

高速化対応型コンクリート製防護柵に関する 共同研究報告書

平成10年6月

建設省土木研究所道路部交通安全研究室
日本道路公団試験研究所
(社)セメント協会

ケイコン(株)	日本ヒューム管(株)
羽田コンクリート工業(株)	旭コンクリート工業(株)
興和コンクリート(株)	日本サミコン(株)
日本高圧コンクリート(株)	ジオスター(株)
日本ゼニスパイプ(株)	前田製管(株)
日本コンクリート工業(株)	テイヒュー(株)
環境緑化(株)	佐藤道路(株)
(株)昭建	末広産業(株)
世紀東急工業(株)	大成ロテック(株)
常盤工業(株)	(株)渡辺組

Copyright © (1998) 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。

高速化対応型コンクリート製防護柵に関する 共同研究報告書

建設省土木研究所道路部
日本道路公団試験研究所
(社)セメント協会
ケイコン(株)
日本ヒューム管(株)
羽田コンクリート工業(株)
旭コンクリート工業(株)
興和コンクリート(株)
日本サミコン(株)
日本高圧コンクリート(株)
ジオスター(株)
日本ゼニスパイプ(株)
前田製管(株)
日本コンクリート工業(株)
テイヒュー(株)
環境緑化(株)
佐藤道路(株)
(株)昭建
末広産業(株)
世紀東急工業(株)
大成ロテック(株)
常盤工業(株)
(株)渡辺組

要旨

近年、車両の高速化、大型化に伴って二次災害等の発生が多くなっており、強度的に突破防止機能に優れるコンクリート製防護柵が注目されているが、現在コンクリート製防護柵に関する技術基準はなく、その整備が求められているところである。

本共同研究は、各種の衝突条件における衝突荷重を実験的に把握し、これを用いてコンクリート製防護柵の設計手法を確立すること、またこれに基づいて設計した標準構造を提示することを目的として実施したものである。

キーワード：コンクリート製防護柵、衝突実験、衝撃度、乗員安全性

まえがき

近年、幹線道路網の整備の進展や車両性能の向上とともに、物資輸送の中心となる貨物車はより大型化、高速化している。これに伴い、車両が防護柵に衝突する際のエネルギーも増加し、中央分離帯の突破事故等による第3者に対する被害が社会的な問題となっている。

このような事故に対応するため、車両用防護柵は強度を高めることが求められており、コンクリート製防護柵は強度的に突破防止機能に優れていることから、今後の利用が期待されている。

しかし、現在、防護柵の設計、設置に関する基準となっている「防護柵設置要綱；日本道路協会、昭和47年10月」では、コンクリート製防護柵等の剛性防護柵について、その設計手法や標準構造が示されておらず、現在のような高い衝撃度に対して、どのような設計を行うべきか明らかになっていない。

そこで本共同研究は、コンクリート製防護柵の体系的な設計手法を確立し、さらに、道路の状況に応じた標準構造を提案することを目的として、1993年、1994年度の2箇年にかけて、実車による衝突実験を中心に検討を行ったものである。このとき実験条件は、現在の防護柵設置要綱の設計条件を上回る厳しい衝突状況を想定して設定した。

実験終了後から、本報告書を完成するまでに数年を要したが、これは、現在まで衝突荷重を基本とする構造物の設計手法が確立されておらず、合理的な設計を行うためさらに種々の検討が必要となったことによるものである。幸いなことに、ここに研究成果が実り、実際の衝突状況に即した局所的な衝撃荷重を考慮したコンクリート製防護柵の設計手法をとりまとめることができた。

今後は、本研究結果を生かして、適正なコンクリート製防護柵の設計、施工が行われることを期待する。

まえがき

第1章 研究概要	1
1. 1 研究目的	1
1. 2 研究方法	1
第2章 研究の背景	2
2. 1 コンクリート製防護柵の現状	2
2. 1. 1 我が国における現状	2
2. 1. 2 欧米での現状	2
2. 2 本研究の背景	3
2. 3 我が国の過去の研究事例	3
2. 3. 1 平成2年までの研究	3
2. 3. 2 フロリダ型防護柵に関する研究	4
第3章 供試体構造及び施工法方の検討	5
3. 1 供試体構造の検討	5
3. 2 工法の選択（採択工法）	6
3. 2. 1 現場打ち剛性防護柵	6
3. 2. 2 プレキャスト製剛性防護柵	6
第4章 衝突実験	7
4. 1 実験概要	7
4. 1. 1 実験の内容	8
4. 1. 2 実験フロー	9
4. 2 実験場	10
4. 3 実験条件	11
4. 3. 1 衝突条件	11
4. 3. 2 実験車両	12
4. 4 供試体	13
4. 4. 1 材料・強度	13
4. 4. 2 供試体構造	14
4. 4. 3 供試体設置状況	15
4. 5 測定項目及び内容	16
第5章 実験結果および考察	22
5. 1 実験結果	22
5. 2 考察	42
5. 2. 1 衝突条件と車両の誘導性	42
5. 2. 2 形状による比較	42
5. 2. 3 施工方法による比較	43
5. 2. 4 乗員の安全性	44

第6章 衝突荷重、車両挙動解析	45
6.1 実験による衝突荷重の解析	46
6.1.1 静荷重試験	46
6.1.2 FEM解析	58
6.1.3 FEM解析結果の妥当性の検証	64
6.1.4 FEM解析による実車衝突時の衝突荷重の推定	68
6.2 力積運動方程式による衝突荷重解析	74
6.2.1 力積運動方程式による衝突荷重解析方法	74
6.2.2 FEM解析結果との整合性	81
6.3 車両の横転検討	83
6.3.1 転倒モデルの設定	83
6.3.2 遠心加速度の推定	84
6.3.3 実験結果の横転検討	85
第7章 コンクリート製防護柵の設計手法の提案	86
7.1 設計の考え方と諸条件の設定	86
7.1.1 衝突荷重の考え方	86
7.1.2 安定計算における有効長	87
7.1.3 大型車モデル	88
7.2 設計の流れ	89
7.3 衝突荷重の算定	91
7.3.1 荷重算定式	91
7.3.2 衝突荷重	92
7.4 防護柵の必要高さ	93
7.5 安定計算方法	94
7.6 構造計算	97
7.6.1 現場打ちコンクリート製防護柵構造計算方法	97
7.6.2 プレキャストコンクリート製防護柵構造計算方法	99
7.6.3 実験供試体の強度検証	104
7.7 防護柵設計例および標準構造の提案	108
7.7.1 現場打ちコンクリート製防護柵	108
7.7.2 プレキャストコンクリート製防護柵	115
第8章 まとめと今後の課題	125
8.1 まとめ	125
8.1.1 単スロープ型とF型の使い分け	125
8.1.2 現場打ちとプレキャストの使い分け	126
8.2 今後の課題	127
あとがき	128

参考文献	129
參考資料	131
(1) 実験供試体配筋図	131
(2) 実験車両諸元	143
(3) 実験状況・破損状況	157

第1章 研究概要

1. 1 研究目的

本研究では、土中に埋め込まれた中央分離帯用コンクリート製防護柵に車両が衝突したときに、防護柵に作用する衝突荷重を実車衝突実験により把握し、コンクリート製防護柵を土中に連続設置する場合の設計手法を確立する。また、種々の衝突条件に対応したコンクリート製防護柵の標準構造を提案する。

1. 2 研究方法

対象とする防護柵構造は、コンクリート製防護柵の実用構造として、車両衝突面が鉛直壁となっている現行の壁高柵形式、小型車の誘導と乗員の安全性確保を考慮して、衝突面が三段に変化しているコンクリート製防護柵形式で世界的に用いられているニュージャージー型から発展したフロリダ型、また衝突面全体が単一に傾斜している形式として単スロープ型を選択し、これらの構造を有する防護柵に主として大型車を高速で衝突させ、衝突時に発生した防護柵のひずみを計測した。また、このひずみから衝突荷重を推定するとともに、衝突荷重が集中荷重として作用する場合の応力計算及び防護柵最適構造について検討を行った。このときの衝突条件としては、25トン車両が衝突速度100km/h、衝突角度15度で衝突した場合を最大条件として想定したが、これは過去に実施した例のない最も厳しい衝突条件である。

さらに、以上の検討結果を基に、防護柵設計の基本3要素となる衝突質量（車両質量）、衝突速度、衝突角度を設計条件として、これらによりコンクリート製防護柵に発生する衝突荷重を推定し、コンクリート製防護柵を構造設計する手法を検討するものとした。また、各種の衝突条件に基づいて具体的な構造設計を行い、標準構造を把握するものとした。

これらの研究フローを図-1.1に示す。

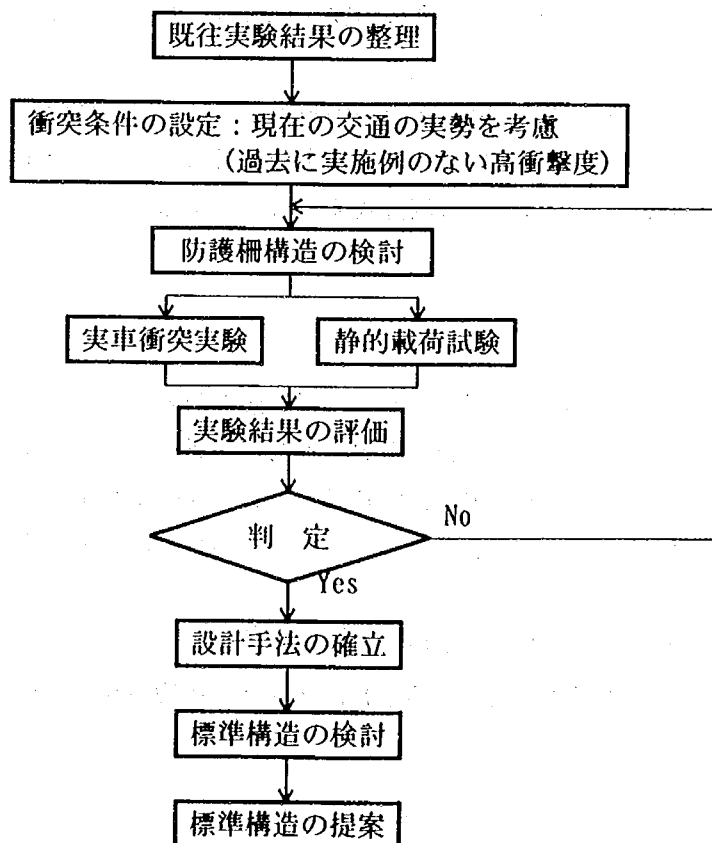


図-1.1 研究フロー

第2章 研究の背景

2. 1 コンクリート製防護柵の現状

2. 1. 1 我が国における現状

防護柵の設計、設置基準である防護柵設置要綱は、昭和40年に（社）日本道路協会より初版が発刊されたが、当時は路側のガードレール、ガードケーブル等のたわみ性防護柵を中心に標準構造が示され、コンクリート製防護柵としてはオートガードが示されている。その後、防護柵設置要綱の改訂を重ね、昭和47年に現在の防護柵設置要綱（以下現要綱と略す。）が発刊されている。現要綱では、剛性防護柵の定義について

走行中に進行方向を誤った車両が、路外、対向車線に逸脱するのを防ぐための施設であって、車両の衝突時にほとんど防護柵に変形を生じない構造のものをいう。

としている。また設置場所としては、

主として、構造物上の道路において、路外に逸脱した車両が二次的災害をおこす可能性が高いか、もしくは路側の危険度が高い等の理由で緩衝効果を低下させても路外逸脱の防止の必要性が高い区間には、剛性防護柵を設置するものとする。

としているものの、実際の設計方法や標準構造は示されておらず、設計荷重については直線部で天端に 9.8kN/m (1tf/m) の水平荷重が、また曲線部などの衝突状況が厳しくなる箇所では 19.6kN/m (2tf/m) の水平荷重が作用するものとされているのみである。

昭和47年当時、剛性防護柵の利用は‘今後の開発を待つ’と位置づけられていることが、当時の技術状況を端的に示しているといえる。

このため、これまでのコンクリート製防護柵の設置については、高速道路や一般幹線道路等において橋梁のコンクリート壁高欄等を中心に行われ、中央分離帯用としては昭和45年日本道路公団横浜新道で初めて採用されたものの、その後の設置例は数えるほどである。

2. 1. 2 欧米での現状

防護柵について最も技術的に進んでいる米国では、剛性防護柵としてはニュージャージー州で昭和40年頃から使用され始めたコンクリート製の中央分離帯用防護柵（以下N J型という。）があり、昭和47年にはマニュアルも出されている。また、同時期にフロリダ州や車両メーカーであるゼネラルモーターズ社でもそれぞれフロリダ型（以下F型という。）、GM型等の防護柵構造を開発し、現在も施工されている。

このうちN J型はその後欧州各国で用いられている。

また、N J型については研究開発が進められ、メタルとの複合型、移動型等さまざまな形態の防護柵が用いられている。

2. 2 本研究の背景

2. 1で述べたように、現要綱では剛性防護柵の利用を、構造物上でかつ緩衝効果を低下させても路外逸脱の防止の必要性が高い区間に限定している。剛性防護柵は、現要綱で防護柵の機能の一つとして求められている車両衝突時の緩衝性を期待できないことや、施工や供用に期間を要する点等から積極的に用いられてこなかった。

コンクリート製防護柵の設置区間における乗員被害については、設置事例が少なく明確にされていないが、大きな衝撃で衝突しても突破されない点や、乗用車等の乗員被害が大きくなりやすい車種の衝撃緩和を考慮して設けられている前面形状（図-3. 1参照）の効果は、シートベルトの着用が義務化されたのと併せて評価すべき点として注目される。

また近年の交通量の増大に伴い、幹線道路等においては、防護柵の維持補修は危険を伴うものとなっており、維持管理の面からコンクリート製防護柵が見直され始めている。

これらのことから、近年、強固な基礎に固定したコンクリート製防護柵の機能を検証し、また、衝突状況等に応じて最適な設計を行う目的で、実車衝突実験が行われ、具体的な構造が提案された。しかし、土中に埋め込む構造については、施工性や経済性の面を考慮し、軽量化し大きな基礎を必要としない構造の開発が必要となっている。

2. 3 我が国の過去の研究事例

2. 3. 1 平成2年までの研究

我が国におけるコンクリート製防護柵に関する研究としては、これまで壁高柵形式についての研究を中心に実施され^{1) 2)}、実験結果の一部は、現要綱の衝突荷重の考え方に反映されている。また乗員への衝撃緩和の点から、コンクリート壁前面に鋼製の緩衝材を設け、緩衝効果を高めた構造などの研究も行われている。中央分離帯用としては、高速道路への設置を想定した実験が何度か行われている。いずれも、車両の誘導性等については問題がなかったものの、現要綱によって路側を中心とした設置箇所例が示されたため、中央分離帯用としての利用はかなり制限されることになったと考えられる。

過去に実車衝突実験によって構造の検討が行われた事例を表-2. 1に示す。

表-2. 1 過去に行われたコンクリート製防護柵の実験事例

実験 種類	実験 年度	供試体	衝突条件					備 考
			車種	車両質量 (t)	衝突速度 (km/h)	衝突角度 (度)	衝撃度 (kJ) {tf·m}	
コンクリート 高 柵	S43	壁高柵	小型	1.28~1.49	73~90	20	290~540 {30~55}	記録に残る最初の剛性高柵実験
			大型	12.5~13.9	28~55	20	480~1180 {49~120}	
レール付 高 柵	S43	緩衝レール付壁高柵	小型	1.28	87~89	20	420~440 {43~45}	鋼製レールによる緩衝効果
			大型	12.5	45	20	1120 {114}	
狭中分 防護柵	S46	NJ変形型防護柵	小型	1.34~1.58	72~82	20	300~470 {31~48}	首都高型中央分離帯用防護柵
			大型	14.5	43	20	1180 {120}	
中分用 防護柵	S47	NJ変形型防護柵	小型	1.30~1.60	83~90	20	390~570 {40~58}	阪神公団型中央分離帯用防護柵
			大型	5.6~14.0	55~60	20	880~1800 {90~184}	
中分用 防護柵	S48	NJ変形型防護柵	小型	1.30~1.50	78~82	20	380~400 {39~41}	プレキャスト製防護柵
			大型	14.3	53	20	1770 {181}	
中分用 防護柵	S48	中分用緩衝材付	小型	1.30~1.50	73~77	20	330~350 {34~36}	緩衝材の効果
			大型	14.2~14.8	45~52	20	1320~1700 {135~173}	
コンクリート 高 柵	H1	壁高柵	小型	1.10	60	20	180 {18}	供試体挙動等の基礎検討
			大型	14.0	60	20	2220 {227}	
コンクリート 高 柵	H2	壁高柵	小型	1.10	140	20	950 {97}	車両高速化、大型化へ基礎検討
			大型	20.0	100	20	8850 {903}	

2. 3. 2 フロリダ型防護柵に関する研究

近年、高い衝撃度における剛性防護柵の機能を見直す観点から、建設省土木研究所と日本道路公団との共同研究により、狭幅員の中央分離帯に設置する剛性防護柵としてF型およびF型の変形断面型防護柵（図-2. 1参照）に関する衝突実験が平成3年に実施された³⁾。このとき実験供試体は、現場打ちのスリップフォーム工法および、プレキャスト製品を用いるプレキャスト工法の2工法により設置された。また、実験は、20トン車を80km/hで衝突させる高い衝撃度での実験と、乗員の安全性評価を目的として小型乗用車を80～120km/hで衝突させる実験が中心に行われた。

その結果F型防護柵について、20t-100km/h-20度-577kJ (58.9tf・m)の衝突条件に対して十分な強度を有し、1.1t-80km/h-20度-31kJ (3.2tf・m)の衝突条件に対して乗員の安全性を確保する機能を有することを明らかにし、その有効性を確認した。今回の研究では、この研究成果を踏まえて検討を行うものとした。

検討結果の概要を表-2. 2に示す。また、当該実験で示された防護柵構造を図-2. 1に示す。

表-2. 2 実験条件と実験結果

供試体		車両衝突条件				実験結果
工法	固 定 況	質量 (t)	衝突速度 (km/h)	衝突角度 (度)	衝撃度 (kJ) {tf・m}	
スリップ フォーム	固 定	1.1	80	20	31 {3.2}	車両誘導性、乗員安全性ともに問題なし
		1.1	120	20	72 {7.3}	乗員安全性に問題あり
		20.0	80	20	577 {58.9}	供試体にもたれながら誘導、強度問題なし
		20.0	100	20	903 {92.1}	供試体にもたれ車両は横転
プレキャスト	据 置 (移動)	1.1	80	20	31 {3.2}	離脱後右にカーブ、乗員安全性問題なし
		20.0	80	20	577 {58.9}	供試体の変形量大
	固 定	1.1	80	20	31 {3.2}	離脱後右にカーブ、乗員安全性問題なし
		20.0	80	20	577 {58.9}	供試体にもたれながら誘導、強度問題なし

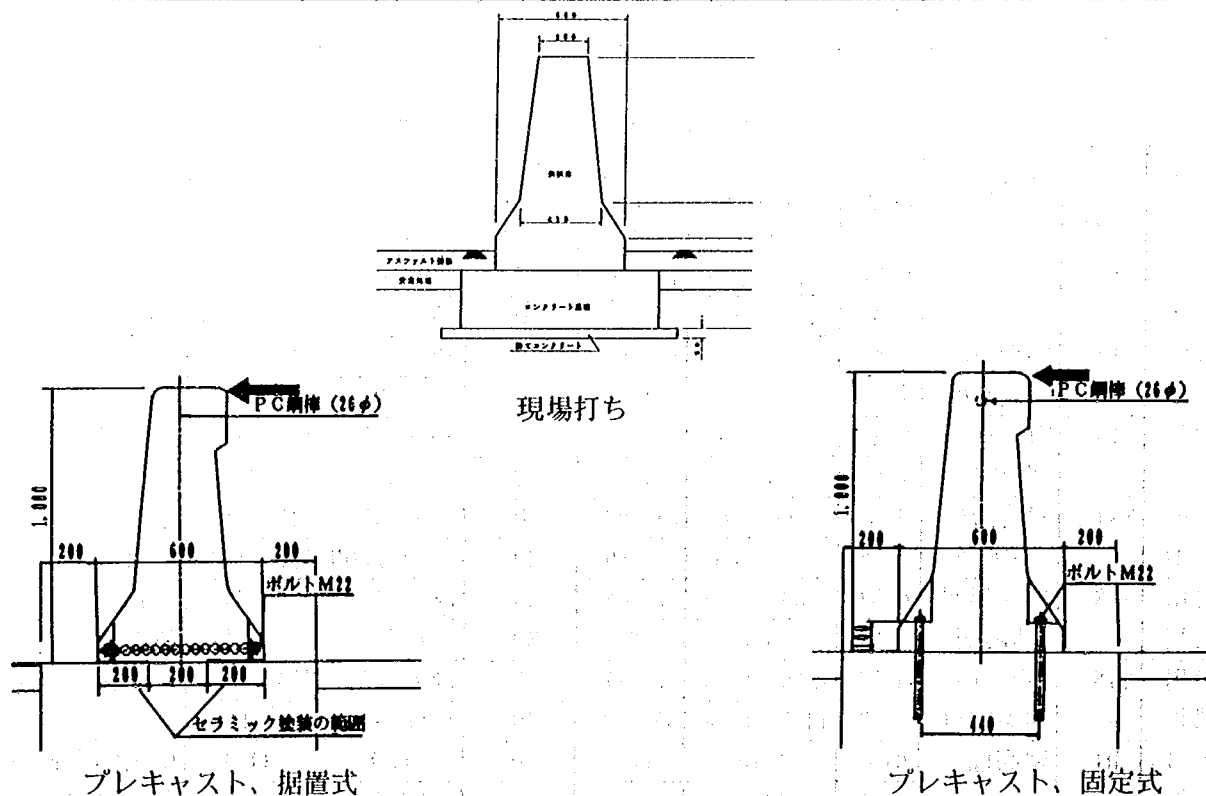


図-2. 1 実験に用いた供試体

第3章 供試体構造及び施工方法の検討

3. 1 供試体構造の検討

コンクリート製防護柵は、衝突時の突破防止機能が強く、防護柵自体の損傷が少ないためメンテナンスフリーであるという利点がある。しかし、剛性が高いゆえに衝突エネルギーの緩衝効果が少ないという欠点を併せ持っている。

そのため、防護柵としての緩衝機能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事が考えられ、米国において図-3. 1に示すGM型、NJ型、F型等の2段スロープ型の防護柵が研究・開発されている。また、オーバーレイ等により路面高が変わる可能性がある場合の対応のため単スロープ型が提案されている。単スロープ型の前面形状の角度は約80度が最も適しているとされている⁴⁾。わが国においては1970年代の実験・研究の成果として日本道路協会から図-3. 2のとおりNJ型を基本としたものが提案されているが、これまでの採用実績はほとんどない。

米国における研究において、NJ型を改良したF型が小型車の転倒防止に対してより有効な誘導機能をもつことが報告されていること³⁾、また、わが国の高速道路は中央分離帯に段差が大きく付く場合があるので、それらに対応する必要があることなどの理由により、今回の実験に採用するコンクリート製防護柵の基本形状としては、F型と単スロープ型とした。

ただしF型については、将来のオーバーレイを考慮して舗装面から75mm垂直段差を設けているが、1991年に土木研究所及び日本道路公団が行った実験では、衝突時に左前のタイヤが垂直段差の影響を受けてバーストするという結果となり⁵⁾、本研究においては垂直段差を30mmとした。

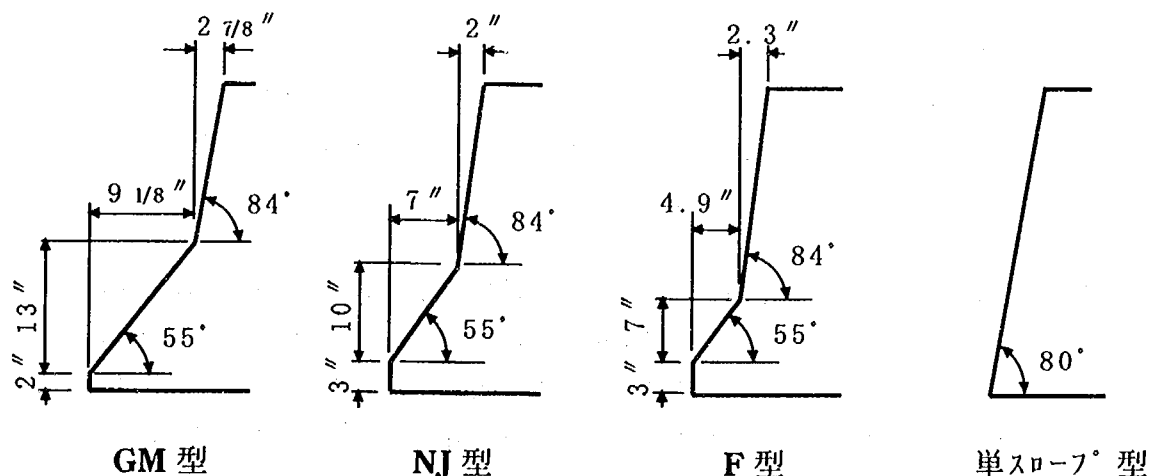


図-3. 1 各種コンクリート防護柵の前面形状 (米国)

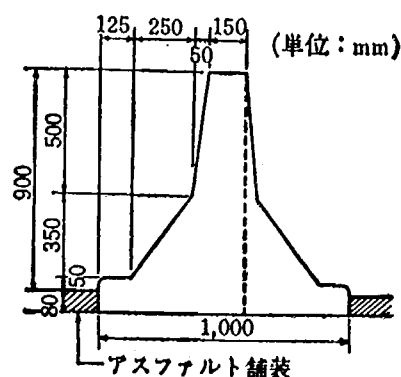


図-3. 2 現要綱に示されている構造例

3. 2 工法の選択（採択工法）

3. 2. 1 現場打ち剛性防護柵

（1）型枠組立による従来の施工方法

コンクリート製防護柵のなかでも橋梁に用いられる直壁型の壁高柵は、現在まで施工量が最も多く、そのほとんどは組立てた型枠の中にコンクリートを流し込み、コンクリートが硬化した後型枠を撤去するという方法で施工されている。そこで今回実施する直壁型の衝突実験では、直壁製作の工法として型枠組立による方法を採用した。

（2）スリップフォーム工法

コンクリート製防護柵の普及がかなり進んでいる欧米においては、現場打ち防護柵の施工方法としてはそのほとんどが、型枠を用いず機械により連続打設できるスリップフォーム工法により施工されており、この工法は、国内においてもF型防護柵やトンネル内監視員道路の立壁において施工実績を延ばしてきている。

今後の国内でのコンクリート製防護柵の普及を考えた場合、建設産業の労働力不足に対応する省力化、供用中道路での既存防護柵（鋼製防護柵）の巻込み施工や、日当たりの施工量が大きく工期の短縮が図れる事など、スリップフォーム工法はその有益性により施工量を伸ばしていくことが予想され、コンクリート製防護柵の代表施工方法のひとつとして、F型防護柵についてスリップフォーム工法を用い供試体を製作するものとした。

3. 2. 2 プレキャスト製剛性防護柵

プレキャスト製剛性防護柵は、現場での施工性、供用中道路における早期の機能確保等の目的により欧米で広く使われており、スリップフォーム工法とともにコンクリート製防護柵の代表工法として国内での使用実績も増えてきている。中央分離帯部に段差を有する道路においてその適応を考えた場合、単スロープ型であれば埋め込み深さによる調整対応が容易であることも踏まえ、単スロープ型についてプレキャスト製防護柵を用いることとした。

またその連結方式は、欧米で一般的に用いられている部材間隔両端の凹凸のみでは連続性に乏しく衝突時の移動量も大きいと判断されることから、防護柵の一体化を目的としたプレストレスの導入を検討した。車両衝突時の応力が集中すると考えられる、躯体天端付近に配したPC鋼材にプレストレスを与えることにより、衝突荷重の分散、ひび割れ応力の制御が可能であり、衝突時の変位も極力抑えることができる。また、防護柵断面を薄くできることによる経済効果も大きいと思われることから、今回の実験ではプレキャスト製防護柵の連結方式はPC鋼材の緊張方式によることとした。

第4章 衝突実験

コンクリート製防護柵の機能及び強度を検証するために、実際の車両を用いた衝突実験を実施した。

実験では、平成5年12月の車両制限令の改正を考慮し、25トン車両が100km/hで衝突する条件を最大として、設計条件を設定した。

4.1 実験概要

中央分離帯用防護柵の設計手法を明らかにするには、まず、車両が衝突するときにはどの程度の衝突荷重が発生しているかを把握しなければならない。そこで、想定される最大の衝突条件として、25トン車が速度100km/hで、比較的急な角度（20度）で衝突した場合について、衝突面の斜度に影響されない供試体として直壁を用い、衝突実験を行った。また、衝突面が鉛直方向の単一面になっている壁高欄と同形式のコンクリート製防護柵（以下直壁型という）が、高い衝撃度で車両を円滑に誘導するかどうかについて、衝突実験により検証した。

今回の実験のもう一方の目的としては、第3章で述べているように、車両の誘導性等に効果があると期待されるF型、単スロープ型等の、衝突面に勾配を持った防護柵を前提として実用構造を把握することもある。このうちF型は、すでに何度かの実験を行っているのだからそれらを参考にし、本研究では、過去に実験されていない単スロープ型について、まず20トン車が80km/hで、20度で衝突した場合の挙動及び発生荷重を把握するものとした。さらに、F型、単スロープ型について、これまで実験事例のない25トン、速度100km/hで一般的な衝突角度（15度）での実験を行った。

なお、防護柵衝突にかかわる車両質量、衝突速度、衝突角度の概念を図-4.1に示す。

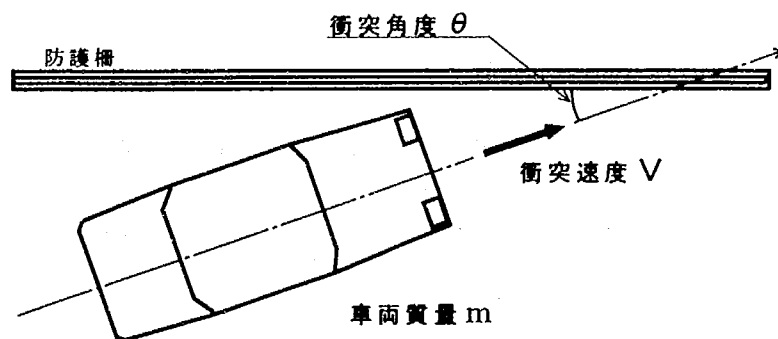


図-4.1 防護柵衝突にかかわる3要素の関係

4. 1. 1 実験の内容

実験は、大型車を対象として8回、小型車について1回の計9回実施した。

実験の想定条件および実験目的は表-4. 1に示すとおりである。

表-4. 1 実験想定条件および内容

実験No. 1 : 直壁型 : 25t ^{a)} -100km/h ^{b)} -20度 ^{c)} -1128kJ {115.1tf·m} ^{d)}
現在想定される最も高い衝撃度でコンクリート製防護柵に衝突した場合の、コンクリート製防護柵に発生する衝突荷重、作用モーメントを把握する。
実験No. 2 : 直壁型 : 25t-100km/h-20度-1128kJ {115.1tf·m}
現在想定される最も高い衝撃度が、既設コンクリート製防護柵に作用した場合の、防護柵の機能を把握する。
実験No. 3 : 単スロープ型防護柵 : 20t-80km/h-20度-577kJ {58.9tf·m}
単スロープ構造で防護柵高さが1.0mの誘導機能を評価する。
実験No. 4 : 単スロープ型防護柵 : 20t-80km/h-20度-577kJ {58.9tf·m}
単スロープ構造で防護柵高さが1.1mの誘導機能を評価する。
実験No. 5 : 単スロープ型防護柵 : 1.1t-80km/h-20度-31kJ {3.2tf·m}
単スロープ構造の乗員への影響度を把握する。
実験No. 6 : 単スロープ型防護柵 : 25t-100km/h-15度-646kJ {65.9tf·m}
単スロープ構造に車両が高速で衝突した場合の車両の誘導機能を評価する。 埋込み深さを30cmとした場合の防護柵の変形程度を把握する。
実験No. 7 : 単スロープ型防護柵 : 25t-100km/h-15度-646kJ {65.9tf·m}
埋込み深さを10cmとした場合の防護柵の変形程度を把握する。
実験No. 8 : F型防護柵 : 25t-100km/h-15度-646kJ {65.9tf·m}
F型構造の車両の誘導機能を評価する。 埋込み深さを30cmとした場合の防護柵の変形程度を把握する。
実験No. 9 : F型防護柵 : 25t-100km/h-15度-646kJ {65.9tf·m}
埋込み深さを0cmとした場合の防護柵の変形程度を把握する。

注) a):車両質量 b):衝突速度 c):衝突角度 d):衝撃度 (4.3項参照)

4. 1. 2 実験フロー

実験は、4. 1. 1で述べた実験種類について、以下のフローに従って実施した。

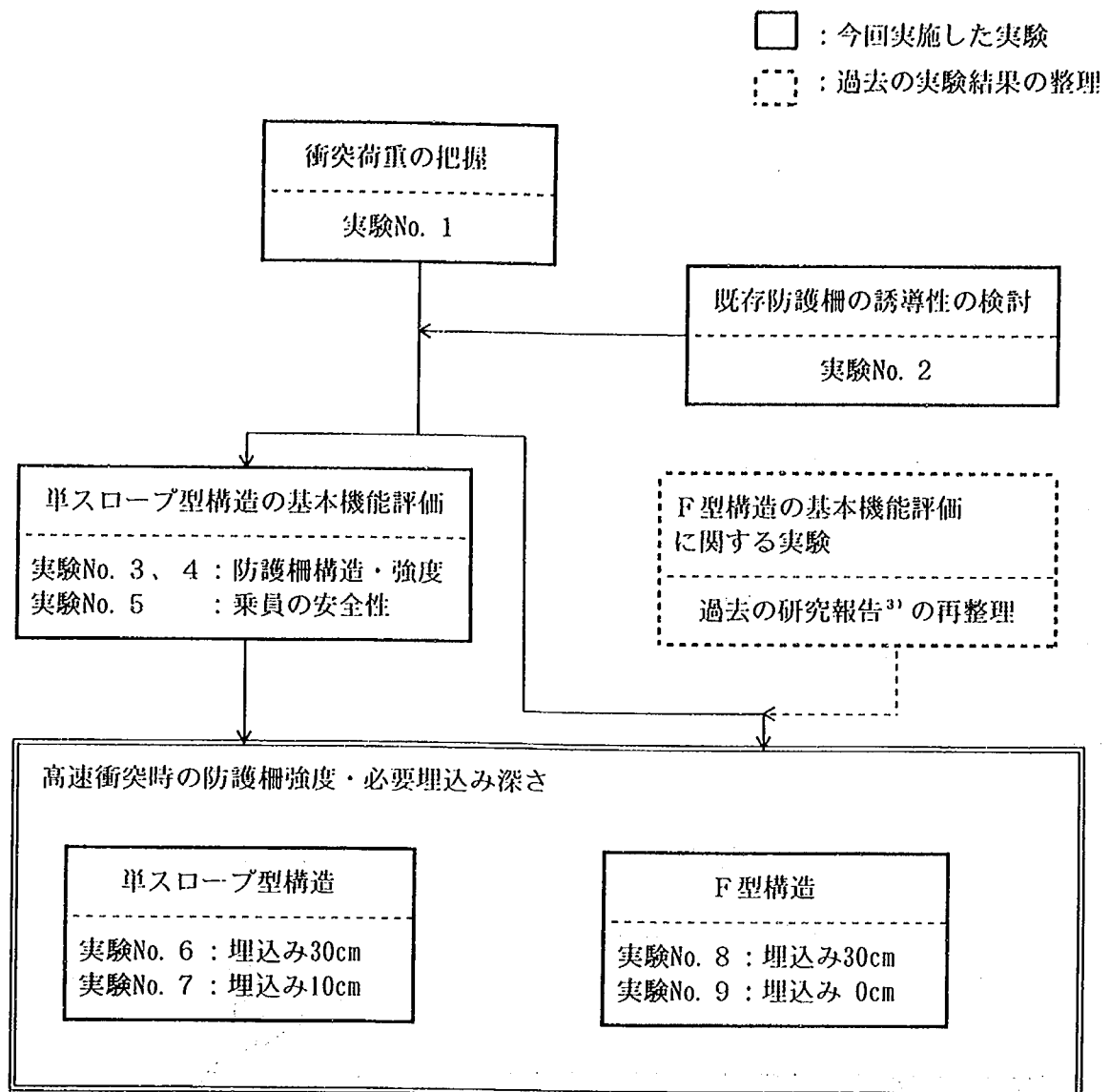


図-4. 2 実験フロー

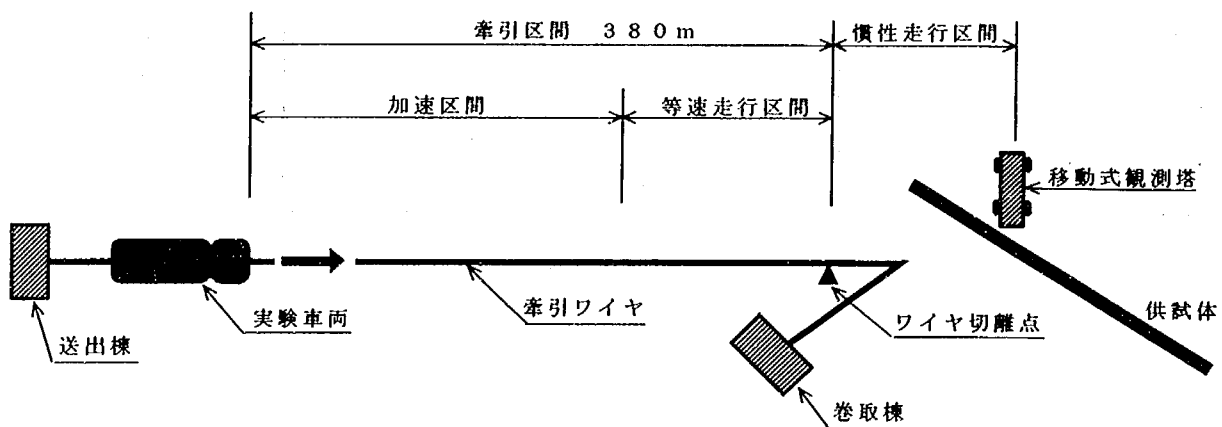
4. 2 実験場

実験は、建設省土木研究所の衝突実験施設において行った。この実験施設の概要を図－4. 3に、施設状況を写真－4. 1に示す。

実験車両（衝突車）は、牽引金具を介してワイヤーに接続されており、巻き取りウィンチにより加速路を牽引加速される。所定の速度に達した後は等速運動に移り、衝突直前の切り離し地点で牽引金具から切り離され、慣性走行によって供試体に衝突するようになっている。衝突時の車両挙動は、移動式観測塔によって上部から観測することができる。

実験施設的能力

牽引能力	大型車	最大牽引重量	196kN{20tf}	：	最大牽引速度	100km/h
	小型車	牽引重量	25kN{2.5tf}	：	最大牽引速度	140km/h
駆動電動機	巻取側	電圧	DC440V	：	定格出力	920kW
	送出側	電圧	DC440V	：	定格出力	75kW
切離速度精度	± 1 %					
加速方式	無段階加速方式					
制動方式	ディスクブレーキ制動方式					
ワイヤ径	19.0mm					
加速路長	410m					
有効加速距離	380m					



図－4. 3 実験施設概観



写真－4. 1 実験施設状況

4. 3 実験条件

4. 3. 1 衝突条件

基本とした衝突条件は、表－4. 2に示すとおりである。

ただし、実際の実験条件は、実験施設の牽引能力による制限（最大牽引能力196kN{20tf}）から、衝撃度が等価となるように、衝突角度を調整した。

想定した実験条件に対して、実際に衝突させた条件が異なる実験については、実際の衝突条件を下段 内に示している。

なお、衝突時の衝撃の大きさを表す指標である衝撃度 (IS) は、以下の式によって求められる。

$$IS = m \cdot (v \cdot \sin \theta)^2 / 2 \quad [\text{kJ}] \quad [4. 1]$$

ただし、 m : 車両質量 (t)
v : 衝突速度 (m/s)
θ : 衝突角度 (度)

表－4. 2 実験条件

実験 番号	防護柵形式	実験条件				備 考
		車両質量 (t)	衝突速度 (km/h)	衝突角度 (度)	衝撃度 (kJ) {tf・m}	
No. 1	直壁型	25	100	20	1128 {115.1}	衝突荷重検出
		20	100	23	1178 {120.2}	
No. 2	直壁型	25	100	20	1128 {115.1}	既設防護柵機能
		20	100	23	1178 {120.2}	
No. 3	単スロープ型	20	80	20	577 {58.9}	柵高さ1.0m
No. 4	単スロープ型	20	80	20	577 {58.9}	柵高さ1.1m
No. 5	単スロープ型	1.1	80	20	31 {3.2}	柵高さ1.1m
No. 6	単スロープ型	25	100	15	646 {65.9}	埋込み深さ30cm
		20	100	17	660 {67.3}	
No. 7	単スロープ型	25	100	15	646 {65.9}	埋込み深さ10cm
		20	100	17	660 {67.3}	
No. 8	F型	25	100	15	646 {65.9}	埋込み深さ30cm
		20	100	17	660 {67.3}	
No. 9	F型	25	100	15	646 {65.9}	埋込み深さ0cm
		20	100	17	660 {67.3}	

注) 内は実験実施条件

4. 3. 2 実験車両

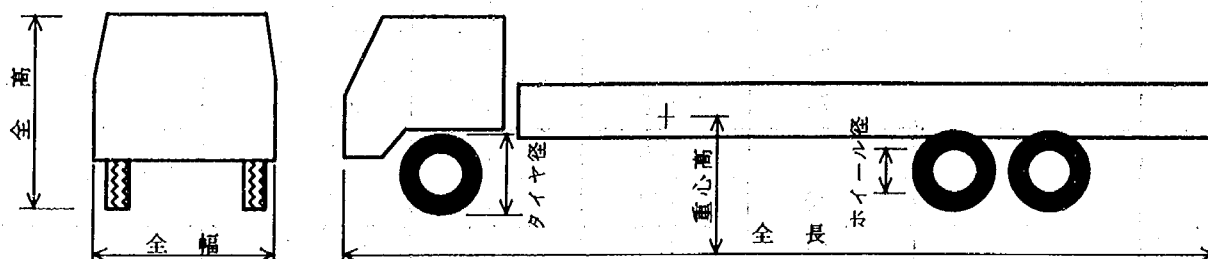
大型車の衝突車種としては、これまで衝突実験において標準車として用いられてきた平ボディタイプの大型貨物車（総質量20t）を用い実験するものとした。このとき、車両寸法などについては、実験車両の入手の容易性等の観点から、特に制限を設けなかった。また、車両総質量は、積載物（土のう）の量により調整するものとした。

また、小型車は、現在最も多く用いられている車両として1.1トンの小型乗用車を用いるものとした。

実験に用いた車両の諸元を以下に示す。

表－4. 3 実験車両諸元

項 目		実験No. 1	実験No. 2	実験No. 3	実験No. 4	実験No. 5	実験No. 6	実験No. 7	実験No. 8	実験No. 9
車 種		大型貨物車	大型貨物車	大型貨物車	大型貨物車	小型乗用車	大型貨物車	大型貨物車	大型貨物車	大型貨物車
全長 (mm)		11880	11870	11920	11950	4070	11900	11970	11890	11980
全幅 (mm)		2430	2500	2430	2420	1600	2430	2480	2460	2470
全高 (mm)		2700	2690	2800	2780	1350	2740	2800	2690	2740
重心高 (mm)		1190	1280	1345	1230	-	1320	1200	1130	1150
タイヤ外径 (mm)		1030	1030	1030	1060	570	1030	1030	1030	1030
ホイール径 (mm)		580	580	580	580	360	580	580	580	580
車両質量(kg)		20000	20000	20000	20000	1100	20000	20000	20000	20000
軸 重	前輪(kg)	4990	5008	5000	5620	660	5030	4906	5316	4050
	後輪(kg)	15010	14992	15000	14380	440	14970	15094	15950	14684



4. 4 供試体

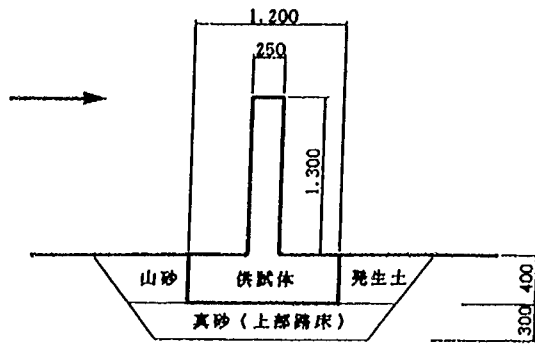
4. 4. 1 材料・強度

各実験における供試体設計条件、材料、強度等を表-4. 4に、構造を図-4. 4に示す。

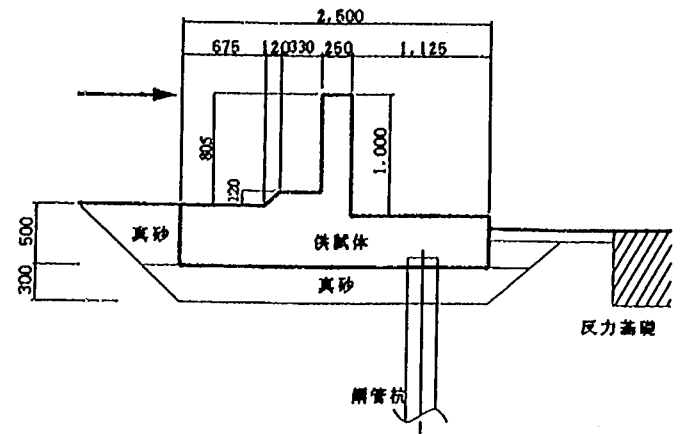
表-4. 4 供試体設計条件・使用材料等

実験番号			No. 1	No. 2	No. 3	No. 4	No. 5	No. 6, 7	No. 8, 9
工 法			在来工法		ﾌﾟﾚｷｽﾄ工法				ｽﾘｯﾌﾟﾌｫｰﾑ
設計条件・ 応力度	衝突荷重 (kN/m) {tf/m}		60 {6}	13 {1.3}	30 {3}			50 {5}	50 {5}
	荷重作用位置		柵天端	柵天端	柵天端			路面より1m	路面より1m
	設計基準強度 (kN/cm ²) {kgf/cm ² }		2.4 {240}	2.4 {240}	3.9 {400}			3.9 {400}	2.4 {240}
	許容曲げ圧縮応力度 (kN/cm ²) {kgf/cm ² }		1.2 {120}	1.2 {120}	2.1 {210}			2.1 {210}	1.6 {160}
	許容せん断応力度 (kN/cm ²) {kgf/cm ² }		0.125 {12.75}	0.125 {12.75}	0.081 {8.25}			0.081 {8.25}	0.071 {7.2}
	引張許容応力度 (kN/cm ²) {kgf/cm ² }		29 {3000}	29 {3000}	26 {2700}			26 {2700}	26 {2700}
	プレストレス (kN) {tf}		—	—	150 {15}	200 {20}	290 {30}	280 {29}	—
材料・ 配合等	コン ク リ ー ﾄ 配 合	設計強度 (kN/cm ²) {kgf/cm ² }	2.4 {240}	2.4 {240}	3.9 {400}			3.9 {400}	2.4 {240}
		粗骨材最大寸法 (mm)	25	25	20			20	20
		スランプ (cm)	8±2.5	8±2.5	8±2			8±2	4.5～5.5
		空気量 (%)	4±1.0	4.5±1.5	2±1			1.5±1	6～7
		水セメント比 (%)	45	44.5	38			35.2	38.6
		細骨材率 (%)	39.4	39.1	45			41	68
	単位 量 (kN/m ³) {kgf/m ³ }	水 セメント	1.52 {155}	1.45 {153}	1.68 {171}			1.38 {141}	1.32 {135}
		細骨材	3.37 {344}	3.37 {344}	4.41 {450}			3.93 {401}	3.43 {350}
		粗骨材	6.92 {707}	8.85 {699}	7.69 {785}			7.42 {757}	7.79 {795}
		混和剤	10.75 {1097}	10.75 {1097}	9.69 {989}			10.93 {1115}	10.66 {1088}
			0.0337 {3.44}	0.0337 {3.44}	0.0551 {5.63}			0.0552 {5.63}	
セメントの種類		普通ポルトランドセメント						早強ポルトランド	
混和剤		AE減水剤 促進型	AE減水剤 促進型	—			—	AE減水剤 促進型	
鉄 筋 ・ 鋼 棒	D10	—	—	—			—	SD295A メッシュ筋	
	D13	SD295A	SD295A	SD295A			SD295A	SD295A メッシュ筋	
	D16	SD345	—	—			—	—	
	PC鋼棒	—	—	φ26B種1号			φ26B種1号	—	

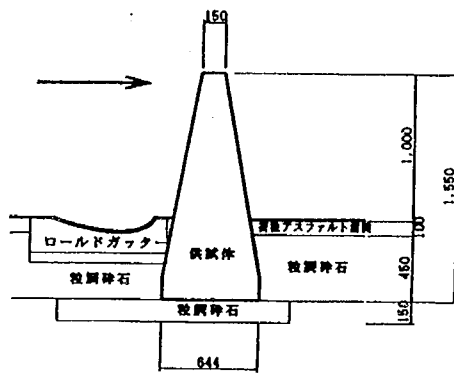
4. 4. 2 供試体構造



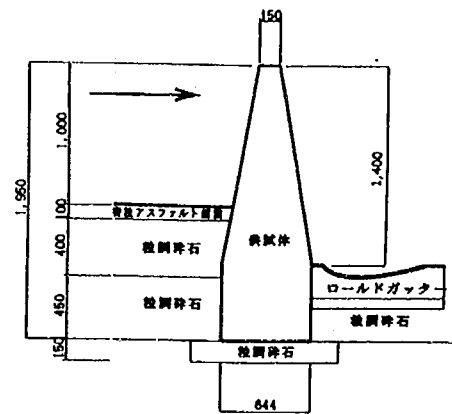
実験No. 1



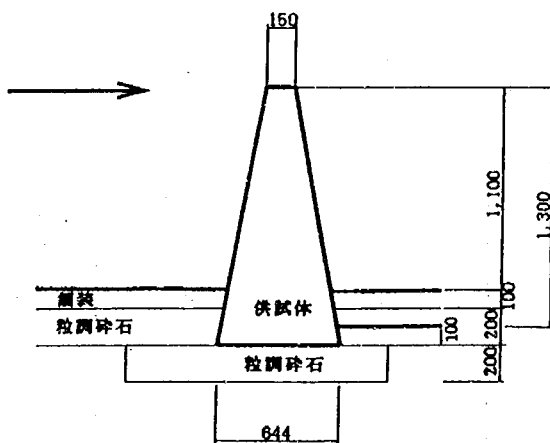
実験No. 2



実験No. 3、5

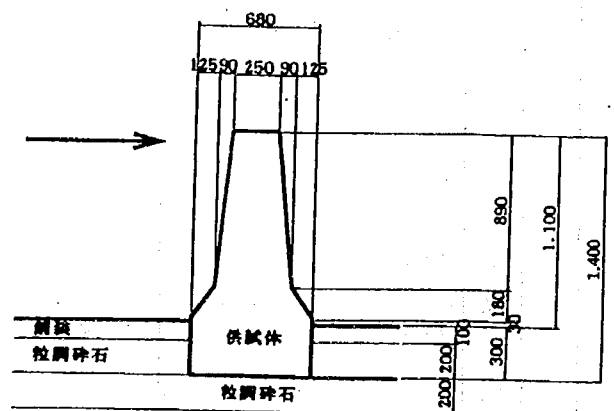


実験No. 4



実験No. 6、7

注) 実験No. 7は背面10cm埋込



実験No. 8、9

注) 実験No. 8は背面埋込無し

図-4. 4 供試体構造

4. 4. 3 供試体設置状況

供試体は、切り離し地点から約14~30mの地点にそれぞれの実験条件に応じた角度を持って設置され、供試体の延長は、設置区間全体が連続性を持った一体構造とし、その長さは衝撃度や構造を考慮して40m~51m設置した。

なお、プレキャストコンクリート製防護柵は1ブロック3mの供試体を連結して所定の長さに敷設し、現場打ちコンクリート製防護柵は、目地を設けずに連続の一体構造として打設した。

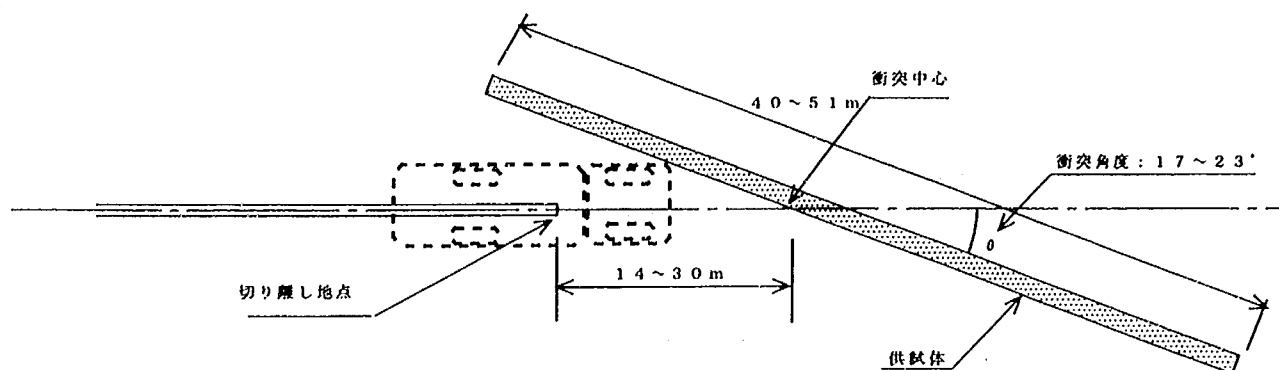


図-4. 5 供試体設置状況

4. 5 測定項目及び内容

本研究での重要な調査事項は、大型車については供試体に発生した応力の測定及び損傷状況、車両の誘導性および損傷状況の観測であり、小型車については車両や人体に発生した加速度及び車両の誘導性の観測である。

これらについて、以下の計測を行った。

①応力の測定

主として衝突荷重の加わると想定される箇所を中心に、躯体の鉄筋、コンクリートに生じる応力の大きさと分布状況を測定するために、ひずみゲージを供試体に貼り付け、応力の計測を行った。

計測系を図-4. 6に示す。

また、各実験における、コンクリートひずみ、アスファルト地盤ひずみおよび鉄筋ひずみの測定は図-4. 7～4. 8に示すとおりである。

なおひずみの計測は、動ひずみアンプによる変換時に100Hzのローパスフィルタをかけ、データレコーダには6000回/sのサンプリング間隔で収録を行ったが、解析では5ms間隔でデータを抽出し、これにより衝突荷重等の検討を行った。

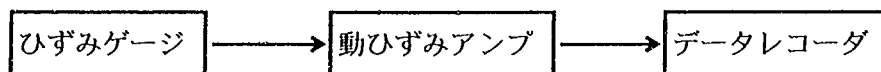


図-4. 6 ひずみ、変位測定系

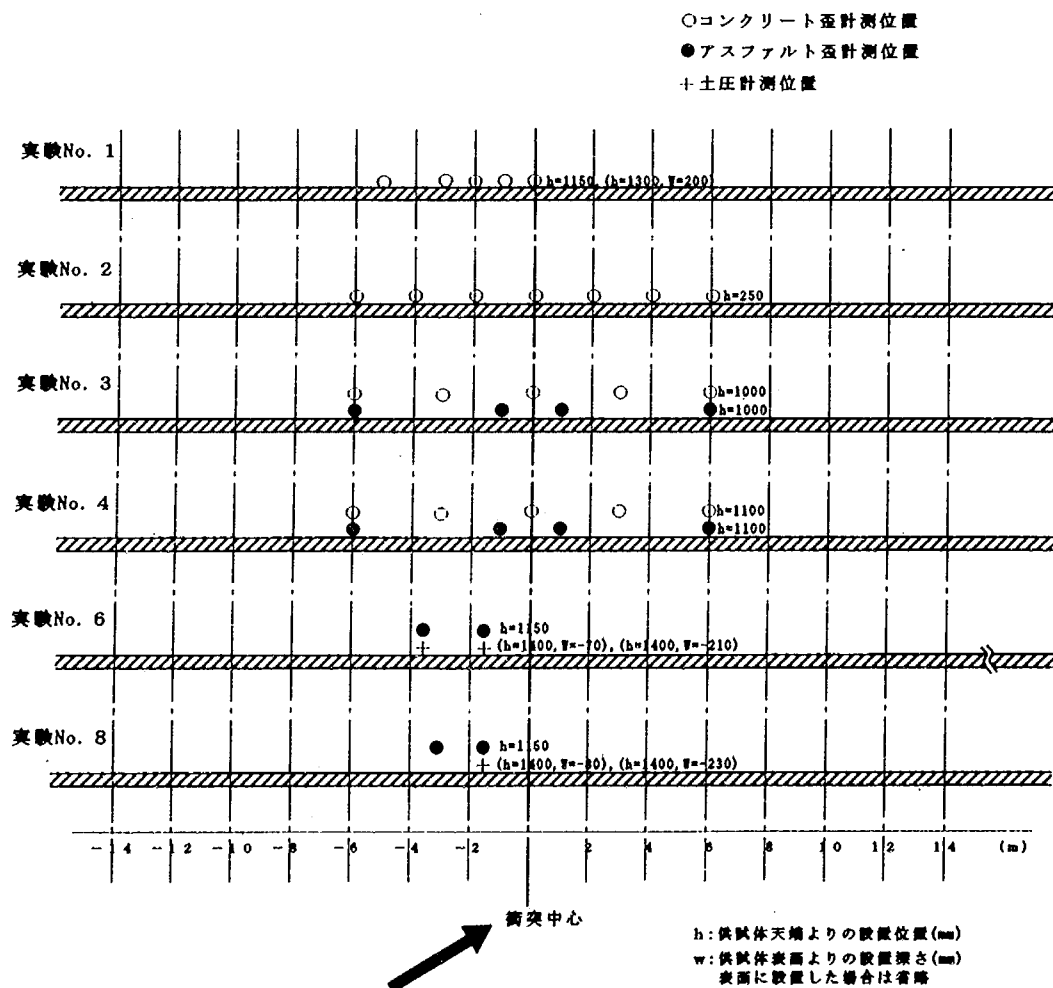


図-4. 7 コンクリートひずみ、アスファルト地盤ひずみおよび土圧計測位置

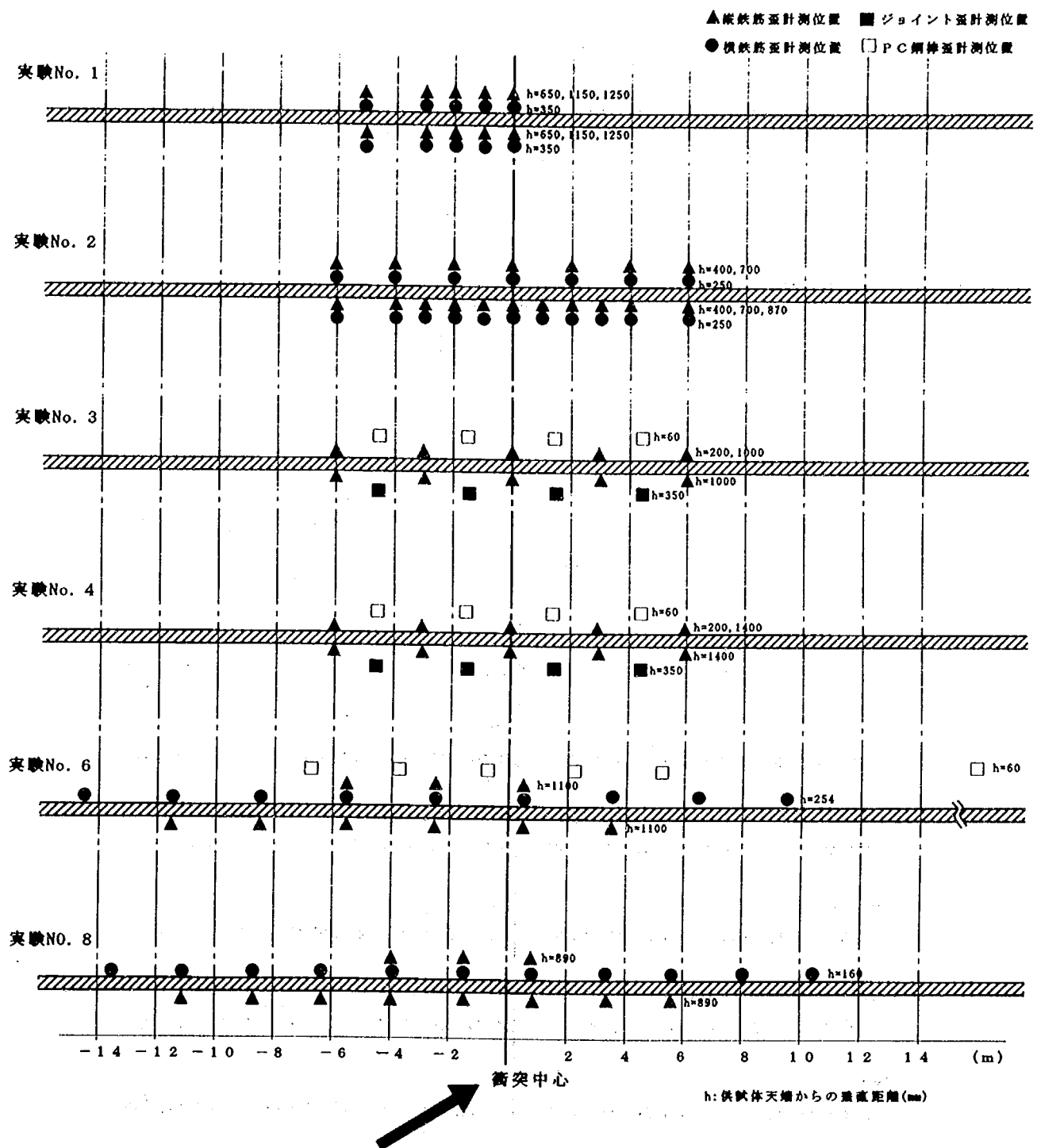


図-4. 8 鉄筋、PC鋼棒等ひずみ計測位置

なお以下では、縦方向の鉄筋を縦筋、横方向の鉄筋を横筋という。

②供試体変位の計測

車両衝突中の防護柵の変位をみるため、作動トランス型棒状変位計によって計測した。

計測系を図-4. 9に示す。また、各実験での変位測定位置は図-4. 11に示すとおりである。

変位については、変位測定板の高速度カメラによる読み取り解析も併せて行った。高速度カメラを用いた変位読み取り手順は図-4. 10に示すとおりである。

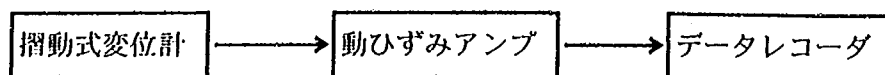


図-4. 9 ひずみ、変位測定系

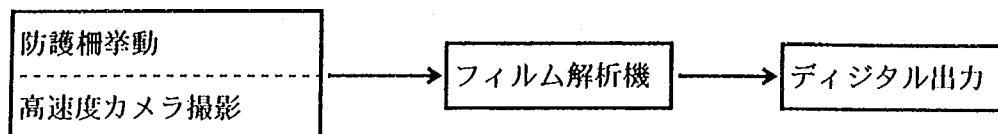


図-4. 10 変位測定板測定系

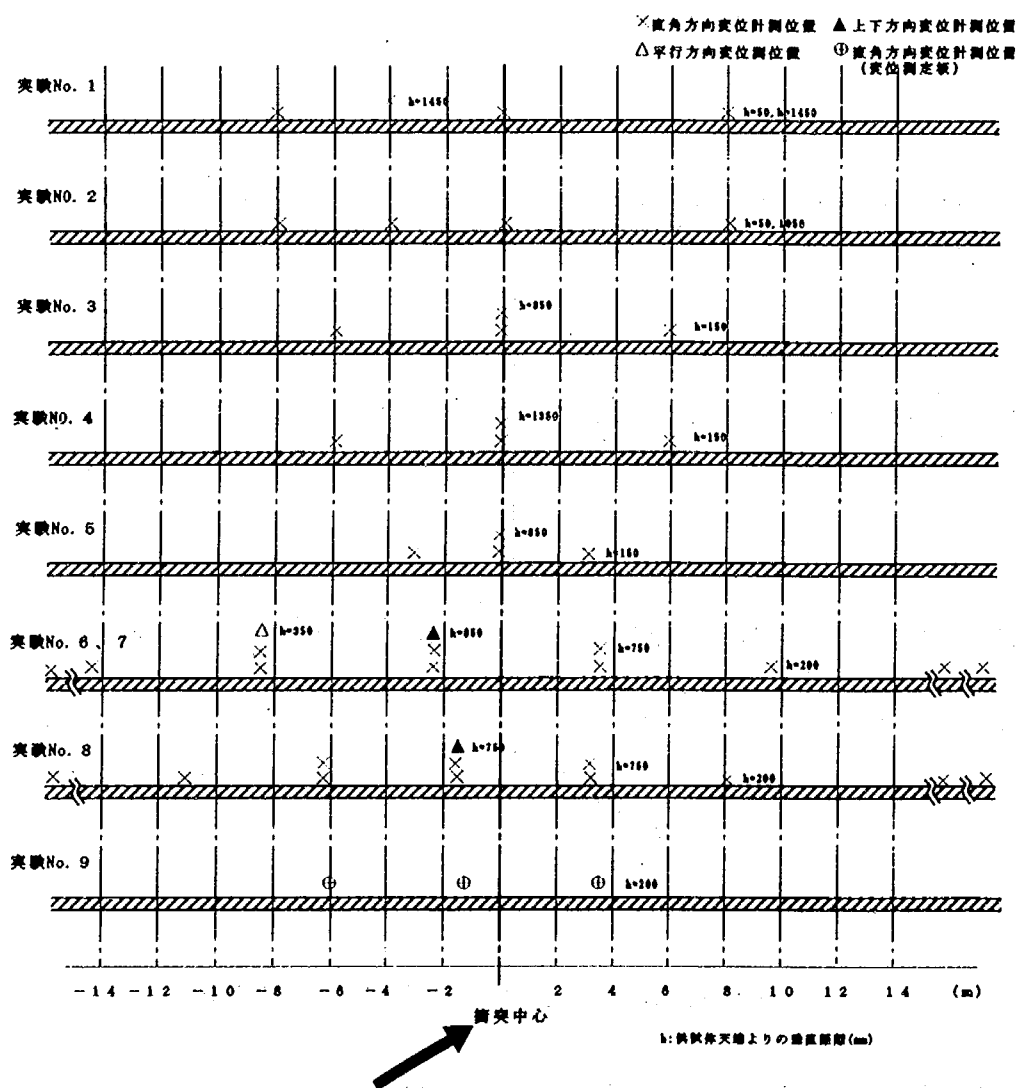


図-4. 11 防護柵変位計測位置

③供試体残留変形、損傷状況

衝突後の防護柵強度を検討する目的で、衝突後の防護柵に生じた残留変形及び防護柵の損傷状況をトランシットによる観測及び目視観察した。

表－４．６ 観測項目

観測項目	観測位置	観測内容
残留変位	天端、舗装面 最大変位位置、進入端 離脱端	変位量、供試体と舗装の間隙
ひび割れ	表及び裏側	発生状況、範囲、ひび割れ幅、ひび割れ長さ
損傷状況	表面	削り痕、剥離、範囲、車両接触状況

④車両の損傷状況

車室の変形状況、自走の可否、積載物の飛散状況等について目視観測、実験後の作動確認等を行った。

表－４．７ 車両損傷の観察項目

外 観	バンパー、荷台等の変形・破損状況
足廻り	タイヤ状況、車輪軸の変形・破損状況
作 動	実験後の自走可否
積載物	土のう荷台内移動状況、荷台外への飛散個数、飛散範囲

⑤車両の誘導性

車両の誘導状況を、ビデオカメラで記録、観察するとともに、高速度カメラによって車両挙動の数値化を行い、定量評価した。

カメラの基本撮影位置を図-4. 12に示す。また、高速度カメラの解析系は図-4. 10に示したとおである。

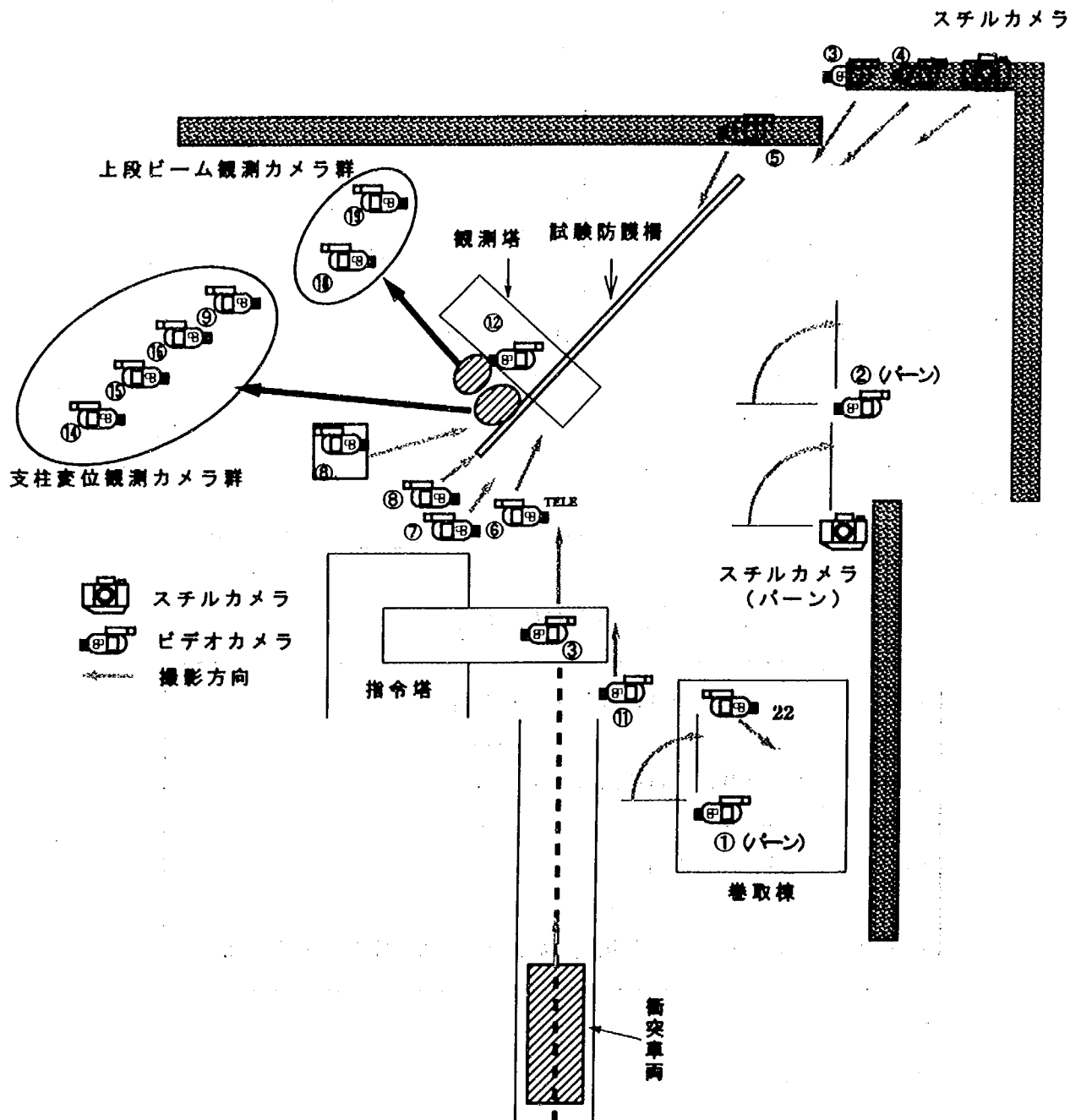


図-4. 12 ビデオカメラ計測位置

⑥車両・ダミーに発生した加速度等

乗員に与える被害を評価するため、車両重心位置の加速度、ダミー頭部および胸部に発生した加速度、ダミー大腿部に発生した荷重を計測した。

また車両の挙動解析のために、車両重心位置の加速度および車両重心位置の角速度を計測した。計測系を図-4. 13に示す。

さらに、各実験毎の計測項目および座標系を表-4. 7、図-4. 14~4. 15に示す。

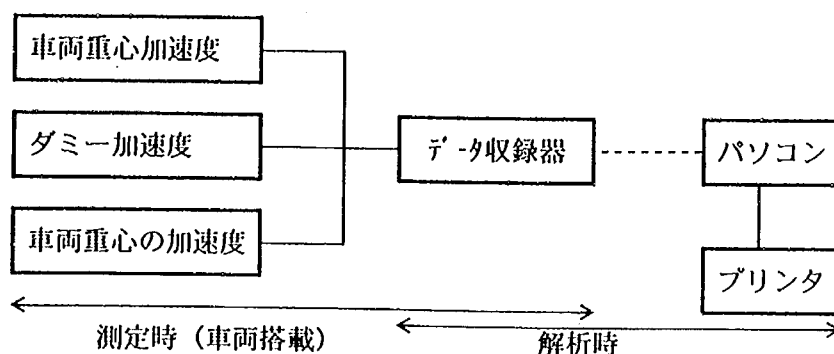


図-4. 13 加速度等の計測系

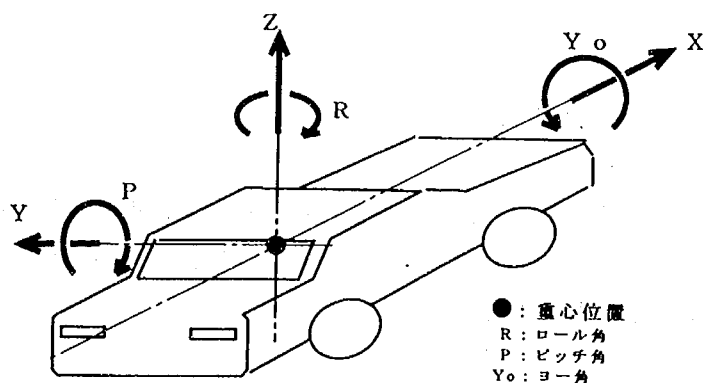


図-4. 14 車両加速度、角速度座標系

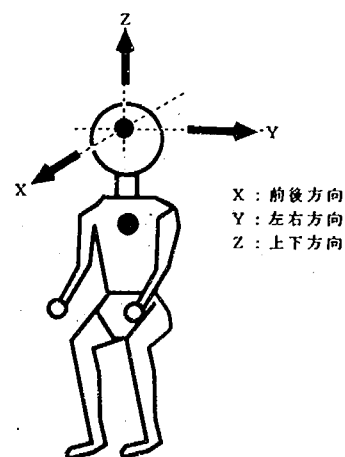


図-4. 15 ダミー加速度座標系

表-4. 7 加速度、角速度計測項目 (大型車)

実験 計測位置	番号	No. 1	No. 2	No. 3	No. 4	No. 5	No. 6	No. 7	No. 8	No. 9
車両	加速度	X, Y, Z	-	X, Y, Z	X, Y, Z	X, Y, Z	X, Y, Z	X, Y, Z	X, Y, Z	X, Y, Z
	角速度	-	-	R, P, Yo	R, P, Yo	R, P, Yo	R, P, Yo	-	R, P, Yo	-
運ダ 転ミ 席一	頭 部	X, Y, Z	-	X, Y, Z	X, Y, Z	X, Y, Z	X, Y, Z	X, Y, Z	X, Y, Z	X, Y, Z
	胸 部	X, Y	-	X, Y	X, Y	X, Y	-	-	-	-
助ダ 手ミ 席一	頭 部	X, Y, Z	-	X, Y, Z	X, Y, Z	X, Y, Z	X, Y, Z	X, Y, Z	X, Y, Z	X, Y, Z
	胸 部	X, Y	-	X, Y	X, Y	X, Y	-	-	-	-

5. 1 実験結果

実験結果を総括したものを表-5. 1～5. 9に、衝突時の車両挙動を写真-5. 1～5. 9に示す。また、実験結果の概要を以下に示す。

①実験No. 1：直壁型（柵高1.3m）：20t-100.6km/h-23.0度-1193kJ{121.7tf・m}

実験No. 1は、現在想定される最も高い衝撃度で車両がコンクリート製防護柵に衝突した場合の、コンクリート製防護柵に発生する衝突荷重、作用モーメントを把握する目的で実施した。

通常のコンクリート壁式防護柵の高さは1m程度であるが、本実験で用いた供試体の高さは1.3mあったため、車両の傾きや積載物の飛散による衝突荷重の低減も少なく、激しい衝突状況での衝突荷重計測を行うことができた。衝撃度は、我が国でこれまでに実験経験のない最大のものではあったが、車両は円滑に誘導され、コンクリート製防護柵の強度を確認することができた。しかし、躯体の一部鉄筋が降伏し、さらにひび割れ幅1.2mmを最大として多数のひび割れが生じたことから、供試体の設計荷重（天端に59kN/m{6tf/m}）より大きな荷重が作用したものと考えられ、今回実験したような高衝撃度に対する設計荷重について、再検討が必要と判断された。

②実験No. 2：直壁型（柵高0.8m）：20t-101.1km/h-23.5度-1251kJ{127.7tf・m}

実験No. 2は、現在想定される最も高い衝撃度で車両が既設の高欄形式コンクリート製防護柵に衝突した場合の、既設防護柵の機能を把握する目的で実施した。

車両は衝突後まず車両前部（運転席部）が防護柵上端に倒れかかるようにねじれ、次に車両後部（荷台部）が防護柵に衝突したが、防護柵高さが0.8mと低く荷台に生じた遠心荷重を受け止める高さがなかったため、車両は防護柵の外側へ飛び出し、転倒して停止した。

③実験No. 3：単スロープ型（柵高1.0m）：20t-80.2km/h-20.0度-580kJ{59.2tf・m}

実験No. 3は、防護柵高さが1.0mの場合の誘導機能を評価する目的で実施した。

車両は衝突後まず車両前部（運転席部）が防護柵上端に倒れかかるようにねじれ、次に車両後部（荷台部）が防護柵に衝突した。このとき、荷台下端の補強プレートが防護柵上端に接する程度の高さであり、荷台部の振れが大きく防護柵に乗り上げ、車両は正常方向に復元することなく転倒して停止した。供試体の変形は最大48.3mmあったが、防護柵本体および路面ともに残留変形はなく、強度的には満足するものであった。

④実験No. 4：単スロープ型（柵高1.1m）：20t-80.0km/h-20.0度-577kJ{58.9tf・m}

実験No. 4は、防護柵高さが1.1mの場合の誘導機能と、衝突裏面の埋込み深さを浅くした場合の防護柵安定性を評価する目的で実施した。

車両はまず車両前部（運転席部）が防護柵に衝突し、前部は多少防護柵上端に倒れかかるようにねじれ、次に車両後部（荷台部）が防護柵に衝突した。このとき、荷台下部は防護柵上端に保持され、荷台部の振れも小さく、車両は正常方向に復元した。

供試体の変形は最大29.8mmあったが、防護柵本体に残留変形はなかった。また、供試体とロールドガッターの間に1.2mmの間隙が生じた。

⑤実験No. 5 : 単スロープ型 (柵高1.1m) : 1.1t-80.0km/h-20.0度-31kJ (3.2tf·m)

実験No. 5 は、単スロープ構造の乗員への影響度を把握する目的で、本共同研究では、唯一、小型乗用車を用いた衝突実験を実施した。

車両は前部衝突後、車体全体が多少浮き上がった状態で瞬時に方向転換し、その後防護柵側に多少傾いた状態で着地した後、防護柵に沿って円滑に離脱した。このとき、左前輪がロードガッターの隅角部でバーストし、離脱時にタイヤがホイールから取り外れた。

⑥実験No. 6 : 単スロープ型 (柵高1.1m) : 20t-100.6km/h-17.0度-667kJ (68.1tf·m)

実験No. 6 は、埋込み深さを30cmとした単スロープ構造に車両が高速で衝突した場合の、車両の誘導機能および防護柵の変形程度を把握する目的で実施した。

車両は、供試体衝突時に大きく傾き、供試体によりかかった状態で進行し、その後正常姿勢に復元する挙動を示したが、最終的には供試体通過後横転停止した。防護柵の変位は、最大で10mm程度、残留変形で6mm程度であり、微少なヘアクラックは発生したものの強度としては満足するものであった。

⑦実験No. 7 : 単スロープ型 (柵高1.1m) : 20t-100.0km/h-17.0度-660kJ (67.3tf·m)

実験No. 7 は、背面の埋込み深さを10cmとした場合の車両の誘導機能、防護柵の変形程度を把握する目的で実施した。

車両は、供試体衝突後前部が供試体上部に乗り上がる挙動を示したが、後部 (荷台部) は前部につられて飛び上がることもなく防護柵に衝突し、防護柵に保持されて誘導された。また、車両衝突時に前輪軸が脱落した。防護柵の変位は、最大で約50mm、残留で10mm程度であり、実験No. 6 に比べて変形は大きくなっているが、強度的には満足するものであった。

⑧実験No. 8 : F型 (柵高1.1m) : 20t-101.4km/h-17.0度-678kJ (69.2tf·m)

実験No. 8 は、埋込み深さを30cmとしたF型構造に車両が高速で衝突した場合の、車両の誘導機能および防護柵の変形程度を把握する目的で実施した。

車両は、単スロープ型のように車両前部が乗り上がる挙動もなく、円滑に誘導された。

防護柵の破損は、車両の飛び上がり挙動に伴う上方向への衝突エネルギーの分散がほとんど無く防護柵に持ち込まれたエネルギーが大きかったことから、発生加速度も大きく、衝突荷重によって横筋が降伏している。防護柵の変形量も最大で45mm、残留で34mmと比較的大きくなった。横筋を主筋として配筋する設計方法等、新たな設計方法を考慮する必要があると判断された。

⑨実験No. 9 : F型 (柵高1.1m) : 20t-101.2km/h-17.0度-667kJ (68.1tf·m)

実験No. 9 は、背面の埋込み深さを0cmとした場合の車両の誘導機能を把握する目的で実施した。

車両は、防護柵が大きく変形したのに伴い多少傾いたが、円滑に誘導された。

この実験では、実験No. 8 でせん断破壊した防護柵の背面を補強し、主として埋込みを行わない場合の車両の誘導性に着目して行った実験であり、車両の衝突による防護柵の変形は当然大きく、最大で324mm、残留で294mmあった。従って、防護柵に埋込みをしない状態でも車両の誘導が行えることが確認されたが、強度設計については課題が残った。

表-5.1 実験総括 (実験No.1)

実験番号 防護構 形式	実験条件結果				離脱角度 (度) 及び 速 度 (km/h)	衝突車両の 最大傾斜角 及び車輪浮 上がり量 他		車両～ 防護構 接触長 (m)	車両最大加速度 (g)		車両の挙動 〔ロール角 ピッチ角 ヨー角〕 (角)	高 欄 最大変位 (mm)	躯体部応力 (μ)								基礎部応力 (μ)				損 傷 状 況																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																					
	質量 (ton)	速度 (km/h)	進入角 (度)	衝撃度 (kJ {tf-m})		鉄 筋							コン リート 表面	鉄 筋 (D16)		コン リート 表面																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																														
						縦方向筋 (D16)				横方向筋 (D13)				ハンチ 筋	上 側		下 側																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																													
						表	裏		表	裏								表	裏	表	裏																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																									
実験 No.1 直 撃 型 大 型 貨 物 車	20 (20.0)	100 (100.6)	23 (23.0)	1178 {120.2} {1193} {121.7}	4.0° 79.6 km/h 減速率 20.9 %	防護構側へ+		9.3	車両 重心	X	-20.5	ロール角 (R) -12~1	D1	1.481	R6	501	K1	2,791	K6	54	S1	368	S6	1,274	H1	1,101	C1	-1,251	Z1	82	X1	1,039	Y1	203	*C6	+1,547	(ひび割れ) ・躯体 表面 16m +変本 幅max.1.2mm 背面6m 11本 ・フーチング 表面 11m 7本 背面 6m 3本 (足回り) ・前輪車軸はずれ ・タイヤバースト無し ・ホイールめくれ無し (車内) 助手席床へこみ (走行) 自走不可 (土のう) 防護構端部通過172/480面 飛散																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																									
						前 端				+17.8°	D2		R2	R7	K2	K7	Z2	X2	Y2	Z3	X3	Y3	Z4	X4	Y4	Z5	X5	Y5	Z6	X6	Y6	Z7	X7	Y7	Z8	X8		Y8	Z9	X9	Y9	Z10	X10	Y10	Z11	X11	Y11	Z12	X12	Y12	Z13	X13	Y13	Z14	X14	Y14	Z15	X15	Y15	Z16	X16	Y16	Z17	X17	Y17	Z18	X18	Y18	Z19	X19	Y19	Z20	X20	Y20	Z21	X21	Y21	Z22	X22	Y22	Z23	X23	Y23	Z24	X24	Y24	Z25	X25	Y25	Z26	X26	Y26	Z27	X27	Y27	Z28	X28	Y28	Z29	X29	Y29	Z30	X30	Y30	Z31	X31	Y31	Z32	X32	Y32	Z33	X33	Y33	Z34	X34	Y34	Z35	X35	Y35	Z36	X36	Y36	Z37	X37	Y37	Z38	X38	Y38	Z39	X39	Y39	Z40	X40	Y40	Z41	X41	Y41	Z42	X42	Y42	Z43	X43	Y43	Z44	X44	Y44	Z45	X45	Y45	Z46	X46	Y46	Z47	X47	Y47	Z48	X48	Y48	Z49	X49	Y49	Z50	X50	Y50	Z51	X51	Y51	Z52	X52	Y52	Z53	X53	Y53	Z54	X54	Y54	Z55	X55	Y55	Z56	X56	Y56	Z57	X57	Y57	Z58	X58	Y58	Z59	X59	Y59	Z60	X60	Y60	Z61	X61	Y61	Z62	X62	Y62	Z63	X63	Y63	Z64	X64	Y64	Z65	X65	Y65	Z66	X66	Y66	Z67	X67	Y67	Z68	X68	Y68	Z69	X69	Y69	Z70	X70	Y70	Z71	X71	Y71	Z72	X72	Y72	Z73	X73	Y73	Z74	X74	Y74	Z75	X75	Y75	Z76	X76	Y76	Z77	X77	Y77	Z78	X78	Y78	Z79	X79	Y79	Z80	X80	Y80	Z81	X81	Y81	Z82	X82	Y82	Z83	X83	Y83	Z84	X84	Y84	Z85	X85	Y85	Z86	X86	Y86	Z87	X87	Y87	Z88	X88	Y88	Z89	X89	Y89	Z90	X90	Y90	Z91	X91	Y91	Z92	X92	Y92	Z93	X93	Y93	Z94	X94	Y94	Z95	X95	Y95	Z96	X96	Y96	Z97	X97	Y97	Z98	X98	Y98	Z99	X99	Y99	Z100	X100	Y100	Z101	X101	Y101	Z102	X102	Y102	Z103	X103	Y103	Z104	X104	Y104	Z105	X105	Y105	Z106	X106	Y106	Z107	X107	Y107	Z108	X108	Y108	Z109	X109	Y109	Z110	X110	Y110	Z111	X111	Y111	Z112	X112	Y112	Z113	X113	Y113	Z114	X114	Y114	Z115	X115	Y115	Z116	X116	Y116	Z117	X117	Y117	Z118	X118	Y118	Z119	X119	Y119	Z120	X120	Y120	Z121	X121	Y121	Z122	X122	Y122	Z123	X123	Y123	Z124	X124	Y124	Z125	X125	Y125	Z126	X126	Y126	Z127	X127	Y127	Z128	X128	Y128	Z129	X129	Y129	Z130	X130	Y130	Z131	X131	Y131	Z132	X132	Y132	Z133	X133	Y133	Z134	X134	Y134	Z135	X135	Y135	Z136	X136	Y136	Z137	X137	Y137	Z138	X138	Y138	Z139	X139	Y139	Z140	X140	Y140	Z141	X141	Y141	Z142	X142	Y142	Z143	X143	Y143	Z144	X144	Y144	Z145	X145	Y145	Z146	X146	Y146	Z147	X147	Y147	Z148	X148	Y148	Z149	X149	Y149	Z150	X150	Y150	Z151	X151	Y151	Z152	X152	Y152	Z153	X153	Y153	Z154	X154	Y154	Z155	X155	Y155	Z156	X156	Y156	Z157	X157	Y157	Z158	X158	Y158	Z159	X159	Y159	Z160	X160	Y160	Z161	X161	Y161	Z162	X162	Y162	Z163	X163	Y163	Z164	X164	Y164	Z165	X165	Y165	Z166	X166	Y166	Z167	X167	Y167	Z168	X168	Y168	Z169	X169	Y169	Z170	X170	Y170	Z171	X171	Y171	Z172	X172	Y172	Z173	X173	Y173	Z174	X174	Y174	Z175	X175	Y175	Z176	X176	Y176	Z177	X177	Y177	Z178	X178	Y178	Z179	X179	Y179	Z180	X180	Y180	Z181	X181	Y181	Z182	X182	Y182	Z183	X183	Y183	Z184	X184	Y184	Z185	X185	Y185	Z186	X186	Y186	Z187	X187	Y187	Z188	X188	Y188	Z189	X189	Y189	Z190	X190	Y190	Z191	X191	Y191	Z192	X192	Y192	Z193	X193	Y193	Z194	X194	Y194	Z195	X195	Y195	Z196	X196	Y196	Z197	X197	Y197	Z198	X198	Y198	Z199	X199	Y199	Z200	X200	Y200	Z201	X201	Y201	Z202	X202	Y202	Z203	X203	Y203	Z204	X204	Y204	Z205	X205	Y205	Z206	X206	Y206	Z207	X207	Y207	Z208	X208	Y208	Z209	X209	Y209	Z210	X210	Y210	Z211	X211	Y211	Z212	X212	Y212	Z213	X213	Y213	Z214	X214	Y214	Z215	X215	Y215	Z216	X216	Y216	Z217	X217	Y217	Z218	X218	Y218	Z219	X219	Y219	Z220	X220	Y220	Z221	X221	Y221	Z222	X222	Y222	Z223	X223	Y223	Z224	X224	Y224	Z225	X225	Y225	Z226	X226	Y226	Z227	X227	Y227	Z228	X228	Y228	Z229	X229	Y229	Z230	X230	Y230	Z231	X231	Y231	Z232	X232	Y232	Z233	X233	Y233	Z234	X234	Y234	Z235	X235	Y235	Z236	X236	Y236	Z237	X237	Y237	Z238	X238	Y238	Z239	X239	Y239	Z240	X240	Y240	Z241	X241	Y241	Z242	X242	Y242	Z243	X243	Y243	Z244	X244	Y244	Z245	X245	Y245	Z246	X246	Y246	Z247	X247	Y247	Z248	X248	Y248	Z249	X249	Y249	Z250	X250	Y250	Z251	X251	Y251	Z252	X252	Y252	Z253	X253	Y253	Z254	X254	Y254	Z255	X255	Y255	Z256	X256	Y256	Z257	X257	Y257	Z258	X258	Y258	Z259	X259	Y259	Z260	X260	Y260	Z261	X261	Y261	Z262	X262	Y262	Z263	X263	Y263	Z264	X264	Y264	Z265	X265	Y265	Z266	X266	Y266	Z267	X267	Y267	Z268	X268	Y268	Z269	X269	Y269	Z270	X270	Y270	Z271	X271	Y271	Z272	X272	Y272	Z273	X273	Y273	Z274	X274	Y274	Z275	X275	Y275	Z276	X276	Y276	Z277	X277	Y277	Z278	X278	Y278	Z279	X279	Y279	Z280	X280	Y280	Z281	X281	Y281	Z282	X282	Y282	Z283	X283	Y283	Z284	X284	Y284	Z285	X285	Y285	Z286	X286	Y286	Z287	X287	Y287	Z288	X288	Y288	Z289	X289	Y289	Z290	X290	Y290	Z291	X291	Y291	Z292	X292	Y292	Z293	X293	Y293	Z294	X294	Y294	Z295	X295	Y295	Z296	X296	Y296	Z297	X297	Y297	Z298	X298	Y298	Z299	X299	Y299	Z300	X300	Y300	Z301	X301	Y301	Z302	X302	Y302	Z303	X303	Y303	Z304	X304	Y304	Z305	X305	Y305	Z306	X306	Y306	Z307	X307	Y307	Z308	X308	Y308	Z309	X309	Y309	Z310	X310	Y310	Z311	X311	Y311	Z312	X312	Y312	Z313	X313	Y313	Z314	X314	Y314	Z315	X315	Y315	Z316	X316	Y316	Z317	X317	Y317	Z318	X318	Y318	Z319	X319	Y319	Z320	X320	Y320	Z321	X321	Y321	Z322	X322	Y322	Z323	X323	Y323	Z324	X324	Y324	Z325	X325	Y325	Z326	X326	Y326	Z327	X327	Y327	Z328	X328	Y328	Z329	X329	Y329	Z330	X330	Y330	Z331	X331	Y331	Z332	X332	Y332	Z333	X333	Y333	Z334	X334	Y334	Z335	X335	Y335	Z336	X336	Y336	Z337	X337	Y337	Z338	X338	Y338	Z339	X339	Y339	Z340	X340	Y340	Z341	X341	Y341	Z342	X342	Y342	Z343	X343	Y343	Z344	X344	Y344	Z345	X345	Y345	Z346	X346	Y346	Z347	X347	Y347	Z348	X348	Y348	Z349	X349	Y349	Z350	X350	Y350	Z351	X351	Y351	Z352	X352	Y352	Z353	X353	Y353	Z354	X354	Y354	Z355	X355	Y355	Z356	X356	Y356	Z357	X357	Y357	Z358	X358	Y358	Z359	X359	Y359	Z360	X360	Y360	Z361	X361	Y361	Z362	X362	Y362	Z363	X363	Y363	Z364	X364	Y364	Z365	X365	Y365	Z366	X366	Y366	Z367	X367	Y367	Z368	X368	Y368	Z369	X369	Y369	Z370	X370	Y370	Z371	X371	Y371	Z372	X372	Y372	Z373	X373	Y373	Z374	X374	Y374	Z375	X375	Y375	Z376	X376	Y376	Z377	X377	Y377	Z378	X378	Y378	Z379	X379	Y379	Z380	X380	Y380	Z381	X381	Y381	Z382	X382	Y382	Z383	X383	Y383	Z384	X384	Y384	Z385	X385	Y385	Z386	X386	Y386	Z387	X387	Y387	Z388	X388	Y388	Z389	X389	Y389	Z390	X390	Y390	Z391	X391	Y391	Z392	X392	Y392	Z393	X393	Y393	Z394	X394	Y394	Z395	X395	Y395	Z396	X396	Y396	Z397	X397	Y397	Z398	X398	Y398	Z399	X399	Y399	Z400	X400	Y400

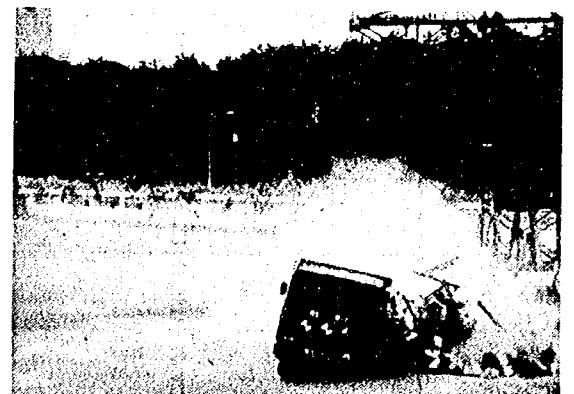
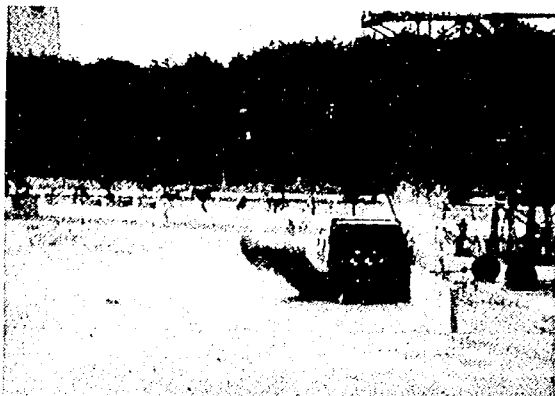
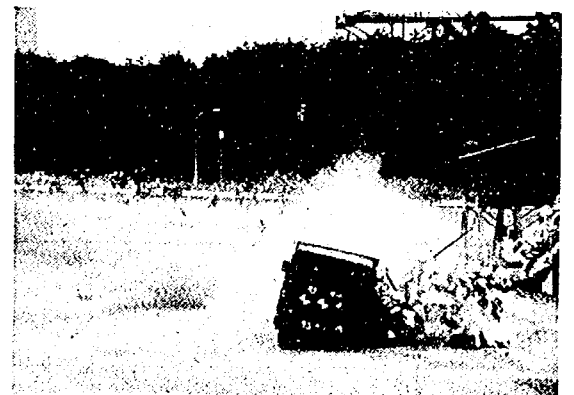
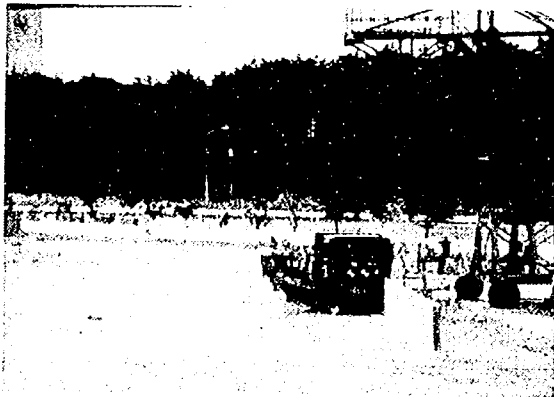
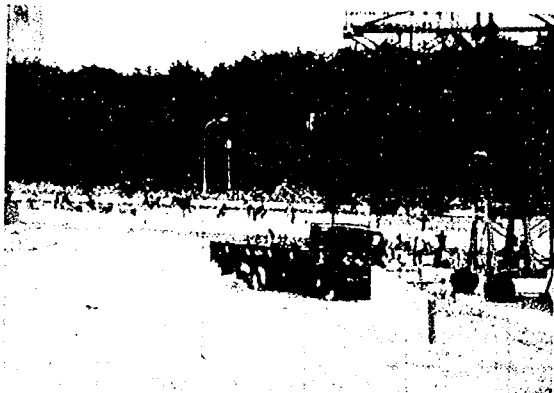
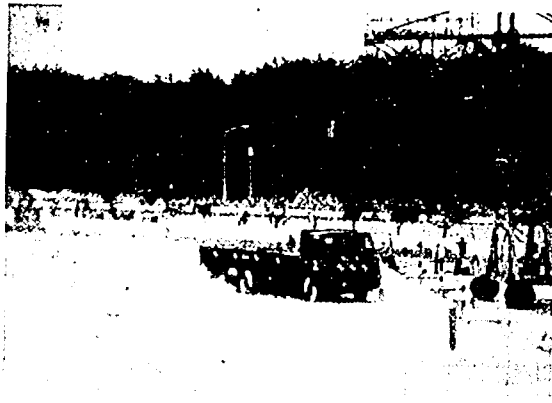


写真-5. 1 車両挙動 (実験No. 1)

表-5.2 実験総括(実験No.2)

実験番号 防護構 形式	実験条件結果				離脱角 度(度) および 速度 (km/h)	衝突車両の最 大傾斜角およ び車輪浮き上 がり量 他	車両～防護構 接触長 (m)	車両最大 加速度 (g:ガル)	車両の挙動 〔ロール角 ピッチ角 ヨー角 (角)〕	高 欄 最大変位 (mm)	躯体部応力 (μ)								基礎の 最大変位 (mm)	損傷状況		
	質 量 (ton)	速 度 (km/h)	進入角 (度)	衝撃度 (kJ) (tf・m)							鉄 筋											コンクリート の 表 面
											縦方向筋 (D13)				横方向筋 (D13)							
											表	裏	表	裏	表	裏	表	裏				
実験 No.2 直 撃 型 大型貨物車	20 (20.0)	100 (101.1)	23 (23.5)	1178 (120.2) (1251) (127.7)	0.0° km/h 不明 減速率 不明 防護構に 乗り上げ 構外で横転した	—	10.5	—	—	D1 -0.93	R1 58	R12 5.0	J1 0.0	J12 1.0	H1 3.0	S1 3.0	S12 2.0	C1 39	D5 -0.60	〈ひび割れ〉 ・躯体 表面7m +幅max1.0mm 背面5m 〈破損〉 鉄筋露出なし 高欄天端3.5m 削深さ23mm3ヶ所 〈接触範囲〉 前輪5.0m 後輪7.6m 〈足回り〉 ・前輪車輪はずれ 飛散 ・タイヤバースト 無し ・ホイール変形めく れ大 〈車内〉 横転のため潰れ 〈走行〉 自走不可	・前部バンパー等 潰れ ・左フェンダー (へこみ大) ・左ボデー荷台振 り傷無し ・横転のためガラ ス破損 ・シャーシー曲げ 変形	
										D2 -4.48	R2 294	R13 9.0	J2 555	J13 15	H2 213	S2 22	S13 -2.0	C2 -248	D6 -0.71			
										R3 1012		J3 1865		H3 1842	S3 395							
										R4 1447	R14 613	J4 1970	J14 499	H4 3881	S4 -2.0	S14 588	C3 -856					
										R5 1987		J5 2053		H5 3199	S5 322							
										D3 -28.0	R6 1644	R15 930	J6 1626	J15 380	H6 2285	S6 333	S15 438	C4 -1450	D7 -0.80			
										R7 654		J7 1354		H7 1495	S7 100							
										R8 515	R16 2.0	J8 1238	J16 18	H8 972	S8 7.0	S16 54	C5 -504					
										R9 405		J9 543		H9 338	S9 9.0							
										R10 43	R17 3.0	J10 92	J17 3.0	H10 57	S10 4.0	S17 3.0	C6 -127					
										D4 —	R11 8.0	R18 3.0	J11 5.0	J18 5.0	H11 3.0	S11 46	S18 37	C7 18	D8 -0.20			

備 考	1) 実験条件の項の()内は結果を示す。
-----	-----------------------

備 考 1) 実験条件の項の()内は結果を示す。

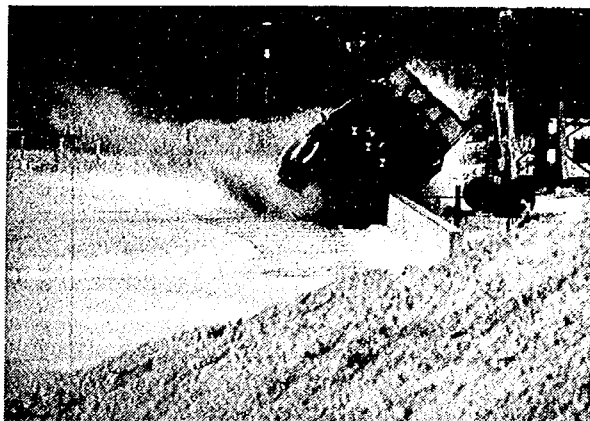
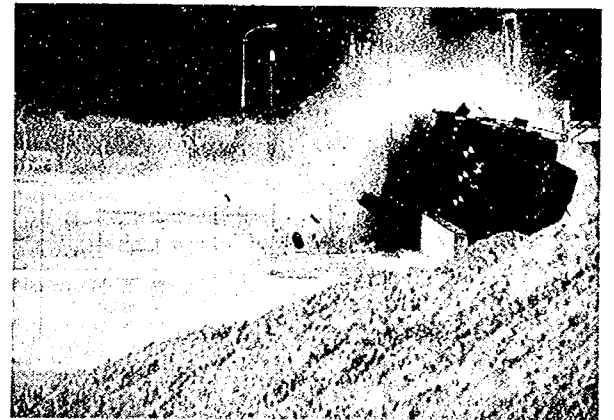
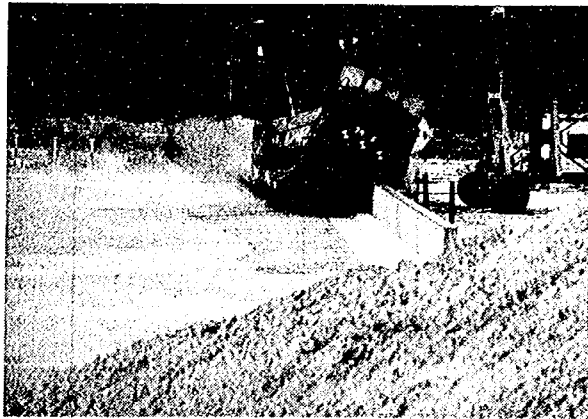
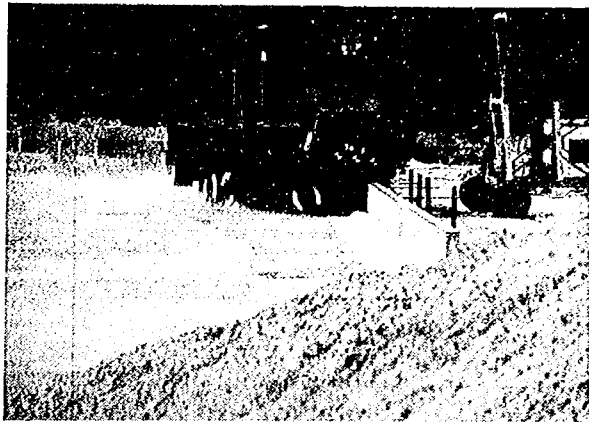
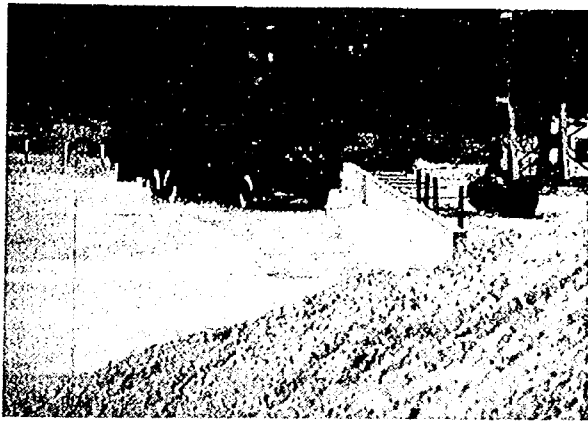


写真-5. 2 車両挙動 (実験No. 2)

- 28 -

備考 2) 加速度測定成分の X、Y、Z、はそれぞれ車両前後、左右、および上下方向を示し、計測方法は収録器を車両にダイレクトに搭載し 5 m/sec でデジタル処理したものである。

3) PC 鋼軌軸力は初期張力 150 kN (15 t) を基準点 (特) とした時の値を示す。

4) ロール角、ピッチ角及びヨー角は車両重心点の値であり、それらの基準値は右図に示す。

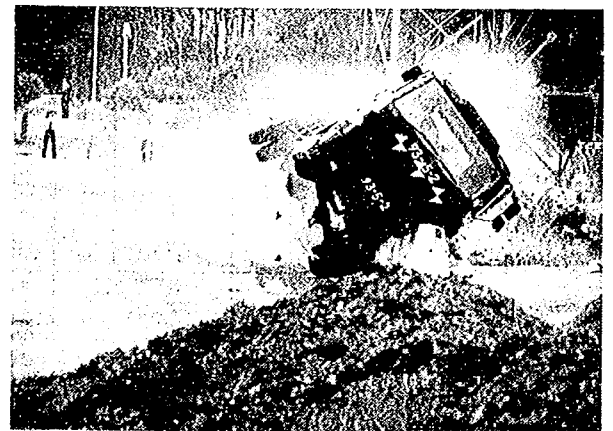
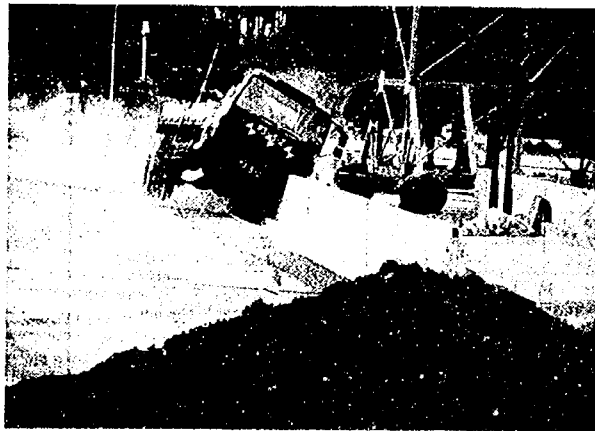
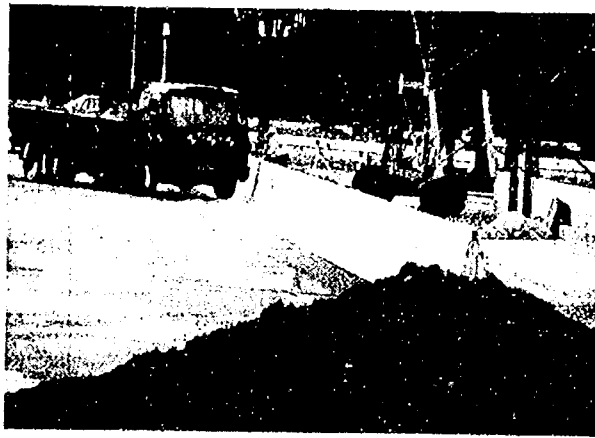


写真-5. 3 車両挙動 (実験No. 3)

表-5.4 実験総括(実験No.4)

実験番号	実験条件及び結果				離脱 角度 (度) および 離脱 速度 (km/h)	衝突車両の 最大傾斜角 および 車輪浮上り量 他	車両～ 防護柵 接触長 (m)	車両最大		車両の 挙動 〔ロール角 ピッチ角 ヨー角〕 (度)	フェンス 最大変位 (mm)	フェンス 最大残留 変位 (mm)	アスファルト 最大応力 (N/cm ²) (kgf/cm ²)	躯体部測定最大応力						損 傷 状 況	
	質量 (ton)	速 度 (km/h)	進入角 (度)	衝撃度 (kJ) (t・m)				連 結 材						鉄 筋		コンクリート 表 面 (mm)					
								PC鋼棒 (t)	CH ジョイント (t)						主鉄筋		横鉄筋				
実験 No. 4 車スロ-プ 型 大 型 貨物車	20 (20.0)	80 (80.0)	20 (20.0)	577 (58.9) (577) (58.9)	2.2° km/h 68.0 減速率 15%	防護柵側へ+ + 16.0° -  + 14.8 -  重心 + 12.0 位置 -  (cm) 車輪浮上り量 左 右 前 輪 - 56 後 輪 前 - 25 後 - 24 平均 - 24.5	16.220	車 両 重 心 X 10.1 Y 21.4 Z 4.2 運転席 ダミー 頭 部 X -5.2 Y 6.7 Z 7.4 運転席 ダミー 胸 部 X 4.9 Y 7.3 助手席 ダミー 頭 部 X -18.4 Y 101.9 Z 11.8 助手席 ダミー 胸 部 X -8.1 Y 20.5	X 10.1 Y 21.4 Z 4.2 X -5.2 Y 6.7 Z 7.4 X 4.9 Y 7.3 X -18.4 Y 101.9 Z 11.8 X -8.1 Y 20.5	ロール角 (R) 1～12 ピッチ角 (P) -3～6.7 ヨー角 (Yo) -1～25	進入側 D1 4.3 中央部 上 D2 7.97 下 D4 0 離脱側 D3 29.8	頂 部 0 FL部 1.2 <									

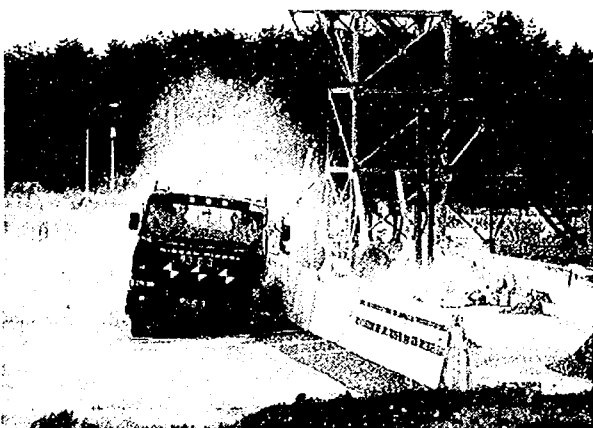
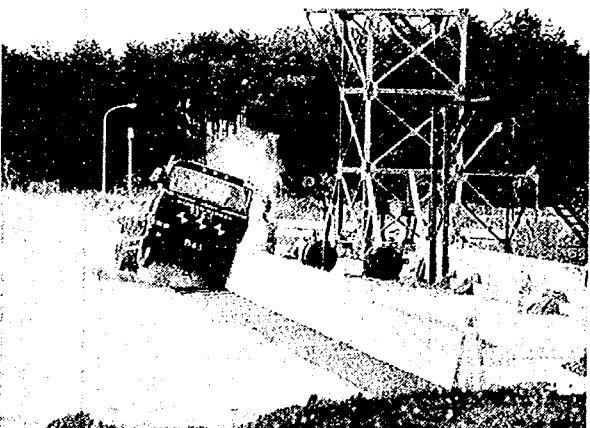
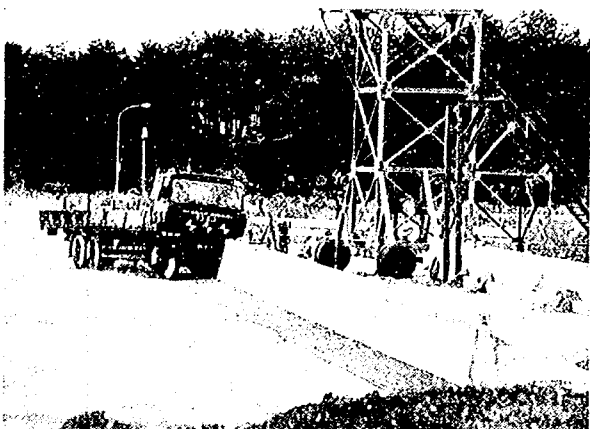
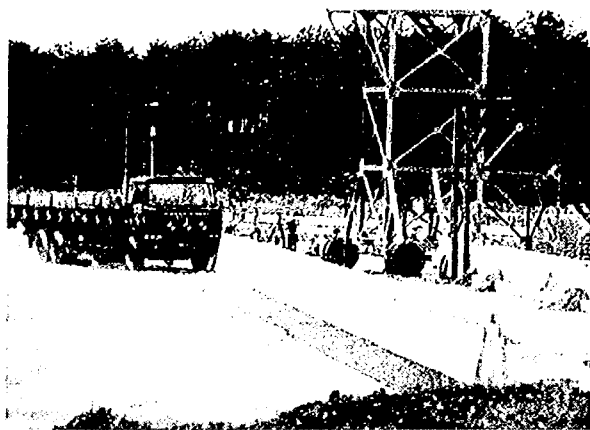


写真-5. 4 車両挙動 (実験No. 4)

表-5.5 実験総括(実験No.5)

実験番号	実験条件及び結果				離脱 角度 (度) および 離脱 速度 (km/h)	衝突車両の 最大傾斜角 および 車輪浮上り量 他	車両～ 防護柵 接触長 (m)	車両最大		車両の 挙動 (ロール角 ピッチ角 ヨー角) (度)	フェンス 最大変位 (mm)	フェンス 最大残留 変位 (mm)	アスファルト 最大応力 (N/cm ²)	躯体部測定最大応力				損傷状況				
	防護柵 形式	質量 (ton)	速度 (km/h)	進入角 (度)				加速度 (g)						連結材	鉄筋		コンクリート 表面 変面 (mm)	防護柵	車両			
															PC鋼棒 (kN)	CH ジョイント (kN)				主鉄筋	横鉄筋	
実験 No. 5 車20-7"型 小型 乗用車		1.1 (1.1)	30 (30.0)	20 (20.0)	31.8 (3.24) (31.8) (3.24)	道路側へ	2.76	車両 重心	X	11.6	ロール角 (R)	進入側	頂部						〈ひび割れ〉 特になし 〈破損〉 ロードガッタの溝端部2箇所 (車両進入側および離脱側) タイヤによる欠損または擦 傷あり。	〈車体損傷〉 ・左前バンパー、左フェン ダー凹み(70mm) ・左ボディ前から後方60cm まで平坦に潰れあり。 ・左前ドアから後部まで 潰れあり。 〈足廻り〉 ・左前輪、タイヤから取 外れ、切傷あり。(ハース ト) ・タイヤ部つぶれあり。 〈車内〉 ほとんど損傷なし。停車 時運転席ダミー頭部が助手 席ダミーの肩を打撃状態に あり。 〈走行〉 自走不可		
									Y	18.3											0	
									Z	26.2												
								(cm) 車輪浮上り量	X	-39.3	-13.0～6	0.24	中央部								F L部	
									Y	46.4												0
									Z	17.9												
								減速率 20%	X	-8.2	ピッチ角 (P)	0.34	離脱側								D3	
									Y	9.9												0.5
									Z	29.9												
								対路面着地 角度 6.0度	X	30.2	ヨー角 (Yo)	D3	0.5									
									Y	97.2												
									Z	29.9												
水平飛距離 3.02m	X	8.7	0～27	D3	0.5																	
	Y	24.8																				
	Z	29.9																				

1) 実験条件の項の()内は結果を示す。

2) 加速度測定成分のX、Y、Z、はそれぞれ 車両前後、左右および上下方向を示し、計測方法は収録器を車両にダイレクトに搭載し5 m secでデジタル処理したものである。

3) PC鋼棒軸力は初期張力150N【15t】を基準(零)とした時の値を示す。

4) ロール角、ピッチ角及びヨー角は車両重心点の値であり、それらの基準軸は右図に示す。

備考

- 1) 実験条件の項の()内は結果を示す。
- 2) 加速度測定成分のX、Y、Z、はそれぞれ車両前後、左右および上下方向を示し、計測方法は収録器を車両にダイレクトに搭載し5m/secでデジタル処理したものである。
- 3) PC鋼棒軸力は初期張力150kN【15tf】を基準(零)とした時の値を示す。
- 4) ロール角、ピッチ角及びヨー角は車両重心点の値であり、それらの基準軸は右図に示す。

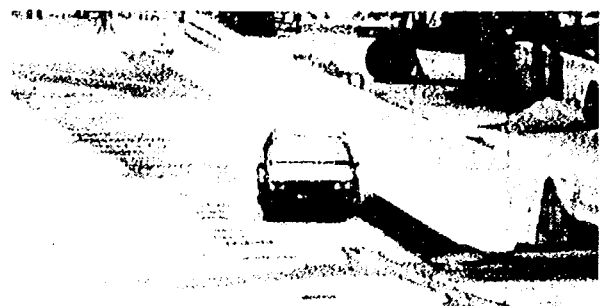
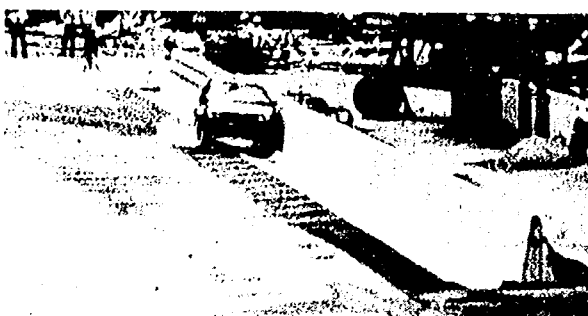
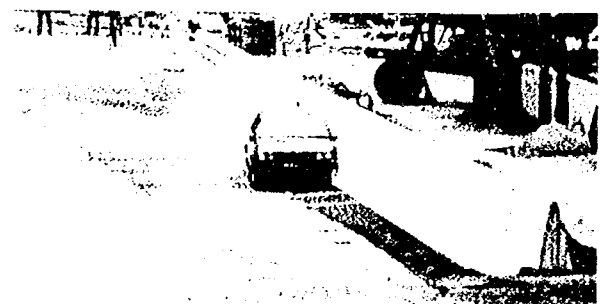
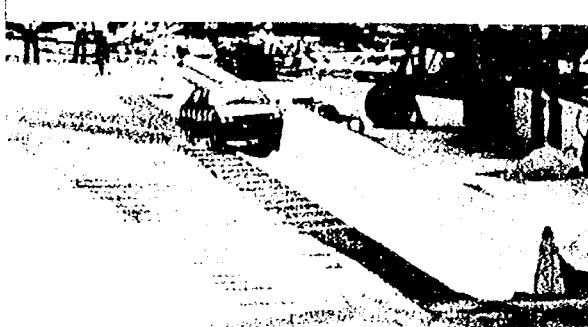
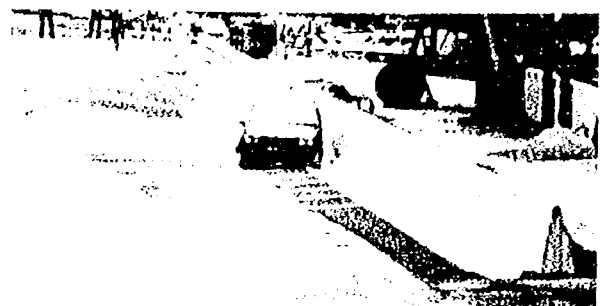
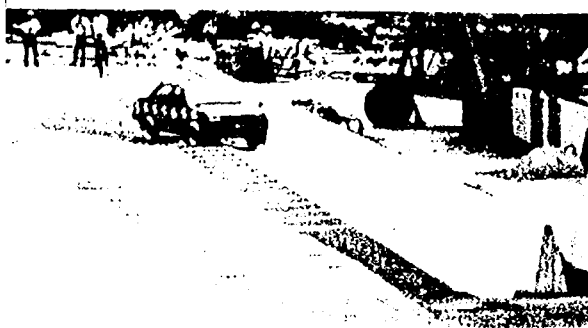
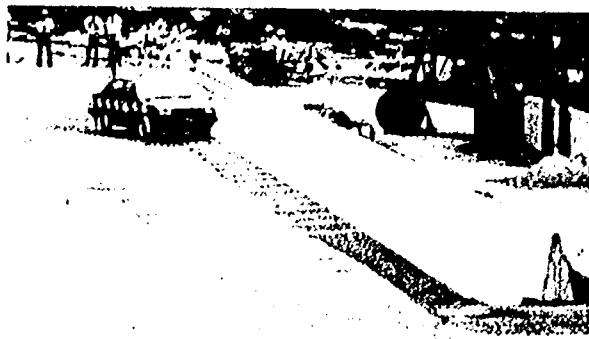


写真-5. 5 車両挙動 (実験No. 5)

— 34 —

実験番号 防護構型式	実験条件及び結果				衝突角(度) 離脱速度 (km/h)	衝突車両の最大 傾斜角及び 車輪浮き上り量	車両～防護構 接触長 (mm)	車両最大加速度 (g)	車両の 挙動(角) 〔ロール角 ピッチ角 ヨー角〕	防護構最大変位 (mm)				躯体部最大応力				基礎部最大土圧							
	質量 (ton)	速度 (km/h)	進入角 (度)	衝撃度 (kJ/m²)						変位及び 目地のズレ		残留変位		縦方向筋 (D13)		横方向筋 (D10)		PC鋼棒 軸力 (kN)	基礎部最大土圧						
														表	裏	表	裏		底面 土圧	727mm 以下土圧					
実験 No.6 単スロープ型 埋込み深さ 30cm 大型貨物車	20 (20.0)	100 (100.6)	17 (17.0)	660 {67.3} {667} {68.1}	0° km/h 34.7 減速率 15.8%	防壁側倒へ(度) 前 端 +55.0 後 端 -0.0 重 心 +53.67 位置 -0.53 車輪浮き上り量 (cm) 左 右 前 輪 -152.0 後 前 -135.0 輪 後 -140.0 平均 -137.5	33,600	車 両 重 心 合 成 X 13.5 Y -32.6 Z 17.4 32.7	ロール角 (R) -53.7° +0.53° ピッチ角 (P) +3.9° -7.9° ヨー角 (Yo) -0.35° +14.4°	直角水平方向		進 入 端		R1 1μ (16) {1.7}	—	S1 7μ (113) {11.5}	P1 4.5 {0.46}	E1 42.7 {4.36}	AS1 0.9 {0.09}						
										DH1	—	1.0	0	R2 0μ (0) {0}	—	S2 -11μ (-176) {-18.0}	P2 6.4 {0.65}	E2 25.4 {2.59}	AS2 1.8 {0.18}						
										DH2	—			R3 6μ (99) {10.1}	R3B -43μ (-708) {-72.2}	S3 -21μ (-337) {-34.4}	P3 8.7 {0.89}								
										DH3	DH8			R4 51μ (840) {85.7}	R4B -43μ (-708) {-72.2}	S4 -17μ (-273) {-27.9}	P4 0.12 {1.2}								
										DH4	DH9			最大変位付近		R5 33μ (543) {55.4}	R5B -31μ (-511) {-52.1}			S5 88μ (1580) {161}	P5 0.08 {0.8}				
										DH5	DH10	6.0	3.0	R6 0μ (0) {0}	—	S6 55μ (884) {90.2}	P6 0.08 {0.8}	E3 (-45.6) {-4.65}							
										DH6	—			R7 0μ (0) {0}	—	S7 56μ (900) {91.8}	P7 0.07 {0.7}								
										DH7-1	—			離 脱 端		S8 -21μ (-337) {-34.4}	P8 —								
										DH7-2	—			目地の水平方向のズレ		S9 -23μ (369) {-37.7}									
										DH11: -3.03 DH12: -1.06 DH13: 1.44		2.0	0	長手水平方向		鉛直方向		DV: -5.82							

損 傷 状 況	防護構	(ひびわれ) (破 損) (取 替)	・ 本体背面に2条の斜めヘアークラック ・ 目地部の数箇所にヘアークラック (表面～背面) ・ ヘアークラック延長: 27mm ・ 前後輪による削痕有、深さ20mm ・ 天端前後隅部に欠損有、33.6mm ・ 間隙延長: 6mm ・ 最大幅: 3mm
	車 両	(車両損傷) (足 廻 り) (走 行)	・ 左前バンパー、フェンダー凹み (73mm) ・ 荷台フック前より9本程度曲がり有 ・ 荷台後部および後端突起金具に擦傷有 ・ 荷台下部左側に曲がり (350mm) ・ 前車輪軸板バネ取付ボルト破断 ・ 足廻り損傷の為自定不可

備 考	1. 実験条件の項の () 内は結果を示す。 2. 加速度測定成分の X、Y、Z はそれぞれ車両前後、左右および上下方向を示し、計測方法は収録器を車両にダイレクトに搭載し 5 mm/sec でデジタル処理したものである。 3. 加速度の +、- はそれぞれ加速度及び減速度を示す。 4. 角加速度計のロール角、ピッチ角およびヨー角は車両重心の値であり、測定成分は右図に示す。 5. PC 鋼棒軸力は初期張力 290kN [30tf] を基準 (零) とした時の値を示す。 (他) 鉄筋及びコンクリートの弾性係数は次に示す。なお、各部位の応力は σ=E・ε で示される。		
-----	--	--	--

E S (D13)=18.5×10⁴N/cm² [1.68×10³kgf/cm²]
E S (D10)=16.1×10⁴N/cm² [1.64×10³kgf/cm²]
E C =3.17×10¹⁰N/cm² [0.323×10³kgf/cm²]

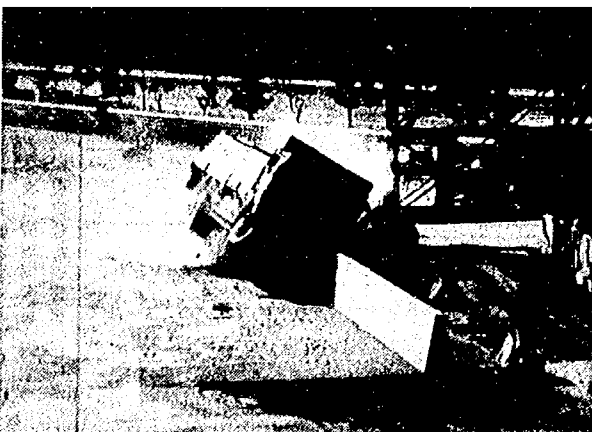
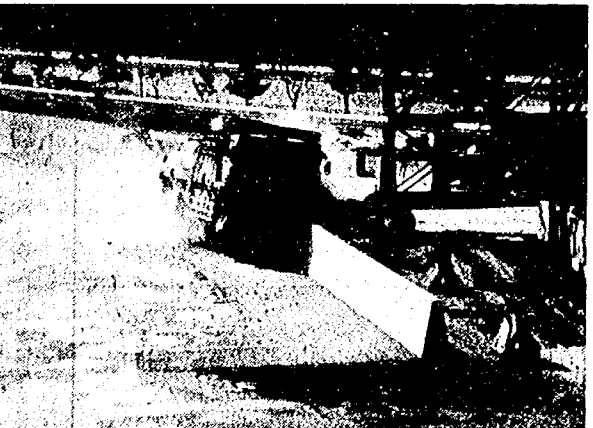
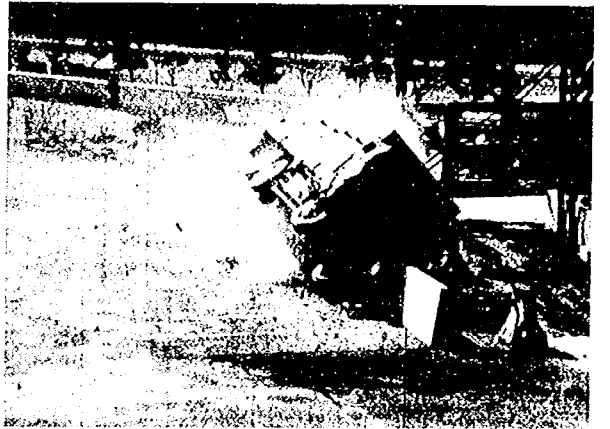
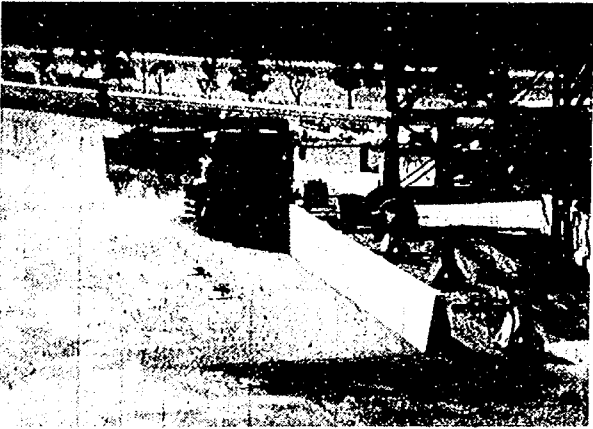
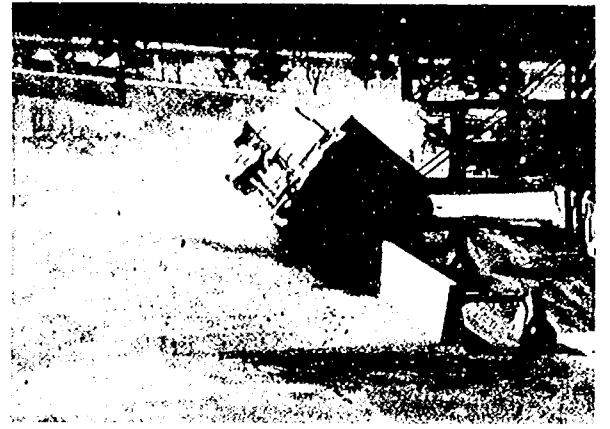
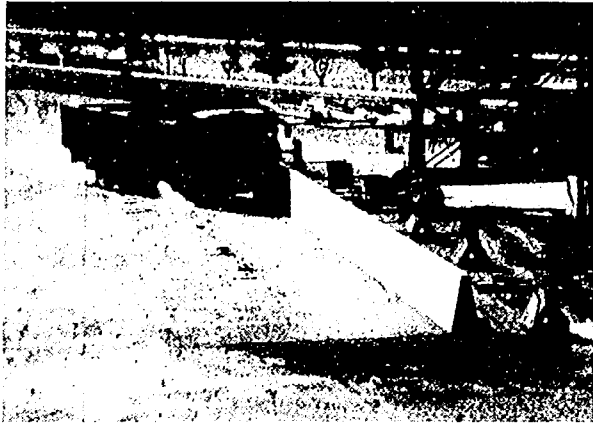


写真-5. 6 車両挙動 (実験No. 6)

表-5.7 実験総括(実験No.7)

実験番号 防護欄型式	実験条件及び結果				離脱角度 (度) 離脱速度 (km/h)	衝突車両の最大 傾斜角及び 車輪浮き上り量	車両～防護欄 接触長 (mm)	車両最大加速度 (g)	防護欄最大変位 (mm)				PC鋼棒 軸力 (kN) {tf}	損 傷 状 況																	
	質 量 (ton)	速 度 (km/h)	進入角 (度)	衝撃度 (kJ) (tf・m)					変 位 及 び 目 地 の ズ レ		残 留 変 位			防 護 欄	車 両																
									天	端	端	面																			
実験 No. 7 単スロープ型 埋込み深さ 前面：30cm 背面：10cm 大型貨物車	20 (20.0)	100 (100.0)	17 (17.0)	660 (67.3) (660) (67.3)	0° km/h 80.8 減速率 19.2 %	防護欄側へ(度) 前 端 + 40.0 — 後 端 + 32.0 — 重 心 + 36.0 位 置 — 車輪浮き上り量 (cm) <table><tr><td></td><td>左</td><td>右</td></tr><tr><td>前 輪</td><td>—</td><td>39.0</td></tr><tr><td>後 前</td><td>—</td><td>82.0</td></tr><tr><td>輪 後</td><td>—</td><td>67.0</td></tr><tr><td>平 均</td><td>—</td><td>74.5</td></tr></table>		左	右	前 輪	—	39.0	後 前	—	82.0	輪 後	—	67.0	平 均	—	74.5	34.900	車 両 重 心 合 成	X	14.9	直角水平方向	進 入 端		P1	〈ひびわれ〉 ・本体背面に2条の斜めヘアークラック ・目地の数箇所のヘアークラック再開 (表～裏) 新規無し ・同上範囲：27mm ・目地部段差：最大5mm 〈破 損〉 ・前後輪による削痕有 最大削り深さ：13mm ・継手箱底部側面コンクリート一部 欠損 3箇所 〈隙 間〉 ・範囲：51mm ・最大：9mm P7 0.5 (0.05)	〈車体損傷〉 ・左前バンパー、フィンガー凹み(62cm) ・荷台7ヵ所後輪付近まで9本有 内1本切断 ・荷台あり、重心位置付近から 後部にかけて損傷。及び突起金 具3箇所(前、中、後端)に損 傷有 ・荷台取付ボルト(4本)前方に6cm 移動 〈足廻り〉 ・タイヤ左前バースト ・前車輪軸板バネ取付ボルト 破断 〈走行〉 ・足廻り損傷の為自走不可 〈土のう〉 ・橋端から停車まで126箇、停車 付近40箇／460箇散乱
								左	右																						
							前 輪	—	39.0																						
							後 前	—	82.0																						
							輪 後	—	67.0																						
							平 均	—	74.5																						
							Y	-68.7	DH1	—	6.0	2.0	17.9 (1.83)																		
							Z	14.0	37.18	—			P2	12.3 (1.26)																	
							合成	38.8	DH2	—			P3	17.2 (1.76)																	
									32.87	—																					
									DH3	DH8																					
									37.26	13.40																					
									DH4	DH9	最大変位付近		P4																		
									48.75	22.90	13.0	9.0	5.1 (0.52)																		
									DH5	DH10			P5																		
									35.53	14.01			8.3 (0.85)																		
									DH6	—																					
									21.26	—			P6																		
									DH7-1	—			4.0 (0.41)																		
									19.01	—																					
		DH7-2	—	離 脱 端																											
		20.07	—	-4.0	1.0																										
		目地の水平方向 のズレ																													
		DH11: 1.03 DH12: - 2.44 DH13: 0.32																													
		長手水平方向																													
		DHX: - 1.33																													
		鉛直方向																													
		DV: - 3.71																													

備 考	1. 実験条件の項の()内は結果を示す。 2. 加速度測定成分のX、Y、Zはそれぞれ車両前後、左右および上下方向を示し、計測方法は収録器を車両にダイレクトに搭載し5 m/secでデジタル処理したものである。 3. 加速度の+、-はそれぞれ加速度及び減速度を示す。 4. PC鋼棒軸力は初期張力290kN(30tf)を基準(零)とした時の値を示す。
-----	---

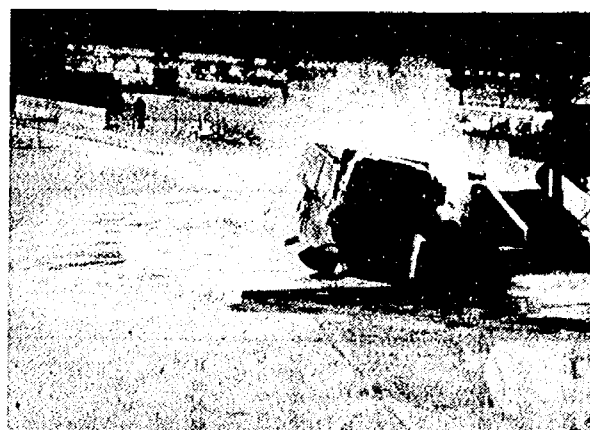
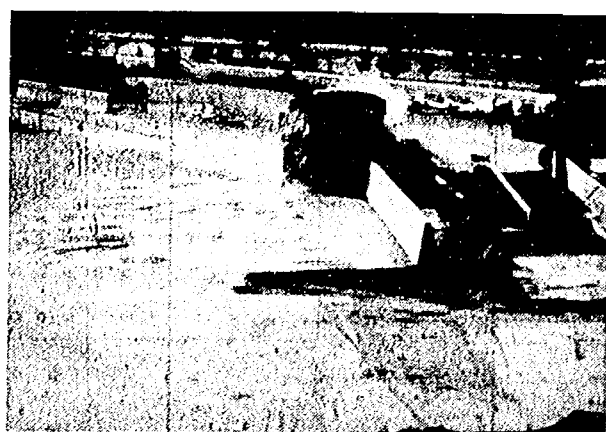
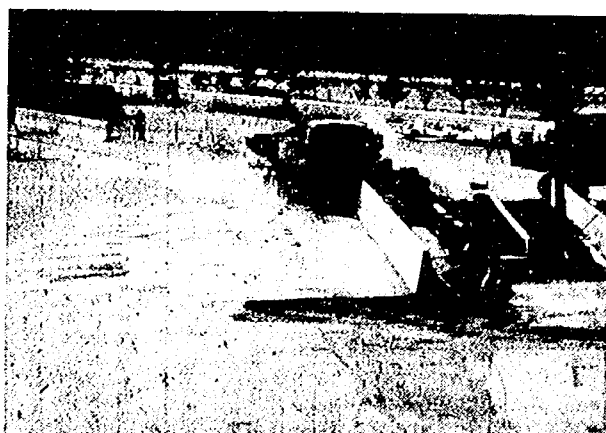
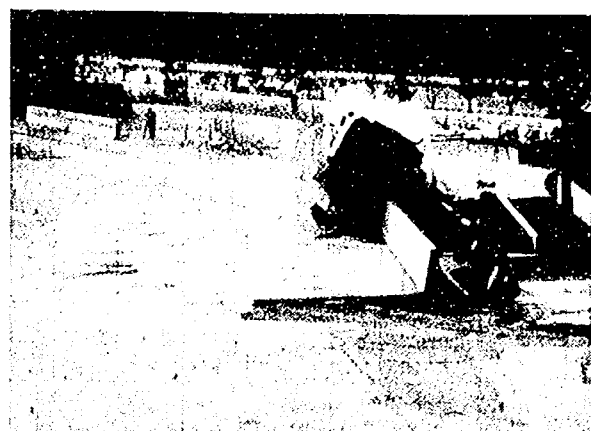
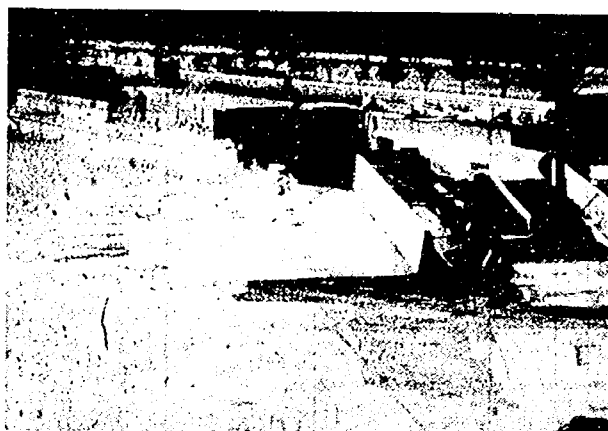
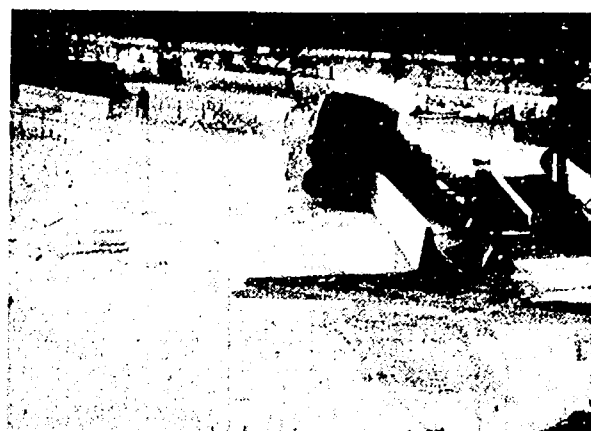
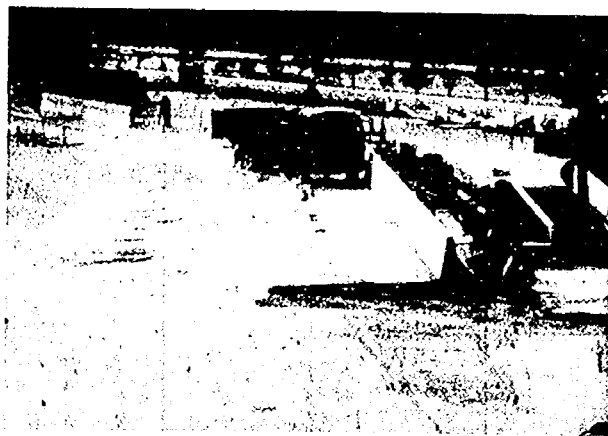


写真-5.7 車両挙動(実験No.7)

表-5.8 実験総括 (実験No.8)

実験番号 防護欄型式	実験条件及び結果				離脱角度 (度) 離脱速度 (km/h)	衝突車両の最大 傾斜角及び 車輪浮き上り量	車両～防護欄 接触長 (mm)	車両最大加速度 (g)	車両の 挙動(角) ロ-角 ピッチ角 ヨー角	防護欄最大変位 (mm)				躯体部最大応力				基礎部最大応力 他	
	質量 (ton)	速度 (km/h)	進入角 (度)	衝突度 (kJ) (t・m)						変位	残留変位	縦方向筋		横方向筋		(N/cm²) (kgf/cm²) 底面 土圧 応力			
												(D13)	(D10)	(D13)	(D10)				
実験 No.8 F型 埋込み深さ 30cm 大型貨物車	20 (20.0)	100 (101.4)	17 (17.0)	660 (67.3) (678) (69.2)	1.9° km/h 78.6 減速率 22.5%	20,180	車 向 心 合 成 101.9	ロ-角 (R) -17~1 ピッチ角 (P) -5~3 ヨー角 (Yo) -1~25	直角水平方向		進入端		R1 3.6 μ (60) (6.1)	(S1) -109 μ (-201) (-20.5)	S7 82 μ (1390) (142)	E1 7.8 (0.80)	AS1 110 (11.20)		
									* 16.7	—	+ 6	0	R2 4.9 μ (81) (8.3)	S2 -94 μ (-1600) (-163)	S8 ± 57 μ (± 98.6) (± 966)				
									24.5	—	R3 983 μ (16400) (1670)	(S3) -531 μ (-978) (-99.8)	(S9) -109 μ (-201) (-20.5)						
									* 45.0	* 3.5	R4 40 μ (666) (68)	(R4B) -66 μ (-122) (-15.8)	(S4) -84 μ (-155) (-13.3)	(S10) -84 μ (-130) (-13.3)					
									* 24.2	* 5.1	+ 34	+ 21	R5 58 μ (966) (98.6)	(R5B) -138 μ (-254) (-25.9)	(S5) -65 μ (-120) (-12.2)			S11 -72 μ (-1230) (-125)	
									* 19.1	9.0	+ 29	* 計測 最大値	R6 28.3 μ (471) (48.1)	(R6B) -121 μ (-222) (-22.7)	(S6) -58 μ (-1070) (-109)				
									DH7-1	—	離 脱 端	+ 3	0	R7 43.6 μ (726) (74.1)	(R7B) -121 μ (-222) (-22.7)			(S7) -58 μ (-1070) (-109)	
									DH7-2	* 変位計 破 損	R8 39 μ (650) (66.3)	(R8B) -121 μ (-222) (-22.7)	(S8) -58 μ (-1070) (-109)						
鉛 直 方 向	—	R9 39 μ (650) (66.3)	(R9B) -121 μ (-222) (-22.7)	(S9) -58 μ (-1070) (-109)															
DV	—	R10 39 μ (650) (66.3)	(R10B) -121 μ (-222) (-22.7)	(S10) -58 μ (-1070) (-109)															
* -16.5	—	R11 39 μ (650) (66.3)	(R11B) -121 μ (-222) (-22.7)	(S11) -58 μ (-1070) (-109)															
—	—	R12 39 μ (650) (66.3)	(R12B) -121 μ (-222) (-22.7)	(S12) -58 μ (-1070) (-109)															
—	—	R13 39 μ (650) (66.3)	(R13B) -121 μ (-222) (-22.7)	(S13) -58 μ (-1070) (-109)															
—	—	R14 39 μ (650) (66.3)	(R14B) -121 μ (-222) (-22.7)	(S14) -58 μ (-1070) (-109)															
—	—	R15 39 μ (650) (66.3)	(R15B) -121 μ (-222) (-22.7)	(S15) -58 μ (-1070) (-109)															
—	—	R16 39 μ (650) (66.3)	(R16B) -121 μ (-222) (-22.7)	(S16) -58 μ (-1070) (-109)															
—	—	R17 39 μ (650) (66.3)	(R17B) -121 μ (-222) (-22.7)	(S17) -58 μ (-1070) (-109)															
—	—	R18 39 μ (650) (66.3)	(R18B) -121 μ (-222) (-22.7)	(S18) -58 μ (-1070) (-109)															
—	—	R19 39 μ (650) (66.3)	(R19B) -121 μ (-222) (-22.7)	(S19) -58 μ (-1070) (-109)															
—	—	R20 39 μ (650) (66.3)	(R20B) -121 μ (-222) (-22.7)	(S20) -58 μ (-1070) (-109)															
—	—	R21 39 μ (650) (66.3)	(R21B) -121 μ (-222) (-22.7)	(S21) -58 μ (-1070) (-109)															
—	—	R22 39 μ (650) (66.3)	(R22B) -121 μ (-222) (-22.7)	(S22) -58 μ (-1070) (-109)															
—	—	R23 39 μ (650) (66.3)	(R23B) -121 μ (-222) (-22.7)	(S23) -58 μ (-1070) (-109)															
—	—	R24 39 μ (650) (66.3)	(R24B) -121 μ (-222) (-22.7)	(S24) -58 μ (-1070) (-109)															
—	—	R25 39 μ (650) (66.3)	(R25B) -121 μ (-222) (-22.7)	(S25) -58 μ (-1070) (-109)															
—	—	R26 39 μ (650) (66.3)	(R26B) -121 μ (-222) (-22.7)	(S26) -58 μ (-1070) (-109)															
—	—	R27 39 μ (650) (66.3)	(R27B) -121 μ (-222) (-22.7)	(S27) -58 μ (-1070) (-109)															
—	—	R28 39 μ (650) (66.3)	(R28B) -121 μ (-222) (-22.7)	(S28) -58 μ (-1070) (-109)															
—	—	R29 39 μ (650) (66.3)	(R29B) -121 μ (-222) (-22.7)	(S29) -58 μ (-1070) (-109)															
—	—	R30 39 μ (650) (66.3)	(R30B) -121 μ (-222) (-22.7)	(S30) -58 μ (-1070) (-109)															
—	—	R31 39 μ (650) (66.3)	(R31B) -121 μ (-222) (-22.7)	(S31) -58 μ (-1070) (-109)															
—	—	R32 39 μ (650) (66.3)	(R32B) -121 μ (-222) (-22.7)	(S32) -58 μ (-1070) (-109)															
—	—	R33 39 μ (650) (66.3)	(R33B) -121 μ (-222) (-22.7)	(S33) -58 μ (-1070) (-109)															
—	—	R34 39 μ (650) (66.3)	(R34B) -121 μ (-222) (-22.7)	(S34) -58 μ (-1070) (-109)															
—	—	R35 39 μ (650) (66.3)	(R35B) -121 μ (-222) (-22.7)	(S35) -58 μ (-1070) (-109)															
—	—	R36 39 μ (650) (66.3)	(R36B) -121 μ (-222) (-22.7)	(S36) -58 μ (-1070) (-109)															
—	—	R37 39 μ (650) (66.3)	(R37B) -121 μ (-222) (-22.7)	(S37) -58 μ (-1070) (-109)															
—	—	R38 39 μ (650) (66.3)	(R38B) -121 μ (-222) (-22.7)	(S38) -58 μ (-1070) (-109)															
—	—	R39 39 μ (650) (66.3)	(R39B) -121 μ (-222) (-22.7)	(S39) -58 μ (-1070) (-109)															
—	—	R40 39 μ (650) (66.3)	(R40B) -121 μ (-222) (-22.7)	(S40) -58 μ (-1070) (-109)															
—	—	R41 39 μ (650) (66.3)	(R41B) -121 μ (-222) (-22.7)	(S41) -58 μ (-1070) (-109)															
—	—	R42 39 μ (650) (66.3)	(R42B) -121 μ (-222) (-22.7)	(S42) -58 μ (-1070) (-109)															
—	—	R43 39 μ (650) (66.3)	(R43B) -121 μ (-222) (-22.7)	(S43) -58 μ (-1070) (-109)															
—	—	R44 39 μ (650) (66.3)	(R44B) -121 μ (-222) (-22.7)	(S44) -58 μ (-1070) (-109)															
—	—	R45 39 μ (650) (66.3)	(R45B) -121 μ (-222) (-22.7)	(S45) -58 μ (-1070) (-109)															
—	—	R46 39 μ (650) (66.3)	(R46B) -121 μ (-222) (-22.7)	(S46) -58 μ (-1070) (-109)															
—	—	R47 39 μ (650) (66.3)	(R47B) -121 μ (-222) (-22.7)	(S47) -58 μ (-1070) (-109)															
—	—	R48 39 μ (650) (66.3)	(R48B) -121 μ (-222) (-22.7)	(S48) -58 μ (-1070) (-109)															
—	—	R49 39 μ (650) (66.3)	(R49B) -121 μ (-222) (-22.7)	(S49) -58 μ (-1070) (-109)															
—	—	R50 39 μ (650) (66.3)	(R50B) -121 μ (-222) (-22.7)	(S50) -58 μ (-1070) (-109)															
—	—	R51 39 μ (650) (66.3)	(R51B) -121 μ (-222) (-22.7)	(S51) -58 μ (-1070) (-109)															
—	—	R52 39 μ (650) (66.3)	(R52B) -121 μ (-222) (-22.7)	(S52) -58 μ (-1070) (-109)															
—	—	R53 39 μ (650) (66.3)	(R53B) -121 μ (-222) (-22.7)	(S53) -58 μ (-1070) (-109)															
—	—	R54 39 μ (650) (66.3)	(R54B) -121 μ (-222) (-22.7)	(S54) -58 μ (-1070) (-109)															
—	—	R55 39 μ (650) (66.3)	(R55B) -121 μ (-222) (-22.7)	(S55) -58 μ (-1070) (-109)															
—	—	R56 39 μ (650) (66.3)	(R56B) -121 μ (-222) (-22.7)	(S56) -58 μ (-1070) (-109)															
—	—	R57 39 μ (650) (66.3)	(R57B) -121 μ (-222) (-22.7)	(S57) -58 μ (-1070) (-109)															
—	—	R58 39 μ (650) (66.3)	(R58B) -121 μ (-222) (-22.7)	(S58) -58 μ (-1070) (-109)															
—	—	R59 39 μ (650) (66.3)	(R59B) -121 μ (-222) (-22.7)	(S59) -58 μ (-1070) (-109)															
—	—	R60 39 μ (650) (66.3)	(R60B) -121 μ (-222) (-22.7)	(S60) -58 μ (-1070) (-109)															
—	—	R61 39 μ (650) (66.3)	(R61B) -121 μ (-222) (-22.7)	(S61) -58 μ (-1070) (-109)															
—	—	R62 39 μ (650) (66.3)	(R62B) -121 μ (-222) (-22.7)	(S62) -58 μ (-1070) (-109)															
—	—	R63 39 μ (650) (66.3)	(R63B) -121 μ (-222) (-22.7)	(S63) -58 μ (-1070) (-109)															
—	—	R64 39 μ (650) (66.3)	(R64B) -121 μ (-222) (-22.7)	(S64) -58 μ (-1070) (-109)															
—	—	R65 39 μ (650) (66.3)	(R65B) -121 μ (-222) (-22.7)	(S65) -58 μ (-1070) (-109)															
—	—	R66 39 μ (650) (66.3)	(R66B) -121 μ (-222) (-22.7)	(S66) -58 μ (-1070) (-109)															
—	—	R67 39 μ (650) (66.3)	(R67B) -121 μ (-222) (-22.7)	(S67) -58 μ (-1070) (-109)															
—	—	R68 39 μ (650) (66.3)	(R68B) -121 μ (-222) (-22.7)	(S68) -58 μ (-1070) (-109)															
—	—	R69 39 μ (650) (66.3)	(R69B) -121 μ (-222) (-22.7)	(S69) -58 μ (-1070) (-109)															
—	—	R70 39 μ (650) (66.3)	(R70B) -121 μ (-222) (-22.7)	(S70) -58 μ (-1070) (-109)															
—	—	R71 39 μ (650) (66.3)	(R71B) -121 μ (-222) (-22.7)	(S71) -58 μ (-1070) (-109)															
—	—	R72 39 μ (650) (66.3)	(R72B) -121 μ (-222) (-22.7)	(S72) -58 μ (-1070) (-109)															
—	—	R73 39 μ (650) (66.3)	(R73B) -121 μ (-222) (-22.7)	(S73) -58 μ (-1070) (-109)															
—	—	R74 39 μ (650) (66.3)	(R74B) -121 μ (-222) (-22.7)	(S74) -58 μ (-1070) (-109)															
—	—	R75 39 μ (650) (66.3)	(R75B) -121 μ (-222) (-22.7)	(S75) -58 μ (-1070) (-109)															
—	—	R76 39 μ (650) (66.3)	(R76B) -121 μ (-222) (-22.7)	(S76) -58 μ (-1070) (-109)															
—	—	R77 39 μ (650) (66.3)	(R77B) -121 μ (-222) (-22.7)	(S77) -58 μ (-1070) (-109)															
—	—	R78 39 μ (650) (66.3)	(R78B) -121 μ (-222) (-22.7)	(S78) -58 μ (-1070) (-109)															
—	—	R79 39 μ (650) (66.3)	(R79B) -121 μ (-222) (-22.7)	(S79) -58 μ (-1070) (-109)															
—	—	R80 39 μ (650) (66.3)	(R80B) -121 μ (-222) (-22.7)	(S80) -58 μ (-1070) (-109)															
—	—	R81 39 μ (650) (66.3)	(R81B) -121 μ (-222) (-22.7)	(S81) -58 μ (-1070) (-109)															
—	—	R82 39 μ (650) (66.3)	(R82B) -121 μ (-222) (-22.7)	(S82) -58 μ (-1070) (-109)															
—	—	R83 39 μ (650) (66.3)	(R83B) -121 μ (-222) (-22.7)	(S83) -58 μ (-1070) (-109)															
—	—	R84 39 μ (650) (66.3)	(R84B) -121 μ (-222) (-22.7)	(S84) -58 μ (-1070) (-109)															
—	—	R85 39 μ (650) (66.3)	(R85B) -121 μ (-222) (-22.7)	(S85) -58 μ (-1070) (-109)															
—	—	R86 39 μ (650) (66.3)	(R86B) -121 μ (-222) (-22.7)	(S86) -58 μ (-1070) (-109)															
—	—	R87 39 μ (650) (66.3)	(R87B) -121 μ (-222) (-22.7)	(S87) -58 μ (-1070) (-109)															
—	—	R88 39 μ (650) (66.3)	(R88B) -121 μ (-222) (-22.7)	(S88) -58 μ (-1070) (-109)															
—	—	R89 39 μ (650) (66.3)	(R89B) -121 μ (-222) (-22.7)	(S89) -58 μ (-1070) (-109)															
—	—	R90 39 μ (650) (66.3)	(R90B) -121 μ (-222) (-22.7)	(S90) -58 μ (-1070) (-109)															
—	—	R91 39 μ (650) (66.3)	(R91B) -121 μ (-222) (-22.7)	(S91) -58 μ (-1070) (-109)															
—	—	R92 39 μ (650) (66.3)</																	

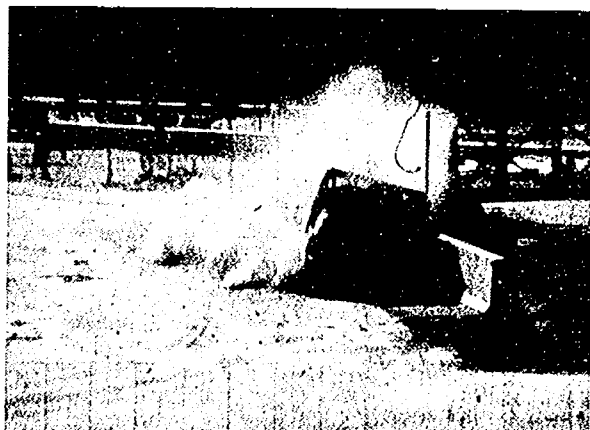
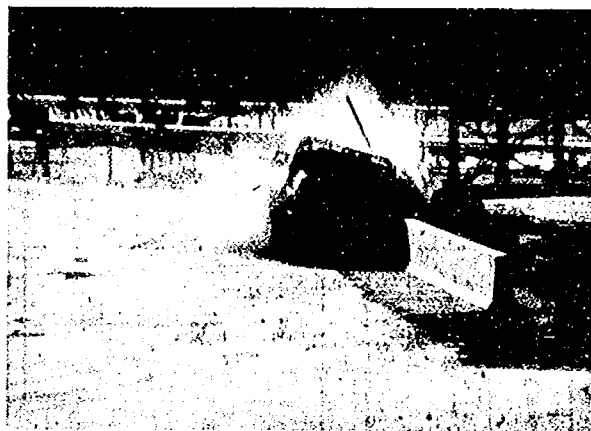
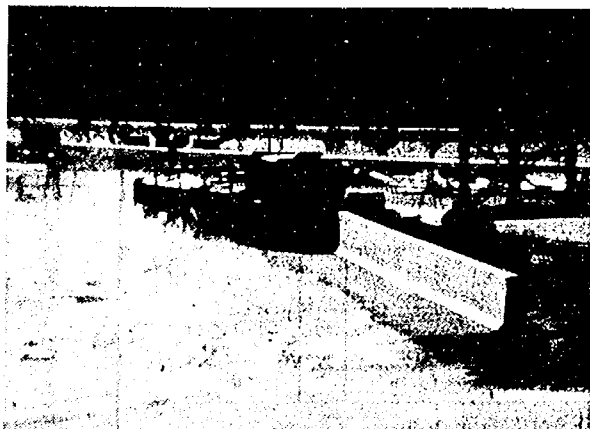


写真-5. 8 車両挙動 (実験No. 8)

表-5.9 実験総括(実験No.9)

実験番号 防護柵型式	実験条件及び結果				離脱角度 (度) 離脱速度 (km/h)	衝突車両の最大 傾斜角及び 車輪浮き上り量	車両～防護柵 接触長 (mm)	車両最大加速度 (g)	防護柵最大変位 (mm)		損 傷 状 況							
	質量 (ton)	速 度 (km/h)	進入角 (度)	衝撃度 (kJ) (t・f・m)					変 位 (高速写真)	残 留 変 位		防 護 柵	車 両					
										天 端	舗 装 面							
実験 No. 9 F 型 埋込み深さ 前面：30cm 背面：0cm 大型貨物車	20 (20.0)	100 (101.2)	17 (17.0)	660 (67.3) (667) (68.1)	0° km/h 77.8 減速率 23.1%	防護柵側へ(度)		22,360	車 X -10.1 同 Y 51.2 重 Z 8.8 心 合成 51.2	直角水平方向 FD1 (進入側) カメラの視界 外の為、 解析不可	進 入 端		〈ひび割れ〉 ・形態：曲げせん断 ・範囲 (表裏)：23mに渡って新・旧数条 ・最大段差：d=25mm ・最大ひびわれ巾：W=60mm 〈破損〉 ・前後輪による削痕有り、深さ30mm ・剥離 2ヶ所 鉄筋露出 1ヶ所 〈隙間〉 ・範囲：50mm ・最大：240mm	〈本体損傷〉 ・左前バンパー、左フェンダー凹み(65cm) ・助手席側ガラス窓フレーム突出 ・左足廻りのぞき窓ガラス破損 ・左あおり左側に移動(22cm) ・左ボディ、及び突起金具損傷有り 〈足廻り〉 ・左前輪外端後方へ90cm、 右前輪外端前方へ40cm移動 ・左前輪軸板バネ取付ボルト破損 ・左後前輪ホイール変形大 ・左後前輪タイヤバースト 〈走行〉 ・足廻り損傷の為自走不可				
						前 端	+				20.0	FD2 (衝突付近) 324			最大変位付近	+ 294	+ 210	
							-				1.0							
						後 端	+				23.0	FD3 (離脱側) 281			離 脱 端	+ 2	+ 2	
							-				—							
						重 心	+				22.0	FD2 (衝突付近) 324			最大変位付近	+ 294	+ 210	
						位 置	-				—							
						車輪浮き上り量 (cm)									FD2 (衝突付近) 324	最大変位付近	+ 294	+ 210
							左				右				FD2 (衝突付近) 324	最大変位付近	+ 294	+ 210
						前 輪	20				60.0							
						後 前	-				80.0				FD2 (衝突付近) 324	最大変位付近	+ 294	+ 210
						輪 後	-				85.0							
						平 均	-				82.5				FD2 (衝突付近) 324	最大変位付近	+ 294	+ 210

備 考	1. 実験条件の項の () 内は結果を示す。													
	2. 加速度測定成分のX、Y、Zはそれぞれ車両前後、左右および上下方向を示し、計測方法は収録器を車両にダイレクトに搭載し5m/secでデジタル処理したものである。													
	3. 防護柵の変位は“変位測定板”による。													

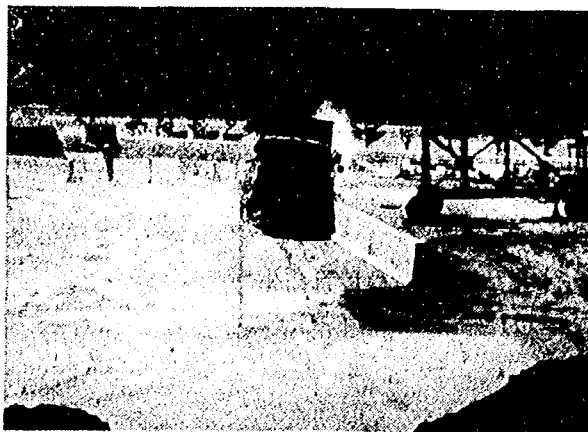
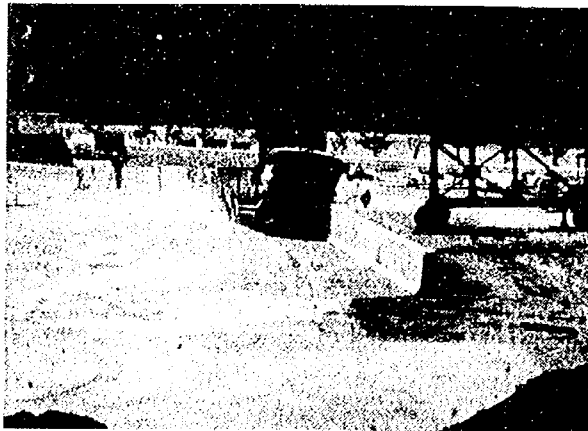
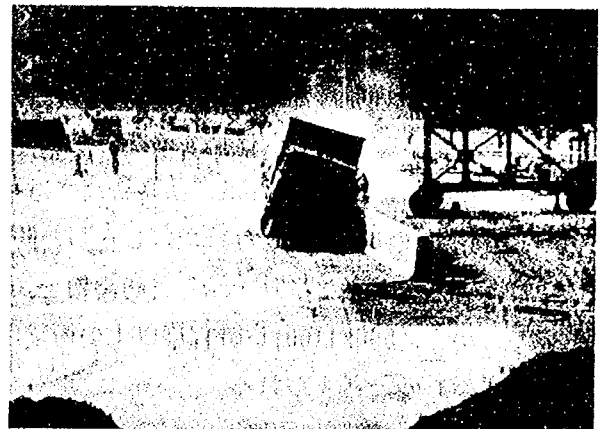


写真-5.9 車両挙動(実験No.9)

5. 2 考察

5. 2. 1 衝突条件と車両の誘導性

大型車については、計8回の実験を行ったが、このうち車両が誘導されなかった実験は1件（実験No. 2）あった。この実験では、20トン車を速度100km/h、角度23度、衝撃度1180kJ {120tf·m}で衝突させているが、衝突時の車両の挙動をみると、防護柵が低いために車両荷台を抑える高さがなく、荷台のねじれによって柵外に飛び出し、転倒している。すなわち、衝撃度が大きくなると貨物車等の場合車体のねじれが大きくなり、荷台を保持し荷台に作用する遠心荷重を受け持てるだけの防護柵高さがないと、車両の転倒は防げないことが明らかである。

また、柵外に飛び出すことはないが、車両が柵上横転のまま正常誘導しない実験が2件（実験No. 3および実験No. 6）あった。実験No. 3は、防護柵高さ1mの単スロープ型防護柵に20トン車を速度80km/h、角度20度、衝撃度580kJ {59tf·m}で衝突させたものであるが、車体本体は確実に保持したものの荷台を抑えるだけの高さがなく、荷台のねじれが大きくなって、防護柵に寄りかかったまま進行し、正常の姿勢に戻らなかったものと推定される。従って、荷台を保持する高さが確保されれば、車体は正常姿勢に復元したことが予想される。同じく車両が横転した実験No. 6は、防護柵高さは1.1mあったが、車両の重心位置が比較的高く、供試体設置区間を過ぎて路上横転の結果となった。しかし、防護柵上部が荷台部を保持したため、車両は一度大きく傾いた後正常姿勢へ復元する挙動を示し、防護柵延長が長ければ、正常誘導されたものと推定される。

以上のことから、590kJ {60tf·m}程度以上の衝撃度については、防護柵高さが1.1m程度以上あれば車両を円滑に誘導できるものと考えられる。

5. 2. 2 形状による比較

直壁型の実験を除き、単スロープ型、F型によらず基本的には以下のような現象で車両は誘導され、いずれもスロープを有する斜面形状によって衝突エネルギーを上方向に分散させる効果は得られていると考えられる。

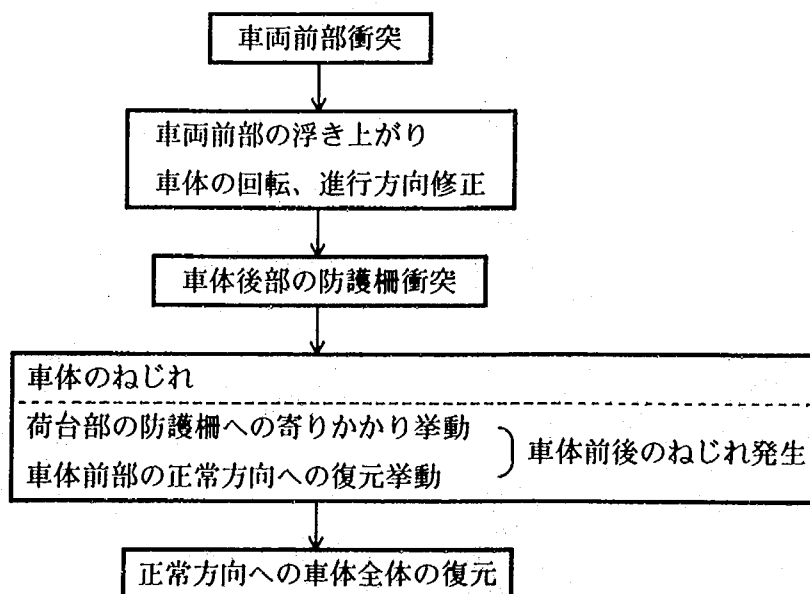


図-5. 1 防護柵への衝突と車両挙動

5. 2. 3 施工方法による比較

(1) 施工方法による比較

今回の実験では、プレキャストコンクリート製防護柵（単スローブ型）と現場打ちコンクリート製防護柵（F型）の2種類を用いて実験を行った。

プレキャストコンクリート製防護柵は実験No. 3～7で用いられたが、第4章でも述べたとおり、上部にプレストレスを入れ防護柵の一体化を図っている。実験結果からみると、プレキャストで最も大きな衝撃を与えた実験No. 6でもヘアークラックが発生しているのみであり、強度としては十分満足するものであった。実験状況から、衝突荷重は防護柵に局部的な曲げを発生させているものと考えられ、この曲げに対してはプレキャストコンクリート製防護柵が道路軸方向にプレストレスを与えている効果が現れているものと判断される。これに対して今回実験を行った現場打ちコンクリート製防護柵の実験No. 8は、車両衝突によって衝突箇所でも局所破壊した。この破壊は、前輪衝突時の前輪軸の押し抜きの集中荷重と荷台衝突時の防護柵上部への局部的曲げ荷重によるものである。これまで防護柵の設計は、防護柵全体に対して等分布荷重が作用するとし、擁壁等の設計と同様に取り扱われていることから、車両衝突のような局部荷重に対応できていないのが、実験No. 8で破壊した大きな要因と考えられ、設計方法の考え方について再整理が必要と考えられる。

(2) プレキャストコンクリート製防護柵のプレストレス

実験No. 3～7については、プレキャストコンクリート製防護柵の天端に長手方向にP C鋼棒を通し、これにプレストレスを加えて防護柵全体の一体化を図っている。特に実験No. 3、4、6及び7は、大型車衝突による防護柵変形に着目し計測を行った（実験No. 5は乗用車）。

実験におけるプレストレスの比較を行ったものが表－5. 10である。

表－5. 10 各実験条件と変形量との関係

実験番号		No. 3	No. 4	No. 6	No. 7
衝撃度		580kJ {59tf・m}	580kJ {59tf・m}	660kJ {67tf・m}	660kJ {67tf・m}
プレストレス		150kN {15tf}	200kN {20tf}	290kN {30tf}	290kN {30tf}
PC鋼棒の発生軸力		11kN {1.1tf}	23kN {2.3tf}	90kN {0.9tf}	18kN {1.8tf}
防護柵高さ	前面側	1.0m	1.1m	1.1m	1.1m
	背面側	1.0m	1.5m	1.1m	1.3m
背面埋込み深さ		0.55m	0.45m	0.30m	0.10m
最大変位量		48mm	30mm	10mm	50mm
残留変位		無し	無し	6mm	10mm

基本的には、プレストレスが大きくなると防護柵の変形は少なくなるものと考えられる。表では、衝撃度、防護柵の埋込み深さや高さなどの衝突条件が異なるため、プレストレスと防護柵の変形との関係は明確になっていない。しかし、同じ衝撃度で実験した実験No. 3とNo. 4を比較するとわかるように、実験No. 4は実験No. 3よりプレストレスを大きくしているため、防護柵高さや埋込み深さで不利な条件であったにもかかわらず変位量は少なくなっており、プレストレスの効果が示されている。

また660kJ{67tf・m)のような高い衝撃度に対しては、埋込み深さを浅くするとプレストレスを290kN{30tf)としても残留変位が残るが、この残留変位は修復を必要とするような大きなものではなかった。

一連のプレキャストコンクリート製防護柵の衝突実験は、約50mの実験用連続供試体壁であること、P C鋼棒のひずみ測定ゲージ貼り付けが簡単に行えることなどの理由から個々のブロック間カップラー連結によるP C鋼棒方式にて実施した。

・ 実用にしては、P C鋼材の許容引張強度、降伏点強度などが同等以上を保有し、防護柵として構造性能が同等であり、またP C鋼材配置の簡素化、施工の省力化が図れることなどの有利性を持ったP C鋼材より線方式を採用することもできる。

5. 2. 4 乗員の安全性

乗員の安全性を評価するために行った実験は、単スロープ型に対する実験No. 5である。

車両に発生した加速度や、ダミーに発生した加速度等について評価すると以下のとおりである。

評価としては、ほとんどの評価基準で安全と評価される範囲内にあり、衝突速度80km/hでの乗員の安全性はほぼ確保されているものと判断される。

表－5. 11 乗員の安全性評価に関する加速度計測結果

評価項目		実測値	評価基準 ⁶⁾		備考
			推奨値	限界値	
車両 加 速 度	10ms移動平均値(g)	19.5	15	20	X, Y方向の合成値
	50ms移動平均値(g)	7.1	18	25	X, Y, Z方向の合成値
	AIS値	0.82	1.0	1.4	X, Y, Z方向の合成加速度を処理
	実効値	8.0	4		X, Y, Z方向の合成加速度を処理
ダ ミ ー 加 速 度	運転席・HIC値	225	1000		X, Y, Z方向の合成加速度を処理
	運転席・胸部(g)	12.8	60		X, Y方向の合成加速度
	助手席・HIC値	469	1000		X, Y, Z方向の合成加速度を処理
	助手席・胸部	26.3	60		X, Y方向の合成加速度

第6章 衝突荷重、車両挙動解析

本研究の目的であるコンクリート製防護柵の設計手法を確立するためには、衝突荷重を把握することが必要である。衝突荷重は、車両が防護柵に衝突した際に作用する荷重であり、衝突時の前面部挙動からみて局部作用荷重として取り扱うことが妥当と考えられる。設計に用いる衝突荷重を設定する場合、既定の設計条件（衝撃度：衝突速度、角度、質量）や防護柵の形状などから推定できなければならない。そこで、本章では、図-6.1に示す解析フローにしたがって、まず衝突実験における構造体の変形挙動などの結果と従来から構造物の力学・変位解析等に一般的に用いられているFEMによる弾性解析結果とを比較検討して、衝突荷重を推定するとともに、解析結果の妥当性もあわせて確認する。さらに、衝突荷重を力積運動方程式から算出する方法を検討し、方程式によって導かれる衝突荷重とFEM解析結果との整合を図って、衝突荷重推定の一般化を行う。

また、車両の転倒挙動に大きく影響する防護柵の高さについても、車両の挙動解析を行うことによって必要高さの検討を行う。

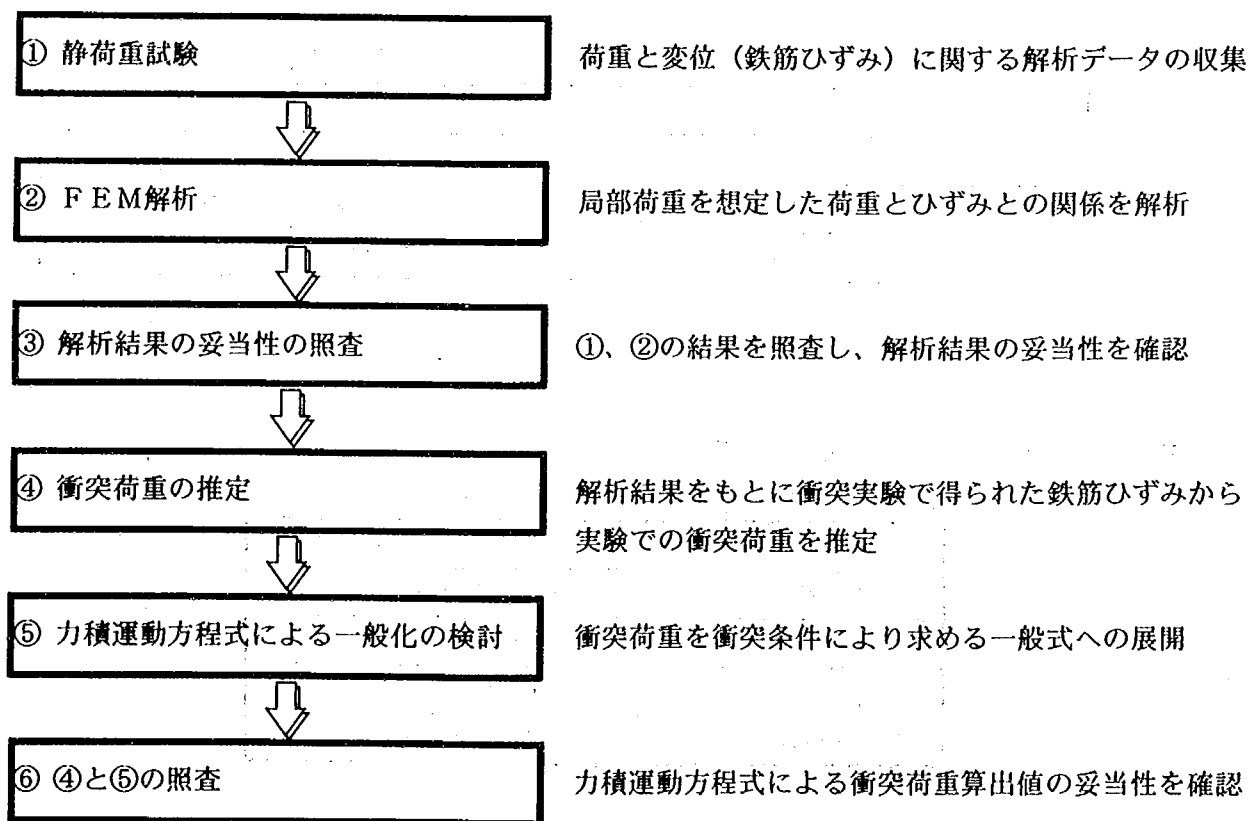


図-6.1 衝突荷重の解析フロー

6.1 実験による衝突荷重の解析

本解析は、FEMによる弾性解析モデルの妥当性を検証し、その上で実車衝突実験で得られた変形挙動データなどに基づいて、その衝突荷重を推定することを目的とする。

6.1.1 静荷重試験

(1) 実験目的

防護柵に静荷重を載荷し、供試体各部に発生する変形分布を調べることによって、周辺地盤の転倒に対する抵抗力および防護柵挙動等を把握し、解析のための基礎資料を得ることを目的とする。

(2) 実験概要

衝突実験で、目視観察の結果全体的に明確な塑性変形のなかった“単スロープ型”実車実験用供試体について、衝突実験終了後、躯体本体に静荷重を載荷した。これによって供試体各部に発生した変形量を調べ、載荷時の挙動（滑動かまたは転倒か）等を観察した。

1) 実験条件と供試体の種類

表－6. 1に示すように背面の埋込み深さ30cm、10cmおよび0cmの3ケースについて、衝突実験終了後の供試体を用いて実施した。

表－6. 1 静荷重試験の試験条件と供試体の種類

ケース	背面埋込み深さ(cm)	その他	
1	30	P C鋼棒軸力：290kN {30tf}	防護柵長：51m
2	10		
3	0		

2) 測定内容

測定項目を表－6. 2に、測定位置を図－6. 2に示す。

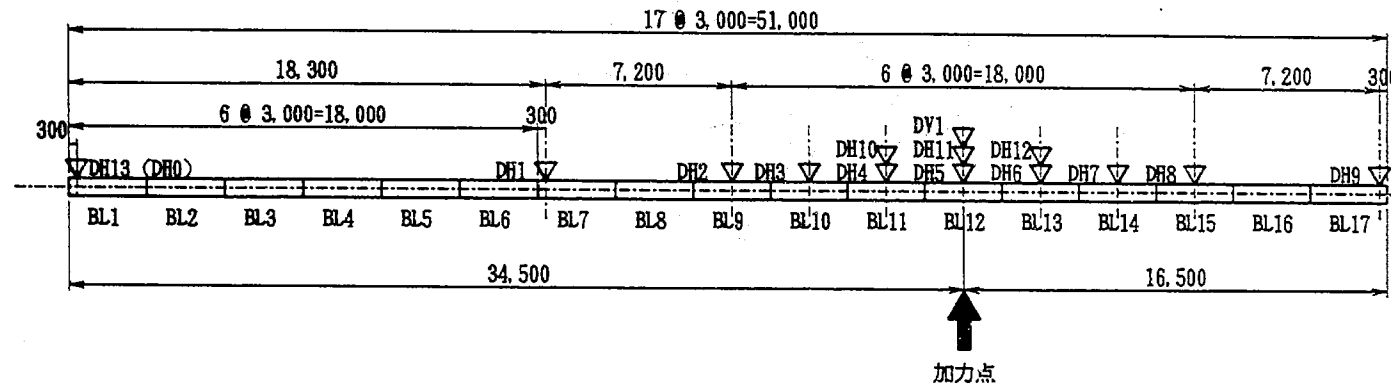
表－6. 2 測定項目と測定方法

	測定項目	測定方法
1	載荷重	圧力変換器
2	変位量	変位計
3	アスファルト圧	圧力計
4	横筋のひずみ	ひずみゲージ

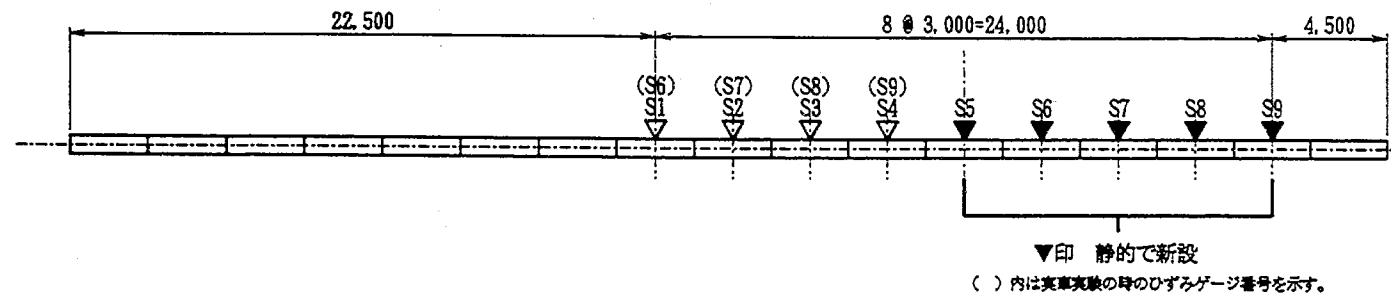
3) 載荷位置

衝突実験により衝突中心位置（BL9）で天端に多少の欠損がみられたためこの影響を避け、載荷位置は衝突重心位置から9mずらし、端部から16.5mの位置（BL12）とした（図－6. 2参照）。

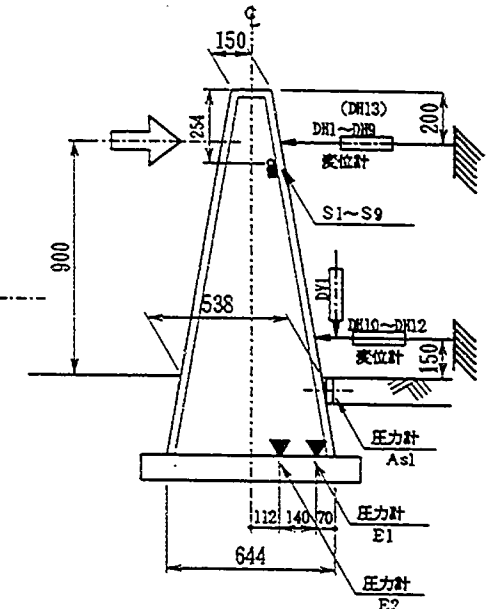
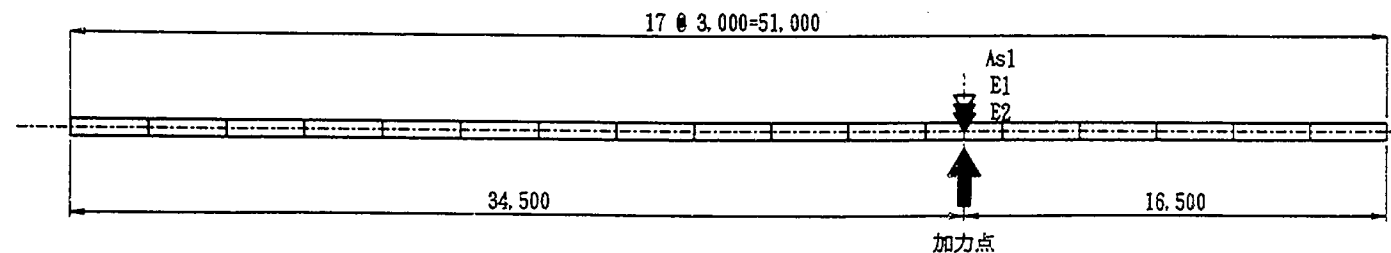
1. 変位測定



2. 横筋応力測定



3. アスファルト応力及び土圧測定



測点数表

測定項目	記号	測点数
変位	水平方向 DH1~DH12	12点
	水平方向 *(DH13)	(1点)
	鉛直方向 DV1	1点
横筋ひずみ	S1~S9	9点
アスファルト応力 及び 土圧	As1	3点
	E1、E2	
計		(26点)

〔注 記〕

- ・埋込み深さ10cmの時は側面の圧力計は新たに埋込んだが、0cmの時は無し。
- ・埋込み深さ10cm、及び0cmの時は埋込み深さ30cmの試験後で、端部のブロック(BL-1)まで影響があると推察されたので、新たに変位計(DH13)を追加した。

図-6. 2 測定点取り付け位置図 (埋込み深さ: 30cm)

4) 載荷方法

供試体の載荷方法を図-6. 3に示す。

反力壁として既存壁高欄を利用し、供試体との間をP C鋼棒で連結し、球座、ロードセルを介してセンターホールジャッキで所定荷重まで載荷した。

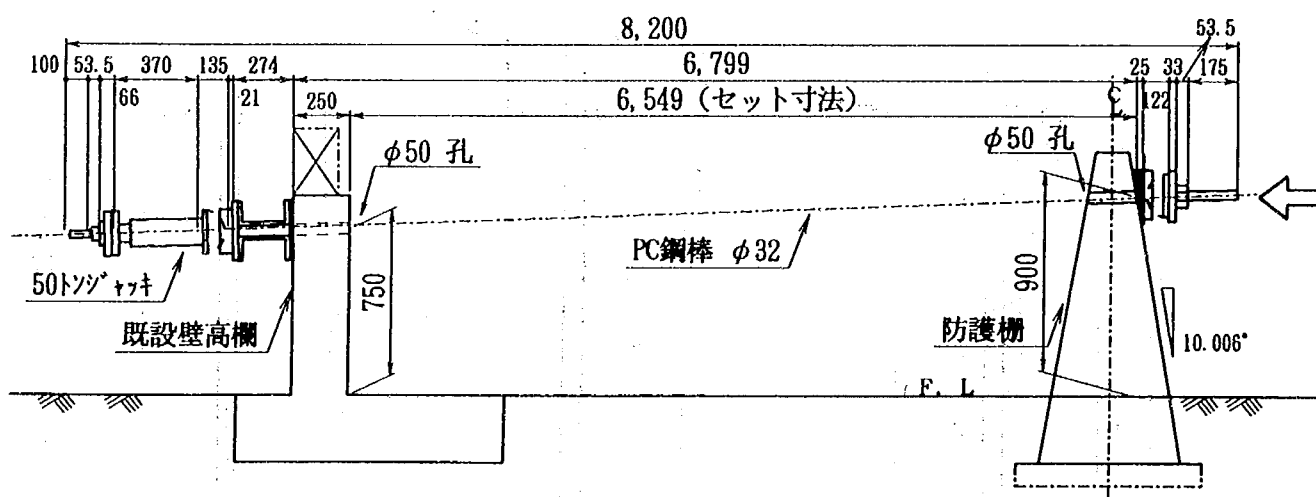


図-6. 3 載荷方法

(3) 実験結果

1) 防護柵の挙動の概要

集中荷重が作用した場合の防護柵挙動の概念を図-6. 4に示す。

図は、背面側の一部で地盤の抵抗力が塑性的な抵抗力になっていることを示すものである。

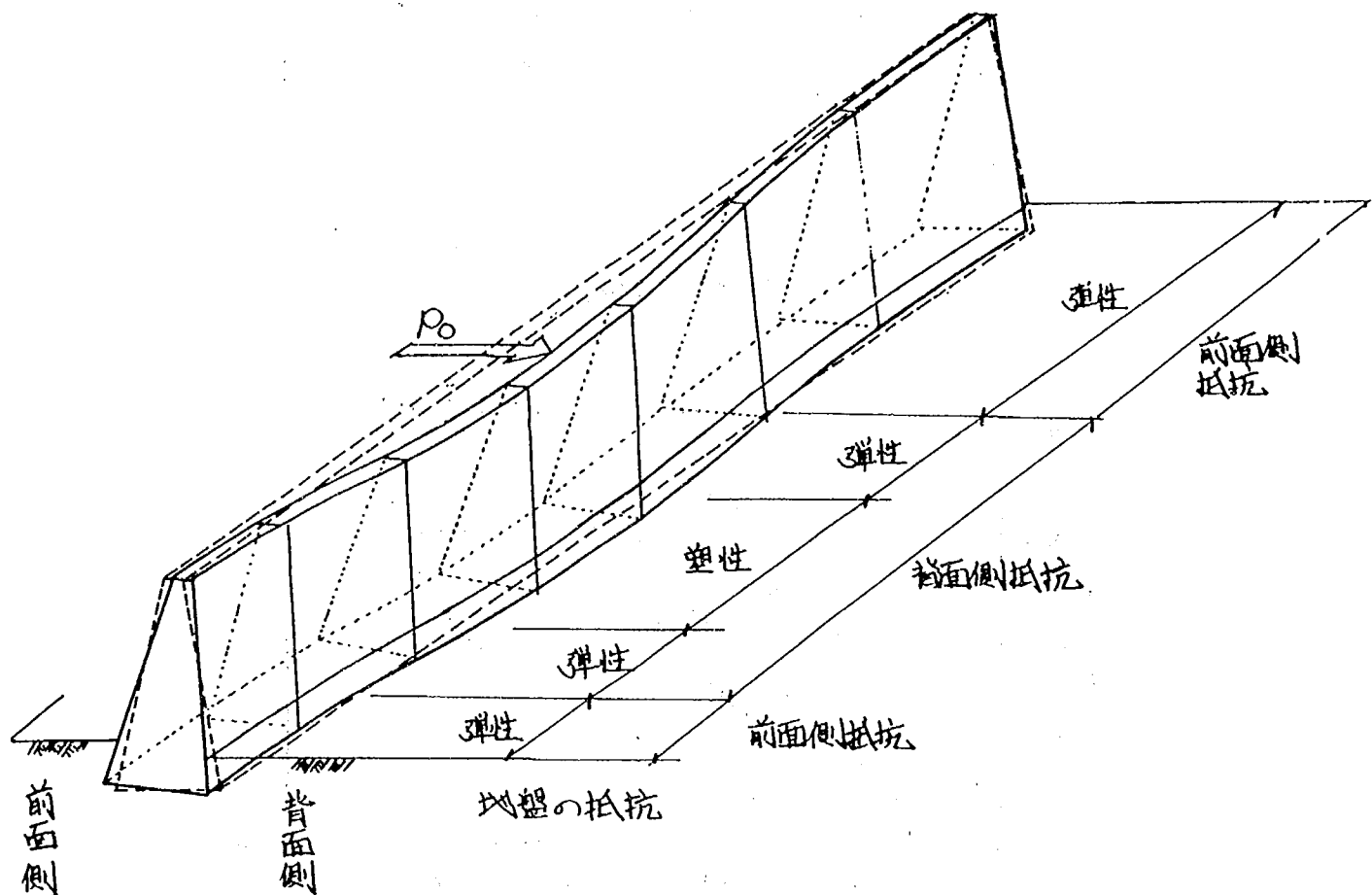


図-6. 4 防護柵挙動の概念

2) 防護柵の変位

防護柵天端から20cm下がり位置の荷重と水平変位の関係を図-6. 5に示す。

この図より、荷重と変位の関係がいずれの測定位置(DH0、DH1、DH5、DH9)でもほぼ同様な変位の傾向を示しており、荷重の影響は防護柵端部にまで及んでいることがわかる。このことから、荷重に対して、防護柵は全延長(51m)で抵抗しているものと考えられる。また、水平変位はある荷重から急激に増加していることがわかる。この時の荷重を限界荷重と呼ぶことにし、この限界荷重を表-6. 3に示す。

表-6. 3 限界荷重

背面埋込み深さ	限界荷重 (kN)
d = 30 cm	294 {30.0tf}
d = 10 cm	218 {22.3}
d = 0 cm	193 {19.7}

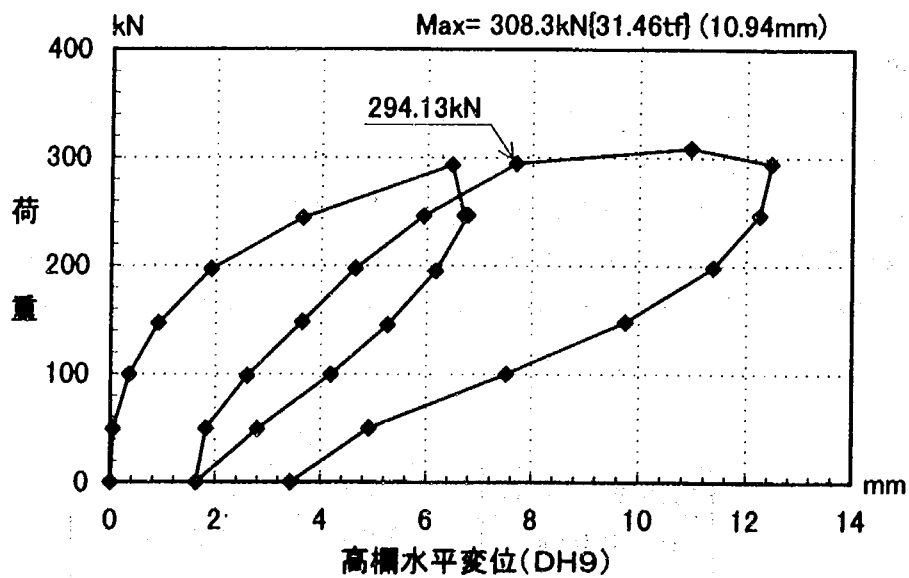
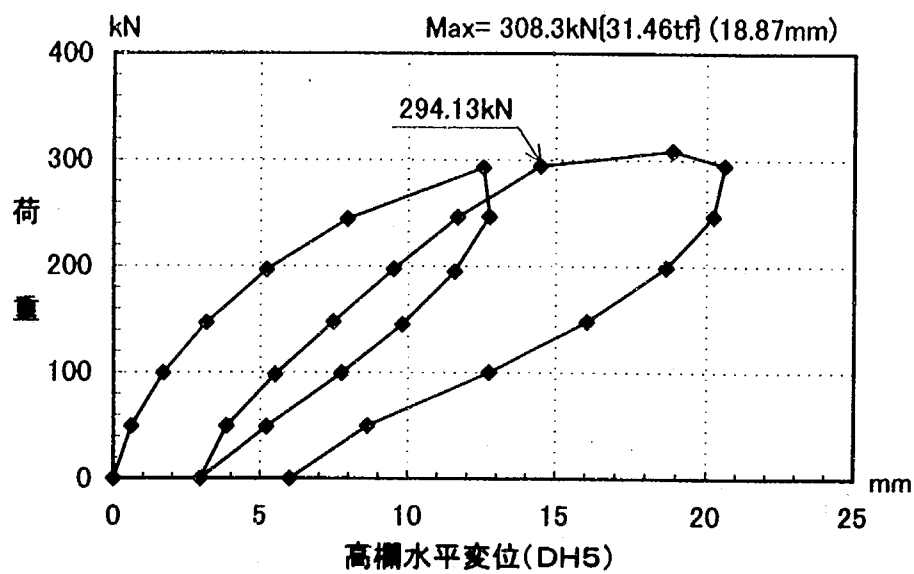
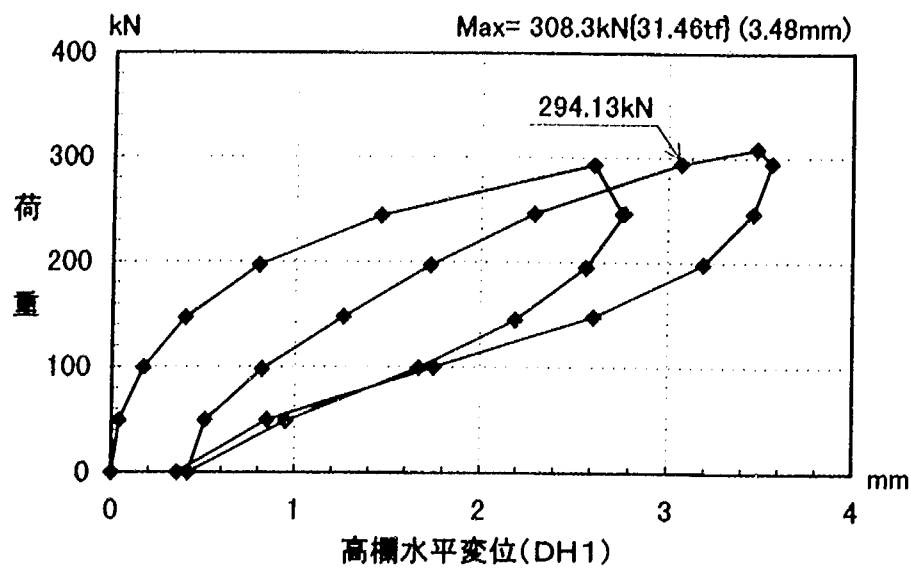


図-6.5 (1) 荷重～変位曲線 (埋め込み深さ 30cm)

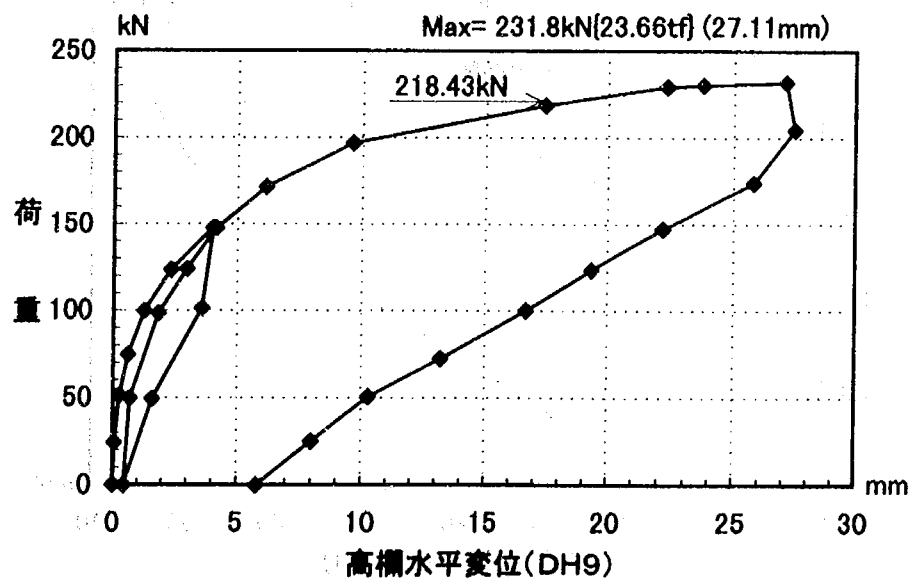
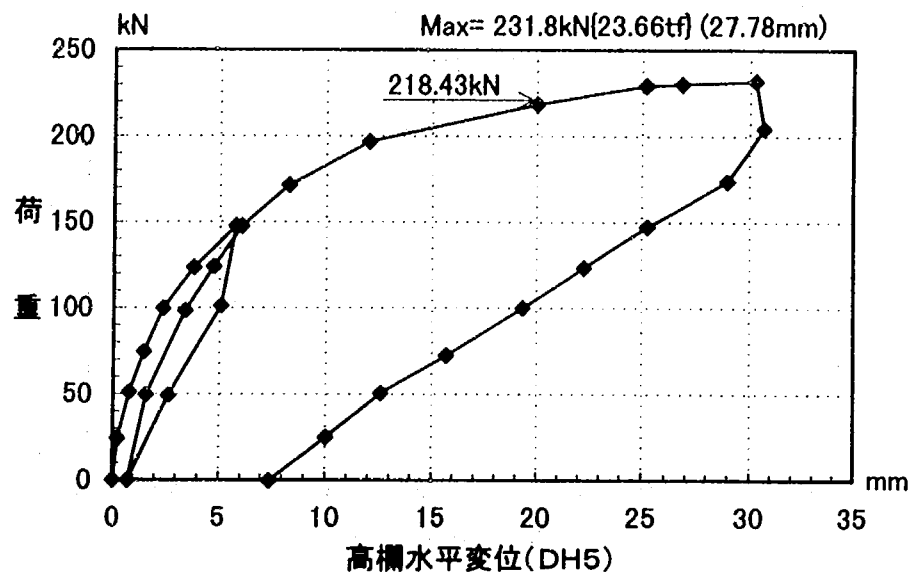
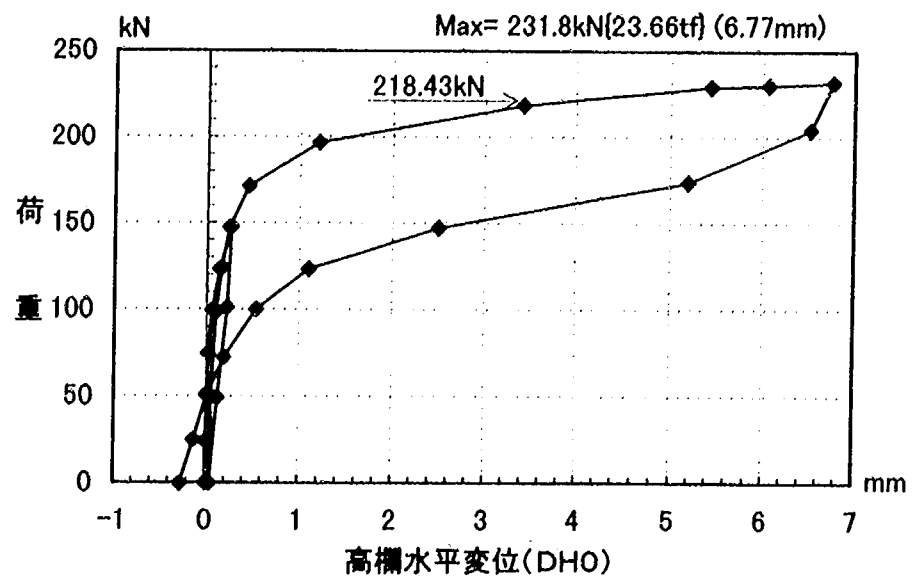


図-6.4.5(2) 荷重～変位曲線 (埋め込み深さ 10cm)

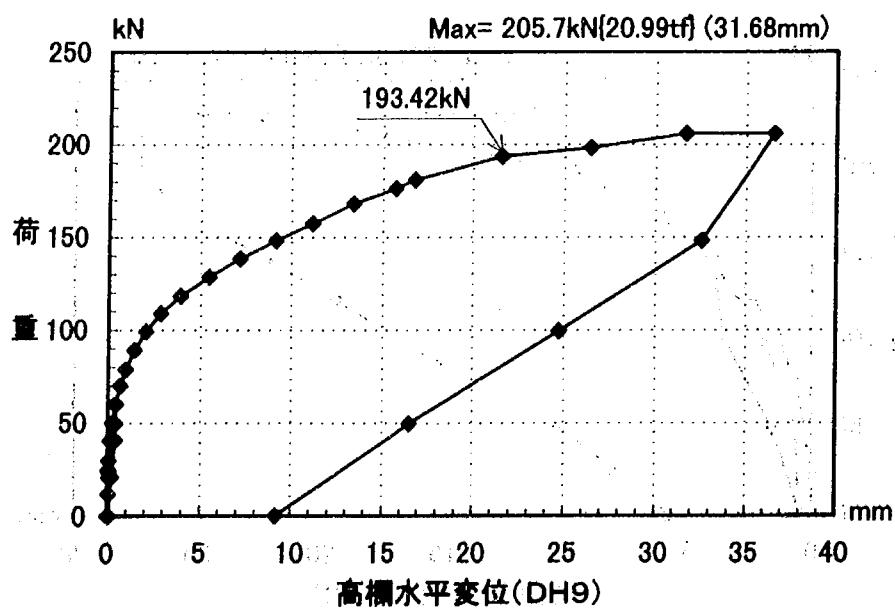
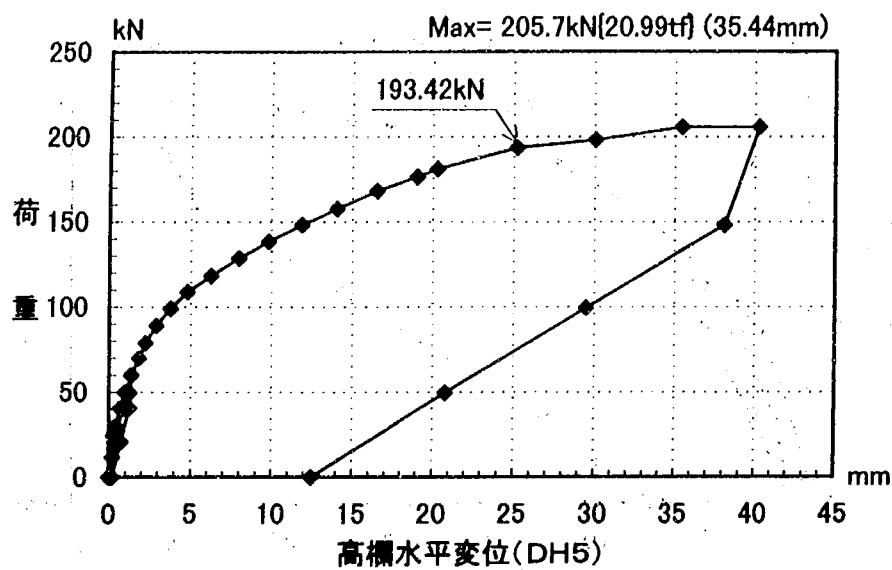
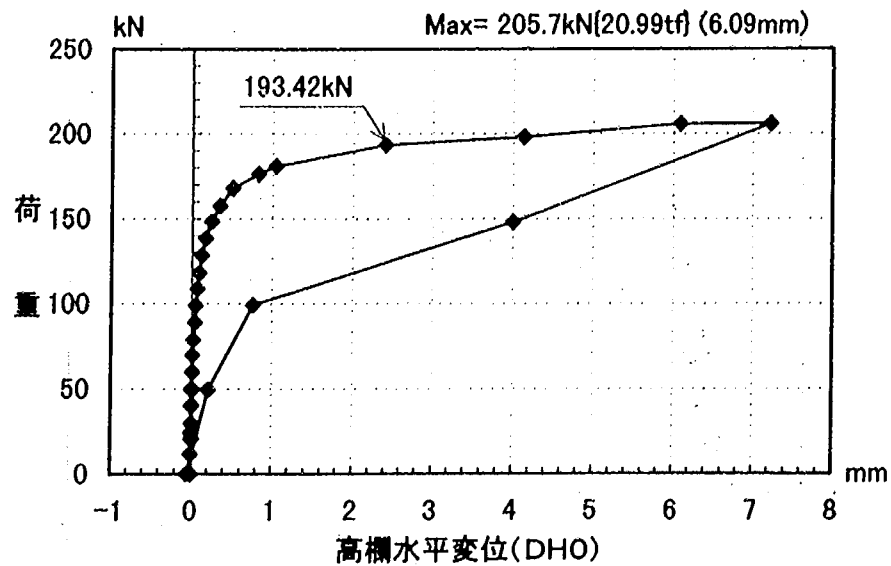


図-6.5(3) 荷重～変位曲線 (埋め込み深さ 0cm)

この限界荷重での上部水平変位を図-6.6に示す。

この図より、上部水平変位は埋込み深さの影響が大きく、埋込み深さが大きいほど水平変位が小さいことがわかる。また、距離51mの位置で背面側に大きく変形している。静荷重の載荷は衝突実験後の供試体を用いたが、衝突実験時に目視観察では認められない程度の残留変位が背面地盤に生じており、この影響が静荷重の載荷時に大きく現れたことと、静荷重を偏った位置に作用させたことが理由として考えられる。

ただし、実車衝突で大きな影響を受けていないと考えられる防護柵端部付近でも変位は生じており、転倒等に対する安定性についてみると、荷重の載荷に対して防護柵全長で抵抗していることが考えられる。

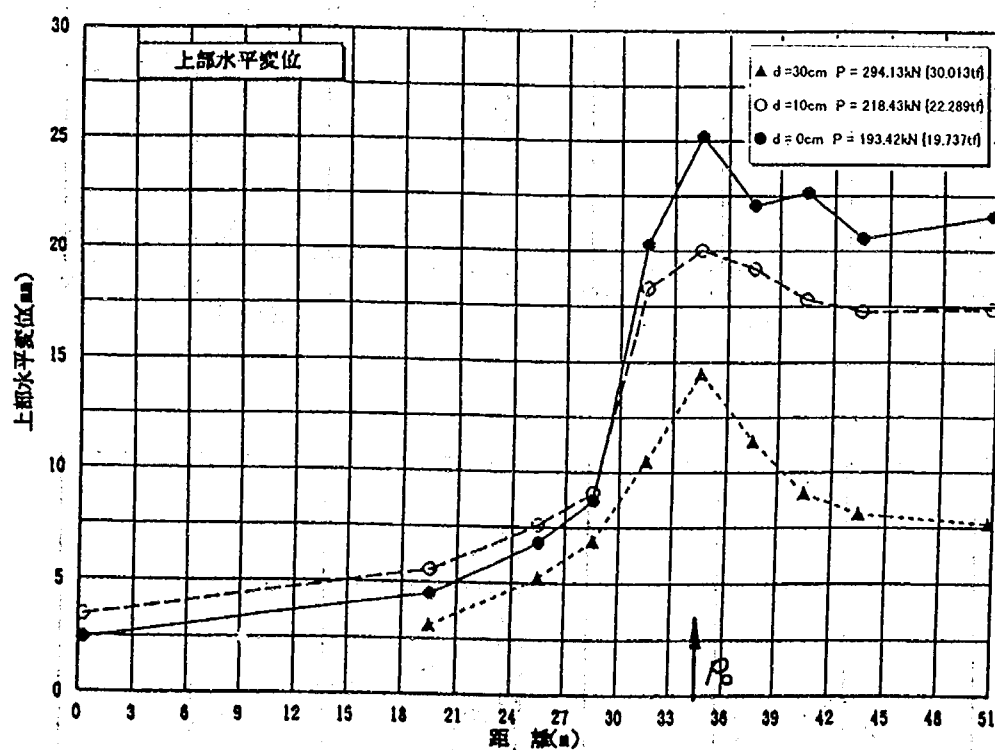


図-6.6 上部水平変位

図-6. 7は載荷ブロックにおける埋込み深さと限界荷重、水平変位および鉛直変位等との関係を示したものである。この図より、埋込み深さと限界荷重、水平変位はほぼ比例していることがわかる。また、鉛直変位は最大でも1mm程度と非常に小さな値になっている。

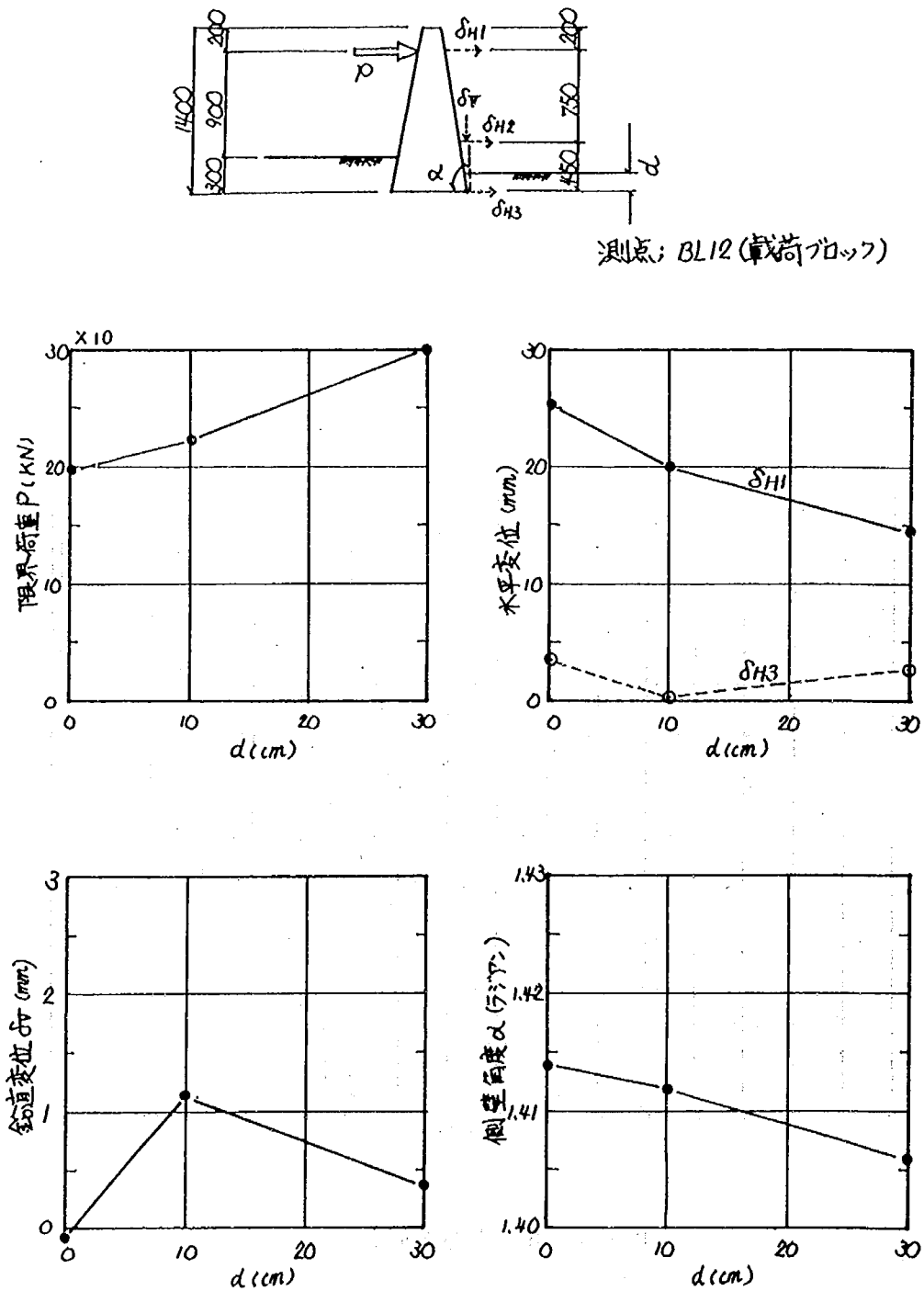


図-6. 7 埋込み深さと限界荷重および限界荷重時の変形挙動の関係 (BL12)

3) 防護柵のひずみ分布

本実験で採用した単スロープ型のプレキャストコンクリート製防護柵の場合、天端付近にP C鋼棒でプレストレスを与えていることで一体性が確保され、水平力を分散させているものと考えられる。

横筋のひずみ分布を図-6. 8に示す。

図より、ひずみは最大で 600μ （応力に換算すると $12,700\text{ N/cm}^2$ ($1,300\text{ kgf/cm}^2$))であり、弾性領域内にある。また、横筋のひずみは載荷ブロック（距離 $33\sim 36\text{ m}$: BL12）以外では、ほとんど生じていないことがわかる。これは、各ブロック間がヒンジで結合されており、横筋に限れば不連続であり、曲げモーメントの伝達がほとんどないことによるものである。

この状態での概念を図-6. 9に示す。

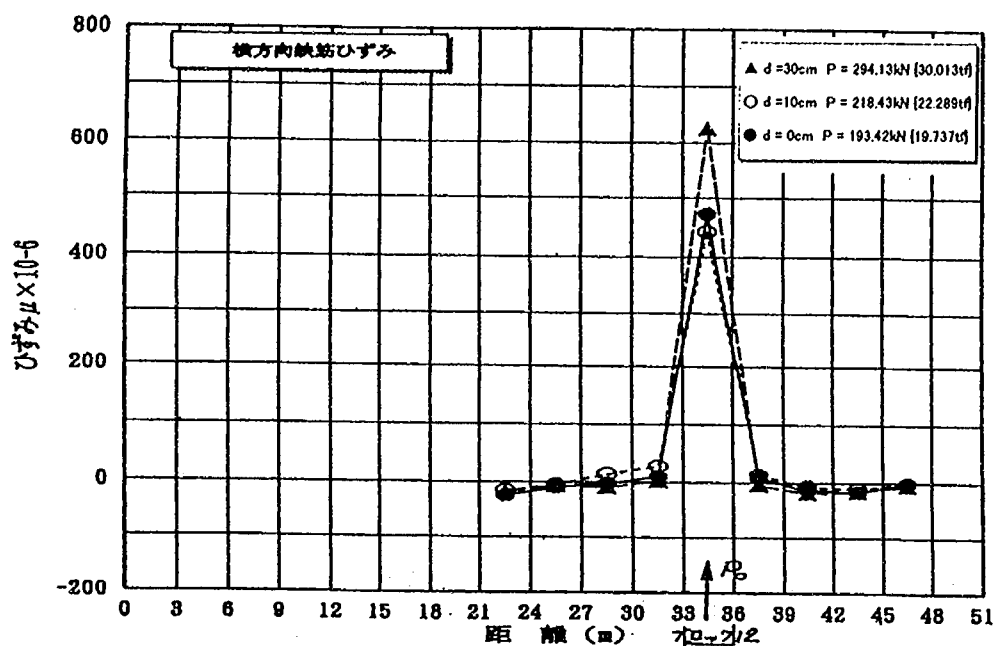


図-6. 8 横筋のひずみ分布

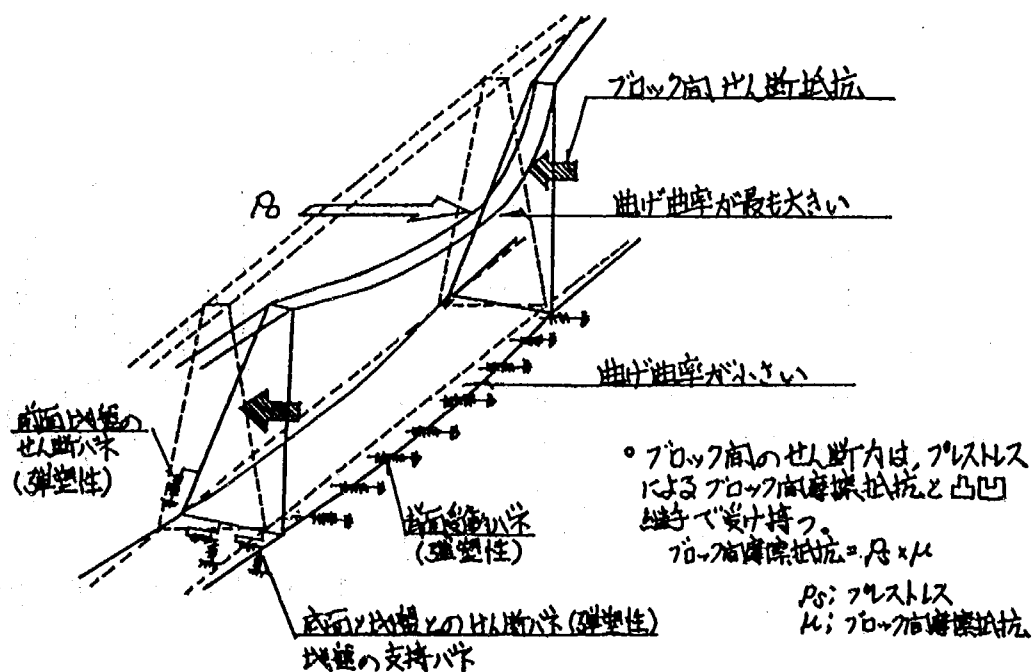


図-6. 9 1ブロックの荷重状態概念

4) 安定に関する検討

2) より、防護柵は全体（5.1m）で抵抗するものと考えられる。この場合、滑動および支持については衝突実験時の防護柵挙動からみて十分安全であると推定でき、ここでは転倒について検討を行った。なお、作用力については表-6. 3に示す限界荷重を用いた。

安定に関する検討を行う場合の作用力と抵抗力の概要を図-6. 10に示す。

図より、O点まわりの転倒モーメントおよび抵抗モーメントは、以下の式で表される。

・転倒モーメント $M_0 = P_0 \cdot L_0$

・抵抗モーメント $M_1 = P_1 \cdot L_1$

$M_2 = P_2 \cdot L_2$ ここで、 $P_0 \sim 3$ および $L_0 \sim 3$ は図-6. 10参照

$M_3 = P_3 \cdot L_3$

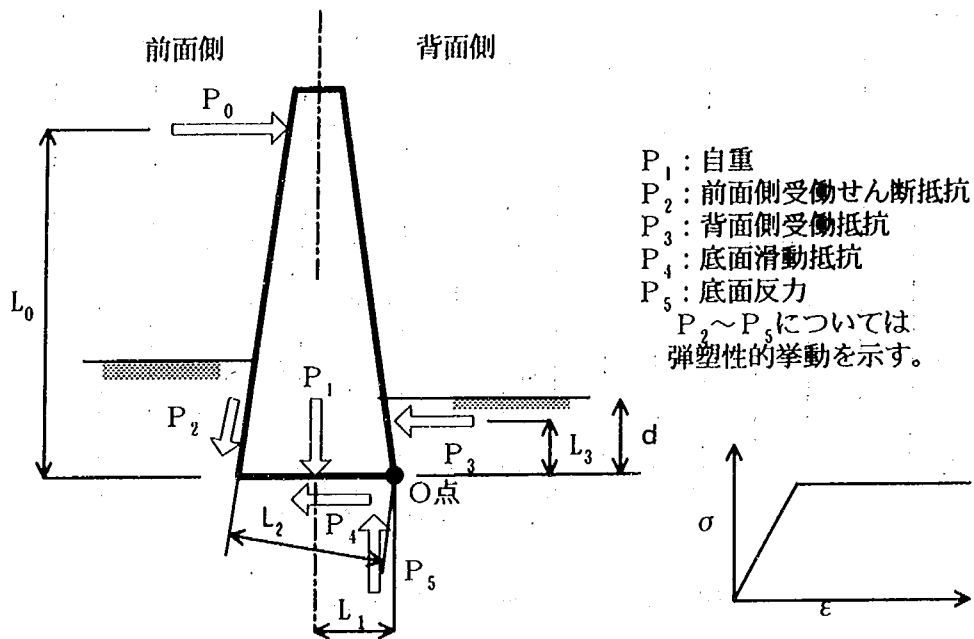


図-6. 10 安定に関する作用力と抵抗力の概要図

①背面埋込み深さ $d = 0$ cmの場合 (図-6. 11参照)

・転倒モーメント M_0 (kN・m)

$$M_0 = P_0 \cdot L_0 = 193 \times 1.20 = 232 \text{ (23.6 t・m)}$$

・抵抗モーメント M (kN・m)

$$M_1 = P_1 \cdot L_1 = (13.6 \times 5.1 \text{ m}) \times 0.322 = 223$$

$$M_2 = P_2 \cdot L_2 = 232 - 223 = 9$$

$$M_3 = P_3 \cdot L_3 = 0$$

合計 232 (23.6 t・m)

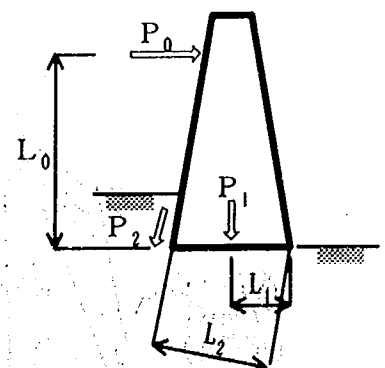


図-6. 11 埋込み深さ 0 cmの場合

M_2 については、計算等により直接求めることが困難であり、転倒モーメントから自重による抵抗モーメント M_1 を差し引いた値と仮定した。

②背面埋込み深さ $d = 10 \text{ cm}$ の場合 (図-6. 12 参照)

・転倒モーメント M_o ($\text{kN}\cdot\text{m}$)

$$M_o = P_o \cdot L_o = 219 \times 1.20 = 263 \text{ (26.8 t}\cdot\text{f}\cdot\text{m)}$$

・抵抗モーメント M ($\text{kN}\cdot\text{m}$)

$$M_1 = P_1 \cdot L_1 = (13.6 \times 51 \text{ m}) \times 0.322 = 223$$

$$M_2 = P_2 \cdot L_2 = 9$$

$$M_3 = P_3 \cdot L_3 = 9.8 \text{ kN/m} \times 0.05 \times 51 \text{ m} = 25$$

$$\text{合計} \quad 257 \text{ (26.2 t}\cdot\text{f}\cdot\text{m)}$$

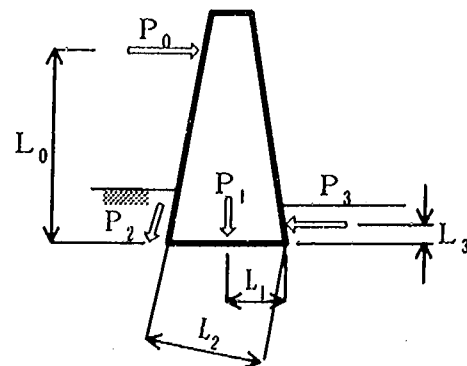


図-6. 12 埋込み深さ10cmの場合

M_2 については、①の埋込み深さ $d = 0 \text{ cm}$ と同じ値になるものとした。

P_3 については、アスファルトと受働土圧による抵抗が考えられる。転倒モーメントと抵抗モーメントが等しい値になると仮定し、抵抗については、アスファルトによる抵抗のみを考慮し、全延長(51)に一律 9.8 kN/m (1 t/f/m) を仮定した。

③背面埋込み深さ $d = 30 \text{ cm}$ の場合 (図-6. 13 参照)

・転倒モーメント M_o ($\text{kN}\cdot\text{m}$)

$$M_o = P_o \cdot L_o = 294 \times 1.20 = 353 \text{ (36.0 t}\cdot\text{f}\cdot\text{m)}$$

・抵抗モーメント M ($\text{kN}\cdot\text{m}$)

$$M_1 = P_1 \cdot L_1 = (13.6 \times 51 \text{ m}) \times 0.322 = 223$$

$$M_2 = P_2 \cdot L_2 = 9$$

$$M_3 = P_3 \cdot L_3 = 9.8 \text{ kN/m} \times 0.25 \times 51 \text{ m} = 124$$

$$\text{合計} \quad 356 \text{ (36.4 t}\cdot\text{f}\cdot\text{m)}$$

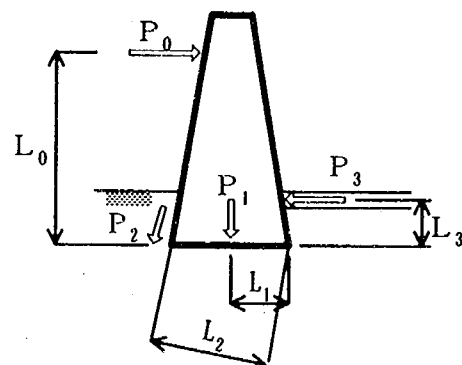


図-6. 13 埋込み深さ30cmの場合

M_2 については、埋込み深さ $d = 0 \text{ cm}$ と同じ値を用いる。

P_3 については、埋込み深さ $d = 10 \text{ cm}$ と同様に 9.8 kN/m (1 t/f/m) とすれば、転倒モーメントと抵抗モーメントは、ほぼ等しい値となっている。

以上より、背面側受働抵抗をアスファルト舗装部分について 9.8 kN/m (1 t/f/m) 程度見込めば、実験結果と比較的よく一致することがわかった。

5) まとめ

静的載荷実験では、作用荷重が明確であり、防護柵挙動の特性を把握することができる。今回の実験で把握できた項目をまとめて以下に示す。

①転倒直前の荷重(限界荷重)を把握することができた。

②埋込み深さと限界荷重はほぼ比例する。

③局部荷重の作用による転倒に対する安定性は、防護柵全体(延長51m)で抵抗する。

④転倒において、抵抗する要因を特定することができた。この要因を用いて安定計算を行った結果、アスファルト舗装部分について背面受働抵抗が 9.8 kN/m (1 t/f/m) 程度期待できる。

6. 1. 2 FEM解析

(1) 解析の目的

本解析の目的は、版としてモデル化した防護柵に静的局部荷重が作用した場合の荷重とひずみとの関係を把握し、この関係を用いて、衝突実験で得られた鉄筋ひずみから、実験での衝突荷重を推定することである。

防護柵は単スロープ型とF型に分けられるが、躯体の厚さが変化することから、集中荷重載荷時の応力分布は、版解析で一般的に用いられる簡易な構造計算式を用いて解析することができない。このため、版解析の代表的な手法であるFEM解析を用いて検討することにした。

(2) 検討モデル

検討モデルは図-6. 14に示すとおりで、躯体の厚さを変化させ、集中荷重を載荷させる。

このとき版の支持条件は、支持面にモーメントの発生しないピン条件（以下「Pin」と表す。）と、支持面が完全に固定される固定条件（以下「Fix」と表す。）とについて検討するものとした。

集中荷重は、等分布荷重を20cm四方に載荷させ、全体で980kN{100tf}となるようにした。

20cm四方に載荷させた理由は、以下による。

- ①静的載荷実験の試験面積（20cm×20cm）に合わせた。
- ②既往資料から、版（2辺Pin、1辺Fix）の発生曲げモーメントは、載荷面の大きさ（2～40cm²）にほとんど影響されていない”。

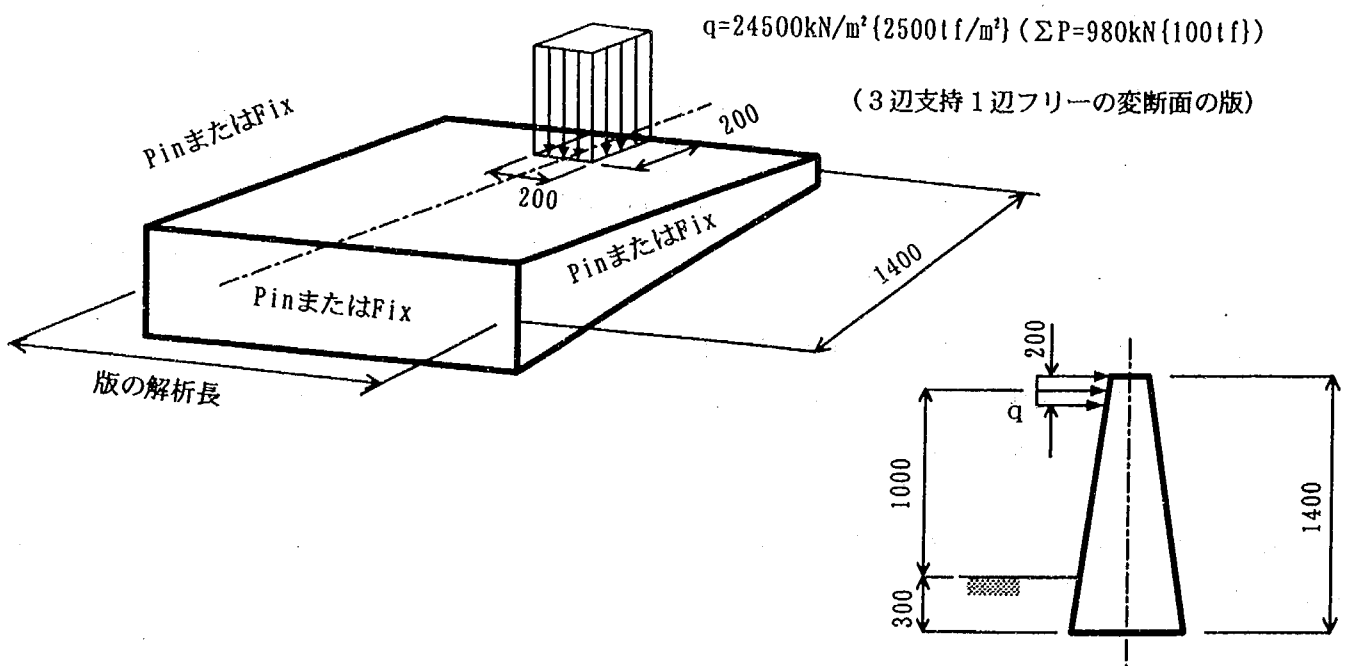


図-6. 14 検討モデル（単位：mm）

(3) 検討ケース

FEM解析で検討を行ったケースを表-6.4に示す。

表-6.4 検討ケース

防護柵	三辺支持条件	版の解析長	備 考
単スロープ型 F 型	Pin-Fix	3m	
		6m	
		9m	
	Fix-Fix	3m	
		6m	
		9m	
	Pin-Pin	3m	
		6m	
		9m	

(注)Pin-Fix: 両端ピン、下端固定
 Fix-Fix: 両端固定、下端固定
 Pin-Pin: 両端ピン、下端ピン

防護柵下端の条件において、根入れが十分であり回転しない場合は固定と考えられ、根入れが浅く自由に回転する場合はピンと考えられる。実際には半固定状態であることから、支持条件として鉛直、水平、回転バネの適用が考えられるが、バネについては明確に設定できる手法がないので、上記の条件で解析した。

また、版の解析長については、モーメントの影響範囲を求めるために、3m、6mおよび9mで解析し、その違いを検討した。

(4) 使用定数

計算に使用するコンクリートの定数を表-6.5に示す。

本定数については、供試体の実強度レベルを考慮し設定した。

表-6.5 使用定数

防護柵	設計基準強度	弾性係数	ポアソン比
単スロープ型	$\sigma_{ck}=4.0\text{kN/cm}^2$ {400kgf/cm ² }	$E_c=3.1\text{MN/cm}^2$ {310tf/cm ² }	1/6
F 型	$\sigma_{ck}=3.5\text{kN/cm}^2$ {350kgf/cm ² }	$E_c=2.9\text{MN/cm}^2$ {290tf/cm ² }	1/6

(5) 解析結果

解析結果を表-6. 6に示す。このうち、単スロープ型(Pin-Fix)について、各断面での曲げモーメントの一例を図-6. 15、図-6. 16に示す。また、これらの解析結果の支持条件と各成分(X、Y)の曲げモーメント分布の例を、単スロープ型の支持条件(Pin-Pin)について、図-6. 17に示す。

表-6. 6 最大曲げモーメント

防護柵	支持条件	X方向またはY方向曲げモーメント (断面および位置)	最大曲げモーメント (kN・m)
単スロープ型	Pin	Y方向(A-A断面 My:底面付近 L=1.25m)	$M_{y\max}=597\{60.9\text{tf}\cdot\text{m}\}$
	-	X方向(B-B断面 Mx:計測位置)	$M_{x\max}=143\{14.6\}$
	Fix	Y方向(C-C断面 My:計測位置 L=1.00m)	$M_{y\max}=491\{50.1\}$
	Fix	Y方向(A-A断面 My:底面付近 L=1.25m)	$M_{y\max}=597\{60.9\}$
	Fix	X方向(B-B断面 Mx:計測位置)	$M_{x\max}=144\{14.7\}$
	P-P	X方向(B-B断面 Mx:計測位置)	$M_{x\max}=182\{18.6\}$
F 型	Pin	Y方向(A-A断面 My:底面付近 L=1.25m)	$M_{y\max}=578\{59.0\}$
	-	X方向(B-B断面 Mx:計測位置)	$M_{x\max}=181\{18.5\}$
	Fix	Y方向(C-C断面 My:計測位置 L=0.80m)	$M_{y\max}=395\{40.3\}$
	Fix	Y方向(A-A断面 My:底面付近 L=1.25m)	$M_{y\max}=578\{59.0\}$
	Fix	X方向(B-B断面 Mx:計測位置)	$M_{x\max}=181\{18.5\}$
	Pin Pin	X方向(B-B断面 Mx:計測位置)	$M_{x\max}=239\{24.4\}$

(注)Lは集中荷重の作用中心点から各断面までの距離

解析結果より、以下のことが判明した。

- ①単スロープ型とF型とで、解析結果にあまり差が見られない。
- ②側面の支持条件がPinとFixとで解析結果に差が見られない。したがって、側面の支持条件が解析結果に与える影響は少ない。
- ③版の解析長が6m、9mでは結果に差が見られない(図-6. 15、16)。
- ④X方向曲げモーメントは、支持条件が(Fix-Fix)よりも、(Pin-Pin)の方が大きくなる。
- ⑤Y方向曲げモーメントは、片持ちはりで算出した値の約50%となる。たとえば、単スロープ型で検討すると、次のとおりである。

・片持ちはりで算出した場合

$$A-A\text{断面 (Pin-Fix)} \quad M=P \cdot L=980 \times 1.25=1230\text{kN}\cdot\text{m}\{125.0\text{tf}\cdot\text{m}\}$$

$$C-C\text{断面 (Pin-Fix)} \quad M=P \cdot L=980 \times 1.00=980\text{kN}\cdot\text{m}\{100.0\text{tf}\cdot\text{m}\}$$

・FEM解析結果

$$A-A\text{断面 (Pin-Fix)} \quad M_{y\max}=597\text{kN}\cdot\text{m}\{60.9\text{tf}\cdot\text{m}\}$$

$$C-C\text{断面 (Pin-Fix)} \quad M_{y\max}=491\text{kN}\cdot\text{m}\{50.1\text{tf}\cdot\text{m}\}$$

また今回の結果から、防護柵の高さが今回の1.4mと異なる場合についても、形状が同じであれば上記の関係は適用できるものと考えられる。

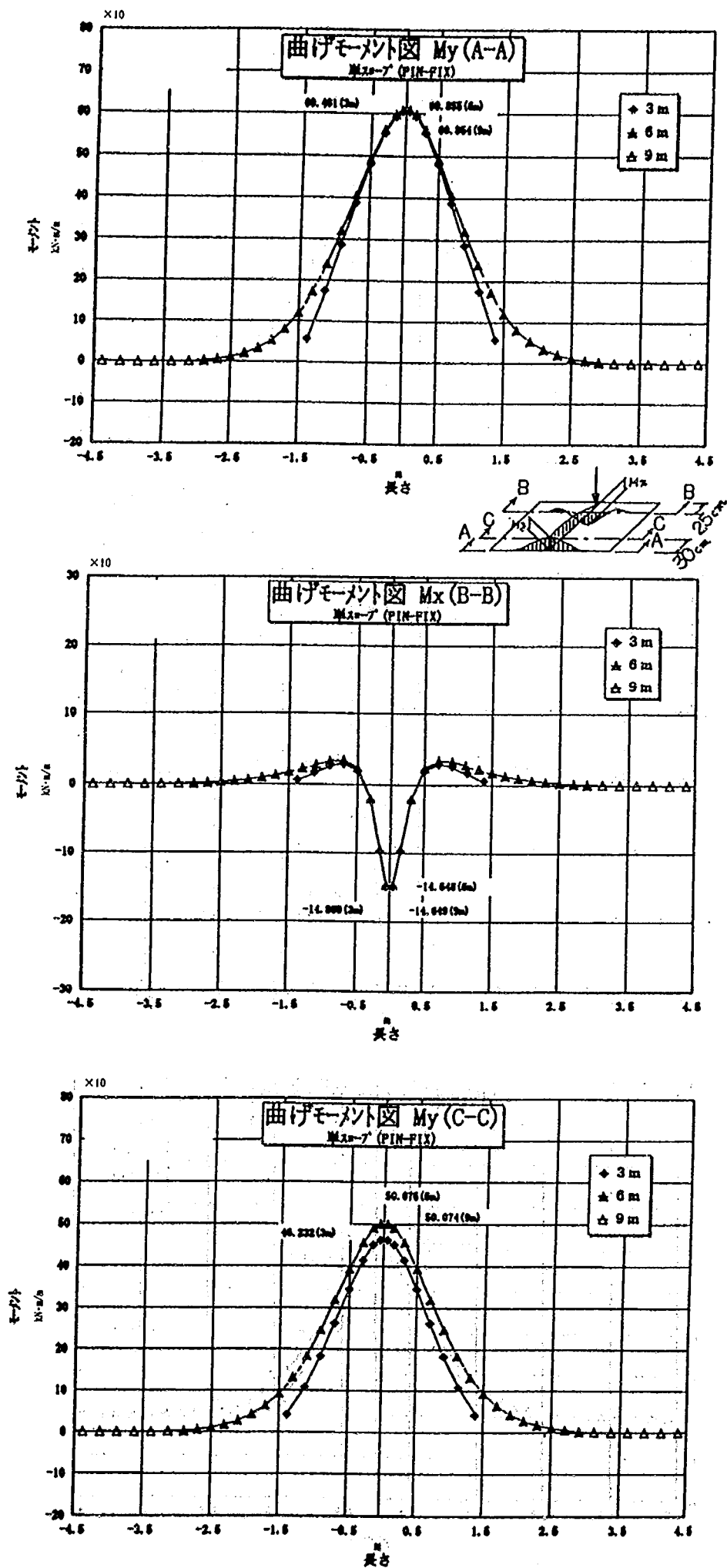


図-6. 15 単スロープ型 (Pin-Fix) の場合の曲げモーメント図

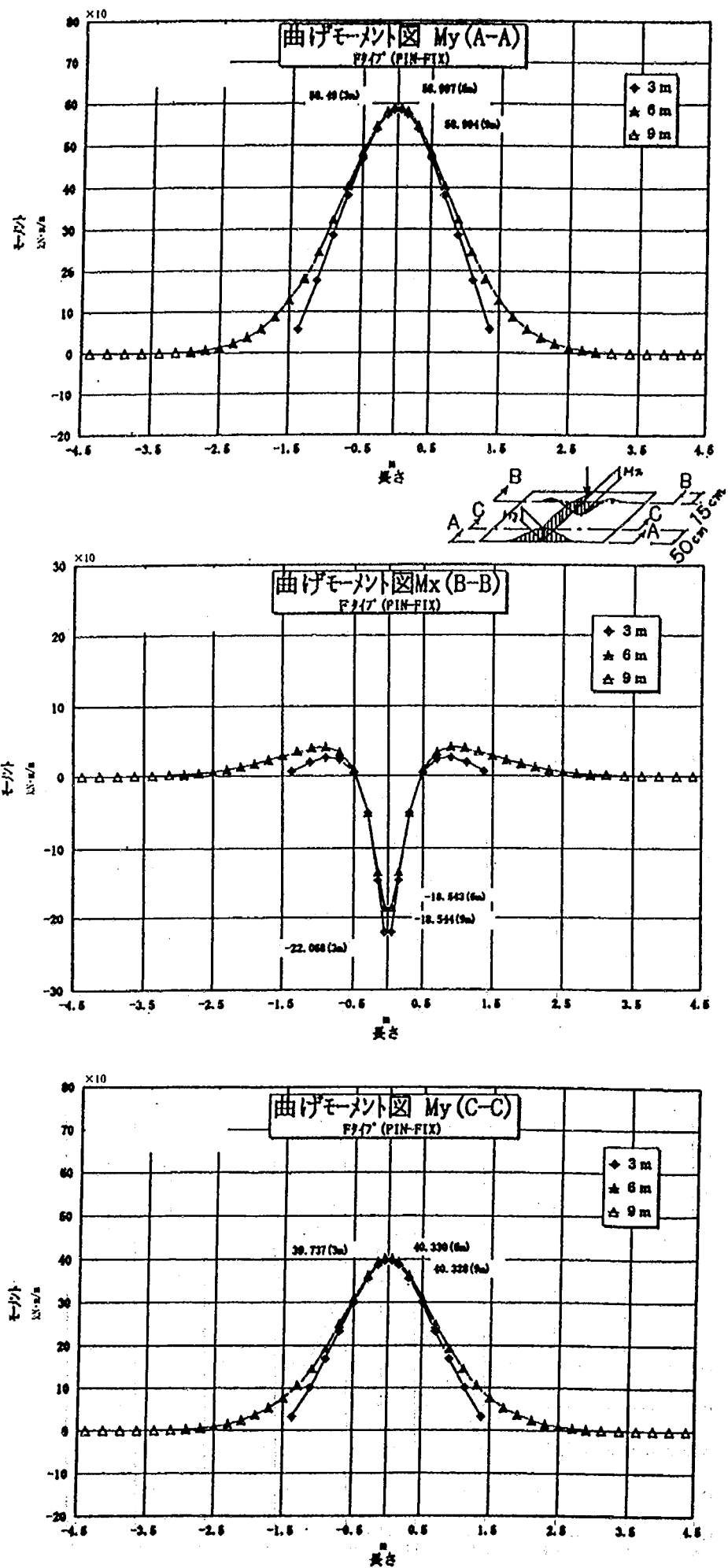


図-6. 16 F型 (Pin-Fix) の場合の曲げモーメント図

曲げモーメントは単位荷重 980kN{100tf} 載荷時を示す

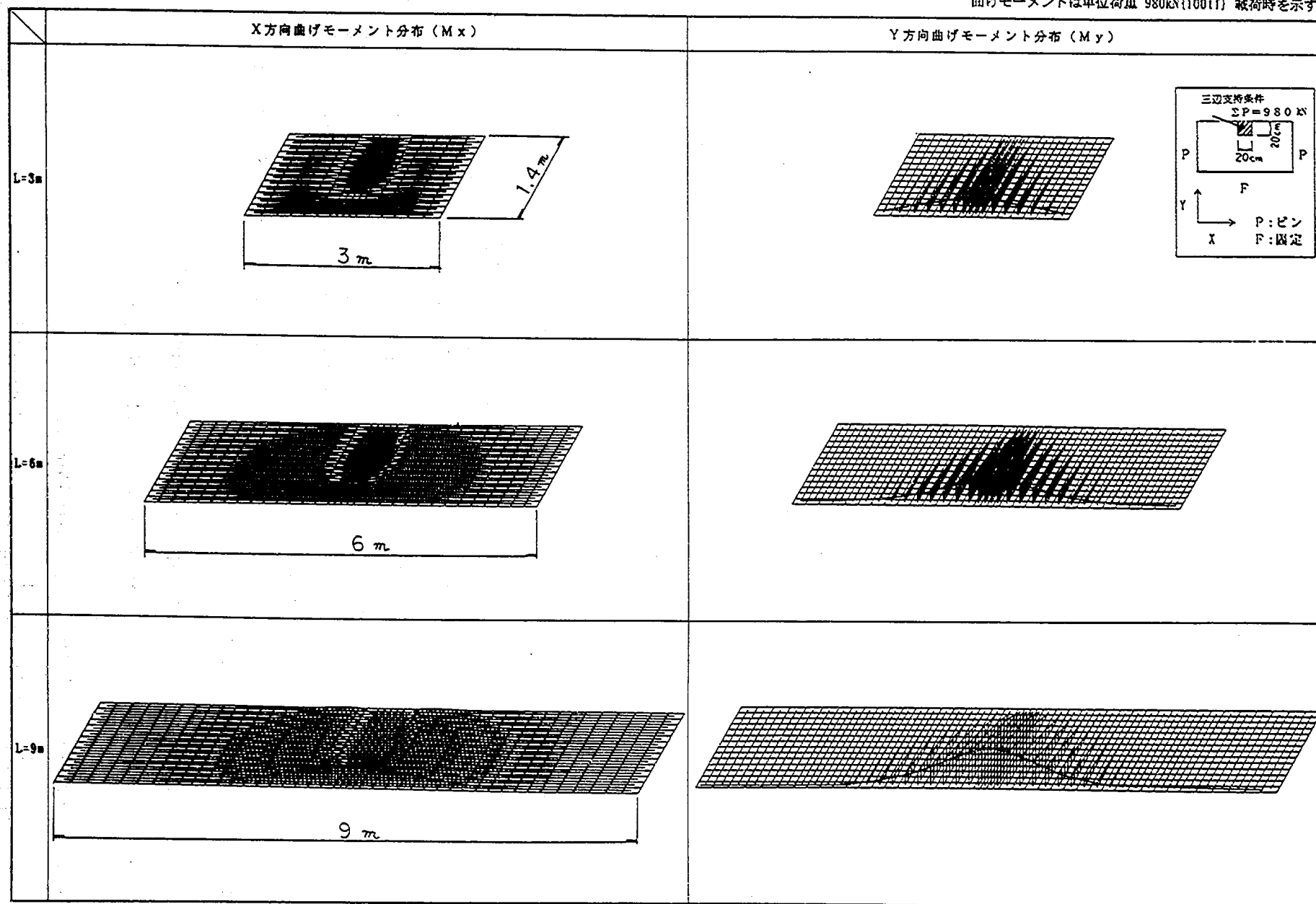


図-6.17 単スロープ型 (Pin-Fix)における各成分 (X、Y) の曲げモーメント分布

6. 1. 3 FEM解析結果の妥当性の検証

静荷重試験で得られた荷重とひずみとの関係を「6. 1. 2 FEM解析」で得られた荷重とひずみとの関係と照査することで、FEM解析結果の妥当性について検証した。

(1) 鉄筋のひずみと載荷重との関係

静荷重試験およびFEM解析の結果から得られた荷重とひずみとの関係をそれぞれ下記に示す。

1) 静荷重試験結果

図-6. 18に静荷重試験における横筋のひずみと載荷重との関係を示す。ひずみが 20μ 以下であれば、いずれの埋込み深さの場合でも両者はほぼ比例する範囲内にあり、比例範囲の限界としてひずみ 20μ が発生するときの荷重に着目した。静荷重の場合、横筋のひずみが 20μ の時の荷重は、埋込み深さごとに以下のとおりとなる。

- ・埋込み深さ30cmの場合：荷重 $P=44\text{ kN}\{4.5\text{ tf}\}$
- ・埋込み深さ10cmの場合：荷重 $P=44\text{ kN}\{4.5\text{ tf}\}$
- ・埋込み深さ0cmの場合：荷重 $P=41\text{ kN}\{4.2\text{ tf}\}$

2) FEM解析結果 (図-6. 19参照)

解析により得られた曲げモーメント (表-6. 6参照) から、下記の関係式を用いて、鉄筋のひずみを計算する。なお、計算結果は、解析で載荷した荷重 ($980\text{ kN}\{100\text{ tf}\}$) とひずみの関係から、 20μ のひずみが発生する荷重を求めた。

$$\sigma = \frac{M}{I} y$$

$$\varepsilon = \sigma / E_c$$

$$\varepsilon_r = 0.667 \varepsilon$$

$$I = \frac{100 \times 24^3}{12} = 1.15 \times 10^5$$

$$y = 240 / 20 = 12$$

ここで、 σ : 曲げ応力度 (N/cm^2)

ε 、 ε_r : ひずみ (μ)

M : 曲げモーメント ($\text{N}\cdot\text{cm}$)

I : 断面二次モーメント (cm^4)

y : 中立軸から縁辺までの距離 (cm)

E_c : コンクリートの弾性係数 (N/cm^2)

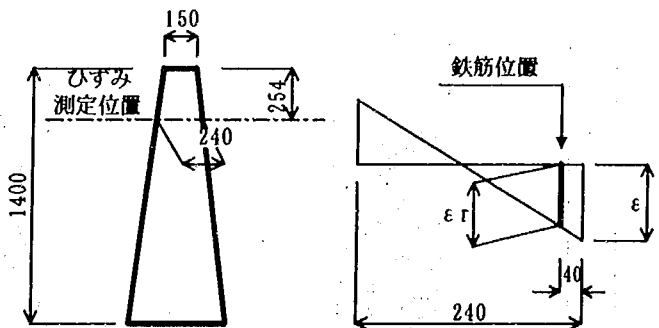


図-6. 19 ひずみ分布 (単位: mm)

(Pin-Fix) : 載荷重 980 kN 、曲げモーメント $143\text{ kN}\cdot\text{m}/\text{m}$

$$\varepsilon_r = \frac{143 \times 10^5}{1.15 \times 10^5} \times 12 \times \frac{1}{3.1 \times 10^6} \times 0.667 = 3.21 \times 10^{-4} = 321 (\mu)$$

$$20\mu \text{ 当たりの荷重 } P_{20} : P_{20} = 980 / 321 \times 20 = 61\text{ kN} \{6.1\text{ tf}\}$$

(Pin-Pin) : 載荷重 980 kN 、曲げモーメント $182\text{ kN}\cdot\text{m}/\text{m}$

$$\varepsilon_r = \frac{182 \times 10^5}{1.15 \times 10^5} \times 12 \times \frac{1}{3.1 \times 10^6} \times 0.667 = 4.09 \times 10^{-4} = 409 (\mu)$$

$$20\mu \text{ 当たりの荷重 } P_{20} : P_{20} = 980 / 409 \times 20 = 48\text{ kN} \{4.8\text{ tf}\}$$

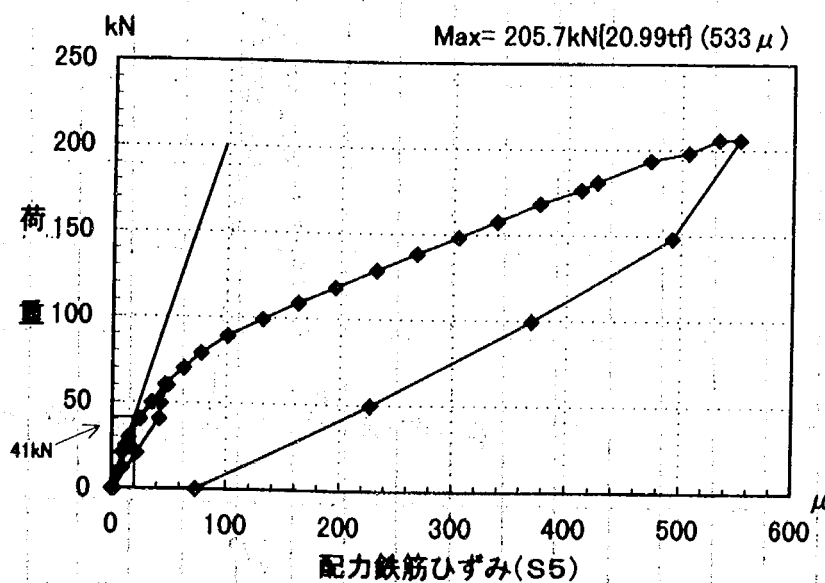
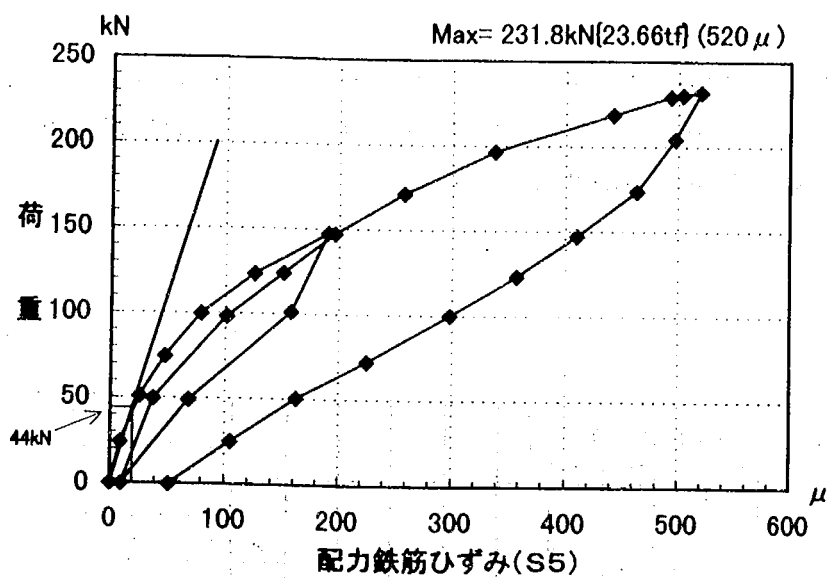
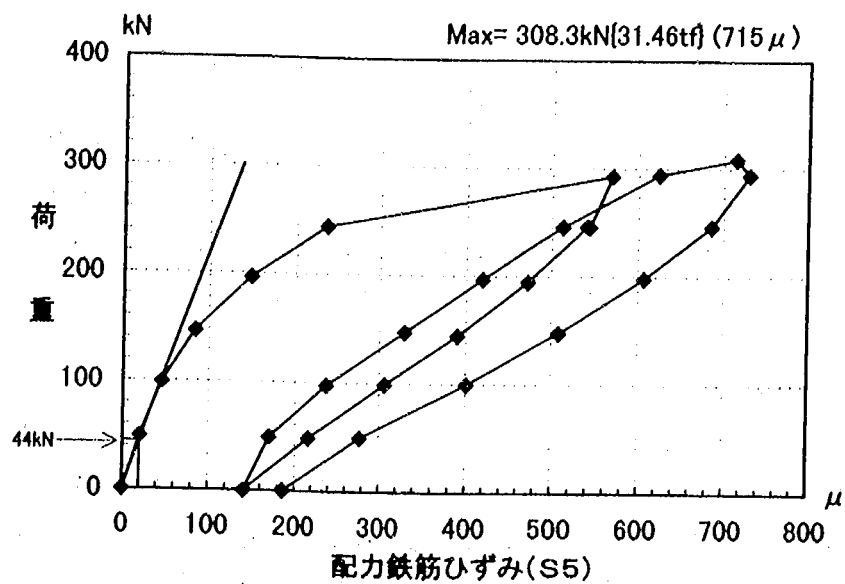


図-6. 18 静荷重試験での横筋のひずみと荷重の関係 (S5)

以上の結果から、静荷重試験結果では、横筋のひずみ 20μ で荷重は 44 kN (4.5tf) となっている。これに対して FEM 解析結果では、3 辺支持条件が (Pin-Fix) の場合で 61 kN (6.1tf)、(Pin-Pin) の場合で 48 kN (4.8tf) となっている。したがって、3 辺支持条件を (Pin-Pin) とした方が、静荷重試験結果に近い値である。これは、静荷重試験における横筋のひずみ発生状況からもわかるように、荷重が集中して作用し、横鉄筋方向に広く分散していないことが理由として考えられる。

(2) ひずみの分布形状の比較

衝突実験および静荷重試験での鉄筋ひずみの一例を図-6.20～図-6.22に示す。図-6.20は静荷重試験での横筋のひずみ分布であり、図-6.21および図-6.22は実車衝突実験における鉄筋ひずみ分布（縦方向、横方向）である。モーメントとひずみの関係を考慮すると、モーメント分布図がひずみ形状になることから、これらの図より、FEM 解析結果は実験結果と良く対応していることがわかる。

(3) まとめ

版の FEM 解析モデルは、3 辺の支持条件を適切に設定することで、静荷重試験結果とよく対応することがわかり、解析モデルの妥当性が確認された。したがって、コンクリート製防護柵の衝突実験時のひずみなどから衝突時に作用した衝突荷重の推定が可能である。

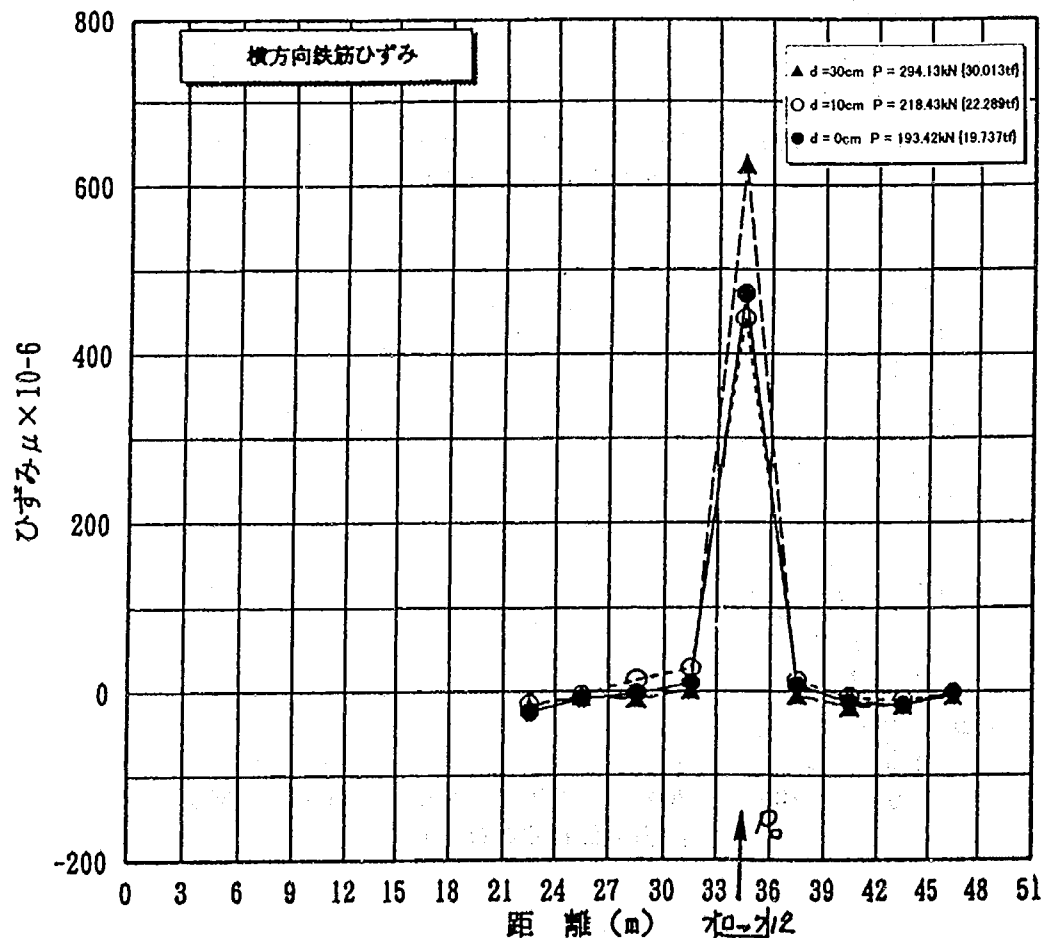
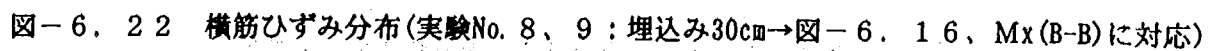
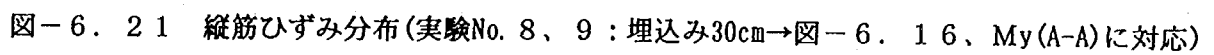


図-6.20 静荷重試験での横筋のひずみ分布 (図-6.15、 $M_x(B-B)$ に対応)



6. 1. 4 FEM解析による実車衝突時の衝突荷重の推定

ここでは、実車衝突実験で得られた縦筋と横筋ひずみから、衝突荷重を推定する。

3辺支持条件は、前項における静荷重の検討結果から、横筋について(Pin-Pin)で良い結果が得られている。実車衝突実験では、横筋とともに縦筋についてもひずみを計測しているが、縦筋については下辺が比較的剛に固定されている状況が想定でき、またひずみの主要な発生位置も下辺にあることからPin-Fixとする支持条件が比較的实际に近いものと考えられる。これに関し横筋を(Pin-Pin)、縦筋を(Pin-Fix)として推定した荷重がほぼ一致したため、横筋の支持条件は(Pin-Pin)とし、縦筋の支持条件を(Pin-Fix)とすることが妥当であると考えられる。

(1) ひずみと衝突荷重に関する仮定

ひずみ波形から衝突荷重を推定するには、衝撃波形からノイズを除去することが求められる。

防護柵に対する車両の衝撃は、大型車の場合前部衝突時と後部(荷台衝突)時にそれぞれ波形のピークが発生し、小型車の場合一つのひずみ波形が現れるが、波形の形状からみてそれぞれの波形は0.2 s程度の固有周波数を有し、衝撃としては比較的長い時間作用する現象となっている。データのサンプリング間隔は、計測すべき周波数の1/10~1/20が必要とされている⁷⁾ことから、 $0.2 / 20 = 0.01$ s程度であればサンプリングデータとして満足するものと考えられる。今回の実験では、ひずみデータは100 Hzのローパスフィルタを通した波形について、5 ms間隔でデジタル収録したデータを用いており、荷重を求めるためのサンプリング回数としては適当であると考えられる。さらに計測された不規則な波形の鉄筋ひずみについて、主として卓越する周波数波形を明らかにするために、振動波形の処理方法のひとつである実効値(自乗平均値)⁸⁾としてスムージングを行った。

実効値を求める式は、フーリエ級数展開すると、フーリエ級数式に $1/\sqrt{2}$ を乗じた式として示されるので、これに従い計測で得られた最大値に $1/\sqrt{2}$ すなわち0.7を乗じた値をスムージング後の最大値とした。

例えば、実験No. 6の波形の各ピーク値に0.7を乗じた値を示すと、下図のとおりであり、実効値とすることによって、衝撃波形をなめらかな周波数波形として取り出していることが分かる。

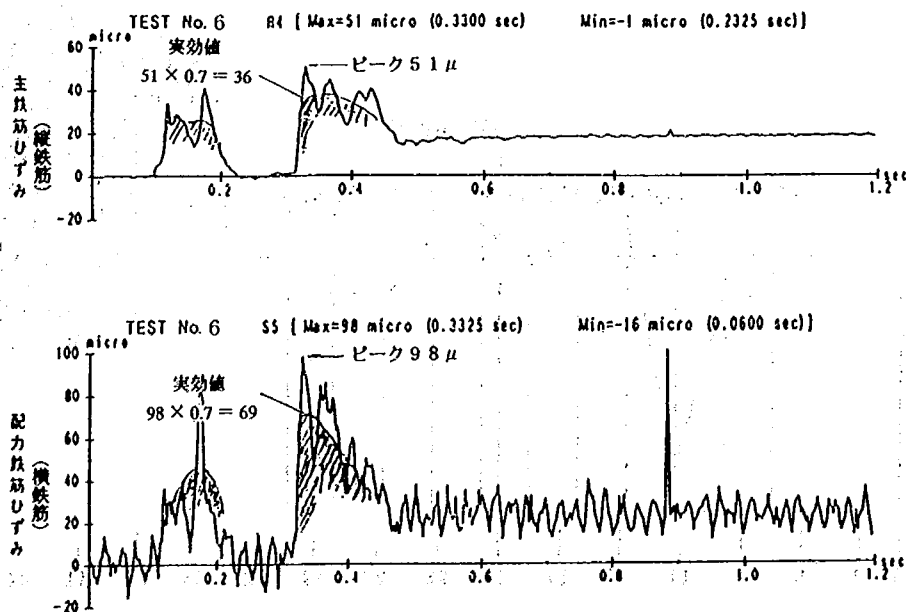


図-6. 23 実効値による卓越する周波数波形への変換

(2) 単スロープ型防護柵の衝突実験による衝突荷重の推定 (実験No. 6)

測定された鉄筋ひずみ (表-5.6 参照) を実効値に変換した値を以下に示す。

・縦鉄筋ひずみ (R4)

$$\varepsilon_y = 51 \times 0.7 = 36 (\mu)$$

・横筋ひずみ (S5)

$$\varepsilon_x = 98 \times 0.7 = 69 (\mu)$$

(図-6.24 参照)

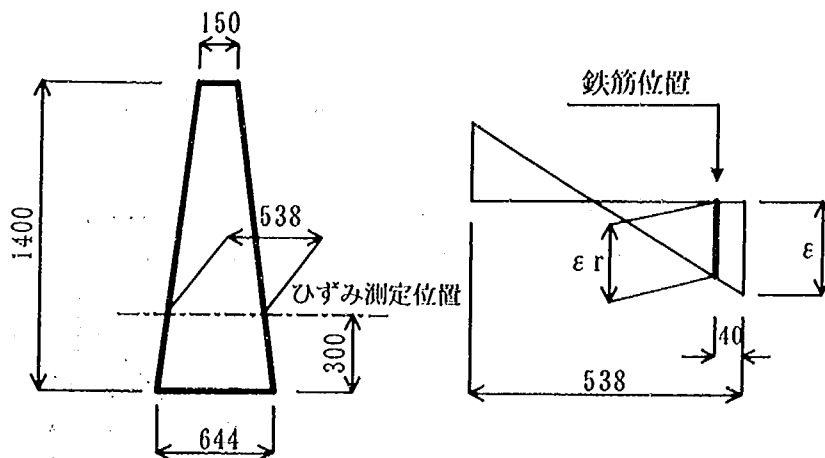


図-6.24 ひずみ分布図 (単位: mm)

1) 縦筋ひずみからの衝突荷重の推定

解析結果には、3辺支持条件 (Pin-Fix) を用いる。ただし、下記に示す式中の記号は、6.1.3(1) と同様である。

$$\sigma = \frac{M}{I} y$$

$$\varepsilon = \sigma / E$$

$$\varepsilon_r = 0.851 \varepsilon$$

$$I = \frac{100 \times 53.8^3}{12} = 1.30 \times 10^6 (\text{cm}^4)$$

$$y = 53.8 / 2 = 26.9 (\text{cm})$$

(Pin-Fix) : 荷重 980 kN、曲げモーメント 491 kN・m/m

$$\varepsilon_r = \frac{491 \times 10^5}{1.30 \times 10^6} \times 26.9 \times \frac{1}{3.1 \times 10^5} \times 0.851 = 2.79 \times 10^{-4} = 279 (\mu)$$

$$100 \mu \text{ 当たりの荷重 } P_{100} : P_{100} = 980 / 279 \times 100 = 351 \text{ kN } \{35.1 \text{ tf}\}$$

実験での計測結果は 36 (μ) であるため、荷重は次のとおりとなる。

$$P = 351 / 100 \times 36 = 126 \text{ kN } \{12.6 \text{ tf}\}$$

2) 横筋ひずみからの衝突荷重の推定

解析結果には、3辺支持 (Pin-Pin) を用いる。

6.1.3 より、100 μ 当たりの荷重は 240 (kN) である。計測結果は 69 (μ) であるため、荷重は次のとおりとなる。

$$P = 240 / 100 \times 69 = 166 \text{ kN } \{16.5 \text{ tf}\}$$

以上より、単スロープ型での実験結果から、衝突荷重は下辺をピン条件としている横筋ひずみで推定すると 126 kN {12.6 tf}、下辺を固定条件としている縦筋ひずみでは 166 kN {16.5 tf} となる。実際の支持条件は、前述のようにバネ支持が近いと考えられ、バネ支持がピン支持と固定支持との中間的な支持条

件になることから、実際の発生荷重も下辺をピンとした横筋ひずみからの推定値と、下辺を固定としている縦筋ひずみからの推定値の中間的な値であるものと考えて、発生荷重Pを126kNと166kNの中間値145kNと推定した。

(3) F型防護柵の衝突実験による衝突荷重の推定 (実験No. 8)

横筋ひずみについては、データが得られていない箇所があるので、縦筋ひずみ(表-5.8参照)について検討を行った。

・縦筋ひずみ(R5)

$$\epsilon_y = 58 \times 0.7 = 41 (\mu)$$

(図-6.25参照)

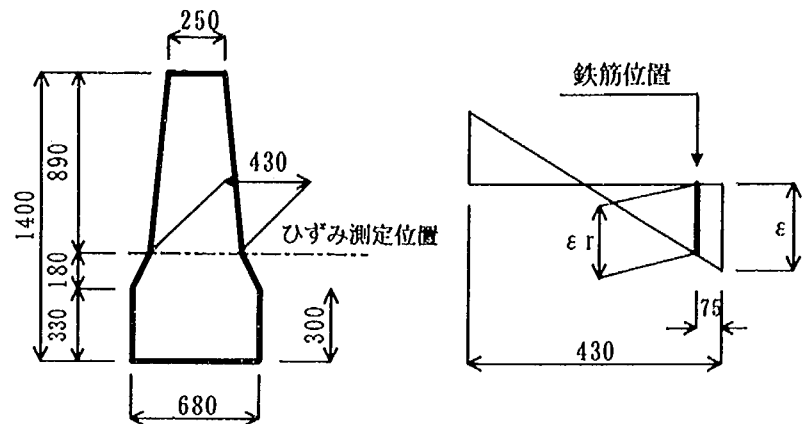


図-6.25 ひずみ分布図 (単位: mm)

解析結果には、3辺支持条件(Pin-Fix)を用いる。

$$\sigma = \frac{M}{I} y$$

$$\epsilon = \sigma / E$$

$$\epsilon_r = 0.651 \epsilon$$

$$I = \frac{100 \times 43.0^3}{12} = 6.63 \times 10^5 (\text{cm}^4)$$

$$y = 43.0 / 2 = 21.5 (\text{cm})$$

(Pin-Fix): 荷重980lf、曲げモーメント395kN・m/m

$$\epsilon_r = \frac{395 \times 10^5}{6.63 \times 10^5} \times 21.5 \times \frac{1}{2.9 \times 10^6} \times 0.651 = 2.88 \times 10^{-4} = 288 (\mu)$$

$$100 \mu \text{ 当たりの荷重 } P: P = 980 / 288 \times 100 = 340 \text{ kN } \{34.1 \text{ kN}\}$$

実験での計測結果は41(μ)であるため、荷重は次のとおりとなる。

$$P = 340 / 100 \times 41 = 139 \text{ kN } \{14.01 \text{ f}\}$$

以上より、F型での衝突実験から推定した衝突荷重は139kN(14.01f)となる。

(4)直壁型防護柵の衝突実験による衝突荷重の推定 (実験No. 1)

測定された鉄筋ひずみ (表- 5. 1 参照) に実効値を乗じた値を以下に示す。

- ・ 縦筋ひずみ D-D (K5)
 $\epsilon y = 2344 \times 0.7 = 1641 (\mu)$
 - ・ 縦筋ひずみ C-C (J5)
 $\epsilon y = 2820 \times 0.7 = 1974 (\mu)$
 - ・ 横筋ひずみ A-A (S8)
 $\epsilon x = 1422 \times 0.7 = 995 (\mu)$
- (図- 6. 2 6 参照)

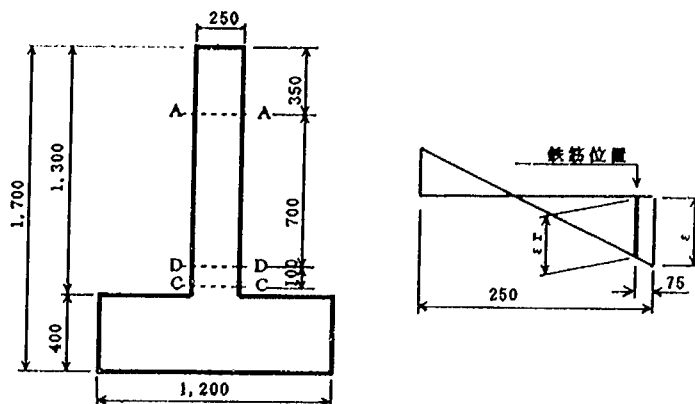


図- 6. 2 6 ひずみ分布図 (単位: mm)

1) 縦筋ひずみからの推定

解析結果には、3 辺支持条件 (Pin-Fix) を用いる。

今回の直壁型防護柵の衝突実験では、衝撃が大きいため防護柵が破壊し、鉄筋が降伏状態にある。したがって、コンクリートのみでなく、鉄筋を含む全断面について衝突荷重の推定を行う。

6 m モデル (Pin-Fix)、荷重 980 kN {100 tf} での応力度の計算結果を表- 6. 7 に示す。

$\epsilon = \sigma_s / E$ より、

$$\epsilon_{c-c} = \frac{129.537}{2.1 \times 10^6 \times 9.8} = 6294 (\mu)$$

$$\epsilon_{D-D} = \frac{152.206}{2.1 \times 10^6 \times 9.8} = 7396 (\mu)$$

表- 6. 7 応力度の計算結果

矩形断面 (測定断面)			C-C	D-D
断面寸法	B	cm	100.0	100.0
	H	cm	25.0	25.0
断面力	M	kN・m {tf・m}	314.766 {32.119}	369.852 {37.740}
	N	kN {tf}	0.000 {0.000}	0.000 {0.000}
	S	kN {tf}	0.000 {0.000}	0.000 {0.000}
鉄筋量	d1	cm	7.5	7.5
	As1	cm ²	15.888	15.888
			(8-D16)	(8-D16)
	d2	cm	17.5	17.5
	As2	cm ²	15.888	15.888
			(8-D16)	(8-D16)
	合計	cm ²	31.776	31.776
応力度	σ_c	kN/cm ² {kgf/cm ² }	5.958 {608.0}	7.001 {714.4}
	σ'_s	kN/cm ² {kgf/cm ² }	129.537 {13218.1}	152.206 {15531.3}
	$\sigma s'$	kN/cm ² {kgf/cm ² }	4.441 {453.2}	5.219 {532.6}
	τ	kN/cm ² {kgf/cm ² }	0.000 {0.00}	0.000 {0.00}
許容応力度	σ_{ca}	N/cm ² {kgf/cm ² }	780 {80.0}	780 {80.0}
	σ_{sa}	N/cm ² {kgf/cm ² }	18000 {1800.0}	18000 {1800.0}
	τ_a	N/cm ² {kgf/cm ² }	35 {3.60}	35 {3.60}
中立軸	x	cm	7.145	7.145
ヤング係数比 n (=Es/Ec)			15.0	15.0

(注) x : 圧縮端からの距離

衝突実験における計測結果は、C-C断面で2820(μ)、D-D断面で2344(μ)であるため、推定荷重は次のとおりとなる。

$$P_{C-C}=2820 \times 0.7/6294 \times 980=308\text{kN}\{31.4\text{tf}\}$$

$$P_{D-D}=2344 \times 0.7/7396 \times 980=218\text{kN}\{22.2\text{tf}\}$$

しかし、以下の理由から、C-C断面の測定ひずみから推定した荷重については、検討対象から除外することにした。

- ①鉄筋ひずみの弾性領域は2200 μ 程度までであることが、引張試験結果から判明している。C-C断面の測定ひずみは2820 μ であり、降伏しているものと判断され、このひずみを基に衝突荷重を推定することが困難なこと。
- ③D-D断面の測定ひずみは2344 μ であり、弾性領域を若干超えているが、この程度の塑性ひずみであれば、弾性計算により衝突荷重を推定することに大きな問題が生じないと判断されること。

2) 横筋ひずみからの衝突荷重の推定

6mモデル(Pin-Fix)、荷重980kN{100tf}での応力度の計算結果を表-6.8に示す。

$\varepsilon = \sigma_s / E$ より、

$$\varepsilon = \frac{11956}{2.1 \times 10^6} = 5693(\mu)$$

表-6.8 応力度の計算結果

矩形断面 (測定断面)			A-A
断面寸法	B	cm	100.0
	H	cm	25.0
断面力	M	kN $\cdot$ m{tf $\cdot$ m}	229.496{23.418}
	N	kN {tf}	0.000 {0.000}
	S	kN {tf}	0.000 {0.000}
鉄筋量	d1	cm	8.9
	As1	cm ²	12.670
			(10-D16)
	d2	cm	16.1
	As2	cm ²	12.670
			(10-D16)
	合計	cm ²	25.340
応力度	σ_c	kN/cm ² {kgf/cm ² }	5.513 {562.5}
	σ'_s	kN/cm ² {kgf/cm ² }	117.165{11955.6}
	σ_s'	kN/cm ² {kgf/cm ² }	27.790 {2835.7}
	τ	kN/cm ² {kgf/cm ² }	0.000 {0.00}
許容応力度	σ_{ca}	N/cm ² {kgf/cm ² }	780 {80.0}
	σ_{sa}	N/cm ² {kgf/cm ² }	18000{1800.0}
	τ_a	N/cm ² {kgf/cm ² }	35 {3.60}
中立軸	x	cm	6.661
ヤング係数比n (=Es/Ec)			15.0

(注) x : 圧縮端からの距離

衝突実験における計測結果は、1422(μ)であるため、推定荷重は次のとおりとなる。

$$P = 1422 \times 0.7 / 5693 \times 980 = 171 \text{ kN} \{17.5 \text{ tf}\}$$

以上より、直壁型防護柵での衝突荷重は、実験結果から推定すると171~218kN{17.5~22.2tf}となり、195kN{20tf}程度と推定される。

(5)まとめ

実車衝突実験から得られた縦および横方向の鉄筋ひずみに基づいて、FEM解析で推定した衝突荷重を、防護柵の型別に表-6.9に示す。

衝突荷重は、単スロープ型での実験結果から推定すると143kN{14.6tf}であり、F型での実験結果から推定すると137kN{14.0tf}となる。一方、直壁型では195kN{20tf}程度と推定され、前面形状が衝突荷重に及ぼす影響が大きく、斜面が衝突荷重の低減に大きく寄与しているものと考えられる。

表-6.9 FEM解析による衝突荷重の推定値

防護柵	衝突荷重 kN{tf}			実験番号
	縦鉄筋ひずみより推定	横鉄筋ひずみより推定	(中央値)	
単スロープ型	123{12.6}	162{16.5}	143{14.6}	実験No. 6
F 型	137{14.0}	—		実験No. 8
直 壁 型	218{22.2}	172{17.5}	195{19.9}	実験No. 1

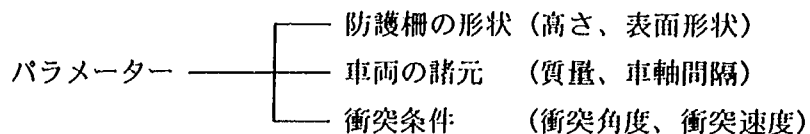
6. 2 力積運動方程式による衝突荷重解析

6. 2. 1 力積運動方程式による衝突荷重解析方法

(1) 一般性のある設計衝突荷重の算定式

今回の実験結果を踏まえて、一般性のある荷重算定式を算定する方法を検討する。

荷重を算定するに当たっては、パラメーターとして下記の項目を考慮した。



上記のパラメーターを念頭に、設計に用いる簡易式を下記の手順で導く。

- ① 衝突車両をモデル化
- ② 剛度が高く、十分な高さを持つ直壁の防護柵を基準に、基本式を誘導
- ③ 供試体に作用した実験結果の衝突荷重との整合性を検討し算定式を設定
- ④ ③の算定式を表面スロープのついた防護柵用に発展。

(2) 荷重算定式の基本的概念

車両の衝突荷重を算定するにあたり、運動量は力積に等しいという物理の基本法則に則り、下記の運動方程式を採用する。

$$m \cdot V - m \cdot V' = F \cdot t \quad [6. 1]$$

ここに、 m : 物体の質量、 V : 衝突速度、 V' : 離脱 (衝突後) 速度、
 F : 防護柵に働く衝突荷重、 t : 衝突荷重の作用時間

式 [6. 1] について、防護柵衝突時の防護柵直角方向の速度成分に着目し変形すれば、下記式により衝突荷重が計算できる。

$$F = (m \cdot V_y - m \cdot V_y') / t \quad [6. 2]$$

ただし、 V_y : 防護柵に直角方向の衝突速度、 V_y' : 防護柵に直角方向の離脱速度

式 [6. 2] において、 t 、 V_y および V_y' が特定できれば F を計算できる。

式 [6. 2] で、 V_y' を下記の式 [6. 3] のように置き換えると式 [6. 4] となる。

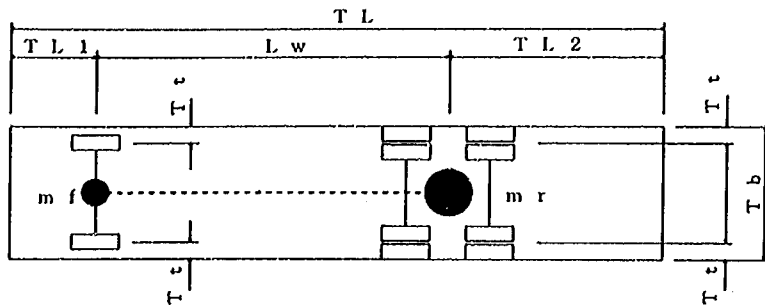
$$V_y' = -e_v \cdot V_y \quad [6. 3]$$

$$\begin{aligned} F &= (m \cdot V_y - m \cdot V_y') / t \\ &= (m \cdot V_y + m \cdot e_v \cdot V_y) / t \\ &= m \cdot V_y \cdot (1 + e_v) / t \end{aligned} \quad [6. 4]$$

ただし、 e_v : 衝突車両の防護柵に対する防護柵直角方向の反発係数

(3) 衝突速度 V_y , V_y' 、衝突時間 t の誘導

衝突荷重の基本式を誘導する場合は、大型貨物車両とし、車両の諸元を図-6.27に示す。



この図において、

m_f : 車両の前輪軸質量

m_r : 車両の後輪軸質量

m : 車両質量

$$m = m_f + m_r$$

図-6.27 車両の諸元

衝突荷重の誘導において、車両を m_f , m_r の2質点が距離 L_w で剛結された物体とモデル化する。

衝突時の車両の挙動は、最初に前輪軸が衝突して時間 t' 後に後輪軸が衝突するものとする。これは、実験の加速度波形および鉄筋ひずみ波形において、車体前部衝突時と車体後部（荷台）衝突時に、波形に2つのピーク値が現れることから仮定した。

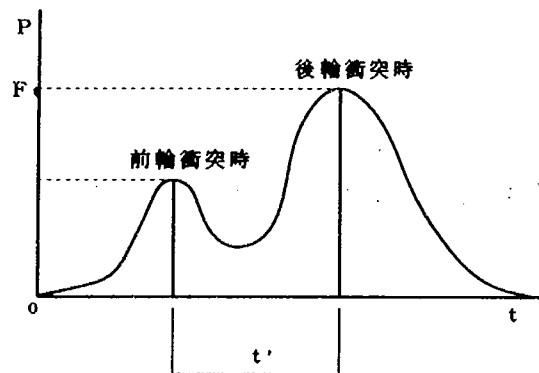


図-6.28 実験波形のモデル

1) 前輪衝突時

前輪が防護欄に衝突する場合に、速度 V ・衝突角度 θ を持っているものとする（図-6.29）。

従って、防護欄の直角方向及び軸方向の成分は次式で表される。

$$v_x = V \cdot \cos \theta$$

$$L_x = L_w \cdot \cos \theta$$

$$v_y = V \cdot \sin \theta$$

$$L_y = L_w \cdot \sin \theta$$

[6.5]

ここに、 L_w : 車両の車軸間隔

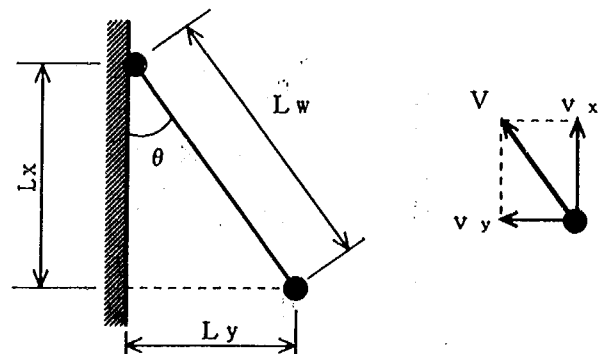


図-6.29 前輪衝突時

2) 前輪衝突直後の車両の回転

前輪衝突直後の車両速度 V'' は次式で表されるものとする。

$$V'' = e_r \cdot V \quad [6.6]$$

ただし、 e_r : 前輪での反発係数

車両は前輪の衝突によって回転し、後輪の衝突速度は回転速度が付加されて増加する。後輪の衝突速度は衝突速度 s in 成分 v_y に回転速度 v_{ry} を単純に足すものとする（タイヤの摩擦等は考慮しない）。

また、車両の回転は、2 質点の重心位置 R_g で回転するものと考え、後輪の防護柵直角方向の衝突速度 v_y' は式 [6.7] となる。

$$\begin{aligned} \ell_1 &= L_w \cdot \frac{m_r}{m} & \ell_2 &= L_w \cdot \frac{m_f}{m} \\ v_{ry} &= V'' \cdot \sin \theta \\ v_{ry} &= v_{ry} \cdot \frac{\ell_2}{\ell_1} \\ v_y' &= v_y + v_{ry} \end{aligned} \quad [6.7]$$

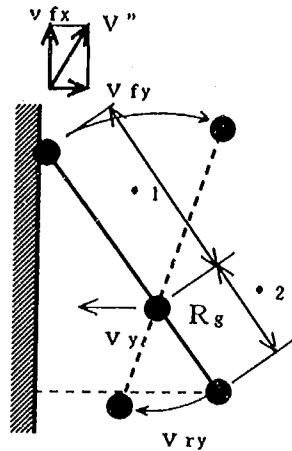


図-6.30 車両の回転

3) 前輪衝突時から後輪衝突時までの車両の位置関係

前輪が防護柵に衝突し、その後車両の回転により後輪が衝突するまでの車両挙動および車体位置関係を示したものが図-6.31である。

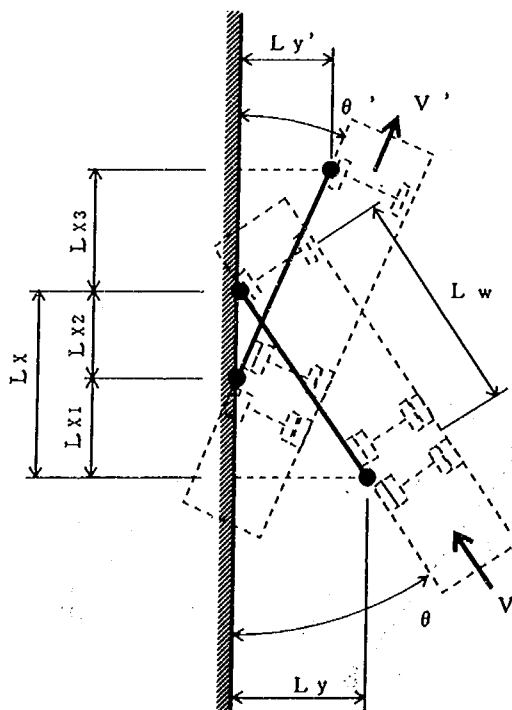


図-6.31 車両の衝突挙動のモデル化

ここで

- θ : 衝突角度 (度)
- θ' : 離脱角度 (度)
- V : 衝突速度 (m/s)
- V' : 離脱速度 (m/s)
- L_{x2} : 前輪衝突位置と後輪衝突位置との距離 (m)

ここで、前輪が衝突して後輪が衝突するまでの時間 t' は次式で求められる。

$$t' = \frac{L_y}{v_y'} \quad [6.8]$$

その間に車両が進む距離 L_{x1} は、式 [6.9] で求められる。

$$\text{あ} \quad L_{x1} = v_{ix} \cdot t' = v'' \cdot \cos \theta \cdot t' \quad [6.9]$$

4) 後輪衝突時

後輪の衝突する位置は、前輪の衝突位置から L_{x2} 分だけ移動した位置となる。

$$L_{x2} = L_x - L_{x1} \quad [6.10]$$

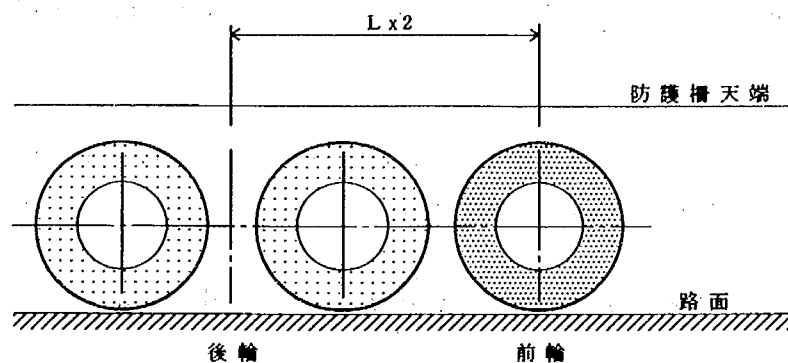


図-6.32 車輪軸の衝突位置

(4) 設計衝突荷重の算出

1) 荷重作用時間

式〔6. 7〕に、式〔6. 5〕・式〔6. 6〕を代入し整理すると以下になる。

$$\begin{aligned} v_y' &= v_y + v_{ry} \\ &= V \cdot \sin \theta \cdot \left(1 + e_r \cdot \frac{m_r}{m_r} \right) \end{aligned} \quad [6. 11]$$

$$\text{ここに、} \quad v_{ry} = v_r \cdot \frac{l_2}{l_1} = e_r \cdot V \cdot \sin \theta \cdot \frac{m_r}{m_r}$$

式〔6. 8〕で表される前後輪の衝突時間差 t' を式〔6. 1〕における荷重作用時間 t と考え、式〔6. 8〕及び式〔6. 5〕に上記の式を代入し整理すると、式〔6. 12〕となる。

$$t = \frac{L_w \cdot m_r}{V \cdot (m_r + e_r \cdot m_r)} \quad [6. 12]$$

式〔6. 12〕から車両の衝突荷重作用時間は、衝突速度および車両の構造的な数量で決まることになる。

2) 衝突荷重

式〔6. 4〕において、速度は回転速度を加えた後輪の防護柵直角方向の衝突速度と考え、反発係数 $e_r = 1$ とすれば、衝突荷重は、次式で求めることができる。

$$F_c = \frac{m}{L_w} \cdot V^2 \cdot (1 + e_v) \cdot \sin \theta \cdot \left(\frac{m}{m_r} \right)^2 \quad [6. 13]$$

ここに、 F_c : 衝突荷重 (kN)

ここで、式〔6. 13〕を変形して整理すると下記のようなになる。

$$\begin{aligned} F_c &= \frac{2 \cdot (1 + e_v)}{L_w \cdot \sin \theta} \cdot \left(\frac{m}{m_r} \right)^2 \cdot \frac{1}{2} \cdot m \cdot V_1^2 \cdot \sin^2 \theta \\ &= K_k \cdot E_y \end{aligned} \quad [6. 14]$$

$$\text{ここに、} K_k = \frac{2 \cdot (1 + e_v)}{L_w \cdot \sin \theta} \cdot \left(\frac{m}{m_r} \right)^2 : \text{比例係数}$$

$$E_y = \frac{1}{2} \cdot m \cdot V_1^2 \cdot \sin^2 \theta : \text{防護柵直角方向の衝撃度 (kJ)}$$

式〔6. 14〕は、衝突角度が一定の場合、車両衝突時の衝突荷重が、その運動エネルギーの分力と想定することができる衝撃度に比例することを表している。

(5) 剛性防護柵の前面形状の影響

剛性防護柵の衝突面が角度 β の斜面の場合、車両は図-6.33に示す様に衝突角度 θ で進入すると面ABCの斜辺ABを駆け上がることになる。

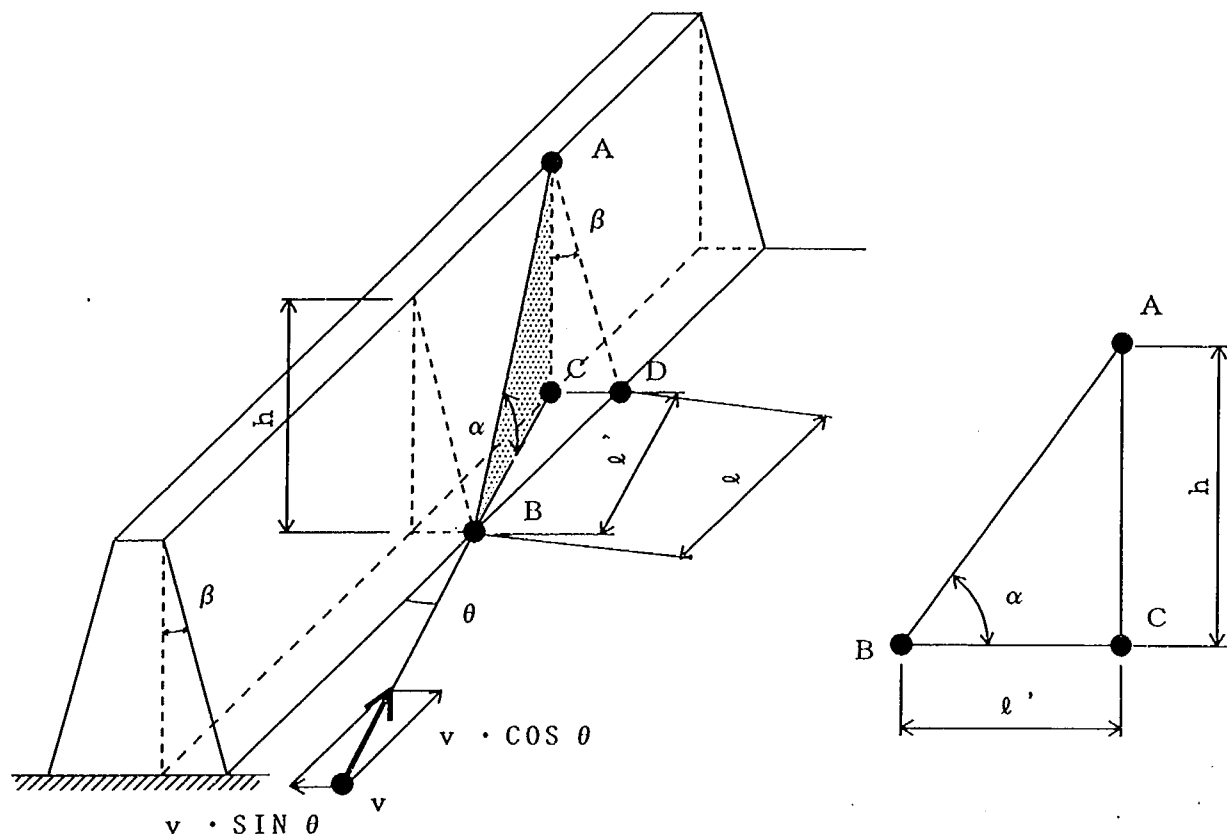


図-6.33 衝突面が角度 β の斜面の場合

今、線分 $BD=l$ 、線分 $BC=l'$ 、線分 $AC=h$ 、線分 $CD=b_0$ と置くと、角度 $ABC=\alpha$ は以下の様に求められる。

$$b_0 = h \cdot \tan \beta$$

$$b_0 = l \cdot \tan \theta$$

$$\therefore l = h \cdot \frac{\tan \beta}{\tan \theta} \quad [6.15]$$

また、

$$l = l' \cdot \cos \theta \quad [6.16]$$

式[6.15]・式[6.16]より、

$$l' = h \cdot \frac{\tan \beta}{\tan \theta} \cdot \frac{1}{\cos \theta} = h \cdot \frac{\tan \beta}{\sin \theta} \quad [6.17]$$

三角形ABC及び式〔6. 17〕より,

$$\tan \alpha = \frac{h}{l'} = \frac{h}{h \cdot \frac{\tan \beta}{\sin \theta}} = \frac{\sin \theta}{\tan \beta}$$

$$\therefore \alpha = \tan^{-1} \left(\frac{\sin \theta}{\tan \beta} \right) \quad [6. 18]$$

車両が速度 V (m/sec) で衝突すると, 斜面ABに平行な分速度 v_v は車両が斜面を駆け上がる力に利用され (車両の持ち上がり及び回転), 衝撃力に寄与しないものと考えられる。従って, 防護柵に衝撃力を与える分速度は v_h となる。この分速度 v_h は, 鉛直方向分速度 v_{hv} 及び水平方向分速度 v_{hh} に分けられて, 防護柵を転倒させる速度 (衝撃力を与える速度) は v_{hh} となり, また, 転倒を抑える速度は v_{hv} となる。即ち,

$$v_{hv} = v_h \cdot \cos \alpha = V_i \cdot \sin \alpha \cdot \cos \alpha = 1/2 \cdot \sin(2\alpha) \cdot V$$

$$v_{hh} = v_h \cdot \sin \alpha = V_i \cdot \sin^2 \alpha = K_i \cdot V_i \quad [6. 19]$$

である。ここで, $K_i = \sin^2 \alpha$ を斜面効果による低減係数と呼ぶ。

$$K_i = \sin^2 \alpha \quad [6. 20]$$

以上より, 前斜面を持つ剛性防護柵への衝撃力を算出する場合, 設計上の衝突速度 v に, 低減係数 K_i を乗じて斜面に衝突する速度を算出し, その値を用いて荷重基本式で計算すればよいと考える。

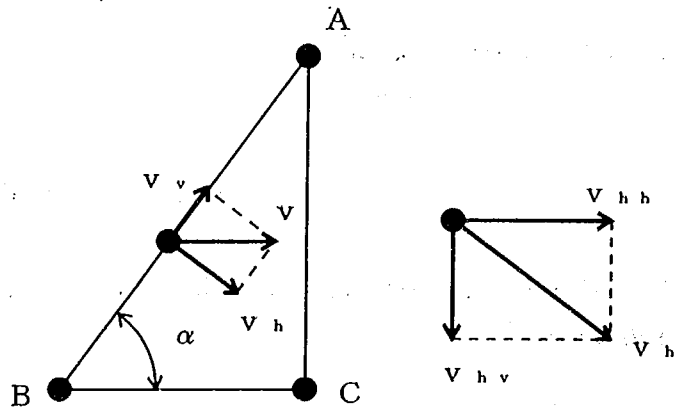


図-6. 34 斜面形状と衝突速度

6. 2. 2 FEM解析結果との整合性

前項6. 1で、FEM解析結果が示されたが、ここでは、その結果と本項で示した荷重算定式との整合性を検討してみる。

式[6. 14]および式[6. 20]から、設計荷重式は下記の式として表される。

$$F_c = \frac{2 \cdot (1 + e_v)}{L_w \cdot \sin \theta} \cdot \left(\frac{m}{m_r} \right)^2 \cdot E_y \cdot a \quad [6. 21]$$

ここに、 F_c ：衝突荷重 (kN)

E_y ：防護柵直角方向の衝撃度 (kJ) ： $E_y = \frac{1}{2} \cdot m \cdot v^2 \cdot \sin^2 \theta$

θ ：衝突角度 (度)

L_w ：車軸間隔 (前後輪間隔：m)

m ：車両全質量 (t)

m_r ：後輪軸質量 (t)

v ：衝突速度 (m/sec)

e_v ：車両の反発係数：

： $e_v = 0.2$ (過去の実績より)

a ：斜面低減率

： $a = (K_t)^2 \cdot b \leq 1.0$

K_t ：角度低減率

： $K_t = \sin^2 \alpha$

α ： $\alpha = \tan^{-1} (\sin \theta / \tan \beta)$

β ：斜面角度

：単スロープ型 10度, F型 6度

b ：実験係数

：単スロープ型=1.7, F型=1.1

なお、斜面低減率に関しては、今後の実験または研究によるところが多く、特にF型については下方の斜面角度による効果も考慮する必要がある。しかし、現段階では、そのための実験数も少なく不明な点も多いことから、理論値に実験係数を掛けて補正することとし、ここでは暫定値として示した。

以上の衝突荷重算定式と、今回の実験結果を基にして、前項6. 1のFEM解析で算出された衝突荷重を比較することとする。

表-6. 8 過去の実験条件一覧

実験番号	衝突角度 (θ) (度)	車両全質量 (m) (t)	後輪軸質量 (m_r) (t)	衝突速度 (V) (m/sec)
実験No. 1	23	20	15.0	27.78
実験No. 6	17	20	単スロープ 14.97	27.78
実験No. 8	17	20	F 14.68	27.78

表-6. 9にFEM解析結果と式〔6. 2 1〕の計算結果を挙げる。

表-6. 9 衝突荷重の比較一覧

実験番号	形 式	ひずみの種別	衝 突 荷 重	
			版解析からの推定	荷重算定式
実験No. 1	直 壁	縦鉄筋ひずみより推定	$\begin{matrix} 218 \text{ kN} \\ \{22.2 \text{ tf}\} \end{matrix}$	$\begin{matrix} 2075 \text{ kN} \\ \{211.7 \text{ tf}\} \end{matrix}$
		横鉄筋ひずみより推定	$\begin{matrix} 172 \text{ kN} \\ \{17.5 \text{ tf}\} \end{matrix}$	
実験No. 6	単スロープ型	縦鉄筋ひずみより推定	$\begin{matrix} 123 \text{ kN} \\ \{12.6 \text{ tf}\} \end{matrix}$	$\begin{matrix} 1412 \text{ kN} \\ \{144.1 \text{ tf}\} \end{matrix}$
		横鉄筋ひずみより推定	$\begin{matrix} 162 \text{ kN} \\ \{16.5 \text{ tf}\} \end{matrix}$	
実験No. 8	F 型	縦鉄筋ひずみより推定	$\begin{matrix} 137 \text{ kN} \\ \{14.0 \text{ tf}\} \end{matrix}$	$\begin{matrix} 1393 \text{ kN} \\ \{142.1 \text{ tf}\} \end{matrix}$

表のうち、荷重算定式で求められた衝突荷重をみると、過去に車両衝突時に発生する荷重について実験検討した結果によれば、乗用車が速度20～30km/hで固定障壁に正面衝突する（衝撃度で20～40kN{2～4tf・m}）と、発生する荷重は数十トンであるとされている。従って、今回の実験における衝撃度からみて、荷重算定式により算定された結果は、比較的妥当性のある値であると判断できる。

しかし、鉄筋ひずみから版解析によって推定された荷重とは、約10倍の開きがみられる。

これまでの衝撃荷重に関する調査研究では、本研究で対象としているような大きなひずみが発生する現象について明らかにされていないが、荷重算定式で算定される荷重が比較的瞬間に発生する大きな衝撃荷重であるのに対して、供試体に実際に影響を及ぼす荷重は、供試体の材料のひずみ速度や固有周期等の特性から、静荷重に近い比較的長い時間に平均的に作用する荷重となることが予想され⁹⁾、これが版解析結果と理論算定荷重との間に約10倍の差として生じさせたことが考えられる。

以上から、実際に供試体に影響を及ぼす荷重は、荷重算定式により求められる荷重に比例し、かつ低減された荷重になるものとして補正比例係数 κ_t を導入し、下記の式〔6. 2 2〕を設計荷重算定式とする。

$$F_t = \kappa_t \cdot \frac{2 \cdot (1 + e_v)}{L_w \cdot \sin \theta} \cdot \left(\frac{m}{m_r} \right)^2 \cdot E_y \cdot a \quad [6. 2 2]$$

ここに、 F_t ：設計荷重 (kN)

κ_t ：補正比例係数 ($\kappa_t=0.1$)

6. 3 車両の横転検討

今回の一連の実験では、実験No. 2 では車両は防護柵を乗り越えて完全に転覆し、実験No. 3 では防護柵に沿って誘導されたものの最終的に横転した。また、実験No. 6 においても防護柵高さとしては車両の誘導性からみて下限に近い高さであった。

大型車の衝突現象は、最初に車両前部が衝突する1次衝突と、後部荷台部が衝突する2次衝突に分けることができる。衝突速度が低い場合などは、ほとんど1次衝突で車両の方向転換が行われるが^{1) 2)}、高速度衝突では1次衝突で発生する衝突荷重と2次衝突で発生する衝突荷重が同程度になり、また車両の横転は、防護柵の高さが必要とする高さより低い場合、荷台部の倒れ込みが生じる2次衝突時に発生している。

そこで、大型車の2次衝突時について簡易なモデルを設定し、車両の横転現象の検討を行った。

6. 3. 1 転倒モデルの設定

まず、車体と荷台が衝突する二次衝突状況についてモデル化を行った。

今回実験が行われたような高速度衝突の場合、衝突状況からみて車両本体と荷台部はねじれ運動により独立した挙動を示しており、車体と荷台の挙動を分けることが考えられる。そこで、モデルとしては、下図のように車体と荷台を分けた構造を設定した。

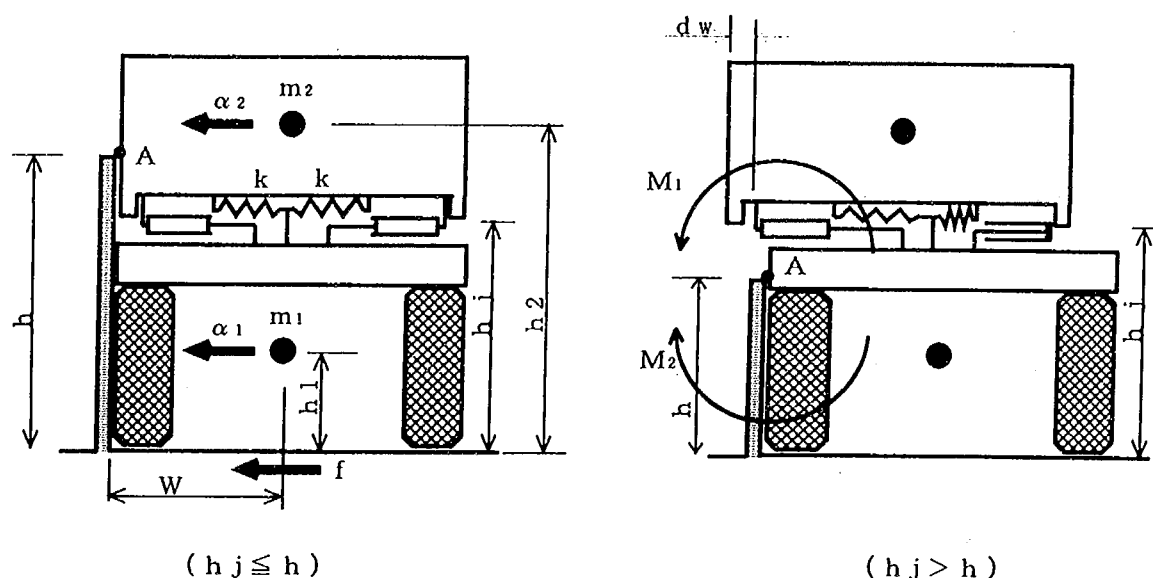


図-6. 36 車両の転倒モデル

ここで、
 A : 回転中心
 m_1 : 車体質量(kg)、
 a_1 : 車体に加わる遠心加速度 (m/s^2)、
 w : 車体及び荷台重心から防護柵までの距離 (m)
 f : 車輪と路面間の摩擦力 (N)
 k : 車体と荷台間の横方向バネ常数 (N/m)
 h : 防護柵高さ (m)
 h_1 : 車体重心の高さ (m)、
 h_2 : 積載物重心の高さ (m)、
 h_j : 荷台最下端高さ (m)
 m_2 : 積載物質量(kg)
 a_2 : 積載物に加わる遠心加速度 (m/s^2)

図で、防護柵高さ h が荷台部 h_j より高ければ ($h_j \leq h$) 荷台の偏心はなく、 $h > h_j$ であれば dw の荷台偏心があるものとする。

ここで路面の摩擦力 f は、防護柵が剛性であり変形はないものと仮定すれば、図の状態では無視できるものとする。

以上からA点廻りのモーメントの釣合を考えると、反時計廻りのモーメント M_1 は、

$$M_1 = m_2 \cdot a_2 \cdot (h_2 - h) + m_2 \cdot \frac{dw}{2w} \cdot g \cdot \frac{dw}{2} \quad [6.22]$$

また、時計廻りのモーメント M_2 は、以下の式により得られる。

$$M_2 = m_1 \cdot a_1 \cdot (h - h_1) + m_2 \cdot \frac{2w - dw}{2w} \cdot g \cdot \frac{2w - dw}{2} + m_1 \cdot g \cdot w \quad [6.23]$$

ここで、 $M_1 \leq M_2$ の場合車両は転倒せずに誘導できる。

実際の衝突実験では、防護柵衝突時に車両に係る遠心力として、車両重心位置の遠心力を測定している。この遠心力は車体が転倒に至る前の段階では、車体部分の質量 m_1 および荷台部分の質量 m_2 に等しく加わるものと近似できる。そこで車両重心遠心力 $a = a_1 = a_2$ と仮定する。また、荷台と車体の質量の比率を $m_r = m_2/m_1$ とし、これを用いると

$$m_r \frac{a}{g} (h_2 - h) + m_r \frac{dw^2}{4w} < \frac{a}{g} (h - h_1) + m_r \frac{(2w - dw)^2}{4w} + w \quad [6.24]$$

式[6.24]から、防護柵必要高さを求める式に変換し、バネ常数 k (N/m)から変形量 dw を求める式[6.25]を代入すると式[6.26]が得られる。

$$dw = m_2 \cdot a / k \quad [6.25]$$

$$h > \frac{(h_1 + m_r \cdot h_2) \cdot a / g + m_r \cdot m_2 \cdot a / k - (1 + m_r) \cdot w}{(1 + m_r) \cdot a / g} \quad [6.26]$$

6.3.2 遠心加速度の推定

防護柵の必要高さを求めるには、車両に作用する遠心加速度を推定しなければならない。

車両に発生した加速度は、実験において計測した重心位置の加速度や、前述の防護柵に作用した衝突荷重から推定することも考えられるが、重心位置の加速度や防護柵に作用した衝突荷重は、上述横転モデルとの整合性に問題があり、ここでは、横転計算に用いる遠心加速度を計算により推定するものとする。

推定するための仮定としては、図-6.37に示すように車両が防護柵に衝突してから防護柵に並行方向に移動するまでの時間 t' を式[6.8]から求め、さらに t' 時間に防護柵に接触する距離 l を求めてこれにより遠心力を求めるものとした。ただし、式[6.8]で、車体前部衝突時の反発係数 e_1 は0としている。

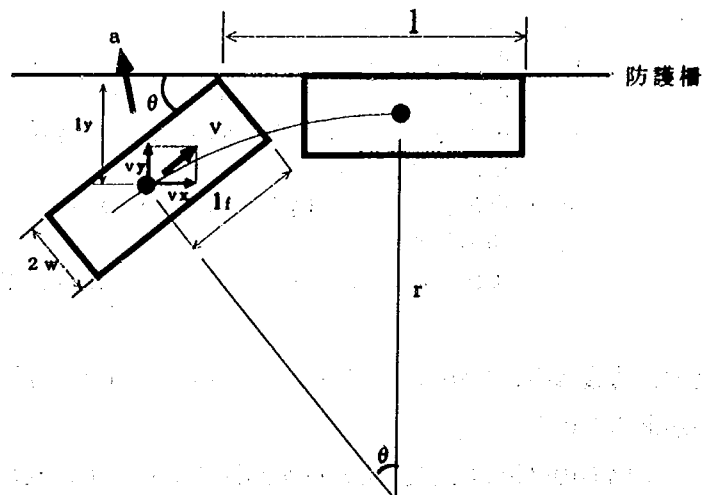


図-6.37 遠心加速度の推定モデル

図から半円 r の仮想円弧と遠心加速度 a との関係は以下の関係があり、式 [6. 30] から車両の仮想接触長 l を求めることによって遠心力を推定することができる。

$$l = (l_r \cdot \sin \theta + W \cdot \cos \theta) / v_y \quad [6. 27]$$

$$a = v^2 / r \quad [6. 28]$$

$$r = l / (2 \cdot \sin \theta) \quad [6. 29]$$

$$a = \frac{v^2 \cdot 2 \cdot \sin \theta}{l} \quad [6. 30]$$

6. 3. 3 実験結果の横転検討

大型車を用いた衝突実験について、上述の式を用いて横転検討を行った。

転倒計算に用いる各実験の車両諸元、および転倒計算結果は次表のとおりである。

表-6. 10 車両諸元と計算結果

実験番号		No. 1	No. 2	No. 3	No. 4	No. 6	No. 7	No. 8	No. 9
諸元等									
車体質量	(kg)	9790	9320	(9790)	(9790)	9740	9750	9800	9730
荷台質量	(kg)	10210	10680	(10210)	(10210)	10260	10250	10200	10270
車体幅	(mm)	2430	2500	2430	2420	2430	2480	2460	2470
車体重心高	(mm)	910	970	940	(940)	950	940	950	975
荷台重心高	(mm)	1480	1600	1660	1520	1580	1460	1410	1390
前面 ~ 重心間 距離(mm)	車体重心	6050	6010			6060	6150	6020	6000
	荷台重心	7055	7050			7110	7145	7110	6450
	全体重心	6563	6565	(6570)	(6570)	6599	6660	6576	6231
バネ常数 k kN/m {tf/m}		390 {40}							
横転判定		誘導	横転	誘導	誘導	誘導	誘導	誘導	誘導
実験状況		誘導	転覆	微妙	誘導	微妙	誘導	誘導	誘導

注) 車体質量、荷台質量は車検証のものを用いた。

()内は、不明のため仮定した。

車体重心高は、車検証による車種年式から自動車諸元表により求めた。

荷台重心位置は積載土嚢厚を40cmとし、その1/2を荷台床面高に加算した。

バネ常数は、過去の研究事例¹⁰⁾を参考に仮定した。

実験状況は、衝突実験結果として以下の誘導状況を示す。

誘導：車両を誘導した。

横転／転覆：車両は誘導されず横転・転覆した。

微妙：誘導と横転の境界上にあった。

以上の結果から、本項で設定した横転モデルは比較的实验状況を再現していることがわかった。また、防護柵の必要とする高さは、車両の諸元等によりかなり変化することも判明した。従って、防護柵の必要高さを求めるためには、衝突させる車両について基準仕様を設定することが必要になるものと考えられる。

第7章 コンクリート製防護柵の設計手法の提案

一連の検討結果をまとめ、コンクリート製防護柵の設計手法について以下の提案を行う。

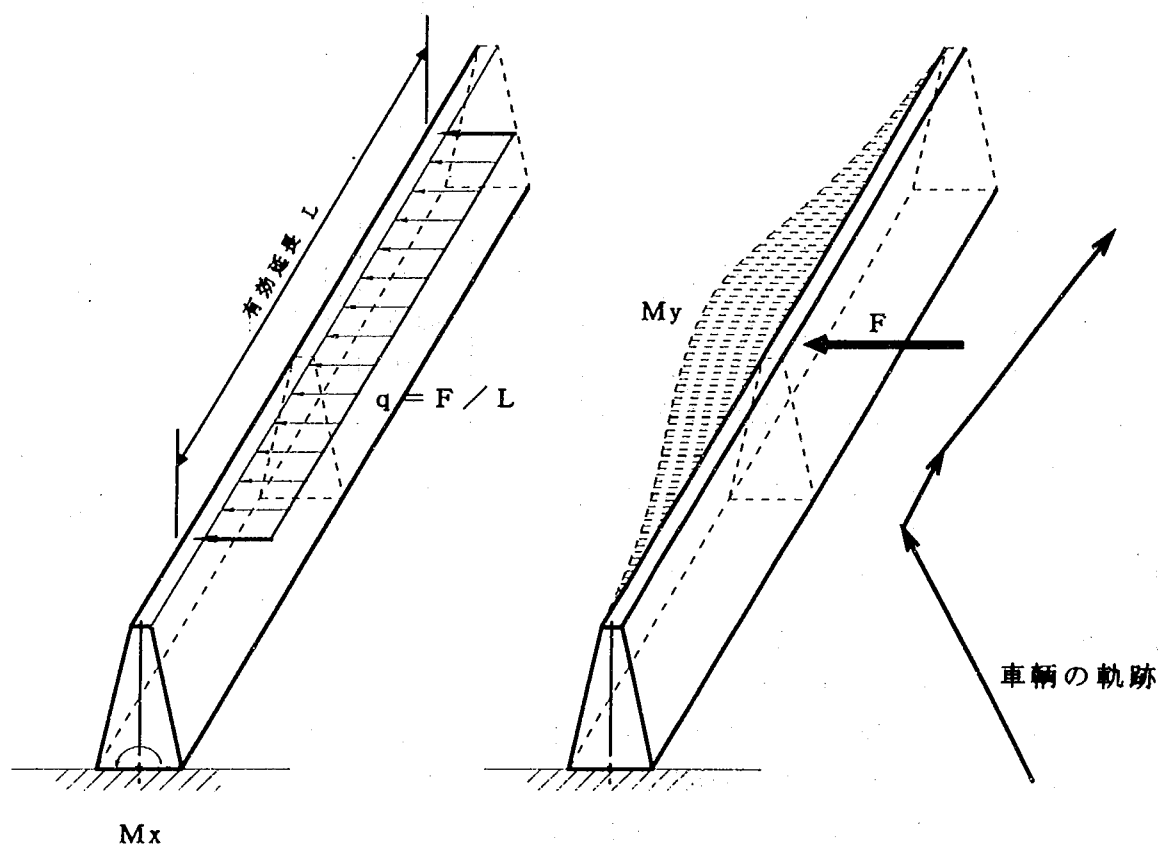
7. 1 設計の考え方と諸条件の設定

7. 1. 1 衝突荷重の考え方

現在、橋梁などに用いられている壁高柵等の剛性防護柵については、防護柵下端に作用する曲げモーメントを主要な強度条件として設計を行っており、このとき設計用の衝突荷重は、防護柵の天端水平荷重（線荷重）として取り扱っている。

今回の研究結果から、コンクリート製防護柵は、車両の衝突によって発生する集中荷重によって道路直角方向に局部変位するため、衝突荷重を道路軸の剛性で受け止めることになり、防護柵の断面設計に当たっては道路軸（横）方向の鉄筋を主筋として取り扱うことが必要であることが判明した。一方安定計算については、集中荷重として取り扱った場合の条件設定および計算が困難であり、従来の天端線荷重としての載荷方法に準拠することが適当であると判断された。

従って本章では、これらの結果を反映した設計方法を示す。



(安定計算法)

従来の衝突荷重の考え方に準拠
等分布線荷重が天端に作用と想定

(断面設計法)

本研究により新たに設定
部分等分布荷重が局部断面に作用と想定

図-7. 1 衝突荷重の考え方

7. 1. 2 安定計算における有効長

防護柵の安定計算については、集中荷重が作用した場合にどの程度の防護柵延長で抵抗しているかを、実験による残留変位から仮定した。

(1) 滑動

土中埋め込み式として、実験No. 6、8、9の残留変位状況を示したものが図-7. 2である。

衝突時における防護柵変位は、実験供試体全体にわたって発生しているが、残留変位は衝突地点を中心として山形の分布をし、特に変位した延長の長かった実験No. 9で20m程度以内、最も変位している延長が短かった実験No. 8では10m程度になっている。そこで滑動に対して抵抗する防護柵延長は、安全性を考慮して10mを滑動に抵抗する有効延長とする。

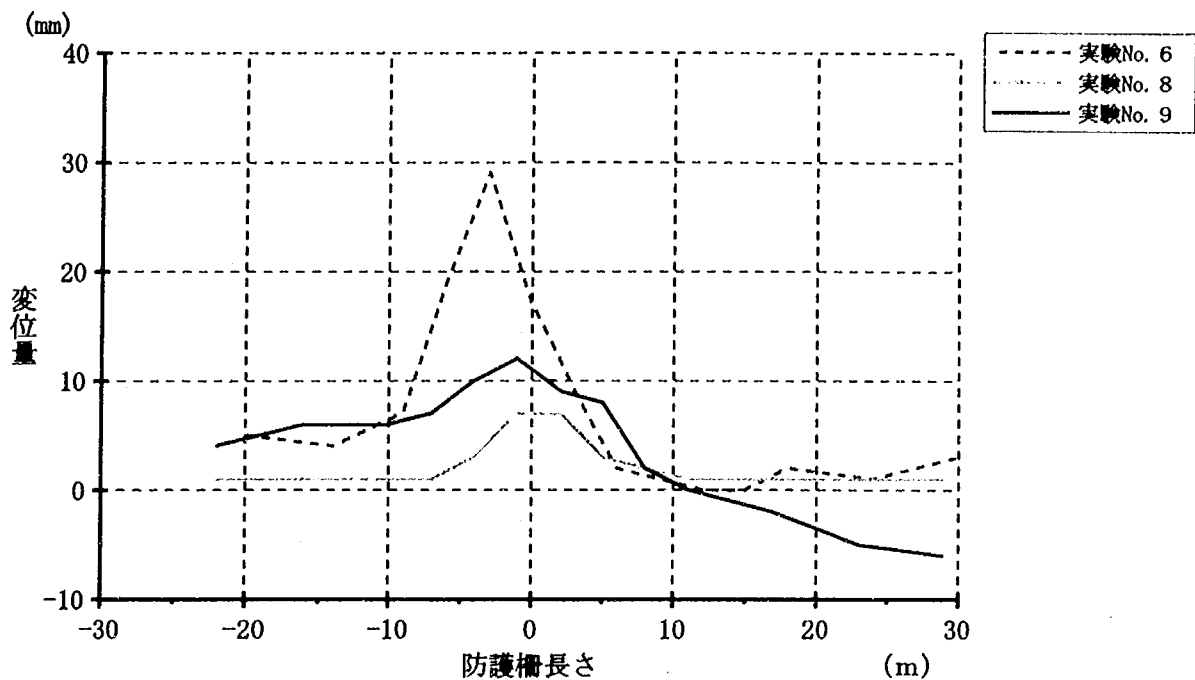


図-7. 2 防護柵の残留変位状況

(2) 転倒

衝突時における瞬間的な防護柵変位は、実験供試体全体（50m）にわたって生じており、今回の実験では供試体全体で転倒に抵抗していると考えられる。供試体延長が50mより長くなった場合については、本研究では明らかでないので、今回の実験で確認された50mを転倒に対する有効延長とする。

7. 1. 3 大型車モデル

大型車は、実験で想定した大型車の単車構造における最大質量25t車を用いるものとし、現在市販されている25t車の諸元の分布状況から、平均的な値として図-7. 3に示す諸元を設定した。

表-7. 1 大型貨物車両（25t）の構造諸元

記 号	構造諸元	記 号	構造諸元	記 号	構造諸元
m_f	6.5 t	TL1	1.40 m	ht	1.44m
m_r	18.5 t	TL2	4.15 m	hw	0.50 m
Lw	6.455 m	Lr	1.31 m	hk	0.94 m

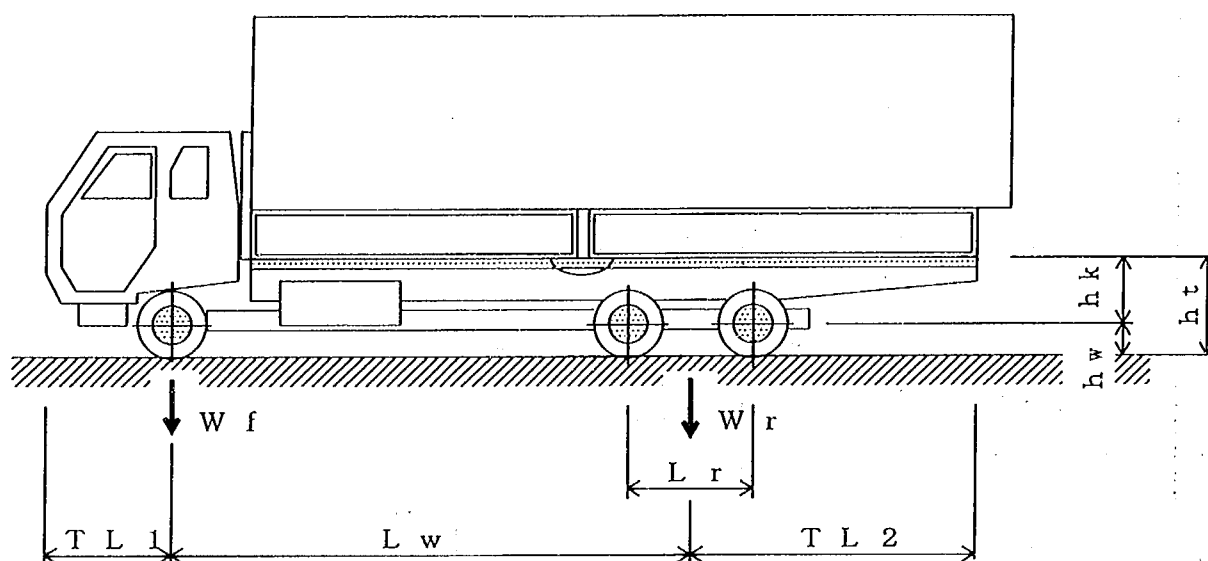


図-7. 3 25t車のモデル構造諸元

7. 2 設計の流れ

コンクリート製防護柵に関して、現場打ちコンクリート製防護柵とプレキャストコンクリート製防護柵の2種類があるが、両者は一体構造かブロックを連結した構造か等の構造上の違いで、衝撃時の挙動が異なっている。特に、道路軸直角方向に関しては、プレキャスト製は部材間の目地の効果により、弾性体としての挙動が特に現れることが静的実験等で確認されている。また現場打ちに関しては、ブロック間で一体打ちとなるので、版としての挙動が卓越している。以上の理由により、ここでは構造計算の検討方法において、両者の特徴を考慮して、下記に示すとおり計算方法を区別することとした。

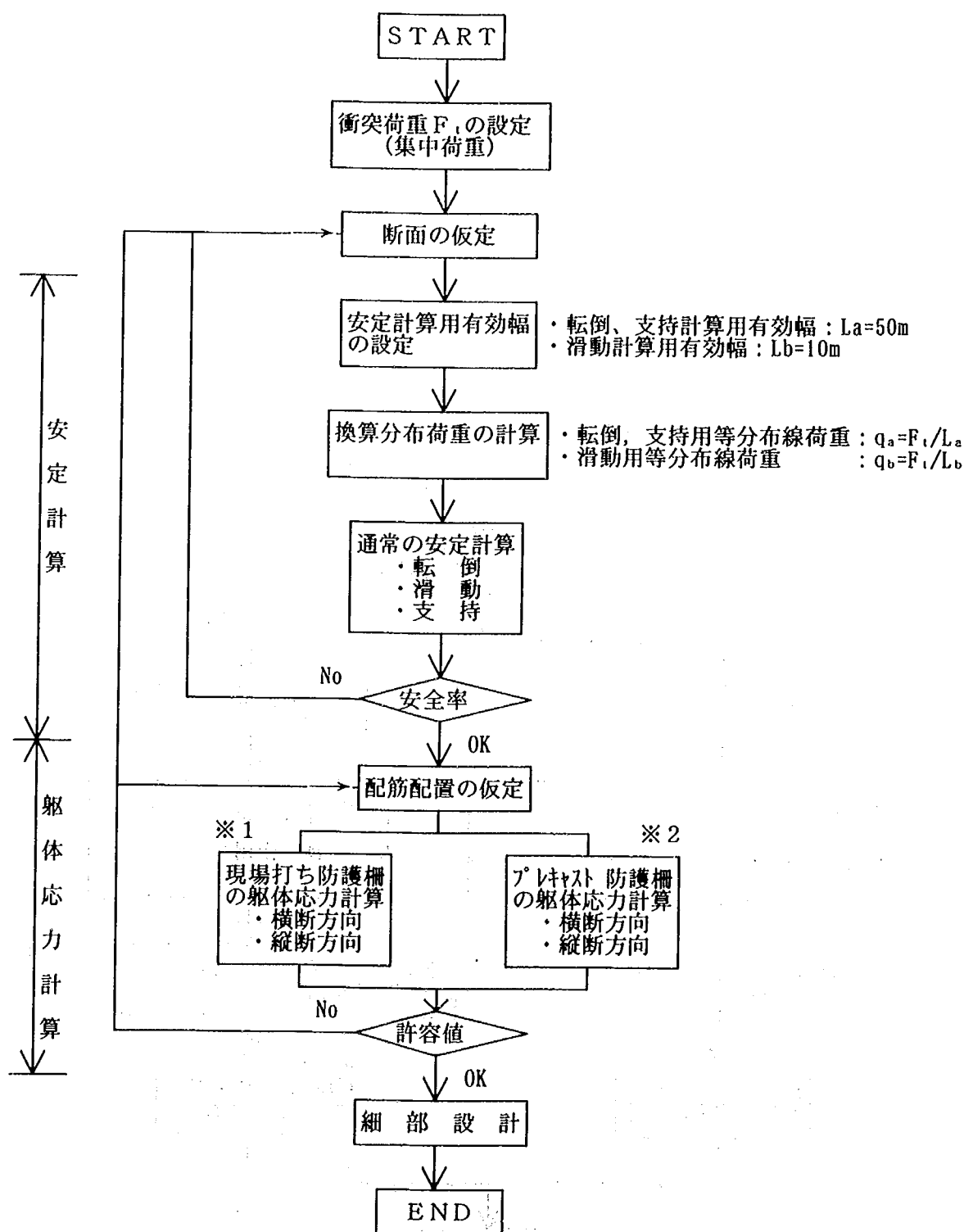
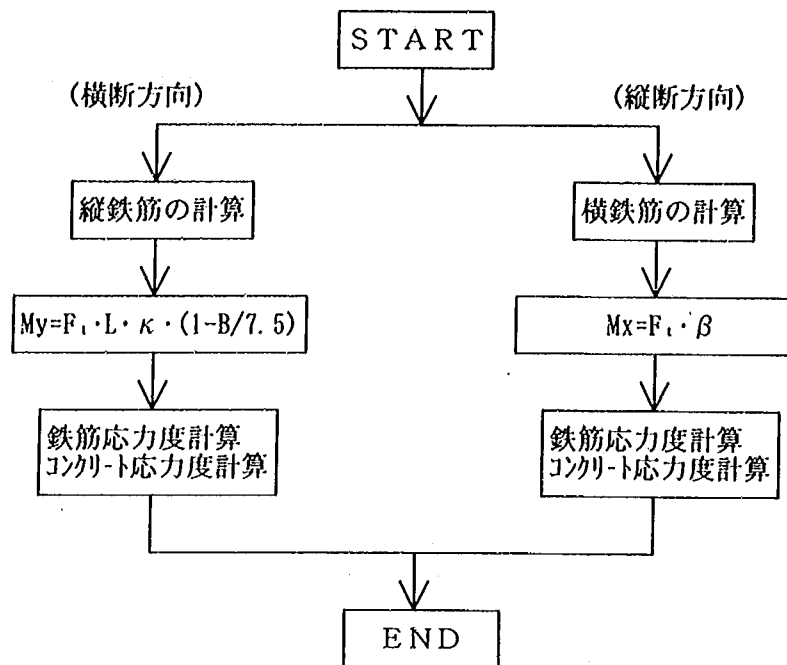
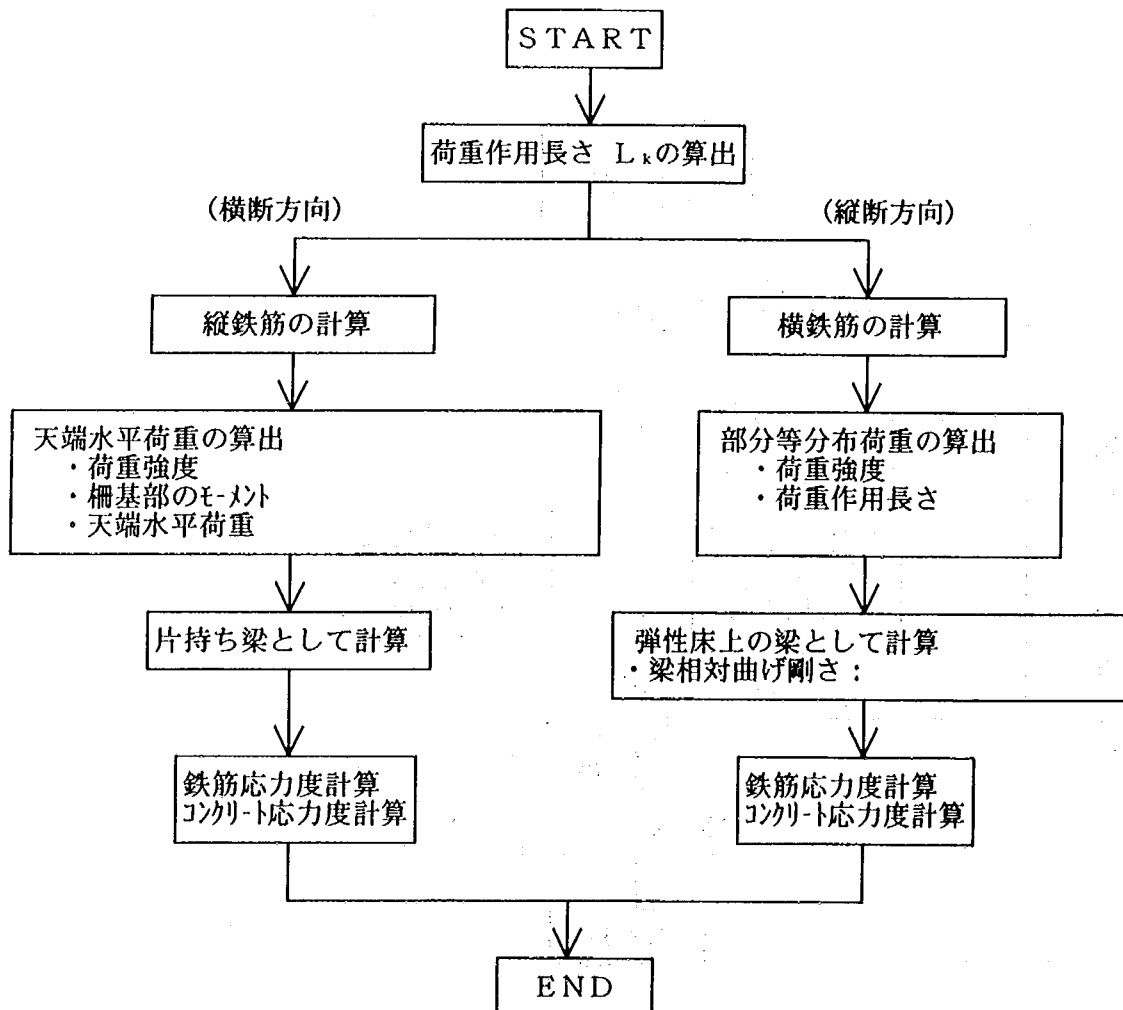


図-7. 4 設計フロー

※ 1. 現場打ちコンクリート製防護柵の応力計算



※ 2. プレキャストコンクリート製防護柵の応力計算



7. 3 衝突荷重の算定

7. 3. 1 荷重算定式

荷台による衝撃荷重を十分受け持つ高さを有するコンクリート製防護柵への衝撃荷重は、式〔7. 1〕で示される荷重算定式で算定する。

$$F_t = \kappa_t \cdot \frac{2 \cdot (1 + e_v)}{Lw \cdot \sin \theta} \cdot \left(\frac{m}{m_r} \right)^2 \cdot E_y \cdot a \quad [7. 1]$$

ここに、

F_t : 衝突荷重 (kN)	
E_y : 防護柵直角方向の運動エネルギー (kJ)	: $E_y = \frac{1}{2} \cdot m \cdot v^2 \cdot \sin^2 \theta$
κ_t : 補正比例係数	: $\kappa_t = 0.1$
θ : 衝突角度 (度)	: $\theta = 15$ 度
Lw : 車軸間隔 (前後輪間隔 : m)	: $Lw = 6.455$ m
m : 車両全質量 (t)	: $m = 25.0$ t
m_r : 後輪軸質量 (t)	: $m_r = 18.5$ t
V : 衝突速度 (m/s)	
e_v : 車両の反発係数 :	: $e_v = 0.2^{**}$
a : 斜面低減率	: $a = (K_t)^2 \cdot b \leq 1.0$
K_t : 角度低減率	: $K_t = \sin^2 \alpha$
α : $\alpha = \tan^{-1} (\sin \theta / \tan \beta)$	
β : 斜面角度	: 単スロープ 10度, Fタイプ 6度
b : 実験係数	: 単スロープ=1.7, Fタイプ=1.1

*) 反発係数は、実験結果から0.0~0.2の範囲になっている。反発係数にバラツキがあるのは、防護柵の高さが荷台の横転を防ぐに足りる十分な高さがあれば反発係数も大きく、逆に、防護柵の高さが十分ないと車体が防護柵に寄りかかり、かなりの長い区間に渡って防護柵に沿って移動する（ほとんど反発しない）等の車両挙動が生じるためであり、防護柵高さによって反発係数は変化する。このとき、実験結果によれば、高さが1.1m程度では、防護柵の高さは比較的高いので、反発係数 $e_v=0.2$ とした。

7. 3. 2 衝突荷重

(1) の条件に則り計算を行った結果を図-7. 5に示す。

衝突は衝突荷式〔7. 1〕により計算できるほか、図により概略推定することができる。

衝突荷重は、衝突条件（衝突質量、衝突速度、衝突角度）を設定することによって求められる。

衝突荷重は、図に示された直壁に作用する衝突荷重が基本となるものである。この荷重は、車両の衝突による荷重を全て受け持つ高さで鉛直面を有する場合に生じる荷重である。荷重を低減する効果を持つ斜面を有するF型や単スロープ型についても、図中に防護柵形式別に示しているが、図から分かるように衝突面を斜面にすることによって、衝突荷重を軽減できる。

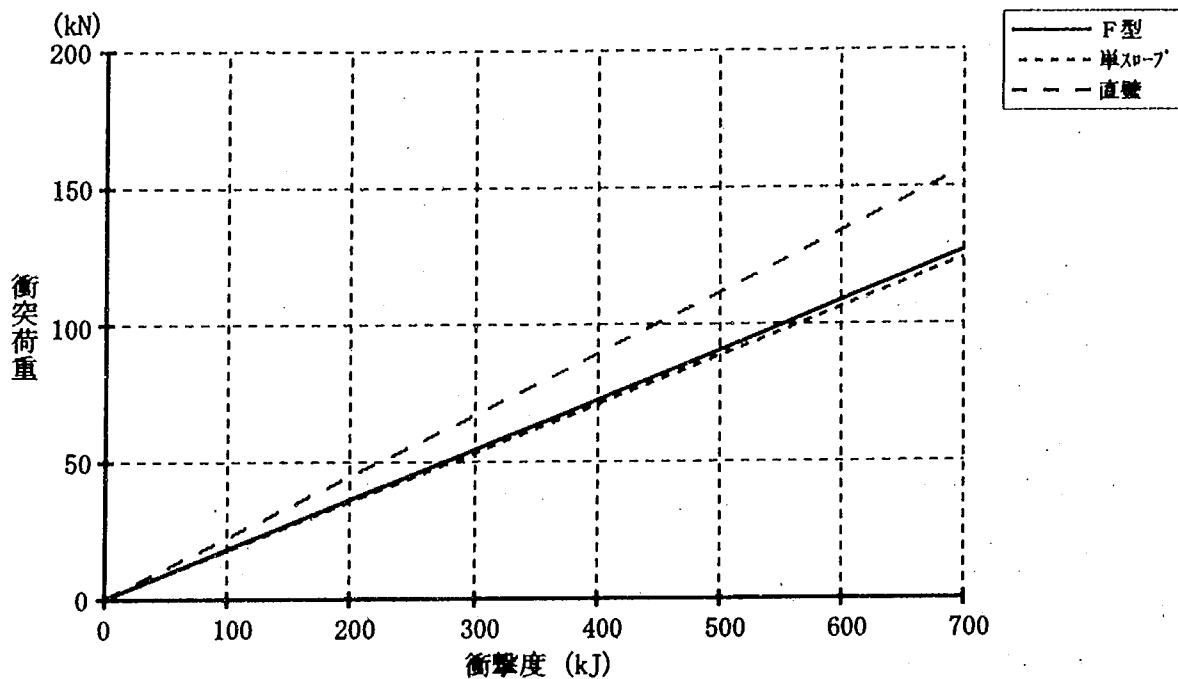


図-7. 5 衝撃度と衝突荷重との関係

7. 4 防護柵の必要高さ

6章の車両の横転検討で示したモデルにより、防護柵の必要高さを求める。

なお、必要高さを求めるために必要となる諸元は、実験結果等から表-7. 2の値を設定した。

表-7. 2 転倒モデルにおける主要設定値

諸元	積載物 ^{a)}	前端・ ^{b)}	バネ定数
	重心高	重心間	
	1. 6 5 m	7. 0 m	5 8 8 kN/m { 6 0 t/m }

a) 荷台床+200mm

b) 車体前端から車両重心（車体+荷台）間の距離

標準的な車両を誘導する中央分離帯用防護柵の必要高さを計算すると、下図に示す高さが得られる。また、過去に設置されてきたコンクリート製防護柵の高さは、標準的に90cm以上確保されている。

従って、計算結果や施工実績等を踏まえ、衝突速度に対する高さとしては、表-7. 3に示す高さを標準として、これ以上を確保することが望ましいと考えられる。

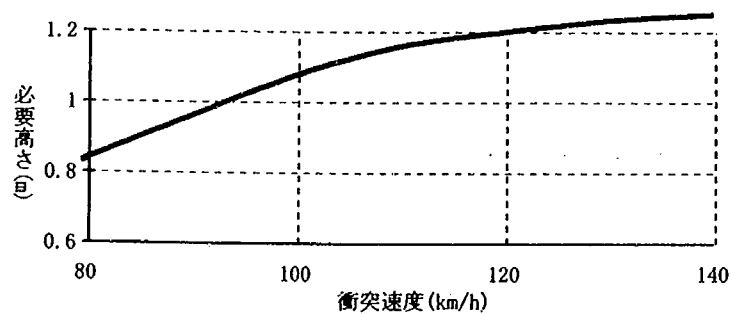


図-7. 6 衝突速度と必要高さとの関係

表-7. 3 中央分離帯用防護柵の標準高さ（衝突角度15度の場合）

衝突速度	80km/h未満	80km/h	100km/h	120km/h
標準高さ	90cm	90cm	110cm	120cm

注) 標準高さは設置位置地盤表面から当該防護柵天端までの高さを示す。

F型、単スロープ型防護柵に適用する。

7. 5 安定計算方法

安定計算は、転倒・滑動・支持について行うものとする。

滑動の検討で所用の安全率を満足していても、部分的に大きな移動が起こり得ると考えられるので、防護柵の埋め込み深さは、実験結果を踏まえ10cm以上確保することとする。

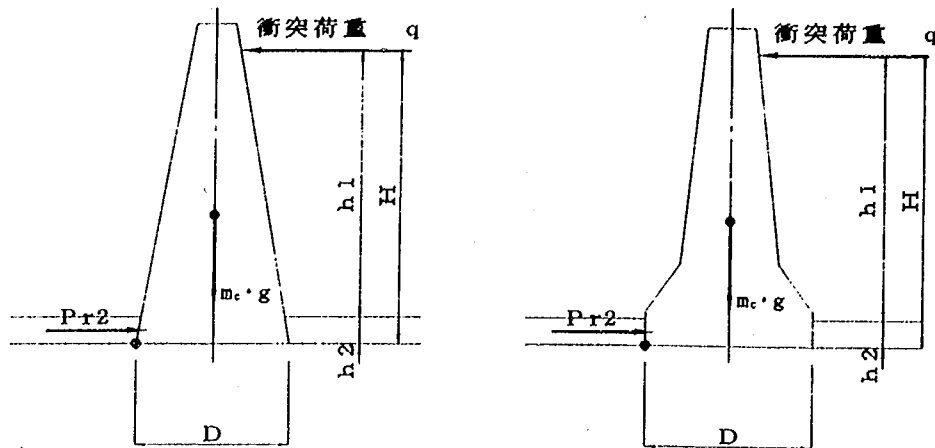


図-7. 7 安定計算用の荷重

(1) 安定計算用荷重の計算

1) 転倒および地盤反力の検討に用いる等分布荷重： q_a

$$q_a = F_t / L_a \quad [7. 2]$$

ただし、 L_a =転倒に対する有効延長 ≤ 5.0 m

2) 滑動の検討に用いる荷重： q_b

$$q_b = F_t / L_b \quad [7. 3]$$

ただし、 L_b =滑動に対する有効延長 $= 1.0$ m

(2) 転倒に対する検討

1) 転倒モーメント： M_a

$$M_a = q_a \times H = q_a \times (h_1 + h_2) \quad [7. 4]$$

ただし、 H = 底版から荷重作用点までの距離

h_1 = 設置面から荷重作用点までの距離 ≤ 1.0 m

h_2 = 埋め込み深さ

2) 抵抗モーメント： M_r

$$M_r = m_c \times g \times D / 2 \quad [7.5]$$

ただし、 m_c = 剛性防護柵の単位長さ質量

D = 剛性防護柵の底版幅

3) 安全率： F_s

$$F_s = M_r / M_a > 1.0 \quad [7.6]$$

(3) 滑動に対する検討

1) 滑動力： P_a

$$P_a = q_b \quad [7.7]$$

2) 抵抗力： P_r

$$P_r = P_{r1} + P_{r2} \quad [7.8]$$

ただし、 P_{r1} = 摩擦による抵抗力 $= m_c \times g \times \mu$

μ = 摩擦係数 = 0.55

P_{r2} = 舗装、地盤による抵抗力 (9.8 kN/m {1.0 tf/m})

3) 安全率： F_s

$$F_s = P_r / P_a > 1.0 \quad [7.9]$$

(4) 地盤反力に対する検討

1) 偏心位置 : e

$$e = (M_s - M_r) / (m_c \times g) \quad [7.10]$$

2) 地盤反力の作用位置 : x

$$x = D / 2 - e$$

ただし, $3 \cdot x < D$ なら三角形分布 [7.11]

3) 地盤反力 : q_1, q_2

$$q_1 = m_c \times g / D \cdot (1 + 6 \cdot e / D)$$
$$q_2 = m_c \times g / D \cdot (1 - 6 \cdot e / D) \quad [7.12]$$

ただし, 三角形分布なら

$$q_1 = 2 \cdot m_c \times g / (3 \cdot x)$$

ただし, 許容地耐力 q_a は, $150 \text{ kN/m}^2 \times 1.5 = 225 \text{ kN/m}^2 \{ 22.5 \text{ t/m}^2 \}$ を目安とする。

7. 6 構造計算

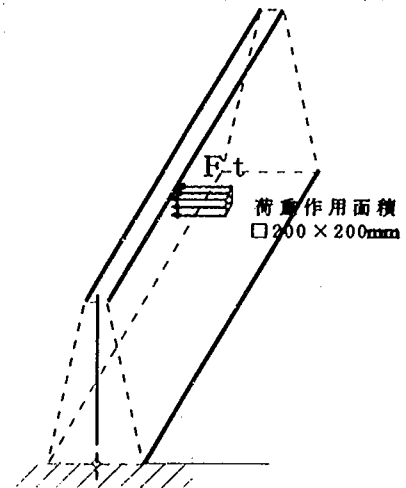
7. 6. 1 現場打ちコンクリート製防護柵構造計算方法

現場打ちコンクリート製防護柵の構造計算は、断面が比較的厚く幅を有しているので版解析によるものとする。また、衝突荷重は版解析に用いられた荷重作用域に準じるものとする。

以下に示す防護柵高さ方向のモーメント M_y 、道路軸方向のモーメント M_x から通常の弾性域内での計算を行い、照査断面（衝突時に発生する応力が許容応力に対して最も厳しくなる断面）における断面力を計算して、コンクリートの応力度（圧縮応力）、鉄筋応力度（引張応力）を求める。この計算結果が用いるコンクリートおよび鉄筋の許容応力度以下となることを照査して、断面諸元、コンクリートの設計基準強度、鉄筋の種類、配筋などを決定する。

（1）荷重作用域の考え方

版解析については6章で述べたように静的荷重によるFEM解析によって検討が行われているので、ここではこれに準じ、図-7. 8に示す荷重作用域（200mm×200mm）を設定した。



（2）道路軸方向

$$M_x = F_t \cdot \lambda \quad [7. 13]$$

ここに、 λ : 実験係数

上記の λ は、防護柵実験版解析結果では、以下のとおりとなった。 図-7. 8 荷重作用域

単スロープ型の場合 $\lambda = 0. 19$

F型の場合 $\lambda = 0. 24$

直壁型の場合 $\lambda = 0. 25$

これらの結果を総合し、安全側に配慮して係数 λ の値は0. 25とした。

（3）高さ方向

FEMによる版解析結果から、照査断面における高さ方向の最大モーメントは以下の式により求めることができる。

$$M_{max} = F_t \cdot L \cdot \kappa \quad [7. 14]$$

ここに、 L : F_t の作用中心位置から断面照査位置までの距離

κ : 係数

係数 κ は実験係数であり、本研究で行われた実験版解析では以下の値が求められた。

単スロープ型の場合 $\kappa = 0. 5$

F型の場合 $\kappa = 0. 5$

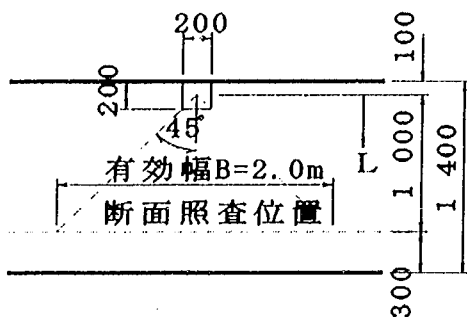
直壁型の場合 $\kappa = 0. 44$

本解析では、これらの結果から、安全側を考慮して $\kappa = 0. 5$ を標準的な値として設定した。

Myの分布は、図-7. 9に示すとおり直線に近似することができる。有効幅Bは、図に示すとおり、Fの作用中心から45度分布とする（ $B=2L$ ）。

設計曲げモーメントは、この有効幅内の平均モーメントとした。

A 単スロープ型



B F型

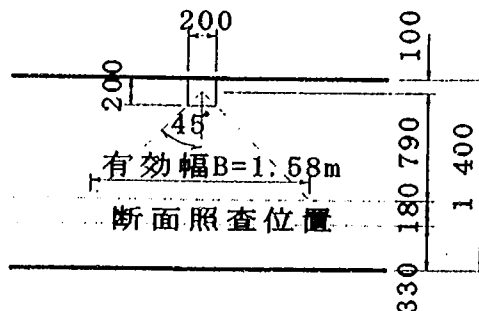


図-7. 9 衝突荷重作用時のMyの分布

従って、各形式毎のMyは、以下のとおり求められる。

・単スロープ型の場合

$$\begin{aligned} My &= (F_1 \cdot L \cdot \kappa + F \cdot L \cdot \kappa \cdot (1 - B/3.5)) \cdot 1/2 \\ &= F_1 \cdot L \cdot \kappa \cdot (1 - B/7) \end{aligned} \quad [7.15]$$

・F型の場合

$$\begin{aligned} My &= (F_1 \cdot L \cdot \kappa + F \cdot L \cdot \kappa \cdot (1 - B/3.5)) \cdot 1/2 \\ &= F_1 \cdot L \cdot \kappa \cdot (1 - B/7) \end{aligned} \quad [7.16]$$

・直壁型の場合

$$\begin{aligned} My &= (F_1 \cdot L \cdot \kappa + F \cdot L \cdot \kappa \cdot (1 - B/3.8)) \cdot 1/2 \\ &= F_1 \cdot L \cdot \kappa \cdot (1 - B/7.6) \end{aligned} \quad [7.17]$$

これらの結果を総合し、安全側に配慮して、設計曲げモーメントは次のようにした。

$$\begin{aligned} My &= F_1 \cdot L \cdot \kappa \cdot (1 - B/7.5) \\ &= F_1 \cdot L \cdot \kappa \cdot (1 - 2L/7.5) \\ &= F_1 \cdot L \cdot \kappa \cdot (1 - 0.267L) \end{aligned} \quad [7.18]$$

7. 6. 2 プレキャストコンクリート製防護柵構造計算方法

(1) 荷重作用域の考え方

プレキャストコンクリート製防護柵は、断面が薄く防護柵ブロックの上部にプレストレスが導入され連結されていることから、弾性床上の梁として構造設計することが妥当と考えられる。このためプレキャストコンクリート製防護柵に対する衝突荷重についても、前述の基本荷重式で評価される衝突荷重を、衝突範囲を想定した範囲の等分布荷重として取り扱うものとする。このとき、横鉄筋等の横方向（道路軸方向）の設計荷重は、衝撃力が大きく作用した車軸中心位置に等分布の線荷重が作用するものとし、縦鉄筋等の高さ方向の設計荷重は、衝突現象においては車体の倒れ込みが生じることから、防護柵上部に等分布の面荷重が作用するものとする。これらの設定は、実際に作用する荷重の大きさより安全側（大きめ）の設計荷重を念頭に配慮したものである。これらの状況を図-7. 10に示す。

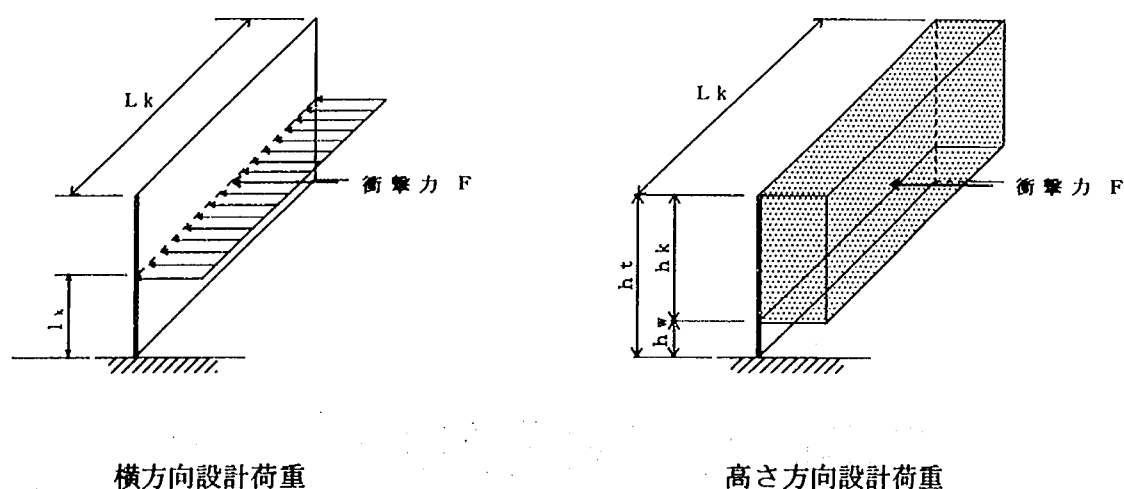


図-7. 10 設計荷重の考え方

(2) 道路軸方向

1) 梁モデルの設定

プレキャストコンクリート製防護柵の道路軸方向の解析は、半無限長の弾性床上の梁に部分等分布荷重が載荷されたものとして行う（図-7. 11）。

解析に必要なパラメーターは下記のとおりである。

1. バネ定数 k の設定
2. 荷重作用長さ L_k の設定
3. 部分等分布荷重 q' の設定
4. 梁の物理諸量 (I_c , E_c) の設定

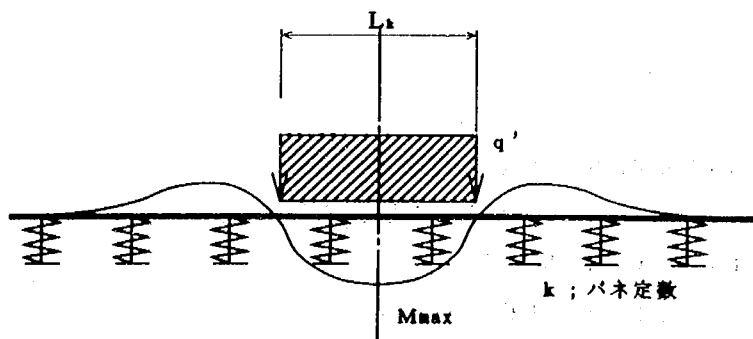


図-7. 11 部分等分布荷重を受ける弾性床上の梁

2) 構造計算用の荷重作用長さ: L_k

今回の実験による計測波形から見て、衝突荷重は前後輪の輪軸の衝突によって発生していると推定される。従って構造計算では、前後輪の衝突ずれ量 L_{x2} に後輪の車軸間隔 L_r の $1/2$ を加えた長さを荷重作用長さ L_k とし、これを作用長さとして仮定する。

$$L_{x2} = L_x - L_{x1}$$

$$= L_w \cdot \cos \theta \cdot \left\{ 1 - \frac{m_r}{(m_r + e_r \cdot m_l)} \right\} \quad [7.19]$$

式-2において、安全側を考えると $e_r = 1$ として整理すると式-3となる。

$$L_k = L_w \cdot \cos \theta \cdot \frac{m_r}{m} + \frac{L_r}{2} \quad [7.20]$$

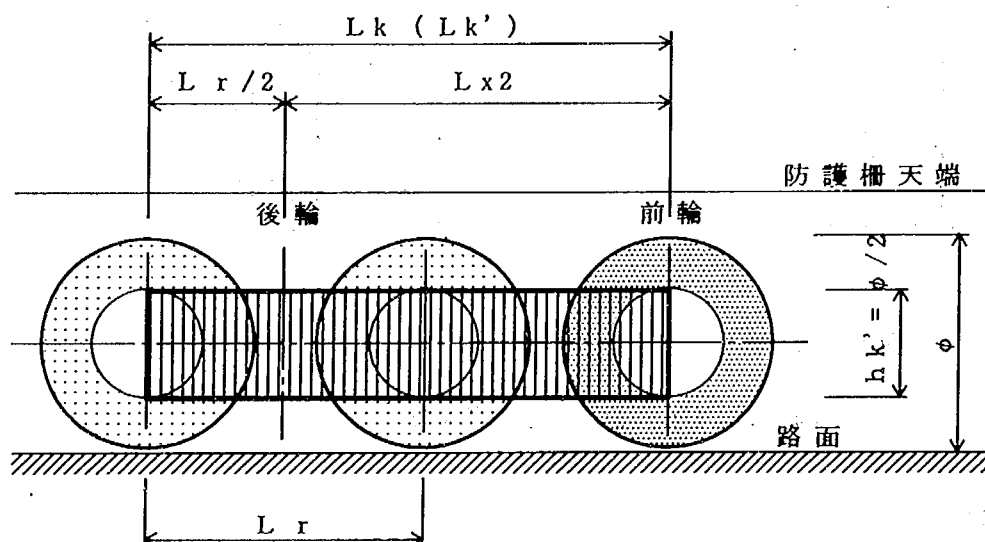


図-7.12 構造計算用の荷重作用長さ

3) 載荷長さおよび部分等分布荷重の設定

単位長さの部分等分布荷重 q' は、下記の式で表されるものとする。

$$q' = F_l / L_k \quad [7.21]$$

4) 梁の物理諸量 (I_c , E_c) の設定

E_c は、コンクリートのヤング係数で

$$E_c = 3.1 \text{ MN/cm}^2$$

$$\{ 3.1 \times 10^6 \text{ kgf/cm}^2 \}$$

I_c は、下記の断面における Y 軸周りの断面 2 次モーメントである。

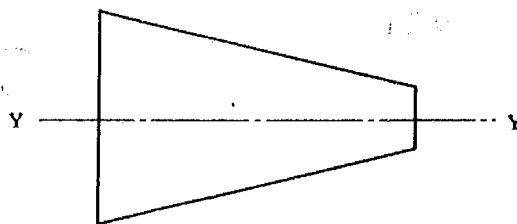


図-7.13 梁の諸量

5) バネ定数kの設定

実物の静的実験より、コンクリート製防護柵は衝突面とは反対側のアスファルト舗装等がバネとして抵抗していることがわかっている。

アスファルトの応力-変位関係図からみると、地盤表面のバネ定数として下記の値が得られる。

$$K_0 = 2.0 \text{ kgf/cm}^3 = 2.0 \times 10^3 \text{ lf/m}^3 = \underline{20 \text{ MN/m}^3}$$

また、実験での躯体の各変位は、

荷重作用位置 ($h_1 = 1.20 \text{ m}$) で、 $\delta_1 \approx 12.5 \text{ mm}$ ($\delta_{H1} - \delta_{H3}$)

地盤部 ($h_0 = 0.45 \text{ m}$) で、 $\delta_0 \approx 3.9 \text{ mm}$ ($2.7 \sim 5.1 \text{ mm}$)

であり、下記の関係が得られる。

$$\delta = \delta_0 \times h_1 / h_0 = 5.1 \times 1.2 / 0.45 = 13.6 \text{ mm} \approx \delta_1$$

これより、防護柵を完全剛体とし、防護柵の各高さ位置での変位は底面を原点として比例配分すると考えることができ、各位置でのバネ定数は反比例すると想定することができる。 ($K = P / \delta$)

これらから、埋め込み式防護柵の道路軸方向のバネ定数については、図-7.13のように、防護柵を完全剛体と考え、荷重載荷位置での仮想バネを想定することによって示すことができる。

つまり、式 [7.22] となる。

$$K_1 = K_0 \times (l_1 - l_k) / l_1 \quad [7.22]$$

ここで、 K_1 : 衝突中心 (車軸中心) の仮想バネ定数

K_0 : 地盤表面のバネ定数

l_k : 路面から衝突中心までの距離

l_1 : 防護柵下端から衝突中心までの距離

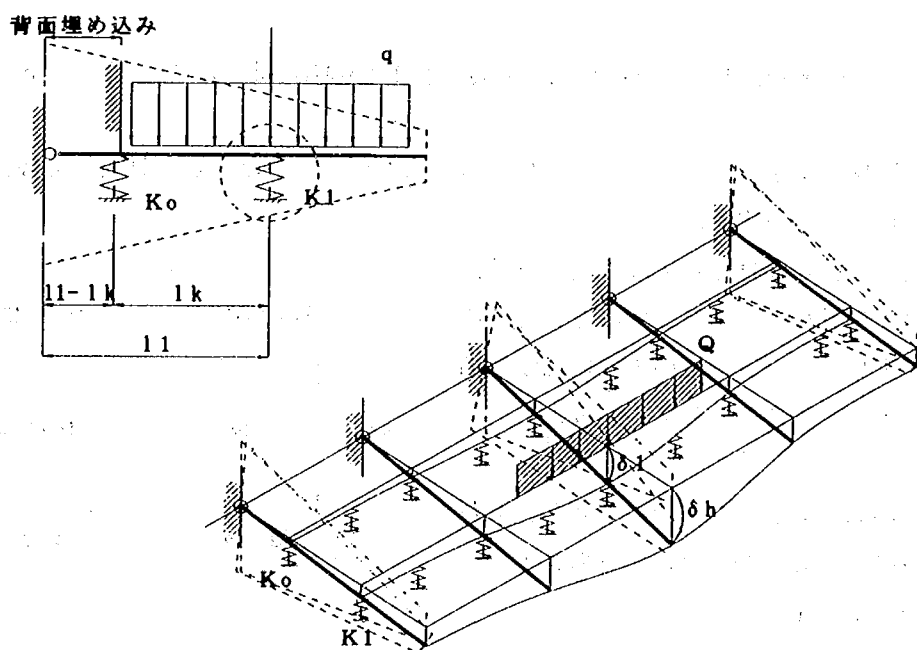


図-7.13 バネ定数の設定

5) 弾性床土の梁の断面力

弾性床土の部分等分布荷重の中央位置のモーメント M_0 次式で求められる。

$$\beta = \{K_0 / (4 \cdot E_c \cdot I_c)\}^{1/4} \quad [7.23]$$

$$M_0 = \frac{q'}{2 \cdot \beta^2} \cdot e^{(-L_k/2 \cdot \beta)} \cdot \sin\left(\frac{L_k}{2} \cdot \beta\right) \quad [7.24]$$

ここに、 β : 弾性床土の梁の相対曲げ剛さ

以上をまとめると、図-9のフローとなる。

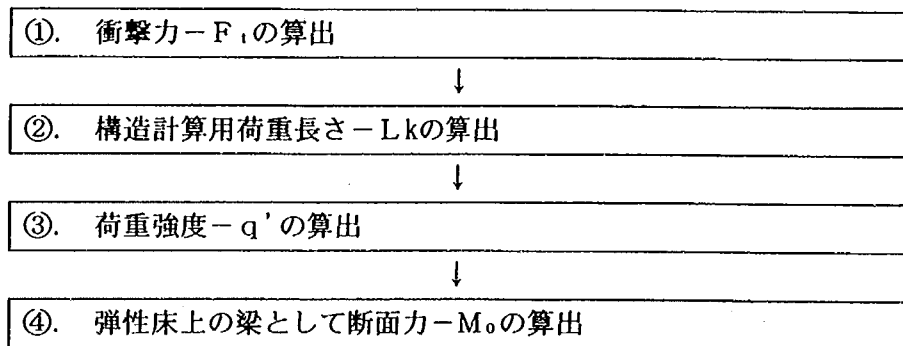


図-9. プレキャストコンクリート製防護欄の計算フロー

6) 断面の算定

以上の計算により、防護欄に発生する断面力（縦断方向）が算出されるので、躯体断面の構造計算を行う。

躯体は上部にPC鋼材で緊張されているので、躯体高さの上部1/3はPC部材として検討し、その下の部分はRC部材として検討をする。

躯体の上部1/3をPC部材として取り扱うのは、静的実験の結果および計算によるPC構造としての圧縮域の範囲から設定した。（計算上の圧縮域は躯体高さの約2/3であるが、安全側をみて1/3とした。）

以上から、躯体の高さの1/3ずつの断面が、計算で得られる断面力の1/3ずつを負担するものとして、検討する（図-7. 14参照）

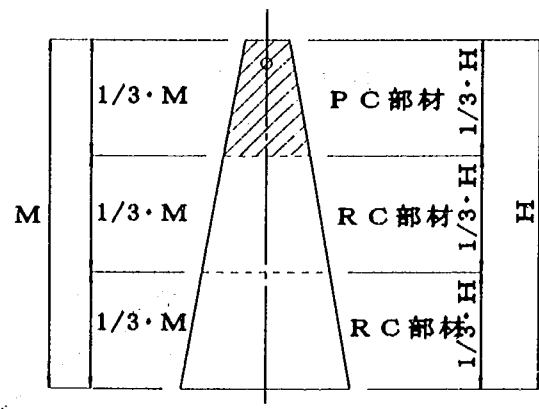


図-7. 14 道路軸方向に対する断面の区分

(3) 高さ方向

前項までは弾性床上の梁として検討を行って来たが、この場合、高さ方向の断面力が計算できない。従って、高さ方向に関しては、安全側を考慮して便宜上片持ち梁として計算するものとする。

1) 天端に作用する仮想荷重強度： W_k

まず、車両の衝突に対して車体にねじれを生じさせることなく受け止める十分な高さを有する防護柵を想定し、この防護柵に車両の形状および荷重の作用範囲に応じて荷重 F が作用した場合の、等分布荷重の大きさを仮想荷重強度とする。

天端に作用する仮想荷重強度 W_k は以下の式で求められる。

$$W_k = \frac{F_i}{h_k \cdot L_k} \quad [7.25]$$

片持ち梁の曲げモーメント Ma は次式で計算される。

$$M_a = W_k \cdot a \cdot (b + a/2) \quad [7.26]$$

防護柵高さが車体の h_k に相当する高さ未満の場合、その防護柵に作用する天端線荷重 P_h は下記の式によって求めることができる。

$$P_h = Ma/h \quad [7.27]$$

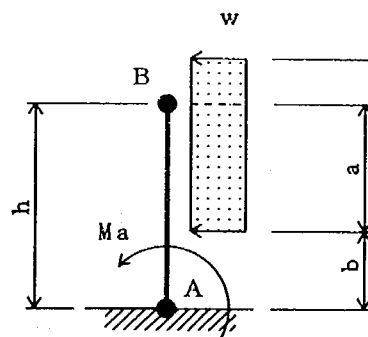


図-7.15 防護柵の断面力

2) 天端線荷重の算出手順

以上により、構造計算用の荷重を天端線荷重に置き換えるものとする、下記の手順で行えば良い。

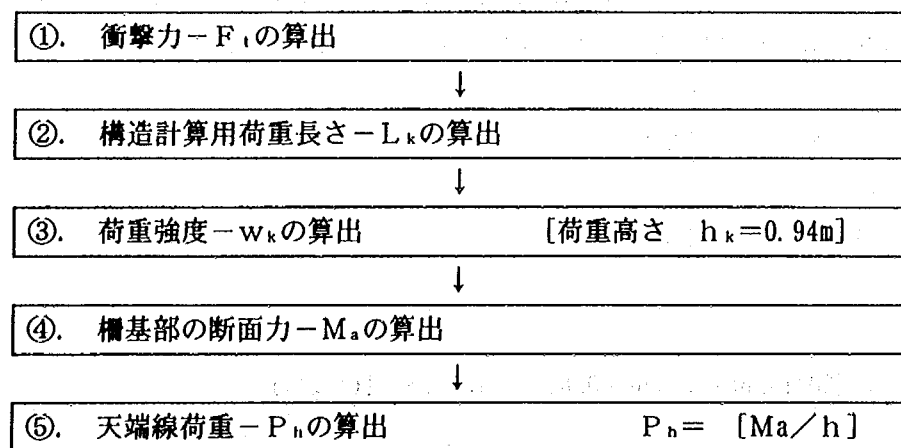


図-5. 天端水平荷重の計算フロー

7. 6. 3 実験供試体の強度検証

提案された設計手法により、今回実験に用いた供試体の代表構造について、強度検証を行った。

(1) 代表構造

強度検証を行った代表構造は以下に示すとおりである。

表－ 7. 4 衝突条件

項 目	車両質量 (t)	衝突速度 (km/h)	衝突角度 (度)	衝突エネルギー (kJ)	防護柵高さ (m)	形 状
実験No. 1	20	100	23	1178	1.3	壁高柵
実験No. 8	20	100	17	660	1.1	Fタイプ

(2) 衝突荷重の計算

$$F_t = \kappa_t \cdot \frac{2(1+e_v)}{L_w \cdot \sin \theta} \cdot (m/m_r)^2 \cdot E_y \cdot a$$

①実験No. 1

計算条件 衝突角度 23度、車軸間隔 6.2m、車両質量20t、後輪軸質量15.01t
衝突速度 27.78m/s、反発係数0.2、斜面低減係数=1、斜面角度 0度

$$F_t = 0.1 \times \frac{2(1+0.2)}{6.20 \times \sin(23)} \times (20/15.01)^2 \times 1178 \times 1.0 = 207(\text{kN}) \quad \{21.2\text{tf}\}$$

①実験No. 8

計算条件 衝突角度 17度、車軸間隔 6.35m、車両質量20t、後輪軸質量14.68t
衝突速度 27.78m/s、反発係数0.2、斜面角度 5.774度、実験係数=1.1

$$\alpha = \tan^{-1}(\sin 17 / \tan 5.774) = 70.922$$

$$\kappa_t = \sin^2 70.922 = 0.893$$

$$a = (0.893)^2 \times 1.1 = 0.877$$

$$F_t = 0.1 \times \frac{2(1+0.2)}{6.35 \times \sin(17)} \times (20/14.68)^2 \times 660 \times 0.877 = 139(\text{kN}) \quad \{14.2\text{tf}\}$$

(3) 躯体応力度計算

躯体の応力度は、縦方向と横方向について計算を行う。

1) 縦鉄筋の計算

$$M_y = F_1 \cdot L \cdot \alpha \cdot (1 - B/7.5)$$

α : 縦方向低減係数 = 0.5

F_1 : 衝突荷重 (kN)

L : F_1 の位置から断面照査位置までの距離 (一般に舗装天端から F_1 までの距離 ≤ 1.0 m)

B : 有効幅 (F の位置から、断面照査位置までの距離の 2 倍)

① 実験 No. 1

$$M_{\max} = F_1 \times L \times \alpha = 212 \times 1.0 \times 0.5 = 106 \quad (\text{kN} \cdot \text{m}) \quad \{10.8 \text{ tf} \cdot \text{m}\}$$

$$B = 1.0 \times 2 = 2.0 \quad (\text{m})$$

$$M_y = 106 (1 - 2.0/7.5) = 78 \quad (\text{kN} \cdot \text{m})$$

$$\text{軸方向荷重} = 0.25 \times 1.3 \times 2.5 \times 9.8 = 7.8 \quad (\text{kN}) \quad \{0.8 \text{ tf}\}$$

・コンクリートの引張応力を無視し計算する。

単位幅 = 100.0 (cm)、断面幅 = 25.0 (cm)、 $d' = d = 7.5$ (cm)

$\sigma_{ck} = 2.9 \text{ kN/cm}^2 \{300 \text{ kgf/cm}^2\}$ 、 $\sigma_{sa} = 19.6 \text{ kN/cm}^2 \{2000 \text{ kgf/cm}^2\}$

$A_s = A_s = D16c1c125\text{mm} = 22.92 \text{ (cm}^2\text{)} \quad \text{SD345}$

・実験時発生応力

コンクリート圧縮応力

$$\sigma_c = 1.43 \{149\} < 2.9 / 3 \times 1.5 = 1.45 \text{ kN/cm}^2 \{150 \text{ kgf/cm}^2\} \quad \text{OK}$$

鉄筋引張応力

$$\sigma_s = 31.59 \{3223\} > 19.6 \times 1.5 = 29.40 \text{ kN/cm}^2 \{3000 \text{ kgf/cm}^2\} \quad \text{OUT}$$

$$\text{破壊抵抗曲げモーメント} = 111 \text{ kN} \cdot \text{m} \{11.3 \text{ tf} \cdot \text{m}\} > 77 \{7.9\} \quad \text{OK}$$

② 実験 No. 8

$$M_{\max} = 142 \times 0.79 \times 0.5 = 56 \quad (\text{kN} \cdot \text{m}) \quad \{5.7 \text{ tf}\}$$

$$B = 0.79 \times 2 = 1.6 \quad (\text{m})$$

$$M_y = 55 \times (1 - 1.6/7.5) = 43 \quad (\text{kN} \cdot \text{m})$$

$$\text{軸方向荷重} = (0.25 + 0.43) \times 0.89 / 2 \times 2.5 \times 9.8 = 7.8 \text{ kN} \quad \{0.8 \text{ tf}\}$$

単位幅 = 100.0 (cm)、断面幅 = 43.0 (cm)、 $d' = d = 7.5$ (cm)

$\sigma_{ck} = 2.9 \text{ kN/cm}^2 \{300 \text{ kgf/cm}^2\}$ 、 $\sigma_{sa} = 17.6 \text{ kN/cm}^2 \{1800 \text{ kgf/cm}^2\}$

$A_s = A_s = D13c1c300\text{mm} = 4.22 \text{ (cm}^2\text{)} \quad \text{SD295}$

$$\sigma_c = 44.1 \{45\} < 300 / 3 \times 1.5 = 1.47 \text{ kN/cm}^2 \{150 \text{ kgf/cm}^2\} \quad \text{OK}$$

$$\sigma_s = 30.05 \{3066\} > 1800 \times 1.5 = 26.46 \text{ kN/cm}^2 \{2700 \text{ kgf/cm}^2\} \quad \text{OUT}$$

$$\text{破壊抵抗曲げモーメント} = 54 \text{ kN} \cdot \text{m} \{5.5 \text{ tf} \cdot \text{m}\} > 44 \{4.5\} \quad \text{OK}$$

2) 横鉄筋の計算

$$M_x = F_t \cdot \lambda$$

λ : 横方向低減係数 $\lambda = 0.25$

①実験No. 1

$$M_x = 212 \times 0.25 = 53 \quad (\text{kN} \cdot \text{m})$$

$$\text{軸方向荷重} = 0.0 \quad (\text{kN})$$

・コンクリートの引張応力を無視し計算する。

$$\text{単位幅} = 100.0 \quad (\text{cm})、\text{断面幅} = 25.0 \quad (\text{cm})、d' = d = 9.0 \quad (\text{cm})$$

$$\sigma_{ck} = 2.9 \text{ kN/cm}^2 \{300 \text{ kgf/cm}^2\}、\sigma_{sa} = 17.6 \{1800 \text{ kgf/cm}^2\}$$

$$A_{s'} = A_s = D13ctc100\text{mm} = 12.67 \quad (\text{cm}^2) \quad \text{SD295}$$

$$\sigma_c = 1.28 \{131\} < 2.9 / 3 \times 1.5 = 1.47 \text{ kN/cm}^2 \{150 \text{ kgf/cm}^2\} \quad \text{OK}$$

$$\sigma_s = 26.99 \{2754\} > 17.6 \times 1.5 = 26.46 \text{ kN/cm}^2 \{2700 \text{ kgf/cm}^2\} \quad \text{OUT}$$

$$\text{破壊抵抗曲げモーメント} = 81 \text{ kN} \cdot \text{m} \{8.3 \text{ tf} \cdot \text{m}\} > 53 \{5.4\} \quad \text{OK}$$

②実験No. 8

$$M_x = 14.5 \times 0.25 = 3.625 \quad (\text{kN} \cdot \text{m})$$

$$\text{軸方向荷重} = 0.0 \quad (\text{kN})$$

$$\text{単位幅} = 100.0 \quad (\text{cm})、\text{断面幅} = 27.0 \quad (\text{cm})、d' = d = 8.7 \quad (\text{cm})$$

$$\sigma_{ck} = 2.9 \{300 \text{ kgf/cm}^2\}、\sigma_{sa} = 17.6 \{1800 \text{ kgf/cm}^2\}$$

$$A_{s'} = A_s = D10ctc200\text{mm} = 3.56 \quad (\text{cm}^2) \quad \text{SD295}$$

$$\sigma_c = 1.10 \{112\} < 2.9 / 3 \times 1.5 = 1.47 \text{ kN/cm}^2 \{150 \text{ kgf/cm}^2\} \quad \text{OK}$$

$$\sigma_s = 51.98 \{5304\} > 17.6 \times 1.5 = 26.46 \text{ kN/cm}^2 \{2700 \text{ kgf/cm}^2\} \quad \text{OUT}$$

$$\text{破壊抵抗曲げモーメント} = 27 \text{ kN} \cdot \text{m} \{2.8 \text{ tf} \cdot \text{m}\} < 35 \{3.6\} \quad \text{OUT}$$

注) 破壊抵抗曲げモーメントの計算は道路橋示方書に準じて算出。

(4) 検討結果

1) 実験No. 1

- ・縦方向応力度は、コンクリート応力が許容値程度で、鉄筋応力は許容値をこえている。また、破壊抵抗曲げモーメントに対しては、多少の余裕がある。
- ・横方向応力度は、縦方向応力度と同様に鉄筋応力が若干許容値をこえている。また、破壊曲げモーメントに対しても、多少の余裕がある。
- ・上記から、鉄筋応力度は降伏点程度となっているので、コンクリートにかなりのひび割れ発生が予想され、実験においても供試体一部にひび割れが生じている。しかし、破壊曲げモーメントに対しては多少の余裕があることから、構造的な破壊には至っていない。

2) 実験No. 8

- ・縦方向応力度は、コンクリート応力が許容値以下となっているものの、鉄筋応力は許容値をこえている。また、破壊抵抗曲げモーメントに対しては、多少の余裕がある。
- ・横方向応力度は、縦方向応力度より大きく、鉄筋応力が大幅に許容値をこえている。また、破壊曲げモーメントに対しても、発生曲げモーメントの方が大きい。
- ・防護柵のひび割れ状況から、車体前部衝突時にまず、衝突箇所の直壁上端が破壊し、この部分の剛性が大きく低下したものと考えられる。このため、衝突箇所で縦方向のクラックが発生している。次に車体後部が衝突した時点で、前部衝突時の発生した縦クラックが要因となって防護柵が水平に大きく変位し、横方向の応力が大きくなって、防護柵基部に斜め方向のクラックが生じたものと考えられる。

7. 7 防護柵設計例および標準構造の提案

7. 7. 1 現場打ちコンクリート製防護柵

(1) 構造計算

設計条件 $m=25t$ 、 $V=80\text{km/h}$ 、 $\theta=15^\circ$ の場合の、F型の計算例を示す。

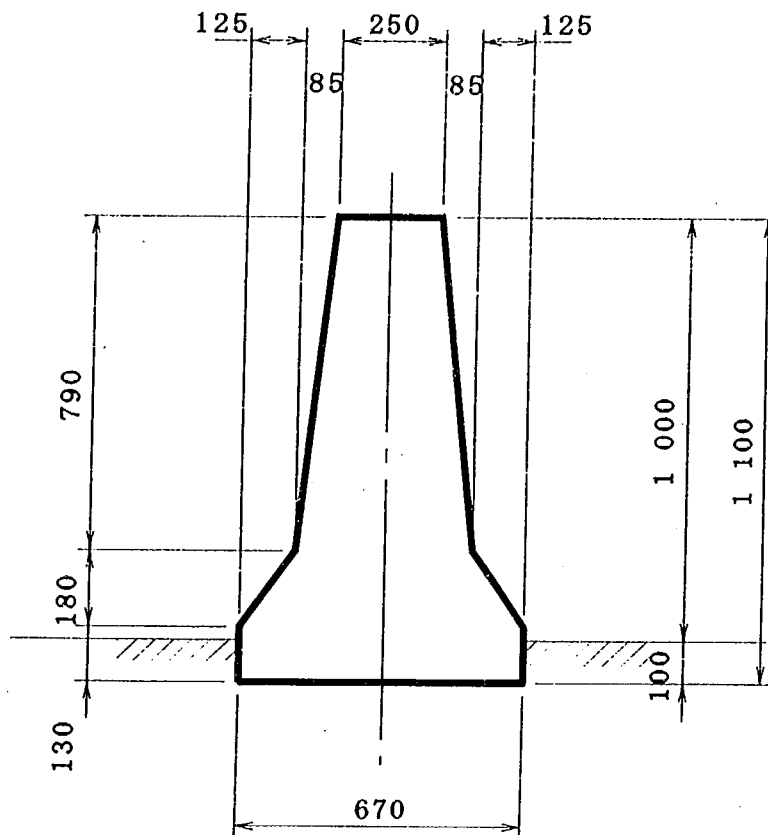


図-7. 16 F型コンクリート製防護柵

(2) 材料強度および許容応力度

1) コンクリート材料

設計基準強度	σ_{ck}	2900N/cm^2 { 300kgf/cm^2 }
許容曲げ圧縮応力度	σ_{ca}	980N/cm^2 { 100kgf/cm^2 }
許容せん断応力度	τ_{ca}	25N/cm^2 { 2.5kgf/cm^2 }
許容押し抜きせん断応力度	τ_{pen}	98N/cm^2 { 10.0kgf/cm^2 }

2) 鋼材 [鉄筋 (JIS G3112)]

鉄筋の種類	SD-295A	
許容引張り応力度	σ_{sa}	18 kN/cm^2 { 1800kgf/cm^2 }
許容せん断応力度	τ_{sa}	7.8 kN/cm^2 { 800kgf/cm^2 }

(3) 設計条件

1) 車両条件

車輛質量	$m =$	25.000	t
前輪軸質量	$m_f =$	6.500	t
後輪軸質量	$m_r =$	18.500	t
後輪軸距	$L_r =$	1.310	m
車軸間隔	$L_w =$	6.455	m
剛性範囲高さ	$h_k =$	0.940	m
車軸高さ	$h_w =$	0.500	m

2) 衝突条件

衝突速度	$V_o =$	80.000	km/h	$=$	22.222	m/s
衝突角度	$\theta =$	15.000	度			
反発係数	$e_v =$	0.200				
重力加速度	$g =$	9.800	m/s ²			

3) 設置条件

柵高さ	$h =$	1.000	m	(地表面からの高さ)
前面壁角度	$\beta =$	6.000	度	
設計上の設置延長	$L_a =$	50.000	m	($L_a \leq 50$ m)

4) 地盤条件

摩擦係数	$\mu =$	0.550		
許容支持力	$Q_a =$	150.000	kN/m ²	{15.000tf/m ² }
舗装、地盤による水平抵抗力	$P_p =$	9.8kN/m		{1.000tf/m}

(4) 衝突荷重の算定

1) PGF前面の壁面角度による低減係数

衝突斜面角度	$\alpha = \tan^{-1}(\sin \theta / \tan \beta)$	$=$	67.898	度
角度低減係数	$K_1 = (\sin \alpha)^2$	$=$	0.858	
斜面低減率	$a = (K_1)^2 \cdot b \leq 1.0$	$=$	0.811	
(ただし、 $b =$ 実験係数 ($= 1.1$))				

2) 衝突荷重の算出

・ 衝突エネルギー	$E_y = 1/2 \cdot m \cdot (V \cdot \sin \theta)^2$	$=$	413.501	kJ	{42.194tf·m}
・ 衝突荷重	$F_1 = K_1 \cdot 2 \cdot (1 + e_v) / (L_w \cdot \sin \theta) \cdot (m/m_r)^2 \cdot E_y \cdot a$	$=$	87.935	kN	{8.973tf}

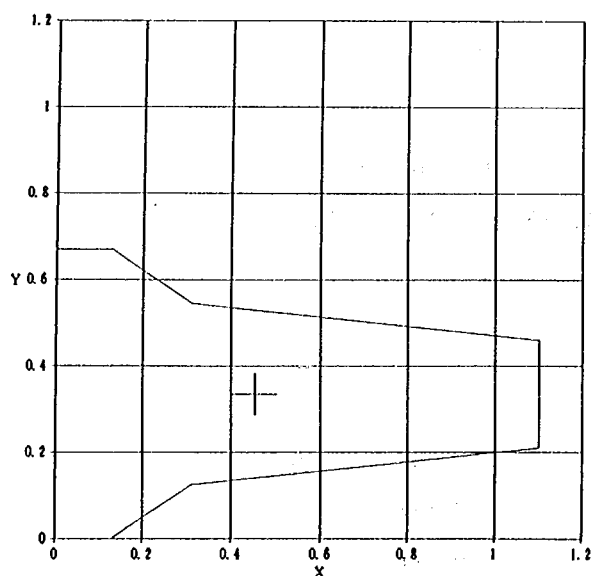
(5) 断面諸元の計算

(単位: m)

No	X_i	Y_i	A_i	X_{gi}	Y_{gi}	I_{xi}	I_{yi}
1	0.000	0.000	0.000		0	0	
2	0.000	0.670	0.174	0.0056615			0.0004907
3	0.130	0.670	0.219	0.0237195	0.0164719	0.0099001	0.0054393
4	0.310	0.545	0.794	0.2754467	0.0296367	0.0146895	0.2117193
5	1.100	0.460	0.000		0.092125	0.0322942	
6	1.100	0.210	-0.265	-0.09771	0.0105131	0.0018767	-0.078884
7	0.310	0.125	-0.023	-0.002813	0.0019531	0.0001725	-0.000723
8	0.130	0.000	0.000	0			0
9	0.000	0.000	0.000				
10			0.000				
11			0.000				
12			0.000				
13			0.000				
14			0.000				
15			0.000				
16			0.000				
17			0.000				
合計			0.8997	0.2043053	0.1506998	0.058933	0.1380418

注) 座標は右回りで系が閉じる (最終点は開始点と同じ)

断面積	断面 2 次モーメント		図 心 位 置		断 面 係 数		2 次半径
A	I_x	I_y	y_u	y_l	Z_u	Z_l	R_c
m^2	m^4	m^4	m	m	m^3	m^3	m
0.449850	0.008449	0.045254	0.335000	0.335000	0.025220	0.025220	0.018781



$$X_{max} = 1.100 \text{ m}$$

$$Y_{max} = 0.670 \text{ m}$$

<参考>

断面積	重心位置	重心位置	X断面 2 次	Y断面 2 次
A	X_g	Y_g	I_x	I_y
0.44985	0.4541632	0.335	0.0084485	0.0452539
重心位置	重心位置	断面係数	断面係数	2 次半径
y_{gu}	y_{gl}	Z_{xu}	Z_{xl}	R_c^2
0.335	0.335	0.0252196	0.0252196	0.0187808

(6) 安定計算

1) 安定計算用荷重の計算

・衝突荷重 $F_1 = 87.935 \text{ kN} \quad \{8.973 \text{ tf}\}$

・安定計算用荷重

i) 転倒に関して

$$\omega_1 = F_1 / L_a = 1.754 \text{ kN/m} \quad \{0.179 \text{ tf/m}\} \quad (\text{ただし、} L_a = \text{PGFの総延長} (\leq 50\text{m}))$$

ii) 滑動に関して

$$\omega_2 = F_1 / L_b = 8.791 \text{ kN/m} \quad \{0.897 \text{ tf/m}\}$$

(ただし、 $L_b = \text{滑動に対する有効延長} (=10\text{m})$)

・単位長さ質量

$$m_c = 1.125 \text{ t/m}$$

2) 転倒に対する検討

・転倒モーメント

$$M_a = \omega_1 \times H = 1.931 \text{ kN}\cdot\text{m/m} \quad \{0.197 \text{ tf}\cdot\text{m/m}\}$$

(ただし、 H は底版から荷重作用点までの距離)

・抵抗モーメント

$$M_r = m_c \times g \times D/2 = 3.695 \text{ kN}\cdot\text{m/m} \quad \{0.377 \text{ tf}\cdot\text{m/m}\}$$

(ただし、 D : 底版幅)

・安全率

$$F_s = M_r / M_a = 1.914 > 1.0 \quad \sim \text{OK} \sim$$

3) 滑動に対する検討

・滑動力

$$P_a = \omega_2 = 8.791 \text{ kN/m} \quad \{0.897 \text{ tf/m}\}$$

・抵抗力

$$P_r = m_c \times g \times \mu = 6.066 \text{ kN/m} \quad \{0.619 \text{ tf/m}\}$$

(ただし、 μ : 摩擦係数 (=0.55))

$$P_p = 9.800 \text{ kN/m} \quad \{1.000 \text{ tf/m}\}$$

(舗装、地盤による抵抗力)

$$\text{合計} \quad P_r = 15.866 \text{ kN/m} \quad \{1.619 \text{ tf/m}\}$$

・安全率

$$F_s = P_r / P_a = 1.805 > 1.0 \quad \sim \text{OK} \sim$$

4) 地盤反力に対する検討

・偏心位置

$$e = M_a / (m_c \times g) = 0.176 \text{ m}$$

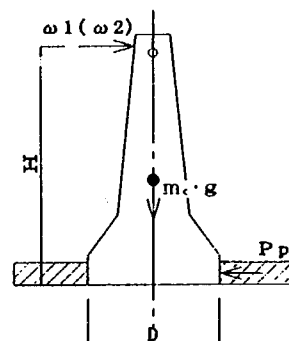
・地盤反力の作用幅

$$x = 3 \times (D/2 - e)$$

$$= 0.478 \text{ m} < D = 0.67 \text{ m} \quad \text{従って、三角形分布となる。}$$

・最大地盤反力

$$q_{\max} = 2 \times m_c \times g / x = 46.070 \text{ kN/m}^2 \quad \{4.701 \text{ tf/m}^2\} \leq 1.5 \times q_a \quad \sim \text{OK} \sim$$



(7) 構造計算

1) 構造計算用断面力の計算

・衝突荷重 $F_1 = 87.935 \text{ kN} \quad \{8.973 \text{ tf}\}$

・発生断面力

横断方向 $M_y = F_1 \cdot L \cdot \kappa \cdot (1 - 0.267L)$

縦断方向 $M_x = F_1 \cdot \lambda$

ここに、 M_y : 横断方向の断面力 (kN・m)

M_x : 縦断方向の断面力 (kN・m)

L : 躯体天端から検討位置までの距離 (m)

κ : 横断方向モーメント算出係数 = 0.50

λ : 縦断方向モーメント算出係数 = 0.25

2) 道路軸直角方向

i) 検討位置での断面力

検討位置は、下段スロープと上断スロープの境界位置とする。

・固定部モーメント

$M_y = F_1 \cdot L \cdot \kappa \cdot (1 - 0.267L)$

= 27.408 kN・m {2.797 tf・m}

($L = 0.79 \text{ m}$)

ii) 必要鉄筋量の計算

・有効高 $d = 34.5 \text{ cm} \quad (42.0 - 7.5 = 34.5)$

・必要鉄筋量 $A_s' = 3.431 \text{ cm}^2$

・使用鉄筋量 (D-13を3本/m使用)

$A_s = 3.801 \text{ cm}^2 \geq A_s'$

iii) RC断面の計算

SECTION		A	許容値
M	kN・m {tf・m}	27.411 {2.797}	
b	cm	100.000	
d	cm	34.500	
A_s	cm ²	3.801	
p		0.001	
k		0.166	
j		0.945	
σ_c	N/cm ² {kgf/cm ² }	293.628 {29.962}	$\leq 780 \{80\}$
σ_s	N/cm ² {kgf/cm ² }	22123.892 {2257.540}	$\leq 26000 \{2700\}$

~OK~

3) 道路軸方向

i) 発生断面力

$$\begin{aligned} M_x &= F_t \cdot \lambda \\ &= 21.981 \text{ kN} \cdot \text{m} \{ 2.243 \text{ tf} \cdot \text{m} \} \end{aligned}$$

ii) 必要鉄筋量の計算

$$\begin{aligned} \cdot \text{有効高} \quad d &= 17.5 \text{ cm} \quad (25.0 - 7.5 = 17.5) \\ \cdot \text{必要鉄筋量} \quad A_s' &= 5.426 \text{ cm}^2 \\ \cdot \text{使用鉄筋量 (D-16を3本/m使用)} \\ A_s &= 5.958 \text{ cm}^2 \quad \geq A_s' \end{aligned}$$

iii) RC断面の計算

SECTION		A	許容値
M	kN·m {tf·m}	21.981 {2.243}	
b	cm	100.000	
d	cm	17.500	
A _s	cm ²	5.958	
p		0.003	
k		0.273	
j		0.909	
σ _c	N/cm ² {kgf/cm ² }	579.317 {59.114}	≦ 780 {80}
σ _s	N/cm ² {kgf/cm ² }	23190.514 {2366.379}	≦ 26000 {2700}

~OK~

(8) 標準構造の提案

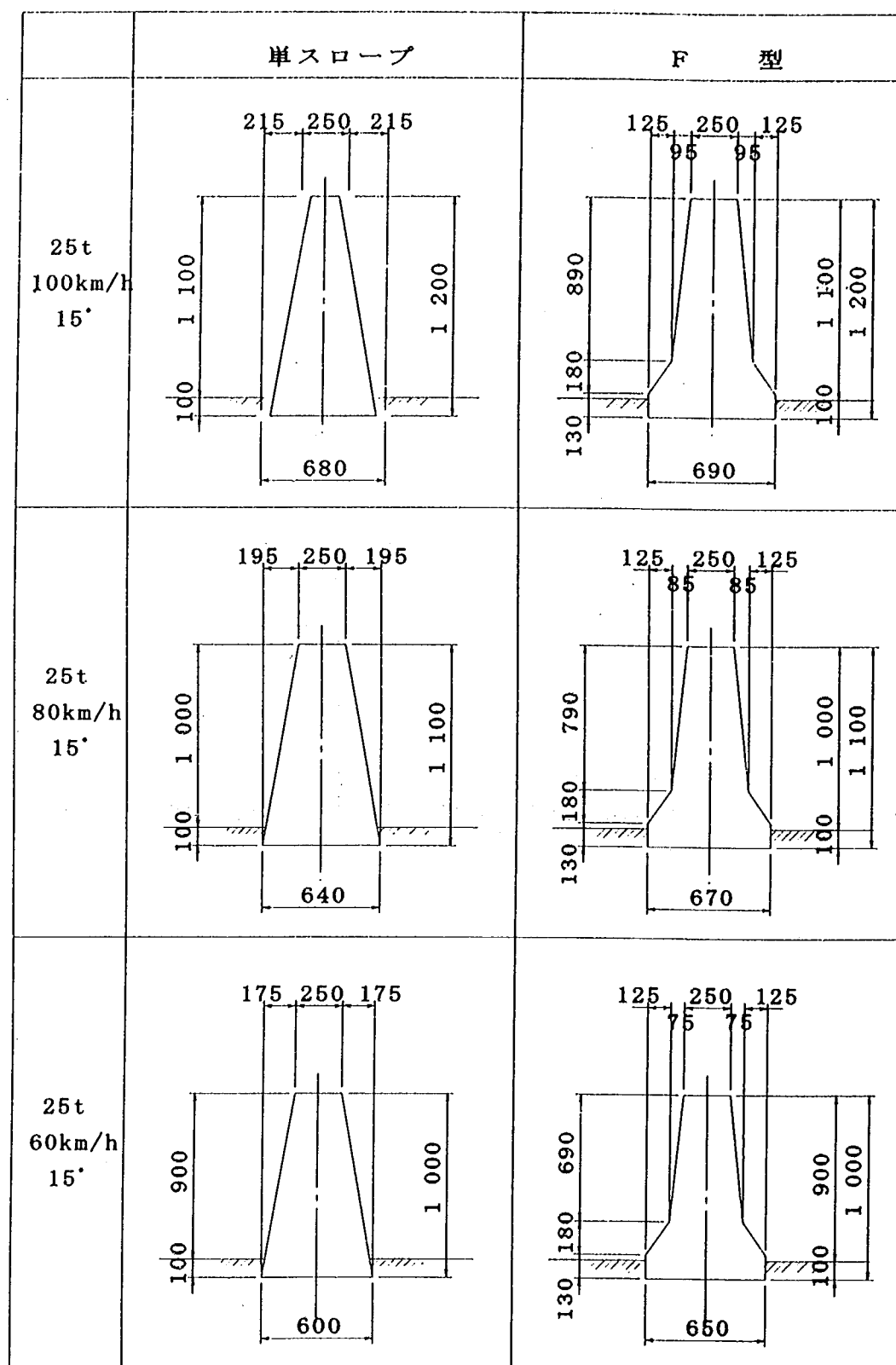


図-7. 17 現場打ちコンクリート製防護柵の標準構造

7. 7. 2 プレキャストコンクリート製防護柵

(1) 構造計算

設計条件 $m=25t$ 、 $V=80\text{ km/h}$ 、 $\theta=15^\circ$ の場合の、単スロープの計算例を示す。

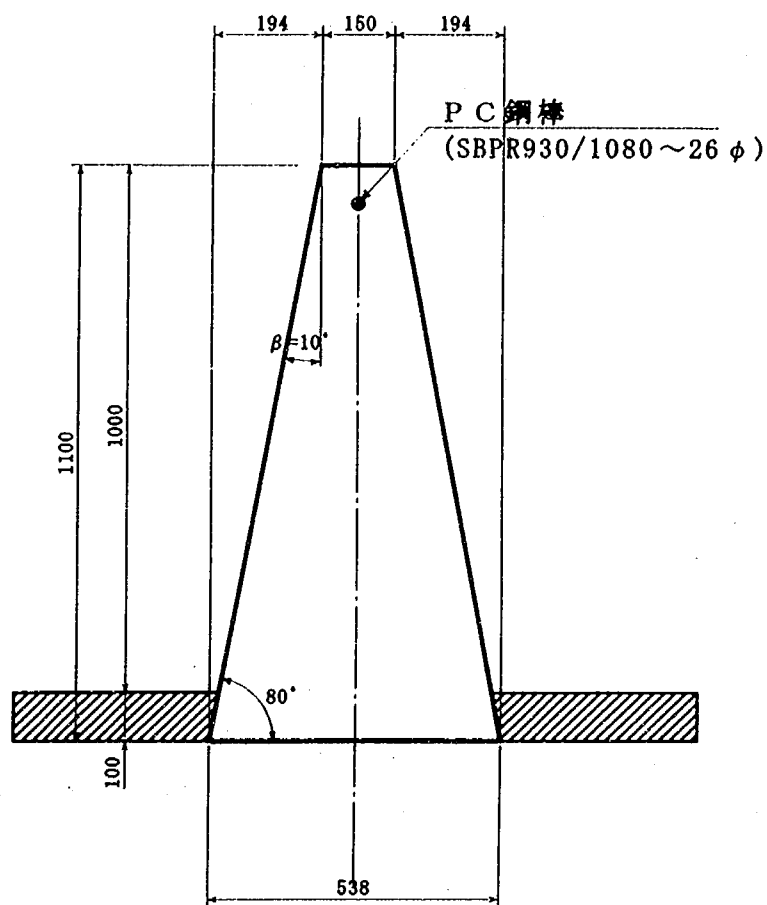


図-7. 18 プレキャストコンクリート製防護柵

(2) 材料および許容応力度

1) コンクリート材料

i) プレキャスト鉄筋コンクリート材料

設計基準強度	σ_{ck}	3900N/cm ²	{400kgf/cm ² }
許容曲げ圧縮応力度	σ_{ca}	1400N/cm ²	{140kgf/cm ² }
許容せん断応力度	τ_{ca}	54N/cm ²	{5.5kgf/cm ² }
許容押し抜きせん断応力度	τ_{pca}	110N/cm ²	{11kgf/cm ² }

ii) 現場打設（被覆）コンクリート材料

設計基準強度	σ_{ck}	2100N/cm ²	{210kgf/cm ² }
許容曲げ圧縮応力度	σ_{ca}	690N/cm ²	{70kgf/cm ² }
許容せん断応力度	τ_{ca}	39N/cm ²	{4kgf/cm ² }

2) 鋼材

i) 鉄筋（JIS G3112）

鉄筋の種類	SD-295A		
許容引っ張り応力度	σ_{sa}	18000N/cm ²	{1800kgf/cm ² }
許容せん断応力度	τ_{sa}	7800 N/cm ²	{800kgf/cm ² }

ii) PC鋼棒（JIS G3109）

		(N/cm ²) {kgf/cm ² }				
種 類	記 号	σ_{pu}	σ_{py}	σ_{pi}	σ_{pl}	σ_{pw}
B種-1号	SBPR930/1080	1078 {110.0}	931 {95.0}	838 {85.5}	755 {77.0}	647 {66.0}

σ_{pu} : PC鋼棒の引っ張り応力度

σ_{py} : PC鋼棒の降伏点応力度

σ_{pi} : PC鋼棒のプレストレスング時 許容応力度

σ_{pl} : PC鋼棒のプレストレスング直後許容応力度

σ_{pw} : PC鋼棒の設計荷重作用時 許容応力度

(3) 設計条件

1) 車両条件

車両重量	$m =$	25.000	t	
前輪軸荷重	$m_f =$	6.500	t	
後輪軸荷重	$m_r =$	18.500	t	
後輪軸距	$L_r =$	1.310	m	}
車軸間隔	$L_w =$	6.455	m	
剛性軸高	$h_k =$	0.940	m	
車軸高さ	$h_w =$	0.500	m	

2) 衝突条件

衝突速度	$V_0 =$	80.000	km/h	$=$	22.222	m/sec
衝突角度	$\theta =$	15.000	度			
反発係数	$e_v =$	0.200				
重力加速度	$g =$	9.800	m/sec ²			

3) 設置条件

柵高さ	$h =$	1.000	m	(地表面からの高さ)
前面壁角度	$\beta =$	10.000	度	
設計上の設置延長	$L_a =$	50.000	m	($L_a \leq 50$ m)
PC鋼材張力	$P_{pc} =$	294.000	kN	{30.000tf}
埋め込み深さ	$t_c =$	0.100	m	

4) 地盤条件

摩擦係数	$\mu =$	0.550		
許容支持力	$Q_a =$	294.000	kN/m ²	{30.000tf/m ² }
舗装、地盤による水平抵抗力	$P_p =$	9.800	kN/m	{1.000tf/m}

(4) 衝突荷重の算定

1) PGF 前面の壁面角度による低減係数

衝突斜面角度	$\alpha = \tan^{-1}(\sin \theta / \tan \beta)$	
	$=$	55.734 度
角度低減係数	$K_t = (\sin \alpha)^2$	
	$=$	0.683
斜面低減率	$a = (K_t)^2 \cdot b \leq 1.0$	(ただし、 $b =$ 実験係数 ($= 1.7$))
	$=$	0.793

2) 衝突荷重の算出

衝突エネルギー	$E = 1/2 \cdot m \cdot (V \cdot \sin \theta)^2$	
	$=$	413.501 kJ {42.194tf·m}
衝突荷重	$F = \kappa_f \cdot 2 \cdot (1 + e_v) / (L_w \cdot \sin \theta) \cdot (m/m_r)^2 \cdot E \cdot a$	
	$=$	86.024 kN {8.778tf}

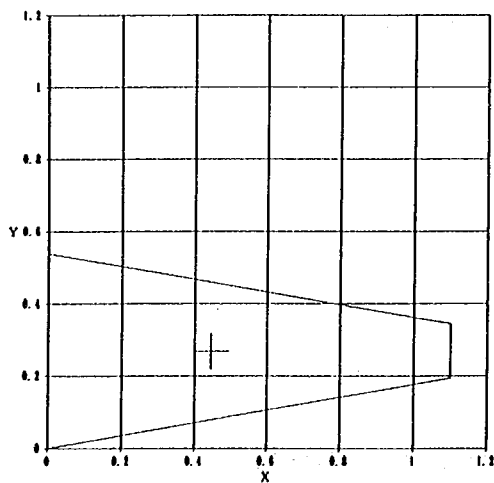
(5) 断面諸元の計算

(単位: m)

No	X _i	Y _i	A _i	X _{g i}	Y _{g i}	I _{xi}	I _{yi}
1	0.000	0.000	0.000		0	0	
2	0.000	0.538	0.970	0.2472433	0.0436047	0.0180429	0.1741392
3	1.100	0.344	0.000		0.044385	0.0122489	
4	1.100	0.194	-0.213	-0.078247	0.0137999	0.0020079	-0.064554
5	0.000	0.000	0.000				
6			0.000				
7			0.000				
8			0.000				
9			0.000				
10			0.000				
11			0.000				
12			0.000				
13			0.000				
14			0.000				
15			0.000				
16			0.000				
17			0.000				
合計			0.7568	0.1689967	0.1017896	0.0322997	0.1095857

注) 座標は右回りで系が閉じる (最終点は開始点と同じ)

断面積	断面2次モーメント		図心位置		断面係数		2次半径
A	I _x	I _y	y _u	y _l	Z _u	Z _l	R _c
m ²	m ⁴	m ⁴	m	m	m ³	m ³	m
0.378400	0.004918	0.034110	0.269000	0.269000	0.018284	0.018284	0.012998

X_{max} = 1.100 mY_{max} = 0.538 m

<参考>

断面積	重心位置	重心位置	X断面2次	Y断面2次
A	X _g	Y _g	I _x	I _y
0.3784	0.4466085	0.269	0.0049183	0.0341103
重心位置	重心位置	断面係数	断面係数	2次半径
y _{gu}	y _{gl}	Z _{xu}	Z _{xl}	R _{c2}
0.269	0.269	0.0182837	0.0182837	0.0129977

(6) 安定計算

1) 安定計算用荷重の計算

・衝突荷重 $F_t = 86.024 \text{ kN} \quad \{8.778 \text{ tf}\}$

・安定計算用荷重

①転倒 $\omega_1 = F_t / L_a = 1.725 \text{ kN/m} \quad \{0.176 \text{ tf/m}\}$

(ただし、 L_a = 総延長 ($\leq 50 \text{ m}$))

②滑動に関して $\omega_2 = F_t / L_b = 8.604 \text{ kN/m} \quad \{0.878 \text{ tf/m}\}$

(ただし、 L_b = 滑動に対する有効延長 ($= 10 \text{ m}$))

・単位長さ質量 $m_c = 0.946 \text{ t/m}$

2) 転倒に対する検討

・転倒モーメント $M_a = \omega_1 \times H = 1.891 \text{ kN} \cdot \text{m/m} \quad \{0.193 \text{ tf} \cdot \text{m/m}\}$

(ただし、 H は底版から荷重作用点までの距離)

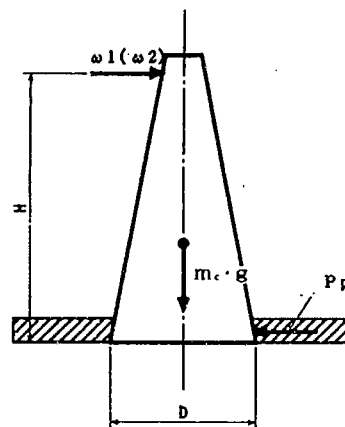
・抵抗モーメント $M_r = m_c \times g \times D/2 = 2.489 \text{ kN} \cdot \text{m/m} \quad \{0.254 \text{ tf} \cdot \text{m/m}\}$

(ただし、 D : 底版

幅)

・安全率

$$F_s = M_r / M_a = 1.316 > 1.0 \quad \sim \text{OK} \sim$$



3) 滑動に対する検討

・滑動力 $P_a = \omega_2 = 8.604 \text{ kN/m} \quad \{0.878 \text{ tf/m}\}$

・抵抗力 $P_f = m_c \times g \times \mu = 5.096 \text{ kN/m} \quad \{0.520 \text{ tf/m}\}$

(ただし、 μ : 摩擦係数 ($= 0.55$))

$P_p = 9.800 \text{ kN/m} \quad \{1.000 \text{ tf/m}\}$ (舗装、地盤による抵抗力)

合計 $P_r = 14.896 \text{ kN/m} \quad \{1.5203 \text{ tf/m}\}$

・安全率 $F_s = P_r / P_a = 1.731 > 1.0 \quad \sim \text{OK} \sim$

4) 地盤反力に対する検討

・偏心位置 $e = M_a / (m_c \times g) = 0.204 \text{ m}$

・地盤反力の作用幅

$$x = 3 \times (D/2 - e) = 0.195 \text{ m} > D = 0.538 \text{ m}$$

従って、三角形分布となる

・最大地盤反力 $q_{\max} = 2 \times m_c \times g / x = 95.285 \text{ kN/m}^2 \quad \{9.723 \text{ tf/m}^2\} \leq 1.5 \times q_a$

~OK~

(7) 構造計算

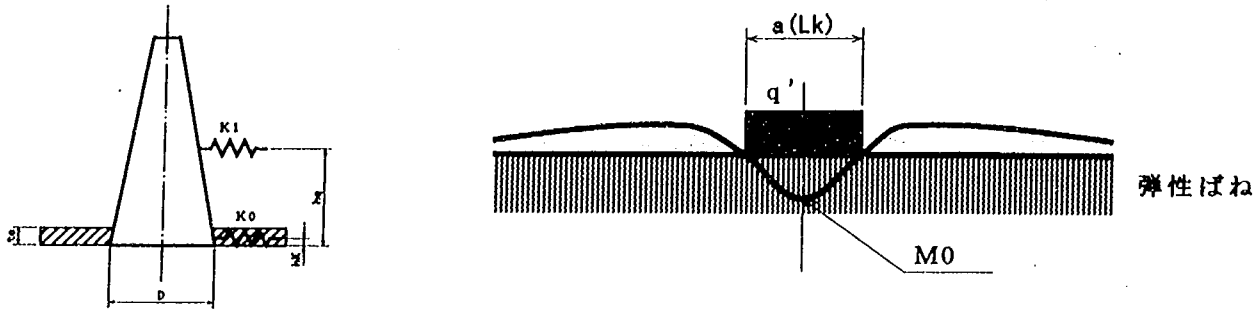
1) 道路軸方向

i) 構造計算用荷重の計算

・衝突荷重 $F = 86.024 \text{ kN} \{8.778 \text{ tf}\}$
 ・荷重作用長さ $L_k = L_w \cdot \cos \theta \cdot (mf/m) + L_r/2 = 2.276 \text{ m}$
 ・等分布荷重 $q' = F/L_k = 37.799 \text{ kN/m} \{3.857 \text{ tf/m}\}$

ii) 断面力の算出

断面力は、下図のようにPGFを弾性支承上の梁と想定して算出する。



a) バネ定数; K1

注) コンクリートシールは、厚さ 0.1m・幅 1.0mと仮定。

被覆コンクリートのヤング係数 $E_{cl} = 235000 \text{ kgf/cm}^2 \quad (\sigma_{ck}=210 \text{ kgf/cm})$
 $= 2303 \text{ MN/m}^2 \quad \text{道路橋示方書(コンクリート編) P. 85より}$
 被覆コンクリートの厚さ $t_c = 0.100 \text{ m}$
 被覆コンクリートのバネ定数 $K_0 = E_{cl} \cdot t_c = 230.3 \text{ MN/m/m} \{235000 \text{ tf/m/m}\}$
 被覆コンクリートの図心位置 $h_K = 0.050 \text{ m}$
 衝突位置の高さ $h_q = 0.600 \text{ m} \quad (\text{車軸高さ})$
 衝突位置の仮想バネ定数 $K_1 = K_0 \cdot h_K / h_q = 19.192 \text{ MN/m/m} \{19583 \text{ tf/m/m}\}$

b) 弾性床上の梁の断面力 (PGF断面力)

弾性係数 $E_{pc} = 310000 \text{ kgf/cm}^2 \quad (\sigma_{ck}=400 \text{ kgf/cm})$
 $= 3038 \text{ MN/m}^2 \quad \text{道路橋示方書(コンクリート編) P. 85より}$
 断面2次モーメント $I_x = 0.0049183 \text{ m}^4$
 部分等分布荷重 $q' = 37.799 \text{ kN/m} \{3.857 \text{ tf/m}\}$
 荷重作用長さ $a = L_k = 2.276 \text{ m}$
 弾性床上の梁の相対曲げ剛さ

$$\gamma = \{K_1 / (4 \cdot E_{pc} \cdot I_x)\}^{1/4} = 0.7527697$$

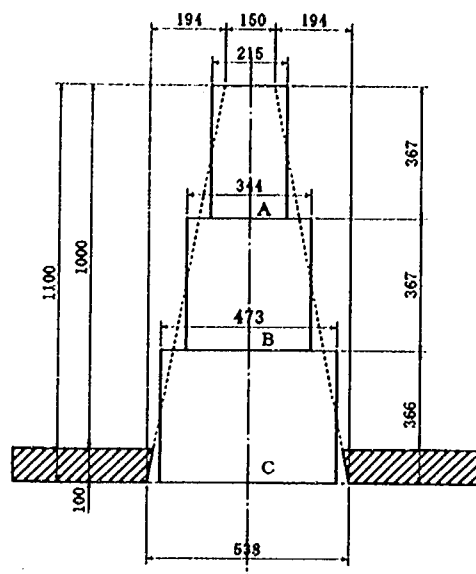
∴ 防護柵全体の断面力

$$\begin{aligned} M_{a/2} &= \{q' / (2 \cdot \gamma^2)\} \times e^{(-a/2 \cdot \gamma)} \times \sin(a/2 \cdot \gamma) \\ &= 10.702 \text{ kN} \cdot \text{m/m} \{1.092 \text{ tf} \cdot \text{m/m}\} \\ &= M_0 \end{aligned}$$

iii) 断面の検討

断面の検討は、下図のように分割したそれぞれの断面について行う。

なお、部材Aは過去の実験結果よりP C部材として検討を行うものとした。



a) 断面力による応力

部材断面-A

$$\begin{aligned}
 b &= 36.667 \text{ cm} & MA &= Mo \times b / H \\
 h &= 21.465 \text{ cm} & &= 3.567 \text{ kN} \cdot \text{m/m} \quad \{0.364 \text{ tf} \cdot \text{m/m}\} \\
 A &= 787.062 \text{ cm}^2 \\
 Z &= 2815.756 \text{ cm}^3 \\
 \sigma_{cu} &= +M/Z = 126.655 \text{ N/cm}^2 \quad \{12.924 \text{ kgf/cm}^2\} \\
 \sigma_{cl} &= -M/Z = -126.655 \text{ N/cm}^2 \quad \{-12.924 \text{ kgf/cm}^2\}
 \end{aligned}$$

部材断面-B

$$\begin{aligned}
 b &= 36.667 \text{ cm} & MB &= Mo \times b / H \\
 h &= 34.396 \text{ cm} & &= 3.567 \text{ kN} \cdot \text{m/m} \quad \{0.364 \text{ tf} \cdot \text{m/m}\} \\
 A &= 1261.185 \text{ cm}^2 \\
 Z &= 7229.949 \text{ cm}^3 \\
 \sigma_{cu} &= +M/Z = 49.323 \text{ N/cm}^2 \quad \{5.033 \text{ kgf/cm}^2\} \\
 \sigma_{cl} &= -M/Z = -49.323 \text{ N/cm}^2 \quad \{-5.033 \text{ kgf/cm}^2\}
 \end{aligned}$$

部材断面-C

$$\begin{aligned}
 b &= 36.667 \text{ cm} & MC &= Mo \times b / H \\
 h &= 47.327 \text{ cm} & &= 3.567 \text{ kN} \cdot \text{m/m} \quad \{0.364 \text{ tf} \cdot \text{m/m}\} \\
 A &= 1735.309 \text{ cm}^2 \\
 Z &= 13687.717 \text{ cm}^3 \\
 \sigma_{cu} &= +M/Z = 26.058 \text{ N/cm}^2 \quad \{2.659 \text{ kgf/cm}^2\} \\
 \sigma_{cl} &= -M/Z = -26.058 \text{ N/cm}^2 \quad \{-2.659 \text{ kgf/cm}^2\}
 \end{aligned}$$

b) P C部材の検討 (部材-A)

P C鋼棒φ 2 6 によって $P = 294 \text{ kN} \{30 \text{ tf}\}$ の緊張力を与えると、

・プレストレスによる応力度

$$\sigma_{pu} = P/A = 373.537 \text{ N/cm}^2 \{38.116 \text{ kgf/cm}^2\}$$

・コンクリートの合成応力度

$$\sigma_u = \sigma_{pu} + \sigma_{cu} = 500.192 \text{ N/cm}^2 \{51.041 \text{ kgf/cm}^2\} < 2100 \text{ N/cm}^2 \{210 \text{ kgf/cm}^2\}$$

$$\sigma_l = \sigma_{pl} - \sigma_{cl} = 246.882 \text{ N/cm}^2 \{25.192 \text{ kgf/cm}^2\} > 368 \text{ N/cm}^2 \{37.5 \text{ kgf/cm}^2\}$$

～OK～

c) R C部材の検討 (部材-B, C)

iv) 必要鉄筋量の計算

a) 部材-B

$$M = 3.567 \text{ kN} \cdot \text{m} \{0.364 \text{ tf} \cdot \text{m}\} \quad d = 29.4 \text{ cm}$$

・必要鉄筋量

$$A_s' = M / \{ (7/8) \times (2700 \times 9.8) \times d \} = 0.524 \text{ cm}^2$$

・使用鉄筋量

いま、D 1 3 を 2 本配置すると、使用鉄筋量は以下ようになる。

$$A_s = 1.267 \times 2 = 2.534 \text{ cm}^2 > A_s'$$

b) 部材-C

部材-Bと同様に計算を行う。

$$M = 3.567 \text{ kN} \cdot \text{m} \{0.364 \text{ tf} \cdot \text{m}\} \quad d = 42.3 \text{ cm}$$

$$A_s' = 0.364 \text{ cm}^2 \quad (\text{必要鉄筋量})$$

いま、D 1 3 を 2 本配置すると、使用鉄筋量は以下ようになる。

$$A_s = 2.534 \text{ cm}^2 \quad (\text{使用鉄筋量}) > A_s'$$

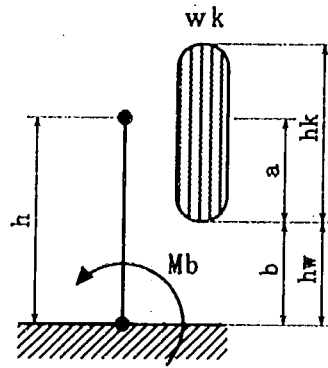
v) R C断面の計算

SECTION		B	C	
M	kN・m{tf・m}	3.567{0.364}	3.567{0.364}	
b	cm	36.667	36.667	
d	cm	29.396	42.327	
A _s	cm ²	2.534	2.534	
p		0.002	0.002	
k		0.233	0.198	
j		0.922	0.934	
σ _c	N/cm ² {kgf/cm ² }	104.899{10.704}	58.663{5.986}	≤ 2100 {210}
σ _s	N/cm ² {kgf/cm ² }	5190.296{529.622}	3560.34{363.300}	≤ 26000 {2700}

～OK～

2) 道路軸直角方向

i) 天端荷重の算出



P G Fを片持ちばりと考え、水平方向天端荷重は次のように表される。

・荷重強度 $wk = F / (hk \times Lk) = 40.209 \text{ kN/m} \quad \{4.103 \text{ tf/m}\}$

・固定部モーメント

$$Mb = wk \times a \times (hw + a / 2) = 15.082 \text{ kN} \cdot \text{m/m} \quad \{1.539 \text{ tf} \cdot \text{m/m}\}$$

ただし $a = h - hw = 0.5$

・天端水平荷重 $Pb = Mb / h = 15.082 \text{ kN} \quad \{1.539 \text{ tf}\}$

ii) 必要鉄筋量の計算

・有効高 $d = 42.3 \text{ cm}$

・必要鉄筋量 $As' = 1.539 \text{ cm}^2$

・使用鉄筋量

いま、D-13を3本使用する。

$$As = 3.801 \text{ cm}^2 \geq As'$$

iii) RC断面の計算

SECTION		D	
M	kN/m {tf·m}	15.082 {1.539}	
b	cm	100.000	
d	cm	42.327	
As	cm ²	3.801	
p		0.001	
k		0.151	
j		0.950	
σc	N/cm ² {kgf/cm ² }	117.218 {11.961}	$\leq 2100 \{210\}$
σs	N/cm ² {kgf/cm ² }	9869.1292 {1007.054}	$\leq 26000 \{2700\}$

~OK~

プレキャスト剛性防護柵・一覧表

	単スローブ	F 型
25t 100km/h 15°	Diagram showing a cross-section of a single-slope precast concrete guardrail. The top width is 212 (left), 150 (center), and 212 (right). The base width is 573. The height from the base to the top of the sloped section is 1,100. The total height from the base to the top of the vertical section is 1,200. The base is 100 units wide.	Diagram showing a cross-section of an F-type precast concrete guardrail. The top width is 126 (left), 180 (center), and 126 (right). The base width is 619. The height from the base to the top of the sloped section is 890. The total height from the base to the top of the vertical section is 1,100. The base is 100 units wide. There is a 130 unit wide section on the left and a 100 unit wide section on the right.
25t 80km/h 15°	Diagram showing a cross-section of a single-slope precast concrete guardrail. The top width is 194 (left), 150 (center), and 194 (right). The base width is 538. The height from the base to the top of the sloped section is 1,000. The total height from the base to the top of the vertical section is 1,100. The base is 100 units wide.	Diagram showing a cross-section of an F-type precast concrete guardrail. The top width is 126 (left), 150 (center), and 126 (right). The base width is 568. The height from the base to the top of the sloped section is 790. The total height from the base to the top of the vertical section is 1,000. The base is 100 units wide. There is a 130 unit wide section on the left and a 100 unit wide section on the right.
25t 60km/h 15°	Diagram showing a cross-section of a single-slope precast concrete guardrail. The top width is 176 (left), 150 (center), and 176 (right). The base width is 503. The height from the base to the top of the sloped section is 900. The total height from the base to the top of the vertical section is 1,000. The base is 100 units wide.	Diagram showing a cross-section of an F-type precast concrete guardrail. The top width is 126 (left), 150 (center), and 126 (right). The base width is 547. The height from the base to the top of the sloped section is 690. The total height from the base to the top of the vertical section is 900. The base is 100 units wide. There is a 130 unit wide section on the left and a 100 unit wide section on the right.

図-7. 19 プレキャストコンクリート製防護柵の標準構造

8. 1 まとめ

コンクリート製防護柵は、約20年前に発刊された防護柵設置要綱（昭和47年版）において、標準構造が示されているオートガードを除き剛性防護柵として位置づけられている。またその設置については、乗員に対する衝撃緩和効果が大きくは期待できないことから、橋梁高欄部等で突破防止を目的として用いることが示されているものの、当時の技術状況からコンクリート製防護柵の利用は今後の開発を待つとされてきた。

これについて、本共同研究により、コンクリート製の中央分離帯用防護柵を対象として、衝撃度に応じた標準構造を把握することができ、また、橋梁高欄を含むコンクリート製防護柵全体について、衝突条件に応じて防護柵の設計荷重を推定し、これを用いて設計を行う手法を確立したことから、現要綱で求められている点に答える資料が得られたものと考えられる。また、実験においては、乗用車の衝突実験を行い、車両乗員の衝撃についても、基本的な乗員保護機能を有することが確認できた。これは、過去に行われたF型に対する乗用車衝突実験結果も含めて、単スロープ型やF型のように、防護柵の形状を工夫することによって、乗員に対して厳しい衝突状況となる乗用車の高速衝突についても、乗員の保護機能を確保することができるものと考えられる。

8. 1. 1 単スロープ型とF型の使い分け

今回の実験では、F型と単スロープ型について実験を行っている。

F型は、乗用車等の衝突時の衝撃緩和を考慮して下部に突起部を設け、衝突車両を円滑に車線に復帰させるニュージャージー型中央分離帯用防護柵を、小型車の交通量が多い道路用に改良したものであり、斜面は3段階に分かれそれぞれの斜面長は比較的厳密な長さが要求される。このため、これまでは舗装上への据え置き型として使用されることが多かった。今回の研究では、土中埋め込み式として構造を検討しているが、舗装面にかなりの平坦性が要求されるものと考えられる。特に、舗装面から立ち上がる3cm高の垂直面は、路面に平坦性がないとこの高さの位置を連続的に保つことは容易でない。従って、設置後不等沈下が予想される道路等、防護柵の一定高さの維持が困難な道路にF型を用いることは適当でない。

単スロープ型と過去に行われたF型について、小型車への衝突実験結果³⁾とを比べると、F型の重心加速度50ms移動平均値が6.5gであったのに対して単スロープ型は7.1g（p44参照）あり、1割程度衝撃緩和性能は低下する結果となった。これは小型車衝突時の上方向への衝撃の分散能力が、F型より小さいためである。従って、小型車交通の多い道路では、F型を用いることが有利である。しかし、単スロープ型はF型より分離帯幅員を狭くすることができること、単スロープであり路面の平坦性に左右されないことなどの利点があり、比較的狭い道路で中央分離帯を設置する場合や、不等沈下が予想される道路、オーバーレイなどによって路面高が変化する恐れのある道路等においては有利であると考えられる。

8. 1. 2 現場打ちとプレキャストの使い分け

現場打ちコンクリート製防護柵と工場製作によるプレキャストコンクリート製防護柵では、それぞれ施工方法や防護柵機能に特徴がある。これを施工上の特徴、留意点として比較したものが表－8. 1である。

表－8. 1 現場打ちとプレキャストとの比較

	現場打ち	プレキャスト
専用器具等	・防護柵用専用施工機が必要	・専用型枠が必要
強度管理	・スランプ量の少ないセメントの調達および管理が必要 ・1週間程度の養生管理が必要	・工場製品であり、所定以上の強度を得やすい ・プレストレス（緊張力）の管理が必要 ・特に養生期間は必要としない
有効設置長	・50m以上連続的に設置することが望ましい	・50m以上連続的に設置することが望ましい
路面凹凸等との調整	・左右路面の段差や縦断方向の凹凸に合わせて防護柵高さを調節することができる	・路面状況に応じて防護柵形状を変えることは困難であるが、単スロープで対応可能
施工前の準備	・コンクリート施工前に鉄筋の組立が必要	・防護柵天端にPC鋼棒を通すので、掘削面の平坦性が要求される
施工期間の安全管理	・防護柵施工区間は、防護柵設置期間中、全線にわたって安全管理が必要	・防護柵設置区間は、基礎掘削部に防護柵を借り置きすることで当日の工事該当箇所以外を交通に解放することができる。
鋼製防護柵設置個所での対応	・支柱やレールを抱き込んで直接施工することができる	・支柱やレールをプレキャスト壁で囲み、中にコンクリートを充填する方法で施工できる
備 考	・強度上目地は必要ないが、表面クラックを防ぐには目地を設ける ・目地への水の浸透による鉄筋腐食に留意が必要	

8. 2 今後の課題

今回の研究で残された課題は、以下のとおりである。

(1) 防護柵強度の検証

衝突実験により、想定される衝突条件に対して必要となる防護柵強度を把握し、標準構造を把握することができた。今後は、研究により示された標準構造について、実際の道路における設置効果を、事故検証等の追跡調査により把握することが必要である。

(2) 乗員保護機能の確認

今回の研究から、衝突速度80km/hまでの基本的な乗員保護機能を確認した。今後は、実際の事故発生状況等を踏まえて、さらに高い衝突速度における乗員保護機能について検討することが必要である。

あとがき

コンクリート製防護柵は、諸外国においてかなりの使用実績はあるものの、その構造設計は経験的に行われている。本研究は、このコンクリート製防護柵のうち特に土中に埋め込む構造について、衝撃度に応じた衝突荷重を把握し、これによって構造設計を行う手法を確立すること、また、確立した設計手法に基づいて標準構造を提案することを目的として実施したものである。

各機関が共同して精力的に検討を行った結果、当初の研究目的は達成され、本報告書では土中に設置するコンクリート製防護柵の構造設計の手引きとなる手法・手順を示すことができた。今後は、本報告書が活用され、コンクリート製防護柵の普及の一助となることを願うものである。

一方、乗用車等がかなり高い速度で衝突した場合の乗員の被害軽減や、土中に埋め込まない場合の構造のあり方等について検討課題が残されている。これらについて検討を加え、コンクリート製防護柵のさらなる普及に資することが必要と考えられる。

参考文献

- 1) 高速道路調査会、「コンクリート高欄突車衝突実験報告書」、昭和44年2月
- 2) 日本道路協会、「コンクリート壁式剛性防護柵の構造に関する研究」、昭和49年3月
- 3) 土木研究所交通安全研究室、日本道路公団、「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 ―」、土木研究所共同研究報告書第76号、平成4年6月
- 4) W.LYNN BEASON,H.E.ROSS,Jr.,H.S.PERERA,AND MARK MAREK 「Single-Slope Concrete Media Barrier」,Transportation Research Record 1302.
- 5) AASHTO,「Road Side Design Guide」,1989.
- 6) 土木研究所交通安全研究室、「防護柵衝突実験時の乗員の安全性評価」、土木研究所資料第3380号、1995.10
- 7) 松葉他、「(1) 衝突実験における測定方法についての一考案」、第2回落石等による衝撃問題研究会、土木学会、1991
- 8) 谷口他、「振動工学ハンドブック」、(株)養賢堂
- 9) 土木学会、「構造物の衝撃挙動と設計方法」
- 10) 土木研究所交通安全研究室、「防護柵の開発に関する研究」、土木研究所資料2450号、昭和62年2月
- 11) 運輸省自動車交通局、「1996年版自動車諸元表」、(社)自動車技術会、1996.4.1

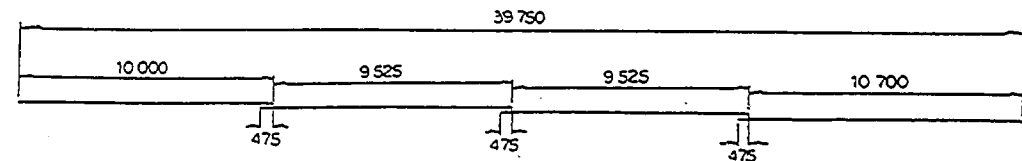
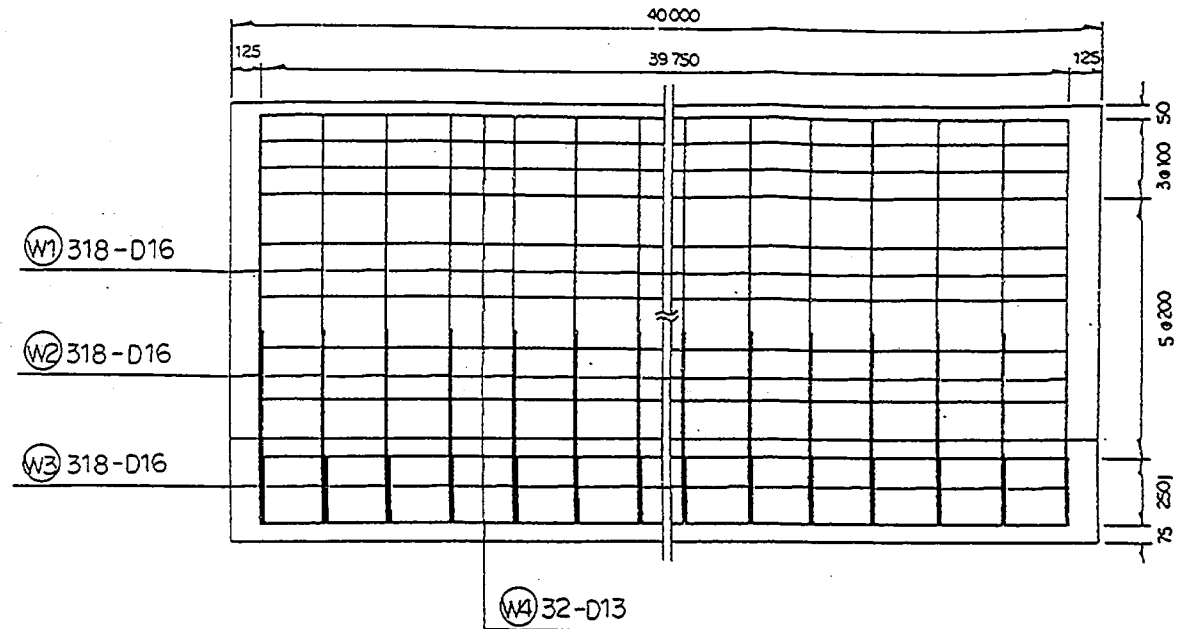
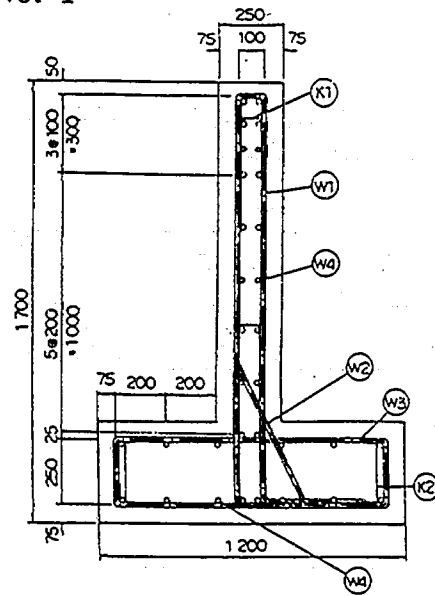
参考資料

- (1) 実験供試体配筋図
- (2) 実験車両諸元
- (3) 実験状況・破損状況
 - ・ 車両と防護柵との接触状況
 - ・ 車両の損傷状況
 - ・ 防護柵の損傷状況

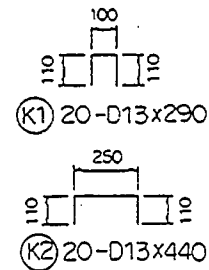
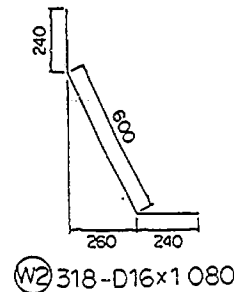
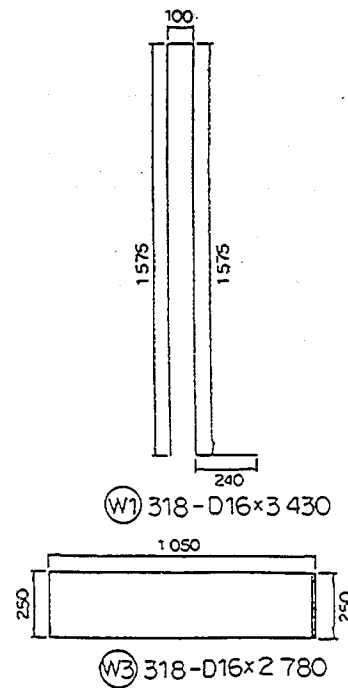
参考資料

(1) 実験供試体配筋図

実験 No. 1



W4 32-D13x41175



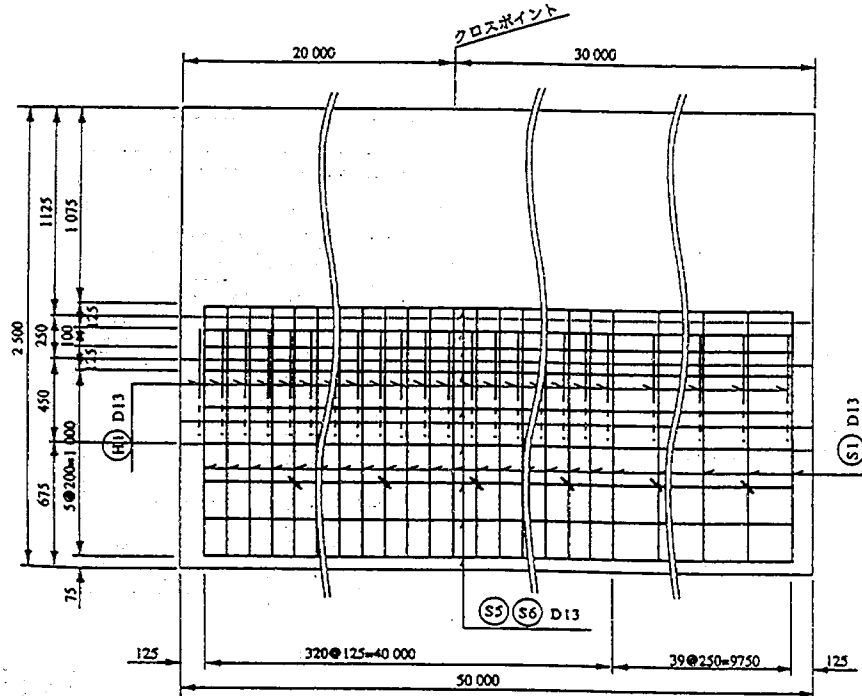
記号	径	長さ (cm)	本数	単位重量(kg/m)	1本当り重量(kg)	重量(kg)	摘要
W1	D16	343	318	1.56	5.35	1701.6	SD345
W2	D16	108	318	1.56	1.68	535.8	SD345
W3	D16	278	318	1.56	4.34	1379.1	SD345
W4	D13	4117.5	32	0.995	40.67	1311	SD30
K1	D13	29	20	0.995	0.29	5.8	SD30
K2	D13	44	20	0.995	0.44	8.8	SD30

計 4941.1 kg
D13 1325.6 kg
D16 3616.8 kg

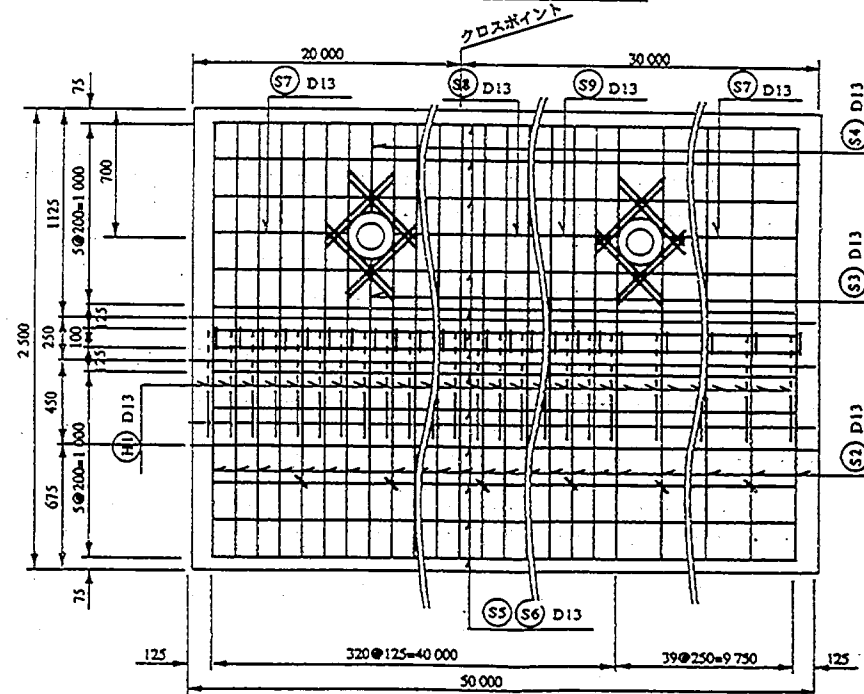
材料	種別	単位	数量	摘要
コンクリート	B1-1	m ³	32.2	

— 134 —

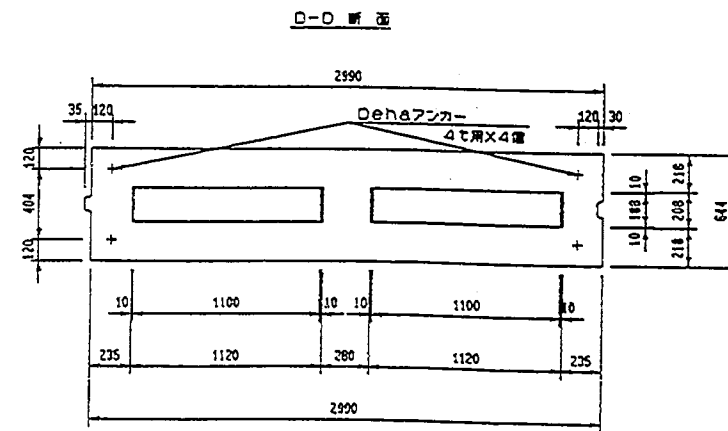
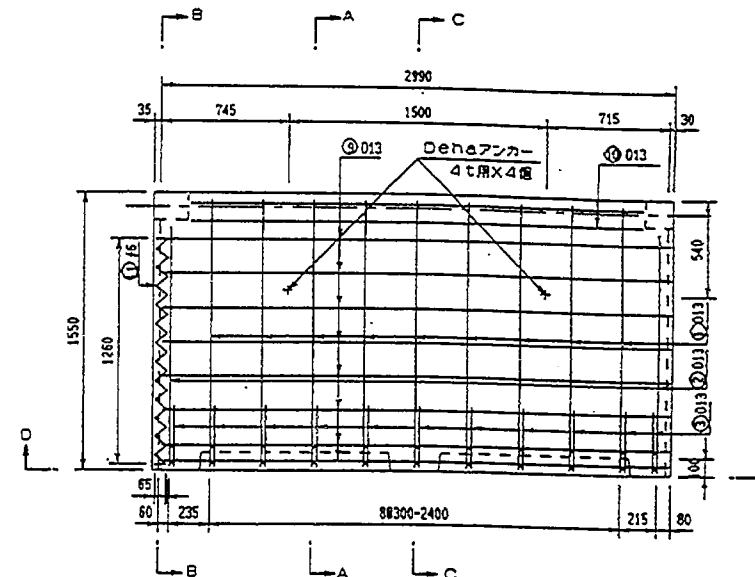
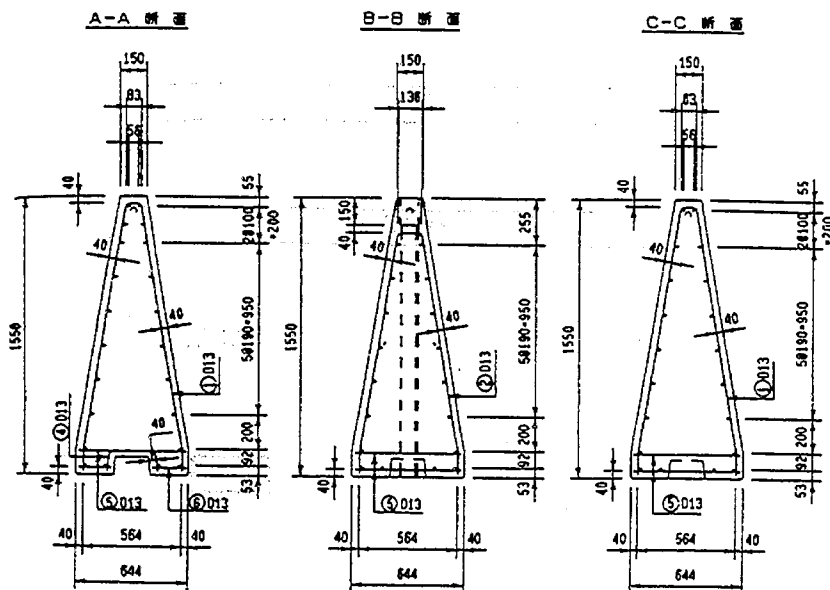
② — ② 断面图



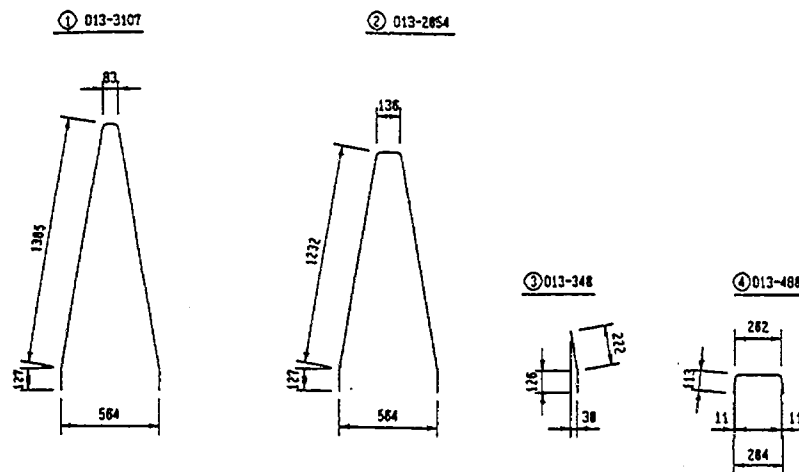
③ — ③ 断面图



実験 No. 3, 5



実験 No. 3, 5 (鉄筋加工図)



⑤ D13-404

⑥ D13-182

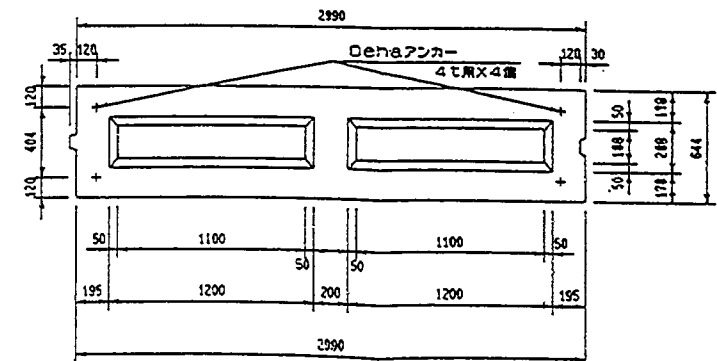
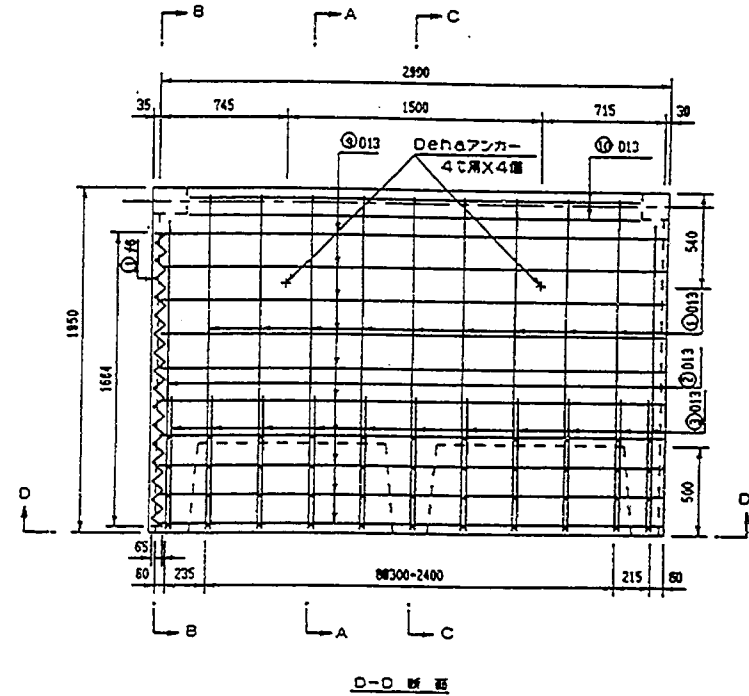
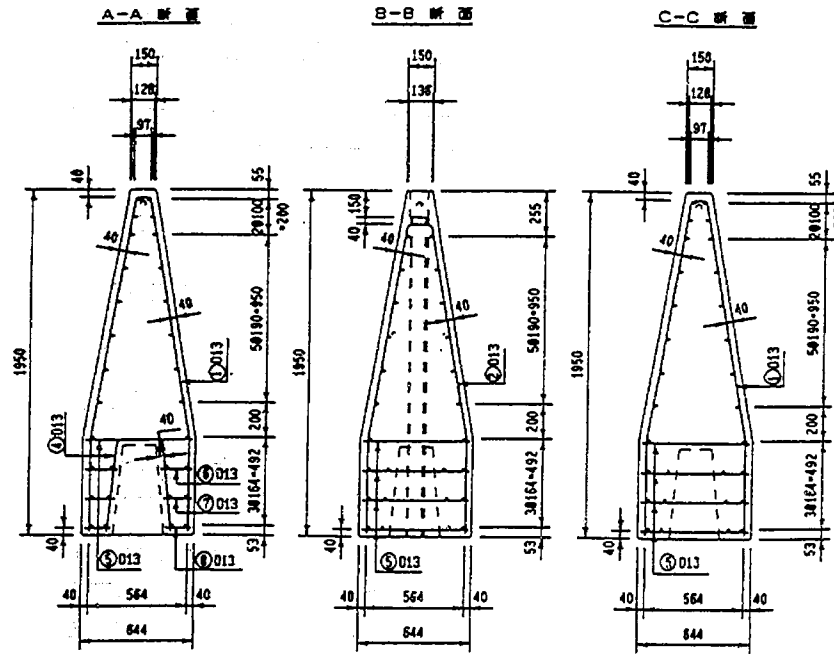
⑦ D13-2950

⑧ D13-2630

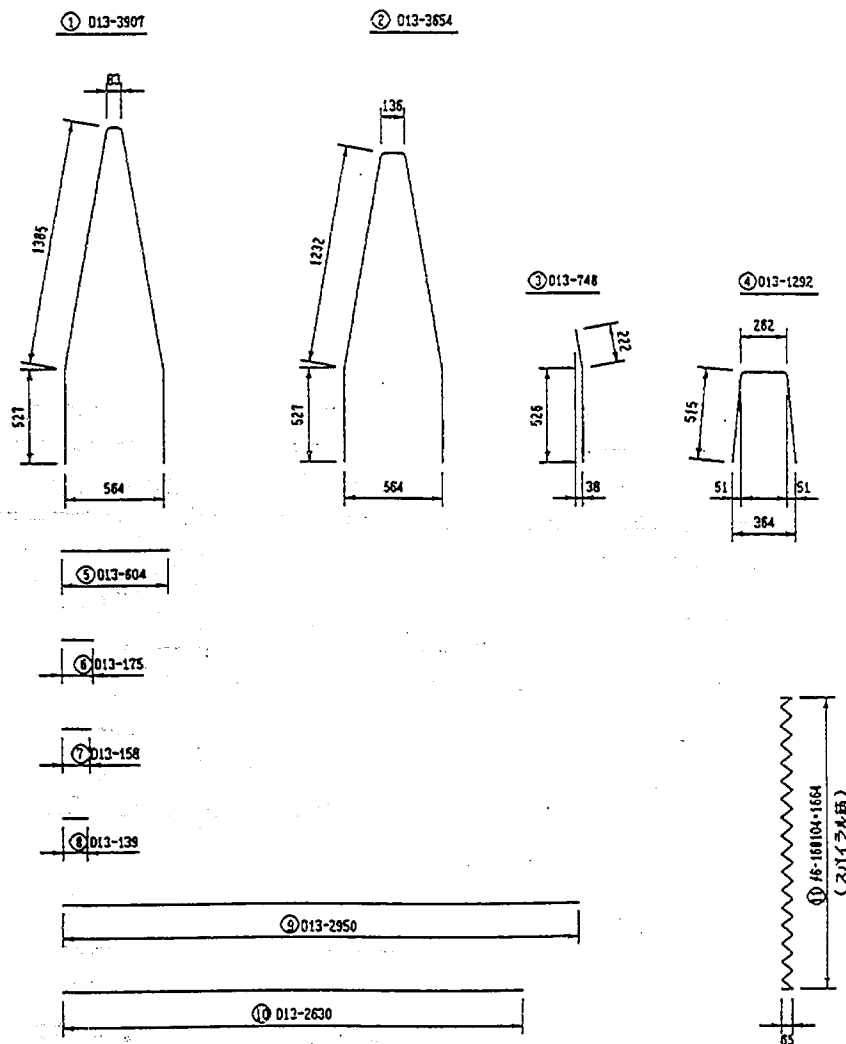
⑨ 16-129105-1200
(スライラル鉄)

記号	径 (mm)	長さ (mm)	本数 (本)	重量 (kg)	付荷
①	D13	3107	9	27.9	SD295A
②	D13	2854	2	5.68	*
③	D13	348	22	7.62	*
④	D13	488	8	3.89	*
⑤	D13	864	14	8.42	*
⑥	D13	182	16	2.90	*
⑦					
⑧					
⑨	D13	2950	16	47.0	SD295A
⑩	D13	2630	4	10.5	*
⑪	φ 6	2655	1	0.590	SW-8
TOTAL				115	Eq

実験 No. 4

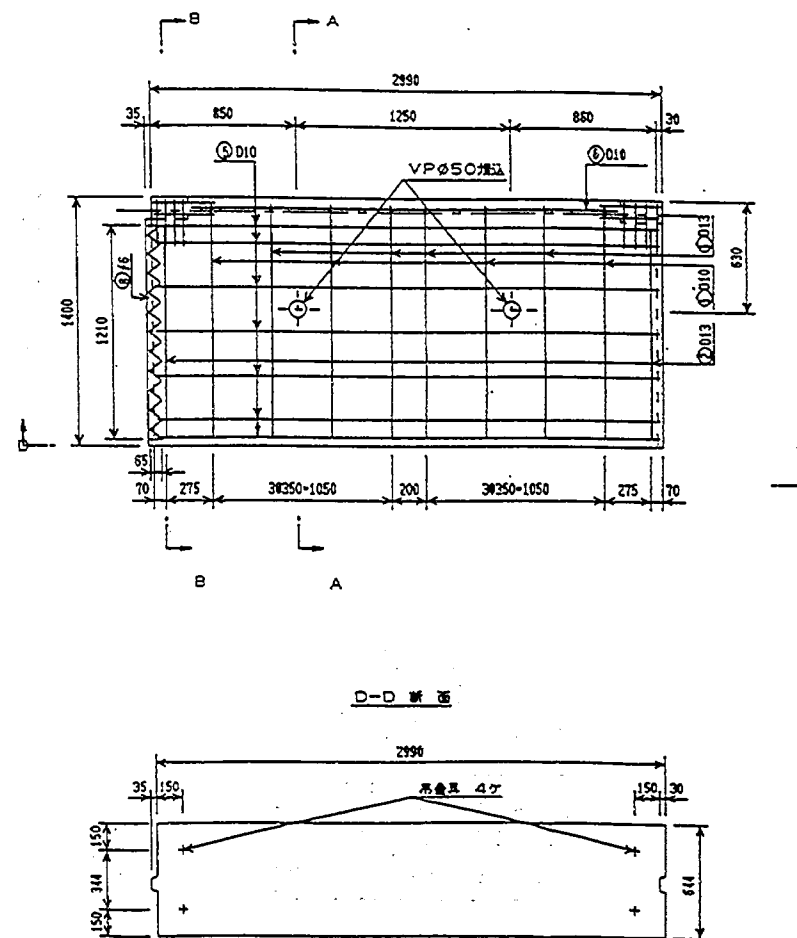


実験 No. 4 (鉄筋加工図)

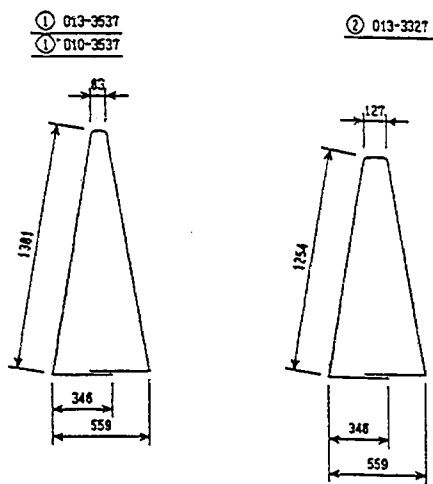


記号	径 (mm)	長さ (mm)	本数 (本)	重量 (kg)	材質
①	D13	3907	9	35.0	SD295A
②	D13	3654	2	7.28	*
③	D13	748	22	16.4	*
④	D13	1292	6	10.3	*
⑤	D13	604	20	12.1	*
⑥	D13	175	16	2.79	*
⑦	D13	158	16	2.52	*
⑧	D13	139	16	2.22	*
⑨	D13	2950	20	58.7	*
⑩	D13	2630	4	10.5	*
⑪	#6	3471	1	0.771	SMN-B
TOTAL			159	19	

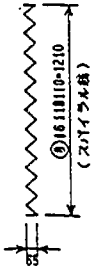
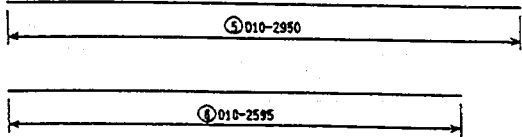
— 139 —

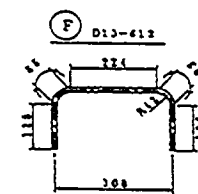
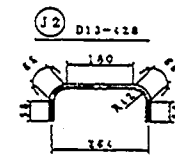
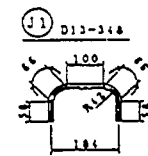
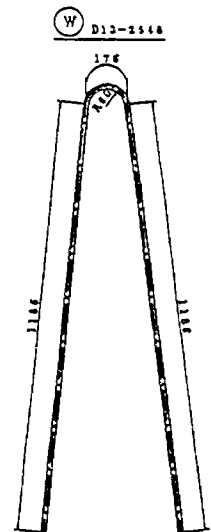
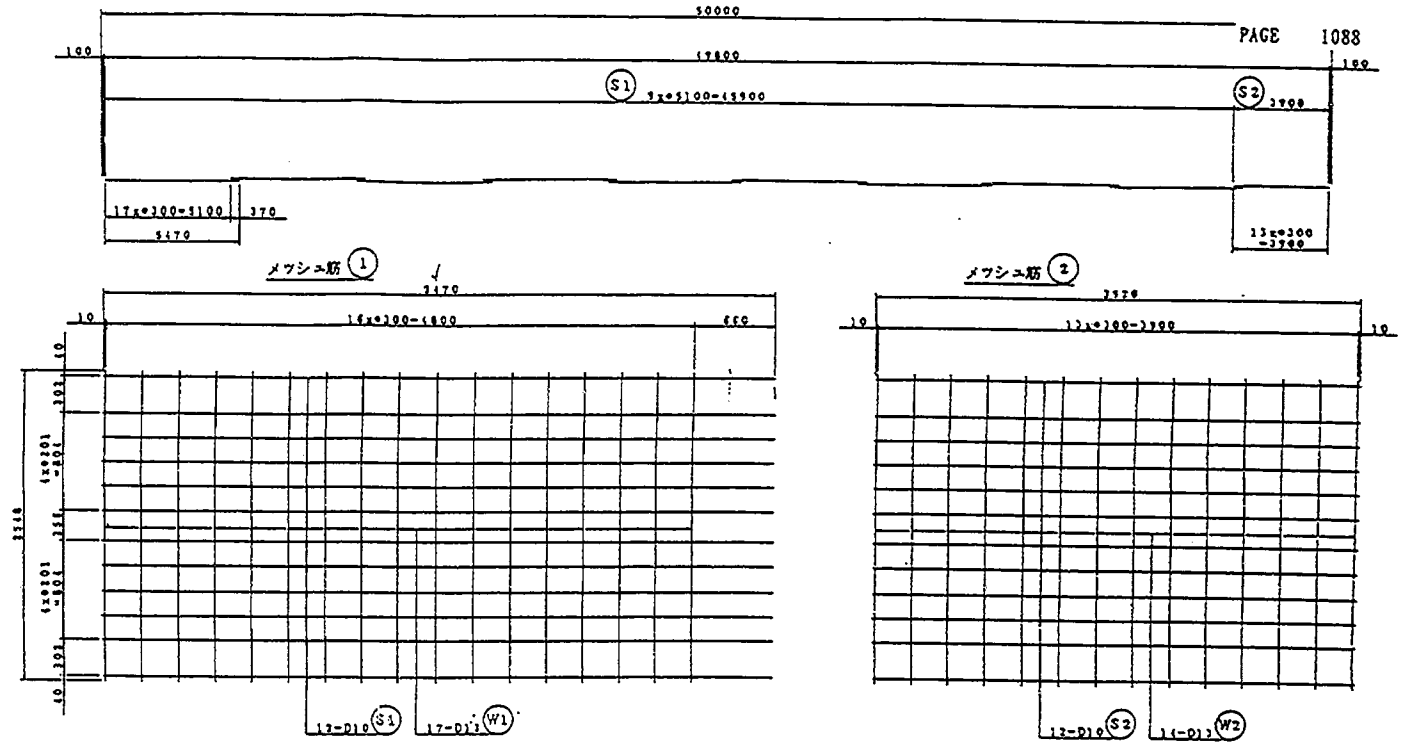
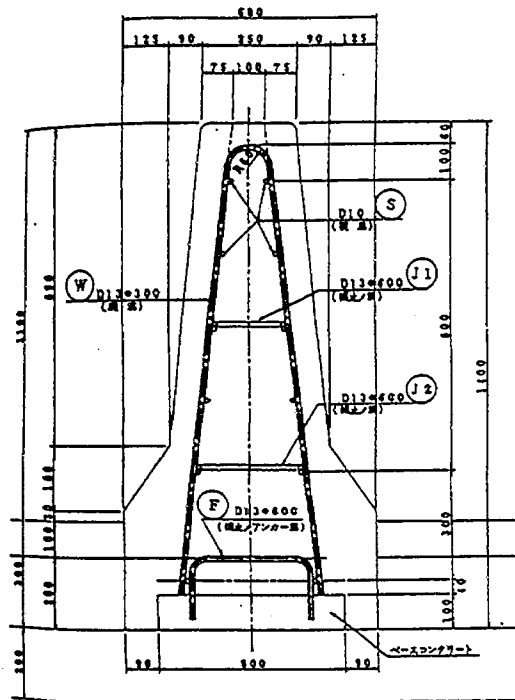


実験 No. 6 , 7 (鉄筋加工図)



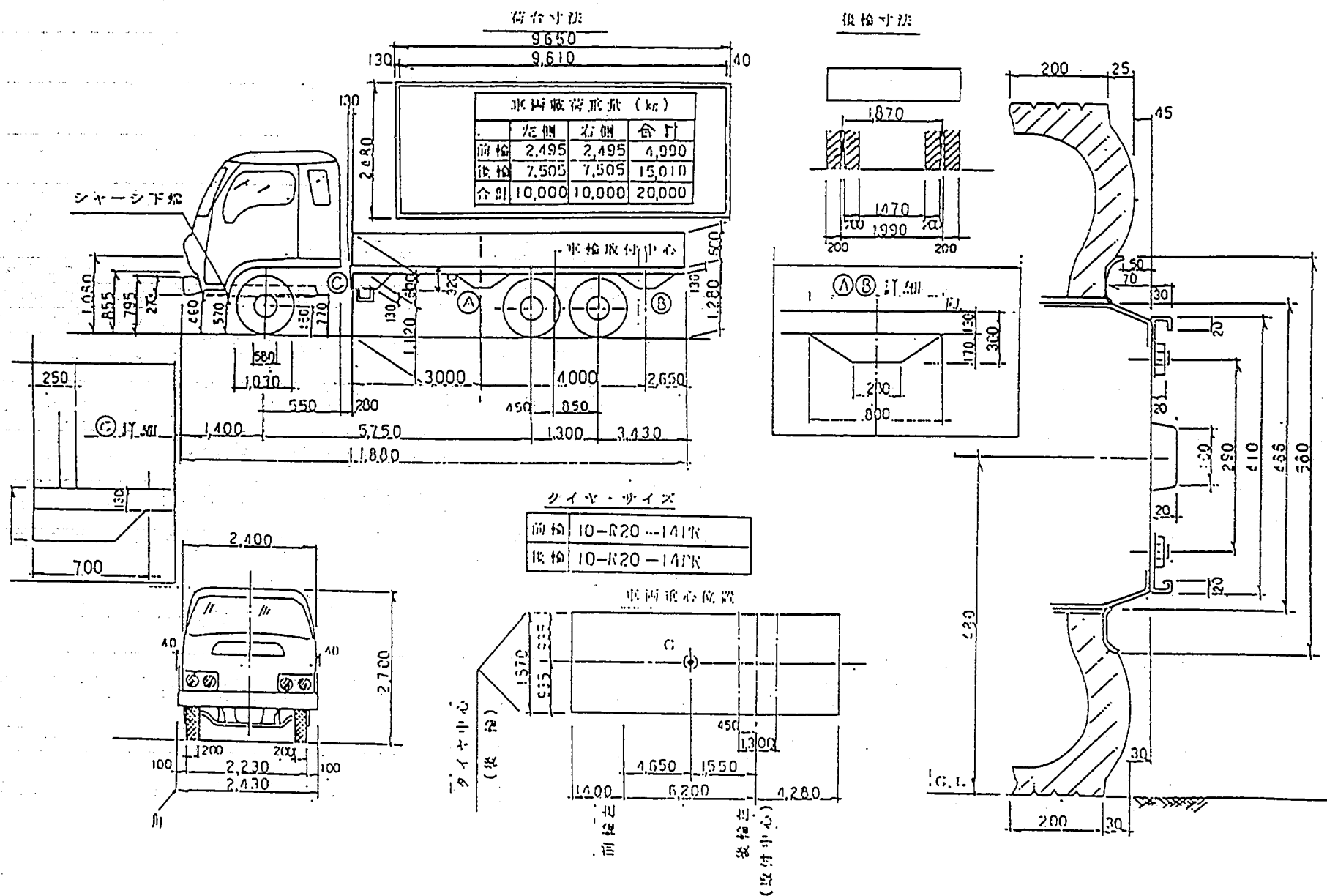
材料	数量	重量	本数	長さ	径	記号
SD295A	14.1	4	3537	013	(1)	
*	2.91	4	3537	010	(1)	
*	6.62	2	3327	013	(2)	
					(2)	
					(3)	
					(4)	
SD295A	26.5	18	2950	010	(5)	
*	2.91	2	2595	010	(6)	
					(7)	
SW-8	0.55	1	2450	φ 6	(8)	
52.6	tot	TOTAL				





(2) 実験車両諸元

— 145 —



実験 No. 1 (抹消登録証明書)

00995

抹 消 登 録 証 明 書

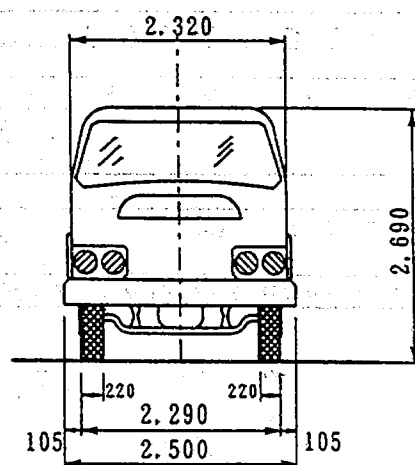
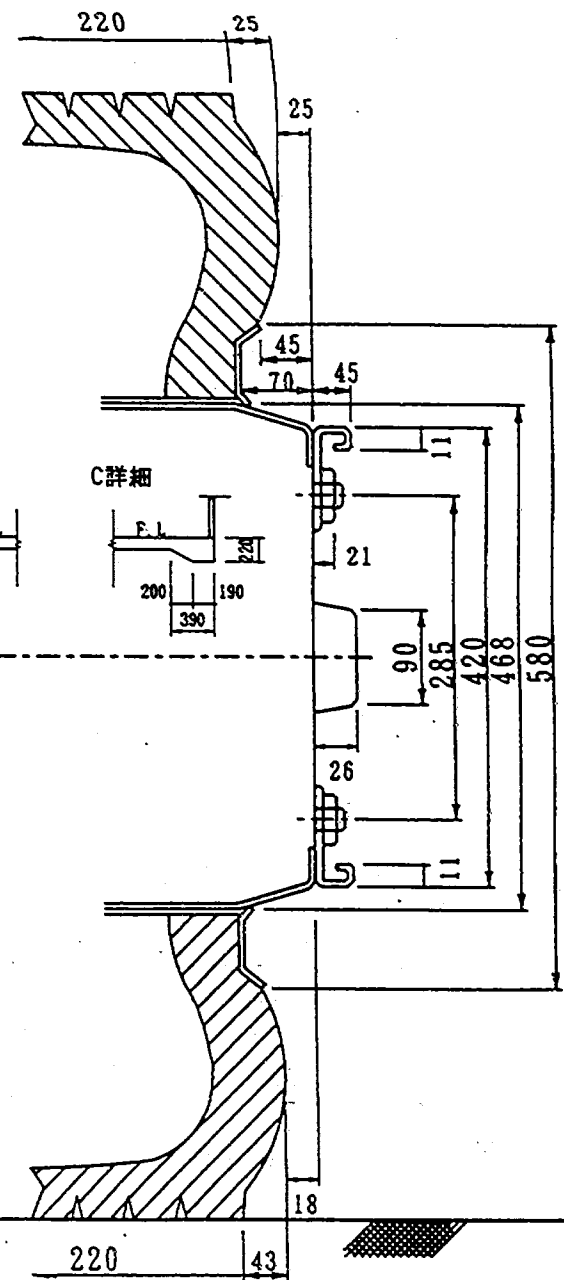
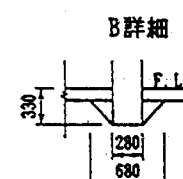
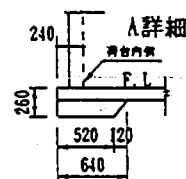
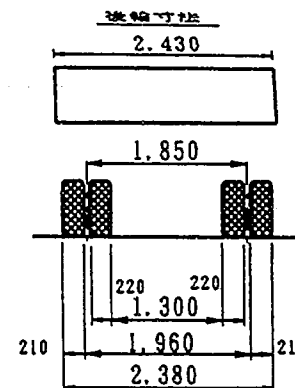
平成 5年 3月 15日

関東運輸局 茨城陸運支局長

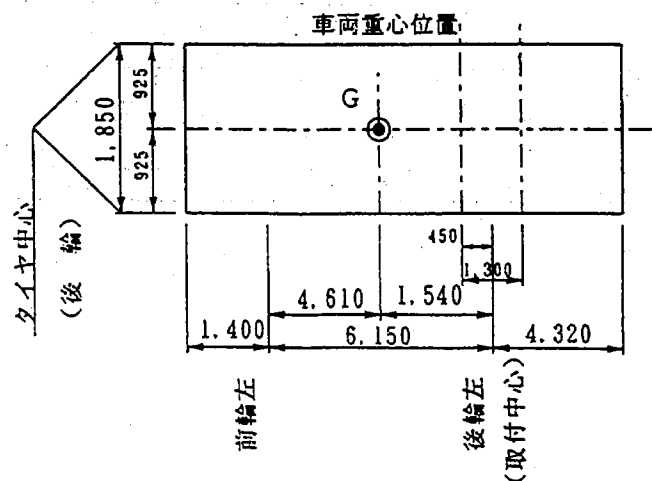
自動車登録番号又は車両番号/自動車整備検査番号		年月日/年月日	年月日/年月日	自動車の種別	用途	自動車・事業用の別/通否		車 体 の 形 状		
上 浦 1 1 あ 2 3 4 4		平成 5年 3月 15日	昭和 59年 3月	普通	貨物	事業用		キャブオーバ		
車 名		型 式		乗車定員		最大積載量		車両重量	車両総重量	
ニッサンディーゼル		P - C D 4 G V		3人		10000kg		9790kg	19955kg	
車 台 番 号		原動機の型式		長さ	幅	高さ	4輪又は6輪の	燃料の使用	型式指定番号	重量2kg
C D 4 G V - 2 0 1 0 6		P E 6		1196	249	286	11.67	軽油		
所有者の氏名又は名称	日産ディーゼル茨城販売株式会社								前軸重	4060kg
所有者の住所	茨城県水戸市笠原町 1 4 0 7 - 1 [2404]								前軸重	
使用者の氏名又は名称	カブシキガイシャ ニチエイ サンギヨウ								後軸重	3690kg
使用者の住所	東京都足立区東和 4 丁目 1 8 - 6 [1321 0908]								後軸重	2040kg
使用の本拠の位置 自動車の所在する位置 有効期間の満了する日	茨城県新治郡千代田村上稲吉 [0878 0926]									
平成 5年 3月 25日	備 考									
年 月 日	[上 浦] . 抹 消 登 録									
年 月 日										
年 月 日										
年 月 日										
年 月 日										

大蔵省印刷局製

— 147 —



前輪	10.0-20.0R-14PR
後輪	10.0-20.0R-14PR



実験 No. 2 (抹消登録証明書)

番 号
00298

抹 消 登 録 証 明 書

成 年 9 月 2 日

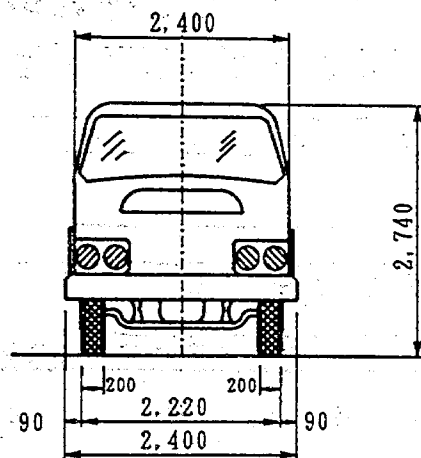
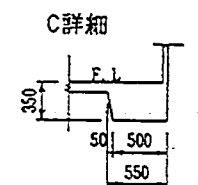
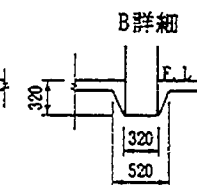
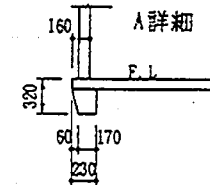
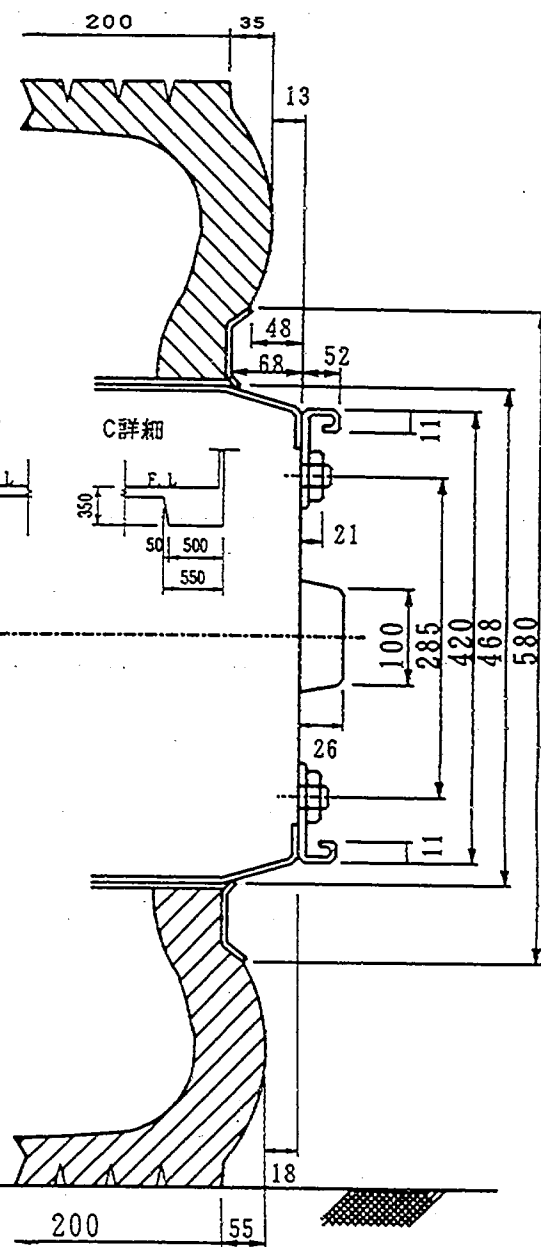
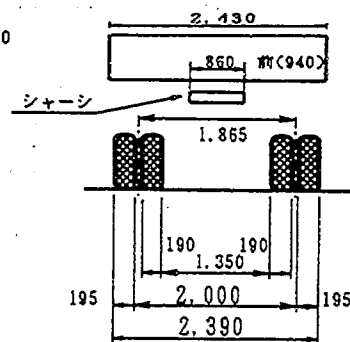
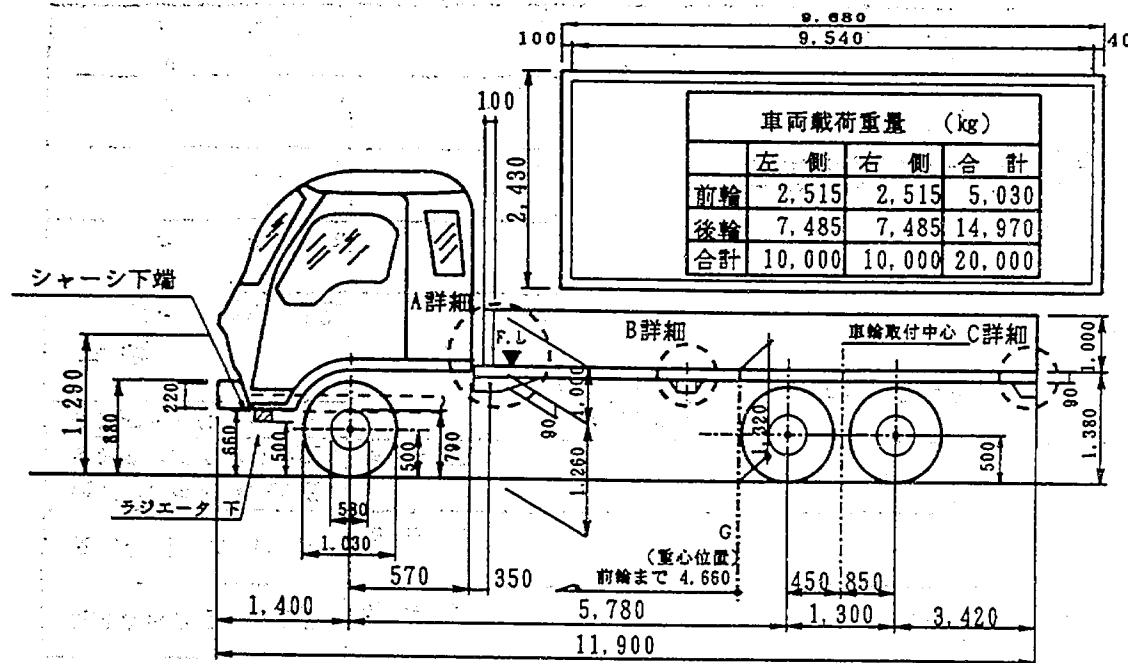
東北運輸局

福島陸運支局長



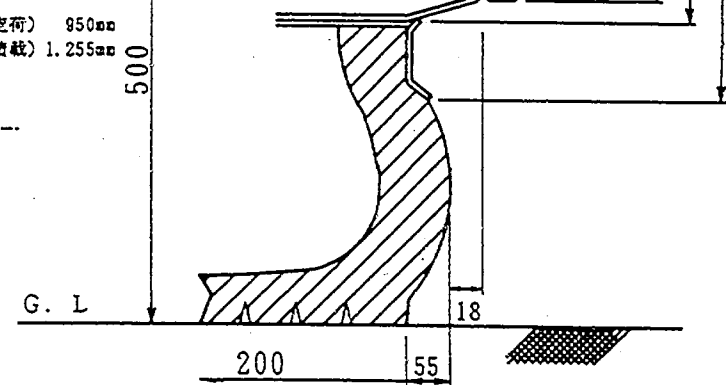
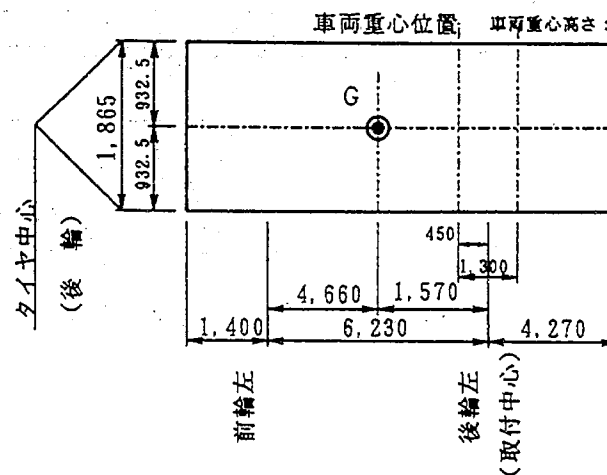
自動車登録番号又は車両番号/自動車予備検査証番号		登録年月日/交付年月日	有効年月日	自動車の種別	川 流	自動車等乗用目的/否	自動車の型式			
福島 1 1 か 7 5 2 6		平成 5 年 9 月 2 日	57 年 8 月	普通	貨物	事業用	キヤブオーバ			
車 名		型 式		乗車定員	最大積載量	車両重量	車両総重量			
いすゞ		K-SMM701		3人	9500	10310	19975			
車 台 番 号		乗動機の型式		長さ	幅	高さ	25mm以上の突起物	燃料の種類	型式指定番号	原付馬力
SMM7011951196		8PB1		1196	249	376	1121	軽油		
所有者の氏名又は名称	福島いすゞ自動車株式会社									前軸重
所有者の住所	福島県福島市太平寺字沖高55 [0900]									4180
使用者の氏名又は名称	カブシキガイシャ カイシマウンユソウコ									前軸重
使用者の住所	福島県二本松市成田町1丁目812-3 [0739 1636]									3840
使用の本拠の位置	***									後軸重
自動車の所在する位置										2280
有効期間の満了する日										
平成 5 年 8 月 22 日	[福島] 抹消登録									
年 月 日										
年 月 日										
年 月 日										
年 月 日										

実験 No. 6 (車両諸言)



タイヤ・サイズ

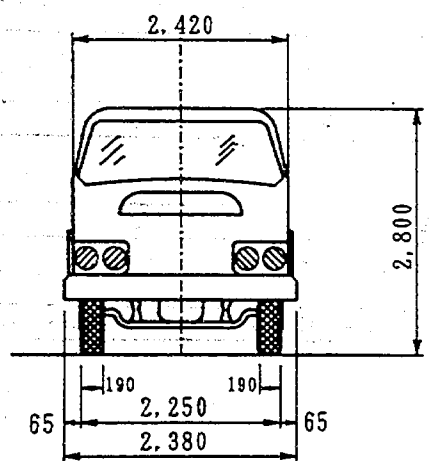
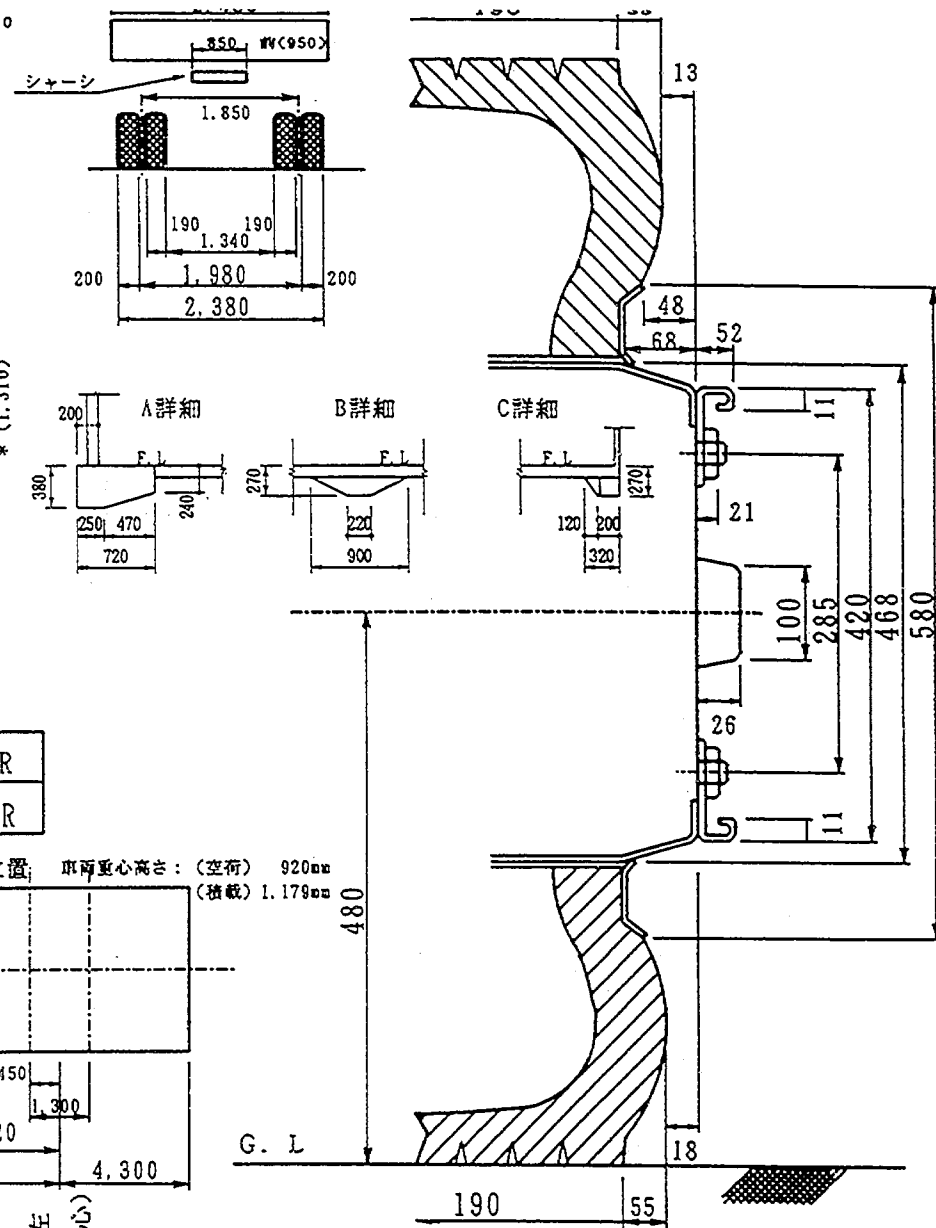
前輪	10.0-20.0-14PR
後輪	10.0-20.0-14PR



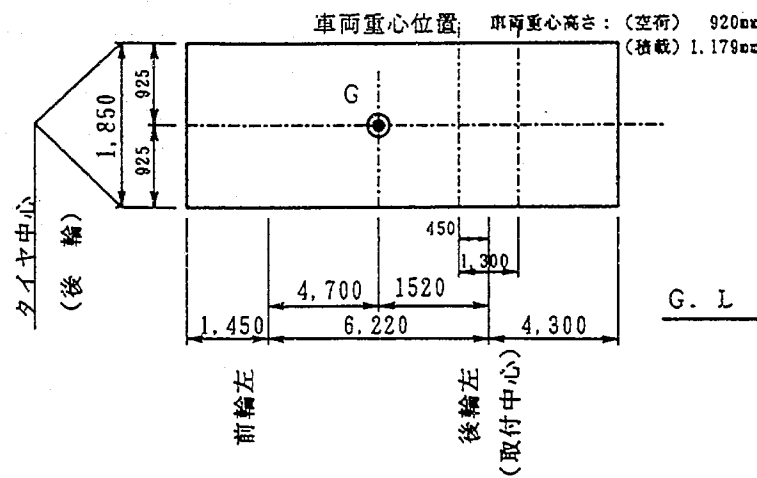
關東運輸局 山梨陸運支局

自動車登録番号又は海上用船舶番号/自動車運転免許番号		登録年月日/交付年月日	動機番号	自動車の種別	用途	自動車重量の種別/重量		車体の形状	
山梨 11 さ 6045		平成 6 年 8 月 22 日	昭和 58 年 4 月	普通	貨物自家用	モヤブオーバ			
車名		型式	乗車定員	最大積載量	車両重量	車両寸法		車両寸法	
三菱		K-FU315U	3人	1000kg	974kg	1990mm		1990mm	
車台番号		原動機の型式	長さ	幅	高さ	軸間距離	燃料の種類	型式初年度	
FU315U52423		8DC9	1196	249	314	1603	軽油		
所有者の氏名又は名称		丸井重機工業 株式会社							前時重量
所有者の住所		山梨県甲府市貫川1丁目1-7 [1930-1233]							4140
使用者の氏名又は名称		***							前時重量
使用者の住所		***							3500
使用の本拠の位置		***							後時重量
自動車の所在する位置		***							2100
自動車の譲渡する日									
平成 6 年 8 月 22 日		[山梨], 抹消登録							
年 月 日		有限会社 共栄商会							
年 月 日									
年 月 日									
年 月 日									

— 151 —



タイヤ・サイズ	
前輪	10.0-20.0-14PR
後輪	10.0-20.0-14PR



実験 No. 7 (抹消登録証明書)

第106号

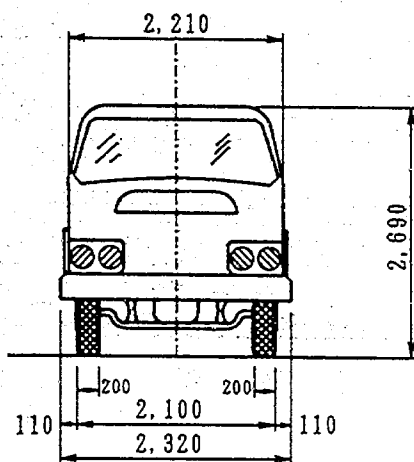
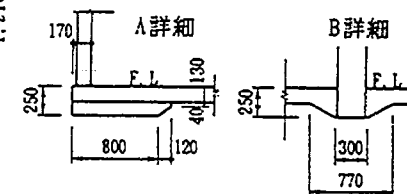
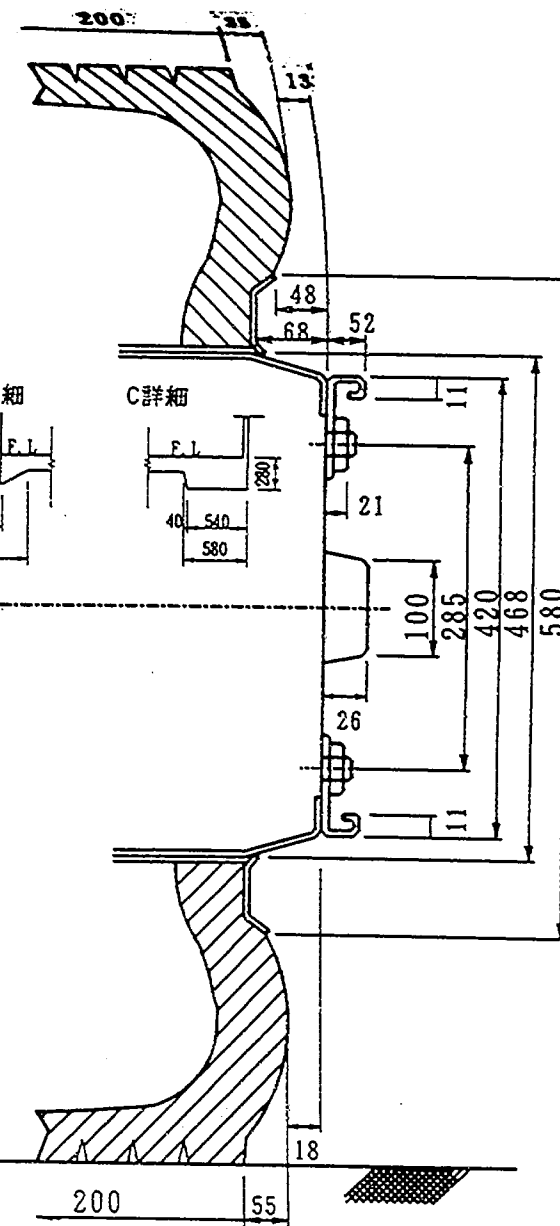
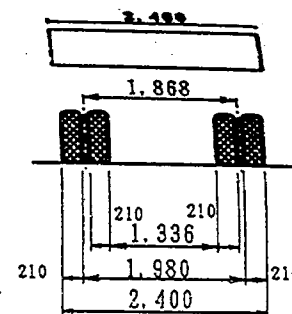
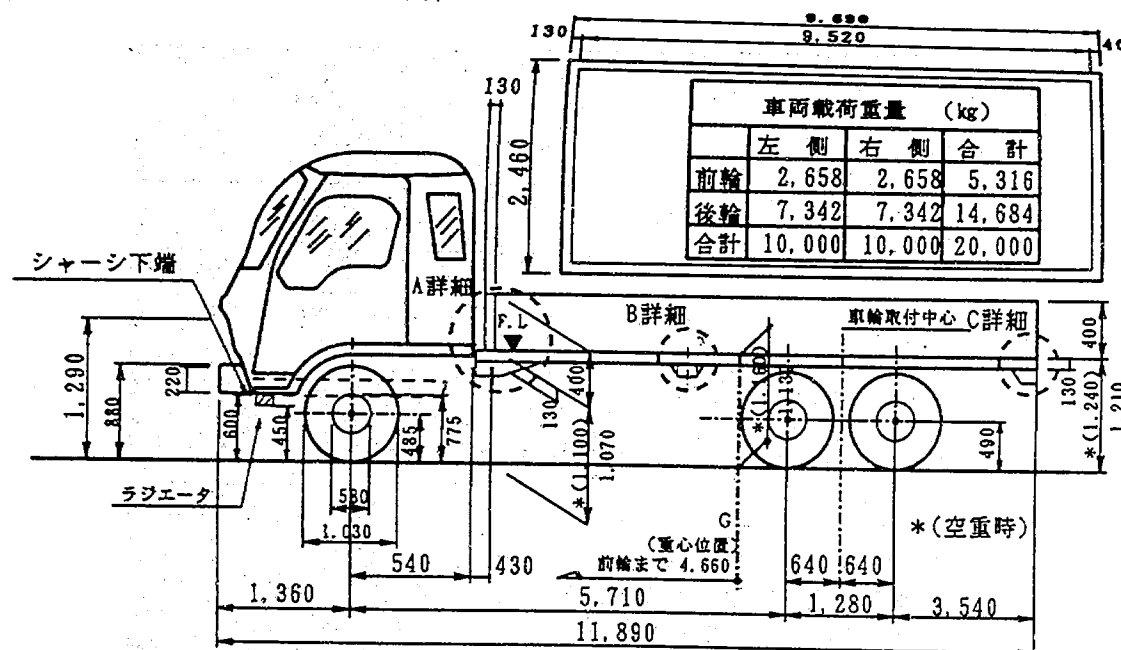
抹 消 登 録 証 明 書

平成 6 年 8 月 4 日 関東運輸局 神奈川陸運支局長

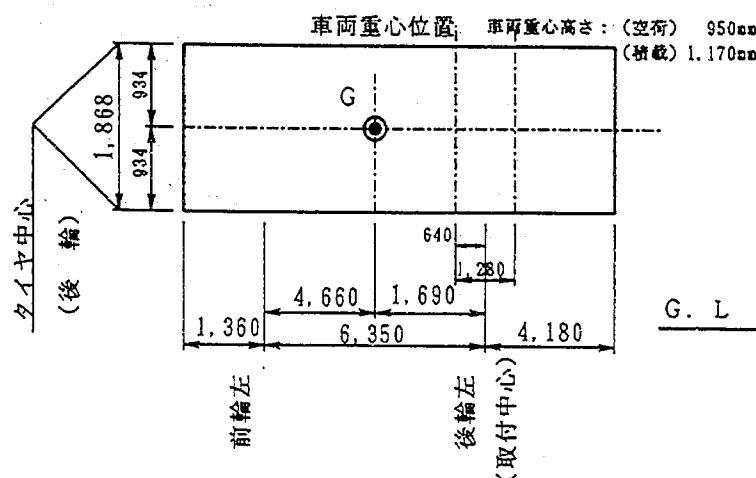


自動車登録番号又は車両番号/自動車予備検査証番号		登録年月日/交付年月日	検査年月	自動車の種別	用途	自家用・事業用の別/通否		車 体 の 形 状	
相模 1.1 か 9998		平成 6 年 8 月 4 日	昭和 59 年 9 月	普通	貨物	事業用		バン	
車 名		P 型 C X M 1.7 V 改		乗車定員	最大積重量		車両重量	車両総重量	
いすゞ				3 人	9750 kg		10010 kg	19925 kg	
車 台 番 号		原動機の型式		長さ	幅	高さ	総重量又は定積出力	燃料の種類	型式指定番号
C X M 1.7 V 1980585		8 P C 1		1198 cm	249 cm	374 cm	12.01 kW	軽油	
所有者の氏名又は名称	株式会社 東凸急送								前軸重量
									4030 kg
所有者の住所	東京都大田区東六郷1丁目19-2 [1311 0181]								前軸重量
使用者の氏名又は名称	***								後軸重量
									3750 kg
使用者の住所	***								後軸重量
									2730 kg
使用の本拠の位置 自動車の所在する位置	神奈川県高座郡寒川町一之宮918-1 [1471 0020]								
有効期間の満了する日	平成 6 年 9 月 7 日 機 考 [相模], 抹消登録								
年 月 日									
年 月 日									
年 月 日									
年 月 日									

実験 No. 8 (車両諸言)



タイヤ・サイズ	
前輪	10.0-20.0-14PR
後輪	10.0-20.0-14PR



実験 No. 8 (抹消登録証明書)

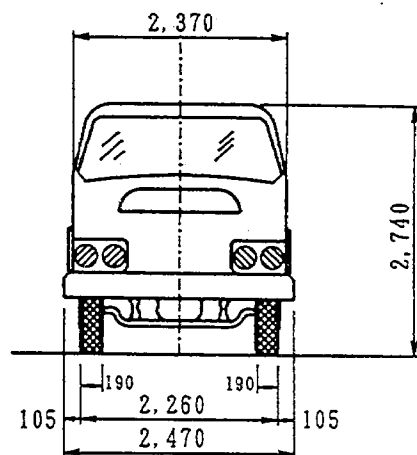
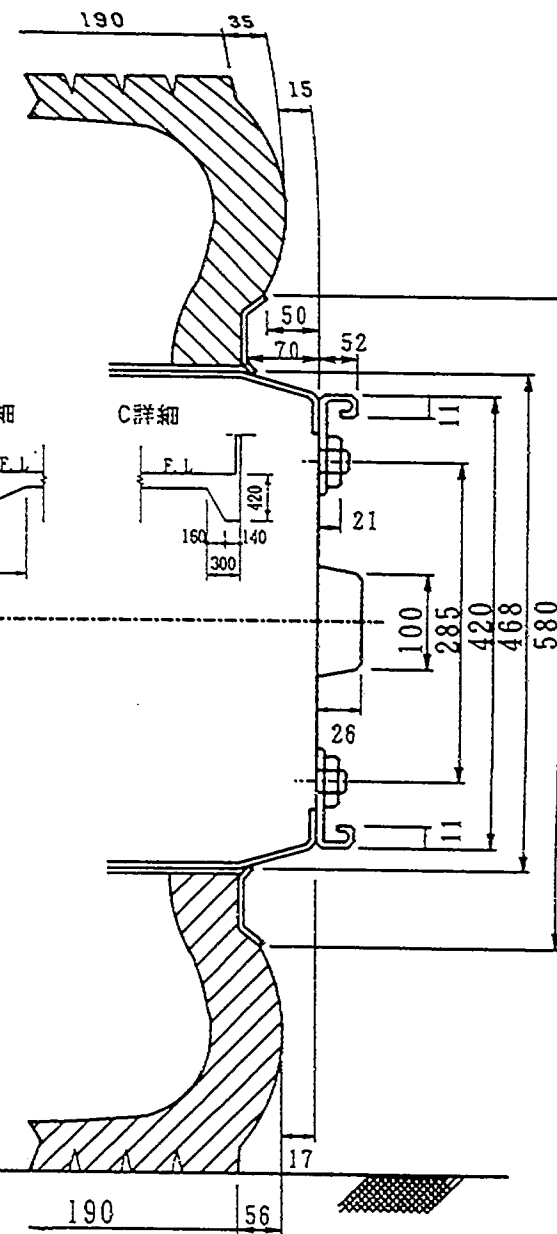
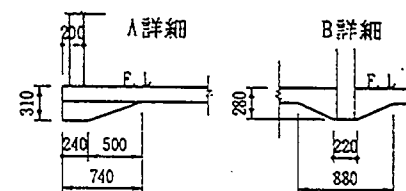
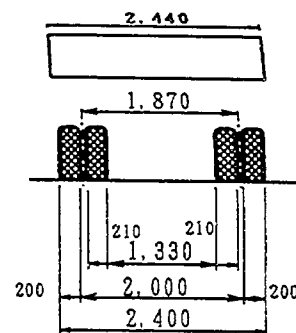
番号
11326

抹 消 登 録 証 明 書

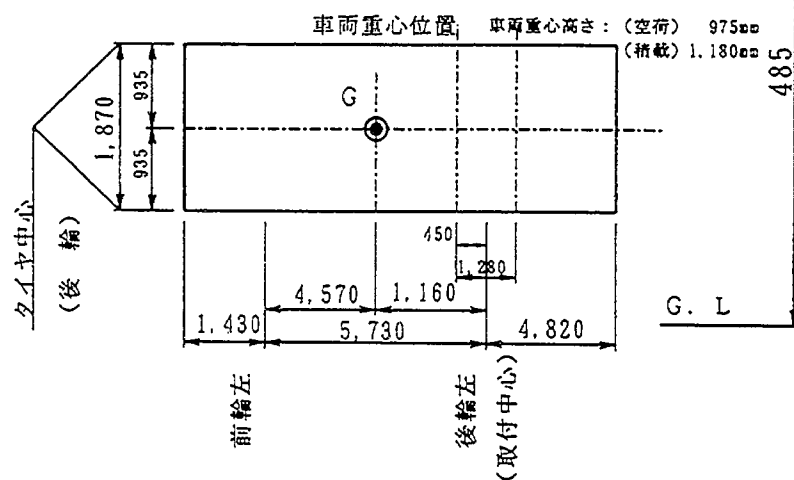
平成 6年 6月 23日

関東運輸局 (千葉陸運支局 具)

自動車登録番号/自動車番号/自動車検査証番号	登録年月日/交付年月日	初年度登録年月	自動車の種別	用途	指定用途(乗用/貨物)	車体形式
千葉 11 6809	平成 6年 6月 23日	昭和 57年 3月	普通	貨物自動車	キヤブオー	
型式	型式番号	最大積載量	全長	全幅	全高	自重
K-FU315U	10000	3300	19965			
U315U51614	8DC9	1197	249	290	16.03	軽油
所有者の氏名	有限会社ニ共重材					住所
						4320
所有の場所	千葉県成田市中央1丁目2-109					1240 0835
所有の氏名	***					1310
所有の住所	***					2050
所有の場所	千葉県佐倉市古見1-189					1241 0767
初年度登録の場所	千葉県 抹消登録					
初年度登録の年月日	平成 6年 5月 10日					



タイヤ・サイズ	
前輪	10.0-20.0-14PR
後輪	10.0-20.0-14PR



実験 No. 9 (抹消登録証明書)

番号
00467

自動車検査証

平成 6 年 8 月 25 日

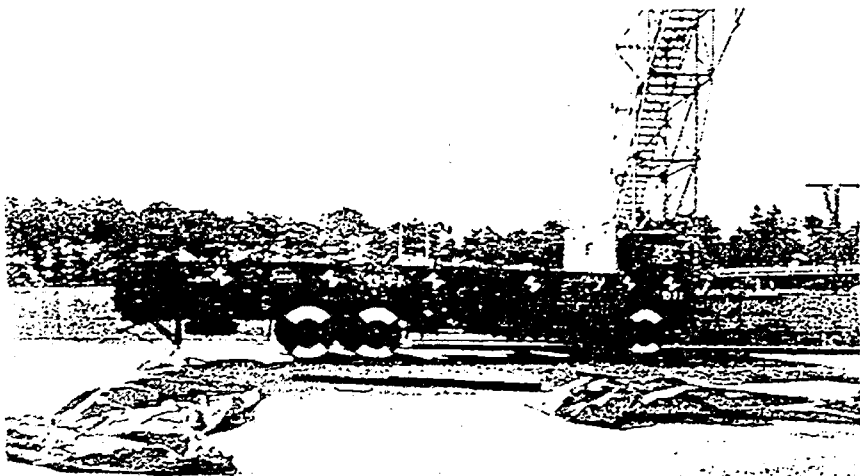
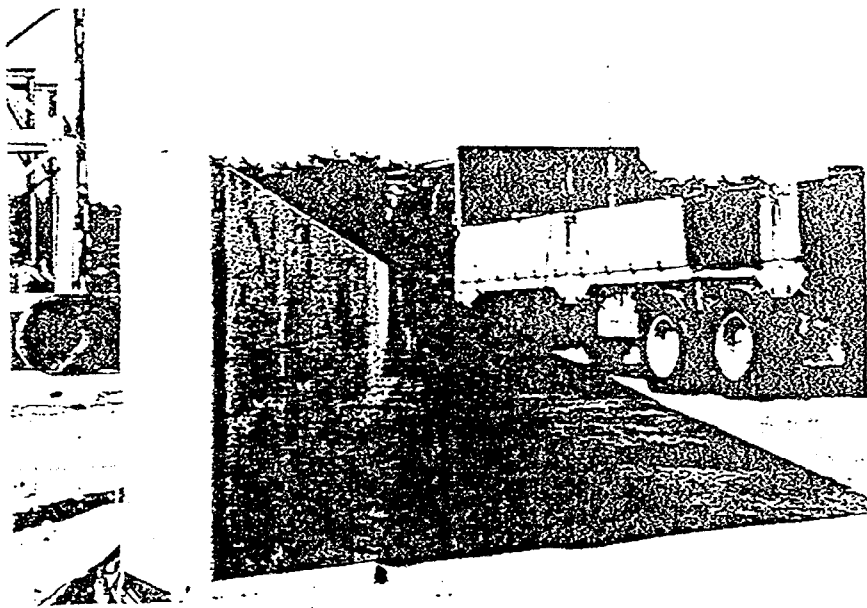
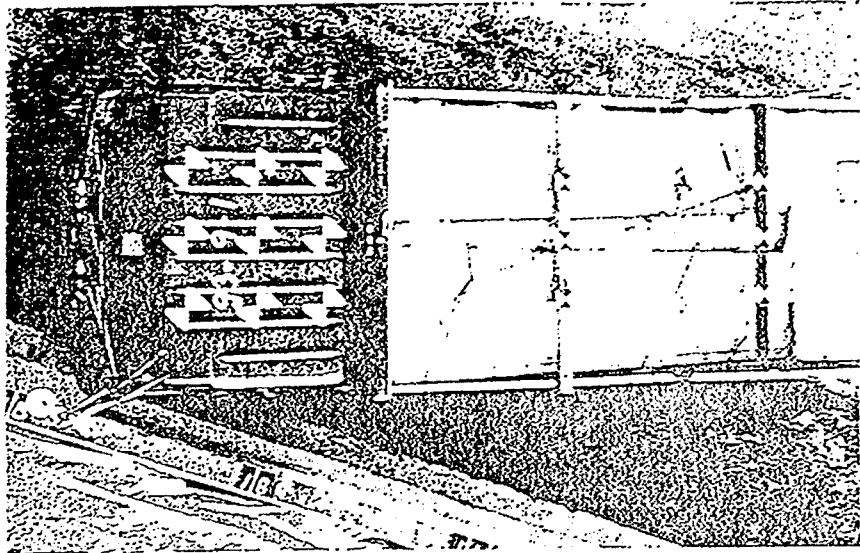
関東運輸局 茨城陸運支局長



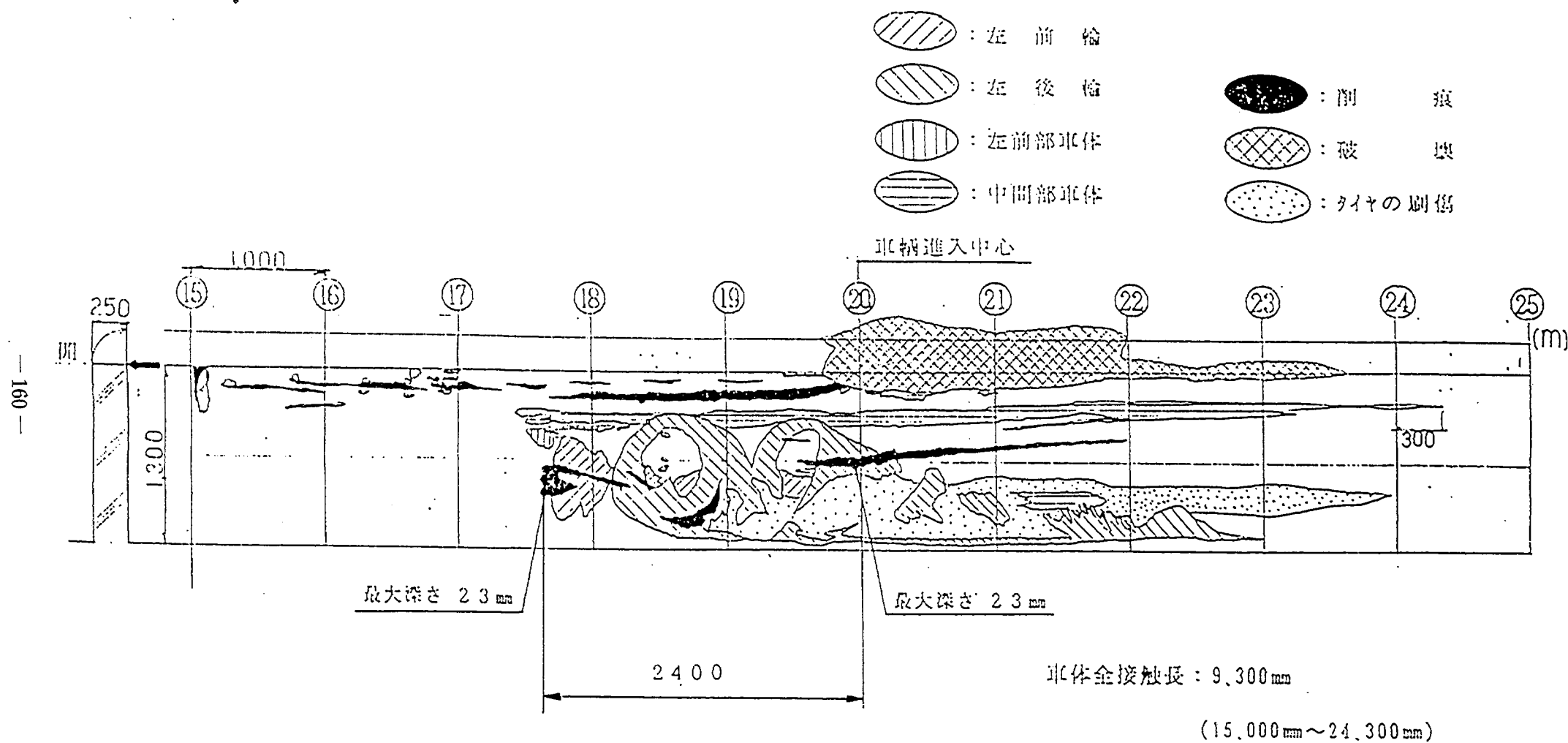
自動車登録番号又は車両番号/自動車検査証番号		登録年月日/交付年月日	初度登録年月	自動車の種別	用途	自家用・事業用の別/通否	車 体 の 形 状		
水戸 11 さ 9033		平成 6 年 8 月 25 日	昭和 61 年 5 月	普通	貨物	自家用	キャブオーバ		
車 名		型 式		乗車定員	最大積載量	車両重量	車両総重量		
日野		P-FR289B A		3人	10000kg	9730kg	19895kg		
車 台 番 号		原動機の型式		長さ	幅	高さ	燃料の種類	型式指定番号	製造年
FR289B-10566		EP100		1199cm	249cm	360cm	軽油		
所有者の氏名又は名称	有限会社 アサヒ自販							前前軸重	
								4020kg	
所有者の住所	茨城県行方郡玉造町甲6786-4 [0876 0757]							前後軸重	
								-kg	
使用者の氏名又は名称	***							後前軸重	
								3560kg	
使用者の住所	***							後後軸重	
								2150kg	
使用の本拠の位置 自動車の所在する位置	***								
有効期間の満了する日	備考								
平成 7 年 5 月 31 日	[水戸], 移転登録, 管轄変更入, この自動車は平成7年11月30日以降の有効期間満了日を超えて特定地域内に使用の本拠を置くことができません								
年 月 日									
年 月 日									
年 月 日									
年 月 日									

(3) 実験状況・破損状況

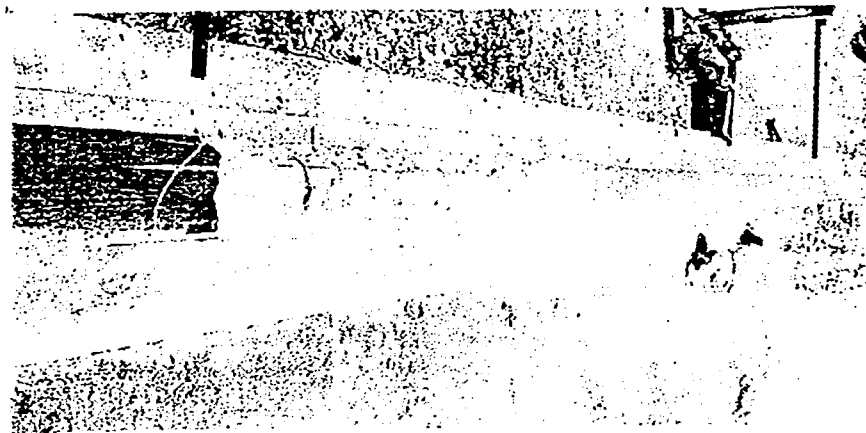
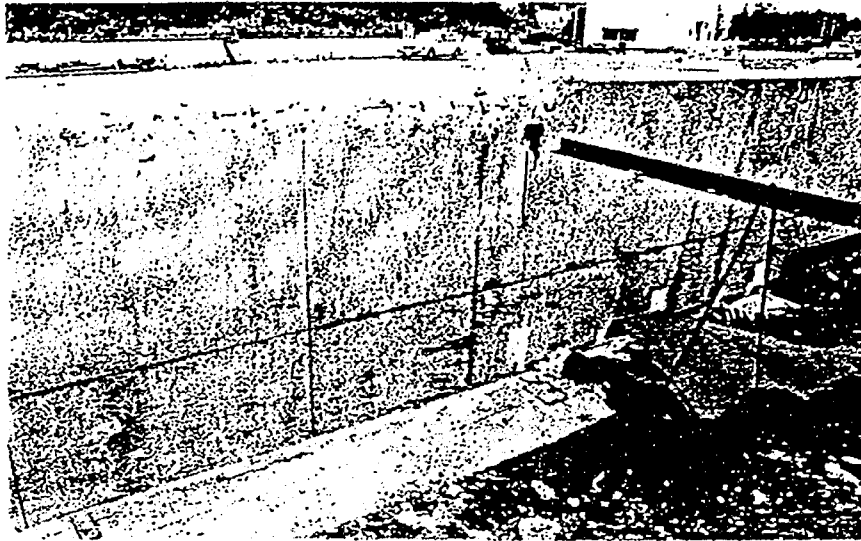
- ・車両と防護柵との接触状況
- ・車両の損傷状況
- ・防護柵の損傷状況

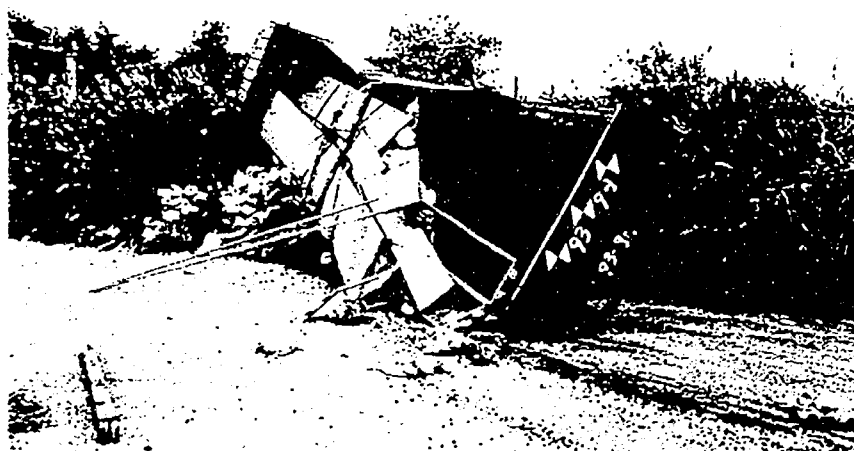


実験 No. 1 (接触状況)

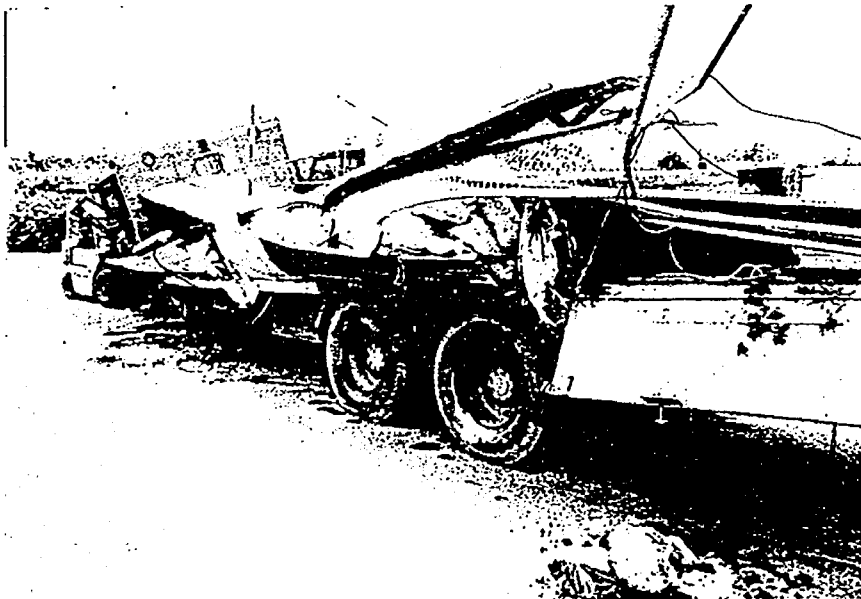
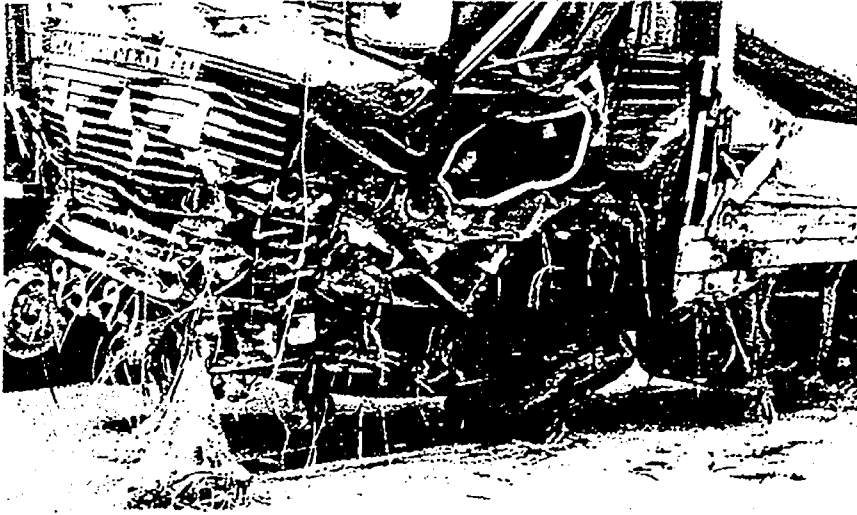


実験 No. 1 (防護柵の損傷状況)

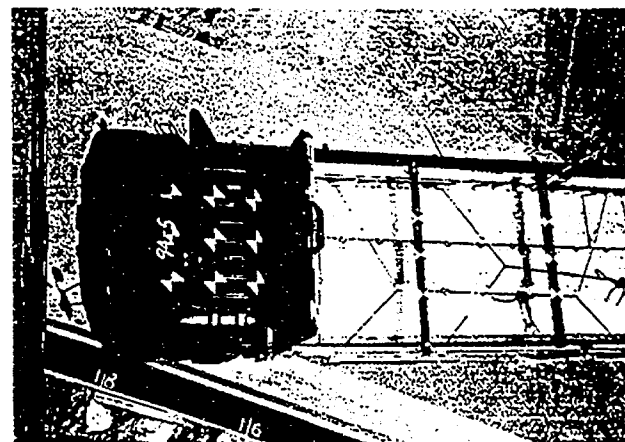
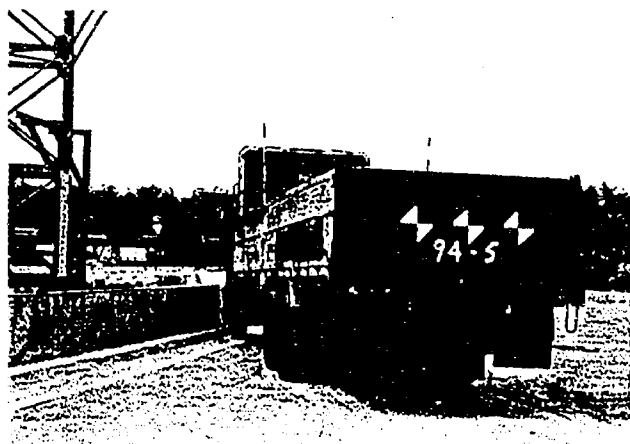
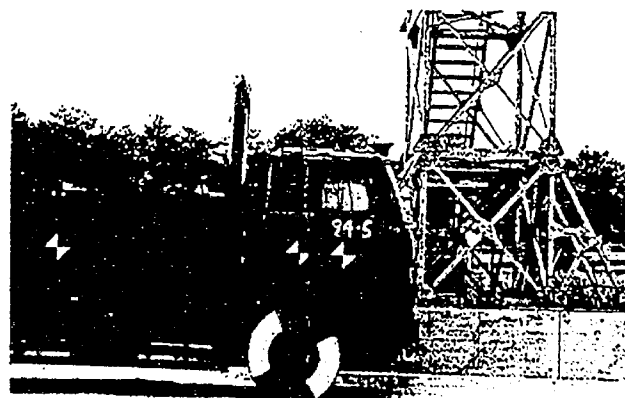
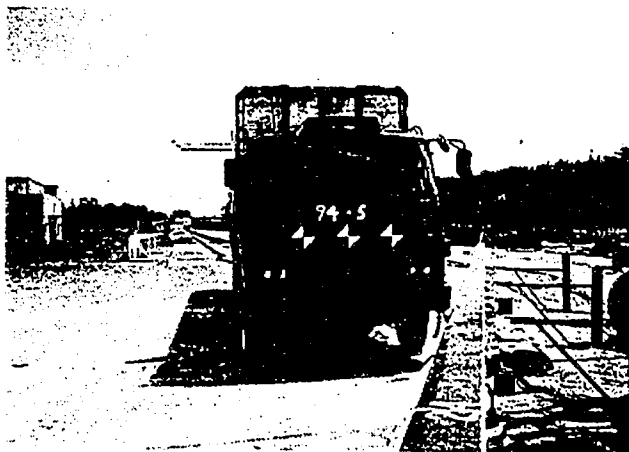




実験 No. 1 (車両の損傷状況)



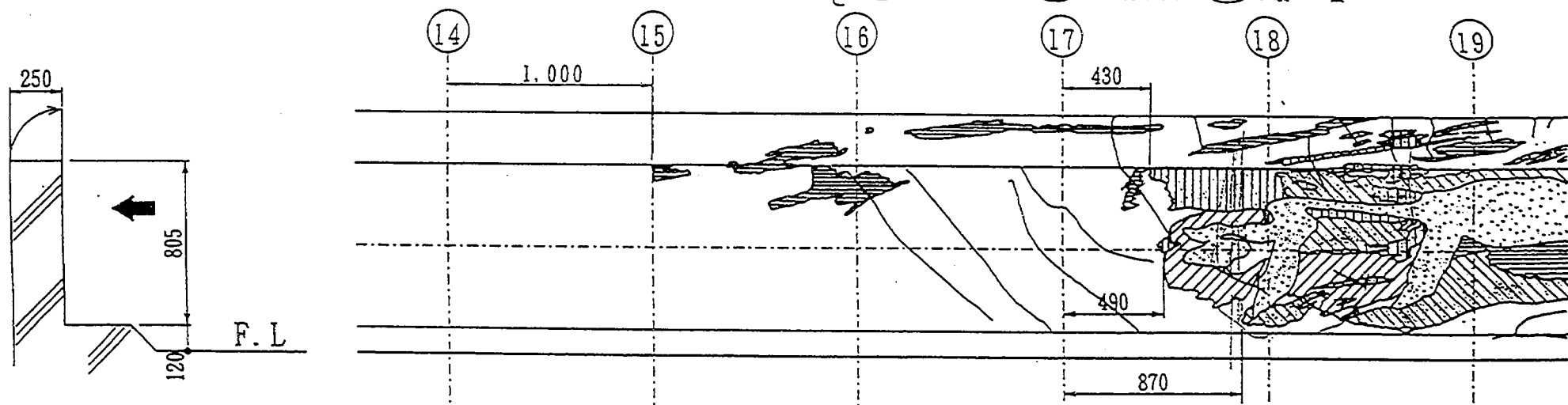
実験 No. 2 (車両と防護柵との位置関係)



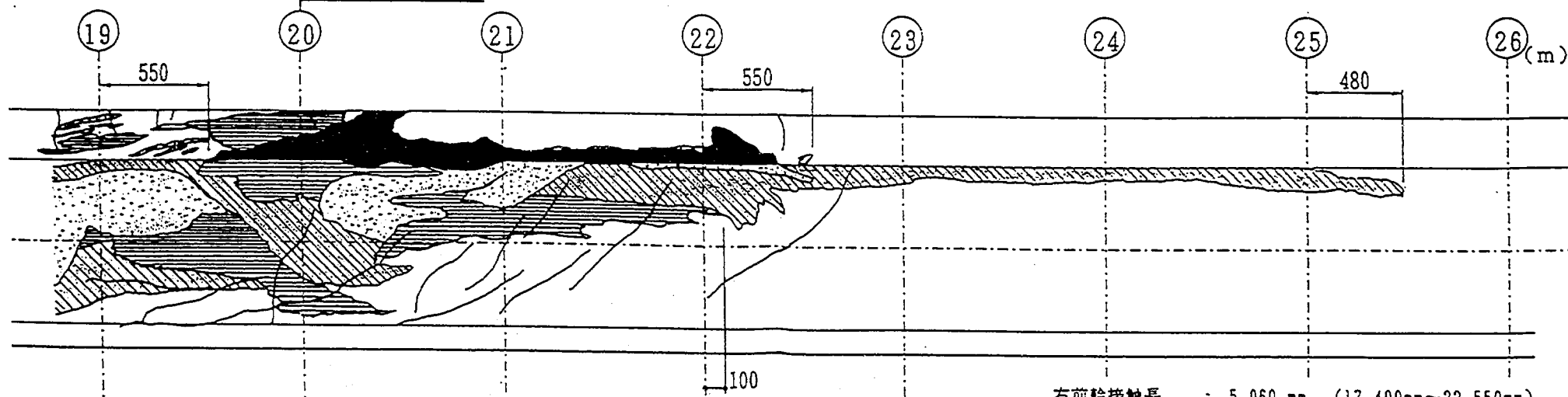
実験 No. 2 (接触状況)

凡 例

- 左前輪
- 左後輪
- 左前部車体
- 左後部車体
- 前部
- 後部
- 破損
- 17-55mm

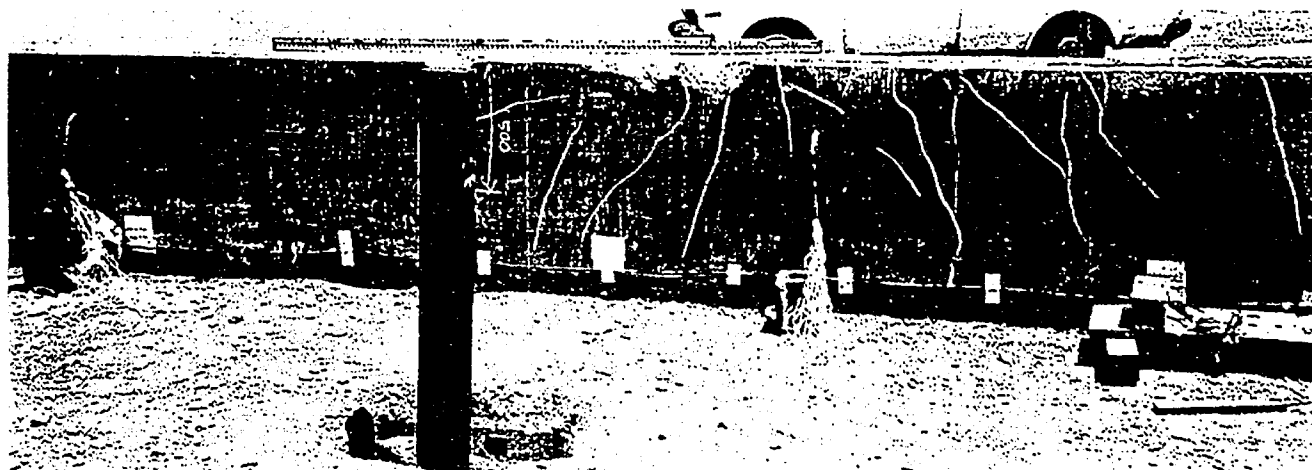
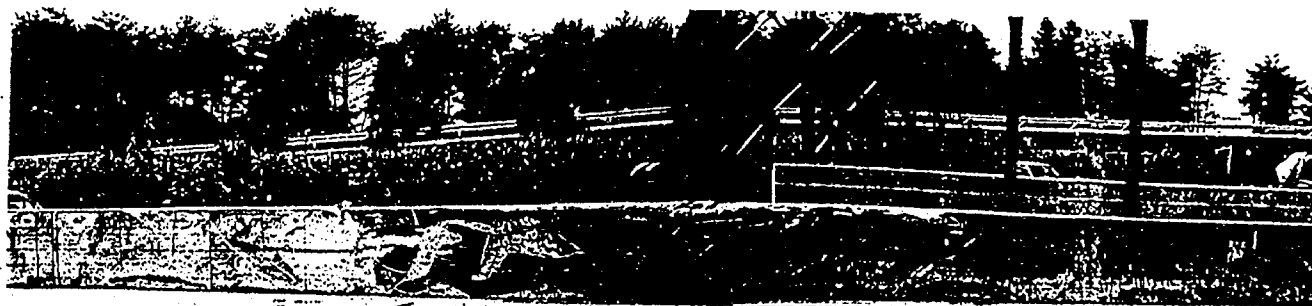


車両進入中心

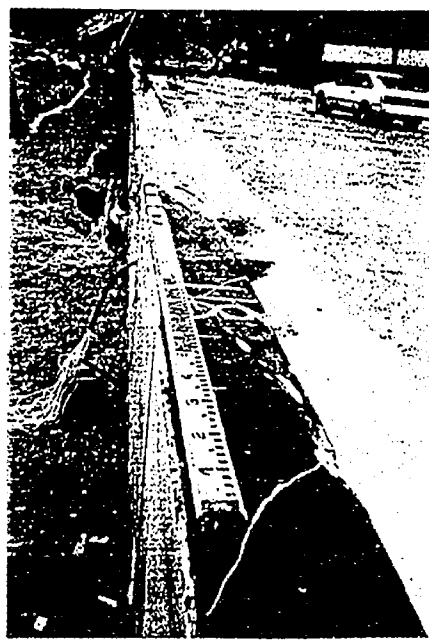
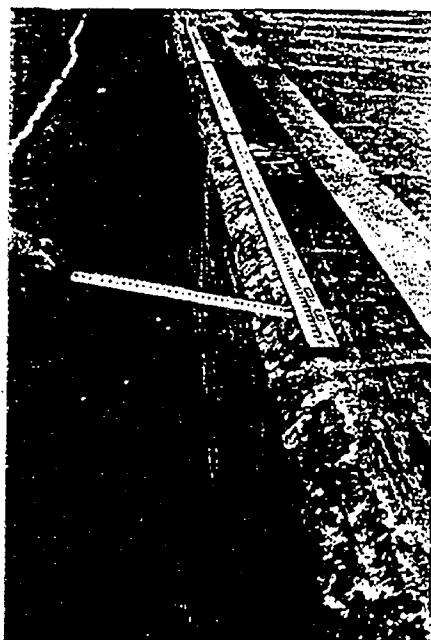
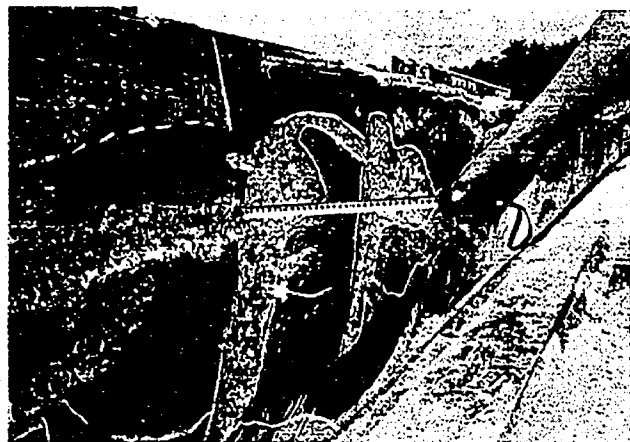


右前輪接触長	: 5.060 mm	(17.490mm~22.550mm)
左後輪接触長	: 7.610 mm	(17.870mm~25.480mm)
左前部車体接触長	: 2.120 mm	(17.430mm~19.550mm)
左後部車体接触長	: 7.100 mm	(15.000mm~22.100mm)
全 接 触 長	: 10.480 mm	(15.000mm~25.480mm)

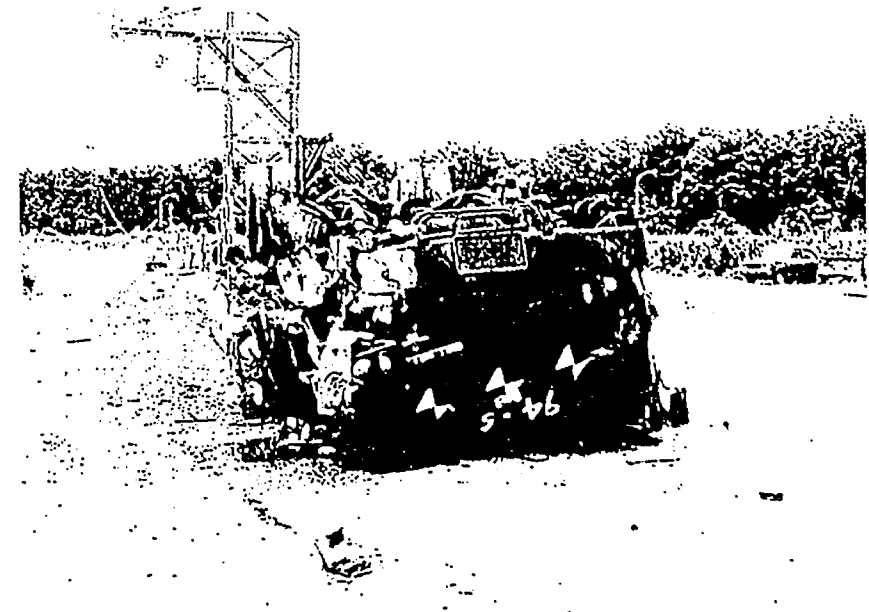
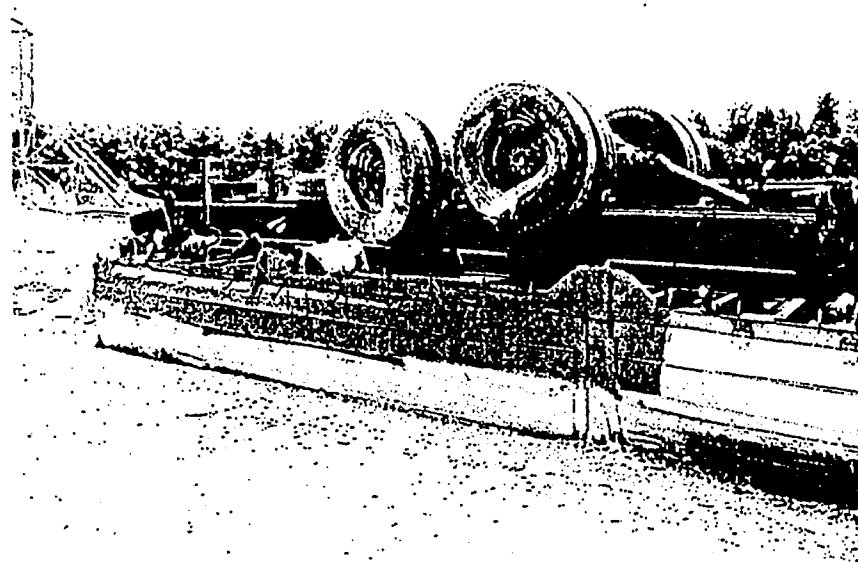
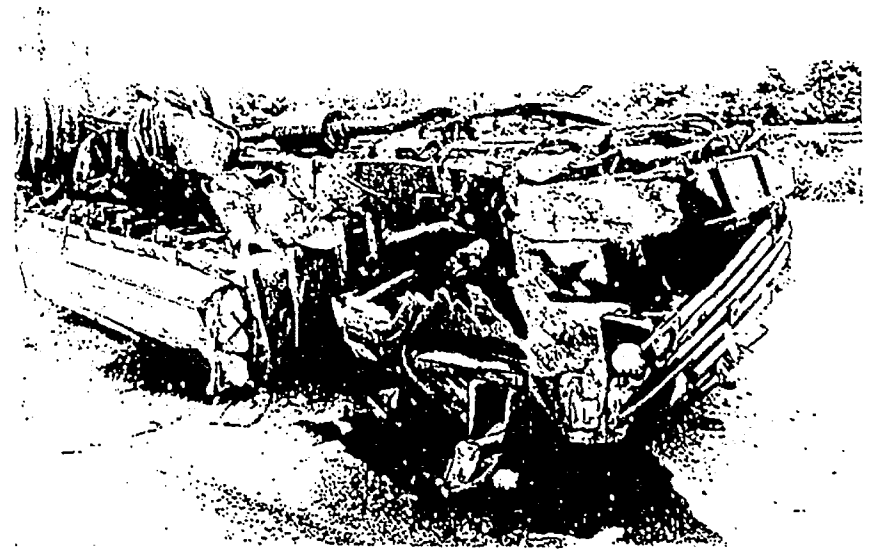
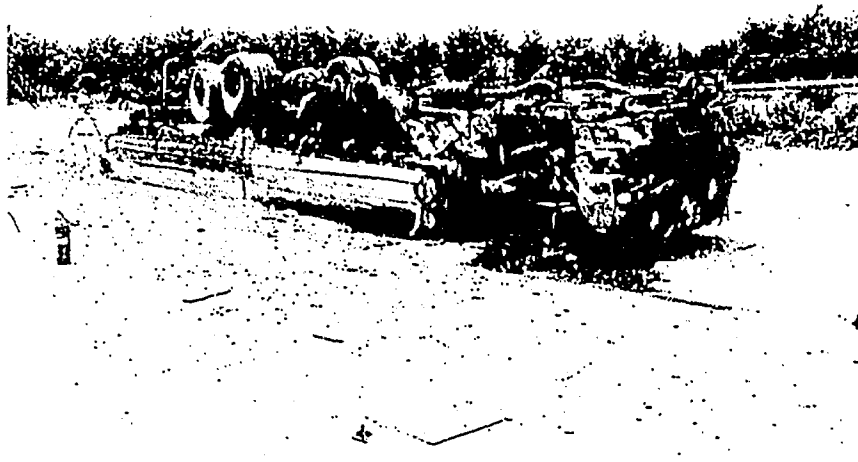
実験 No. 2 (防護柵の損傷状況)

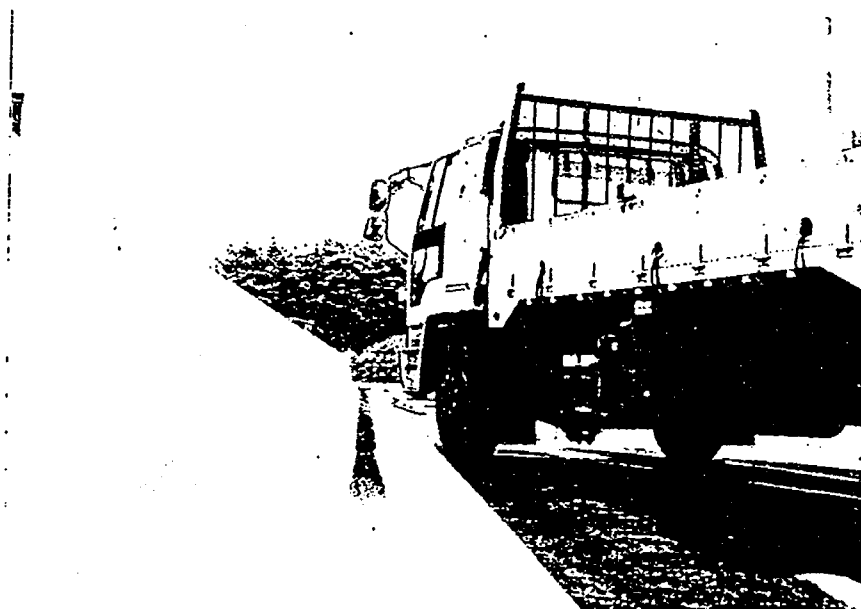
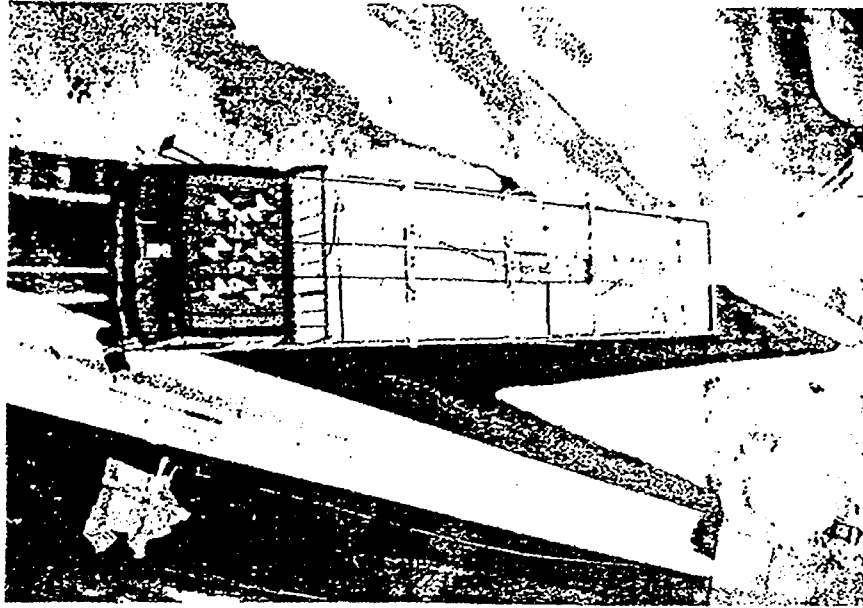


実験 No. 2 (防護柵の損傷状況)

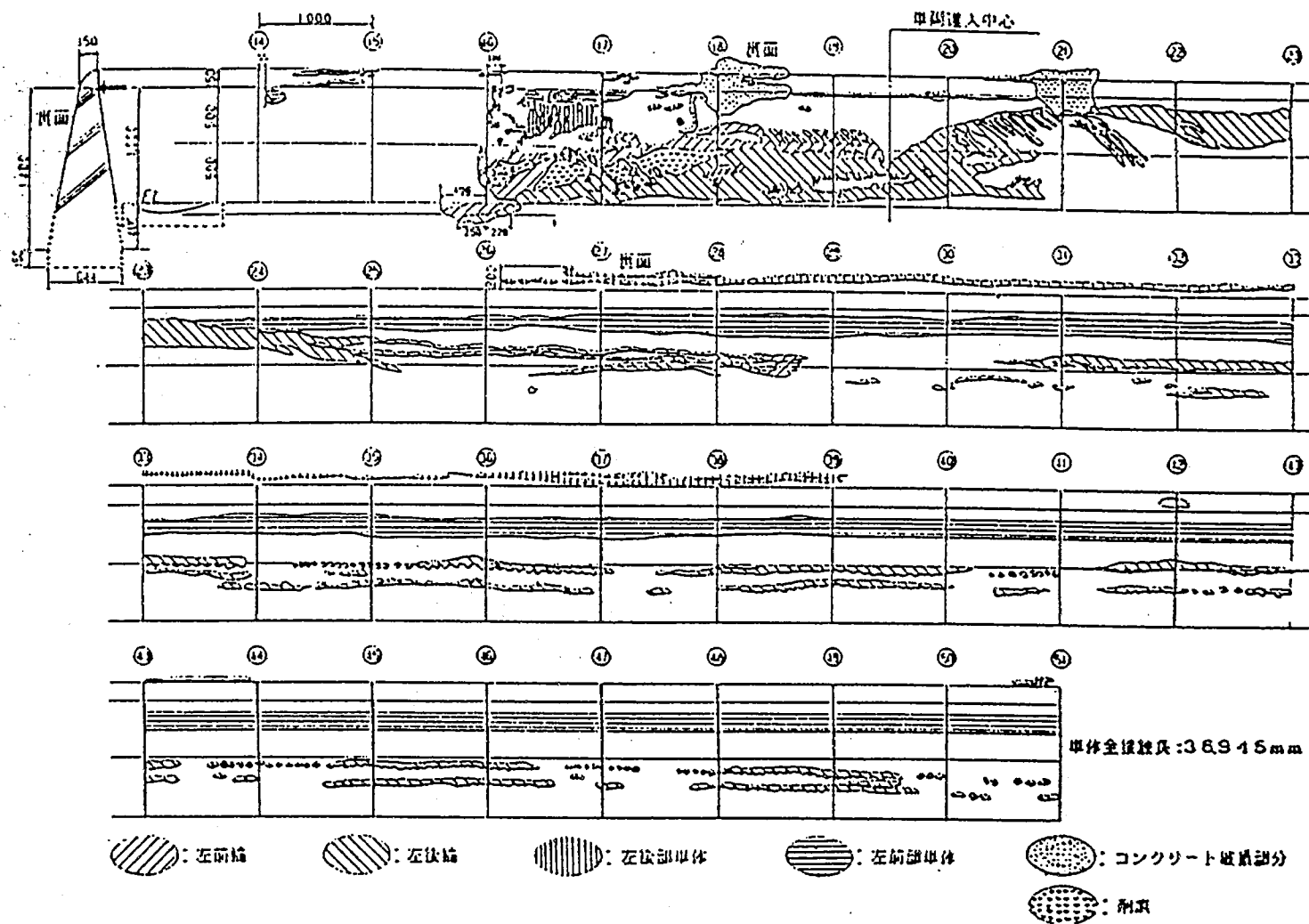


実験 No. 2 (車両の停止状態)

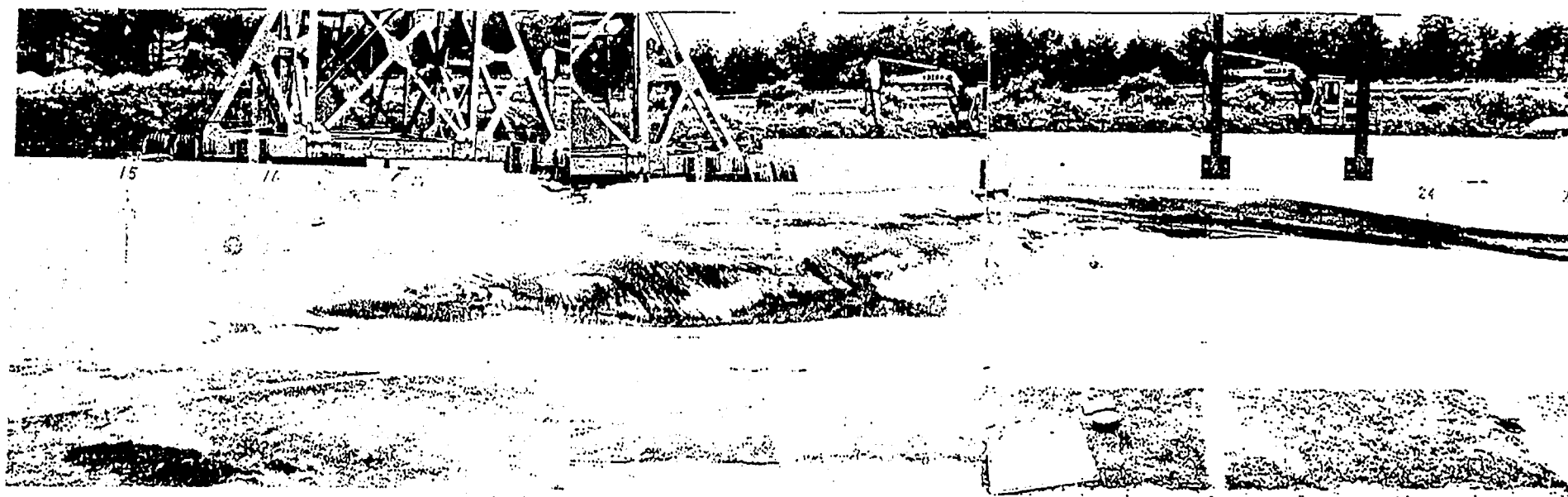
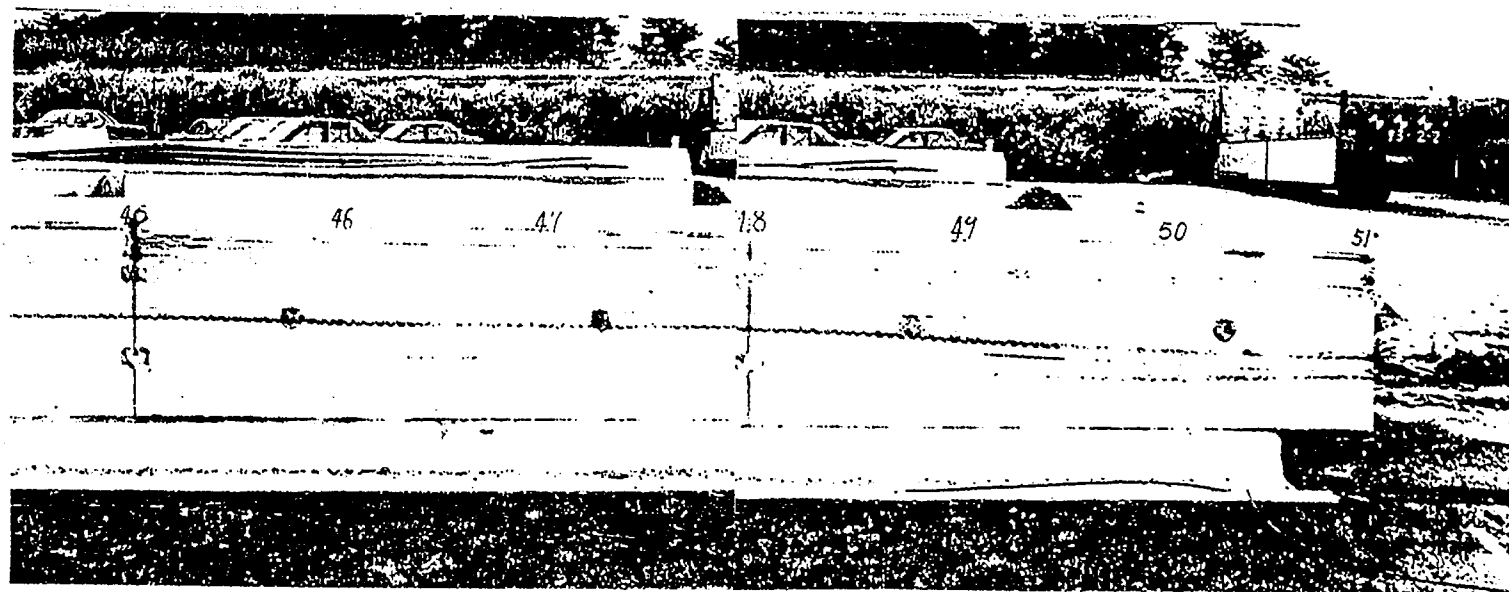


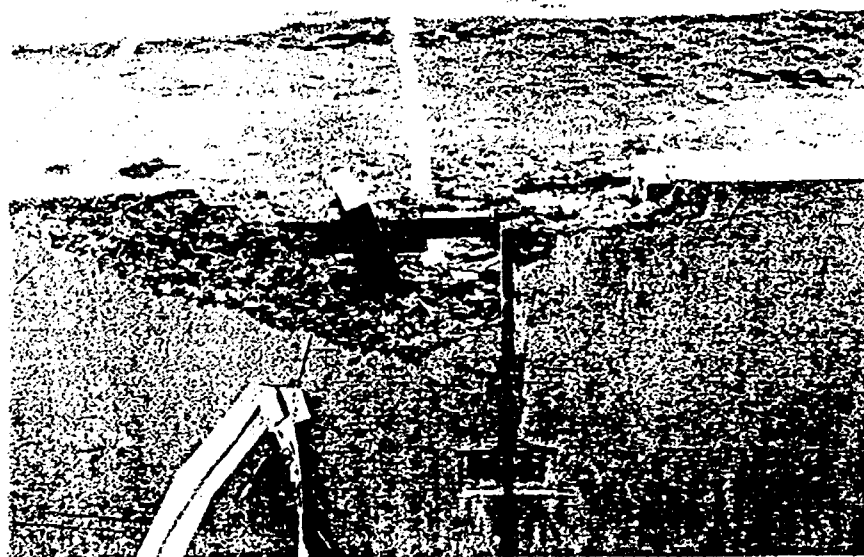
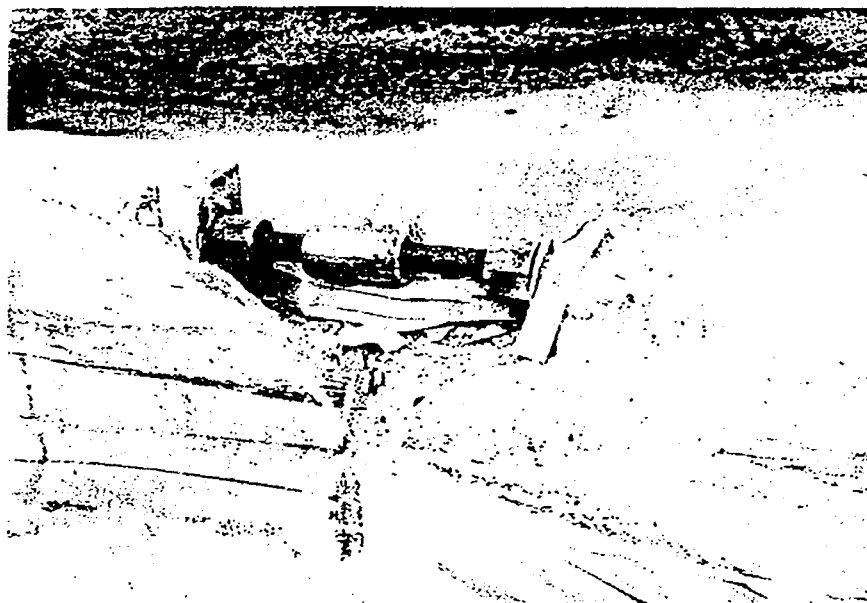
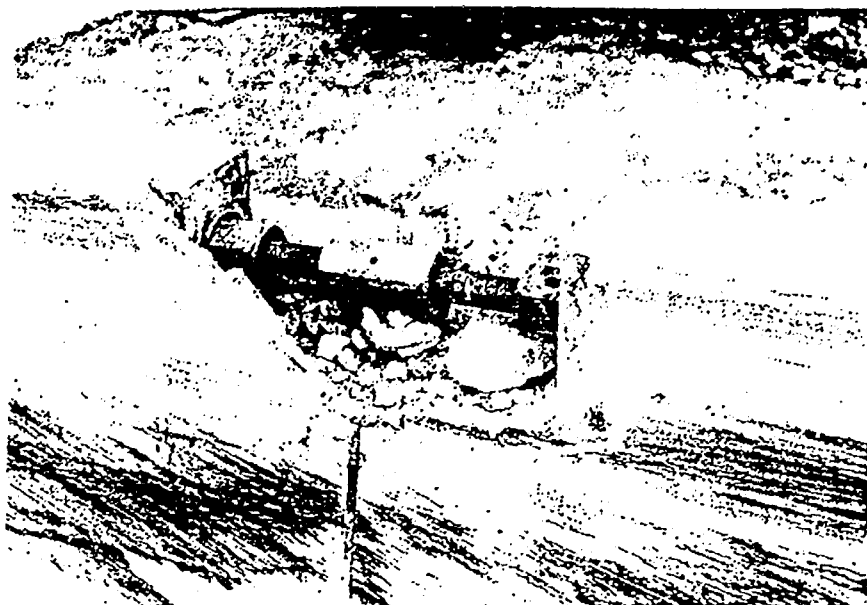


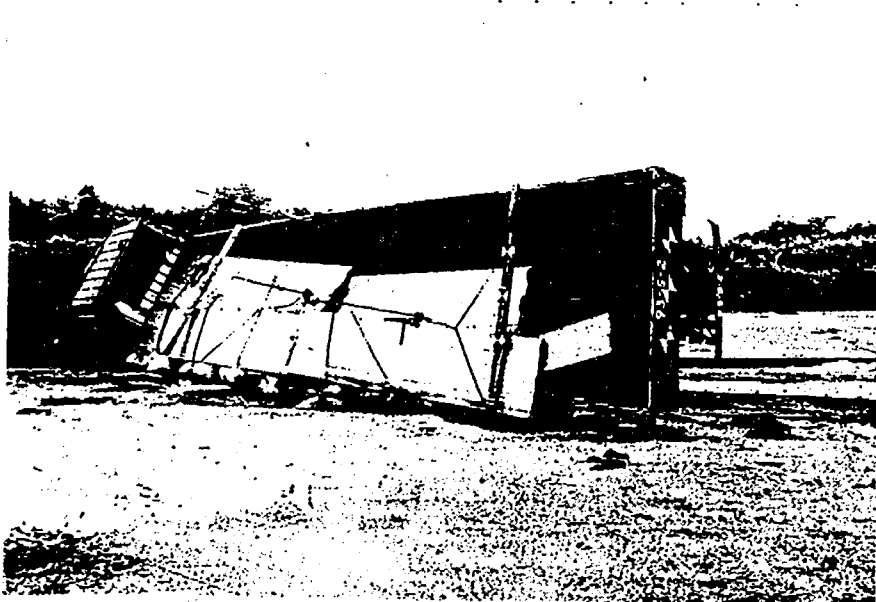
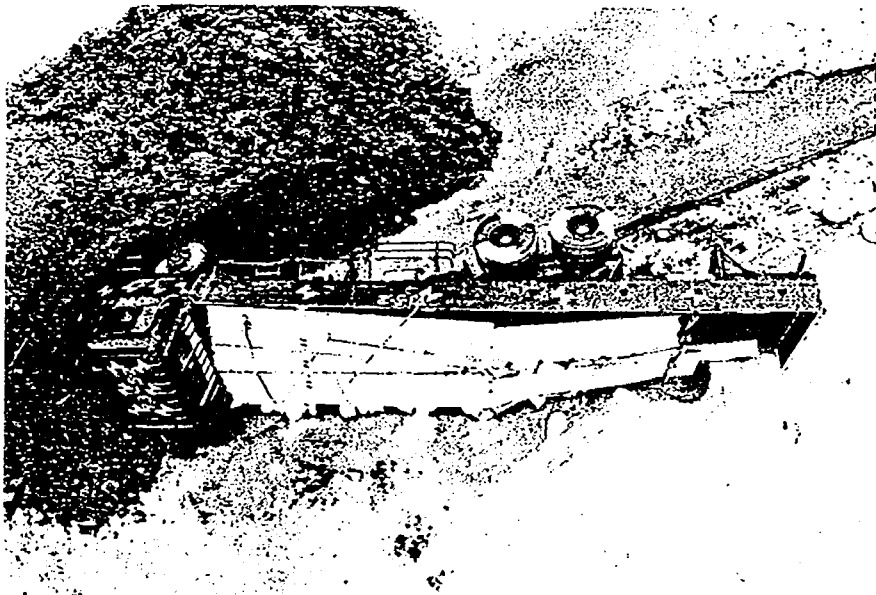
実験 No. 3 (接触状況)



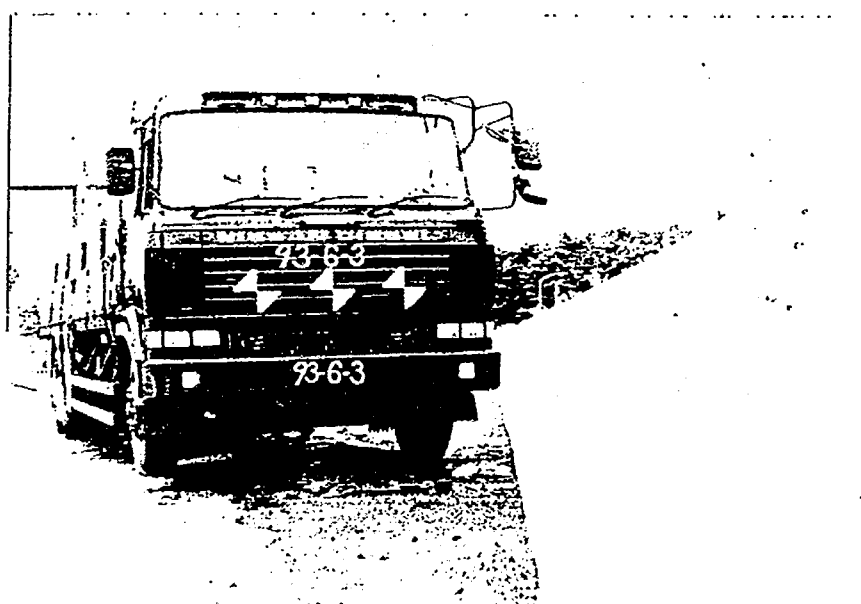
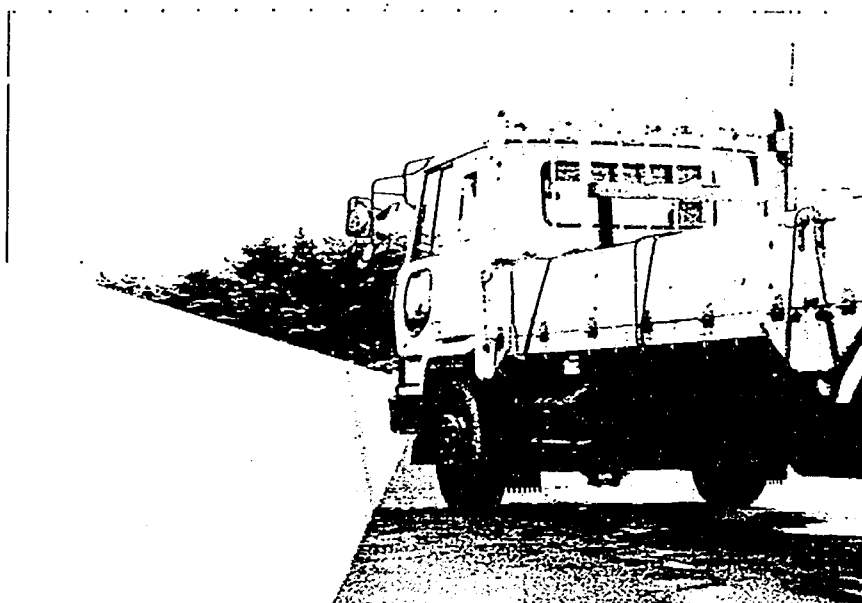
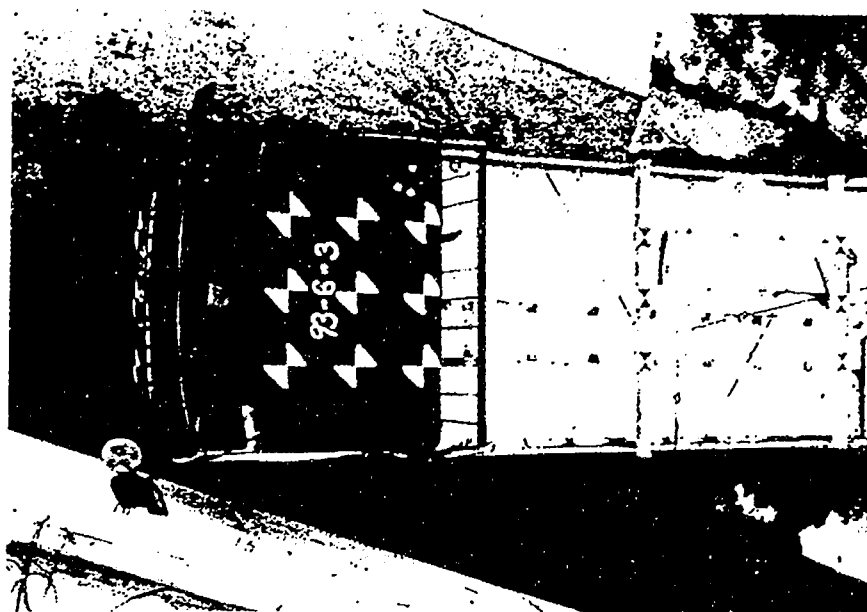
実験 No. 3 (防護柵の損傷状況)



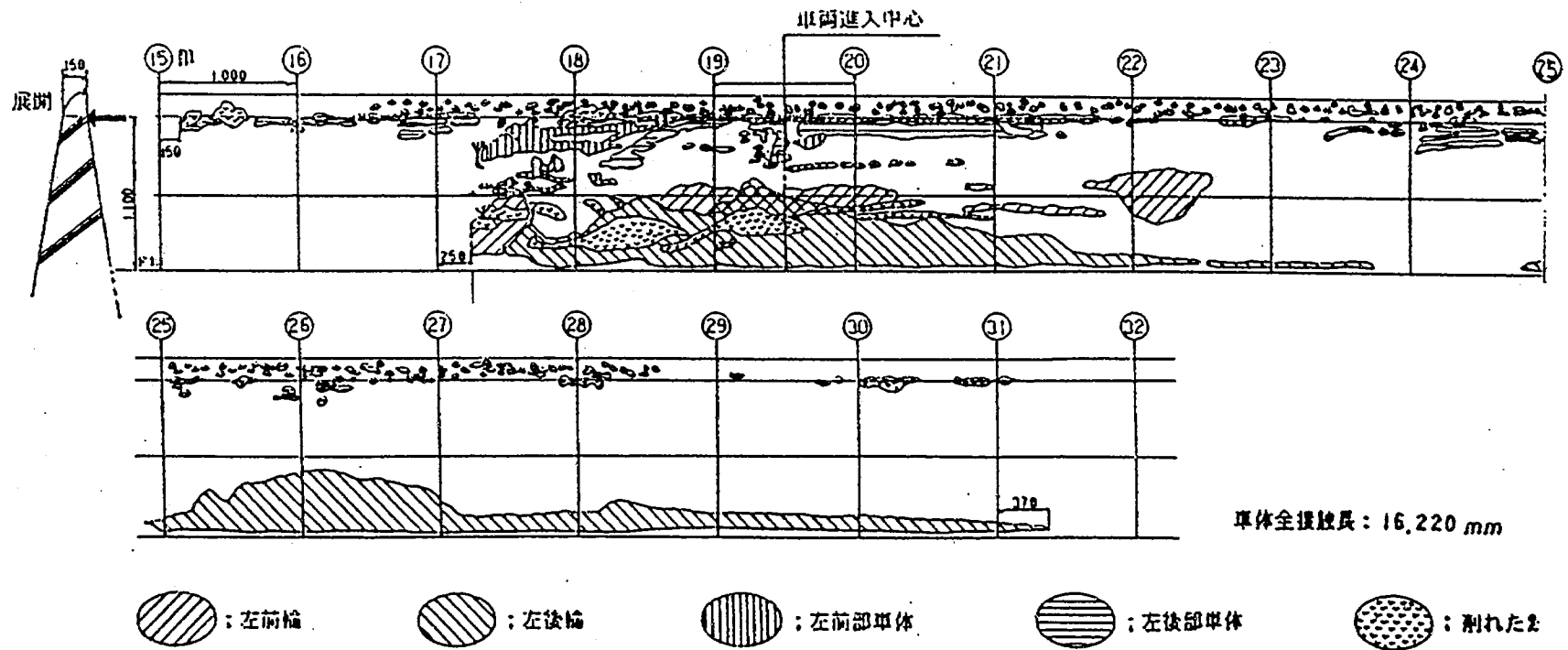




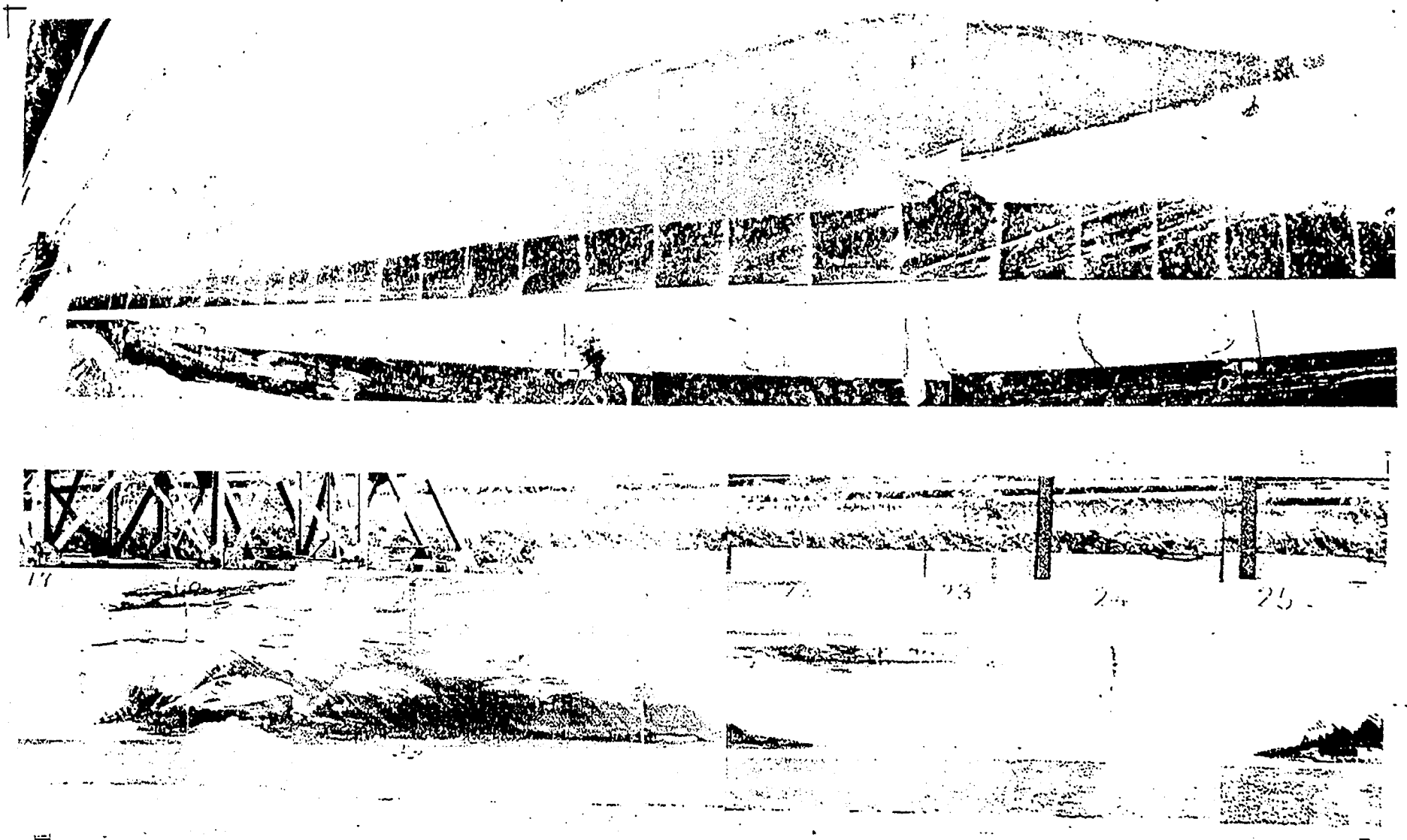


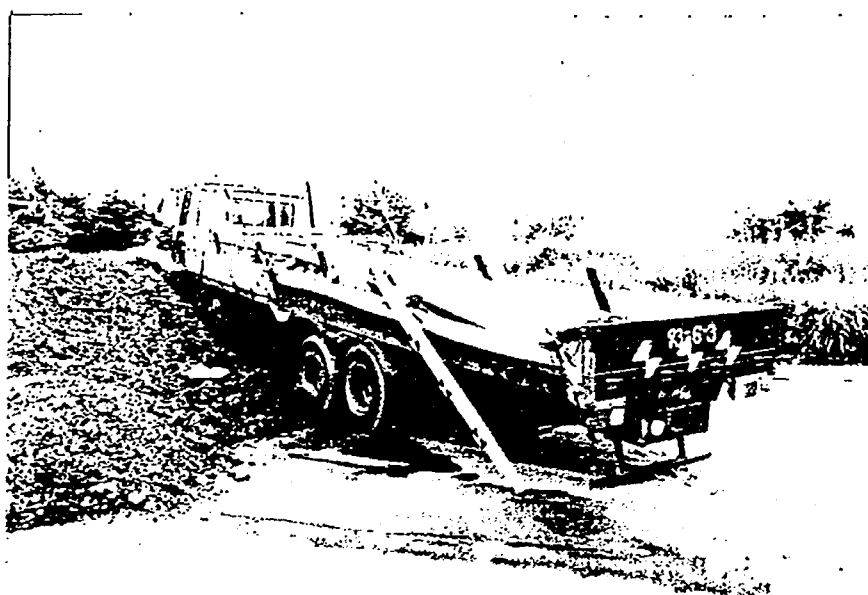
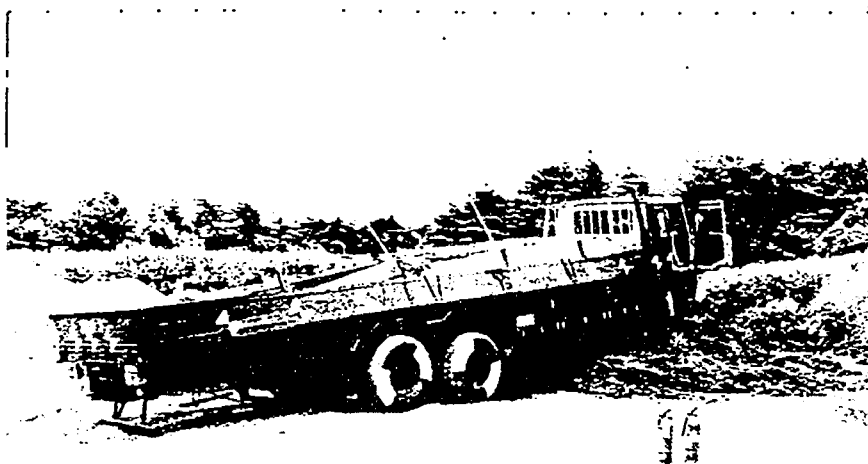
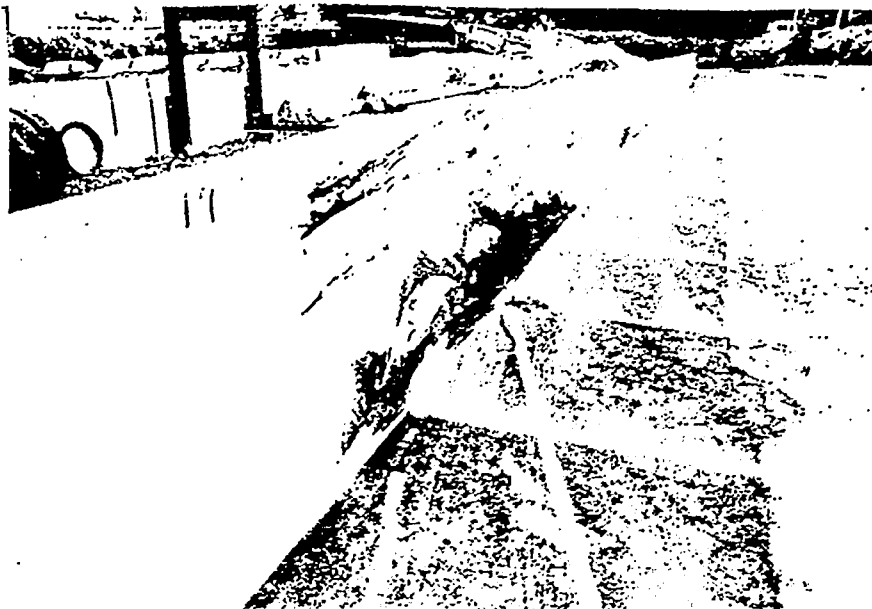


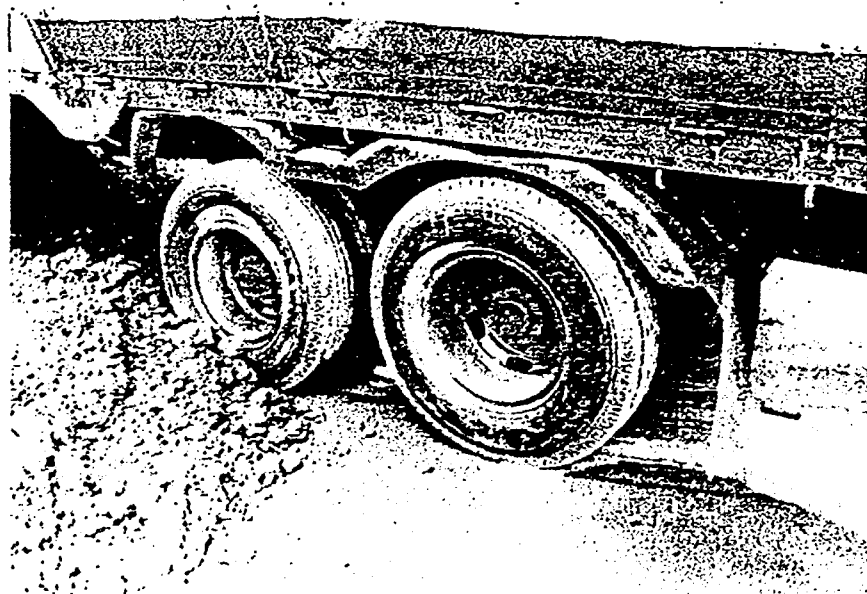
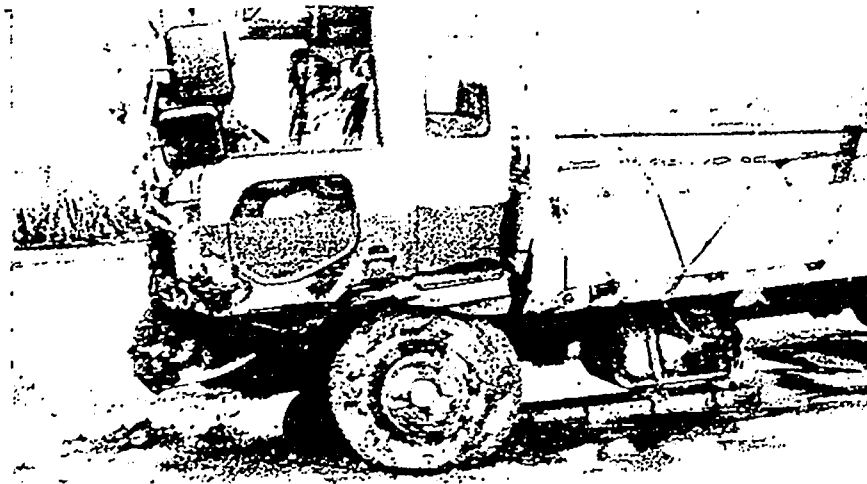
実験 No. 4 (接触状況)

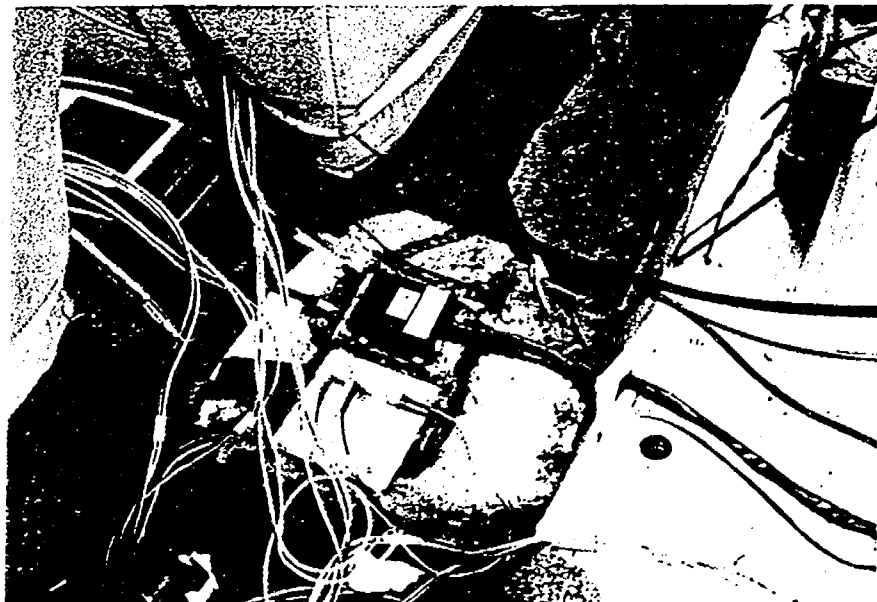
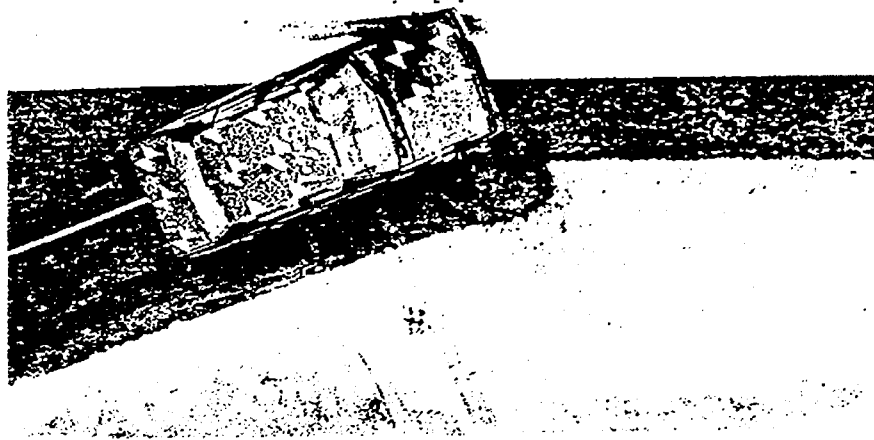


実験 No. 4 (防護柵の損傷状況)

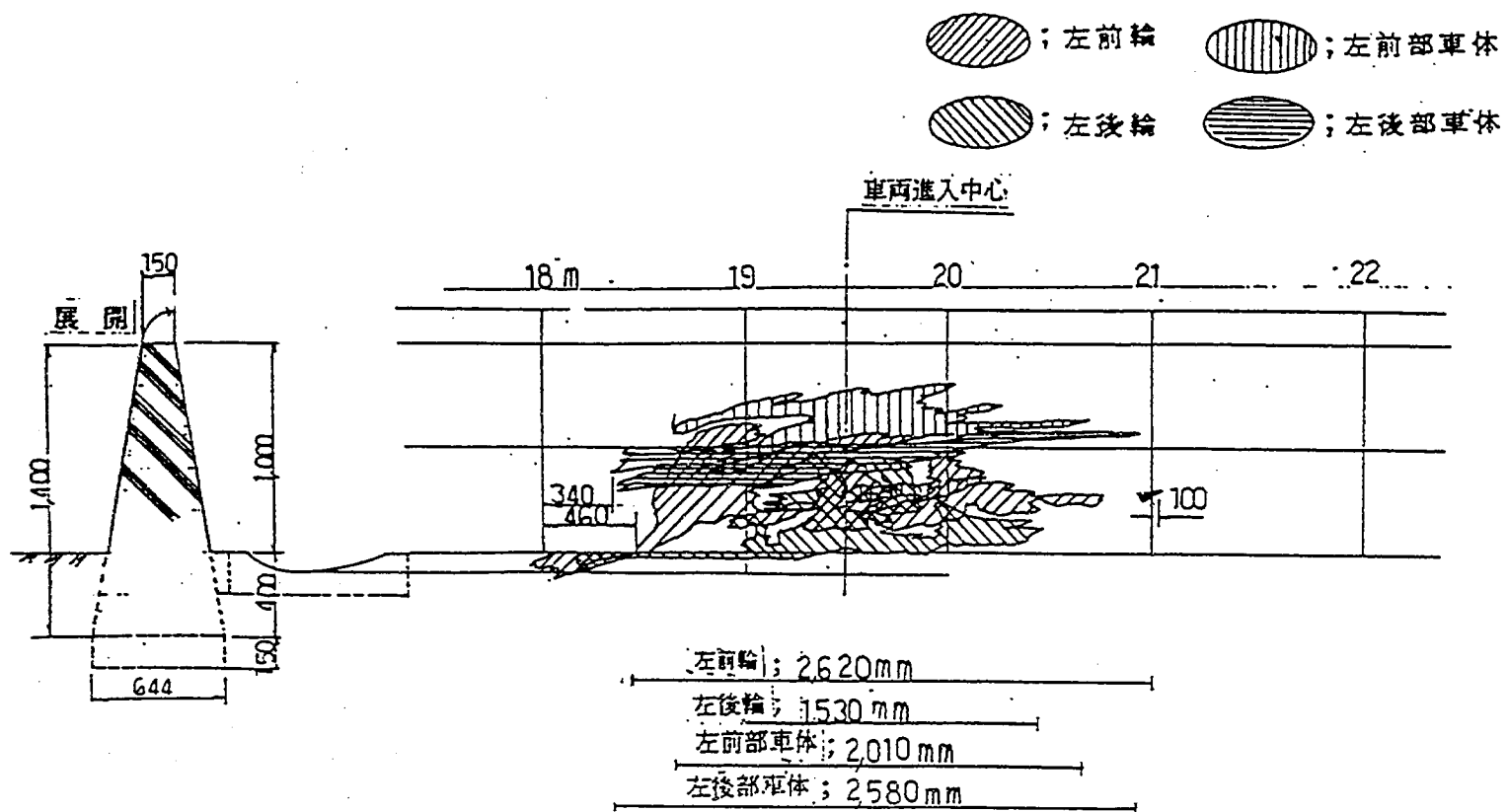




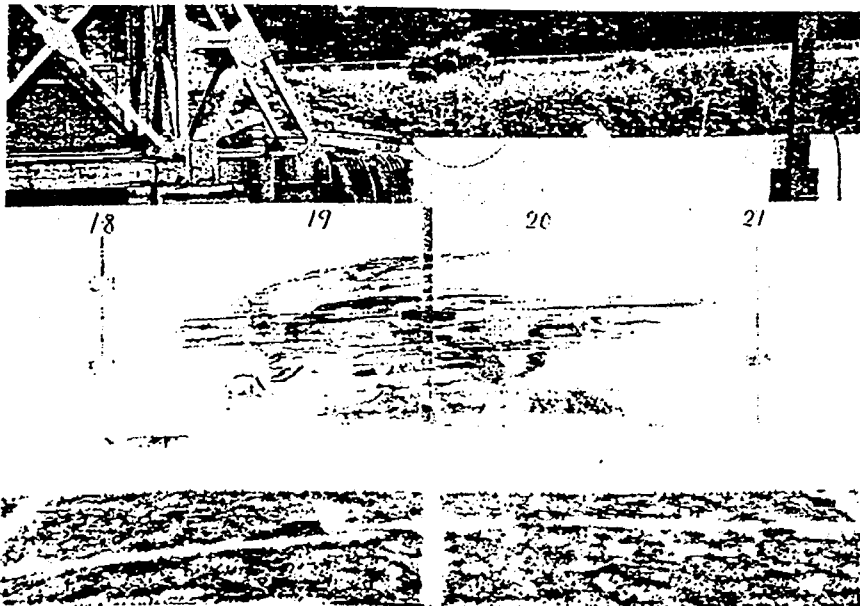
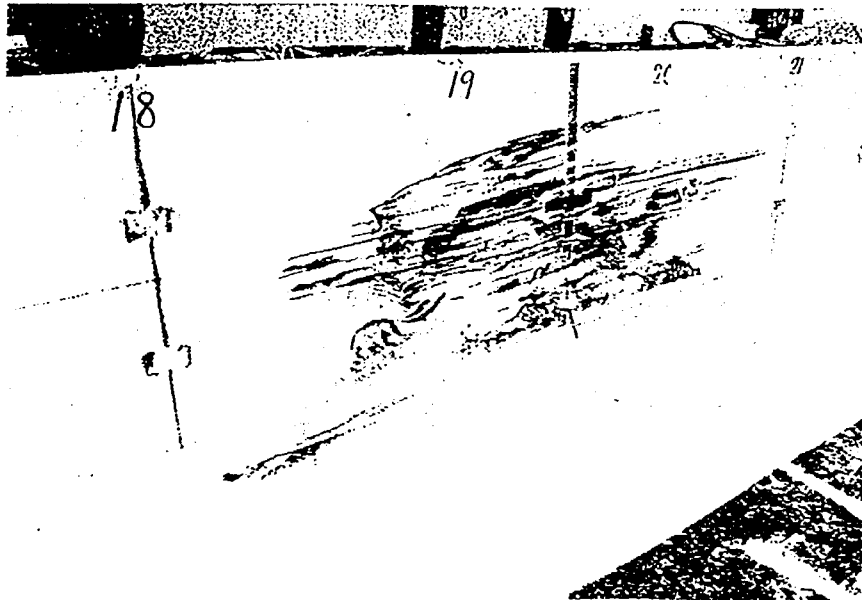
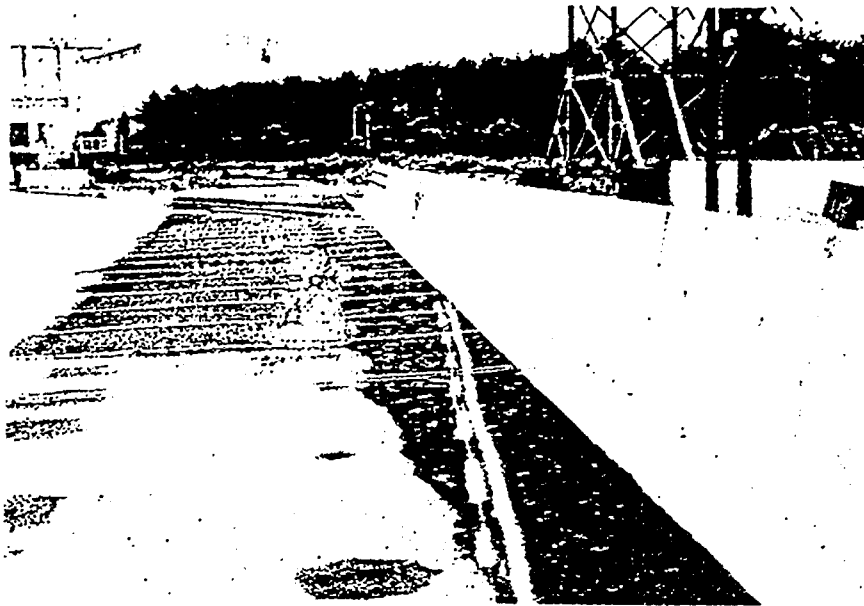




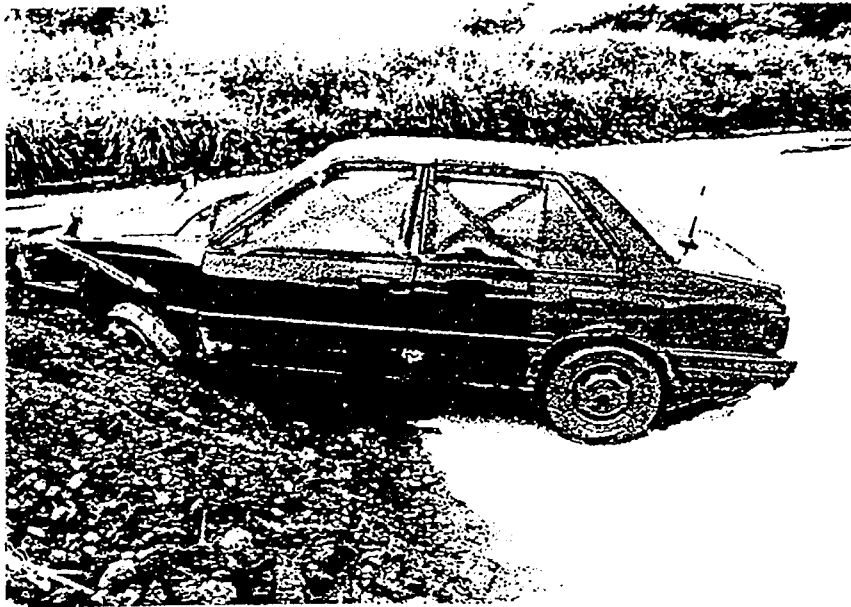
実験 No. 5 (接触状況)

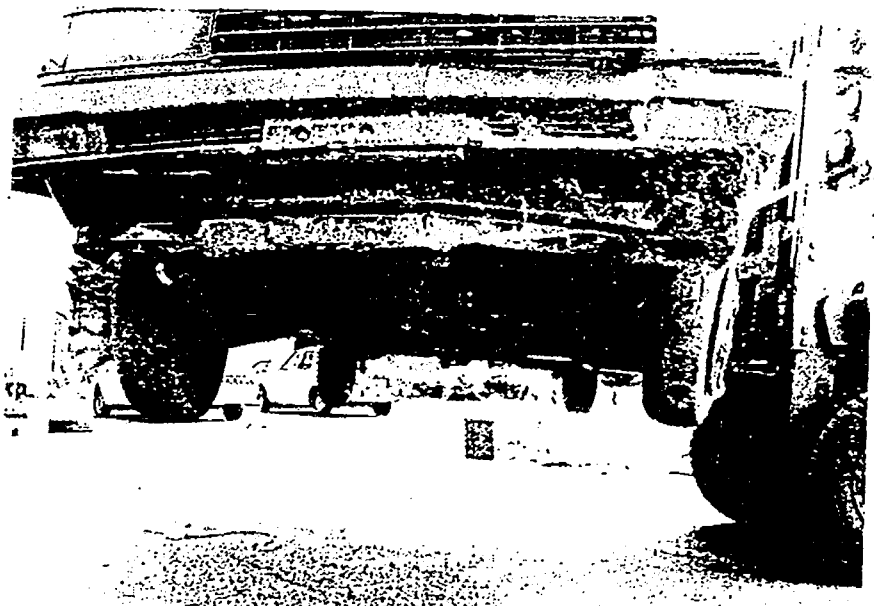
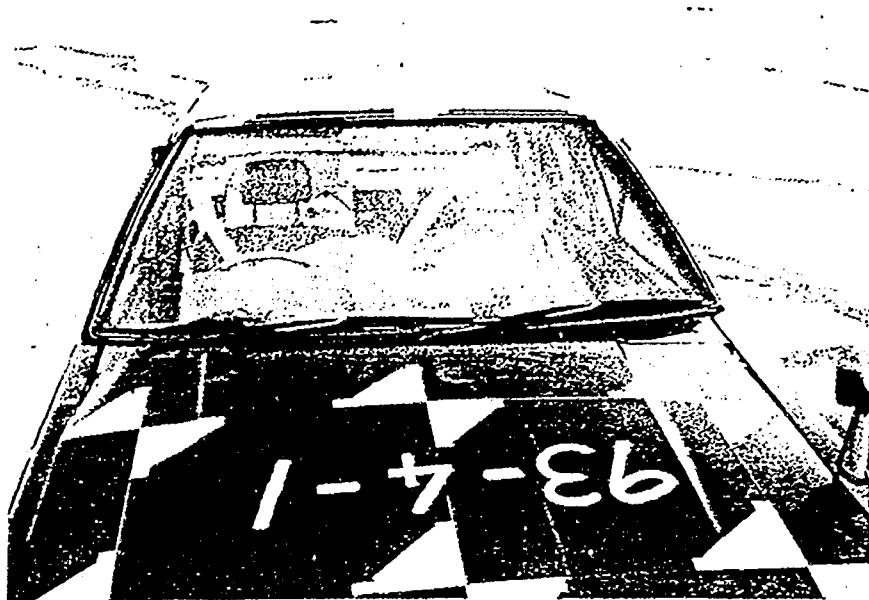


車体全接触長: 2760 mm

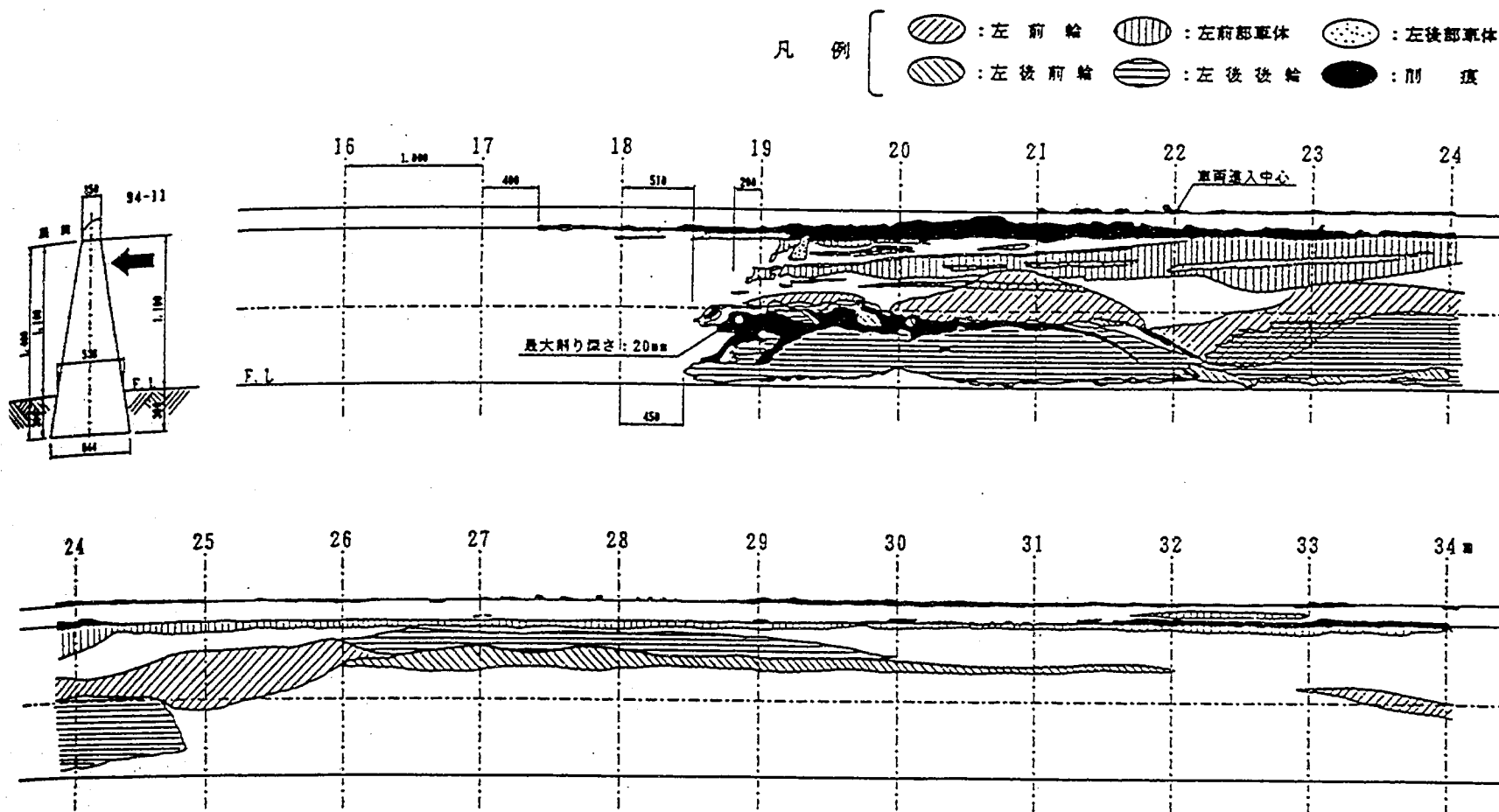


実験 No. 5 (車両の停止状態)

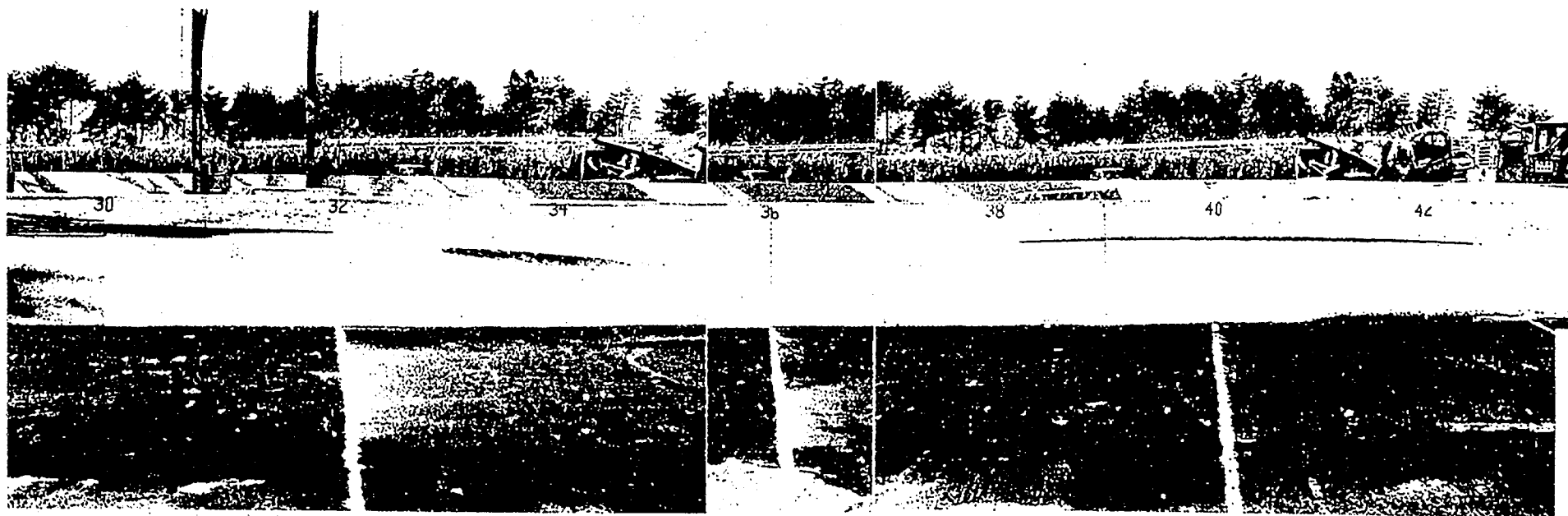


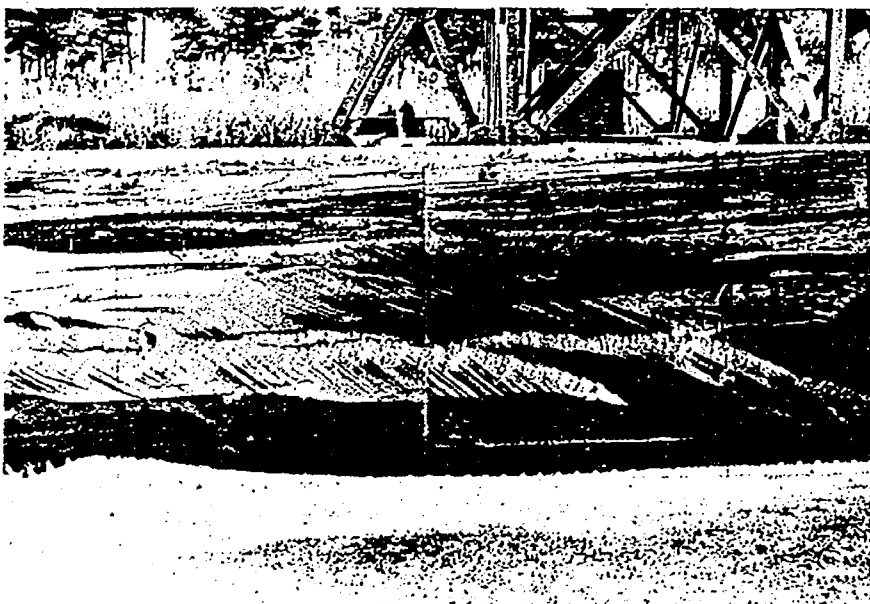
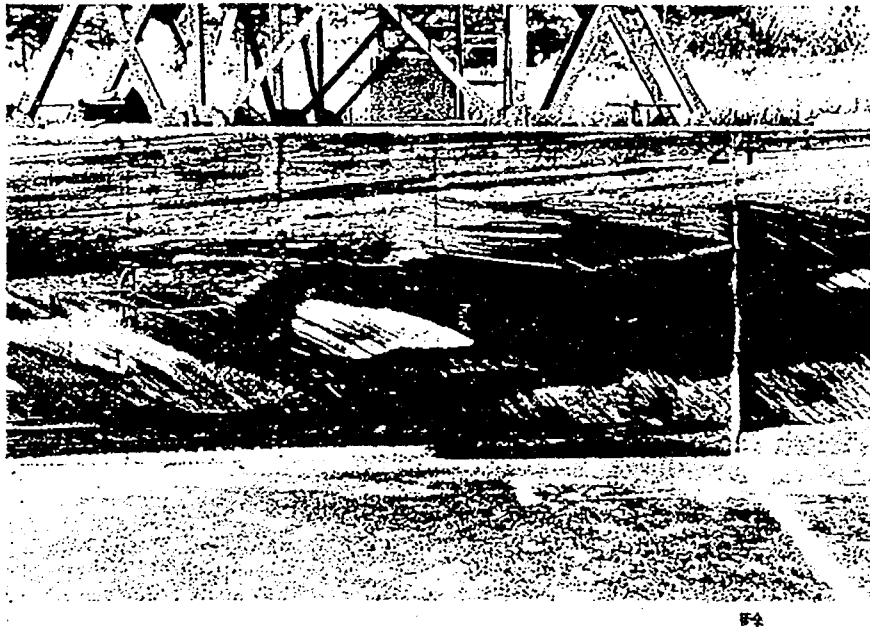
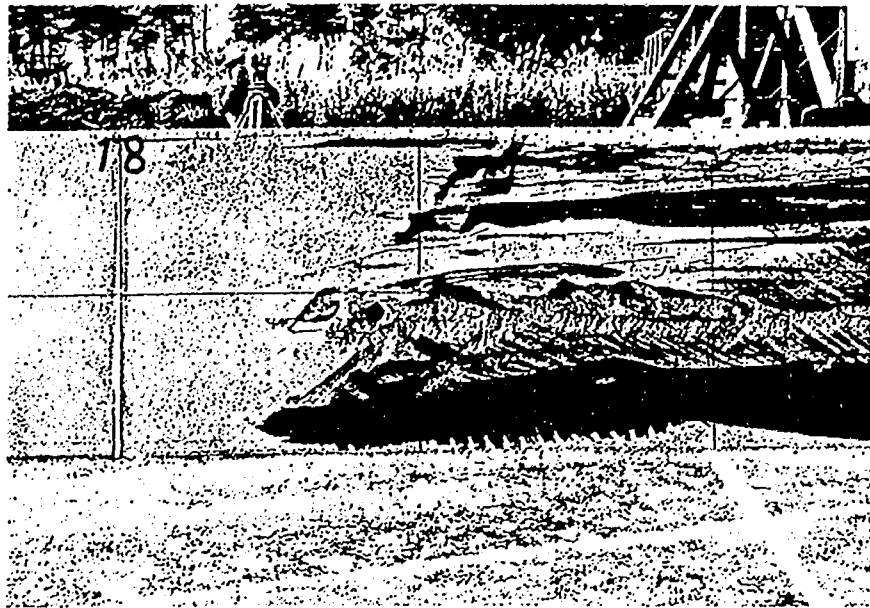


実験 No. 6 (接触状況)

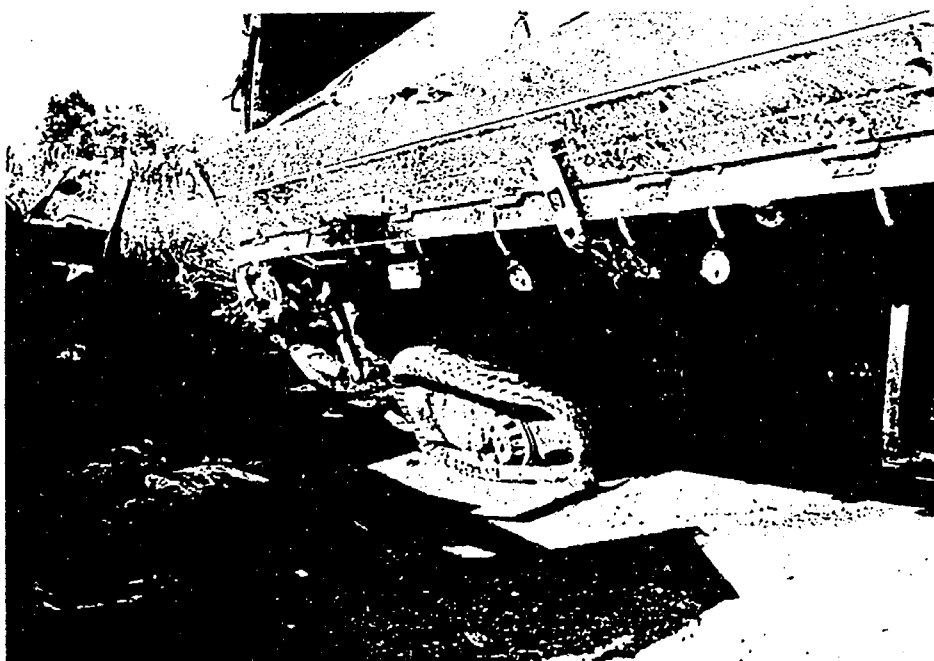
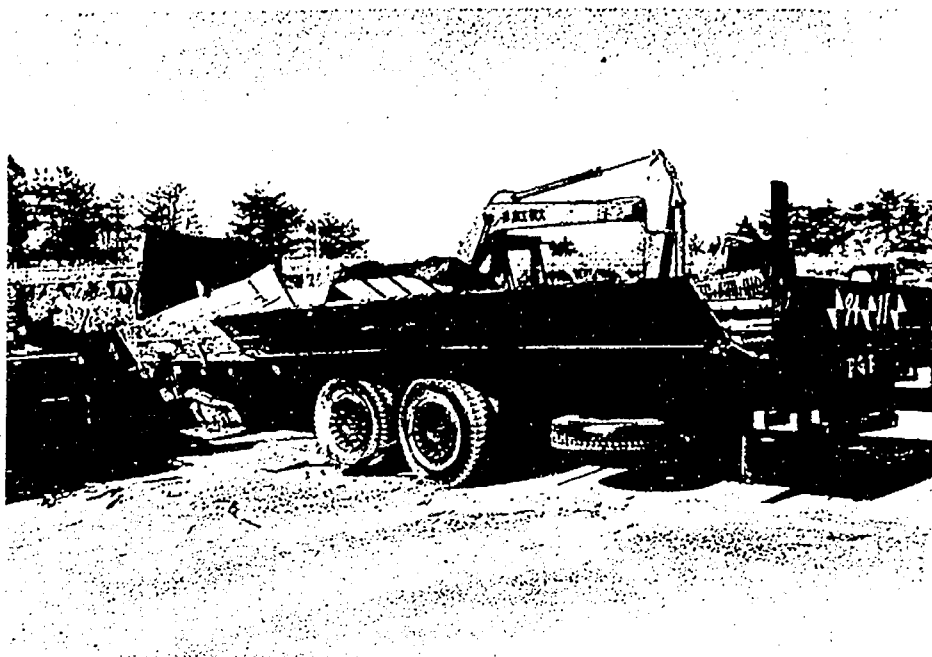


実験 No. 6 (防護柵の損傷状況)





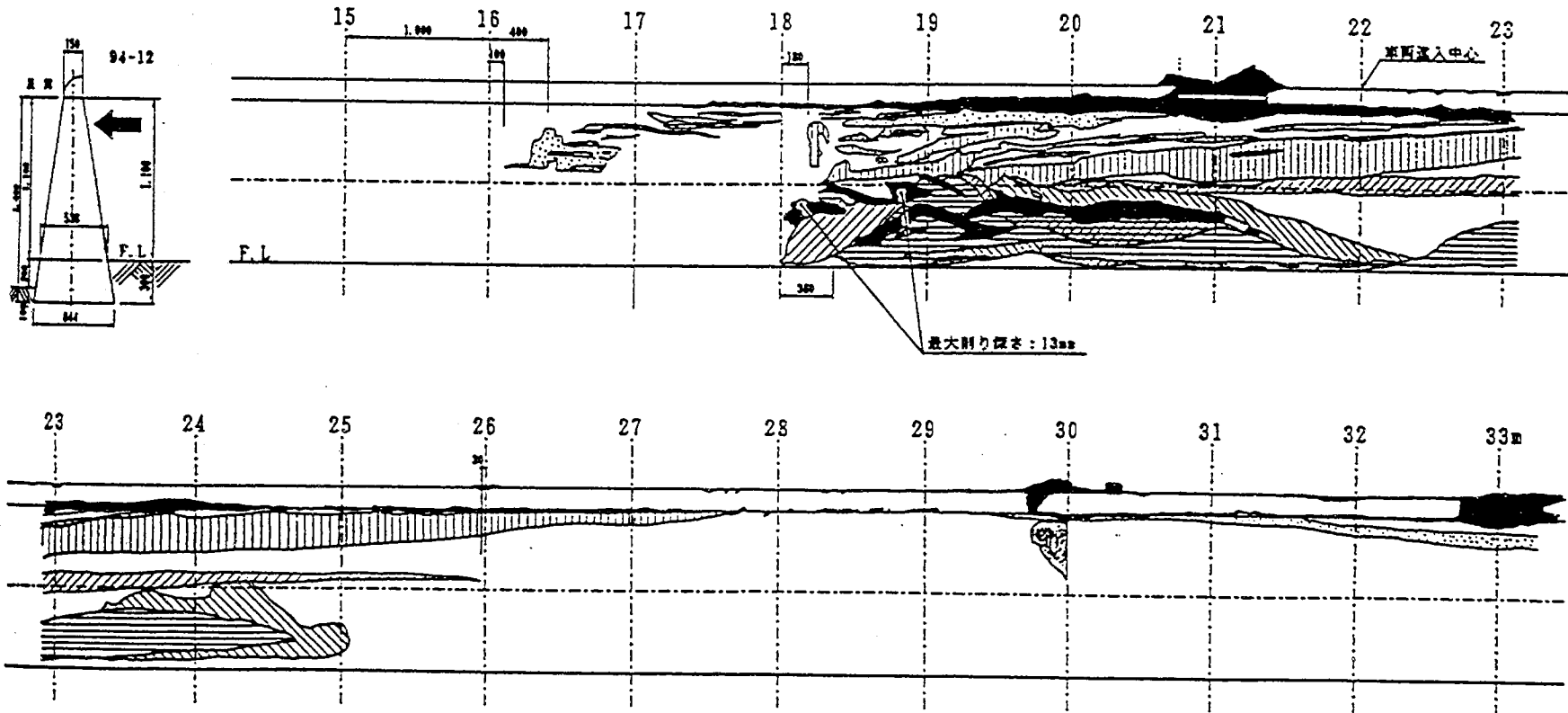
実験 No. 6 (車両の停止状態)



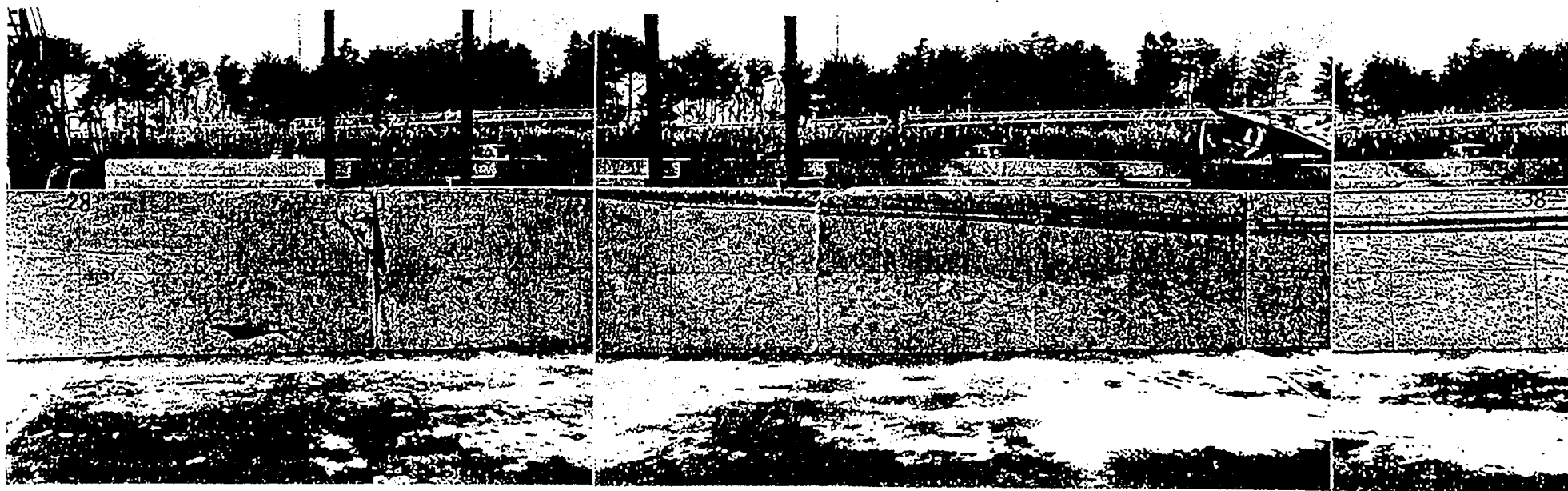


実験 No. 7 (接触状況)

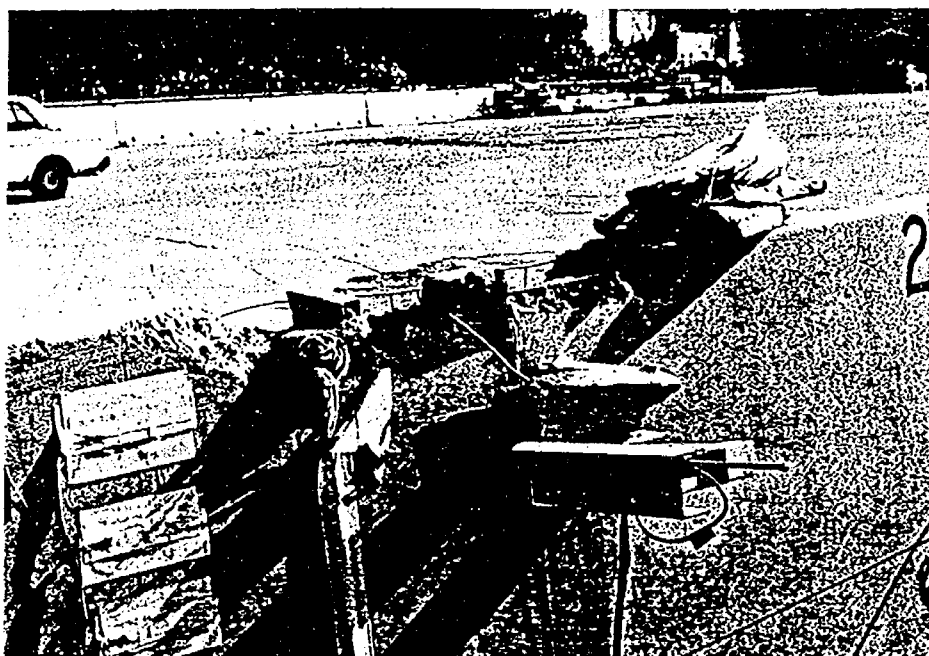
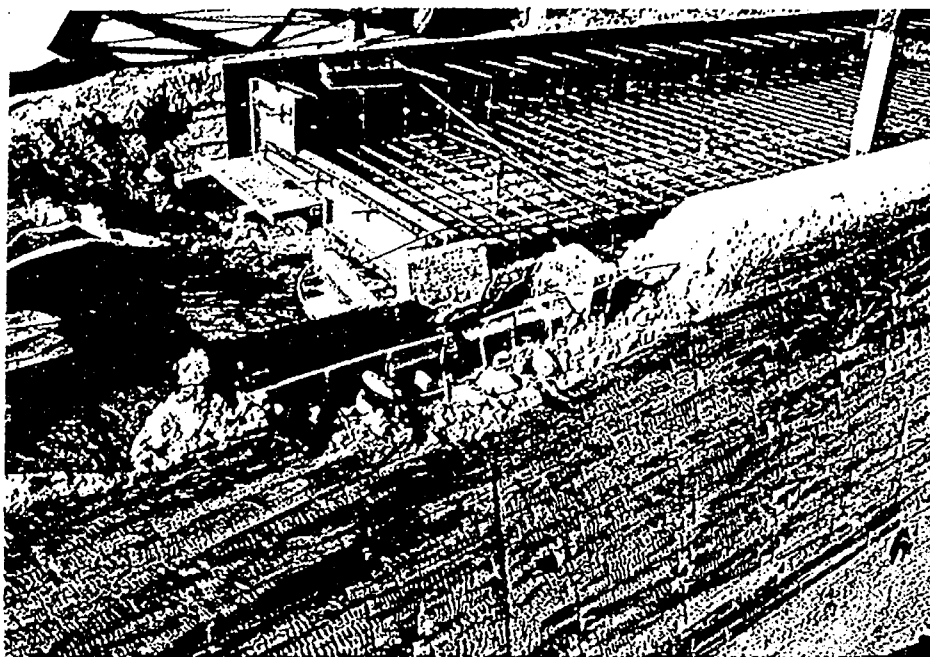
- 凡 例
- | | | | | | |
|---|-----------|---|-----------|---|---------|
|  | : 左 前 輪 |  | : 左前部車体 |  | : 左後部車体 |
|  | : 左 後 前 輪 |  | : 左 後 後 輪 |  | : 削 痕 |



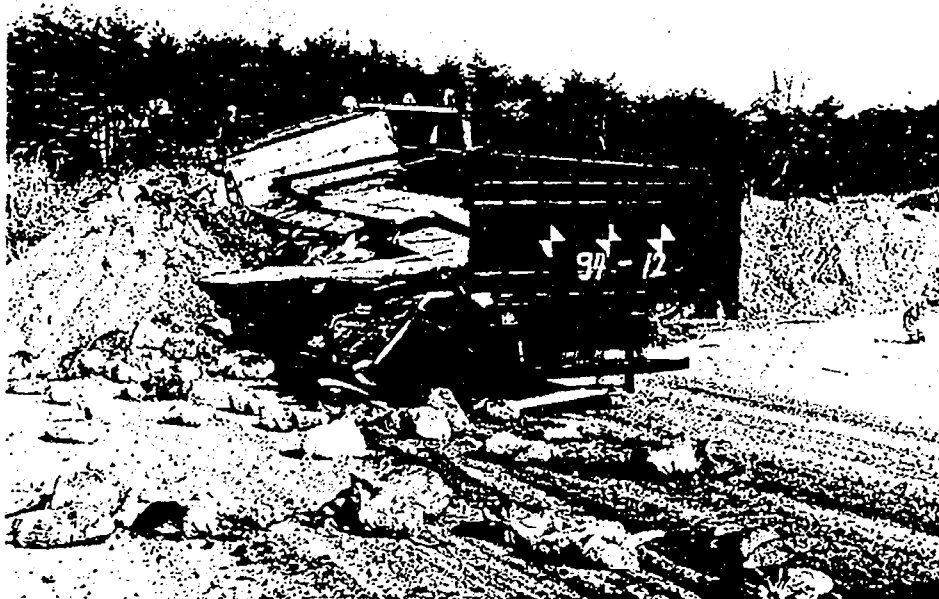
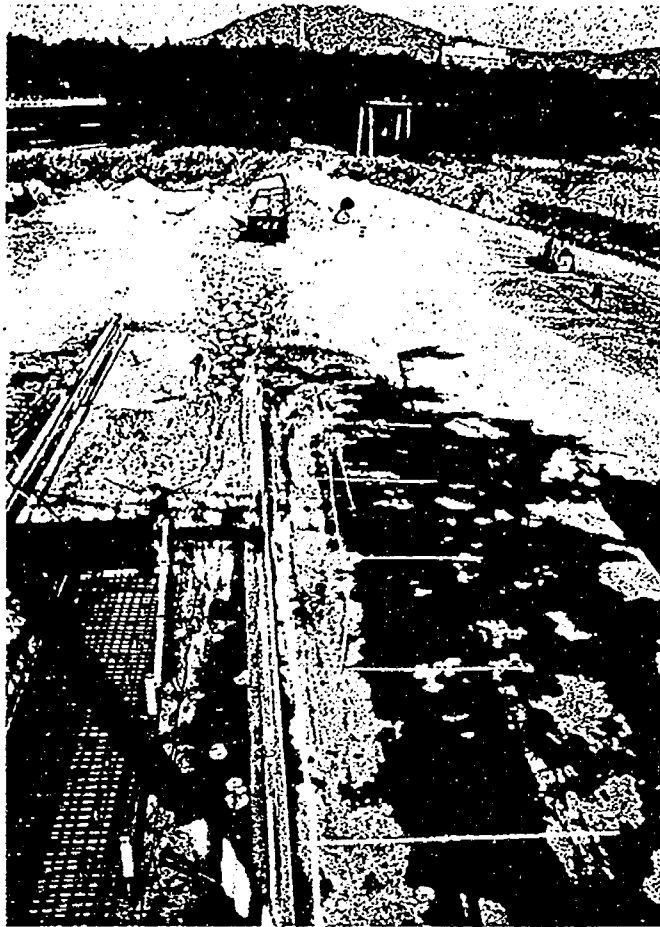
実験 No. 7 (防護柵の損傷状況)



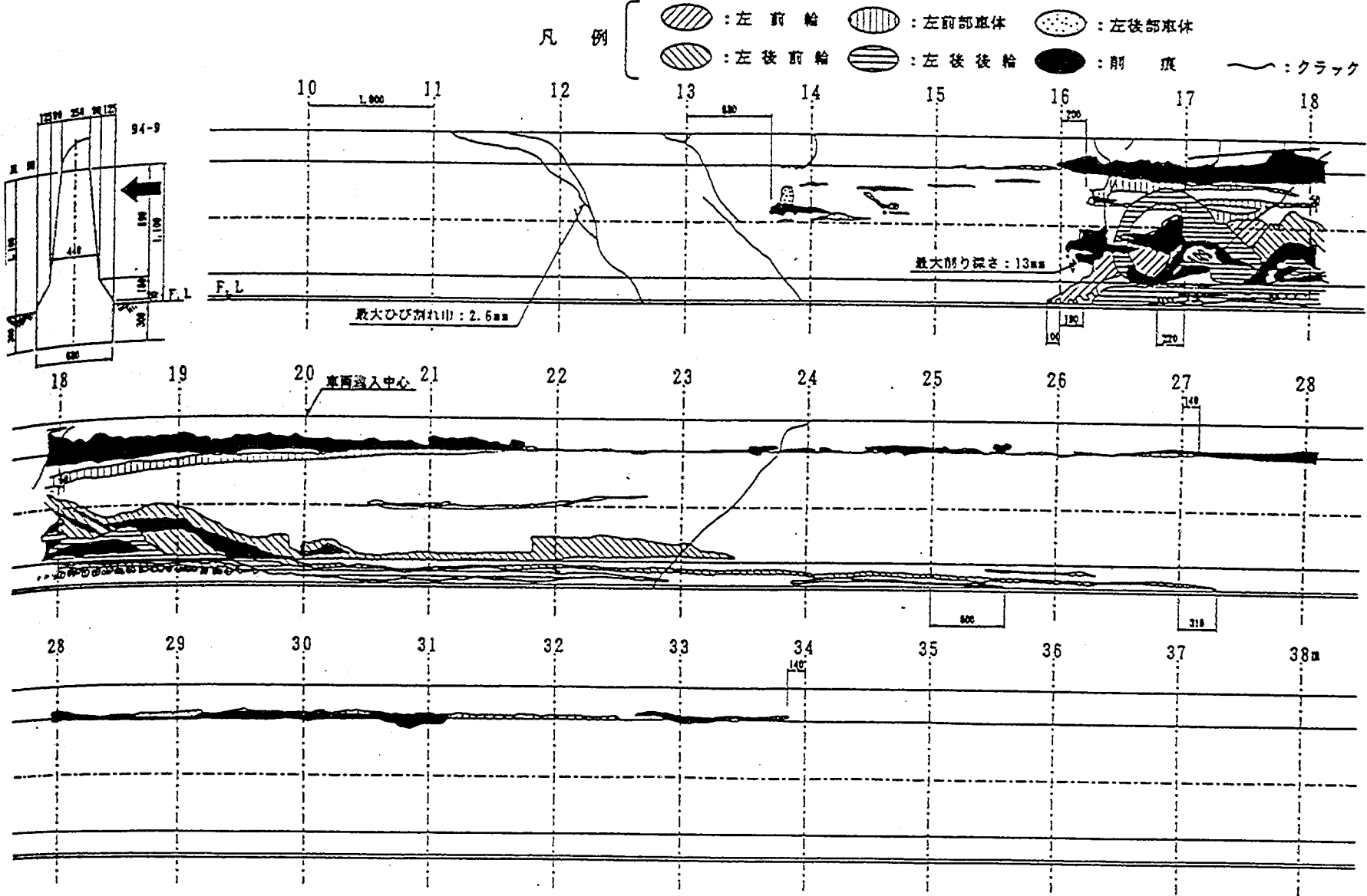
実験 No. 7 (防護柵の損傷状況)



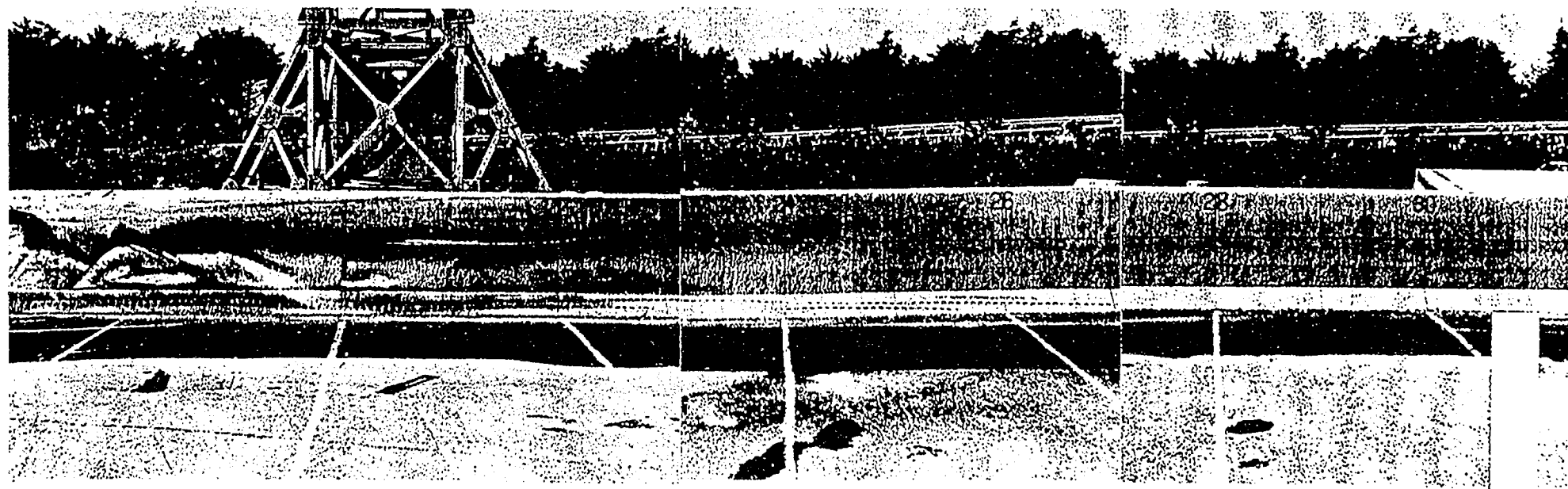
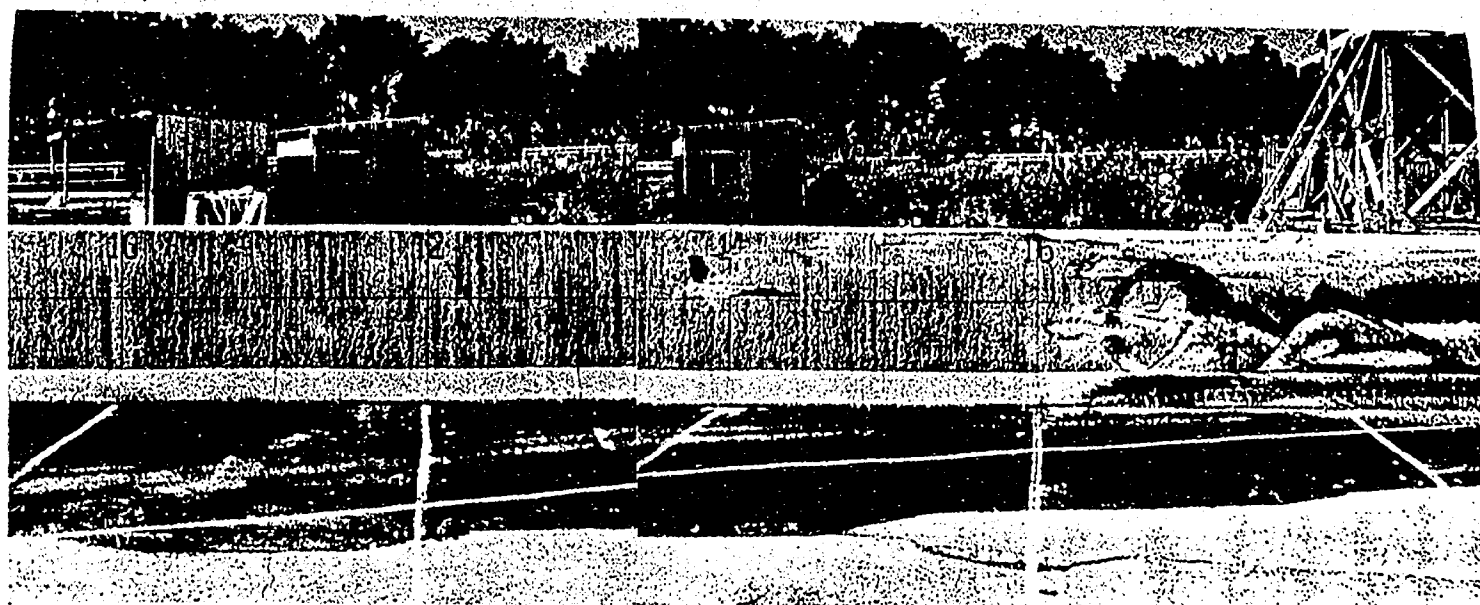
実験 No. 7 (車両の停止状態)



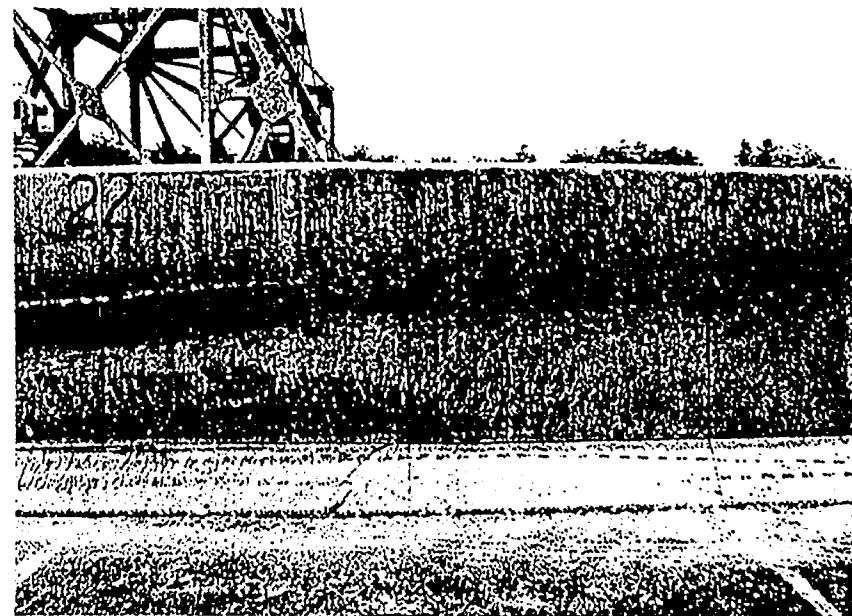
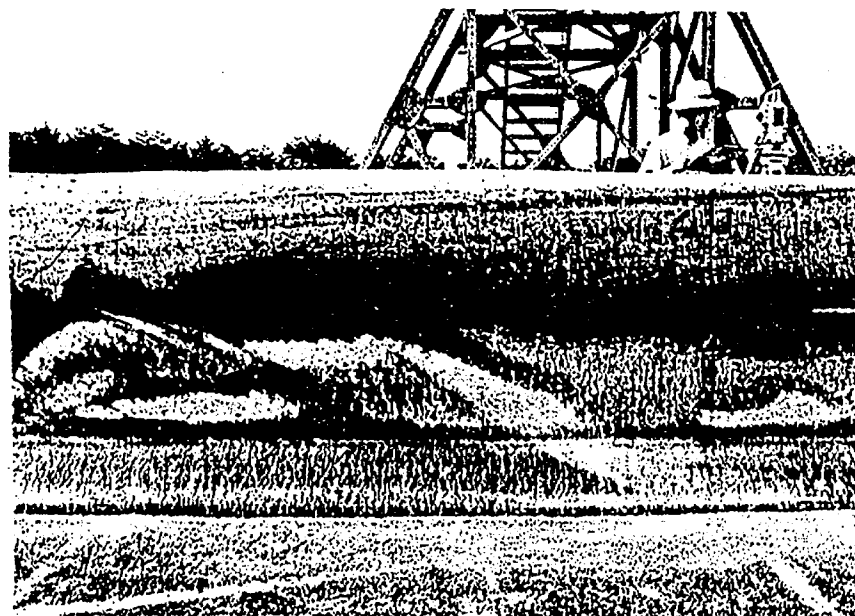
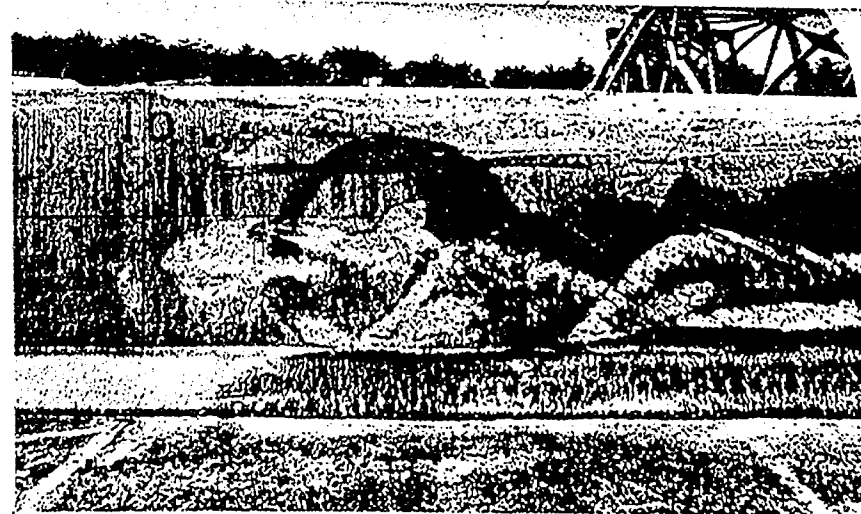
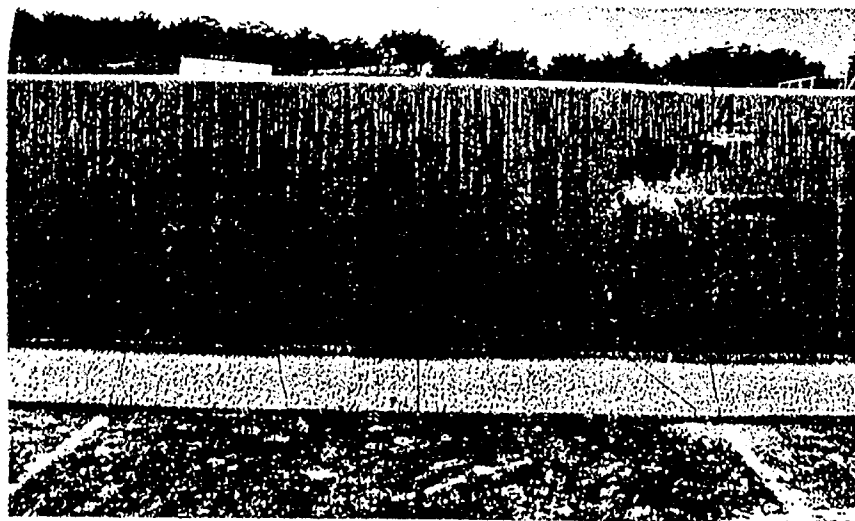
実験 No. 8 (接触状況)



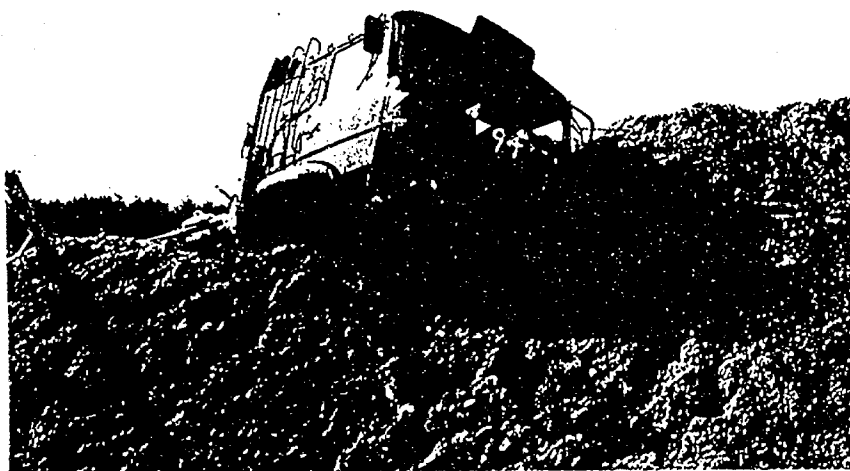
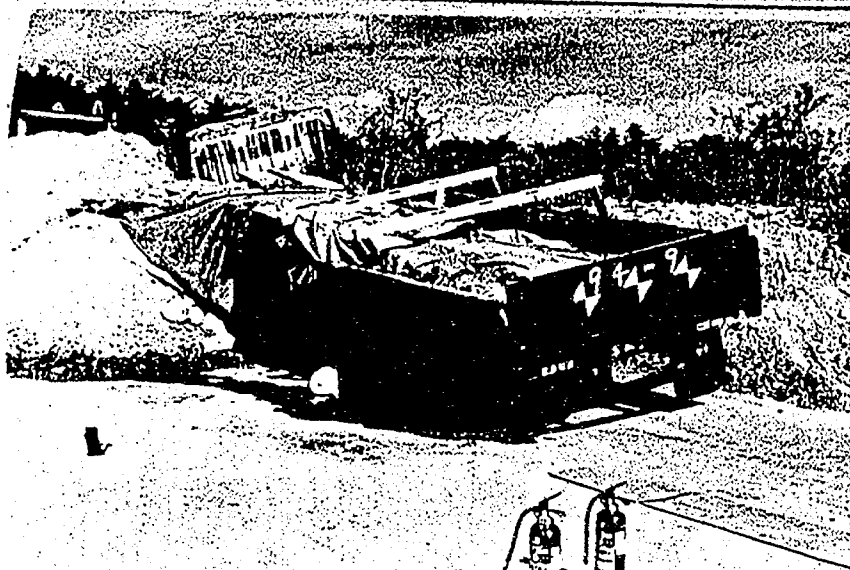
実験 No. 8 (防護柵の損傷状況)

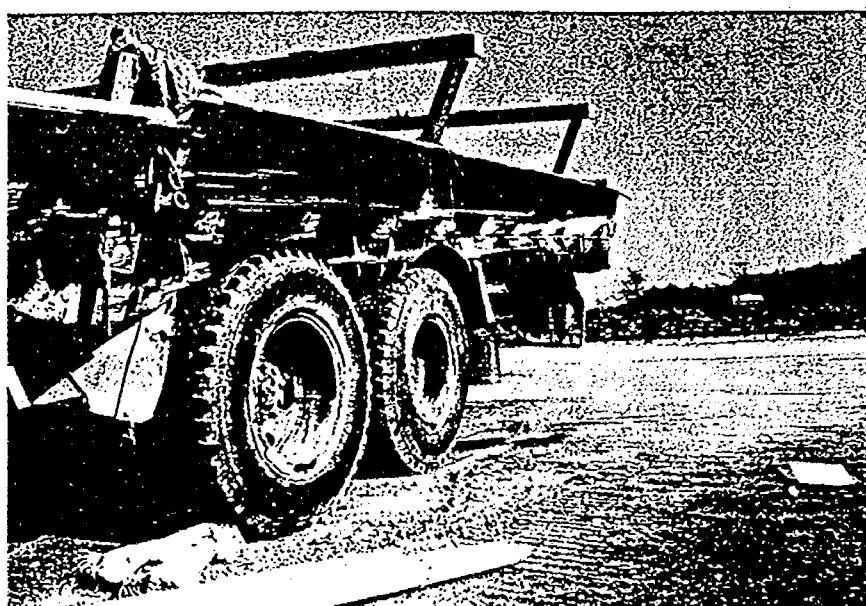
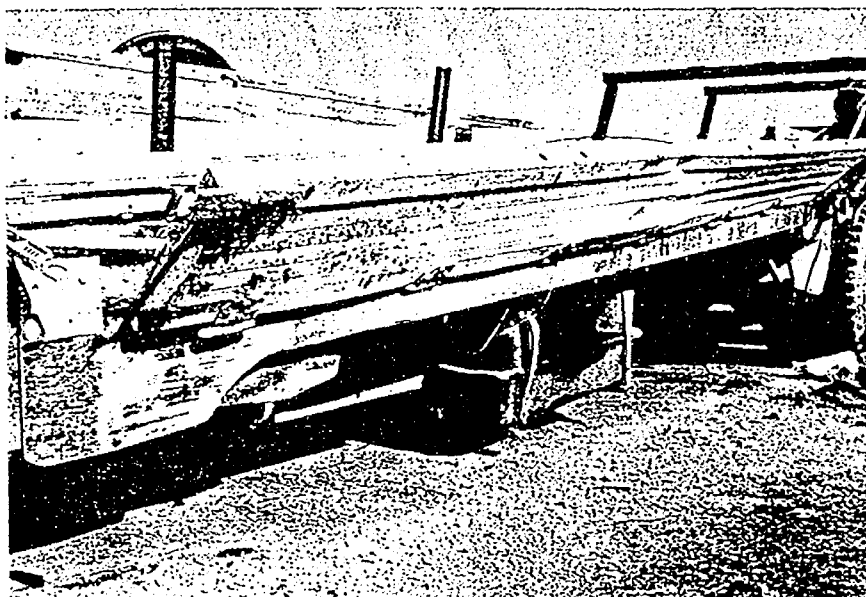


実験 No. 8 (防護柵の損傷状況)

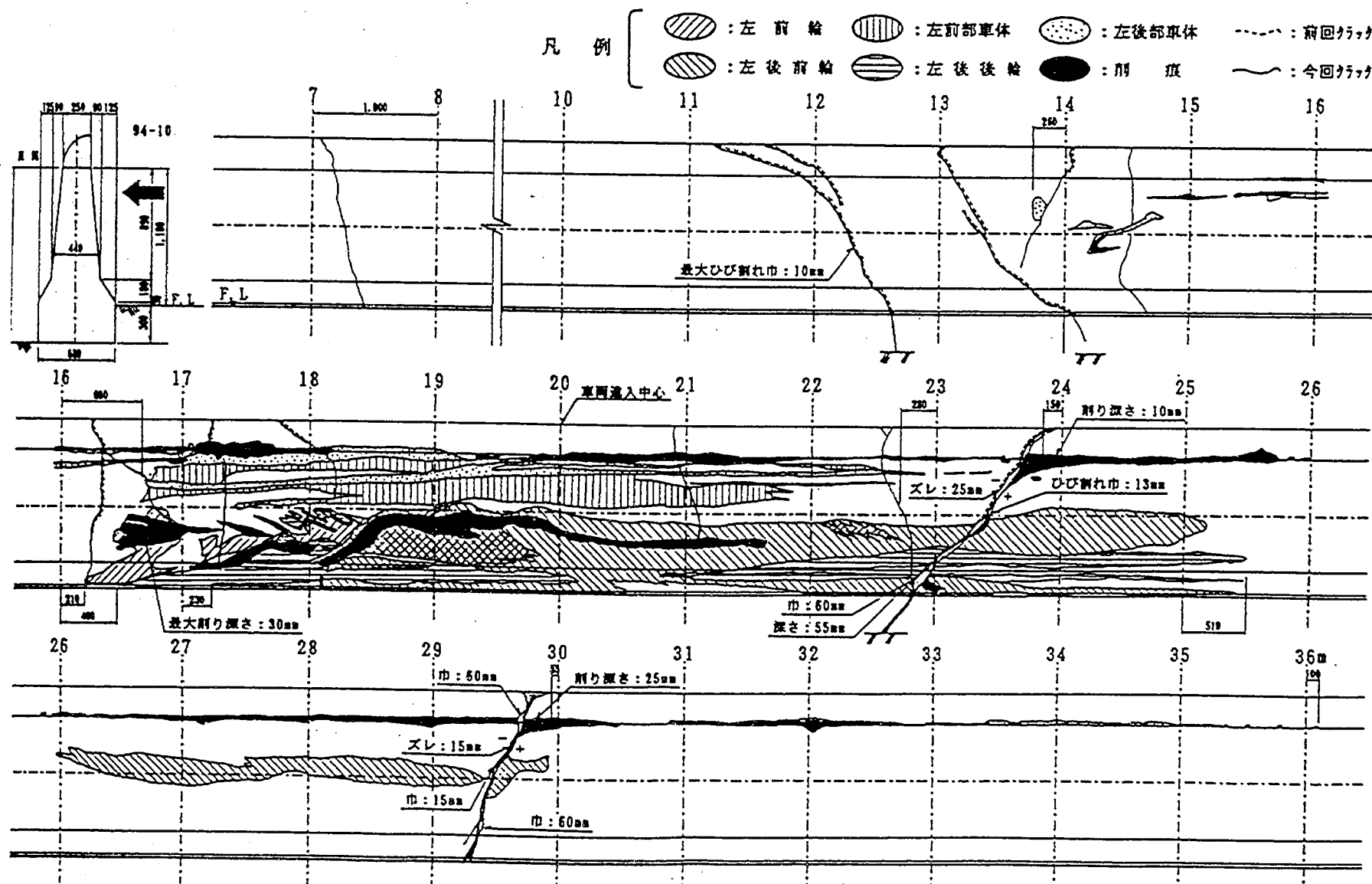


実験 No. 8 (車両の停止状態)

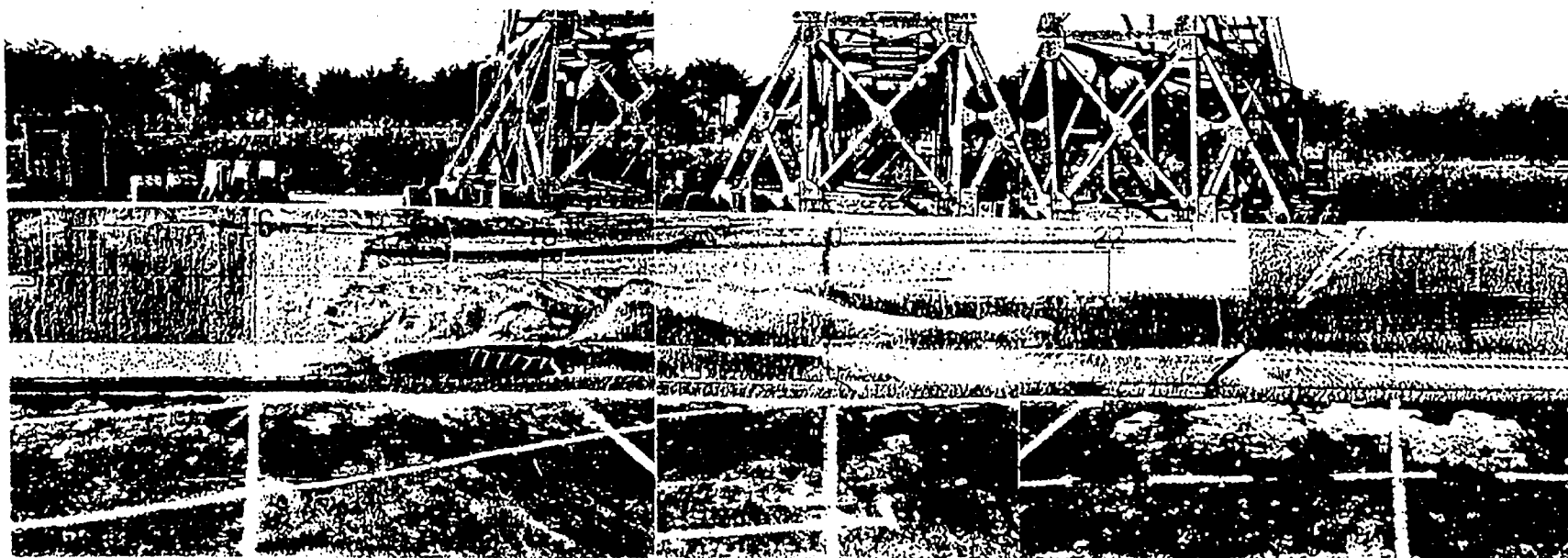
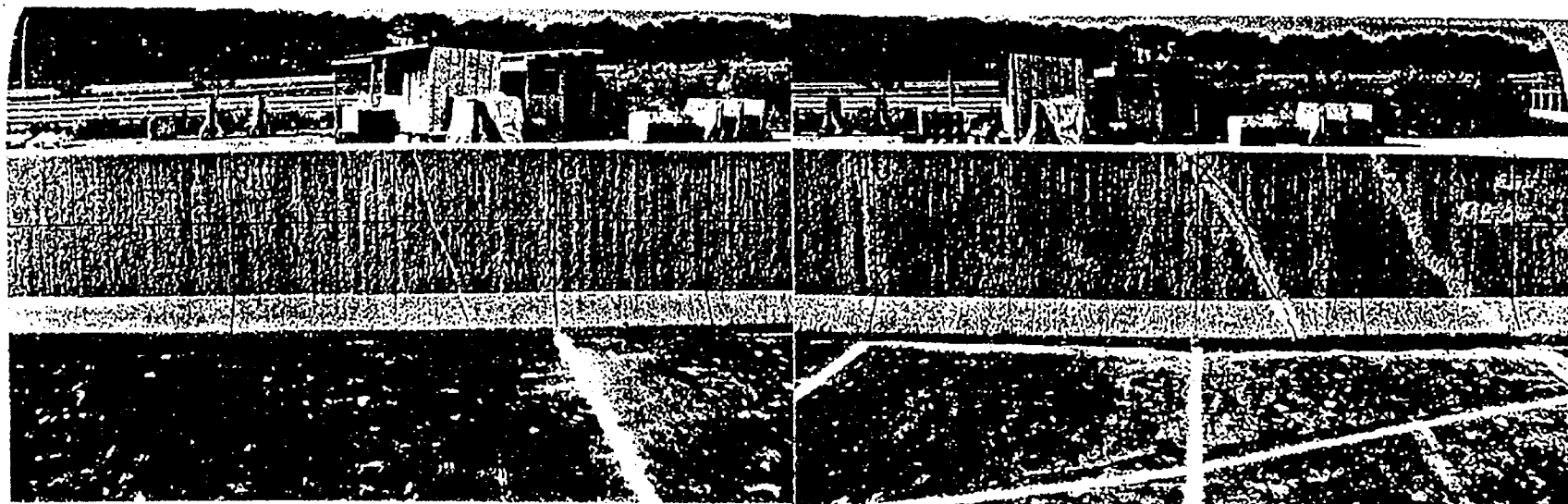




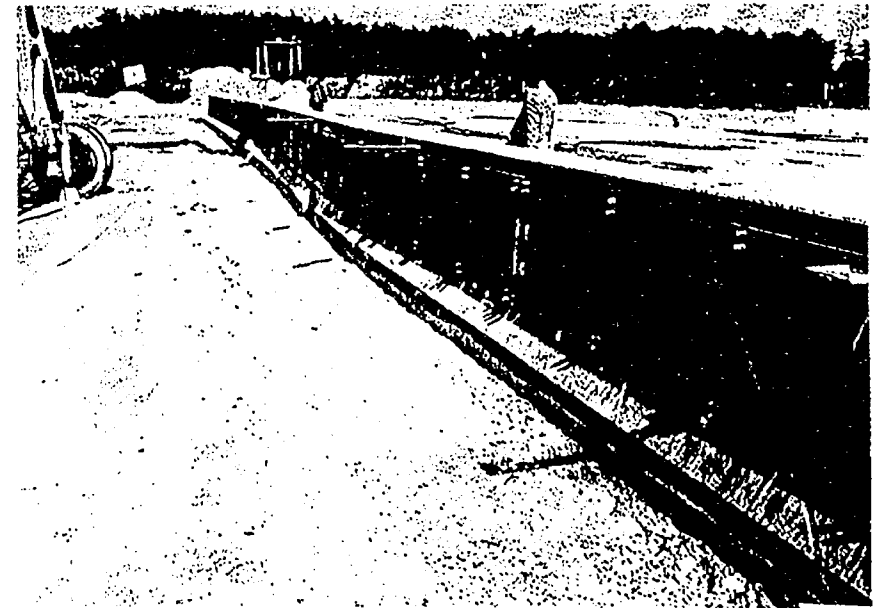
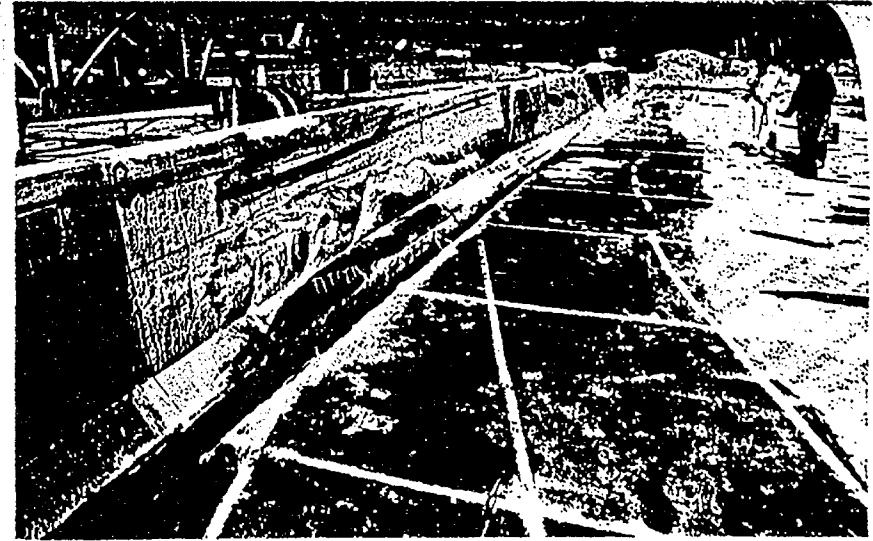
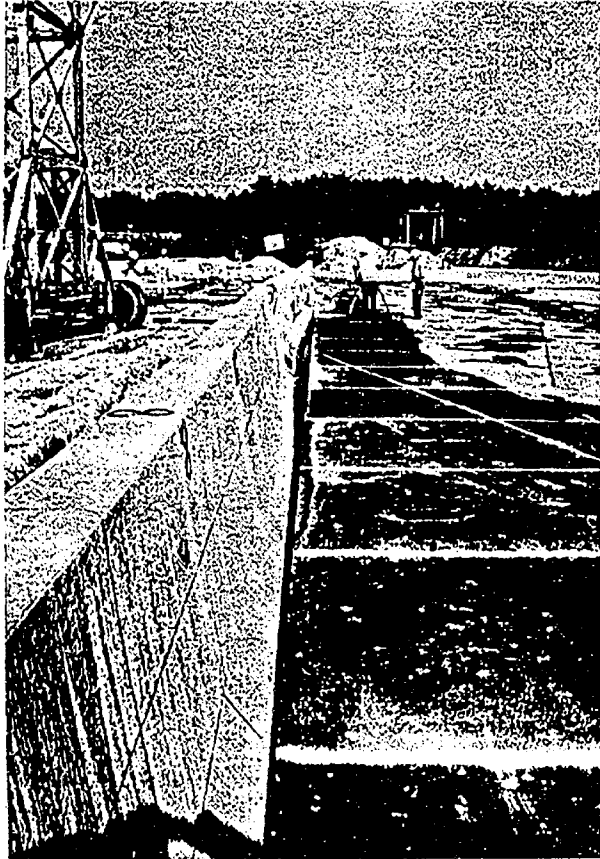
実験 No. 9 (接触状況)



実験 No. 9 (防護柵の損傷状況)



実験 No. 9 (防護柵の損傷状況)



実験 No. 9 (車両の損傷状況)

