

土木研究所資料
第2054号

衝撃力を受ける落石覆工部材 に関する実験報告書(II)

昭和59年3月

建設省土木研究所
構造橋梁部橋梁研究室

Copyright © (1 9 8 4) Fiscalyear by P.W.R.I.

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

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

ま え が き

落石覆工の設計は、従来経験に基づいて設計されてきたということになっているが、落石を考慮して設計された覆工が、落石により破壊されたり、設計荷重相当の落石に対して十分耐えた等の実例は、実際にはほとんど得られていない。すなわち、これまでに建設されてきた落石覆工は、想定される落石荷重を静的な荷重に置き換え、橋梁等の他の構造物に準じた方法により設計されてきたというにすぎない。また、その方法も前報に述べたように多種多様であった。

落石覆工のように、荷重の持つ運動エネルギーを吸収することを主たる目的とする構造物では、エネルギー概念に基づく設計法を確立することが、終局的には望ましいと考えられる。しかし、設計の対象となる落石規模の推定をはじめ、覆工の設計以前の段階における誤差範囲が非常に大きく、構造物の設計精度ばかりを高めてもあまり意味をなさないと思われる。また、覆工のような大規模構造物の衝撃試験、とくに破壊試験は数が少なく、設計法を確立するためには資料の蓄積がまだまだ不十分である。

以上のような理由から本試験調査では、当面、静的荷重に置きかえて設計する従来の方法を踏襲することを前提とし、主として重錘による覆工部材の載荷試験を行うことにより、より信頼性の高い設計法を見出すことに重点を置いた。同時に、将来、エネルギー概念による設計法が求められた時に、資料の一部として役立つよう、試験データの詳細を残すことにした。

落石覆工の設計については、社団法人日本道路協会より落石対策便覧⁽³⁾（昭和58年7月）が発行され、一応の目安が示されている。同便覧は、現場からの強い要望により、すべての実験が終了するのを待たずに取りまとめられたもので、裏付けデータの若干の不足はまぬがれないが、前報⁽¹⁾の一部は反映されており、また不統一であった設計手法を現段階で最良と考えられる形に統一して示したなどの点で十分評価し得るものである。

本報告では、必ずしも上記便覧の早急な改訂を促すものとはなっていないが、将来同便覧の運用上の問題が生じたり、新たな設計指針の作成が求められた場合に、本報告が生かされれば幸いと考えている。

なお、表題にある通り、本報は前報に続くものとしてとりまとめた。従って、本報に示されていない点、重複する項目については前報を参照されたい

昭和59年1月

建設省土木研究所 構造橋梁部

橋梁研究室 室長 佐伯 彰 一
研究員 西川 和 広
井川 敏 正

目 次

ま え が き

1. 試験の目的	1
2. 慣用設計法の定義	2
2.1 試験結果との比較に用いた慣用設計法	2
2.2 荷重の推定	2
2.3 構造モデル	2
2.4 荷重の載荷方法	2
3. 試験方法	4
3.1 試験概要	4
3.2 供試体の形状・寸法	4
3.3 試験装置	4
3.3.1 重錘および落下装置	4
3.3.2 サンドクッション用土槽	5
3.4 落錘試験ケース	5
3.5 計 測	5
4. 試験結果および考察	16
4.1 重錘より生じた衝撃力	16
4.1.1 砂層厚の影響	16
4.1.2 衝撃力の値	16
4.2 供試体のひずみ分布	17
4.2.1 鋼製供試体のひずみ分布	17
4.2.2 鋼-コンクリート製供試体のひずみ分布	19
4.3 供試体の変位	20
4.3.1 鋼製供試体の最大変位	20
4.3.2 鋼-コンクリート製供試体の変位	21
4.4 試験結果のまとめ	22
5. 慣用設計法における安全性の評価	50
5.1 個々の設計上の仮定について	50
5.2 総合的な評価	51
参 考 文 献	56
付 録 試 験 データ集	57

1. 試験の目的

落石覆工の緩衝材を想定した砂層上に重錘を落下し、重錘に生じる衝撃加速度や砂層下面の土圧分布を計測した事例は従来にも行われているが、その結果を実際の落石覆工の設計にどう反映するかについては明らかでない。そこで、本試験では、供試体を用い、砂層を介して重錘による衝撃力を受けた際の供試体の挙動、すなわち、ひずみ、変位等を計測することを通じ、落石による衝撃力の評価をすることを第一の目的とした。

さらに、本報告に先立って発行された落石対策便覧⁽³⁾に示された落石覆工の設計法について、その安全性に対する評価を試みた。

既往の落石覆工の設計事例を見ると、緩衝材としての砂層や堆積土を含めた死荷重が非常に大きくなり、常時あるいは地震時の荷重により多くの部材寸法が決定されることが多く、落石荷重に支配されるのは、屋根部材だけであると言ってよい。このことから、本試験の対象としては、落石覆工の屋根部材に限定することにした。

供試体のタイプとしては、一般的な傾向を調べるため、繰返しの使用に耐え、ひずみ等の計測が容易な鋼製供試体を、また、部材の強度に関する評価を行うため、数種ある実構造の中から、鋼スラブプレートとコンクリートから成る鋼・コンクリート供試体を製作して使用した。

2. 慣用設計法の定義

2.1 試験結果との比較に用いた慣用設計法

本報告では、試験データとの比較のために、「慣用設計法による計算値」を多く用いている。ここで言う慣用設計法とは、従来の設計法を総合的に検討し、一つの統一した形で示した落石対策便覧⁽³⁾に示される設計法に他ならない。言い換えれば、ここでは便覧に示された設計法の妥当性のチェックを行っているということもできよう。

以下に、各設計手順に沿って具体的に説明する。

2.2 荷重の推定

落石対策便覧に示される設計法には、落石規模（落石重量、落下高等）が設定された場合の衝撃荷重の推定式が含まれているが、本試験の目的とする、覆工部材の挙動を明らかにするという意味から、とくにことわらない限り、外力としては計測された重錘の衝撃加速度と重量の積を、等価な静的荷重として使用している。

2.3 構造モデル

落石覆工の屋根部材は、一般に版構造である。しかし、設計の簡略化のため、単位幅を有する梁として設計されることが普通であり、版としての支間直角方向の荷重分配、すなわち版作用を考慮して設計されることはまれである。

また、実際の覆工には、プレキャストPC桁を並べ、間詰コンクリートで一体化したような形式が多くみられるが、このような場合には、上記の方法がより実情に合っていると言える。

いずれにしろ、どの形式においても、版として一体化されている限り、いくらかの版作用による荷重分配を期待できると考えられるので、梁に置き換えることは安全側のモデル化であるといえることができる。反対に、設計精度を向上しようとして、いたずらに版計算を持ち出すことは、版としての支間直角方向剛性の評価、あるいはその衝撃力を受けたときの効果など、明確でない点も多いので好ましいこととは言えない。

以上の点から、ここでは屋根部材を単位幅を有する梁に置き換え、その部分に投影する分配荷重をその梁が単独で受け持つとして設計する従来のやり方を、慣用設計法として定義している。

なお、補足的にはあるが、屋根部材を等方性版と仮定した場合の版計算による結果（有限要素法による）を、比較のために一部使用している。

2.4 荷重の載荷方法

緩衝材としての砂層（サンドクッション）中の荷重の分散は、図－2.1に示すように45°

の範囲とし、図の円形部分に等分布荷重を載荷するものとする。ただし、計算を容易にするため、円形を図に示したような長方形に置き換えた。ここで、モデル化された梁構造の幅は、長方形の短辺より小さくしなければならない。

前報⁽¹⁾にも述べたように、砂層中の分散の仮定には従来から様々なものが使われてきたが、落石対策便覧に採用されたこの方法は、それらの中でも最も安全側の設計を与えるものである。

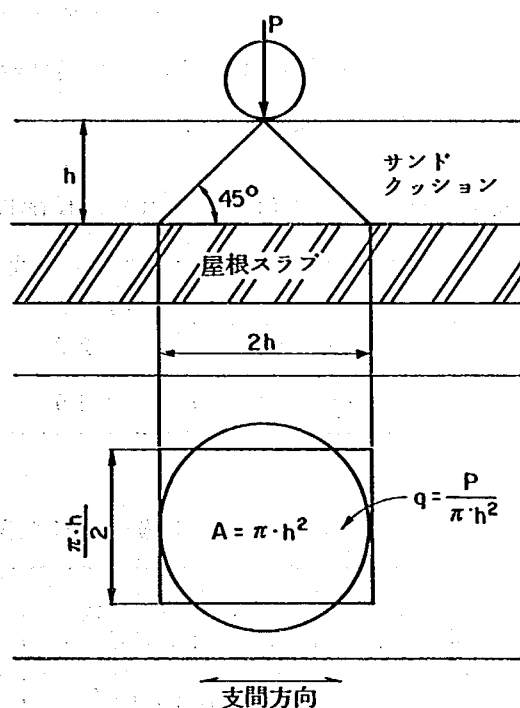


図-2.1 衝撃荷重の載荷方法

3. 試験方法

3.1 試験概要

本試験では、落石覆工屋根部材が衝撃力を受けた際の部材の挙動を調べるためにひずみ、変位等を計測する。また、重錘の落下高さおよびサンドクッション厚を種々に変化させ、これに伴う部材の挙動の変化等を調べるために、衝撃載荷試験を行なうものである。

試験方法は、図－3.1に示す様に、供試体上に所定の砂を敷いた後、重錘を所定の高さに吊り上げ、落下係が落下装置のロープを引き、重錘を落下させて試験を行なう。

3.2 供試体の形状・寸法

試験に用いた供試体は、H型钢（ $2390 \times 150 \times 150 \times 7 \times 10 \text{ mm}$ ）を16本並べ溶接した鋼製供試体（図－3.2）と鋼スラブプレートとコンクリートから成る鋼・コンクリート製供試体（図－3.3，3.4）である。供試体に使用した鋼材の機械的性質を表－3.1に、コンクリートの圧縮強度試験結果を表－3.2に示す。

表－3.1 供試体に使用した鋼材の機械的性質

	規 格	降 伏 点 (Kg/mm^2)	引張強度(Kg/mm^2)
H 形 鋼 ($t=10 \text{ mm}$)	SS 41	29	46
スラブプレート ($t=3.2 \text{ mm}$)	SS 41	35	45

表－3.2 コンクリートの圧縮強度試験結果

供 試 体 №	圧 縮 強 度 σ_c (Kg/cm^2)	ヤ ン グ 係 数 E (Kg/cm^2)	設 計 基 準 強 度 σ_{ck} (Kg/cm^2)
1	341.3	2.05×10^5	240
2	329.8	2.08×10^5	
3	285.2	2.13×10^5	
平 均	318.8	2.09×10^5	

3.3 試験装置

3.3.1 重錘および落下装置

使用した重錘の寸法および形状を図－3.5および図－3.6に示す。重錘は鋼版（ $t=6 \text{ mm}$ ）製の型にコンクリートを充てんしたものと鋳鉄性のものがあり、重量は100 Kgおよび500 Kgの2種類である。重錘の天端には、図に示すように加速度計を取付け、供試体に落下した瞬間の衝撃加速度を計測するために用いた。また、写真－3.1に示すような足場パイプによるやぐらを組み、高さ12 mの位置にV字形のターゲット版を設け落下位置の調整に使用し

た。落下装置としては、図－ 3.7 に示すものを使用した。

3.3.2 サンドクッション用土槽

供試体上に敷くサンドクッション材を保持するため、図－ 3.8 に示すサンドクッション用土槽を使用した。

3.4 落錘試験ケース

落錘試験ケースとしては表－ 3.3 に示すように鋼製は重錘 100 Kg を用いて砂層を 30, 50, 70 cm および落下高を 4, 6, 8 m とした場合、鋼・コンクリート製は、重錘 500 Kg を用いて砂層が 30 cm で落下高を 6, 8, 9.2 m とした場合について試験を行った。

表－ 3.3 試験 ケース

供試体	試験 名	試 験 条 件		
		砂層厚 (cm)	重 錘 (Kg)	落下高 (m)
鋼製供試体	S-1	30	100	4.0
	S-2	"	"	6.0
	S-3	"	"	8.0
	S-4	50	"	4.0
	S-5	"	"	6.0
	S-6	"	"	8.0
	S-7	70	"	4.0
	S-8	"	"	6.0
	S-9	"	"	8.0
鋼・コンクリート製供試体	A-1	30	500	6.0
	A-2	"	"	8.0
	A-3	"	"	9.2
	B-1	50	"	6.0
	B-2	"	"	9.2
	B-3	30	"	8.0
	B-4	"	"	9.2
	参 考	5	"	6.0

3.5 計 測

(1) ひずみの計測

各供試体底面に図－ 3.9 から図－ 3.11 に示すようにひずみゲージを貼付し、支間方向

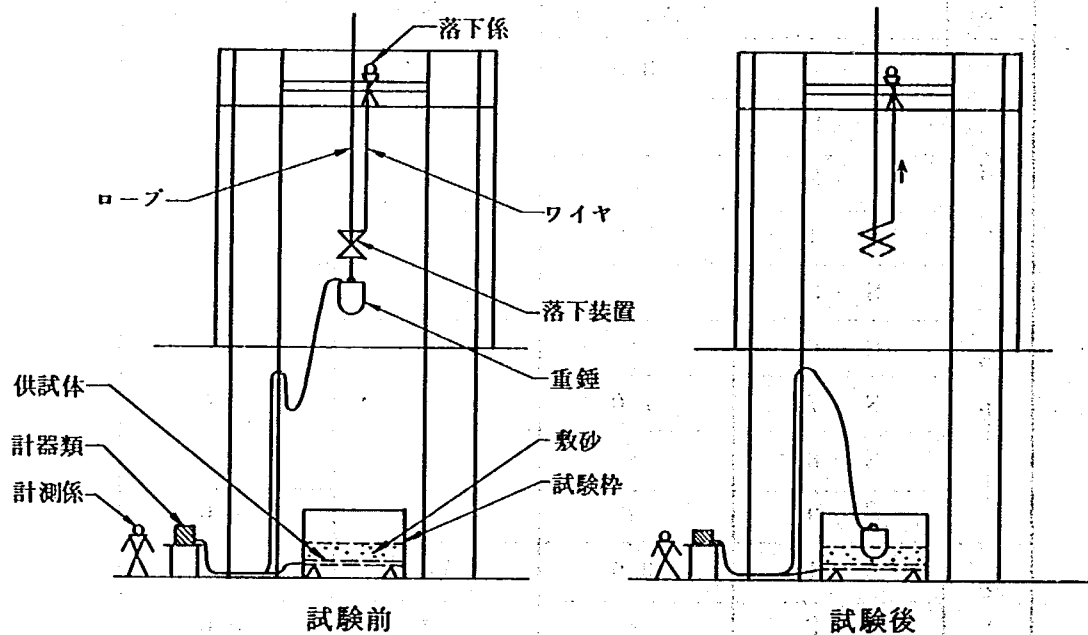
および支間直角方向のひずみ分布を計測した。ひずみはブリッジボックス，動ひずみアンプを経由して一旦データレコーダに記憶し，後で電磁オシログラフに描かせて数値を読み取った。

(2) 加速度の計測

加速度計は，動ひずみアンプを通して直接電磁オシログラフに接続し，試験時に直接グラフを描かせて数値を読み取った。

(3) 変位の計測

各供試体底面の中央に生じる残留変位と最大変位を変位計をセットし計測した。



図－3.1 試験方法概略図

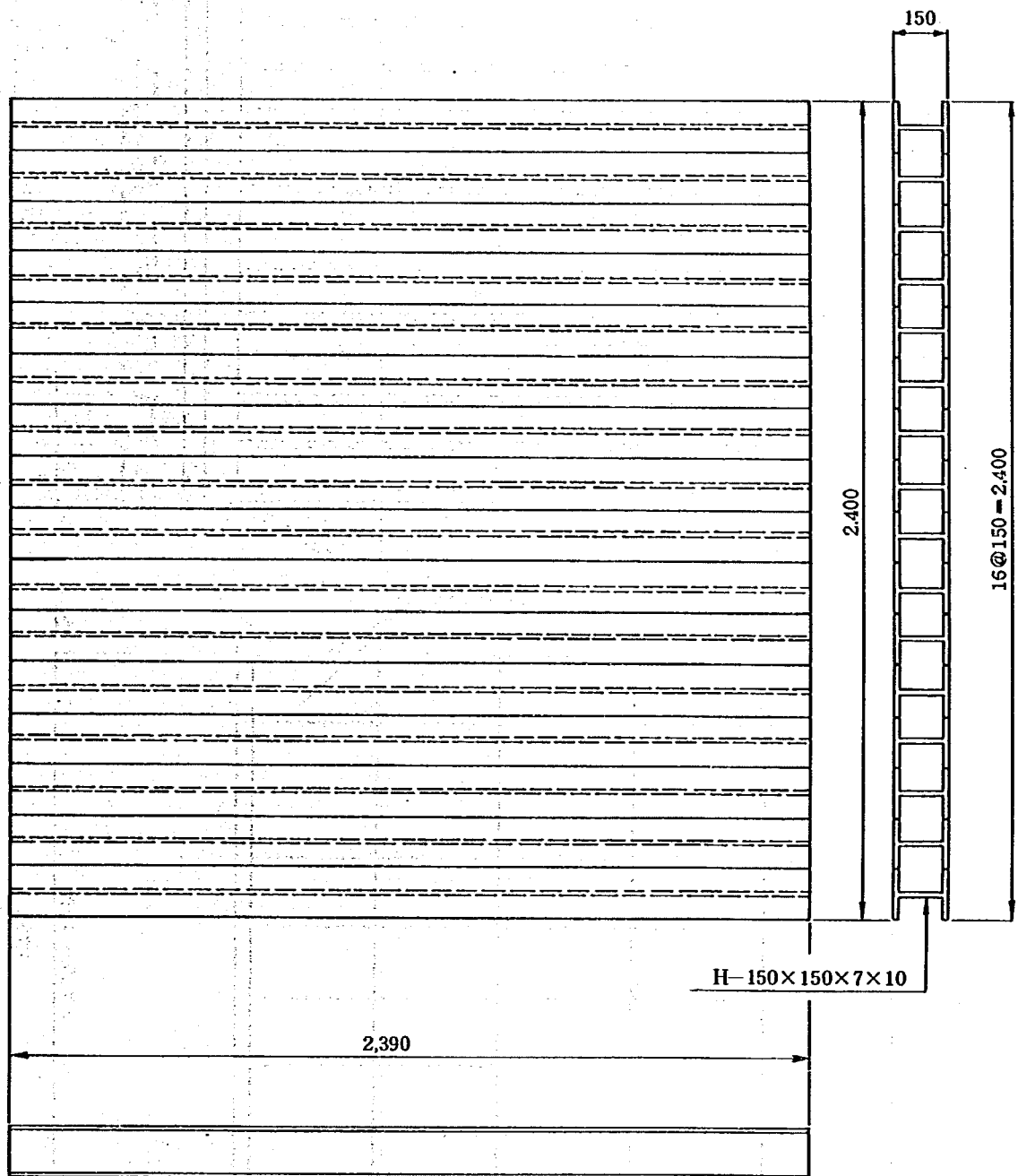


図- 3.2 鋼製供試体 (タイプ S)

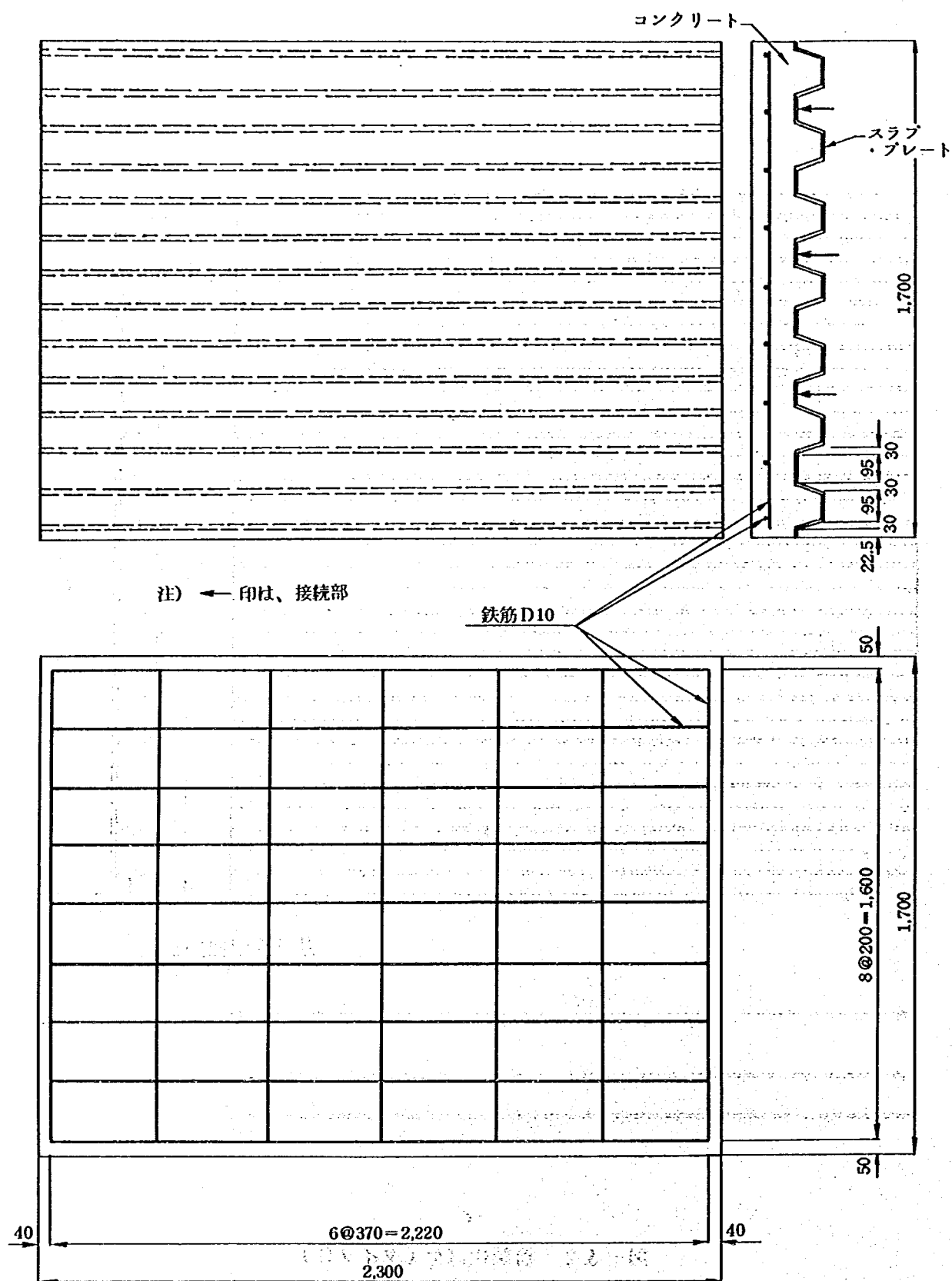


図- 3.3 鋼・コンクリート製供試体 (タイプ A)

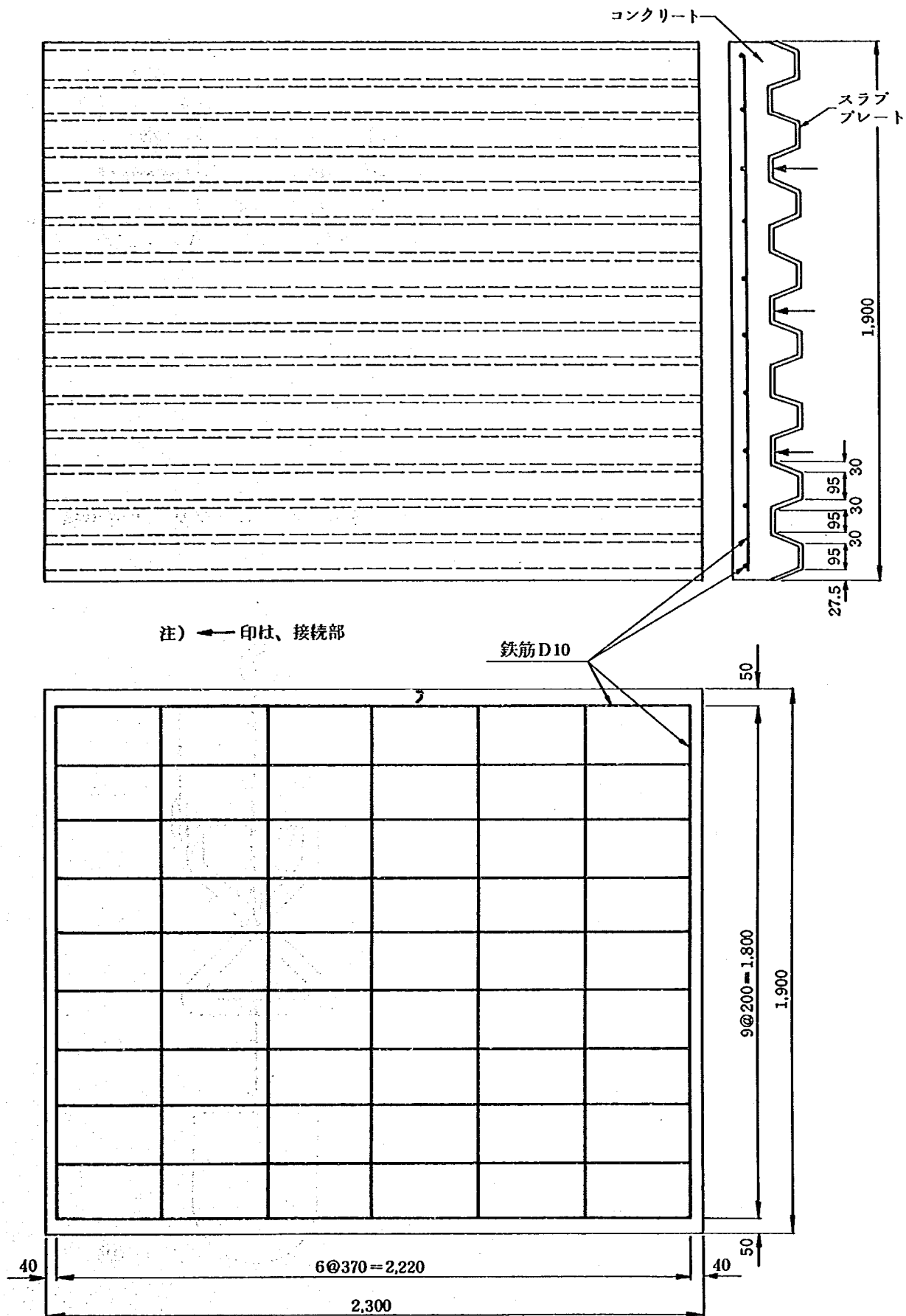


図-3.4 鋼・コンクリート製供試体(タイプB)

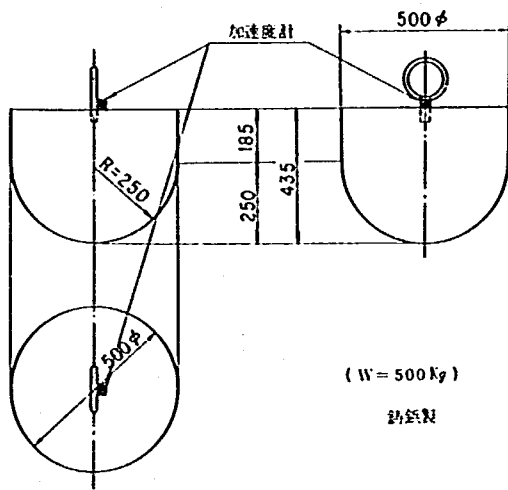


図-3.5 鋳鉄製重錘

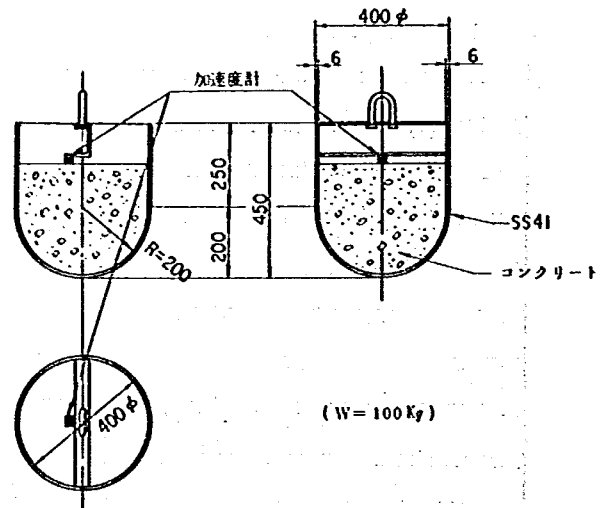


図-3.6 鋼・コンクリート製重錘

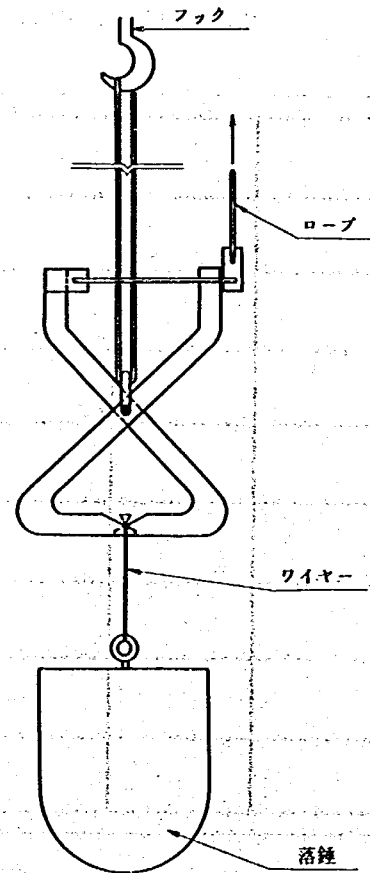
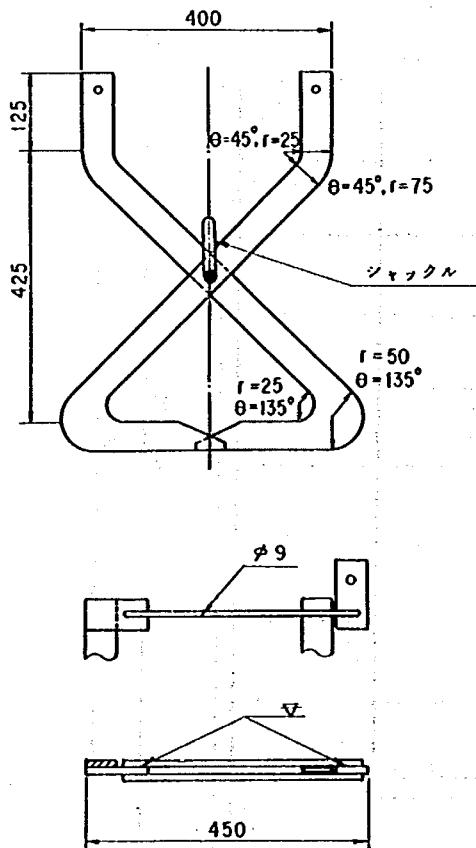


図-3.7 落下装置および吊下げ状況

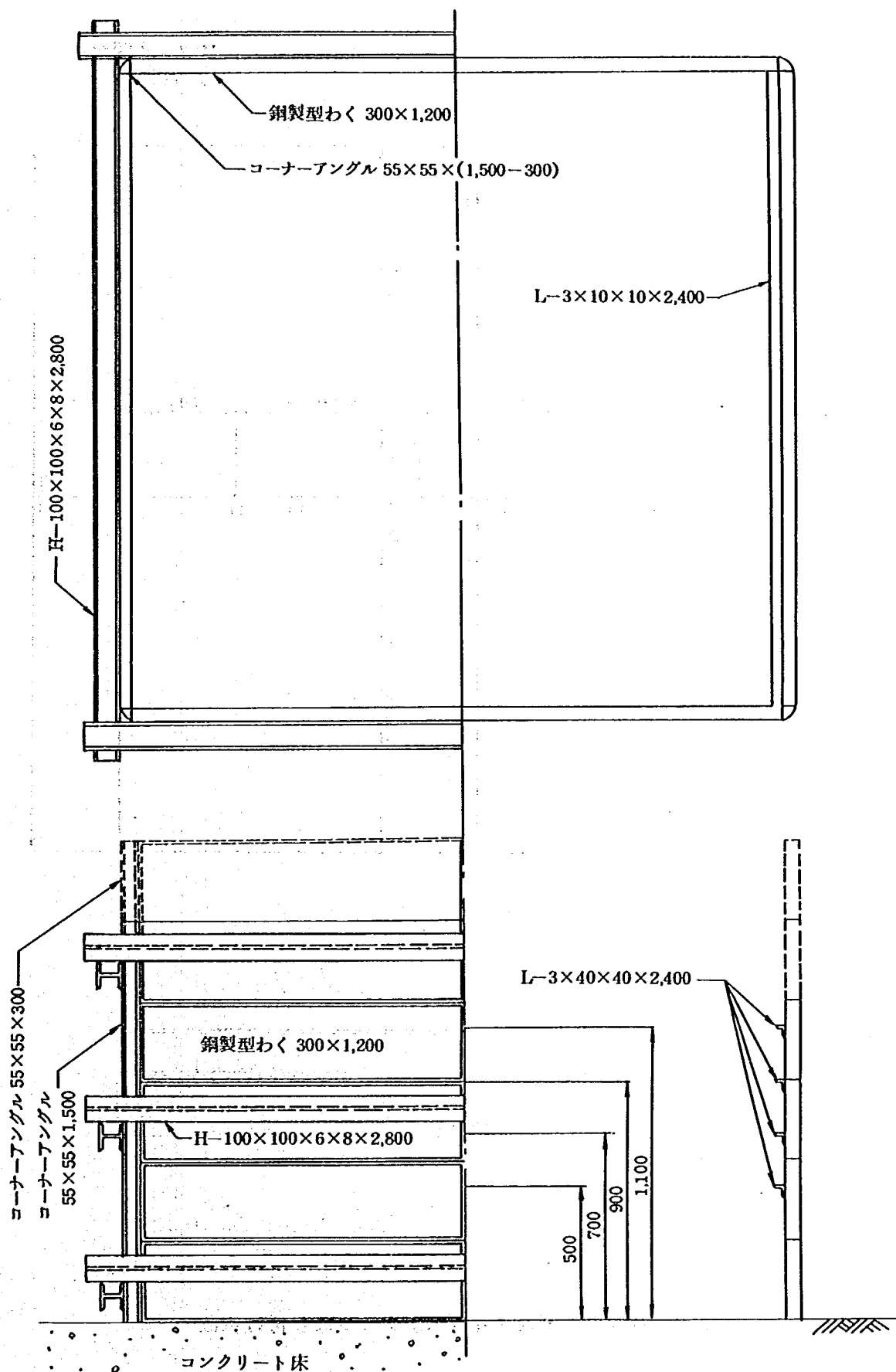
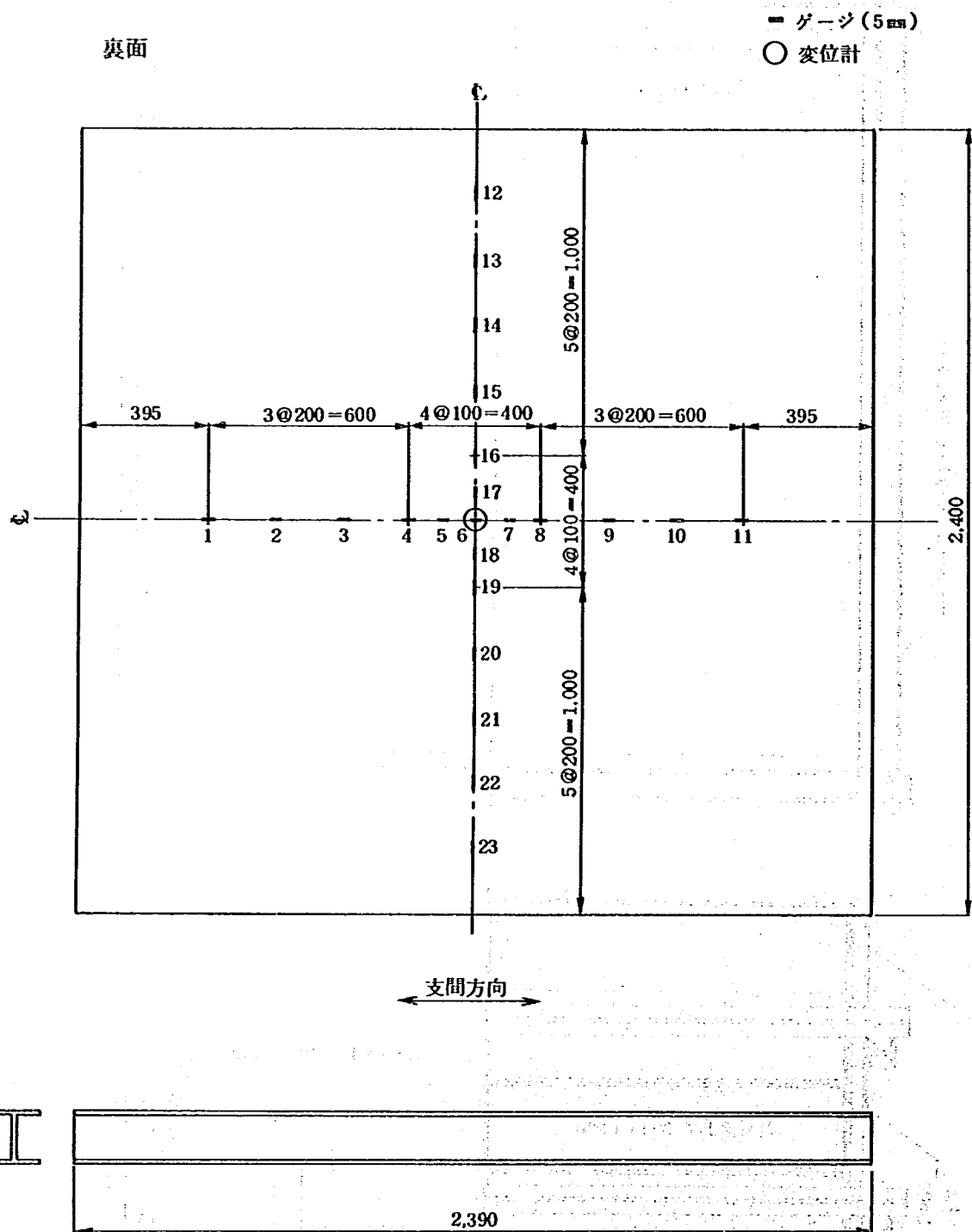


図-3.8 サンドクッション用土槽



図－ 3.9 鋼製供試体 (タイプ S) ゲージ取り付け位置

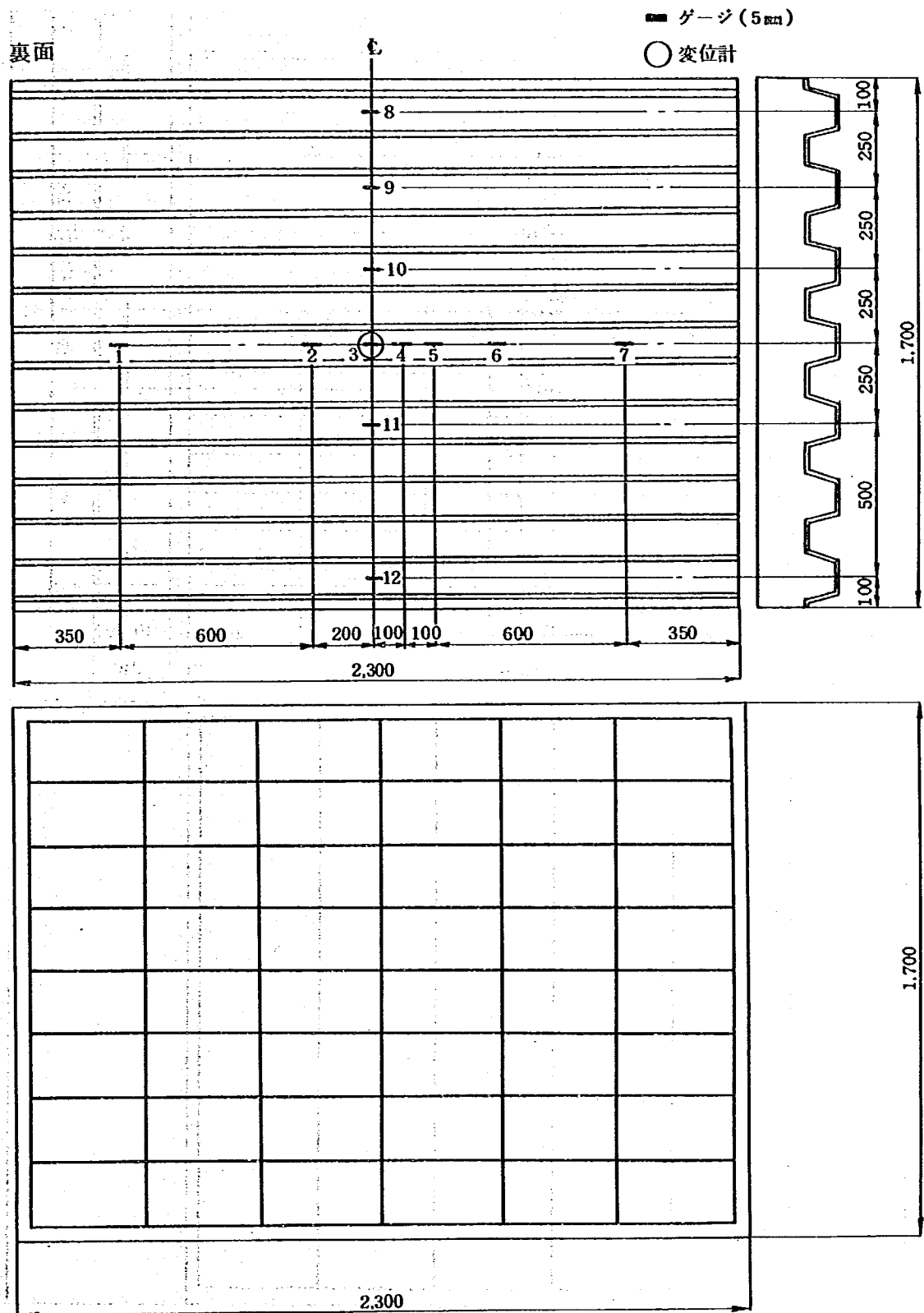


図- 3.10 鋼・コンクリート製供試体 (タイプ A) ゲージ取り付け位置

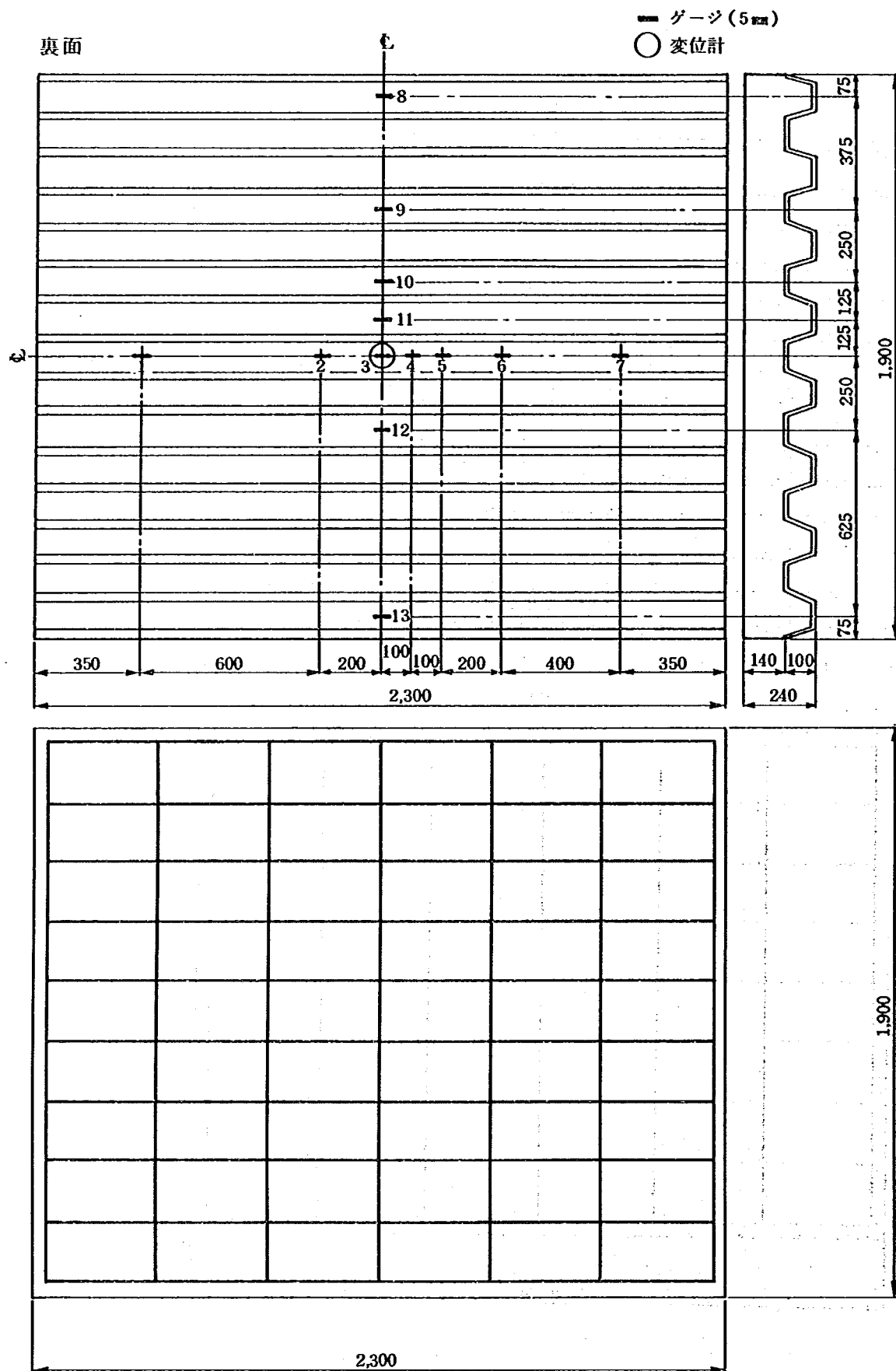


図- 3.11 鋼・コンクリート製供試体 (タイプB) ゲージ取り付け位置

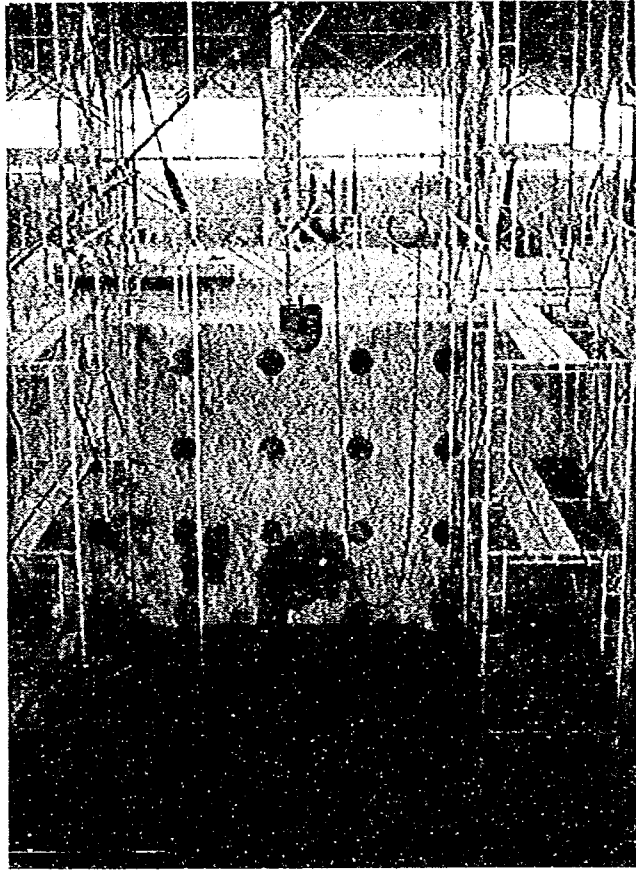


写真- 3.1 重錘落下用やぐら

4. 試験結果および考察

4.1 重錘により生じた衝撃力

4.1.1 砂層厚の影響

本試験および前回の試験を通じて得られた、鋼製供試体を用いた場合の重錘に生ずる衝撃加速度 α と、砂層厚 h (cm) の関係を図-4.1に示す。また、今回の試験結果の一覧を表-4.1に示す。

衝撃加速度の大きさは、砂層厚が小さい程、また当然ではあるが重錘の落下高が大きい程大きくなっている。また、重錘底面形状の影響が顕著で、平底の場合には、同一条件の球底重錘の場合より40～90% (平均60%) 大きい衝撃力が生じている。これは文献⁽²⁾の結果と良く一致している。

前記の落石対策便覧⁽³⁾における緩衝材 (サンドクッション) 厚に関する記述によれば、砂層厚は90 cmを基準とし、それ以下とする場合には、示された補正曲線 (図-4.2) に従って設計に用いる衝撃力を補正することとしている。この補正曲線は、鋼材倶楽部により行われた試験結果⁽⁴⁾を、 $h=90$ cmとしたときの衝撃加速度を1.0として整理し直したものである。 $h=90$ cmを基準としたのは、2～3の試験結果⁽⁴⁾⁽⁶⁾において、砂層による緩衝効果は $h=90$ cmのときにほぼ最大となり、それ以上砂層厚を増しても、それ以上の効果は期待できないとしていることによる。

図-4.1に点線で示したのは、上記の補正曲線に、 $h=90$ cmに対する衝撃力 $\alpha=30g$ および $50g$ を代入して換算したものであるが、その傾きは、条件を一定とした場合の実験結果の分布とよく一致している。したがって、本試験の結果は、落石便覧に示された砂層厚による衝撃力の補正曲線の妥当性を裏づけるものであると言える。

4.1.2 衝撃力の値

前回および今回の試験を通じて得られた衝撃力 P と重錘の落下高さ H の関係を図-4.3に示す。なお、計測値は衝撃加速度と重錘重量の積を衝撃力として定義した。

前述の落石対策便覧では、従来の試験結果および土木研究所動土質研究室により行われた試験結果⁽²⁾に基づき、すべての試験データに対し安全側の値を与える衝撃力の推定方法として、振動便覧⁽⁵⁾に示されている Hertz 式に λ (ラーメの定数) $= 100 \text{ ton/m}^3$ を代入した式を使用することを標準としている。図-4.3中に同式による推定曲線を記入した。 $h=30$ cmとした試験結果が一部 $\lambda = 100 \text{ ton/m}^3$ とした曲線を上回っているが、ほとんどのデータは、 $W=0.5 \text{ ton}$ では $\lambda = 30 \sim 100 \text{ ton/m}^3$ 、 $W=0.1 \text{ ton}$ では $\lambda = 10 \sim 100 \text{ ton/m}^3$ の間に分布している。もっとも便覧に示された推定式は $h=90$ cmを対象としたものであり、図-4.2による補正 ($h=30$ cmに対し約1.7) を考えれば、すべての結果は推定式に対し安全側に分布していることになる。

一方、ここで得られた衝撃力の値は、文献⁽²⁾においてほぼ剛とみなされる床 (実験室内、

床コンクリート厚 1.5 m) 上に砂を敷いて行われた試験結果とよく一致する。本試験に用いた供試体は、実際の落石覆工屋根部材と比較すると下限値に近い剛性を有しているものと考えられる。したがって、このことは、ある程度の緩衝砂層を介して落石荷重が作用した場合、構造物の剛性は、少なくとも実際の構造物における剛性の範囲では、ほとんど関与しないことを示唆しているものと考えられる。

4.2 供試体のひずみ分布

4.2.1 鋼製供試体のひずみ分布

(1) 測定結果

鋼製供試体による試験において計測された、ひずみの最大値の分布を図-4.4~12に示す。計測は前述したように、動ひずみ計を用いてデータレコーダに記録し、電磁オシグラフに描き出させて、その値を読む方法を採用したが、各々の計測点における、ひずみの最大値が生じる時刻が微妙にずれていることを確認することが出来た。そのずれによって、供試体中心部から側方部へひずみが伝播している様子まで知ることは出来なかったが、少なくとも、ある瞬間におけるひずみ分布は図-4.4~12に示したものは等しくはなく、もっと複雑な振動をしており、その最大値を結んだ包絡線が、図に示したものに他ならないことは、容易に推測できる。

(2) 支間方向の応力分布

図-4.13~15は、鋼製供試体中央の支間方向のひずみ分布を、砂層厚毎に前回の平底重錘を用いた試験結果⁽¹⁾とともに示したものである。これらの図より次の点が明らかである。

- 1) 落下高が大きい程発生するひずみは大きい。
- 2) 平底重錘により発生するひずみは、球底重錘によるひずみよりかなり大きい。
- 3) 荷重直下において、球底重錘の場合には中央に最大ひずみが生じているのに対し、平底重錘の場合にはその両側のひずみゲージに最大ひずみが生じている。
- 4) 砂層厚によりひずみ分布の形状が多少異なる。

すなわち、 $h = 30\text{ cm}$ の場合には分布形は逆三角形に近く、 $h = 70\text{ cm}$ の場合では放物線に近い。以上のうち1)は当然のことであり、2)については4.1で述べたように、平底重錘により生じる衝撃力が、同条件の球底重錘によるよりも大きいことを反映しているものと考えられる。

また、3)については次のような理由が考えられる。すなわち、重錘直下において、球底の場合には中心部の砂が圧縮されて力を伝達し、周囲の砂は押しのけられるが、平底の場合には、重錘下の砂が閉じ込められ、圧縮されて一体となって力を伝達するものと考えられる。文献⁽²⁾においても、重錘直下の土圧分布は、平底の場合には底面の円周に沿って

最大となっており、本試験の結果とも対応している。ただし、その場合でもひずみの最大値は中央に生じるはずであり、中央が凹む分布形について調べるには、動的な解析を試みる必要があろう。

4) は次のように説明できる。すなわち、砂層厚が大きくなるに従い、砂層による荷重の分散により荷重が供試体に作用する面積は広がる。したがって、 $h = 30\text{ cm}$ では、あたかも集中荷重が作用したような分布形になっているのに対し、 $h = 70\text{ cm}$ では分布荷重が作用したような分布形を示したのであろう。設計において、後者のような分布形が生じるような条件を設定するのが望ましいことは、言うまでもない。

(3) 慣用計算法による計算値との比較

図-4.16および17は、計測されたひずみを応力に換算し、衝撃加速度で除して1G当りの応力として示したものであり、図-4.16は砂層厚が30cm、17は70cmの場合である。

いずれの場合にも、砂層厚および重錘形状が一定であれば、応力分布形状は、落下高さに関係なくほぼ一定となっている。これは、重錘により発生する応力が、衝撃加速度の値にほぼ比例していることを示すものである。図-4.18は衝撃力（衝撃加速度と重錘重量の積）と、発生した最大応力の関係をプロットしたものであるが、ほぼ比例関係にあることがわかる。

一方、図-4.16、17によれば、平底重錘の場合の応力分布が、球底重錘の場合より60～80%大きくなっていることがわかる。したがって、平底重錘の場合には、発生する衝撃力、および砂層による荷重分散の両面において球底重錘の場合よりも不利な結果となり、落石の形状が平底重錘の条件に近い場合には、同じ重さの球形の落石が同じ高さから落下した場合の2.2～3.4倍の応力（弾性範囲と仮定すれば）が覆工部材に生じることになる。

図-4.16および17中に実線で示したのは、2章で述べた慣用設計法の考え方によって計算した応力分布である。砂層厚30cm、球底重錘の場合を除きほとんどの測定値が計算値を上回っている。図-4.17は、実測された最大応力の値を用い、慣用設計法によって逆算して荷重分布幅($D/2$)を求めたものである。図に明らかなように、ほとんどの結果が45°の分散の仮定が危険側のものであることを示すとともに、砂層厚が大きくなる程、その程度 大きくなることを示している。砂層中の荷重の分散に対しては、砂層厚の他に落石の大きさ、形状等が影響するものと考えられるが、参考までに仮に砂層厚 h' と落石の直径 d の比(h'/d)が支配的であると仮定して2次曲線で近似したのが図中の一点鎖線である。

慣用設計法の他に版計算も行ったが、その結果はさらに小さい値となる。(図中には示していない)。

ここでは、衝撃荷重の動的な効果を見捨て、単に衝撃加速度と重錘重量の積を静的な荷重に置きかえて議論を進めているため、砂層中の荷重分散そのものについての評価としては正しくないかもしれないが、総合的に見て、慣用設計法では荷重が既知の場合には、危険側の設計値を与える可能性が大きいことは明らかである。

(4) 支間直角方向のひずみ分布

図-4.2.0～2.2は、支間中央位置で計測した支間直角方向のひずみ分布（ひずみの方向は支間方向）を示したものである。使用した供試体は、版として扱おうには支間に対して幅が小さいため、全体が一つの梁に近い挙動を示すことを予想していたが、結果は図のように中央付近にかなりの集中がみられた。このようなひずみの集中の原因として、供試体の構造に問題があったことも考えられるが、この点については、4.2.2でふれることにする。

砂層厚による影響は、支間方向のひずみ分布程ではないがその影響は見られる。ただし、中央付近を除いてほぼ一定となっているのが特徴である。

また、支間方向のひずみ分布の場合と同じように、3枚の図を重ね合わせると、砂層厚を一定とした場合のひずみ分布は、ほぼ一致する。

4.2.2 鋼-コンクリート製供試体のひずみ分布

(1) 測定結果

図-4.2.3～2.9は、鋼-コンクリート製底面に貼付したひずみゲージにより計測したひずみの分布を示したものである。本シリーズでは、供試体の変形状態を調べることを主眼とし、鋼製供試体の場合に比べて大きな衝撃力の領域を対象とした実験を行ったので、単純な比較はできないが、観察された2、3の特徴について述べることにする。

また、Type B 供試体では、重錘を供試体の断面が小さくなっている部分の直上に落とし、Type A との比較を試みたが、有為な差は見られなかった。供試体底面凹部に貼ったひずみゲージの読みにも、特徴的な現象は現われていない（図-4.2.6～2.9）。以下は、Type A および B について、とくに区別せずに考察を進めることにする。

(2) 支間方向のひずみ分布

図-4.2.3～2.9に見られるように、一般に支間方向の応力分布は逆三角形に近い形をしており、その先端の形状も鋼製供試体の場合に比べて鋭くなっている。この理由としては次のようなことが考えられる。

- 1) 使用した重錘が鋳鉄製ムク（鋼製供試体に使用したものは、6 mm厚の鋼型枠にコンクリートを充填したもの）であるため、重錘の底面積に比べて重量が大きい（比重が大きい）。
- 2) 重錘の直径が50 cmと砂層厚の30 cmより大きい。
- 3) 多くの場合、支間中央部の応力は降伏応力を超えている。

4) 支間中央部付近では、スラブプレート（鋼板）とコンクリートがはく離している可能性がある。

(3) 支間直角方向のひずみ分布

図－4.3 0は、支間直角方向のひずみ分布（応力に換算してある）を鋼製および鋼－コンクリート製供試体について比較したものである。鋼製供試体では、前述したように中央部に大きな集中が見られるが、鋼－コンクリート製供試体では、ほぼ平坦に近い分布となっている。

2 辺を単純支持された等方性版として、解析を行ったところ、支間直角方向のひずみ分布はほぼ水平になることが明らかになった。このことは、鋼－コンクリート製供試体は版として挙動したものに対し、鋼製供試体では横方向の力の伝達が十分に行われず、中央部付近のH形鋼が主として荷重を支えたことを示している。衝撃的に作用した荷重は供試体中を断面方向のせん断力により伝播するものと考えられるが、鋼製供試体では、断面図に見るように支間直角方向にせん断剛性が非常に小さくなっているため、荷重が衝撃的に作用したと相俟って、横方向の荷重分配が十分に行われなかったものと考えられる。

一方、鋼－コンクリート製供試体では、多少のひずみの集中は見られるが、円滑な荷重の分配が行われたことがわかる。

現実に使用されている落石覆工は、ほとんどがコンクリート製あるいはここで用いたような鋼－コンクリート製であり、供試体はその最小断面に相当する。ここで用いた形式の鋼製部材を使用することは、落石覆工では比較的まれである。したがって実際の覆工屋根部材では、版作用による荷重分配を期待できよう。一方、鋼製の屋根部材を使用しようとする場合には、横方向荷重分配を配慮した設計をすることが必要となろう。

(4) 衝撃力とひずみの関係

図－4.3 1は、衝撃荷重と最大ひずみ値の関係を示したものである。多少の供試体寸法や砂層厚の違いに関係なく、ほぼ一つの線上に分布しているが、直線関係を有する理論的な必然性は、とくに考えられない。

4.3 供試体の変位

4.3.1 鋼製供試体の最大変位

鋼製供試体による試験で計測された、落錘時の最大変位（供試体中央のたわみ）と衝撃荷重との関係を図－4.3 2に示す。慣用設計法の考えに従えば、最大変位は砂層厚により、図中の実線のように変化するはずである。しかしながら、試験の結果、砂層厚の大きさはひずみの場合程大きくないことがわかる。

供試体中央のたわみは、供試体各部の変形の蓄積であるから、ひずみに比べればいわば巨視的な応答を計測したことになる。また、落石による衝撃力は、供試体上のいずれかの部分

に作用したと考えられるから、砂層厚や重錘の大きさに比べ、それ程大きくない供試体の変形に、砂層厚による差が出難くかったものと推察される。

ここでむしろ注目されるのは、慣用設計法による計算値を計測値がすべて超過していることである。超過の程度はひずみ値で比べたときより大きくなっている。

以上のように、衝撃荷重により生じる部材の変形は、それを静的荷重に置き換えた場合より、少なくとも瞬間的にはかなり大き目に出るということがいえる。

4.3.2 鋼-コンクリート製供試体の変位

(1) 最大変位

鋼-コンクリート製供試体における、衝撃荷重作用時の最大変位と衝撃荷重（衝撃加速度と重錘重量の積の関係を示したのが図-4.33である。測定値は供試体条件（Type A および B）や砂層厚の多少の差に関係なく、ほぼ一つの曲線上に得られた。

すべてのデータをほぼ同一条件と考えて処理すると、図中に実線で示したような、衝撃力に対する荷重-変位曲線を描くことができる。

図中に a ~ d の直線を示したが、これらは計算上の弾性荷重-変位線であり、a は供試体を等方性版として計算し、その断面をスラブプレートとコンクリートの合成断面としたもの、b は同じく非合成断面としたものおよび c は慣用設計法（梁に置き換える）により合成断面として求めたもの、d は同じく非合成断面としたものである。a, b において等方性版としたのは、異方性を種々検討した結果、等方性とした場合と大差なかったため、評価の難がしい異方性に関する議論を避けたためである。

試験結果のうち、ほぼ弾性域にあると思われるデータは c の直線に載っており、版計算による a, b とはかなり離れている。慣用設計法における単位幅の梁へのモデルの置き換えは、単に便宜上安全側の仮定をすることにより、計算を容易にしているのであって理論的な根拠は考えられず、測定値が c の直線と一致したのは偶然と考えるのが妥当であろう。

前回の試験⁽¹⁾では、同種の鋼-コンクリート供試体（幅 25 cm の梁状、支間は 190 cm）の静的載荷試験を行なっている。このときは緩衝材を用いていないこともあり、図-4.34 に示すように、合成断面に対する理論値と、測定値の弾性範囲がよく一致しており、また降伏点もほぼ等しい。図-4.33 および 34 は良く似ている傾向を示しているが、衝撃荷重の場合に設計荷重時における変位量が非常に大きくなっているのが注目される。なお、いずれの場合の設計荷重も、鋼材、コンクリートの材料試験を行ない、修正を加えたものである（スラブプレート材の降伏点=許容応力度として使用）。

(2) 残留変位

図-4.35 は、落錘静止後、供試体の動きが止まった状態における残留変位と衝撃荷重の関係を示したものである。重錘の重さ（0.1 ton）による変位は無視した。

最大変位と同様、ほぼ一つの曲線上にデータが分布している。曲線を荷重軸の方に延長

すると、設計値のほぼ $1/2$ の値が部材の降伏点として得られる。しかし、この残留変位にはコンクリートの応力-ひずみ曲線が明確な降伏点を有していないことや、衝撃によるひびわれやスラブプレートとのはく離などによる変位も含まれていると考えられる。また、荷重によるダメージが、荷重が衝撃的であるために局部的である（推測）ためか、除荷後の復元性が良く、設計荷重に対する残留変位は、図では大きく見えるが支間 $2m$ に対し $2mm$ ($l/1000$) に収まっている。

4.4 試験結果のまとめ

本試験の結果を簡単に列挙すると次の通りである。

- (1) 衝撃力に対する砂層厚の影響は、落石対策便覧に示された砂層厚による衝撃力の補正曲線とよく一致した。
- (2) 重錘の底面が平面である場合には、半球である場合より $40\sim90\%$ (平均 60%) 大きい衝撃力が生じた。
- (3) 衝撃力の値は、落石対策便覧の推定式による計算値をかなり下回った。
- (4) 剛とみなせる床上での試験結果⁽²⁾と比べ、供試体上に重錘を落下した場合に生ずる衝撃力には、緩衝材を介している限り、有意な差はみられなかった。したがって、落石位置の部材の剛性による衝撃力の変化は大きくないものと考えられる。
- (5) 等しい衝撃力に対し、平底重錘により生じた供試体のひずみは、球底重錘の場合に比べて大きい。
- (6) 球底重錘により発生する支間方向のひずみ分布は、支間中央で最大となるのに対し、平底重錘の場合には、重錘底面の円周に沿って最大となる。
- (7) 供試体の最大ひずみは、砂層厚および重錘形状が同じであれば、発生する衝撃加速度にほぼ比例する。
- (8) 発生する応力は、慣用設計法により計算した値より、 $h=30cm$ の場合を除いて一般に大きく、 h が大きくなる程その傾向は強まる。
- (9) 支間直角方向のひずみ分布は、鋼-コンクリート製供試体では水平に近いのに対し、鋼製供試体では中央部に集中が見られる。これは、鋼製供試体の横分配性能に問題があるものと考えられる。
- (10) 弾性範囲で行った鋼製供試体の最大変位（たわみ）は、ほぼ衝撃荷重に比例する。しかし、砂層厚による変位の差は、ひずみの場合程顕著ではなく、ほぼ一定となる。また、その値は、すべて慣用設計法による計算値より大きい。
- (11) 鋼-コンクリート製供試体の弾性域を含む、衝撃荷重-変位（たわみ）線図が得られた。弾性域での傾きは、慣用設計法により、供試体スラブプレートとコンクリートが合成すると考えた場合の傾きに一致し、版構造と考えた場合よりはかなり小さな剛性を示した。降

伏点に相当する荷重は設計荷重（地震荷重相当の許容応力度の割増しを行った）よりもやや小さいが、設計荷重に対する残留たわみは、スパンの約 1/1000 程度である。

表-4.1 試験条件および結果一覧

供試体	試験No	試験条件			加速度 (g)	最大 ひずみ ($\times 10^{-6}$)	最大 変位 (mm)	残留 変位 (mm)
		砂層厚 (cm)	重錘 (Kg)	落下高 (m)				
鋼製供試体	S-1	30	100	4.0	52.9	125	1.18	—
	S-2	"	"	6.0	60.0	153	1.32	—
	S-3	"	"	8.0	82.1	202	1.77	—
	S-4	50	"	4.0	36.3	61	0.81	—
	S-5	"	"	6.0	47.3	92	1.06	—
	S-6	"	"	8.0	61.6	122	1.31	—
	S-7	70	"	4.0	34.7	59	0.73	—
	S-8	"	"	6.0	48.9	78	0.98	—
	S-9	"	"	8.0	60.0	102	1.16	—
鋼-コンクリート製供試体	A-1	30	500	6.0	50.8	772	3.00	1.00
	A-2	"	"	8.0	68.9	1012	125.0	2.30
	A-3	"	"	9.2	70.7	1467	175.0	3.00
	B-1	50	"	6.0	35.4	355	2.18	0.26
	B-2	"	"	9.2	51.3	825	2.88	0.75
	B-3	30	"	8.0	56.6	881	5.00	1.25
	B-4	"	"	9.2	76.1	1672	200.0	3.50
	参考※	5	"	6.0	261.6	—	350.0	—

※ 参考のため、B-1の供試体を再度使用し、緩衝材なしの場合の破壊性状を調べたもの。コンクリート部は、パンチングシアーにより完全に破壊しているが、鋼材を打ち抜くには至っていない。付録を参照。

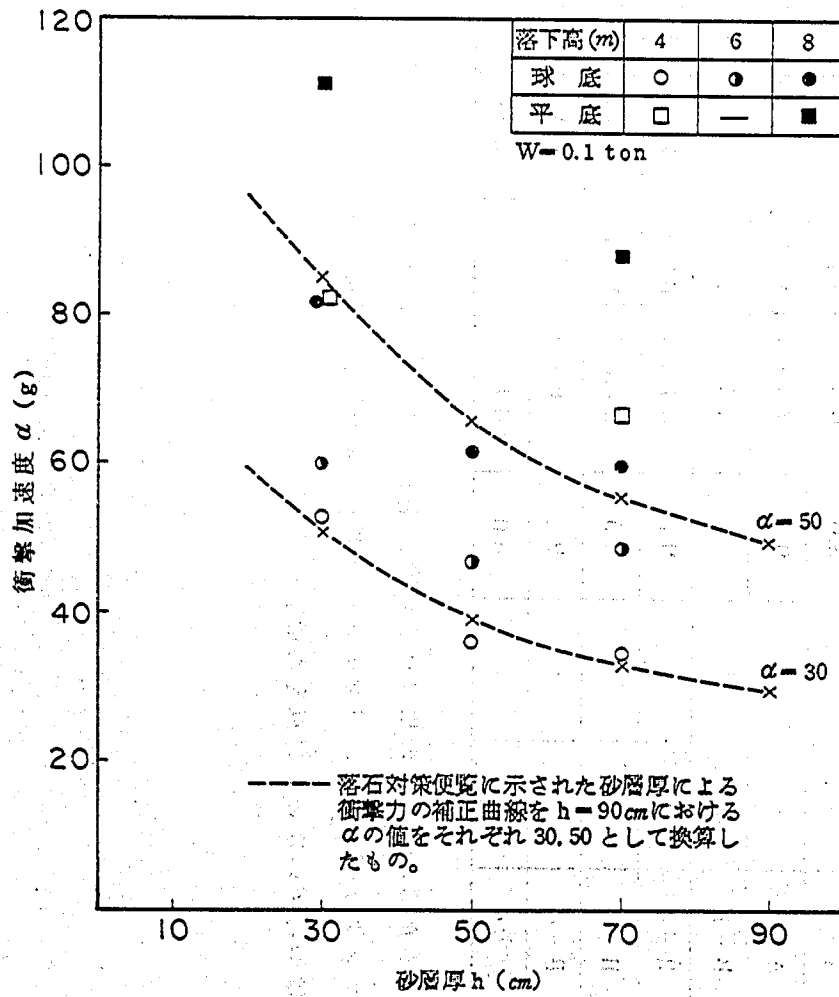


図-4.1 落錘の衝撃加速度に及ぼす砂層厚の影響

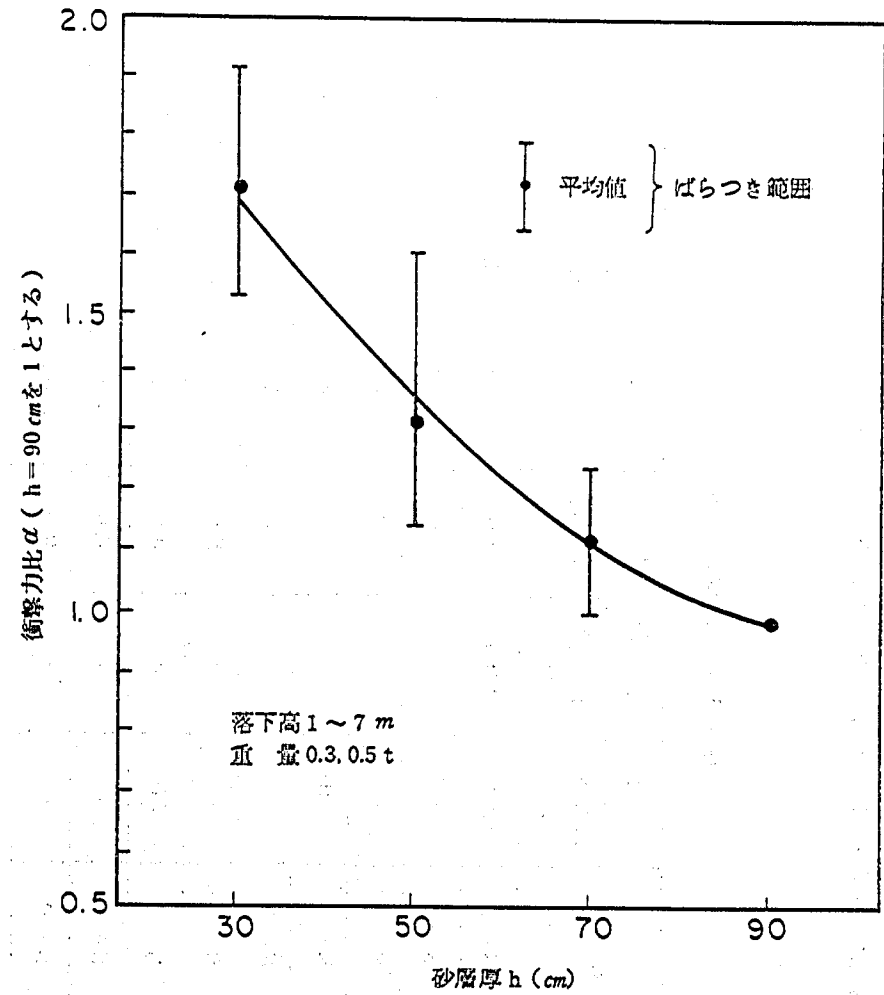


図-4.2 落石便覧に示された補正曲線⁽³⁾

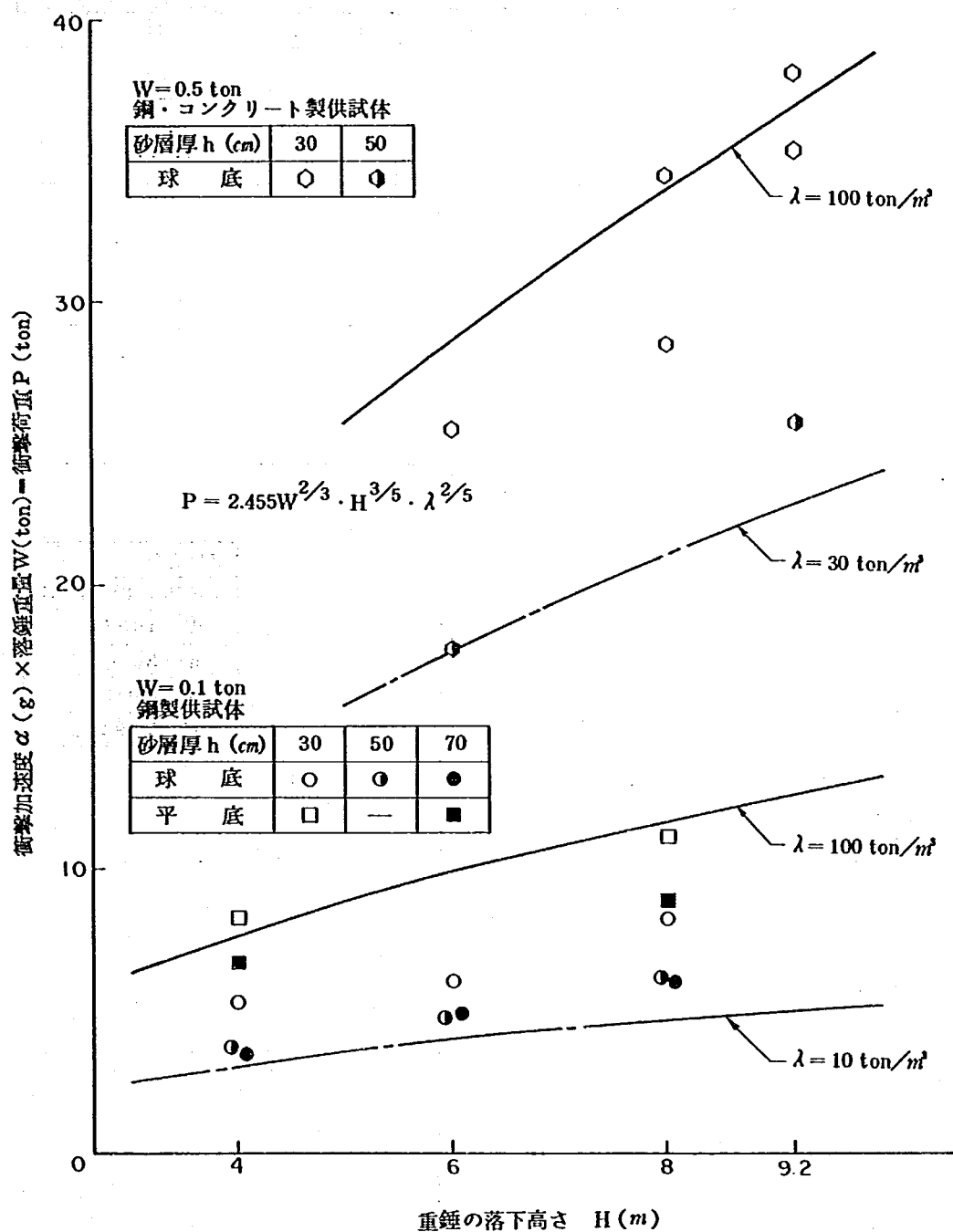
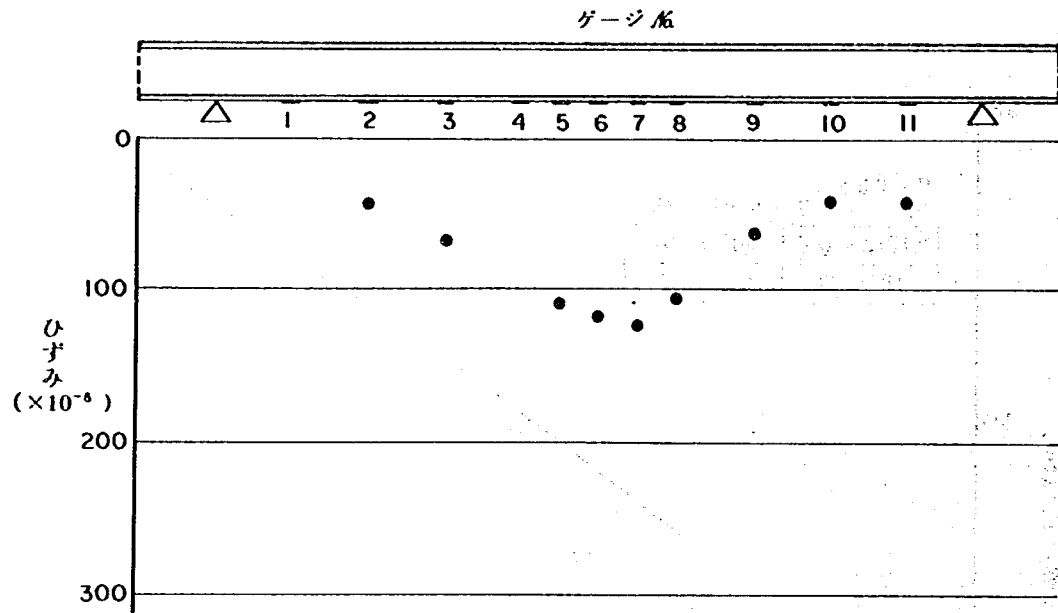


図- 4.3 衝撃荷重と重錘落下高さの関係

支間方向ひずみ分布



支間直角方向ひずみ分布

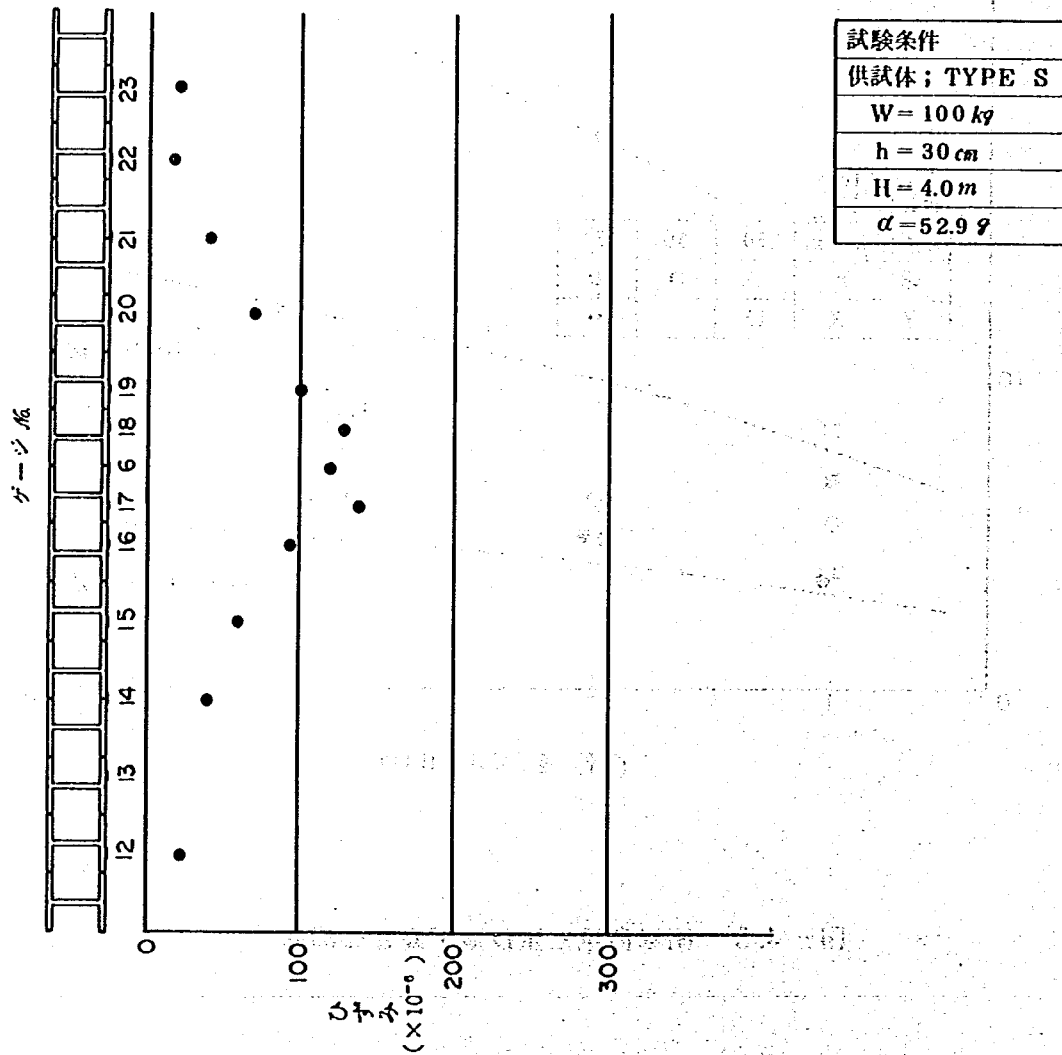
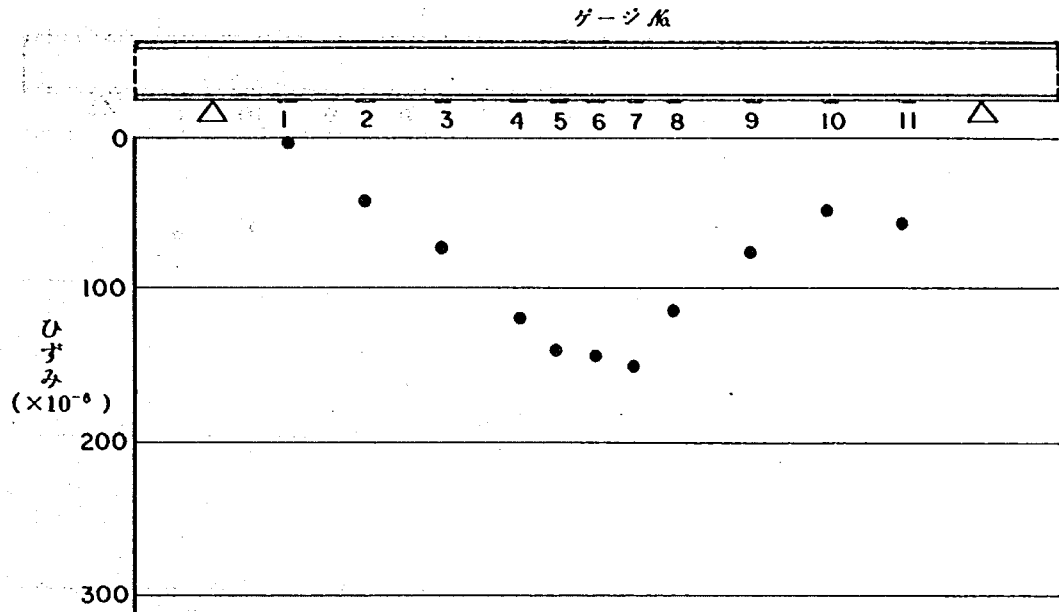
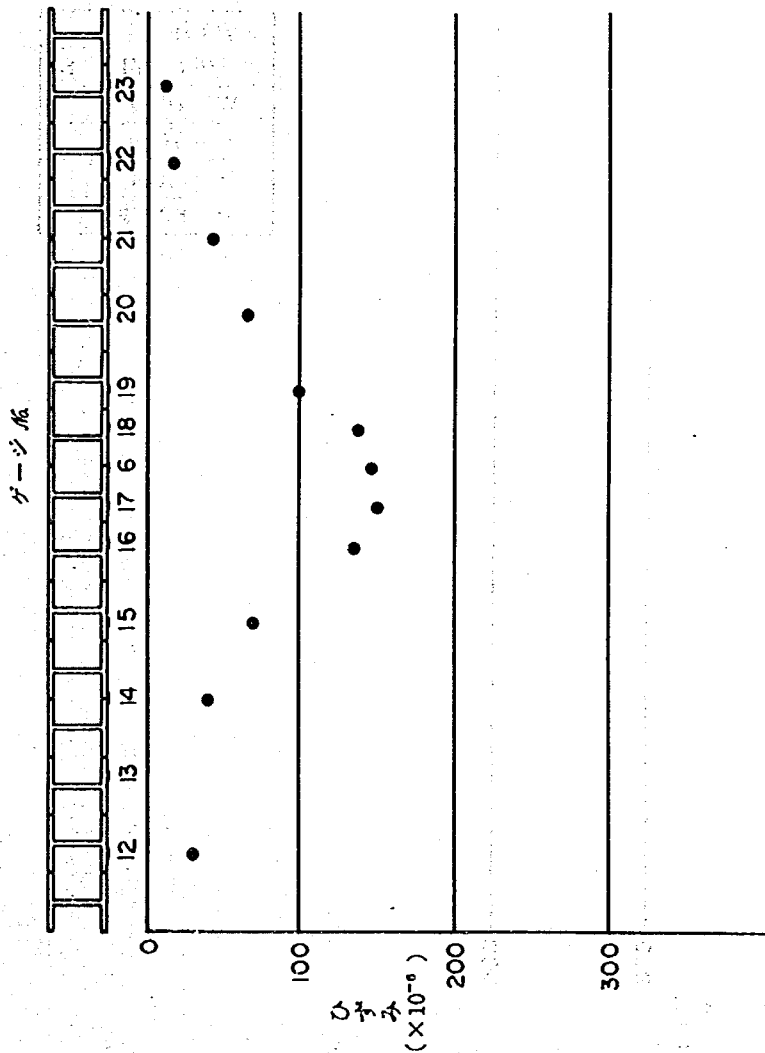


図 - 4.4 鋼製供試体のひずみ分布 (S - 1)

支間方向ひずみ分布



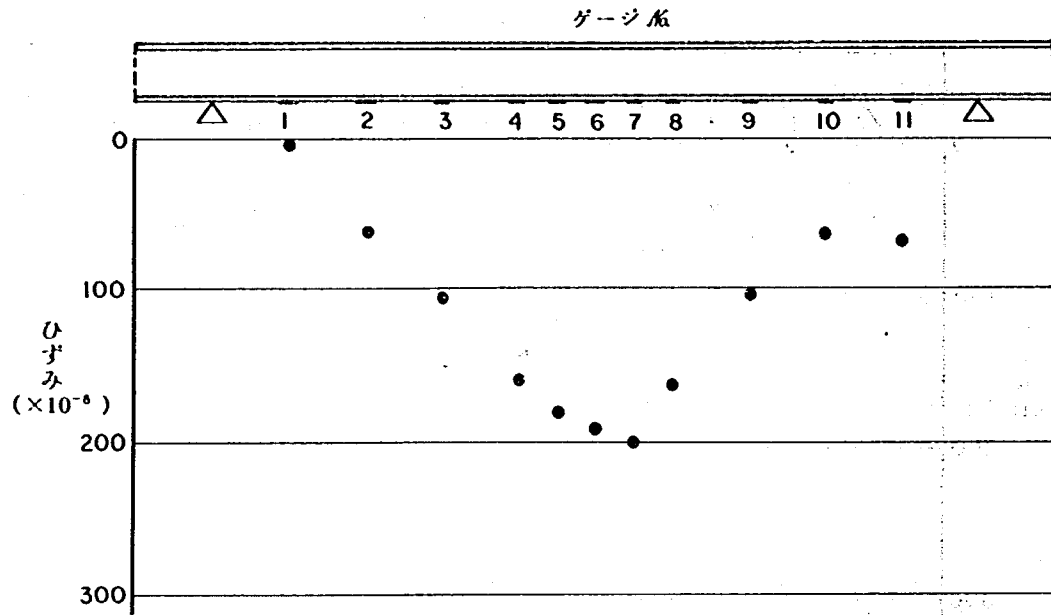
支間直角方向ひずみ分布



試験条件
供試体; TYPE S
$W = 100 \text{ kg}$
$h = 30 \text{ cm}$
$H = 6.0 \text{ m}$
$\alpha = 60.0^\circ$

図-4.5 鋼製供試体のひずみ分布(S-2)

支間方向ひずみ分布



支間直角方向ひずみ分布

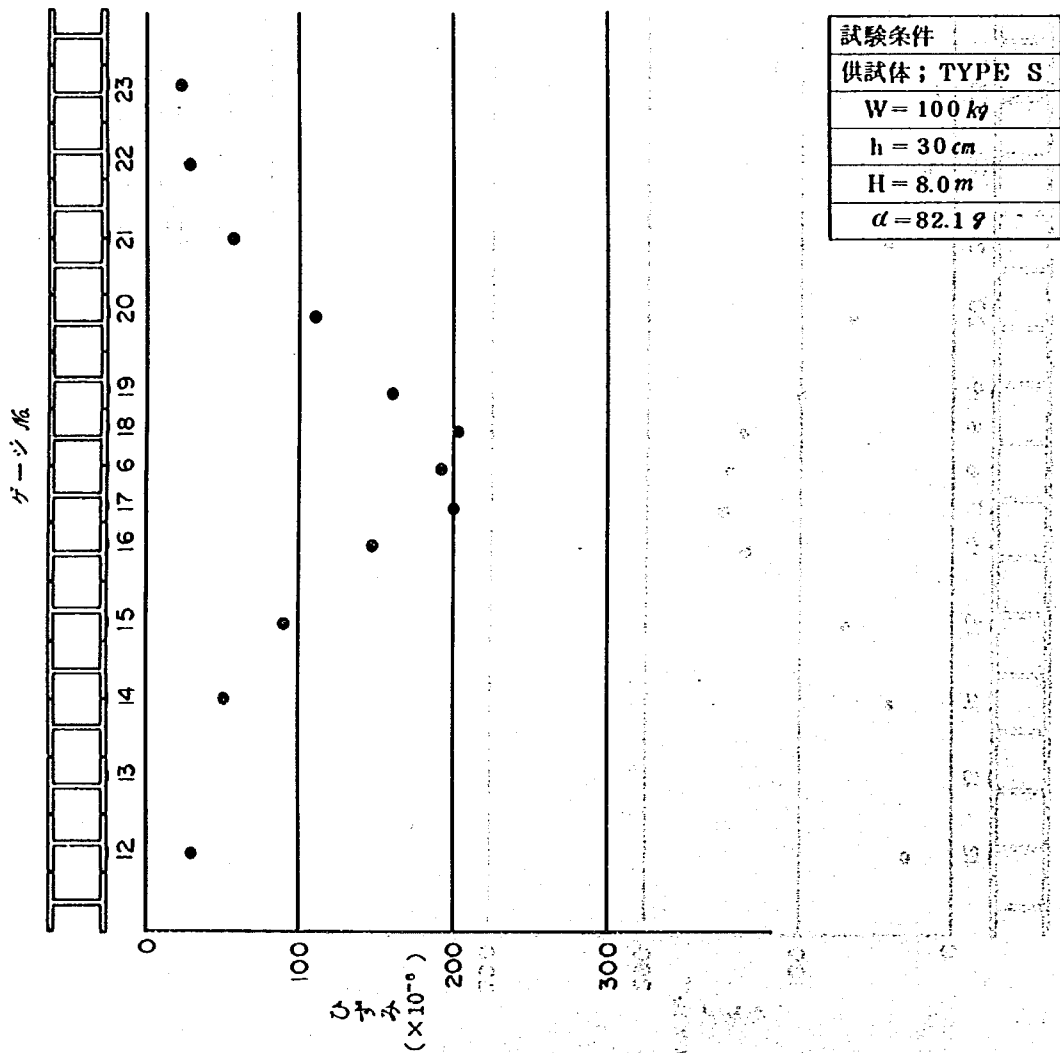
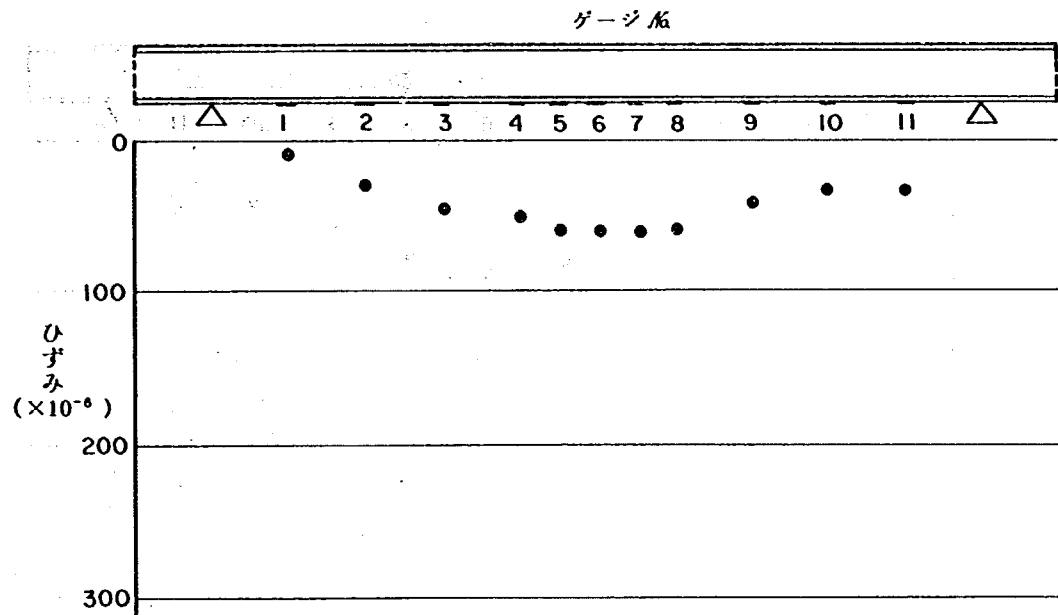


図 - 4.6 鋼製供試体のひずみ分布 (S-3.)

支間方向ひずみ分布



支間直角方向ひずみ分布

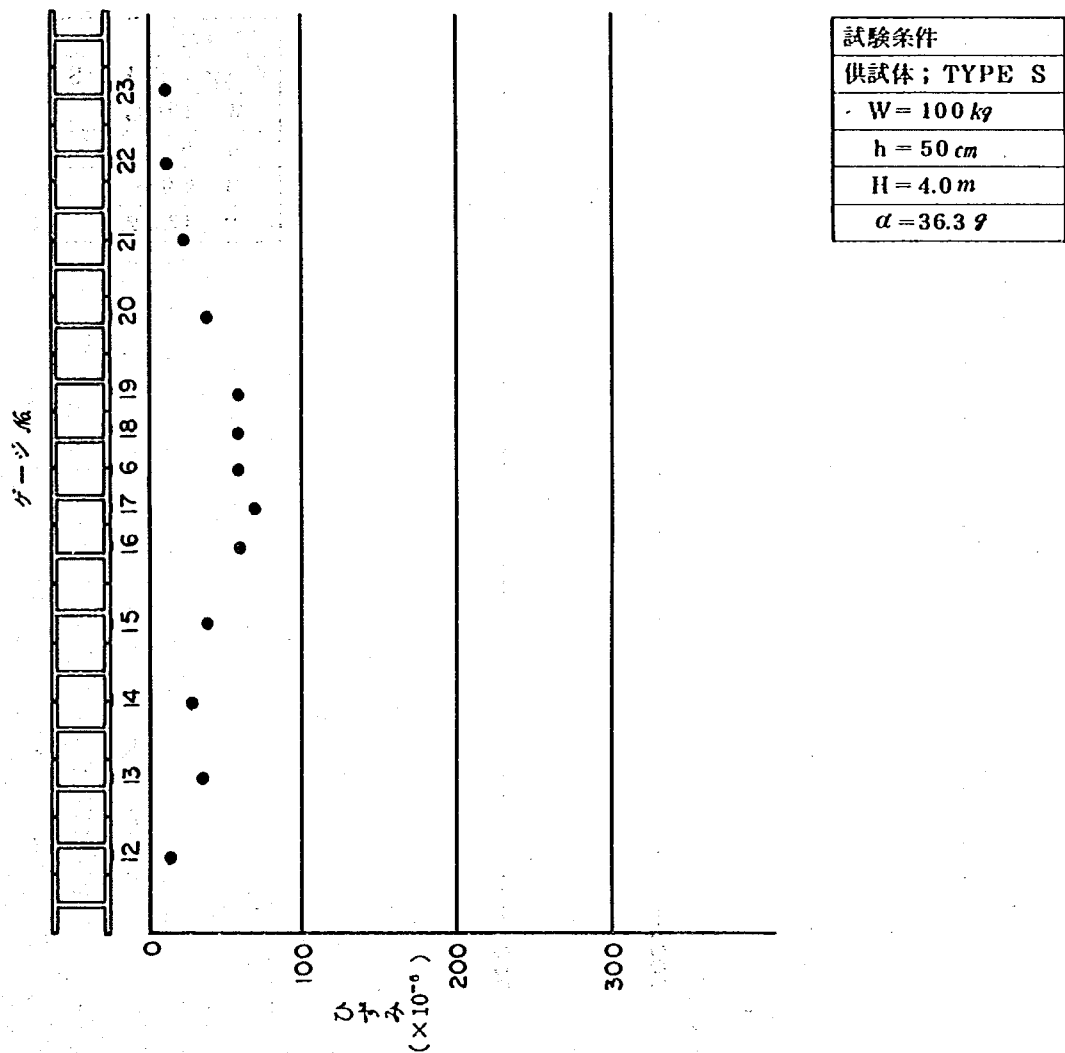
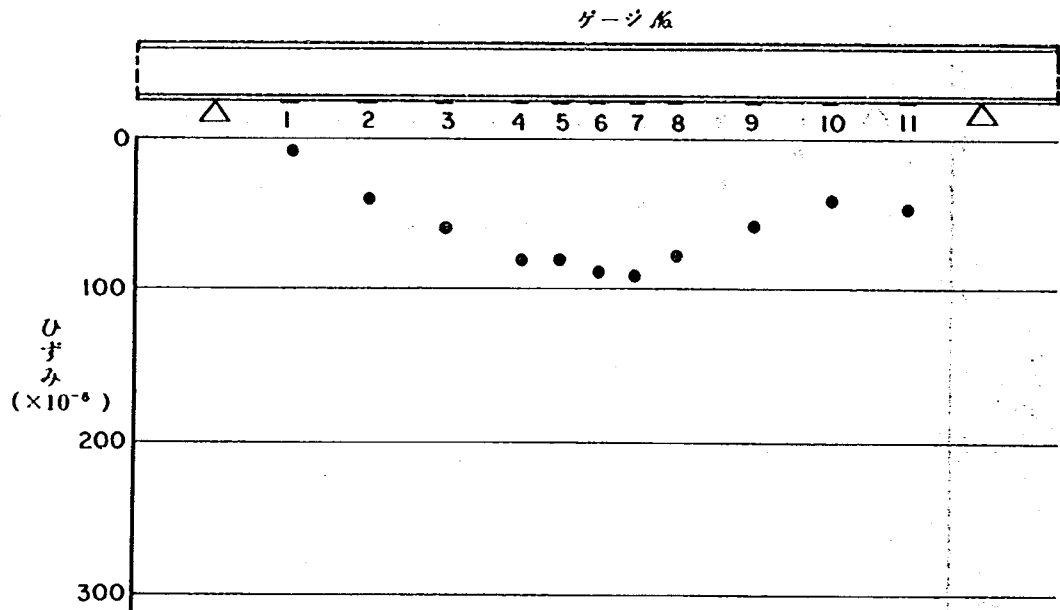


図-4.7 鋼製供試体のひずみ分布 (S-4)

支間方向ひずみ分布



支間直角方向ひずみ分布

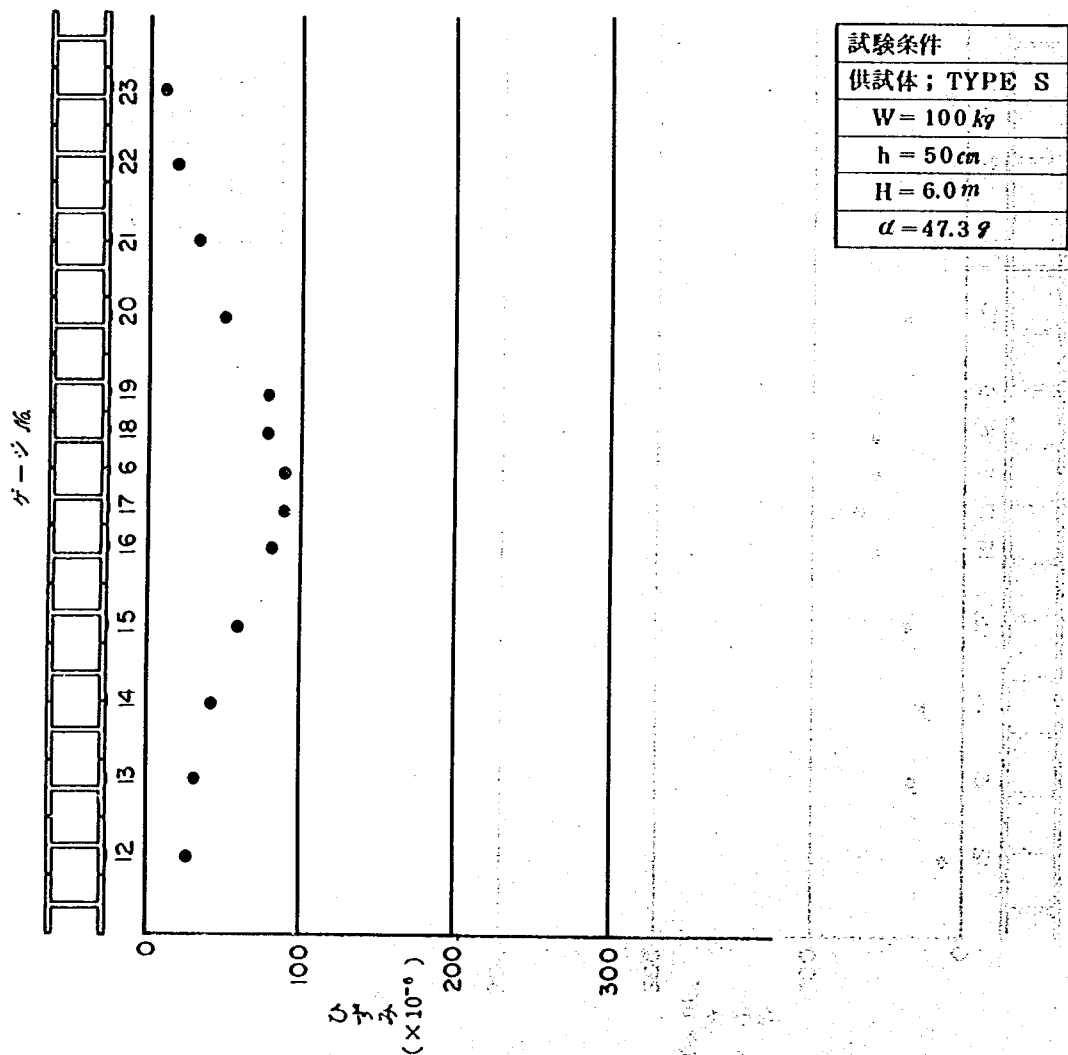
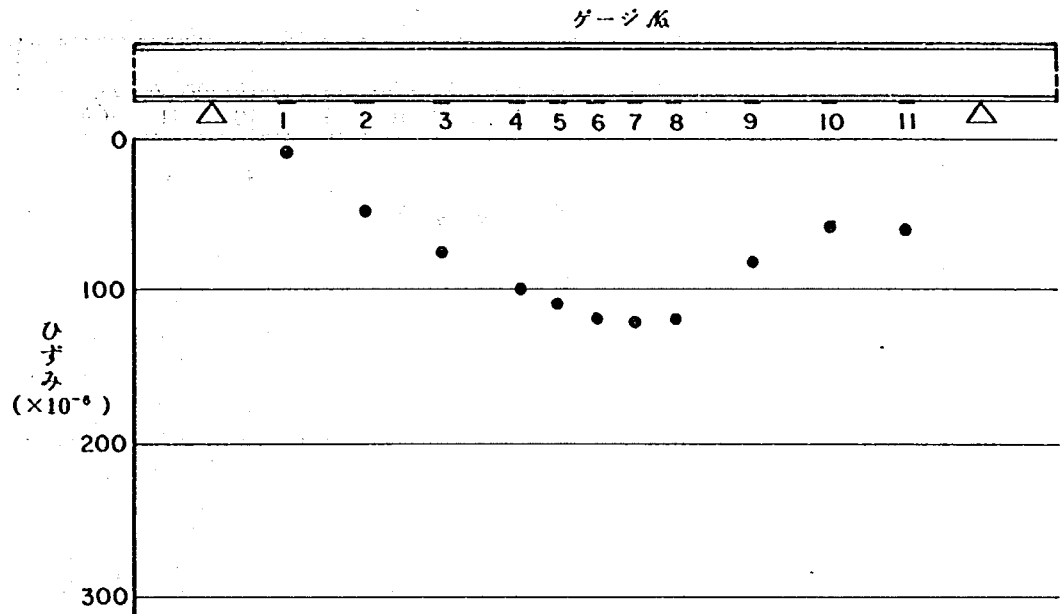
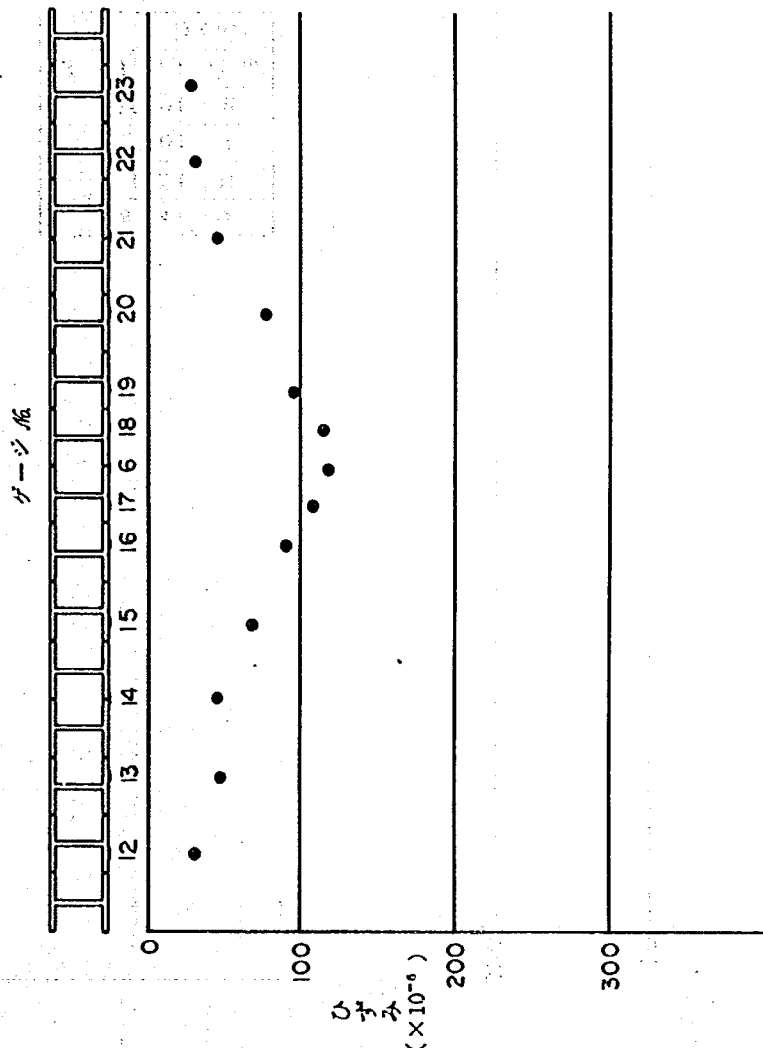


図-4.8 鋼製供試体のひずみ分布(S-5)

支間方向ひずみ分布



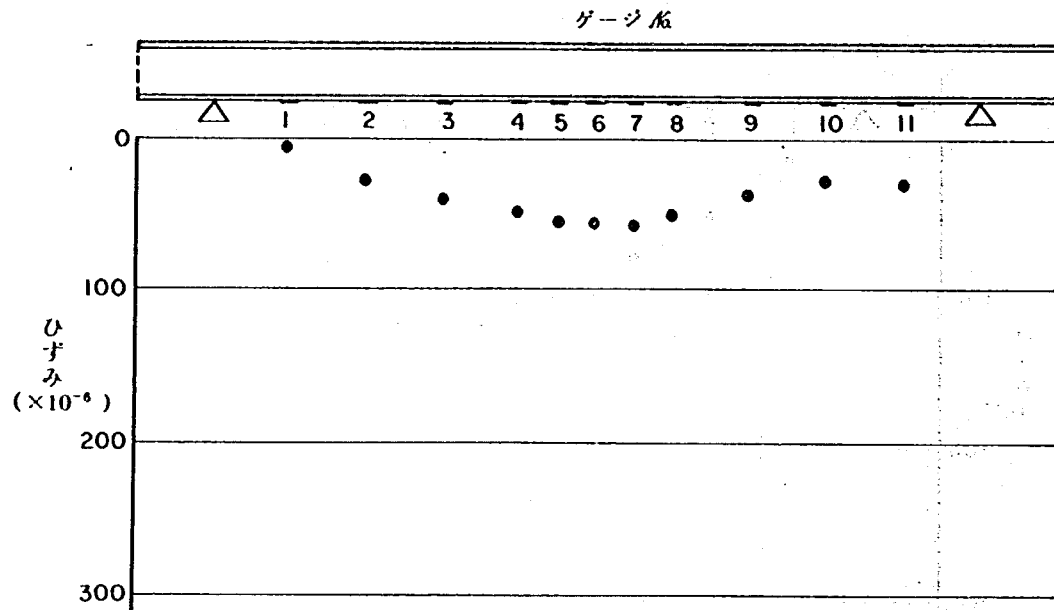
支間直角方向ひずみ分布



試験条件
供試体 ; TYPE S
W = 100 kg
h = 50 cm
H = 8.0 m
$\alpha = 61.6^\circ$

図-4.9 鋼製供試体のひずみ分布 (S-6)

支間方向ひずみ分布



支間直角方向ひずみ分布

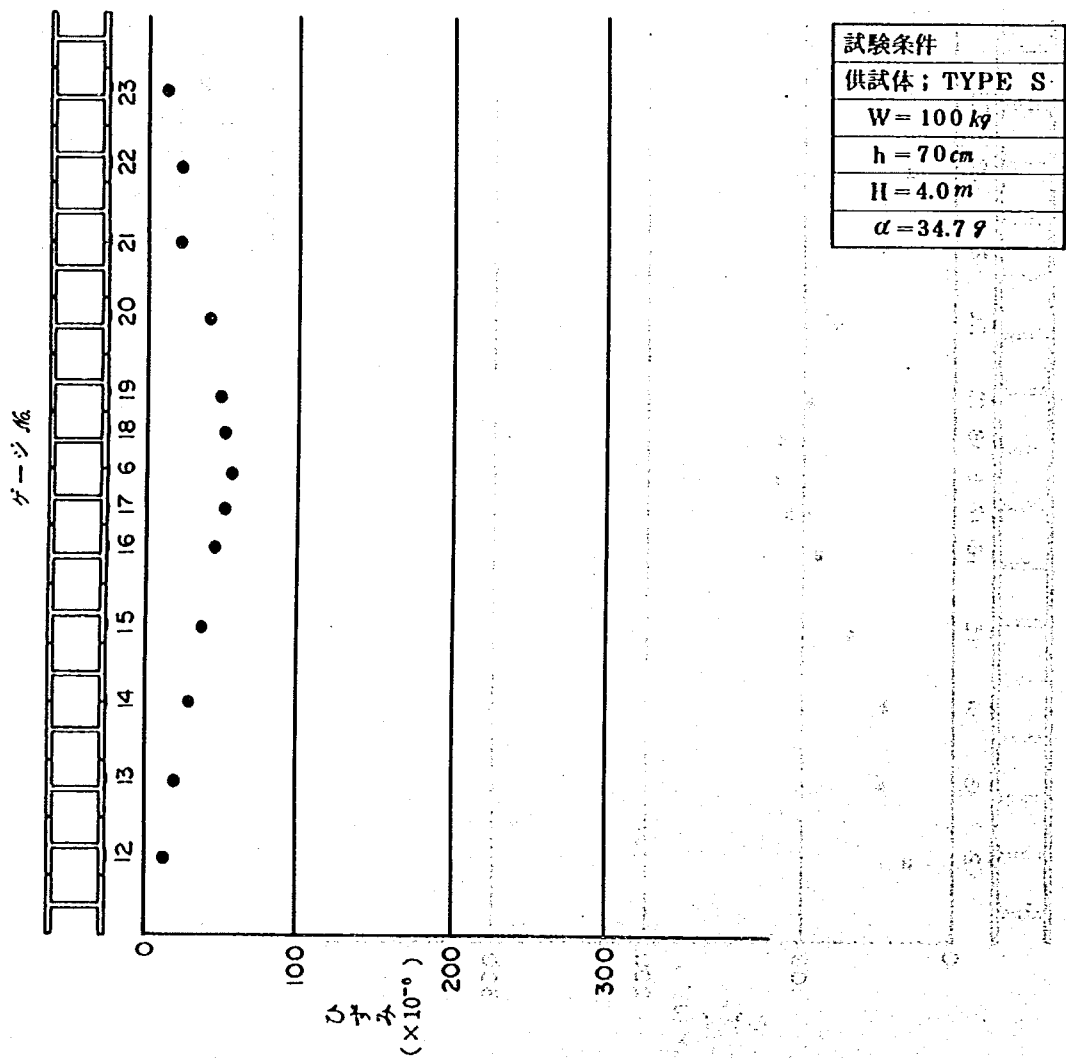
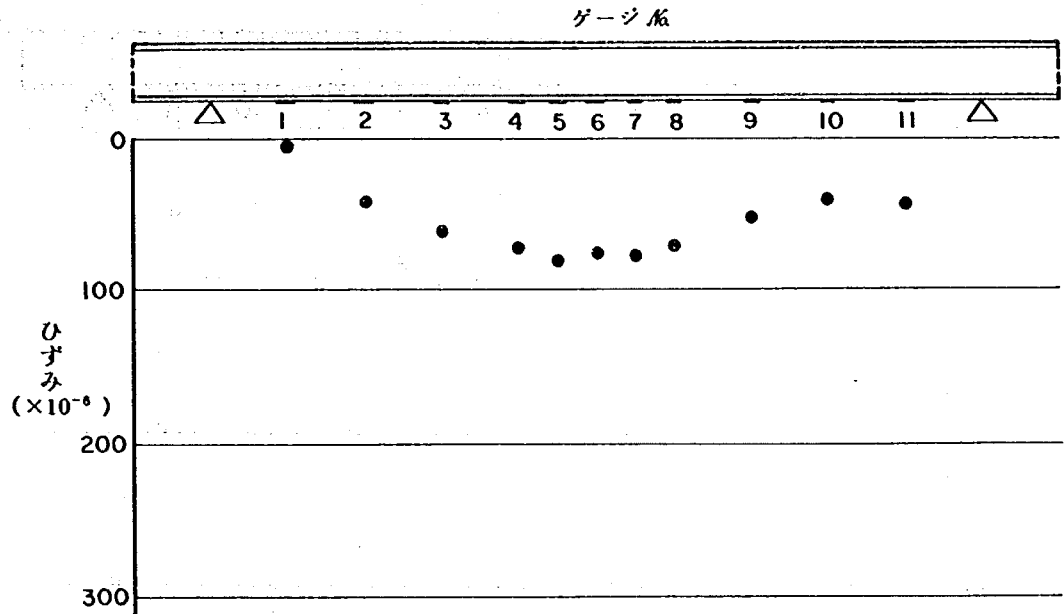
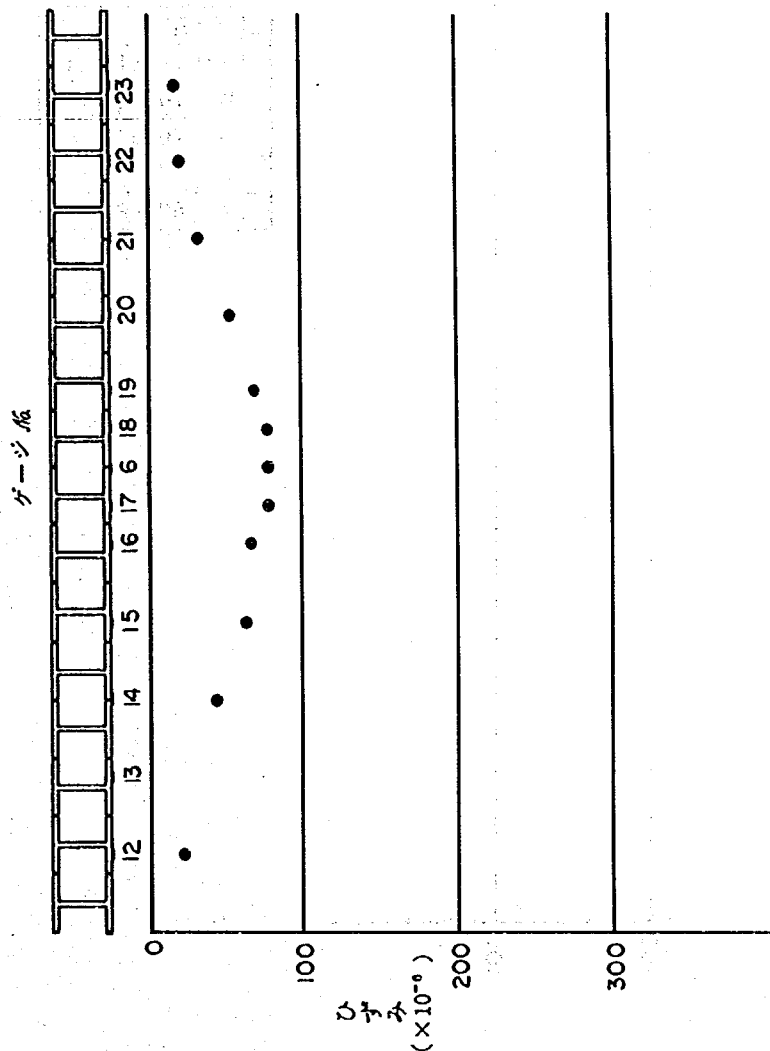


図 - 4.10 鋼製供試体のひずみ分布 (S-7)

支間方向ひずみ分布



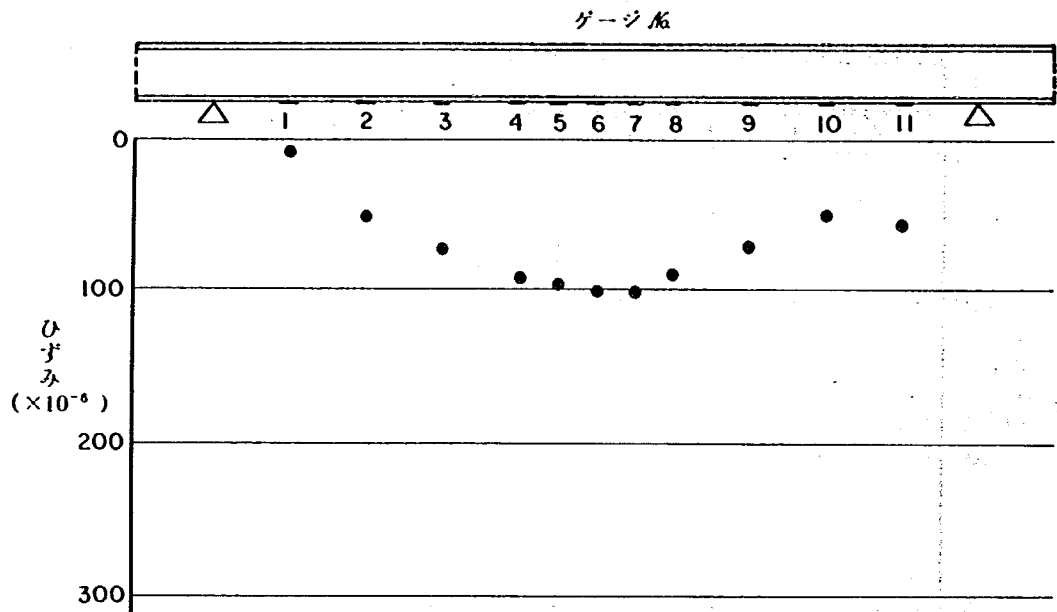
支間直角方向ひずみ分布



試験条件
供試体; TYPE S
$W = 100 \text{ kg}$
$h = 70 \text{ cm}$
$H = 6.0 \text{ m}$
$\alpha = 48.9 \text{ g}$

図- 4.11 鋼製供試体のひずみ分布(S-8)

支間方向ひずみ分布



支間直角方向ひずみ分布

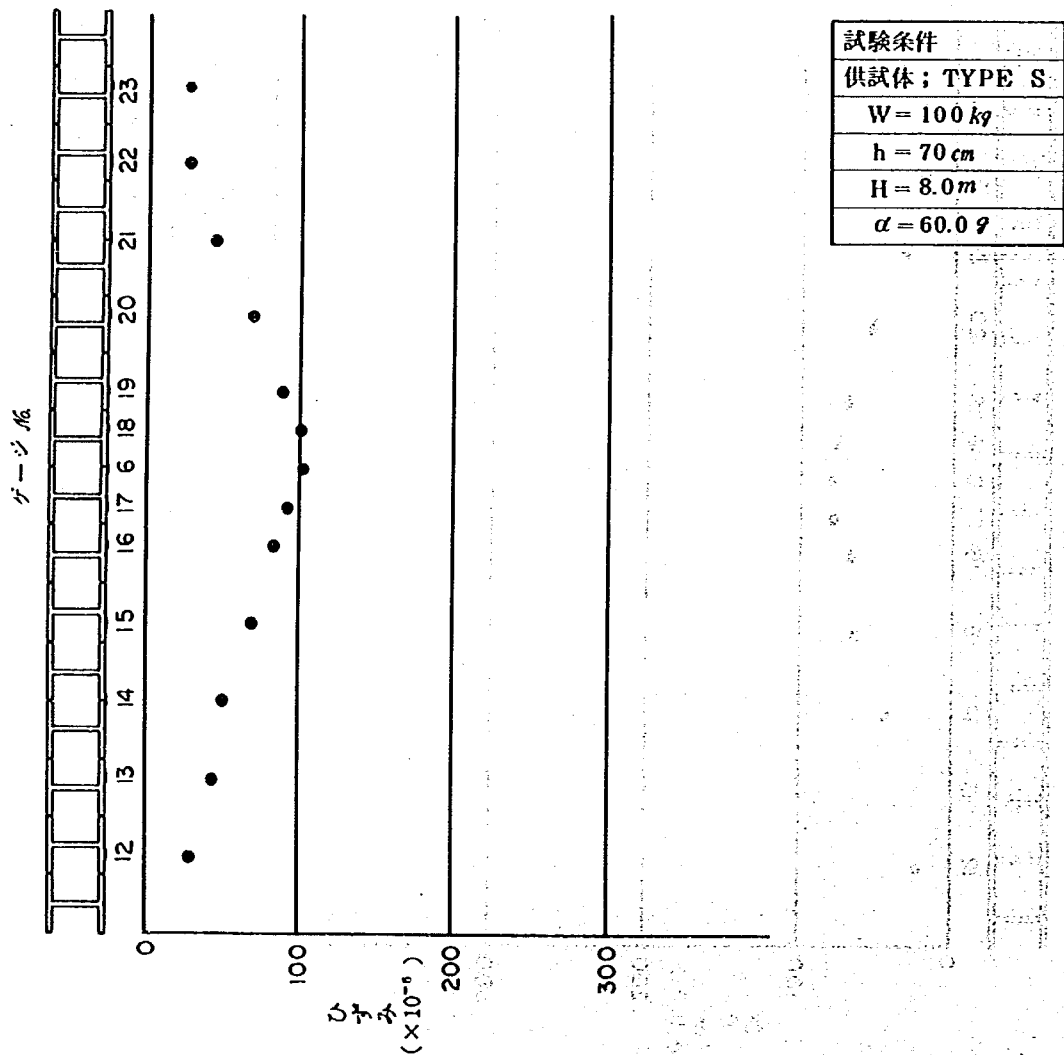


図 - 4.12 鋼製供試体のひずみ分布 (S - 9)

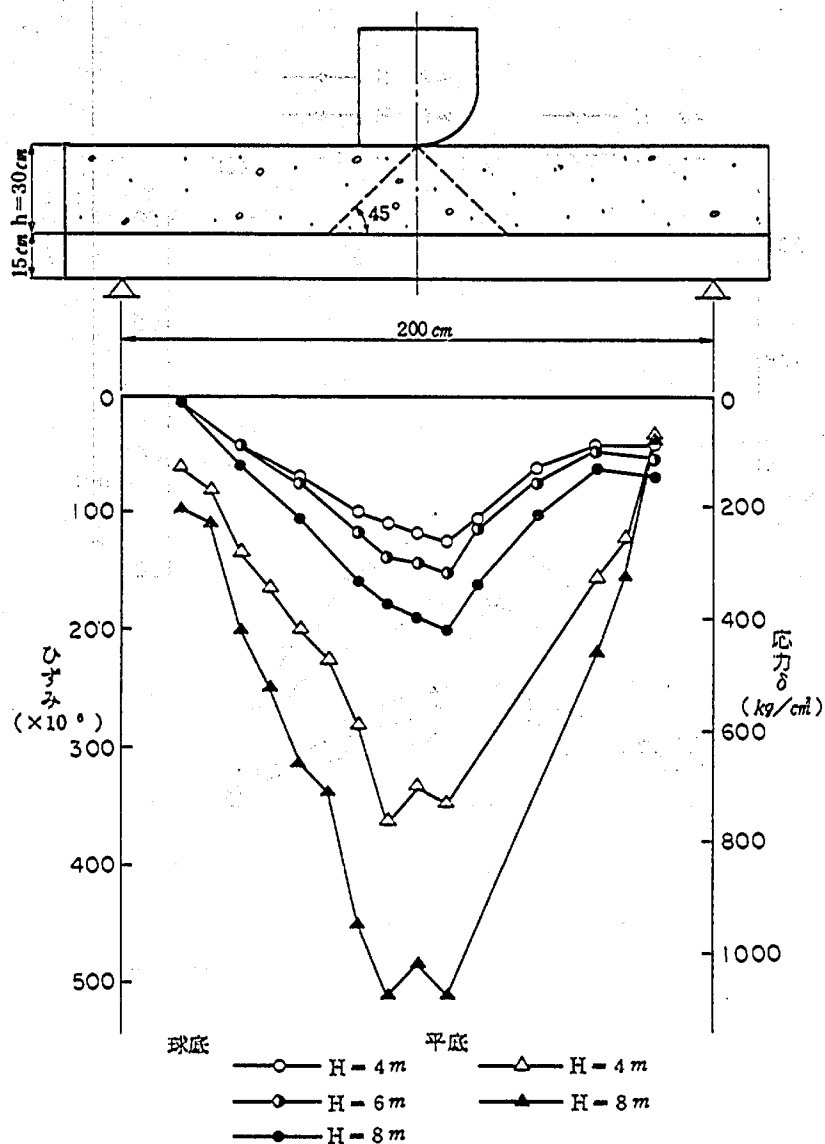


図-4.13 鋼製床版底面の支間方向応力分布 (砂層厚 30 cm)

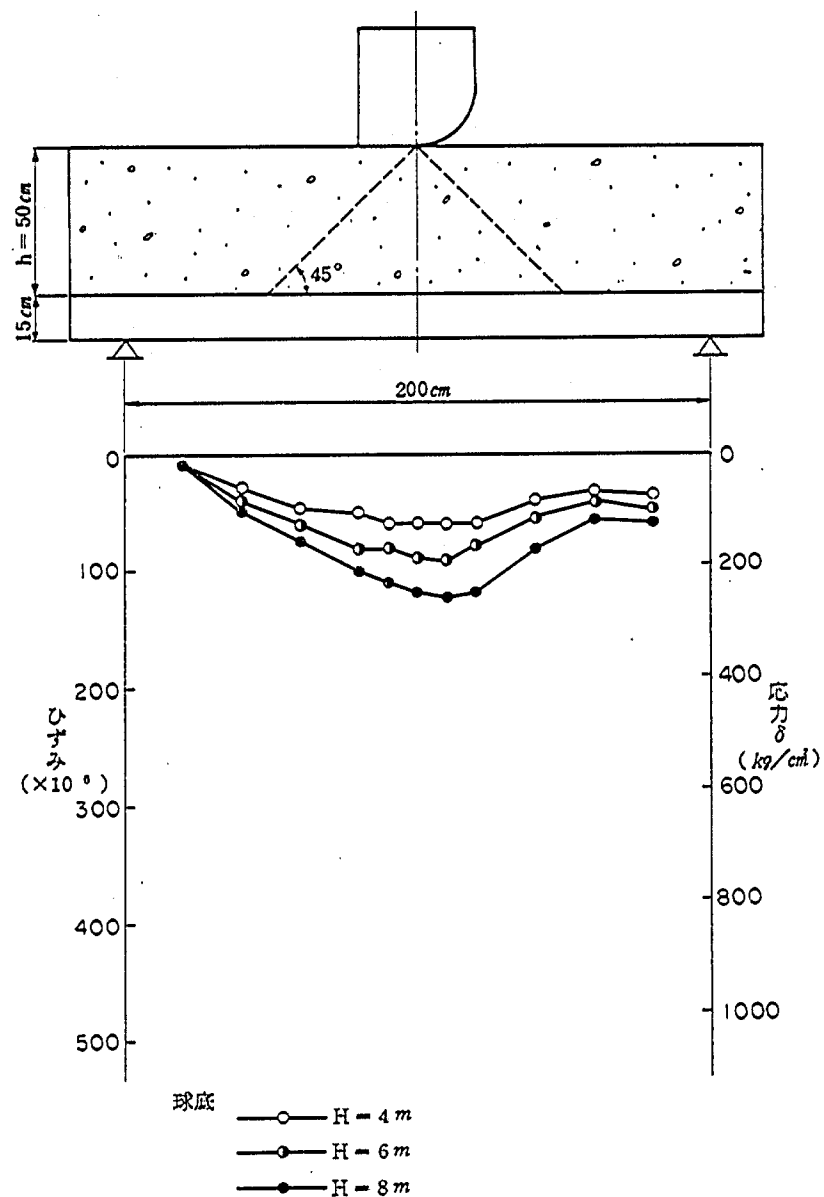


図-4.14 鋼製床版底面の支間方向応力分布 (砂層厚 50 cm)

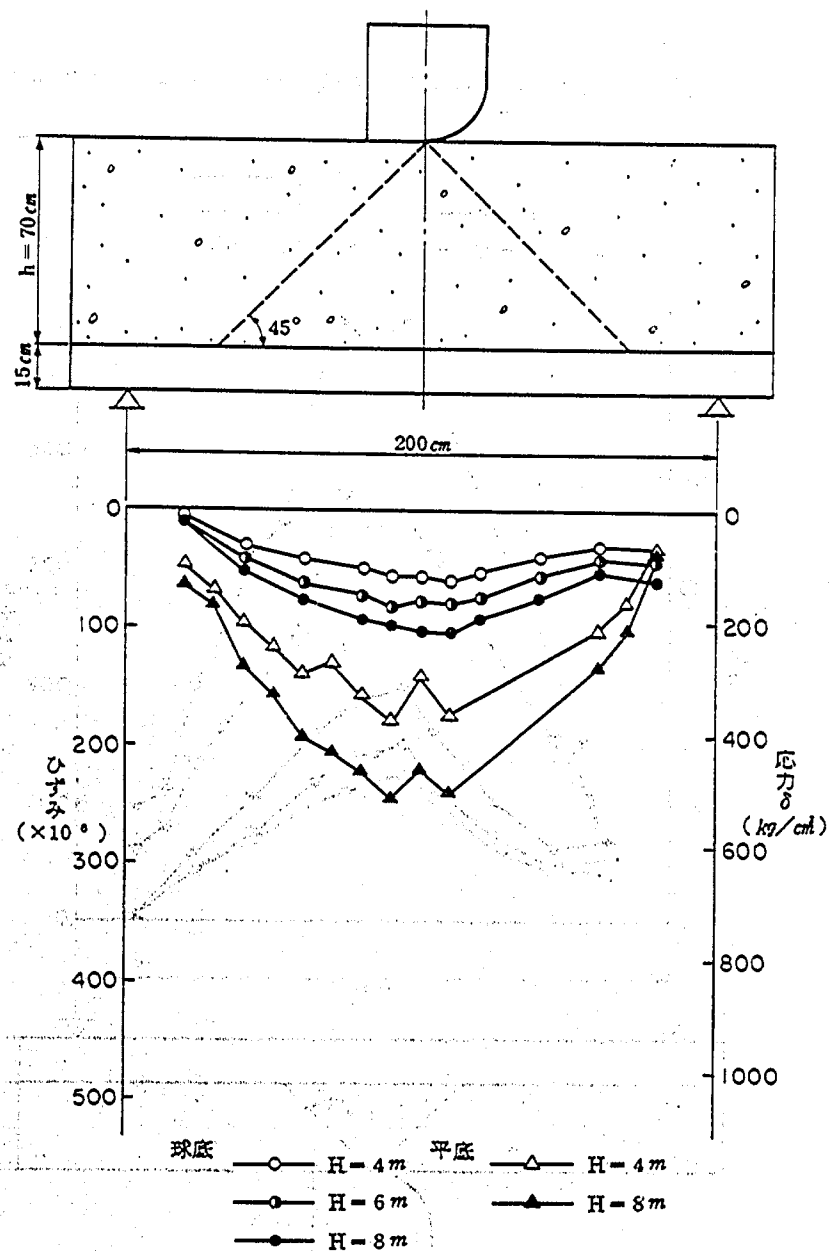


図-4.15 鋼製床版底面の支間方向応力分布 (砂層厚70cm)

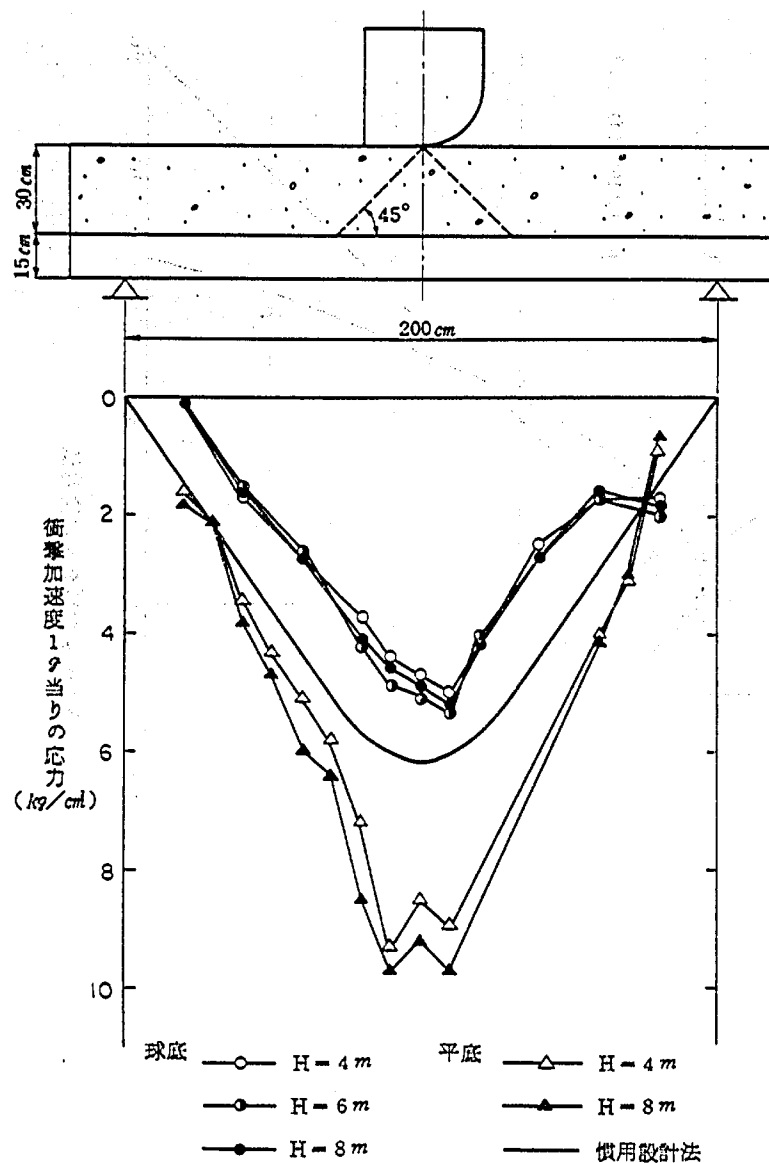


図-4.16 加速度 1 g 当りの応力分布(1) (砂層厚 30 cm)

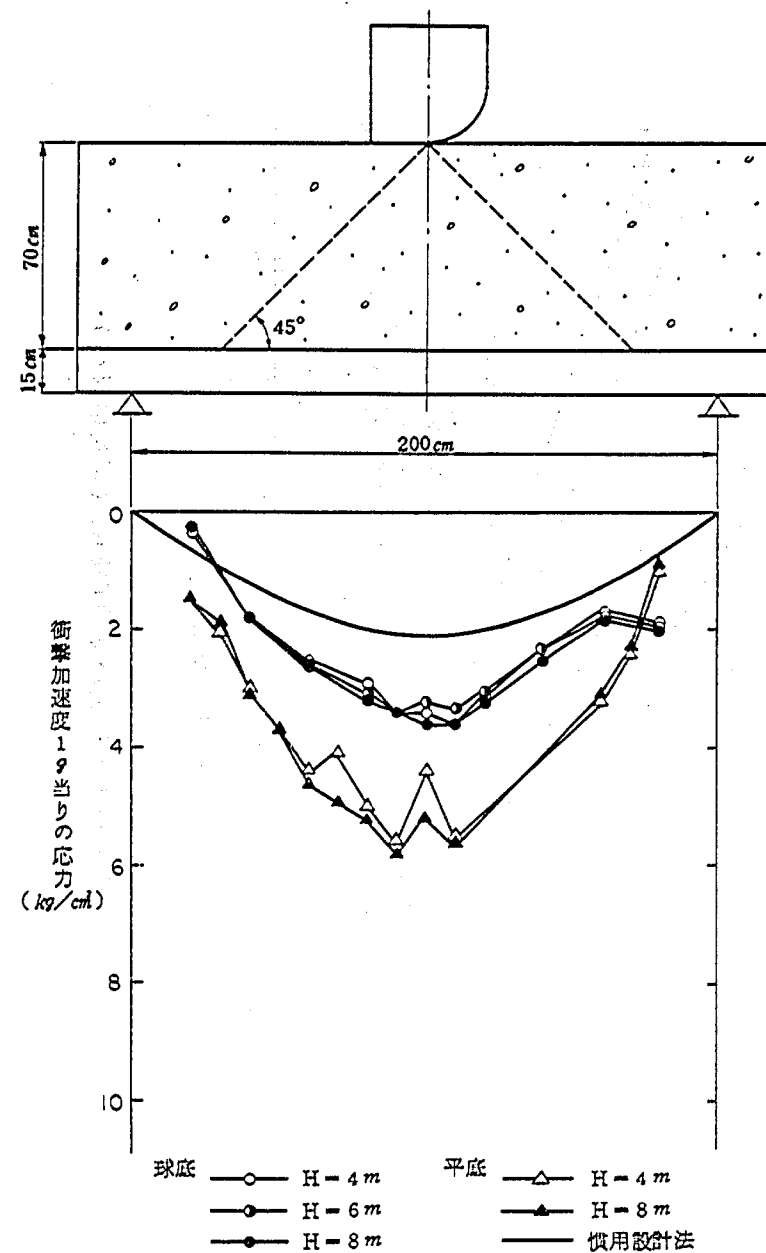
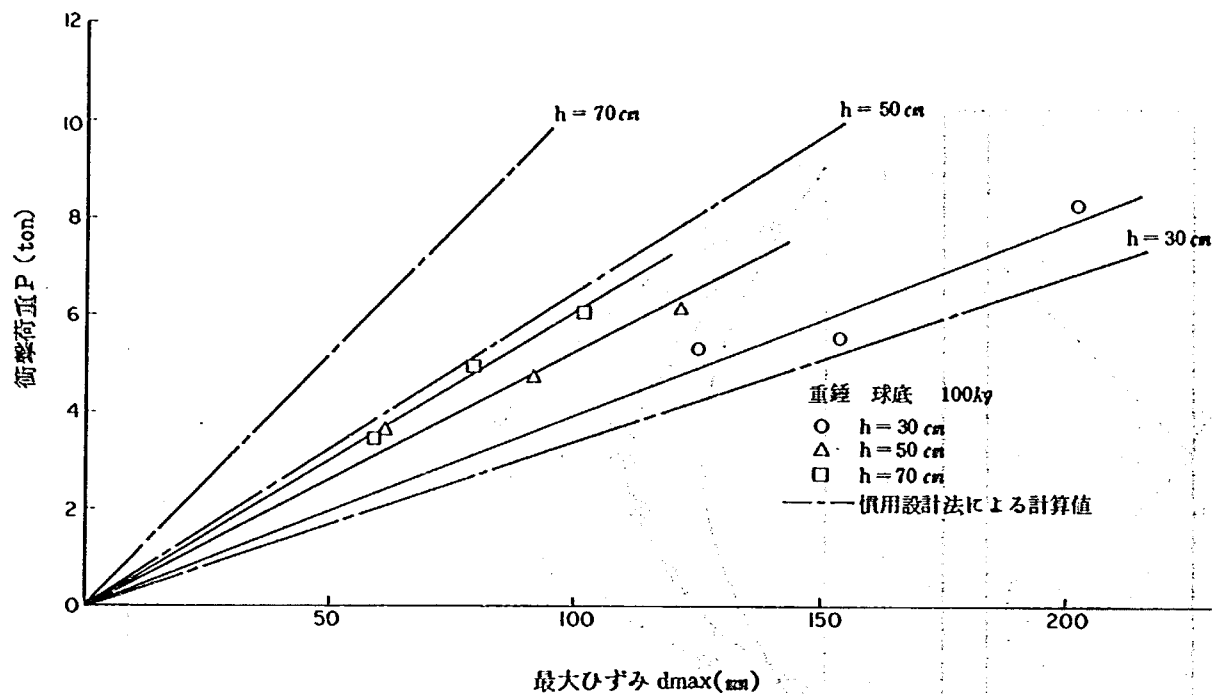
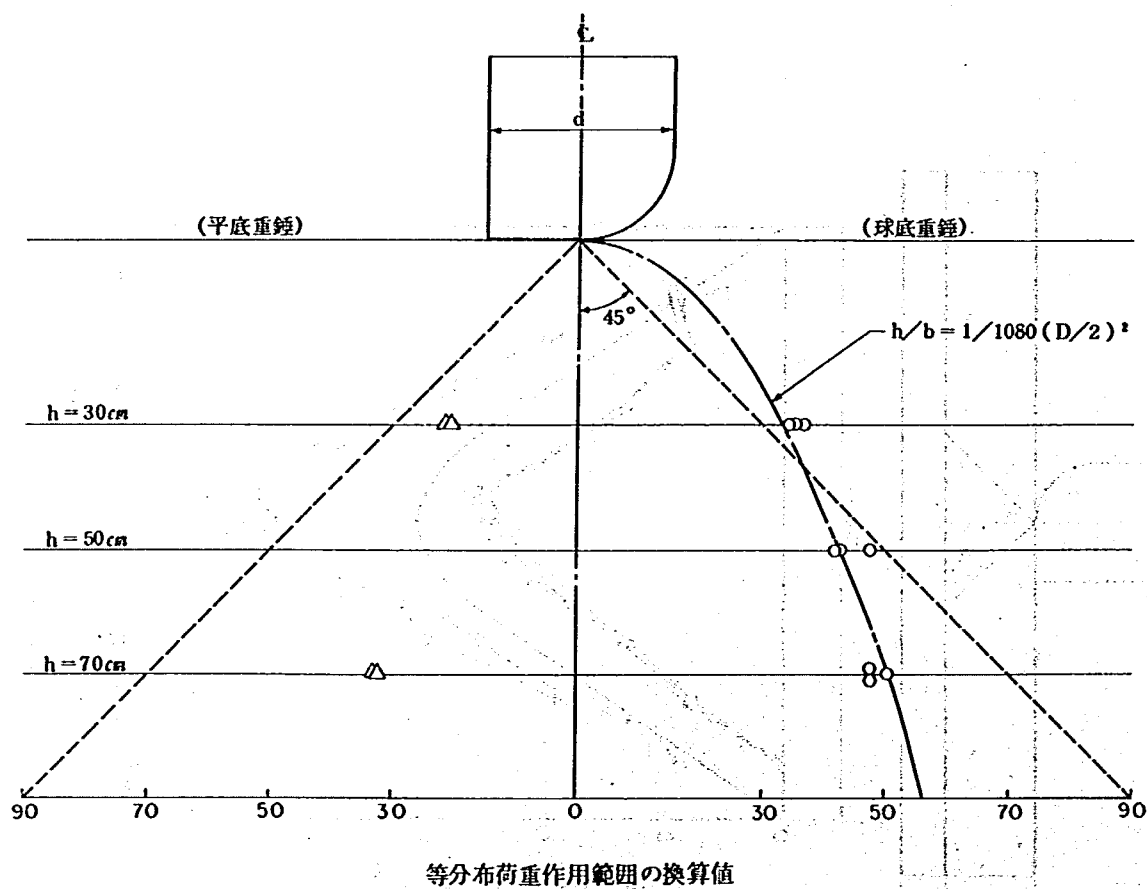


図-4.17 加速度 1 g 当りの応力分布(2) (砂層厚 70 cm)



図－ 4.18 衝撃荷重と最大ひずみの関係（鋼製供試体）



図－ 4.19 実測最大応力度から慣用設計法により逆算した荷重分布幅

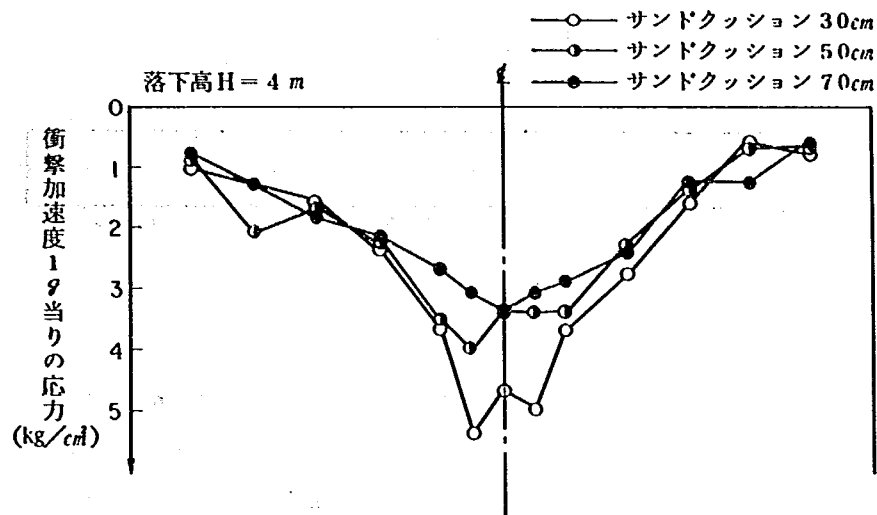


図- 4.20 鋼製床版底面の支間直角方向の応力分布(1)

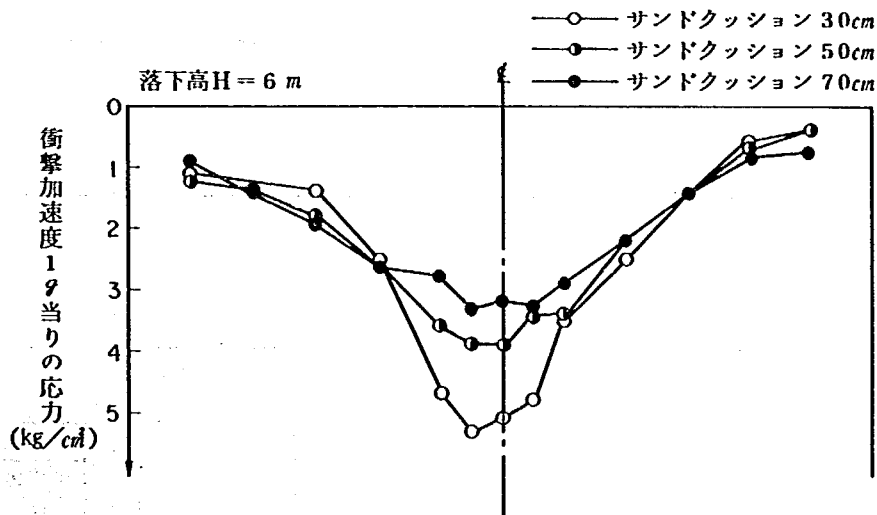


図- 4.21 鋼製床版底面の支間直角方向の応力分布(2)

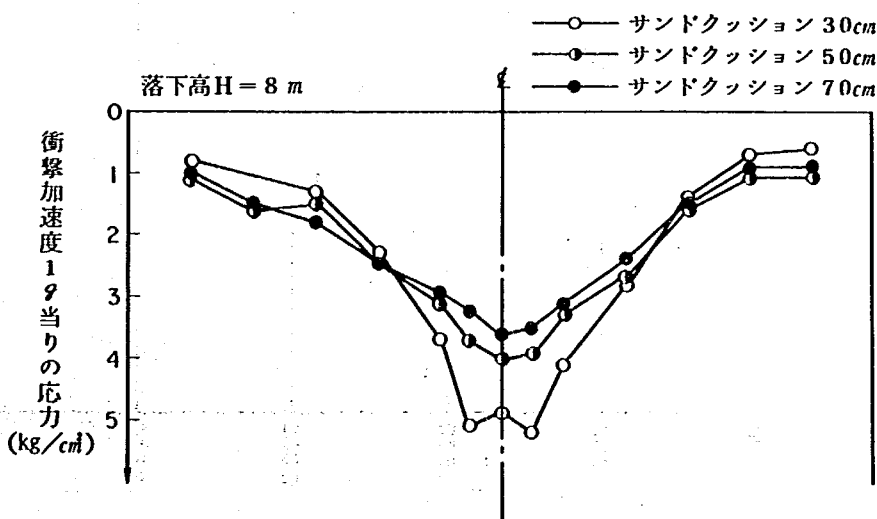


図- 4.22 鋼製床版底面の支間直角方向の応力分布(3)

支間方向ひずみ分布

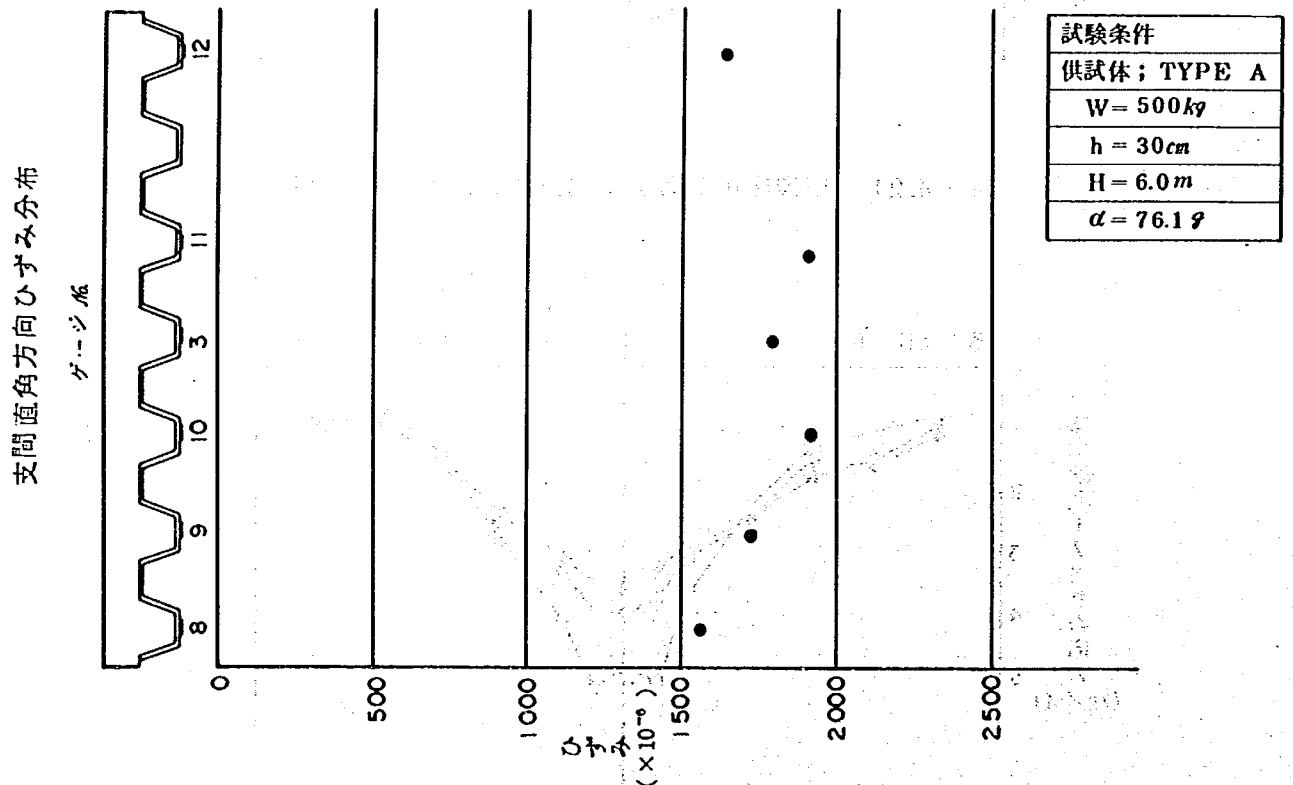
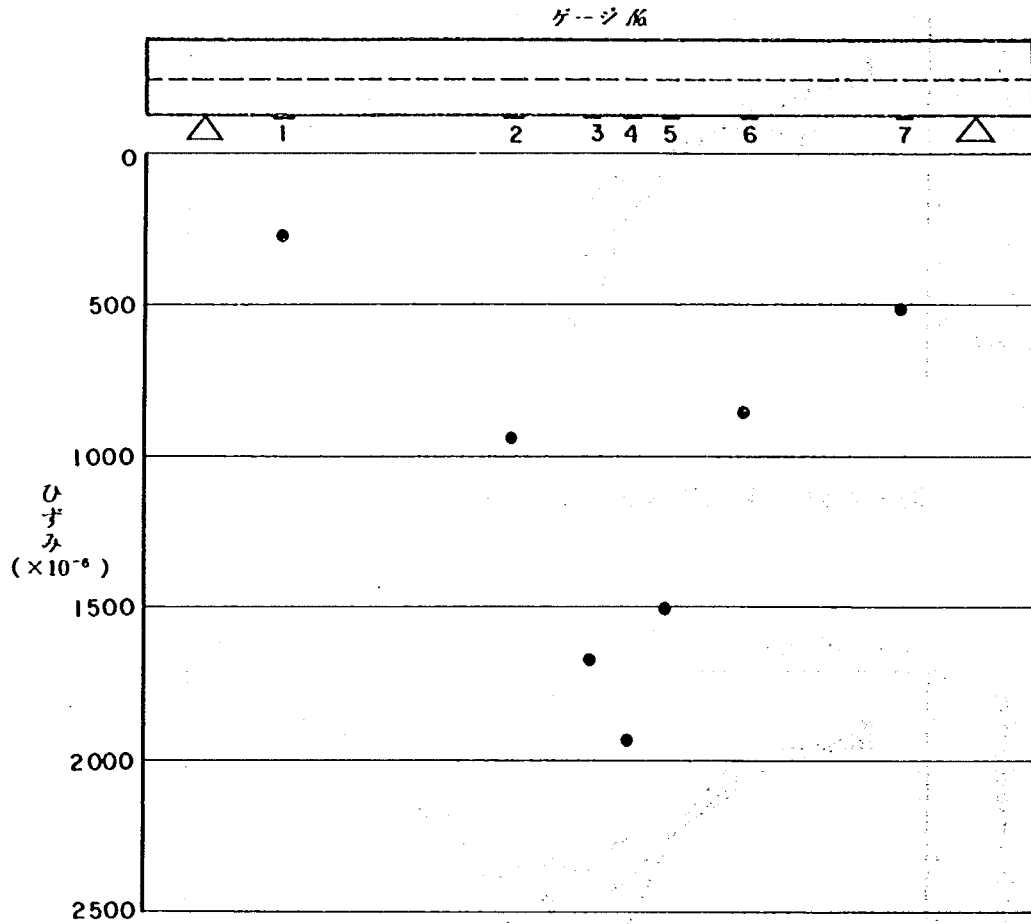
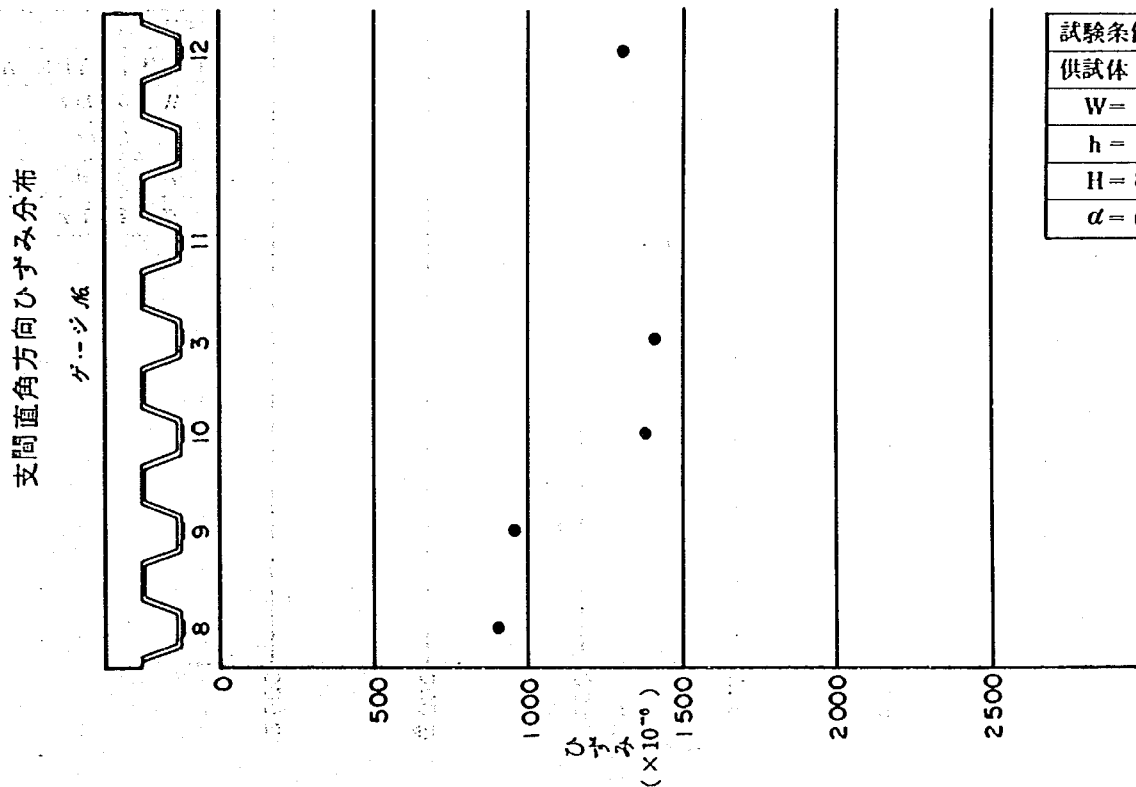
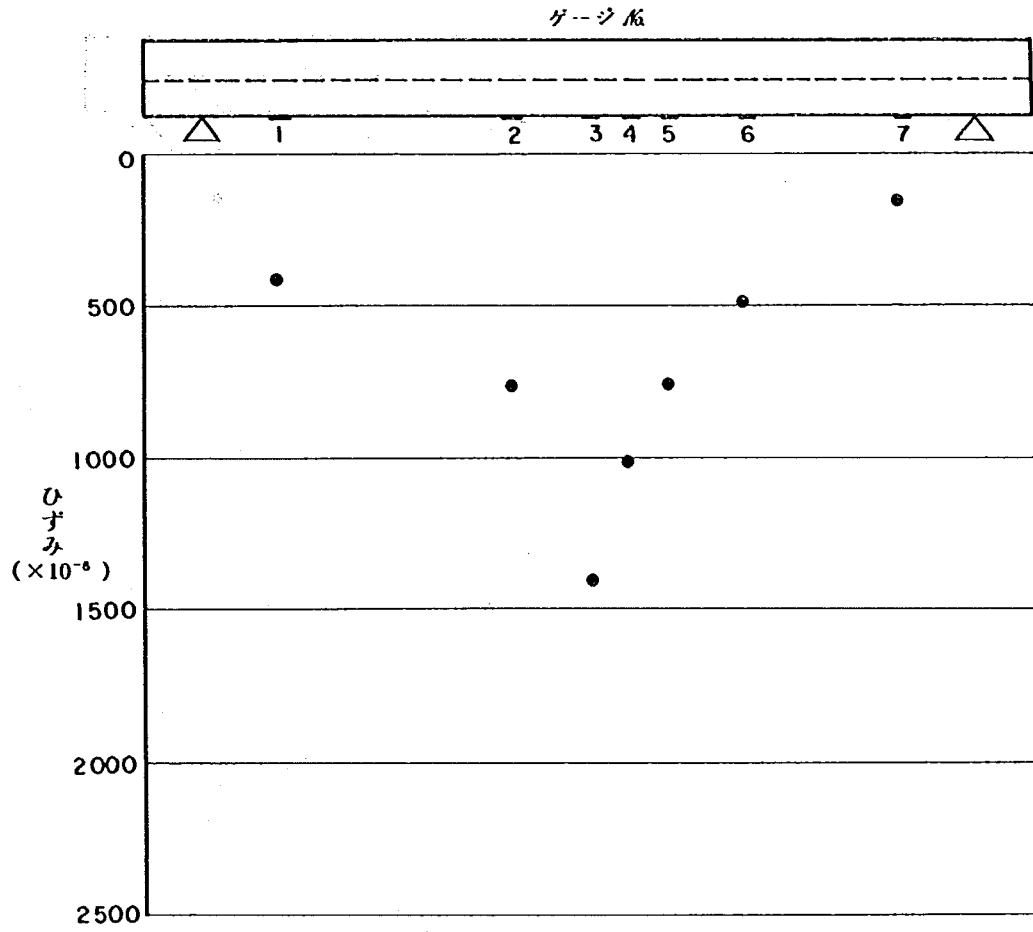


図-4.23 鋼・コンクリート製供試体のひずみ分布 (A-1)

支間方向ひずみ分布



試験条件
供試体 ; TYPE A
W = 500 kg
h = 30 cm
H = 8.0 m
$\alpha = 68.9 \%$

図-4.24 鋼・コンクリート製供試体のひずみ分布 (A-2)

支間方向ひずみ分布

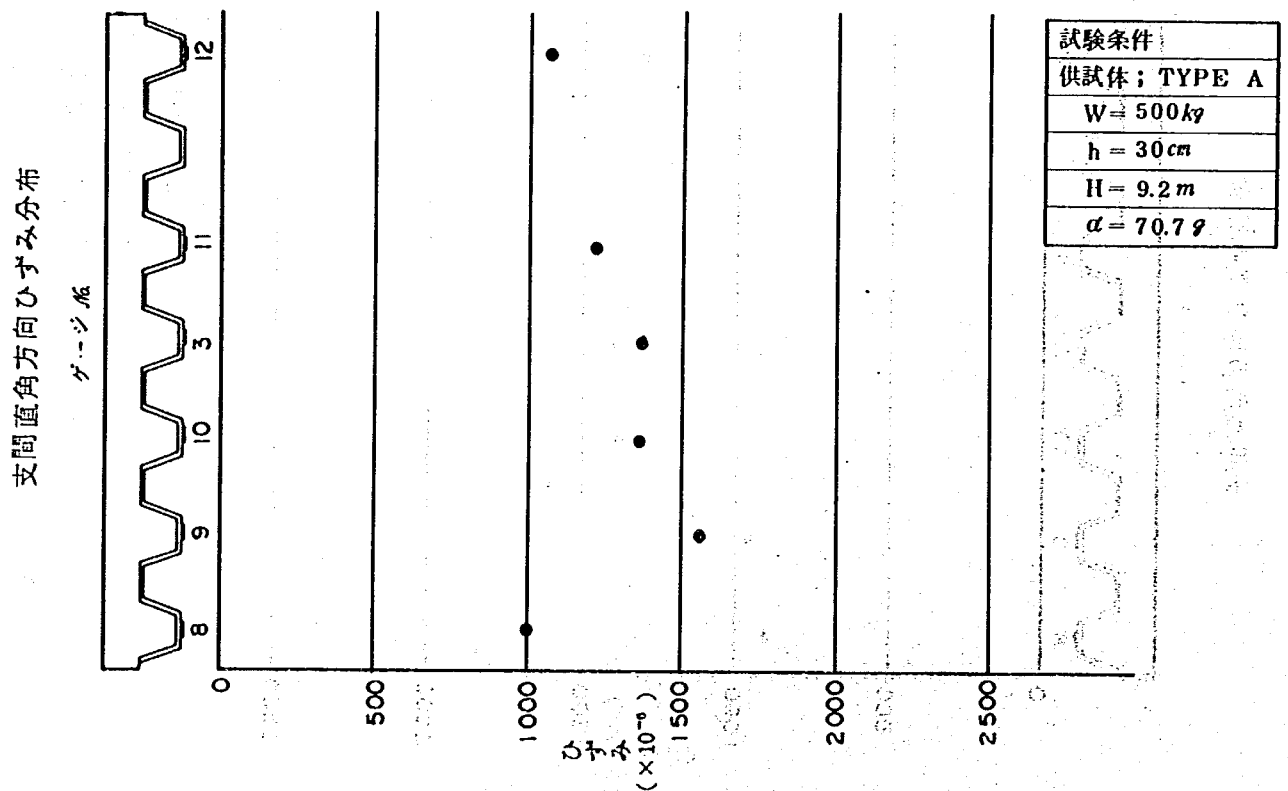
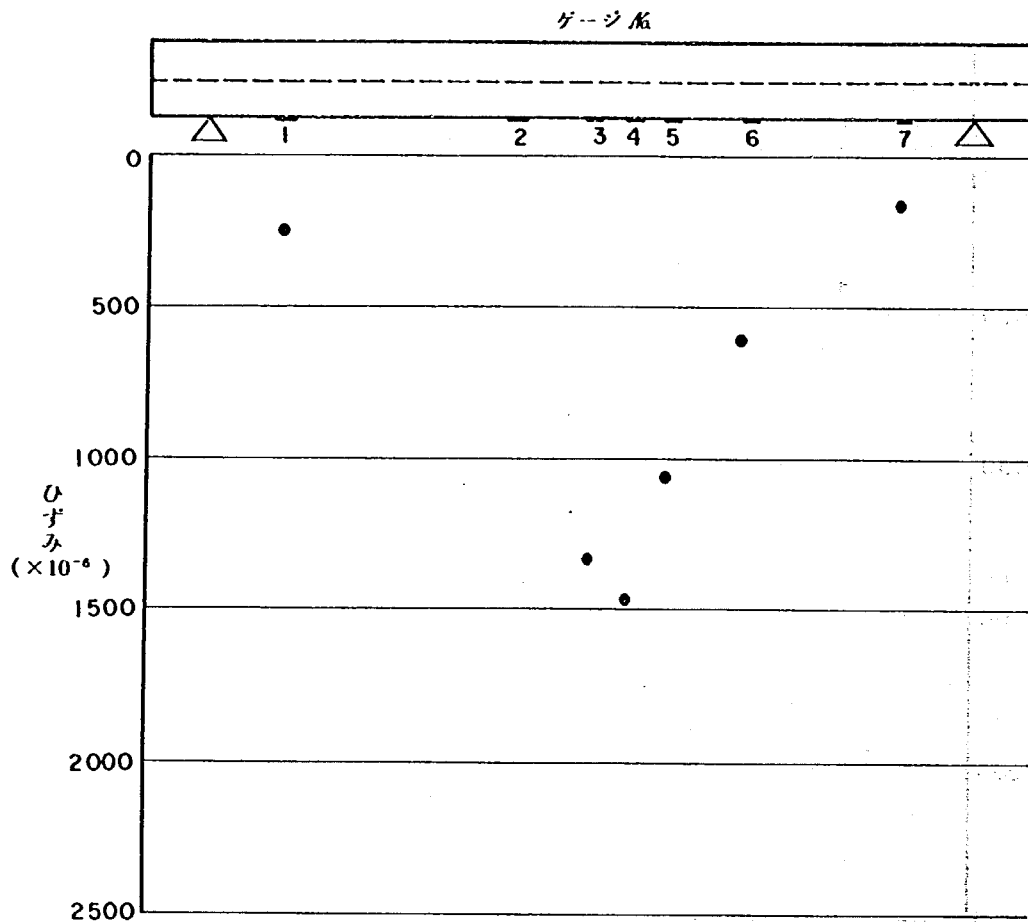
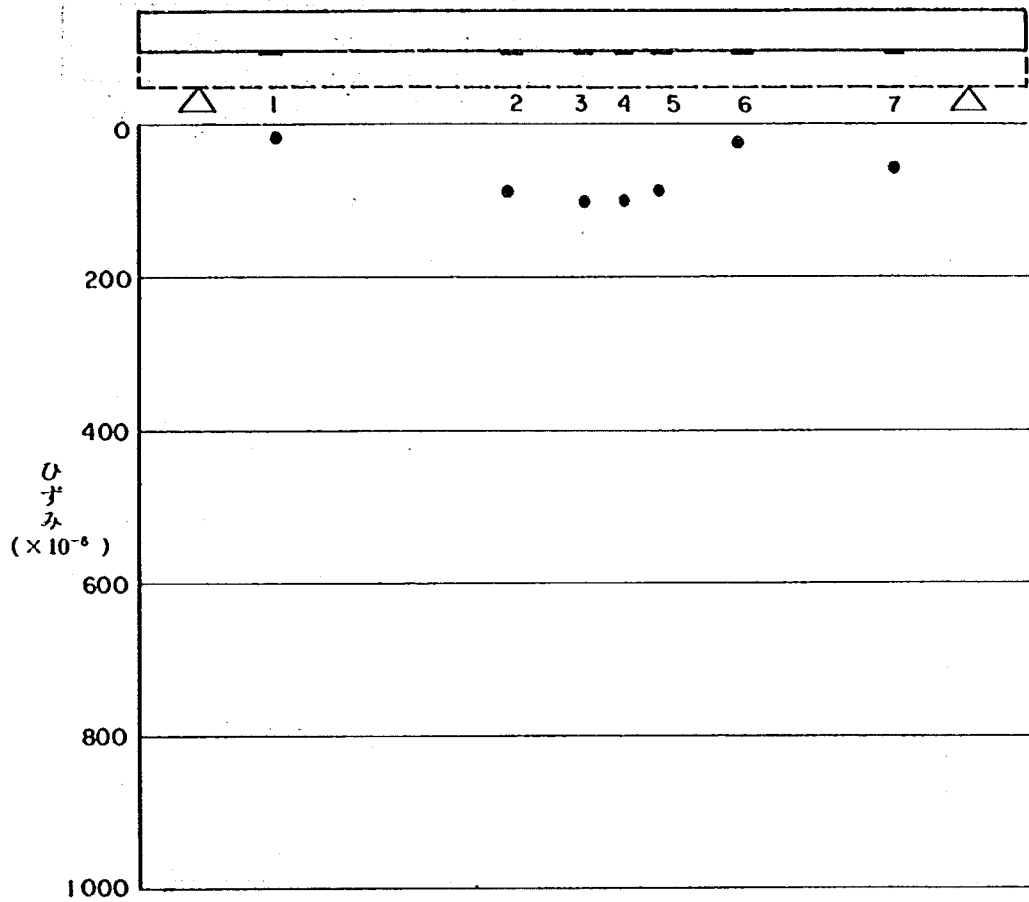


図-4.25 鋼・コンクリート製供試体のひずみ分布 (A-3)

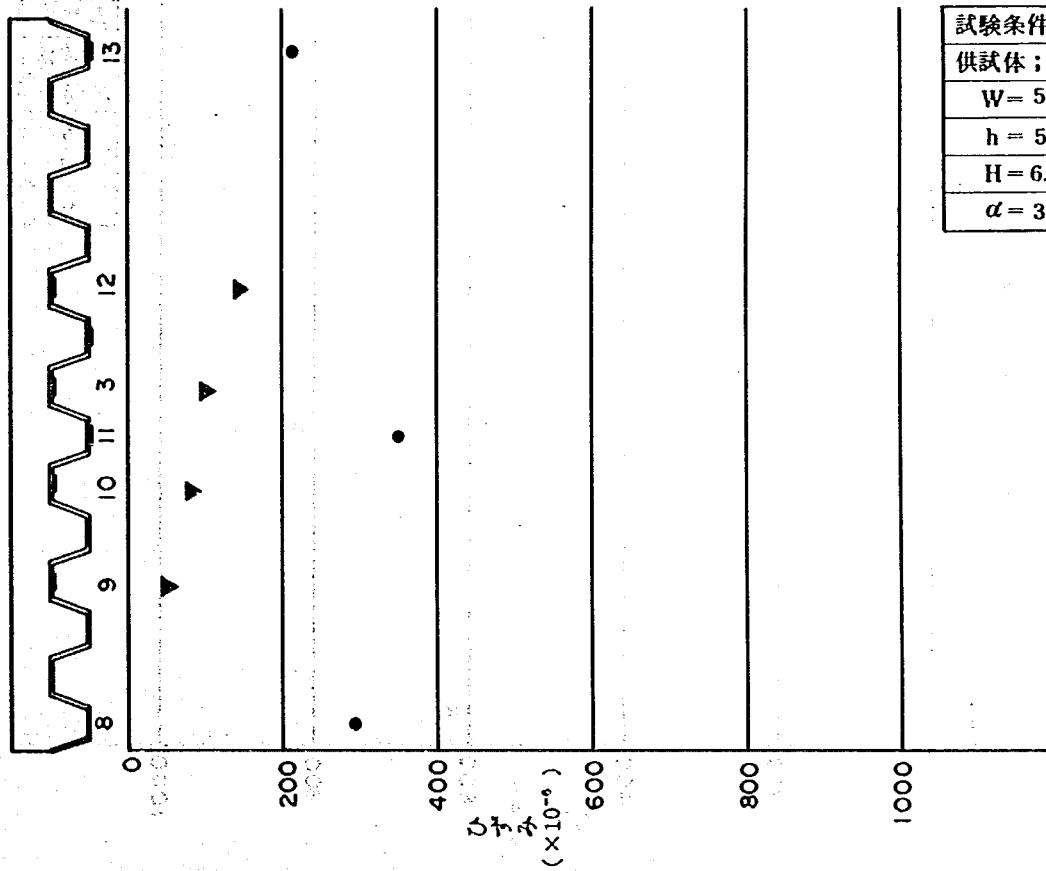
支間方向ひずみ分布

ゲージ 版



支間直角方向ひずみ分布

ゲージ 版



試験条件
供試体; TYPE B
$W = 500 \text{ kg}$
$h = 50 \text{ cm}$
$H = 6.0 \text{ m}$
$\alpha = 35.4 \text{ g}$

図-4.26 鋼・コンクリート製供試体のひずみ分布 (B-1)

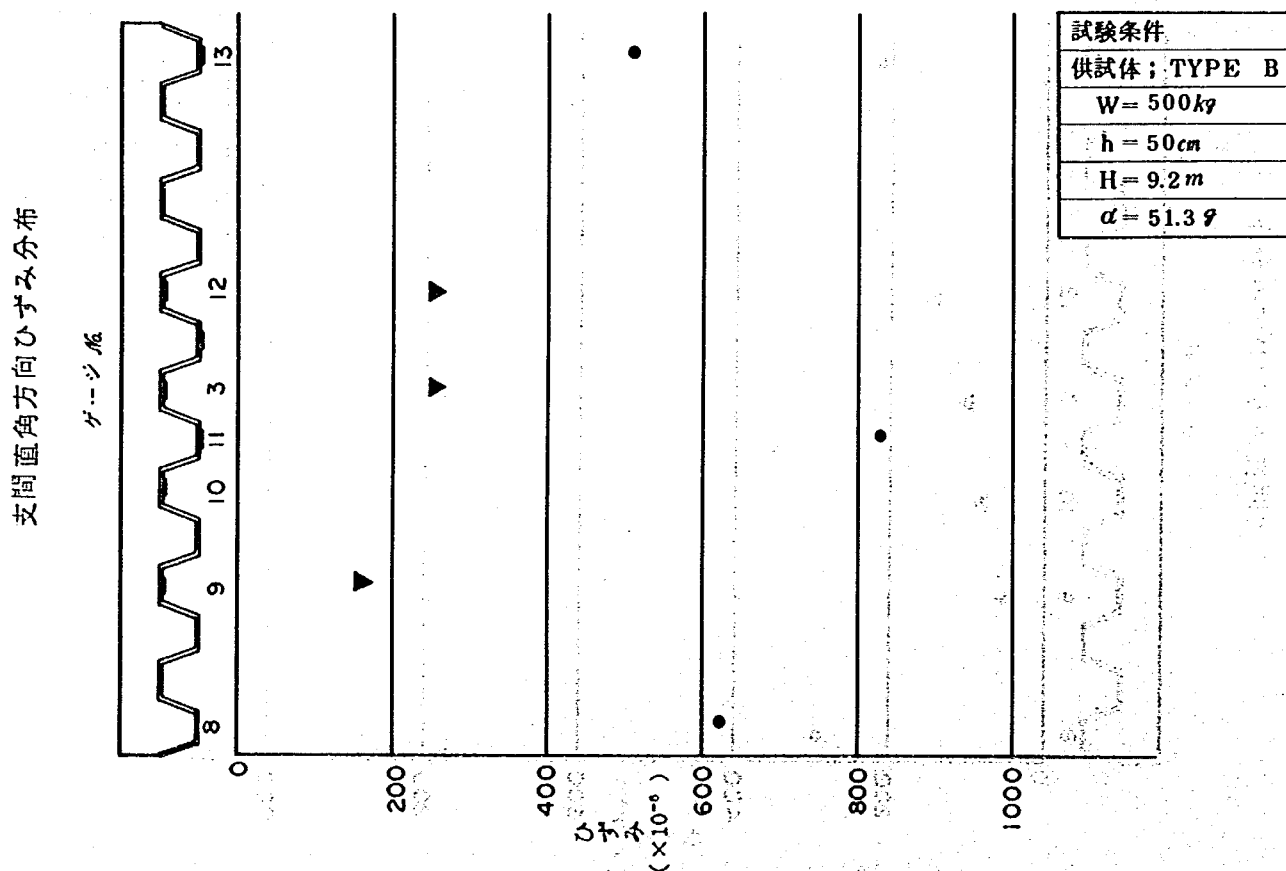
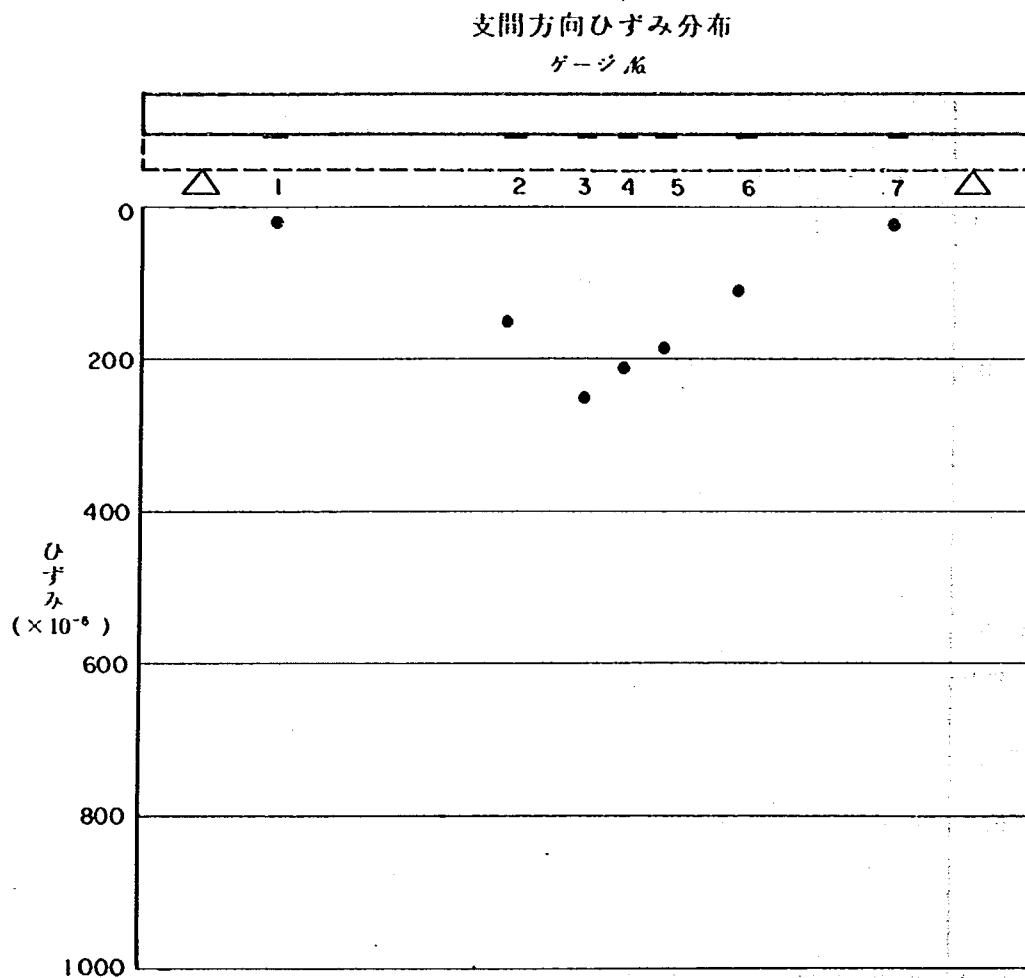


図-4.27 鋼・コンクリート製供試体のひずみ分布 (B-2)

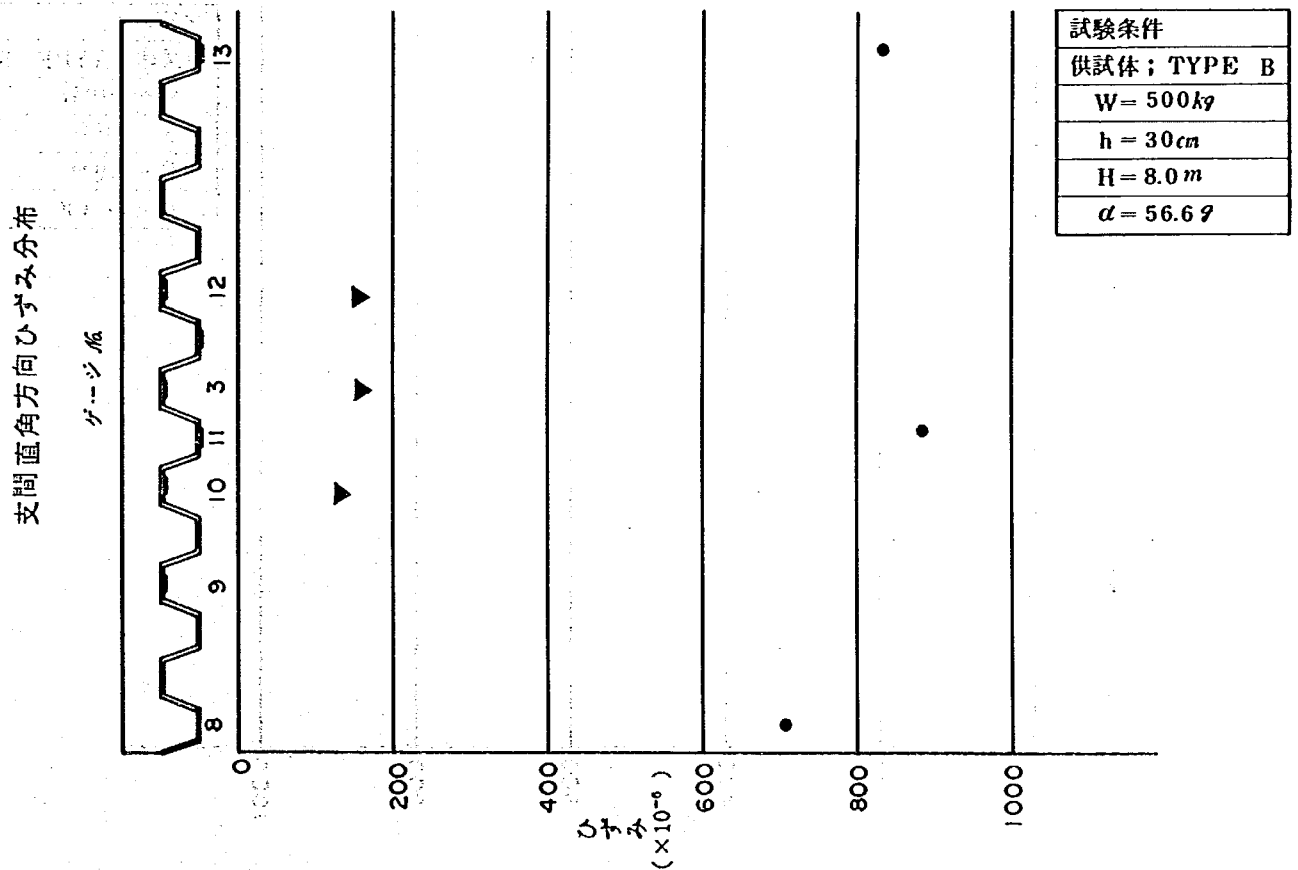
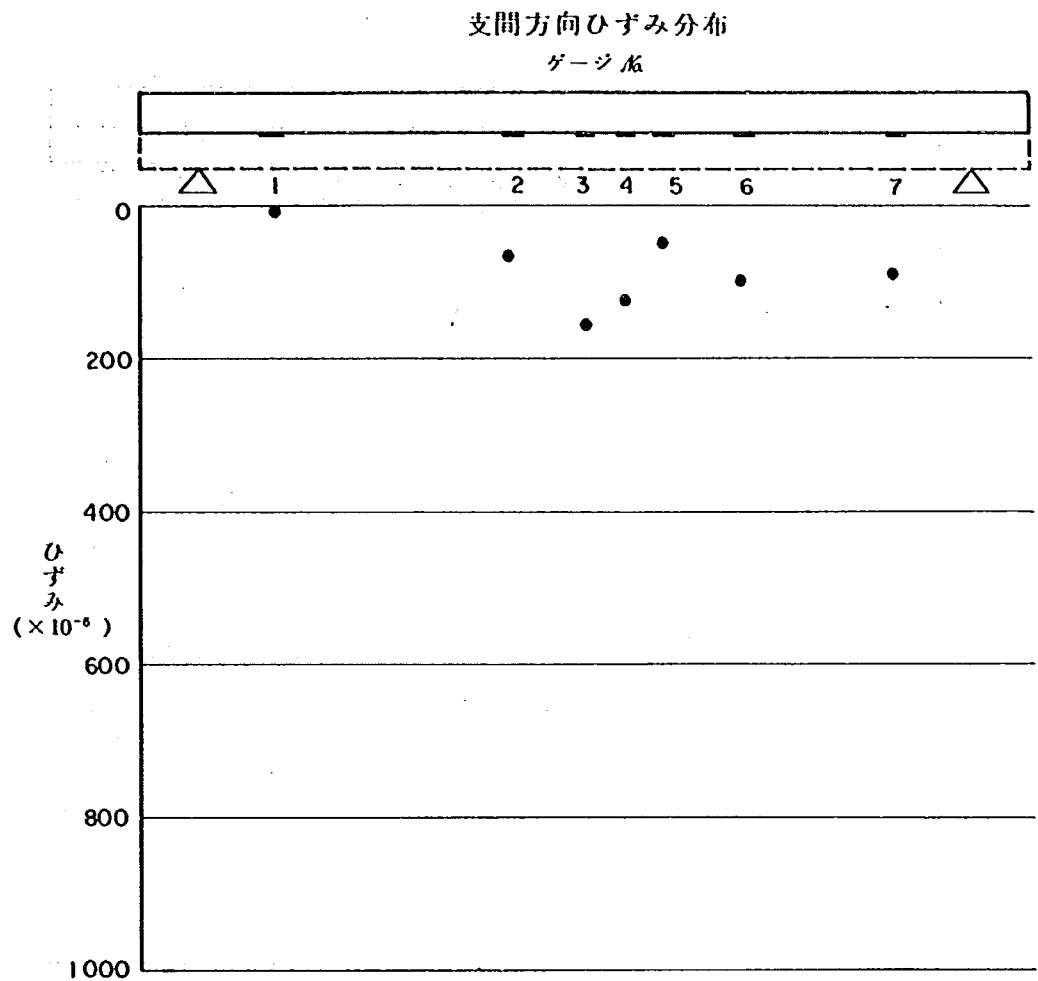


図-4.28 鋼・コンクリート製供試体のひずみ分布 (B-3)

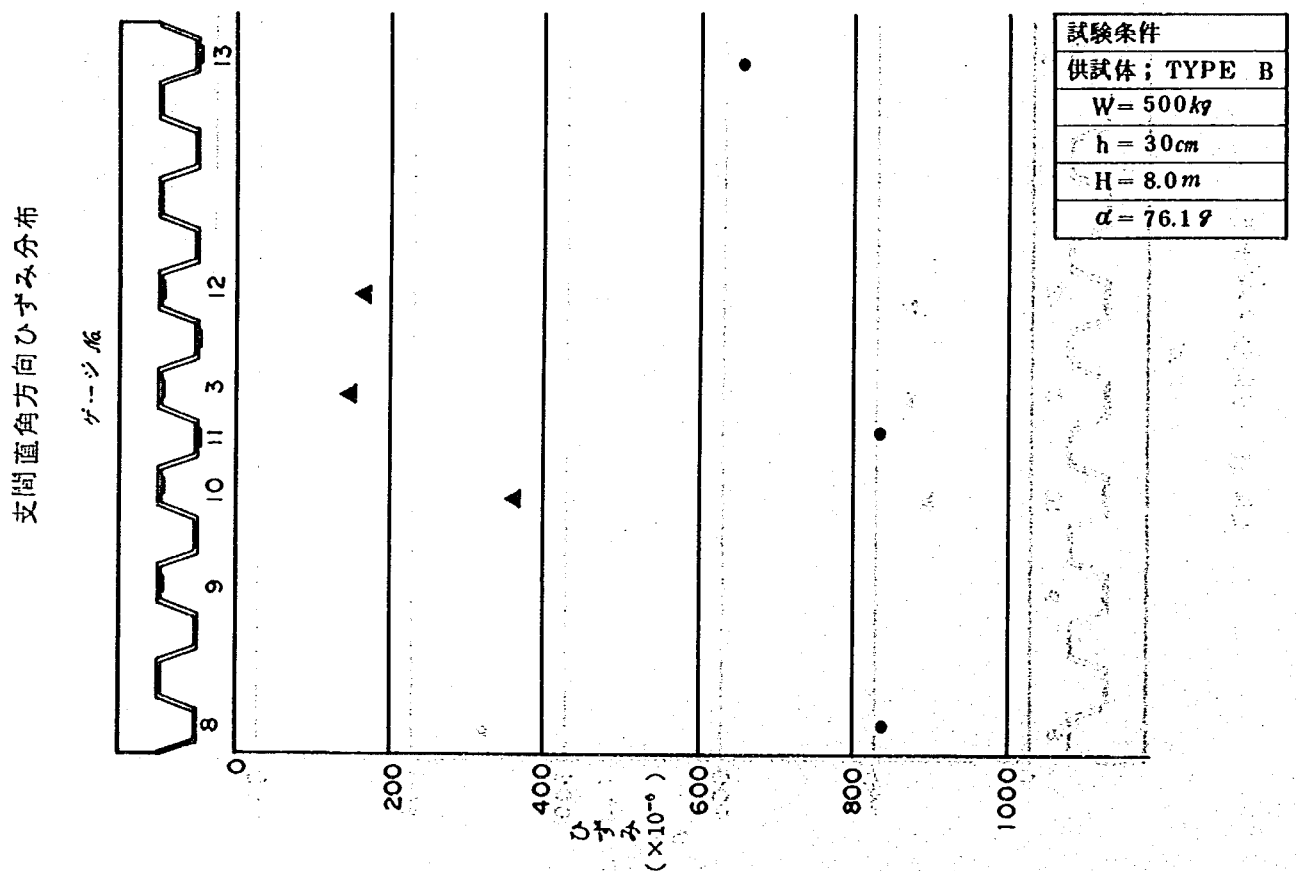
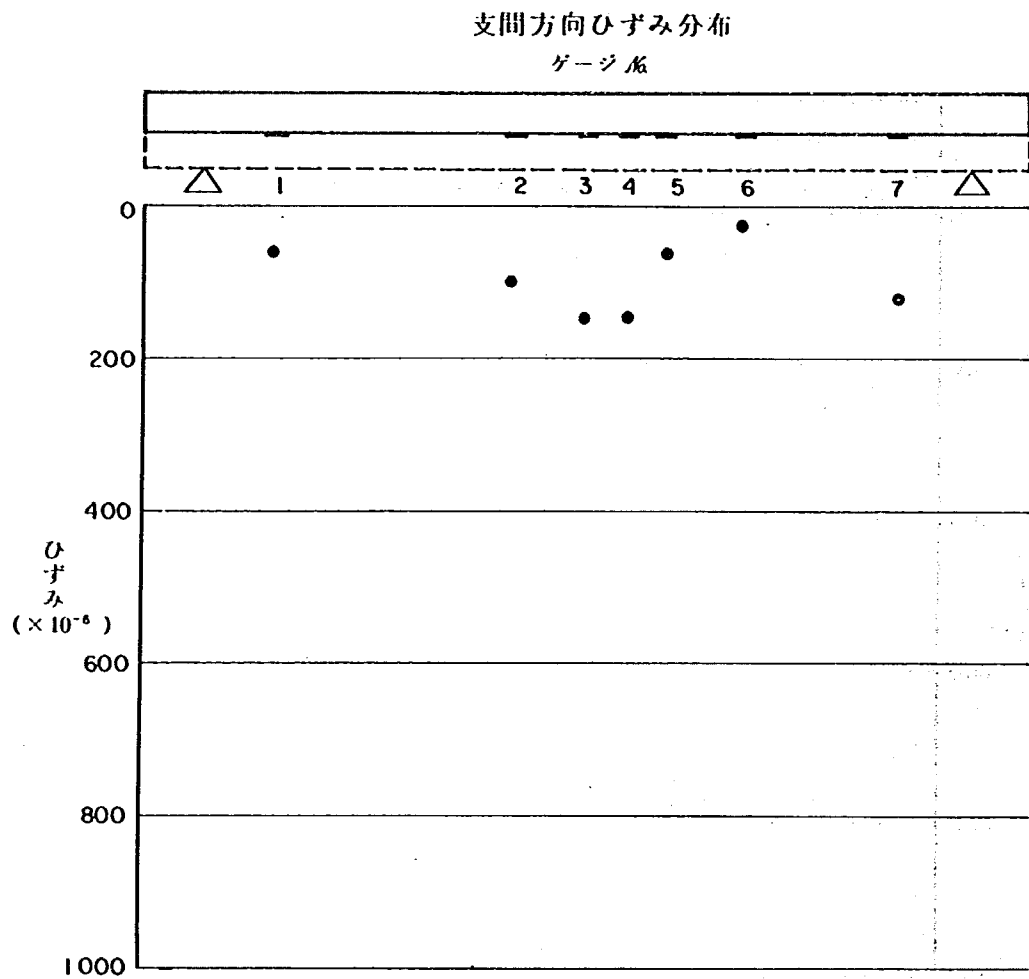


図-4.29 鋼・コンクリート製供試体のひずみ分布 (B-4)

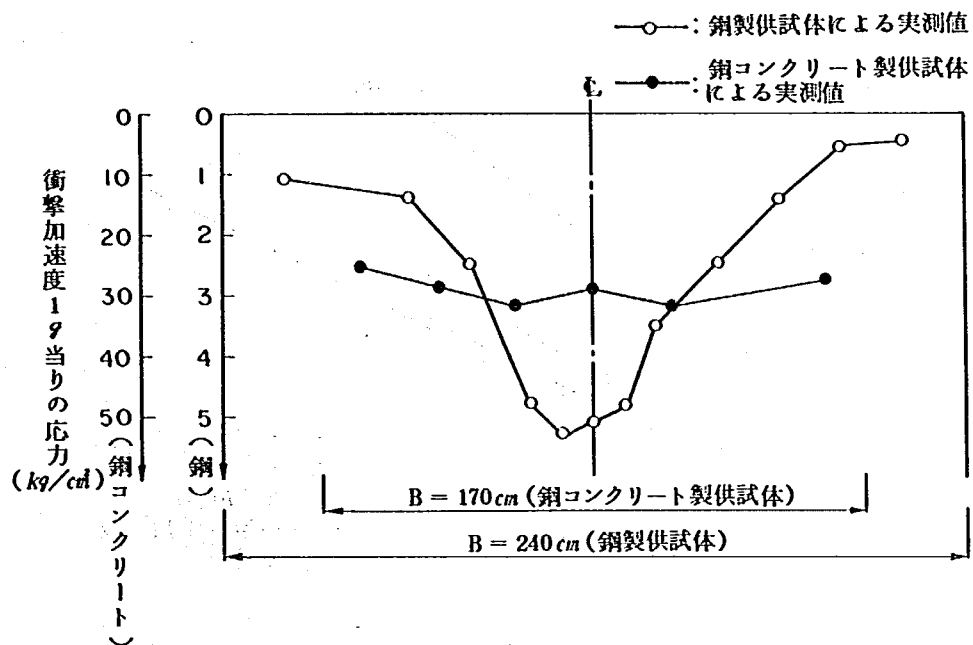


図-4.30 支間直角方向のひずみ分布

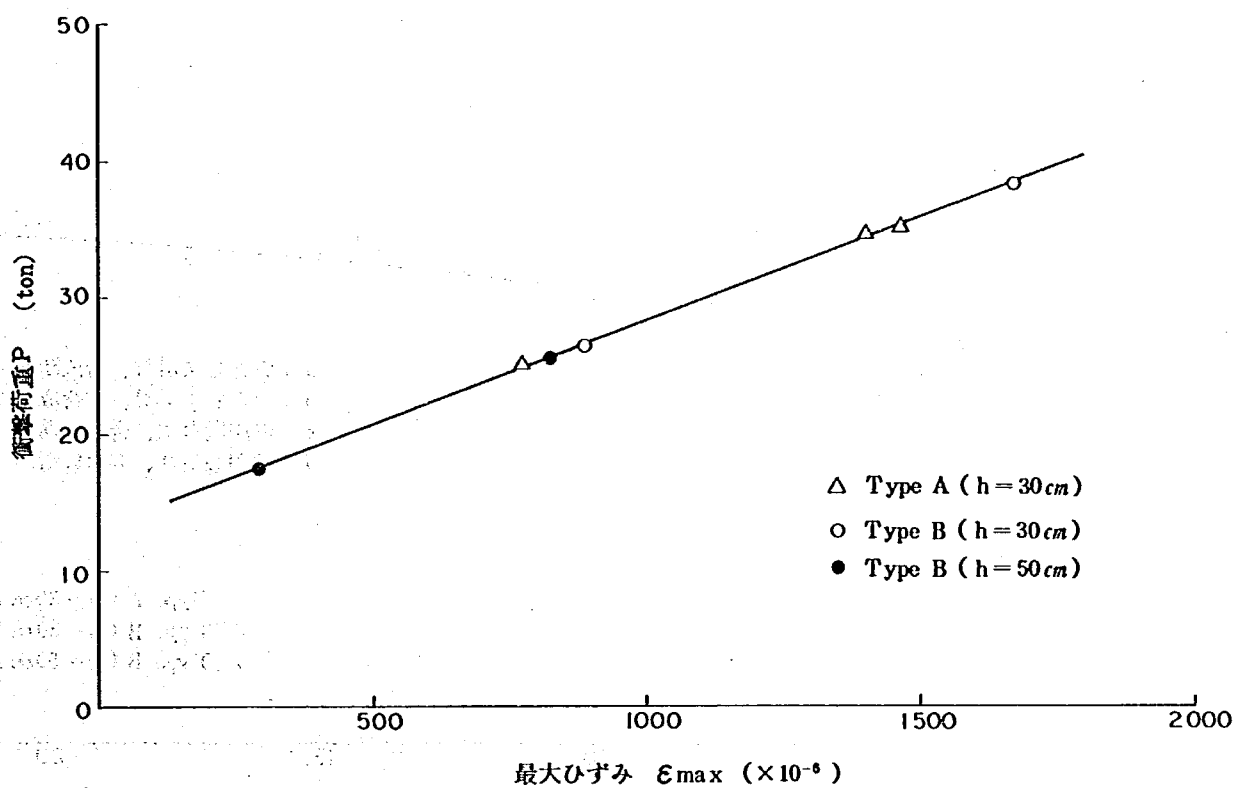
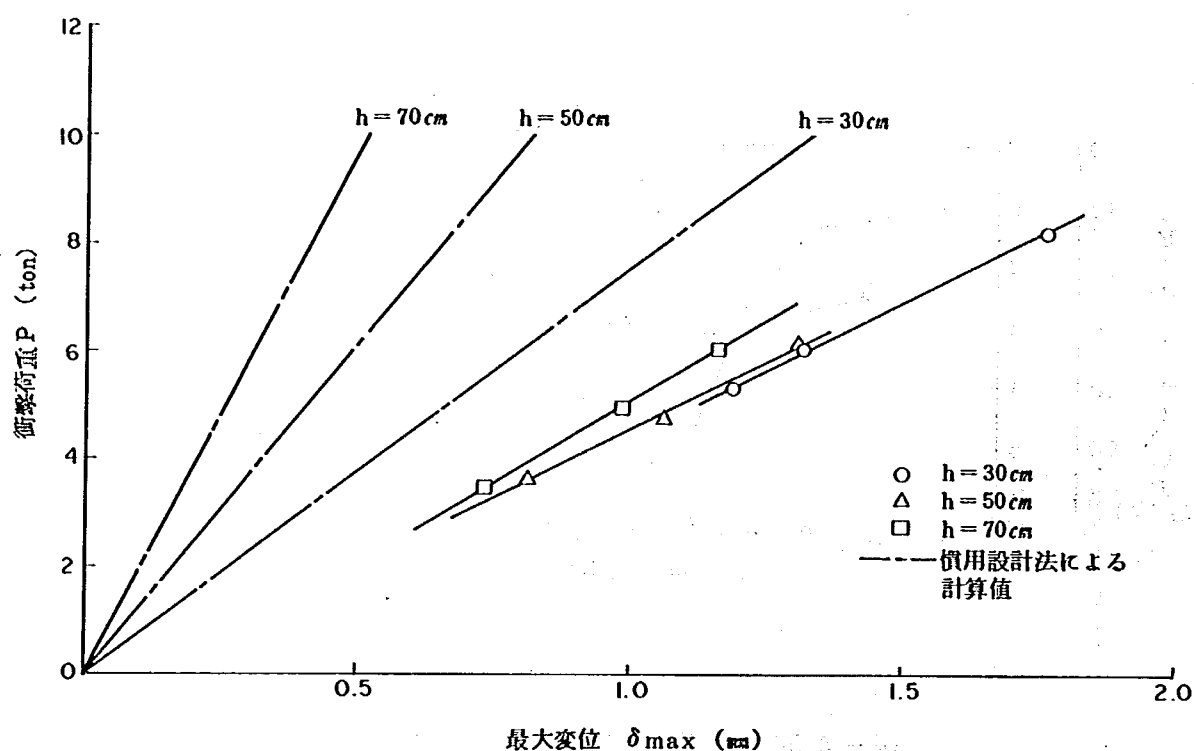
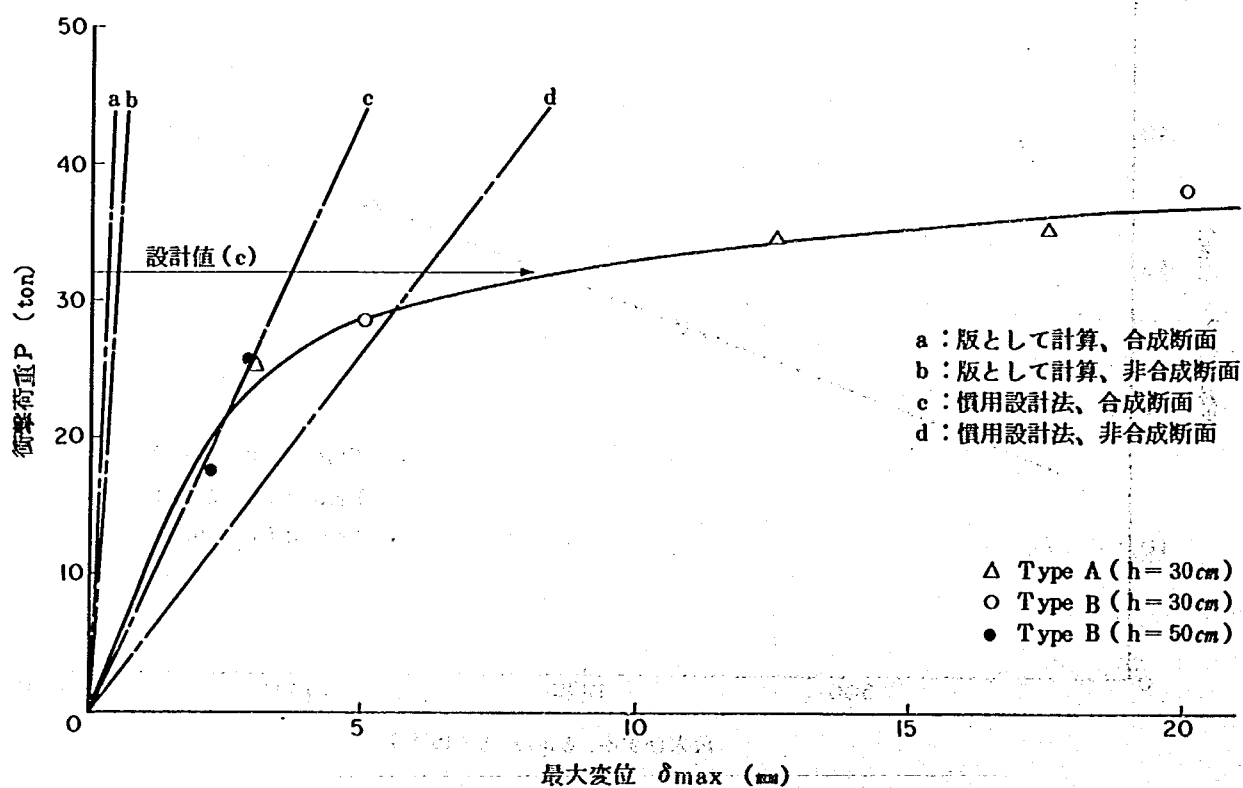


図-4.31 衝撃荷重と最大ひずみの関係(鋼・コンクリート製供試体)



図－4.32 衝撃荷重と最大変位の関係（鋼製供試体）



図－4.33 衝撃荷重と最大変位の関係（鋼・コンクリート製供試体）

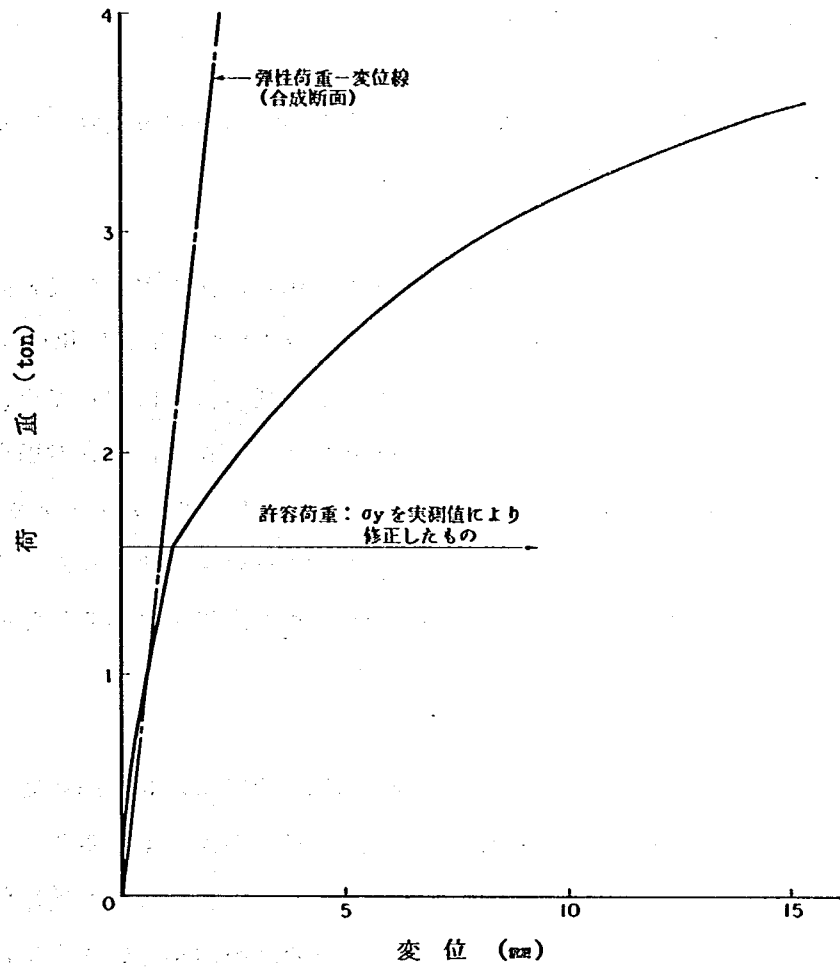


図-4.34 前回試験における小形梁供試体(鋼・コンクリート製)の静的載荷時の荷重-変位曲線

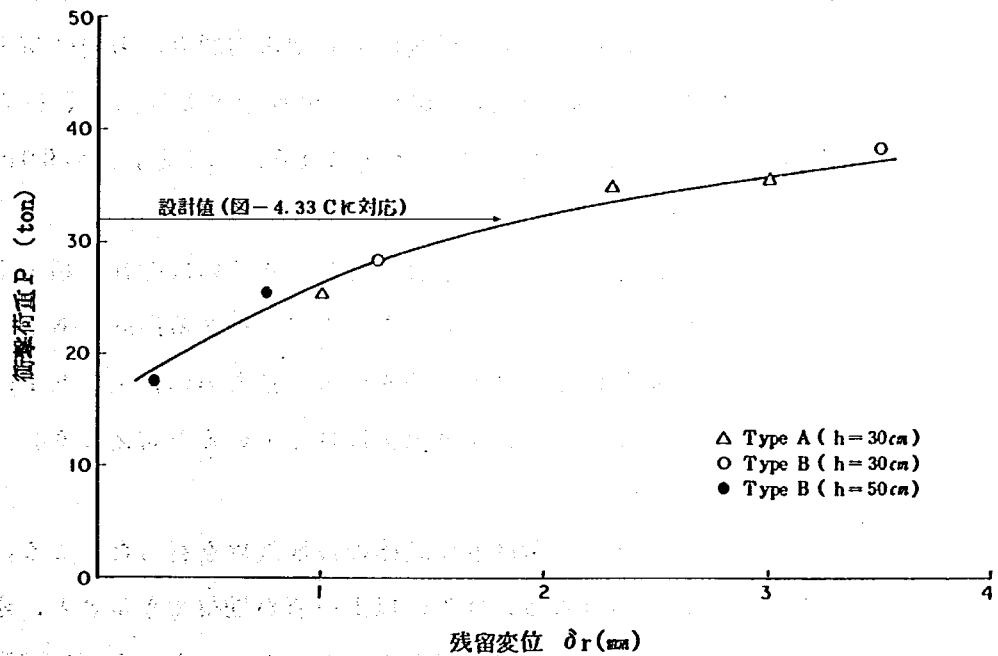


図-4.35 衝撃荷重と残留変位の関係(鋼・コンクリート製供試体)

5. 慣用設計法における安全性の評価

5.1 個々の設計上の仮定について

前回および今回の試験結果を用い、慣用設計法、すなわち落石対策便覧⁽³⁾に示された設計手法の安全性について評価を試みる。

(1) 衝撃荷重の推定

重錘による衝撃荷重は、重錘の形状によりかなり変化し、文献⁽²⁾の結果と同様に平底重錘の場合に最も大きい値となるが、落石対策便覧⁽³⁾に示された推定式に比べると、いずれもかなり小さい値となる。これは、同式が既往のすべての試験結果に対し安全側となるように定められたことによるものであるが、本試験結果を見るかぎり、平底の場合で $1/1.3 \sim 1/1.8$ 、球底の場合で $1/1.7 \sim 1/2.8$ の範囲と、推定値に比べてかなりの差があった。実際の設計において、平底の場合、すなわち最悪のケースを対象とすべきかどうかについては議論が分かれるところであろうが、いずれにせよ、この段階ではある程度の余裕が含まれていると考えてよい。

(2) 砂層中の荷重分散の仮定

砂層中を 45° の角度で荷重が分散するという仮定は、砂層厚が 30 cm 程度（重錘の直径相当）の場合を除いてかなり危険側の設計となり、砂層厚が大きくなる程その傾向は強まることが明らかになった。これは、砂層厚がコンクリート床版のような連続体でないことに起因しているが、このことが覆工屋根部材の設計を砂層厚が小さい場合には過大に、逆に砂層厚が大きい場合には過小にしている可能性がある。

4.2.2 (3)に述べたように、荷重分散の検討に用いた鋼性供試体には、支間直角方向の荷重分配効果に若干問題があり、落石覆工屋根部材を代表するものとしては不適當であるものとも考えられるため、鋼-コンクリート製供試体における支間直角方向のひずみ分布を参考にして、図-4.19を補正したものが図-5.1に示す●印である。これによれば、 $h = 70\text{ cm}$ までがほぼ設計値と同等か安全側ということになる。しかし、 $h = 90\text{ cm}$ では危険側になるであろうことには変わりはない。

以上のように、慣用設計法に見られる 45° 分散の仮定、あるいはそれに類する直線分散の仮定は、砂層厚が大きい場合に荷重の分散効果を過大に評価する傾向にあり、合理的な方法であるとは思われない。裏付けるだけの十分なデータはないが、図-5.1に示したような曲線により分散効果を算出する方が、より現実合っていると言えよう。

(3) 屋根部材の強度

前回、幅の小さい鋼-コンクリート製はり供試体の破壊試験を行ったところ、終局耐力については静的載荷の場合と同等あるいはそれ以上の値が期待できること、永久変形は比較的小さい荷重において生じることなどが明らかになった。さらに今回は同形式の床版供試体を用いることにより、

1) 支間直角方向の荷重分配は十分期待できる。

2) 1)にもかかわらず、発生するたわみ変形は、版計算による理論値よりもかなり大きく、慣用設計法により梁にモデル化して計算した結果とはほぼ一致する(図-4.33)。

3) 計測値から衝撃力-たわみ曲線が得られたが、降伏荷重に相当する荷重は理論値よりやや小さくなり、設計荷重相当の衝撃力に対し支間の $1/1000$ 程度の永久たわみが予想される。

などの結果が得られた。2)の結果は、版を梁に置き換えることによる、モデル化上の安全率と、荷重が衝撃的に作用したことにより生じたのであろうと思われる付加的な要素がほぼ相殺することを示すものと考えられる。

以上のように、部材の衝撃荷重に対する強度については、終局耐力の点では静的強度と同等と考えて問題ないものと考えられるが、比較的微小な永久変形を設計荷重あるいはそれをやや下回る荷重に対して許し得るかどうかが議論の対象となろう。

5.2 総合的に見た安全性

5.1に述べたように、慣用設計法における設計上の仮定には、安全側および危険側それぞれの要因が含まれていることがわかった。しかし、それらの要因は互いに独立でないため、単に正と負の要因を足し合わせただけでは総合的な評価を下したことになる。

そこで、若干乱暴ではあるが、荷重の推定を含めた慣用設計法を一つのブラックボックスと考え、最小限の設計条件(落石重量 W 、落下高さ H および砂層厚 h)を与えて、出て来た計算値と計測値を比較することにした。

図-5.2および3は、鋼製供試体による試験結果で、5.2は発生する最大ひずみと重錘の落下高さの関係を示したものである。平底重錘、 $h=70\text{ cm}$ の場合を除き、すべて計算値は安全側となっており、平底では $h=30\text{ cm}$ 、球底では $h=70\text{ cm}$ の場合に計算値と計測値が最も近くなっている。また、砂層厚が小さい程、設計が過大である度合いが大きいことがわかる。

図-5.3は最大変位と落下高さの関係を示したものである。ここでは相対的に計測値が計算値に比べて大きくなっており、 $h=50\text{ cm}$ のときに最も両者が近い値となっている。また、 $h=70\text{ cm}$ では計算値はかなり危険側となっており、 $h=30\text{ cm}$ では逆に過度に安全側となっている。

図-5.4および5.5は鋼-コンクリート製供試体による試験結果と比較したものである。ここでは多くの供試体が大きな塑性変形を受けているので、記号を黒く塗って区別した。

図-5.4は、落下高さと最大ひずみの関係を示したもので、塑性変形を受けたものまで含め、計算値はすべて計測値よりも大きくなっている。一方、図-5.5は最大変位について比較したものであるが、ここでも供試体に大きな塑性変形がない限り計算値は安全側である。

ただし、両者の値はひずみにより比較した場合に比べてかなり接近している。

以上の結果より、慣用設計法により設計される落石覆工屋根部材の落下荷重に対する安全性は、次のように評価し得るものと考えられる。

- 1) 実際の設計において、平底形の落石形状を考慮しなければならないとすれば、慣用設計法は $h = 30\text{ cm}$ 程度の場合を除き、かなり危険側となる可能性がある。
- 2) 球底形の重錘を落石を代表するものとするならば、設計の基本となるひずみの計測値を見る限り、慣用設計法はほぼ妥当であるといえることができる。
- 3) 全体に砂層厚が小さい場合に過大な設計となる傾向があるが、これは慣用設計法における、砂層中の 45° 荷重分散の仮定が現実とかけ離れていることが影響しているものと考えられる。したがって、荷重分散の仮定を修正することにより、より合理的設計法とすることが可能である。

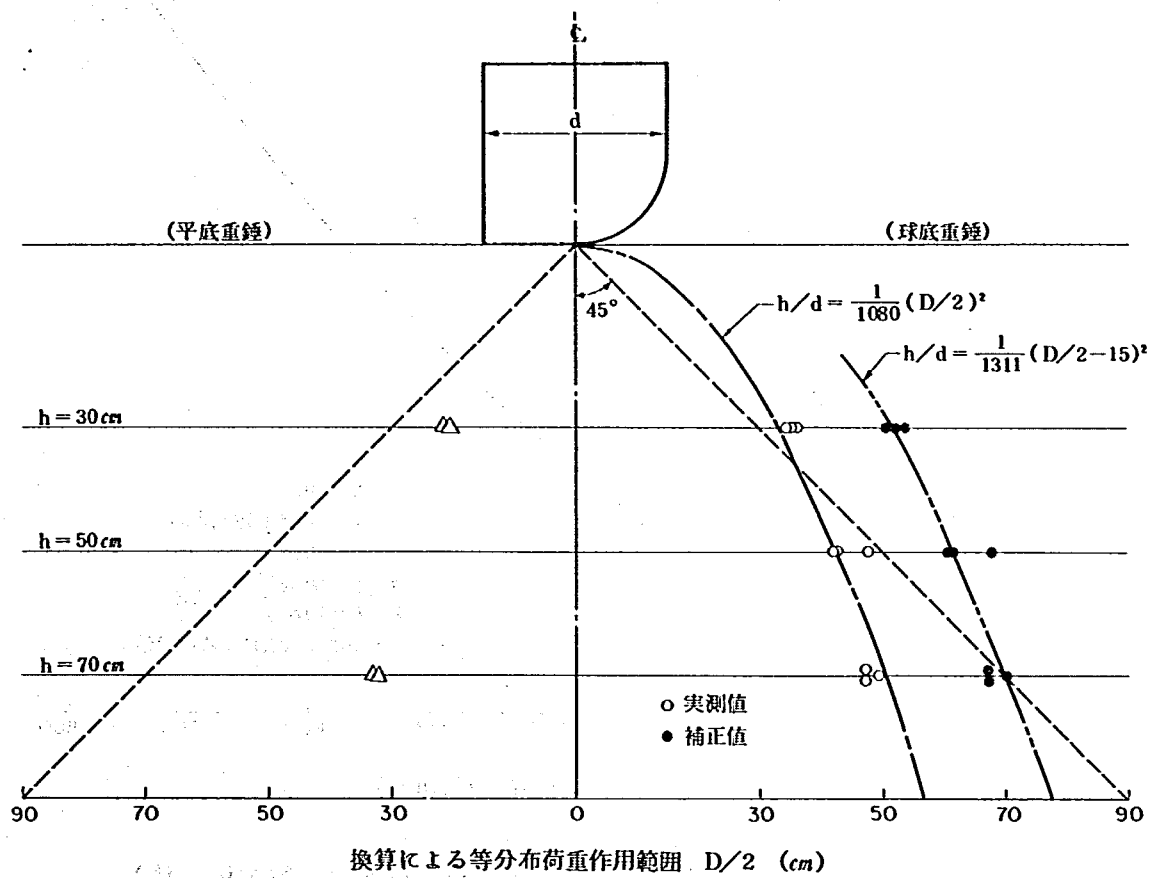


図-5.1 実測最大応力度から慣用設計法により逆算した荷重分布巾(補正後)

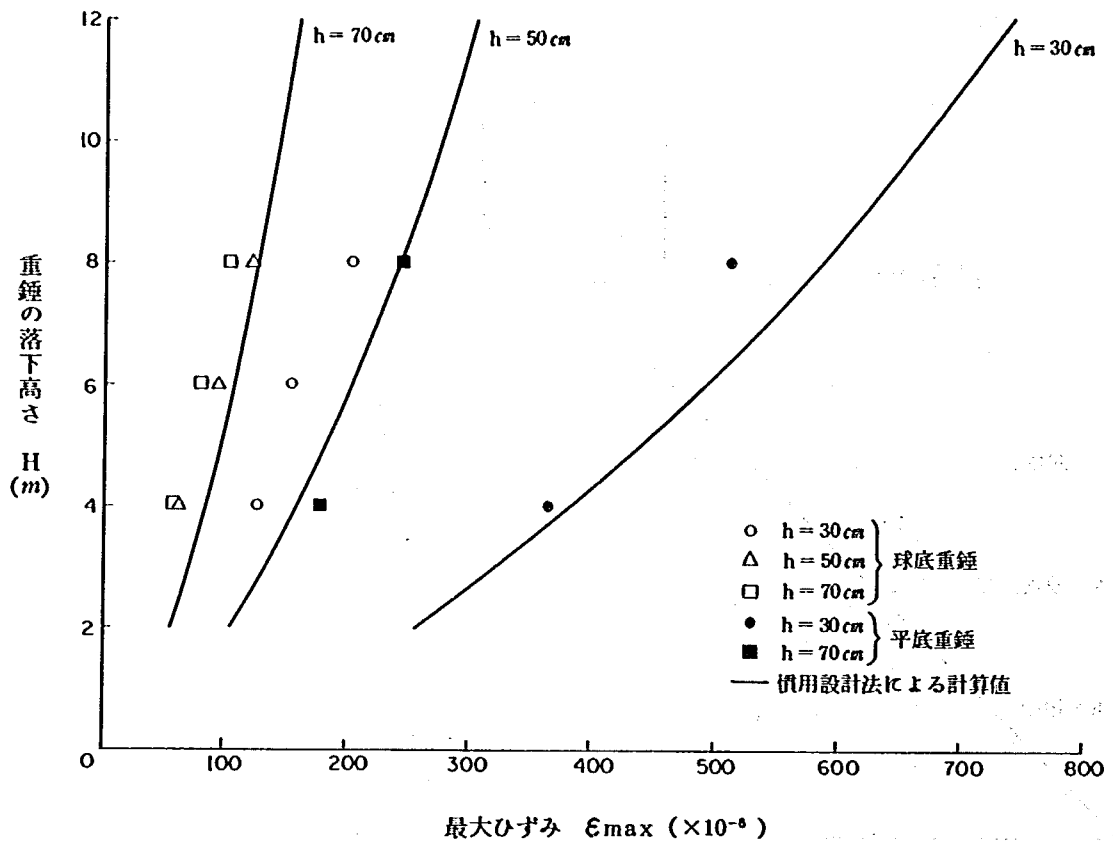


図-5.2 慣用設計法と計測値の比較 (最大ひずみ、鋼製供試体)

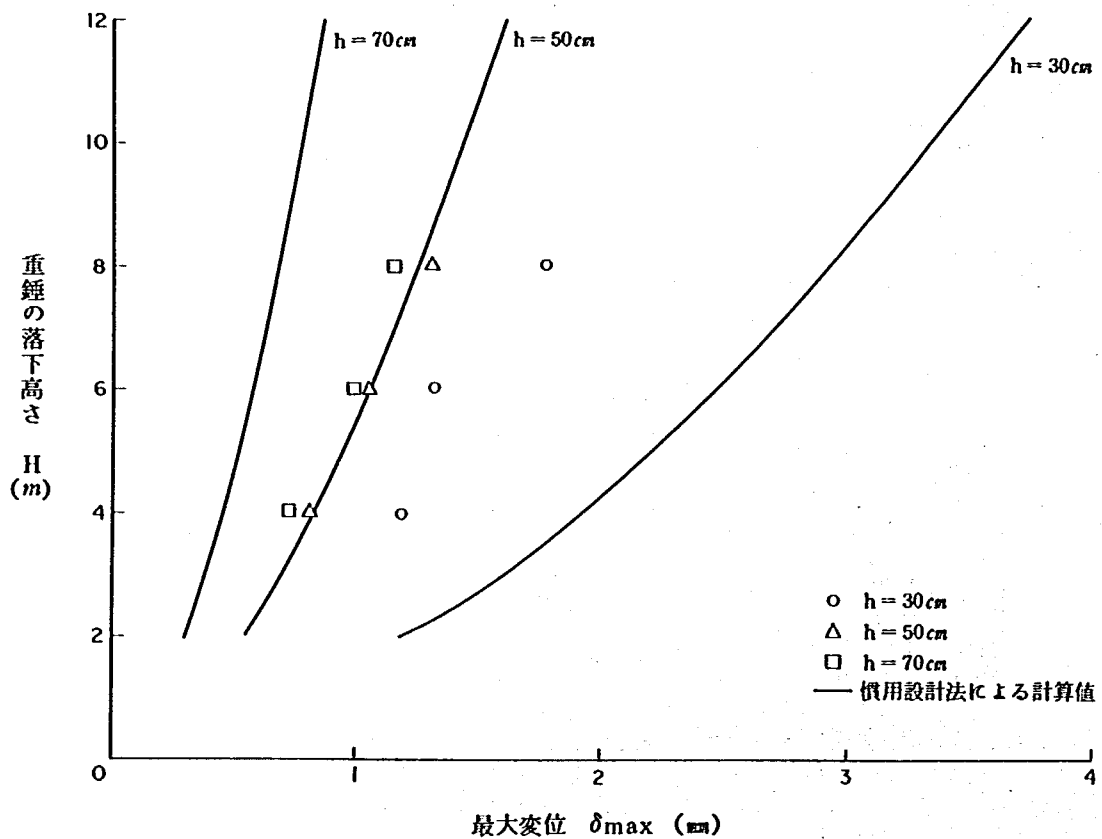


図-5.3 慣用設計法と計測値の比較 (最大変位、鋼製供試体)

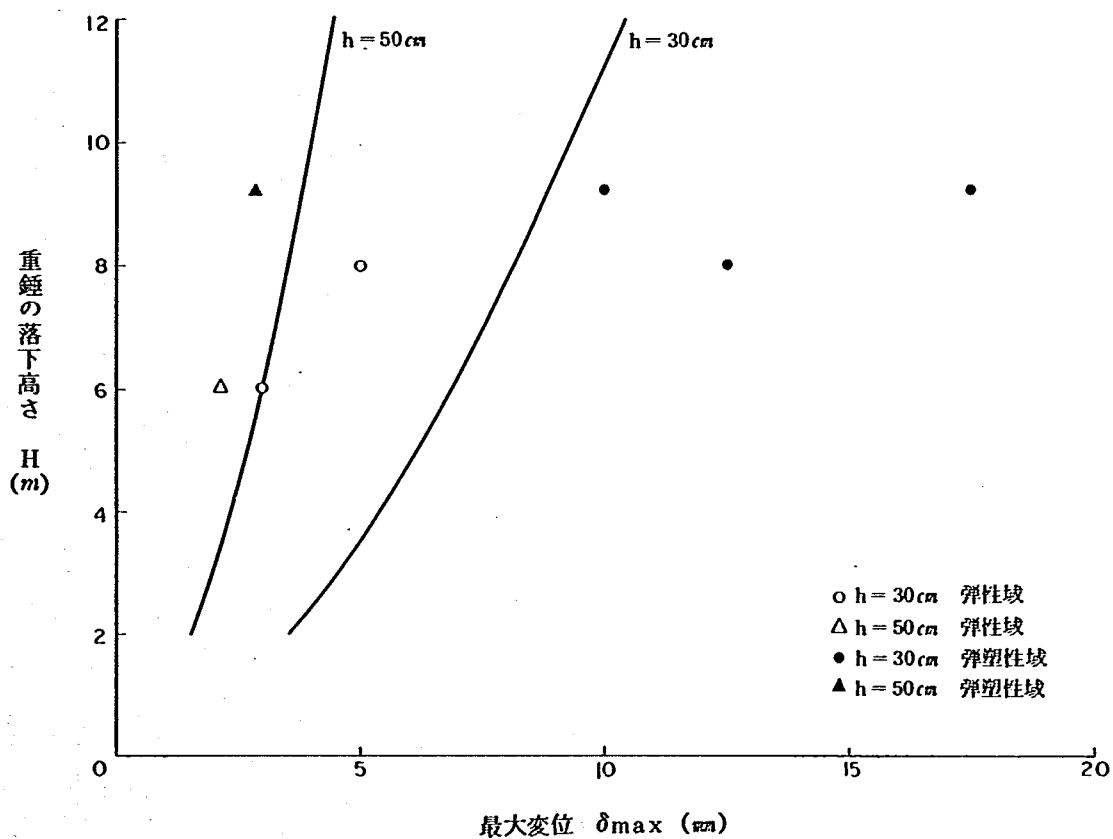
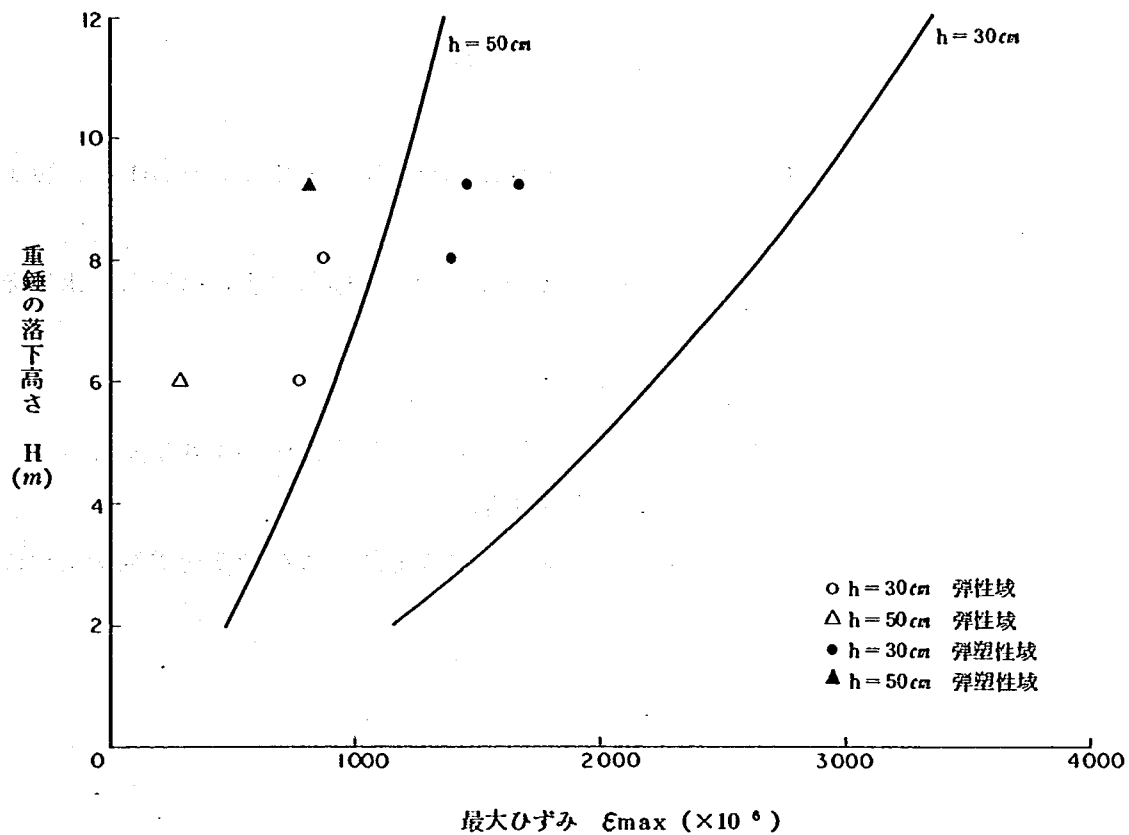


図-5.5 慣用設計法と計測値の比較(最大変位、鋼・コンクリート製供試体)

参 考 文 献

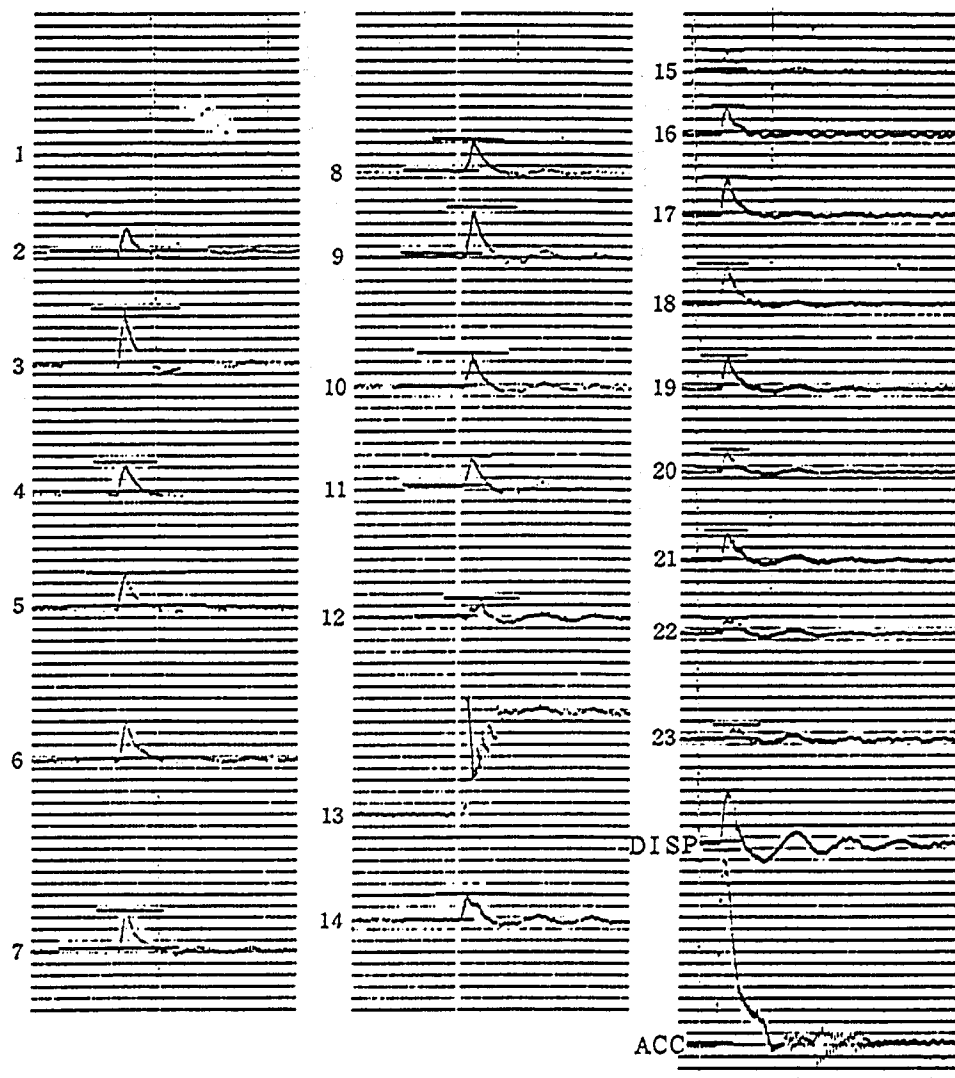
- (1) 土木研究所資料第1886号，衝撃力を受ける落石覆工部材に関する実験報告書(I)，建設省土木研究所橋梁研究室，昭和57年11月
- (2) 土木研究所資料第1822号，敷砂上の落石の衝撃力に関する実験報告書，建設省土木研究所動土質研究室，昭和57年3月
- (3) 日本道路協会；落石対策便覧，昭和58年7月
- (4) 銅材倶楽部，「新しい落石覆工の開発に関する研究」研究報告書，昭和48年4月
- (5) 土木学会；土木技術者のための振動便覧，昭和41年
- (6) 金沢大学，日本サミコン株式会社；PCロックシェードの静的および衝撃荷重載荷試験について，昭和54年12月

付録 試験データ集

付表-1

タイプ	供試体	試験 No	試験条件		
			砂層厚 (cm)	重錘 (kg)	落下高 (m)
S	鋼	S-1	30	100	4.0

		CAL値 (mm)		読み値 (mm)	測定値	校正係数
加 速 度		500 μ	20.0	33.5	52.9	0.06313
変位	最大変位	500 μ	19.0	9.0	1.18	200
	残留変位	—	—	—	—	—
ひ き み	1	200 μ	25.5	—	—	
	2	200 μ	23.0	5.0	43	
	3	200 μ	26.5	9.0	68	
	4	500 μ	25.0	5.0	100	
	5	500 μ	25.0	5.5	110	
	6	500 μ	27.5	6.5	118	
	7	500 μ	26.0	6.5	125	
	8	500 μ	26.0	5.5	106	
	9	200 μ	25.0	8.0	64	
	10	200 μ	25.0	5.5	44	
	11	200 μ	23.0	5.0	43	
	12	200 μ	25.5	3.0	24	
	13	200 μ	24.0	—	—	
	14	200 μ	25.0	5.0	40	
	15	500 μ	25.0	3.0	60	
	16	500 μ	24.0	4.5	94	
	17	500 μ	25.0	6.5	135	
	18	500 μ	25.5	6.5	127	
	19	500 μ	25.0	5.0	100	
	20	500 μ	25.0	3.5	70	
	21	200 μ	25.0	5.0	40	
	22	200 μ	25.0	2.0	16	
	23	200 μ	25.0	2.5	20	

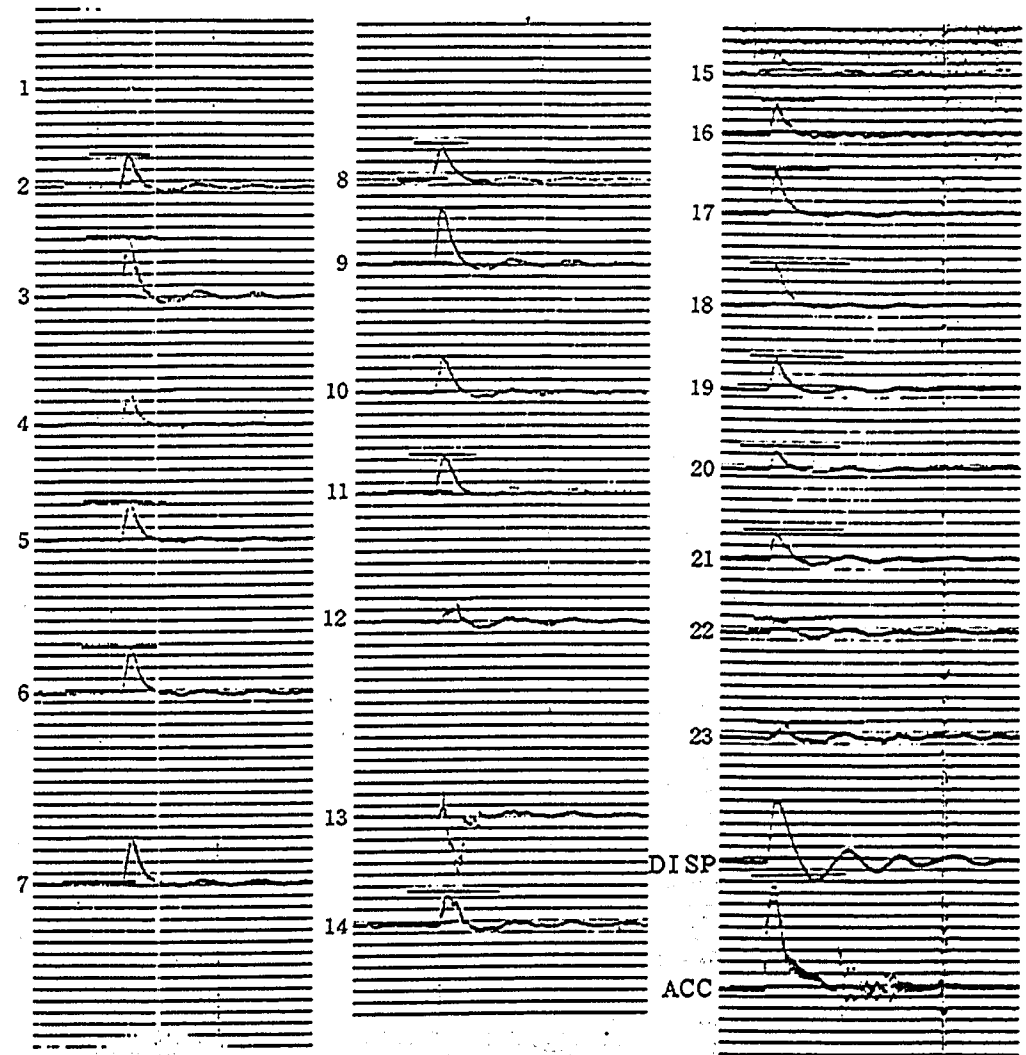


現象波形

附表-2

タイプ	供試体	試験No	試験条件		
			砂層厚 (cm)	重錘 (kg)	落下高 (m)
S	鋼	S-2	30	100	6.0

		CAL値 (mm)	読み値 (mm)	測定値	校正係数
加 速 度		1000 μ 20.0	19.0	60.0	0.06313
変位	最大変位	500 μ 19.0	10.0	1.32	200
	残留変位	—	—	—	—
ひ	1	200 μ 25.5	0.5	4	
	2	200 μ 23.0	5.0	43	
	3	200 μ 26.5	10.0	75	
	4	500 μ 25.0	6.0	120	
	5	500 μ 25.0	7.0	140	
	6	500 μ 27.5	8.0	145	
	7	500 μ 26.0	8.0	153	
	8	500 μ 26.0	6.0	115	
	9	200 μ 25.0	9.5	76	
	10	200 μ 25.0	6.0	48	
	11	200 μ 23.0	6.5	57	
	12	200 μ 25.5	4.0	31	
す	13	200 μ 24.0	—	—	
	14	200 μ 25.0	5.0	40	
	15	500 μ 25.0	3.5	70	
	16	500 μ 24.0	6.5	135	
み	17	500 μ 25.0	7.5	150	
	18	500 μ 25.5	7.0	137	
	19	500 μ 25.0	5.0	100	
	20	500 μ 25.0	3.5	70	
	21	200 μ 25.0	5.0	40	
	22	200 μ 25.0	2.0	16	
	23	200 μ 25.0	1.5	12	

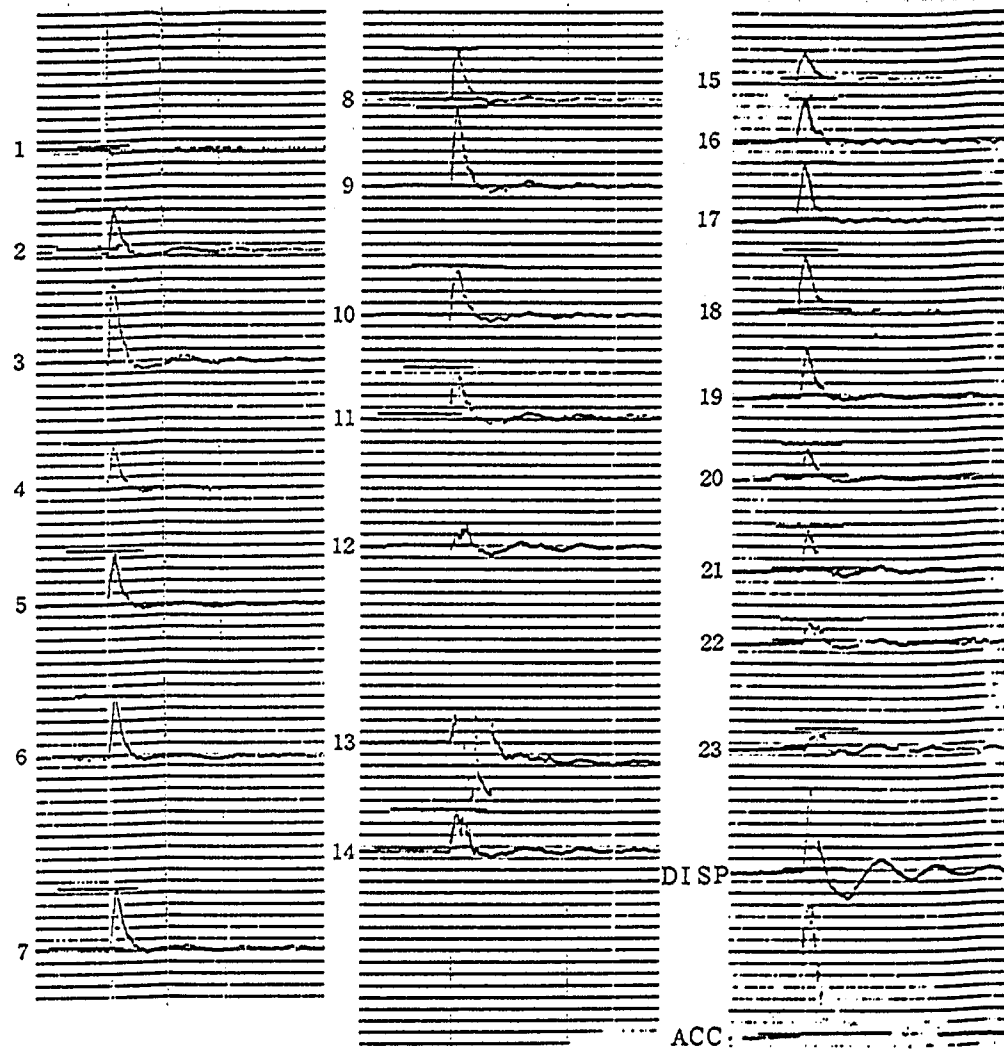


現象波形

付表-3

タイプ	供試体	試験No	試験条件		
			砂層厚 (cm)	重錘 (kg)	落下高 (m)
S	鋼	S-3	30	100	8.0

		CAL値 (mm)		読み値 (mm)	測定値	校正係数
加 速 度		1000 μ	20.0	26.0	82.1	0.06313
変位	最大変位	500 μ	19.0	13.5	1.77	200
	残留変位	—	—	—	—	—
ひ ず み	1	200 μ	25.5	0.5	4	
	2	200 μ	23.0	7.0	61	
	3	200 μ	26.5	14.0	106	
	4	500 μ	25.0	8.0	160	
	5	500 μ	25.0	9.0	180	
	6	500 μ	27.5	10.5	191	
	7	500 μ	26.0	10.5	202	
	8	500 μ	26.0	8.5	163	
	9	200 μ	25.0	13.0	104	
	10	200 μ	25.0	8.0	64	
	11	200 μ	23.0	8.0	70	
	12	200 μ	25.5	4.0	31	
	13	200 μ	24.0	—	—	
	14	200 μ	25.0	6.5	52	
	15	500 μ	25.0	4.5	90	
	16	500 μ	24.0	7.0	146	
	17	500 μ	25.0	10.0	200	
	18	500 μ	25.5	10.5	205	
	19	500 μ	25.0	8.0	160	
	20	500 μ	25.0	5.5	110	
	21	200 μ	25.0	7.0	56	
	22	200 μ	25.0	3.5	28	
	23	200 μ	25.0	3.0	24	

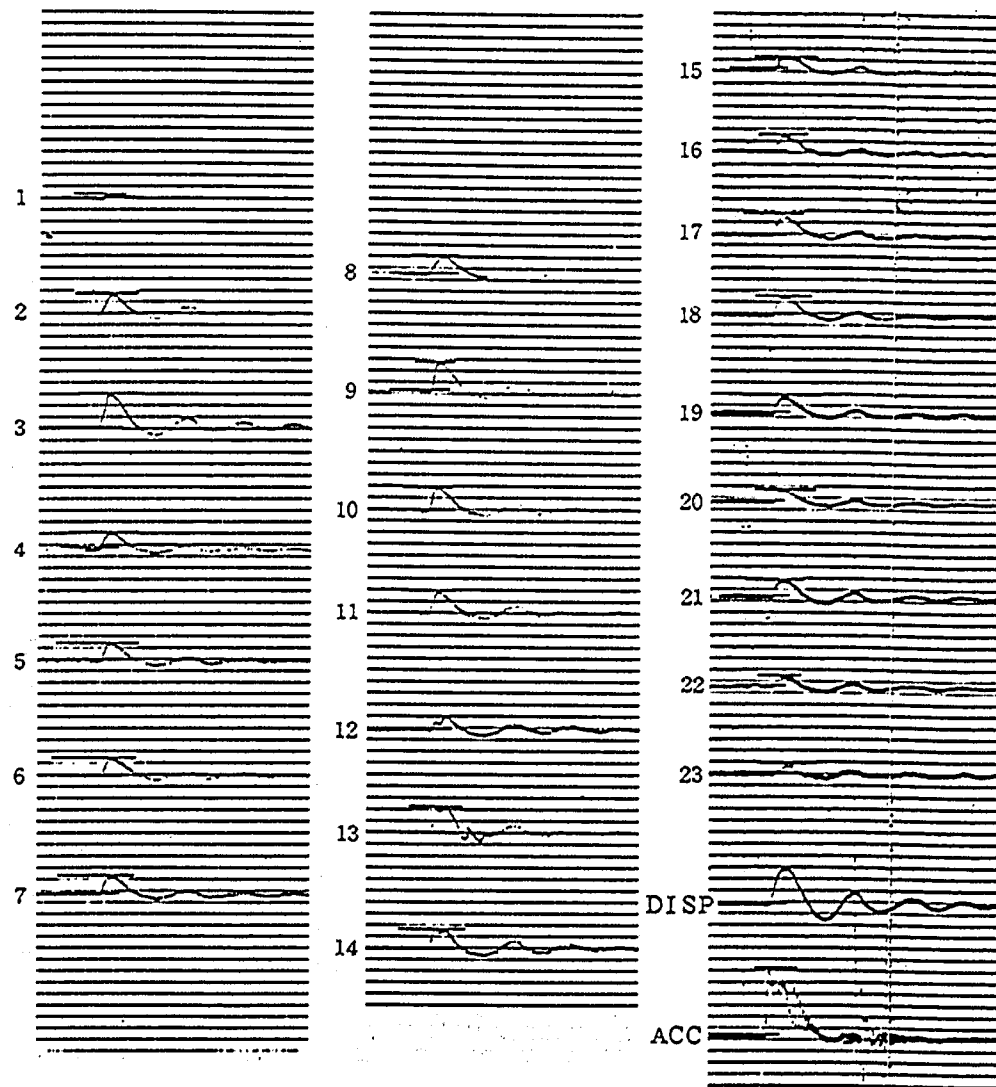


現象波形

附表-4

タイプ	供試体	試験 №	試験条件		
			砂層厚 (cm)	重錘 (kg)	落下高 (m)
S	銅	S-4	50	100	4.0

		CAL値 (mm)	読み値 (mm)	測定値	校正係数
加 速 度		1000 μ 20	11.5	36.3	0.06313
変位	最大変位	500 μ 20	6.5	0.81	200
	残留変位	—	—	—	
ひ	1	200 μ 24.5	1.0	8	
	2	200 μ 25.0	3.5	28	
	3	200 μ 26.5	6.0	45	
	4	500 μ 25.0	2.5	50	
	5	500 μ 25.0	3.0	60	
	6	500 μ 25.5	3.0	59	
	7	500 μ 24.5	3.0	61	
	8	500 μ 25.5	3.0	59	
	9	200 μ 24.5	5.0	41	
	10	200 μ 24.5	4.0	33	
ず	11	200 μ 23.0	4.0	35	
	12	200 μ 26.0	2.0	15	
	13	200 μ 25.0	4.5	36	
	14	200 μ 24.5	3.5	29	
み	15	500 μ 25.5	2.0	39	
	16	500 μ 25	3.0	60	
	17	500 μ 25.5	3.5	69	
	18	500 μ 26	3.0	58	
	19	500 μ 26	3.0	58	
	20	500 μ 25.5	2.0	39	
	21	200 μ 25.5	3.0	24	
	22	200 μ 25	1.5	12	
	23	200 μ 25.5	1.5	12	

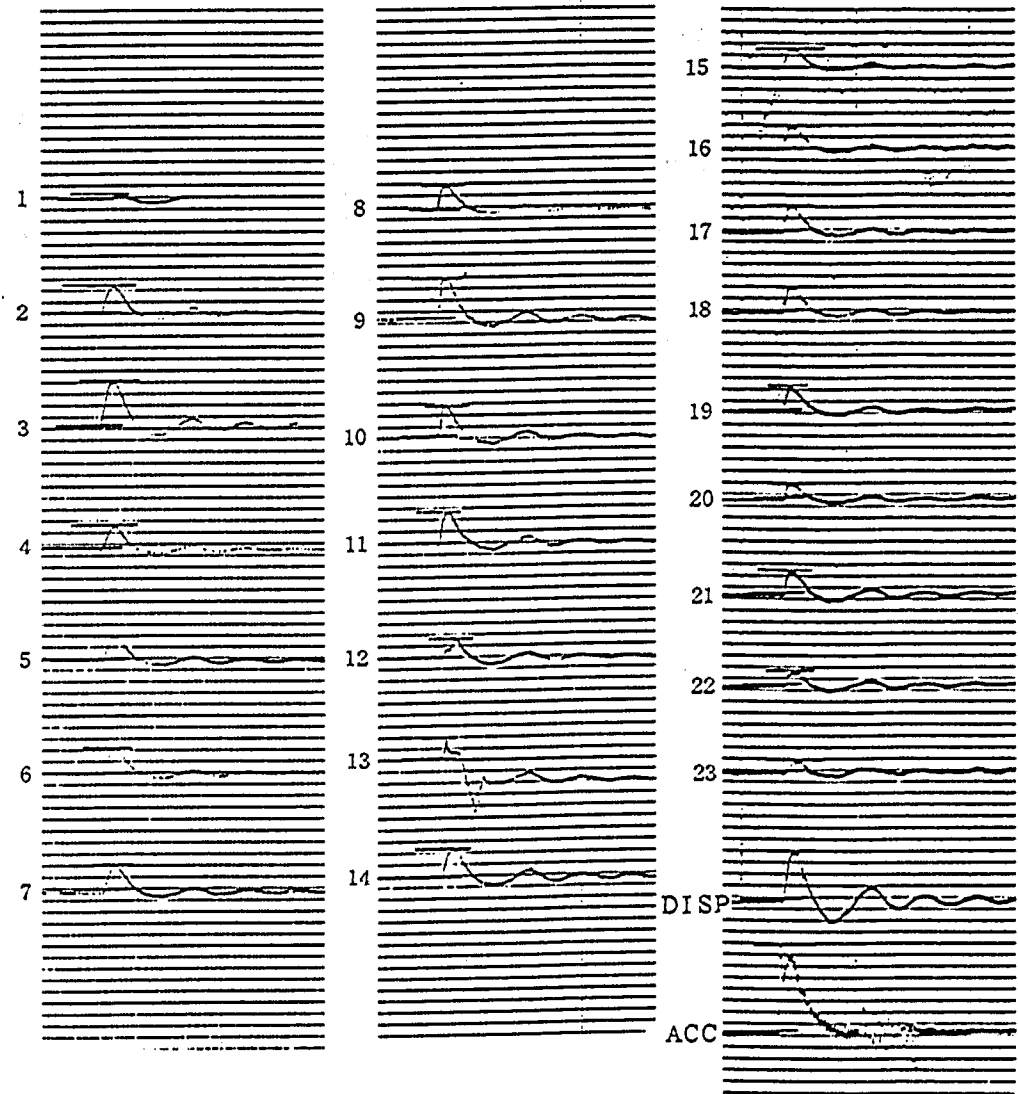


現象波形

附表-5

タイプ	供試体	試験法	試験条件		
			砂層厚 (cm)	重錘 (kg)	落下高 (m)
S	鋼	S-5	50	100	6.0

		CAL値 (mm)	読み値 (mm)	測定値	校正係数
加速度		1000μ 20	15.0	47.3	0.06313
変位	最大変位	500μ 20	8.5	1.06	200
	残留変位	—	—	—	—
ひ ず み	1	200μ 24.5	1.0	8	
	2	200μ 25.0	5.0	40	
	3	200μ 26.5	8.0	60	
	4	500μ 25.0	4.0	80	
	5	500μ 25.0	4.0	80	
	6	500μ 25.5	4.5	88	
	7	500μ 24.5	4.5	92	
	8	500μ 25.5	4.0	78	
	9	200μ 24.5	7.0	57	
	10	200μ 24.5	5.0	41	
	11	200μ 23.0	5.5	48	
	12	200μ 26.0	3.5	27	
	13	200μ 25.0	4.0	32	
	14	200μ 24.5	5.0	41	
	15	500μ 25.5	3.0	59	
	16	500μ 25.0	4.0	80	
	17	500μ 25.5	4.5	88	
	18	500μ 26.0	4.0	77	
	19	500μ 26.0	4.0	76	
	20	500μ 25.5	2.5	49	
	21	200μ 25.5	4.0	31	
	22	200μ 25.0	2.0	16	
	23	200μ 25.5	2.0	8	

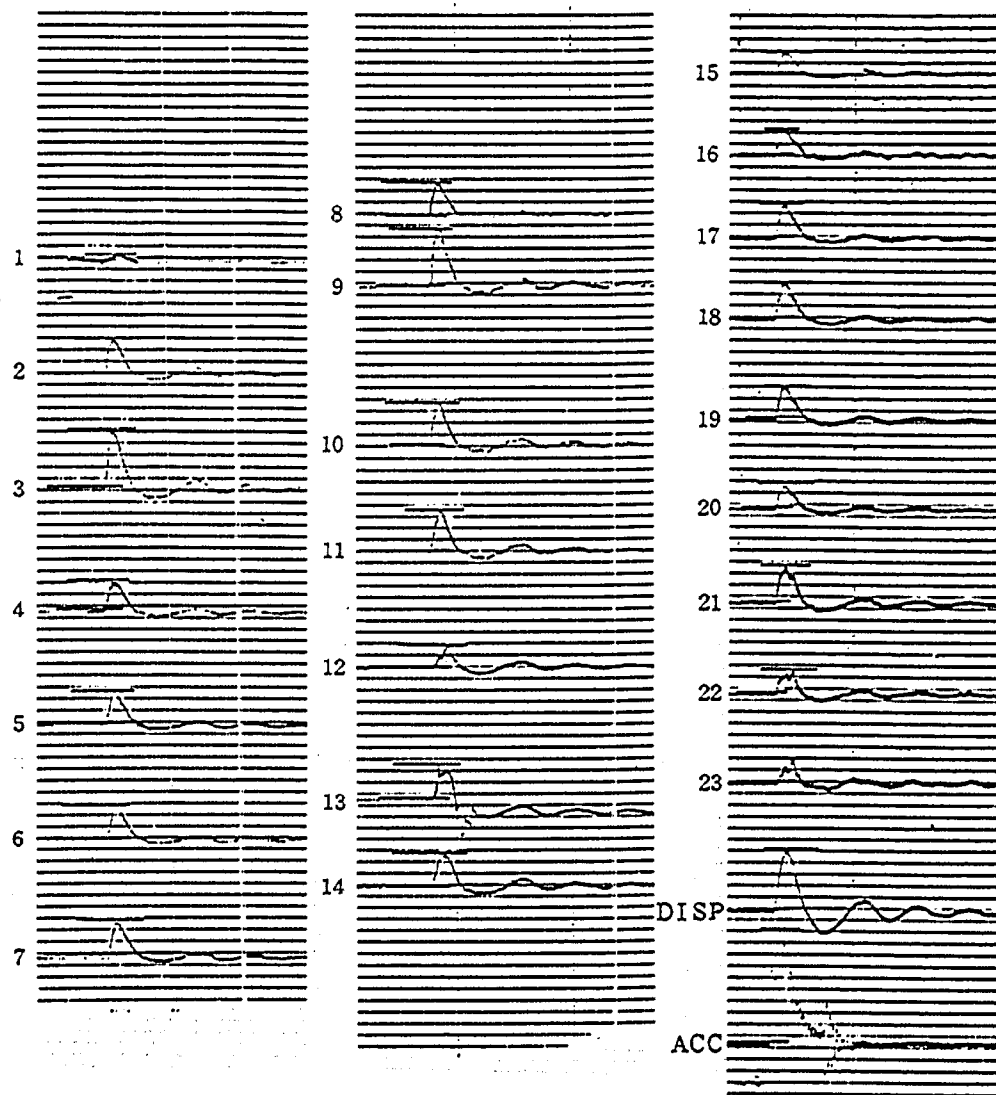


現象波形

付表-6

タイプ	供試体	試験 №	試験条件		
			砂層厚 (cm)	重錘 (kg)	落下高 (m)
S	鋼	S-6	50	100	8.0

		CAL値 (mm)	読み値 (mm)	測定値	校正係数
加 速 度		1000 μ 20	19.5	61.6	0.06313
変位	最大変位	500 μ 20	10.5	131	200
	残留変位	—	—	—	—
ひ ず み	1	200 μ 24.5	1.0	8	
	2	200 μ 25.0	6.0	48	
	3	200 μ 26.5	10.0	75	
	4	500 μ 25.0	5.0	100	
	5	500 μ 25.0	5.5	110	
	6	500 μ 25.5	6.0	118	
	7	500 μ 24.5	6.6.0	122	
	8	500 μ 25.5	6.0	118	
	9	200 μ 24.5	10.0	81	
	10	200 μ 24.5	7.0	57	
	11	200 μ 23.0	7.0	61	
	12	200 μ 26.0	4.0	31	
	13	200 μ 25.0	6.0	48	
	14	200 μ 24.5	5.5	45	
	15	500 μ 25.5	3.5	69	
	16	500 μ 25.0	4.5	90	
	17	500 μ 25.5	5.5	108	
	18	500 μ 26.0	6.0	115	
	19	500 μ 26.0	5.0	96	
	20	500 μ 25.5	4.0	78	
	21	200 μ 25.5	6.0	47	
	22	200 μ 25.0	4.0	32	
	23	200 μ 25.5	4.0	31	

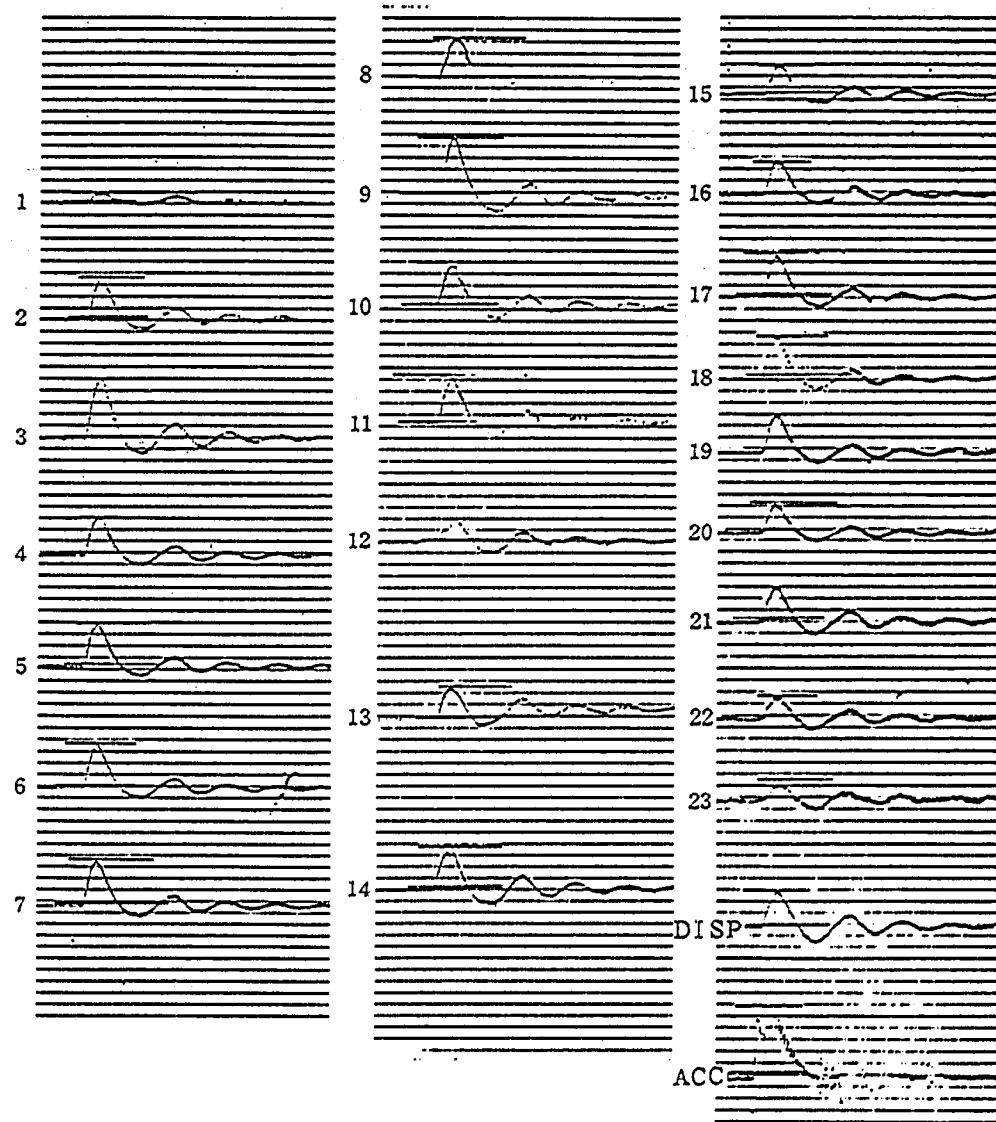


現象波形

付表-7

タイプ	供試体	試験 №	試験条件		
			砂層厚 (cm)	重錘 (kg)	落下高 (m)
S	鋼	S-7	70	100	4.0

		CAL値 (mm)	読み値 (mm)	測定値	校正係数
加 速 度		1000 μ 20	11	34.7	0.06313
変位	最大変位	500 μ 20.5	6	0.73	200
	残留変位	—	—	—	—
ひ ず み	1	100 μ 24.5	1.5	6	
	2	100 μ 24.5	7.0	29	
	3	100 μ 24.5	10.0	41	
	4	200 μ 25.0	6.0	48	
	5	200 μ 25.0	7.0	56	
	6	200 μ 25.0	7.0	56	
	7	200 μ 25.5	7.5	59	
	8	200 μ 25.5	6.5	51	
	9	100 μ 25.0	9.5	38	
	10	100 μ 25.0	7.0	28	
	11	100 μ 25.0	8.0	32	
	12	100 μ 25.5	3.5	14	
	13	100 μ 24.5	5.0	21	
	14	100 μ 24.0	7.0	29	
	15	200 μ 24.5	4.5	37	
	16	200 μ 24.5	5.5	45	
	17	200 μ 25.0	6.5	52	
	18	200 μ 25.0	6.5	52	
	19	200 μ 25.0	6.0	48	
	20	200 μ 25.0	5.0	40	
	21	100 μ 24.5	5.5	22	
	22	100 μ 24.5	5.5	22	
	23	100 μ 25.5	3.0	12	

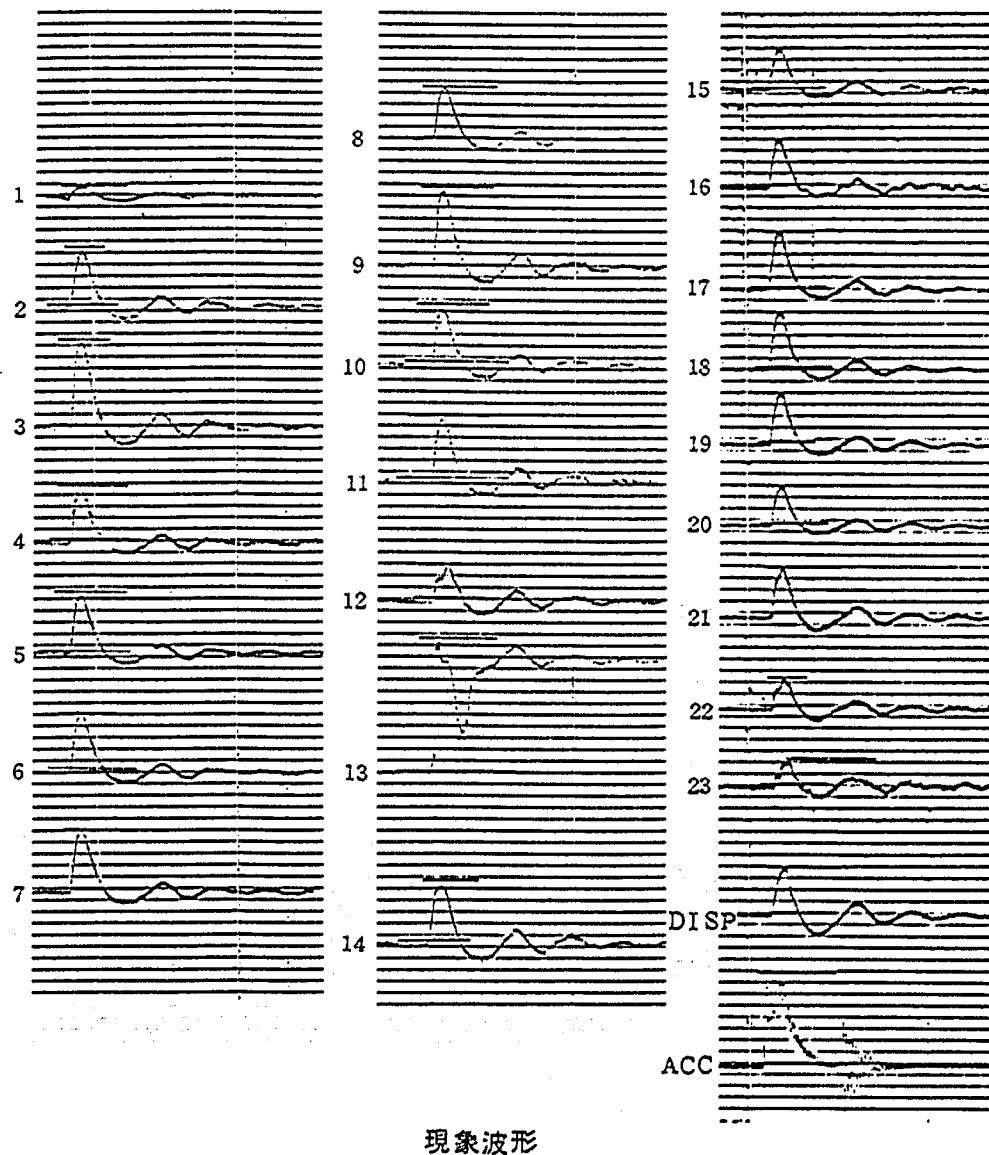


現象波形

附表-8

タイプ	供試体	試験法	試験条件		
			砂層厚 (cm)	重錘 (kg)	落下高 (m)
S	鋼	S-8	70	100	6.0

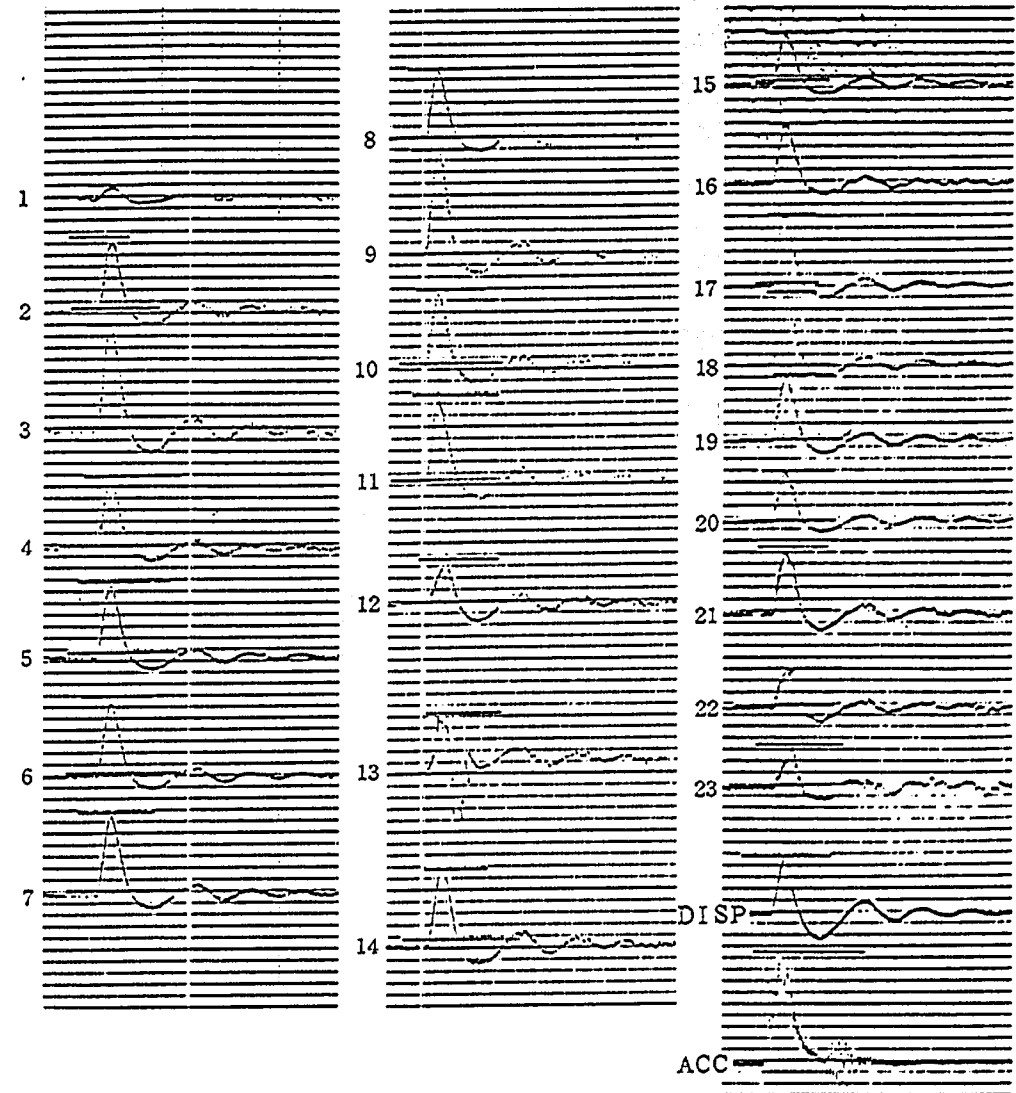
		CAL値 (mm)	読み値 (mm)	測定値	校正係数
加 速 度		1000 μ 20	15.5	48.9	0.06313
変位	最大変位	500 μ 20.5	8	0.98	200
	残留変位	—	—	—	—
ひ	1	100 μ 24.5	1.5	6	
	2	100 μ 24.5	10	41	
	3	100 μ 24.5	15	61	
	4	200 μ 25.0	9	72	
	5	200 μ 25.0	10	80	
	6	200 μ 25.5	9.5	75	
	7	200 μ 25.5	10	78	
	8	200 μ 25.5	9	71	
	9	100 μ 25.0	13.5	54	
き	10	100 μ 25.0	10	40	
	11	100 μ 25.0	11	44	
	12	100 μ 25.5	5.5	21	
	13	100 μ 24.5	—	—	
み	14	100 μ 24.0	10.5	44	
	15	200 μ 24.5	7.5	61	
	16	200 μ 24.5	8	65	
	17	200 μ 25.0	9.5	76	
	18	200 μ 25.0	9.5	76	
	19	200 μ 25.0	8.5	68	
	20	200 μ 25.0	6.5	52	
	21	100 μ 24.5	8	33	
	22	100 μ 24.5	5	20	
	23	100 μ 25.5	4.5	18	



付表-9

タイプ	供試体	試験№	試験条件		
			砂層厚 (cm)	重錘 (kg)	落下高 (m)
S	鋼	S-9	70	100	8.0

		CAL値 (mm)	読み値 (mm)	測定値	校正係数
加 速 度		1000 μ 20	19	60.0	0.06313
変位	最大変位	500 μ 20.5	9.5	1.16	200
	残留変位	—	—	—	—
ひ き み	1	100 μ 24.5	2	8	
	2	100 μ 24.5	12.5	51	
	3	100 μ 24.5	18	73	
	4	200 μ 25.0	11.5	92	
	5	200 μ 25.0	12	96	
	6	200 μ 25.5	13	102	
	7	200 μ 25.5	13	102	
	8	200 μ 25.5	11.5	90	
	9	100 μ 25.0	18	72	
	10	100 μ 25.0	13	52	
	11	100 μ 25.0	14.5	58	
	12	100 μ 25.5	7.5	29	
	13	100 μ 24.5	10.5	43	
	14	100 μ 24.0	12	50	
	15	200 μ 24.5	8.5	69	
	16	200 μ 24.5	10	82	
	17	200 μ 25.0	11.5	92	
	18	200 μ 25.0	12.5	100	
	19	200 μ 25.0	11	88	
	20	200 μ 25.0	8.5	68	
	21	100 μ 24.5	11	44	
	22	100 μ 24.5	6.5	27	
	23	100 μ 25.5	7	27	

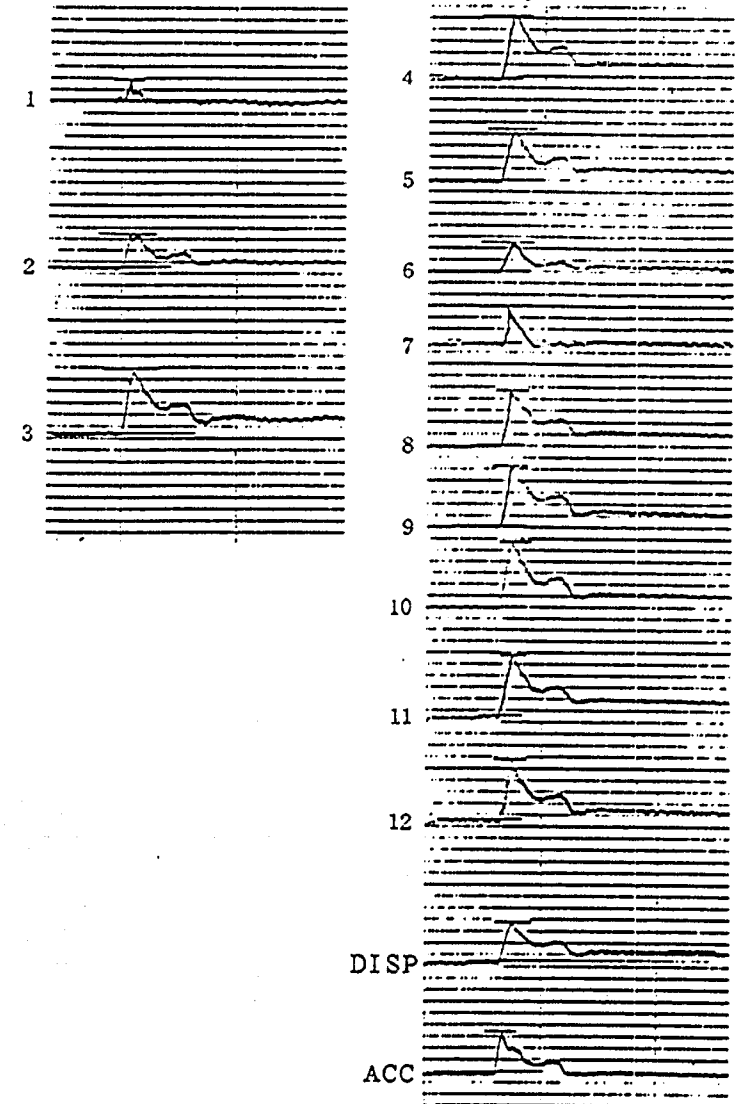


現象波形

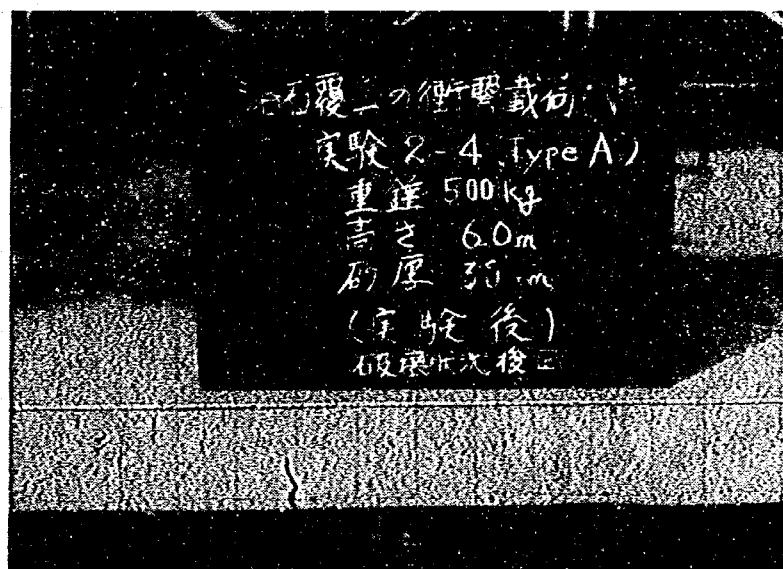
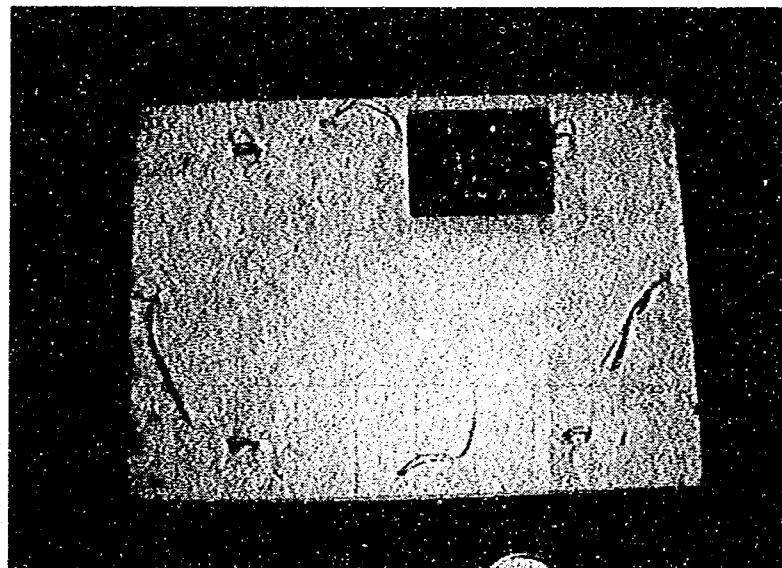
付表-10

タイプ	供試体	試験法	試験条件		
			砂層厚 (cm)	重錘 (kg)	落下高 (m)
A	鋼-コンクリート	A-1	30	500	6.0

		CAL値 (mm)	読み値 (mm)	測定値	校正係数
加速度		1000 μ 19.5	7.0	50.8	0.1414
変位	最大変位	2000 μ 20.0	6.5	3.3	200
	残留変位	—	2.0	1.0	200
ひ き み	1	1000 μ 32.0	3.5	109	
	2	2000 μ 32.0	6.0	375	
	3	2000 μ 33.0	11.0	667	
	4	2000 μ 28.5	11.0	772	
	5	2000 μ 30.0	9.0	600	
	6	2000 μ 29.0	5.0	345	
	7	1000 μ 31.5	6.5	206	
	8	2000 μ 29.0	9.0	621	
	9	2000 μ 30.5	10.5	689	
	10	2000 μ 30.0	11.5	767	
	11	2000 μ 27.5	10.5	763	
	12	2000 μ 32.0	10.5	656	



現象波形

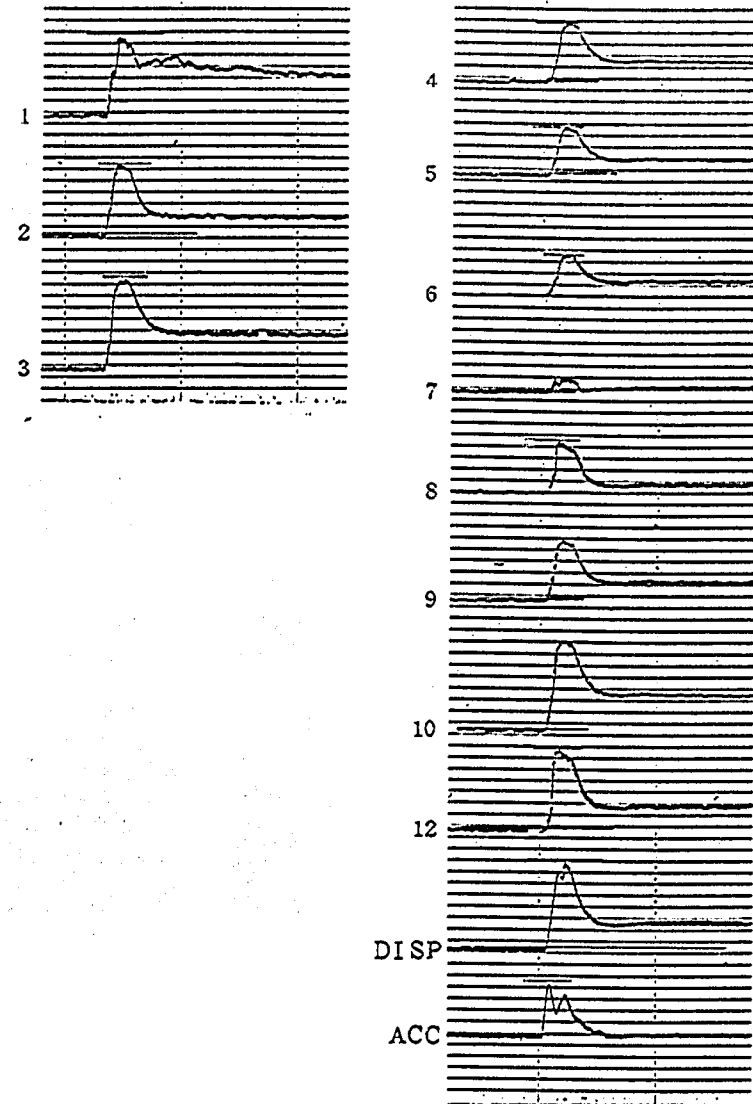


破壊状況写真

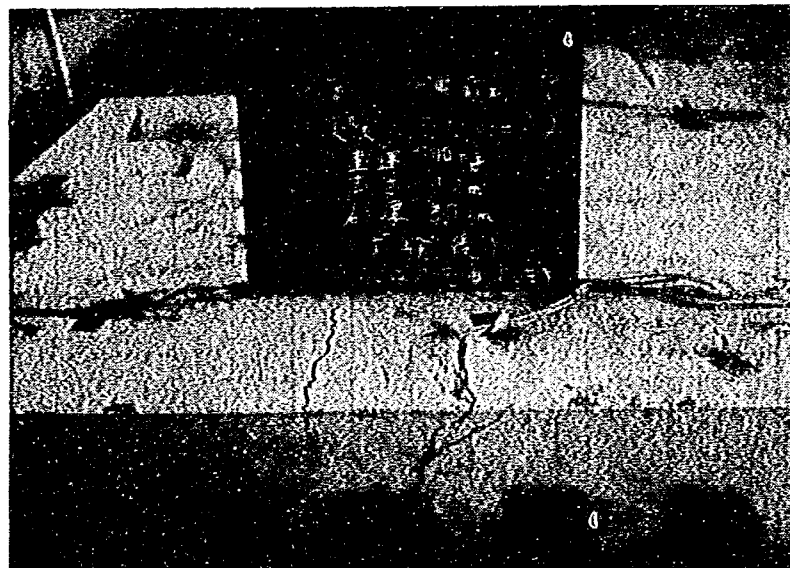
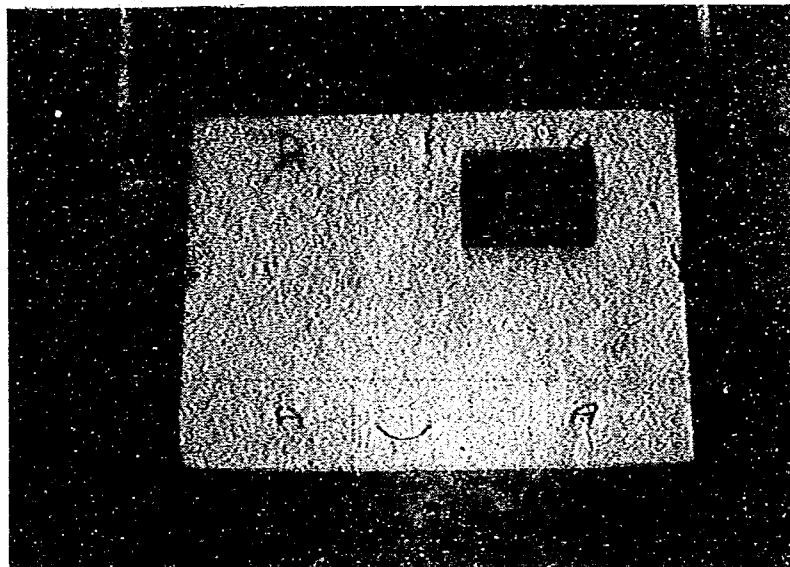
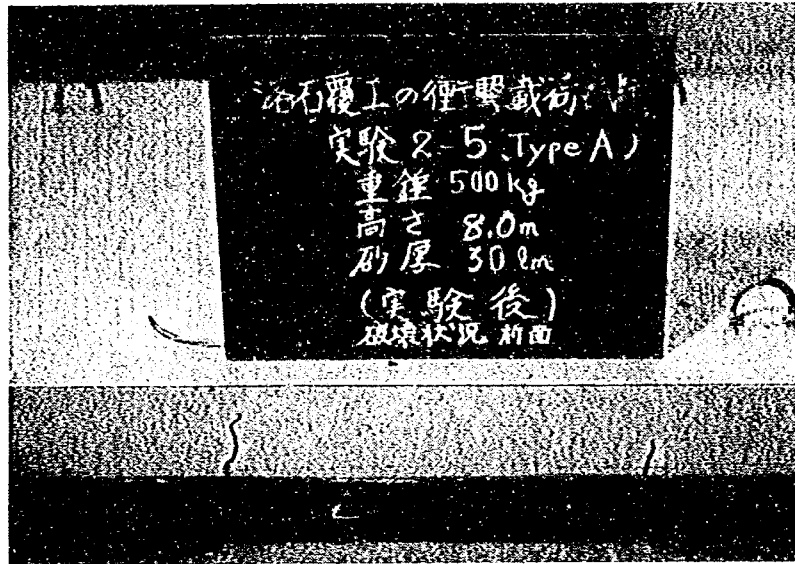
附表-11

タイプ	供試体	試験No	試験条件		
			砂層厚 (cm)	重錘 (kg)	落下高 (m)
A	鋼-コンクリート	A-2	30	500	8.0

		CAL値 (mm)	読み値 (mm)	測定値	校正係数
加 速 度		1000 μ 195	9.5	68.9	0.1414
変 位	最大変位	2000 μ 20.0	25.0	12.5	200
	残留変位	—	4.5	2.3	200
ひ ず み	1	1000 μ 31.0	13.5	435	
	2	2000 μ 31.5	12.0	762	
	3	3000 μ 33.0	15.5	1409	
	4	3000 μ 29.5	10.0	1017	
	5	3000 μ 31.0	8.0	774	
	6	2000 μ 29.0	7.0	483	
	7	2000 μ 31.5	2.5	158	
	8	3000 μ 30.0	9.0	900	
	9	3000 μ 33.0	10.5	955	
	10	3000 μ 32.5	15.0	1385	
	11	不 良	—	—	
	12	3000 μ 32.0	14.0	1312	



現象波形

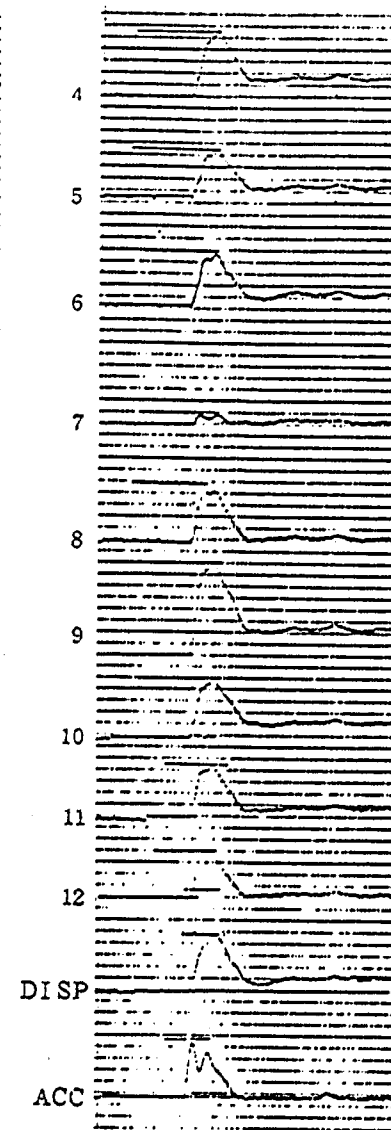
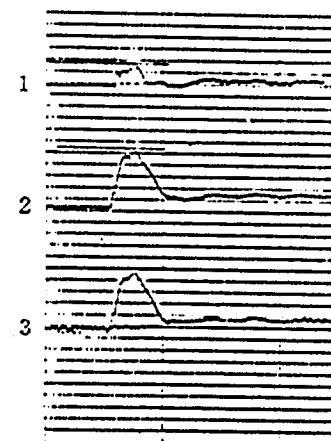


破壊状況写真

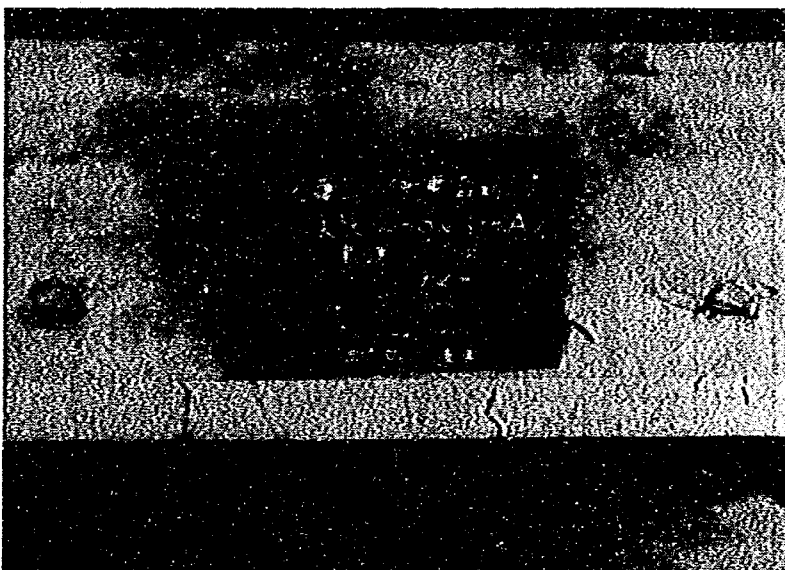
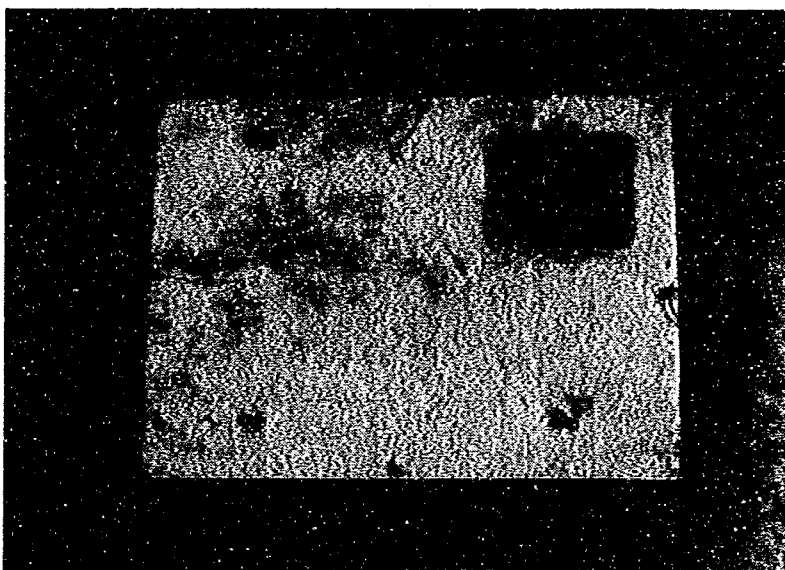
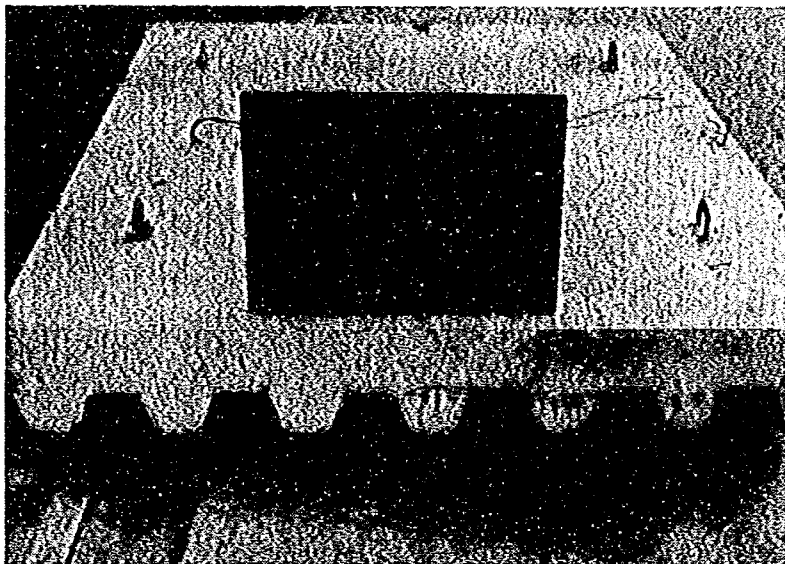
付表-12

タイプ	供試体	試験No	試験条件		
			砂層厚 (cm)	重錘 (kg)	落下高 (m)
A	鋼-コンクリート	A-3	30	500	9.2

		CAL値 (mm)	読み値 (mm)	測定値	校正係数
加 速 度		1000 μ 20.0	10.0	70.7	0.1414
変位	最大変位	4000 μ 20.0	17.5	17.5	200
	残留変位	—	3.0	3.0	200
ひ ず み	1	2000 μ 30.0	4.0	267	
	2	3000 μ 29.5	10.0	1017	
	3	4000 μ 30.5	10.5	1377	
	4	4000 μ 30.0	11.0	1467	
	5	4000 μ 30.0	8.0	1067	
	6	2000 μ 29.5	9.0	610	
	7	2000 μ 29.0	2.0	138	
	8	3000 μ 30.0	10.0	1000	
	9	3000 μ 30.5	16.0	1574	
	10	4000 μ 31.0	10.5	1355	
	11	4000 μ 29.5	9.5	1220	
	12	4000 μ 30.0	8.0	1067	



現象波形

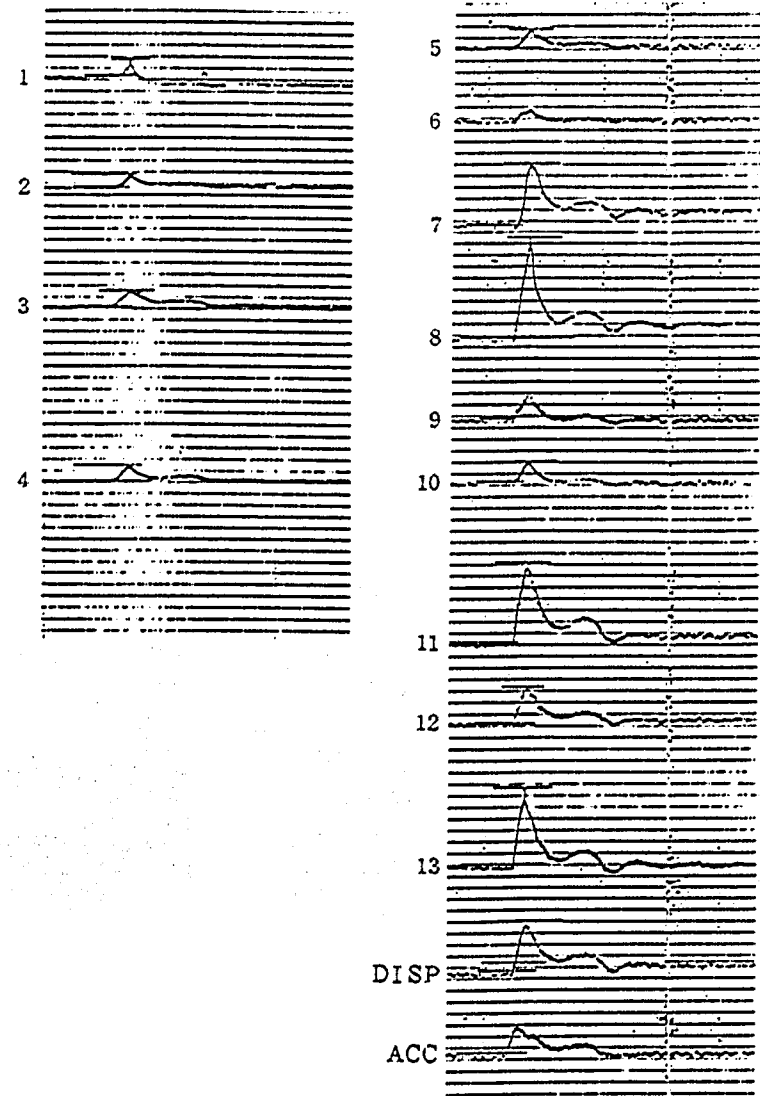


破壞狀況写真

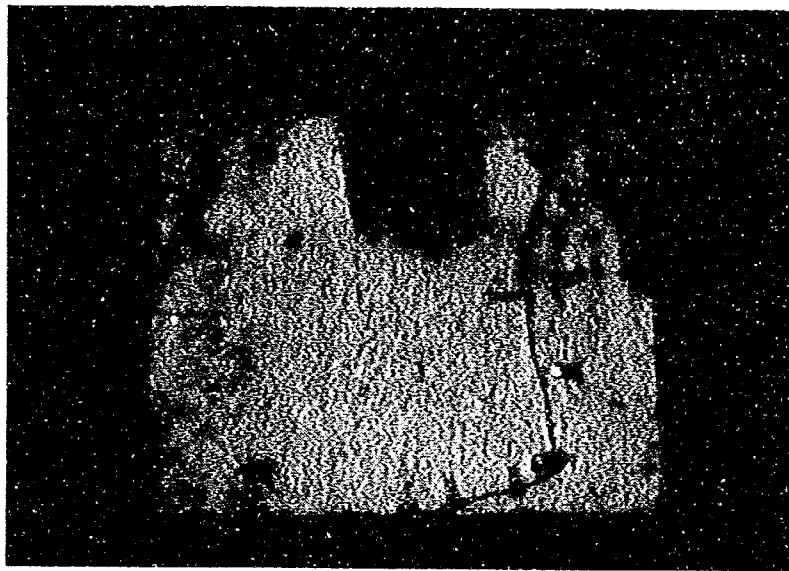
付表-13

タイプ	供試体	試験No	試験条件		
			砂層厚 (cm)	重錘 (kg)	落下高 (m)
B	鋼-コンクリート	B-1	50	500	6.0

		CAL値 (mm)	読み値 (mm)	測定値	校正係数
加速度		1000 μ 20.0	5.0	35.4	0.1414
変位	最大変位	1000 μ 19.5	8.5	21.8	20
	残留変位	—	1.0	0.26	20
ひずみ	1	200 μ 29.5	3.0	20	
	2	1000 μ 28.0	2.5	89	
	3	1000 μ 29.5	3.0	102	
	4	1000 μ 29.5	3.0	102	
	5	1000 μ 40.0	3.5	88	
	6	500 μ 39.5	2.0	25	
	7	200 μ 40.0	11.0	55	
	8	200 μ 12.0	17.5	292	
	9	500 μ 40.5	4.5	55	
	10	1000 μ 40.5	3.5	86	
	11	1000 μ 39.5	14.0	25	
	12	1000 μ 41.0	6.0	146	
	13	200 μ 12.5	13.5	216	



現象波形

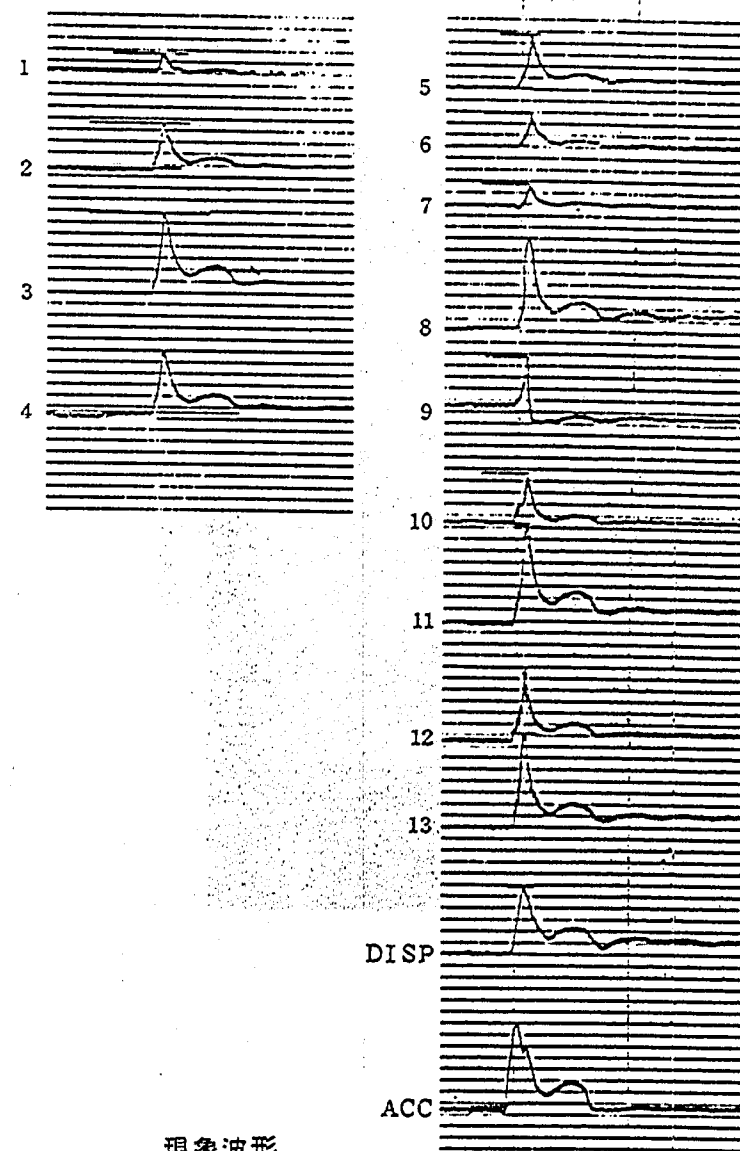


破壞狀況写真

付表-14

タイプ	供試体	試験No	試験条件		
			砂層厚 (cm)	重錘 (kg)	落下高 (m)
B	鋼-コンクリート	B-2	50	500	9.2

		CAL値 (mm)	読み値 (mm)	測定値	校正係数
加 速 度		500 μ 20.0	14.5	51.3	0.1414
変位	最大変位	1000 μ 20.0	11.5	2.88	200
	残留変位	—	3.0	0.75	200
ひ ず み	1	200 μ 26.0	3.0	23	
	2	500 μ 24.0	7.5	156	
	3	500 μ 26.5	13.5	255	
	4	500 μ 26.0	11.0	212	
	5	500 μ 24.0	9.0	187	
	6	500 μ 24.5	5.5	112	
	7	200 μ 25.0	3.5	28	
	8	200 μ 5.0	15.5	620	
	9	500 μ 25.5	8.0	157	
	10	500 μ 25.0	8.0	160	
	11	500 μ 10.0	16.5	825	
	12	500 μ 24.5	12.5	255	
	13	200 μ 6.5	16.5	508	



現象波形

the following are some of the most common types of errors found in the original manuscript:

- 1. The first error is a missing comma after the word "and".
- 2. The second error is a missing space between the words "the" and "of".
- 3. The third error is a missing period at the end of the sentence.

The corrected version of the text is as follows:

The first error is a missing comma after the word "and".

The second error is a missing space between the words "the" and "of".

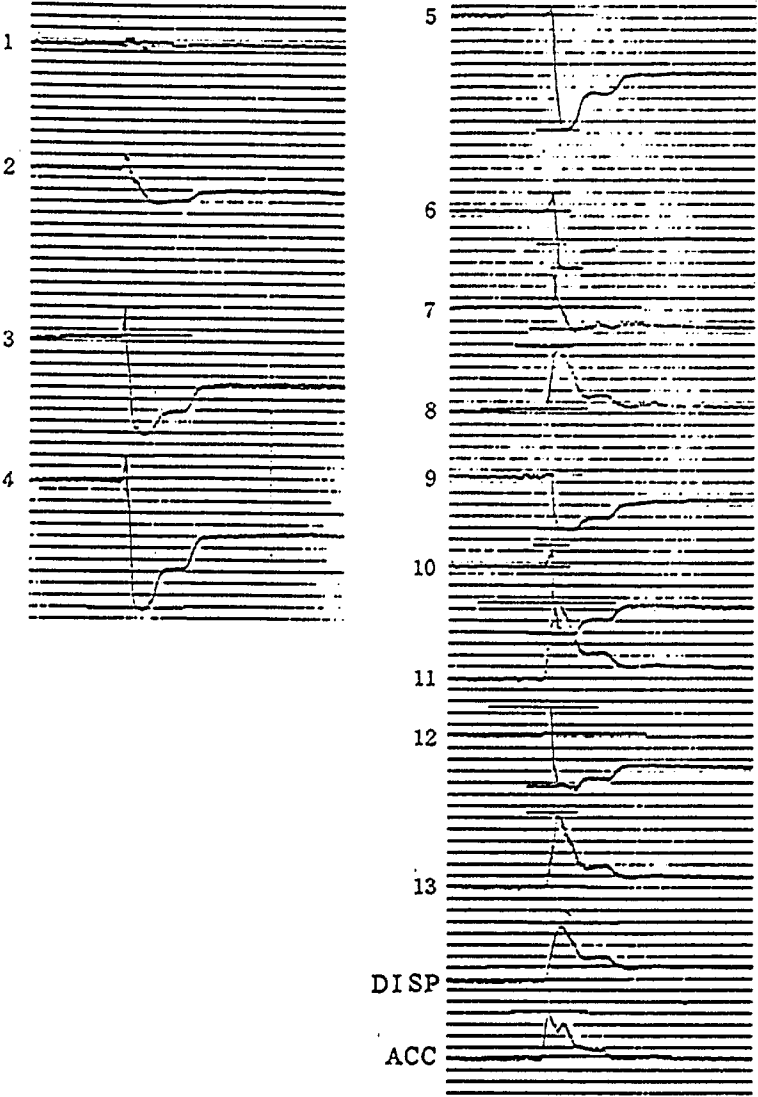
The third error is a missing period at the end of the sentence.

10

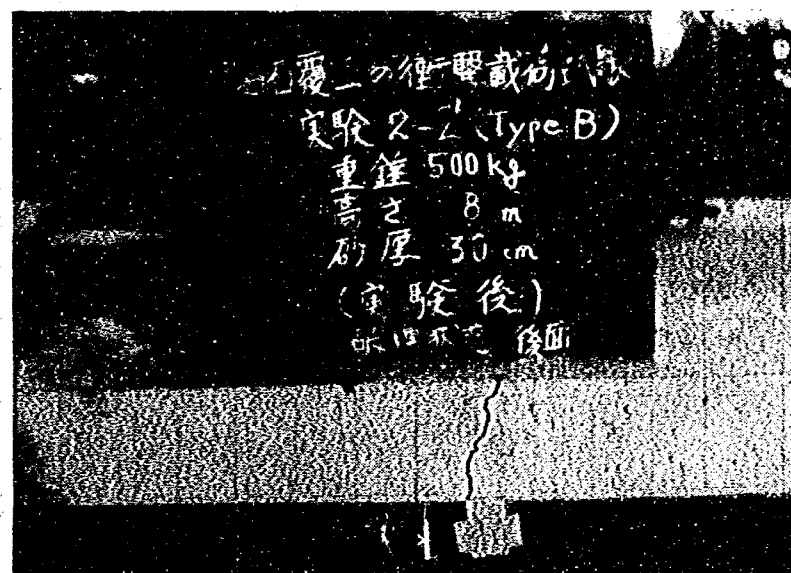
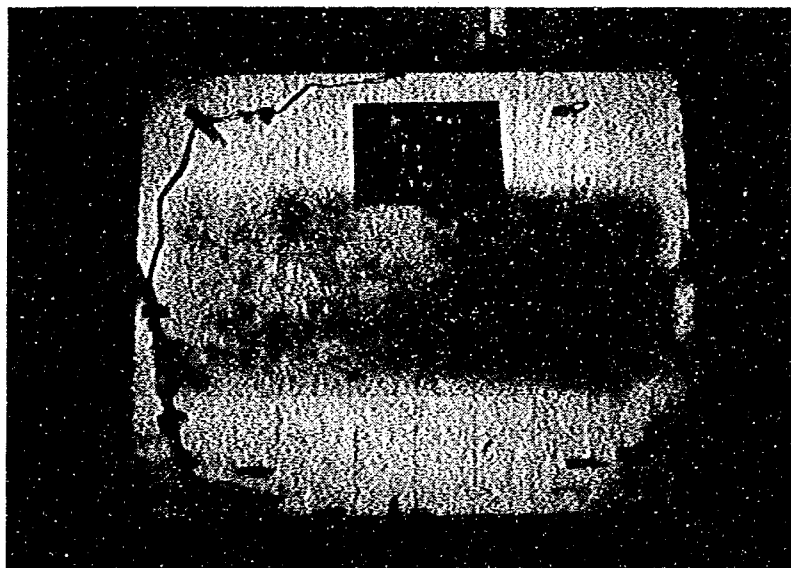
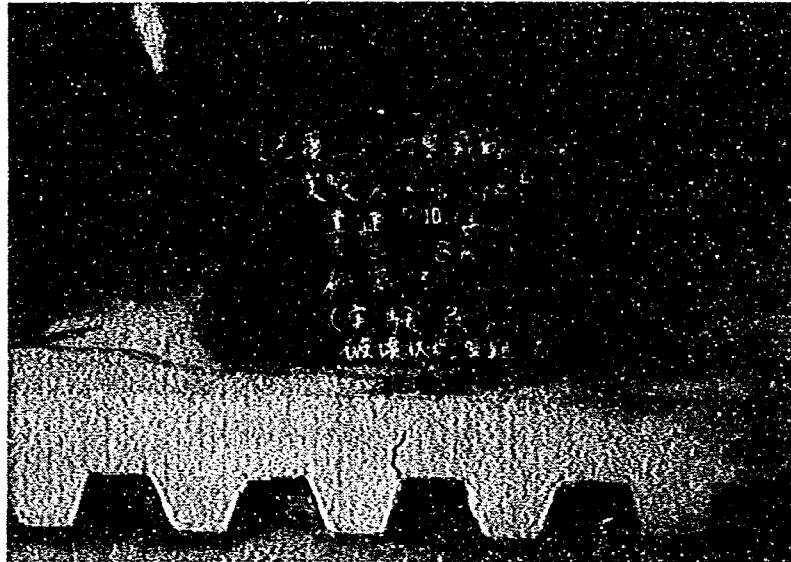
付表-15

タイプ	供試体	試験 №	試験条件		
			砂層厚 (cm)	重錘 (kg)	落下高 (m)
B	鋼-コンクリート	B-3	30	500	8.0

		CAL値 (mm)	読み値 (mm)	測定値	校正係数
加速度		1000 μ 20.0	8.0	56.6	0.1414
変位	最大変位	2000 μ 20.0	10.0	5.00	200
	残留変位	—	2.5	1.25	200
ひずみ	1	500 μ 30.0	0.5	8	
	2	1000 μ 29.0	2.0	69	
	3	1000 μ 31.5	5.0	159	
	4	1000 μ 32.0	4.0	125	
	5	1000 μ 30.0	1.5	50	
	6	1000 μ 30.0	3.0	100	
	7	500 μ 29.0	11.0	190	
	8	2000 μ 29.0	11.0	76	
	9	1000 μ 30.0	-9.5	-317	
	10	1000 μ 30.0	4.0	133	
	11	2000 μ 29.5	13.0	881	
	12	1000 μ 29.0	4.5	155	
	13	2000 μ 30.0	12.5	833	



現象波形

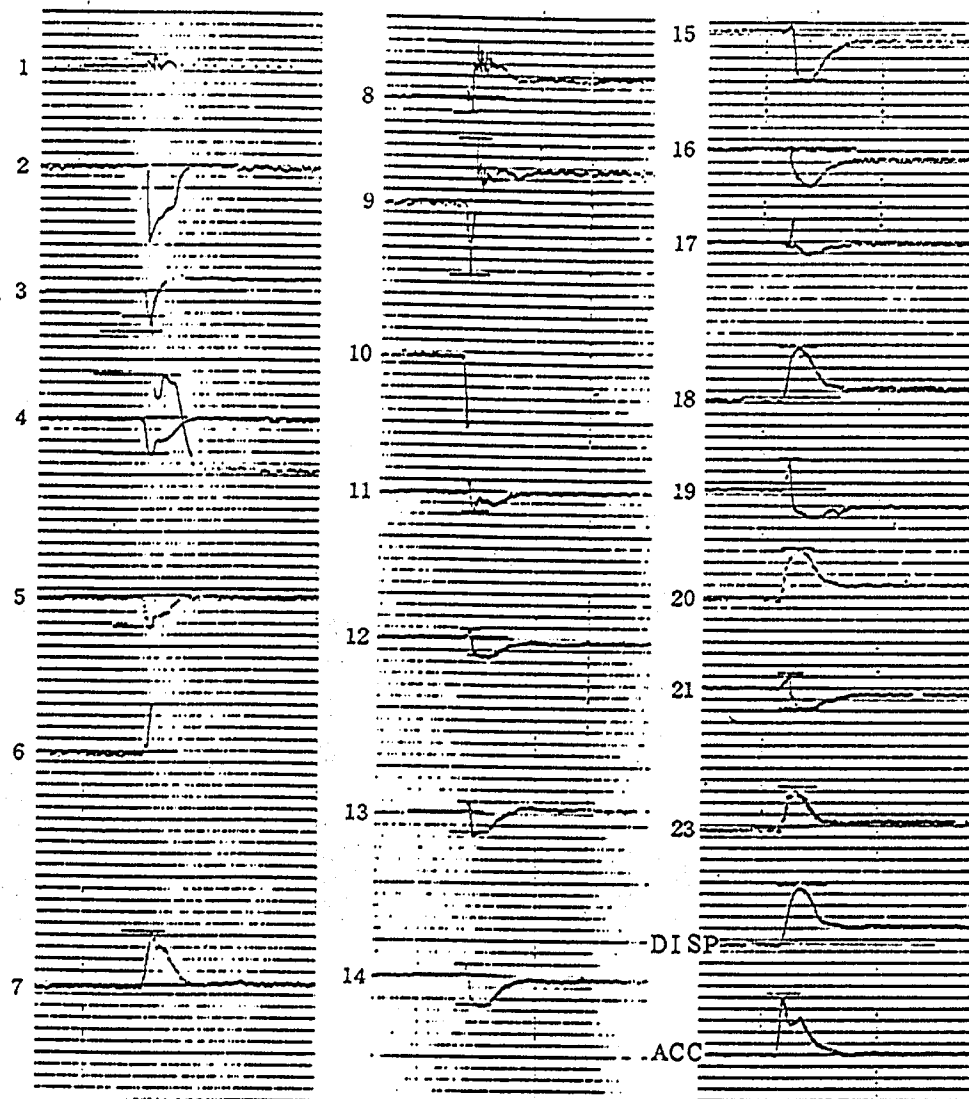


破壊状況写真

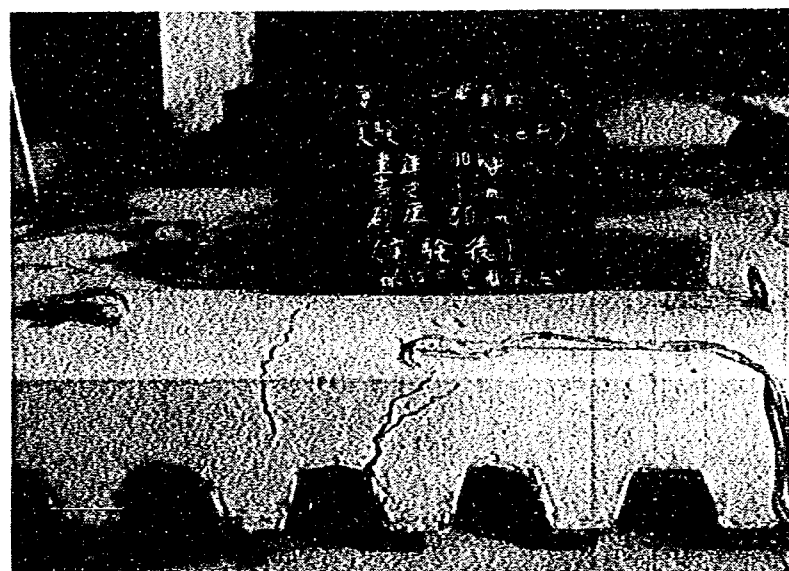
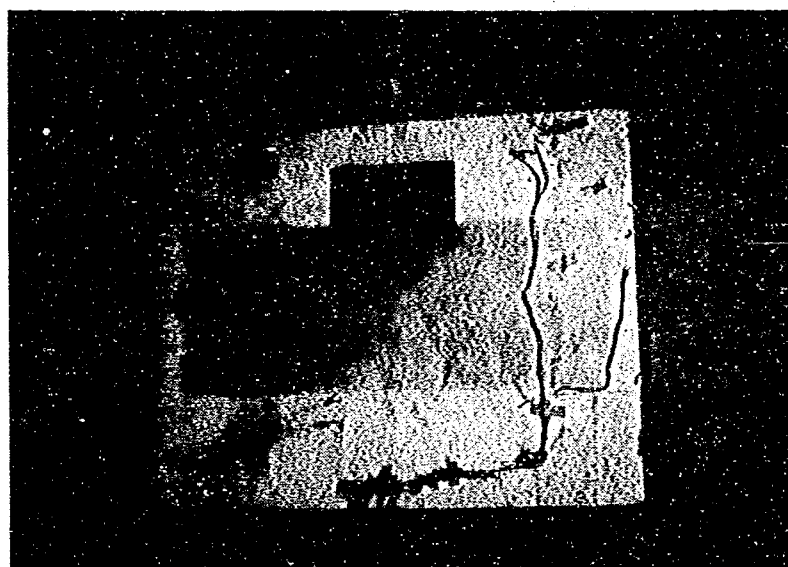
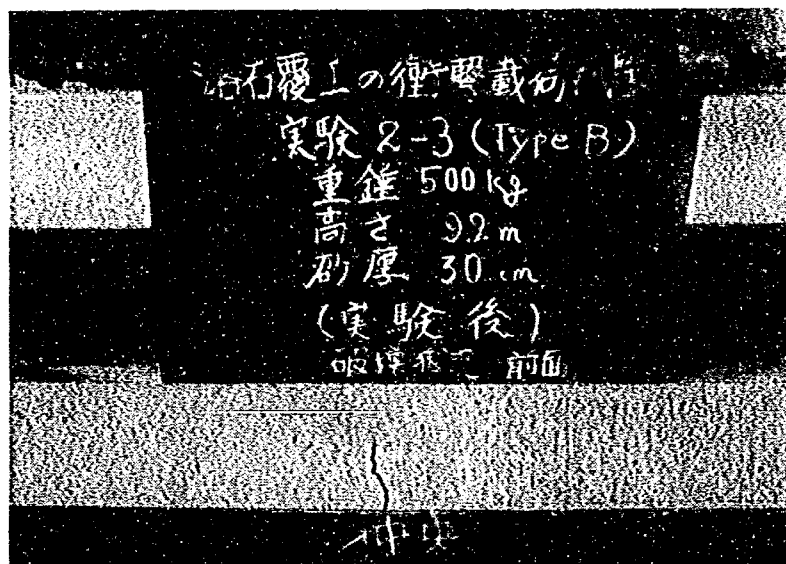
付表-16

タイプ	供試体	試験法	試験条件		
			砂層厚 (cm)	重錘 (kg)	落下高 (m)
B	鋼-コンクリート	B-4	30	500	9.2

		CAL値 (mm)	読み値 (mm)	測定値	校正係数
加 速 度		1000 μ 19.5	10.5	76.1	0.1414
変 位	最大変位	4000 μ 20.0	10.0	10.0	200
	残留変位	—	3.5	3.5	200
ひ ず み	1	1000 μ 31.0	2.0	67	
	2	3000 μ 30.0	1.0	100	
	3	3000 μ 30.0	1.5	150	
	4	3000 μ 30.0	1.5	150	
	5	2000 μ 30.0	1.0 (-8.5)	67 (-567)	
	6	2000 μ 30.5	0.5 (-6.5)	34 (-426)	
	7	1000 μ 29.0	4.0 (-2.0)	138 (-69)	
	8	3000 μ 30.5	8.5	836	
	9	不良	—	—	
	10	2000 μ 30.0	5.5 (-5.0)	367 (-333)	
	11	3000 μ 30.5	8.5	836	
	12	2000 μ 30.0	2.5 (-3.5)	167 (-233)	
	13	3000 μ 32.0	7.0	656	



現象波形

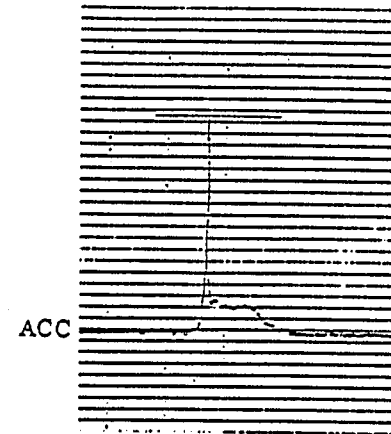


破壊状況写真

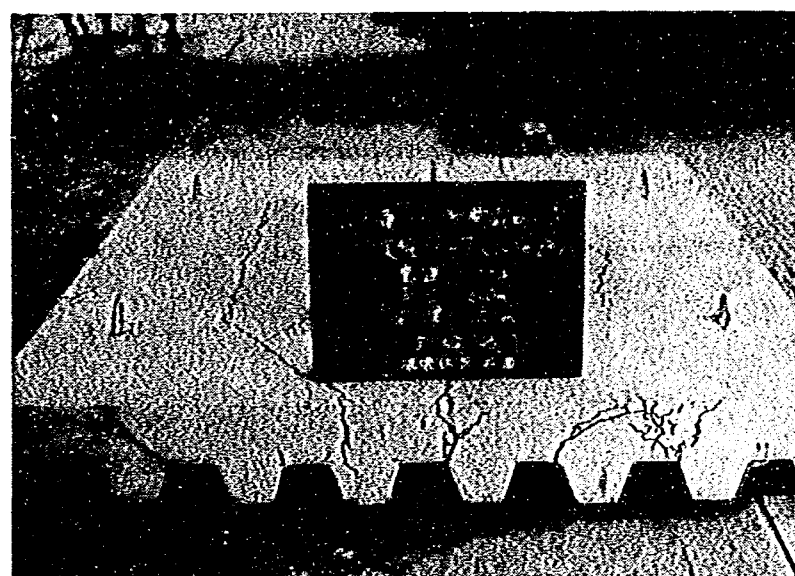
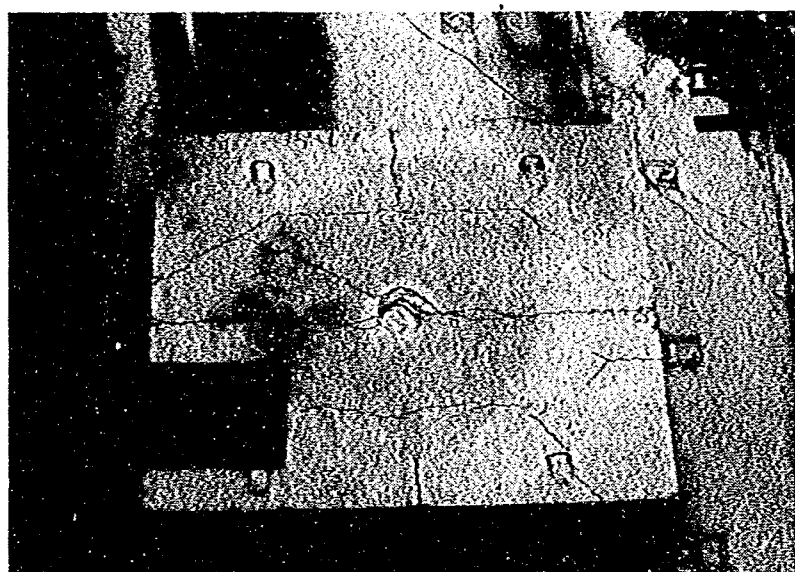
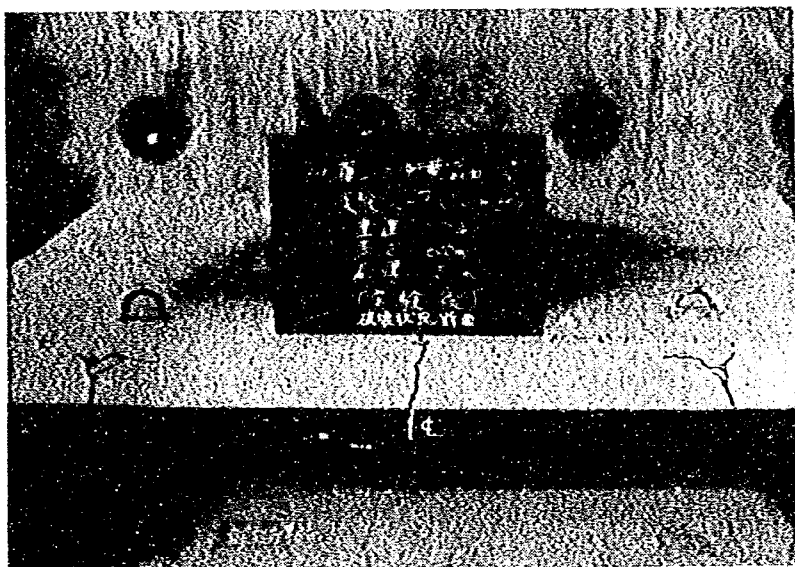
付表-17

タイプ	供試体	試験法	試験条件		
			砂層厚 (cm)	重錘 (kg)	落下高 (m)
B	鋼-コンクリート	参考	5	500	6.0

	CAL値 (mm)	読み値 (mm)	測定値	校正係数
加速度	1000 μ 20.0	37.0	261.6	0.1414
最大変位	—	—	35.0	—



現象波形



破壞狀況写真

衝撃力を受ける落石覆工部材に
関する実験報告書(II)

ISSN 0386-5878

土研資料 第2054号

昭和59年3月(1984)

キーワード: 落石覆工, 衝撃力

建設省 土木研究所橋梁研究室
佐伯彰一, 西川和廣, 井川敏正

要 旨

落石覆工が砂層を介して、衝撃力を受けた際の供試体の挙動および、本報告で示された落石覆工の設計法の安全性に関する報告である。



郵便はがき

40円切手
をはって
下さい

305-□□

建設省土木研究所

橋梁研究室 御中

茨城県筑波郡豊里町大字旭一番地

No. 17

No. 17

配布先氏名

配布先住所





土木研究所資料第2054号 部

上記のとおり受領しました。

所 属 (住所)

氏 名

印

