

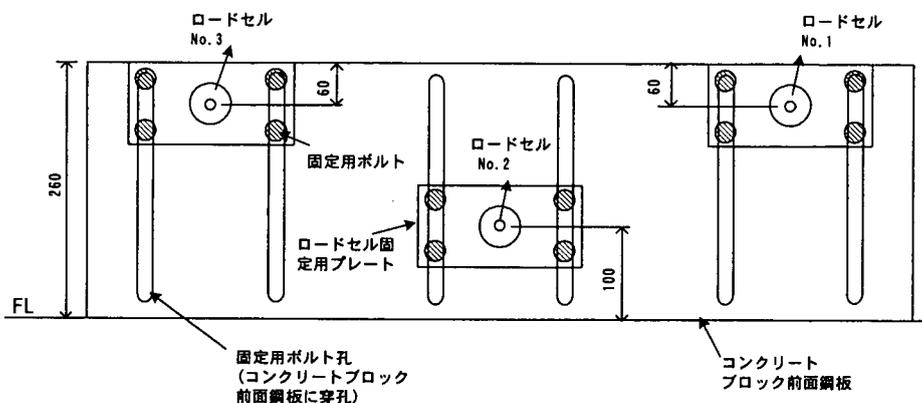
資料

- 資料 1 計測装置の詳細
- 資料 2 計測機器の校正試験
- 資料 3 崩土の有効質量算出の詳細
- 資料 4 杉材、コナラ材の材料試験結果(参考)

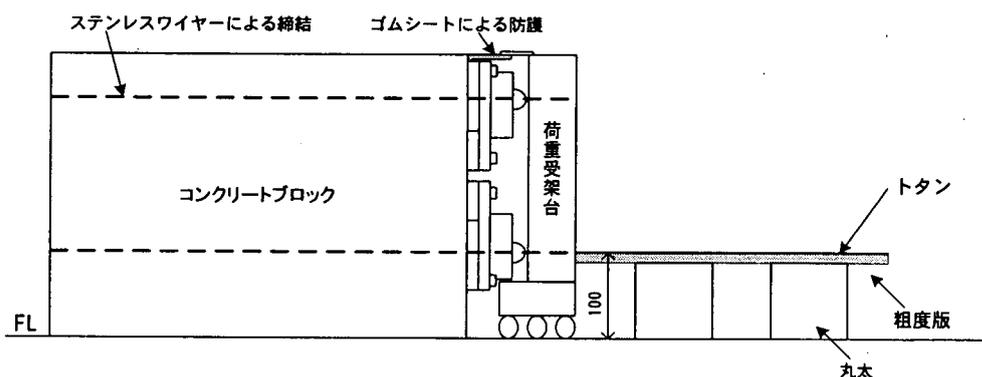
資料1 計測装置の詳細

A1.1 圧縮型ロードセル

圧縮型ロードセルは表 A1.1 に示す3台を用い、3 台のロードセルの配置位置を図 A1.1 に示す。



正面図(荷重受架台背後よりロードセル、コンクリートブロック方向視)



側面図

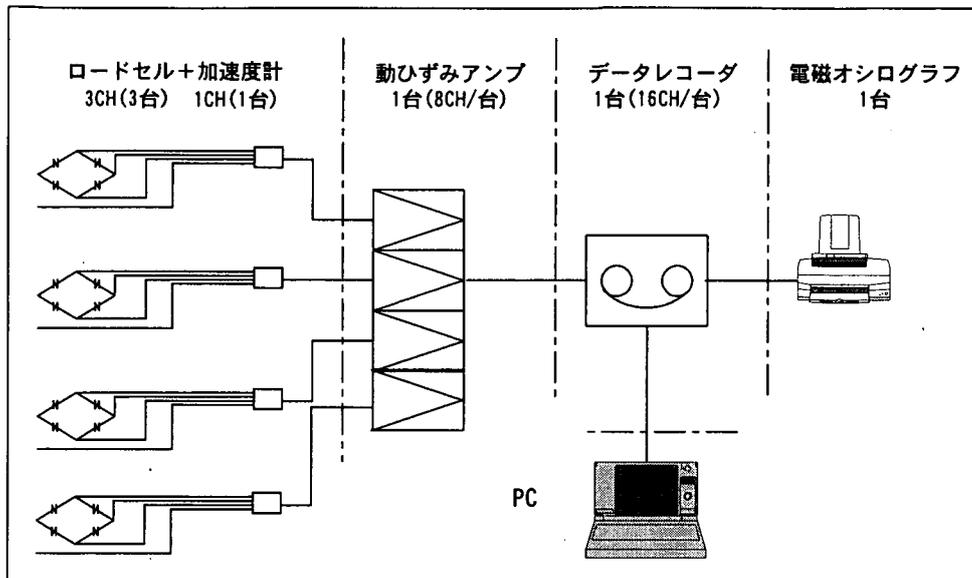
図A1.1 ロードセル配置図

表 A1.1 圧縮型ロードセルの仕様

型番	CLA-NA(東京測器研究所)
容量	20kN
周波数	12kHz(実験上 1kHz)
最小荷重値	20kN × 1/3000=0.007kN
最大荷重値	20kN
精度保証温度範囲	0°C~+45°C
使用可能温度範囲	-10°C~+60°C

※ 横ずれ等による計測の誤差はない。

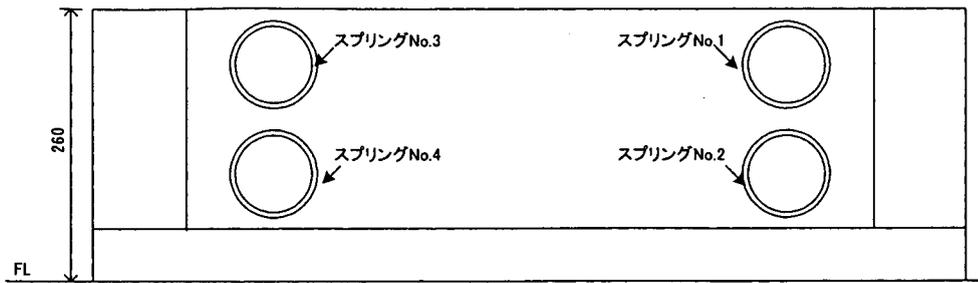
- ・ 受架台とコンクリートブロックとの隙間に土砂が混入しないよう防砂カバーを設置する。
- ・ ロードセルと受荷台との間に隙間が生じないように適切に設置する。
- ・ 計測システムは図 A1.2 に示すとおりとする。



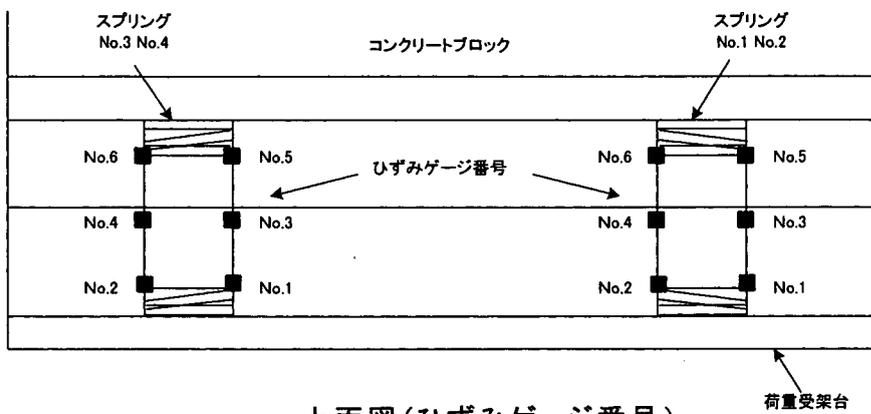
図A1.2 圧縮型ロードセルの計測システム

A1.2 エネルギー計測装置

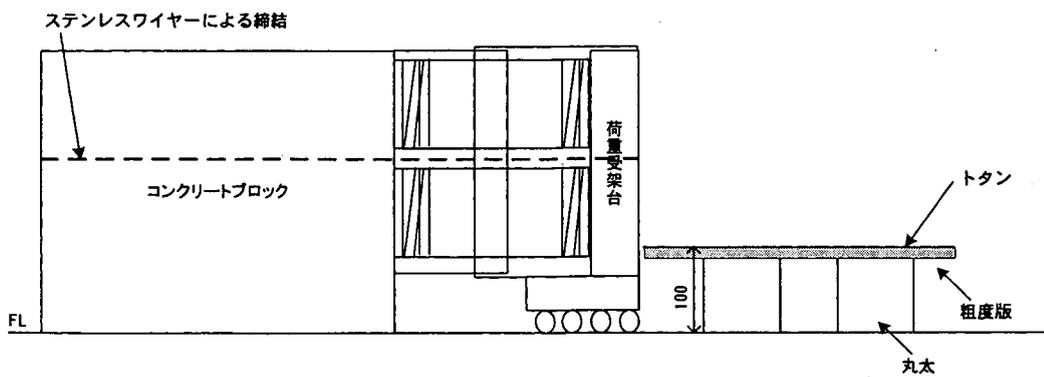
- ・ エネルギー計測装置は、図 A1.3 に示すものを製作する。
- ・ 装置の仕組みは、以下のとおりとする。
 - 1) コンクリートブロックと受荷台の間にバネ定数が既知であるバネを4本設置し、崩土の衝突に伴うバネの伸縮量から衝突エネルギーを計測する。
 - 2) 計測は、各スプリングに貼り付けたひずみゲージ(クロスゲージ)により行う。ひずみゲージは曲げがキャンセルされるようにバネ両面に貼り付け、バネ1本あたり6カ所貼り付ける。ゲージ貼り付け位置を図 A1.3 に示す。エネルギー計測装置、スプリング、ひずみゲージの取り付け位置および番号を図 A1.3 に示す。
 - 3) バネが一方向に変位するようにオス・メス型のガイドレールを取り付ける。崩土撤去の際に、ガイドレール内に砂が付着しないように十分注意する。崩土撤去方法は、以下に示す。
 - 4) 装置内に土砂が混入しないように防砂カバーを設置するバネ定数は製作工場にて求める。その際、実験で予定している位置にひずみゲージを貼り付けておき、荷重～変位～バネひずみの関係を、細かい荷重ピッチで把握しておく。
 - 5) 計測システムは図 A1.4 に示すとおりとする。



正面図(荷重受架台背後よりスプリング、コンクリートブロック方向視)
スプリング番号



上面図(ひずみゲージ番号)



側面図

図 A1.3 エネルギー計測装置、スプリング、ひずみゲージ取り付け位置

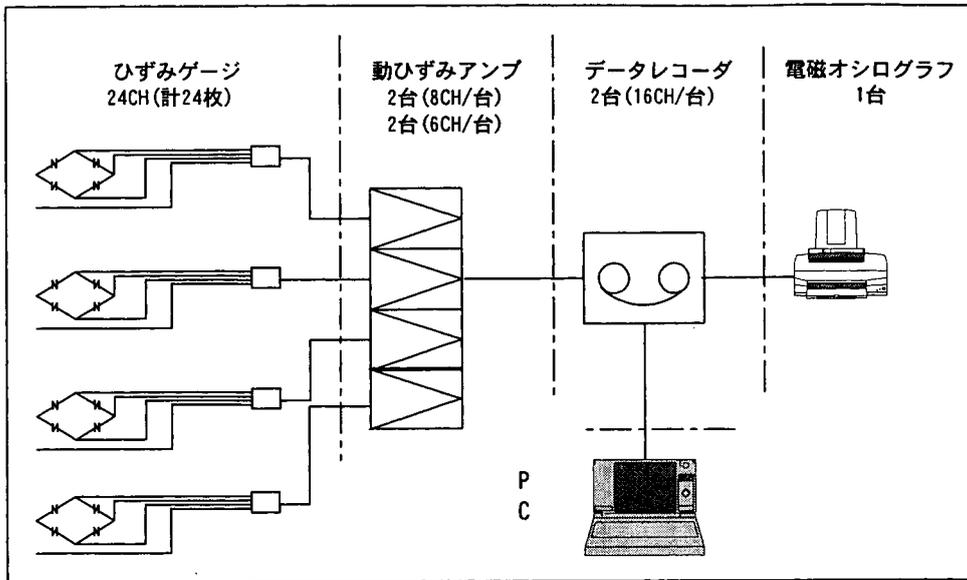


図 A1.4 エネルギー計測装置の計測システム

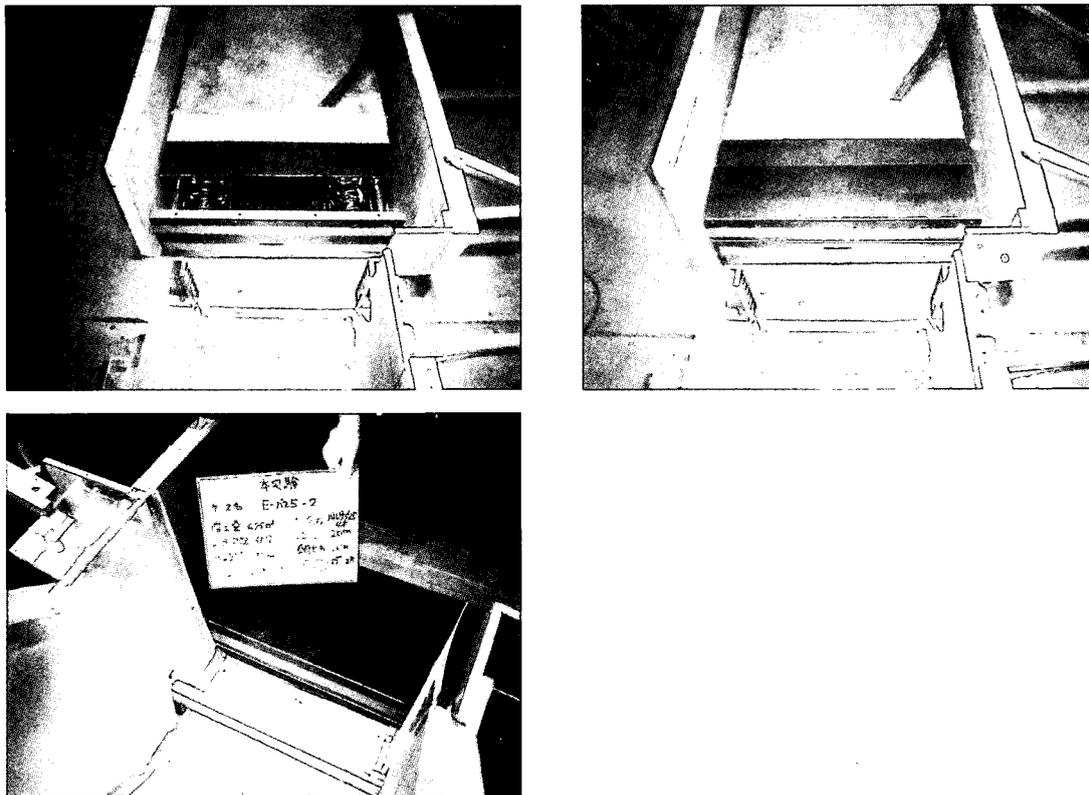


図 A1.5 エネルギー計測装置の設置状況

エネルギー計測装置の設置手順は以下に示すとおりとした。

① 取り付けの場合

スペーサーと受架台のボルト孔に六角穴付ボルトを挿入し、スプリングベースプレートをそれぞれに取り付ける。ボルトは六角レンチを使用して固定する。

コンクリートブロック前面とスペーサーを六角穴付ボルトにより固定する。

受架台のフックにワイヤーを通し 10cm 程度上空につり上げ、底面に鋼球を敷き詰める。

スペーサー前面のベースプレートと受架台背面のベースプレートにスプリングをはめ込み、バネが自然長を保つ形状で受架台を下流側へ移動させる。その際、4本のガイドレール・メスにオスが水平に挿入されていることを確認し、30mmラップした状態とする。

スプリングに取り付けられたひずみゲージのリード線をスペーサーの孔に通し、コンクリートブロックの背面へ伸ばし結線する。

受架台上端と防砂カバーをボルトにより固定する。また、L型金具を使用して受架台下端と防砂カバーをボルトにより固定する。

衝突時にガイドレールが引っ掛からないように、少しバネに緊張を与えておく。バネの緊張は、ワイヤーを通しコンクリートブロックの下流側でターンバックルを用いて固定する。

② 取り外しの場合

土砂供給装置に投入された試料砂を落下させ、エネルギー計測装置前面の受架台に衝突させる。

防砂カバー、保護プレートの上面に堆積した砂を撤去する。

受架台の上下端にあるボルトをはずし、防砂カバーを受架台から取り外す。

ベースプレートにはめ込まれたバネを取り外し、受架台を上流側へ移動させる。バネに付着した砂は除去する。

保護プレート、スペーサーの内部に進入した砂を送風機により除去する。また、ガイドレール内部に進入した砂については、布等を用いて除去する。

受架台をクレーンによりつり上げ、鋼球を取り除く。さらに、底面につまった砂を送風機により取り除き、再度鋼球を敷き詰める。

A1.3 高速度ビデオカメラ

- 1) 高速度ビデオカメラは3台使用する。
- 2) 表 2.2 に示す計測を行う。
- 3) 撮影範囲は図 A1.6 に示すように、受荷台前全域とする。被写体距離を確保するために、鏡を使用する。高速ビデオカメラをもう1台追加した場合、被写体距離の関係で撮影範囲を確保できない。したがって、不足分についてはDVカメラで補う。
- 4) 堆積状況が斜面部に及ぶため、斜面部アクリル版にもスケールを貼りつける。
- 5) 大容量データを扱うため記憶容量の確認を行う。
- 6) 崩土衝突速度の算出は、Photoron 社製の画像－速度変換ソフト「Movie Ruler」を用いる。

A1.4 デジタルビデオカメラ

- 1) デジタルビデオカメラは3台使用する(図 A1.6)。
- 2) 表 2.2 に示す計測を行う。
- 3) 斜面部流動深を計測する場合は、流動深が 0cm から計測できるように計測窓を大きくする。

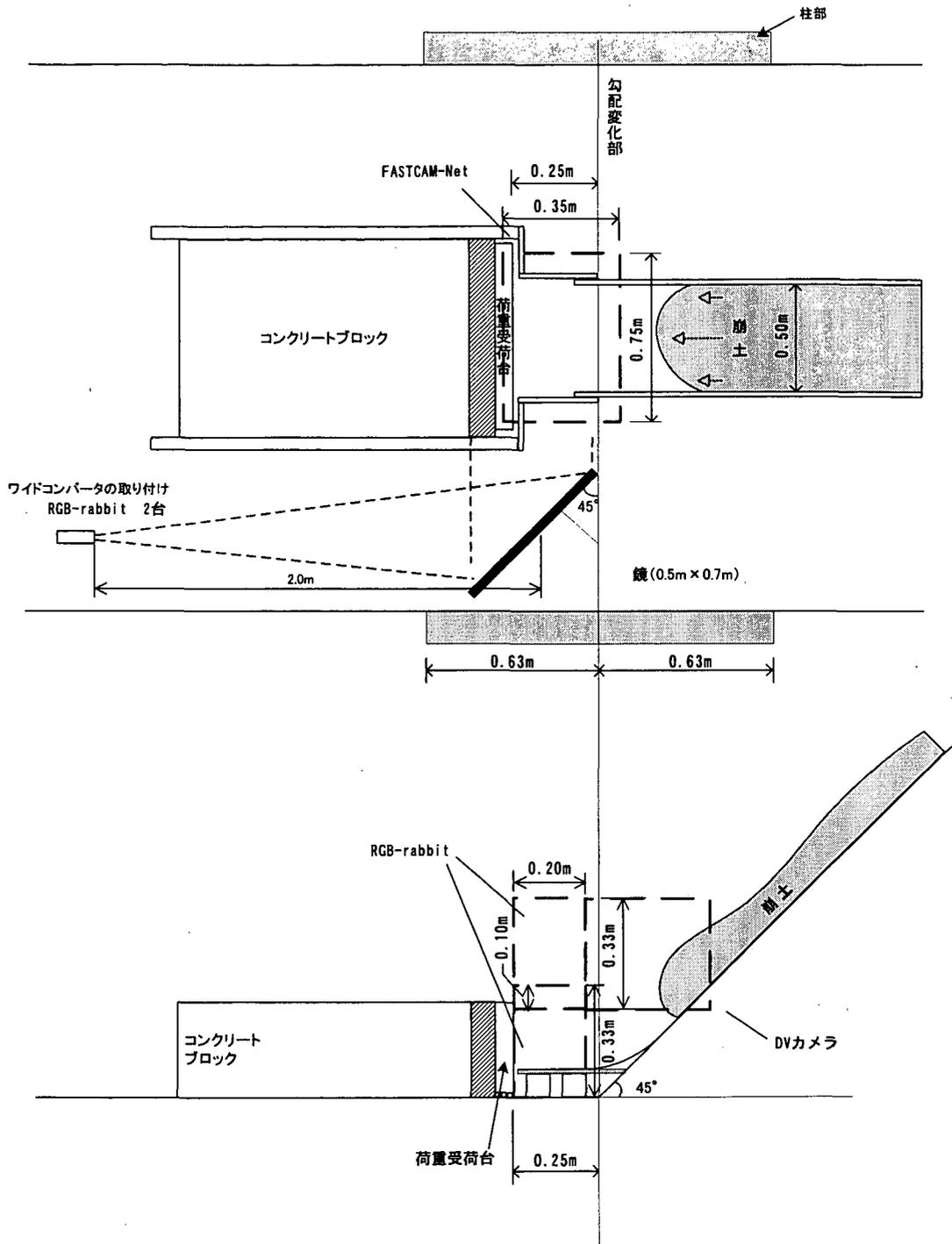


図 A1.6 高速度ビデオカメラ・DVカメラ撮影範囲

資料 2 計測機器の校正試験

計測装置の精度を確認するため、圧縮型ロードセル及びエネルギー計測装置について校正試験を行った。校正試験の内容は、表 A2.1 に示すとおりである。

表 A2.1 校正実験ケース

計測器	目的	衝突物	実施時期	頻度
ロードセル	静的性能の確認	土のう	本実験前	2回
	動的性能の確認	鋼球	〃	3回
		土のう	〃	3回
エネルギー計測装置	静的性能の確認	土のう	本実験の各ケース前	6ケース各1回
	動的性能の確認	鋼球	本実験前	6回
		土のう	〃	3回

A2.1 ロードセルの静的校正実験

<実験方法>

- 1) 受架台前面にロープを通し、背面に回して束ねる。
- 2) 背面で束ねたロープを実験装置底版に取り付けた重量戸車に通す。
- 3) 重量戸車に通したロープの先端に受け箱(重量役 30kg)を吊し、計測値をゼロクリアーする。
- 4) 受け箱の中に土のう袋(1袋 10kg)を載せて荷重を加えていく。荷重は 20kg、40kg、60kg の 3 ステージとする。
- 5) 各荷重ステージのロードセル荷重値を計測する。
- 6) ロードセル荷重値と土のう袋重量とを比較する。

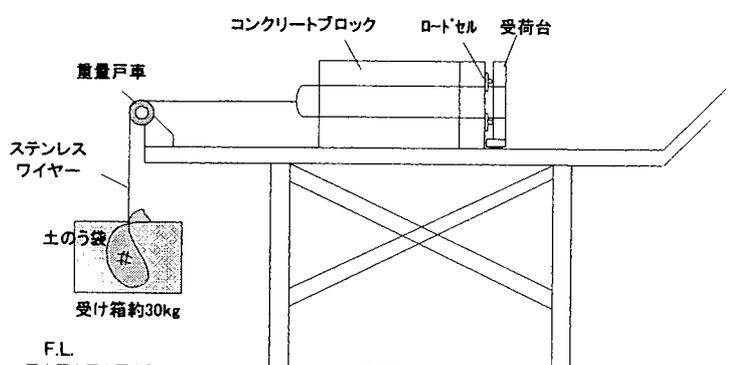


図 A2.1 ロードセルの静的校正実験方法

<実験結果>

・各荷重増分ごとの計測値は、理論値の86%~96%(平均0.91)である。

表A2.2 ロードセルの静的校正実験結果

No	日付	全荷重					
		20 kgの場合		40 kgの場合		60 kgの場合	
		計測値	計測値/理論値	計測値	計測値/理論値	計測値	計測値/理論値
1	12月19日	19.1	0.95	37.8	0.95	57.0	0.95
2	12月19日	17.2	0.86	34.5	0.86	52.0	0.87

No	日付	荷重増分					
		0~20kg時		20~40kg時		40~60kg時	
		計測値	計測値/理論値	計測値	計測値/理論値	計測値	計測値/理論値
1	12月19日	19.1	0.95	18.8	0.94	19.2	0.96
2	12月19日	17.2	0.86	17.3	0.87	17.5	0.88

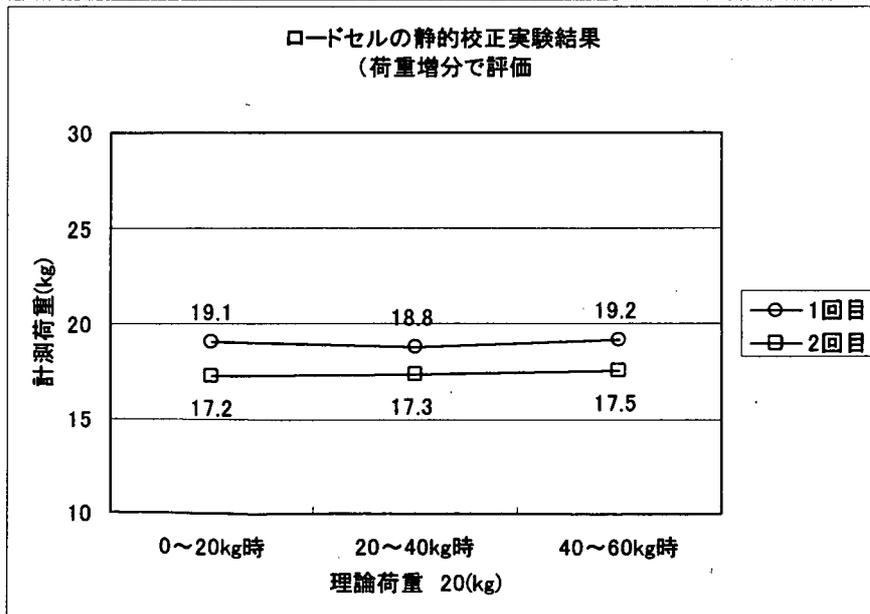
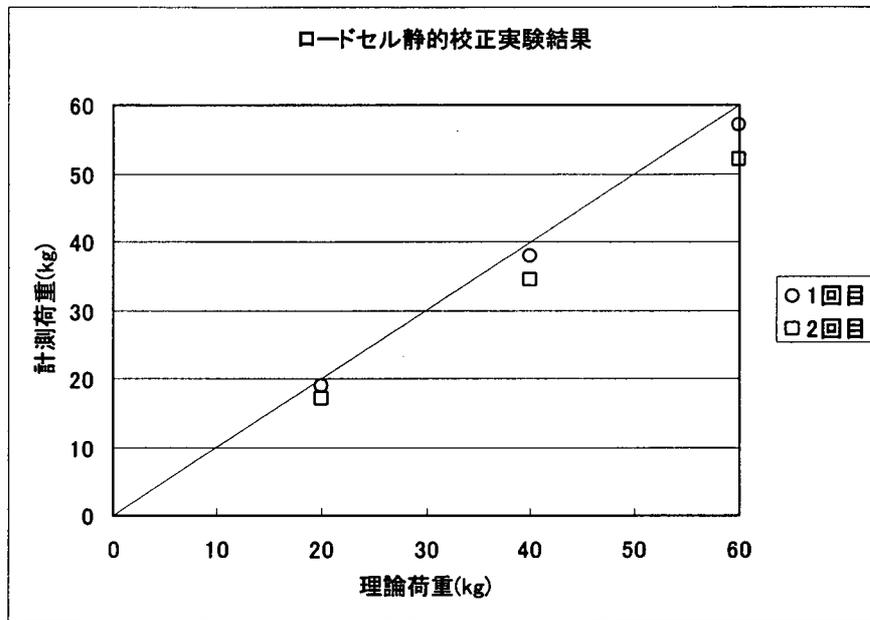
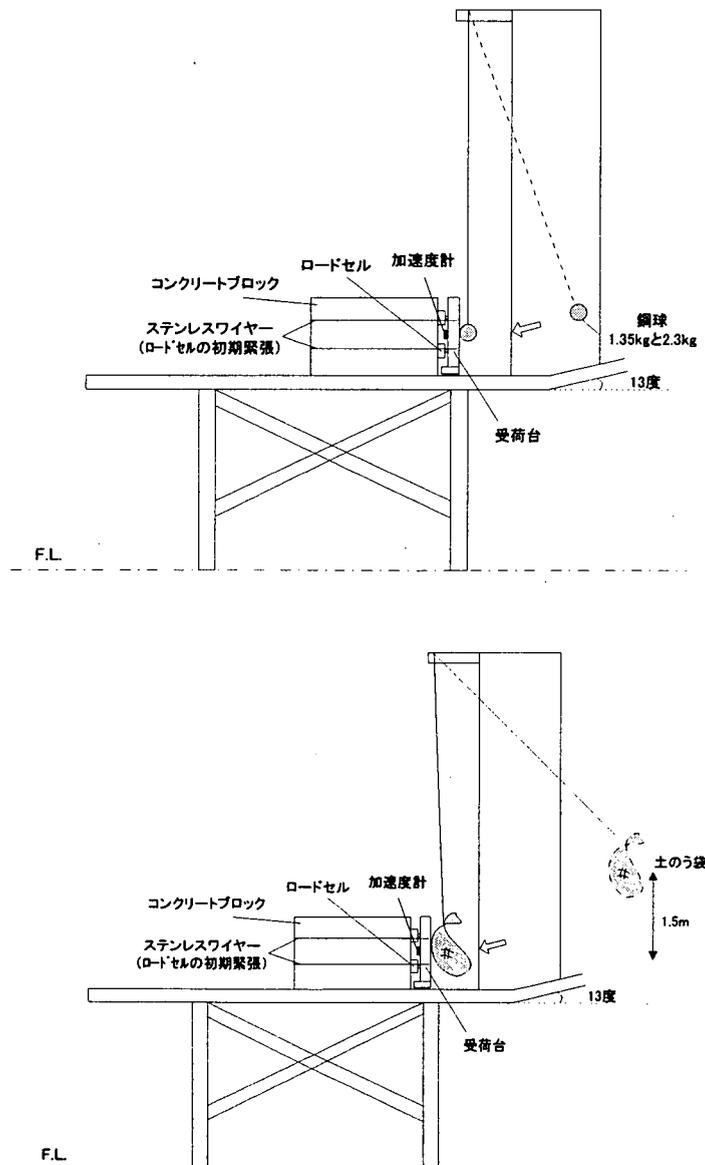


図 A2.2 ロードセルの静的校正試験結果

A2.2 ロードセルの動的校正実験

<実験方法>

- 1) 崩土流動実験装置の勾配変化点の柱部上端に取り付けた金具の先にワイヤーを通す。
- 2) ワイヤーの先端に、鋼球 1.35kg または土のう 20kg を取り付ける。
- 3) 初速度を持たせないように、所定の高さで衝突物を固定する。
- 4) 衝突物を振り子状態で落下させ、受架台前面に衝突させる。(圧縮型ロードセルの最大容量 20kN を超えないように注意する。)
- 5) 受架台背面に取り付けた加速度計とロードセル荷重値を計測する。
- 6) 加速度計により計測された加速度 a と衝突物+受荷台の質量から衝突荷重を算出する。
- 7) ロードセル荷重値と加速度から算出した荷重値とを比較する。



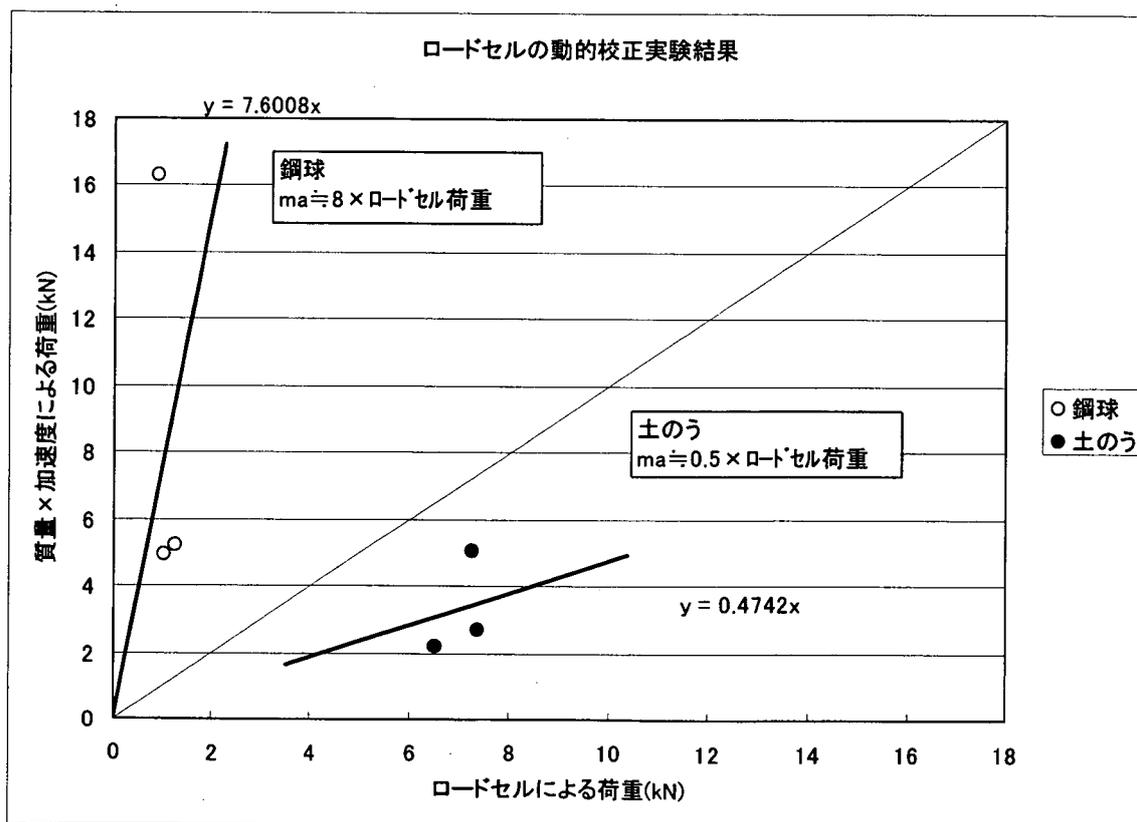
図A2.3 ロードセルの動的校正実験方法

<実験結果>

- ・ 鋼球の場合、ロードセル荷重は、質量×加速度から求めた荷重値の約 1/8 倍となった。
- ・ 土のうの場合、ロードセル荷重は、質量×加速度から求めた荷重値の約 2 倍となった。
- ・ ロードセル荷重、加速度ともに高周波の波形が生じ、精度は低い。

表A2.3 ロードセルの動的校正実験結果

No.	日付	衝突物	衝突物+受荷台重量 m(kg)	最大荷重時の加速度 a(m/s ²)	最大荷重(kN)	
					ロードセル荷重	ma
1	12月19日	鋼球	41.35	394.0	0.9	16.3
2	12月19日	鋼球	41.35	125.4	1.3	5.2
3	12月19日	鋼球	41.35	119.6	1.0	4.9
4	12月15日	土のう	60	83.9	7.2	5.0
5	12月15日	土のう	60	36.4	6.5	2.2
6	12月15日	土のう	60	45.2	7.4	2.7



図A2.4 ロードセルの動的校正実験結果

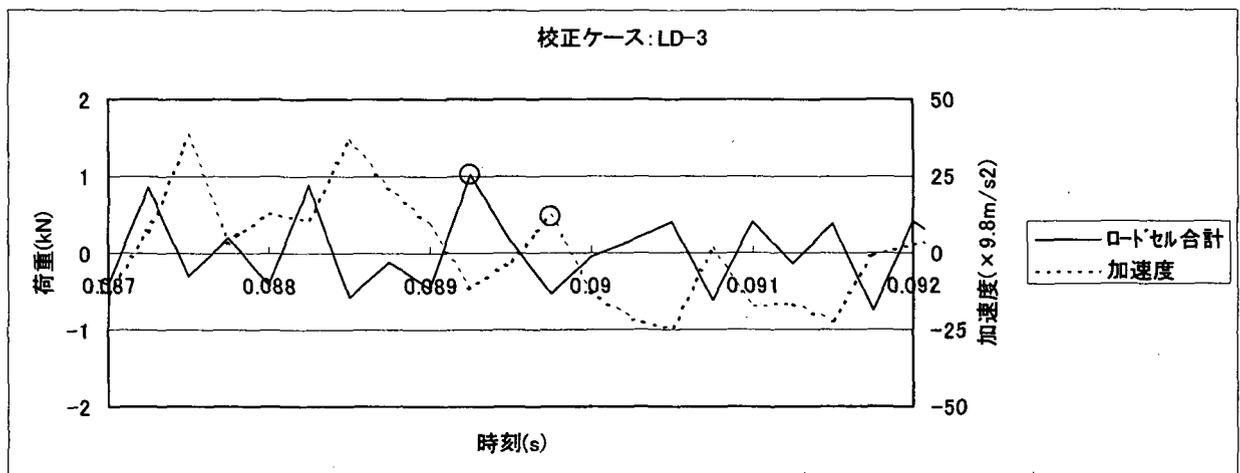
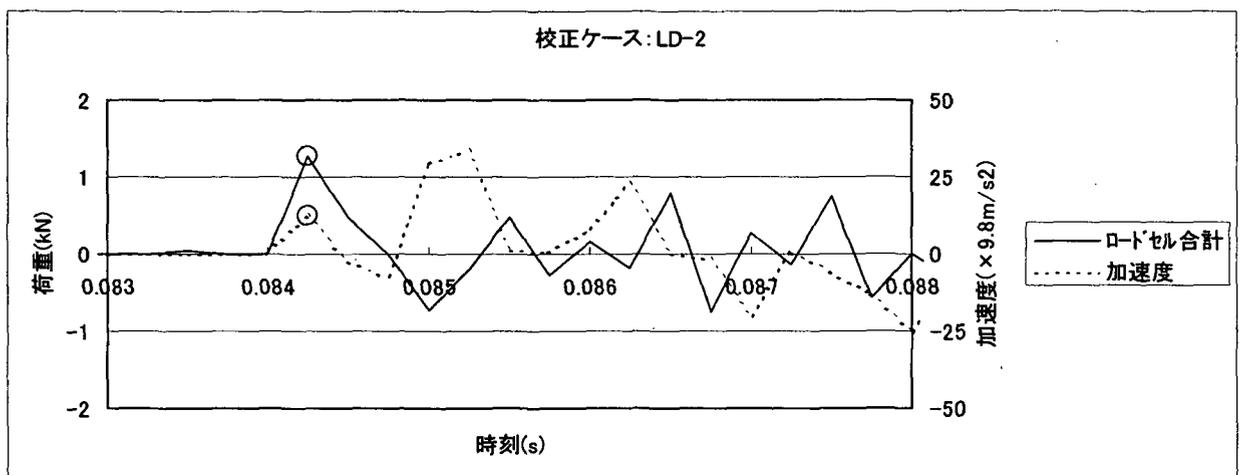
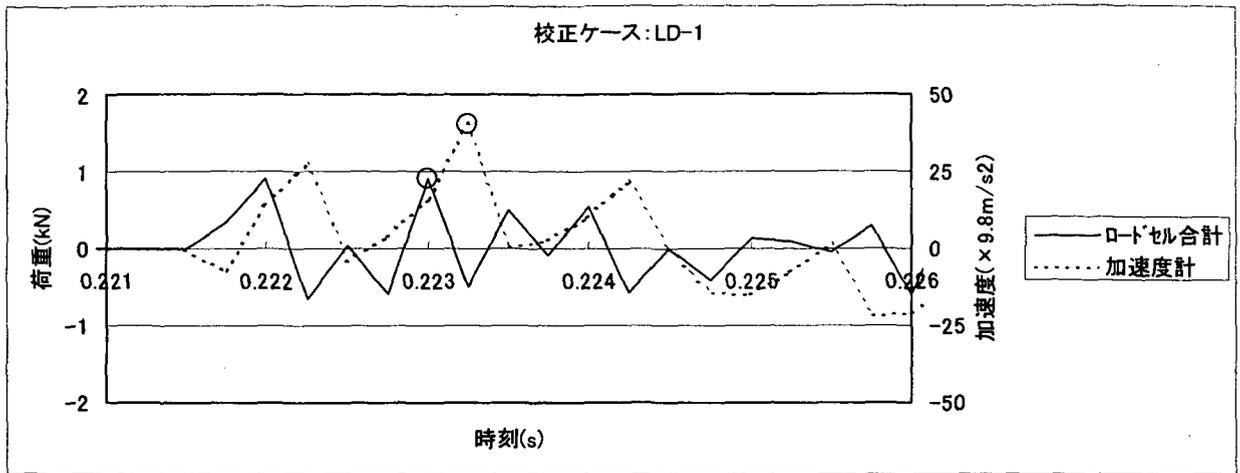


図 A2.5 鋼球の場合におけるロードセル波形と加速度波形(衝突開始時の拡大図)
○: 照査位置

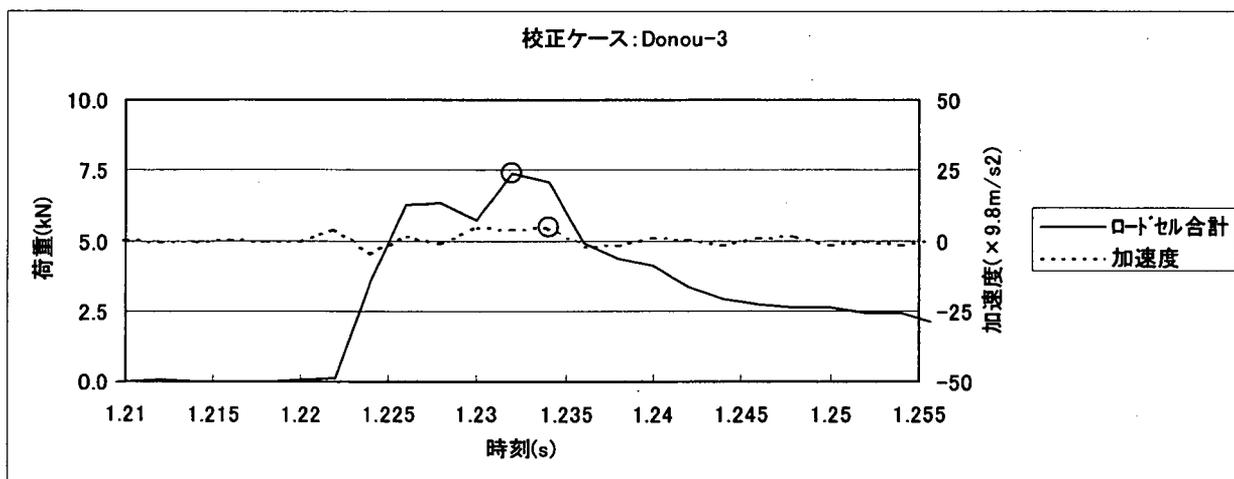
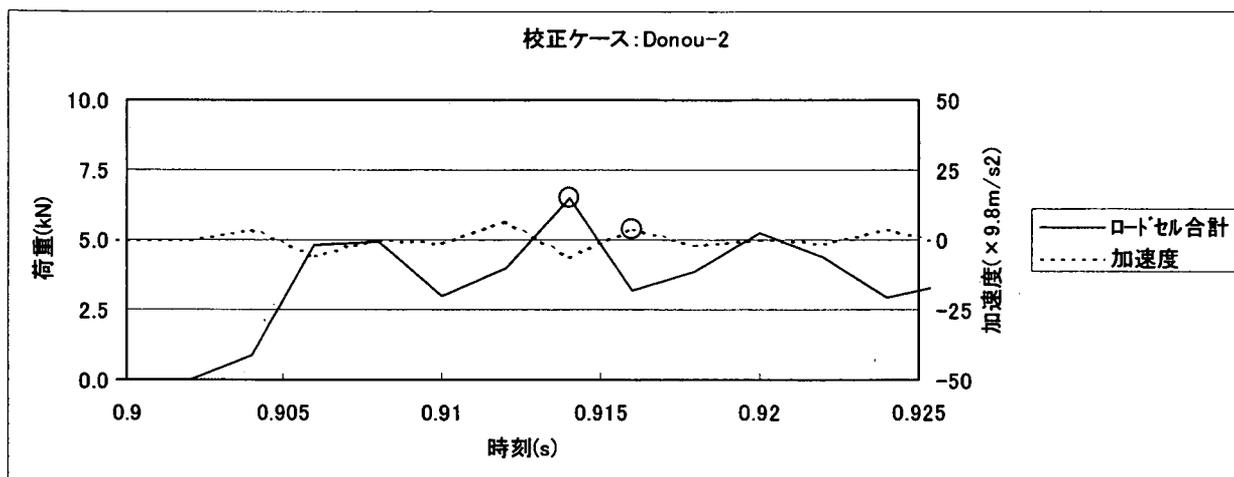
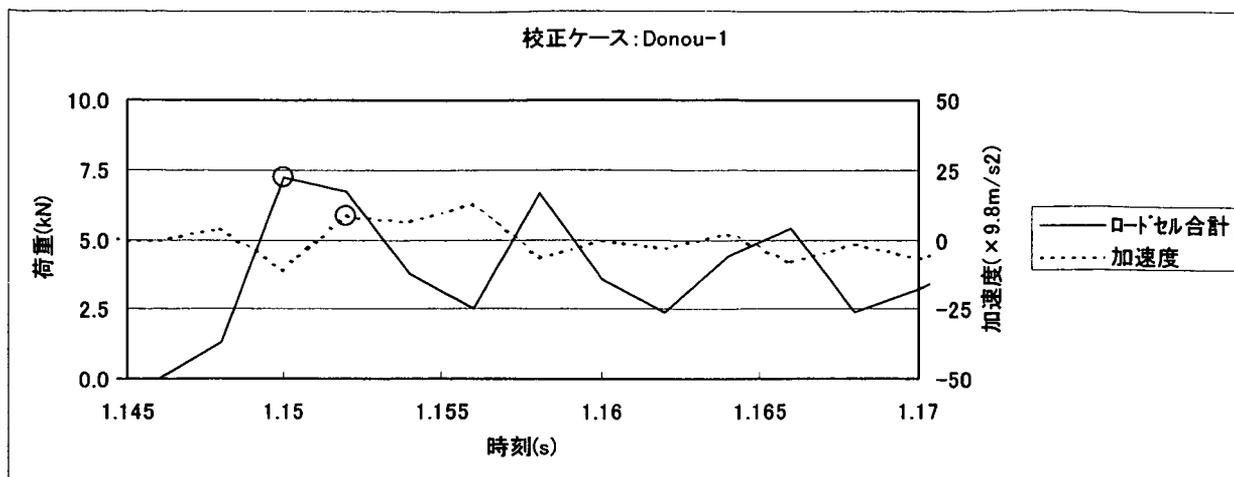
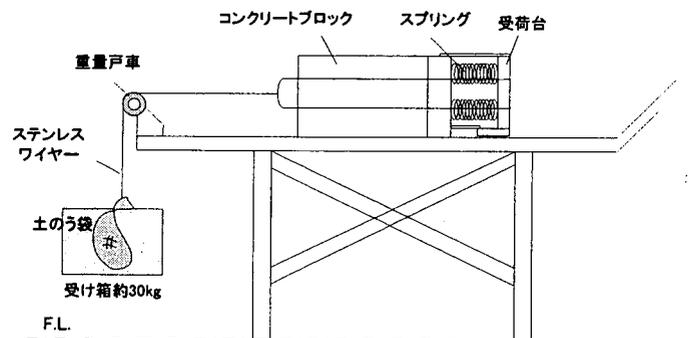


図 A2.6 土のうの場合におけるロードセル波形と加速度波形(衝突開始時の拡大図)
○: 照査位置

A2.3 エネルギー計測装置の静的校正実験

<実験方法>

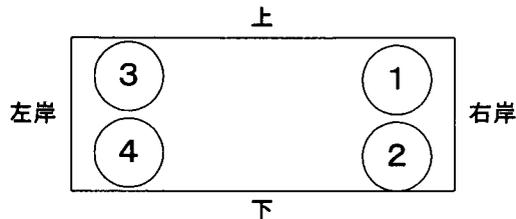
- 1) 受架台前面にロープを通し、背面に回して束ねる。
- 2) 背面で束ねたロープを実験装置底版に取り付けた重量戸車に通す。
- 3) 重量戸車に通したロープの先端に受け箱(重量役 30kg)を吊し、計測値をゼロクリアーする。
- 4) 受け箱の中に土のう袋(1袋 10kg)を載せて荷重を加えていく。荷重は20kg、40kg、60kgの3ステージとする。
- 5) バネに生じたひずみからバネの変位量を求める。バネ変位量とバネ定数から荷重値を計算する。
- 6) バネ定数から算出した荷重と土のう袋の荷重とを比較する。



図A2.7 エネルギー計測装置の静的校正実験方法

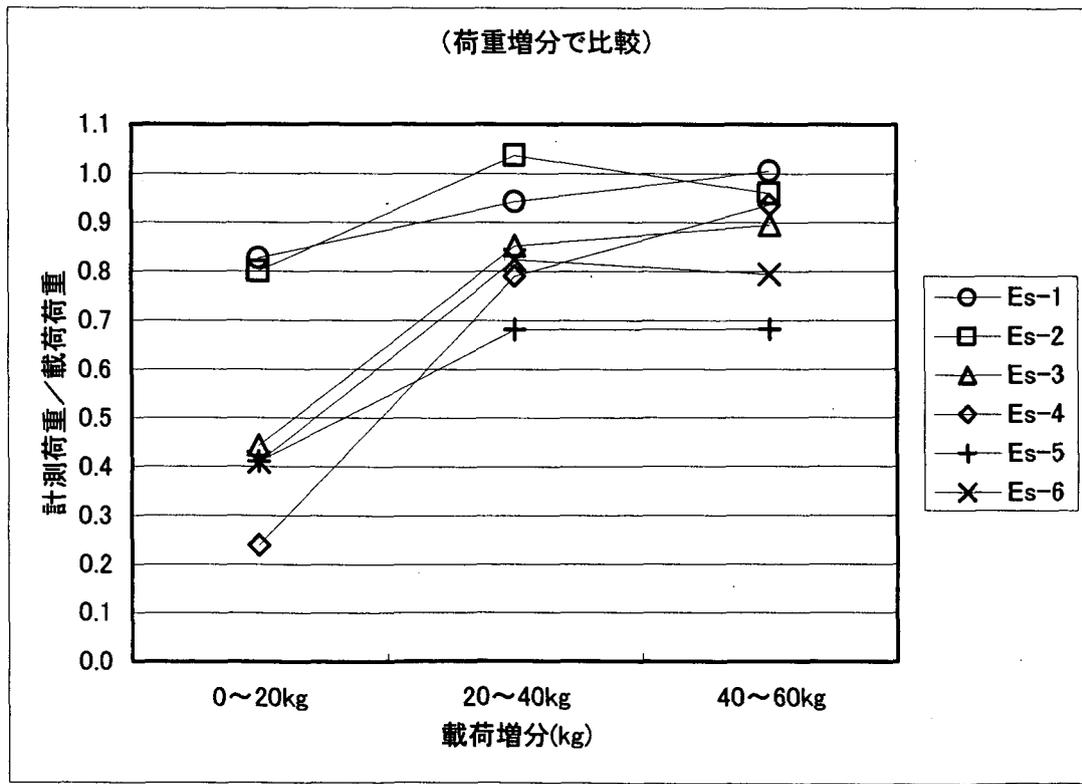
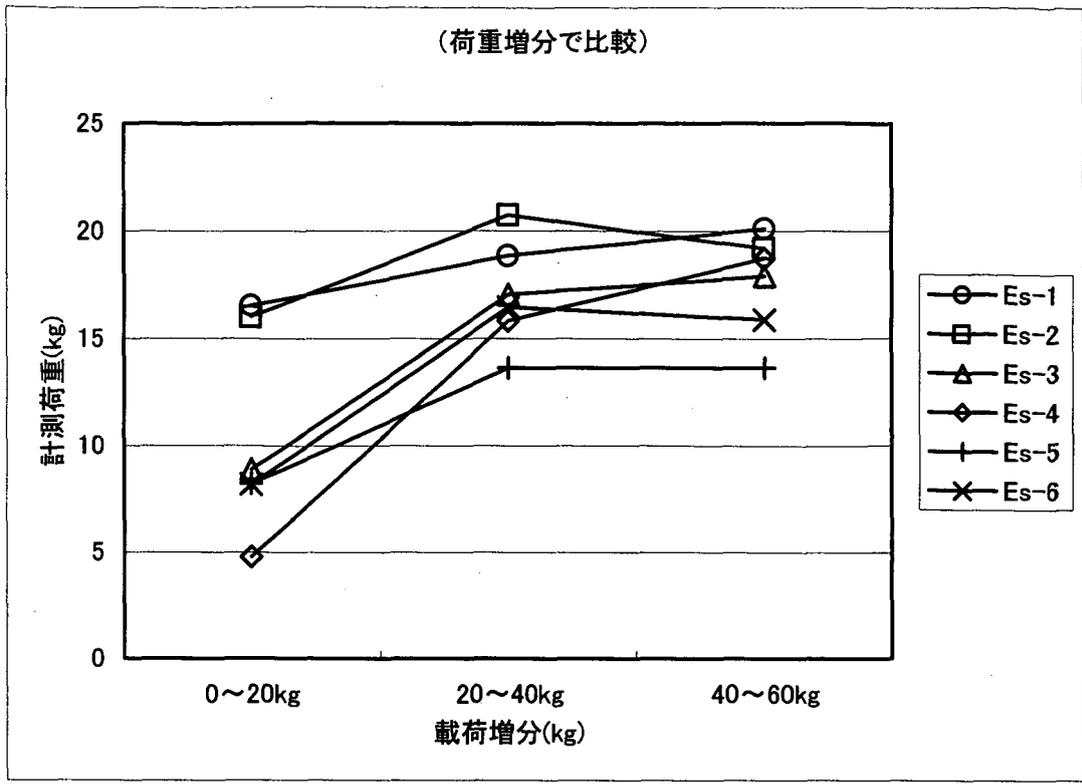
<実験結果>

- ・ 荷重増分で比較した結果、0～20kg までの精度が非常に低い。これは、バネの非線形性によるものと考えられる。このため、全荷重評価よりも、荷重増分評価を行うことの方が良いと考えられる。
- ・ 荷重増分で評価した場合、Es-1～Es-4 までは補正值 0.9 以上である。
- ・ Es-5～Es-6 は精度が低い。この原因として、次頁に示すようにバネ3, 4の変位量が小さく荷重が不均等であったことが挙げられる。



表A2.4 エネルギー計測装置の静的校正実験結果

No.	日付	本実験 ケース	荷重増分 (kg)						計測値/ 載荷値 の平均値
			0～20kg		20～40kg		40～60kg		
			計測値	計測値/載荷値	計測値	計測値/載荷値	計測値	計測値/載荷値	
1	1月8日	E-流20-1	16.6	0.83	18.9	0.94	20.1	1.01	1.01
2	1月8日	E-流20-1	16.0	0.80	20.7	1.04	19.2	0.96	0.96
3	1月9日	E-流20-2	8.9	0.44	17.1	0.85	17.9	0.90	0.90
4	1月9日	E-ハ 25-1	4.8	0.24	15.8	0.79	18.7	0.94	0.94
5	1月9日	E-流20-3	8.2	0.41	13.6	0.68	13.6	0.68	0.68
6	1月9日	E-ハ 25-2	8.2	0.41	16.5	0.82	15.9	0.79	0.79

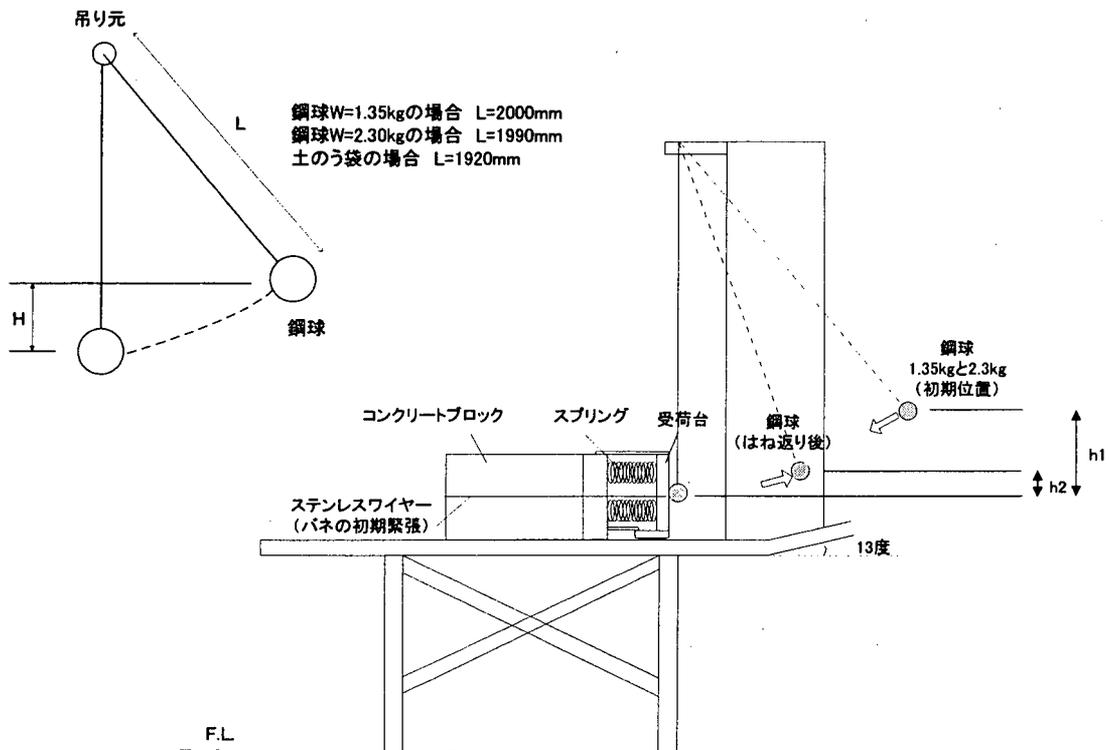


図A2.8 エネルギー計測装置の静的校正実験結果

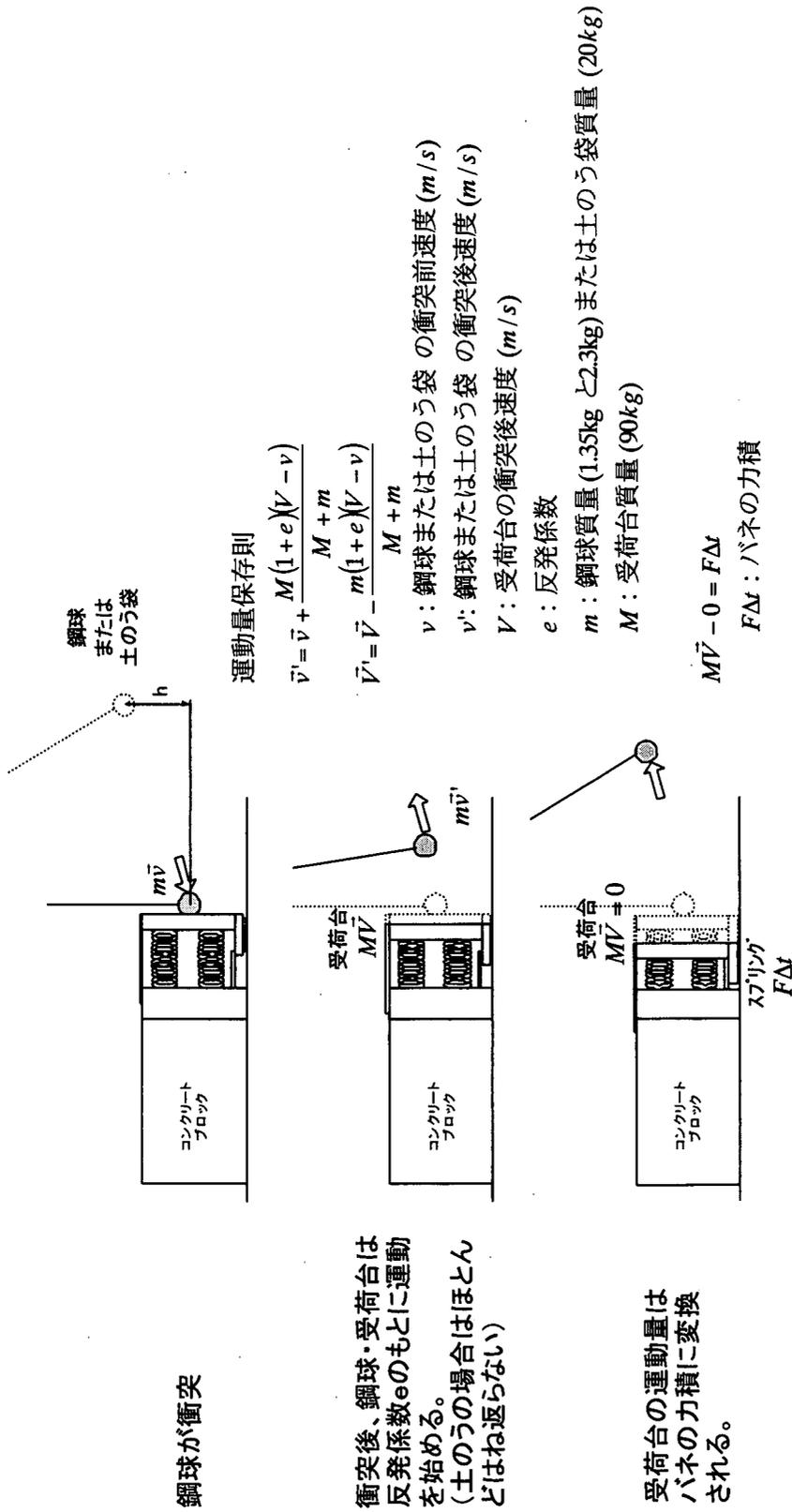
A2.4 エネルギー計測装置の動的校正実験

<実験方法>

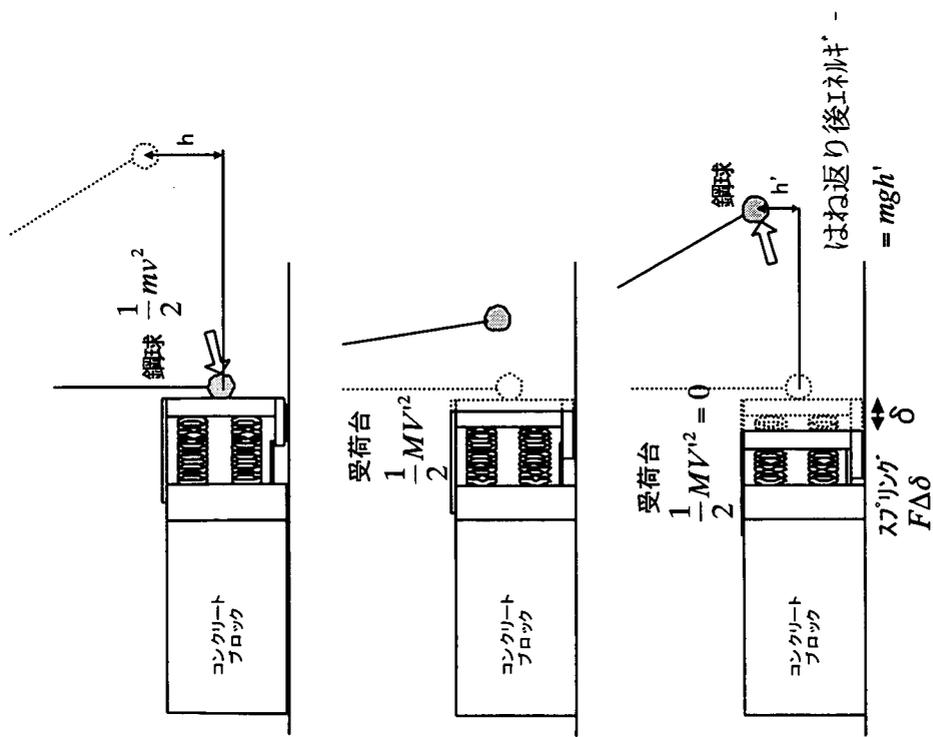
- 1) 勾配変化点の柱部上端に取り付けた金具の先にワイヤーを通す。
- 2) ワイヤーの先端に、1.35kg(または 2.3kg)の鋼球を取り付ける。
- 3) 初速度を持たせないように、鋼球を固定する。
- 4) 鋼球を振り子状態で落下させ、受架台前面に衝突させる。
- 5) 鋼球の衝突前後の速度、受荷台の衝突後の速度から反発係数を求める。
土のうの場合は、ほぼ、はね返らないので求めない。
- 6) 土のうおよび鋼球の場合それぞれについて、図に示す運動量保存則、にしたがって、衝突後の受荷台の運動量、バネの力積を求めて比較する。受荷台の運動量／バネの力積を補正值として整理する。
- 7) 土のうおよび鋼球の場合それぞれについて、図に示すエネルギー保存則にしたがって、衝突後の受荷台の運動エネルギー、バネのエネルギーを求めて比較する。受荷台の運動エネルギー／バネのエネルギーを補正值として整理する。



図A2.9 エネルギー計測装置の動的校正実験方法



図A2.10 運動量保存則の考え方



エネルギー保存則

$$\vec{v}' = \vec{v} - \frac{M(1+e)(V-v)}{M+m}$$

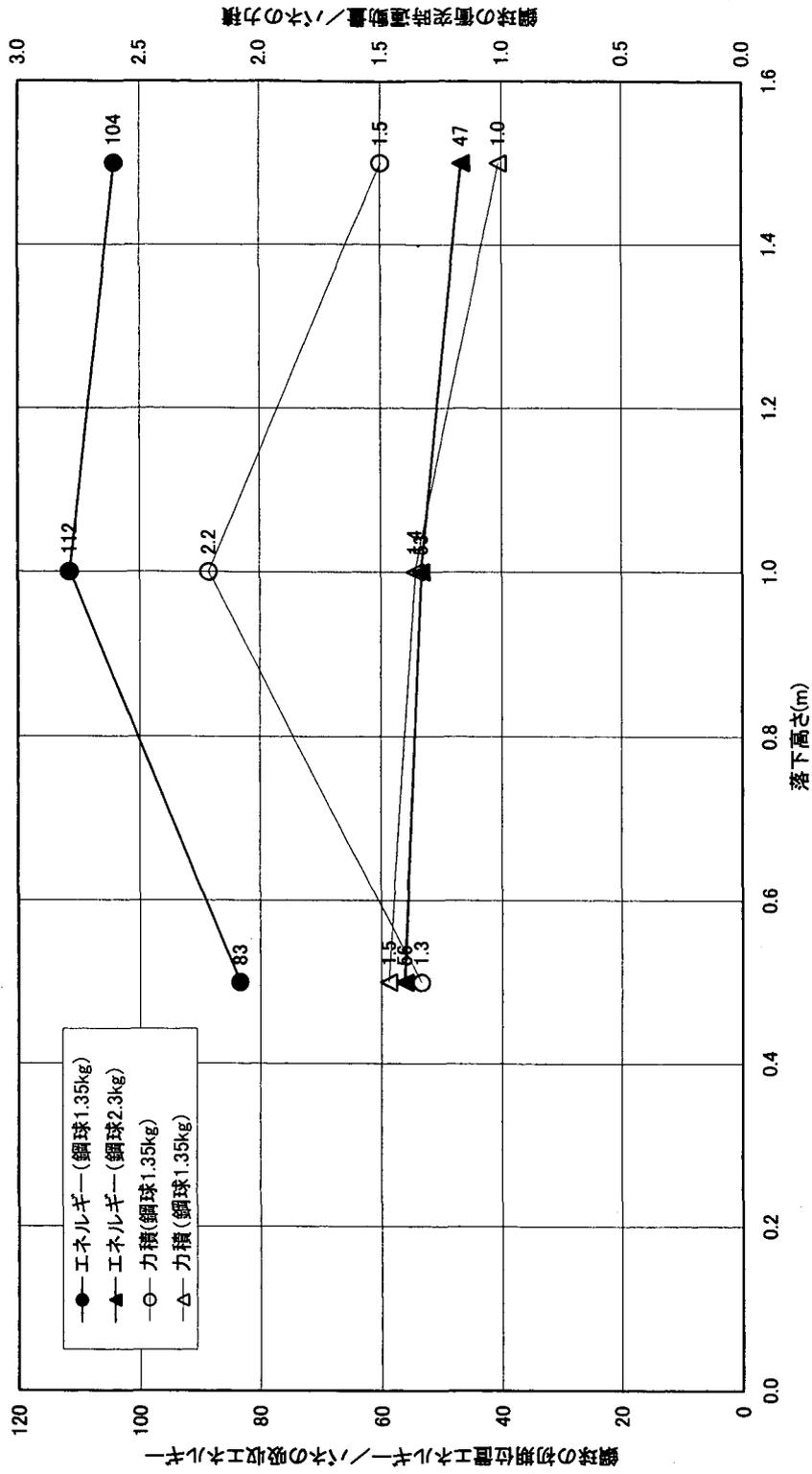
- v : 鋼球衝突前速度(m/s)
- v' : 鋼球衝突後速度(m/s)
- V : 受荷台衝突後速度(m/s)
- e : 反発係数
- m : 鋼球質量(1.35kg と2.3kg)または土のう袋(20kg)
- M : 受荷台質量(90kg)

$$\frac{1}{2}M\vec{V} = F\Delta\delta$$

$F\Delta\delta$: バネのエネルギー

図 A2.11 エネルギー保存則の考え方

エネルギー計測装置の校正実験結果(鋼球の場合)



図A2.12 エネルギー計測装置の校正実験結果(鋼球の場合)

エネルギー計測装置の校正実験結果(土のう袋の場合)

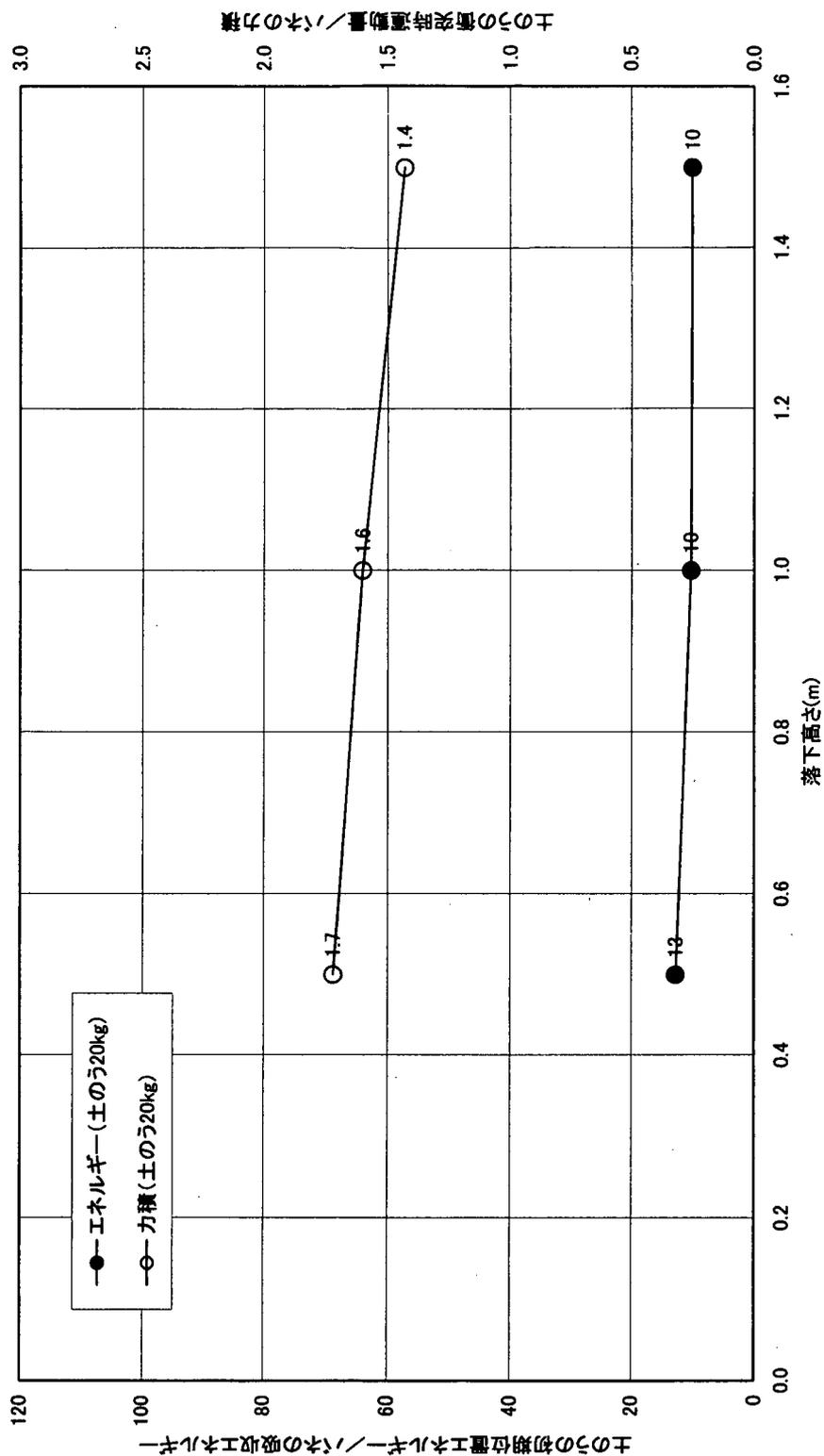


図 A2.13 エネルギー計測装置の校正実験結果(土のう袋の場合)

1) 土のう袋ケースの実験結果

土のう袋の衝突前、衝突後の運動は以下に示すとおりである。土のう袋は衝突後ほとんどはね返らなかったため、運動はゼロとした。このとき反発係数は求めている。

衝突前

ケース	h (m)	g	m (kg)	v (m/s)	E ₀ (Nm)	U ₀ (Ns)
ED-D-H050	0.5	9.8	20	3.190	101.761	63.800
ED-D-H100	1.0	9.8	20	4.585	210.222	91.700
ED-D-H150	1.5	9.8	20	5.415	293.222	108.300

※計測値

衝突後

ケース	h (m)	g	m (kg)	v' (m/s)	E' (Nm)	U' (Ns)
ED-D-H050	0.5	9.8	20	0.000	0.000	0.000
ED-D-H100	1.0	9.8	20	0.000	0.000	0.000
ED-D-H150	1.5	9.8	20	0.000	0.000	0.000

※ゼロとした

ここに、

h: 土のう袋の初期高(m)

m: 土のう袋質量(20kg)

v: 土のう袋衝突前速度(m/s)

v': 土のう袋衝突後速度(m/s)

E₀: 衝突前での土のう袋のエネルギー $E_0=0.5mv^2$

E': 衝突後での土のう袋のエネルギー $E'=0.5mv'^2$

U₀: 衝突前での土のう袋の運動量 $U_0=mv$

U': 衝突後での土のう袋の運動量 $U'=mv'$

衝突直後の受荷台の運動は以下に示すとおりである。受荷台速度 V' は高速ビデオカメラより計測した。ただし、ED-D-H050 のケースは、受荷台速度が他より小さく、計測精度が比較的低い。

ケース	h (m)	M (kg)	V' (m/s)		E_j (Nm)	U_j (Ns)
ED-D-H050	0.5	90	0.675	←比較的精度低い	20.503	60.750
ED-D-H100	1.0	90	0.700		22.050	63.000
ED-D-H150	1.5	90	0.900		36.450	81.000

※計測値

ここに、
 M : 受荷台質量 (90kg)
 V' : 衝突後の受荷台速度 (m/s)
 E_j : 衝突直後の受荷台のエネルギー $E_j = 0.5MV'^2$
 U_j : 衝突直後の受荷台の運動量 $U_j = MV'$

最大変位時までにエネルギー計測装置のバネに蓄えられたエネルギーは以下に示すとおりである。バネ変位 δ は各バネの平均変位量である。

ケース	h (m)	δ (m)	K (kgf/m)	E_k (Nm)	U_k (Ns)
ED-D-H050	0.5	0.02103	1116	9.669	40.870
ED-D-H100	1.0	0.03243	1116	22.997	60.698
ED-D-H150	1.5	0.03598	1116	28.309	74.458

※計測値

ここに、
 δ : 各バネの合計変位 / 4 (m)
 K : バネ定数 (4本とも同じ) (1116 kgf/m)
 E_k : バネの最大変位時までに蓄えられたエネルギー $E_k = 0.5k\delta^2$
 U_k : バネの最大変位時までの力積 $U_k = \sum F\Delta t$

受荷台の衝突直後の運動エネルギーとバネの最大変位時までにバネに蓄えられたエネルギーとの比、および受荷台の衝突直後の運動量とバネの最大変位時までのバネの力積との比を以下に示す。

この結果、衝突直後の受荷台の運動エネルギーと運動量は、ほぼ、バネに伝えられていることが分かる。ただし、ED-D-H050 のケースは、受荷台速度の精度が比較的低いと思われ、比が若干大きくなっている。

したがって、エネルギー計測装置の計測精度は、良好といえる。また、崩土実験でのバネ変位量は、土のう袋のケースと同じ 40mm 前後であることから、変位量の違いによる結果の補正は行う必要がないと考える。

ケース	h (m)	E_j/E_k	U_j/U_k
ED-D-H050	0.5	2.1	1.5
ED-D-H100	1.0	1.0	1.0
ED-D-H150	1.5	1.3	1.1

ここに、
 E_j : 衝突直後の受荷台の運動エネルギー (Nm)
 U_j : 衝突直後の受荷台の運動量 (Ns)
 E_k : バネの最大変位時までに蓄えられたエネルギー (Nm)
 U_k : バネの最大変位時までの力積 (Ns)

土のう袋の初期位置エネルギーとバネの最大変位時までにバネに蓄えられたエネルギーとの比、および土のう袋の衝突直前の運動量とバネの最大変位時までのバネの力積との比を以下に示す。

この結果、バネに蓄えられたエネルギーは、土のう袋の初期エネルギーの1/10程度まで減衰している。この原因として考えられることは、受荷台の慣性力、土のう袋の塑性変形エネルギー、また少しではあるが受荷台底面の摩擦損失エネルギー等が考えられる。

また、バネに蓄えられた力積は、土のう袋の初期運動量の 1/1.4~1/1.7 程度であり、比較的良好に計測が行われていると言える。後述する実験結果の解析において、エネルギー計測装置の力積の結果を用いる場合、補正值として平均 1.5 を見込むものとする。

ケース	h (m)	E_0/E_k	U_0/U_k
ED-D-H050	0.5	12.7	1.7
ED-D-H100	1.0	10.2	1.6
ED-D-H150	1.5	10.0	1.4

ここに、
 E_0 : 土のう袋の初期位置エネルギー (Nm)
 U_0 : 衝突直前の土のう袋の運動量 (Ns)
 E_k : バネの最大変位時までに蓄えられたエネルギー (Nm)
 U_k : バネの最大変位時までの力積 (Ns)

2) 鋼球ケースの実験結果

鋼球の衝突前、衝突後の運動は以下に示すとおりである。鋼球の衝突前後の速度は高速度ビデオカメラで計測を行った。

衝突前

ケース	h (m)	g	m (kg)	v (m/s)	E ₀ Nm	U ₀ Ns
ED-SS-H050	0.5	9.8	1.35	3.190	6.869	4.307
ED-SS-H100	1.0	9.8	1.35	4.585	14.190	6.190
ED-SS-H150	1.5	9.8	1.35	5.415	19.793	7.310
ED-SL-H050	0.5	9.8	2.3	3.315	12.638	7.625
ED-SL-H100	1.0	9.8	2.3	4.705	25.458	10.822
ED-SL-H150	1.5	9.8	2.3	5.413	33.689	12.449

※計測値

衝突後

ケース	h (m)	g	m (kg)	v' (m/s)	E' Nm	U' Ns
ED-SS-H050	0.5	9.8	1.35	-2.025	2.768	-2.734
ED-SS-H100	1.0	9.8	1.35	-1.650	1.838	-2.228
ED-SS-H150	1.5	9.8	1.35	-1.950	2.567	-2.633
ED-SL-H050	0.5	9.8	2.3	-1.175	1.588	-2.703
ED-SL-H100	1.0	9.8	2.3	-1.650	3.131	-3.795
ED-SL-H150	1.5	9.8	2.3	-2.200	5.566	-5.060

※計測値

ここに、

h: 鋼球の初期高(m)

m: 鋼球質量(20kg)

v: 鋼球衝突前速度(m/s)

v': 鋼球衝突後速度(m/s)

E₀: 衝突前での鋼球のエネルギー E₀=0.5mv²

E': 衝突後での鋼球のエネルギー E'=0.5mv'²

U₀: 衝突前での鋼球の運動量 U₀=mv

U': 衝突後での鋼球の運動量 U'=mv'

衝突直後の受荷台の運動は以下に示すとおりである。受荷台速度 V' は、バネ変位量が小さいため、計測できなかった。したがって、運動量保存則により受荷台速度を求めた。

この結果、鋼球の運動量保存則で鋼球の衝突前後での速度 v 、 v' と鋼球質量 m 、受荷台質量 M より、反発係数は $e=0.4$ である。

$e=0.4$ を計測結果として、受荷台の運動量保存則に適用すると、衝突後における受荷台の速度 V' が求められる。

<鋼球の運動量保存則>

$$v' = v + M(1 + e)(V - v) / (m + M)$$

ケース	h (m)	v (m/s)	V (m/s)	m (kg)	M (kg)	e	v' (m/s)	v' (m/s)
ED-SS-H050	0.5	3.190	0	1.35	90	0.66	-2.025	-2.027
ED-SS-H100	1.0	4.585	0	1.35	90	0.38	-1.650	-1.649
ED-SS-H150	1.5	5.415	0	1.35	90	0.38	-1.950	-1.947
ED-SL-H050	0.5	3.315	0	2.3	90	0.39	-1.175	-1.178
ED-SL-H100	1.0	4.705	0	2.3	90	0.39	-1.650	-1.649
ED-SL-H150	1.5	5.413	0	2.3	90	0.44	-2.200	-2.187

※計測値

※計測値

※計算値

<受荷台の運動量保存則>

$$V' = V - m(1 + e)(V - v) / (m + M)$$

ケース	h (m)	v (m/s)	V (m/s)	m (kg)	M (kg)	e	V' (m/s)
ED-SS-H050	0.5	3.190	0	1.35	90	0.66	0.0783
ED-SS-H100	1.0	4.585	0	1.35	90	0.38	0.0935
ED-SS-H150	1.5	5.415	0	1.35	90	0.38	0.1104
ED-SL-H050	0.5	3.315	0	2.3	90	0.39	0.1148
ED-SL-H100	1.0	4.705	0	2.3	90	0.39	0.1624
ED-SL-H150	1.5	5.413	0	2.3	90	0.44	0.1942

※計測値

※計算値

ここに、

e : 反発係数

m : 鋼球質量 (20kg)

M : 受荷台質量 (90kg)

v : 鋼球の衝突前速度 (m/s)

v' : 鋼球の衝突後速度 (m/s)

V' : 衝突後の受荷台速度 (m/s)

この結果、受荷台の運動エネルギーおよび運動量は以下の通りである。

ケース	h (m)	E _j (Nm)	U _j (Ns)
ED-SS-H050	0.5	0.276	7.043
ED-SS-H100	1.0	0.393	8.416
ED-SS-H150	1.5	0.549	9.939
ED-SL-H050	0.5	0.593	10.334
ED-SL-H100	1.0	1.187	14.614
ED-SL-H150	1.5	1.697	17.480

ここに、 E_j: 衝突直後の受荷台の運動エネルギー (Nm)

U_j: 衝突直後の受荷台の運動量 (Ns)

最大変位時までにはエネルギー計測装置のバネに蓄えられたエネルギーは以下に示すとおりである。バネ変位 δ は各バネの平均変位量である。

ケース	h (m)	δ (m)	K (kgf/m)	E _k (Nm)	U _k (Ns)
ED-SS-H050	0.5	0.00150	1116	0.049	1.179
ED-SS-H100	1.0	0.00225	1116	0.111	1.792
ED-SS-H150	1.5	0.00275	1116	0.165	3.125
ED-SL-H050	0.5	0.00300	1116	0.197	3.352
ED-SL-H100	1.0	0.00438	1116	0.419	5.173
ED-SL-H150	1.5	0.00525	1116	0.603	7.297

ここに、 δ : 各バネの合計変位 / 4 (m)

K: バネ定数 (4本とも同じ) (1116 kgf/m)

E_k: バネの最大変位時までには蓄えられたエネルギー $E_k = 0.5k \delta^2$

U_k: バネの最大変位時までの力積 $U_k = \sum F \Delta t$

鋼球の場合、エネルギー量が小さいため、受荷台底面の摩擦損失エネルギーを考慮する。摩擦損失エネルギーは以下の式で計算する。

計算した結果を以下に示す。

$$E_r = \mu \cdot Mg \cdot \delta$$

ここに、 E_r : 受荷台底面の摩擦損失エネルギー (Nm)

μ : 摩擦係数 (=0.05 とする)

M : 受荷台質量 (90kg)

g : 重力加速度 (9.8m/s^2)

δ : バネ変位置 (m)

ケース	h (m)	μ	m (kg)	g (m/s^2)	δ (m)	E_r (Nm)
ED-SS-H050	0.5	0.05	90	9.8	0.00150	0.066
ED-SS-H100	1.0	0.05	90	9.8	0.00225	0.099
ED-SS-H150	1.5	0.05	90	9.8	0.00275	0.121
ED-SL-H050	0.5	0.05	90	9.8	0.00300	0.132
ED-SL-H100	1.0	0.05	90	9.8	0.00438	0.193
ED-SL-H150	1.5	0.05	90	9.8	0.00525	0.232

※計測値

以上より、衝突直後の受荷台の運動エネルギーは、バネのエネルギーならびに受荷台底面の摩擦損失エネルギーに変わるとして、衝突直後の受荷台の運動エネルギーから受荷台底面の摩擦損失エネルギーを引いたものを以下に示す。

ケース	h (m)	$E_j - E_r$ Nm
ED-SS-H050	0.5	0.209
ED-SS-H100	1.0	0.294
ED-SS-H150	1.5	0.428
ED-SL-H050	0.5	0.461
ED-SL-H100	1.0	0.994
ED-SL-H150	1.5	1.466

受荷台の衝突直後の運動エネルギーとバネの最大変位時までにバネに蓄えられたエネルギーとの比、および受荷台の衝突直後の運動量とバネの最大変位時までのバネの力積との比を以下に示す。

この結果、バネに蓄えられたエネルギーは、衝突直後の受荷台の運動エネルギー（摩擦考慮）と運動量の約 1/2.3~1/6 程度しか伝えられていないことが分かる。

この原因として考えられるのは、衝突直後の受荷台の速度が計算値と同じでない可能性がある。

ケース	h (m)	$(E_j - E_r)/E_k$	U_j/U_k
ED-SS-H050	0.5	4.3	6.0
ED-SS-H100	1.0	2.7	4.7
ED-SS-H150	1.5	2.6	3.2
ED-SL-H050	0.5	2.3	3.1
ED-SL-H100	1.0	2.4	2.8
ED-SL-H150	1.5	2.4	2.4

- ここに、
- E_j : 衝突直後の受荷台の運動エネルギー (Nm)
 - E_r : 受荷台底面の摩擦損失エネルギー (Nm)
 - U_j : 衝突直後の受荷台の運動量 (Ns)
 - E_k : バネの最大変位時までに蓄えられたエネルギー (Nm)
 - U_k : バネの最大変位時までの力積 (Ns)

鋼球の初期位置エネルギーとバネの最大変位時までにバネに蓄えられたエネルギーとの比、および鋼球の衝突直前の運動量とバネの最大変位時までのバネの力積との比を以下に示す。

この結果、バネに蓄えられたエネルギーは、鋼球の衝突前後の運動エネルギーの差の 1/47～1/112 程度まで減衰している。この原因として、受荷台の重量が大きいことによる慣性力の影響、土のう袋の塑性変形エネルギー、また少しではあるが受荷台底面の摩擦損失エネルギー等が考えられる。

また、バネに蓄えられた力積は、鋼球の初期運動量の 1/1.0～1/2.2 程度であり、比較的良好に計測が行われていると言える。実験結果の解析において、エネルギー計測装置の力積の結果を用いる場合、補正值として平均 1.5 を見込むものとする。

ケース	h (m)	$(E_0 - E')$ / E_k	$(U_0 - U')$ / U_k
ED-SS-H050	0.5	83.3	1.3
ED-SS-H100	1.0	111.5	2.2
ED-SS-H150	1.5	104.1	1.5
ED-SL-H050	0.5	56.1	1.5
ED-SL-H100	1.0	53.3	1.4
ED-SL-H150	1.5	46.6	1.0

- ここに、
- E_0 : 鋼球の初期位置エネルギー (Nm)
 - U_0 : 衝突直前の鋼球の運動量 (Ns)
 - E' : 衝突直後の鋼球の運動エネルギー (Nm)
 - U' : 衝突直後の鋼球の運動量 (Ns)
 - E_k : バネの最大変位時までに蓄えられたエネルギー (Nm)
 - U_k : バネの最大変位時までの力積 (Ns)

資料3 崩土の有効質量算出の詳細

A3.1 ピーク荷重時までの崩土通過量を m_0 とする方法(方法1)

荷重またはエネルギーがピーク値を示すまでに勾配変化点を通じた崩土の質量を有効質量とする方法である。ピーク時までの崩土の流動深、衝突速度、流下中の単位体積重量は一定とする。

$$m_0 = \gamma \times V$$

$$V = B \times h \times v_0 \times t$$

γ : 流下中の崩土の単位体積重量(1.765t/m³)

V : 衝突開始～ピーク荷重時までに勾配変化点を通じた崩土量(m³)

B : 水路幅(0.5m)

h : 衝突開始～ピーク荷重時までの平均流動深(0.08m)

v_0 : 衝突開始～ピーク荷重時までの平均崩土速度(m/s)

t : 崩土衝突開始～ピーク荷重時までの時間(s)

表A3.1 m_0 、 m_1 の算出結果(方法1)

	γ (t/m ³)	V_0 (m/s)	B (m)	h (m)	t (sec)	m_0 (kg)	m_1 (kg)	備考
L-流20-3	1.765	6.5	0.5	0.08	0.199	91	—	
L-流20-4	1.765	6.4	0.5	0.08	0.244	110	—	
L-流20-5	1.765	6.4	0.5	0.08	0.240	108	—	
E-流20-2	1.765	6.1	0.5	0.08	0.305	131	—	
E-流20-3	1.765	6.4	0.5	0.08	0.276	125	—	
L-ハ 25-1	1.765	6.3	0.5	0.08	0.191	—	85.0	木材折れない
L-ハ 25-2	1.765	—	—	—	—	—	—	
L-ハ 25-3	1.765	6.4	0.5	0.08	0.192	—	86.8	
E-ハ 25-1	1.765	6.2	0.5	0.08	0.260	—	113.8	
E-ハ 25-2	1.765	6.5	0.5	0.08	0.245	—	112.4	
平均値						113	99	

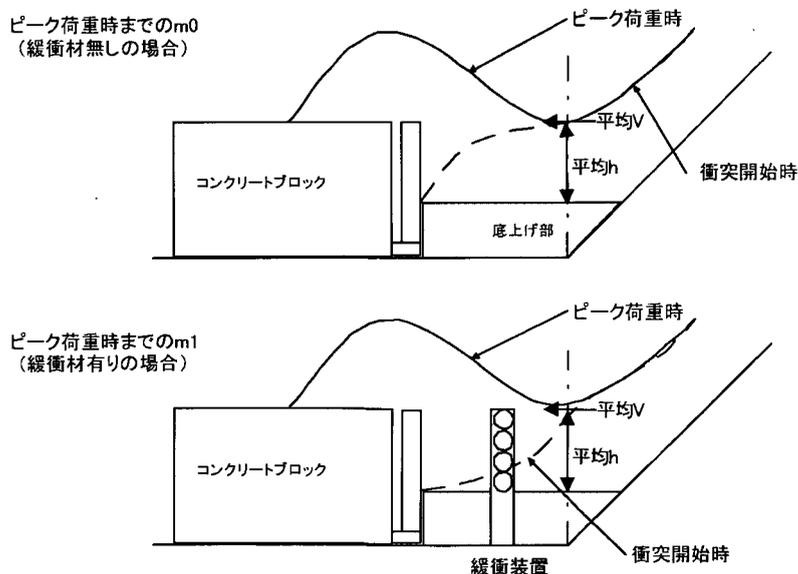


図 A3.1 方法1の模式図

A3.2 ピーク荷重時における全層の堆積量を m_0 とする方法(方法2)

荷重またはエネルギーがピークのときの堆積量を有効質量とする方法である。堆積形状を高速ビデオカメラより求め、堆積量を計測する。

$$m_0 = \gamma \cdot V$$

- γ : 流下後の崩土の単位体積重量(1.9t/m³)
- V : 全層の堆積量(m³)

表A3.2 m_0 、 m_1 の算出結果(方法2)

	γ (t/m ³)	B (m)	A (m ²)	m_0 (kg)	m_1 (kg)	備考
L-流20-3	1.9	0.5	0.06	58	—	
L-流20-4	1.9	0.5	0.10	94	—	
L-流20-5	1.9	0.5	0.11	106	—	
E-流20-2	1.9	0.5	0.14	137	—	
E-流20-3	1.9	0.5	0.15	144	—	
L-ハ [*] 25-1	1.9	0.5	0.08	—	71	木材折れない
L-ハ [*] 25-2	1.9	—	—	—	—	
L-ハ [*] 25-3	1.9	0.5	0.10	—	99	
E-ハ [*] 25-1	1.9	0.5	0.12	—	112	
E-ハ [*] 25-2	1.9	0.5	0.15	—	146	
平均値				108	107	

※A：全層の堆積形状の側面積

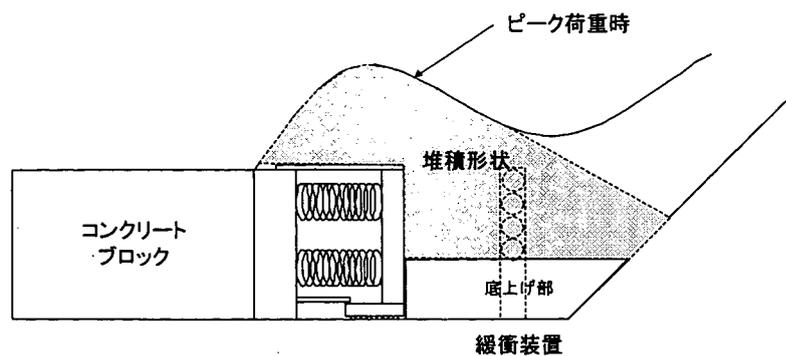


図 A3.2 方法2の模式図

A3.3 ピーク荷重時における静止層の堆積量を m_0 とする方法(方法3)

荷重またはエネルギーがピークのときの静止層の堆積量を有効質量とする方法である。静止層の堆積形状を高速ビデオカメラより求め、堆積量を計測する。

$$m_0 = \gamma \cdot V$$

γ : 流下後の崩土の単位体積重量(1.9t/m³)

V : 静止層の堆積量(m³)

表 A3.3 m_0 、 m_1 の算出結果(方法3)

	γ (t/m ³)	B (m)	A (m ²)	m_0 (kg)	m_1 (kg)	備考
L-流20-3	1.9	0.5	—	—	—	
L-流20-4	1.9	0.5	—	—	—	
L-流20-5	1.9	0.5	0.020	19	—	
E-流20-2	1.9	0.5	0.065	61	—	
E-流20-3	1.9	0.5	—	—	—	
L-ハ 25-1	1.9	0.5	0.020	—	19	
L-ハ 25-2	1.9	—	—	—	—	木材折れない
L-ハ 25-3	1.9	0.5	—	—	—	
E-ハ 25-1	1.9	0.5	0.048	—	46	
E-ハ 25-2	1.9	0.5	—	—	—	
平均値				40	33	

※A：静止層の堆積形状の側面積

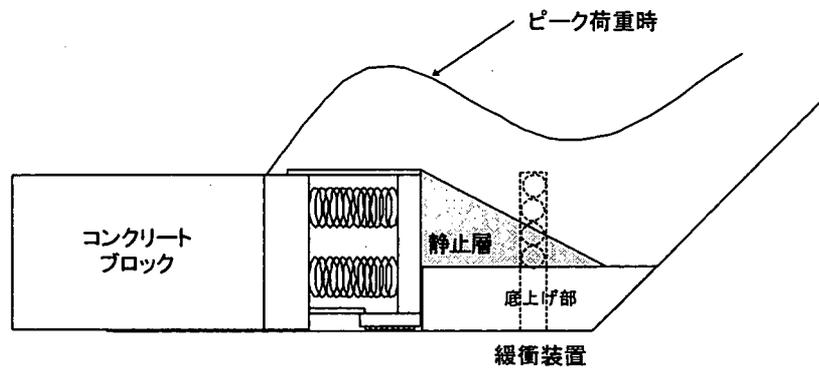


図 A3.3 方法3の模式図

A3.4 エネルギー計測装置で計測されるエネルギー量より求める方法(方法4)

エネルギー計測装置で得られたエネルギー計測値Eと崩土の運動エネルギーを緩衝材なしの場合($E = \frac{1}{2}m_0v_0^2$)、緩衝材ありの場合($E = \frac{1}{2}m_1v_1^2$)として、 m_0 、 m_1 を逆算して求める方法である。

$$E = \frac{1}{2}m_0v_0^2 \quad m_0 = \frac{2E}{v_0^2}$$

$$E = \frac{1}{2}m_1v_1^2 \quad m_1 = \frac{2E}{v_1^2}$$

- v_0 : 崩土の衝突前平均速度(m/s)
 v_1 : 崩土の衝突後平均速度(m/s)
 E : エネルギー計測装置によるエネルギー量(N・m)

表A3.4 m_0 、 m_1 の算出結果(方法4)

	E (N・m)	v_0 (m/s)	v_1 (m/s)	m_0 (kg)	m_1 (kg)	備考
L-流20-3	—	—	—	—	—	
L-流20-4	—	—	—	—	—	
L-流20-5	—	—	—	—	—	
E-流20-2	20	6.1	—	1.1	—	
E-流20-3	21.5	6.4	—	1.0	—	
L-ハ 25-1	—	—	—	—	—	
L-ハ 25-2	—	—	—	—	—	
L-ハ 25-3	—	—	—	—	—	
E-ハ 25-1	17.6	6.2	3.3	—	3.2	
E-ハ 25-2	2.1	6.5	3.0	—	0.5	
平均値				1.1	1.8	

A3.5 エネルギー計測装置で計測される力積より求める方法(方法5)

ロードセルならびにエネルギー計測装置で得られたピーク荷重時までの累積力積の計測値 U と崩土の運動量を緩衝材なしの場合($U = m_0 v_0$)、緩衝材ありの場合($U = m_1 v_1$)として、 m_0 、 m_1 を逆算して求める方法である。

エネルギー計測装置による力積は、動的校正実験の結果から補正值として、計測値 $\times 1.5$ 倍とする。

$$\text{(ロードセルの場合)} \quad U = m_0 v_0 \quad m_0 = \frac{U}{v_0}$$

$$\text{(ロードセルの場合)} \quad U = m_1 v_1 \quad m_1 = \frac{U}{v_1}$$

$$\text{(エネルギー計測装置の場合)} \quad U = m_0 v_0 \times 1.5 \quad m_0 = \frac{U}{1.5 v_0}$$

$$\text{(エネルギー計測装置の場合)} \quad U = m_1 v_1 \times 1.5 \quad m_1 = \frac{U}{1.5 v_1}$$

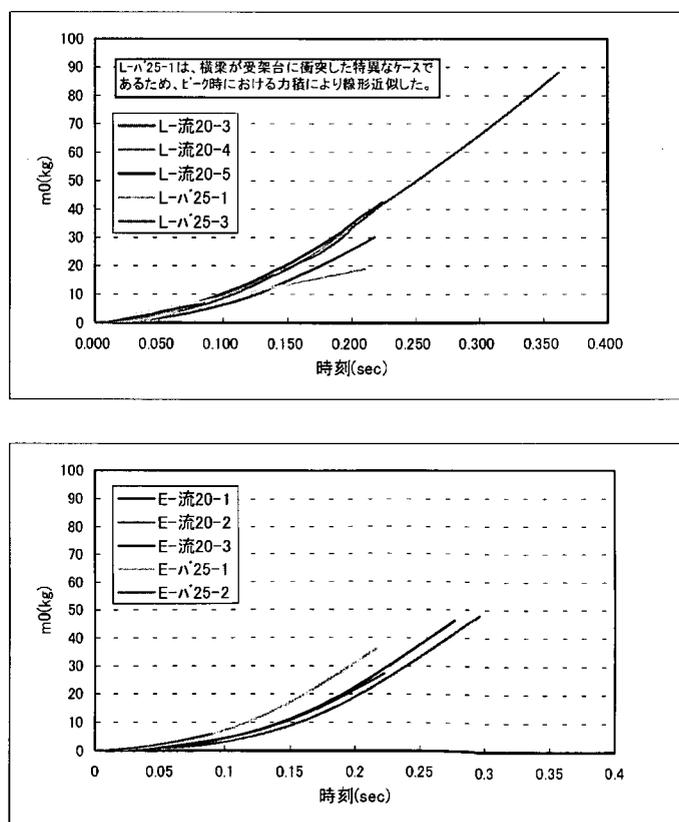
v_0 : 崩土の衝突前平均速度(m/s)

v_1 : 崩土の衝突後平均速度(m/s)

U : ロードセル、エネルギー計測装置によるピーク荷重時の運動量(N·s)

1.5 : エネルギー計測装置の動的校正試験による補正值

それぞれのケースにおける、力積と時刻との関係を図A3.4に示す。



図A3.4 各ケースにおける時刻と力積の関係

力積から求めた有効質量と通過した崩土質量との割合を求めるために、時刻 0.025(sec)の計測値を用いる。すなわち、0.025(sec)時の画像から求めた崩土質量のうち、力積に作用している有効質量の割合を求める。

$$\beta_0 = M_0 / m'_0$$

$$\beta_1 = M_1 / m'_1$$

M_0 : 0.025(sec)時の崩土通過量(画像)から算出した崩土質量(緩衝材無し)

M_1 : 0.025(sec)時の崩土通過量(画像)から算出した崩土質量(緩衝材有り)

m'_0 : 0.025(sec)時の力積から算出した崩土質量(緩衝材無し)

m'_1 : 0.025(sec)時の力積から算出した崩土質量(緩衝材有り)

β_0 : 0.025(sec)時の崩土通過量にしめる有効質量の割合(緩衝材無し)

β_1 : 0.025(sec)時の崩土通過量にしめる有効質量の割合(緩衝材有り)

0.025(sec)における崩土通過量にしめる有効質量の割合を方法1で算出した全通過量に乗じることにより、有効質量を算出する。

$$m_0 = (\text{方法1による} m'_0) \times \beta_0$$

$$m_1 = (\text{方法1による} m'_1) \times \beta_1$$

m_0 : 方法5による有効質量(緩衝材無し)

m_1 : 方法5による有効質量(緩衝材有り)

算出結果を表 A3.5 に示す。

表 A3.5 m_0 、 m_1 の算出結果(方法5)

	M_0 (kg)	U (N・s)	v_0 (m/s)	V_1 (m/s)	m'_0 (kg)	m'_1 (kg)	β_0	β_1	方法1 による m'_0 (kg)	方法1 による m'_1 (kg)	m_0 (kg)	m_1 (kg)	備考
L-流20-3	9.2	2.9	6.5	-	0.44	-	0.05	-	92	-	6.1	-	
L-流20-4	10.9	6.0	6.4	-	0.94	-	0.09	-	111	-	7.4	-	
L-流20-5	9.4	9.2	6.4	-	1.44	-	0.15	-	110	-	7.3	-	
E-流20-2	9.3	1.1	6.1	-	0.18	-	0.02	-	133	-	8.9	-	
E-流20-3	9.5	1.6	6.4	-	0.25	-	0.03	-	126	-	8.4	-	
L-N 25-1	計測不可	11.7	-	5.2	-	2.26	-	-	-	86	-	3.4	
L-N 25-2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	木材折れない
L-N 25-3	9.3	2.0	-	4.5	-	0.44	-	0.05	-	88	-	3.4	
E-N 25-1	17.7	2.9	-	5.4	-	0.54	-	0.03	-	115	-	4.5	
E-N 25-2	計測不可	4.3	-	6.4	-	0.67	-	-	-	114	-	4.5	
平均値							0.07	0.04			7.6	3.9	

A3.6 横梁が破断するまでの崩土通過量を m_0 とする方法(方法 6)

崩土が横梁の前面に衝突した時点から横梁が破断するまでに通過した質量を崩土有効質量とする考え方である。

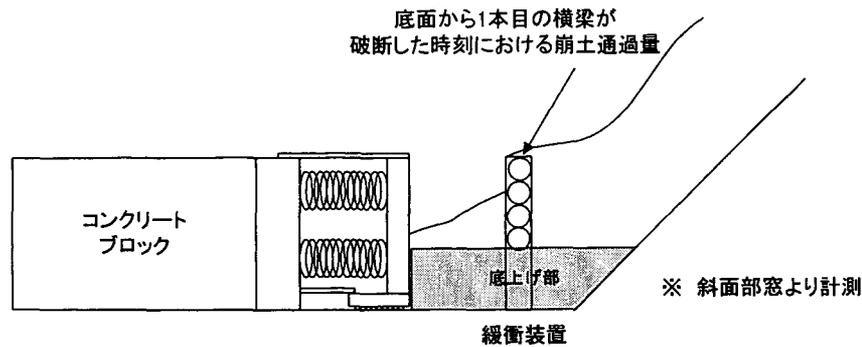


図 A3.5 方法 6 の模式図

通過した崩土量は、斜面部に取り付けられた窓を流下する崩土流動深を計測することによって算出する。

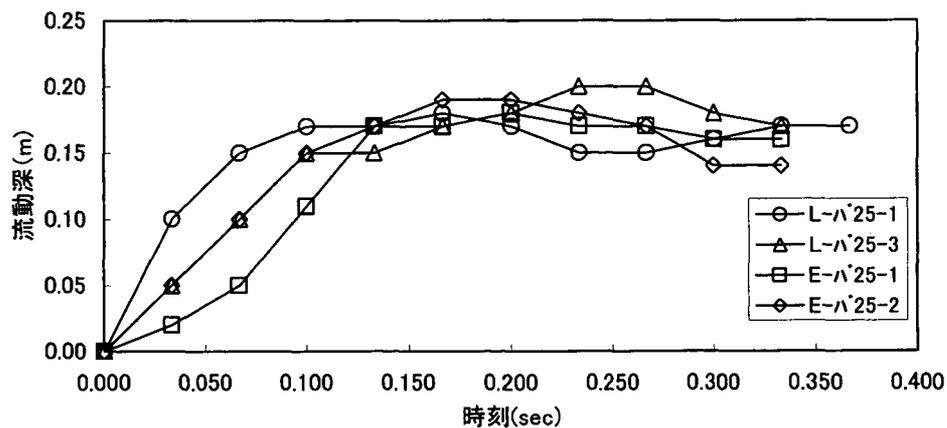


図 A3.6 横梁が破断するまでの斜面部流動深

図 A3.6 から破断するまでに通過した崩土量 (m_3) を算出する。ただし、斜面部を流下する崩土流速を全て $6.0(m/s)$ として算出した。通過した崩土量に流下時の単位体積重量を掛け合わせて有効質量を得る。算出結果を表 A3.6 にまとめる。

$$m_1 = \gamma \cdot V$$

$$V = \int h \cdot v_0 t \cdot B$$

- m_1 : 崩土有効質量(kg)
- γ : 流下時の崩土の単位体積重量($1.765t/m^3$)
- V : 崩土通過量(m^3)
- h : 平均流動深(斜面部窓において計測)(m)
- v_0 : 斜面部を流下する崩土流速 (m/s)
- t : 崩土が通過した時刻(sec)

表 A3.6 流下した崩土量と有効質量

L- λ 25-1

t(sec)	v0(m/s)	h(m)	B(m)	V(m ³)	γ (t/m)	m1(kg)	破断状況
0.000	6.0	0.00	0.5	—	1.765	—	
0.033	6.0	0.10	0.5	0.005	1.765	9	
0.067	6.0	0.15	0.5	0.018	1.765	31	
0.100	6.0	0.17	0.5	0.034	1.765	59	
0.133	6.0	0.17	0.5	0.050	1.765	89	
0.167	6.0	0.18	0.5	0.068	1.765	120	
0.200	6.0	0.17	0.5	0.086	1.765	151	1本目破断
0.233	6.0	0.15	0.5	0.102	1.765	179	
0.267	6.0	0.15	0.5	0.117	1.765	206	2本目破断
0.300	6.0	0.16	0.5	0.132	1.765	233	3本目破断
0.333	6.0	0.17	0.5	0.149	1.765	262	
0.367	6.0	0.17	0.5	0.166	1.765	292	4本目破断

L- λ 25-3

t(sec)	v0(m/s)	h(m)	B(m)	V(m ³)	γ (t/m)	m1(kg)	破断状況
0.000	6.0	0.00	0.5	—	1.765	—	
0.033	6.0	0.05	0.5	0.003	1.765	4	
0.067	6.0	0.10	0.5	0.010	1.765	18	
0.100	6.0	0.15	0.5	0.023	1.765	40	
0.133	6.0	0.15	0.5	0.037	1.765	66	
0.167	6.0	0.17	0.5	0.054	1.765	94	1本目破断
0.200	6.0	0.18	0.5	0.071	1.765	125	
0.233	6.0	0.20	0.5	0.090	1.765	159	2本目破断
0.267	6.0	0.20	0.5	0.110	1.765	194	3本目破断
0.300	6.0	0.18	0.5	0.129	1.765	228	
0.333	6.0	0.17	0.5	0.147	1.765	259	4本目破断

E- λ 25-1

t(sec)	v0(m/s)	h(m)	B(m)	V(m ³)	γ (t/m)	m1(kg)	破断状況
0.000	6.0	0.00	0.5	—	1.765	—	
0.033	6.0	0.02	0.5	0.001	1.765	2	
0.067	6.0	0.05	0.5	0.005	1.765	8	
0.100	6.0	0.11	0.5	0.013	1.765	22	
0.133	6.0	0.17	0.5	0.026	1.765	47	
0.167	6.0	0.17	0.5	0.044	1.765	77	
0.200	6.0	0.18	0.5	0.061	1.765	108	1本目破断
0.233	6.0	0.17	0.5	0.078	1.765	139	2本目破断
0.267	6.0	0.17	0.5	0.096	1.765	169	
0.300	6.0	0.16	0.5	0.112	1.765	198	3本目破断
0.333	6.0	0.16	0.5	0.128	1.765	226	4本目破断

E- λ 25-2

t(sec)	v0(m/s)	h(m)	B(m)	V(m ³)	γ (t/m)	m1(kg)	破断状況
0.000	6.0	0.00	0.5	—	1.765	—	
0.033	6.0	0.05	0.5	0.003	1.765	4	
0.067	6.0	0.10	0.5	0.010	1.765	18	
0.100	6.0	0.15	0.5	0.023	1.765	40	
0.133	6.0	0.17	0.5	0.038	1.765	68	
0.167	6.0	0.19	0.5	0.057	1.765	100	
0.200	6.0	0.19	0.5	0.076	1.765	133	1本目破断
0.233	6.0	0.18	0.5	0.094	1.765	166	2本目破断
0.267	6.0	0.17	0.5	0.112	1.765	197	3本目破断
0.300	6.0	0.14	0.5	0.127	1.765	224	
0.333	6.0	0.14	0.5	0.141	1.765	249	4本目破断

※横梁番号は、底面からのものとする。

表 A3.6 の値から、各横梁が破断した時点での崩土有効質量が分かる。ここでは、底面から1本目の横梁が破断した時点での質量(kg)を有効質量と考える。これらの値を表 A3.7 に示す。

表A3.7 m_1 算出結果(方法6)

m0方法6

	v_0 (m/s)	γ (t/m ³)	B (m)	V (m ³)	m_1 (kg)	備考
L-流20-3	—	—	0.5	—	—	
L-流20-4	—	—	0.5	—	—	
L-流20-5	—	—	0.5	—	—	
E-流20-2	—	—	0.5	—	—	
E-流20-3	—	—	0.5	—	—	
L- Λ 25-1	6.0	1.765	0.5	0.086	151	
L- Λ 25-2	6.0	—	—	—	—	
L- Λ 25-3	6.0	1.765	0.5	0.054	94	
E- Λ 25-1	6.0	1.765	0.5	0.061	108	
E- Λ 25-2	6.0	1.765	0.5	0.076	133	
平均値					122	

A3.7 横梁が破断するまでの崩土通過量を m_0 とする方法(方法7)

崩土が横梁の前面に衝突した時点から横梁が破断するまでに通過した質量を崩土有効質量とする考え方である。方法6では、斜面部に取り付けられた窓から崩土通過量を計測したが、ここでは水平部を通過した崩土量をデジタルビデオカメラにより計測した値を示す。

$$m_1 = v_0 \cdot t \cdot h \cdot B \cdot \gamma$$

- γ : 流下中の崩土の単位体積重量(1.765t/m³)
- v_0 : 衝突開始～横梁が破断するまでの平均崩土速度(m/s)
- t : 崩土衝突開始～横梁が破断するまでの時間(s)
- h : 衝突開始～横梁が破断するまでの平均流動深(0.08m)
- B : 水路幅(0.5m)

表A3.8 m_1 算出結果(方法7)

m0方法7

	v_0 (m/s)	γ (t/m ³)	t (s)	B (m)	h (m)	m_1 (kg) (kg)	備考
L-流20-3	—	—	—	0.5	—	—	
L-流20-4	—	—	—	0.5	—	—	
L-流20-5	—	—	—	0.5	—	—	
E-流20-2	—	—	—	0.5	—	—	
E-流20-3	—	—	—	0.5	—	—	
L-Λ 25-1	6.3	1.765	0.18	0.5	0.035	35	1本目が破断した時点 木材折れない
L-Λ 25-2	—	—	—	—	—	—	
L-Λ 25-3	—	1.765	—	0.5	—	—	
E-Λ 25-1	—	1.765	—	0.5	—	—	
E-Λ 25-2	—	1.765	—	0.5	—	—	
平均値						35	

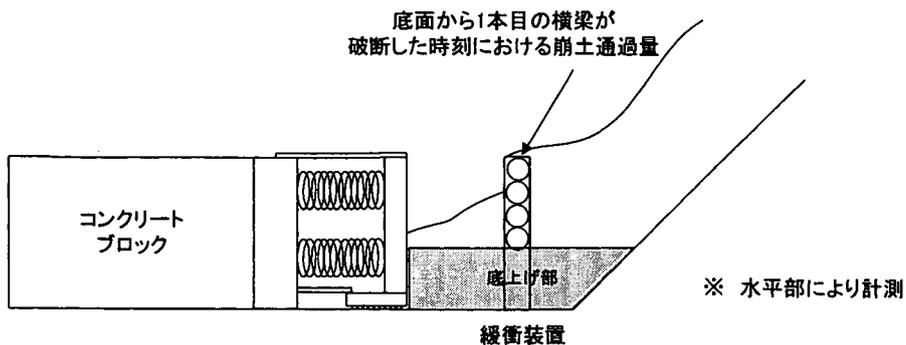
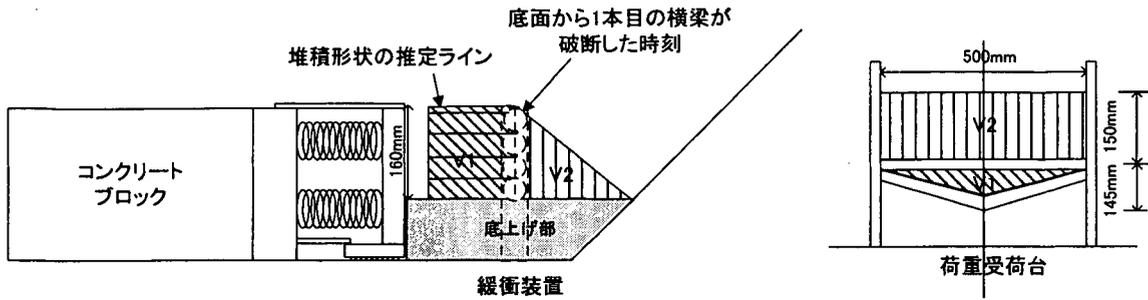


図 A3.7 方法7の模式図

A3.8 横梁が破断するまでの緩衝材上流の堆積量を m_0 とする方法(方法 8)

崩土が横梁の前面に衝突した時点から横梁が破断するまでに堆積した質量を崩土有効質量とする考え方である。



- γ : 流下後の崩土の単位体積重量(1.9t/m³)
- V_1 : 緩衝材支柱より下流側の崩土堆積量(m³)
- V_2 : 緩衝材支柱より上流側の崩土堆積量(m³)

図 A3.8 方法 8 の模式図

表 A3.9 m_1 算出結果(方法8)

m0方法 8

	γ (t/m ³)	V_1 (m ³)	V_2 (m ³)	V (m ³)	m_0 (kg)	備考
L-流20-3	1.9	—	—	—	—	
L-流20-4	1.9	—	—	—	—	
L-流20-5	1.9	0.0058	0.006	0.0118	22	
E-流20-2	1.9	—	—	—	—	
E-流20-3	1.9	—	—	—	—	
L-ハ 25-1	—	—	—	—	—	1本目が破断した時点
L-ハ 25-2	—	—	—	—	—	木材折れない
L-ハ 25-3	—	—	—	—	—	1本目が破断した時点
E-ハ 25-1	—	—	—	—	—	1本目が破断した時点
E-ハ 25-2	—	—	—	—	—	1本目が破断した時点
平均値					22	

資料 4 杉材、コナラ材の材料試験結果(参考)

設計計算値として、「立木の衝撃緩衝効果に関する試験報告書(II)(土研資料第 2737 号)」の結果を示す。本試験は支間長2mの中央集中載荷である。本試験結果の適用範囲は、木材径 10～20cm 程度である。

表A4.1 緩衝材設置にかかわる杉材、コナラ材の物性値 (「立木の衝撃緩衝効果に関する試験報告書(II)(土研資料第2737号)」の実験結果より作成)

No.	木材	載荷点径 (cm)	断面積 (cm ²)	断面係数 (cm ³)	断面2次モーメント (cm ⁴)	含水比 (%)	最大荷重 (kgf)	比例限度荷重 (kgf)	最大荷重変位 (cm)	比例限度変位 (cm)	終局変位 (cm)	曲げ強度 (kgf/cm ²)	比例限度曲げ応力 (kgf/cm ²)	曲げ弾性係数 (kgf/cm ²)
1	コナラ	11.0	95.0	130.6	718.8	8.0	780	575	22.0	7.5	31.0	298.6	220.1	17800
2	コナラ	10.8	91.6	128.7	668.0	8.5	590	445	22.0	7.0	29.0	229.2	172.9	15900
3	コナラ	14.0	154.0	269.5	1888.5	9.0	1770	1380	12.0	5.0	16.5	328.4	256.0	24400
4	コナラ	17.5	240.5	526.1	4009.4	8.0	3670	3200	12.5	7.0	15.5	348.8	304.1	19000
5	杉	11.0	95.0	130.7	718.7	-	990	815	7.9	4.2	12.0	378.8	311.9	45000
6	杉	13.8	149.6	258.0	1780.3	-	1930	1540	6.6	3.1	11.7	374.0	298.4	46500
7	杉	17.5	240.5	526.2	4603.9	-	3340	2800	8.0	3.3	12.0	317.4	266.1	30700

- 注
- 1 比例限度荷重は、荷重～変位曲線から読みとった。
 - 2 終局変位は、軟化後に比例限度荷重の大きさまで荷重が低下したときの変位とする。
 - 3 エネルギー吸収能は、終局変位までの仕事量として求めた。
 - 4 曲げ応力度= $P \times L / (4 \times Z)$
 - 5 曲げ弾性係数=比例限度荷重 $\times L^3 / (48 \times$ 比例限度荷重時変位 \times 断面2次モーメント)
 - 6 木材スパン長 200 cm
- 平均(杉) 356.7 292.1 40700

また、図4.1に示す荷重～変位曲線にしたがい靱性率 μ を求めると図A4.1に示すとおりである。ただし、集中載荷と等分布載荷における木材の靱性率の違いについては明らかでないが、本設計では集中載荷時の靱性率を用いている。5章で示した間伐緩衝材設置に関する手引きにおける設計計算例では $\mu = 2.33$ を用いる。

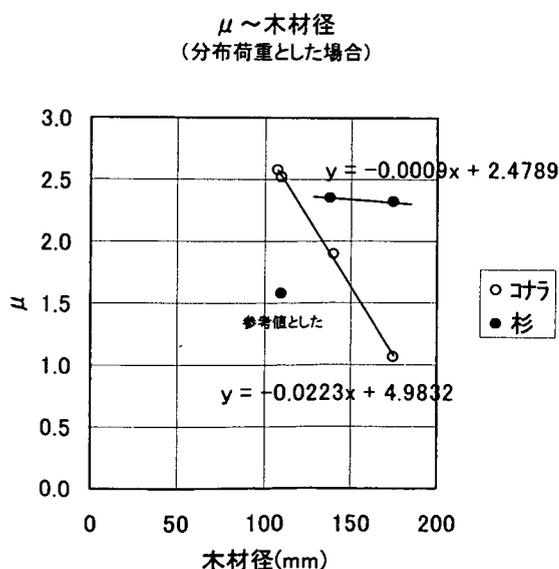


図 A4.1 靱性率に関する試験結果のまとめ