

土木研究所資料

衝突実験施設を用いた緩衝施設の効果

—構造物の前に置いた緩衝施設の場合—
—クッションドラム単独設置の場合—

平成元年2月

建設省土木研究所
道路部交通安全研究室

Copyright © 1989 by P. W. R. I.

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

この報告書は、土木研究所長の承認を得て刊行したものである。したがって、本報告書の全部又は一部の転載、複製は、土木研究所長の文書による承認を得ずしてこれを行ってはならない。

衝突実験施設を用いた緩衝施設の効果

— 構造物の前に置いた緩衝施設の場合 —

— クッションドラム単独設置の場合 —

交通安全研究室 室 長 元 田 良 孝

研究員 安 藤 和 彦

研究員 坂 本 博 文

要 旨

道路分流部などで、車両が迷走して道路構造物に衝突した時に、乗員の死傷や構造物の損傷を軽減させるため、構造物の前に緩衝施設が設置されている場合が多い。

本報告は、当研究所が所有する衝突実験施設を用い、昭和55年度より昭和58年度までの4か年にわたり、道路構造物の前面に緩衝施設を設置した場合の効果を実車衝突実験により確認するとともに、昭和60年、61年度の2か年間、阪神高速道路公団との共同研究によりクッションドラムの個数と緩衝効果について実車衝突実験を行ったので、それらの結果について述べるものである。

キーワード：緩衝施設，分流部，衝突実験

まえがき

自動車専用道路などの高規格道路の増加に伴って、コンクリート壁などの構造物によって分岐される分流部が増加し、この分流部で迷走して道路構造物に衝突する事故が発生している。緩衝施設は、構造物に車両が衝突した時の乗員の死傷や、車両、構造物の損傷軽減を目的として、分流部の他に橋脚、照明灯柱、電柱などの道路構造物や施設に取り付けられている。

分流部における緩衝施設については、海外では、道路幅、設置場所などに応じて、多種の形式が採用されている。一方わが国では、一般に設置場所が狭く、緩衝施設の形式に付いても自ずから限定される場合が多いので、より効率的な緩衝施設の開発が望まれている。

当研究室では、昭和55年より昭和58年度までの4年間にわたり、道路構造物を想定したコンクリート壁の前部に緩衝施設を設置した場合の効果を実車衝突実験により確認した。また昭和60年、61年度の2か年にわたり、阪神高速道路公団との共同研究により、クッションドラムの個数と緩衝効果について実車衝突実験を行ったので、それらの結果について報告するものである。

目 次

ま え が き

1. 実験目的	1
2. 実験方法	1
2.1 実験の種類	1
2.2 実験施設	6
2.3 供試体	7
2.4 測定・観測項目	18
3. 実験結果	23
3.1 構造物の前面に緩衝施設を設置した場合	23
3.2 クッションドラムを単独に設置した場合	33
4. 考察	36
4.1 乗員に対する加速度の許容限界	36
4.2 構造物の前面に緩衝施設を設置した場合の効果	42
4.3 クッションドラムを単独に設置した場合の効果	44
5. まとめ	46
あ と が き	47
参 考 文 献	48

1. 実験目的

迷走等により道路の分流部端へ車両が衝突した場合に、乗員および車両の被害を少なく抑えかつ道路構造物の破損を軽減させる機能を有する緩衝施設の設置は有効である。そこで、緩衝施設として使用できる可能性のある材料について、実車衝突実験によりその有効性を確認することを目的とする。

2. 実験方法

実験は、当研究室の実車衝突実験施設を用いて、乗用車および大型車を供試体に衝突させて行った。実験の種類、実験施設、供試体および計測方法は次のとおりである。

2.1 実験の種類

緩衝施設を設置しない場合のコンクリート壁への衝突状況について実験した後、コンクリート壁の前面に各種の緩衝材料を置いた場合の緩衝効果について実験し、比較、検討した。また、クッションドラムについては、ドラム単独の緩衝効果についても検討した。

実験に用いた供試体は、土のう、サンドクッション、防舷材、タイヤ、発泡コンクリート、波状鉄板、軽量コンクリート、ダンボール箱、クッションドラムの9種類である。供試体の形状および実験条件を表-1に示す。

表-1-1 実験状況

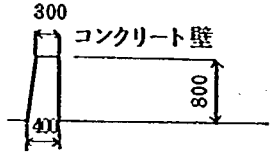
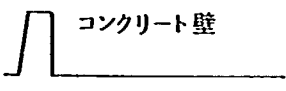
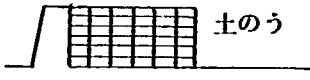
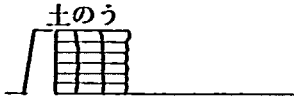
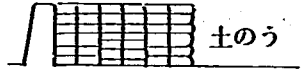
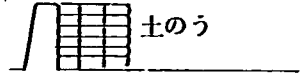
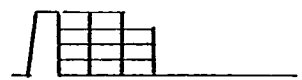
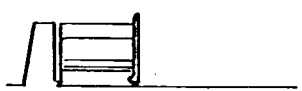
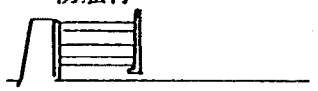
ケース No	緩衝施設	車種	衝突条件	
			車両重量 (ton)	衝突速度 (km/h)
1	 300 コンクリート壁 800 400	乗用車	1.49	40.0
2	 コンクリート壁	乗用車	1.43	60.6
3	 土のう	乗用車	1.57	40.2
4	 土のう	乗用車	1.52	40.4
5	 土のう	乗用車	1.34	60.6
6	 土のう	乗用車	1.44	60.6
7	 サンドクッション	乗用車	1.24	60.6
8	 防舷材	乗用車	1.36	27.6
9	 防舷材	乗用車	1.35	37.7
10	 防舷材	乗用車	1.36	33.1

表-1-2 実験状況

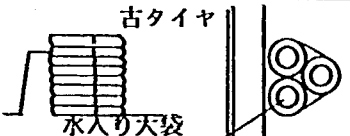
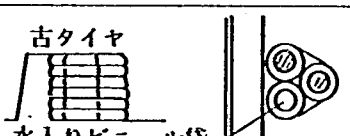
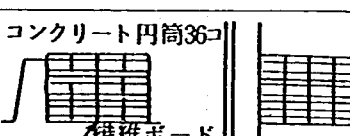
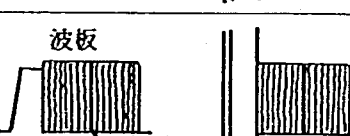
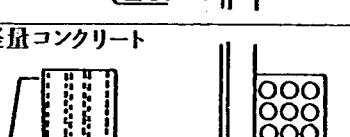
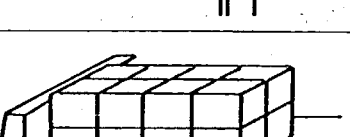
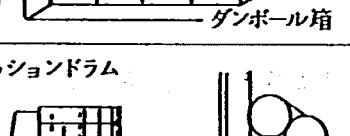
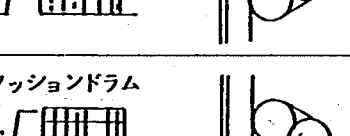
ケース No	緩衝施設	車種	衝突条件	
			車両重量 (ton)	衝突速度 (km/h)
11		乗用車	1.25	37.1
12		乗用車	1.29	37.1
13		乗用車	1.17	36.0
14		乗用車	1.34	37.5
15		乗用車	1.56	39.1
16		乗用車	1.46	39.2
17		乗用車	1.40	23.2
18		乗用車	1.62	39.2
19		乗用車	1.36	38.5
20		乗用車	1.16	32.0

表-1-3 実験状況

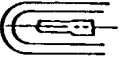
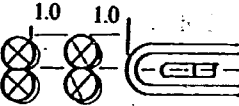
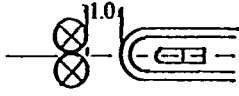
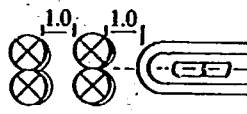
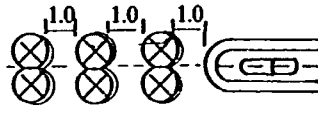
ケース No.	ドラムの配置	車 種	衝 突 条 件		凡 例
			車両重量 (ton)	衝突速度 (km/h)	
21		乗 用 車	1.6 3	4 0.1	水ドラム ○：水袋のみ ⊗：溝 水 ○：嵩上げ
22		乗 用 車	1.5 4	4 0.3	バリアー 
23		乗 用 車	1.5 0	4 0.3	
24		乗 用 車	1.5 4	4 0.0	
25		乗 用 車	1.5 2	3 9.4	
26		乗 用 車	1.4 1	5 1.1	
27		乗 用 車	1.5 5	5 9.9	
28		乗 用 車	1.4 4	6 0.1	

表-1-4 実験状況

ケース No	ドラムの配置	車 種	衝 突 条 件		凡 例
			車両重量 (ton)	衝突速度 (km/h)	
29		乗 用 車	1.4 8	6 0.0	水ドラム ○：水袋のみ ⊗：溝 水 ◎：嵩上げ
30		乗 用 車	1.4 8	6 0.0	バリヤー 
31		乗 用 車	1.4 4	6 0.1	
32		乗 用 車	1.4 8	6 0.7	
33		乗 用 車	1.5 2	6 0.3	
34		大 型 車	1 4.2	5 9.3	

2.2 実験施設

実験施設は、図-1に示すもので、左端にあるウィンチ室内のドラムに、一端が巻かれたワイヤーが右端にあるテンションプーリを経て引き返し、再びウィンチ室内にある別のドラムに巻取られるようになっている。衝突車はドーリーと称する定着装置を介してこのワイヤーと接続され、ドラムの巻取りによりウィンチ室側から設置された供試体に向かって加速される。加速された車両は、衝突の直前にドーリーと切り離され、慣性力により供試体に衝突する。

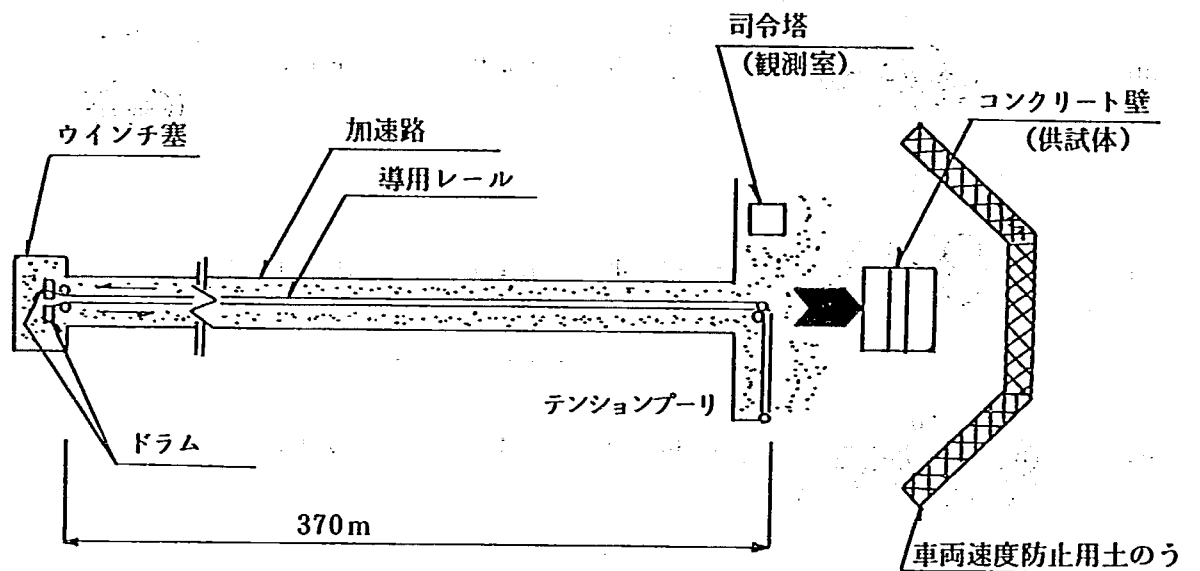
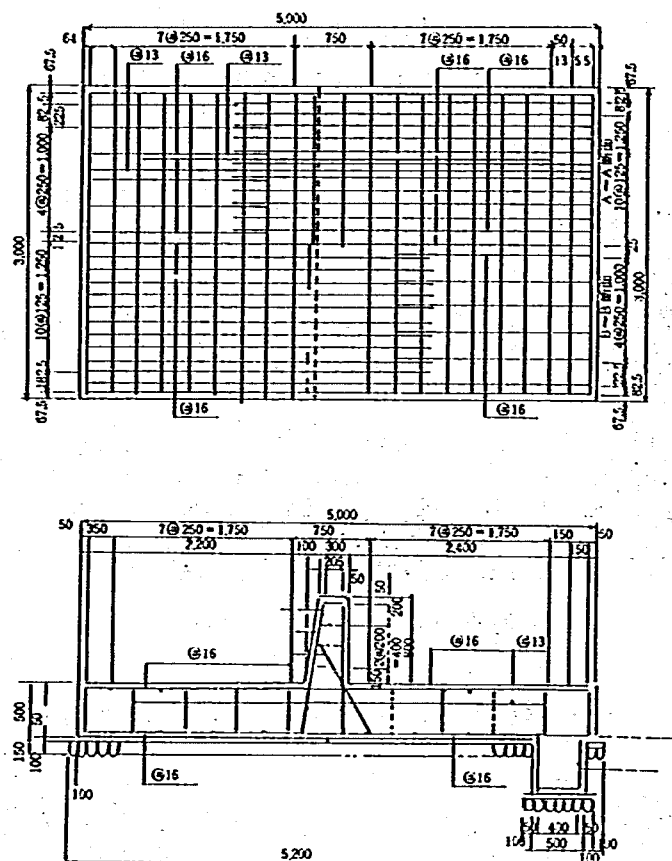


図-1 実験施設

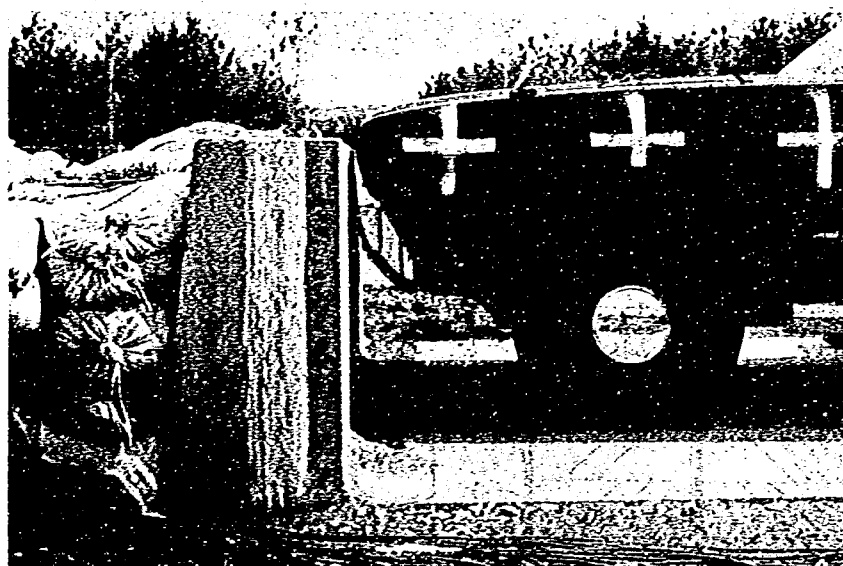
2.3 供試体

2.3.1 コンクリート壁（写真－１）

コンクリート壁は、日本道路公団設計要領第二集、第7編橋梁上部構造に準拠している。構造寸法および配筋を図－2に示す。またコンクリートの品質管理試験の結果、スランプは7.5 cm、圧縮強度は378 kg/cm²であった。



図－2 コンクリート壁，構造，寸法



写真－1 コンクリート壁と車両高さの関係

2.3.2 土のう (写真-2)

土のうは、既製の麻袋に砂を充填したものを製作し使用した。土のう1体の寸法は35cm×39cm×15cm、重量は約30kg/袋であった。

2.3.3 サンドクッション (写真-3)

サンドクッションは、図-3に示すように、外シート内に合成樹脂板枠が収められ、その中に砂が充填される構造になっている。サンドクッション1体の寸法は35cm×43cm×20cm、重量は約53kg/個であった。

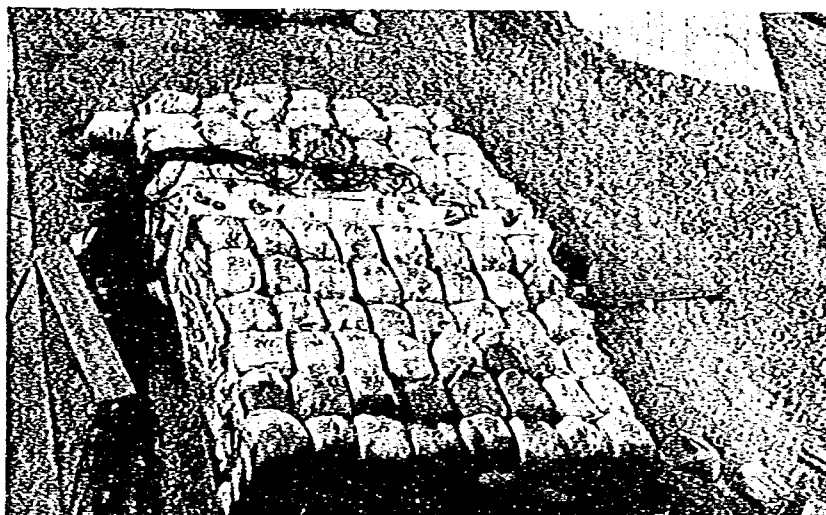


写真-2 土のう設置状況



写真-3 サンドクッション設置状況

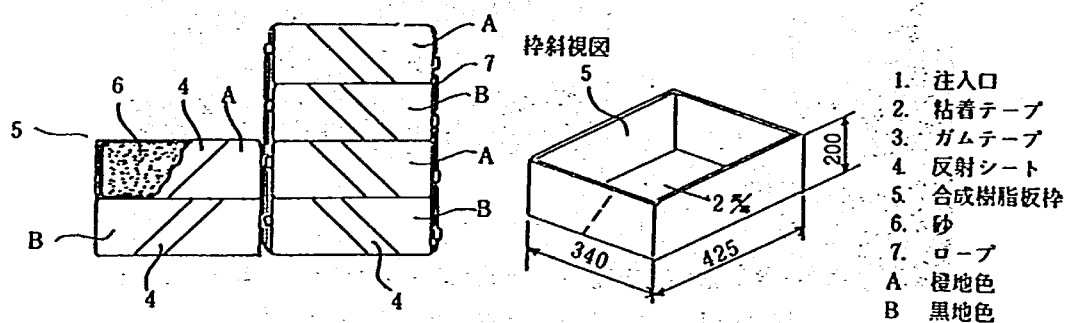


図-3 サンドクッション

2.3.4 防舷材 (写真-4)

防舷材は船の発着場の接岸部に設けられるもので、岸壁への接触時の衝撃を吸収する構造になっている。今回の防舷材は特に車両の衝突用として一部改造し適用できるようにしたものである。この構造図を図-4に示す。

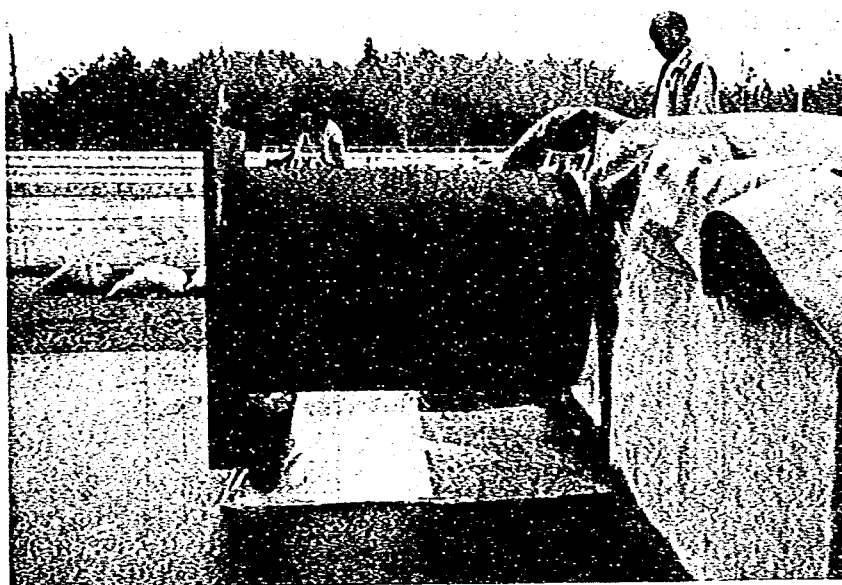


写真-4 防舷材の設置状況

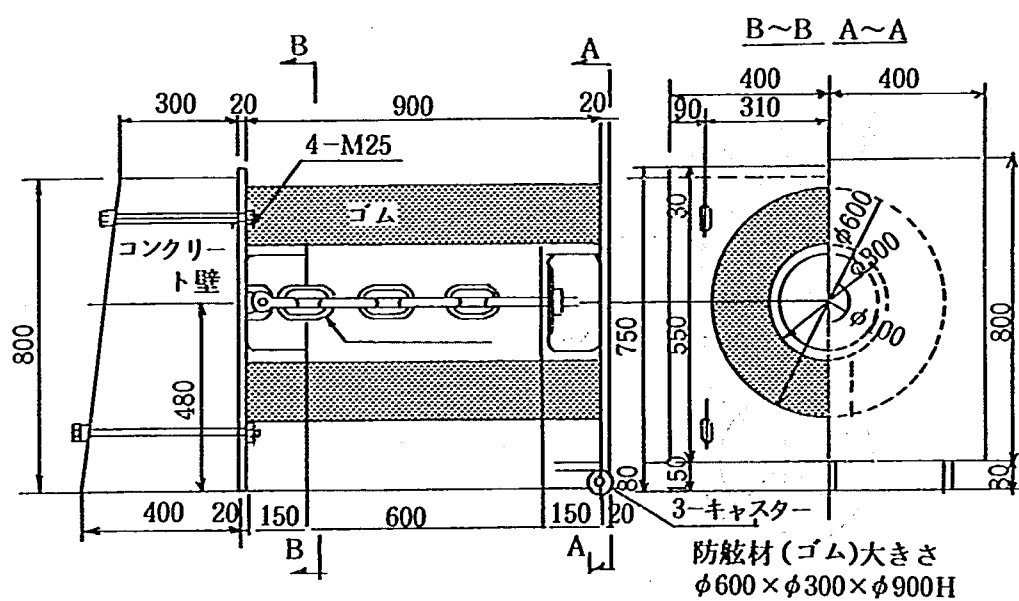


図-4 防舷材

2.3.5 タイヤ (写真-5～8, 表-2)

古タイヤを使用し, 緩衝効果を上げるためタイヤ内の空隙に水入硬質塩化ビ円筒や水袋を充填したものを示す。これらを図-5～7に示す。

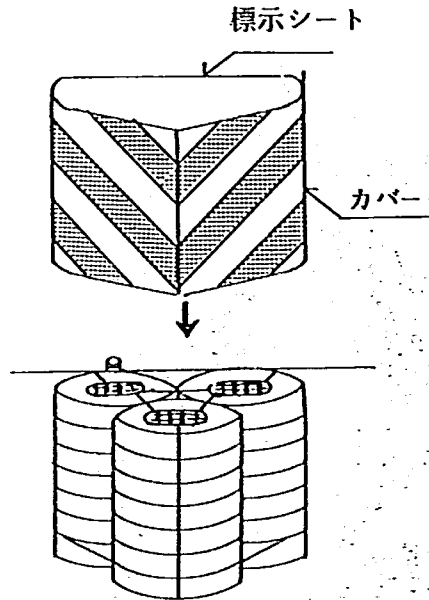


図-5 塩ビ円筒入古タイヤ
(ケース11, 14)

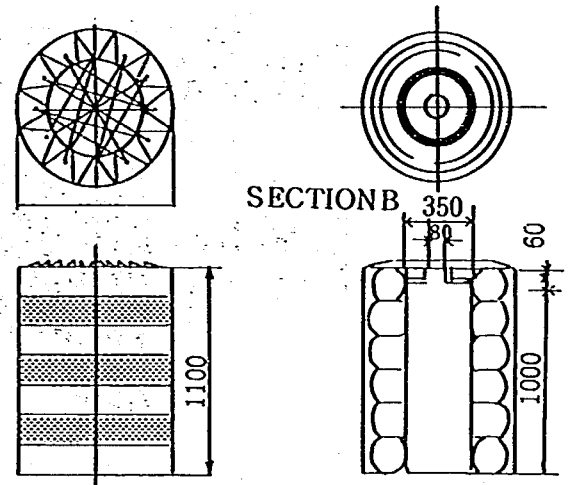


図-6 ポリ水筒入古タイヤ
(ケース12)

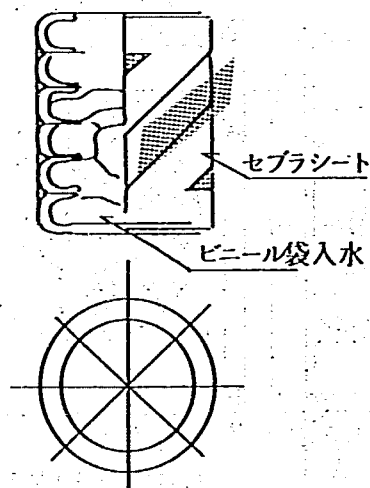
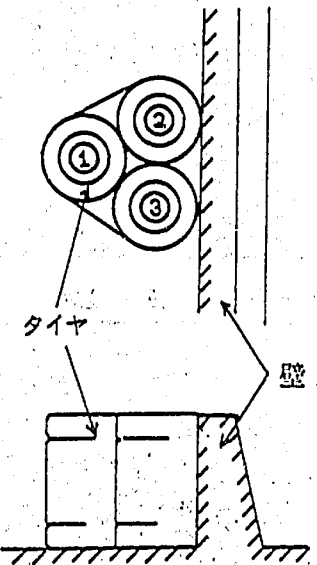


図-7 ビニール水袋入古タイヤ
(ケース13)

表-2 タイヤ供試体

ケース	供試体設置状況		タ イ ヤ				充 填 材		総 重 量 kg
	設 置 図	供試体 番 号	本 数	高 さ (mm)	重 さ (kg)	タイヤサイズ	個 数	重さ(容+水) kg	
11		①	7	775	35.5	6.15-13-4	12	22.8	175
		②	7	760	35.7	〃	12	23.2	
		③	7	755	35.0	〃	12	23.0	
12		①	7	1,075	94	6.5-15-4	1	110	583
		②	8	940	62	6.0-13-6	1	127	
		③	8	1,000	65	6.0-13-6	1	125	
13		①	6	800	48	6.45-13-4	4	53	293
		②	6	800	44	6.45-13-4	4	50	
		③	6	800	47	6.45-13-4	4	51	
14		①	5	870	101	7.5-16-12	16	61.2	487
		②	5	870	103	7.5-16-12	16	60.5	
		③	5	910	100	7.5-16-12	16	61.0	

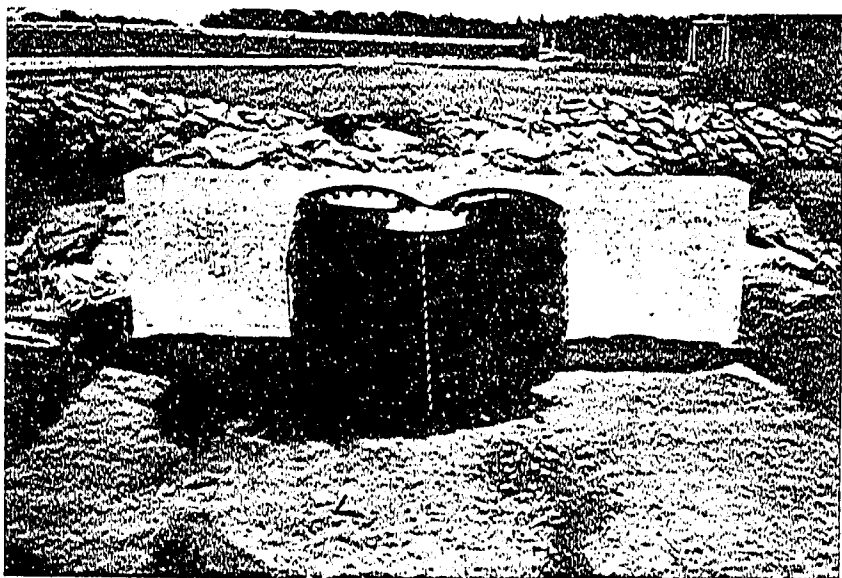


写真-5 タイヤ+水入円筒設置状況

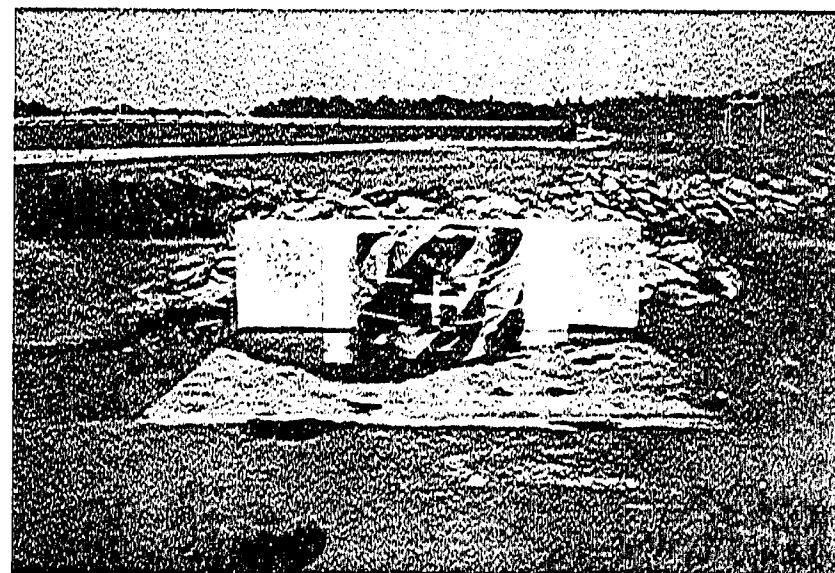


写真-7 タイヤ+水入大袋設置状況

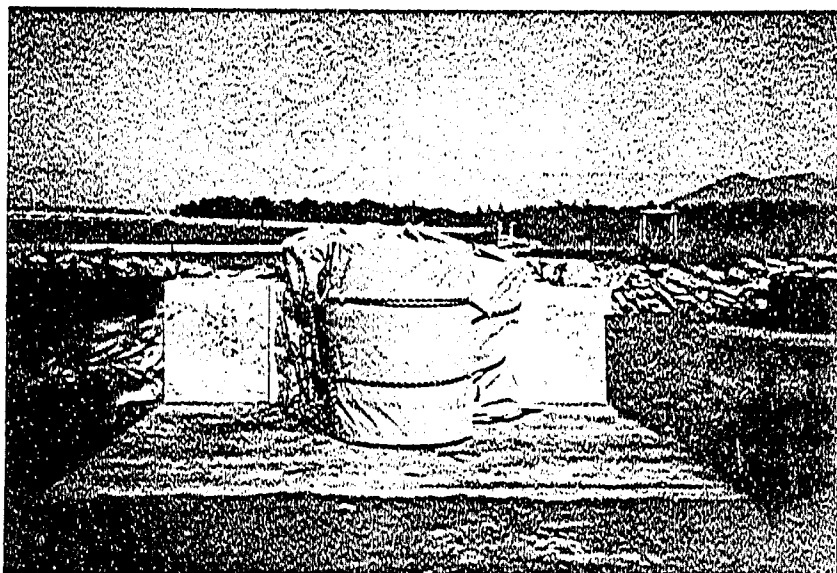


写真-6 タイヤ+水入ビニール袋設置状況

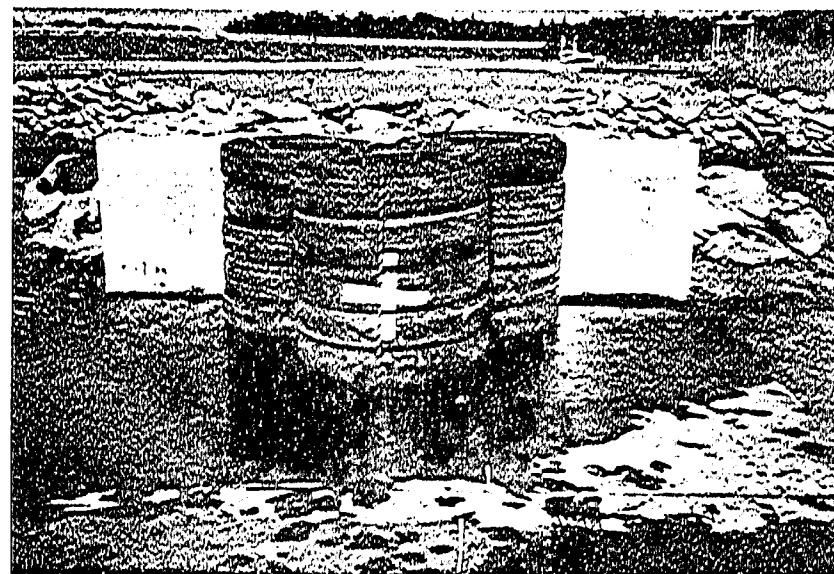


写真-8 大型タイヤ+水入円筒設置状況

2.3.6 発泡コンクリート (写真-9)

発泡スチロールビーズ混入コンクリート円筒 ($\phi 300 - 300 \ell - 50 t m/m$) 9 本を繊維ボードで巻きポリエチレンロープで縛り, 2 段重ねにしたものである。組上がり寸法は $900 h \times 900 w \times 1,340 \ell m/m$ で, 全重量は 267 kg であった (図-8)。

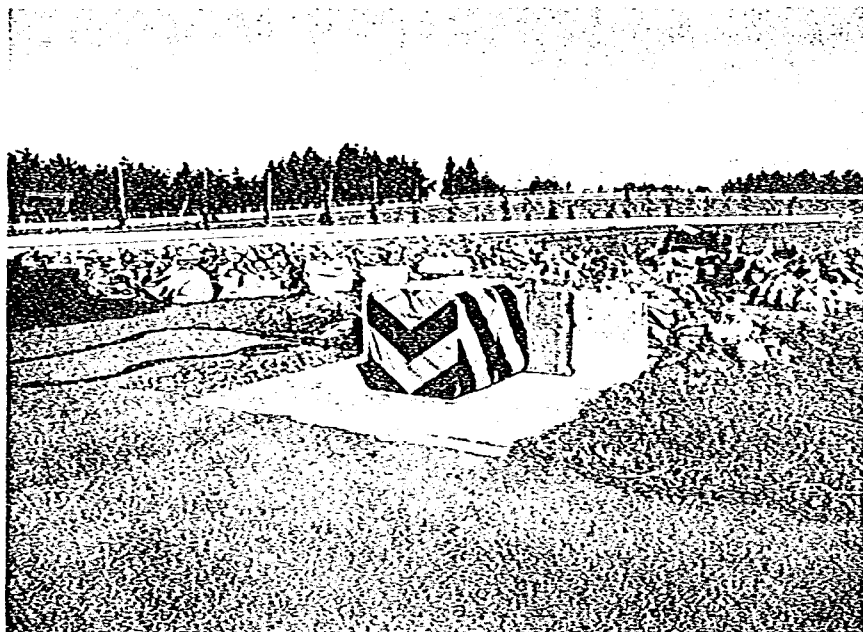


写真-9 発泡コンクリート設置状況

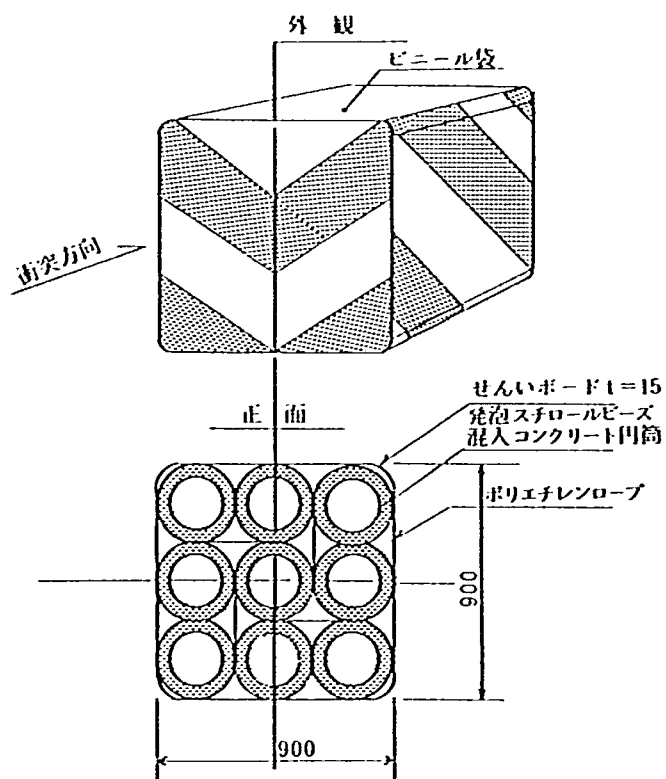
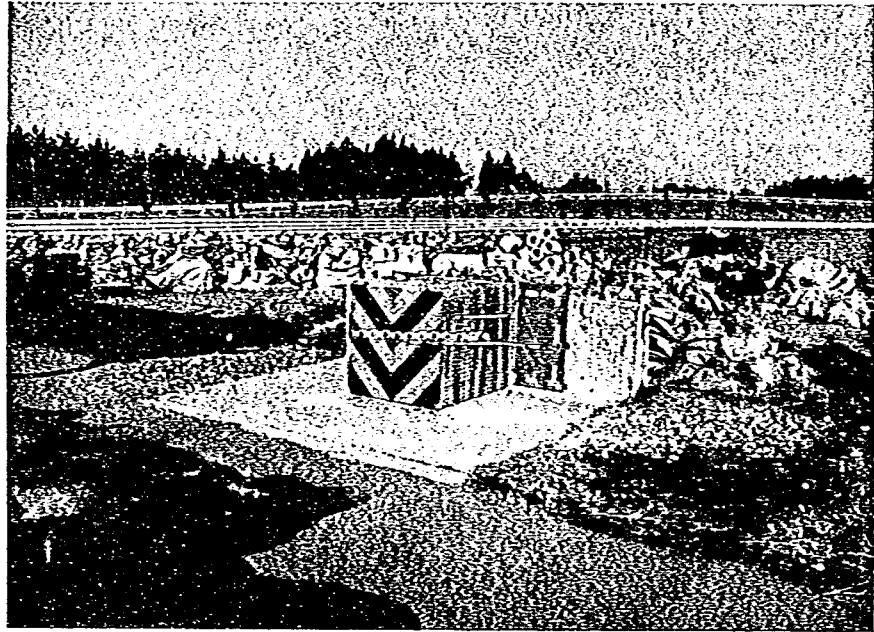


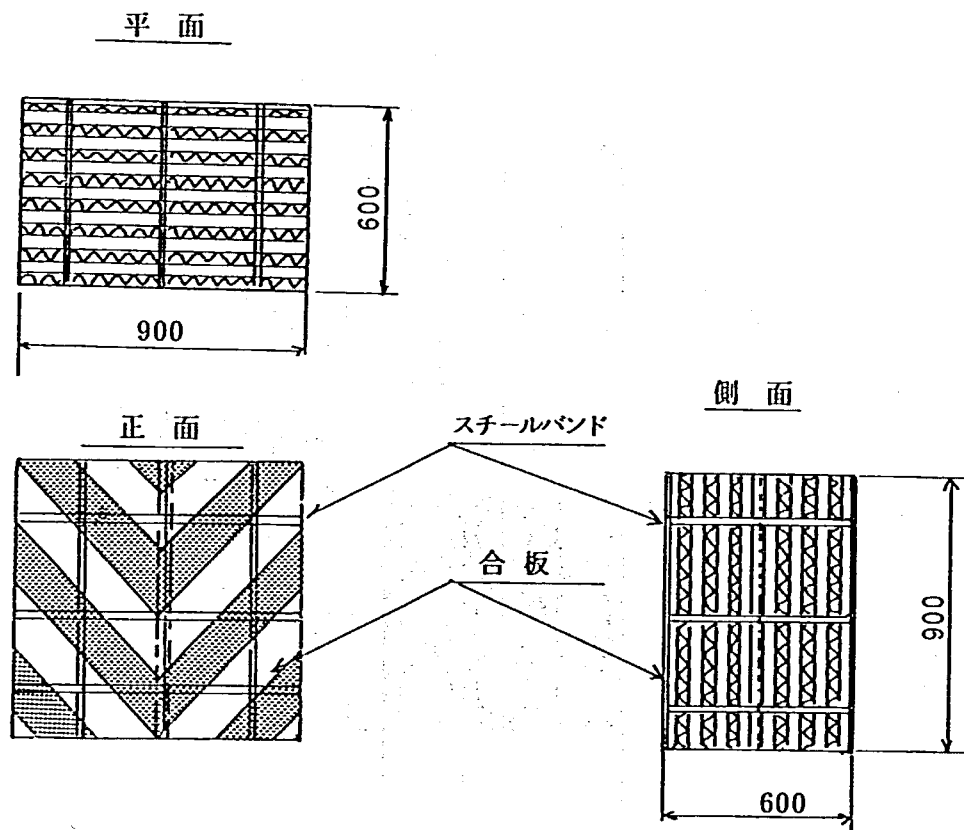
図-8 発泡コンクリート

2.3.7 波状鉄板（写真－10）

合板の間に波状鉄板を直角に向きを変え、互い違いに積層した。これを衝突方向に2体重ねて組上がり寸法は $900\text{ h} \times 900\text{ w} \times 1,340\text{ l m/m}$ で、全重量は 267 kg であった（図－9）。



写真－10 波状鉄板設置状況



図－9 波状鉄板

2.3.8 軽量コンクリート (写真-11)

高分子樹脂繊維混入軽量コンクリートブロックに、図-10のように $\phi 215$ m/mの空洞を9カ所作り、ビニールシートで包んだものである。組上がり寸法は900 h × 912 w × 917 l m/mで、全重量は600 kgであった。

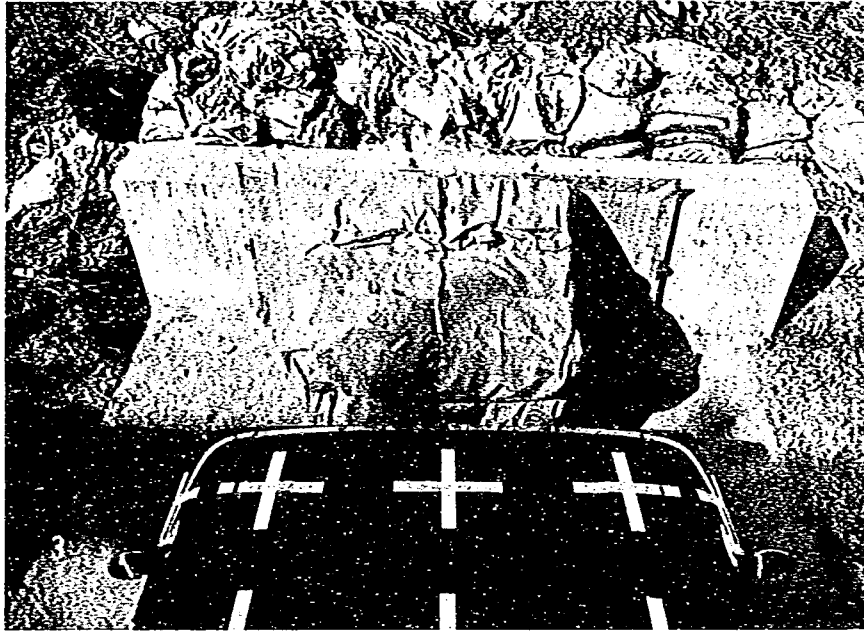


写真-11 軽量コンクリート設置状況

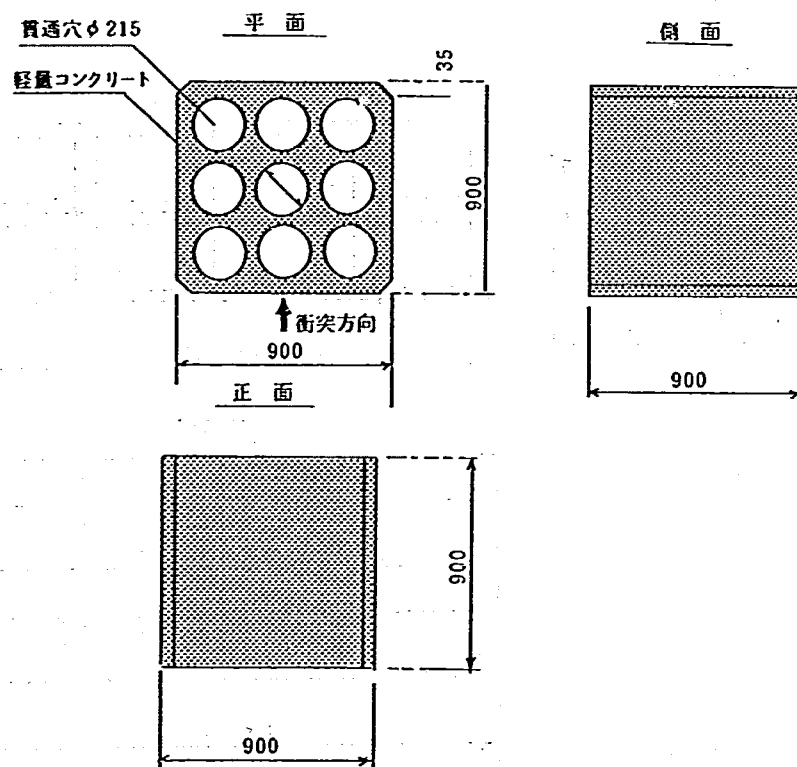


図-10 軽量コンクリート

2.3.9 ダンボール箱 (写真-12)

大箱 ($500\text{ h} \times 405\text{ w} \times 615\text{ l m/m}$) の中に小箱 ($300\text{ h} \times 300\text{ w} \times 435\text{ l m/m}$) を入れ強度を増したものである。図-11に示すように大箱16個の中に小箱を入れ、粘着テープを用いて組み立て、隣合った箱との接合部も粘着テープで貼り合わせた。組上がり寸法は ($1,000\text{ h} \times 810\text{ w} \times 2,460\text{ l m/m}$) で、全重量は30kgであった。

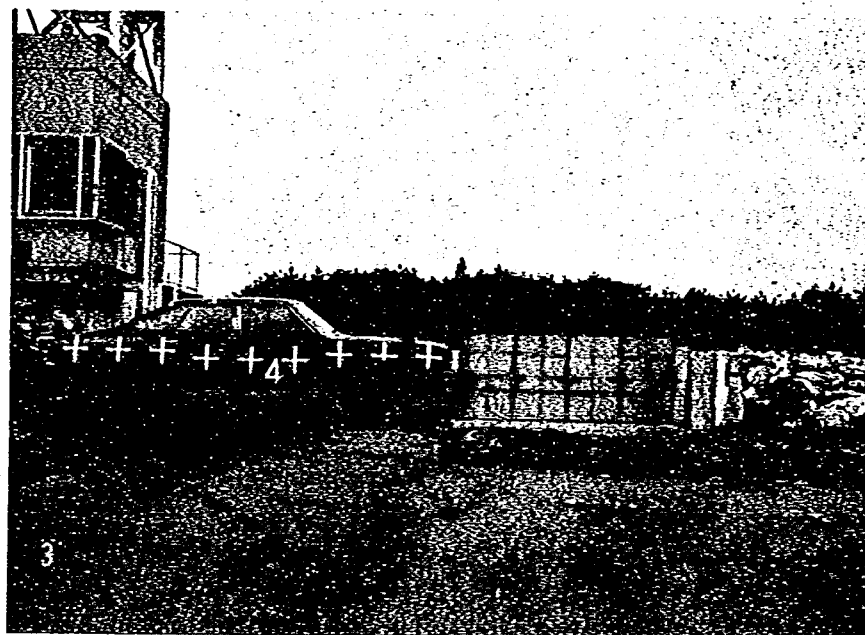


写真-12 ダンボール箱設置状況

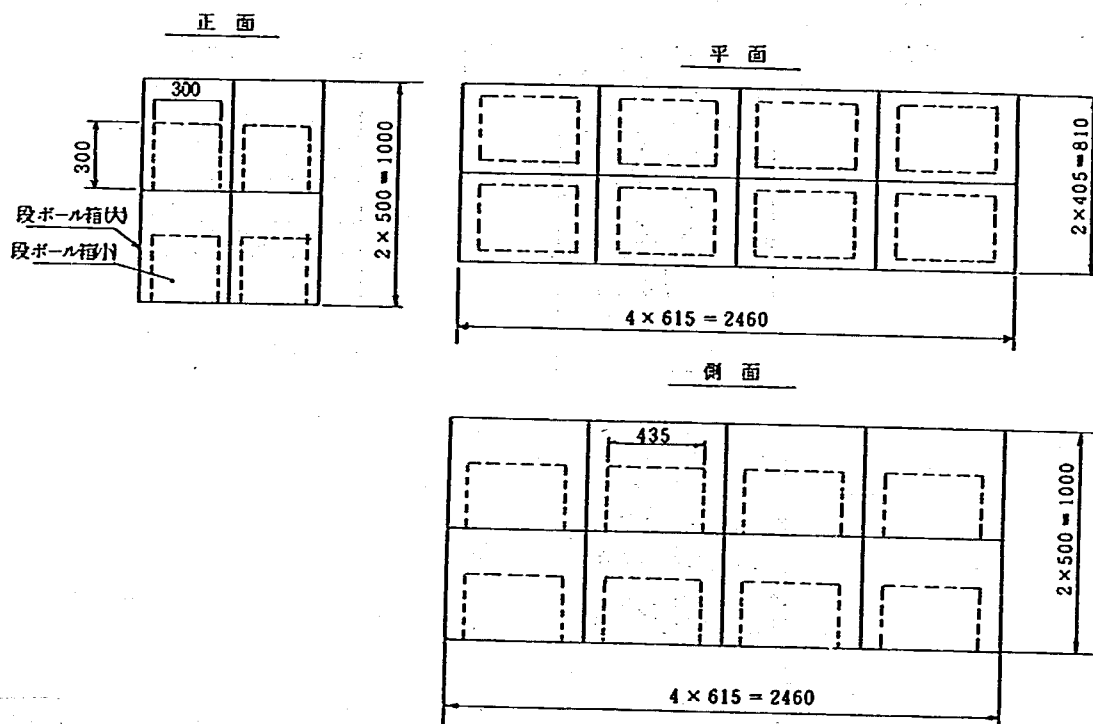


図-11 ダンボール箱

2.3.10 クッションドラム (写真-13)

クッションドラムの構造は、プラスチック容器内に6個の水袋が収納されており、車両が衝突すると容器が変形するとともに内部の水が噴出し、衝突エネルギーを吸収するものである。クッションドラムの仕様を図-12に示す。

クッションドラムについては、ドラム単独の緩衝効果についても検討を加えた。このとき供試体としては、ドラム内に水袋6個入れたものの他、吸収エネルギーを大きくする目的で水袋間にさらに水を充填し満水状態にしたもの、ドラム底に15cm厚の発泡スチロール板を取り付け嵩上げしたものも用いた。

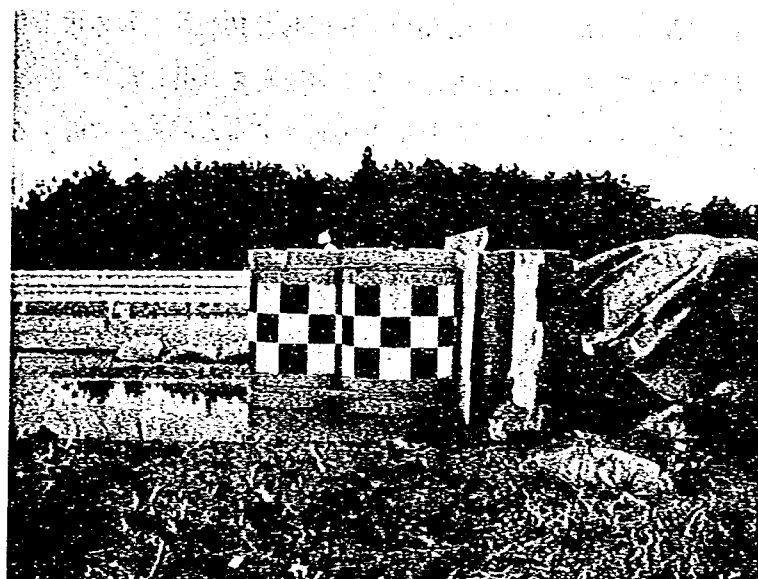
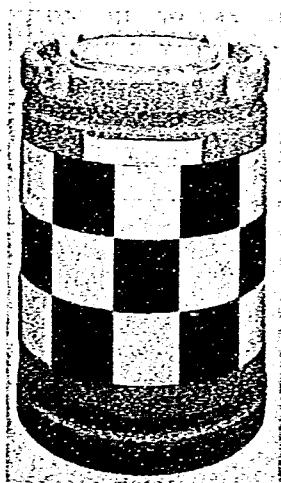


写真-13 クッションドラム設置状況



項 目	寸 法
実 容 量	203ℓ
公 称 容 量	200ℓ
外 径	580mmφ (440mmφ)
高 さ	820mm (720mm)
肉 厚 (平均)	3mm/m
色	黄

図-12 クッションドラム

2.4 測定項目および測定方法

2.4.1 衝突車およびダミー（写真-14～17）

- 1) 衝突重量 : 実験前に車両の総重量を計測した。
- 2) 衝突速度 : 衝突直前の走行速度をテープスイッチおよびロープ巻取速度による換算値の2つの方法を用いて測定した。
- 3) 衝突加速度 : 衝突時に車両に発生した加速度を、車両重心に取り付け金具を用いて固定した加速度計により、80Hzのフィルタを介して記録した。このときの加速度の測定系を図-13に、測定された波形の例を図-14に示す。また参考として、毎秒400コマ撮影できる高速度カメラを用いて撮影した16mmフィルムにより、1コマごとの車両の移動距離を計測、これを計算して加速度を算出した。
- 4) 車両挙動 : 衝突時の車両の飛び上がり量を16mmフィルムにより解析するとともに、衝突後の車両の緩衝施設への乗り上げ量または緩衝施設からの跳ね返り量（緩衝施設からの後退距離）を計測した。
- 5) 車両変形量 : 衝突時の車両の変形量を計測するとともに変形状態を目視観察した。
- 6) ダミー加速度 : クッションドラムの実験について、車両に搭載したダミー胸部に加速度計を取り付け、ダミーに発生する加速度を測定した（図-14）。

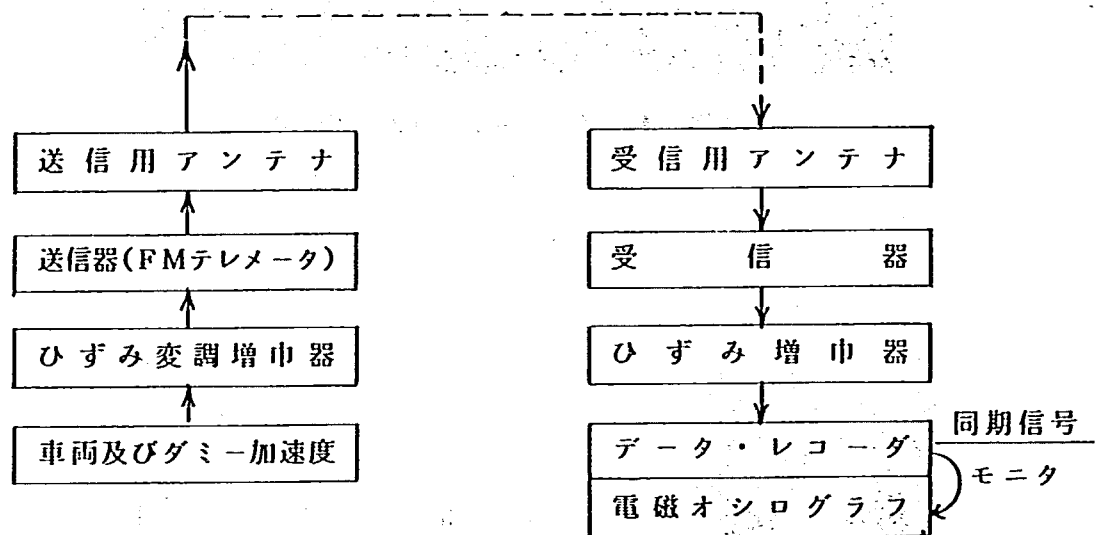


図-13 加速度の測定系

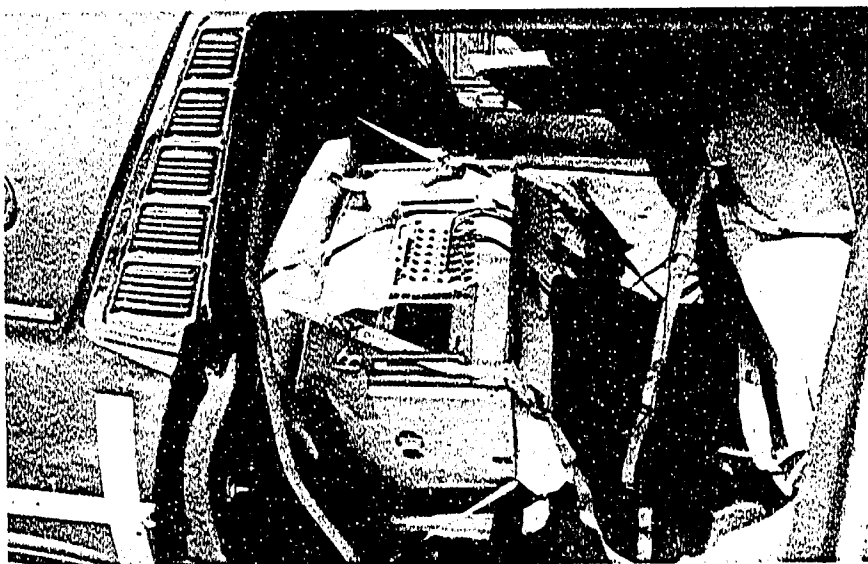


写真-14 車載計器取付状況

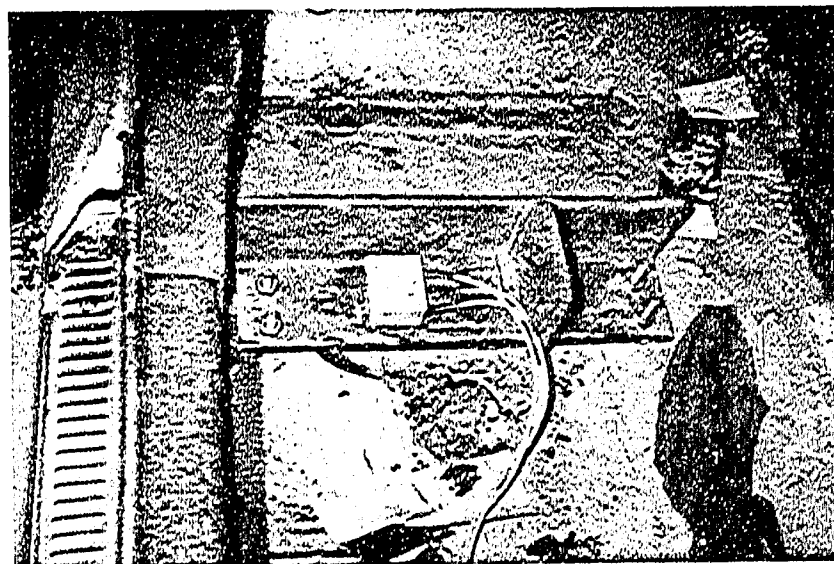


写真-15 加速度計取付状況



写真-16 ダミー取付状況

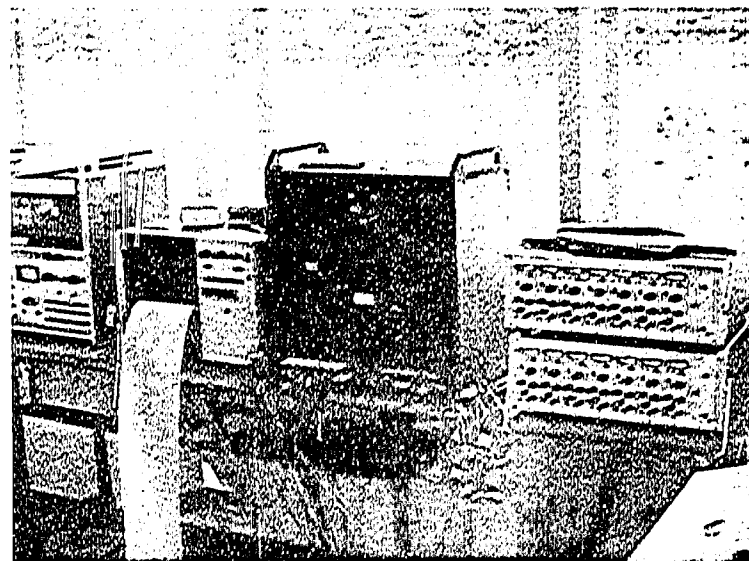


写真-17 記録計器類

2.4.2 緩衝施設およびコンクリート壁

- 1) 衝突荷重 : コンクリート壁に加わった力を荷重計および感圧紙により測定した。荷重計は、乗用車が衝突する位置として、コンクリート壁面の地面より57cmの位置に2個取り付けた。また感圧紙は、コンクリート壁全面に張り付けた。
- 2) 壁 歪 量 : コンクリート壁背面の地面直近に歪ゲージを取り付け、圧縮歪を計測した。
- 3) 緩衝施設 : 衝突後変形した緩衝施設については、衝突後の残留変形量を観測した。また、衝突の変形量 による緩衝材の原位置よりの飛散距離を測定した。
- 4) 緩衝施設吸 : 施設単体の緩衝効果について検討したクッションドラムの実験では、ドラムの吸収エネルギー エネルギーを16mmフィルムにより解析した。

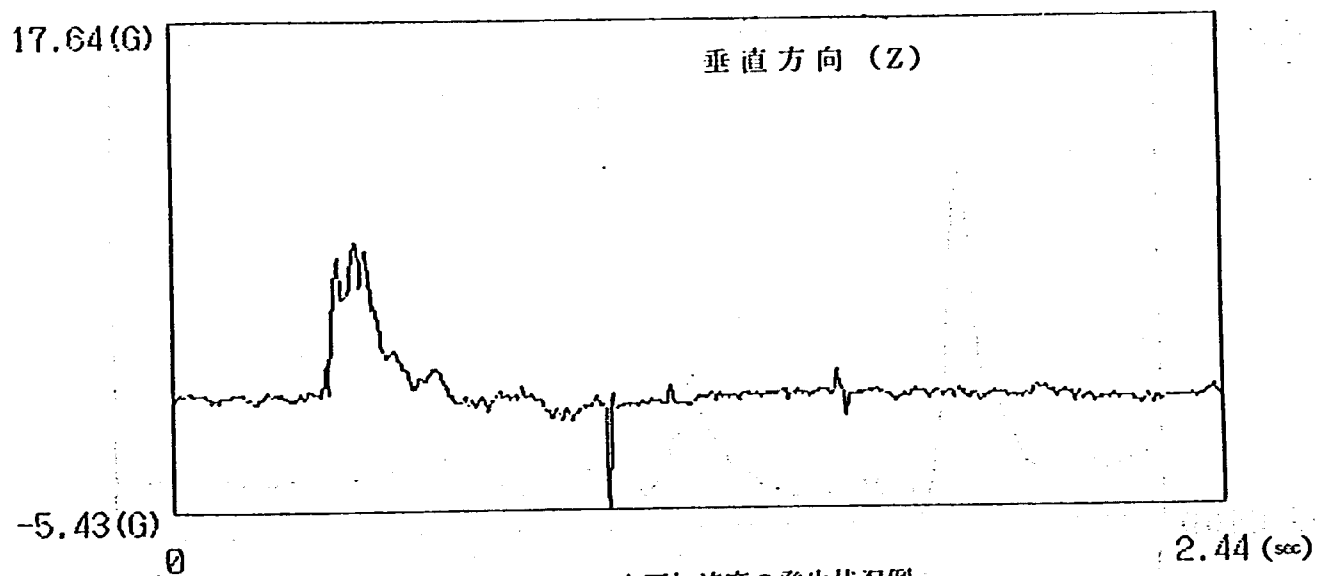
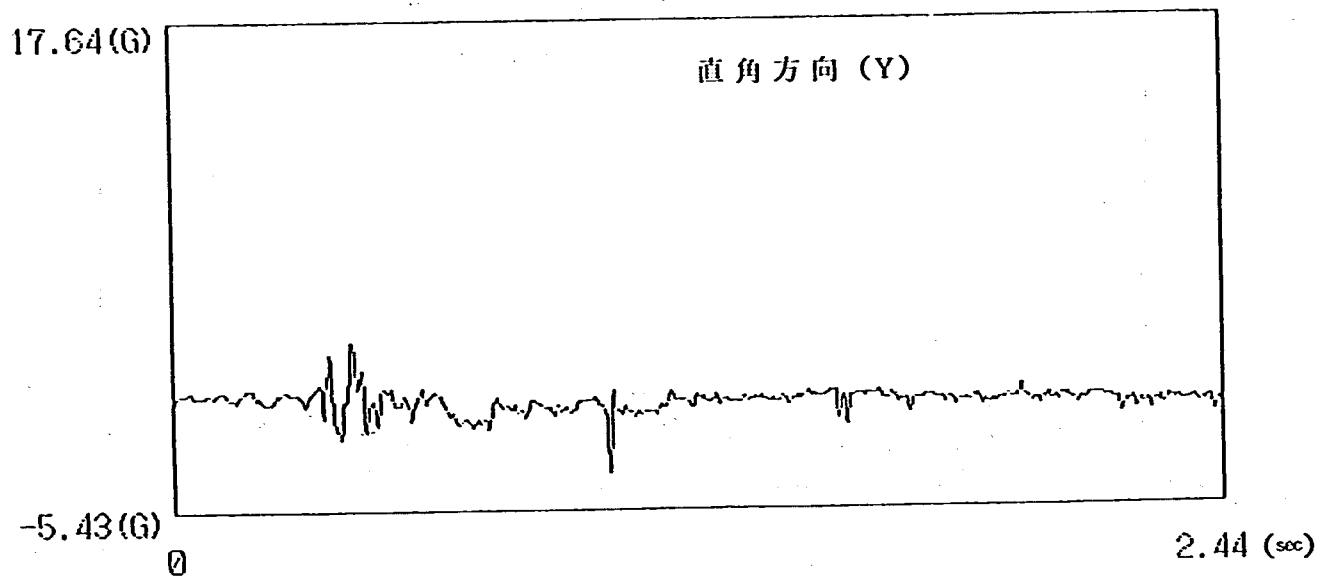
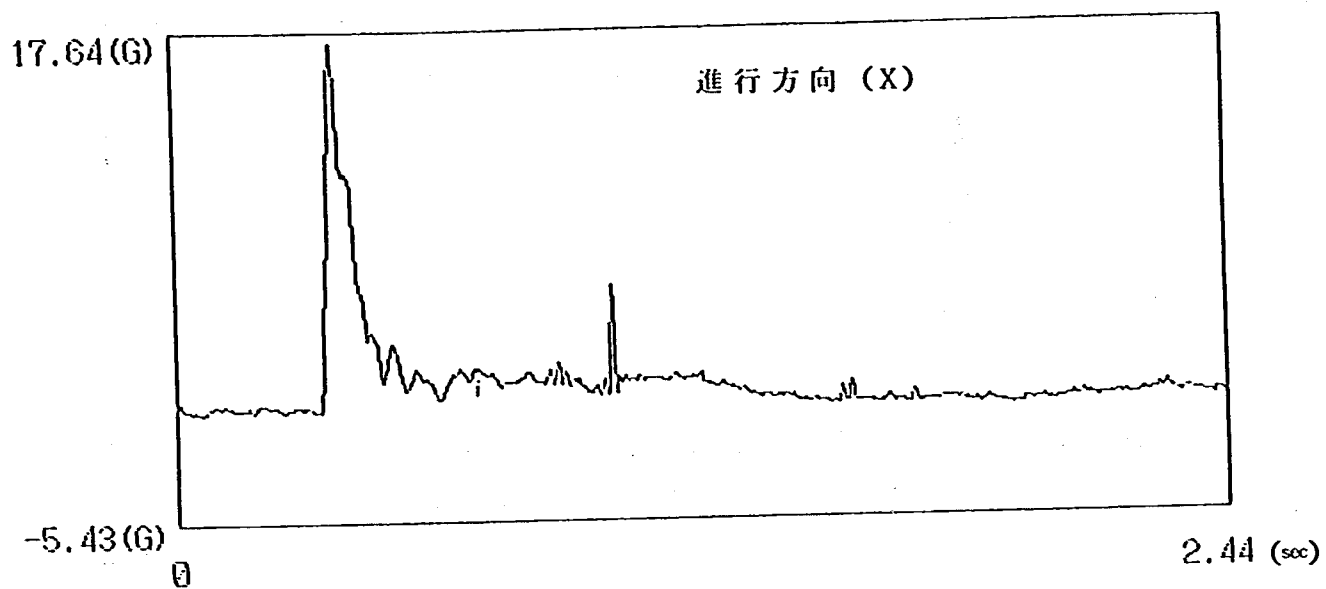


図-14-1 車両加速度の発生状況例

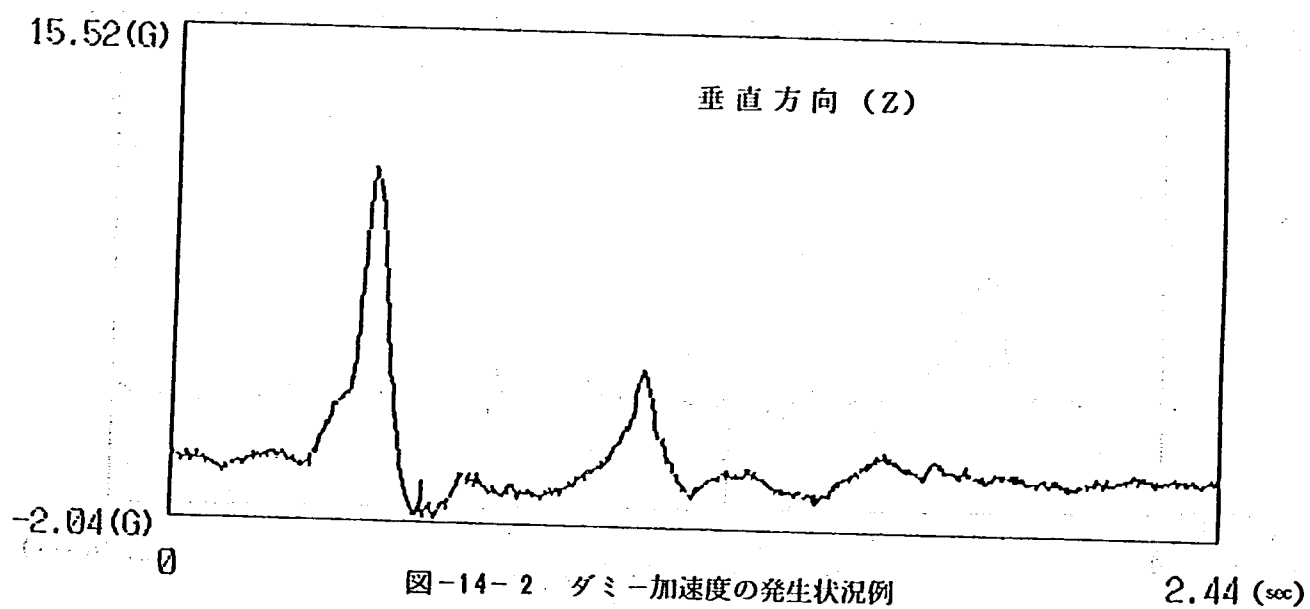
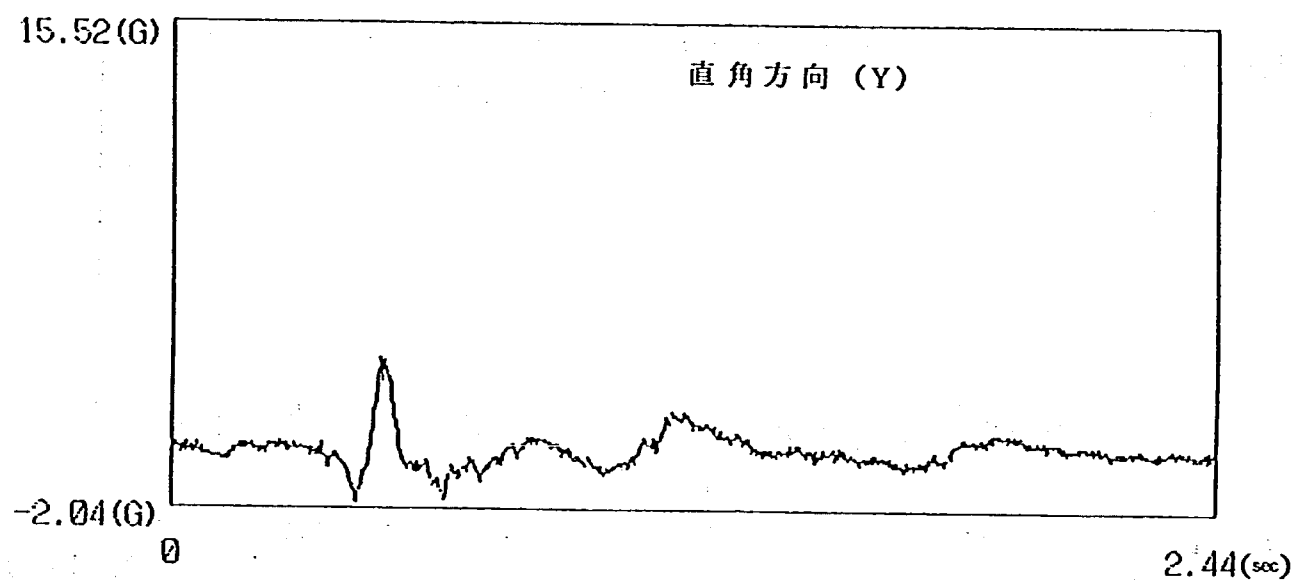
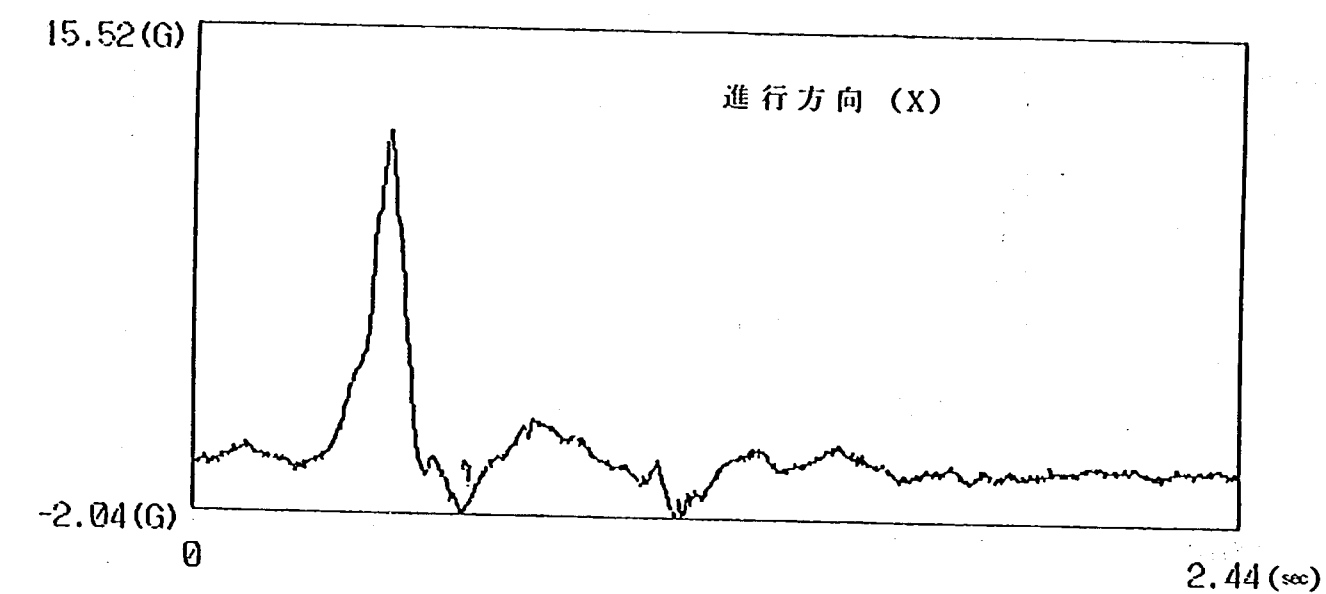


図-14-2 ダミー加速度の発生状況例

3. 実験結果

3.1 構造物の前面に緩衝施設を設置した場合 (表-3)

3.1.1 構造物 (コンクリート壁) のみ (ケース1, 2)

1) 車両の挙動

ケース1 (設定速度 40km/h) の衝突では、車両がコンクリート壁面の左端部側に衝突し、前部が多少浮き上がった後、コンクリート壁に反発され同壁から 30cm 程度手前の所に戻り停止した。またケース2 (設定速度 60km/h) では、実験車両は衝突時にフロント部が沈下した後浮き上がり、さらにコンクリート壁に反発され同壁から 10cm 程度手前で停止した。

2) 車両発生加速度

加速度計による車両の最大加速度は、ケース1が車両進行方向に $40.3g$ 、ケース2が $42.6g$ と、速度に係わらず同程度の加速度となっているが、車両直角方向、鉛直方向の加速度は速度 60km/h で大きくなっている。

3) コンクリート壁の損傷状況

車両衝突によるコンクリート壁の損傷は、ケース1, 2のいずれでも生じなかった。

4) 車両の損傷状況 (写真-18, 19)

ケース1の最大変形量は左側半分に生じ 44.7cm であった。またケース2の車両は、フードが大きく内側にまくれたほか、フロント部はあたかもプレスされたかのように前車輪先端まで均一に凹み、最大変形量も 54.3cm と大きなものであった。さらにハンドルが変形し一部折損していることから、衝突時にかなりの力がダミーに加わったものと推察される。

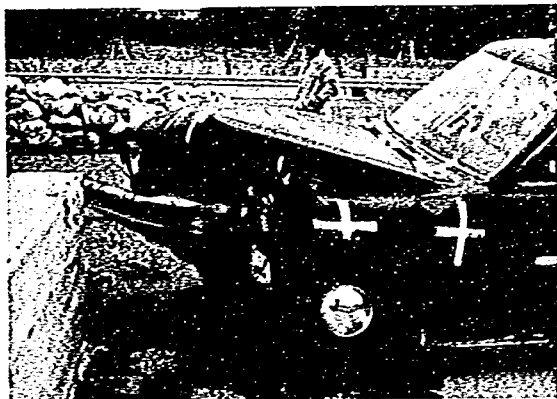


写真-18 車両損傷状況 (速度 40km/h)

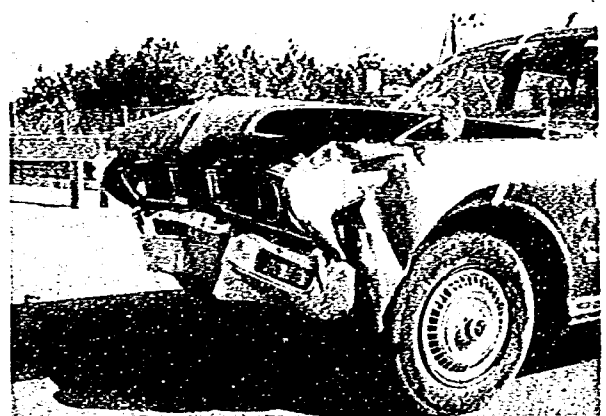
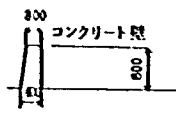
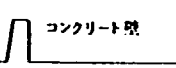
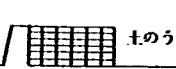
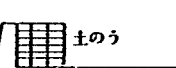
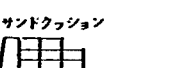
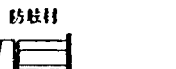
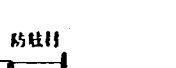
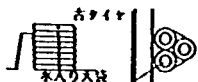
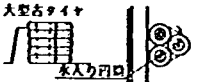
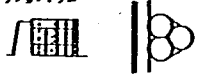


写真-19 車両損傷状況 (速度 60km/h)

表-3 実験結果

ケース No	緩 衝 施 設	車両重量 (ton)	衝突速度 (km/h)	車両加速度 計測値 (g)	衝突荷重 計測値 (g)	衝突荷重 (ton)	感圧紙 (ton)	コンクリート壁 最大ひずみ ($\times 10^{-4}$)	コンクリート壁 応力 (kg/cm ²)	車両 はね返り量 (mm)	車両乗り上げ 飛び上り量 (mm)	車両最大 変形量 (mm)
1		1.49	40.0	X=40.3 Y= 9.5 Z=17.3	X=21.4 Z=35.7	—	64.5	-125.0	-37.5	300	52	447
2		1.43	60.6	X=42.6 Y=34.6 Z=31.2	X=60.2 Z=32.7	0.38	248.6	-170.0	-51.0	100	31	543
3		1.57	40.2	—	X=15.3 Z=30.6	—	—	-3.0	-0.9	0	320	95
4		1.52	40.4	X= 38 Y=-2.7 Z=-1.6	X=27.8	0.07	40.6	-26.0	-7.8	0	282	100
5		1.34	60.6	—	X=32.7 Z=30.6	0.05	45.5	-11.0	-3.3	0	447	264
6		1.44	60.6	X=17.1 Y= 2.5 Z= 7.1	X=37.8 Z=24.5	0.04	99.8	-62.0	-18.6	0	394	236
7		1.24	60.6	X=17.0 Y= 5.3 Z= 8.2	X=33.7	0.08	59.3	-43.0	-12.9	0	683	180
8		1.36	27.6	X=12.8 Y=26.8 Z=-13.3	X=35.7 Y=13.3	—	44.2	-82	-24.6	8420	32	189
9		1.35	37.7	(X=21.9) (Y= 6.5) (Z=-13.0)	X=39.8 Z=25.5	—	61.8	-119	-35.7	10740	62	262
10		1.36	38.1	X=10.6 Y= 7.3 Z=11.1	X=34.7 Z=16.3	—	44.2	-85	-22.5	5870	40	419

() は波形不良により参考値とする。

ケース No	緩 衝 施 設	車両重量 (ton)	衝突速度 (km/h)	車両加速度 計測値 (g)	写真(参考) (g)	衝 突 荷 重 (ton)	感圧紙 (ton)	コンクリート壁 最大ひずみ ($\times 10^{-4}$)	応 力 (kg/cm ²)	車両 はね返り量 (mm)	車両乗り上げ 飛び上り量 (mm)	車両最大 変 形 量 (mm)
11		1.25	37.1	X=19.8 Y=-25.6 Z=-27.1		—	47.2	-109	-33	24,200	—	343
12		1.29	37.1	X=8.3 Y=1.7 Z=3.7	X=15.5 Z=25.4	—	232.2	-58	-17	8,600	247	121
13		1.17	36.0	X=15.4 Y= 6.7 Z= 3.2	X=18.2 Z=18.4	—	70.5	-71	-21	4,250	293	250
14		1.34	37.5	X=8.4 Y=1.8 Z=4.5	X=21.0 Z=24.2	—	84.4	-5.3	-16	6,700	659	195
15		1.56	39.1	X=15.6 Y=-3.0 Z=-8.5	X=12.0 Z= 6.1	—	33.3	-81	—	4,140	63	320
16		1.46	39.2	X=11.1 Y=-1.9 Z= 3.6	X=12.2 Z= 4.2	—	6.7	-68	—	5,250	218	160
17		1.40	23.2	X=7.7 Y=-2.4 Z=-3.1	X=9.5 Z=3.4	—	84.5	-76	—	4,020	76	180
18		1.62	39.2	X=23.4 Y=-3.3 Z=-14.2	X=15.3 Z= 3.5	—	62.4	-13	—	785	47	215
19		1.36	38.5	X=11.6 Y= 2.0 Z= 4.2	X=26.5 Z=17.3	—	72.4	-82	-24.6	3,700	41	160
20		1.16	32.0	X=3.7 Y=-5.4 Z=-5.9	X=25.5 Z=11.2	—	41.7	-31	-9.3	3,230	364	64

3.1.2 土のうおよびサンドクッション（ケース3～7）

1) 車両の挙動

ケース3, 4（土のう，設定速度40km/h）では，実験車両は衝突時にフェンダー部の土のうを進行方向に押し潰した後，前輪は土のうの2～3段目から最上段まで乗り上げ，ケース3はバンパーがコンクリート壁面より3列目，ケース4は前車輪がコンクリート壁背面を乗り越えた位置で，それぞれ停止した。ケース5, 6（土のう，設定速度60km/h）では，実験車両は衝突時にフロント部の土のうを進行方向へ押し潰した後，前輪は土のうの2～3段目から最上段まで乗り上げ，ケース5ではコンクリート壁面上で，ケース6ではコンクリート壁面を乗り越し，同壁背面の土のうの位置でそれぞれ停止した。なお停止時の後輪の位置はいずれも土のう最前列の位置であった（写真-20）。

ケース7（サンドクッション，設定速度60km/h）では，同緩衝施設を完全に乗り越した後，前方の車両乗り越し防止用に補助的に設けたコンクリート塊に衝突して停止した（写真-21）。

2) 車両発生加速度

衝突速度40km/hのケース4では最大加速度は進行方向に3.8g，それに対して衝突速度60km/hのケース6は17.1gであった。またサンドクッションの最大加速度は17.0gでケース6と同程度の加速度と言える。ケース3, 5は計測器の不良により測定できなかったが，参考として16mmフィルムをみた結果では，同じ速度の土のう3列より小さい最大加速度が生じているものと思われる。

3) 緩衝施設の挙動

ケース3, 4の場合，衝突による土のうの最大飛散距離は，進行方向にそれぞれ3.7m，4.4mで，ケース5, 6での最大飛散距離はそれぞれ10.5m，9.2mであった。また，衝突により内部の砂が外部に漏れることはほとんどなかった。サンドクッションについては，最大飛散距離が進行方向に8.7mであり，衝突のため内部の砂が著しく飛散した。

4) 車両の損傷状況

ケース3, 4では車両変形量が10cmであったが，ケース5～7では25cm前後であった。

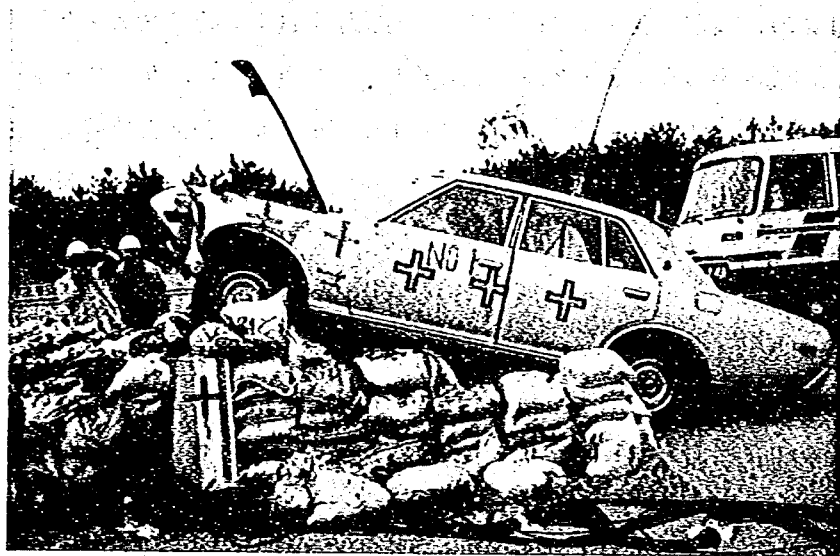


写真-20 車両の土のう乗り上げ状況（ケース5）

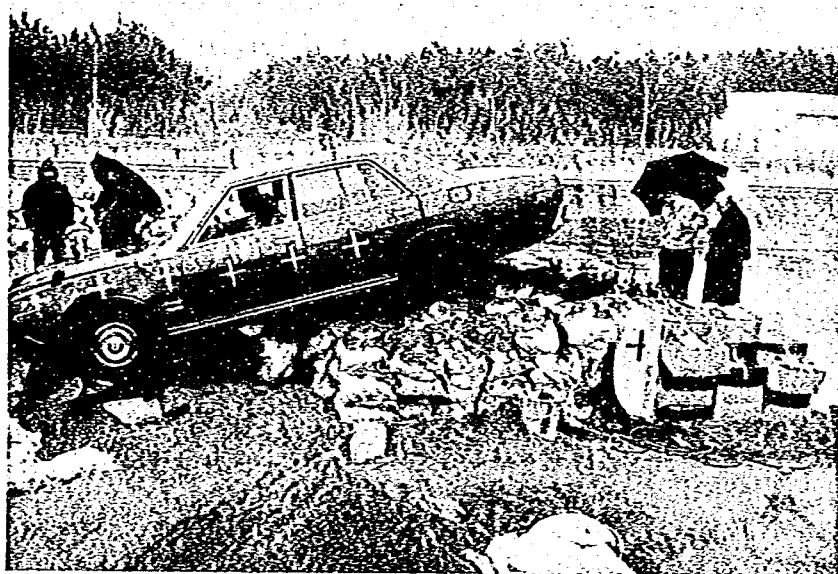


写真-21 車両のサンドクッション乗り越し状況

3.1.3 防舷材（ケース8～10）

1) 車両の挙動

車両は衝突時に防舷材のゴム本体を進行方向に圧縮した後、ゴムの反力で押し戻され、ケース8で8.4 m、ケース9で10.7 m、ケース10で5.9 m後退し停止した。

2) 車両発生加速度

車両の最大発生加速度は、ケース8の場合車両直角方向に26.4g 発生した。ケース9は計測機器の不良により加速度を計測することができなかったため、補足実験としてケース10を行ったが、ケース10では進行方向に10.6 g が発生した。ケース8で、正面衝突でありながら車両直角方向の加速度が大きく出たのは、衝突時の車両振動によるものと考えられる。

3) 緩衝施設の挙動

防舷材は各部分がボルトで締結されているため、損傷または飛散はなかった（写真-22）。しかし車両の跳ね返り量は、ケース8、9でそれぞれ8.4 m、10.7 m とかなり大きく、衝突車と後続車の接触による二次災害を起こす恐れがあると考えられる。従って、道路分流部などに防舷材を使用するには反発力を低減させる対策が必要である。

4) 車両の損傷状況

フロント部の衝突箇所があたかもプレスされたかのように均一に大きく凹んだ。フロント部の最大凹量は、ケース8が18.9 cm、ケース9が26.2 cm、ケース10が41.9 cmであった。また、ケース9および10については、衝突によりハンドルが変形するとともに、一部折損箇所もみられるところから、衝突時にかなりの力がダミーに働いたことが推察される。

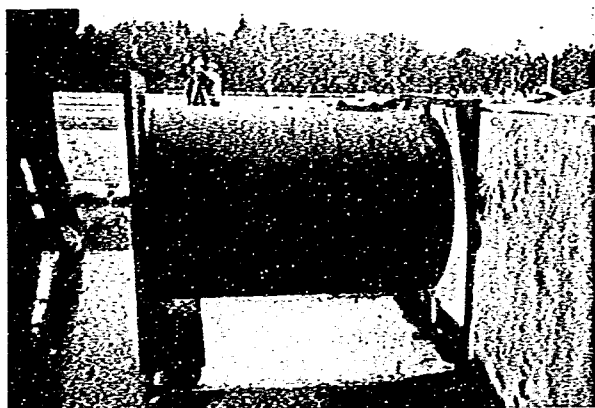


写真-22 衝突後の防舷材の状態

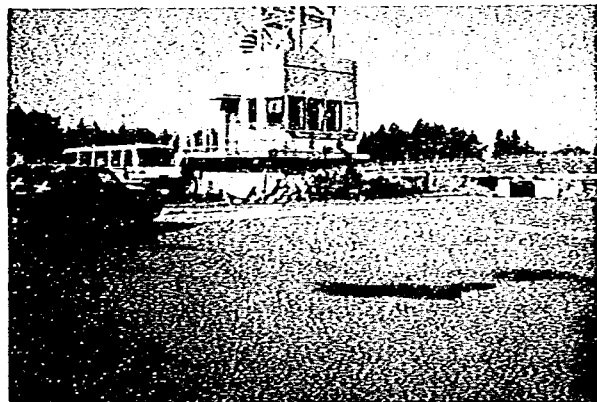


写真-23 タイヤ衝突後の車両の後退停止状況（ケース9）

3.1.4 タイヤ（ケース11～14）

1）車両の挙動

車両は充填材入りのタイヤに衝突すると、タイヤの1列目及び2列目を順次車両進行方向に押し潰した後、タイヤの反力で後方へ跳ね返され、コンクリート壁面より4.25m～24.2m手前の範囲でそれぞれ停止した。ケース11のように跳ね返り量が24mにも及ぶ場合、後続車両との接触による二次事故を誘発する恐れが十分に考えられる。従ってタイヤ中空部の充填材または緩衝体自体の構造を考慮する必要がある（写真-23）。

2）車両発生加速度

タイヤを利用した緩衝施設4タイプの中で、ケース11が27.1gと最も発生加速度が大きく、ケース12のように緩衝施設の高さを高く（1m）したり、大きなタイヤを用いると発生加速度は減少している。またタイヤの内側に入れた水入り円筒や水入りビニール袋などの違いよりも、タイヤ全体の体積の大きなものの方が加速度が小さくなることが伺える。

3）緩衝施設の挙動

タイヤ内側に水入り円筒を入れたケース11では、緩衝体の1列目および2列目の左側の円筒内の水が2割程度減少したものの、緩衝体のずれや損傷はなかった。大型タイヤに水入り円筒を入れたケース14では、緩衝体相互を結んでいるロープが切れ、2本のタイヤが舞い上がって車両進行方向に飛んだ（写真-24）。また円筒内の水は、車両との接触部分が半分位減少していた。タイヤに水入りの大きな袋を入れたケース12では、緩衝体全体が車両進行方向に対して右側に移動したものの損傷はなかった（写真-25）。水入りのビニール袋を入れたケース13では、緩衝体の移動はほとんどなかった（写真-26）。

4）車両の損傷状況

車両の損傷状況は、衝突後の跳ね返り量が最も大きかったケース11の車両が大きく、フロント部の最大凹み量は34.3cmであった。また車両の牽引が不可能であった。他のケースは車両の牽引は可能であった。



写真-24 大型タイヤ+水入円筒の破損状況

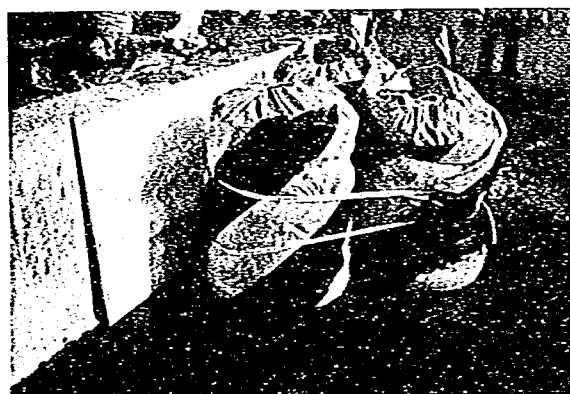


写真-25 タイヤ+水入大袋の衝突後状況



写真-26 タイヤ+水入ビニール袋衝突後状況

3.1.5 発泡コンクリート（ケース15）

1）車両の挙動

車両は衝突すると、緩衝体の1段目を潰しながら約60cm進入したところで一旦停止し、その後4.1m後退した。

2）車両発生加速度

車両の最大発生加速度は、進行方向に15.6gであった。

3）緩衝施設の挙動

間に繊維ボードを挟んだ発泡スチロールビーズ混入コンクリートの円筒を、一面当たり6本用いて4面を列べたが、衝突面だけが破壊し、その他は繊維ボードにより力が分散されたため破壊しなかった（写真-27）。

4）車両の損傷状況

車両の前部が潰れ、変形量の最大値は32.0cmで、平均値は17.6cmであった。

3.1.6 波状鉄板（ケース16）

1）車両の挙動

車両は、衝突を開始して90cm程度進入した時点で前部が緩衝体に乗れ始め、コンクリート壁から10cm程度手前まで進入した。そのとき車両右側が左側より30cm程度高く上がり、右後輪が10cm程度浮いた。

2）車両発生加速度

車両の最大加速度は、車両進行方向に11.1gであった。

3）緩衝施設の挙動

実験では、緩衝体の下部が上部と比べて移動量が少なく、上にいくに従い大きく変形した（写真-28）。このため車両も上に乗り上げ、車両への衝撃力は比較的小さなものとなっている。

4）車両の損傷状況

車両の前部が凹に潰れ、変形量の最大値は16.0cmで、平均値は8.1cmであった。

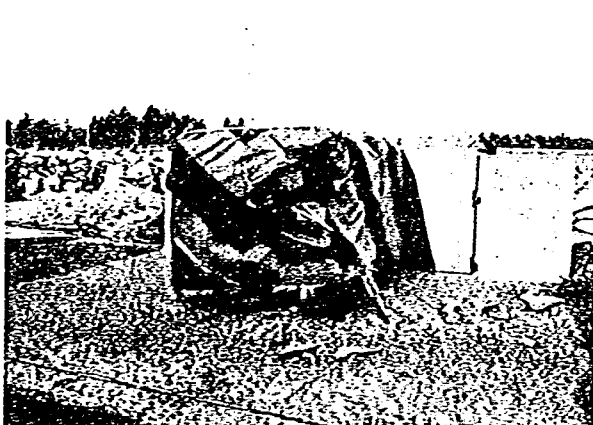


写真-27 発泡コンクリートの損傷状況

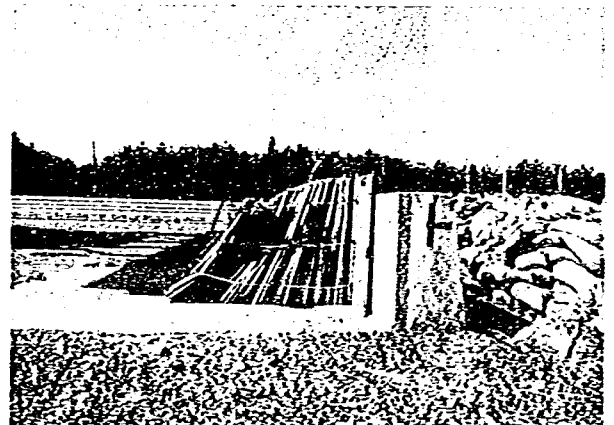


写真-28 波状鉄板の損傷状況

3.1.7 軽量コンクリート（ケース17）

1) 車両の挙動

実験装置の不良により、実験車両の衝突速度は23.2km/h と他のケースより衝突エネルギーが小さいものとなった。車両は衝突後4 m後退して停止した。

2) 車両発生加速度

車両の発生加速度は、衝突速度が低かったことから7.7 g と小さなものとなっている。

3) 緩衝施設の挙動

緩衝体を包んでいるビニールシートが少し破れた他損傷はなかった（写真－29）。

4) 車両の損傷状況

車両の前部が凹に潰れ、変形量は最大値が18.0 cm、平均値は7.6 cmであった。車両の変形量に比べ緩衝体の変形量が少なく、緩衝体の強度が大きすぎるのではないかと考えられる。

3.1.8 ダンボール箱（ケース18）

1) 車両の挙動

車両は緩衝体を最前列より順次潰しながら進入し、2 / 3 程度進入した地点で緩衝体に乗り上げながらコンクリート壁に接触した。その後76 cm後退停止した。

2) 車両発生加速度

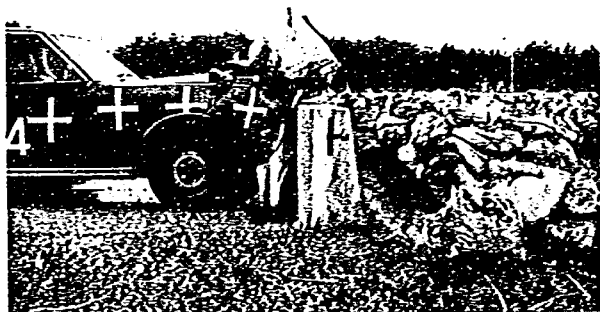
車両進行方向に23 g 程度の発生加速度が生じているが、衝突速度が40 km/h であることを考えると、加速度として小さいとはいえない。

3) 緩衝施設の挙動

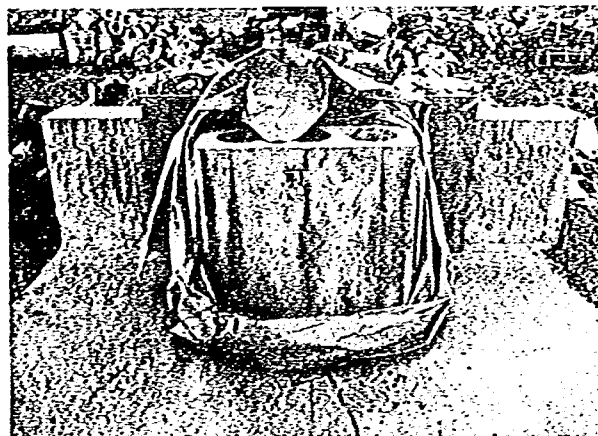
緩衝体は完全に潰れた（写真－30）。

4) 車両の損傷

車両の前部は平均的に大きく潰れ、変形量の最大値は21.5 cmで、平均値は14.3 cmであった。



写真－30 ダンボール箱の破損状況



写真－29 軽量コンクリートの損傷状況

3.1.9 クッションドラム（ケース19, 20）

1) 車両の挙動

車両は、クッションドラムの1列目、2列目を順次押し潰した位置で一旦停止した後、後退し、コンクリート壁よりケース19で3.7 m、ケース20で3.2 m手前の位置で停止した。

2) 車両発生加速度

最大加速度はケース19で進行方向に11.6g、ケース20で鉛直方向に5.9gと小さなものとなっているが、衝突速度が低かったことが原因として考えられる。

3) 緩衝施設の挙動

使用された3個のドラムは上下2本のロープによって拘束されているので、コンクリート壁面で緩衝体全体が圧潰され、一部折損したが飛散はなかった。また本体内部の水袋は、本体外に飛び出したが、飛散距離は小さく、二次災害の恐れは少ないと考えられる（写真-31）。

4) 車両の損傷状況

車両の変形量は、ケース19で16cm、ケース20で6 cmと比較的小さかった。

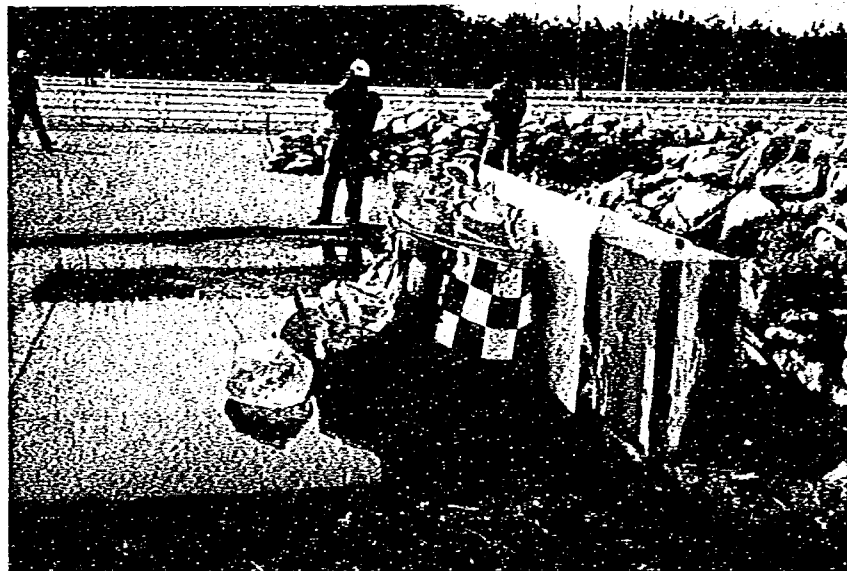


写真-31 クッションドラムの損傷状況

3.2 クッションドラムを単独に設置した場合

(ケース 21～34, 表-4, 写真-32)

前述の緩衝施設の中でよく使われているものとしてクッションドラムを選び、ドラムの個数と緩衝効果について検討するため14ケースの衝突実験を行った。クッションドラムは、一般的に使用される水袋6個を入れたものの他、水袋の隙間にさらに水を入れて満水状態にしたものや、ドラムを嵩上げしたものについても検討した。また、ドラムの後方には、道路構造物としてバリアーを配置し、その破損状況を観察した。

1) 車両の挙動

実験で、車両はほとんどのケースで緩衝施設の中心に衝突したが、ケース 22 は右に 45 cm 偏心して衝突した。またほとんどのケースで車両はドラムを乗り上げジャンプした。バリアーに乗り上げ横転したケースが 2 ケースあったが、これはバリアーに乗り上げたまま速度を失い、横に倒れ落ちたものである。車両がバリアーを乗り越えた距離は、衝突速度 40 km/h では 3 m 以下であったが、速度 60 km/h では 3 m 以上進入したケースが多かった。速度 60 km/h で進入距離が 3 m 以下だったのは、ドラム 4 個とドラム 6 個の 2 ケースのみであった。

2) 車両発生加速度

速度が高くなると発生加速度も大きくなっている。また車両のジャンプによる鉛直方向の加速度も大きなものとなっている。最も加速度が大きくなっているのはケース 30 で鉛直方向に 36.9 g 出ているが、バリアー乗り上げの影響が大きくドラム単体での衝撃力については判断しにくい。ドラム衝突時の発生加速度をみると、速度 60 km/h で 20g ～ 35g 程度発生しているがドラムの設置個数による差はみられない。

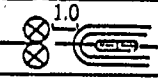
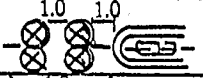
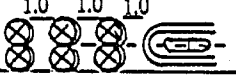
3) 緩衝施設の挙動

ドラムはロープによって上下が一体に固定されていたが、衝突によってロープは切断され各ドラムは飛散した。またドラム内に入れられた水袋もドラム外に飛び出し、数メートルから数十メートルにわたって散乱した。

4) 車両の損傷状況

車両は前面が凹状に変形した。緩衝体との衝突によりジャンプし横転した車両もあったが、ほとんどのケースで牽引可能であった。

表-4 クッションドラムの個数と緩衝効果に関する実験結果

ケース No	ドラムの配置	衝突条件		最大加速度 (g)				車両前部 最大変形 量 (mm)	バリアー後 端からの 最大進入 行程 (m)	バリアー 損傷状況	衝突後の 車両の挙動	備 考	凡 例
		車両重量 (ton)	衝突速度 (km/h)	X	Y	Z	合成						
21		1.63	40.1	11.8	-2.4	13.3	16.7	94	1.9	前面上半分に深さ2~3cmの削り痕。	バリアーに乗り上げ右に横転し、横倒しの状態で停止。		水ドラム ○：水袋のみ ⊗：満水 ○：嵩上げ
22		1.54	40.3	5.1	-3.3	6.3	7.1	78	道路に戻った	損傷なし。	左前輪でドラム、バリアーを踏み越し、地盤右側に停止。	中心より右に45cm偏心して衝突。	
23		1.50	40.3	8.6	-3.3	12.6	15.3	217	2.2	前面に深さ2cm程度の削り痕あるのみ。	バリアーに乗り上げ右に傾いたまま停止。		
24		1.54	40.0	5.3	-1.3	5.2	6.8	155	1.0	前面に深さ2cm程度の削り痕あるのみ。	バリアーに車体前部を乗り上げた状態で横ずれなく停止。		
25		1.52	39.4	5.5	-3.4	4.7	5.6	164	0	前面に深さ2cm程度の削り痕あるのみ。	バリアーに前部乗り上げたが後退して地盤手前に停止。		
26		1.41	51.1	8.1	-4.0	-	-	114	6.2	前面に深さ2cm程度の削り痕あるのみ。	バリアーに乗り上げ右に90°横転し停止。	60m手前で車両解放、38cm右に偏心衝突。	
27		1.55	59.9	19.2	-6.9	18.1	22.7	202	3.6	前面に深さ2cm程度の削り痕あるのみ。	バリアーに車体後部を乗り上げたまま停止。横転せず。		
28		1.44	60.1	14.9	9.1	27.3	30.4	153	3.2	前面に深さ2cm程度の削り痕あるのみ。	バリアーに車体後部を乗り上げたまま停止。横転せず。		
29		1.48	60.0	16.1	-9.6	-26.2	27.7	214	5.1	前面と地盤に削り痕あり。天端後端部一部欠落。	バリアーを乗り越し車体前部を右に出して停止。		
30		1.48	60.0	19.3	11.5	33.9	36.9	220	3.9	前面と地盤に削り痕あり。頂部後端部一部欠落。	バリアーに車体後部を乗り上げ、少し右に傾いたまま停止。		
31		1.44	60.1	14.0	-4.2	17.3	22.5	157	7.2	前面に削り痕、頂部、最上段鉄筋と共に欠損。	バリアーを飛び越し落下、停止。横転せず。		
32		1.48	60.7	18.9	-6.5	23.7	27.0	253	1.2	頂部の一部に小さな欠落あるのみ。	バリアーに乗り上げ左に90°横転し停止。		
33		1.52	60.3	12.0	-6.7	14.7	24.0	242	1.2	頂部の一部に小さな欠落あるのみ。	バリアーに車体前部を乗り上げ、左に傾いたまま停止。		
34		1.42	59.3	-16.5	8.1	14.6	17.2	大破して計測不能	突 破	付け根部分より完全に破断。	バリアー突破後、後方のコンクリート壁に衝突して大破。		

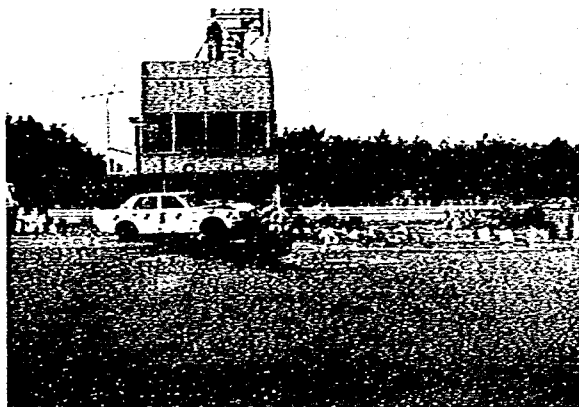
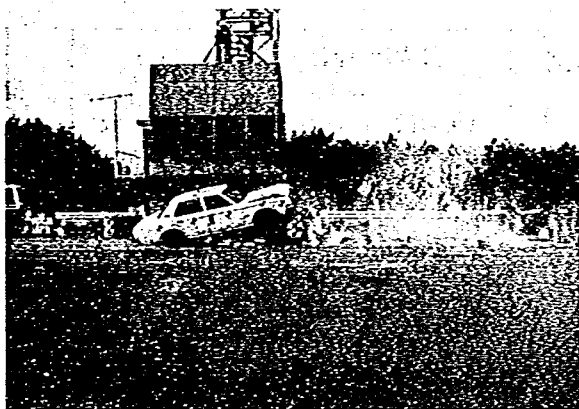
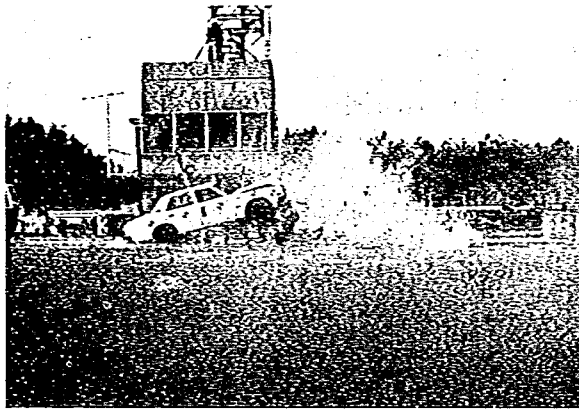
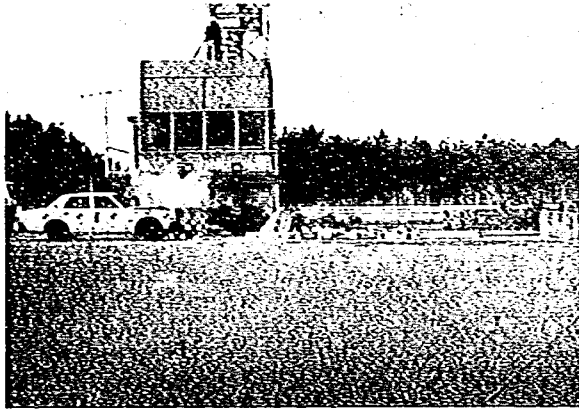


写真-32 クッションドラムへの車両衝突状況

4. 考 察

4.1 乗員に対する加速度の許容限界

4.1.1 加速度による評価の目安

衝突加速度が乗員に与える影響度については、各種の評価方法が考えられているが、わが国で評価基準として与えられているものはない。本研究では、発生加速度の評価の目安として次のものを用い考察する。

① 車両加速度の50msec間の最大平均値¹⁾

次式により車両重心の x , y および x , y の合成波形を求め、その最大値により乗員に対する危険性を判断する(表-5)。

$$\alpha_{50} = \max \left(\int_{t_1}^{t_2} a \, dt \right) / 0.05$$

ここに α_{50} : 加速度波形の50msec間の平均値 (g)

a : 発生加速度 (g)

t_1 : 加速度作用中の任意の時点 (sec)

t_2 : $t_1 + 50 \text{ msec}$ (sec)

表-5 50 msec 最大平均加速度の判断基準

乗員の拘束条件 の 区 分	最大加(減) 速 度 (g)			備 考
	直角方向	進行方向	合 成	
無 拘 束	3	5	6	より望ましい範囲
腰ベルトのみ	5	10	12	
3点式 シートベルト	15	25	25	許容限界値

② 車両加速度による乗員危険度換算値²⁾

x, y 波形を用いて、次式により任意時間間隔で各時点における10msec移動平均値を求め、この移動平均値を積分して乗員の車内における移動速度、移動距離を求める。その結果を用い、移動中に生じた最大加速度と、乗員が車両と衝突すると仮定した距離を移動した時の速度（打撃速度）から乗員への危険度を判断する（表-6）。

$$\alpha_{x,y} = (\int_{t_1}^{t_2} a_{x,y} dt) / 0.01$$

$$V_{x,y} = \int_{t_0}^{t_n} \alpha_{x,y} dt$$

$$D_{x,y} = \int_{t_0}^{t_n} V_{x,y} dt$$

ここに a : 発生加速度 (g)

$\alpha_{x,y}$: 加速度波形の10msecの移動平均値 (g)

$V_{x,y}$: 乗員の移動速度 (m/sec)

$D_{x,y}$: 乗員の移動距離 (m)

t_1 : 加速度作用中の任意の時点 (sec)

t_2 : $t_1 + 10 \text{ msec}$ (sec)

t_0 : 衝突開始時点 (sec)

t_n : 波形処理終了の任意の時点 (sec)

上式により求められた値の許容値は、 $\alpha_{x,y}$ は20g、また $V_{x,y}$ は、x 方向は0.6 m (2.0 ft) 移動した時点で12 m/s (40 fps)、y 方向は0.3 m (1.0 ft) 移動した時点で9 m/s (30 fps) を超えないこととしている。

③ ダミー胸部加速度³⁾

ダミー胸部に発生した加速度が60g を超えるかどうかにより判断する。

表-6 乗員危険度の判断例²⁾

移動時間 (sec)	車両加速度 (g)		乗員速度 (ft/sec)		乗員移動距離 (inches)	
	X	Y	V _x	V _y	D _x	D _y
.000	.0	.0	.0	.0	.0	.0
.005	.3	.6	.1	.1	.0	.0
.010	.6	-.2	.0	.1	.0	.0
.015	.1	.1	.1	.1	.0	.0
.020	.2	-.0	.1	.1	-.0	.0
.025	-.5	.0	.0	.1	-.0	.0
.030	-.3	.4	.1	.1	-.0	.0
.035	-1.9	5.1	.4	.9	.0	.1
.040	.0	3.0	.3	1.4	.0	.1
.045	-2.1	3.5	.7	2.0	.1	.2
.050	-3.0	2.3	1.1	2.4	.1	.4
.055	-2.7	4.1	1.5	2.9	.2	.5
.060	2.2	3.2	1.3	3.6	.3	.7
.065	-1.9	5.2	1.6	.4	.4	.9
.070	-1.2	1.5	1.8	.6	.5	1.2
.075	-1.7	1.5	2.1	4.9	.6	1.5
.080	-2.7	3.2	2.5	5.3	.7	1.8
.085	-1.8	3.0	2.7	5.9	.9	2.2
.090	.2	3.2	2.7	6.3	1.0	2.5
.095	-2.2	3.3	3.0	.9	1.2	2.9
.100	.5	.4	3.0	7.6	1.4	3.3
.105	-1.0	.5	3.2	.3	1.6	3.8
.110	-.9	7.0	3.3	9.4	1.8	4.4
.115	-1.6	7.7	3.5	10.6	2.0	5.0
.120	-2.9	6.4	4.0	11.7	2.2	5.6
.125	-1.2	6.0	4.2	12.6	2.5	6.4
.130	-2.1	8.6	4.5	14.0	2.7	7.1
.135	1.0	.6	4.3	14.1	.0	8.0
.140	-1.4	5.5	4.6	15.1	3.2	8.9
.145	-.1	4.7	4.6	15.8	3.5	9.8
.150	.4	3.8	4.6	16.4	3.8	10.8
.155	.1	4.4	4.6	17.0 ←	4.1	11.8 ←
.160	-1.1	5.7	4.8	18.0 打撃速度	4.4	12.8
.165	-1.8	9.7 ←	5.0	19.5	4.7	13.9
.170	-.4	7.8	5.1	20.7	5.0	15.1
.175	-1.5	8.4	5.3	22.2	5.3	16.4
.180	-.7	8.1	5.4	23.4	5.6	17.8
.185	-1.9	5.6	5.7	24.4	5.9	19.2
.190	.5	5.1	5.7	25.2	6.3	20.7
.195	-.2	4.6	5.7	26.0	6.6	22.3
.200	.4	3.3	5.6	26.5	7.0	23.8
.205	-.3	1.4	5.7	26.8	7.3	25.4
.210	-.5	1.1	5.8	27.0	7.7	27.1
.215	.2	.7	5.8	27.1	8.0	28.7
.220	.6	.7	5.7	27.2	8.3	30.3
.225	-1.2	.5	5.8	27.3	8.7	31.9
.230	.5	-.2	5.7	27.3	9.0	33.6
.235	.2	-1.8	5.8	27.0	.4	35.2
.240	-.6	-1.1	5.8	26.9	9.7	36.8
.245	-.4	.6	5.9	26.9	10.1	38.4
.250	-.4	-.5	6.0	26.8	10.4	40.0

- 判断 ① D_y が 1.0 ft のとき V_y < 30fps なら OK.
 ② D_x が 2.0 ft のとき V_x < 40fps なら OK.
 ③ X_{max} or Y_{max} < 20g なら OK.

4.1.2 加速度からみた緩衝施設の効果

各種緩衝施設について、4.1によって計算処理された加速度によりみたものが表-7, 8である。ここでは実験条件として、重量約1.5tonの車両が速度40km/hあるいは60km/hで衝突した場合の緩衝効果をみている。

1) 構造物の前面に緩衝施設を設置した場合(表-7)

緩衝施設を設けない場合(ケース1, 2)では、車両に発生した最大加速度は40gに及ぶが、緩衝施設を設けた場合は減少し、衝突速度40km/hでは緩衝施設を設けない場合より $1/10 \sim 1/2$ の発生加速度になっている。衝突速度60km/hでも緩衝施設を設けると設けない場合の $1/4 \sim 1/3$ 程度に減少しており、緩衝施設の効果がみられる。特に、土のうやタイヤを適度に設置したものの効果が大きいようである。

これを50msecの最大加速度でみると、緩衝施設を設けた場合3点式シートベルトをしていれば許容される限界値25gを超えたものはない。

乗員の打撃速度および加速度の10msec移動平均値については、打撃速度でケース7が許容値を越えており、移動平均値ではケース1, ケース2およびケース18が許容値を超えている。

2) クッションドラムを単独に設置した場合(表-8)

クッションドラムの後部に設置されたバリアーの影響により、鉛直方向の加速度がかなり大きく出ている。そのためクッションドラムのみの緩衝効果をみるため車両進行方向(x方向)の加速度に着目すると、車両に生じた最大加速度は衝突速度が大きく影響していることがわかる。

また、乗員に対する影響として50msecの最大加速度をみると、衝突速度40km/hではシートベルトなしでもほとんど許容値に入っており、衝突速度60km/hでも2点式シートベルトをしていれば許容値に入る加速度となっていることから、衝突速度60km/h程度までであればクッションドラム単独に衝突した場合の乗員に対する影響はそれほど大きくないと考えられる。

表-7 各種緩衝施設の効果

衝突設定 速 度	ケースNo.	緩 衝 施 設	車両重量 (ton)	衝突速度 (km/h)	50 msec 平均最大加速度 (g) ¹⁾			移動平均最大 ²⁾ 加 速 度 (g)	乗員打撃 ³⁾ 速 度 (m/s)	車両跳ね返り 量 (m)
					X	Y	合 成			
40 km/h	1	コンクリート壁	1.49	40.0	▲ 15.3	▲ 5.7	▲ 16.1	×34.3	10.0	0.3
	3	土のう (6列)	1.57	40.2	(2)	—	—	—	—	0
	4	" (3列)	1.52	40.4	3.0	-1.8	3.0	3.0	4.9	0
	9	防 舷 材	1.35	37.7	■ (7)	—	—	—	—	9.8
	10	"	1.36	38.1	■ 5.9	■ 3.0	■ 6.1	—	—	5.0
	11	タイヤ+水入円筒	1.25	37.1	▲ 12.6	▲ -6.9	▲ 12.6	—	—	24.2
	12	タイヤ+水入大袋	1.29	37.1	■ 7.7	1.3	■ 7.8	9.0	8.1	8.6
	13	タイヤ+水入ビニール袋	1.17	36.0	▲ 11.4	1.8	■ 11.6	16.2	10.6	4.2
	14	大型タイヤ+水入円筒	1.34	37.5	■ 7.3	0.4	■ 7.3	8.7	9.2	6.7
	15	発泡コンクリート	1.56	39.1	▲ 10.9	0.7	■ 10.9	16.0	10.8	4.1
	16	波 状 鉄 板	1.46	39.2	■ 9.4	0.6	■ 9.4	14.8	10.0	5.1
	18	ダンボール箱	1.62	39.2	▲ 12.4	-0.5	▲ 12.4	×24.9	—	0.8
	19	クッションドラム	1.36	38.5	■ 8.0	■ 4.5	■ 8.0	3.9	4.6	2.6
60 km/h	2	コンクリート壁	1.43	60.6	▲ 23.1	▲ 13.8	※26.9	×39.7	—	0.1
	5	土のう (6列)	1.34	60.6	▲ (11)	—	—	—	—	0
	6	" (3列)	1.44	60.6	▲ 13.4	-1.3	▲ 13.4	18.5	10.6	0
	7	サンドクッション	1.24	60.6	▲ 13.6	1.9	▲ 13.6	16.1	×12.5	飛び越え
	8	防 舷 材	1.36	27.6	▲ 10.1	■ 3.1	■ 10.1	14.4	8.8	
	17	怪 量 コンクリート	1.40	23.2	■ 5.3	-0.7	5.3	8.0	—	4.0

() は 16 m/m フィルム解析及び他の実験からの推定値

1) ■, ▲, ×は無拘束状態, 腰ベルト状態, 三点固定状態の許容限界値を超えた場合を示す。

2) ×は移動平均最大加速度の許容限界値 (20 g) を超えた場合を示す。

3) ×は乗員打撃速度の許容限界値 (12 m/sec) を超えた場合を示す。

表-8 クッションドラムの緩衝効果

ケース No	ドラム 個 数	衝 突 条 件		50 msec 間の最大平均値 ¹⁾ (g)			発生加速度移動 ²⁾ 平均最大値 (g)	乗員打撃速度 ³⁾ (m/sec)	ダミー加速度最大値 (g)			
		車両重量(ton)	衝突速度(km/h)	X	Y	合成値	×	×	X	Y	Z	合成値
21	2	1.63	40.1	■ 6.6	-0.4	■ 6.6	9.3	6.8	8.9	1.1	7.5	11.7
22	3	1.54	40.3	■ 3.6	-1.6	■ 3.7	4.9	4.7	5.7	1.3	4.5	6.5
23	2	1.50	40.3	■ 5.7	0.7	■ 5.7	9.4	5.1	10.0	-7.9	8.6	14.9
24	3	1.54	40.0	■ 4.3	-0.6	■ 4.4	5.2	4.1	8.0	3.2	9.7	13.0
25	4	1.52	39.4	■ 4.3	-2.9	■ 4.3	2.9	4.1	5.5	1.3	3.5	5.7
26	2	1.41	51.1	■ 5.1	-1.6	■ 5.1	6.3	4.5	5.8	2.3	7.7	9.4
27	2	1.55	59.9	▲ 11.4	■ -3.8	■ 11.6	12.7	9.4	23.2	4.3	4.3	23.4
28	3	1.44	60.1	■ 9.5	■ -3.8	■ 9.5	15.1	6.1	19.0	-3.1	15.2	24.8
29	2	1.48	60.0	■ 9.4	-1.6	■ 9.4	12.1	8.7	24.2	4.8	9.3	24.8
30	3	1.48	60.0	■ 9.5	1.7	■ 9.6	13.9	6.2	27.0	3.1	10.0	27.2
31	4	1.44	60.1	■ 6.9	-2.1	■ 7.0	13.0	5.7	13.8	2.4	7.6	14.0
32	4	1.48	60.7	▲ 11.0	-0.9	■ 11.0	17.8	6.6	16.2	23.6	16.2	26.0
33	6	1.52	60.3	■ 9.8	-2.9	■ 9.8	14.4	6.9	13.6	-5.4	6.8	14.2
34	2	14.2	59.3	■ -5.7	-0.9	■ 5.8	4.1	3.7	5.8	-3.1	10.8	11.6

1) ■, ▲, ×は無拘束状態, 腰ベルト状態, 三点固定状態の許容限界値を超えた場合を示す。

2) ×は移動平均最大加速度の許容限界値 (20g) を超えた場合を示す。

3) ×は乗員打撃速度の許容限界値 (12m/sec) を超えた場合を示す。

4.2 構造物の前面に緩衝施設を設置した場合の効果

表-7をみると本実験でコンクリート面に直接衝突した場合より加速度が大きく出た緩衝施設はなく、乗員に対する影響の面からはいずれの材料も設置による効果があると考えられるが、衝突後車両が後退する恐れがある緩衝材は、後続車との追突など二次災害の可能性があるので使用については注意が必要である。

① 土のうの効果

本実験で用いられた緩衝施設の中で最も加速度が小さく、また車両の後退による二次災害の恐れも少ない点から、有効な緩衝施設といえる。さらに高い衝突速度を設定する必要がある場合は、土のうをそれに応じて増やすことで対処できるものと考えられる。

② 防舷材の効果

緩衝材がほとんど塑性変形しないため衝突エネルギーの吸収は専ら車両の変形に依存しており、衝突速度が高くなった場合、車両が大きく変形したり防舷材の反発力により車両がかなりの距離を押し戻されることが予想される。

③ タイヤの効果

タイヤの緩衝施設は4ケースの衝突実験を行ったが、それぞれ発生加速度が異なっており、本実験からみて、タイヤを大型化することやタイヤ内に入れる材料を工夫することにより、緩衝効果は期待できる。しかし、全体的に車両の跳ね返り量が大きく二次事故が発生する可能性があるため、何らかの対策を立てることが望まれる。

④ 発泡コンクリートの効果

50msecの最大平均加速度で緩衝施設を用いない場合の2/3程度の値となっているが、変形量がまだ不十分であり、衝突による変形量がさらに大きくなるような材料の工夫が必要と考えられる。

⑤ 波状鉄板の効果

発泡コンクリートと同程度の緩衝効果であり、車両の跳ね返り量もほぼ同じ距離となっている。衝突により車両が乗り上げる挙動を示したので、車両の衝突中心が緩衝施設の高さの中心にくるよう工夫すれば、さらに緩衝効果は高まるものと考えられる。

⑥ ダンボール箱の効果

紙製であるため衝突時に圧潰し、緩衝施設を用いない場合に比べ多少発生加速度が小さくなっているが、他の緩衝施設と比較した場合50msecの平均最大加速度、移動平均最大加速度ともに大きく出ており、緩衝効果はあまり期待できない。

⑦ クッションドラムの効果

50msecの平均最大加速度では明らかでないが、他の緩衝施設に比べ移動平均最大加速度、乗員打撃速度は小さなものとなっており、また車両の跳ね返り量も比較的小さいことから、有効な施設と考えられる。衝突速度40km/hでドラム3個はすべて圧潰したので、衝突速度がさらに高くなった場合に本実験の発生加速度と同程度に抑えるためには、個数を増やすなどの対策が必要である。

⑧ 軽量コンクリートの効果

軽量コンクリートは衝突速度が23km/hと低かったため、他の緩衝施設と比較することができないが、衝突速度が低いにも係わらず発生加速度は比較的大きくなっており、さらに高い速度で衝突した場合の緩衝効果を期待することはできない。

⑨ サンドクッションの効果

速度60km/hで衝突させたので乗員打撃速度が基準値を越え、車両がコンクリート壁を飛び越える挙動を示したが、加速度では土のう3列とほぼ同じ値となっているため、衝突速度40km/h程度であれば土のう3列と同様に有効であると考えられる。さらに高い衝突速度に対しては、個数を増やしたり、全体が一体となって働くようにしっかり固定させることにより対処可能であろう。

4.3 クッションドラムを単独に設置した場合

4.3.1 クッションドラムのエネルギー吸収量 (表-12)

コンクリート壁の前面にクッションドラムを設置した場合の緩衝効果について前述したが、クッションドラム単体の緩衝効果を、ドラム個数を変えて実験し、緩衝施設の吸収エネルギーを求めた。

このとき吸収エネルギーの求め方は、撮影された16mmフィルムにより図-15に示すような速度の変化量を求め、

$$E = m (V_0^2 - V_1^2) / 2 \quad (1)$$

ここで、E : 緩衝材の吸収エネルギー

m : 衝突車両の質量

V₀ : 衝突車両の衝突速度

V₁ : 衝突車両の衝突後速度

の式から、緩衝施設の吸収エネルギーを算出した。

衝突条件として衝突速度40Km/hと60Km/hについて実験したが、衝突速度40Km/hと60Km/hでは衝突現象に大きな差がみられ、加速度で比較すると60Km/hでは40Km/hの1.6～1.9倍の加速度が発生している。またドラムのエネルギー吸収量を比較すると、40Km/hに対し60Km/hでは、ドラム2個の場合1.4倍、4個では1.8倍となっており、いずれの場合も60Km/hの方が、エネルギー吸収量が多い。ドラム嵩上げの効果については、ドラムの吸収エネルギーや発生加速度に嵩上げの有無による差はみられず、嵩上げの効果は本実験では不明であった。さらに、ドラム内に水袋6個の他水袋間に更に水を充填しドラムを満水にした効果については、衝突加速度や吸収エネルギーに多少の差がみられ、満水ドラムは通常のドラムに比べ1～1.2倍程度大きくなっているが、明らかな差とはいえない。

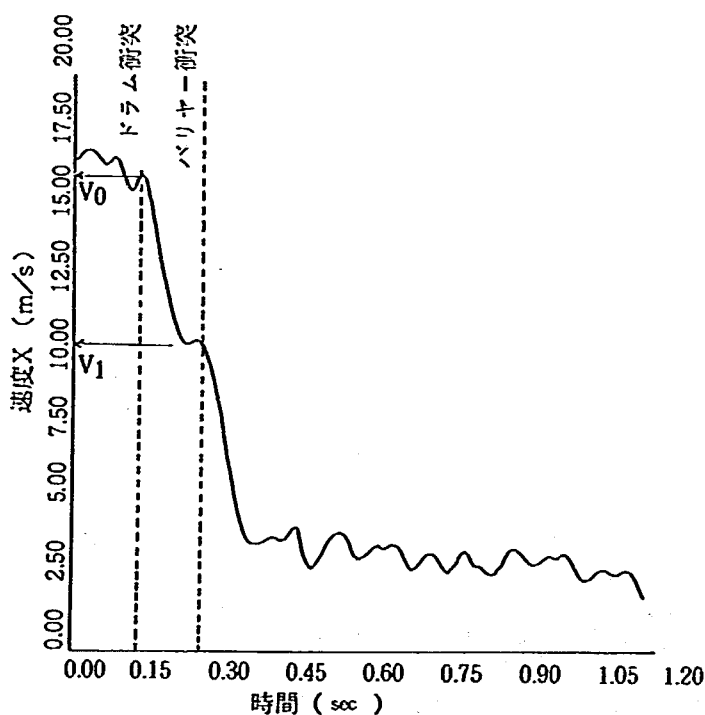


図-15 ドラム衝突時の車両速度の経時変化例

4.3.2 衝突速度と必要ドラム個数の関係

実験結果からみて、ドラムの吸収エネルギーにはドラム個数と速度が影響しているものと考えられる。そこで、衝突速度から必要なドラム個数を求めるため、吸収エネルギーを目的変数としドラム個数と速度を説明変数として表したものが(2)式である。また図示したものが、図-16である。

ただし、ドラムは満水状態とし、偏心衝突した1ケースを除いている。

$$E = 2.26 \cdot N + 0.213 \cdot V - 8.2 \quad r = 0.98 \quad (2)$$

ここで、E : 吸収エネルギー (ton・m)

N : ドラム個数

V : 衝突速度 (km/h)

この式により、ドラムのみで1.5tonの乗用車が停止するのに必要なドラム個数を計算すると、衝突速度40km/hで4個、衝突速度60km/hで8個となる。大型車については、実験では設置個数が少なかったことも影響して、ドラムの緩衝効果はほとんど認められなかった。

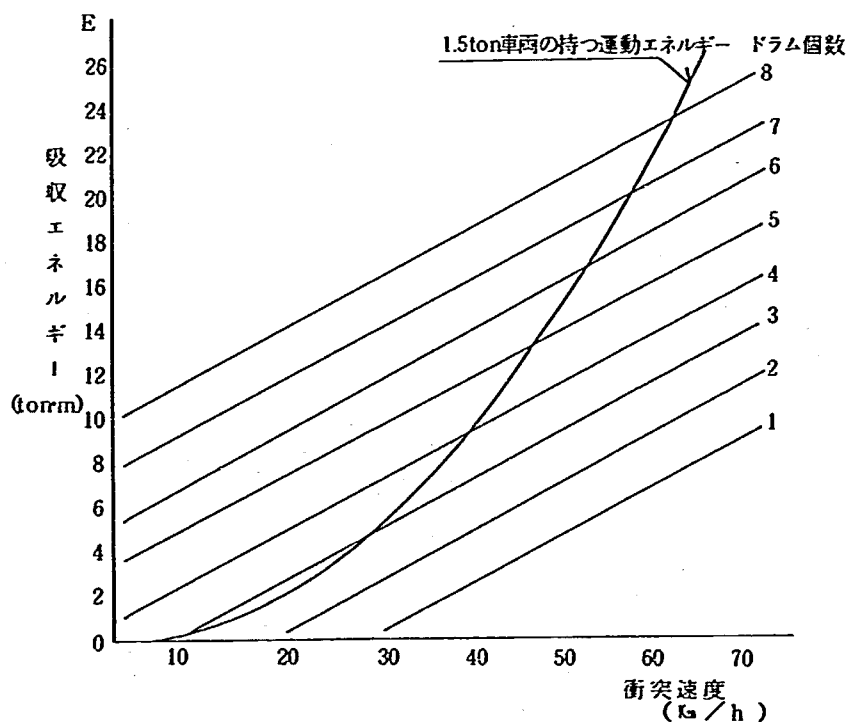


図-16 ドラムの吸収エネルギーと衝突速度、ドラム個数の関係

5. ま と め

本研究により明らかにされたことをまとめると次のとおりである。

- ① 本実験で用いられた9種類の緩衝施設の中で、最も緩衝効果のあるものは土のうである。
- ② 緩衝効果がない施設は、衝突エネルギーや車両強度に比べて、緩衝材の強度が過大であったり過小であったりするためであり、それらに見合った強度を持つ緩衝材料や構造を検討することが必要である。
- ③ クッションドラムの個数と吸収エネルギーの関係について検討し、分流部などでの衝突重量、速度を設定すれば、それに応じたドラム個数が求められる式を明らかにした。
- ④ 本研究で実験された緩衝施設の緩衝効果は、乗用車が速度60km/h程度で衝突する場合までであり、それを越える速度や重量の車両の衝突を想定する場合は、さらに有効な緩衝施設を検討する必要がある。
- ⑤ 緩衝材として緩衝体の内部に水や砂をいれることが多いので、これらの飛散防止や衝突破損に対する迅速な修復など、緩衝施設の維持管理に注意を払う必要がある。

あ　と　が　き

各種緩衝施設の衝突実験により、有効な緩衝施設を明らかにするとともに、クッションドラムについては衝突エネルギーと必要個数の関係を求めることができた。今後は、現在の衝突状況に応じた緩衝施設の個数などについて設置計画を立てることが可能である。このとき考慮しなければならないのは、施設の緩衝効果を考える以前にまず、事故とは全く関係のない第三者を巻き込むような状況を発生させないことである。そこで、衝突後の車両や緩衝材の飛散等を考慮し、二次災害を発生させないような材料、設置位置について十分吟味する必要があると考えられる。

また、高い速度で衝突する場合や大型車の衝突を考えると、緩衝施設もかなり大きなものになると考えられるが、施設を設置するだけの余裕がある分流部は少ないのが実状である。このため、少ない設置スペースでかつ事故被害を小さくできる緩衝施設について、さらに検討が必要と考えられる。

参 考 文 献

- 1) Location, Selection, and Maintenance of Highway Traffic Barriers, National Cooperative Highway Research Program Report 118
- 2) Recommended Procedures for The Safety Performance Evaluation of Highway Appurtenances, National Cooperative Highway Research Program Report 230
- 3) Federal Motor Vehicle Safety Standard № 208, National Highway Traffic Safety Administration, 1986 - 9.

衝突実験施設を用いた緩衝
施設の効果

ISSN 0386-5873

土木研究所資料 第2709号

平成元年2月(1989年)

交通安全研究室 室長 元田良孝

研究員 安藤和彦

研究員 坂本博文

要 旨 道路分流部などで、車両が迷走して道路構造物に衝突した時に、乗員の死傷
や構造物の損傷を軽減させるため、構造物の前に緩衝施設が設置されている場合が多い。
本報告は、当研究所が所有する衝突実験施設を用い、昭和55年より昭和58年までの4か
年にわたり、道路構造物の前面に緩衝施設を設置した場合の効果を実車衝突実験により確
認するとともに、昭全60年、61年の2か年、阪神高速道路公団との共同研究によりクッショ
ンドラムの回数と緩衝効果について実車衝突実験を行ったので、それらの結果について述
べるものである。

キーワード：緩衝施設、分流部、衝突実験

郵便はがき

305-□□

41円切手
をはいて
下さい

建設省土木研究所

交通安全研究室御中

茨城県つくば市大字旭一番地

No. _____

No. _____

配布先氏名

配布先住所





土木研究所資料 第2709号 部

上記のとおり受領いたしました。

所 属 (住所)

氏 名

印

土木研究所資料第2709号

衝突実験施設を用いた緩衝施設の効果

