するせん断力を求める必要がある。本研究ではせん断載荷試験を実施し、実験的にせん断ひび割れ強度を求めることとした。

第3章 せん断補強鉄筋の無いプレストレストコンクリートはり部材の せん断強度

3. 1 研究目的

せん断補強鉄筋を有しないコンクリート部材のせん断耐力は、コンクリート強度、鋼材量、寸法効果等多くの要因に依存して変化することは周知のことであるが、この多種の要因を全て考慮できる理論的なせん断耐力式は少ない。土木学会「コンクリート標準示方書」²⁾に提案されているせん断耐力式は、せん断載荷試験結果を広範に収集し、統計的な処理を施して得られた回帰式を基礎としたものであり、耐力式の適応範囲は広く比較的良好な精度でせん断耐力の推定が可能である。ところが、収集されたせん断載荷試験結果には、設計基準強度 500kgf/cm^2 を越える高強度コンクリートを使用した部材のデータ数が必ずしも十分でないため、高強度コンクリート部材へ土木学会式が適応できるかどうか必ずしも明確ではない。

高強度コンクリートは従来の強度のコンクリートと比較して、ぜい度係数（引張強度に対する圧縮強度の比）が大きいという性質があり、引張強度の増加はあまり期待できない。せん断力による斜引張破壊を生じるような部材のせん断耐力は、コンクリートの圧縮強度よりは引張強度に依存すると考えられるため、コンクリートの高強度化を行っても部材のせん断ひび割れ強度はあまり上昇しないことが予想される。コンクリート強度のせん断ひび割れ強度へ及ぼす影響としては、コンクリート圧縮強度の $1/2$ 乗あるいは $1/3$ 乗に比例する形の式が多いが、 500kgf/cm^2 を越える領域でも、このような増加を見込むことが出来るかどうか定かではない。

また、せん断耐力に及ぼす寸法効果あるいはプレストレスによる効果について 500kgf/cm^2 以下のコンクリートを用いた部材においての評価が、そのまま高強度コンクリート部材に適用出来るかについても必ずしも明確であるとはいえない。

曲げに関する検討と異なりせん断に関しては、理論的な取り扱いが困難であるため、上式の問題を明らかにするには、広範囲にわたる載荷実験に基づいた検討が不可欠と考えられる。このため、ここでは以下に示すPCはりのせん断載荷試験を行い、せん断耐力に及ぼす各種要因の影響について検討を行った。

3. 2 供試体の概要

実験に用いた供試体は、全て矩形断面のプレテンション方式PCはり部材とし平成5～6年の2期を通じ全部で25体製作した。製作はPC工場にて行い、十分な品質・出来形等の管理を行った。

コンクリートの設計基準強度は、 $400 \cdot 600 \cdot 800\text{kgf/cm}^2$ の3種類として、セメントは早強ポルトランドセメントを使用した。せん断スパン比は $2 \cdot 3 \cdot 4$ の3種類とし、 $a/d=3$ の供試体が19体と大半を占めている。これは、Kani等の理論により $a/d=3$ 付近において曲げ耐力に対するせん断耐力の相対比率が最も低下することがほぼ確認されているためここに重点をおいた。有効高は $35 \cdot 55 \cdot 75 \cdot 95$ (cm) の4種類からなり、腹部厚全て20 (cm)である。最大寸法では、今回の研究の対照構造物としているプレテンション方式橋桁に近いものである。導入するプレストレス量は、部材下縁で $0 \sim 120\text{kgf/cm}^2$ の5種類、上縁では 0kgf/cm^2 を目標値とし、引張鋼材本数を等しくして導入張力を調節し目標値に近づけた。これは比較対照供試体における引

張鋼材の総断面積を等しくし、ダウエル作用による耐力の変化を防ぐためである。プレストレスの導入は、コンクリート打設、蒸気養生後、材令1日～3日にて行った。

また、支点付近における載荷時のPC鋼材の付着破壊によるせん断耐力の低下を防ぐため縁短距離を1m ($60\Phi = 60 \times 15, 2\text{mm}$ 以上) 確保し、補強鉄筋を配置した。

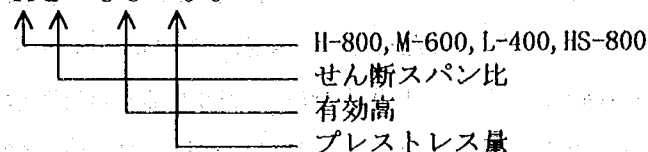
今回の実験で対照としたせん断耐力の影響因子を供試体別に着目点一覧表として表-3.1に示す。

表-3.1 供試体一覧

供試体 番号	供試体記号	コンクリート強度 (kgf/cm^2)			せん断スパン比 a/d			有効高さ (cm)				プレストレスによる下縁応力度 (kgf/cm^2)				
		400	600	800	2	3	4	35	55	75	95	0	30	60	90	120
1	L2-35-00	○			○			○				○				
2	L3-35-00	○				○		○				○				
3	L4-35-00	○					○	○				○				
4	M2-35-00		○		○			○				○				
5	M3-35-00		○			○		○				○				
6	M4-35-00		○				○	○				○				
7	H2-35-00			○	○			○				○				
8	H3-35-00			○		○		○				○				
9	H4-35-00			○			○	○				○				
10	H3-35-30			○		○		○					○			
11	H3-35-60			○		○		○						○		
12	H3-35-90			○		○		○							○	
13	H3-55-00			○		○			○			○				
14	H3-55-30			○		○			○				○			
15	H3-55-60			○		○			○					○		
16	H3-75-00			○		○				○		○				
17	H3-75-30			○		○				○			○			
18	H3-75-60			○		○				○				○		
19	H3-95-00			○		○					○	○				
20	H3-95-60			○		○					○			○		
21	H3-95-120			○		○					○					○
22	L3-35-30	○				○		○					○			
23	L3-35-60	○				○		○						○		
24	HS3-35-30			○		○		○					○			
25	HS3-35-60			○		○		○						○		

供試体記号

例) H2-35-00



せん断スパン比

せん断スパンと有効高比

有効高

部材上縁より鋼材図心までの距離

供試体の形状寸法・鋼材配置を図-3. 1～3. 8に示す。

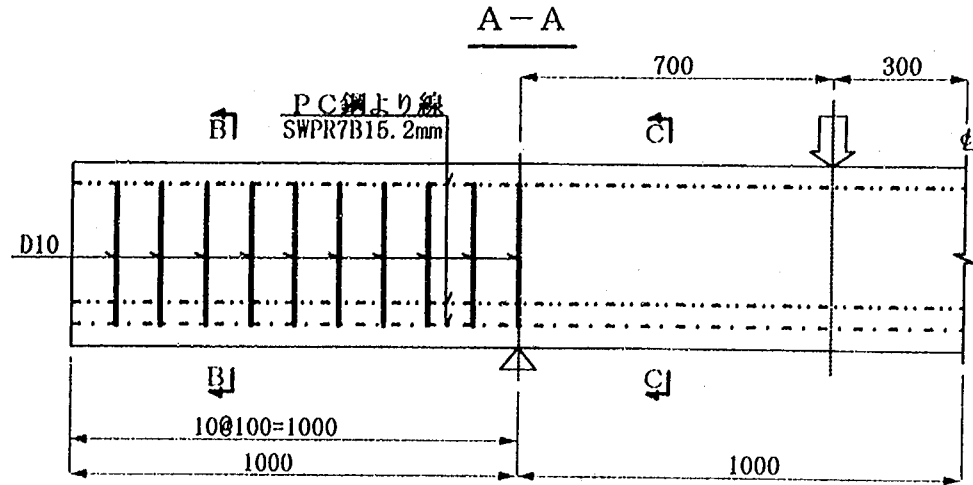


図-3. 1 供試体NO. 1, 4, 7側面形状

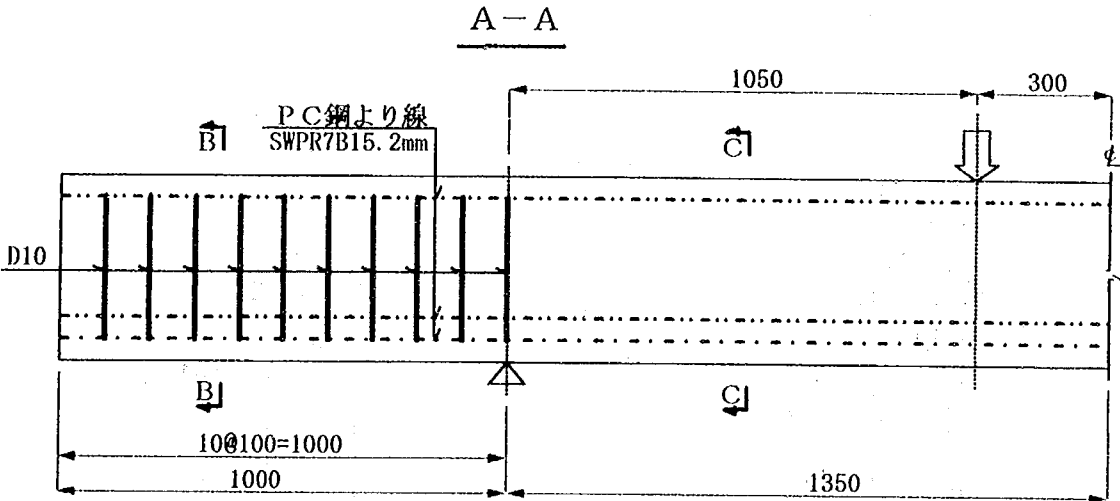


図-3. 2 供試体NO. 2, 5, 8, 10, 11, 12, 22, 23側面形状

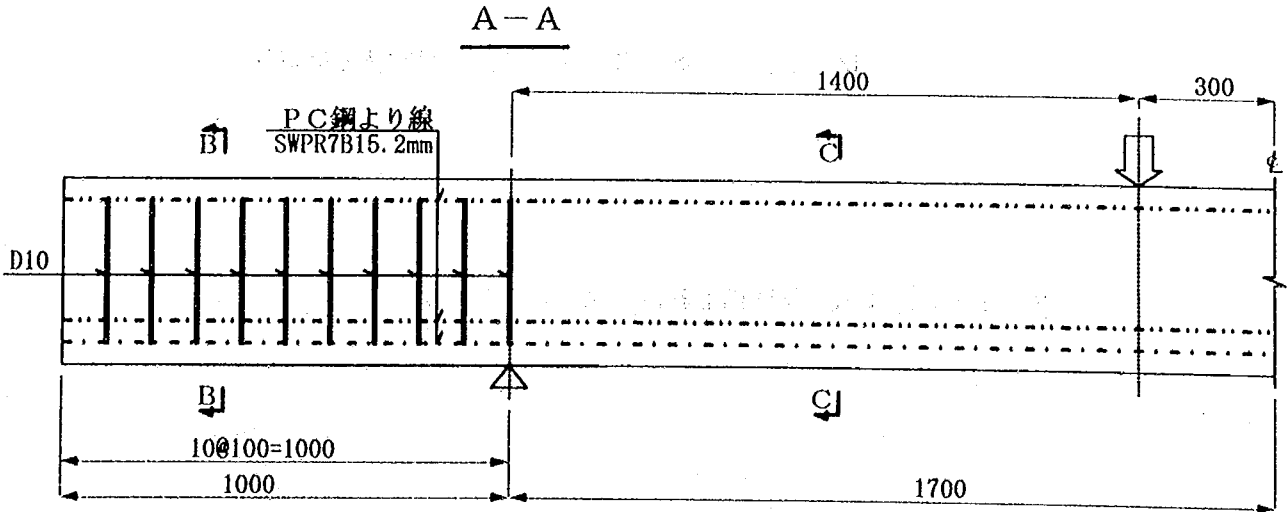


図-3. 3 供試体NO. 3, 6, 9側面形状

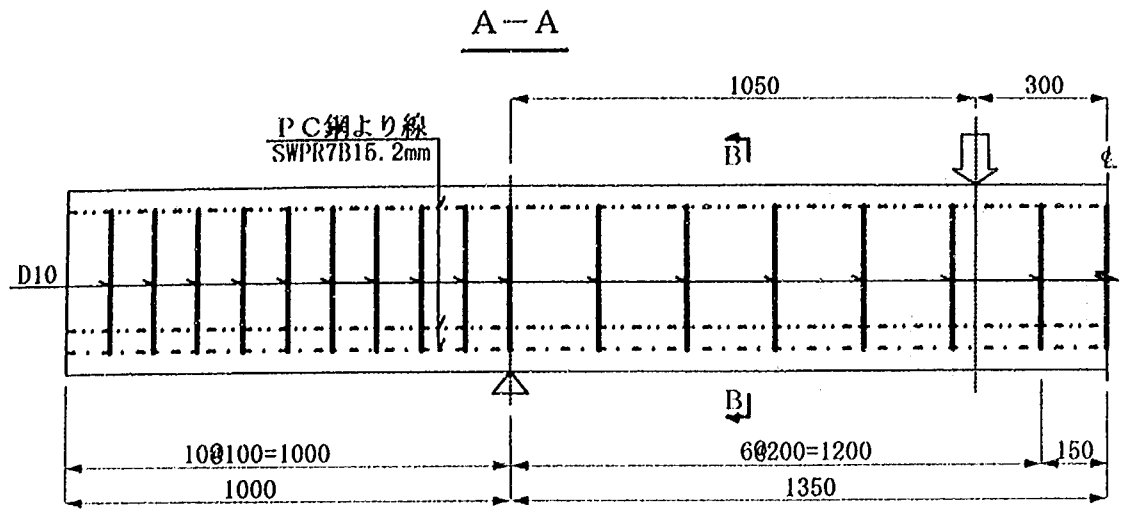


図-3. 4 供試体NO. 24, 25側面形状

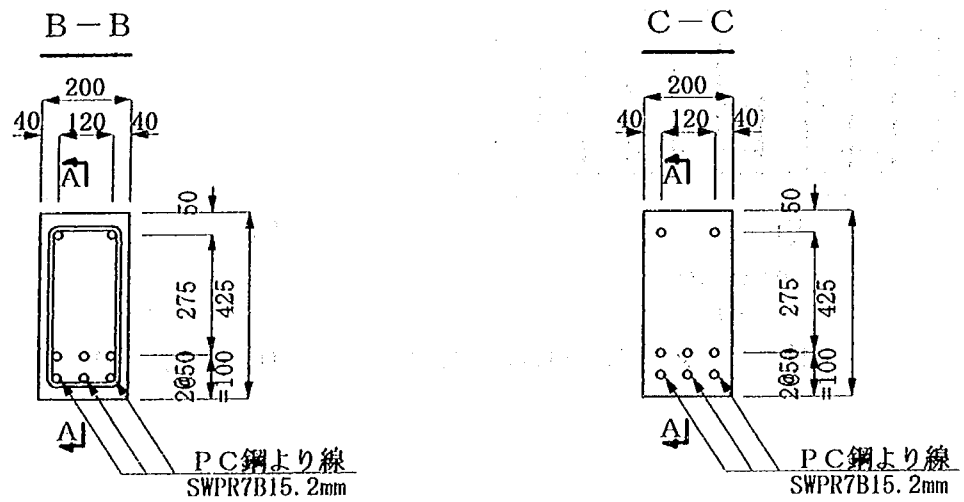


図-3. 5 図-3. 1~3. 4 供試体断面形状

図-3. 1~3. 4 供試体断面形状は、図-3. 5 参照

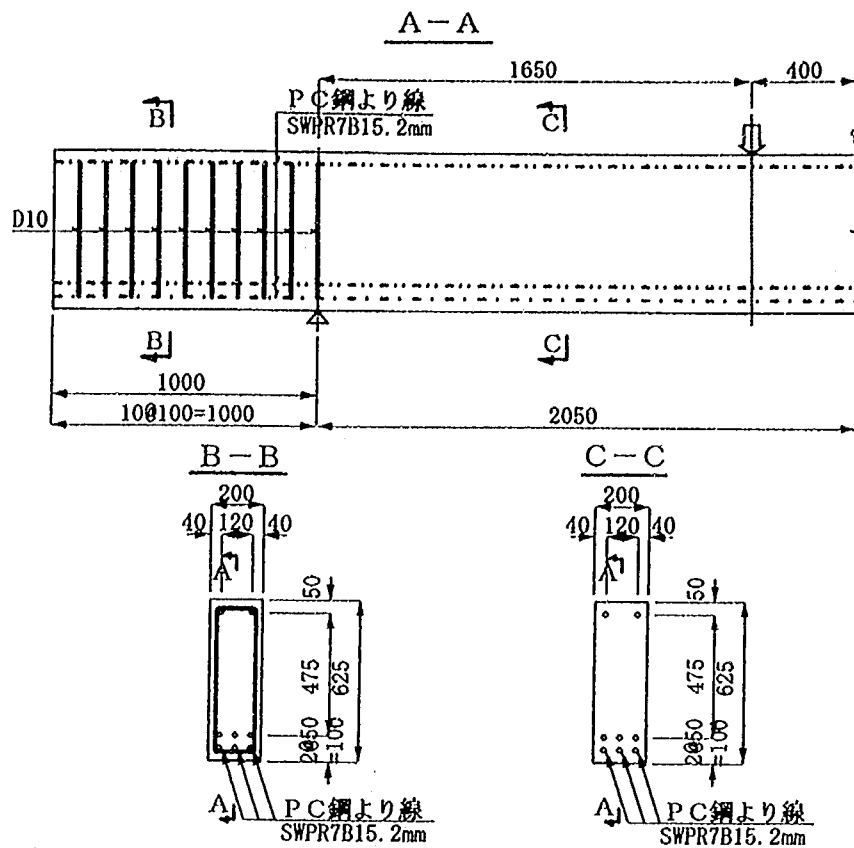


図-3. 6 供試体NO. 13, 14, 15

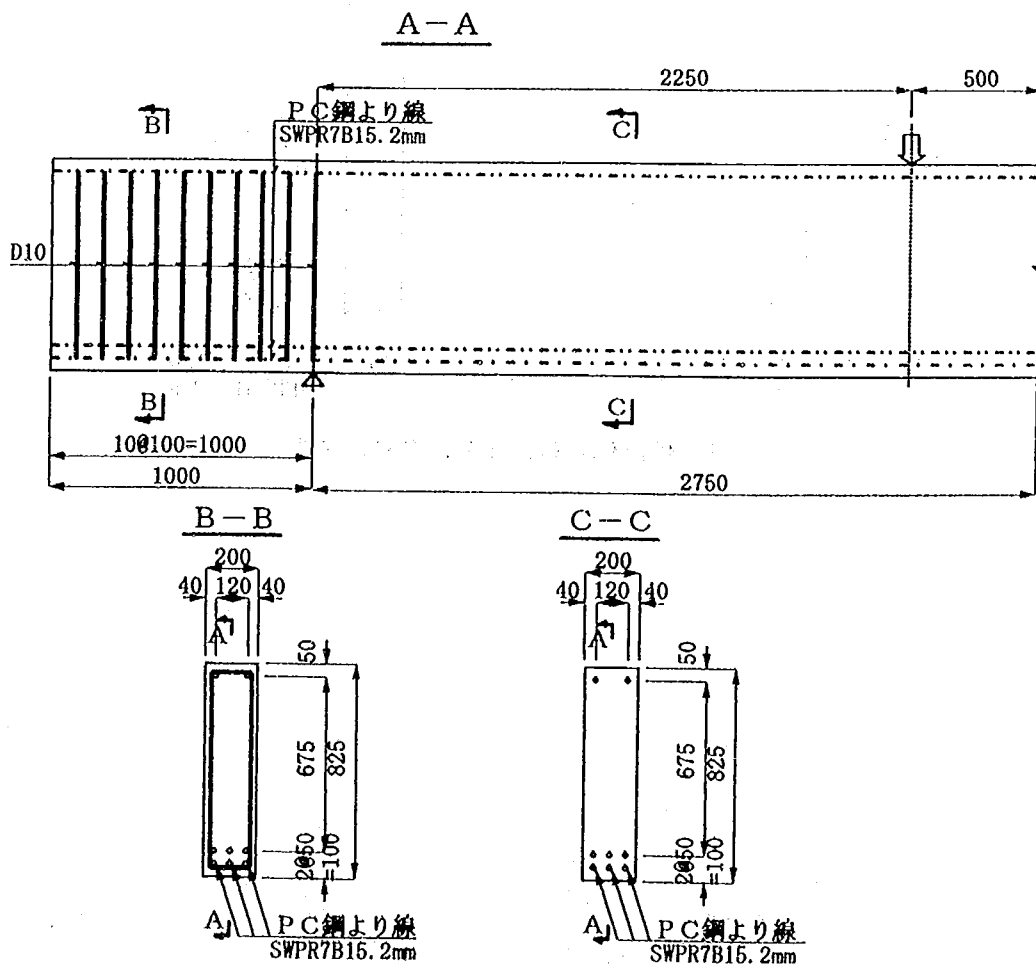


図-3. 7 供試体NO. 16, 17, 18

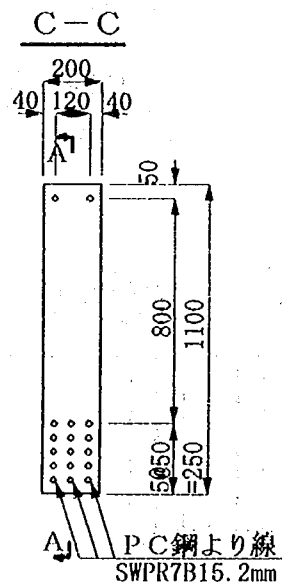
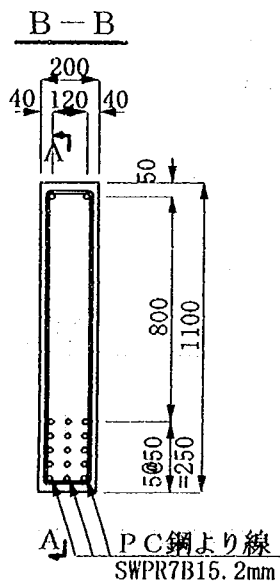
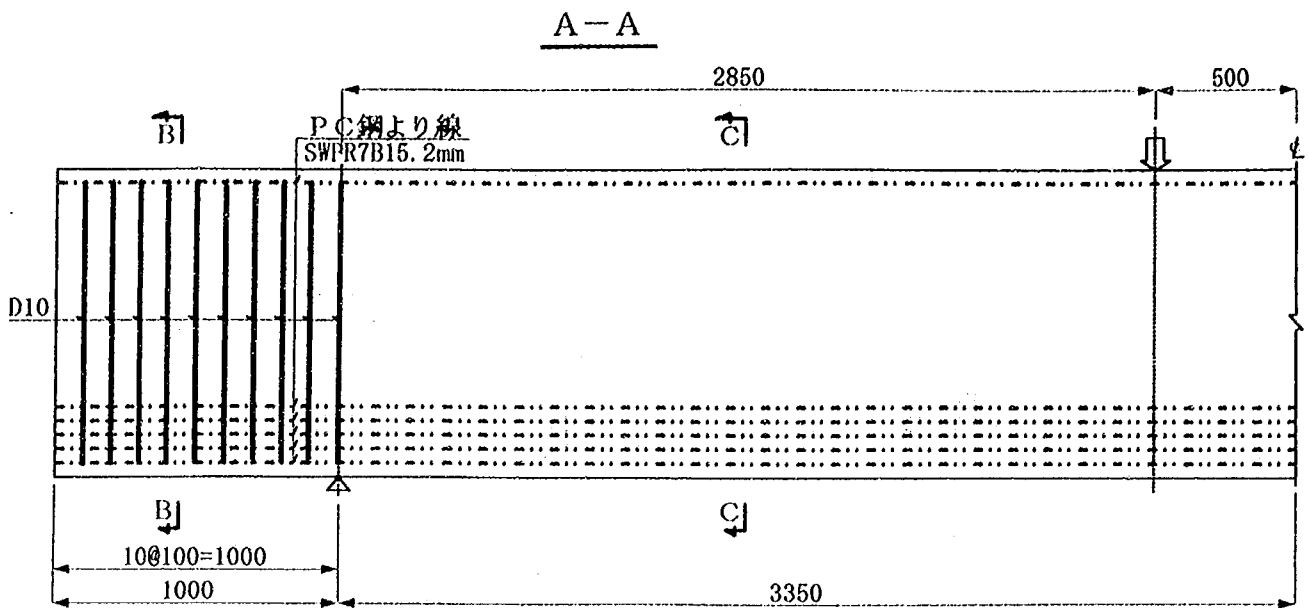


図-3.8 供試体NO. 19, 20, 21

3. 3 使用材料

今回の実験に使用したコンクリート（セメント、骨材、混和材）鉄筋、PC材等について下記に示す。

3. 3. 1 コンクリート示方配合

1) NO. 1～NO. 18の場合（平成5年度）

表－3. 2 示方配合表

設計基準 強度	粗骨材の 最大寸法	スランプの 範囲	空気量の 範囲	水セメン ト比 W/C	細骨材率 s/a	単位量 (kg/m ³)					
						水 W	セメン ト C	細骨材 S	粗骨材 G	混和材 kg	
										減水剤 M	AE剤 V
400	20	8±2.5	3±1	45	42	165	367	729	1099	3.7	1.5
600	20	8±2.5	3±1	32	39	160	500	640	1090	6.0	2.0
800	20	8±2.5	3±1	26.6	38	144	540	625	1110	8.1	2.2

2) NO. 19～NO. 25の場合（平成6年度）

表－3. 3 示方配合表

設計基準 強度	粗骨材の 最大寸法	スランプの 範囲	空気量の 範囲	水セメン ト比 W/C	細骨材率 s/a	単位量 (kg/m ³)					
						水 W	セメン ト C	細骨材 S	粗骨材 G	混和材 kg	
										減水剤 M	AE剤 V
400	20	8±2.5	3±1	39	43	164	420	751	1034	4.2	1.7
800	20	8±2.5	3±1	26.6	38	144	540	650	1095	8.1	2.2

注) 設計基準強度800kg/cm²における細骨材は、S1+S2の重量とする。

内訳は、S1－320kg/m³、S2－330kg/m³

3. 3. 2 使用材料試験結果

実験に使用した材料を下記に示す。

- 1) セメント：早強ポルトランドセメントを使用した。表－3. 4、表－3. 5に試験成績表を示す。表－3. 4は、平成5年度製作のNO. 1～18供試体に使用し、表－3. 5は、平成6年度のNO. 19～25供試体に使用したものである。

表－3. 4 試験成績表（平成5年度）

		早強ポルトランドセメント J I S R 5 2 1 0			
		J I S 規格値	試験成績		
			平均値	標準偏差	最大値 (最小値)
比	重	—	3.13	—	—
比表面積	(cm ² /g)	3300以上	4460	77	—
凝	水量 (%)	—	30.9	—	—
	始発 (h-min)	45min以上	1-43	—	(1-23)
結	終結 (h-min)	10h以下	2-40	—	3-10
安	定 性	良	良	—	—
圧縮強度 (kgf/cm ²)	1 d	65以上	178	8.4	—
	3 d	130以上	293	12.3	—
	7 d	230以上	395	12.3	—
	28 d	330以上	495	14.3	—

表－3. 5 試験成績表（平成6年度）

		早強ポルトランドセメント J I S R 5 2 1 0			
		J I S 規格値	試験成績		
			平均値	標準偏差	最大値 (最小値)
比	重	—	3.13	—	—
比表面積	(cm ² /g)	3300以上	4440	77	—
凝	水量 (%)	—	30.9	—	—
	始発 (h-min)	45min以上	2-05	—	(1-45)
結	終結 (h-min)	10h以下	2-55	—	3-25
安	定 性	良	良	—	—
圧縮強度 (kgf/cm ²)	1 d	65以上	173	8.8	—
	3 d	130以上	297	12	—
	7 d	230以上	395	12.4	—
	28 d	330以上	503	14.2	—

2) 粗骨材

宮城県加美郡色麻町王城寺花川産砕石を用い物理試験結果を表-3. 6に示す。

表-3. 6 粗骨材物理試験結果

		平成5年度 (NO. 1~18)							平成6年度 (NO. 19~25)						
項 目		試 験 結 果							試 験 結 果						
表 乾 比 重		2.69							2.69						
絶 乾 比 重		2.63							2.62						
吸 水 量 (%)		2.2							2.49						
粒度	ふるい目寸法(mm)	25	20	15	10	5	2.5		25	20	15	10	5	2.5	
	通 過 率 (%)	100	94	65	27	2	1		100	93	62	25	2	1	
粗 粒 率		6.76							6.79						
洗 い (%)		0.42							0.48						
単位容積重量(kg)		1570							1550						
粘 土 魂		0.13							0.16						

3) 細骨材

平成5年度製作のNO. 1~18供試体には、宮城県加美郡色麻町王城寺花川産砕石を使用し、物理試験結果を表-3. 7に示す。平成6年度製作供試体にはS1, S2の2種類の細骨材を使用し、産地は宮城県黒川郡大和町鶴巣大平勝負沢5-8で物理試験結果は表-3. 8に示す。

表-3. 7 細骨材物理試験結果

		平成5年度 (NO. 1~18)						
項 目		試 験 結 果						
表 乾 比 重		2.62						
絶 乾 比 重		2.53						
吸 水 量 (%)		3.36						
粒度	ふるい目寸法(mm)	5	2.5	1.2	0.6	0.3	0.15	
	通 過 率 (%)	100	90	64	40	17	2	
粗 粒 率		2.85						
洗 い (%)		0.5						
単位容積重量(kg)		1650						
粘 土 魂		0.41						
有機不純物		標準色より薄い 合格						

表-3. 8 細骨材物理試験結果

		平成6年度 (NO. 19~25)													
項 目		試 験 結 果 S 1							試 験 結 果 S 2						
表 乾 比 重		2.58							2.64						
絶 乾 比 重		2.51							2.57						
吸 水 量 (%)		2.88							2.82						
粒度	ふるい目寸法(mm)	5	2.5	1.2	0.6	0.3	0.15		5	2.5	1.2	0.6	0.3	0.15	
	通 過 率 (%)	100	94	73	36	15	2		100	94	64	32	16	2	
粗 粒 率		2.8							2.92						
洗 い (%)		0.34							0.85						
単位容積重量(kg)		1640							1650						
粘 土 魂		0.33							0.47						
有機不純物		標準色より薄い 合格							標準色より薄い 合格						

4) 混和剤

減水剤は標準形を使用し、AE剤はI種を使用した。

5) 鉄筋

今回の実験では引張主鉄筋としては使用しておらずせん断補強鉄筋のみに使用した。製品はSD295A (JIS G 3112) を用いた。

6) PC鋼材

PC鋼材は7本よりPC鋼より線Φ15.2mm (JIS G 3536) を使用した。荷重—伸び線図を図-3.9、図-3.10に示す。

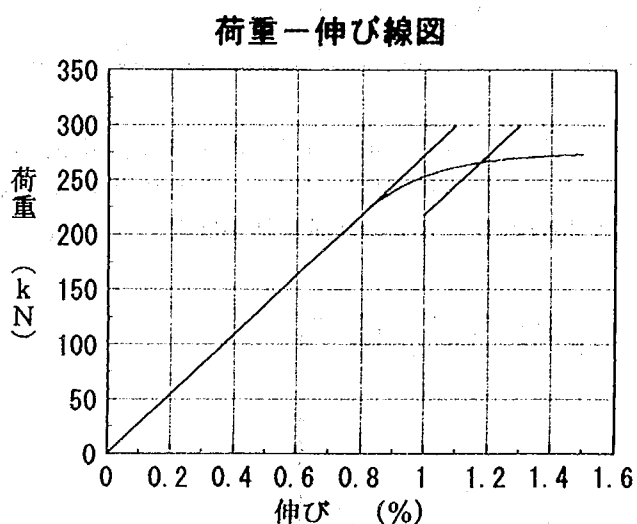


図-3.9 平成5年度使用PC鋼材

試験番号	3086801
断面積	140.31mm ²
線径	15.26mm
引張荷重	275kN
0.2%永久伸び荷重	251kN
破断時伸び	7.7%, GL=800

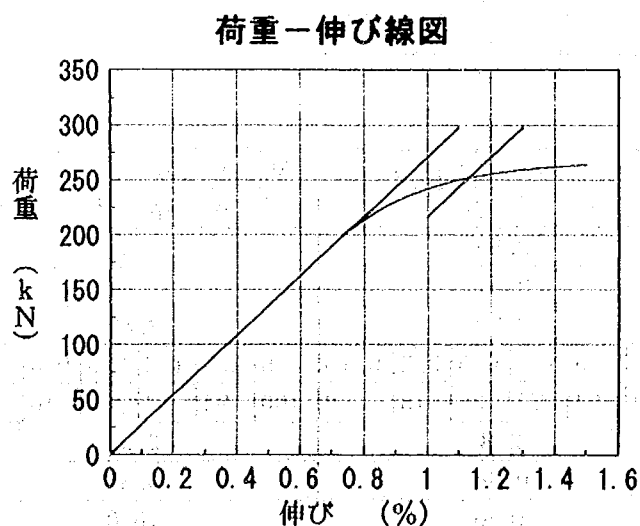


図-3.10 平成6年度使用PC鋼材

試験番号	4076455
断面積	139.51mm ²
線径	15.18mm
引張荷重	268kN
0.2%永久伸び荷重	248kN
破断時伸び	7.2%, GL=800

3. 4 実験方法

1) 材料試験

各供試体ごとに円柱供試体 ($\Phi 10 \times 20 \text{ cm}$) を6本作製し、一軸圧縮強度試験および割裂試験を行いヤング係数、ポアソン比の算出を行った。

2) せん断載荷試験

せん断載荷実験方法は、載荷桁を利用して対称2点集中荷重作用させた。載荷桁と供試体の接触面には、石膏を充填し局所応力によるコンクリートの圧壊を防止した。荷重載荷方法は、変位制御方式とし、最初に曲げひび割れ発生荷重まで載荷後一旦除荷し、再び載荷して梁を破壊させた。載荷荷重ごとに変位、ひずみ、ひび割れ状況等の計測を行った。せん断載荷試験状況を図-3. 11、表-3. 9に、計測機器取付状況を図-3. 12~3. 19に示す。

せん断載荷試験状況を図-3.11、表-3.9に示す。

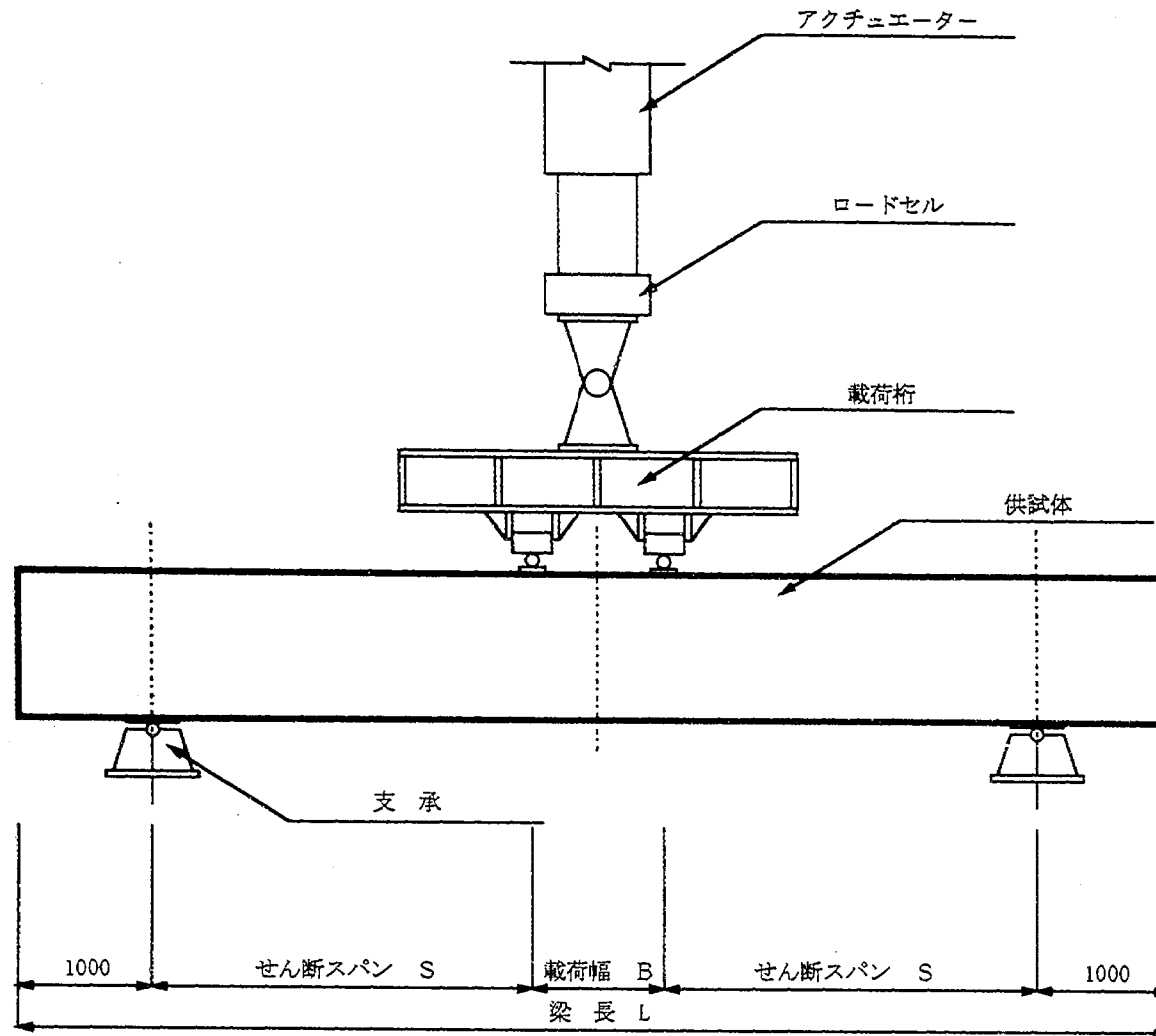


表-3.9 寸法表

供試体番号	L	B	S
NO. 1	4000	600	700
NO. 2	4700	600	1050
NO. 3	5400	600	1400
NO. 4	4000	600	700
NO. 5	4700	600	1050
NO. 6	5400	600	1400
NO. 7	4000	600	700
NO. 8	4700	600	1050
NO. 9	5400	600	1400
NO. 10	4700	600	1050
NO. 11	4700	600	1050
NO. 12	4700	600	1050
NO. 13	6100	800	1650
NO. 14	6100	800	1650
NO. 15	6100	800	1650
NO. 16	7500	1000	2250
NO. 17	7500	1000	2250
NO. 18	7500	1000	2250
NO. 19	8700	1000	2850
NO. 20	8700	1000	2850
NO. 21	8700	1000	2850
NO. 22	4000	600	1050
NO. 23	4000	600	1050
NO. 24	4000	600	1050
NO. 25	4000	600	1050

図-3.11 せん断載荷試験状況

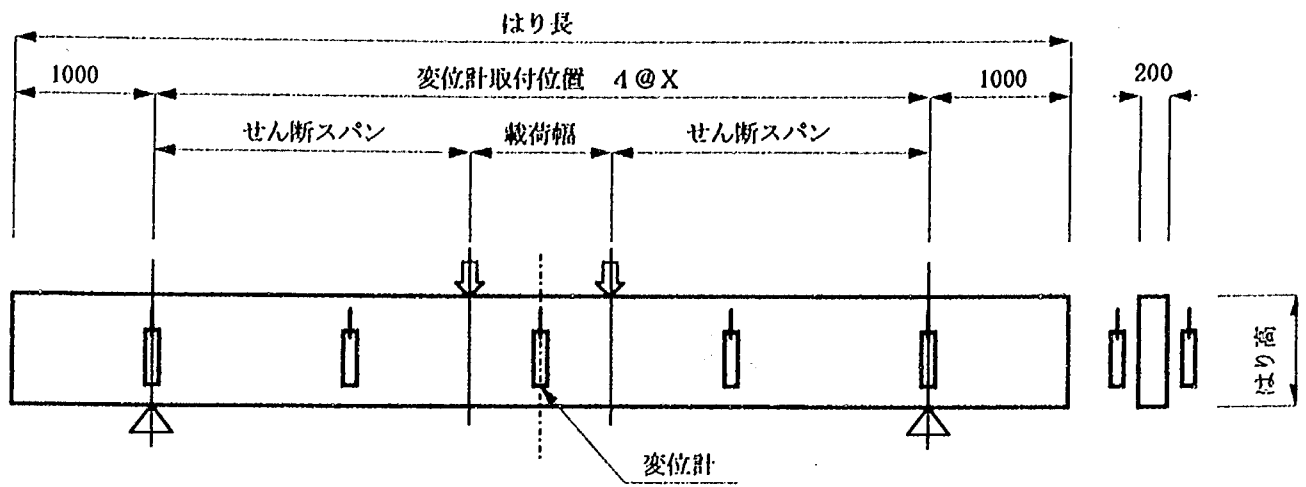


図-3.12 変位計取付状況

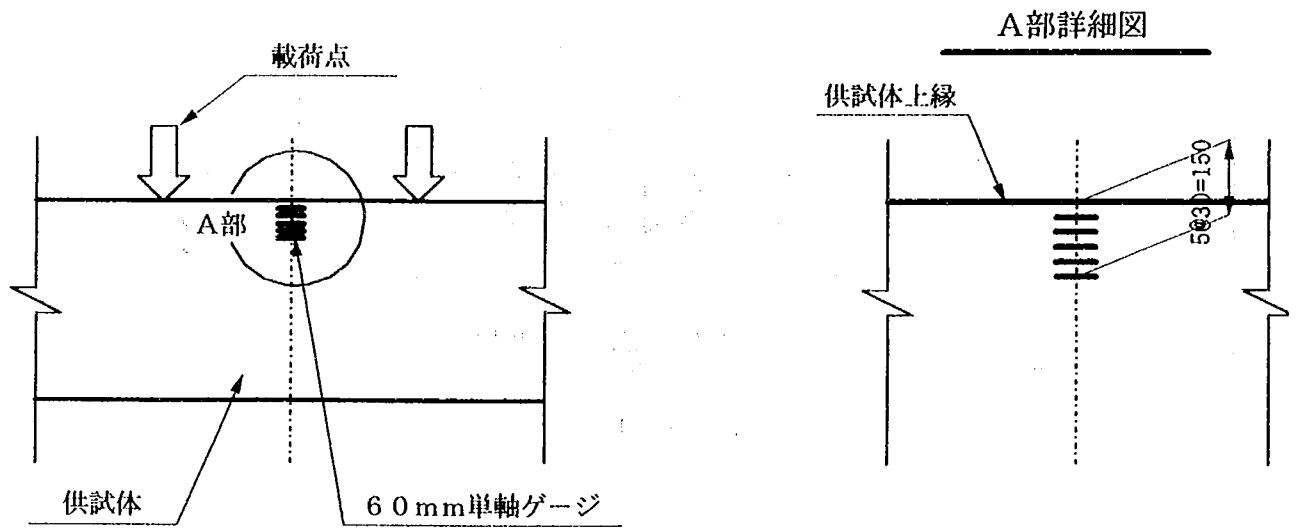


図-3.13 単軸ゲージ取付状況

供試体ごとの三軸ゲージ取付状況を下記に示す。

1) NO. 1, 4, 7 供試体

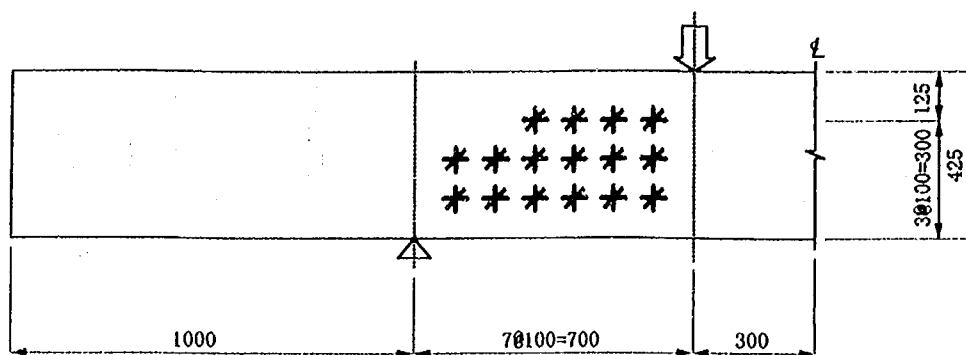


図-3. 14

2) NO. 2, 5, 8, 10, 11, 12, 22, 23, 24, 25 供試体

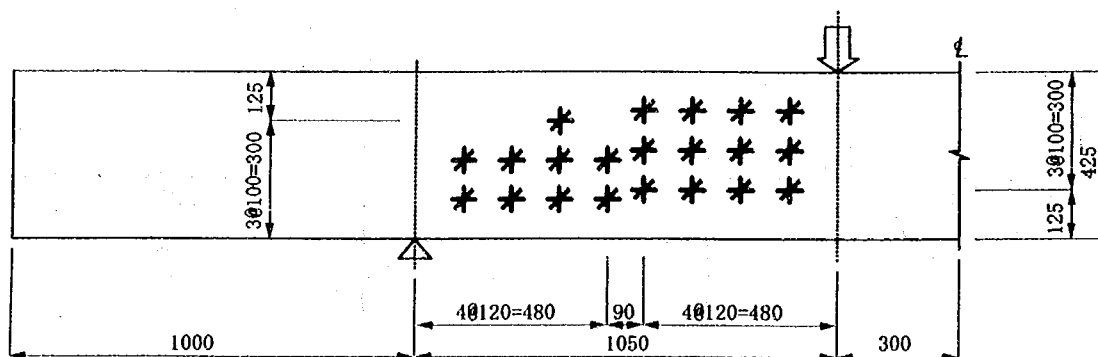


図-3. 15

3) NO. 3, 6, 9 供試体

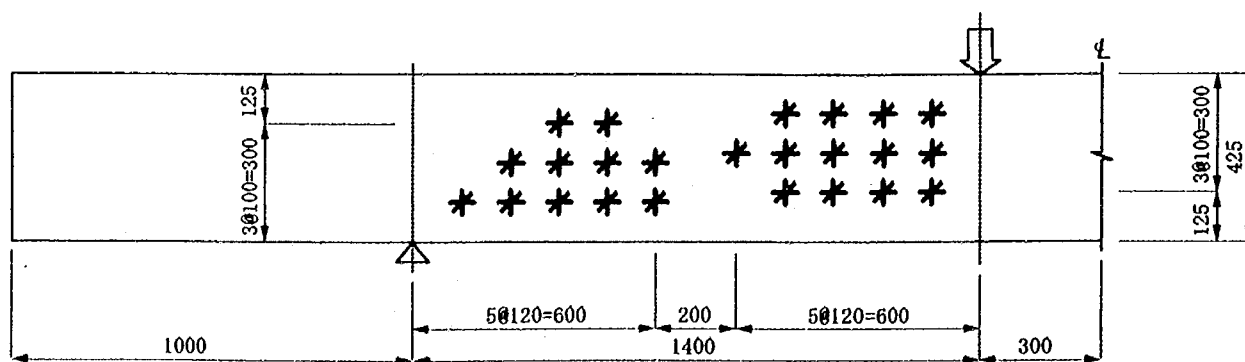


図-3. 16

4) NO. 13, 14, 15 供試体

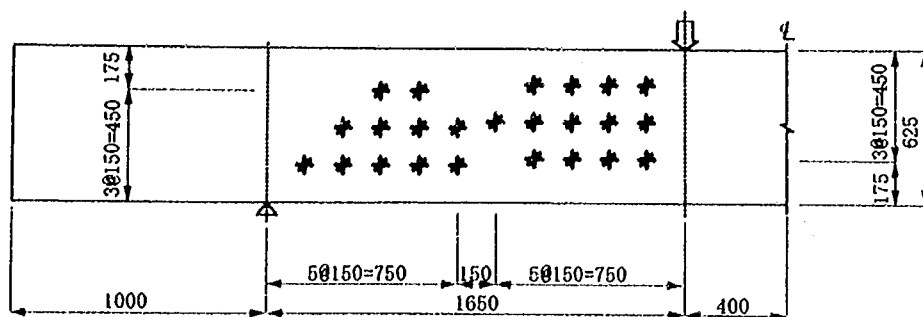


図-3. 17

5) NO. 16, 17, 18 供試体

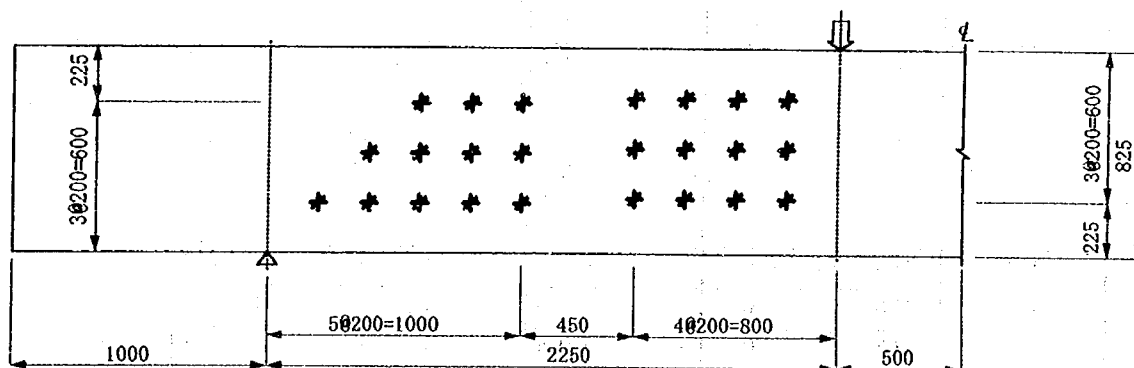


図-3. 18

6) NO. 19, 20, 21 供試体

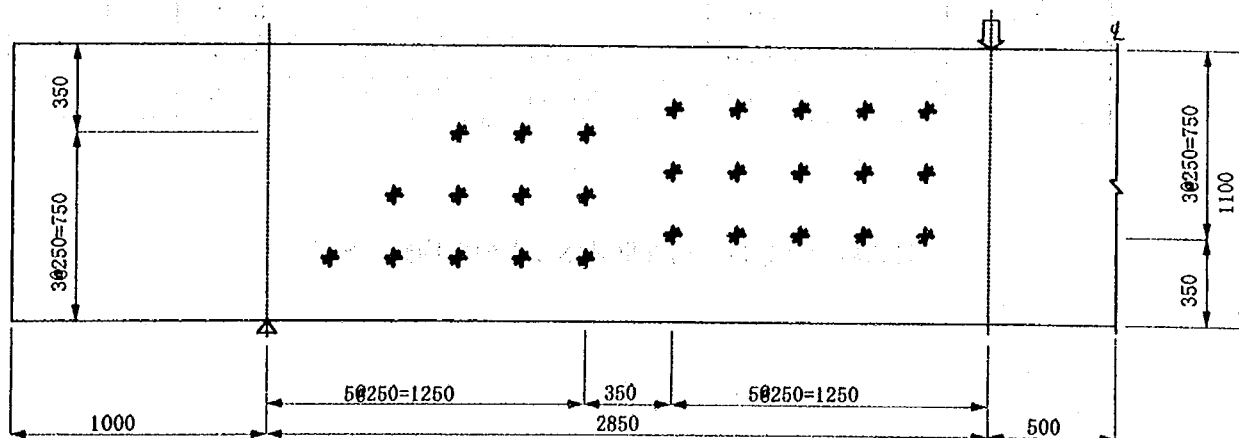


図-3. 19

3. 5 実験結果

3. 5. 1 材料試験結果

円柱供試体 ($\Phi 10 \times 20$) による、材料試験結果を表-3. 10に示す。

表-3. 10 材料試験結果

供試体番号	供試体記号	圧縮強度 (Kgf/cm ²)	割裂強度 (Kgf/cm ²)	ヤング係数 (10 ⁵ *Kgf/cm ²)	ポアソン比
1	L2-35-00	510	36.4	2.97	0.200
2	L3-35-00	562	40.7	3.07	0.206
3	L4-35-00	566	37.9	3.07	0.207
4	M2-35-00	622	42.7	3.45	0.230
5	M3-35-00	718	41.0	3.50	0.236
6	M4-35-00	696	42.9	3.45	0.232
7	H2-35-00	861	46.6	3.69	0.209
8	H3-35-00	841	41.0	3.74	0.234
9	H4-35-00	870	48.7	3.68	0.223
10	H3-35-30	938	46.3	3.88	0.251
11	H3-35-60	880	40.0	3.71	0.245
12	H3-35-90	717	52.1	3.60	0.222
13	H3-55-00	860	48.0	3.66	0.232
14	H3-55-30	856	54.7	3.69	0.226
15	H3-55-60	798	38.2	3.78	0.242
16	H3-75-00	889	40.8	3.75	0.219
17	H3-75-30	902	51.8	3.66	0.213
18	H3-75-60	891	45.4	3.85	0.230
19	H3-95-00	780	39.1	3.82	0.235
20	H3-95-60	728	43.0	3.75	0.214
21	H3-95-120	747	40.7	3.70	0.231
22	L3-35-30	507	31.0	3.19	0.201
23	L3-35-60	414	25.0	3.07	0.196
24	HS3-35-30	747	41.3	3.76	0.230
25	HS3-35-60	855	50.2	3.88	0.210

注) 材料試験結果は、円柱供試体3本の平均値とする。

図-3. 20にヤング係数とコンクリート強度の関係について示した。コンクリート強度の増加と共にヤング係数も増加するが、増加率は高強度になるに従って減少し $4.0 \times 10^5 \text{ kgf/cm}^2$ 程度にて頭打ちの傾向である。既存の基準と実験式を併記したがACI 363、友澤式とよく適合しているといえるが、800 kgf/cm^2 を越えると評価式を下回るデータが多くなる傾向にある。

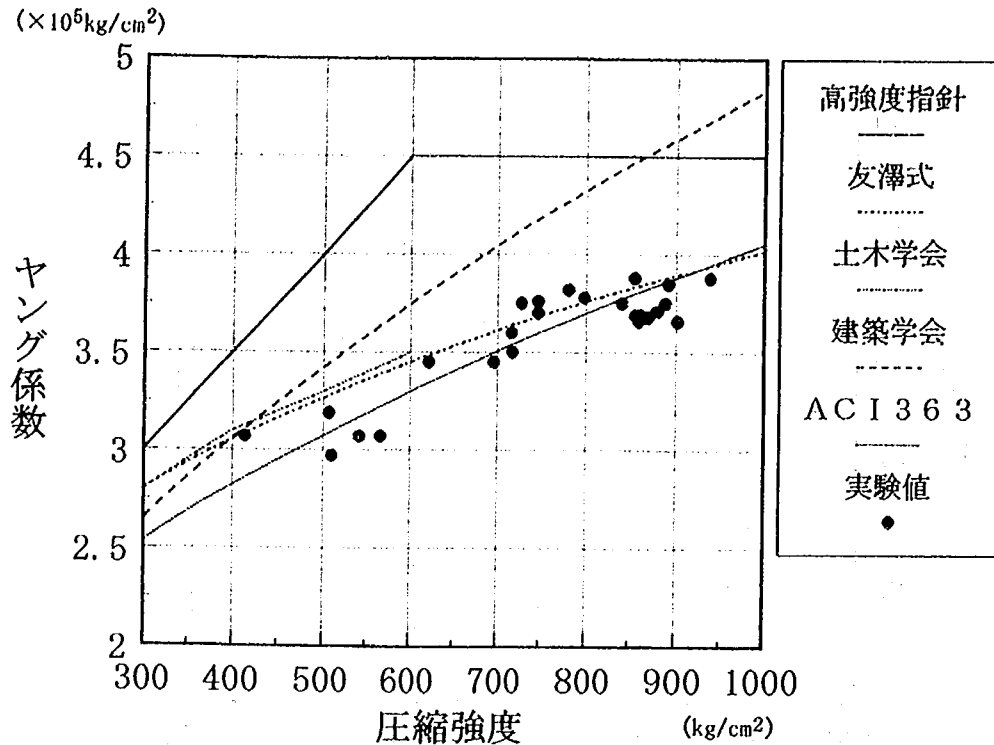


図-3. 20 ヤング係数と圧縮強度の関係

- 1) 高強度コンクリート設計指針 (案)³⁾
基準値

圧縮強度 (kgf/cm ²)	300	400	500	600	700	800	900	1000
ヤング係数 ($10^5 \times \text{kgf/cm}^2$)	3	3.5	4	4.5	4.5	4.5	4.5	4.5

- 2) 友澤式⁴⁾

計算式 $E_c = 9200 \times F_c^{0.3} \times \gamma^2$ (kgf/cm²)

- 3) コンクリート標準示方書 (土木学会)
基準値

圧縮強度 (kgf/cm ²)	300	400	500	600	700	800	900	1000
ヤング係数 ($10^5 \times \text{kgf/cm}^2$)	2.8	3.1	3.3	3.5	—	—	—	—

- 4) 日本建築学会⁵⁾

計算式 $E_c = 2.1 \times 10^5 \times (\gamma / 2.3)^{1.5} \times \sqrt{F_c / 200}$ (kgf/cm²) ただし $\gamma = t/m^3$

- 5) ACI 363⁶⁾

計算式 $E_c = (10600 \times \sqrt{F_c} + 70300) \times (\gamma / 2.346)^{1.5}$ (kgf/cm²)

ただし、 F_c はコンクリートの圧縮強度、 $\gamma = 2.346 \text{ tf/m}^3$ と仮定

次に図-3. 21に引張強度と圧縮強度の関係について示した。300～600 kgf/cm²においては圧縮強度の増加により引張強度の増加が認められる。しかし600 kgf/cm²を越えると実験値のばらつきが大きくなり傾向が明白でない。既存の基準式を併記してみたが、600 kgf/cm²を越えるとどの式も適合しているとはいえない状況である。

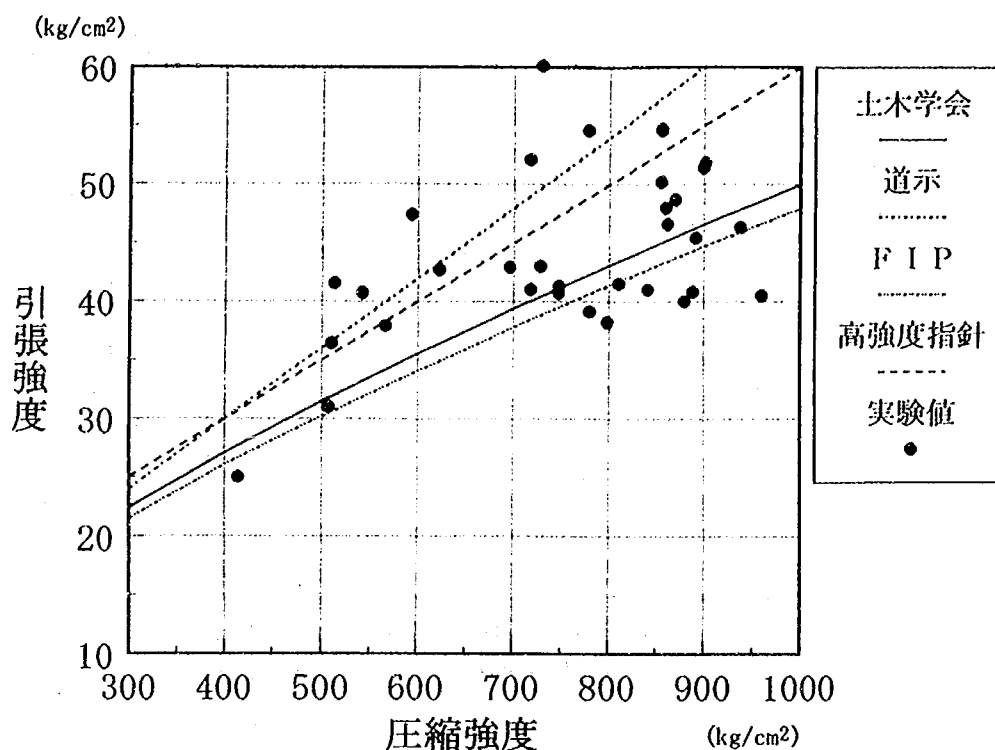


図-3. 21 引張強度と圧縮強度の関係

- | | |
|------------------------|--|
| 1) コンクリート標準示方書 (土木学会) | |
| 計算式 | $F_t = 0.5 \times F_c^{2/3}$ (kgf/cm ²) |
| 2) 道路橋示方書 平成6年版 | |
| 計算式 | $F_t = 6 + 0.06 \times F_c$ (kgf/cm ²) |
| 3) CEB-FIP | |
| 計算式 | $F_t = 0.48 \times F_c^{2/3}$ (kgf/cm ²) |
| 4) 高強度コンクリート設計施工指針 (案) | |
| 計算式 | $F_t = 10 + 0.05 \times F_c$ (kgf/cm ²) |

(F_c : コンクリートの圧縮強度)

ただし上記の評価式の中には、コンクリートの圧縮強度の適応範囲に指定がある場合があるが、ここでは高強度まで延長している。

3. 5. 2 セン断載荷試験結果

表-3. 11 セン断載荷試験結果

供試体 番 号	供試体 記 号	曲げひび割 発生荷重 (tf)	せん断荷重 (tf)		破壊性状
			ひび割荷重	破壊荷重	
1	L2-35-00	9. 0	26. 43	52. 09	斜ひび割発生後、タイドアーチ機構となり 載荷点内側コンクリートの圧壊
2	L3-35-00	6. 0	21. 25	21. 82	斜ひび割発生後、タイドアーチ機構となり 載荷点外側コンクリートの斜引張破壊
3	L4-35-00	3. 8	20. 02	20. 92	斜引張破壊
4	M2-35-00	9. 9	25. 97	51. 13	斜ひび割発生後、タイドアーチ機構となり 載荷点内側コンクリートの圧壊
5	M3-35-00	5. 0	21. 12	23. 03	斜ひび割発生後、タイドアーチ機構となり 載荷点外側コンクリートの斜引張破壊
6	M4-35-00	3. 2	20. 02	21. 01	斜引張破壊
7	H2-35-00	10. 0	25. 00	84. 07	斜ひび割発生後、タイドアーチ機構となり 載荷点内側コンクリートの激しい圧壊
8	H3-35-00	6. 0	22. 97	23. 13	斜ひび割発生後、タイドアーチ機構で耐荷 するが、新たなひび割発生後斜引張破壊
9	H4-35-00	4. 0	18. 52	20. 02	上記に同じ
10	H3-35-30	9. 3	25. 44	50. 02	タイドアーチ機構となり、ひび割幅増大後 載荷点内側コンクリートが圧壊を始め破壊
11	H3-35-60	13. 2	32. 18	57. 83	上記に同様であるが激しさを増す
12	H3-35-90	17. 5	38. 80	60. 19	上記に同じ
13	H3-55-00	8. 2	23. 25	34. 98	タイドアーチ機構となり、ひび割幅が増大 し載荷点外側コンクリートの斜引張破壊
14	H3-55-30	12. 0	32. 02	46. 42	タイドアーチ機構となり、ひび割幅増大後 載荷点内側コンクリートが圧壊を始め破壊
15	H3-55-60	17. 6	41. 53	73. 57	上記に同様であるが激しさを増す
16	H3-75-00	7. 1	21. 32	29. 31	タイドアーチ機構となり、ひび割幅が増大 し載荷点外側コンクリートの斜引張破壊
17	H3-75-30	17. 0	35. 23	70. 31	タイドアーチ機構となり、ひび割幅増大後 載荷点内側コンクリートが圧壊を始め破壊
18	H3-75-60	22. 0	50. 06	88. 85	上記に同様であるが激しさを増す
19	H3-95-00	20. 1	35. 04	82. 60	タイドアーチ機構となり、ひび割幅が増大 し載荷点外側コンクリートの斜引張破壊
20	H3-95-60	42. 2	66. 05	119. 40	ひび割幅増大後載荷点内側及び斜ひび割に 添って激しく圧壊した
21	H3-95-120	60. 1	107. 04	データなし	斜ひび割発生後、載荷を中止した
22	L3-35-30	9. 1	25. 99	39. 50	タイドアーチ機構となり、ひび割幅増大後 載荷点付近コンクリートが圧壊を始め破壊
23	L3-35-60	13. 1	33. 67	41. 10	上記に同様であるが激しさを増す
24	H3-35-30	9. 1	データなし	64. 10	載荷途中にて荷重が暴走し斜ひび割時デー タなし。破壊は圧壊による
25	H3-35-60	13. 0	データなし	71. 20	上記に同様である

1) 曲げひび割れ荷重の判定

ひび割れ状況の観察は、各荷重ごとに供試体側面より目視により行った。目視荷重のみでは、微細な曲げひび割れの発生荷重を判断するのに十分とはいえず各供試体ごとに不均衡が生じる可能性は大きい。そこで曲げひび割れ荷重の判定には、部材断面の剛性の変化により起こる荷重－たわみ曲線の曲線勾配の変化点の荷重とした。判定時の荷重－たわみ曲線を別途資料に示す。

2) せん断ひび割れ時の判定

せん断耐力を算定する上で、斜ひび割発生荷重を正確に判断する必要がある。しかし破壊に至るまでのひび割れの発達、曲げひび割れが発生しその曲げひび割れが上向きから斜め方向へと変わりひび割れどうしの先端がつながり、ひび割れ幅が広がり圧縮部コンクリートの圧壊により終局を迎える場合、斜ひび割れの外側に新たに斜ひび割れが発生しそれが終局破壊面となる場合、あるいは突然斜ひび割れが発生し破壊する場合など供試体により様々で斜ひび割れ発生荷重を簡単に判定することは困難である。そこで今回は次の様な方法で判断した。目視による発達状況に頼ると斜ひび割れの大きさや角度がどの程度のものとするかなど曖昧な点が多いため目視によるものに加え荷重－たわみ曲線により荷重の落下時や曲線勾配の変化に着目しせん断ひび割れ発生荷重とした。判定時の荷重－たわみ曲線を別途資料に示す。

3) 破壊性状

破壊はせん断ひび割れ発生後圧縮部コンクリートの圧壊、あるいは斜引張破壊により起っている。破壊性状は、せん断スパンによりほぼ大別できる。せん断スパン比2の場合は、斜ひび割れ発生後耐荷機構がタイドアーチ機構になり圧縮部コンクリートの圧縮応力が上限に達し、絶えきれなくなると圧壊が始まり破壊する。圧壊箇所は載荷点内側に生じている。せん断スパン比3の場合は、2の場合と同様に圧壊する場合と、斜ひび割れ発生後にタイドアーチ機構により耐荷しようとするが新たに発生した斜ひび割れにより急激に荷重が低下する斜引張破壊とに分けられる。圧壊の場合、その位置はせん断スパン比2と比べ載荷点から離れていく傾向にあり、激しさはプレストレス量に比例し激しいものとなる。せん断スパン比4の場合は、今回の実験では斜ひび割れ発生後急激に荷重が低下する典型的斜引張破壊であった。

4) 導入プレストレス量

各供試体に所定のプレストレスが導入されるように緊張管理を行ったが、コンクリートのクリープ、乾燥収縮及び弾性短縮などのプレストレスの損出が存在するため、実際に供試体に導入されている有効プレストレス量は明らかでない。プレストレスの影響を考慮する上で、供試体実際に導入されていたプレストレス量を確認することは重要である。導入プレストレスの算出は、曲げひび割れ発生荷重時の作用モーメント： M_{cr} 、より求めた部材下縁応力度から材料試験結果の割裂強度： f_t の差を導入プレストレス量とした。算定に用いた式を式－3. 1に示す。

$$\sigma_{\text{eff}} = M_{\text{cr}} / I \times (h - x) - f_t \quad \text{式-3.1}$$

ここに

σ_{eff} : 断面下縁のプレストレスによる圧縮応力度の推定値

I : PC鋼材換算断面 2 次モーメント

h : 部材断面の高さ

x : 部材上縁から中立軸位置までの距離

図-3. 22にこの計算により求めた値と目標値との関係を示す。導入プレストレス量は、ほぼ目標値に近い値であると評価できる。

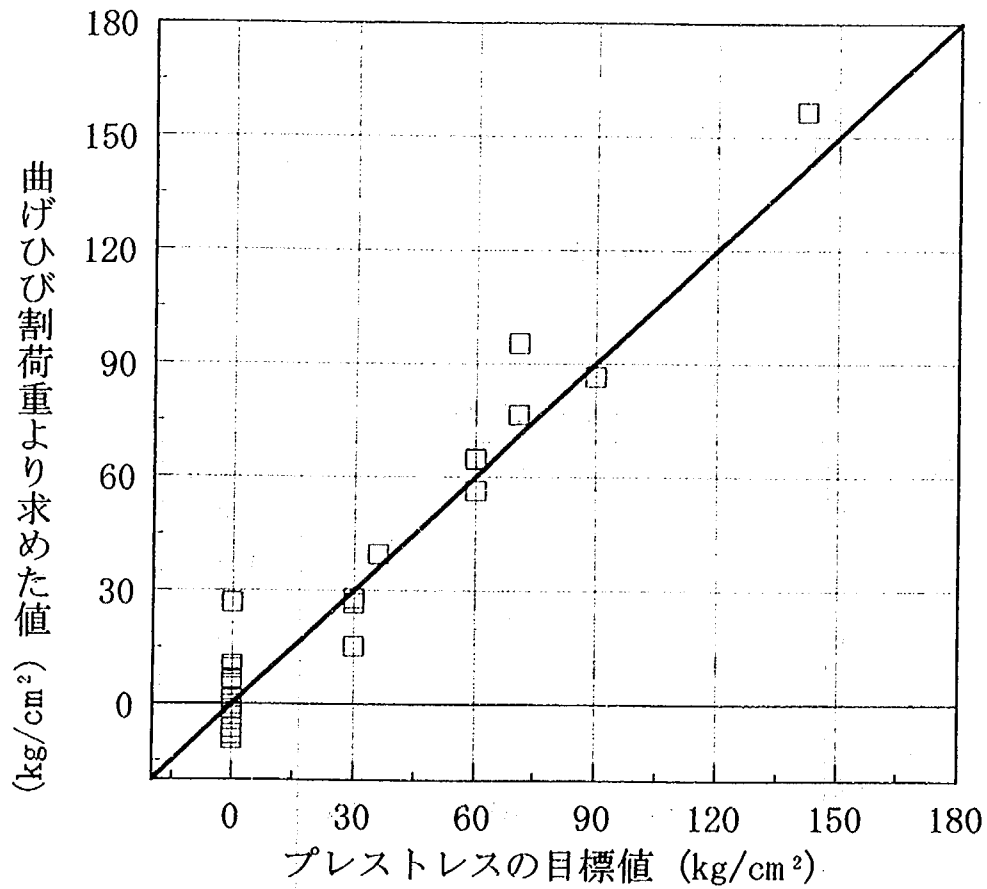


図-3. 22 導入プレストレス量の比較

3. 6 せん断ひび割れ強度に及ぼす各種要因

3. 6. 1 コンクリート強度

コンクリートの圧縮強度の違いによる比較対象としては、NO. 1～9の供試体において a/d 別に3ケースが考えられる。これらのせん断載荷試験結果を図-3. 23、図-3. 24に示す。

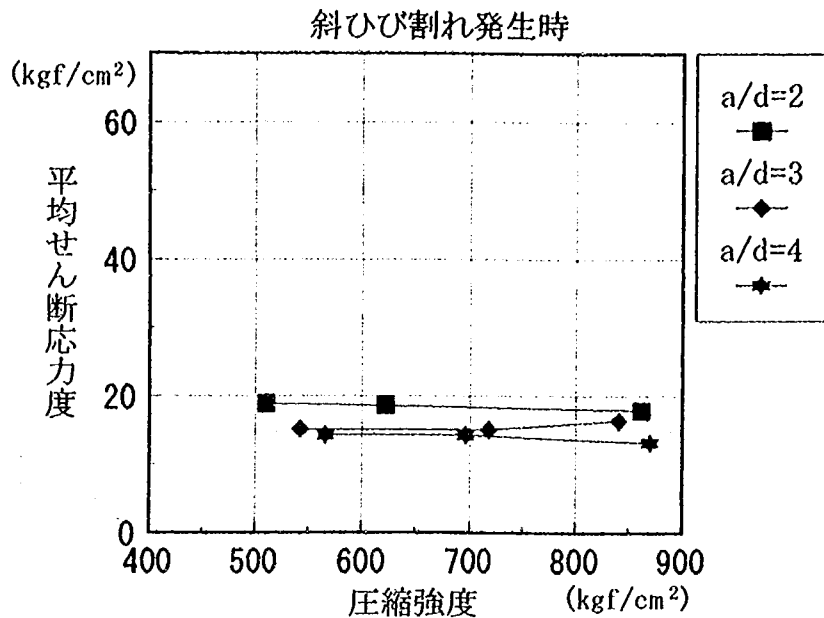


図-3. 23

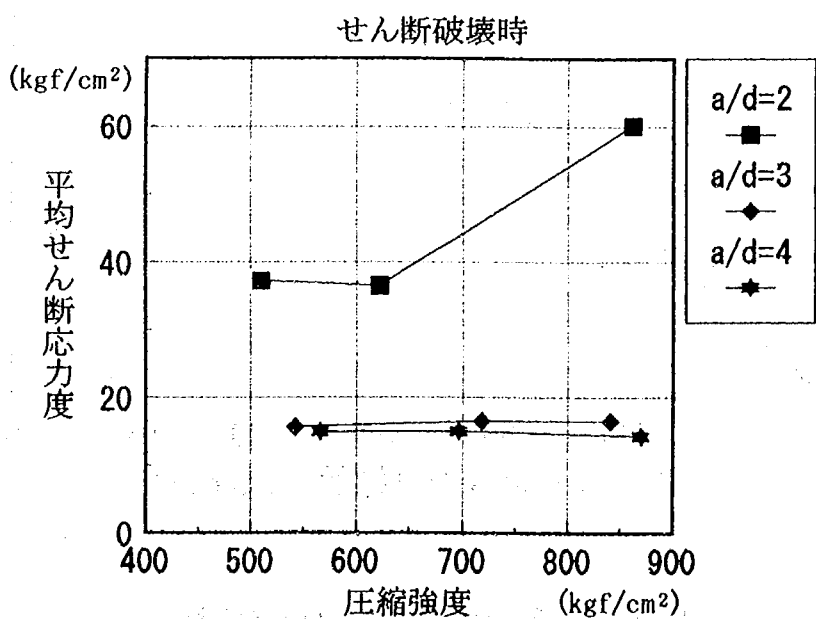


図-3. 24

図-3. 23よりひび割れ発生荷重時は、コンクリート強度の違いによる影響はほとんどなく、せん断スパン比 a/d が大きくなるほど僅かであるが低くなっている。図-3. 24の破壊荷重では、 $a/d = 2$ のケースにおいてコンクリート強度が 800 kgf/cm^2 の場合にのみ荷重の伸びがみられる。これは、破壊機構が圧縮部コンクリートの圧壊であるため圧縮強度の増加が破壊荷重に影響したものと考えられる。その他の供試体では、ひび割れ発生荷重と破壊荷重が非常に近い値となっており斜引張破壊の特徴を示している。またコンクリート強度に左右された傾向はない。

次に文献7)に報告されているせん断載荷試験結果の中より部材有効高35、せん断スパン比3、鋼材比1.2%と今回の実験供試体とほぼ同一条件で、コンクリート圧縮強度のみが低い実験データを加え、図-3. 25に示した。なお今回の実験データの a/d の違いは、補正係数： $(0.75 + 1.4 / (a/d))$ により $a/d = 3$ の場合に基準化している。

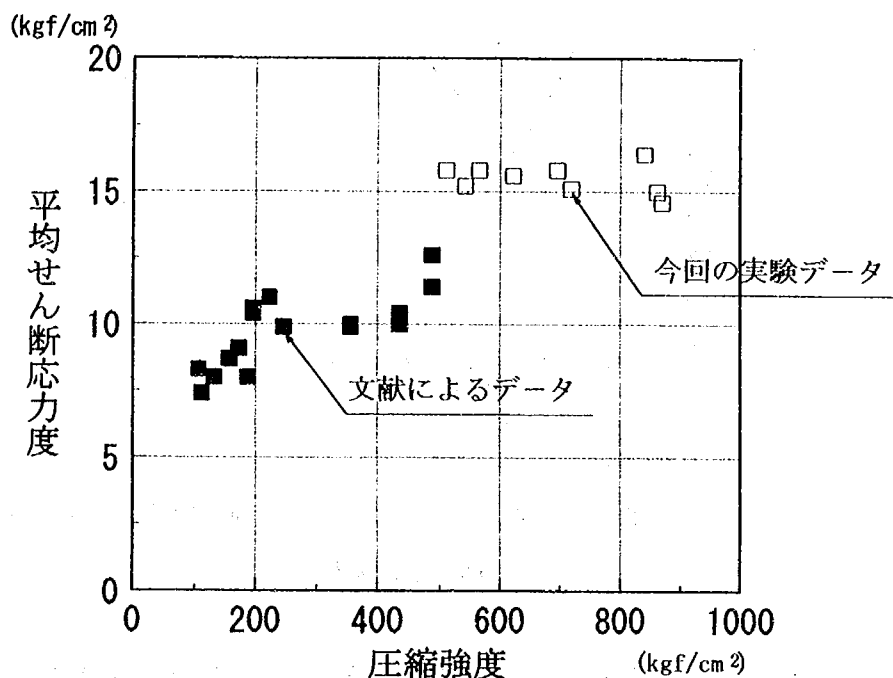
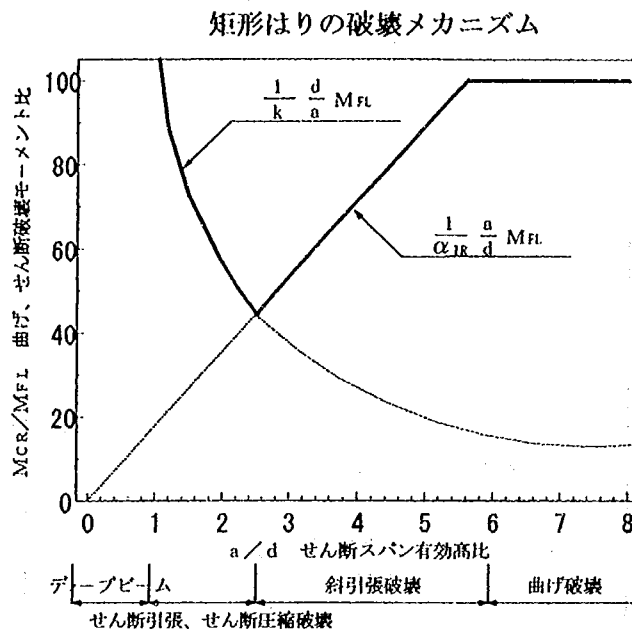


図-3. 25 せん断載荷試験結果

図-3. 25より、せん断ひび割れ発生時の平均せん断応力はコンクリートの圧縮強度が 600 kgf/cm^2 以下の文献7)によるデータでは、圧縮強度の増加に伴い平均せん断応力度の増加がみられる。しかし、 600 kgf/cm^2 を越える今回の高強度コンクリートの実験データでは、圧縮強度の増加による平均せん断応力度の増加はみられない。これは、高強度コンクリートの材料試験結果において、割裂荷重と圧縮強度の関係で示された様に圧縮強度が増加しても割裂強度の増加がみられずデータのばらつきも大きいことが原因と考えられる。

3. 6. 2 セン断スパン比

せん断補強筋の無い矩形断面はりのせん断耐荷挙動は、一般に斜ひび割れ発生後急激に耐力が低下し破壊する斜引張破壊と、斜ひび割れ発生後残存アーチ機構によりある程度の耐力を持ちつづけ破壊にいたる場合とに分けられる。このようなせん断破壊機構をKaniは、 a/d （せん断スパン有効高比）を関数とする式により曲げ破壊モーメントに対するせん断破壊時モーメント比（以後相対強さと記す）との関係を示したことはよく知られている。（図-3. 26参照）この中で $a/d=2.5$ 付近で最もせん断強度が低くなるいわゆるカニの谷と呼ばれるものの存在が確認されている。



M_{FL} : 曲げ破壊抵抗モーメント M_{CR} : セン断破壊時モーメント

図-3. 26

ここでは、実験供試体のなかでNO. 1～9のコンクリート圧縮強度400, 600, 800 kg/cm²の3種類で a/d を2, 3, 4と変化させて比較した。相対強さとせん断スパン比の関係を図-3. 27、図-3. 28に示す。図-3. 27は、せん断ひび割れ発生時におけるもので a/d と相対強さがほぼ比例関係にあり、コンクリート強度が大きくなるに従って相対強さが減少している。これは、コンクリートの高強度化による曲げ破壊抵抗モーメントの増加ほどせん断ひび割れ発生時モーメントが増加していないことを意味する。斜ひび割れ荷重はコンクリートの引張強度により決定されるが、前項(3.5.1)で述べた割裂強度の伸びが無いことに関連している。

図-3. 28は、破壊時における同様の関係であるが、 $a/d=2$ の場合がどの強度においても最も高い値を示している。これは破壊機構の違いによるものと考えられる。また、 $a/d=3$ において相対強さが最も低くなりカニの谷の存在が各強度に現れている。

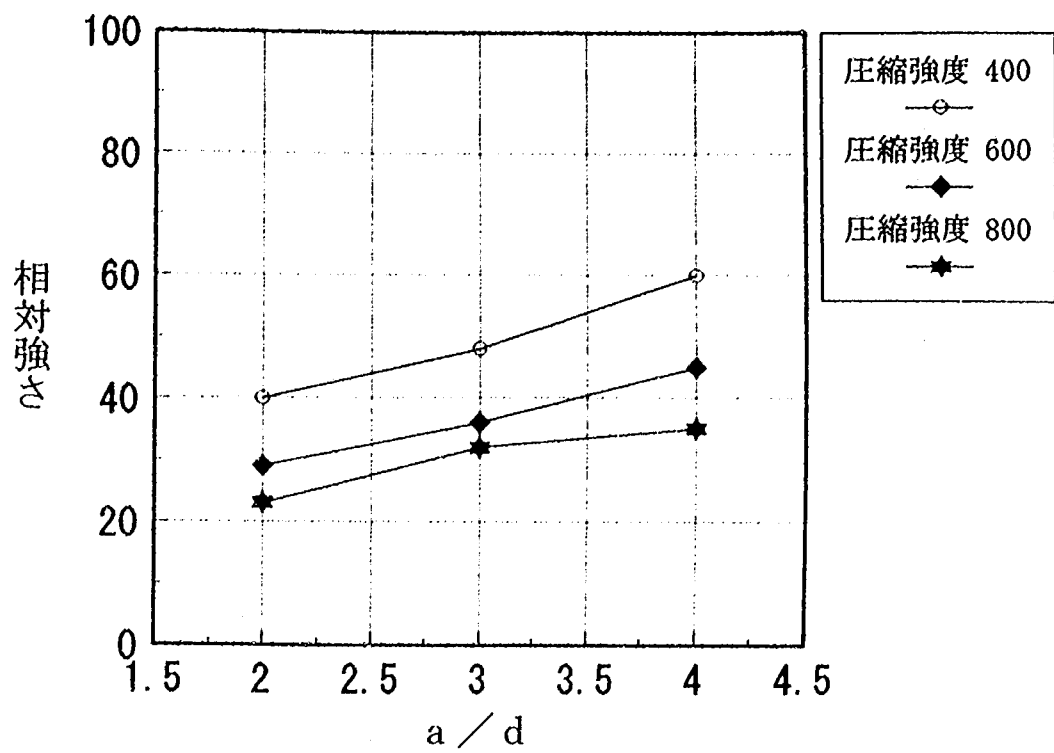


図-3. 27 斜ひび割れ発生時

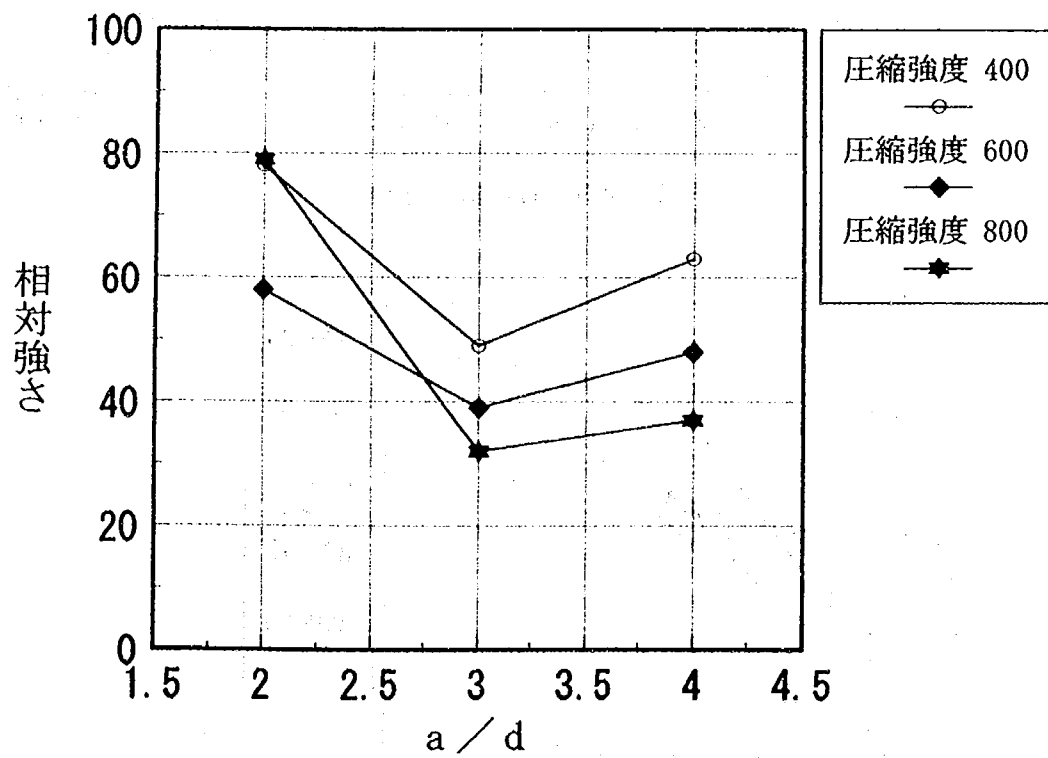


図-3. 28 破壊時

3. 6. 3 プレストレス量

ここでは、プレストレス量に着目して比較検討を行った。図-3. 29は、横軸にプレストレス導入量（計画量）、縦軸に斜ひび割れ発生時の平均せん断応力度を示している。各シリーズともプレストレス量の増加とともにほぼ直線的に平均せん断応力の増加がみられる。さらに有効高の増加に従って各直線が図の右方へと移動する傾向がある、これは寸法効果による影響と考えられる。

次に図-3. 30には、図-3. 29と同様の関係をせん断破壊時に置き換えて示した。プレストレスの増加により破壊荷重は増加するが斜ひび割れ時と比べ直線的ではない。また寸法効果の影響も見られない。

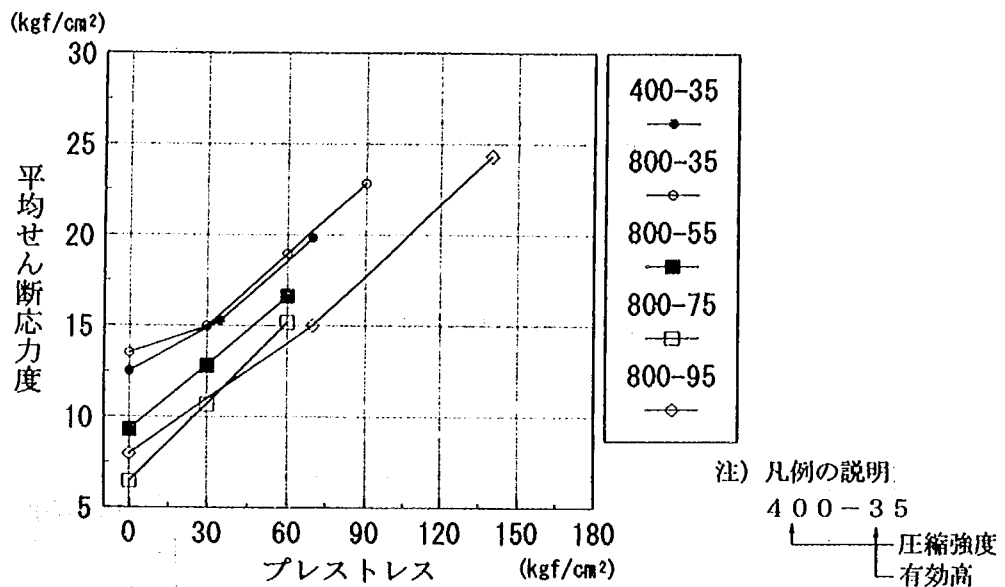


図-3. 29 ひび割れ発生時

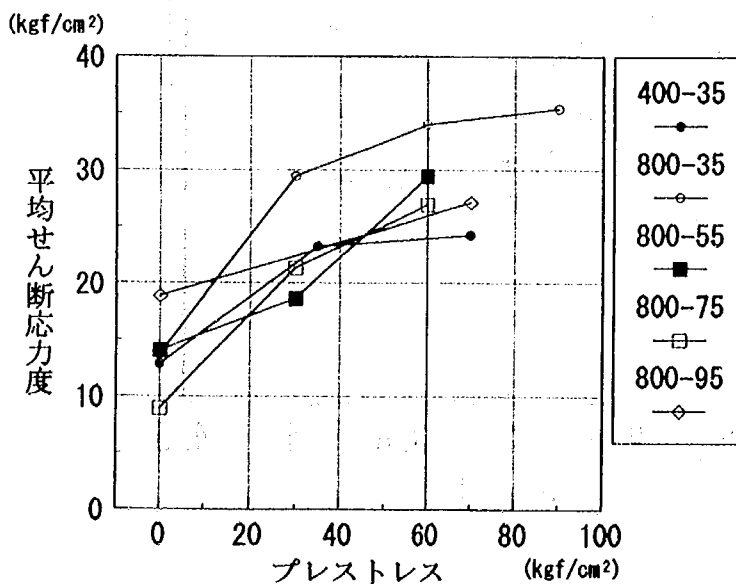


図-3. 30 破壊時

図-3. 31には、斜ひび割れ発生時における M_o/a と $V_{cr}-V_{cro}$ の関係について示した。 M_o/a はデコンプレッションモーメント（プレストレス量は計画値）をせん断スパン比で除したものである。 $V_{cr}-V_{cro}$ は、各供試体の斜ひび割れ発生荷重から各シリーズ内のプレストレス量が0の供試体の斜ひび割れ発生荷重を差し引いたもので、プレストレスのみによるせん断耐力である。このグラフをみる限りでは、プレストレスによるせん断耐力と M_o/a は比例関係にあるといえる。次に図-3. 32には、図-3. 31の関係を有効高と部材幅で除して、縦軸にはプレストレスによる平均せん断応力、横軸には $(M_o/a) / b w * d$ の関係について示した。このグラフより、プレストレスによるせん断耐力には寸法効果の影響は無いといえる。

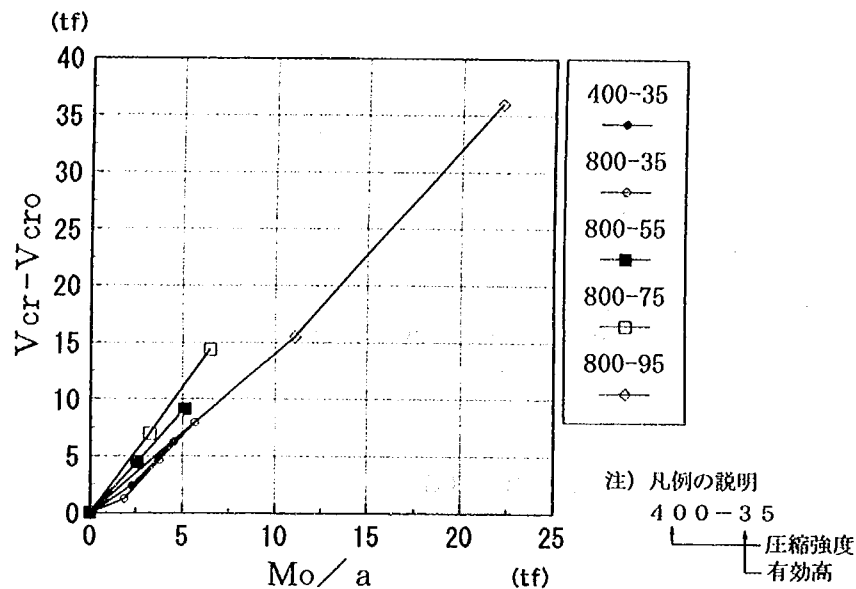


図-3. 31

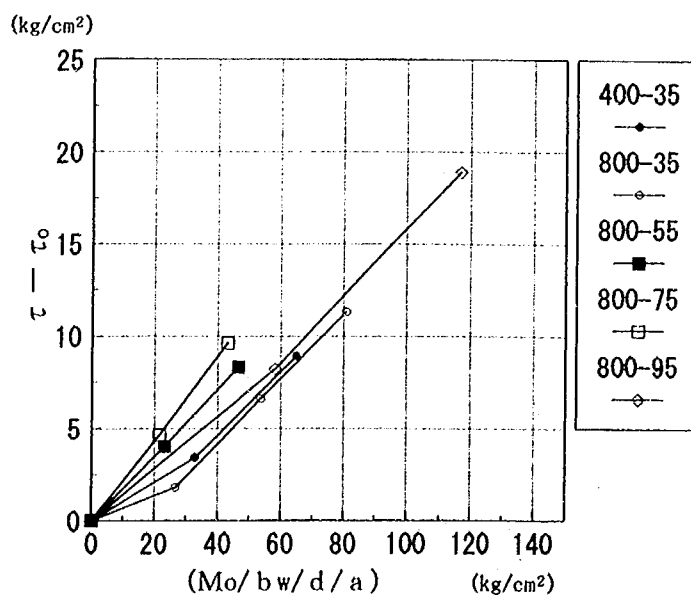


図-3. 32

図-3.33には、プレストレスによるせん断耐力をよく表現している Mo/a の係数について示した。このグラフからプレストレスによるせん断耐力は、 $1 Mo/a \sim 2 Mo/a$ の範囲内に分布している。文献8)による同様な実験の報告では、 $2 Mo/a$ との報告がある。今回の実験でデータによる平均値は $1.7 Mo/a$ 程度である。

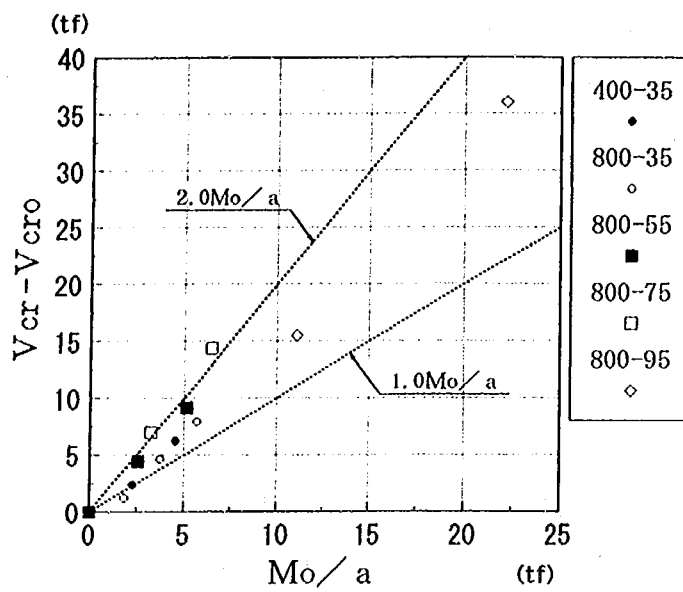


図-3.33

3. 6. 4 寸法効果

部材有効高の違いにより斜ひび割れ発生時及びせん断破壊時のせん断応力度が一定しない、いわゆる寸法効果と呼ばれるものがせん断耐力算定式の中で問題となっている。そこで今回の実験においてプレストレス量の一定な3ケースについて比較検討した。図-3. 34に斜ひび割れ発生時の平均せん断応力度と有効高の関係を示す。各シリーズとも有効高75まで一定の割合で減少し有効高95になると多少増加する傾向にある。図-3. 35に破壊荷重についても示した。

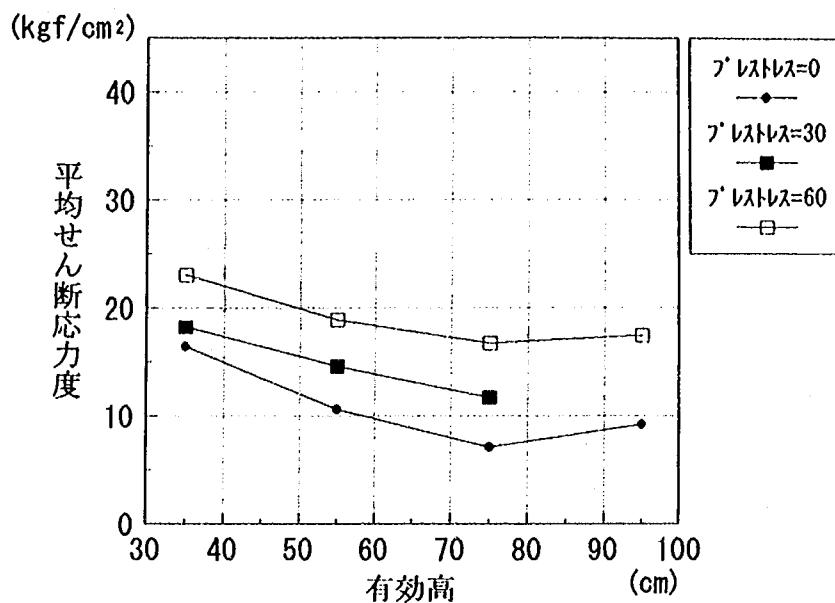


図-3. 34 斜ひび割れ発生時

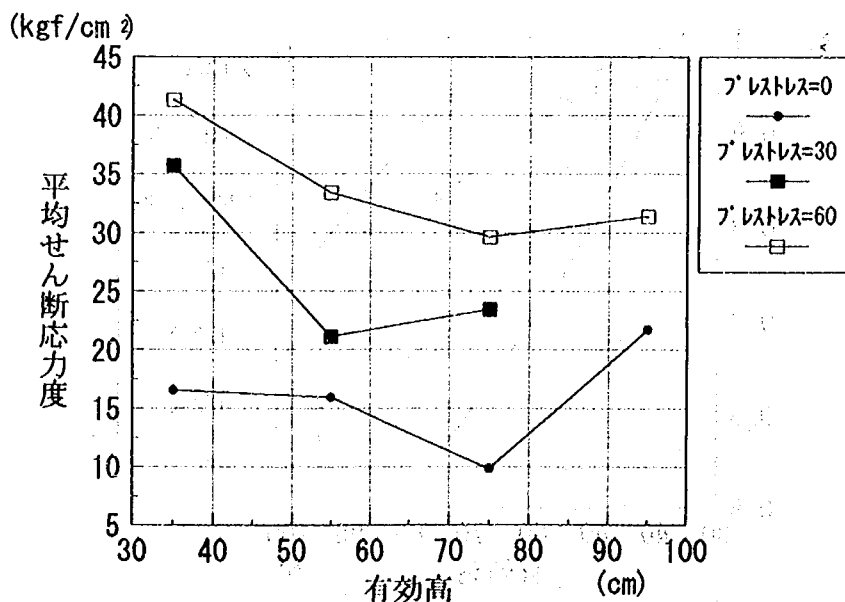


図-3. 35 破壊時

図-3. 34に示したグラフでは各供試体の断面に対する引張鋼材の配置量が違う為寸法効果の影響を判断するには補正する必要がある。そこでコンクリート標準示方書に従って下式により補正した。補正後のグラフを図-3. 36に示す。

$$\beta d = (pw)^{1/3}$$

$$pw = \Lambda_s / (bw \times d) \quad \Lambda_s : \text{引張鋼材の断面積}$$

図-3. 34のグラフと比べ有効高55、75の平均せん断応力が増え、各シリーズとも右下がりの傾向を示した。また有効高35の供試体を基準にして τ_{cr}/τ_{cr35} の関係を図-3. 37に示した。従来より寸法効果の影響は、有効高の1/4乗程度といわれているが今回の実験結果では、プレストレスのあるシリーズでは近い傾向を示したが、プレストレスの無いシリーズで1/2乗に近い結果を示した。

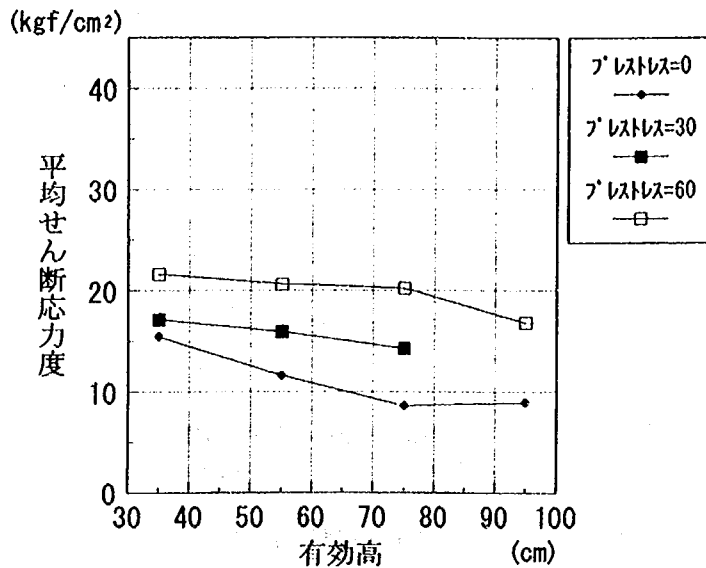


図-3. 36

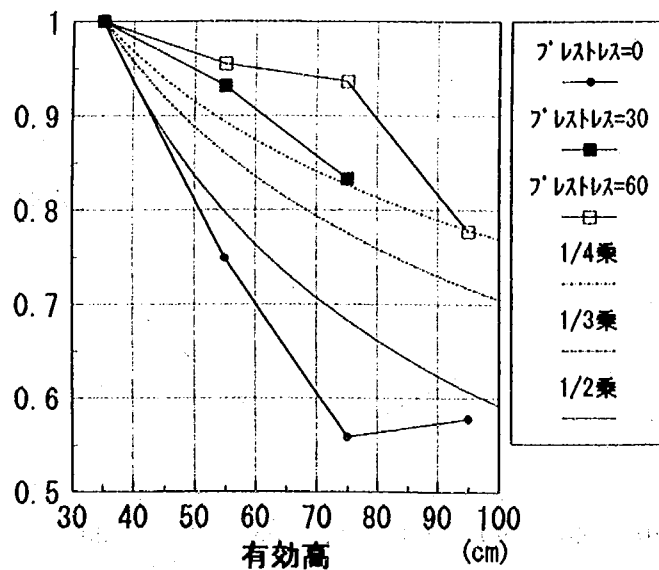


図-3. 37

図-3. 38には、今回実験供試体のなかでプレストレス量が0で有効高の異なる4体の供試体と、文献7)により報告されている有効高のみ違う条件5体の供試体における寸法効果の影響を示した。

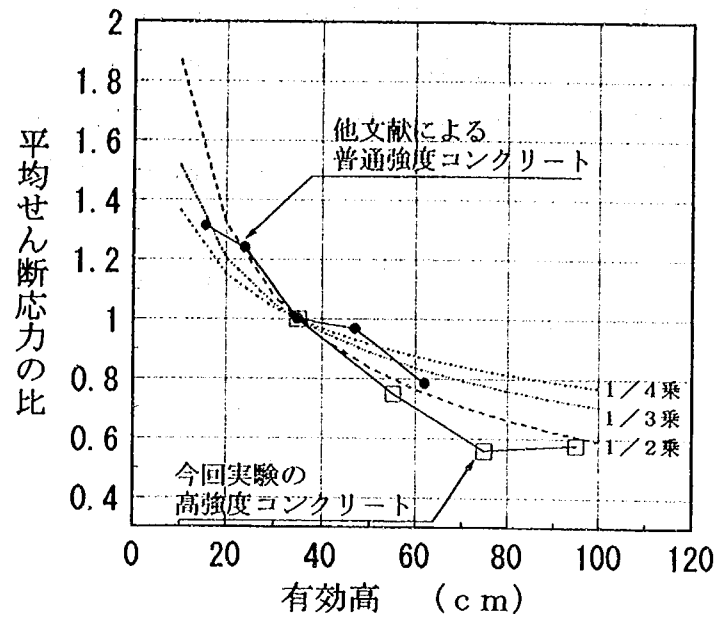


図-3. 38 寸法効果の影響

なお、文献による供試体の設計基準強度は 210 kg/cm^2 、今回の実験供試体は 800 kg/cm^2 である。この図によると、今回の実験に使用した高強度コンクリートのほうが、寸法効果の影響が顕著に現れる傾向にある。

3. 7 まとめ

- 1) コンクリートの圧縮強度が $500 \sim 800 \text{ kgf/cm}^2$ の範囲では、PCはりのせん断ひび割れ荷重は圧縮強度の影響を受けない。
- 2) せん断スパン比と相対強度の関係において、せん断ひび割れ発生荷重はせん断スパン比 $2 \sim 4$ の間ではせん断スパン比に比例して増加するが、破壊時にはせん断スパン比 3 付近にカニの谷が存在する。
- 3) プレストレスによるせん断ひび割れ荷重はデコンプレッションモーメントにより表現できる。
- 4) プレストレスによるせん断ひび割れ荷重は、コンクリート強度の違いに影響されず、寸法効果も存在しない。
- 5) 高強度PCはりのせん断ひび割れ強度に対する寸法効果は、部材有効高さの $1/2 \sim 1/4$ 乗程度に比例する。

第4章 プレストレス力のせん断ひび割れ発生強度に及ぼす影響について

4. 1 概要

PC部材の曲げせん断ひび割れ発生荷重は、部材に導入されているプレストレス力に大きな影響を受ける。第3章で示したとおり、高強度コンクリートを用いたPC部材の曲げせん断ひび割れ強度と、コンクリート強度やプレストレス、部材寸法などの各種要因の関係について調査を行ったところ、コンクリートの圧縮強度は500~600kgf/cm²を超えるとわずかな影響しか及ぼさないのに比べ、プレストレスによる断面下縁の圧縮応力度を140kgf/cm²導入した供試体では、プレストレスを導入しない供試体に比べ2倍以上のせん断ひび割れ強度を示している。高強度コンクリートを用いたPC部材では、断面下縁に導入される圧縮応力度は200kgf/cm²を超えるものと考えられ、上記の実験結果から推測すると、せん断ひび割れ強度はプレストレスによりかなり大きくできると予想できる。

せん断ひび割れ発生強度の観点からみると、PC部材に高強度コンクリートを用いることのメリットはあまりないと考えられるが、コンクリートの高強度化にプレストレスの導入量を増やすことができるので、結果的には高強度化によるプレストレスの導入量の増加によって、せん断ひび割れ強度の頭打ちといった欠点を十分克服できる。

従って、高強度コンクリートを用いたPC部材のせん断荷重に対する設計法を検討する際に、コンクリートの高強度化のメリットを適切に評価するためには、部材に導入されているプレストレスの影響を正確に把握することが非常に重要となる。

ここでは、PC部材に導入されているプレストレスの大きさと、せん断ひび割れ強度の関係をより明確に把握するため、載荷実験で得られたひずみ分布、ひび割れ状況をもとに若干の考察を行った。

4. 2 既存の研究

プレストレス力による曲げせん断ひび割れ強度の増加の算定にあたっては、大別するとACIに代表される initiating crack⁹⁾ の考え方と、CEB-FIPに代表されるDecompression momentの考え方に分類される。いずれもプレストレスの効果はプレストレスのない場合のせん断ひび割れ強度をもとにして、これにプレストレスの導入によるせん断ひび割れ強度の増加分を足しあわせる形をとっている。すなわち、PC部材の曲げせん断ひび割れ発生時のせん断力を V_{cr} としたとき、

$$V_{cr} = V_{cr_0} + V_p$$

ただし、 V_{cr_0} ：プレストレスが無いときのせん断ひび割れ時のせん断力

V_p ：プレストレスによるせん断ひび割れ発生時のせん断力の増分

initiating crackはせん断ひび割れを誘発する曲げひび割れであり、このinitiating crackが発生した後に、さらにせん断力が $0.6(fc')^{1/2}b_wd$ (ただし単位はpsi) だけ増加したとき、曲げせん断ひび割れが発生するとい

うものである。プレストレスはinitiating crackの発生荷重に関与し、プレストレスの導入による曲げひび割れ発生荷重の増加分が、そのまま曲げせん断ひび割れ発生荷重の増加として付加されることになる。initiating crackの発生位置は、実験の観測結果から載荷点からおおよそ $d/2$ であるとされている。詳しくは、initiating crackの発生位置は、initiating crackの発生荷重がウェブせん断ひび割れ発生荷重に近づくほど、はり高さ h の $1/2$ に近づき、initiating crackの発生荷重がウェブせん断ひび割れ発生荷重よりも小さくなるほどスパン長 a の $1/3$ に近づくとされている。集中荷重が作用する場合、プレストレスの影響はinitiating crackの発生荷重の増加で与えられるため、Decompression momentを M_0 としたとき、曲げせん断ひび割れ発生荷重の増加は、

$$\frac{M_0}{a - \frac{d}{3}} \sim \frac{M_0}{a - \frac{h}{2}}$$

で与えられるので、せん断スパン比が3の場合、おおよそ $1.1M_0/a \sim 1.2M_0/a$ 程度と考えられる。ただし、initiating crackの発生荷重からせん断ひび割れ発生までの荷重の増加は、プレストレスの影響を受けないこと、プレストレスの導入によりinitiating crackの発生位置が大きく変化しないことが前提条件となる。

一方、Decompression momentによる考え方は、コンクリートに導入されているプレストレス量を様々に変化させたときのせん断ひび割れ強度の実験結果について、回帰分析を実施して得られたものであり、この回帰分析結果から、Decompression momentによる曲げせん断ひび割れ強度の増加は、平均値で

$$V_p = 1.23 M_0/a$$

であり、危険率を5%としたときの下限値が

$$V_p = 0.9 M_0/a$$

となっている。設計においてはこれを簡略化し、 $V_p = 1.0 M_0/a$ としている。

一方、プレストレストコンクリート部材のせん断載荷試験結果では、これ以上のプレストレスの効果が得られている場合も報告されている。これによると、プレストレスによるせん断ひび割れ時のせん断力の増加は、 $1.0 M_0/a \sim 2.0 M_0/a$ の範囲に有りばらつきが大きくなっている。

以上の検討結果をまとめると、プレストレスによるせん断ひび割れ時のせん断力の増加は、いずれの方法においてもdecompression momentを用いて表現でき、その増加量は $1.0 M_0/a \sim 2.0 M_0/a$ の範囲にある。しかし、実験結果などで明らかにされている範囲($1.0 M_0/a \sim 2.0 M_0/a$)は、かなり大きく M_0/a の何倍をとればよいか明確ではない。

この点を明確にし、高強度コンクリートを用いた部材へも適用範囲を拡張するためには、せん断ひび割れ時のせん断力の増加分と、decompression momentの関係を統計的に整理して回帰式を導くだけでなく、

プレストレスの導入により応力状態がどのように変化したかについて、詳細な検討を加えて、式の妥当性を確認する必要がある。

4. 3 実験結果に基づくプレストレスの効果に関する考察

4. 3. 1 decompression moment と曲げせん断ひび割れ荷重の関係

decompression moment と曲げせん断ひび割れの関係について、ここで行った実験データを基に整理した結果を表-4. 1 および図-4. 1 に示す。ここで、横軸はdecompression moment をスパン長 a で除したもので、decompression moment は、部材断面下縁のコンクリートに所定のプレストレスによる圧縮応力度が導入されていたものと仮定して算定されたものである。一方、縦軸はせん断ひび割れ荷重 (V_{cr}) についてプレストレスが無いものとプレストレスを導入したものの差 (ΔV_{cr})、すなわち、

$$V_p = \Delta V_{cr} = V_{cr}(\sigma_{c0}=30, 60, 90, 120) - V_{cr}(\sigma_{c0}=0)$$

表-4. 1 各供試体の条件設定とせん断ひび割れ荷重の増分

供試体番号	コンクリート強度 (kgf/cm ²)	コンクリート下縁の応力度 (kgf/cm ²)	有効高さ (cm)	M_0/a (tonf)	せん断ひび割れ時のせん断力 (tonf)	ΔV_{cr} (tonf)
2	542	0	35	0	10.6	0
2 2	507	30	35	1.9	11.5	0.9
2 3	414	60	35	3.8	14.5	3.9
8	841	0	35	0	11.5	0
1 0	938	30	35	1.9	12.7	1.2
1 1	880	60	35	3.8	16.1	4.6
1 2	717	90	35	5.7	19.4	7.9
1 3	860	0	55	0	11.6	0
1 4	856	30	55	2.6	16	4.4
1 5	798	60	55	5.1	20.8	9.1
1 6	889	0	75	0	10.7	0
1 7	902	30	75	3.3	17.6	7
1 8	892	60	75	6.5	25	14.4
1 9	780	0	95	0	17.5	0
2 0	728	60	95	9.1	33	15.5
2 1	747	120	95	18.2	53.5	36

としている。

図-4. 1より、プレストレスの増加に伴うせん断ひび割れ時のせん断力の増加の程度と、コンクリート強度や部材の有効高さとの間には特定の関係はなく、いずれの供試体もおおよそ、 $0.5M_0/a \sim 2.0M_0/a$ の割合で増加していることがわかる。

ここで、図-4. 1の有効高さ35cmの実験結果について、 M_0/a と ΔV_{cr} の関係の直線性が他の条件での実験結果に比べて悪くなっている。これは、プレストレスのない供試体でのせん断ひび割れ強度が若干大きくなったためであると考えられる。コンクリートの設計基準強度が 800kgf/cm^2 で有効高さが35cmの場合、プレストレスのレベルを4通りに変化させているが、プレストレスによるコンクリートの応力度が $0 \sim 30\text{kgf/cm}^2$ の区間を除くとおおよそ $1.5M_0/a \sim 2.0M_0/a$ の割合で増加している。

これらの実験データからせん断ひび割れ発生時のせん断力の増加量に及ぼすプレストレスの効果は、コンクリート強度にあまり依存しないこと、また、部材の有効高さにも依存しないものと考えられる。プレスト

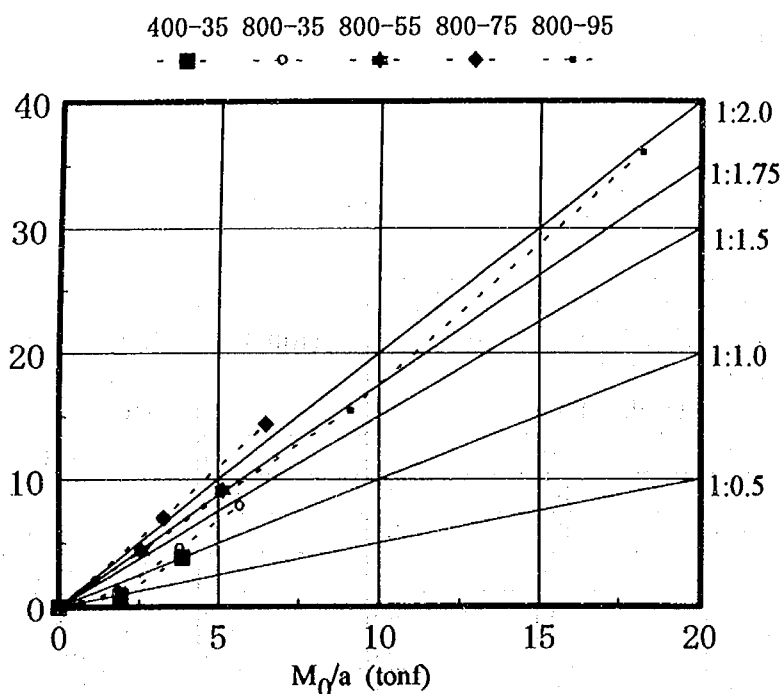


図-4. 1 せん断ひび割れ荷重の増加とデコンプレッションモーメントの関係

レスのない場合の、せん断ひび割れ時のせん断力には、コンクリート強度あるいは部材寸法といった項が含まれている。従って、プレストレスによるせん断ひび割れ時のせん断力の増加を、プレストレス量に応じた比例係数を V_{cr0} に掛け合わせる形で表現した場合、この比例係数が部材寸法などによって変化することとなり、必ずしも適切な表現であるとは言えない。すなわち、プレストレスによるせん断ひび割れ時のせん断力の増加を表わす項は、 V_{cr0} とは独立して足しあわせる形が適当であるといえる。

4. 3. 2 initiating crack の発生状況から考えたプレストレスの効果

initiating crackの発生荷重および発生位置について各供試体のひび割れ状況から決定した結果を表-4.2に示す。

表-4. 2 initiating crackの観測結果

供試体番号	載荷点からの 距離 (c m)	initiating crack 発生荷重 (t o n f)
8	65	9.75
10	52	10.75
11	47.5	14.5
12	45.5	17.25
13	86	10
14	88	16.75
15	69	17.75
16	123	11.5
17	136	21.25
18	94.5	24

ひび割れの発生状況を観察すると、曲げひび割れが荷重の増加に伴い次第に傾斜しはじめるので、必ずしもinitiating crackの判定は容易ではない。ここでは、荷重の低下時点で顕著になった斜めひび割れにつながる曲げひび割れを取り出し、この曲げひび割れが部材下縁で確認された時点の荷重をもって、initiating crack発生時の荷重とした。載荷は左右のスパンについて対称に行ったが、ひび割れ発生位置並びに発生荷重は左右のスパンで若干異なっている。ここでは、左右のスパンについて測定し、その平均値を用いることとした。

このように判定されたinitiating crackが適切であったものかどうか確認するため、initiating crackの発生位置と曲げひび割れモーメントから推定されるinitiating crackの発生荷重と測定結果の比較をおこなった。initiating crackの発生荷重の予測値は次式により求めた。

$$V_{cal} = M_{cr} (a/(a-x))$$

ここに、

V_{cal} : initiating crack発生荷重の予測値(tonf)

M_{cr} :等曲げモーメント区間における曲げひび割れモーメント(tm)

a :スパン長(m)

x :載荷点から測定したinitiating crack発生位置 (実験値) (m)

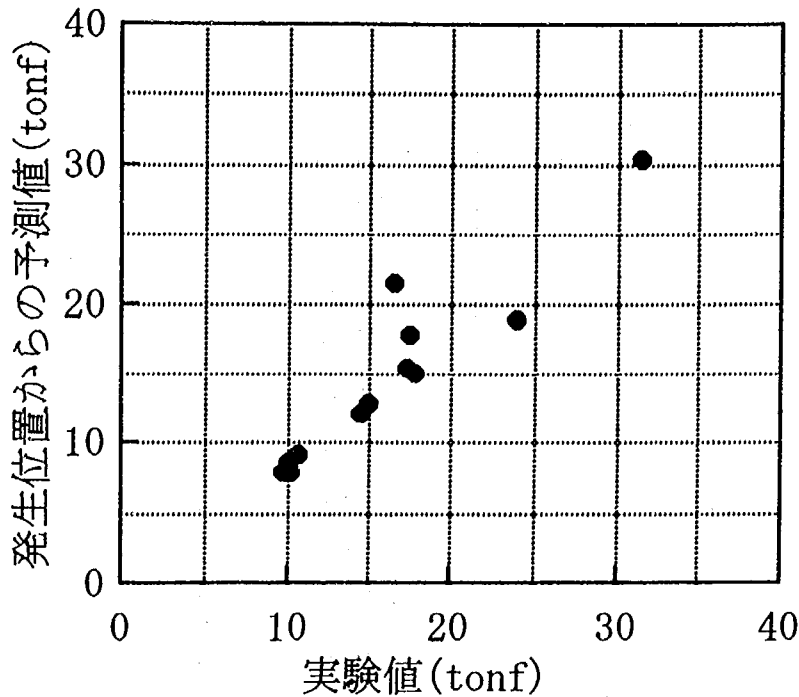


図-4. 2 initiating crack発生荷重の対比

図-4. 2をみると、2つの供試体においてinitiating crackの発生荷重の予測値と実測値にわずかな差が表れたが、おおむね一致している。このことから、initiating crackの発生位置および荷重の判定は、妥当であったと考えられる。

initiating crackの載荷点から測定した位置について、はり供試体の有効高さで基準化した結果を図-4. 3に示す。いずれの寸法の場合もプレストレスが大きくなるにつれて載荷点からの距離は小さくなる傾向がある。ここに示したデータはいずれもせん断スパン比が3であるので、スパン長 a は有効高さ d の3倍になっている。従って、有効高さ d を基準にとるとinitiating crackの載荷点から測定した位置はいずれも $1.0d$ 以上となっていて、ACI基準で用いられている距離よりもはるかに大きくなっている。載荷実験において得られたせん断ひび割れ発生時のせん断力が、ACI基準に従って推定されるせん断力よりも大きくなっているが、この理由としては、initiating crackの発生位置が実際には支点側にずれていたためであると考えられる。

次に、initiating crackの発生から、曲げせん断ひび割れ発生までの荷重の増加について検討を行う。図-4. 4は、曲げせん断ひび割れ発生時のせん断力(V_{cr})とinitiating crack発生時のせん断力(V_{ini})との差と、プレストレスによって導入された断面下縁でのコンクリートの圧縮応力度の関係を示したものである。プレストレスによりコンクリートに導入されている圧縮応力度が増えるにつれて、initiating crackの発生からせん断ひび割れ発生までのせん断力の増加分($V_{cr}-V_{ini}$)は、わずかに増加していることがわかる。この増加

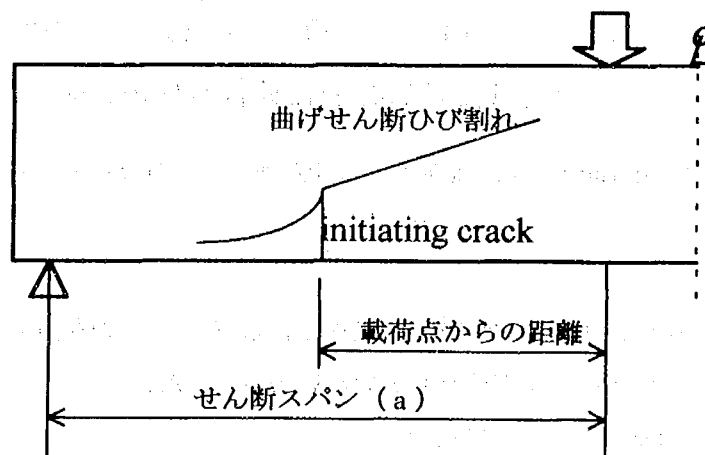
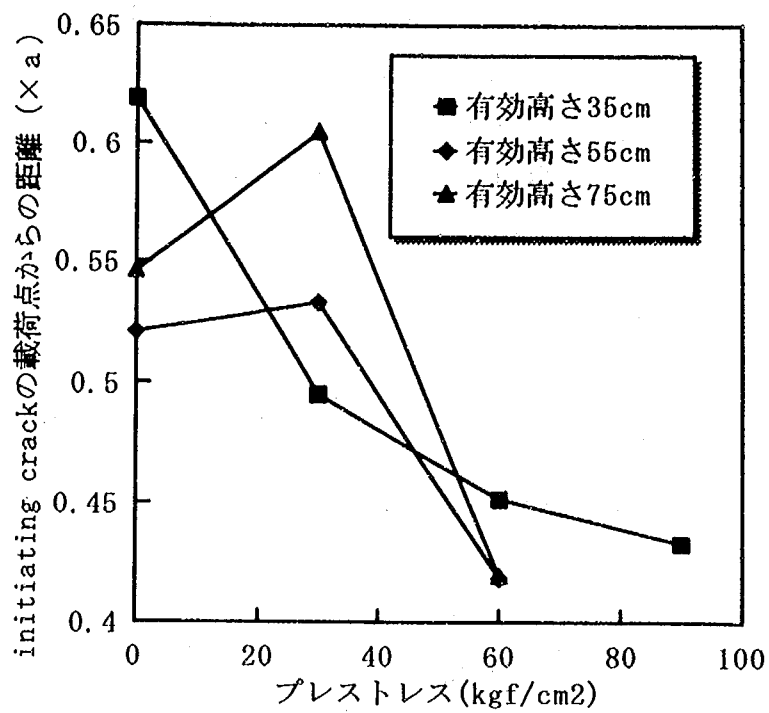


図-4. 3 initiating crackの発生位置

分($V_{cr}-V_{ini}$)と、供試体断面寸法との関連性は明確ではなく、($V_{cr}-V_{ini}$)を部材断面の断面積の関数として表わすことが必ずしも適当ではないことを示している。

一方、($V_{cr}-V_{ini}$)とコンクリートの圧縮強度の関係を図-4. 5に示す。図中では、同じプレストレス量のデータを点線で結んでいて、 σ の値は断面下縁に導入されている圧縮応力度を示している。initiating crackの発生から、曲げせん断ひび割れ発生までの荷重の増加は、コンクリート強度とあまり相関性が無いことがわかる。

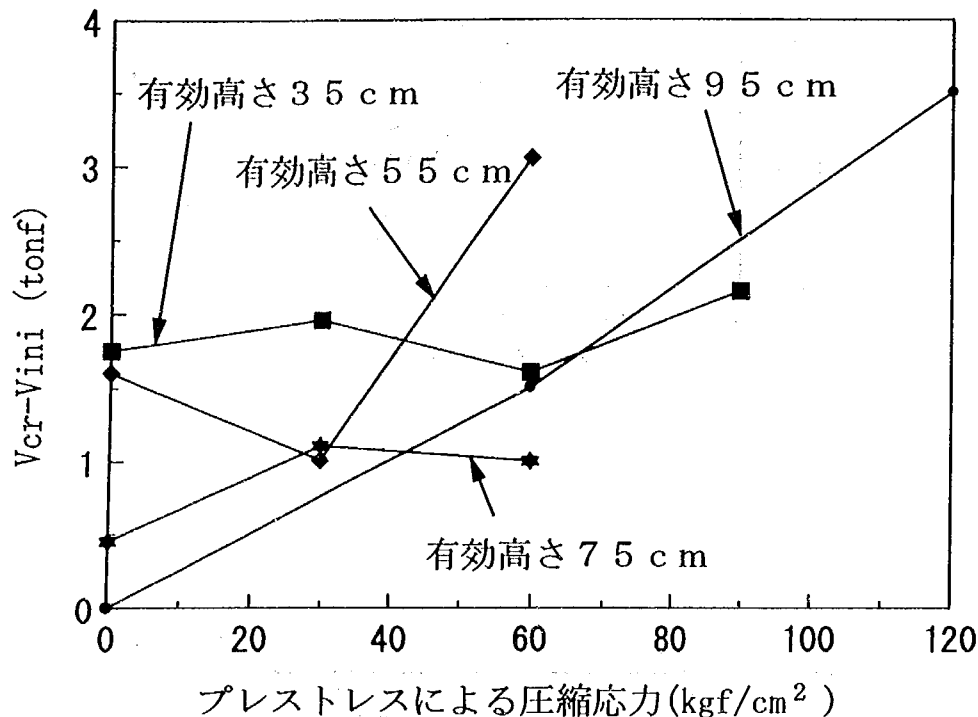


図-4. 4 initiating crack発生からせん断ひび割れ発生までのせん断力の増加

すなわち、initiating crackの発生以後、曲げせん断ひび割れが入るまでの荷重の増加は

- 1) コンクリート強度はほとんど関与していないこと、また、
- 2) 断面寸法との関連性が明確ではない
- 3) プレストレスの増加により、やや増加する。といった傾向にある。

以上のことから、initiating crackの発生荷重からせん断ひび割れ時強度を推進する場合、initiating crackの位置を適切に評価することが非常に重要であること、initiating crackの発生からせん断ひび割れ発生までのせん断力増加分については、今回の実験データからはコンクリート強度とは関連性を見出せず、適切な回帰式は導けないことが明らかとなった。

initiating crackの考え方からプレストレスのある場合のせん断ひび割れをとらえることは概算的には可能であるが上記の点が明らかになっていないため、正確な評価は難しいと考えられる。

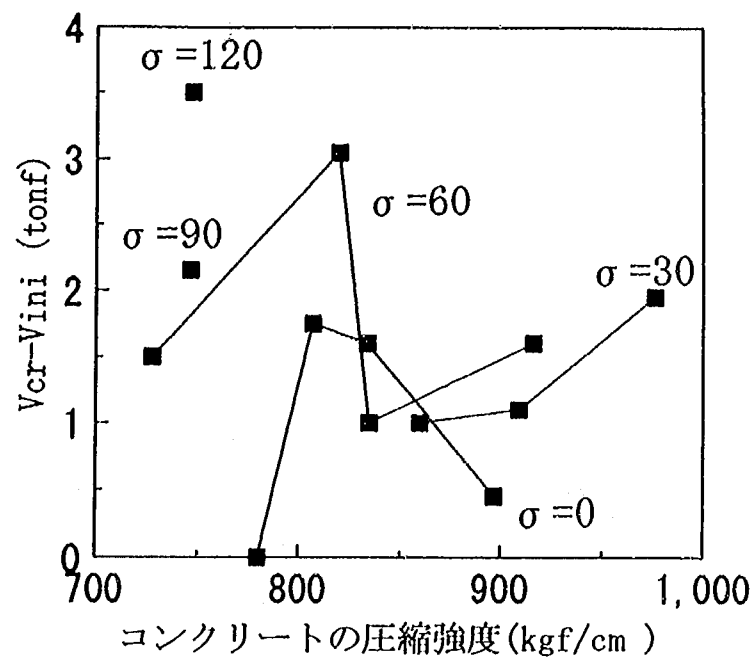


図-4. 5 Vcr-Viniとコンクリート強度の関係

4. 4 プレストレストコンクリートはり供試体に生じていたひずみ及び応力の分布状況

4. 4. 1 概要

載荷実験において、せん断スパン部分に三軸ひずみゲージにより、コンクリートの軸ひずみならびにせん断ひずみを測定している。ここでは、コンクリートの材料試験によって得られたヤング係数ならびにポアソン比を用いて、せん断ひずみの測定値からせん断応力の推定を行った。このようにして得られたせん断応力の測定結果を基に、せん断応力分布を求め、ひび割れの存在により、せん断分布がどのように変化するのか検討を行った。また、軸ひずみの測定結果より、断面の高さ方向の軸ひずみの変動から曲率を求め、曲げモーメントと曲率の関係を導き、通常の曲げ解析によって得られる曲げモーメントと曲率の関係と比較検討を行った。このような比較を行った理由は、もし曲げモーメントと曲率の関係の測定結果が解析結果に近いものであれば、コンクリートの生じている応力状態の大まかな見当が付くためである。

せん断ひび割れの発生はinitiating crackの近傍から生じ、ここから載荷点に向けて進展する。従って、initiating crackの近傍のコンクリートのせん断応力の発生状況を把握することが重要である。ここでは、initiating crackの近傍に位置する三軸ゲージから測定されてひずみからせん断応力を推定し、測定されたせん断応力と荷重の関係が、導入されているプレストレスに応じてどのように変化するのか検討を行った。

この結果を基に、プレストレスの導入によるコンクリートの負担するせん断力の増分について定量的な評価を試み、実験結果との比較・decompression momentによる方法などとの比較検討を行った。

4. 4. 2 軸ひずみ測定結果から得られる曲げモーメント曲率の関係

軸ひずみの測定結果から曲率を求める方法として、ここでは図-4. 6に示したように圧縮側の2枚のひずみゲージの部材軸方向のひずみの差から算定した。すなわち、断面高さ方向の2枚のひずみを ϵ_{x1} 、 ϵ_{x2} ひずみゲージの間隔を Δy とすると、曲率 ϕ は次式で表される。

$$\phi = \frac{\epsilon_{x1} - \epsilon_{x2}}{\Delta y}$$

図-4. 7は供試体8、10～12の各位置で測定された曲げモーメントと曲率の関係である。なお、図中の実線で示した曲線は、平面保持の仮定に基づいて計算された曲げモーメントと曲率の関係である。解析に用いたコンクリートの応力ひずみ関係は、圧縮側については円柱供試体の圧縮試験で得られた応力ひずみ曲線の回帰結果を用い、引張側については、コンクリートのヤング係数を傾きとする直線によって表される応力ひずみ関係を用いた。用いたコンクリートの応力ひずみ関係を図-4. 8に示す。

各供試体とも、載荷点から36cm以内（供試体の有効高さが35cmであるので、有効高さ分の距離以内）のところでは、曲げひび割れ発生モーメントまでは、モーメントと曲率の関係は測定結果と解析結果が近いものの、曲げひび割れ発生モーメント以上のところでは、ある曲げモーメントに対する曲率が解析結果よりも小さくなっている場合が多い。一方、載荷点から48cm離れたところでは、供試体8の結果を除いて、解析結

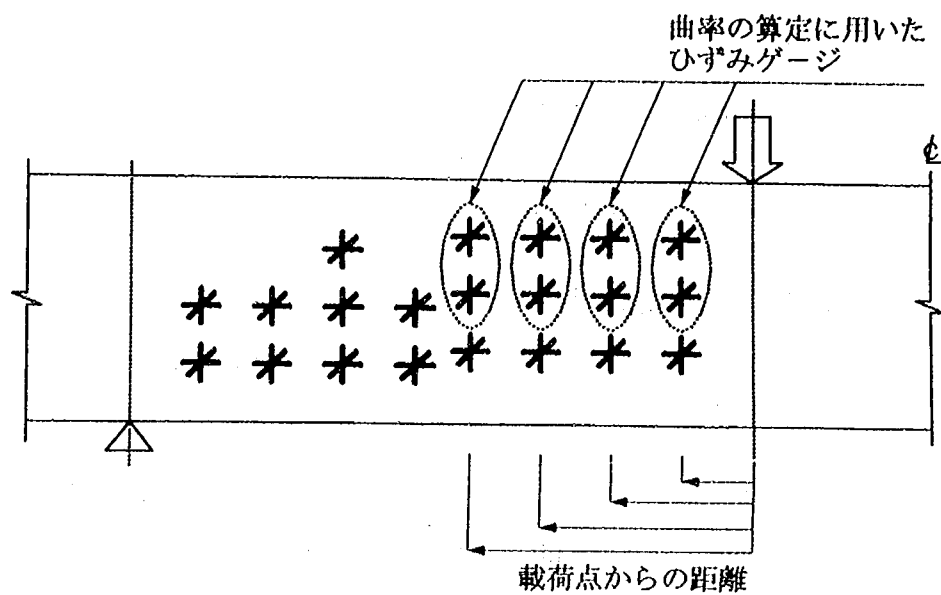


図-4.6 曲率の算定に用いたひずみゲージ

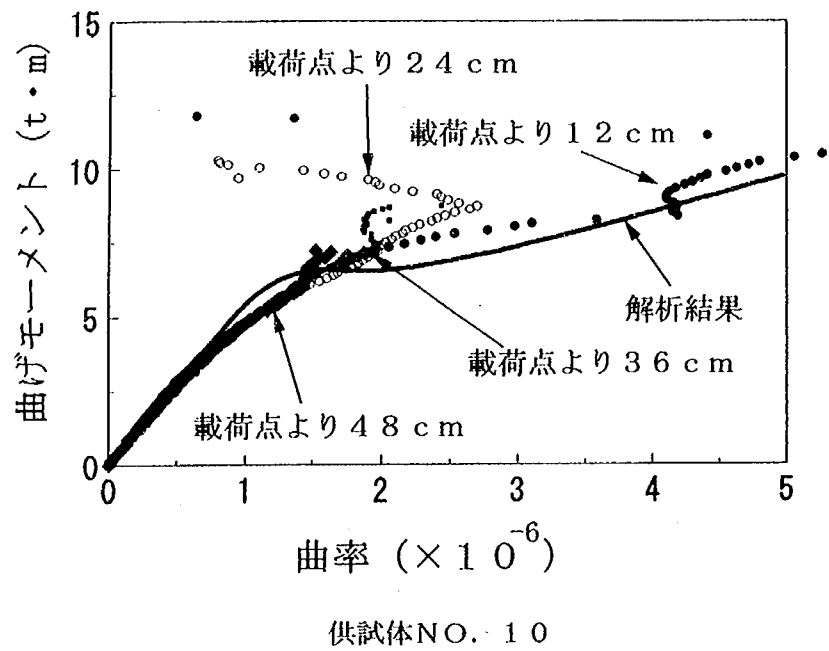
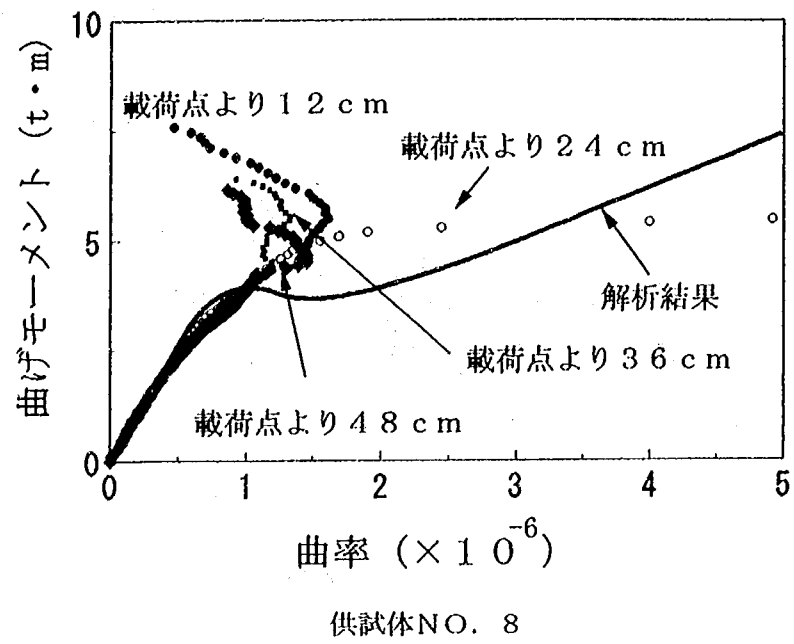


図-4. 7 曲げモーメント-曲率関係 (その1)

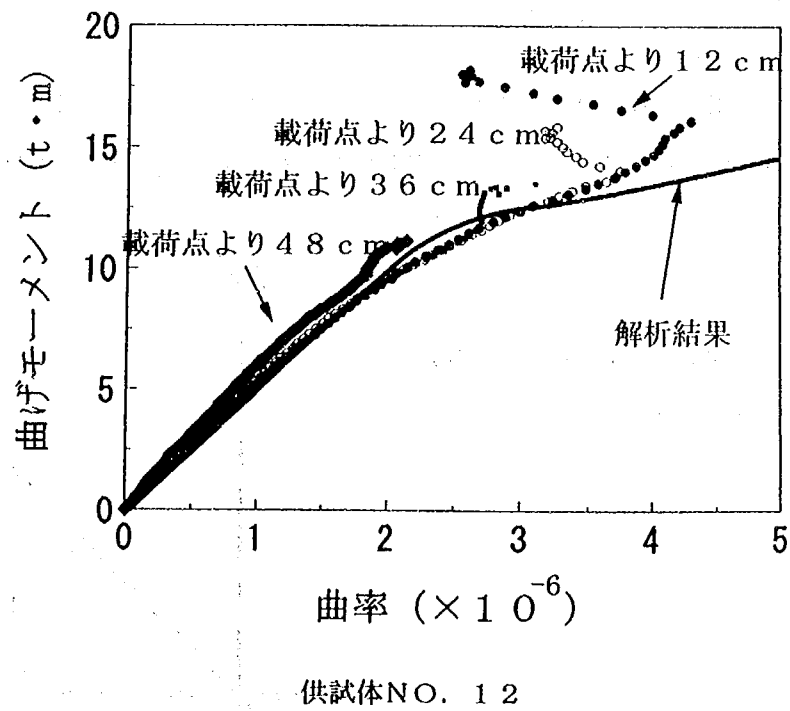
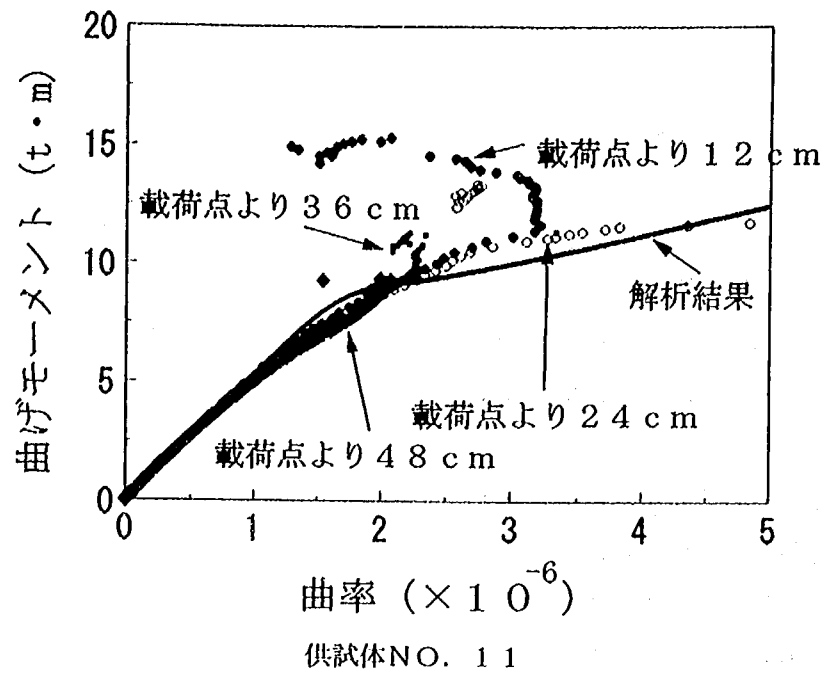


図-4. 7 曲げモーメント-曲率関係 (その2)

果と実測結果がほぼ一致しており、軸方向の応力については、曲げ理論に基づく応力解析がおおむね適用できることを示しているものと考えられる。

4. 4. 3 セン断応力の実測結果

供試体のせん断ひび割れ強度の定量的評価を行うためには、供試体のせん断スパンに発生しているせん断応力を明らかにすることが望ましい。ところが、せん断応力分布を解析的に求めることは必ずしも容易ではない。特に、コンクリートにひび割れが発生している状態では、ひび割れ近傍の引張応力の開放状態に応じてせん断応力も変化するので、一層せん断応力分布を解析的に求めることは困難となる。

このため、ここでは供試体のせん断スパンに貼りつけた三軸ひずみゲージによるひずみの測定結果ならびに、コンクリートの円柱供試体の圧縮強度試験で得られたコンクリートのヤング率とポアソン比を用いて、せん断応力を試算することとした。

三軸ひずみゲージにより測定されたひずみからせん断応力を求める方法は次のようにした。

三軸ひずみゲージにより測定された三成分のひずみをそれぞれ ϵ_x 、 ϵ_y 、 ϵ_z とする。せん断ひずみ（工学的ひずみ）を γ_{xy} とすると、 γ_{xy} は次式で求められる。

$$\gamma_{xy} = \epsilon_x + \epsilon_y - 2\epsilon_z$$

コンクリートのせん断弾性係数を G とすると、せん断応力 τ は次式により求められる。

$$\tau = G \cdot \gamma_{xy}$$

ここに、

$$G = \frac{E}{2(1+\nu)}$$

である。なお、このような方法でせん断応力の推定が可能となるのは、ゲージ張付地点におけるコンクリートが弾性範囲内にある場合のみである。これを超えるような状態では、上式を用いて算定される

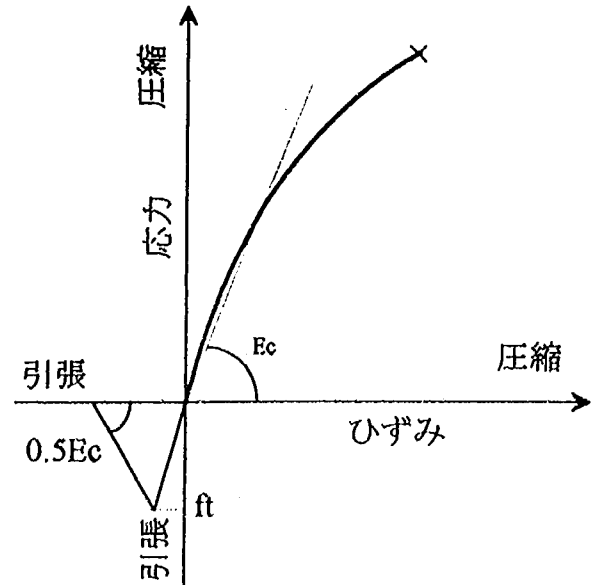


図-4. 8 解析に用いたコンクリートの応力ひずみ関係

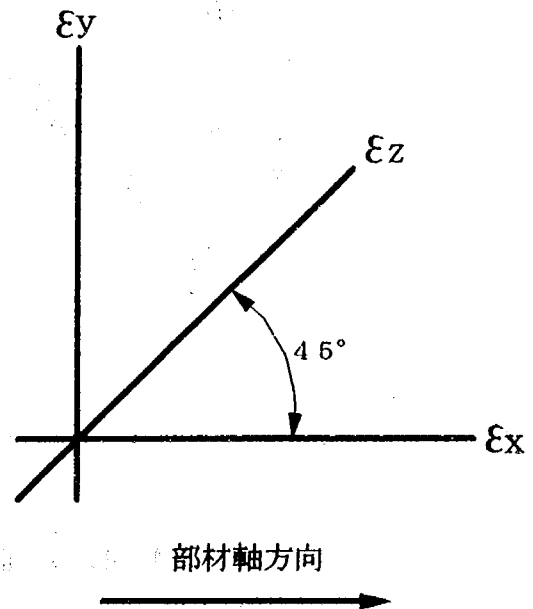


図-4. 9 三軸ゲージのひずみ成分

せん断応力の値は正しくない。ここでは、便宜上測定された三成分のひずみすべてが 200μ よりも小さい範囲のみを有効とした。

図-4. 10は供試体8、10、11、12（いずれも断面の有効高さ35cm、プレストレスが0～ 90kgf/cm^2 まで順次増加）のせん断ひび割れ発生直前のせん断応力分布を示す。図中には、曲げ解析による中立軸位置を点線で示している。

中立軸より下縁側に位置するひずみゲージは、曲げひび割れの影響を受けて正確なひずみの測定を行えていないものも幾つか見受けられたが、曲げひび割れ区間内にある部分では、負担しているせん断応力が小さくなっているものが多くなっている。せん断応力は中立軸位置より上にある圧縮側コンクリートの方が大きくなっている。一方、せん断応力の測定位置が支点に近づくにつれて、断面の高さ方向のせん断応力の分布形状は放物線に近くなっている。ただし、放物線の頂点は、部材高さの中央ではなく、下方にシフトしている。

図-4. 11は供試体8、10、11、12のひび割れ進展状況を示している。図中の点線は曲げ解析により求められた中立軸位置を示している。せん断ひび割れは、initiating crackを基点として発生し、載荷点方向に向かって進展している。進展方向は、中立軸位置の傾きよりもやや横にねた（勾配の小さい）方向になっている。initiating crackからせん断ひび割れに変更する箇所は、中立軸の試算位置近傍から下縁方向にずれたところ（すなわち引張応力側）に位置している。initiating crackが傾斜を持ち斜めひび割れに移行すると、わずかな荷重増加により急激にせん断ひび割れが進展している。

図-4. 12は、initiating crackがせん断ひび割れに移行する地点に最も近い地点に位置する三軸ひずみゲージのひずみ測定結果から、せん断応力を推定した結果を、載荷荷重との関係で示したものである。この図からせん断応力は載荷荷重の増加に伴い増加しているが、必ずしも線形的には増えていないことがわかる。また、載荷荷重がせん断ひび割れ強度近くになるとせん断応力が急激に増加していることがわかる。この傾向はいずれの供試体も同様である。

ここで、各供試体の載荷荷重とせん断応力の関係について供試体8のせん断ひび割れ発生荷重で正規化した結果を図-4. 13に示す。すなわち、各供試体のせん断ひび割れ発生荷重を P_{cr} とし、供試体8のせん断ひび割れ発生荷重を P_{cr8} としたとき、両者の比

$$k_p = \frac{P_{cr8}}{P_{cr}}$$

を求め、各供試体のせん断応力並びに載荷荷重にこの比率を乗じた結果を示す。図-4. 13を見ると、供試体8を除き（供試体8では、曲げひび割れがひずみゲージにかかり比較的小さな荷重でせん断応力の推定が不可能になった）載荷荷重とせん断応力の関係は比較的近い近い関係にある。いいかえると、供試体に導入されるプレストレスが大きくなると、これに伴いせん断ひび割れ発生荷重が大きくなる。このとき、載荷荷重とせん断応力の関係も図-4. 12に示したように変化するが、関数形そのものは変化せず、せん断ひび割れ荷重の増加比率を比例係数として、せん断応力と載荷荷重の関係は相似的に拡大するといえる。この状況を模式的に示すと図-4. 14の様になる。

この関係はプレストレスによりせん断ひび割れ発生荷重の増加を定量的に評価する際、重要となるものである。

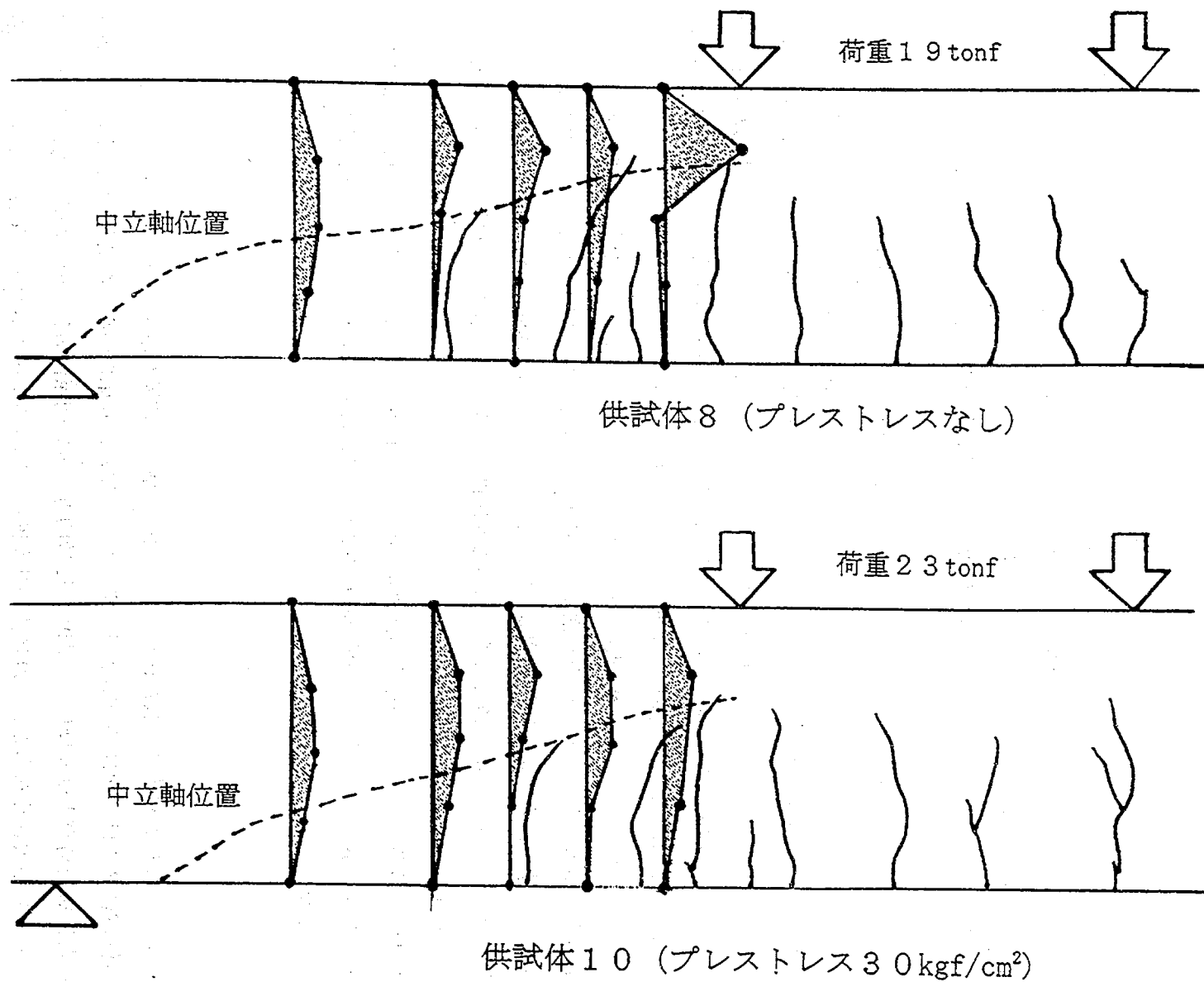


図-4. 10 ひび割れ発生状況とせん断応力分布 (その1)

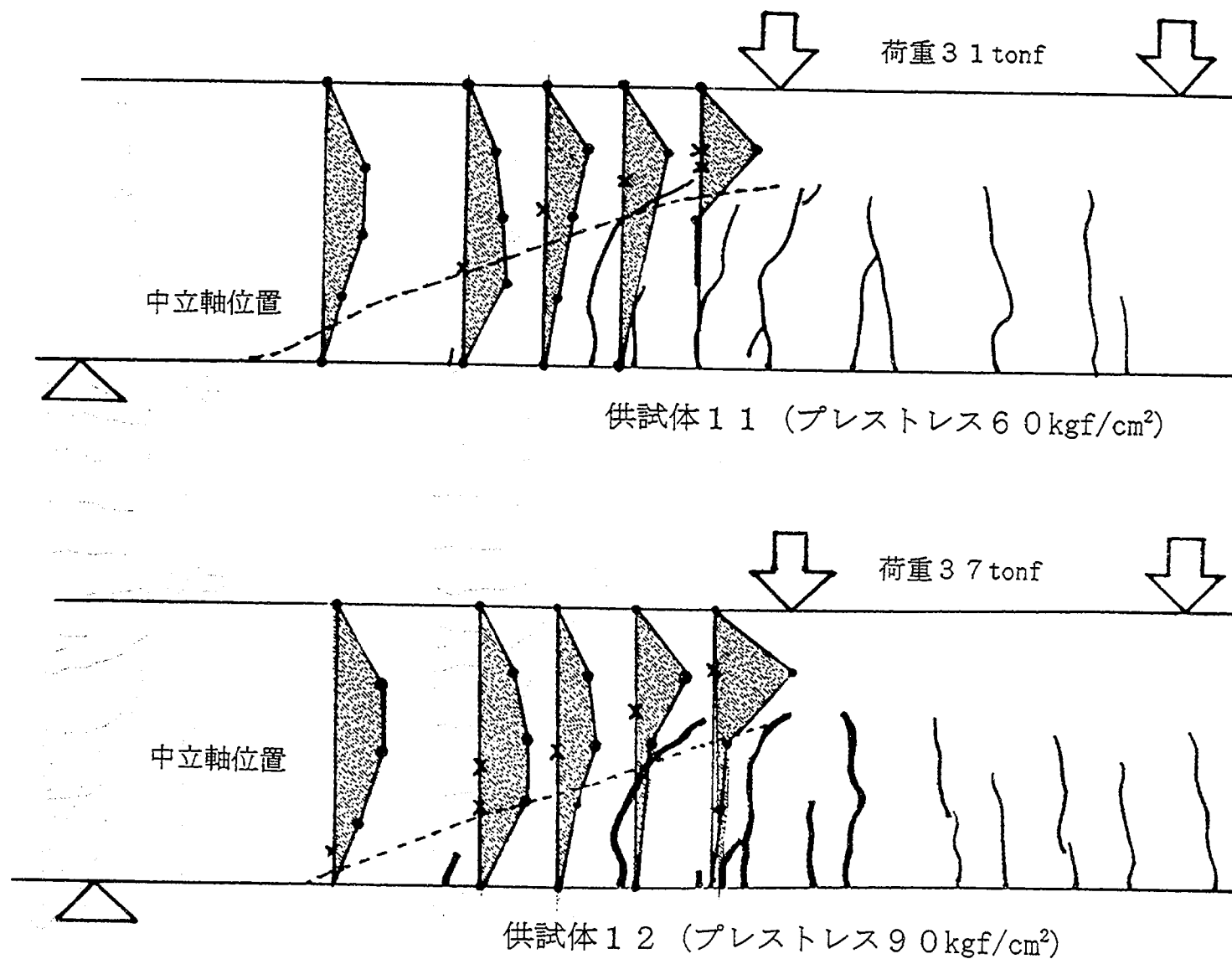


図-4. 10 ひび割れ発生状況とせん断応力分布 (その2)

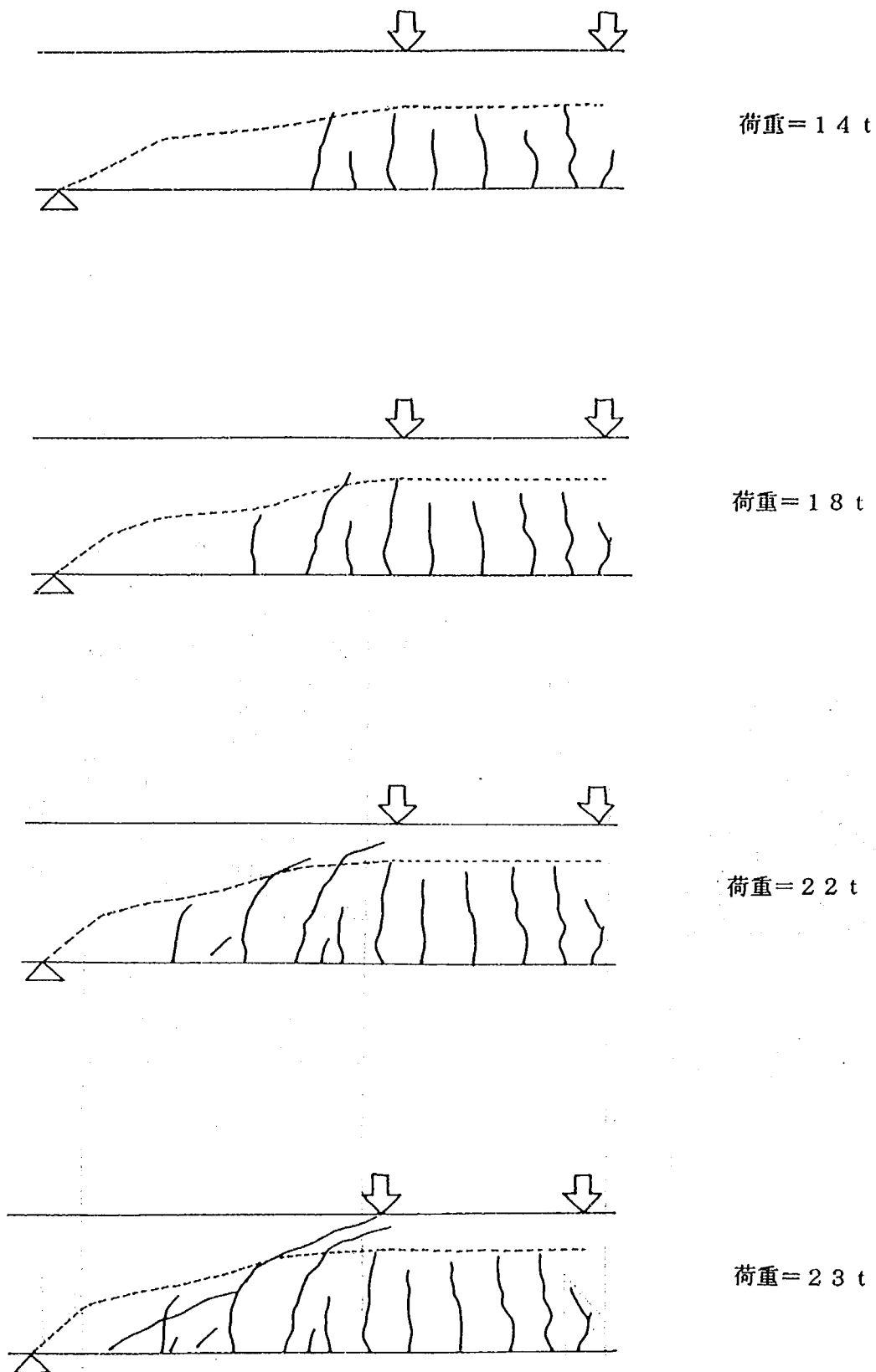
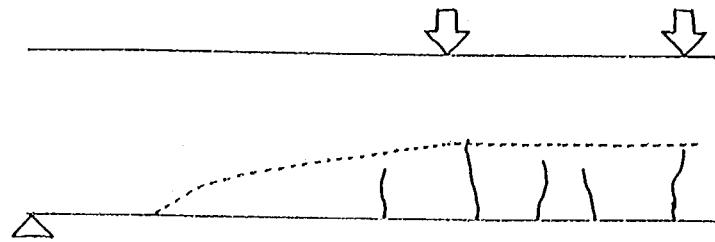
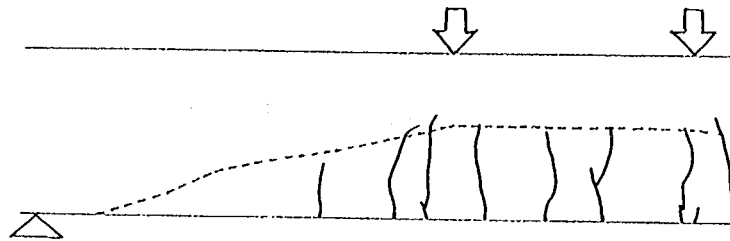


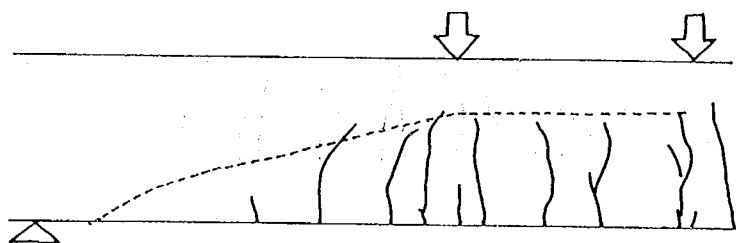
図-4. 11 ひび割れ進展状況 (供試体8: 点線は中立軸位置の計算結果)



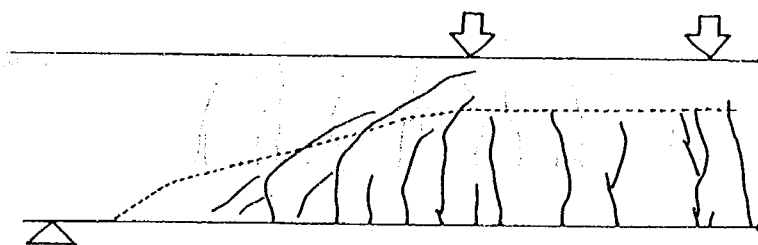
荷重 = 16 t



荷重 = 20 t

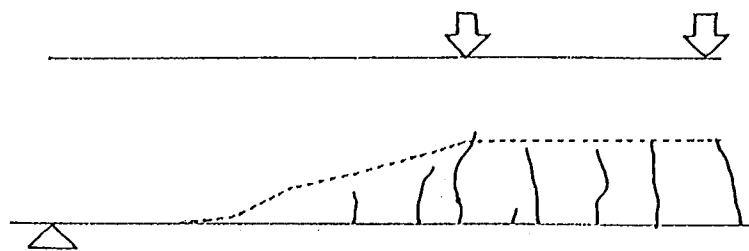


荷重 = 24 t

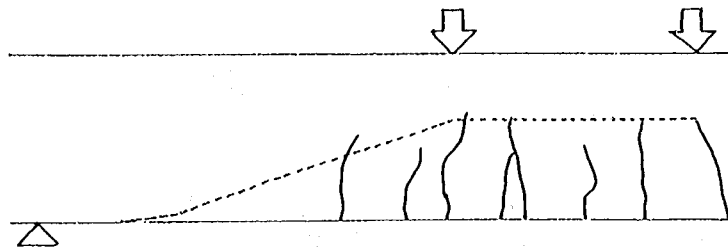


荷重 = 26 t

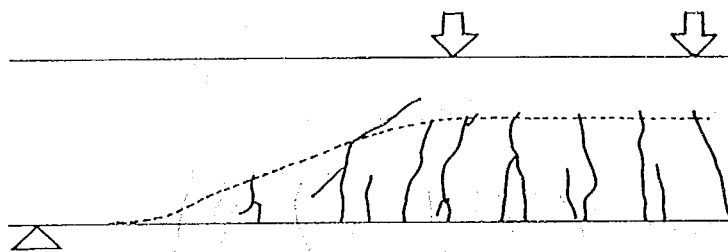
図-4. 11 ひび割れ進展状況 (供試体 10 : 点線は中立軸位置の計算結果)



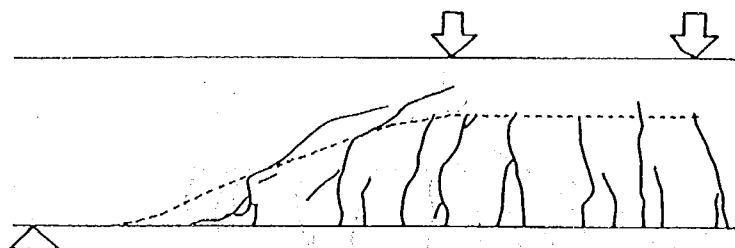
荷重=24t



荷重=28t

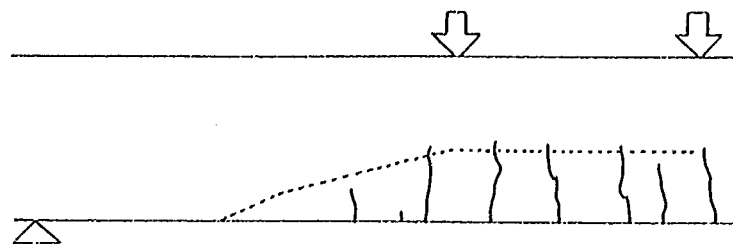


荷重=32t

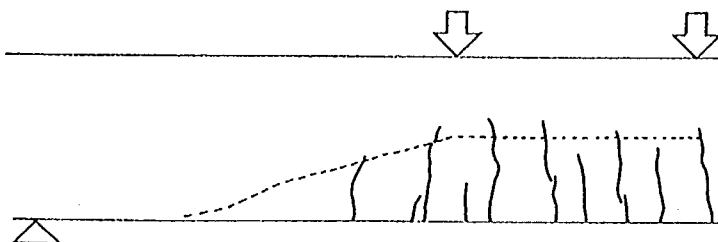


荷重=33t

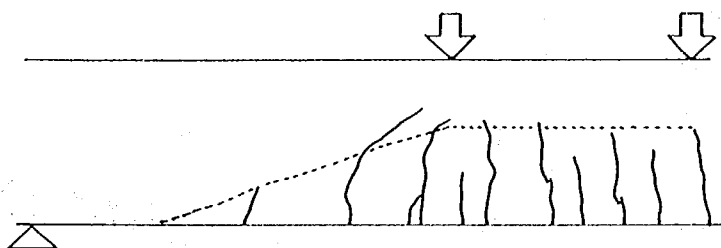
図-4. 11 ひび割れ進展状況（供試体11：点線は中立軸位置の計算結果）



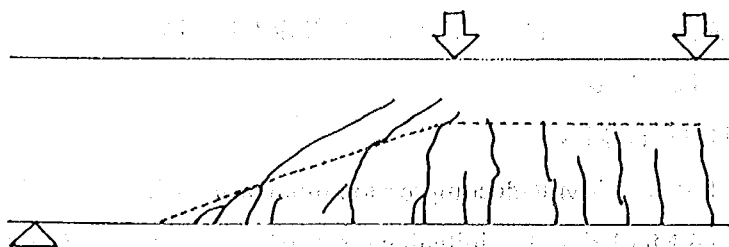
荷重=30t



荷重=34t



荷重=38t



荷重=39t

図-4. 11 ひび割れ進展状況 (供試体12: 点線は中立軸位置の計算結果)

4. 4. 4 プレストレスによるせん断ひび割れ発生荷重の定量的評価について

ここでは、これまでに明らかにしたせん断ひび割れ時のせん断応力分布、ひび割れ状況、並びにプレストレスの効果に関する検討結果を用いて、プレストレスの導入によるせん断ひび割れ発生時のせん断力の増加について検討を行う。

先の検討結果から、ここで用いた項目は次のとおりである。

1) プレストレスの無い供試体の部材の寸法効果は、供試体有効高さの $-1/2$ 乗に比例する。

2) 供試体に配置された引張鋼材比によるせん断ひび割れ時のせん断力は鋼材比(%)の $1/3$ 乗に比例する。

3) せん断ひび割れは、initiating crack近傍から始まり、傾斜を持って進展する。せん断ひび割れ進展中の荷重の増分はわずかであることから、initiating crack近傍の傾斜を持ったひび割れの発生をせん断ひび割れ発生荷重とする。この地点は、ひび割れ先端と中立軸の間に位置する。

4) プレストレスの効果によりせん断ひび割れ発生荷重が増加した場合、近傍に発生するせん断応力の大きさは、せん断ひび割れ発生荷重の増加倍率におおむね等しい。

ここで、プレストレスの導入により大きさ M_0 のdecompression momentが導入されている場合を考える。部材の曲げひび割れ発生モーメントを M_{cr} とすると、initiating crack発生時点でのせん断力は、プレストレスの無い場合に比べて $(1+M_{cr}/M_0)$ 倍だけ増加している。従って、4)の仮定からせん断ひび割れ発生直前のせん断応力も $(1+M_{cr}/M_0)$ 倍だけ増加するものと考えられる。

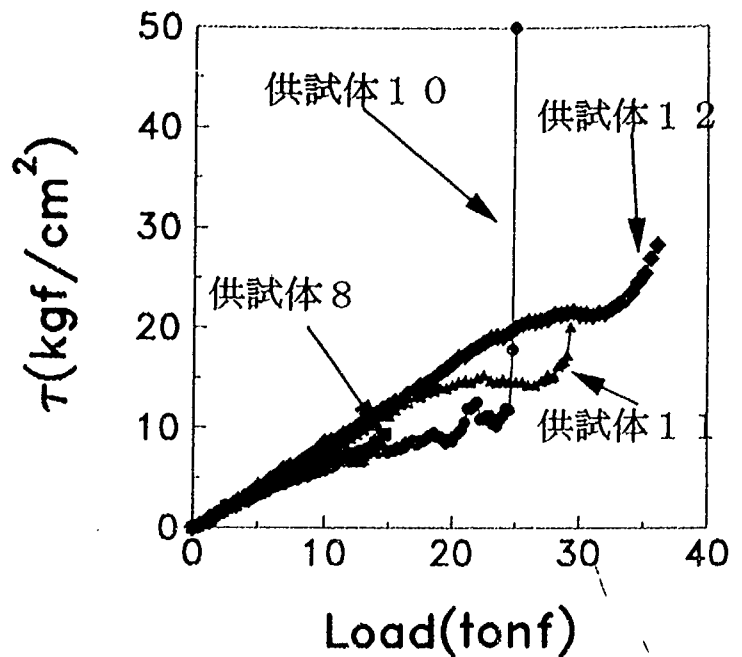


図-4. 12 せん断力とせん断応力の関係

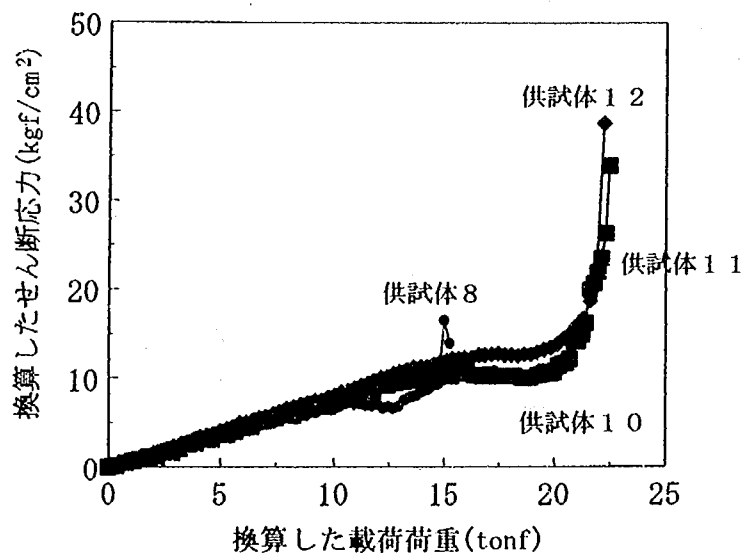


図-4. 13 換算後のせん断力とせん断応力の関係

ところが、せん断応力が増加すると、これに伴って主応力の増加も起こる。ところが、主応力の値はコンクリートの引張強度を超えて大きくすることはできない。従って、ここでは次に示す低減係数を用いてせん断応力の値を低減させることとした。

プレストレスが無い場合の、せん断ひび割れ発生時のinitiating crack近傍のコンクリートの軸方向の引張応力が $\alpha \cdot f_t$ 、せん断応力が τ_{cr0} であったとする。ここでひび割れ発生時、主応力がコンクリートの引張強度に等しいとする。すなわち、

$$\frac{\alpha f_t}{2} + \sqrt{\left(\frac{\alpha f_t}{2}\right)^2 + \tau_{cr0}^2} = f_t$$

が成立すると考える。

プレストレスによるdecompression momentが M_0 の場合、同一曲げモーメントに対するせん断力は

$$1 + \frac{M_0}{M_{cr}}$$

倍だけ増加する。このため、せん断応力も $1 + M_0/M_{cr}$ だけ増加する。ところが、せん断応力が増加した場合、主応力がコンクリートの引張強度を超過する可能性がある。主応力は

$$\sigma_t = \frac{\alpha f_t}{2} + \sqrt{\left(\frac{\alpha f_t}{2}\right)^2 + \tau_{cr}^2}$$

となっている。従って、次に示す低減係数により、プレストレスのある場合のせん断ひび割れ発生時のせん断応力を低減させた。

低減係数を次のように定義する。

$$k_\tau = \frac{\frac{\alpha f_t}{2} + \sqrt{\left(\frac{\alpha f_t}{2}\right)^2 + \tau_{cr}^2}}{f_t}$$

ここで、上記の低減係数 k_τ ならびにdecompression momentを用いると、プレストレスのある場合のせん断ひび割れ発生時のせん断力は次式のように計算される。

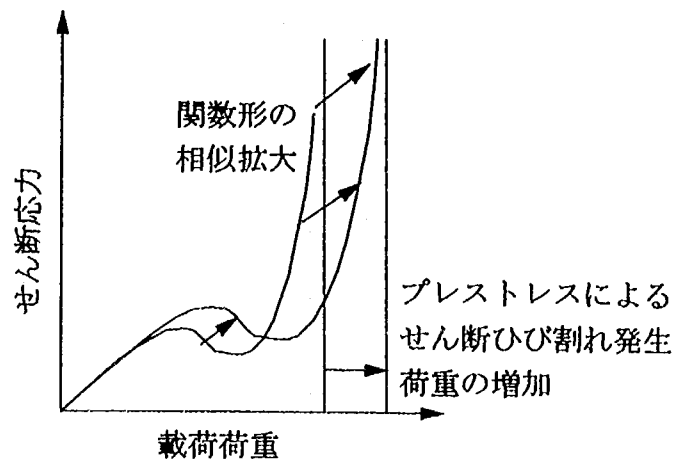


図-4. 14 せん断応力変化の模式図

$$V_{cr} = V_{cr0} + (M_0/M_{cr}) \cdot k_{\tau}^{-1} \cdot V_{cr0}$$

本式に従いせん断ひび割れ発生時のせん断力の算定結果を実験値と比較したものを図-4、15に示す。

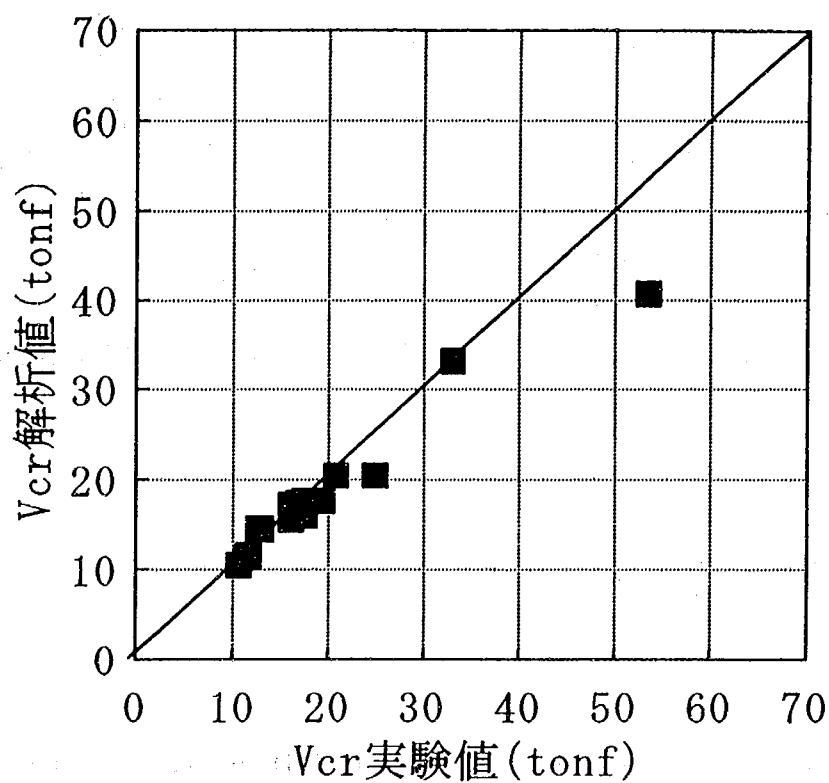
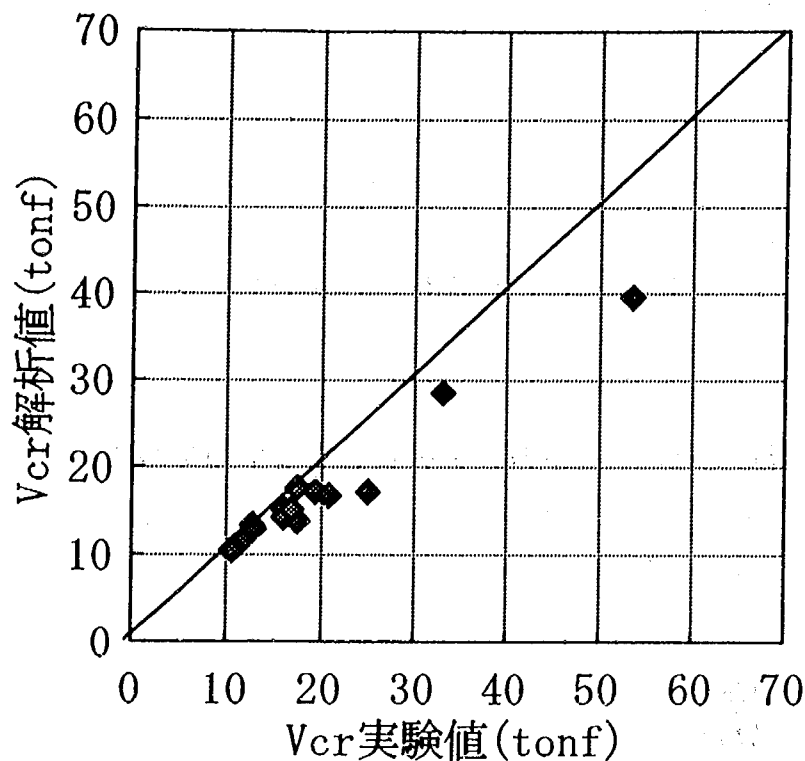


図-4. 15 せん断ひび割れ時のせん断力の解析結果と実験結果の比較



図－４．１６ セン断ひび割れ時のせん断力の解析結果と実験結果の比較
(M_o/a を用いた場合)

この結果から、供試体の有効高さが95cmでプレストレスによる断面下縁に発生しているコンクリートの応力度が120kgf/cm²と設定されている場合は、かなり安全側の結果を示すが、それ以外の供試体については、実験結果と解析結果がおおむね一致していることがわかる。図－４．１６は、プレストレスによるせん断ひび割れ時のせん断力の増分がdecompression momentをスパン長 a で除して得られるせん断力分に等しいと仮定して得られるせん断力の解析結果と実験値を比較したものである。図－４．１６は図－４．１５に示した結果に近いが、全般的に算定されるせん断力は、実験結果よりも小さくなっている。

以上の検討結果から、ここで仮定した手順に従ってプレストレスのある場合のせん断ひび割れ荷重の増加をおおむね算定することが可能であること、また、ここで仮定した算定される方法による算定結果が、従来用いられてきたdecompression momentならびにスパン長 a を用いたせん断力の増加量の算定結果とほぼ同一かあるいは若干高精度であることが判明した。

第5章 概存の設計基準と実験結果の比較

5. 1 概要

ここでは、土木学会プレストレストコンクリート標準示方書（昭和53年）、土木学会コンクリート標準示方書（平成3年）、道路橋示方書3コンクリート橋編（平成2年）において規定されているコンクリートの負担する平均せん断応力と、本実験で得られたPC部材のせん断ひび割れ時の平均せん断応力の比較検討を行った。

5. 2 各設計基準で規定されたコンクリートの負担する平均せん断応力度

土木学会プレストレストコンクリート標準示方書及び高強度コンクリート設計施工指針によると、コンクリートの負担するせん断力は、次のように定められている。

$$S_{cd} = 0.4\sigma_{cld} b_{wd} \left(1 + \frac{M_0}{M_d}\right)$$

ただし

$$1 + \frac{M_0}{M_d} \leq 2$$

$$\sigma_{cld} = \frac{\sigma_{clk}}{\gamma_{mc}}$$

ここで

γ_{mc} はコンクリート強度に関する安全係数

σ_{clk} はコンクリートの引張強度で表-5. 1の通り定められている。

表-5. 1 コンクリートの引張強度（単位はkgf/cm²）

設計基準強度	300	400	500	600	800
σ_{clk}	20	24	28	32	36

次に、道路橋示方書コンクリート橋編IIIによると、コンクリートが負担できる平均せん断応力度は表-5. 2のように定められている。

表-5. 2 道路橋示方書によるコンクリートが負担できるせん断応力度 (単位はkgf/cm²)

設計基準強度	210	240	270	300	400	500
コンクリートが負担できるせん断応力度	3.6	3.9	4.2	4.5	5.5	6.5

上記の表は、コンクリートの引張強度の設計値 f_{cd1} を

$$f_{cd1} = 0.6 \cdot \frac{0.2f_{ck}^{2/3}}{\gamma_c} \quad (N/mm^2)$$

であたえ、 f_{cd1} を材料係数1.7で割ることによって得られる。

土木学会標準示方書(平成3年版)では、部材の有効高さ、コンクリート強度、軸方向鋼材比、軸方向応力を考慮できる。ここでは、部材の有効高さが1m、鋼材比が1%と各係数が1となる標準的な場合を考える。

以上の各基準で設定されている、コンクリートの負担できる平均せん断応力を、コンクリート強度との関係で示したものが図-5. 1である。なお、土木学会PC示方書の値は引張強度を0.4倍したものを示している。

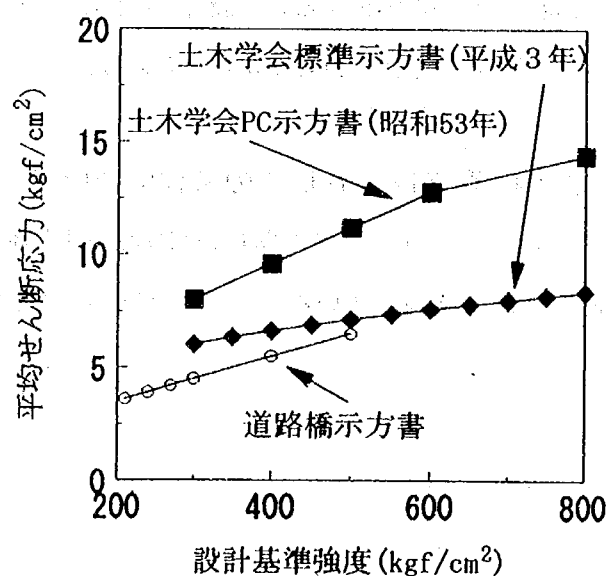


図-5. 1 コンクリートの設計基準強度と平均せん断応力の関係

この指針に加えて、今回実施した実験データを示したものが図-5. 2である。なお、図中に示した平均せん断応力の値は、寸法効果が有効高さの $-1/2$ 乗、引張鋼材比については $1/3$ 乗に比例するものと仮定して、有効高さが1 m、引張鋼材比が1 %の場合になるよう補正を施したものである。この図からわかるとおり、コンクリートの負担する平均せん断応力は、おおむね土木学会基準に近いこと、ただし、コンクリート強度が 600kgf/cm^2 以上では増加の割合が小さいことがわかる。

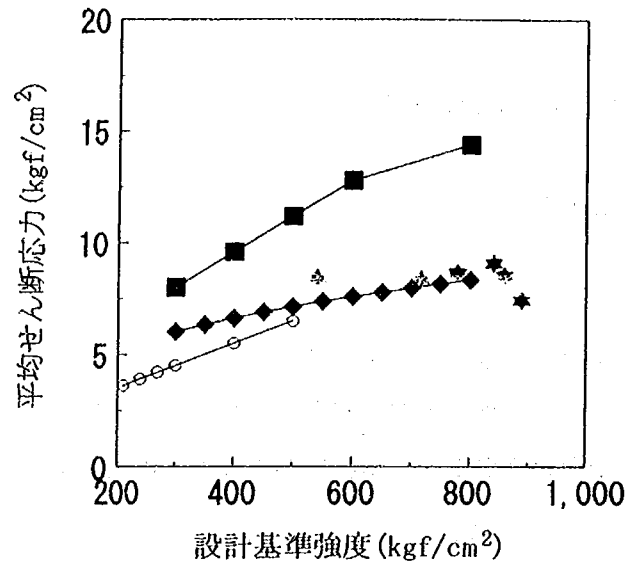


図-5. 2 指針と実験値との比較

現在の道路橋示方書で規定されている平均せん断応力の設定値は、 500kgf/cm^2 までであるので、今回の実験データと直接の比較はできないが、実験データから類推すると、設計基準強度が 600kgf/cm^2 以上の領域についても、それ以下の領域と同等の割合で延長することには無理があると考えられる。

5. 3 コンクリートに導入されているプレストレスの影響について

コンクリートに導入されているプレストレスにより、せん断ひび割れ時のせん断力は増加するが、これを各設計基準ではdecompression momentを用いて考慮している。この割増分は通常次式で算定される係数 k を乗じることによっている。

$$k = 1 + \frac{M_0}{M_d}$$

ここで分母となる M_d は設計荷重時もしくは終局荷重時の断面に作用する曲げモーメントである。係数 k の値は分母となる M_d をどのように定義するかによって、その値は大きく変化する。ここで行った実験結果では、プレストレスによるせん断ひび割れ時にコンクリートが負担するせん断力の増加は、コンクリート強度や部

材の有効高さといったパラメータに依存することなくdecompression momentとせん断スパン長によって決まると考えて差し支えないという結果が得られている。

設計計算において、 M_d を終局時として捉える場合、 M_d は部材に発生する最大曲げモーメントが破壊曲げ抵抗モーメントにほぼ等しくなる。このとき、 M_d は M_0 に比べて非常に大きくなるので、プレストレスの効果はみかけ上小さく表れることになる。

一方、設計荷重時を想定する場合、プレストレストコンクリート部材では断面下縁に発生する応力度は許容引張応力度レベルに限定されているため、 M_d としては曲げひび割れモーメントより若干小さい値に設定される。土木学会PC標準示方書において係数 k の上限を2に定めている理由として、これが2を超えると曲げひび割れの発生以前にせん断ひび割れが生じる可能性があり、これを防止するためであるとしている。この理由から類推すると、 M_d としてはほぼ曲げひび割れモーメント程度を念頭においていると予想される。

この場合、終局時を想定して設定される M_d と比べるとはるかに小さい値となり、結果的には係数 k の値は大きくなる。

このように、プレストレスの効果については、式の形そのものは同じであっても、式の中で用いられる設計曲げモーメントとしてどの程度のものを考慮するかによって、大きな差が出ることに注意する必要がある。

ここで行った実験結果について、プレストレスによるせん断力の増加量を、 M_d として曲げひび割れ発生モーメントを採用した場合、 M_d として曲げ終局抵抗モーメントを採用した場合について、 M_0/M_d と $(V_{cr}-V_{cr0})/V_{cr0}$ の関係を図-5. 3、5. 4に示す。

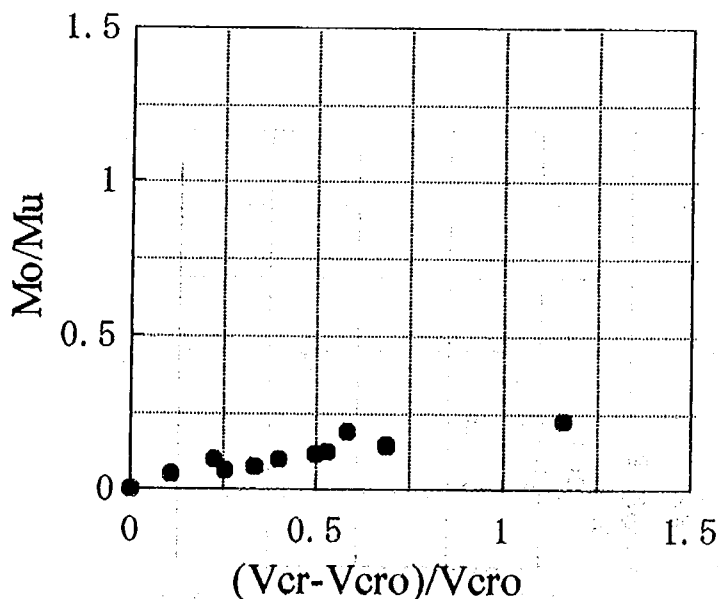


図-5. 3 プレストレスにより増加したせん断力と M_0/M_u の関係

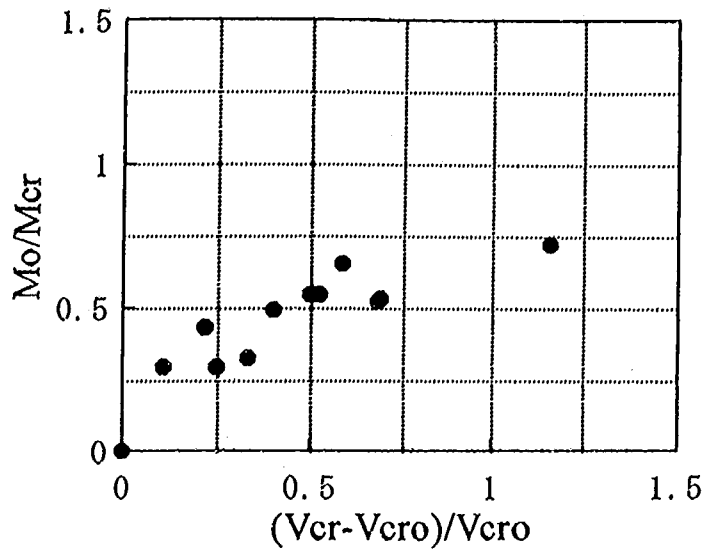


図-5. 4 プレストレスにより増加したせん断力と M_0/M_{cr} の関係

この結果から、 M_0/M_u の変動は $(V_{cr}-V_{cr0})/V_{cr0}$ の変動に対し非常に小さいことがわかる。このため、 M_d として M_u に近い値を用いると、プレストレスのある場合のコンクリートの負担するせん断力を過小評価するといえる。一方、 M_d として M_{cr} を用いた場合、 M_0/M_d の変動は $(V_{cr}-V_{cr0})/V_{cr0}$ の変動とほぼ同等であった。従って、 M_d として M_{cr} を用いるとプレストレスのある場合のコンクリートの負担するせん断力は、ほぼ適切に算定できるといえる。

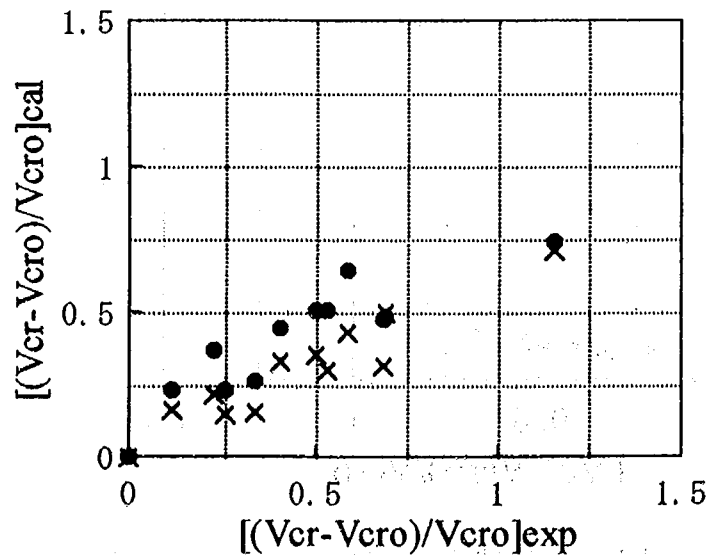


図-5. 5 せん断力の増分の実験値と解析値の比較

一方、図-5.5は第4章で示した解析方に従った場合（図中の●）法およびdecompression momentをスパン長で割ったせん断力が付加されると仮定したとき（図中の×）のせん断力の増加分について実験結果と解析結果を比較したものである。いずれも図-5.4とほぼ同様の結果となっている。

以上のことから、プレストレスによるコンクリートの負担するせん断力の増加を簡易に算定するには、設計曲げモーメント M_d として算定される係数 k を乗じるか、もしくは M_0 をせん断スパン長 a で除したせん断力分だけ付加されるといった方法を用いるのが適当であると考えられる。

5.4 まとめ

以上をまとめると、次のとおりである。

- 1) 設計基準強度が500～600 kgf/cm²以下の領域では、設計基準強度に応じてコンクリートの負担できるせん断応力度は増加するように設定されているが、この傾向を高強度コンクリートの領域まで延長することは妥当ではない。
- 2) プレストレスによるコンクリートの負担するせん断力の増加の算定にあたっては、設計曲げモーメントをどのように定義するかにより、その結果は大きく変化する。終局曲げモーメント分布を想定して設計曲げモーメントを規定すると、プレストレスの効果を過小評価すると考えられる。
- 3) decompression momentとせん断スパン長から求められるせん断力を付加することにより、プレストレスによるコンクリートの負担するせん断力の増加を適切に評価することができる。

第6章 結論

以上の考察の結果をまとめると次の通りである。

- 1) コンクリートの圧縮強度が $500 \sim 600 \text{ kgf/cm}^2$ 以上増加しても、せん断ひび割れ強度はほとんど増加しない。この理由としては、コンクリートの割裂試験による引張強度の上昇が、コンクリートの圧縮強度が 600 kgf/cm^2 あたりを境にほとんど増加しないためである。従って高強度コンクリート部材のせん断力に対する設計において、コンクリートが負担するせん断力を規定する際、その許容値はコンクリートの設計基準強度の増加に対しても増加させるべきではない。
- 2) 高強度コンクリート部材では寸法効果は従来の $200 \sim 300 \text{ kgf/cm}^2$ クラスのコンクリートを用いた部材より顕著となり、有効高さの $1/2$ 乗に反比例して低下する。（従来では $1/4$ 乗に反比例するとされている）ところが、プレストレスを導入した部材では、プレストレスにより増加するせん断強度の増加分が部材寸法に依存しない。そのため、プレストレス量が大きくなるほど見かけ上の寸法効果はゆるやかになる。このことは、プレストレスにより増加するせん断力は、プレストレスの無い時のせん断強度に対して独立に加え合わせる形をとる方が適していることを表している。
- 3) プレストレスにより増加するせん断強度について主応力の計算を基本にして定量的な評価及び根拠づけを試みた。ACIで提唱されているinitiating crackの考え方を参考とし、この近傍のコンクリートの主応力がコンクリートの引張応力に等しくなるといった仮定により導かれた結果は、せん断強度の増加が M_0/a で与えられるとする方法に近いものであった。
- 4) コンクリートが負担するせん断力を算定する場合は、設計基準ではプレストレスの無い場合に対し、係数 $k = (1 + M_0/M_d)$ を乗ずることで表現している。ところが設計基準により想定している設計曲げモーメント M_d が異なっているため同一の形の k を用いてもその値は大きく異なる。本研究では、 M_0/a を用いることが実験結果から考えても妥当であると考えられる。ただし分布荷重が作用する場合、せん断スパン長 a の定義が曖昧となるので a のとり方について更に検討する必要がある。

高強度コンクリートを用いた部材の設計法を確立するため曲げモーメントに対する照査手法に関する調査（前報）及び、せん断に対する設計手法（本報）について調査を行いその結果、設計手法の骨格となる部分については、明らかにされたものと考えられる。

しかし高強度コンクリートを用いたPC部材は、断面を縮小しプレストレスを多く導入するため鋼材のあき、かぶりなどの構造細目が問題となる可能性がある。また高強度コンクリートでは w/c が小さくコンクリートがち密になるため力学的な性能の向上だけでなく、耐久性の向上にもつながるものと考えられる。

コンクリート構造物の耐久性を一層向上させて、維持管理の負担を低減することは非常に重要であり、高強度コンクリートの実用化は、この問題に対する1つの解決策になりうる。

以上の問題については、今後の研究課題であり、引き続き調査を維持する所存である。

参考文献

- (1) Kani, G. N. J: The Riddle of Shear Failure and Its Solution, Journal of the American Concrete Institute, No. 61-28, pp441~467, April 1964
- (2) コンクリート標準示方書 (平成3年) 土木学会
- (3) コンクリート・ライブラリー 第47号: 高強度コンクリート設計施工指針 (案)
- (4) 友澤史紀、野口貴文、小野山賢造: 高強度・超高強度コンクリートの基礎的力学特性に関する調査ー日本建築学会学術講演梗概集
- (5) 鉄筋コンクリート構造計算基準・同解説 (1982) 日本建築学会
- (6) ACI Committee 363: State-of-the-Art Report on High-strength Concrete, ACI Journal July-August 1984, pp. 364~411
- (7) 小林茂敏、森浜和正、高橋正志: 鉄筋コンクリート部材のせん断実験データ集ー土木研究所資料第2045号、1984. 3
- (8) 佐藤 勉、山住克巳、渡辺忠明: プレストレストコンクリートはりのせん断強度ー鉄道総合研究所報告第2巻8号、pp 19~24、1988. 8
- (9) the Joint ASCE-ACI Task Committee 426: The Shear Strength of Reinforced Concrete Members, Proc. ASCE, ST6, 1973. 6, pp1091~1186

別途資料

1. 圧縮強度試験データ	69
2. 引張強度試験データ	75
3. 材料試験 コンクリート圧縮応力-ひずみ図	81
4. せん断載荷試験 荷重-変位図	107
5. せん断載荷試験 荷重-変位比較図	133
6. せん断載荷試験 ひび割れ図	147
7. せん断応力分布図	173

1. 圧縮強度試験データ

表、コンクリートの圧縮強度（供試体Na 1～5）

供試体：Na 1 (L2-35-00)

TP. No	直径 (cm)			断面積 (cm ²)	最大荷重 (tf)	圧縮強度 (kg/d)	弾性係数 *10 ⁵ (kg/d)	#777比
	①	②	平均値					
1-1	10.02	10.04	10.03	79.01	40.00	506	3.05	-
1-2	9.98	10.00	9.99	78.38	40.27	514	2.74	-
1-3	9.99	10.04	10.02	78.85	40.17	509	3.11	-
平均値						510	2.97	0.200

材 令：29日

供試体：Na 2 (L3-35-00)

TP. No	直径 (cm)			断面積 (cm ²)	最大荷重 (tf)	圧縮強度 (kg/d)	弾性係数 *10 ⁵ (kg/d)	#777比
	①	②	平均値					
2-1	10.02	10.02	10.02	78.85	43.40	550	3.03	0.188
2-2	10.00	10.00	10.00	78.54	41.23	525	3.15	0.202
2-3	9.99	9.99	9.99	78.38	43.13	550	3.03	0.225
平均値						562	3.07	0.205

材 令：34日

供試体：Na 3 (L4-35-00)

TP. No	直径 (cm)			断面積 (cm ²)	最大荷重 (tf)	圧縮強度 (kg/d)	弾性係数 *10 ⁵ (kg/d)	#777比
	①	②	平均値					
3-1	10.00	9.97	10.00	78.54	44.60	568	3.13	0.187
3-2	10.08	9.94	10.01	78.70	45.73	581	3.00	0.201
3-3	9.90	10.22	10.06	79.49	43.62	549	3.09	0.234
平均値						566	3.07	0.207

材 令：36日

供試体：Na 4 (M2-35-00)

TP. No	直径 (cm)			断面積 (cm ²)	最大荷重 (tf)	圧縮強度 (kg/d)	弾性係数 *10 ⁵ (kg/d)	#777比
	①	②	平均値					
4-1	10.07	10.02	10.05	79.33	47.30	596	3.38	-
4-2	10.07	10.05	10.06	79.49	50.13	631	3.49	-
4-3	10.08	9.95	10.02	78.85	50.29	638	3.45	-
平均値						622	3.45	0.230

材 令：29日

供試体：Na 5 (M3-35-00)

TP. No	直径 (cm)			断面積 (cm ²)	最大荷重 (tf)	圧縮強度 (kg/d)	弾性係数 *10 ⁵ (kg/d)	#777比
	①	②	平均値					
5-1	10.00	10.02	10.01	78.70	53.72	683	3.44	0.229
5-2	10.00	10.00	10.00	78.54	59.15	753	3.52	0.234
5-3	10.05	10.05	10.05	79.33	56.96	718	3.55	0.246
平均値						718	3.50	0.236

材 令：34日

表、コンクリートの圧縮強度（供試体Na 6～10）

供試体：Na 6 (M4-35-00)

材 令：40日

TP. No	直径 (cm)			断面積 (cm ²)	最大荷重 (tf)	圧縮強度 (kg/d)	弾性係数 *10 ⁵ (kg/d)	#777比
	①	②	平均値					
6-1	10.04	10.02	10.03	79.01	54.09	685	3.45	0.238
6-2	9.96	10.02	9.99	78.38	55.96	714	3.46	0.227
6-3	10.03	9.97	10.00	78.54	54.12	689	3.45	0.230
平均値						696	3.45	0.232

供試体：Na 7 (H2-35-00)

材 令：28日

TP. No	直径 (cm)			断面積 (cm ²)	最大荷重 (tf)	圧縮強度 (kg/d)	弾性係数 *10 ⁵ (kg/d)	#777比
	①	②	平均値					
7-1	10.00	9.99	10.00	78.54	67.02	853	3.67	0.201
7-2	10.02	9.92	9.97	78.07	70.85	908	3.69	0.218
7-3	9.98	9.99	9.99	78.38	64.48	823	3.72	0.207
平均値						861	3.69	0.209

供試体：Na 8 (H3-35-00)

材 令：32日

TP. No	直径 (cm)			断面積 (cm ²)	最大荷重 (tf)	圧縮強度 (kg/d)	弾性係数 *10 ⁵ (kg/d)	#777比
	①	②	平均値					
8-1	10.04	10.03	10.04	79.17	63.85	807	3.71	0.256
8-2	10.08	9.98	10.03	79.01	61.79	782	3.80	0.245
8-3	9.98	10.04	10.01	78.70	73.61	935	3.72	0.201
平均値						841	3.74	0.234

供試体：Na 9 (H4-35-00)

材 令：39日

TP. No	直径 (cm)			断面積 (cm ²)	最大荷重 (tf)	圧縮強度 (kg/d)	弾性係数 *10 ⁵ (kg/d)	#777比
	①	②	平均値					
9-1	10.04	9.99	10.02	78.85	68.41	868	3.66	0.230
9-2	9.98	9.98	9.98	78.23	69.71	891	3.67	0.212
9-3	9.98	9.98	9.98	78.23	66.68	852	3.71	0.226
平均値						870	3.68	0.223

供試体：Na 10 (H3-35-30)

材 令：31日

TP. No	直径 (cm)			断面積 (cm ²)	最大荷重 (tf)	圧縮強度 (kg/d)	弾性係数 *10 ⁵ (kg/d)	#777比
	①	②	平均値					
10-1	9.99	9.99	9.99	78.38	76.47	976	4.05	0.272
10-2	10.00	10.07	10.04	79.17	72.04	910	3.83	0.230
10-3	10.05	9.95	10.00	78.54	72.91	928	3.75	0.250
平均値						938	3.88	0.251

表 、コンクリートの圧縮強度（供試体No.11～15）

供試体：No.11(H3-35-60)

材 令：30日

TP. No	直径 (cm)			断面積 (cm ²)	最大荷重 (tf)	圧縮強度 (kg/d)	弾性係数 *10 ⁵ (kg/d)	#777比
	①	②	平均値					
11-1	10.01	10.01	10.01	78.70	72.08	916	3.70	0.240
11-2	9.98	10.00	9.99	78.38	73.21	934	3.65	0.242
11-3	10.00	10.04	10.02	78.85	62.25	789	3.78	0.253
平均値						880	3.71	0.245

供試体：No.12(H3-35-90)

材 令：30日

TP. No	直径 (cm)			断面積 (cm ²)	最大荷重 (tf)	圧縮強度 (kg/d)	弾性係数 *10 ⁵ (kg/d)	#777比
	①	②	平均値					
12-1	10.01	9.99	10.00	78.54	58.62	746	3.70	0.241
12-2	10.00	9.97	9.99	78.38	52.89	675	3.55	0.217
12-3	10.02	9.97	10.00	78.54	57.35	730	3.56	0.209
平均値						717	3.60	0.222

供試体：No.13(H3-55-00)

材 令：36日

TP. No	直径 (cm)			断面積 (cm ²)	最大荷重 (tf)	圧縮強度 (kg/d)	弾性係数 *10 ⁵ (kg/d)	#777比
	①	②	平均値					
13-1	10.00	10.00	10.00	78.54	65.48	834	3.65	0.249
13-2	10.08	9.96	10.02	78.85	70.40	893	3.82	0.249
13-3	10.05	9.99	10.02	78.85	67.35	854	3.52	0.197
平均値						860	3.66	0.232

供試体：No.14(H3-55-30)

材 令：36日

TP. No	直径 (cm)			断面積 (cm ²)	最大荷重 (tf)	圧縮強度 (kg/d)	弾性係数 *10 ⁵ (kg/d)	#777比
	①	②	平均値					
14-1	10.04	10.02	10.03	78.85	67.82	860	3.63	0.201
14-2	9.98	10.01	10.00	78.54	69.05	879	3.62	0.246
14-3	9.96	10.05	10.01	78.70	65.25	829	3.82	0.232
平均値						856	3.69	0.226

供試体：No.15(H3-55-60)

材 令：38日

TP. No	直径 (cm)			断面積 (cm ²)	最大荷重 (tf)	圧縮強度 (kg/d)	弾性係数 *10 ⁵ (kg/d)	#777比
	①	②	平均値					
15-1	10.02	9.99	10.01	78.70	64.50	820	3.71	0.243
15-2	9.92	10.10	10.01	78.70	60.58	770	3.83	0.240
15-3	10.00	10.00	10.00	78.54	63.05	803	3.79	0.243
平均値						798	3.78	0.242

表 、コンクリートの圧縮強度（供試体Na16～18）

供試体：Na16(H3-75-00)

材 令：41日

TP. No	直径 (cm)			断面積 (cm ²)	最大荷重 (tf)	圧縮強度 (kg/d)	弾性係数 *10 ⁵ (kg/d)	#777比
	①	②	平均値					
16-1	10.01	9.99	10.00	78.54	70.45	897	3.76	0.219
16-2	10.08	10.02	10.05	79.33	65.28	823	3.67	0.207
16-3	10.00	10.00	10.00	78.54	74.44	948	3.81	0.231
平均値						889	3.75	0.219

供試体：Na17(H3-75-30)

材 令：39日

TP. No	直径 (cm)			断面積 (cm ²)	最大荷重 (tf)	圧縮強度 (kg/d)	弾性係数 *10 ⁵ (kg/d)	#777比
	①	②	平均値					
17-1	10.02	9.99	10.01	78.70	71.51	909	3.74	0.221
17-2	10.06	9.95	10.01	78.70	71.28	906	3.53	0.209
17-3	9.99	10.07	10.03	79.01	70.31	890	3.70	0.209
平均値						902	3.66	0.213

供試体：Na18(H3-75-60)

材 令：38日

TP. No	直径 (cm)			断面積 (cm ²)	最大荷重 (tf)	圧縮強度 (kg/d)	弾性係数 *10 ⁵ (kg/d)	#777比
	①	②	平均値					
18-1	9.96	9.98	9.97	78.07	65.22	835	3.94	0.230
18-2	9.99	10.03	10.01	78.70	71.88	913	3.87	0.246
18-3	10.00	10.08	10.04	79.17	73.34	926	3.74	0.213
平均値						891	3.85	0.230

コンクリートの圧縮強度 (供試体No. 19~23)

供試体：No. 19 (H3-95-00)

材令：39 日

TP. No.	直径(cm)			断面積 (cm ²)	最大荷重 (tf)	圧縮強度 (kgf/cm ²)	弾性係数 E5*(kgf/cm ²)	ポアソン比
	①	②	平均値					
19-1	9.94	10.10	10.02	78.85	63.23	802	3.85	0.229
19-2	9.97	10.01	9.99	78.38	59.72	762	3.73	0.247
19-3	10.00	10.00	10.00	78.54	61.02	777	3.86	0.228
平均値						780	3.81	0.235

供試体：No. 20 (H3-95-60)

材令：31 日

TP. No.	直径(cm)			断面積 (cm ²)	最大荷重 (tf)	圧縮強度 (kgf/cm ²)	弾性係数 E5*(kgf/cm ²)	ポアソン比
	①	②	平均値					
20-1	10.05	9.95	10.00	78.54	53.16	677	3.80	0.221
20-2	10.02	9.98	10.00	78.54	60.13	766	3.77	0.200
20-3	10.00	10.04	10.02	78.85	58.32	740	3.64	0.221
平均値						728	3.75	0.214

供試体：No. 21 (H3-95-120)

材令：35 日

TP. No.	直径(cm)			断面積 (cm ²)	最大荷重 (tf)	圧縮強度 (kgf/cm ²)	弾性係数 E5*(kgf/cm ²)	ポアソン比
	①	②	平均値					
21-1	10.03	9.99	10.01	78.70	55.26	702	3.65	0.238
21-2	10.03	10.05	10.04	79.17	62.12	785	3.71	0.234
21-3	9.98	10.00	9.99	78.38	59.12	754	3.75	0.220
平均値						747	3.70	0.231

供試体：No. 22 (L3-35-30)

材令：62 日

TP. No.	直径(cm)			断面積 (cm ²)	最大荷重 (tf)	圧縮強度 (kgf/cm ²)	弾性係数 E5*(kgf/cm ²)	ポアソン比
	①	②	平均値					
22-1	10.08	9.92	10.00	78.54	39.67	505	3.19	0.201
22-2	10.06	9.94	10.00	78.54	40.10	511	3.20	0.196
22-3	9.99	9.99	9.99	78.38	39.70	506	3.17	0.234
平均値						507	3.19	0.210

供試体：No. 23 (L3-35-60)

材令：62 日

TP. No.	直径(cm)			断面積 (cm ²)	最大荷重 (tf)	圧縮強度 (kgf/cm ²)	弾性係数 E5*(kgf/cm ²)	ポアソン比
	①	②	平均値					
23-1	10.04	10.00	10.02	78.85	33.90	430	3.07	0.197
23-2	10.03	9.97	10.00	78.54	35.10	447	3.06	0.206
23-3	10.00	10.00	10.00	78.54	28.67	365	3.08	0.186
平均値						414	3.07	0.196

コンクリートの圧縮強度 (供試体 No. 24 ~ 25)

供試体 : No. 24 (HS3-35-30)

材令 : 47 日

TP. No.	直径 (cm)			断面積 (cm ²)	最大荷重 (tf)	圧縮強度 (kgf/cm ²)	弾性係数 E5*(kgf/cm ²)	ポアソン比
	①	②	平均値					
24-1	10.05	9.95	10.00	78.54	59.29	755	3.90	0.206
24-2	10.04	9.96	10.00	78.54	58.65	747	3.68	0.244
24-3	9.99	9.99	9.99	78.38	57.82	738	3.71	0.239
平均値						747	3.76	0.230

供試体 : No. 25 (HS3-35-60)

材令 : 48 日

TP. No.	直径 (cm)			断面積 (cm ²)	最大荷重 (tf)	圧縮強度 (kgf/cm ²)	弾性係数 E5*(kgf/cm ²)	ポアソン比
	①	②	平均値					
25-1	9.98	9.99	9.99	78.38	67.01	855	3.90	0.217
25-2	10.02	10.02	10.02	78.85	67.61	857	3.99	0.225
25-3	9.97	10.01	9.99	78.38	66.88	853	3.75	0.189
平均値						855	3.88	0.210

2. 引張強度試験データ

表 、コンクリートの割裂引張強度（供試体Na 1～5）

供試体：Na 1 (L2-35-00)

TP. No	直径 (cm)			長さ (cm)			最大荷重 (tf)	引張強度 (kg/d)
	①	②	平均値	①	②	平均値		
1-4	10.03	10.01	10.02	20.03	20.03	20.03	9.95	31.6
1-5	9.98	9.98	9.98	20.04	20.06	20.05	12.10	38.5
1-6	10.12	10.05	10.09	19.97	20.00	19.99	12.35	39.0
平均値								36.4

材 令：29日

供試体：Na 2 (L3-35-00)

TP. No	直径 (cm)			長さ (cm)			最大荷重 (tf)	引張強度 (kg/d)
	①	②	平均値	①	②	平均値		
2-4	10.10	10.04	10.07	19.80	19.82	19.81	13.10	41.8
2-5	9.98	9.98	9.98	20.04	20.03	20.04	12.70	40.4
2-6	10.00	10.04	10.02	19.93	19.92	19.93	12.50	39.9
平均値								40.7

材 令：34日

供試体：Na 3 (L4-35-00)

TP. No	直径 (cm)			長さ (cm)			最大荷重 (tf)	引張強度 (kg/d)
	①	②	平均値	①	②	平均値		
3-4	10.12	10.04	10.08	19.97	19.98	19.98	11.10	35.1
3-5	10.05	10.03	10.04	19.91	19.90	19.91	11.60	36.9
3-6	10.04	10.10	10.07	20.01	19.98	20.00	13.20	41.7
平均値								37.9

材 令：36日

供試体：Na 4 (M2-35-00)

TP. No	直径 (cm)			長さ (cm)			最大荷重 (tf)	引張強度 (kg/d)
	①	②	平均値	①	②	平均値		
4-4	10.07	9.97	10.04	19.97	19.95	19.96	13.50	43.0
4-5	10.11	10.01	10.06	20.07	20.10	20.09	13.20	41.6
4-6	10.05	10.03	10.04	20.02	20.00	20.02	13.70	43.4
平均値								42.7

材 令：29日

供試体：Na 5 (M3-35-00)

TP. No	直径 (cm)			長さ (cm)			最大荷重 (tf)	引張強度 (kg/d)
	①	②	平均値	①	②	平均値		
5-4	10.10	10.02	10.06	19.95	19.95	19.95	13.05	41.4
5-5	10.00	10.00	10.00	19.99	19.99	19.99	13.10	41.7
5-6	9.98	10.00	9.99	19.91	20.03	19.97	12.50	39.9
平均値								41.0

材 令：34日

表 、コンクリートの割裂引張強度（供試体Na 6～10）

供試体：Na 6 (M4-35-00)

材 令：40日

TP. No	直径 (cm)			長さ (cm)			最大荷重 (tf)	引張強度 (kg/d)
	①	②	平均値	①	②	平均値		
6-4	10.00	9.98	9.99	20.03	20.07	20.05	13.30	42.3
6-5	9.98	10.00	9.99	20.06	20.05	20.06	13.70	43.5
6-6	10.03	10.01	10.02	20.06	20.05	20.06	13.50	42.8
平均値								42.9

供試体：Na 7 (H2-35-00)

材 令：28日

TP. No	直径 (cm)			長さ (cm)			最大荷重 (tf)	引張強度 (kg/d)
	①	②	平均値	①	②	平均値		
7-4	10.00	10.03	10.02	20.03	20.03	20.03	17.10	54.3
7-5	9.98	10.00	9.99	20.04	20.02	20.03	13.30	42.3
7-6	10.02	10.08	10.05	19.96	19.98	19.97	13.65	43.3
平均値								46.6

供試体：Na 8 (H3-35-00)

材 令：32日

TP. No	直径 (cm)			長さ (cm)			最大荷重 (tf)	引張強度 (kg/d)
	①	②	平均値	①	②	平均値		
8-4	10.05	9.99	10.02	20.02	20.09	20.06	12.70	40.2
8-5	10.06	10.02	10.04	20.02	20.03	20.03	11.80	37.4
8-6	9.98	9.98	9.98	20.03	20.06	20.05	14.30	45.5
平均値								41.0

供試体：Na 9 (H4-35-00)

材 令：39日

TP. No	直径 (cm)			長さ (cm)			最大荷重 (tf)	引張強度 (kg/d)
	①	②	平均値	①	②	平均値		
9-4	10.11	10.03	10.07	20.00	20.00	20.00	15.50	50.0
9-5	10.07	10.04	10.06	20.03	20.02	20.03	13.00	41.1
9-6	10.12	10.02	10.07	19.96	19.98	19.97	17.40	55.1
平均値								48.7

供試体：Na10 (H3-35-30)

材 令：31日

TP. No	直径 (cm)			長さ (cm)			最大荷重 (tf)	引張強度 (kg/d)
	①	②	平均値	①	②	平均値		
10-4	10.00	9.98	9.99	20.00	20.01	20.01	16.20	51.6
10-5	10.02	10.07	10.05	19.96	19.96	19.96	14.00	44.5
10-6	10.05	10.03	10.04	20.00	19.98	19.99	13.50	42.8
平均値								46.3

表 、コンクリートの割裂引張強度（供試体No.11～15）

供試体：No.11(H3-35-60)

材 令：30日

TP. No	直径 (cm)			長さ (cm)			最大荷重 (tf)	引張強度 (kg/d)
	①	②	平均値	①	②	平均値		
11-4	10.05	10.03	10.04	19.99	20.01	20.00	11.60	36.8
11-5	10.06	10.04	10.05	20.01	20.00	20.01	12.75	40.4
11-6	10.03	10.05	10.04	20.00	20.01	20.01	13.50	42.8
平均値								40.0

供試体：No.12(H3-35-90)

材 令：30日

TP. No	直径 (cm)			長さ (cm)			最大荷重 (tf)	引張強度 (kg/d)
	①	②	平均値	①	②	平均値		
12-4	10.09	10.07	10.08	20.04	20.05	20.05	18.40	58.0
12-5	10.06	10.05	10.06	20.02	20.03	20.03	16.30	51.5
12-6	9.98	10.00	9.99	19.99	19.98	19.99	14.70	46.9
平均値								52.1

供試体：No.13(H3-55-00)

材 令：36日

TP. No	直径 (cm)			長さ (cm)			最大荷重 (tf)	引張強度 (kg/d)
	①	②	平均値	①	②	平均値		
13-4	10.08	10.05	10.07	20.02	20.03	20.03	14.20	44.8
13-5	10.05	10.03	10.04	20.04	20.02	20.05	15.55	49.1
13-6	10.05	10.02	10.04	20.23	20.02	20.02	15.85	50.2
平均値								48.0

供試体：No.14(H3-55-30)

材 令：36日

TP. No	直径 (cm)			長さ (cm)			最大荷重 (tf)	引張強度 (kg/d)
	①	②	平均値	①	②	平均値		
14-4	10.10	10.03	10.07	20.00	19.98	19.99	17.05	53.9
14-5	10.01	10.04	10.08	20.00	20.02	20.01	18.25	57.6
14-6	10.02	9.98	10.00	20.00	20.01	20.01	16.50	52.5
平均値								54.7

供試体：No.15(H3-55-60)

材 令：38日

TP. No	直径 (cm)			長さ (cm)			最大荷重 (tf)	引張強度 (kg/d)
	①	②	平均値	①	②	平均値		
15-4	9.97	9.99	9.98	20.00	20.00	20.00	10.85	34.6
15-5	10.08	10.04	10.06	20.00	20.00	20.00	11.73	37.1
15-6	10.12	10.01	10.07	20.06	20.08	20.07	13.58	42.8
平均値								38.2

表 、コンクリートの割裂引張強度（供試体Na16～18）

供試体：Na16(H3-75-00)

材 令：41日

TP. No	直径 (cm)			長さ (cm)			最大荷重 (tf)	引張強度 (kg/d)
	①	②	平均値	①	②	平均値		
16-4	9.98	10.00	9.99	20.02	20.02	20.02	14.78	47.0
16-5	10.01	10.04	10.03	19.93	19.93	19.93	13.20	42.0
16-6	10.07	10.05	10.06	20.00	20.00	20.00	10.60	33.5
平均値								40.8

供試体：Na17(H3-75-30)

材 令：39日

TP. No	直径 (cm)			長さ (cm)			最大荷重 (tf)	引張強度 (kg/d)
	①	②	平均値	①	②	平均値		
17-4	10.01	10.04	10.03	20.04	20.04	20.04	15.80	50.0
17-5	10.12	10.04	10.08	19.99	20.00	20.00	17.05	53.8
17-6	9.99	9.97	9.98	20.03	20.00	20.02	16.20	51.6
平均値								51.8

供試体：Na18(H3-75-60)

材 令：38日

TP. No	直径 (cm)			長さ (cm)			最大荷重 (tf)	引張強度 (kg/d)
	①	②	平均値	①	②	平均値		
18-4	10.11	10.04	10.08	19.79	19.78	19.79	15.55	49.6
18-5	10.03	10.02	10.03	19.99	20.00	20.00	10.20	32.4
18-6	10.01	10.03	10.02	20.00	20.04	20.02	17.10	54.3
平均値								45.4

コンクリートの引張強度 (供試体 No. 19~23)

供試体 : No. 19 (H3-95-00)

材令 : 39 日

TP. No.	直径 (cm)			長さ (cm)			最大荷重 (tf)	引張強度 (kgf/cm ²)
	①	②	平均値	①	②	平均値		
19-1	10.10	10.02	10.06	20.02	20.04	20.03	13.50	42.7
19-2	10.06	10.04	10.05	20.07	20.05	20.06	12.45	39.3
19-3	10.04	10.02	10.03	20.04	20.03	20.04	11.10	35.2
平均値								39.1

供試体 : No. 20 (H3-95-60)

材令 : 31 日

TP. No.	直径 (cm)			長さ (cm)			最大荷重 (tf)	引張強度 (kgf/cm ²)
	①	②	平均値	①	②	平均値		
20-1	9.99	9.99	9.99	20.06	20.06	20.06	15.35	48.8
20-2	10.09	10.04	10.07	20.06	20.05	20.06	11.70	36.9
20-3	10.09	10.04	10.02	20.12	20.10	20.11	13.60	43.0
平均値								42.9

供試体 : No. 21 (H3-95-120)

材令 : 35 日

TP. No.	直径 (cm)			長さ (cm)			最大荷重 (tf)	引張強度 (kgf/cm ²)
	①	②	平均値	①	②	平均値		
21-1	9.99	9.97	9.98	20.14	20.09	20.12	9.80	31.1
21-2	10.03	10.00	10.02	20.09	20.09	20.09	16.50	52.2
21-3	10.02	10.08	10.05	20.11	20.15	20.13	12.30	38.7
平均値								40.7

供試体 : No. 22 (L3-35-30)

材令 : 62 日

TP. No.	直径 (cm)			長さ (cm)			最大荷重 (tf)	引張強度 (kgf/cm ²)
	①	②	平均値	①	②	平均値		
22-1	10.02	10.06	10.04	20.01	20.04	20.03	9.45	29.9
22-2	10.02	10.06	10.04	20.05	20.01	20.03	9.70	30.7
22-3	9.98	9.98	9.98	20.07	20.13	20.10	10.20	32.4
平均値								31.0

供試体 : No. 23 (L3-35-60)

材令 : 62 日

TP. No.	直径 (cm)			長さ (cm)			最大荷重 (tf)	引張強度 (kgf/cm ²)
	①	②	平均値	①	②	平均値		
23-1	10.02	10.05	10.03	20.01	20.06	20.04	7.30	23.1
23-2	10.05	10.10	10.08	20.06	20.01	20.04	7.20	22.7
23-3	10.00	9.97	9.99	20.12	20.14	20.13	9.20	29.1
平均値								25.0

コンクリートの引張強度 (供試体No. 24~25)

供試体：No. 24 (HS3-35-30)

材令：47 日

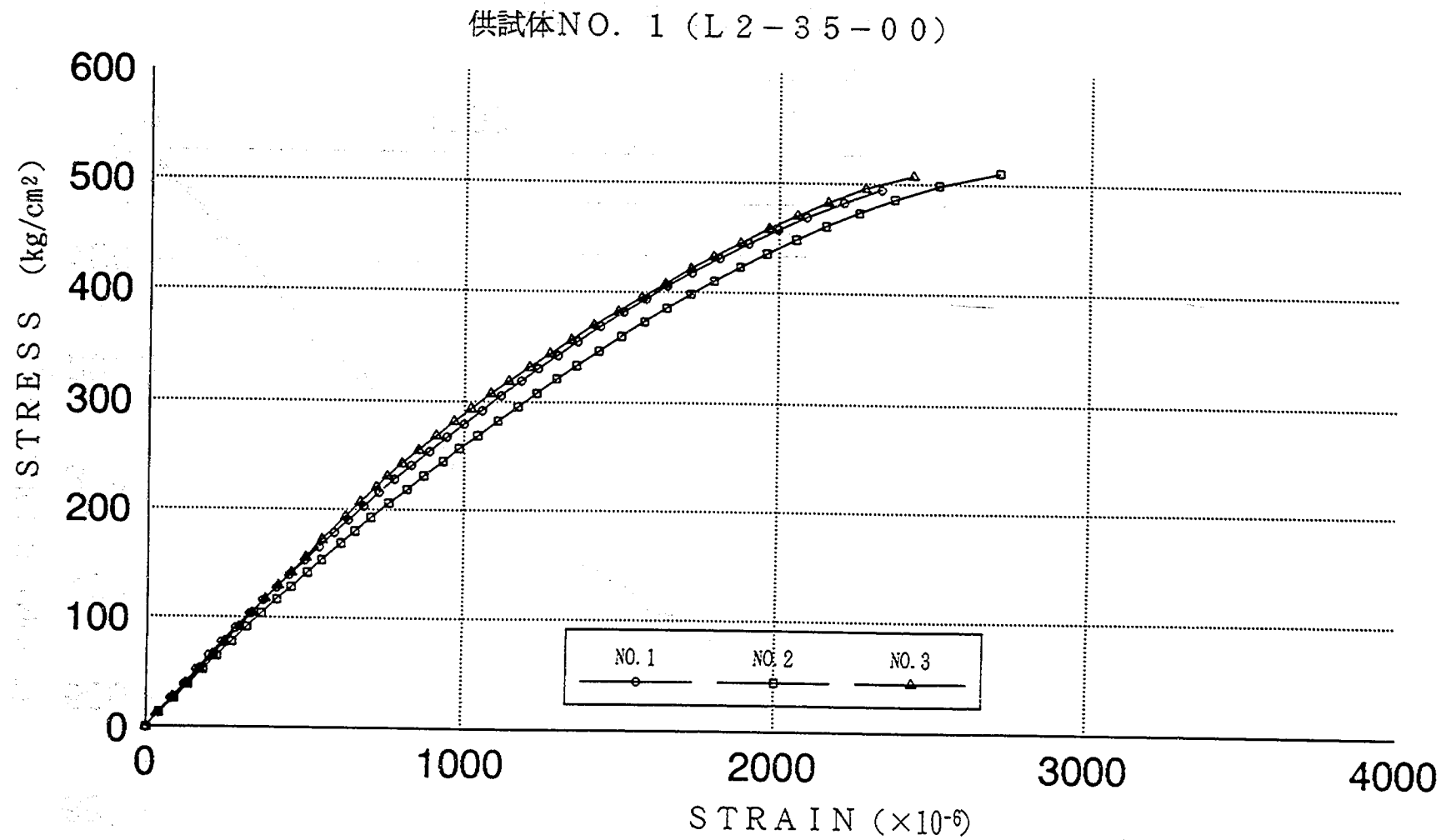
TP. No.	直径(cm)			長さ(cm)			最大荷重	引張強度
	①	②	平均値	①	②	平均値	(tf)	(kgf/cm ²)
24-1	10.01	10.07	10.04	20.08	20.05	20.07	11.30	35.7
24-2	10.08	10.14	10.11	20.00	20.02	20.01	14.90	46.9
24-3	10.05	10.07	10.06	19.90	19.92	19.91	13.00	41.3
平均値								41.3

供試体：No. 25 (HS3-35-60)

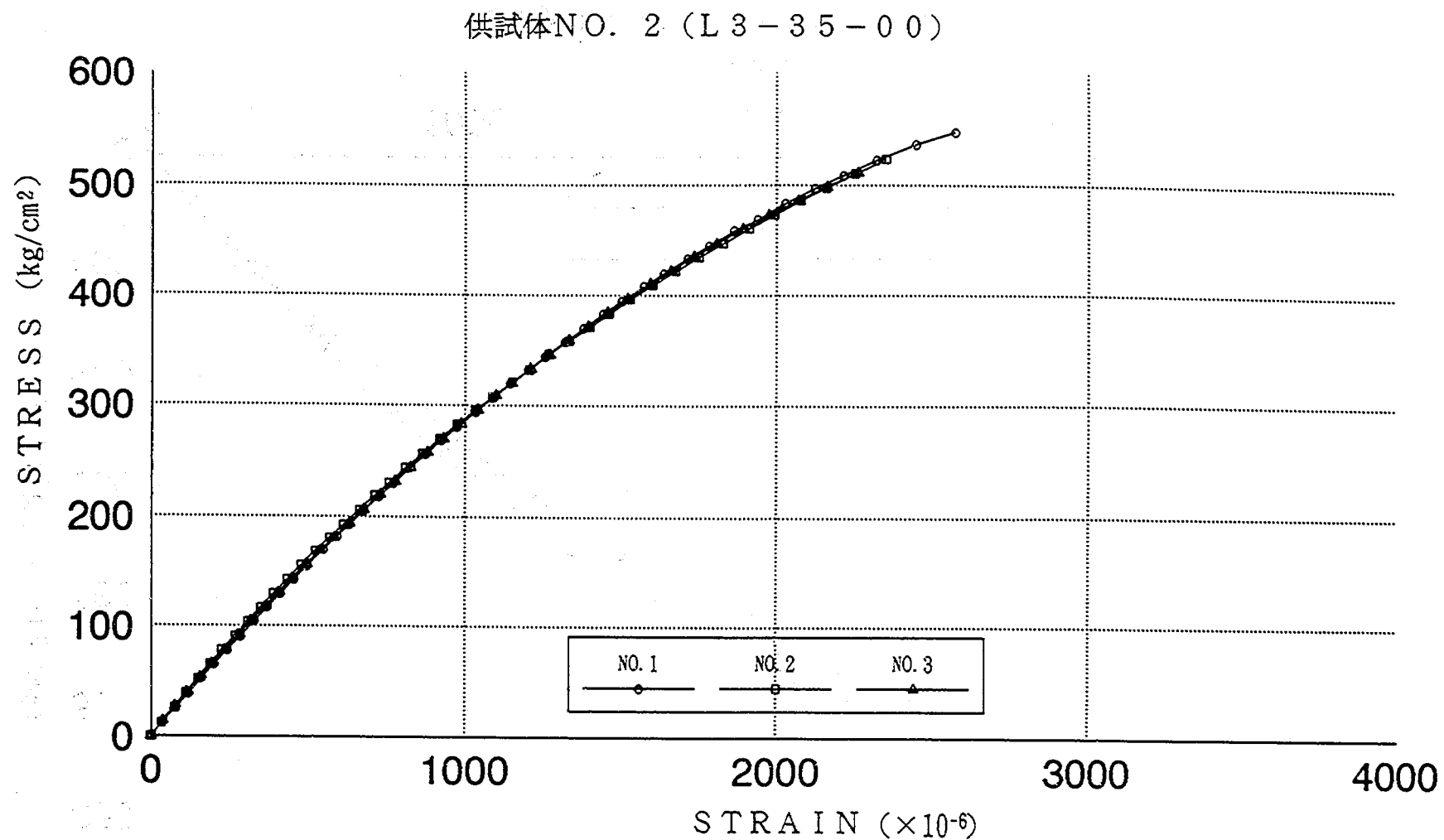
材令：48 日

TP. No.	直径(cm)			長さ(cm)			最大荷重	引張強度
	①	②	平均値	①	②	平均値	(tf)	(kgf/cm ²)
25-1	10.15	10.03	10.09	19.90	19.91	19.91	15.20	48.2
25-2	9.99	9.99	9.99	20.03	20.05	20.04	17.10	54.4
25-3	10.00	9.98	9.99	20.06	20.05	20.06	15.10	48.0
平均値								50.2

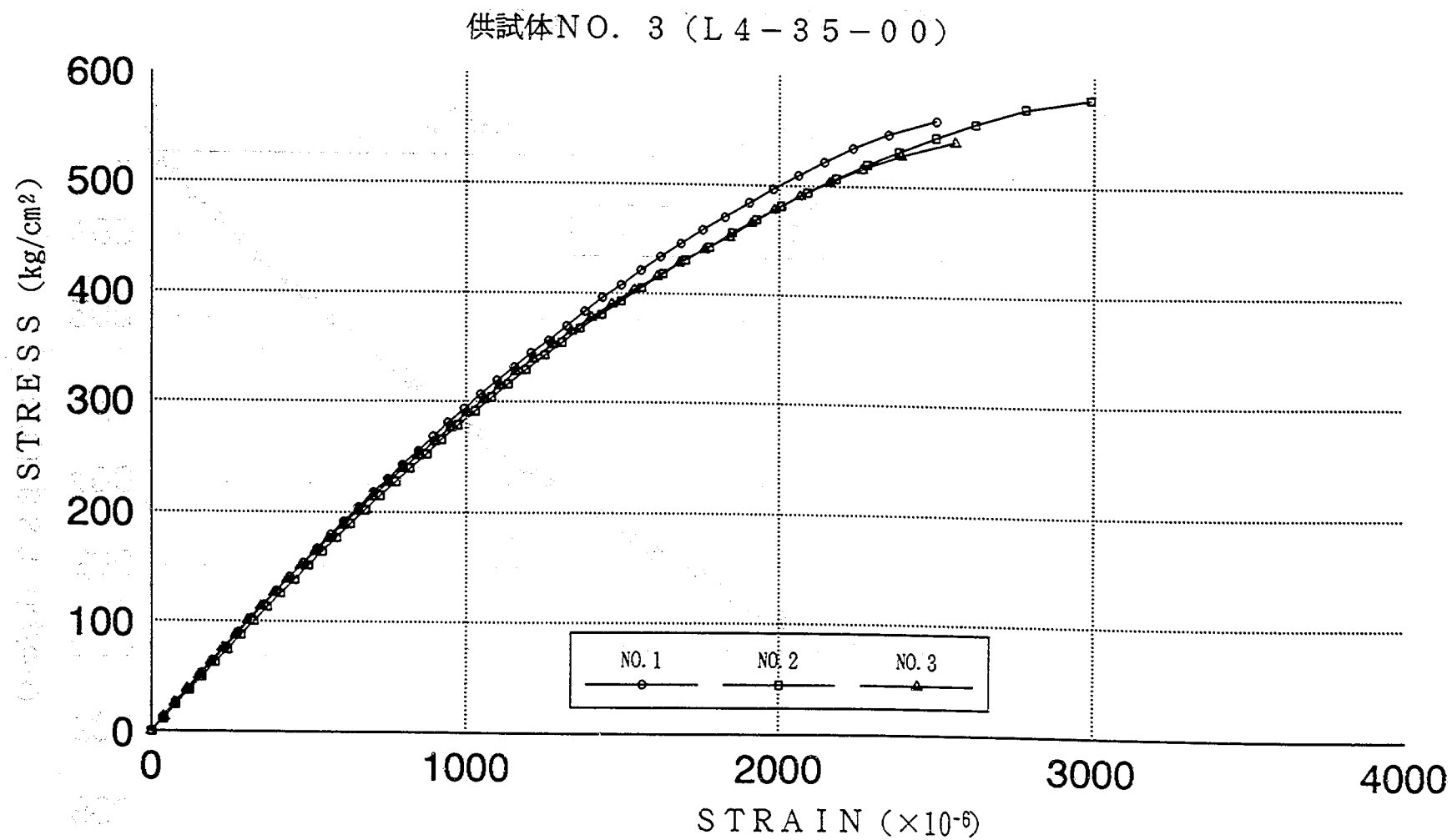
3. 材料試験 コンクリート圧縮応力-ひずみ図



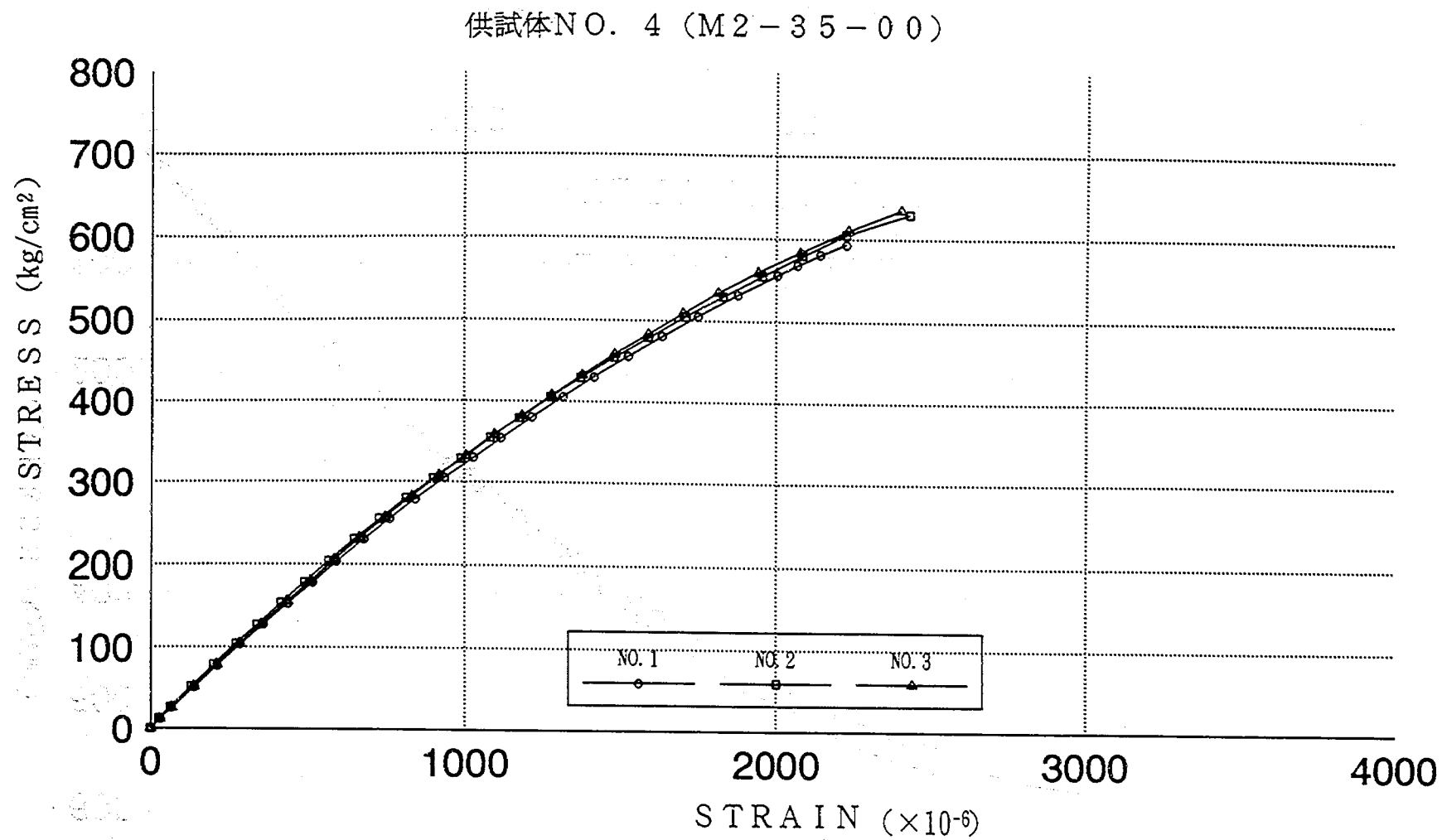
コンクリート圧縮応力-ひずみ線図



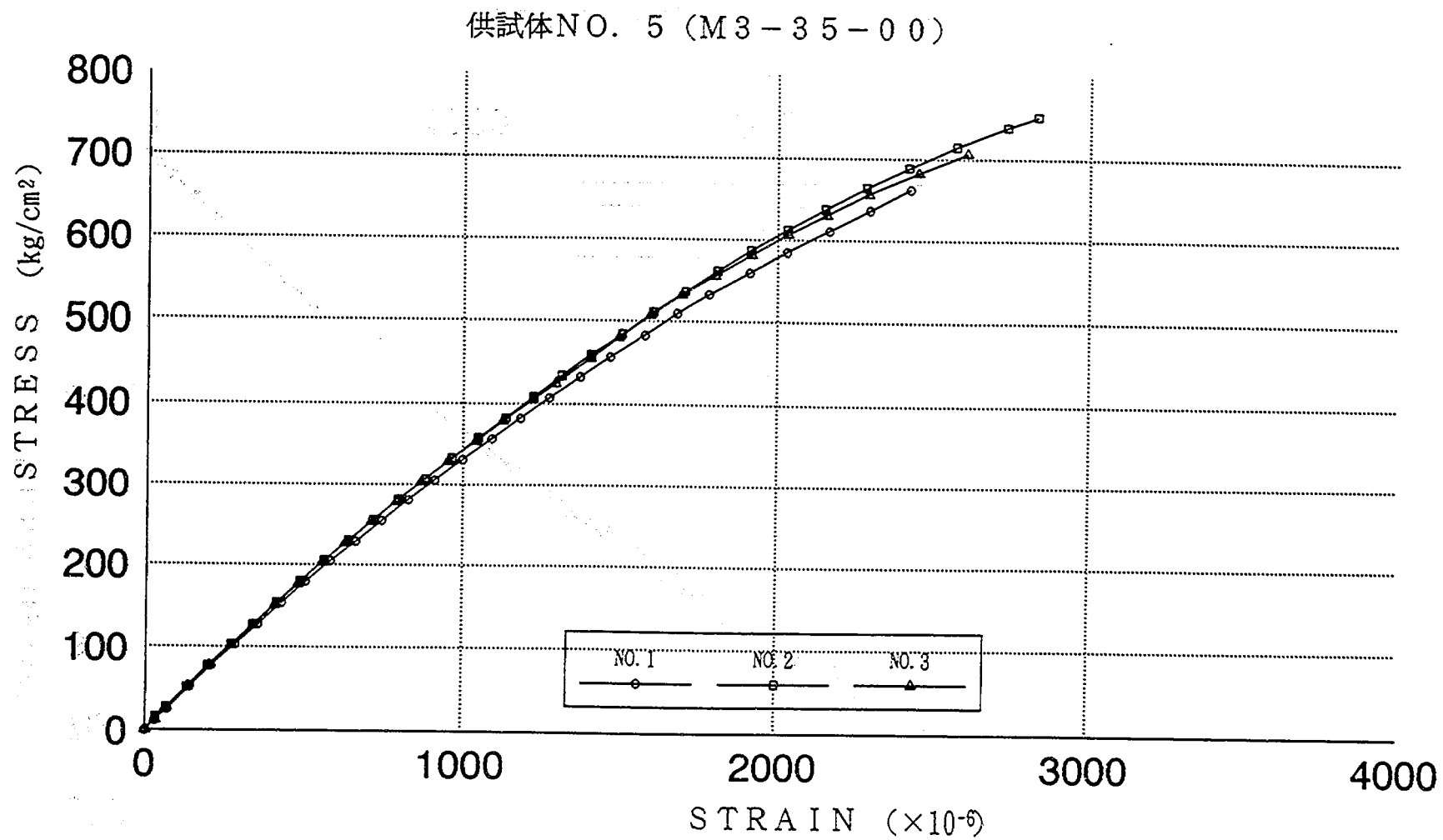
コンクリート圧縮応力-ひずみ線図



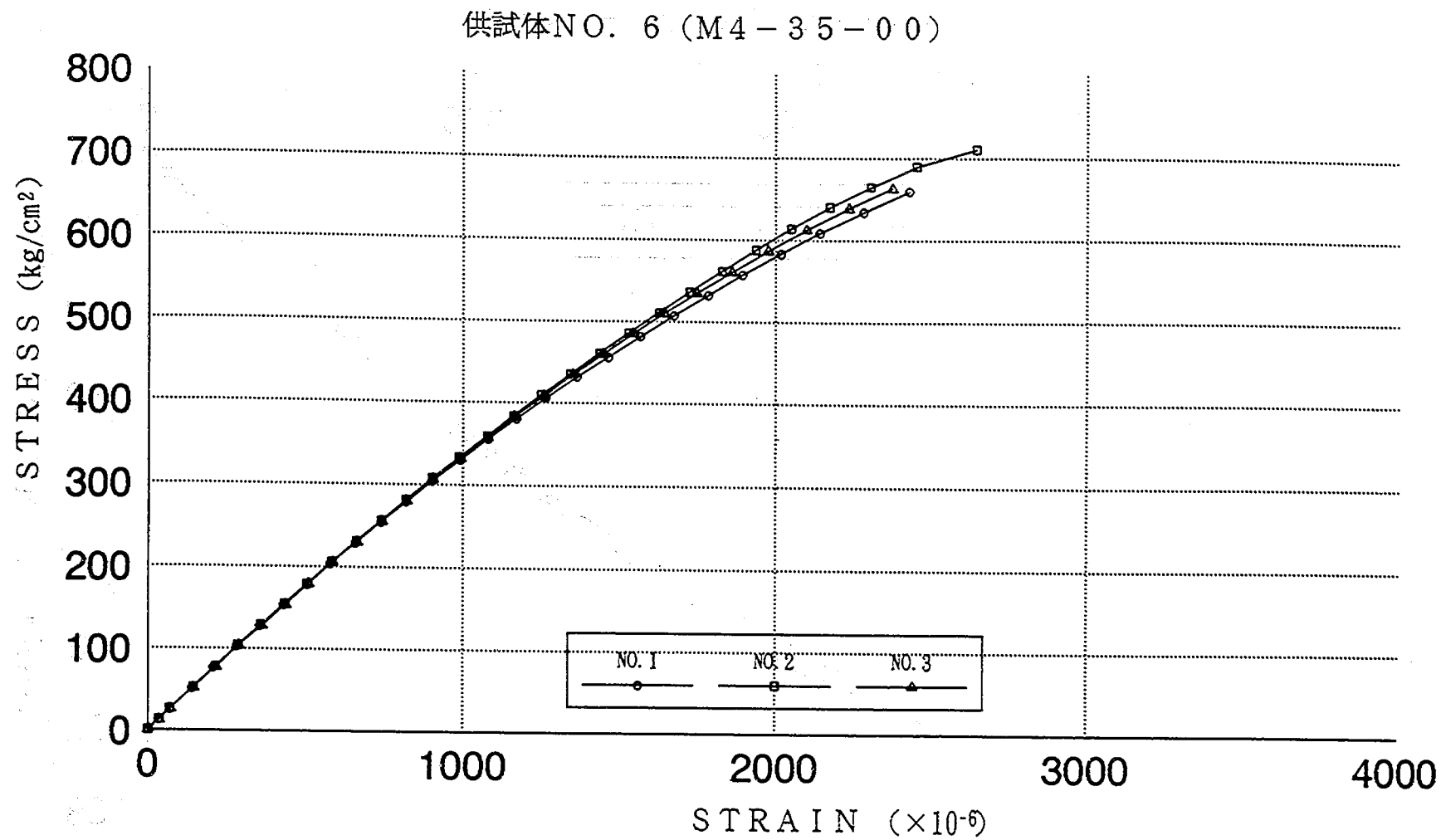
コンクリート圧縮応力-ひずみ線図



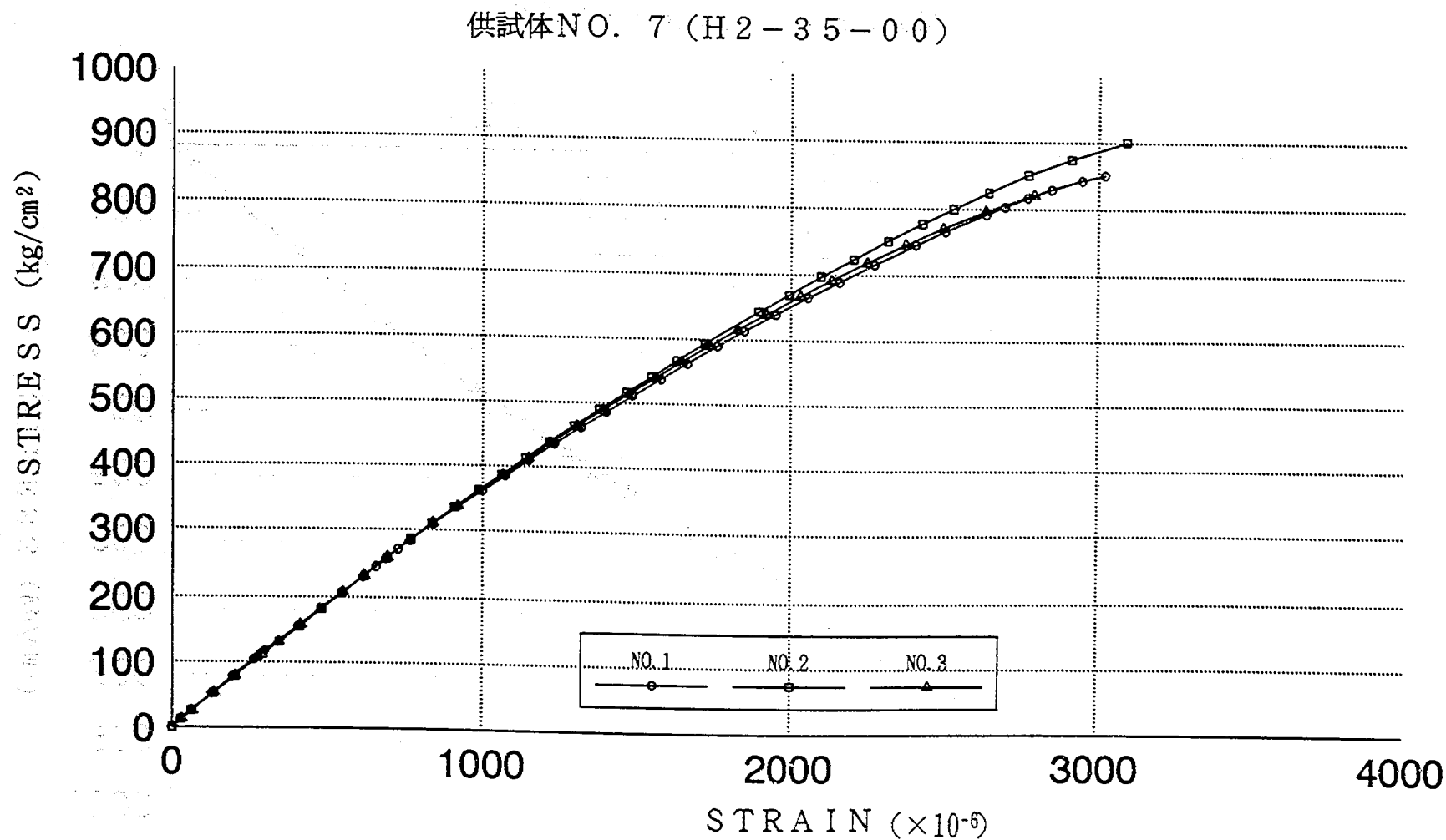
コンクリート圧縮応力-ひずみ線図



コンクリート圧縮応力-ひずみ線図

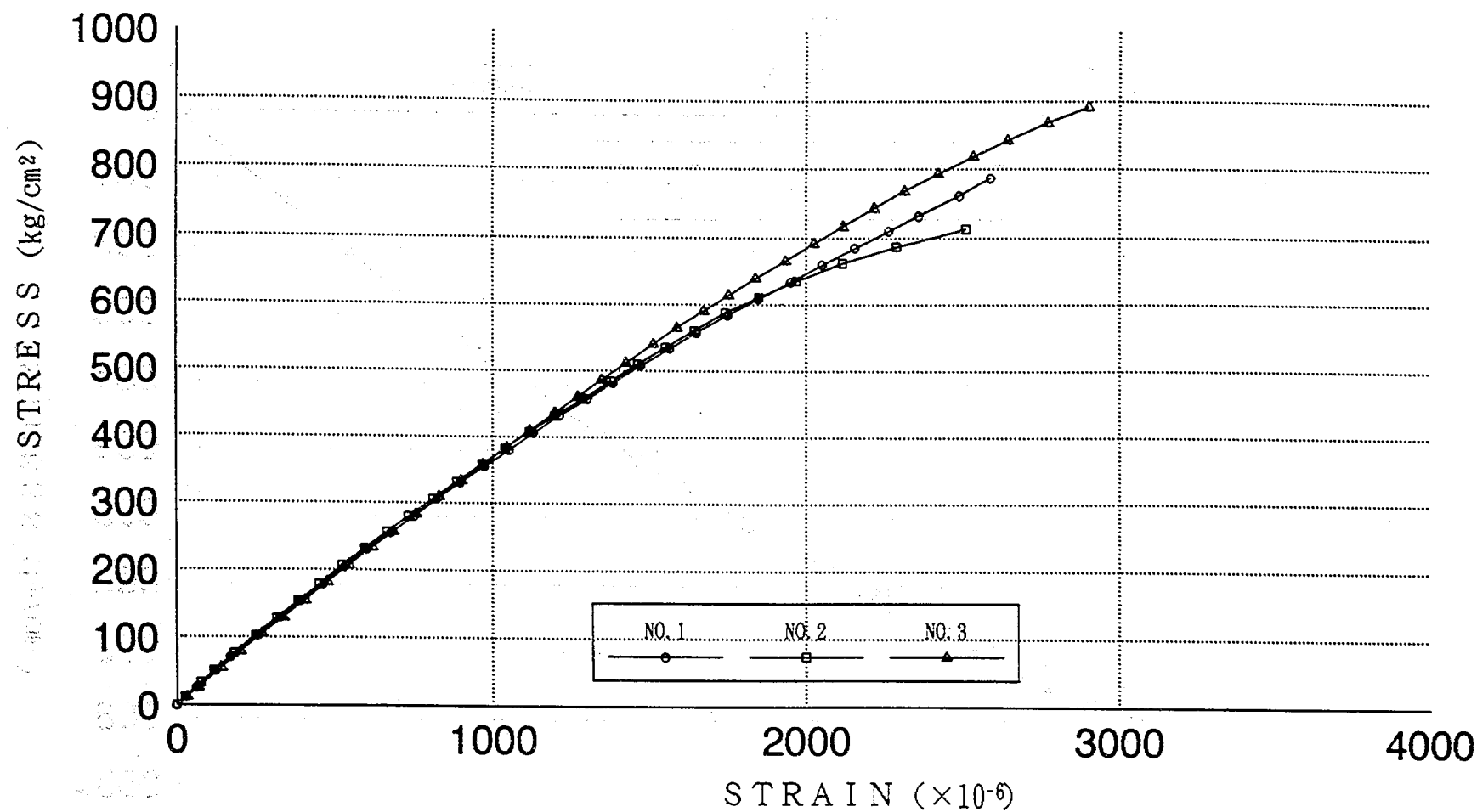


コンクリート圧縮応力-ひずみ線図



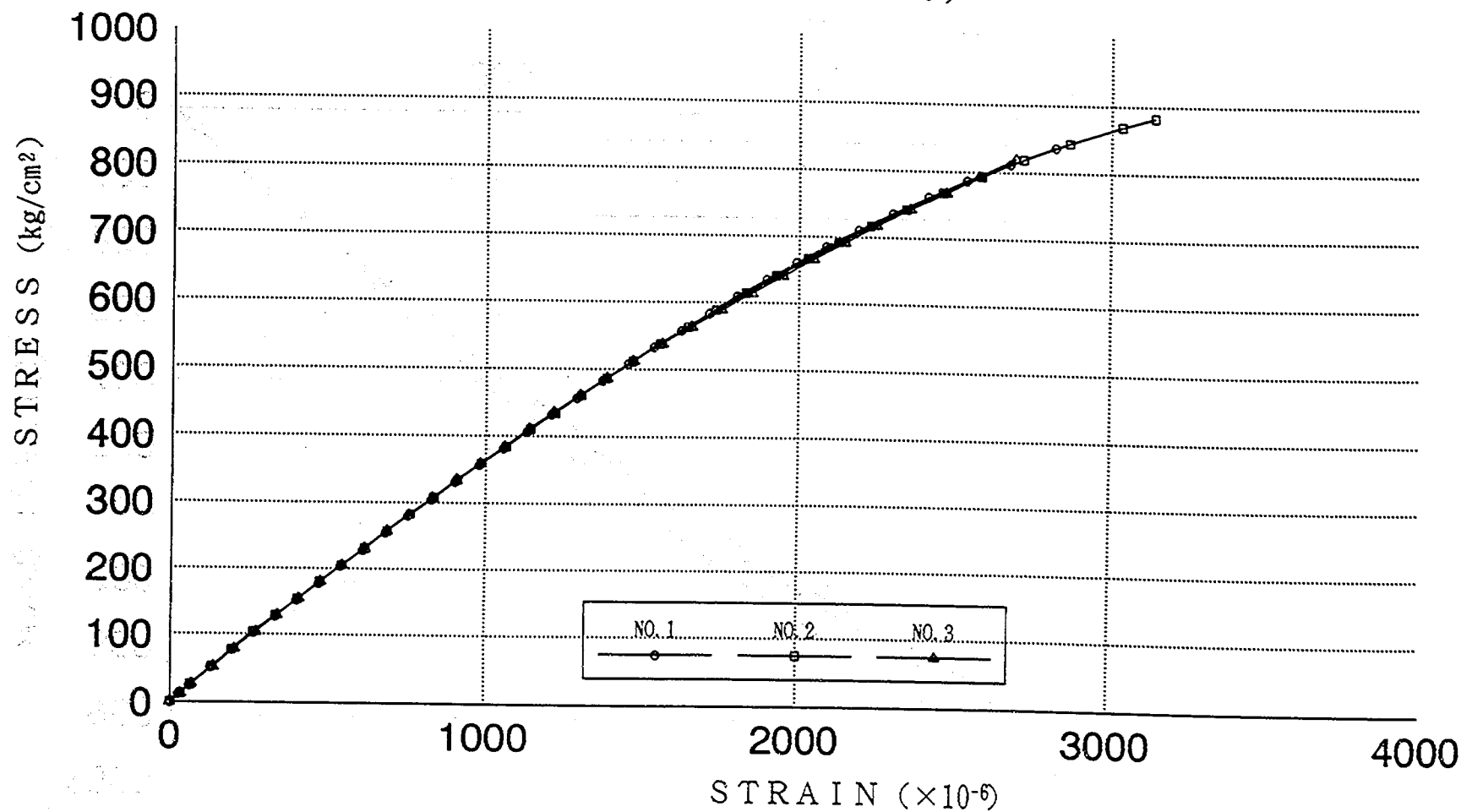
コンクリート圧縮応力-ひずみ線図

供試体NO. 8 (H3-35-00)

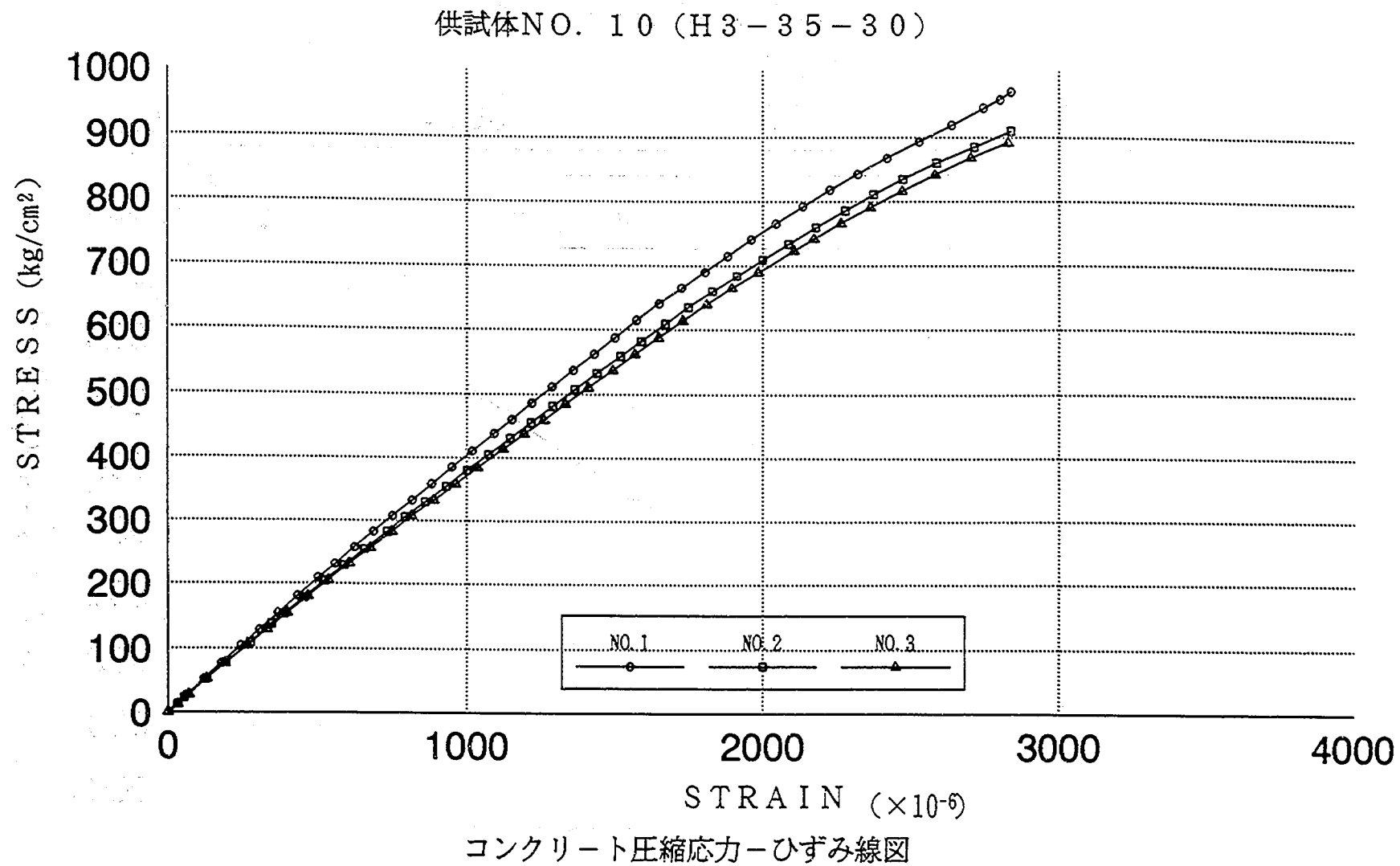


コンクリート圧縮応力-ひずみ線図

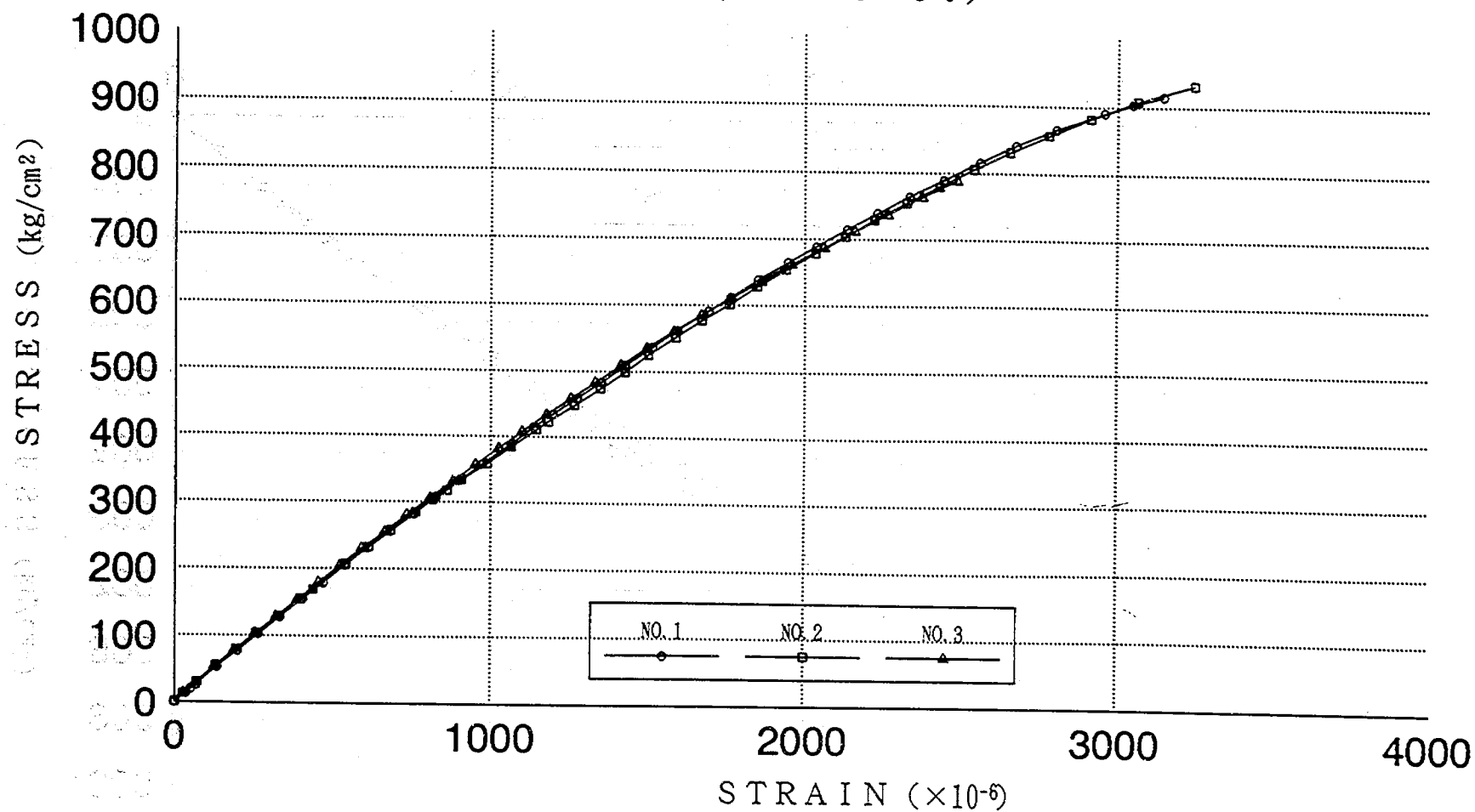
供試体NO. 9 (H4-35-00)



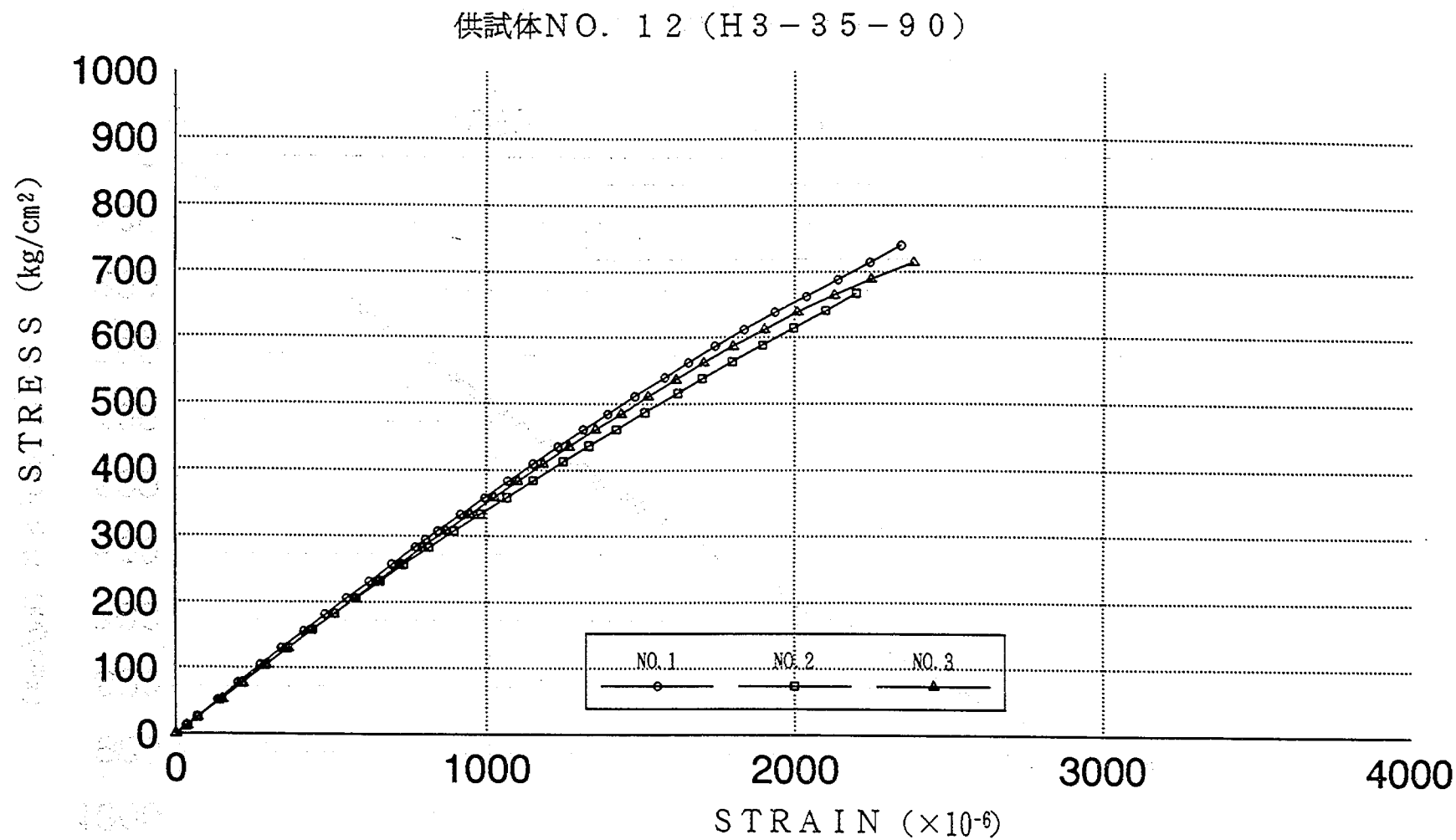
コンクリート圧縮応力-ひずみ線図



供試体NO. 11 (H3-35-60)

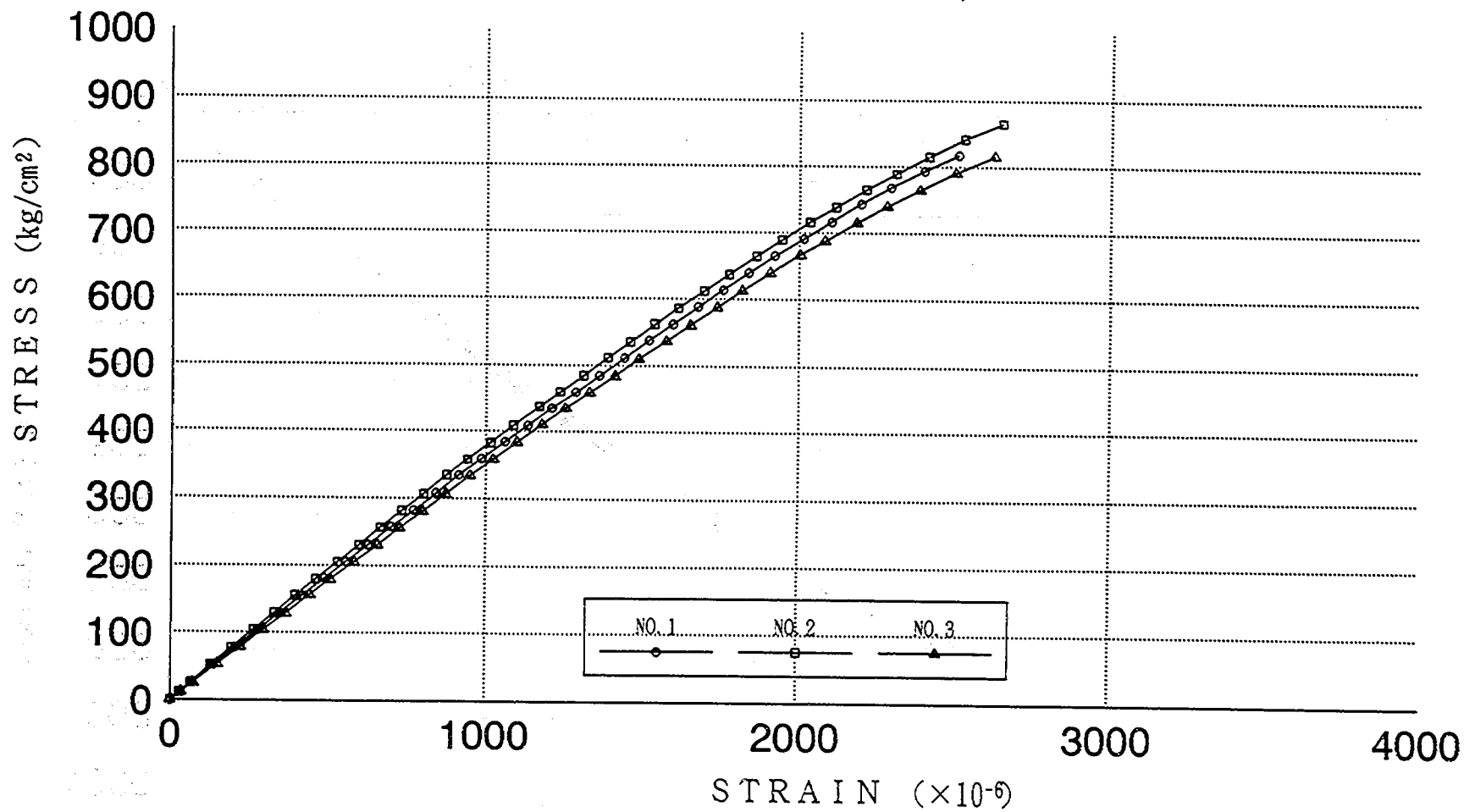


コンクリート圧縮応力-ひずみ線図

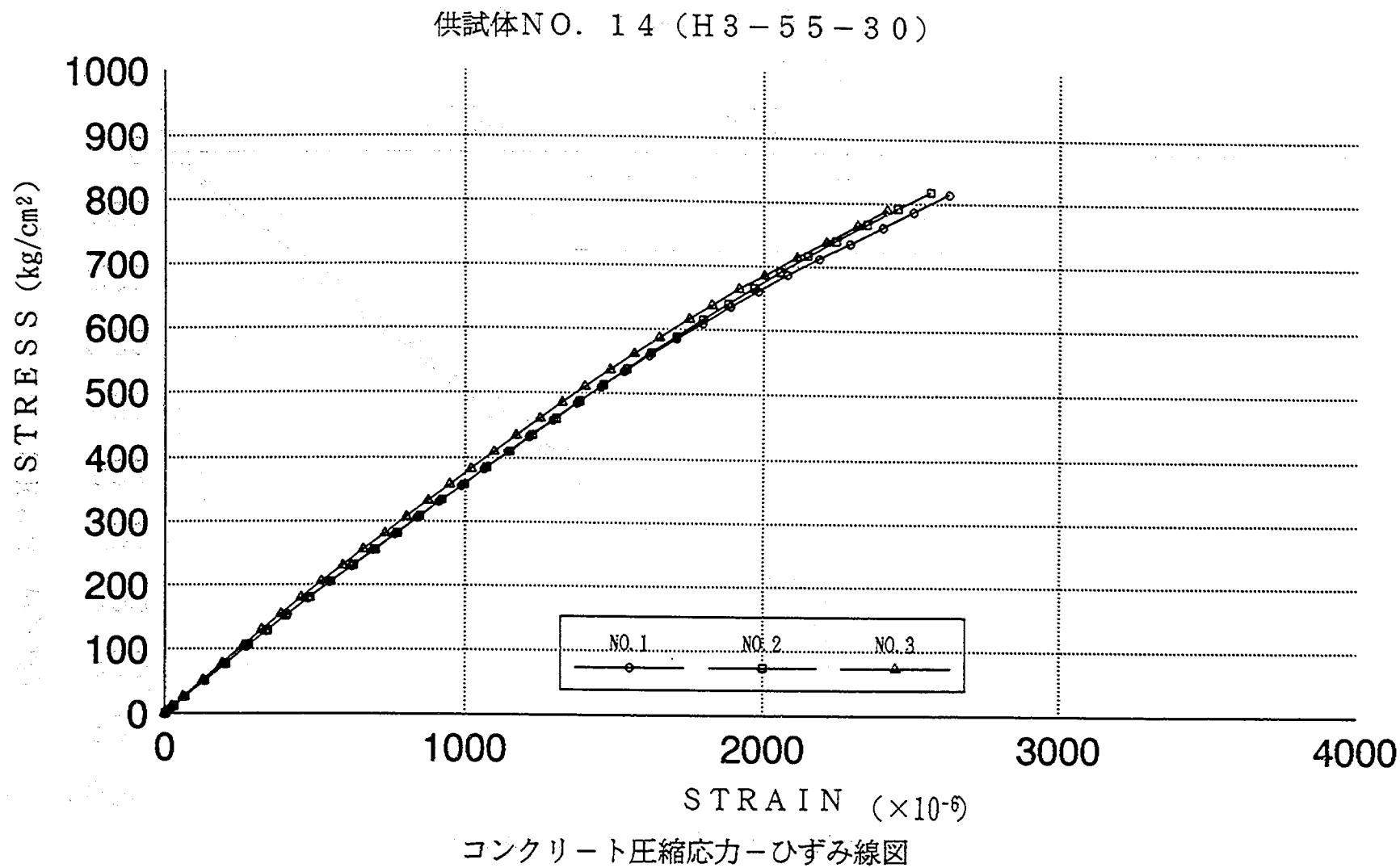


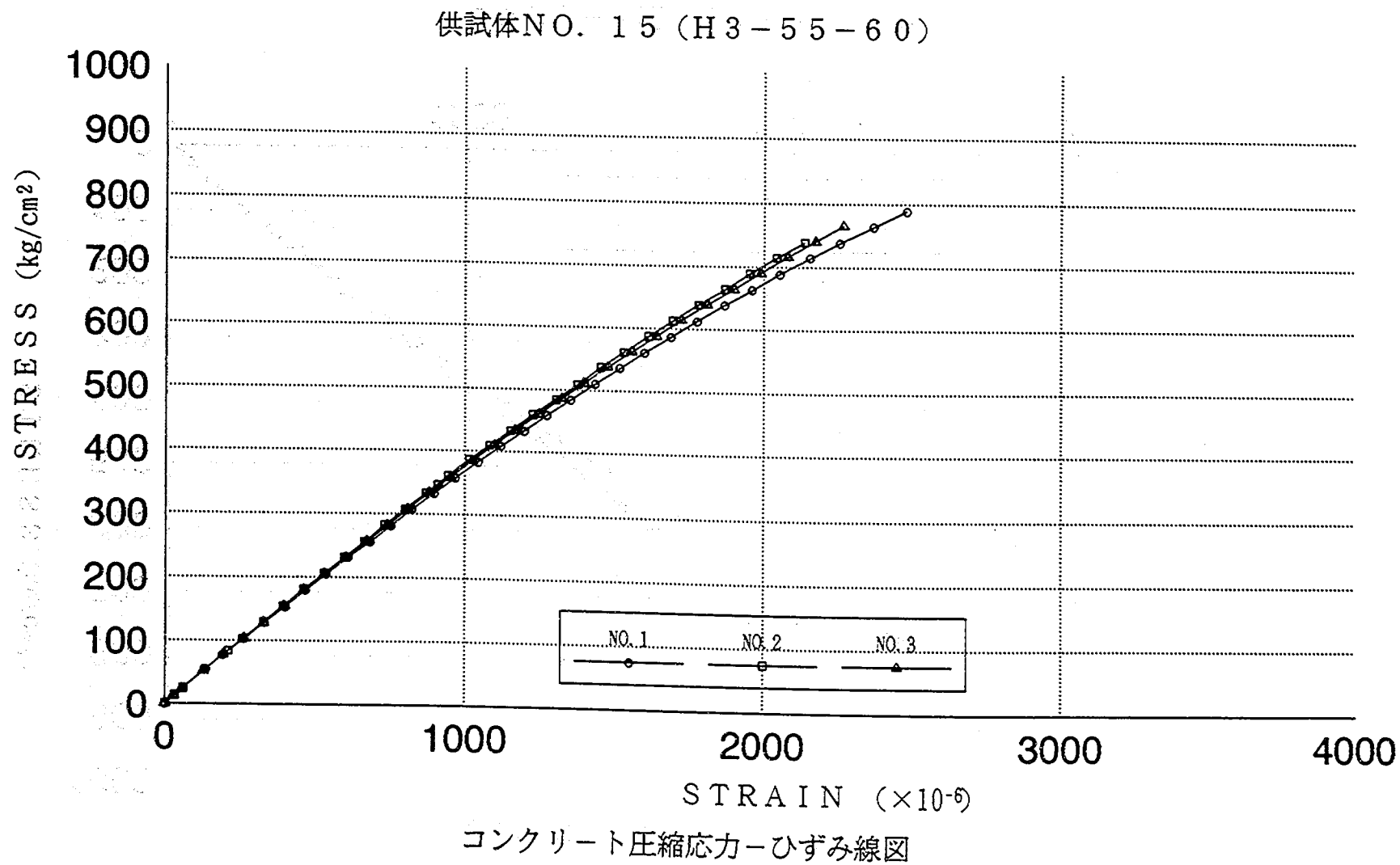
コンクリート圧縮応力-ひずみ線図

供試体NO. 13 (H3-55-00)

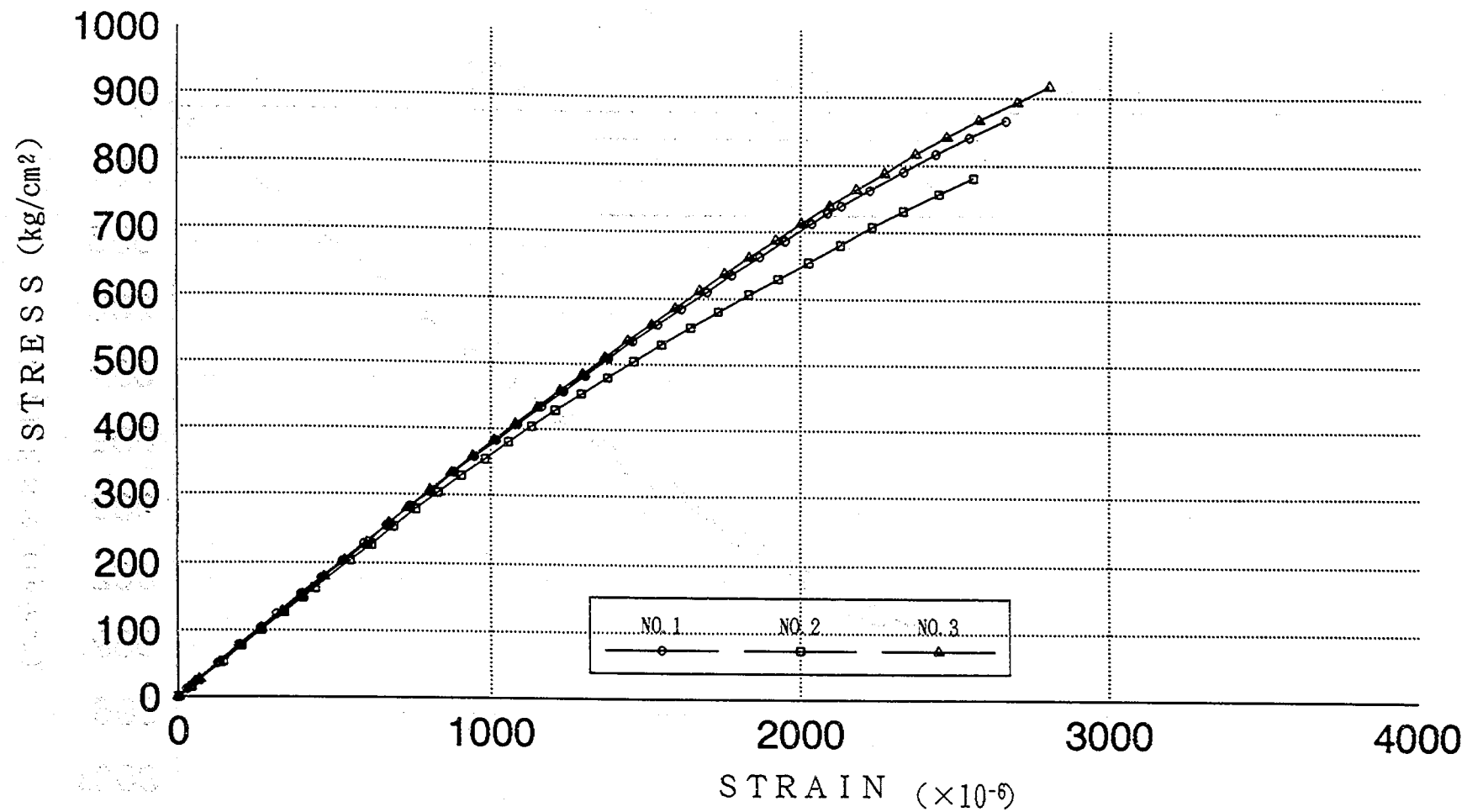


コンクリート圧縮応力-ひずみ線図



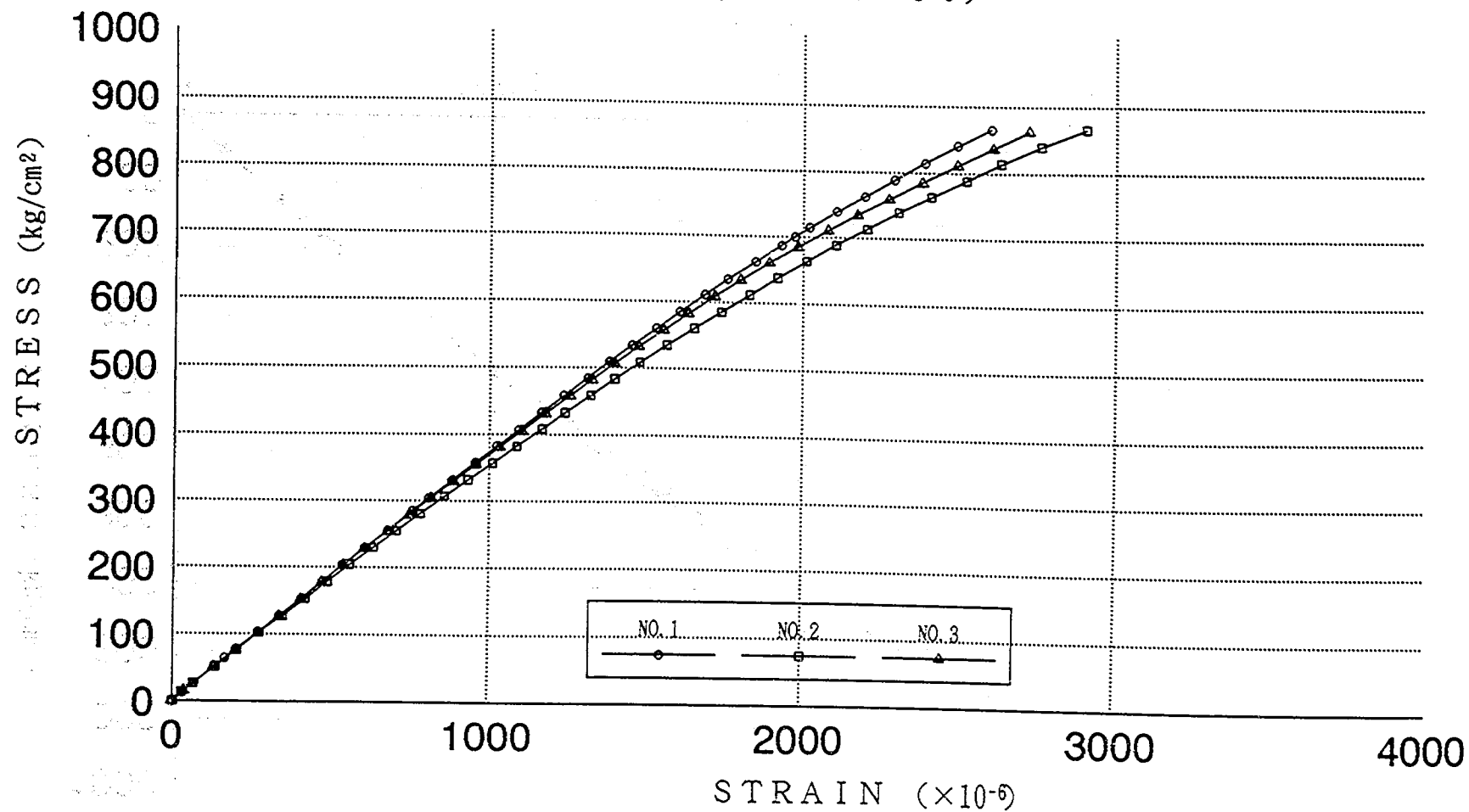


供試体NO. 16 (H3-75-00)



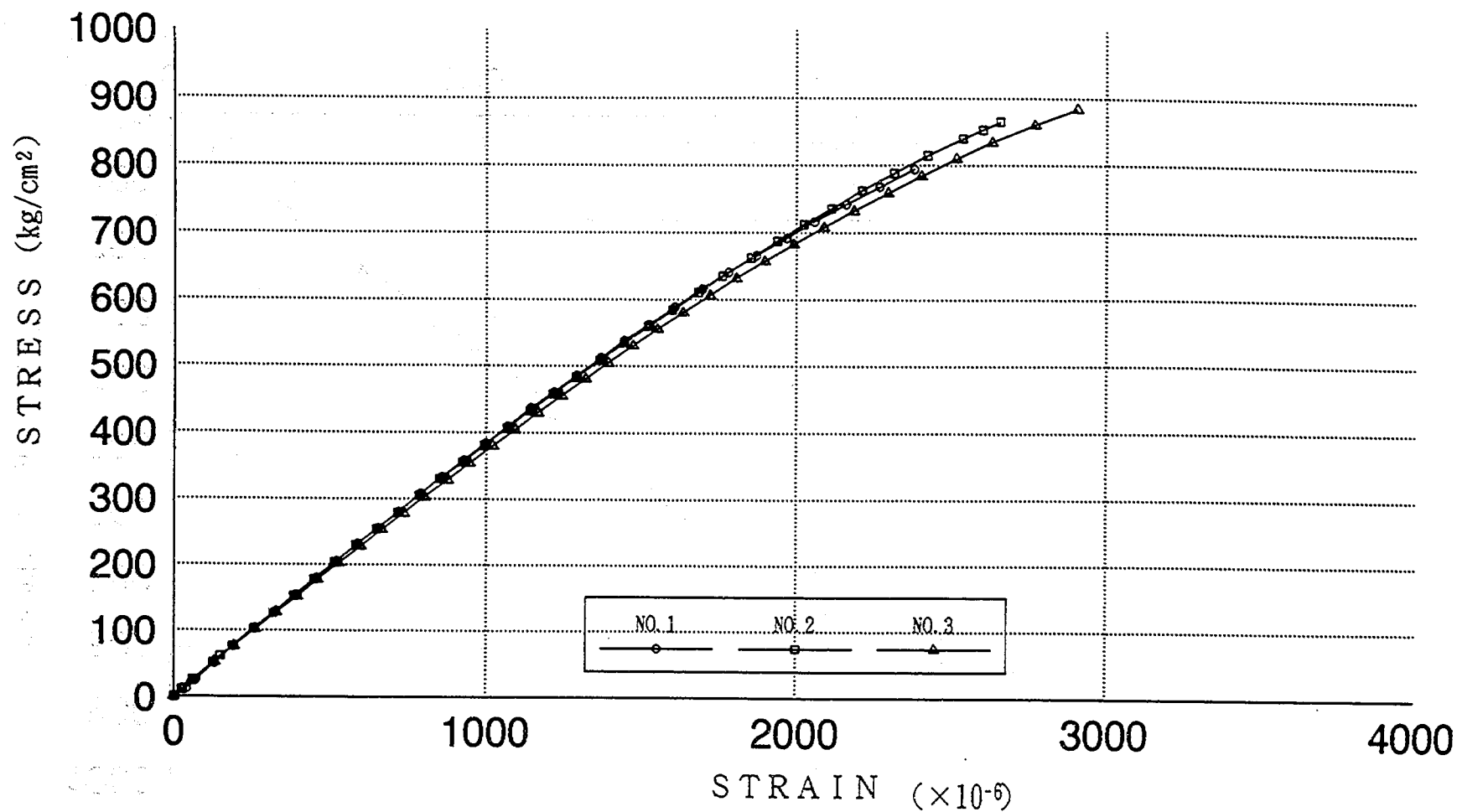
コンクリート圧縮応力-ひずみ線図

供試体NO. 17 (H3-75-30)



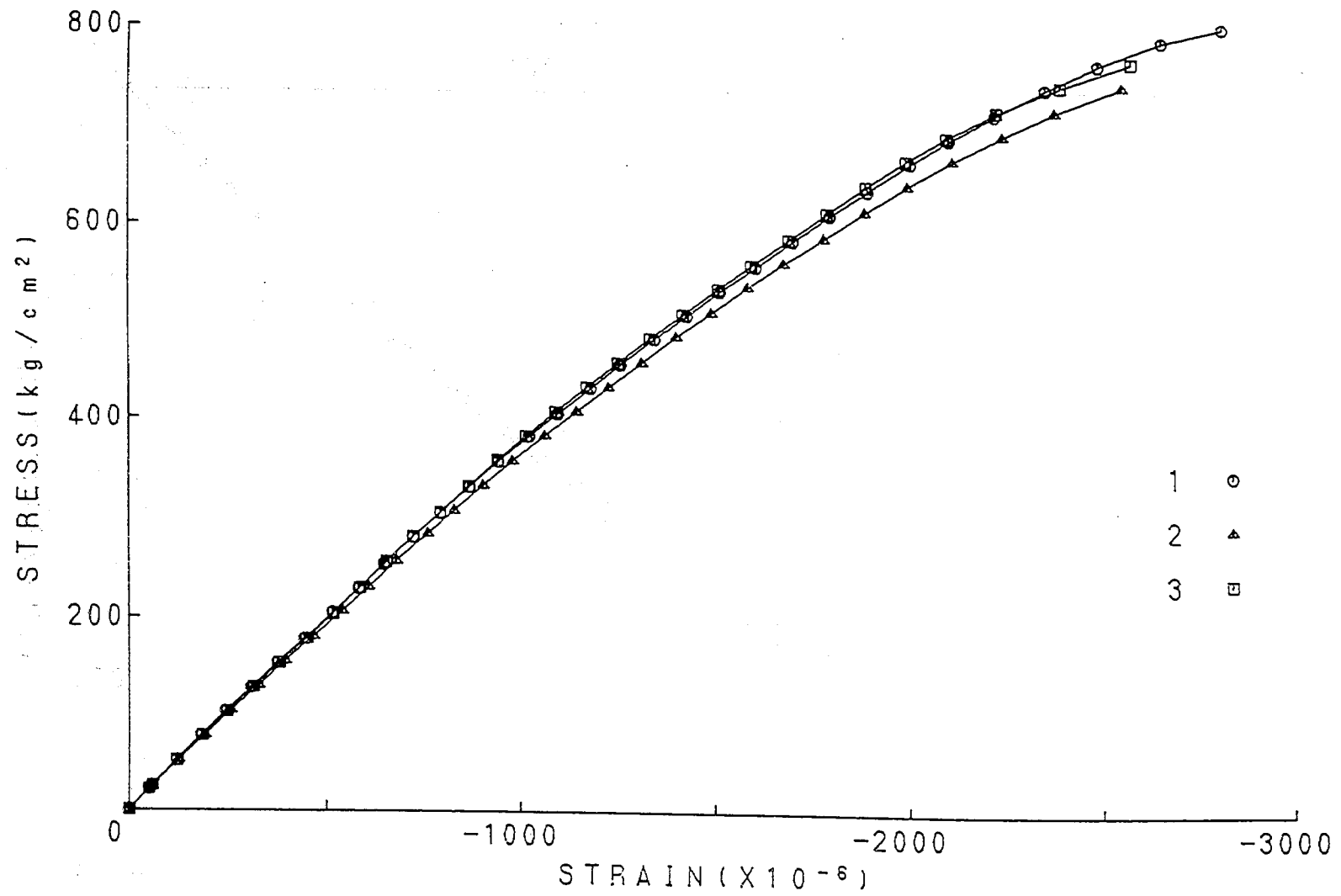
コンクリート圧縮応力-ひずみ線図

供試体NO. 18 (H3-75-60)



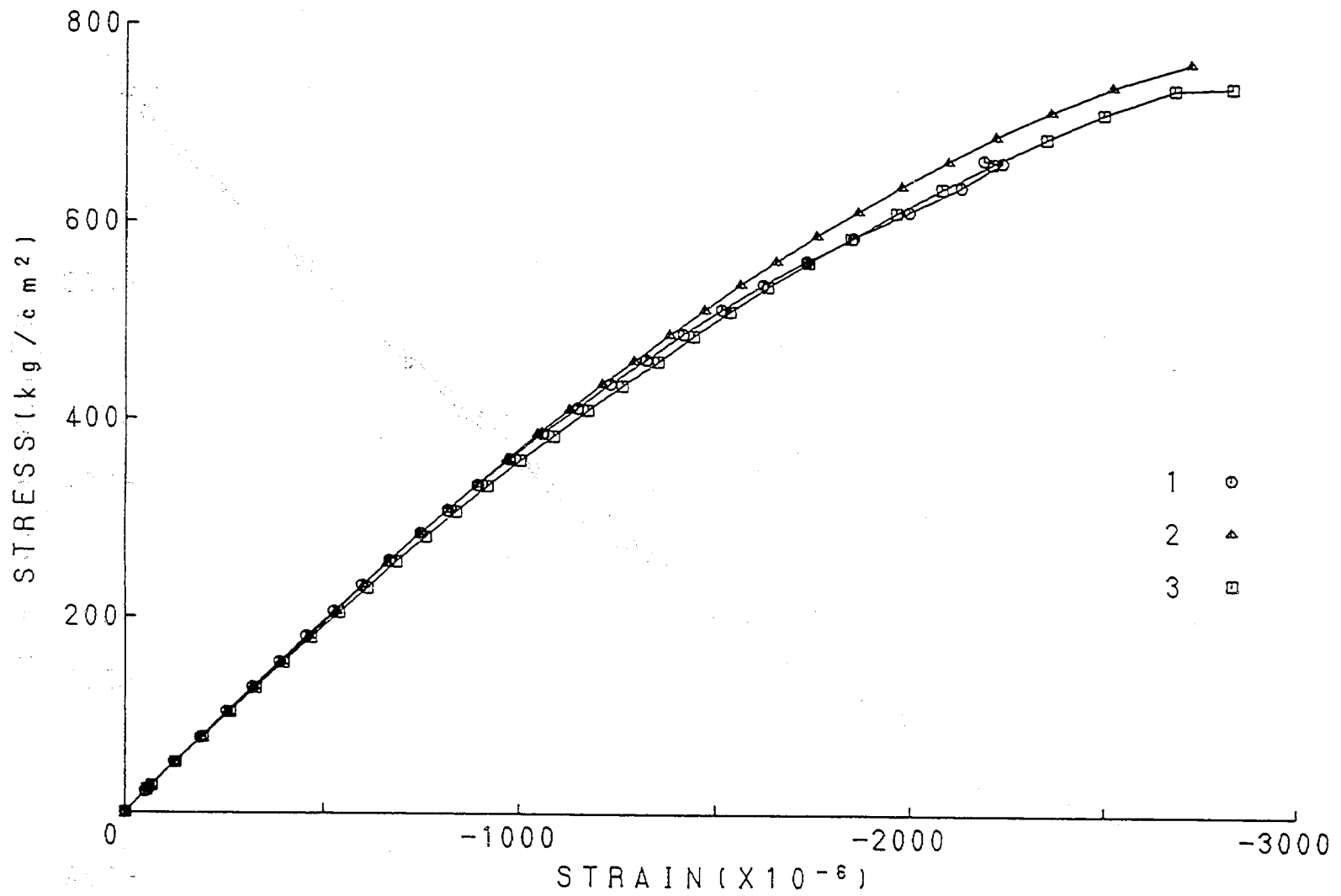
コンクリート圧縮応力-ひずみ線図

供試体NO. 19 (H3-95-00)



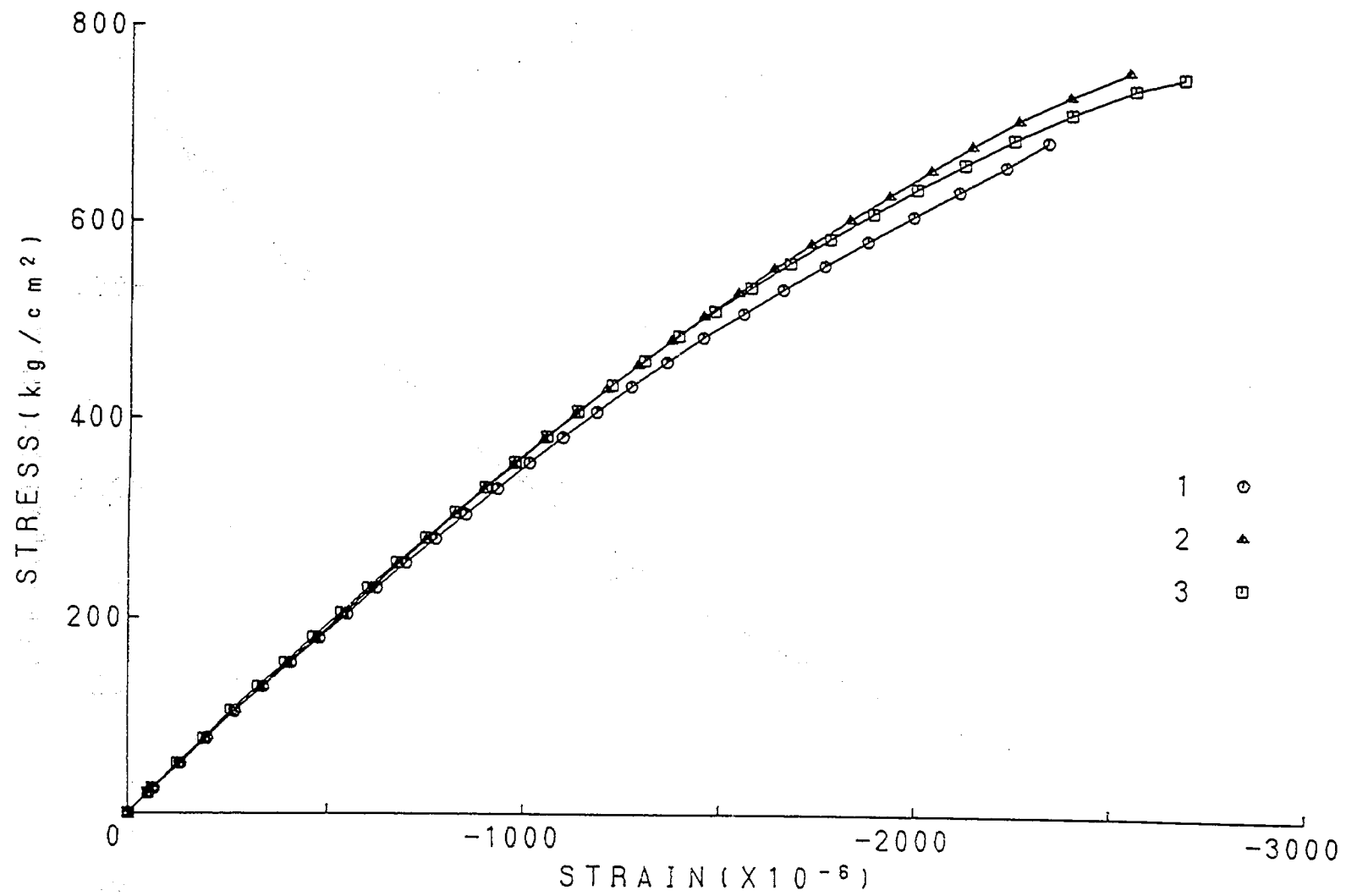
コンクリート圧縮応力-ひずみ

供試体NO. 20 (H3-95-60)



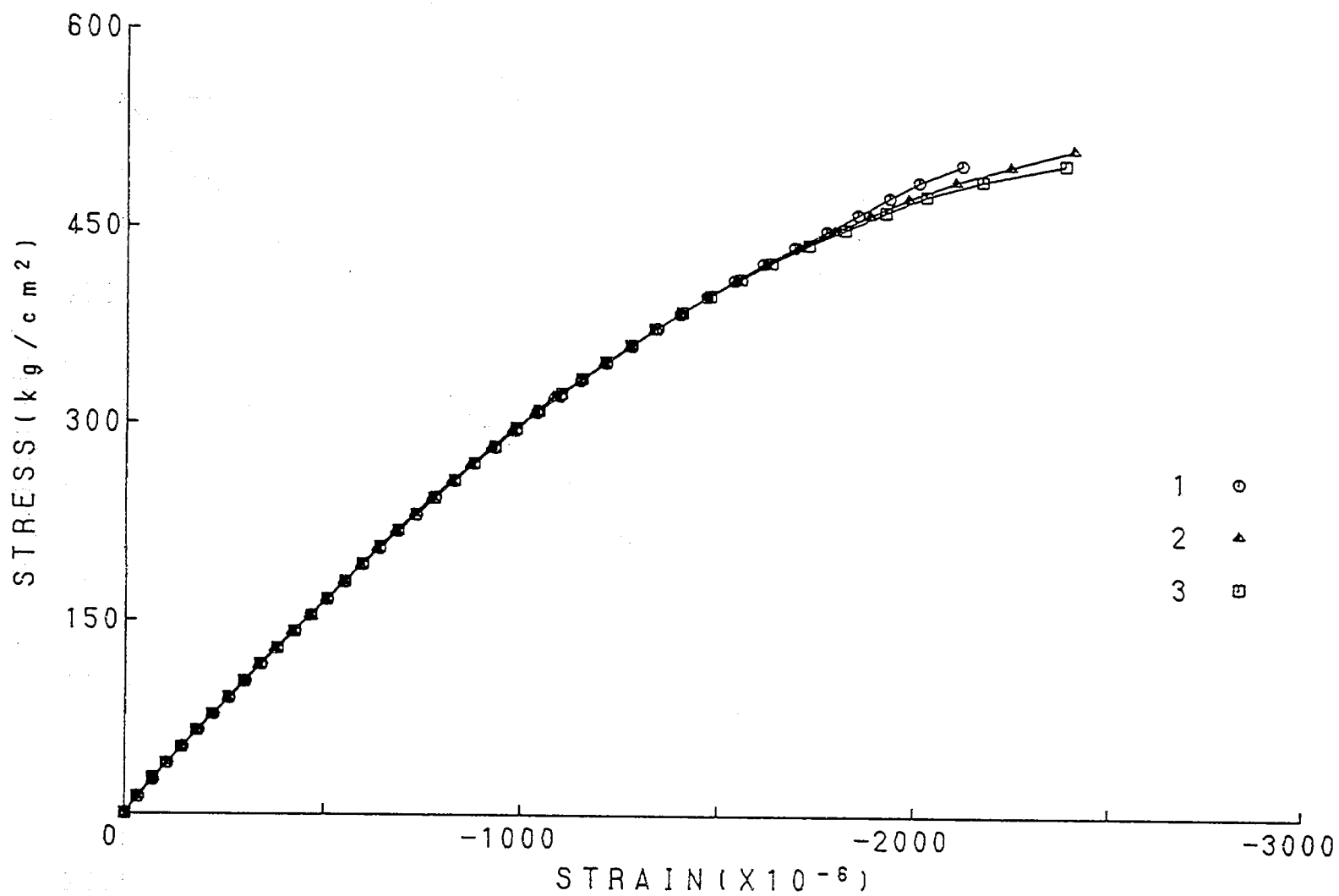
コンクリート圧縮応力-ひずみ

供試体NO. 21 (H3-95-120)



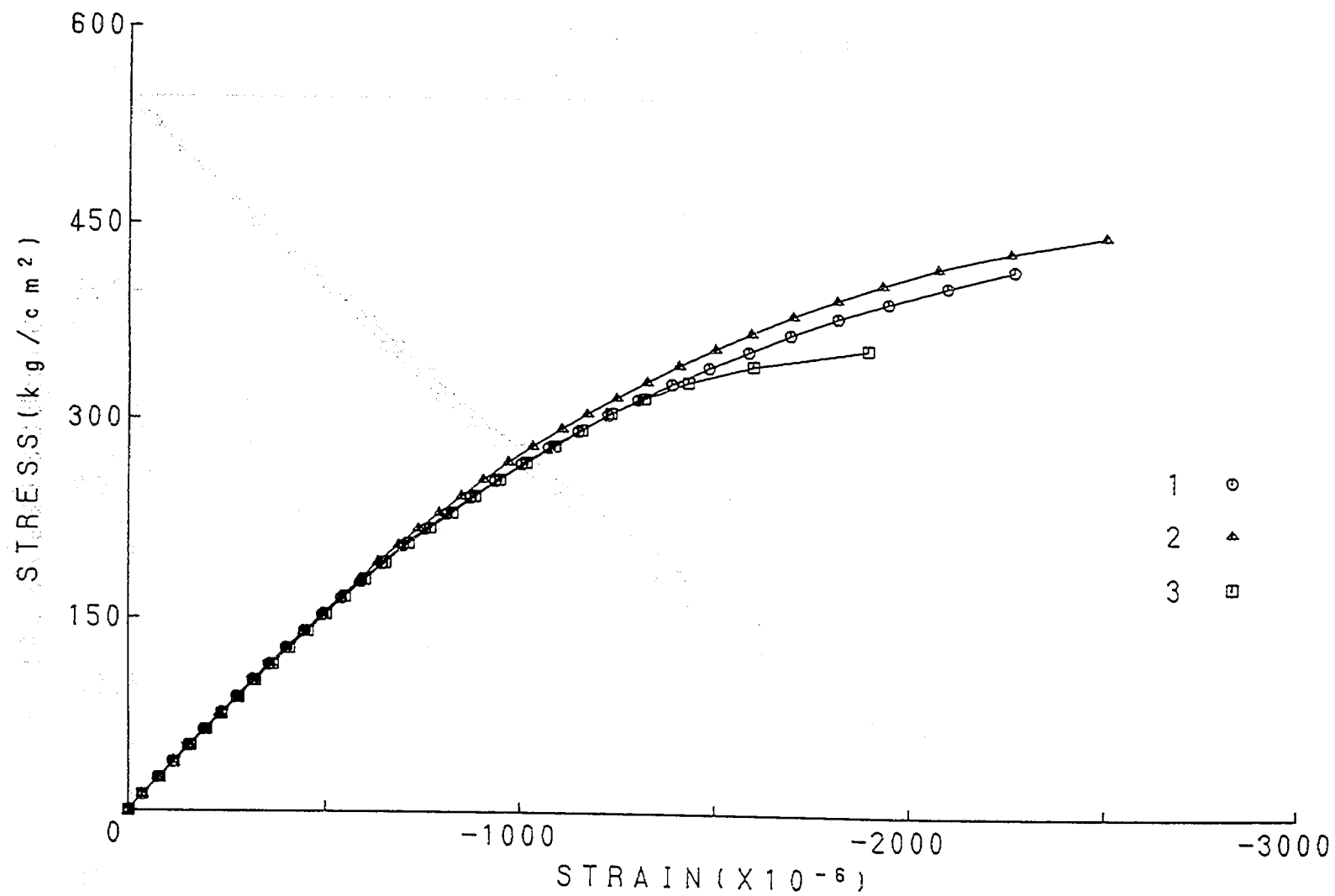
コンクリート圧縮応力-ひずみ

供試体NO. 22 (L3-35-30)



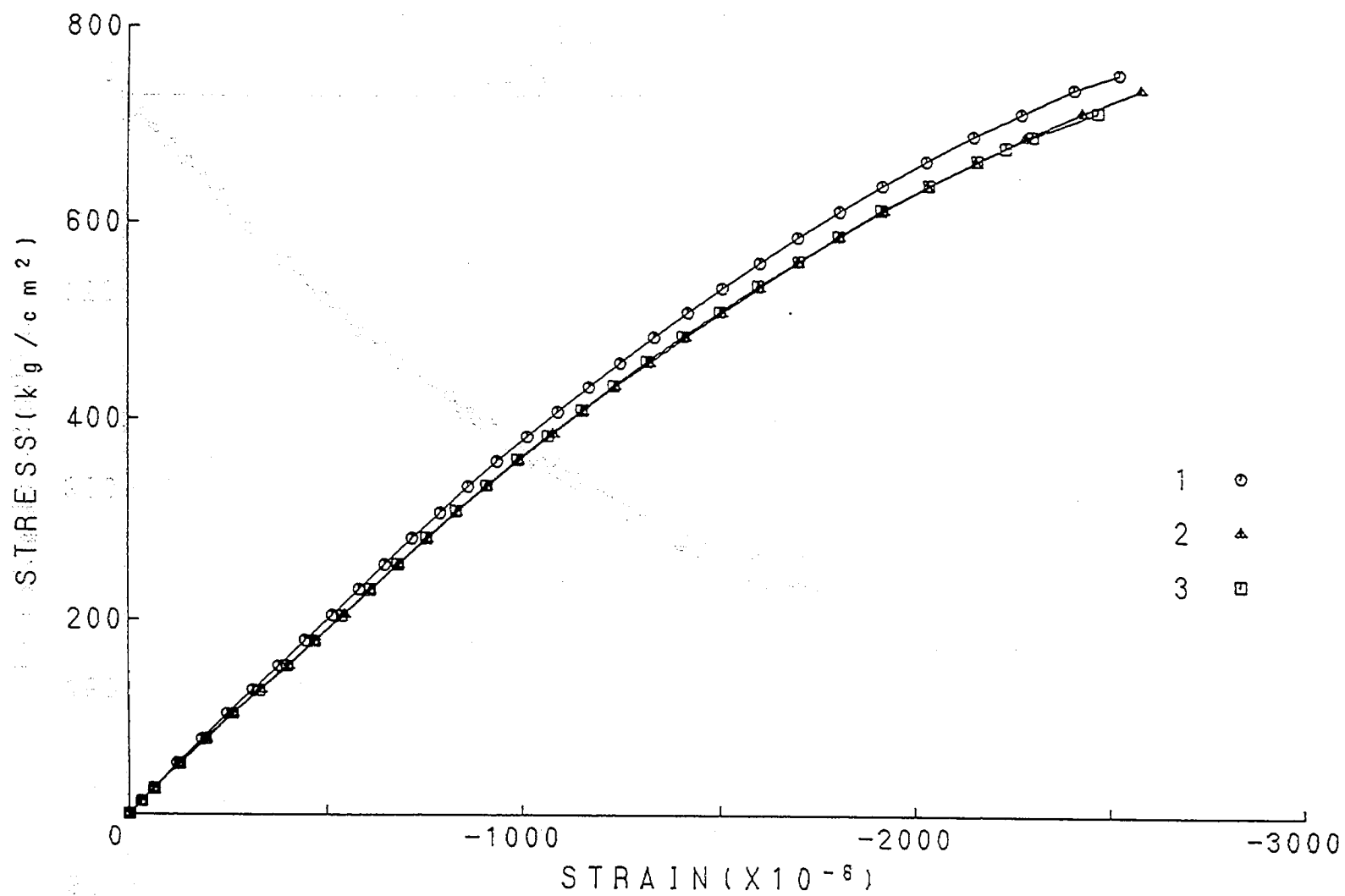
コンクリート圧縮応力-ひずみ

供試体NO. 23 (L3-35-60)



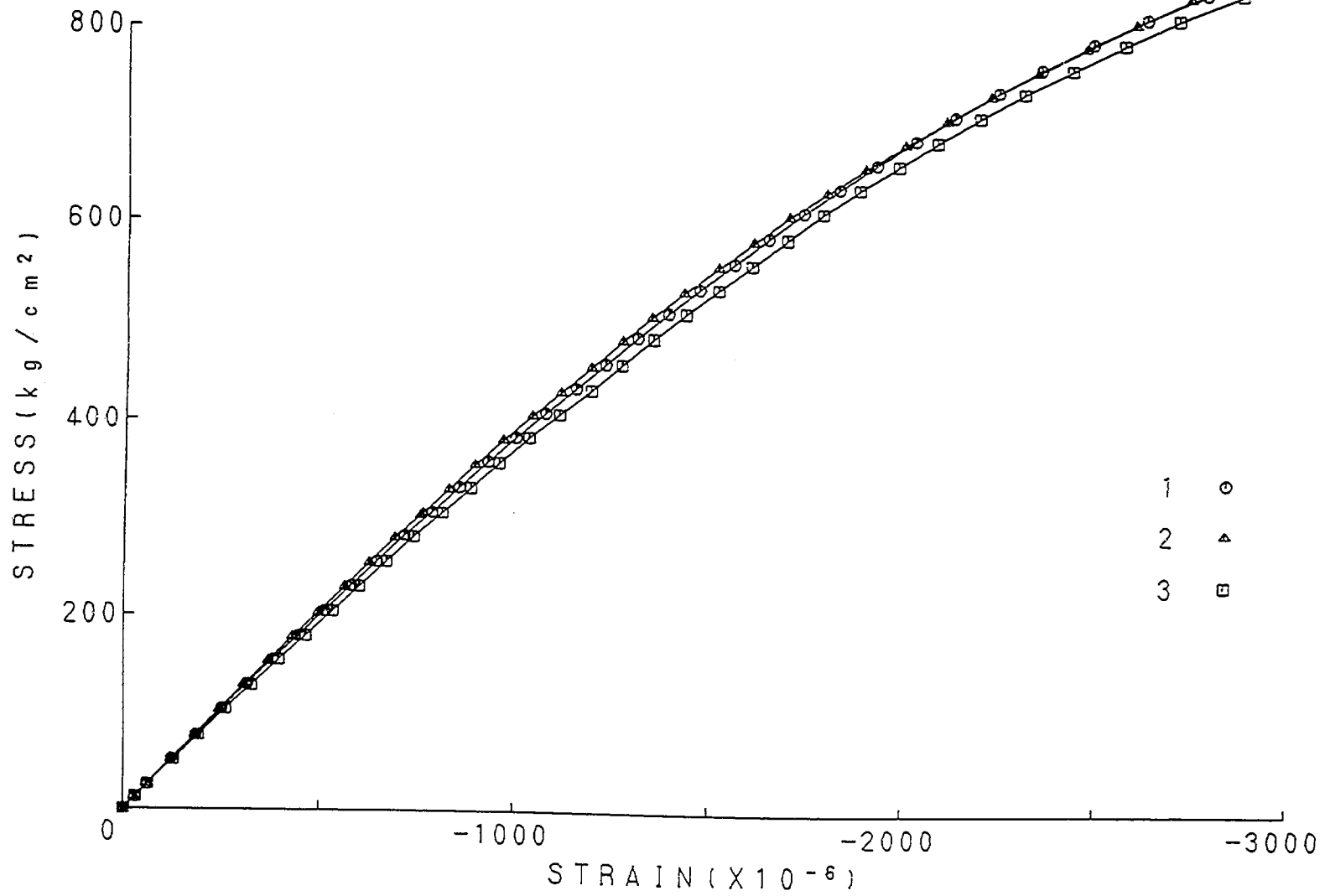
コンクリート圧縮応力-ひずみ

供試体NO. 24 (HS 3-35-30)



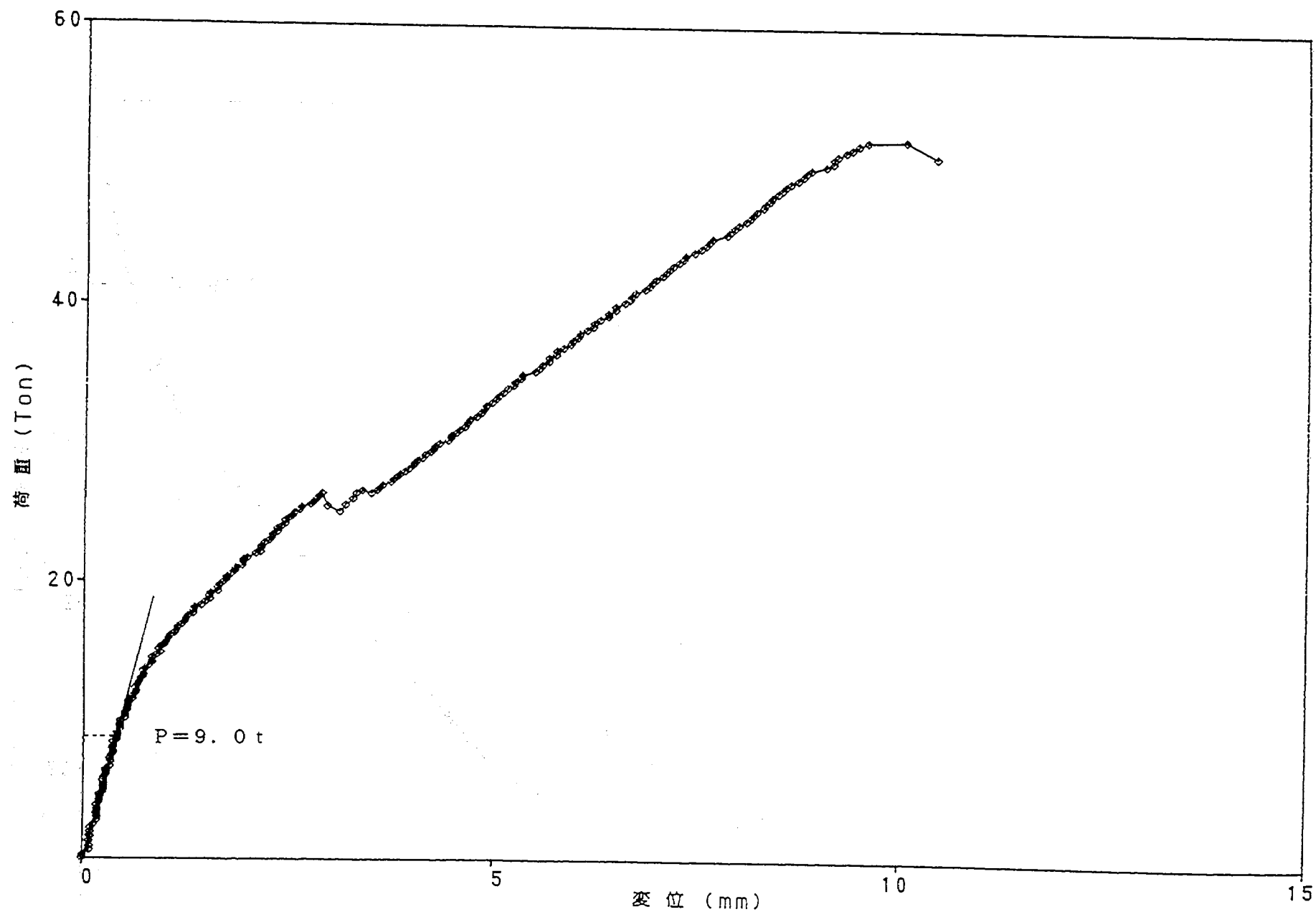
コンクリート圧縮応力-ひずみ

供試体NO. 25 (HS3-35-60)

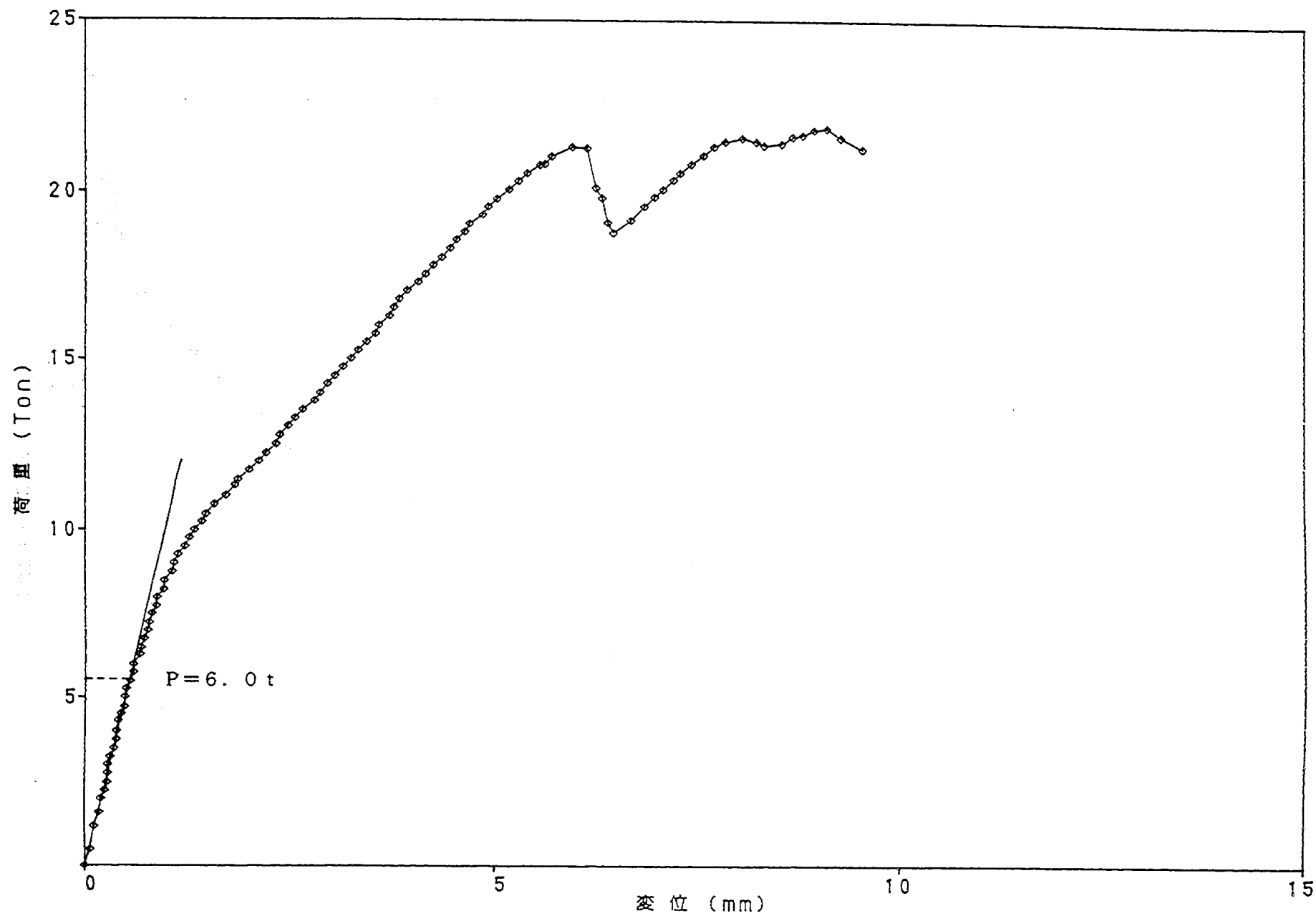


コンクリート圧縮応力-ひずみ

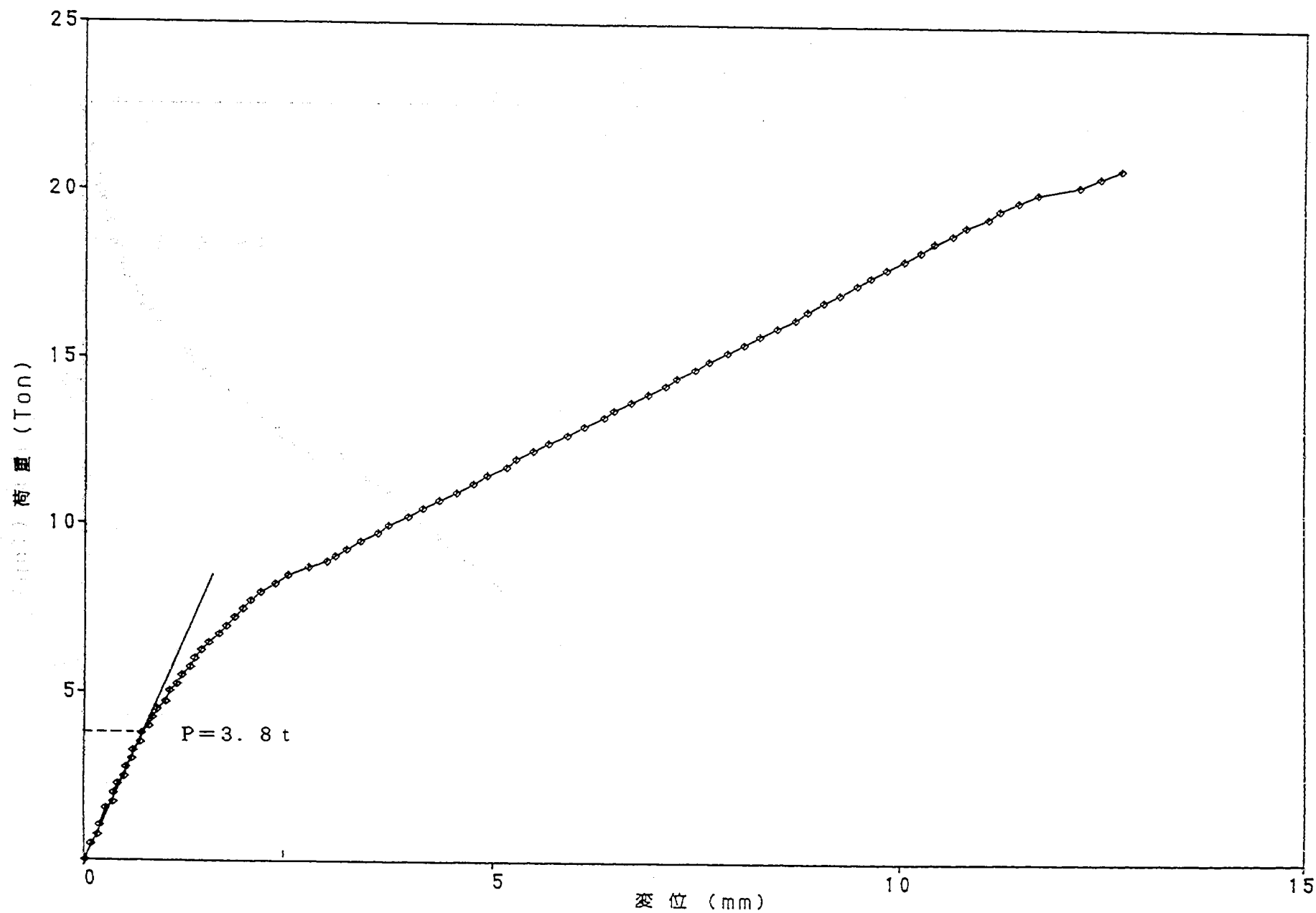
4. せん断載荷試験 荷重－変位図



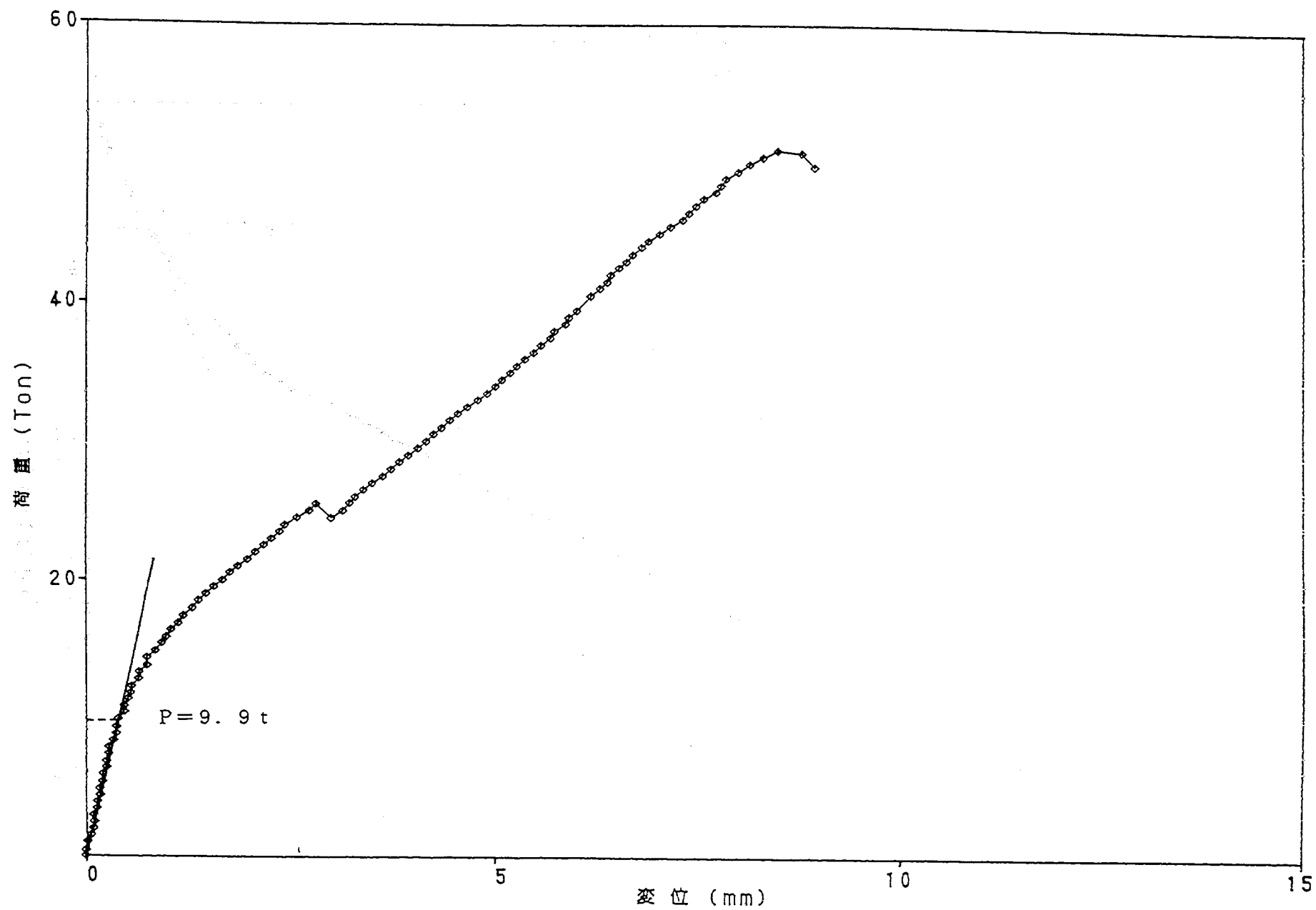
NO. 1 : 荷重 - 変位



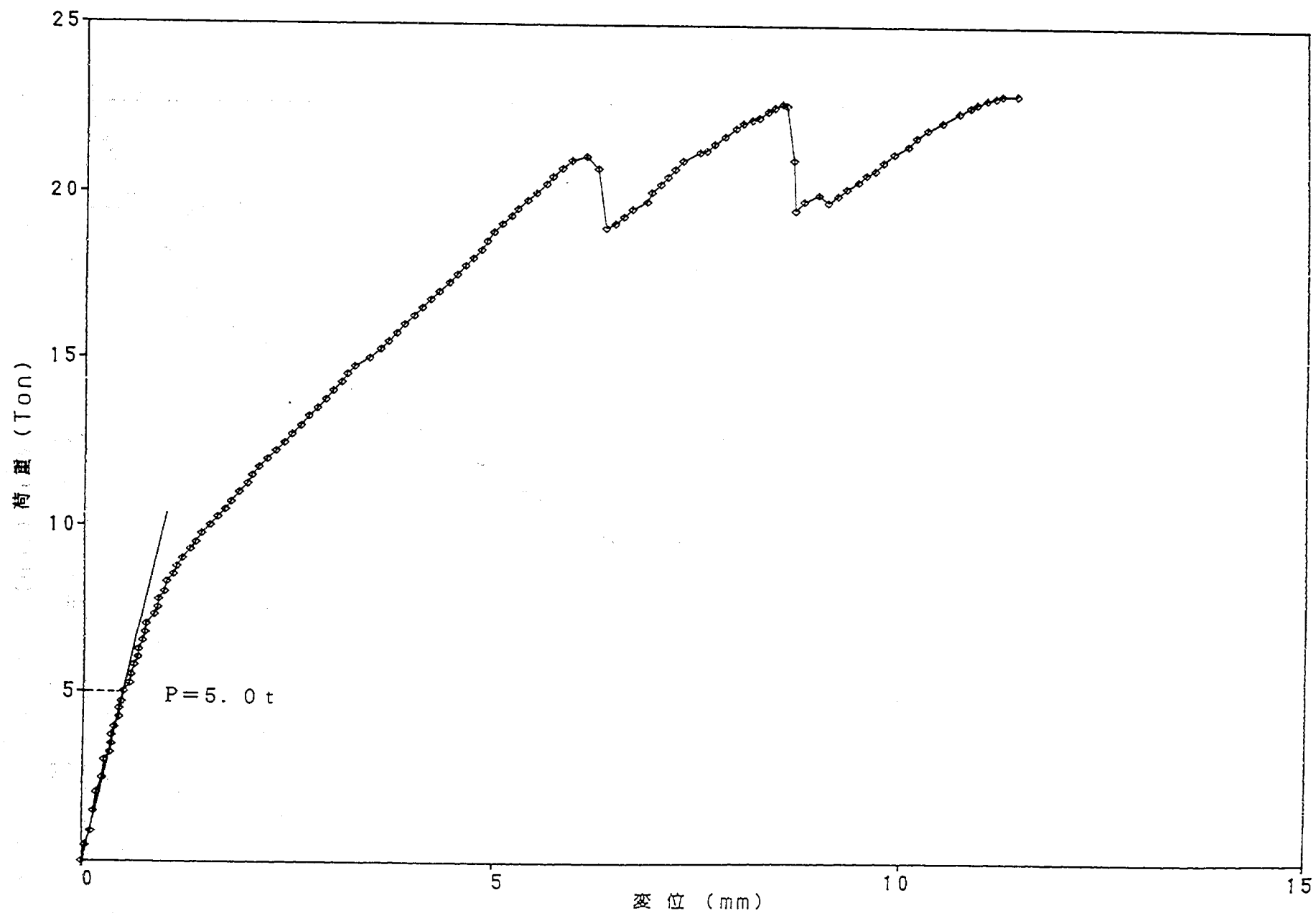
NO. 2 : 荷重 - 変位



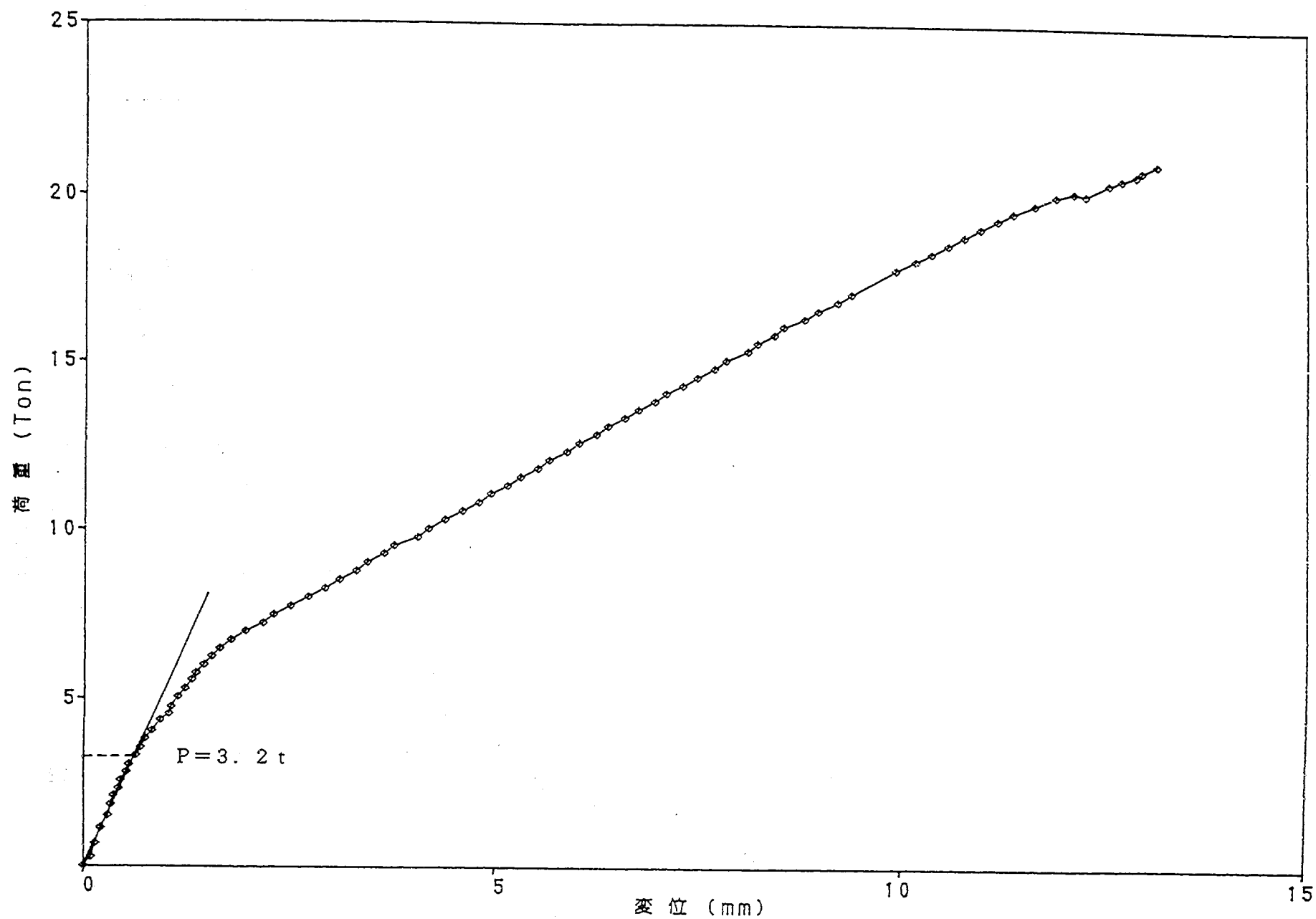
NO. 3 : 荷重 - 変位



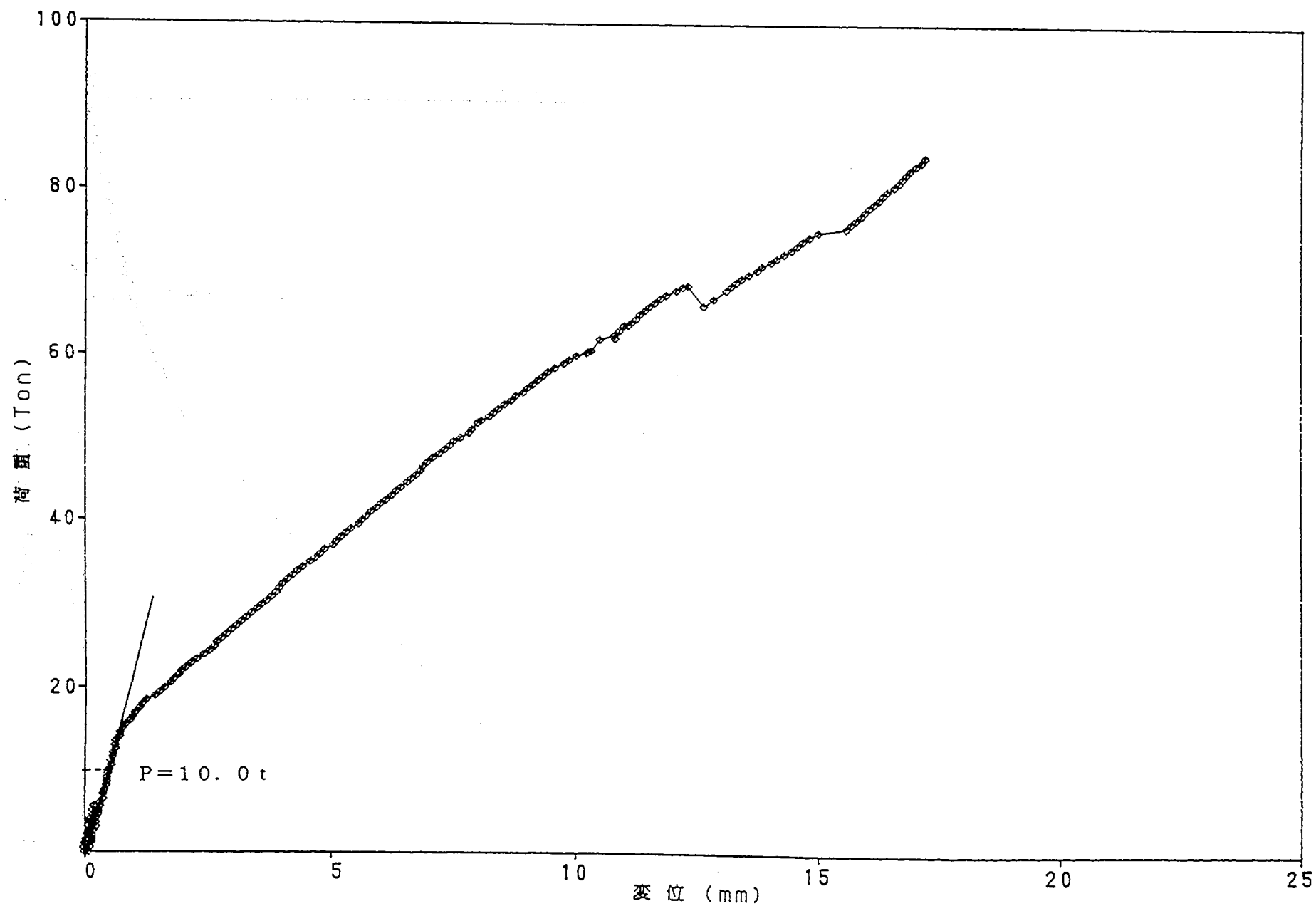
NO. 4 : 荷重 - 変位



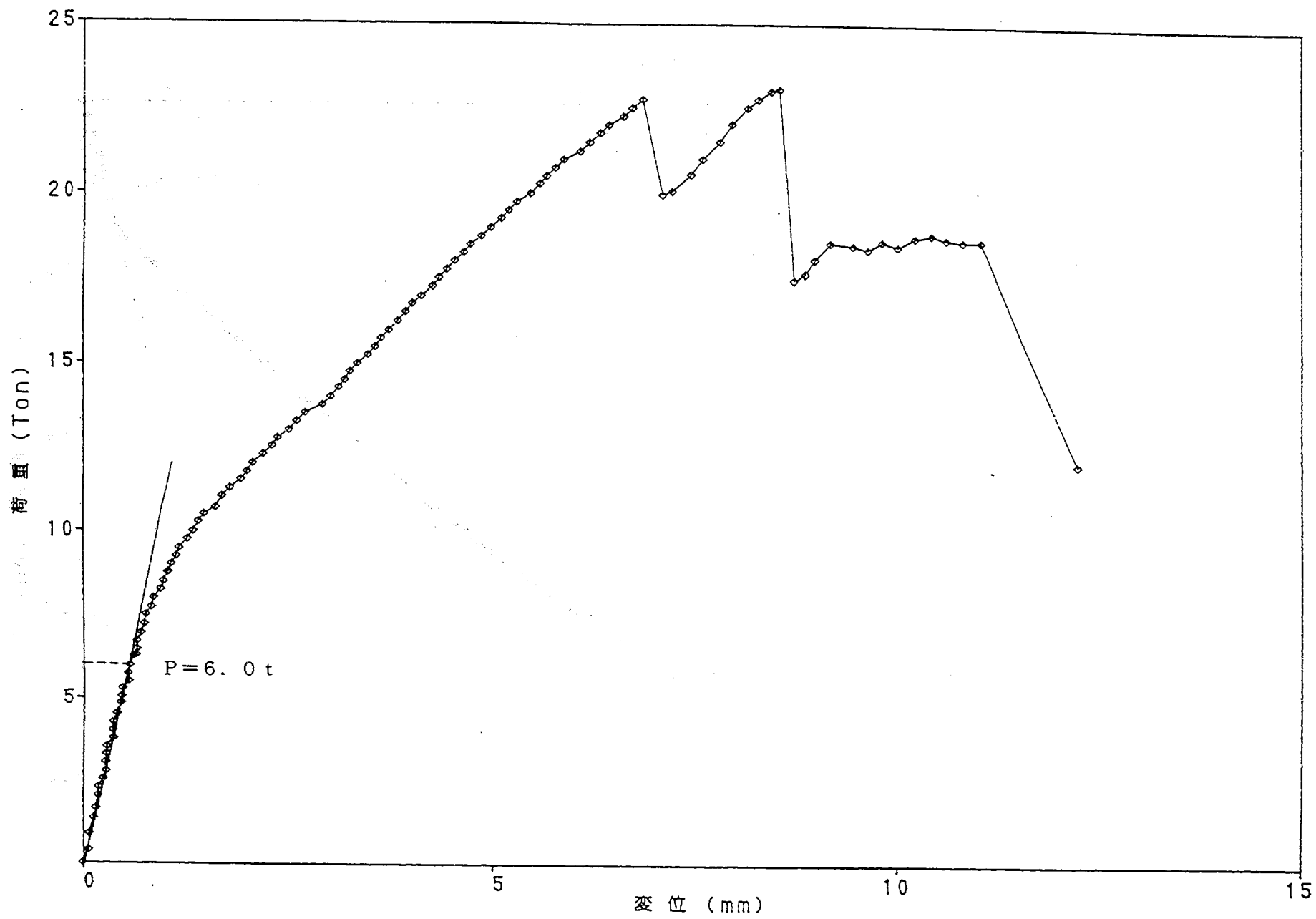
NO. 5 : 荷重 - 変位



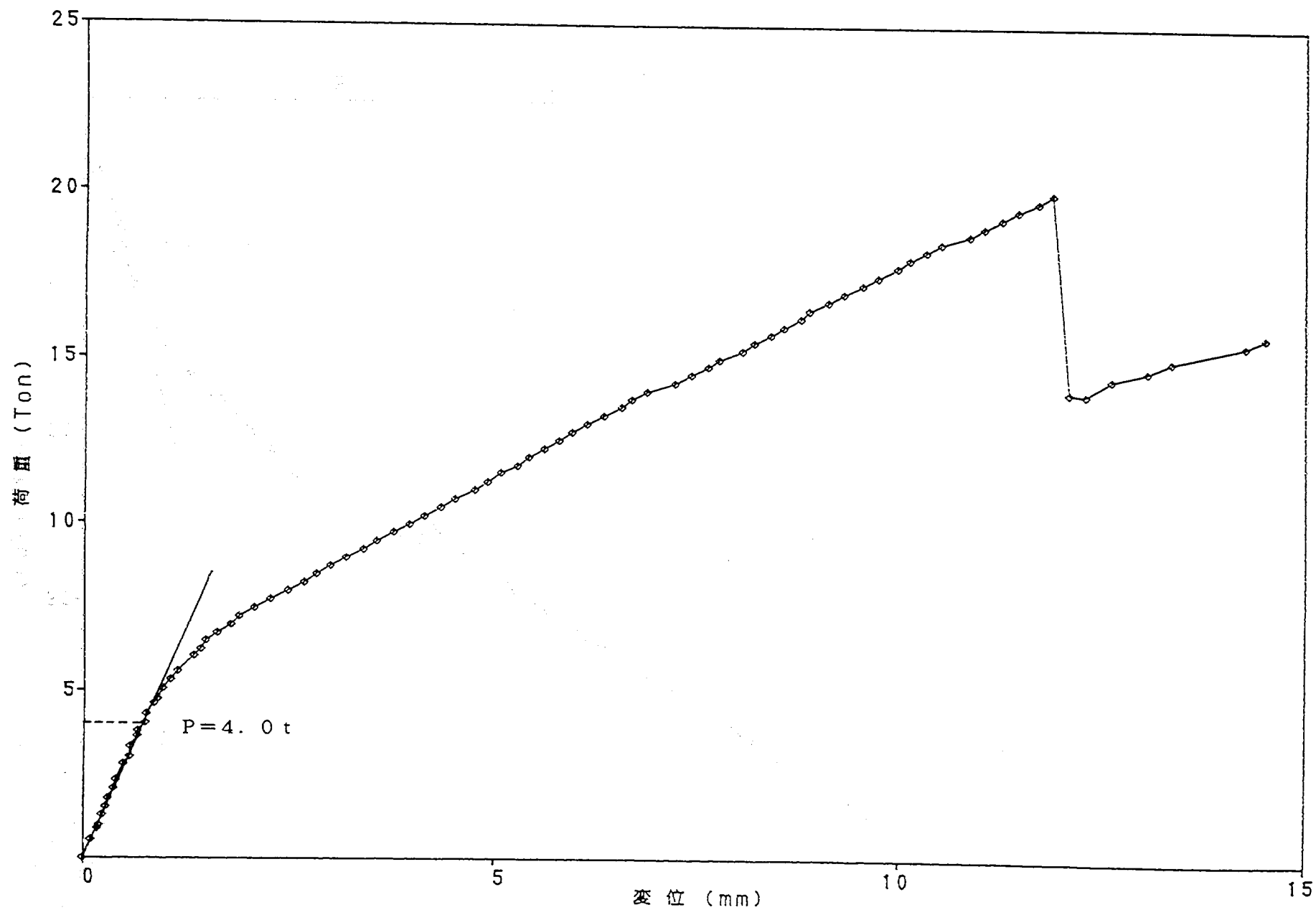
NO. 6 : 荷重 - 変位



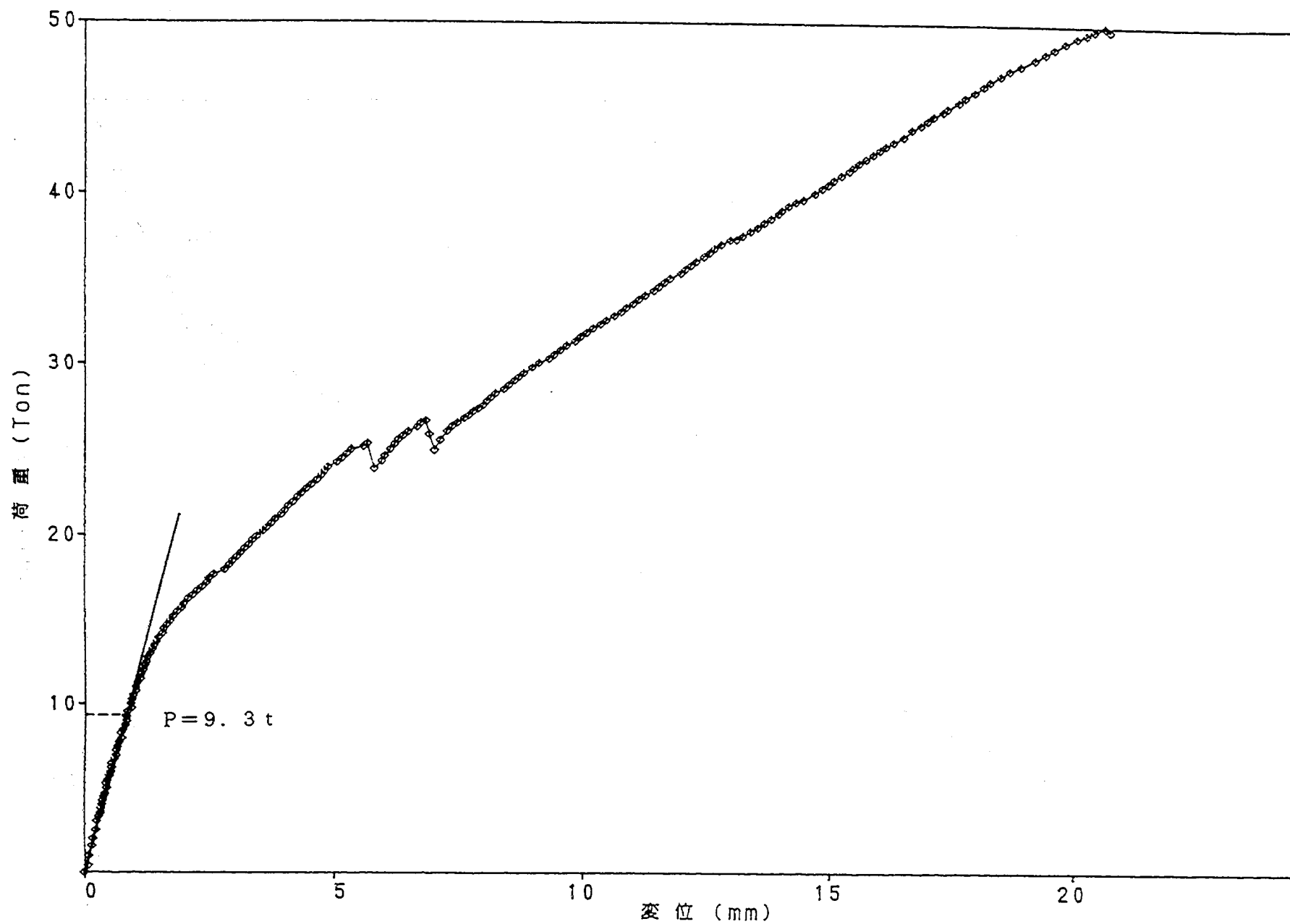
NO. 7 : 荷重 - 変位



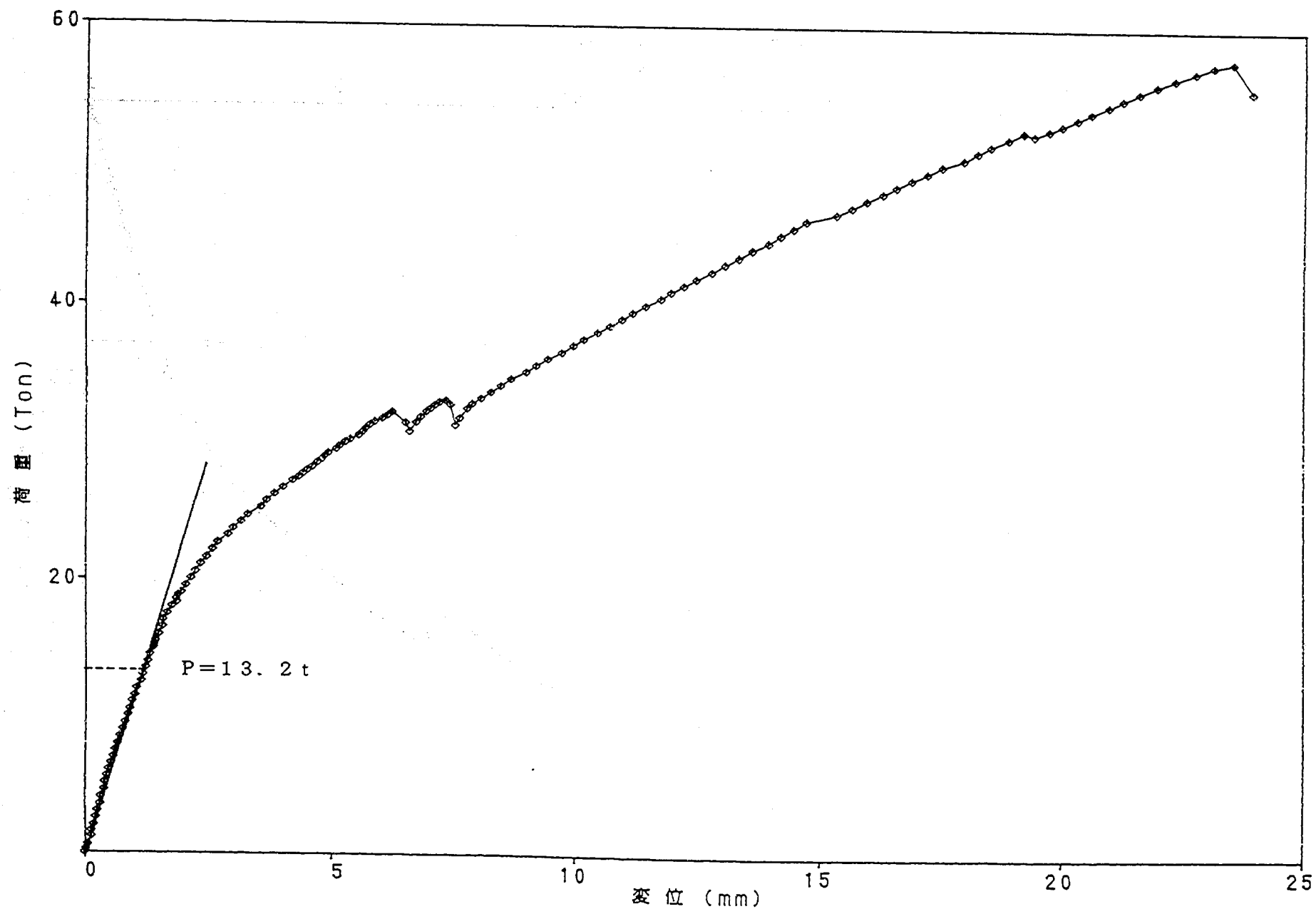
NO. 8 : 荷重 - 変位



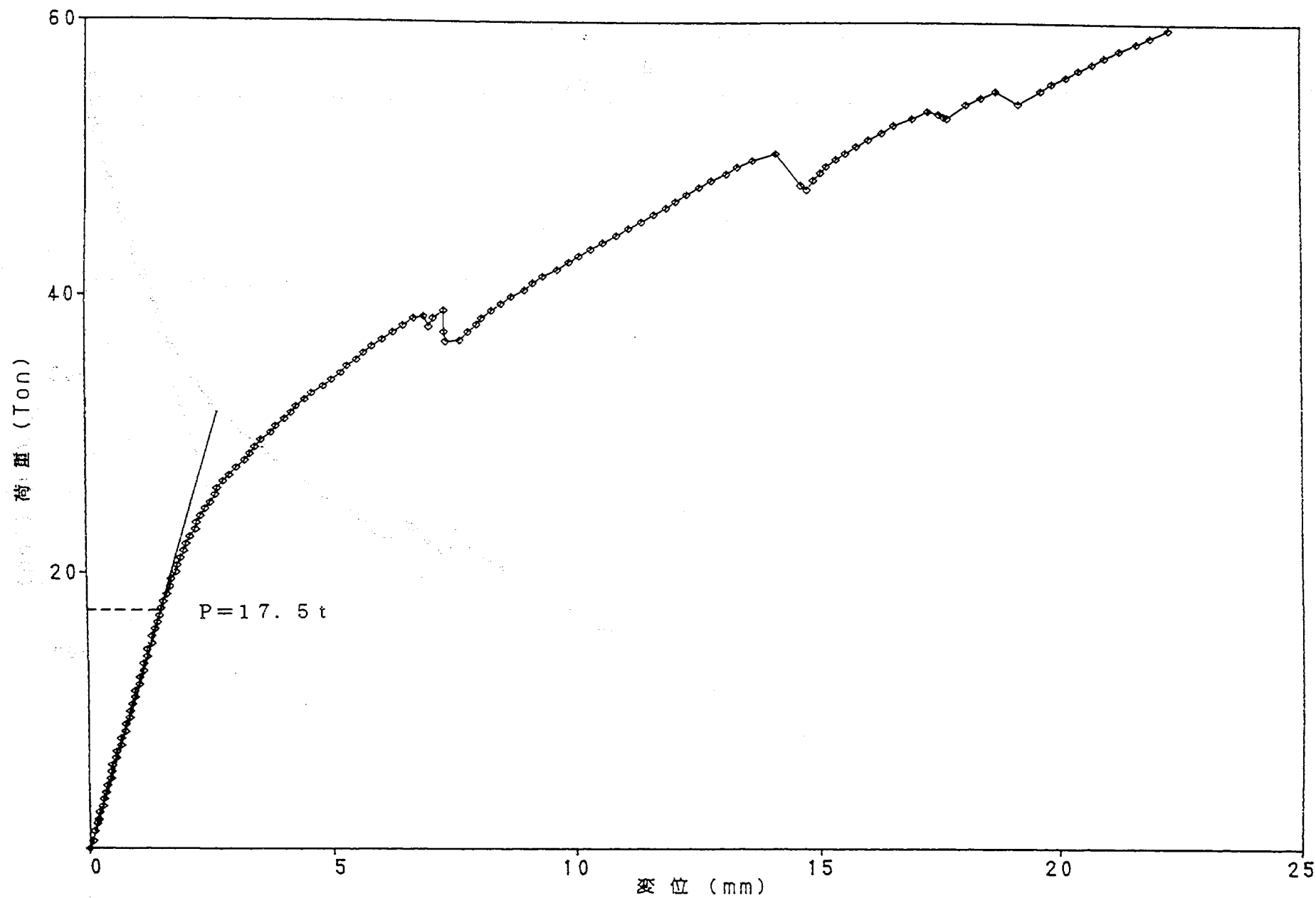
NO. 9: 荷重-変位



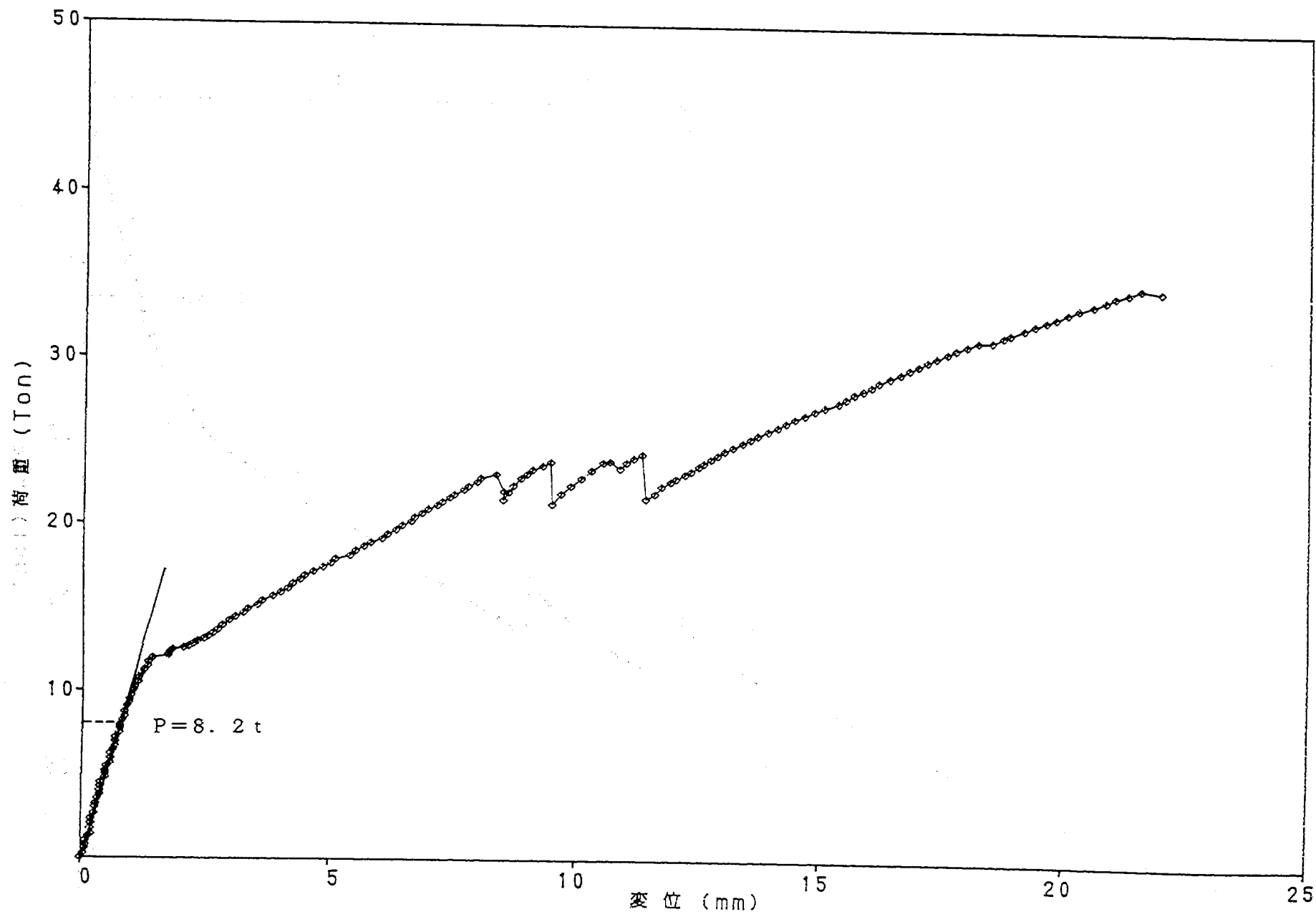
NO. 10 : 荷重 - 変位



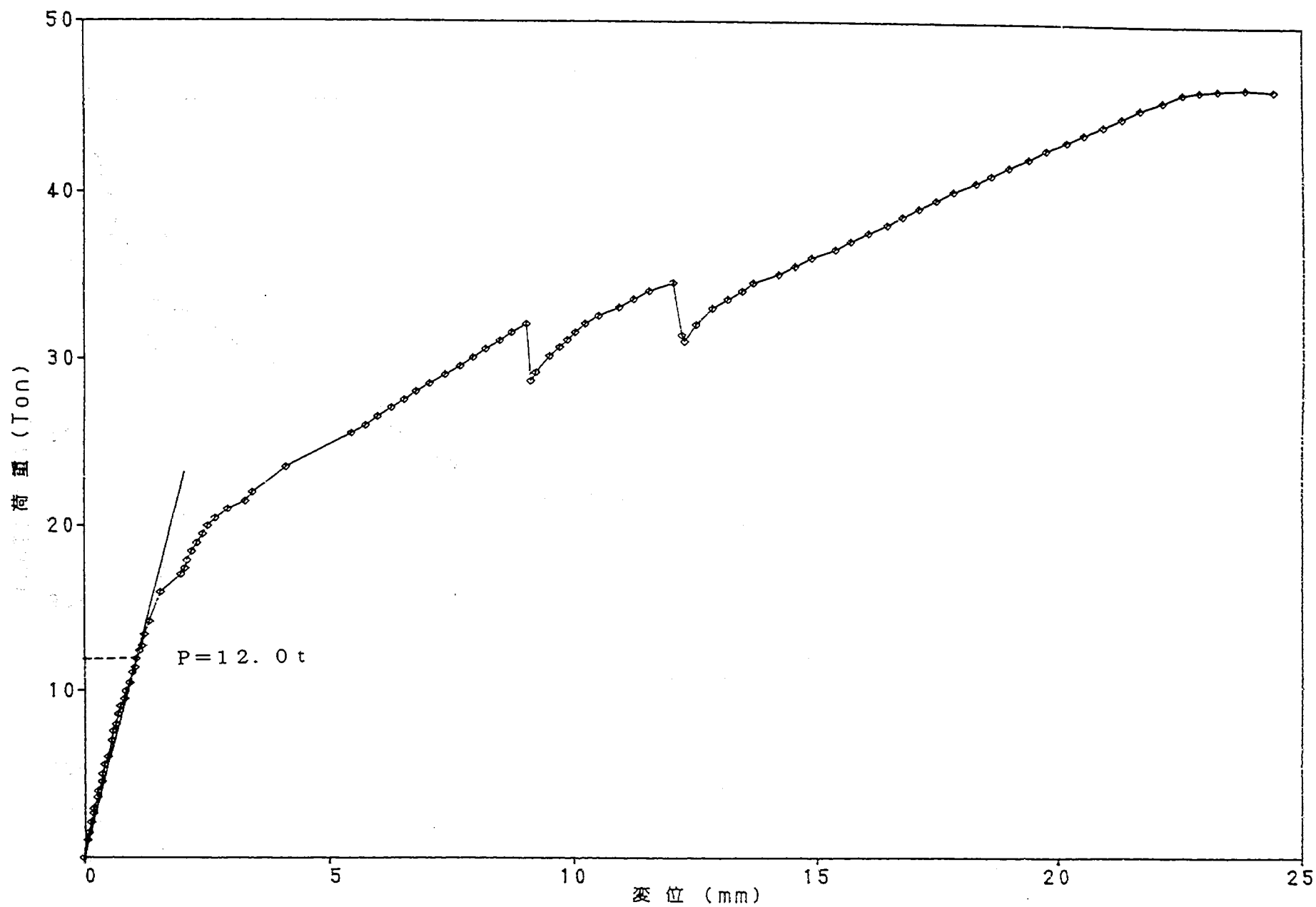
NO. 11 : 荷重 - 変位



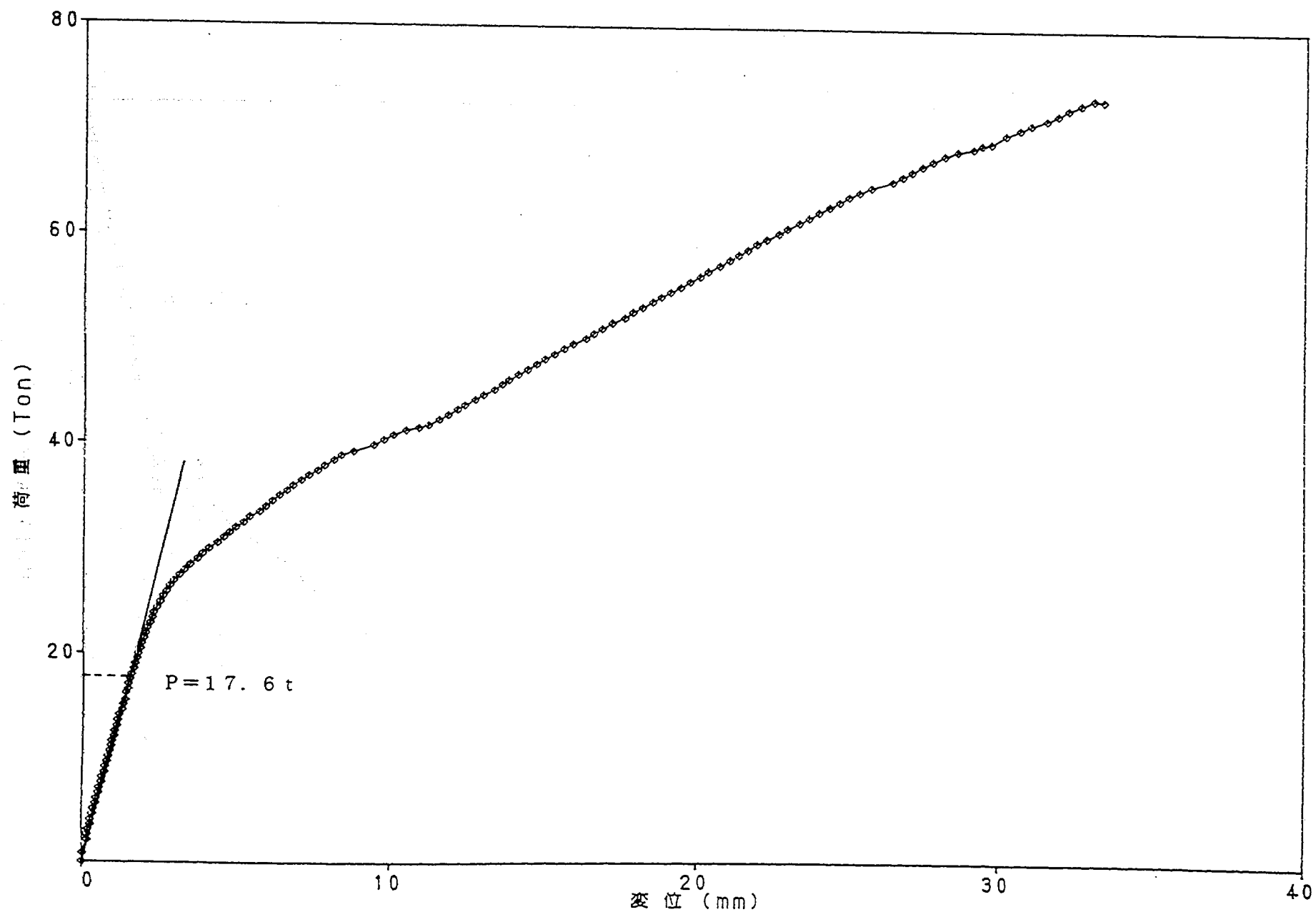
NO. 12 : 荷重 - 変位



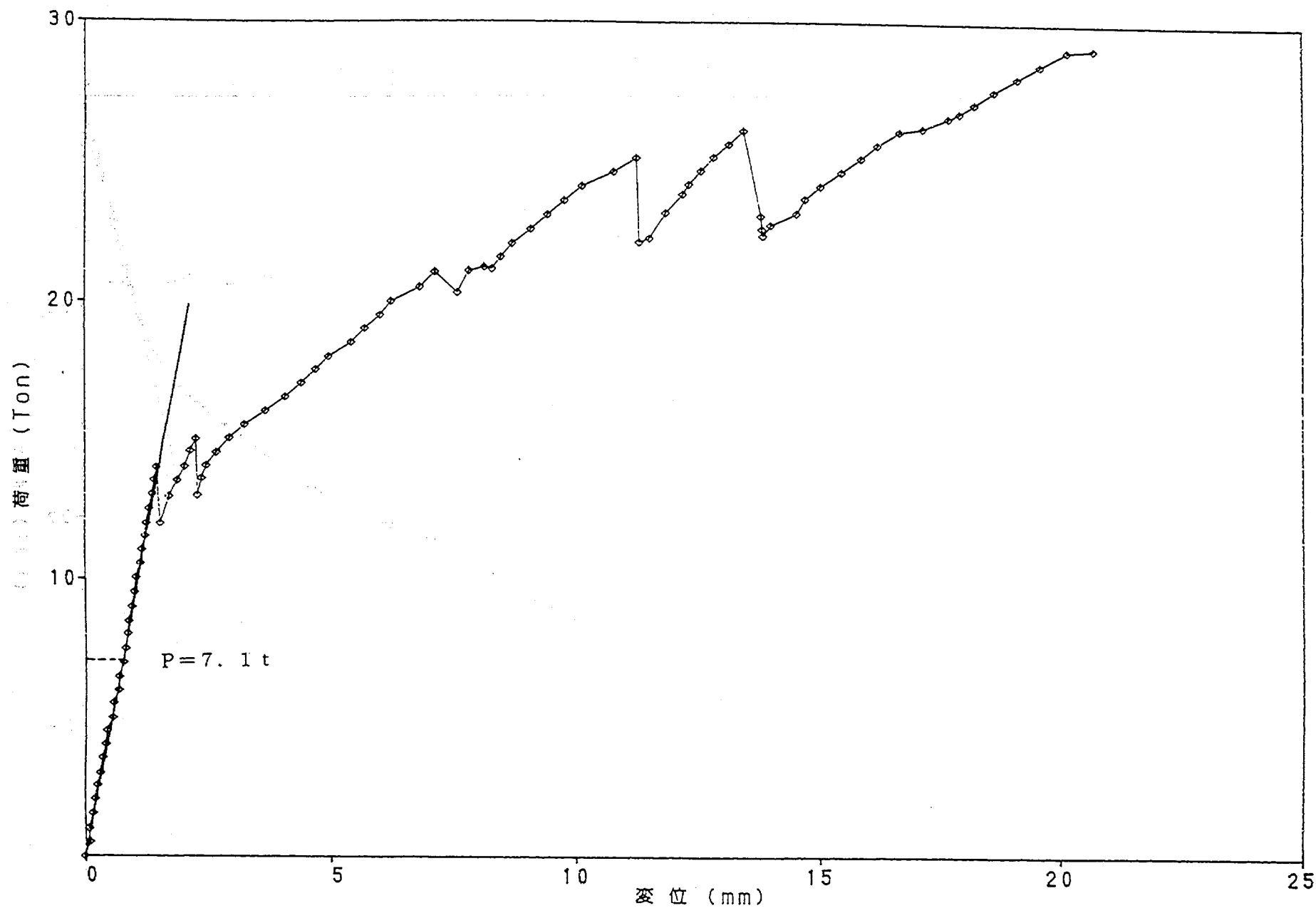
N.O. 13 : 荷重 - 変位



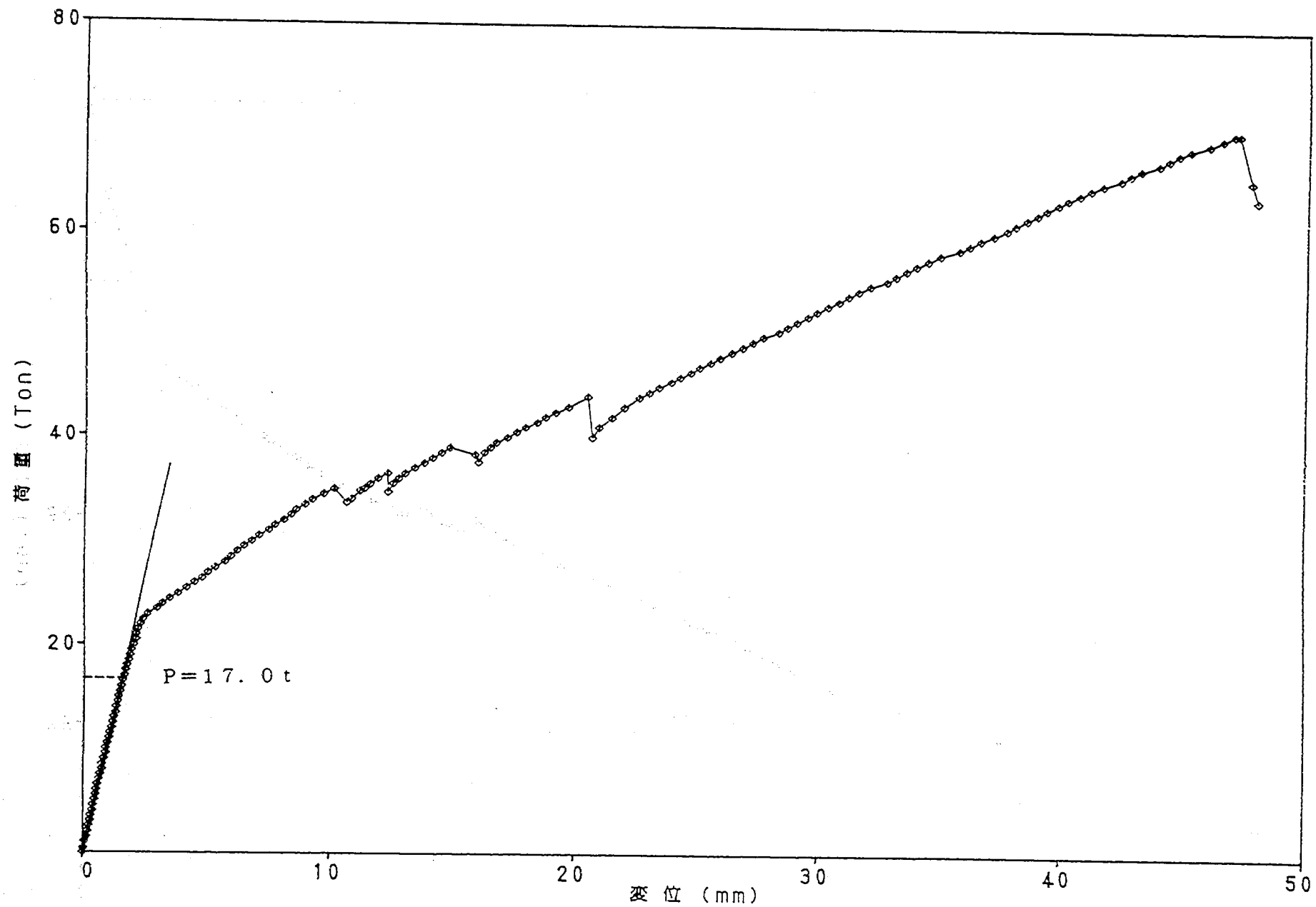
NO. 14 : 荷重 - 変位



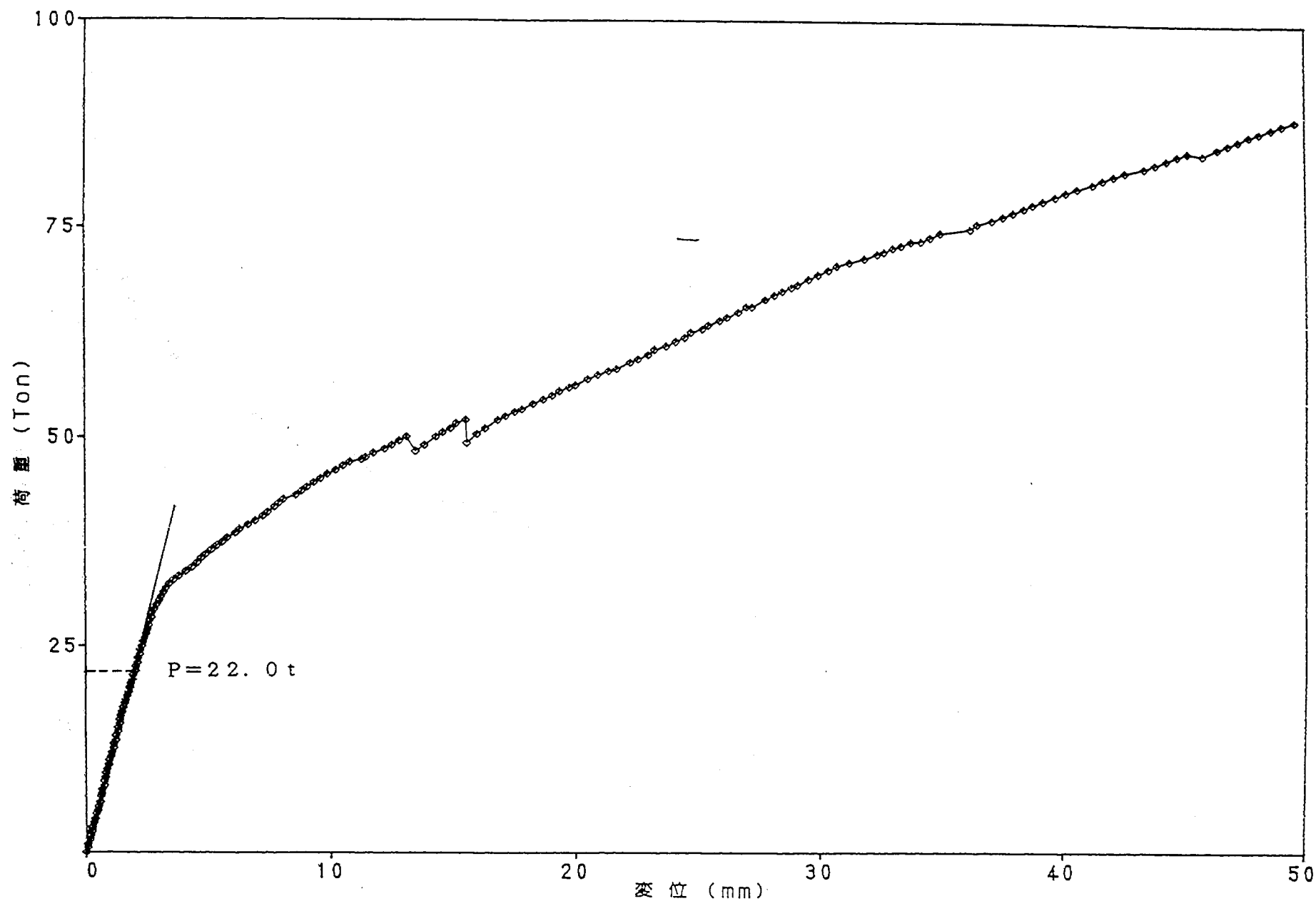
NO. 15 : 荷重-変位



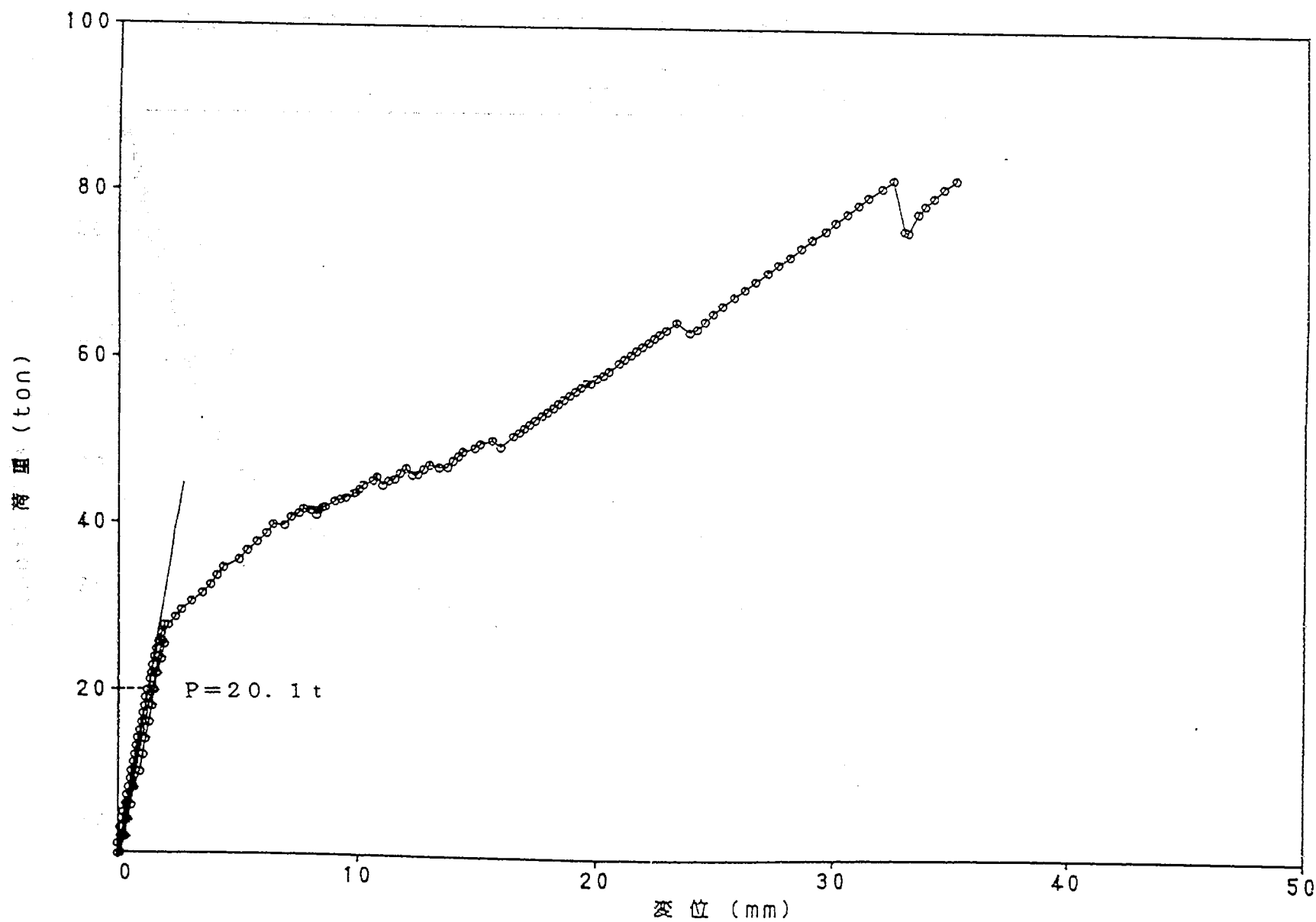
NO. 16 : 荷重-変位



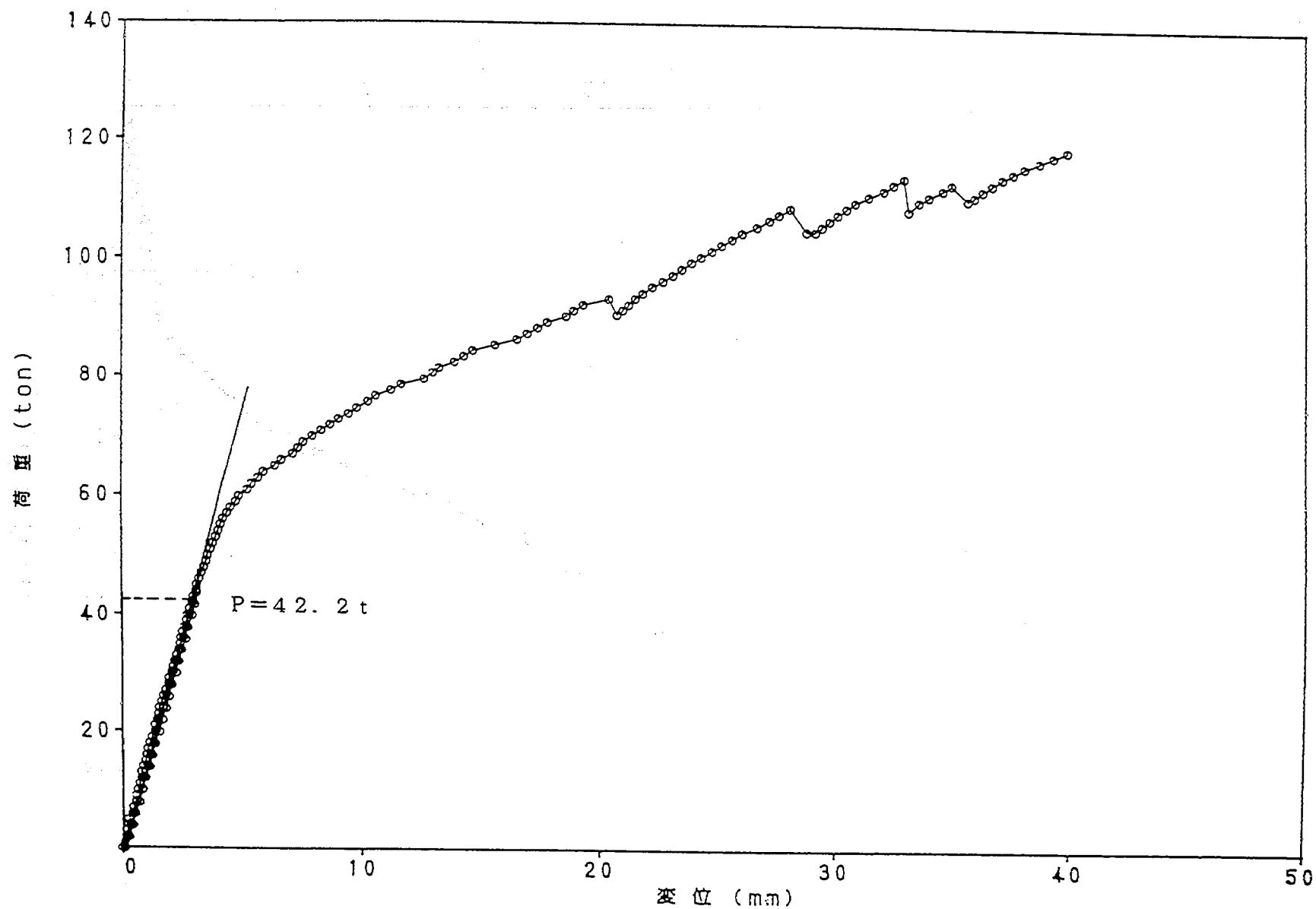
NO. 17: 荷重-変位



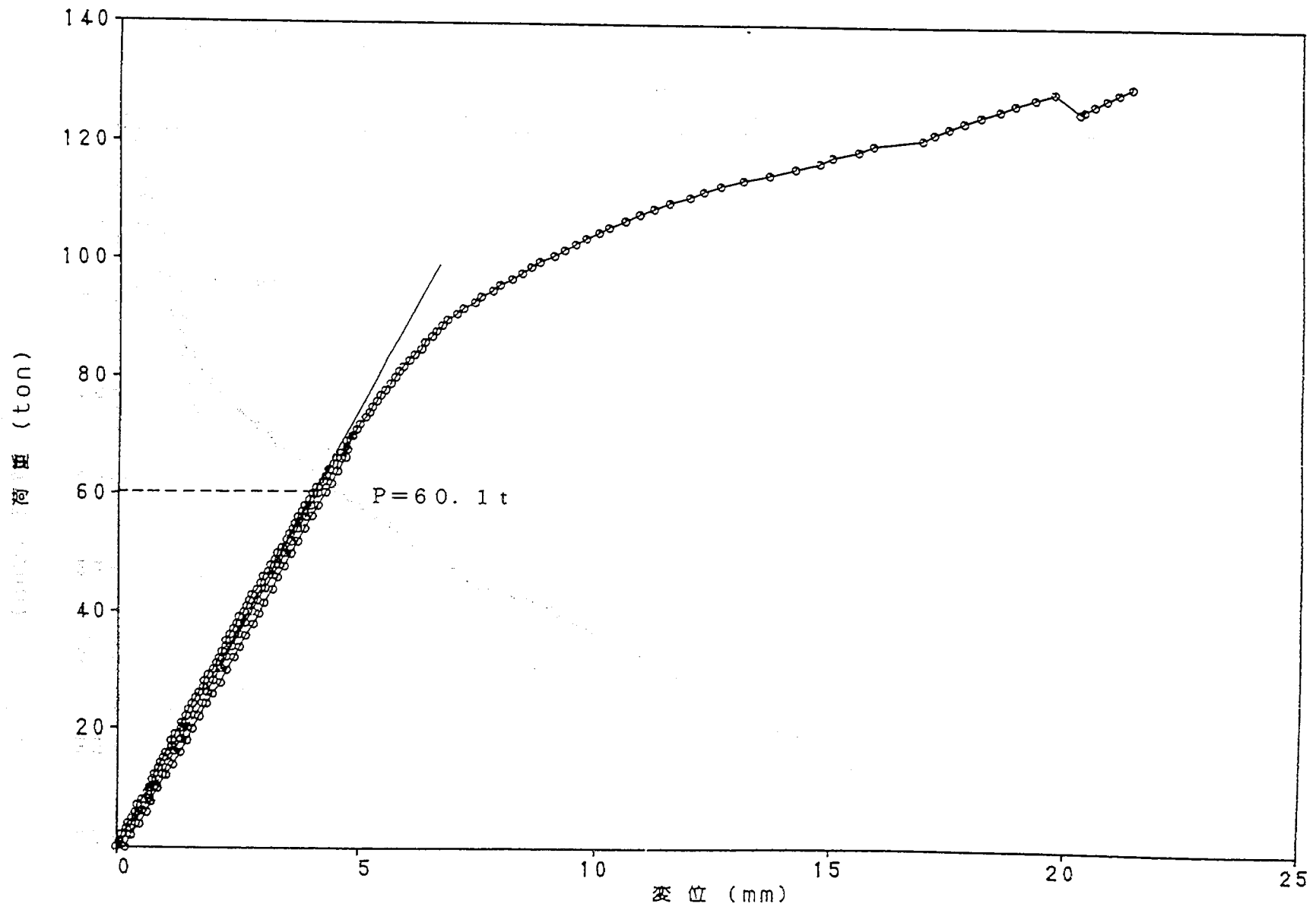
NO. 18 : 荷重 - 変位



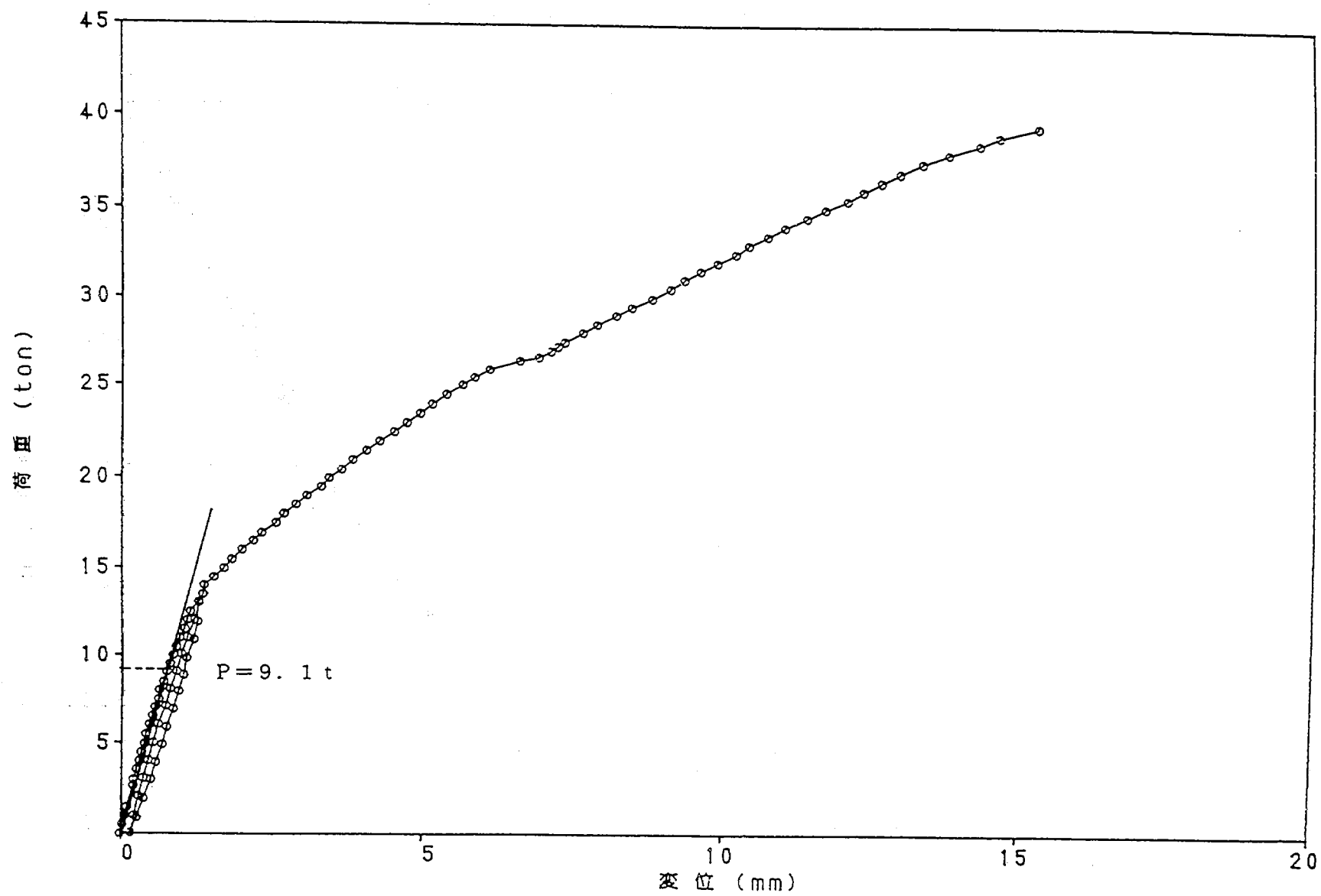
プレストレスコンクリートのせん断載荷実験：H3-95-00（荷重－変位）No.19



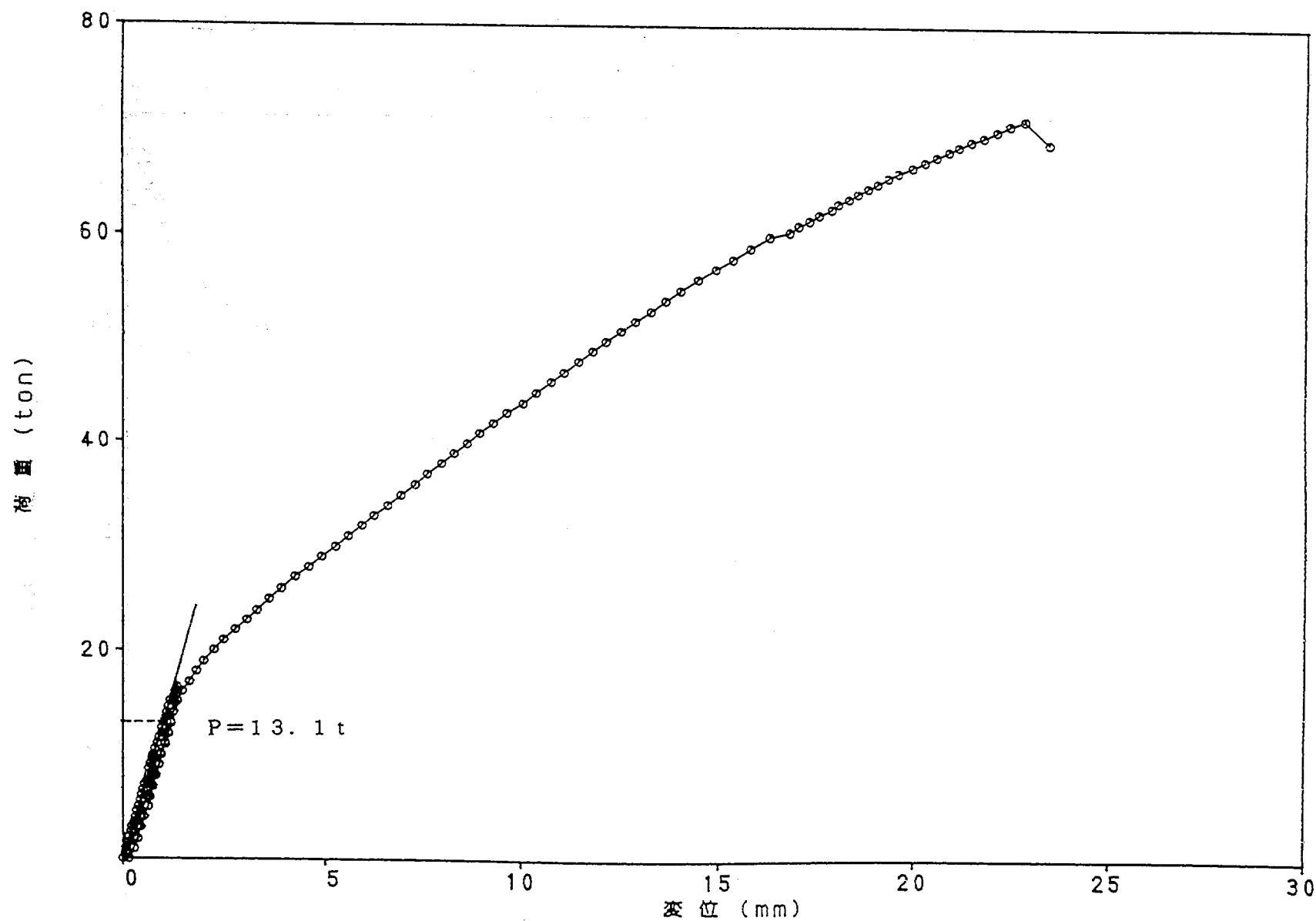
プレストレスコンクリートのせん断載荷実験：H3-95-60（荷重-変位）No.20



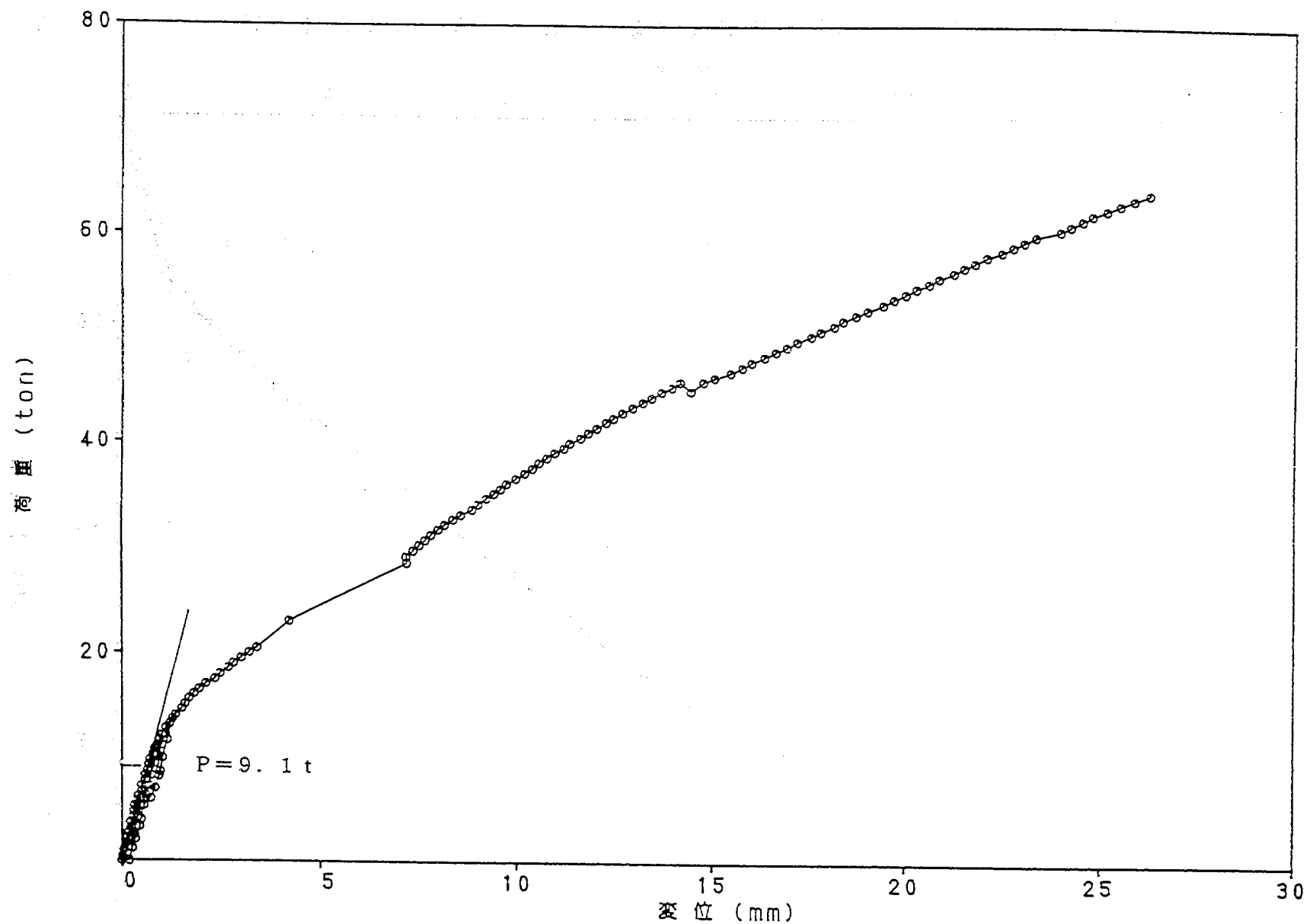
プレストレスコンクリートのせん断載荷実験：H3-95-120（荷重-変位）No.21



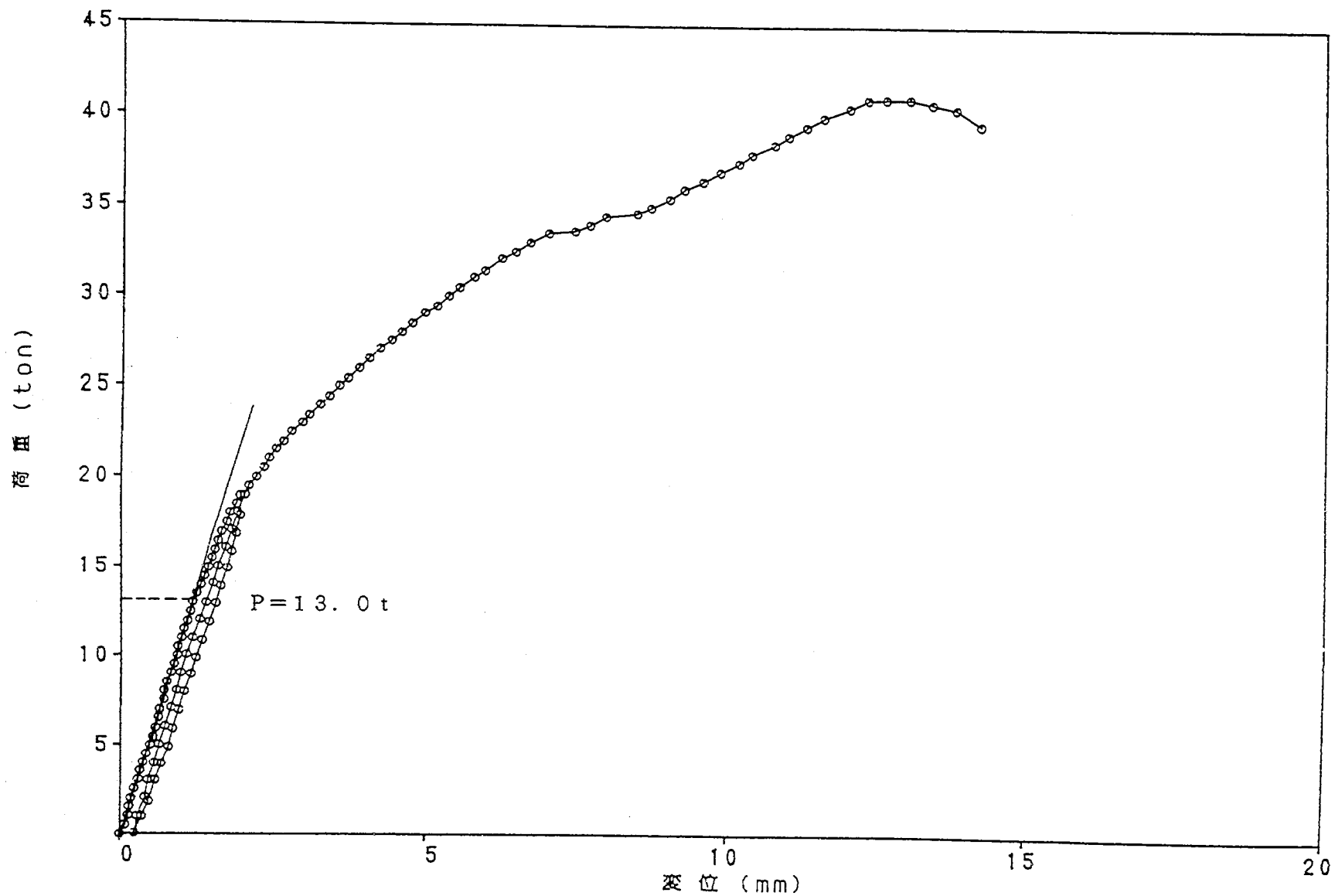
プレストレスコンクリートのせん断載荷実験：L 3-35-30 (荷重-変位) No. 22



プレストレスコンクリートのせん断載荷実験：HS3-35-60（荷重－変位）No.23

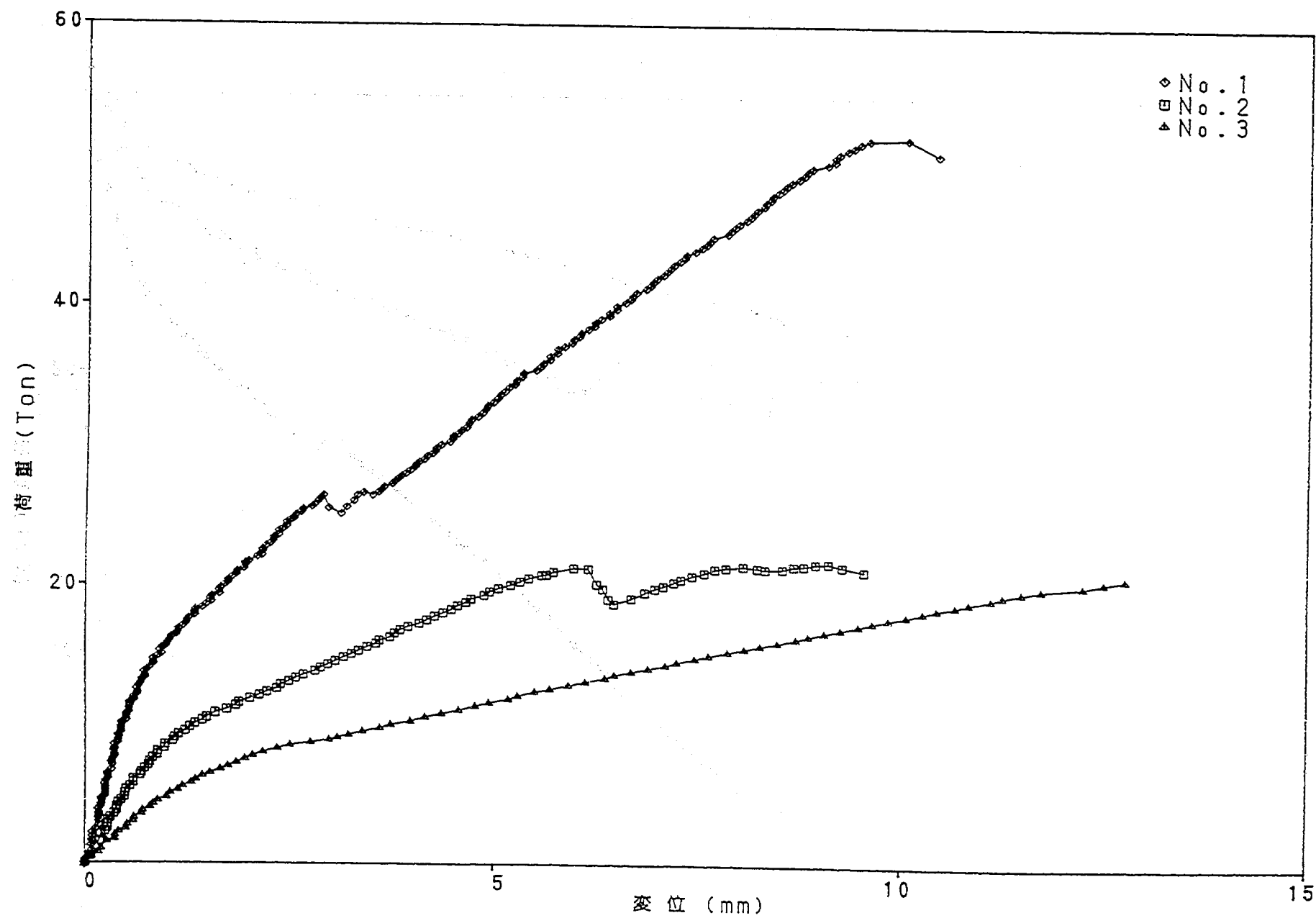


プレストレスコンクリートのせん断載荷実験：HS3-35-30（荷重－変位）No.24

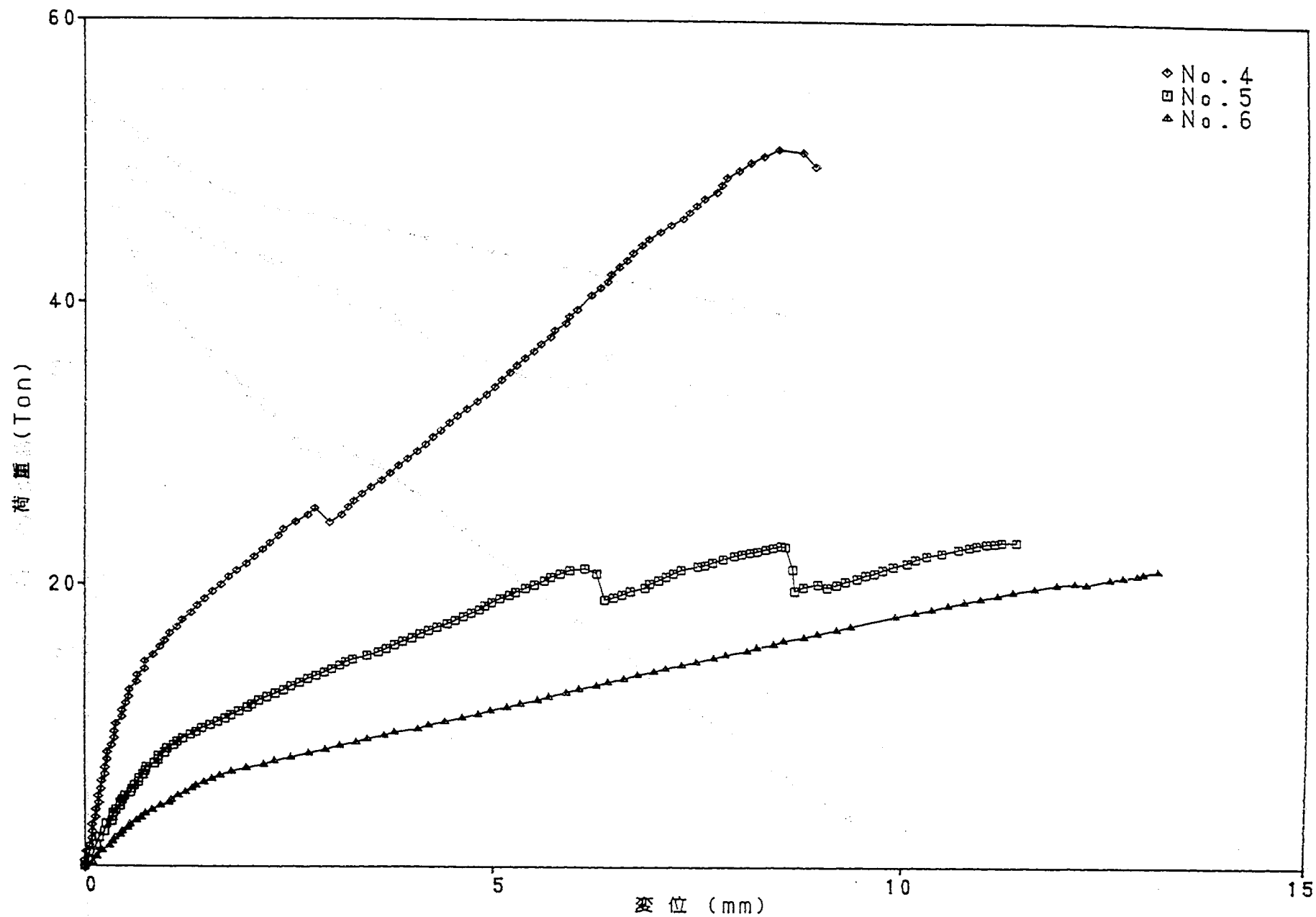


プレストレスコンクリートのせん断載荷実験：L 3-35-60 (荷重-変位) No. 25

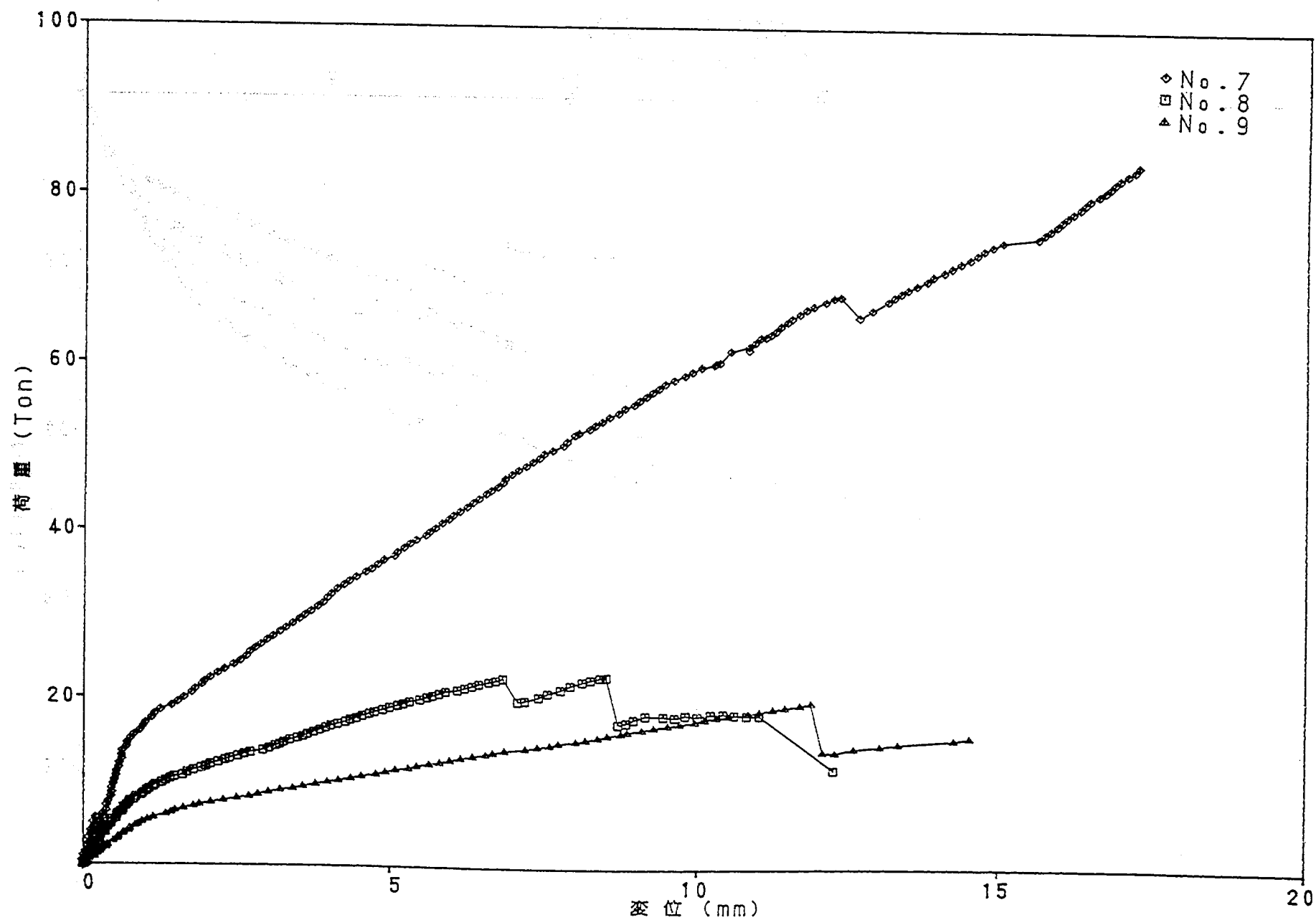
5. せん断載荷試験 荷重－変位比較図



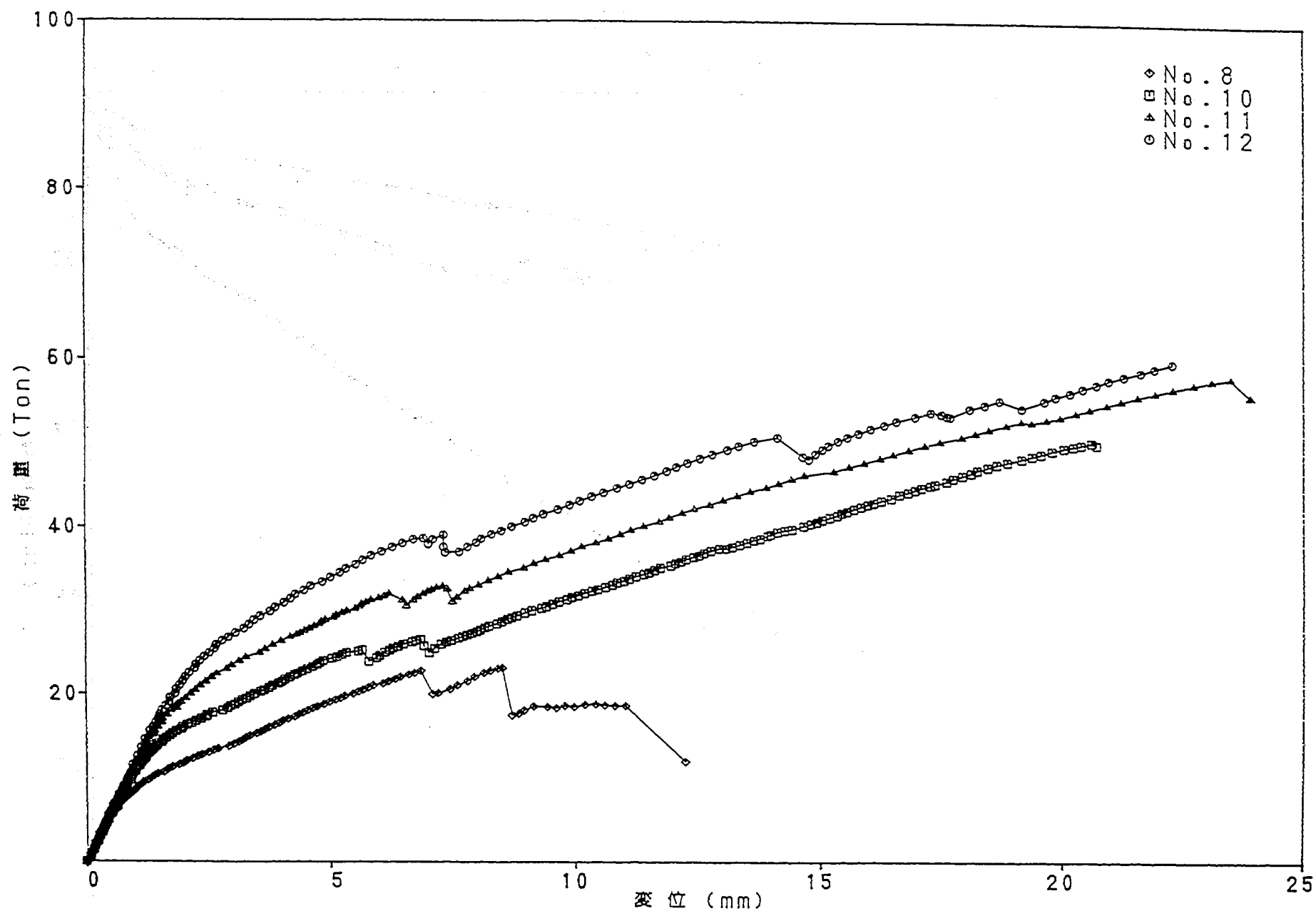
荷重—変位比較図

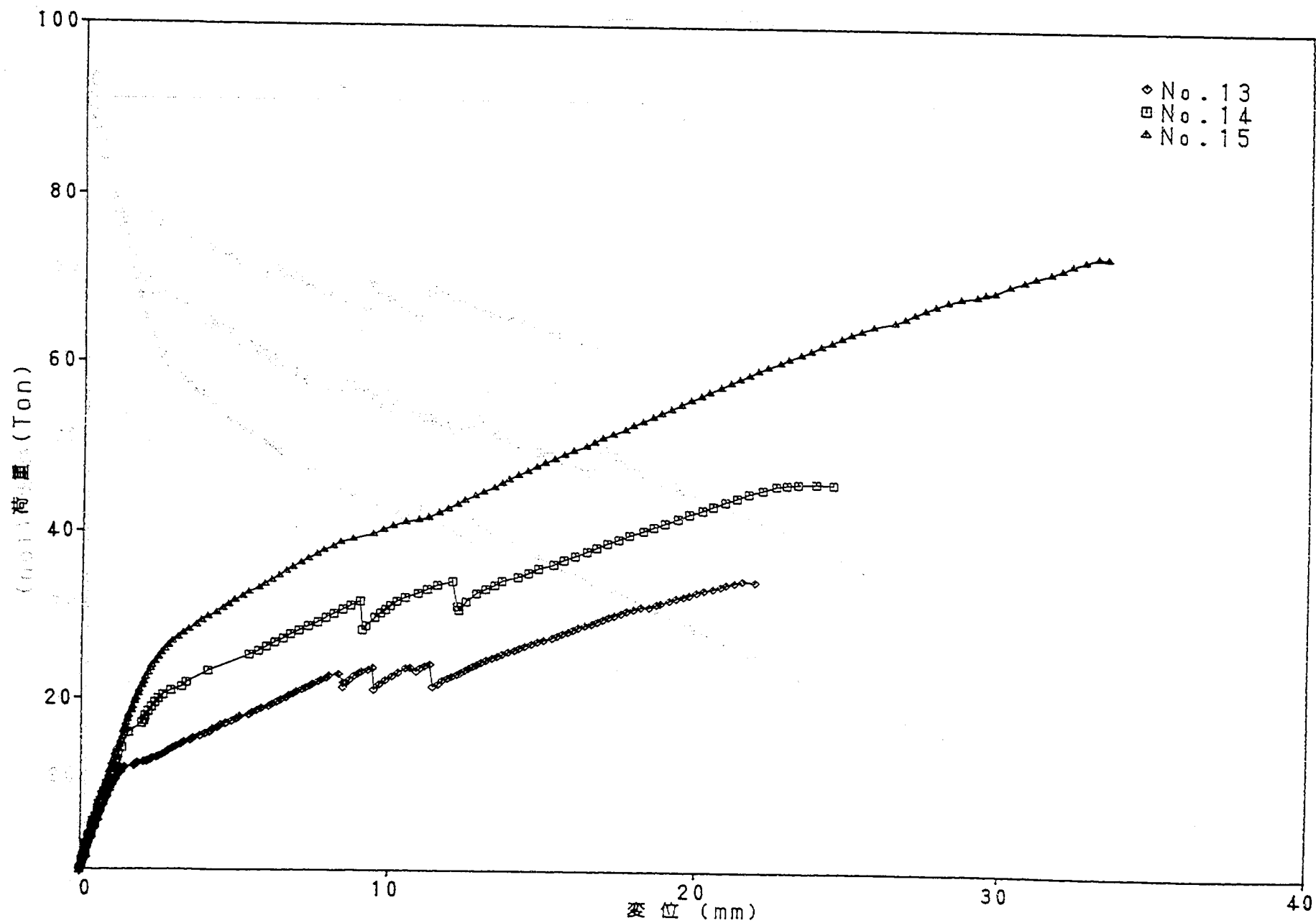


荷重 - 変位比較図

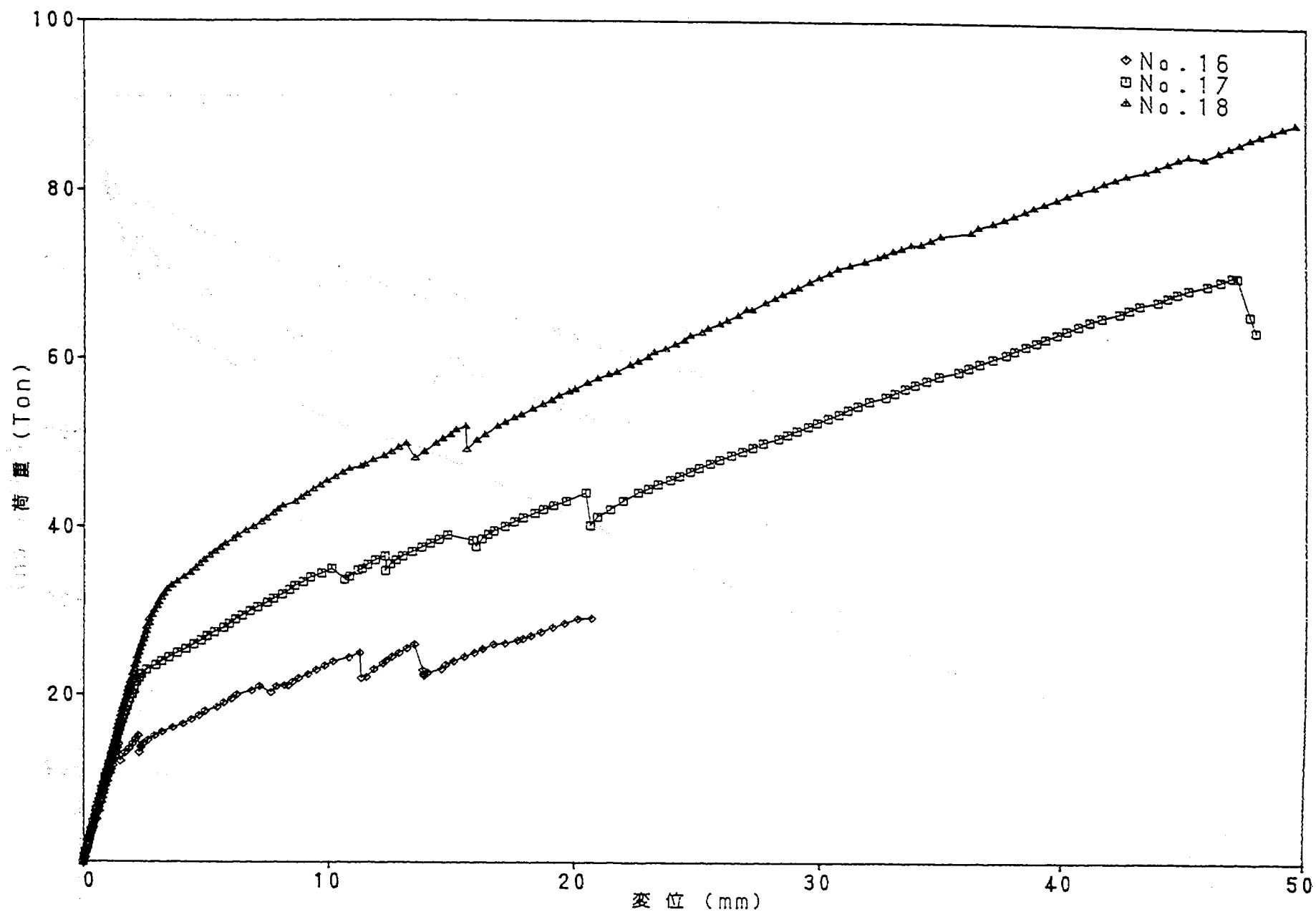


荷重-変位比較図

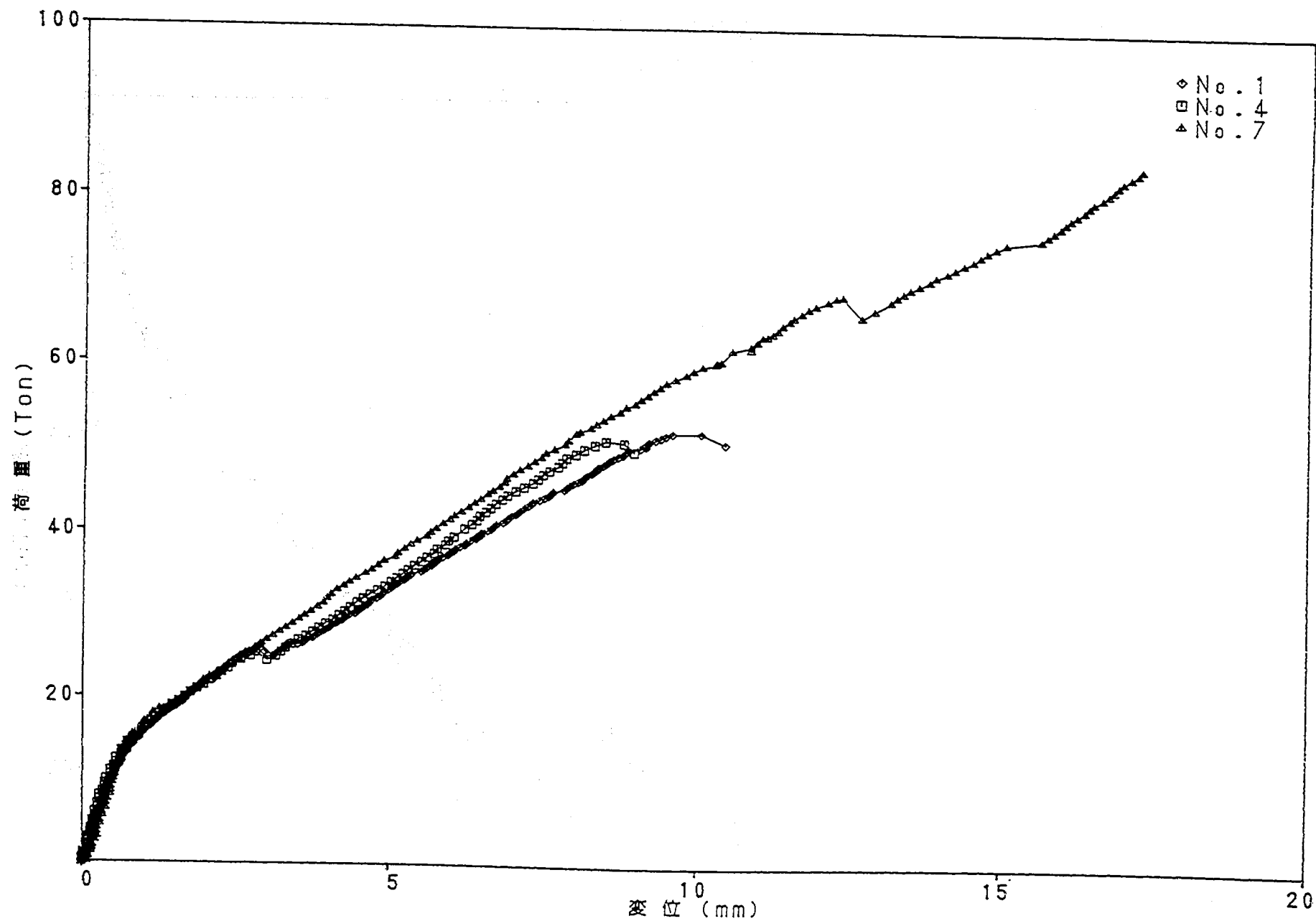




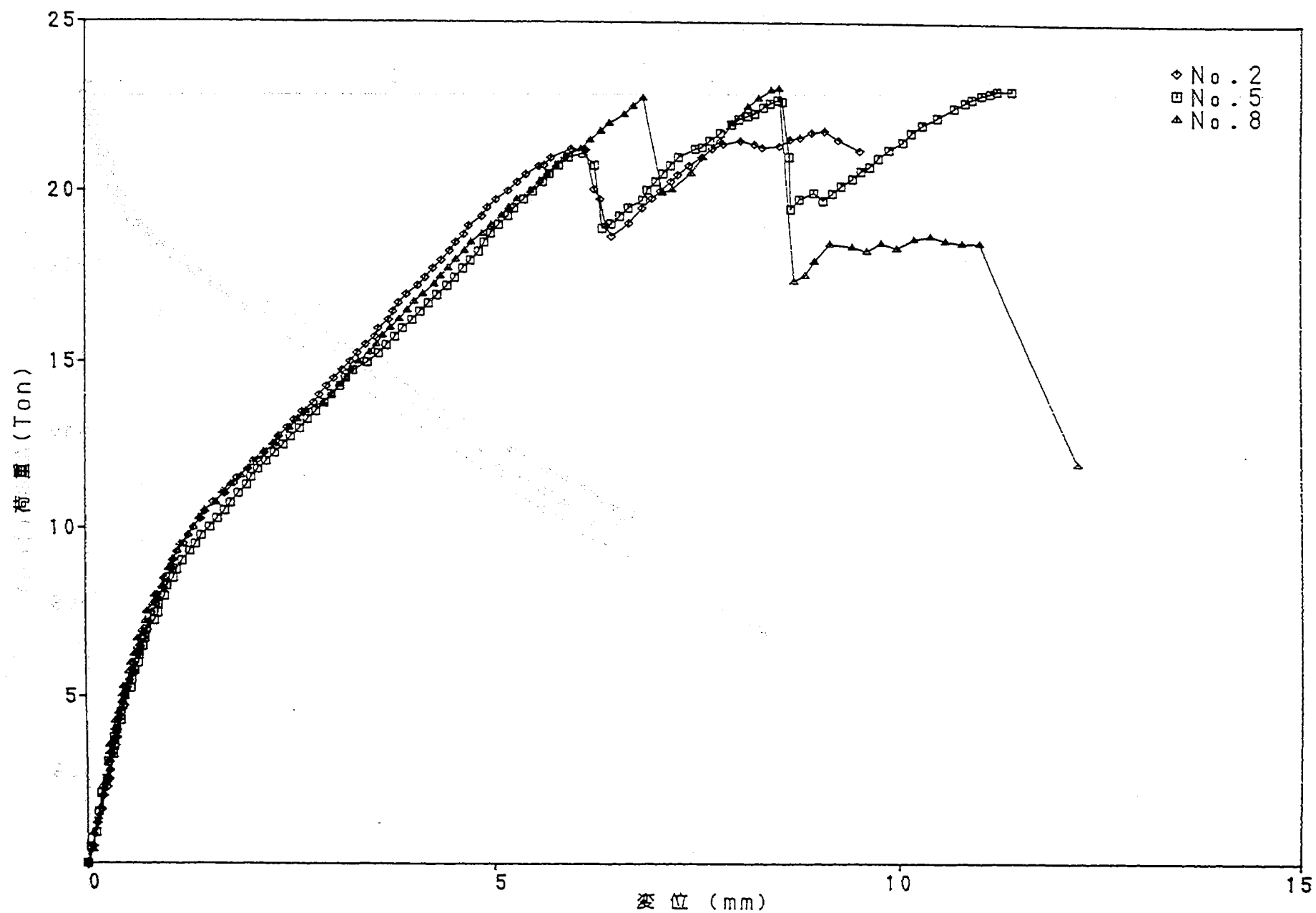
荷重—変位比較図



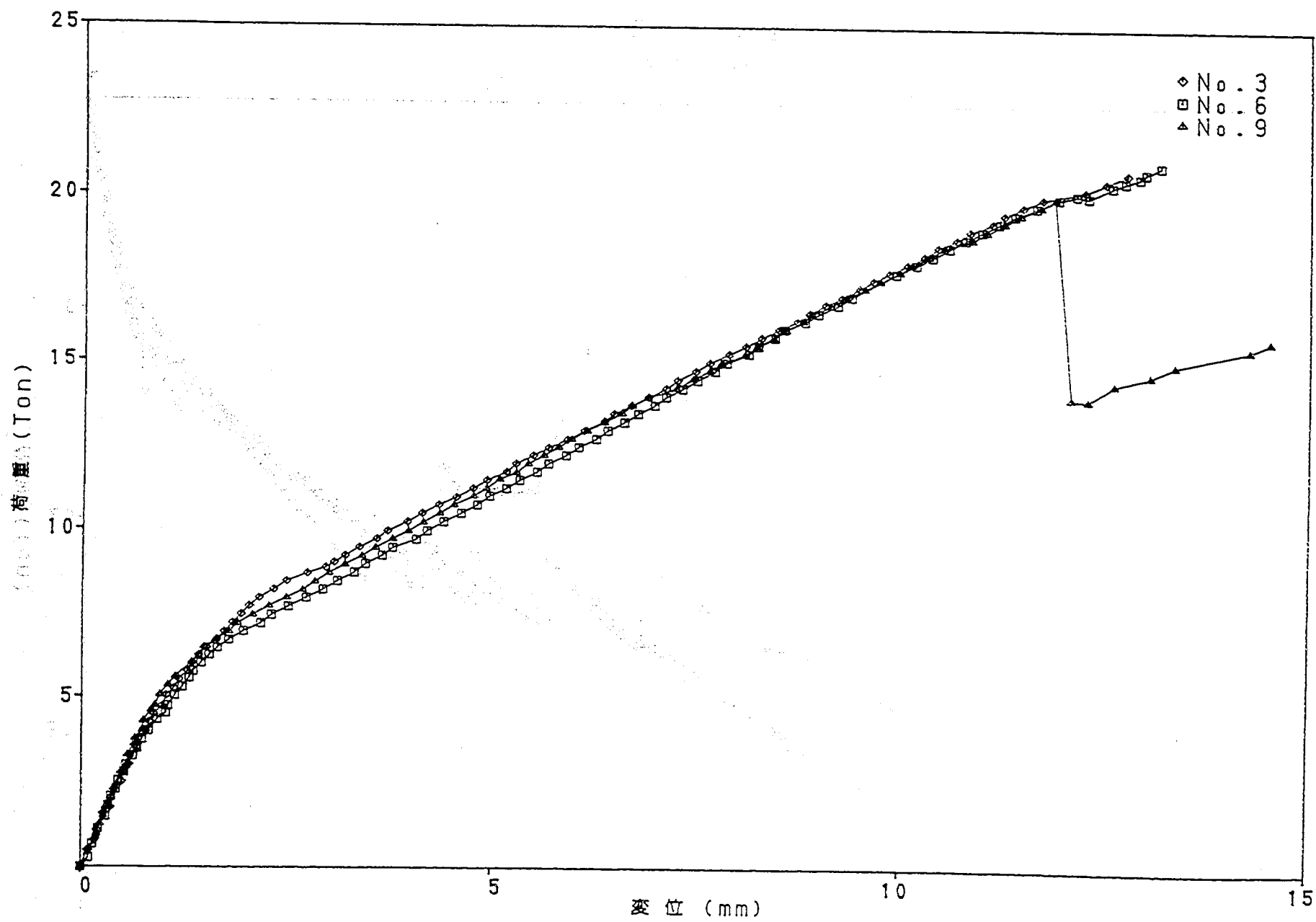
荷重—変位比較図



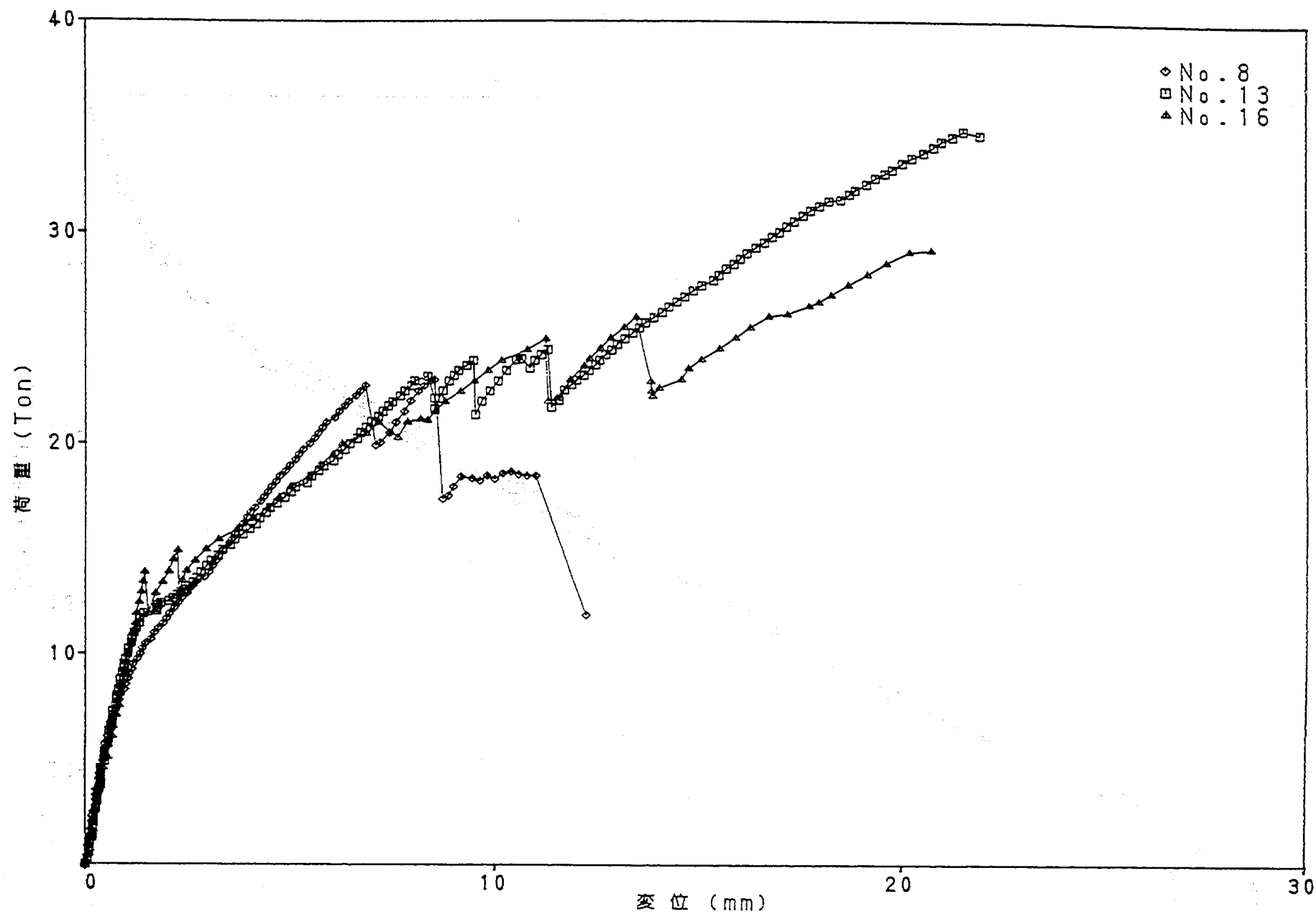
荷重-変位比較図



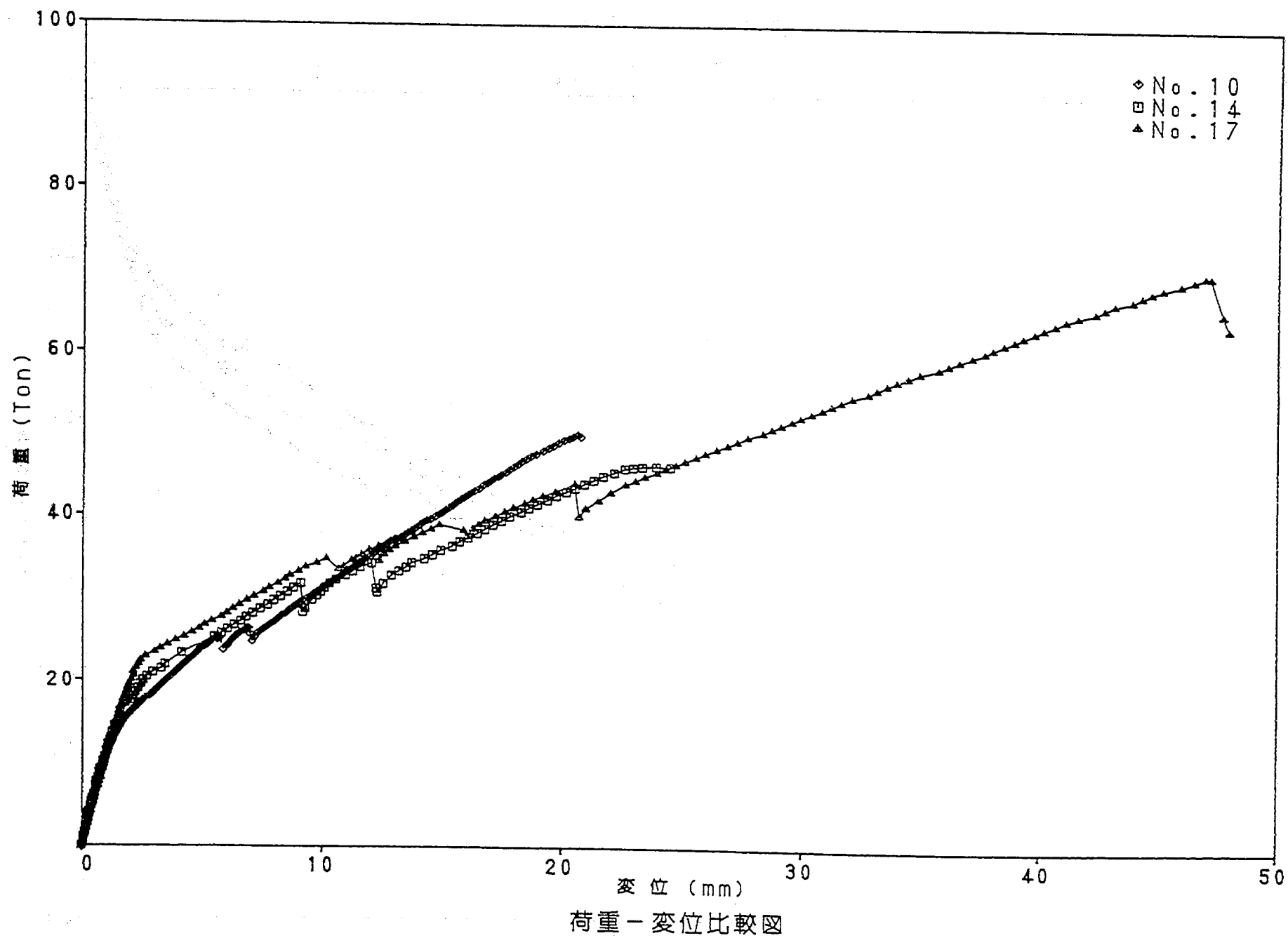
荷重-変位比較図

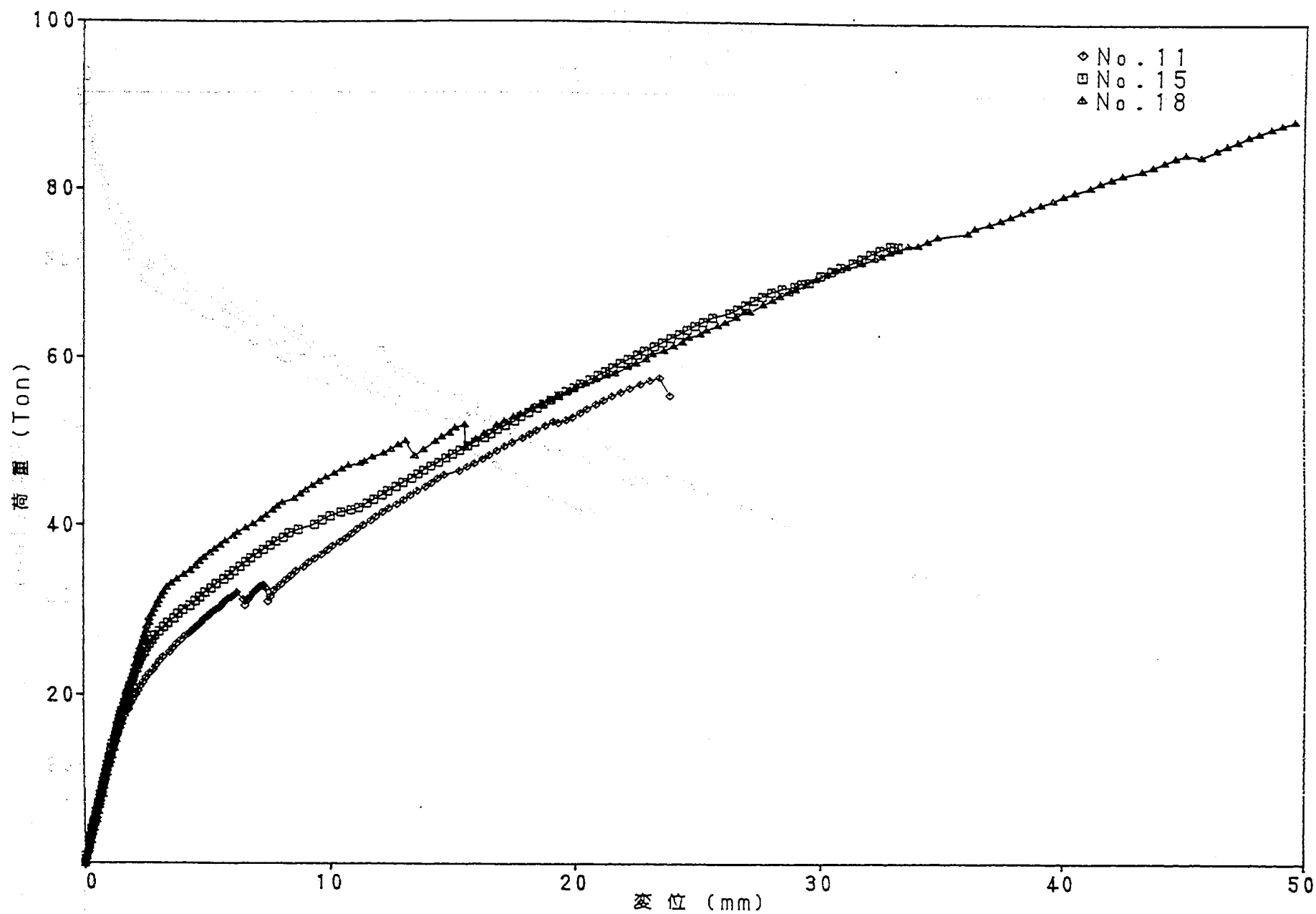


荷重-変位比較図

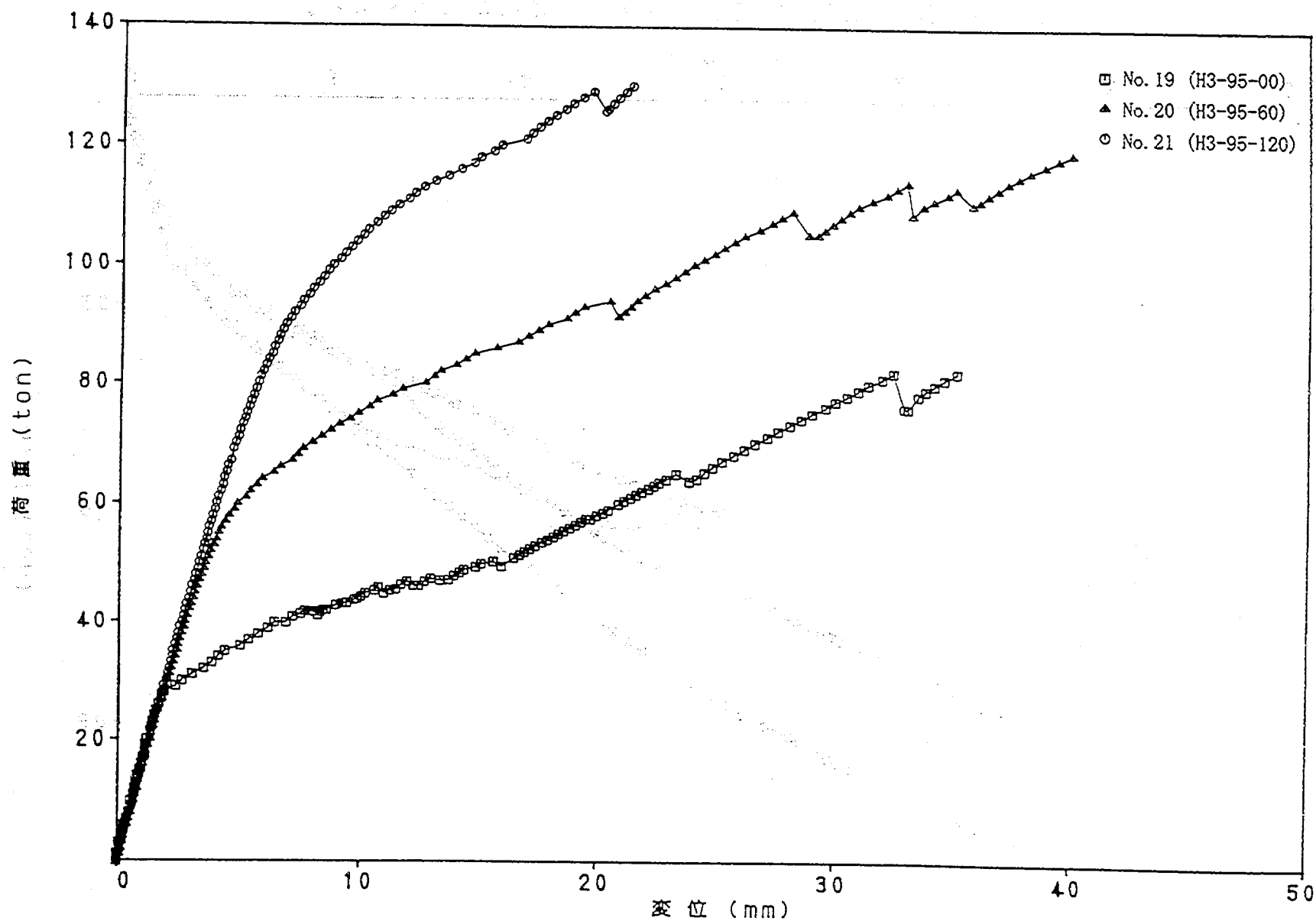


荷重-変位比較図

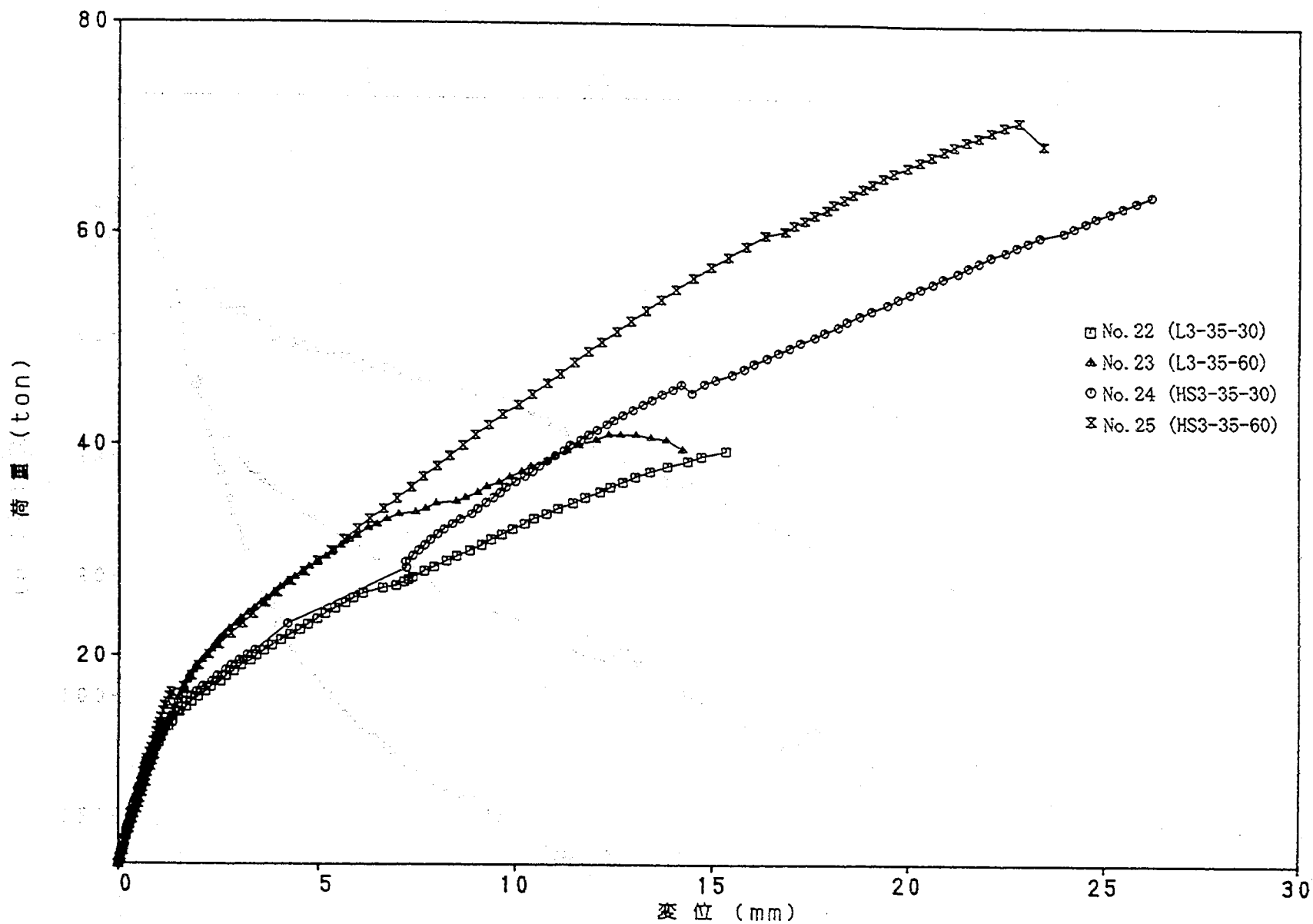




荷重-変位比較図

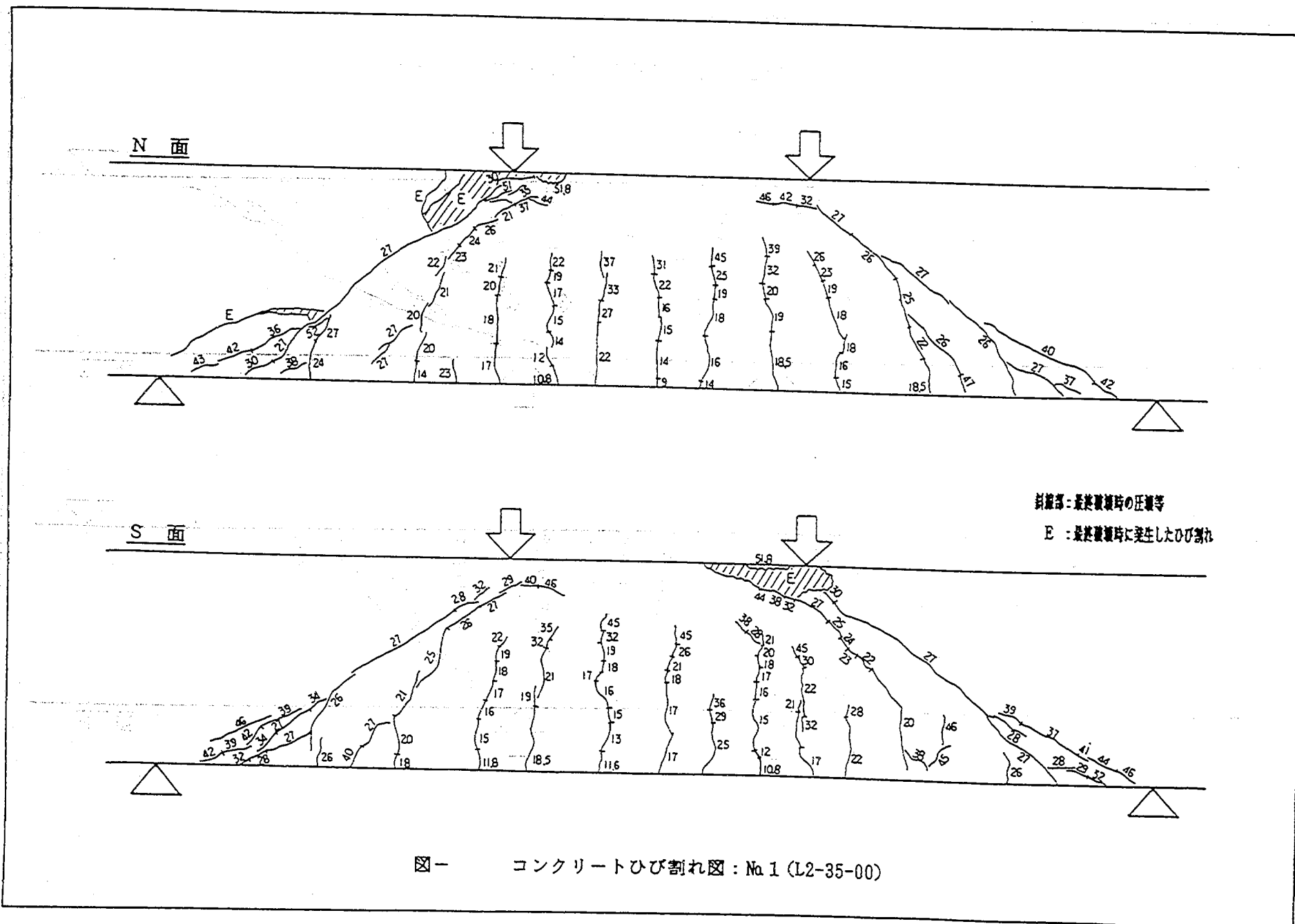


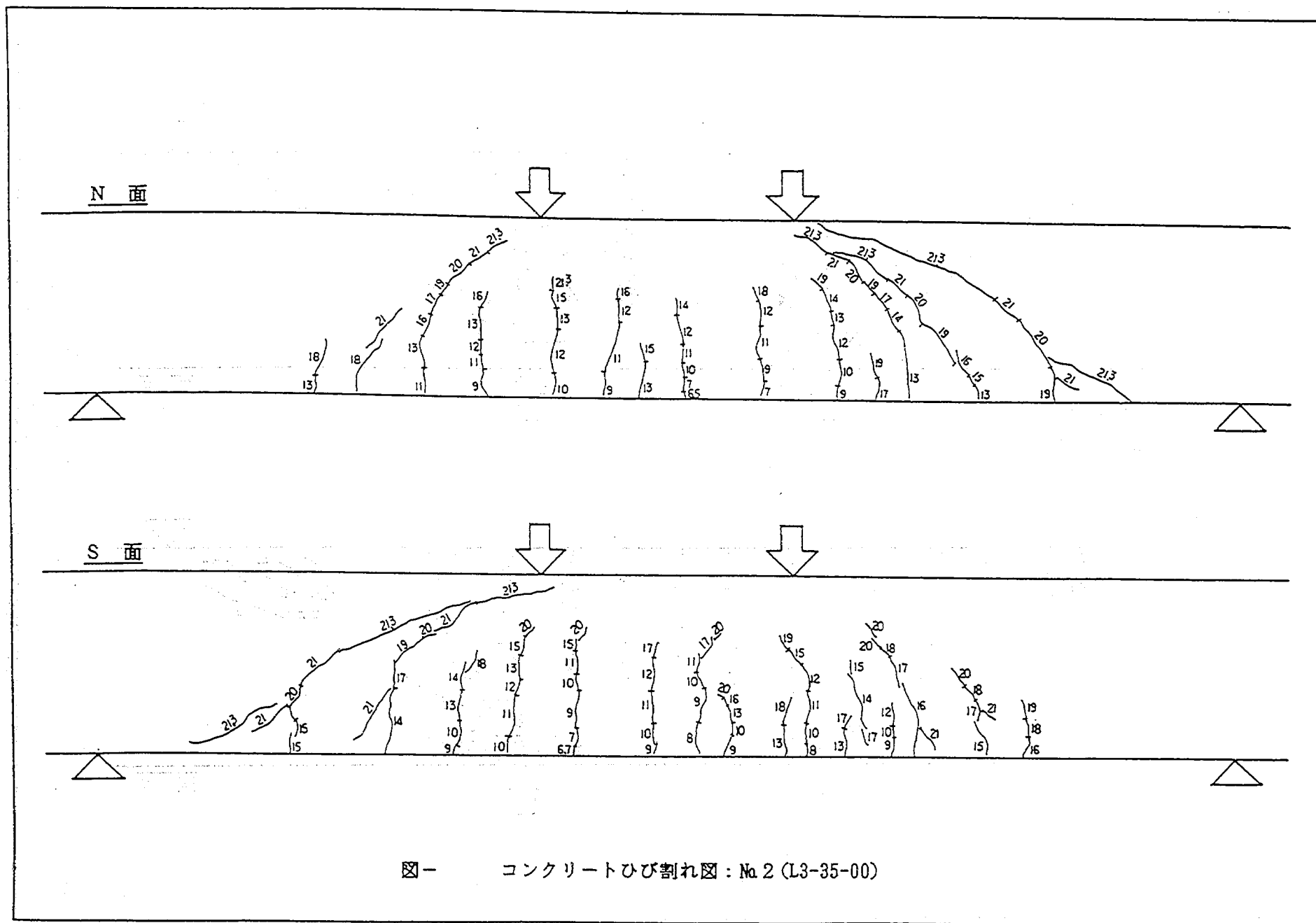
プレストレスコンクリートのせん断載荷実験：荷重－変位比較図



プレストレスコンクリートのせん断載荷実験：荷重－変位比較図

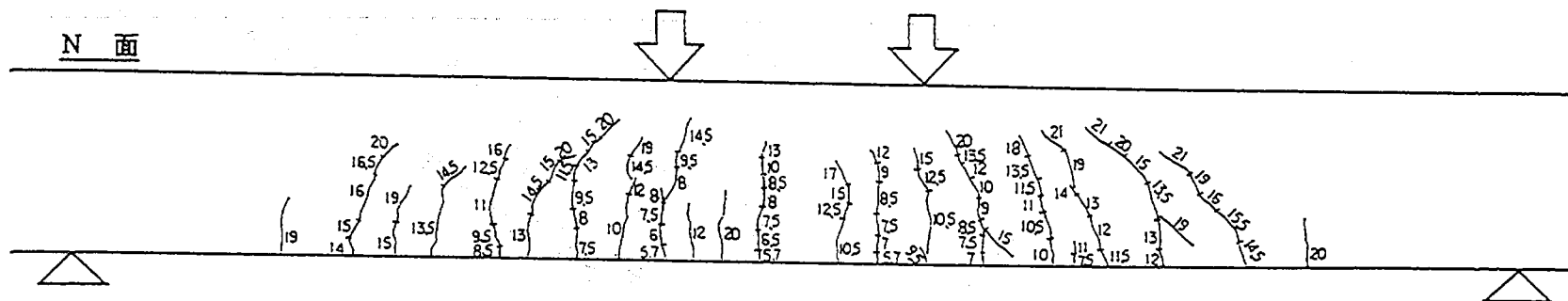
6. せん断載荷試験 ひび割れ図





図一 コンクリートひび割れ図：No.2 (L3-35-00)

N 面



S 面

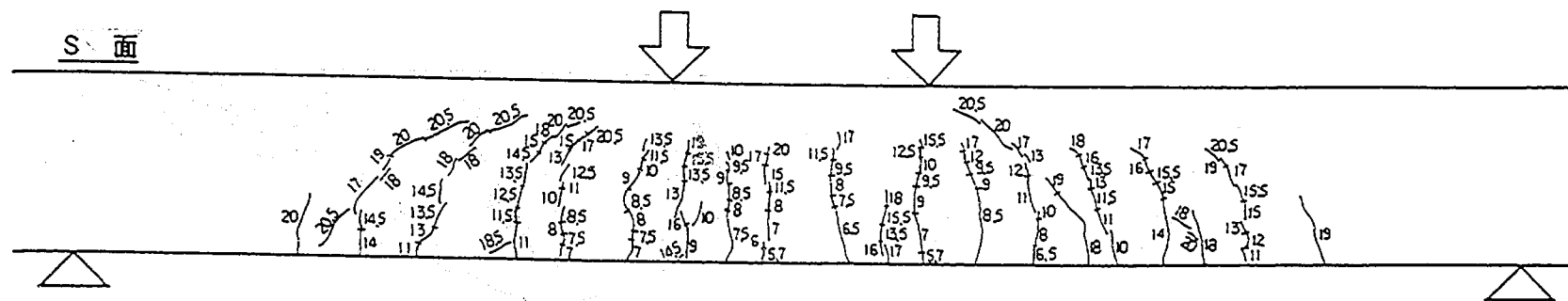
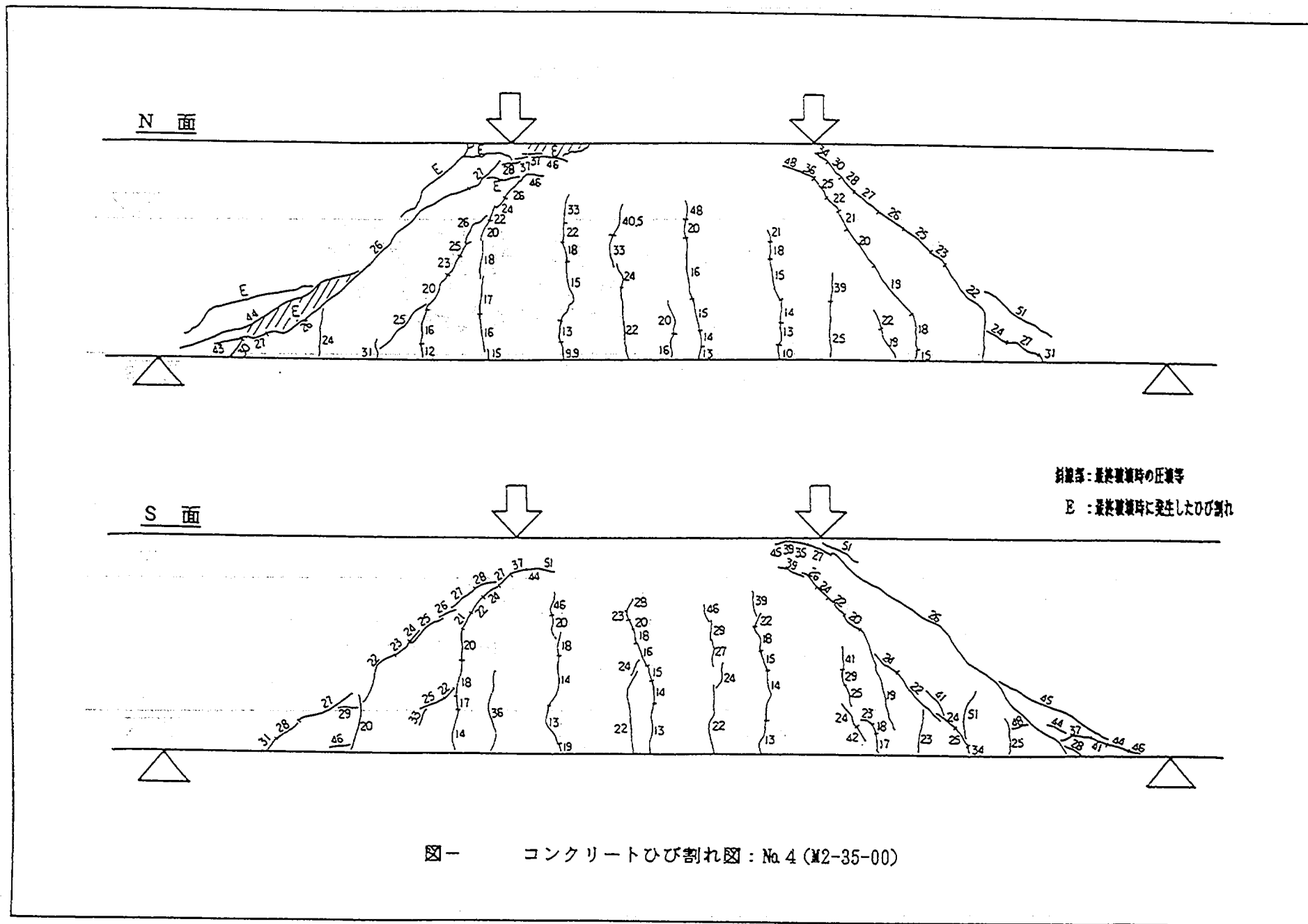
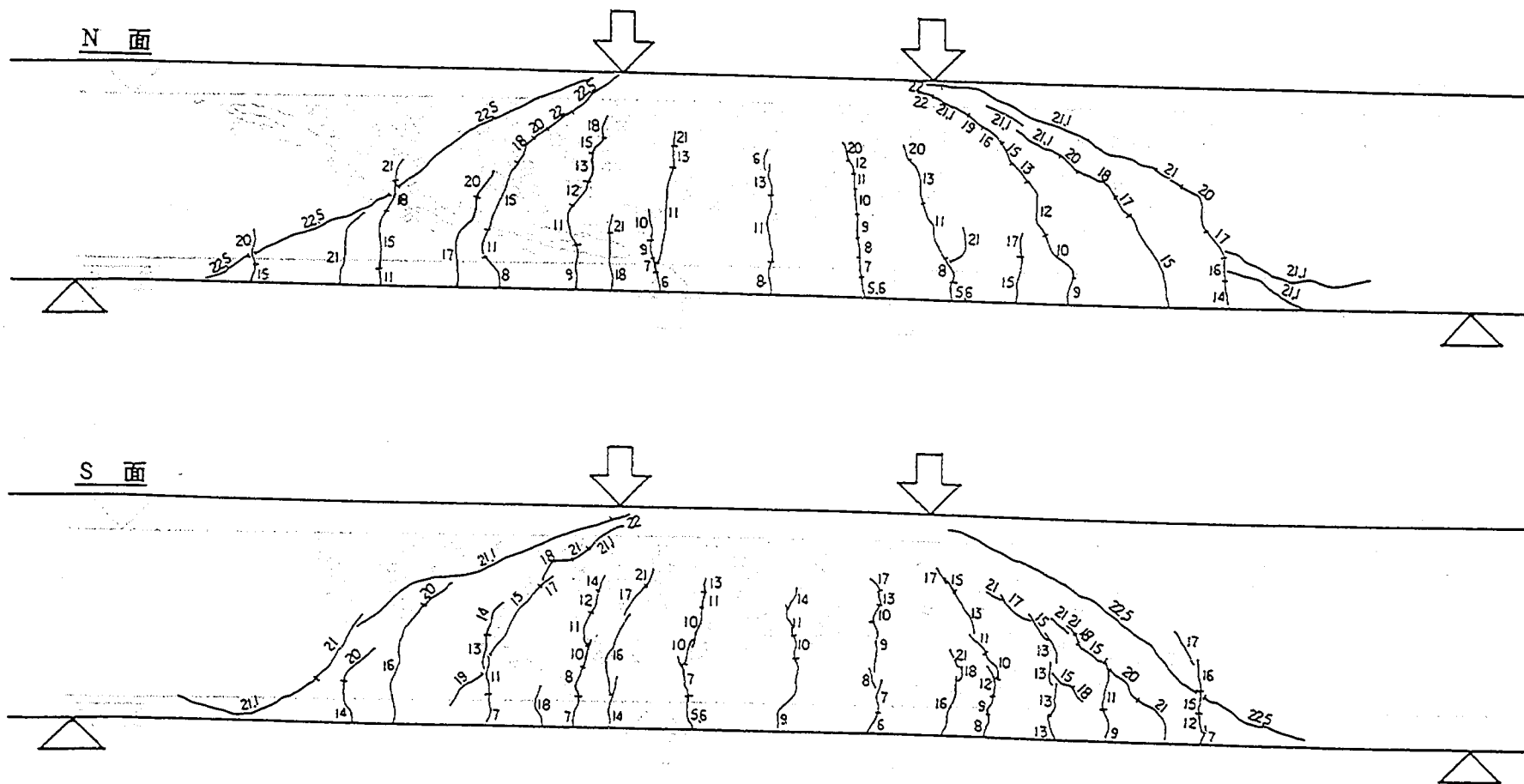


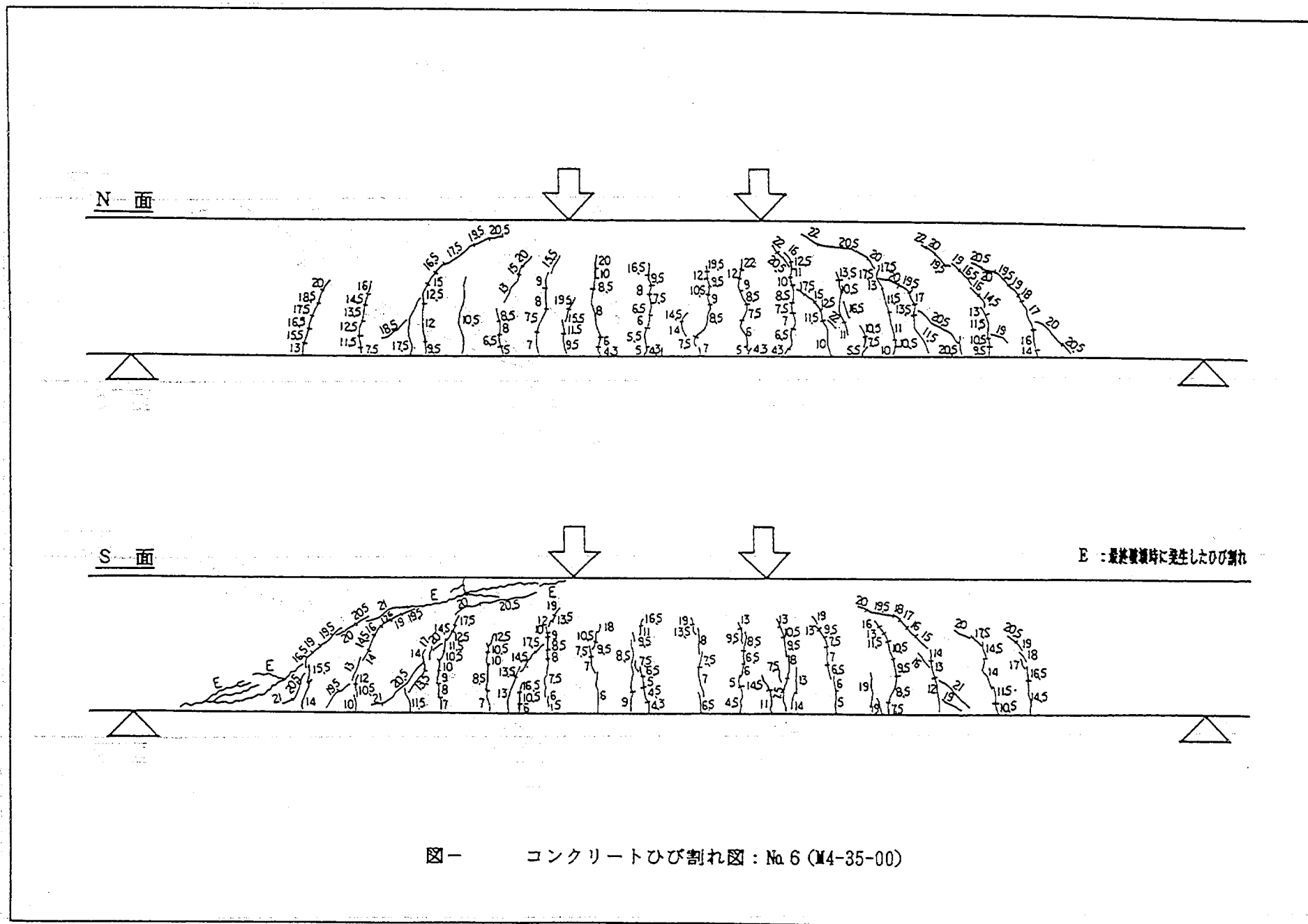
図- コンクリートひび割れ図 : No 3 (L4-35-00)



図一 コンクリートひび割れ図：No. 4 (M2-35-00)



☒- コンクリートひび割れ☒: No.5 (M3-35-00)



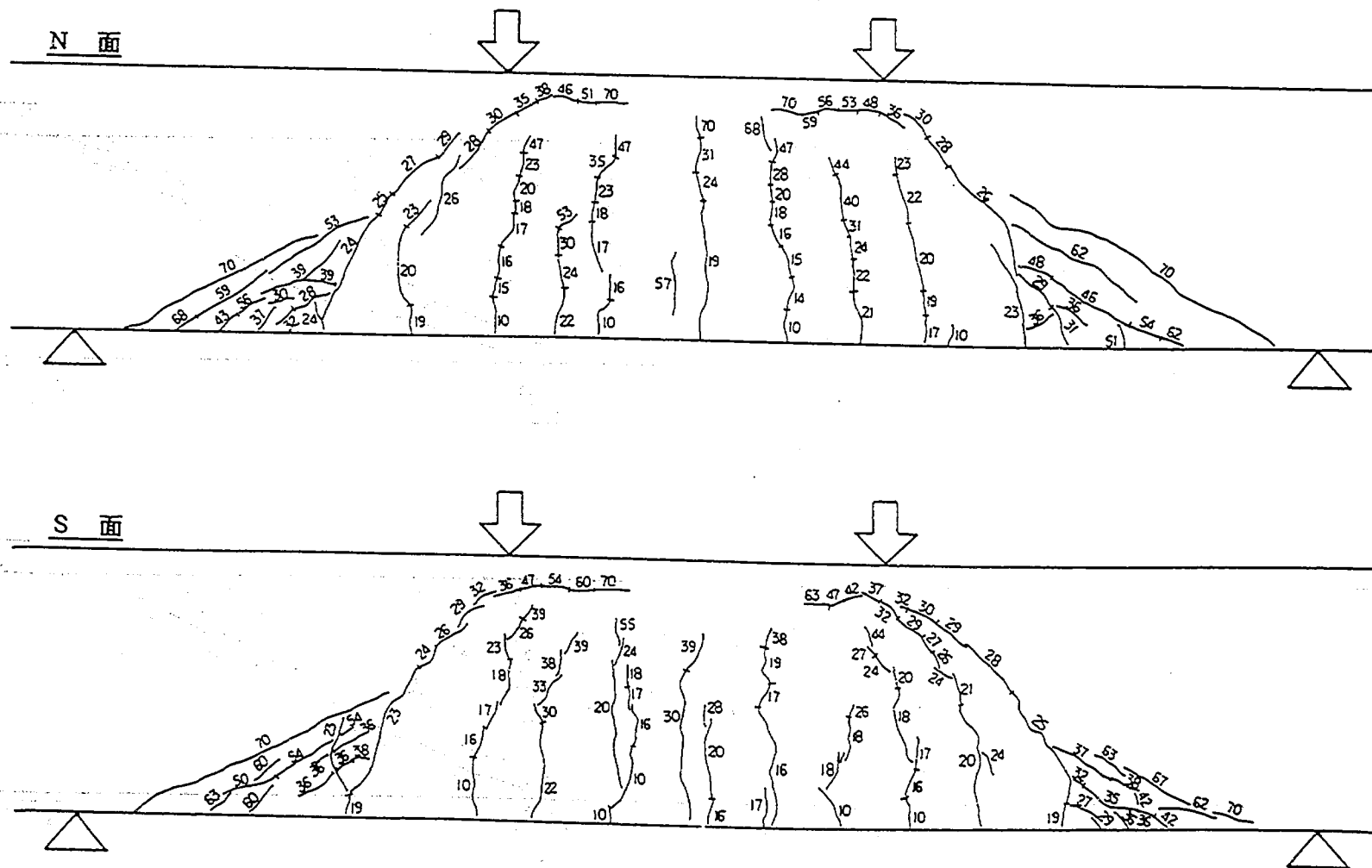
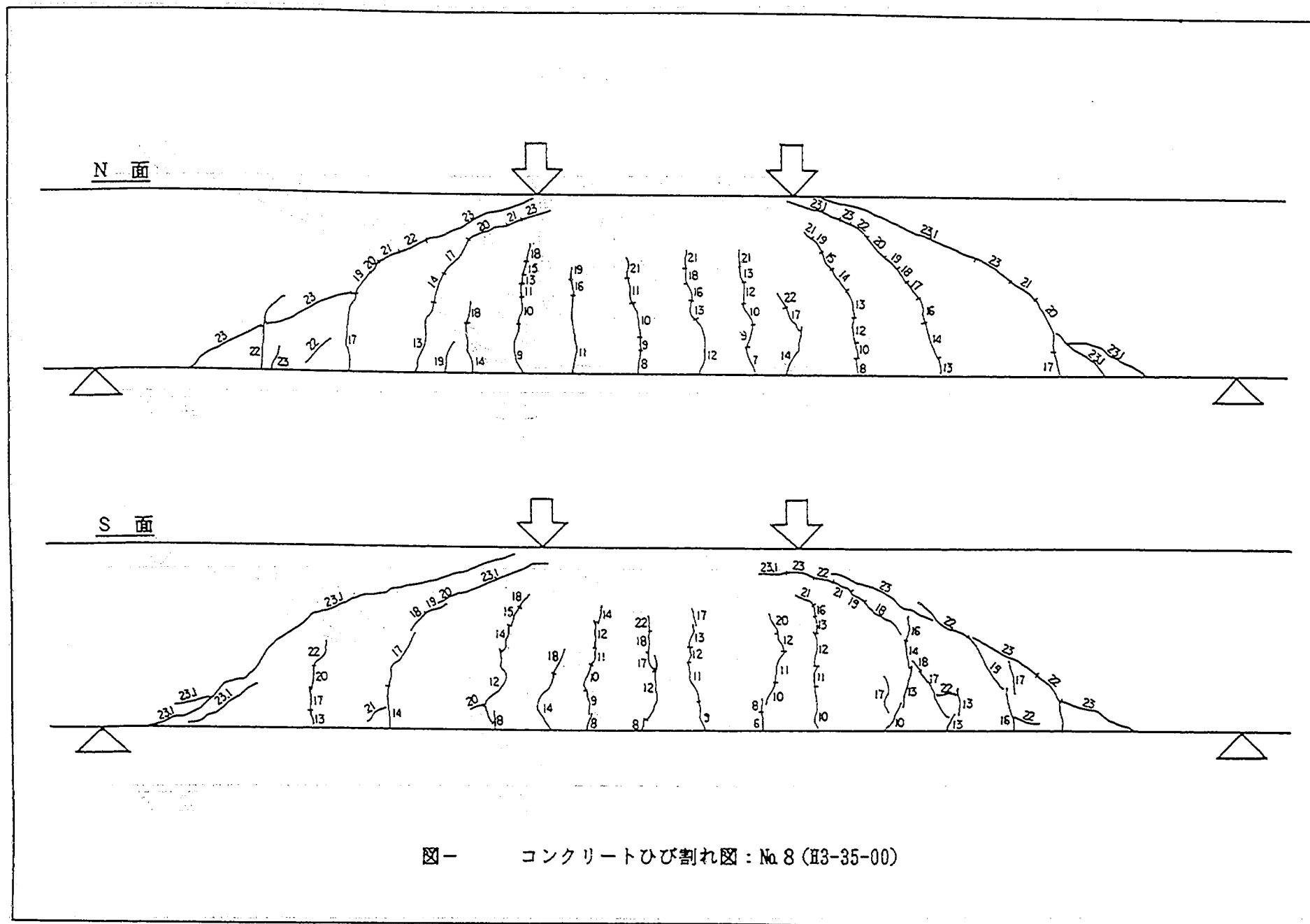


図- コンクリートひび割れ図: Na 7 (H2-35-00)



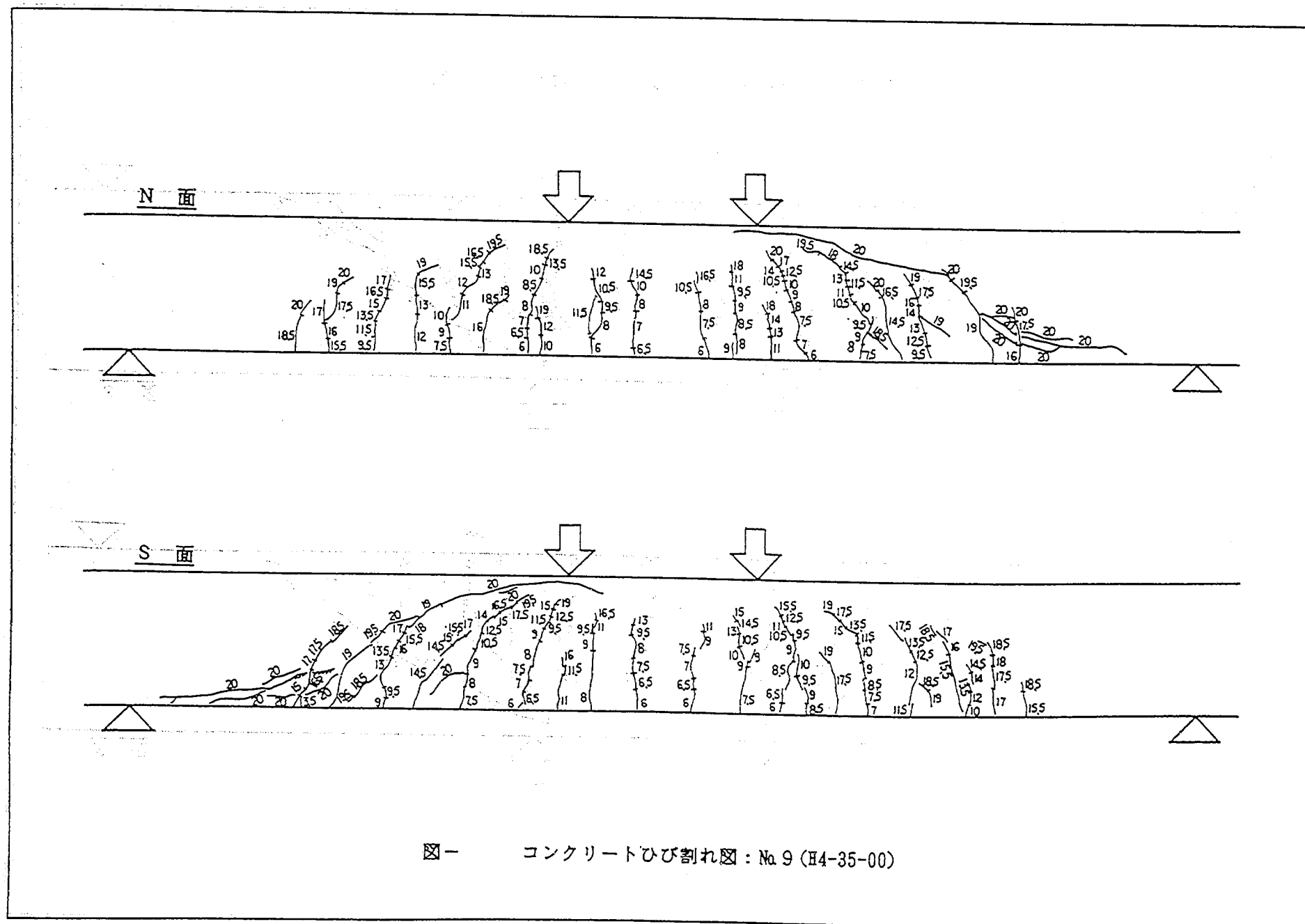
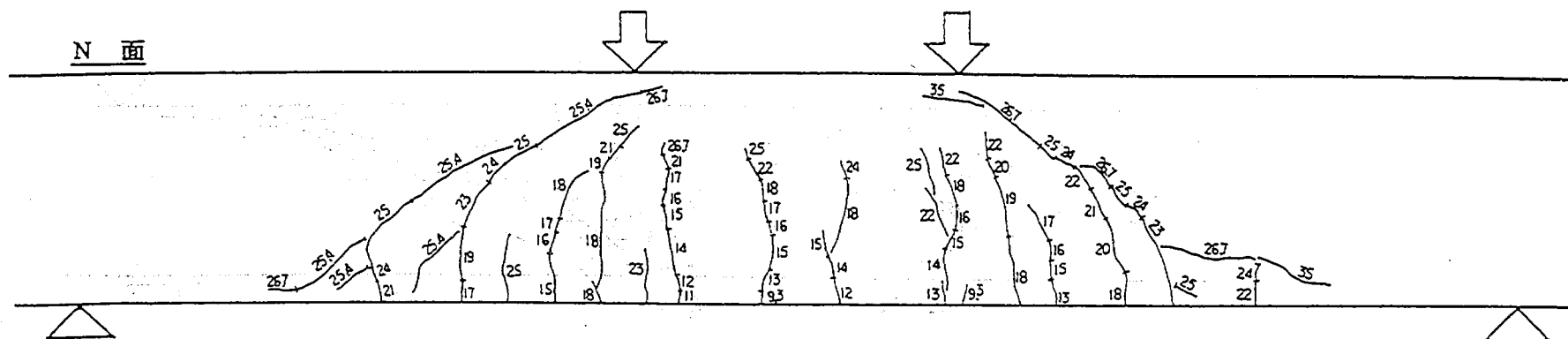
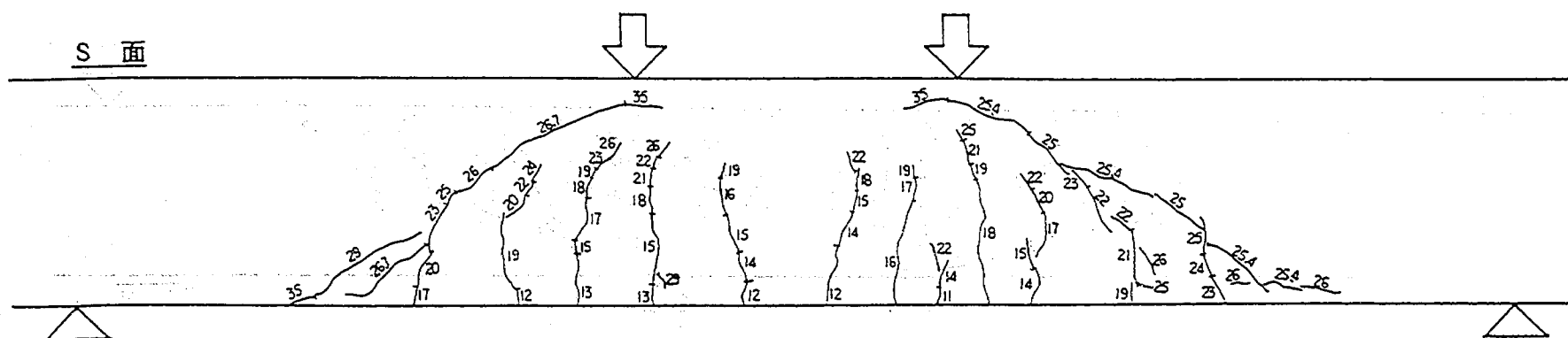


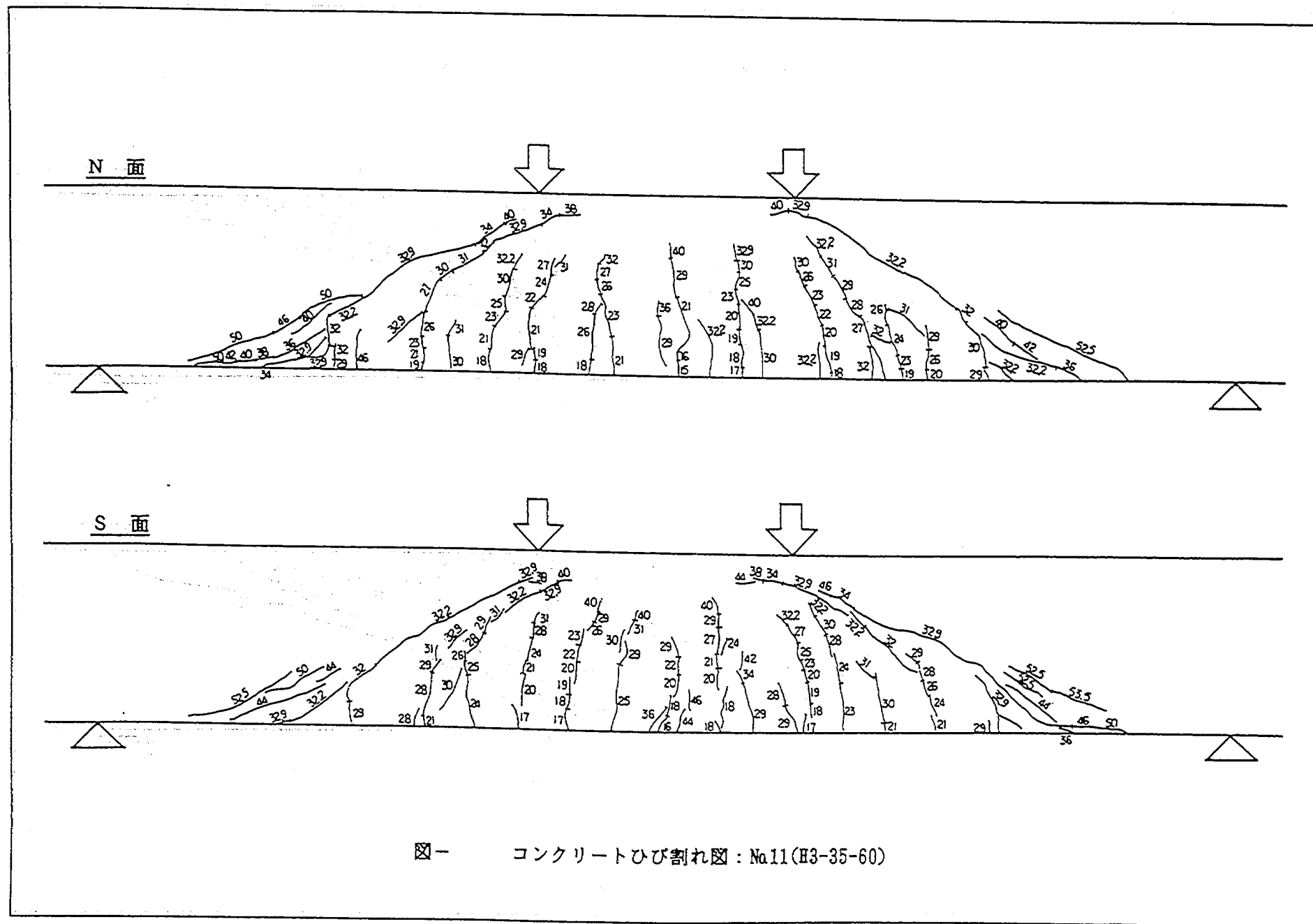
図- コンクリートひび割れ図 : No. 9 (H4-35-00)

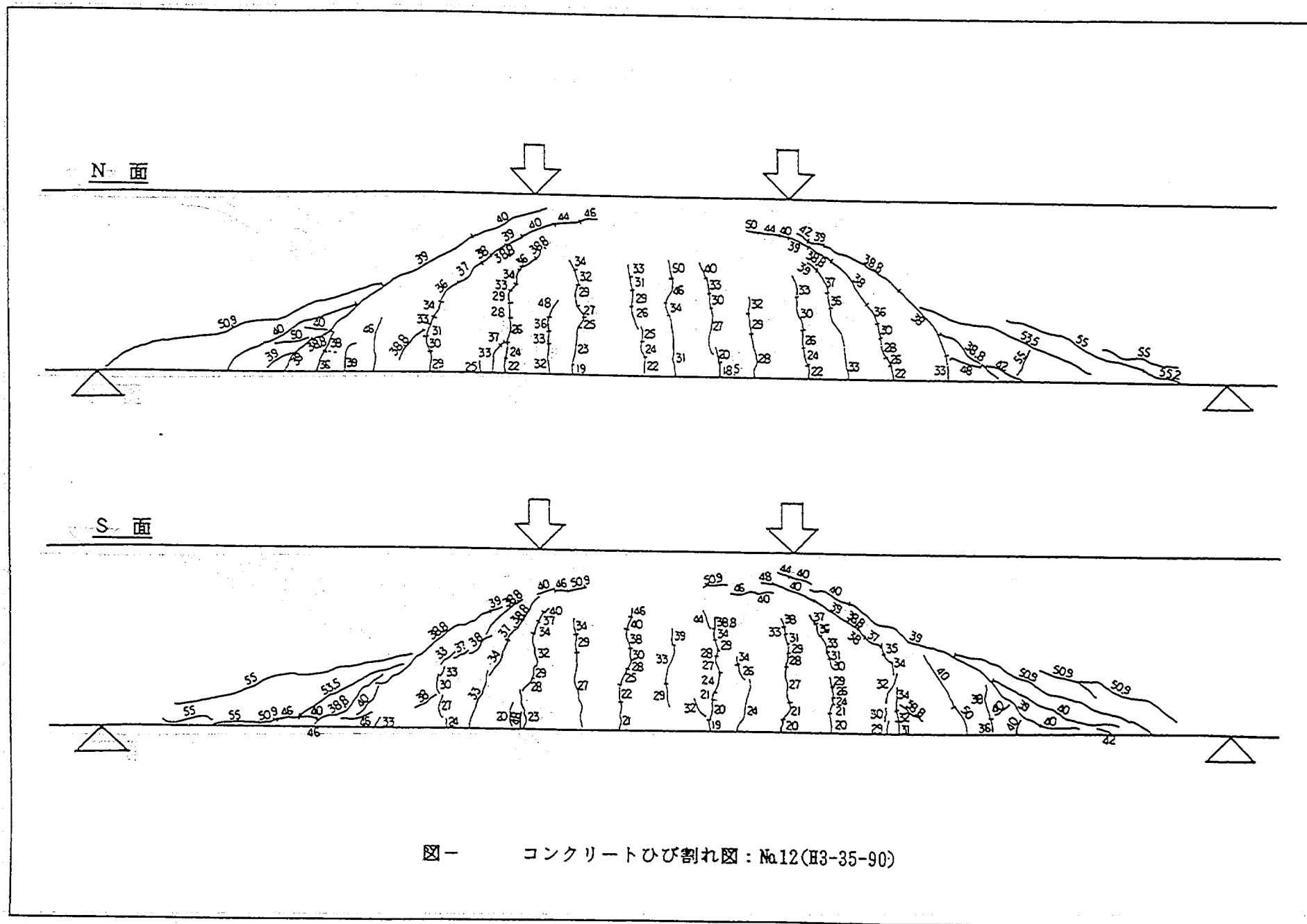


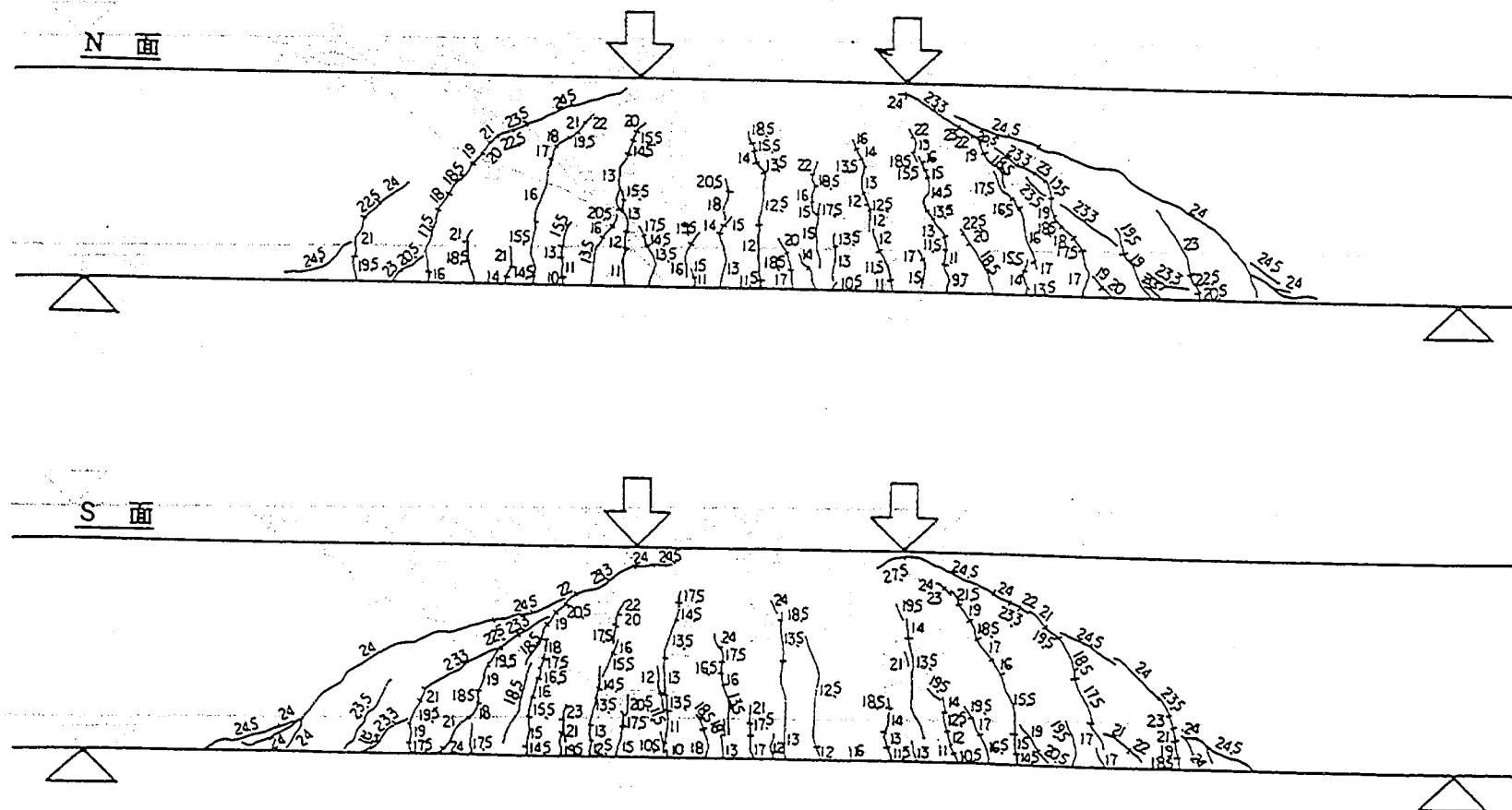
S 面



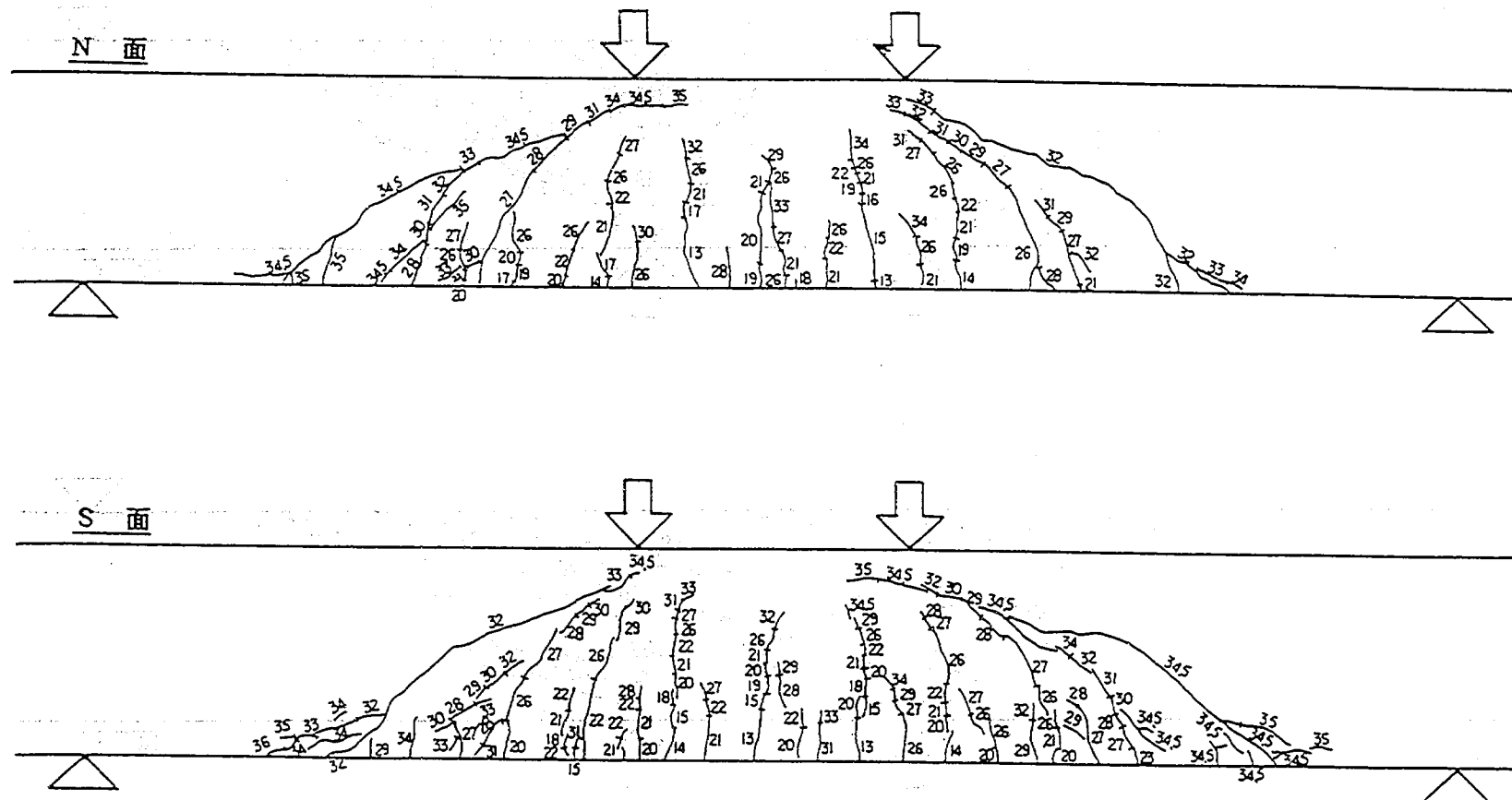
☒ー コンクリートひび割れ☒：No.10(H3-35-30)



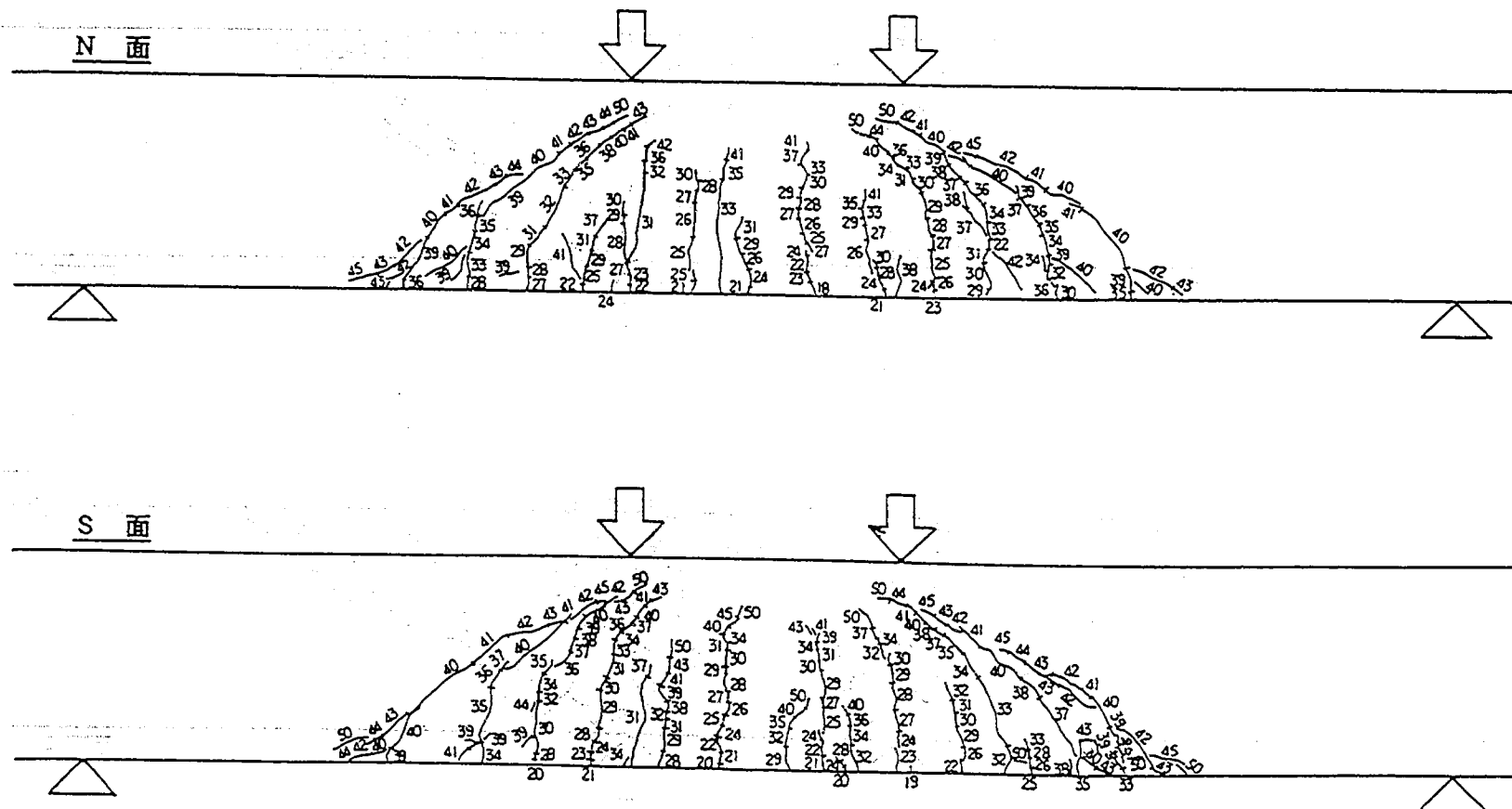




図一 コンクリートひび割れ図：No.13(H3-55-00)



図一 コンクリートひび割れ図：No.14(H3-55-30)



図一 コンクリートひび割れ図：Na15(H3-55-60)

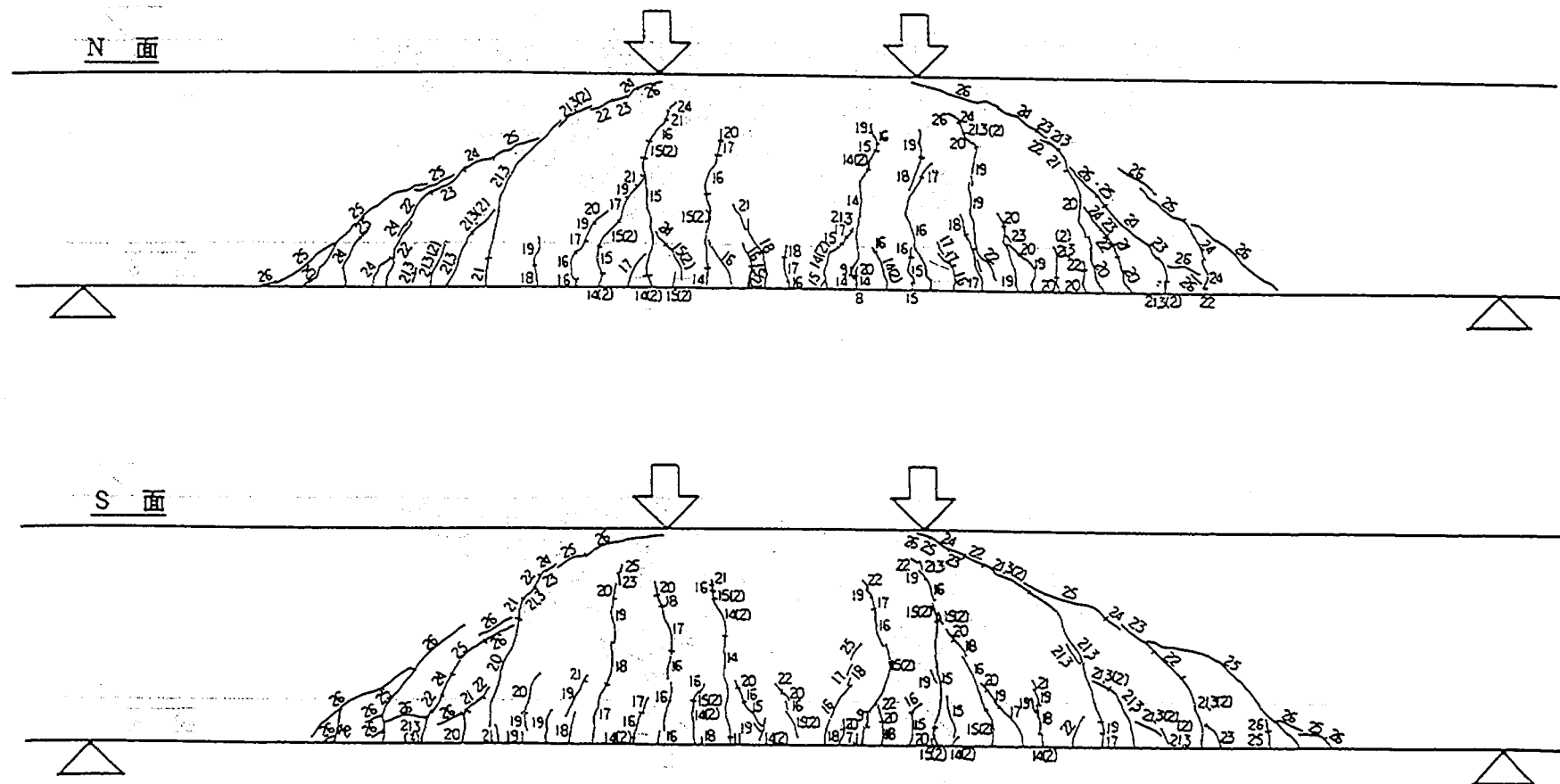


図- コンクリートひび割れ図 : No.16(H3-75-00)

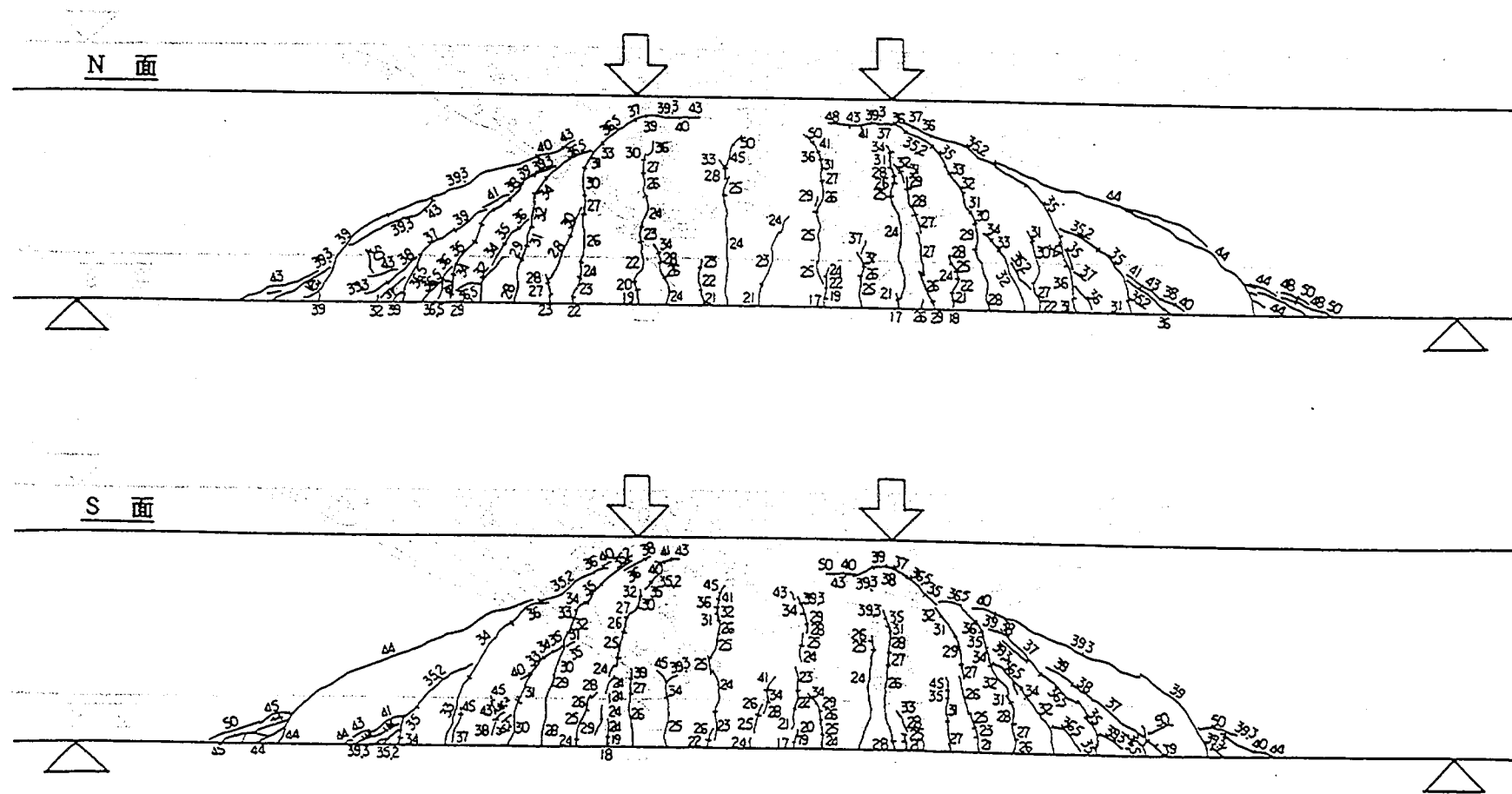
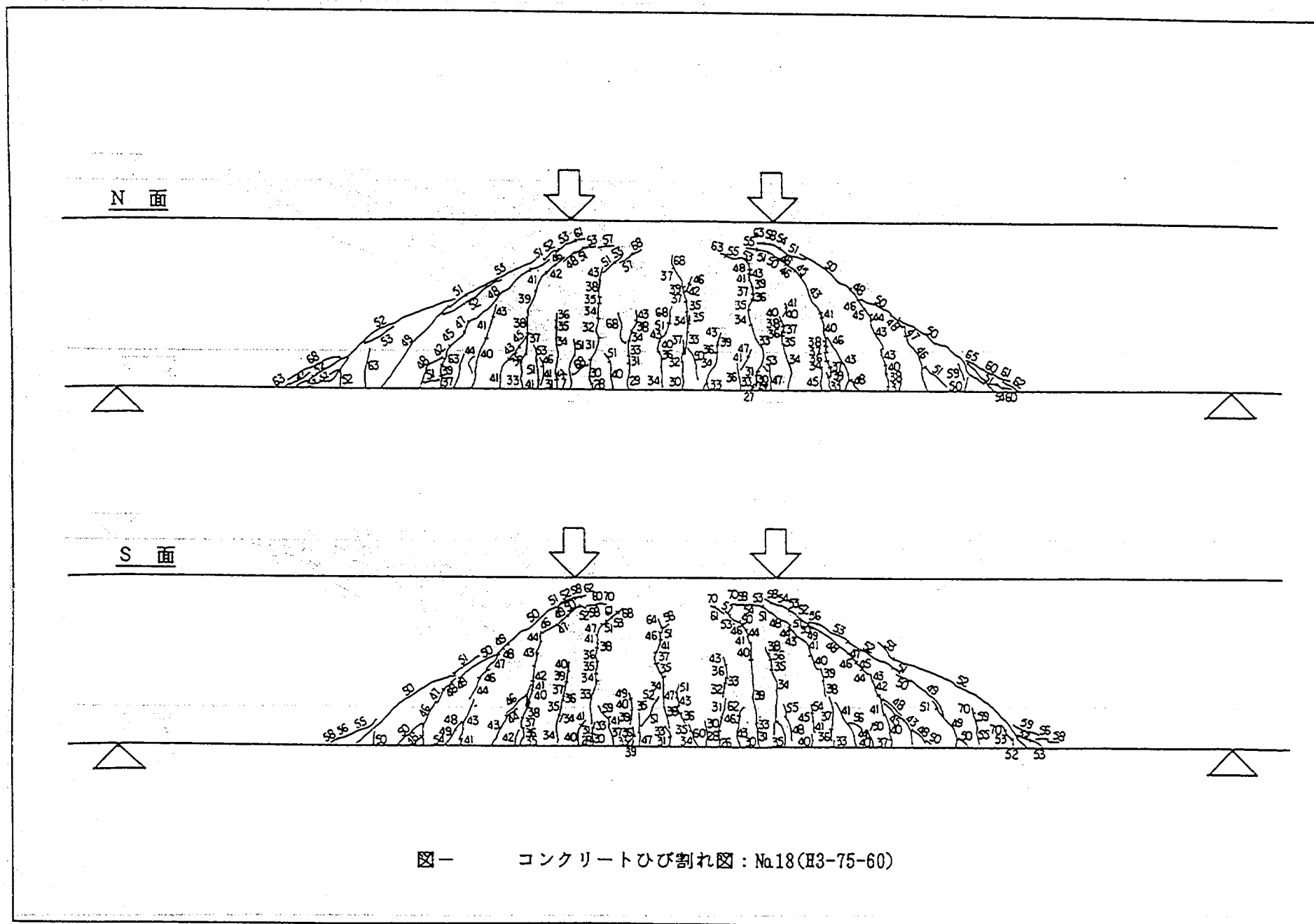
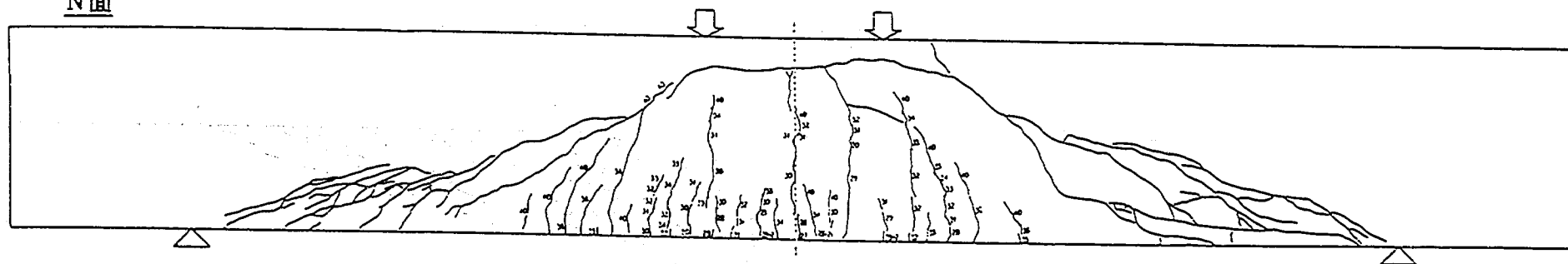


図- コンクリートひび割れ図：No.17(E3-75-30)

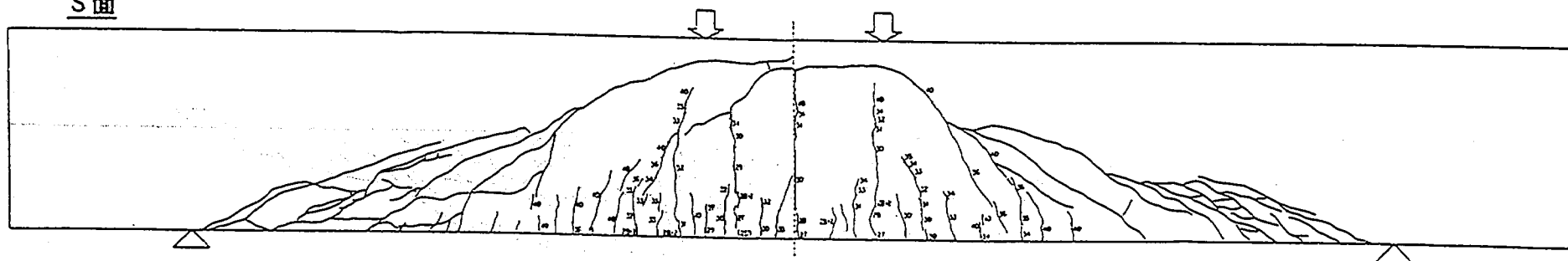


図一 コンクリートひび割れ図：No.18(H3-75-60)

N面

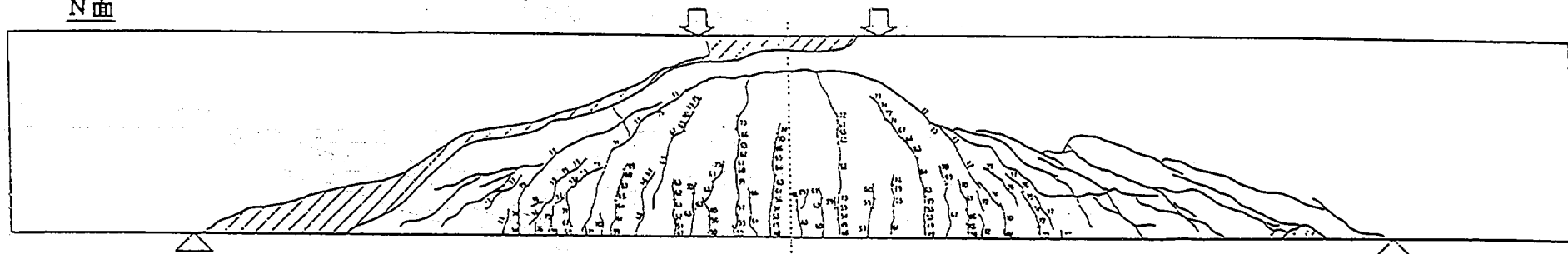


S面

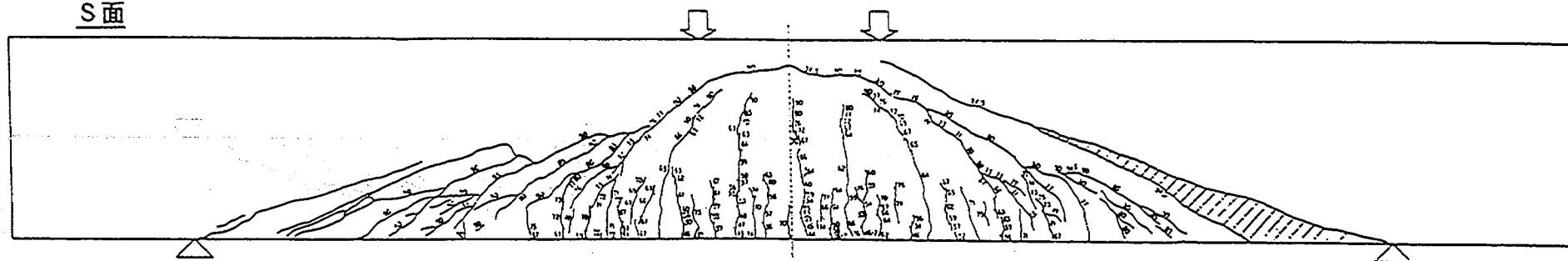


図一 コンクリートひびわれ図：No. 19 (H3-95-00)

N面

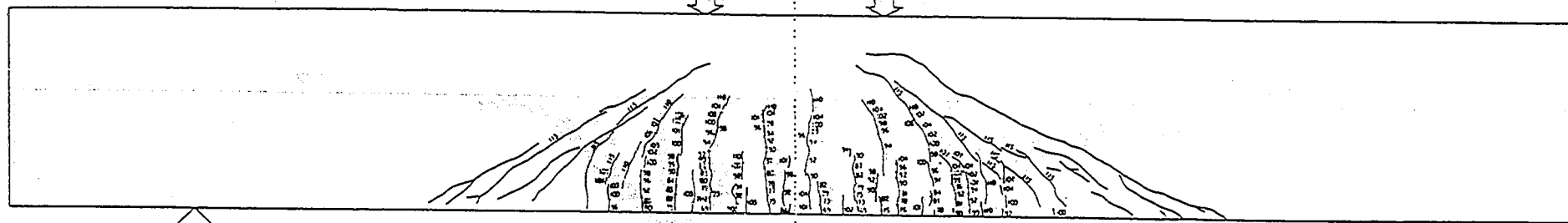


S面

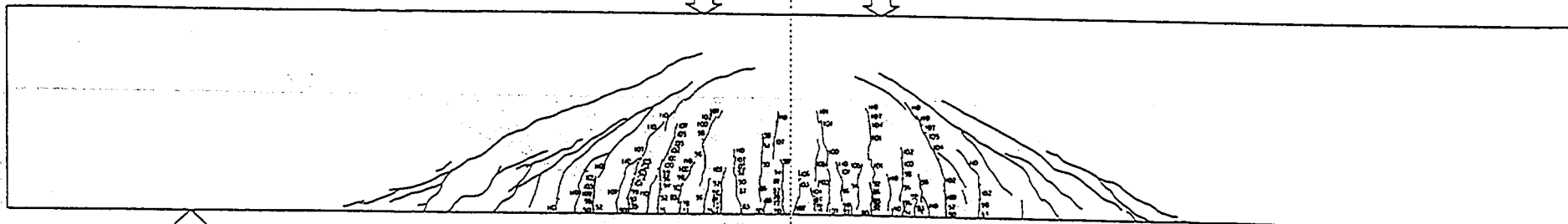


図一 コンクリートひびわれ図：No. 20 (H3-95-60)

N面

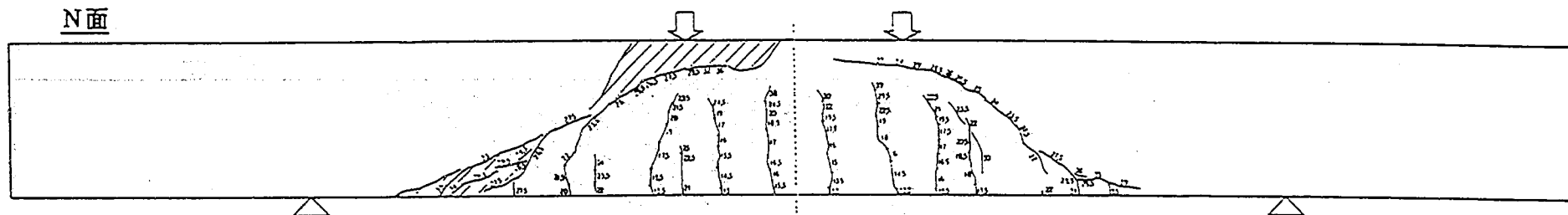


S面

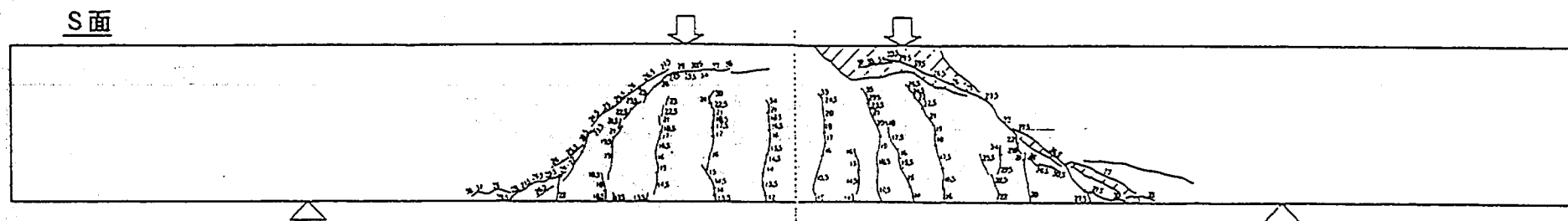


図一 コンクリートひびわれ図: No. 21 (H3-95-120)

N面

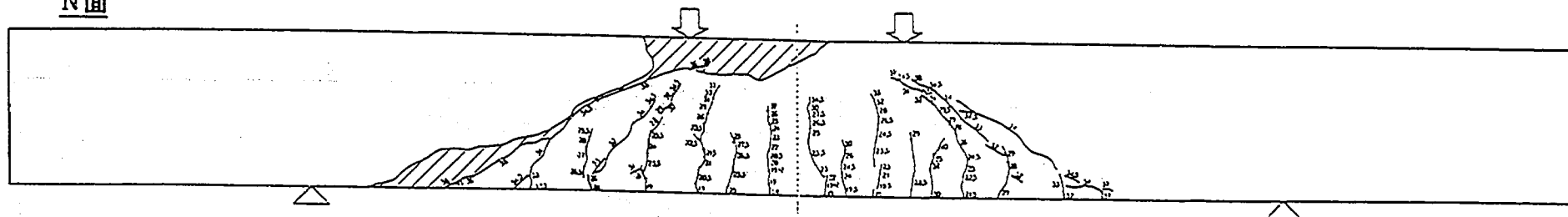


S面

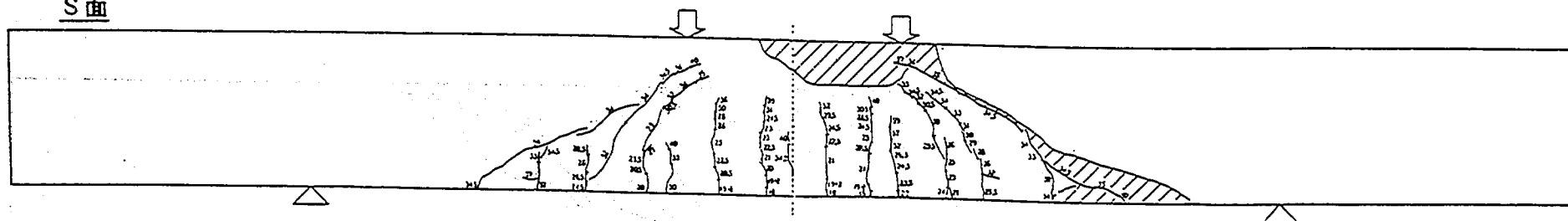


図一 コンクリートひびわれ図: No. 22 (L3-35-30)

N面

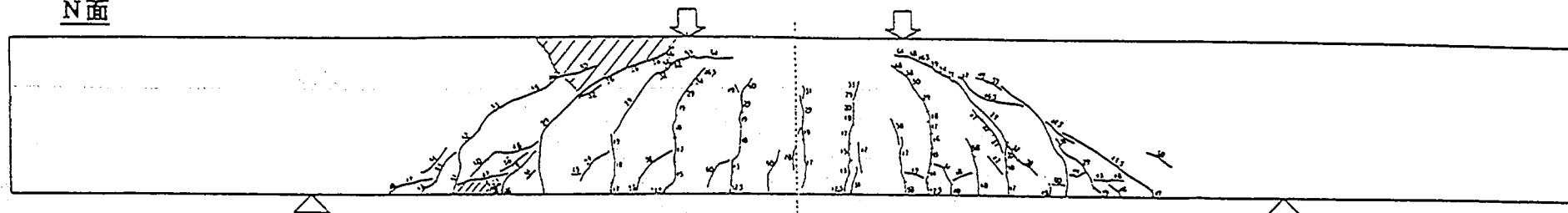


S面



図一 コンクリートひびわれ図: No. 23 (L3-35-60)

N面



S面

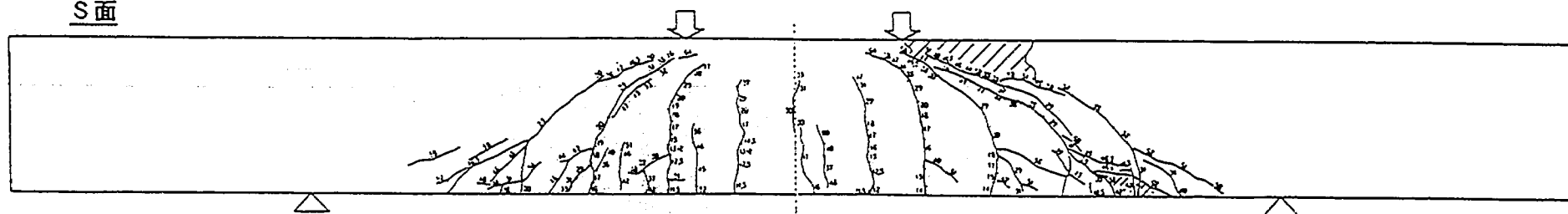
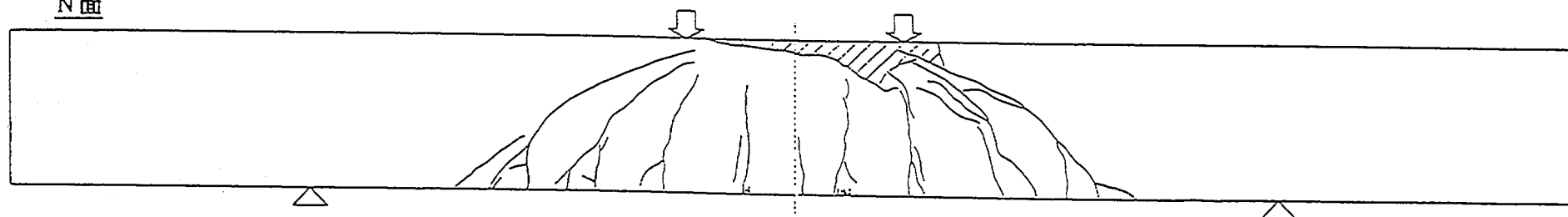


図-1 コンクリートひびわれ図： No. 24 (HS3-35-30)

N面



S面

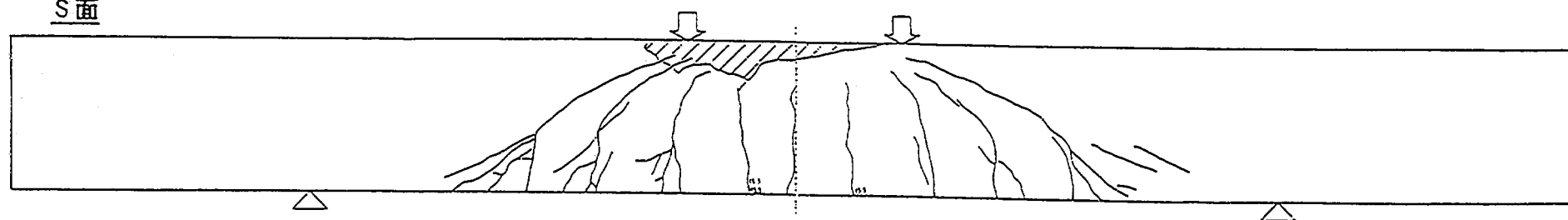
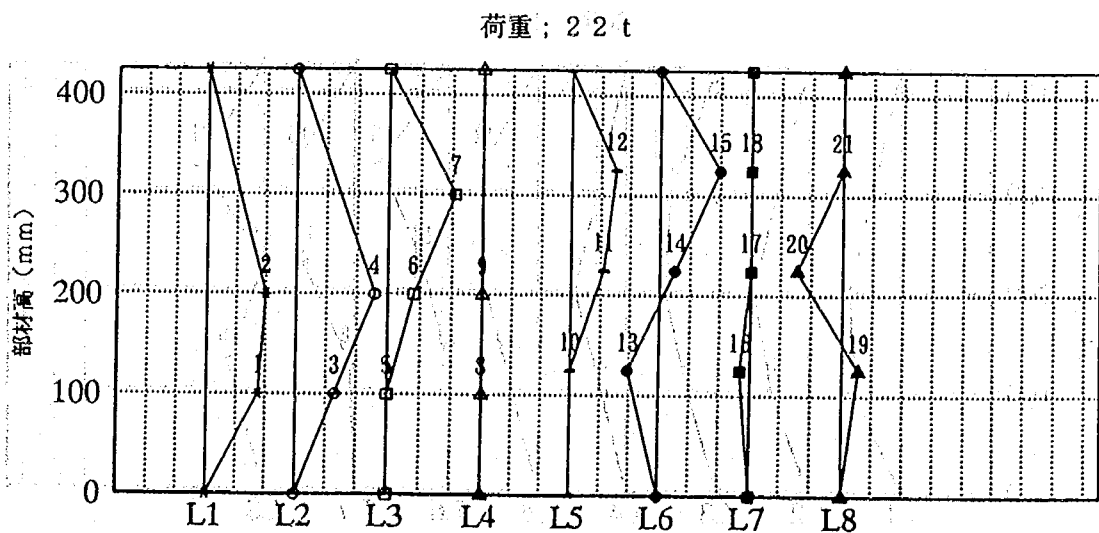
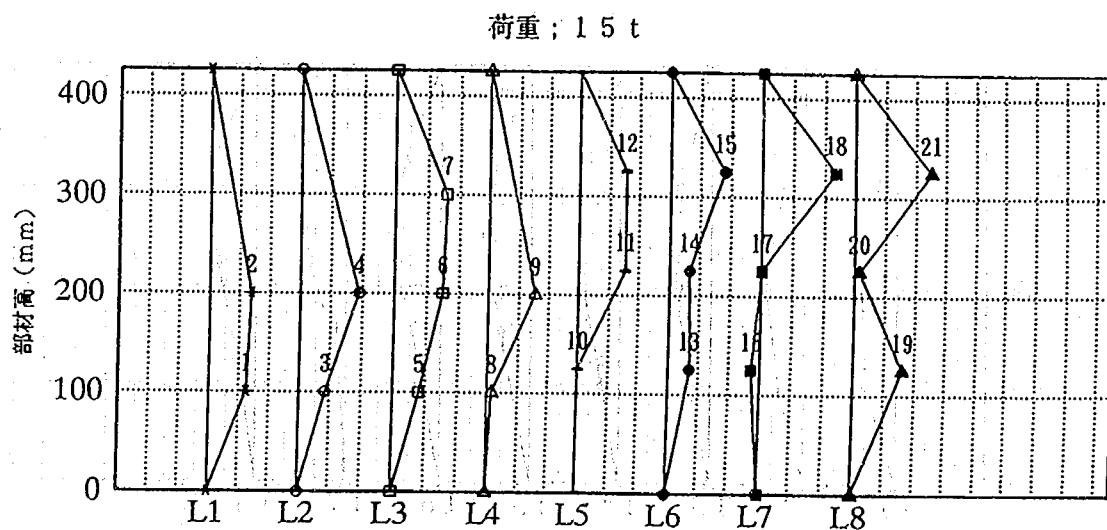
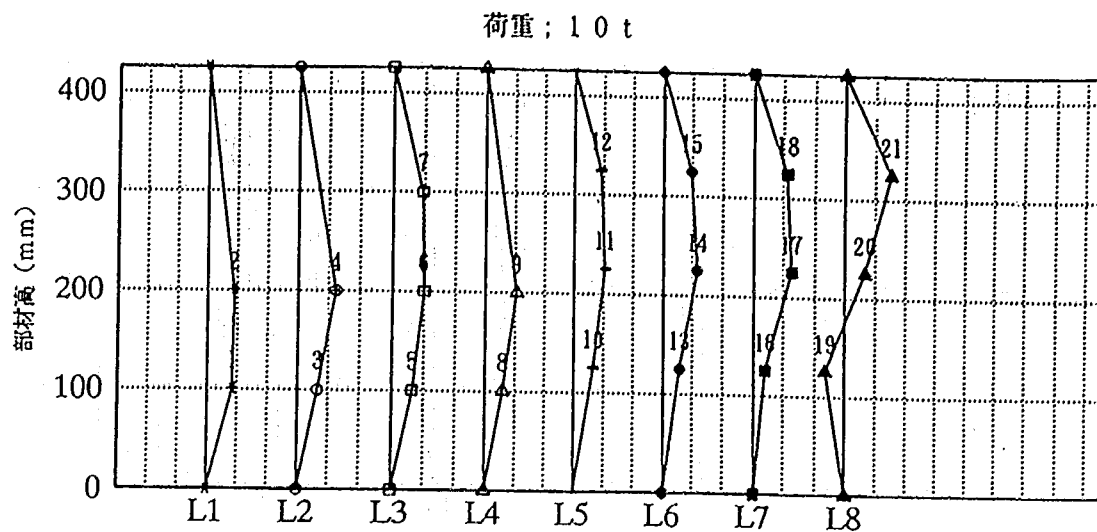


図-1 コンクリートひびわれ図 : No. 25 (HS3-35-60)

7. せん断応力分布図

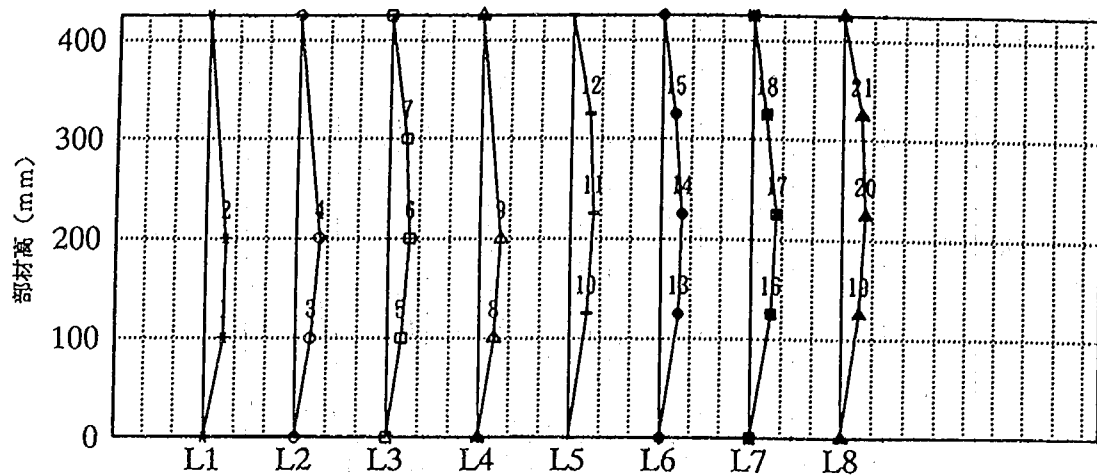
1) H3-35-00 (NO. 8) 供試体 せん断応力分布



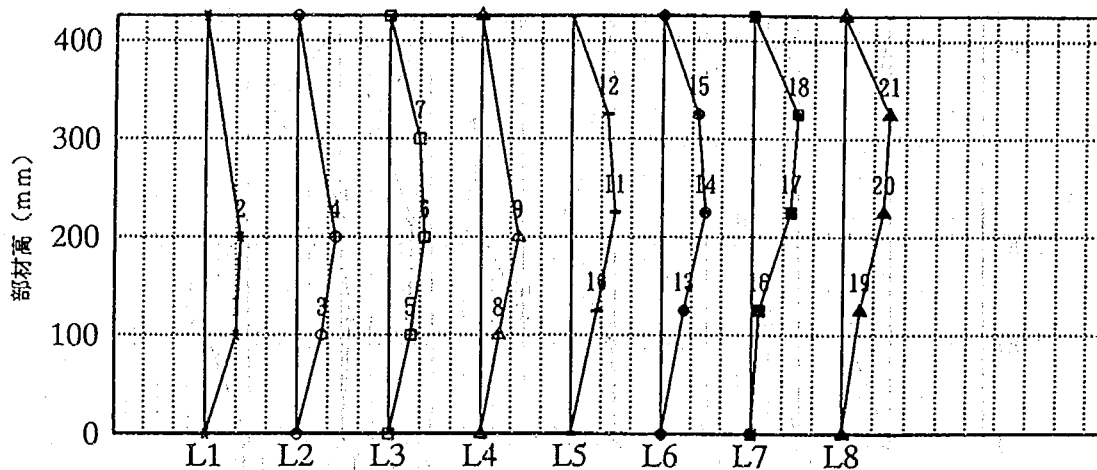
注) 横軸目盛間隔は、10kg/cm²

2) H3-35-30 (NO. 10) 供試体 せん断応力分布

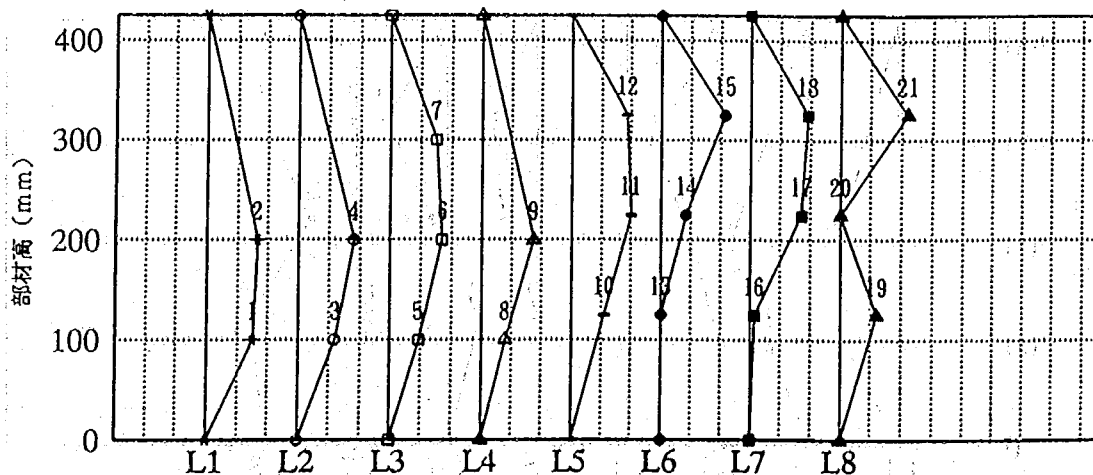
荷重 ; 10 t



荷重 ; 17 t

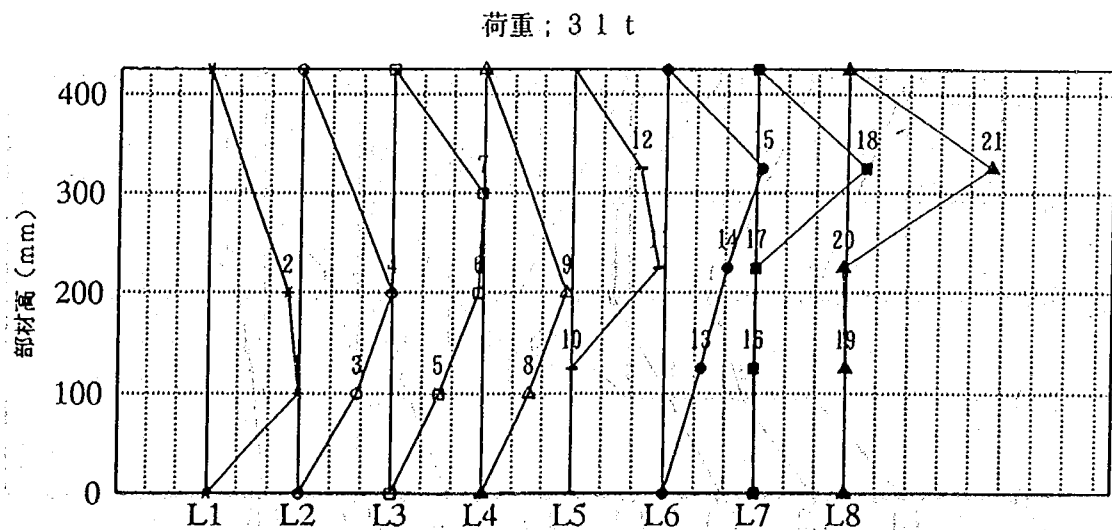
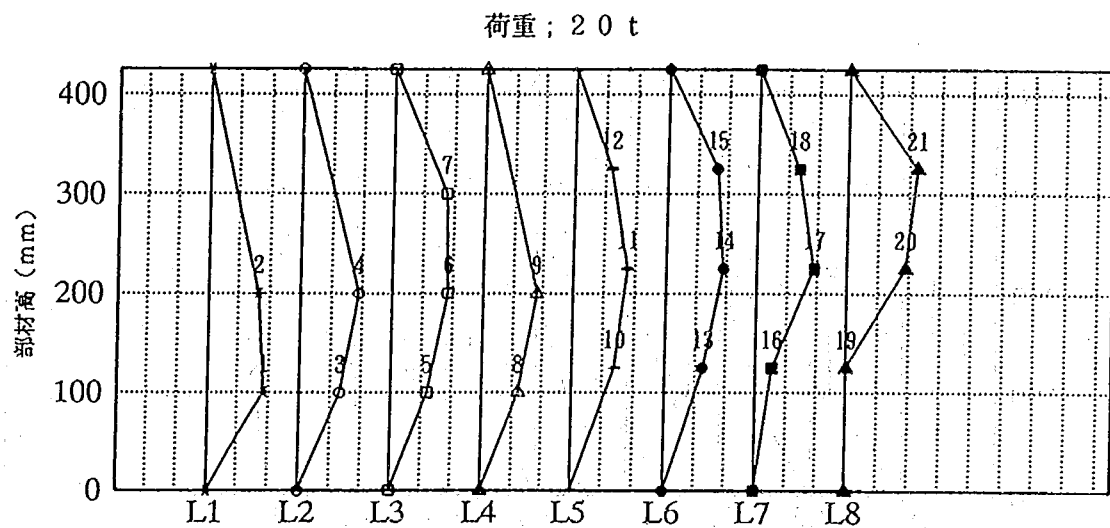
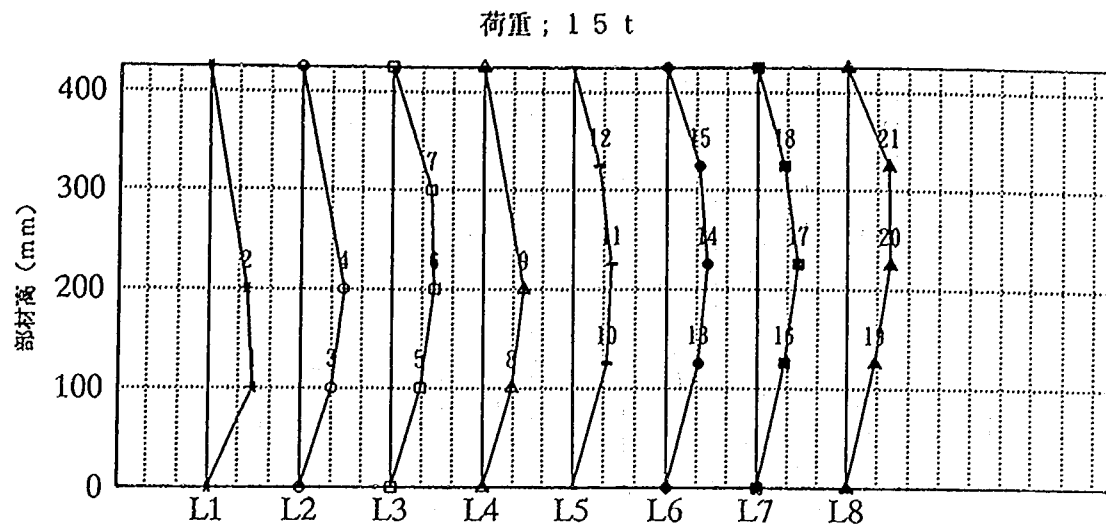


荷重 ; 23 t



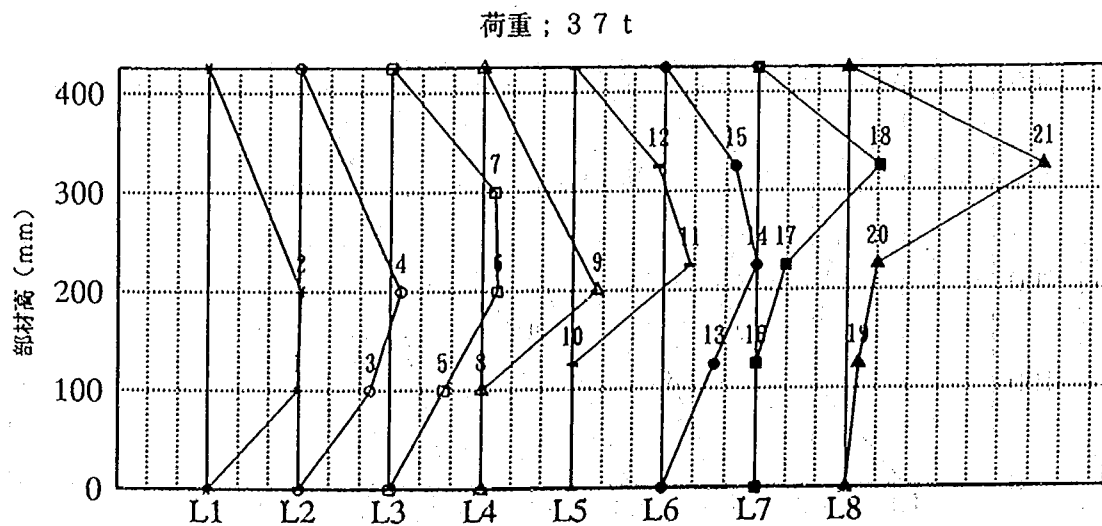
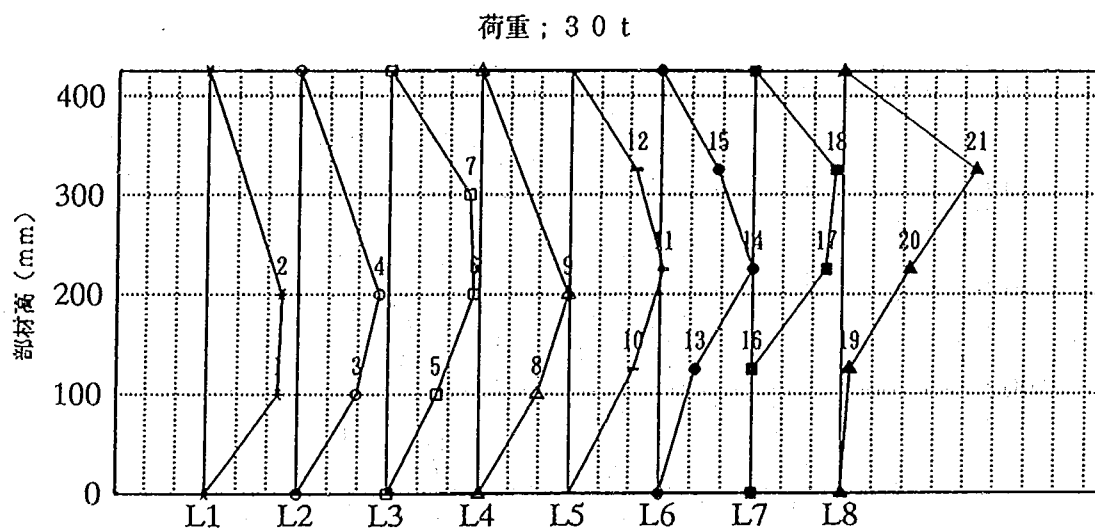
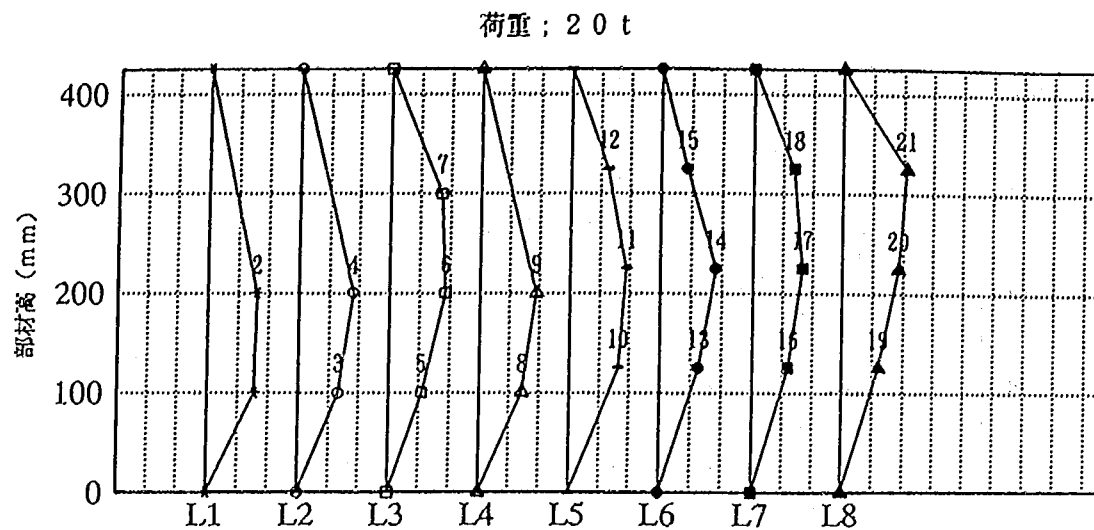
注) 横軸目盛間隔は、10kg/cm²

3) H3-35-60 (NO. 11) 供試体 せん断応力分布



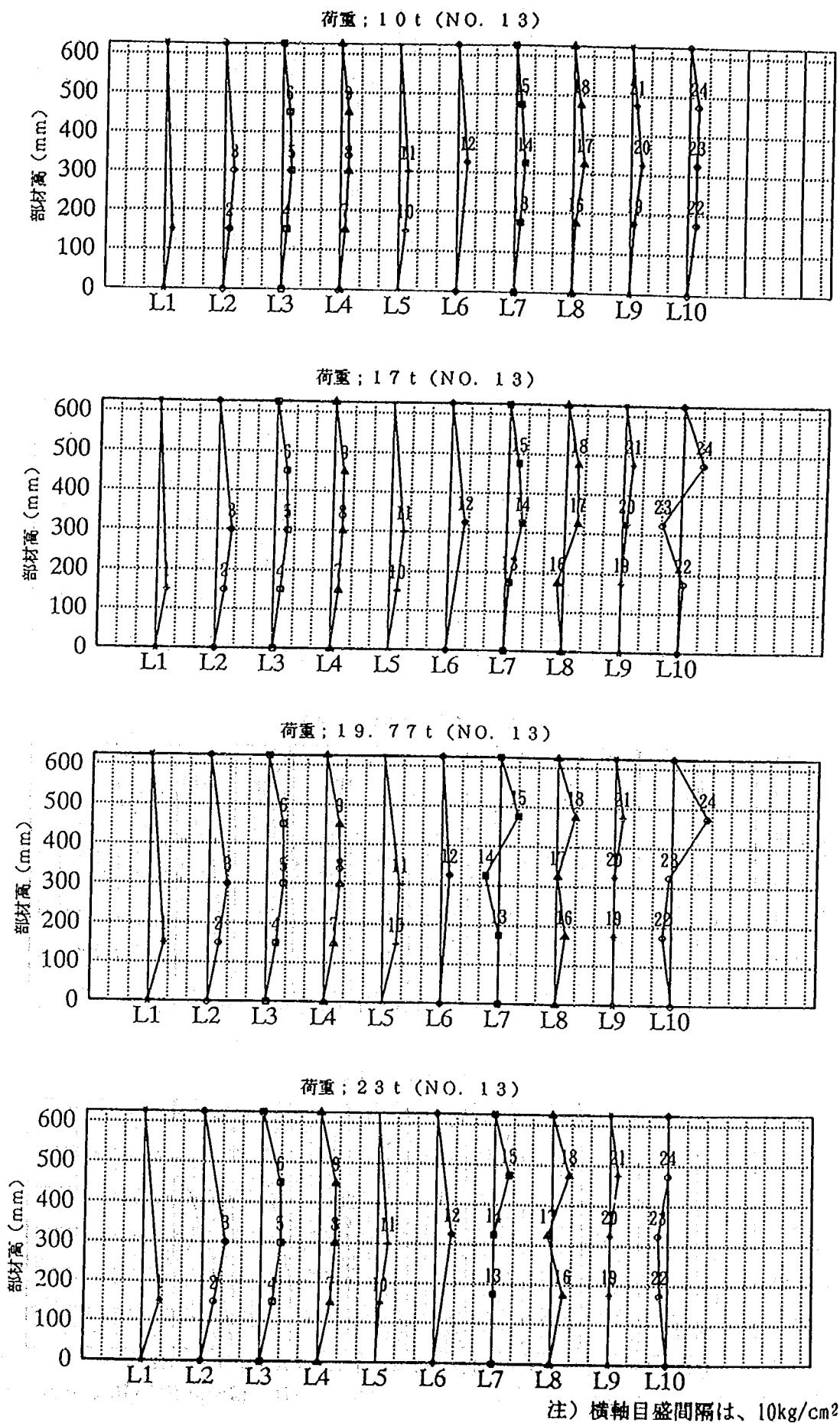
注) 横軸目盛間隔は、10kg/cm²

4) H3-35-90 (NO. 12) 供試体 せん断応力分布



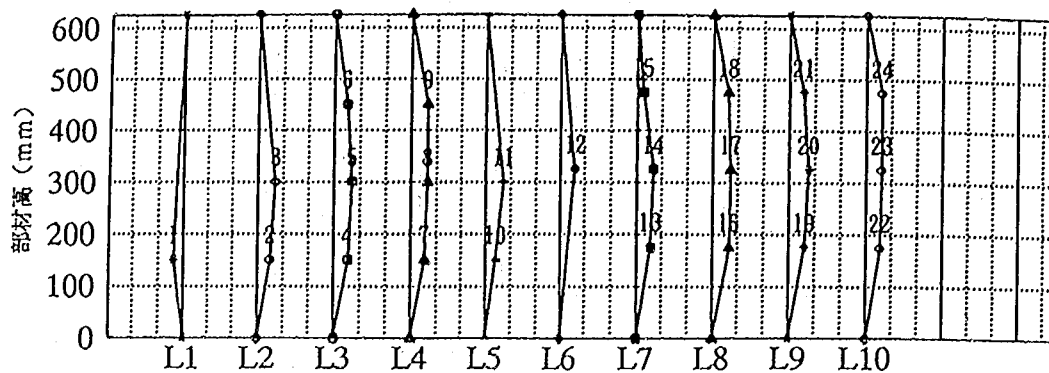
注) 横軸目盛間隔は、10kg/cm²

5) H3-55-00 (NO. 13) 供試体 せん断応力分布

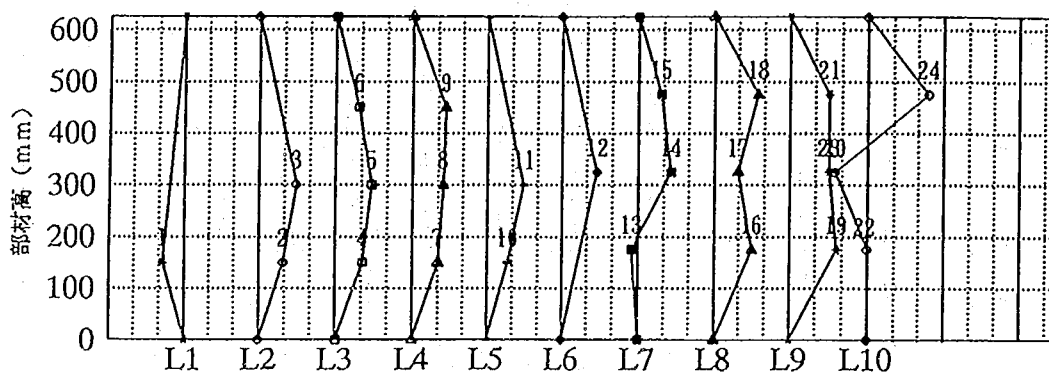


6) H3-55-30 (NO. 14) 供試体 せん断応力分布

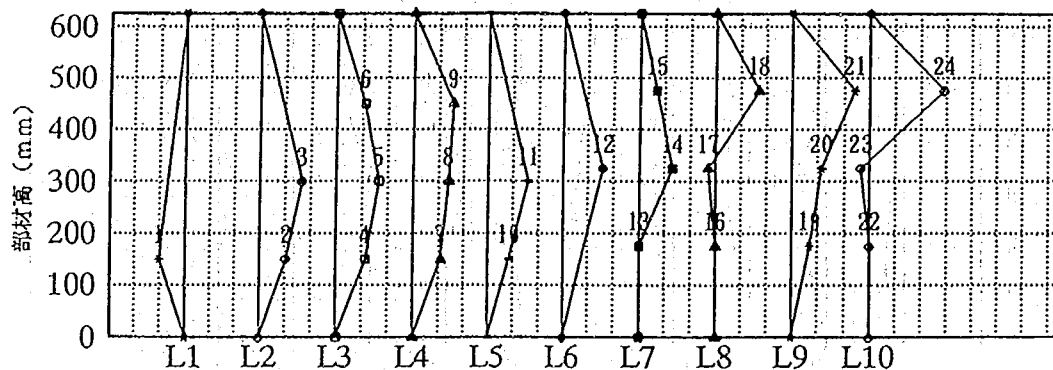
荷重; 13 t (NO. 14)



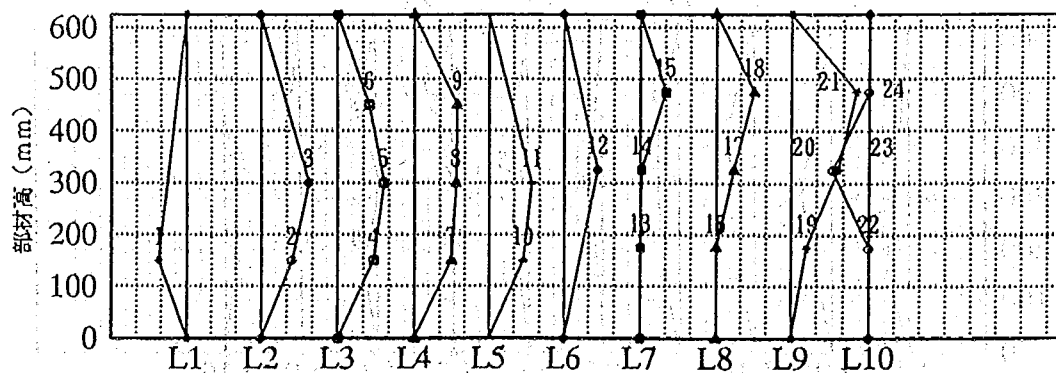
荷重; 25 t (NO. 14)



荷重; 28.47 t (NO. 14)



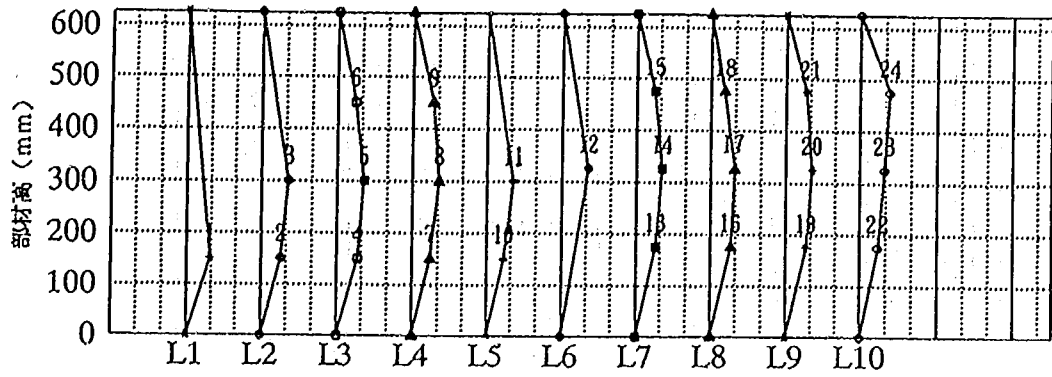
荷重; 32 t (NO. 14)



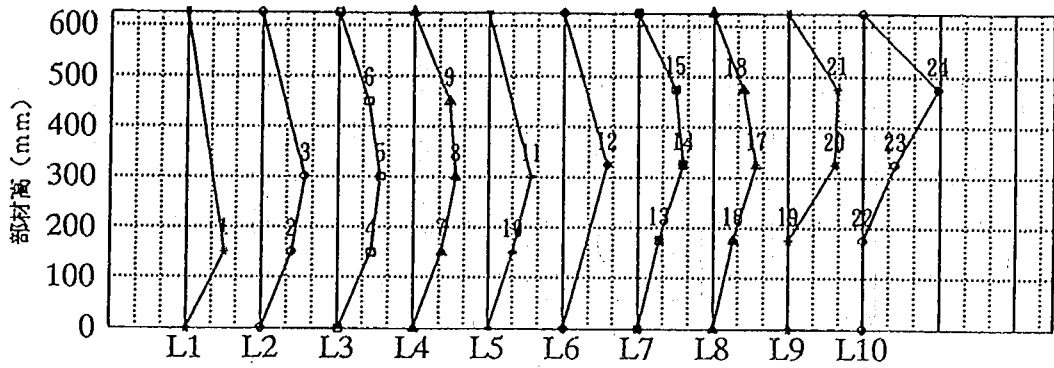
注) 横軸目盛間隔は、10kg/cm²

7) H3-55-60 (NO. 15) 供試体 せん断応力分布

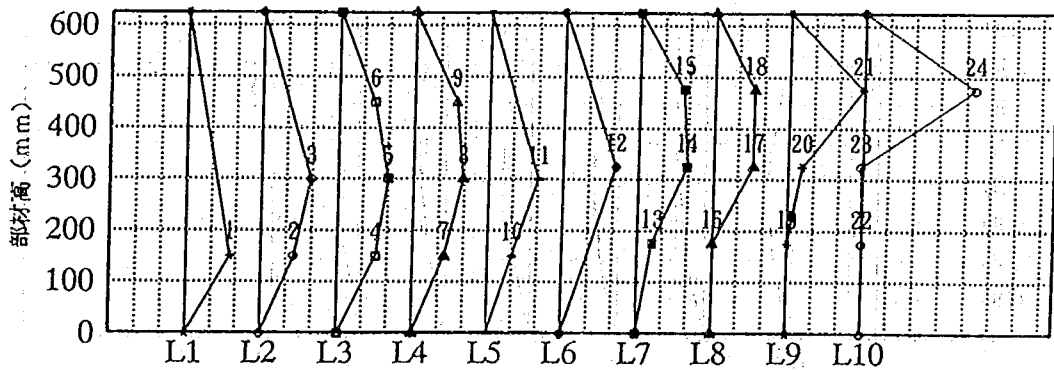
荷重: 20 t (NO. 15)



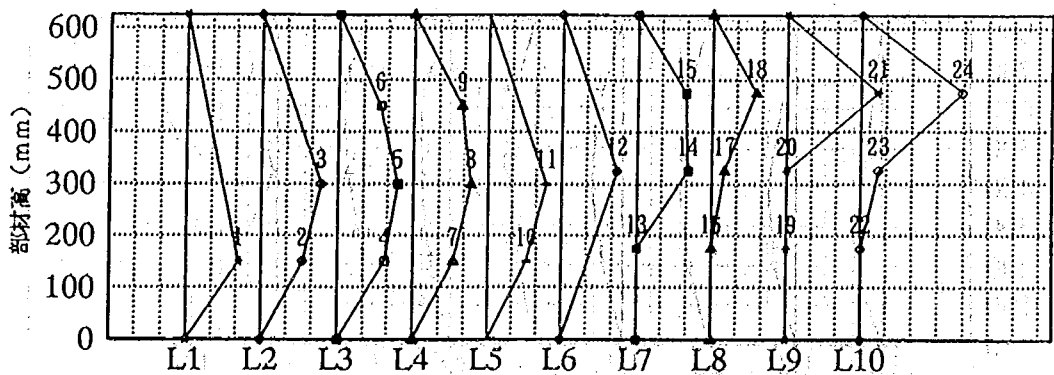
荷重: 30 t (NO. 15)



荷重: 35 t (NO. 15)



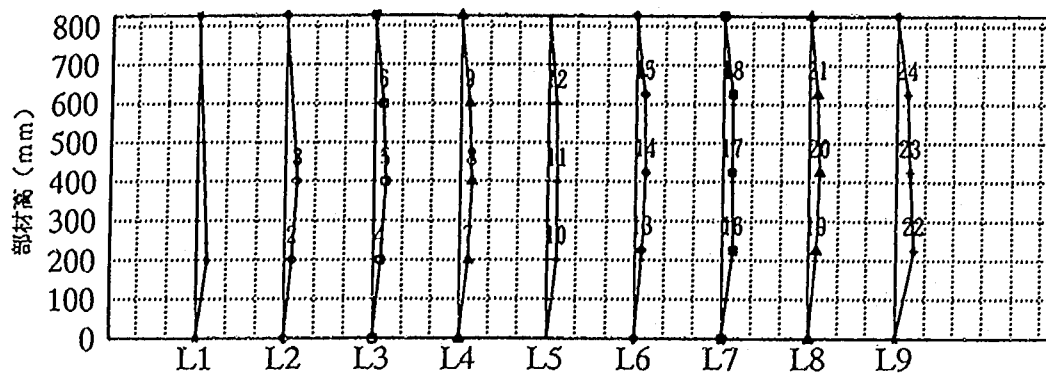
荷重: 41 t (NO. 15)



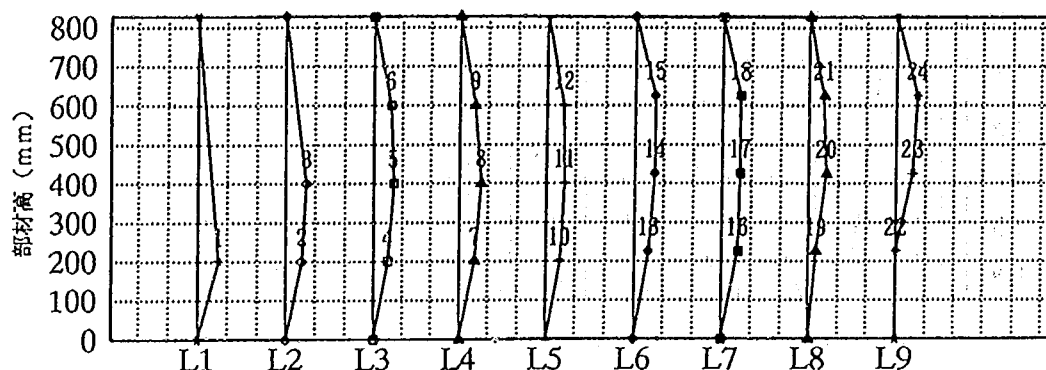
注) 横軸目盛間隔は、10kg/cm²

8) H3-75-00 (NO. 16) 供試体 せん断応力分布

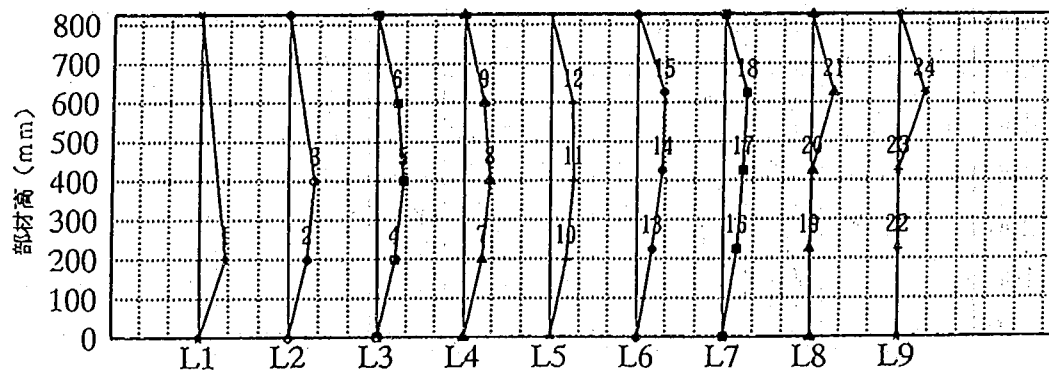
荷重: 8 t (NO. 16)



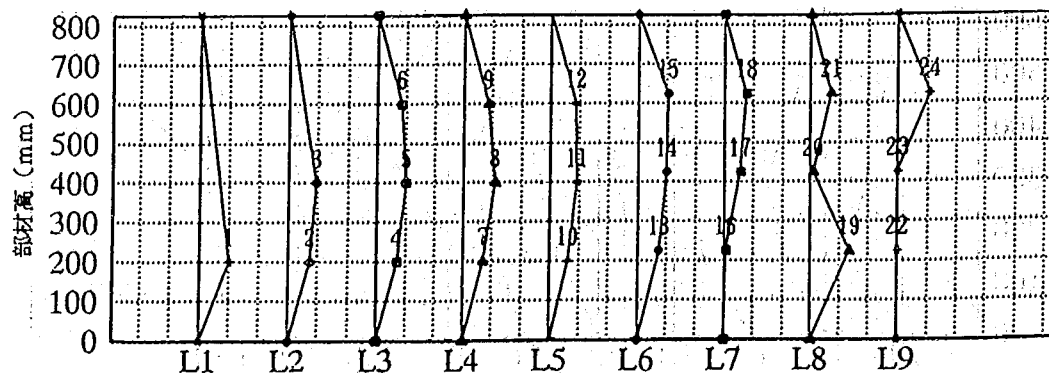
荷重: 15 t (NO. 16)



荷重: 18 t (NO. 16)



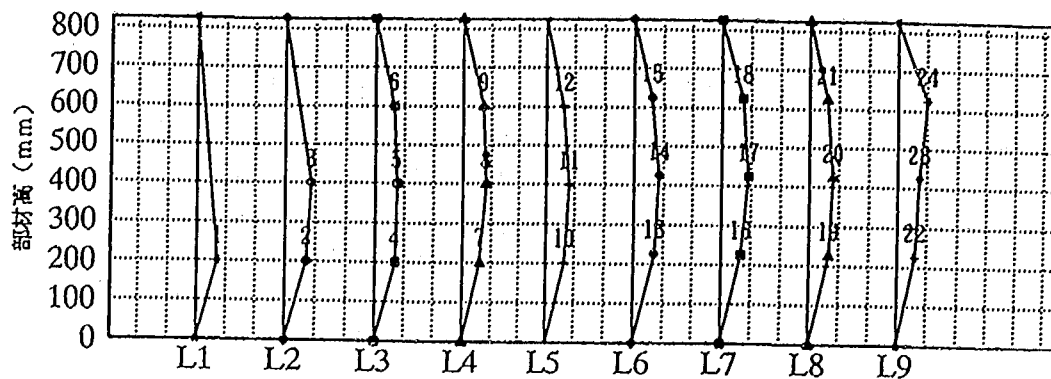
荷重: 21 t (NO. 16)



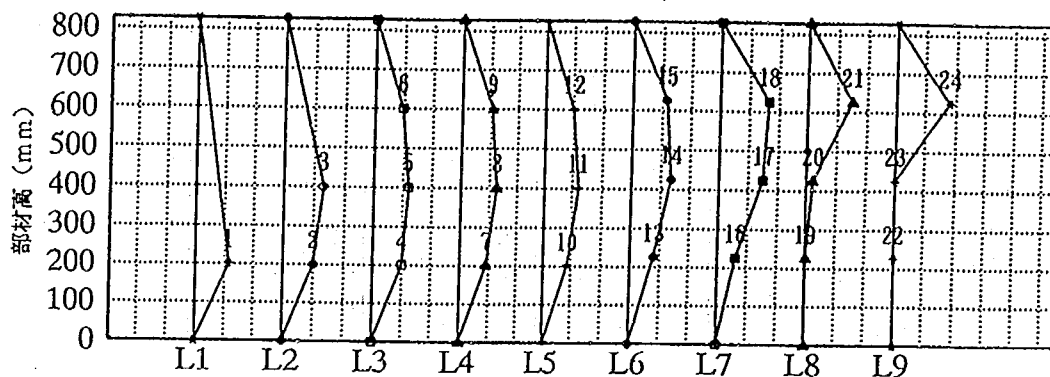
注) 横軸目盛間隔は、10kg/cm²

9) H3-75-30 (NO. 17) 供試体 せん断応力分布

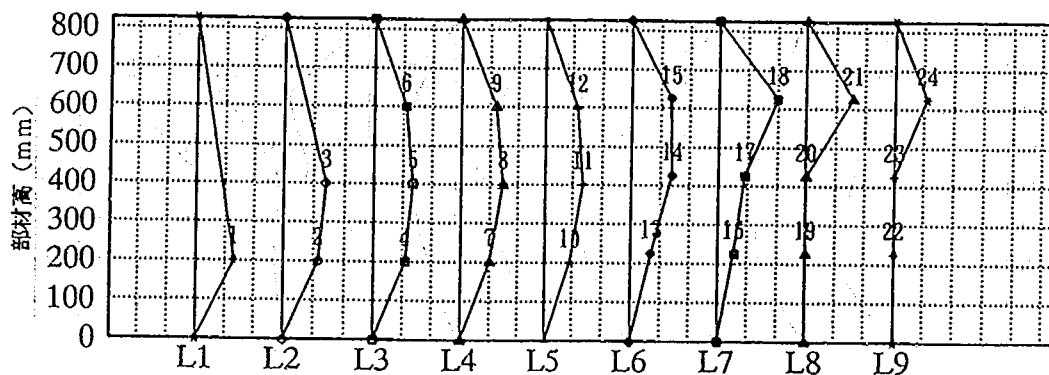
荷重: 18 t (NO. 17)



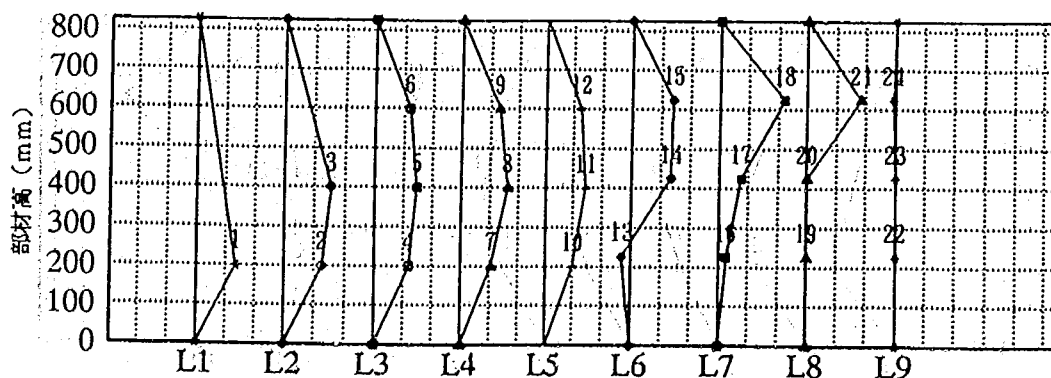
荷重: 28 t (NO. 17)



荷重: 32 t (NO. 17)

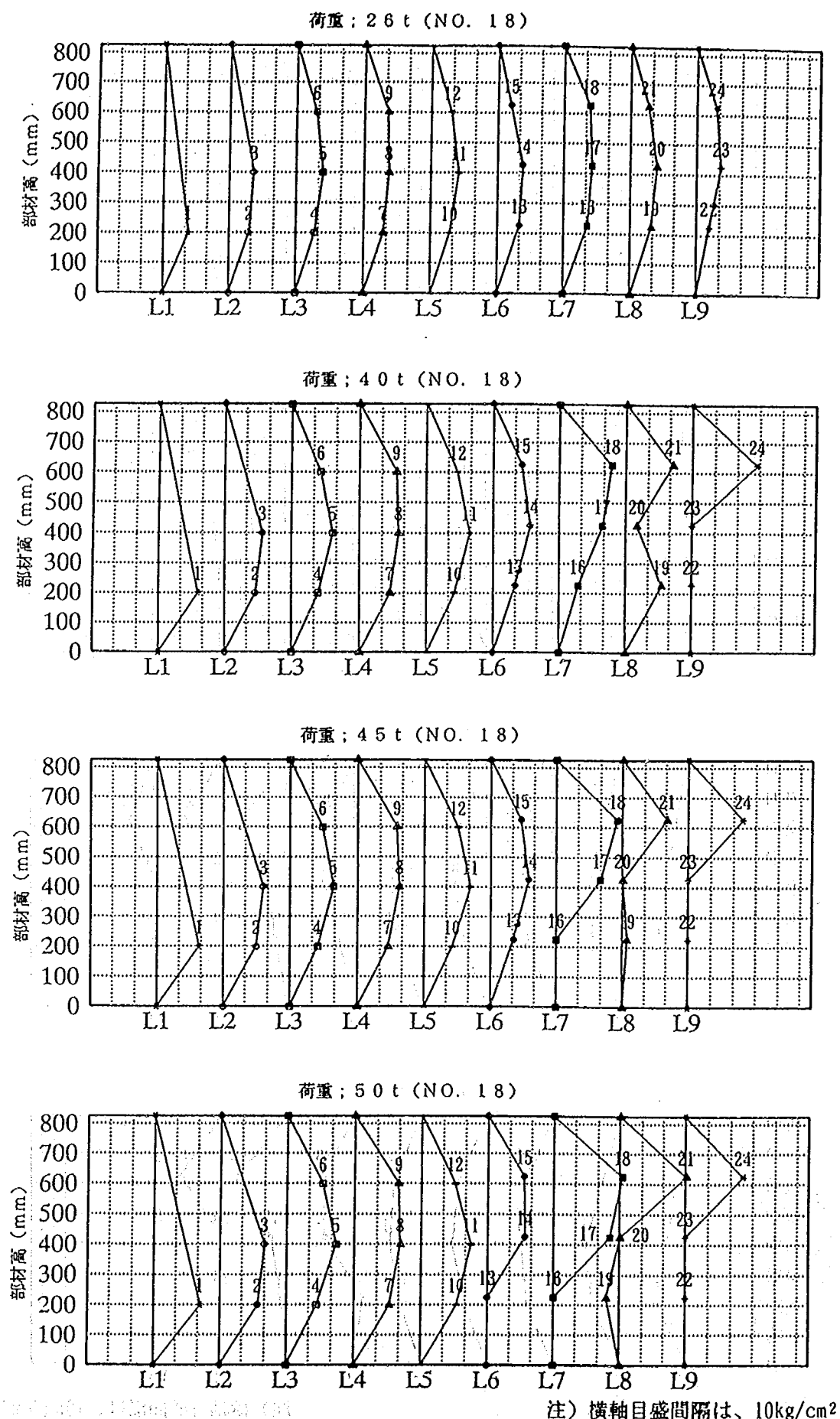


荷重: 35 t (NO. 17)



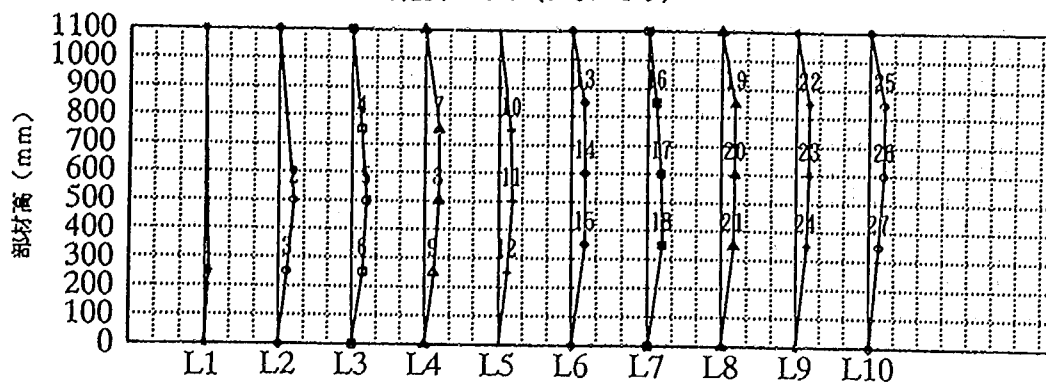
注) 横軸目盛間隔は、10kg/cm²

10) H3-75-60 (NO. 18) 供試体 せん断応力分布

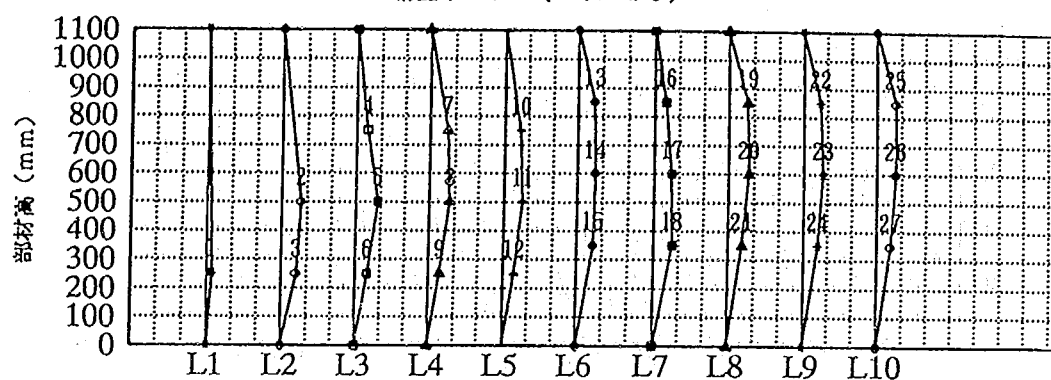


11) H3-95-00 (NO. 19) 供試体 せん断応力分布

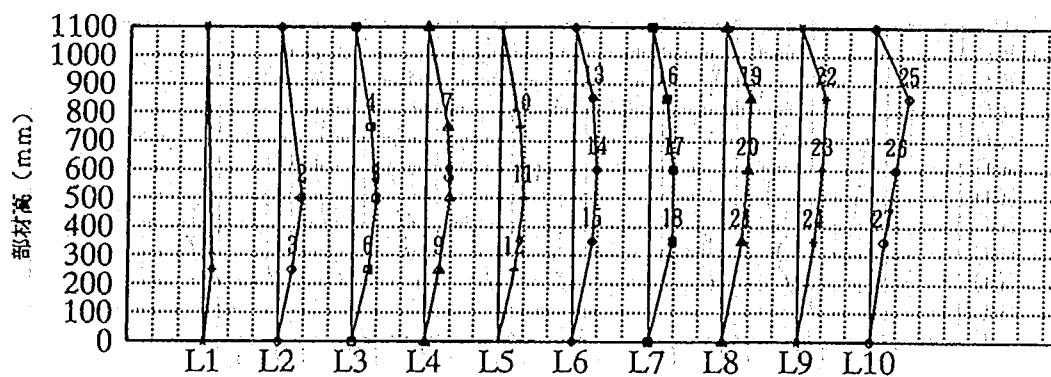
荷重: 20 t (NO. 19)



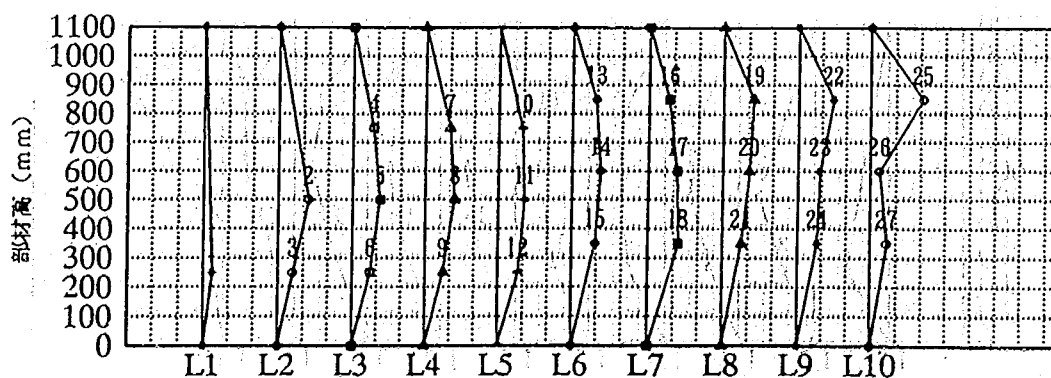
荷重: 25 t (NO. 19)



荷重: 30 t (NO. 19)



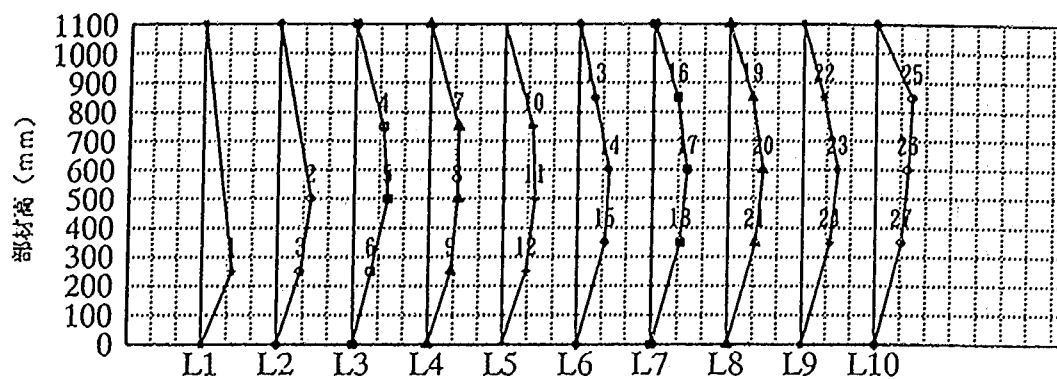
荷重: 35 t (NO. 19)



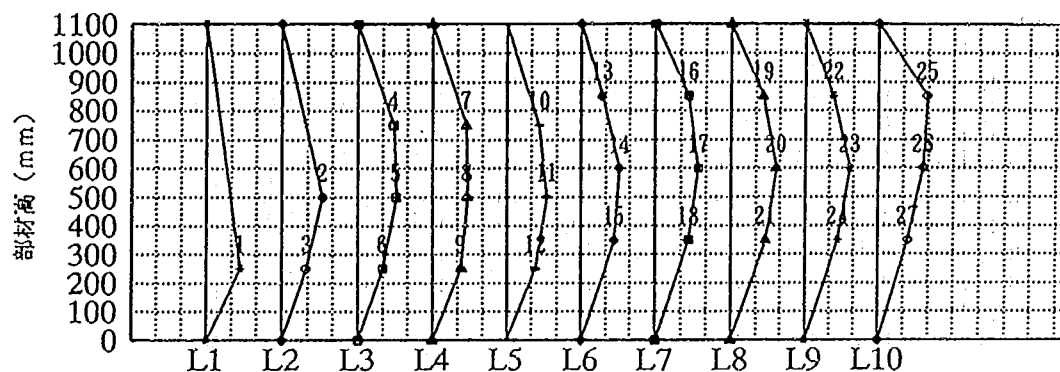
注) 横軸目盛間隔は、10kg/cm²

12) H3-95-60 (NO. 20) 供試体 せん断応力分布

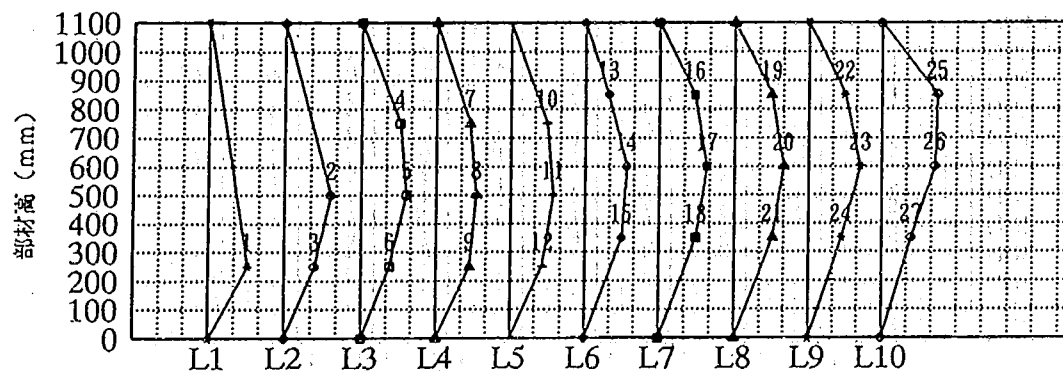
荷重: 45 t (NO. 20)



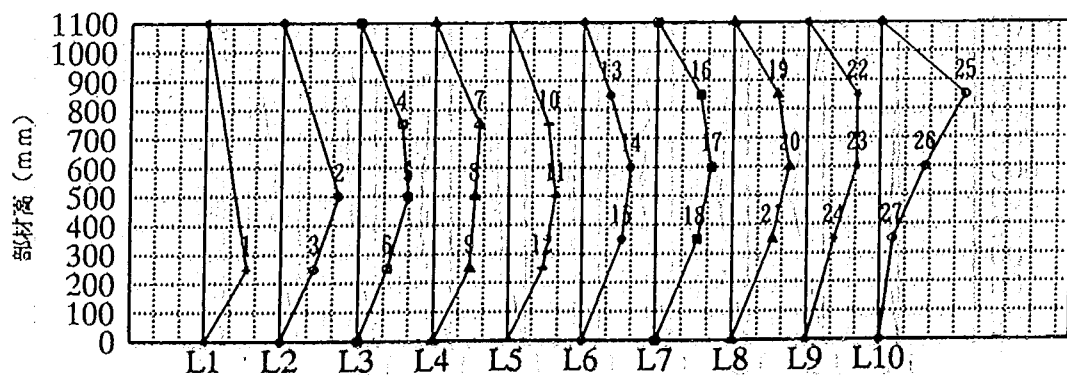
荷重: 55 t (NO. 20)



荷重: 60 t (NO. 20)



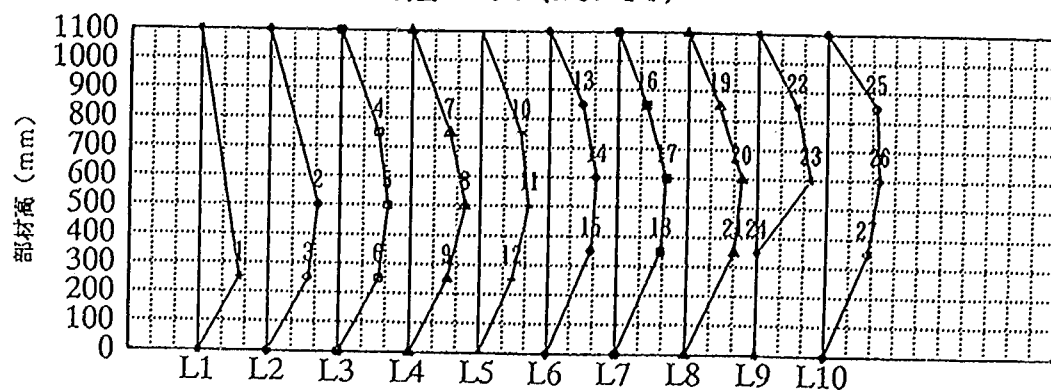
荷重: 66 t (NO. 20)



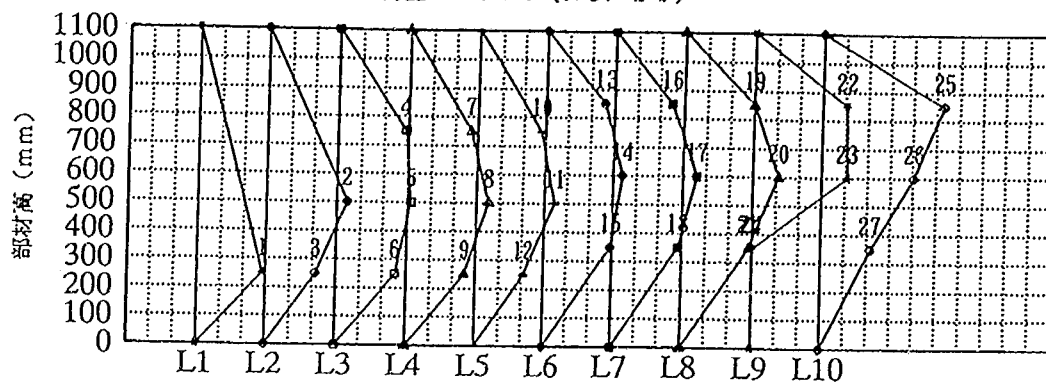
注) 横軸目盛間隔は、10kg/cm²

13) H3-95-120 (NO. 21) 供試体 せん断応力分布

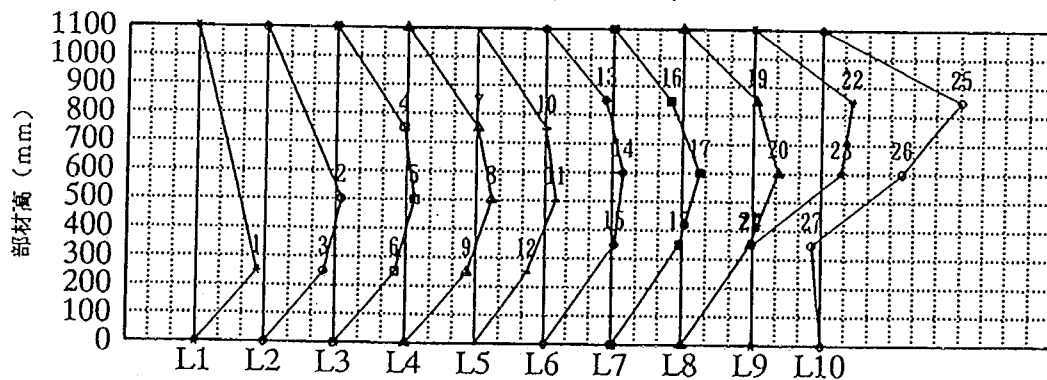
荷重: 70 t (NO. 21)



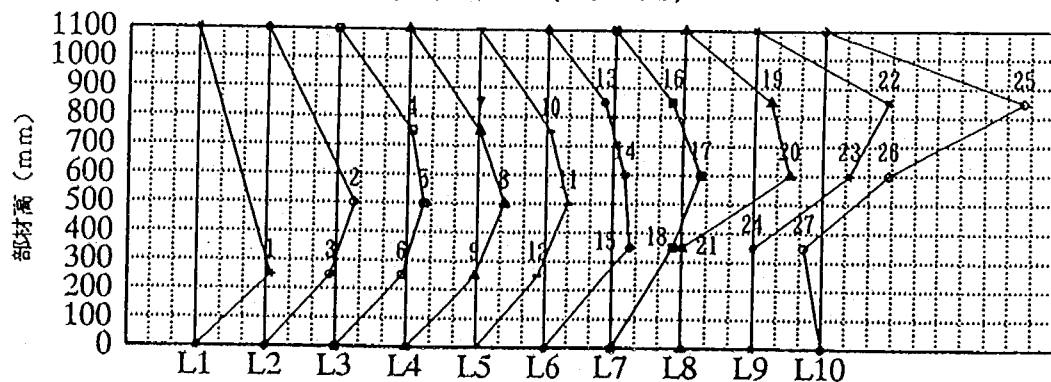
荷重: 107 t (NO. 21)



荷重: 110 t (NO. 21)



荷重: 120 t (NO. 21)



注) 横軸目盛間隔は、10kg/cm²

高強度コンクリート部材の設計法 共同研究報告書第122号
に関する共同研究報告書 平成7年3月 (1995)

河野 広隆, 渡辺 博志, 宮地 清, 中條 友義
深山 清六, 野村 貞広, 岩本 久信, 長井 健雄
要旨 藤田 学, 手塚 正道, 府内 洋一, 田中 政章

設計基準強度400~800kgf/cm²の高強度コンクリートを用いたせん断補強鉄筋の無いプレテンション方式PCはり部材のせん断耐力について、載荷実験をまじえた検討を行った。調査の対象とした影響因子は、従来より提案されている多くのせん断耐力の算定式を参考にコンクリート強度、プレストレス量、部材有効高、せん断スパン比等を選定した。これらの実験結果をもとにそれぞれの影響因子のせん断耐力への効果及び相互効果について検討し、せん断ひび割れ強度に及ぼすプレストレスの影響の適切な評価を行った。

キーワード：高強度コンクリート、プレストレストコンクリート、せん断

郵便はがき

郵便切手
は
っ
て
下
さ
い

3 0 5 - □ □

茨城県つくば市大字旭一番地

建設省土木研究所

材料施工部

コンクリート研究室 行

No. 003

No. 003

配布先氏名

配布先住所

土木研究所資料第 122 号 部

上記のとおり受領しました。

所 属 (住所)

氏 名

印