共同研究報告書
第76号

高速化対応型防護柵の開発に関する共同研究報告書

――狭幅員中央分離帯用剛性防護柵に関する研究――

平成4年6月

建設省土木研究所
道路部交通安全研究室

日本道路公団

Copyright © (1992) 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。

共同研究報告書

第76号　1992年6月

高速化対応型防護柵の開発に関する共同研究報告書
——狭幅員中央分離帯用剛性防護柵に関する研究——

建設省土木研究所

道路部	部長（前）		柴田　正雄＊1
	道路交通総括研究官（前）		神崎　紘郎＊2
	交通安全研究室	室長（前）	河島　正治＊3
		室長	瀬尾　卓也
		研究員	酒井　洋一

日本道路公団

技術部	部長		長谷　義明
	交通技術課	課長	竹本　恒行
		課長代理（前）	高橋　秀喜＊4
		課長代理	阿江　　章
			佐藤　久嘉＊5
			長浜　和実

＊1（現）国土地理院参事官　＊2（現）道路部長　＊3（現）道路局企画課建設専門官

＊4（現）仙台管理局技術部補修第一課長　＊5（現）大阪建設局建設第一部企画調査課長代理

要旨

近年，道路交通の高速化や車両の大型化に伴い，防護柵衝突時の衝撃度も増加しているのが理状である。一方，地形その他の条件により用地が制約され，中央帯の幅員が狭く防護柵の設置空間を十分に確保できないこともある。このような区間においては，コンクリート製防護柵の設置が有効であると考えられる。本報告書は，狭幅員中央分離帯用コンクリート製防護柵の形状や安全性について検討した結果について述べたものである。

キーワード：防護柵，中央分離帯，衝突実験，コンクリート，プレキャスト・コンクリート

高速化対応型防護柵の開発に関する共同研究報告書
－－狭幅員中央分離帯用剛性防護柵に関する研究－－

まえがき

近年、車両性能の向上による高速化や車両の大型化が進み、道路構造や安全施設もそれに対応していくことが望まれている。安全施設の中でも特に防護柵は強度的に高速化大型化の影響を受けることから改良や新形式のものを開発していくことが必要となる。一方、道路構造からみると現状で安全施設の設置スペースを拡大することは困難である。したがって、限られた幅員の中で高強度化を図ることが必要である。特に中央分離帯については非常に狭い空間で突破防止を図らなければならない。また、交通量が多い路線については損傷に対するメンテナンスの時間等を低減させることが必要である。このような状況下においてはコンクリート製の防護柵の設置が有効であると考えられる。そこで、狭幅員中央分離帯用コンクリート製防護柵の安全性や構造上の問題点を明らかにし、その適用方法等についての検討を行った結果について報告するものである。

平成４年６月

交通安全研究室長

瀬尾　卓也

高速化対応型防護柵の開発に関する共同研究報告書　目　次

－－狭幅員中央分離帯用剛性防護柵に関する研究－－

まえがき

第１章　研究概要…… 1
１．１．研究目的および背景…… 1
１．２．研究方法…… 2

第２章　構造検討…… 3
２．１．中央分離帯の状況…… 3
２．２．狭幅員中央分離帯用剛性防護柵の構造検討…… 4
２．２．１．前面形状…… 4
２．２．２．設計荷重…… 7

第３章　実車衝突実験…… 9
３．１．実験条件…… 9
３．２．実験施設…… 10
３．３．供試体…… 11
３．３．１．車両…… 11
３．３．２．防護柵…… 12
３．４．測定項目および内容…… 29
３．４．１．測定項目…… 29
３．４．２．測定方法…… 30
３．５．実験結果および考察…… 46
３．５．１．在来工法…… 46
３．５．２．プレキャスト…… 80
３．６．実用化へ向けての検討…… 109
３．６．１．防護柵の設計強度…… 109
３．６．２．実用型防護柵の形状…… 109
３．６．３．設置方法…… 110
３．６．４．設置場所…… 111

第４章　まとめ…… 113

あとがき…… 115

参考文献…… 117

付　　録

付録．1　供試体の図面
付録．2　狭幅員用剛性剛性防護柵の設置の考え方

第1章　研究概要

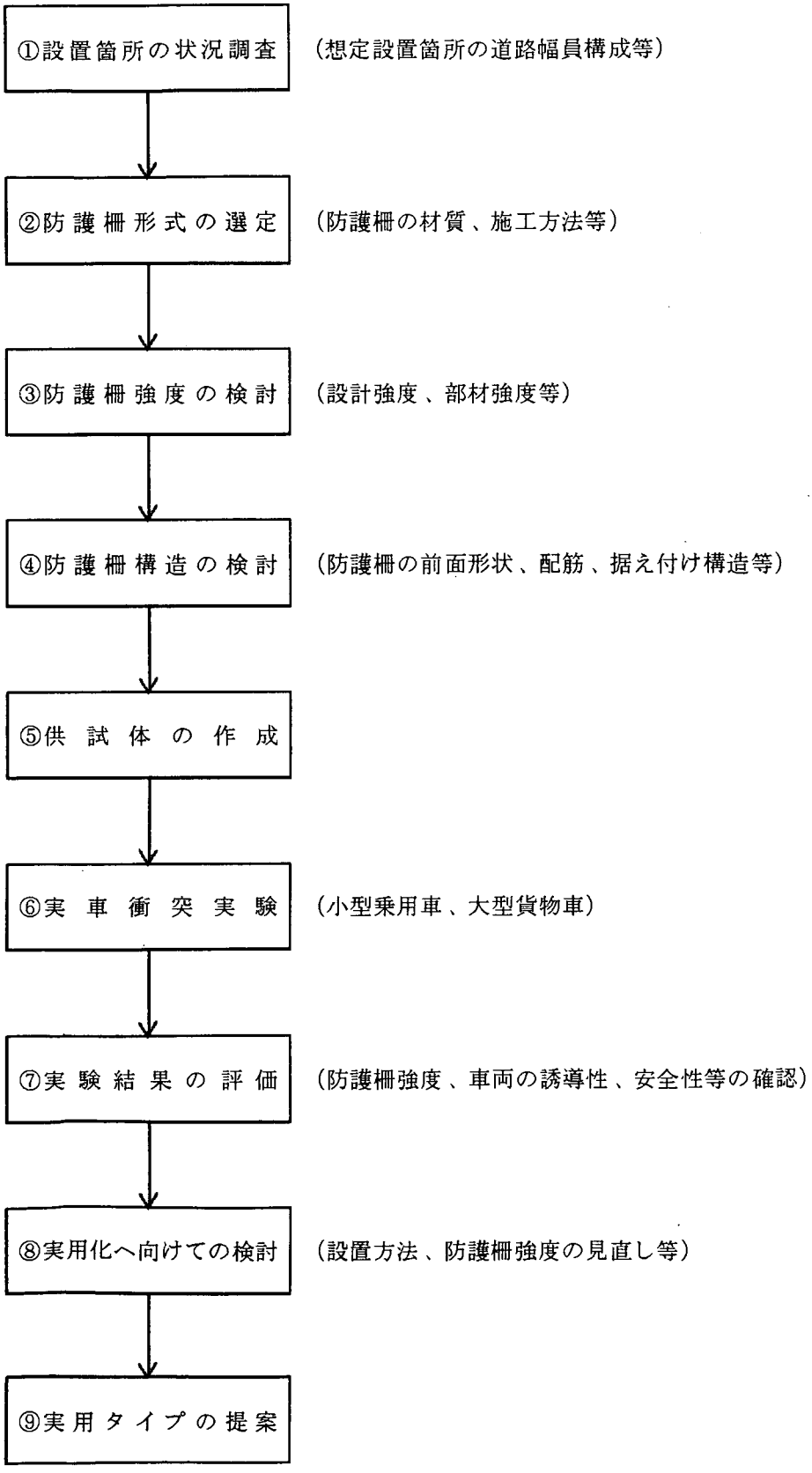
１．１．研究目的および背景

中央分離帯に設置する防護柵は突破防止能力の高いことが望まれるが、近年、大都市近郊や山地部の高規格道路においては、様々な制約から道路用地を十分に確保できないことや構造物区間が連続することなどから、中央分離帯等の幅員が十分に取れない場合がある。一方、防護柵衝突事故が発生した場合においても特に幅員の狭い中央分離帯では改修工事のためのスペースも十分に取れないことがある。したがって、メンテナンスの頻度が低いことが望ましい。このような区間に設置される防護柵の形式としてコンクリート製防護柵がある。

しかし、コンクリート製防護柵は衝撃吸収を全て車両側に依存するため、特殊な区間にのみ設置している。また、これまでの研究においても数多くのコンクリート製防護柵が開発され提案されてきているが、高速化および大型化に対しての安全性については未だ確認されていないのが現状である。そこで、本研究では、用地の制約等の特別の理由により中央分離帯が狭く通常の鋼製防護柵が設置できない箇所や交通量が非常に多く管理頻度を低く抑える必要性の高い箇所に設置するためのコンクリート製防護柵を開発することを目的として、各種検討および実車衝突実験を行ったものである。

１．２．研究方法

研究は以下に示す手順で行った。



第2章　構造検討

２．１．中央分離帯の状況

一般に、中央帯の幅員は広いほど望ましいと考えられ、車両が車線を逸脱して中央帯に進入した場合に幅員が広ければ、車線へ復帰する可能性が高く事故の軽減を図れることや、維持作業用スペースが確保できること等が考えられる。一方、中央分離帯に防護柵等の路上施設を設ける場合には、路上施設帯（上下線の建築限界線に挟まれたスペース）の幅に収めるとともに、視距確保のための側方余裕幅がなければならない。（図－２．１参照）

しかし、今後建設が進む高速道路は、山間部を通過する横断道路が増え、平面縦断線形が厳しくなり、十分な中央分離帯が取れない区間が多くなる。また、都市圏の高速道路においても沿道の土地利用状況などにより狭い中央分離帯しか確保できない区間が多くなるものと考えられる。これらの高速道路の代表的な幅員構成を図－２．２に示した。

このような区間における中央分離帯では、防護柵等を設けるスペースは１ｍ程度しか確保できず、本研究でコンクリート製防護柵の幅を決めるにあたっては留意する必要がある。

２．２．狭幅員中央分離帯用剛性防護柵の構造検討

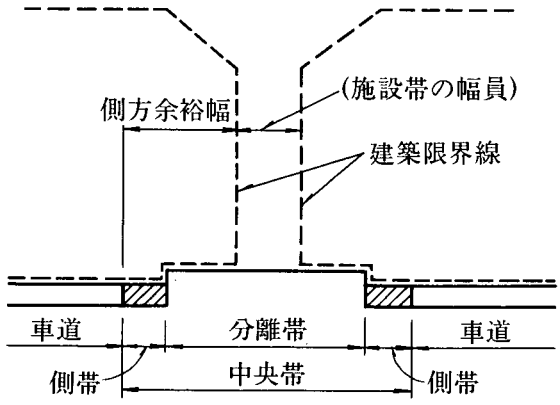
２．２．１．前面形状

コンクリート製鋼製防護柵の特徴は、ガードレールなどの弾性防護柵と比べ、突破防止能力が高いという利点がある反面、衝突エネルギーの緩衝効果が小さいという欠点がある。そのため、防護柵としての緩衝効果を高めて車両や乗員に与える衝撃力を減少させる方法として、コンクリート壁の前面形状に工夫を加えることが考えられる。

このような特徴を有するコンクリート製剛性防護柵の形状で、諸外国において最も多く使用されているものはニュージャージー（ＮＪ）型（図－２．３（b））である。この形状は、アメリカにおいて1960年代から開発が行われ、現在では州際道路など約１万km以上の使用実績がある。また、欧州の主要各国においてもコンクリート製防護柵が普及し始めているが、その前面形状はアメリカのＮＪ型が基本となっている。

しかし、アメリカにおいてもコンクリート製防護柵の形状、特に小型車の転倒が問題となっており、最近の研究では、「小型乗用車をより良好に誘導し、転倒を防止する前面形状はどのような形状であるのか」などをシミュレーション等で検討している。たとえば、「ROADSIDE DESIGN GUIDE(AASHTO 1989)」では、小型車両の転倒防止に対して、より良好な誘導機能を持つＮＪ型を改良したフロリダ（Ｆ）型（図－２．３（c））を紹介している。また、防護柵の高さについても検討しており、最近では大型トレーラーを用いた衝突実験を高さ42インチ（約 105cm）の防護柵に対して行っている。（図－２．４）

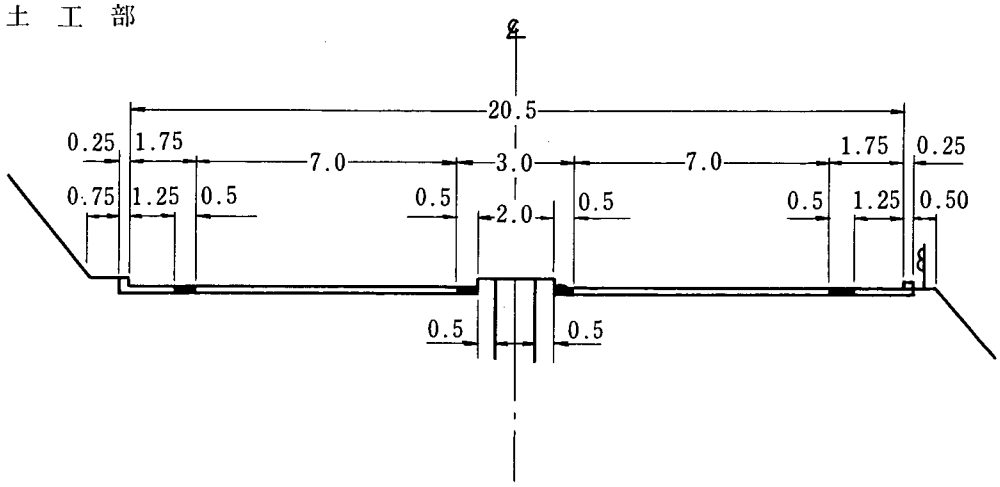
以上のことを参考にして、今回の衝突実験に用いる供試体形状は、乗用車の転倒防止、大型貨物車の突破防止に対してより効果的なＦ型を採用することとし、図－２．５に今回の実験で採用した形状を示した。なお、プレキャスト・コンクリート製のものについては、飛び上がり防止およびプレキャスト工法のため複雑な形状が製作可能などの理由（詳細は後述）から上部突起をつけたもので行った。



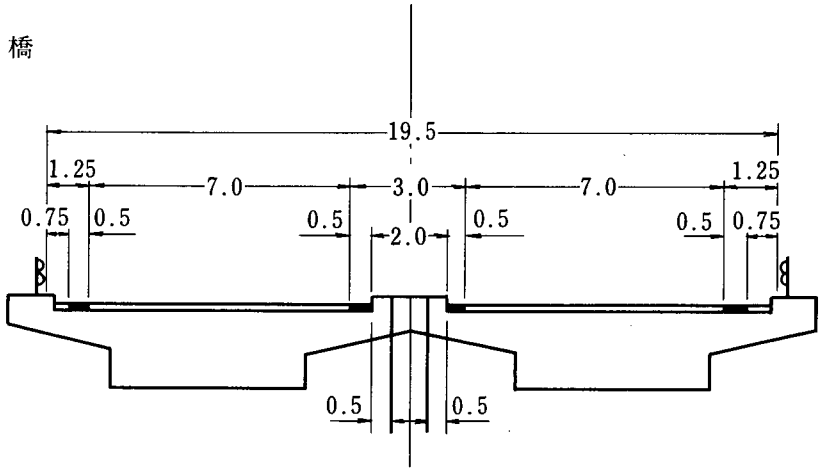
図－２．１　中央分離帯における側方余裕幅と施設帯幅員の関係

単一断面（4車線）

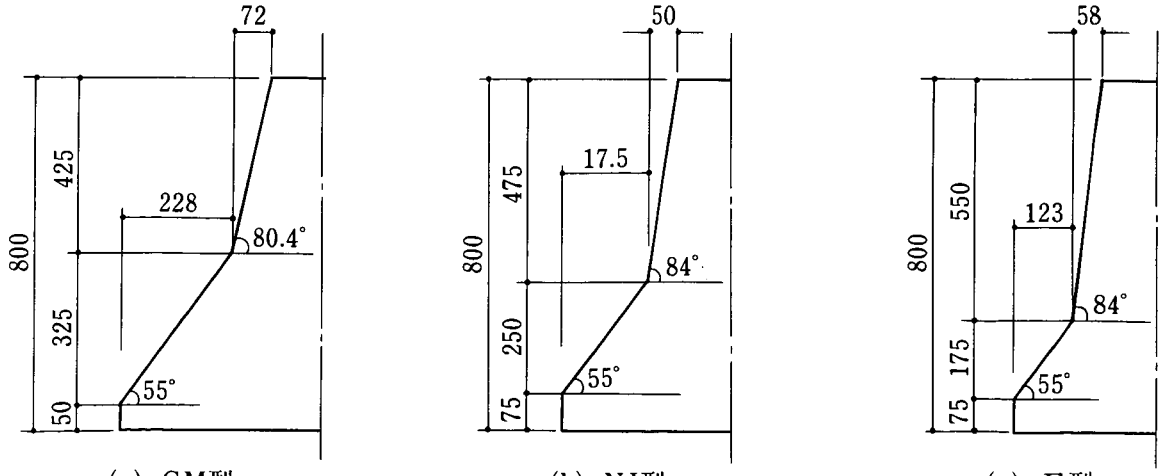
土　工　部



長　大　橋

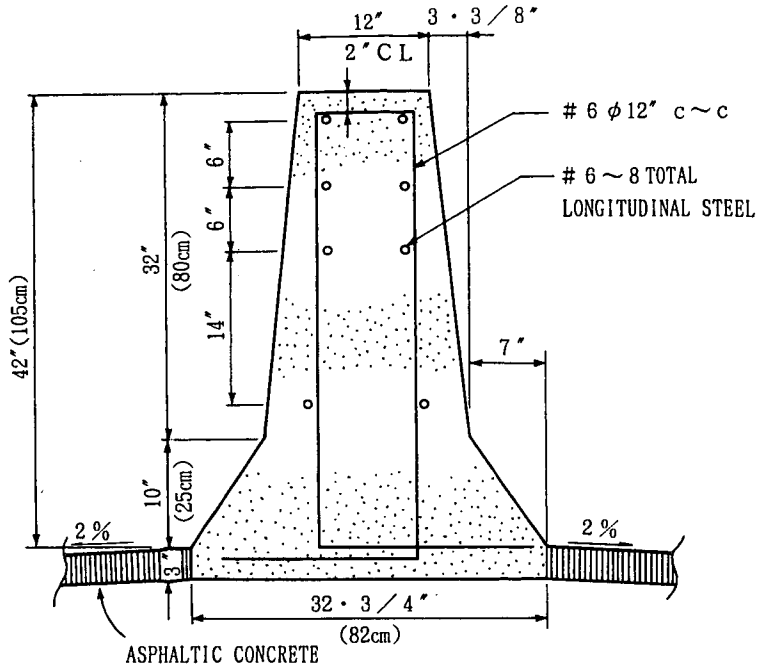


図－２．２　１種３級Ｂ規格の高速道路の幅員構成

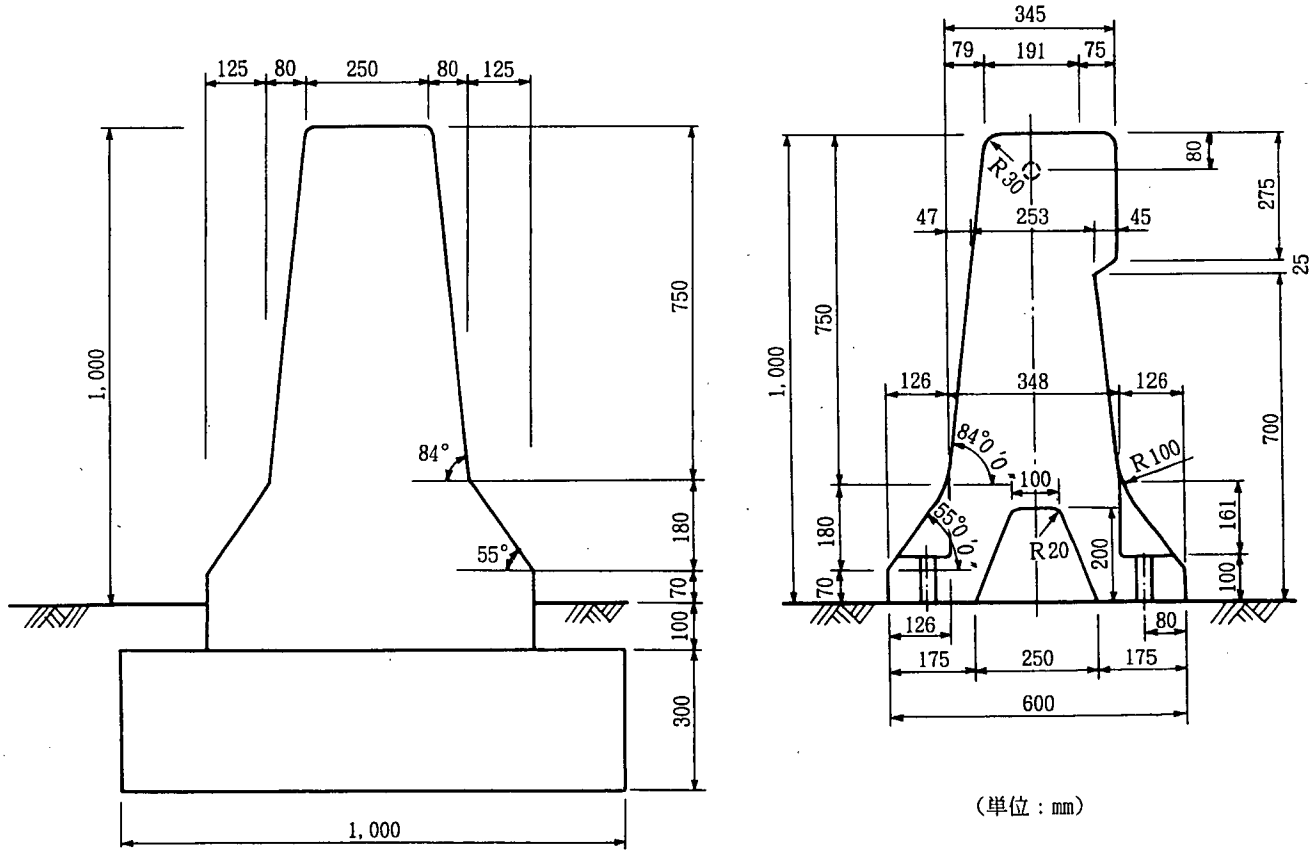


(単位:mm)

図－２．３　各種コンクリート製防護柵の前面形状



図－２．４　42inchバリヤーの形状



（ａ）在来工法　　（ｂ）プレキャスト製

図－２．５　本研究における供試体の形状

２．２．２．設計荷重

高速道路等の高架橋梁区間の壁式高欄等に使用している壁型剛性防護柵の設計荷重は、「防護柵設置要綱」をもとに、壁の上端に２ｔ／ｍの水平力を見込むこととしている。なお、この荷重はＳ種相当を想定しているものである。

本研究では、車両の高速化、大型化を考慮し、Ｓ種を超える衝撃度に対して有効な防護柵について検討することを目的としている。そこで、現行の剛性防護柵と本研究におけるの設計強度と衝撃度の関係について整理すると次のようになる。

実験によると、設計荷重2t/mの現行壁式高欄は衝撃度23.6t･m（①14ｔ、80km/h、15度）に耐えた。また、別の実験によると設計荷重5t/mのコンクリート壁式防護柵は衝撃度92.1t･m（②20ｔ、100km/h、20度）に耐えた。本研究で対象とする衝撃度は58.9t･m（③20ｔ、80km/h、20度）である。

過去の衝突実験において①および②でコンクリート壁は破壊されることなく十分な強度を有していたことから、供試体の設計荷重を②と③の衝撃度の比（約0.6）から3t/mと算出した。なお、設計荷重の適性度については衝突実験の結果から判断することとし、これ以上低減しないことにした。

以上のことから、本研究の供試体の設計荷重を「供試体上端に 3t/mの水平力」として断面の大きさや配筋等の構造を検討した。

第3章　実車衝突実験

３．１．実験条件

Ｆ型といわれる形状を基本としたコンクリート製防護柵に対して８回の衝突実験を行った。実験の種類と条件を表－３．１に示し、その目的を以下に示す。

①　実験Ａ－１，Ａ－２

狭幅員の中央分離帯に設置するためのＦ型コンクリート製防護柵に対して、所定の速度（想定設置箇所の設計速度：80km/h）で衝突させた場合の車両の誘導性や防護柵の強度および車両・乗員に与える影響を把握することを目的として行った実験である。供試体には、在来工法の鉄筋コンクリート構造のものを使用した（施工はスリップフォーム式で行った）。

②　実験Ａ－３，Ａ－４［参考実験］

実験Ａ－１，Ａ－２に比べて衝突速度を高くした場合の防護柵強度や車両・乗員に与える影響等を把握し、防護柵の機能や耐力の限界値を推察するための参考実験である。

③　実験Ｂ－１，Ｂ－２

プレキャスト・コンクリート製防護柵（形状はＦ型で上部に飛び上がり防止用の突起をつけたもの）に対して、実験Ａ－１，Ａ－２と同様の衝突条件において、車両の誘導性や防護柵の強度および車両・乗員に与える影響を把握し、在来工法と同等の機能や強度を有しているかについて確認することを目的として行った実験である。なお、供試体はベースにアンカーボルトで固定した構造である。

④　実験Ｂ－３，Ｂ－４［参考実験］

プレキャスト・コンクリート製防護柵は固定式だけでなく、ベース上に据え置く構造が考えられる。据置式とした場合には施工が簡易になる他、衝突時の衝撃を緩和できる可能性があることから、車両の誘導性や衝撃吸収効果について把握することを目的として行った参考実験である。

表－３．１　実験条件

実験番号	衝突車両 車種	衝突車両 重量 t	衝突速度 km/h	衝突角度 度	衝撃度 t・m	供試体用防護柵 材質	供試体用防護柵 形状	供試体用防護柵 設置方法	実験順序 日付
Ａ－１	小型乗用車	1.1	80	20	3.2	コンクリート	Ｆ型	在来工法（鉄筋組立後にコンクリート打設、上部構造打設時はスリップフォーム工法）	1 5/9
Ａ－２	大型貨物車	20.0	80	20	58.9				3 5/23
Ａ－３	小型乗用車	1.1	120	20	7.3				2 5/16
Ａ－４	大型貨物車	20.0	100	20	92.1				4 5/30
Ｂ－１	小型乗用車	1.1	80	20	3.2	プレキャスト・コンクリート	Ｆ型上部突起付	アンカーボルト固定式	7 7/18
Ｂ－２	大型貨物車	20.0	80	20	58.9				8 7/25
Ｂ－３	小型乗用車	1.1	80	20	3.2			据置式	5 7/4
Ｂ－４	大型貨物車	20.0	80	20	58.9				6 7/11

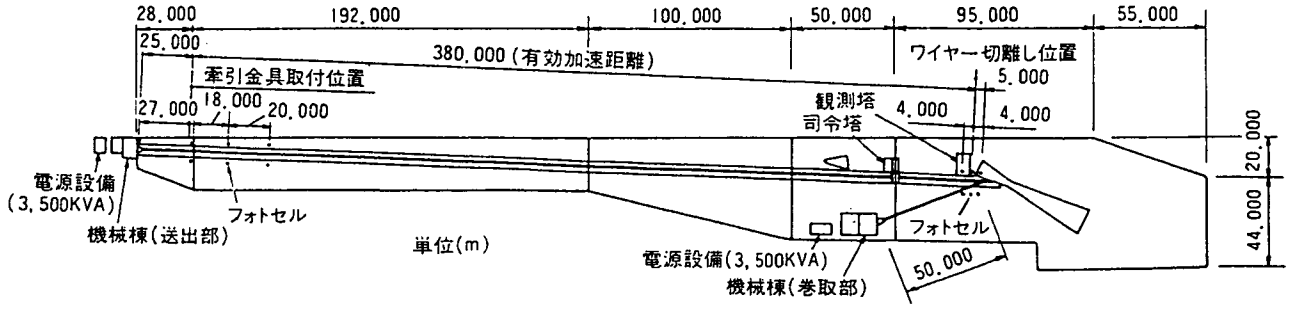
注）Ａ－１～４までの実験順序は供試体の損傷の少ない、衝撃度の小さい順とした。
Ｂ－１～４ではアンカーボルトの取付を考慮して、据置式を先に行った。

３．２．実験施設

実験は建設省土木研究所内の衝突実験施設において行った。この実験施設を図－３．１に示す。

衝突車はドーリー（牽引接続金具）を介してワイヤーに接続されており、巻き取りウインチによりガイドレールに沿って牽引加速される。所定の速度に達した後は等速牽引され衝突直前にドーリから切り離され、供試体に衝突するようになっている。

なお、この施設の最大牽引能力は乗用車で140km/h、大型車（20ｔ）で100km/hであり、設定された速度は速度制御装置により、±0.1km/hの精度で制御されている。



図－３．１　衝突実験施設

３．３．供試体

３．３．１．車　両

実験車両の諸元を表－３．２に示す。大型貨物車は３軸の総重量20ｔ車（自重約10ｔ）で、小型乗用車は排気量1500cc程度とした。また、これらの車両は自力走行が可能であり、タイヤのトレッドも２～３分程度を有しているもので、通常の道路走行に耐えうるものを使用した。

表－３．２　実験車両の諸元

（単位：mm）

実験番号		Ａ－１	Ａ－２	Ａ－３	Ａ－４	Ｂ－１	Ｂ－２	Ｂ－３	Ｂ－４
車種		小型乗用車	大型貨物車	小型乗用車	大型貨物車	小型乗用車	大型貨物車	小型乗用車	大型貨物車
型式		E-PB310	SSM710	E-HB11	CD-51V	E-KE55	K-FU315u	E-A174A	KF797
車名		ニッサン サニー	イスズ	ニッサン ローレル	ニッサンＤ	トヨタ カローラ	三菱ふそう	三菱 ランサーEX	日野
全長		4,071	11,940	4,010	11,645	4,090	11,890	4,270	11,885
全幅		1,600	2,410	1,605	2,460	1,580	2,285	1,624	2,430
全高		1,348	2,730	1,358	2,540	1,347	2,658	1,345	2,630
前輪-重心距離		1,063	4,650	1,095	4,700	1,050	4,710	1,096	4,700
重心高さ			1,340		1,330				
軸距		2,338	5,830 ＋ 1,300	2,400	5,950 ＋ 1,300	2,377	5,850 ＋ 1,270	2,442	5,764 ＋ 1,320
輪距	前輪	1,350	2,010	1,390	2,005	1,330	1,965	1,330	2,005
	後輪	〃	1,760	〃	1,870	〃	1,870	〃	1,881
オーバーハング		757	1,500	730	1,245	763	1,330	728	1,360
タイヤ幅		160	270	160	280	155	270	165	260
タイヤ外径		570	1,030	570	1,020	582	1,020	560	1,010
ホイール径		330	508	330	508	340	508	330	508
衝突時重量（kg）	前輪	600	5,188	598	5,270	614	5,056	606	4,859
	後輪	500	14,812	502	14,730	486	14,944	494	15,141
	合計	1,100	20,000	1,100	20,000	1,100	20,000	1,100	20,000

注）オーバーハングは、車両の前面から前軸までの寸法を示す。

３．３．２．防護柵

１）在来工法によるもの（Ａ－１～４）

（１）供試体の形状と構造

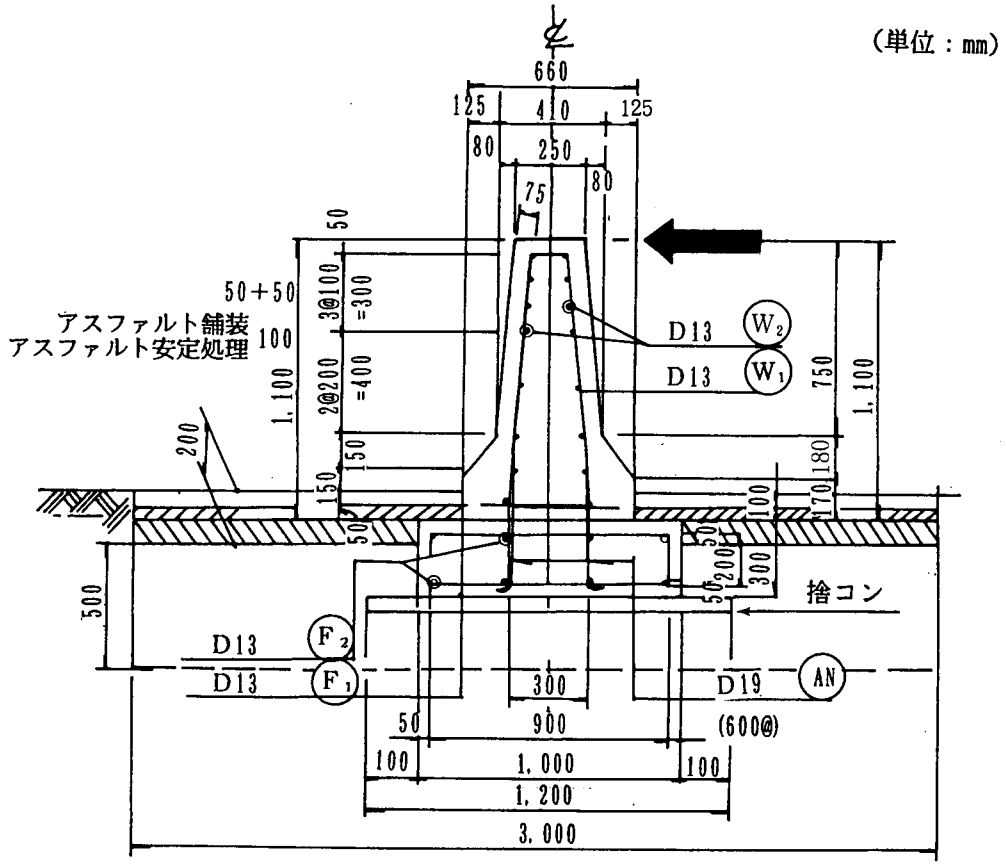
①　型　状

壁面形状はニュージャージ型より車両の衝突挙動が安定（海外の文献）しているとされているＦ型に準拠した。

②　構　造

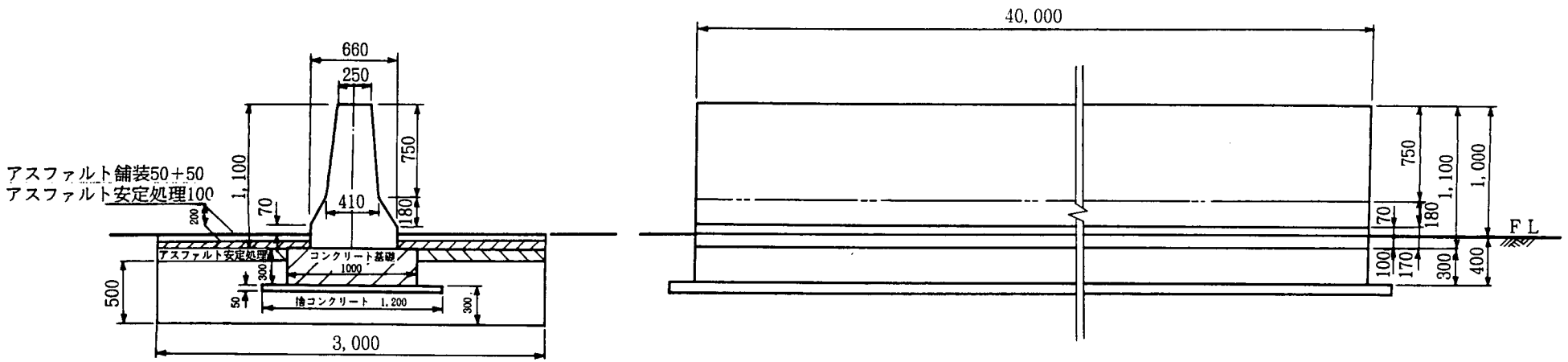
断面の大きさ、配筋および設置長さ等は「２．２．２．設計荷重」の項で述べたとおり、既往のコンクリート製防護柵の実験結果から当衝突条件における設計荷重（躯体部：３ｔ／ｍ）を推定し、定めたものである。

供試体の構造図を図－３．２に、断面形状を図－３．３に示す。なお、構造配筋図については資料編に示した。



図－３．２　供試体の断面形状（在来工法：実験Ａ）

（単位：mm）



図－３．３　供試体の構造図（在来工法：実験Ａ）

（２）製作方法

①　施　工

躯体部についてはコンクリートを連続して打設して行く「スリップフォーム工法」（機械名：コマンダーⅢ）とした。

フーチング部については埋設ゲージに支障をきたすと想定されたので「従来工法」とした。

②　コンクリートの設計強度と示方配合

a）　設計強度

躯体部のスリップフォーム工法では打設直後に壁の自立を確保させるため、早強セメントを使用し、強度は320～360kg／cm^{2}とし、保障材令を２週間とした。

フーチング部では普通ポルトランドセメントを使用し、強度は 240kg／cm^{2}とし、保障材令を４週間とした。養生方法は打設後１週間湿布養生を行い、その後は大気中放置とした。

b）　示方配合（設計配合）

躯体部については、コンクリート打設直後自立させるためには配筋の有無、配合材、水セメント比等により微妙に影響を受けるので、基本配合をもとに、現地で較正配合（キャリブレーション）を数回行い決定した。フーチング部と併せて表－３．３に示す。

c）　収縮目地

コンクリート打設１日後、コンクリート硬化によるひびわれを防止するため、供試体の両端から10ｍづつ２箇所（車両衝突付近は避けた）の周囲にハンドカッターで深さ50mm（２inch）、巾３mmの切欠きを入れた。

表－３．３　コンクリートの配合表（実験Ａ：在来工法）

打設部位			躯体部	フーチング部
設計強度		kg／cm^2	320～360	240
粗骨材最大寸法		mm	20	20
スランプ		cm	3	8±2.5
空気量		%	6	4±1
水セメント比（W／C）			38.6	58.3
単位粗骨材容積			0.68	
細骨材率		%		44.8
単位量 kg／m^3	水		135	157
	セメント		350	271
	細骨材		795	831
	粗骨材		1,088	1,069
	混和材料（ポゾリスNo.70）		0.875	2.87
	混和材料（ポゾリスNo.775S）		0.0875	
セメント			早強ﾎﾟﾙﾄﾗﾝﾄﾞ	普通ﾎﾟﾙﾄﾗﾝﾄﾞ

（３）材料試験

①　コンクリート

ａ）　フレッシュコンクリート

フレッシュコンクリートについては、フーチングおよび躯体打設時の第一回目のバッチについて、それぞれ現場でスランプ、空気量および単位容積重量に関する試験および温度測定等をＪＩＳに準じて実施したが、これらの測定結果を表－３．４に示す。

ｂ）　硬化コンクリート

硬化コンクリートについては、現場養生および標準養生供試体について、所定の材令時に圧縮試験、引張強度試験等を行った。これらのコンクリート品質管理試験結果を表－３．５に示す。

②　鉄筋，アンカー筋

事前に、鉄筋およびアンカー筋の試験片にひずみゲージを貼付け、引張試験を行い機械的性質を求めた。引張試験結果を表－３．６に示す。なお材質はSD30であり、配筋中のひずみゲージ貼付方法は試験片の貼付方法と全く同じくした。

表－３．４　フレッシュコンクリートの各測定結果（実験Ａ：在来工法）

打設部位	躯体部	フーチング部
スランプ cm	3.5	8.0
空気量 %	6.5	4.3
コンクリート温度 ℃	23	20
外気温 ℃	24	21
単位容積重量 g／ℓ	2,208	2,210

表－３．５　コンクリートの品質管理試験結果（実験Ａ：在来工法）

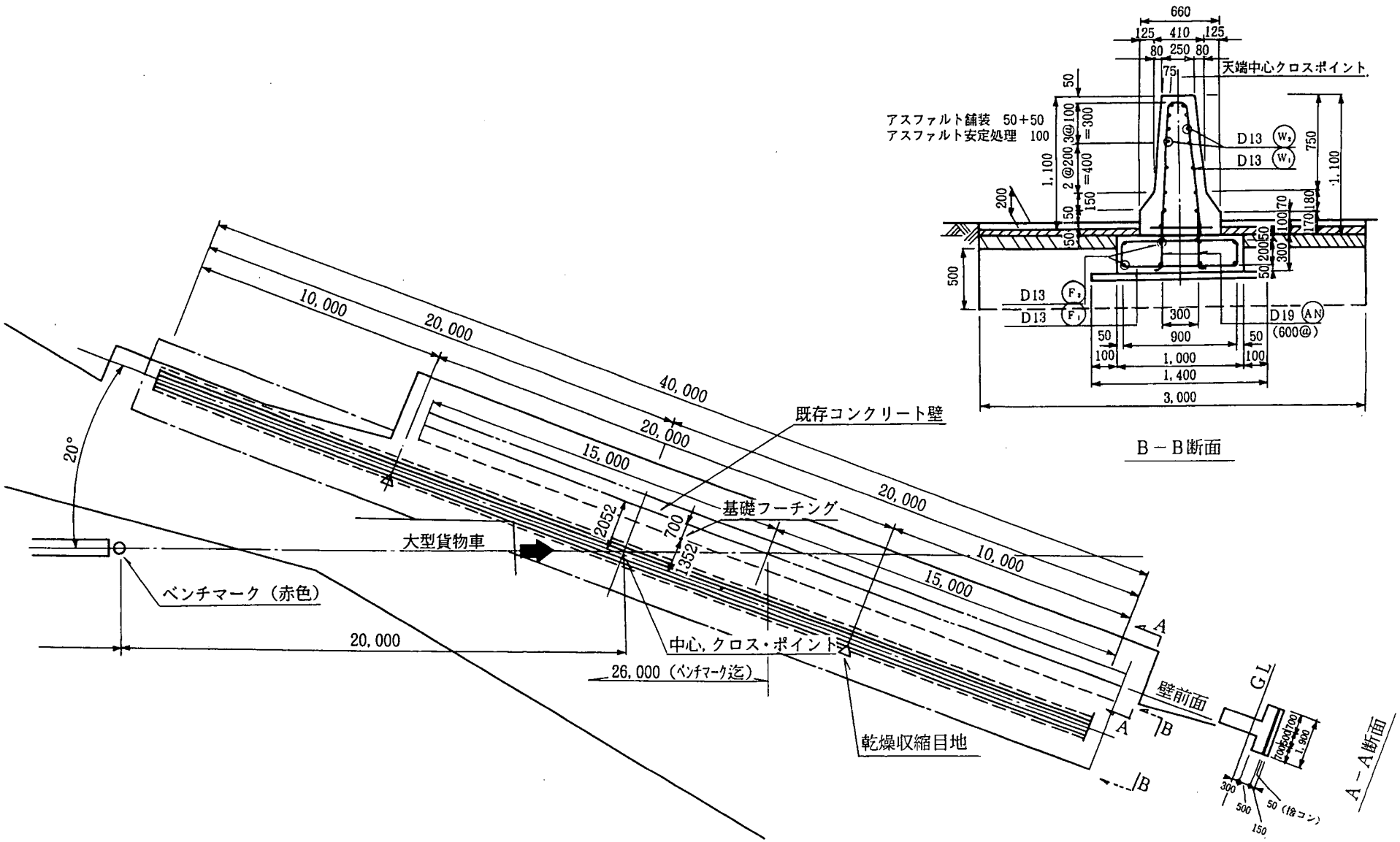
打設部位	試験時材令 日		標準養生 圧縮強度 kg／cm² 計測	平均	標準養生 引張強度 kg／cm² 計測	平均	現場養生 圧縮強度 kg／cm² 計測	平均	現場養生 弾性係数 ×10⁵kg/cm² 計測	平均	現場養生 引張強度 kg／cm² 計測	平均	
躯体部	規定日	7	280	270			261	280					
			260				299						
		14	296		22.4		304						
			311	311	24.1	23.3	289	297					
			296										
		28	324		23.1		311						
			331	328	25.7	24.4	308	310					
	実験日	17					331		2.26		27.8		実験Ａ－１ 5/ 9
							345	338	2.35	2.31	26.5	27.2	
		31					355		2.42		28.1		実験Ａ－３ 5/23
							350	349	2.50	2.46	28.5	28.1	
							342		2.45		27.7		
フーチング部	規定日	14					227						
							224	226					
		28	259										
			265	264									
			268										
	実験日	27					281		2.10				実験Ａ－１ 5/ 9
							274	278	1.97	2.04			
		41					273		2.26				実験Ａ－３ 5/23
							285	284	2.10	2.21			
							294		2.28				

表－３．６　鉄筋の引張試験結果（実験Ａ：在来工法）

鉄筋径 mm	公称断面積 mm²	降伏点 σ_y kg／cm² 計測値	平均値	引張強さ σ kg／cm² 計測値	平均値	弾性係数Es ×10⁶kg／cm² 計測値	平均値	使用箇所
D13	1,267	3,160		4,554				躯体部：横方向筋
		3,100	3,157	4,625	4,620	1.81	1.85	縦方向筋
		3,210		4,680		1.88		ﾌｰﾁﾝｸﾞ：主筋
D19	2,865	4,013		6,045				アンカー筋
		4,223	4,160	5,766	5,875	1.86	1.87	
		4,224		5,815		1.88		
ＪＩＳ規格値		3,000以上		4,500～6,100未				

（４）供試体の配置

長手方向については、これまでの実験の経験から、車両加速路延長線が供試体の中心（クロスポイント）なるように、同直角方向については、観測塔（カメラを上方より撮影する）からの離れ、施工機械（コマンダーⅢ）の仕様等を勘案し、既設コンクリート壁面から供試体中心までの距離を2.0mとした。図－３．４に供試体の配置図を示す。



図－３．４　供試体の配置図（在来工法：実験Ａ）

2）プレキャスト

（1）供試体の形状と構造

① 型状

供試体の壁面形状は“F”型に準拠し、衝突車両の跳び上りを抑えるために、上部突起付とした。（図－3．5、6）

なお、断面の大きさ、配筋、基礎部への定着構造、設置長等は過去のコンクリート製防護柵の実験結果を参考にして定めている。

② 据置式の構造

基本的には躯体部を基礎部上におき、移動によって衝撃力を緩和するものである。個々の躯体部間の連結は躯体部両端の凹凸面で組合せ、躯体部上部については、ＰＣ鋼棒、下部については連結ボルトを介して連結プレートで一体化させた構造である。（図－3．5）

衝撃力と移動量の関係は、躯体部の設置長や基礎部との摩擦係数等によるが、これらの相関を定量的に把握するのは極めて困難である。そこで、設置長さについては実験施設および過去の実験例から、躯体部底面摩擦係数については、文献等より推察した。

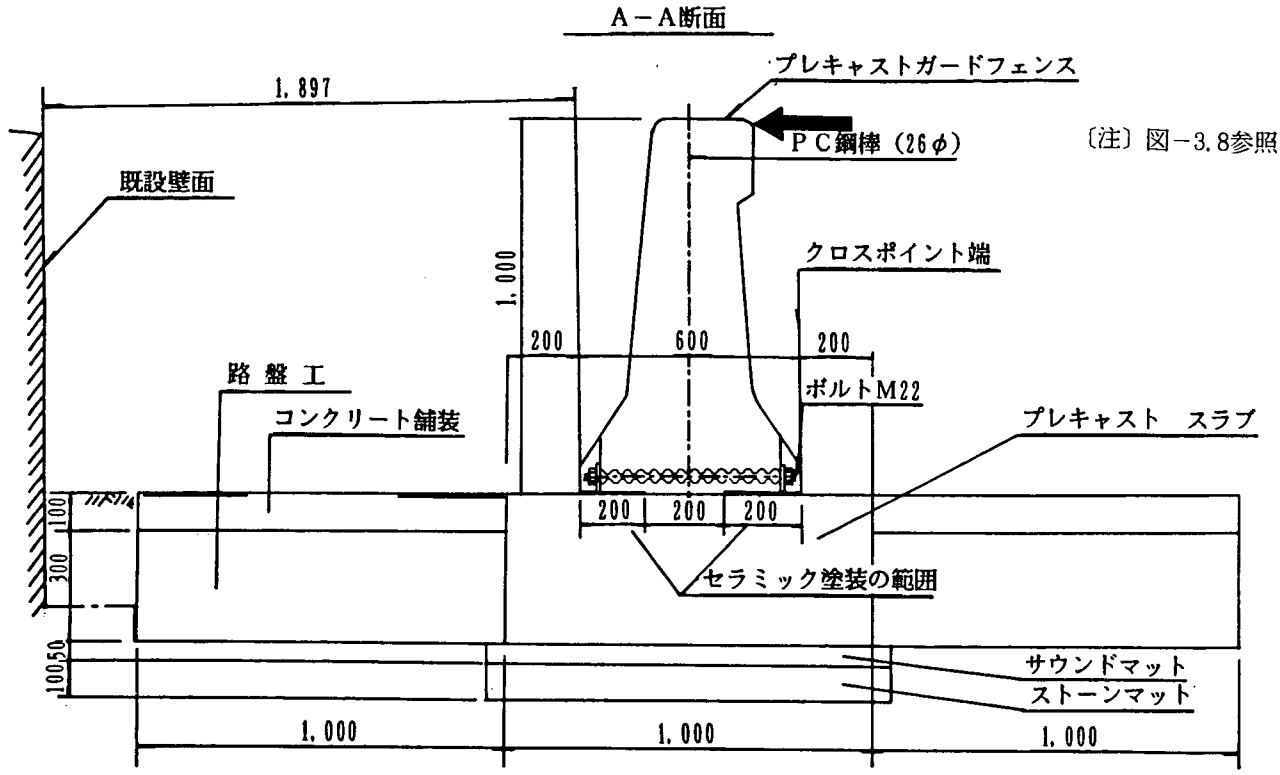
なおフェンス両端部は衝突付近の最大変位量を知るためと、フェンスの不定性な移動を抑えるために固定した。

小型乗用車のケースではフェンス移動による衝撃力、緩衝効果がより発揮（移動しなければ固定式と変りないため）されるように、その影響範囲（35.0m）のベース上の一部に局部的にセラミック塗装を施し、移動を容易にさせた。

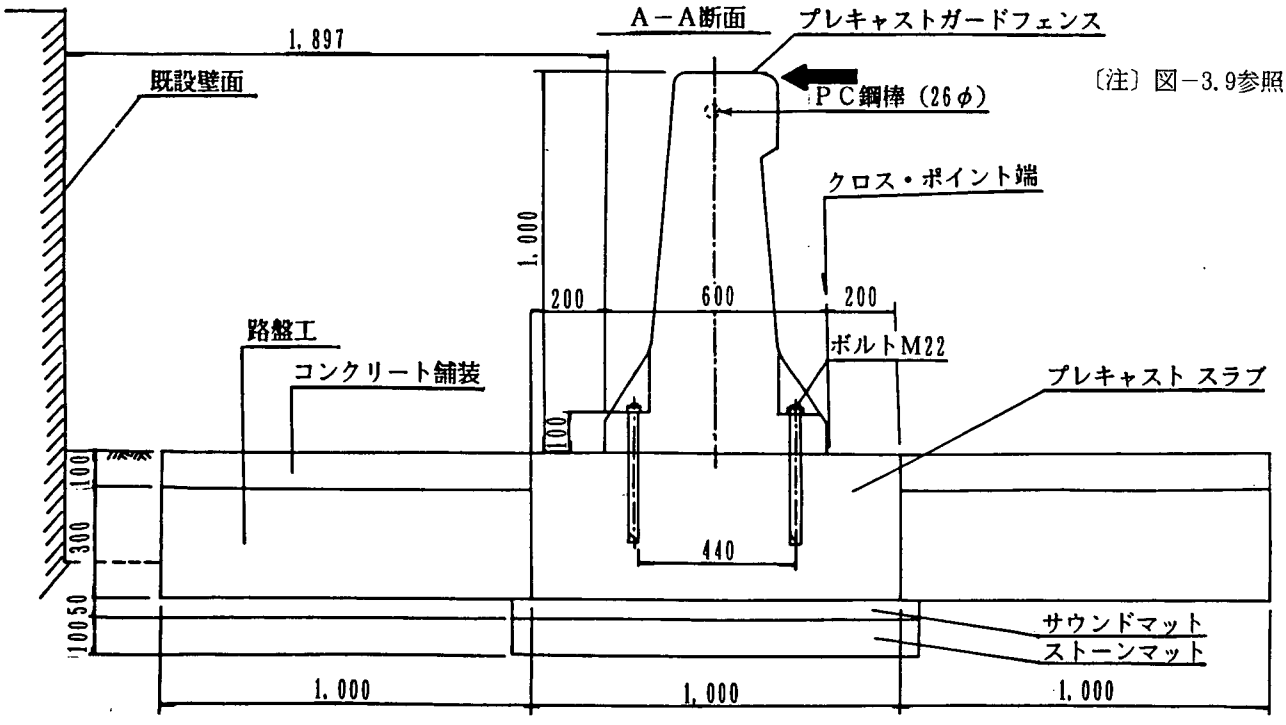
③ 固定式の構造

フェンス間の連結は、据置式と同様にフェンス両端の凹凸面を組合せた後、上部についてはＰＣ鋼棒で、下部についてはケミカルアンカーボルトフェンスをベース上に固定し、一体化させた構造とした。（図－3．6）

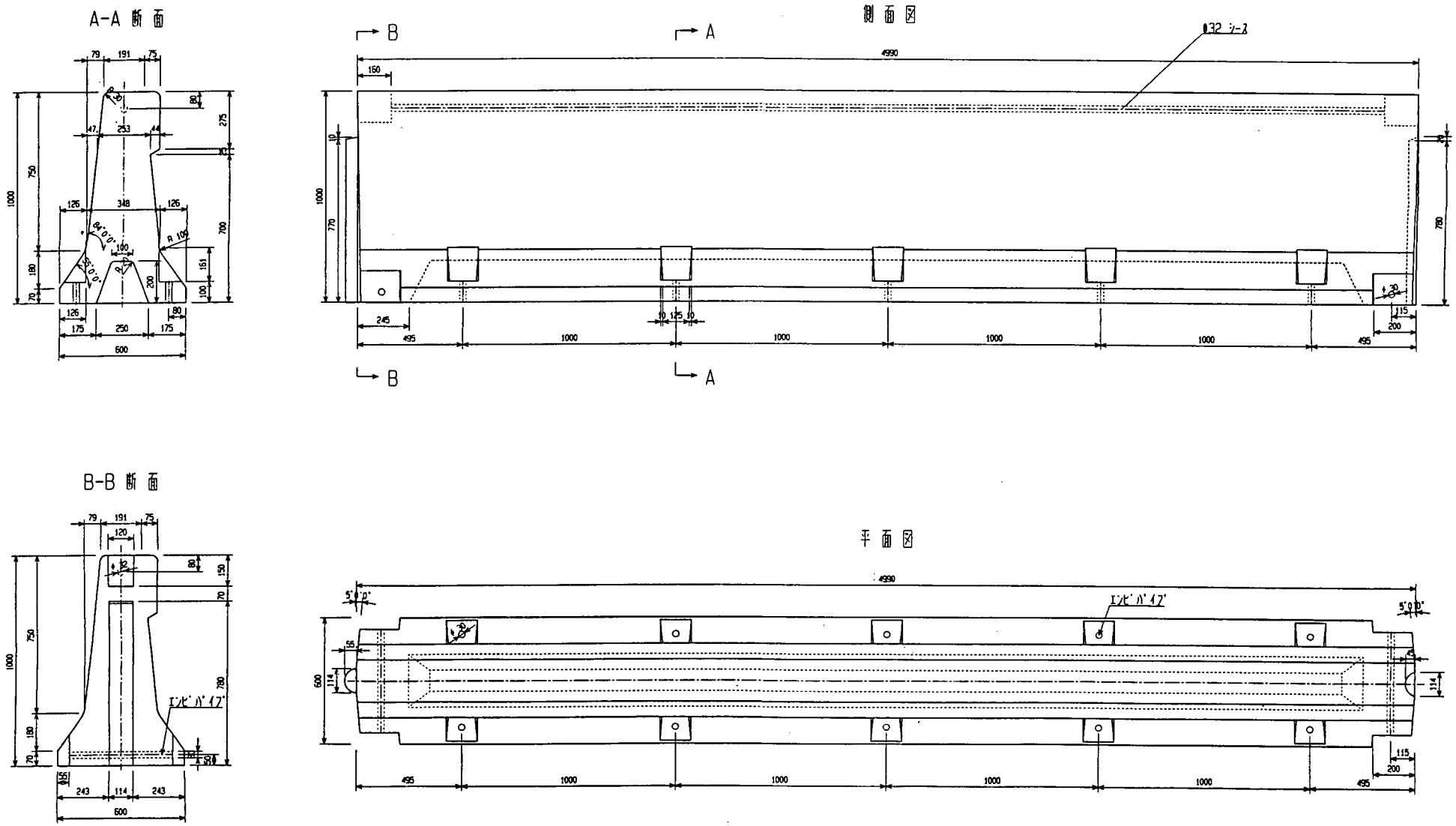
なお、図－3．7に躯体部構造図を示し、躯体部構造配筋図については資料編に示した。



図－３．５　供試体の断面形状（プレキャスト：実験Ｂ：据置式）



図－３．６　供試体の断面形状（プレキャスト：実験Ｂ：固定式）



図－３．７　供試体の構造図（プレキャスト：実験Ｂ）

（２）製作方法

供試体はプレキャストコンクリートとして工場で製作した後、実験場へ搬入したものである。

躯体部および基礎部コンクリートは普通ポルトランドセメントを使用、設計基準強度をそれぞれ$\sigma ck=400kg/cm^2$、$\sigma ck=270kg/cm^2$とし、保障材令を２週間とした。

打設後のコンクリートは数時間蒸気養生した後、翌日脱型し、現場養生とした。

表－３．７にこれらの標準配合表を示す。

表－３．７　コンクリートの配合表（実験Ｂ：プレキャスト）

部位			躯体部	基礎部
設計強度		kg／cm²	400	270
粗骨材最大寸法		mm	20	20
スランプ		cm	6±2	10±2
空気量		%	2±1	2±1
水セメント比（W／C）			38	53.1
細骨材率		%	45	45
単位量 kg／m³	水		171	170
	セメント		450	320
	細骨材		785	839
	粗骨材		989	1,045
	混和材料（マイティ150-VZ）		5.63	2.88
セメント			普通ﾎﾟﾙﾄﾗﾝﾄﾞ	普通ﾎﾟﾙﾄﾗﾝﾄﾞ

（３）材料試験

①　コンクリート

ａ）　フレッシュコンクリート

フレッシュコンクリートについては、フーチングおよび躯体打設時の第一回目のバッチについて、それぞれ現場でスランプ、空気量および単位容積重量に関する試験および温度測定等をＪＩＳに準じて実施したが、これらの測定結果を表－３．８に示す。

ｂ）　硬化コンクリート

硬化コンクリートについては、現場養生および標準養生供試体について、所定の材令時に圧縮試験、引張強度試験等を行った。これらのコンクリート品質管理試験結果を表－３．９に示す。

②　鉄筋、アンカー筋、連結ボルトおよび連結プレート

供試体の各構成部材の試験片に実験時と同様のひずみゲージを貼付けて引張試験を行い、主な機械的性質を求めた。これらの引張試験結果を表－３．10に示す。

③　フェンス下面の移動対象面の摩擦係数

フェンス下面のベース、セラミック塗装（ガンマード）、塗装コンクリート、およびアスファルト路面を対象に実車実験終了後、実物のフェンス単体を用いて、静、動摩擦係数試験を実施したが、その結果を表－３．11に示す。なお、セラミック塗装材（商品名ガンマードＨＥ）の物性定数を表－３．12に示す。

表－３．８　フレッシュコンクリートの各測定結果（実験Ｂ：プレキャスト）

部位	躯体部	基礎部
スランプ　cm	6.2	11.0
空気量　%	2.1	2.2
コンクリート温度　℃	23	22
外気温　℃	22	23
単位容積重量　g／m^3	2,210	2,218

表－３．９　コンクリートの品質管理試験結果（実験Ｂ：プレキャスト）

打設部位	試験時材令 日		標準養生 圧縮強度 kg／cm^2 計測	標準養生 圧縮強度 kg／cm^2 平均	標準養生 引張強度 kg／cm^2 計測	標準養生 引張強度 kg／cm^2 平均	現場養生 圧縮強度 kg／cm^2 計測	現場養生 圧縮強度 kg／cm^2 平均	現場養生 弾性係数 ×10^{5}kg/cm^2 計測	現場養生 弾性係数 ×10^{5}kg/cm^2 平均	現場養生 引張強度 kg／cm^2 計測	現場養生 引張強度 kg／cm^2 平均	
躯体部	規定日	7	378	399			411	411					
			419				411						
		14	454	472	31.8	30.9	443	480					
			459		30.0		516						
			504										
	実験日	14					345	389	3.05	2.91	35.7	36.2	実験Ｂ－３ 7/ 4
							378		2.73		36.7		
							445		2.96				
		28					455	390	2.95	3.33			実験Ｂ－１ 7/18
							302		3.75				
							414		3.30				
基礎部	実験日	14					271	264					実験Ｂ－３ 7/ 4
							256						

表－３．10　鋼材の引張試験結果（実験Ｂ：プレキャスト）

鉄筋径 mm	公称断面積A mm²	降伏点 σ_y kg／cm²		引張強さ σ kg／cm²		弾性係数Es ×10⁶kg／cm²		使用箇所
		計測値	平均値	計測値	平均値	計測値	平均値	
SD13	1,267	3,855	3,876	5,466	5,495	1.87	1.86	躯体部：主　筋
		3,902		5,482		1.86		
		3,870		5,537		1.84		
	ＪＩＳ	3,000≦		4,500≦＜6,100				
φ22	3,801	3,137	3,145	4,571	4,552	2.08	2.04	アンカーボルト
		3,176		4,581		2.04		
		3,123		4,504		2.00		
	ＪＩＳ	2,500≦		4,100≦＜5,200				SS400
B種1号	ＪＩＳ	9,500≦ A＝11,400mm²		110,000 A＝11,400mm²		2.04		躯体部：ＰＣ鋼棒 SBPR 95/110
φ27	5,276	5,870	5,870	7,322	7,269	1.81	1.85	連結ボルト
		5,900		7,345		1.88		
		5,840		7,130		1.87		
	ＪＩＳ	2,100≦		5,300≦				SUS304
PL40 X16t	640	2,500	2,493	5,999	6,036	1.85	1.83	連結プレート
		2,499		6,124		1.78		
		2,480		5,984		1.85		
	ＪＩＳ	2,100≦		5,300≦				SUS304

表－３．11　躯体部底面の摩擦係数（実験Ｂ：プレキャスト、据置式）

対象面	静摩擦		動摩擦		備考
	牽引荷重 t	摩擦係数	牽引荷重 t	摩擦係数	
ベース面上（基礎コンクリート表面）	2.56	0.71	1.28	0.36	
セラミック塗装面上（ガンマード面上）	1.79	0.50	0.90	0.25	表－３．12
コンクリート路面（供試体周辺部）	2.74	0.76	1.53	0.43	
アスファルト路面（供試体周辺部）	1.90	0.53	1.59	0.44	

なお、セラミック塗装材（商品名ガンマードＨＥ）の物性定数を表４－７に示す。

表－３．12　セラミック塗装材（ガンマードＨＥ）の物性定数

溶液状態		塗膜状態	
外観	白色不透明	外観	白色被膜
溶媒	トルエン	硬度(JIS K6301)	４Ｈ（鉛筆硬度）
固形分(wt%)	61.12	比重(25℃)	1.62～1.64
比重(25℃)	1.32～1.33	接着性	良好
粘度(25℃,CS)	10	耐用温度範囲(℃)	−45～300
指触乾燥時間(25℃,50%RH,分)	30～60	耐候性(W-O-M,1000時間)	劣化認めず
硬化日数(25℃,日)	10	剥離試験(ｺﾞﾊﾞﾝ目,ﾃｰﾌﾟﾋﾟｰﾙ)	100／100
安全硬化(25℃,日)	30	系統分類	有機－無機質系
		特記事項	緻密組織，最高硬度

（４）供試体の設置方法

①　据置式

据置式の供試体は「既往のコンクリート壁の実験例」から、加速路中心線の延長上が躯体部前面下端の中心（クロス・ポイント）に、移動量を考慮して既設コンクリート壁面から背面まで1.9ｍとなるように設置した。設置の手順については以下に示す。（図－３．８）

ａ）躯体部の両端はそれぞれ４本のケミカルアンカーボルトで基礎部に固定した。

ｂ）小型乗用車衝突時の躯体部移動を容易にするため、想定影響範囲内の基礎部上にセラミック塗装を施し摩擦係数を低減させた。

ｃ）躯体部頂部にＰＣ鋼棒（φ26）を全長にわたって貫通させ、両端はゴム板、支圧板（120×100×28m/m）を介して普通の力で締付けた。

ｄ）躯体部下端の連結は、前面・背面ともに連結ボルト（φ27　SUS304）と連結プレート（PL75×16m/m×350mm…SUS304）で行った。

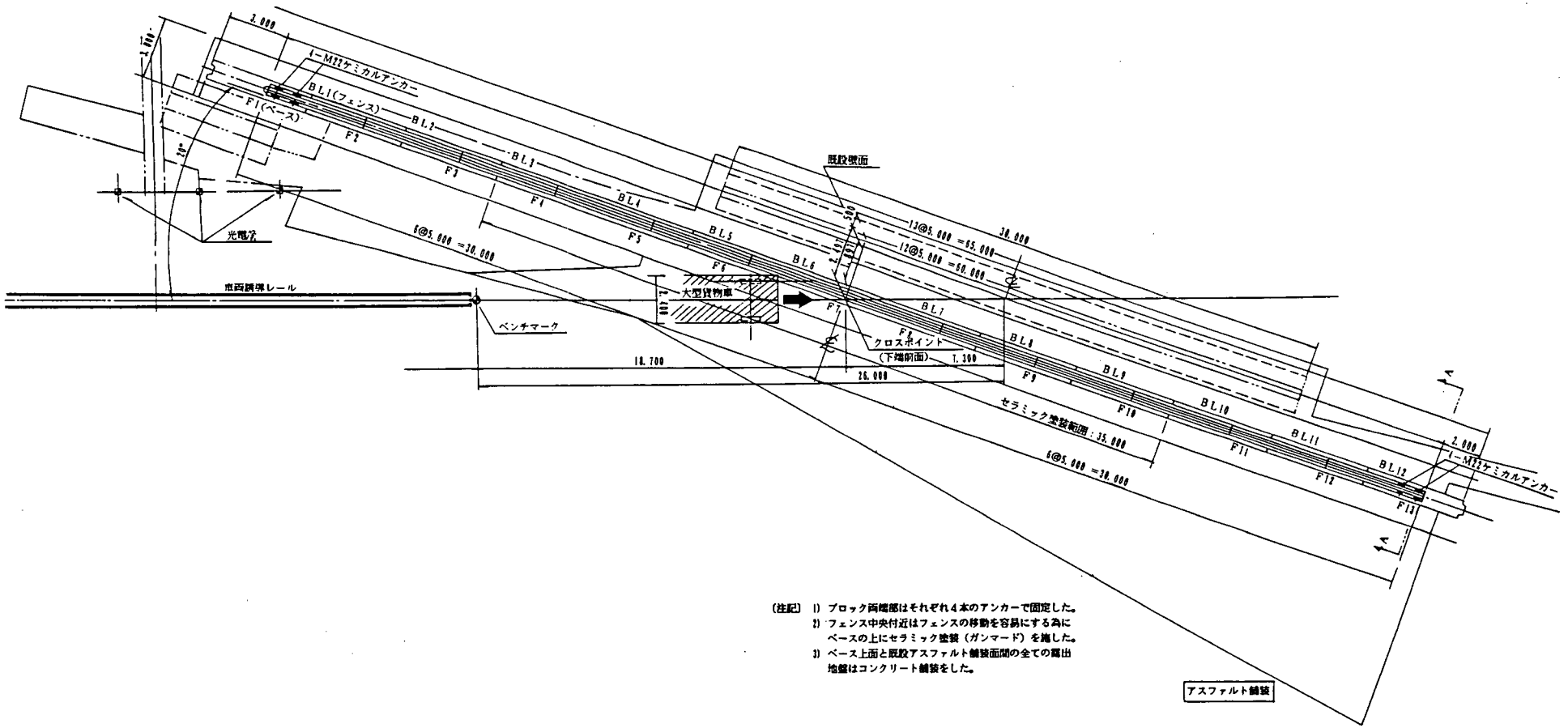
②　固定式

固定式の供試体は、据置式の躯体部のうち手前側２個分を短縮し50ｍとした。なお、設置の手順は以下のとおりである。（図－３．９）

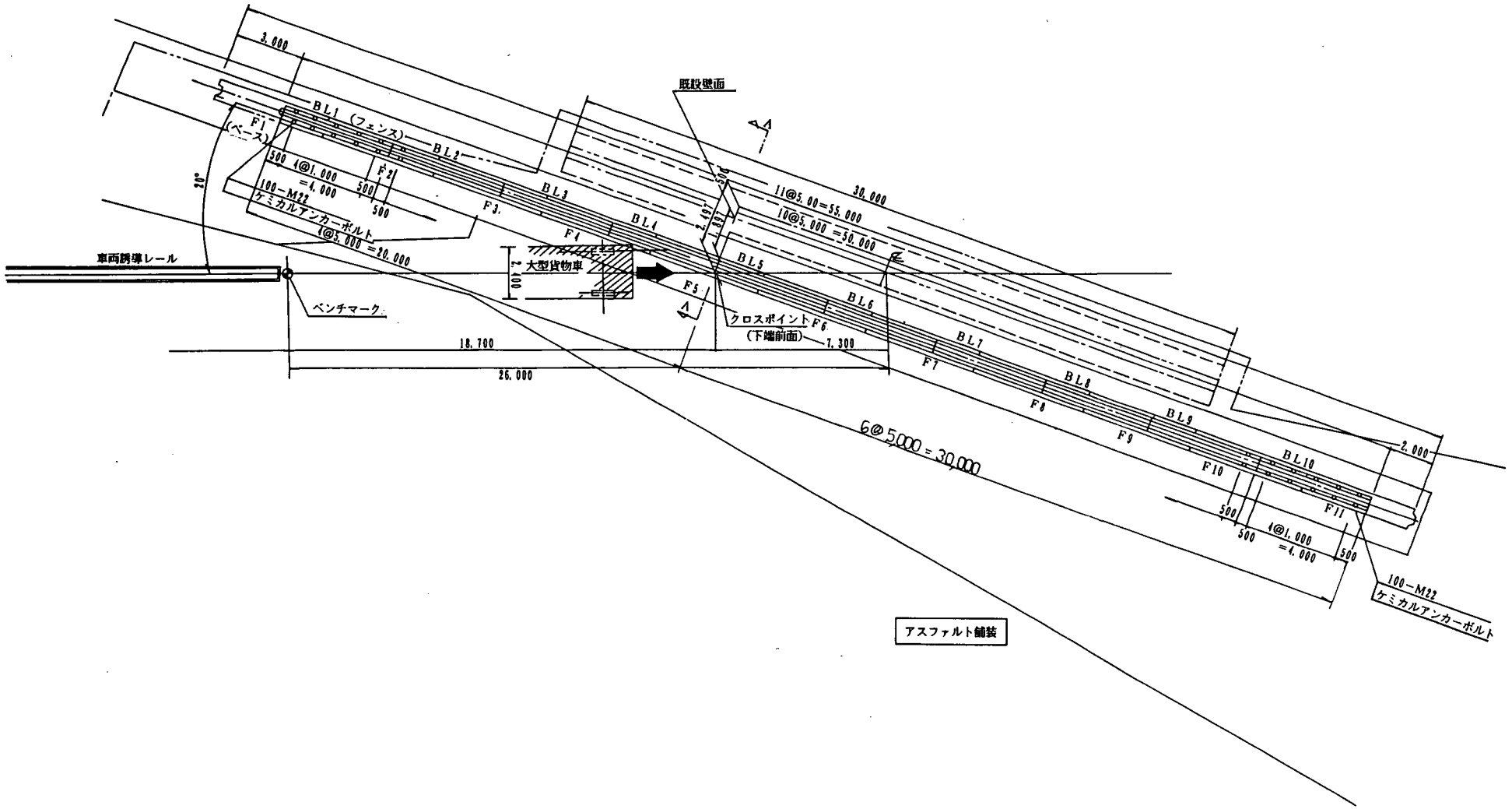
ａ）躯体部を所定の位置に設置した後、ケミカルアンカーボルト（M22×埋設長 200）で基礎部に固定した。

ｂ）躯体部頂部の固定方法は据置式と同様にＰＣ鋼棒で固定したが、衝撃力を分散させるために鋼棒の定着位置を各躯体部毎に設けた。（図－３．10）

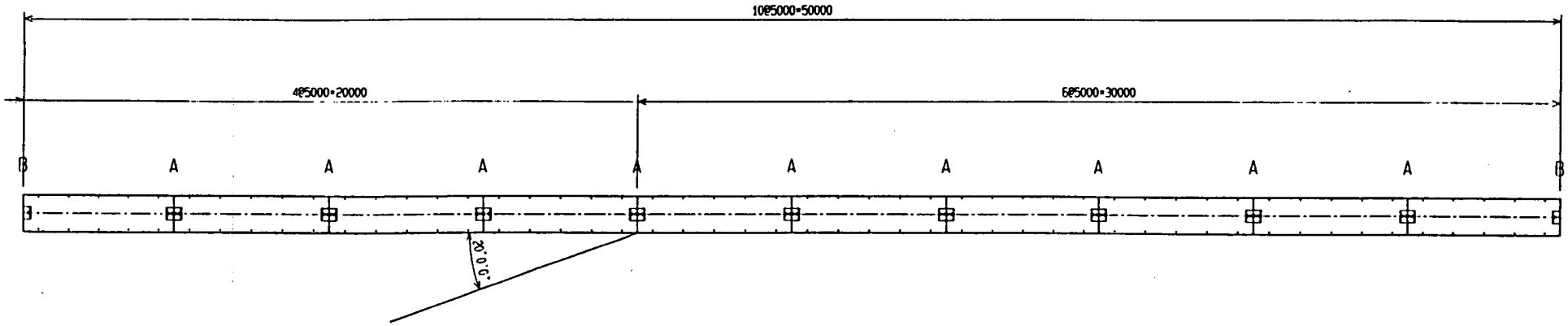
ｃ）躯体部のケミカルアンカーボルト用の凹みに、衝突車の挙動に影響をおよぼさないようにモルタルを充填した。

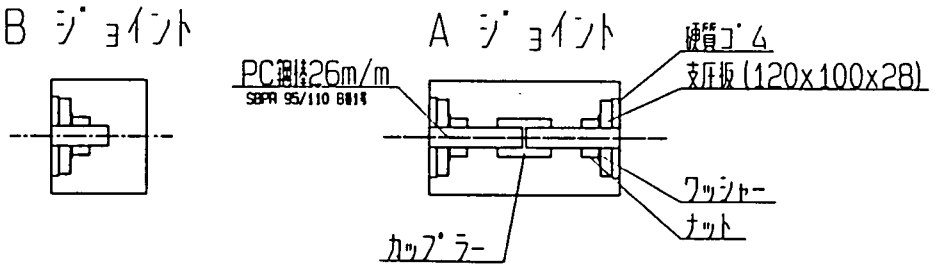


図－３．８　供試体の配置図（プレキャスト：実験Ｂ：据置式）



図－３．９　供試体の配置図（プレキャスト：実験Ｂ：固定式）





図－３．10　ＰＣ鋼棒連結方法（プレキャスト：実験Ｂ：固定式）

３．４．測定項目および内容

３．４．１．測定項目

車両および防護柵に対する測定項目を以下に示す。

１）車両

①　衝突速度および離脱速度
②　車両およびダミーの加速度
③　軌跡（衝突角と離脱角）および防護柵への接触跡
④　挙動観察（傾斜、跳び上り、回転等）
⑤　損傷状況

２）防護柵

①　変位
②　躯体に働く曲げ応力度と分布巾
③　フーチング底面に働く支圧応力度と曲げ応力度
④　損傷状況

３．４．２．測定方法

１）車両

①　衝突速度および離脱速度

衝突速度は主にドーリ切離し位置附近に設けられた２個の光電管により検出されるが、車両衝突直前に設けられたテープスイッチ式速度計および高速撮影フィルムからの解析値も参考にした。また、減速率を算定するために離脱車両の速度をテープスイッチにより併せて測定した。

これらの計測方法を表－３．13に、テープ・スイッチ式速度計の設置位置を図－３．11に示す。

②　車両およびダミーの加速度

車両では車両重心、ダミーでは運転席および助手席のダミーの頭部、胸部および大腿部について所定成分を加速度計にて、いずれもテレメータで測定した。

表－３．14に加速度計配置表を、図－３．12に計測系を示す。

③　軌跡および防護柵への接触跡

路面に残された前後輪の摺痕およびわだちの跡より走行軌跡を求めた。

軌跡から車両進入角、離脱角を求めた。

車両の防護柵への接触跡（スクラブ・マーク）は、実験直前に前輪、後輪のタイヤおよび車体前後域に、それぞれ異る色のペイントを塗布し、防護柵に、衝突車両がどのように接触したか、判明出来るようにした。なお、車両のペイント域を図－３．13に示す。

④　挙動観測

撮影速度24コマ／秒～ 400コマ／秒の16mm撮影機により、車両の衝突から離脱までの車両の傾き、跳び上り、回転、進行状況等を撮影した。撮影機の機種と配置を図－３．14に示す。

⑤　損傷状況

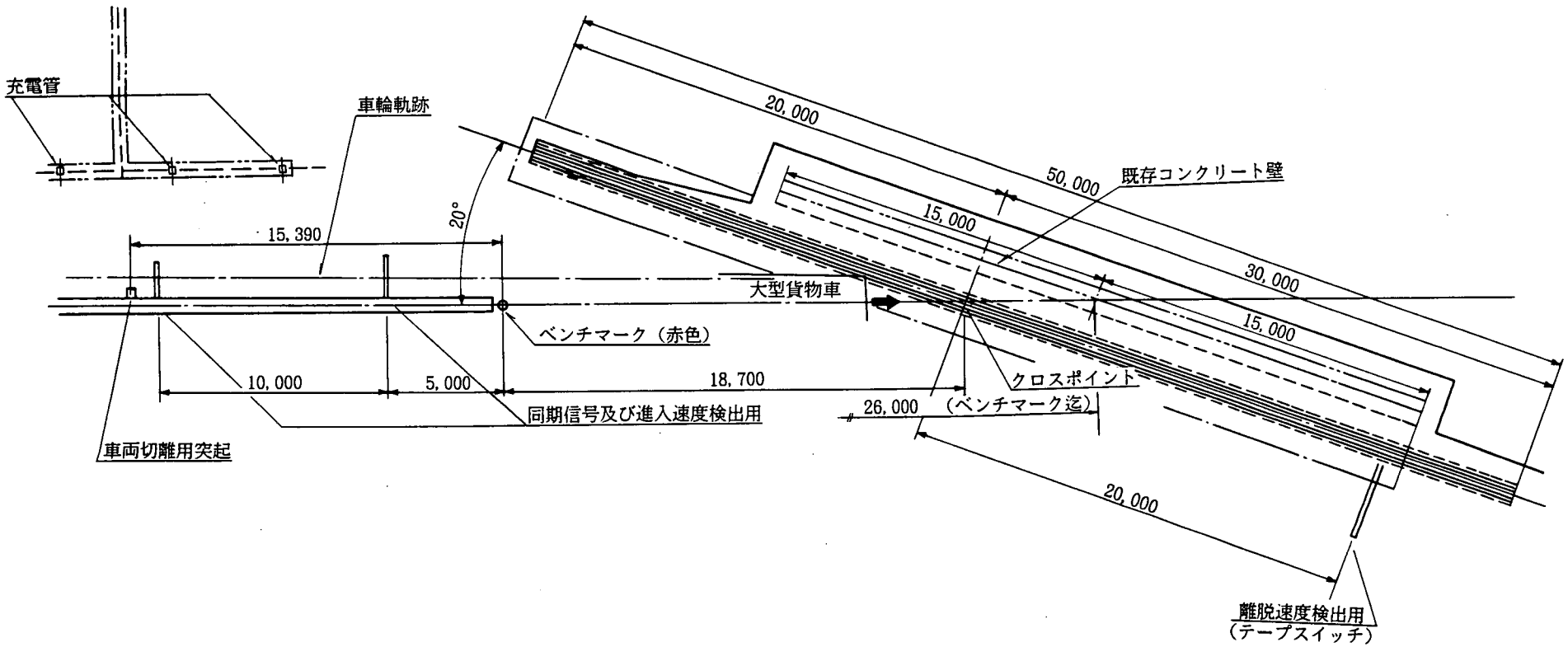
実験終了後、足廻り、車室内の変形等について観察した。

表－３．13　速度の検出方法

	計測器	検　出　方　法	備　考
1	光電管	光線を横切った２点のラグタイムから速度を検出	衝突
2	速度計	テープスイッチ上を前後輪が通過したラグタイムと軸距により算定	衝突・離脱
3	高速写真	コマ数と移動量より算出	衝突・離脱

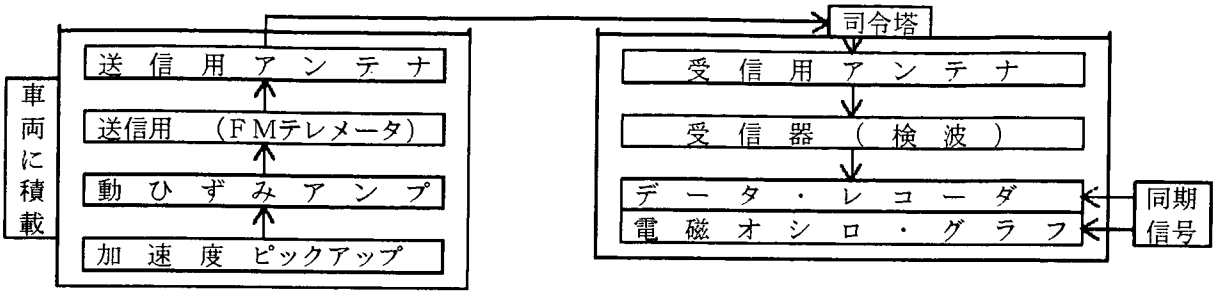
表－３．14　各部位の加速度測定箇所と方向

設置位置	車両重心	運転席ダミー			助手席ダミー		合計 FM＋FM'
		頭部	胸部	大腿部	頭部	胸部	
X方向成分	○	○	●	▲	○	●	６＋８＝１４点
Y方向成分	○	○	●	－	○	●	
Z方向成分	●	●	●	－	－	－	
備考	テレメータ（日本無線製）FM　○：加速度 テレメータ（プリモ製）　FM'　●：加速度　▲：軸力 X：車両の進行方向 Y：車両の進行直角方向 Z：車両の垂直方向						

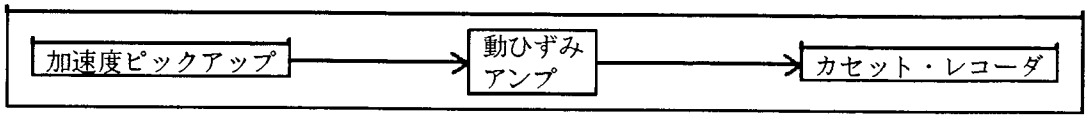


図－３．11　テープスイッチの配置例

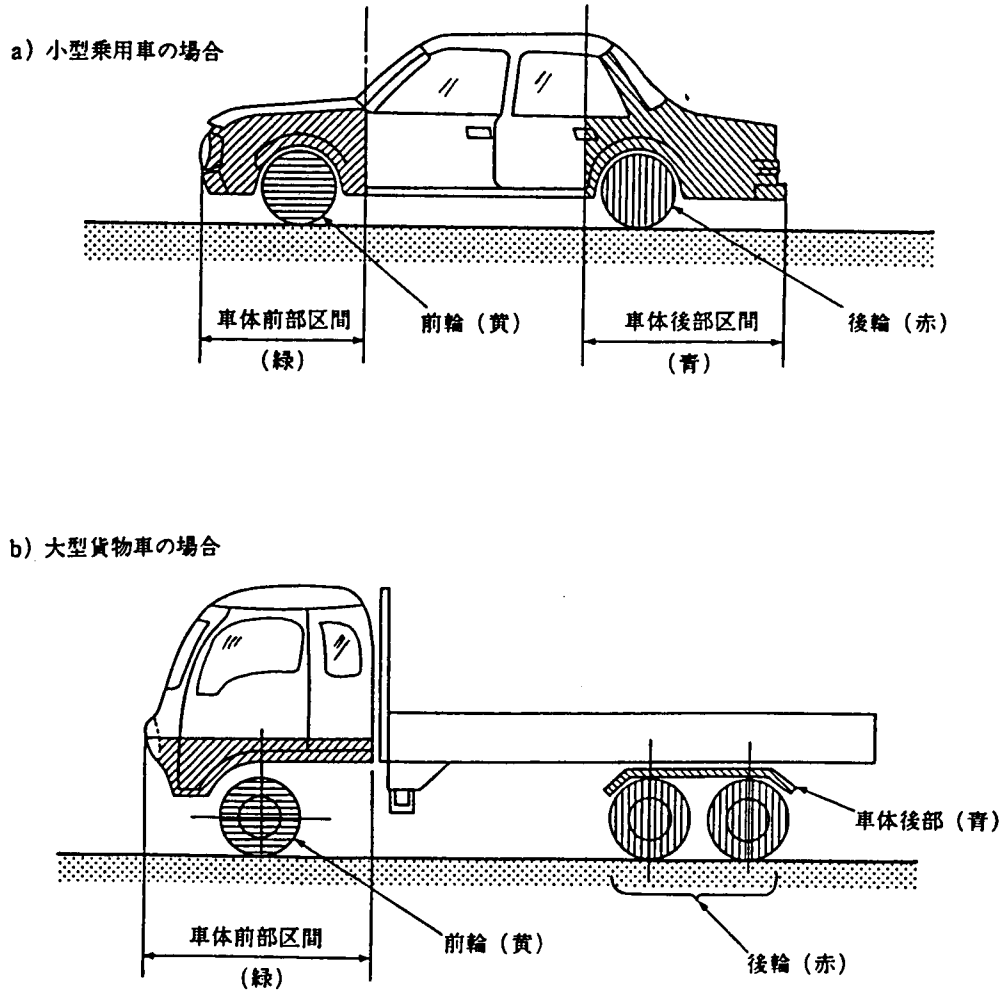
（ａ）テレメータの場合



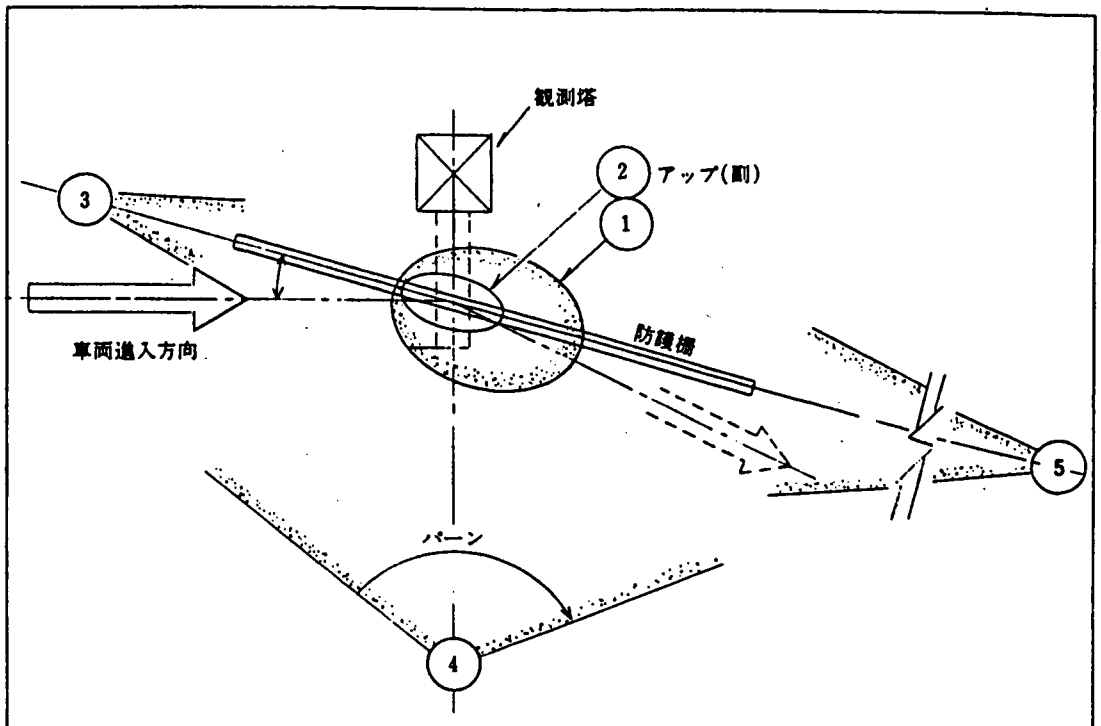
（ｂ）カセットの場合（車載）



図－３．12　加速度の測定系



図－３．13　車両のペイント域



カメラ位置 / フイルム速度 / 対車両位置 / 実験車両	① 400コマ/秒 上方	② 400コマ/秒 上方	③ 64コマ/秒 後方	④ 24コマ/秒 側面	⑤ 64コマ/秒 前方	カメラ台数
小型乗用車	○	○	○	○	○	5
大型貨物車	○	○	○	○	○	5

図－３．14　高速撮影カメラの配置

2）防護柵（表－３．15）

（１）在来工法

①　変位

衝突時の供試体の傾きや荷重の分布を測定するため、試験体中央部、両端部に動的追従型変位計を取付けた。（以下、在来工法の場合は図－３．15、16参照）

②　躯体部に働く曲げモーメントと分布巾

供試体の主鉄筋（縦方向筋）、アンカー筋にひずみゲージを貼付け曲げモーメントと分布巾を測定した。なお、頂部の横方向鉄筋にもひずみゲージを貼付け、引張応力度を測定した。

③　フーチング底面に働く支圧応力と曲げモーメント

フーチング底面にモールドゲージおよびコンクリート応力計を設置して支圧応力度を測定した。また、フーチング筋にもひずみゲージを貼付けて曲げ応力度を測定し、躯体部の安定計算用水平外力を検証した。

④　損傷状況

実験終了後、壁面のすり傷やひび割れ、破損状況等について観察した。

（２）プレキャスト

①　変位

ａ）固定式の場合

衝突時の供試体天端の変位、傾き、分布等を測定するため、供試体中央部、両端部に動的追従形変位計を取付けた（以下、固定式の場合は図－３．17参照）。

ｂ）据置式の場合

小型乗用車の実験では固定式とほぼ同様であるが、大型貨物車では衝突付近で大変位が予想されたので変位測定板を設置して高速フィルムにより解析した。また、残留変位（Ｘ，Ｙ方向）は測量機器によって計測した。（以下、据置式の場合は図－３．18参照）

②　躯体部に働く曲げ応力度

・固定式の場合

躯体部の主鉄筋（縦方向筋）、アンカー筋に貼付けたひずみゲージから曲げモーメントを測定した。

・据置式の場合

躯体部の主鉄筋（縦方向筋）のみに貼付けたひずみゲージから曲げモーメントを測定した。

③　躯体部に働く衝撃度

固定式、据置式ともに躯体部に働く壁面直角方向（Ｙ方向）の衝撃度を把握するために、躯体部断面重心に加速度計を埋設して加速度を測定した。

④　ＰＣ鋼棒に働く軸力

固定式、据置式ともに躯体部連結部付近のＰＣ鋼棒にひずみゲージを貼付けて軸力を測定した。

⑤　連結ボルト、連結プレートに働く軸力（据置式のみ）

衝突位置付近の連結ボルトおよび連結プレートにひずみゲージを貼付けて軸力を測定した。

⑥　損傷状況

実験終了後、壁面のすり傷やひび割れ、破損状況等について観察した。

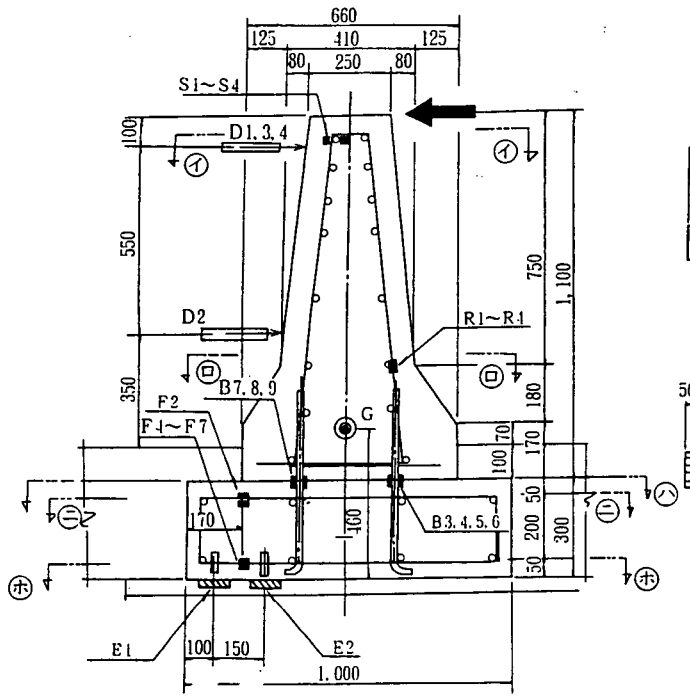
表－３．15　計測項目

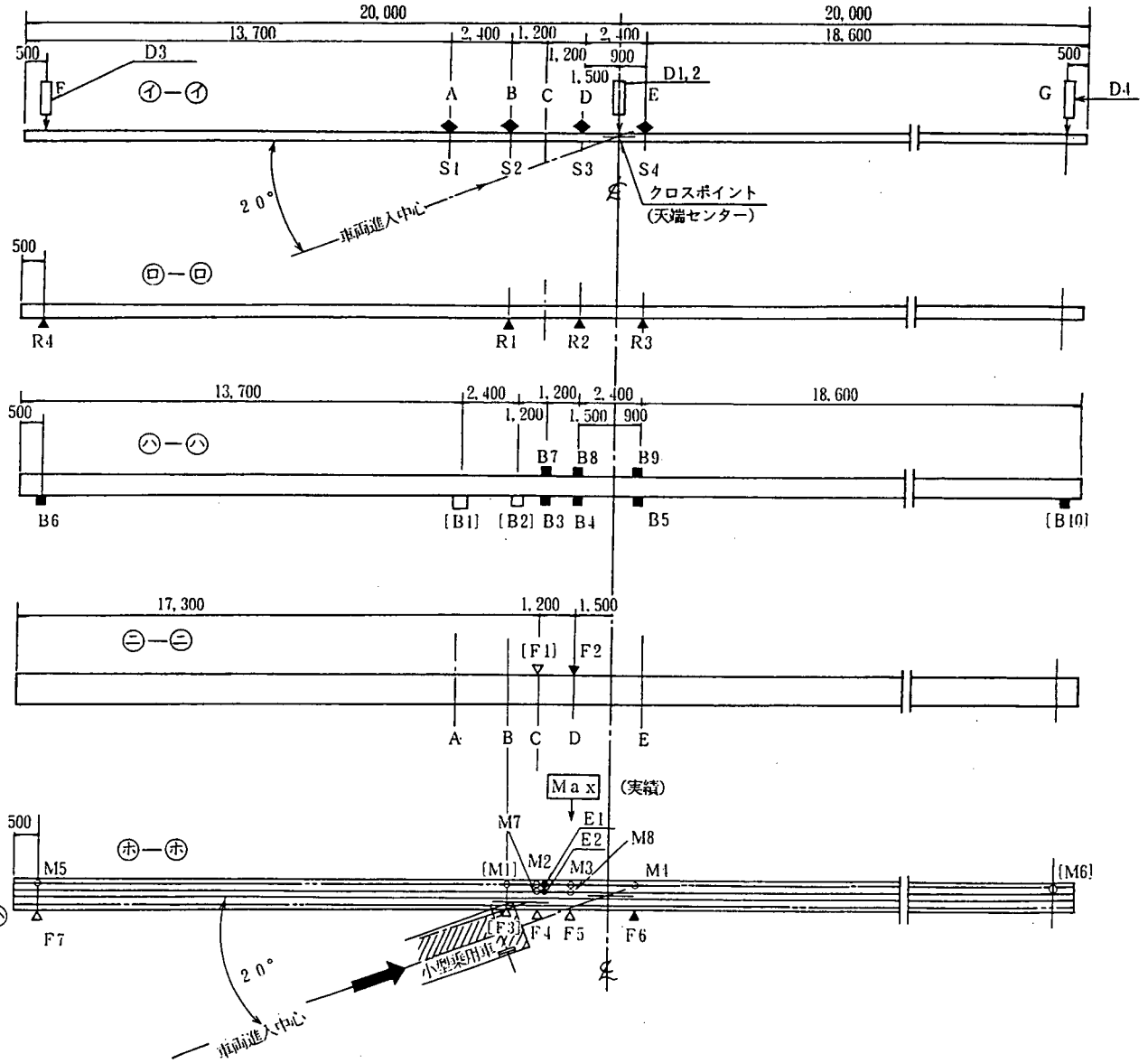
番号	項　　目	在来工法	プレキャスト	
			固定式	据置式
1	変位（残留変位を含む）	○	○	○ (移動量)
2	躯体部に働く曲げ応力度	○	○	○
3	躯体部に働く衝撃度（壁直角方向）	－	○	○
4	ＰＣ鋼棒に働く軸力	－	○	○
5	連結ボルト、プレートに働く力	－	－	○
6	損　傷　状　況	○	○	○

測点一覧表〔　〕内は大型時を示す。

		A	B	C	D	E	F	G	計
横方向鉄筋	㋑	Ⓢ1	Ⓢ2	—	Ⓢ3	Ⓢ4	—	—	4
縦方向鉄筋	㋺	—	Ⓡ1	—	Ⓡ2	Ⓡ3	Ⓡ4	—	4
アンカー鉄筋	㋩	〔B1〕	〔B2〕	Ⓑ3	Ⓑ4	Ⓑ5	Ⓑ6	〔B10〕	7
		—	—	Ⓑ7	Ⓑ8	Ⓑ9	—	—	
フーチング鉄筋	㋥	—	—	〔F1〕	Ⓕ2	—	—	—	5
	㋭	—	〔F3〕	Ⓕ4	Ⓕ5	Ⓕ6	Ⓕ7		
ｺﾝｸﾘｰﾄ支圧(ﾓｰﾙﾄﾞ・ｹｰｼﾞ)	㋬	—	〔M1〕	Ⓜ2	Ⓜ3	Ⓜ4	Ⓜ5	〔M6〕	6
		—	—	Ⓜ7	Ⓜ8	—	—	—	
ｺﾝｸﾘｰﾄ支圧応力計	㋬	—	—	Ⓔ1	—	—	—	—	2
		—	—	Ⓔ2	—	—	—	—	
								計	28

合計：28＋変位計　4＝32点



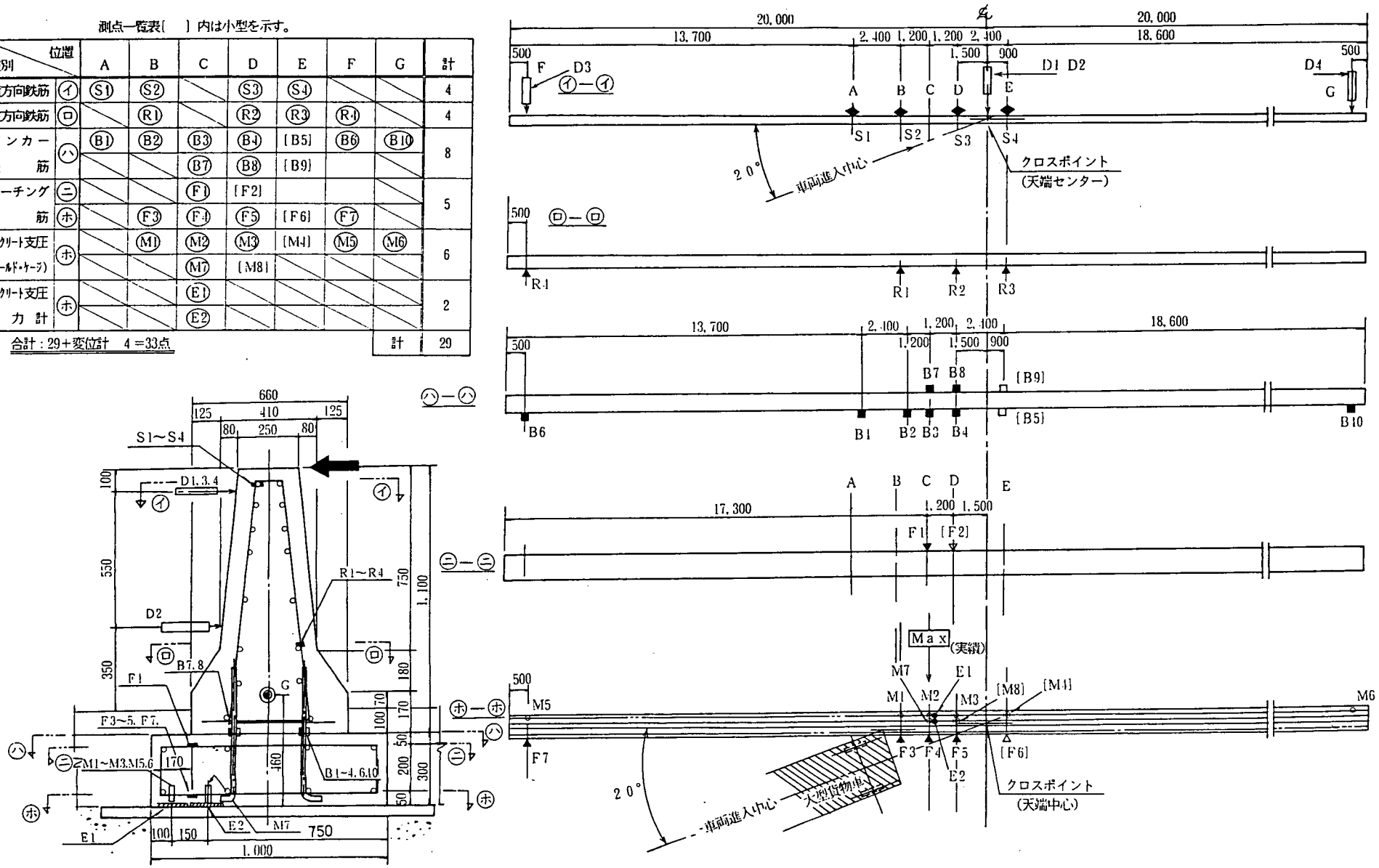


図－３．15　各種計測機器の取付位置（在来工法：実験Ａ：小型乗用車）

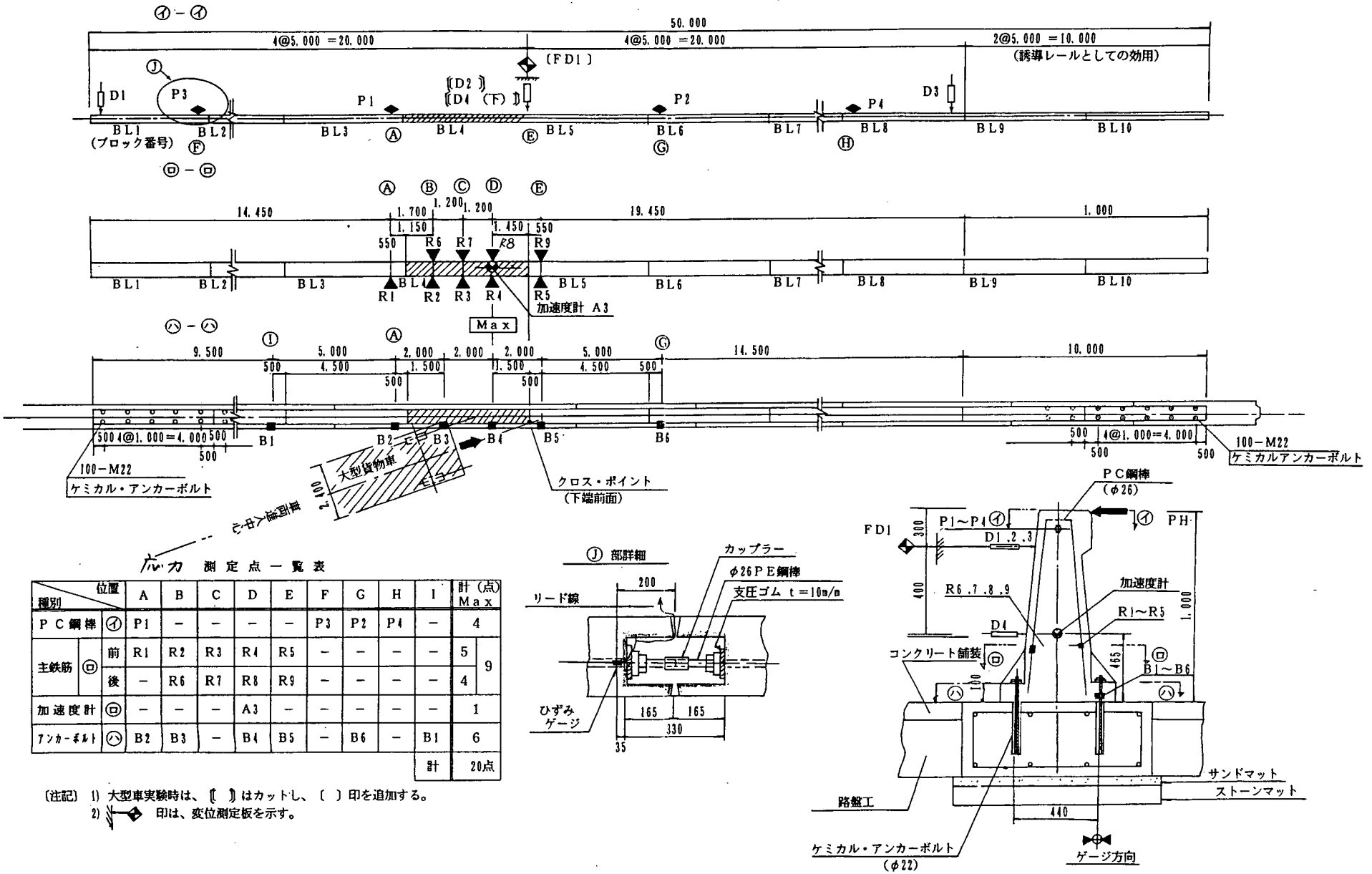
測点一覧表〔 〕内は小型を示す。

種別＼位置		A	B	C	D	E	F	G	計
横方向鉄筋	㋑	⑤1	⑤2		⑤3	⑤4			4
縦方向鉄筋	㋺		⑥1		⑥2	⑥3	⑥4		4
アンカー鉄筋	㋩	⑧1	⑧2	⑧3	⑧4	〔B5〕	⑧6	⑧10	8
				⑧7	⑧8	〔B9〕			
フーチング鉄筋	㋥			⑨1	〔F2〕				5
	㋭		⑨3	⑨4	⑨5	〔F6〕	⑨7		
ｺﾝｸﾘｰﾄ支圧(ﾓｰﾙﾄﾞ･ｹｰｼﾞ)	㋬		⑩1	⑩2	⑩3	〔M4〕	⑩5	⑩6	6
				⑩7	〔M8〕				
ｺﾝｸﾘｰﾄ支圧応力計	㋬			⑪1					2
				⑪2					
								計	29

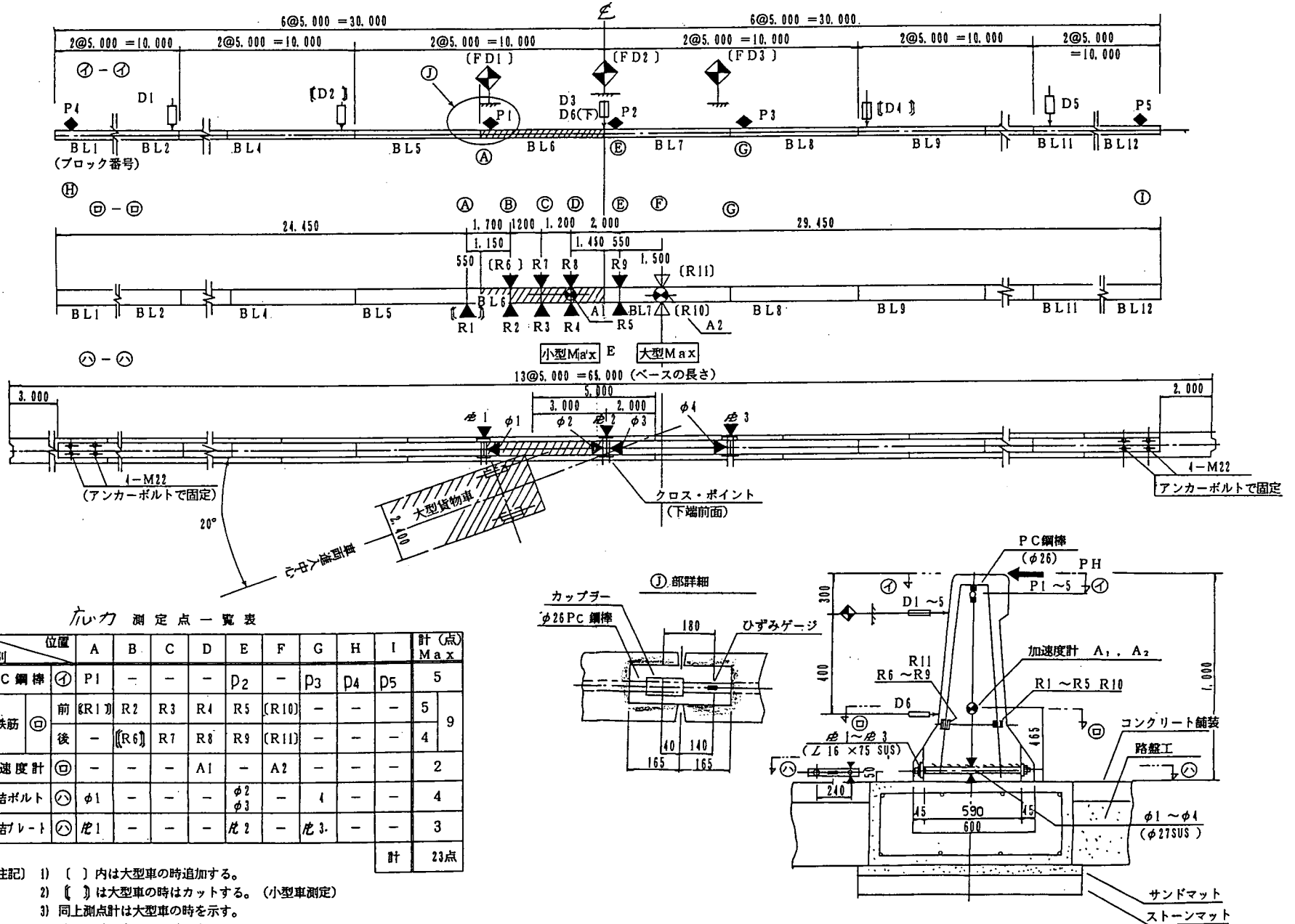
合計：29＋変位計　4＝33点



図－３．16　各種計測機器の取付位置（在来工法：実験Ａ：大型乗用車）



図－３．17　各種計測機器の取付位置（プレキャスト：実験Ｂ：固定式）



測定点一覧表

種別＼位置		A	B	C	D	E	F	G	H	I	計(点) Max	
PC鋼棒	㋑	P1	−	−	−	P2	−	P3	P4	P5	5	
主鉄筋	㋺ 前	〖R1〗	R2	R3	R4	R5	(R10)	−	−	−	5	9
	㋺ 後	−	〖R6〗	R7	R8	R9	(R11)	−	−	−	4	
加速度計	㋺	−	−	−	A1	−	A2	−	−	−	2	
連結ボルト	㋩	φ1	−	−	−	φ2 φ3	−	4	−	−	4	
連結プレート	㋩	𠂉1	−	−	−	𠂉2	−	𠂉3	−	−	3	
										計	23点	

(注記) 1) ( ) 内は大型車の時追加する。
2) 〖 〗は大型車の時はカットする。(小型車測定)
3) 同上測点計は大型車の時を示す。
他変位計6点 合計29点
4) ⊣◆ 印は変位測定板を示す。

図－3．18 各種計測機器の取付位置（プレキャスト：実験B：据置式）

表－３．16①　実験結果総括表（実験Ａ）

実験番号	防護柵形式	車種	実験条件及び結果 重量(t)	速度(Km/h)	角度(度)	衝撃度(t·m)	離脱速度(km/h)	離脱角度(度)	車両の最大傾斜角 前端(度)	後端(度)	車輪の浮上り量(cm)			着地角度(度)	水平飛距離(m)	車両－防護柵接触長(m)	防護柵の変位量(mm)	最大加速度	車両重心	運転席ダミー 頭部	運転席ダミー 胸部	助手席ダミー 頭部	助手席ダミー 胸部	損傷状況 剛性防護柵	車両
A－1 91-9 (5/9)	剛性 ｺﾝｸﾘｰﾄ 防護柵 "F"型	小型乗用車	1.1	80 [80.0]	20	3.24 [3.24]	54.0	8	16.5	16.5	前輪	左 40	右 10	9	11.33	3.73	D1(中央上)0.11	X	7.8	-28.3	－＊	10.6	－＊	・前後輪衝突付近に局部的削痕 深さ５㎜以内	・左前ﾊﾞﾝﾊﾟｰ,ﾌｪﾝﾀﾞｰ凹み(20cm) ・左前輪右側へ12cm移動 ・車体左前から中央にかけて摺痕あり ・左前ﾄﾞｱｰｻｲﾄﾞｶﾞﾗｽ破損及び同枠変形 ・左前ﾀｲﾔ取外れ反時計廻りの切傷有 ・左前ﾎｲｰﾙ外端変形 ・左ﾄﾞｱｰ取付端下部研削跡有 ・車室内変形小 ・ｽﾃｱﾘﾝｸﾞ損傷の為自力走行不可 ・牽引走行可
									道路側へ								D2(中央下)0.11	Y	8.9	94.2	－＊	30.1	－＊		
											後輪	28	20				D3(進入側)0.00	Z	－＊	－＊	－＊				
																	D4(離脱側)0.00	脚力(kg)		－＊					
A－2 91-11 (5/23)	剛性 ｺﾝｸﾘｰﾄ 防護柵 "F"型	大型貨物車	20.0	80 [79.6]	20	58.95 [58.4]	54.8	0	32.0	44.0	前輪	不明	78	9	12.5	24.23 防護柵端部迄	D1(中央上)2.23	X	4.8	14.8	－＊	18.0	－＊	・前後輪衝突付近に局部的削痕 深さ20㎜で鉄筋のかぶり以下 ・車両進入中心位置より6m手前側のｺﾝｸﾘｰﾄ天端に荷台後端部による局部的破壊 鉄筋には至らず	・左前ﾊﾞﾝﾊﾟｰ,ｼｬｰｼ先端部より左後方に曲り、同左ﾌｪﾝﾀﾞｰ下部ちぎれ(床下迄) ・運転席取付ﾌｯｸ取外れ前方へ傾く ・左前輪ｱﾌﾞｿｰﾊﾞｰ破損,ｱｸｽﾙ(前輪)後方へ55cm移動 ・左前輪ｽﾃｯﾌﾟ半分つぶれ取付ﾎﾞﾙﾄに削痕跡有 ・左後前輪ﾎｲｰﾙ2箇所変形 ・車室内変形なし ・自力走行，牽引走行不可
									防護柵側								D2(中央下)1.05	Y	9.4	7.2	－＊	36.6	－＊		
											後輪	不明	135				D3(進入側)0.16	Z	－＊	－＊	－＊				
																	D4(離脱側)0.11	脚力(kg)		－＊					
A－3 91-10 (5/16)	剛性 ｺﾝｸﾘｰﾄ 防護柵 "F"型	小型乗用車	1.1	120 [120]	20	7.29 [7.29]	----	8.4	32.0	32.0	前輪	100	5	14	12.2	4.48	D1(中央上)0.27	X	16.3	-57.9	－＊	52.8	－＊	・前後輪衝突付近に局部的削痕 深さ５㎜以内	・左前ﾊﾞﾝﾊﾟｰ，同ﾌｪﾝﾀﾞｰ凹み(25cm) ・左前輪右側へ15cm移動 ・車体左前から中央にかけて摺痕あり ・左前ｻｲﾄﾞｶﾞﾗｽ破損 ・左前輪ﾀｲﾔ,ﾊﾞｰｽﾄ(孔明き)同ﾘﾑ変形 ・左前輪ﾊﾌﾞｷｬｯﾌﾟ取外れの為ｵｲﾙ漏れ ・車室内変形小 ・ｽﾃｱﾘﾝｸﾞ損傷の為自力走行不可 ・牽引走行可
									道路側								D2(中央下)0.10	Y	16.5	-188.4	－＊	78.2	－＊		
											後輪	100	20				D3(進入側)0.00	Z	－＊	－＊	－＊				
																	D4(離脱側)0.00	脚力(kg)		－＊					
A－4 91-12 (5/30)	剛性 ｺﾝｸﾘｰﾄ 防護柵 "F"型	大型貨物車	20.0	100 [100.6]	20	92.1 [93.2]	----	0	--	--	前輪	100～	100～	--	----	25.80 防護柵端部迄	D1(中央上)2.17	X	4.9	-31.4	－＊	-8.9	－＊	・前後輪衝突付近に局部的削痕 深さ20㎜で鉄筋のかぶり以下 ・躯体手前の舗装との接触面に15～22(位置番号)の長さ7mの範囲にかけて1㎜の隙間を生ず	・左前ﾊﾞﾝﾊﾟｰ,ｼｬｰｼ先端部より左後方に曲り、同左ﾌｪﾝﾀﾞｰ下部圧潰凹み(60cm) ・左前輪Uﾎﾞﾙﾄ破断,同輪後方へ25cm移動 ・左前輪ｽﾃｯﾌﾟ全分つぶれ ・同輪取付ﾎﾞﾙﾄにｺﾝｸﾘｰﾄ削痕跡有 ・車室内変形なし ・土のう約30箇飛散 ・荷台の横木一本取外れ ・自力走行，牽引走行不可
									防護柵端部で横転								D2(中央下)1.29	Y	20.4	40.0	－＊	121.7	－＊		
											後輪	100～	100～				D3(進入側)0.24	Z	－＊	－＊	－＊				
																	D4(離脱側)0.18	脚力(kg)		－＊					

備考
1）［ ］内は、実験結果を示す。
2）X，Y，Zそれぞれ前後、左右、上下方向を示す。
3）加速度の＋，－は、それぞれ加速度、減速度を示す。また値は加速度分析結果時（50msec平均値等）の原波形値（ローパスフィルター80Hz処理）である。
4）＊印は、プリモのテレメータの値を示すが、テレメータ（プリモ）ＦＭ特性不良の為判読不良。（ -- 印）

表－３．16②　実験結果総括表（実験A）

実験番号	取付位置	躯体部 主鉄筋 FL+250mm ㊐			躯体部 アンカー筋 前側 ㊅			躯体部 アンカー筋 後側 ㊅			躯体部 横方向鉄筋 ㊆		
		ゲージ記号	歪み(μ)	応力 kg/cm²	ゲージ記号	歪み(μ)	応力 kg/cm²	ゲージ記号	歪み(μ)	応力 kg/cm²	ゲージ記号	歪み(μ)	応力 kg/cm²
A-1	Ⓐ										S1	2	3.7
	Ⓑ	R1	0.9	1.7							S2	-3.3	-6.1
	Ⓒ				B3	0.8	1.5	B7	-1.5	-2.8			
	Ⓓ	R2	9.1	16.8	B4	2.6	4.9	B8	-2.8	-5.2	S3	-3.5	-6.5
	Ⓔ	R3	0.9	1.7	B5	±0.3	±0.6	B9	0.4	0.7	S4	-1.4	-2.6
	Ⓕ	R4	-0.2	-0.4	B6	0.3	0.6						
	Ⓖ							B10	±0.2	±0.4			
A-2	Ⓐ				B1	12.4	23.2				S1	7.8	14.4
	Ⓑ	R1	-14.4	-26.6	B2	-5.3	-9.9				S2	16.6	30.7
	Ⓒ				B3	10.7	20.0	B7	8.6	16.1			
	Ⓓ	R2	82.7	153.0	B4	19.3	36.1	B8	-17.7	-33.1	S3	-58.1	-107.5
	Ⓔ	R3	18.6	34.4							S4	-23.2	-42.9
	Ⓕ	R4	0.9	1.7	B6	10.4	19.5						
	Ⓖ				B10	0.7	1.3						
A-3	Ⓐ										S1	1.9	3.5
	Ⓑ	R1	1.4	2.6							S2	-4.8	-8.9
	Ⓒ				B3	2.3	4.3	B7	-2.8	-5.2			
	Ⓓ	R2	17.2	31.8	B4	4.6	8.6	B8	-4.6	-8.6	S3	-5.8	-10.7
	Ⓔ	R3	1.3	2.4	B5	0.4	0.8	B9	0.4	0.8	S4	-2	-3.7
	Ⓕ	R4	±0.1	±0.2	B6	0.5	0.9						
	Ⓖ							B10	0.3	0.6			
A-4	Ⓐ				B1	-3.2	-6.0				S1	36.1	66.8
	Ⓑ	R1	58.9	109	B2	15.9	29.7				S2	-38.4	-71.0
	Ⓒ				B3	16.7	31.2	B7	14.8	27.7			
	Ⓓ	R2	82.6	152.8	B4	17.5	32.7	B8	-8.1	-15.1	S3	-55.9	-103.4
	Ⓔ	R3	41.9	77.5							S4	21.8	40.3
	Ⓕ	R4	1.1	2.0	B6	7.1	13.3						
	Ⓖ				B10	-3.1	-5.8						

実験番号	取付位置	基礎部 フーチング主筋 上側 ㊂			基礎部 フーチング主筋 下側 ㊄			コンクリート支圧 応力計 外側 ㊄			コンクリート支圧 応力計 内側 ㊄		
		ゲージ記号	歪み(μ)	応力 kg/cm²	ゲージ記号	歪み(μ)	応力 kg/cm²	ゲージ記号	歪み(μ)	応力 kg/cm²	ゲージ記号	歪み(μ)	応力 kg/cm²
A-1	Ⓐ												
	Ⓑ												
	Ⓒ				F4	-1.1	-2.0	E1		-0.049	E2		-0.056
	Ⓓ	F2	-3.5	-6.5	F5	-0.7	-1.3						
	Ⓔ				F6	0.9	1.7						
	Ⓕ				F7	-0.3	-0.6						
	Ⓖ												
A-2	Ⓐ												
	Ⓑ				F3	-10.5	-19.4						
	Ⓒ	F1	-28.3	-52.4	F4	-20.2	-37.4	E1		0.168	E2		-0.338
	Ⓓ				F5	-14.9	-27.6						
	Ⓔ												
	Ⓕ				F7	0.7	1.3						
	Ⓖ												
A-3	Ⓐ												
	Ⓑ												
	Ⓒ				F4	-1.6	-3.0	E1		-0.087	E2		-0.084
	Ⓓ	F2	-5.9	-10.9	F5	-1.4	-2.6						
	Ⓔ				F6	1.2	2.2						
	Ⓕ				F7	-0.2	-0.4						
	Ⓖ												
A-4	Ⓐ												
	Ⓑ				F3	-17.3	-32.0						
	Ⓒ	F1	-38.5	-71.2	F4	-21.5	-39.8	E1		-0.933	E2		-0.818
	Ⓓ				F5	-12.7	-24.0						
	Ⓔ												
	Ⓕ				F7	-0.7	-1.3						
	Ⓖ												

実験番号	取付位置	基礎部 コンクリート支圧 モールドゲージ 外側 ㊄			基礎部 コンクリート支圧 モールドゲージ 内側 ㊄		
		ゲージ記号	歪み(μ)	応力 kg/cm²	ゲージ記号	歪み(μ)	応力 kg/cm²
A-1	Ⓐ						
	Ⓑ						
	Ⓒ	M2	-3.1	-0.63	M7	-3.1	-0.63
	Ⓓ	M3	-2.0	-0.41	M8	-2	-0.41
	Ⓔ	M4	0.8	0.61			
	Ⓕ	M5	±0.3	±0.61			
	Ⓖ						
A-2	Ⓐ						
	Ⓑ	M1	-18.4	4.07			
	Ⓒ	M2	-14.2	-3.14	M7	26.7	-5.90
	Ⓓ	M3	-19.3	4.27			
	Ⓔ						
	Ⓕ	M5	0.8	0.18			
	Ⓖ	M6	1.2	0.27			
A-3	Ⓐ						
	Ⓑ						
	Ⓒ	M2	-7	-1.43	M7	-5	-1.02
	Ⓓ	M3	-4.9	-1.00	M8	-5	-1.02
	Ⓔ	M4	1	0.20			
	Ⓕ	M5	-0.3	-0.06			
	Ⓖ						
A-4	Ⓐ						
	Ⓑ	M1	-21.5	-4.75			
	Ⓒ	M2	-13.4	-2.96	M7	-31.7	-7.01
	Ⓓ	M3	-18.6	-4.11			
	Ⓔ						
	Ⓕ	M5	-0.7	-0.15			
	Ⓖ	M6	-1.2	-0.27			

表－３．17　加速度波形分析結果一覧表（実験Ａ：在来工法）

		車両重心			ダミー			
					運転席		助手席	
		原波形	50msec	実効値	頭部		頭部	
		(g)	(g)	(g)	原波形	ＨＩＣ	原波形	ＨＩＣ
Ａ－１	Ｘ	7.8	3.7	3.1	-28.3		10.6	
小型乗用車	Ｙ	8.9	5.5	4.0	94.2		30.1	
(80km/h)	Ｚ	-	-	-	-		-	
	合成	11.3	6.5	5.0	98.4	543.4	31.9	26.3
Ａ－２	Ｘ	4.8	1.5	1.0	14.8		18.0	
大型貨物車	Ｙ	9.4	4.6	2.6	7.2		36.6	
(79.6km/h)	Ｚ	-	-	-	-		-	
	合成	9.5	4.8	2.8	16.1	11.8	40.5	66.2
Ａ－３	Ｘ	16.3	6.7	4.0	-57.9	※	52.8	
小型乗用車	Ｙ	16.5	10.6	6.5	-188.4	11,780	78.2	
(120km/h)	Ｚ	-	-	-	-		-	
	合成	20.9	12.1	7.7	197.1		93.9	540.9
Ａ－４	Ｘ	4.9	2.0	1.6	-31.4		-8.9	
大型貨物車	Ｙ	20.4	8.7	5.3	40.0		121.7	
(100.6km/h)	Ｚ	-	-	-	-		-	
	合成	20.4	8.7	5.5	50.7	85.4	121.8	829.6

１）車両重心の原波形は８０Ｈｚで処理した値。
２）ＨＩＣ値はＸ、Ｙ成分の合成値より算定。
３）実験２のHIC値(運転席)は、加速度計破損。

Ｘ：車両の進行方向
Ｙ：車両の進行直角方向
Ｚ：車両の垂直方向

※実験１の運転席と助手席の相関からの推定値
543.4／26.3×540.9＝11,780

３．５．実験結果および考察

３．５．１．在来工法

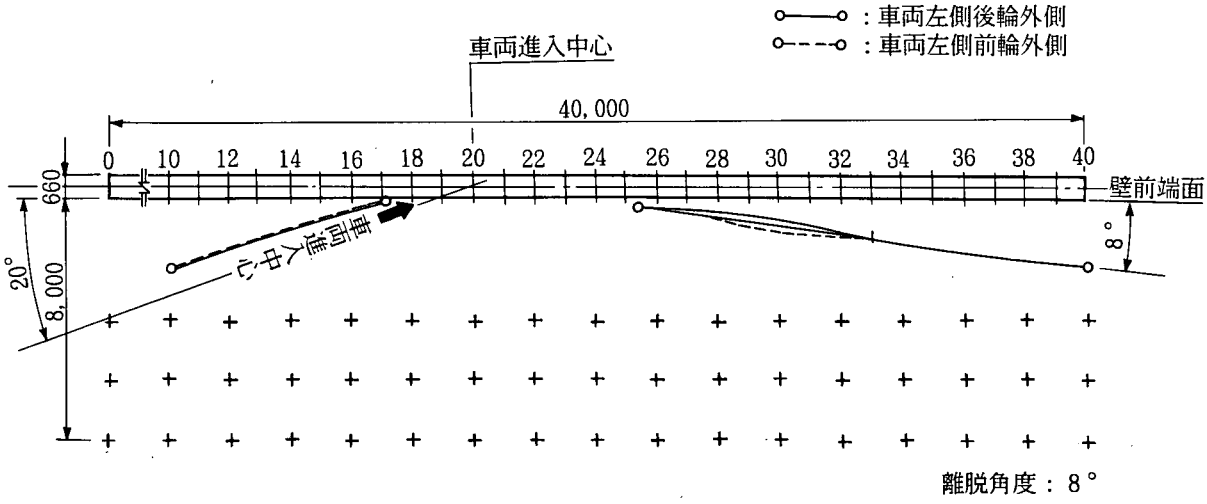
実験結果の総括表を表－３．16に、加速度分析結果を表－３．17に、車両の軌跡、接触状況等を図－３．19～26に示した。また、供試体および車両の挙動を写真－３．１～24に示した。

１）実験Ａ－１（小型乗用車）

（１）車両の挙動

車両重量1.1ｔの小型乗用車は、速度80km/h、角度20度、衝撃度（防護柵直角方向運動エネルギー）3.24t･mで衝突した。

小型乗用車は、左側前端部衝突後、左側前輪が防護柵に乗り上げ道路側に傾いた後、左側後輪が乗り上げ、方向転換しながら 11.33m空中を飛翔して対路面角度９度で着地し、正常に誘導された。この際の最大傾斜角は前後端部ともに16.5度、車輪の最大浮上り量は左側前輪が40cm、右側後輪が20cmであった。また、離脱速度は54km/hで減速率が33％（1-54.0／80.0）であり、「過去の実験例」の20～26％に比べて大きかったが、離脱角度は８度と浅いことから、二次的事故の危険性は低いものと考えられる。



図－３．19　車両の軌跡図（在来工法：実験Ａ－１）

（２）乗員の安全性（表－３．17、表－３．18～20）

車両重心の最大加速度は、車両進行方向（以下、Ｘ方向）が 7.8ｇ、直角方向（以下、Ｙ方向）が 8.9ｇ、合成値が11.3ｇであった。また、50msec値はＸ方向が 3.7ｇ、Ｙ方向が 5.5ｇ、合成値が 6.5ｇであり、米国の３点式シートベルト着用条件の推奨値以下であった。

運転席ダミー頭部の最大加速度はＸ方向が－28.3ｇ、Ｙ方向が94.2ｇで、助手席ダミー頭部はＸ方向が10.6ｇ、Ｙ方向が30.1ｇであり、運転席ダミーの加速度値が助手席ダミーの値より大きい傾向を示していた。一方、ＨＩＣ値は運転席が 543.4、助手席が26.3であり、許容限界値（1000）以下であることから、乗員の安全性は確保されていたものと考えられる。

表－３．18　米国での推奨値（50msec→車両重心評価）

乗員の拘束条件の区分	最大加（減）速度　g			備　考
	直角方向(X)	進行方向(Y)	合　成	
無拘束	5	3	6	より望ましい範囲
腰ベルトのみ	10	5	12	
３点式ｼｰﾄﾍﾞﾙﾄ	25	15	25	

表－３．19　ＨＩＣ値

ＨＩＣ値は、ＮＨＴＳＡがＦＭＶＳＳ２０８項(乗員保護装置に関する基準)の傷害基準として採用したものである。ＨＩＣ値は次式で定義されている。

$$HIC = (t_2-t_1)\ \{1 / (t_2-t_1) * \int_{t_1}^{t_2} a\,dt\}^{2.5}$$

ここに、

t_1, t_2(sec)；t_1とt_2の組合せでＨＩＣ値が最大となる加速度作用中の時間

ＨＩＣ値は、1000を安全限界値としている。

(1000は脳しんとうが生じる限界値とされている。)

表－３．20　実効値

実効値は、要綱で車両と人間を単一の物体と考えた場合、人間が耐えられる許容加速度を４ｇと規定したものである。(但し、種別Ａまででｓ種以上は規定がない。)

実効値は次式で定義している。

$$\alpha_{Tx\cdot y} = \sqrt{\int_{t_2}^{t_1} a_{x\cdot y}^2\ dt / T}$$

$$\alpha_T合成 = \sqrt{\alpha_{Tx}^2 + \alpha_{Ty}^2}$$

ここに　$\alpha_{Tx\cdot y}$：ｘ，ｙ波形の実効値(ｇ)

α_T合成：ｘ，ｙ波形の実効値の２乗平均(ｇ)

Ｔ　：最大進入行程；衝突時から発生加速度が最大になるまでの時間(sec)

t_1　：加速度作用中の任意の時点(sec)

t_2　：t_1+T (sec)

$a_{x\cdot y}$　：発生加速度(ｇ)

（３）車両の損傷状況

車両の外回りの損傷は、左前バンパーおよびフェンダーの凹み（20cm）、車体の前から中央にかけて摺痕、左前ドアー外枠の変形、左前のサイドガラスの破壊等があった。一方、足廻りについては、左前タイヤにホイールからの取外れや車輪の回転方向と逆の切傷およびホイール外端に局部的な変形があった。また、左側前輪は運転席側へ12cm移動してステアリング部が変形したため、自力走行は不可能であった。

車室内部の変形は左側ドアーによるもの以外はなく、軽微であり、乗員の生存空間は確保されていたものと考えられる。

（４）防護柵の挙動

衝突開始位置は、車両進入中心（クロス・ポイント）手前3.36ｍのところであり、全接触長は3.73ｍであった。

防護柵の最大変位量は、柵中央上端が0.11mm（D_1）、下端が0.11mm（D_2）であり、両端ではいずれも０mm（D_3，D_4）であった。

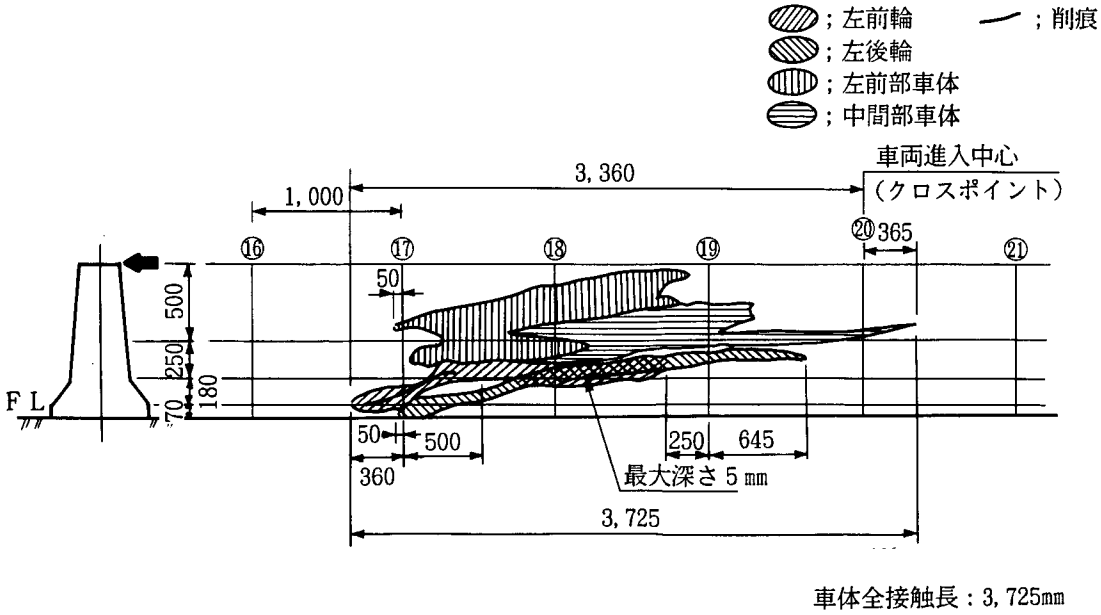
躯体部主鉄筋の最大ひずみは、車両前部衝突時に 9.1μ（Ｄ－ロ…16.8kg／cm²）、横方向鉄筋の最大ひずみは －3.5μ（Ｄ－イ… －6.5kg／cm²）であった。また、アンカー筋最大ひずみは壁前面側が 2.6μ（Ｄ－ハ… 4.9kg／cm²）、背面側が －2.8μ（Ｄ－ハ… －5.2kg／cm²）であった。

一方、フーチング部主鉄筋の最大ひずみは、上筋で －3.5μ（Ｄ－ニ… －6.5kg／cm²）、下筋で －1.1μ（Ｄ－ホ… －2.0kg／cm²）であった。

フーチング底面最大支圧応力は、コンクリート応力計によると外側が －0.049kg／cm²、内側が －0.056kg／cm²（ともにＣ－ホ）であった。一方モールドゲージによると応力計と同断面の外側が －3.1μ（－0.63kg／cm²）内側が －3.1μ（－0.63kg／cm²）であった。ここで、コンクリート応力計とモールドゲージから計算した支圧応力度では、モールドゲージの方が応力計に対して約10倍程度大きくなっているが、センサー部の測定機構からみて、精度は応力計の方が高い。したがって、絶対値は応力計、支圧分布等の傾向はモールドゲージの測定値を用いて評価を行うこととした。

（５）防護柵の損傷状況

防護柵の損傷は、前後輪衝突位置付近に局部的削痕が認められたが、最大深さは５mmで鉄筋かぶり量（主鉄筋中心より壁面まで75mm）以下と軽微であり、構造上の問題はないものと考えられる。



車体全接触長：3,725mm

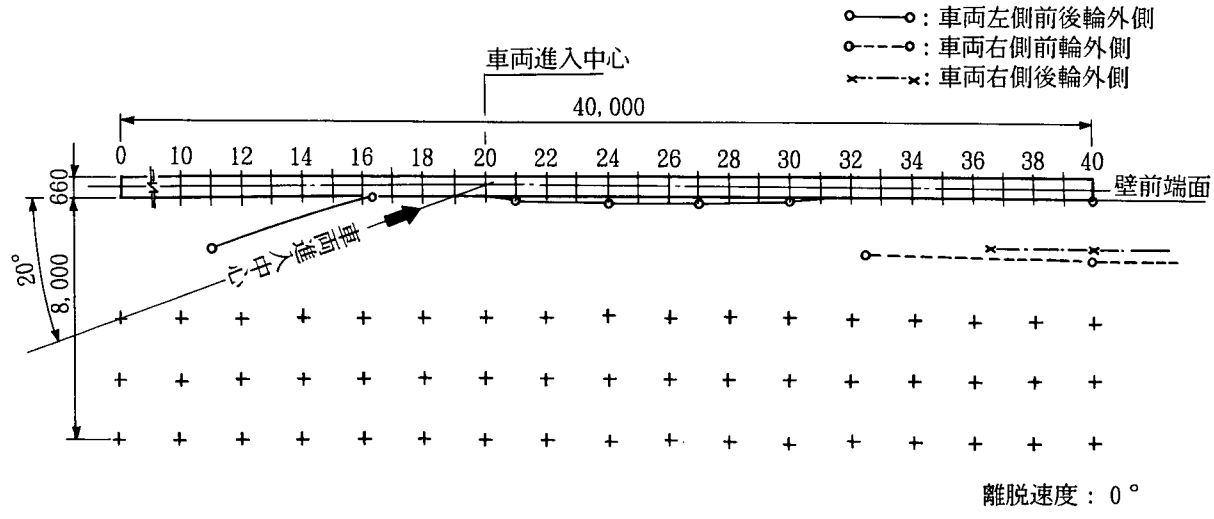
図－３．20　防護柵への接触状況（在来工法：実験Ａ－１）

2）実験Ａ－２（大型貨物車）

（１）車両の挙動

車両重量20ｔの大型貨物車は、速度79.6km/h、角度20度、衝撃度 58.4t･mで衝突した。

大型貨物車は、左側前端部、フェンダーの順で防護柵に喰込ませ、キャブ（運転席部分）が防護柵側に傾いて、右側前輪は浮上った。さらに後輪が衝突するとキャブとともに荷台は大きく防護柵側に傾き右側後輪も大きく浮上ったが、対路面角度９度で着地し、横転せず防護柵にもたれながら０度で離脱し、正常に誘導された。なお、前輪と後輪との衝突時間差は 0.280秒（主鉄筋 R_2より）と推定される。車両の最大傾斜角は、前端が32度、後端が44度であり、車両の最大傾斜安定角（46度）以下であった。車輪の最大浮上り量は、右側前輪が78cm、右側後輪が 135cm（左側車輪は車体の影になり解析不可）であり、右側車輪の最大水平飛距離が12.5ｍであった。また、離脱速度は58.4km/hで減速率が26.6％（１－58.4／79.6km/h）であり、実験Ａ－１同様に「過去の実験」に比べて多少大きかったが、防護柵に沿って離脱していることから、二次的事故の危険性は低いものと考えられる。なお、減速率が大きかったのは衝突時左側前輪が後方に移動変形したことによって、防護柵や路面に対する抵抗が増大したためと考えられる。



図－３．21　車両の軌跡図（在来工法：実験Ａ－２）

（２）乗員の安全性（表－３．17、表－３．18～20）

車両重心の最大加速度は、Ｘ方向が 4.8ｇ、Ｙ方向が 9.4ｇ、合成値が 9.5ｇであり、後輪衝突の付近で生じていた。また、50msec値はＸ方向が 1.5ｇ、Ｙ方向が 4.6ｇ、合成値が 4.8ｇであり、米国の２点式シートベルト着用条件の推奨値以下であった。

運転席ダミー頭部の最大加速度は、Ｘ方向が14.8ｇ、Ｙ方向が 7.2ｇで、助手席ダミー頭部はＸ方向が18.0ｇ、Ｙ方向が36.6ｇであり、助手席ダミーの加速度値が運転席ダミーの値より大きい傾向を示していた。一方、ＨＩＣ値は運転席が11.8、助手席が66.2であり、許容限界値（1000）以下であることから、乗員の安全性は確保されていたものと考えられる。

加速度の値は、小型乗用車では運転席側が、大型貨物車では助手席側が大きくなる傾向がある。これは、小型乗用車の場合、衝突時に運転席ダミーの上半身が３点式シートベルトからすり抜けやすく、助手席ダミーに頭部を撃打する場合があるためと考えられる。

（３）車両の損傷状況

車両の外回りの損傷は、左前バンパーのシャーシ先端部からの曲り、左前フェンダーの引きちぎれ等があった。また、衝突時の衝撃で運転席取付フックが取外れ前方へ傾いた。一方、足廻りについては、左側前輪のステップの潰れや取付ボルトの削痕跡やホイール外端の局部変形があった。また、左側前輪部のアブソーバーが破損し、アクスルが後方へ55cm移動したため、自力走行は不可能であった。しかし、前軸部を釣り上げれば牽引走行は可能と考えられる。

車室内部の変形はほとんどなかったことから、乗員の生存空間は確保されていたものと考えられる。

（４）防護柵の挙動

衝突開始位置は、クロスポイント手前4.23ｍのところであり、全接触長は衝突開始位置から柵端部までの 24.23ｍであった。

防護柵の最大変位量は、柵中央上端が2.23mm（D_1）、下端が1.05mm（D_2）であり、両端ではそれぞれ0.16mm（D_3）、0.11mm（D_4）とかなり小さい値であった。

躯体部主鉄筋の最大ひずみは、前輪衝突時に82.7μ（Ｄ－ロ… 153kg／cm^2）、横方向鉄筋の最大ひずみは荷台後端部衝突時で－58.9μ（Ｄ－イ… －109.0kg／cm^2）であった。また、アンカー筋最大ひずみは壁前面側が19.3μ（Ｄ－ハ…36.1kg／cm^2）、壁背面側が－17.7μ（Ｄ－ハ…－13.3kg／cm^2）であった。

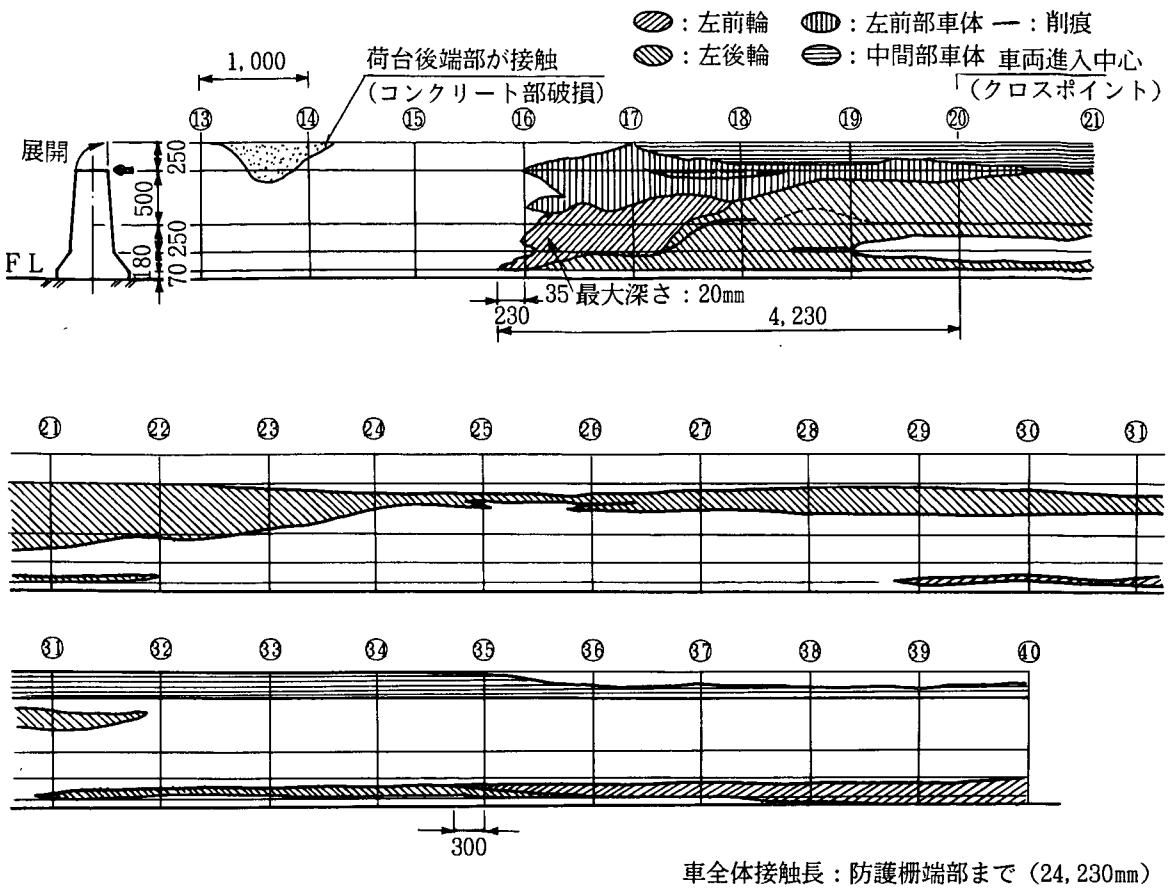
一方、フーチング部主鉄筋の最大ひずみは、上筋で－28.3μ（Ｃ－ニ…－52.4kg／cm^2）、下筋で－20.2μ（Ｃ－ホ……－37.4kg／cm^2）であった。したがって、以上の値からフーチング断面には水平力と曲げの合成成分が作用していることがわかった。

フーチング底面最大支圧応力は、コンクリート応力計によると外側が 0.168kg／cm^2、内側が －0.338kg／cm^2（ともにＣ－ホ）であった。一方、モールドゲージによると応力計と同断面の外側が－14.2μ（－3.14kg／cm^2）、内側が－26.7μ（－5.90kg／cm^2）であった。

以上の値はいずれも許容値以内であり、強度的には十分であったものと考えられる。

（５）防護柵の損傷状況

防護柵の損傷は、前後輪衝突位置付近に局部的削痕が認められたが、最大深さは20mmで鉄筋かぶり量以下であり、ひびわれの発生も認められなかった。また、クロスポイントより手前６ｍの位置のコンクリート壁天端に車両荷台後端部による局部的破壊を生じたが、鉄筋外であることから、構造上の問題はないものと考えられる。



図－３．22　防護柵への接触状況（在来工法：実験Ａ－２）

（６）防護柵に発生した応力の実測値と計算値の関係

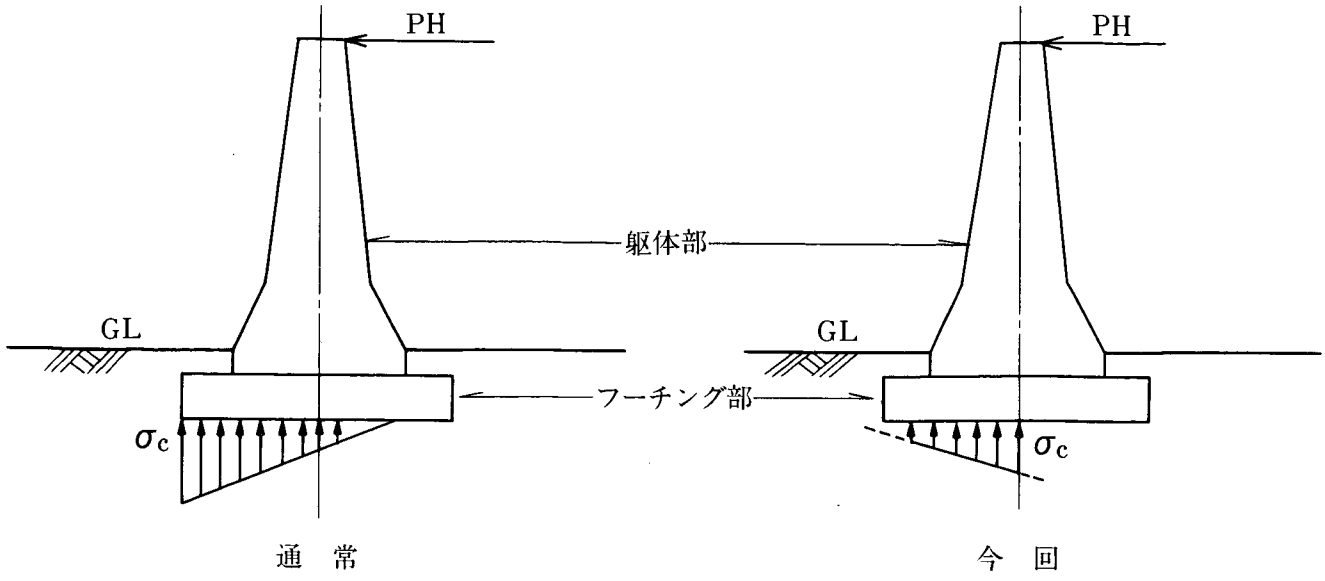
供試体の設計荷重から得られる計算値と衝突時の実測値について比較したものを表－３．21に示す。

主鉄筋応力の実測値（125kg／cm^2）は、計算値に対して3.31倍（125／37.7）と大きかった（実験Ａ－４では2.75倍（131／47.7））。これは、衝突時に車両が大きく浮上って衝突荷重が低減したためと考えられる。

アンカー筋応力の実測値（22kg／cm^2）は、鉄筋コンクリート方式による計算値の1.6%（22／1377）と非常に小さな値であった。また、アンカー筋の引抜け力（63Kg）も、計算値の1.7%（63／3670）と小さい値であった。

フーチング底面支圧応力度分布は、一般的に荷重方向外縁部を底とした３角形と考えられるが、今回の実験では逆傾向の分布をしている（図－３．23）。このような傾向は、直壁の実験ではみられず、フーチング巾や壁面形状によるものと考えられる。

フーチング部には、大きな水平力（軸力10.7t/m）と小さな曲げモーメント（0.14t･m）が作用していることから、主鉄筋は全体的に圧縮域となっていた。（表－３．22）



図－３．23　フーチング底面支圧応力分布

表－３．21　設計値と測定値の比較表（実験A）

項目＼条件			① 計算値 A－2衝撃度:58.9t・m (20° － 80Km/h)	① 計算値 A－4衝撃度:92.1t・m (20° －100Km/h)	② 実測値※2) A－2 (20° 80Km/h)	② 実測値※2) A－4[参考] (20°100Km/h)	許容応力他
躯体部	設計荷重（t/m）		3.0	3.8	—	—	———
	主鉄筋応力度 (Kg/cm²)	イ	[鉄筋ｺﾝｸﾘｰﾄ(n=15)] 1,601	[鉄筋ｺﾝｸﾘｰﾄ(n=15)] 2,028	125 (σct=26.1)	131 (σct=27.5)	σsa=2,700kg/cm² (σsax1.5)
		ロ	[全断面有効] σct (n=7.5) 37.7 =7.91	[全断面有効] 47.7 σct =10.0			
	アンカー筋応力度 (kg／cm²)	イ	[鉄筋ｺﾝｸﾘｰﾄ(n=15)] 1,282	[鉄筋ｺﾝｸﾘｰﾄ(n=15)] 1,601	22	22	σsa=2,700kg/cm² σca= 160kg/cm² (σca×1.5)
		ロ	[鉄筋ｺﾝｸﾘｰﾄ(n=8.5)] 1,377	[鉄筋ｺﾝｸﾘｰﾄ(n=8.5)] 1,744			
		ハ	[全断面有効](n=8.5) 17.4	[全断面有効] 22.0			
	アンカー筋の付着長 (cm)		25.6(As=2,865／cm²)	32.5(As=2,865／cm²)	0.4	0.4	τa = 24kg/cm² (τa×1.5)
	引抜力 (t)		3.67(τa=24kg／cm²)	4.65(τa=24kg／cm²)	0.063	0.063	
	アンカー筋のせん断応力度(kg/cm²)		314	398	1,120	1,089 444	τa_1=1,560kg/cm² $[(\frac{1}{\sqrt{3}}\times\sigma sa)\times 1.5]$
フーチング部	設計荷重（t/m）		※1) 0.50	0.50	—	—	———
	フーチング底面支圧応力(kg/cm²)		1.10	1.10	−0.41(参考)	−1.07(参考)	σBa= 108kg/cm² [1.5(0.3・σck)]
	主鉄筋応力度 (kg／cm²)	イ	[鉄筋ｺﾝｸﾘｰﾄ(n=15)] 26.0	26.0	−34.6	−35.0	σsa=2,700kg/cm² σca= 120kg/cm²
		ロ	[全断面有効(n=8.5)] 4.8	4.8			
	安定計算		$e<\frac{B}{2}$ e:偏心距離 B:ﾌｰﾁﾝｸﾞ巾 $e=0.39m<\frac{B}{2}(0.5m)$	左に同じ	天端最大変位 2.5mm	天端最大変位 2.5mm	$e_a=\frac{1.00}{2}=0.5m$
備考			※1）フーチング部の設計荷重はコンクリート直壁の実験（衝突条件:20t20度100km/h)の測定値から推定したものである ※2）実測値は、路面上１mの位置に水平荷重が作用して下向に45度で分布したすると仮定し、その範囲内の測定点の平均値とした。				

表－３．22　フーチング鉄筋の曲げモーメント及び水平力（軸力）

設計条件	位置		ひずみ値 (μ)	$\frac{\varepsilon_1-\varepsilon_2}{2}$ (μ)	$\frac{\varepsilon_1+\varepsilon_2}{2}$ (μ)	曲げモーメント (t・m)	水平力 (ton)
80km/h −20度 (A－2)	B	F_3	− 8	±1.6	− 9.6	——	——
		(F_3')※	(−11.2)				
	C	F_4	−20	± 4	−24.0	——	——
		F_1	−28				
	D	F_5	−12	±2.4	−14.4	——	——
		(F_5')	(−16.8)				
	平均値		上側(Max) (−18.7μ) −34.6kg／cm²	(±2.7μ) ±5.0 kg／cm²	(−16μ) −29.6 kg／cm²	0.14 t・m	10.7 t/m
100km/h −20度 (A－4) (参考)	B	F_3	− 8	±2.2	−10.2	——	——
		(F_3')	(−12.4)				
	C	F_4	−22.5	±6.25	−28.75	——	——
		F_1	−35				
	D	F_5	− 6	±1.65	− 7.65	——	——
		(F_5')	(− 9.3)				
	平均値		上側(Max) (−18.9μ) −35.0kg／cm²	(±3.37μ) 6.23 kg／cm²	(−15.5μ) −28.7 kg／cm²	0.17 t・m	10.4 t/m
備考	※ （ ）の数値はC位置のひずみ比より推定 $\alpha=\frac{F_1}{F_4}=\frac{-28}{-20}=1.4$						

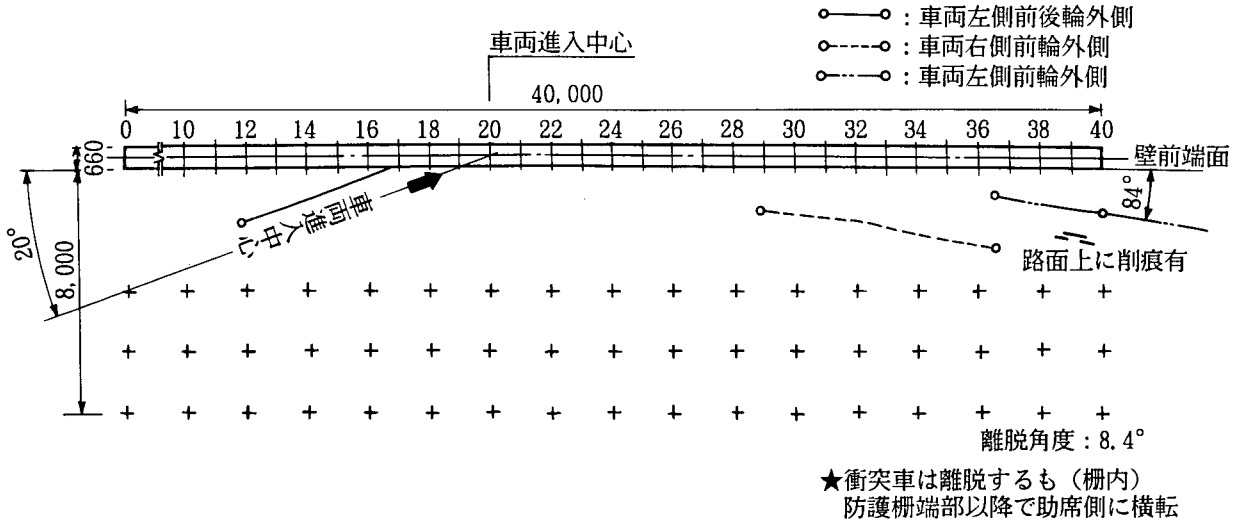
3）実験Ａ－３（小型乗用車）［参考実験］

（１）車両の挙動

車両重量1.1ｔの小型乗用車は、速度120.0km/h、角度20度、衝撃度7.29t･mで衝突した。

小型乗用車は左側前端部衝突後、左側前輪がコンクリート壁面に乗り上げ道路側に傾いた後、左側後輪が壁面スロープに乗り上げながら方向転換するが、この時の車両は道路側へ32度傾き、左側前後輪は天端近くまで跳び上っていた。さらに12.2m空中を飛翔しながら車両は前のめり（対路面着地角度14度）になりながら、姿勢角（進行方向と車体のＸ軸のずれ）約８度で右側前輪が着地したところ、車両後部の慣性力が時計廻りに働いたことから、右前輪が浮上り、車両は左側に横転して、路面上をそのままの状態で滑走した。車輪の最大浮上り量は、左側前後輪が 100cm、右側後輪が20cmと大きかった。なお、離脱角度は 8.4度であった。

以上のように本供試体の形状では誘導性を確保することができなかったことから、小型車の高速衝突時の誘導性を高めるためには車両の飛び上がりをある程度抑えることが必要であると考えられる。



図－３．24　車両の軌跡図（在来工法：実験Ａ－３）

（２）乗員の安全性（表－３．17、表－３．18～20）

車両重心の最大加速度は、Ｘ方向が16.3ｇ、Ｙ方向（Ｙ）が16.5ｇ、合成値が20.9ｇであった。また、50msec値はＸ方向が 6.7ｇ、Ｙ方向が10.6ｇ、合成値が12.1ｇであり、米国の３点式シートベルト着用条件の推奨値以下であった。

運転席ダミー頭部の最大加速度は、Ｘ方向が－57.9ｇ、Ｙ方向が 188.4ｇ、助手席ダミー頭部はＸ方向が52.8ｇ、Ｙ方向が78.2ｇであり、非常に大きな値を示した。一方、ＨＩＣ値は助手席が540.9と許容基準値以下であったが、運転席は11,780（推定値）と許容限界値（1000）を大幅に超えており、乗員の安全性に問題があるものと考えられる。

（３）車両の損傷状況

車両の外回りの損傷は、左前バンパーおよびフェンダーの凹み（25cm）、車体の前から中央にかけて摺痕、左前のサイドガラスの破壊があった。一方、足廻りについては、左側前輪のリムの変形、

小判形状の孔あきによるバースト、ハブキャップの取外れがあった。また、左側前輪は運転席側へ15cm移動してステアリングが損傷したため自力走行は不可能であった。

車室内部の変形は小さく、乗員の生存空間は確保されていた。

（４） 防護柵の挙動

車両の衝突開始位置は、クロスポイント手前3.44mのところであり、全接触長は4.48mであった。

防護柵の最大変位量は、柵中央上端が0.27mm（D_1）、下端が0.10mm（D_2）であり、両端ではいずれも0mm（D_3，D_4）であった。

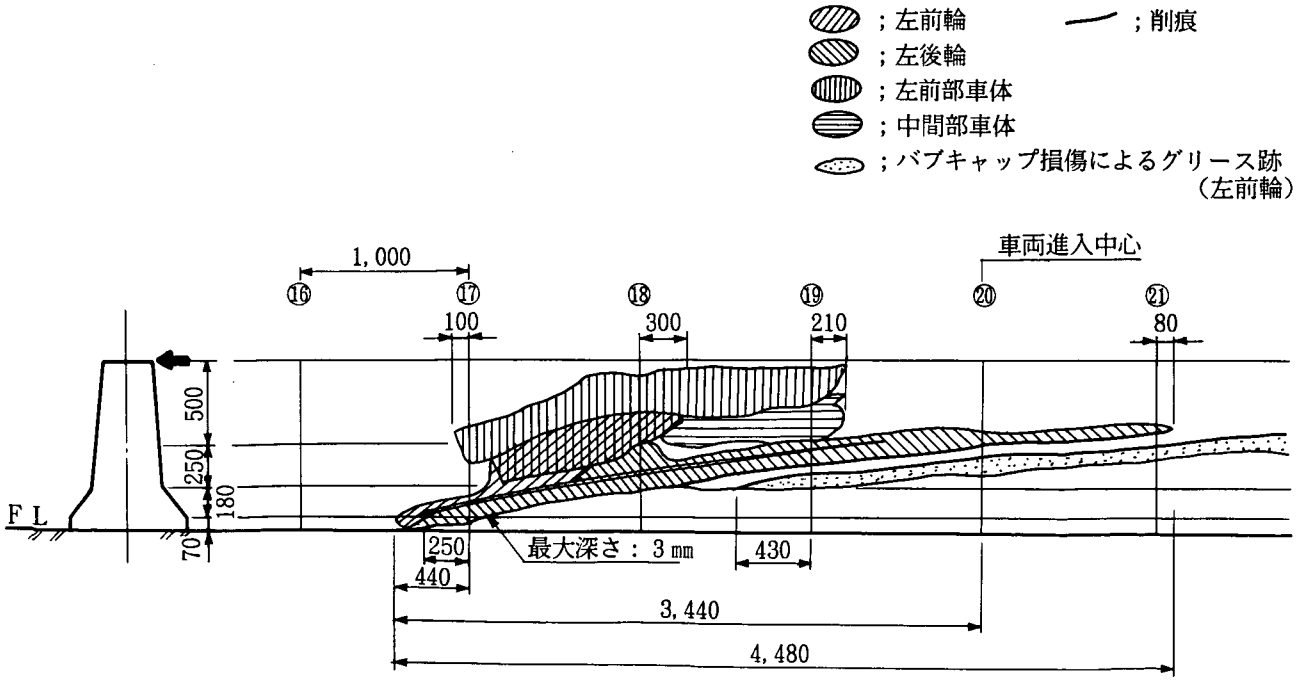
躯体部主鉄筋の最大ひずみは、車両前部衝突時に17.2μ（D－ロ…31.8kg／cm²）、横方向鉄筋の最大ひずみは －5.8μ（D－イ…－10.7kg／cm²）であった。また、アンカー筋の最大ひずみは壁前面側が 4.6μ（D－ハ…8.6kg／cm²）、壁背面側が －4.6μ（D－ハ…8.6kg／cm²）であった。

一方、フーチング部主鉄筋の最大ひずみは、上筋で －5.9μ（D－ニ…－10.9kg／cm²）、下筋で －1.4μ（D－ホ…－2.6kg／cm²）であった。

フーチング底面最大支圧応力は、コンクリート応力計によると外側が －0.087kg／cm²、内側が －0.084kg／cm²（ともにC－ホ）であった。一方モールドゲージによると応力計と同断面の外側が －7.0μ（－1.43kg／cm²）、内側が －5.0μ（－1.02kg／cm²）であった。

（５） 防護柵の損傷状況

防護柵の損傷は、前後輪衝突位置付近に局部的削痕が認められたが、最大深さは５mmで鉄筋かぶり量以下であり、構造上の問題はないものと考えられる。



図－３．25 防護柵への接触状況（在来工法：実験Ａ－３）

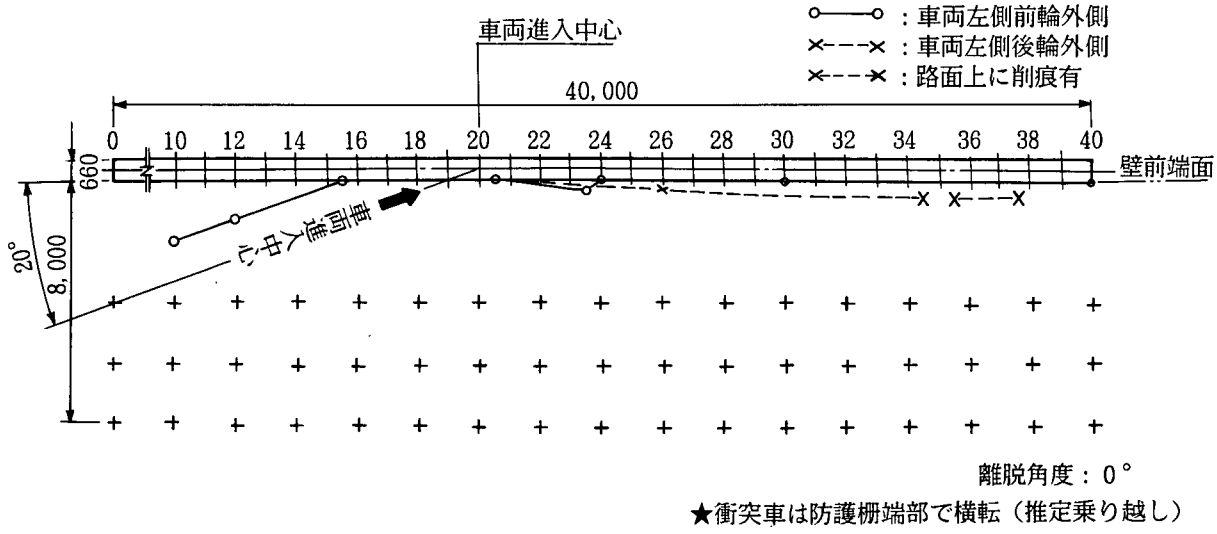
4）実験Ａ－４（大型貨物車）［参考実験］

（１）車両の挙動

車両重量20ｔの大型貨物車は、速度 100.6km/h、角度20度、衝撃度 93.2t･mで衝突した。

大型貨物車は、左側前端部、フェンダーの順で衝突した後、防護柵に車体を喰込ませながら、キャビンを防護柵側に傾かせながら、右側前輪を大きく浮上がらせた後、後輪衝突時に荷台に取付けた車体挙動測定用の横木が取外れて土嚢とともに左前方に放り出された。さらにキャブおよび荷台は大きく傾き、右側後輪も大きく浮上り、車体が防護柵と平行になった時点で車体は大きく傾き、防護柵の天端に横倒しの状態で乗り上げてそのまま防護柵端部まですべり転落し、横転した状態で停止した。この際の前輪と後輪の衝突時間差は 0.240秒（主鉄筋 R_2による）であり、防護柵に乗り上げる瞬間の車体の傾きは、防護柵側に前端部が45度、荷台後端部が約90度であった。なお、離脱速度および角度については横転したため計測不能であった。

以上のように本供試体の形状では誘導性を確保することができなかったことから、大型車の高速衝突時の誘導性を高めるためには、車両の横転を防止することが必要であると考えられる。したがって、実験Ａ－３とあわせて考えると本供試体の形状は80km/h以下の衝突に対して有効であると考えられる。



図－３．26　車両の軌跡図（在来工法：実験Ａ－４）

（２）乗員の安全性（表－３．17、表－３．18～20）

車両重心の最大加速度は、Ｘ方向が 4.9ｇ、Ｙ方向が20.4ｇ、合成値が20.4ｇであった。また、50msec値はＸ方向が 2.0ｇ、Ｙ方向が 8.7ｇ、合成値が 8.7ｇであり、米国の３点式シートベルト着用条件の推奨値以下であった。

運転席ダミー頭部の最大加速度は、Ｘ方向が－31.7ｇ、Ｙ方向が40.0ｇで、助手席ダミー頭部は最大加速度は、Ｘ方向が －8.9ｇ、Ｙ方向が 121.7ｇであり、実験Ａ－２と同様に助手席ダミーの値が運転席に比べて大きくなる傾向を示した。一方、ＨＩＣ値は運転席が85.4、助手席が 829.6であり、許容限界値（1000）以下であり、加速度による評価では安全性が確保されていた。

（３）車両の損傷状況

車両の外回りの損傷は、左前バンパーのシャーシ先端部からの曲り、左前フェンダー下部の潰れ等があり、後輪衝突時には荷台の横木（ターゲットマーク用）や土嚢（約30個）が飛散した。一方、足廻りについては、左側前輪のUボルトの破断やステップ突起部の潰れや取付ボルトの削痕があった。また、左側前輪が後方へ25cm移動したため、自力走行は不可能であった。しかし、前軸部を釣り上げれば牽引走行は可能と考えられる。

車室内部の変形はほとんどなかったことから、乗員の生存空間は確保されていたものと考えられる。

（４）防護柵の挙動

衝突開始位置は、クロスポイント手前4.72mのところであり、全接触長は衝突開始位置から柵端部までの 25.80mであった。

防護柵の最大変位量は、柵中央上端が2.17mm（D_1）、下端が1.29mm（D_2）であり、両端ではそれぞれ0.24mm（D_3）、0.18mm（D_4）とかなり小さい値であった。

躯体部主鉄筋の最大ひずみは、前輪衝突時に82.6μ（D－ロ…152.8kg／cm^2）、横方向鉄筋の最大ひずみは後輪衝突時に－55.9μ（D－イ…－103.4kg／cm^2）であった。また、アンカー筋最大ひずみは壁前面側が17.5μ（D－ハ…32.7kg／cm^2）、壁背面側が－13.6μ（D－ハ…－25.4kg／cm^2）であった。

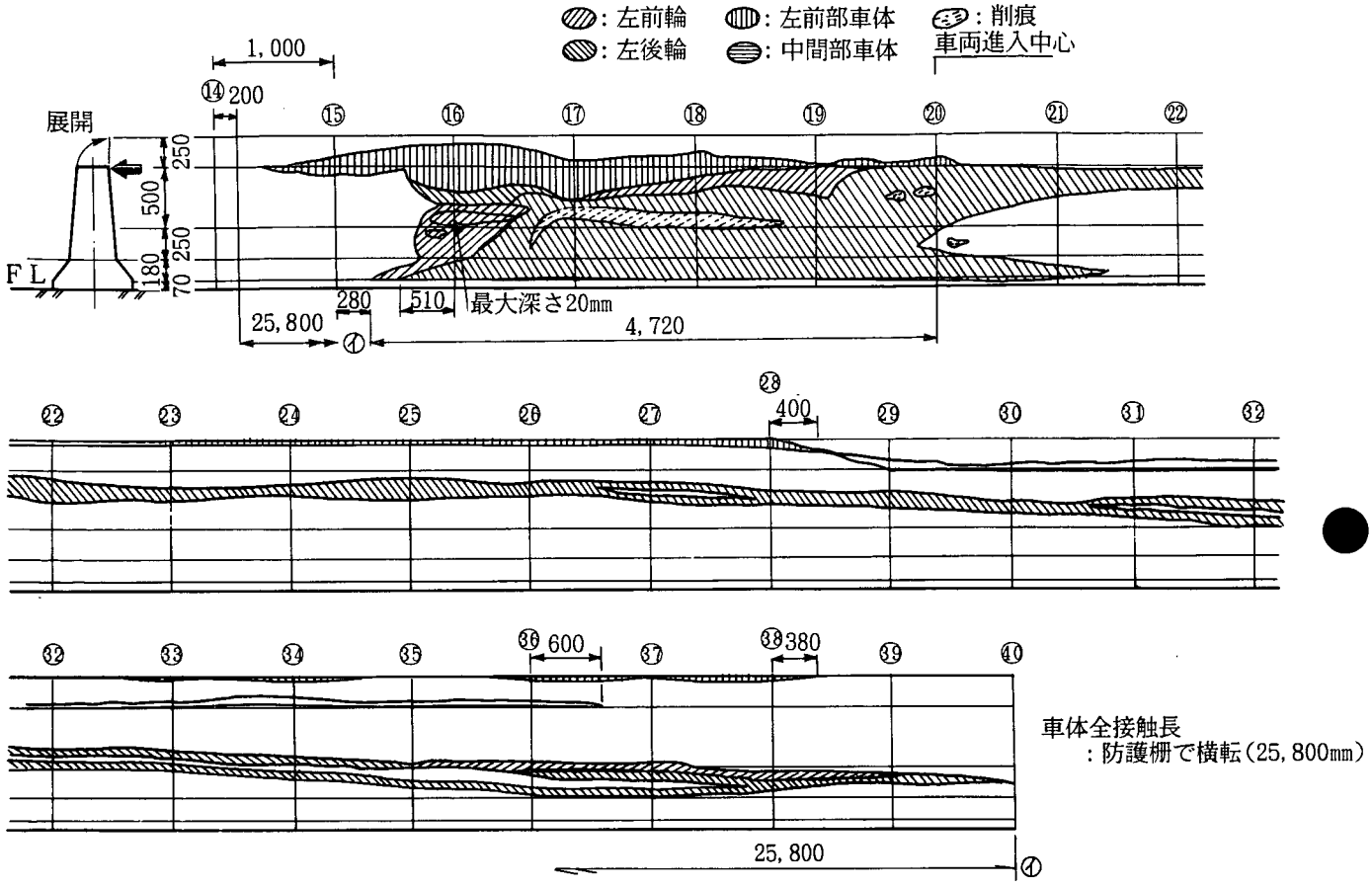
躯体各部測定値を実験Ａ－２のケースと比較してみると、衝撃度が1.60倍（92.1／58.4t･m）になっているのに対してひずみ測定値から得られる各部の応力はほぼ同じ値を示していた。これは、実験Ａ－４では車両が乗り越し挙動を示し、躯体へ作用する力が少なくなったものと考えられる。なお、小型乗用車（実験Ａ－３と実験Ａ－１）の場合は乗り越し挙動がなかったことから、衝撃度が2.25倍（7.29/3.24t･m）になっているのに対して各部応力の測定値も1.64～2.46倍となり、比例する傾向がある。

一方、フーチング部主鉄筋の最大ひずみは、上筋で－38.5μ（Ｃ－ニ…－71.2kg／cm^2）、下筋で－21.5μ（Ｃ－ホ…－39.8kg／cm^2）であった。

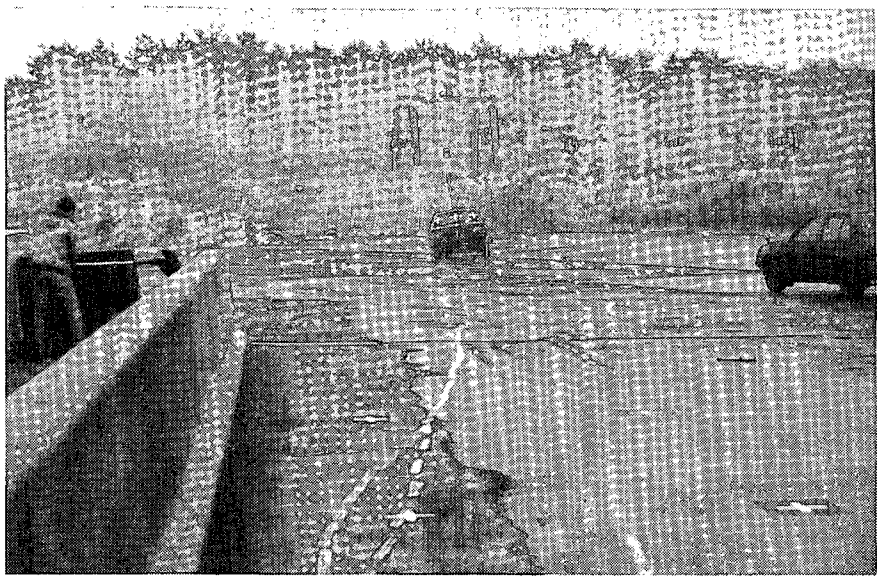
フーチング底面最大支圧応力は、コンクリート応力計によると外側が －0.933kg／cm^2、内側が －0.818kg／cm^2（ともにＣ－ホ）であった。一方、モールドゲージによると応力計と同断面の外側が－21.5μ（Ｂ－ホ…－4.75kg／cm^2）、内側が－31.7μ（Ｃ－ホ…－7.01kg／cm^2）であった。

（５）防護柵の損傷状況

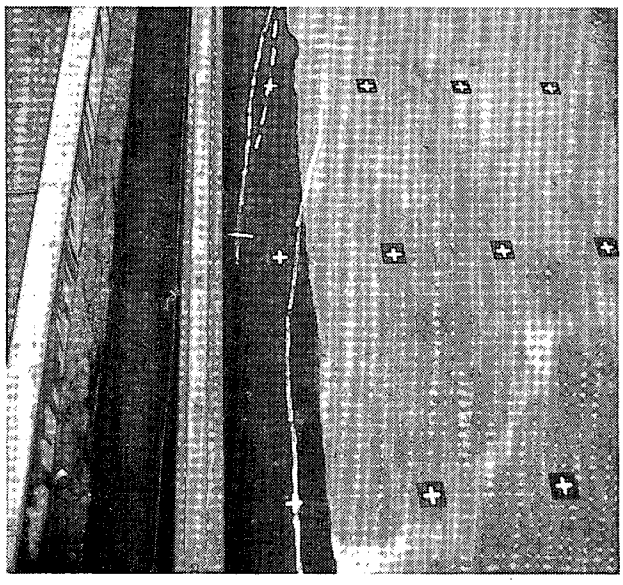
防護柵の損傷は、前後輪衝突位置付近に局部的削痕が認められたが、最大深さは20mmで鉄筋かぶり量以下であり、ひびわれの発生も認められなかった。また、衝突位置付近の壁前面と舗装面の接触位置に 7.0mにわたって１mmの隙間が生じたが、構造上の問題点はないものと考えられる。



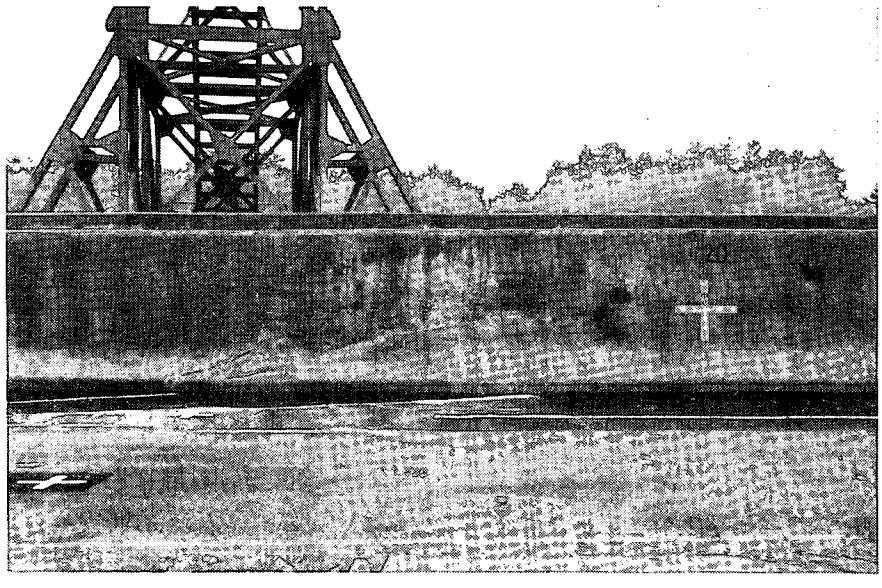
図－３．27　防護柵への接触状況（在来工法：実験Ａ－４）



写真－３．１　車両の軌跡と停車状況（実験Ａ－１）



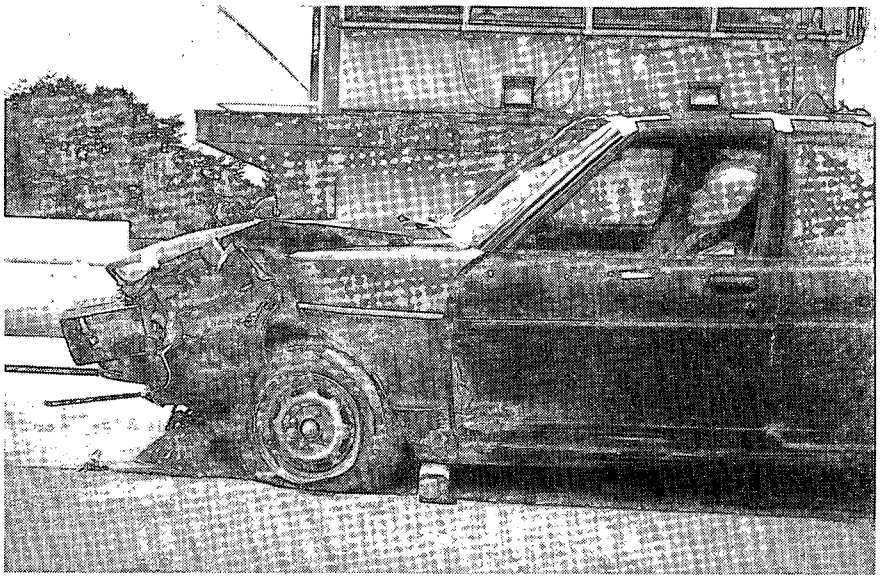
写真－３．２　車両の軌跡と停車状況（実験Ａ－１）



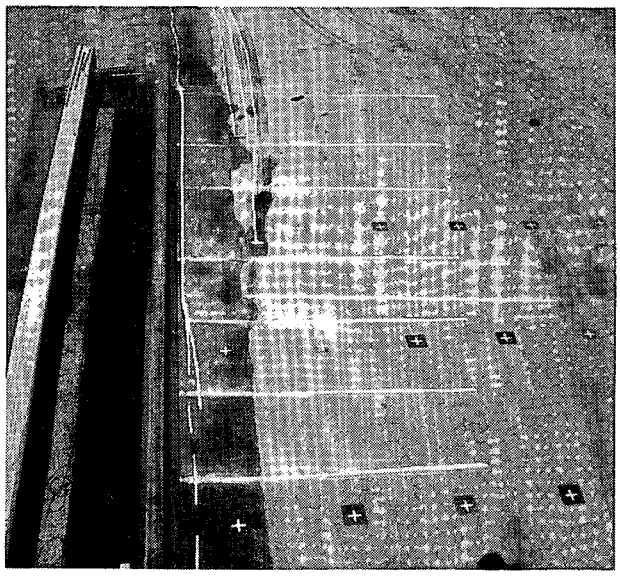
写真－３．３　防護柵への車両接触跡（実験Ａ－１）



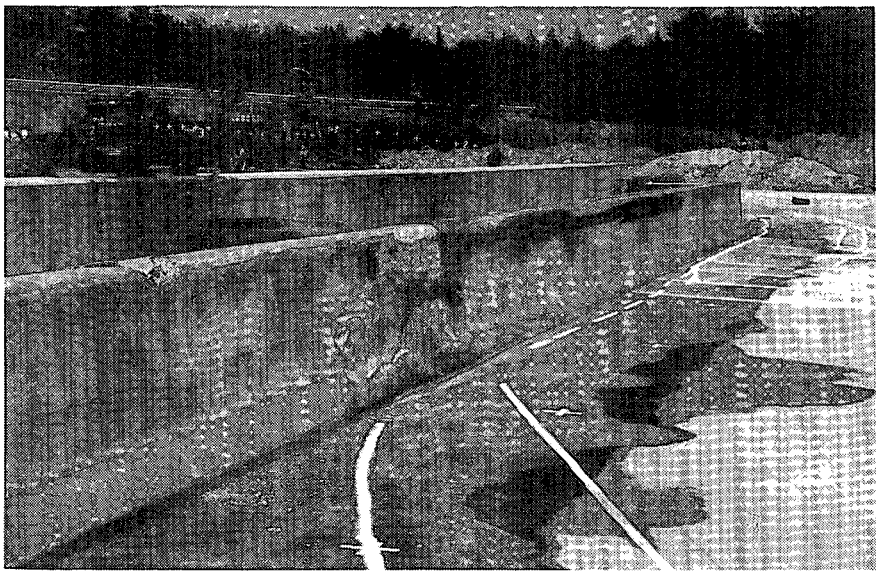
写真－３．４　車両の損傷状況（実験Ａ－１）



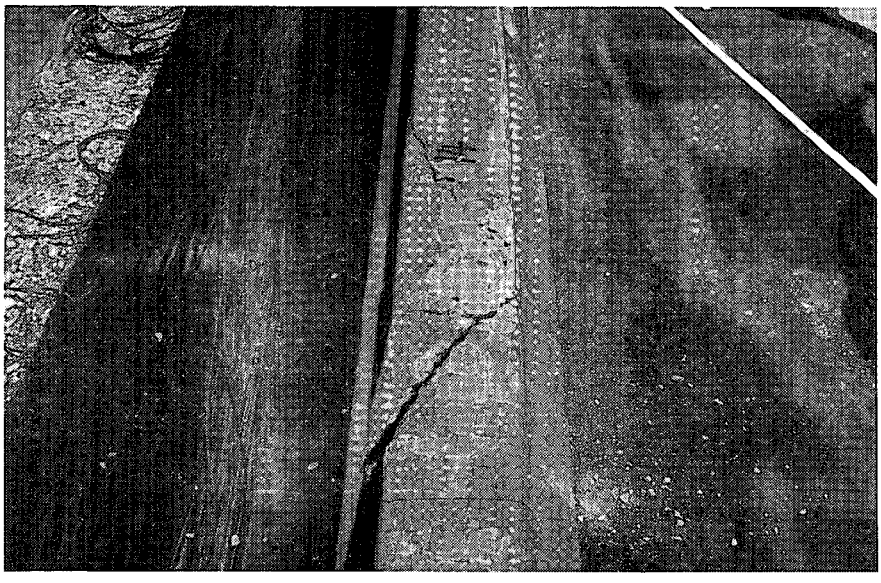
写真－３．５　車両の損傷状況（実験Ａ－１）



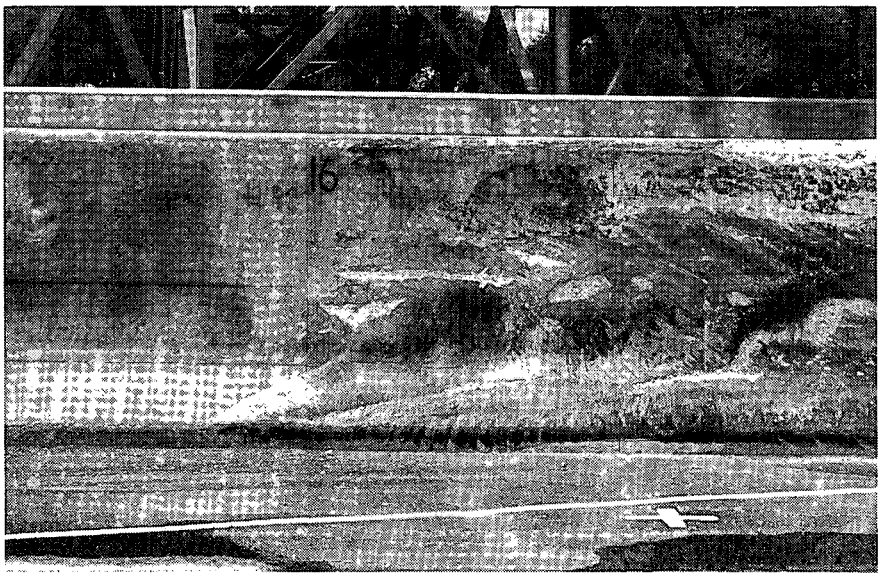
写真－３．６　車両の軌跡（実験Ａ－２）



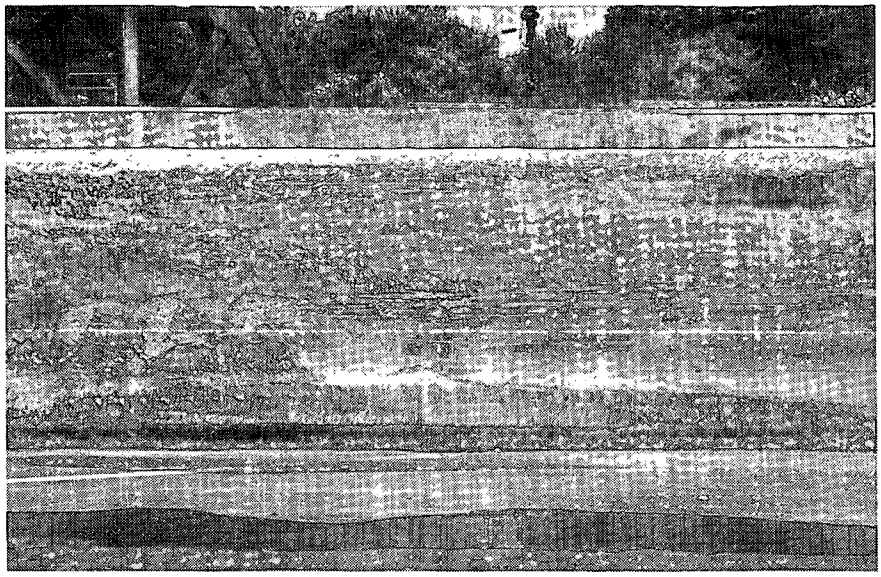
写真－３．７　防護柵への車両接触跡（実験Ａ－２）



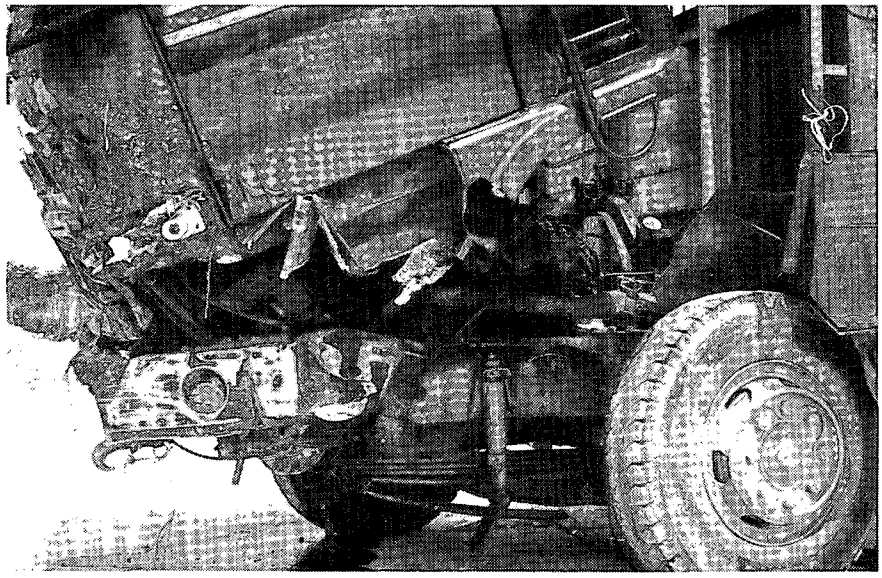
写真－３．８　防護柵の損傷状況（実験Ａ－２）



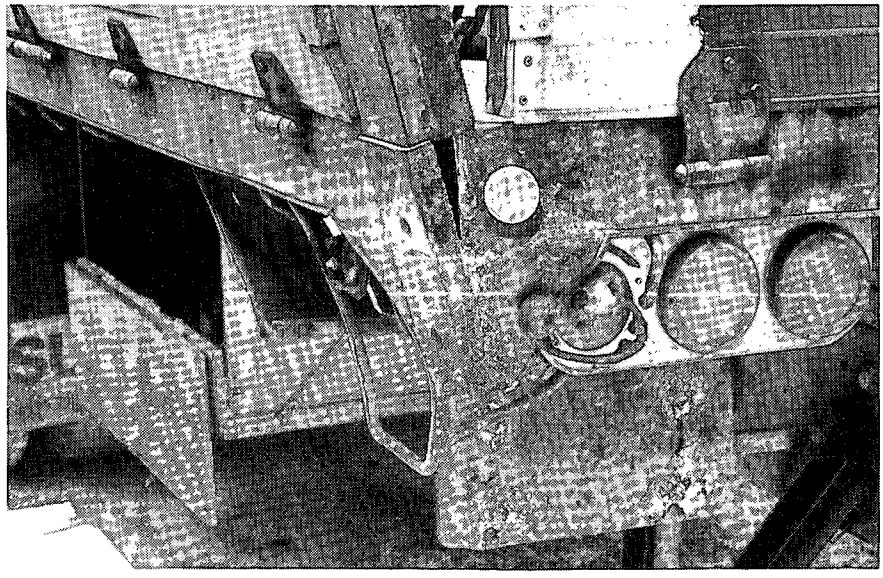
写真－３．９　防護柵への車両接触跡（実験Ａ－２）



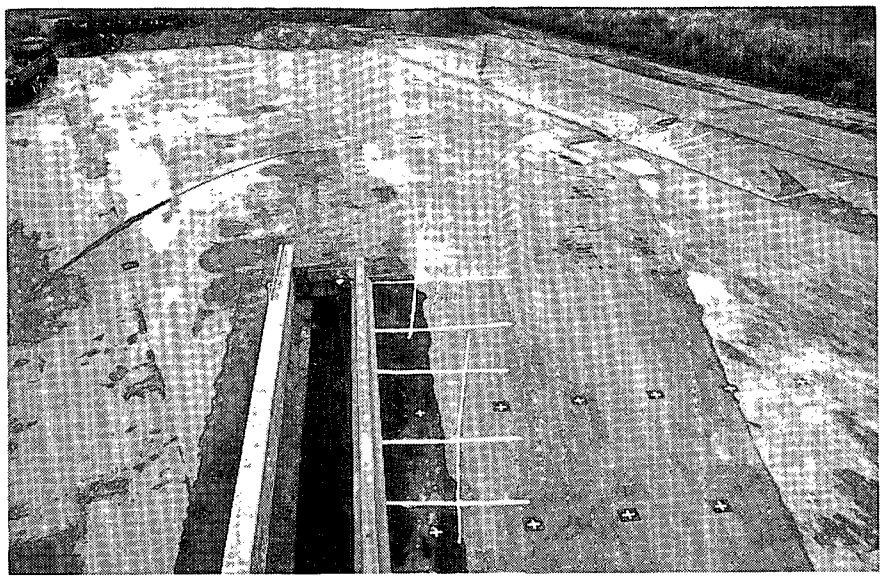
写真－３．10　防護柵への車両接触跡（実験Ａ－２）



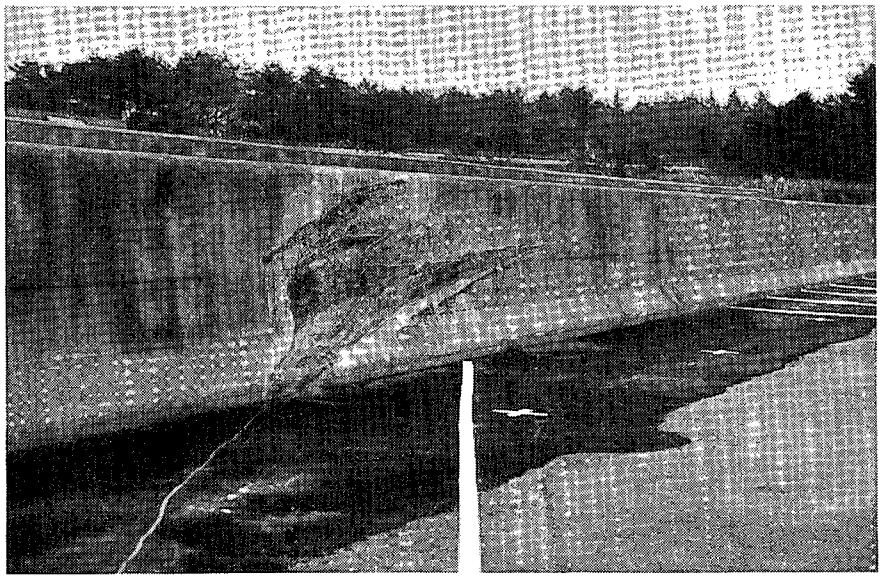
写真－３．11　車両の損傷状況（実験Ａ－２）



写真－３．12　車両の損傷状況（実験Ａ－２）



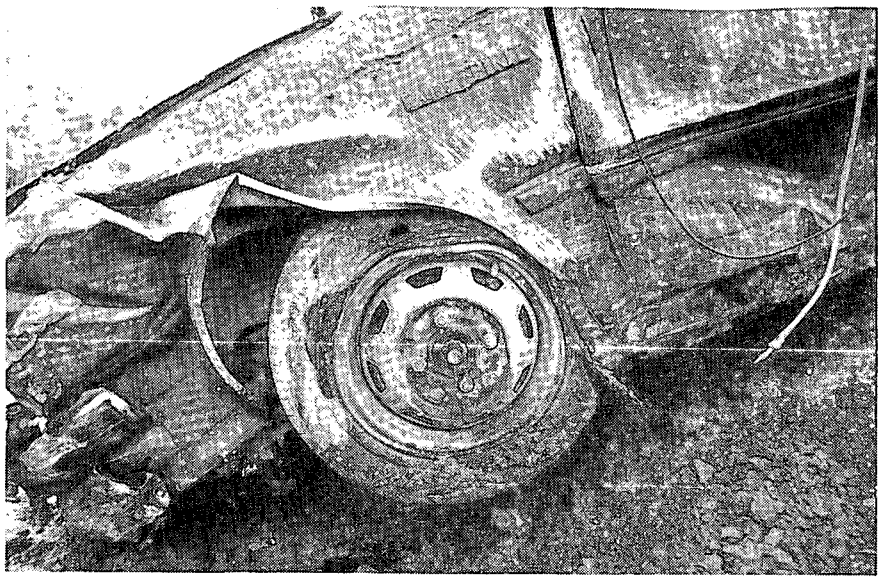
写真－３．12　車両の軌跡（実験Ａ－３）



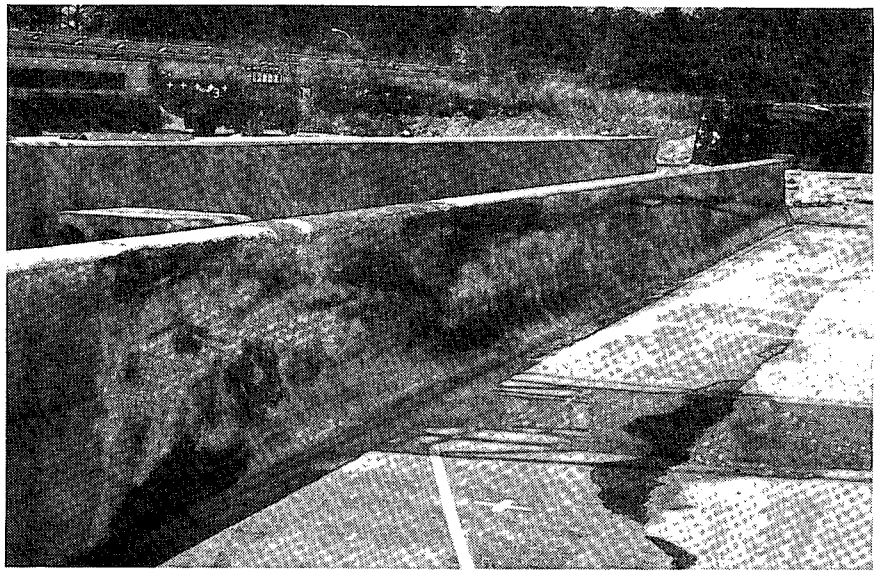
写真－３．13　防護柵への車両接触跡（実験Ａ－３）



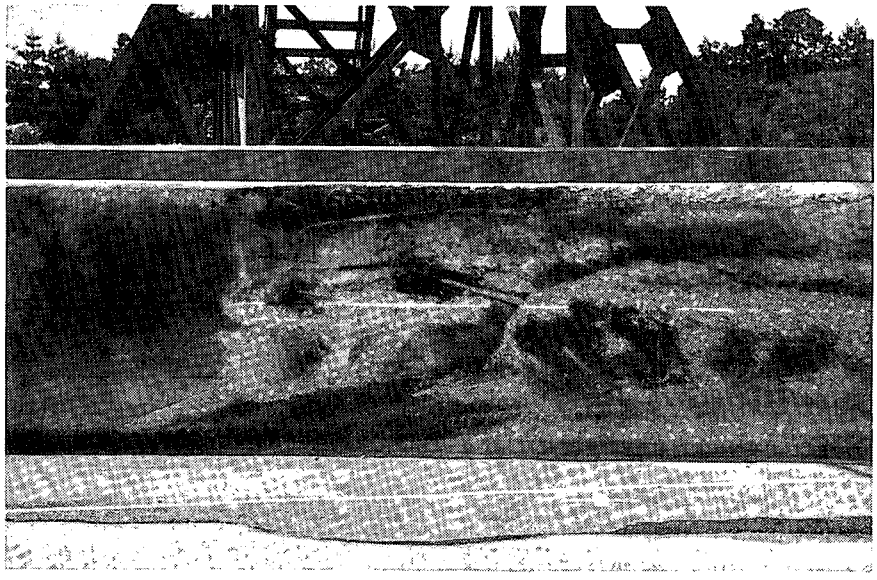
写真－３．14　車両の損傷状況（実験Ａ－３）



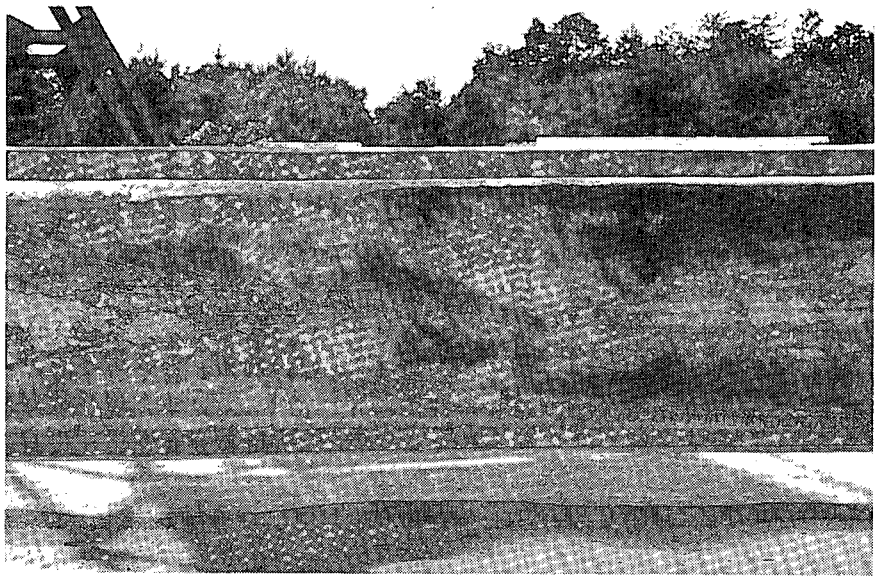
写真－３．15　車両の損傷状況（実験Ａ－３）



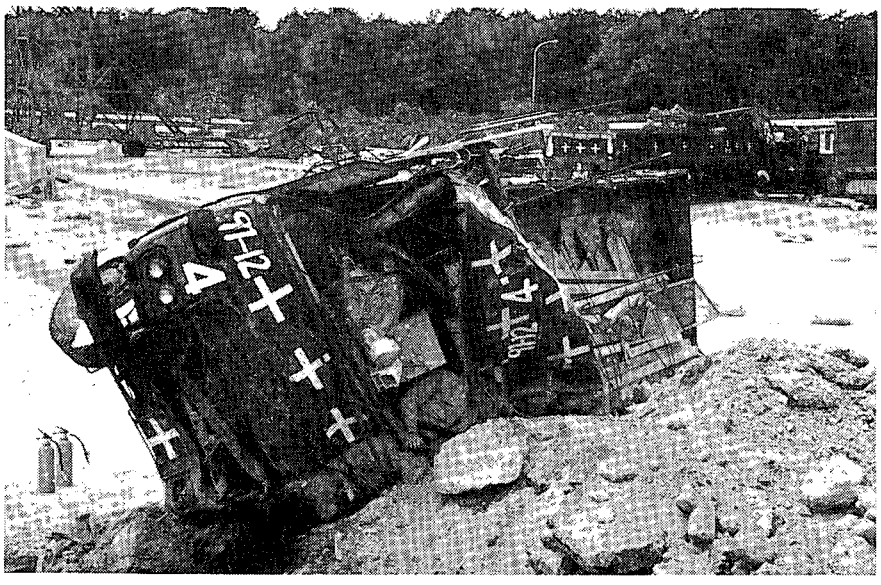
写真－３．16　防護柵への車両接触跡（実験Ａ－４）



写真－３．17　防護柵への車両接触跡（実験Ａ－４）



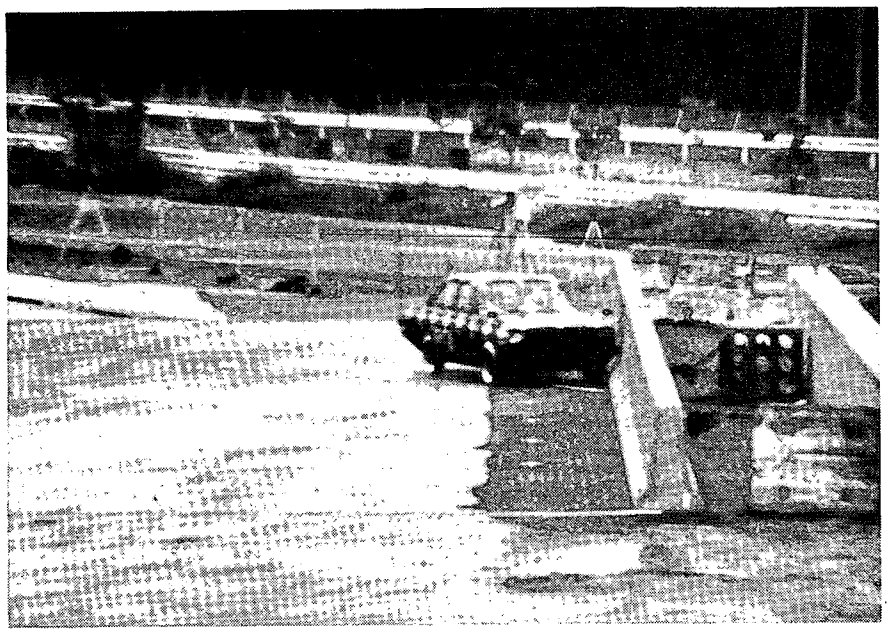
写真－３．18　防護柵への車両接触跡（実験Ａ－４）

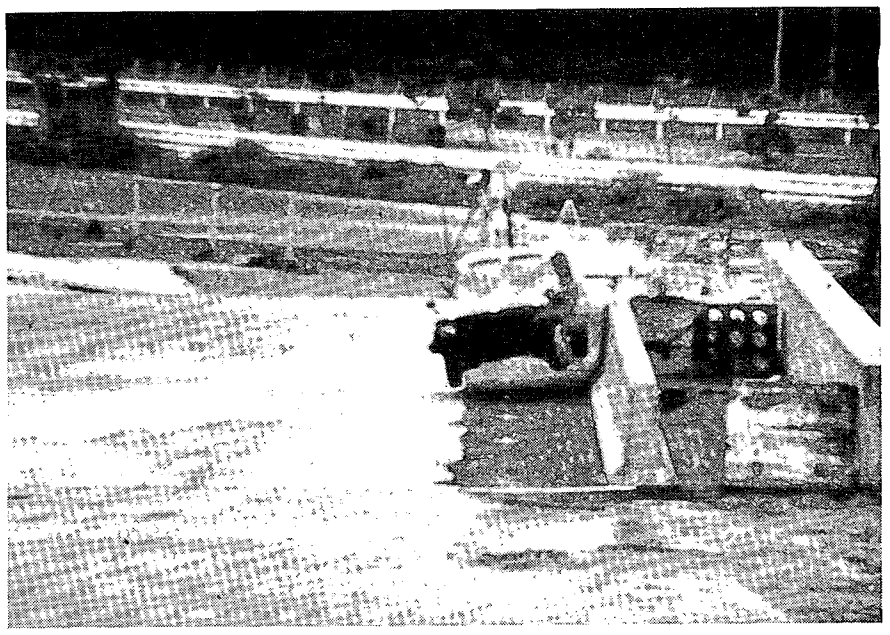


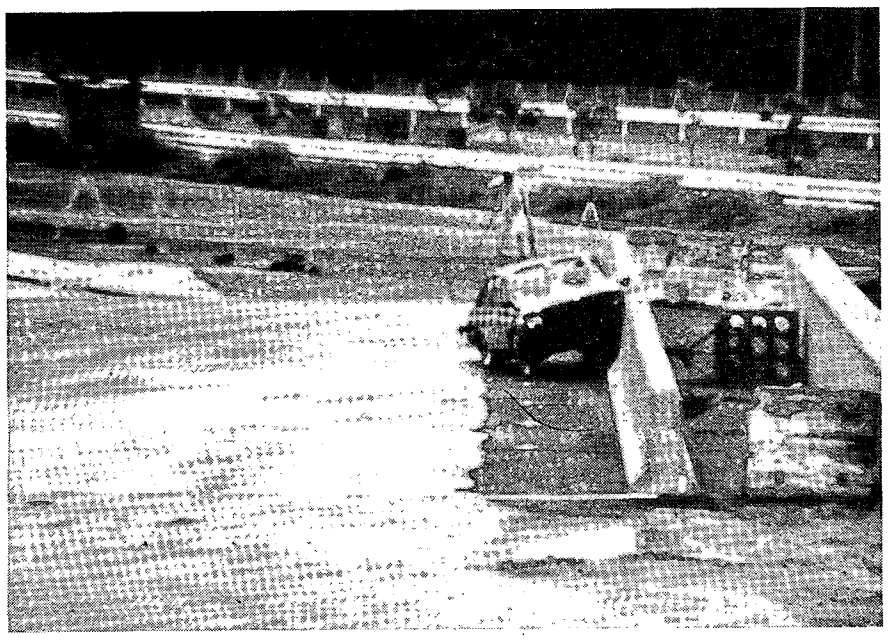
写真－３．19　車両の損傷状況（実験Ａ－４）

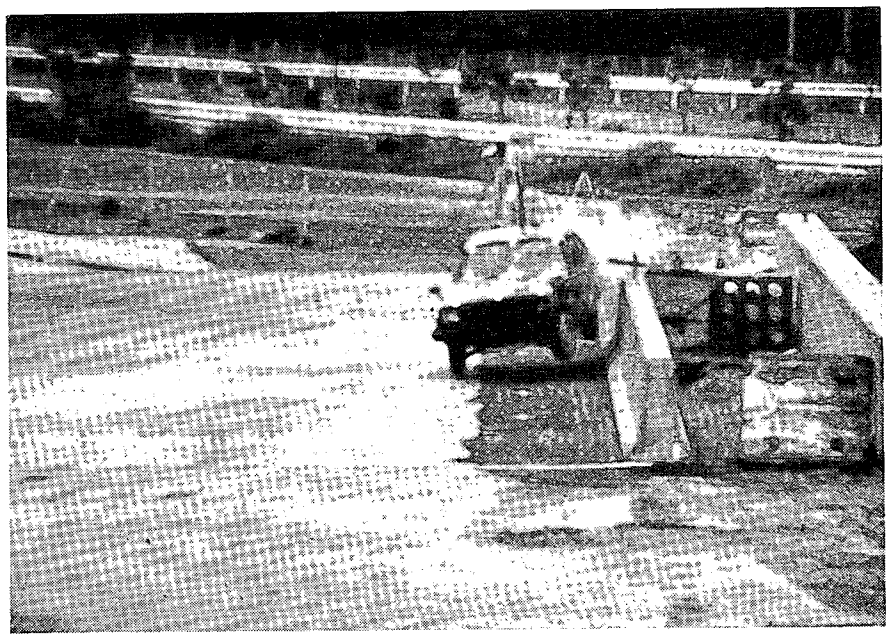


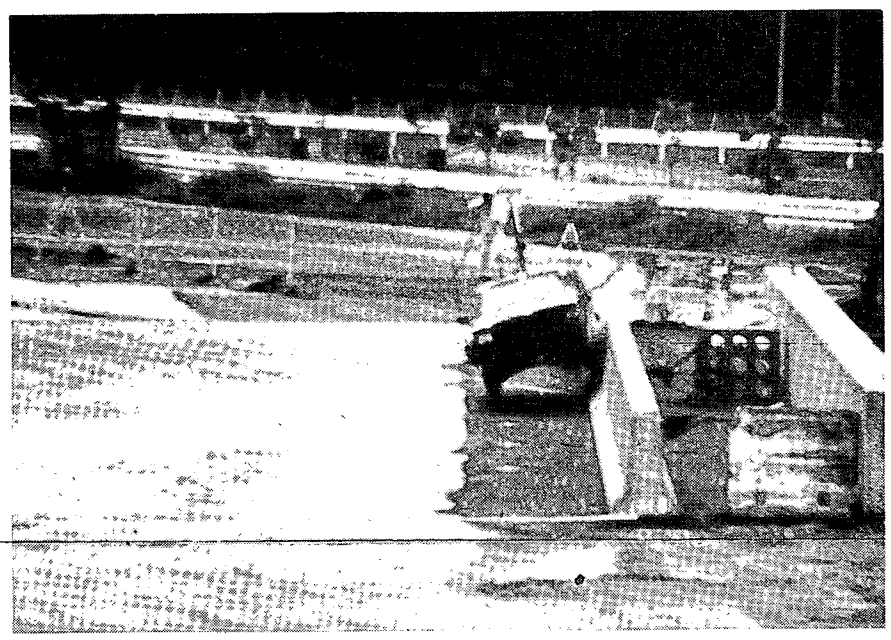
写真－３．20　車両の損傷状況（実験Ａ－４）

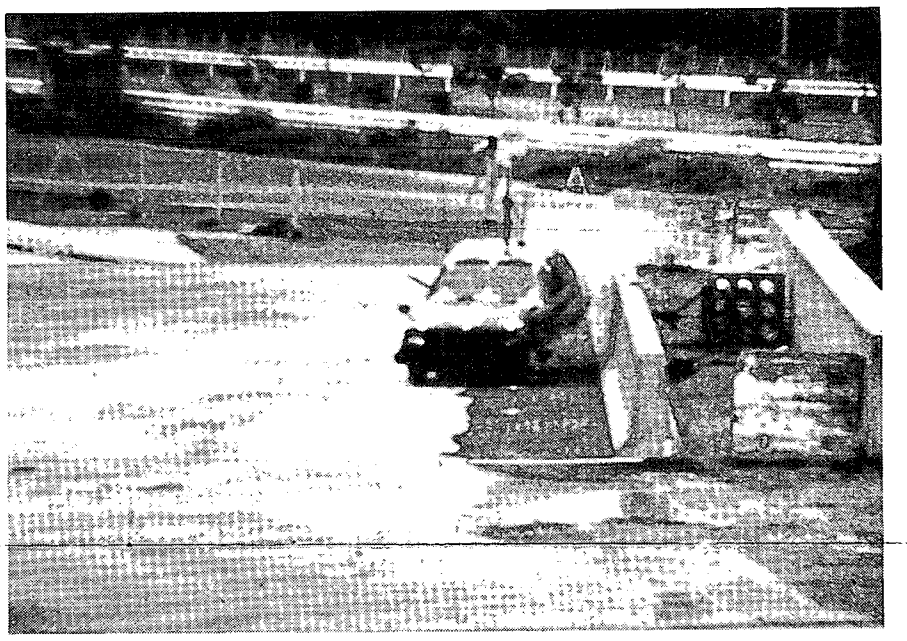


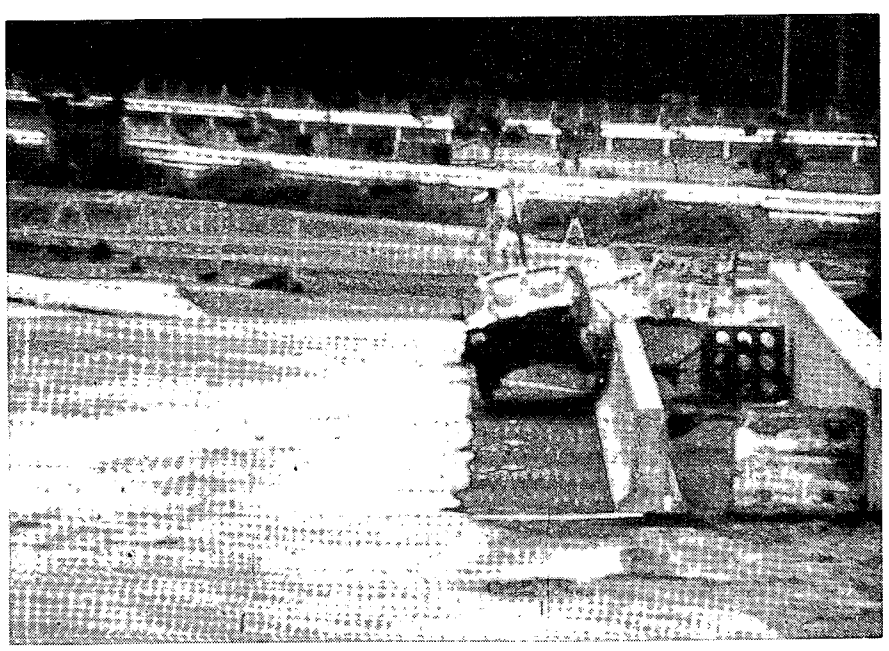








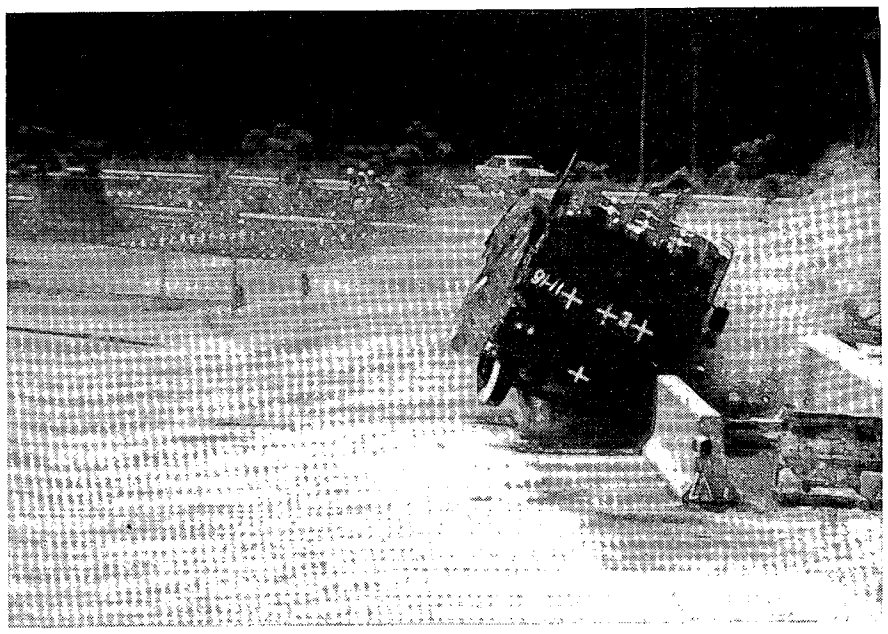


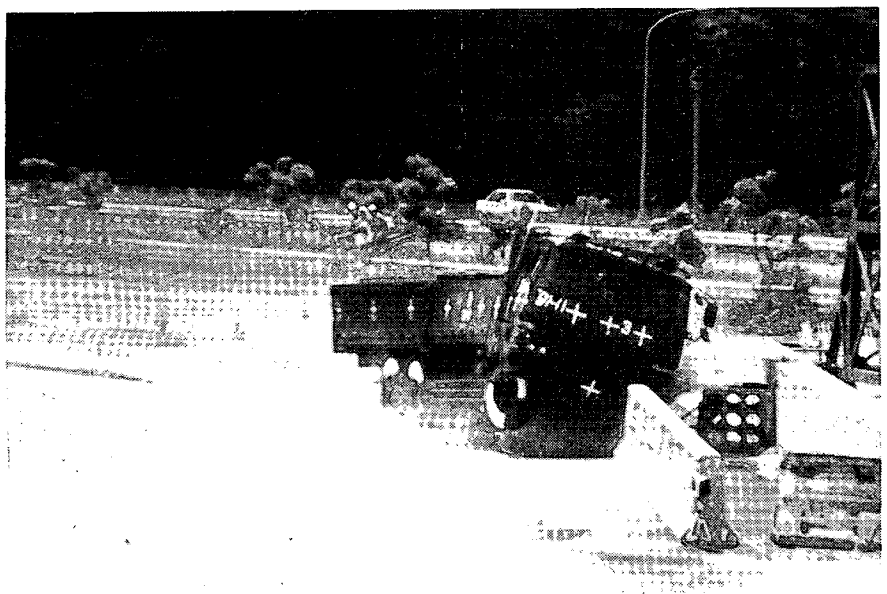


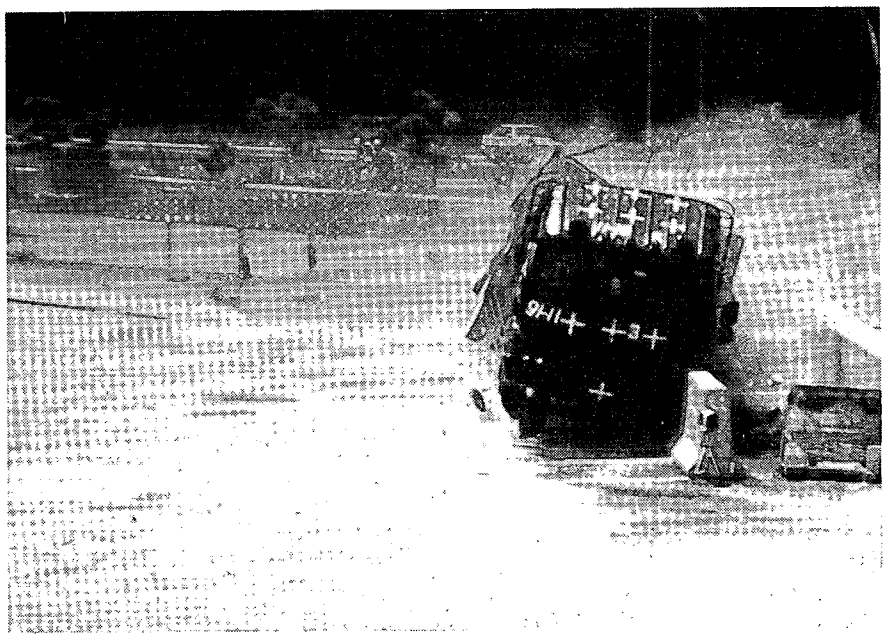


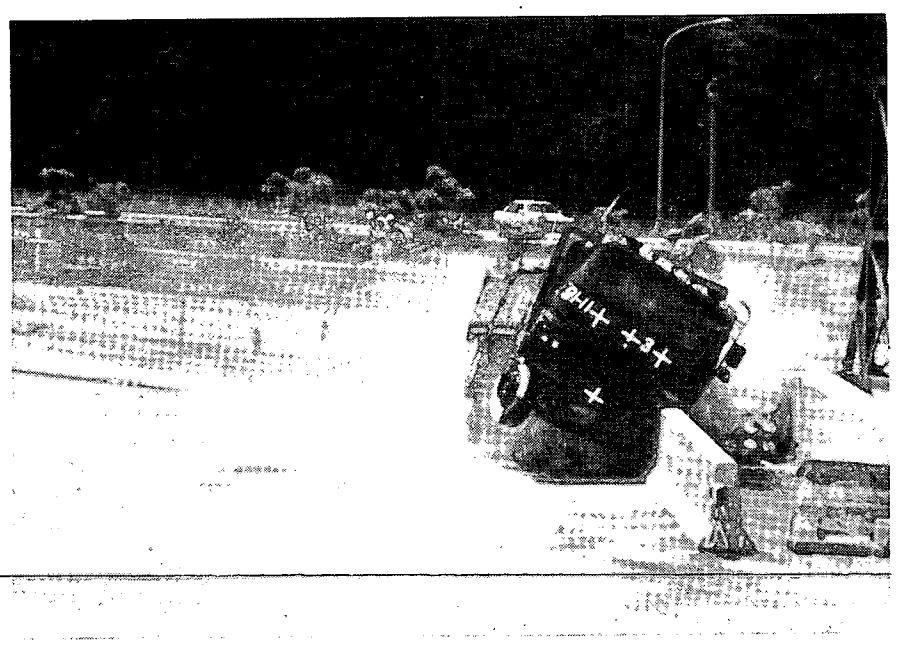
写真－３．21　車両衝突状況連続写真（実験Ａ－１）



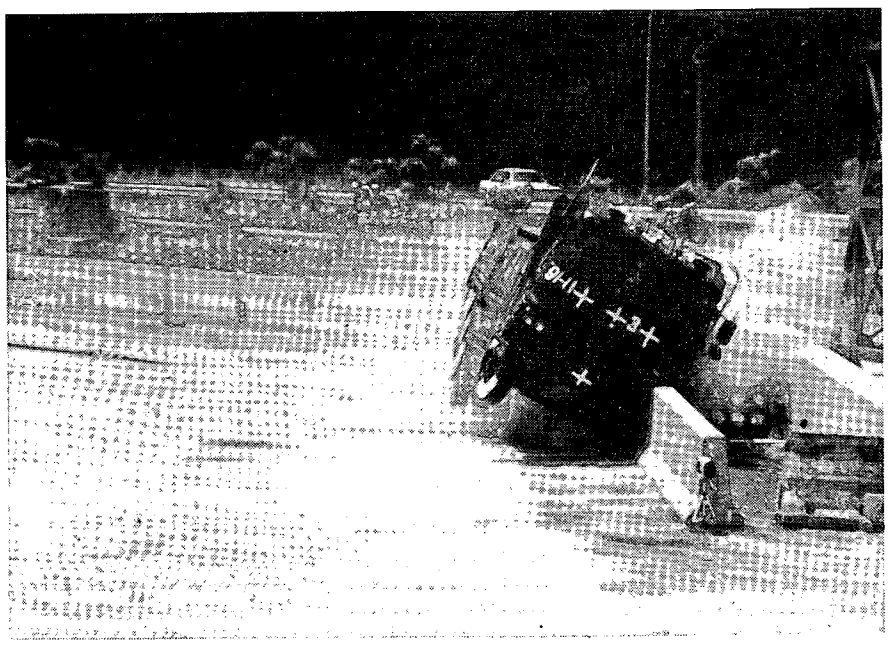


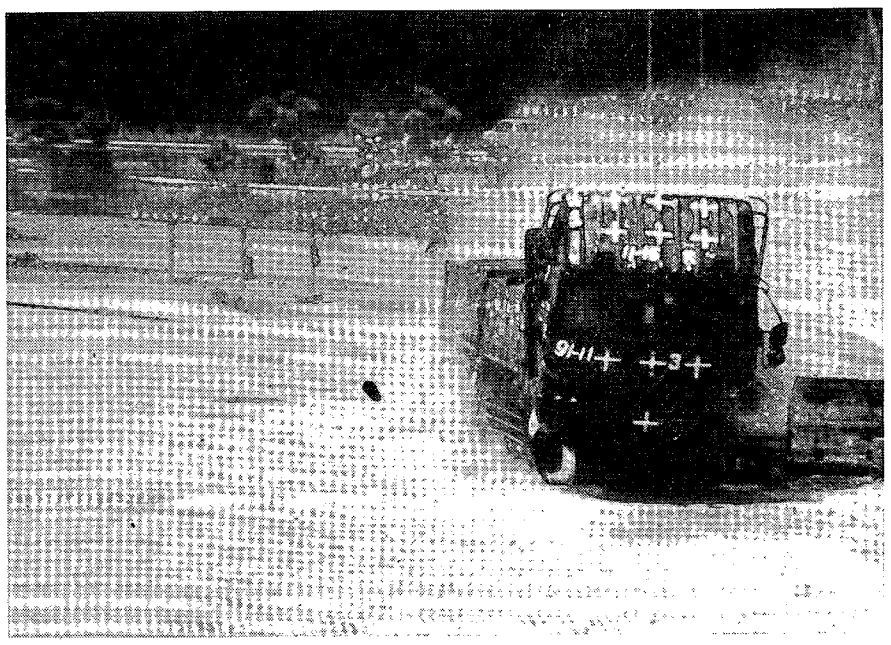




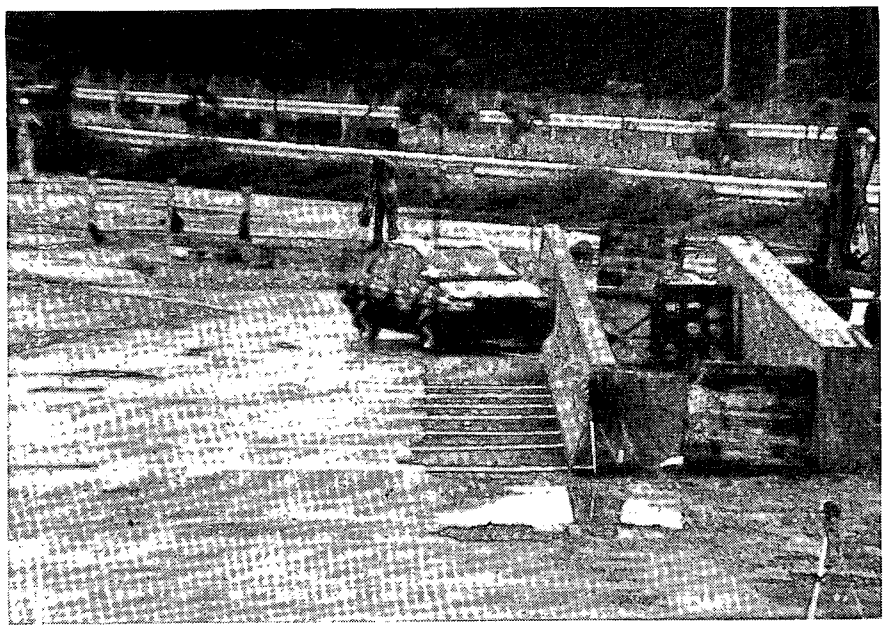


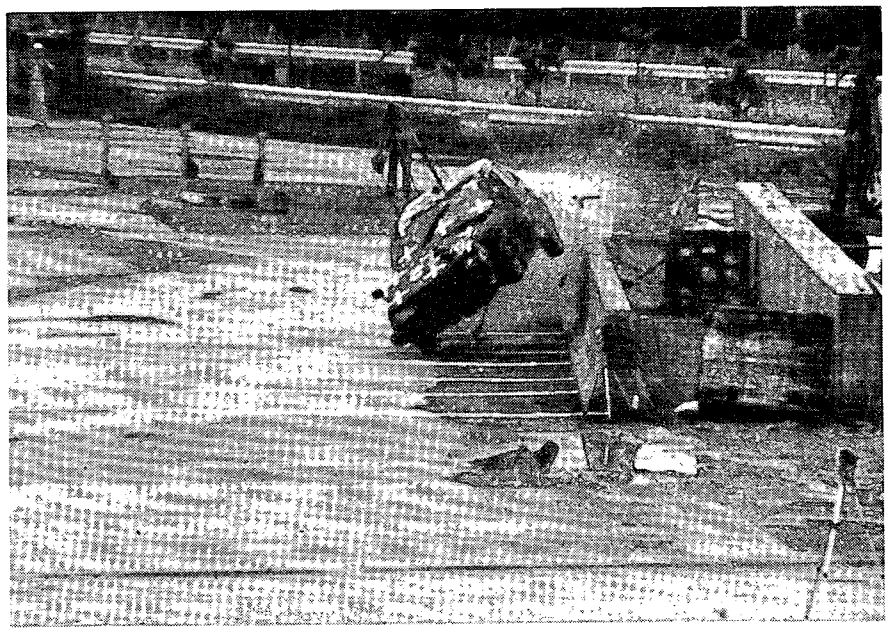


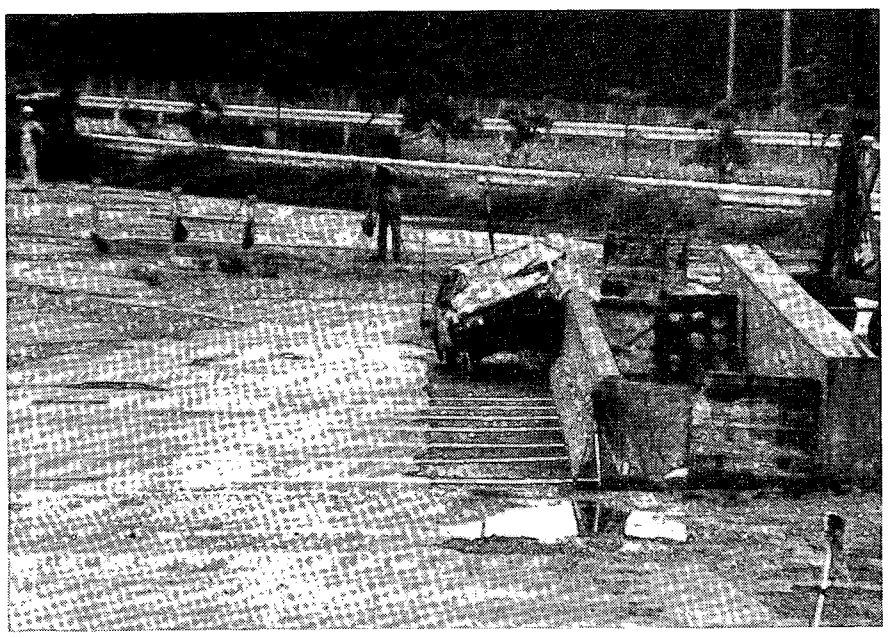


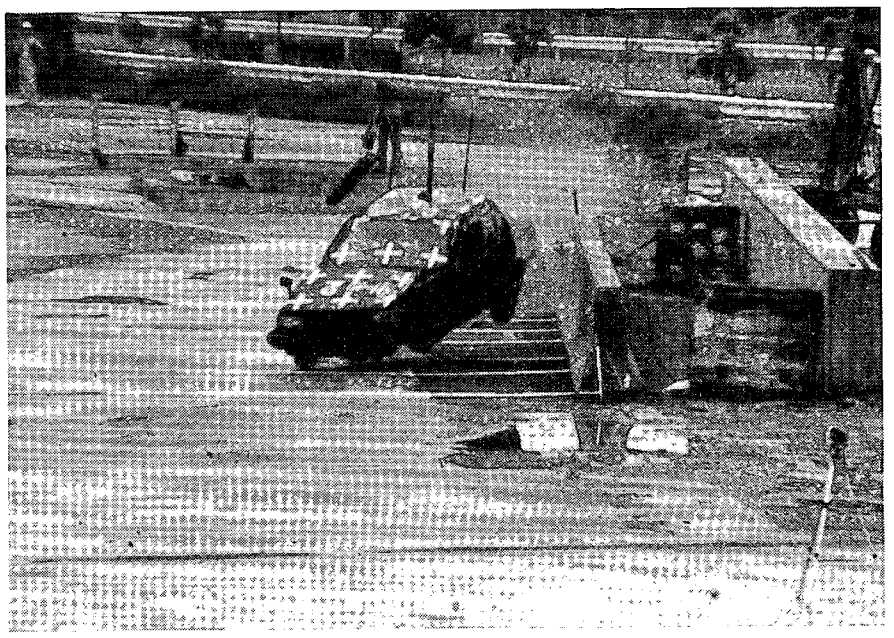


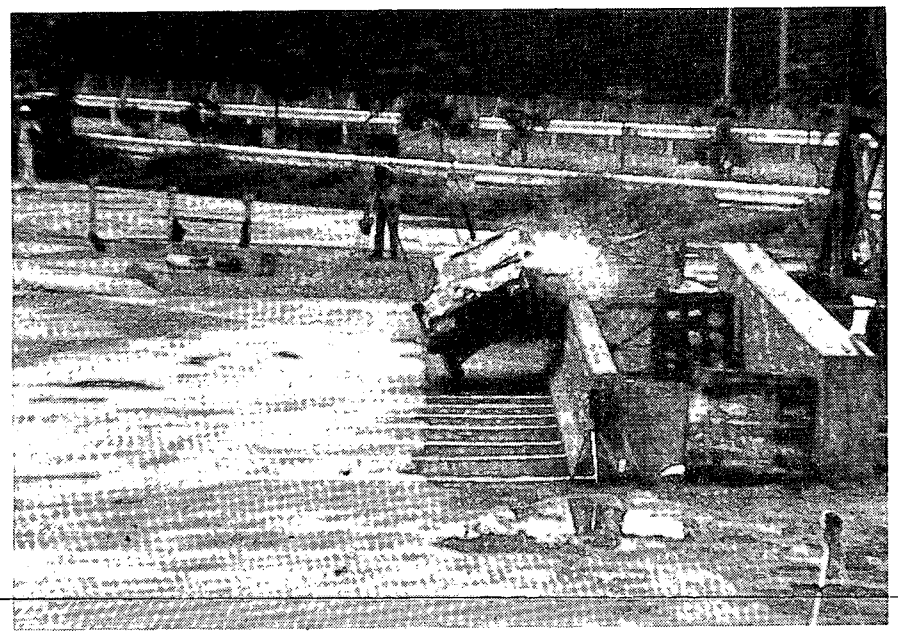
写真－３．22　車両衝突状況連続写真（実験Ａ－２）

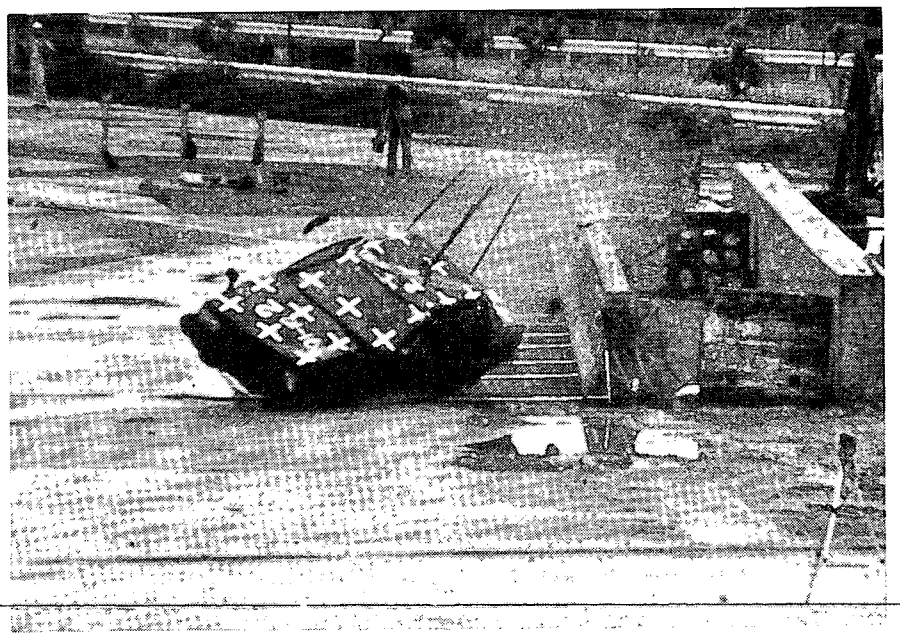


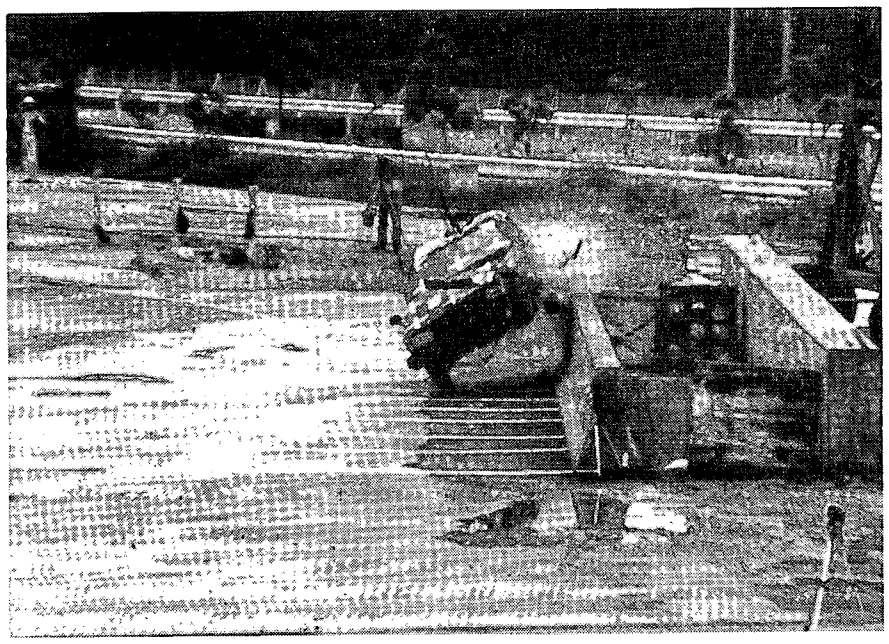


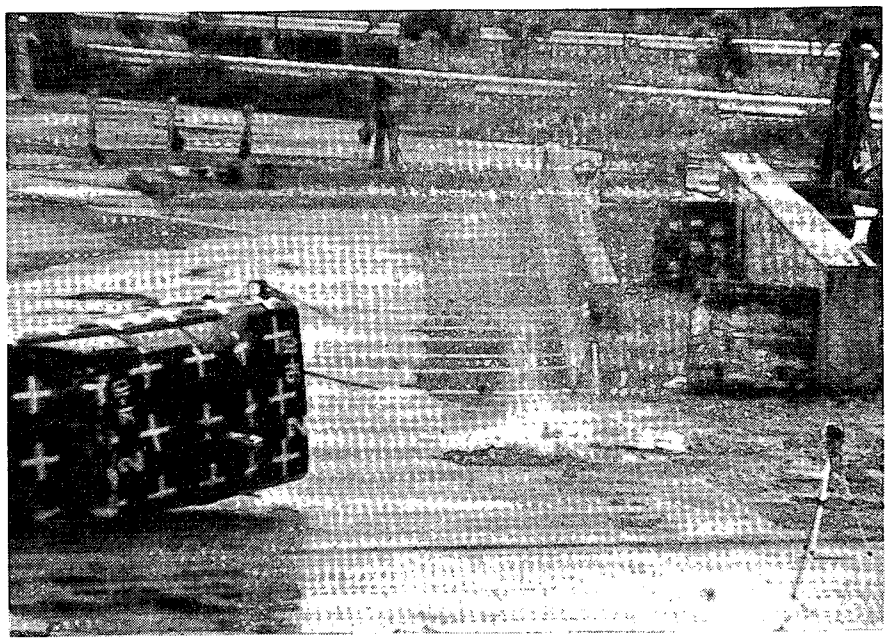












写真－３．23　車両衝突状況連続写真（実験Ａ－３）



写真－３．24　車両衝突状況連続写真（実験Ａ－４）

表－３．23①　実験結果総括表（実験Ｂ）

実験番号	防護柵形式	車種	実験条件及び結果 重量(t)	速度(Km/h)	角度(度)	衝撃度(t・m)	離脱速度(km/h)	離脱角度(度)	車両の最大傾斜角 前端(度)	後端(度)	車輪の浮上り量(cm)			着地角度(度)	水平飛距離(m)	車両－防護柵接触長(m)	防護柵の最大変位量(mm)	防護柵残留変形量(mm)	最大加速度					損傷状況 剛性防護柵	損傷状況 車両
																				車両重心	運転席ダミー 頭部	運転席ダミー 胸部	助手席ダミー 頭部	助手席ダミー 胸部	
Ｂ－１ 91-15 (7/18)	剛性。ﾌﾚｷｬｽﾄｺﾝｸﾘｰﾄ防護柵 〃Ｆ〃型	小型乗用車	1.1	80 [79.6]	20	3.24 [3.21]	66.5	4.5 19.8	1.9 道路側 —	6.1 防護柵側 —	前輪 左 不明 右 5	後輪 左 不明 右 12		3.8	8.5	3.47	D1(進入側)0.00 D2(中央上)1.00 D4(中央下)0.60 D3(離脱側)0.00	--	X 5.2 Y 9.7 Z －＊ 脚力(kg) －＊ 躯体部埋設最大加速度(g) A3 0.5		－	－＊	－	－＊	・衝突付近に車体左側前部、前後輪のペイントの圧痕あり、削痕はなし	・左前ﾊﾞﾝﾊﾟｰ、ﾌｪﾝﾀﾞｰ凹み(15cm) ・車体左側に柵突起下端部による摺痕(後部凹み5cm) ・左前輪ﾀｲﾔ前面に柵突起が接触し前軸は時計廻りに変形 ・車室内の変形なし ・自力走行可能
Ｂ－２ 91-16 (7/25)	剛性。ﾌﾚｷｬｽﾄｺﾝｸﾘｰﾄ防護柵 〃Ｆ〃型	大型貨物車	20.0	80 [80.4]	20	58.95 [59.5]	63.5	0	25.0 防護柵側 —	30.0 —	前輪 左 不明 右 47	後輪 左 不明 右 64		--	11.7	32.77 防護柵端部迄	D1(進入側)0.40 FD2(中央上)3.0 D3(離脱側)0.00	--	X 3.5 Y 11.4 Z －＊ 脚力(kg) －＊ 躯体部埋設最大加速度(g) A3 7.8		-9.2	－＊	-17.6	－＊	・前後輪衝突付近に局部的削痕深さ12mmで鉄筋のかぶり以下 ・ｱﾝｶｰﾎﾞﾙﾄ取付蹴上部3箇所亀裂 ・柵間天端凹み縁端部2箇所局部的破損 ・BL4-5間ﾌｪﾝｽ天端局部的破壊 ・ﾍﾞｰｽ前端部と舗装間に隙間有	・左前ﾊﾞﾝﾊﾟｰ、ﾌｪﾝﾀﾞｰ凹み(60cm) ・左前ﾊﾞﾝﾊﾟｰ、ﾌｪﾝﾀﾞｰ左側ｼｬｰｼ先端より後方に沿って曲り ・左前軸部ｽﾌﾟﾘﾝｸﾞ外れ(4/8枚)後方へ60cm移動 ・左前輪、離脱直後斜めに引きずられﾊﾞｰｽﾄ ・荷台左下中央～後に摺痕有 ・左前輪ｽﾃｯﾌﾟ全部潰れ ・ｵｲﾙﾊﾟﾝ破壊油漏れ ・土のう150/450ヶ飛散 ・車室内変形なし ・自力走行、牽引走行不可
Ｂ－３ 91-13 (7/4)	剛性。ﾌﾚｷｬｽﾄｺﾝｸﾘｰﾄ防護柵 〃Ｆ〃型	小型乗用車	1.1	80 [80.3]	20	3.24 [3.27]	67.6	9.5 24.4	2.3 道路側 —	7.3 防護柵側 —	前輪 左 不明 右 3	後輪 左 不明 右 10		6.4	18.9	5.90	D1(進入側)0.00 D2(進一中)0.00 D3(中央上)220 D4(中一離)0.40 D5(離脱側)0.00	218 Y方向	X 16.3 Y 16.5 Z －＊ 脚力(kg) －＊ 躯体部埋設最大加速度(g) A1 1.9 A2 1.6		-57.9	－＊	52.8	－＊	・前後輪衝突付近に局部的削痕深さ3mm以内 ・連結ﾌﾟﾚｰﾄ、ﾎﾞﾙﾄ支圧部端部のｺﾝｸﾘｰﾄ局部破壊	・左前ﾊﾞﾝﾊﾟｰ、ﾌｪﾝﾀﾞｰ凹み(10cm) ・車体左側に柵突起下端部による摺痕あり(後部凹み5cm) ・左前輪ﾀｲﾔ前面に柵突起が接触し前軸は時計廻りに変形 ・右前輪ﾎｲｰﾙ着地時に変形ﾊﾞｰｽﾄ ・ﾀﾞｯｼｭﾎﾞｰﾄﾞ一部破壊 ・車室内変形なし ・自力走行不可
Ｂ－４ 91-14 (7/11)	剛性。ﾌﾚｷｬｽﾄｺﾝｸﾘｰﾄ防護柵 〃Ｆ〃型	大型貨物車	20.0	80 [80.4]	20	58.95 [59.5]	61.7	11.2	13.9 防護柵側	23.0 —	前輪 左 100～ 右 100	後輪 左 100～ 右 100		--	21.1	32.39 防護柵端部迄	D1(進入側) 65 FD1(進-中) 930 FD2(中央) 1450 FD3(中-離) 1970 D5(離脱側)----	1811 Y方向	X 2.3 Y 9.6 Z －＊ 脚力(kg) －＊ 躯体部埋設最大加速度(g) A1 13.3 A2 7.0		12.6	－＊	5.7	－＊	・前後輪衝突付近に局部的削痕深さ20mmで鉄筋のかぶり以下 ・連結ﾌﾟﾚｰﾄ支圧部曲りと連結ﾌﾟﾚｰﾄ、ﾎﾞﾙﾄ支圧端部のｺﾝｸﾘｰﾄ破壊 ・BL6-7のﾌｪﾝｽ連結凹部上～下にかけせん断破壊 ・ﾌｪﾝｽ背面3箇所1～2条の縦亀裂 ・既存ｺﾝｸﾘｰﾄ壁に接触跡有	・左前ﾊﾞﾝﾊﾟｰ、ﾌｪﾝﾀﾞｰ凹み(47cm) ・左前ﾊﾞﾝﾊﾟｰ、ﾌｪﾝﾀﾞｰ左側ｼｬｰｼ先端より後方に沿って曲り ・左前輪軸部取付ﾎﾞﾙﾄ破断し、後方へ30cm移動 ・ｵｲﾙﾊﾟﾝ破壊、ｵｲﾙ漏れ ・左側荷台下部の前、中、後端接触跡有 ・車室内の変形なし ・自力走行、牽引走行不可 ・土嚢3-4／450ヶ飛散

備考
1) [ ] 内は、実験結果を示す。
2) X，Y，Zそれぞれ前後、左右、上下方向を示す。
3) 加速度の＋，－は、それぞれ加速度、減速度を示す。また値は加速度分析結果時（50msec平均値等）の原波形値（ローパスフィルター80Hz処理）である。
4) ＊印は、プリモのテレメータの値を示すが、テレメータ（プリモ）ＦＭ特性不良の為判読不良。（-- 印）

表－３，23②　実験結果総括表（実験Ｂ）

番号	取付位置	PC鋼棒			主鉄筋 前側			主鉄筋 後側			アンカーボルト			連結ボルト			連結プレート		
		㋑			㋺			㋺			㋩			㋩			㋩		
		記号	歪 μ	軸力 t	記号	歪 μ	応力 kg/cm²	記号	歪 μ	応力 kg/cm²	記号	歪 μ	応力 kg/cm²	記号	歪 μ	応力 kg/cm²	記号	歪 μ	応力 kg/cm²
B-1	A	P1	-1.8	-0.02	R1	-1.9	-3.5				B2	-6.7	-13.7						
	B				R2	2.9	5.4	R6	-2.1	-3.9	B3	70	143						
	C	P2	0.6	0.01	R3	3.5	6.5	R7	-6.6	-12.3									
	D				R4	19.7	36.6	R8	-9.8	-18.2	B4	180	367						
	E				R8	-4.4	-8.2	R9	-5.2	-9.7	B5	53	108						
	F	P3	-0.9	-0.01															
	G										B6	-4	-8						
	H	P4	-0.8	-0.01															
	I										B1	-5.2	-10.6						
B-2	A	P1	52.9	0.57	R1	-21.7	-40.4				B2	413	843						
	B				R2	11.3	21.0	R6	-14.2	-26.4	B3	1,186	2,419						
	C	P2	19.2	0.21	R3	38.1	70.9	R7	-22.5	-41.9									
	D				R4	67.9	126.3	R8	-44.1	-82.0	B4	729	1,487						
	E				R5	41.8	77.7	R9	-32.4	-60.3	B5	931	1,900						
	F	P3	-8.3	-0.09															
	G										B6	-66.9	-136						
	H	P4	-4.7	-0.05															
	I										B1	93.3	190						
B-3	A	P1	27.2	0.3	R1	-3.1	-5.8							φ1	-28.1	-52.0	PL	-131.4	-240
	B				R2			R6	4.7	8.7									
	C				R3	3.2	6.0	R7	-3.7	-6.9									
	D				R4	22.4	41.7	R8	-8.5	-15.8									
	E	P2	136.6	1.48	R5	7.6	14.1	R9						φ2 φ3	160.9	298	PL上	160.4	294
	F																		
	G	P3	36.3	0.39										φ4			PL	-90	-165
	H	P4	87.6	0.95															
	I	P5	97.3	1.05															
B-4	A	P1	1,310	14.19										φ1	220	407	PL	115.3	211
	B				R2														
	C				R3			R7	10.9	20.3									
	D				R4	50.4	93.7	R8	-30.7	-57.1									
	E	P2	1,870	20.24	R5	23.8	44.3	R9	354	658				φ2 φ3			PL	1,310	2,397
	F				R10	37.3	69.4	R11	29.2	54.3									
	G	P3	1,660	17.96										φ4	860	1,590	PL	630	1,153
	H	P4	1,480	16.08															
	I	P5	1,340	14.53															

表－３．24　加速度波形分析結果一覧表（実験Ｂ）

		車両重心			ダミー			
					運転席		助手席	
		原波形	50msec平均	実効値	頭部		頭部	
		(g)	(g)	(g)	原波形	ＨＩＣ	原波形	ＨＩＣ
実験Ｂ－１	Ｘ	5.2	3.0	1.6	--		--	
(固定式)	Ｙ	9.7	6.3	3.0	--	※	42.7	※
小型乗用車	Ｚ	--	--	--	--	(46.1)	--	(58.3)
(79.6km/h)	合成	10.7	6.9	3.4	--		--	
実験Ｂ－２	Ｘ	3.5	1.3	1.1	-9.2		-17.8	
(固定式)	Ｙ	11.4	4.5	3.2	7.9		38.5	
大型貨物車	Ｚ	--	--	--	--		--	
(80.4km/h)	合成	11.5	4.5	3.3	9.9	18.3	41.8	87.6
実験Ｂ－３	Ｘ	5.4	3.5	1.7	19.7		19.3	
(移動式)	Ｙ	10.6	5.9	3.4	22.2		32.2	
小型乗用車	Ｚ	--	--	--	--		--	
(80.4km/h)	合成	10.7	6.8	3.8	28.7	34.8	34.9	44.0
実験Ｂ－４	Ｘ	2.3	0.8	0.8	12.6		5.7	
(移動式)	Ｙ	9.6	5.9	3.0	11.3		14.7	
大型貨物車	Ｚ	--	--	--	--		--	
(80.4km/h)	合成	9.8	5.9	3.1	16.7	14.2	15.7	16.8
実験Ａ－１	Ｘ	7.8	3.7	3.1	-28.3		10.6	
乗用車	Ｙ	8.9	5.5	4.0	94.2		30.1	
(80km/h)	Ｚ	--	--	--	--		--	
	合成	11.3	6.5	5.0	98.4	543.4	31.9	26.3
実験Ａ－２	Ｘ	4.8	1.5	1.0	14.8		18.0	
大型貨物車	Ｙ	9.4	4.6	2.6	7.2		36.6	
(79.6km/h)	Ｚ	--	--	--	--		--	
	合成	9.5	4.8	2.8	16.1	11.8	40.5	66.2
備考		〔注〕1)車両重心の原波形は80Hzで処理した。 2)ＨＩＣ値はＸ、Ｙ成分の合成値より算定した。 3)--はテレメータ不良の為、読み取り不能。 4)※推定値 Ｘ：車両の進行方向 Ｙ：車両の進行直角方向 Ｚ：車両の垂直方向						

表－３．25　車両の主な挙動と比較表

項目 / 車種	離脱角度(度)	離脱速度(Km/h)		傾斜角(度) 道路側	傾斜角(度) フェンス側	車輪の浮き上り量(cm) 右前輪	車輪の浮き上り量(cm) 右後輪	車両水平飛距離(m)	備考
小乗－固定	一次：4.5	66.5	前	1.9					ﾌﾟﾚｷｬｽﾄｶﾞｰﾄﾞﾌｪﾝｽ "F"型 突起あり
実験Ｂ－１	二次：19.8		後		6.1	5	12	8.5	
小乗－据置	一次：9.5	67.6	前	2.3					
実験Ｂ－３	二次：24.4		後		7.3	3	10	18.9	
大貨－固定	0	63.5	前		25				
実験Ｂ－２			後		30	47	64	11.7	
大貨－据置	12.2	61.7	前		13.9				
実験Ｂ－４			後		23.0	17	55	21.1	
小乗－固定	8	54	前	16.5		10	20		現場打ち "F"型 突起なし
実験Ａ－１			後	16.5		(左40)	(左28)	11.33	
大貨－固定	0	54.8	前		32				
実験Ａ－２			後		44	78	135	12.50	
評価基準	離脱角度；入射角の60%以内（アメリカ実験基準） 離脱速度；入射速度より25%（24.0Km／96Km）以上低減しないこと（アメリカ実験基準）								

３．５．２．プレキャスト

実験結果の総括表を表－３．23に、加速度分析結果を表－３．24に、車両の軌跡、供試体への接触状況等を図－３．27～34に示した。また、供試体および車両の挙動を写真－３．25～51に示した。

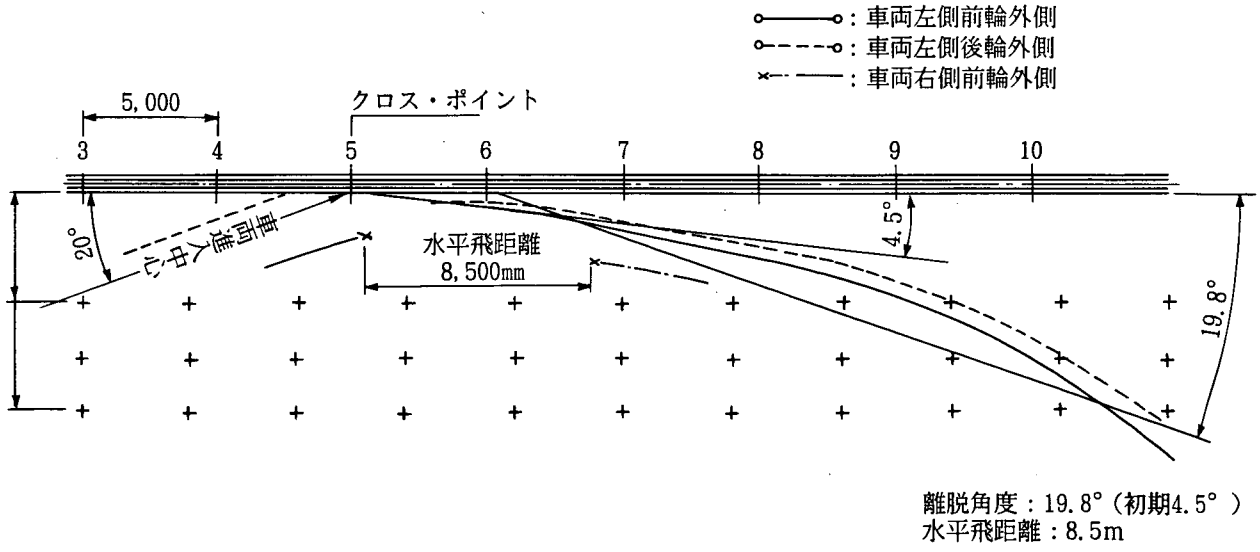
１）実験Ｂ－１（小型乗用車）

（１）車両の挙動

車両重量1.1ｔの小型乗用車は、速度79.6km/h、角度20度、衝撃度3.21t･mで衝突した。

小型乗用車は、左側前端部衝突後、左側前輪が防護柵壁面に乗り上げ道路側に傾いた後、左側後輪が衝突して飛び上がるが方向転換しながら 8.5m空中を飛翔して対路面角度 3.8度で着地し、誘導された。この際の最大傾斜角は道路側へ1.9度、防護柵側へ6.1度であり、車輪の最大浮上り量は右側前輪が５cm、右側後輪が12cmであった。また、離脱速度は66.5km/hで減速率は17％（1－66.5/79.6）であり、問題ないものと考えられる。一方、離脱角度は初期離脱角が 4.5度であったが、その後大きく右に旋回し最終的な離脱角は19.8度と急になり後続車衝突等二次事故の危険性があることから、離脱角度を抑える対策が必要と考えられる。離脱角度が急になった原因としては、同一の衝突条件である実験Ａ－１の場合と比較すると（表－３．25）、供試体の前面の形状によるものと考えられる。したがって、本供試体に採用した飛び上がり防止用の上部突起部の形状や構造については、今後検討を進めることが必要である。

1）軌跡（固定式）



図－３．28　車両の軌跡図（プレキャスト：実験Ｂ－１）

（２）乗員の安全性（表－３．24、表－３．18～20）

車両重心の最大加速度は、Ｘ方向が 5.2ｇ、Ｙ方向が 9.7ｇ、合成値が10.7ｇであった。また、50msec値はＸ方向が 3.0ｇ、Ｙ方向が 6.3ｇ、合成値が 6.9ｇであり、米国の３点式シートベルト着用条件の推奨値以下であった。

ダミー頭部の加速度は計測機器にトラブルが発生したため、助手席ダミー頭部のＹ方向しか測定できず、加速度値は42.7ｇであった。この値は実験Ａ－１の場合より高めの値であるが、車両重心位置の加速度値が低いことから、乗員の安全性は確保できていたものと考えられる。

（３）車両の損傷状況

車両の外回りの損傷は、左前バンパーおよびフェンダー凹み（15cm）、車体左側の前から後にかけて防護柵上部突起部による摺痕（後部凹み５cm）があった。一方、足廻りについては、フェンダー上部が防護柵上部突起によって凹みサスペンションの上部が内側へ倒されるとともに、左側前輪タイヤの前方側が壁面に接触して押し曲げられたことよって左前輪軸が時計廻りに変形したが、自力走行は可能であった。この足廻りの変形が離脱角度を急にした原因と考えられる。

車室内の変形はなく、乗員の生存空間は確保されていたものと考えられる。

（４）防護柵の挙動

衝突開始位置は、クロス・ポイント手前 2.1mのところであり、全接触長は3.47mであった。

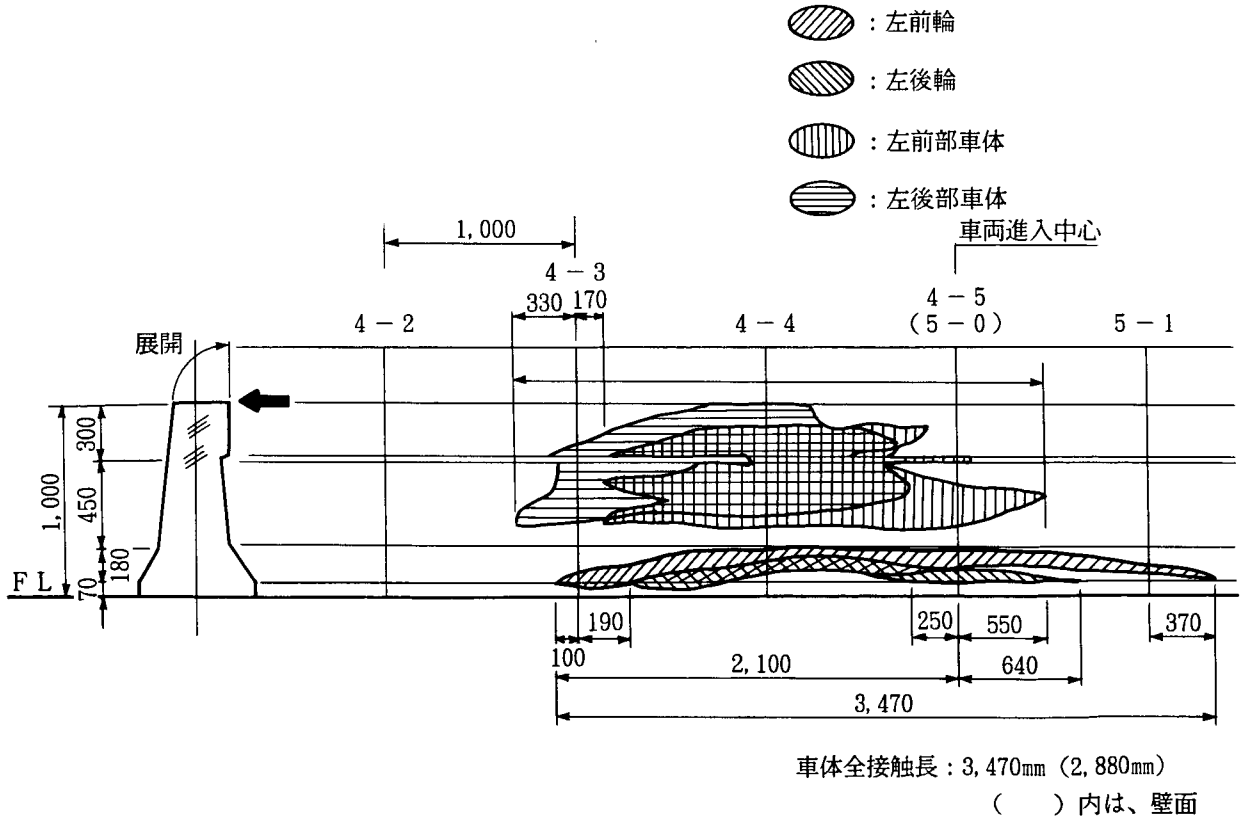
防護柵の最大変位量は、柵中央上端が1.0mm（D_2）、下端が0.55mm（D_4）であり、両端ではいずれも０mm（D_1、D_3）であった。

躯体部主鉄筋の最大ひずみは19.7μ（Ｄ－ロ…36.6kg／cm²）であり、アンカーボルトの最大ひずみは 180μ（Ｄ－ハ… 367kg／cm²）であった。また、ＰＣ鋼棒の最大軸力は、－0.02ｔ（Ａ－イ… －1.8μ）と 0.010ｔ（Ｃ－イ… 0.8μ）であり、圧縮側、引張側共に20Kg以下と小さかった。

コンクリートに埋設した加速度計の最大加速度（防護柵直角方向成分のみ）は、 0.5ｇであった。

（５）防護柵の損傷状況

防護柵の損傷は、左側前後輪および車体前後部の衝突位置付近に局部的圧痕が認められたが、壁面に削痕はなく構造上の問題点はないものと考えられる。



図－３．29　防護柵への接触状況（プレキャスト：実験Ｂ－１）

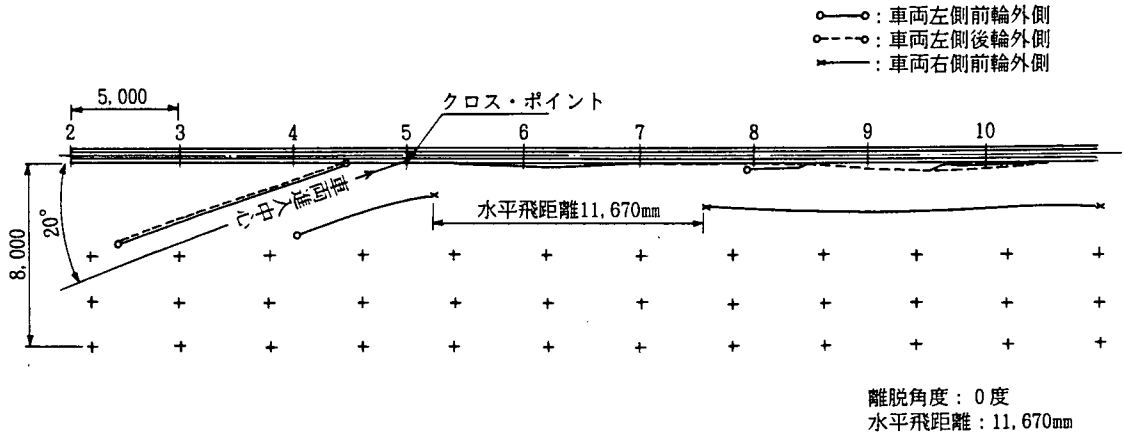
2）実験Ｂ－２（大型貨物車）

（１）車両の挙動

車両重量20ｔの大型貨物車は、速度80.4km/h、角度20度、衝撃度59.5t･mで衝突した。

大型貨物車は、左側前端部、フェンダーの順で防護柵に喰込ませ、キャブが防護柵側に傾いて右側前輪は浮上がった。さらに後輪が衝突すると、荷台は防護柵側に傾き右後輪も浮上がったが、方向転換しながら11.7m空中を飛翔して車体を壁面にもたれさせながら防護柵に沿って正常に誘導された。なお、前輪と後輪の衝突時間差は0.3700秒（主鉄筋 R_4より）と推定される。車両の最大傾斜角は、前端が25度、後端が30度であり、実験Ａ－２に比べて小さかった（表－３．25）。車輪の最大浮上り量は、右側前輪が47cm、右側後輪が64cmであった。また、離脱速度は63.5km/hで、減速率は21％（1－63.5/80.4）であり、減速率がやや高めの値を示していたが、防護柵に沿って離脱していることから、二次的事故の危険性は低いものと考えられる。

フェンス上部突起なしの実験Ａ－２に比べて、車両の傾斜角、車輪の浮上り量、水平飛距離は小さかったことから、大型車については上部突起が有効であると考えられる。



図－３．30　車両の軌跡図（プレキャスト：実験Ｂ－２）

（２）乗員の安全性（表－３．24、表－３．18～20）

車両重心の最大加速度は、Ｘ方向が 3.5ｇ、Ｙ方向が11.4ｇ、合成値が11.5ｇであった。また、50msec値はＸ方向が 1.3ｇ、Ｙ方向が 4.5ｇ、合成値が 4.5ｇであり、米国の２点式シートベルト着用条件の推奨値以下であった。

運転席ダミー頭部の最大加速度は、Ｘ方向が －9.2ｇ、Ｙ方向が 7.9ｇで、助手席ダミー頭部はＸ方向が－17.6ｇ、Ｙ方向が38.5ｇであり、助手席の加速度の方が運転席より大きい傾向を示していた。一方、ＨＩＣ値は運転席が18.3、助手席が87.6であり、実験Ａ－２に比べて若干高めの値であるが、許容限界値（1000）以下であることから、乗員の安全性は確保されていたものと考えられる。

（３）車両の損傷状況

車両の外回りの損傷は、左前バンパーシャーシ先端部からの曲がり、フェンダーの床下までの凹み（60cm）、荷台部左側の中央から後端部のコンクリートによる摺痕があった。また、衝突時には土嚢が 1/3程度（150/450） が飛散した。一方、足廻りについては、左側前輪がバーストや左側前輪部ステップの潰れやオイルパンの破損があった。また、左前輪軸部のスプリングが取り外れて後部へ60cm移動したため、自力走行は不可能であった。しかし、前軸部を釣り上げれば牽引走行は可能と考えられる。

車室内の変形はほとんどなかったことから、乗員の生存空間は確保されていたものと考えられる。

（４）防護柵の挙動

衝突開始位置は、クロス・ポイント手前2.77ｍのところであり、全接触長は衝突開始位置から柵端部までの 32.77ｍであった。

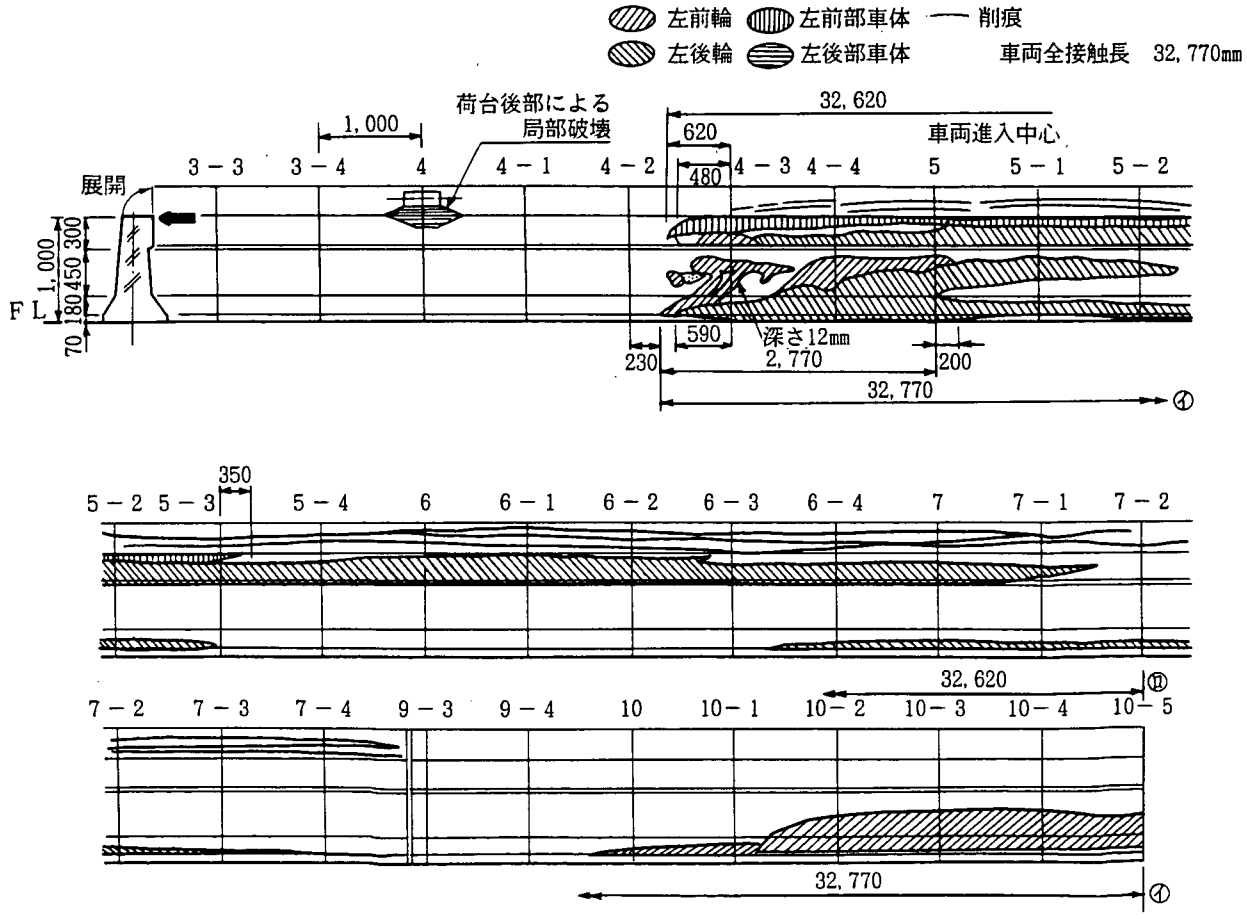
防護柵の最大変位量は、柵中央上端が 3.0mm（FD_1 ）であり、両端部はいずれもほとんど０mm（ D_1、D_3 ）であった。

躯体部主鉄筋の最大ひずみは、67.9μ（Ｄ－ロ… 126kg／cm²）であり、アンカーボルトの最大ひずみは1186μ（Ｂ－ハ…2420kg／cm²）であった。ここで設計許容値（2100kg／cm²）を超えているが、ピーク値であり柵頂部の荷重作用点から45度分布の範囲の平均応力値を考えれば問題ないものと考えられる。また、ＰＣ鋼棒の最大軸力は、0.57ｔ（52.9μ、Ａ－イ）と0.21ｔ（19.2μ、Ｃ－イ）であり、双方とも引張り力として作用しているが、応力的にはいずれも小さく問題ないものと考えられる。

コンクリートに埋設した加速度計の最大加速度は7.30ｇであり、小型車の14.6倍であった。

（５）防護柵の損傷状況

防護柵の損傷は、前後輪衝突位置付近に局部的削痕は認められたが、最大深さ12mmで鉄筋のかぶり量以下であった。また、柵の接合部の天端凹み外縁の２箇所に車体後端部による局部的損傷、アンカーボルト取付け箇所付近の蹴上げ部の３箇所にせん断破壊による亀裂、ベース前端部と舗装コンクリート間に最大巾 3.5mmの隙間を生じていた。特に実用化に際してはアンカーボルト付近の亀裂が発生しないような構造を検討することが必要と考えられる。



図－３．31　防護柵への接触状況（プレキャスト：実験Ｂ－２）

（６）防護柵に発生した応力の実測値と計算値の関係

主鉄筋応力の実測値（水平外力作用位置から下端方向へ45度で分布した範囲の実測値の平均値）は設計値の倍以上の大きな値となっていた（表－３．26）。（躯体に亀裂が発生していなかったので全断面有効の計算結果と比較する。）

アンカーボルトに発生した応力の実測値は計算値の1.54倍（1090／710）と大きくなっていた。

表－３．26　躯体部設計値と測定値との比較（固定式：実験Ｂ－２）

			計　算　値　①	実　測　値　②
実験ケース			NO4(20° －80Km/h－20ton)	〃
設計荷重			3.0 t／m	―――
主鉄筋（D13）	RC方式 (n=6.1)	σs	1,660 kg／cm^2	116 kg／cm^2
		σc	－40.8 kg／cm^2	－ 5.8 kg／cm^2
	全断面有効 (n=6.1)	σs (σct)	えん端　47 (10.9)	※1)　116 (21.3)
		σcc	－10.9 kg／cm^2	－ 5.8 kg／cm^2
※2) アンカーボルト (φ22)，SS41		σsφ	710 kg／cm^2	1,090 kg／cm^2

※1)テストピースの測定値；σct＝36.2kg／cm^2

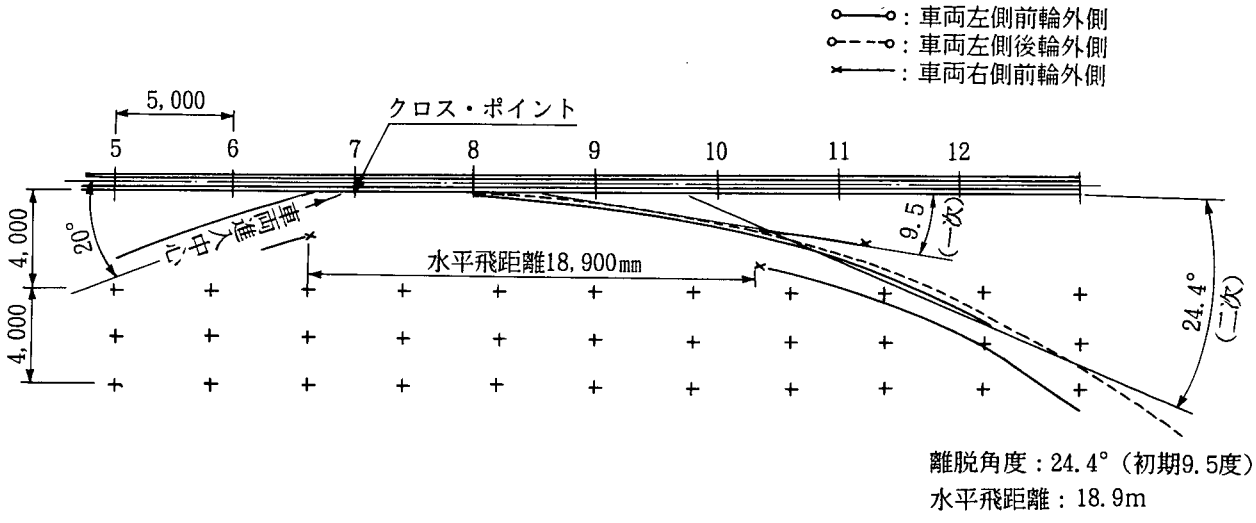
※2)許　容　応　力　度　；σsa＝1,400×1.5＝2,100kg／cm^2

3）実験Ｂ－３（小型乗用車）［参考実験］

（１）車両の挙動

車両重量1.1ｔの小型乗用車は、速度80.3km/h、角度20度、衝撃度3.27t･mで衝突した。

小型乗用車は、左側前端部衝突後、左側前輪が防護柵壁面に乗り上げ道路側に傾いた後、左側後輪が衝突して後輪は飛び上がるが、方向転換しながら18.9m空中を飛翔して対路面角度 6.4度で着地し、誘導された。この際の最大傾斜角は道路側へ2.3度、防護柵側へ7.3度であり、車輪の最大浮上がり量は右側前輪が３cm、右側後輪が10cmであった。離脱速度は67.5km/hで、減速率は16％（1－67.5/80.3）であり、特に問題はないものと考えられる。一方、離脱角度は初期離脱角が9.5度、最終離脱角が22.4度と実験Ｂ－１同様に大きな値となった。全体的にも実験Ｂ－３と実験Ｂ－１とほぼ同じ挙動を示した。



図－３．32　車両の軌跡図（プレキャスト：実験Ｂ－３）

（２）乗員の安全性（表－３．24、表－３．18～20）

車両重心の最大加速度は、Ｘ方向が 5.4ｇ、Ｙ方向が10.6ｇ、合成値が10.7ｇであった。また50msec値はＸ方向が 3.5ｇ、Ｙ方向が 5.9ｇ、合成値が 6.8ｇであり、米国の３点式シートベルト着用条件の推奨値以下であった。

運転席ダミー頭部の最大加速度は、Ｘ方向が19.7ｇ、Ｙ方向が22.2ｇで、助手席ダミー頭部はＸ方向が19.3ｇ、Ｙ方向が32.2ｇであった。一方、ＨＩＣ値は運転席が34.8、助手席が44.0であり、許容限界値（1000）以下であることから、乗員の安全性は確保されていたものと考えられる。

しかしながら、固定式と比べて加速度値に大きな違いがみられないことから、据置式にすることによって衝撃緩和するためにはさらなる検討が必要であると考えられる。

（３）車両の損傷状況

車両の外回りの損傷は、左前バンパーおよびフェンダーの凹み（10cm）、車体左側の前から後にかけて防護柵上部突起物による摺痕（後部凹み５cm）があった。一方、足廻りについては、右側前輪のホイール変形によってバーストしたことや、ステアリングが変形したことにより、自力走行は不可能であった。また、実験Ｂ－１と同様の理由により左前輪軸が時計廻りに15度程度変形したため、離脱角度が急になったものと考えられる。

車室内の変形はダッシュボードの一部が破損した以外はほとんどなく、乗員の生存空間は確保されていたものと考えられる。

（４）防護柵の挙動

衝突開始位置は、クロス・ポイント手前 1.9mのところであり、全接触長は5.90mであった。

防護柵の最大変位量は、柵中央上端で 220mm（D_3 変位測定板）であり、両端部（D_1、D_5）ではほとんど0mmであった。なお、最大残留変位量は柵直角方向で21.8cm（BL_7）、柵平行方向で0.40cm（BL_5）であった。

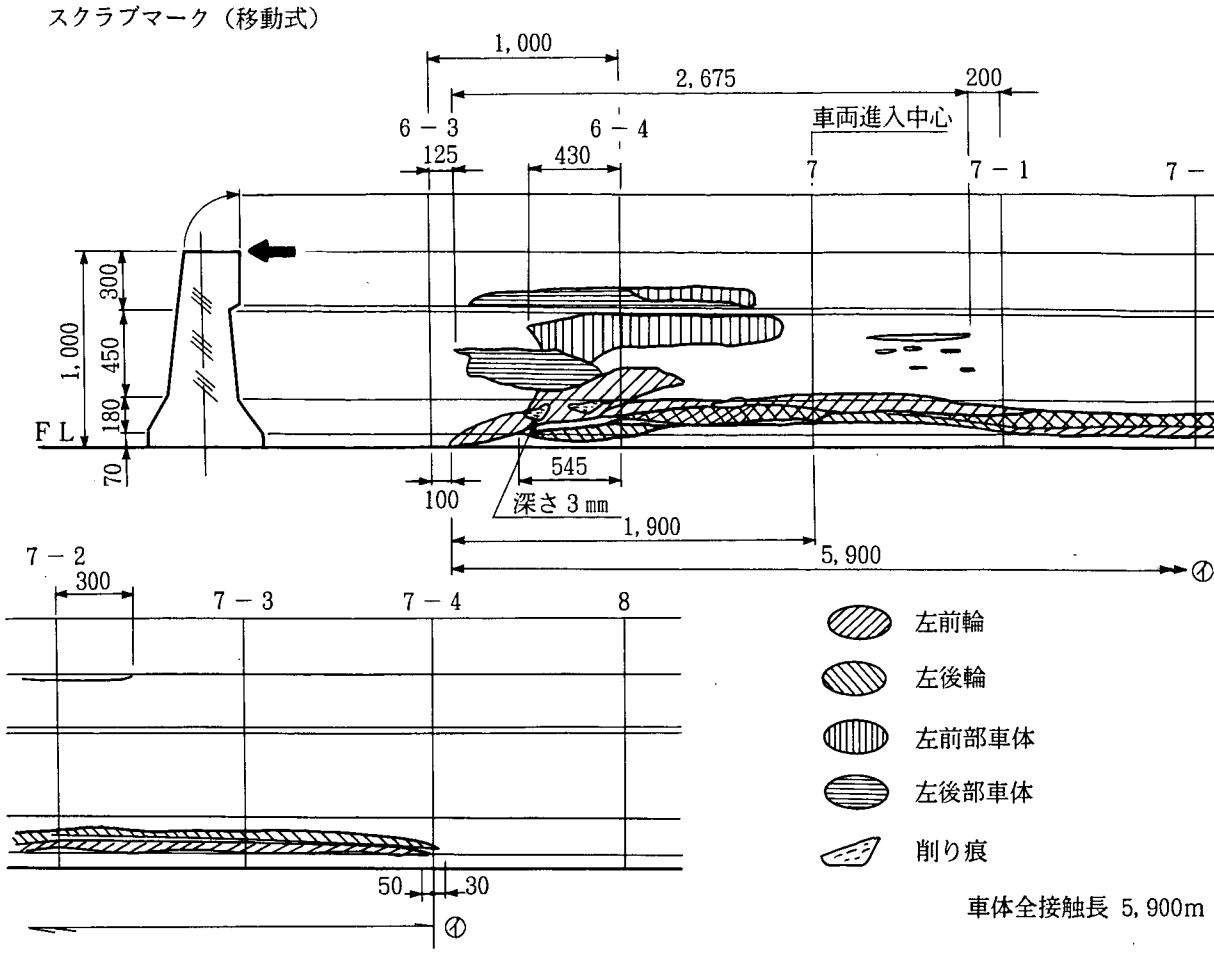
躯体部主鉄筋の最大ひずみは22.4μ（Ｄ－ロ…41.7kg／cm^2）であった。また、躯体部を相互に連結している連結プレートの最大ひずみは、160.4μ（Ｅ－ハ… 294kg／cm^2）であり、連結プレートを躯体部に固定している連結ボルトの最大ひずみは、ゲージが破損したため計測できなかったが、ゲージ破損直前の値では 161μ（Ｅ－ハ… 298kg／cm^2）であった。ＰＣ鋼棒の最大軸力は、1.48ｔ（Ｅ－イ… 136.6μ）であり、固定式（実験Ｂ－１）に比べて大きな値を示していた。

コンクリートに埋設した加速度計の最大加速度は、1.90ｇであった。これらの値は固定式（実験Ｂ－１）に比べて３～４倍程度大きかった。

躯体の移動状況としては、前端部および後部衝突時に動き、その際の変位量は後部衝突時の方が大きく（前：後＝３：４）、変位した壁の戻りはみられなかった。しかしながら、柵の慣性力が大きく衝突時の状況からも、変位によって衝撃を吸収するためにはさらに詳細な検討が必要と考えられる。また、柵のたわみ形状が離脱角度に影響を及ぼしていると考えられることから、全体的な動きについても検討していくことが必要である。

（５）防護柵の損傷状況

防護柵の損傷は、前後輪衝突位置付近に局部的削痕が認められたが、最大深さ12mm以内で、鉄筋かぶり量以下であり問題はないと考えられる。また、連結ボルトによる側面支圧（道路側）および連結プレートによる支圧（裏側）でコンクリート端部が破壊したが、局部的なものであり防護柵全体の強度に問題はないものと考えられる。



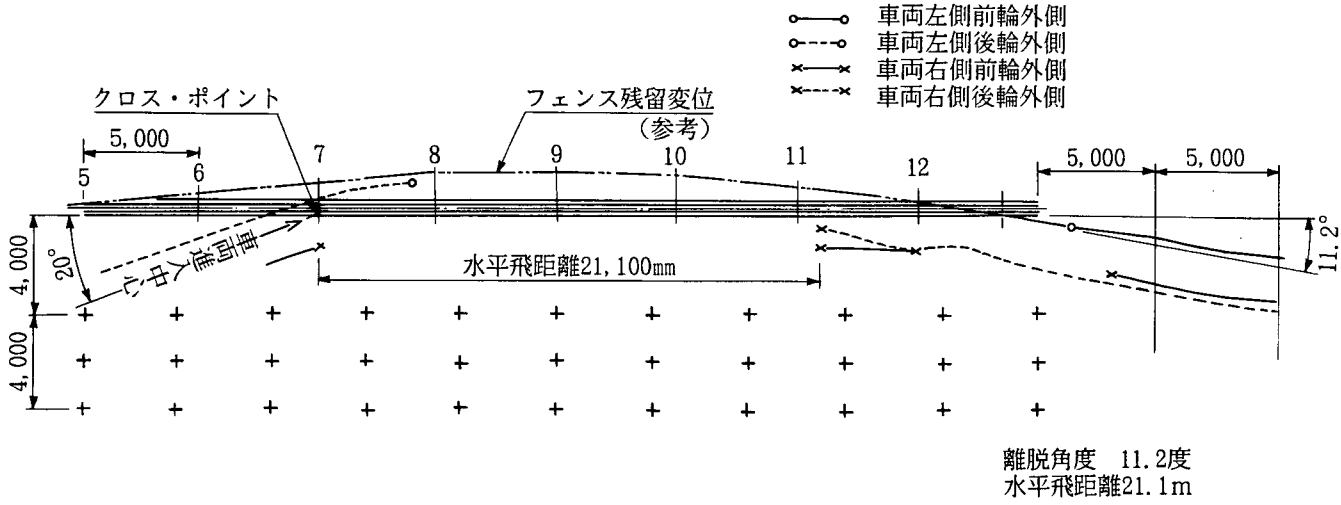
図－３．33　防護柵への接触状況（プレキャスト：実験Ｂ－３）

4）実験Ｂ－４（大型貨物車）［参考実験］

（１）車両の挙動

車両重量20ｔの大型貨物車は、速度80.4km/h、角度20度、衝撃度59.5t･mで衝突した。

大型貨物車は、左側前端部衝突時に、左側前端部とフェンダーを防護柵に喰込ませ、キャブが防護柵側に傾いて、右側前輪が浮き上がると同時に防護柵が後方に移動した。さらに左側後輪が衝突すると、荷台は防護柵側に傾き右側後輪を浮き上がらせて、キャブと荷台間がねじれた状態で次々と防護柵を後方へ押し込んで徐々に方向転換しながら21.1m空中を飛翔し、車体のねじれを復元して防護柵の残留たわみ形状に沿って離脱した。しかし、荷台および防護柵が約２m後ろのコンクリート防護壁に接触していたことから、防護壁がない場合にはさらに大きな変形が生じていたものと考えられる。なお、前輪と後輪の衝突時間差は0.5875秒（埋設加速度計より）であり、柵が移動するため固定式（実験Ｂ－２）に比べて長くなる傾向を示した。車両の最大傾斜角は、前端が13.9度、後端が23.0度であり、固定式（実験Ｂ－２）に比べて小さかった。車輪の最大浮上がり量は、右側前輪が17cm、右側後輪が55cmであった。また、離脱速度は61.7km/hで、減速率は23％（1－61.7/80.4）であり、固定式（実験Ｂ－２）と比べて大きかった。離脱角度も11.2度と大きめであり、離脱時の挙動を安定させることについて検討を進めることが必要と考えられる。



図－３．34　車両の軌跡図（プレキャスト：実験Ｂ－４）

（２）乗員の安全性（表－３．24、表－３．18～20）

車両重心の最大加速度は、Ｘ方向が 2.3ｇ、Ｙ方向が 9.6ｇ、合成値が 9.8ｇであった。また、50msec値はＸ方向が 0.8ｇ、Ｙ方向が 5.9ｇ、合成値が 5.9ｇであり、米国の３点式シートベルト着用条件の推奨値以下であった。

運転席ダミー頭部の最大加速度は、Ｘ方向が12.6ｇ、Ｙ方向が11.3ｇで、助手席ダミー頭部はＸ方向が 5.7ｇ、Ｙ方向が14.7ｇであった。一方、ＨＩＣ値は運転席が14.2、助手席が16.8であり、許容限界値（1000）以下であることから、乗員の安全性は確保されていたものと考えられる。

（３）車両の損傷状況

車両の外回りの損傷状況は、左前バンパーのシャーシ先端からの曲がり、フェンダーの床下までの凹み（47cm）、荷台左側下部の全体にわたってコンクリートによる摺痕があった。一方、足廻りについては、左側前輪の変形やオイルパンの破損があった。また、左側前輪軸部取付けボルトが破断し、後方へ30cm移動したため、自力走行は不可能であった。しかし、前軸部を釣り上げれば牽引走行は可能と考えられる。

車室内の変形はほとんどなかったことから、乗員の生存空間は確保されていたものと考えられる。

また衝突時積載土嚢が3～4ヶ/450ヶ飛散した。

（４）防護柵の挙動

衝突開始位置は、クロス・ポイント手前2.39ｍのところであり、全接触長は衝突開始位置から柵端部までの 32.39ｍであった。

防護柵の最大変位量はクロス・ポイントから離脱側へ５ｍの位置の柵上端部で1970mmであり、端部まで大きく変形した。最大残留変位量は、防護柵直角方向が 181.1cm（BL_9）、防護柵平行方向が８cm（BL_6）であった。しかし、供試体の後方にある防護壁との間隔が２ｍ程度しかなく、一部防護壁に接触していることから、実際の変位量はこれらの値より大きくなっていたものと考えられる。

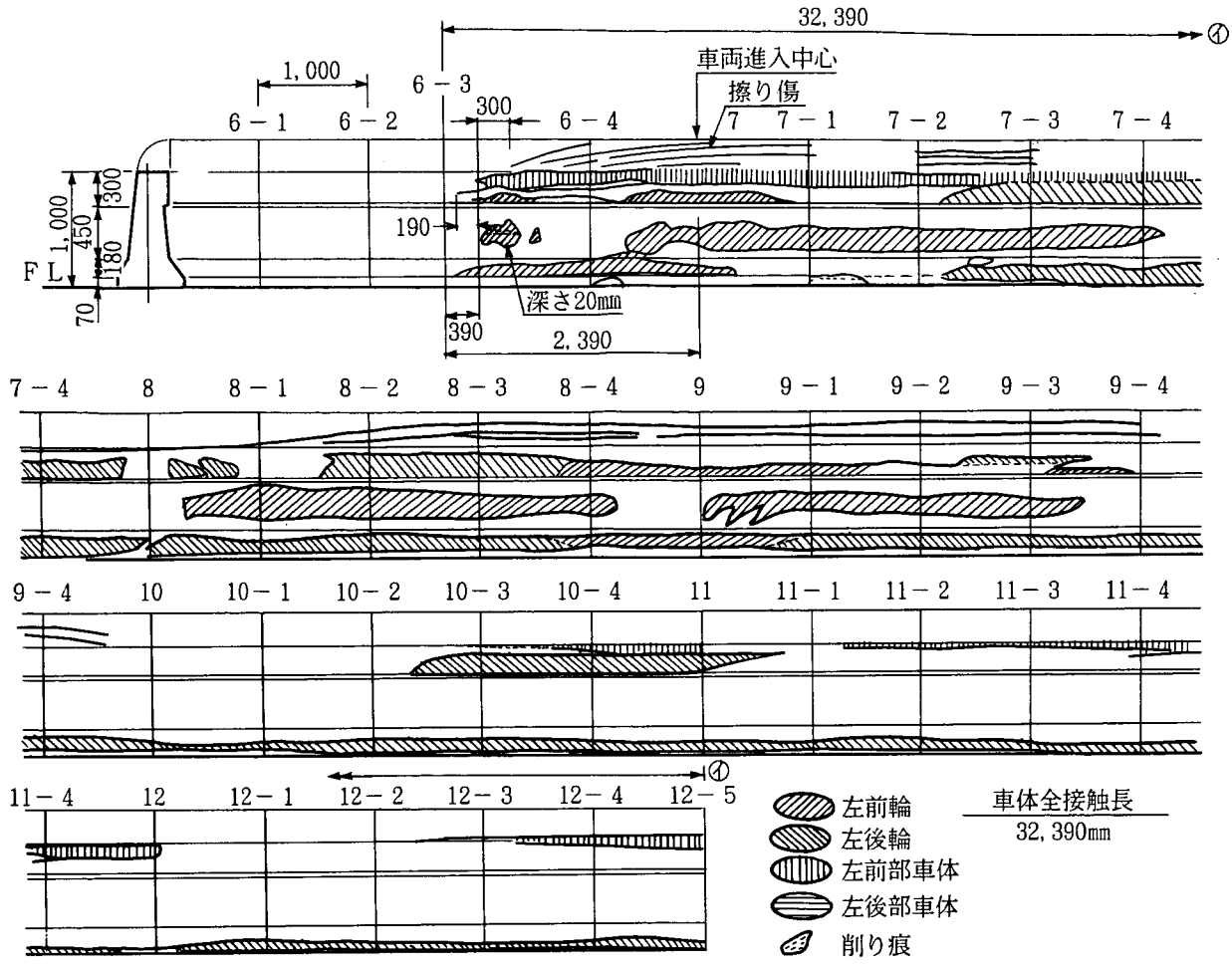
躯体部主鉄筋の最大ひずみは、ゲージが破損したため計測できなかったが、破損直前の最大値は 354μ、（ＥＤ－ロ… 658kg／cm²）であった。また、連結プレートの最大ひずみは、1310μ（Ｅ－ハ…2397kg／cm²）であり、応力は降伏点（2100kg／cm²）を越えているが、ステンレス鋼は最大引張強さ（5100kg／cm²以上）も大きく靭性が高いので、特に問題はないと考えられる。連結ボルトの最大ひずみは、 860μ（Ｇ－ハ…1590kg／cm²）であり、強度的には問題ないものと考えられる。一方、ＰＣ鋼棒の最大軸力は、20.2ｔ（Ｅ－イ…1870μ）であり、固定式（実験Ｂ－２）の35.4倍とかなり大きな値となっているが、強度的には問題ないものと考えられる。

コンクリートに埋設した加速度計の最大加速度は、13.3ｇであり、固定式（実験Ｂ－２）に対して1.82倍と大きな値を示した。

躯体の移動状況としては、前端部および前輪衝突時に移動したが後方の壁までは達しなかった。その後後部の荷台が衝突すると供試体は次々と押されて後方の防護壁まで移動し、柵端部まで同様の挙動であった。これは防護柵底面の摩擦の関係で一度動き出すと抵抗力が弱まり止まりにくいためと考えられる。据置式の場合、小型車衝突に対して防護柵が重く衝突初期の衝撃緩和ができないことや、大型車の衝突に対しては移動量が大きくなりすぎる等の問題点があることから、構造について基本的に見直すことが必要であると考えられる。

（５）防護柵の損傷状況

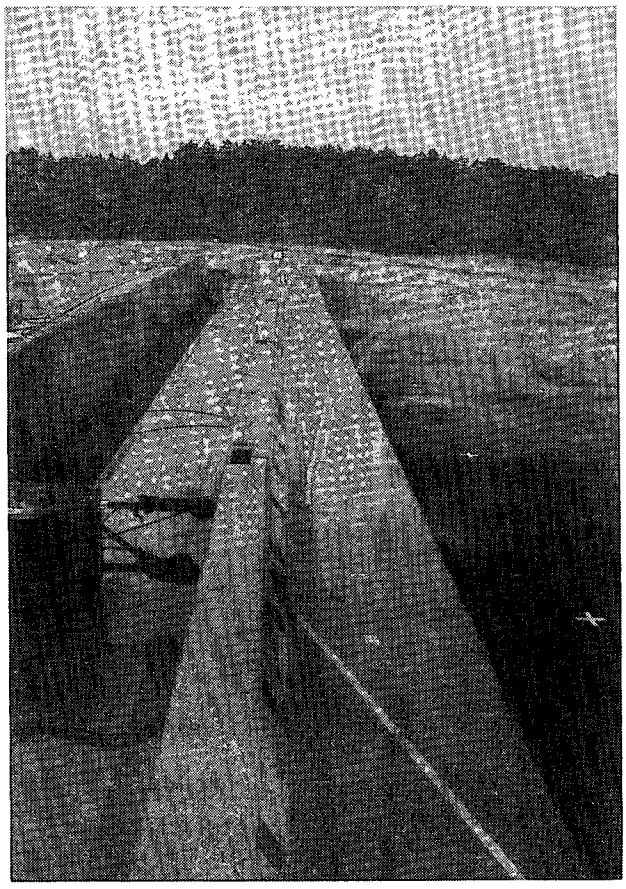
防護柵の損傷は、前後輪衝突位置付近に局部的削痕が認められたが、最大深さ20mm以下であり、鉄筋かぶり量以下であり問題はないと考えられる。また、連結ボルトによる側面支圧（道路側）および連結プレートによる支圧（裏側）でコンクリート端部が局部的にせん断破壊し、連結部分の凹部（連結のための凹凸の噛み合わせ構造）に縦方向のせん断亀裂が生じ、背面側の３箇所に１～２条の縦亀裂が生じた。これらの損傷は柵のたわみ量を抑えることにより改善できるものと考えられる。



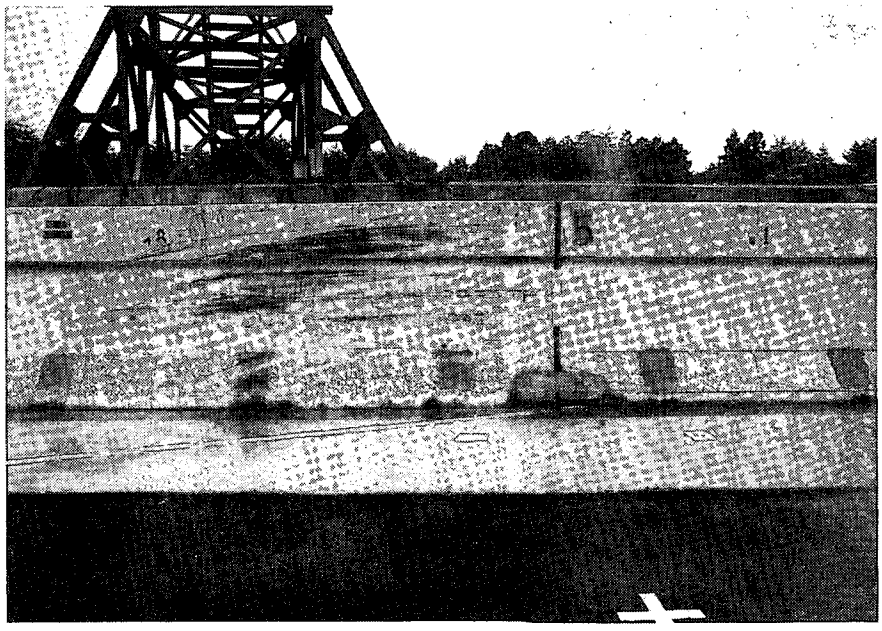
図－３．35　防護柵への接触状況（プレキャスト：実験Ｂ－４）

表－３．27　移動式の躯体部及び連結部材の最大応力度（kg／cm²）

		主鉄筋応力 (Kg/cm²)	ＰＣ鋼棒（φ26） SBPR 95／110 Ｂ種１号		連結プレート (PL75×16ｔ) SUS304		連結ボルト（φ27） SUS304	
			応力 (kg／cm²)	張力 (ｔ)	応力 (kg／cm²)	張力 (ｔ)	応力 (kg／cm²)	張力 (ｔ)
据置式		94 (R4)	3,800	20.0(P2)	2,397 (PL2)	28.8	1,590 (φ4)	9.1
固定式		126 (R4)	107	0.57(P1)	—	—	—	—
ＪＩＳ規格値	耐力	3,000以上	9,500kg/cm²以上		2,100kg/cm²以上		2,100kg/cm²以上	
	引張強さ	4,500～6,100未満	11,000kg/cm²以上		5,300kg/cm²以上		5,300kg/cm²以上	
許容応力		2,700	8,550kg／cm²		1,250×1.5 =1,875 kg／cm²		1,250×1.5 =1,875 kg／cm²	
テストピース強度	耐力	3,876	11,400kg／cm²		2,500kg／cm²		5,810kg／cm²	
	引張強さ	5,495	11,900kg／cm²		6,036kg／cm²		7,269kg／cm²	



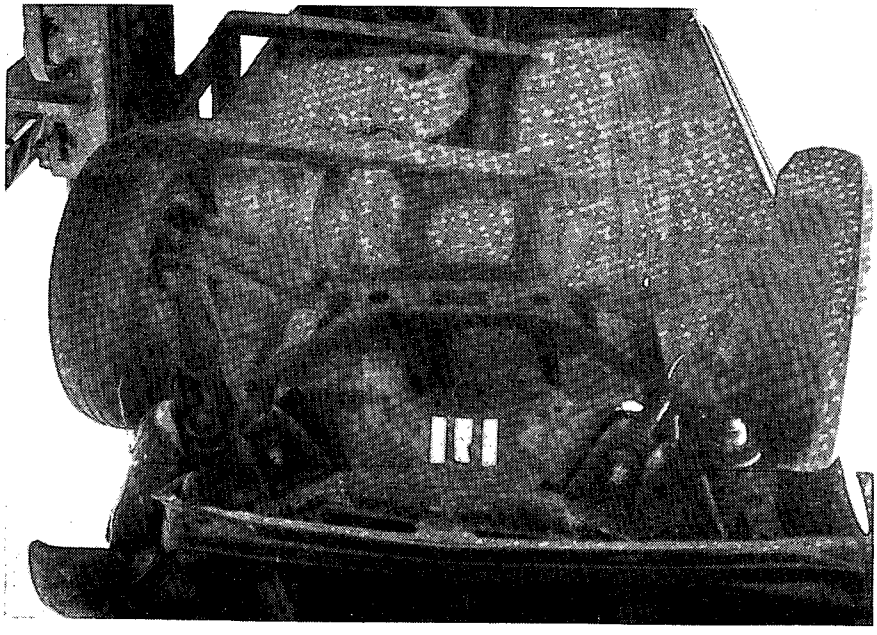
写真－３．25　車両の軌跡（実験Ｂ－１）



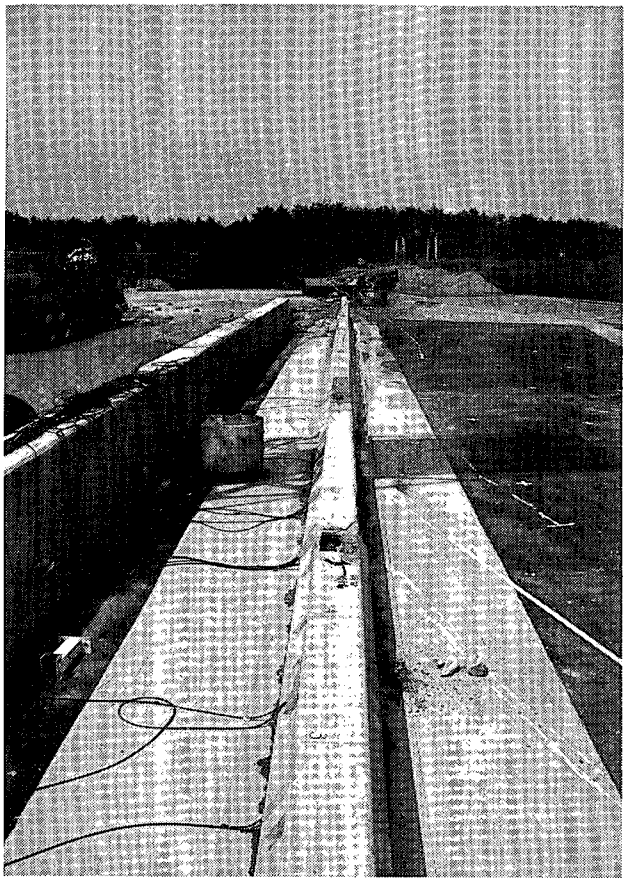
写真－３．26　車両の防護柵への接触跡（実験Ｂ－１）



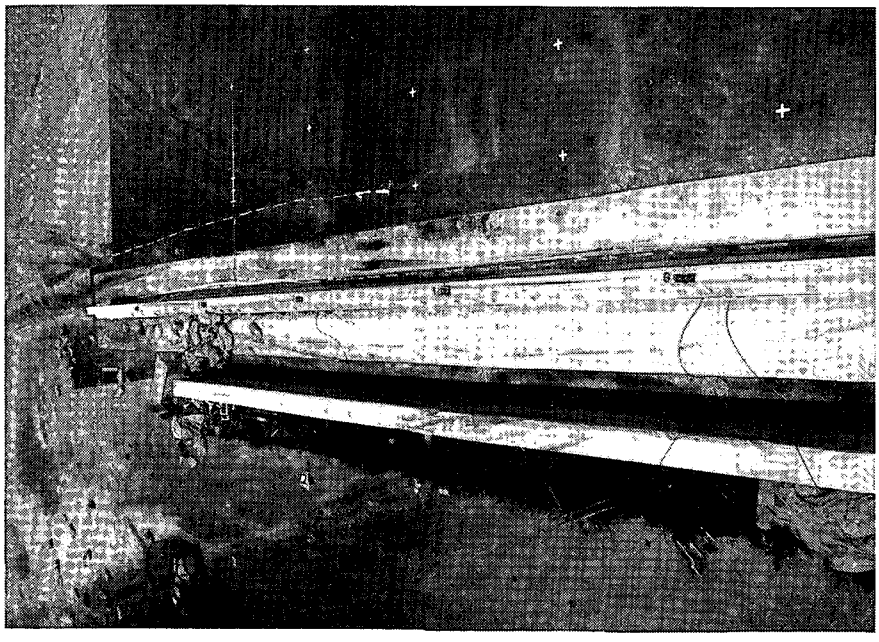
写真－３．27　車両の損傷状況（実験Ｂ－１）



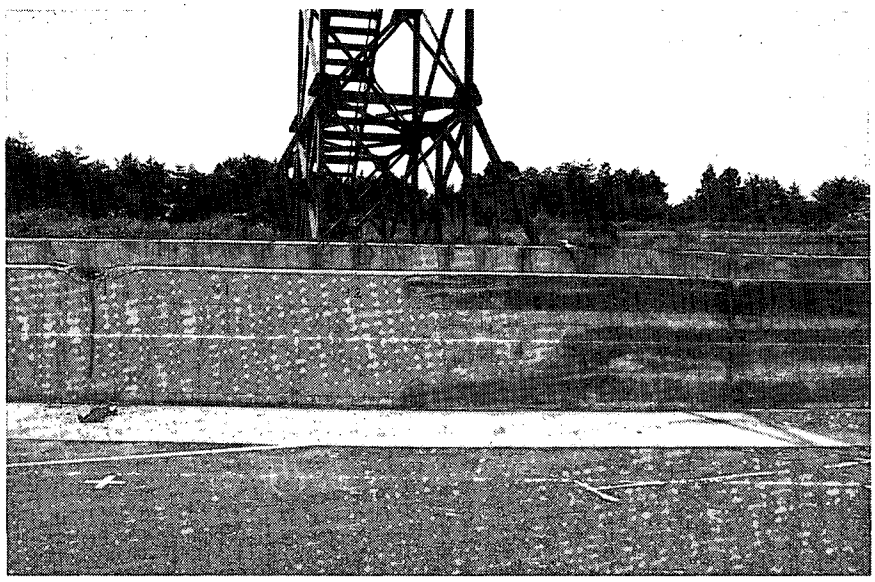
写真－３．28　車両の損傷状況（実験Ｂ－１）



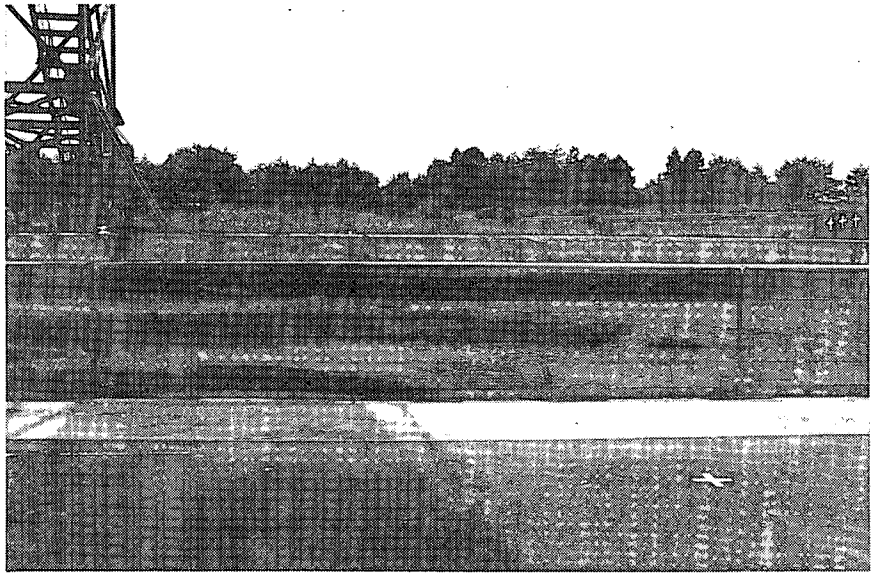
写真－３．29　車両の軌跡と停車状況（実験Ｂ－２）



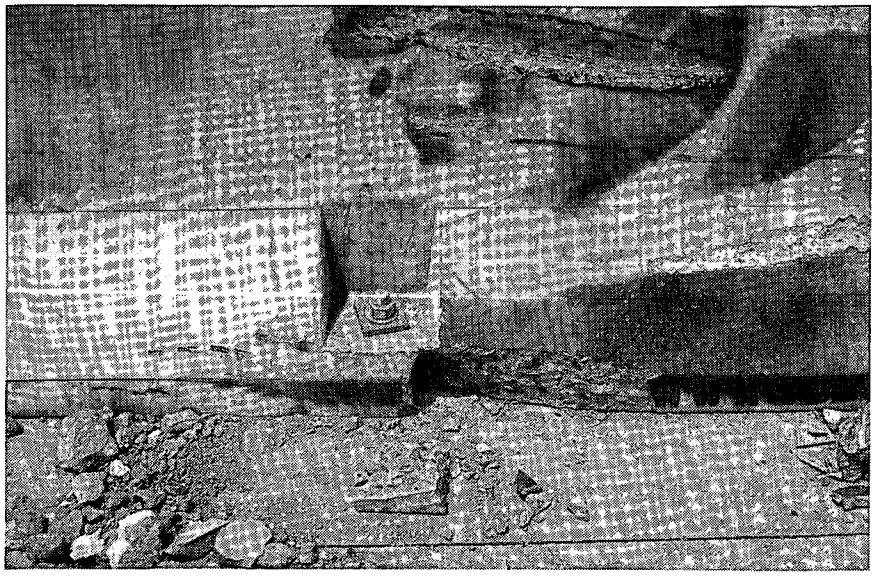
写真－３．30　車両の軌跡（実験Ｂ－２）



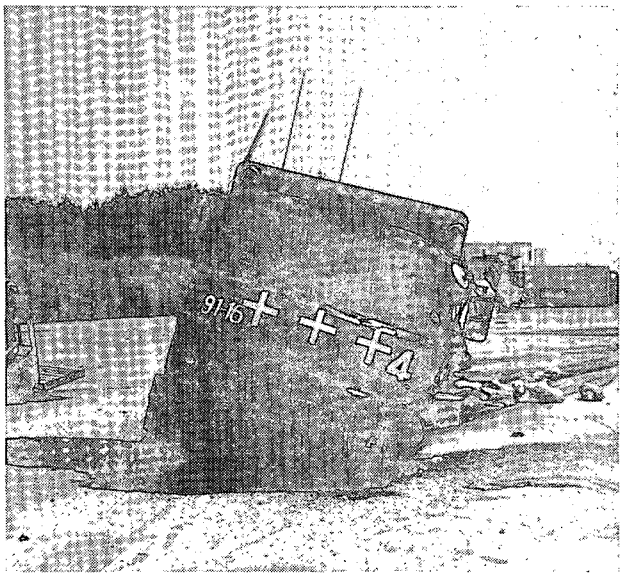
写真－３．31　車両の防護柵への接触跡（実験Ｂ－２）



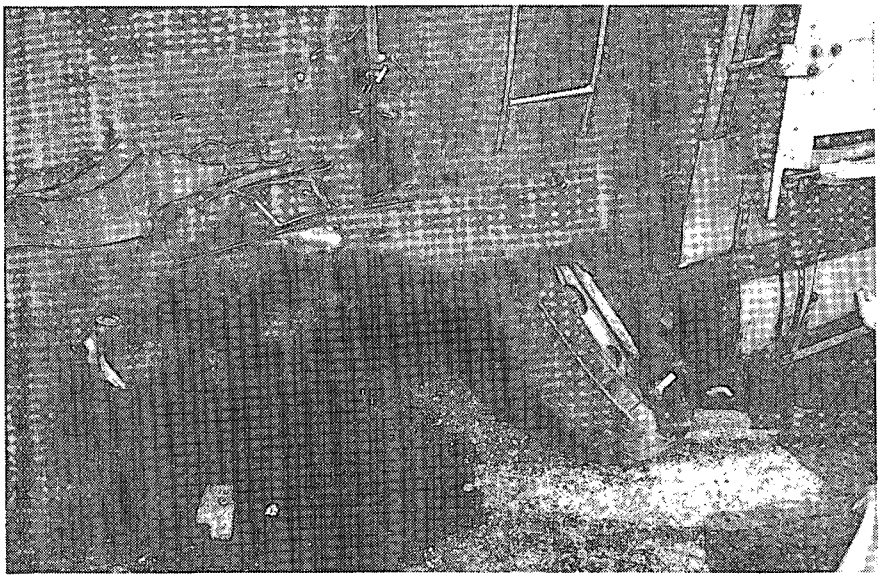
写真－３．32　車両の防護柵への接触跡（実験Ｂ－２）



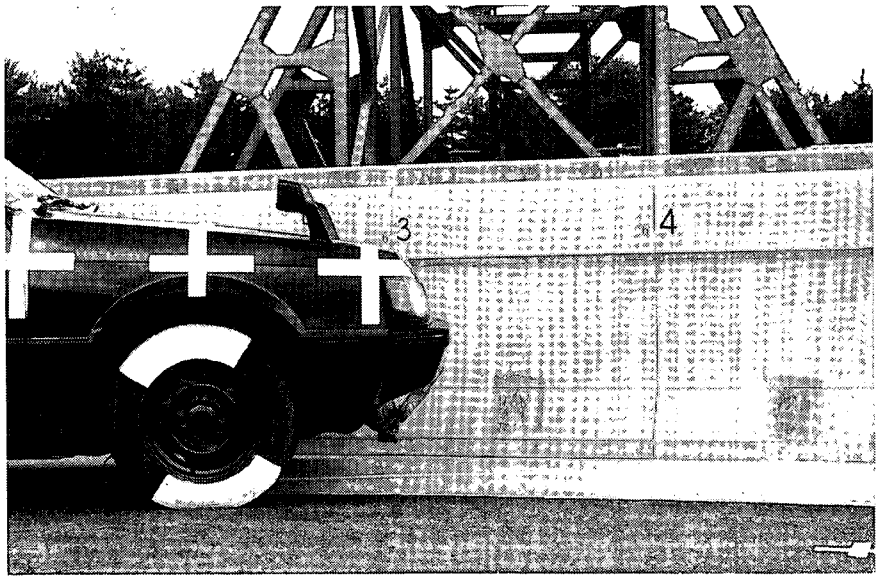
写真－３．33　防護柵の局部的損傷状況（実験Ｂ－２）



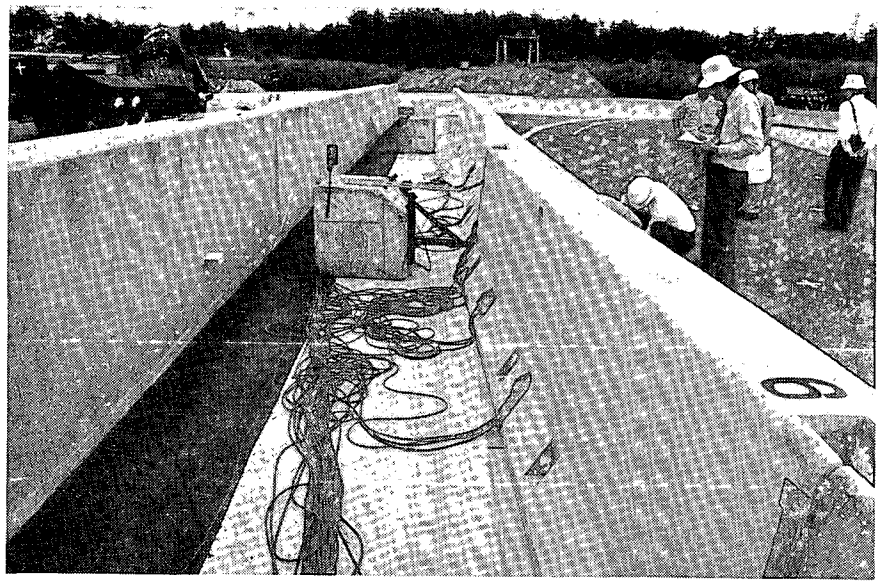
写真－３．34　車両の損傷状況（実験Ｂ－２）



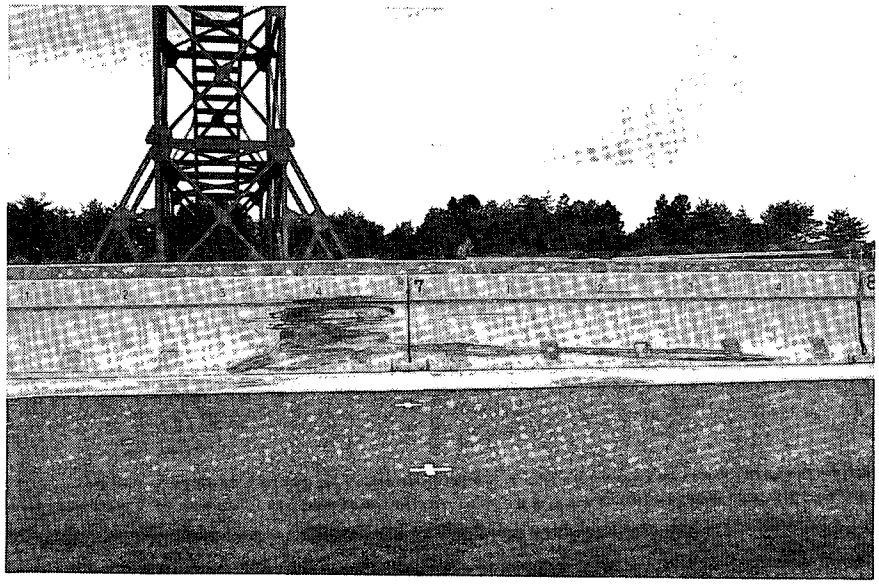
写真－３．35　車両の損傷状況（実験Ｂ－２）



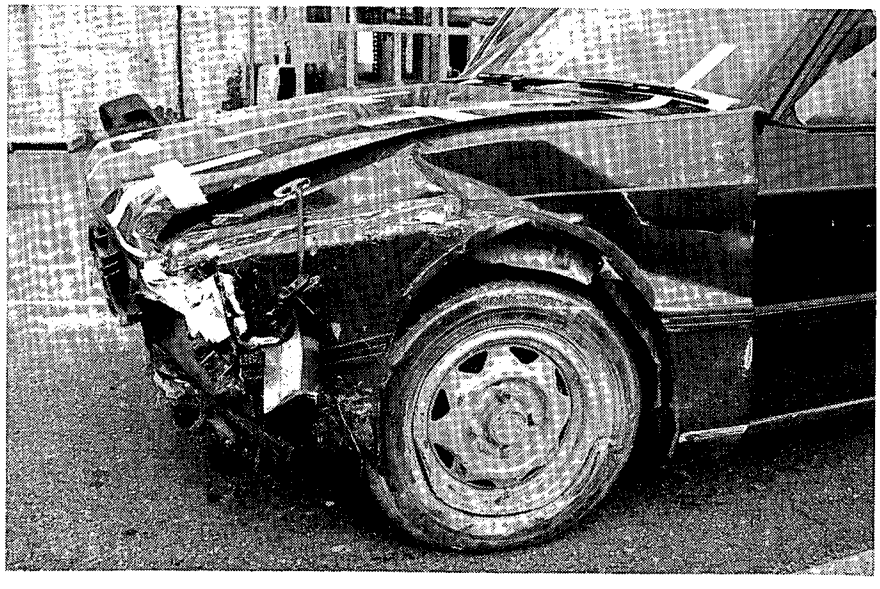
写真－３．36　車両の対防護柵の位置関係（実験Ｂ－３）



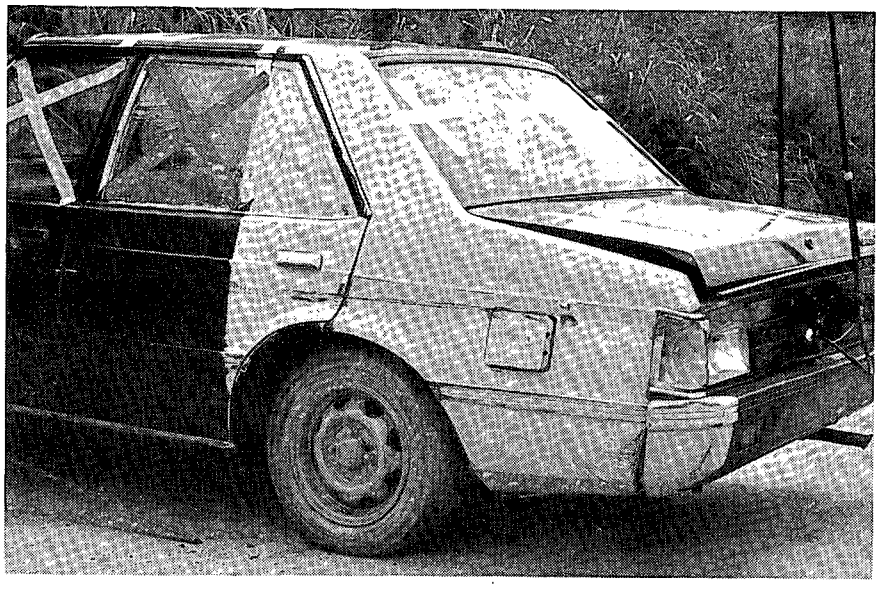
写真－３．37　車両の軌跡と停車状況（実験Ｂ－３）



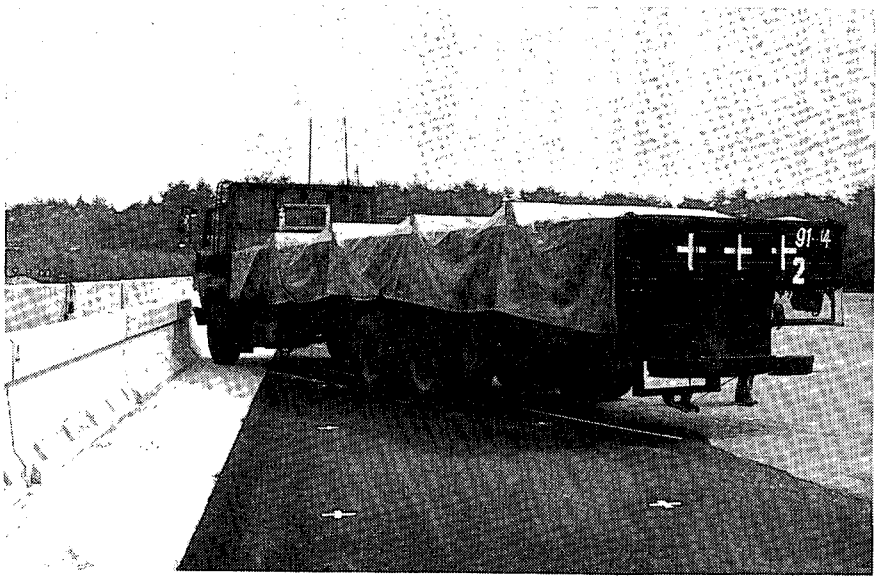
写真－３．38　車両の防護柵への接触跡（実験Ｂ－３）



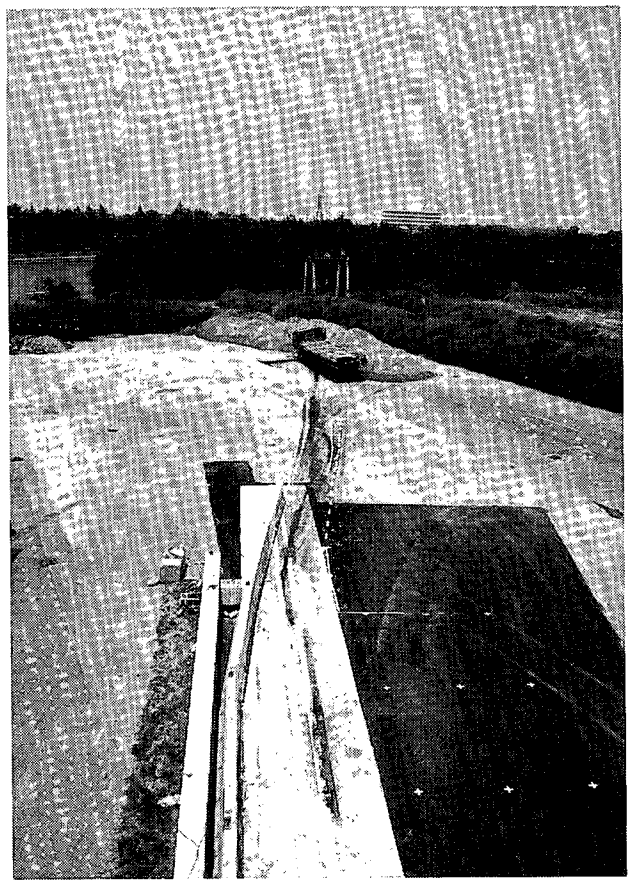
写真－３．39　車両の損傷状況（実験Ｂ－３）



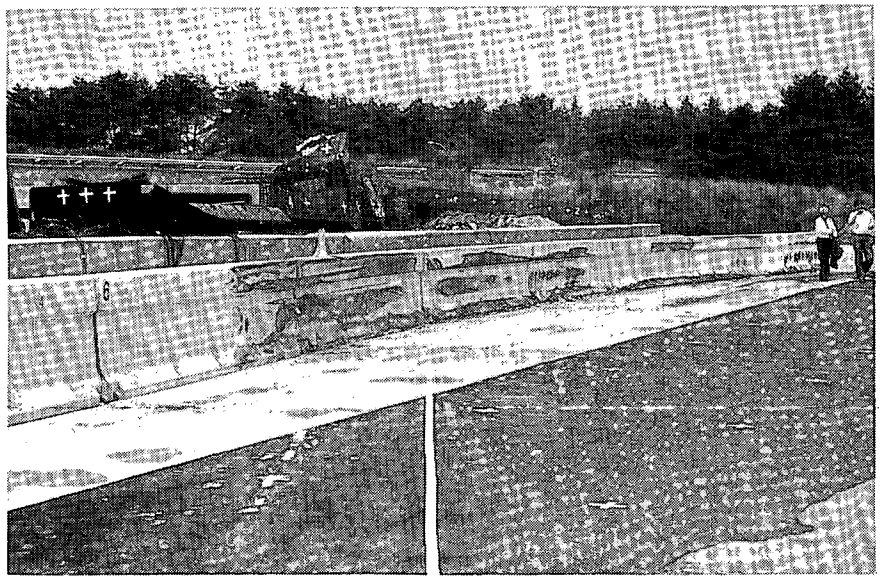
写真－３．40　車両の損傷状況（実験Ｂ－３）



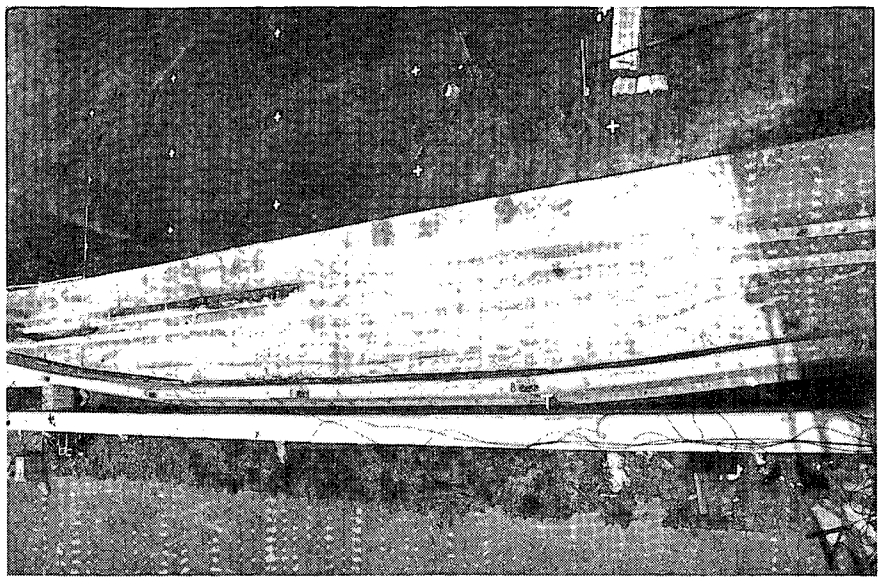
写真－３．41　車両の対防護柵の位置関係（実験Ｂ－４）



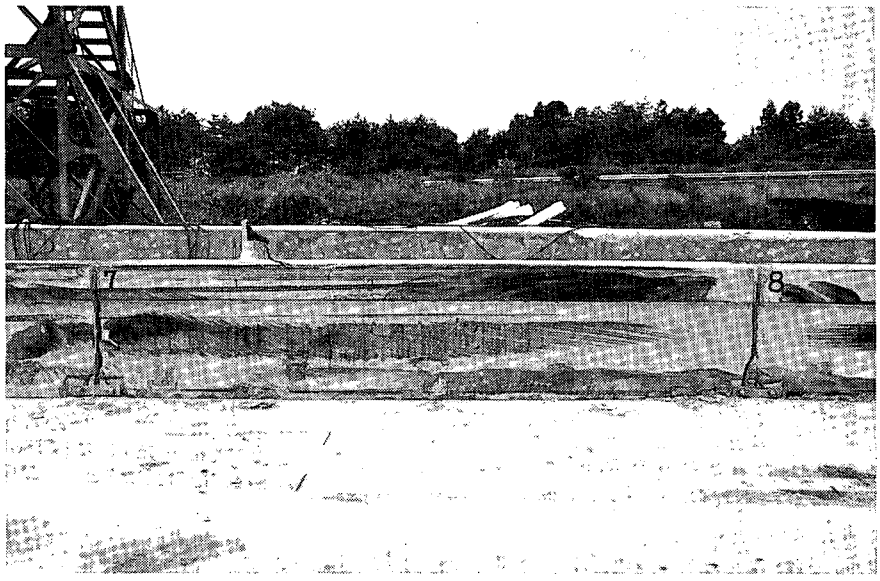
写真－３．42　車両の軌跡と停車状況（実験Ｂ－４）



写真－３．43　車両の防護柵への接触跡（実験Ｂ－４）



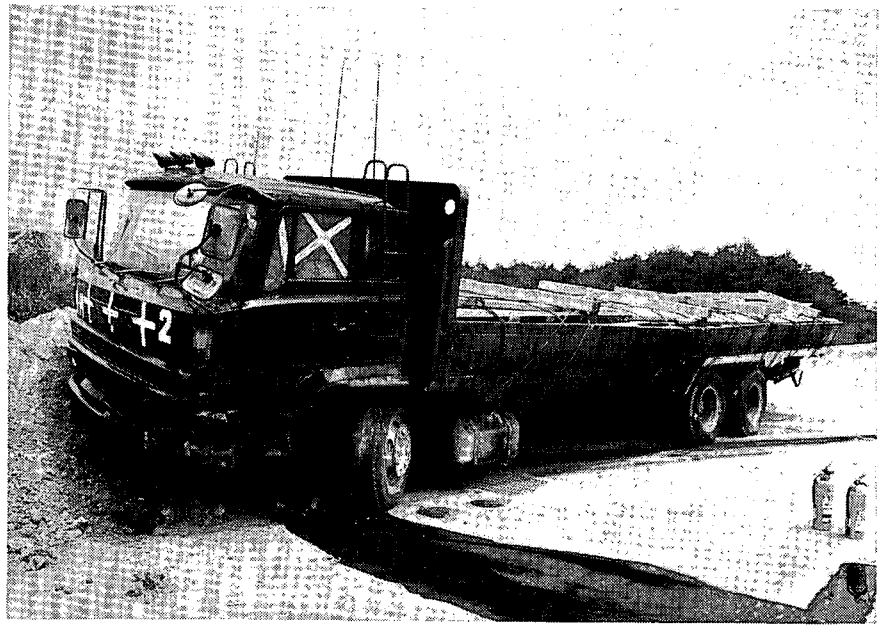
写真－３．44　防護柵の残留変位状況（実験Ｂ－４）



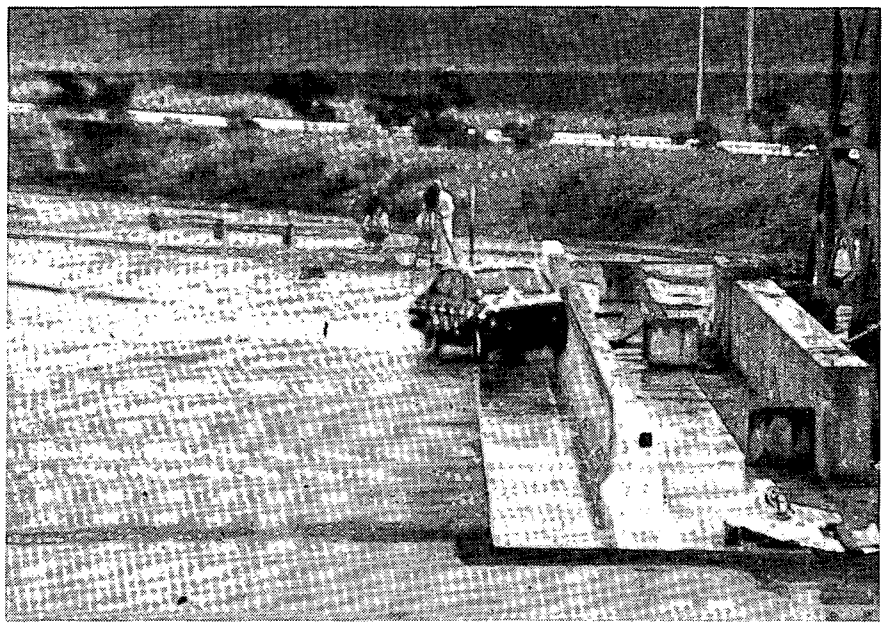
写真－３．45　防護柵の損傷状況（実験Ｂ－４）

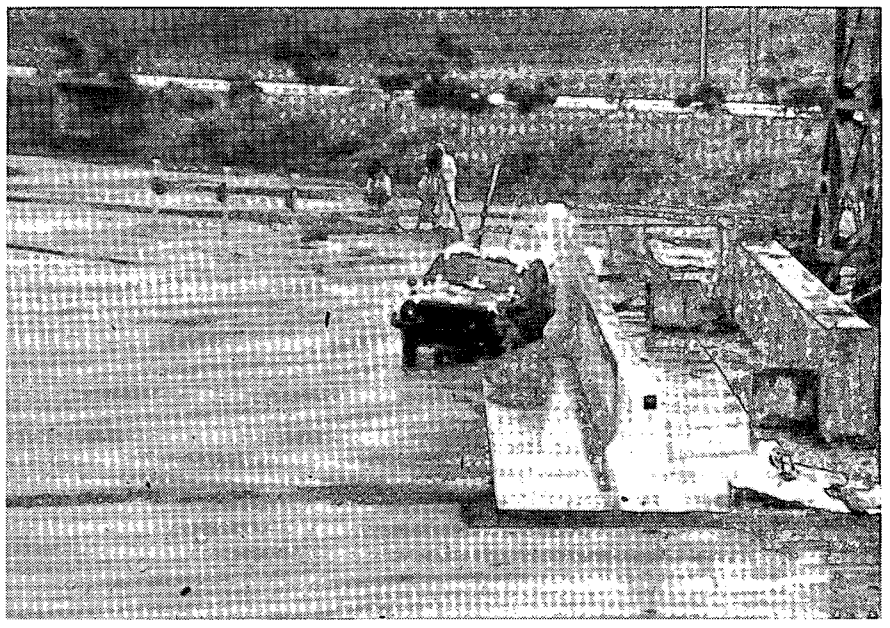


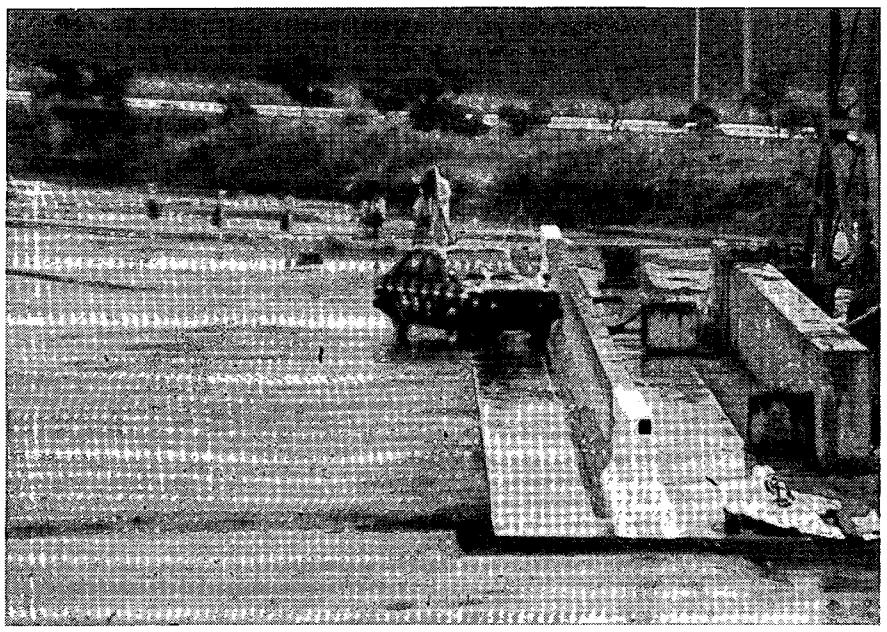
写真－３．46　車両の損傷状況（実験Ｂ－４）

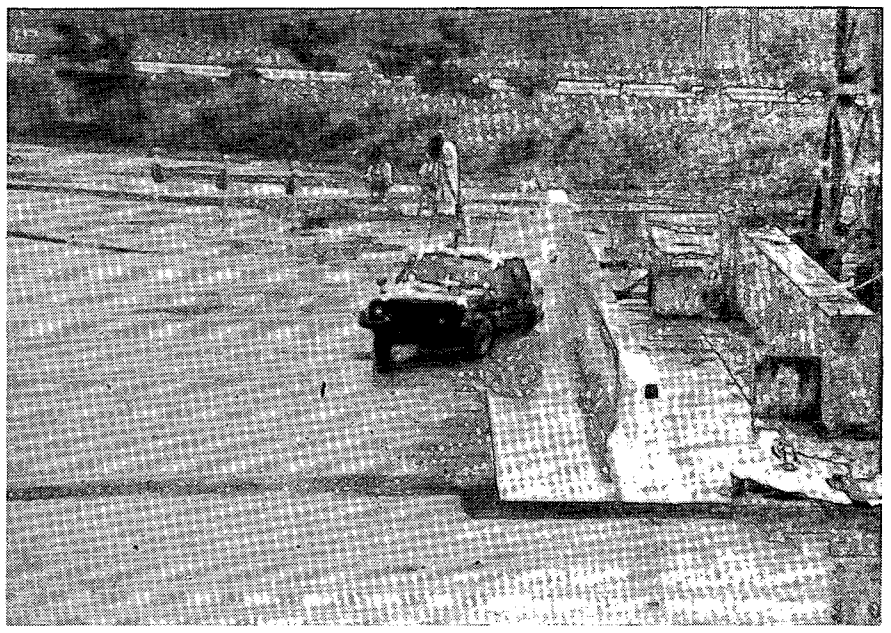


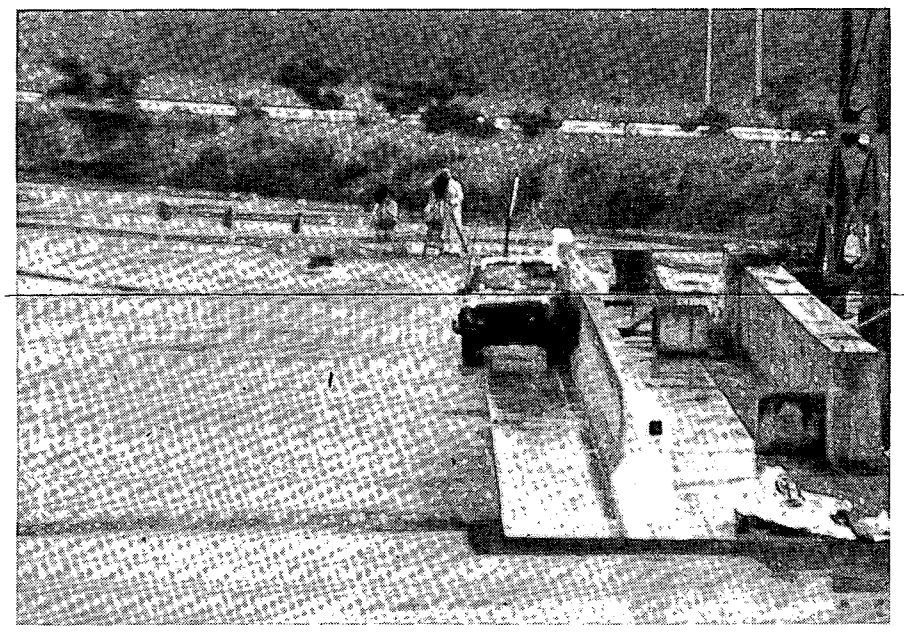
写真－３．47　車両の損傷状況（実験Ｂ－４）

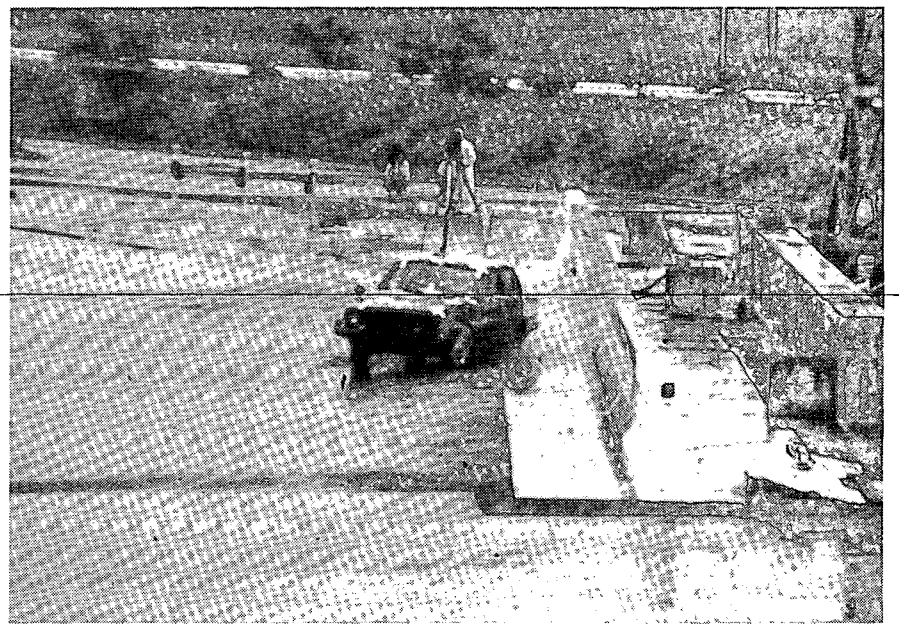


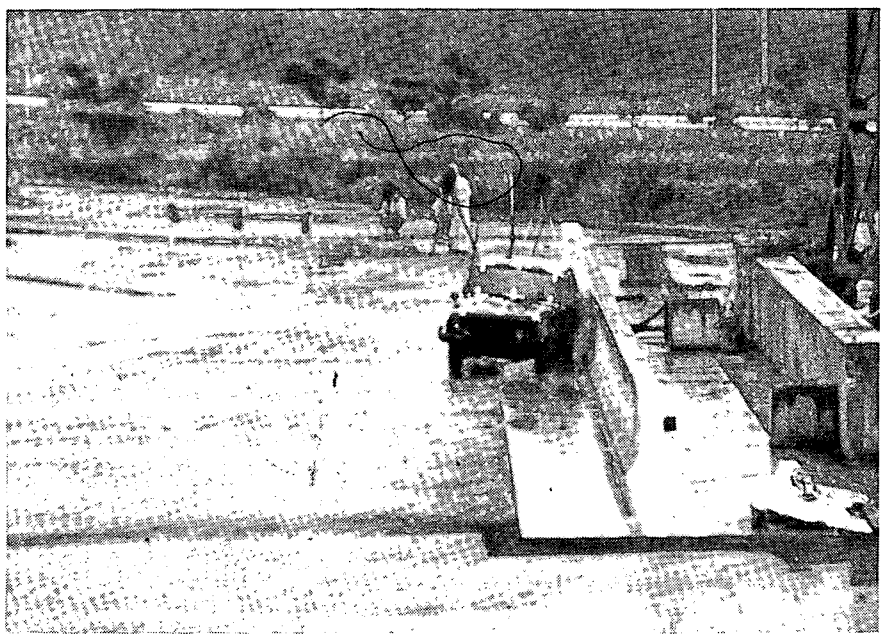


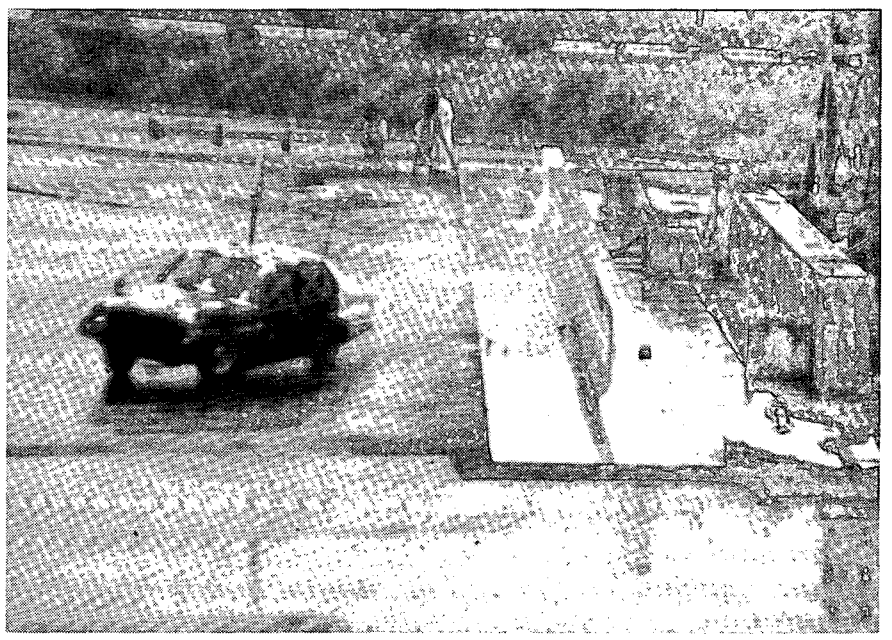




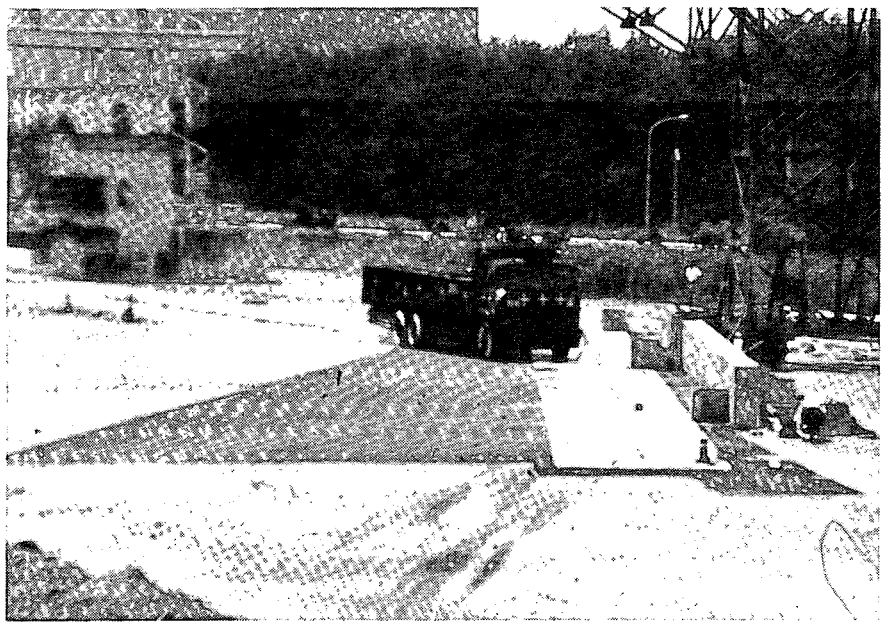


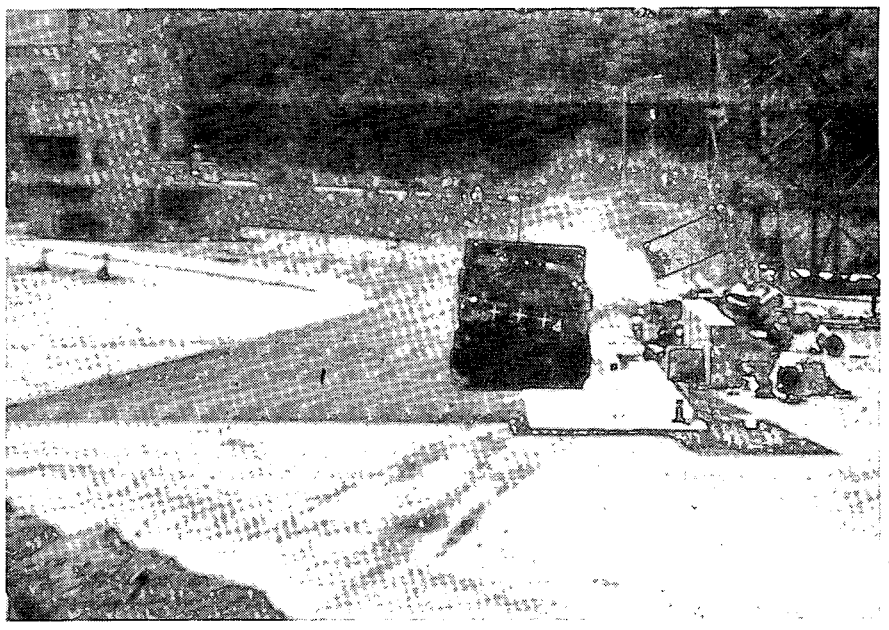


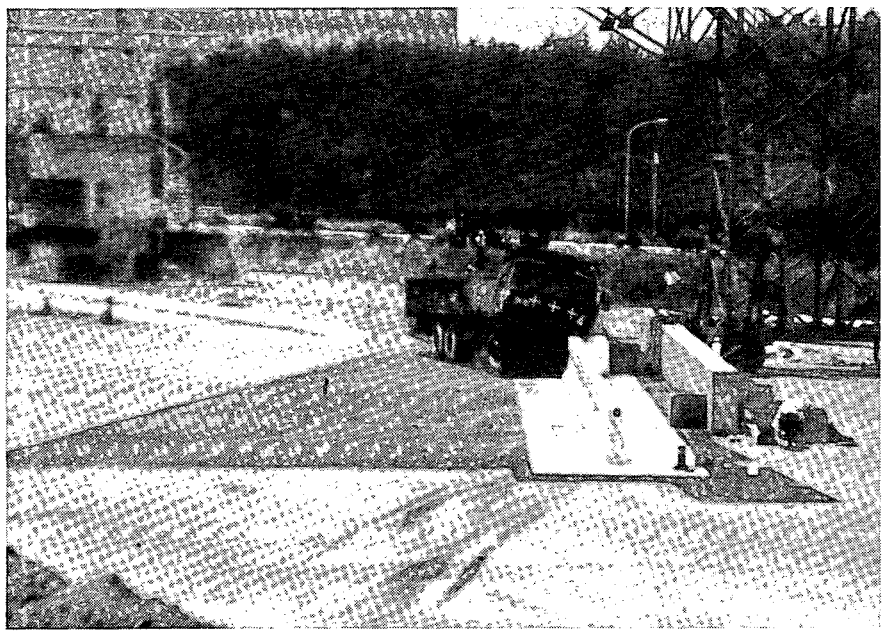


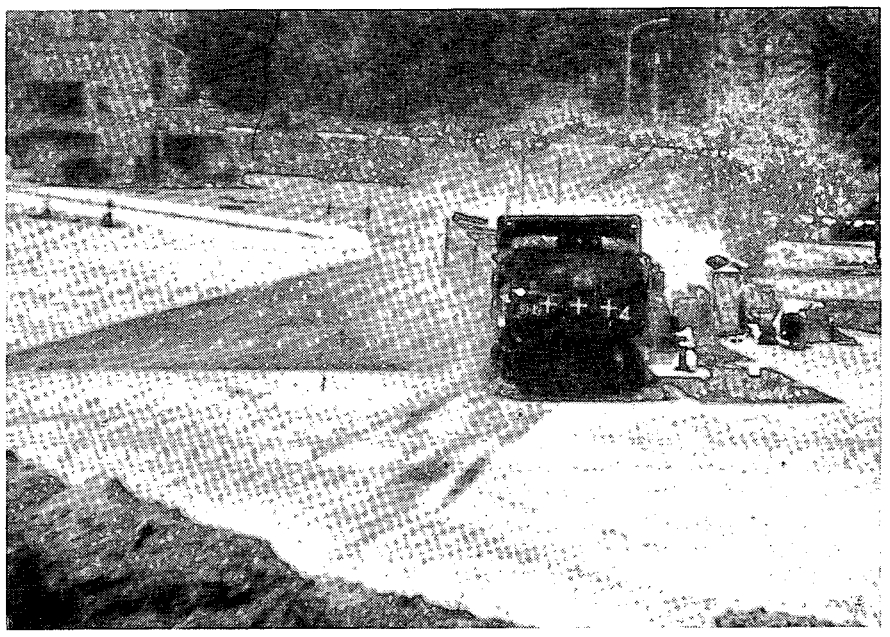


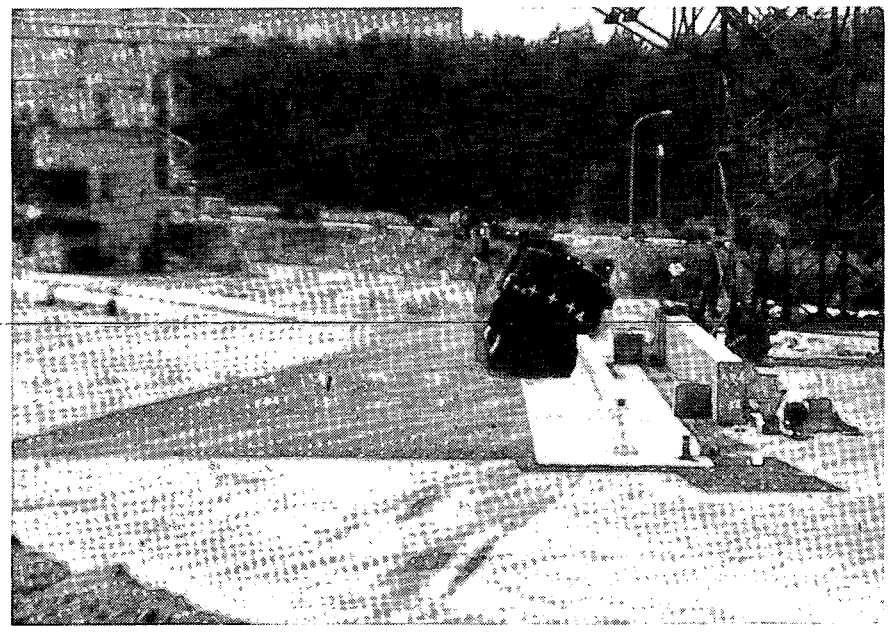
写真－３．48　車両衝突状況連続写真（実験Ｂ－１）

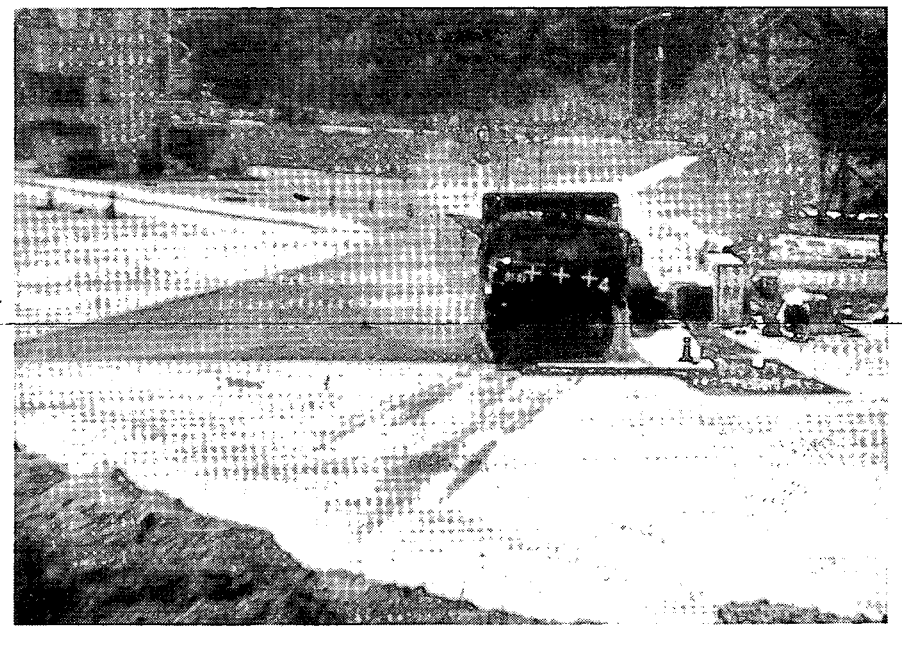


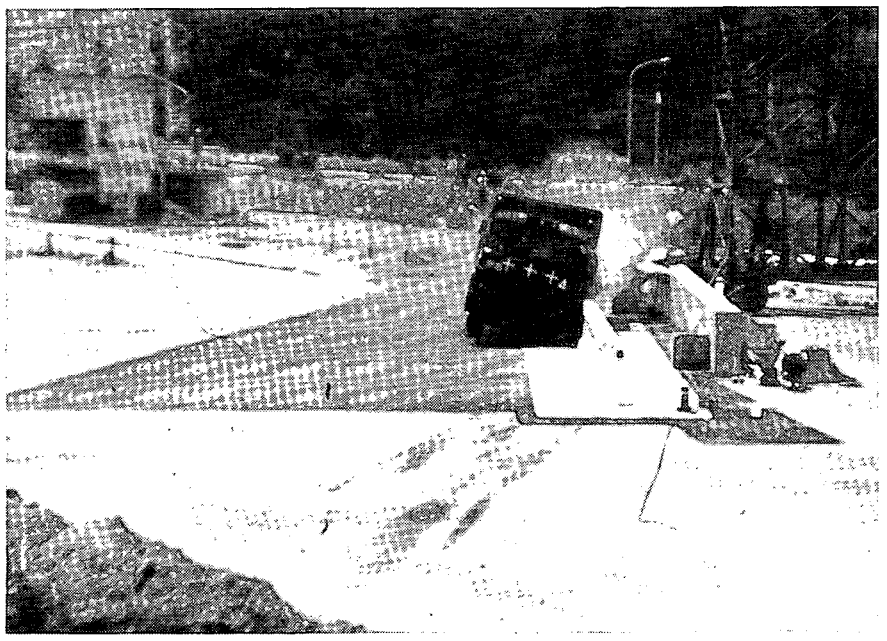


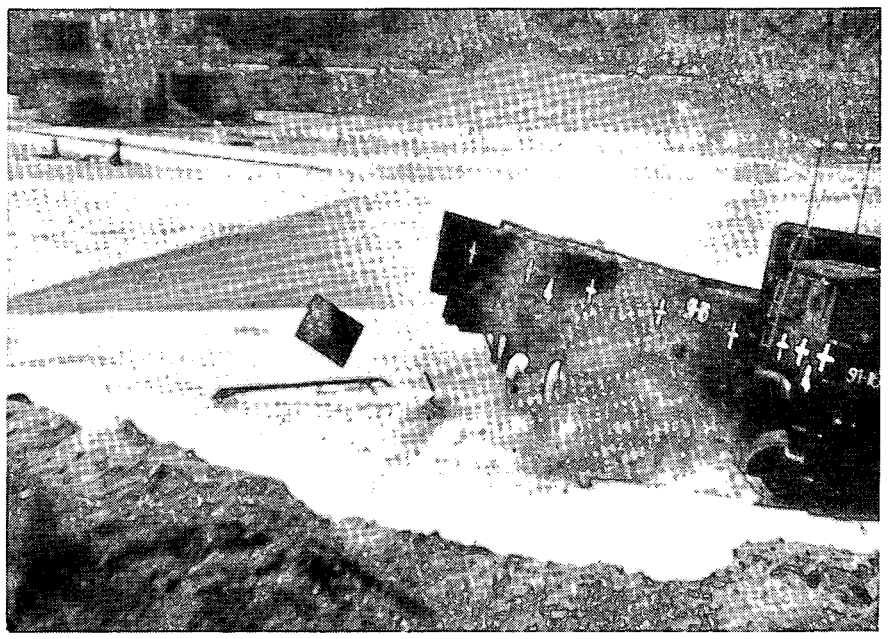




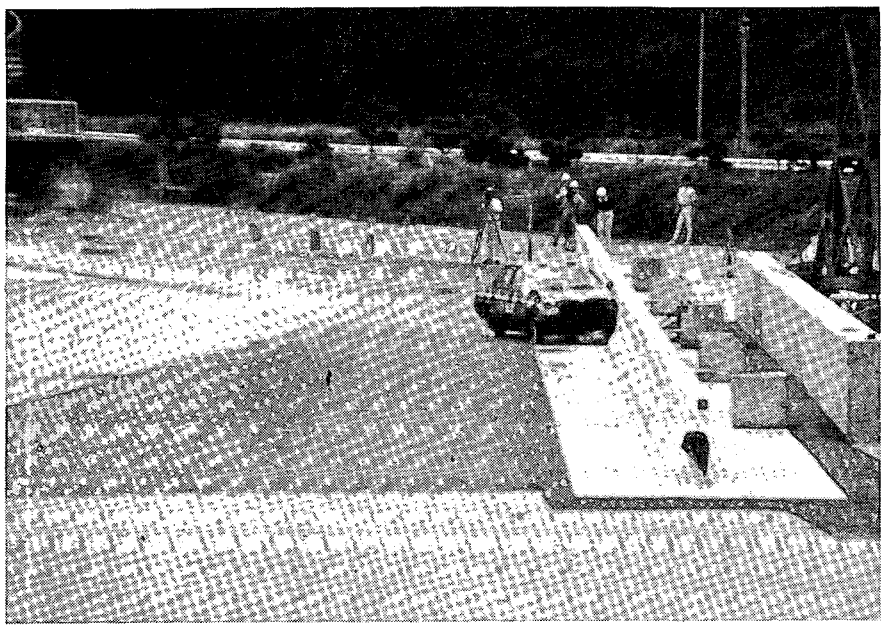


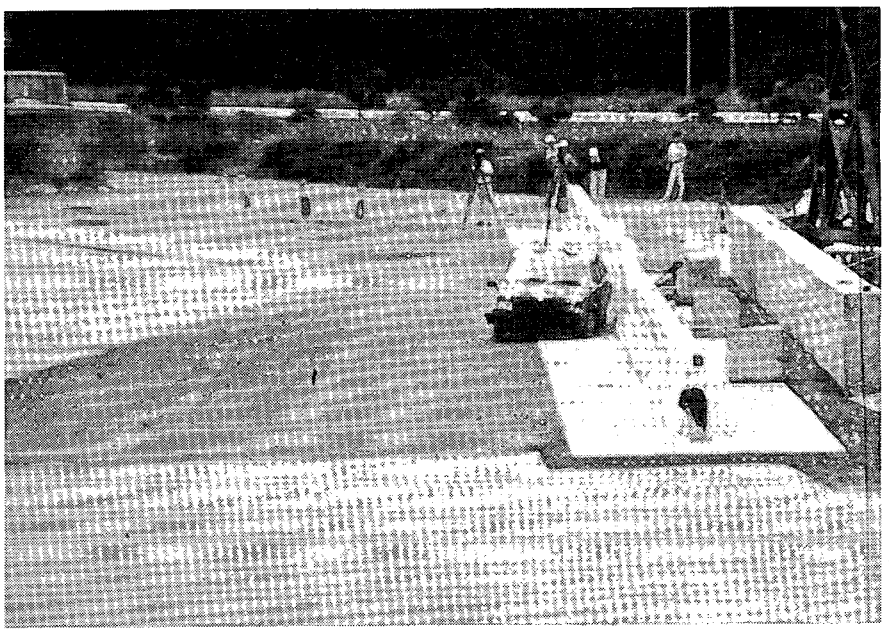


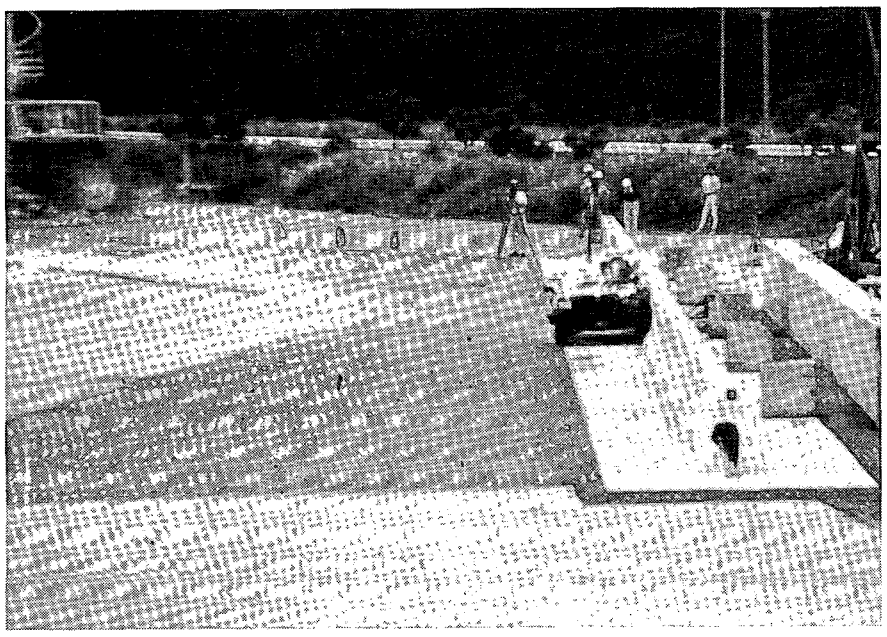


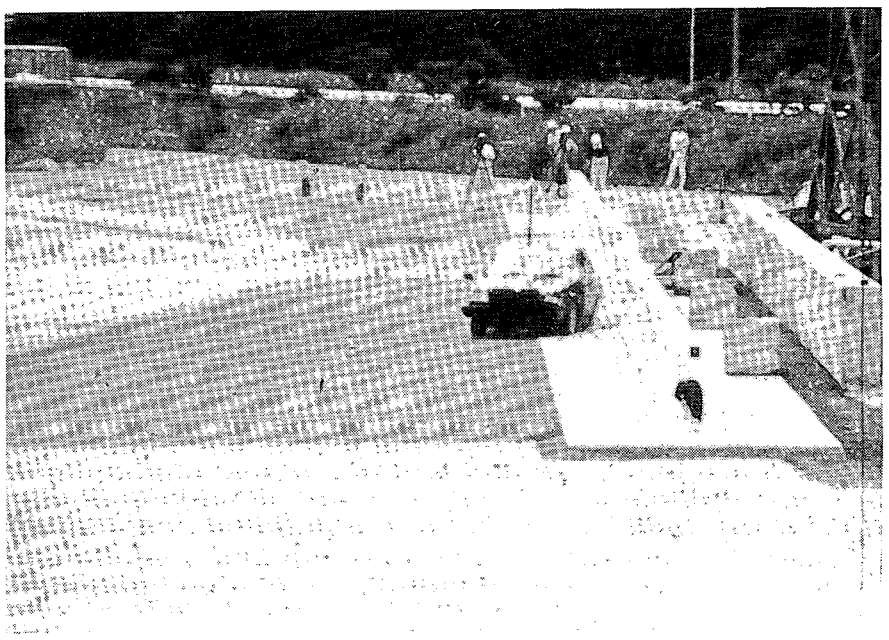


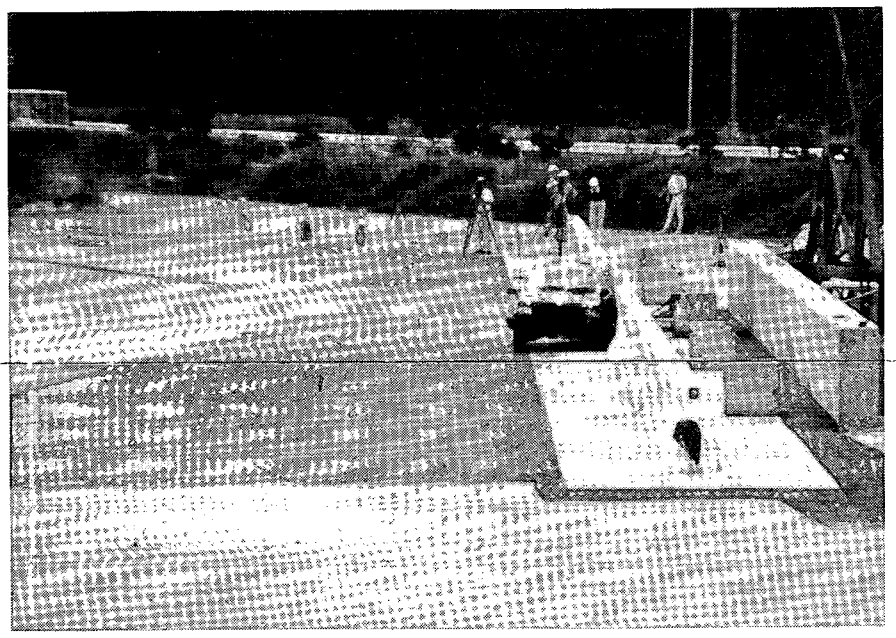
写真－３．49　車両衝突状況連続写真（実験Ｂ－２）

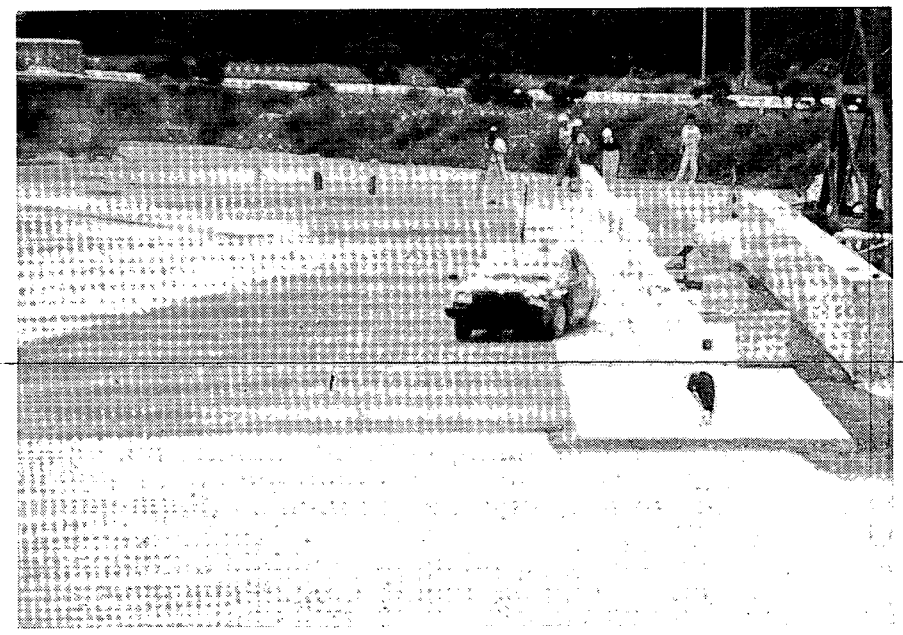


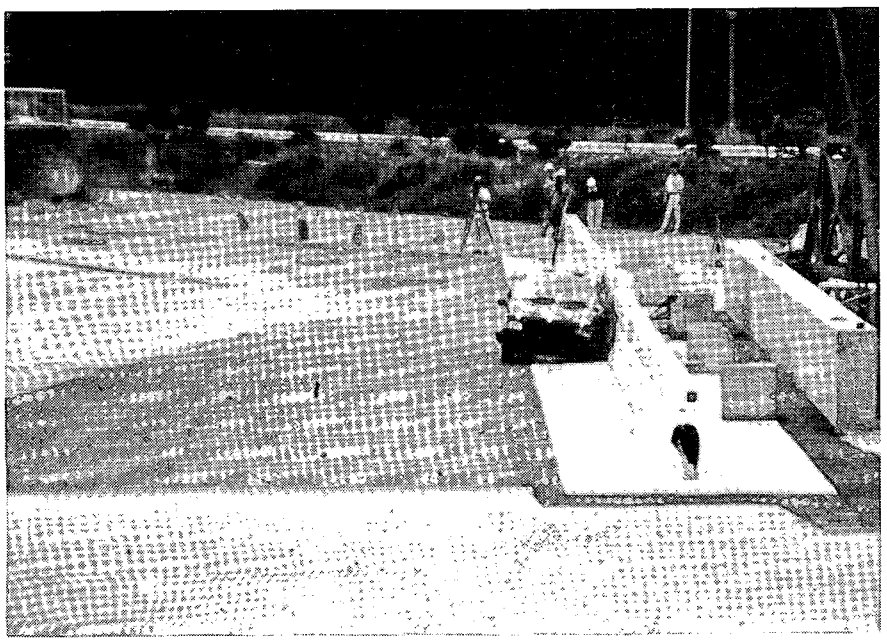


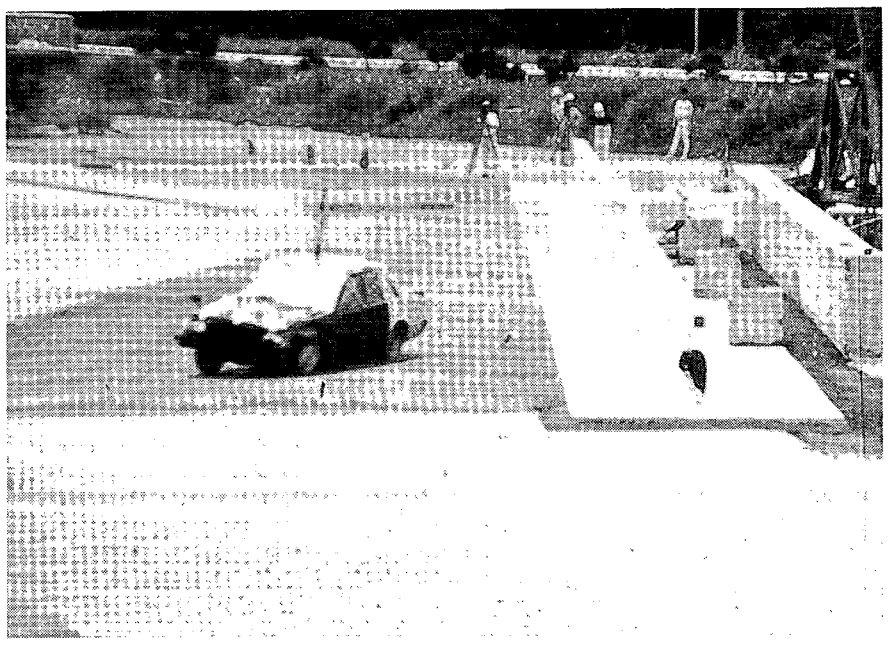




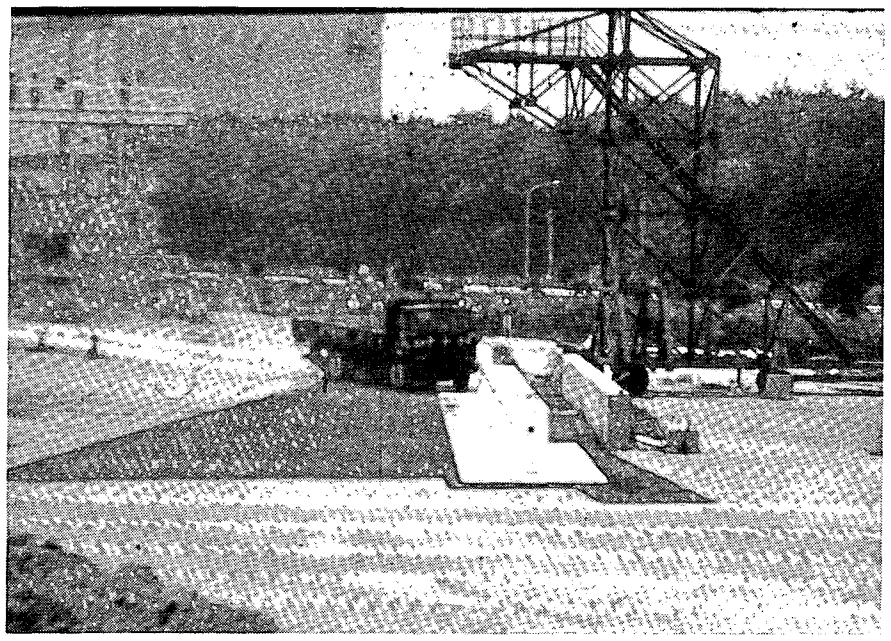
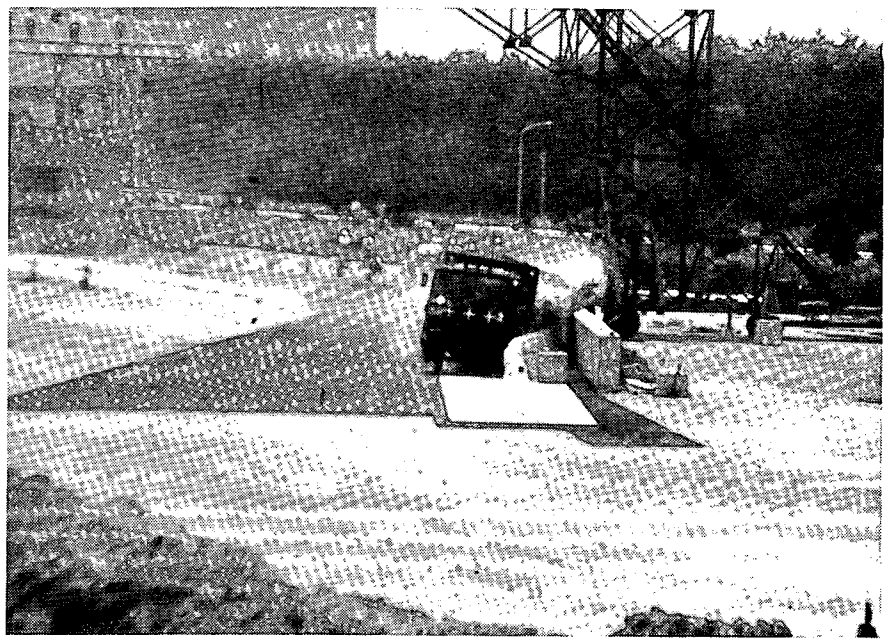
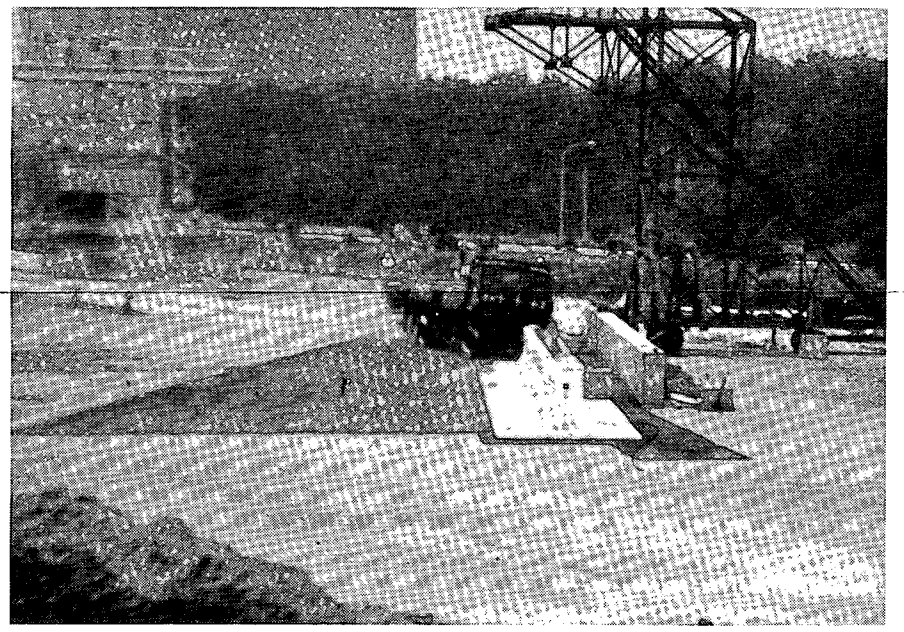
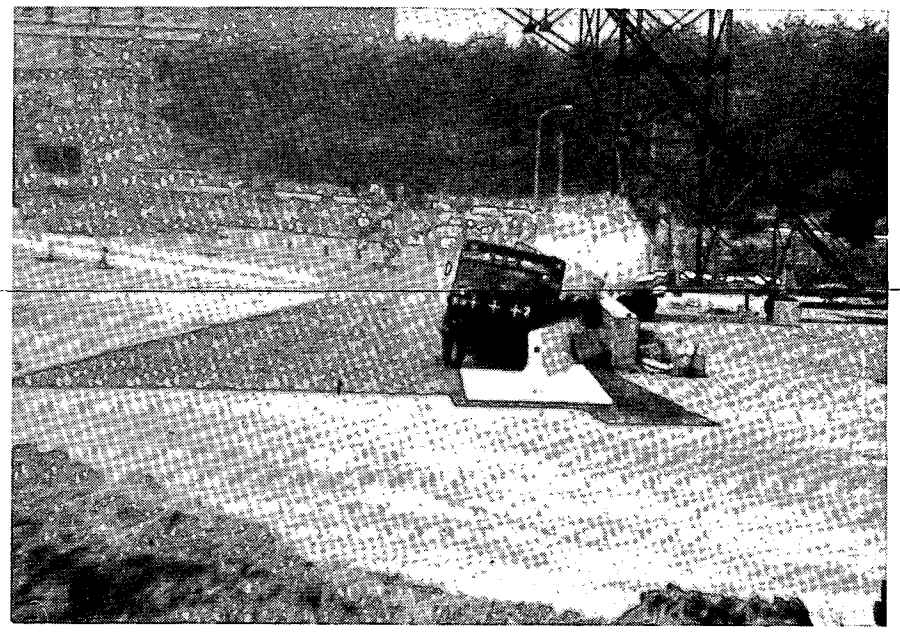
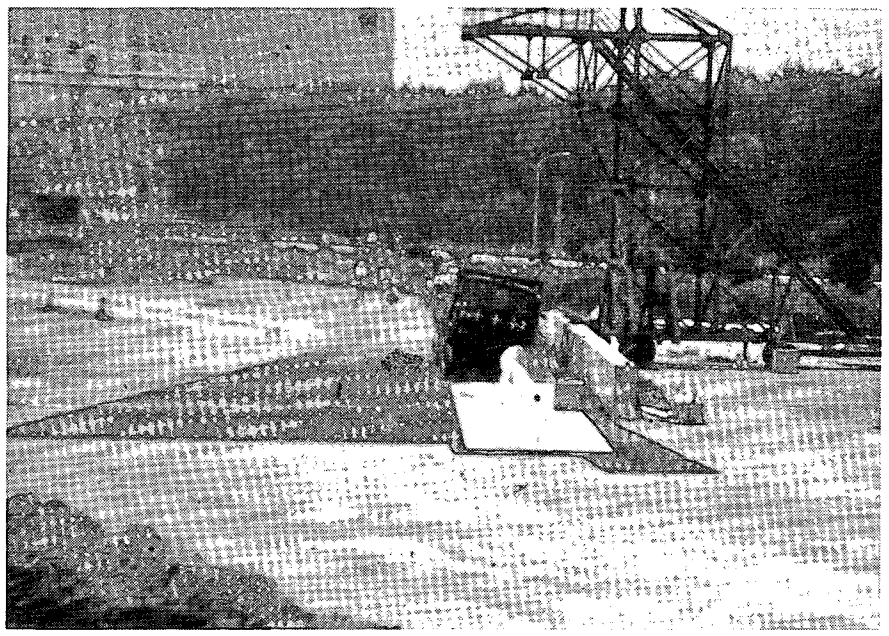


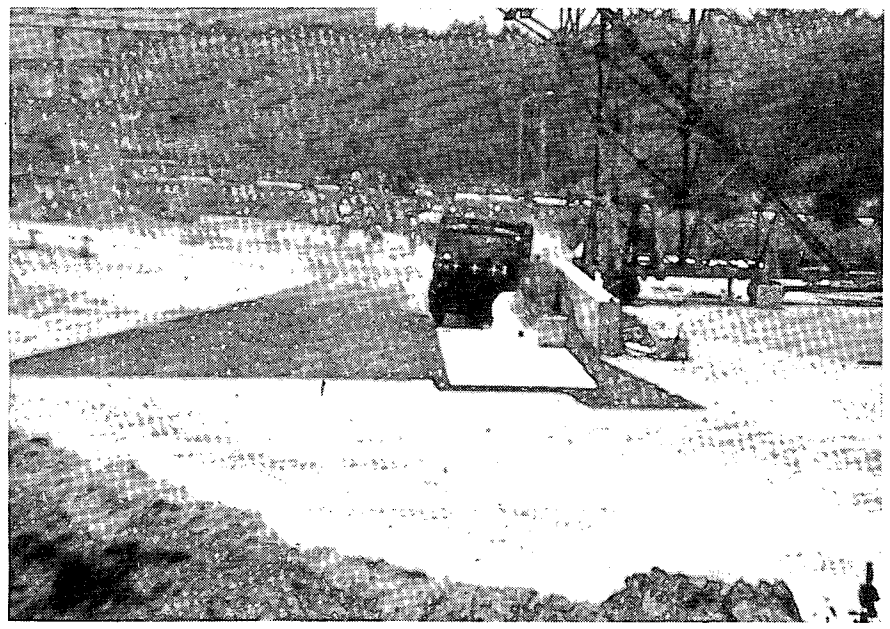
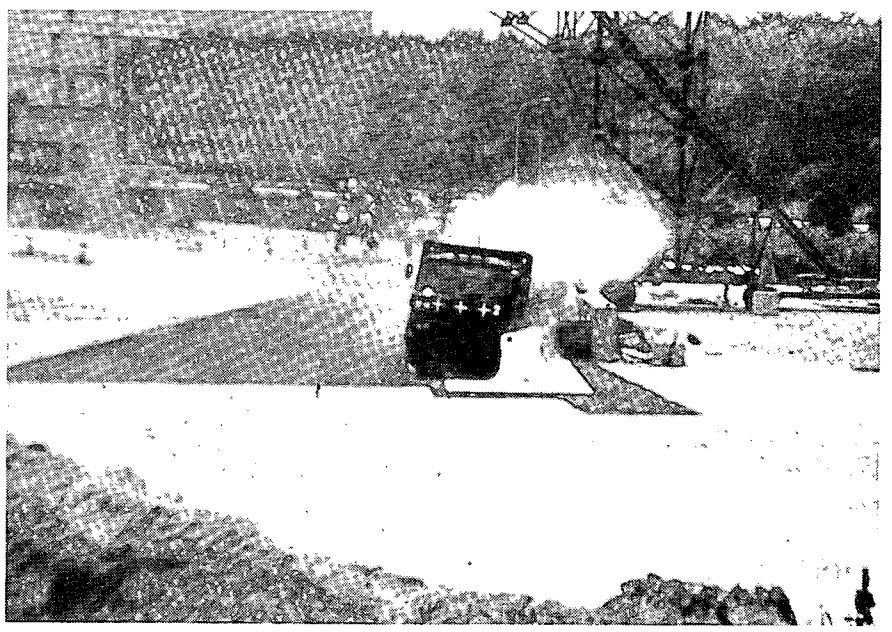






写真－３．50　車両衝突状況連続写真（実験Ｂ－３）

写真－３．51　車両衝突状況連続写真（実験Ｂ－４）

３．６．実用化へ向けての検討

３．６．１．防護柵の設計強度

本実験の供試体は、車両重量20ｔ、速度80km/h、角度20度の衝突を想定して「供試体上端に ３t/mの横方向力」が作用するものとし、断面の大きさや配筋等の構造検討を行った。また、本実験によって防護柵の強度が十分であることが確認された。

以上のことから、上記の設計条件（衝突条件：20ｔ、80km/h、20度）に対する狭幅員中央分離帯用コンクリート製防護柵の設計強度として「柵上端に ３t/mの横方向力」を採用することを提案する。

３．６．２．実用型防護柵の形状

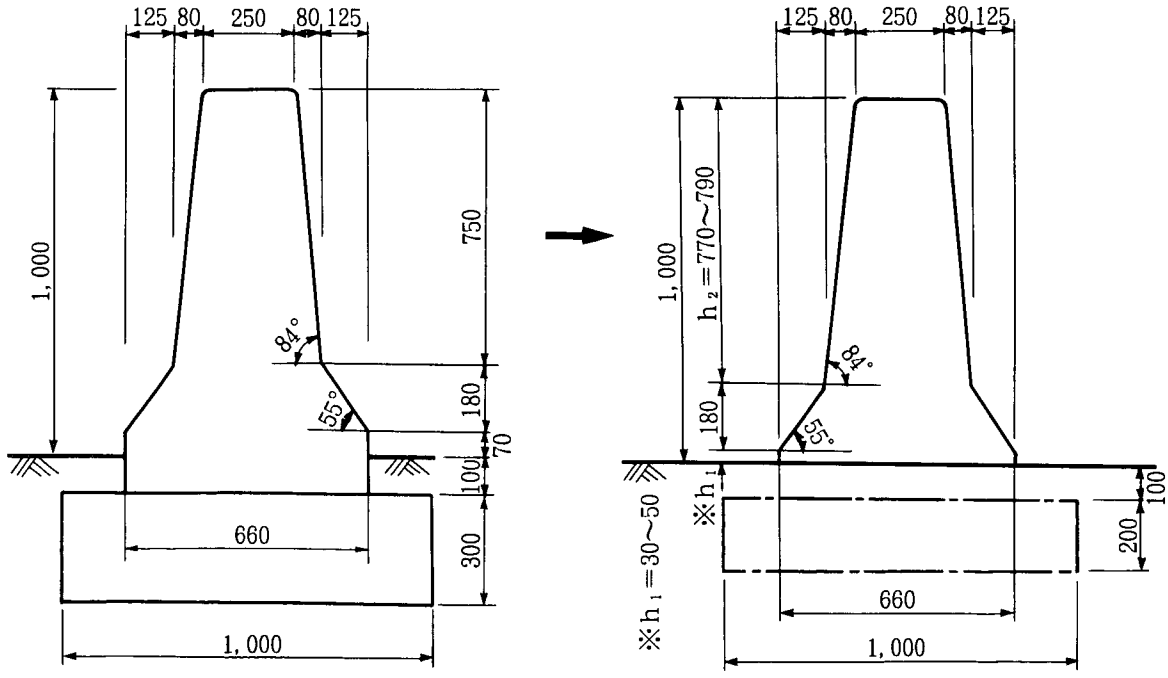
今回の実験結果から防護柵形状に関しては以下のような改善を加えた。（図－３．36）

［課題１］実験型では下段スロープの下端高さが７cmあり、その部分にタイヤがあたってパンクした

［対　策］下段スロープを下端高さを３～５cm程度にする

［課題２］上部突起がある場合の離脱角度がない場合に比べて大きく二次事故の発生する可能性が高い

［対　策］上部突起がない場合でも正常誘導しているので、80km/h衝突までは上部突起を付けない形状で対応し、それ以上の場合については今後の検討課題とする



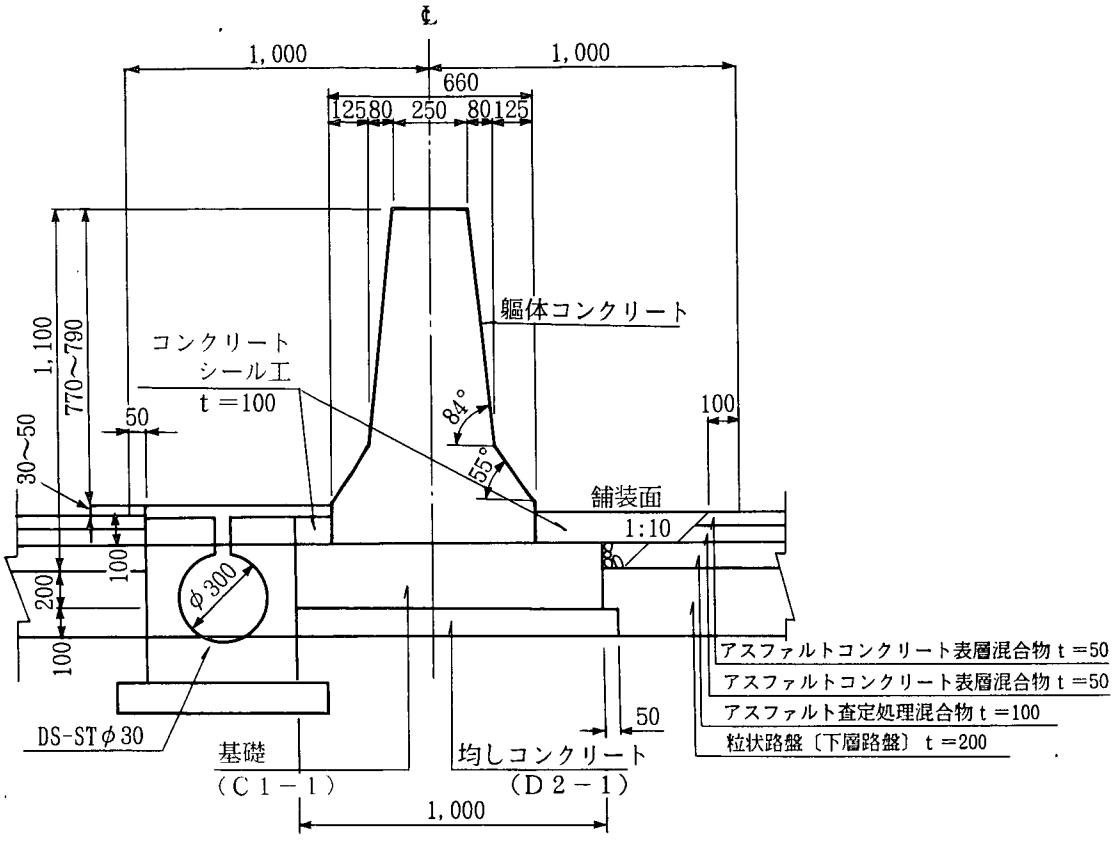
実験用防護柵形状（設置延長40m）　　コンクリート製剛性防護柵の基本形状

図－３．36　防護柵前面形状の改善

３．６．３．設置方法

１）在来工法

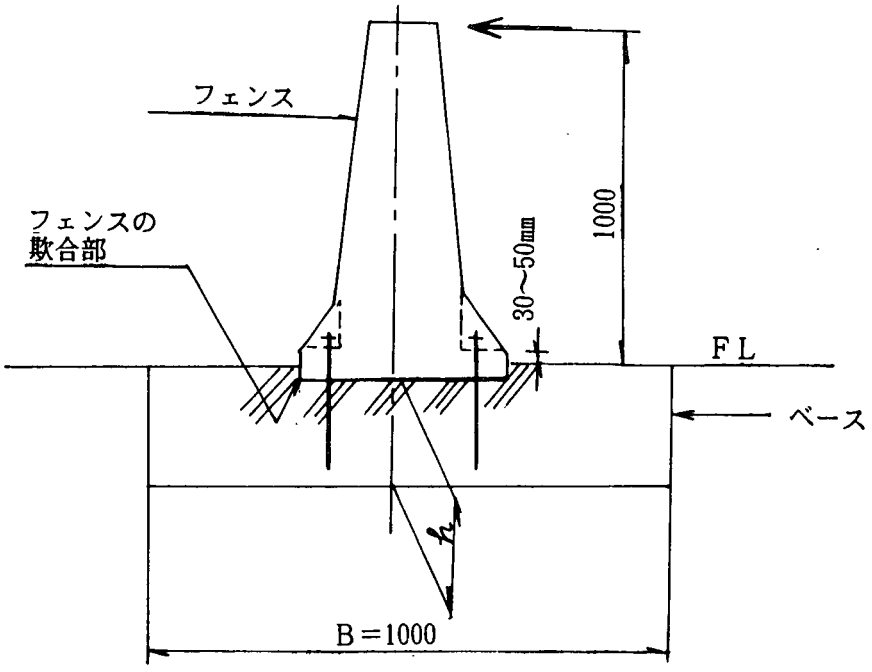
実験結果および防護柵の設計強度に関する検討結果から図－３．37に示す構造を基本型として提案する。



図－３．37　在来工法による防護柵の標準断面図

2）プレキャスト

プレキャスト製の場合、アンカーボルト付近のコンクリートがせん断破壊する傾向がみられた。そこで、基礎部を凹型にし躯体部をはめ込み衝突荷重を基礎部に分散させる構造を基本型として提案する（図－３．38）。



図－３．38　プレキャスト工法による防護の標準断面図

３．６．４．設置場所

本研究により開発された剛性防護柵は、車両の突破防止能力が高く、車両衝突時の変形や損傷もほとんどないことが確認された。これらの特徴を持つコンクリート製防護柵の設置場所としては、大型車交通量が多い重交通量路線でありながら中央分離帯が標準幅員より狭く鋼製防護柵を設置できない区間、平面・縦断線形がきびしく中央分離帯関連事故が多発する恐れの有る区間、および大都市近郊の重交通量路線の内連続高架橋や半地下構造で中央分離帯のメンテナンスフリー化が望まれる区間等が挙げられる。

第4章　まとめ

本研究では、狭幅員の中央分離帯に設置するための防護柵として、コンクリート製の剛性防護柵の形状や安全性について検討してきた。その結果、基本的な防護柵形状（図－３．36、37）について提案することができた。また、コンクリート製防護柵に関する基礎的な資料を得ることができた。

以下に本研究により得られた結果について示す（表－４．１参照）。

（１）防護柵の設計条件について

今回検討したＦ型剛性防護柵は車両重量20ｔ、速度80km/h、角度20度以下の衝突に対して安全性が確保されていることが確認された。

（２）車両の誘導性について

本供試体では、80km/hの衝突に対しては正常に誘導されることが確認されたが、それ以上の衝突速度では飛び上がりや横転を防止するための対策が必要であることがわかった。また、飛び上がり防止用として取り付けた上部突起は離脱角度を大きくする傾向があることもわかった。

（３）乗員の安全性について

本供試体は80km/hの衝突に対して乗員の安全性は確保されていることが確認されたが、それ以上の速度に対しては横転等が発生したため、衝撃に対する乗員の安全性を明らかにすることはできなかった。

（４）防護柵の強度について

本実験により、防護柵の強度は十分であることが確認され、（１）の設計条件に対する設計荷重は、躯体部の上端に３ｔ／ｍで強度的には問題ないことがわかった。

（５）防護柵の形状について

防護柵の前面形状は、小型車の誘導性を高めるために、実験型に比べて下部のスロープを下げ、上部突起無しとしたものを提案した（図－３．36、37）。なお、設置方法は固定式とし、据置式は今後の研究への参考とした。

表－４．１　主な評価項目の測定値と車両の損傷

実験番号（○数字は実験順序）			A－1①	A－2③	A－3②	A－4④	B－1⑦	B－2⑧	B－3⑤	B－4⑥
車種			小型乗用	大型貨物	小型乗用	大型貨物	小型乗用	大型貨物	小型乗用	大型貨物
車両重量		(t)	1.1	20.0	1.1	20.0	1.1	20.0	1.1	20.0
衝突速度		条件値	80.0	80.0	120.0	100.0	80.0	80.0	80.0	80.0
	(km/h)	実測値	80.0	79.6	120.0	100.6	79.6	80.4	80.3	80.4
衝突角度		(度)	20	20	20	20	20	20	20	20
離脱速度		(km/h)	54.0	54.8	計測不可	計測不可	66.5	63.5	67.6	61.7
離脱角度		(度)	8	0	8.4	0	4.5 19.8	0	9.5 24.4	11.2
車体の傾き	前端部	道路側	16.5		32		1.9		2.3	
		防護柵側		32		55		25		13.9
	後端部	道路側	16.5		32					
(度)		防護柵側		44		90	6.1	30	7.3	23.0
車輪浮き上り量	右側	前輪	10	78	5	100上	5	47	3	17
		後輪	20	135	20	100上	12	64	10	55
	左側	前輪	40		100上					
(cm)		後輪	28		100上					
水平飛距離		(m)	11.33	12.5	12.2	－－	8.5	11.7	15.9	21.1
車両損傷	バンパーフェンダー		凹 20	凹 57	凹 25	凹 60	凹 15	凹 60	凹 10	凹 47
	車輪		前輪タイヤバースト取外れ	前軸55cm後方移動	前輪タイヤバースト孔あき	前軸25cm後方移動	多少右回転	前輪バースト前軸60cm移動	多少右回転	前軸30cm後方移動
	ステアリング		変形大	アブソーバー破損	多少変形	車軸取付部Uボルト破断	多少変形	スプリング取外れ	多少変形	車軸取付部Uボルト破断
	自力走行		不可	不可	不可	不可	可	不可	不可	不可
	車室変形		小 左前窓ガラス破損	無	小 左前窓ガラス破損	無	無	無	小	無
荷物の飛散状況				無		土嚢30ヶ 450ヶ中		土嚢150ヶ 450ヶ中		土嚢3,4ヶ 450ヶ中
車両重心50msec値		(g)	6.5	4.8	12.1	8.7	6.9	4.5	6.8	5.9
ダミー頭部ＨＩＣ値		運転席	543.4	11.8	11780	85.4		18.3	34.8	14.2
		助手席	26.3	66.2	540.9	829.6		87.6	44.0	16.8
防護柵天端の変位		(mm)	0.01	0.2	0.03	0.20	0	0	24	181
その他						柵端部で推定乗越				

主な評価基準

・離脱角度：衝突角度の60％以内(アメリカ実験基準)
・離脱速度：衝突速度96Km／hの場合、24Km/h（25％=24/96）以上低減してはならない。
・加速度：車両重心の50msec値がX=25g、Y=15g、合成値=25g（３点式シートベルト着用条件）
　ＨＩＣ値（頭部損傷基準）が1000以下

あとがき

高速化対応型防護柵に関する研究の一環として、狭幅員の中央分離帯に設置するための剛性防護柵の開発を行ってきた。本研究により、在来工法およびプレキャスト製によるコンクリート製剛性防護柵の構造について提案することができた。今後は防護柵の形状や設置箇所に関する検討を加えて、より安全性の高い防護柵についての研究を進めていく予定である。

最後に、本研究にご協力いただいた方々に感謝の意を表するとともに、本研究の成果が今後の交通安全対策に寄与することを期待するものである。

参考文献

1）「防護柵設置要綱」：日本道路協会；昭和47年10月

2）「防護柵の開発に関する研究」：建設省土木研究所；土木研究所資料第2450号；
霜上民生、安藤和彦、望月博夫、石平貞夫；昭和62年２月

3）「防護柵衝突シミュレーションに関する研究」：建設省土木研究所；土木研究所資料第3047号；
河島正治、酒井洋一、赤木幸靖；平成４年２月

4）「防護柵衝突実験結果報告書」：建設省土木研究所；土木研究所資料第3108号；
河島正治、酒井洋一、堀川紀幸；平成４年３月

5）Location,Selection,and Maintenance of HighwayTraffic Barriers：
National Cooperative Highway Reseach Progrram Report 118、1981.10

6）Recommended Procedures for The Safety Performance Evaluation of Highway Aprurtenance：
National Cooperative Highway Research Program Report 230、1991.

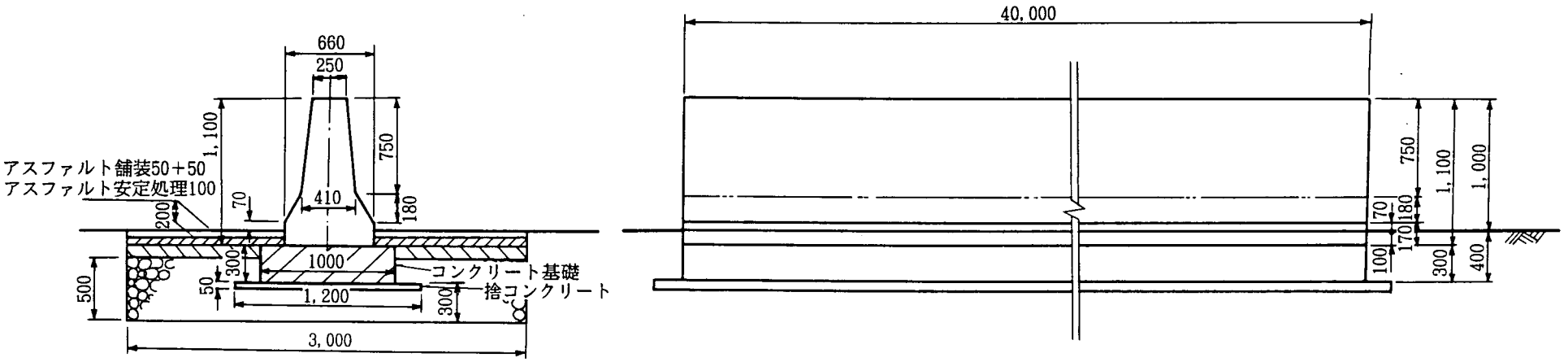
7）Federal Moter Vehicle Safety Standard No.208：
National Highway Traffic Safety Administration、1986.

付　録

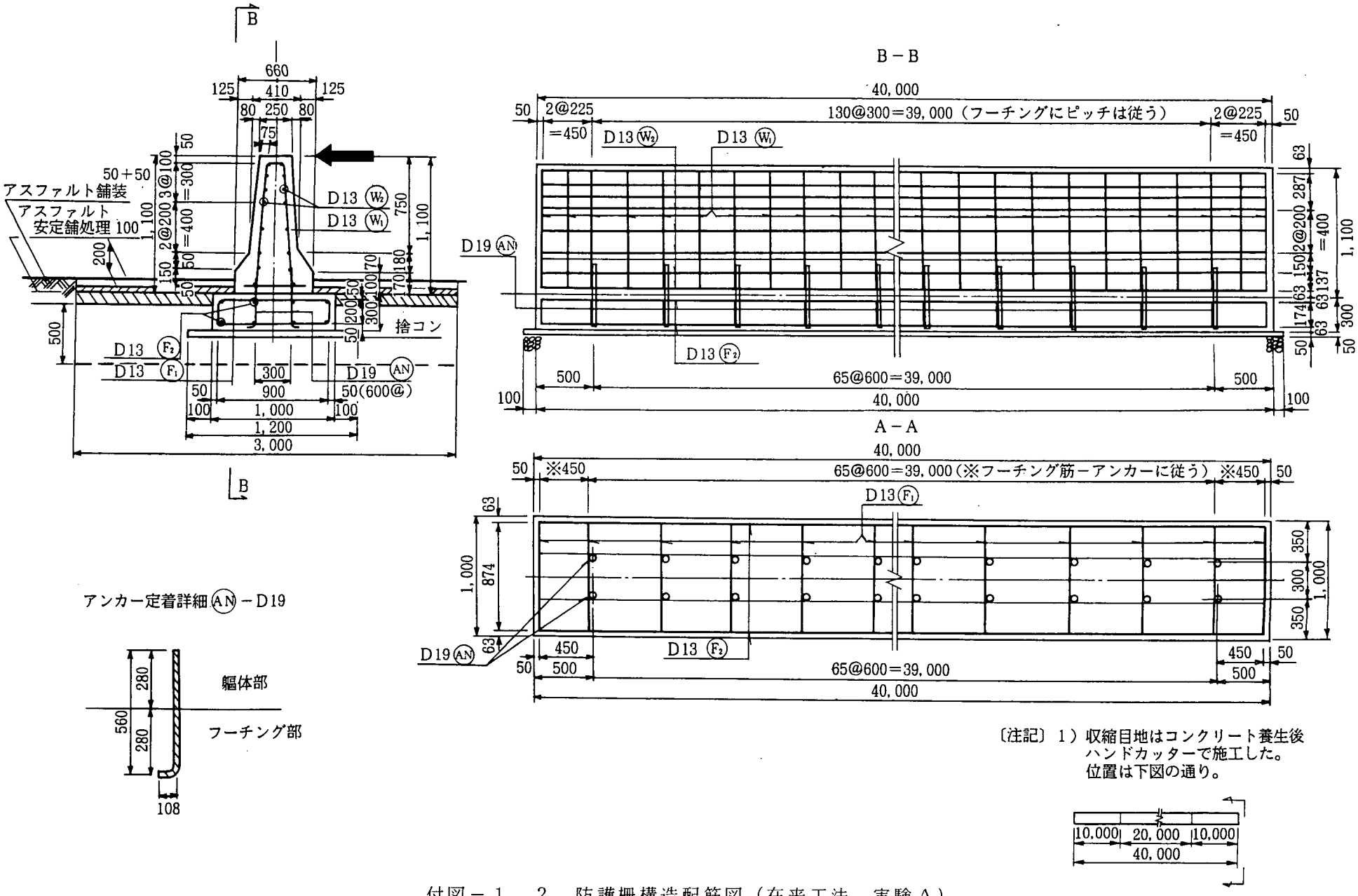
付録．１　供試体の図面

付録．２　狭幅員用剛性剛性防護柵の設置の考え方

付録．１　供試体の図面



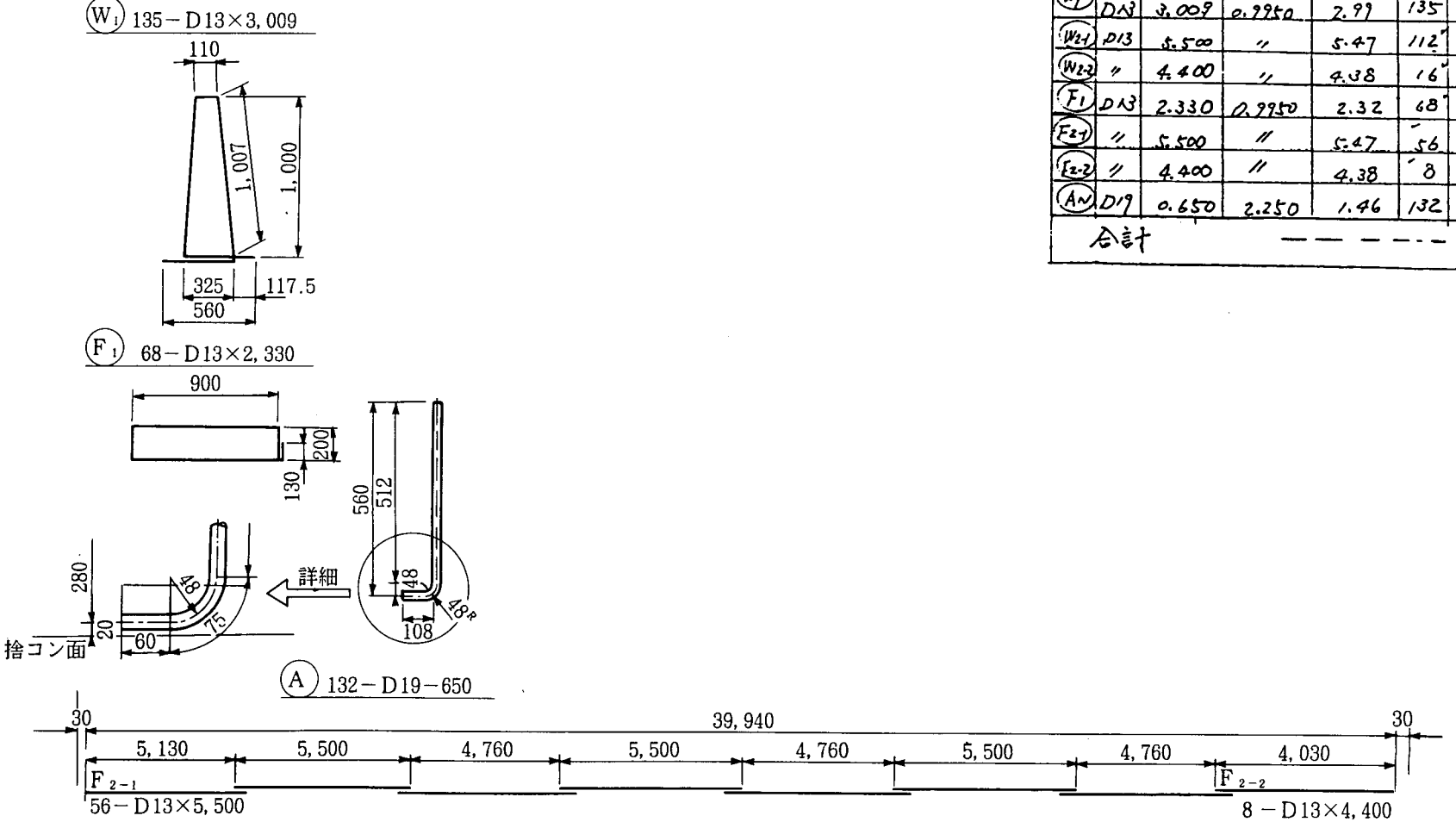
付図－１．１　防護柵形状図（在来工法，実験Ａ）



付図－１．２　防護柵構造配筋図（在来工法，実験Ａ）

鉄筋数量表

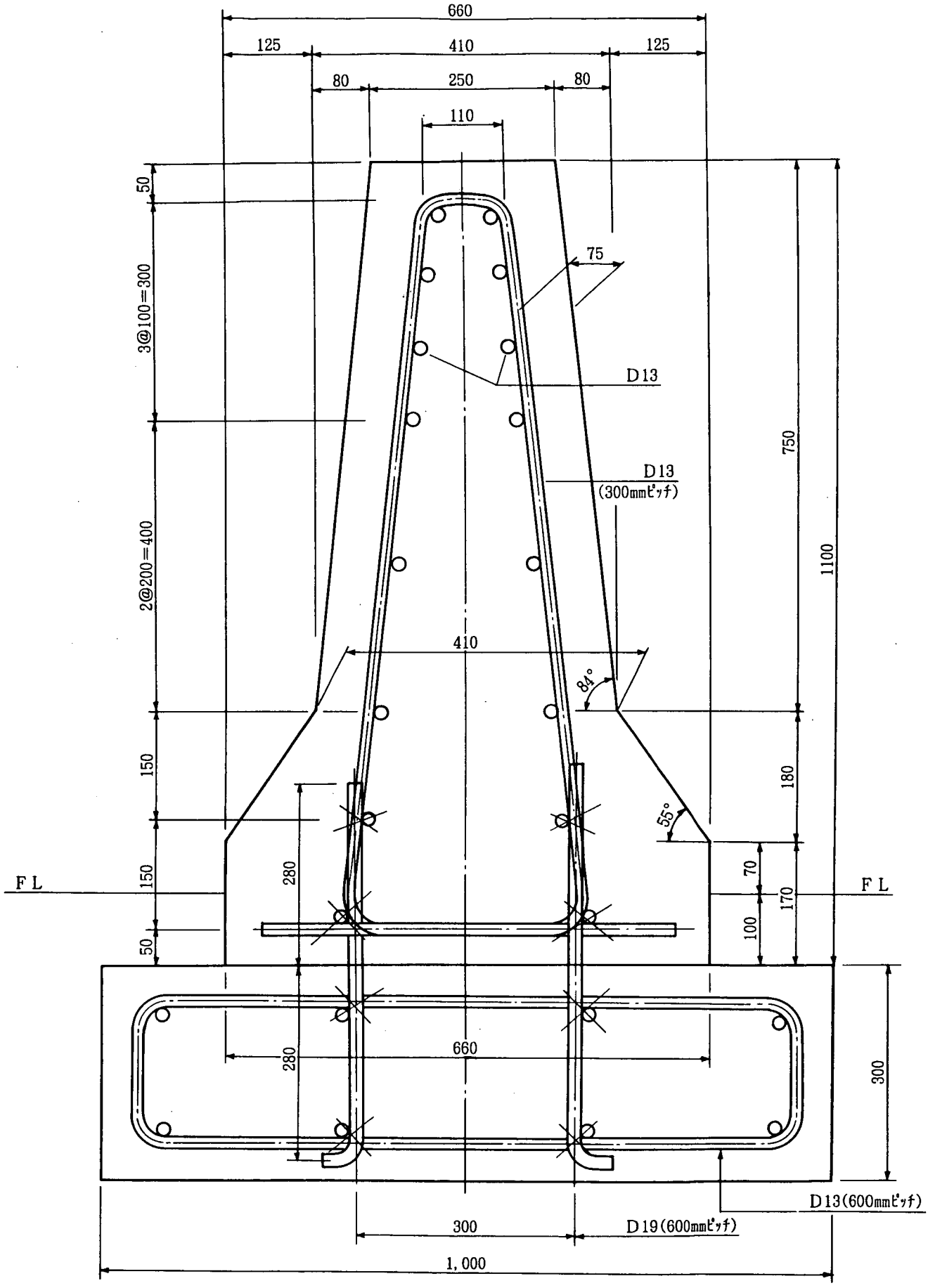
記号	径	長さ m	単位重量 kg/m	1本当り重量 kg/本	本数	重量 kg	摘要
W1	D13	3.009	0.995a	2.99	135	404.18	⊓
W2-1	D13	5.500	〃	5.47	112	612.92	—
W2-2	〃	4.400	〃	4.38	16	70.05	—
F1	D13	2.330	0.995a	2.32	68	157.65	□
F2-1	〃	5.500	〃	5.47	56	306.46	—
F2-2	〃	4.400	〃	4.38	8	35.02	—
AN	D19	0.650	2.250	1.46	132	193.05	⌋
合計						1,779.33 kg	



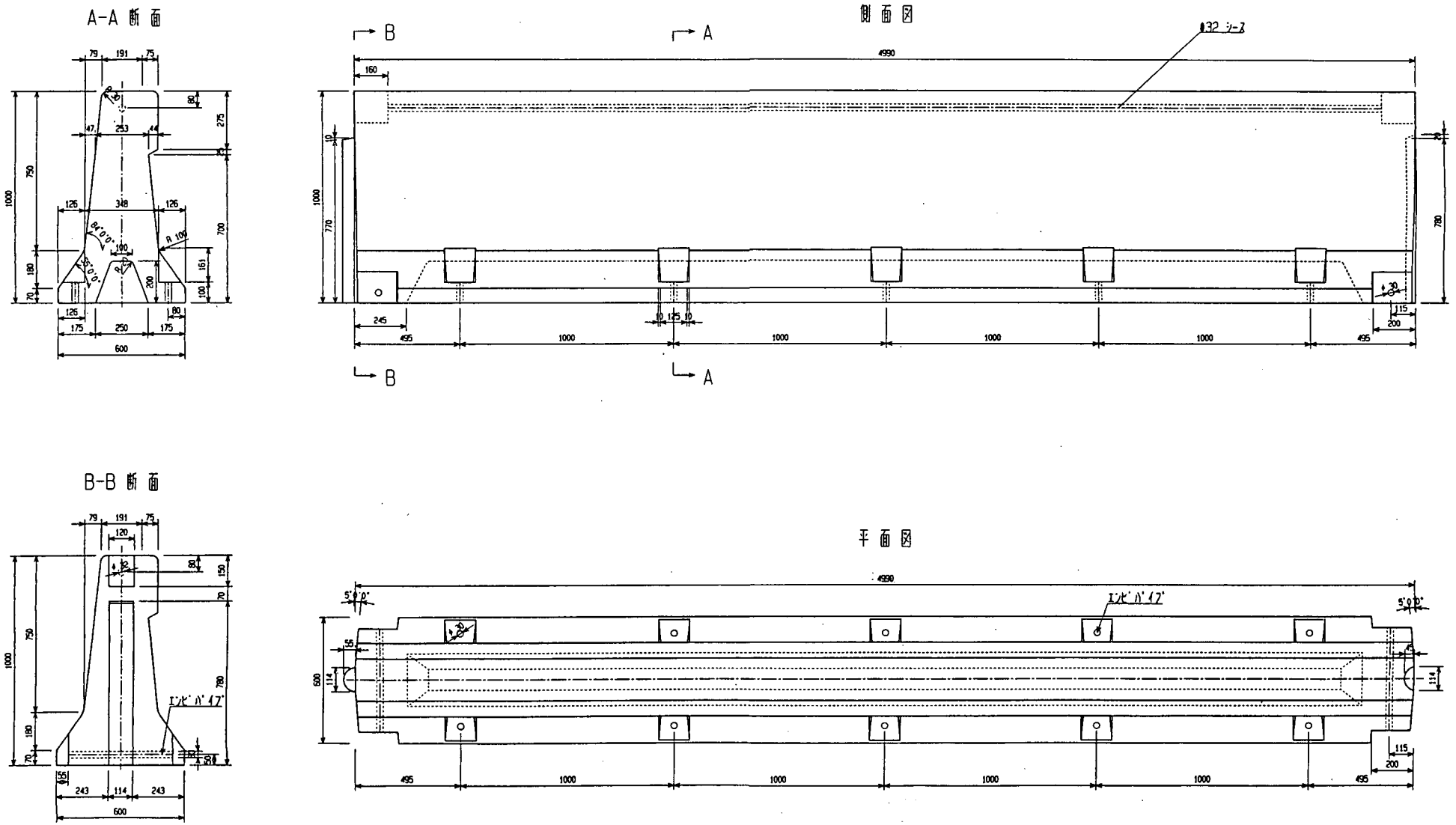
W2-1 112－D13×5,500：F2-1に同じ（長さ）

W2-2 16－D13×4,400：F2-2に同じ（長さ）

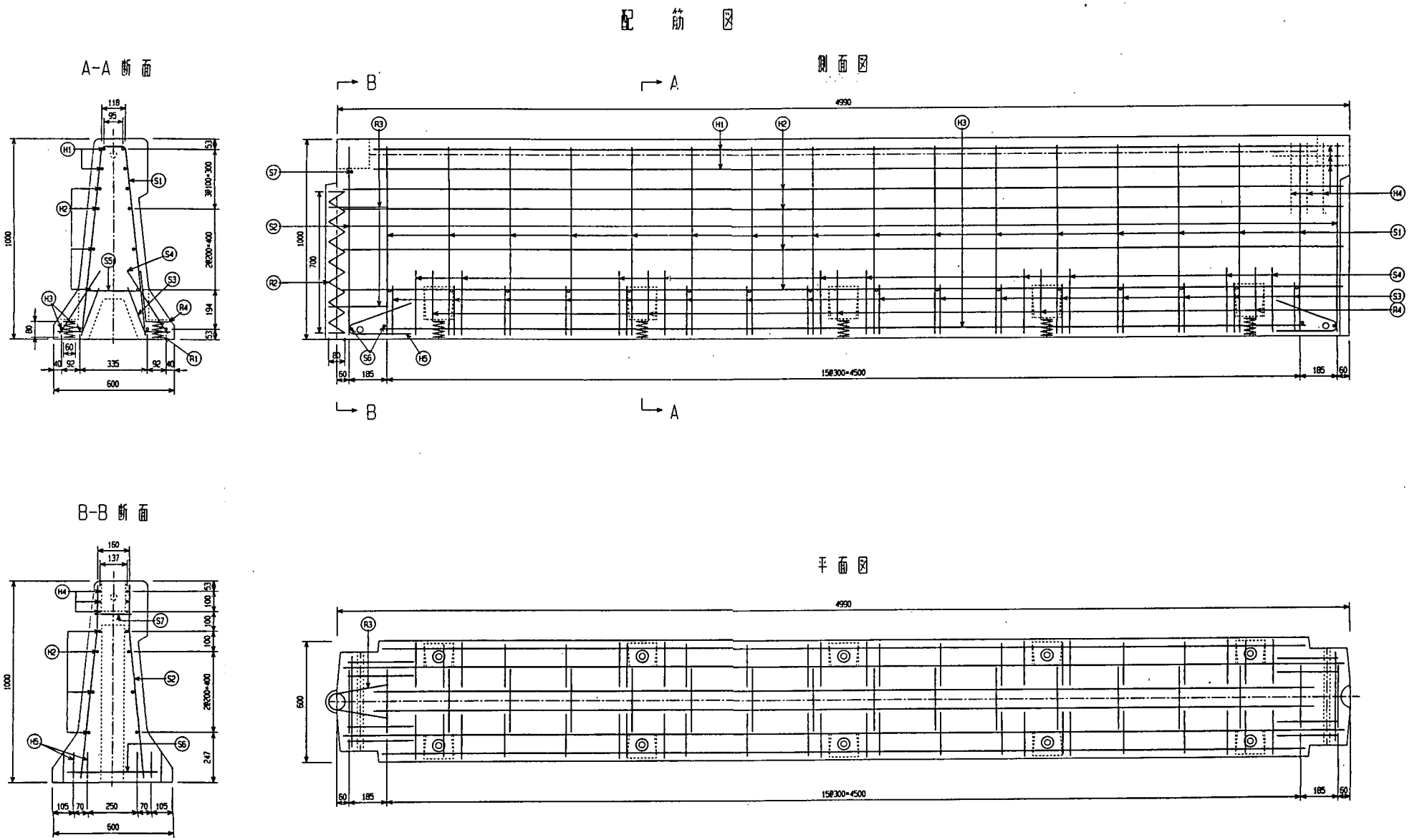
付図－１．３　鉄筋加工図（在来工法，実験Ａ）



付図－１．４　鉄筋取合詳細図（在来工法，実験Ａ）



付図－１．５　防護柵形状図（プレキャスト工法，実験Ｂ）

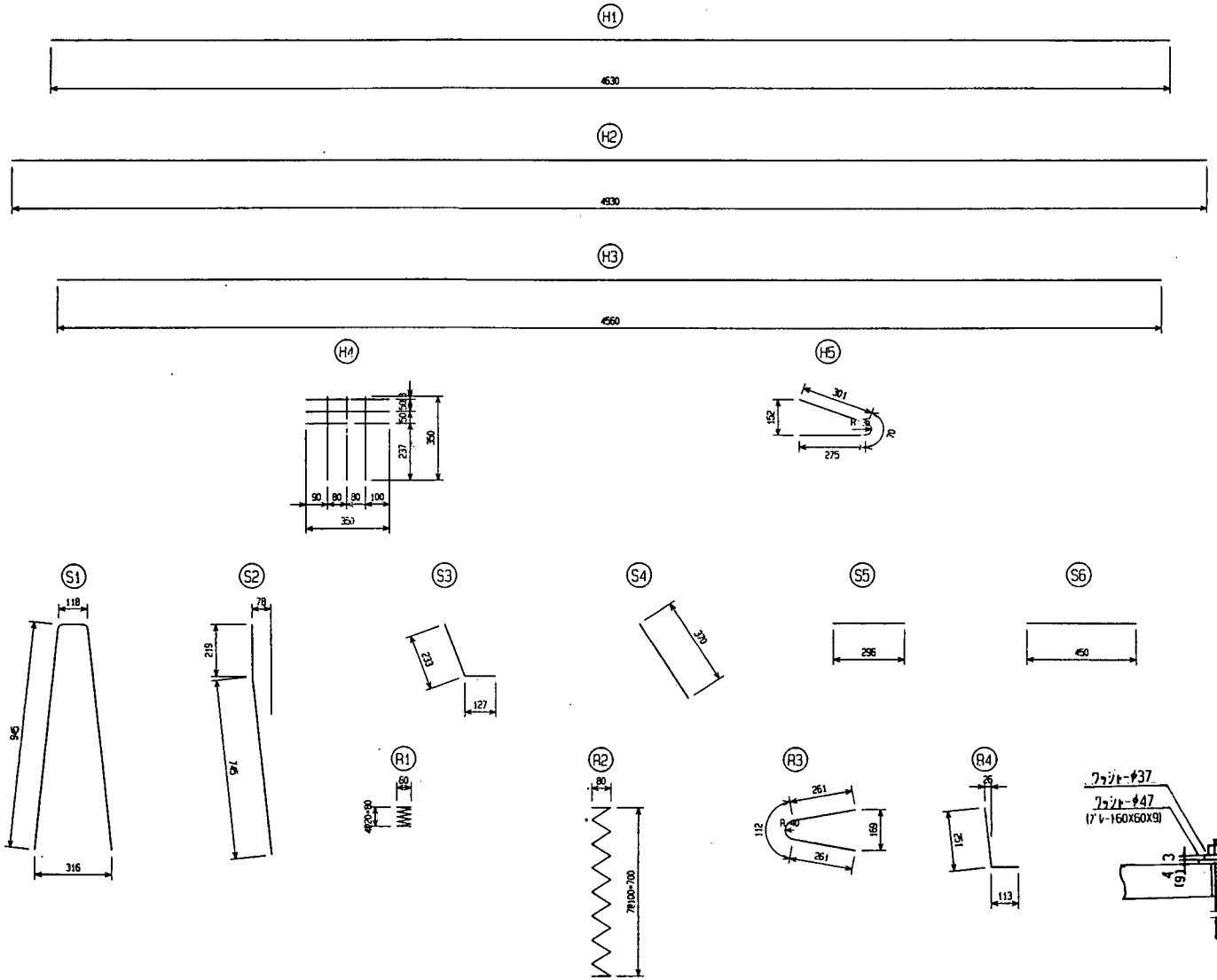


付図－１．６　防護柵構造配筋図（プレキャスト工法，実験Ｂ）

鉄筋表

符号	径	1本当り長さ	本数	単位重量	重量
H1	D13	4,630	4	0.995	18.43
H2	D13	4,930	8	0.995	39.24
H3	D13	4,560	4	0.995	18.15
H4	D10	350	24	0.560	4.70
H5	D13	646	8	0.995	5.14
S1	D13	2,008	16	0.995	31.97
S2	D13	964	4	0.995	3.84
S3	D13	360	32	0.995	11.46
S4	D13	370	20	0.995	7.36
S5	D13	296	32	0.995	9.42
S6	D13	450	4	0.995	1.79
S7	D13	186	2	0.995	0.37
R1	4	943	10	0.100	0.94
R2	6	2,011	1	0.220	0.44
R3	D10	634	2	0.560	0.71
R4	D10	364	10	0.560	2.04
			計		156kg

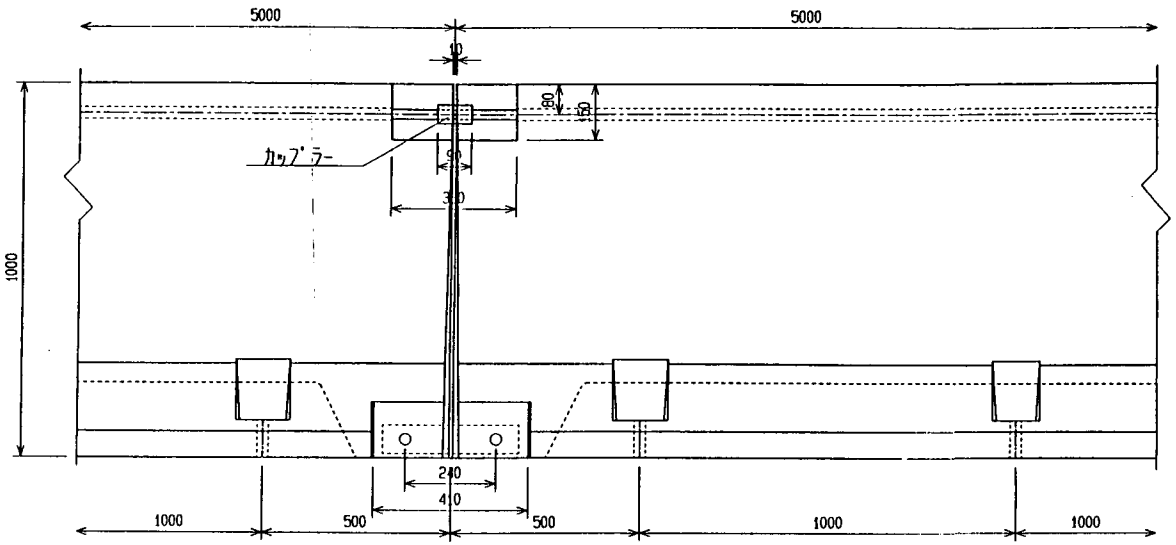
鉄筋加工図



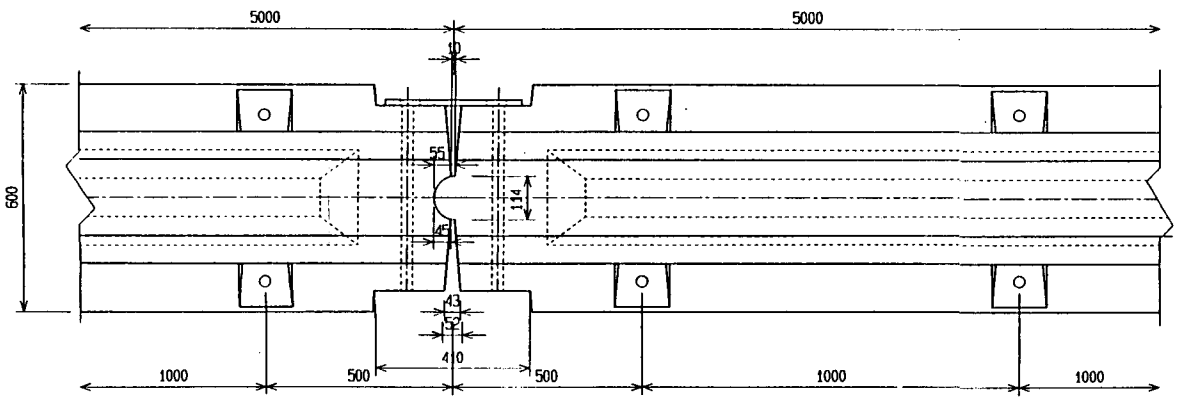
付図－１．７　鉄筋加工図（プレキャスト工法，実験Ｂ）

継手部詳細図

側面図

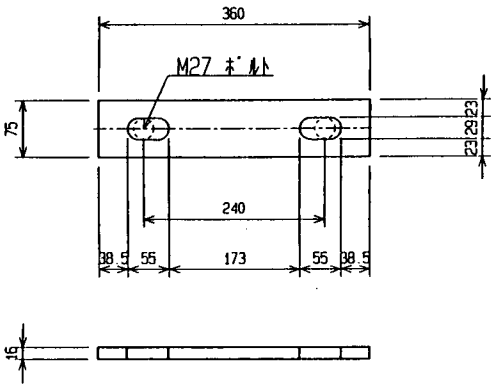


平面図



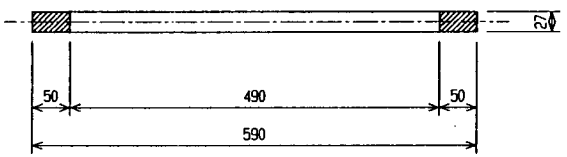
プレート

SUS 304



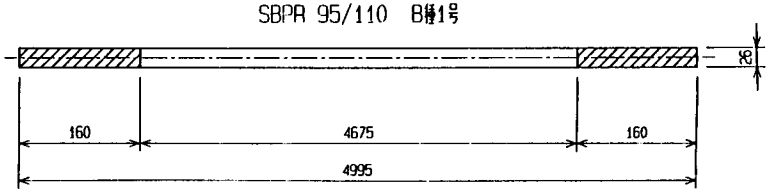
ボルト

M27. SUS 304



PC 鋼棒

SBPR 95/110 B種1号



付図－１．８　継手構造図（プレキャスト工法，実験Ｂ）

付録．２　狭幅員用剛性剛性防護柵の設置の考え方

コンクリート製剛性防護柵は、車両の衝突による変位がほとんどないため、狭い幅員の中央帯に設置できるほか、防護柵自体が損傷することがほとんど無く、事故復旧や維持管理等による交通規制が軽減され、メンテナンスが容易となる。

また、鋼製防護柵と比べ突破防止能力が高い防護柵である。

しかし、衝撃エネルギーの吸収が無く、車両の変形のみにより衝撃を緩和しなければならないため、乗員に与える影響が大きくなるデメリットがある。

そのため、コンクリート防護柵の設置箇所としては、その道路構造および交通特性を考慮した次のような区間が適すると考えられる。

［コンクリート剛性防護柵の設置区間の条件（案）］

（１）大型車交通量が多い重交通路線で、強化型ブロックアウト両面型ガードレール（Ｇｒｍ－Ｓ型）の適用区間であるが、

イ）Ｇｒｍ－Ｓが設置できない狭い中央分離帯を有する区間。

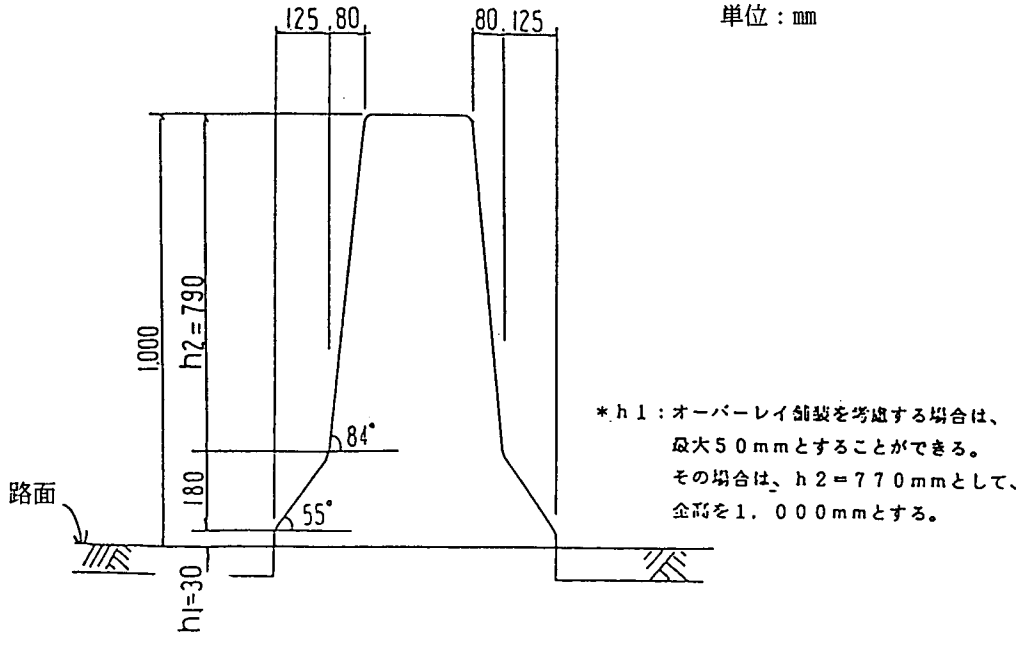
ロ）平面、縦断線形が厳しく、中央分離帯関連事故が多発する恐れのある区間で、その効果があると認められる区間。

（２）都市周辺の重交通量区間で、連続高架橋および連続半地下構造物区間の中央分離帯側のメンテナンスフリー化が望まれる区間。

（備考：日本道路公団では、高速道路において、本線交通量の大型車交通量がおおむね７，０００台／日（新設時には、供用開始１０年後の計画大型車交通量）以上の区間の中央分離帯用防護柵は、原則としてＧｒｍ－Ｓを設置することとしている。）

コンクリート製剛性防護柵の基本形状について

コンクリート製剛性防護柵の基本形状は下に示すとおりとする。



SI単位系への換算率表

量	SI単位以外		SI単位		SI単位への換算率
	名称	記号	名称	記号	
力	重量キログラム	kgf	ニュートン	N	9.80665
応力	重量キログラム毎平方センチメートル	kgf/cm^2	パスカル	Pa	9.80665
			ニュートン毎平方ミリメートル	N/mm^2	9.80665×10^{-2}
圧力	重量キログラム毎平方センチメートル	kgf/cm^2	パスカル	Pa	9.80665
仕事	重量キログラム×メートル	kgf·m	ジュール	J	9.80665
加速度	ガル	gal	メートル毎秒毎秒	m/s^2	10^{-2}
	ジー	g			9.80665
角度	度	°	ラジアン	rad	$\pi/180$

注：SI単位以外の量×SI単位への換算率＝SI単位における量
例：1 kgf×9.80665＝9.80665N

高速化対応型防護柵の開発に関する共同研究報告書

土木研究所共同研究報告書第76号
平成4年3月　(1992)

建設省土木研究所
日本道路公団

近年，道路交通の高速化や車両の大型化に伴い，防護柵衝突時の衝撃度も増加しているのが現状である。一方，地形その他の条件により用地が制約され，中央帯の幅員が狭く防護柵の設置空間を十分に確保できないこともある。このような区間においては，コンクリート製防護柵の設置が有効であると考えられる。本報告書は，狭幅員中央分離帯用コンクリート製防護柵の形状や安全性について検討した結果について述べたものである。

キーワード：防護柵，中央分離帯，衝突実験，コンクリート，プレキャスト

郵便はがき

3 0 5 - □ □

茨城県つくば市大字旭一番地

建設省土木研究所

交通安全研究室　御中

No. 29

No. 29

共同研究報告書第　76　号　　部

上記のとおり受領しました。

所　　属(住所)

氏 名　　印

共同研究報告書第 76 号