

土 木 研 究 所 資 料

鉄筋コンクリート橋脚のじん性率 算定に及ぼす拘束の影響に関する研究

(その1) 小型拘束コンクリート柱の圧縮載荷実験

平成5年7月

建設省土木研究所
地震防災部耐震研究室

Copyright © (1993) 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。

鉄筋コンクリート橋脚のじん性率 算定に及ぼす拘束の影響に関する研究

(その1) 小型拘束コンクリート柱の圧縮載荷実験

土木研究所地震防災部

耐震研究室 室 長 川島 一彦

主任研究員 運上 茂樹

研 究 員 飯田 寛之¹⁾

1) 現関東地方建設局横浜国道工事事務所

要 旨

現在の目から見ると耐震性が相対的に低い鉄筋コンクリート橋脚に対する補強方法としては、鋼板や鉄筋コンクリートにより巻立てて強度や変形性能を向上させる工法が有効である。ただし、鋼板を巻立てて補強した場合には、補強鋼板は軸方向鉄筋としてよりもむしろ鋼板により囲まれた部分のコンクリートの強度及び変形性能を向上させる帯鉄筋として寄与することが実験的に明らかになっている。このため、鋼板による補強効果を適切に評価するためには、拘束部分のコンクリートの強度及び変形性能を明らかにすることが必要とされる。

平成2年2月の道路橋示方書Ⅴ耐震設計編には、鉄筋コンクリートの地震時保有水平耐力の照査として非線形域の変形を考慮した設計方法が導入された。鉄筋コンクリート橋脚の非線形域の荷重～変位関係を解析するためには、コンクリートの応力～ひずみ関係が最も基本となるが、現状の計算法では帯鉄筋による拘束効果が評価できない。このため、より精度のよい荷重～変位関係の解析のために、帯鉄筋の拘束効果を考慮した評価方法が必要とされている。

本資料は、以上のような研究の一環として、帯鉄筋の拘束効果を考慮することが可能なコンクリートの応力～ひずみ関係を検討することを目的に、帯鉄筋量を変化させたコンクリート柱の圧縮載荷実験を行い、その結果をとりまとめたものである。

キーワード：鉄筋コンクリート橋脚、耐震補強、地震時保有水平耐力、鋼板巻立て、帯鉄筋量
拘束コンクリート柱、コンクリートの応力～ひずみ関係、載荷実験、

目 次

1. まえがき	1
2. 実験供試体及び実験方法	2
2. 1 実験供試体	2
2. 2 実験方法	3
3. 実験結果	4
3. 1 損傷の進展状況	4
3. 2 応力～ひずみ関係	5
3. 3 帯鉄筋及び鋼板のひずみ	7
4. 結 論	10
参考文献	12
付属資料	63
I. 損傷写真	63
II. 供試体の最終破壊性状	81

1. まえがき

昭和53年宮城県沖地震、昭和57年浦河沖地震により、鉄筋コンクリート橋脚(以下、RC橋脚と呼ぶ)にかぶりコンクリートの剥離や主鉄筋の座屈といった顕著な被害が認められた。このような被害の経験を踏まえ、平成2年2月の道路橋示方書V耐震設計編には地震時保有水平耐力の照査として、RC橋脚の非線形域の変形特性を考慮した大正12年の関東地震級の大地震に対する耐震設計法が導入された。RC橋脚の非線形域の荷重～変位関係を解析するためには、コンクリートの応力～ひずみ関係が最も基本となるが、現状の計算法では帯鉄筋による拘束効果が評価できない。このため、より精度のよい荷重～変位関係の解析のために、帯鉄筋の拘束効果を考慮した評価方法が必要とされている。

一方、現在の目からみると耐震性が相対的に低いRC橋脚に対しては、鋼板巻立て工法による補強が有効である。土木研究所地震防災部耐震研究室では、既往の地震により被害を受けた橋脚の解析及び合計12体のRC橋脚模型の動的載荷実験結果をもとに、主鉄筋段落し部において著しい被害を受ける可能性を有するRC橋脚の耐震性判定法を提案するとともに、主鉄筋段落し部において著しい被害を受ける可能性を有する橋脚に対して鋼板巻立て工法による補強方法について実験的に検討している。鋼板の巻立て範囲、鋼板と躯体間の注入材料等に着目したRC橋脚模型の動的載荷実験を行い、暫定的に1.5D～2D(D:橋脚の断面幅もしくは直径)の幅を有する鋼板で巻立てれば、主鉄筋段落し部の損傷を避け、基部における曲げ破壊に移行させることができることを提案している。ただし、鋼板で巻立てた橋脚模型の実験結果によれば、載荷の早い段階で鋼板と躯体の付着が切れるため、補強鋼板は軸方向の引張鉄筋として機能するよりも、鋼板により囲まれた部分のコンクリートの強度及び変形性能を向上させる帯鉄筋として寄与することが明らかとなっている。このため、鋼板による補強効果を適切に評価するためには、拘束部分のコンクリートの強度及び変形性能の特性を明らかにすることが必要とされる。

以上のように、補強効果の評価及びRC橋脚の非線形域のより精度よい解析手法の開発のためには、帯鉄筋や鋼板による拘束効果を考慮することが可能なコンクリートの応力～ひずみ関係が最も基本となる。

本資料は、帯鉄筋による拘束効果がコンクリートの強度及び変形性能に及ぼす影響を検討することを目的として、帯鉄筋量を変化させたコンクリート柱の圧縮載荷実験を行い、その結果をとりまとめたものである。

2. 実験供試体及び実験方法

2.1 実験供試体

実験供試体は、図-2.1に示すように高さを60cm、断面形状を20cm×20cmの正方形断面及び直径20cmの円形断面とした。コンクリートの応力～ひずみ関係を定めるための標準的な試験方法は確立されていないため、既往の研究等を参考に供試体の断面形状としては円形断面と正方形断面を選定した。断面積は、実験に用いた万能試験装置の性能から供試体を圧縮破壊させることが可能な最大の断面積とした。

一方、供試体の形状及び高さは、通常の圧縮試験に用いる直径10cm、高さ20cmの標準試験体と相似形を基本として定めた。ただし、実験時には、供試体の上下面のコンクリート面を試験装置の治具に摩擦のないようにセットするのが困難であり、供試体と治具間の境界条件の影響を小さくするために上下に10cmずつ追加して全体の高さを60cmとした。

実験供試体としては、合計32体製作した。この中で、断面形状、帯鉄筋量、軸方向鉄筋の有無をパラメータとして変化させた。実験ケースは、表-2.1に示す4種類(A～Dシリーズ)とした。この中で、Aシリーズは円形断面、B～Dシリーズは正方形断面を有する供試体である。B及びCシリーズは、全く同一の供試体であり、実験時の載荷速度を1mm/min(ひずみ速度:1,667 μ /min)から20mm/min(ひずみ速度:33,333 μ /min)に変化させた。ただし、1mm/minと20mm/minの載荷速度の違いはほとんどないと予想される。Dシリーズは、4本の軸方向鉄筋を断面のコーナー部に入れたものであり、帯鉄筋が軸方向鉄筋により固定される影響を調べるためのものである。

実験供試体の諸元は、表-2.2、図-2.2～2.4に示す通りであり、各シリーズでは、帯鉄筋量を変化させた8ケースの供試体を製作した。供試体1～6は帯鉄筋間隔を変化させたものであり、7及び8は鋼板で巻立てたものである。

帯鉄筋としてはSR24- ϕ 6mmを、鋼板としては厚さ1mmと2.3mmの冷間圧延鋼材SPCCを用いた。帯鉄筋は、図-2.5に示すように、正方形断面供試体の場合には1つのコーナー部に長さ60mmのフックを設けて固定した。帯鉄筋が複数配筋される場合は、このフックが1つのコーナーに集中しないようにちどりに配筋した。円形断面供試体の場合にはフックを設けることにより一部に弱点ができるのを避けるため、溶接により帯鉄筋を固定した。溶接長は47mmとした。一方、鋼板で巻立てた場合には、円形断面供試体に対しては半円形のものを、正方形断面の場合にはコの字型のものを2枚用意し、これを突合せ溶接した。なお、鋼板は成型したものを製作し、これを型枠の中に挿入した状態でコンクリートを打設した。供試体の移動及び設置用のために、供試体上面から14cmの位置に鉄筋を水平方向に貫通させた。本来は、このような設置治具は好ましくないが、実験上やむなくこれを設けた。

使用材料は、表-2.3に示す通りである。帯鉄筋としては、前述のようにSR24- ϕ 6mm、Dシリーズに用いた軸方向鉄筋にはSD30A-D10を用いた。鋼板としては、厚さ1mmと2.3mmの冷間圧延鋼板を用いた。コンクリートとしては、早強ポルトランドセメントを用いた7日強度225kgf/cm²とした。

各材料の試験結果を表－2.4及び2.5、図－2.6及び2.7に示す。ここで、 $\phi 6\text{mm}$ の丸鋼は、コイル製品として出荷されるため、直棒とするために引張力がかけられる。このため、厳密には丸鋼の引張試験における降伏点は不明であるため、鋼板と同様に0.2%の永久ひずみを起こす時の荷重を降伏荷重とした。また、各供試体のコンクリートは、同時に打設したため、コンクリートの圧縮試験は、試験開始日と試験終了日に行った。試験開始日と試験終了日の平均圧縮強度は、それぞれ、 314kgf/cm^2 及び 362kgf/cm^2 であった。

2.2 実験方法

拘束コンクリート柱の圧縮載荷実験は、写真－2.1及び図－2.8に示すように、土木研究所の500tf万能試験機を用いて行った。試験装置の性能は、表－2.6に示す通りである。

実験では、荷重、変位、コンクリート及び帯鉄筋及び鋼板のひずみを計測した。コンクリート及び帯鉄筋のひずみの計測位置を図－2.9～2.13に示す。なお、実験では、供試体上面と載荷板間におけるすきまを除くために、石膏により空隙を埋めた。

3. 実験結果

3.1 損傷の進展状況

載荷装置により圧縮力を載荷した場合の損傷状況の詳細は、巻末付属資料Ⅰ及びⅡに示す。なお、付属資料Ⅰでは、円形断面供試体(A 供試体)及び正方形断面供試体(B 供試体)について示した。

円形断面及び正方形断面の供試体について、その破壊性状の特徴を示すと以下ようになる。

(1) 円形断面供試体の破壊の進展状況

1) プレーンコンクリート供試体

- ① 載荷開始～最大荷重: 変化なし
- ② 最大荷重～最終破壊: 供試体天端の一面側から斜めにひびわれが発生、これが進展して、垂直に割れるような破壊が生じ最終状態となる。

2) 帯鉄筋補強供試体

- ① 載荷開始～最大荷重: 変化なし、帯鉄筋が多い場合にはわずかに表面のコンクリートが薄く剥離
- ② 最大荷重～最終破壊: プレーンコンクリートの場合と同様に供試体天端の一面側から斜めにひびわれが発生、これが進展して最終破壊となる。ただし、帯鉄筋量が多い場合には、斜めのひびわれの進展が帯鉄筋により拘束されて斜めのひびわれによる局所的な損傷が拘束され、全体的に損傷を受けるようになる。

3) 鋼板補強供試体

- ① 載荷開始～最大荷重: 変化なし
- ② 最大荷重～最終破壊: プレーンコンクリートの場合と同様に供試体天端の一面側から斜めにひびわれが発生、これが進展して鋼板の座屈・変形が発生する。最終的には鋼板の溶接部を中心に亀裂が発生して最終破壊となる。鋼板が薄い場合(1mm)には、鋼板の座屈・変形に伴い、溶接部に亀裂が発生する。鋼板が厚くなる(2.3mm)と、鋼板の座屈・変形よりも先に鋼板上面から溶接部の破断が生じて最終状態となる。

(2) 正方形断面供試体の破壊の進展状況

1) プレーンコンクリート供試体

- ① 載荷開始～最大荷重: 変化なし
- ② 最大荷重～最終破壊: 供試体天端の一面側から斜めにひびわれが発生、これが進展して、垂直に割れるような破壊が生じ最終状態となる。

2) 帯鉄筋補強供試体

- ① 載荷開始～最大荷重: 変化なし、帯鉄筋が多い場合にはわずかに表面のコンクリートが薄く剥離
- ② 最大荷重～最終破壊:

プレーンコンクリートの場合と同様に供試体天端の一面側から斜めにひびわれが発生、これが進展して最終破壊となる。ただし、帯鉄筋量が多い場合には、斜めのひびわれの進展が帯鉄筋により拘束されて斜めのひびわれによる局部的な損傷が拘束され、損傷は全体的となる。

3) 鋼板補強供試体

① 荷重開始～最大荷重: 変化なし、または、非常に微少な鋼板の座屈が発生

② 最大荷重～最終破壊: プレーンコンクリートの場合と同様に供試体天端の一面側から斜めにひびわれが発生、これが進展して鋼板の座屈・変形が発生する。鋼板は、断面の辺において外方向に膨らむように変形する。鋼板が薄い場合(1mm)には、供試体が縮むのに伴って鋼板も軸方向に変形する。鋼板が厚くなる(2.3mm)と、鋼板が膨らむ方向にのみ変形し、圧縮方向は生じにくくなる。

3.2 応力～ひずみ関係

図-3.1～3.8は、それぞれ、A 供試体～D 供試体の荷重～変位関係及び応力～ひずみ関係を示したものである。これによれば、以下の点が指摘される。

(1) 円形断面供試体(A 供試体)

① プレーンコンクリート供試体では、応力度とともに、ひずみが進展し、ひずみ約 2,500 μ で最大応力度をとり、その後コンクリートの破壊に伴って急激に応力度が低下する。帯鉄筋比を大きくすると、最大応力度をとるひずみが大きくなるとともに、最大応力度をとった後の応力度の低下が小さくなる。例えば、帯鉄筋比が 1.13% では、最大応力度をとる時のひずみは、約 12,500 μ とプレーンコンクリートの場合の 5 倍に大きくなるとともに、最大応力度は、約 2.3 倍に大きくなる。これは、帯鉄筋がコアコンクリートを拘束する結果、荷重及び応力度の低下が小さくなるものである。最終的には、帯鉄筋の溶接の破断に伴う帯鉄筋の拘束の低下によって、応力度が低下する。

② 鋼板で巻立てた場合には、最大荷重をとってその後荷重が低下するが、その低下の度合いは小さい。例えば、帯鉄筋換算で 1% の場合には、約 5,000 μ で最大応力度をとり、その後荷重は低下するが、ひずみ 20,000 μ ～ 40,000 μ まで応力度は最大応力度のほぼ 50% 程度で安定している。同じ帯鉄筋量を有する供試体と比較してみると、最大応力度は、帯鉄筋で巻立てた方が 20 ～ 30% 程度大きく、また、最大応力度が生じるひずみも鋼板で巻立てた方が小さくなる。この原因は、よくわからないが、帯鉄筋を用いた方が拘束効果がより大きくなるためと考えられる。帯鉄筋で巻立てた場合には、帯鉄筋の溶接の破断に伴う拘束効果の低下により、応力度が低下するが、鋼板で巻立てた場合には、その低下は、ひずみ 40,000 μ までは見られない。

(2) 正方形断面供試体(B 供試体)

① プレーンコンクリート供試体では、応力度とともに、ひずみが進展し、ひずみ約 3,000 μ で最大応力度をとり、その後コンクリートの破壊に伴って急激に応力度が低下する。帯鉄筋比を大きくすると、最大応力

度をとるひずみが大きくなるとともに、最大応力度をとって、その後の応力度の低下が小さくなる。例えば、帯鉄筋比が1.13%では、最大応力度は、約5,000 μ とプレーンコンクリートの場合の1.6倍に大きくなるとともに、最大応力度は、約1.3倍に大きくなる。ただし、その増加割合は、円形断面に比較して小さい。これは、円形断面の場合には、帯鉄筋が円周方向に配筋されているため、円周方向に均等に拘束力が作用するが、正方形断面では、4辺において均等に拘束力が作用しないため、円形断面に比較してコアコンクリートの拘束力が弱くなるものと考えられる。

② 鋼板で巻立てた場合には、円形断面供試体と同様に最大荷重をとってその後荷重が低下するが、その低下の割合は小さい。例えば、帯鉄筋量に換算して1%の場合には、約4,000 μ で最大応力度をとり、その後荷重は低下するが、ひずみ20,000 μ ～40,000 μ まで応力度は最大応力度のほぼ35%程度で安定している。同じ帯鉄筋量を有する場合と比較してみると、最大応力度は、帯鉄筋で巻立てた方が大きいのは、円形断面供試体の場合と同様である。

(3) 正方形断面供試体(C 供試体及び D 供試体)

載荷速度を20mm/minにした場合(C 供試体)と軸方向鉄筋を入れた場合(D 供試体)については、供試体Bとほとんど同じであり、載荷速度及び軸方向鉄筋の影響はなかった。

表-3.1は、上記の荷重～変位曲線及び応力度～ひずみ曲線から最大応力度及び最大応力度発生時のひずみをまとめたものである。これをもとに、帯鉄筋比と最大応力度及び最大応力度発生時のひずみの関係を示したのが、図-3.9及び3.10である。これによれば、以下の点が指摘される。

(1) 帯鉄筋比～最大応力度の関係

① 帯鉄筋比と最大応力度の関係は、ほぼ線形の関係有している。これを最小自乗法により、直線近似すると次式が得られる。なお、ここでは、帯鉄筋により補強したもののみを対象とし、鋼板で巻立てた供試体については最小自乗近似から除外した。

a) 円形断面供試体(A 供試体)

$$\frac{\sigma_{pmax}}{\sigma_{0max}} = 0.985 p + 1.036 \quad (r=0.999) \quad (1)$$

ここで、 σ_{pmax} : 帯鉄筋比が p の場合の最大応力度(kgf/cm²)

σ_{0max} : 帯鉄筋比が0の場合の最大応力度(kgf/cm²)

p : 帯鉄筋比(%)

r : 相関係数

b) 正方形断面供試体(B 供試体)

$$\frac{\sigma_{pmax}}{\sigma_{0max}} = 0.209 p + 1.014 \quad (r=0.974) \quad (2)$$

c) 正方形断面供試体(C 供試体)

$$\frac{\sigma_{pmax}}{\sigma_{0max}} = 0.220 p + 1.039 \quad (r=0.968) \quad (3)$$

d) 正方形断面供試体(D 供試体)

$$\frac{\sigma_{pmax}}{\sigma_{0max}} = 0.294 p + 1.167 \quad (r=0.928) \quad (4)$$

② 鋼板で巻立てた場合については、正方形断面供試体では大きな違いは少ないが、円形断面供試体では、帯鉄筋で補強した場合よりも約30%程度小さくなる。

③ 正方形断面供試体において、載荷速度と軸方向鉄筋の有無は最大応力度～帯鉄筋比の関係にほとんど影響を及ぼさない。

(2) 帯鉄筋比～最大応力度発生時のひずみの関係

① 帯鉄筋比と最大応力度発生時のひずみの関係は、最大応力度～帯鉄筋比の関係と同様にほぼ線形な関係を有している。これを最小自乗法により、直線近似すると次式が得られる。なお、帯鉄筋により補強したもののみを対象とし、鋼板で巻立てた供試体については最小自乗近似から除外した。

a) 円形断面供試体(A 供試体)

$$\frac{\epsilon_p}{\epsilon_0} = 3.216 p + 0.740 \quad (r=0.994) \quad (5)$$

ここで、 ϵ_p : 帯鉄筋比が p の場合の最大応力度発生時のひずみ(μ)

ϵ_0 : 帯鉄筋比が0の場合の最大応力度発生時のひずみ(μ)

p : 帯鉄筋比(%)

r : 相関係数

b) 正方形断面供試体(B 供試体)

$$\frac{\epsilon_p}{\epsilon_0} = 0.801 p + 0.925 \quad (r=0.986) \quad (6)$$

c) 正方形断面供試体(C 供試体)

$$\frac{\epsilon_p}{\epsilon_0} = 0.504 p + 0.830 \quad (r=0.970) \quad (7)$$

d) 正方形断面供試体(D 供試体)

$$\frac{\epsilon_p}{\epsilon_0} = 1.509 p + 0.976 \quad (r=0.990) \quad (8)$$

3.3 帯鉄筋及び鋼板のひずみ

図-3.11は、A 供試体、B 供試体のいくつかについて、荷重～変位、荷重～帯鉄筋の引張ひずみ、荷重～コンクリート表面の圧縮ひずみの関係を示したものである。これより、載荷変位の進展と、コンクリート及び帯鉄筋の荷重の分担、拘束状態について考察すると以下ようになる。

① 帯鉄筋比が0.19%のA-2 供試体(円形断面)について見てみると、荷重の増加とともに、コンクリートの圧縮ひずみ及び帯鉄筋の引張ひずみが増加する。その後コンクリートの損傷の進展によって、荷重が低下

する。最大荷重時には、帯鉄筋のひずみは、 $1,000\ \mu$ 程度で降伏はしていないが、その後急激に破壊が生じた部分の帯鉄筋のひずみが増加する。なお、帯鉄筋のひずみ及びコンクリートのひずみは、位置によって異なっているが、これは、載荷が完全に均一ではないことと、破壊の損傷に伴って力のかかる部分とかからない部分が生じるためである。

② 帯鉄筋比が0.57%のA-4 供試体(円形断面)について見てみると、荷重の増加とともに、コンクリートの圧縮ひずみ及び帯鉄筋の引張ひずみが増加するのはA-2 供試体と同じである。最大荷重時には、帯鉄筋には降伏を大きく越える $4,000 \sim 8,000\ \mu$ のひずみが生じている。いずれの帯鉄筋にも荷重の増加とともにひずみが進展しており、A-2 供試体よりも帯鉄筋がコアコンクリートを拘束していることがわかる。

③ 帯鉄筋比が2.23%のA-6 供試体(円形断面)について見てみると、帯鉄筋のひずみはA-4 供試体よりもさらに大きくなり、最大荷重時には、 $10,000\ \mu$ を越えるひずみが生じている。

④ 鋼板で巻立てた場合には、最大荷重時には、 $4,000\ \mu$ 程度の円周方向のひずみが鋼板に生じている。軸方向には、荷重の増加とともに、 $500 \sim 1,000\ \mu$ 程度のひずみが生じる。

⑤ 一方、正方形断面の場合には、荷重の増加とともに、帯鉄筋のひずみが増加するが、最大荷重をとった後は、帯鉄筋のひずみが急速に減少し、損傷進展後にはコアコンクリートを拘束する効果は小さくなっている。これは、帯鉄筋量が大きくなっても、同様の傾向を示している。ただし、帯鉄筋量が多くなると、最大荷重後の耐力の低下は遅くなり、帯鉄筋による拘束効果が現れているはずであるが、今回計測した範囲では帯鉄筋にはひずみの進展が見られなかった。

⑥ 正方形断面供試体を鋼板で巻立てた場合には、鋼板の水平方向の引張ひずみが荷重の増加とともに進展しており、鋼板による拘束効果が見られる。

図-3.12及び3.13は、円形断面供試体(A 供試体)及び正方形断面供試体(B 供試体)に生じたコンクリート、帯鉄筋、及び鋼板のひずみを示したものである。ここでは、各供試体がほぼ弾性範囲内といえる応力度の範囲について示すものとし、応力度が 100kgf/cm^2 及び 200kgf/cm^2 の場合のひずみの大きさを示している。これによれば、以下の点が指摘される。

① コンクリートの圧縮ひずみ及び帯鉄筋は、計測位置によって微妙に異なっているが、おおむ等しい値となっており、弾性範囲ではほぼ均等に力が載荷されているといえる。

② 供試体及び計測位置によって異なるが、応力度 100kgf/cm^2 時のコンクリートの圧縮ひずみは $500\ \mu$ 程度、応力度 200kgf/cm^2 時には $1,500\ \mu$ 程度である。これは、円形断面及び正方形断面ともにほぼ同じである。これから、弾性係数を算定すると、それぞれ、 $2 \times 10^5\text{kgf/cm}^2$ 及び $1.3 \times 10^5\text{kgf/cm}^2$ となる。なお、道路橋示方書によれば、設計基準強度 300kgf/cm^2 で $2.8 \times 10^5\text{kgf/cm}^2$ である。

③ 鋼板で巻立てた場合には、鋼板の軸方向ひずみは応力度 200kgf/cm^2 でも $400\ \mu$ 程度と小さい。これは、コンクリートには上記②程度のひずみが生じているが、コンクリートと鋼板の付着が完全ではないため、鋼板には軸方向ひずみが生じないものと考えられる。鋼板の軸方向ひずみは、円形断面よりも正方形断面の方が小さい。

④ 円形断面供試体の帯鉄筋に生じるひずみは、応力度 100kgf/cm^2 で $150\ \mu$ 程度、応力度 200kgf/cm^2 で

500 μ 程度である。これは、帯鉄筋量が多くなるほどわずかではあるが、大きくなる。一方、正方形断面では、応力度 100kgf/cm² では 100 μ 程度、応力度 200kgf/cm² で 350 μ 程度である。

図-3.14は、コンクリート柱の载荷状態を示したものであるが、弾性体であれば、軸方向に ϵ_z だけひずみが生じた場合には、これと直交する方向には、ポアソン比のひずみが生じることになる。したがって、

$$\epsilon_x = \epsilon_y = \epsilon_r = \nu \epsilon_z \quad (9)$$

ここで、 ϵ_z : z 軸方向のひずみ(= $\delta l / l$)

δl : z 軸方向の変形量

l : 供試体の高さ

ϵ_x : x 軸方向のひずみ

ϵ_y : y 軸方向のひずみ

ν : 弾性体のポアソン比

ϵ_r : 円周方向のひずみ

上記④に示した軸方向ひずみと帯鉄筋のひずみを比較してみると以下のようなになる。

円形断面 応力度 100kgf/cm² : $\nu = 0.3$

応力度 200kgf/cm² : $\nu = 0.33$

正方形断面 応力度 100kgf/cm² : $\nu = 0.2$

応力度 200kgf/cm² : $\nu = 0.23$

コンクリートのポアソン比は、応力状態によって異なるが、一般に 1/4(0.25)～1/6(0.17)程度であり、実験ではこれとほぼ近い値が得られた。

断面方向には、式(9)で示されるひずみが生じることになり、帯鉄筋による拘束力がこれと等しいとすれば、次式が得られる。

$$2P = E \cdot \nu \cdot \epsilon_z \cdot A \quad (10)$$

ここで、 E : 帯鉄筋の弾性係数

ν : コンクリートのポアソン比

A : 鉄筋の断面積

4. 結論

鋼板巻立て工法による耐震補強効果の評価及びRC橋脚の非線形域のより精度よい解析手法の開発するためには、帯鉄筋等による拘束効果を考慮することが可能なコンクリートの応力～ひずみ関係が最も基本となる。このため、帯鉄筋による拘束効果がコンクリートの強度及び変形性能に及ぼす影響を検討することを目的として、帯鉄筋量を変化させたコンクリート柱の圧縮載荷実験を行った。本検討結果をまとめると以下のようになる。

- 1) 圧縮載荷では、供試体天端の一面側から斜めにひびわれが発生、これが進展して、垂直に割れるような破壊が生じ最終破壊となる。帯鉄筋により補強した場合には、破壊性状はプレーンコンクリートの場合と同様であるが、斜めのひびわれの進展が帯鉄筋により拘束されて荷重の低下が遅くなる。
- 2) 鋼板により補強した円形断面供試体では、鋼板の座屈・変形、そして溶接部を中心に亀裂が発生して最終破壊となる。鋼板が薄い場合(1mm)には、鋼板の座屈・変形に伴い、溶接部に亀裂が発生する。鋼板が厚くなる(2.3mm)と鋼板の座屈・変形よりも鋼板上面から溶接部の破断が生じて最終状態となる。正方形断面供試体では、鋼板の座屈・変形が生じるが、これが、断面の各辺において外方向に膨らむように変形が生じる。
- 3) プレーンコンクリート供試体では、応力度の増加とともに、ひずみが進展し、最大応力度をとった後、コンクリートの破壊に伴って急激に応力度が低下する。帯鉄筋比を大きくすると、最大応力度をとるひずみが大きくなるとともに、最大応力度をとって、その後の応力度の低下が小さくなる。これは、帯鉄筋がコアコンクリートを拘束する結果、荷重及び応力度の低下が小さくなるものである。なお、この効果は正方形断面よりも円形断面の方が大きい。
- 4) 鋼板で巻立てた場合には、最大荷重をとってその後荷重が低下するが、その低下の割合は小さく、ひずみ $20,000 \mu \sim 40,000 \mu$ まで応力度は最大応力度のほぼ50%程度で安定している。同じ帯鉄筋量を有する場合と比較してみると、最大応力度は、帯鉄筋で巻立てた方が20～30%程度大きく、また、これに伴って最大応力度が生じるひずみも小さくなる。この原因は、よくわからないが、より変形しにくい帯鉄筋を用いた方が拘束効果は有利となるためと考えられる。
- 5) 正方形断面供試体において、載荷速度が1mm/minで軸方向鉄筋が入っていない場合を基本ケースとし、載荷速度を20mm/minに大きくしたケースと軸方向鉄筋をコーナー部に4本入れたケースを比較した。これらの破壊性状及び応力～ひずみ関係ともに、ほとんど変化はなく、20mm/minまでの載荷速度及び軸方向鉄筋の有無の影響はない。
- 6) 帯鉄筋比と最大応力度の関係、帯鉄筋比と最大応力度発生時のひずみの関係は、ほぼ線形の関係を有している。これを最小自乗法により、直線近似した式を提案した。
- 7) 鋼板で巻立てた場合には、鋼板の軸方向ひずみは応力度 200kgf/cm^2 でも 400μ 程度と小さい。これは、コンクリートと鋼板の付着が完全ではないため、鋼板には軸方向ひずみが生じないものと考えられる。
- 8) 円形断面供試体の帯鉄筋に生じるひずみは、応力度 100kgf/cm^2 で 150μ 程度、応力度 200kgf/cm^2 で 500

μ 程度である。これは、帯鉄筋量が多くなるほどわずかではあるが、大きくなる。一方、正方形断面では、応力度 100kgf/cm^2 では $100\ \mu$ 程度、応力度 200kgf/cm^2 で $350\ \mu$ 程度である。これから、ポアソン比を逆算してみると、円形断面供試体では、 $0.3 \sim 0.33$ 程度、正方形断面供試体では $0.2 \sim 0.23$ 程度となる。

参考文献

- 1) 川島一彦、運上茂樹、飯田寛之、山田実：主鉄筋段落しを有する中空円形断面 RC 橋脚の耐震補強法、第 23 回地震工学研究発表会、平成 3 年 7 月
- 2) 川島一彦、運上茂樹、飯田寛之：壁式 RC 橋脚の鋼板巻立てによる耐震補強効果、土木技術資料、Vol.34、No.1、平成 4 年 1 月
- 3) 川島一彦、運上茂樹、飯田寛之：鉄筋コンクリート橋脚の主鉄筋段落し部における損傷とその判定方法、土木技術資料、Vol.34、No.3、平成 4 年 3 月
- 4) 川島一彦、運上茂樹、飯田寛之：鉄筋コンクリート橋脚主鉄筋段落し部の耐震性判定法及び耐震補強法に関する研究、土木研究所資料第 2921 号、平成 4 年 3 月
- 5) Kawashima, K., Unjoh, S., and Iida, H.: Seismic Inspection and Seismic Strengthening of Reinforced Concrete Piers at Mid-Height Where Main Reinforcement is Terminated, U.S.-Japan Workshop on Seismic Retrofit of Bridges, UJNR, Tsukuba, December, 18-19
- 6) 建設省道路局、建設省土木研究所、北海道開発局：静内橋震災害調査報告書、昭和 57 年 12 月
- 7) 浅沼秀弥：静内橋地震災害調査、土木技術資料 Vol.25、No.11、1983 年 11 月
- 8) 日本道路協会：道路橋示方書Ⅳ下部構造編、平成 2 年 2 月
- 9) 川島一彦、長谷川金二、小山達彦、吉田武史：RC 橋脚の動的耐力に関する実験的研究(その 1)、土木研究所資料第 2232 号、昭和 60 年 8 月
- 10) 宮本征夫、石橋忠良、斎藤俊彦：既設橋梁の鋼板巻き耐震補強方法に関する実験、構造物設計資料、No.89、日本国有鉄道構造物設計事務所、1987 年 3 月
- 11) 富永広夫：鉄筋コンクリート橋脚の補強設計、首都高速道路公団維持管理技報、1989 年 3 月
- 12) 阪神高速道路公団：RC 脚段落し部補強工法の検討、阪神高速道路公団技法、1988 年 3 月
- 13) 松浦康夫、中村一平、関本宏：RC 橋脚耐震補強の設計・施工、阪神高速道路公団技報、1988 年 10 月
- 14) 六車熙、渡辺史夫、勝田庄二、田中仁史：横拘束コンクリートの応力ひずみ曲線、セメント技術年報、第 34 号、昭和 55 年
- 15) 中塚佑、吉田晴彦、嶋崎敦志：円形補強筋をもつコンファインドコンクリートの応力-ひずみ関係について、セメント技術年報、第 36 号、昭和 57 年
- 16) 藤井学、宮本文穂、平岡良彦、大山広高：横拘束コンクリートの応力-ひずみ曲線の定量化に関する研究、セメント技術年報、第 40 号、昭和 61 年
- 17) 藤井学、小林和夫、宮川豊章、井上普、松本利彦：横拘束コンクリートの応力-ひずみ関係の適用に関する検討、セメント技術年報、第 42 号、昭和 63 年
- 18) R.D. Scott, R. Park, and M.J.N.Prestley: Stress-Strain Behavior of Concrete Confined by Overlapping Hoops at Low and High Strain Rate, ACI Journal, Jan.-Feb. 1982
- 19) Popovics, S.: A Review of Stress-Strain Relationships for Concrete, ACI Journal, March 1970

- 20) Park, R., Kent, D.,C. and Sampson, R.A.: Reinforced Concrete Members with Cyclic Loading, J. of the St. Div., ASCE, Vol.92, No. ST.7, 1972
- 21) Kent, D.,C. and Park, R.: Flexural Members with Confined Concrete, J. of the St. Div., ASCE, Vol.97, No. ST.7, 1971

表 - 2. 1 実験供試体

供試体 グループ	断面形状 (mm)	軸方向鉄筋の有無	載荷速度 (ひずみ速度)
A	円形 ($\phi 200$)	無	1 mm/min (1667 μ / min)
B	正方形 (200 $\times$ 200)	無	1 mm/min (1667 μ / min)
C	正方形 (200 $\times$ 200)	無	20 mm/min (33333 μ / min)
D	正方形 (200 $\times$ 200)	有	1 mm/min (1667 μ / min)

表 - 2. 2 実験供試体の諸元

供試体 番 号	断面形状 (mm)	軸方向 鉄 筋	帯鉄筋間隔 (mm)	帯鉄筋比 (%)	載荷速度 (mm/min)
A - 1 2 3 4 5 6 7 8	円形 φ 200	無	575 150 100 50 25 12.5 鋼 番 t=1.0 鋼 番 t=2.3	0 0.19 0.28 0.57 1.13 2.26 1.00 2.30	1
B - 1 2 3 4 5 6 7 8	正方形 200×200	無	575 150 100 50 25 12.5 鋼 番 t=1.0 鋼 番 t=2.3	0 0.19 0.28 0.57 1.13 2.26 1.00 2.30	1
C - 1 2 3 4 5 6 7 8	正方形 200×200	無	575 150 100 50 25 12.5 鋼 番 t=1.0 鋼 番 t=2.3	0 0.19 0.28 0.57 1.13 2.26 1.00 2.30	20
D - 1 2 3 4 5 6 7 8	正方形 200×200	D10×4本	575 150 100 50 25 12.5 鋼 番 t=1.0 鋼 番 t=2.3	0 0.19 0.28 0.57 1.13 2.26 1.00 2.30	1

表 - 2. 3 供試体に使用した材料

材 料		特 性 等
コンクリート	セメント	早強ポルトランドセメント
	粗骨材	砕石、最大寸法13mm
	細骨材	川 砂
	7 日強度	225kgf/cm ²
	スランプ	8 ± 2.5cm
帯 鉄 筋		S R 235、φ 6
鋼 板		冷間圧延鋼材 S P C C (厚さ、1.0mm、2.3mm)

表-2.4 コンクリートの圧縮試験結果

	最大荷重(tf)			平均値(tf)	σ_{c_k} (kgf/cm ²)
試験開始時	24.6	24.7	—	24.7	314
試験終了時	29.5	28.4	27.4	28.4	362

表-2.5 鋼材の材料試験結果

名 称	種 類	降伏荷重 (kgf)	耐 力 (kgf/cm ²)	終局荷重 (kgf)	引張り強さ (kgf/cm ²)
φ 6	S R 24	1490	5270	1660	5871
		1460	5163	1640	5800
		1490	5270	1680	5942
	平 均	1480	5234	1660	5871
鋼板 1.0mm	S P C C	—	—	780	3145
		395	1593	750	3024
		425	1714	770	3105
	平 均	410	1654	767	3091
鋼板 2.3mm	S P C C	920	1613	1680	2945
		940	1648	1650	2893
		900	1578	1660	2910
	平 均	920	1613	1663	2916

注) 降伏荷重は、0.2%の永久伸びを起こす時の荷重とした。

表-2. 6 500tf万能試験機の主要性能

項 目	諸 元
方 式	電気-油圧サーボアクチュエーター
載荷方法	1 軸
最大荷重	500tf
最大変位	300mm
載荷速度	1 ~ 100mm/min
制御方式	変位フィードバック制御 荷重フィードバック制御
載荷モード	荷重速度一定載荷 変位速度一定載荷

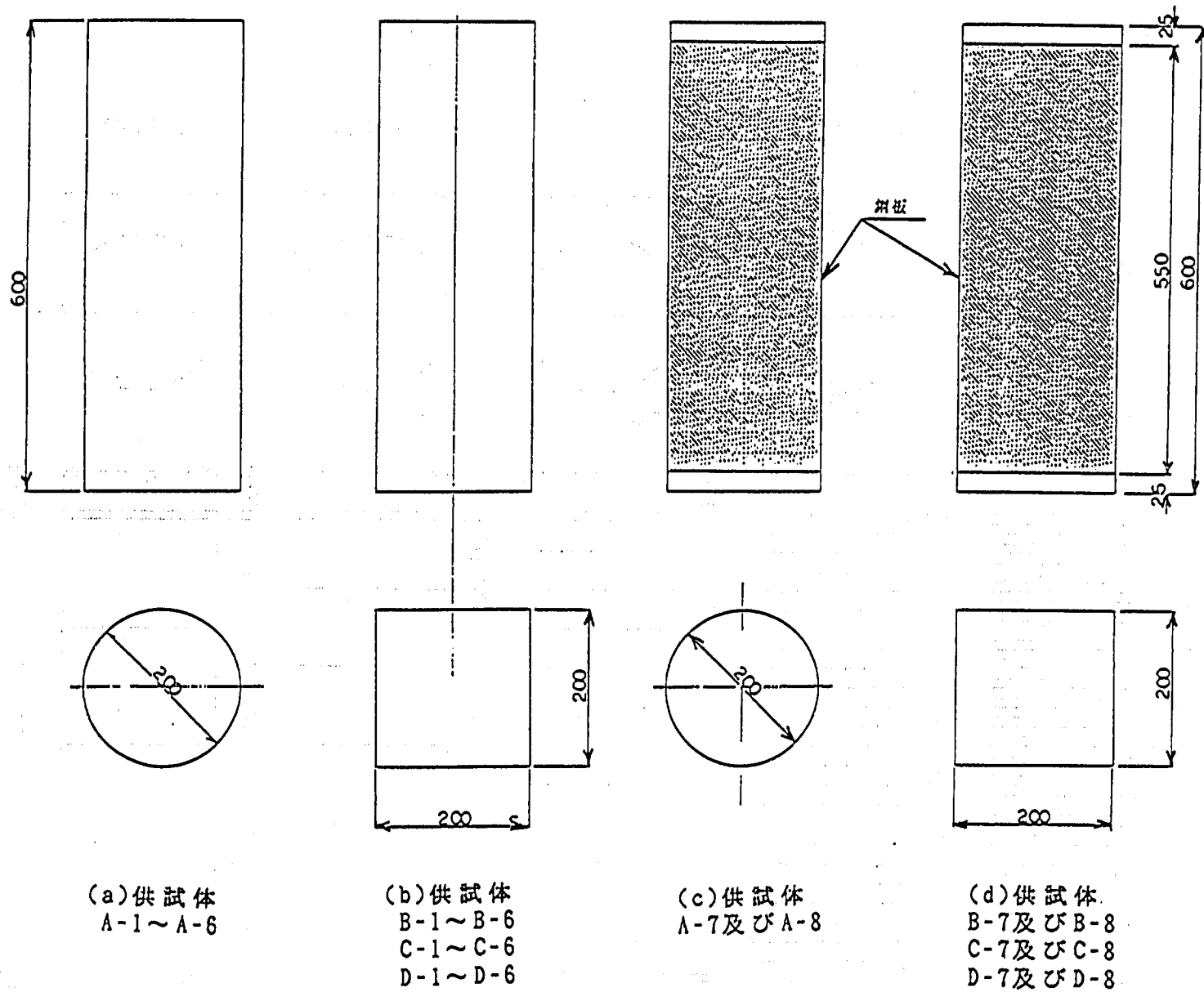


図 - 2. 1 実験供試体寸法図

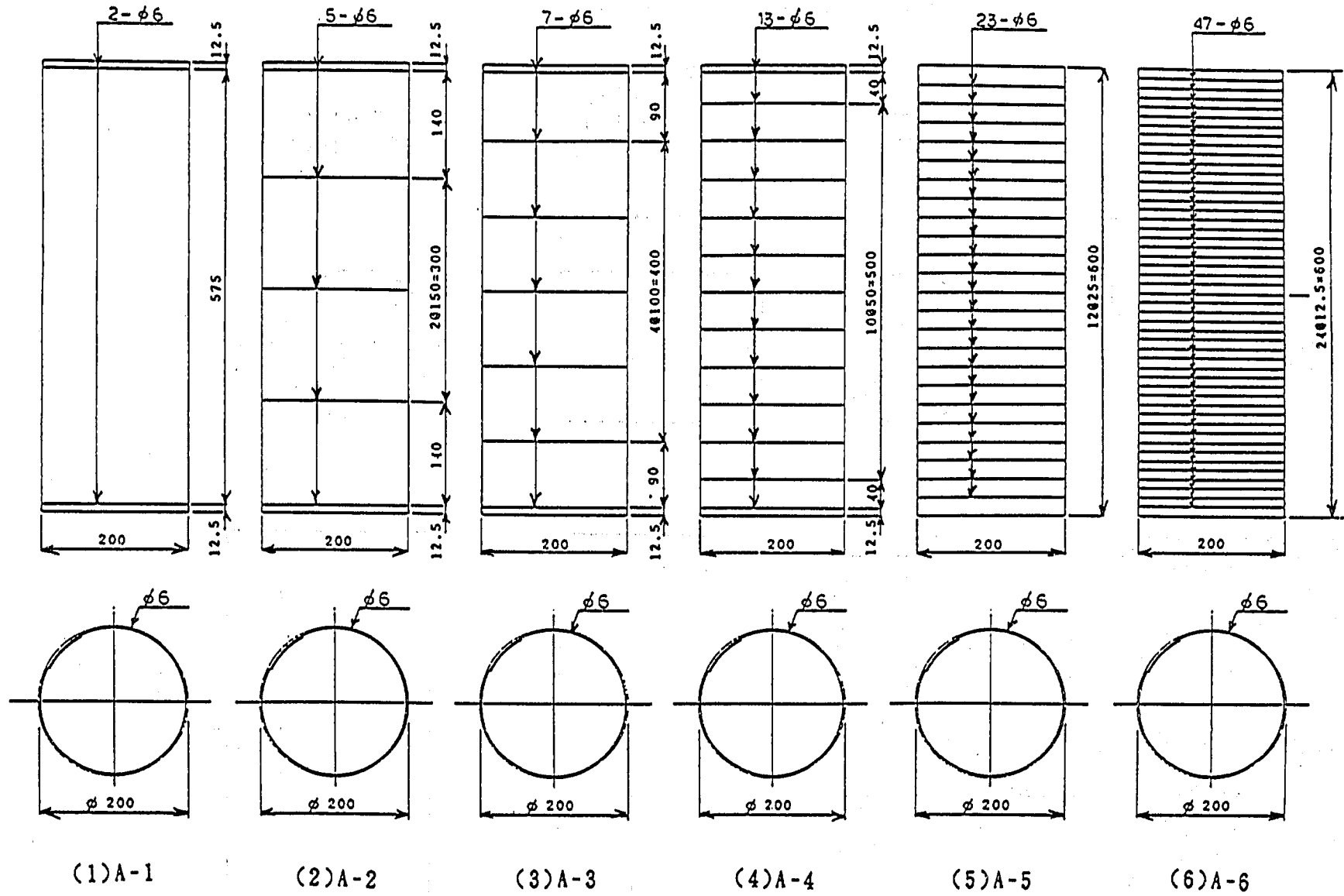


図 - 2. 2 円形断面供試体(Aシリーズ)の配筋図

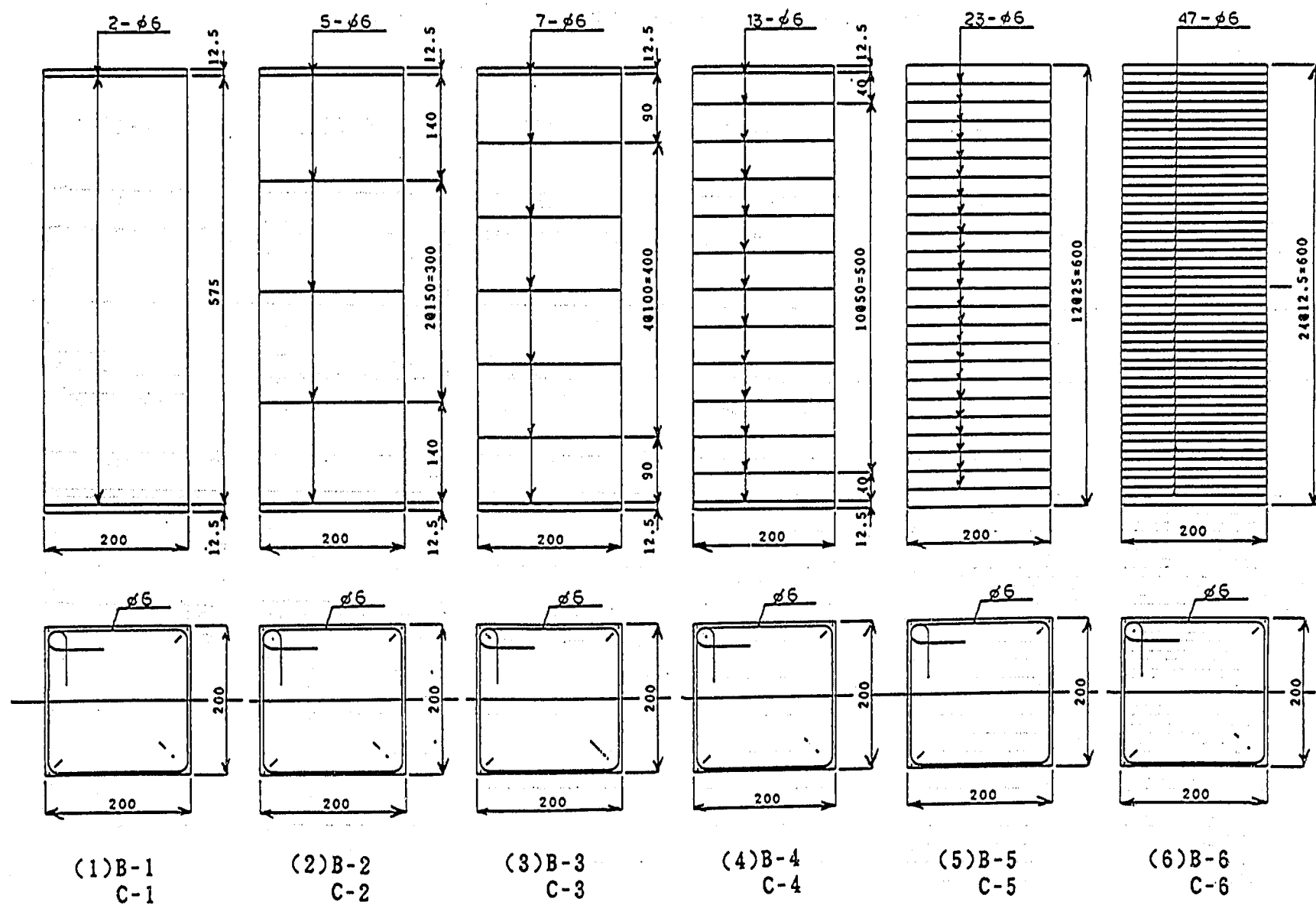


図 - 2. 3 正方形断面供試体(Bシリーズ及びCシリーズ)の配筋図

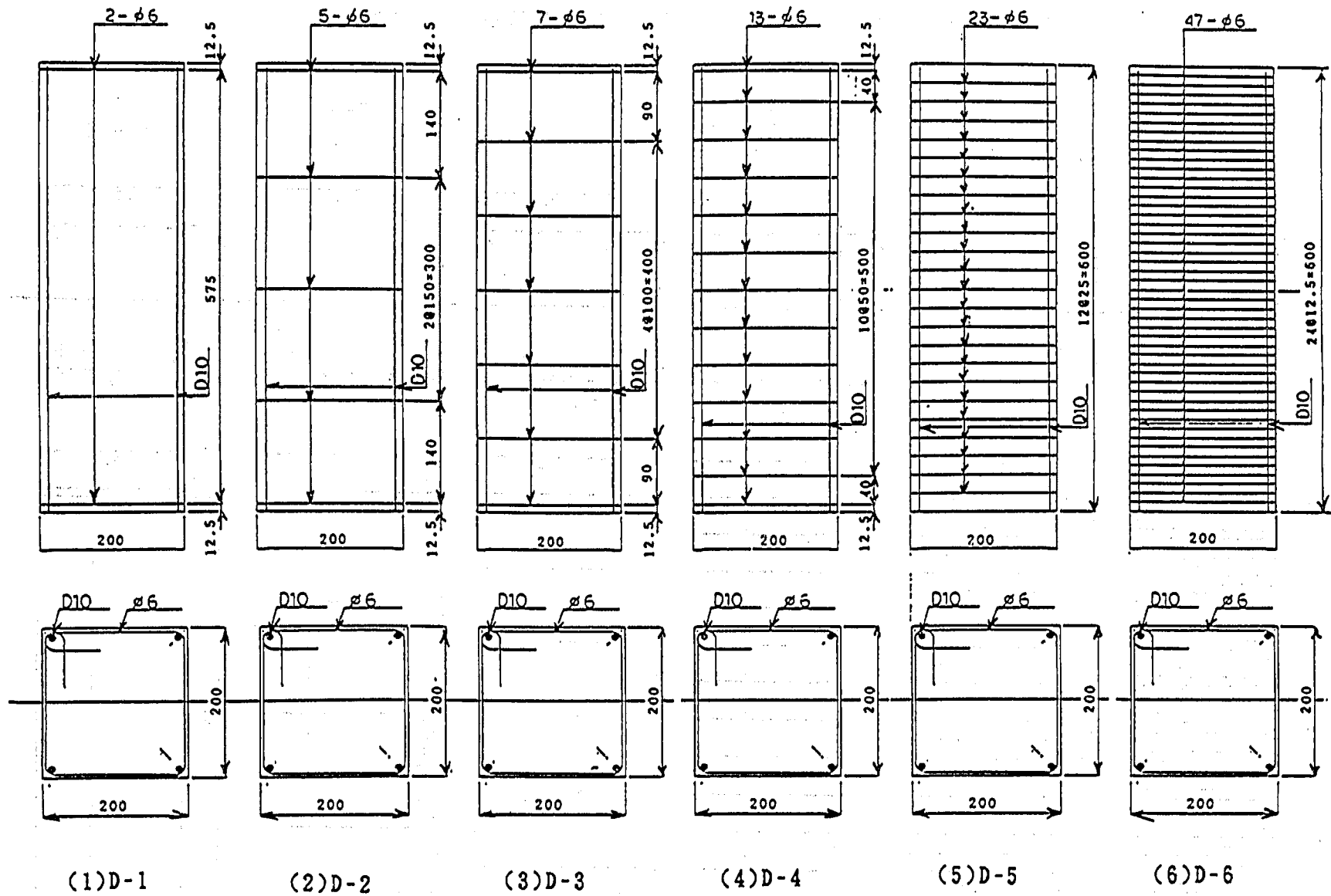
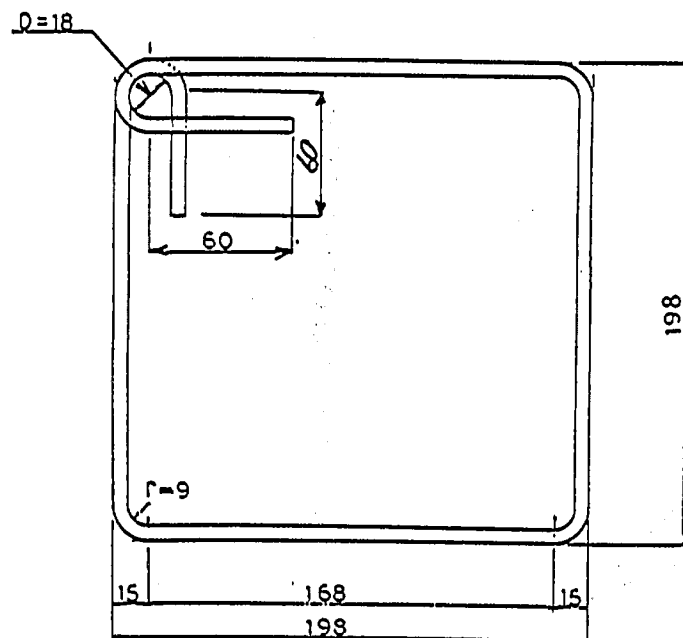
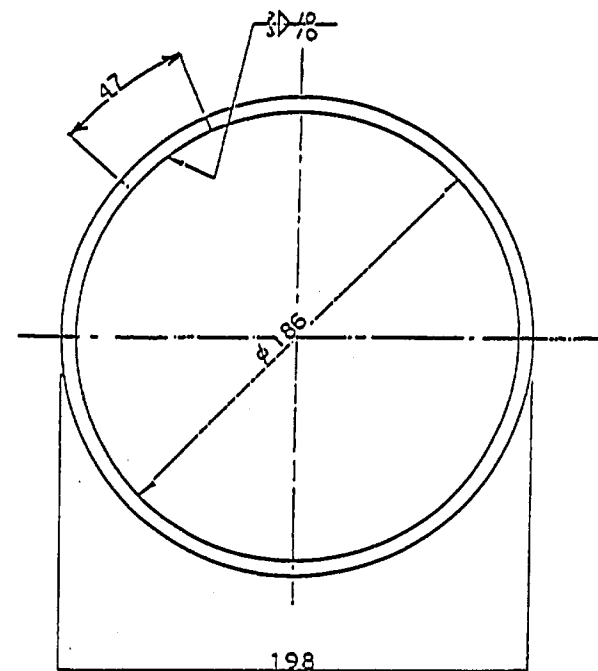


図 - 2. 4 正方形断面供試体(Dシリーズ)の配筋図



(1) 正方形断面



(2) 円形断面

图 - 2. 5 带铁筋加工详细图

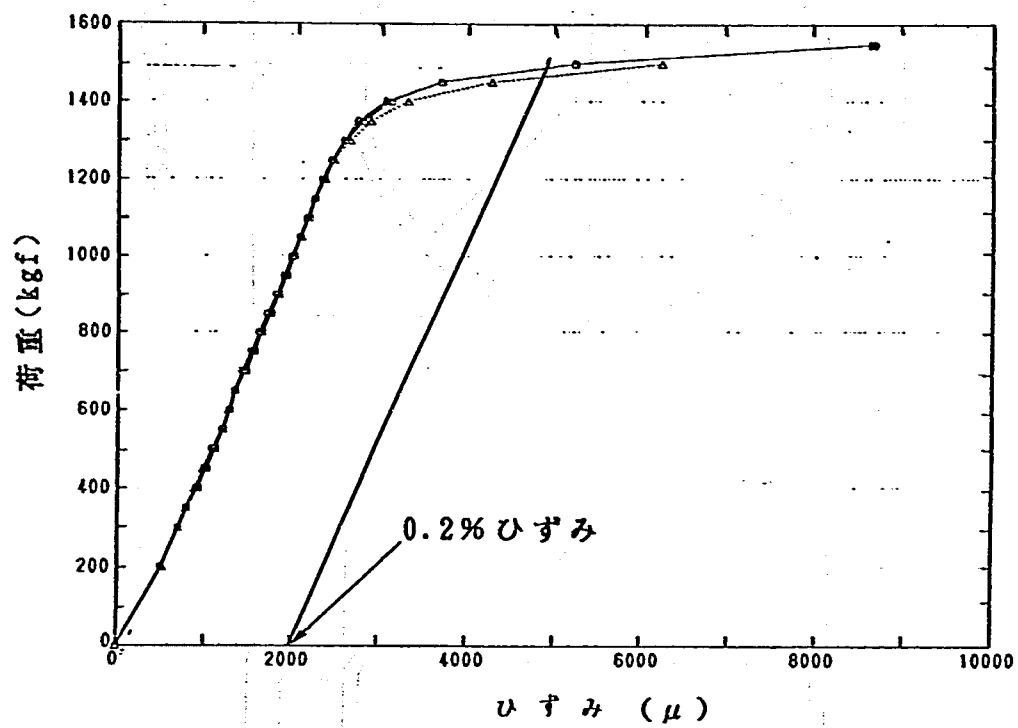
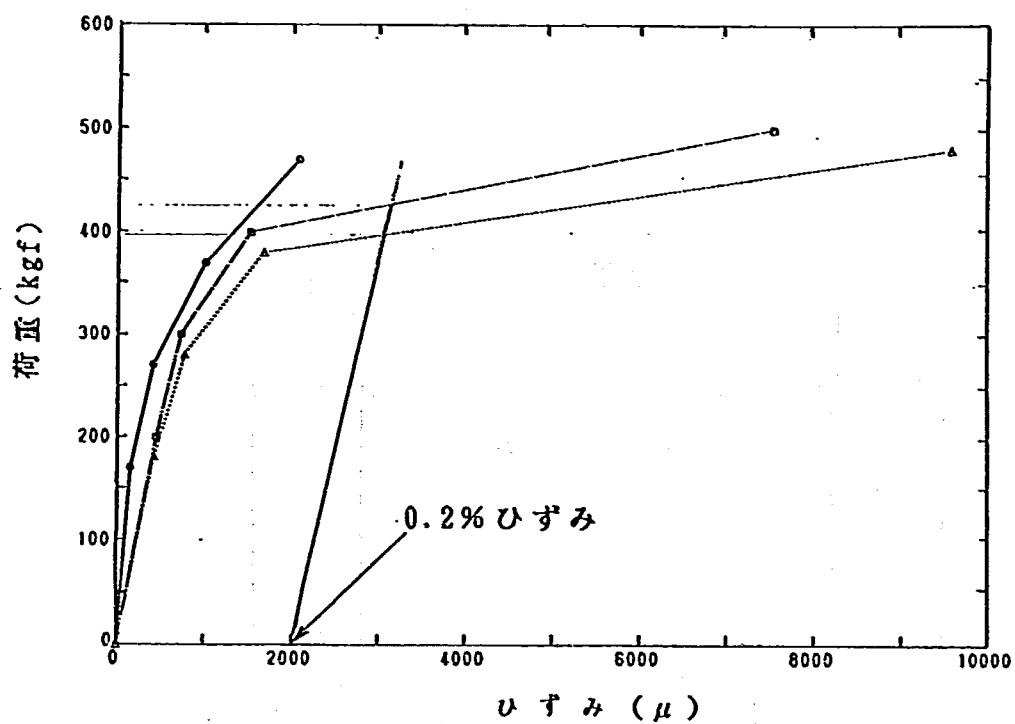
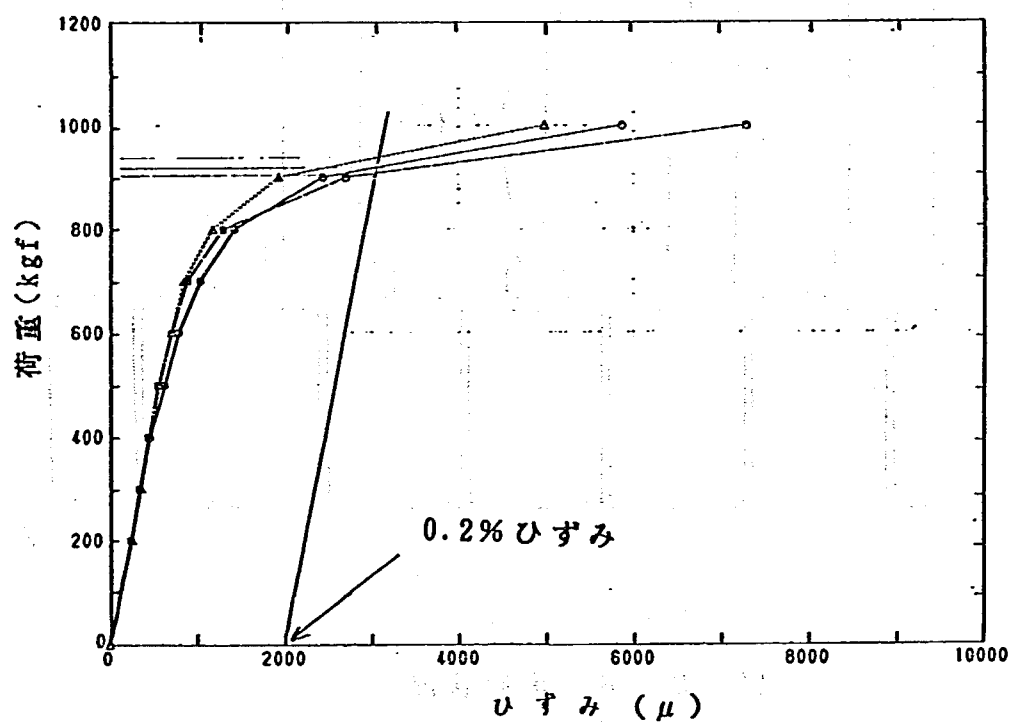


図 - 2. 6 $\phi 6$ 丸鋼の引張試験結果



(1) 1 mm 鋼板



(2) 2.3 mm 鋼板

図 - 2. 7 鋼板の引張試験結果

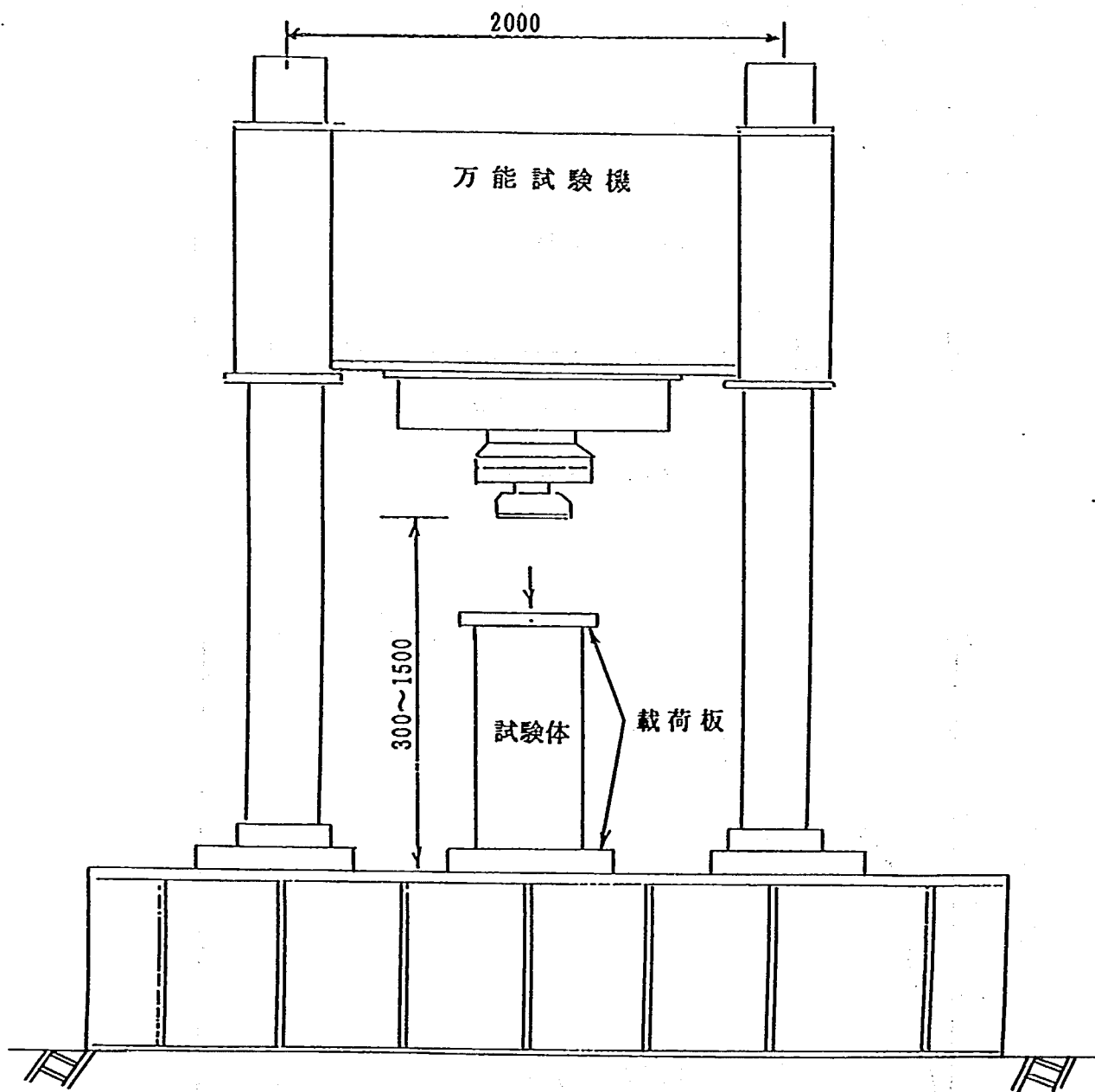


図 - 2. 8 実験状況

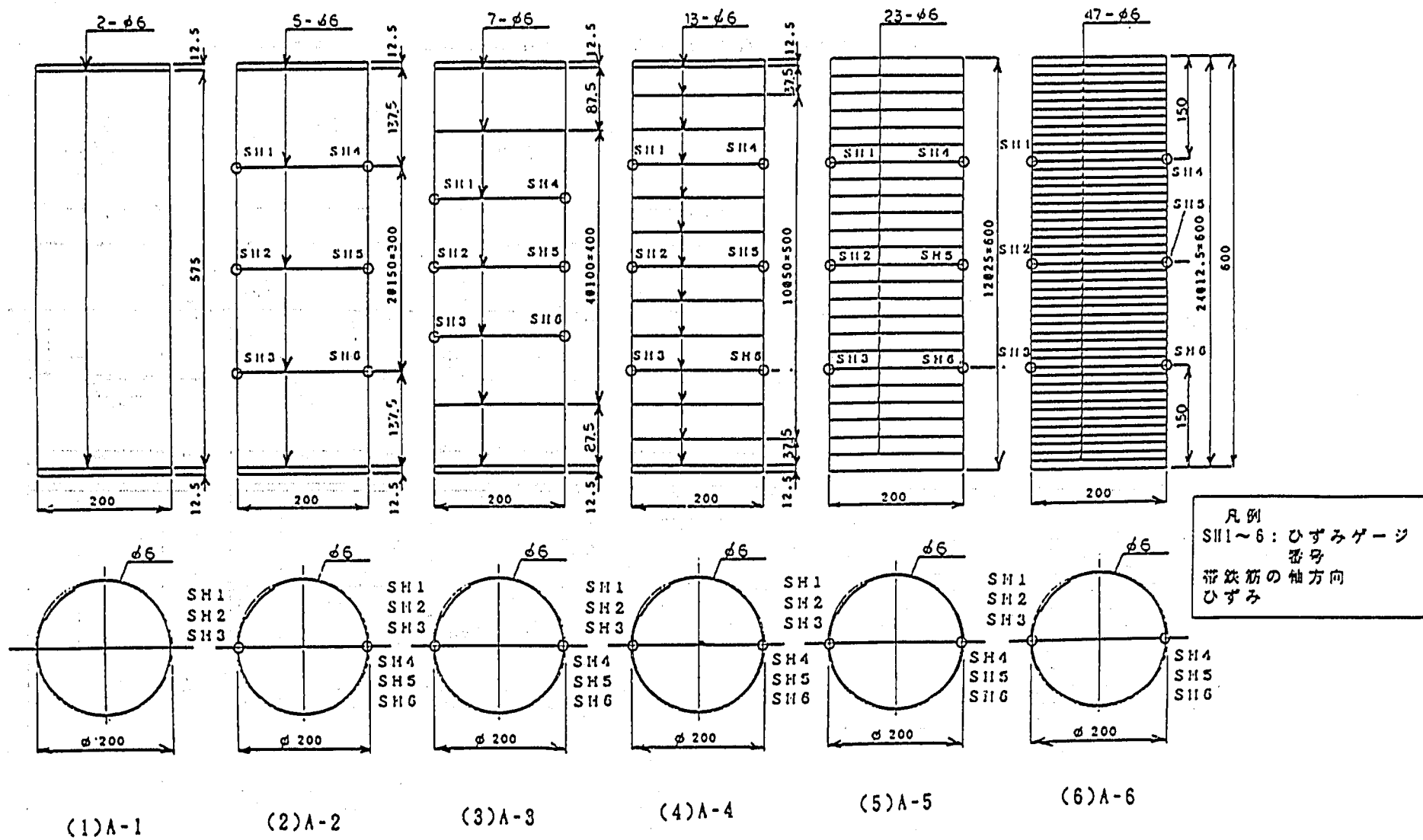


図 - 2. 9 円形断面供試体(Aシリーズ)のひずみ計測位置

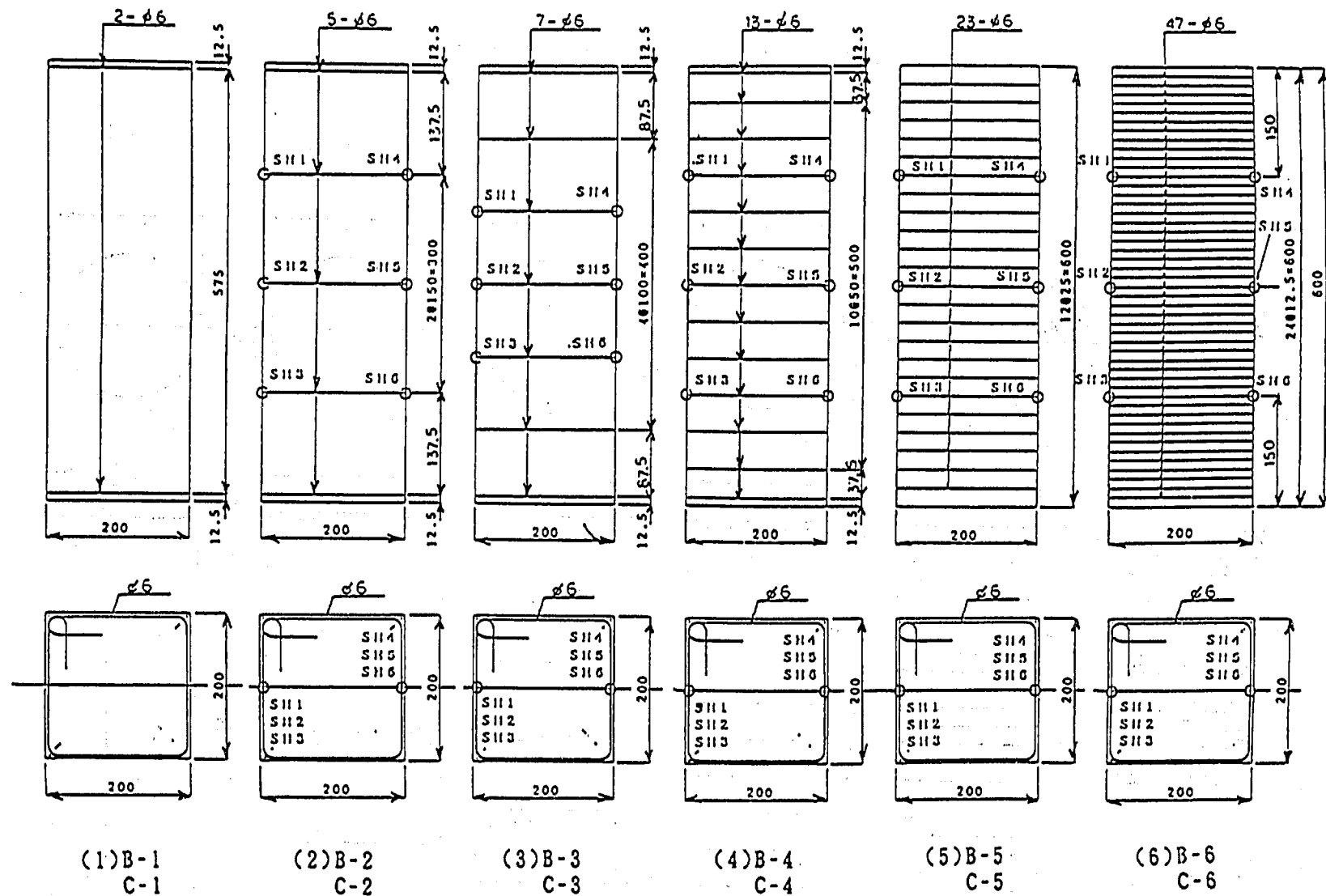
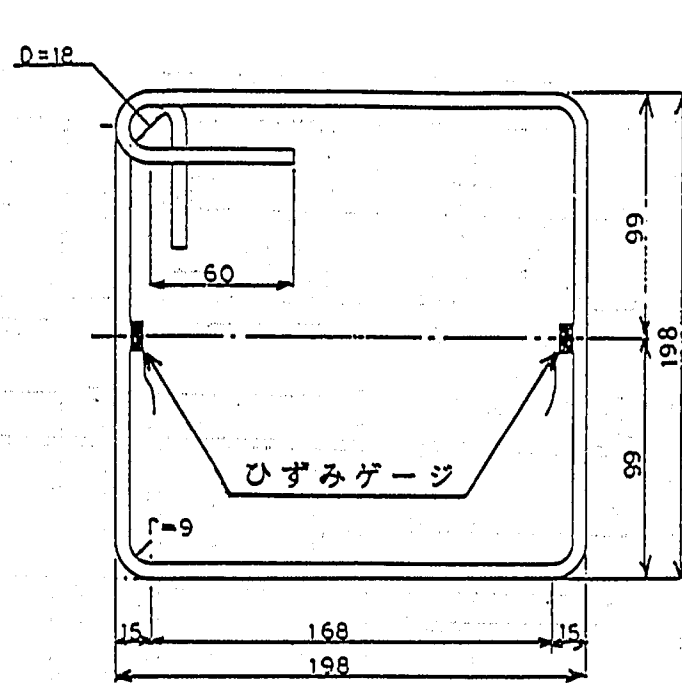
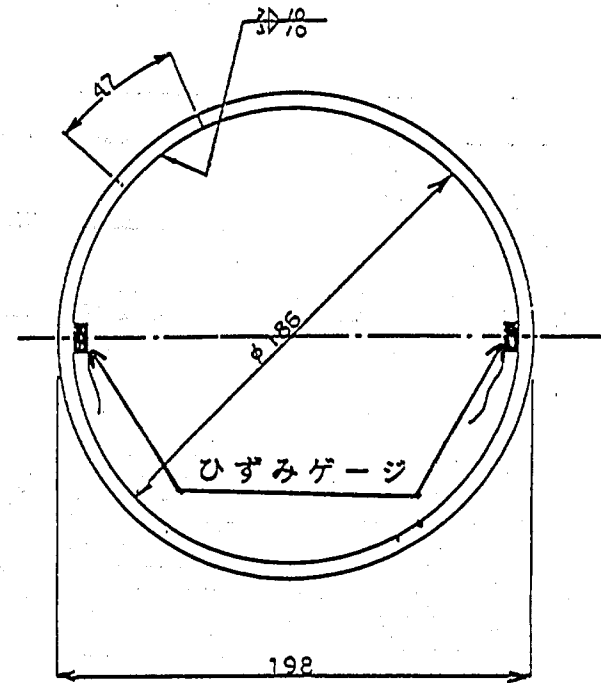


図 - 2. 10 正方形断面供試体(Bシリーズ及びCシリーズ)のひずみ計測位置

図 - 2. 1.1 正方形断面供試体(Dシリーズ)のひずみ計測位置

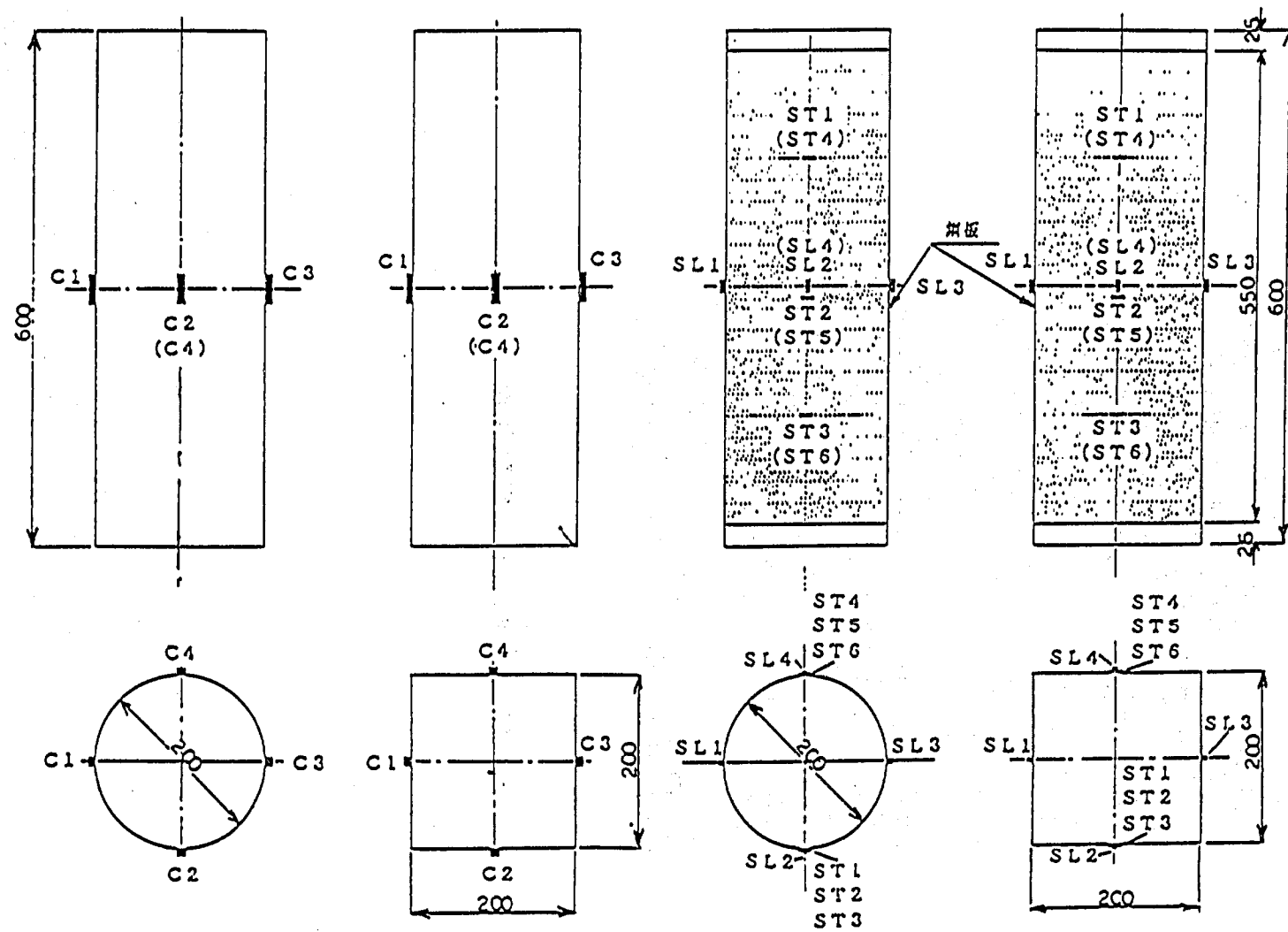


(1) 正方形断面



(2) 円形断面

図 - 2. 12 帯鉄筋へのひずみゲージ貼付位置



(1)コンクリート表面ひずみ

(2)鋼板ひずみ

図 - 2. 13 鋼板及びコンクリートのひずみ測定位置

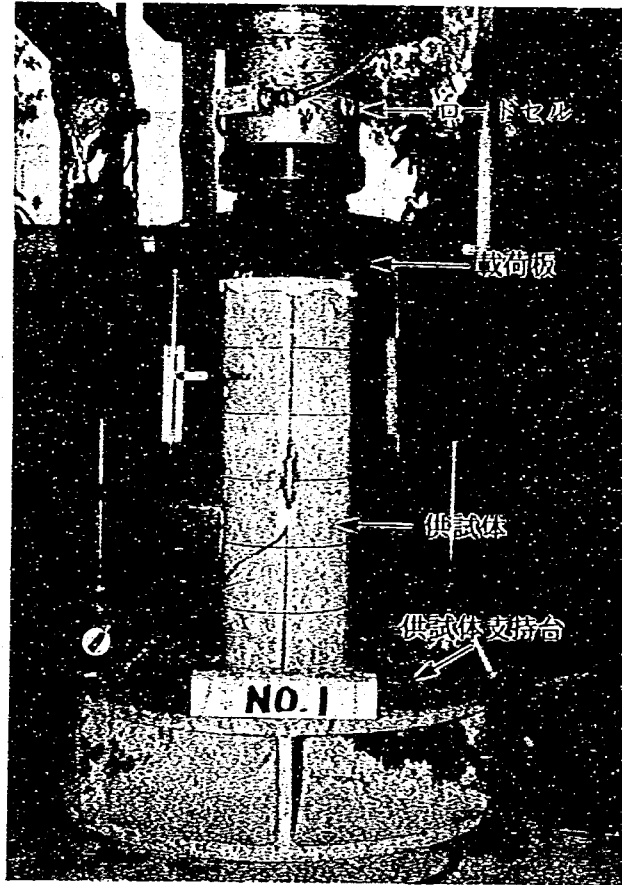


写真 - 2. 1 実験状況

表 - 3. 1 実験供試体の最大応力度及びひずみ

供試体 番 号	最大荷重 (tf)	最大荷重変位 (mm)	最大応力度 (kgf/cm ²)	最大応力度時ひずみ (μ)
A - 1	59.3	1.65	188.8	2749
2	71.0	1.99	226.0	3309
3	78.1	2.75	248.6	4583
4	97.6	3.51	310.7	5856
5	129.6	7.82	412.5	13034
6	191.8	13.11	610.5	21843
7	85.2	2.93	271.2	4488
8	148.4	5.10	472.4	8503
B - 1	94.7	1.86	236.8	3106
2	99.8	2.02	249.5	3360
3	100.5	2.32	251.3	3869
4	105.4	2.38	263.5	3972
5	126.1	3.09	315.4	5143
6	137.6	5.28	344.0	8808
7	113.7	2.14	284.3	3564
8	117.4	2.50	293.5	4175
C - 1	85.6	2.14	214.0	3564
2	106.6	1.99	266.5	3309
3	112.2	1.99	280.5	3309
4	124.9	2.29	312.3	3818
5	128.6	2.78	321.5	4633
6	153.2	4.58	383.0	7638
7	124.9	2.32	312.3	3870
8	127.6	2.50	319.0	4175
D - 1	99.6	1.41	249.0	2343
2	102.2	2.02	255.5	3361
3	113.2	2.02	283.0	3360
4	120.8	2.47	302.0	4124
5	132.7	3.33	331.8	5550
6	149.6	6.39	374.0	10642
7	124.7	2.05	311.8	3411
8	127.1	2.60	317.8	4328

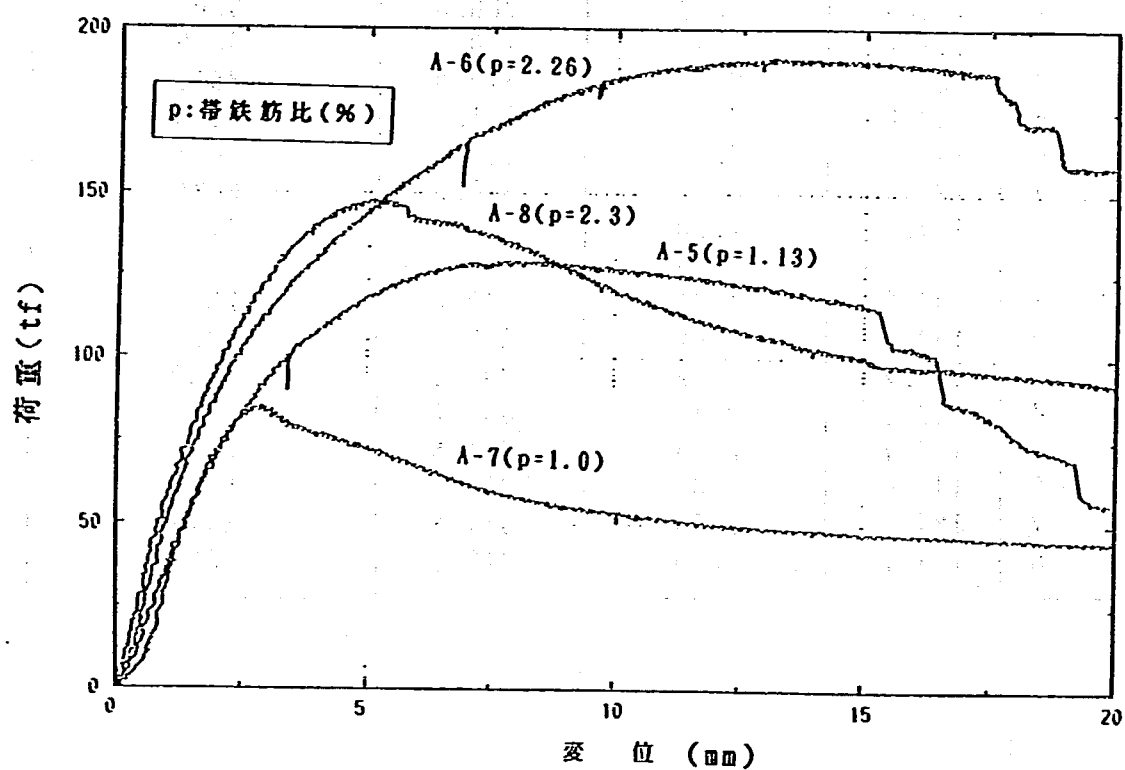
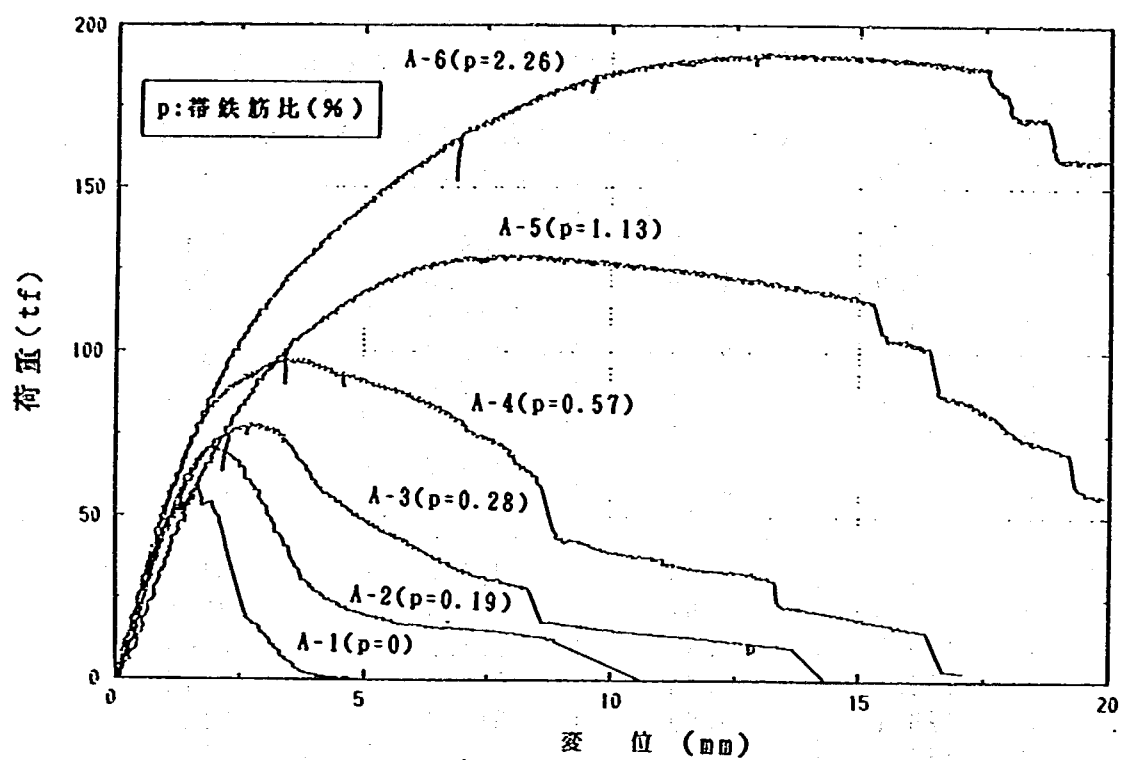


図 - 3. 1 円形断面供試体(Aシリーズ)の荷重～変位関係

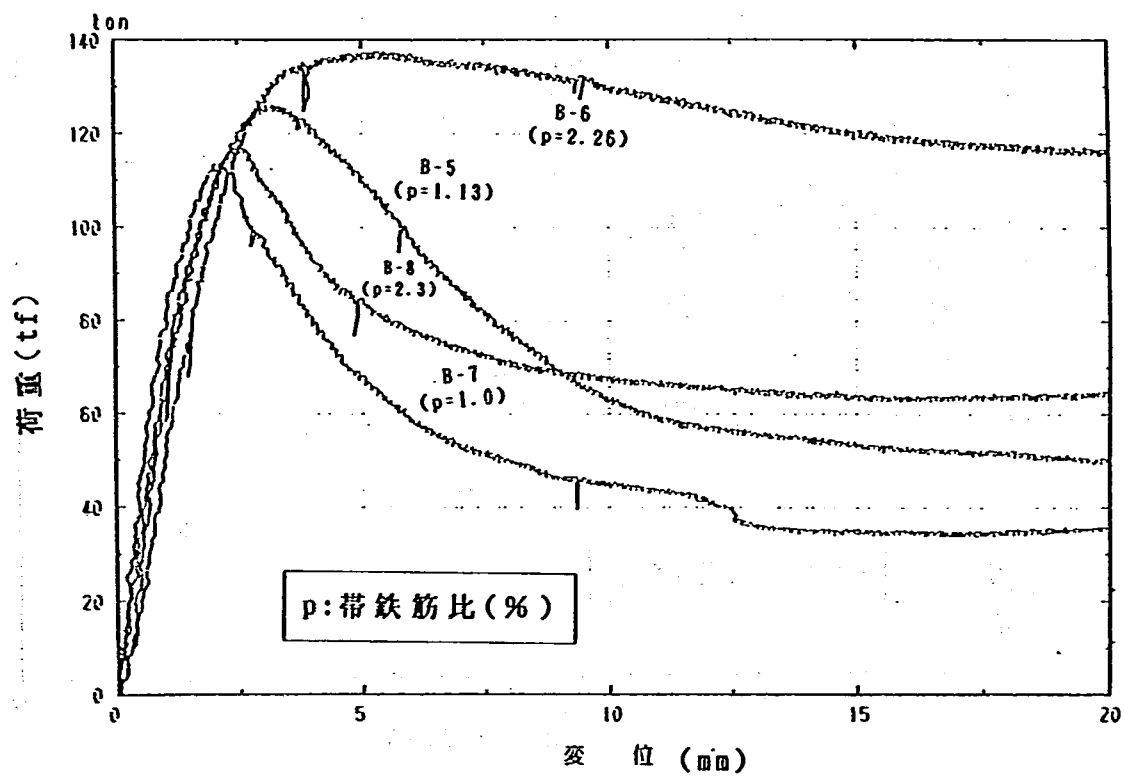
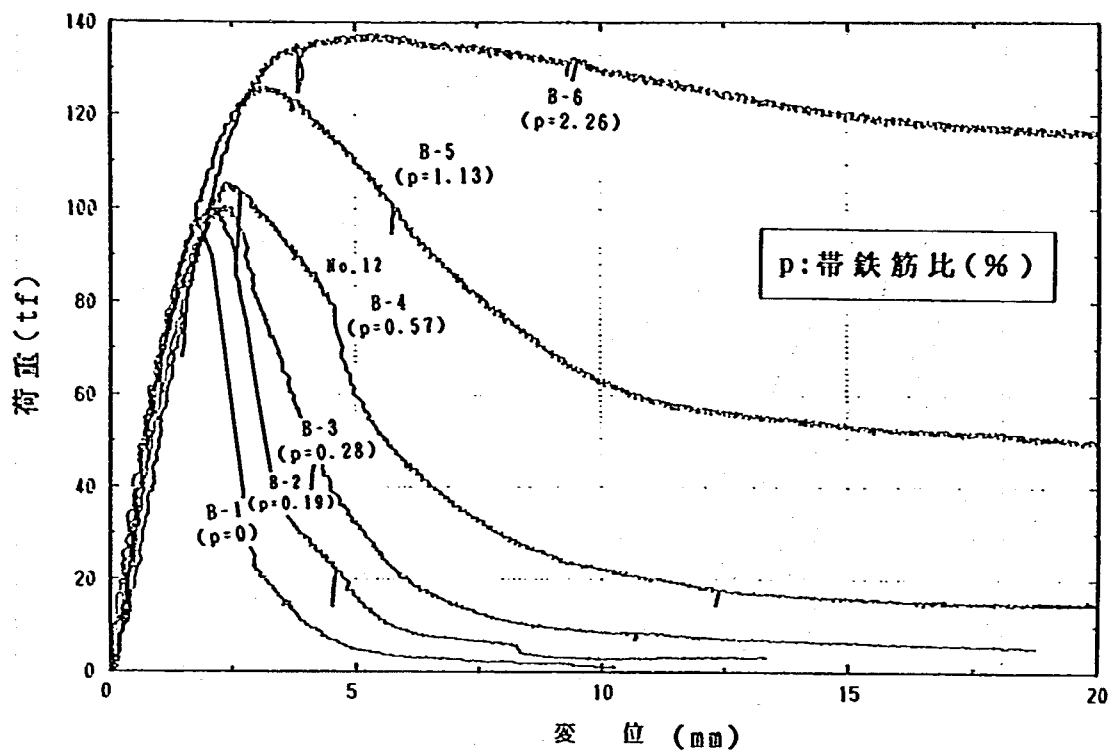


図 - 3. 2 正方形断面供試体(Bシリーズ)の荷重～変位関係

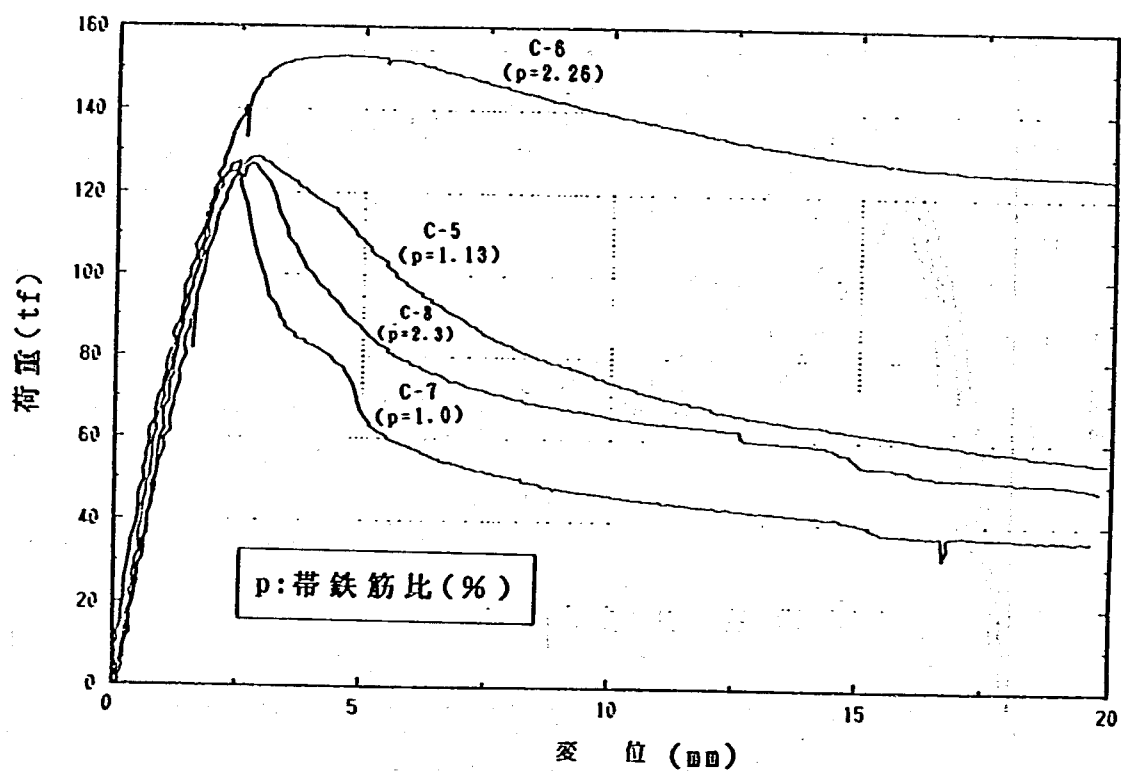
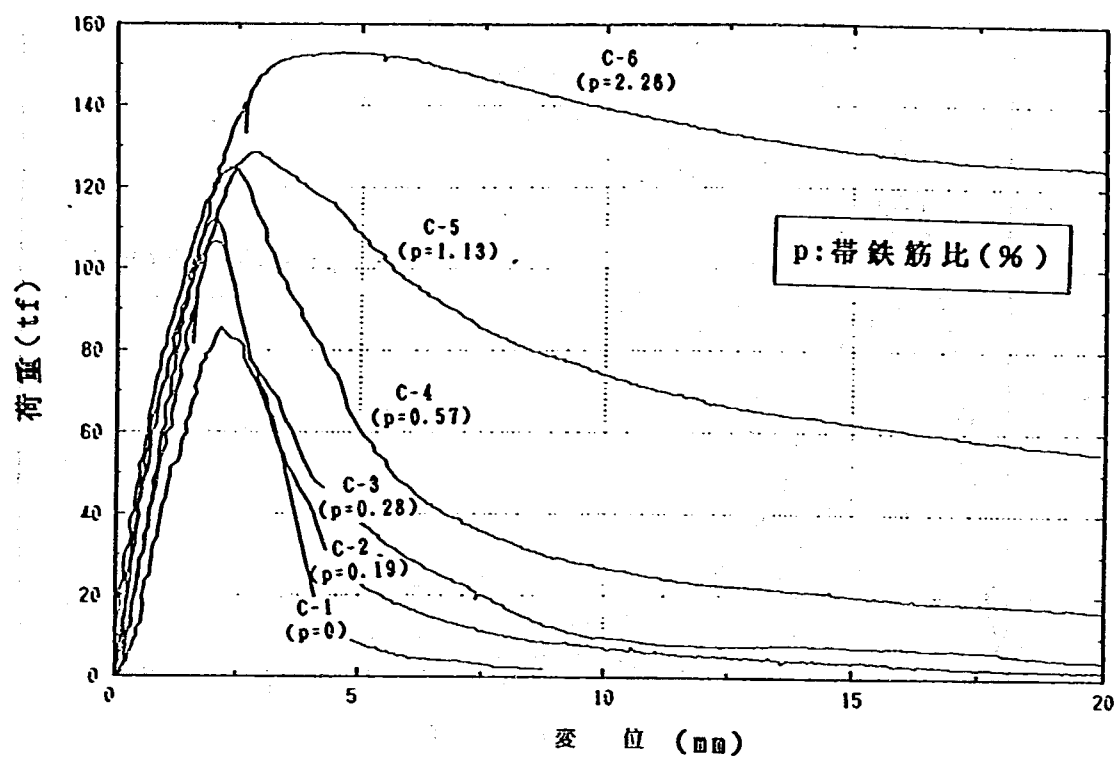


図 - 3. 3 正方形断面供試体(Cシリーズ)の荷重～変位関係

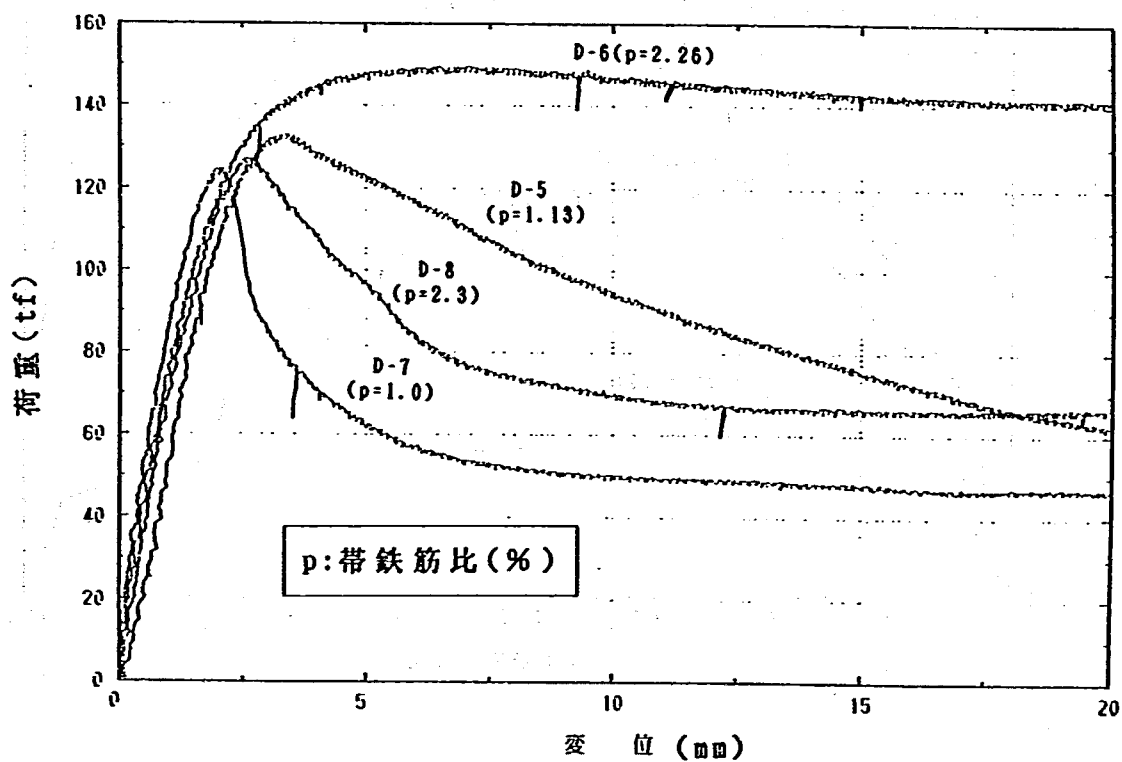
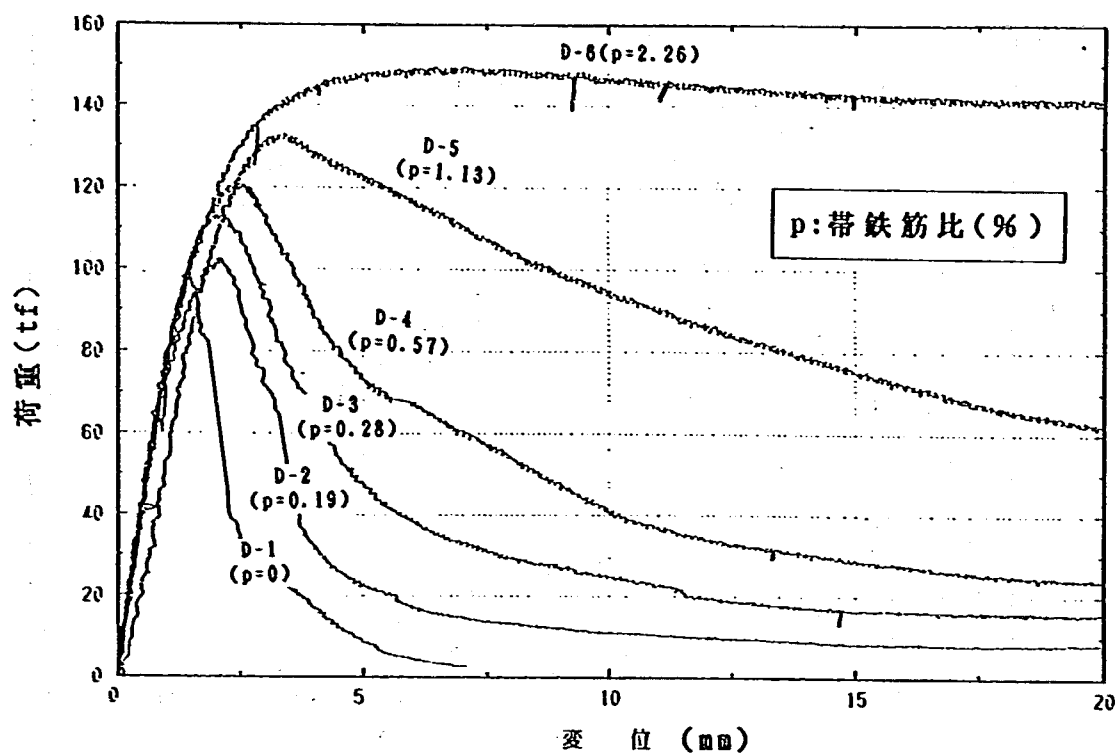


図 - 3. 4 正方形断面供試体(Dシリーズ)の荷重～変位関係

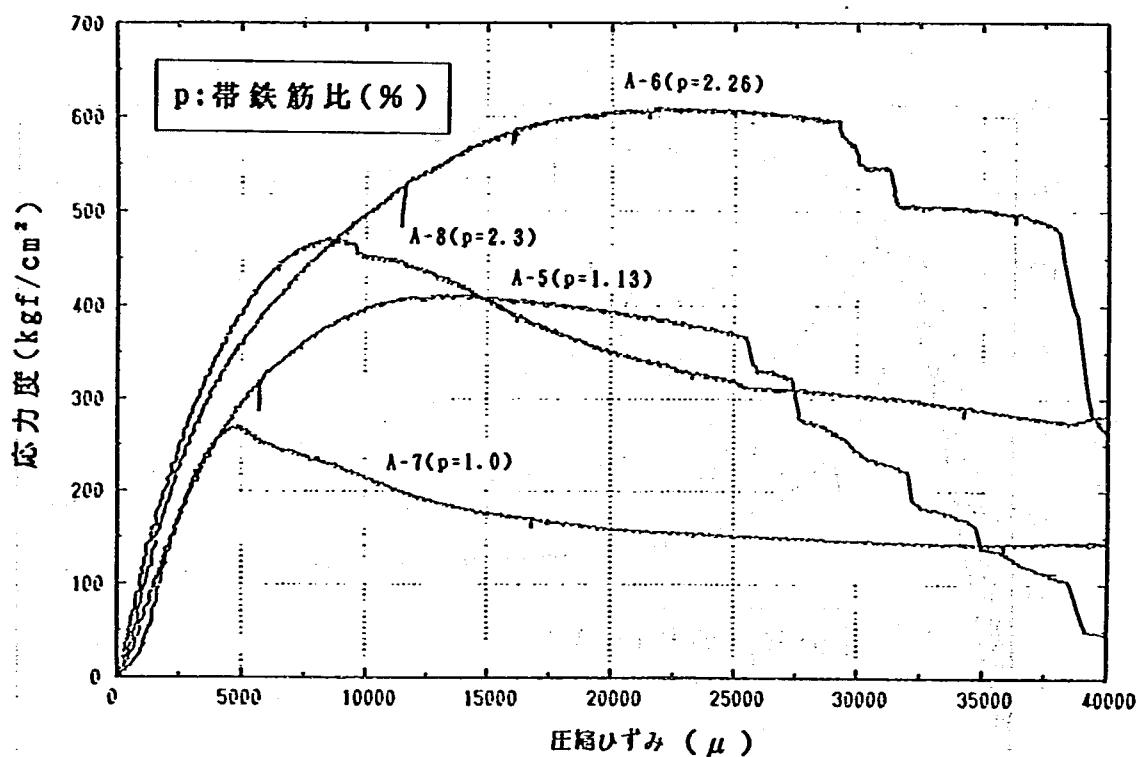
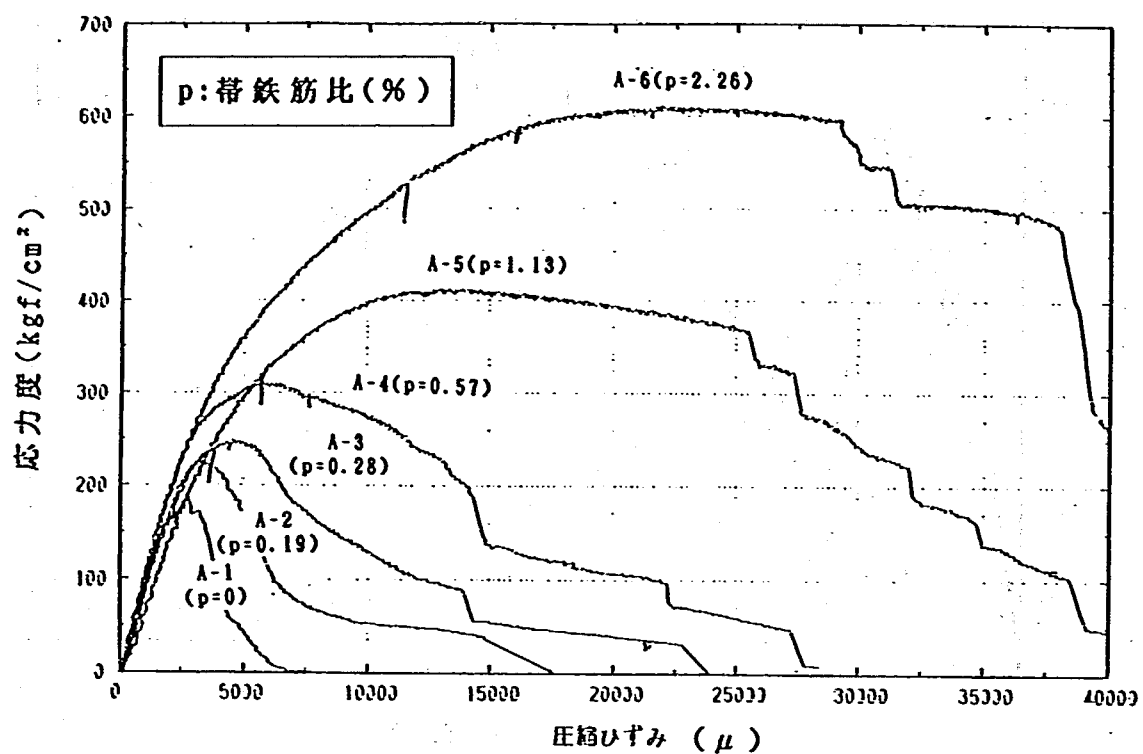


図 - 3. 5 円形断面供試体(Aシリーズ)の応力～ひずみ曲線

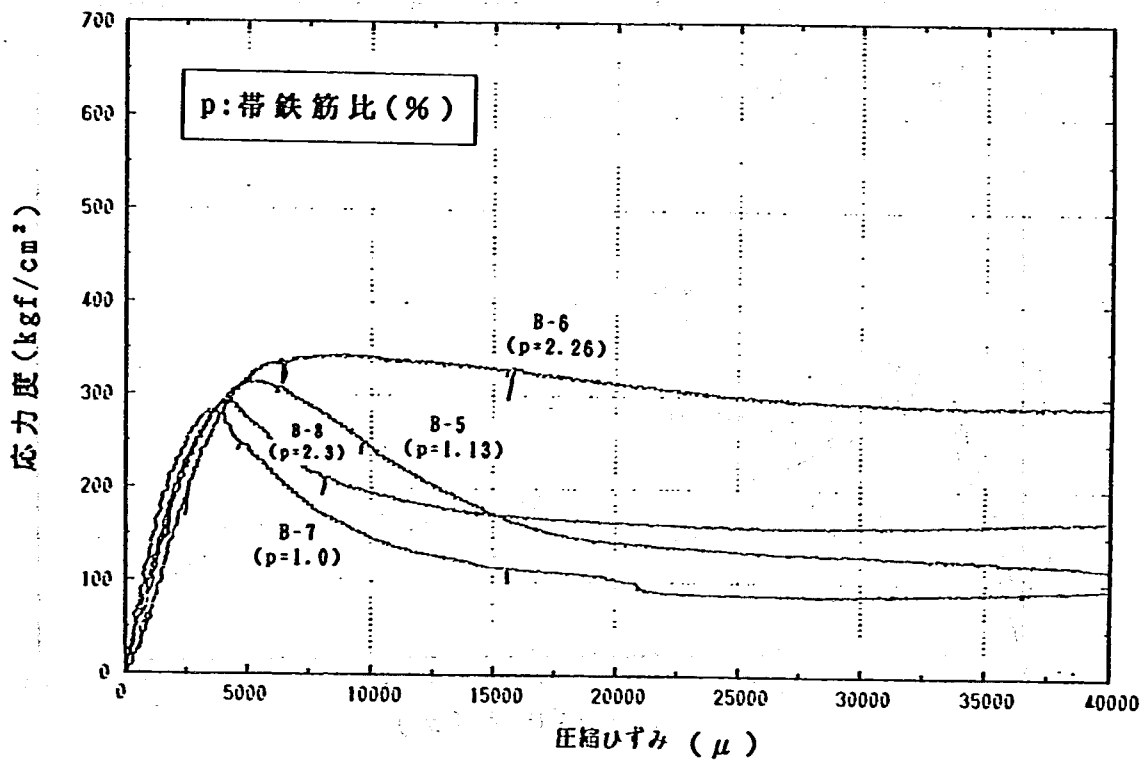
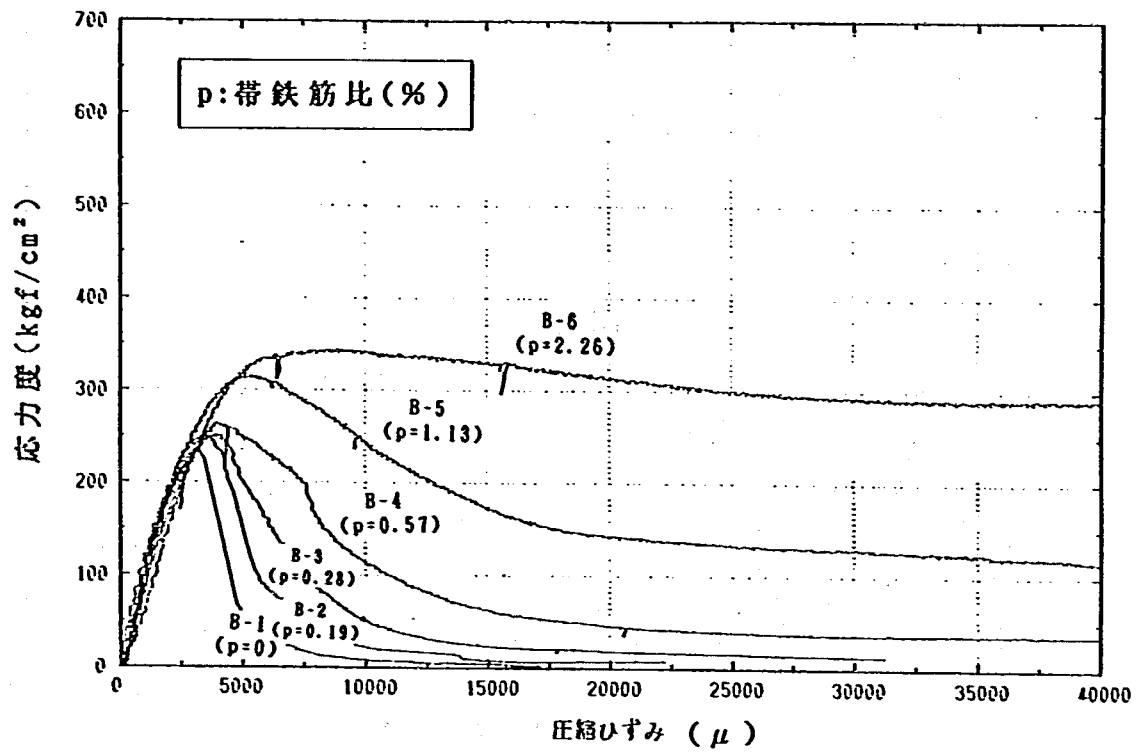


図 - 3. 6 正方形断面供試体(Bシリーズ)の応力～ひずみ関係

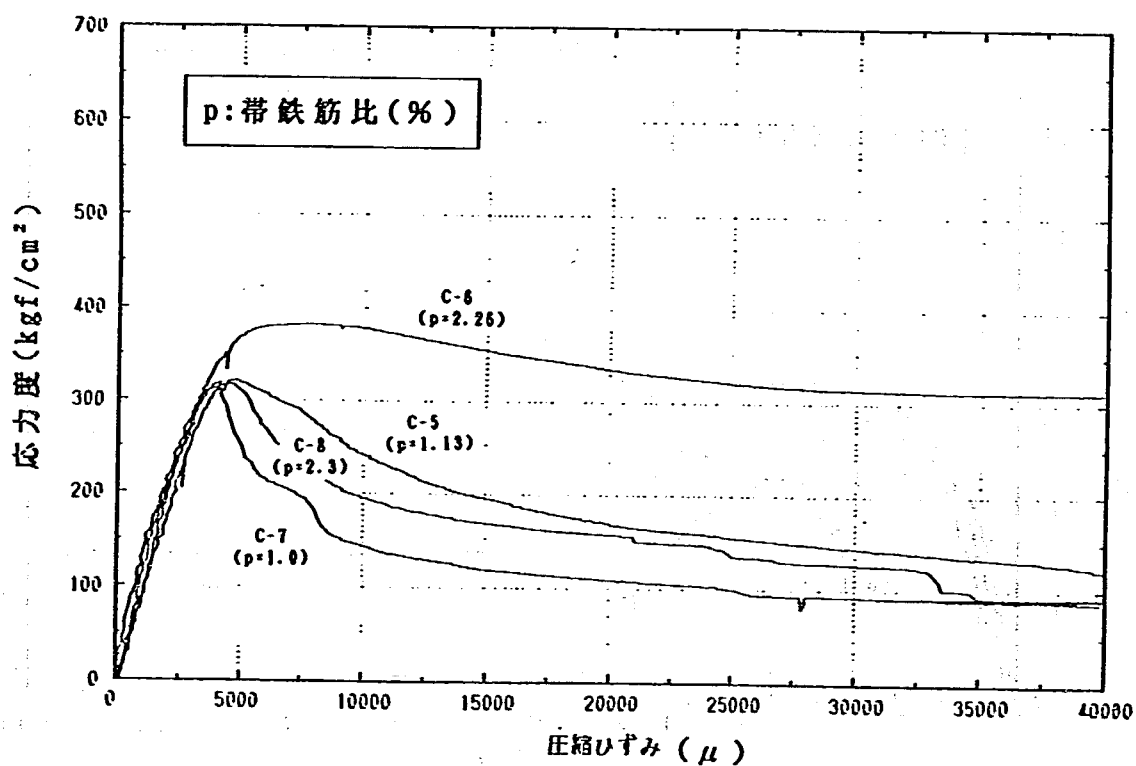
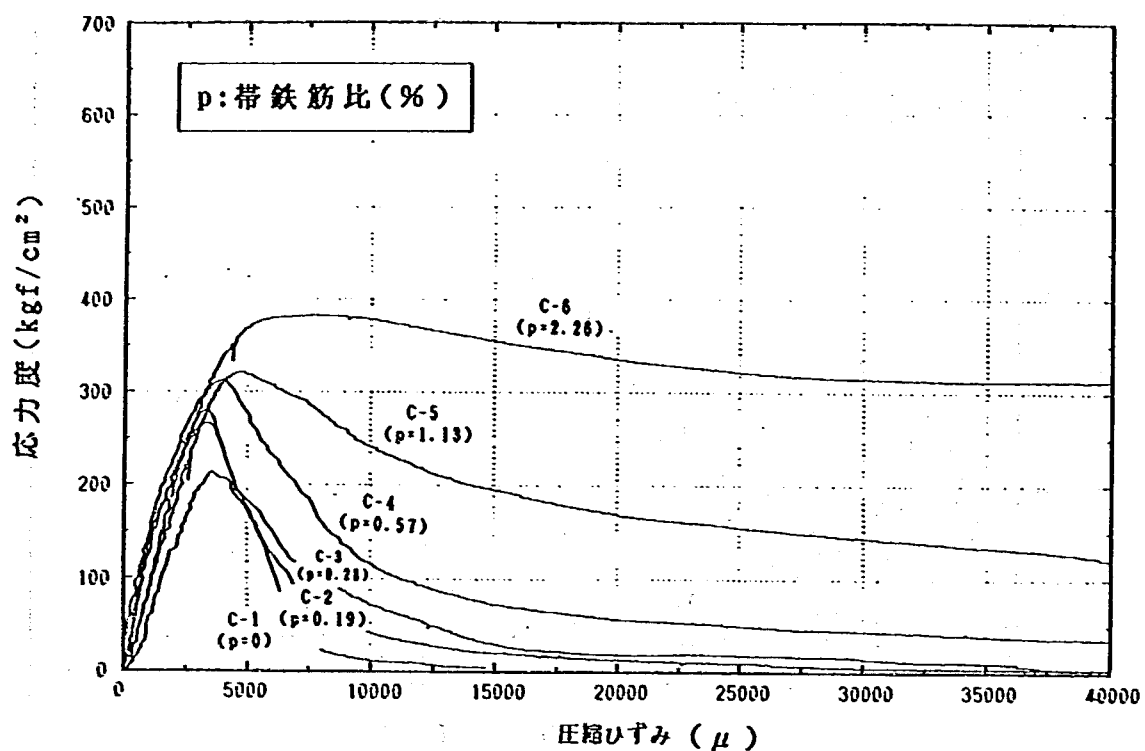


図 - 3. 7 正方形断面供試体(cシリーズ)の応力～ひずみ関係

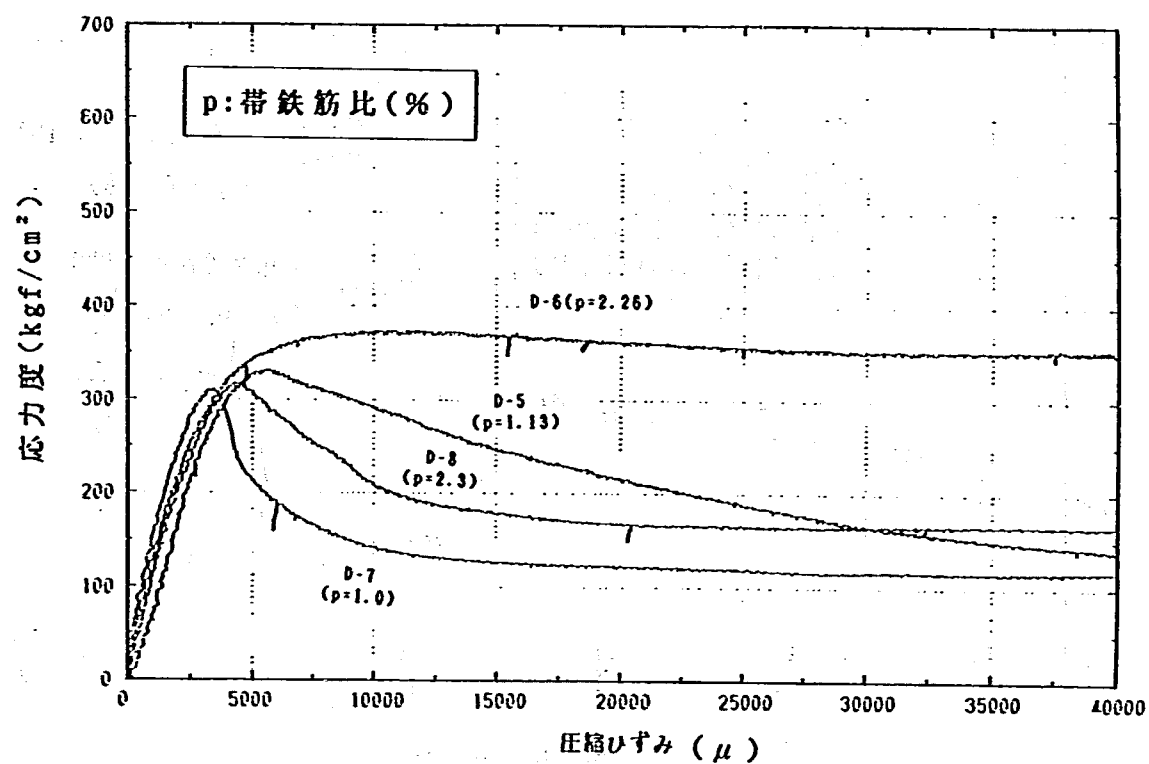
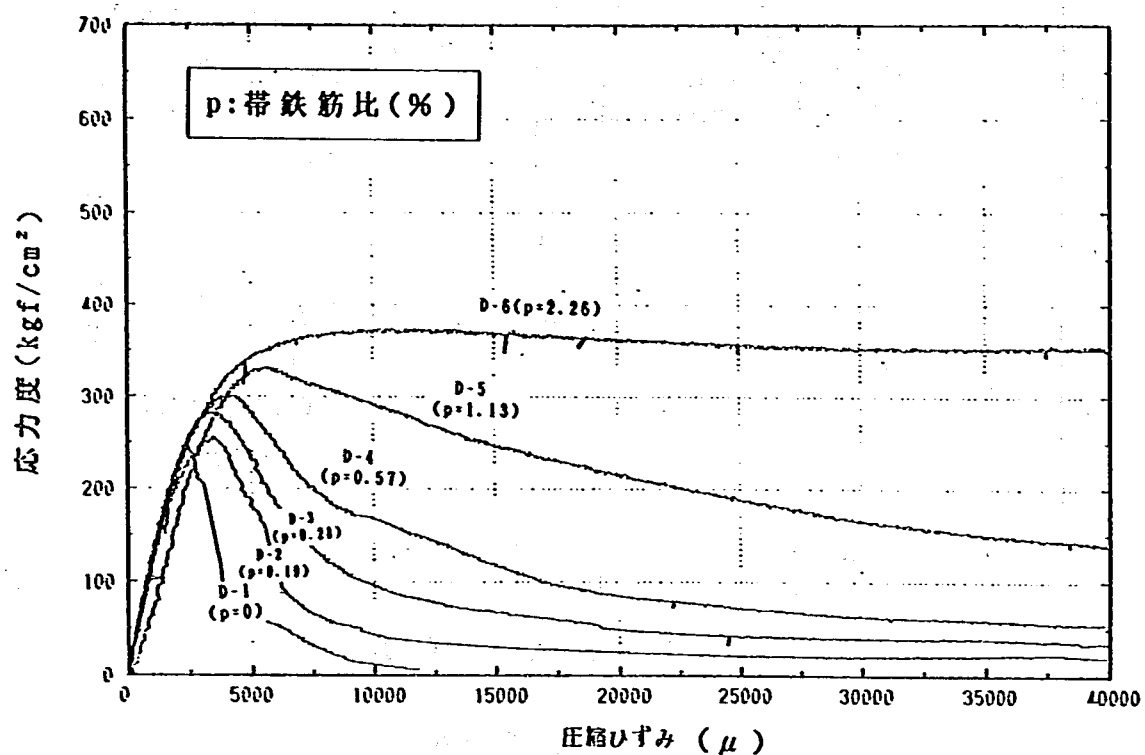
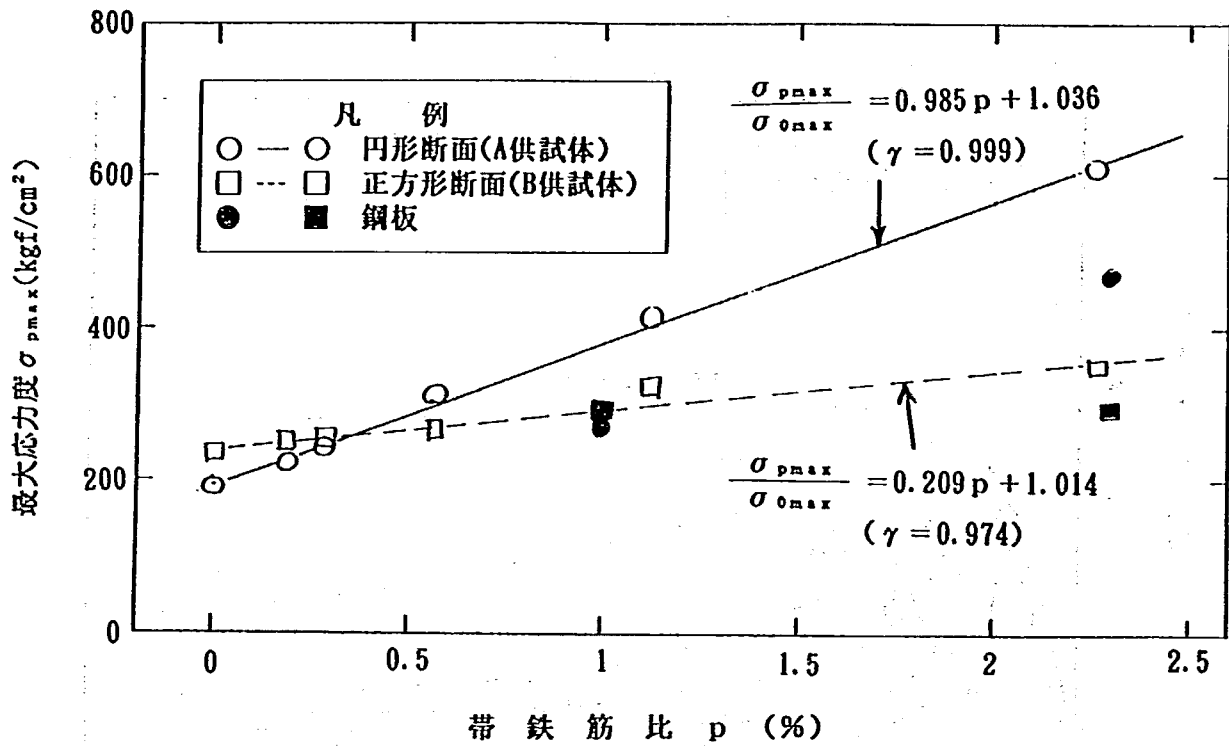
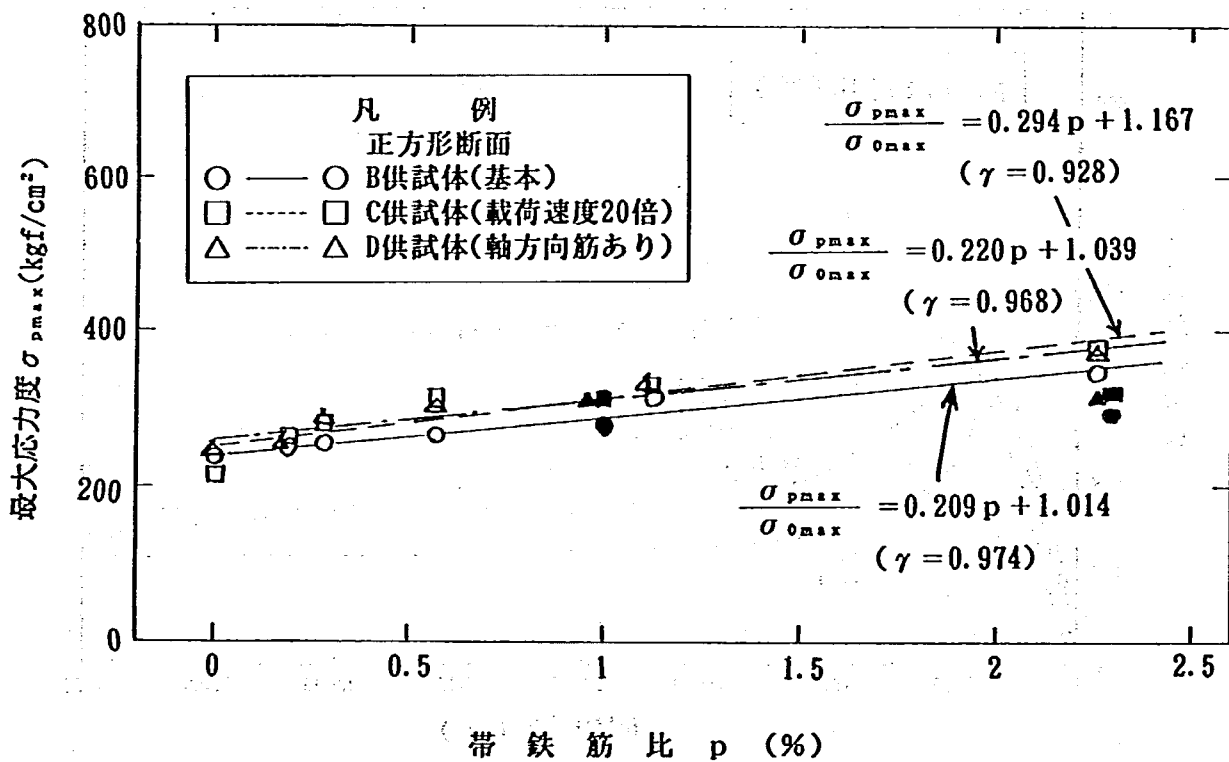


図 - 3. 8 正方形断面供試体(Dシリーズ)の応力～ひずみ関係

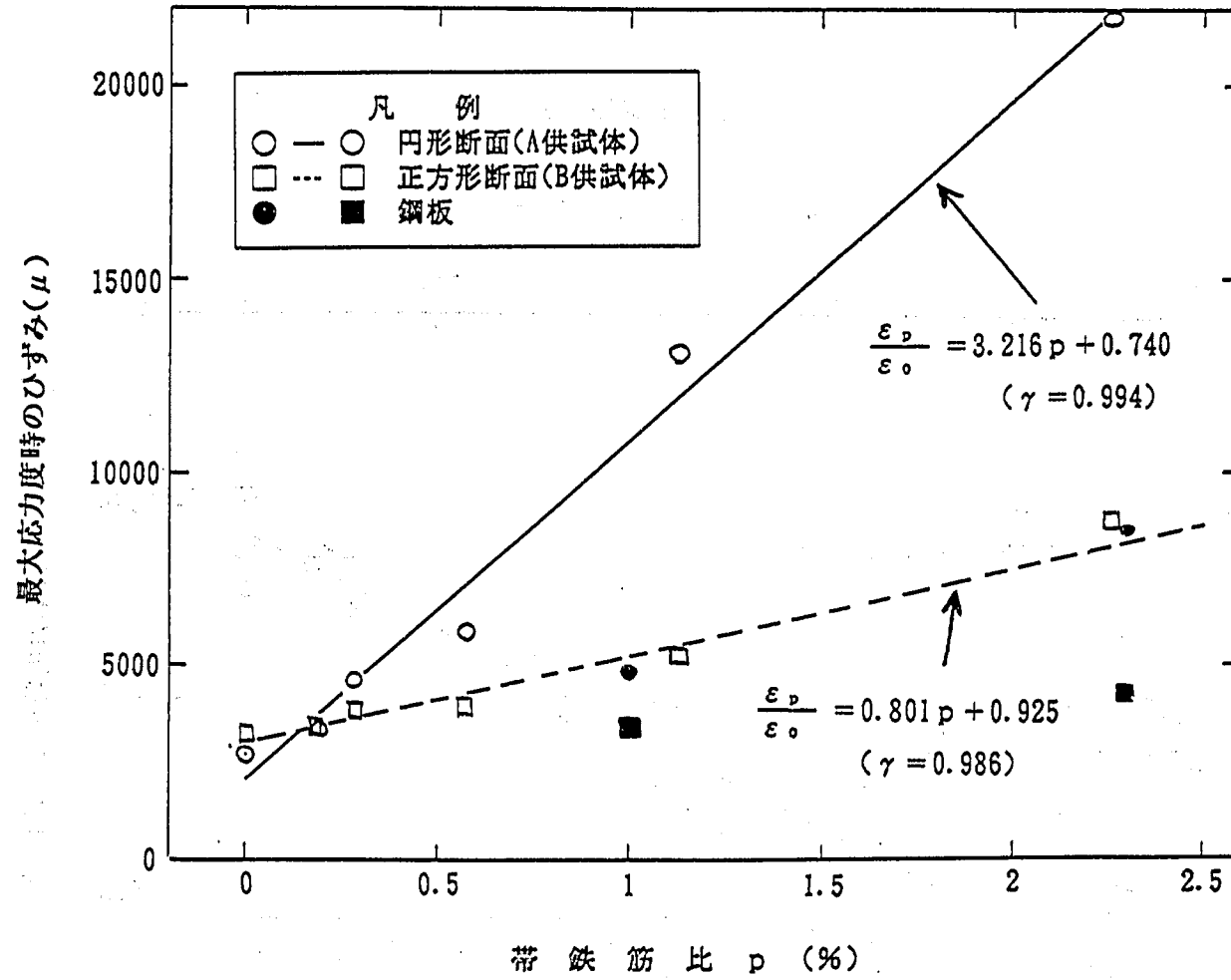


(a)円形断面と正方形断面の比較



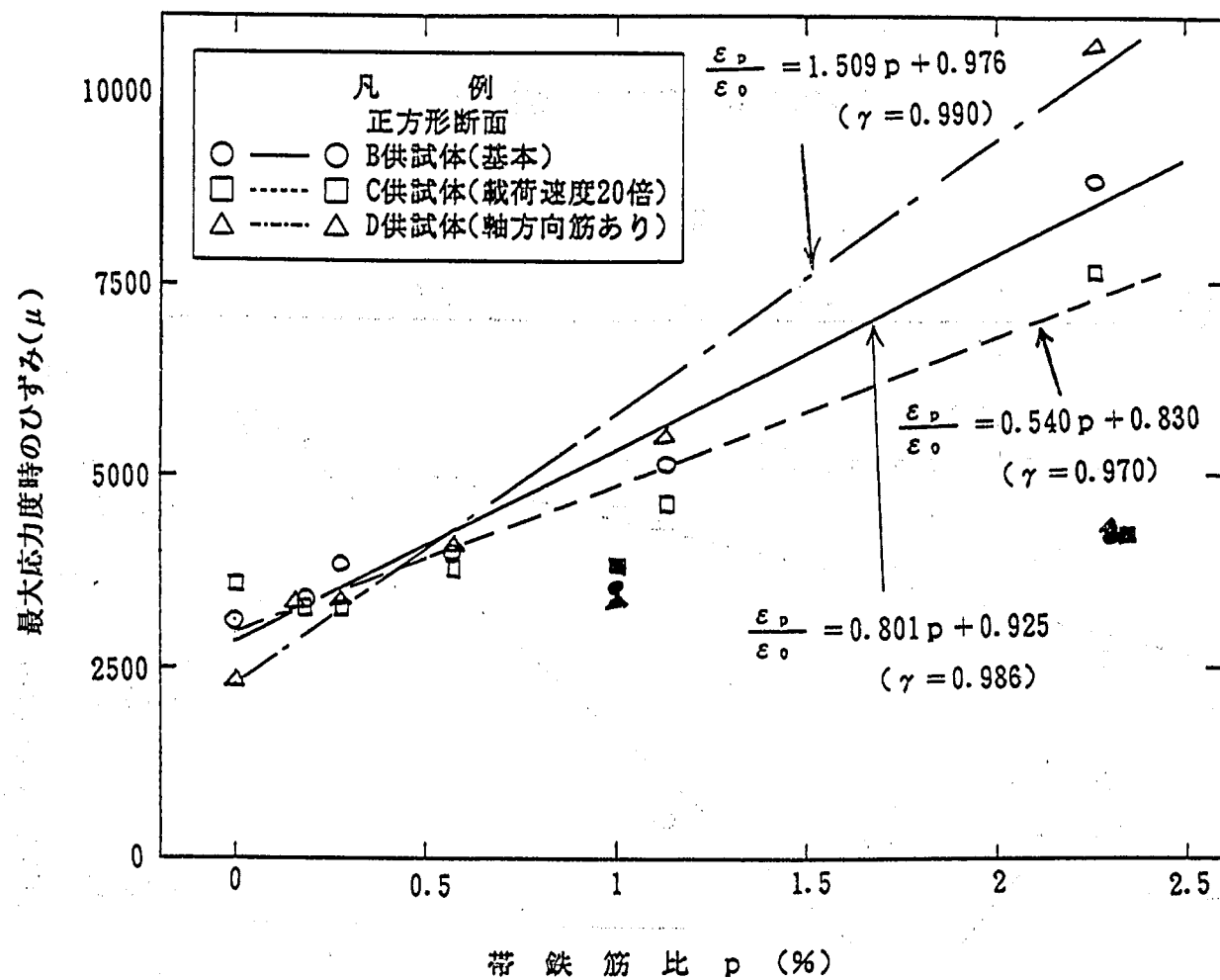
(b)正方形断面

図-3.9 帯鉄筋比と最大応力度の関係



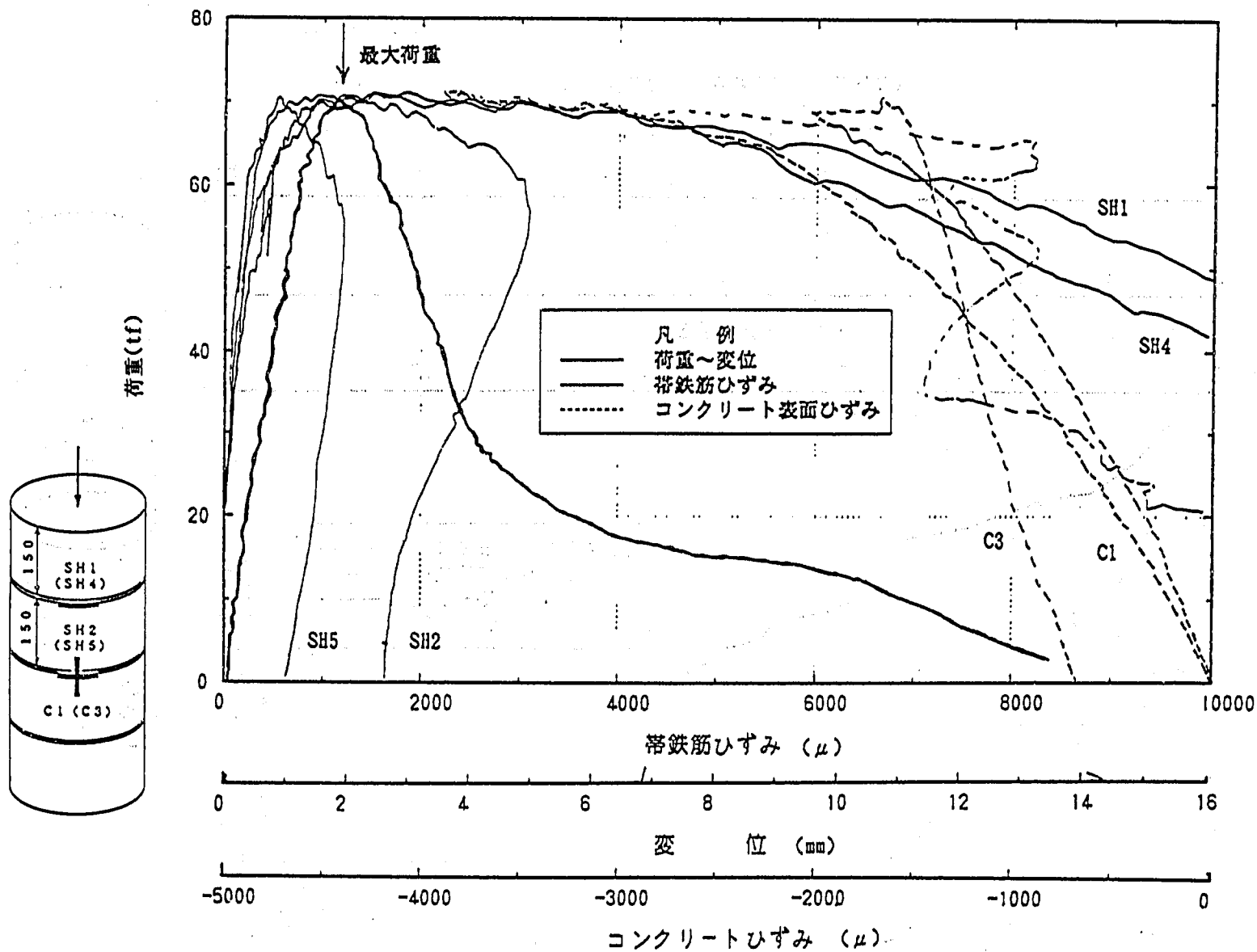
(a)円形断面と正方形断面の比較

図-3.10 帯鉄筋比と最大応力度時のひずみの関係



(b)正方形断面

図-3. 10 帯鉄筋比と最大応力度時のひずみの関係



(1)A-2供試体(円形断面、 $p=0.19\%$)

図-3. 1.1 荷重～変位、荷重～荷鉄筋ひずみ、荷重～コンクリートひずみ関係

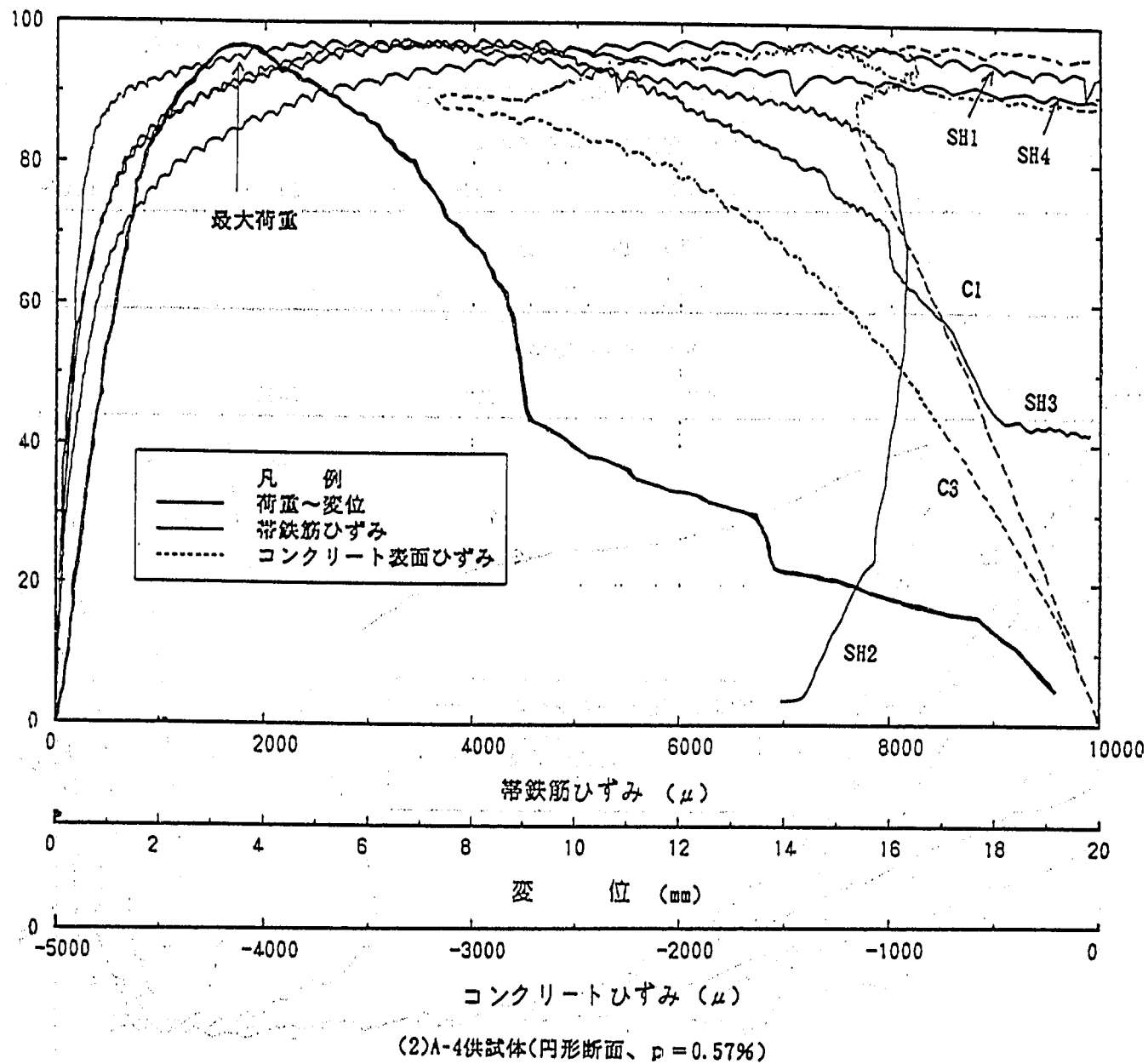
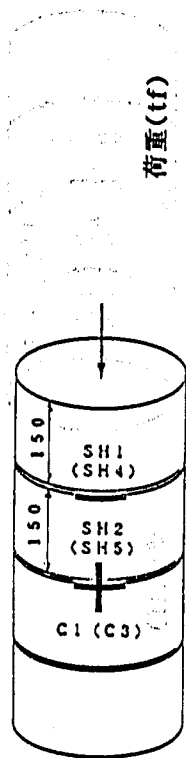
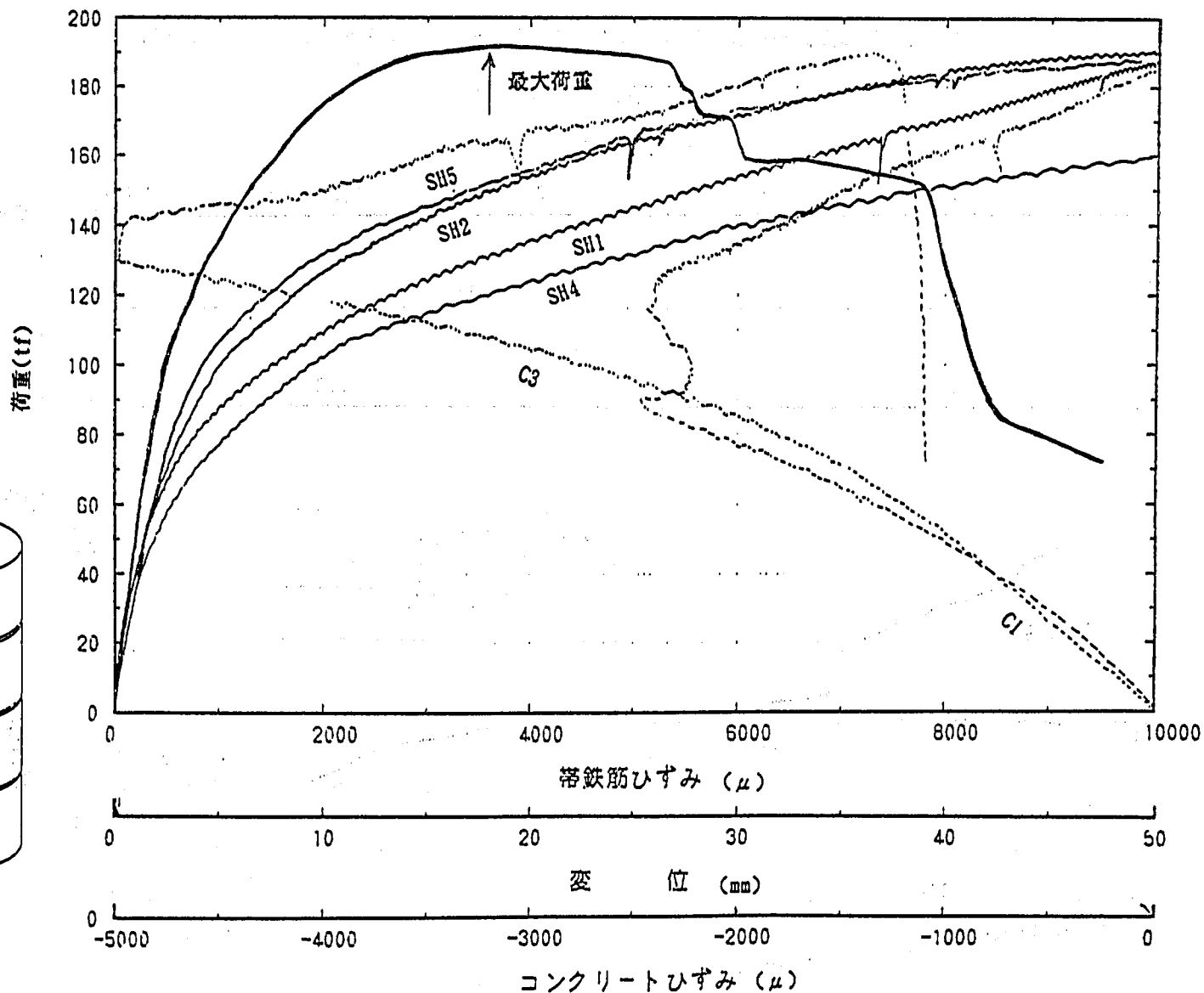
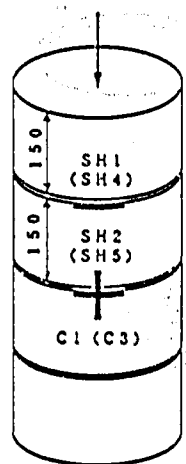
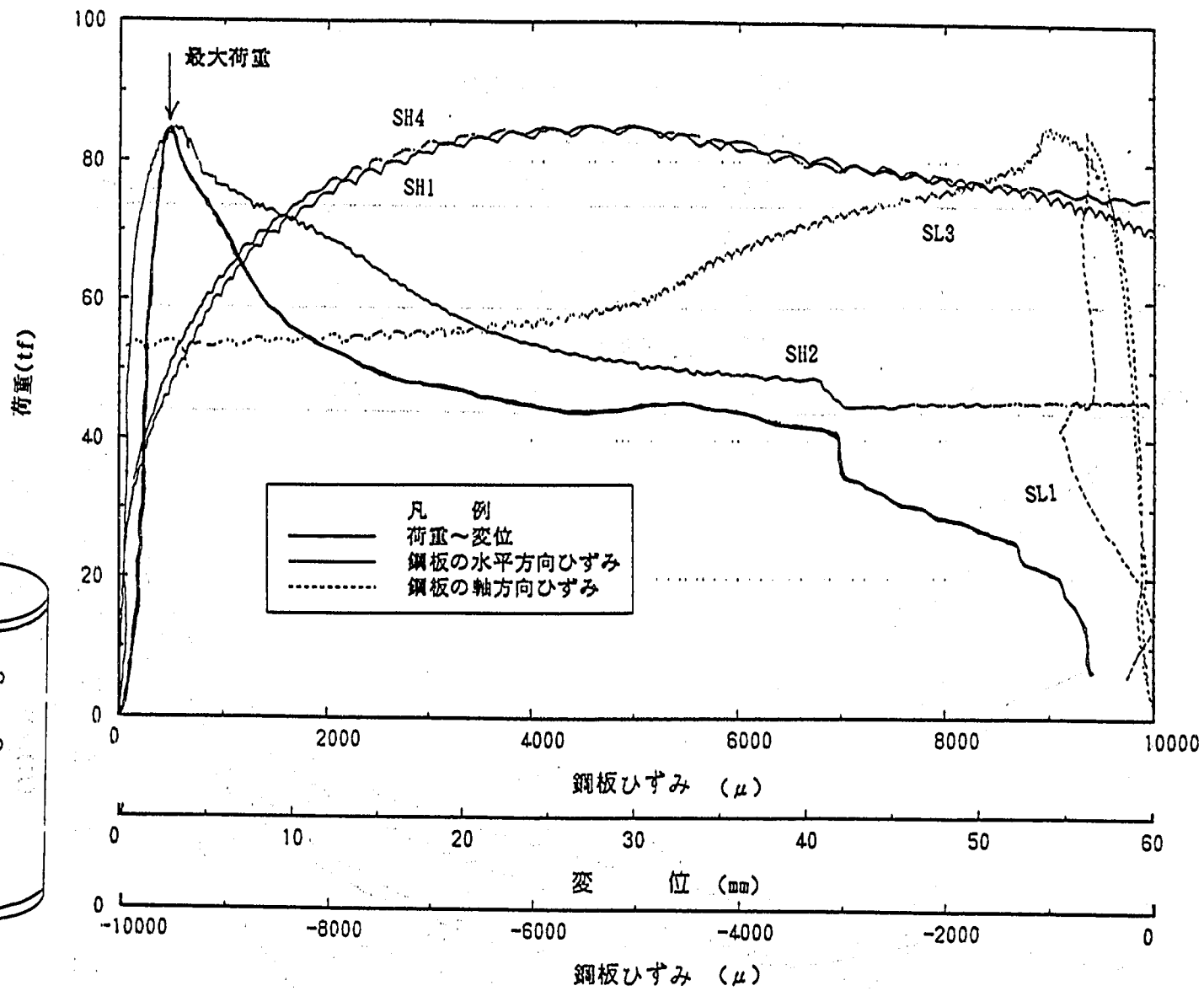
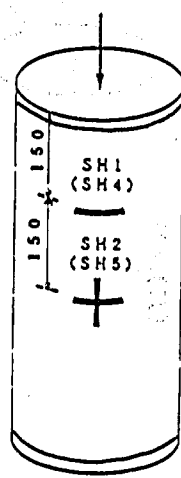


図-3. 1 1 荷重～変位、荷重～帯鉄筋ひずみ、荷重～コンクリートひずみ関係



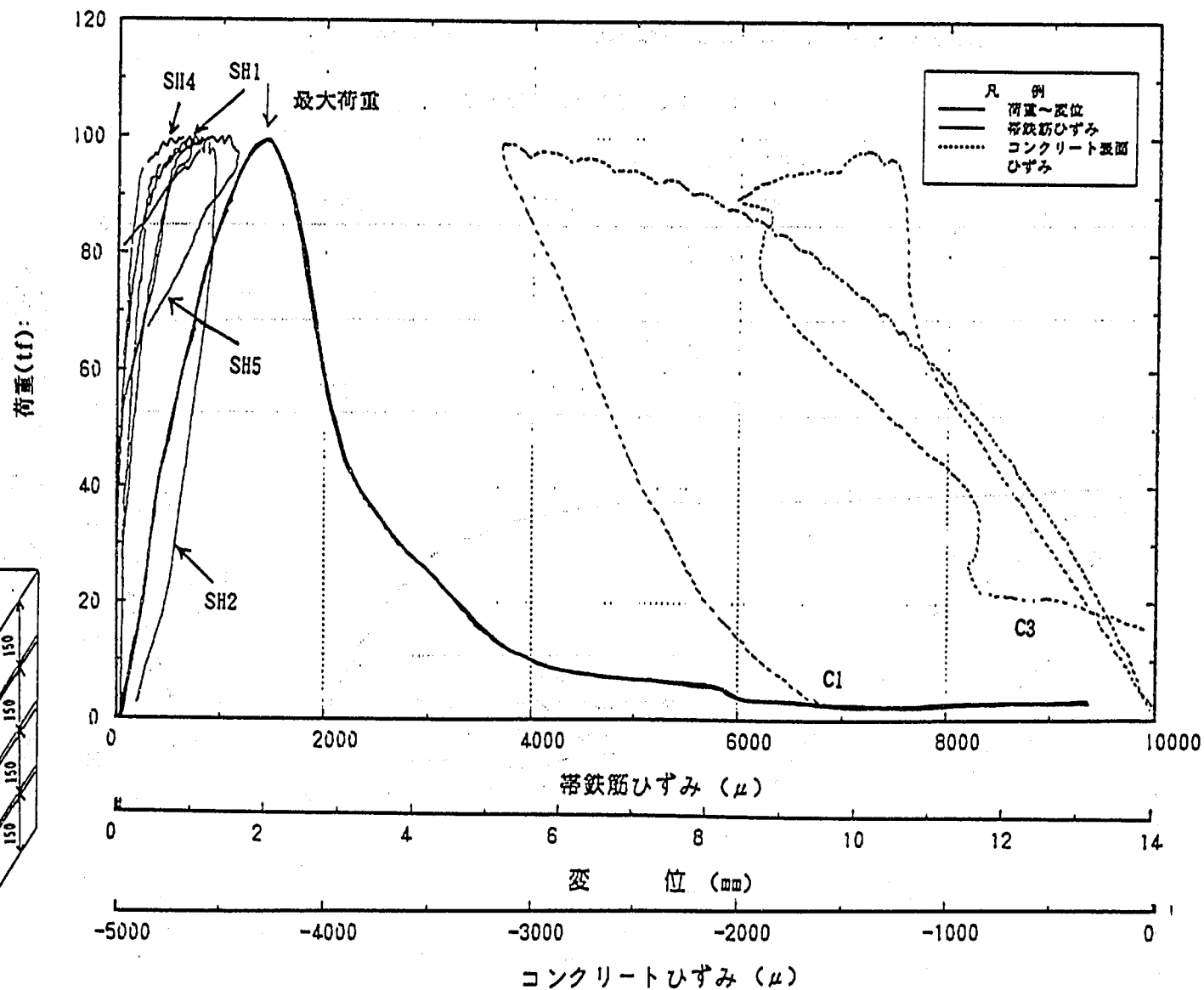
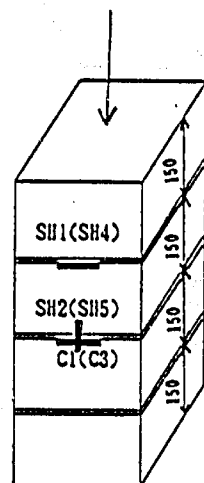
(3)A-6供試体(円形断面、 $p = 2.26\%$)

図-3. 1.1 荷重～変位、荷重～帯鉄筋ひずみ、荷重～コンクリートひずみ関係



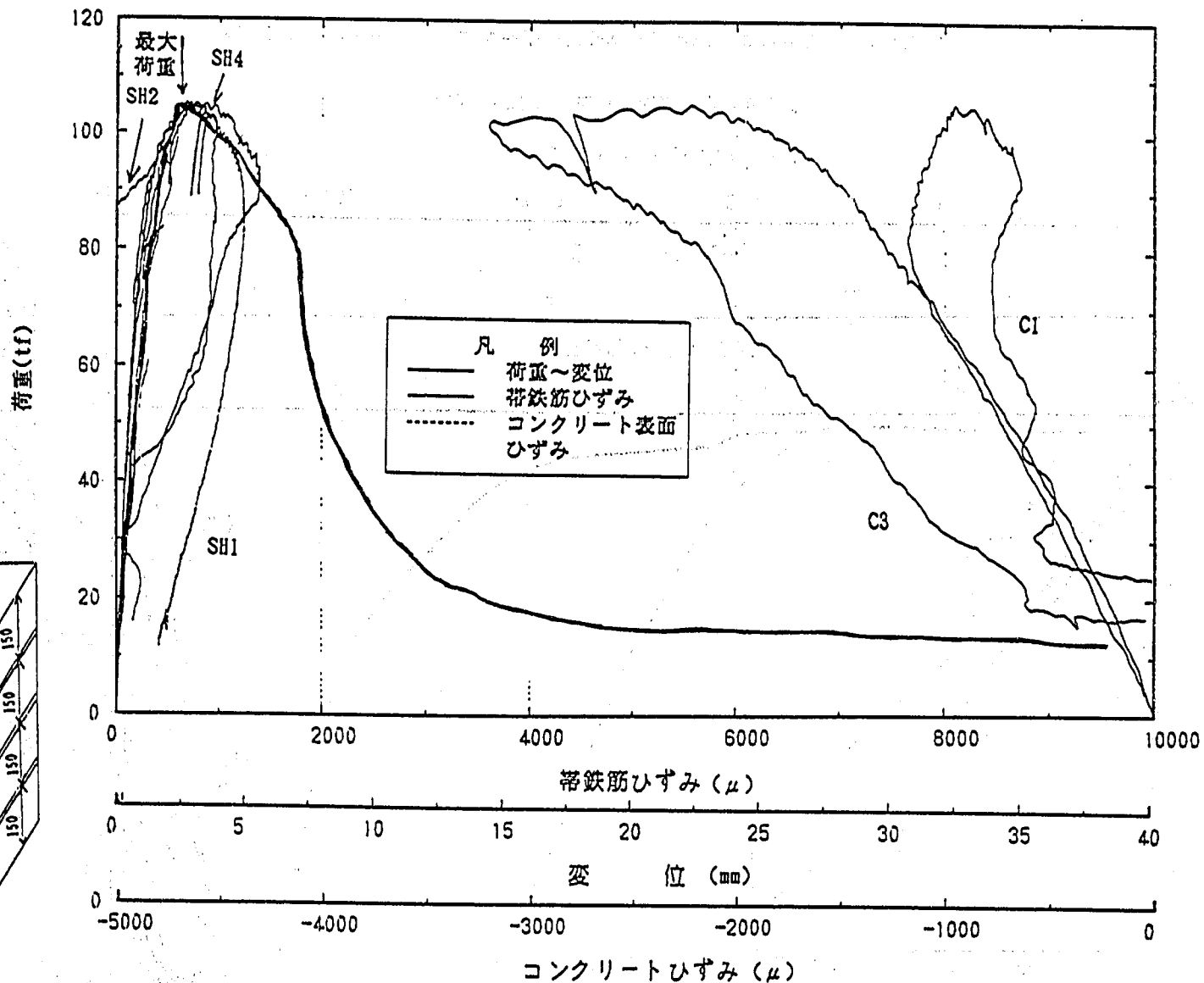
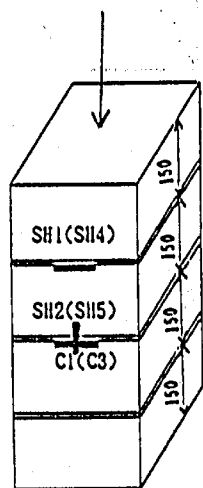
(4)A-8供試体(円形断面、 $p = 1.0\%$)

図-3. 11 荷重～変位、荷重～鋼板の水平方向ひずみ、荷重～鋼板の軸方向ひずみ関係



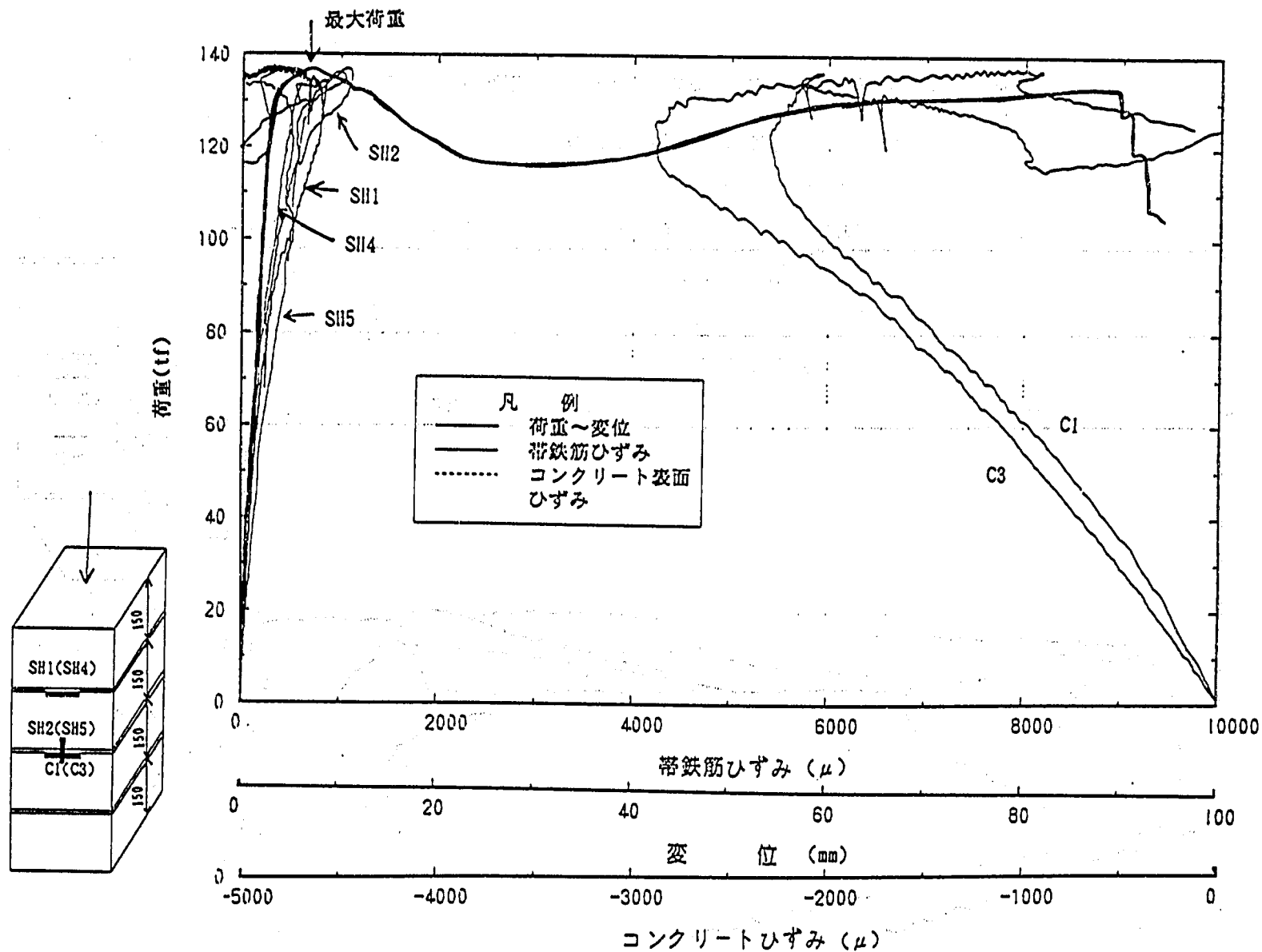
(5)B-2供試体(正方形断面、 $p = 0.19\%$)

図-3. 11 荷重～変位、荷重～帯鉄筋ひずみ、荷重～コンクリートひずみ関係



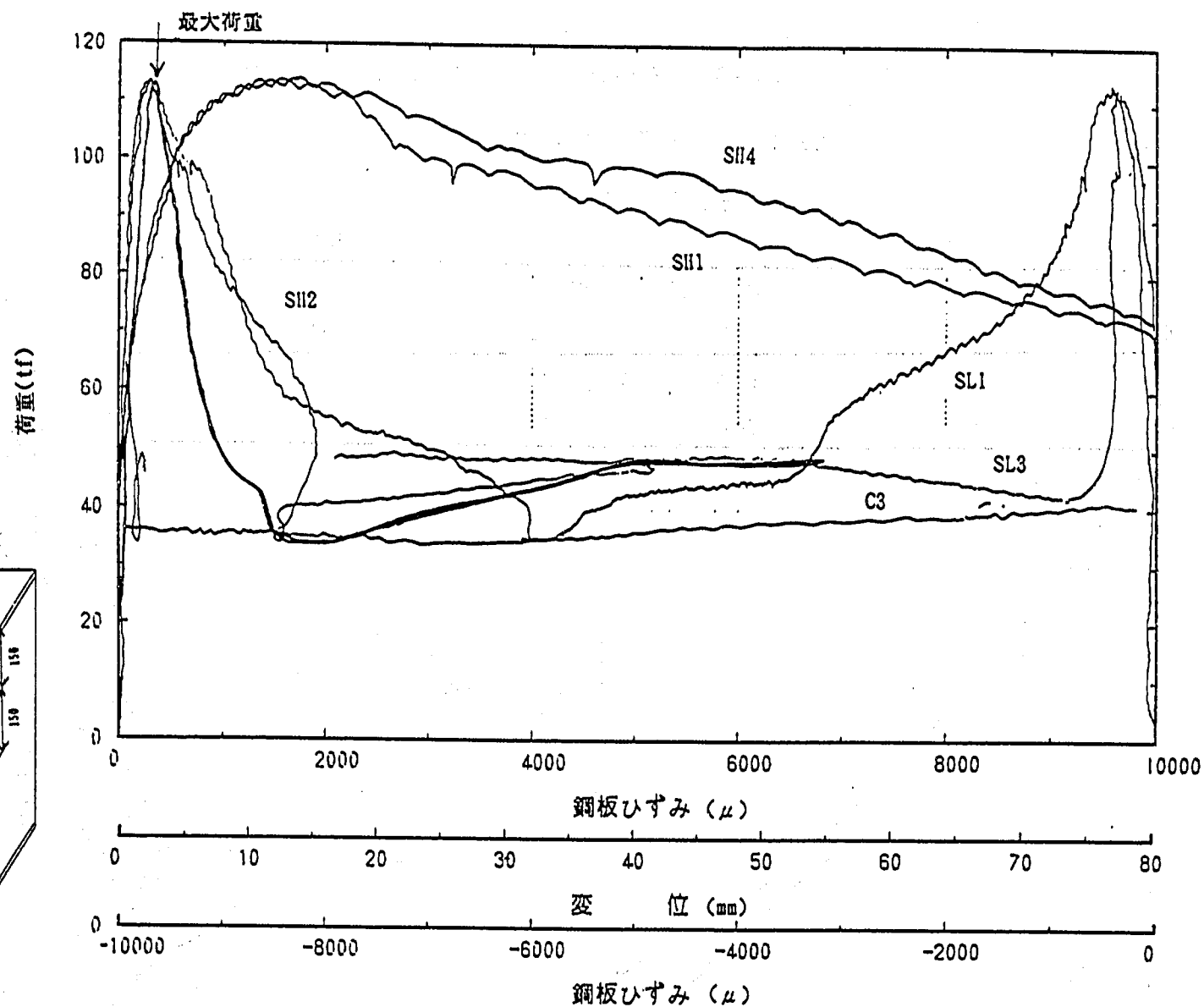
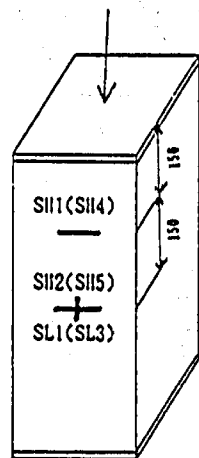
(6)B-4供試体(正方形断面、 $p = 0.57\%$)

図-3.11 荷重～変位、荷重～帯鉄筋ひずみ、荷重～コンクリートひずみ関係



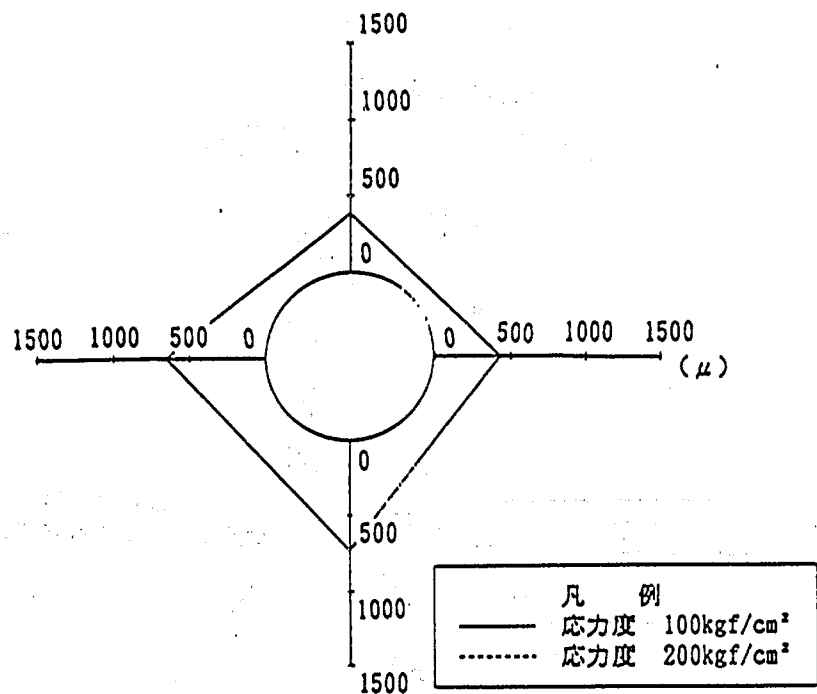
(7)B-6供試体(正方形断面、 $p = 2.26\%$)

図-3. 11 荷重～変位、荷重～帯鉄筋ひずみ、荷重～コンクリートひずみ関係

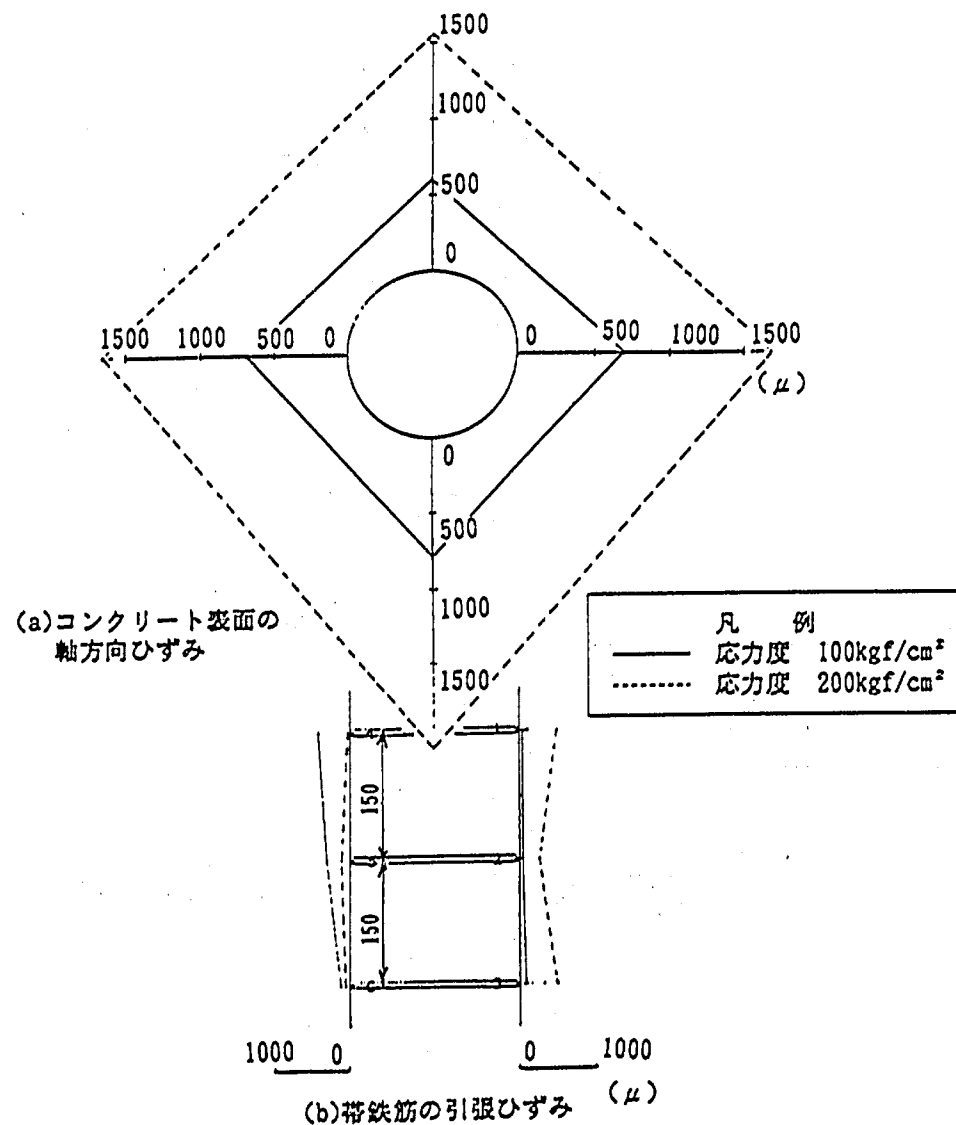


(8)B-8供試体(正方形断面、 $p = 1.0\%$)

図-3. 1.1 荷重～変位、荷重～鋼板の水平方向ひずみ、荷重～鋼板の軸方向ひずみ関係



(1)A-1($p = 0\%$)



(2)A-2($p = 0.19\%$)

図-3. 1 2 (1) 円形断面供試体(A供試体)のコンクリート及び帯鉄筋のひずみ

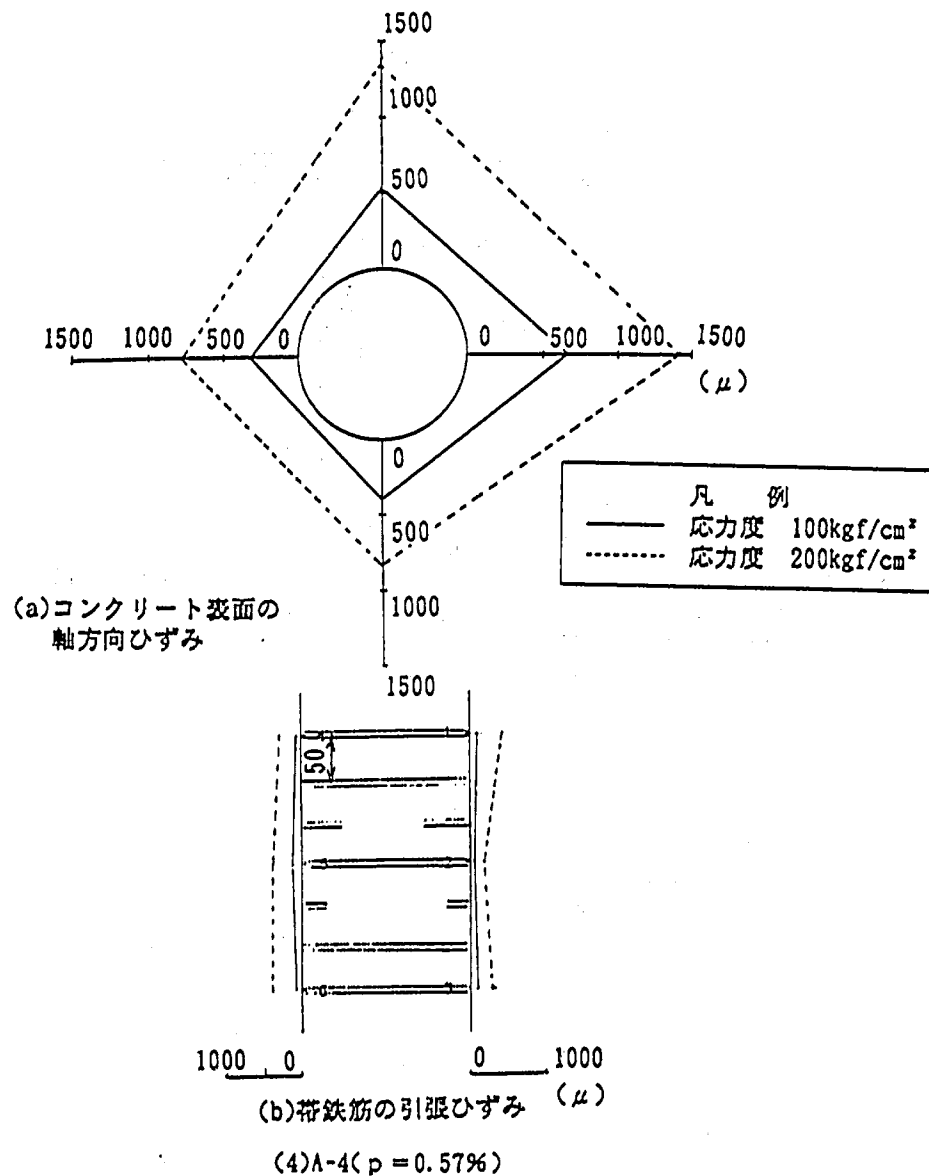
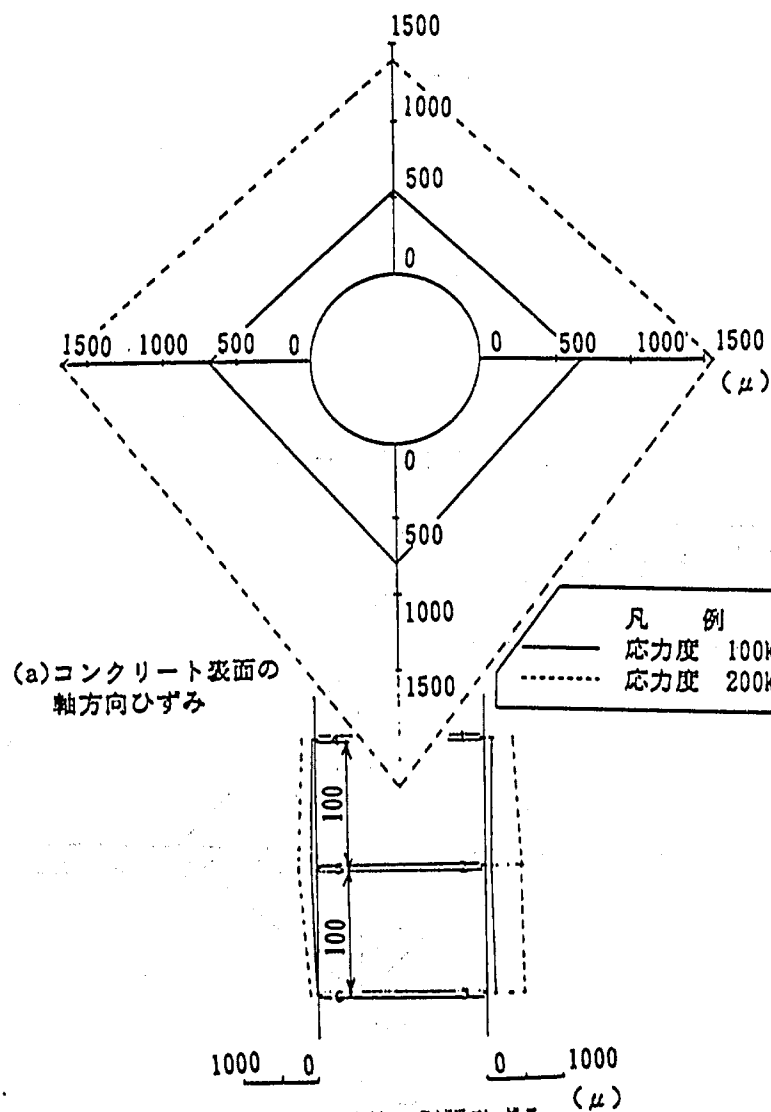
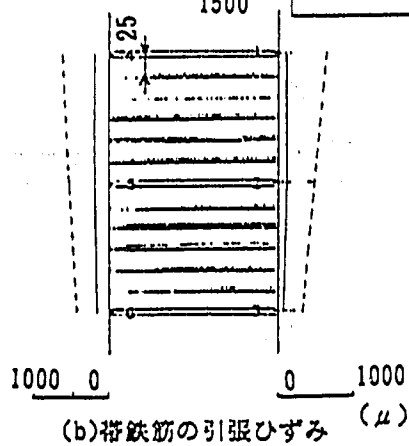
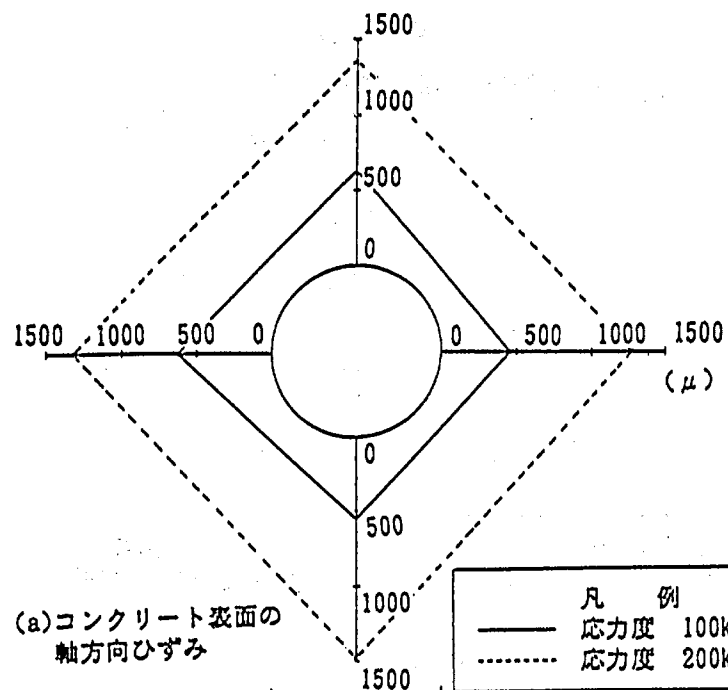
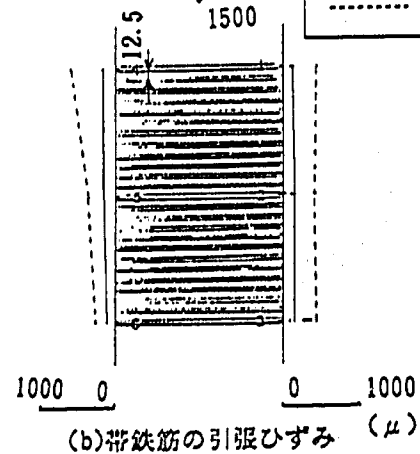
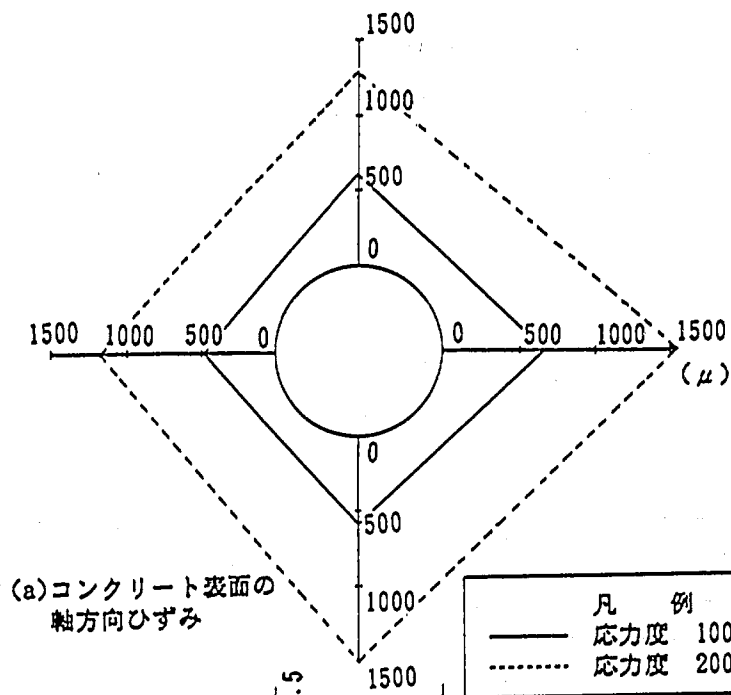


図-3. 12(2) 円形断面供試体(A供試体)のコンクリート及び帯鉄筋のひずみ



(5) A-5 (p = 1.13%)



(6) A-6 (p = 2.26%)

図-3. 12(3) 円形断面供試体(A供試体)のコンクリート及び帯鉄筋のひずみ

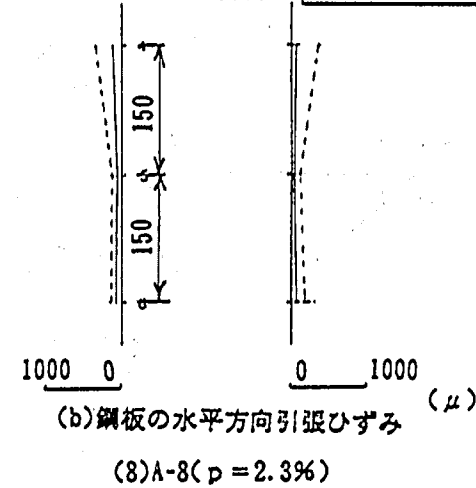
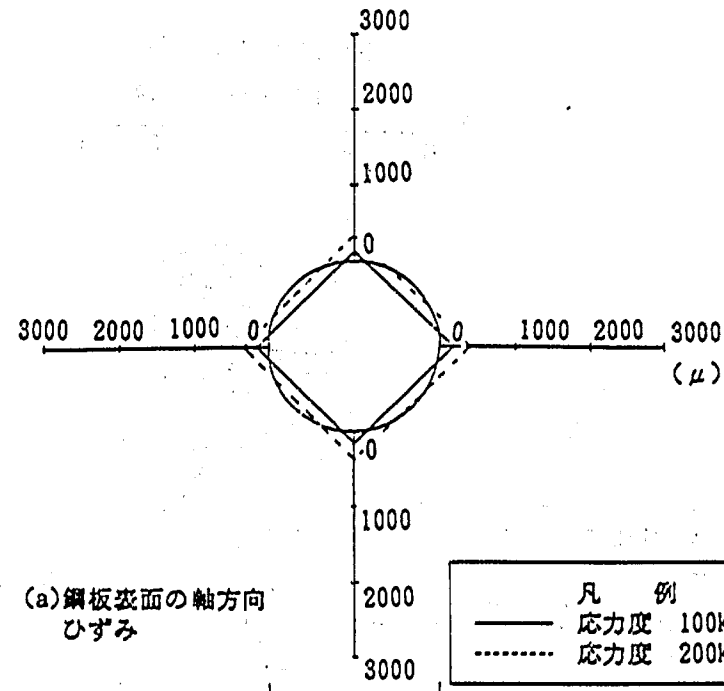
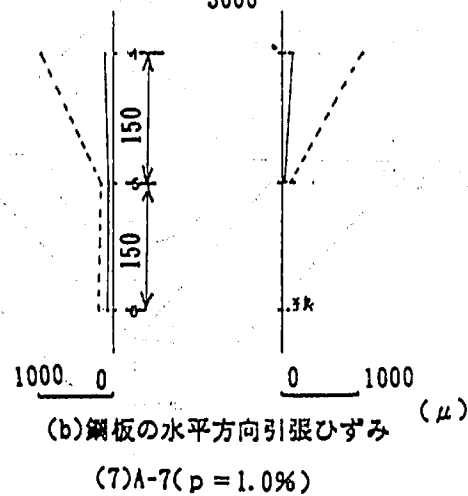
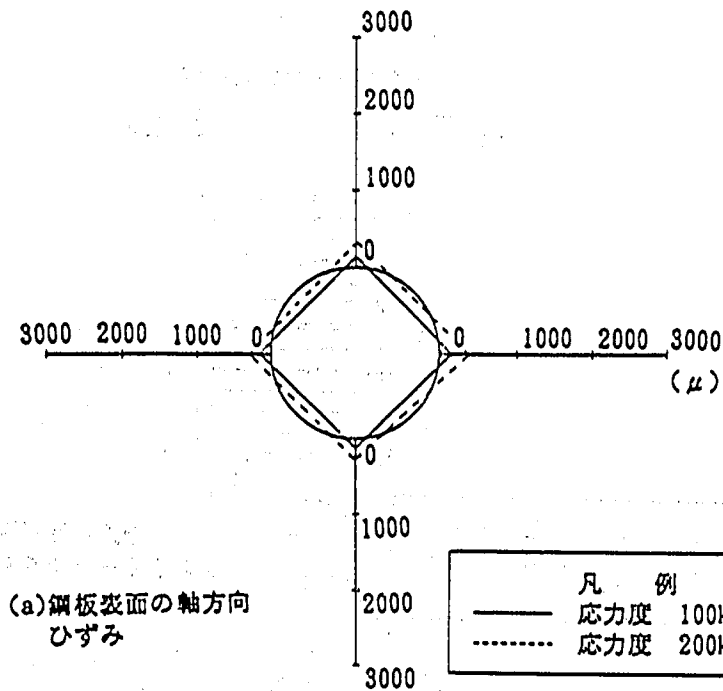
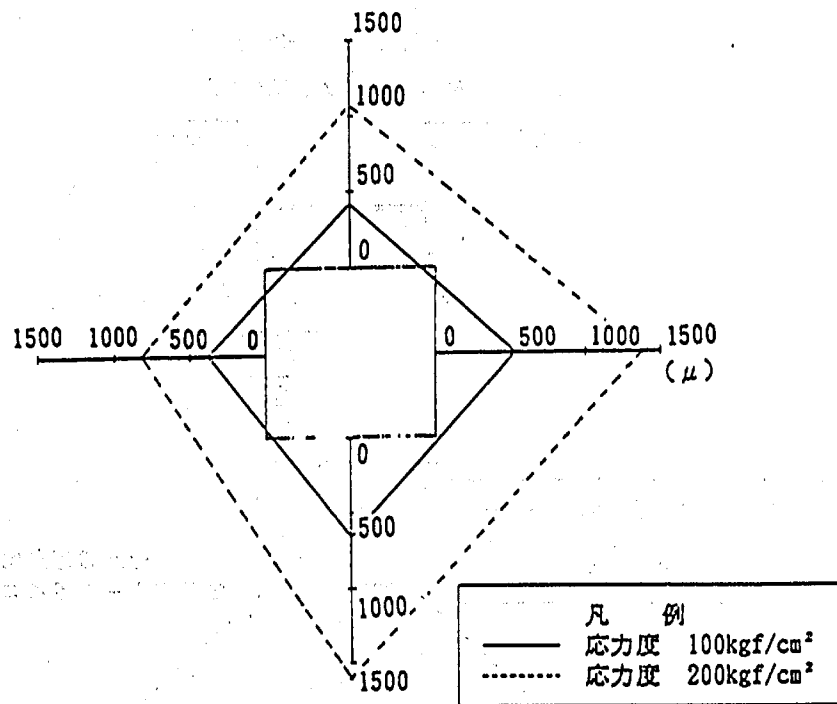
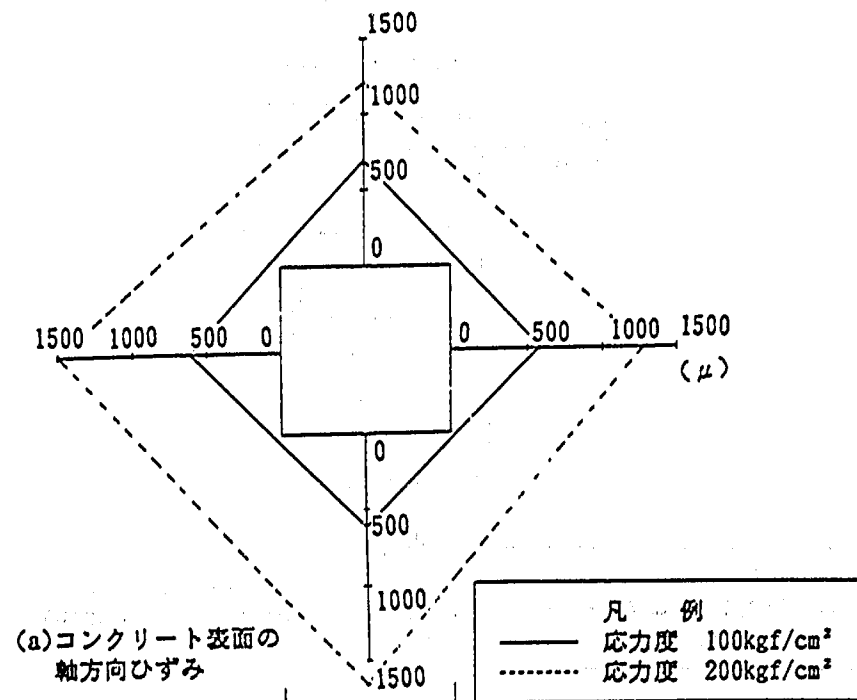


図-3. 1 2 (4) 円形断面供試体(A供試体)の鋼板表面の軸方向ひずみ及び鋼板の水平方向引張ひずみ

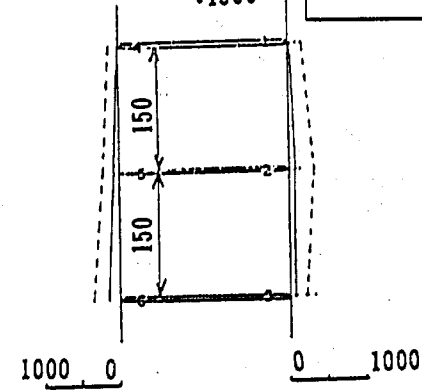


(a)コンクリート表面の
軸方向ひずみ

(1)B-1(p = 0%)



(a)コンクリート表面の
軸方向ひずみ



(b)帯鉄筋の引張ひずみ

(2)B-2(p = 0.19%)

図-3. 13(1) 正方形断面供試体(B供試体)のコンクリート及び帯鉄筋のひずみ

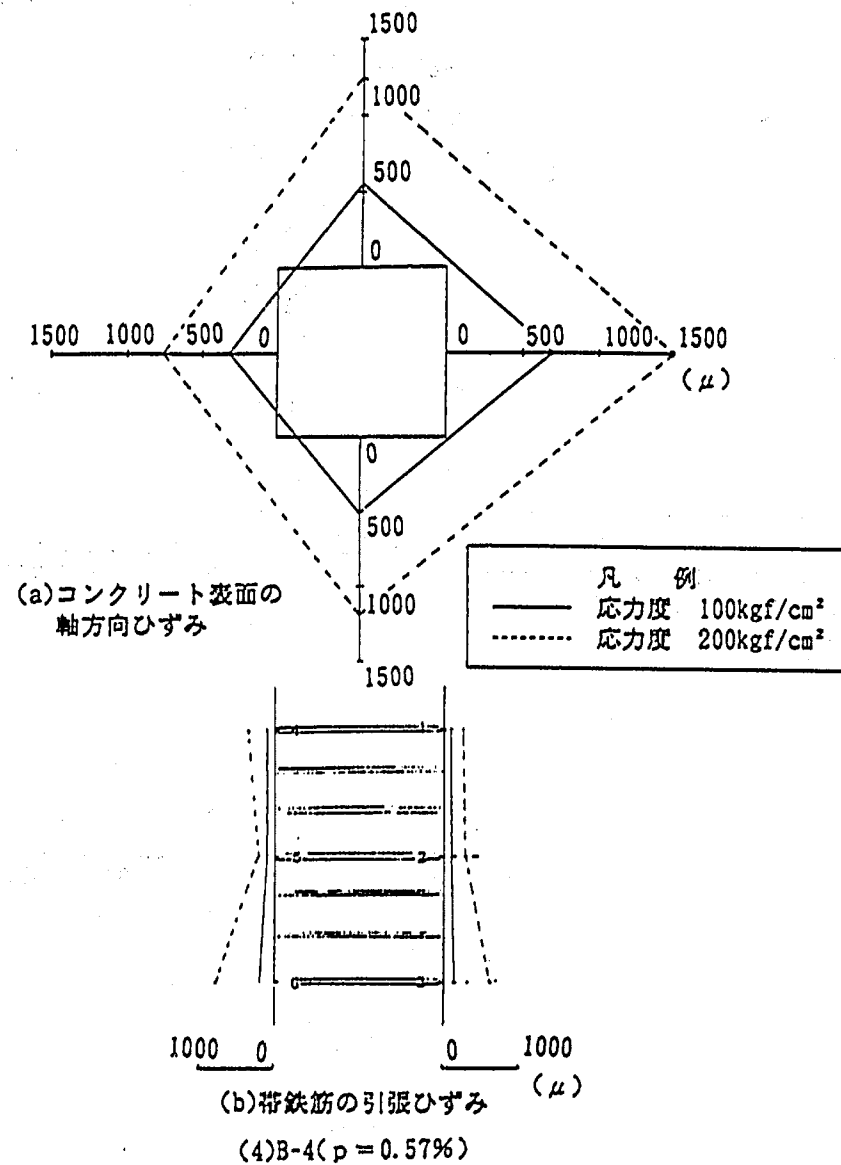
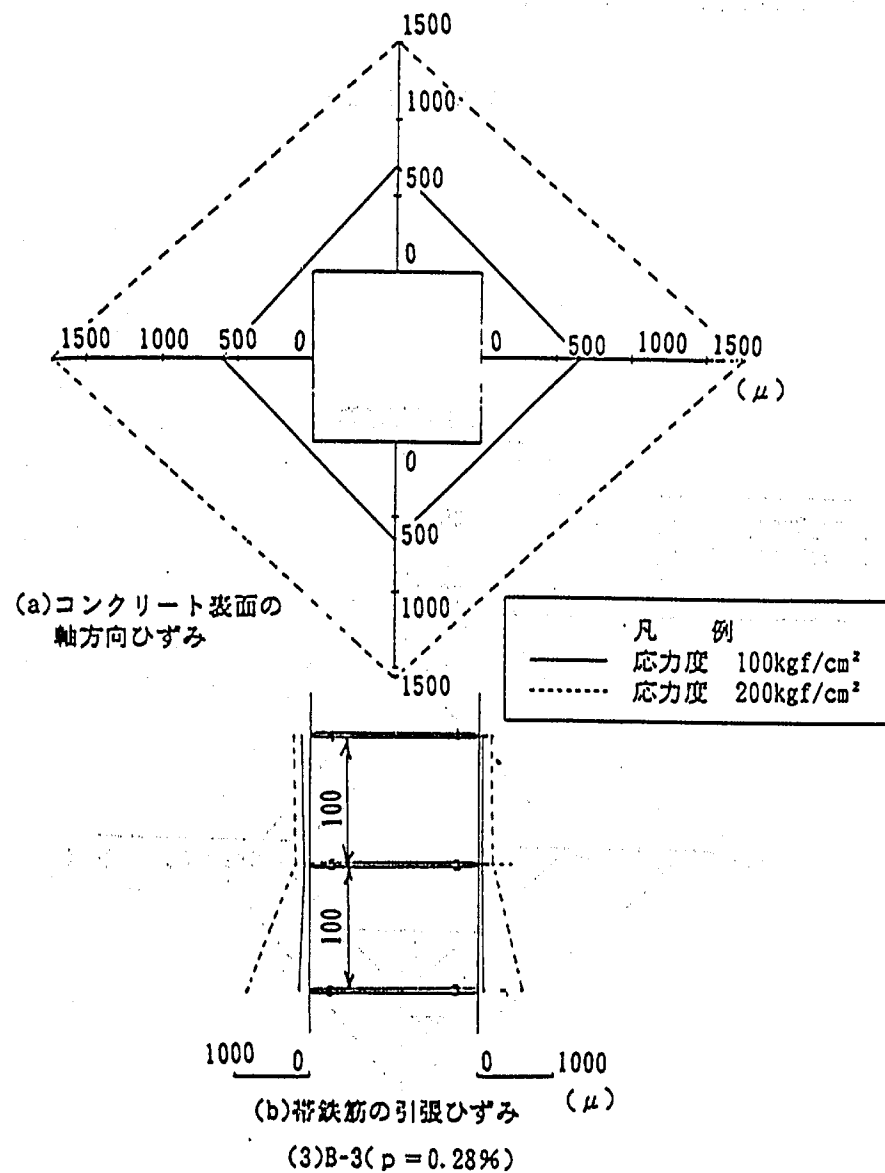


図-3. 13(2) 正方形断面供試体(B供試体)のコンクリート及び帯鉄筋のひずみ

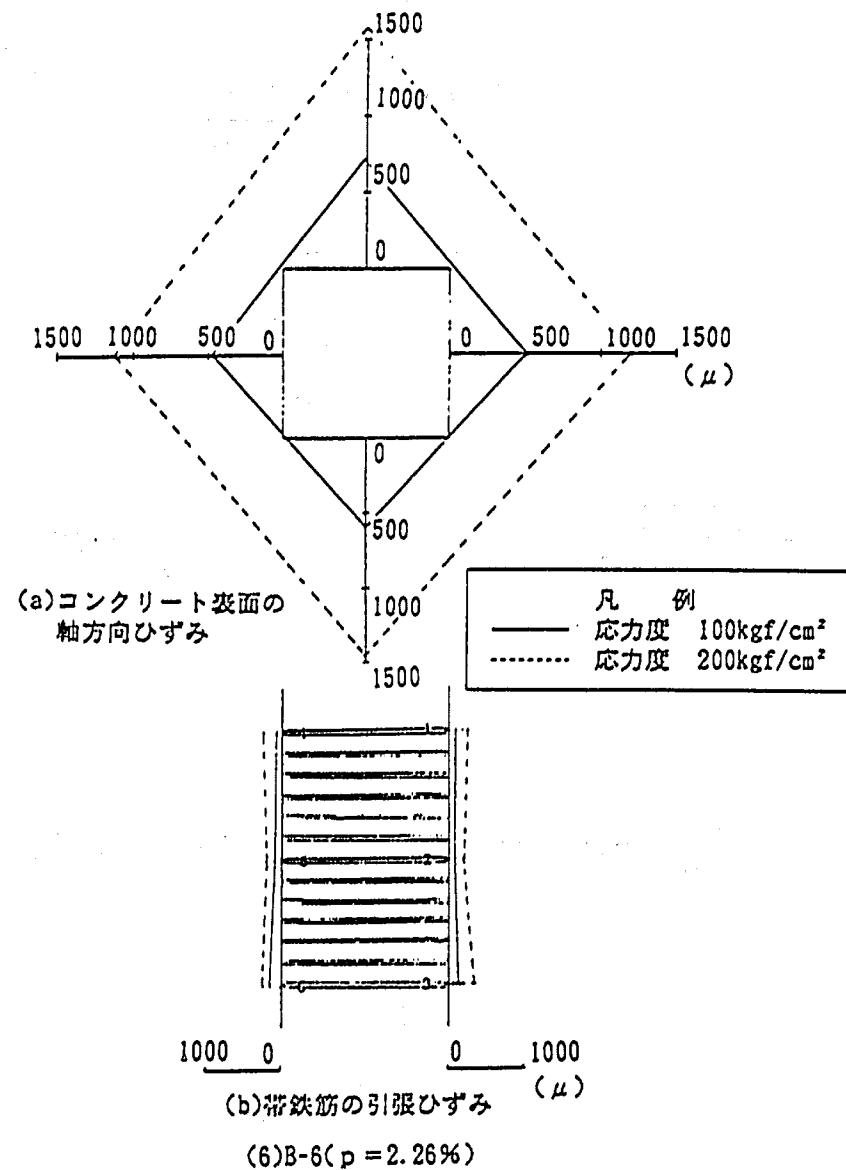
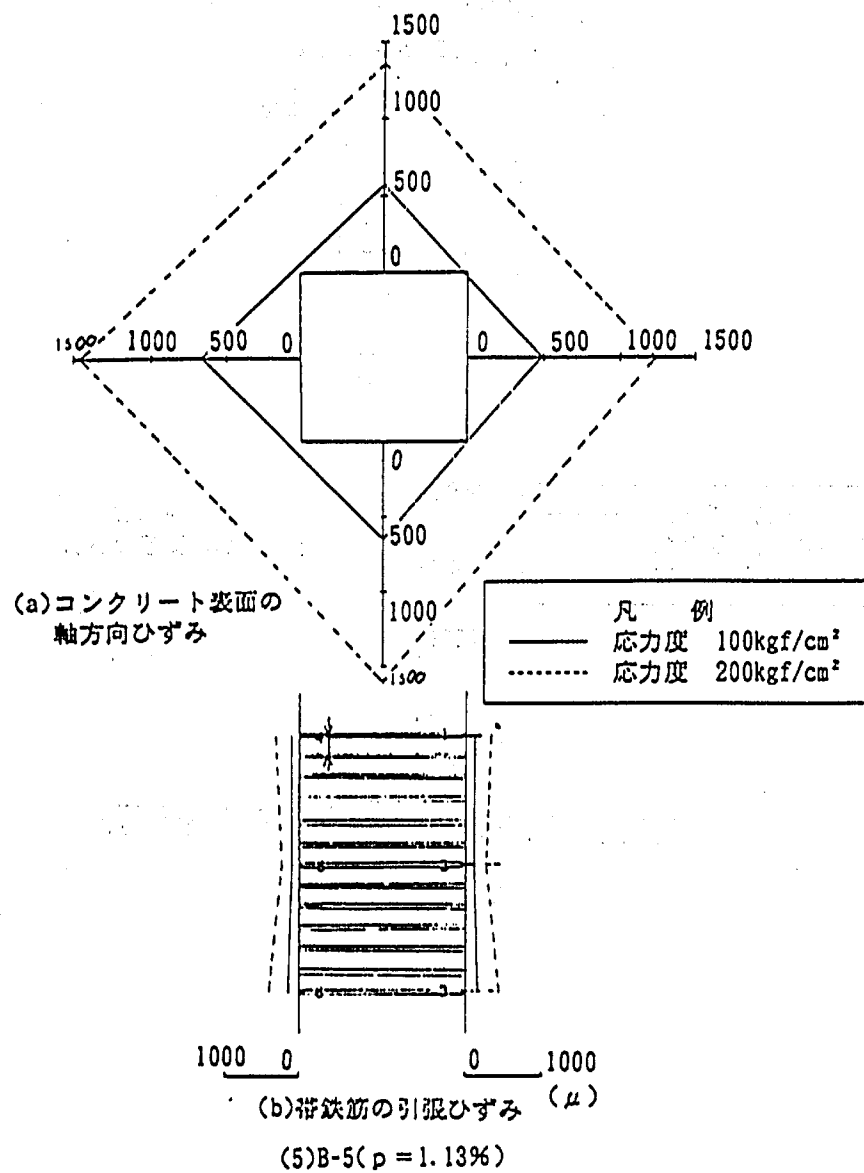
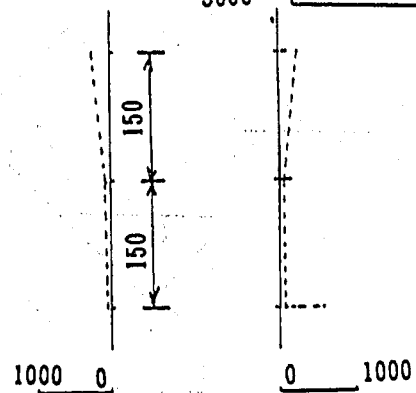
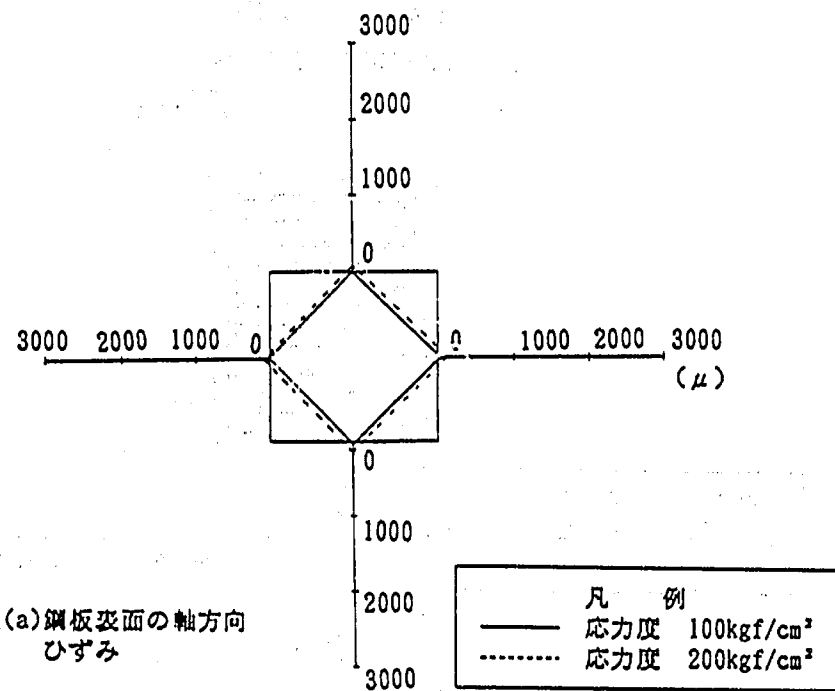
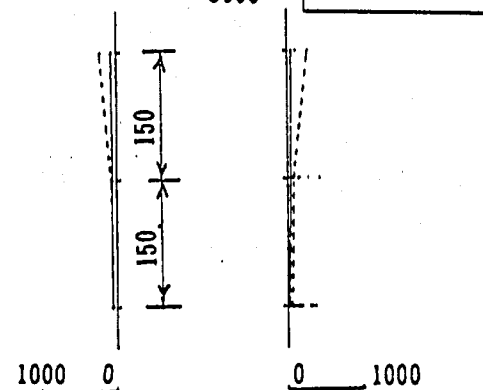
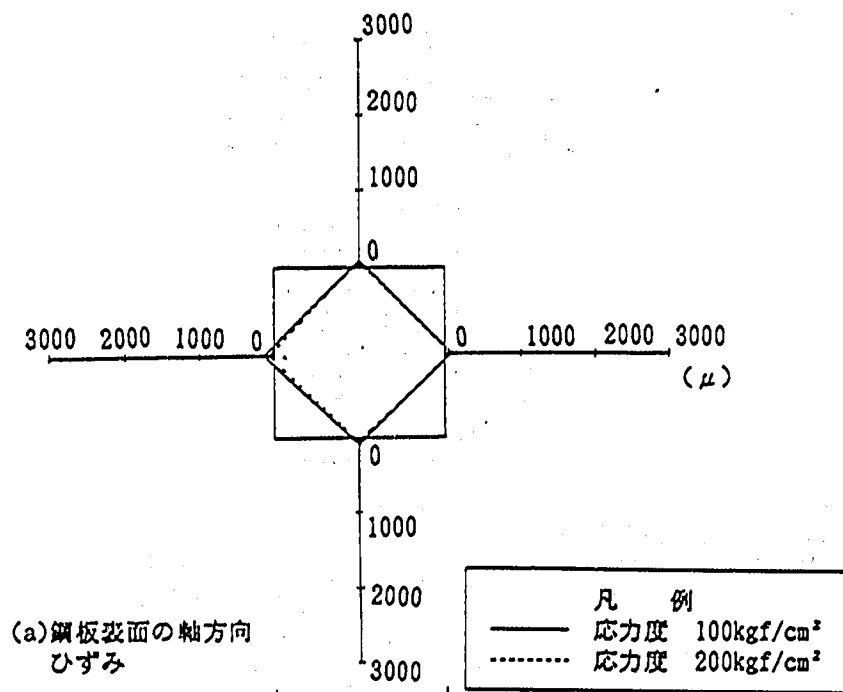


図 - 3. 1 3 (3) 正方形断面供試体(B供試体)のコンクリート及び帯鉄筋のひずみ



(7)B-7(p = 1.0%)



(8)B-8(p = 2.3%)

図-3. 13(4) 正方形断面供試体(B供試体)の鋼板表面の軸方向ひずみ及び鋼板の水平方向引張ひずみ

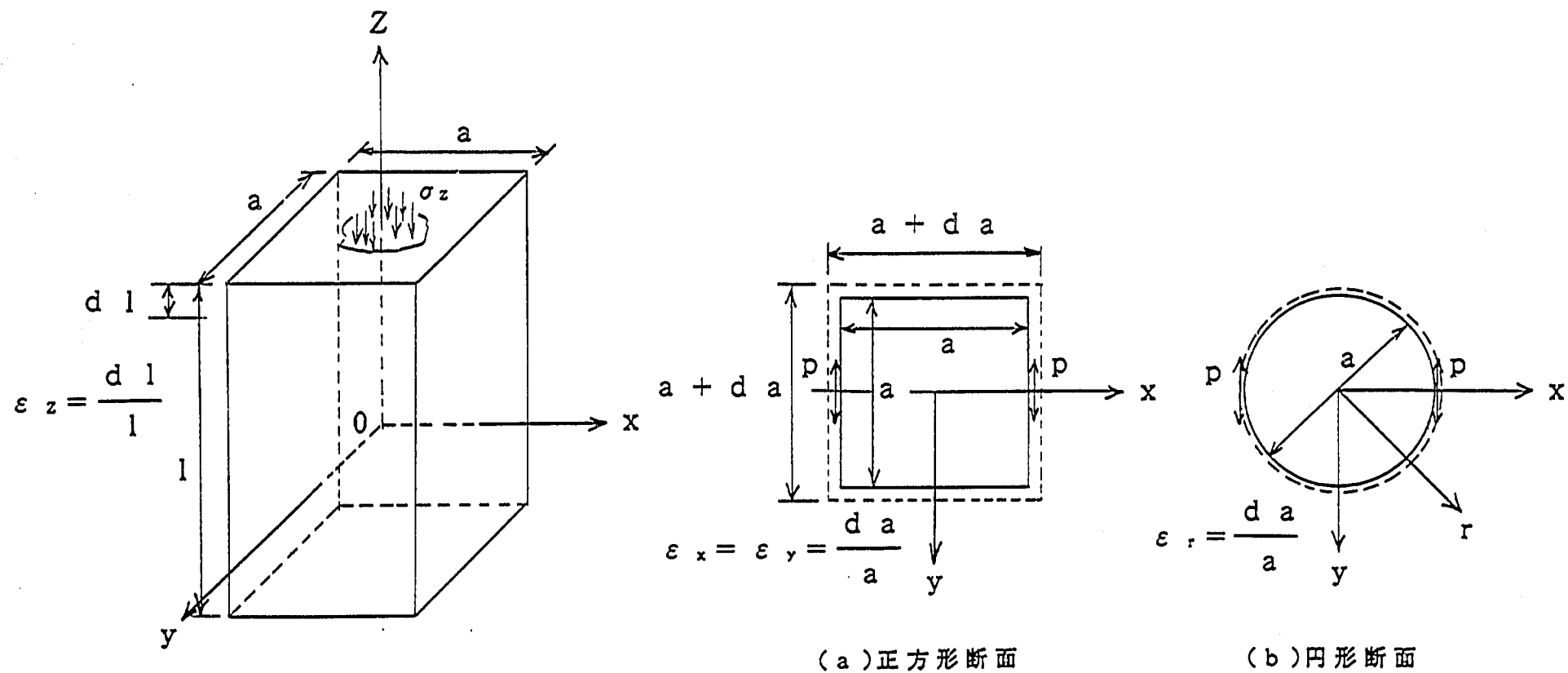
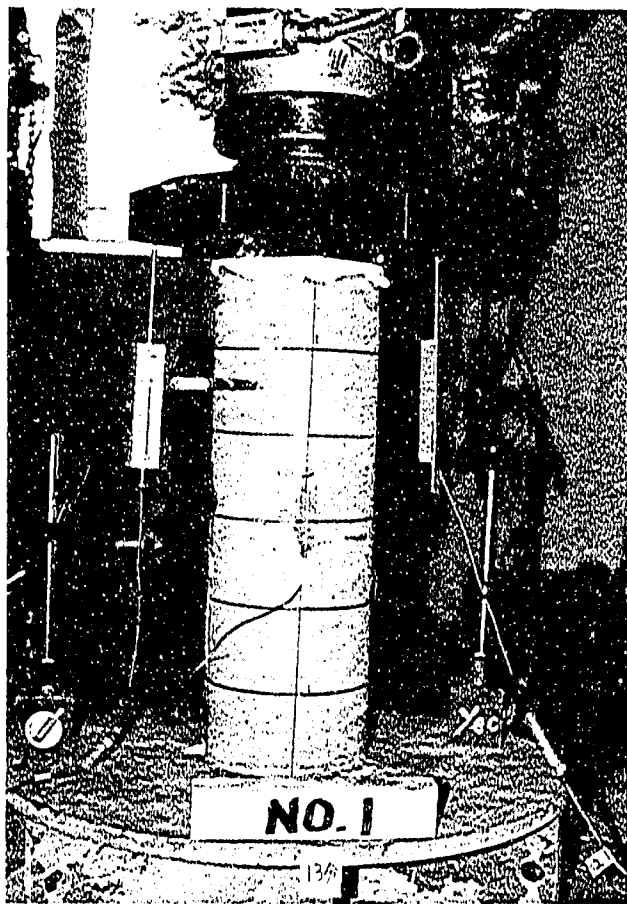


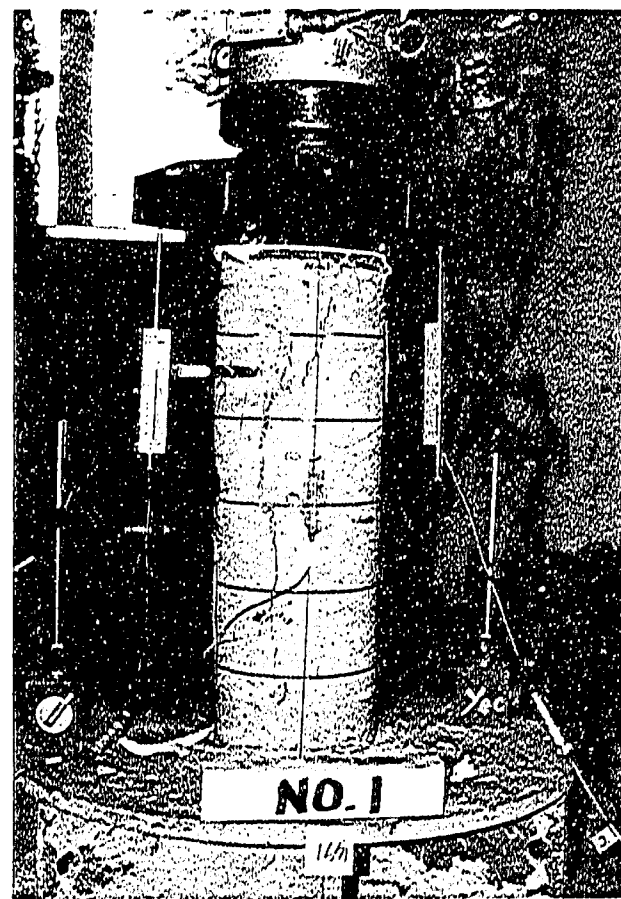
図 - 3.14 圧縮試験時の応力状態

付 属 資 料

I. 損傷写真

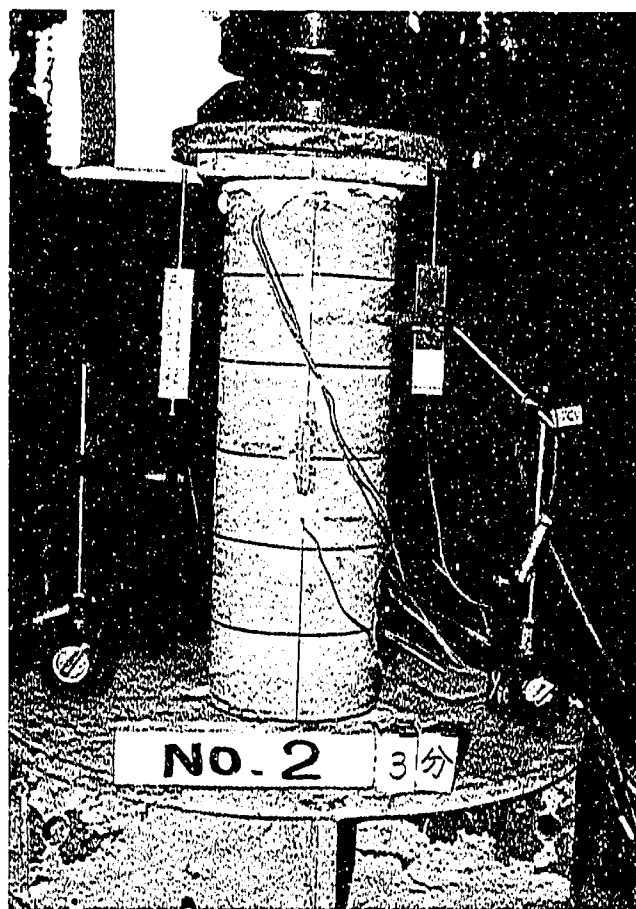


(a) 最大荷重時近傍

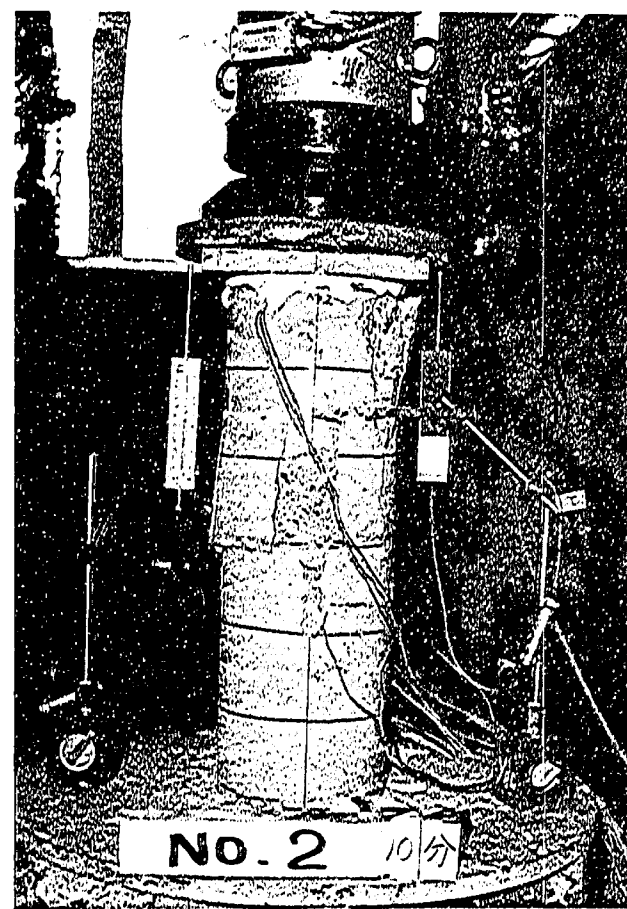


(b) 最終状態

付写真 - 1 A - 1 供試体 (円形, $p = 0\%$)

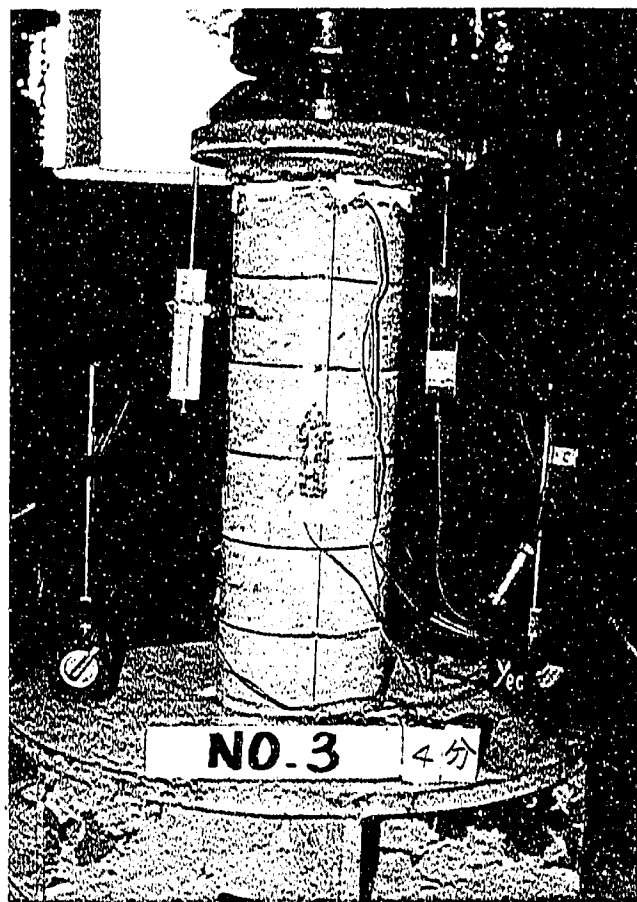


(a) 最大荷重時近傍

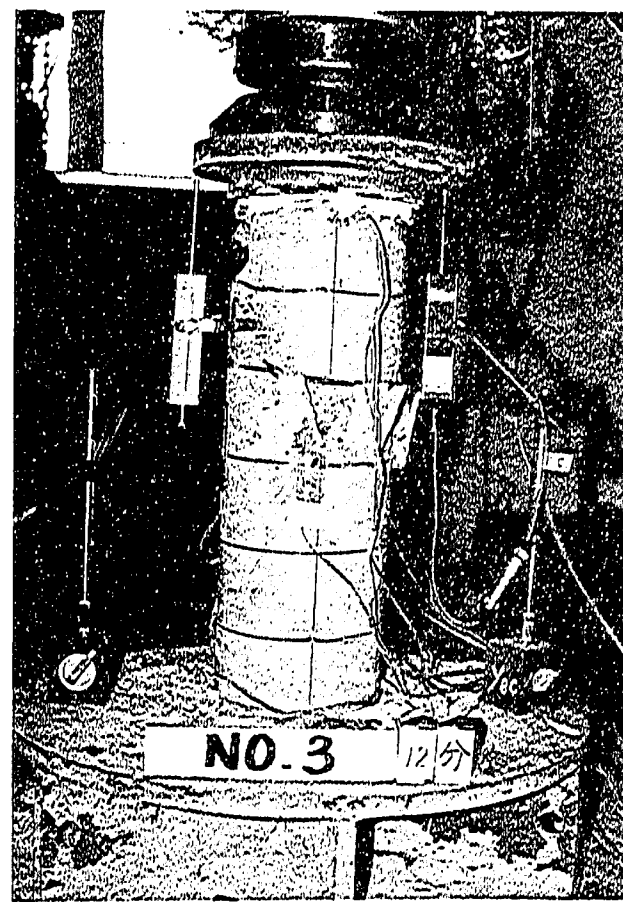


(b) 最終状態

付写真 - 2 A - 2 供試体 (円形, $p = 0.19\%$)

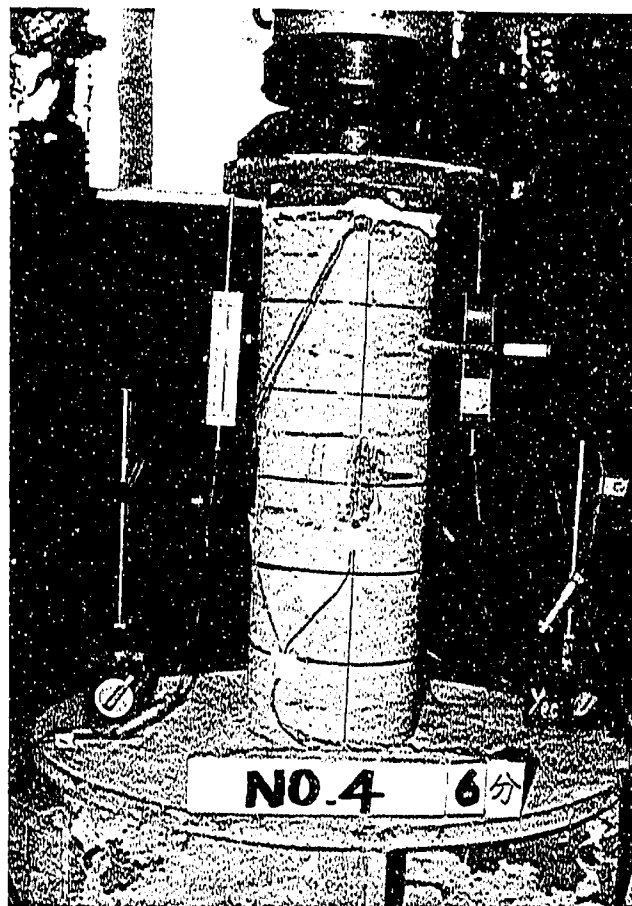


(a) 最大荷重時近傍

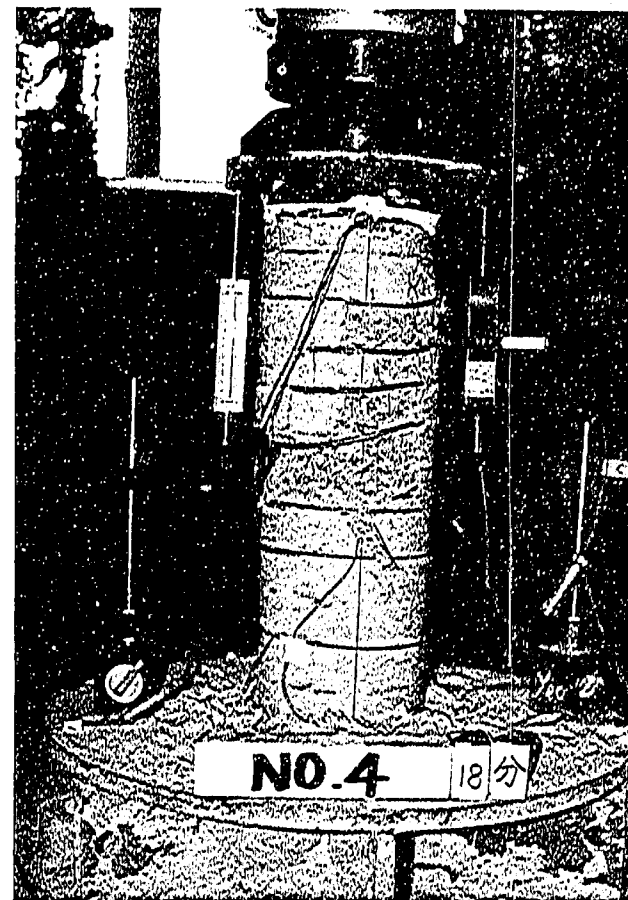


(b) 最終状態

付写真 - 3 A - 3 供試体 (円形, $p = 0.28\%$)

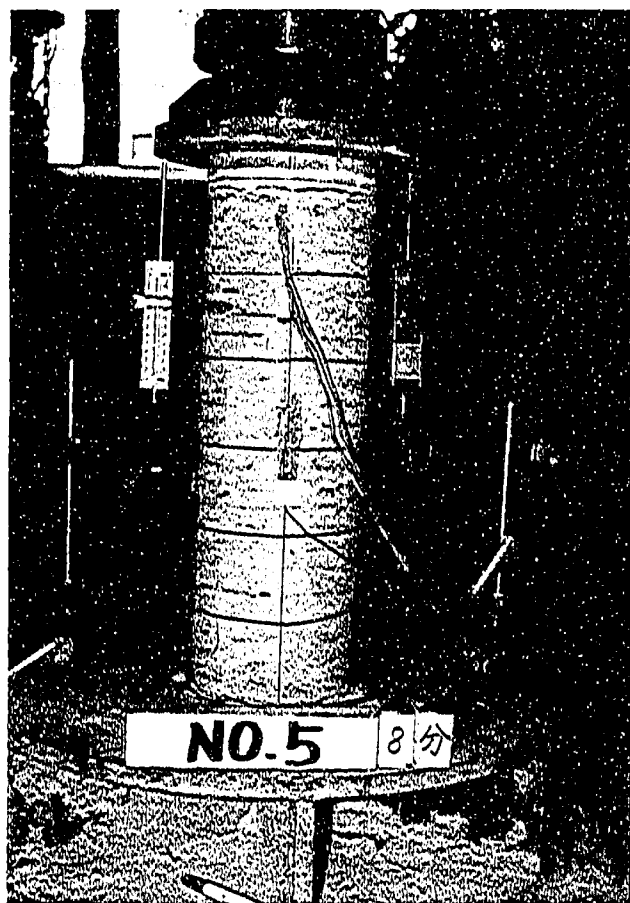


(a) 最大荷重時近傍

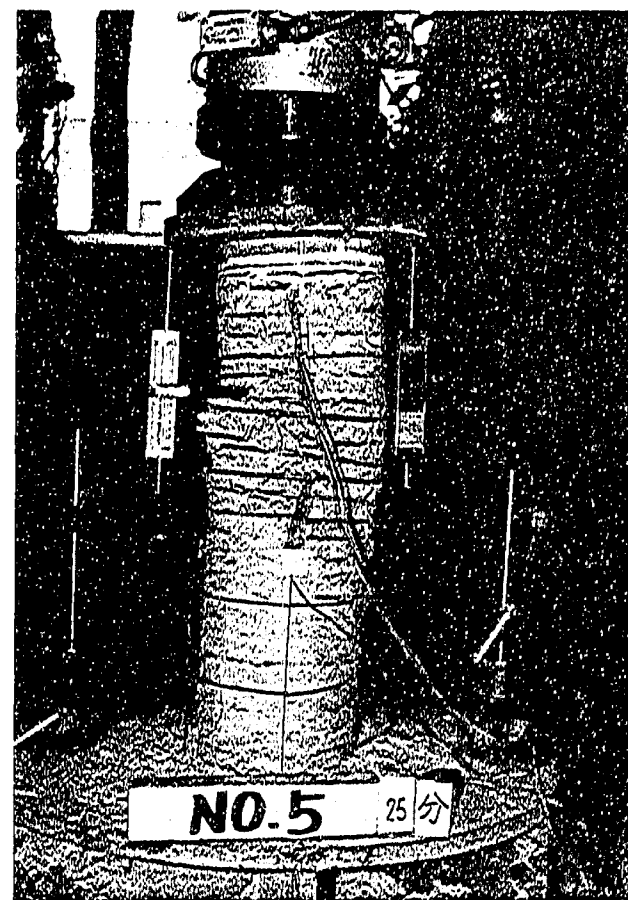


(b) 最終状態

付写真 - 4 A - 4 供試体 (円形, $p = 0.57\% [i260^{\circ}]$)

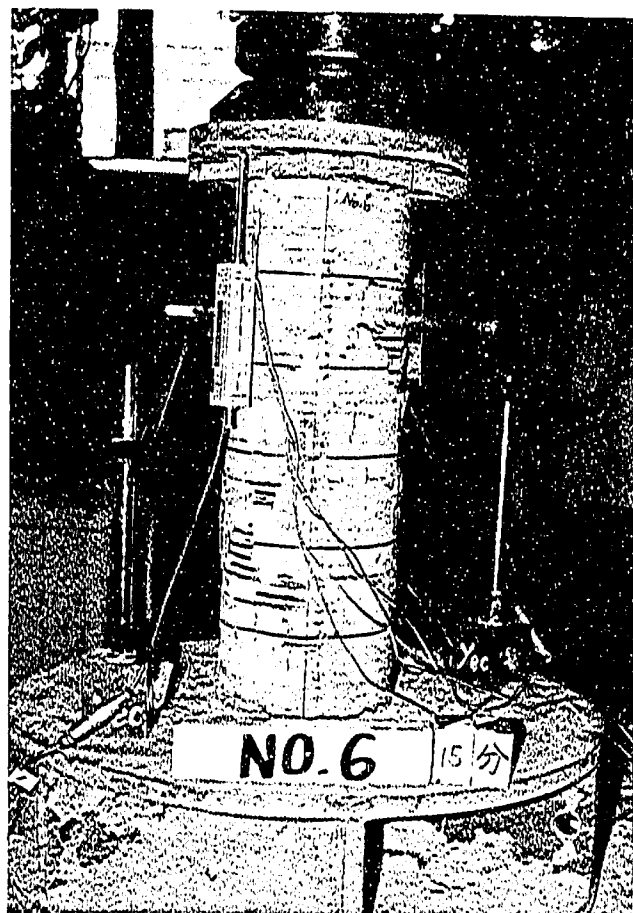


(a) 最大荷重時近傍



(b) 最終状態

付写真 - 5 A - 5 供試体 (円形, $p = 1.13\%$)

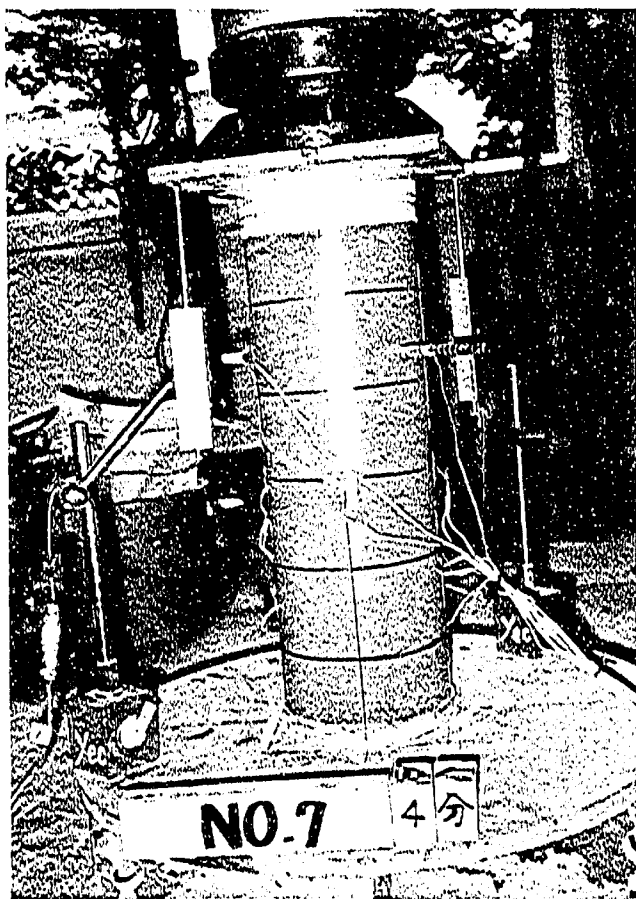


(a) 最大荷重時近傍

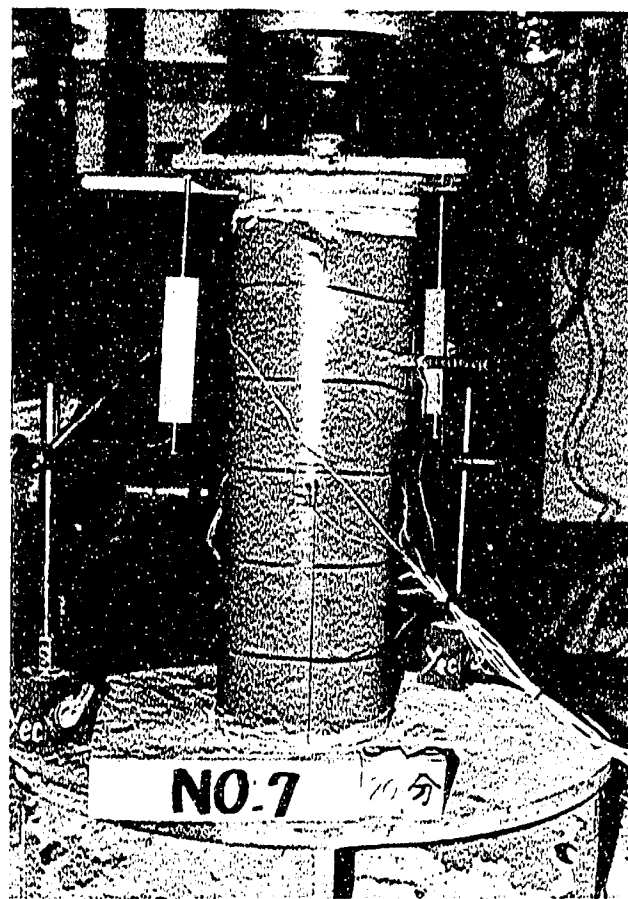


(b) 最終状態

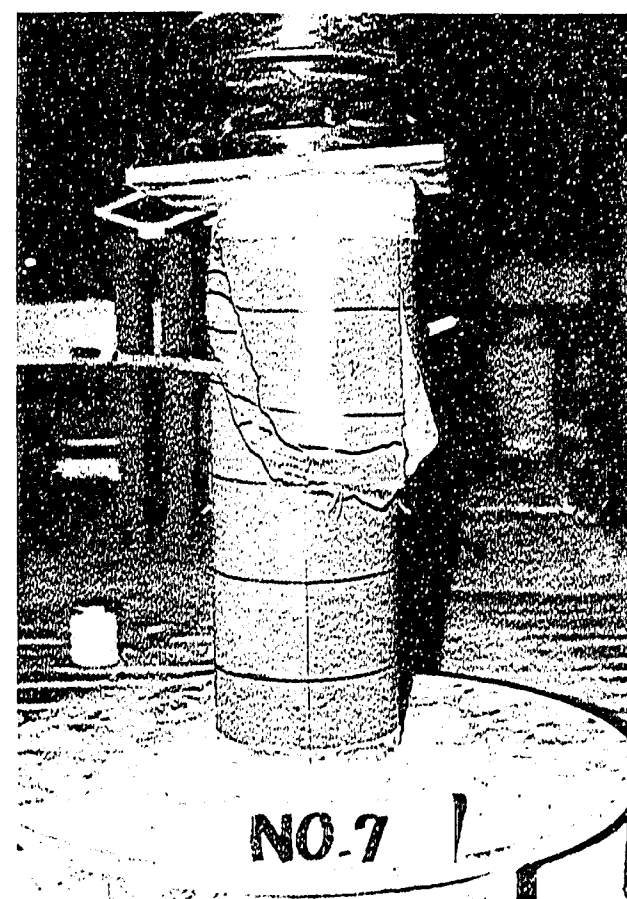
付写真 - 6 A - 6 供試体 (円形, $p = 2.26\%$)



(a) 最大荷重時近傍

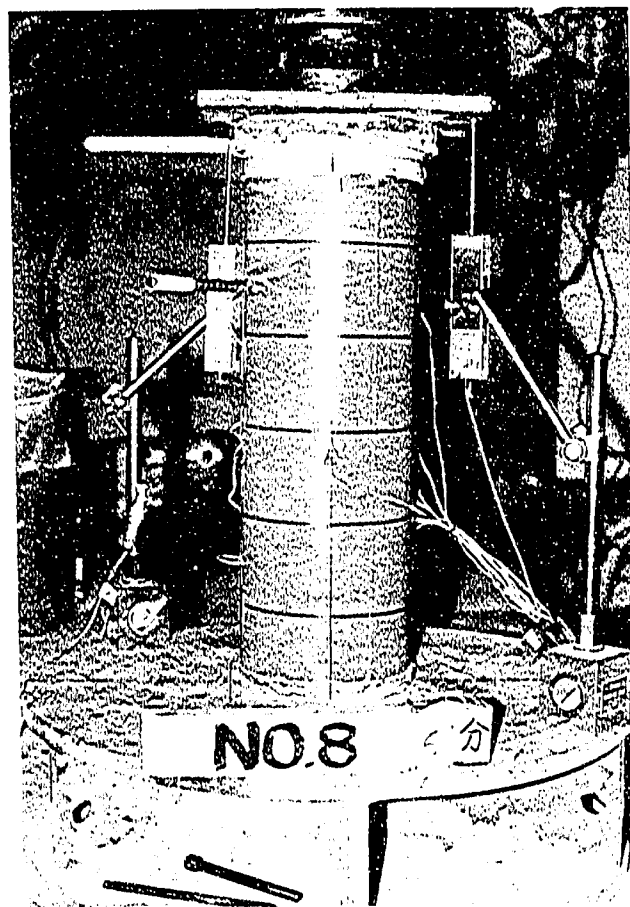


(b) 鋼板の支形

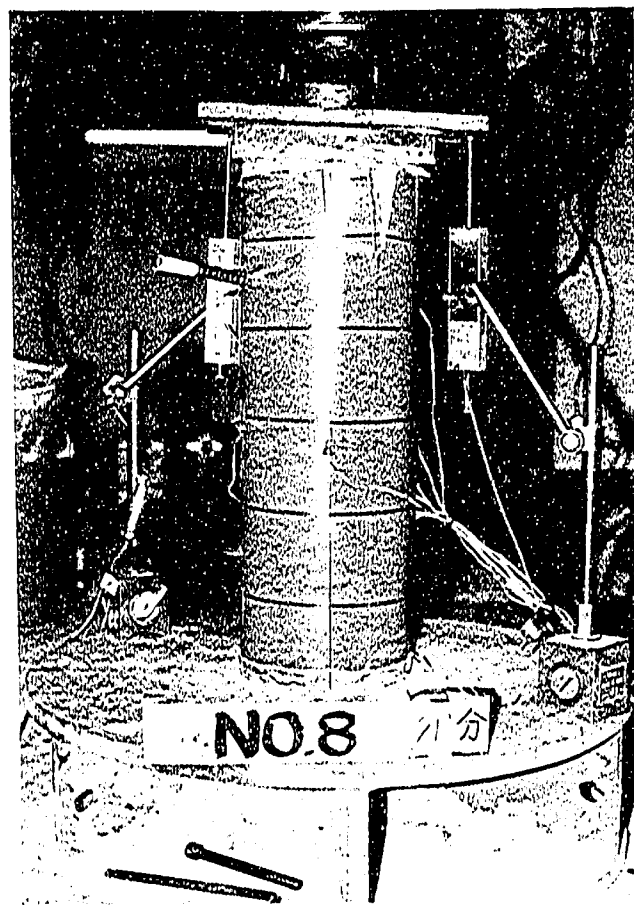


(c) 最終状態

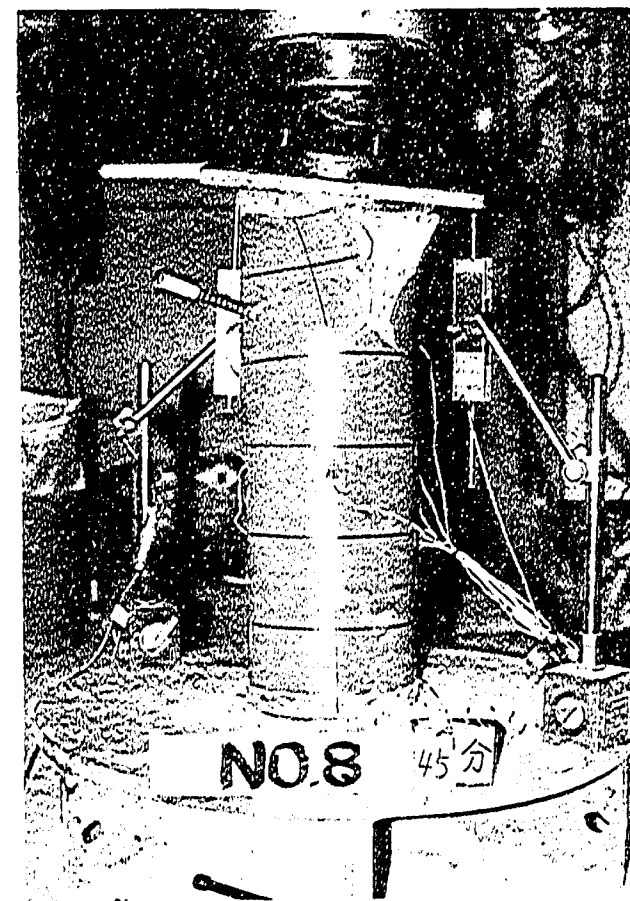
付写真 - 7 A - 7 供試体 (円形, $p = 1.0\%$)



(a) 最大荷重時近傍

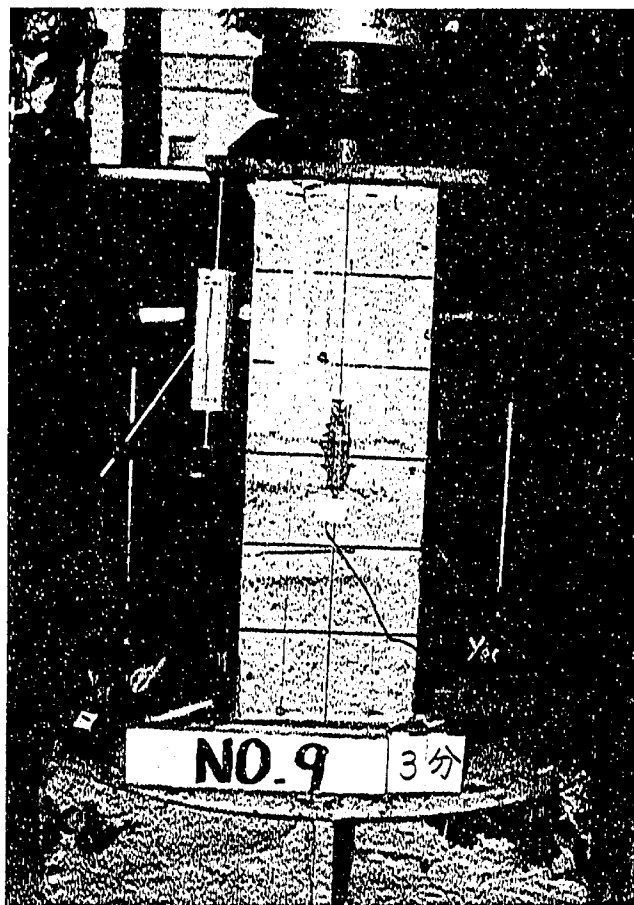


(b) 鋼板の破断亀裂

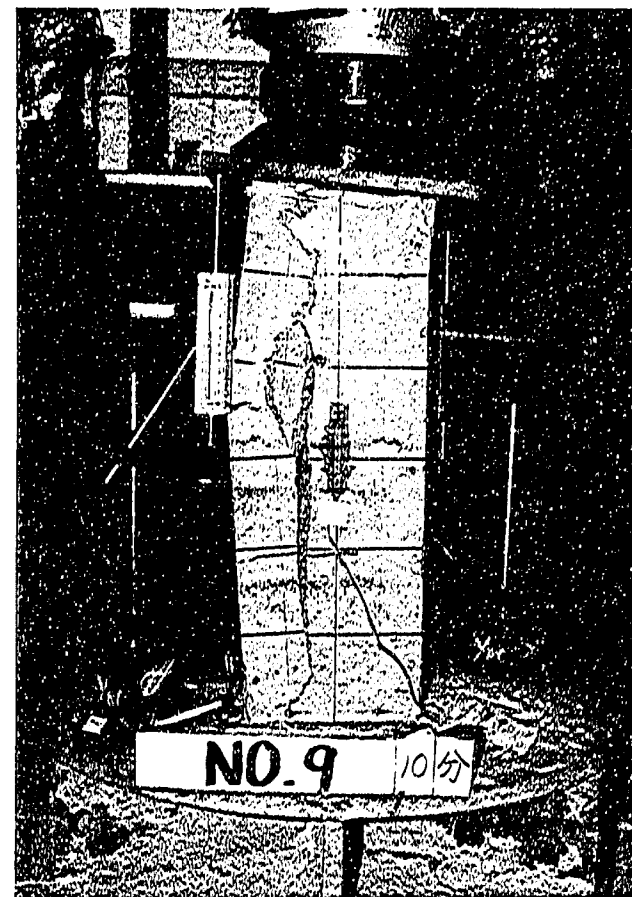


(c) 最終状態

付写真 - 8 A - 8 供試体 (円形, $p = 2.3\%$)

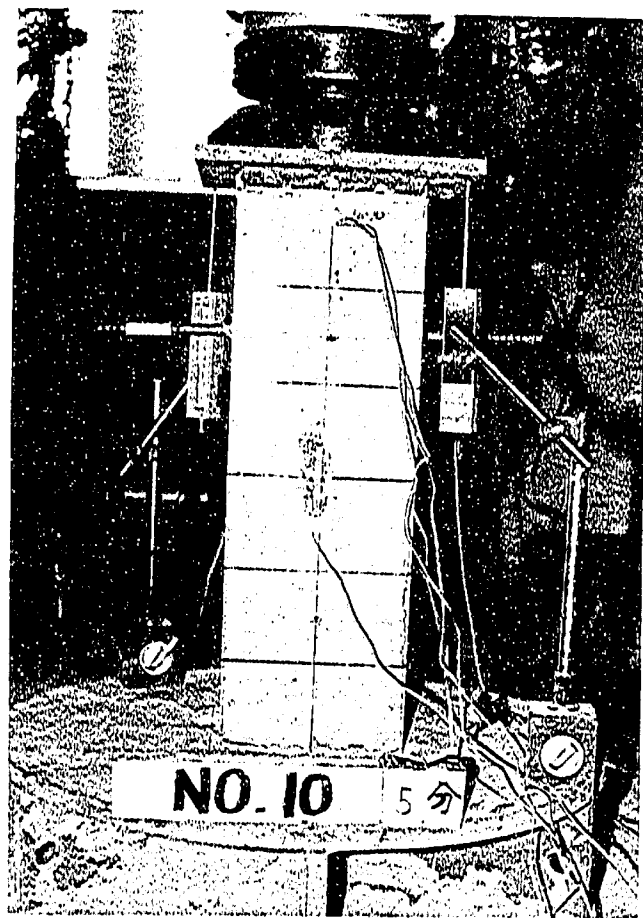


(a) 最大荷重時近傍

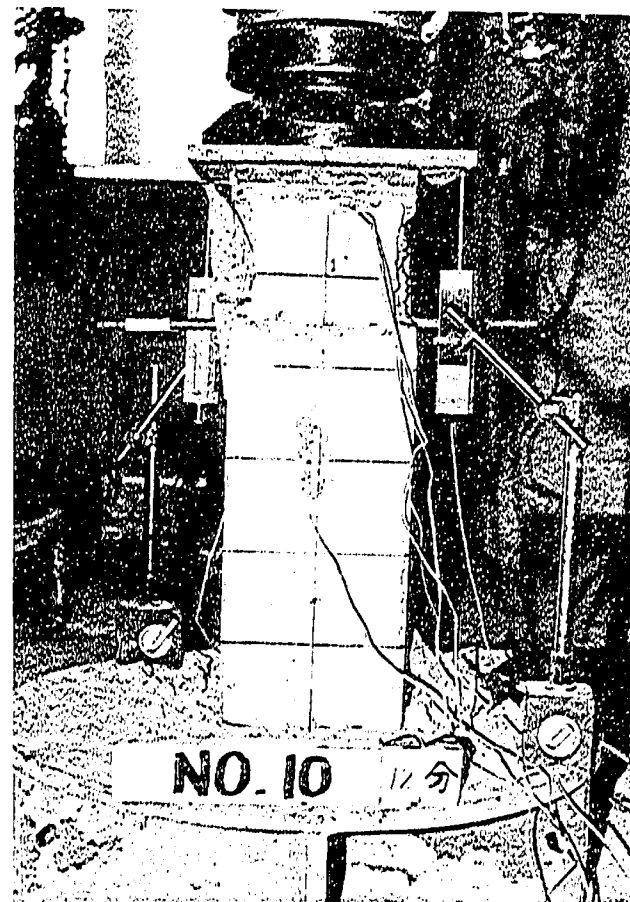


(b) 最終状態

付写真 - 9 B - 1 供試体 (正方形, $p = 0\%$)

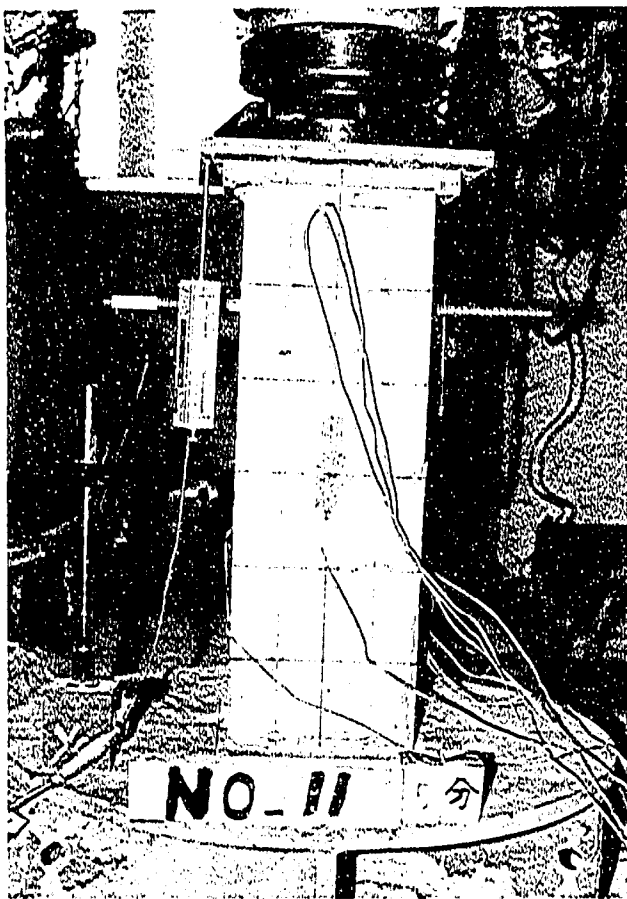


(a) 最大荷重時近傍

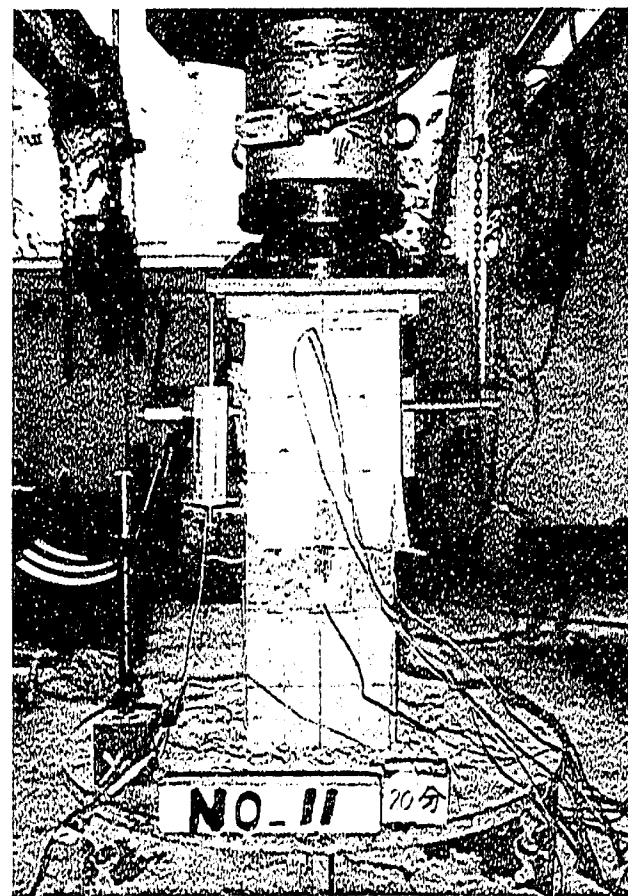


(b) 最終状態

付写真-10 B-2 供試体 (正方形, $p = 0.19\%$)

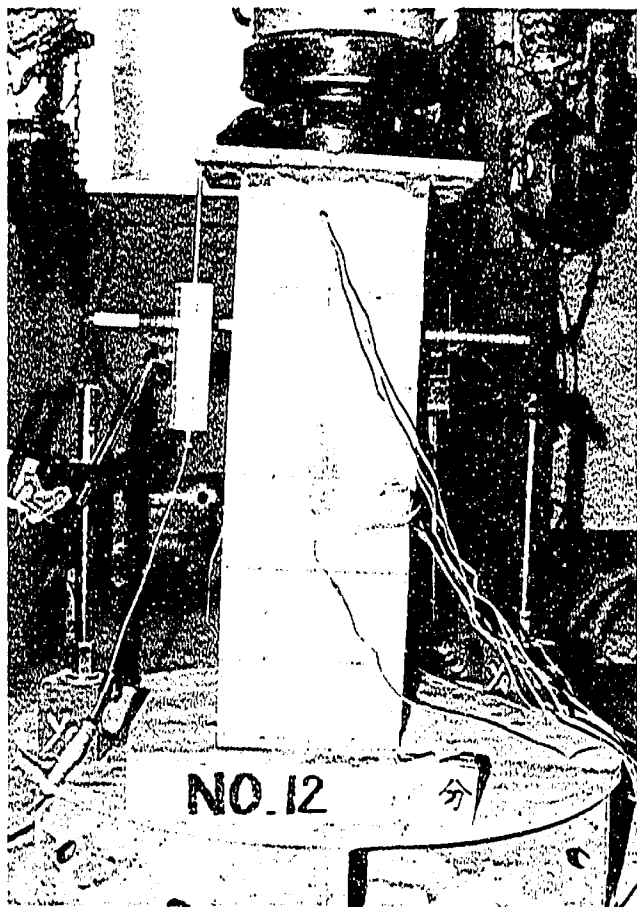


(a) 最大荷重時近傍

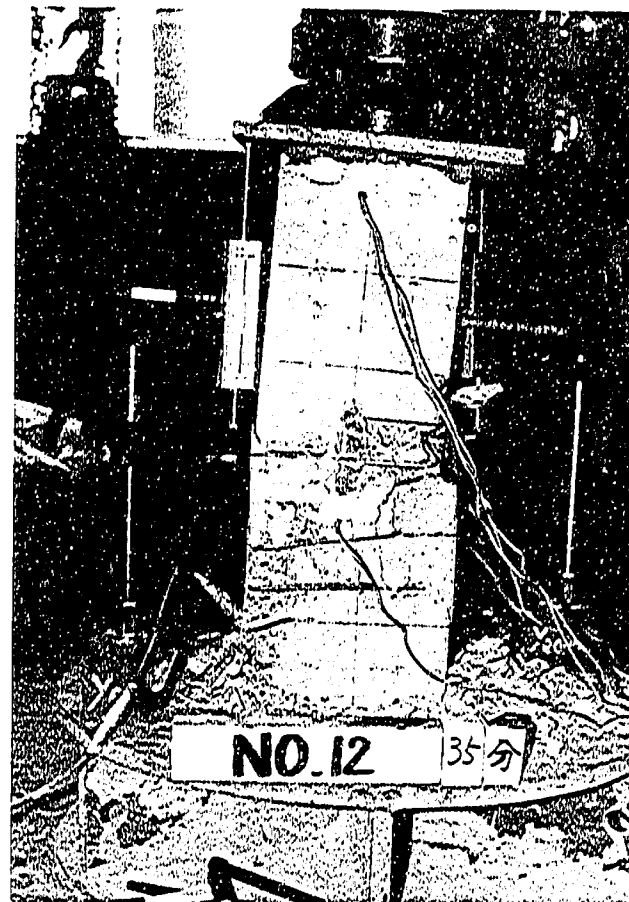


(b) 最終状態

付写真 - 11 B - 3 供試体 (正方形, $p = 0.28\%$)

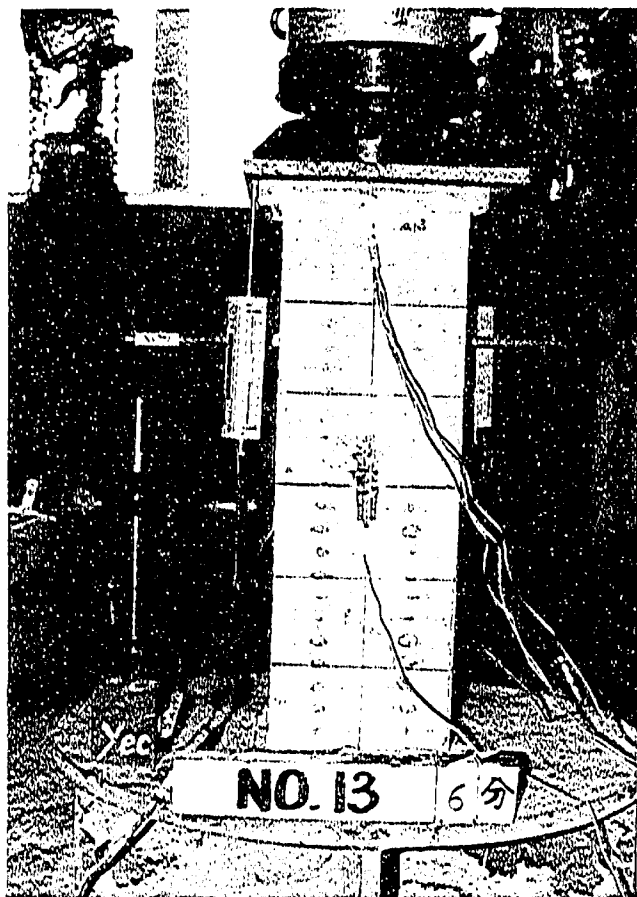


(a) 最大荷重時近傍

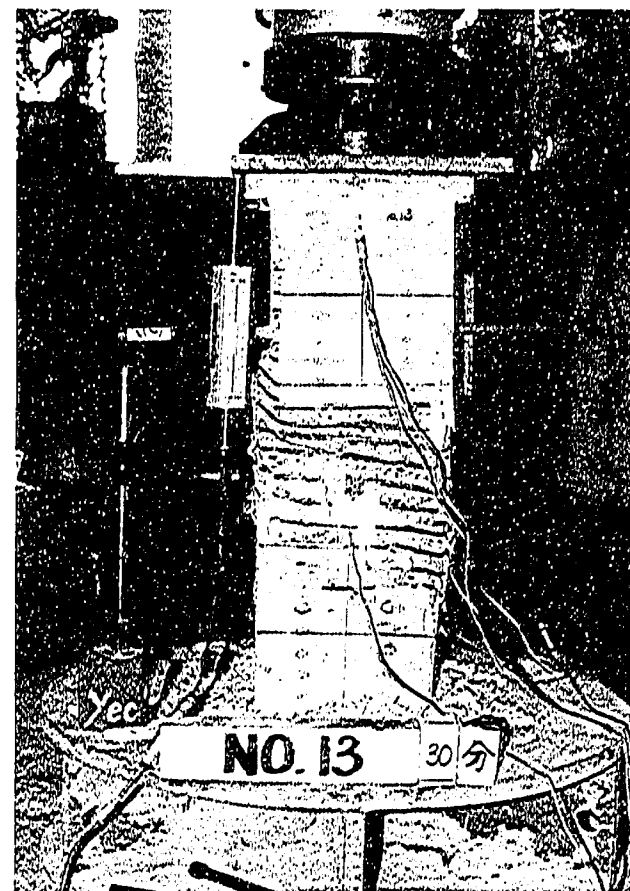


(b) 最終状態

付写真 - 12 B - 4 供試体 (正方形, $p = 0.57\%$)

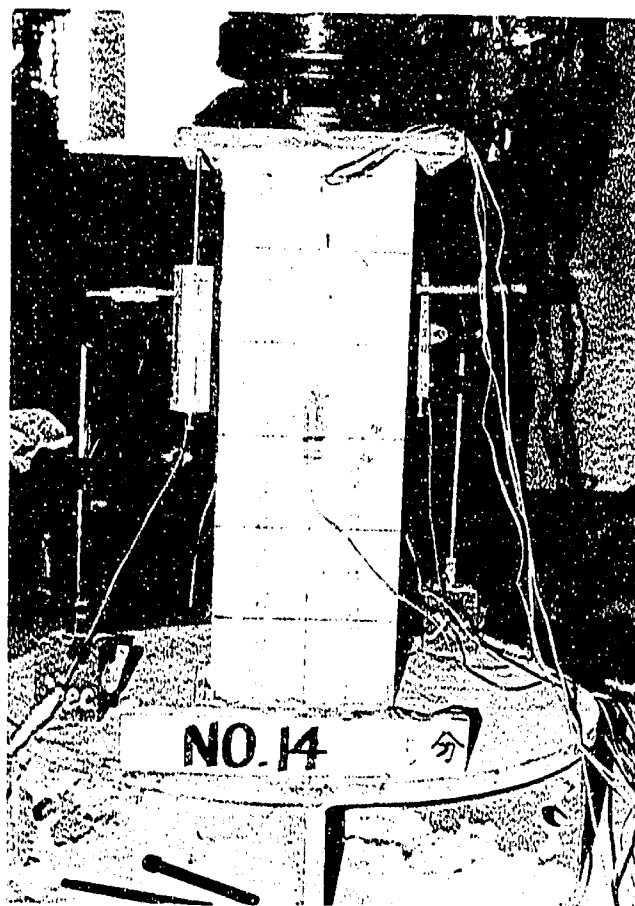


(a) 最大荷重時近傍

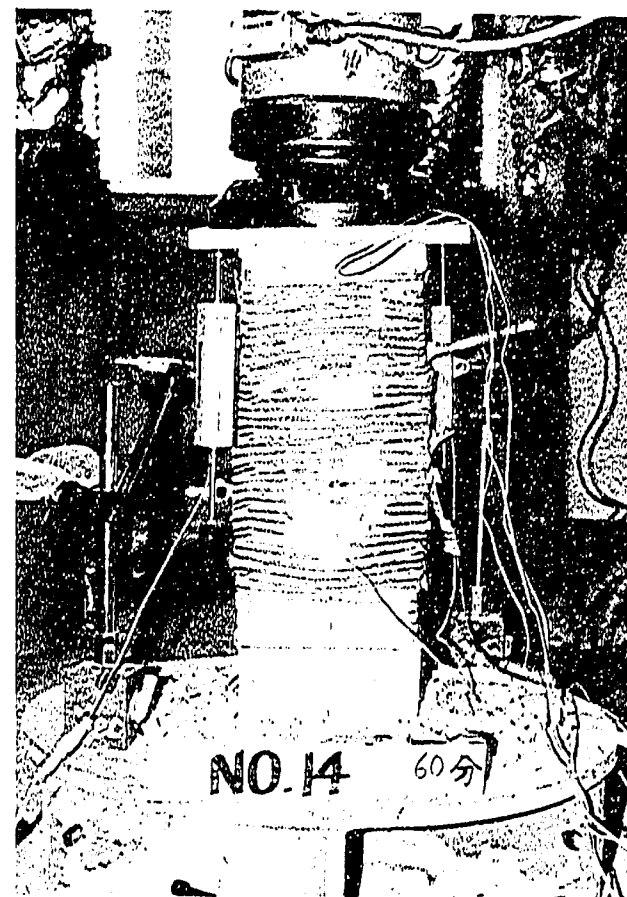


(b) 最終状態

付写真-13 B-5 供試体 (正方形, $p = 1.13\%$)

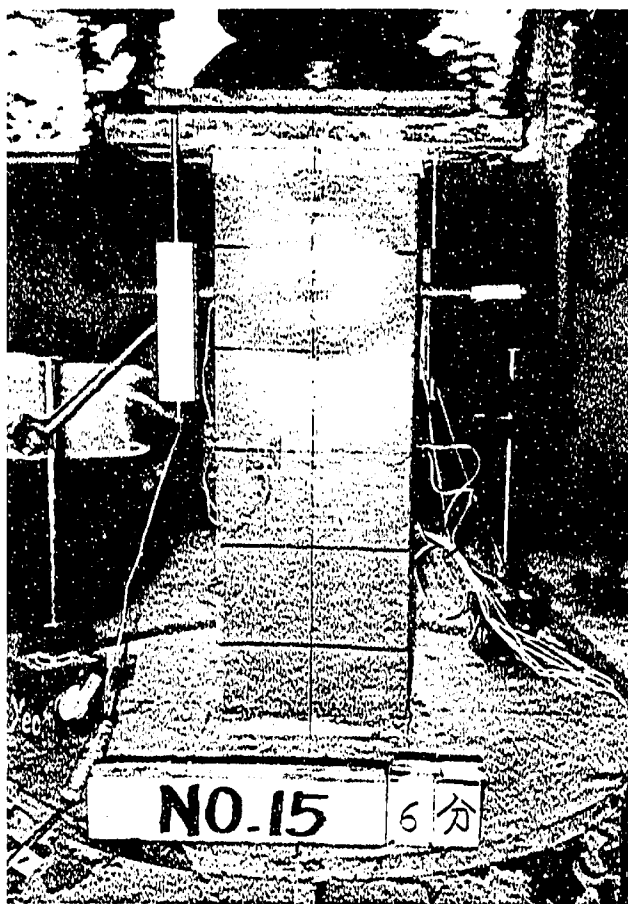


(a) 最大荷重時近傍

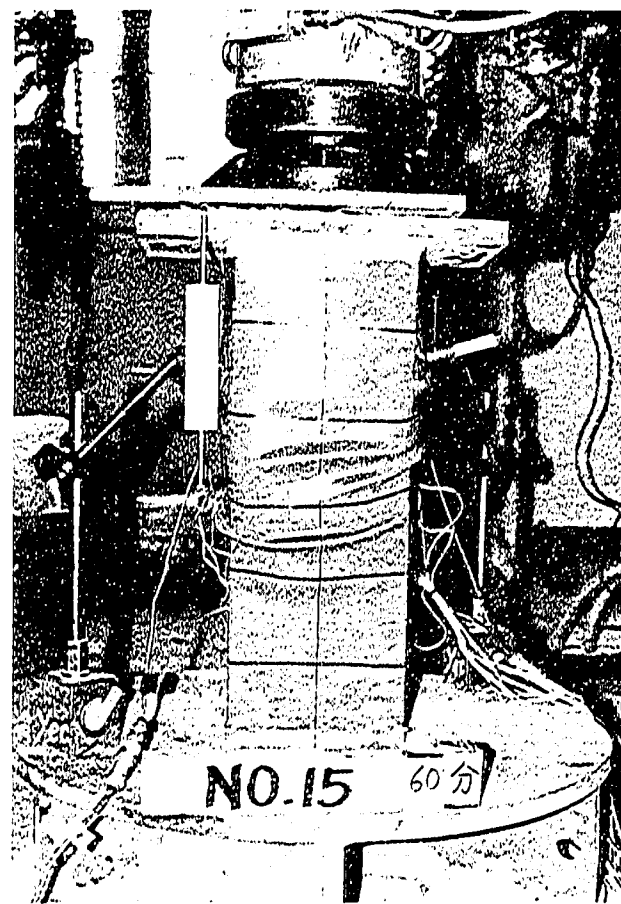


(b) 最終状態

付写真-14 B-6 供試体 (正方形, $p = 2.26\%$)

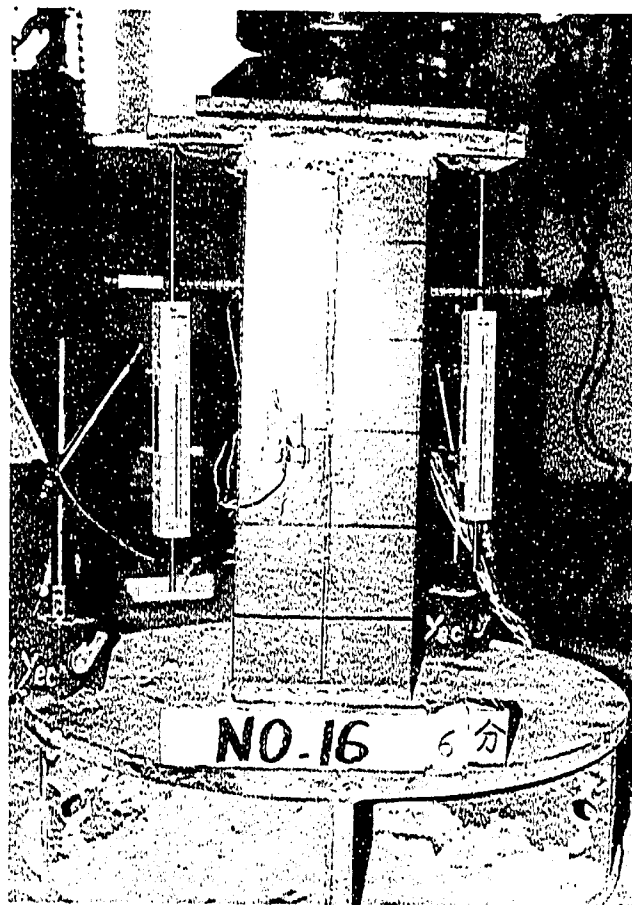


(a) 最大荷重時近傍

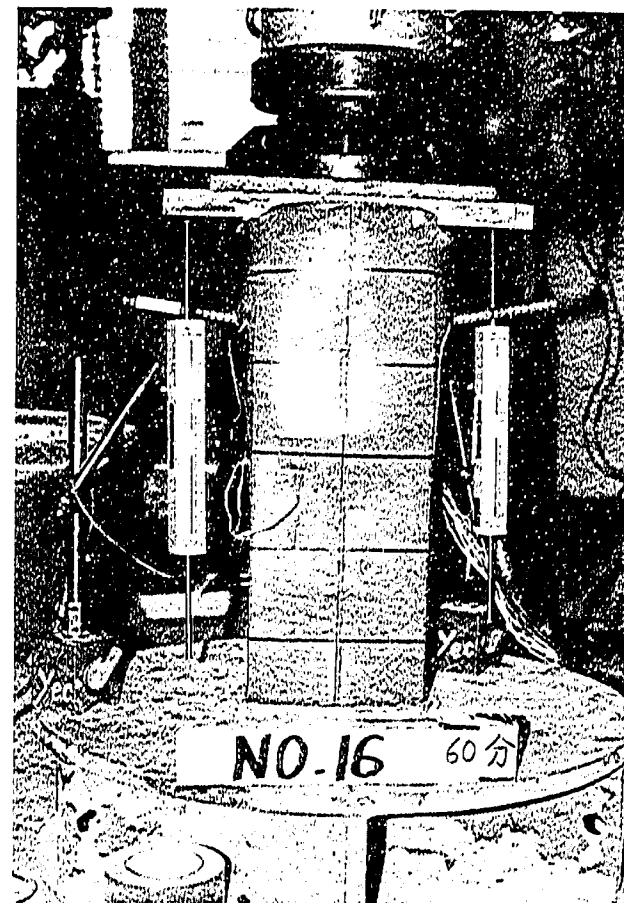


(b) 最終状態

付写真-15 B-7 供試体 (正方形, $p = 1.0\%$)



(a) 最大荷重時近傍

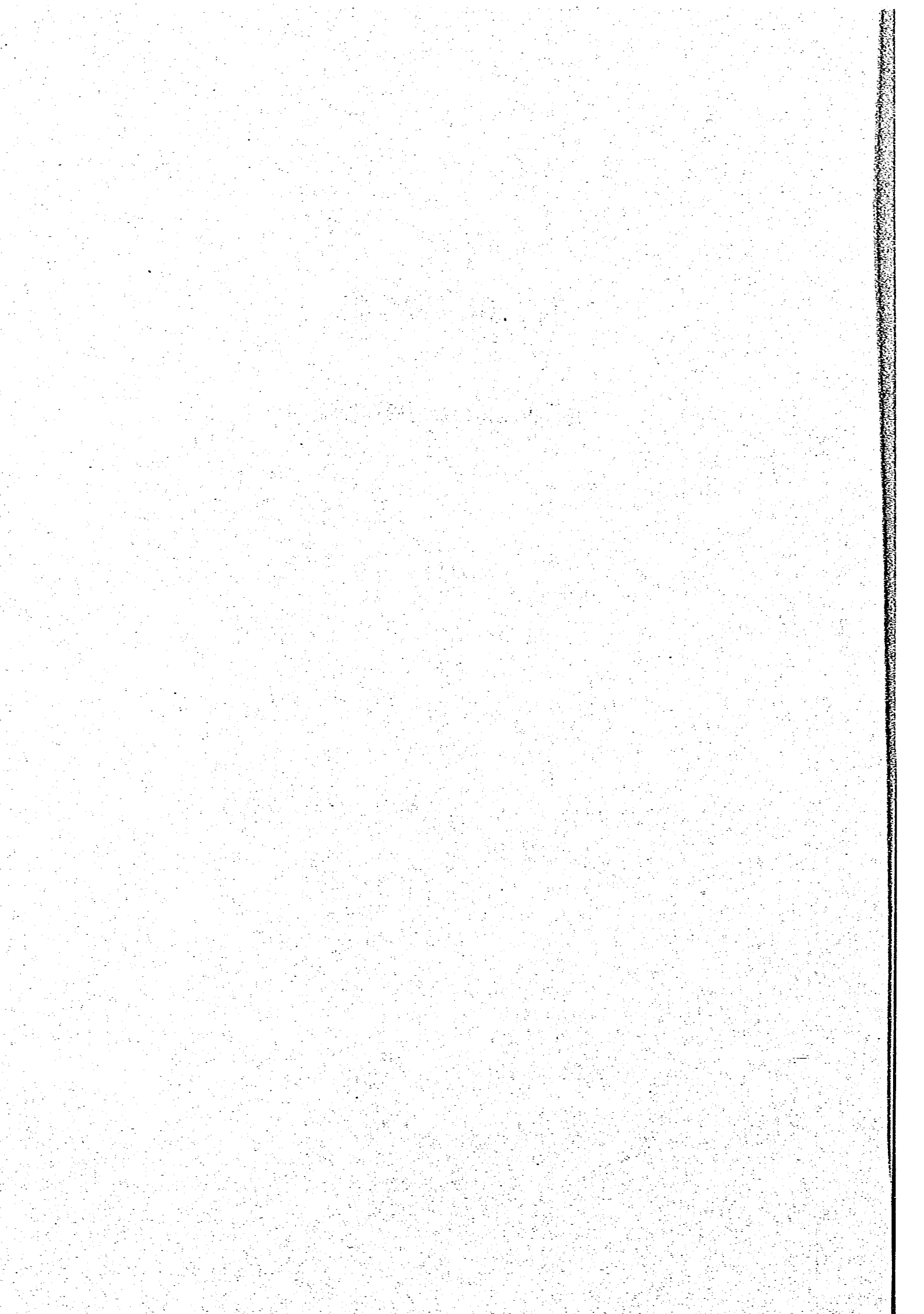


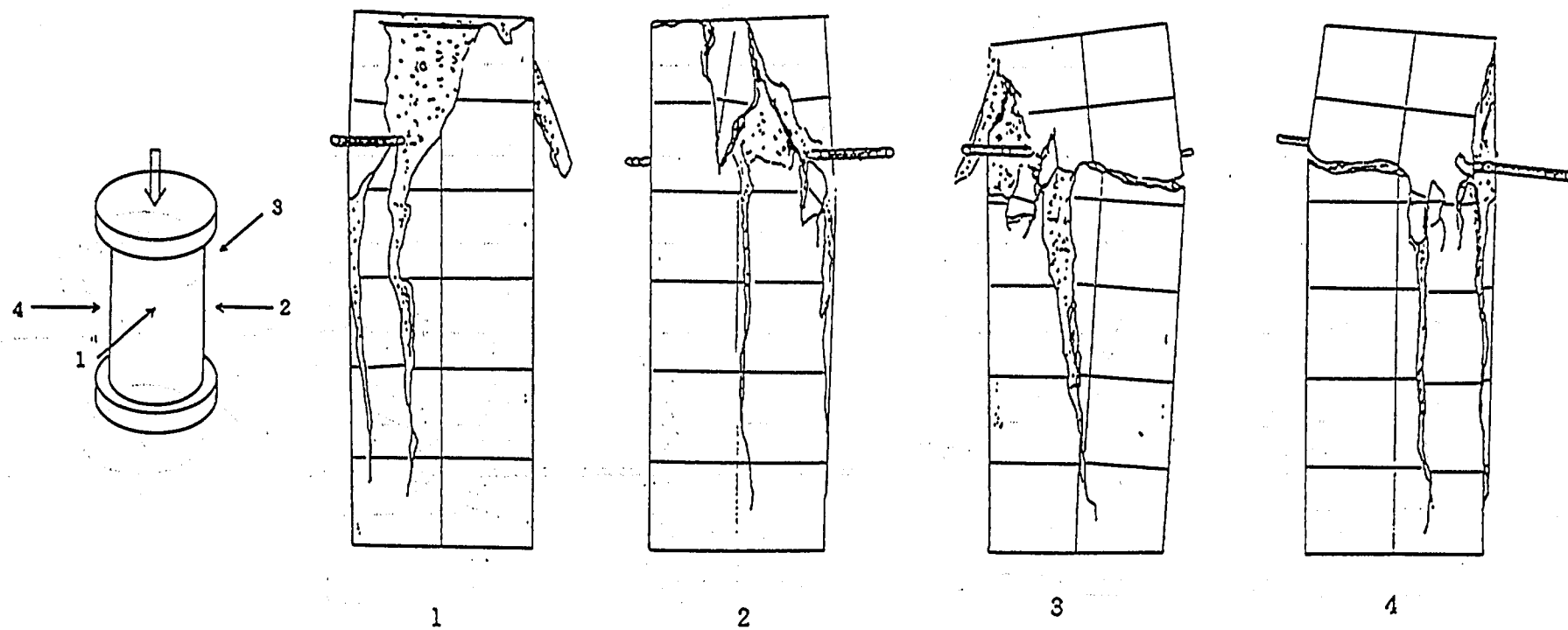
(b) 最終状態

付写真-16 B-8 供試体 (正方形, $p = 2.3\%$)

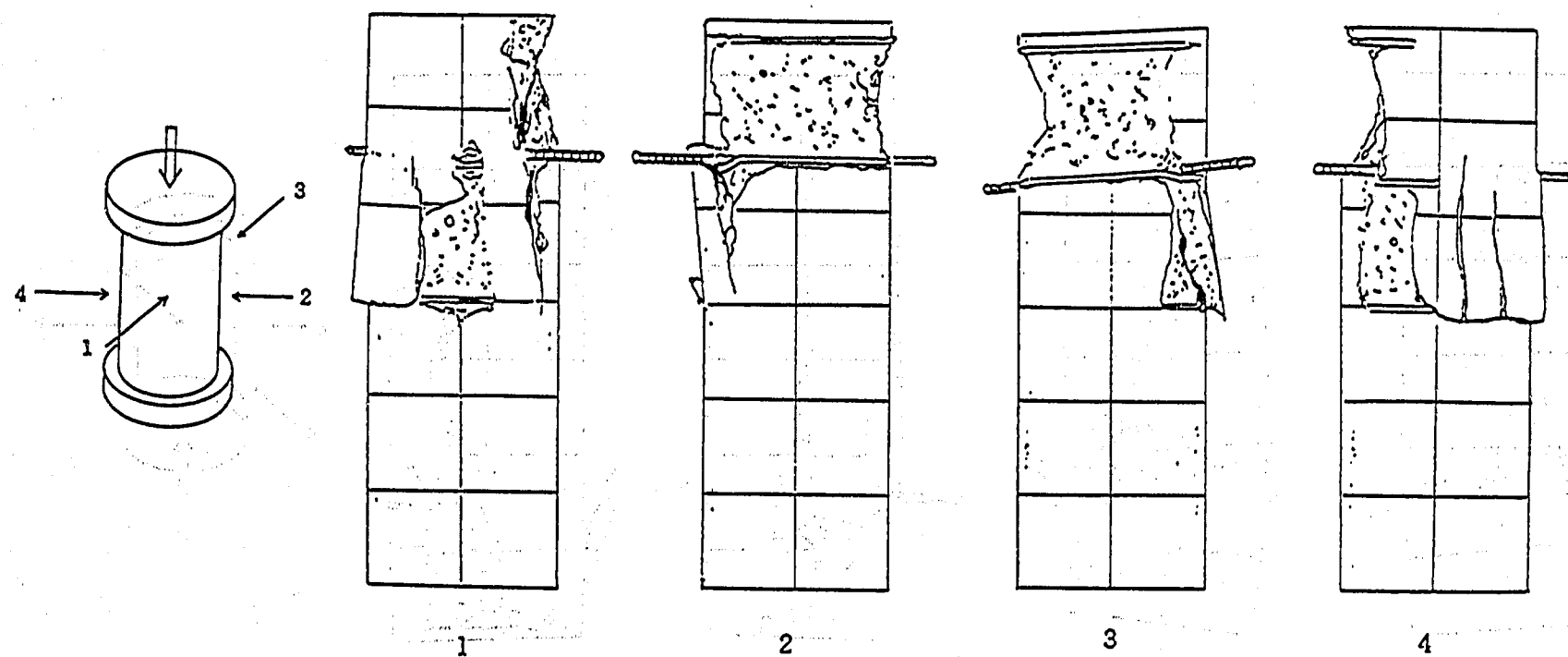
付 属 資 料

Ⅱ． 供試体の最終破壊性状

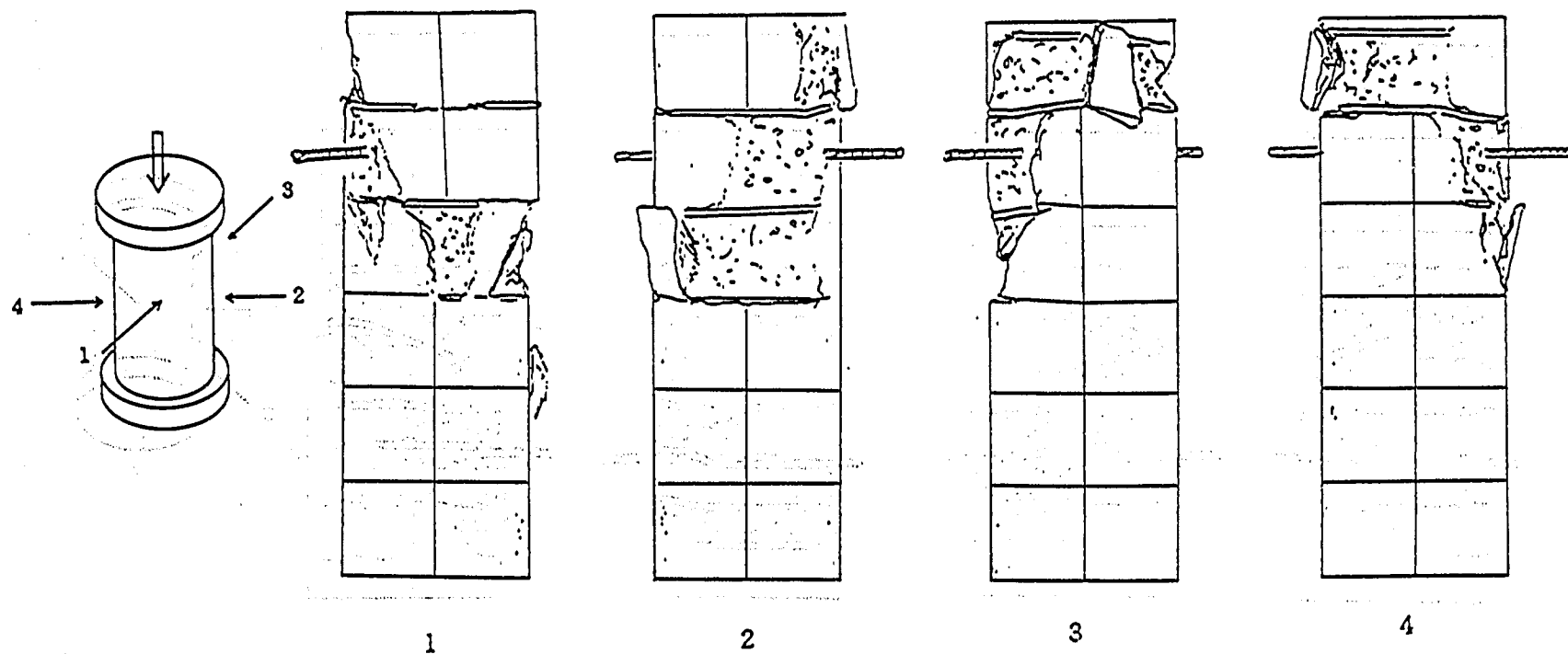




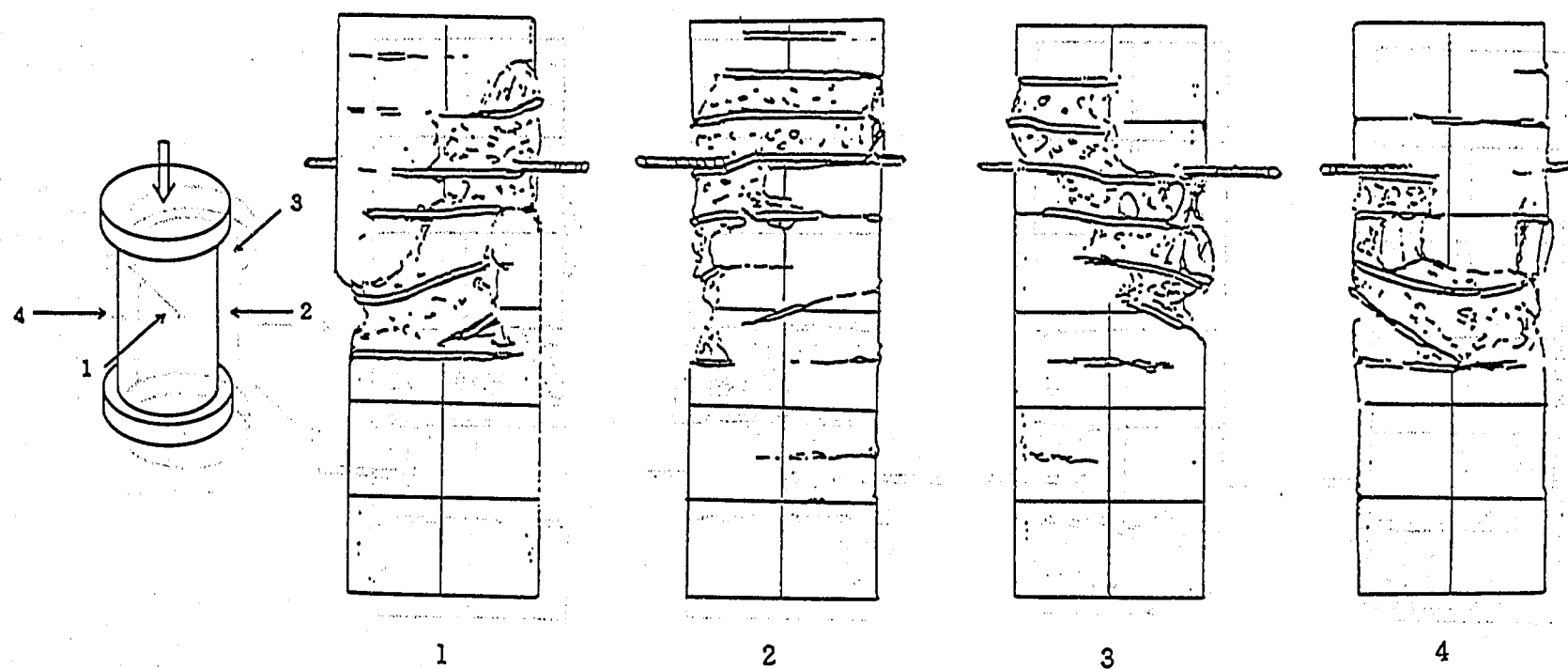
付図 - 1 $\Lambda - 1$ 供試体 (円形, $p = 0\%$)



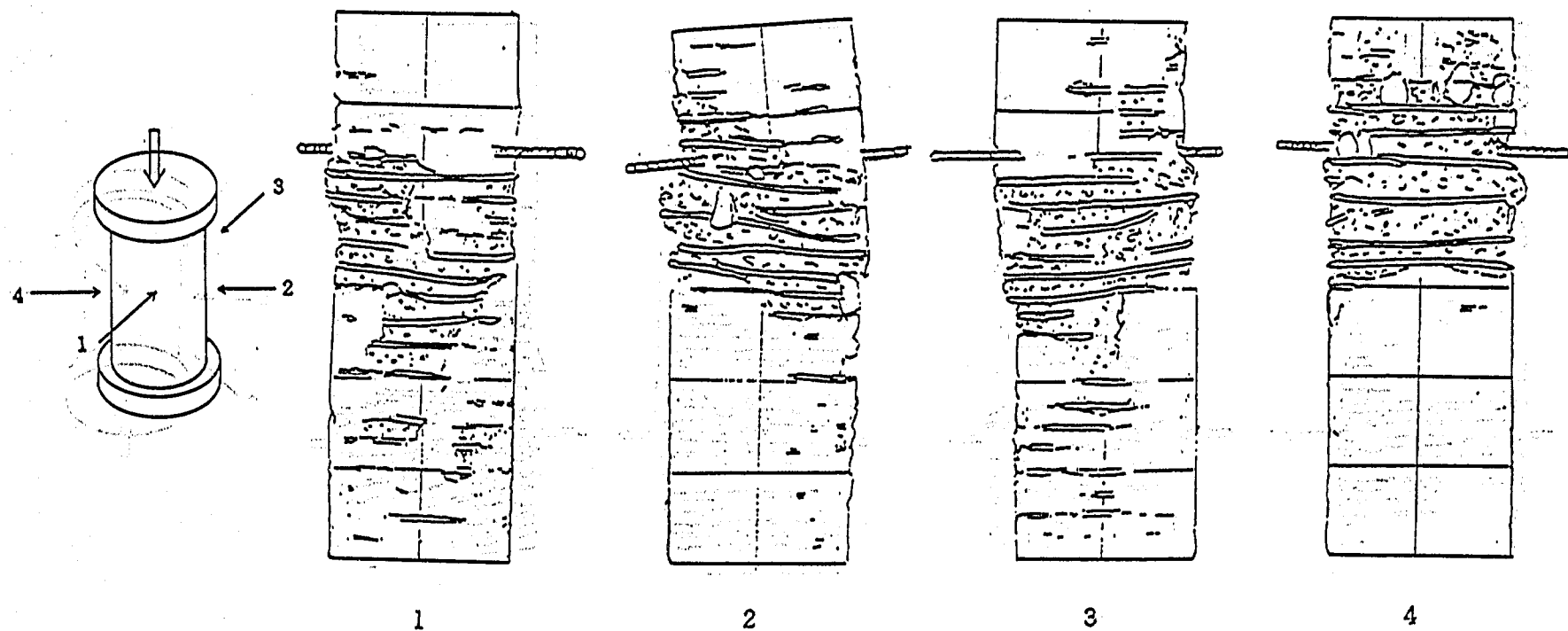
付図 - 2 A - 2 供試体 (円形, $p = 0.19\%$)



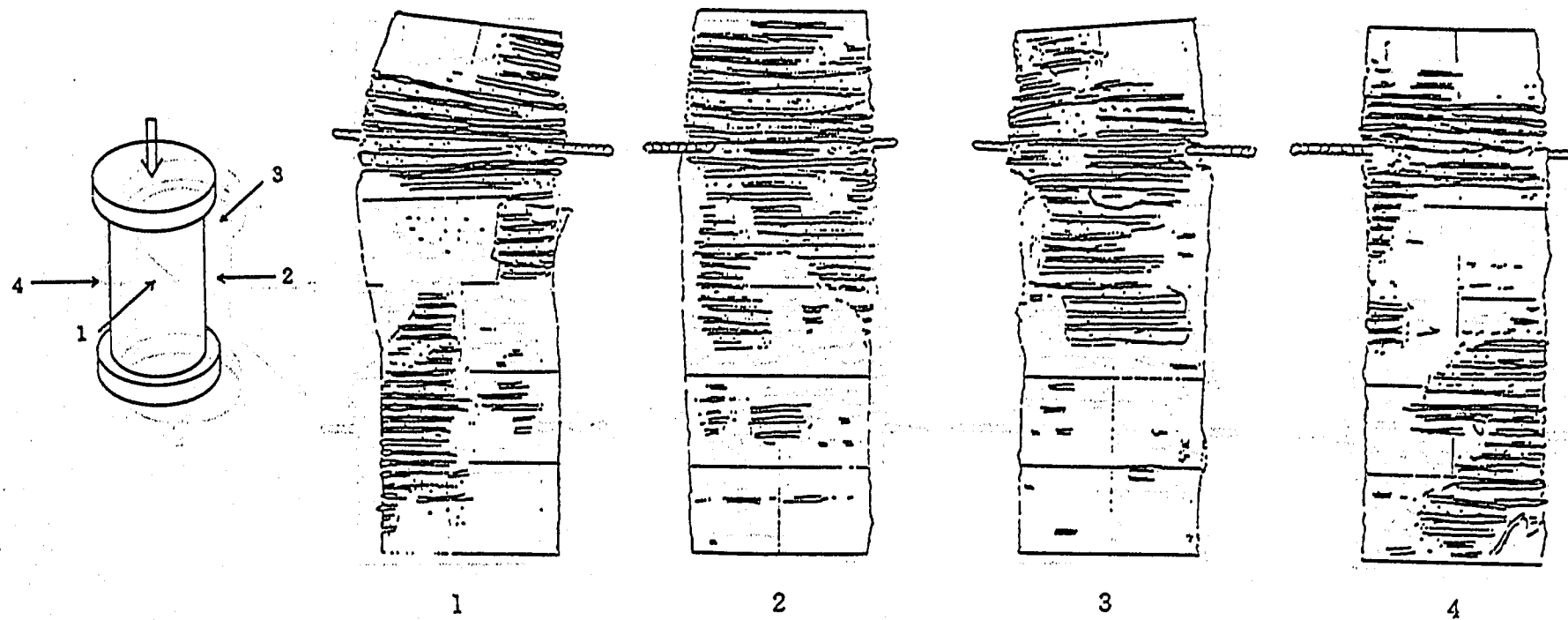
付図 - 3 A - 3 供試体 (円形, $p = 0.28\%$)



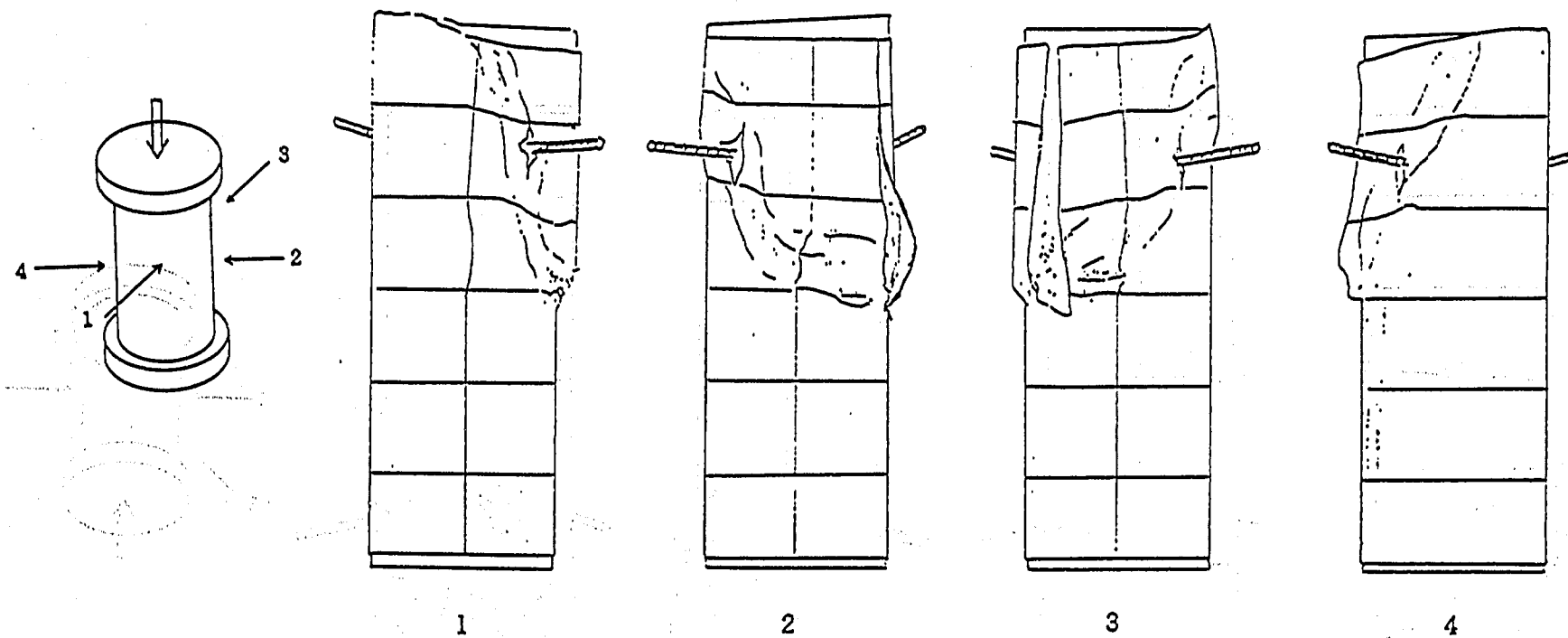
付図 - 4 $\Lambda - 4$ 供試体 (円形, $p = 0.57\%$)



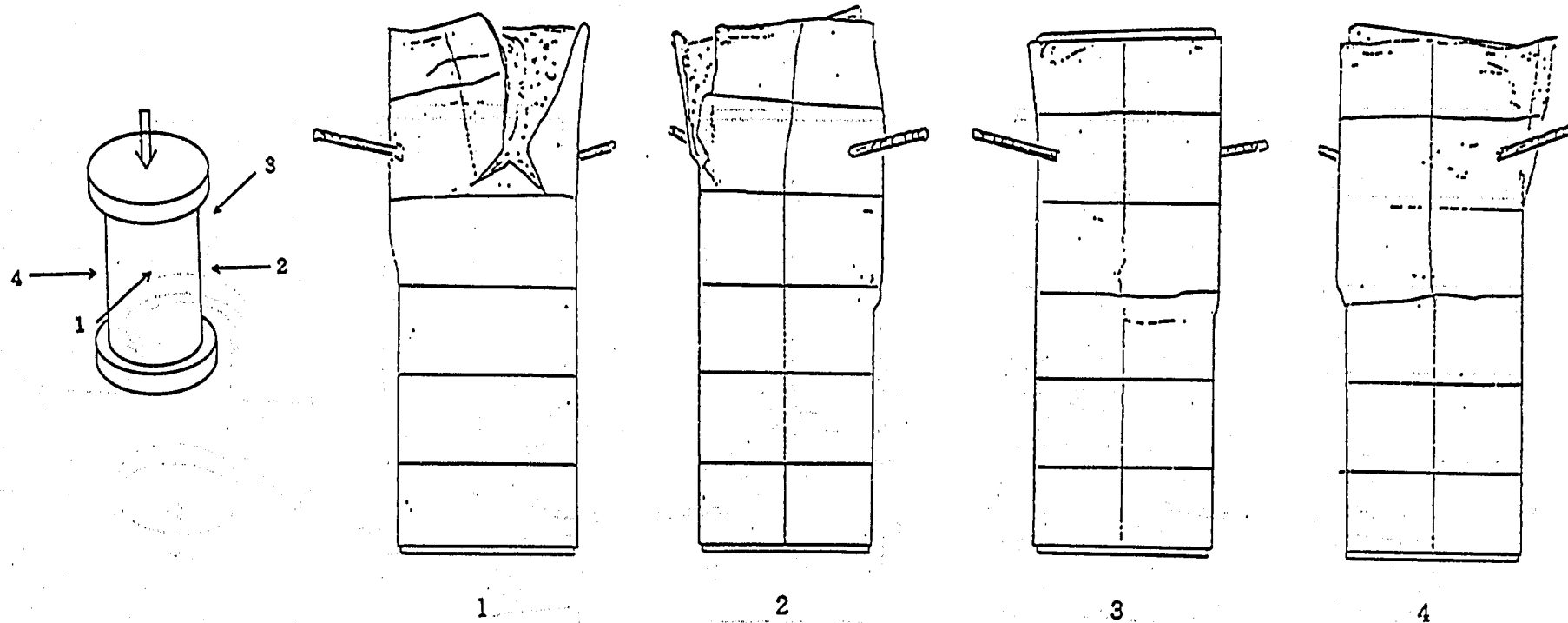
付図 - 5 A - 5 供試体 (円形, $p = 1.13\%$)



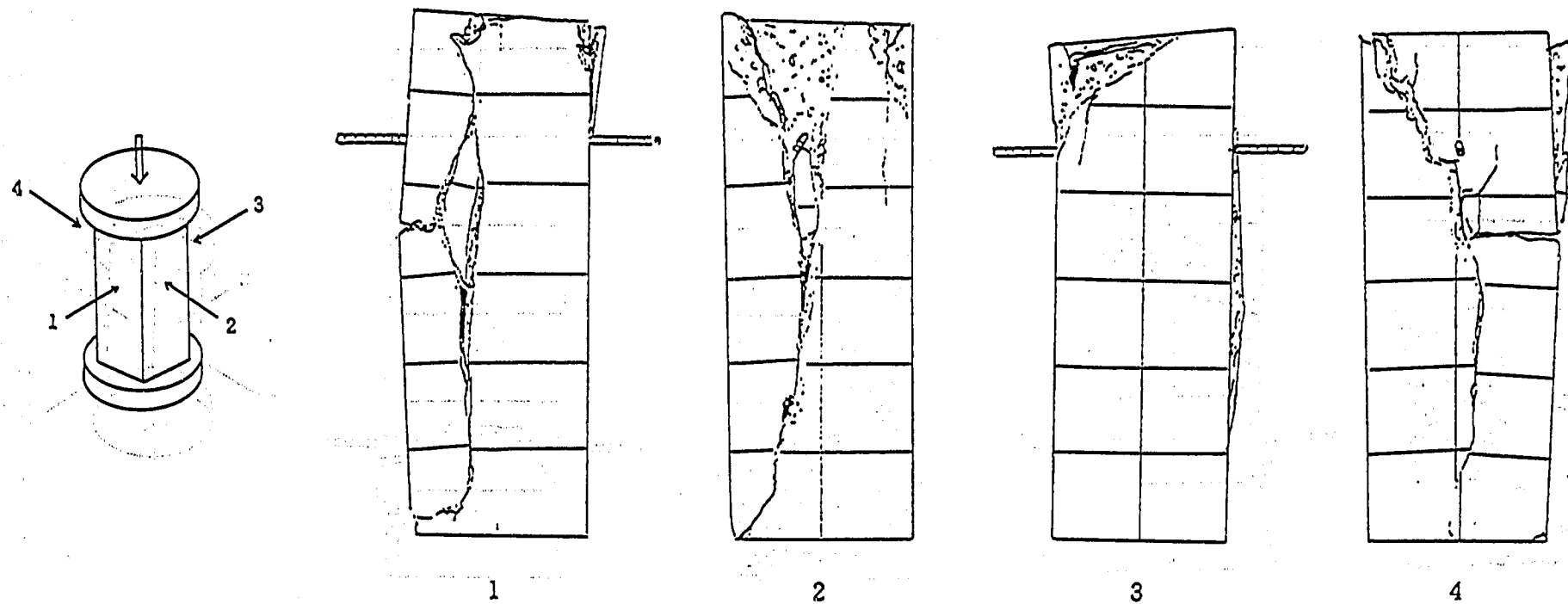
付圖 - 6 A - 6 供試體 (円形, $p = 2.26\%$)



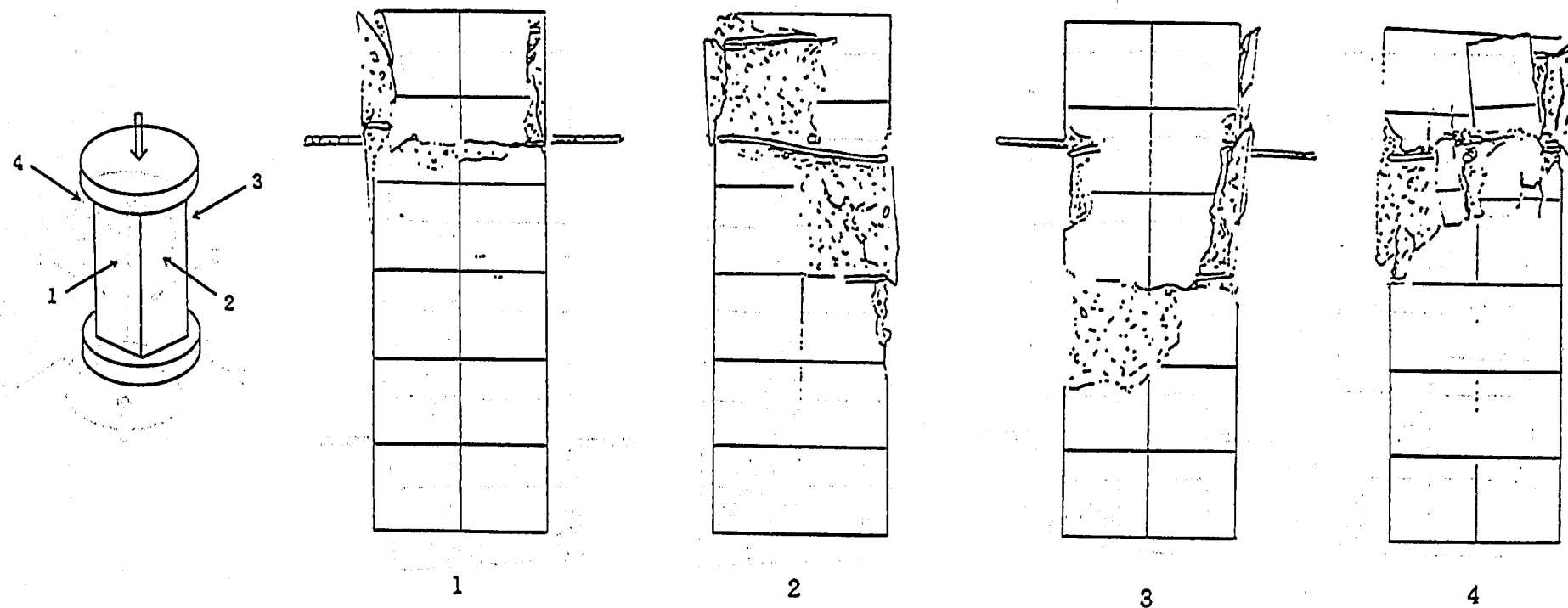
付図 - 7 A - 7 供試体 (円形, $p = 1.0\%$)



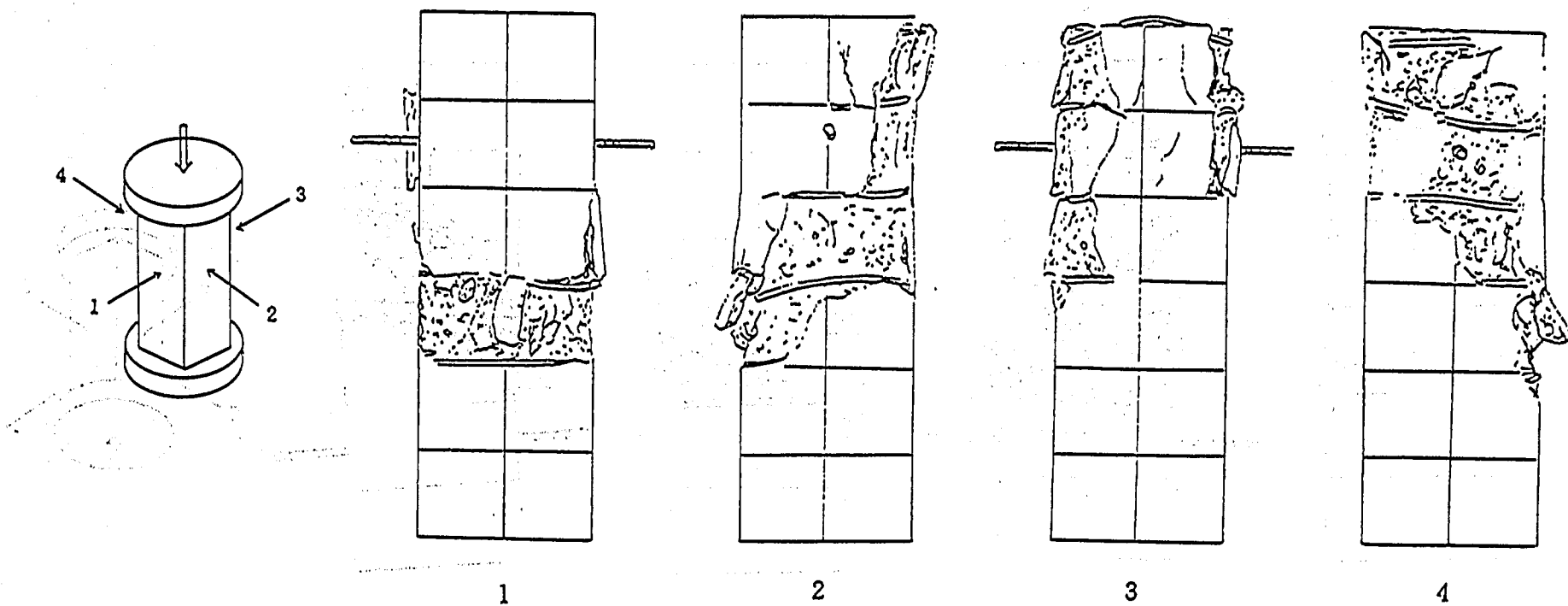
付図 - 8 A - 8 供試体 (円形, $p = 2.3\%$)



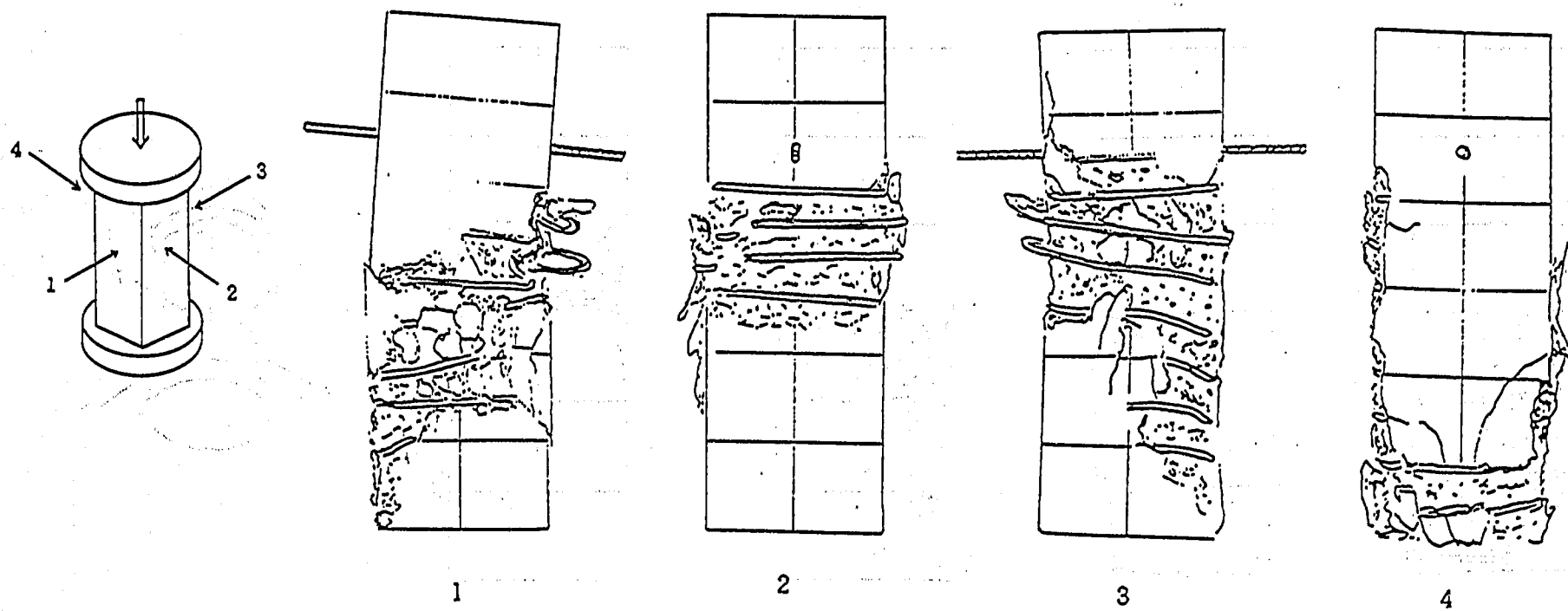
付図 - 9 B - 1 供試体 (正方形, $p = 0\%$)



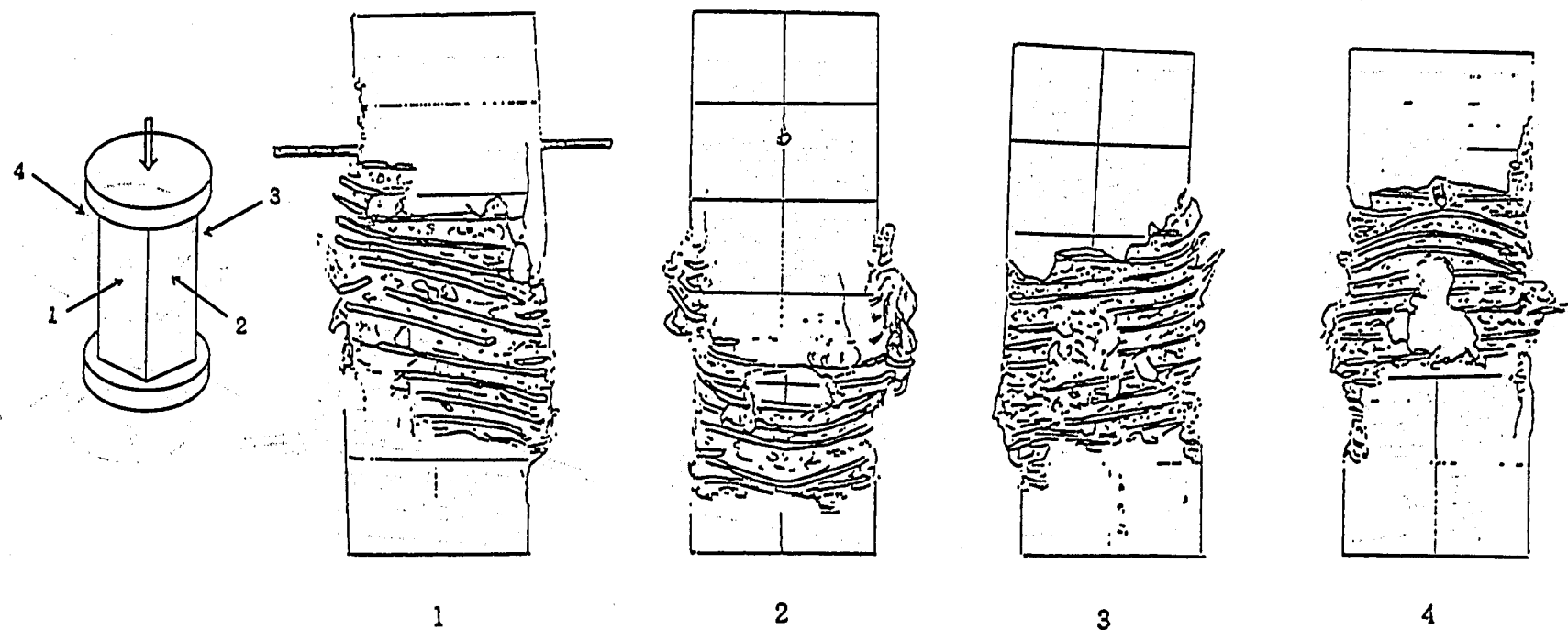
付圖 - 10 B - 2 供試體 (正方形, $p = 0.19\%$)



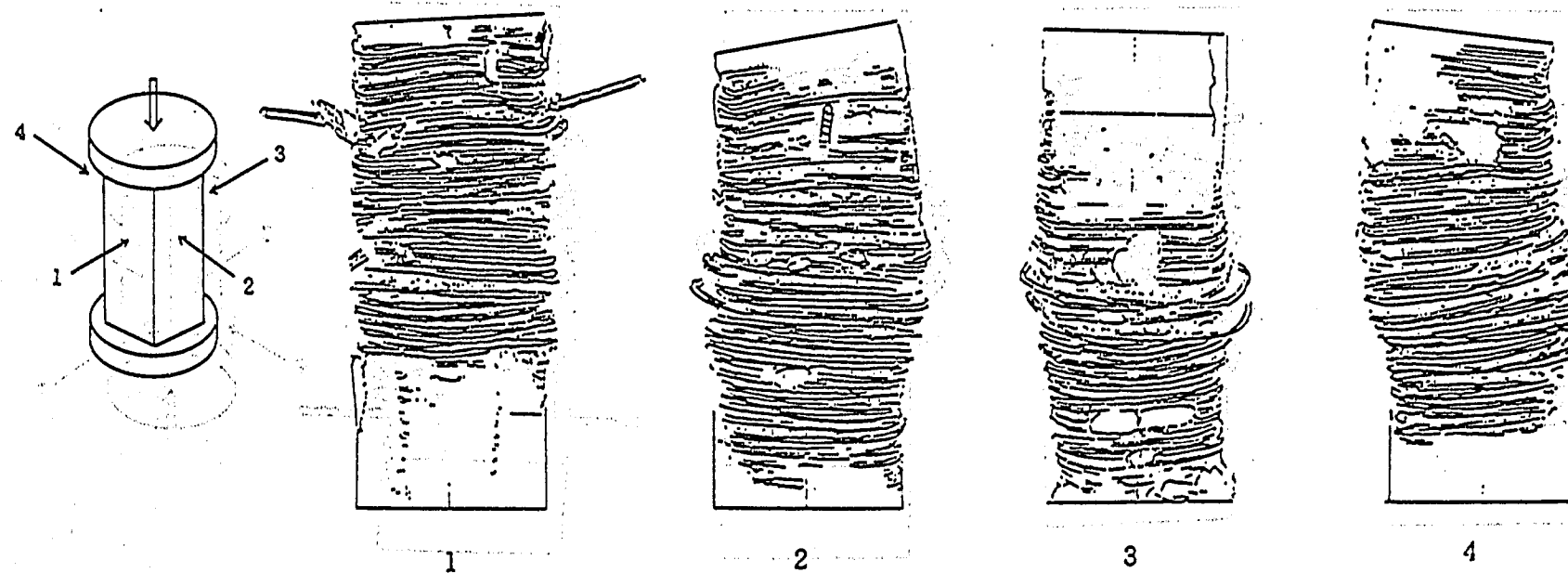
付図 - 11 B - 3 供試体 (正方形, $p = 0.28\%$)



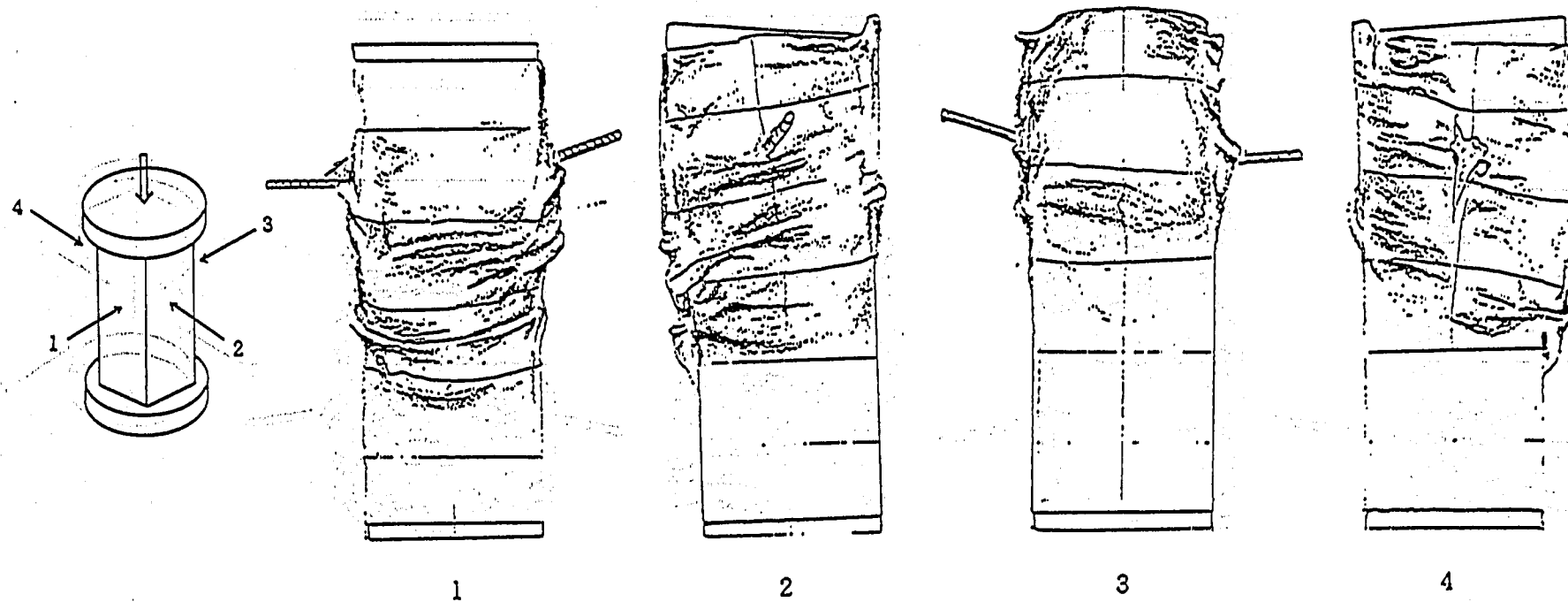
付図 - 12 B - 4 供試体 (正方形, $p = 0.57\%$)



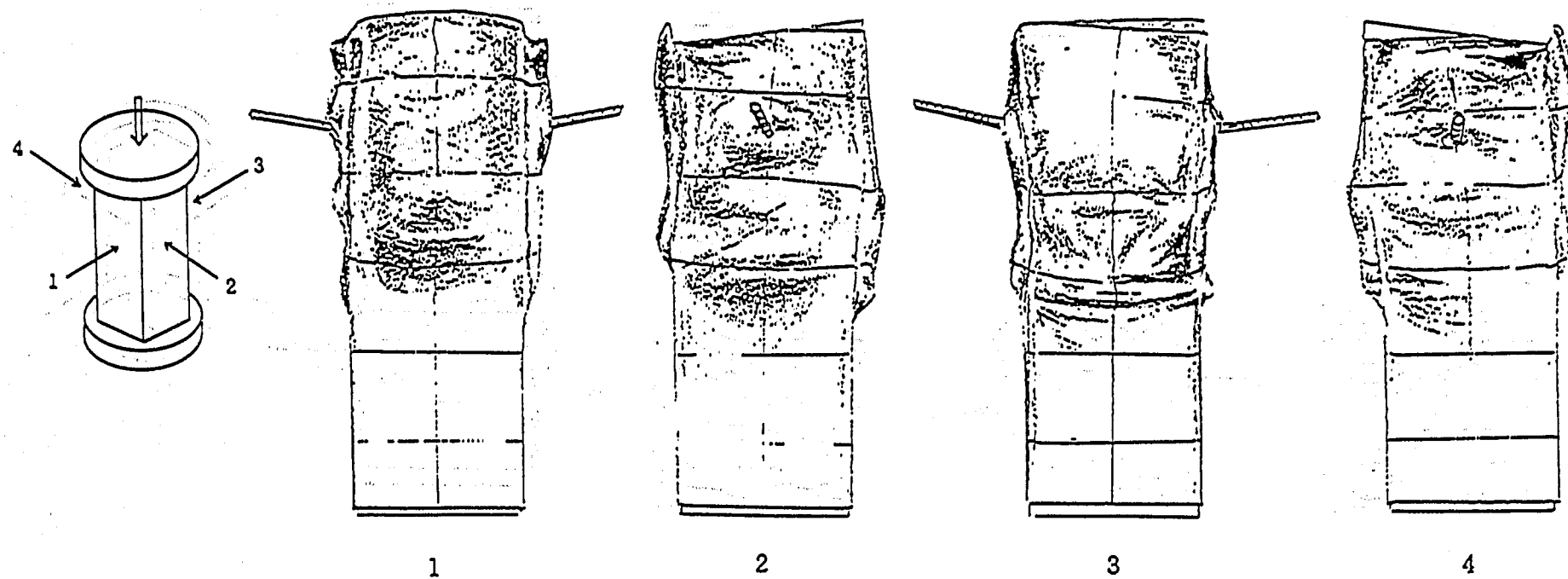
付図 - 13 B - 5 供試体 (正方形, $p = 1.13\%$)



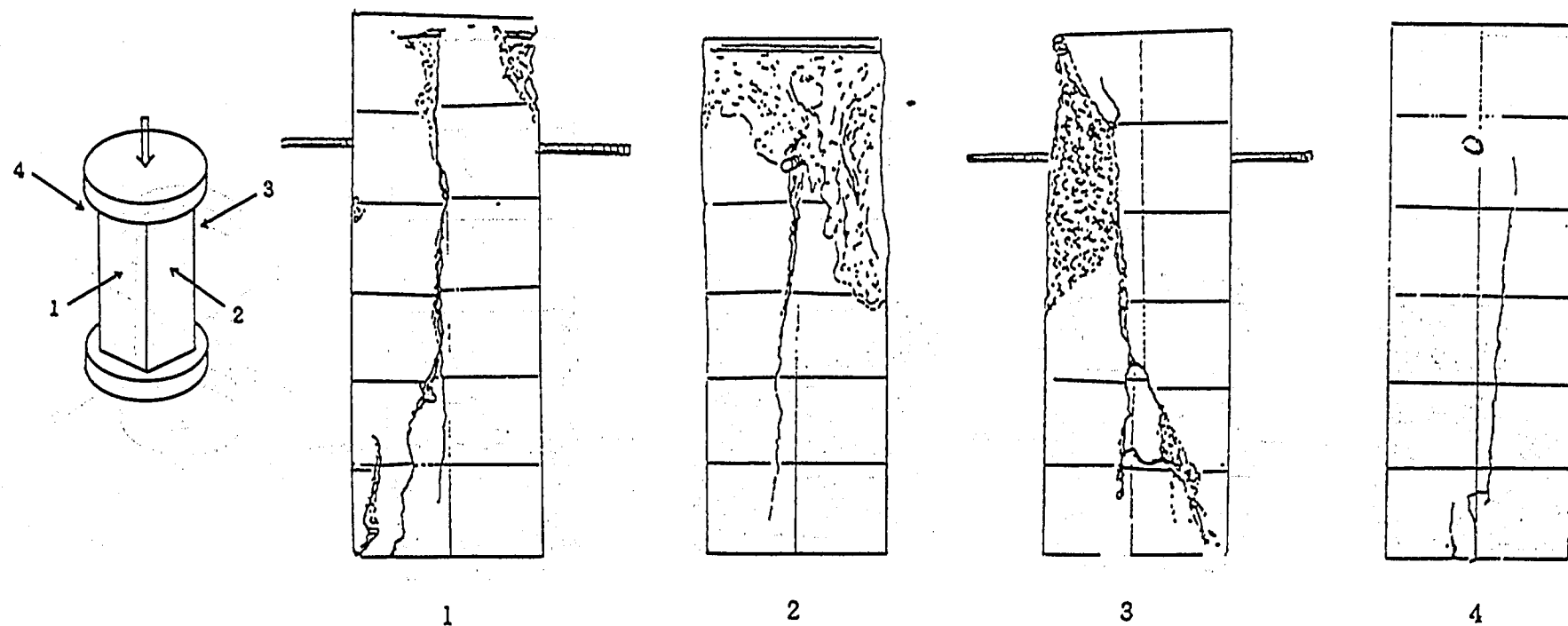
付圖 - 14 B - 6 供試體 (正方形, $\rho = 2.26\%$)



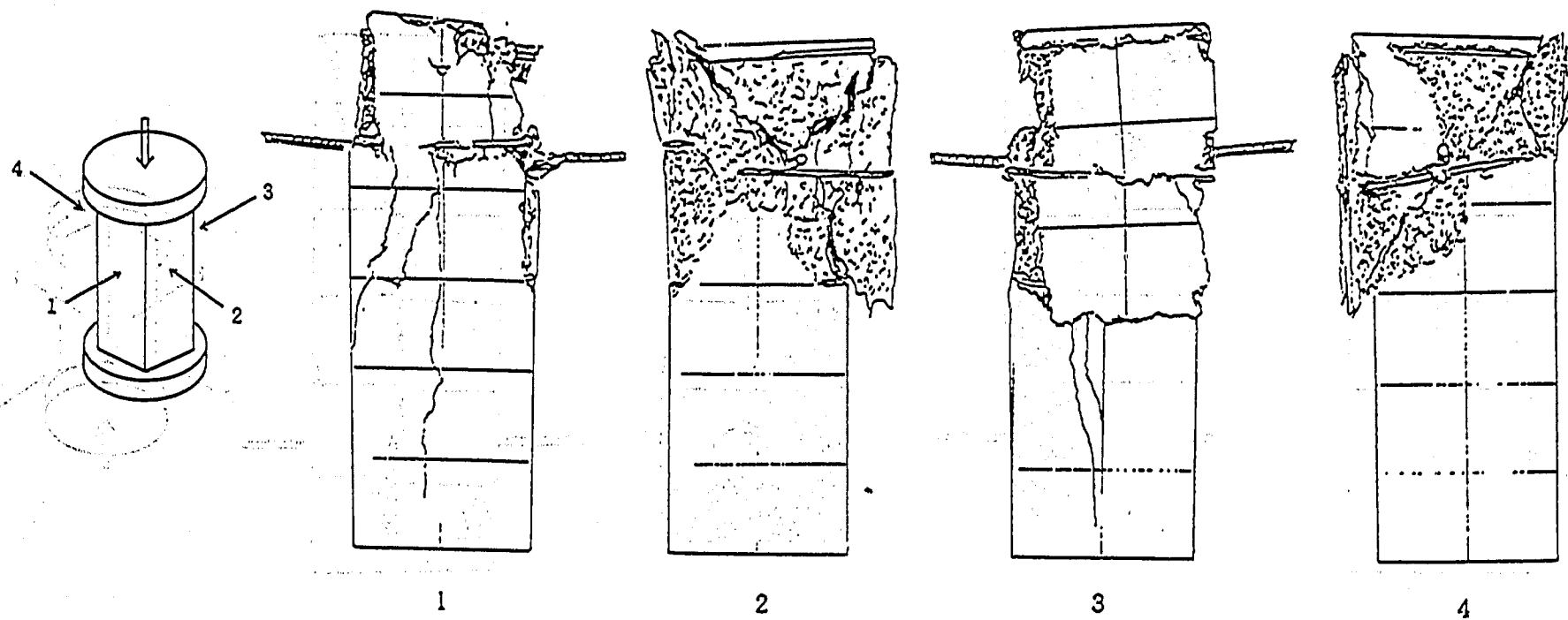
付図 - 15 B - 7 供試体 (正方形, $p = 1.0\%$)



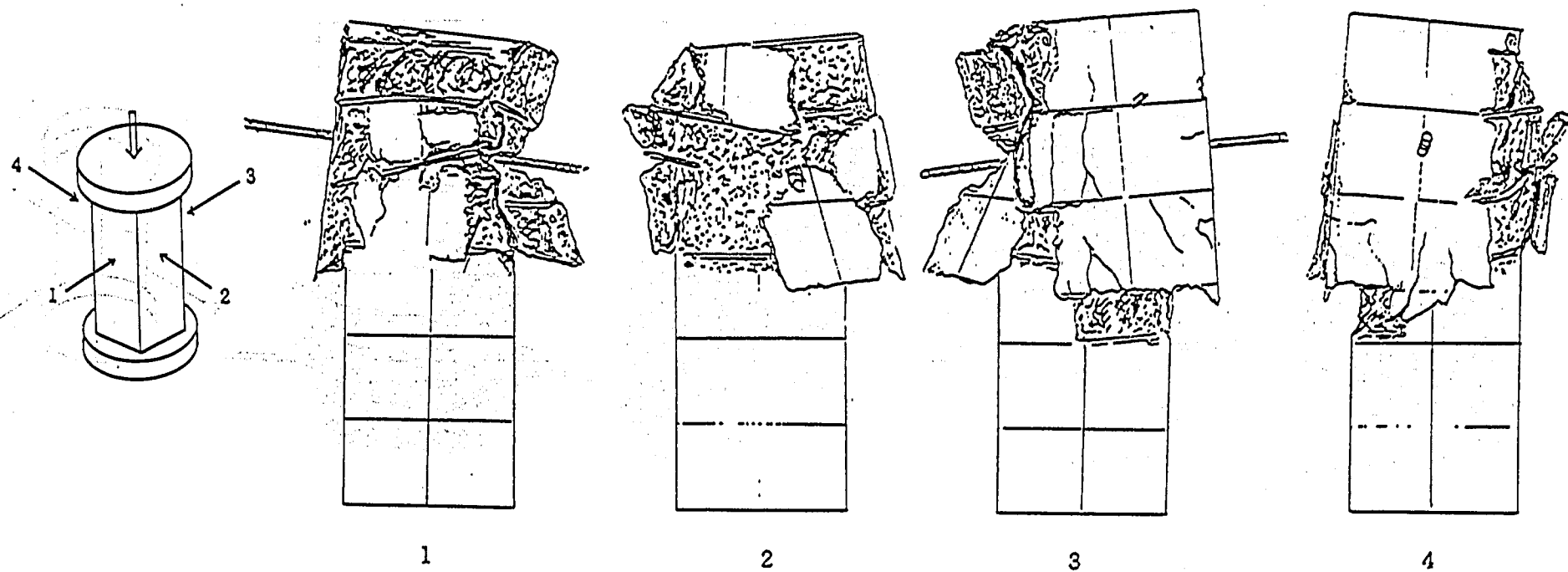
付図 - 16 B - 8 供試体 (正方形, $p = 2.3\%$)



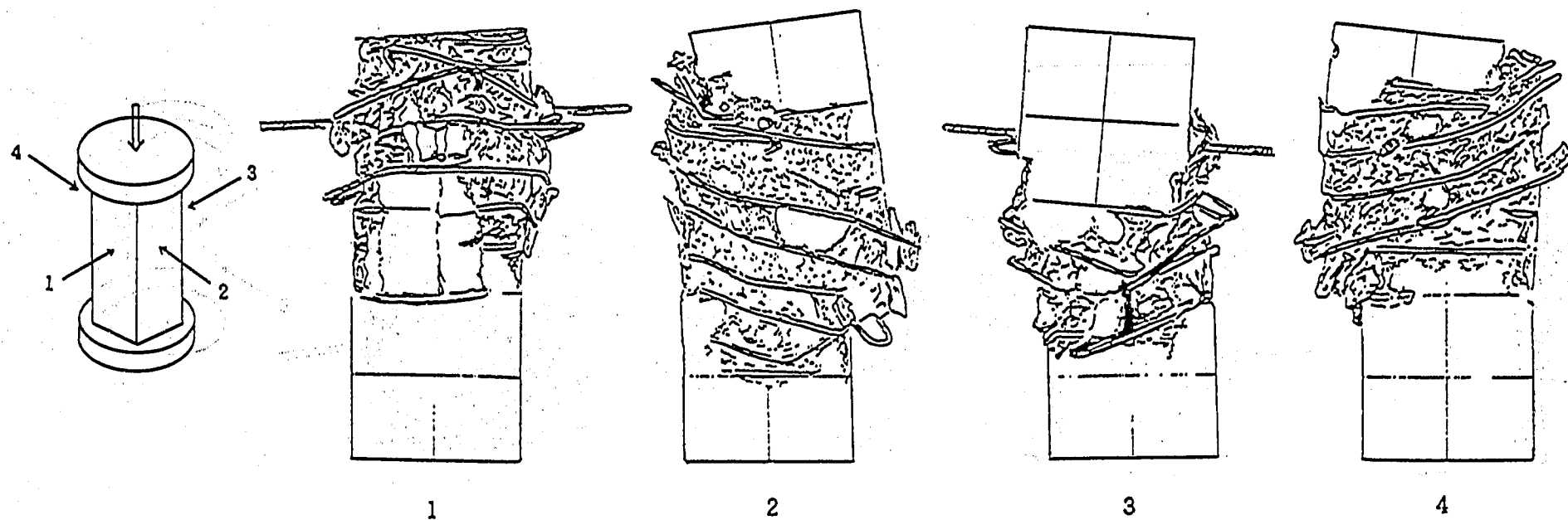
付図 - 17 C - 1 供試体 (正方形, $p = 0\%$)



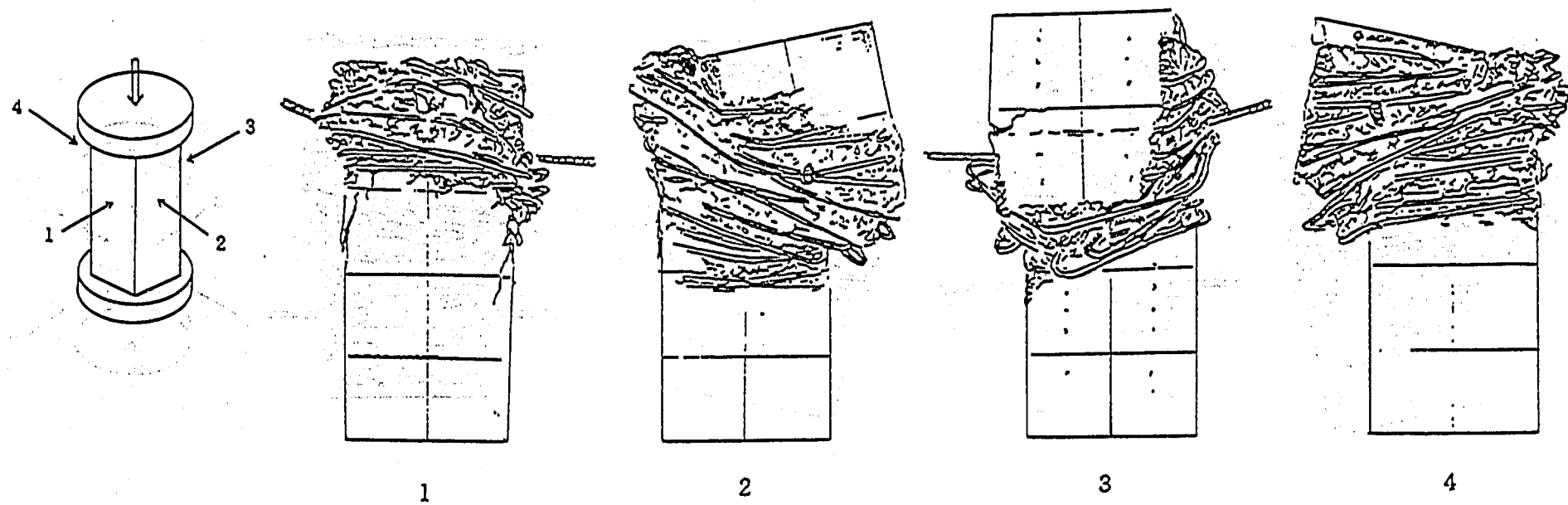
付図 - 18 C - 2 供試体 (正方形, $p = 0.19\%$)



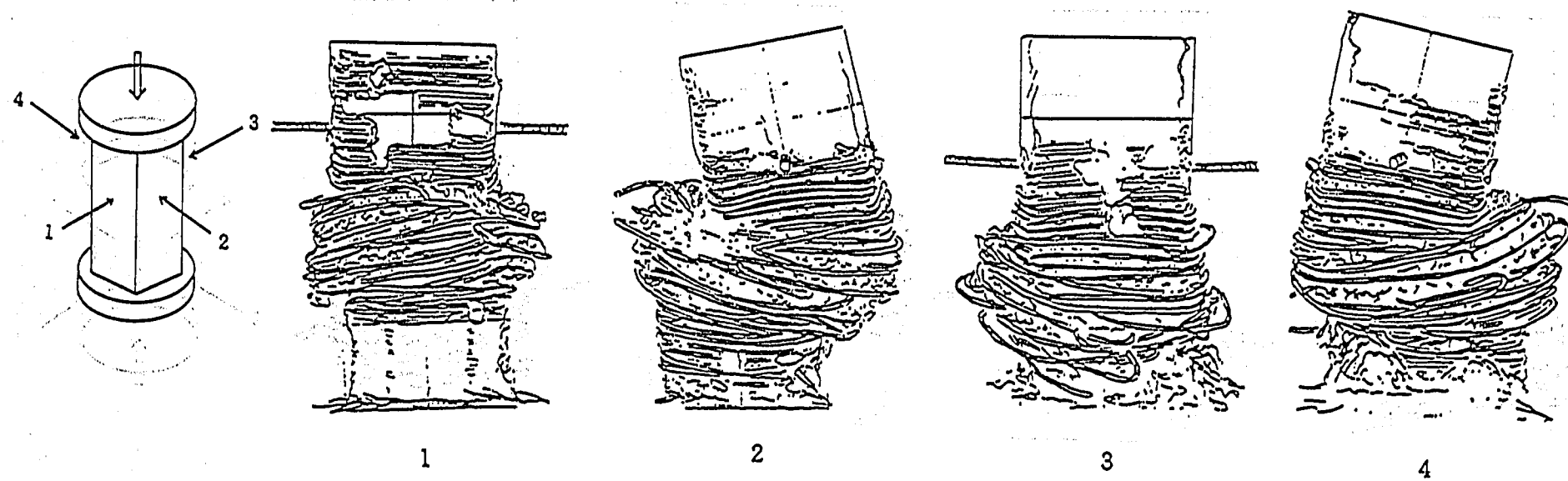
付図 - 19 C - 3 供試体 (正方形, $p = 0.28\%$)



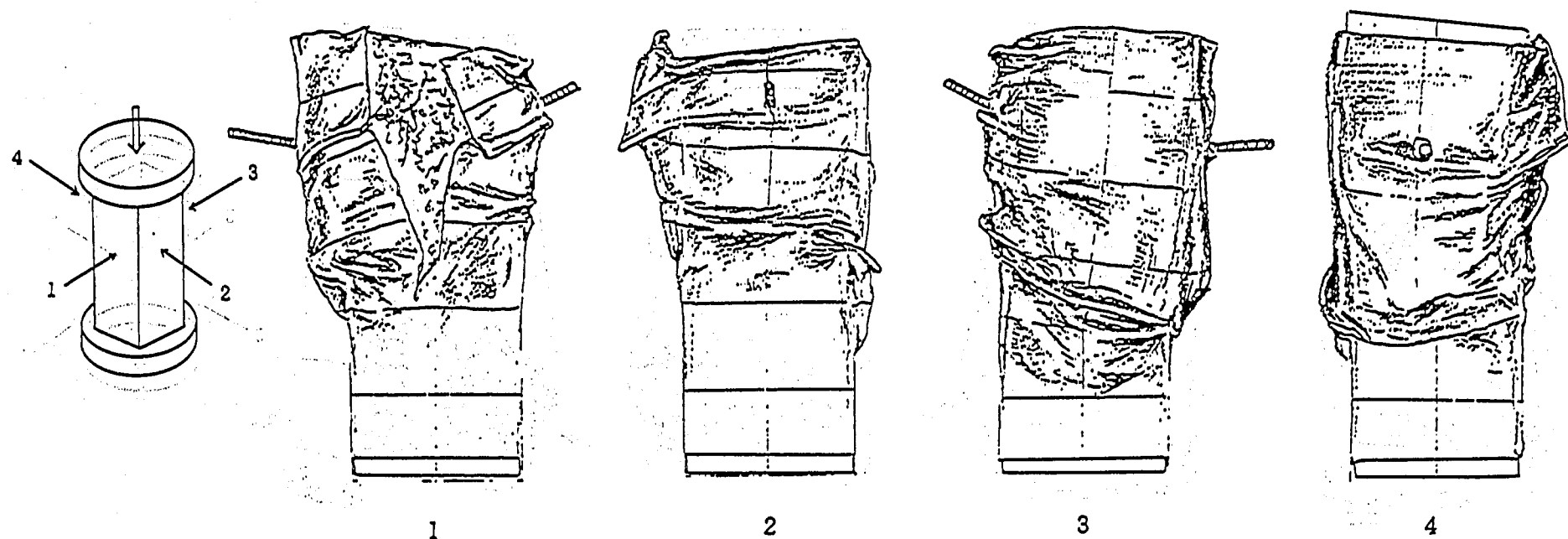
付図 - 20 C - 4 供試体 (正方形, $p = 0.57\%$)



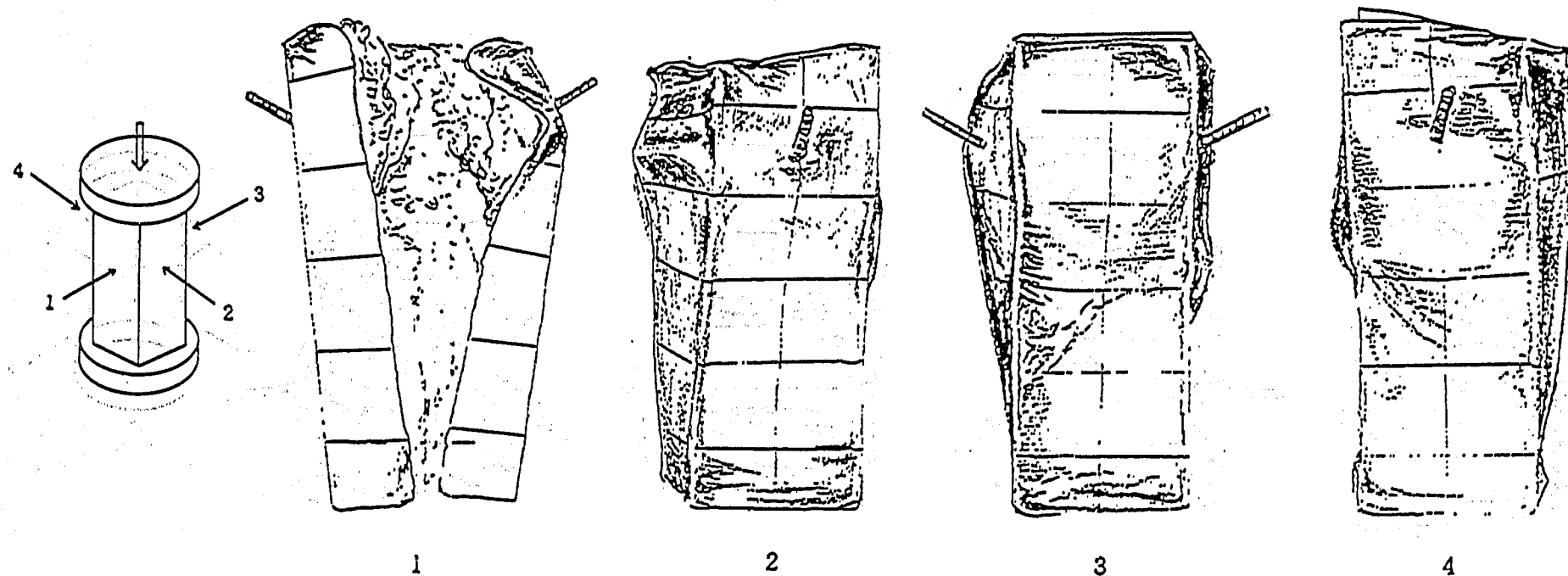
付図 - 21 C - 5 供試体 (正方形, $p = 1.13\%$)



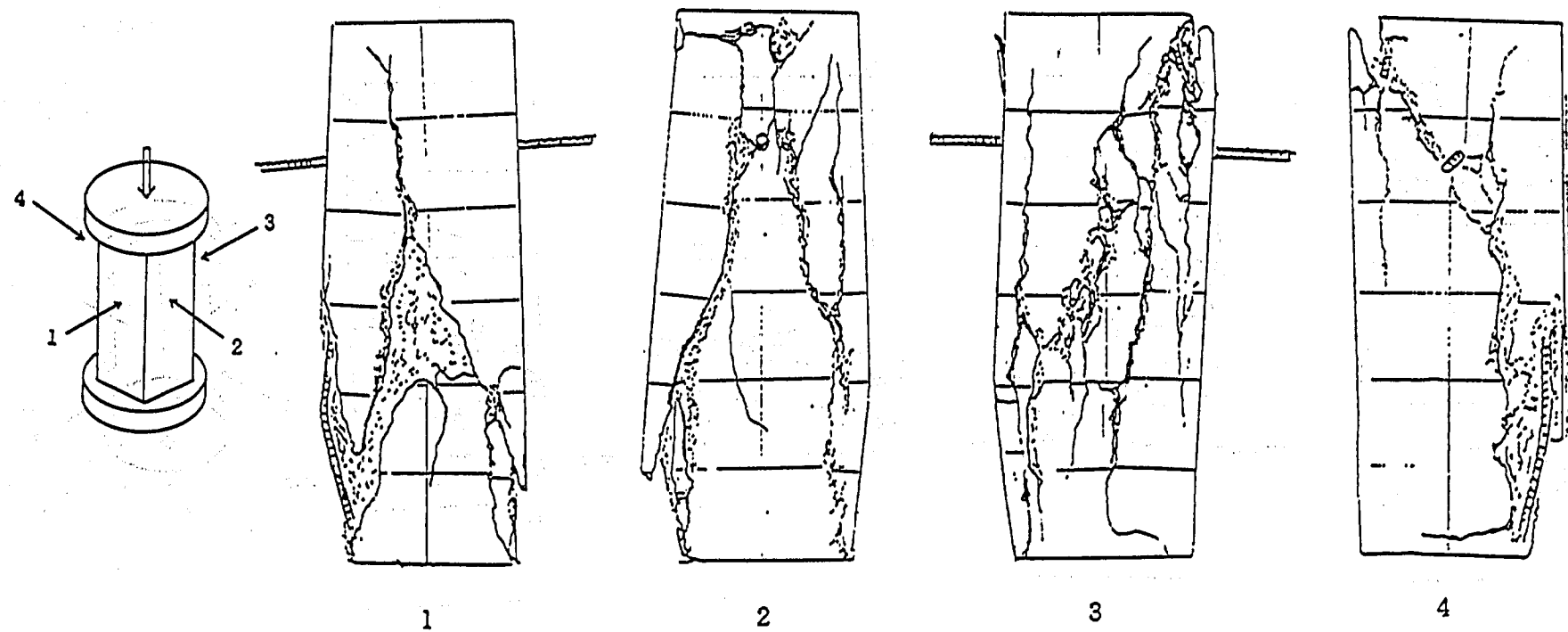
付図 - 22 C - 6 供試体 (正方形, $p = 2.26\%$)



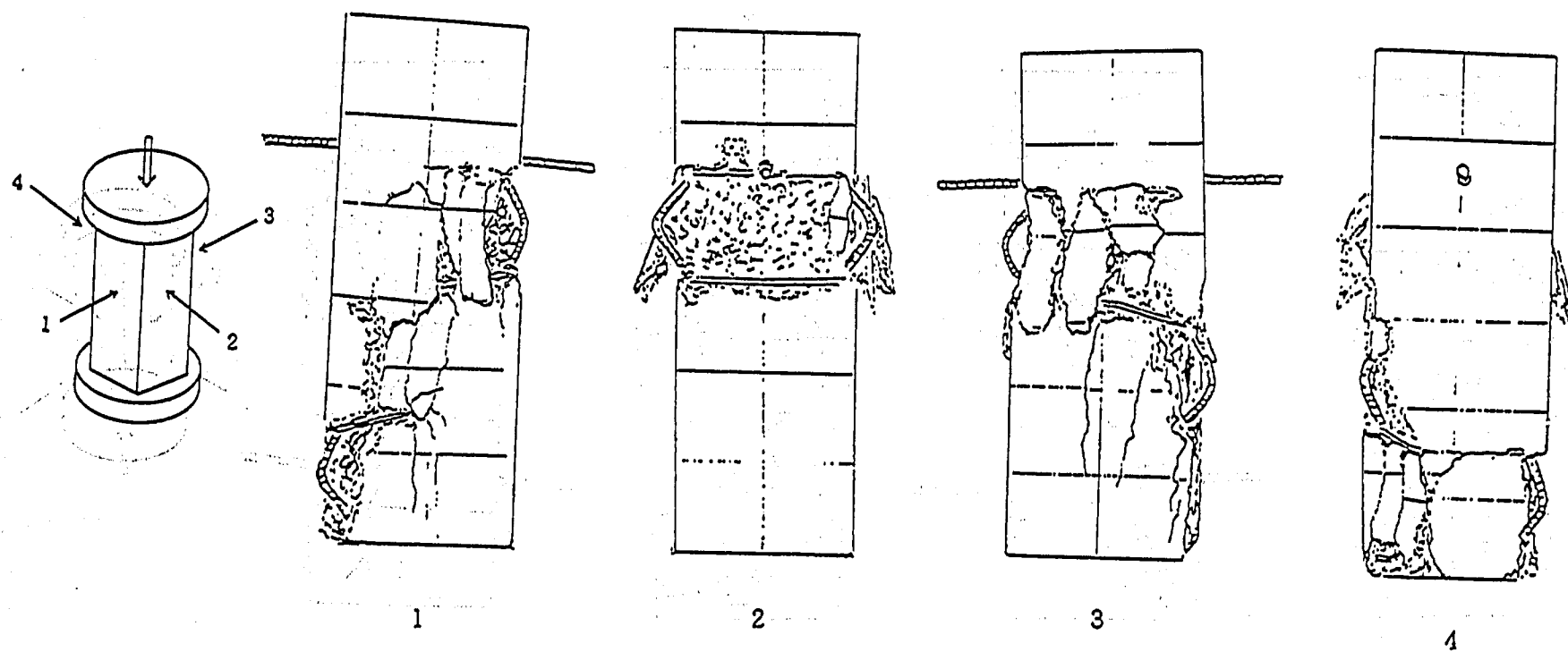
付図 - 23 C - 7 供試体 (正方形, $p = 1.0\%$)



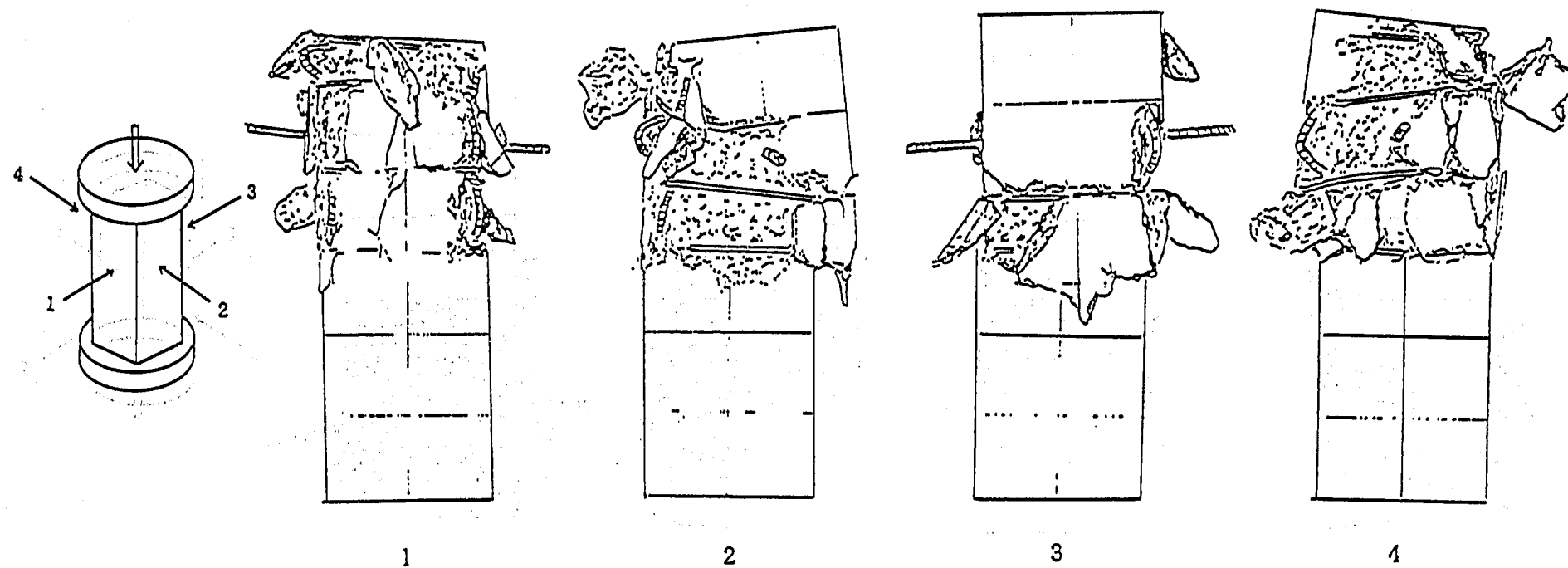
付圖 - 24 C - 8 供試體 (正方形, $p = 2.3\%$)



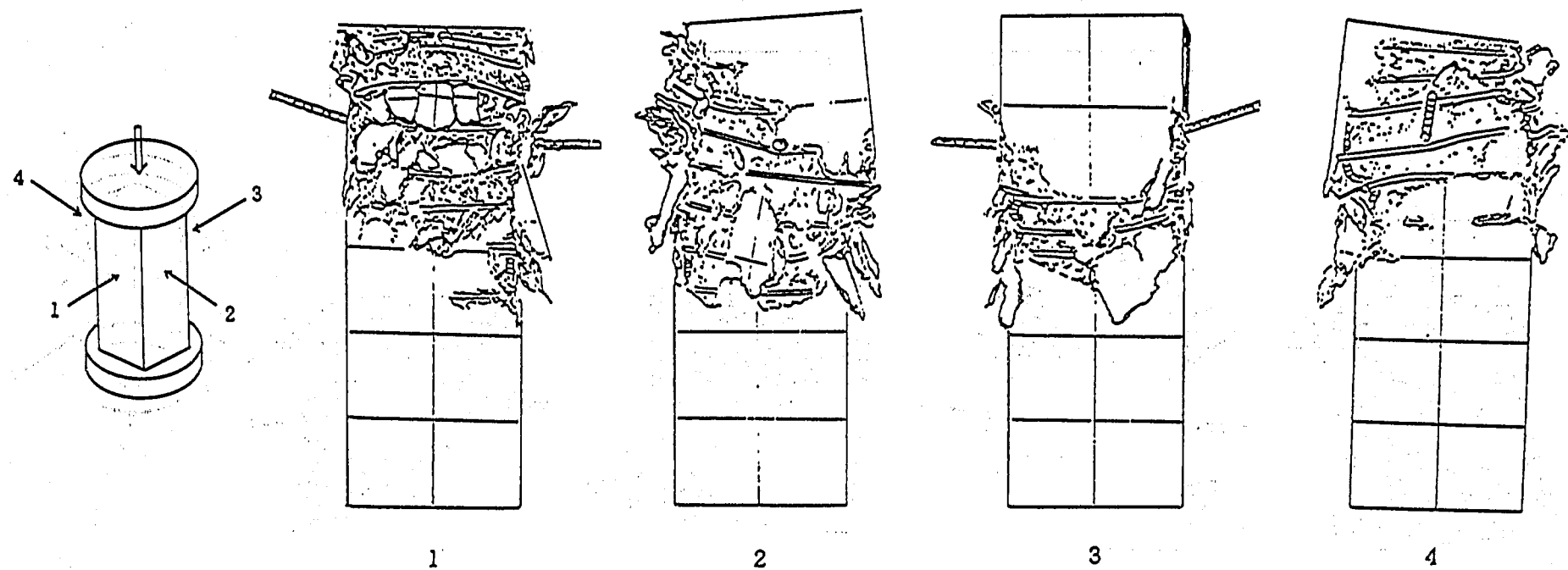
付図 - 25 D - 1 供試体 (正方形, $p = 0\%$)



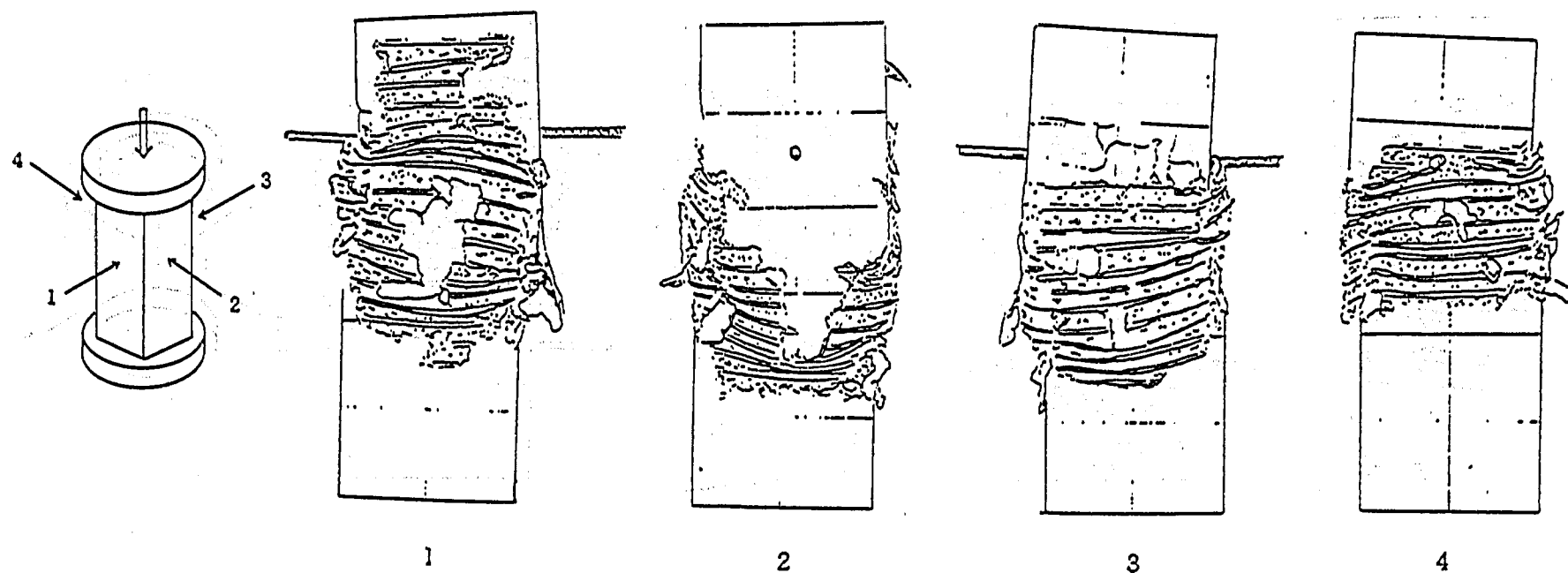
付圖 - 26 D - 2 供試體 (正方形, $p = 0.19\%$)



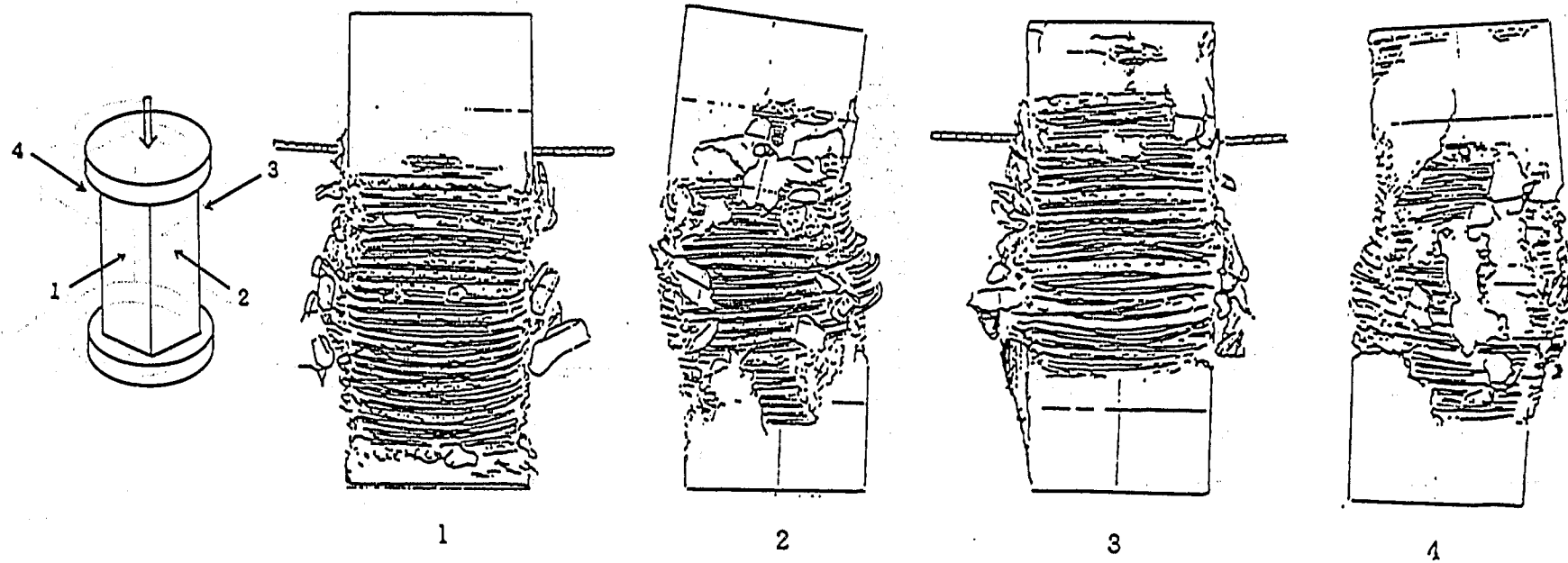
付圖 - 27 D - 3 供試体 (正方形, $p = 0.28\%$)



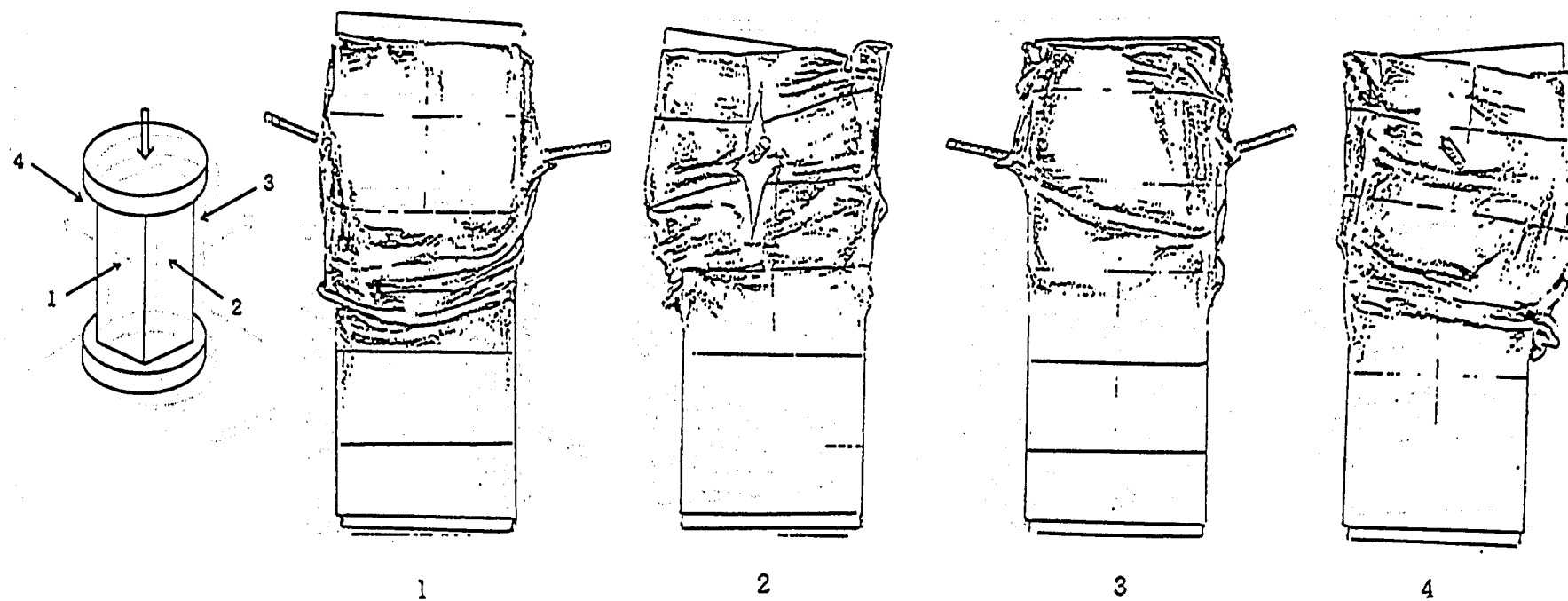
付図 - 28 D - 4 供試体 (正方形, $p = 0.57\%$)



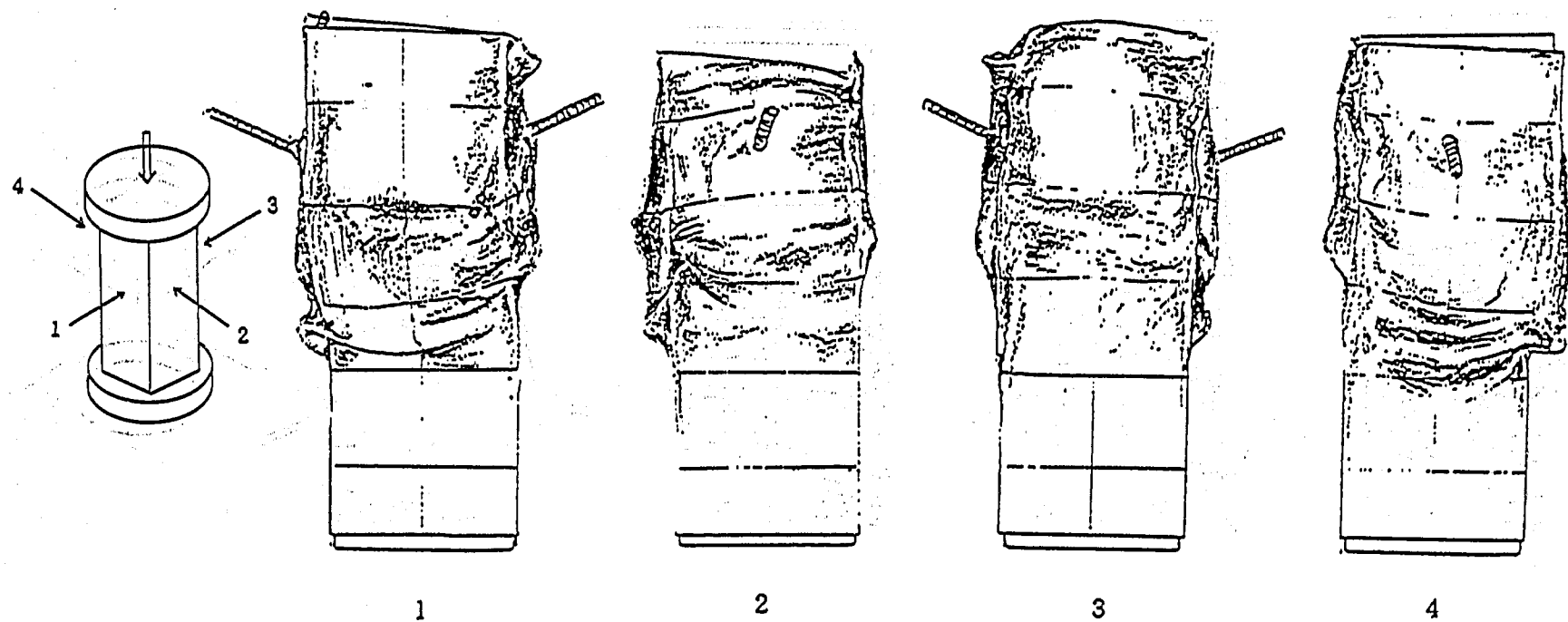
付図 - 29 D - 5 供試体 (正方形, $p = 1.13\%$)



付図 - 30 D - 6 供試体 (正方形, $p = 2.26\%$)



付図 - 31 D - 7 供試体 (正方形, $p = 1.0\%$)



付図 - 32 D - 8 供試体 (正方形, $p = 2.3\%$)

鉄筋コンクリート橋脚のじん性率算定に
及ぼす拘束の影響に関する研究 (その1)
小型拘束コンクリート柱の圧縮載荷実験
耐震研究室 川島一彦

ISSN 0386-5878
土研資料 第3208号
平成5年7月(1993)
運上茂樹 飯田寛之

要 旨 現在の目から見ると耐震性が相対的に低い鉄筋コンクリート橋脚に対する補強方法としては、鋼板や鉄筋コンクリートにより巻立てて強度や変形性能を向上させる工法が有効である。ただし、鋼板を巻立てて補強した場合には、補強鋼板は軸方向鉄筋としてよりもむしろ鋼板により囲まれた部分のコンクリートの強度及び変形性能を向上させる帯鉄筋として寄与することが実験的に明らかになっている。このため、鋼板による補強効果を適切に評価するためには、拘束部分のコンクリートの強度及び変形性能を明らかにすることが必要とされる。
本資料は、以上のような研究の一環として、帯鉄筋の拘束効果を考慮することが可能なコンクリートの応力～ひずみ関係を検討することを目的に、帯鉄筋量を変化させたコンクリート柱の圧縮載荷実験を行い、その結果をとりまとめたものである。

キーワード：鉄筋コンクリート橋脚, 耐震補強, 地震時保有水平耐力, 鋼板巻立て, 帯鉄筋量, 拘束コンクリート柱, コンクリートの応力～ひずみ関係, 載荷実験

郵便はがき

3 0 5 - □ □

四十一円切
手をはって
下さい。

建設省土木研究所

地震防災部・耐震研究室行

茨城県つくば市旭一番地

No. 011

No. 011

配布先住所

配布先氏名

○

土木研究所資料 第 3 2 0 8 号 部

上記のとおり受領しました。

所 属 (住所)

氏 名

印

○