

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)

昭和 57 年 11 月

建設省土木研究所
構造橋梁部橋梁研究室

Copyright © (1 9 8 2) 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

道路整備が山岳地域にまで及ぶようになるにしたがい、交通車両を落石等による被害から守るための施設が重要視されるようになってきた。落石等に対する防護施設としては種々のものを使用されているが、道路を完全に覆ってしまう落石覆工（洞門工）は、もっとも確実な方法の一つと考えられており、費用がもっとも高いものであるにもかかわらず、人命尊重の思想から近年その数が増加している。

落石覆工は、他の落石防護工（防止柵や網など）と比べコストが高く、施設の規模も大きいことから永久構造物あるいはそれに準ずるものとして取扱われる。しかしながら、落石覆工の設計に関する明確な基準は示されておらず、各発注体によりまちまちであるのが現状であり、その統一が必要となっている。

このようなことから、建設省土木研究所では、橋梁、動土質、急傾斜地崩壊の3研究室により、落石覆工の設計基準の作成を目標として、各種実験を含む検討を続けている。橋梁研究室では、衝撃力を受ける落石覆工部材の設計方法に関する検討を担当しているが、ここに報告するのは、上記の目的のために実施している一連の実験のうち、これまでに終了したものの結果をとりまとめたものである。なお、実験は主として落石荷重により部材の諸元が決定される屋根部材を対象としており、床版供試体（ $2,400 \times 2,400 \text{ mm}$ ）による落錘試験と、はり供試体（ $250 \times 2,200 \text{ mm}$ ）の落錘による破壊試験から成っている。

本実験を遂行するにあたり、助言を頂いた土木研究所動土質研究室、実験を担当した株式会社建設企画コンサルタントの各位に、感謝の意を表明する次第である。

昭和57年11月

橋梁研究室	室 長	佐 伯 彰 一
	研究員	西 川 和 廣
		井 川 敏 正

目 次

まえがき

1. 従来の落石覆工の設計における問題点	1
2. 本実験の目的	7
3. 実験方法	8
3.1 実験概要	8
3.2 供試体	8
3.2.1 床版供試体	8
3.2.2 はり供試体	8
3.3 実験装置	9
3.3.1 重錘および落下装置	9
3.3.2 サンドクッション用土槽	9
3.3.3 計測装置	9
4. 実験結果と考察	19
4.1 床版供試体の落錘試験	19
4.1.1 床版のひずみ分布	20
4.1.2 計算値との比較	20
4.2 はり供試体の破壊試験	21
4.2.1 供試体に作用する衝撃力	21
4.2.2 衝撃荷重と供試体のひずみ	22
4.2.3 衝撃荷重と供試体の変形	23
5. これまでの結果と今後の課題	31
付表 はり供試体破壊試験の計測データと破壊状況写真	33

1. 従来の落石覆工の設計における問題点

落石覆工部材の落石荷重による設計は、これまで落石による衝撃力を静的荷重に置き換え、通常の構造物と同様の考え方で行われてきた。落石防止柵、防止網および防止よう壁の設計では、全体あるいは一部にエネルギー概念が導入されているが、落石覆工の場合には構造物が大規模で複雑なこと、他の静的荷重との組合せで決定される部材が多いことなどから、エネルギー概念を導入するには解決すべき問題が多く、また、落石防護工としては最も高価な形式であることから、安易に変形を許容するような設計をするのは現在のところ適当とは思われない。

したがって、当面は従来通り落石による衝撃荷重を静的荷重に置き換えて設計することとし、その精度を高めてゆくことが必要だと考えられる。

これまでに、落石覆工の設計法を示したものとして次の5点がある。

- 1) 落石防護施設の設置に関する調査研究報告書⁽¹⁾、高速道路調査会
- 2) 落石対策の手引(改訂版)⁽²⁾、日本国有鉄道
- 3) 道路防災工対策、設計要領⁽³⁾、北海道開発局
- 4) 「新しい落石覆の開発に関する研究」研究報告書⁽⁴⁾、鋼材倶楽部
- 5) 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⁽⁵⁾、金沢大学工学部、日本サミコン株式会社

これらは、すべて落石の衝撃力を静的荷重に置き換えている点では一致しているが、その他の内容についてはまちまちである。さらに、発注者あるいは設計者によっては、これら以外の独自の考え方によっていることも多い。このため現実に設計されている落石覆工の強度レベルには、かなりのばらつきがあるものと予想される。したがって、落石覆工の設計に関しては、設計の精度を高めることと同時に、設計基準の統一をはかることが重要であろうと考えられる。

落石の規模(落石重量、落下高など)が決定された以後の段階において、検討を要すると思われる事項について、これまで行われてきた方法の紹介を兼ねて以下に述べることにする。なお、(1)については本来動土質研究室の分担事項であるが、若干関連することもあるので、概略を述べることにする。

(1) 落石による推撃力の推定式

衝撃力の推定式は、以下に示す1つの理論式と2つの実験式のいずれかを用いているのが普通である。実験式においては、落石の衝突時に発生する衝撃加速度と落石重量の積をそのまま静的荷重に置き換えて使用しており、その点に関する検討は行われていない。

a. 振動便覧による推定式⁽⁶⁾

落石の衝突現象を弾性体間の衝突現象とみなし、Hertzの衝突理論を適用して導いた式で、落石を球形、被衝突面を平面と仮定し、さらに落石の比重を2.6に仮定した時に、最大衝撃力 P_{max} は次式で与えられる。

$$P_{max} = 2.455 W^{2/3} \cdot \lambda^{2/5} \cdot H^{3/5} \quad (1-1)$$

ここに W : 落石重量 (ton)

H : 落下高さ (m)

λ : ラーメの定数 (ton/m²)

非常に軟らかい土に対して	100 ton/m ²
軟らかい土に対して	300～500 ton/m ²
固い土に対して	1,000 ton/m ²

この式を用いる場合、ラーメの定数の設定が問題になるが、100あるいは300を用いていることが多い。

b. 鋼材倶楽部による推定式⁽⁴⁾

鋼製覆工を対象に鋼材倶楽部が求めたもので、(1-2)で表わされる。

$$P = W \cdot \frac{\alpha}{g} \quad (1-2)$$

ここに P : 衝撃力 (ton)

W : 落石荷重 (ton)

α : 衝撃加速度 (cm/sec²)……図1-1による。

g : 重力加速度 (cm/sec²)

図1-1は、実物大の鋼製覆工供試体を対象とした実験結果より求めたもので、屋根版はスラブプレートをコンクリートで充てんした構造で、緩衝材には厚さ50cmの川砂を用いている。また、実験に用いた落錘は0.3～1.0 tonであり、その落下高は3～10cmである。

c. 吉田らの推定式⁽⁵⁾ほか

プレストレスコンクリート製覆工を対象に、実験的に求められた推定式であり、(1-3)により表わされる。

$$P = \frac{W}{g} \cdot \frac{2}{T_0} \sqrt{2gH} \quad (1-3)$$

ここに P : 衝撃力 (ton)

W : 落石重量 (ton)

g : 重力加速度 (m/sec²)

T₀ : 落石の停止時間 (sec)……表1-1による

H : 落石の落下高さ (m)

表1-1 緩衝材の種類とT₀

緩衝材	T ₀
砕砂	0.0102H + 0.0755
海砂	0.0051H + 0.0614
山砂	0.0220H + 0.0485

この推定式は、プレストレストコンクリート製の屋根版上に、厚さ30cm～150cmの緩衝材を敷きならし、0.3, 1.0, 3.0 tonの落錘を高さ1～14cmから落下させた実験から求めたものである。

(2) 落石荷重の載荷方法

サンドクッション上に落下した落石荷重を、クッション中における力の分散を考慮し、ある面

積に等分布荷重として構造物に載荷する点については、すべての基準額、および実例において一致している。しかし、クッション中における力の分散の仮定方法については、調査した9の設計例中実に5種類の方法を使用していることが明らかになった。以下にそれぞれについて紹介する。

- a. サンドクッション上の1点から、クッション中を45°の角度で分散し、円形の部分に等分布荷重を載荷する(図1-2(a))。
- b. 球形と仮定した落石が、その半径の1/2分だけ砂中にめり込むと考え、めり込んだ状態における落石とクッション表面の接する円から、クッション中を45°の角度で分散すると考える(図1-2(b))。
- c. 落石の直径に等しい円から、45°の角度でクッション中を分散すると仮定する(図1-2(c))。
- d. 仮定はcと同じであるが、簡略化のため等分布荷重の載荷部分を正方形に置き換えている(図1-2(d))。
- e. 考え方はcと同じであるが、屋根版厚1/2についても45°の角度で分散すると仮定するもの(図1-2(e))。

以上の載荷方法は、後に紹介したもの程危険側の仮定となっており、落石重量1 ton(直径90 cm)、サンドクッション厚90 cm、屋根版厚80 cmとした場合、等分布荷重の大きさは、eとaで5倍以上異っている。

(3) 荷重の組合せと許容応力度の割増し率

落石時に対する荷重の組合せと許容応力度の割増し率は、表1-2に示すa~cの3つの系列に分類することができるが、どれにも該当しないものも少なくない。新防雪工学ハンドブック⁽⁸⁾の規定を準用したcのケースは、許容応力度も道路橋示方書⁽⁷⁾と異なっているなど特殊な例であるが、その他はほぼ道路橋の設計に準じており、堆積土および温度応力の取り扱いに差がみられる程度である。

表1-2 落石時に対する荷重の組合せと許容応力度の割増率

荷重の種類 ケース	死荷重	クッション	落石	堆積土	温度変化	許容応力度の割増率		備考
						コンクリート部	鋼部材	
a	○	○	○	○		1.65	(1.70)	北海道開発局
b	○	○	○	○		1.65	(1.70)	国鉄
	○	○	○	○	○			
c	○	○	○			1.45	1.45	新防雪工学 ハンドブック
d (その他)	○	○	○	不明		1.50	1.70	1例

注 () 付きは基準には明記されていない。

表 1 - 3 各発注者等における設計方法の比較

発注体等	(1) 衝撃力確定式	(2) 荷重の載荷方法	(3) 荷重の組合せと 許容応力度の割増率
高速道路調査会 (1) (日本道路公団)	a, b 併記 ($a = 100 \sim 300$)	a	—
国 鉄	a, b 併記 ($\lambda = 100 \sim 300$)	b	b
北海道開発局	a ($\lambda = 100 \sim 300$)	a	a
鋼材倶楽部	b	c	—
金沢大学	c	—	—
A 地 建	a $\lambda = 100$	a	a
B 地 建	コンクリート製 a, $\lambda = 300$ 鋼製 b	c, d, e	b
C 県	a $\lambda = 100$	b	d
D 県	不 明	不 明	c

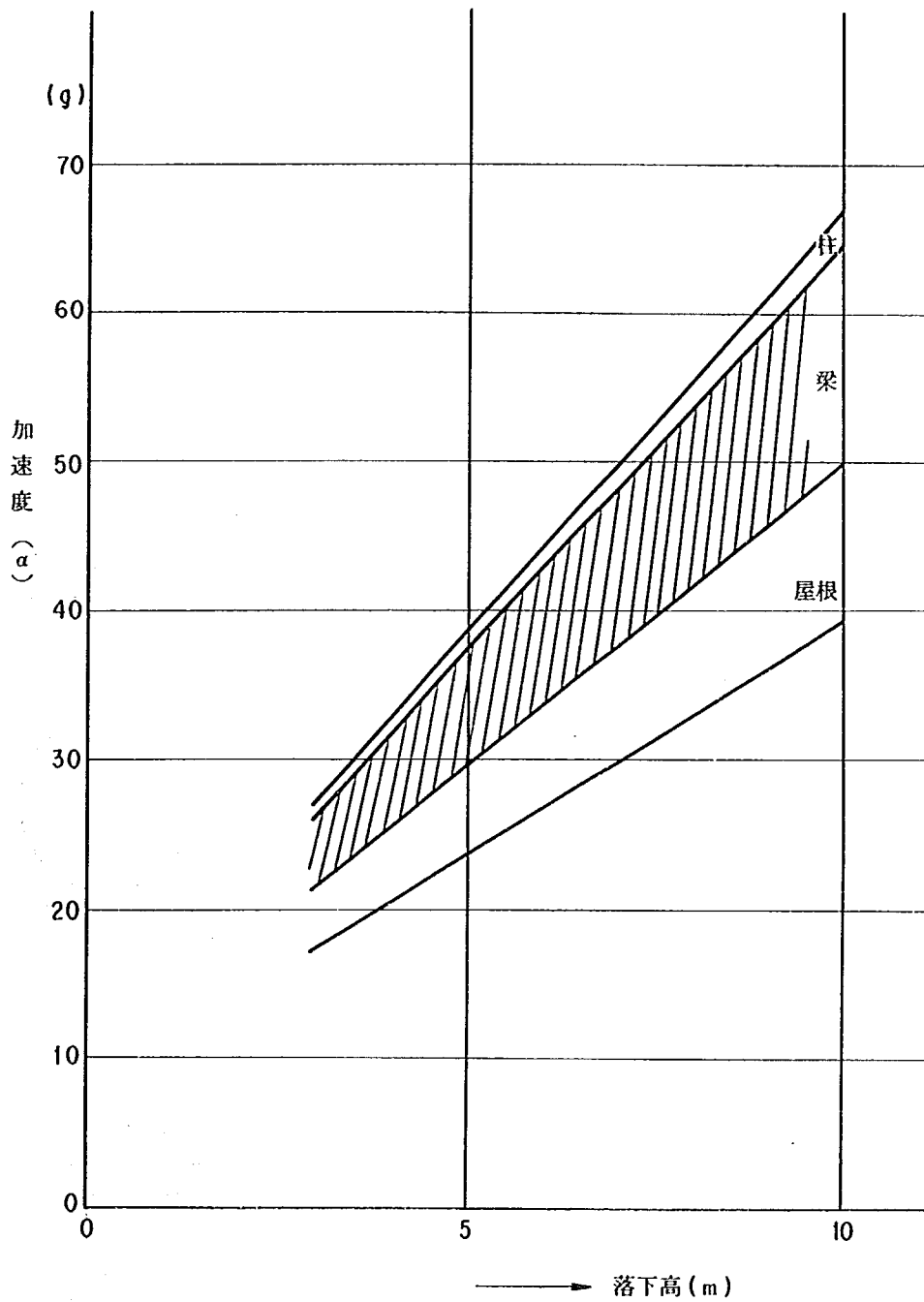


図 1 - 1 屋外実験より得られた加速度(α)の範囲⁽⁴⁾

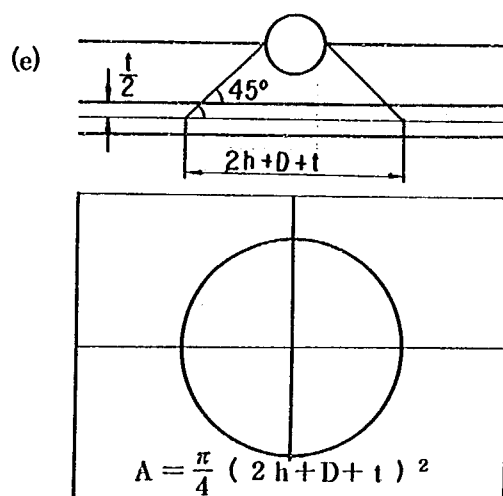
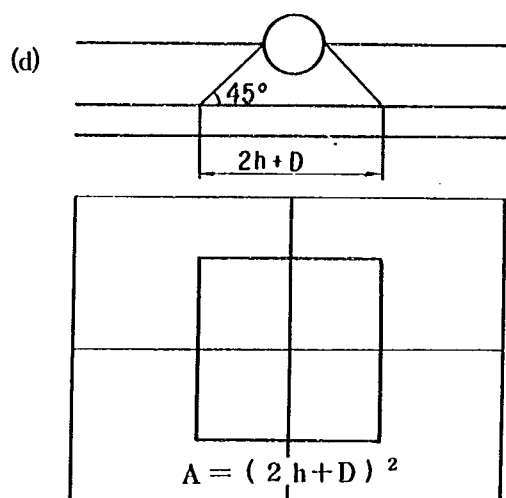
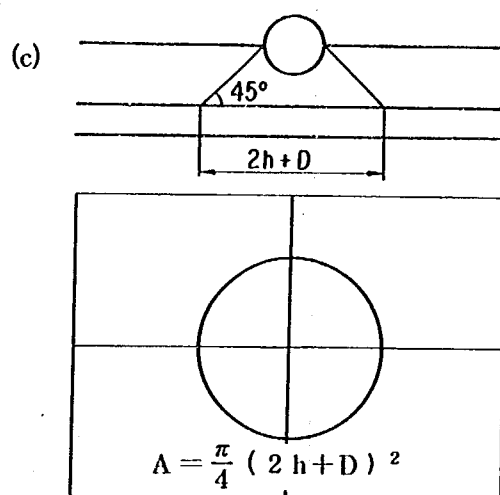
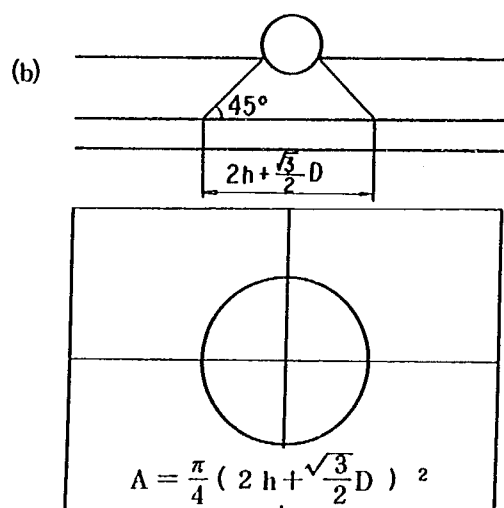
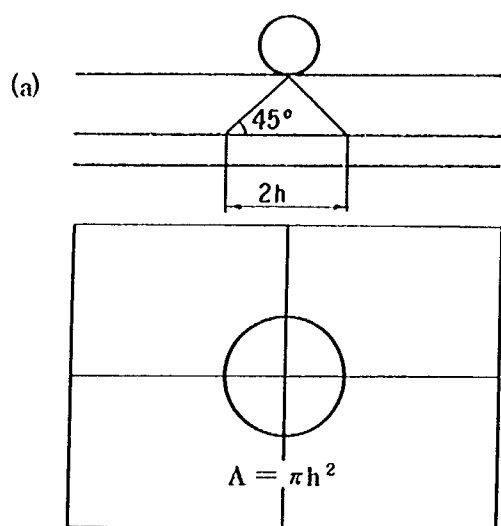


図1-2 落石荷重の載荷方法

2. 本実験の目的

本実験の主たる目的は、次の2点である。

- (1) 覆工のサンドクッション上に落石荷重が作用した場合の、覆工部材（ここでは屋根部材に限定）の挙動を把握することにより、設計においてクッション材による荷重の分散効果をどのように評価をするのが適当であるかについて明らかにする。
- (2) 落石による衝撃的な荷重を、静的荷重に置き換えて設計する場合、許容応力度として静的強度（降伏点、引張圧縮強度 etc）に基づく数値をそのまま用いることが適当であるか否かについて確認する。

3. 実験方法

3.1 実験概要

本試験は、以下に述べるように2つのシリーズからなっている。

(1) 床版供試体の衝撃荷重載荷実験

落石覆工屋根材の模型として、鋼製床版供試体 ($2,400 \times 2,400 \text{ mm}$) を用い、落錘荷重により発生する応力分布を測定するものである。実験は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た条件下で行う。

この実験の主な目的は、サンドクッション上に作用する落石荷重を覆工部材に載荷して設計する際に、これまで用いられてきた種々の仮定 (1.(2)参照) のうち、どれが現実に最も近い答を示し得るかについて調べることであり、設計計算において得られる部材の応力度と実験値との比較が検討の中心となっている。

(2) はり供試体の破壊試験

H形鋼およびスラブプレートにコンクリートを打設したはり供試体 (長さ $2,200 \text{ mm}$) を落錘荷重により破壊し、残留たわみ量、ピークひずみ量等を記録する。一方、同じ供試体の静的載荷試験を行い、衝撃載荷の場合とその結果を比較する。

なお、供試体の数はそれぞれ20体ずつである。

この試験は、衝撃荷重に対して設計する場合の部材の許容応力度を、静的荷重に対するものをそのまま用いることについての問題点の有無を調べるのが主な目的である。

3.2 供試体

3.2.1 床版供試体

床版供試体は、 $150 \times 150 \times 7 \times 10 \times 2,400 \text{ mm}$ の広幅H形鋼を平行に並べ、フランジを突合せ溶接により一体化したものである。全体の形状および寸法を図3-1に示す。

供試体はH形鋼の長手方向を支間方向とし、H形鋼 ($200 \times 200 \times 8 \times 12$) に丸鋼 (19ϕ) を溶接した支承により2辺を支持して使用した。支間長は $2,000 \text{ mm}$ である。

3.2.2 はり供試体

(1) Aタイプはり供試体

$150 \times 150 \times 7 \times 10 \text{ mm}$ の広幅H形鋼を $2,200$ の長さに切断したものであり、材質はSS41である。形状および寸法を図3-2に示す。また、H形鋼材料の機械的性質を表3-1に示す。供試体の数は20体である。

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)	引張強さ (kg/mm^2)
H 形 鋼 ($t=10 \text{ mm}$)	SS41	29	46
スラブプレート ($t=3.2 \text{ mm}$)	SS41	35	45

(2) Bタイプはり供試体

スラブプレート（ブランクシートなどともいう）にコンクリートを打設したもので、鋼製覆工の屋根部材としてよく用いられている形式である。形状および寸法を図3-3に示す。また、使用したスラブプレートの機械的性質を表3-1に、コンクリートの材料試験結果を表3-2に示す。供試体数はAタイプと同じく20体である。

表3-2 コンクリートの圧縮試験結果

供試体 No.	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	349	2.39×10^5	240
2	346	2.60×10^5	
3	359	2.55×10^5	
平均	351	2.51×10^5	

3.3 実験装置

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3-4および5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。床版供試体の実験には衝撃力が最も大きいとされている平底のものを使用した。

重錘の天端には、図に示すように加速度を取付け、供試体上に落下した瞬間の衝撃加速度を計測するために用いた。

重錘落下のために、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、落下位置を調整した。また、落下装置として図3-6に示すものを製作して使用した。

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、床版供試体、はり供試体それぞれに対して土槽を製作して使用した。土槽の形状および寸法を図3-7および8に示す。

はり供試体用の土槽は供試体の幅が小さいため、供試体天端と高さを合わせた床を設けてサンドクッションの保持を画った。また、落錘による荷重がすべて供試体にかかるように、中央部の床を大きくくり抜いた構造になっている。なお供試体との間げきから砂がこぼれるのを防止するため、砂層の下に厚さ5 mmのネオプレンゴムシートを敷いた。

3.3.3 計測装置

各試験における計測装置は次の通りである。

(1) 床版供試体

i) ひずみの計測

供試体底面に、図 3-9 に示すようにひずみゲージを貼付し、支間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とった。

ii) 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。

(2) はり供試体

1) 静的試験

供試体底面に、図 3-10 に示すように 3 枚のひずみゲージを貼付し、静ひずみ計により各荷重時におけるひずみを計測した。また、供試体中央部のたわみは、摺動式変位計を用い、動ひずみアンプを経由して X Y レコーダーに荷重～変位曲線を描かせて記録した。

2) 衝撃荷重による破壊試験

ひずみおよび落錘の衝撃加速度については床版供試体の場合と同じである。また、供試体のたわみ変形については、接触形変位計では計測できないので、載荷治具から取り出した供試体の残留たわみをスケールにて計測することにした。

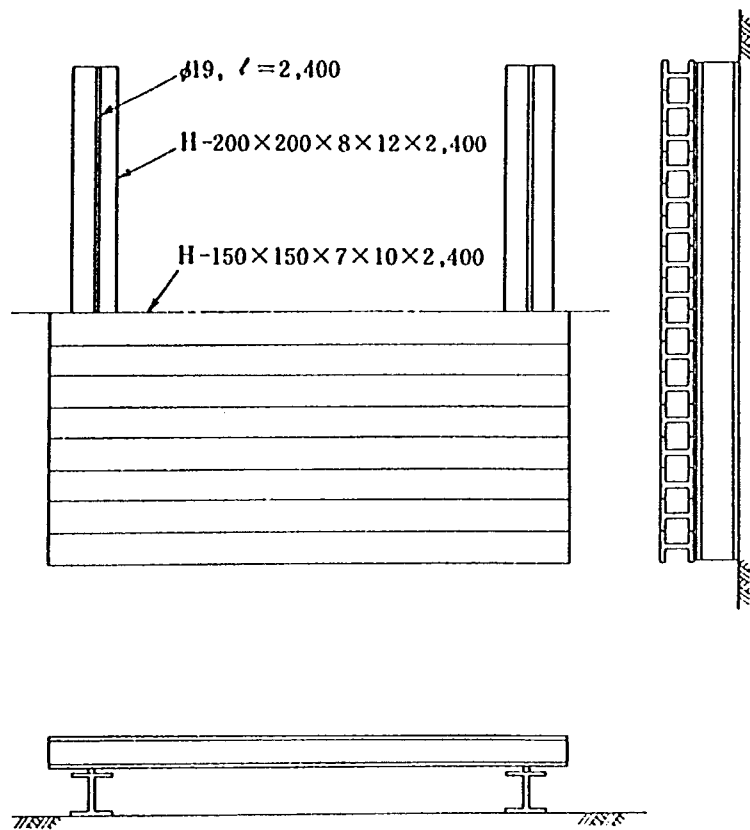
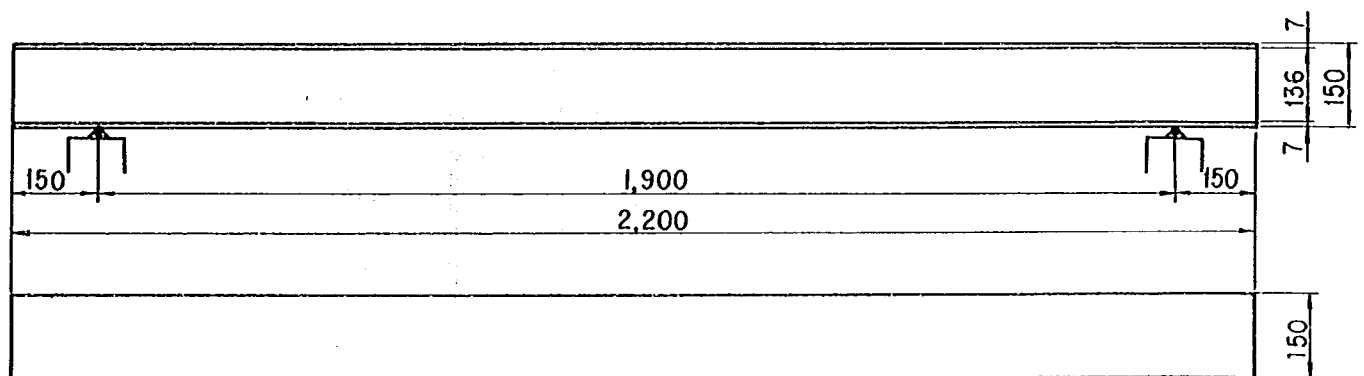


図 3 - 1 床 版 供 試 体



材料表 H形鋼 150×150×7×10×2,200 (SS41)

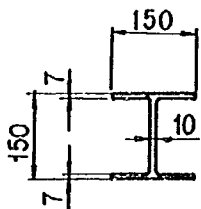


図 3 - 2 A タイプはり供試体

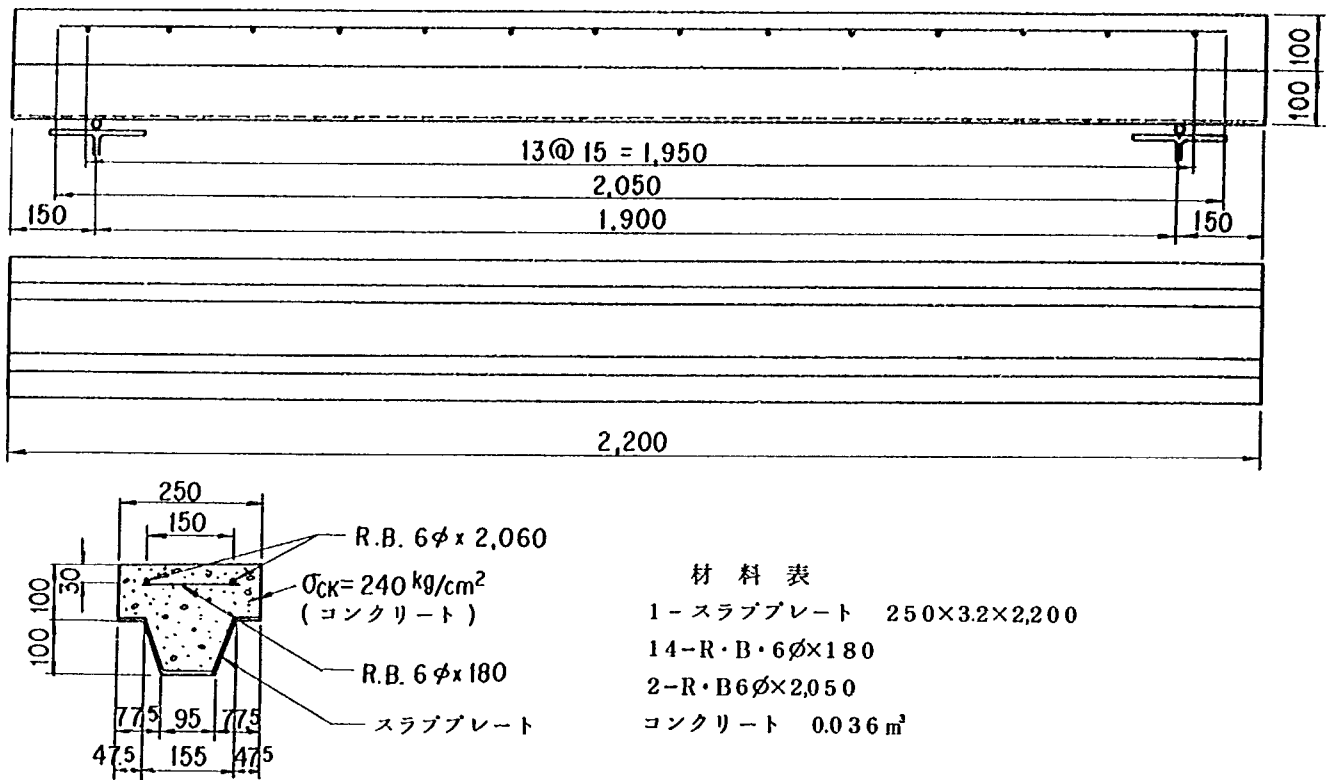


図 3 - 3 B タイプはり供試体

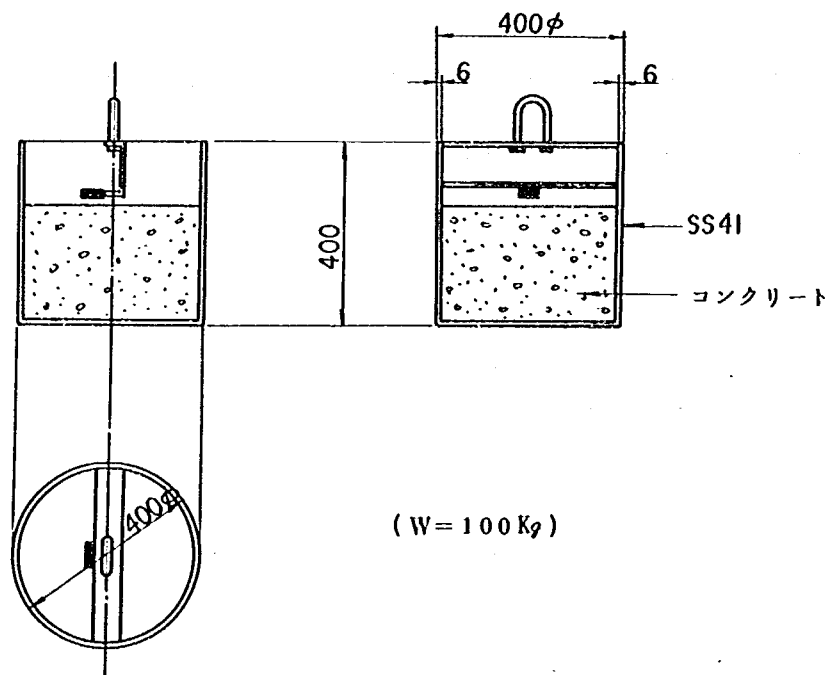


図 3 - 4 重錘の寸法および形状 (床版供試体用)

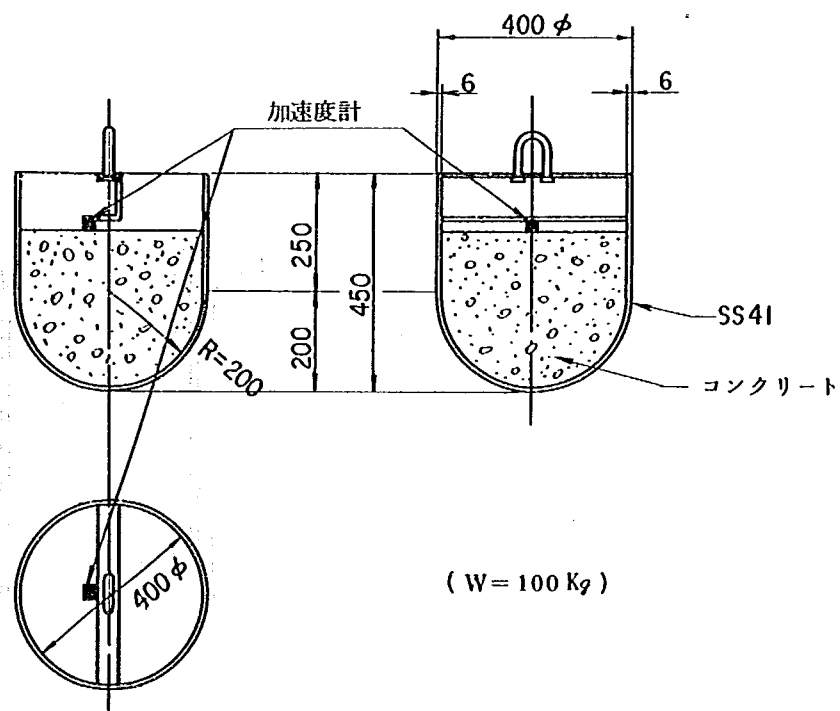
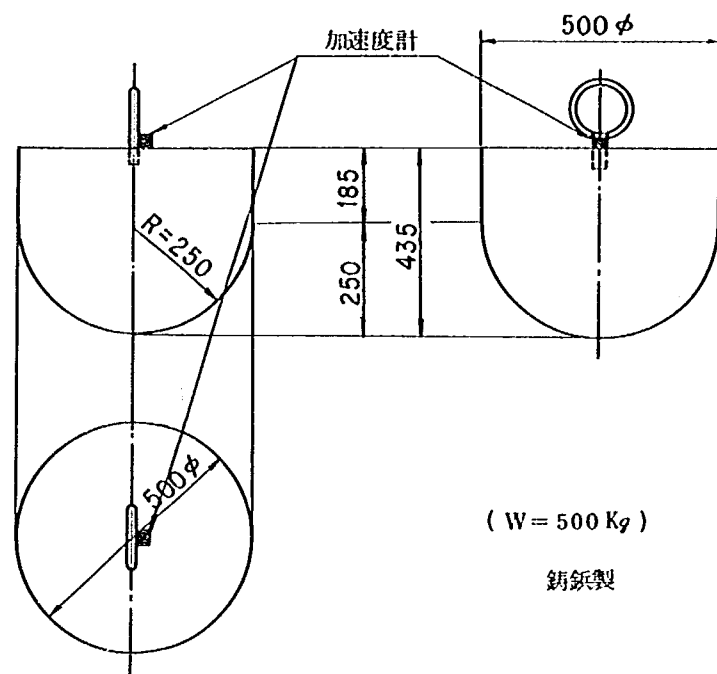


図 3 - 5 重錘の寸法および形状 (はり供試体用)

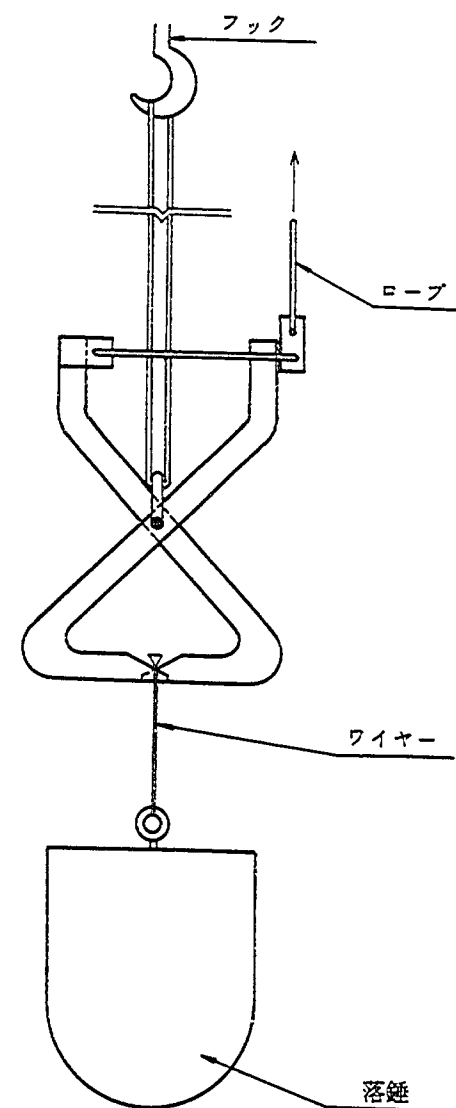
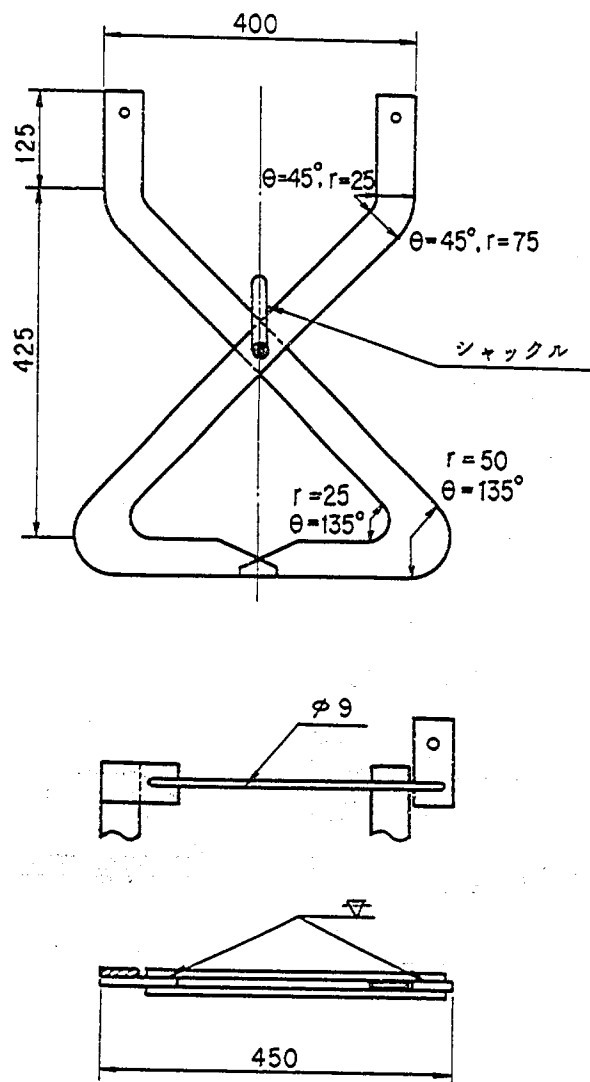


図 3-6 落下装置および吊下げ状況

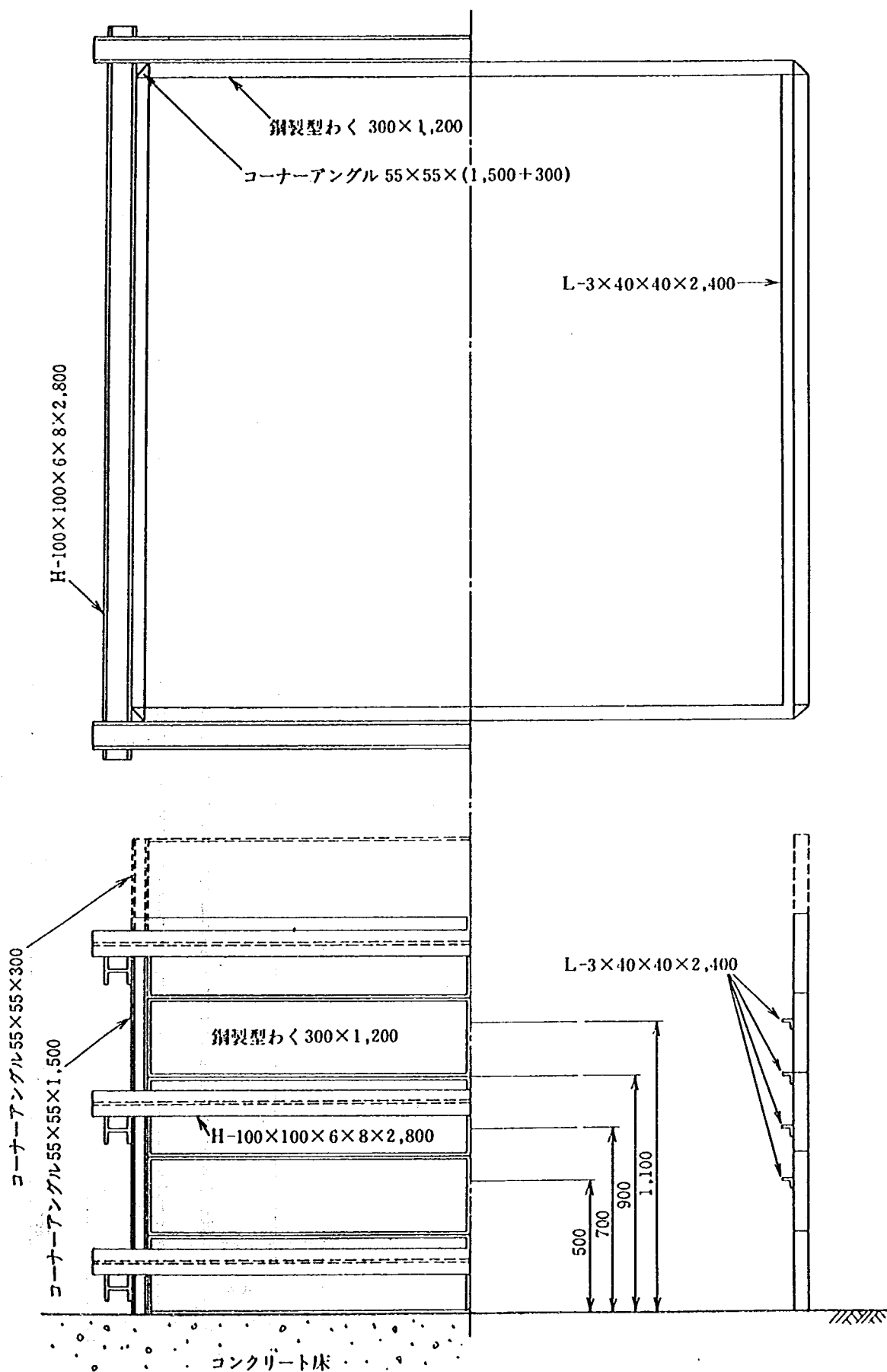


図 3 - 7 床版供試体用土槽

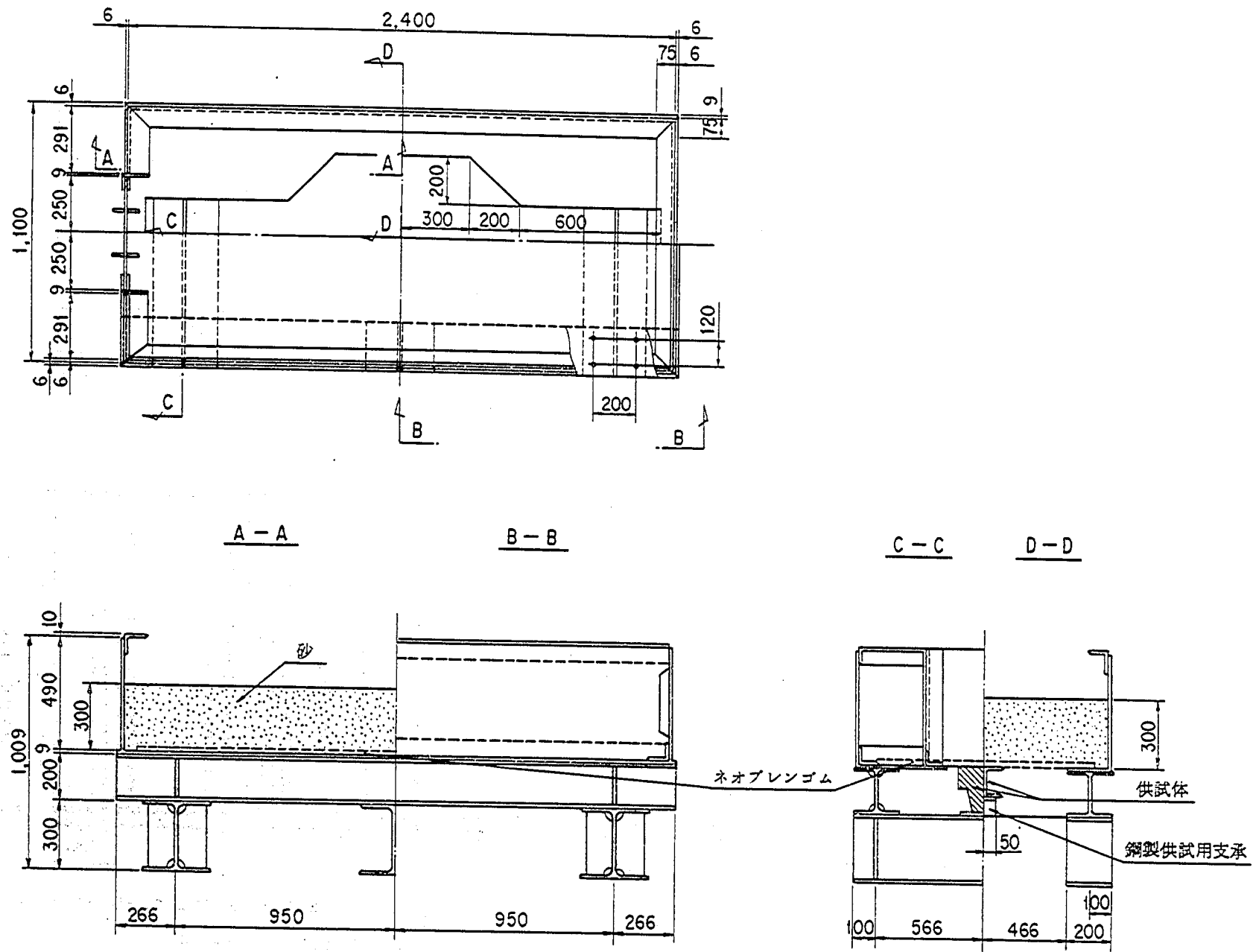


図 3-8 はり供試体用土槽

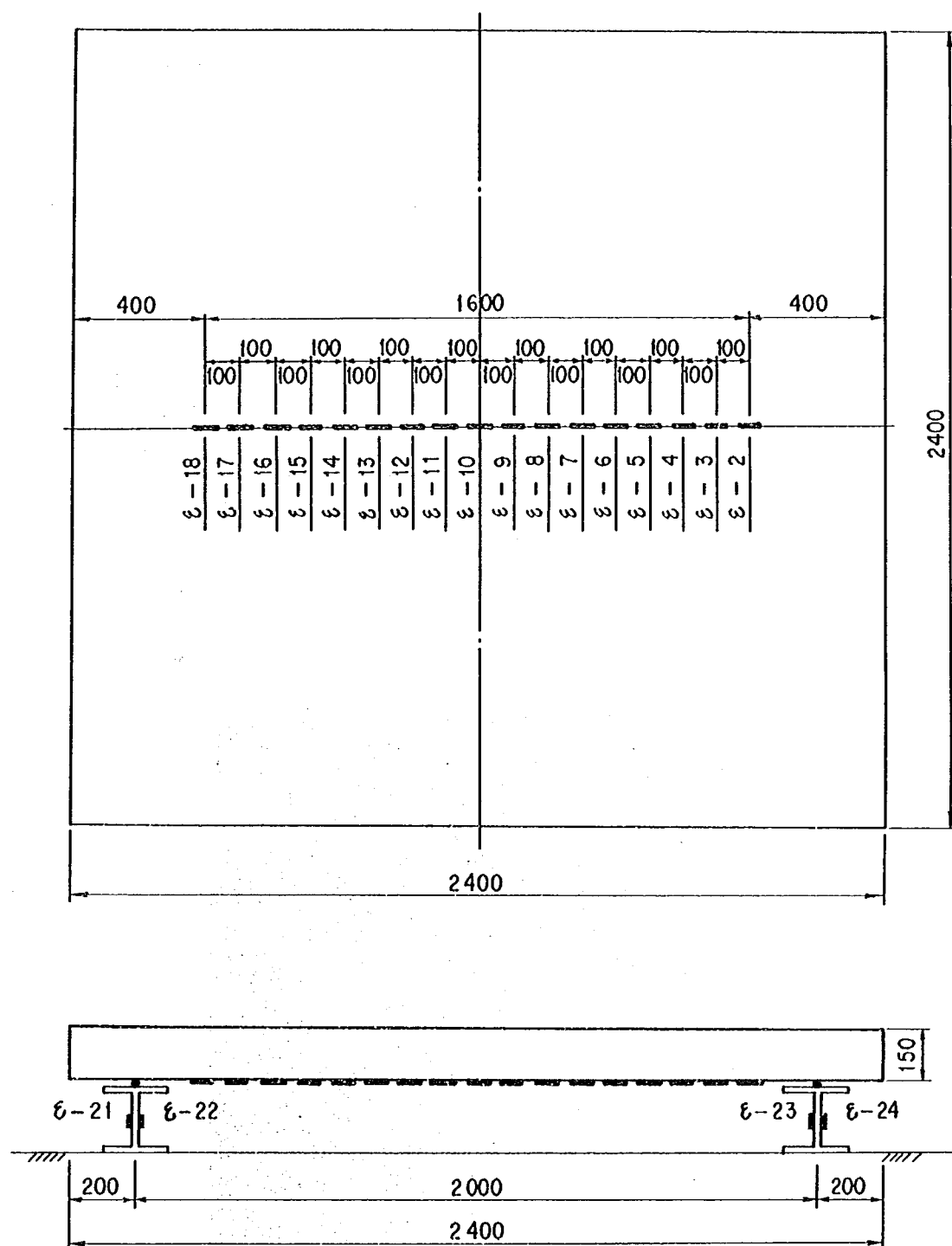


図 3 - 9 ひずみゲージ貼付位置およびゲージ番号

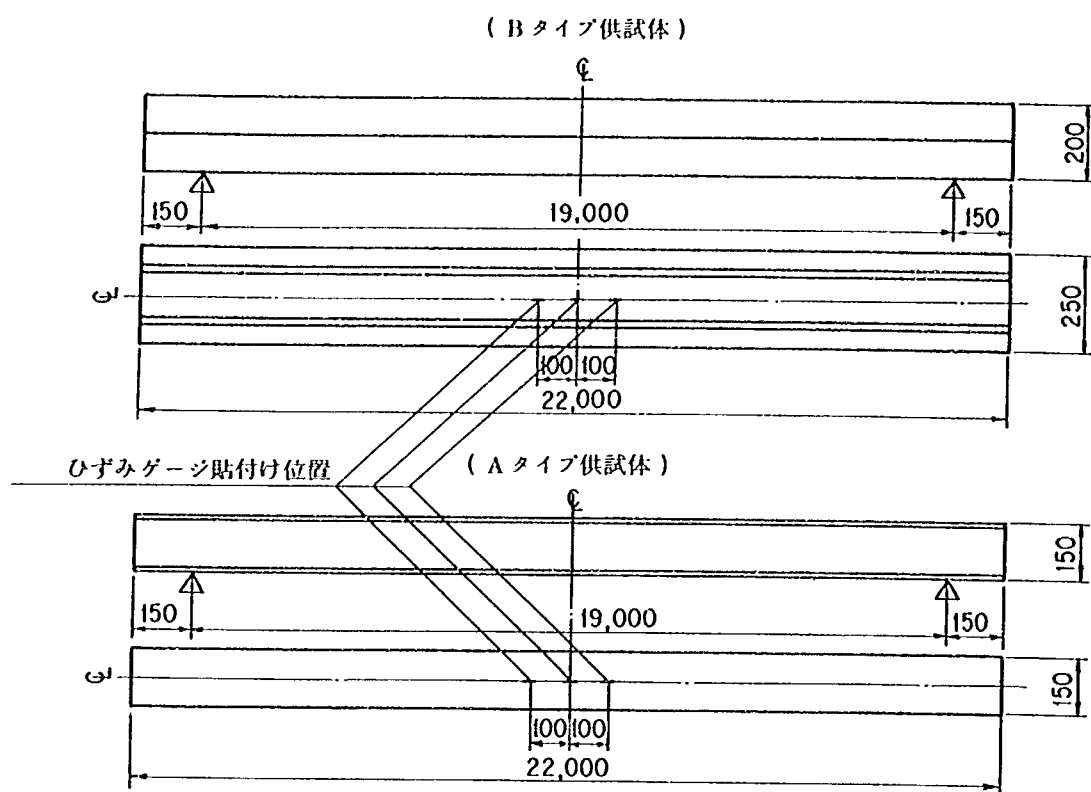


図 3 - 1 0 ひずみゲージ貼付け位置



写真 3 - 1 重錘落下用やぐら

4. 実験結果と考察

4.1 床版供試体の落錘試験

表4-1に示す4つのケースについて、床版供試体の落錘試験を行った。サンドクッションは、厚さを調整するために敷きならした後は、締め固め等はしていない。使用した重錘は、重量 $W=100\text{kg}$ 、 $D=40\text{cm}$ の円筒形で、底面は平面である。重錘は厚さ 6mm の鋼板で製作した型枠に、コンクリートを充てんしたもので、実測した重量は 94kg であった。以下の考察は、すべて実測した重量によっている。

重錘落下時の床版のひずみは、一度データレコーダに記録し、後で電磁オシログラフに描かせそのピーク値を記録した。また、重錘の衝撃加速度についても、同様に電磁オシログラフを用いて読み取った。計測したひずみおよび加速度のデータを表4-2に示す。ひずみゲージおよび加速度計の取付け位置は、図3-4、および9に示す通りである。

表4-1 試験条件と衝撃加速度

	重錘重量 W (kg)	サンドクッション厚 h (cm)	落下高さ H (m)	衝撃加速度 α (g)	左欄の補正值 α' (g)
1	100 (94)	30	4	87.39	82.15
2			8	118.13	111.04
3		70	4	70.28	66.06
4			8	94.19	88.54

注：加速度は2回の計測値の平均値

表4-2 床版に生じたひずみのピーク値

	落 錘 重 量 W (kg)	サンド クッション 厚 h (cm)	落 下 高 さ H (m)	ひ ず み 量 ε (μ)								
				2	3	4	5	6	7	8	9	10
				18	17	16	15	14	13	12	11	
1	100 (94)	30	4	62.50	81.08	134.15	166.67	201.09	227.27	281.91	364.20	333.33
				33.65	122.09	156.98	—	—	—	—	347.06	
2			8	97.37	111.49	201.22	250.00	315.22	338.46	451.61	512.05	484.85
				38.46	156.98	220.24	—	—	—	—	511.90	
3		70	4	47.87	67.16	95.68	115.79	137.36	128.79	155.91	176.83	138.16
				31.25	75.58	100.00	—	—	—	—	172.62	
4			8	63.83	80.88	132.72	156.25	192.31	204.55	220.43	243.90	218.75
				38.46	98.84	130.95	—	—	—	—	238.10	

4.1.1 床版のひずみ分布

落錘時における、供試体底面中央支間方向のひずみ分布を図4-1および2に示す。図4-1は、サンドクッション厚が30cmの場合であるが、落下高さ4および8mのいずれの場合もひずみ分布は三角形に近い形状をしており、集中荷重を受けるはりの曲げモーメント図に似た性状を示している。これに対し、図4-2に示したサンドクッション厚70cmの場合には、ひずみ分布は放物線に近い形となっており、クッション厚の増加による荷重の分散効果が明確に現われている。

いずれの場合も最大ひずみは中央からややはずれた位置に発生しているが、これは重錘の底面が平面であるため、その縁端の直下に土圧が集中することと関係があるものと考えられる。

従来の設計においては、落石の重量と衝撃加速度の積を静的荷重に置き換えていることが多いが、これは、落石重量が一定ならば落石による衝撃力が加速度に比例すると考えていることと等しい。図4-3および4は、図4-1および2に示したひずみ分布を、それぞれの落錘時の衝撃加速度で除し、1 σ 当りに換算して示したものである。これらによれば、サンドクッション厚が一定であれば、ひずみ分布はほぼ一致しており、本試験の衝撃加速度の範囲であれば、衝撃加速度と供試体に発生する応力度は比例すると見なしてよいものと考えられる。したがって、これまでの設計法における衝撃力の取扱いについてはほぼ妥当であったといえることができる。

4.1.2 計算値との比較

(1) 従来の設計法

従来の落石覆工屋根部材の設計では、屋根部材を版として解く例はほとんどなく、通常は屋根部材をはり要素を平行に並べたものとして計算をしている。したがって、支間直角方向の荷重分配を考慮していない分だけ安全側の仮定をしていることになる。

これまでの設計では、図1-2に示した種々の荷重分散の仮定に従って求めた荷重の作用面積で落石荷重を除した等分布荷重を、はり要素と重なり合う部分に載荷して計算している。図4-5および6に、(a)および(c)の仮定に基づいて計算した応力度と実験値を比較して示すが、いずれも計算値が実験値を大きく下まわっているのがわかる。また、その傾向はサンドクッションが厚い程顕著であり、従来の設計ではサンドクッションによる荷重を過大評価していたことを示している。

同図に示した(f)は、サンドクッションによる分散を考慮せず、落錘の投影面積に等分布荷重を載荷して計算したものである。クッション厚30cmの場合には実験値とよく一致しているが、70cmの場合には逆に計算値がかなり大きくなっている。

図4-7は、最大応力度にのみ注目し、(a)から(f)までのすべての仮定における実験値との比較をまとめて示したものである。これによると、(f)を除いて、すべてサンドクッション厚が増加する程、計算値が実験値に比べて低くなっており、荷重の分散を過大に期待していることを示している。一方、(f)の場合は、クッション厚30cmの場合には実験値と一致しているが、クッション厚が大きい場合には過大になっている。したがって、現在考えられているいずれの方法も適当でなく、何らかの新しい方法を考案する必要があるものと考えられる。

(2) 版としての解析

有限要素法により、供試体を2辺を単純支持された直交異方性版として解いた結果を図4-5および6に示した。この場合の荷重分散の仮定は(f)とした。

計算結果は、従来の設計値よりもさらに低くなっている。これは、版として計算した場合の支間直角方向の荷重分配が、衝撃的な荷重に対してはほとんど期待できないということを示すものである。したがって、落石覆工の屋根部材を版計算により設計することは、実験結果からみて不適当であると言えよう。

4.2 はり供試体の破壊試験

4.2.1 供試体に作用する衝撃力

落錘試験の試験条件、および試験結果を表4-3および4に示す。

表4-3 はり供試体の破壊試験結果 (Aタイプ供試体)

落錘重量 (kg)	落下高さ (m)	加 速 度 (g)	ひ ず み ($\times 10^{-6}$)			た わ み (mm)	
			L	C	R	供試体上部	供試体下部
500	2.0	31.6	3692	6545	2105	4.0	5.0
	2.0	31.6	4615	8333	2105	4.0	4.0
	2.5	32.7	3789	—	2533	14.0	12.0
	2.5	34.0	3889	15833	2133	10.0	8.0
	3.0	33.8	3053	14154	2133	12.0	14.0
	3.0	32.7	5667	—	2800	19.0	20.0
	3.5	29.1	4111	14000	2133	24.0	23.0
	3.5	32.7	5077	—	2421	23.0	24.0
	4.0	30.5	3000	—	5200	31.0	20.0
	4.0	34.0	4737	—	2400	31.0	23.0
	4.5	34.0	8526	—	2400	32.0	25.0
	4.5	31.6	6000	—	2316	34.0	32.0
	5.0	33.8	7529	—	3294	33.0	24.0
	5.0	28.3	4667	20000	3600	31.0	28.0

表4-4 はり供試体の破壊試験結果 (Bタイプ供試体)

落錘重量 (kg)	落下高さ (m)	加 速 度 (g)	ひ ず み ($\times 10^{-6}$)			た わ み (mm)	
			L	C	R	供試体上部	供試体部
100	3.0	17.9	941	1000	800	3.0	3.0
	4.0	19.3	1263	1000	1067	4.0	3.0
	5.0	27.5	1684	2000	1714	4.0	3.0
	6.0	28.9	2235	5538	2400	6.0	6.5
	6.0	28.6	2000	2833	6533	5.0	7.0
	7.0	28.5	2706	4923	2400	—	—
	7.0	31.6	4000	5230	2533	9.0	12.0
	7.0	32.9	4556	15167	3467	6.0	9.0
	8.0	29.7	3875	6308	2000	—	—
	8.0	33.0	3412	6154	2933	8.0	10.0
	8.0	32.9	7889	9500	2533	12.0	13.0
	9.0	37.2	9684	13333	3867	18.0	19.0
	9.0	37.2	—	—	5333	25.0	24.0
	10.0	40.0	7000	9833	6267	19.0	21.0
	10.0	40.0	12421	—	5333	24.0	26.0

重錘の落下高さと衝撃加速度の関係を図4-8および9に示す。H形鋼によるAタイプ供試体の場合は、落下高さと衝撃力の関係が明確でない。これは、Aタイプ供試体の幅が小さく、ねじり剛性が小さいため、わずかの落錘位置のずれによりねじれ変形を生じてしまうことが多かったことによるものと考えられる(写真4-1参照)。一方、スラブプレートとコンクリートの組合せによるBタイプ供試体の場合、落下高さと衝撃力の相関は明確であり、振動便覧によるHertzの推定式(1-1)に、 $\lambda = 5 \text{ ton/m}^2$ を代入した曲線に近い結果となっている。

以上のことから、Aタイプ供試体による試験では、試験の意図が十分反映された結果が得られなかったと考えられるので、以下の考察はBタイプ供試体の結果を中心として行うことにする。

4.2.2 衝撃荷重と供試体のひずみ

図4-10は、供試体底面中央に貼付したひずみゲージにより計測した、落錘時における供試体支間方向ひずみと衝撃荷重との関係を示したものである。落錘による重量は、30cmの砂層とゴムシートを介するだけで、すべて供試体に作用する構造になっているため、衝撃荷重としては、重錘に生じる最大加速度と重錘重量の積をそのまま用いている。

同図に静的試験における荷重～ひずみ関係を実線により示した。衝撃による荷重～ひずみ関係は、静的な場合とよく似た分布を示しているが、やや変形が大きい方に引き伸ばされたようにな

っている。

図4-11に示したのは、供試体底面中央から支間方向両側にそれぞれ10 cm離れた位置に貼付した2枚のひずみゲージによる計測結果の平均値である。これらのひずみゲージは、衝撃荷重が大きい場合にも計測不能とならず、また、2つの測定結果を平均したことにより載荷位置の偏心の影響が消去されているため、荷重～ひずみ関係はより明確になっている。

静的載荷の場合と衝撃荷重の場合の荷重～ひずみ曲線を比べると、一般に同じ荷重に対しては、衝撃荷重の方がひずみがやや大き目である。一方、最大荷重についてみると、静的載荷において3.62 tonであったのに対し、衝撃荷重の場合では、計測した範囲内でも4.0 tonと大きい値を記録している。

以上の結果は、落石覆工の屋根部材において、小さな損傷は設計上考えているよりも小さな荷重で生じる可能性があるが、終局的な耐荷力としては静的荷重に対するよりも大きい数値が期待できるということを示すものと考えられる。

4.2.3 衝撃荷重と供試体の変形

供試体の変形については、変位計による落錘時の変位測定が困難なため、供試体を試験用治具から撤去した後に、供試体上下面、支間中央の残留たわみをスケールにて計測した。供試体下面における残留たわみの関係を図4-12に示す。また、静的試験における荷重～変位曲線から、載荷途中における除荷時の残留ひずみと荷重の関係を同図に実線で示した。

静的載荷と衝撃荷重の差は、ひずみの場合とほぼ同様であり、同じ荷重に対する変形量は衝撃荷重の場合の方が大きくなっている。また、終局的な耐荷力が静的荷重の場合よりも大きくなっていることもひずみの場合と同様である。

各供試体における計測データと変形状態の写真を巻末に示す。供試体の変形は、衝撃力の大きさにより若干異り、衝撃力が大きい場合（落下高さ7 m以上）では、供試体支間中央部付近で、コンクリートとスラブプレートのはくりがみられた。

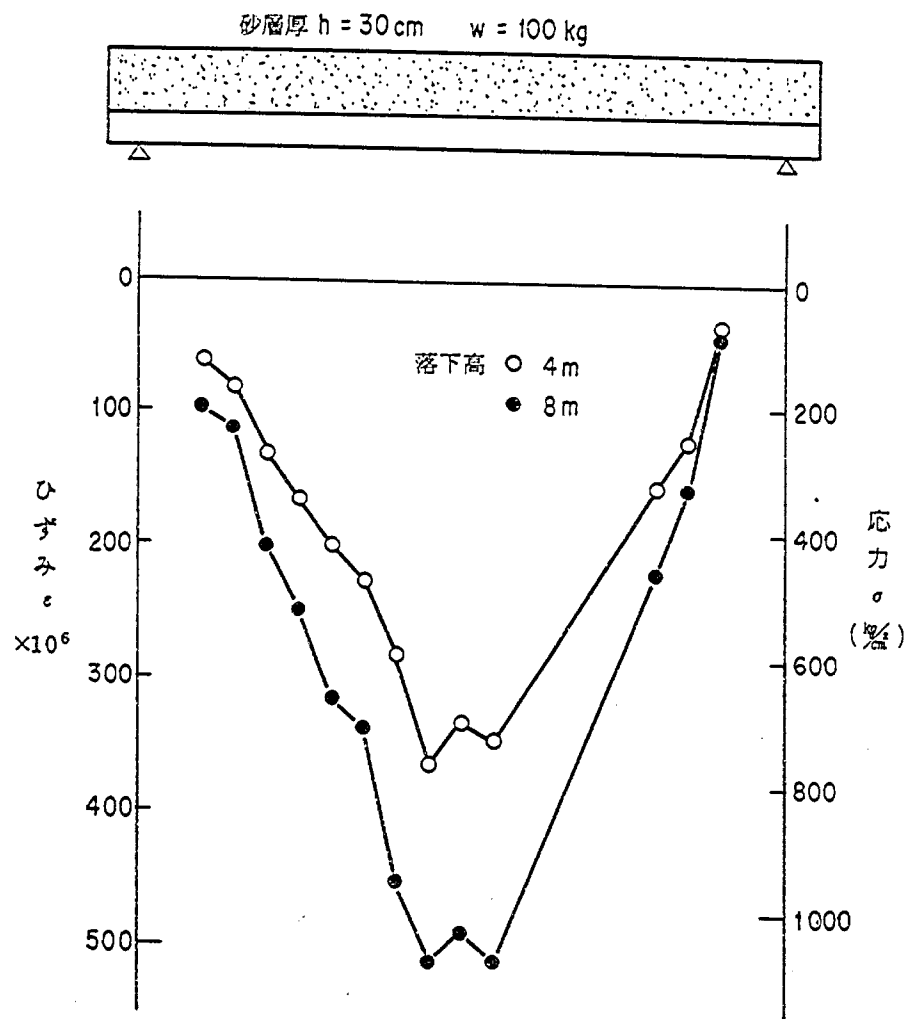


図 4 - 1 床版底面の応力分布 (砂層厚 30 cm)

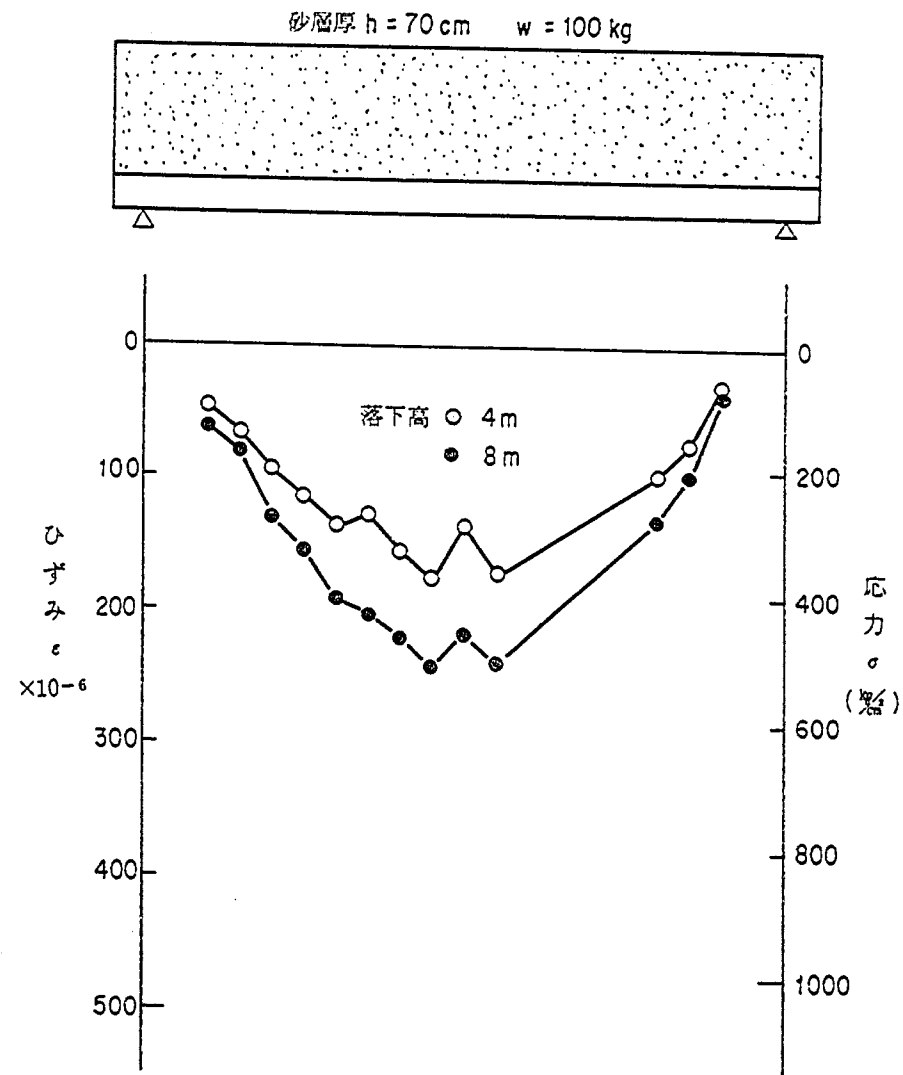
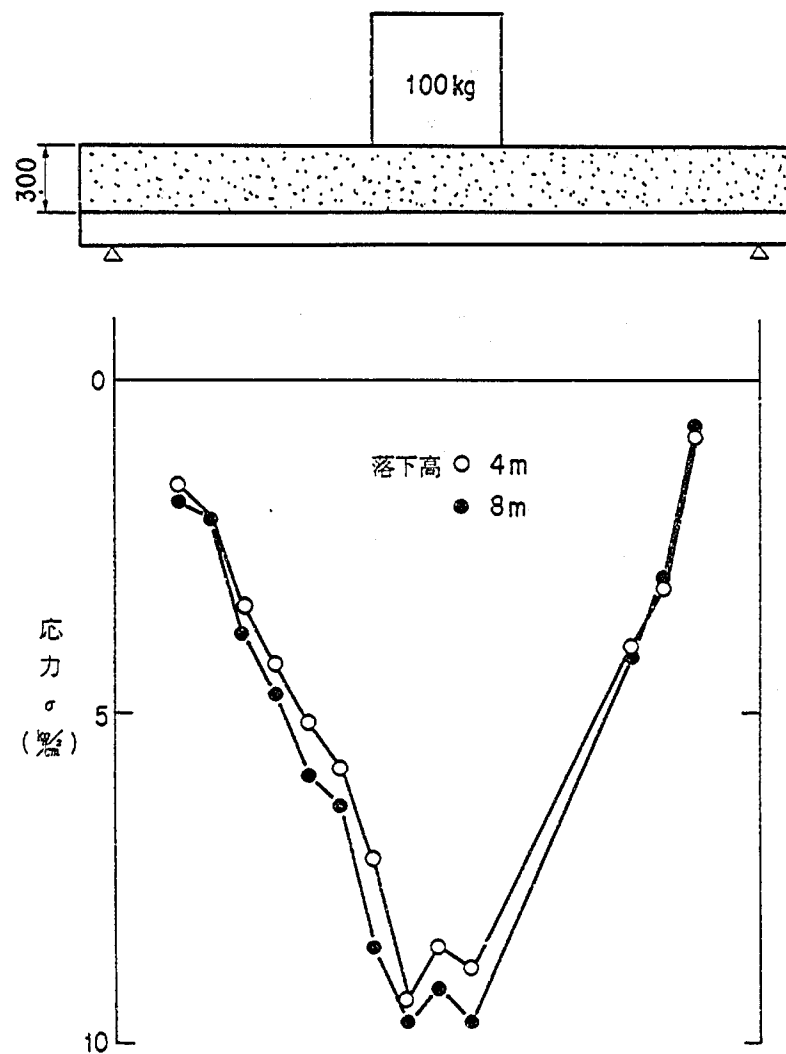


図 4 - 2 床版底面の応力分布 (砂層厚 70 cm)



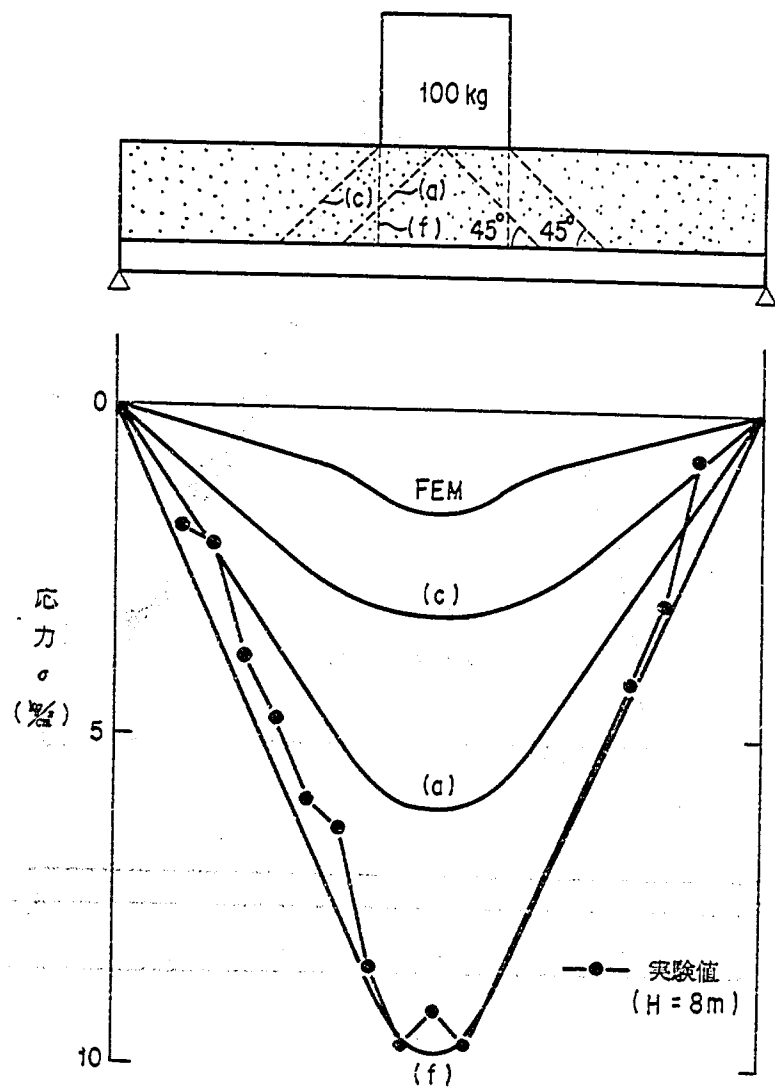


図 4-5 従来の設計法との比較
($h = 30\text{ cm}$)

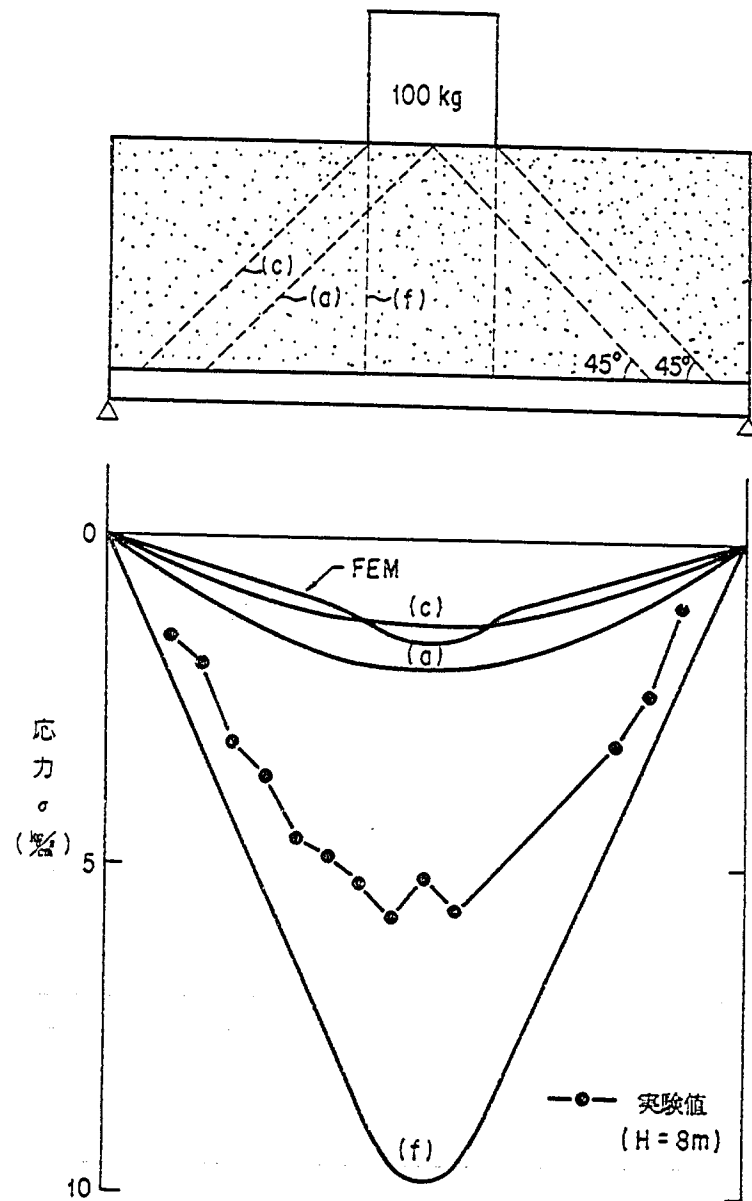


図 4-6 従来の設計法との比較
($h = 70\text{ cm}$)

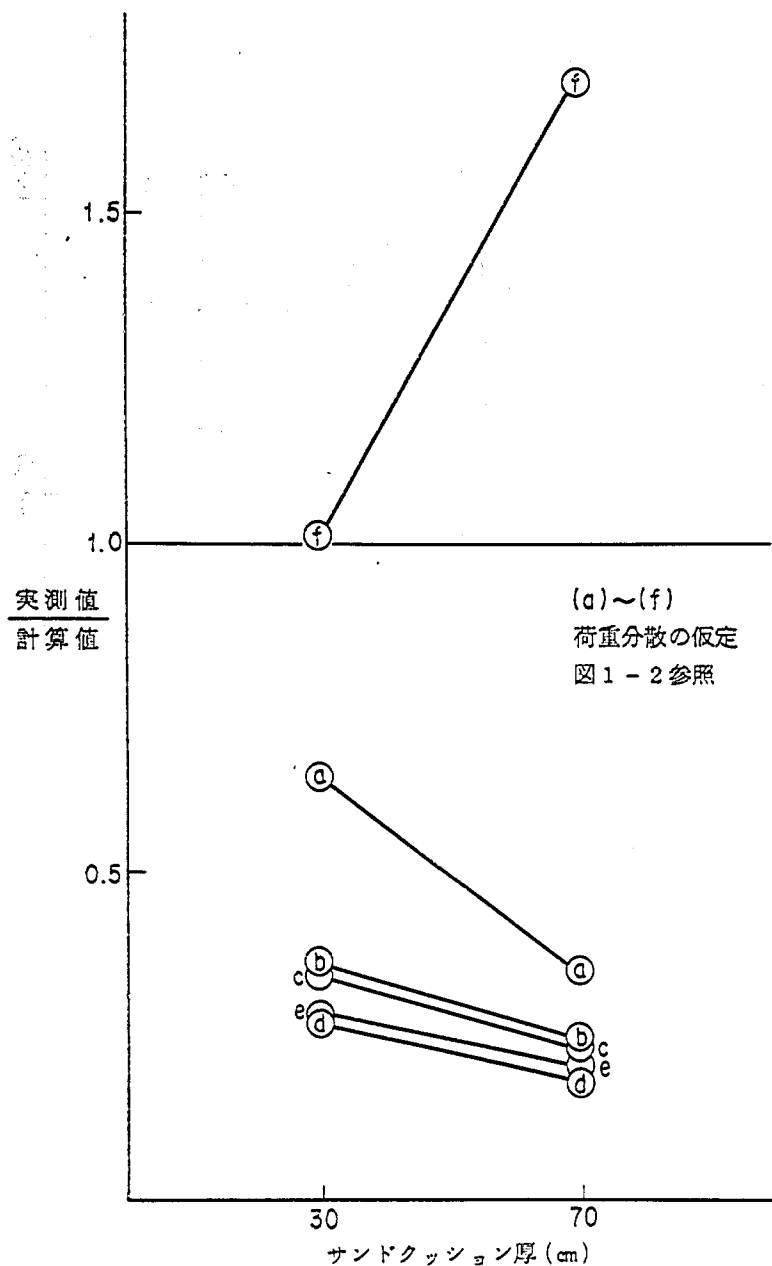


図 4-7 実測応力と設計計算応力の比較

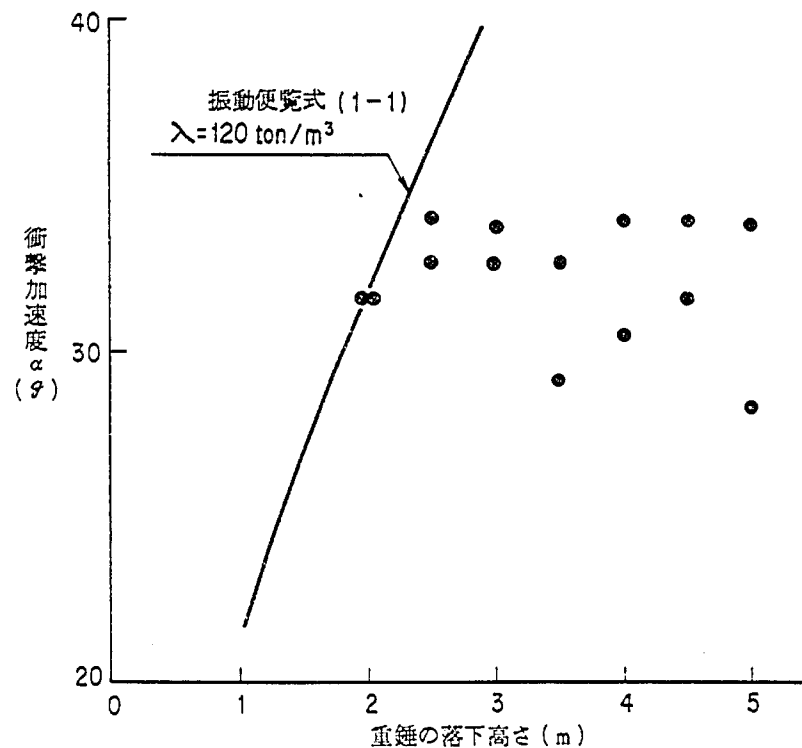


図 4-8 重錘落下高さ と 衝撃加速度 (Aタイプ)

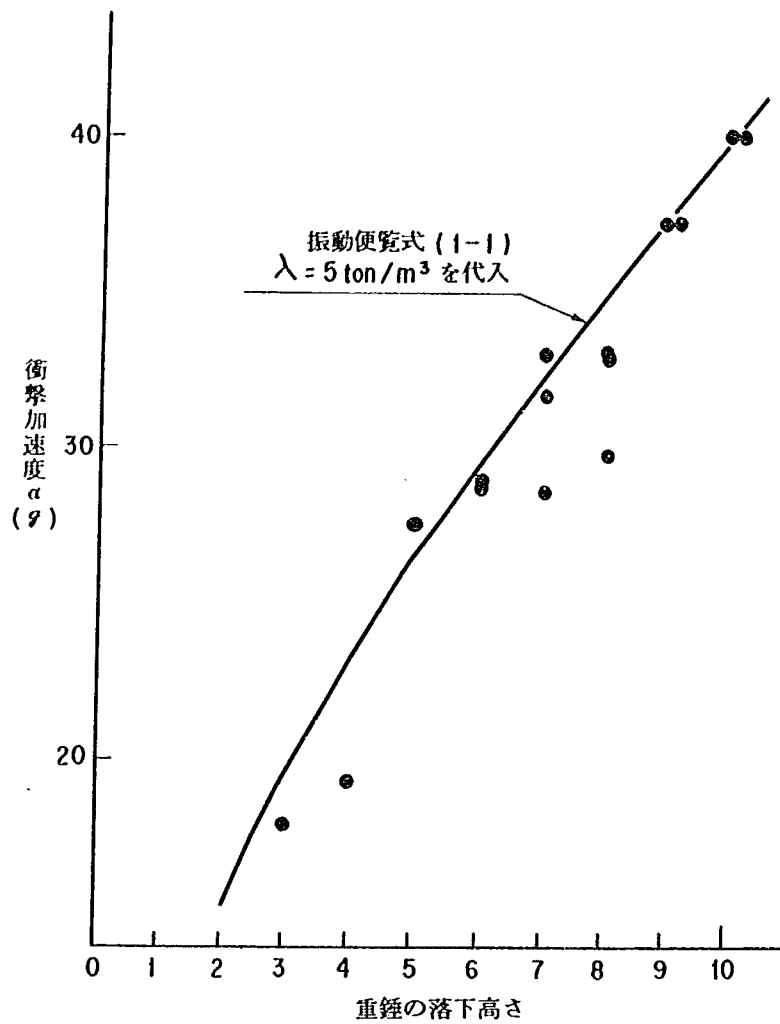


図 4-9 重錘落下高さと衝撃加速度 (Bタイプ)

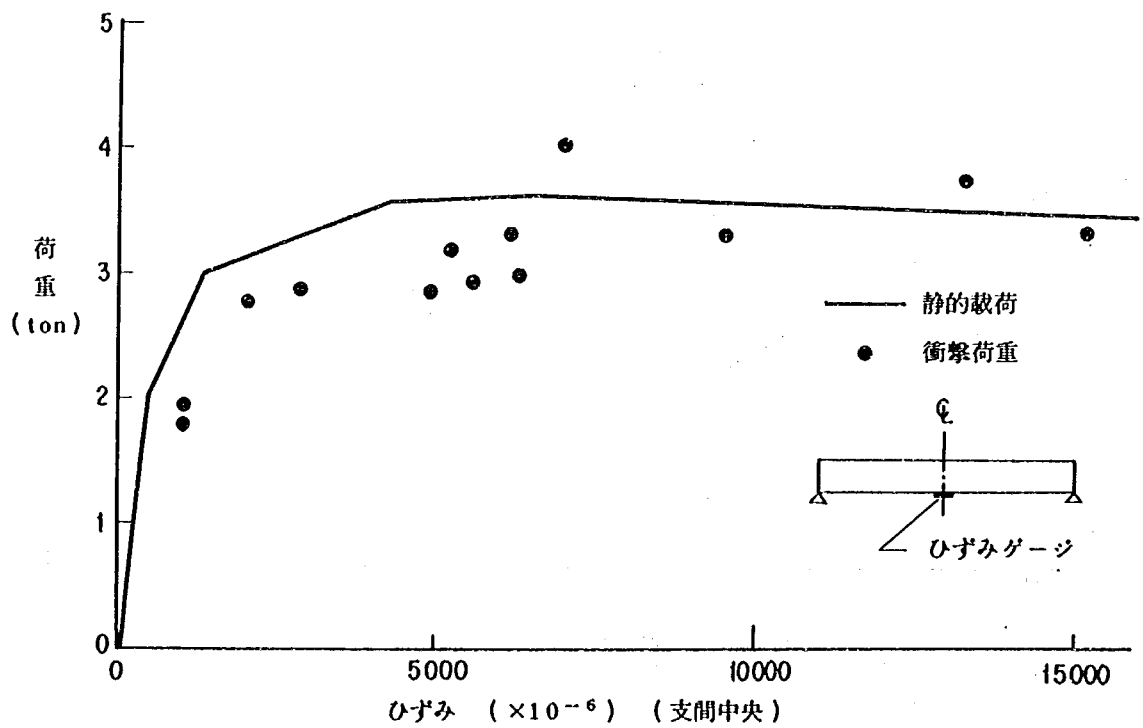


図 4-10 衝撃荷重とひずみ測定値(1)

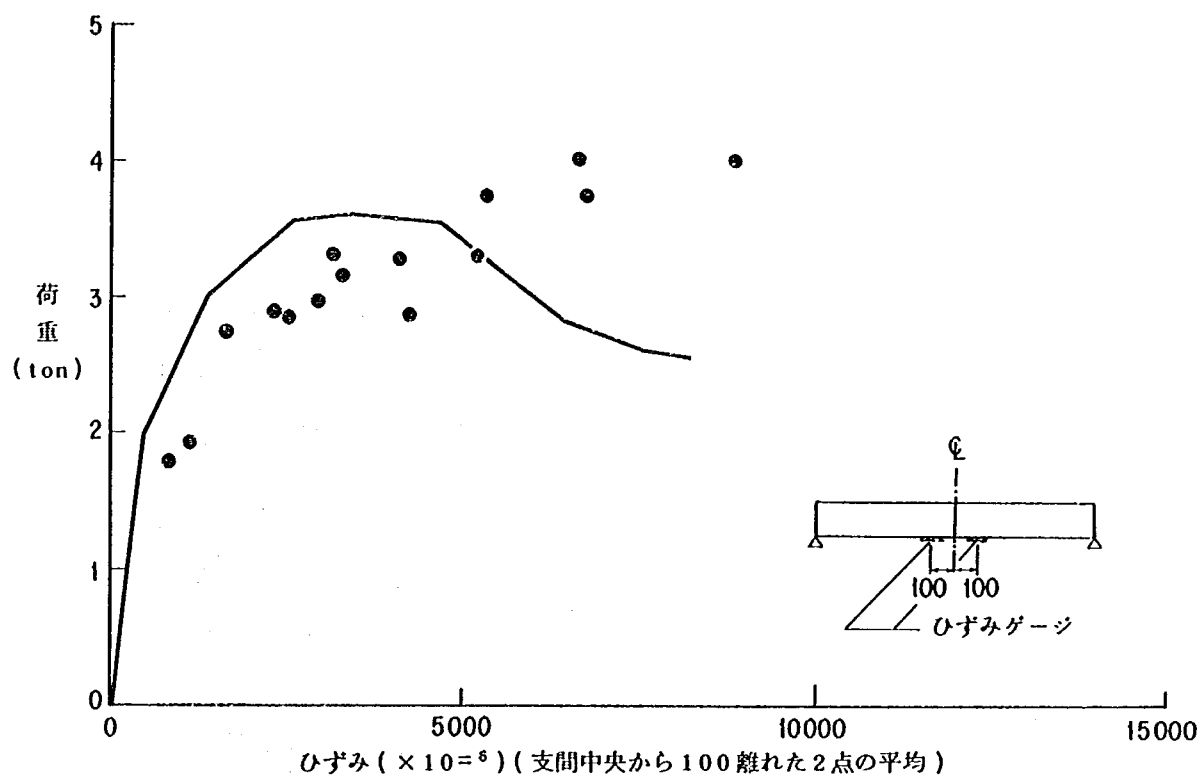


図4-11 衝撃荷重とひずみ測定値(2)

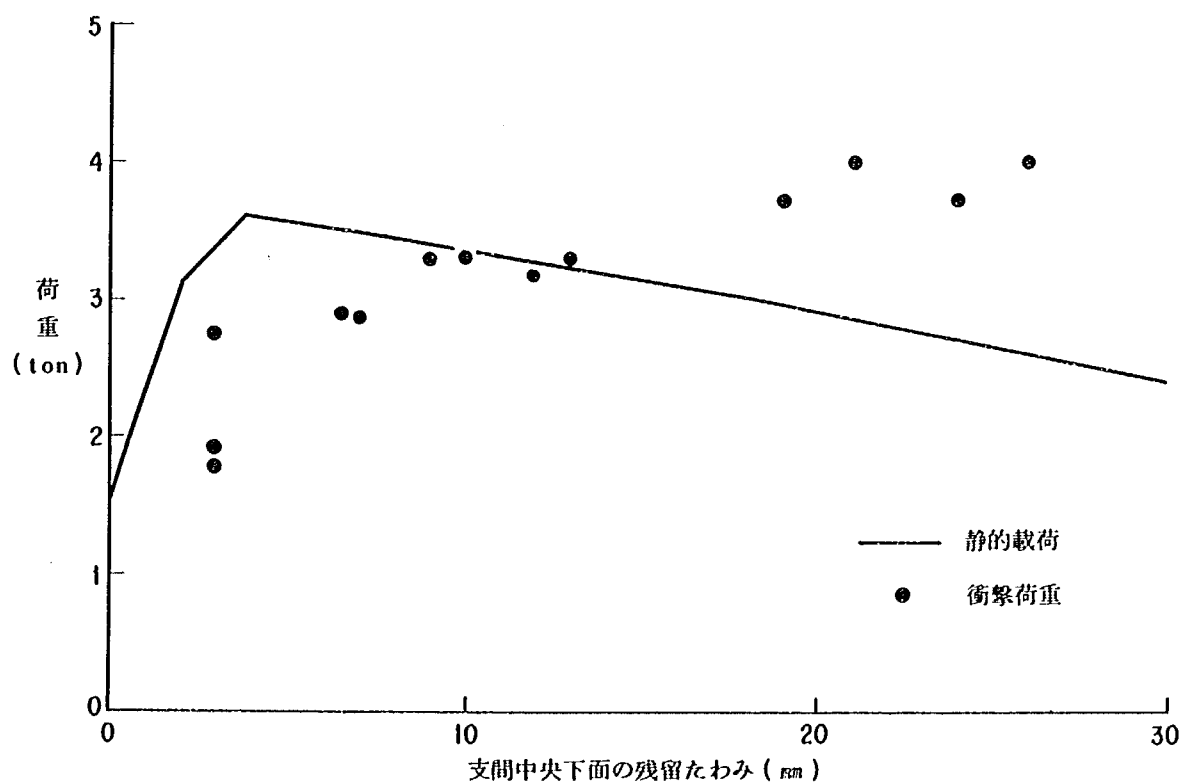


図4-12 衝撃荷重と残留たわみ



写真 4 - 1 Aタイプはり供試体の変形状態

5. これまでの結果と今後の課題

本試験により明らかになった点を列挙するとおおよ次の通りである。

床版供試体による落錘試験によるもの

- (1) 落錘による衝撃荷重により床版供試体に発生する応力は、本試験の範囲（衝撃加速度 $\alpha = 66 \sim 118 \text{ g}$ ）において、サンドクッション厚 h と落錘重量 W が一定ならば、衝撃加速度 α にほぼ比例する。したがって、 W と α の積を静的荷重に置き換えて設計に用いることについては、大きな問題はないものと考えられる。
- (2) 落錘により床版供試体に発生する応力は、落下位置付近に集中する傾向が大であり、支間直角方向への荷重分配はほとんど期待できない。したがって、落石復工の屋根部材を版として解いて設計すると、非常に危険側の設計となる可能性がある。
- (3) サンドクッション中の荷重分散の仮定は、これまでに用いられてきたどの方法でも、落石による影響を過小に評価する傾向がある。

はり供試体の破壊試験によるもの

- (4) 落錘による衝撃荷重と、はり供試体に生じる残留変形およびピークひずみの関係は、静的載荷試験における荷重～残留変位および荷重～ひずみ曲線と類似した分布を示す。いずれの場合にも、荷重が比較的小さい領域にあっては、衝撃荷重による変形およびひずみの方が大き目に出ているが、終局的な耐荷力（最大荷重値）については、衝撃荷重が静的載荷の場合を上回っている。

今後はこれまでの試験を補足する目的で次に述べる試験を行い、その結果に基づいて落石復工部材の設計法について検討してゆく予定である。

- (1) 床版供試体による試験のケースを増やし、落石形状、直径などの影響について試験データを得る。
- (2) コンクリート製はり供試体の破壊試験を行い、クラックの発生状況等、破壊性状を詳細に調査する。
- (3) 床版供試体についても破壊試験を行い、実部材における破壊強度を推定する。

参 考 文 献

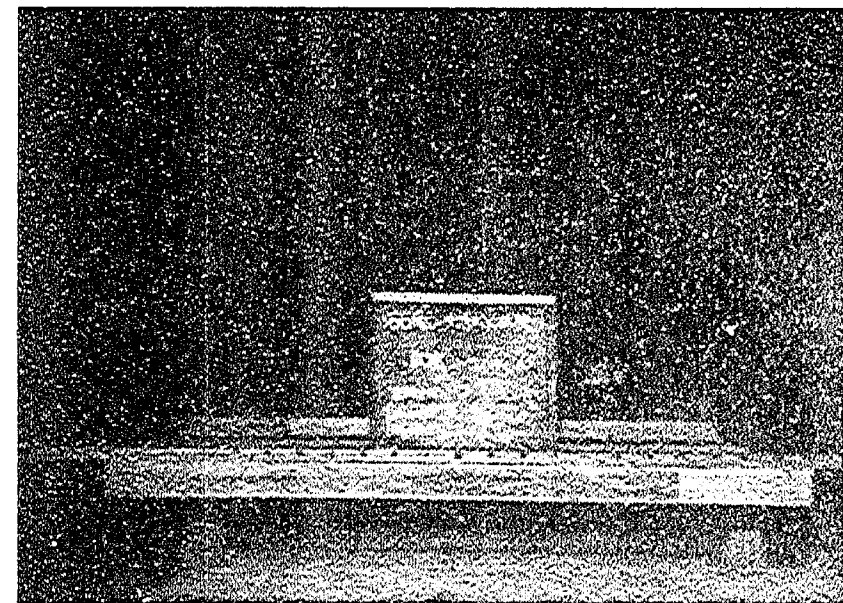
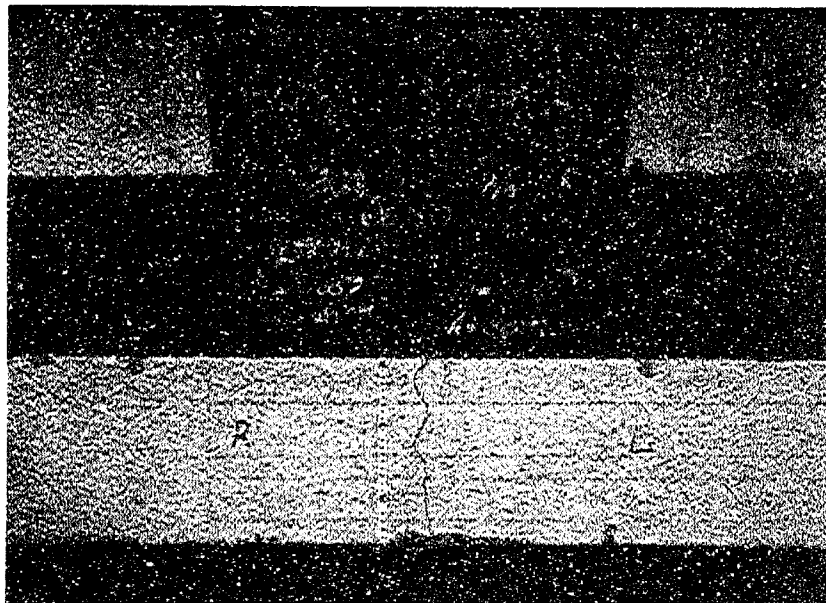
- (1) 高速道路調査会；落石防護施設の設置に関する調査研究報告書（日本道路公団委託），昭和49年2月
- (2) 日本国有鉄道；落石対策の手引（改訂版），昭和53年3月
- (3) 北海道開発局建設部道路建設課；道路防災工調査，設計要領，昭和53年3月
- (4) 鋼材倶楽部；「新しい落石覆の開発に関する研究」研究報告書，昭和48年4月
- (5) 金沢大学，日本サミコン株式会社；PCロック・シェードの静的および衝撃荷重載荷試験について，昭和54年12月
- (6) 土木学会；土木技術者のための振動便覧，昭41年
- (7) 佐々木ほか；敷砂上の落石の衝撃力に関する実験報告書，土木研究所資料第1822号，建設省土木研究所載土質研究室，昭和57年3月
- (8) 日本建設機械化協会；新防雪工学ハンドブック

付録 付り供試体破壊試験の
計測データと破壊状況写真

付表 はり供試体破壊試験の
計測データと破壊状況写真

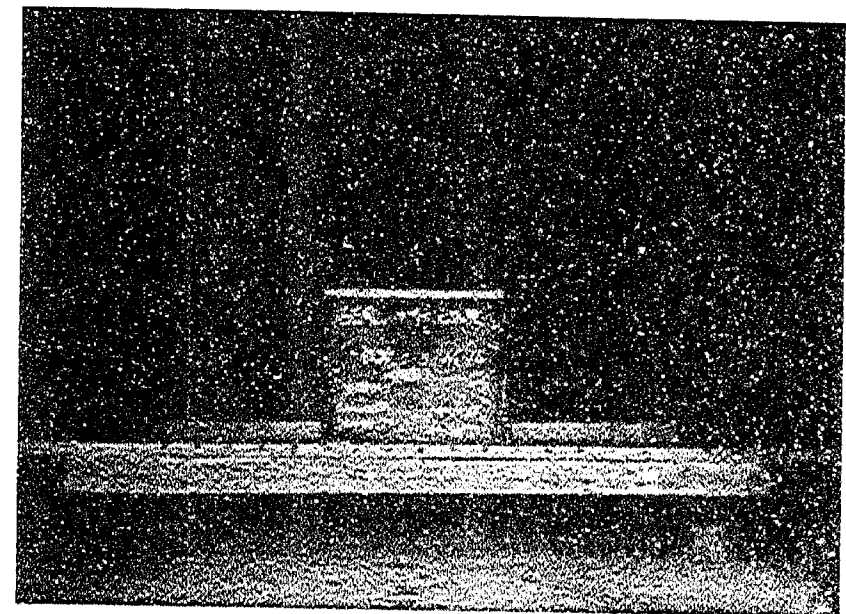
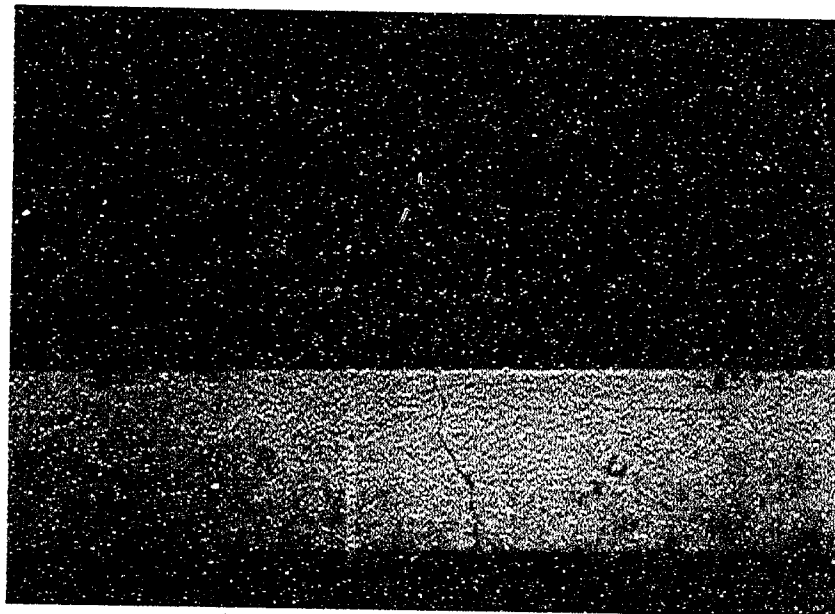
付表-1

試験の種類		衝撃載荷試験		タイプB供試体	
落 錘 タ イ プ			砂 厚	落 下 高	
W=100kg, D=40cm, 下部球状			h = 30cm	H = 3.0m	
実 測 デ ー タ					
データ種類		C A L 値 (mm)	読 み 値 (mm)	較 正 係 数	測 定 値
加 速 度		13.5	6	(100%) 1346×10 ⁻⁶	17.9 (g)
ひずみ	R 10	7.5	6	——	800 (×10 ⁻⁶)
	C	6	6	——	1000 (×10 ⁻⁶)
	L 10	8.5	7.5	——	941 (×10 ⁻⁶)
た わ み		上 部	下 部	中央より4cm程度L側に亀裂あり。	
測 定 値		3 (mm)	3 (mm)	中央点と亀裂の箇所ではたわみに差はない。	
備 考		落錘はやや左に傾き落下し、右にやや傾き静止。 コンクリート部、鋼製部は、中央30cm程度表面がはがれた。			



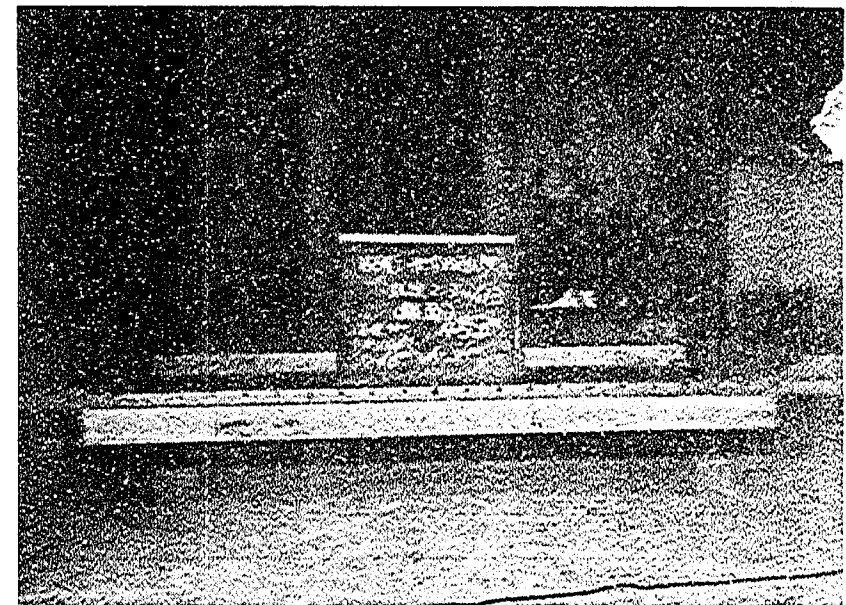
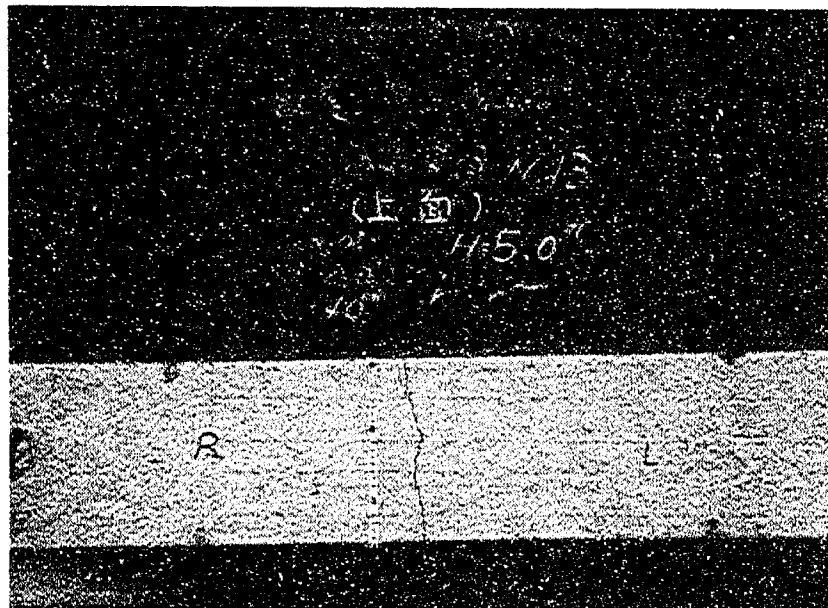
付表-2

試験の種類		衝 撃 載 荷 試 験			タイプB供試体
落 錘 タ イ プ			砂 厚	落 下 高	
W=100 kg, D=40 cm, 下部球状			h=30 cm	H= 4.0 m	
実 測 デ ー タ					
データ種類		C A L 値 (mm)	読 み 値 (mm)	較 正 係 数	測 定 値
加 速 度		13.5	7	(100%) 1346×10 ⁻⁶	19.3 (g)
ひずみ	R 10	7.5	3.5	——	1067 (×10 ⁻⁶)
	C	5.5	3	——	1000 (×10 ⁻⁶)
	L 10	9	6	——	1263 (×10 ⁻⁶)
た わ み		上 部	下 部	L側10cm程度の箇所に亀裂。 中央点と亀裂での箇所でのたわみは、差がない。	
測 定 値		4 (mm)	3 (mm)		
備 考		落錘は直すぐ落下し、やや左に傾き静止。 コンクリート部、鋼製部は、中央40cm程度表面がはがれる。			



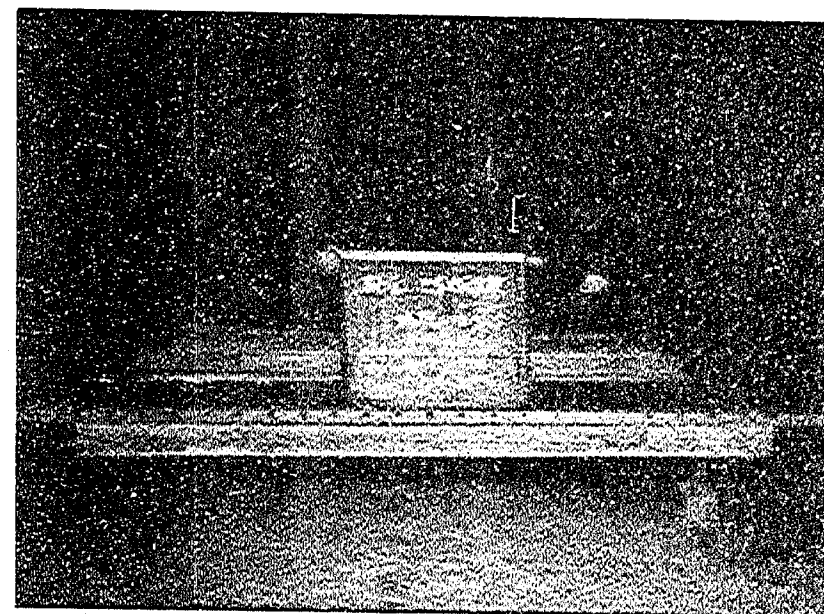
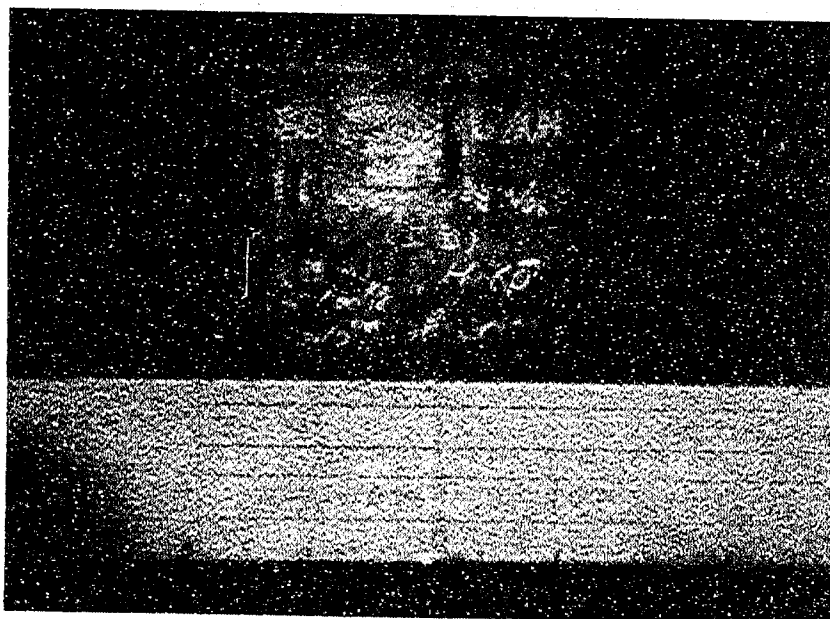
付表-3

試験の種類		衝 撃 載 荷 試 験		Bタイプ供試体	
落 錘 タ イ プ			砂 厚	落 下 高	
W=100 kg , D=40 cm , 下部球状			h=30 cm	H= 5.0 m	
実 測 デ ー タ					
データ種類		C A L 値 (mm)	読 み 値 (mm)	較 正 係 数	測 定 値
加 速 度		13.5	10	(100%)1346×10 ⁻⁶	27.5 (%)
ひずみ	R 10	7	6	————	1714(×10 ⁻⁶)
	C	6	6	————	2000(×10 ⁻⁶)
	L 10	9.5	8	————	1684(×10 ⁻⁶)
た わ み		上 部	下 部	中央より7cm程度R側に亀裂。 たわみは、中央値と同じ値で最大。	
測 定 値		4 (mm)	3 (mm)		
備 考		落錘は、やや右に傾き落下し、右に傾いたまま静止 コンクリート部、鋼製部は、中央40m程度表面がはがれる。			



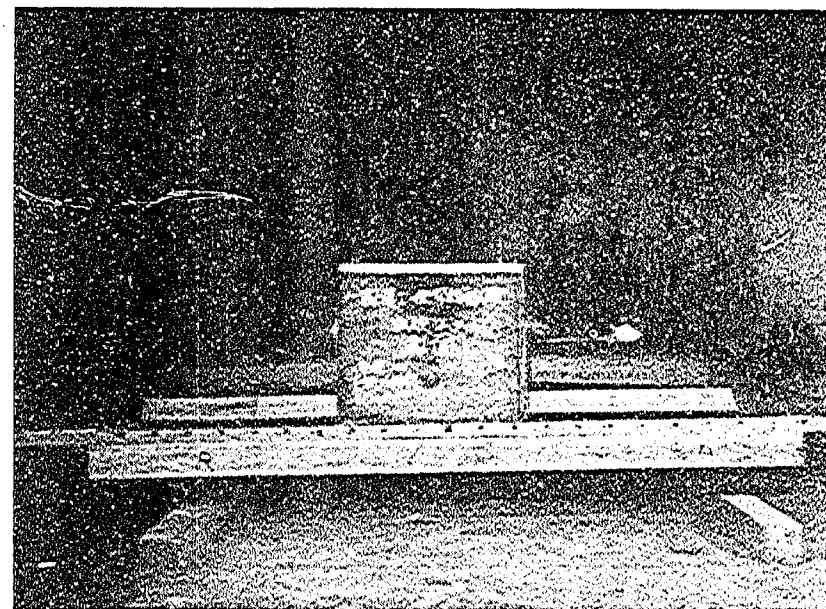
付表-4

試験の種類		衝 撃 載 荷 試 験			タイプB供試体
落 錘 タ イ プ			砂 厚	落 下 高	
W=100kg, D=40cm, 下部球状			h = 30cm		H = 6.0 m
実 測 デ ー タ					
デ ー タ 種 類		C A L 値 (mm)	読 み 値 (mm)	較 正 係 数	測 定 値
加 速 度		13.5	10.5	(100%) 1346×10 ⁻⁶	28.9(%)
ひずみ	R 10	7.5	9	—	2400(×10 ⁻⁶)
	C	6.5	18	—	5538(×10 ⁻⁶)
	L 10	8.5	9.5	—	2235(×10 ⁻⁶)
た わ み		上 部	下 部	中央とR、L側とも10cm程度の所に亀裂。	
測 定 値		6 (mm)	6.5 (mm)		
備 考		落錘はほとんど直下に落下し、ほとんど垂直に静止。 コンクリート部、鋼製部は、やや中央30cmで表面がはがれている。			



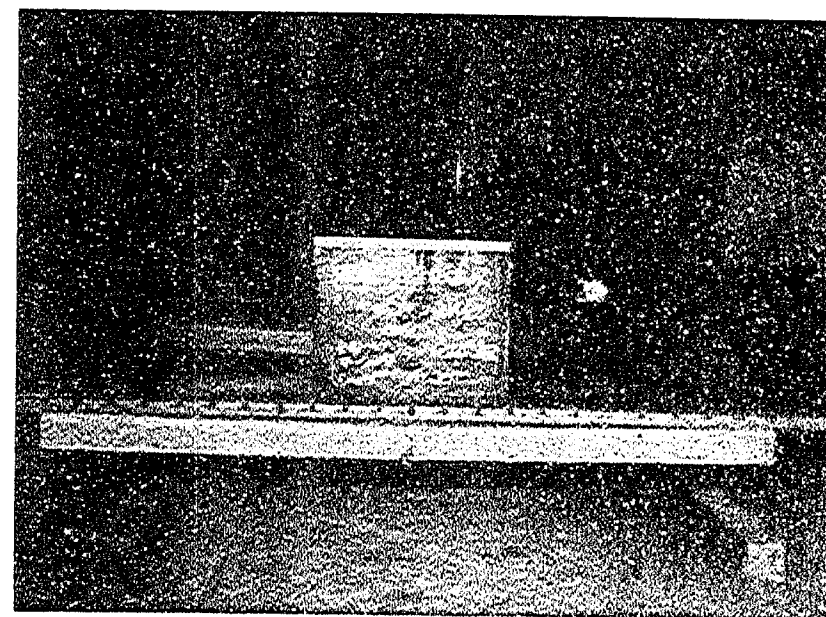
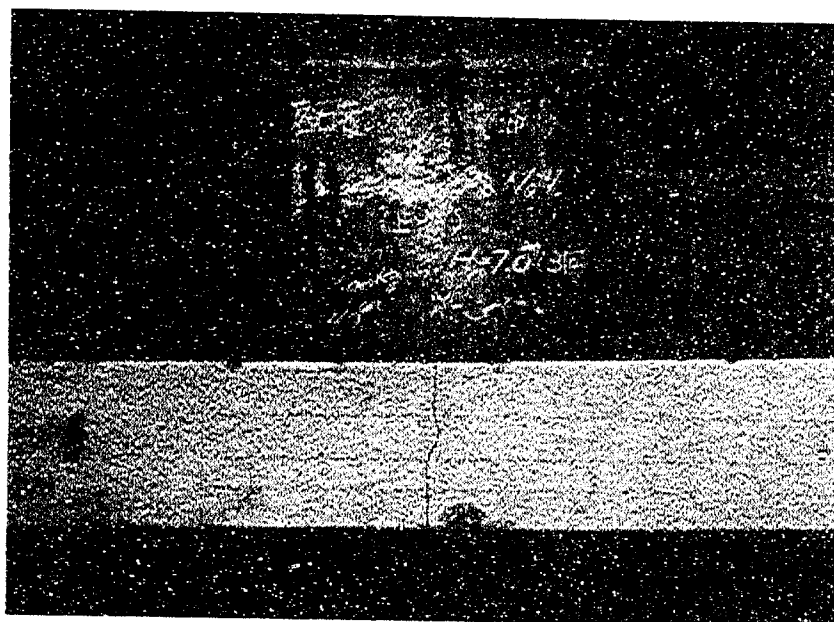
付表-5

試験の種類		衝 撃 載 荷 試 験			タイプB供試体
落 錘 タ イ プ			砂 厚	落 下 高	
W=100kg, D=40cm, 下部球状			h=30cm	H=6.0m	
実 測 デ ー タ					
データ種類		C A L 値 (mm)	読 み 値 (mm)	較 正 係 数	測 定 値
加 速 度		13	10	(100%) 1346×10 ⁻⁶	28.6 (g)
ひずみ	R-10	7.5	24	——	6533 (×10 ⁻⁶)
	C	6	8.5	——	2833 (×10 ⁻⁶)
	L 10	9	9	——	2000 (×10 ⁻⁶)
た わ み		上 部	下 部	R,L側に10cm程度で亀裂あり, たわみは中央で最大。	
測 定 値		5 (mm)	7 (mm)		
備 考		落錘は, 直すぐ落下し, 前側にやや傾き静止。 コンクリート部, 鋼製部は中央20cm程度で表面ではがれる程度。			



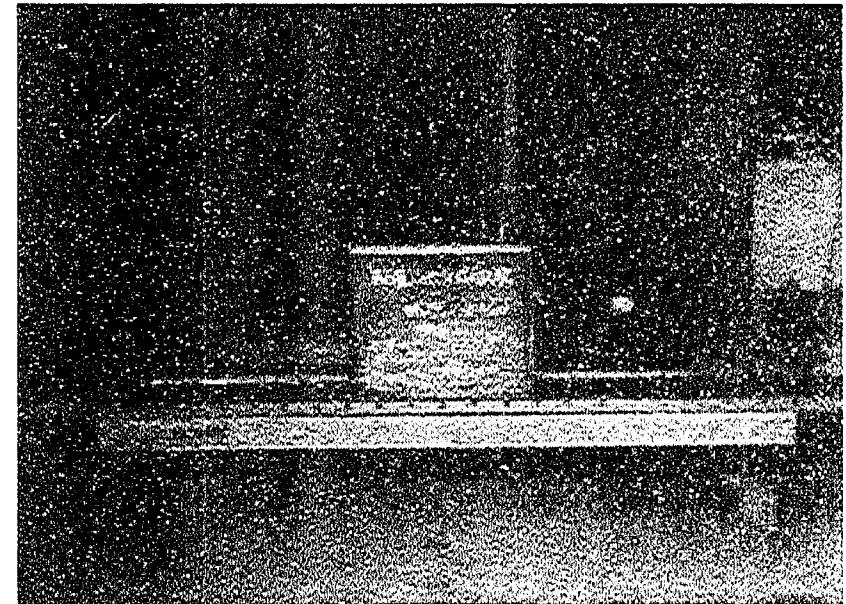
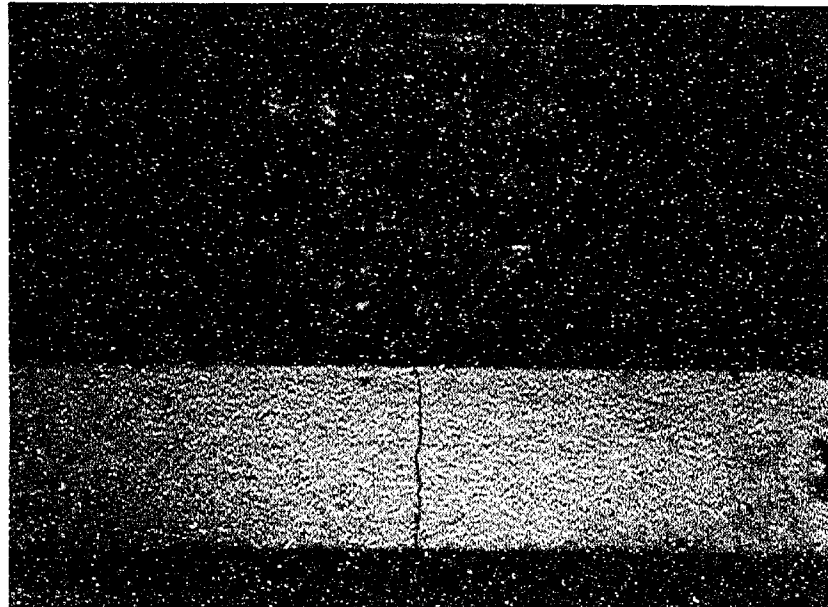
付表-6

試験の種類		衝撃載荷試験			タイプB供試体		
落 錘 タイ プ				砂 厚	落 下 高		
W=100kg, D=40cm, 下部球状				h = 30cm	H = 7.0 (3回)m		
実 測 デ ー タ							
データ種類		C A L 値 (mm)		読 み 値 (mm)		較 正 係 数	測 定 値
加 速 度							
ひずみ	R 10						
	ε						
	L 10						
た わ み		上 部		下 部		中央に亀裂あり。	
測 定 値		20.0 (mm)		22.0 (mm)			
備 考							



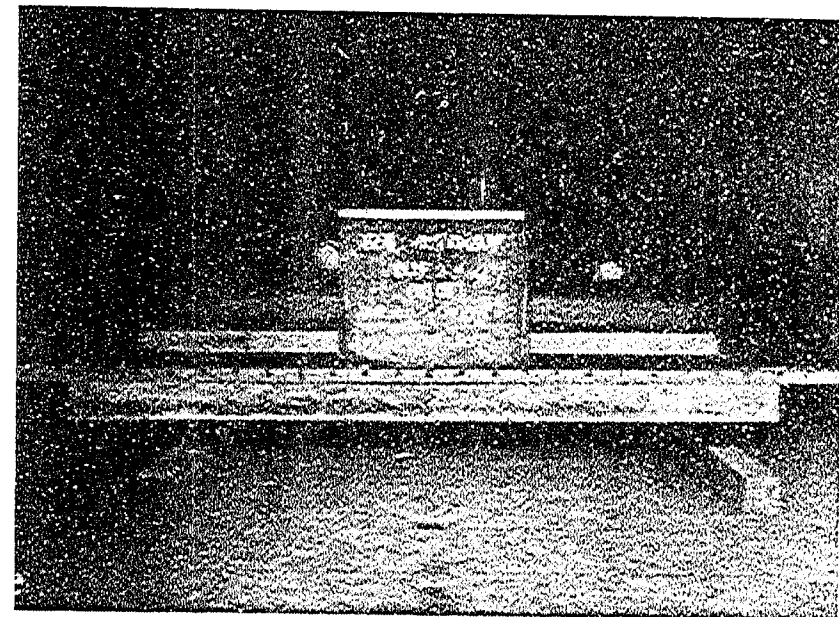
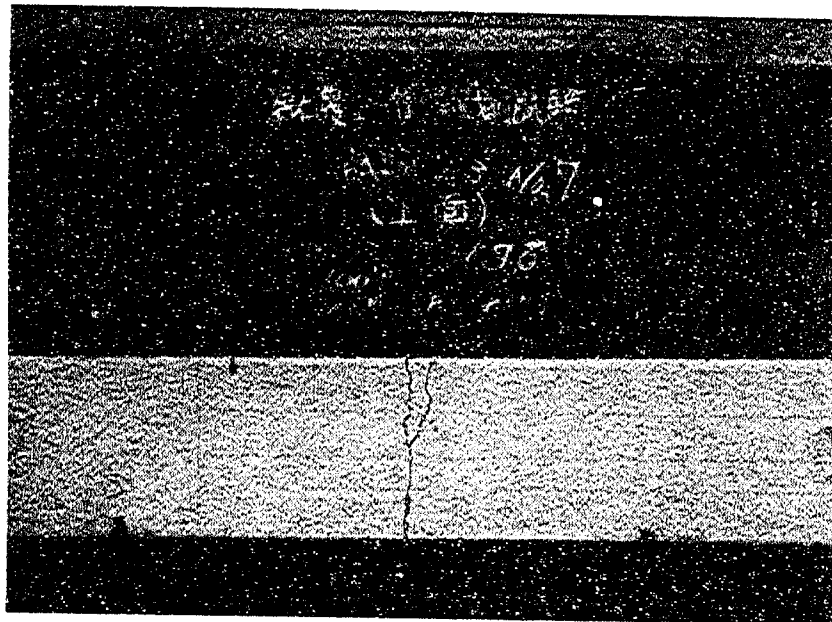
付表-7

試験の種類		衝撃載荷試験			タイプB供試体	
落 錘 タ イ プ			砂 厚		落 下 高	
W=100kg, D=40cm, 下部球状			h=30cm		H=7.0m	
実 測 デ ー タ						
データ種類		CAL値 (mm)	読 み 値 (mm)		較 正 係 数	測 定 値
加 速 度		13.5	11.5		(100%) 1346×10 ⁻⁶	31.6 (°)
ひずみ	R 10	7.5	9.5		——	2533 (×10 ⁻⁶)
	CL	6.5	17		——	5230 (×10 ⁻⁶)
	L 10	9	18		——	4000 (×10 ⁻⁶)
た わ み		上 部		下 部		亀裂の入った部分は、L側に1.5cm程度ずれているが、たわみは中央と同じ値である。
測 定 値		9 (mm)		12 (mm)		
備 考		落錘はやや左に(正面より)傾き落下し、落下後左に傾き静止する。 コンクリート部と鋼製部は、中央40cm程度ではくり。				



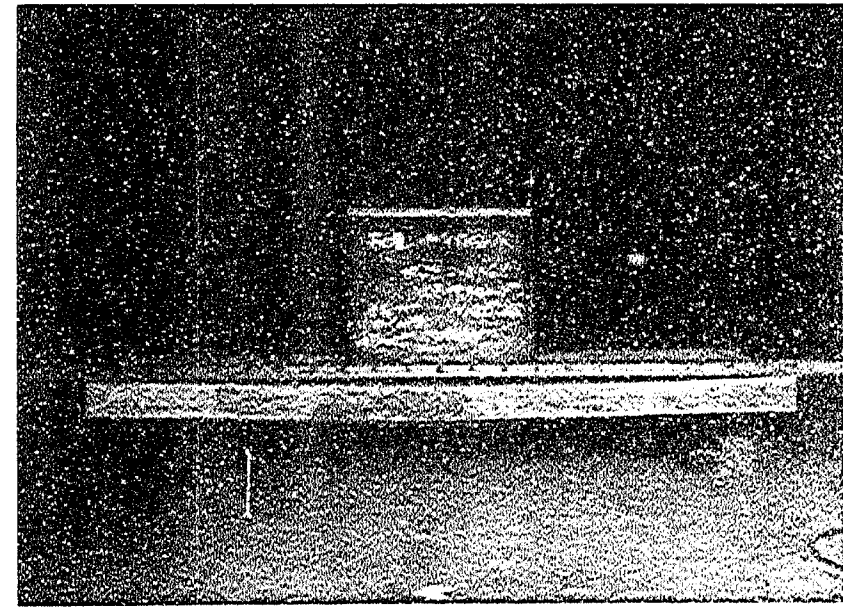
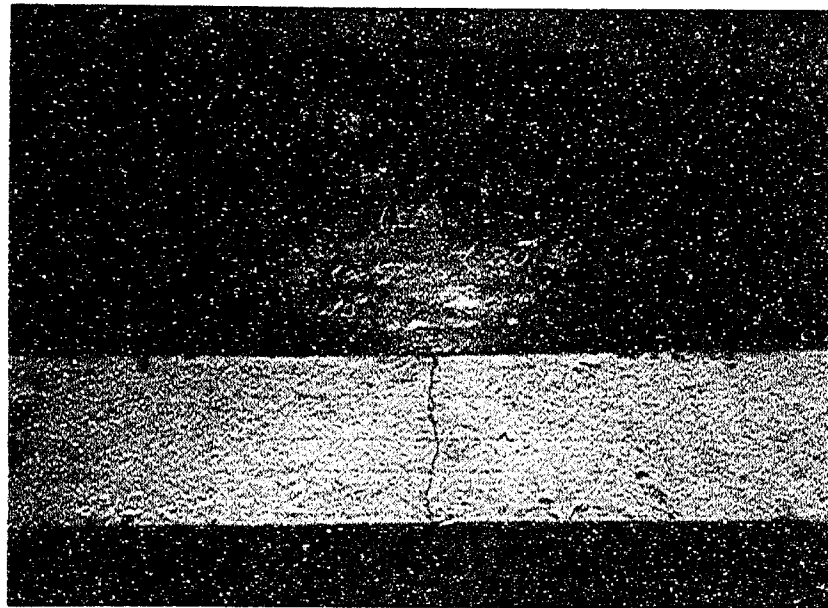
付表-8

試験の種類		衝 撃 載 荷 試 験			タイプB供試体
落 錘 タ イ プ			砂 厚	落 下 高	
W=100kg, D=40cm, 下部球状			h=30cm	H=7.0m	
実 測 デ ー タ					
データ種類		C A L 値 (mm)	読 み 値 (mm)	較 正 係 数	測 定 値
加 速 度		13	12	(100%) 1346×10 ⁻⁶	32.9 (g)
ひずみ	R 10	7.5	13	—	3467 (×10 ⁻⁶)
	CL	6	46.5	—	15167 (×10 ⁻⁶)
	L 10	9	20.5	—	4556 (×10 ⁻⁶)
た わ み		上 部	下 部	中央に亀裂がある。	
測 定 値		6 (mm)	9 (mm)		
備 考		落錘はほぼ直すぐ落下し、前側に傾き静止する。 コンクリート部、鋼製部は、中央から15cm程度はくり。			



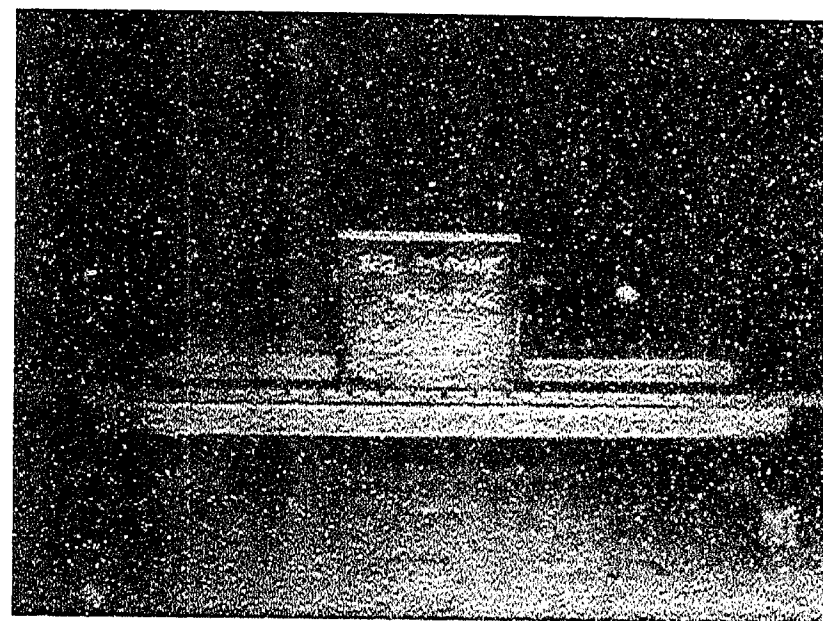
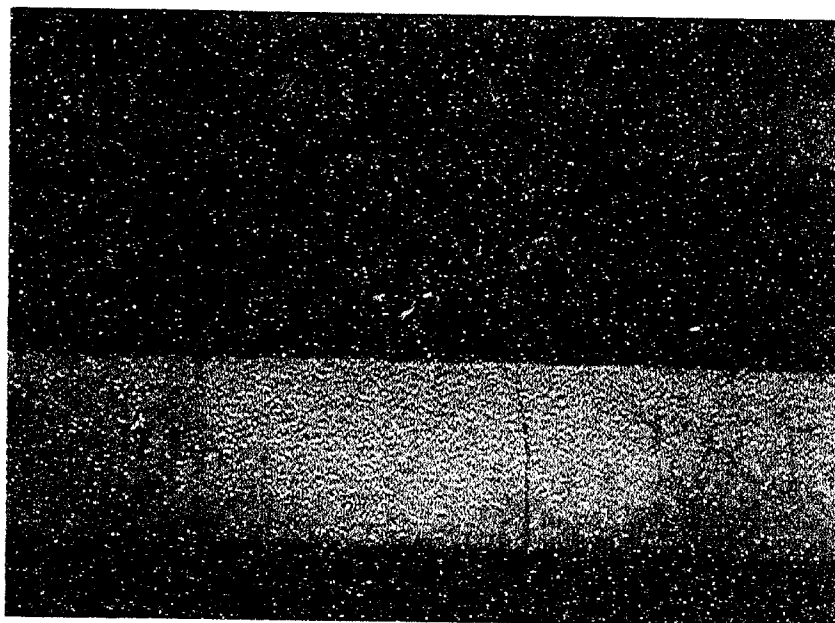
付表-9

試験の種類		衝 撃 載 荷 試 験			タイプB供試体
落 錘 タ イ プ			砂 厚	落 下 高	
W=100kg, D=40cm, 下部球状			h=30cm	H=8.0m(3回)m	
実 測 デ ー タ					
データ種類		C A L 値 (mm)	読 み 値 (mm)	較 正 係 数	測 定 値
加 速 度				(100%) 1346×10 ⁻⁶	
ひずみ	R 10			—	
				—	
	L 10			—	
た わ み		上 部	下 部	中央に亀裂あり。	
測 定 値		29.0 (mm)	31.0 (mm)		
備 考					



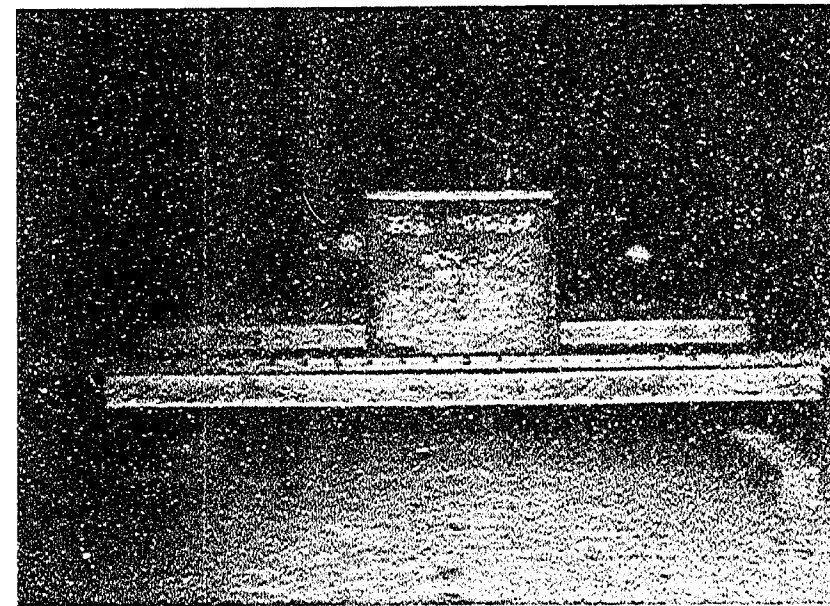
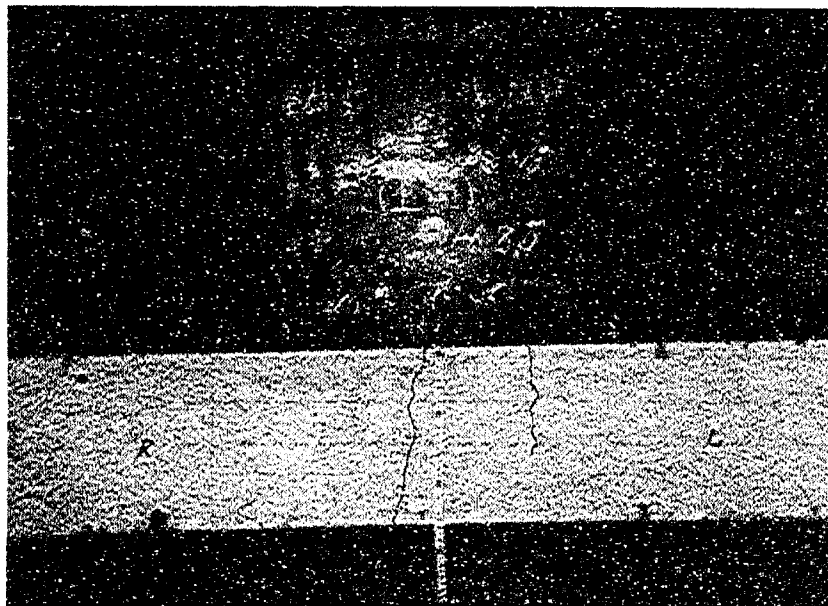
付表-10

試験の種類		衝 撃 載 荷 試 験				タイプB供試体	
落 錘 タ イ プ				砂 厚		落 下 高	
W=100kg, D=40cm, 下部球状				h=30cm		H=8.0m	
実 測 デ ー タ							
データ種類		CAL値 (mm)	読 み 値 (mm)		較 正 係 数	測 定 値	
加 速 度		13.5	12		(100%) 1346×10 ⁻⁶	33.0 (g)	
ひずみ	R 10	7.5	11		——	2933 (×10 ⁻⁶)	
		6.5	15		——	6154 (×10 ⁻⁶)	
	L 10	8.5	14.5		——	3412 (×10 ⁻⁶)	
た わ み		上 部		下 部		亀裂は11cm程度L側にずれているが、たわみは、中央と差がない。	
測 定 値		8 (mm)		10 (mm)			
備 考		落錘は、5°程度左に傾き落下、落下後10°程度左に傾いたまま静止。 コンクリート部、鋼製部は、中央40cm程度はくり。					



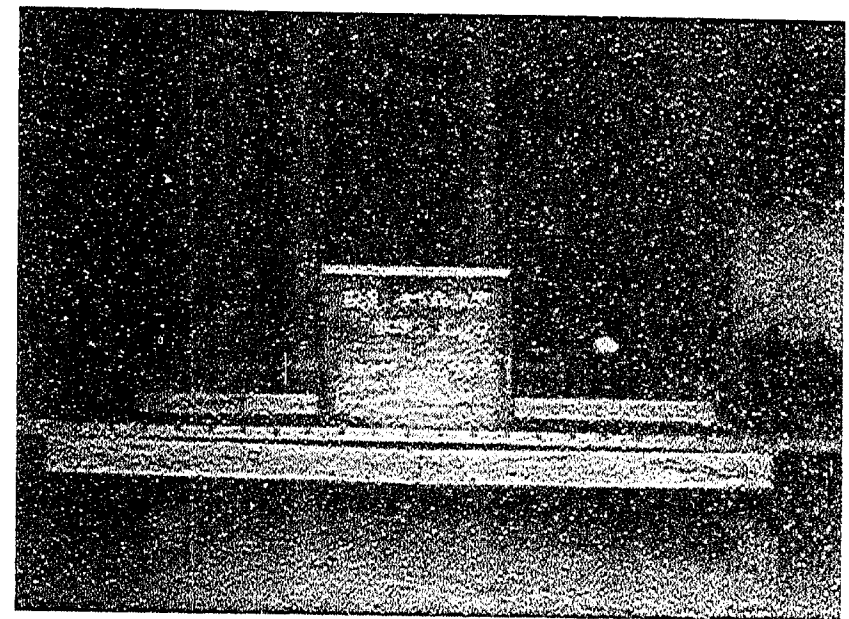
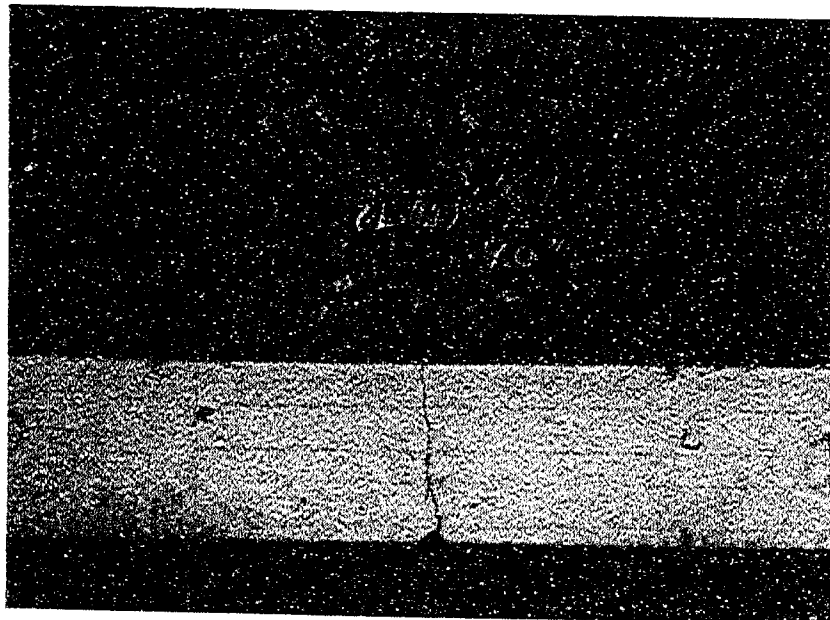
付表-11

試験の種類		衝 撃 載 荷 試 験		タイプB供試体	
落 錘 タ イ プ			砂 厚	落 下 高	
W=100kg, D=40cm, 下部球状			h=30cm	H=8.0m	
実 測 デ ー タ					
データ種類		CAL値 (mm)	読 み 値 (mm)	較 正 係 数	測 定 値
加 速 度		13	12	(100%) 1346×10 ⁻⁶	32.9
ひずみ	R10	7.5	9	——	2533 (×10 ⁻⁶)
	CL	6	28.5	——	9500 (×10 ⁻⁶)
	L10	9	35.5	——	7889 (×10 ⁻⁶)
た わ み		上 部	下 部	中央とL側13cm程度の箇所に亀裂。	
測 定 値		12 (mm)	13 (mm)		
備 考		落錘は、やや右に傾き落下し、やや後に傾き静止。 コンクリート部、鋼製部は、R側に15cm、L側に30cm程度はくり。			



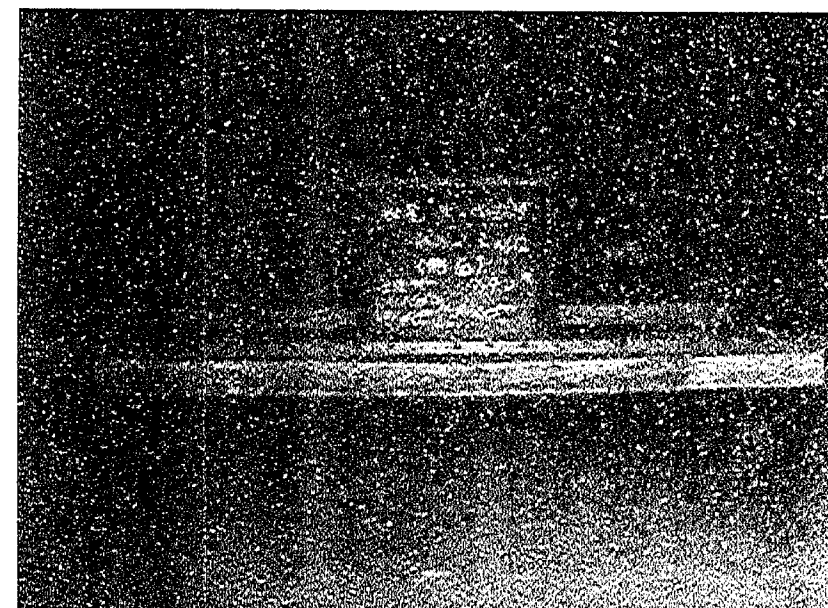
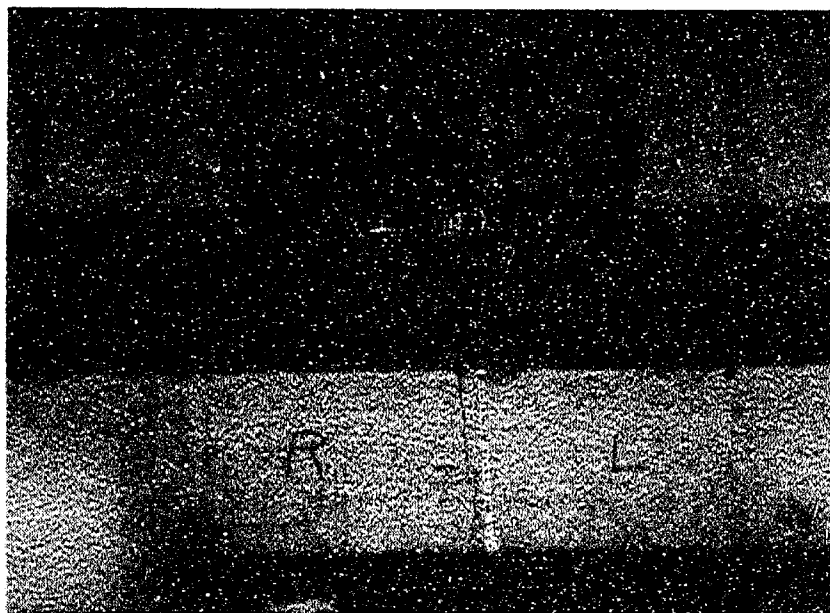
付表-12

試験の種類		衝 撃 載 荷 試 験				タイプB供試体	
落 錘 タ イ プ				砂 厚		落 下 高	
W=100kg, D=40cm, 下部球状				h=30cm		H=9.0m	
実 測 デ ー タ							
データ種類		C A L 値 (mm)	読 み 値 (mm)		較 正 係 数	測 定 値	
加 速 度		13	13		(100%) 1346×10 ⁻⁶	37.2 (g)	
ひずみ	R 10	7.5	14		—	3867 (×10 ⁻⁶)	
	CL	6	40		—	13333 (×10 ⁻⁶)	
	L 10	9.5	46		—	9684 (×10 ⁻⁶)	
た わ み		上 部		下 部		中央に亀裂あり。	
測 定 値		18 (mm)		19 (mm)			
備 考		落錘は、直すぐ落下し、やや前側に傾き静止。 コンクリート部、鋼製部は中央60cm程度はくり。					



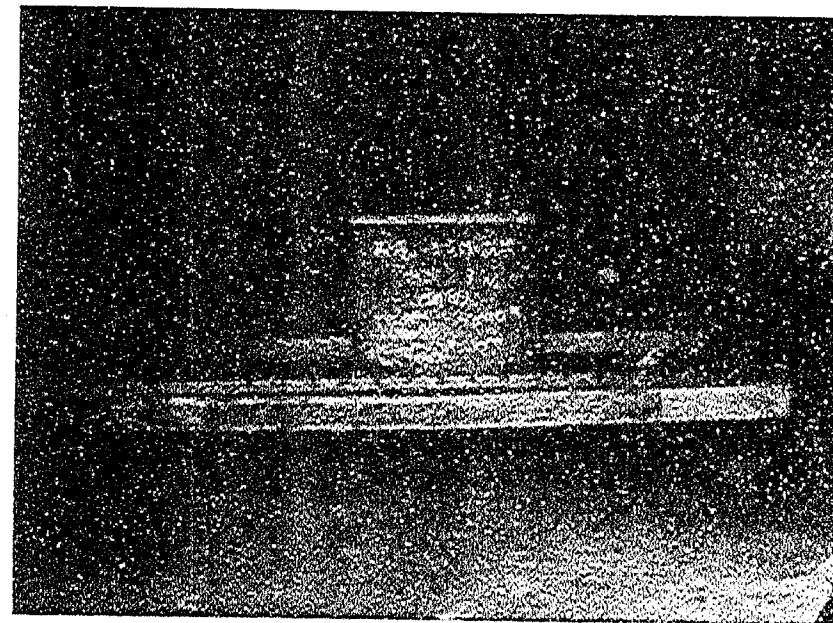
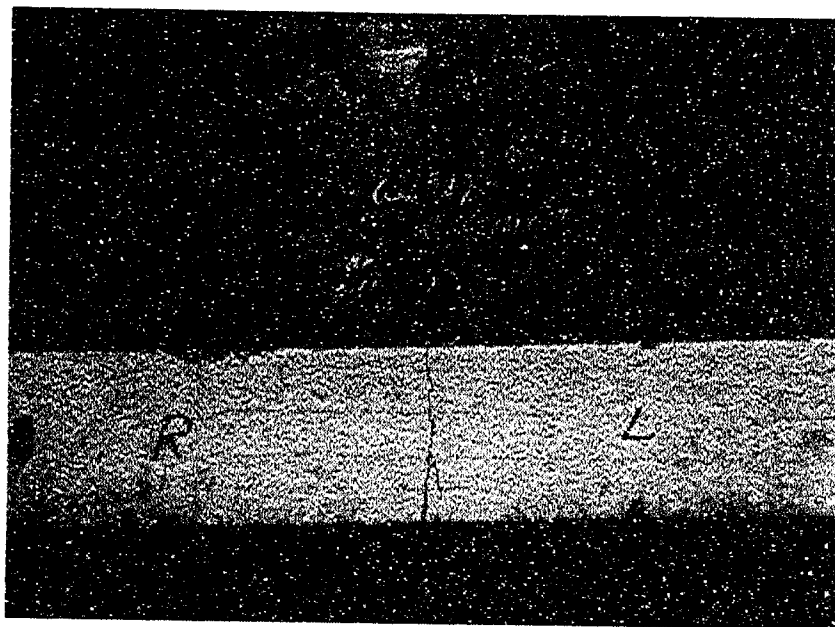
付表-13

試験の種類		衝撃載荷試験		タイプB供試体	
落 錘 タ イ プ			砂	厚	落 下 高
W=100kg, D=40cm, 下部球状			h = 30cm		H = 9.0 m
実 測 デ タ					
データ種類		C A L 値 (mm)	読 み 値 (mm)	較 正 係 数	測 定 値
加 速 度		1 3.5	1 3.5	(100%) 1346×10 ⁻⁶	3 7.2 (g)
ひずみ	R 10	7.5	2 0	——	5 3 3 3 (×10 ⁻⁶)
	Q			——	
	L 10			——	
た わ み		上 部	下 部	中央よりL側5cm程度に亀裂。	
測 定 値		2 5 (mm)	2 4 (mm)	最大値は、中央と同じ値である。	
備 考		落錘は、ほぼ直すぐ落下し、後に傾き静止。 コンクリート部、鋼製部は、中央60cm程度はくり。			



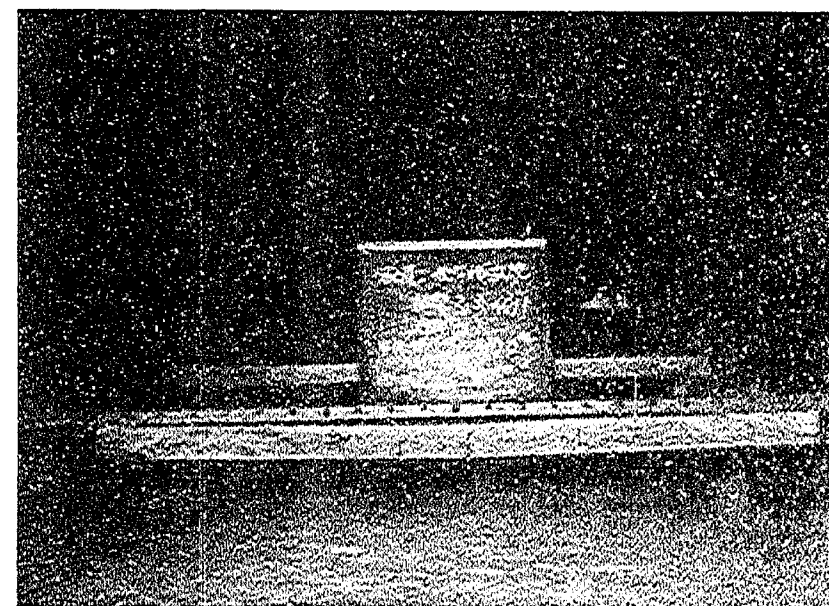
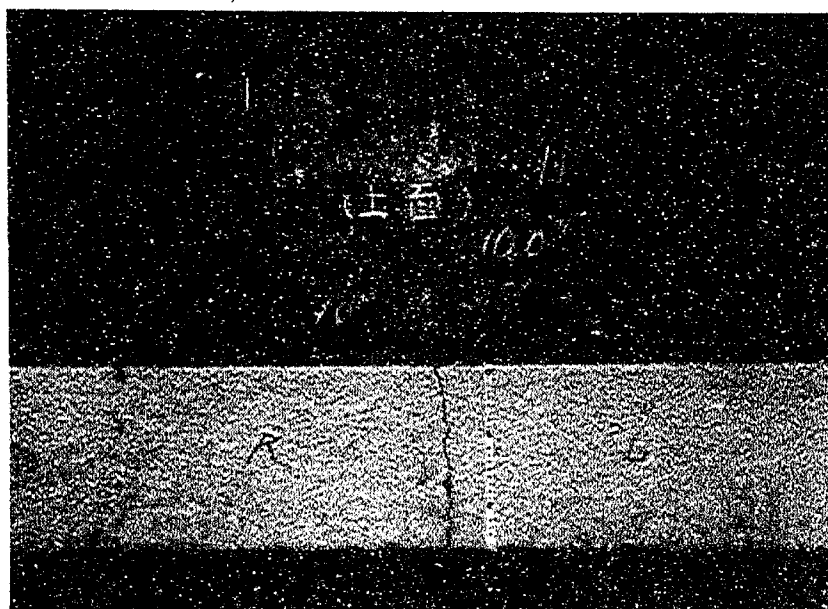
付表-14

試験の種類		衝 撃 載 荷 試 験				タイプB供試体	
落 錘 タ イ プ				砂 厚		落 下 高	
W=100kg, D=40cm, 下部球状				h=30cm		H=10.0m	
実 測 デ ー タ							
データ種類		C A L 値 (mm)		読 み 値 (mm)		較 正 係 数	
加 速 度		13		14		(100%) 1346×10 ⁻⁶	
ひずみ	R 10	7.5		22.5		————	
		6		29		————	
	L 10	9		31		————	
た わ み		上 部		下 部		中央に亀裂あり。	
測 定 値		19 (mm)		21 (mm)			
備 考		落錘は、直すぐ落下し、前側に15°程度傾き静止。 コンクリート部、鋼製部は、中央90cm程度はくり。					



付表-15

試験の種類		衝 撃 載 荷 試 験			タイプB供試体	
落 錘 タ イ プ				砂 厚	落 下 高	
W=100kg, D=40cm, 下部球状				h=30cm	H=10.0m	
実 測 デ ー タ						
データ種類		CAL値 (mm)	読 み 値 (mm)	較 正 係 数	測 定 値	
加 速 度		13	14	(100%) 1346×10 ⁻⁶	40.0 (g)	
ひずみ	R 10	7.5	19.5	——	5333 (×10 ⁻⁶)	
				——		
	L 10	9.5		——	12421 (×10 ⁻⁶)	
た わ み		上 部	下 部	L側2cm程度の箇所に亀裂。		
測 定 値		24 (mm)	26 (mm)			
備 考		落錘は、やや左に傾き落下し、左後に傾き静止。 コンクリート部、鋼製部は、中央80cm程度はくり。				



衝撃力を受ける落石覆工部材に関する ISSN 0386-5878
実験報告書(I) 土研資料 第1886号
昭和57年11月(1982)

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

落石覆工の設計方法の統一，合理化を目的として行った，覆工部材供試体の重錘落下試験結果に関する中間報告である。



郵便はがき

305-□□

40円切手
をはって
下さい。

茨城県筑波郡豊里町大字旭一番地

建設省土木研究所

橋梁研究室 御中

No. 32

No. 32

配布先氏名

配布先住所





土木研究所資料第1886号 部

上記のとおり受領しました。

所 属 (住所)

氏 名

