

水面落下衝撃に関する研究

(第1報：人体模型による実験)

小黒英男* 緒方辰人* 奥山信一* 土屋正之*
原野勝博* 藤井 忍* 加藤健一*

Study of Falling Shock on the Water Surface by Human Model

by

Hideo Oguro, Tatsuto Ogata, Shinichi Okuyama, Masayuki Tsuchiya,
Katsuhiko Harano, Shinobu Fujii and Kenichi Kato

We consider that at the critical moment of distress, escape from the abandoned ship is done individually or collectively. The studies were tried to obtain shock deceleration and its duration time in the case of individual escape. The experiments were made by human model using the life-saving appliances drop testing tank of Ship Research Institute.

The results are summarized as follows :

- (1) The fall-time can be obtained by free fall calculation from the heights under 8 meters, but in case of higher heights it is necessary to consider the condition of the air resistance.
- (2) The posture of falling body is scarcely changed through the fall.
- (3) The deceleration of slant fall is 10 times that of head-first or feet-first fall.
- (4) The shock duration time in case of head-first or feet-first fall is 100-300 milliseconds, and that of slant fall is 15-40 milliseconds.
- (5) Further study is expected for the determination of safety fall height limit, because it is necessary the medical research for human tolerances.

1. ま え が き

船舶が損傷し、その乗組員が退船の止むなき状態に立ちいたった場合、船舶の周辺海面が油火災を発生していない条件のもとでは、船舶からの脱出方法として集団脱出と個人脱出が考えられる。

一般に、退船に際して時間的余裕のある場合は、救命艇や膨張型救命いかだ等による集団脱出方式が、脱出後における乗組員の救助の容易さ、脱出員相互の協力による肉体的、精神的安全性から当然採られるべきであろうが、集団脱出時における救命艇からの海中顛落等の不測事故とか、脱出完了までの時間が非常に短かく急速に船から離脱する必要がある場合には、集団

脱出方式の採用が不可能となり、救命胴衣のみを装着して船側から海中に飛び込まなければならないというような個人脱出方式を採らざるを得なくなる。

船舶が小型の場合は、舷側から海面までの高さが数メートルに過ぎないから、飛び込みの際に生ずる海面での衝撃のための人体損傷等を特に考慮する必要がないと考えられるが、船舶が大型になるにつれ、その乾舷から海面までの高さが10メートル以上となり、着水時の衝撃力の増大から人体損傷等の二次的事故の発生が予想される。

人体が衝撃的な力を受けたときの影響は、航空機からの急速離脱、また、自動車に関する安全工学的立場から比較的多くの論文が発表されているが、海面への

* 艦装部 原稿受付：昭和47年4月11日

自由落下衝撃力に関する文献は僅か数編に過ぎず、系統的实验研究の論文は皆無に等しい。

衝突現象においては、衝撃加・減速度とその作用時間の他に、落下体に加えられる回転力、圧縮力、剪断力等が人体損傷の物理的要因となるが、人体を使用する実験は、生体は勿論、死体でも法的に不可能であるため、主として人体模型（以下ダミーと呼ぶ）と、実験動物を用いて行なわれて来たが、ダミーと人体、動物と人体との関係等困難な要件と共に未知の分野が余りにも多い。

本研究は、船舶遭難時の個人脱出を想定し、乗組員が船の舷側から海面に飛び込む際の着水衝撃に関する基礎資料を得るため、当部に設置されている救命器具落下試験水槽と、体格、体重、各部重量および重心位置が、我々日本人の標準に合わせて製作されている衝突実験用ダミー（3 DGM-J M50-67）を使用して水面への自由落下衝撃実験を行なったもので、社団法人日本海難防止協会との共同研究の一部である。

2. 実験に関する理論

落下着水時に人体各部に加えられる衝撃減速度とその作用時間等の値は、落下中の空気抵抗による落下速

度の変化（衣服、体の回転等で変化する）、着水時の人体の接触面積の大小と形状、また、相互の弾性等によって著しい差異を生ずる。

力学的には、落体の落下高さが決まれば、着水直前の運動速度、運動エネルギー、運動量等は周知の計算式で算出し得るが、衝撃減速度やその作用時間等は前述のような多くの要因によって変化するため、簡単には求め得ない。

また、落体の落下距離が大きくなると、それが受ける空気抵抗が無視し得なくなり、それを加えた計算式で検討する必要がある。今、落下中の空気抵抗が速度の2乗に比例して落体に作用すると仮定すれば（風圧計算等に準ずる）、次の運動方程式から、

$$m \cdot d^2x/dt^2 = m \cdot g - K (dx/dt)^2 \dots \dots \dots (1)$$

自由落下時の時間 t に対する落下速度 v と落下距離 x はそれぞれ次式の如く求められる。

$$v = \frac{\exp(2akt) - 1}{\exp(2akt) + 1} \cdot a \dots \dots \dots (2)$$

$$x = \frac{1}{k} \log \frac{1}{2} \{ \exp(2akt) + 1 \} - a \cdot t \dots \dots \dots (3)$$

但し、 a : 終極速度 $(= (W/K)^{\frac{1}{2}})$, $k = K \cdot g / W$, K : 抵抗係数、これらの式で計算した落下高さ h と着水直前の落下速度との関係曲線を 図-1 に示した。

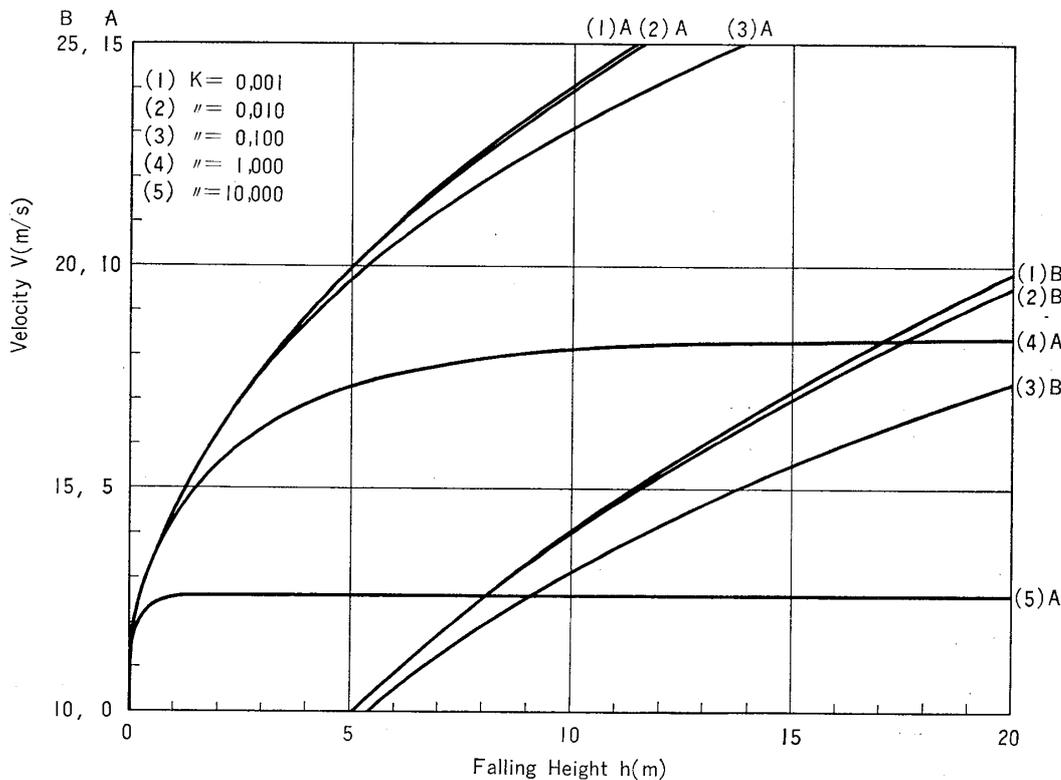


図-1 落下高さと落下速度の曲線

落体の着水直前に保有する運動量は、着水後運動が停止するまでの各時間に対する衝撃減速度の総和と落体の質量との積に等しいということから、

$$V = \int \alpha \cdot dt = \sum_{t=0}^{\tau} \alpha_t \dots \dots \dots (4)$$

の関係が得られる。

今、衝撃波形を三角形で近似し得ると仮定すれば、衝撃作用時間を τ としたときの最大減速度 α_{max} は

$$\alpha_{max} = 2V/\tau \dots \dots \dots (5)$$

となり、(5)式に空気抵抗を考えない自由落下時の落体の速度 $V = (2g \cdot h)^{\frac{1}{2}}$ を $V=v$ として代入すると

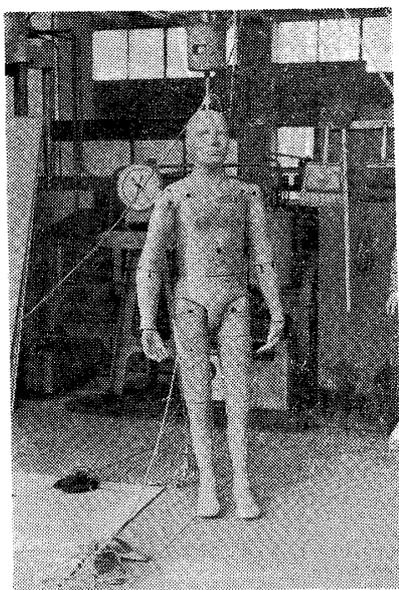
α_{max} は、

$$\alpha_{max} = (8g \cdot h)^{\frac{1}{2}} / \tau \dots \dots \dots (6)$$

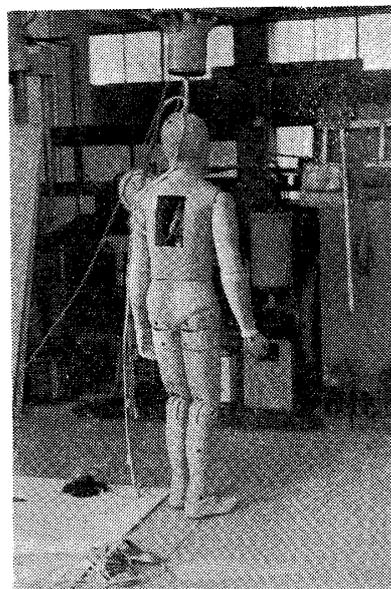
となる。空気抵抗を考える場合は、(5)式の V に(2)式の v を代入すればよい。衝撃波形が半正弦波で近似される場合は、(6)式で得られた α_{max} の値を1.3倍すればよい。

3. 実験方法

衣服、救命胴衣等を着て海面に落下または飛び込む場合を想定し、写真-1のダミーにゴム布製の防水衣を着せ(写真-2)、表-1の実験番号A、B、BOおよび



(a)



(b)

写真-1 衝撃実験用人体模型 (3 DGM-JM50-67)



写真-2 防水衣着用ダミー

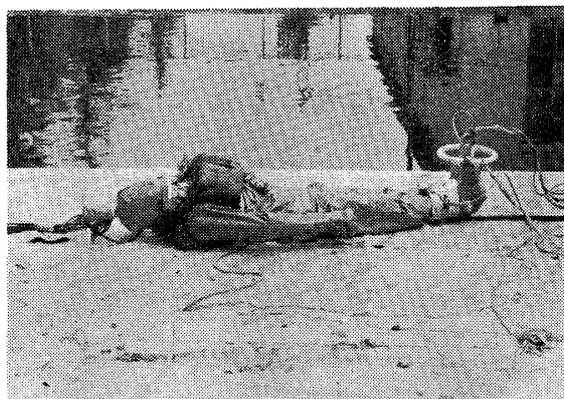


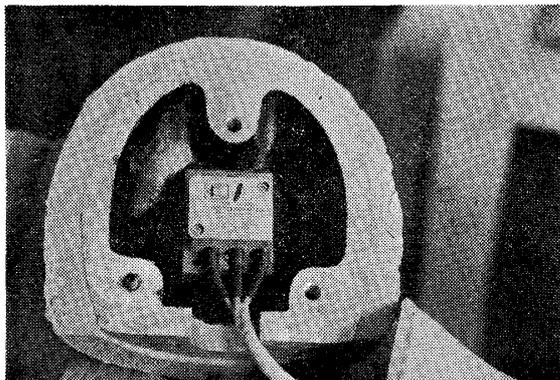
写真-3 救命胴衣装着ダミー

表-1 人体模型水面衝撃実験要目

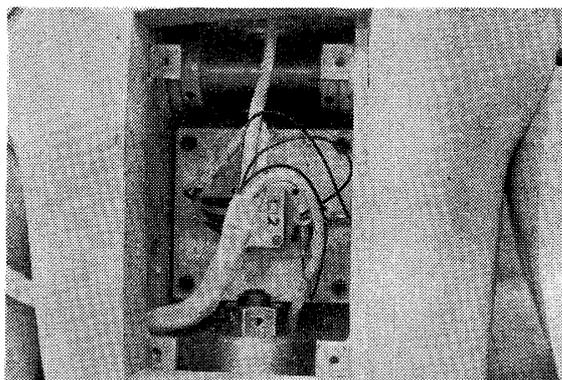
実験番号	旧 No.	高さ(m)	姿勢	実験番号	旧 No.	高さ(m)	姿勢
1. 直立							
A - 1	1-A-a	1	腕, 脚共閉じ	B - 3	34-D-a	3	腕, 脚共閉じ
A - 2	21-A-a	2	"	B - 4	36-D-a	4	"
A - 3	31-A-a	3	"	B - 5	38-D-a	5	"
A - 4	35-A-a	4	"	B - 6	40-D-a	6	"
A - 5	37-A-a	5	"	B - 7	42-D-a	7	"
A - 6	39-A-a	6	"	B - 8	44-D-a	8	"
A - 7	41-A-a	7	"	B - 10	46-D-a	10	"
A - 8	43-A-a	8	"	B - 12	48-D-a	12	"
2. 直立 胴衣付							
AL - 2	AL - 1	2	腕, 脚共閉じ	B - 2	29-D-b	2	腕, 脚共閉じ
AL - 3	AL - 2	3	"	B - 3	19-D-b	3	"
AL - 4	AL - 3	4	"	5. 倒立			
AL - 6	AL - 4	6	"	C - 2	C - 2	2	腕上伸, 脚共閉じ
AL - 8	AL - 5	8	"	C - 4	C - 4	4	"
AL - 10	AL - 6	10	"	C - 8	C - 8	8	"
AL - 14	AL - 7	14	"	C - 12	C - 12	12	"
3. 斜立							
B - 1	17-D-a	1	腕, 脚共閉じ				
B - 2	28-D-a	2	"				
4. 斜立 脚開き							

びCの試験を行ない、また、その上に救命胴衣(チョッキ式SK-1型)を取り付け表-1の実験番号AL(写真-3)の試験を行なった。

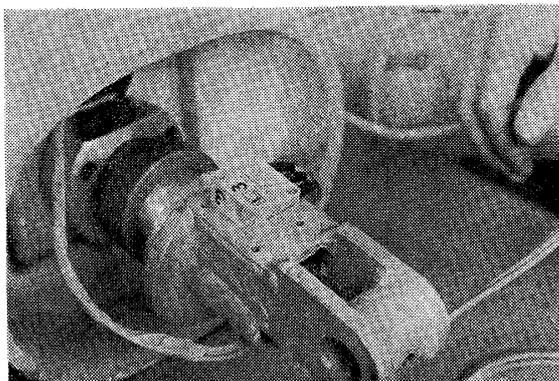
落下中および着水時の衝撃減速度は、ダミーの頭部、胸部および腰部に取り付けたストレインゲージ型三軸加速度ピックアップ(写真-4)で、また、落下開始か



(上) 頭部



(中) 胸部



(下) 腰部

写真-4 加速度ピックアップ取り付け状態

ら着水までのダミーの姿勢等の観察は、16mm撮影機(ボレックス H-16)による高速撮影(64駒駆動、シャッター開度約70°, 露出時間約 $\frac{1}{400}$ 秒)フィルムで行なった。落下高さの決定は、ダミーから吊り下げた目盛り入りロープでダミー最下端から水面までの高さを読んで行なった。落下試験は、測定値の平均化を計り、

表-1の各条件で5回ずつ連続して実施した。ダミーの頭、腕、脚等の可動部と胴体との結合は、実験C以外では固く、実験Cでは手で動く程度に調整した。これは、水槽底部との二次衝突でダミーの破損が心配されたためである。ダミーの吊り上げは、実験A、ALでは頭部に、実験B、BOでは腹部に、実験Cでは脚部に取り付けた吸着鋼板(200mm ϕ , 10mm t)を磁気フックで吸着して行ない、所定の高さとした後十分静置させ、フックの磁力解放で自重により自然落下させた。衝撃力測定用のピックアップからのコード類は、一括して吸着鋼板の取り付け部からダミー外に引出し、キャプタイヤケーブルを十分弛ませて各測定器(動歪測定器等)に導びいた。

4. 実験結果の解析法

ダミー各部のX, Y, Z三方向の衝撃減速度の時間に対する波形曲線から、基線と波形とに囲まれた面積を1mm目盛方眼紙を用いて求めた。この面積値は、(4)式の $\int \alpha \cdot dt$ 即ち衝撃減速度の時間積となる。5回の落下試験波形から求めたそれぞれの面積値の平均減速度積X, Y, Zを基本値として解析を行なった。

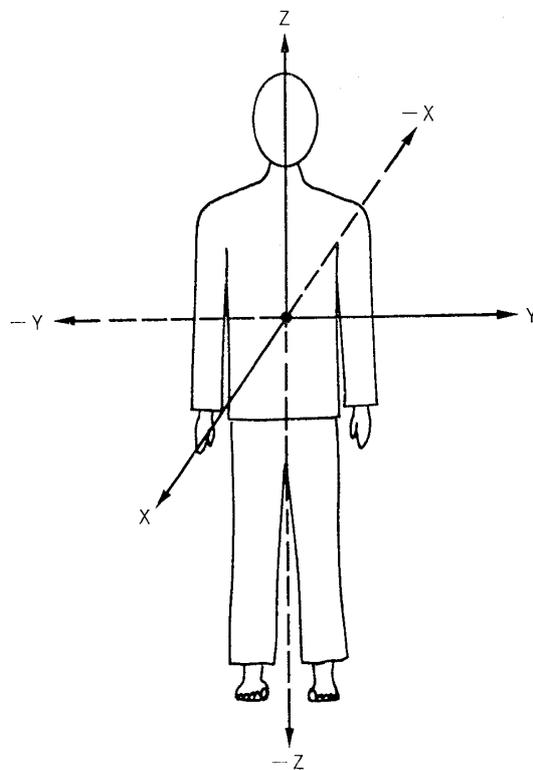


図-2 力の作用方向

力の作用方向は、実験Aの直立状態を基準とし、図-2のように統一した。従って、衝撃力の作用方向に対する衝撃減速度積 P は、

$$P = (X^2 + Y^2 + Z^2)^{\frac{1}{2}} (G \cdot \text{sec}) \dots\dots\dots(7)$$

となる。この値は、落体の運動エネルギーが100%ダミーに加えられたとした(4)式の v の値に等しい。然るに、ダミー落下着水時には当然水の運動を伴ない、着水直前にダミーが保有していた運動エネルギーの一部を消費するから、(2)式等の計算で得られる着水直前の運動速度 v の値とは異なった値となる。両値を変換係数で結ぶため、 $P \cdot g/v$ の比を衝撃減速度積変換係数とし、これを各実験値から計算で求めた。各落下姿勢

毎に各落下高さに対する変換係数を求め、0.3~1.0の値のみ取り出し(30%以下と100%以上の値は、測定誤差で生じたものとした)、それらの平均値と標準偏差値ならびに全事象の90%が含まれる値を求めた。これらの値から、計算により逆に落下高さ2~30mの2m毎の平均減速度積を算出した。これらの計算には、電子計算機FACOM 230-10を用いた。

5. 実験結果とその検討

落下衝撃減速度波形の代表例を図-3~15に、また、計算機で算出した結果を表-2~16に示した。これらを基に各項目毎に検討する。

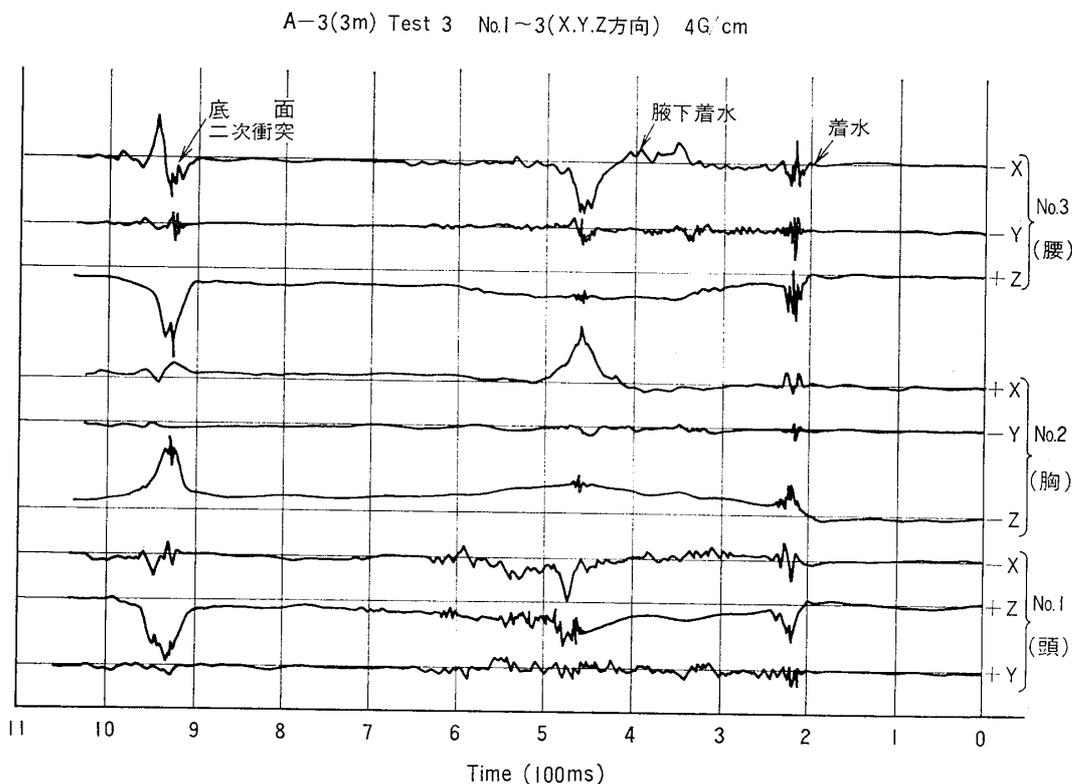


図-3 衝撃減速度曲線 (1)

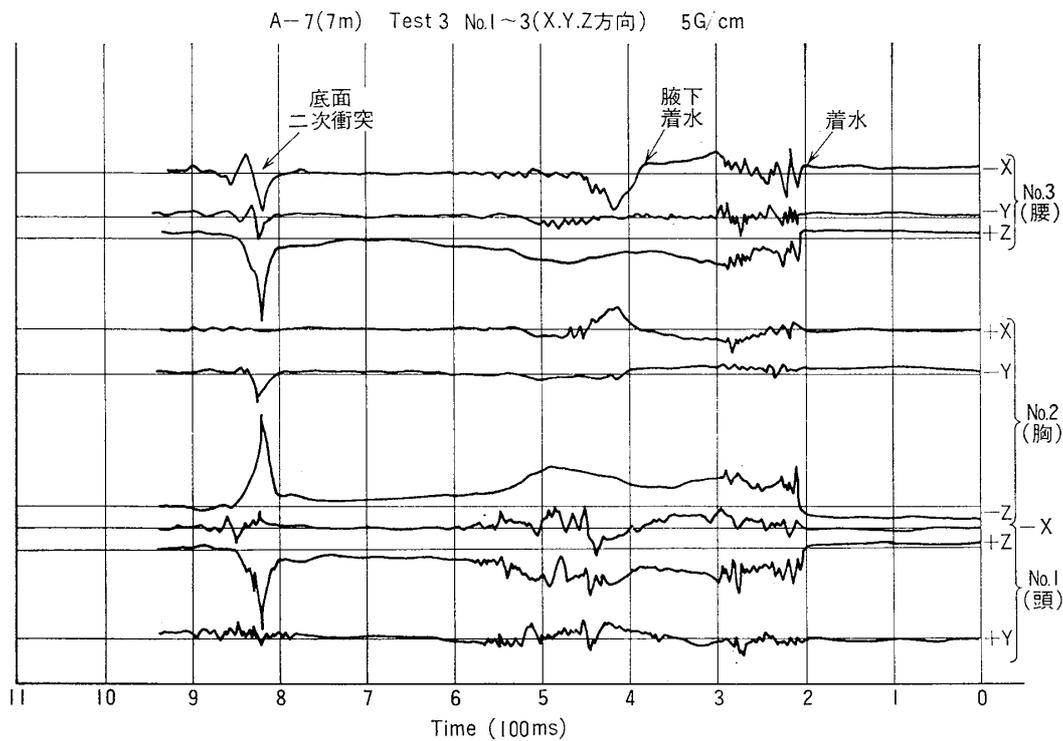


圖-4 衝擊減速度曲線 (2)

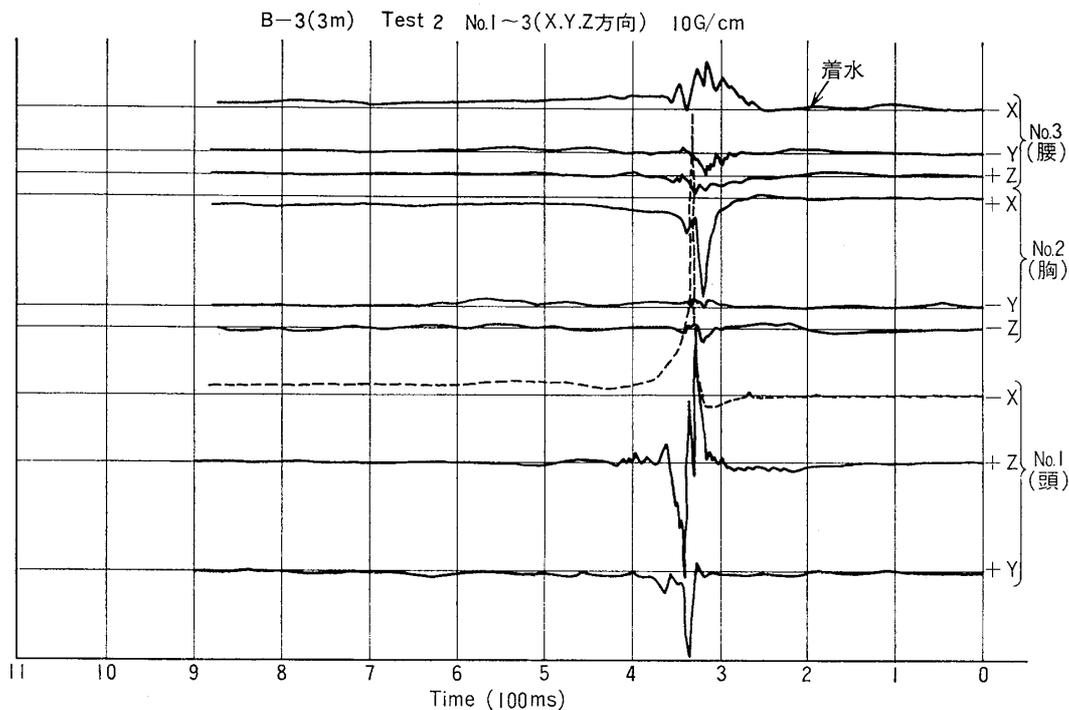


圖-5 衝擊減速度曲線 (3)

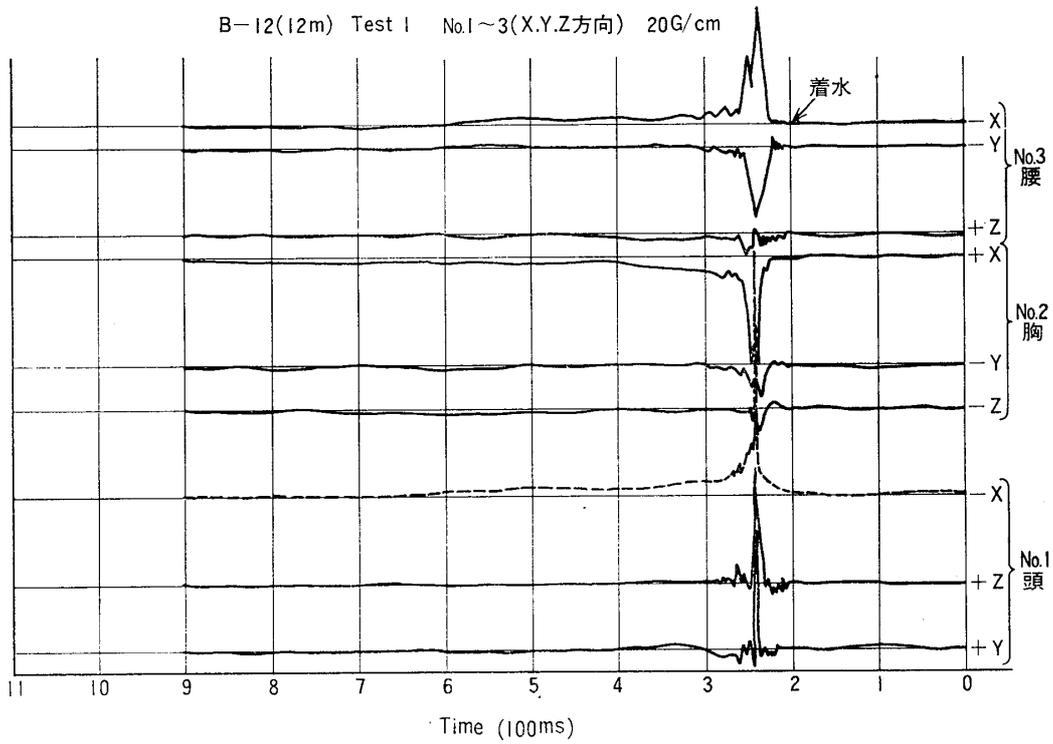


図-6 衝撃減速度曲線 (4)

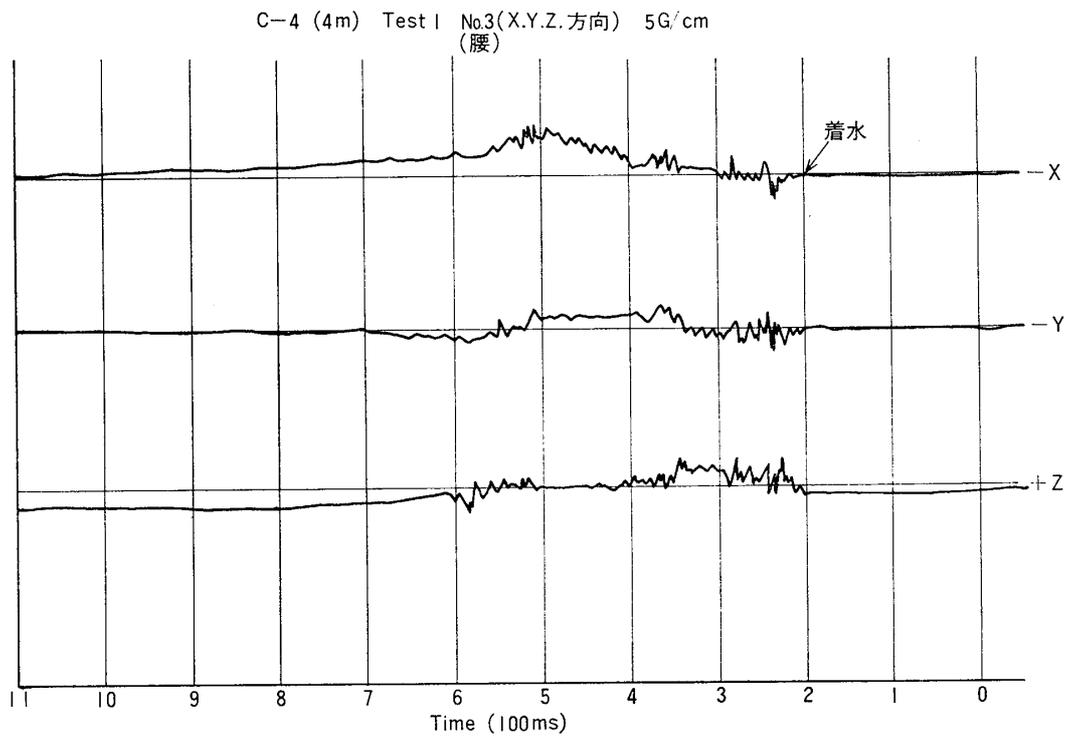


図-7 衝撃減速度曲線 (5)

C-12(12m) Test 5 No.1 (X.Y.Z方向) 5G/cm
(頭)

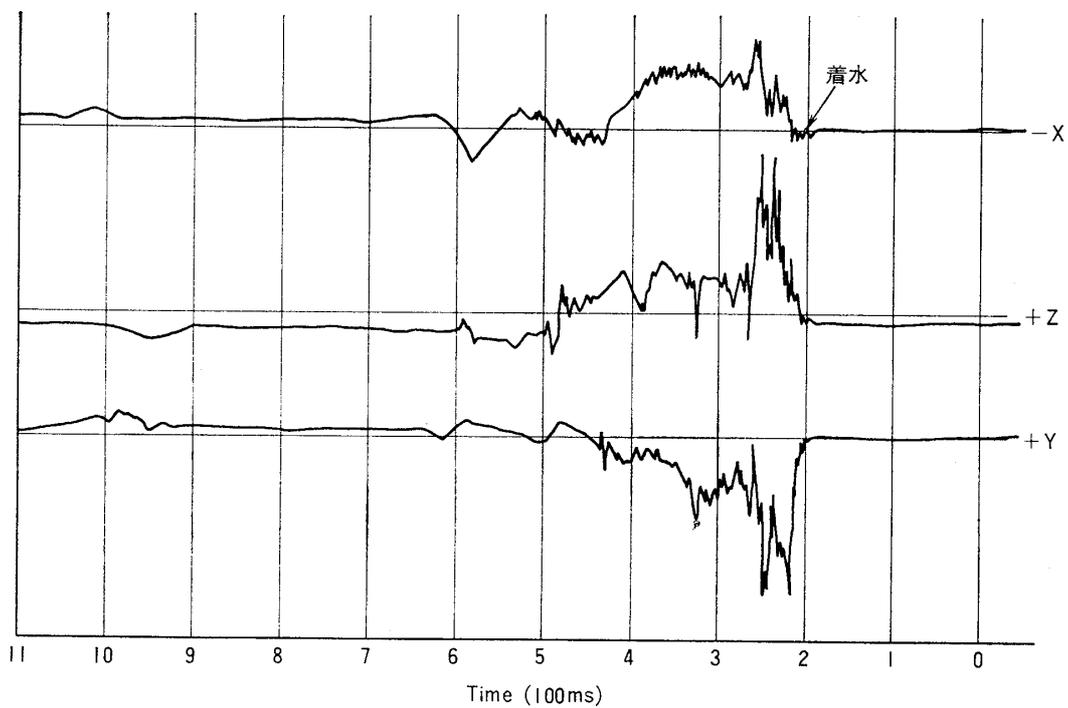


図-8 衝撃減速度曲線 (6)

C-12(12m) Test 5 No.2(X.Y.Z方向) 5G/cm
(胸)

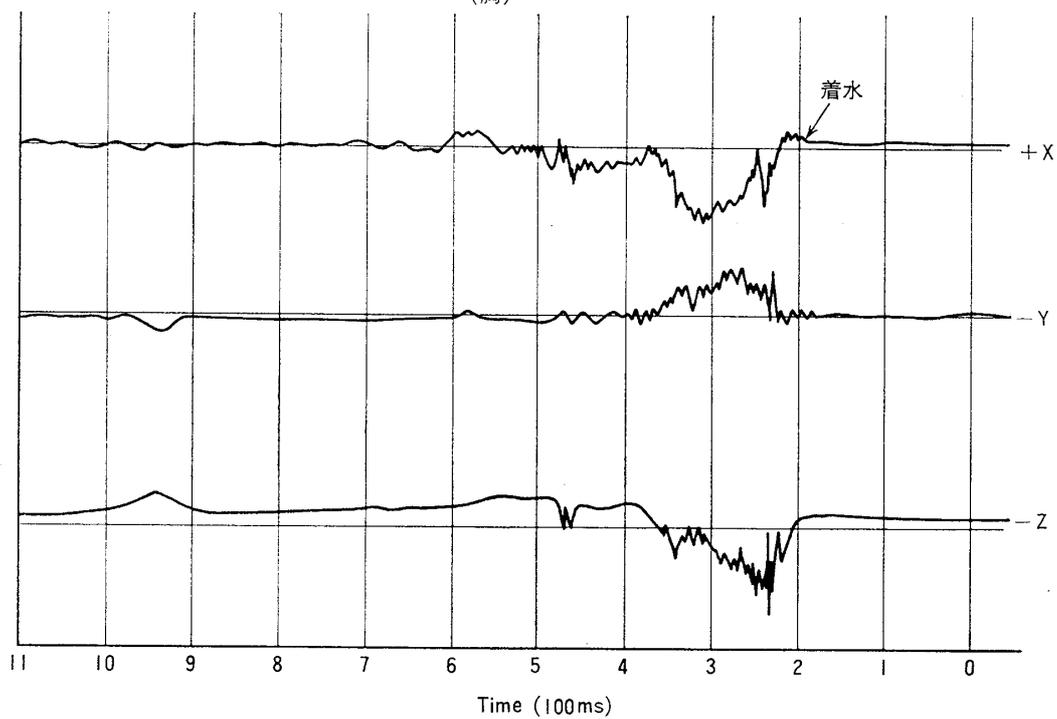


図-9 衝撃減速度曲線 (7)

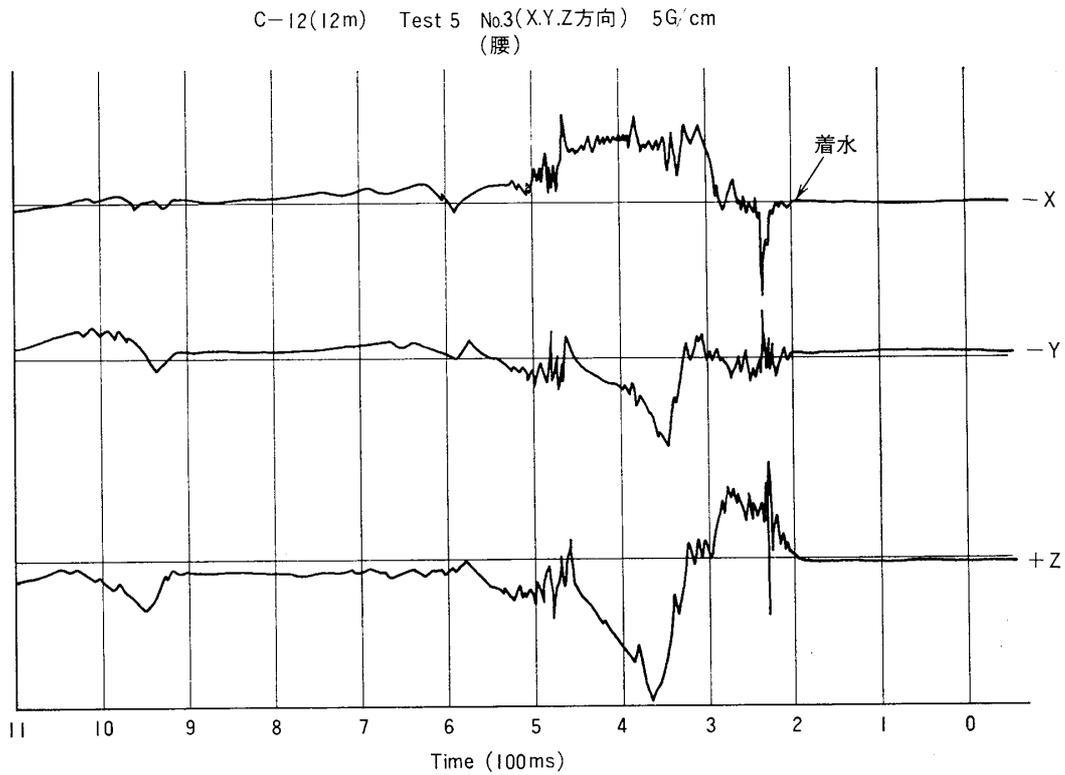


図-10 衝撃減速度曲線 (8)

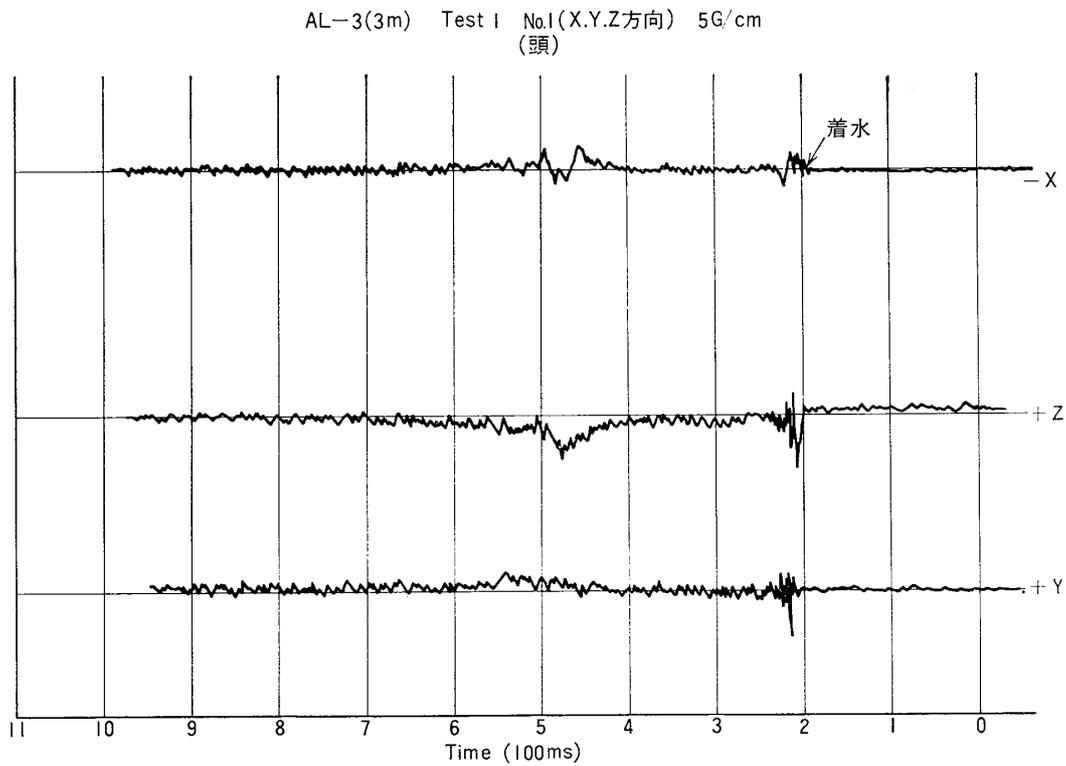


図-11 衝撃減速度曲線 (9)

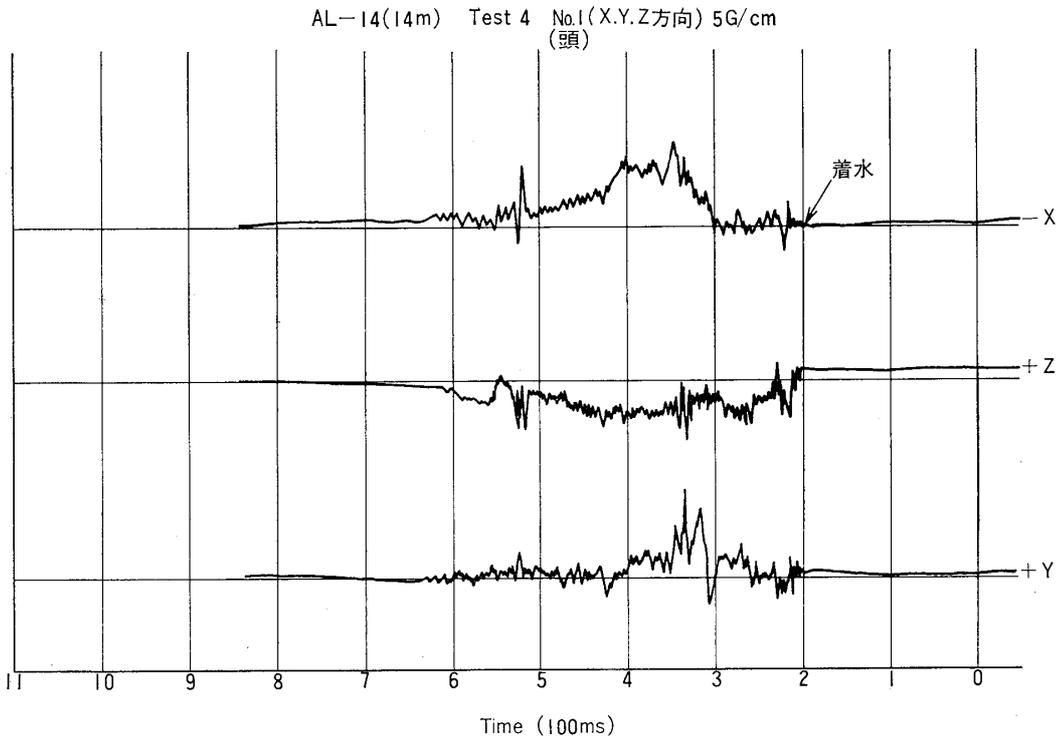


图-12 衝擊減速度曲線 (10)

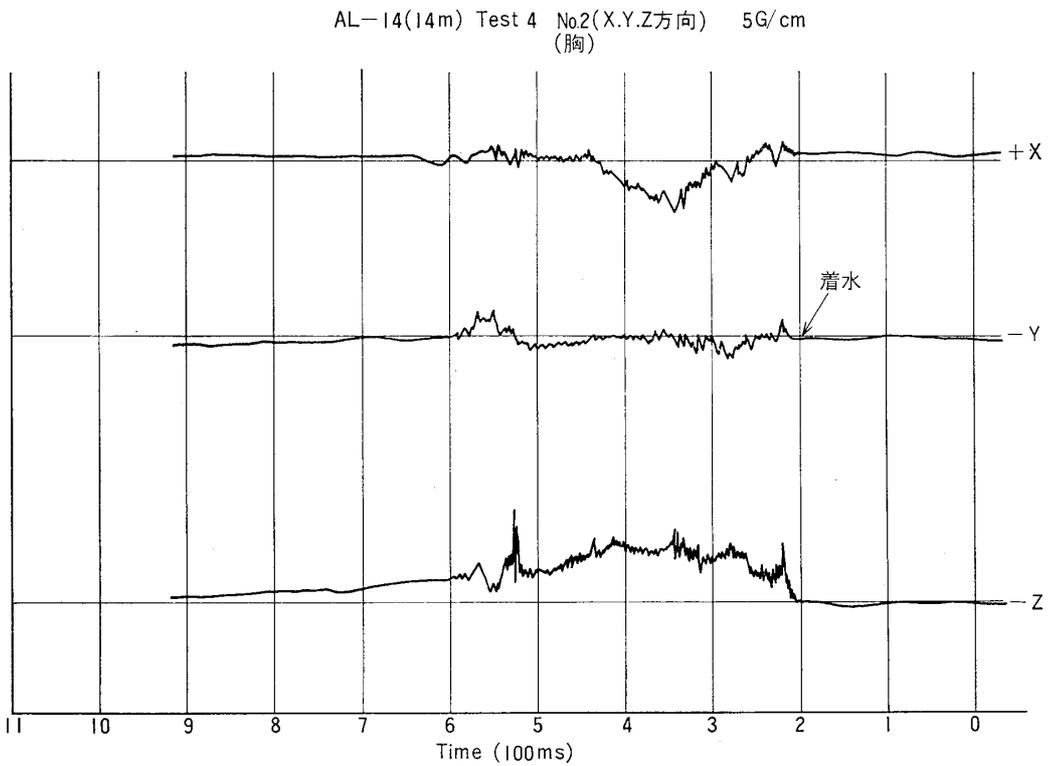


图-13 衝擊減速度曲線 (11)

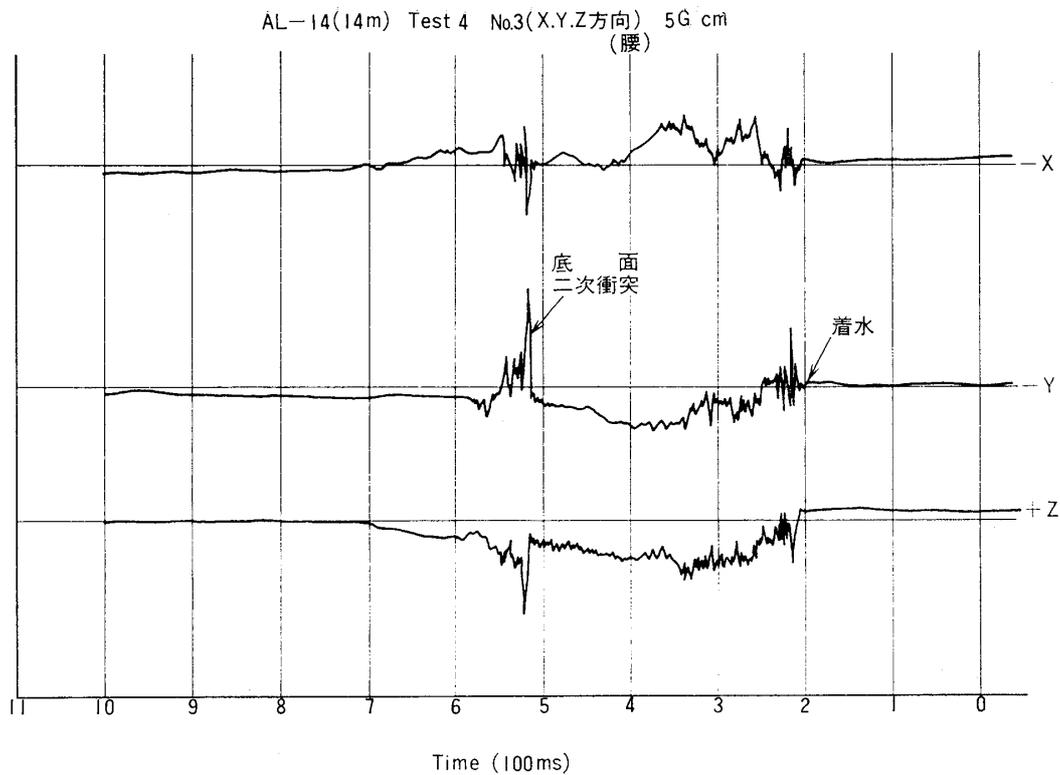


图-14 衝擊減速度曲線 (12)

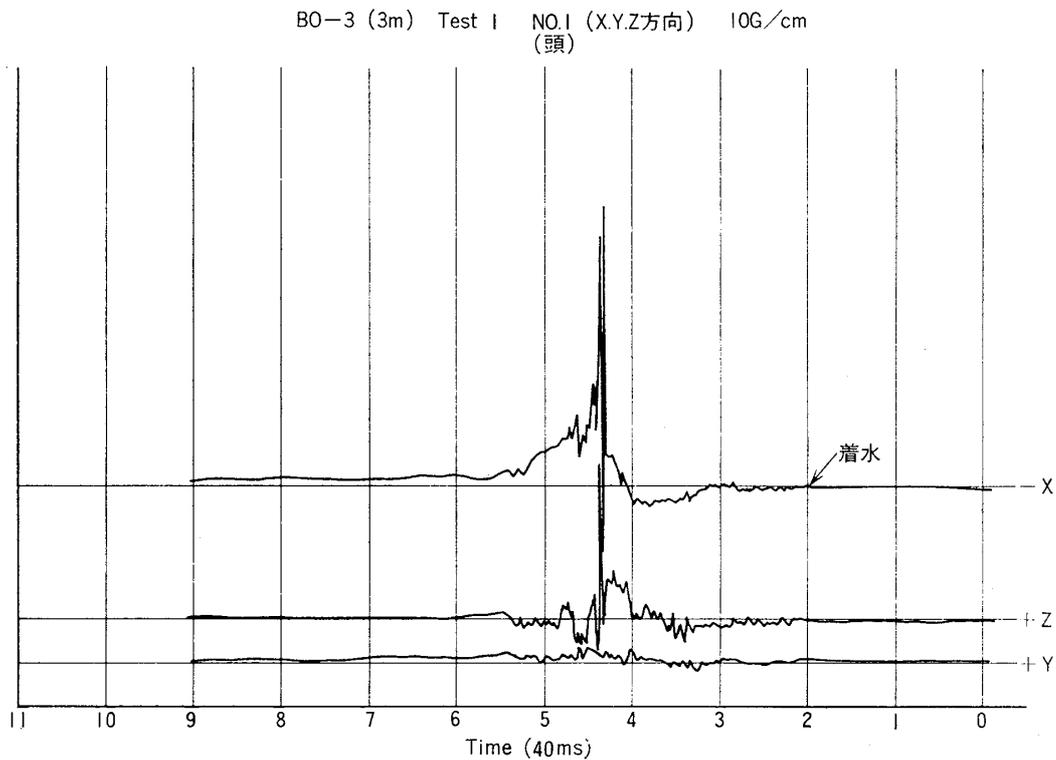


图-15 衝擊減速度曲線 (13)

表—2 STATISTICAL CALCULATION OF FALLING TEST (A—No. 1)

H (M)	T (S)	X	Y	Z	TOTAL (G*S)	KEISU	KAKU(1) (X. Y-MEN)	KAKU(2) (Y-JIKU)
2	0.625	0.1640	0.0540	-0.0265	0.1746	0.27342	-8.72	71.77
3	0.780	0.2320	0.0550	-0.2500	0.3454	0.44151	-46.35	76.66
4	0.905	0.2200	0.0684	-0.4570	0.5117	0.56644	-63.24	72.72
5	1.020	0.2890	0.1480	-0.5820	0.6664	0.65974	-60.84	62.88
6	1.120	0.4355	0.1170	-0.3801	0.5897	0.53297	-40.12	74.96
7	1.215	0.1956	0.2338	-0.7695	0.8276	0.69248	-68.38	39.91

KS(MEAN)=0.5786 KS(**2MEAN)=0.0900 90%RANGE=0.8635, 0.2937

H (M)	A*T (G*S)	90%RANGE (G*S)	A*T
2	0.3696	0.5516	0.1876
4	0.5227	0.7801	0.2654
6	0.6402	0.9555	0.3250
8	0.7393	1.1033	0.3753
10	0.8266	1.2335	0.4196
12	0.9055	1.3513	0.4597
14	0.9780	1.4595	0.4965
16	1.0455	1.5603	0.5303
18	1.1090	1.6550	0.5630
20	1.1690	1.7445	0.5934
22	1.2260	1.8296	0.6224
24	1.2805	1.9110	0.6501
26	1.3328	1.9890	0.6766
28	1.3831	2.0641	0.7022
30	1.4317	2.1366	0.7268

PAUSE 5555

表—3 STATISTICAL CALCULATION OF FALLING TEST (A—No. 2)

H (M)	T (S)	X	Y	Z	TOTAL (G*S)	KEISU	KAKU(1) (X. Y-MEN)	KAKU(2) (Y-JIKU)
2	0.625	0.1374	0.0086	-0.3380	0.3649	0.57125	-67.83	86.41
3	0.780	0.1540	0.0084	-0.4360	0.4624	0.59105	-70.51	86.87
4	0.905	0.1350	0.0218	-0.6300	0.6446	0.71351	-77.75	80.82
5	1.020	0.2100	0.0498	-0.6730	0.7067	0.69965	-72.21	76.65
6	1.120	0.3117	0.0253	-0.3792	0.4915	0.44418	-50.48	85.35
7	1.215	0.1984	0.2922	-0.7706	0.8476	0.70922	-65.37	34.17

KS(MEAN)=0.6214 KS(**2MEAN)=0.0976 90%RANGE=0.9301, 0.3128

H (M)	A*T (G*S)	90%RANGE (G*S)	A*T
2	0.3970	0.5942	0.1998
4	0.5615	0.8403	0.2826
6	0.6877	1.0292	0.3461
8	0.7940	1.1884	0.3997
10	0.8878	1.3287	0.4468
12	0.9725	1.4556	0.4895
14	1.0504	1.5722	0.5287
16	1.1230	1.6807	0.5652
18	1.1911	1.7827	0.5995
20	1.2555	1.8791	0.6319
22	1.3168	1.9709	0.6628
24	1.3754	2.0585	0.6923
26	1.4315	2.1425	0.7205
28	1.4856	2.2234	0.7477
30	1.5377	2.3015	0.7740

PAUSE 5555

表—4 STATISTICAL CALCULATION OF FALLING TEST (A—No. 3)

H (M)	T (S)	X	Y	Z	TOTAL (G*S)	KEISU	KAKU(1) (X. Y-MEN)	KAKU(2) (Y-JIKU)
2	0.625	0.1410	0.0110	-0.0295	0.1444	0.22613	-11.78	85.53
3	0.780	0.1410	0.0060	-0.3910	0.4156	0.53125	-70.15	87.56
4	0.905	0.1600	0.0088	-0.4138	0.4437	0.49113	-68.83	86.85
5	1.020	0.2040	0.0098	-0.4130	0.4607	0.45610	-63.68	87.24
6	1.120	0.3733	0.0250	-0.3704	0.5264	0.47577	-44.70	86.16
7	1.215	0.4353	0.1652	-0.5235	0.7005	0.58615	-48.35	69.21
KS(MEAN)=0.5080		KS(**2MEAN)=0.0461		90%RANGE=0.6541,		0.3620		
H (M)	A*T (G*S)	90%RANGE (G*S)		A*T				
2	0.3246	0.4179		0.2312				
4	0.4590	0.5910		0.3271				
6	0.5622	0.7238		0.4006				
8	0.6492	0.8358		0.4625				
10	0.7258	0.9344		0.5171				
12	0.7951	1.0236		0.5665				
14	0.8588	1.1056		0.6119				
16	0.9181	1.1820		0.6542				
18	0.9738	1.2537		0.6938				
20	1.0264	1.3215		0.7314				
22	1.0765	1.3860		0.7671				
24	1.1244	1.4476		0.8012				
26	1.1703	1.5068		0.8339				
28	1.2145	1.5636		0.8654				
30	1.2571	1.6185		0.8958				
PAUSE	5555							
STOP	5555							

表—5 STATISTICAL CALCULATION OF FALLING TEST (B—No. 1)

H (M)	T (S)	X	Y	Z	TOTAL (G*S)	KEISU	KAKU(1) (X. Y-MEN)	KAKU(2) (Y-JIKU)
1	0.450	-0.5845	0.1535	0.1490	0.6224	1.37777	13.85	-75.28
1	0.450	-0.5845	0.1535	-0.0885	0.6107	1.35198	-8.33	-75.28
2	0.685	-0.5875	0.2135	0.2200	0.6626	1.03725	19.38	-70.02
2	0.685	-0.5875	0.2135	-0.1335	0.6391	1.00048	-12.05	-70.02
3	0.780	-0.6345	-0.2025	0.2520	0.7121	0.91009	20.72	72.29
3	0.780	-0.6345	-0.2025	-0.1425	0.6811	0.87046	-12.07	72.29
4	0.915	-0.6310	0.1400	0.2620	0.6974	0.77191	22.06	-77.49
4	0.915	-0.6310	0.1400	-0.1595	0.6657	0.73683	-13.86	-77.49
5	1.030	-0.8470	-0.1200	0.3630	0.9292	0.91994	22.99	81.93
6	1.110	-0.7875	-0.1063	0.1163	0.8031	0.72576	8.32	82.31
8	1.290	-0.7800	0.0913	0.1663	0.8027	0.62824	11.95	-83.32
10	1.465	-0.1302	0.1120	0.1660	0.2388	0.16719	44.02	-49.29
12	1.605	-0.9140	0.1700	0.2550	0.9640	0.61601	15.33	-79.46
14	1.693	-0.3760	0.2475	0.1200	0.4658	0.27561	14.92	-56.64
14	1.693	-0.3760	0.2475	-0.2330	0.5068	0.29987	-27.36	-56.64
KS(MEAN)=0.8482		KS(**2MEAN)=0.1405		90%RANGE=1.0000,		0.4037		
H (M)	A*T (G*S)	90%RANGE (G*S)		A*T				
2	0.5419	0.6388		0.2579				
4	0.7664	0.9035		0.3647				
6	0.9386	1.1065		0.4467				
8	1.0838	1.2777		0.5158				
10	1.2118	1.4285		0.5767				
12	1.3274	1.5649		0.6317				
14	1.4338	1.6903		0.6824				
16	1.5328	1.8070		0.7295				
18	1.6258	1.9166		0.7737				
20	1.7137	2.0203		0.8156				
22	1.7974	2.1189		0.8554				
24	1.8773	2.2131		0.8934				
26	1.9539	2.3035		0.9299				
28	2.0277	2.3904		0.9650				
30	2.0989	2.4743		0.9989				
PAUSE	5555							

表—6 STATISTICAL CALCULATION OF FALLING TEST (B—No. 2)

H (M)	T (S)	X	Y	Z	TOTAL (G*S)	KEISU	KAKU(1) (X.Y-MEN)	KAKU(2) (Y-JIKU)
1	0.450	-0.2310	0.0290	0.0207	0.2337	0.51738	5.08	-82.84
2	0.685	-0.4010	-0.0155	0.0345	0.4027	0.63044	4.91	87.78
3	0.780	-0.5150	-0.0325	0.0695	0.5206	0.66544	7.67	86.38
4	0.915	-0.7290	0.0363	0.0930	0.7358	0.81438	7.26	-87.14
4	0.915	-0.7290	-0.0463	0.0930	0.7363	0.81500	7.25	86.36
5	1.030	-0.6500	0.0395	0.0995	0.6587	0.65213	8.68	-86.52
6	1.110	-0.5900	0.1125	0.0950	0.6080	0.54953	8.98	-79.20
7	1.220	-0.5700	0.1063	0.0570	0.5826	0.48745	5.61	-79.43
8	1.290	-0.8680	0.1525	0.0838	0.8852	0.69283	5.43	-80.03
8	1.290	-0.8680	0.1525	-0.0863	0.8855	0.69302	-5.59	-80.03
10	1.465	-0.8560	0.1460	0.0680	0.8710	0.60971	4.47	-80.32
10	1.465	-0.8560	0.1460	-0.0900	0.8730	0.61110	-5.91	-80.32
12	1.605	-0.8920	0.1580	0.0800	0.9094	0.58112	5.04	-79.95
12	1.605	-0.8920	0.1580	-0.0760	0.9090	0.58090	-4.79	-79.95

KS(MEAN)=0.6357 KS(**2MEAN)=0.0935 90%RANGE=0.9315, 0.3399

H (M)	A*T (G*S)	90%RANGE (G*S)	A*T
2	0.4061	0.5951	0.2172
4	0.5744	0.8416	0.3071
6	0.7035	1.0307	0.3762
8	0.8123	1.1902	0.4344
10	0.9082	1.3307	0.4856
12	0.9948	1.4577	0.5320
14	1.0746	1.5745	0.5746
16	1.1488	1.6832	0.6143
18	1.2184	1.7853	0.6516
20	1.2844	1.8819	0.6868
22	1.3471	1.9738	0.7203
24	1.4070	2.0615	0.7524
26	1.4644	2.1457	0.7831
28	1.5197	2.2267	0.8127
30	1.5730	2.3049	0.8412

PAUSE 5555

表—7 STATISTICAL CALCULATION OF FALLING TEST (B—No. 3)

H (M)	T (S)	X	Y	Z	TOTAL (G*S)	KEISU	KAKU(1) (X.Y-MEN)	KAKU(2) (Y-JIKU)
1	0.450	-0.1905	0.0388	-0.0605	0.2036	0.45070	-17.28	-78.48
2	0.685	-0.2685	0.1000	-0.1320	0.3154	0.49377	-24.73	-69.57
3	0.780	-0.3840	0.1165	-0.2350	0.4650	0.59431	-30.35	-73.12
4	0.915	-0.4613	0.2335	-0.2505	0.5745	0.63587	-25.85	-63.15
5	1.030	-0.5970	0.1455	-0.2760	0.6736	0.66684	-24.18	-76.30
6	1.110	-0.6400	0.1750	-0.2790	0.7197	0.65045	-22.80	-74.70
7	1.220	-0.5510	0.2270	-0.2210	0.6355	0.53177	-20.34	-67.60
8	1.290	-0.5240	0.3250	-0.3360	0.7022	0.54956	-28.58	-58.19
10	1.465	-0.7200	0.2440	-0.3000	0.8172	0.57209	-21.53	-71.27
12	1.605	-0.8700	0.1880	-0.3060	0.9412	0.60144	-18.97	-77.80
14	1.693	-0.4400	0.4480	-0.1880	0.6554	0.38778	-16.66	-44.48

KS(MEAN)=0.5576 KS(**2MEAN)=0.0826 90%RANGE=0.8192, 0.2961

H (M)	A*T (G*S)	90%RANGE (G*S)	A*T
2	0.3562	0.5233	0.1892
4	0.5038	0.7401	0.2675
6	0.6171	0.9065	0.3277
8	0.7125	1.0467	0.3784
10	0.7967	1.1703	0.4231
12	0.8727	1.2820	0.4634
14	0.9426	1.3847	0.5006
16	1.0077	1.4803	0.5351
18	1.0688	1.5701	0.5676
20	1.1267	1.6550	0.5983
22	1.1817	1.7358	0.6275
24	1.2342	1.8130	0.6554
26	1.2846	1.8870	0.6822
28	1.3331	1.9582	0.7079
30	1.3799	2.0270	0.7328

PAUSE 5555

表—8 STATISTICAL CALCULATION OF FALLING TEST (C—No. 1)

H (M)	T (S)	X	Y	Z	TOTAL (G*S)	KEISU	KAKU(1) (X. Y-MEN)	KAKU(2) (Y-JIKU)
2	0.578	-0.5915	-0.2690	0.4250	0.7764	1.21532	33.18	65.54
4	0.886	-0.4685	-0.6216	0.4662	0.9073	1.00421	30.91	37.00
8	1.290	-0.9357	-0.4312	1.0623	1.4798	1.15816	45.87	65.25
12	1.565	-1.1244	-1.0160	1.2030	1.9348	1.23640	38.44	47.89
KS(MEAN)=1.0000		KS(**2MEAN)=0.0000		90%RANGE=1.0000,		1.0000		
H (M)	A*T (G*S)	90%RANGE (G*S)		A*T				
2	0.6388	0.6388		0.6388				
4	0.9035	0.9035		0.9035				
6	1.1065	1.1065		1.1065				
8	1.2777	1.2777		1.2777				
10	1.4285	1.4285		1.4285				
12	1.5649	1.5649		1.5649				
14	1.6903	1.6903		1.6903				
16	1.8070	1.8070		1.8070				
18	1.9166	1.9166		1.9166				
20	2.0203	2.0203		2.0203				
22	2.1189	2.1189		2.1189				
24	2.2131	2.2131		2.2131				
26	2.3035	2.3035		2.3035				
28	2.3904	2.3904		2.3904				
30	2.4743	2.4743		2.4743				
PAUSE 5555								

表—9 STATISTICAL CALCULATION OF FALLING TEST (C—No. 2)

H (M)	T (S)	X	Y	Z	TOTAL (G*S)	KEISU	KAKU(1) (X. Y-MEN)	KAKU(2) (Y-JIKU)
2	0.578	-0.3905	-0.1386	0.1719	0.4486	0.70218	22.53	70.45
4	0.886	-0.5027	-0.6138	0.3068	0.8506	0.94148	21.14	39.31
8	1.290	-0.8167	-0.4860	0.3686	1.0193	0.79776	21.19	59.24
12	1.565	-0.8081	-0.5730	0.4256	1.0781	0.68897	23.24	54.66
KS(MEAN)=0.7826		KS(**2MEAN)=0.1008		90%RANGE=1.0000,		0.4635		
H (M)	A*T (G*S)	90%RANGE (G*S)		A*T				
2	0.4999	0.6388		0.2961				
4	0.7070	0.9035		0.4188				
6	0.8659	1.1065		0.5129				
8	0.9999	1.2777		0.5923				
10	1.1180	1.4285		0.6622				
12	1.2247	1.5649		0.7254				
14	1.3228	1.6903		0.7836				
16	1.4141	1.8070		0.8377				
18	1.4999	1.9166		0.8885				
20	1.5810	2.0203		0.9365				
22	1.6582	2.1189		0.9823				
24	1.7319	2.2131		1.0259				
26	1.8027	2.3035		1.0678				
28	1.8707	2.3904		1.1081				
30	1.9364	2.4743		1.1470				
PAUSE 5555								

表—10 STATISTICAL CALCULATION OF FALLING TEST (C—No. 3)

H (M)	T (S)	X	Y	Z	TOTAL (G*S)	KEISU	KAKU(1) (X. Y-MEN)	KAKU(2) (Y-JIKU)
2	0.578	-0.2621	-0.0633	0.1289	0.2988	0.46779	25.55	76.42
4	0.886	0.3625	-0.5600	0.6585	0.9373	1.03745	44.62	-32.91
4	0.886	-0.7350	-0.5600	0.6585	1.1346	1.25583	35.47	52.69
8	1.290	-0.9013	-0.2525	0.5325	1.0768	0.84278	29.63	74.34
12	1.565	-1.5113	0.6100	0.4719	1.6967	1.08421	16.14	-68.01
KS(MEAN)=0.8621		KS(**2MEAN)=0.2063		90%RANGE=1.0000,		0.2095		
H (M)	A*T (G*S)	90%RANGE (G*S)		A*T				
2	0.5507	0.6388		0.1338				
4	0.7789	0.9035		0.1893				
6	0.9539	1.1065		0.2319				
8	1.1015	1.2777		0.2677				
10	1.2315	1.4285		0.2994				
12	1.3491	1.5649		0.3279				
14	1.4572	1.6903		0.3542				
16	1.5578	1.8070		0.3787				
18	1.6523	1.9166		0.4016				
20	1.7417	2.0203		0.4234				
22	1.8267	2.1189		0.4440				
24	1.9079	2.2131		0.4638				
26	1.9858	2.3035		0.4827				
28	2.0608	2.3904		0.5009				
30	2.1331	2.4743		0.5185				

PAUSE 5555

表—11 STATISTICAL CALCULATION OF FALLING TEST (AL—No. 1)

H (M)	T (S)	X	Y	Z	TOTAL (G*S)	KEISU	KAKU(1) (X. Y-MEN)	KAKU(2) (Y-JIKU)
2	0.647	-0.1450	0.2400	-0.2642	0.3852	0.60303	-43.29	-31.13
3	0.785	-0.2285	-0.0470	-0.3800	0.4458	0.56986	-58.45	78.37
4	0.902	-0.1787	-0.0770	-0.4419	0.4828	0.53441	-66.23	66.68
6	1.115	-0.3850	0.1458	-0.6183	0.7428	0.67128	-56.34	-69.25
8	1.306	0.1913	0.2875	-0.7320	0.8093	0.63343	-64.74	33.63
10	1.450	-0.6335	0.6335	-0.5740	1.0640	0.74480	-32.64	-45.00
14	1.713	-1.0270	0.5438	-0.7705	1.3943	0.82488	-33.54	-62.09
KS(MEAN)=0.6545		KS(**2MEAN)=0.0942		90%RANGE=0.9524,		0.3565		
H (M)	A*T (G*S)	90%RANGE (G*S)		A*T				
2	0.4181	0.6085		0.2278				
4	0.5913	0.8605		0.3221				
6	0.7242	1.0539		0.3945				
8	0.8363	1.2170		0.4556				
10	0.9350	1.3607		0.5093				
12	1.0242	1.4905		0.5579				
14	1.1063	1.6100		0.6027				
16	1.1827	1.7211		0.6443				
18	1.2544	1.8255		0.6834				
20	1.3223	1.9243		0.7203				
22	1.3868	2.0182		0.7555				
24	1.4485	2.1079		0.7891				
26	1.5077	2.1940		0.8213				
28	1.5646	2.2768		0.8523				
30	1.6195	2.3568		0.8822				

PAUSE 5555

表-12 STATISTICAL CALCULATION OF FALLING TEST (AL-No. 2)

H (M)	T (S)	X	Y	Z	TOTAL (G*S)	KEISU	KAKU(1) (X. Y-MEN)	KAKU(2) (Y-JIKU)
2	0.647	0.0395	-0.0585	-0.2330	0.2434	0.38107	-73.14	-34.02
3	0.785	0.0575	-0.0770	-0.5060	0.5150	0.65823	-79.24	-36.75
4	0.902	0.0906	-0.0413	-0.6200	0.6279	0.69500	-80.87	-65.49
6	1.115	-0.3358	0.0625	-0.8275	0.8952	0.80900	-67.57	-79.45
8	1.306	-0.3513	-0.1275	-0.9385	1.0101	0.79058	-68.28	70.05
10	1.450	0.6138	-0.2706	-1.5056	1.6482	1.15379	-65.98	-66.20
10	1.450	-0.3838	-0.2706	-1.5056	1.5771	1.10399	-72.67	54.81
14	1.713	0.0725	0.1160	-1.2995	1.3066	0.77304	-83.99	32.00

KS(MEAN)=0.7633 KS(**2MEAN)=0.1860 90%RANGE=1.0000, 0.1751

H (M)	A*T (G*S)	90%RANGE (G*S)	A*T
2	0.4876	0.6388	0.1119
4	0.6897	0.9035	0.1582
6	0.8447	1.1065	0.1938
8	0.9753	1.2777	0.2238
10	1.0905	1.4285	0.2502
12	1.1946	1.5649	0.2741
14	1.2903	1.6903	0.2960
16	1.3794	1.8070	0.3165
18	1.4630	1.9166	0.3357
20	1.5422	2.0203	0.3538
22	1.6175	2.1189	0.3711
24	1.6894	2.2131	0.3876
26	1.7584	2.3035	0.4035
28	1.8248	2.3904	0.4187
30	1.8888	2.4743	0.4334

PAUSE 5555

表-13 STATISTICAL CALCULATION OF FALLING TEST (AL-No. 3)

H (M)	T (S)	X	Y	Z	TOTAL (G*S)	KEISU	KAKU(1) (X. Y-MEN)	KAKU(2) (Y-JIKU)
2	0.647	-0.0660	-0.1090	-0.2330	0.2655	0.41567	-61.32	31.19
3	0.785	-0.0550	-0.1170	-0.5840	0.5981	0.76443	-77.51	25.17
4	0.902	-0.0456	-0.0688	-0.3825	0.3913	0.43309	-77.82	33.53
6	1.115	0.0741	-0.1041	-0.8450	0.8546	0.77230	-81.40	-35.44
8	1.306	-0.2388	-0.0681	-0.5630	0.6153	0.48157	-66.19	74.08
10	1.450	0.3733	-0.1050	-0.7775	0.8688	0.60818	-63.49	-74.29
14	1.713	0.3163	0.6655	-1.0385	1.2733	0.75332	-54.64	25.42

KS(MEAN)=0.6040 KS(**2MEAN)=0.1493 90%RANGE=1.0000, 0.1319

H (M)	A*T (G*S)	90%RANGE (G*S)	A*T
2	0.3859	0.6388	0.0842
4	0.5457	0.9035	0.1192
6	0.6684	1.1065	0.1460
8	0.7718	1.2777	0.1985
10	0.8629	1.4285	0.1884
12	0.9453	1.5649	0.2064
14	1.0210	1.6903	0.2230
16	1.0915	1.8070	0.2384
18	1.1578	1.9166	0.2528
20	1.2204	2.0203	0.2665
22	1.2800	2.1189	0.2795
24	1.3369	2.2131	0.2920
26	1.3915	2.3035	0.3039
28	1.4440	2.3904	0.3154
30	1.4947	2.4743	0.3264

PAUSE 5555

表-14 STATISTICAL CALCULATION OF FALLING TEST (BO-No. 1)

H (M)	T (S)	X	Y	Z	TOTAL (G*S)	KEISU	KAKU(1) (X.Y-MEN)	KAKU(2) (Y-JIKU)
2	0.685	-0.4104	0.0428	0.1176	0.4290	0.67158	15.90	-84.04
2	0.685	-0.4104	0.0428	-0.0388	0.4144	0.64871	-5.37	-84.04
2	0.685	-0.4104	-0.0168	0.1176	0.4272	0.66874	15.97	87.65
2	0.685	-0.4104	-0.0168	-0.0388	0.4125	0.64577	-5.39	87.65
3	0.780	-0.5620	0.1028	0.2084	0.6081	0.77722	20.04	-79.63

KS(MEAN)=0.6824 KS(**2MEAN)=0.0485 90%RANGE=0.8358, 0.5289

H (M)	A*T (G*S)	90%RANGE (G*S)	A*T
2	0.4359	0.5340	0.3379
4	0.6165	0.7551	0.4779
6	0.7551	0.9249	0.5853
8	0.8719	1.0680	0.6758
10	0.9748	1.1940	0.7556
12	1.0679	1.3080	0.8278
14	1.1534	1.4128	0.8941
16	1.2331	1.5103	0.9558
18	1.3070	1.6020	1.0138
20	1.3786	1.6886	1.0686
22	1.4459	1.7710	1.1208
24	1.5102	1.8498	1.1706
26	1.5719	1.9253	1.2184
28	1.6312	1.9980	1.2644
30	1.6885	2.0681	1.3088

PAUSE 5555

表-15 STATISTICAL CALCULATION OF FALLING TEST (BO-No. 2)

H (M)	T (S)	X	Y	Z	TOTAL (G*S)	KEISU	KAKU(1) (X.Y-MEN)	KAKU(2) (Y-JIKU)
2	0.685	-0.2555	0.0240	0.0213	0.2575	0.40306	4.74	-84.63
2	0.685	-0.2555	0.0240	-0.0085	0.2567	0.40190	-1.89	-84.63
3	0.780	-0.3205	0.0203	0.0295	0.3224	0.41215	5.24	-86.37
3	0.780	-0.3205	0.0203	-0.0260	0.3221	0.41176	-4.62	-86.37
3	0.780	-0.3205	-0.0173	0.0295	0.3223	0.41193	5.25	86.90
3	0.780	-0.3205	-0.0173	-0.0260	0.3220	0.41154	-4.63	86.90

KS(MEAN)=0.4087 KS(**2MEAN)=0.0044 90%RANGE=0.4227, 0.3947

H (M)	A*T (G*S)	90%RANGE (G*S)	A*T
2	0.2611	0.2700	0.2521
4	0.3692	0.3819	0.3566
6	0.4522	0.4677	0.4367
8	0.5222	0.5401	0.5043
10	0.5838	0.6039	0.5638
12	0.6396	0.6615	0.6176
14	0.6908	0.7145	0.6671
16	0.7385	0.7639	0.7132
18	0.7833	0.8102	0.7565
20	0.8257	0.8540	0.7974
22	0.8660	0.8957	0.8363
24	0.9045	0.9355	0.8735
26	0.9415	0.9737	0.9092
28	0.9770	1.0105	0.9435
30	1.0113	1.0460	0.9766

PAUSE 5555

表-16 STATISTICAL CALCULATION OF FALLING TEST (BO—No. 3)

H (M)	T (S)	X	Y	Z	TOTAL (G*S)	KEISU	KAKU(1) (X. Y-MEN)	KAKU(2) (Y-JIKU)
2	0.685	-0.3088	0.0580	-0.2248	0.3863	0.60471	-35.58	-79.36
2	0.685	-0.3088	-0.0140	-0.2248	0.3822	0.59826	-36.02	87.40
3	0.780	-0.3216	0.0396	-0.2432	0.4051	0.51778	-36.89	-82.98
3	0.780	-0.3216	-0.0192	-0.2432	0.4036	0.51588	-37.04	86.58

KS(MEAN)=0.5591 KS(**2MEAN)=0.0423 90%RANGE=0.6932, 0.4250

H (M)	A*T (G*S)	90%RANGE (G*S)	A*T
2	0.3572	0.4428	0.2715
4	0.5052	0.6263	0.3840
6	0.6187	0.7670	0.4704
8	0.7144	0.8857	0.5431
10	0.7988	0.9903	0.6072
12	0.8750	1.0848	0.6652
14	0.9451	1.1717	0.7185
16	1.0104	1.2526	0.7681
18	1.0717	1.3286	0.8147
20	1.1296	1.4005	0.8588
22	1.1848	1.4688	0.9007
24	1.2374	1.5341	0.9408
26	1.2880	1.5968	0.9792
28	1.3366	1.6571	1.0161
30	1.3835	1.7152	1.0518

PAUSE 5555

5.1 落下時間と着水速度

表-2~16のT(S)は各条件で5回ずつ落下試験を行なった際、落下直前から着水後まで連続記録した波形曲線から $1/100$ 秒毎のタイミングライン(精度 $3/10,000$ 秒)を用いて求めた平均落下時間で、それらを図示したのが図-16である。実験で得られたこれらの値を(3)式で算出した値と比較すると、高さ8m以上からの落下時には空気抵抗係数を約0.05採らないと合致しなくなる。若し空気抵抗を無視したときの落下時間と比較すると、落下時間で最大0.04秒、落下高さで0.65mの誤差が出る。これは、落下高さの最大誤差が約0.1m、落下時間の読み取り最大誤差が約0.005秒と考えられることから余りにも大き過ぎる。従って、空気抵抗を無視し得ない。K=0.05としてダミーの落下終極速度を計算すると約37.4m/sとなり、落下高さ276m以下では終極速度に達しなくなる。

Kの値は、落体の落下方向に対する断面積および形状により変化しようが、それらを落体の重量が変化しても同一と仮定すると、図-17に示すように重量が小さい程落

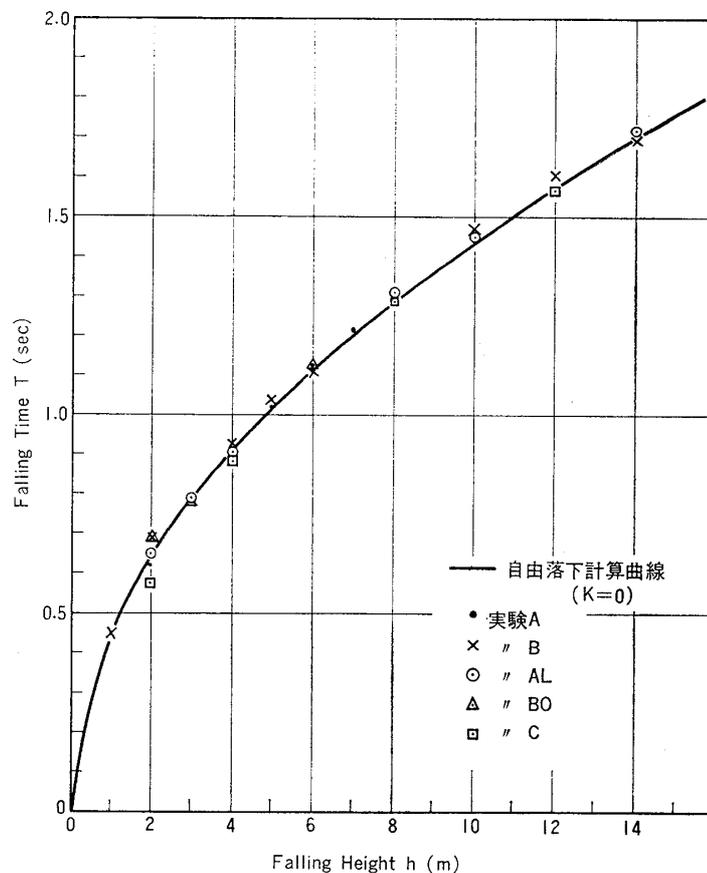


図-16 落下実験による平均落下時間

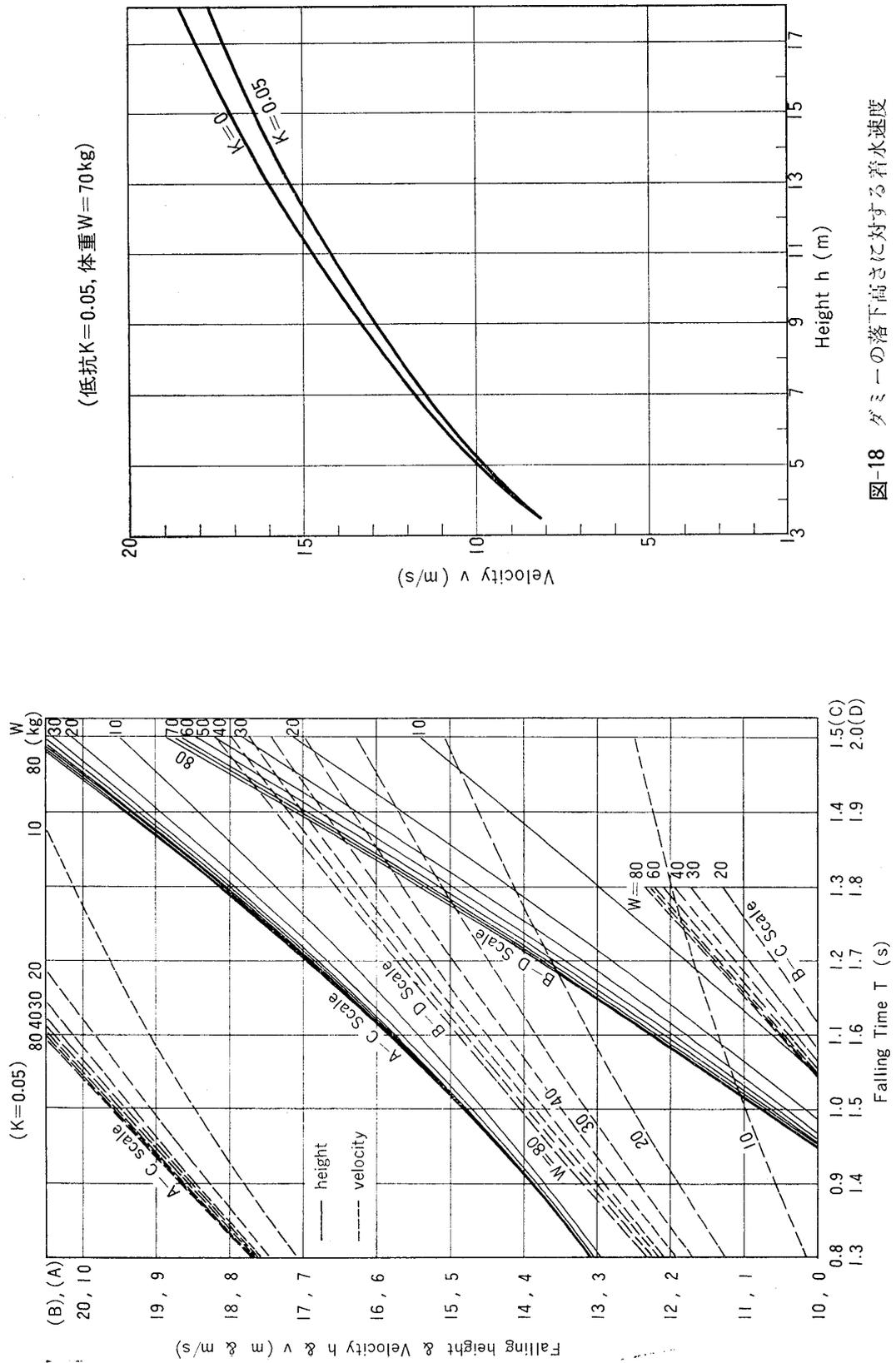


図-18 ダミーの落下高さに対する着水速度

図-17 落下時間に対する落下距離と落下速度

下時間が長くなり、着水時の速度が小さくなる。この図から、実験に使用したダミーに対する着水速度を求めたのを図-18に示す。

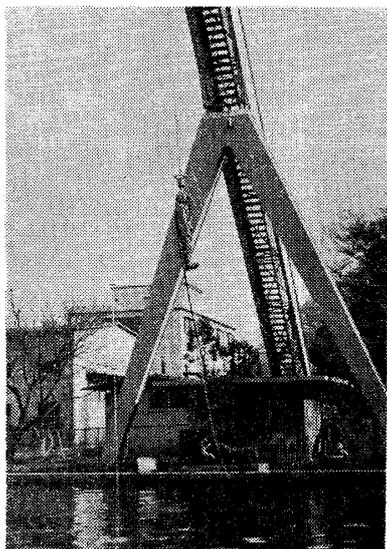
実際には、オーバー等の衣服類によりKの値が更に大きくなるものと考えられるから、図-17, 18で得られる着水速度より小さな値となろう。従って、両図から得た着水速度は、最も大きな値即ち安全側の値となるものと考えられる。

5.2 落下姿勢

落下試験時に撮影したフィルムを一駒ずつ観察した結果、落下中におけるダミーの姿勢は初期姿勢と殆んど変化なく、僅かに、斜立試験時の12, 14mの高さからの落下の際、体軸に対して回転したのみであった。落下直前および着水時の姿勢を写真-5~7に示す。人



写真-6 救命胴衣装着直立落下 (実験番号AL)



(a) 吊り下げ

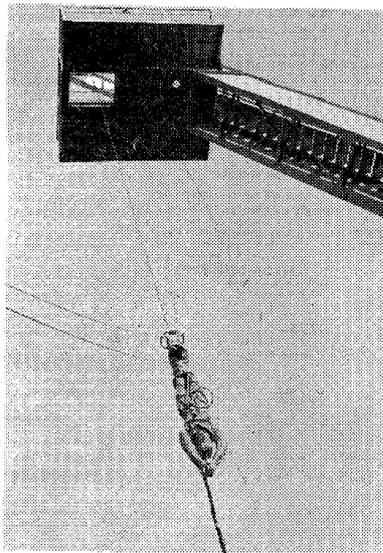
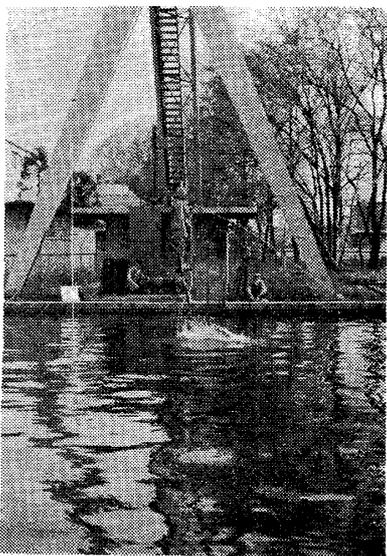


写真-7 倒立吊り上げ (実験番号C)



(b) 着水直前 写真-5 直立落下(実験番号A)

体の場合は、四肢の運動や体全体の回転運動が落下中に生ずると考えられるから、水に対する熟練度や精神的要素等と共に様々な着水姿勢となるものと予想される。

5.3 落下衝撃と作用時間

各条件において、ダミー各部に生じたX, Y, Z方向の最大衝撃減速度を表-17に示す。

直立および倒立では、最大衝撃減速度が落下高さ14m以下では17Gに過ぎなかったが、斜立では、落下高さ1mですら41Gを生じ、高さ14mでは実に190Gにも及ぶ値を記録した。

図-19, 20は表-17の中の一部の最大衝撃減速度を曲線で示したものである。減速度は高さにはほぼ直線的に

表-17 各部位の各軸方向の最大減速度 (G)

試験番号	落下高さ (m)	No. 1 (頭)			No. 2 (胸)			No. 3 (腰)		
		X	Y	Z	X	Y	Z	X	Y	Z
A-1	1	+3.2	—	-2.4	+1.3	+0.6	-3.2	-2.8	+2.0	-2.6
A-2	2	+3.5	+3.3	-3.2	+5.0	+0.9	-3.4	+5.8	-2.0	-2.8
A-3	3	+4.4	-4.5	-4.0	+5.2	+0.8	-3.6	+6.0	-2.0	-3.4
A-4	4	+4.0	-3.0	-3.6	+5.4	-1.2	-3.2	+5.6	-2.8	-6.5
A-5	5	+5.0	+4.8	-4.8	+7.6	+1.6	-3.2	+7.6	-2.0	-4.0
A-6	6	+8.5	+3.2	-10.0	+6.0	+1.6	-4.2	+10.8	-3.5	-4.5
A-7	7	-7.3	+4.5	-6.0	+7.0	+5.0	-5.3	+12.0	+3.3	-3.5
B-1	1	-41.0	+21.5	+18.0	-15.5	-2.0	+3.0	-7.5	+7.5	-4.0
B-2	2	-51.0	+29.0	-33.0	-24.0	-3.0	+4.0	-8.0	+5.0	-4.0
B-3	3	-75.0	-20.0	+31.0	-35.0	-6.0	+5.0	-15.0	+7.0	-5.0
B-4	4	-52.5	+27.0	+42.0	-40.0	+6.0	+6.0	-20.0	+10.0	-7.0
B-5	5	-75.0	-19.0	+50.5	-56.0	+7.0	+10.0	-25.0	+12.5	-8.0
B-6	6	-75.0	-36.0	+56.0	-47.0	+8.0	+14.0	-33.0	+12.5	-14.0
B-7	7	-95.0	-22.0	+44.5	-51.0	+14.0	+10.0	-34.0	+21.0	-11.0
B-8	8	-70.0	+32.5	+25.0	-37.0	+8.0	+7.0	-29.0	+17.0	-11.0
B-10	10	-154.0	+50.0	+53.0	-70.0	+13.0	+8.0	-42.0	+18.0	-15.0
B-12	12	-150.0	+59.0	+62.0	-83.0	+12.0	+10.0	-62.0	+18.0	-29.0
B-14	14	-140.0	+190.0	-135.0	—	—	—	-100.0	+100.0	-35.0
AL-2	2	+3.5	-2.0	-5.0	+2.5	-1.0	-2.5	+7.0	+5.0	-5.0
AL-3	3	-3.0	+5.0	-4.5	+4.8	+1.5	-3.5	+8.0	+3.5	-6.5
AL-4	4	+5.0	+4.0	-3.8	+8.0	+2.5	-5.0	+5.8	+2.5	+5.0
AL-6	6	+7.0	+4.5	-7.0	+8.5	+3.3	-5.0	+10.5	+2.5	-4.5
AL-8	8	-5.0	-4.5	-5.5	+7.5	+2.5	-5.5	+8.0	+2.5	-5.5
AL-10	10	-10.0	+7.0	-6.0	-8.0	+4.5	-7.5	-9.0	+4.0	-5.5
AL-14	14	-12.0	+10.5	-9.5	-10.5	+4.0	-7.0	-14.0	+8.5	-8.0
BO-2	2	-78.5	+16.0	+33.0	-14.0	+3.0	-5.0	-13.0	+3.0	-8.0
BO-3	3	-73.0	+12.0	+36.0	-20.0	+4.0	-6.0	-14.0	+5.0	-9.5
C-2	2	-3.6	-2.5	+3.0	-2.6	-2.6	+2.5	-3.5	-2.0	+2.0
C-4	4	+2.8	-6.2	+3.6	-2.8	-3.2	+2.6	-5.0	-4.5	+4.5
C-8	8	-6.4	-6.4	+9.0	-5.8	-4.4	+5.6	-6.0	+7.5	+8.0
C-12	12	-12.0	-16.0	+17.0	-8.0	-6.0	+9.5	-8.5	+10.0	-15.5

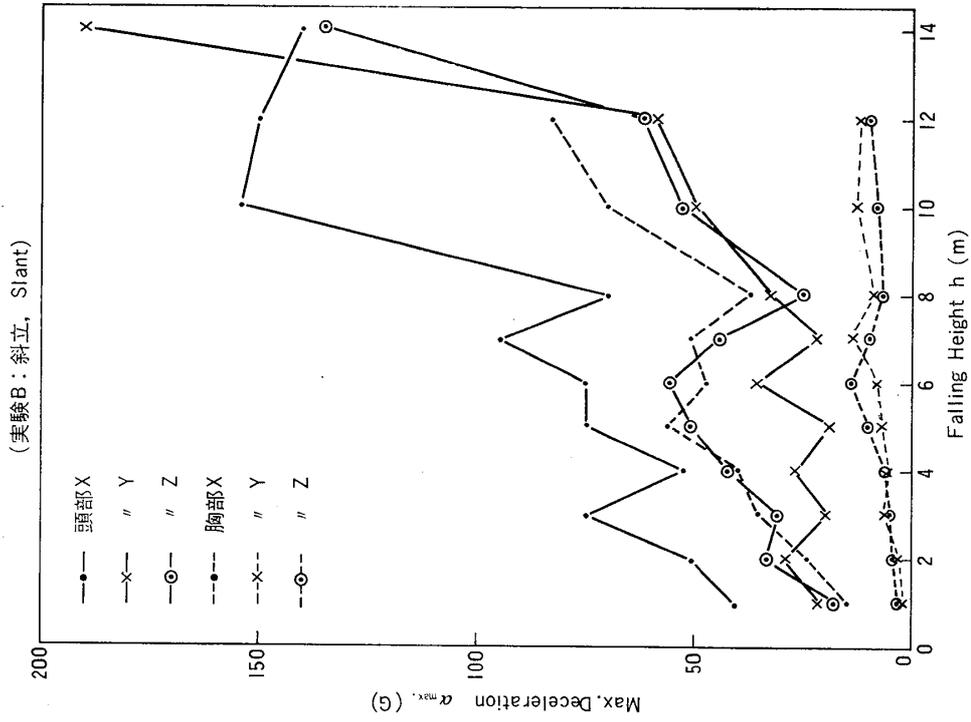


図-20 最大衝撃減速度曲線(2)

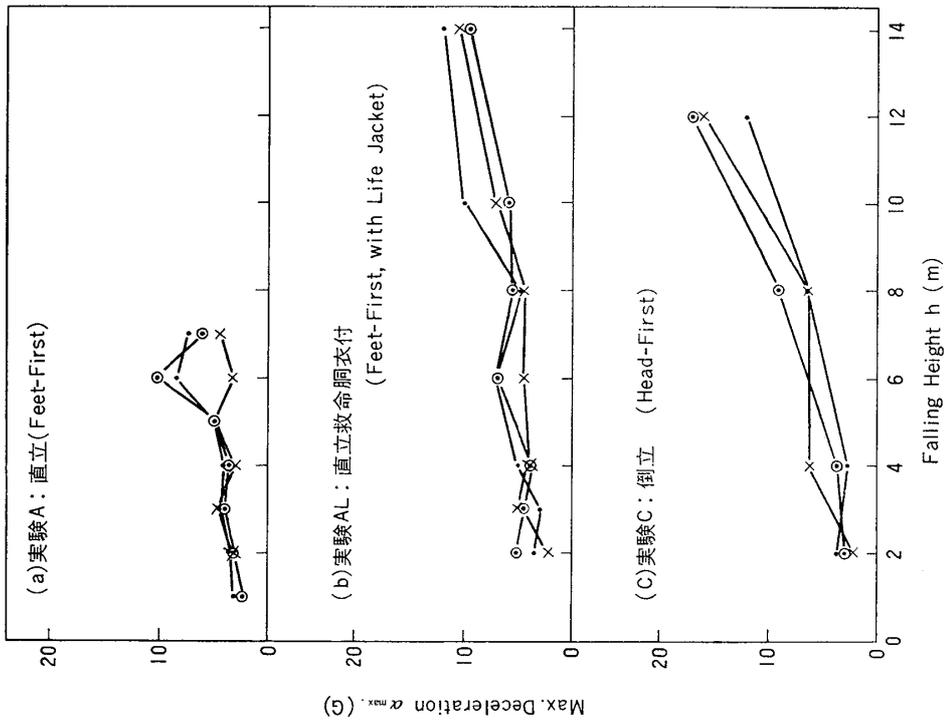


図-19 最大衝撃減速度曲線(1)

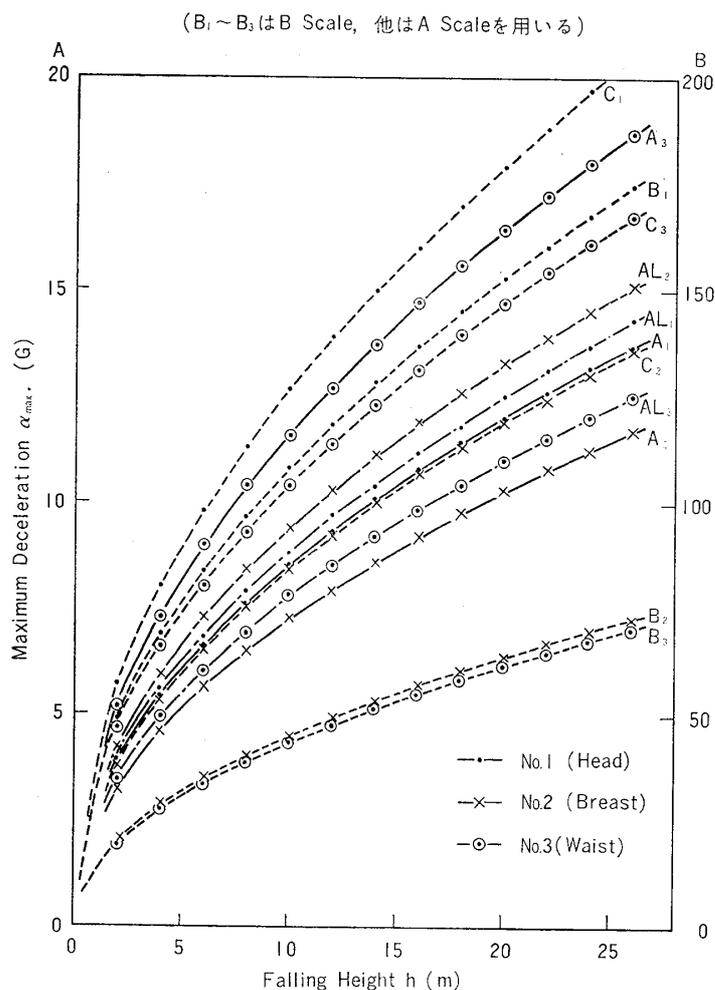


図-21 最大減速度計算曲線

比例している。これは、(6)式から導びかれる最大減速度が高さの平方根に比例するという結果と異なっている。これは、(6)式の中の衝撃作用時間 τ の値が、落下高さに逆比例して減少したためである。このような現象は、落下高さが増して着水速度が大きくなる程、着水後の没水抵抗が増大し、衝撃エネルギーの大部分の量が短時間に落体に作用するようになることを示していると共に、衝撃面積の大小が減速度の大きさに著しく影響することを如実に示しているものである。

4で述べた解析法により、実験で得られた各軸の平均減速度積から、衝撃作用方向に対する減速度積と衝撃変換係数およびその二乗平均値を算出し、その平均変換係数を用いて逆算した各落下高さの減速度積(空気抵抗を考えない)と、実験で得た平均作用時間を用いて求めた最大減速度曲線を図-21に示した。実際には、作用時間に変化があるため、特に10m以上の高さからの落下時には、図-21の曲線で得られる値より大

きな値となることが予想される。作用時間の変化は、直立および倒立に比し斜立の際に著しい。

5.4 没水深度

落下着水後の没水深度は、平面的に着水すればする程少ないが、衝撃減速度は著しく大きくなる。斜立試験では、深さ3mの水槽底部に落下ダミーの接触がなかったが、直立および倒立試験の際には僅か3mの落下高さの試験時に接触した。この結果は、着水面積の小さい直立や倒立の姿勢では、落下高さと同程度の深さまで水没することを示している。

人体の場合は、着水後に姿勢を変化し得ようから、ダミーのこのような現象がそのまま適応され得ないであろうが、衝撃減速度を極力小さくしようと思えば、当然没水深度が大きくなるものと考えられることから、没水後の人間の耐久力や浮上能力等から再検討の要がある。

5.5 救命胴衣装着による衝撃の変化

直立落下時には、救命胴衣の有無によって、落下時間および衝撃波形に殆んど差異がなかった。これは、救命胴衣程度の着水面積増加では垂下した両腕の腋下位置の面積と殆んど差がなかったためである。

衝撃減速度は、作用時間に殆んど変化のなかった頭部と胸部では、それぞれ14%、25%の増加をみたが、腰部では作用時間の変化により減速度は逆に減少した。

5.6 二次的障害からみた限界落下高さ

多くの文献調査の結果、落下衝撃を受けた人体の救命限界は、作用時間30 msecで40G程度と推定されるが、作用時間が長くなると限界減速度は急速に小さくなる。斜立落下では約12~63 msecの作用時間であったが、直立および倒立落下では約110~290 msecとなった。これらの平均作用時間を用いて求めた図-21から、上述の限界減速度に達する落下高さを求めると、斜立落下では頭部基準で約1.5m、胸部基準で約8m、腰部基準で約8.5mとなり、直立および倒立落

下では各部基準で30m以上の値となる。しかし、文献〔9〕,〔10〕によれば、30m以上の高さからの落下時での生存例は僅か10%程度に過ぎず、それも奇蹟的なものであるとしていることからみても、30m以上という限界落下高さは姿勢の如何んに拘らず採用し得ない。特に、海上では、着水後の救助可能時間を考慮する必要から、肉体的損傷が全然ない状態で海上に浮上していることが望まれることから、限界減速度も上述の値より遙かに小さくしなければならない。仮に、パラシュート開傘時の作用時間0.5秒における減速度8.5Gを限界とすると、各姿勢での限界落下高さは、図-21から、直立落下で頭部基準10m、胸部基準14m、腰部基準、5.5m、倒立で頭部基準4.5m、胸部基準10m、腰部基準6.7mとなるが、斜立落下では僅かに1m以下となる。

各参考文献でも、救命限界は明確になし得ない。本試験のような模型での実験値が、人体に対する限界値設定に適用されるためには、更に医学的、物理学的に多くの研究が必要と考える。

6. 結 び

船舶の遭難時に、時間的余裕がなく止むなく救命胴衣等のみを身につけて船から海面上へ脱出する場合を想定し、人体が海面着水時に如何程の衝撃力を受けるかを人体模型による落下実験で推測した。実験の結果次の事項が明らかとなったが、多くの未知の要因がまだ残されているため、限界落下高さ等の救命という面からの船舶設計に役立つような結論は得られなかったが、水面落下時の衝撃に対する系統的基礎資料は得られたと思っている。

(1) 落下高さ8m以上のときは、落体に作用する空気抵抗を無視し得ず、抵抗係数Kを0.05以上として落下時間や着水速度を計算してよい。

(2) ダミーの実験では、落下中に落体の姿勢が殆んど変化しなかったが、人体では変化を生じよう。落下着水時の姿勢が、衝撃力に著しく作用し、ひいては脱出員の生死を別ける場合が生ずることのあることを認識すべきである。

(3) 落下着水時の最大衝撃減速度と衝撃作用時間との間には重要な関連があり、これらは着水姿勢で著しく変化する。

(4) 直立および倒立落下の最大衝撃減速度は、斜立落下時の約 $\frac{1}{10}$ であるが、衝撃作用時間は逆に5~9倍に延びる。

(5) 斜立落下に比し、直立および倒立落下時には着

水後の没水深度が大きくなり、何んらの人意的作用がなければ、落下高さと同程度の深さまで水没する。

(6) 直立落下時には、救命胴衣を付けた場合、それがないときに比し胸部に25%の衝撃力の増加があった。

終りに、本実験研究の結果が、医学的な研究の進展によって、船舶の乗組員や造船設計関係者に役立つようになることを望んでいる。

参 考 文 献

- 1) 狼：国内外における交通安全の研究内容の紹介，自動車技術 Vol. 21, No. 8, 1967
- 2) 吉村，並木：交通事故，ことに自動車事故死体における損傷，自動車技術 Vol. 21, No. 8, 1967
- 3) 鈴木，柏谷：歩行者と自動車の衝突について，自動車技術 Vol. 21, No. 9, 1967
- 4) 横堀，平嶋監修：スピードと人間工学 三田書房，1967
- 5) 大島：環境衛生学，医歯薬出版株式会社，1967
- 6) D. E. GOLDMAN, H. E. VON GIERKE：衝撃・振動の人体への影響，(株)人間と技術社，1968
- 7) 松本：衝撃の生体に及ぼす影響，防衛衛生，第16巻，第2号，1969
- 8) R. M. Headley 他： Human Factors Responses During Ground Impact. Aerospace Medicine, Feb. 1962
- 9) R. G. Snyder： Human Tolerances to Extreme Impacts in Free-Fall. Aerospace Medicine Vol. 34, No. 8, Aug. 1963
- 10) R. G. Snyder： Human Tolerance Limits in Water Impact. Aerospace Medicine Oct. 1965