

マイクロフィルム用資料

アルミニウム合金製橋梁用車両防護柵の 設計手法に関する共同研究報告書

平成11年8月

建設省土木研究所
道路部交通安全研究室

社団法人軽金属協会
土木製品開発委員会
(現社団法人日本アルミニウム協会)

Copyright © (1999) 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。

アルミニウム合金製橋梁用車両防護柵の 設計手法に関する共同研究報告書

建設省土木研究所道路部交通安全研究室
社団法人軽金属協会土木製品開発委員会
(現社団法人日本アルミニウム協会)

要旨

本報告書は、橋梁に設置される車両用防護柵である橋梁用ビーム型防護柵について、アルミニウム合金製橋梁用車両防護柵の設計手法に関する共同研究において得られた成果をとりまとめるとともに、新たな橋梁用ビーム型防護柵の設計手法を提案し、併せて、代表的な強度におけるアルミニウム合金製橋梁用ビーム型防護柵の構造を提示したものである。

キーワード：アルミニウム合金、橋梁用ビーム型防護柵、設計手法、実車実験

研究者リスト

建設省土木研究所道路部交通安全研究室

室 長 三橋勝彦、濱田俊一*¹、瀬尾卓也*²
主任研究員 安藤和彦

社団法人軽金属協会（現社団法人日本アルミニウム協会）

土木製品開発委員会

委 員 長 江波戸紘一、松岡 建*³
副 委 員 長 弘永真人
技術部会長 三上 聡
副 部 会 長 若林良樹
顧 問 島津清修
委 員 土屋誠一、北沢 勝、二口啓志郎、山下清文、
木内眞也、行事英雄、母里靖夫、吉井季孝、
井爪 聡、小名木幹雄、石田辰美、大島 勤、
田町欣也、斉藤幸広、奈良 保、渡辺康晴、
吉田善博、浜井嗣郎、加藤仁丸、広瀬昭雄、
飛倉弘一、平野哲男、高島勝利、遠藤 修、
山岸幸男、岡本文孝、御厨雅実、岩瀬喜一郎、
菅野康範、高堂 治、野田静夫、奥田 裕、
妙島真雄、泉田隆文

技術開発部次長 佐々木侑健

* 1 : 現 建設省土木研究所道路部道路研究室長

* 2 : 現 建設省中国地方建設局広島国道工事事務所長

* 3 : 前 委員長

まえがき

道路橋に設置される車両用防護柵は、従来、防護柵設置要綱および防護柵設置要綱・資料集を技術基準として設計施工が行われてきた。しかし、平成5年の車両制限令の改正（車両最大重量25トンへの重量引き上げ）等にみられるような車両の大型化や、第二東名神にみられるような高規格道路の整備の進展等、交通情勢の変化が著しく、これまでより高い強度を有する橋梁用防護柵が求められるようになってきた。このため、昨年末に防護柵に関する基準が昨年改定され、防護柵設置基準（建設省道路局長通達、平成10年11月5日）として道路管理者に通知された。

本研究は、防護柵設置基準の改定に資するため、25トン車が高速度で衝突するような厳しい条件を含め、橋梁に設置する車両防護柵の設計方法を再検討するとともに、高強度型防護柵の代表的な構造を提案するため、土木研究所および社団法人軽金属協会の共同研究として平成8年度に実施したものである。共同研究は単年度で終了したが、その後、防護柵基準の改定に向けた研究成果の整理作業などが継続して行われた関係から、最終的な報告書の発刊は今年度となった。

本研究結果から、新たな橋梁用車両防護柵の設計の考え方や高強度型防護柵の構造を明らかにし、防護柵設置基準に取り入れることができた。

今後は、新たな基準に基づき、よりよい橋梁用車両防護柵の設計施工が行われることを期待する。

建設省土木研究所道路部
交通安全研究室
室長 三橋 勝彦

目次

まえがき

研究者リスト

1. 研究の背景	1
1. 1 これまでの橋梁用車両防護柵設計	1
1. 2 三次元衝突シミュレーション	4
1. 2. 1 三次元シミュレーションプログラムの概要	4
1. 2. 2 三次元衝突シミュレーションの精度	5
2. 研究概要	7
2. 1 研究目的	7
2. 2 研究方法	7
3. 実験条件	8
3. 1 衝突条件の設定	8
3. 2 供試体構造の選定	10
3. 3 シミュレーション解析	12
3. 3. 1 実験N O 1	13
3. 3. 2 実験N O 2	14
3. 3. 3 実験N O 3	15
4. 衝突実験	16
4. 1 実験概要	16
4. 1. 1 衝突条件	16
4. 1. 2 実験施設	16
4. 1. 3 供試体設置状況	17
4. 1. 4 実験車両	25
4. 2 計測内容	26
4. 2. 1 測定項目	26
4. 2. 2 測定方法	27
4. 2. 3 計測器取り付け位置と計測システム	35
4. 3 実験結果	39
4. 3. 1 実験結果総括	39
4. 3. 2 車両の挙動、損傷	41
4. 3. 3 防護柵の挙動、損傷	43
4. 3. 4 地覆、張り出し床版の挙動、損傷	46
4. 4 考察	52
4. 4. 1 評価基準と判定結果	52
4. 4. 2 防護柵の機能および強度	58
4. 4. 3 地覆、張り出し床版の挙動、損傷	68
4. 4. 4 支柱の水平力を直接および間接的に求めた値との相関性	73
4. 4. 5 支柱定着部の検討	74

4. 5	結論	7 6
4. 5. 1	防護柵の機能および強度	7 6
4. 5. 2	地覆、張り出し床版の強度、損傷	7 7
4. 5. 3	三次元シミュレーションの精度と実用性	7 8
5.	設計手法の検討	8 0
5. 1	設計手法に関する考え方	8 0
5. 2	部材選定グラフ	8 0
5. 2. 1	実車衝突実験と衝突シミュレーションとの比較	8 0
5. 2. 2	部材選定基礎グラフ	8 2
5. 2. 3	部材選定基礎グラフと実験供試体	8 4
5. 2. 4	部材選定グラフ	8 5
5. 3	静荷重試験	8 7
5. 3. 1	支柱	8 7
5. 3. 2	横梁	8 8
5. 4	設計諸元	8 9
5. 5	継手部の引張力（軸力）	8 9
5. 6	防護柵の高さと横梁の配置	9 0
5. 7	定着部	9 2
6.	新たな設計方法の提案	9 5
6. 1	設計の考え方と諸条件の設定	9 5
6. 2	設計の流れ	9 5
6. 3	構造設計	9 6
6. 3. 1	形状・寸法の設計	9 6
6. 3. 2	支持構造の設計	1 0 2
6. 4	設計計算例	1 0 8
6. 4. 1	種別 S B 橋梁用ビーム型防護柵	1 0 8
6. 4. 2	種別 S C 橋梁用ビーム型防護柵	1 2 4
6. 4. 3	床版に与える影響	1 2 7
6. 4. 4	歩車道境界の連続基礎	1 3 1
6. 5	標準構造の提案	1 3 5
6. 5. 1	標準構造図の見方	1 3 5
6. 5. 2	標準構造	1 3 7

あとがき

参考文献

参考資料：実車衝突実験データ集

1. 研究の背景

橋梁用ビーム型車両防護柵（以下防護柵という。）は、従来防護柵設置要綱・資料集（以下「要綱・資料集」という。）により設計されてきたが、防護柵に対する実車衝突実験結果や実際の事故状況からみて、「要綱・資料集」の設計計算によって求められる構造は、計算上よりかなり余裕を持った実強度を有することが知られていた。これは、「要綱・資料集」の設計の基本となっている防護柵衝突シミュレーションプログラム（以下旧プログラムという。）による防護柵変形の予測量が、実際の衝突状況より大きな値として計算されるためである。この原因としては、旧プログラムが二次元シミュレーションであり高さ方向の要因が含まれていないこと、また、車両モデルが単純化されたものであることなどが考えられる。

これまでは、防護柵を橋梁に設置しても橋梁本体に与える影響は大きなものではなかったが、今後、「要綱・資料集」に基づきさらに高い強度の防護柵を設計すると、実際に必要とする強度より過大な構造となり、橋梁に与える衝撃が著しく大きく、設計が不経済になることが予想される。このため、さらに適切かつ合理的な設計を行う設計体系の再構築が必要となっている。

設計手法の再構築を行う場合、旧プログラムを元にしての衝突シミュレーションを改良することが不可欠である。幸い、本研究に先立ち（社）軽金属協会により高い再現精度を有する三次元衝突シミュレーションプログラムが開発されている。そこで、この三次元衝突シミュレーションプログラムを今後の防護柵設計に活用することで、さらに合理的な防護柵設計を行うものとした。

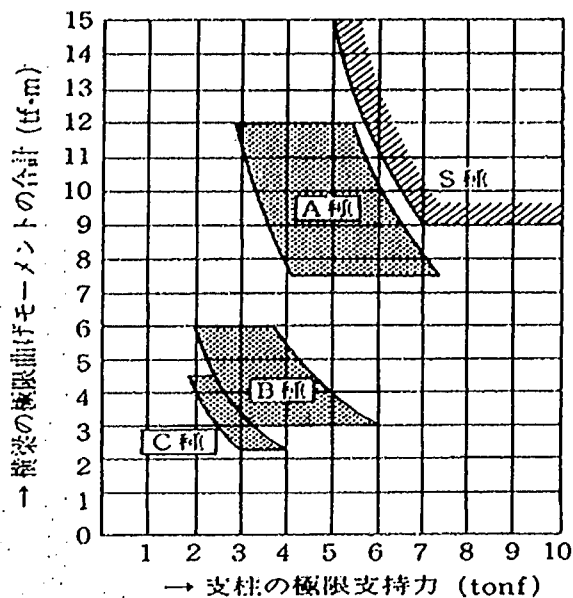
1. 1 これまでの橋梁用車両防護柵設計

これまでの防護柵は、A種、B種、C種については「要綱・資料集」により、またS種については「アルミニウム合金製高強度型防護柵の開発に関する共同報告書」¹⁾あるいは「鋼製高欄型S種防護柵の開発に関する共同研究報告書」²⁾により設計されてきた。

設計手法の中の中核をなすものが、旧プログラムを用いて作成された部材選定グラフである。

防護柵の強度を決定する主要部材である支柱および横梁について、それぞれ極限支持力、極限曲げモーメントを静的実験で把握し、図に示された部材選定域内の組み合わせを行えば防護柵性能を満足するとされている。

図1. 1に「要綱・資料集」によるA, B, C, S種の部材選定グラフを示す。



注：支柱間隔は、S種 1.5m 以下，A,B,C種 2m 以下とする。

SI 単位への変換 曲げモーメント $\text{kN} \cdot \text{m} = 9.80665 \text{ tf} \cdot \text{m}$

支持力 $\text{kN} = 9.80665 \text{ tonf}$

図 1. 1 支柱と横梁の部材選定グラフ（「要綱・資料集」）

防護柵の設計は、防護柵の最大変形量を強度の指標として行っている。同一の衝突条件で設計した場合、一般に強度が高いものほど最大変形量は小さくなる。

表 1. 1 に、旧プログラムによるシミュレーション結果と図 1. 2 の供試体を用いた実車衝突実験結果との比較を示す。表によれば、シミュレーションによる防護柵の変形量は実車実験値の 2. 2 ～ 4. 1 倍と、実際より過大に見込まれていることがわかる。従って、シミュレーションによって設計された防護柵は、実際はかなり高い強度を有することになる。

表 1. 1 旧プログラムによる値と実車実験値の最大変形量の比較

項 目 種	形 式	最大変形量 (c m)		
		シミュレーション 値	実車実験値	シミュレーショ ン
A	オ-ハ-ルビ-ム	16.0	7.2	2.2
	ホ-ックスビ-ム	13.9	5.0	2.8
B	ハ-イプビ-ム	18.7	6.5	2.9
	ホ-ックスビ-ム	41.4	10.0	4.1
	ホ-ックスビ-ム	28.0	8.7	3.2

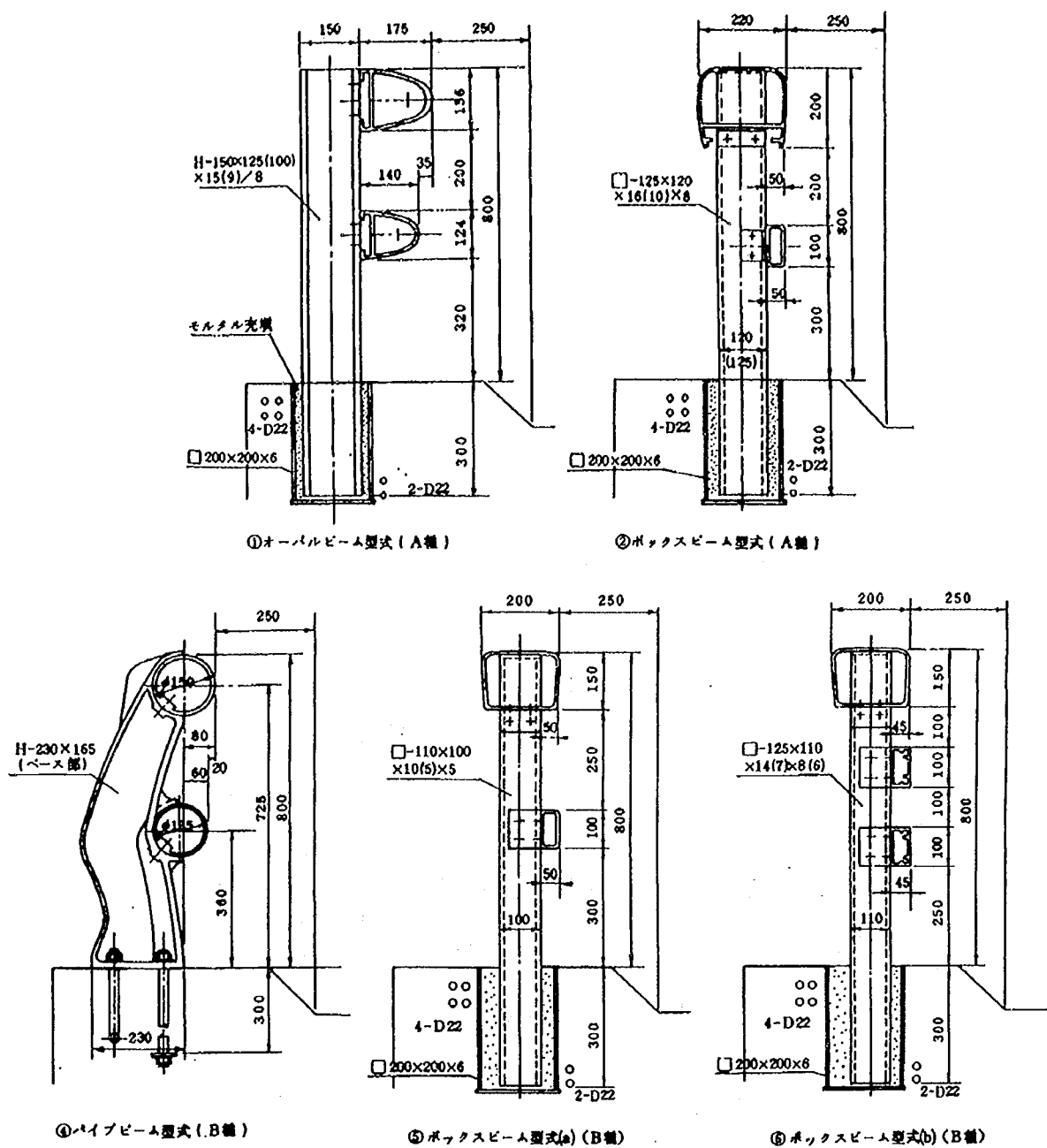


図 1. 2 昭和 55 年 実車衝突実験供試体 (単位: mm)

1. 2 三次元衝突シミュレーション

1. 2. 1 三次元衝突シミュレーションプログラムの概要

新しい三次元衝突シミュレーションプログラムはTNO (TNO Road Vehicles Research Institute) が開発した機構解析コードであるMADYMO (MATHematical DYnamic Model) を用いたものであり、防護柵の強度検証のため、車両の変形特性やサスペンションを考慮したトラックモデルと防護柵モデルを組み合わせた三次元の防護柵衝突シミュレーションプログラム（以下新プログラムという。）として開発したものである。また、乗員の安全性検証のために、小型乗用車の車両重心加速度についてシミュレートすることも考慮した。

新プログラムは（社）軽金属協会が（財）日本自動車研究所に委託し開発したものであり、開発に用いたデータは、土木研究所と（社）軽金属協会との共同研究として過去に実施した研究成果を基にしている。新プログラムの開発には平成6年に着手し、平成8年に完成した。

図1. 3、図1. 4に車両及び防護柵のモデルを示す。

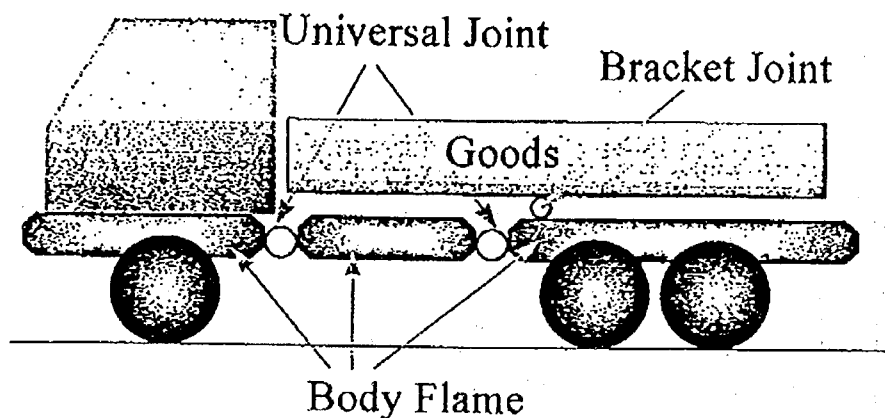


図1. 3 車両モデル（乗用車モデル）

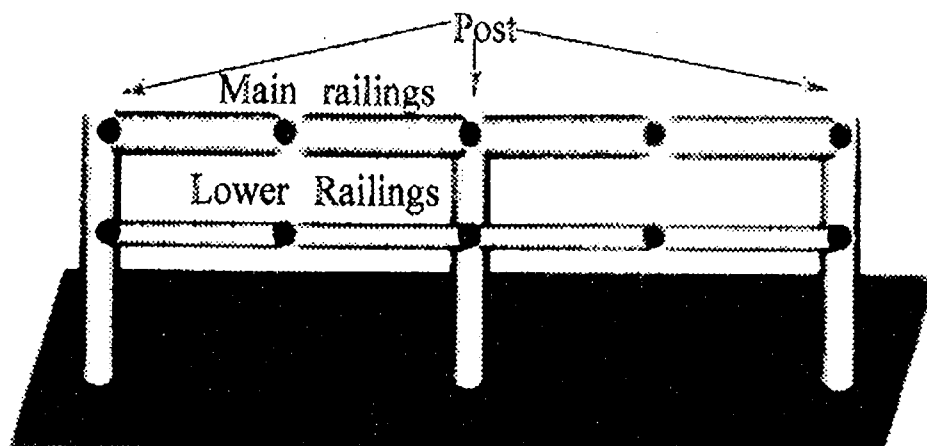


図1. 4 防護柵モデル

1. 2. 2 三次元衝突シミュレーションの精度

新プログラムにより、平成2年に土木研究所で実施したS種のアルミニウム合金製車両防護柵を対象にしたシミュレーション結果を示す。なお「要綱・資料集」によるS種の供試体は図1. 5のとおりである。図1. 6が防護柵衝突後の総重量14トントラックの挙動を推定したものであり、その際の防護柵の最大変位位置と変位量を図1. 7に、衝突後の防護柵支柱の変位状況を図1. 8に示す。

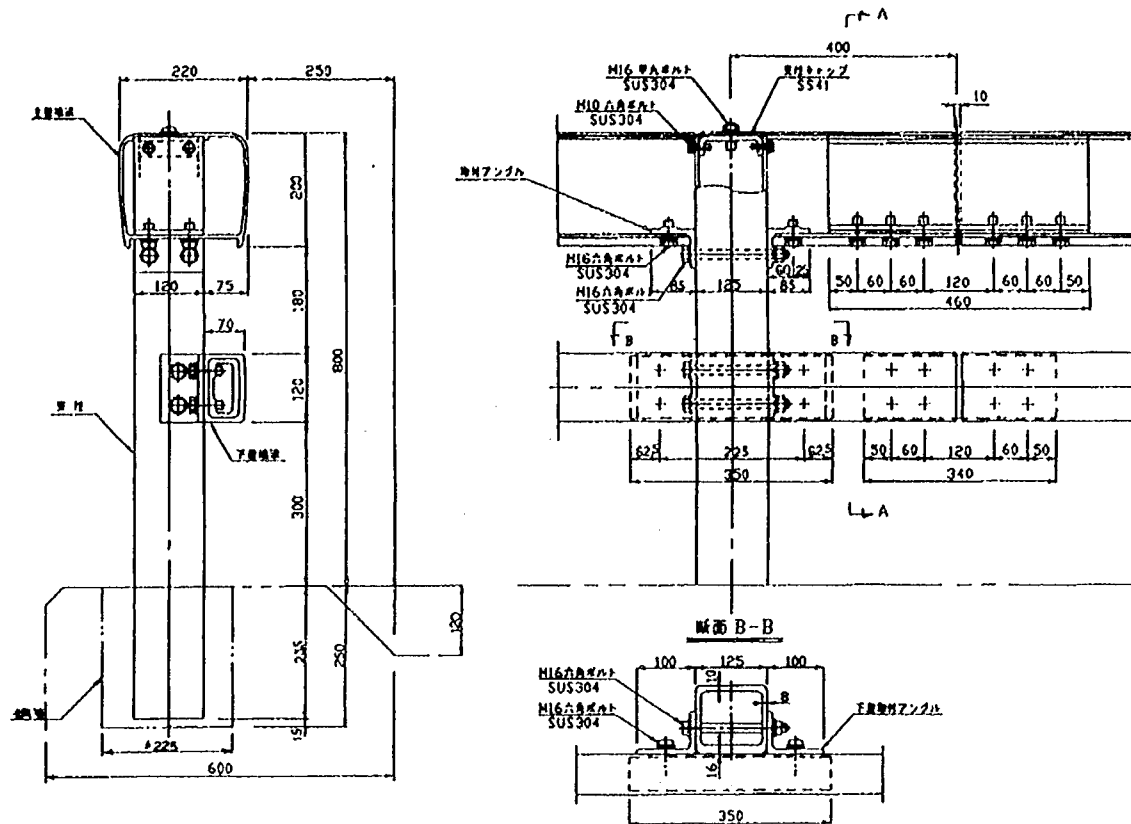


図1. 5 S種防護柵実車衝突実験供試体（単位：mm）

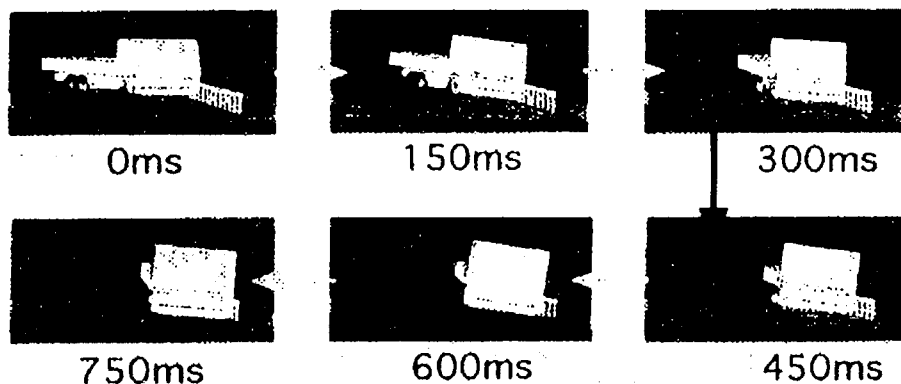


図1. 6 S種防護柵に衝突した際の14トントラックの挙動

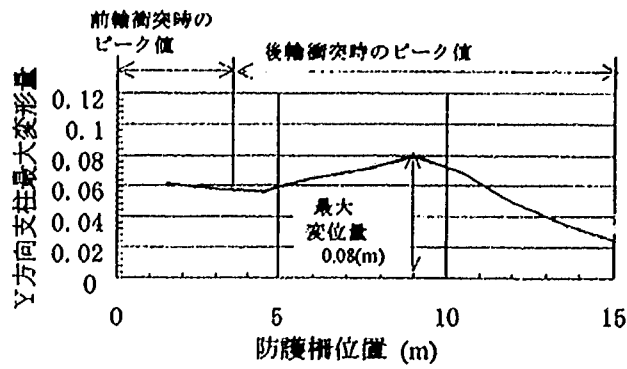


図 1. 7 防護柵最大変位量（シミュレーション結果）

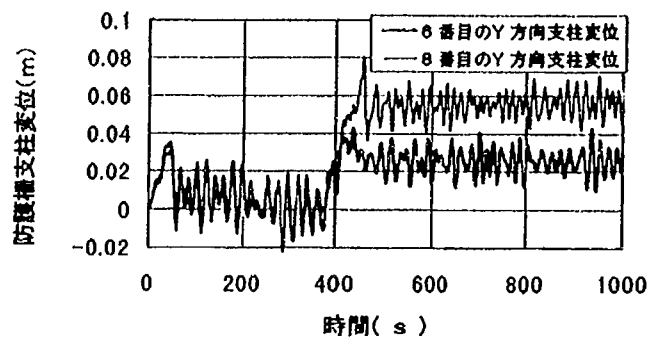


図 1. 8 衝突時における防護柵変位量（シミュレーション結果）

表 1. 2 は旧プログラム、新プログラムのシミュレーション結果及び実車衝突実験の結果を、防護柵の強度を評価する指標となる支柱の変位量に注目し、比較したものである。

これによると、旧プログラムに比べて新プログラムのシミュレーション結果が実験値に近く、変形量の予測精度が高いことがわかる。

表 1. 2 シミュレーション結果と実車実験結果との比較

項目 \ 変位	支柱の最大変位 mm	支柱の残留変位 mm
旧プログラム	272	—
新プログラム	80	55
実車衝突実験	48	20

2 研究概要

2. 1 研究目的

本研究は、前節の研究背景を踏まえ、アルミニウム合金製車両用防護柵について、「要綱・資料集」に示される種別を超える高い強度の橋梁用車両防護柵を含め、防護柵の合理的設計を行うため、従来の設計方法を再検討し、設計方法を再構築することを目的として実施した。さらに、再構築された設計方法を基に、高強度型の橋梁用車両防護柵の構造を検討し、代表構造を提案するものとした。

2. 2 研究方法

研究手順は以下のとおりとした。

- 1) これまでの設計方法の問題点を整理し、新たな設計方法を基礎検討する。
- 2) 検討された設計方法を基に、種々の衝突条件に対応した橋梁用車両防護柵構造を把握する。
- 3) 実車衝突実験により、防護柵の機能と新プログラムの精度を検証する。
- 4) 実車衝突実験結果を基に、新たな設計方法を再検討し、今後の設計方法として提案する。
- 5) 提案された設計方法を基に、高強度型橋梁用車両防護柵の代表構造を把握する。

3. 実験条件

新プログラムのシミュレーション精度を検証するとともに、新たな防護柵設計方法を検討するための基礎データを収集する目的で、4回の実車衝突実験を実施した。

3. 1 衝突条件の設定

衝突条件は高衝撃度、中衝撃度、低衝撃度から選定し、設計体系を確立するためのデータを得やすくするように配慮した。また、乗員の安全性を確認するため、乗用車の衝突条件も加えた。以下に選定の趣旨を述べる。

1) 衝撃度の設定（衝突条件は表 3. 1 参照）

実験 No 1 および実験 No 2

わが国の防護柵の現状や諸外国の状況等を踏まえ、一般的な強度として衝撃度 98～200kJ（10～20tf・m）程度の衝撃度を想定した。

実験 No 3

乗員の安全性評価のため、小型車による衝突を条件とし、防護柵自体の強度は実験 No 4 の条件によるものとした。

実験 No 4

衝突条件の厳しい状況として大型車が高速で衝突する衝撃度約 390kJ（40tf・m）を想定した。

2) 対象車両の選定

衝突対象車両は、以下の条件により設定した。

実験 No 1 および実験 No 2

車両重量分布で車両保有台数の 98%を占める普通自動車（道路交通法）を対象とするものとし、このうち普通自動車の最大総重量 8 トンを有する車両を適用した。

実験 No 3

乗員の安全性評価に一般的に用いられる車両として、最も保有台数が多く車両重量の軽い 1 トン車を用いるものとした。

実験 No 4

車両制限令で定められている最大重量である 2.5 トン車を想定した。

ただし、実験では衝突実験施設の牽引能力の制限から 2.0 トン車を用い、衝突速度を引き上げることで衝撃度等価とした。

3) 衝突速度の選定

実験 No 1

一般道路に適用する防護柵として最も高い規格である設計速度 80km/h を想定した。

「要綱・資料集」では、車両の走行速度は道路設計速度の 8 割であり、かつ衝突速度はブレーキングにより走行速度の 8 割に低下するものとしているが、近年の車両の高速化、あるいは車両性能の向上に鑑み、走行速度は設計速度に等しいものとし、またブレーキングは「要綱・資料集」同様に 8 割に低減するものとした。

従って、衝突速度は $80\text{km/h} \times 0.8 \approx 65\text{km/h}$ とした。

実験 No 2、実験 No 3

高速道路に適用する防護柵として最も高い規格である設計速度 120km/h を想定し、衝突速度は $120\text{km/h} \times 0.8 = 100\text{km/h}$ とした。

実験 No 4

想定される最大の衝撃度に対応する防護柵として、大型車の走行性能を考慮し、最大積載時の走行速度を最高 100km/h と見込んで、衝突速度は $100\text{km/h} \times 0.8 = 80\text{km/h}$ とした。

ただし、車両重量が 20 トンになる関係で、衝撃度等価とする点から実験では 90km/h を衝突速度とした。

4) 衝突角度の選定

衝突角度は、一般的な衝突角度として「要綱・資料集」に準拠し 15 度とした。

以上の実験条件をまとめたものが表 3. 1 である。なお、No 4 の実験については車両牽引装置の最大牽引重量が 20 トンであるため、衝撃度等価となる条件として、上段の衝突条件を下段の [] 内の衝突条件に置き換えて行うこととした。

表 3. 1 実験条件

実験番号	防護柵の形式と種別	衝突車両	車両質量 トン	衝突速度 km/h	衝突角度 度	衝撃度 kJ
No1	丸ビーム 90kJ 対応型 (Gp-8.9 型)	中 型 貨物車	8	65	15	87(8.9)
No2	角ビーム 210kJ 対応型 (Gb-21 型)	中 型 貨物車	8	100	15	210(21.1)
No3	角ビーム 420kJ 対応型 (Gb-42 型)	小 型 乗用車	1	100	15	25(2.6)
No4		大 型 貨物車	25 [20]	80 [90]	15	410(42.2) [420](42.7)

衝撃度 () 内は $\text{tf} \cdot \text{m}$

3. 2 供試体構造の選定

車両防護柵には、横梁の形状により角ビームタイプと丸ビームタイプがあり、支柱と横梁を主要強度部材として構成される。横梁は主として大型車の衝突に抵抗する主要横梁と、防護柵が変形した時に、車両が支柱に直接衝突するのを防ぎ、かつ乗用車の衝突に抵抗する下段横梁との2本以上で構成される。(図3. 1 参照)

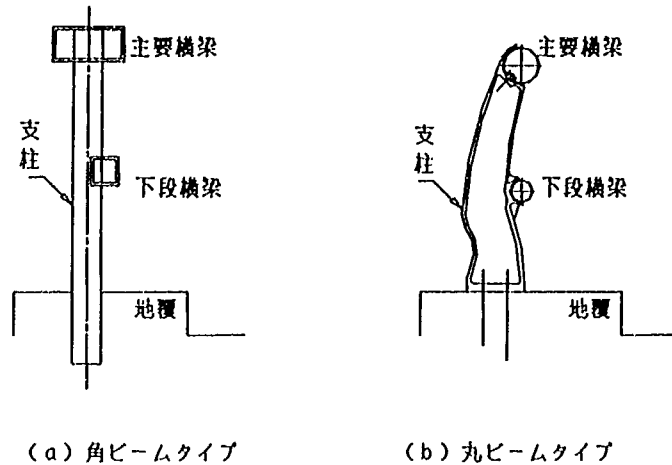


図3. 1 車両防護柵の構造

今回の実車衝突実験の供試体として、衝撃度の低い実験N o 1では、成形が自由に行えデザイン性に優れることから最も一般的に利用されている構造であるアルミニウム合金鋳物製支柱を用い、ビームは丸ビームタイプを用いた。地覆への設置はアンカーボルト型式とした。

また、衝撃度が中程度の実験N o 2、および高衝撃度の実験N o 4に対しては、強度を高く設定でき、かつ最も汎用性のある角ビームタイプとし、地覆への設置は埋め込み型式とした。

実験N o 3は乗員の安全性を確認するものであり、実験N o 4の供試体をそのまま転用することとした。

横梁の本数は衝突車両挙動への影響および横梁の最小強度確認のため、N o 1、N o 3、N o 4の実験供試体は主要横梁1本、下段横梁2本の3本レールタイプとし、N o 2実験供試体は、各々1本ずつの2本レールタイプとした。

なお、供試体の形状と衝撃度からN o 1供試体をG p - 8. 9型、N o 2供試体をG b - 2 1型、N o 4 (N o 3) 供試体をG b - 4 2型と称することとする。図3. 2に各供試体の構造を示す。

単位 (mm)

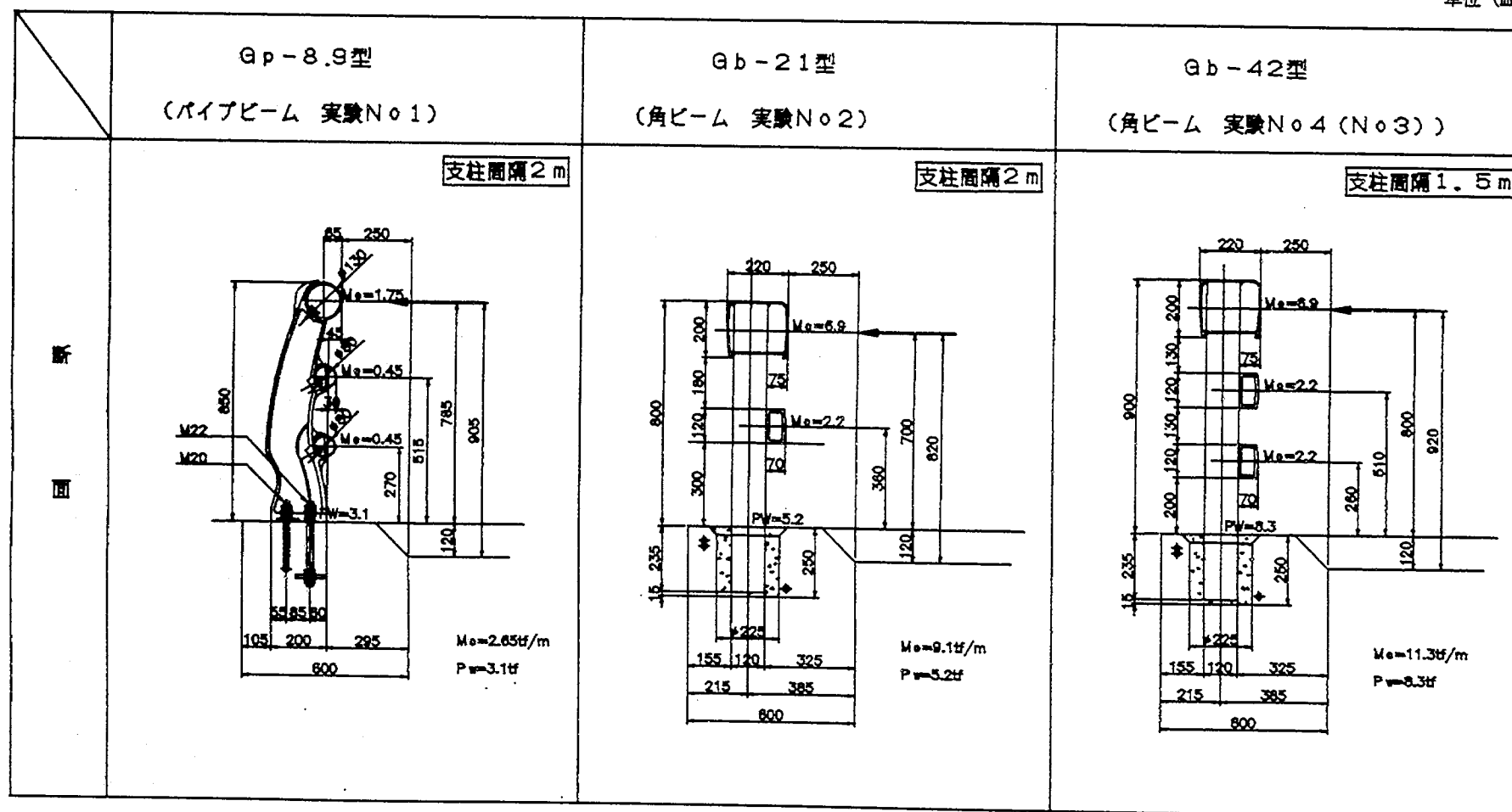


図 3. 2 実車実験供試体

3. 3 シミュレーション解析

各衝突実験について新プログラムにより行ったシミュレーション解析結果を表3. 3, 表3. 4に示す。

なお、防護柵の機能を評価する判定基準を設け、シミュレーションにおいて防護柵機能を満足する性能を有しているかを併せて把握した。ここで、判定基準は以下のとおりとした。

1) 車両8トン、25トン対象の場合（主に防護柵の強度の検証）

イ) 最大変位量は従来の規定を踏襲し、300mm以下とした。

変形量300mmは「要綱・資料集」に準拠した数値であり、橋梁・高架上に設置される場合の防護柵変形量の制限、橋梁用車両防護柵の変形性能からみた機能保証の限界として定められているものであり、一般的には変形量が300mmを超えるような大変形になると、車両の転落が発生する危険性が高くなると考えられる。

ロ) 車両の挙動は転倒・乗り越えがなく、スムーズに移動することを判定基準とした。

2) 車両1トンの場合（主に乗員の安全性の検証）

イ) 加速度は車両の重心の位置で10ms移動平均値を 200m/s^2 (20g)以下とした。

ロ) 車両の挙動は転倒・乗り越えがなく、スムーズに移動することを判定基準とした。

シミュレーションの入力値を表3. 2に、またシミュレーション結果を表3. 3、図3. 3～3. 5に示す。

これらのシミュレーション結果によれば、最大変位量、加速度、車両の挙動について上記の判定項目総てを満足している。

表3. 3 新プログラムによるシミュレーション解析結果（大型車）

実験番号	供試体	実験条件	衝撃度 kJ	変位量 δ (mm)		10ms 平均加速度 m/s^2	離脱角度 度	車両の挙動
				最大	残留			
No1	Gp	8トン、65km/h 15度	87(8.9)	185	175	61(6.2)	4.4	OK
No2	Gd-21	8トン、 100km/h	210(21.1)	165	155	140(14.2)	3.1	OK
No4	Gb-42	20トン、 90km/h	410(42.2)	135	105	130(13.5)	4.2	OK
判定基準				300 以下	—	—	—	転倒・乗り越え無し スムーズな移動

衝撃度（ ）内は $\text{tf}\cdot\text{m}$ 、加速度（ ）内はg

表3. 4 新プログラムによるシミュレーション解析結果（小型車）

実験番号	供試体	実験条件	衝撃度 kJ	10ms 平均加速度 m/s^2	離脱角度 度	車両の挙動
No3	Gb-42	1トン、100km/h、15度	25(2.6)	180(18.6)	3.0	OK
判定基準				20以下	—	転倒・乗り越え無し スムーズな移動

衝撃度（ ）内は $\text{tf}\cdot\text{m}$ 、加速度（ ）内はg

3. 3. 1 実験No1 丸ビーム Gp-8. 9型

表3. 2 シミュレーションに用いた主なパラメータ

車両総質量		8 トン
衝突速度		65 km/h
衝突角度		15 度
衝突エネルギー		87 kJ (8.9tfm)
防護柵高さ	上段横梁	0.875 m
	下段横梁 1	0.515 m
	下段横梁 2	0.27 m
柵梁曲げモーメント	上段横梁	17 kN・m (1.75tfm)
	下段横梁 1	4.4 kN・m (0.45tfm)
	下段横梁 2	4.4 kN・m (0.45tfm)
支柱間隔		2.0 m
支柱の柵梁支持力		30 kN (3.1tf)

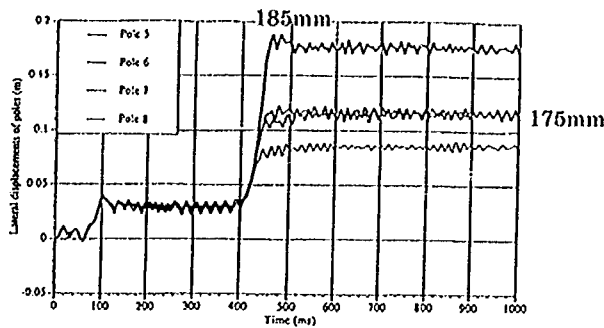


図3. 3 衝突時における防護柵の横変位

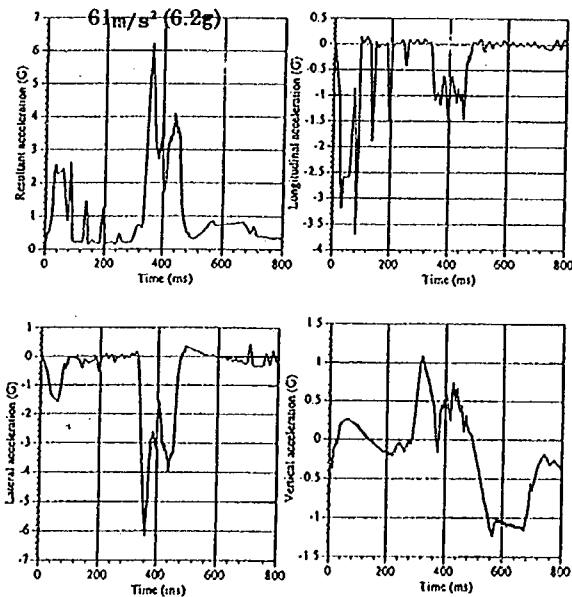
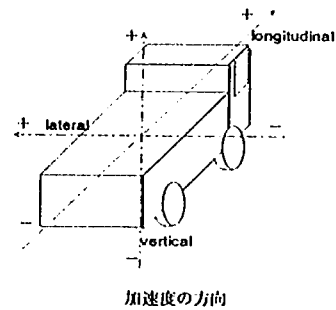


図3. 4 防護柵との衝突における車両重心点の加速度



加速度の方向

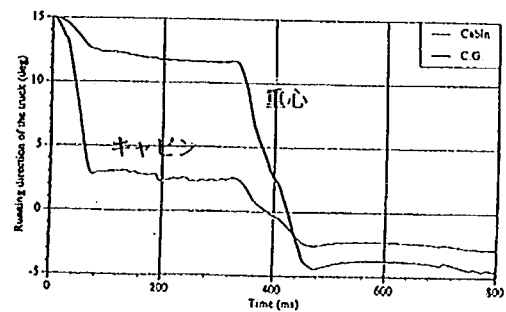


図3. 5 車両の進入・離脱角の変化

3. 3. 2 実験No2 角ビーム Gb-21型

表3. 5 シミュレーションに用いた主なパラメータ

車両総質量		8 トン
衝突速度		100 km/h
衝突角度		15 度
衝撃度		210kJ(21.2tfm)
防護柵高さ	上段横梁	0.7 m
	下段横梁 1	0.36 m
柵梁曲げモーメント	上段横梁	68 kN・m (6.9tfm)
	下段横梁 1	22 kN・m (2.2tfm)
支柱間隔		2.0 m
支柱の柵梁支持力		51 kN (5.2tf)

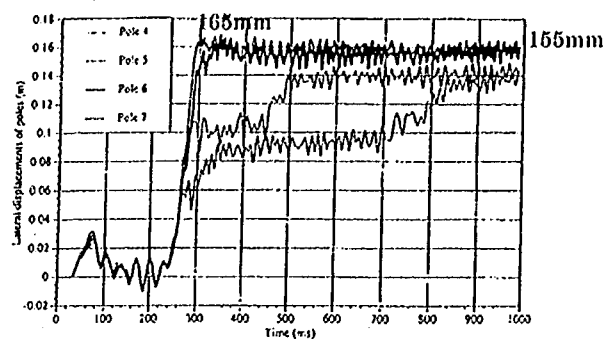


図3. 6 衝突時における防護柵の横変位

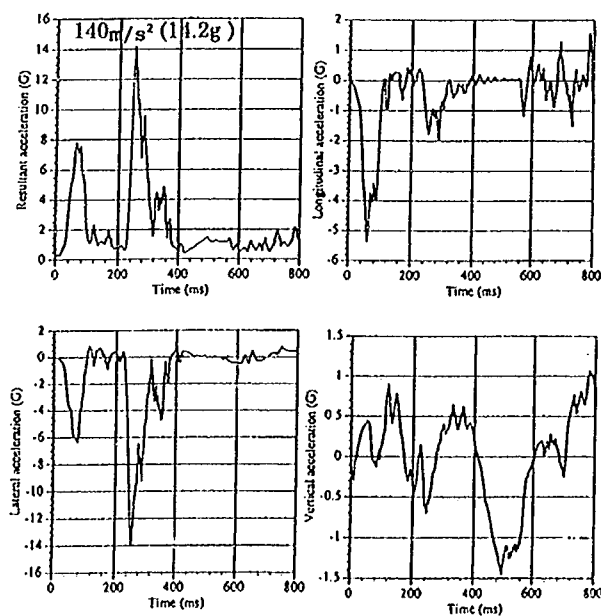
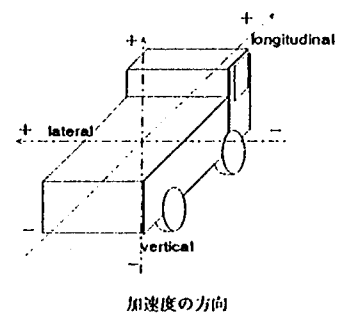


図3. 7 防護柵との衝突における車両重心点の加速度



加速度の方向

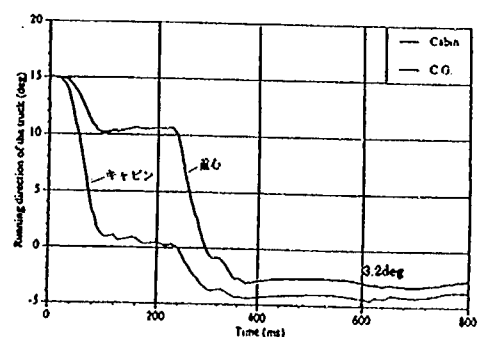


図3. 8 車両の進入・離脱角の変化

3. 3. 3 実験No 4 角ビーム Gb-42型

表 3. 6 シミュレーションに用いたパラメータ

車両総質量		20 トン
衝突速度		89.4 km/h
衝突角度		15 度
衝撃度		420kJ (42.2tfm)
防護柵高さ	上段横梁	0.8 m
	下段横梁 1	0.51 m
	下段横梁 2	0.26 m
柵曲げモーメント	上段横梁	68kN'm (6.9tfm)
	下段横梁 1	22kN'm (2.2tfm)
	下段横梁 2	22kN'm (2.2tfm)
支柱間隔		1.5 m
支柱の柵限支持力		81 kN (8.3tf)

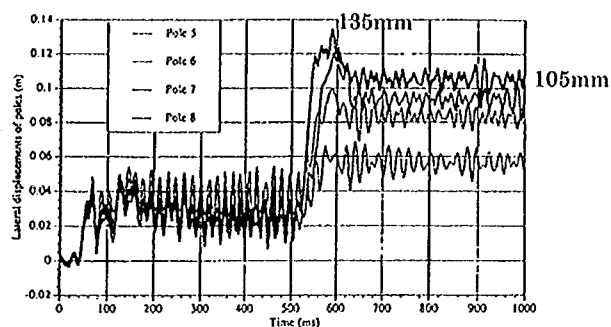


図 3. 9 衝突時における防護柵の横変位

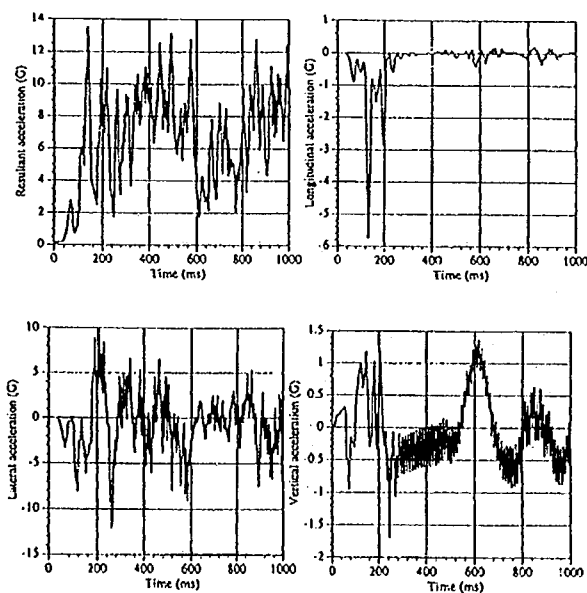


図 3. 10 防護柵との衝突における車両重心点の加速度

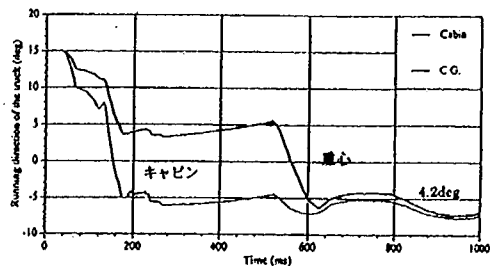
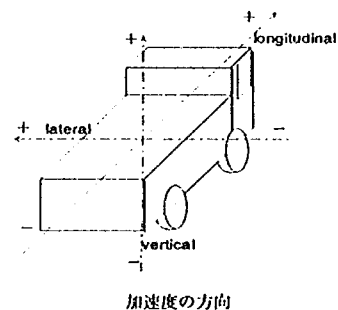


図 3. 11 車両の進入・離脱角の変化

4. 衝突実験

4. 1 実験概要

4. 1. 1 衝突条件

実車衝突実験は、シミュレーション解析の検証のため、計4回実施した。実験条件を下表に示す。

表4. 1 実験の種類と条件

実験番号	防護柵の形式と種別	衝突車両	車両質量 トン	衝突速度 km/h	衝突角度 度	衝撃度 kJ
1	パイプビーム90KJ対応型 (Gp-8.9型)	中 型 貨物車	8	65	15	87(8.9)
2	ボックスビーム210KJ対応型 (Gb-21型)	中 型 貨物車	8	100	15	210(21.1)
3	ボックスビーム410KJ対応型 (Gb-42型)	小 型 乗用車	1	100	15	25(2.6)
4		大 型 貨物車	25 ----- 20	80 ----- 90	15	410(42.4) ----- 420(42.7)

注) 実験条件における下段は、車両牽引装置の車両最大牽引重量が20トンであるため、
衝撃度(防護柵直角方向エネルギー)を等価とした時の実際の実験条件を示す。

衝撃度()内は tf・m

4. 1. 2 実験施設

実験は、土木研究所衝突実験施設において行った。

実験施設の施設状況を図4. 1に示す。

衝突車は、連結金具を介してワイヤーに接続され、巻き取り用電動機によってワイヤーを巻き取ることによって牽引加速される。車両は、設定した速度まで加速された後、所定の位置でワイヤーから切り離され、慣性によって供試体に進行し衝突する。

なお、この施設の最大牽引能力は乗用車(2トン)までであれば140km/h、大型車(20トン)であれば100km/hの速度まで加速することができ、速度の誤差は±1%である。

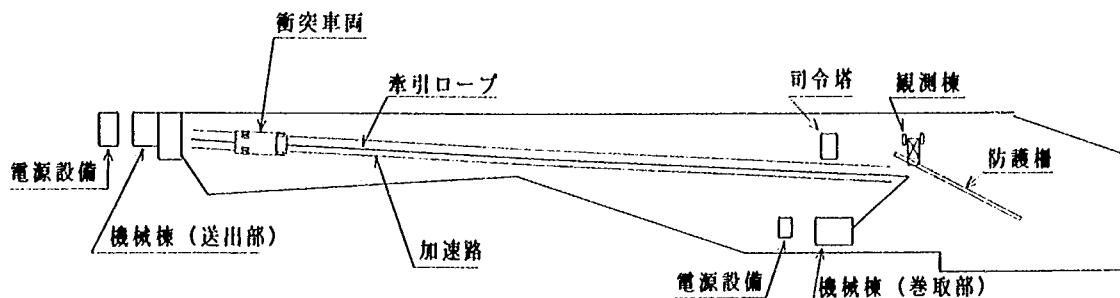


図4. 1 実験施設

4. 1. 3 供試体設置状況

供試体は、図4. 2に示す橋梁床版模型に設置した。

このとき、床版模型は建設省制定標準設計に基づく構造を採用した。ただし地覆は、地覆による車両挙動の変化や衝撃力の低減による防護柵変形量の減少を防ぎ、最も激しい衝突条件を再現するため地覆の立ち上がり面は斜めにすりつけ、また地覆高も車両の飛び上がりが発生しない高さとして12cmとした。

設置状況の例を図4. 3に示す。

床版への防護柵支柱の設置については、参考に示す研究結果に基づき、配筋としてU型筋による設置を行った。鉄筋の配筋状況を図4. 8に示す。さらに、床版製作時の使用材料の材料試験結果を表4. 3～4. 5に示す。

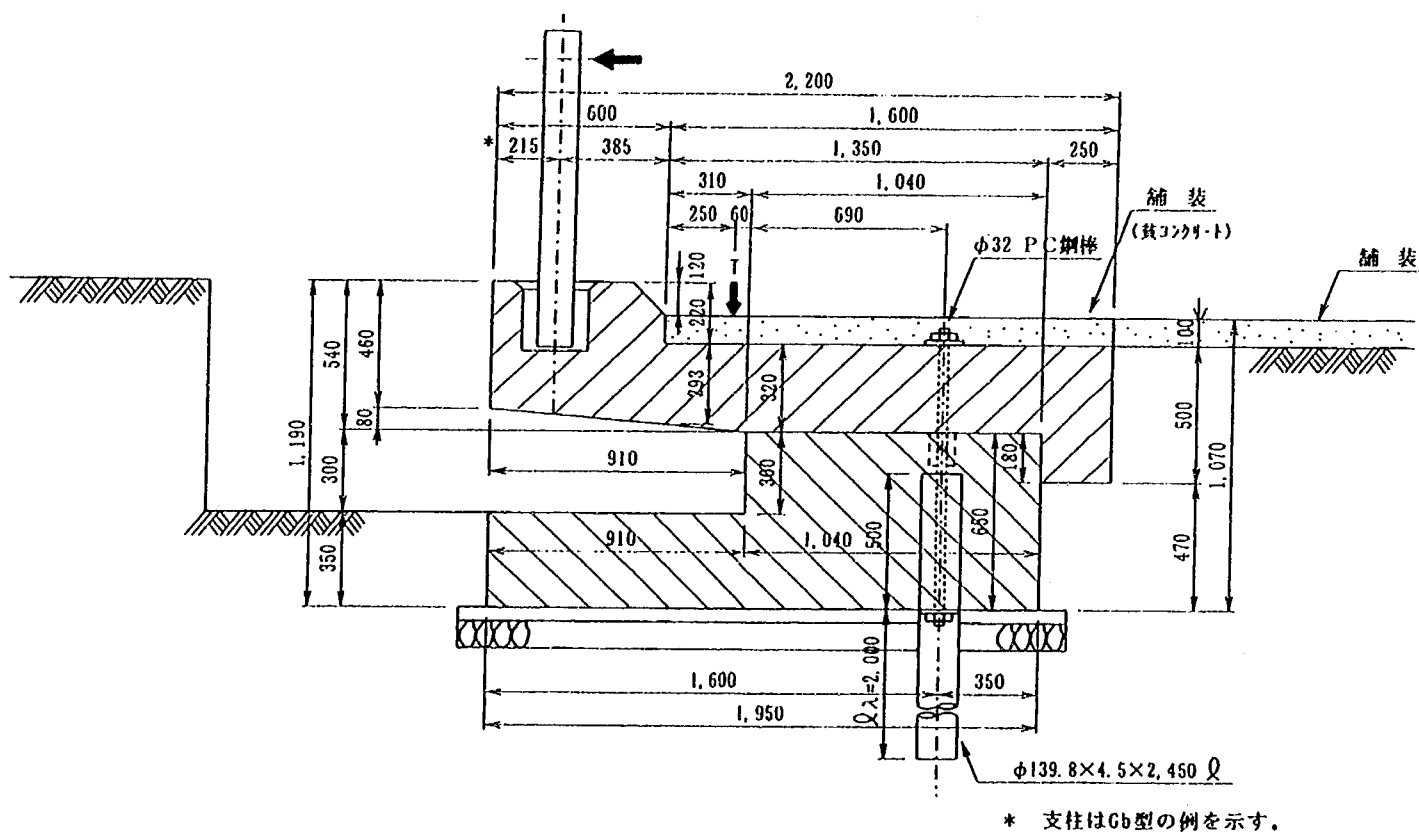


図4. 2 橋梁床板模型 (単位: mm)

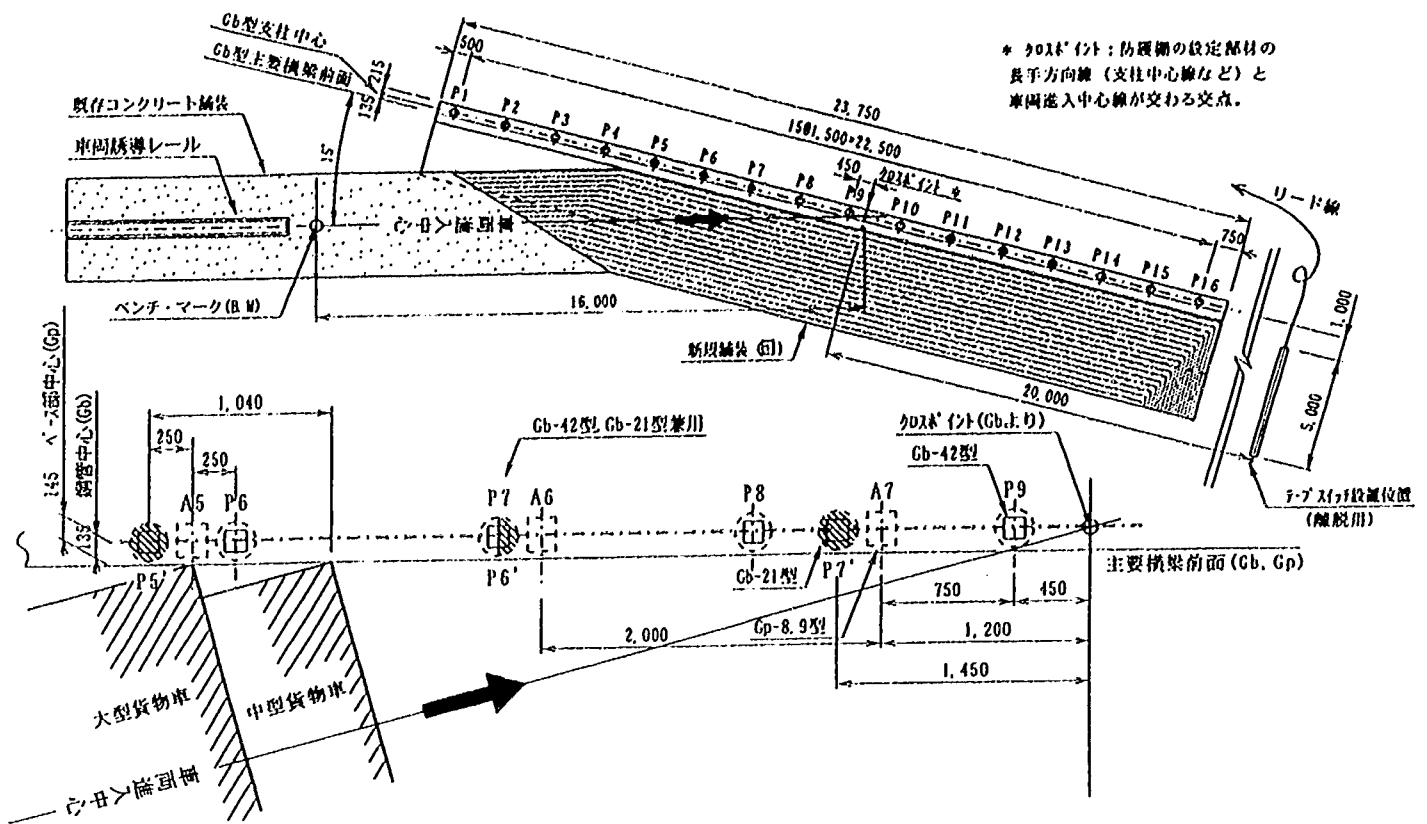
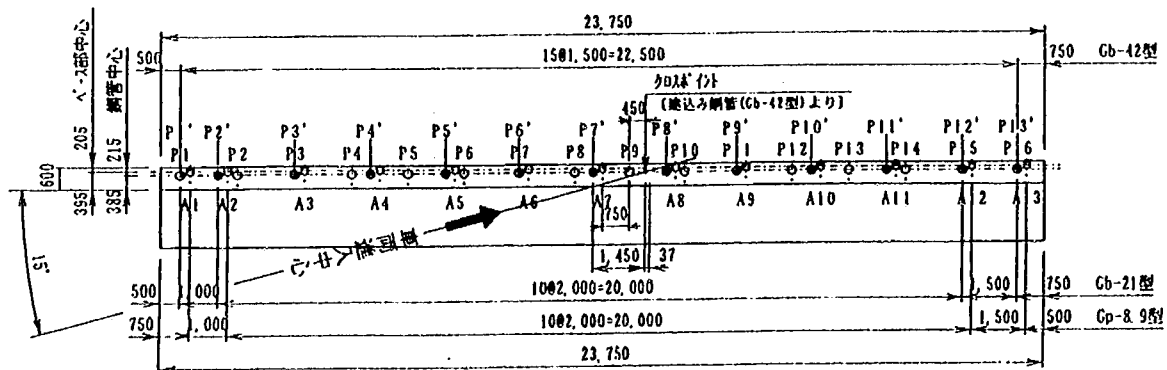


図4.3 防護柵配置図 (Gb-42型の例) および衝突地点詳細図 (単位: mm)

凡 例

- : Gb-42型 (P1~P16)
- : Gb-42型、Gb-21型兼用
- : Gb-21型 (P1'~P13')
- : Gp-8.9型 (A1~A13)



(注記) : クロス・イントの位置は過去に行われたアルミニウム合金製高強度型防護柵S種「クロス」-Aの実験と同じとした。
「アルミニウム合金製高強度型防護柵の開発に関する共同研究報告書」平成2年3月・建設省土木研究所 (社) 軽金属協会 参照

図4.4 防護柵支柱建込み位置 (単位: mm)

	実験3・4 G b - 4 2 型 (ボックスビーム420kJ対応型)	実験2 G b - 2 1 型 (ボックスビーム210kJ対応型)	実験1 G p - 8. 9 型 (パイプビーム 90kJ対応型)
断面			
構造特性	現行種別Sの防護柵に下段横梁を一本追加した。 全 長 : 23.3m 支柱間隔 : 1.5m	支柱が現行A種で、他は種別S 全 長 : 23.3m 支柱間隔 : 2.0m	現行種別C 全 長 : 23.3m 支柱間隔 : 2.0m

图 4. 5 防護柵断面

防護柵型式	主要横梁	支柱	下段横梁
Gb-42型			
Gb-21型			
Gp-8.9型			

図 4. 6 防護柵部材の断面形状

表4. 2 防護柵部材の断面性能および規格値他

部 材 名 型 式		諸 元	断面積 Λ (cm ²)	断面二次 モーメント I (cm ⁴)	断面係数 Z (cm ³)	塑性断面 係 数 Z p (cm ³)	静 荷 重 試 験 値	機械的性質（規格値）			核当規格
								耐 力 N/mm ²	引張強さ N/mm ²	伸 び	
Gb-42 型	主要横梁	46.37	3,410	310	362	M ₀ =68(6.9)	245 (25) 以上	260 (27) 以上	8	A6061S-T6 JISH4100 下段横梁 は2本	
	下段横梁	29.95	220	59.8	76.3	M ₀ =22(2.2)			10		
	支 柱	47.51	1,064	160	205	P _{max} =87(8.9) P _w =81(8.3)					
Gb-21 型	主要横梁	46.37	3,410	310	362	M ₀ =68(6.9)	245 (25) 以上	260 (27) 以上	8	A6061S-T6 JISH4100 下段横梁 は1本	
	下段横梁	29.95	220	59.8	76.3	M ₀ =22(2.2)			10		
	支 柱	38.05	234	130	167	P _{max} =56(5.7) P _w =51(5.2)					
Gp-8.9型	主要横梁	21.63	388	59.7	78.1	M ₀ =17(1.75)	245 (25) 以上	260 (27) 以上	8	A6061S-T6 JISH4100 段横梁 は2本	
	下段横梁	8.49	55	13.8	17.8	M ₀ =0.45(4.4)			0		
	支 柱	—	—	—	—	P _{max} =37(3.8) P _w =30(3.1)	—	150 (15)	6	AC7A-F JISH5202	
	主アークボルト (直径22mm)	3.26	—	—	—	—	785 (80) 以上	930 (95) 以上	15	SCM435 JISG4105	

注)・A6061S-T6材のE（ヤング率）＝ $7 \times 10^4 \text{ N/mm}^2 (7 \times 10^5 \text{ kgf/cm}^2)$

- ・ P_w ：支柱の極限支持力（但し載荷高さはGb型が800mm、Gp型が785mmである）：kN (tf)
- ・ P_{max} ：支柱最大支持力：kN (tf)
- ・ M_o ：横梁の極限曲げモーメント：kN・m(tf・m)
- ・耐力、引張強さ（ ）内は単位 kgf/cm^2

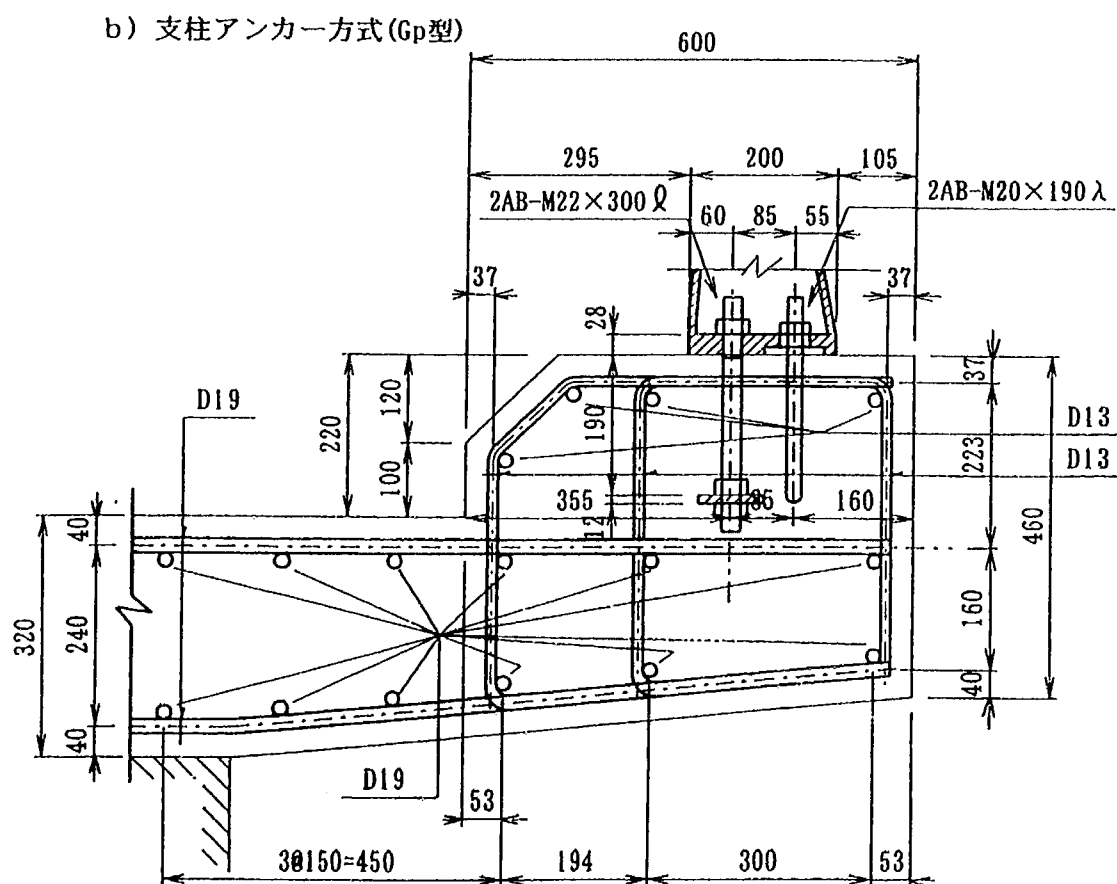
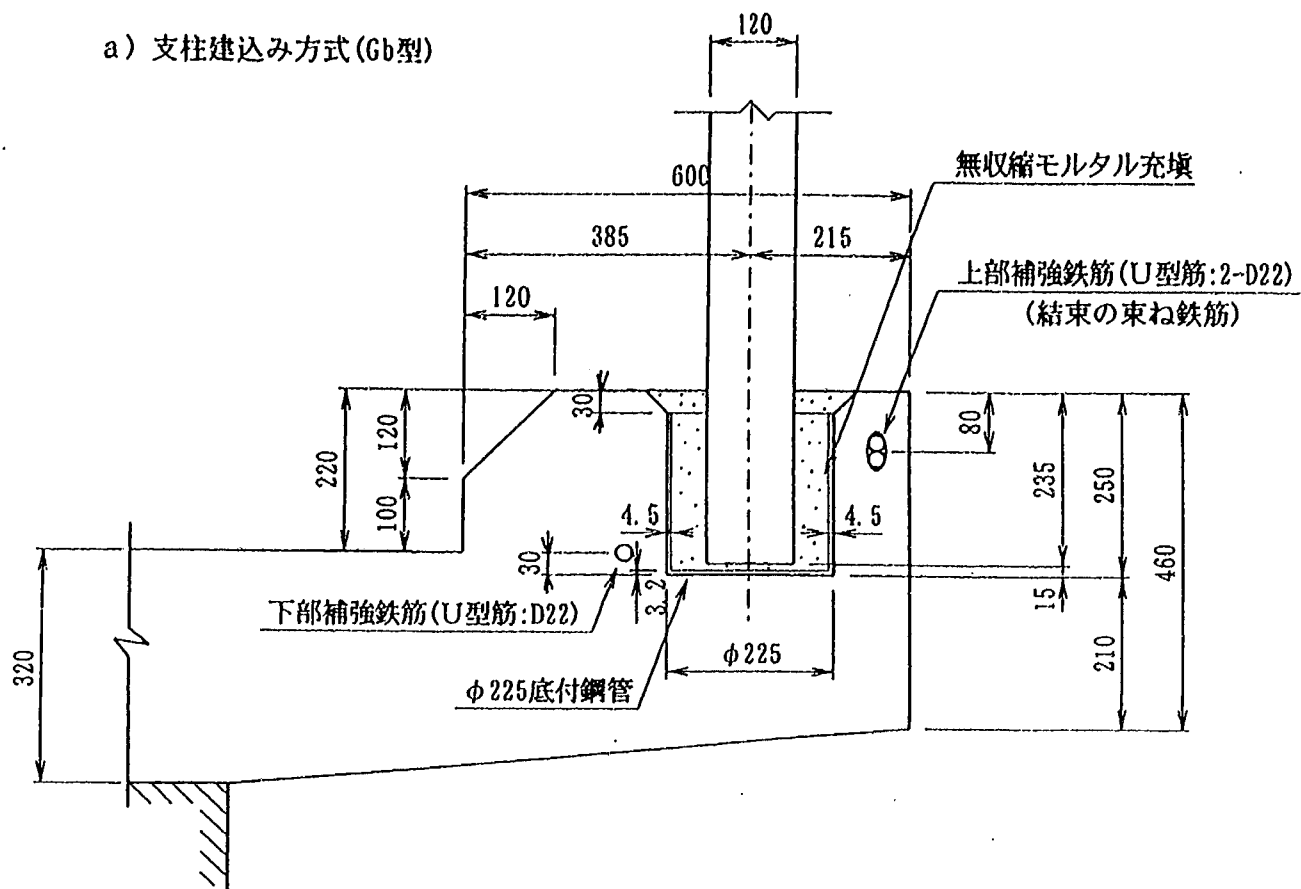


図4. 7 支柱定着構造図 (単位: mm)

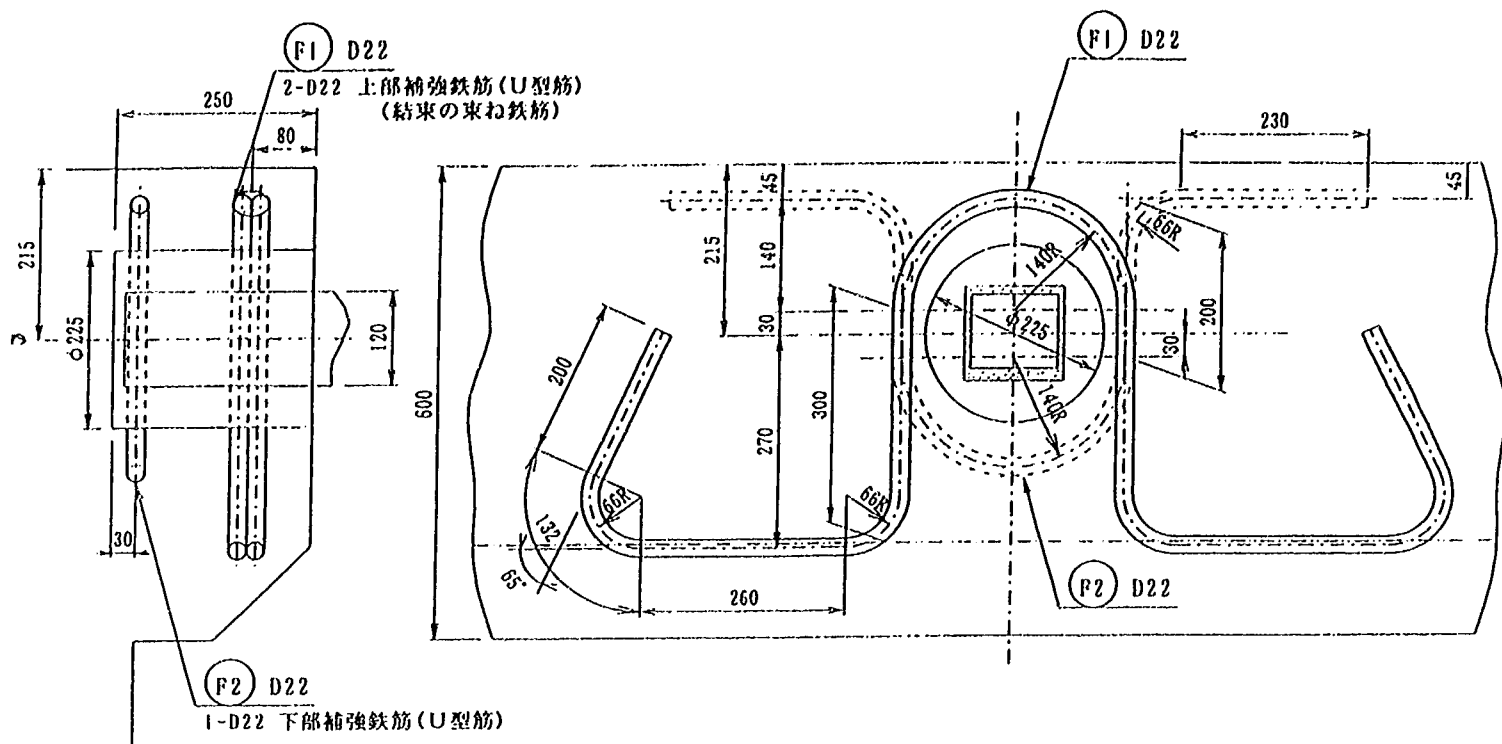


図 4. 8 支柱定着部補強鉄筋 (U 型筋) 配筋要領図 (単位 : mm)

表 4. 3 アンカーボルトおよび補強鉄筋の引張試験結果

種 別	断面積 cm ²	試験片 No	降伏応力 N/mm ² (kgf/cm ²)	最大応力 N/mm ² (kgf/cm ²)	弾性係数 N/mm ² (kgf/cm ²)
アンカーボルト (φ22) SCM435	3.26(有効部) 3.94(幹部)	1	820 (8,330)	900 (9,218)	1.99×10 ⁵ (2.03×10 ⁶)
		2	820 (8,330)	900 (9,155)	1.94×10 ⁵ (1.98×10 ⁶)
		3	830 (8,470)	910 (9,244)	2.00×10 ⁵ (2.04×10 ⁶)
		平 均	820 (8,377)	900 (9,206)	1.98×10 ⁵ (2.02×10 ⁶)
補強鉄筋 (D22) SD295	3.871	1	350 (3,513)	510 (5,231)	1.75×10 ⁵ (1.78×10 ⁶)
		2	350 (3,552)	510 (5,231)	1.73×10 ⁵ (1.76×10 ⁶)
		3	340 (3,462)	520 (5,335)	1.73×10 ⁵ (1.76×10 ⁶)
		平 均	350 (3,509)	510 (5,266)	1.74×10 ⁵ (1.77×10 ⁶)

表 4. 4 主鉄筋(D19)引張試験結果

試 験 片 番 号	降伏応力 N/mm ² (kgf/cm ²)	最大応力 N/mm ² (kgf/cm ²)	弾性係数 N/mm ² (kgf/cm ²)	備 考
1	340 (3,508)	520 (5,279)	1.63×10 ⁵ (1.63×10 ⁵)	SD 2 9 5 断面積 A=2.865cm ²
2	350 (3,534)	530 (5,349)	1.83×10 ⁵ (1.63×10 ⁵)	
3	350 (3,586)	530 (5,375)	1.74×10 ⁵ (1.63×10 ⁵)	
平 均	350 (3,543)	530 (5,334)	1.73×10 ⁵ (1.63×10 ⁵)	

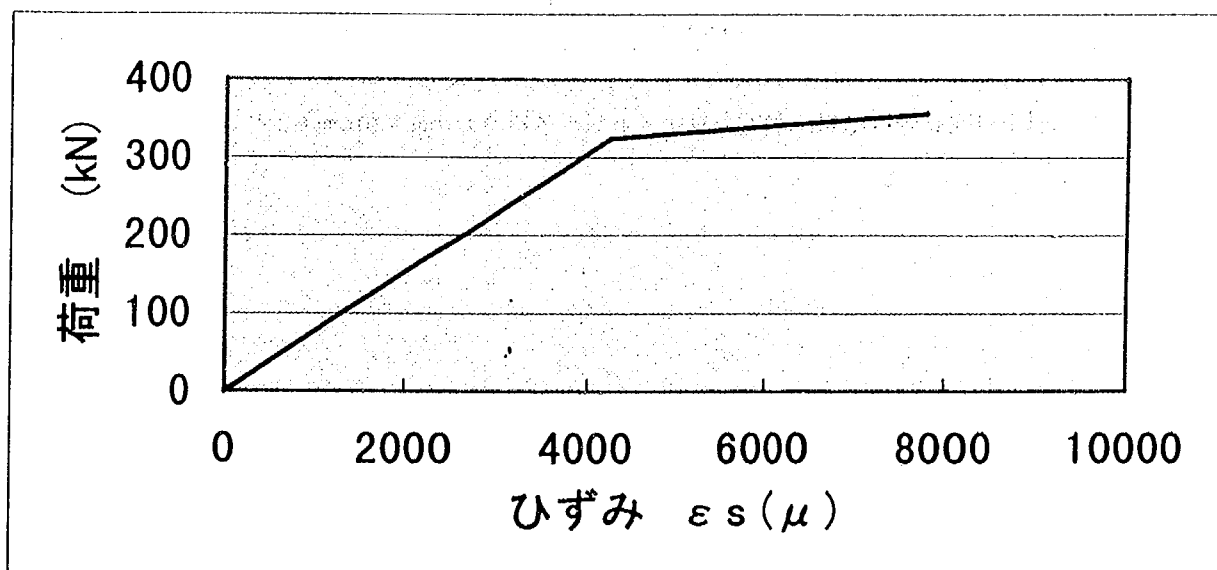


図 4. 9 アンカーボルトの荷重～ひずみ曲線

表 4. 5 コンクリートの品質管理試験結果（現場湿布養生）

部位	フレッシュコンクリート		硬化コンクリート						
	スラブ	空気量	材 令	圧 縮 強 度		弾 性 係 数		引 張 強 度	
	(cm)	(%)		N/mm ² (kgf/cm ²)		×10 ⁴ N/mm ² (kgf/cm ²)		N/mm ² (kgf/cm ²)	
			(日)	各 々	平 均	各 々	平 均	各 々	平 均
基礎 部	15.5	4.7 コンクリート 温 度 29℃	実験日 No.1 34	31.2 (318)	31.0 (316)				
				30.7 (313)					
地 盤 ・ 床 版	15.0	4.2 コンクリート 温 度 31.0℃	7	22.4 (228)	22.1 (225)				
				21.8 (222)					
			14	25.3 (258)	25.5 (260)				
				25.6 (261)					
			実 験 日	No.1	28.6 (291)	2.51×10 ⁴ (2.56×10 ⁵)	2.42×10 ⁴ (2.47×10 ⁵)	2.90 (29.6)	2.80 (28.6)
				24		2.33×10 ⁴ (2.38×10 ⁵)		2.70 (27.5)	
				No.4	32.6 (332)	2.56×10 ⁴ (2.61×10 ⁵)	2.57×10 ⁴ (2.62×10 ⁵)	3.30 (33.7)	3.20 (32.7)
				48		2.58×10 ⁴ (2.63×10 ⁵)		3.10 (31.6)	
			28	28.3 (289)	28.6 (292)				
				28.8 (294)					

注) 1. 弾性係数の試験は圧縮強度試験のテストピースを使用した。

2. 引張強度試験は割裂試験でありテストピースはφ15cm×20cm高さとした。

4. 1. 4 実験車両

4回の衝突実験に用いた車両の形式、諸元を表4. 6に示す。

車両は中古車を用い、通常の走行が可能となるよう再度調整し直したが、車体構造、タイヤ等については納入時から変更していない。

表4. 6 実験車両の測定諸元 (単位: mm)

実験番号 項 目		1	2	3	4
		中型貨物車	中型貨物車	小型乗用車	大型貨物車
型 式		P-CM87K	P-FK415K	E-B11	K-SRZ701
車 名		ニッサン・デイズル	三 菱	ニッサン	いすゞ*
全 長		8,340	8,420	4,150	11,880
全 幅		2,180	2,240	1,600	2,470
全 高		2,340	2,400	1,340	2,730
前輪から重心までの距離		3,120	2,980	1,080	4,680
重 心 高 さ		940	953		1,197
軸 距		4,840	4,820	2,400	第1 : 5,700 第2 : 1,300
輪 距	前 輪	1,710	1,765	1,415	2,052
	後 輪	1,614	1,668	1,415	1,852
オーバーハング		1,130	1,200	800	1,400
タ イ ヤ 幅		135(接地巾)	165(接地巾)	130(接地巾)	212(接地巾)
タ イ ヤ 外 径		800	770	570	1,030
ホ イ ール 外 径		460(外端)	460(外端)	380(外端)	580(外端)
車両重量	前 輪	2,850	3,050	550	5,250
(積載時)	後 輪	5,150	4,950	450	14,750
(kg)	合 計	8,000	8,000	1,000	20,000

注) ・オーバーハングは車両前輪軸から前面までの寸法を示す。

・重心高さは載荷時の路面からの値を示す。

4. 2 計測内容

4. 2. 1 測定項目

各実験における衝突車両、防護柵および地覆、張り出し床版などの観測および電気計測項目を表4. 7に示す。

表4. 7 計測項目一覧表

供試体	計 測 項 目	Gb-42型		Gb-21型	GP-8.9型	備 考
		大型貨物車	小型乗用車	中型貨物車	中型貨物車	
車 両	1 車両総重量	○	○	○	○	マツ式ロードセル (秤)
	2 衝突速度	○	○	○	○	テープスイッチ
	3 離脱速度	○	○	○	○	テープスイッチ
	4 軌跡および 防護柵への接触跡	○	○	○	○	進入角度、離脱角度 最大進入行程
	5 車両重心加速度	○	○	○	○	加速度計
	6 グミ-頭部加速度(助手席)	—	○	—	—	加速度計
防護柵	1 最大変位量	○	—	○	○	棒状変位計(能力:1m)
	2 残留変位量	○	○	○	○	簡易計測 (水系巻尺等)
	3 支柱に作用した水平力	○	—	○	—	せん断ひずみゲージ
	4 支柱に作用した 軸力、曲げモーメント	○	—	—	—	ひずみゲージ
	5 主要横梁に作用した 軸力、曲げモーメント	○	—	○	○	
	6 下段横梁に作用した軸力	○	—	○	○	
	7 下段横梁に作用した軸 力、曲げモーメント	○	—	—	—	
	8 補強鉄筋またはアンカー ボルトの引張力	○	—	○	—	ひずみゲージ
		—	—	—	○	
地覆及び 張り出し 床版	1 床版付根部の鉄筋応力	○	—	○	○	ひずみゲージ
	2 地覆付根部の 床版鉄筋応力	○	—	○	○	
車両及び 防護柵の 共通項目	1 車両および防護柵の挙動	○	○	○	○	16mm映画および ビデオカメラなど
	2 車両および防護柵の損傷	○	○	○	○	

4. 2. 2 測定方法

(1) 衝突車両

1) 衝突速度および離脱速度

- 衝突速度は主にドーリー切り離し位置付近に設けられた2個の光電管により検出されるが、ほかに車両衝突直前に計測器間の同期信号用として走行路面上に設けられたテープスイッチ式速度計の測定値を用いた。
- 離脱速度については、離脱側防護柵端部付近（クロスポイントから柵長手方向に20mの地点、図4. 3参照）の路面上に設けられたテープスイッチ式速度計によって計測した。

これらの計測方法を表4. 8に示す。

表4. 8 衝突速度の検出方法

N o.	計 測 器	検 出 方 法	備 考
1	光 電 管	光線を横切った2点のラグタイムから速度を検出	
2	速 度 計	テープスイッチ上を前後輪が通過したラグタイムを軸距により算定	離脱速度は当方式のみで測定

2) 軌跡および防護柵への接触跡

①軌跡

路面から残された前後輪の摺痕およびわだちの跡より走行軌跡を求め、軌跡から車両進入角、車輪外側最大進入量および離脱角度などを求めた。

②接触跡（スクラブマーク）

車両の防護柵への接触跡は実験直前に前輪、後輪のタイヤおよび車体前後域にそれぞれ異なる色のペイントを塗布し、防護柵に衝突車両がどのような状態で接触したか判明できるようにした。車両のペイント域を図4. 10に示す。

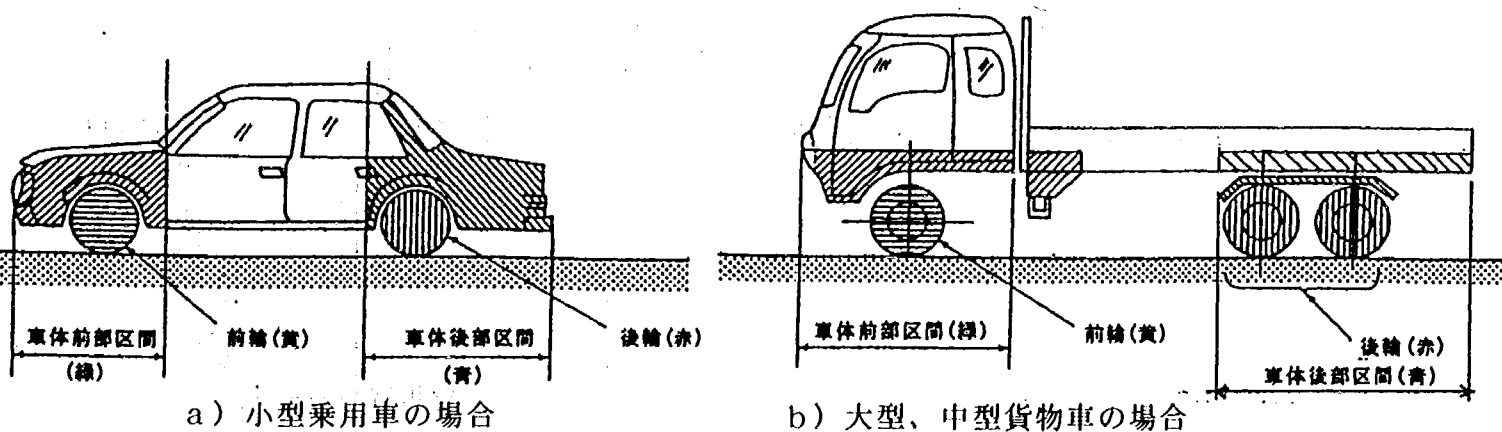


図4. 10 車両のペイント塗布域図

3) 加速度

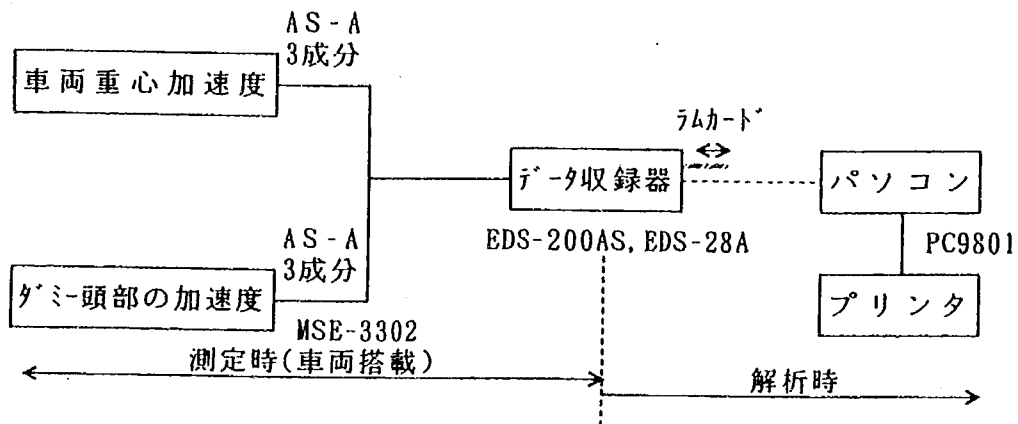
車両重心位置については小型乗用車、貨物車など全ケースで、ダミーについては小型乗用車の助手席のみに、それぞれ所定成分の加速度計を取り付け測定した。

加速度計測装置は加速度計測センサーおよびデータ収録部から構成され、取り付けた加速度計測装置の種類を表4. 9に、計測システムを図4. 11に示す。

表4. 9 加速度計測種類

取付位置	加速度の種類	計測器の種類	電源	サンプリング	数量	計測車種
車両重心	X (車両軸) 方向	ソーマット		0.5ms間隔	1	小型乗用車 及び貨物車
	Y (車両軸直角) 方向				1	
助手席 ダミー-頭部	X (ダミー-正面) 方向	共 和 データロガー	内蔵バッテリー	5ms間隔	1	小型乗用車
	Y (ダミー-正面直角) 方向				1	
	Z (ダミー-上下) 方向				1	

a) 5ms 間隔計測システム



b) 0.5ms 間隔計測システム

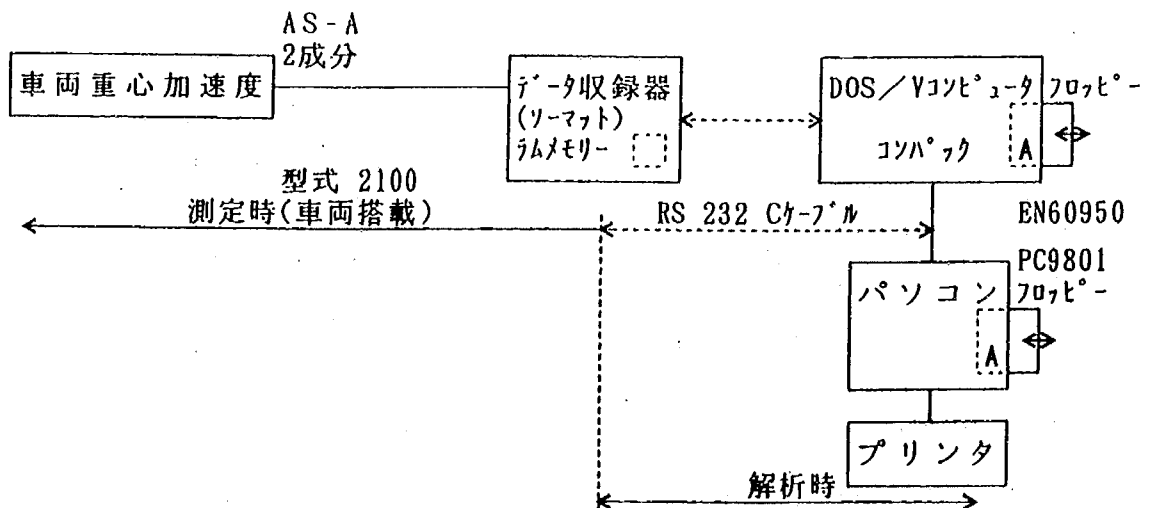


図4. 11 車両加速度計測システム

(2) 防護柵

1) 変位量

防護柵の変位量は、衝突荷重を床版に伝える支柱の主要横梁中心位置背面の防護柵直角方向に棒状変位計を取り付けて測定した。

図4. 12に棒状変位計取り付け要領を示す。

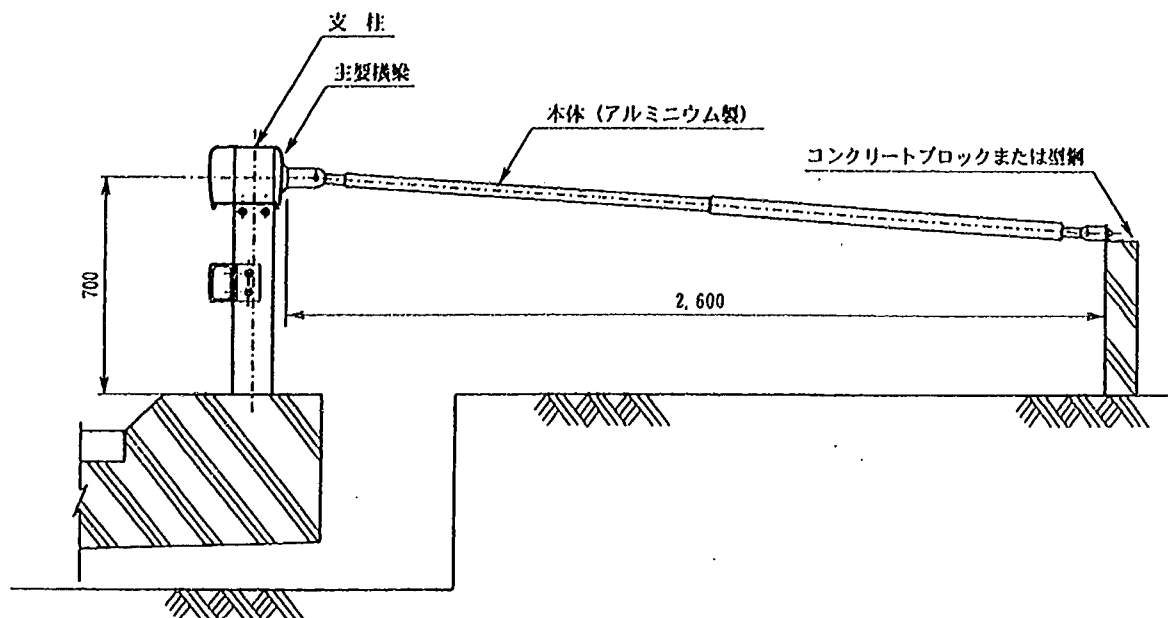


図4. 12 棒状変位計取り付け要領 (単位: mm)

2) 残留変位量

過去に実施された種別Sの実車衝突実験の最大残留変位量は支柱頂部で20mm、分布幅が9mと小さいので、計測方法は前回に準じ簡易計測法(衝突位置付近のみを水系、スケールなどで計測)で行った。測定項目と位置の例を表4. 10に示す。

表4. 10 測定項目と位置 (Gbの例)

測定項目	部位	方向	備考
(I) 支柱及び横梁	① 支柱頭部	X、Y	
	② 主要横梁	Y	
	③ 下段横梁	Y	
	④ 支柱付根部	Y	
(II) 継手部のズレ	① 主要横梁	X	
	② 下段横梁	X	

注) Y: 防護柵直角方向、X: 防護柵平行方向

3) 支柱に作用した水平力

支柱に作用した水平力は支柱下端に2軸のひずみゲージを貼り付け、せん断ひずみを測定した。ただし、パイプビーム型の支柱は高さ方向に断面変化があり、多少の測定位置のずれでひずみが増減し真値が得られない恐れがあるので、アンカーボルト応力より推定することにした。

なお、支柱は偏断面であるところから静荷重試験を行い、荷重とせん断ひずみとの関係から校正係数を求めた。図4. 13に支柱のひずみ計測要領を、表4. 11に校正係数を示す。

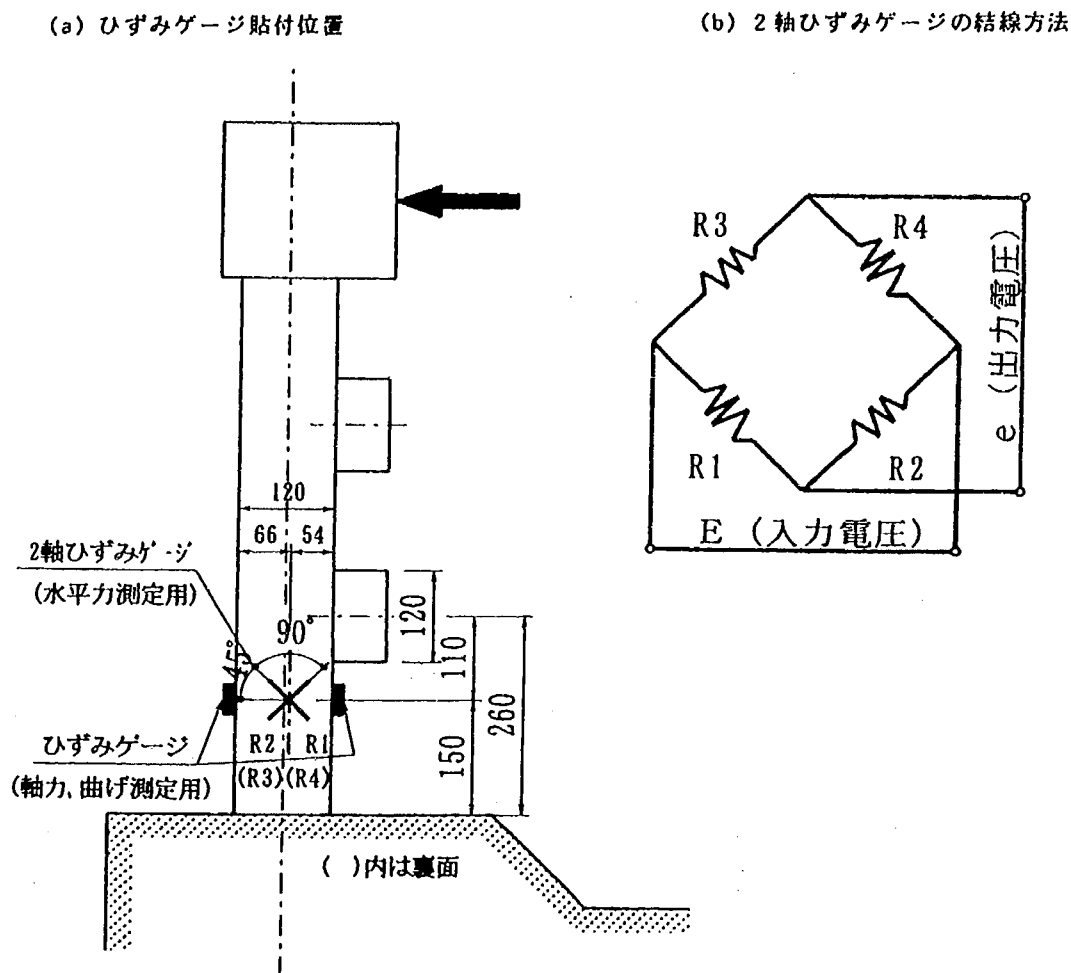


図4. 13 支柱のひずみ計測要領 (単位: mm)

表4. 11 支柱のせん断力～ひずみ校正係数

型 式	校 正 係 数
Gb-42型	0.019368 kN/ μ (0.001975 t ϵ / μ)
Gb-21型	0.021781 kN/ μ (0.002221 t ϵ / μ)

4) 支柱に作用した軸力および曲げモーメント

支柱下端（せん断ひずみ測定位置と同じ）の前後面にひずみゲージを貼り付け、軸力および曲げモーメントを測定した（図4. 1 3参照）

5) 主要横梁に作用した軸力および曲げモーメント

主要横梁に作用した軸力および曲げモーメントは主要横梁の水平中立軸の両側面にひずみゲージを貼り付け、各々の点を測定した。

6) 下段横梁に作用した軸力

下段横梁に作用した軸力は下段横梁の垂直中立軸の上下面にひずみゲージを貼り付け、2点の平均値を測定した。

7) 下段横梁に作用した軸力および曲げモーメント

最も衝撃度の大きい Gb-42 型については、軸力の他曲げモーメント（上段のみ）も併せて測定した。

なお、5)～7) 項で部材にひずみゲージを貼り付ける位置は、車両の衝突による損傷および塑性化が想定される部分を避けるよう配慮した。図4. 1 4に主要、下段横梁ひずみ計測要領を示す。

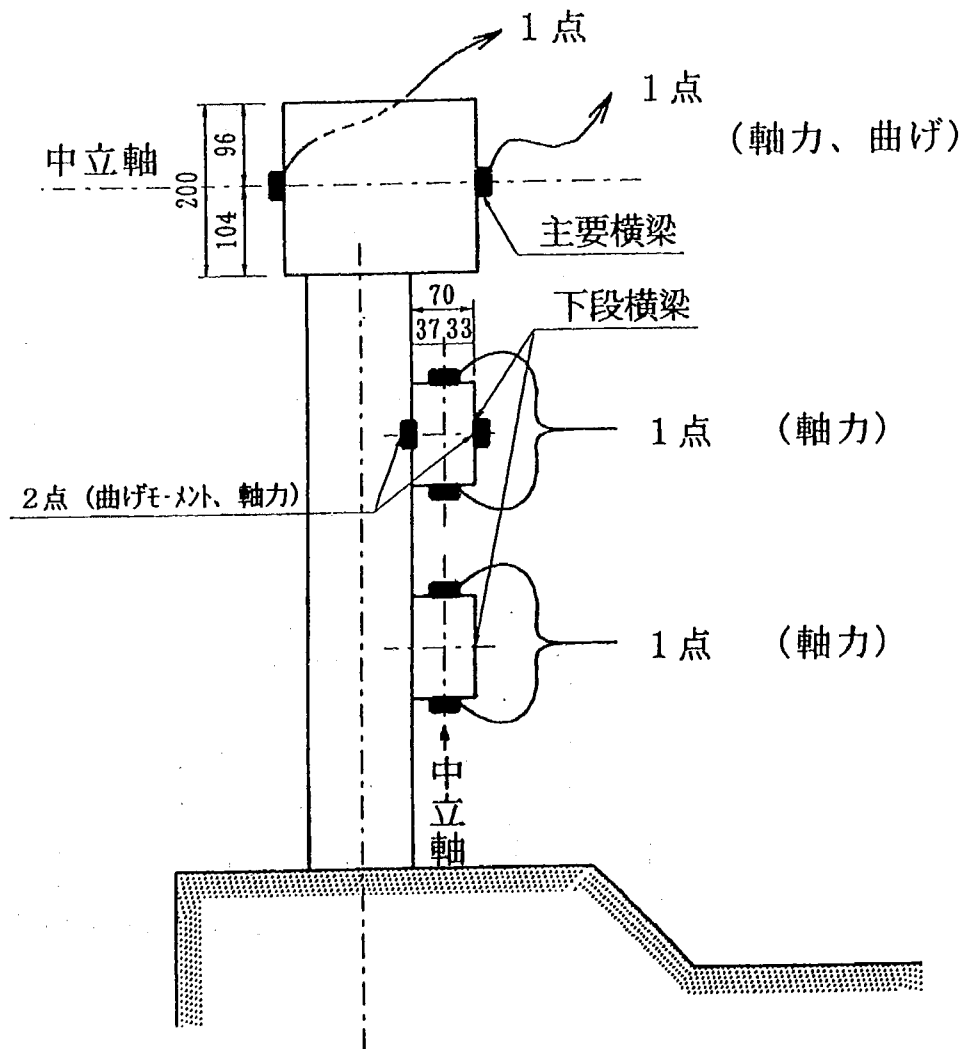


図4. 1 4 主要、下段横梁ひずみ計測要領（単位:mm）

8) 補強鉄筋またはアンカーボルトの引張力

U型上部補強筋については鋼管横方向中心両側面から背面方向へ 45 度に延ばした線と補強鉄筋中心が交差する両側面（上側鉄筋のみ）、アンカーボルトについてはベース部直下の幹部両側にひずみゲージを貼り付け、1箇所 の平均値をそれぞれ測定した。

なお、支柱のアンカーボルト締め付け力は実際の現場で作業員が通常締め付けている締め付け力に準じ 27kN/本（2.80tf/本）を目標にした。

上部補強鉄筋およびアンカーボルトひずみ計測要領をそれぞれ図4. 15および図4. 16に示し、アンカーボルトの締め付け時の引張力初期値を表4. 12に示す。

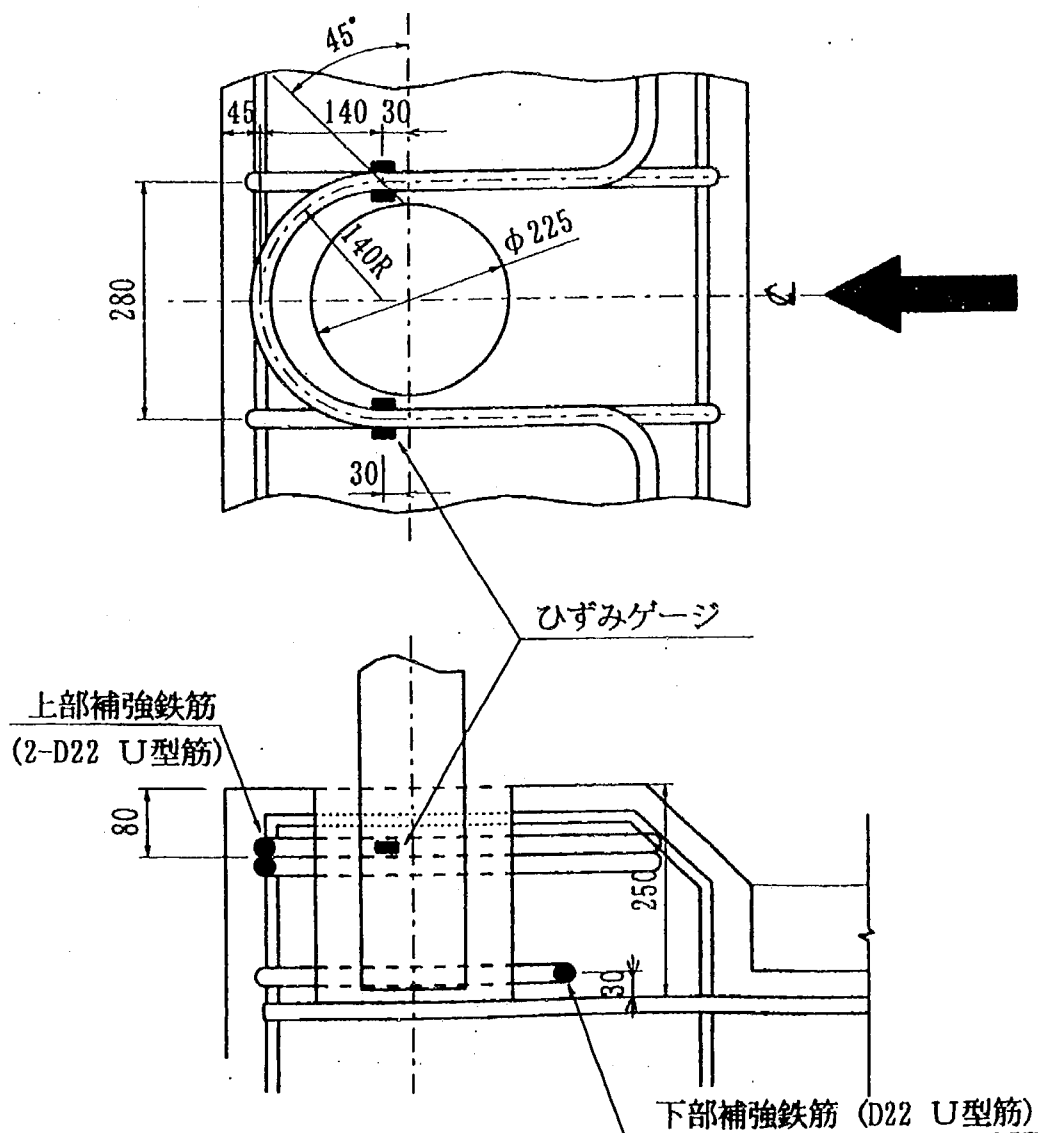


図4. 15 U型上部補強鉄筋ひずみ計測要領（単位：mm）

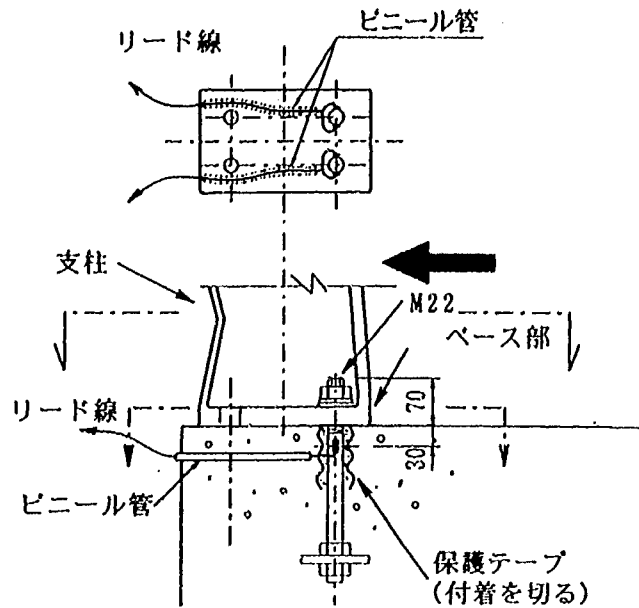


図4. 16 アンカーボルトひずみ計測要領 (単位: mm)

表4. 12 アンカーボルトの初期値

設置位置	P 6		P 7		P 8	
	L	R	L	R	L	R
初期値	27(2.76)	27(2.79)	27(2.74)	27(2.75)	27(2.75)	27(2.77)
L + R	54(5.55)		54(5.49)		54(5.52)	

注] ・幹部のアンカーボルトのひずみ較正值 (引張試験値) : $13 \mu / \text{kN}$ ($126 \mu / \text{tf}$)

・アンカーボルト締付時の引張力 : kN (tf)

・アンカーボルトの幹部平均直径 : 22.40mm

(3) 地覆および張り出し床版

張り出し床版の地覆付け根部および同床版片持部の主鉄筋にひずみゲージを貼り付け、車両衝突時の最大発生応力を調べた。

ひずみ計測要領断面を図4. 17に示す。

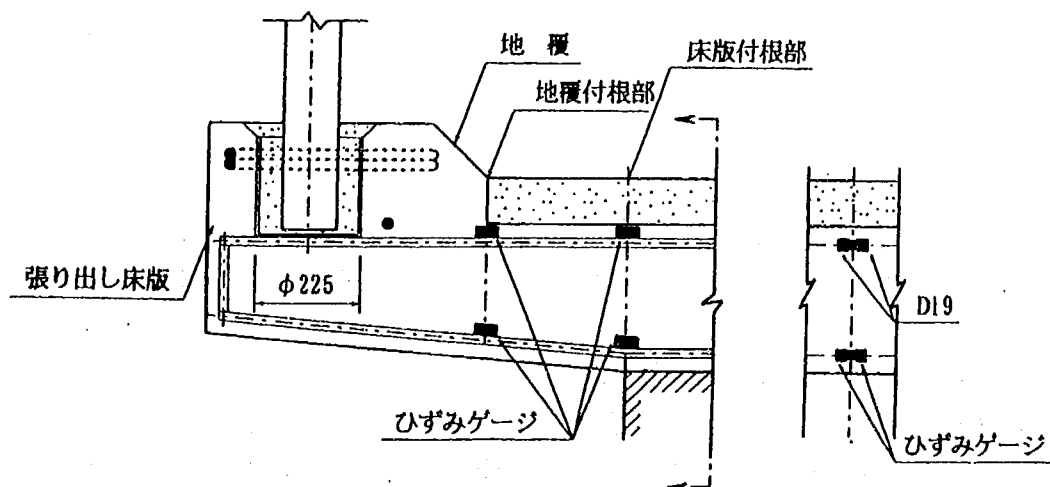


図4. 17 張り出し床版ひずみ計測要領断面図 (単位: mm)

(4) 車両、防護柵および張り出し床版などの共通事項

1) 車両および防護柵の挙動（映像解析）

車両については衝突から離脱までの間の跳び上がり状況、進行状況、傾き、回転状況などについて、防護柵については主に各部材の変形量または変形状況などを 16mm 高速度カメラおよびビデオカメラにより撮影し、解析した。

図 4. 1 8 に 16mm カメラおよびビデオカメラなどの配置状況を示す。

表 4. 1 3 撮影機

No.	使用 撮 影 機	撮影スピード [コマ/秒]	撮影位置	カメラ位置
①	フォト・ソニック DHB-4A	4 0 0	上 面	観測塔
②	フォト・ソニック DHB-4A	4 0 0	上 面	観測塔
③	スクピック H16	6 4	後 方	供試体延長
④	スクピック H16	6 4	前 方	供試体延長
⑤	アリフレックス H16	2 4	側 面	供試体延長

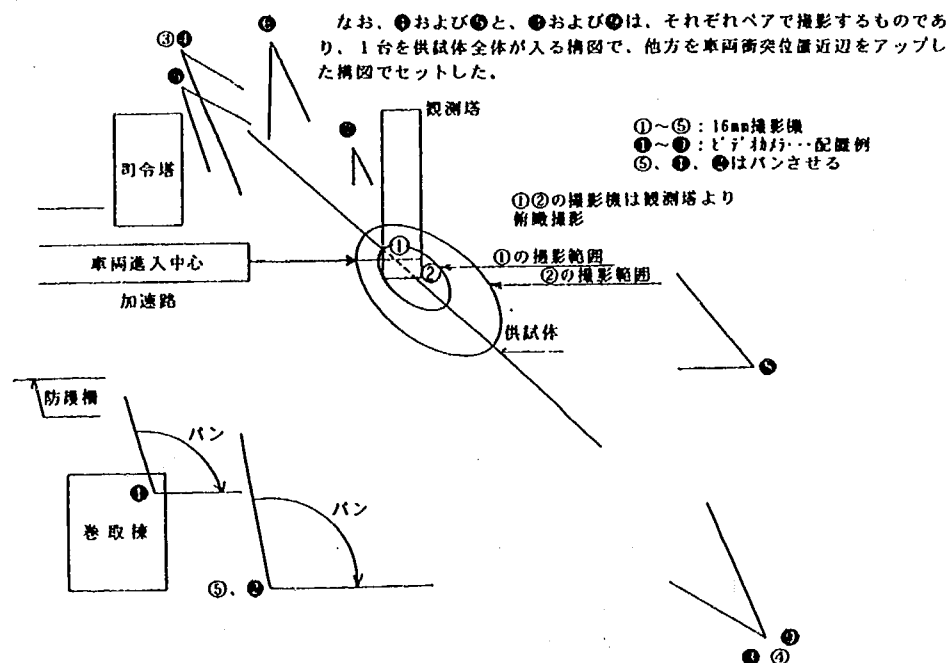


図 4. 1 8 16mm カメラおよびビデオカメラの配置状況

2) 車両、防護柵および床版などの損傷

実験終了後、車両については主に足廻り、車室内の変形、防護柵については各部材の損傷、張り出し床版については支柱定着部の地覆、地覆付け根部および張り出し部のコンクリートの損傷状況などについて調べた。

4. 2. 3 計測器取り付け位置と計測システム

(1) 計測器取り付け位置

防護柵および張り出し床版のゲージまたは計測器取り付け位置を図4. 19～4. 21に示す。

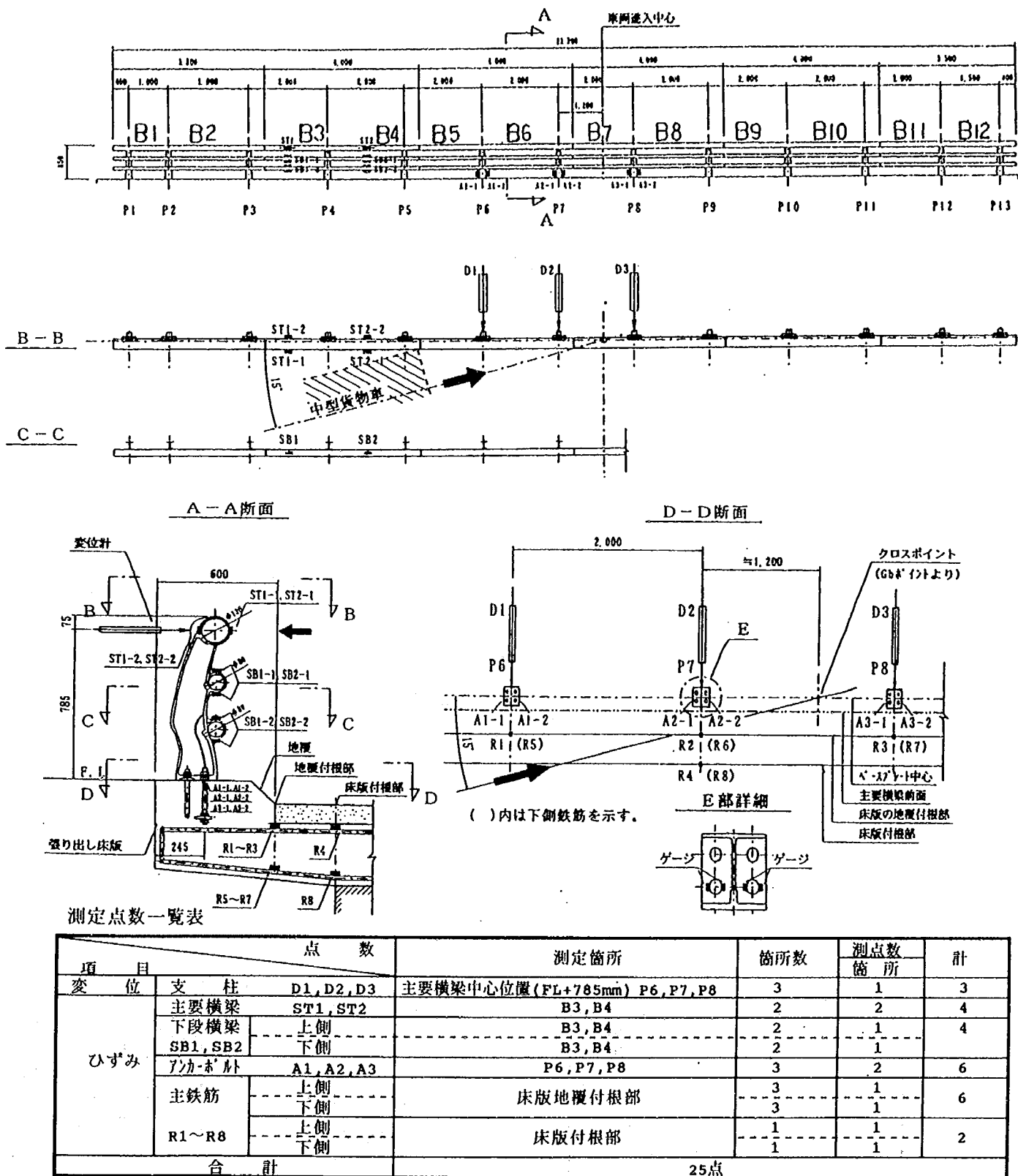
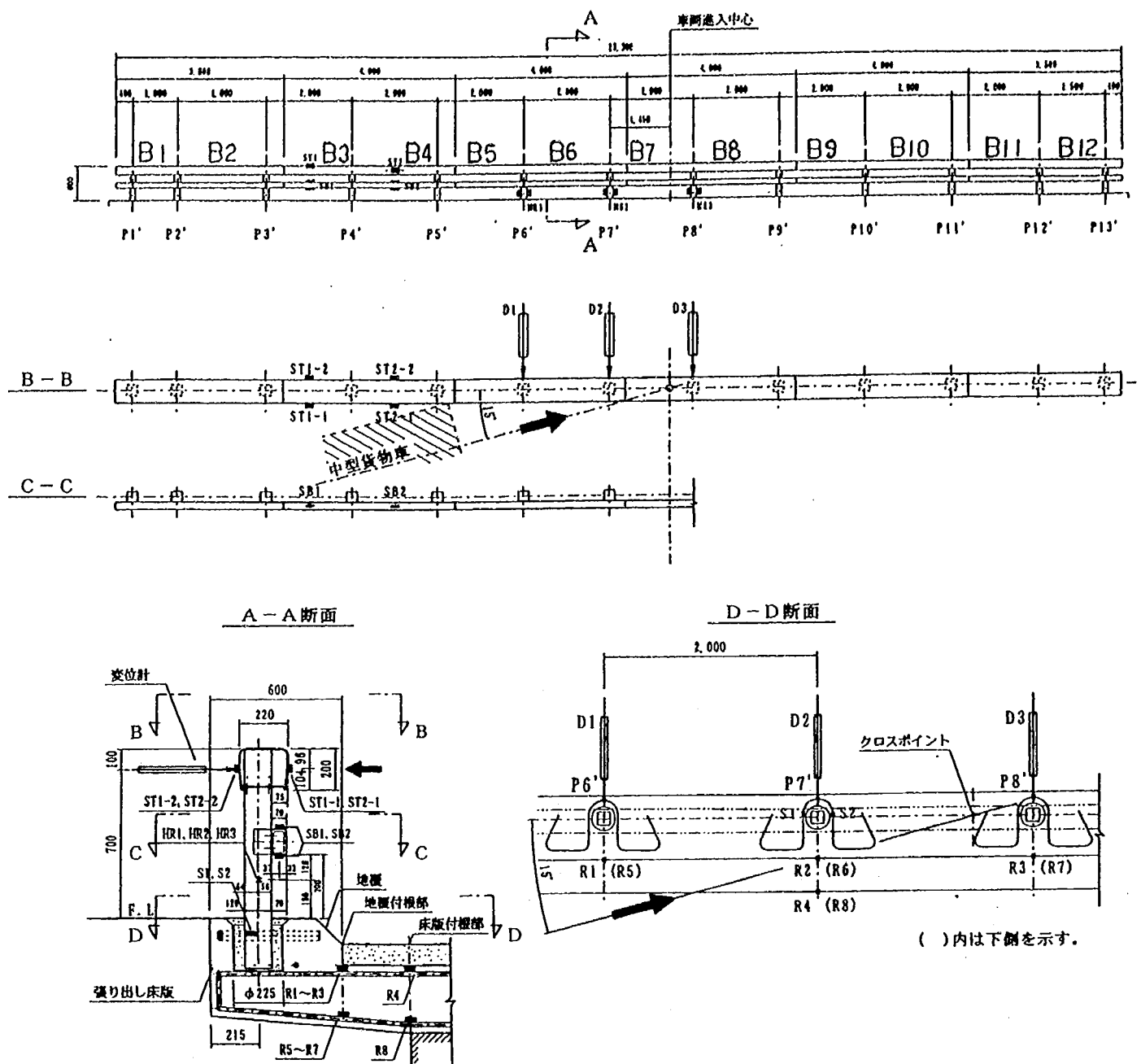


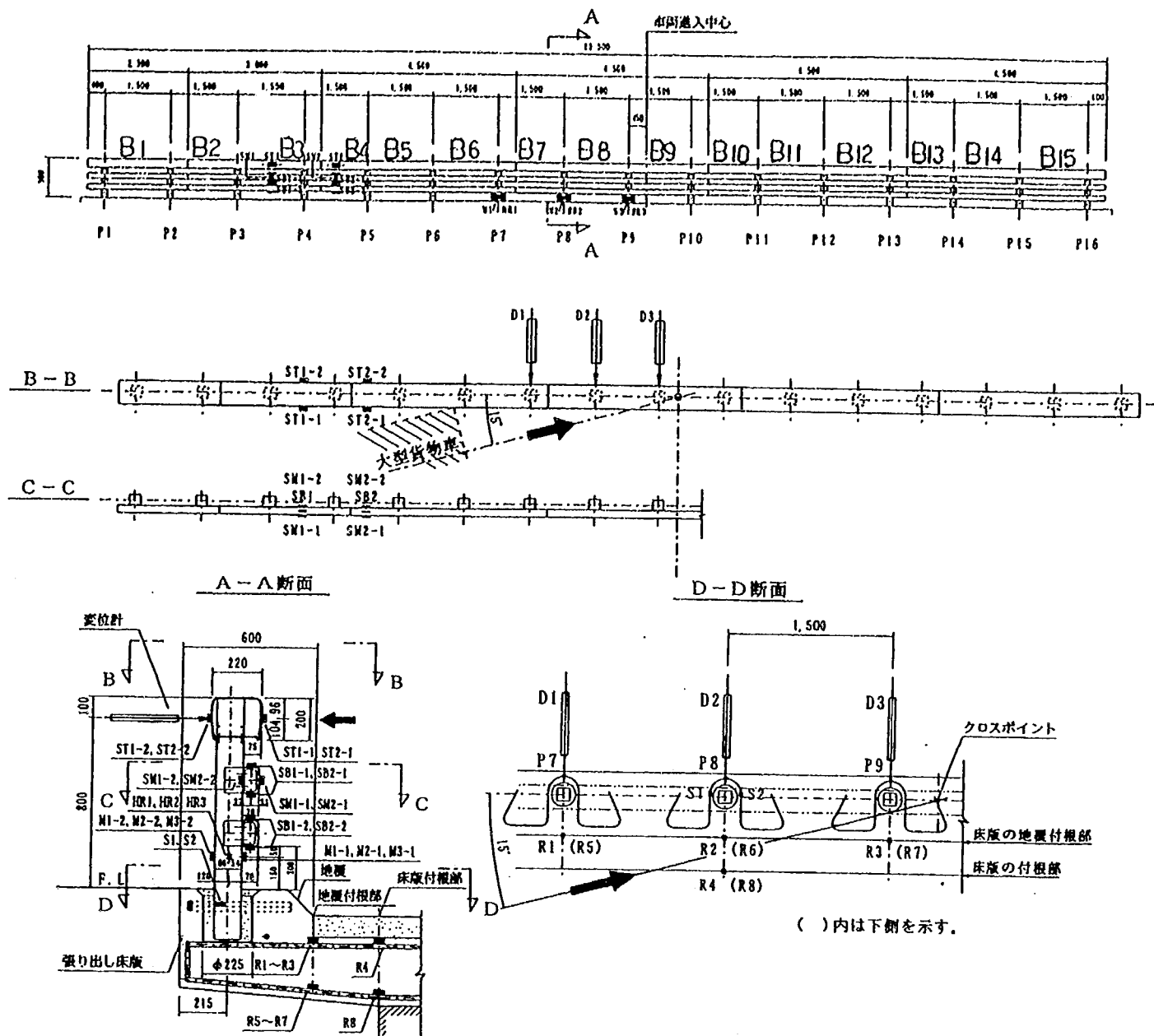
図4. 19 Gp-8. 9型計測器取付位置図（実験1……中型貨物車）（単位：mm）



測定点数一覧表

項 目		点 数	測定箇所	箇所数	測点数 箇 所	計	
変 位	支 柱	D1, D2, D3	主要横梁中心位置 (FL+700mm) P6', P7', P8'	3	1	3	
せん断ひずみ	支 柱	HR1, HR2, HR3	P6', P7', P8'	3	1	3	
ひずみ	主要横梁		ST1, ST2	B3, B4	2	2	4
	下段横梁		SB1, SB2	B3, B4	1	2	2
	U軸補強鉄筋		P7'	1	2	2	
	主鉄筋	上側	床版地覆付根部	3	1	6	
		下側		3	1		
	R1~R8	上側	床版付根部	1	1	2	
下側		1		1			
合 計			22点				

図4. 20 Gb-21型計測器取付位置図(実験2……中型貨物車)(単位: mm)



測定点数一覧表

項目		点数	測定箇所	箇所数	測点数 箇所	計	備考
変位	支柱	D1, D2, D3	主要横梁中心位置 (FL+800mm) P7, P8, P9	3	1	3	
せん断ひずみ	支柱	HR1, HR2, HR3	P7, P8, P9	3	1	3	
ひずみ	支柱	M1, M2, M3	P7, P8, P9	3	2	6	曲げ応力
	主要横梁	ST1, ST2	B3, B4	2	2	4	曲げ応力
	下段横梁 上側	SM1, SM2	B3, B4	2	2	4	2
	下段横梁	上側	B3, B4	2	1		
	SB1~SB2	下側	B3, B4	2	1	4	軸力
	U型補強鉄筋		P8	1	2	2	
	主鉄筋	上側	床版地覆付根部	3	1		
		下側		3	1	6	
	R1~R8	上側	床版付根部	1	1		
		下側		1	1	2	
合計						34点	

図4. 21 Gb-42型計測器取付位置図 (単位: mm)

(2) 計測システム

図4. 22 に計測システムの要領例を示す。

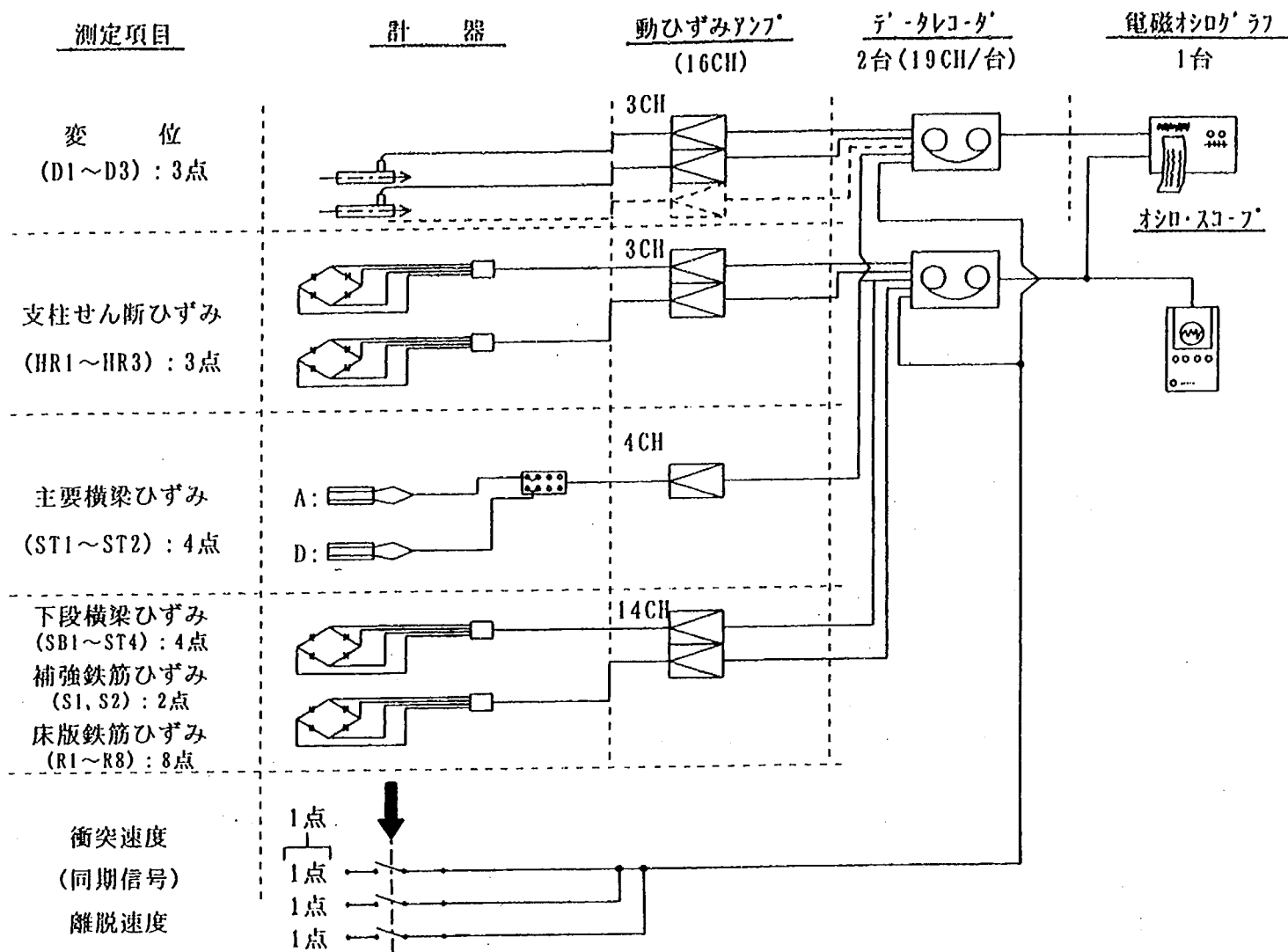


図4. 22 計測システム要領 (Gb-42型の例)

4. 3 実験結果

4. 3. 1 実験結果総括

実験結果をとりまとめたものを表4. 14に、また各実験について総括したものを表4. 15～4. 18に示す。

表4. 14 実験結果総括

		実験1	実験2	実験3	実験4
衝突条件	質量(t)	8.0	8.0	1.0	20.0
	速度(km/h)	64.7 65.0	100.6 100.0	100.6 100.0	90.5 90.0
	角度(度)	15.0 15.0	15.0 15.0	15.0 15.0	15.0 15.0
	衝撃度(kJ)	86(8.8) 87(8.9)	210(21.4) 210(21.1)	26(2.7) 25(2.6)	420(43.2) 410(42.7)
防護柵状況	最大残留変形量(mm)	148	144	5	95
	最大進入行程(mm)	60	110	50	110
	接触長(mm)	8,105	16,135	2,990	17,840
車両状況	離脱角度(度)	4.9	2.8	3.0	0.0
	離脱速度(km/h)	58.3 <9.9%>	73.8 <26.6%>	69.9 <30.5%>	71.0 <21.5%>
	重心加速度(m/s ²)	X:42,Y:45	X:50,Y:130	X:94,Y:130	X:34,Y:110
	損傷状況	左前部損傷 車室損傷無し 自走可能	左前輪破損 車室損傷無し 自走不可	左前輪破損 車室損傷無し 自走不可	左前輪破損 車室損傷無し 自走不可

衝撃度 () 内はtf・m

(1) 実験1 <86kJ (8.8tf・m) : 8t×64.7km/h×15度>

防護柵の変形は残留変形で15cm程度であり、シミュレーションにより推定した値(18cm)とほぼ同様の変形量であった。防護柵の破壊形態としては、横梁の曲げが主体であり亀裂、引き裂かれが多少あったが強度的に問題のある破損は生じていない。

車両の破損は、車体左前端部が10cm程度へこむとともに、左前輪のホイール、左荷台部に擦傷が生じたが大きな損傷はなく、衝突後自走可能であった。

防護柵の変形状況、車両の損傷状況からみて、実験に用いた供試体は、防護柵としての機能を満足しているものと考えられる。

(2) 実験2 <210kJ (21.4tf・m) : 8t×100.6km/h×15度>

防護柵の変形は残留変形で14cm程度であり、シミュレーションにより推定した値

(15cm) とほぼ同様の変形量であった。防護柵の破壊形態としては、横梁の曲げが主体であり亀裂、引き裂かれがあったが強度的に問題のある破損は生じていない。接触延長は実験 1 と比べて約 2 倍 (16m/8m) あった。

車両の破損は、車体左前端部が 35cm 程度へこんだことから左前輪にまで及び、左前軸が破損し後方へ約 95cm 移動した。またタイヤはバーストした。車室の変形はなかったものの、衝突後自走することはできなかった。

実験 1 と比べて衝撃度が大きくなっているため車両の損傷も比較的大きくなったが、防護柵の変形状況などからみて、実験に用いた供試体は、防護柵としての機能を満足しているものと考えられる。

(3) 実験 3 < 26kJ (2.7tf・m) : 1t×100.6km/h×15 度 >

防護柵の変形は残留変形で 0.5cm 程度であり、ほとんど変形していなく擦傷程度となっている。

実験 3 は主として乗員への衝撃の大きさをみるために行ったものであるが、衝撃の指標となる加速度でみると、シミュレーション値が合成加速度 180 m/s^2 (18.6g) に対して実験結果では 160 m/s^2 (16.5g) (X 方向 93 m/s^2 (9.5g)、Y 方向 130 m/s^2 (13.2g)) であり、多少シミュレーション値が大きくなっているものの、比較的合致していたと判断できる。

車両の破損は、車体左側に前部から後部にかけて凹みが生じ、前端部の凹みは 12cm 程度であった。実験 2 と同様に左前軸が破損し後方へ約 7 cm 移動し、タイヤはバーストした。車室の変形はなかったものの、衝突後自走することはできなかった。

本実験に用いた供試体は実験 4 と同じものであり、高い衝撃度を想定しているため乗用車の衝突に対しては比較的剛性の高い構造になっているが、車両の損傷は大きなものでなく、車室内の変形もほとんど無いことから乗員の生存空間を確保する面からは、防護柵としての機能を十分確保していると考えられる。

(4) 実験 4 < 420kJ (43,27tf・m) : 20t×90.5km/h×15 度 >

防護柵の変形は残留変形で 9 cm 程度であり、シミュレーションにより推定した値 (10cm) とほぼ同様の変形量であった。この残留変形は 8 トン車両を対象とした実験 1, 2 よりも小さいものとなっている。防護柵の破壊形態としては、横梁の曲げが主体であり亀裂、引き裂かれ、孔明きがあったが強度的には問題のある破損は生じていない。

車両の破損は、車体左前端部が 43cm 程度へこんだことから、実験 2 同様左前輪にまで及び、左前軸が破損し後方へ約 15cm 移動した。この移動量は実験 2 の 15% 程度であり、20 トン車は 8 トン車に比べて車体の剛性が高いことが理由として考えられる。また、タイヤにバーストは生じなかった。車体の損傷が比較的少なかったことから車室の変形もなかったものの、左前輪変形のため自走することはできなかった。

今回行った一連の実験の中で、最も衝撃度の大きな実験であったが車両、防護柵ともに変形は少なく、実験に用いた供試体は、防護柵としての機能を満足しているものと考えられる。

4. 3. 2 車両の挙動、損傷

(1) 実験 1 < 86kJ (8.8tf·m) : 8t×64.7km/h×15 度 >

車両重心の最大加速度は車両進行方向（以下 X 方向）において初期衝突後 0.01 秒時点で 66 m/s^2 (6.7g)、防護柵直角方向（以下 Y 方向）で 0.03 秒後に 130 m/s^2 (13.5g) であった。

ちなみに前後車輪の衝突時間は経時波形の明瞭な支柱のアンカーボルトひずみ (A1) でみると、車体接触後前輪が 0.13 秒後、後輪が 0.41 秒後であり、前後車輪衝突のタイムラグは 0.28 秒となる。

車両はまず左側前端部が衝突、バンパー、フェンダーが防護柵に食い込みながら方向転換し始め、左前輪が地覆面上に乗り上がり、さらに後輪が衝突すると防護柵側に多少傾くがすぐ復元し、4.9 度の浅い角度で進行方向へ円滑に離脱した。

この時の車両の最大進入行程は 60mm であった。

一方、最大傾斜角は防護柵側に前端、後端ともに 4 度であり、その時右車輪の浮き上がりは全く生じなかった。左側の車輪は、カメラの撮影位置の関係から不明であった。次に、衝突車両の減速率は 9.9% であった。

車両の損傷状況は外回りでは左前バンパー、フェンダーが 10cm 凹んだほか、左荷台前部から後端部にかけて擦傷があった (FL+90cm、傷幅 7 cm ~ 9 cm)。また、左窓ガラス枠下端部が内側に変形したため上端部が 9 cm 突出した。

足廻りでは左前輪のステップが潰れ、後輪のホイール外端部に擦傷があったが、いずれの車輪もバーストはしなかった。また、車室内は床下までの外部の変形であり損傷は全くなかった。

一方自力走行については衝突後エンジンが作動していたこと、左前輪の後方移動がほとんど認められなかったことから可能であった。

(2) 実験 2 < 210kJ (21.4tf·m) : 8t×100.6km/h×15 度 >

車両重心の最大加速度は X 方向において初期衝突後 0.05 秒時点で 310 m/s^2 (31.3g)、Y 方向において 0.21 秒後に 670 m/s^2 (68.3g) であった。

ちなみに前後車輪の衝突時間は、経時波形の明瞭であった床版鉄筋 (R2) でみると、車体接触後前輪の衝突は 0.11 秒後、後輪の衝突は 0.25 秒後であり、前後輪衝突のタイムラグは 0.14 秒であった。

車両は、まず左側前端部が衝突、バンパー、フェンダーが防護柵に食い込みながら方向転換し始め、左前輪が地覆面上に乗り上がると運転席（キャビン）は防護柵側に傾き始め、さらに後輪が地覆面上に乗り上げると左前後輪は大きく浮き上がり、防護柵側に傾きながら柵に沿って並進した後、左前輪が地覆面から離れると車体は復元し始め、2.8 度の浅い角度で進行方向へ円滑に離脱した。

この時の車両の最大進入行程は 110mm であった。

一方、最大傾斜角は防護柵側に前端が 18 度、後端が 14 度であり、そのとき車輪の浮き上がりは右前輪が 47cm、右後輪が 46cm であった。次に衝突車両の減速率は 26.6% であった。

車両の損傷状況は、外回りでは左前バンパー、フェンダーが 35cm へこんだほか、左荷台下端部の 3 カ所の突起金具に擦傷と燃料タンクに凹み跡があった。また、左下廻りのぞ

き見窓ガラスが破損し、左窓ガラス枠上端部が 20cm 突出したが、ガラスの損傷はなかった。

足廻りでは左前輪のステップが全周の 1/2 程度潰れ、同部突起ボルト 2 本にアルミの切削屑が付着していた。また、同輪は左前軸の固定 U ボルトが切断し、板バネが取り外れたため後方へ外側で 95cm 程度移動し、タイヤがホイールより取り外れバーストした。なお、左後輪はホイール全部に接触痕があったが大きな変形はなかった。

また、車室内は実験 1 と同様、床下までの外部の変形または損傷であり内部に達していなかった。

一方、自力走行については左前輪が前軸から取り外れたため、不可能であった。

(3) 実験 3 < 26kJ (2.7tf・m) : 1t×100.6km/h×15 度 >

車両重心の最大加速度は X 方向において初期衝突後 0.04 秒時点で 270 m/s^2 (27.8g)、Y 方向において 380 m/s^2 (38.6g) であった。

次に助手席に搭載したダミー頭部の最大加速度は X 方向が衝突後 0.09 秒時点で 150 m/s^2 (15.65g)、Y 方向が 480 m/s^2 (48.6g) であった。また、車体垂直方向（以下 Z 方向）が 0.12 秒後に 120 m/s^2 (11.8g) であった。

車両は、まず左側前端部のフェンダー一部が衝突、同部が防護柵に食い込んでいき、次に左前輪および左後輪が地覆面上に順次乗り上げ、方向転換しながら 3.0 度の浅い角度で離脱した。

この時の車両の最大進入行程は 50mm であった。最大傾斜角は道路側へ前端 1 度、後端が 3 度であり、そのときの車輪の浮き上がりは右前輪が 0 cm、右後輪が 5 cm であった。衝突車両の減速率は 30.5% であった。

車両の損傷状況は、外廻りでは左車体前部から後端部にかけて 2 条の擦傷または凹み（下段横梁 2 本）があり、左前フェンダーの最大凹み量は 12cm であった。また、衝突時左前ヘッドライトおよびグリルが破損したものの、窓ガラスの破損はなかった。

足廻りでは、左前輪が後方移動（外側で 7 cm）し、さらに反時計方向に 30 度回転、ステアリング（操舵装置）が変形した。また、同輪はホイール外端部が内側に全周の 1/3 程度まくれたほか、タイヤに 2 カ所引き裂かれた傷があり、さらにホイールから取り外れてバーストしていた。

車室内については車室の変形、損傷もなく、ダミーもほぼ正常であった。

一方、自力走行については左前輪のバーストおよびステアリング変形のため直進は不可能であった。

(4) 実験 4 < 420kJ (43,27tf・m) : 20t×90.5km/h×15 度 >

車両重心の最大加速度は X 方向において初期衝突後、0.72 秒時点で 170 m/s^2 (17.3g)、Y 方向において 0.09 秒後に 350 m/s^2 (36.0g) であった。

ちなみに前後車輪の衝突時間は、経時波形の明瞭であった床版鉄筋（R1）でみると、車体接触後前輪の衝突は 0.10 秒後、後輪の衝突は 0.37 秒後であり、前後輪衝突のタイムラグは 0.27 秒であった。

車両は、まず左側前端部が衝突、バンパー、フェンダーが防護柵に食い込みながら方向

転換し始め、左前輪が地覆面上に乗り上がると運転席（キャビン）は防護柵側に傾き右前輪は大きく浮き上がる。このとき、後輪は浮き上がっていないので車体前部（運転席）と車体後部（荷台）にはねじれが生じる。さらに後輪が地覆面上に乗り上げると、今度は右前輪が接地したのとは逆に右後輪が大きく浮き上がり、荷台部が防護柵に傾きながら柵に沿って並進した後、左前輪が地覆面から離れると車体は復元し始め、離脱角度0度で円滑に進行した。

この時の車両の最大進入行程は 110mm であった。

一方、最大傾斜角は防護柵側に前端が 12 度、後端が 21 度であり、そのとき車輪の浮き上がりは右前輪が 36cm、右後輪が 20cm 程度であった。次に衝突車両の減速率は 21.5% であった。

車両の損傷状況は、外廻りでは左前バンパーが 43cm 凹んだほか、フェンダーが引きちぎられた。また、左荷台下端部の突起金具の再前端部が内側へ曲がり、後方の 3 カ所に擦傷があったほか、燃料タンク上部に擦傷があった。なお、土のうの移動、飛散および窓ガラスの破損などはなかった。

足廻りでは左前輪のステップが全周の 1/2 程度潰れ、同部突起ボルト 1 本に圧痕があり、曲がっていた。また、同輪は後方へ外側で 15cm 程度移動した。左後輪は 2 輪ともフレーム全体に多少の変形があったものの、バーストは前輪と同様生じなかった。

また車室内は、床下までの外部の変形または損傷であり内部に達していなかった。

一方、自力走行については左前輪が後方に移動しているため、ステアリングに狂いが生じ不可能であった。

4. 3. 3 防護柵の挙動、損傷

(1) 実験1 <86kJ (8.8tf・m) : 8t×64.7km/h×15度>

車両の防護柵への全接触長は7,925mmであり、地覆への全接触長は8,105mmであった。

車両の初期衝突位置(衝突点)は車両衝突中心(以下C.P.)より4,837mm手前であり、当初の設定位置より520mm手前であった。多少ずれるのは車のアライメントの影響によるものである。

支柱の最大変位量は衝突開始後0.47秒に後輪衝突時にP6に生じ、173.8mmであった。ちなみに前輪衝突時は170mmであり差はない。一方、最大残留変位量はP6の支柱頂部Y方向が157mm、P4の支柱頂部X方向が5mmであり、主要横梁ではY方向148mm、下段横梁の上側、下側Y方向がそれぞれ108mm、68mmであった。

次に支柱定着用アンカーボルトの最大張力(左右2本の合計)は、衝突開始後0.13秒時に前輪衝突によって310kN(31.78tf)の力が発生した。また、全アンカーボルトの合計最大張力は、衝突開始0.41秒時に後輪衝突によって460kN(47.0tf)発生した。

主要横梁に作用した軸力、曲げモーメントの最大合成応力度は、衝突最接近の位置(B4)のゲージは後輪衝突時に接触し損傷したため測定できなかったが、前輪衝突時では衝突0.08秒後に引張側で 110N/mm^2 ($1,128\text{kgf/cm}^2$)、圧縮側が -100N/mm^2 ($-1,018\text{kgf/cm}^2$)であり、引張側が大きくなっている。

下段横梁の最大引張力は、前輪衝突時に上側が衝突0.10秒後に16kN(1.62tf)、下側が衝突0.12秒後に15kN(1.52tf)であり、上側の方が大きくなっている。

防護柵の損傷は、支柱については左前部車体の接触跡がP6の下段横梁(上側)上下に2カ所、左前後輪の接触跡がP6の下段横梁(下段側)と地覆面上間に1カ所あったが、いずれも断面変形などはなかった。

P4~P7のベース部前端部にアンカー位置での曲がりによる浮き上がりが生じ、最大浮き上がり量は12mm(P6)であった。しかし、アンカーボルトの引き抜けによる浮き上がりは生じていなかった。また、P6の下部付近のウェブ背面突出部に座屈が認められた。

主要横梁については、上側がP5~P7間4mにわたり数条の擦痕と円弧状の曲がりおよび前面の潰れがあり、下側がP5~P7にかけて円弧状の曲がりおよび潰れによる上下端の亀裂、前面の引き裂かれがあったがいずれも破断はなかった。

また、横梁継手部の中心部最大ズレ(上から見ての中立軸、以下略)は主要横梁が2.4mm、下段横梁の上下がそれぞれ1.4mm、8.1mmであった。この部分の解体後の調べでは、はしあき部のへたりおよび亀裂などは認められなかった。

(2) 実験2 <210kJ (21.4tf・m) : 8t×100.6km/h×15度>

車両の防護柵への全接触長は16,135mm、地覆への全接触長は16,000mmであった。

車両の初期衝突位置はC.P.より4,665mm手前であり、当初の設定位置より285mm進行側であった。

支柱の最大変位量は衝突開始後0.27秒経過時の後輪衝突時にP6で生じ、154.5mmであった。ちなみに前輪衝突時は113mmであった。一方、最大残留変形量はP6支柱の頂部Y方向で130mm、同支柱のX方向16mmであり、主要横梁のY方向が144mm、下段横梁Y方向が75mmであり、支柱付け根部Y方向はP4で5mmであった。

支柱の最大水平力は最大変位量が生じた P 6 の支柱に生じているが、支柱根元部が塑性化しデータがスケールオーバーしているので評価できない。従って、隣の P 7 で評価すれば衝突 0.25 秒後の後輪衝突時に 140kN (14.26tf) [HR2] 生じている。

次に支柱定着部の補強鉄筋最大ひずみ（左右 2 本の平均値）は、衝突 0.29 秒後の後輪衝突時に P 7 で 75N/mm^2 (765kgf/cm^2 [432 μ]) であった。

主要横梁に作用した軸力、曲げモーメントの最大合成応力度は衝突 0.26 秒後の後輪衝突時で引張側 $1,000\text{N/mm}^2$ ($10,664\text{kgf/cm}^2$)、圧縮側が -803N/mm^2 (-803kgf/cm^2) であり、引張側の方が大きくなっている。

下段横梁の最大張力は衝突後 0.07 秒後の前輪衝突時で 32kN (3.3tf) であった。

防護柵の損傷は、支柱については左前部車体の接触跡が P 6, P 7（ともに主要横梁と下段横梁間）に 1 カ所ずつ、左後輪の接触跡が P 6（下段横梁と地覆面上間）に 1 カ所あった。また、P 5, P 6, P 7 の支柱付け根部の前面に隙間（3～5 mm）および背面に座屈が認められた。

主要横梁については P 5～P 7（4 m）にかけて円弧状の曲がりを生じ、同区間の一部に前面の凹み、X 方向の引き裂かれがあったが破断はなかった。

下段横梁については P 5～P 7 にかけて円弧状の曲がりを生じ、同区間の一部に左前輪締め付けボルト頭部による切削痕および局所的な孔明きがあったが、破断はなかった。

また横梁継手部の中心部の最大ズレは主要横梁が 7.6mm、下段横梁が 4.5mm であった。解体後の調べでは、はしあき部のへたりおよび亀裂などは認められなかった。

（3）実験 3 < 26kJ (2.7tf・m) : 1t×100.6km/h×15 度 >

車両の防護柵への全接触長は 2,990mm であり、地覆への全接触長は 5,340mm であった。

車両の初期衝突位置は C.P.より 4,180mm 手前であり当初の設定位置より 590mm 手前であった。

支柱の最大変位量は、変位量が小さいため電気計測しなかったが、映像解析を行った結果では P 7 で 7 mm であった。

最大残留変位量は支柱頂部の Y 方向が 2 mm (P 7) であり、X 方向は生じなかった。主要横梁の Y 方向は 4 mm、下段横梁の上側、下側 Y 方向は各 5 mm、3 mm であった。

防護柵の損傷は、支柱については左前車体部の接触痕が P 8 の下段横梁 2 本間にあるが、変形、損傷などはなかった。主要横梁については車体の擦傷、下段横梁には車体と車輪回転方向の擦傷があるが、潰れ、断面変形などは全くなかった。また、継ぎ手部の中心部最大ズレは主要横梁が -0.4mm、下段横梁の上下段がそれぞれ -0.35mm、-0.30mm であった。

地覆の損傷はなかった。

（4）実験 4 < 420kJ (43,27tf・m) : 20t×90.5km/h×15 度 >

車両の防護柵への全接触長は 17,840mm、地覆への全接触長は 15,880mm であった。

車両の初期衝突位置は C.P.より 4,790mm 手前であり、当初の設定位置より 350mm 進行側であった。

支柱の最大変位量は衝突 0.38 秒後の後輪衝突時 P 8 に生じ、123mm であった。ちなみに前輪衝突時は 117mm であった。一方、最大残留変位量は支柱頂部の Y 方向が 90mm (P

7)、X方向が11mm(P13)であり、主要横梁のY方向が95mm、下段横梁Y方向の上が64mm、下が48mmであり、支柱付け根部Y方向は5.6mm(P7)であった。

支柱の最大水平力は、最大変位量を生じたP8の支柱に後輪衝突時に生じているが、実験2と同様、支柱根元部が塑性化しているの、評価から除外する。従って、隣のP7で評価すれば衝突0.37秒後の後輪衝突時に380kN(38.61tf)[HR1]生じている。

支柱に作用した軸力および曲げモーメントの最大合成応力度は、前輪衝突時のP9に生じ、引張側が衝突0.16秒後に 310N/mm^2 (3,132kgf/cm²)、圧縮側が0.16秒後に -360N/mm^2 (-3,692kgf/cm²)であり、部材が塑性化している。

また、支柱定着部の補強鉄筋最大ひずみ(P8の左右2本の平均値)は、衝突0.36秒後の後輪衝突時で914 μ [応力度: 160N/mm^2 (1,618kgf/cm²)]であった。

次に主要横梁に作用した軸力および曲げモーメントの最大合成応力度は、後輪衝突時に生じ、引張側が衝突0.35秒後に -190N/mm^2 (-1,888kgf/cm²)、圧縮側が衝突0.36秒後に 100N/mm^2 (1,021kgf/cm²)であった。ちなみに引張側と圧縮側の値の正負が反対になっているが、前輪衝突時には一致しているので、後輪衝突時車両の後部が防護柵にひっかかり防護柵を引っ張るような力が発生したと考えられる。

従って、解析に際しては挙動の明瞭なB3の値を採用することにした。すなわち、最大合成応力度は衝突0.37秒後の後輪の衝突時に引張側が 69N/mm^2 (699kgf/cm²)、圧縮側が -54N/mm^2 (-552kgf/cm²)であった。

下段横梁の最大張力は、上側が衝突0.10秒後の前輪衝突時で47kN(4.77tf)、下側が衝突0.37秒後の後輪衝突時で38kN(3.89tf)であった。

ちなみに付加測定を行った同点の上側張力は48kN(4.91tf)であり、前値47kN(4.77tf)の3%程度大きくなっているが、貼り付け位置の誤差、計測器の精度などを考慮すれば同じと見なしてよい。従って、今後解析などには付加測定値(軸力および曲げモーメントが算定できる)を使用することにする。

次に下段横梁の上側に作用した軸力、曲げモーメントの最大合成応力度は、後輪衝突時に生じ、衝突0.37秒後に引張側が 39N/mm^2 (400kgf/cm²)、圧縮側が 16N/mm^2 (168kgf/cm²)であった。

防護柵の損傷は、支柱については左前部車体の接触跡がP7(主要横梁と下段横梁間)に1カ所、P8(P7と同じ箇所と下段横梁間)に2カ所、左後輪の接触跡がP8(下段横梁と地覆面上間)に1カ所あった。また、頭部主要横梁固定ボルトが2カ所(P10、P11)車体に引っかけられ破損したほか、P5～P9の支柱付け根部の前面に隙間(2.3～5.6mm)および背面に座屈が認められた。主要横梁については、P4-400mm(継ぎ手位置)～P10-400mm(継ぎ手位置)間の6mに非円弧状の残留変形が観察され、同区間の一部に前面の凹み、X方向の亀裂または引き裂かれがあったが破断はなかった。下段横梁については、非円弧状の残留変形区間は上側、下側ともに主要横梁と同一であり、上側で擦傷が生じた範囲に局部的なえぐり傷、孔明き等が、下段で擦傷が認められたものの、ともに破断はなかった。

また、横梁継ぎ手部の中心部の最大ズレは主要横梁が7.55mm、下段横梁の上側が4.7mm、下側が2mmであった。ちなみにこれらの値は実験2のケースと類似している。

解体後の調べでは、はしあき部のへたりおよび亀裂などは認められなかった。

4. 3. 4 地覆、張り出し床版の挙動、損傷

(1) 実験 1

床版鉄筋の地覆付け根部の最大応力は、前輪衝突時に上側が衝突 0.14 秒後に R 1 (P 6) で 9.7N/mm^2 (99.1kgf/cm^2 [56μ])、下側が 0.14 秒後に R 5 (P 6) で -6.9N/mm^2 (-70.8kgf/cm^2 [-40μ]) であった。

床版付け根部の最大応力は、上側が衝突 0.42 秒後の後輪衝突時に R 4 (P 7) で 2.1N/mm^2 (21.2kgf/cm^2 [12μ]) であった。

地覆、床版への損傷は認められず、また、支柱定着部の周囲もクラックが認められなかった。

(2) 実験 2

床版鉄筋の地覆付け根部の最大応力は、前輪衝突時に上側が衝突 0.25 秒後に R 1 (P 6) で 20N/mm^2 (208.9kgf/cm^2 [118μ])、下側が 0.25 秒後に R 6 (P 7) で -12N/mm^2 (-120.4kgf/cm^2 [-68μ]) であった。

床版付け根部の最大応力は、後輪衝突時に上側が衝突 0.27 秒後に R 4 (P 7) で 5.6N/mm^2 (56.6kgf/cm^2 [32μ])、下側が衝突 0.26 秒後に R 8 (P 7) で -6.9N/mm^2 (-70.8kgf/cm^2 [-40μ]) であった。

地覆床版の損傷は認められず、また、支柱定着部の周囲もクラックが認められなかった。

(3) 実験 3

小型車衝突であり、床版の応力について特に電気計測は行わなかった。

地覆、床版の損傷は特に観察されなかった。

(4) 実験 4

床版鉄筋の地覆付け根部の最大応力は、後輪衝突時に上側が衝突 0.37 秒後に R 1 (P 7) で 97N/mm^2 (991kgf/cm^2 [560μ])、下側が 0.36 秒後に R 5 (P 7) で -24N/mm^2 (-241kgf/cm^2 [-121μ]) であった。

床版付け根部の最大応力は、後輪衝突時に上側が衝突 0.36 秒後に R 4 (P 8) で 14N/mm^2 (142kgf/cm^2 [80μ])、下側が衝突 0.36 秒後に R 8 (P 8) で -17N/mm^2 (-170kgf/cm^2 [-96μ]) であった。

地覆の損傷はなかったが、4カ所 (P 6 ~ P 9) の支柱背面の地覆コンクリート表面に表面の剥離またはヘアークラックが認められた。

表4. 15 実験結果総括一覧表(実験1)

実験番号	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 車両浮き上がり量	車両～防護欄 接触長 mm	車輪外側 最大 進入量 mm	車両最大加速度 他 m/S ² (g)	防護欄最大変位量 mm			防護欄の最大応力 N/mm ² (kg/cm ²)				床板の最大応力 N/mm ² (kg/cm ²)												
										支柱(Y方向) 変位量 mm (FL+785)	残留変位		主要横梁	下段横梁	アンカーボルトの引張力 KN (tf)		鉄筋												
	支 柱 Y方向	横 梁 X方向	Y方向	左側							右側	床板付根部			地覆付根部														
												上側			下側	上側	下側												
パイプビーム 87kJ対応型 防護欄 中型貨物車 実験1 (96-2) H8.9.3	8.0	65.0 64.7	15 15	87(8.9) 86(8.8)	4.9 (角度) 58.3 (速度) 減速率 (9.9)	防護欄側へ(度)	7,925 (P4+345mm ～ P8+270mm) 下段横梁 (上下側含む) 5,950 (P4+580mm ～ P7+530mm) 防護欄部 全接触長 7,925 地覆部 全接触長 8,015 (P5±0mm ～ P9+105mm)	60 (P6+ 500mm)	ソーマット (10ms 平均値)		D1 173.8 (P6) D2 71.0 (P7) D3 9.1 (P8)	対応 157 → -2 (P6) (P6) 対応 48 ← 5 (P4) (P4)	主 要 148 (P5+ 1,250mm) 下段の 上 側 108 (P6+ 550mm) 下段の 下 側 68 (P5+ 1,250mm)	最大軸力 KN (tf) N ₃₇₂ 16 (1.59) B3	最大軸力 KN (tf) 上 側 N ₃₈₋₁ 8.4 (0.85) B3	A1-1 170 (16.91) [2,130/t]	A1-2 170 (17.10) [2,155/t]	R1 56/t [9.7] (99.1) P6 R4 12/t [2.1] (21.2) P7 R8 -22/t [-3.8] (-38.9) P7 R2 37/t [6.4] (65.5) P7 R3 7/t [1.2] (12.4) P8 R5 -40/t [-6.9] (-70.8) P6 R6 -28/t [-4.9] (-49.6) P7 R7 -11/t [-1.9] (-19.5) P8											
						前 端			+ 4.0	ΣT=31.78 P6				A2-1 100 (10.16) [1280/t]		A2-2 87 (8.84) [1113/t]													
						後 端			+ 4.0	ΣT=18.98 P7				ΣT=7.04 P8		ΣT=47.00													
						重 心 位 置			+ 2.0																				
						車両浮き上り量 (cm)																							
						左 右																							
						前輪			0																				
						後輪			0																				
										左側は高速から 死角のため 判明出来ず*																			
						損傷状況			車 両	〈外 廻 り〉・左前バンパー、フェンダー凹み (10cm)、左荷台前から後端部に擦傷あり (FL+190cm、傷巾 7～9cm) ・左窓ガラス枠上端部突出 (9cm) ・土の飛散、窓ガラスの破損など無し ・左前輪ステップ潰れ、ボルトの切削痕無し 〈足 回 り〉・左後輪ホイール擦傷有り (長さ 5cm) ・バースト無し 〈車 室 内〉・損傷無し 〈自 走〉・自走可能																			
防護欄 他	〈支 柱〉・車両の接触有り P6…左前部車体、左前後輪 ・P6…下部付近ウェブ背面凸出部座屈 ・ベース部の前端部浮上がり有り P4～P7、P6(Max):12mm ・アンカーボルト引抜け無し 〈主 要 横 梁〉・P5～P7…数条の擦傷と円弧状の曲がりはあるものの断面変形は無し 〈下 段 横 梁〉〈上〉・P5～P7…数条の擦傷と円弧状の曲がりおよび前面潰れ (P6+200～1,000mm) 有り 〈下〉・P5～P7…円弧状の曲がりおよび潰れによる上下端の亀裂 (P6-600～P6+300mm)、前面の引き裂かれ有り (P6-400～P6+300mm) 〈継 手〉・損傷無し 〈地 覆、床 板〉・損傷無し																												
備 考	1) 実験条件の項の ☐ 内は結果を示す。 2) 鉄筋の項の [] は応力度を示す。 3) 接触長、残留変位区間、損傷状況などの正負は、支柱基準として正が車両離脱側、負が進入側を示す。																												

表4. 16 実験結果総括一覧表(実験2)

実験番号 防護柵形式	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 車両浮き上がり量	車両～防護柵 接触長 mm	車輪外側 最大 進入量 mm	車両最大加速度 他 m/S ² ()	防護柵最大変位量 mm				防護柵の最大応力 N/mm ² (kg/cm ²)				床板の最大応力 N/mm ² (kg/cm ²)			
										支柱(Y方向) 変位量 mm (FL+700)	残留変位			主要横梁	下段横梁	支柱 (Y方向) の水平力 KN (tf)	補強鉄筋 平均 (SL+62/2) N/mm ² (kg/cm ²)	鉄筋			
	支 柱	横 梁	Y 方向	床板付根部							地覆付根部										
				Y 方向							X 方向	Y 方向	上 側					下 側	上 側	下 側	
ボックスビーム 210kJ 対応型 防護柵 Gb-21型 中型貨物車 実験2 (96-3) H8.9.12	8.0	100.0 100.6	15 15	210(21.1) 210(21.4)	2.8 73.8 減速率 (26.6%)	防護柵側へ(度) 前 端 後 端 重 心 位 置 車両浮き上り量 (cm) 左 右 前輪 後輪 左側は高速力 死角のため 判明出来ず*	+18.0 --- +14.0 --- +15.5 --- 4,715 P4+1,765mm ～ P13+400mm 下段横梁 (上下側含む) 4,715 P5+785mm ～ P7+1,500mm 防護柵部 全接触長 端部 16,135 地覆部 全接触長 16,000 P5+250mm ～ P13+750mm	110 (P6+ 11,50mm)	ソーマット (10ms 平均値) 車 両 重 心 X 50 (5.13) Y 130 (12.84)	D1 154.5 (P6) D2 131.6 (P7) D3 65.0 (P8)	対応 130 ⇔ 16 (P6) (P6)	主 要 144 (P6) 下段 75 (P5+ 1,460mm)	最大軸力 KN (tf) N _{ST1} 72 (7.32) B3 最大軸力 KN (tf) N _{SH2} 32 (12.09) B4 曲げモーメント (KN・m) M _{ST1} 13 (1.37) B3 M _{ST2} 28 (2.89) B4 合成応力 (N/mm ²) V _{ST1-1} 49 (504) B3 V _{ST2-1} 100 (1,064) B4	最大軸力 KN (tf) N _{SH1} 13 (1.31) B3 最大軸力 KN (tf) HR2 [6,484] 140 (14.26) P7 HR3 [4,156] 90 (9.14) P8 Σ H R =43.78	432// [75] (764.6) P7		R1 118// [20] (208.9) P6 R2 92// [16] (162.8) P7 R3 7// [8.3] (85.0) P8 R4 32// [5.6] (56.6) P7 R5 -66// [-11] (-116.8) P6 R6 -28// [-12] (-120.4) P7 R7 -11// [-7.6] (-77.9) P8				
損傷状況	車 両	〈外 廻 り〉・左前バンパー、フェンダー凹み (35 cm)、左荷台下端部の3箇所突起金具に擦傷あり ・燃料タンク凹み有り ・左下廻り覗き見窓ガラス破損 ・左窓ガラス枠上端部突出 (20 cm) ・土のう飛散、窓ガラスの破損など無し 〈足 回 り〉〈左前輪〉・後方へ移動 (外端 95 cm) ステップ潰れ (約円周の 1/2) ・ボルト2本アルミ切削痕有り タイヤ取外れによるバースト ・左側Uボルト切断、スプリング取外れ 〈左後輪〉・ホイール一部接触跡有るが変形軽微 〈車 室 内〉・損傷無し 〈自 走〉・自走不可																			
		防護柵 他	〈支 柱〉・車両の接触有り P6…左前部車体、左後輪 ・P7…左前部車体 ・P5～P7…支柱付根の前部隙間 (3～5mm) および背面座屈有り 〈主 要 横 梁〉・P5～P7…円弧状曲がり有り ・前面凹みまたは長手方向の引き裂かれ有り (P5+1,010～P7+300mm) 〈下 段 横 梁〉・P5～P7…円弧状曲がり有り、切削痕 (ボルト) および孔明き有り (P6-800～P6-180mm) 〈継 手〉・損傷無し 〈地 覆、床板〉・損傷無し																		
備 考	1) 実験条件の項の 内は結果を示す。 2) 鉄筋の項の [] は応力度を示す。 3) 接触長、残留変位区間、損傷状況などの正負は、支柱基準として正が車両離脱側、負が進入側を示す。 * オーバースケール																				

表4. 17 実験結果総括一覧表 (実験3)

実験番号	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 車両浮き上がり量	車両～防護柵 接触長 mm	車輪外側 最大 進入量 mm	車両最大加速度 他 m/S ² (g)	防護柵最大変位量 mm			損 傷 状 況			
										支柱(Y方向) 変位量 mm (FL+900)	残 留 変 位					
	防護柵形式	質 量 t	速 度 km/h	進入角 度							衝撃度 kJ (tfm)					
ボックスビーム 420kJ 対応型 防護柵 Gb-42型 小型乗用車 実験3 (96-4) H8.9.19	1.0	100.0 100.6	15 15	25(2.6) 26(2.67)	3.0 (角度) 69.9 (速度) 減速率 (30.5%)	防護柵側へ(度)	2,580 (P6+960mm ～ P8+540mm) 下段横梁 (上下側含む) 2,990 (P6+770mm ～ P8+760mm) 防護柵部 全接触長 2,990 地盤部 全接触長 5,340 (P6±0mm ～ P9+840mm)	50 (P6+ 11,70mm)	ソーマット (10ms 平均値) 車 両 重 心 X 94 (9.54) Y 130 (13.20))			FD1 7 (P7)	2 (P7)	主 要 4 (P7+ 330mm)	(外 廻 り)・左前フェンダーほぼ平坦に潰れ (12cm) ・左車体前から後端部にかけて 2条(下段横梁2本)の擦傷有り ・左ライト、グリル破損 ・窓ガラス破損無し (足 回 り) (左前輪)・後方移動(外端:7cm) ・ステアリング損傷のため反時計 方向に30度変形 ・2箇所引き裂かれ傷のためパー スト、およびホイール内側にまぐ れ(約1/3) (車 室 内)・ダミー正常 ・損傷無し (自 走)・自走不可(スティング変形のため)	(支 柱)・P8の下段横梁2本間に左前 車体部の接触跡は有るが、損 傷はない (横 梁)・主要横梁、下段横梁ともに 車両の接触はあるが、曲がり 損傷などはない (地 盤 部)・損傷無し
						前 端						+ - - 1.0				
						後 端						+ - - 3.0				
						重 心 位 置						+ - - 2.0				
						車両浮き上り量 (cm)										
												左 右				
						前輪						- 0				
						後輪						- 4.8				
						左側は高速力 死角のため 判明出来ず*										
備 考	1) 実験条件の項の 内は結果を示す。 2) 支柱変位量は高速映画の変位測定版から求めた値であり、従って記号は変位計 (D) と区別しFDとした。 3) 接触長、残留変位区間、損傷状況などの正負は、支柱基準として正が車両離脱側、負が進入側を示す。															

表4. 18 実験結果総括一覧表 (実験4)

実験番号	実験条件及び結果				離脱角度 度	衝突車両の最大 傾斜角及び 車両浮き上がり量	車両～防護柵 接触長	車輪外側 最大 進入量	車両最大加速度 他	防護柵最大変位量 mm			防護柵の最大応力 N/mm ² (kg/cm ²)								床板の最大応力 N/mm ² (kg/cm ²)																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																		
										支柱(Y方向) 変位量 mm (FL+800)	残留変位		主要横梁	下 段 横 梁		支柱(Y方向) の水平力 KN (tf)	支 柱	平 均 (S1+S2/2)																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																					
	支	柱	横 梁	上、下側							上 側																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																												
防護柵形式	質 量 t	速 度 km/h	進入角 度	衝撃度 kJ (tfm)	離脱速度 km/h		mm	mm	m/S ² (g)		Y方向	X方向	Y方向				KN (tf)			鉄 筋																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																			
ボックスビーム 420kJ 対応型 防護柵 Gb-42型 大型貨物車 実験4 (96-5) H8.10.30	20.0	90.0 90.5	15 15	420 420(43.2)	0.0 71.0 減速率 (21.5%)	防護柵側へ(度)		17,840 (P4+560mm ～ P16+400mm (END) 下段横梁 (上下側含む) 15,175 (P4+580mm ～ P7+530mm (END) 防護柵部 全接触長 端部 17,840 地覆部 全接触長 15,880 (P5±0mm ～ P9+105mm (END)	110 (P7+710mm)	ソーマット (10ms 平均値)		D1 111 (P7) D2 123 (P8) D3 81 (P9)	対応 90 → 6 (P7) (P7) 対応 5 ← 11 (P13) (P13)	主 要 95 (P7+750mm) 下段の 上 側 64 (P6+1,210mm) 下段の 下 側 48 (P7+1,020mm)	最大軸力 KN (tf) N _{ST1} 36 (3.66) B3	最大軸力 KN (tf) 上 側 N _{SH1-1} 31 (3.12) B3	最大軸力 KN (tf) N _{SH1} 31 (3.12) B3	HR1 ₁₁ [19,549] 380 (38.61) P7	最大軸力 KN (tf) N _{H1} 150 (15.13) P7	H _{W2} (kg/cm ²) 914 ₁₁ [160] (1,617.8) P8	床 板 付 根 部																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																		
						前 端	+ 12.0																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																

4. 4 考察

4. 4. 1 評価基準と判定結果

(1) 評価基準

評価基準は、これまでの一連の実験で用いられてきた基準を採択した。

1) 車両挙動

①乗員の安全性

・車両重心加速度

乗員の安全性評価は、小型車の車両重心加速度が乗員に与える衝撃度と比例関係にあるものとして、この加速度を用いて評価することが一般的となっている。

このとき、重心加速度は 10ms 間の移動平均値として、下記式により求める。

$$\alpha_{x,y} = \int_{t_1}^{t_2} a_{x,y} dt / \Delta t$$

Δt : 移動平均値を求める時間間隔 ($\Delta t=10\text{ms}$)
 $\alpha_{x,y}$: Δt 間の移動平均加速度の x または y 方向の値
 $a_{x,y}$: 瞬間発生加速度の x または y 方向の値
 t_1 : 加速度作用中の任意の時点
 t_2 : $t_1 + \Delta t$

上式により求められた加速度の最大値が、x、y 方向それぞれについて表 4. 19 の値を上回った場合に危険であると判断される。

表 4. 19 車両の最大 10ms 平均加速度許容限界値

	縦方向 X	横方向 Y	備 考
車両重心	150 m/s ² (15g)	150 m/s ² (15g)	二次災害防止対策用の*剛性の高い防護柵、許容値 200m/s ² (20g)となっている。

* 衝撃度 160kJ~650kJ (16.5tfm~65.9tfm) 以上

・ダミー頭部加速度

ダミー頭部に発生した加速度は、米国 Federal Motor Vehicle Safety Standard で提唱される評価値 (Head Impact Criteria : 以下 HIC 値) で評価を行うものとする。

HIC 値は以下の式によって求められる。

$$HIC = (t_2 - t_1) \left\{ \frac{1}{(t_2 - t_1)} \int_{t_1}^{t_2} a dt \right\}^{2.5}$$

a : 瞬間発生加速度
 t_1 : 衝突加速度作用中の任意の時点
 t_2 : t_1 を基点として衝突終了までの間の任意の時点

上記式で計算された HIC 値は 1000 を超えないこととされている。

②車両の挙動

・離脱速度

離脱速度は後続の車両の追突や追突回避行動に大きく影響することから、誘導された車両の極端な減速は望ましくない。また、衝突後の軌跡は離脱角度（車両の進行角）および車両の姿勢角によるが、これらは2次事故回避に対して影響するため重要である。

なお、表4. 20に車両の挙動（車両の損傷を含む）の評価基準値を示す。

表4. 20 車両の挙動の評価基準値

項目	内容
離脱速度	乗員に大きな減速度による衝撃を与えないこと、および後続の車両の追突や追突回避行動に大きく影響するので、入射速度の25%以上減速しないこと、または、20km/h程度以上減速しないこと（米国24km/h）とする。
離脱角度 （進行角度）	隣接する車線に進入することのないように入射角の60%以内および10度以下を目標とする。
姿勢角度	進行角度と姿勢角度に極端に差があるとスピンや横転を起こすことから、出来るだけ小さくすることが良い。

（2）判定結果

①乗員の安全性

各実験の評価基準による乗員の安全性の判定結果を表4. 21に示す。

車両重心の加速度値（10ms移動平均値）は、小型乗用車および貨物車などのいずれの実験ケースも評価基準値以下で問題ない。

また、実験3の小型乗用車の助手席ダミー頭部のHIC値も117.1で、評価基準値（1,000）以下で乗員の安全性は満足している。

表4. 21 評価基準による乗員の安全性の判定結果と車両の誘導性

項目	形式 実験	Gp-8.9型	Gb-21型	Gb-42型	
		実験1	実験2	実験3	実験4
		中型貨物車	中型貨物車	小型乗用車	大型貨物車
乗員の 安全 性	車両重心 の加速度 m/s ² (g) 10ms平均値	X : $42 \leq 150$ ($4.27 \leq 15$) Y : $45 \leq 150$ ($4.62 \leq 15$)	X : $50 \leq 150$ ($5.13 \leq 15$) Y : $130 \leq 150$ ($12.84 \leq 15$)	X : $94 \leq 150$ ($9.54 \leq 15$) Y : $130 \leq 150$ ($13.20 \leq 15$)	X : $-34 \leq 200$ ($-3.45 \leq 20$) Y : $110 \leq 200$ ($11.4 \leq 20$)
	ダミー頭部の 加速度の HIC値	—	—	T: $117.1 \leq 1,000$ (X,Yの合成値)	—
	評価	OK	OK	OK	OK

②車両の挙動と誘導性

表4. 22に車両の誘導性に関する評価結果を示す。

表4. 22 評価基準による車両の挙動の判定結果

形式 実 験 項 目		G p - 8.9 型	G b - 21 型	G b - 42 型	
		実 験 1	実 験 2	実 験 3	実 験 4
		中型貨物車	中型貨物車	小型乗用車	大型貨物車
車両の挙動	離脱速度	64.7km/h → 58.3km/h 6.4 ≦ 20	100.6km/h → 73.8km/h 26.8 ≧ 20	100km/h → 69.9km/h 30.7 ≧ 20	90.5km/h → 71.0km/h 19.5 ≦ 20
	減速値 (km/h)	9.9 < 25	26.6 > 25	30.5 > 25	21.5 < 25
	減速率 (%)				
	離脱角度 (度)	4.9 ≦ 9	2.8 ≦ 9	3.0 ≦ 9	0.0 ≦ 9
	車両横転	無 し	無 し	無 し	無 し
車両の誘導性		衝突車は地覆上に円滑に乗り上げ、方向転換時防護柵側へ多少傾くが、車輪の浮き上がりもなくすぐ復元し、進行方向に浅い角度で円滑に誘導された。	衝突時は左前輪衝突時同輪が後方に移動、Uボルト、板バネ等の下廻りが破損し、更に方向転換時には防護柵へ傾き、左前後輪は浮き上がるがすぐ復元し、進行方向に浅い角度で円滑に誘導された。	衝突車は地覆面上に円滑に乗り上げ、方向転換時道路側へ多少傾き、後輪が浮き上がるがすぐ復元し、進行方向へ浅い角度で良好に誘導された。	衝突車は地覆面上に円滑に乗り上げ、方向転換時前後輪が浮き上がり、防護柵側に傾くが、すぐ復元し、防護柵に沿って進行方向へ円滑に誘導された。
その他	自力走行	可能	不可 牽引可能 板バネ、Uボルト破損 後輪バースト	不可 牽引可能 ステアリング変形	不可 牽引可能 ステアリング変形
	車室内	ガラス破損無し 生存空間確保	左下廻り視き見窓ガラス破損 左窓ガラス枠上端部突出 生存空間確保	ガラス破損無し 生存空間確保	ガラス破損無し 生存空間確保
評 価		OK	OK	OK	OK
備 考			離脱角度(2.8度)が小さく、円滑に誘導されていることから、特に問題はない。	離脱角度(3.0度)が小さく、円滑に誘導されていることから、特に問題はない。	

注) 網掛け部は評価基準を越えている箇所を示す。

表4. 2 3 車両の挙動

項 目 型式 実験			離脱 速度	減速 率	離脱 角度	防護柵 全接触長	** 最大 変位 (Y 方向)	** 最大 残留変位 (Y 方向)	最大傾斜角 (防護柵 側が+ (度)	最大飛び降り量 (mm)		
			(km/h)	(%)	(度)	(m)	(mm)	(mm)			* 左	右
Gp-8.9 型	中型 貨物車	実 験 1	58.3	9.9	4.9	7.93	174	157	車両 重心 -2.0	前輪	—	0
										後輪	—	0
Gb-21 型	中型 貨物車	実 験 2	73.8	26.6	2.8	端 部 16.14	155	130	車両 重心 -15.5	前輪	—	470
										後輪	—	460
Gb-42 型	小型 乗用車	実 験 3	69.9	30.5	3.0	2.99	7	2	車両 重心 -2.0	前輪	—	0
										後輪	—	48
	大型 貨物車	実 験 4	71.0	21.5	0.0	端 部 17.84	123	90	車両 重心 -21.0	前輪	—	36
										後輪	—	(平均) 21.0

* カメラ死角のため判明できず

** 支柱を示す

・実験 1

衝突車両は、左側前後輪が円滑に地覆面上に乗り上げ方向転換するとき、防護柵側へ多少傾く (+2 度) が、車輪の浮き上がりもなくすぐ復元し、進行方向へ減速値 (6.4km/h)、減速率 (9.9%) および離脱角度 (4.9 度) とともに評価基準値以下の安定した挙動で誘導されており、良好である。

・実験 2

衝突車は衝突後防護柵側へ傾き (+15.5 度)、方向転換しながら左側前後輪が大きく浮き上がるがすぐ復元し、防護柵に沿って並進した後、減速値 (26.8km/h)、減速率 (26.6%) とともに評価基準を上廻って離脱しているものの、離脱角度 (2.8 度) は小さく評価基準以下であり、円滑に進行方向に誘導されていることから、特に問題はないといえる。

・実験 3

衝突車は、地覆面上で方向転換時、道路側に多少傾き（-2.0 度）右後輪が浮き上がるがすぐ復元し、実験 3 と同様、減速値（30.7km/h）、減速率（30.5%）とも評価基準値を上廻って離脱しているものの、離脱角度（3 度）は小さく評価基準値を満足しており、進行方向へ安定性のある挙動で誘導されていることから、特に問題はないといえる。

・実験 4

衝突車は、左側前後輪が地覆面上に乗り上がり、方向転換するとき防護柵側に傾き（+21.0 度）、右側前後輪が浮き上がるが、すぐ復元し、防護柵に沿って進行方向へ減速値（19.5km/h）、減速率（21.5%）および離脱角度（防護柵と並進のため 0 度）ともに評価基準値以下の安定した挙動で誘導されており、良好である。

③車両の損傷

衝突後の乗員の安全性確保や事故復旧の容易性（車両の移動容易性）に着目し、車両の損傷状況を観察した結果は、表 4. 24 のとおりである。

表 4. 24 車両の損傷

型式	項 目		バンパ- フィンク- の凹みcm	車体及び車輪	ステアリング 足廻り	自力 走行	車室内 変 形	備 考
	実験							
Gp-8.9 型	中型 貨物車	実験 1	10	・荷台前から後端に擦傷 ・窓ガラス枠上部突出（9 cm） ・後輪ホイール擦傷 ・バーストなし	・軽微	可能	ほとんど 無 し	—
Gb-21 型	中型 貨物車	実験 2	35	・前から後端、突起金具に擦傷 ・窓ガラス枠上部突出（20 cm） ・下廻り覗き見窓ガラス破損 ・前輪バースト ・後輪ホイール変形（軽微）	・前左軸 U ボルト ・板バネ破損 ・左前輪 95 cm 移動	不可	ほとんど 無 し	—
Gb-42 型	小型 乗用車	実験 3	12	・前から後端に 2 条の擦傷 ・ライト、グリル破損	・左前輪 7 cm 移動 ・同輪ホイール変形 及び裂傷、 バースト	不可	ほとんど 無 し	—
	大型 貨物車	実験 4	43	・前から後端、突起金具に擦傷 ・前輪ボルト曲がり（1 本） ・後輪ホイール変形（軽微）、 ・バーストなし	・左前輪 15 cm 移動	不可	ほとんど 無 し	—

バンパーの凹み量は実験 1、実験 2 の中型貨物車が 10～35cm、実験 4 の大型貨物車が 43cm である。

通常凹み量は現行の種別 S [衝撃度 230KJ (23.6tf)] 程度の大型貨物車（中型貨物車の既往データはない）では 30cm 程度、衝撃度 640KJ (65tfm)程度の剛性防護柵では 65cm 前後であるが、いずれのケースも同部が柵に食い込んだ状態で誘導されており、今回の実験のケースも凹み量は既往の実験例¹⁾²⁾より小さいことから特に問題はない。

また、ステアリングの足廻りの損傷は、実験 1 では軽微で自走可能であったが、実験 2 と実験 4 では左前輪衝突時に同輪が後方に移動している。なお、実験 2 では同輪の車軸と板バネを締結している U ボルトが破損し、かつバーストした。よって、これらのケースでは自力走行不可能であった。しかし、牽引走行は可能である。

また、実験 3（小型乗用車）のケースは左前輪のステアリングが変形し、同輪がバーストしたため自力走行は不可能であるが、軽量であることから早期撤収が容易であり、特に問題はないといえる。

車室内の変形はいずれのケースも主窓ガラスの破損もなく、乗員の生存空間は確保されており問題ない。

4. 4. 2 防護柵の機能および強度

(1) 最大変位量および残留変位量

表4. 25にY方向の支柱の最大変位量および支柱、横梁の最大残留変位量を示す。

最大変位量（頭部）は、貨物車を用いた実験のなかで実験1が最も大きく188mm、実験4が最も小さく138mmである。

また、最大進入行程は実験2と実験4が110mmおよび実験1が60mmである。これらの値は“要綱”で示されている基準値300mm以下であり、いずれも設計条件を満足し、衝突車両を誘導していることから問題はない。

一方、支柱頭部の最大残留変位量は最大変位量の62～84%になっており、いずれの実験ケースも支柱地覆付け根部付近が塑性域に至り、支柱の変形性能を十分発揮している。ちなみに、支柱が塑性域に到る最大残留変位量の最大変位量に対する割合は、静荷重試験における「荷重～変位曲線」から実験1が54% (49/91mm)以上、実験2、実験4ともに37% (実験2：25/68mm、実験4：31/85mm)以上に相当する。

表4. 25 最大変位量および残留変位量（単位：mm）

型 式 実 験 項 目		Gp-8.9 型	Gb-21 型	Gb-42 型	
		中型貨物車	中型貨物車	小型乗用車	大型貨物車
		実 験 1	実 験 2	実 験 3	実 験 4
支柱変位量（Y方向） （主要横梁中心）		*1) 174 (P6) [188]	155 (P6) [177]	7 (P7) [7]	123 (P8) [138]
残留変位量 （Y方向）	支柱頭部	157 (P6)	130 (P6)	2 (P7)	90 (P7) 85 (P8)
	主要横梁	148 (P5-1,250 mm)	144 (P6)	4 (P7+330 mm)	95 (P7+750 mm)
	下段横梁	上：108 (P6+550 mm)	75 (P5+1,460 mm)	上：5 (P7+330 mm)	上：64 (P7-290 mm)
		下：68 (P5+1,250 mm)		下：3 (P7+330 mm)	下：48 (P8-480 mm)
備 考	車両の最大 進入行程 (mm)	60	110	50	110

* 1) []内は支柱頂部の換算変位量を示す。

(2) 支柱に作用した最大水平力

表4. 26に支柱のせん断ひずみから求められた最大水平力を示す。

Y方向の支柱のせん断ひずみから求められた最大水平力は、実験2ではP6がP7に比べて支柱最大変位量、同残留変位量および床版鉄筋最大ひずみ値等が大きいことから、容易に大きいことと推察されるが、前輪衝突時に同部の測定ひずみが塑性域（最大荷重経過後、荷重の低減がない）になっていることから、ここでは評価の対象から除外し参考値に留め、P7を最大値140kN(14.26tf)とする。実験4ではP7よりP8の値の方が約5%（支柱の最大変位量も5%大きい）大きい、塑性域になっていることから、実験2と同様、P8の値を評価の対象から除外し参考値に留めP7の値とする。なお、床版鉄筋最大ひずみ、地覆面上のクラック発生程度を見比べた場合、P7の値の方がP8より大きいことから、P7の支柱が最大値と推察される。

表4. 26 支柱のせん断ひずみからの最大水平力

項 目 型式 実験			せん断ひずみ (μ)	① 水平力 kN (tf)	② 静荷重 試験値 kN (tf)	① / ②	備 考			
							支柱最大 変位量 (mm)	支柱最大 残量変位 量(mm)	床版鉄筋 最大ひず み(μ)	その他
Gb-21 型	中型 貨物車	実験 2	P6max:10,000 以上	220 以上 (22.47)	56 (5.70)	25 参考 P6 (3.93)	174	130	118	
			P7 : 6,484	140 (14.26)			71	89	91	
Gb-42 型	大型 貨物車	実験 4	P7 : 19,549	380 (38.61)	87 (8.9)	4.37	111	90	560	クラック
			P8max:20,584 以上	400 以上 (40.65)			123	85	496	P7>P8

支柱のせん断ひずみから求められた水平力は、静荷重試験値に比べ実験2で3.93倍～実験4で4.37倍大きくなっている。これは静荷重値（衝撃荷重）が静荷重値に比べてひずみ速度の影響により、部材の強度や弾性係数などが変化し、静的最大荷重の3～5倍になっていると文献に報告されていることから妥当と思われるが、定量的な解析は今後の課題として残る。

(3) 支柱に作用した軸力、曲げモーメントおよび合成応力度

表4. 27に実験4の最大軸力、曲げモーメントおよび合成応力度を示す。

表4. 27 支柱に作用した最大軸力、曲げモーメントおよび合成応力度

位 置 項 目		支 柱		
		P7	P8	P9
発 生 時 間		0.1475 秒後 (F)	0.1175 秒後 (F)	0.1625 秒後 (F)
軸 力 kN・m (tfm)		54 (5.46) [11 (115)]	63 (6.46) [13 (136)]	42 (4.27) [0.9 (90)]
曲げモーメント kN・m (tfm)		43 (4.43) [220 (2,226) -270 (-2,764)]	48 (4.93) [240 (2,477) -300 (-3,081)]	59 (6.05) [300 (3,041) -370 (-3,782)]
合成応力度 N/mm ² (kgf/cm ²)	引張側	230 (2,341)	260 (2,613)	307 (3,131)
	圧縮側	-260 (-2,649)	-290 (-2,945)	-360 (-3,692)

注) 1) [] 内の数値は応力度 N/mm² (kgf/cm²)を示す。

2) 発生時間内の (F) は前輪衝突時を示す。

最大曲げモーメントおよび合成応力度の発生位置は、支柱の最大水平力の発生位置 (P7 または P8) と異なり、P9 に曲げモーメントが 59kN・m(6.05tfm)、合成応力度が 307 N/mm² (3,131 kgf/cm²) [引張側]であり、部材が耐力値 250 N/mm² (2,500kgf/cm²) を超える塑性域になっている。これは P9 付近の主要横梁の上端隅角部に車体の引っかかりによる長手方向の引き裂かれ傷が有るところから、衝突車両のイレギュラーな挙動に起因する。

また、最大曲げモーメントから支柱に作用した最大水平力を算定 (支柱の専断ひずみからの水平力と比較するため同じ支柱とした) すると P7 が 67kN (6.82tf) [4.3Nmm (4.43×10⁵kgfcm)/65cm]、P8 が 74kN (7.59tf) [4.8Nmm (4.93×10⁵kgfcm)/65cm]であり、これらの値はそれぞれ静荷重試験値の 77% [67/87kN] (6.82/8.90tf)、85% [74/87] (7.54/8.90tf) になっているが、これら横梁部材が緩衝体として作用しているためである

(4) アンカーボルトの最大引張力

表4. 28に実験1のアンカーボルトの最大引張力および同値から算定した支柱に作用した最大水平力を示す。

アンカーボルトの最大引張力は、P6の支柱に生じ370kN(37.33tf)であり、支柱に作用した最大水平力は75kN(7.69)である。

表4. 28 アンカーボルトの最大引張力および支柱最大水平力

位 置 項 目			左側ボルト (L)	右側ボルト (R)	備 考
引張力 kN (tf)	①	組立時の初期 荷重 kN (tf)	27 (2.76)	27 (2.79)	アンカーボルト幹部面積 (実測値) $A = \pi / 4 \times 2.24^2$ $= 3.941 \text{ cm}^2$
	②	* 実験時の荷重 kN (tf)	140 (14.68)	170 (17.10)	
			310 (31.78)		
	小 計 (① + ②)		167 (17.44)	197 (19.89)	資料偏 3-2 項 参照 * 衝突 0.1300 秒後 Max 値
	合 計 (L + R)		364 (37.33)		
支柱の最大水平力 kN (tf)			75 (7.69)		

アンカーボルトの最大引張力の応力は、右側で490 N/mm²(5,047kgf/cm²) [200,000kN(19,890kgf)/3941cm²] であり、部材耐力780 N/mm²(8,000kgf/cm²) に対して十分余裕がある。

また、図4. 23に示す荷重と作用点の考え方から、アンカーボルトの引張力から支柱に加わった最大水平力を算定すると75kN(7.69tf)になる。この値は静荷重試験値の2.02倍 [75/37kN] (7.69/3.8tf)に相当する。

なお、支柱に加わった最大水平力の計算は以下に示すとおりである。

モーメントの釣り合い式

$$P_h \cdot h = F_1 \cdot L_1 + F_2 \cdot L_2$$

P_h : 支柱に作用した最大水平力

h : ベース部底面より主要横梁までの高さ

F_1 : 面アンカーボルトに作用した力

F_2 : 前面アンカーボルトに作用した力

(5) 補強鉄筋の最大応力

表 4. 29 に補強鉄筋の最大応力及び引張力、表 4. 30 に補強鉄筋の最大引張力から支柱に作用した最大水平力の算定値を示す。

補強鉄筋の測定値での最大応力は実験 2 が P7 で $75 \text{ N/mm}^2 (765 \text{ kgf/cm}^2)$ 、実験 4 が P8 で $160 \text{ N/mm}^2 (1,617 \text{ kgf/cm}^2)$ であった。

また、支柱に作用したせん断ひずみからの水平力の項で述べたように、これらの最大応力は必ずしも最大値でないことから、隣の支柱との床版鉄筋ひずみの相関性から推定すれば、実験 2 が P6 で $97 \text{ N/mm}^2 (992 \text{ kgf/cm}^2)$ [$118 \mu (R1)/91 \mu (R2) \times \sigma_{rs}$]、P7 で $180 \text{ N/mm}^2 (1,826 \text{ kgf/cm}^2)$ [$560 \mu (R1)/496 \mu (R2) \times \sigma_{rs}$]である。これらの値は許容耐力値 $290 \text{ N/mm}^2 (3,000 \text{ kgf/cm}^2)$ 以下であり、図 4. 4 で示した U 型補強鉄筋の有効性が検証されたと言えよう。

また、補強鉄筋の最大引張力から支柱に作用した最大水平力を算定すれば、実験 2 が P6 で $61 \text{ kN} (6.25 \text{ tf})$ 、実験 4 が P7 で $82 \text{ kN} (8.40 \text{ tf})$ である。これらの値は静荷重試験値の実験 2 が 1.10 倍 [$61/56 \text{ kN}$] ($6.25/5.70 \text{ tf}$)、実験 4 が 0.94 倍 [$82/87 \text{ kN}$] ($8.40/8.90 \text{ tf}$) になっており、支柱のせん断ひずみから求められた値の比率と比べて、極めて近似している。これは動荷重の衝撃波を周囲部材（コンクリート）が緩衝体として吸収するためであると考えられる。

表 4. 2 9 補強鉄筋の最大応力度および引張力

型式・車種 実 験 位 置 項 目		Gb-21 型				Gb-42 型				備 考
		中型貨物車				大型貨物車				
		実 験 2				実 験 4				
		P6		P7		P7		P8		
		S1(左)	S2(右)	S1(左)	S2(右)	S1(左)	S2(右)	S1(左)	S2(右)	
最大値発生時間		0.2925 秒後(後輪)				0.3625 秒後(後輪)				F R = 2 · σ · A A = 3.871 cm ² (D22) E = 1.74 × 10 ⁵ N/mm ² (1.77 × 10 ⁶ kgf/cm ²) (測定値)
ひずみ ε _s (μ)	各々	—	—	423	441	—	—	795	1,032	
	平均	—		432		—		914		
応力度 σ _s N/mm ² (kgf/cm ²)	各々	—	—	73 (748)	77 (781)	—	—	1,40 (1,407)	1,80 (1,827)	
	平均	〈 98 〉 (992)		75 (765)		〈 180 〉 (1826)		160 (1617)		
引張力 F _R KN (tf)	各々	—	—	57 (5.79)	59 (6.05)	—	—	110 (10.89)	140 (14.15)	
	平均	〈 150 〉 (15.35)		120 (11.84)		〈 280 〉 (28.27)		250 (25.04)		
支柱に作用した最大 水平力 : P _{HS} kN (tf)		[61] (6.25)		56 (5.66)		[82] (8.40)		77 (7.86)		
JIS 規格値 SD295	耐 力	290 N/mm ² (3,000 kgf/cm ²) 以上								
JIS G3112	引張強さ	440 ~ 600 N/mm ² (4,500 ~ 6,100 kgf/cm ²)								

注) 1) 〈 〉 内の数値は隣との支柱の床版鉄筋ひずみ(地覆付根部)との相関からの推定値を示す。

2) [] 内の数値は上記の引張力から支柱に作用した水平力値を算定したものである。

表4. 30 補強鉄筋の引張力から算定した支柱に作用する水平力

項 目 支 柱 型 式		補強鉄筋が 受け持つ荷重 $R_s = \text{kN (kgf)}$ [測定値]	コンクリートが 受け持つ荷重 $R_c \text{ kN (kgf)}$	耐 荷 力 kN (kgf) R $(R_s + R_c)$	支柱に作用した 水平力: $P_{\max} \text{ kN (tf)}$ $\left(\frac{h_1 \times F_1}{h_1 + h_2} \right)$
実験 2 (Gb-21 型)	P6	150 (15,350)	240 (24,600)	390 (39,950)	65 (6.66)
	P7	120 (11,840)		360 (36,440)	60 (6.07)
実験 4 (Gb-42 型)	P7	280 (28,720)	250 (25,830)	530 (54,100)	80 (8.12)
	P8	250 (25,040)		500 (50,870)	75 (7.63)

*2)

$$R_c = \eta_c \cdot \tau_{pa} \cdot S$$

$$S = c \left(0.8a + b + \frac{\pi}{2} \cdot c \right)$$

$$P_{\max} = \frac{h_1 \times F_1}{h_1 + h_2}$$

[注]寸法関係は下図参照

τ_{pa} : 許容押抜きせん断応力度 (N/mm^2)

実験 2: $10 (\sigma_{ck} \approx 29 \text{ N/mm}^2)$

実験 4: $10.5 (\sigma_{ck} \approx 32 \text{ N/mm}^2)$

S : コンクリートの計算せん断面積 (cm^2)

η_c : 許容押抜きせん断応力度の
割り増し係数 $\eta_c = 1.5$

$F_1 \approx R$ とする

*2) 参考文献資料(単位: mm)

(注 記) () 内はGb-21型を示す

(6) 横梁に作用した最大軸力、曲げモーメント

表4. 31に横梁に作用した最大軸力、曲げモーメントおよび合成応力度を示す。

主要横梁に作用した最大軸力および最大曲げモーメントの合成応力度は、実験1が 110 N/mm^2 ($1,128 \text{ kgf/cm}^2$)、実験2が 100 N/mm^2 ($1,064 \text{ kgf/cm}^2$) および実験4が 69 N/mm^2 (700 kgf/cm^2) である。また下段横梁の軸力から求められる最大応力は、実験1の上側、下側が、それぞれ 19 N/mm^2 (191 kgf/cm^2)、 18 N/mm^2 (179 kgf/cm^2)、実験2が 11 N/mm^2 (110 kgf/cm^2)、実験4の上側、下側がそれぞれ 13 N/mm^2 (134 kgf/cm^2)、 13 N/mm^2 (130 kgf/cm^2) である。これらの値は材料耐力 250 N/mm^2 ($2,500 \text{ kgf/cm}^2$) 以下であり、強度的には十分であると考えられる。

軸力から求められる応力度の合成応力度に対する割合は、主要横梁が $5\% \sim 13\%$ [$5.5/110 \sim 13/100 \cdot \text{N/mm}^2$] ($56/1,128 \sim 132/1,064 \cdot \text{kgf/cm}^2$)、下段横梁が 33% [実験4の上側のみ: $13/39 \text{ N/mm}^2$ ($134/400 \cdot \text{kgf/cm}^2$)] である。したがって、主要横梁は主に曲げ部材として、下段横梁は曲げおよび引張部材として有効に働いていることがわかる。

表4. 31 横梁に作用した最大軸力、曲げモーメント及び合成応力度

項 目		型 式		Gp-8.9 型	Gb-21 型	Gb-42 型
		車 種		中型貨物車	中型貨物車	大型貨物車
		実 験		実 験 1	実 験 2	実 験 4
主 要 横 梁		発生時間と位置		0.0075 秒後(F) B4	0.2625 秒後(B) B4	0.3650 秒後(B) B3
		軸 力 kN (tf)		12(1.21)	60(6.12)	34(3.42) [7.3(74)]
		曲 げ モ ー メ ン ト kN・m		6.3(0.640) (±110 (±1,072))	28(2.89) (±91 (±932))	19(1.94) (±61 (±626))
		合成応力度 N/mm ² (kgf/cm ²)	引張側	110 (1,128)	100 (1,064)	69 (700)
			圧縮側	-100 (-1,016)	-78 (-800)	-54 (-551)
下 段 横 梁	上 側 または 1 本 の 時	発生時間と位置		0.0975 秒後(F) B4	0.0650 秒後(F) B4	0.3675 秒後(B) B4
		軸 力 kN (tf)		16(1.62) [19(191)]	32(3.30) [11(110)]	39(4.01) [13(134)]
		曲 げ モ ー メ ン ト kN・m (tfm)				[26 (266)] 1.7 (0.176) [-29 (295)]
		合成応力度 N/mm ² (kgf/cm ²)	引張側			39 (400)
			圧縮側			-16 (-161)
	下 側	発生時間と位置		0.1175 秒後(F) B4		0.3675 秒後(B) B4
		軸 力 kN (tf)		15 (1.52) [18 (179)]		38 (3.89) [13 (130)]
	JIS 規格値 A6061S-T6 JIS H4100		耐 力 N/mm ² (kgf/cm ²)		250 (2,500) 以上	
		引張強さ N/mm ² (kgf/cm ²)		260 (2,700) 以上		

注) 1) 発生時間の F、B はそれぞれ前輪、後輪衝突時を示す。

2) () 内の数値は応力度 N/mm^2 (kgf/cm^2) を示す。

(7) 防護柵の損傷

表4. 32に防護柵の主な損傷を示す。

支柱部の損傷については、衝突車両への接触は各実験ともに見られるが、支柱の凹み、ねじれなどのない軽微なものであった。また、実験1, 3, 4の支柱付根付近には所定の座屈が見られ、衝突車両を誘導しており問題はないといえる。

主要横梁および下段横梁については、実験1では下段横梁（下側）に、実験2と実験4では主要横梁と下段横梁（実験4は下側）双方に、それぞれ長手方向に局所的なえぐり傷、引き裂かれなどいずれかの損傷が見られたが、破断は生じなかった。

これらの損傷は、基本的には今回の実験の範囲内では衝突車両を誘導しており、問題はないと思われるが、しかし、主要横梁の欠損は、車両衝突中に傷口拡大による極端な耐力の減少（曲がり、せん断など）および衝突車両の後端部までの引っかかりなどにより、誘導性に影響を及ぼす要因を含んでおり、できれば前面側の肉厚を厚くするなどの対策をとることが望ましい。

表4. 32 防護柵の損傷

項 目 型式 \ 実験			支 柱 部	主要横梁	下段横梁	継手・他
Gp-8.9 型	中 型 貨 物 車	実 験 1	・車体、車輪の接触(P6) ・下部付近ウエブ背面座屈(P6) ・ベース部前端浮き上がり ・アーカー部引抜けなし	・円弧状の曲がりあり(P4~P7) ・断面変形なし	・上：円弧状の曲がり一部に全面積潰れ(P5~P7) ・下：円弧状の曲がり(P5~P7)、一部上下端の亀裂、前面の引き裂かれあり ・破断なし	損傷なし
	中 型 貨 物 車	実 験 2	・車体、車輪などの接触(P6, P7) ・付根前面に隙間、背面座屈(P5~P7)	・円弧状の曲がり(P5~P7)、局所的前面凹み、長手方向の引き裂かれ有り ・破断なし	・円弧状の曲がり(P5~P7) ・一部切削痕、孔明き有り ・破断なし	損傷なし
Gb-42型	小 型 乗 用 車	実 験 3	・車体の接触(P8) ・損傷なし	・接触跡、曲がり有り、破損なし(P6~P8)	・接触跡、曲がり有り、損傷なし(P6~P8)	損傷なし
	大 型 貨 物 車	実 験 4	・車体、車輪などの接触(P7, P8) ・付根前面に隙間、背面座屈(P5~P9)	・非円弧状曲がり(P4(J)~P10(J))*1) ・局所的に長手方向の亀裂、引き裂かれ有り、破断なし	・上側のみ長手方向にえぐり傷有り(P6~P7) ・破断なし	損傷なし

[注記] *1) J: ジョイント部を示す。

4. 4. 3 地覆、張り出し床版の挙動、損傷

表4. 3 3に床版の地覆付根部および床版片持部の最大ひずみを、図4. 2 4に床版地覆付根部および床版付根部のひずみ分布図を示し、表4. 3 4に床版付根部のモーメントおよび応力などの設計計算値と実験結果による計算値と測定値の比較を示す（実験4…B活荷重対応）。

（1）床版付根部の最大発生応力について1断面、地覆付根部 については3断面計測した。

最大応力発生位置の値は、測定点応力と地覆付根部との応力値の相関から推定するものとした。

その結果、主鉄筋の最大発生応力およびコンクリート表面の最大発生応力（推定値）は、それぞれ実験1が5.0 N/mm² (51.3kgf/cm²)、-1.0 N/mm² (-10.7kgf/cm²)（P6 前輪）、実験2が6.9 N/mm² (70.8kgf/cm²)、-1.2 N/mm² (-12.1kgf/cm²)（P6 後輪）および実験4が15 N/mm² (152kgf/cm²)、-27 N/mm² (-27.5kgf/cm²)（P7 後輪）である。今回、実験4の主要幹線を対象としたB活荷重（25 トン車両対応）用床版構造は、衝撃度 420kJ（43.2tf・m）に対して十分耐力に余裕があることがわかった。なお、以下の考察、検討は実験4を対象する。

表4. 3 3 床版の地覆付根部および床版片持部の最大ひずみ

型 式 実 験 項 目		Gp-8.9 型	Gb-21 型	Gb-42 型
		中型貨物車	中型貨物車	大型貨物車
		実 験 1	実 験 2	実 験 4
M a x 時 地覆付根部	支柱、発生時間	P6:0.140 秒後(前輪)	P6:0.248 秒後(後輪)	P7:0.365 秒後(後輪)
	上(R1)	56 μ [9.7 (99.1)]	118 μ [20 (209)]	560 μ [97 (991)]
	下(R5)	-36 μ [-6.2 (-63.7)]	-63 μ [-11 (-112)]	-121 μ [-21 (-214)]
	下(C1')	-53 μ [-1.4 (-13.9)]	-97 μ [-2.5 (-25.4)]	-249 μ [-6.4 (-65.2)]
床版片持部	上(R1')	(29 μ) [5.0 (51.3)]	(40 μ) [6.9 (70.8)]	(86 μ) [15 (152)]
	下(R5')	(-31 μ) [-5.4 (-54.9)]	(-35 μ) [- 6.1 (-62.0)]	(-78 μ) [-14 (-138)]
	下(C2')	(-41 μ) [-1.0 (-10.7)]	(-46 μ) [-1.2 (-12.1)]	(-105 μ) [-2.7 (-27.5)]

注) 1) () 内の数値は隣りのひずみ値の相関から推定したものである。

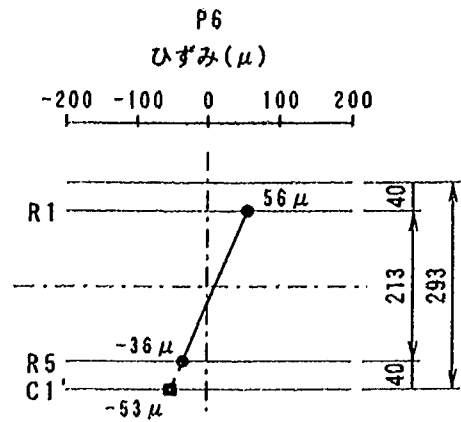
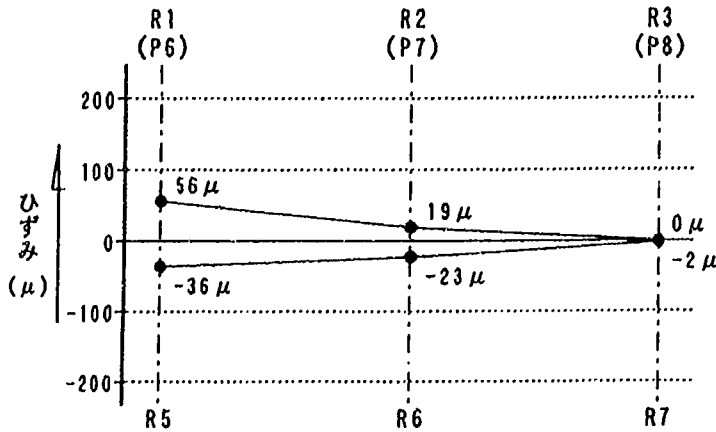
2) ひずみから応力への換算式は、鉄筋応力 $\sigma_s = E_s \cdot \epsilon_s = 1.74 \times 10^6 \text{ N/mm}^2 (1.77 \times 10^6 \text{ kgf/cm}^2) \times \epsilon_s (\mu)$ 、コンクリート縁応力 $\sigma_c = E_c \cdot \epsilon_c = 2.57 \times 10^4 \text{ N/mm}^2 (0.262 \times 10^6 \text{ kgf/cm}^2) \times \epsilon_c (\mu)$

3) []内は応力 N/mm²(kgf/cm²) を示す。

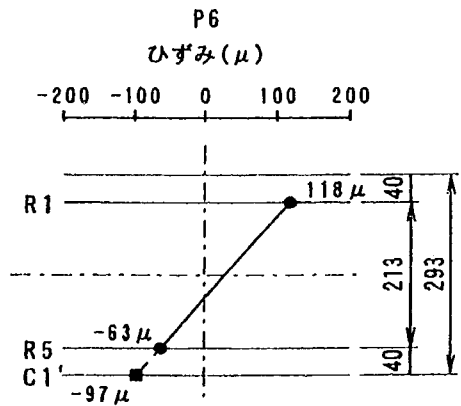
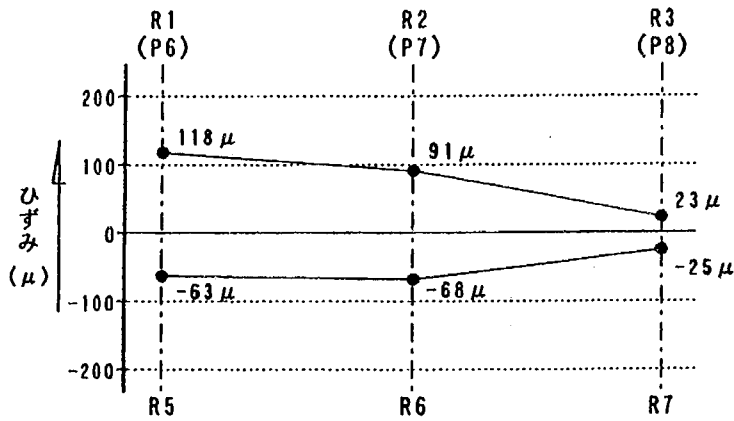
防護柵方向ひずみ分布

上下方向ひずみ分布

実験1 地覆ひずみMax時 0.1400 秒後 (前輪)
(=床版片持部Max)



実験2 地覆ひずみMax時 0.2475 秒後 (後輪)
(=床版片持部Max)



実験4 地覆ひずみMax時 0.3650 秒後 (後輪)
(=床版片持部Max)

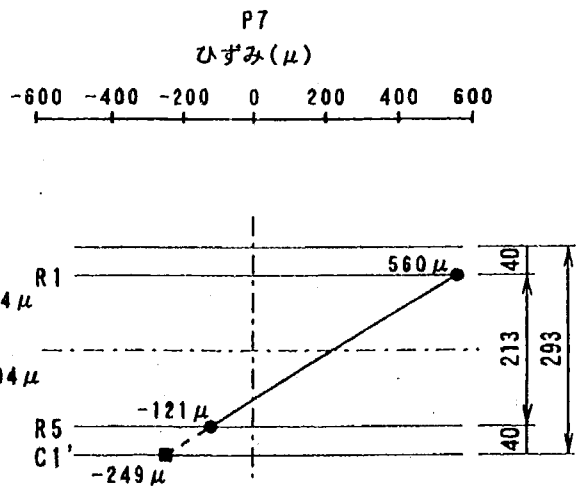
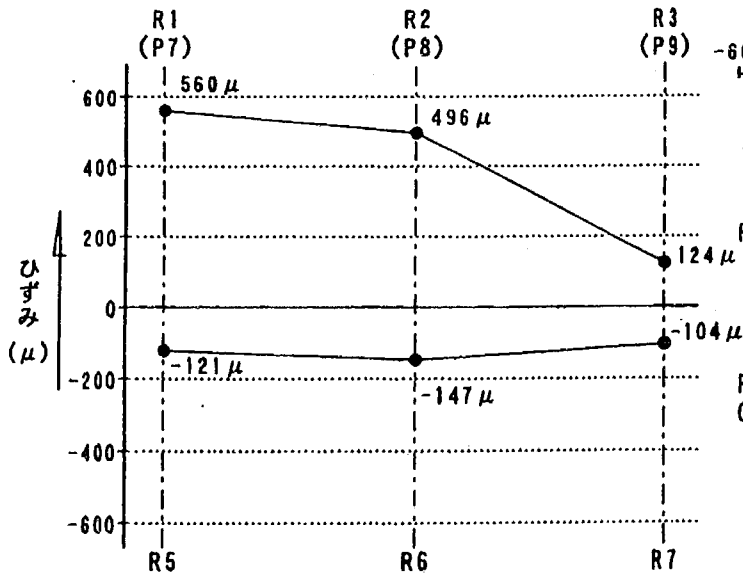
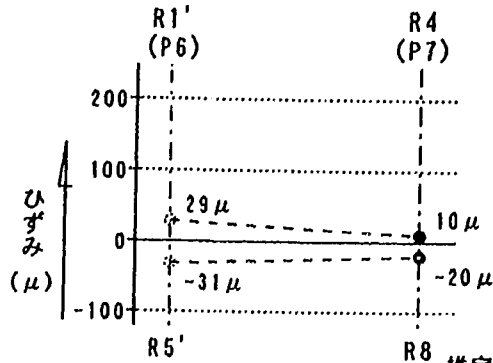


図4. 24 ① 地覆付根部ひずみ分布図

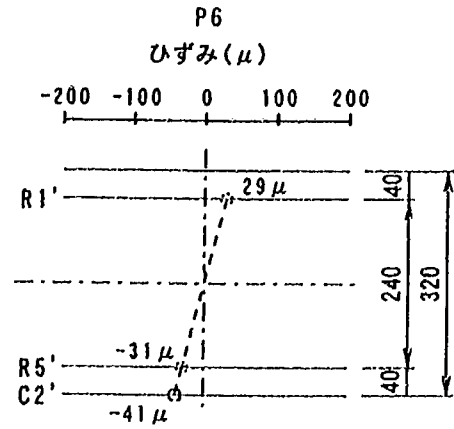
防護柵方向ひずみ分布

上下方向ひずみ分布

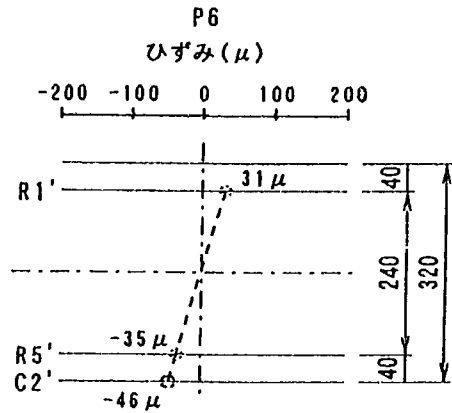
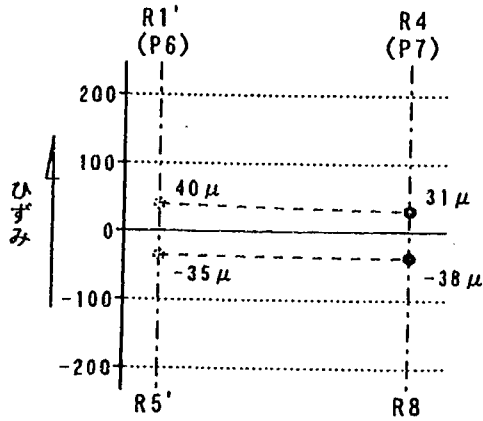
実験 1 地覆ひずみMax時 0.1400 秒後 (前輪)
(=床版片持部Max)



推定式 $\left\{ \begin{array}{l} R1' = \frac{R4 \times R1}{R2} \\ R5' = \frac{R5 \times R8}{R6} \end{array} \right\}$ 以下同じ



実験 2 地覆ひずみMax時 0.2475 秒後 (後輪)
(=床版片持部Max)



実験 4 地覆ひずみMax時 0.3650 秒後 (後輪)
(=床版片持部Max)

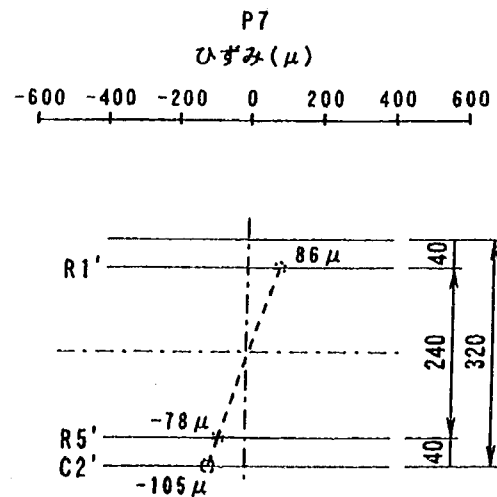
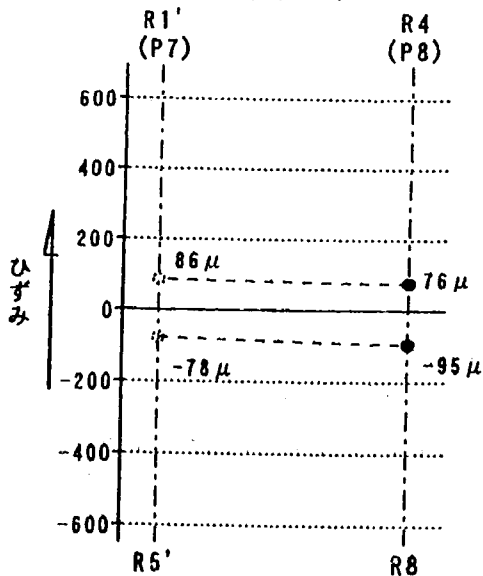


図 4. 2 4 ② 地覆付根部ひずみ分布図

表4. 34 床版付根部のモーメントおよび応力などの設計計算値と実験結果による計算値と測定値の比較（実験4…B活荷重対応）

比 較 項 目		① 設計計算値		②実験結果			②・1 ②・3	②・2 ②・3	備 考	
				計算値		②・3 測定値				
		①・1 通常計算	①・2 死荷重除去	②・1 鉄筋コンクリート	②・2 全断面有効					
1	支柱最大水平力 Pmax KN (tf)	*1) 87 (8.9)		*1) 87 (8.9)		—	—	—	*1)支柱の静荷重試験の最大値 鉄筋:SD295	
2	計算または発生応力 N/mm ² (kgf/cm ²) および 許容抵抗 曲げモーメント kN・m (tfm)	σ S [鉄筋]	120 (1,26)	115 (1,17)	180 (1,78)	28 (287)	15 (152)	12 (11.8)	1.87 (1.89)	コンクリート: σ _{ck} =24 N/mm ² (=240 kgf/cm ²) σ _{SK} =1.5σ _{sn} =1.5×13,700 (=1.5×1,400) =210 N/mm ² (=2,100 kgf/cm ²) σ _{cn} =1.5σ _{cn} =1.5×785 (=1.5×80) =12 N/mm ² (=120 kgf/cm ²)
		σ C [コンクリート]	-5.2 (-53.4)	-4.9 (-49.8)	-10 (-102)	-5.5 (-56.2)	-2.7 (-27.5)	3.7 (3.71)	2.04 (2.04)	
		[a]M _{RS} '	120 (11,730)		120 (12,170)		—	—	—	
		[b]M _{RC} '	160 (15,890)		130 (13,310)		—	—	—	
3	片持部に発生する、 または発生した 最大曲げモーメント S Mmax kN・m (tfm)	69 (7,063)	65 (6,580)	110 (11,170)		*2) 58 (5,910)	1.9 (1.89)		*2)110/19 (11,170/1.89)	

注) 1)設計計算値の死荷重除去の項は、実験結果（衝突荷重と活荷重のみ）では死荷重が除外されているため、比較のため設けた。

2)上記項目の2.3は添付「資料-1」を参照

①設計計算値

①-1 通常計算；張り出し床版付根断面部材を現行の設計方法（鉄筋コンクリート単鉄筋）で各項目（但し支柱最大水平力は静荷重試験値）を照査したもの。

①-2 死荷重除去；測定値（②-3）は死荷重が含まれていない（部材応力の測定は床版コンクリート打設後の応力を零としているため）ので比較のため死荷重を除去した。

②実験結果、計算値；ここでの計算値は前述の①設計計算値と比べて次の点が異なる。

イ、応力照査断面までのモーメント作用高さが設計計算値より大きい。

ロ、活荷重の作用位置が計算値では衝突車両か地覆面上に乗り上げているので作用モーメントが設計計算値より大きくなっている。

ハ、鉄筋コンクリートの計算で設計計算値では単鉄筋、計算値では複鉄筋（②-1）としている。

②-1 鉄筋コンクリート；ここでは②-2に対する鉄筋コンクリート（複鉄筋）の計算を示す。

②-2 全断面有効；床版付根部に亀裂が生じなかったのは、実際にはコンクリートが引張部材として作用しているためである。従ってここではコンクリートを引張部材として配慮し計算した。

(2) 床版付根部の最大モーメントおよび応力の計算値と測定値の比較

実験結果の鉄筋コンクリートでの計算値(②-1)は、測定値(②-3)に対して、鉄筋が12倍、コンクリートが3.7倍である。また実際には床版付根部に亀裂が生じていないことから、全断面有効とした時の計算値(②-2)は測定値(②-3)に対して、鉄筋が1.87倍、コンクリートが2.04倍と近似してくるが、一致していない。この差異は応力の分布幅に起因するものと思われる。

片持ち部に発生する最大曲げモーメント(s_{Max})の設計計算値は、許容抵抗曲げモーメントに対して鉄筋が63% $[69/110 \cdot kN \cdot m (7,063/11,730 \cdot kgf/cm^2)]$ 、コンクリートが43% $[69/160 \cdot kN \cdot m (7,063/15,890 \cdot kgf/cm^2)]$ であり、その時の応力は、鉄筋が $120 N/mm^2 (1,263 kgf/cm^2)$ 、コンクリートが $-5.2 N/mm^2 (-53.4 kgf/cm^2)$ となり、鉄筋応力で断面が決まっているが、この値は鉄筋において許容応力値の57% $[120/210 N/mm^2 (1,263/2,100 \cdot kgf/cm^2)]$ であり、耐力に十分余裕がある。

なお、実験結果で、鉄筋コンクリート計算で求めた場合(②-1)の発生最大曲げモーメント(s_{Max})、および鉄筋発生応力度(σ_s)が設計計算値(①-2)より、それぞれ1.69倍 $[110/65 kN \cdot m (11,170/6,580 tfm)]$ 、1.57倍 $[180/115 \cdot N/mm^2 (1,786/1,177 \cdot kgf/cm^2)]$ と大きくなっているが、これは実験結果では衝突車両の後輪が地覆面上に乗り上げた状態の活荷重の影響を考慮したためである。(表4. 35参照)

(3) 床版の地覆付根部の最大発生応力

表4. 35に実験結果の各断面計算値と測定応力度の比較を示す。

床版の地覆付根部の主鉄筋およびコンクリート表面の最大発生応力は、それぞれ実験1が $9.7 N/mm^2 (99.1 kgf/cm^2)$ 、 $-1.4 N/mm^2 (-13.9 kgf/cm^2)$ (P6 前輪)、実験2が $20 N/mm^2 (209 kgf/cm^2)$ 、 $-2.5 N/mm^2 (-25.4 kgf/cm^2)$ (P6 後輪)、および実験4が $97 N/mm^2 (991 kgf/cm^2)$ 、 $-6.4 N/mm^2 (-65.2 kgf/cm^2)$ (P7 後輪)である(表4. 33参照)。

床版の地覆付根部の最大発生応力(実験4)は床版付根部の発生応力に比べて、分布範囲の関係および床版の厚さが薄いことなどにより、鉄筋応力が6.5倍 $[97/15 \cdot N/mm^2 (991/152 \cdot kgf/cm^2)]$ 、コンクリート表面応力が2.4倍 $[-6.4/-2.7 \cdot N/mm^2 (-65.2/-27.5 \cdot kgf/cm^2)]$ と大きくなっている。

また、床版の地覆付根部の応力を照査すると、計算値 A_2 (鉄筋コンクリート計算)は測定値 B に比べて、鉄筋応力が1.75倍 $[170/97 \cdot N/mm^2 (1,762/991 \cdot kgf/cm^2)]$ 、コンクリート表面応力が1.56倍 $[10/6.4 \cdot N/mm^2 (-105/-65.2 \cdot kgf/cm^2)]$ とそれぞれ大きくなっている。

一方、床版付根部の計算値 A_2 は測定値に比べて鉄筋応力が12倍 $[180/15 \cdot N/mm^2 (1,786/152 \cdot kgf/cm^2)]$ 、コンクリート表面応力が3.70倍 $[-10/-2.7 \cdot N/mm^2 (-101.7/-27.5 \cdot kgf/cm^2)]$ となっているが、これらの値はいずれも床版の設計許容応力値 $[\sigma_{sa}' = 210 N/mm^2 (2,100 kgf/cm^2)$ 、 $\sigma_{ca}' = 12 N/mm^2 (120 kgf/cm^2)]$ に対して十分余裕がある。

表 4. 3 5 各断面の計算値と測定値応力度（衝突時）比較：N/mm²（kgf/cm²）

項 目 部 断 面 材		計 算 値					測定値	$\frac{A}{B}$
		① 死荷重	② 活荷重	③ 衝突荷重	合 計 A			
					A 1 =①+②+③	A 2 =②+③		
A 地覆付根部	コンクリート	-0.2 (-2.26)	-3.0 (-31.0)	-7.3 (-74)	-11 (-107.26)	-10 (-105)	-6.4 (-65.2)	1.56 (1.61)
	鉄 筋	4.0 (40.9)	55 (562)	120 (1,200)	180 (1,0802.9)	170 (1,762)	97 (991)	1.75 (1.77)
B 床版付根部	コンクリート	-0.4 (-4.37)	-3.7 (-37.7)	-6.3 (-64)	-10 (-106.07)	-10 (-101.7)	-2.7 (-27.5)	3.70 (3.70)
	鉄 筋	8.1 (82.9)	70 (716)	100 (1,070)	180 (1,868.9)	180 (1,786)	15 (152)	12.0 (11.75)

（４）損傷状況

実験４のケースのみ４箇所（P6～P9）の支柱背面の地覆コンクリート表面に剥離、またはヘアークラックが認められたが、最大ひびわれ幅も 0.10mm（P7）で 0.20mm 以下（道路橋示方書、コンクリート編）、ひびわれ高さも 100mm（P7）であり、床版には到っておらず、いずれも問題がない。

４．４．４ 支柱の水平力を直接的および間接的に求めた値との相関性

表 4. 3 6 に支柱に作用した水平力を、支柱のせん断ひずみから直接的に求めた値と、アンカーボルトおよび補強鉄筋の引張力から求めた値と静荷重試験値との比較を示す。

防護柵直角方向（Y）の支柱に作用した最大水平力は、実験 1（Gp-8.9 型）がアンカーボルトの引張力からの算定値で 75kN（7.69tf）、実験 2，実験 4（Gb 型）が支柱のせん断ひずみからの換算値と補強鉄筋からの算定値で、これらの値は、それぞれ実験 2 が 140kN（14.26tf）、[実際の最大値は最大変位量および床版鉄筋最大ひずみが生じた P6 と考えられるが、同部が塑性化しているので評価の対象から外し、単に参考値 220kN（22.47tf）として留めた] 65kN（6.66tf）（P6）であり、実験 4 が 380kN（38.61tf）、[実際の最大値は、P8 の支柱せん断ひずみの値の方が P7 より大きい、塑性域になっていることと、実験 2 と同様、床版鉄筋最大ひずみ、クラックの発生程度が P8 より大きいこと、近似していることから、評価の対象から外した] 80kN（8.12tf）であった。

これらの水平力は、静荷重試験の最大荷重に対して支柱のせん断ひずみからの値が 2.5 倍（参考値が 3.94 倍）～4.34 倍、アンカーボルト引張力からの値が 2.02 倍、補強鉄筋引張力からの値が 0.91～1.17 倍であり、動的荷重と静的荷重の相関性は測定点の周囲の設置条件に影響されている傾向にある。即ち、動荷重における衝撃波を周囲部材が緩衝体として吸収するためであると考えられる。なお、動荷重（衝撃荷重）が静荷重値より大きくなる傾向は、既往の実験例³⁾⁴⁾でもみられることや、他の文献⁵⁾を引用すれば「最大衝撃荷重は歪速度の影響により強度や弾性係数が高くなり、静的最大荷重の 3～5 倍になっている」と評価されることからして妥当と思われる。しかし定量的な解析は今後の課題として残る。

表 4.36 支柱に作用した最大水平力を直接のおよび間接的に求めた値との静荷重試験値との相関

項目 型式 車種 実験			直接測定値		間接測定値				④ 静荷重 試験値 P _{max} : kN (tf)	対測定値		
			①支柱のせん断ひずみ		②アンカーボルトのひずみ		③補強鉄筋ひずみ			① / ④	② / ④	③ / ④
			せん断ひずみ (μ)	水平力 kN (tf)	引張力 kN (tf)	水平力 kN (tf)	引張力 kN (tf)	水平力 kN (tf)				
Gp-8.9 型	中型 貨物車 1	実験	—	—	P6 max 370 (37.33)	75 (7.69)	—	—	37 (3.8)	—	2.03 (2.02)	—
Gb-21 型	中型 貨物車 2	実験	P6 max:10,000 以上	(参考値) 220 以上 (22 以上)	—	—	*1)150 (15.35)	65 (6.66)	56 (5.7)	(参考値) 3.9 (P6) (3.94)	—	1.16 (P6) (1.17)
			P7 : 6,484	140 (14.26)			120 (11.84)	60 (6.07)		2.5(P7) (2.5)		
Gb-42 型	大型 貨物車 4	実験	P7: 19,549	380 (38.61)	—	—	*2)280 (28.27)	80 (8.12)	87 (8.9)	4.37 (P7) (4.34)	—	0.92 (P7) (0.91)
			P8 max:20,584 以上	(参考値) 400 以上 (41 以上)			250 (25.04)	75 (7.63)				

注) *1) *2) 床版地覆付根部のひずみ値の相関から推定した。

$$[P6 = R1/R2 \times 120kN (11.84tf) = 118\mu/91\mu \times 120kN (11.84tf)]$$

4.4.5 支柱定着部の検討

アンカー方式（実験1）および埋め込み方式（実験4）の両方式について、それぞれ計算値と測定値およびそれらの比較を表4.37に示す。（表4.30，添付資料-2参照）

支柱定着がアンカー方式の場合、アンカーボルト最大引張応力度の測定値は、計算値の1.76倍〔370/210kN (37,330/21,310kgf)〕になっているが、耐力値780kN (8,000kgf/cm²)以下であり問題はない。アンカーボルトの発生引張力(F_{max})より小さく、コンクリートの破損が生ずるところであるが、実験結果ではクラックなどは全く認められないことから、実際にはコンクリートの許容押し抜きせん断応力〔 $\tau_{cs} = 1.5 \text{ N/mm}^2$ (15.0kgf/cm²) … $\sigma_{cs} = 29 \text{ N/mm}^2$ (300kgf/cm²) の時…実験時テストピース強度〕およびせん断面積などより大きくなっていると思われる。

埋め込み方式の場合、補強鉄筋最大引張応力の測定値は、計算値の62%〔180/290kN (1,826/3,000kgf)〕となっており、耐力値290kN (3,000kgf/cm²)に対し十分余裕があり、問題はない。また、測定値の耐荷重530kN (54,100 kgf) は計算値710kN (72,282kgf)より小さく、まだ25%〔1-530/710kN (1-54,100/72,282 kgf)〕程度余裕がある。

従って静荷重試験値の最大支持力値を用いて支柱定着部の設計を行えば特に問題はない。

表4. 37 各定着方式の部材の計算値と測定値の比較

定着方法	項 目	比 較		② / ①
		①計算値	②測定値	
アンカー方式	最大水平力 P_{Hmax}	37 (3.80)	72 (7.32)	1.95 (1.93)
	アンカーの 発生最大引張力 F_{max} kN (kgf)	210 (21,310)	370 (37,330)	1.76 (1.75)
	アンカーの 最大引張応力度 σ_t max N/mm ² (kgf/cm ²) (SCM 435)	σ_{sa} 350<780 (3,520<8,000) OK	σ_{sa} 460<780 (4,726<8,000) OK	1.31 (1.35)
	アンカープレートの抵抗 押し抜きせん断力 F_R kN (kgf)	F_{max} 300>210 (30,700>21,310) OK	F_{max} 330<370 (34,110<37,330) NG	結果ではコンクリートの破損は認められない —
埋込み方式	最大水平力 P_{Hmax}	87	80	0.92
	地覆に作用する荷重 F_1 kN (kgf)	582 (59,330)	—	—
	補強鉄筋が受持つ荷重	460 (46,450)	280 (28,287)	0.61 (0.61)
	補強鉄筋最大引張応力 σ_s kN (kgf)	σ_{sa} 29≤29 (3,000≤3,000)	σ_{sa} 18≤29 (1,826≤3,000)	0.62 (0.61)
	コンクリートが受持つ荷重 R_c kN (kgf)	220 (22,140)	250 (25,830)	1.14 (1.17)
	耐荷重 R kN (kgf) $R = R_c + R_s$	680≥ F_1 (68,590≥54,100) OK	(R_c+R_s) 710≥530 (72,282≥54,100) OK	—

4. 5 結論

4. 5. 1 防護柵の機能および強度

(1) 防護柵の機能

主な機能は衝突車両の乗り越し、転倒、および路外逸脱を防ぎ、車両を進行方向へ復元させ、且つ円滑に誘導することのほか乗員の安全性の確保などがある。今回の実験によって以下のことが確認された。

1) 路外逸脱防止能力について

いずれのケースも、衝突車の乗り越し、路外への転倒、横梁切断による突破、および進行角と姿勢角の差異による横転などもなく、且つ、最大変位量は「要綱」の規定値 300mm 以下で、路外逸脱に対して十分安全であることが確認された。

2) 衝突車両の誘導性について

いずれのケースも衝突車は進行方向へ安定した挙動で誘導されている。

3) 乗員の安全性について

実験 3 (小型乗用車) の車両重心の加速度 (10msec 平均…参考値) は、車両軸方向 (X) が 93 m/s^2 (9.45g) 車両軸直角方向 (Y) が 130 m/s^2 (13.20g) である。また、助手席ダミー頭部の加速度の HIC 値は 117.1 (X、Y の合成値) であり、これらの値はそれぞれ評価基準 (10msec 値: 15g、HIC 値: 1,000) 以下である。

また、車両の損傷状況での乗員の生存空間は、いずれのケースもほぼ原形状に保たれていることなどから、乗員の安全性は確保できるものと考えられる。

4) 車両の損傷について

いずれのケースも車室内の変形はほとんどなく、「生存空間」が確保されており、二次的事故の生じる可能性は少ない。

(2) 防護柵の強度、損傷

全ケースともに部材の破断もなく衝突車両を誘導していることから、防護柵としての強度、性能は以下の通り満足のいくものであることが確認された。

1) 支柱の最大変位量および最大水平力について

実験ケース中の支柱最大変位量 (支柱頂部) は、貨物車では実験 1 で 188mm、小型乗用車の実験 3 で 7mm である。

一方、最大進入行程は、貨物車では実験 2 と実験 4 が同値で 110mm、小型乗用車の実験 3 で 50mm である。これらの値は防護柵設計条件である 300mm 以下で、満足できる値である。

また、支柱の最大水平力 (支柱のせん断ひずみからの換算値) は、実験 2 が 140kN (14.26tf)、実験 4 が 380kN (38.6tf) である。

これらの値は静荷重試験の最大荷重値の 2.5 (参考 3.9 倍) 倍～4.34 倍となっている。この傾向は既往の実験例³⁾⁴⁾および他の文献⁵⁾にもみられることであり、現在、動荷重値 (衝撃荷重) が静的荷重値に比べてひずみ速度の影響により、強度や弾性係数が変化し高くなると考えられており、妥当と思われるが、定量的な解析は今後の課題である。したがって、現時点では、支柱定着部材 (コンクリートを含む) がいずれも耐力値以下であることから、静荷重試験値の最大値を用いて設計して問題ないと考えられる。

2) 支柱水平力とアンカーボルト、補強鉄筋引張力から求めた支柱水平力の相関についてアンカーボルト（実験1）の最大引張力および補強鉄筋の最大引張力はいずれも耐力値に対して十分余裕がある。

次に、これらの部材の引張力から水平力を求めると、実験1（ボルトから）が75kN (7.69tf)、実験2および実験4（補強鉄筋から）がそれぞれ65kN (6.66tf)、80kN (8.12tf)である。これらの水平力は静荷重試験の最大荷重値に対してアンカーボルトからの値が2.09倍、補強鉄筋からの値が0.91~1.17倍になっている（なお、支柱のせん断ひずみからの換算水平力の静的荷重試験値に対する倍率は前項1）を参照）。

動的荷重と静的荷重の相関性は測定個所における周囲の設置条件に影響される。即ち、動的荷重は測定個所の外部露出条件（ここではコンクリートに対する条件で外部露出条件の大きい方から支柱付根部→地覆コンクリート表面下のアンカーボルト幹部→補強鉄筋の順）が小さいほど動的荷重による衝撃波を周囲部材が緩衝体として吸収し低減させるため、静的最大荷重値に近づく。従って支柱定着部の設計計算は、静荷重試験の最大荷重値を用いて行えばよい。

3) 防護柵の損傷について

実験1では下段横梁（下側）に、実験2と実験4では下段横梁（実験4は下側）ともに、長手方向に破断は生じていないものの、局部的なえぐり傷、孔明き、亀裂および引き裂かれなど、いずれかの損傷がみられた。

これらの損傷にもかかわらず基本的には今回の実験では、防護柵が衝突車両を誘導しており問題はないと思われる。しかし、特に主要横梁の欠損は、車両衝突中に傷口拡大による極端な耐力の減少（曲がり、切断など）、あるいは欠損部への車体の食い込みなどによる誘導阻害の可能性を含んでおり、補強対策の課題が残る。

4. 5. 2 地覆、張り出し床版の強度、損傷

(1) 床版の地覆付根部および片持部の最大発生応力と計算値について

床版主鉄筋の測定最大発生応力（床版構造はB活荷重としているのでここでの対象は実験4とした）は、地覆付根部が97 N/mm² (991kgf/cm²)、床版付根部が15 N/mm² (152kgf/cm²)であり、地覆付根部の応力度は床版付根部に比べて6.5倍 [97/15・N/mm² (991/152・kgf/cm²)] と大きい。一方、主鉄筋応力の計算値（測定値との比較のため死荷重を除く）は、地覆付根部が173 N/mm² (1,762kgf/cm²)、床版付根部が180 N/mm² (1,786kgf/cm²)で大差ないが、これらの値はそれぞれ測定値の1.78倍 [173/97 N/mm² (1,762/991・kgf/cm²)]、12倍 [180/15 N/mm² (1,786/152・kgf/cm²)] となっている。現行の床版片持部の照査は張り出し付根部で行っているが、今後は床版の地覆付根部で行うべきである。

なお、死荷重を含めた床版鉄筋応力の計算値は、地覆付根部が180 N/mm² (1,803kgf/cm²)、床版付根部が180 N/mm² (1,869kgf/cm²)である。これらの値は鉄筋耐力290 N/mm² (3,000kgf/cm²)に対して十分余裕がある。

(2) 地覆、床版の損傷について

実験4のケースのみ4箇所(P6~P9)の支柱背面の地覆コンクリート表面に剥離またはヘアークラックが認められたが、最大ひびわれ巾も0.10mm(P7)で許容値0.20mm以下(道路橋示方書、コンクリート編)ひびわれ高さも100mm(P7)であり、床版には到っておらず、いずれも問題がない。

4. 5. 3 三次元シミュレーションの精度と実用性

実験結果と、旧プログラムおよび新プログラムのシミュレーション結果の比較を表4.38に示した。

最大変位量については、実験結果と新プログラムのシミュレーション結果が非常に精度良く合致していることが分かる。

また重心加速度についても、貨物車を用いた実験結果では新プログラムのシミュレーション結果とよく合っている。乗用車の重心加速度は、実験値とシミュレーション値に 49 m/s^2 (5g) 程度の差が生じた。小型乗用車では、瞬間的に大きく発生する衝撃的な加速度が計測されやすいことや、車両前部の変形特性が加速度の発生に大きな影響を与えるのに対して今回のシミュレーションで用いた車両モデルのデータは、概略的に与えたものであることが加速度値に差が生じた原因と考えられる。ただし、小型乗用車の変形特性を考慮したモデル設定には、詳細な車両構造データの入手が必要となり、またこのデータは車種毎に異なるので、ひとつひとつの車両について詳細にデータを設定しシミュレーションを行うことは現実的でない。

この点で、新プログラムのシミュレーション値が実測値を上回っていることから、新プログラムのシミュレーション結果を基に乗員の安全性を判断することは、乗員の安全性を確保する上で安全側になるものと考えられるので、今回の車両モデルを用いてシミュレーションを行うことは適当である。

一方、従来用いられてきた旧プログラムは、最大変位量の計算値が実際の変位量の3倍程度以上となっており、過大な変位量が推定されていたことが、改めて明らかになった。

また、加速度値については、10msの移動平均加速度処理が従来行われていなかったこともあるが、計算値は実験値よりも小さく、旧プログラムのシミュレーション結果を基に乗員の安全性を評価することは、危険であると推定される。

表4. 38 衝突シミュレーション(3)との比較

			*1) 最大変位量 δ mm	車両重心加速度 $m/s^2(g)$		防護欄に かかる力 F_y kN (tf)	離脱角度 θ 度
				10msec	50msec		
実験1 (Gp-8.9型) (中型貨物車)	①計算値	①-1 二次元		20 (2.0)			8.9
		①-2 三次元	185	61 (6.1)			4.4
	②測定値		188	57 (5.83)	38 (3.92)		4.9
	②/①-1						
	②/①-2						
実験2 (Gb-21型) (中型貨物車)	①計算値	①-1 二次元					
		①-2 三次元	165	140			3.1
	②測定値		177	132(13.46)	55 (5.64)	430(支柱3体) (43.37)	2.8
	②/①-1						
	②/①-2						
実験3 (Gb-42型) (小型乗用車)	①計算値	①-1 二次元					
		①-2 三次元		180 (18.6)			3.1
	②測定値		7	130 (13.53)	83 (8.44)		3.0
	②/①-1						
	②/①-2						
実験4 (Gb-42型) (中型貨物車)	①計算値	①-1 二次元					
		①-2 三次元	135	130 (13.5)			4.2
	②測定値		138	110	50 (5.02)	1100(支柱3体) (113)	0
	②/①-1						
	②/①-2						

注) *1) 頂部での換算変位を示す。

5. 設計手法の検討

5. 1 設計手法に関する考え方

車両防護柵の設計については「要綱・資料集」の考え方に準拠するものとし、以下の手法を基本とする。

- 1) 支柱及び横梁の部材選定は部材選定グラフで行うものとする。なお、防護柵の変形量は従来通り 30cm 以下として選定グラフを作成するものとする。
- 2) 支柱及び横梁は塑性域まで変形して車両衝撃エネルギーを吸収する。机上計算で塑性変形を推定することは困難でなので、支柱及び横梁の部材強度は静荷重試験で求めるものとする。
- 3) 横梁の部材強度は支柱強度との関係から部材選定グラフで求められる。しかし、横梁の強度が低すぎると車両衝突時に局部的に変形し、車両のスムーズな移動を阻害することもある。従って、横梁の必要最小強度を規定する。
- 4) 防護柵の構造は防護柵の柵面が支柱の最前面より車道側に突出するブロックアウト型とする。これは車両が支柱に直撃するのを防ぐためのものである。従って必要ブロックアウト量を規定する。
- 5) 車両の大型化、高速化に伴い防護柵への衝突エネルギーは従来の設計条件に比べてかなり増加するものと思われる。従って車両の転倒を防ぐために防護柵の高さの規定が必要となる。また、衝撃力を防護柵に伝達する車両フエンダー部やホイールの高さから各横梁の配置高さを規定する。
- 6) 車両が防護柵に衝突する際、横梁は主に曲げで衝突荷重に抵抗する。しかし、車両が防護柵に対し斜めに衝突するので、衝突力の分力として横梁軸方向にも一部引張荷重が作用する。従って継手部に作用する引張荷重を規定する。
- 7) 防護柵定着部の強度は支柱の静荷重試験における最大荷重（最大支持力）にて照査するものとする。

5. 2 部材選定グラフ

5. 2. 1 実車衝突実験と衝突シミュレーションとの比較

Gb-42 型、Gb-21 型、Gp-8.9 型の防護柵について、実車衝突実験値と各シミュレーション値との比較を行う。

表 5. 1～表 5. 3 は各防護柵に大型貨物車（20 トン）または中型貨物車（8 トン）を衝突させた場合のもので、主に防護柵の変位量に着目した比較である。これらの比較から新プログラムのシミュレーション結果は実車実験値に近い値を与えるが、若干変形量が大きく算定されることがわかる。このことから新プログラムをもとにして設計を行えば、実際の衝突ではシミュレーションより変形が小さく、安全側になるものと考えられる。

表 5. 4 は Gb-42 型の防護柵に 1 トンの乗用車を衝突させた場合のもので、乗用車の重心に生じる加速度を比較したものである。この実験は乗員の安全を確認するためのものである。新プログラムでは実車実験値に比して加速度が大きく算定されることがから、このプログラムで設計を行えば安全側になる。

従って、新プログラムを用いて部材選定域グラフを作成することは変形量、加速度の両面から適切であると判断される。

なお、各表中の加速度は、新プログラムのシミュレーションと実車衝突実験値が 10ms の平均値であるのに対し、旧プログラムは 40ms の平均値である。従って、旧プログラムのシミュレーション加速度が低く算定されている。

表 5. 1 実験 No 4, G b - 4 2 型 (20t, 90km/h, 15 度 [413kJ (42.2tf·m)])

	変位量 δ mm		10ms 加速度 m/s ² (g)	離脱角度 度
	最大	残留		
旧プログラム	787	-	30.8 (3.14)	8.4
新プログラム	135 (P7)	105 (P7)	132 (13.5)	4.2
衝突実験	123 (P8)	90 (P7)	112 (11.4)	0.0

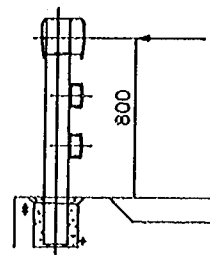


表 5. 2 実験 No 2, G b - 2 1 型 (8t, 100km/h, 15 度 [206kJ (21.1tf·m)])

	変位量 δ mm		10ms 加速度 m/s ² (g)	離脱角度 度
	最大	残留		
旧プログラム	689	-	45.8 (4.67)	10.4
新プログラム	165 (P6)	155 (P6)	139 (14.2)	3.1
衝突実験	155 (P6)	130 (P6)	132 (13.5)	2.8

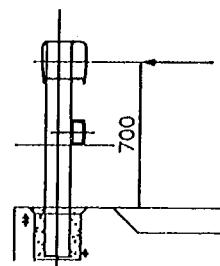


表 5. 3 実験 No 1, G p - 8. 9 型 (8t, 65km/h, 15 度 [87kJ (8.9tf·m)])

	変位量 δ mm			
	最大	残留		
旧プログラム	523	-	19.5 (1.99)	8.9
新プログラム	185 (P6)	175 (P6)	60.8 (6.2)	4.4
衝突実験	174 (P6)	157 (P6)	53.0 (5.4)	4.9

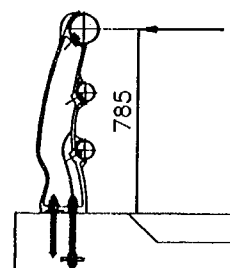
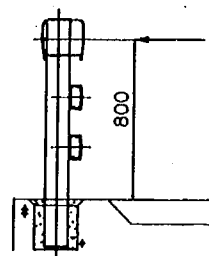


表 5. 4 実験 No 3, G p - 4 2 型 (1t, 100km/h, 15 度 [25.8kJ (2.6tf·m)])

旧プログラム	118 (12.0)
新プログラム	167 (17.0)
衝突実験	132 (13.5)



5. 2. 2 部材選定基礎グラフ

「要綱・資料集」における部材選定基礎グラフは車両衝突時の防護柵の変位量が 30cm となる水準を求め、この変形を支柱、横梁の組合せ強度の必要最小値として規定している。

この規定によれば、支柱及び横梁部材で構成される防護柵は 30cm 変形するまで追従する変形能を有することが必要条件であり、これを静荷重試験で確認することが求められる。

今回も防護柵の最大変位量を 30cm とし、これに安全率を考慮して部材選定基礎グラフを作成することとした。

部材選定基礎グラフ作成に当たっては新プログラムの設計値に対して 1.5 以上の安全率をとるものとし、また旧プログラムで設計された防護柵が 2.4~4.1 倍の強度（2. 1 項参照）となっていることから、旧プログラムの 30cm 変形量に対して 2.2 倍までは許容するものとした。

これに基づき作成した新部材選定基礎グラフを、図 5. 1 に示す。

この基礎グラフは旧プログラムにおける 30cm 変位量曲線（「要綱・資料集」の部材選定グラフ）と新プログラム計算値における 30cm 変位量曲線のほぼ中央のラインとなった。

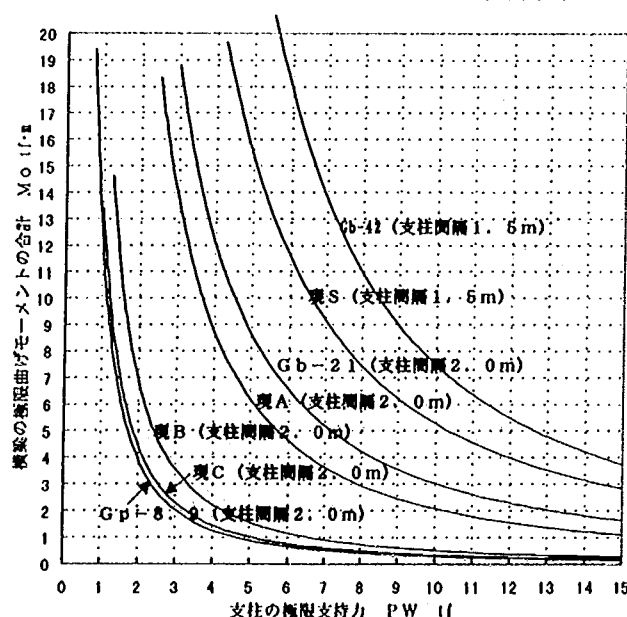
なお、本図は現行タイプとも比較できるように現 S，現 A，現 B，現 C 種も併記した。

ここで、グラフの横軸は支柱の極限支持力 P_w を示し、縦軸は横梁の極限曲げモーメント M_o を示す。

極限支持力 P_w および極限曲げモーメント M_o については 5. 3 項「静荷重試験」を参照のこと。

但し、グラフを参照するにあたり次の点を留意する必要がある。

- ① Gb-42 と現 S 種の支柱間隔は 1.5m とし、Gb-21, Gp-8.9 と現 A，現 B，現 C 種は 2.0m としている。
- ② 現行の S，A，B および C 種については「要綱・資料集」のグラフを転用している。



注) SI 単位への変換 $M_o : \text{kN} \cdot \text{m} = 9.80665 \times \text{tf} \cdot \text{m}$

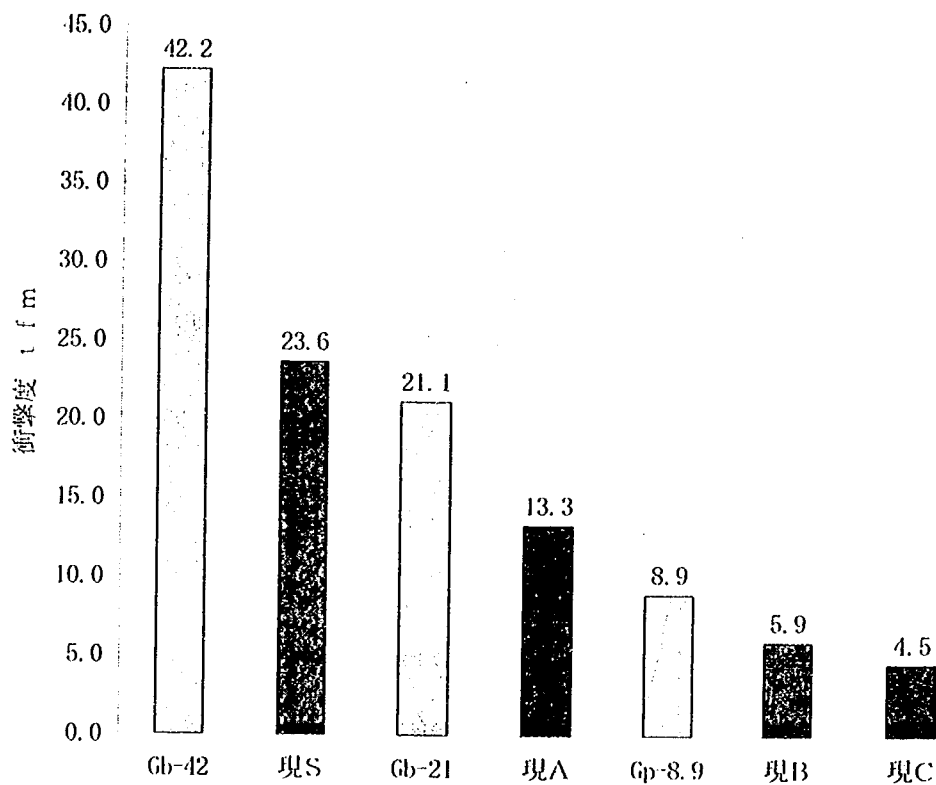
$P_w : \text{kN} = 9.80665 \times \text{tf}$

図 5. 1 部材選定基礎グラフ

参考として今回実験した衝突条件と現行種別の衝撃度の比較を表5. 3, 図5. 2に示す。新しい選定グラフは現行種別に比べて部材強度を低減できることが衝撃度と選定グラフの比較からわかる。このことは現部材選定グラフがかなり安全側に設定されていることを意味している。

表5. 3 車両防護柵の種別と衝撃

種別	設計条件			衝撃度	
	車両質量 t	衝突速度 km/h	衝突角度 deg	tf·m	kJ
Gb-42	25 (20)	80 (90)	15	42.2 (42.7)	413 (418)
現S	14	80	15	23.6	232
Gb-21	8	100	15	21.1	206
現A	14	60	15	13.3	130
Gp-8.9	8	65	15	8.9	87
現B	14	40	15	5.9	58
現C	14	35	15	4.5	44



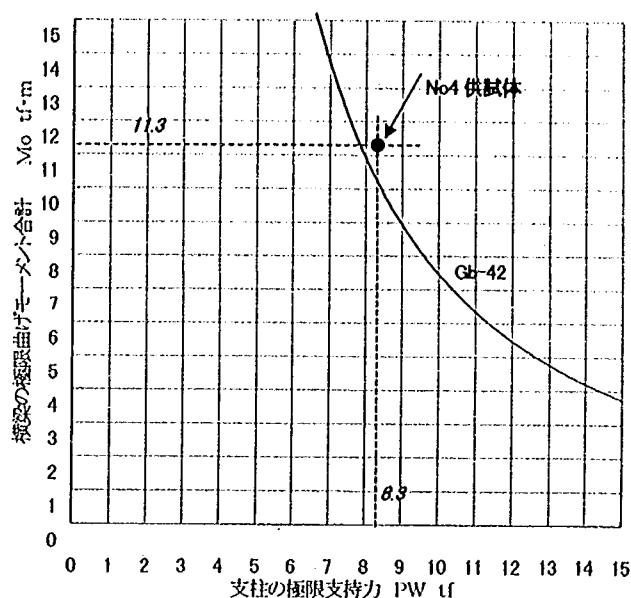
注) SI 単位への変換 $\text{kJ} = 9.80665 \times \text{tf} \cdot \text{m}$

図5. 2 種別と衝撃度

5. 2. 3 部材選定基礎グラフと実験供試体

図5. 3、図5. 4は平成8年度実車衝突実験供試体の支柱及び横梁部材の静荷重試験値を部材選定グラフ上にプロットしたものである。

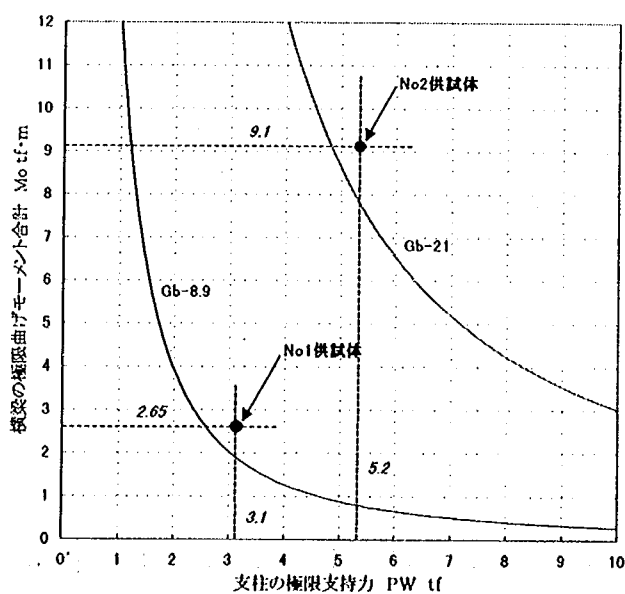
供試体性能値が部材選定域のほぼ下限にプロットされているにもかかわらず、実車衝突実験では、突破、転倒もなく、防護柵に沿ってスムーズに、車両を誘導することができた。



注) SI 単位への変換 $Mo : \text{kN} \cdot \text{m} = 9.80665 \times \text{tf} \cdot \text{m}$

$Pw : \text{kN} = 9.80665 \times \text{tf}$

図5. 3 部材選定基礎グラフと実験供試体（支柱間隔 1. 5 m）



注) SI 単位への変換 $Mo : \text{kN} \cdot \text{m} = 9.80665 \times \text{tf} \cdot \text{m}$

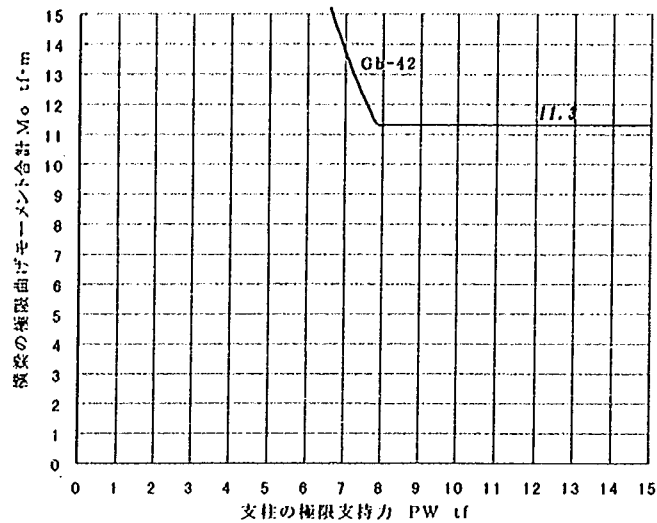
$Pw : \text{kN} = 9.80665 \times \text{tf}$

図5. 4 部材選定基礎グラフと実験供試体（支柱間隔 2.0m）

5. 2. 4 部材選定グラフ

前項5. 2. 2の部材選定基礎グラフに横梁の最小M_o値を加味して、図5. 5、図5. 6に示す部材選定グラフとする。

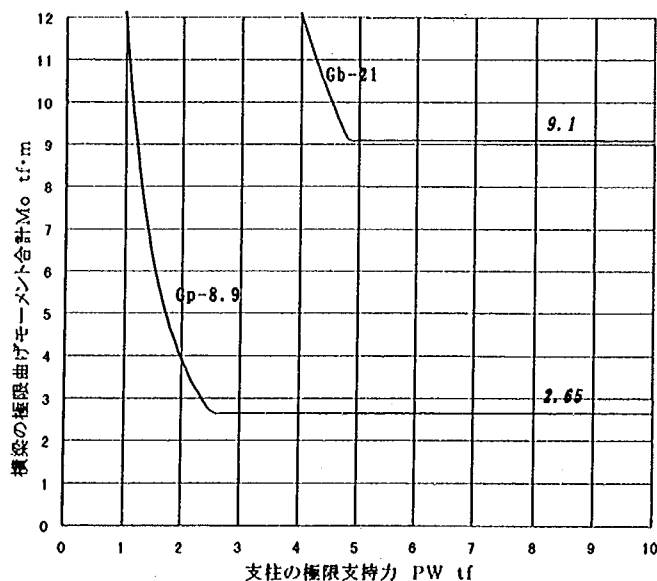
なお、横梁の最小M_o値は実車衝突試験により強度が検出された実車供試体のM_o値を採用した。



注) SI 単位への変換 $M_o : \text{kN} \cdot \text{m} = 9.80665 \times \text{tf} \cdot \text{m}$

$P_w : \text{kN} = 9.80665 \times \text{tf}$

図5. 5 部材選定グラフ 支柱間隔 1. 5 m



注) SI 単位への変換 $M_o : \text{kN} \cdot \text{m} = 9.80665 \times \text{tf} \cdot \text{m}$

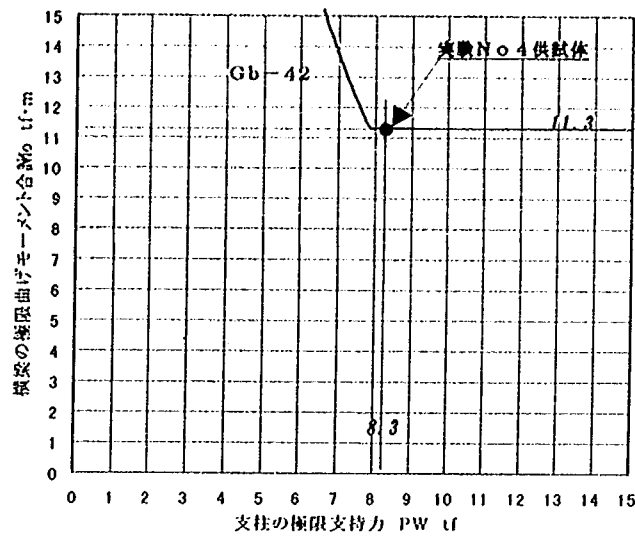
$P_w : \text{kN} = 9.80665 \times \text{tf}$

図5. 6 部材選定グラフ 支柱間隔 2. 0 m

ここで再度部材選定グラフに実車供試体の部材性能値をプロットし、図5. 7, 図5. 8に示した。

プロット点が最小 M_o 値を示す横線上に一致しているのは、供試体の横梁 M_o 値を最小 M_o として採用したことを示すものである。

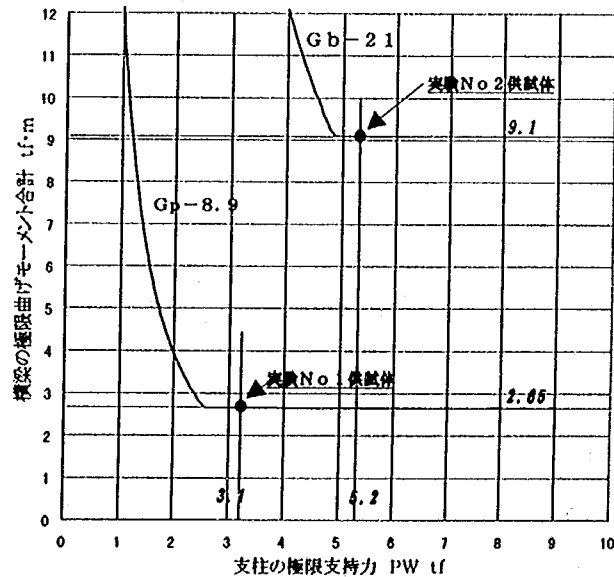
部材選定グラフによる部材選定で実車の車両誘導性を確認し、さらに実車衝突実験から最小 M_o 値を設けることにより横梁の局部変形やポケッティング現象にも配慮した。従って、これらの部材選定グラフが防護柵機能を満足させるのに必要な適切な強度区域を示していると判断される。



注) SI 単位への変換 $M_o : \text{kN} \cdot \text{m} = 9.80665 \times \text{tf} \cdot \text{m}$

$P_w : \text{kN} = 9.80665 \times \text{tf}$

図5. 7 部材選定グラフ 支柱間隔 1.5 m



注) SI 単位への変換 $M_o : \text{kN} \cdot \text{m} = 9.80665 \times \text{tf} \cdot \text{m}$

$P_w : \text{kN} = 9.80665 \times \text{tf}$

図5. 8 部材選定グラフ 支柱間隔 2.0 m

5. 3 静荷重試験

支柱と横梁部材は部材選定グラフから定められるが、この場合、各部材の性能値は静荷重試験より求めるものとする。

防護柵の車両衝突時の変形は図5. 9のように支柱間隔2 mの防護柵が2スパン4 mにわたって円弧状に変形するものと仮定する。従って、車両が防護柵に衝突した時、中央部の支柱が30cm変形し、車両が4 mの幅で支えられたとすれば、その時の2 mスパンにおける横梁の変形量は7.5cmである。

この仮定をもとに静荷重試験を行い、塑性域での支柱の極限支持力及び横梁の極限曲げモーメント M_0 を求める。

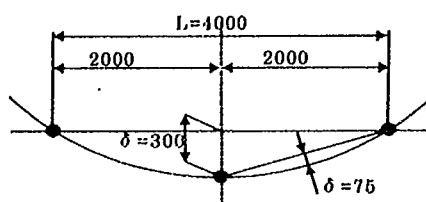


図5. 9 防護柵の変形

5. 3. 1 支柱

図5. 10のように、高さ(H)800の位置に荷重(P)を作用させ、荷重点での変位量(δ)を測定し、グラフ化する。図5. 11に示す等値面積置換により極限支持力(P_w)及び最大支持力(P_{max})を求める。 P_{max} は定着部の強度確認の際、必要とされる値である。

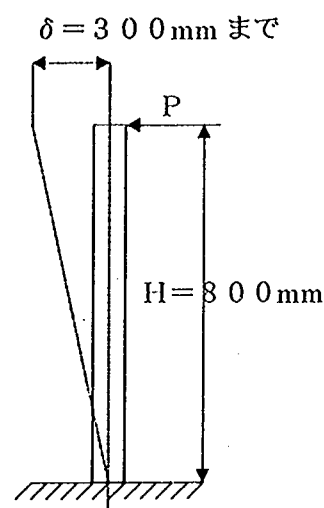


図5. 10 支柱の静荷重試験

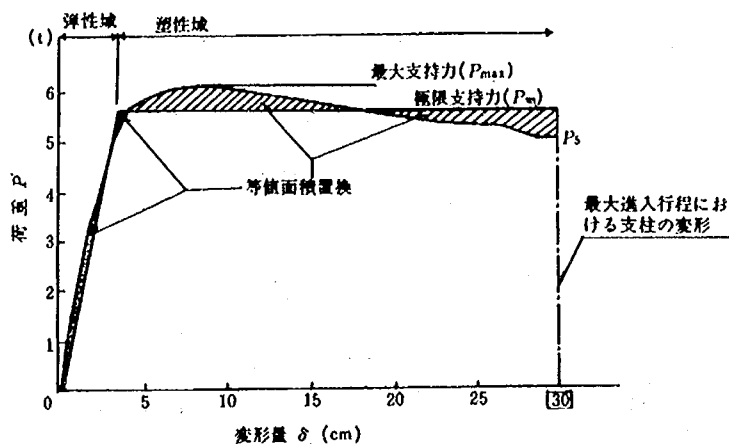


図5. 11 支柱の荷重曲線と極限支持力

5. 3. 2 横梁

スパン 2 m で単純曲げ試験を行い、 $\delta = 75\text{mm}$ までの荷重曲線から極限曲げモーメント (M_o) を等値面積置換により求める。

なお、試験は $\delta = 200\text{mm}$ まで行い、破断することなく変形することを確認する必要がある。図 5. 1 2、図 5. 1 3 を参照のこと。

防護柵の支柱間隔は Gb-42 が 1.5m、Gb-21、Gb-8.9 が 2.0m としている。しかし、横梁の極限曲げモーメント (M_o) 値は部材の断面と材質により決まる性能値であるため、静荷重試験のスパンは 2.0m に統一するものとする。

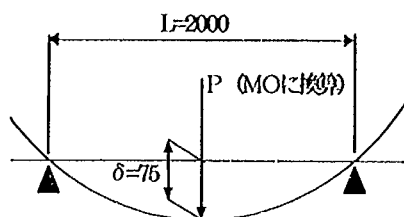


図 5. 1 2 横梁の静荷重試験 (単位 : mm)

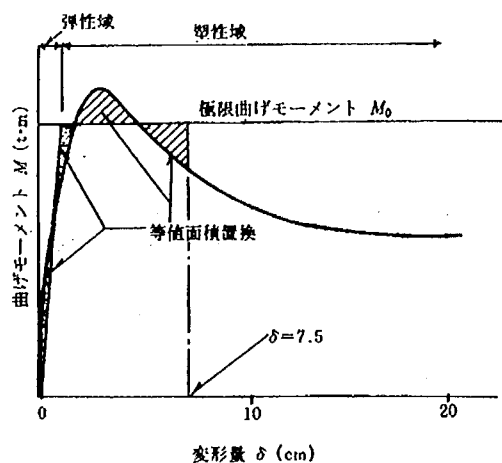


図 5. 1 3 横梁の荷重曲線と極限曲げモーメント

5. 4 設計諸元

防護柵のブロックアウト量および横梁の極限曲げモーメント M_o は実車衝突実験にて検証された部材性能値を下限值として規定することとした。表5. 4に設計諸元値を示す。

表5. 4 設計諸元

種 別	衝撃度 kNm (tfm)	ブロックアウト量 mm		横梁の極限曲げモーメント kNm (tfm)				支 柱 間 隔 m
		主 要 横 梁	下 段 横 梁	横 梁 合 計	主 要 横 梁	下段横梁		
						一 本 使 用 の 場 合 の 単 体	複 数 本 使 用 の 場 合 の 単 体	
Gb-42	410 (42.2)	75	70	110 (11.30)	68 (6.90)	43 (4.40)	22 (2.20)	1.5
Gb-21	210 (21.1)	75	70	89 (9.10)	68 (6.90)	22 (2.20)	11 (1.10)	2.0
Gp-	87 (8.9)	45	30	26 (2.65)	17 (1.75)	8.8 (0.90)	4.4 (0.45)	

5. 5 継手部の引張力（軸力）

継手部の引張力についても、実車衝突実験で検証された継ぎ手部の強度を引張力に換算して規定値とした。

表5. 5に継手部の引張力の規定を示す。

表5. 5 継手部の引張力（軸力）

種 別	衝撃度 kNm (tfm)	支柱間隔 m	主要横梁継手部の引張り 力
			kN (tf) 耐力（降伏点）と ボルト有効断面に対し
Gb-42	410 (42.2)	1.5	69 (7.0)
Gb-21	210 (21.1)	2.0	69 (7.0)
Gp-	87 (8.9)	2.0	29 (3.0)

5. 6 防護柵の高さと横梁の配置

実車衝突実験によると貨物車両が防護柵に衝突する場合、車輪が路面にある状態でまず車両本体フェンダー部が防護柵上段（主要）横梁に衝突する。その後車両は地覆部に乗り上げ、車輪ホイール部が下段横梁に接触した後、徐々に離脱していく。

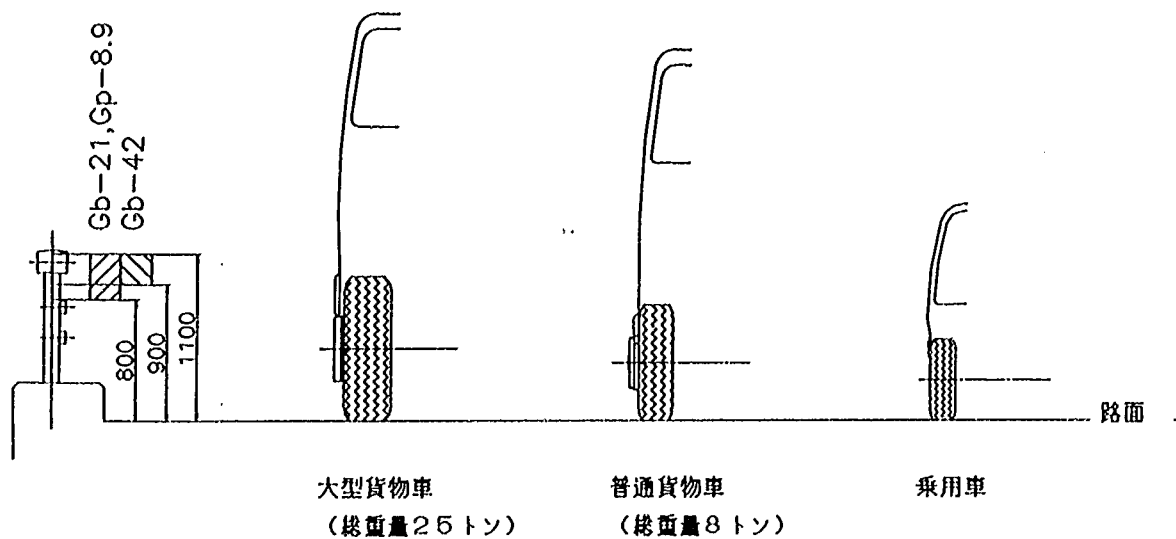
従って、主要横梁の高さの上限は総重量 25 トン車両（以下大型貨物車）及び総重量 8 トン車両（以下中型貨物車）の前部フェンダー部の高さを考慮して路面より 110cm とした。高さの下限は大型貨物車及び中型貨物車の転倒防止を考慮し、実車衝突実験結果を重視の上、路面より 80cm とした。Gp-42 は衝撃度が極めて大きいため、車両転倒に対するより一層の安全性を配慮して、下級種別より主要横梁の高さ下限値を 10cm 上げ 90cm とした。

下段横梁の高さの上限は中型貨物車のホイール上端までの高さを取り、地覆面より 60cm とし、下限は乗用車のホイールのほぼ中央までの高さを取り 25cm とした。大型貨物車両のホイールの下端から上端までは、ほぼ 20～75cm の高さであるため下段横梁が 25～60cm の範囲に配置されれば車両をスムーズに誘導することができる。従って防護柵の高さは表 5. 6 の通りとした。

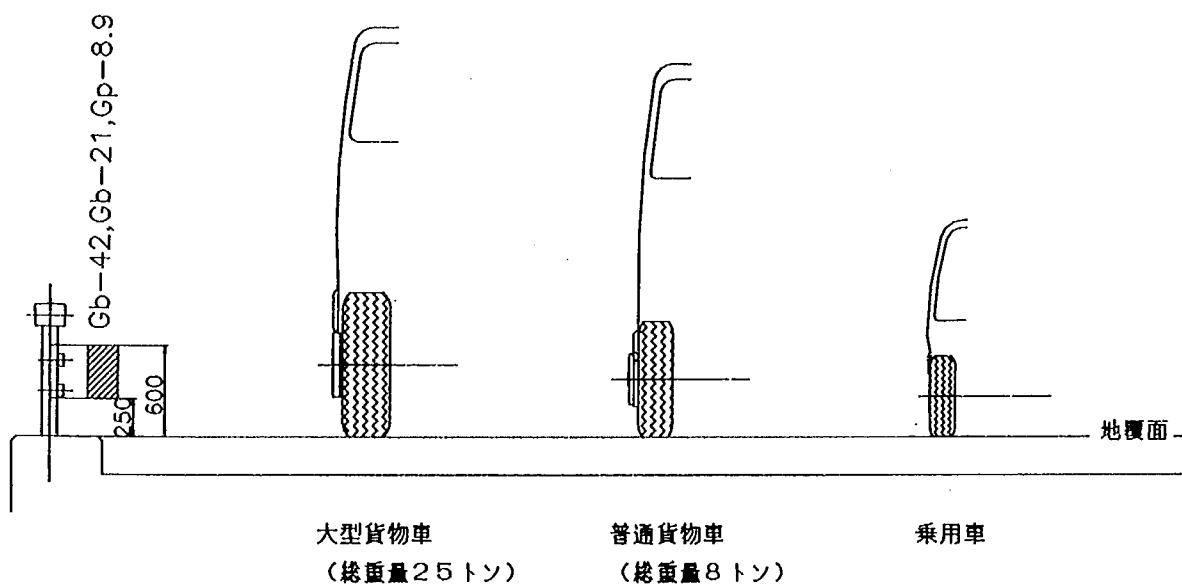
表 5. 6 防護柵の高さ

種別	主要横梁中心高さ cm (路面から)	下段横梁中心高さ cm (地覆面から)
Gb-42	90以上 110以下	25以上 60以下
Gb-21, Gp-8.9	80以上 110以下	

図 5. 14 に防護柵と車両の高さ関係図を示した。図 5. 14 - (a) は車両が路面上にある場合、図 5. 14 - (b) は車両が地覆に乗り上げた場合の関係を示す。



(a) 主要横梁の配置



(b) 下段横梁の配置

図5. 14 防護欄と車両の高さ

5. 7 定着部

定着部は、現行どおり支柱の塑性域での最大支持力 P_{max} （静荷重試験にて求めた値とする）によって地覆が破壊されないように設計するものとする。

今回の実車衝突実験では Gb-42 と Gb-21 に埋込み方式（図 5. 15）を採用した。後部補強鉄筋を束ね鉄筋とし、形状は U 型（図 5. 16）とした。また、定着部のコンクリート強度には押拔せん断応力度を適用し、図 5. 17 に示すようにコンクリートの押拔せん断抵抗と補強鉄筋の引張抵抗が協働で衝突荷重 P_{max} を支持するものとして地覆構造を設定した。なお、束ね鉄筋は表 5. 7 のとおり一本の仮想鉄筋として設計計算を行っている。

実車衝突実験の結果、この設計手法によって設計すれば十分な定着部の強度が得られることが検証できた。従って、この設計手法を用いるものとする。

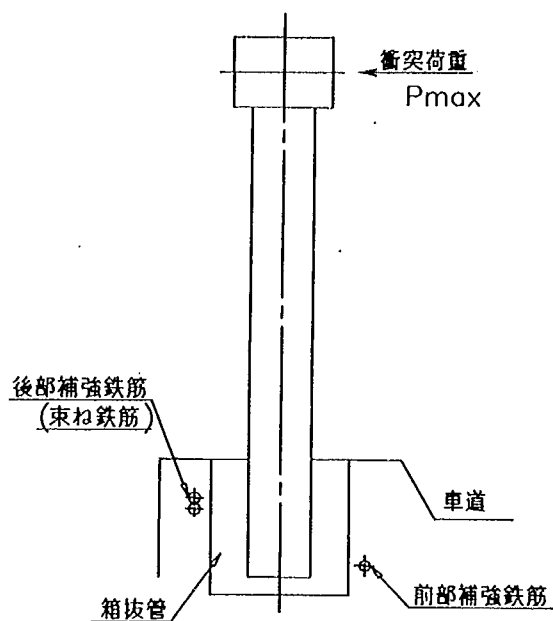


図 5. 15 定着構造

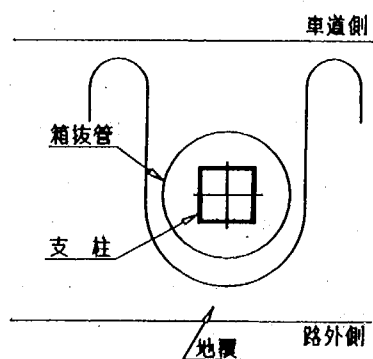


図 5. 16 U 型補強鉄筋

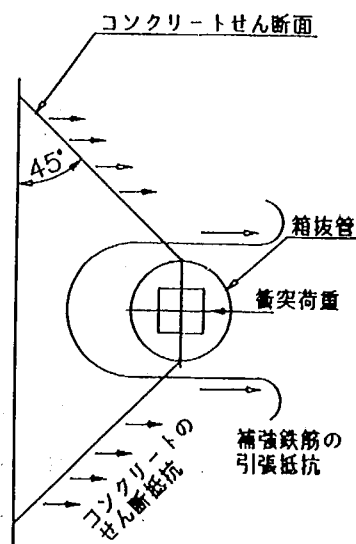
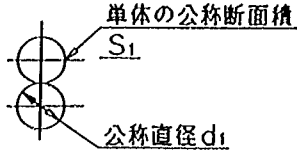
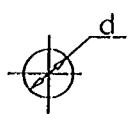


図 5. 17 補強鉄筋とコンクリートの協働作用

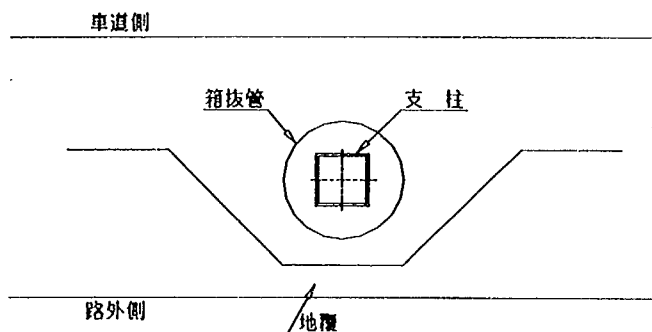
表 5. 7 束ね鉄筋

束ね鉄筋	仮想鉄筋
	 鉄筋径 $d = \sqrt{2} d_1$ 断面積 $S = 2 S_1$ 周長 $L = \sqrt{2} \pi d_1$

———補強鉄筋の形状について———

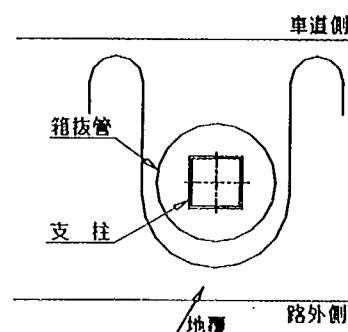
補強鉄筋の形状はV型とU型があり、地覆の状況、防護柵支柱の間隔、施工方法等により使い分けをすることとする。

V型とU型の補強鉄筋の形状をそれぞれ図 5. 18 および図 5. 19 に示す。



(a) V型補強鉄筋

図 5. 18 V型補強鉄筋



(b) U型補強鉄筋

図 5. 19 U型補強鉄筋

V型補強鉄筋は防護柵の定着部に従来から使用されているものであり、現行の「要綱・資料集」に詳細に説明され、実績も充分ある補強鉄筋形状である。しかし地覆幅が狭い場合、支柱間隔が小さい場合、橋梁長手方向端部に支柱を定着する場合等を考える時、更に今後の高規格化される道路を想定した場合、より効率的で、コンパクトな形状の補強鉄筋が必要とされる。U型鉄筋は、集中荷重とせん断荷重を受けるコンクリート部の補強として部分的に採用されているものであるが、防護柵の定着部としての使用例は少ない。そこで社団法人軽金属協会ではU型補強鉄筋の有効性を確認するため、2年間に渡って実態試験を実施した。その結果、U型鉄筋が防護柵の定着部の補強機能を充分満足することがわかった。今回の実車衝突実験ではさらにその機能を実態で確認するために、U型補強鉄筋を採用することとした。表 5. 8 はV型とU型の比較結果を示したものである。

表 5. 8 補強鉄筋の形状による比較

補強筋の形状	特 徴	鉄筋量		鉄筋の有効性		橋梁に与える影響		コスト		施工性	
V型	・ 従来から用いられている。 ・ 地覆の狭い場合に対応しやすい	○	標準	△	降伏点に達しない場合が多い	○	特に問題なし	○	標準	○	特に問題無し
U型	・ 力の方向と鉄筋の軸の方向が一致している ・ 支柱間隔が小さい場合や端部支柱等に対応しやすい。	◎	V形に較べ30%減ずることが出来る	○	降伏点まで有効に働く	○	特に問題無し	◎	材料が減った分有利	△	不慣れ。組立手順を良く考えておく

◎良い

○普通

△少し難有り

6. 新たな設計方法の提案

6. 1 設計の考え方と諸条件の設定

5章に示した検討結果に基づき、衝突実験および新プログラムを基本とした設計方法を提案する。このとき、設計に当たっては下記の要件を満足することが必要となる。

- ①主たる強度部材が鋼材（球状黒鉛鋳鉄品を含む）、ステンレス鋼材、アルミ合金材で構成される防護柵に適用する。
- ②2本以上の横梁および支柱からなり、横梁の断面が丸または四角型の閉断面になっているもの。
- ③ブロックアウト型の構造（防護柵の柵面が支柱の最前面よりも車道側に突出している構造になっているもの）。
- ④橋梁・高架などの構造物上に設置され、基礎となる構造物は衝突荷重に対し変形が生じない強度を有するもの。
- ⑤S A種以下の種別であること。

6. 2 設計の流れ

設計の流れを図6. 1に示す。

設計では、まず、設置すべき橋梁・高架の道路種別、交通状況、路外状況等から防護柵種別を判断することから始める。これにより、防護柵種別に応じた支柱および横梁の強度を選定域グラフから選定することができる。

次に、支柱および横梁を設計し、それらが選定域グラフ内の所定の条件に合致することを静荷重試験によって確認する。これによって、防護柵の基本構造が決定される。

その後、詳細構造の決定として継ぎ手部設計、定着部設計、補助部材の配置を検討し、最終設計が終了する。

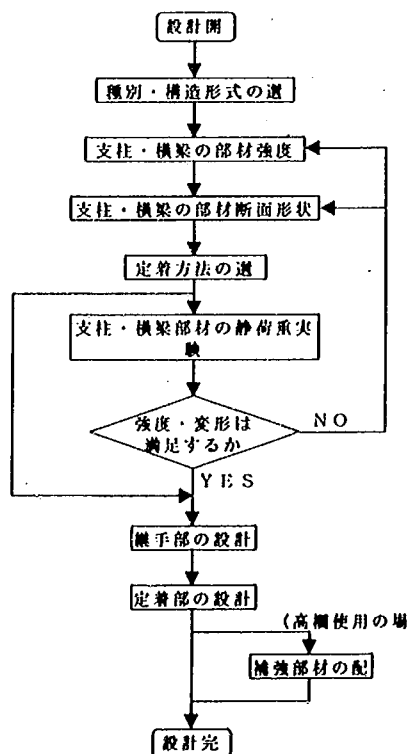


図6. 1 設計の流れ

6. 3 構造設計

6. 3. 1 形状・寸法の設計

(1) 構成

橋梁用ビーム型防護柵は支柱と横梁を強度部材とし、横梁は 1 本の主要横梁と 1 本以上の下段横梁にて構成するものとする。なお、横梁は丸型、角型またはこれに類する形状を有し、閉断面でなければならない。

(2) 設計諸元

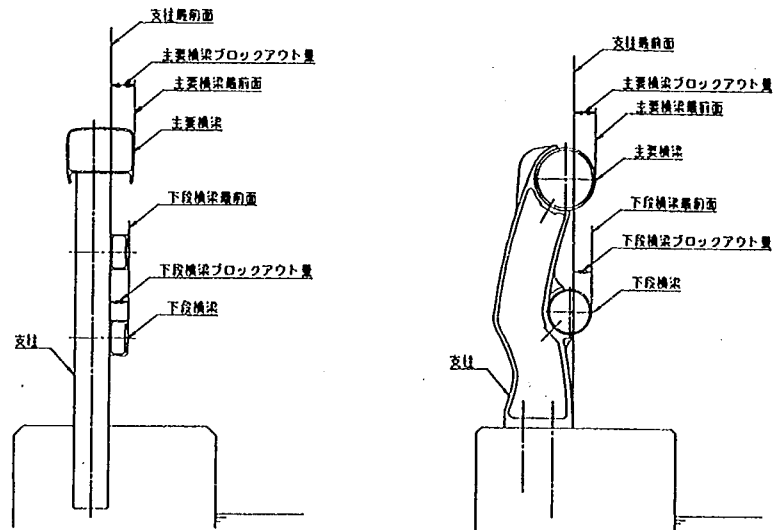
橋梁用ビーム型防護柵は表 6. 1 の設計諸元を満足しなければならない。

表 6. 1 設計諸元

種 別	ブロックアウト量 (mm) 注1		横梁の極限曲げモーメント (kN・m) 注2				支柱間隔 (m)	各節高さ (cm)	
	主要横梁	下段横梁	横梁合計	主要横梁	下 段 横 梁			主要横梁 上端高さ (路面から)	下段横梁 中心高さ (地面から)
					一本使用 時の単位	複数本使用 時の単位			
C	40 以上	25 以上	23 以上	17 以上	6 以上	4.0 以上	2.0 以下	90以上, 100以下	25以上, 60以下
B	45 以上	30 以上	26 以上	17 以上	9 以上	4.5 以上			
A	55 以上	45 以上	50 以上	36 以上	14 以上	7.0 以上			
SC	65 以上	55 以上	66 以上	49 以上	17 以上	8.5 以上	1.5 以下		
SB	75 以上	70 以上	89 以上	68 以上	21 以上	10.5 以上			
SA	75 以上	70 以上	110 以上	68 以上	42 以上	21.0 以上			

注 1) ブロックアウト量は、支柱の最前面から横梁最前面までの距離をいう。(図 6. 2)

注 2) 横梁の極限曲げモーメントは支点間隔 2 m の静荷重試験値とする。



(a) 角ビームタイプ

(b) 丸ビームタイプ

図 6. 2 ブロックアウト量

(3) 静荷重試験と部材性能値

橋梁用ビーム型防護柵は車両衝突に対して図6. 3のように変形するものと仮定し、支柱の極限支持力 P_w 、最大支持力 P_{max} および横梁の極限曲げモーメント M_o を静荷重試験にて求める。支柱の極限支持力 P_w 、最大支持力 P_{max} および横梁の極限曲げモーメント M_o は以下に示す値とする。

・支柱の極限支持力 P_w

図6. 4 (a)による支柱の曲げ試験において、荷重と変位の変形曲線を矩形のモデルに置換した場合の30cm変形する間の塑性域での支持力

・支柱の最大支持力 P_{max}

図6. 4 (a)による支柱の曲げ試験において加えることのできる最大の支持力

・支柱の最大支持力の高さ換算値 P'_{max}

P'_{max} は以下の式にて求めるものとする。

$$P'_{max} = \frac{H_o}{H} \times P_{max}$$

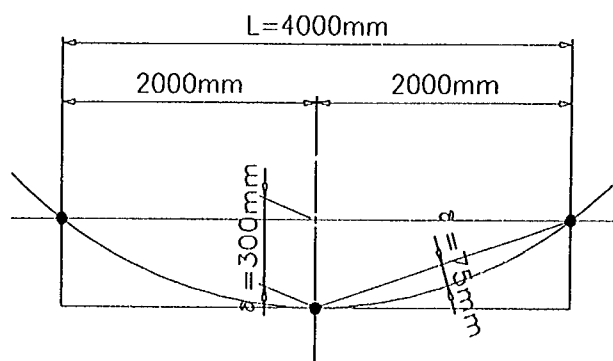
H_o : 静荷重試験時における荷重高さ (=80cm)

H : 防護柵の主要横梁中心高さ (cm)

・横梁の極限曲げモーメント M_o

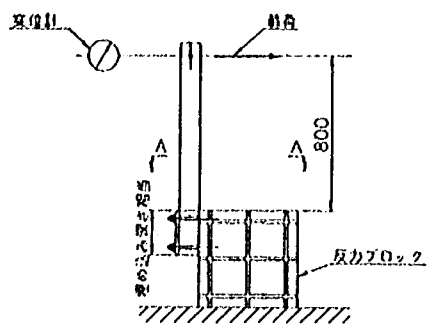
図6. 4 (b)による横梁の曲げ試験において、荷重と変位の変形曲線を矩形のモデルに置換した場合の7.5cm変形する間の塑性域での曲げモーメント

なお、静荷重試験において支柱の荷重点高さは80cmを原則とし、横梁の支点間隔はすべて2.0mに統一するものとする。また、静荷重試験は支柱、横梁の各々に対して2回実施し、 P_w または M_o の小さい値を与える試験結果を採用する。

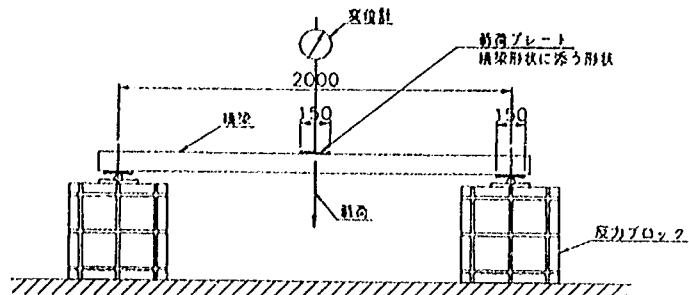


(防護柵の変形量 δ は防護柵高さ80cmの位置での変形量とする)

図6. 3 防護柵の変形



(a) 支柱



(b) 横梁

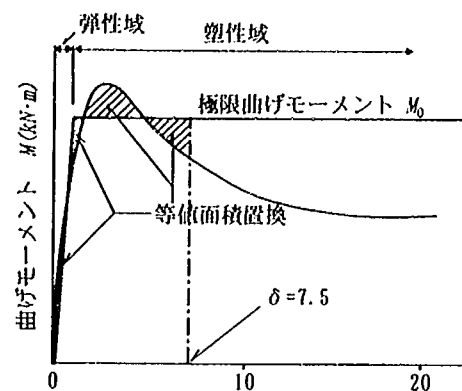
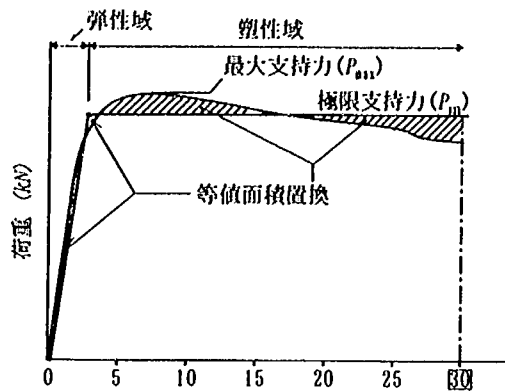
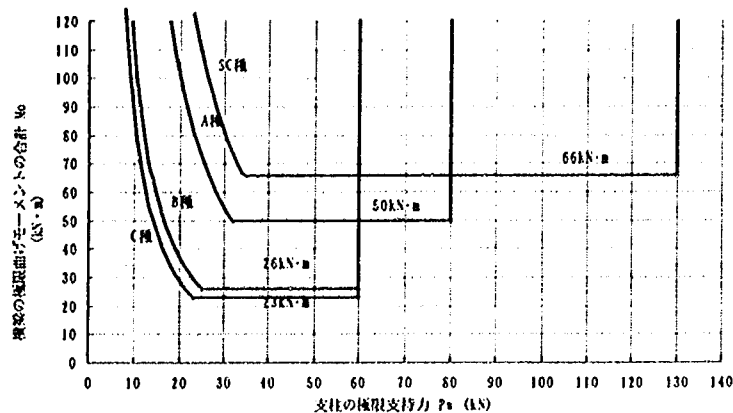


図 6. 4 静荷重試験方法，および部材性能値の算定方法

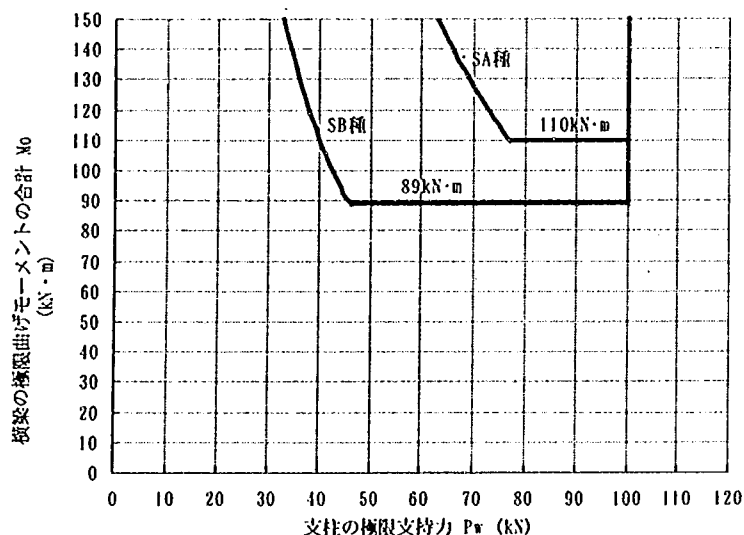
(4) 部材の選定

橋梁用ビーム型防護欄の部材は以下のものを使用する。

- ① 横梁は20cmまで切断することなく変形するもの。
- ② 横梁の極限曲げモーメントの値が、表 6. 1 を満足するもの。
- ③ 支柱と横梁の組合せは図 6. 5 の部材選定域（グラフ曲線で囲まれる範囲）内の組合せであるもの。



(a) C種, B種, A種, SC種 (標準支柱間隔 2.0m)



(b) SB種, SA種 (標準支柱間隔 1.5m)

図 6. 5 支柱と横梁の部材選定域

(備考 1) 図 6. 5 において、左の曲線および下の直線は強度性能を、また右の直線は乗員の安性能を満たすそれぞれの境界を示している。

(備考 2) 支柱間隔が標準支柱間隔以下の場合は、図 6. 5 に示す乗員の安全性能境界値（右の直線）に D/D_0 を乗じ、これを新たな境界値として安全性能を照査するものとする。

但し、端部支柱は適用外とする。

D_0 : 標準支柱間隔

D : 支柱間隔

(5) 横梁の継手

横梁継手部は図6. 6に示すような構造を有するとともに、表6. 2の引張力が作用するものとして、材料の降伏点または耐力およびボルト有効断面積でこれに耐えるよう設計する。

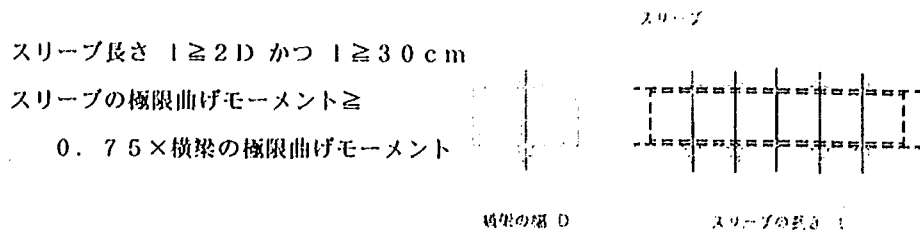


図6. 6 横梁の継手構造例

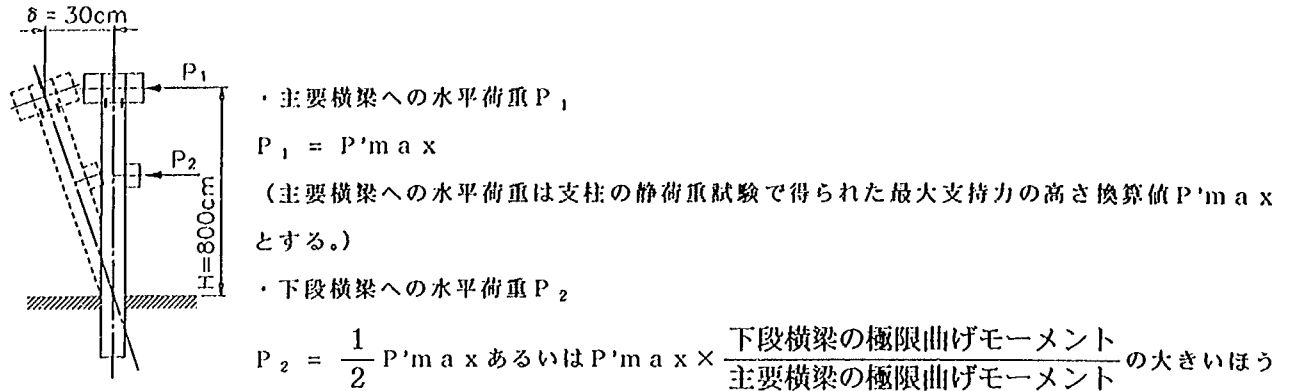
表6. 2 継手部の引張力

種別	支柱 間隔 (m)	主 要 横 梁 の 継 手 部	引張力 (軸力) kN	
			下段横梁の継手部	
C	2.0 以下	30	$30 \times \frac{\text{下段横梁の極限曲げモーメント}}{\text{主要横梁の極限曲げモーメント}}$	あるいは 15 の大きいほう
B	2.0 以下	30	$30 \times \frac{\text{下段横梁の極限曲げモーメント}}{\text{主要横梁の極限曲げモーメント}}$	あるいは 15 の大きいほう
A	2.0 以下	44	$44 \times \frac{\text{下段横梁の極限曲げモーメント}}{\text{主要横梁の極限曲げモーメント}}$	あるいは 22 の大きいほう
S C	2.0 以下	54	$54 \times \frac{\text{下段横梁の極限曲げモーメント}}{\text{主要横梁の極限曲げモーメント}}$	あるいは 27 の大きいほう
S B	1.5 以下	70	$70 \times \frac{\text{下段横梁の極限曲げモーメント}}{\text{主要横梁の極限曲げモーメント}}$	あるいは 35 の大きいほう
S A	1.5 以下	70	$70 \times \frac{\text{下段横梁の極限曲げモーメント}}{\text{主要横梁の極限曲げモーメント}}$	あるいは 35 の大きいほう

(6) 支柱と横梁の接合

図6. 3に示すように支柱は30cm (H=80cm の位置) まで変形し、その間に図6. 7に示す荷重 P_1 , P_2 が主要横梁および下段横梁に作用するものとする。

支柱と横梁の接合にはそれら荷重が作用しても耐えるよう設計する。なお、主要横梁においては支柱を横梁内に貫通させたり、横梁後部側面を支持する等して、支柱と横梁が一体で変形する構造にするものとする。



(横梁の極限曲げモーメント M_o は横梁の静荷重試験で得られた性能値とする。)

図6. 7 支柱と横梁の接合

(7) 補助部材の配置

補助部材は車両衝突時の飛散を防ぐため、以下の規定により配置するものとする。

水平方向に配置する補助部材：主要横梁、下段横梁より車道側に突出しないこと。

垂直方向に配置する補助部材：支柱最前面より車道側に突出しないこと。

(8) 防護柵の端部処理

橋梁用ビーム型防護柵の端部の支柱間隔は図6. 8に示すように一般部の支柱間隔の $1/2$ 以下とするものとする。

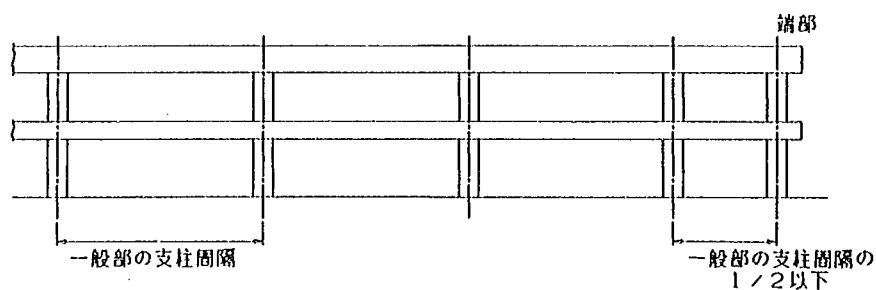


図6. 8 防護柵の端部処理

6. 3. 2 支持構造の設計

- ①橋梁用ビーム型防護柵は以下に示す設計方法により支持構造を設計する。
- ②定着部は主要横梁の中心高さに車両衝突荷重 P'_{max} が作用するものとして設計する。
- ③定着法には付図－2・1に示すように埋込方式とアンカー方式がある。

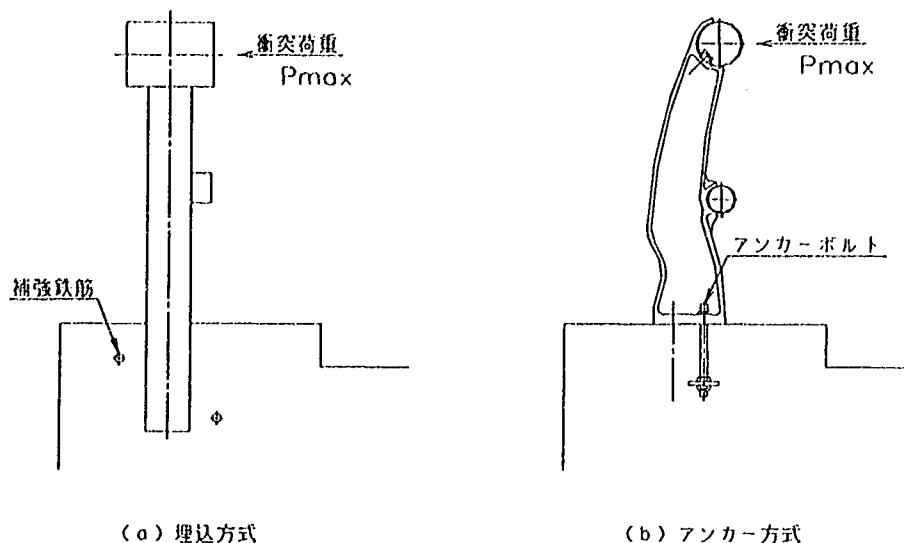


図6. 9 定着方法

(1) 埋込方式

コンクリートの押拔せん断抵抗と補強鉄筋の引張抵抗が協働で作用し、衝突荷重を支持するものとする。

1) 定着部の反力

車両の衝突荷重 P'_{max} に対して、支柱定着部は図6. 10のように四角形の応力分布により抵抗するものとし、反力 (F_1, F_2 $F_1 > F_2$) はその四角形の図心の位置に作用するものとする。

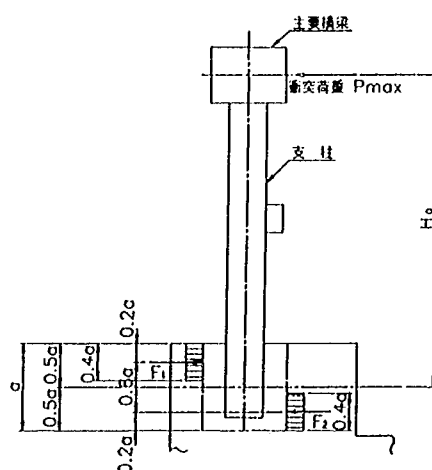


図6. 10 定着部の応力分布と反力

2) 補強鉄筋の形状

補強鉄筋の形状を図6. 1 1に示す。

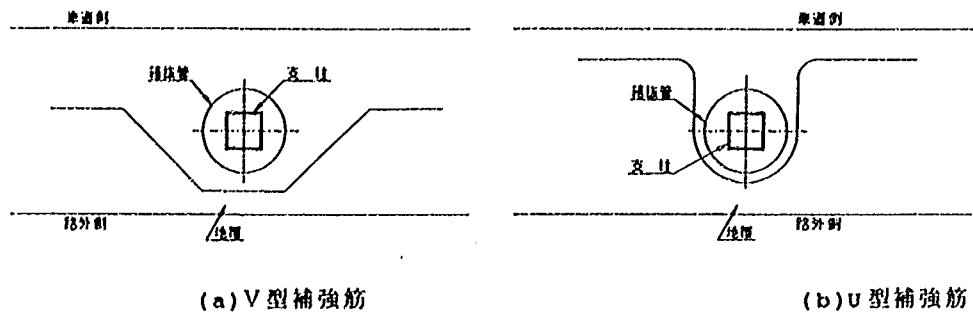


図6. 1 1 補強鉄筋の形状

3) 補強鉄筋の配置

補強鉄筋の配置例を図6. 1 2に示す。この場合、補強鉄筋は図6. 1 3に示す範囲に配置しなければならないものとする。

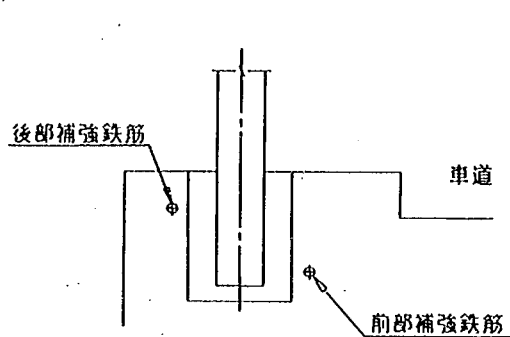


図6. 1 2 補強鉄筋の配置例

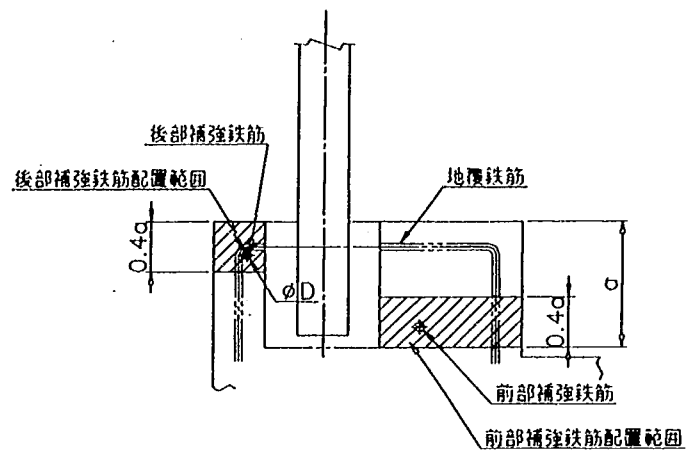
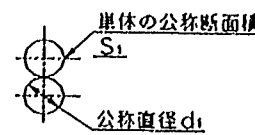
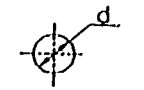


図6. 1 3 補強鉄筋の配置範囲

また表 6. 3 に示すように束ね鉄筋を 1 本の仮想鉄筋として扱うことができる。なお、補強鉄筋は D 13 以上とし、支柱の後部、前部に少なくとも 1 本は配置するものとする。

表 6. 3 束ね鉄筋

束ね鉄筋	仮想鉄筋
 単体の公称断面積 S_1 公称直径 d_1	 鉄筋径 $d = \sqrt{2} d_1$ 断面積 $S = 2 S_1$ 周長 $L = \sqrt{2} \times d_1$

4) 補強鉄筋とコンクリートの協働作用

補強鉄筋とコンクリートの協働作用は図 6. 14 に示すように作用するものとする。

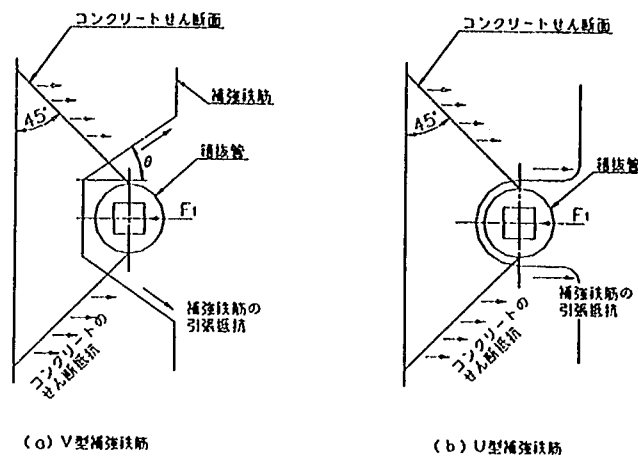


図 6. 14 補強鉄筋とコンクリートの協働作用

5) コンクリートと補強鉄筋の協働抵抗 R

コンクリートと補強鉄筋の協働抵抗 R は次式により算定する。

$$R = R_c + R_s$$

R_c : コンクリートの押拔せん断抵抗

R_s : 後部補強鉄筋の引張抵抗

$$R_c = n_c \sigma_{pa} S$$

n_c : 割増係数 1.5

σ_{pa} : 許容押拔せん断応力度

S : コンクリートの計算せん断面積

S は図 6. 15 に示すせん断面積の垂直投影面積にて算出する。

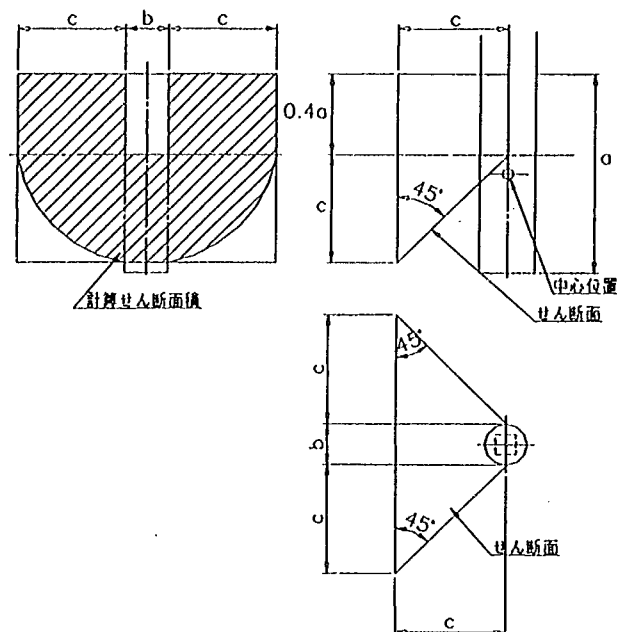


図 6. 15 コンクリートのせん断面積

$$R_s = 2 k A_s \sigma_{sy} \cos \theta$$

k : 形状係数 V 型のとき $k = 0.6$

U 型のとき $k = 1.0$

A_s : 補強鉄筋の公称断面積

σ_{sy} : 補強鉄筋材料の降伏点または耐力

θ : 荷重方向と補強鉄筋のなす角度

V 型のとき $\theta = 45^\circ$

U 型のとき $\theta = 0^\circ$

なお、前部補強鉄筋量については、後部補強鉄筋量の $1/2$ 相当量以上とするか、または後部補強鉄筋強度計算方法に準じて算定される量以上とする。

6) 補強鉄筋の定着

後部コンクリート部は図 6. 1 4 に示すせん断面に沿って剥離するものとし、補強鉄筋はその剥離を防止する定着長をとるものとする。

7) 強度照査

コンクリートと補強鉄筋の協働抵抗値が定着部に作用する反力値以上であることを確認するとともに、補強鉄筋の定着長が十分であることを照査する。

(2) アンカー方式

アンカーボルトの引張抵抗およびコンクリートの押抜せん断抵抗で衝突荷重を支持するものとする。

なお、アンカーボルトの引張りとコンクリートの押抜きの各々について照査しなければならない。

1) 定着部の反力

図 6. 1 6 に示すように、圧縮側の反力点は、引張側ボルト位置からベースプレート圧縮側端部までの距離 D の $7/8$ の位置として、支点間距離 J を求め、引抜力 F を算定するものとする。なお、地覆が鋼製等の場合は、支点間距離として D をそのまま採用する。

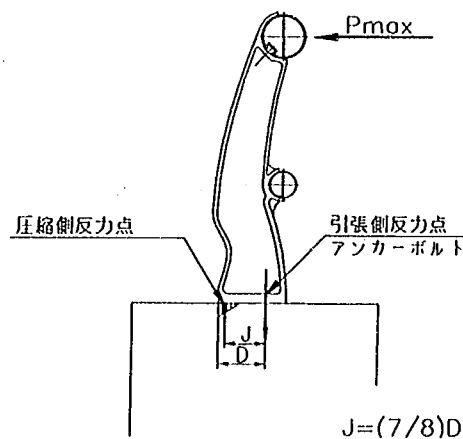


図 6. 1 6 定着部の反力

2) アンカーボルトの引張抵抗 R_s

アンカーボルトの引張抵抗は以下の式にて算定する。

$$R_s = A_s \sigma_{sy}$$

A_s : アンカーボルトネジ部の有効断面積

σ_{sy} : アンカーボルト材料の降伏点または耐力

3) コンクリートの押拔せん断抵抗 R_c

コンクリートがアンカーボルトに作用する引抜き力 F に対して、コーン状のせん断面にて抵抗するものとし、以下の式にて押拔せん断抵抗を算定する。

$$R_c = n_c \tau_{pa} S$$

n_c : 割増係数 1.5

τ_{pa} : 許容押拔せん断応力度 (道路橋示方書に準拠)

S : コンクリートの計算押拔せん断面積

S は図 6. 17 に示すせん断面の水平投影面積にて算定し、せん断抵抗を算出する。

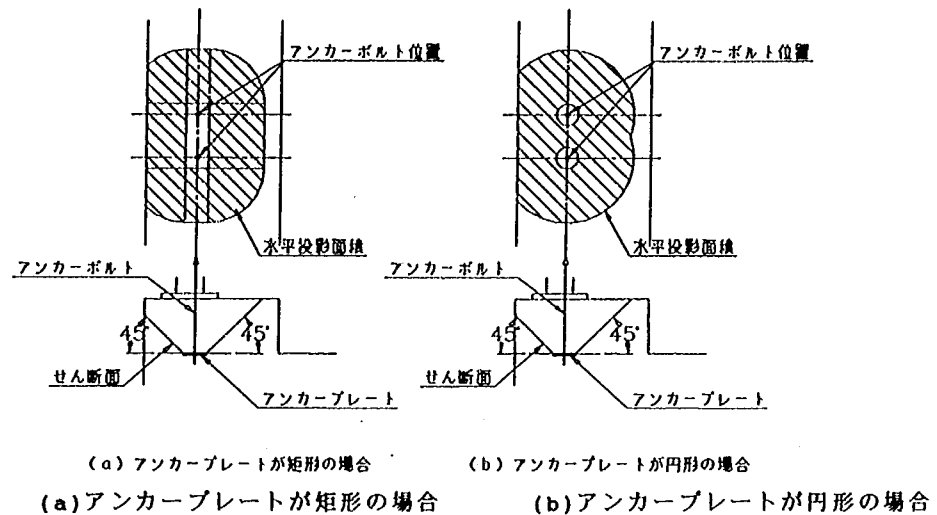


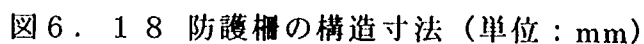
図 6. 17 せん断面と水平投影面積

4) 強度照査

アンカーボルト引抜き力 F に対して、アンカーボルトの引張強度およびコンクリートの押拔せん断強度が十分であることを照査する。

6. 4. 1 種別 S B 橋梁用ビーム型防護柵（角ビーム，2 本レールタイプ，埋込方式）

(1) 構造寸法



諸 元	アロケーション外量 (mm)		支柱間隔 (m)	路面からの 主要横梁上端高さ (cm)	地覆面からの 下段横梁中心高さ (cm)	判定
	主要横梁	下段横梁				
種別 S B 基準値	75以上	70以上	1.5以下	90~100	25~60	—
実 寸 法	75	75	1.5	100	30	OK

(2) 部材および防護柵性能

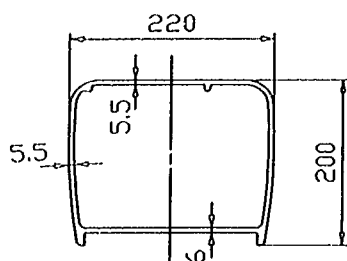
1) 部材性能値

表 6. 5 横梁の極限曲げモーメントの設計諸元

種 別	主要横梁	下段横梁	
		1本使用時の単体	複数使用時の単体
S B	68kN・m以上	21kN・m以上	10・5kN・m以上

横梁、支柱の静荷重試験データは本計算例末尾の資料 1，資料 2 を参照のこと。

①主要横梁

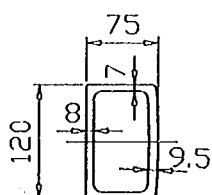


極限曲げモーメント（静荷重試験値）

$$M_o = 68.1 \text{ kN} \cdot \text{m} \geq 68 \text{ kN} \cdot \text{m} \cdots \text{OK}$$

図 6. 19 主要横梁断面

②下段横梁

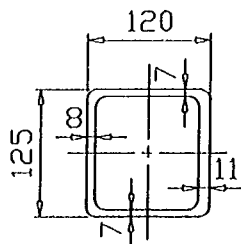


極限曲げモーメント（静荷重試験値）

$$M_o = 22.8 \text{ kN} \cdot \text{m} > 21 \text{ kN} \cdot \text{m} \cdots \text{OK}$$

図 6. 20 下段横梁断面

③支柱



極限支持力（静荷重試験値）

$$P_w = 51.0 \text{ kN}$$

最大支持力（静荷重試験値）

$$P_{\max} = 55.9 \text{ kN}$$

図 6. 21 支柱断面

2) 部材の選定

図6. 22は支柱と横梁の組合せ強度を種別SBの部材選定域内にプロットしたものである。

- ・ 横梁合計 $\Sigma M_o = 90.9 \text{ kN}\cdot\text{m}$
 - { 主要横梁 $M_o = 68.1 \text{ kN}\cdot\text{m}$ }
 - { 下段横梁 $M_o = 22.8 \text{ kN}\cdot\text{m}$ }
- ・ 支柱 $P_w = 51.0 \text{ kN}$

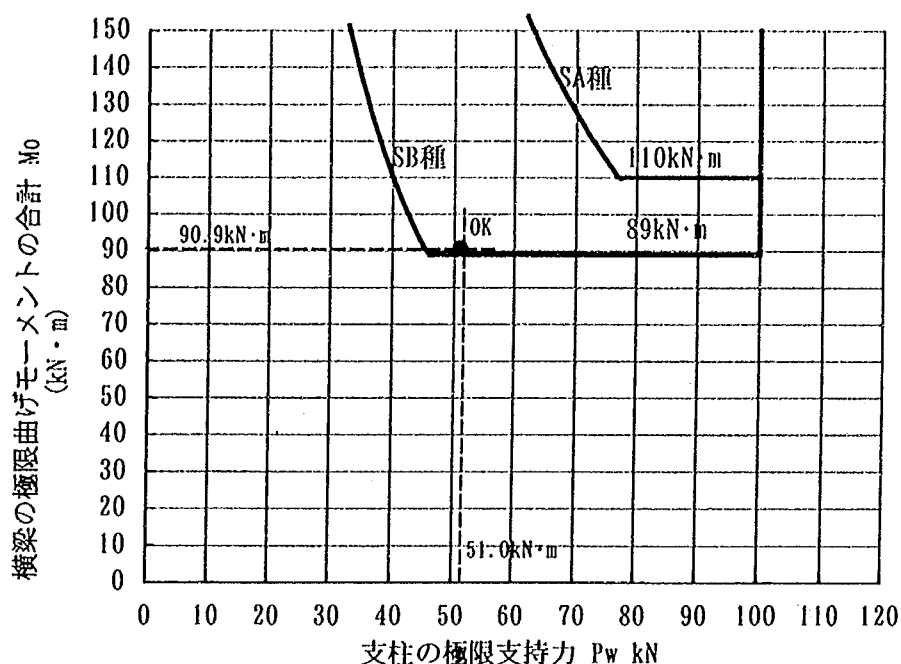


図6. 22 SB種の支柱・横梁の組合せ強度

(3) 継手の強度

1) 横梁の継手

表6. 6 耐力とボルト有効断面に対する継手部の引張力

種 別	引 張 力 (軸 力) kN	
	主要横梁の継手部	下 段 横 梁 の 継 手 部
SB種	70	$70 \times \frac{\text{下段横梁の極限曲げモーメント}}{\text{主要横梁の極限曲げモーメント}}$ あるいは、35の大きい方

① 主要横梁の継手

表6. 6より主要横梁の継手部には引張力として $T=70\text{kN}$ が作用するものとする。

表6. 7 実寸法 (単位 mm)

D	L
220	440

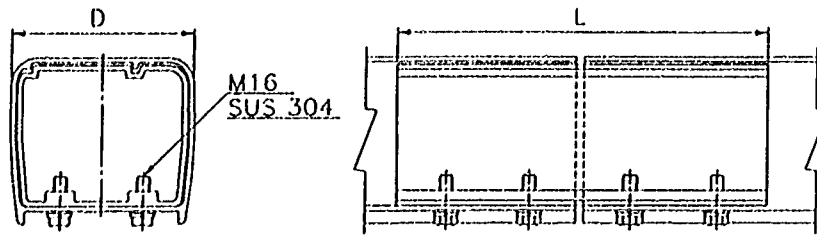


図 6. 2 3 下段横梁の継手構造

表 6. 8 主要横梁継手部の照査 継手部の張力 $T=70\text{kN}$

	スリーブ長	スリーブの極限曲げモーメント M_{os}	ボルトのせん断耐力 Q_R	判定
設計条件	$L \geq 2D$ かつ $L \geq 30\text{cm}$	$M_{os} \geq 0.75 \times M_o$	$Q_R = n \cdot A \cdot \frac{\sigma_y}{\sqrt{3}} \geq T$	—
	$D = 22.0\text{cm}$	$M_o = 68.1\text{kN}\cdot\text{m}$	$n = 4$ せん断面 $A = 1.57\text{cm}^2$ (M16) $\sigma_y = 20.5\text{kN/cm}^2$ (SUS304)	—
照査	$L = 44\text{cm}$ $L \geq 2 \times 22 = 44\text{cm}$ かつ $L \geq 30\text{cm}$	$M_{os} = 66.3\text{kN}\cdot\text{m}$ $\geq$ $0.75 \times 68.1 = 51.1\text{kN}\cdot\text{m}$	$Q_R = 74.3\text{kN}$ $\geq$ $T = 70\text{kN}$	OK

② 下段横梁の継手

下段横梁の継手部に作用する引張力は表 6. 6 に基づくものとし、下式により $T = 35\text{kN}$ が作用するものとする。

$$T = 70 \times \frac{22.8}{68.1} = 23.5\text{ kN} < 35\text{ kN}$$

表 6. 9 実寸法 単位 mm

D	L
75	320

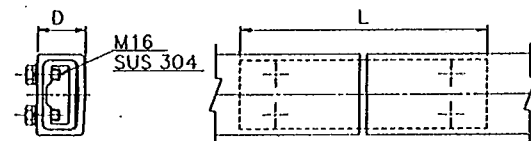


図 6. 2 4 下段横梁の継手構造

表 6. 10 下段横梁継手部の照査 継手部の引張り力 $T=35\text{kN}$

	スリーブ長	スリーブの極限曲げモーメント M_{os}	ボルトのせん断耐力 Q_R	判定
設計条件	$L \geq 2D$ かつ $L \geq 30\text{cm}$	$M_{os} \geq 0.75 \times M_o$	$Q_R = n \cdot A \cdot \frac{\sigma_y}{\sqrt{3}} \geq T$	—
	$D = 7.5\text{cm}$	$M_o = 22.8\text{kN}\cdot\text{m}$	$n = 2$ せん断面 $A = 1.57\text{cm}^2$ (M16) $\sigma_y = 20.5\text{kN/cm}^2$ (SUS304)	—
照査	$L = 32\text{cm}$ $L \geq 2 \times 7.5 = 15\text{cm}$ かつ $L \geq 30\text{cm}$	$M_{os} = 18.5\text{kN}\cdot\text{m}$ $\geq$ $0.75 \times 22.8 = 17.1\text{kN}\cdot\text{m}$	$Q_R = 37.2\text{kN}$ $\geq$ $T = 35\text{kN}$	OK

——スリーブの極限曲げモーメント M_{os} について——

横梁の静荷重試験による M_o 値は計算による M'_o 値と同値にはならないため、スリーブの極限モーメント M_{os} は横梁の M_o 値と M'_o 値の比を M'_{os} に適用し、以下の式にて算定する。

$$M_{os} = \frac{M_o}{M'_o} \times M'_{os}$$

$$\text{なお } M'_o = Z_p \sigma_y$$

$$M'_{os} = Z_{sp} \sigma_{sy}$$

M_{os} : スリーブの極限曲げモーメント (kN・m)

M'_{os} : スリーブの計算による極限曲げモーメント (kN・m)

M_o : 横梁の極限曲げモーメント (kN・m)

M'_o : 横梁の計算による極限曲げモーメント (kN・m)

Z_p : 横梁の塑性断面係数 (m³)

Z_{sp} : スリーブの塑性断面係数 (m³)

σ_y : 横梁の材料の耐力または降伏点 (kN/m²)

σ_{sy} : スリーブの材料の耐力または降伏点 (kN/m²)

∴ 主要横梁スリーブ

$$M_{os} = \frac{68.1}{86.9} \times 84.6 = 66.3 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

下段横梁スリーブ

$$M_{os} = \frac{22.8}{20.0} \times 16.2 = 18.5 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

(4) 支柱と横梁の接合

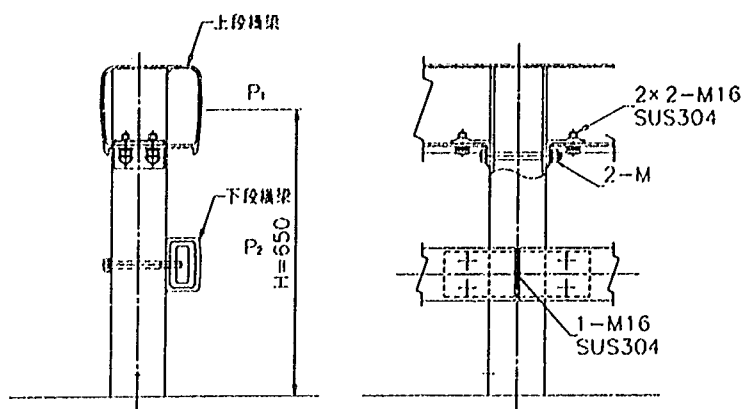


図 6. 2 5 支柱と横梁の接合

- ・ 支柱の最大支持力の高さ換算値 $P'_{\max}$

$$P'_{\max} = \frac{H_0}{H} \times P_{\max} = \frac{80}{65} \times 55.9 = 68.8 \text{ kN}$$

H : 地覆面から主要横梁中心までの高さ (=65cm)

H_0 : 支柱の静荷重試験時における荷重高さ (=80cm)

$P_{\max}$: 支柱の静荷重試験時における最大支持力 (=55.9kN)

- ・ 主要横梁への水平荷重 P_1

$$P_1 = P'_{\max} = 68.8 \text{ kN}$$

- ・ 下段横梁への水平荷重 P_2

$$P_2 \text{ は } \frac{P'_{\max}}{2} \text{ あるいは } P'_{\max} \times \frac{\text{下段横梁の極限曲げモーメント}}{\text{主要横梁の極限曲げモーメント}} \text{ の大きい方}$$

$$\frac{68.8}{2} = 34.4 \text{ kN} > 68.8 \times \frac{22.8}{68.1} = 23.0 \text{ kN}$$

$$\therefore P_2 = 34.4 \text{ kN}$$

1) 支柱と主要横梁の接合

安全をみて主要横梁下面の4本のボルトにて荷重を支持するものとする。

ボルトのせん断耐力 Q_R

$$Q_R = n \cdot A \cdot \frac{\sigma_y}{\sqrt{3}} = 4 \times 1.57 \times \frac{20.5}{\sqrt{3}} = 74.3 \text{ kN} > P_1 = 68.8 \text{ kN} \cdots \cdots \text{OK}$$

$n = 4$ (ボルトのせん断面数)

$A = 1.57 \text{ cm}^2$ (M16の有効断面積)

$\sigma_y = 20.5 \text{ kN/cm}^2$ (SUS304の耐力)

2) 支柱と下段横梁の接合

防護柵は車両衝突荷重に対して高さ80cmの位置で変形量を30cm以下(支柱傾斜角 θ 以下)になる強度を要求されている。支柱に傾斜角 θ が生じるものとしてボルトのせん断を照査する。

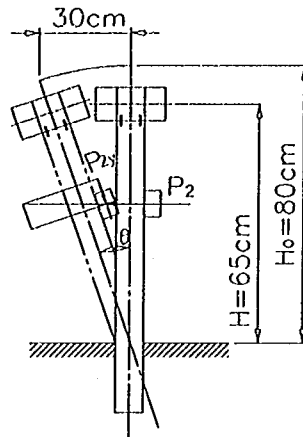


図6. 26 防護柵の変形と下段横梁への荷重

$$\sin \theta = \frac{30}{80} \quad \theta = 22^\circ$$

$$P_{2y} = P_2 \sin \theta = 34.4 \sin 22^\circ = 12.9 \text{ kN}$$

ボルトのせん断耐力 Q_R

$$Q_R = n \cdot A \cdot \frac{\sigma_y}{\sqrt{3}} = 1 \times 1.57 \times \frac{20.5}{\sqrt{3}} = 18.6 \text{ kN} > P_{2y} = 12.9 \text{ kN} \cdots \cdots \text{OK}$$

$n = 1$ (ボルトのせん断面数)

$A = 1.57 \text{ cm}^2$ (M16の有効断面積)

$\sigma_y = 20.5 \text{ kN/cm}^2$ (SUS304の耐力)

(5) 定着部の強度

(a) U型補強鉄筋を使用の場合

(a) - 1 後部地覆

1) コンクリートと補強鉄筋の協働作用

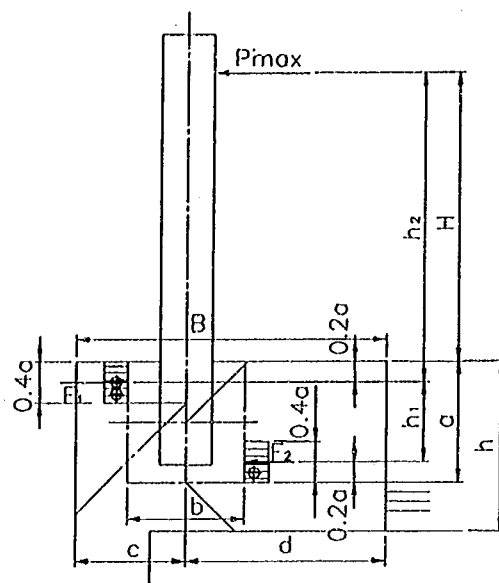


図 6. 2 7 定着部の寸法と荷重

表 6. 1 1 実寸法

単位 mm

H	h	a	b	c	d	B	h ₁	h ₂
650	350	250	225	215	385	600	150	700

① 後部地覆に作用する反力 F_1

$$F_1 = \frac{h_1 + h_2}{h_1} \cdot P'_{\max} = \frac{15 + 70}{15} \times 68,800 = 389,867 \text{ N}$$

② コンクリートが受け持つ荷重(コンクリートの押抜きせん断抵抗) R_c

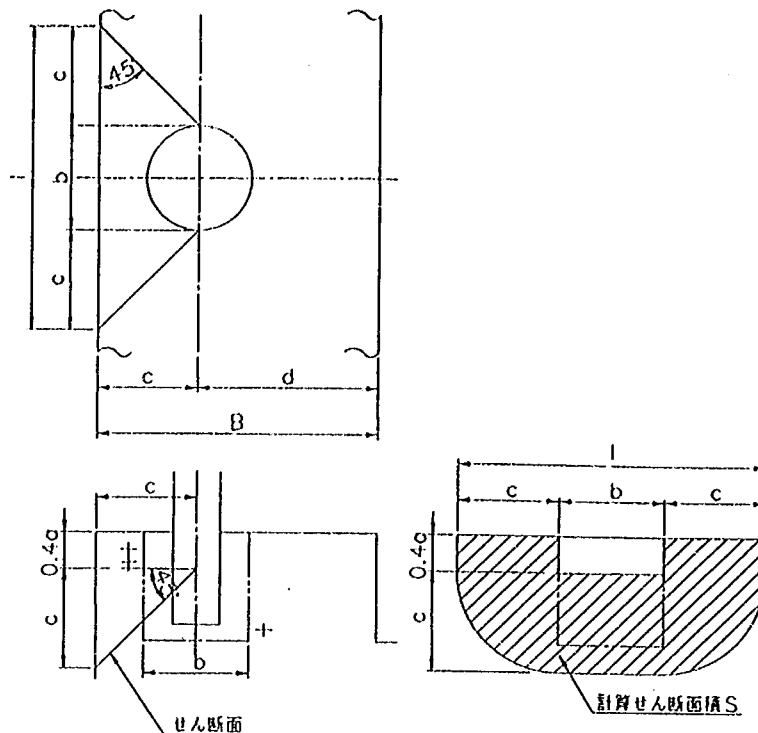


図 6. 2 8 せん断面とせん断面積

表 6. 1 2 実寸法

単位 mm

a	b	c	d	B	l
250	225	215	385	600	655

コンクリートの計算せん断面積 S

$$S = c \left(0.8a + b + \frac{\pi}{2} c \right) = 21.5 \left(0.8 \times 25 + 22.5 + \frac{\pi}{2} \times 21.5 \right) = 1640 \text{ cm}^2$$

$$\therefore R_c = n_c \cdot \tau_{pa} \cdot S = 1.5 \times 85 \times 1640 = 209,100 \text{ N}$$

n_c : 割増係数 = 1.5

τ_{pa} : 許容押抜きせん断応力度 = 85 N/cm^2

(コンクリートの設計基準強度 $\sigma_{ck} = 21 \text{ N/mm}^2$)

③ 補強鉄筋が受け持つ荷重(後部補強筋の引張抵抗) R_s

$$\begin{aligned}
 R_s &= 2k A_s \sigma_{sy} \cos \theta \\
 &= 2 \times 1.0 \times 3.871 \times 29,500 \times \cos 0^\circ = 228,389 \text{ N} \\
 k &: \text{形状係数(U型)} = 1.0 \\
 A_s &: \text{補強鉄筋の公称断面積(D22)} = 3.871 \text{ cm}^2 \\
 \sigma_{sy} &: \text{補強鉄筋の耐力値(SD295)} = 29,500 \text{ N/cm}^2 \\
 \theta &: F_1 \text{の荷重方向と補強鉄筋とのなす角度(U型)} = 0^\circ
 \end{aligned}$$

④ 後部地覆の協働抵抗 R と後部地覆に作用する反力 F_1 との照査

$$\begin{aligned}
 R &= R_c + R_s = 209,100 + 228,389 = 437,489 \text{ N} \\
 \therefore F_1 &= 389,867 \text{ N} < R = 437,489 \text{ N} \cdots \cdots \text{OK}
 \end{aligned}$$

2) 補強鉄筋の定着

「道路橋示方書」および「コンクリート標準示方書」によるものとする。

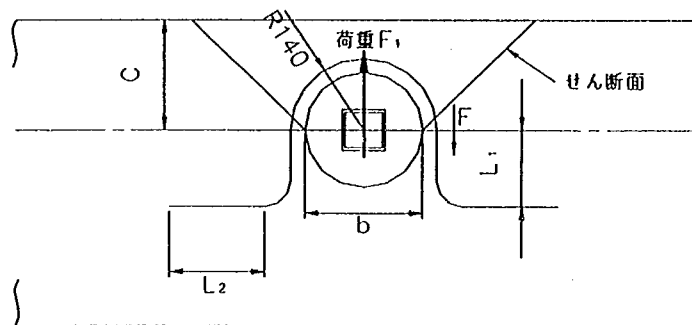


図6. 29 補強鉄筋の定着

表6. 13 実寸法

単位 mm

L_1	L_2	b	c
300	320	225	215

① 補強鉄筋の受け持つ実荷重 R_{sj}

$$R_{sj} = F_1 - R_c = 389,867 - 209,100 = 180,767 \text{ N}$$

② 補強鉄筋に作用する引張荷重 F

$$F = \frac{R_{sj}}{2} = \frac{180767}{2} = 90384 \text{ N}$$

③ 付着応力度により算出される定着長 L_a

$$L_a = \frac{F}{\pi \phi n_c \tau_{o_a}} = \frac{90384}{\pi \times 2.22 \times 1.5 \times 140} = 61.7 \text{ cm}$$

ϕ : 補強鉄筋公称直径(D22) = 2.22 cm

n_c : 割増係数 = 1.5

τ_{o_a} : 許容付着応力度(異形棒鋼) = 140 N/cm²
(コンクリート設計基準強度 $\sigma_{ck} = 21 \text{ N/mm}^2$)

④ 照査

$$L_2 = 32 \text{ cm} \geq 10\phi = 10 \times 2.22 = 22.2 \text{ cm} \cdots \cdots \text{OK}$$

$$L_1 + L_2 = 30 + 32 = 62 \text{ cm} > L_a = 61.7 \text{ cm} \cdots \cdots \text{OK}$$

(a) - 2 前部地覆

1) コンクリートと補強鉄筋の協働作用

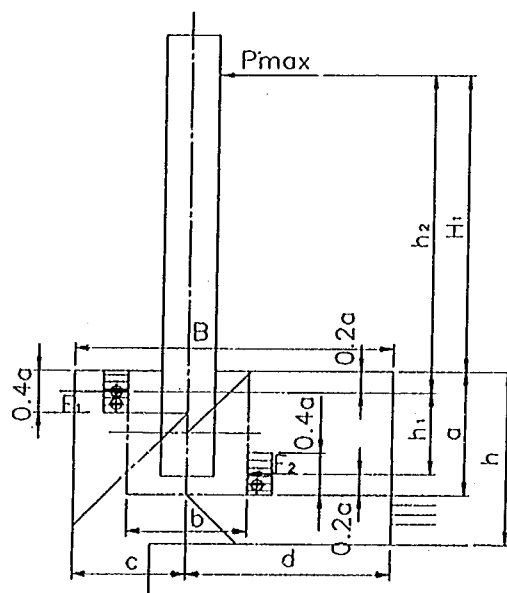


図 6. 3 0 定着寸法と荷重

表 6. 1 4 実寸法

単位 mm

H	h	A	b	c	D	B	h_1	h_2
650	350	250	225	215	385	600	150	700

① 前部地覆に作用する反力 F_2

$$F_2 = \frac{h_2}{h_1} \times P'_{\text{sat}} = \frac{70}{15} \times 68800 = 321067 \text{ N}$$

② コンクリートが受け持つ荷重(コンクリートの押抜きせん断抵抗) R_c

コンクリートの計算せん断面積 S (斜線部面積) = $3,219 \text{ cm}^2$

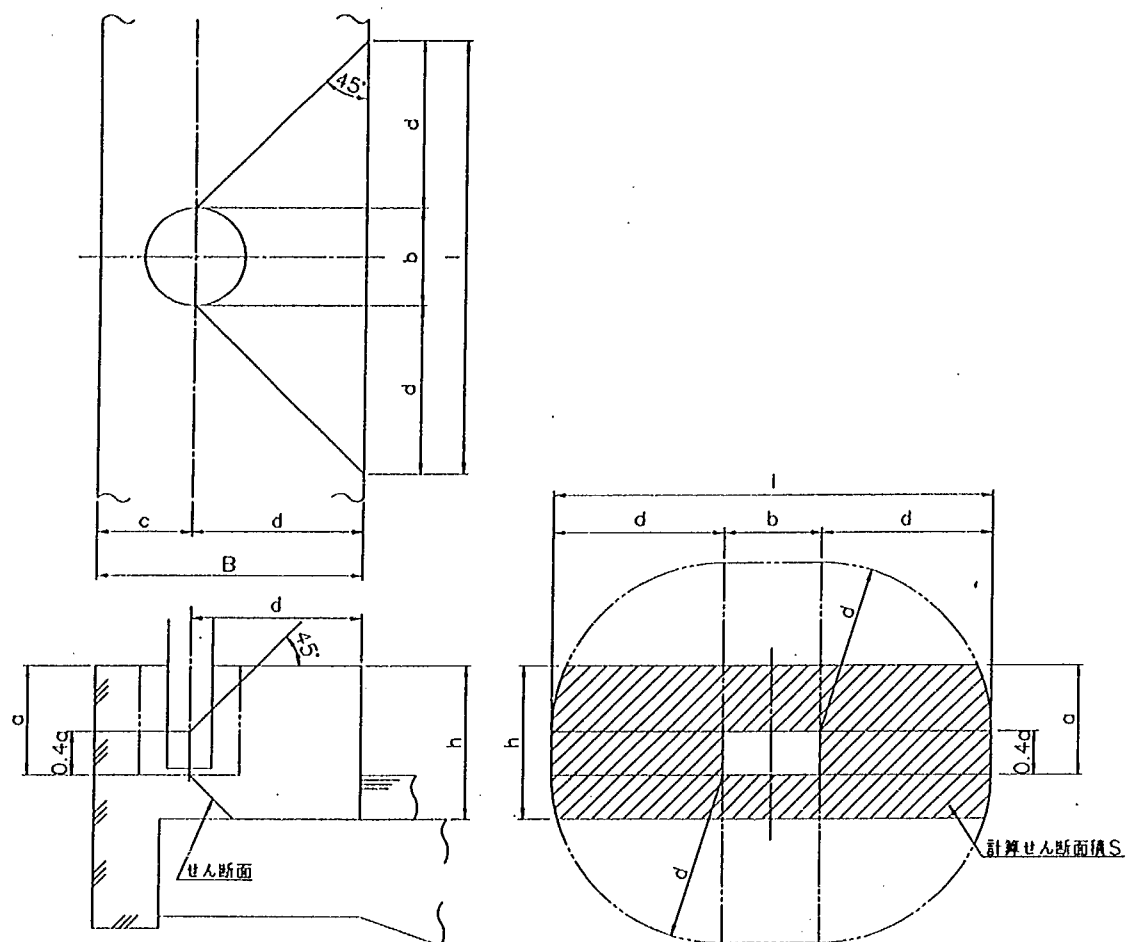


図 6. 3 1 せん断面とせん断面積

表 6. 1 5 実寸法

単位 mm

a	b	c	d	B	l	h
250	225	215	385	600	995	350

$$\therefore R_c = n_c \cdot \tau_{pa} \cdot S = 1.5 \times 85 \times 3,219 = 410,423 \text{ N}$$

n_c : 割増係数 = 1.5

τ_{pa} : 許容押抜きせん断応力度 = 85 N/cm^2

(コンクリート設計基準強度 $\sigma_{ok} = 21 \text{ N/mm}^2$)

③ 照査

$R_c > F_2$ となりコンクリートのみにて車両の衝突荷重を支持できることがわかった。
従って、前部地覆には前部補強筋として後部補強筋の $1/2$ 相当量以上を配置する。

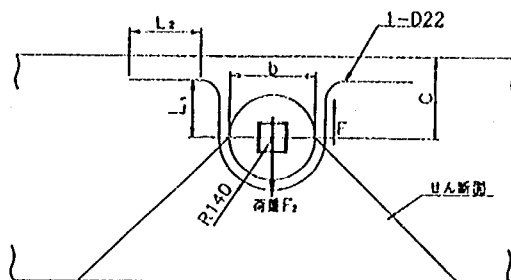


図 6. 3 2 前部補強鉄筋

表 6. 1 6 前部鉄筋寸法 単位 mm

L_1	140	L_2	320
-------	-----	-------	-----

$$L_2 = 32\text{cm} > 10\phi$$

$$= 10 \times 2.22 = 22.2\text{cm} \quad \text{OK}$$

$$L_1 + L_2 = 14 + 32 = 46\text{cm}$$

$$> 1/2 \times 62 = 31\text{cm} \quad \text{OK}$$

↑ 後部補強鉄筋の定着長

(b) V型補強鉄筋使用の場合

(b) - 1 後部地覆

1) コンクリートと補強鉄筋の協働作用

① 後部地覆に作用する反力 $F_1 = 389,867\text{N}$

② コンクリートが受け持つ荷重(コンクリートの押拔せん断抵抗) $R_c = 209,100\text{N}$
 上記は $1 \cdot 5 \cdot 1$ と同様のため詳細は割愛する。

③ 補強鉄筋(2本結束の束ね鉄筋)が受け持つ荷重(後部補強鉄筋の引張り抵抗) R_s

$$R_s = 2 \cdot k \cdot 2A_s \cdot \sigma_{sa} \cdot \cos \theta$$

$$= 2 \times 0.6 \times 2 \times 3.871 \times 29,500 \times \cos 45^\circ = 193,794\text{ N}$$

k : 形状係数(V型) = 0.6

A_s : 補強鉄筋の公称断面積(D22) = 3.871 cm^2

σ_{sa} : 補強鉄筋の耐力値(SD295) = $29,500\text{ N/cm}^2$

θ : F_1 の荷重方向と補強鉄筋とのなす角度(V型) = 45°

④ 後部地覆の協働抵抗 R と後部地覆に作用する反力 F_1 との照査

$$R = R_c + R_s = 209,100 + 193,794 = 402,894\text{ N}$$

$$\therefore F_1 = 389,867\text{ N} < R = 402,894\text{ N} \cdots \cdots \text{OK}$$

2) 補強鉄筋の定着

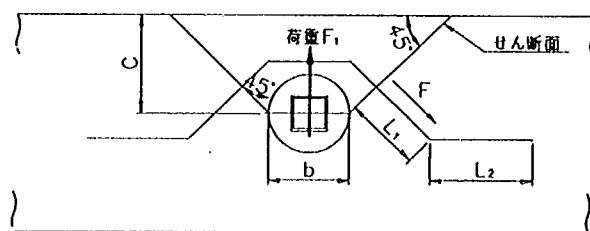


図6. 33 補強鉄筋の定着

表6. 17 実寸法

単位 mm

L_1	L_2	b	c
285	340	225	215

① 補強鉄筋の受け持つ実荷重 R_{sj}

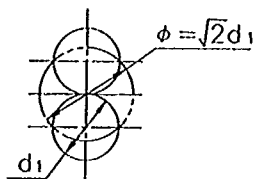
$$R_{sj} = F_1 - R_c = 389,867 - 209,100 = 180,767 \text{ N}$$

② 補強鉄筋に作用する引張荷重 F

$$F = \frac{R_{sj}}{2\cos 45^\circ} = \frac{180767}{2\cos 45^\circ} = 127822 \text{ N}$$

③ 付着応力度により算出される定着長 L_a

$$L_a = \frac{F}{\pi d n_c \tau_{oa}} = \frac{127822}{\pi \times 3.14 \times 1.5 \times 140} = 61.7 \text{ cm}$$



d : 仮想補強鉄筋径 $= \sqrt{2} d_1 = \sqrt{2} \times 2.22 = 3.14 \text{ cm}$

d_1 : 補強鉄筋公称直径(D22) $= 2.22 \text{ cm}$

n_c : 割増係数 $= 1.5$

τ_{oa} : 許容付着応力度(異形棒鋼) $= 140 \text{ N/cm}^2$

(コンクリート設計基準強度 $\sigma_{ck} = 21 \text{ N/mm}^2$)

図6. 34 束ね鉄筋

④ 照査

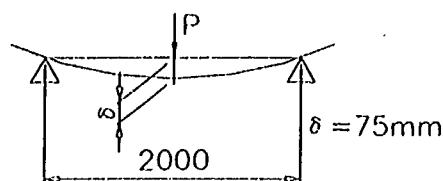
$$L_2 = 34 \text{ cm} \geq 10d = 10 \times 3.14 = 31.4 \text{ cm} \cdots \cdots \text{OK}$$

$$L_1 + L_2 = 28.5 + 34 = 62.5 \text{ cm} > L_a = 61.7 \text{ cm} \cdots \cdots \text{OK}$$

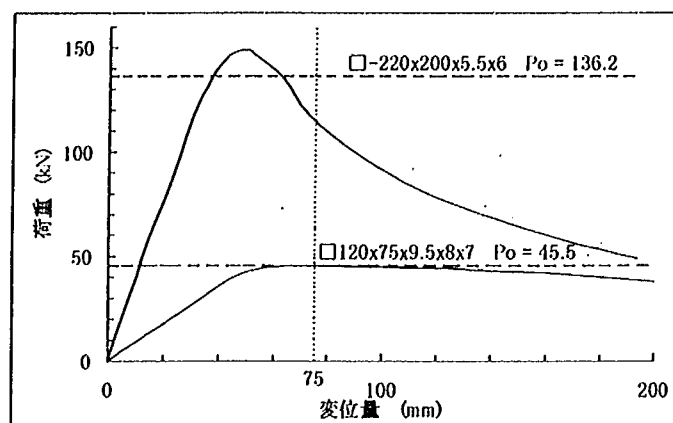
(b) - 2 前部地覆

前部は、U型補強鉄筋を使用の場合と同様に照査する。照査結果はU型補強鉄筋の場合と同様に後部に比較して十分なコンクリートがあるため、後部補強筋の 1/2 以上を配置すれば良い。従って、後部補強筋は 2 本の補強鉄筋で構成される束ね鉄筋を使用しているが、前部補強鉄筋は同型、同形状のものを 1 本使用するものとする。

資料 1 横梁の静荷重試験結果



極限曲げモーメント : M_o
 支 間 距 離 : $l=2(m)$
 (防護柵の支柱間隔に関わらず
 2000 mm)



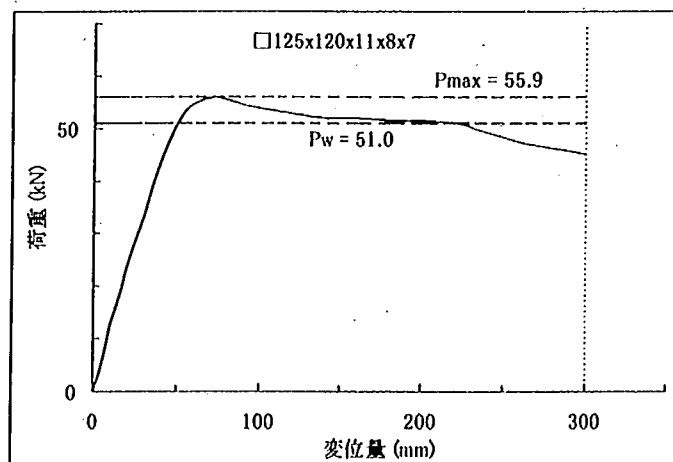
上段横梁

$$M_o = \frac{P_o \cdot l}{4} = \frac{136.2 \times 2}{4} = 68.1 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

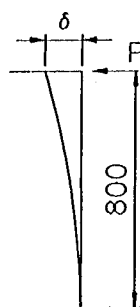
下段横梁

$$M_o = \frac{P_o \cdot l}{4} = \frac{45.5 \times 2}{4} = 22.8 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

資料 2 支柱静荷重試験結果



高 さ : $H=800 \text{ mm}$
 最大支持力 : $P_{\max}=55.9 \text{ kN}$
 極限支持力 : $P_w=51.0 \text{ kN}$



(横梁中心高さに関わらず
 荷重点は $H=800 \text{ mm}$)

6. 4. 2 種別SCビーム型防護柵

(丸ビーム, 2本レールタイプ, アンカーボルト方式)

ここでは図6. 35に示す構造寸法を有する種別SC橋梁用ビーム型防護柵においてアンカーボルト方式の定着部の設計計算例を示す。従って、部材および防護柵性能の設計計算は省略する。

(1) 構造寸法

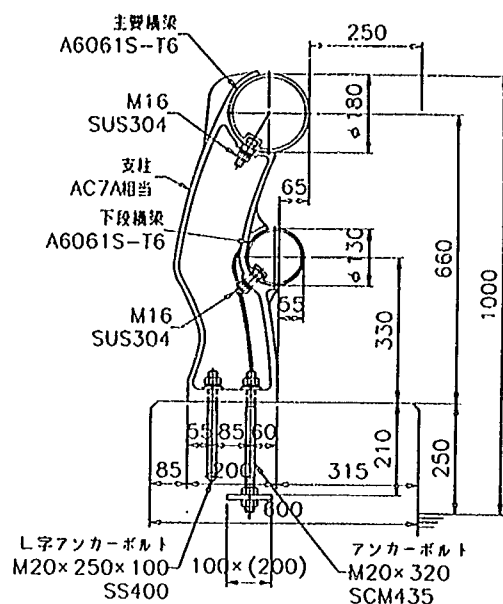


図6. 35 構造寸法

(2) 定着部の強度

1) 支柱の部材性能(資料3を参照)

・極限支持力(静荷重試験値)

$$P_w = 33.6 \text{ kN}$$

・最大支持力(静荷重試験値)

$$P_{\max} = 39.3 \text{ kN}$$

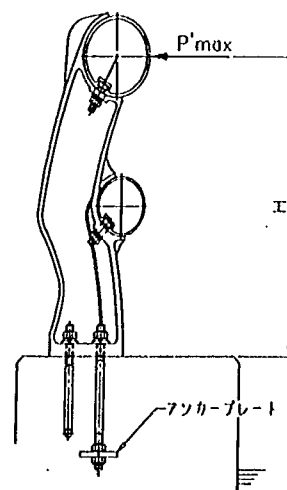


図6. 36 支柱に作用する荷重

2) 支柱に作用する荷重

支柱には最大支持力 $P_{\max}$ の高さ換算値 $P'_{\max}$ が作用するものとする。
 なお荷重点は主要横梁中心高さとする。

$$P'_{\max} = \frac{H_0}{H} \times P_{\max} = \frac{80}{66} \times 39.3 = 47.6 \text{ kN}$$

H : 地覆面から主要横梁中心までの高さ (=66cm)

H_0 : 支柱の荷重試験時における荷重高さ (=80cm)

3) アンカーボルトに作用する引抜力 F

$$J = 7/8 D = 7/8 \times 14 = 12.25 \text{ cm}$$

$$\therefore F_{\max} = \frac{P'_{\max} \times H}{J} = \frac{47.6 \times 66}{12.25} = 256 \text{ kN}$$

J : 支点間距離

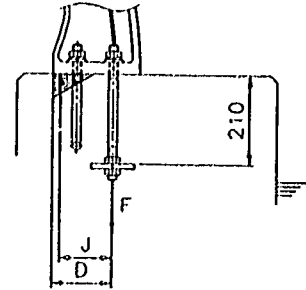


図6. 37 アンカーボルトに作用する反力

4) アンカーボルトの強度の照査 R_s

$$R_s = n A \sigma_y = 2 \times 2.45 \times 78.5 = 385 \text{ kN} > F = 256 \text{ kN} \cdots \text{OK}$$

R_s : アンカーボルトの引張抵抗

n : アンカーボルト本数 (=2本)

A : M20 ボルトの有効断面積 = (2.45 cm²)

σ_y : SCM435 の耐力値 = (78.5 kN/cm²)

5) コンクリートの押抜きせん断強度の照査

アンカープレートに伝達された引抜力に対して押抜きせん断抵抗 R_c が抵抗するものとする。

押抜きせん断面積 $S = 2,520 \text{ cm}^2$ (斜線部分)

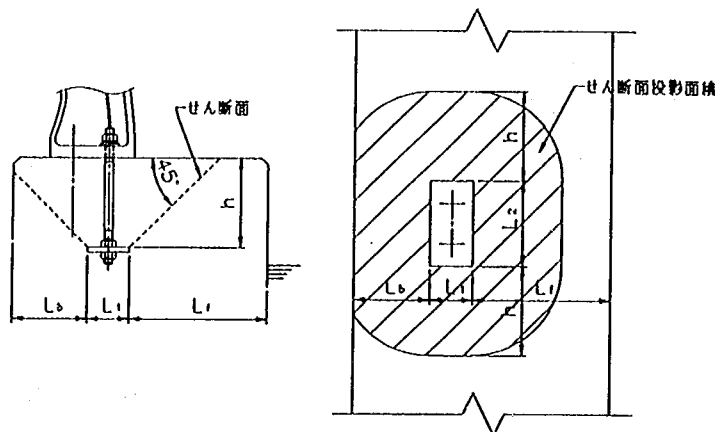


図6. 38 せん断面とせん断面積

表 6. 1 8 実寸法

単位 mm

h	L ₁	L ₂	L _f	L _b
210	100	200	325	175

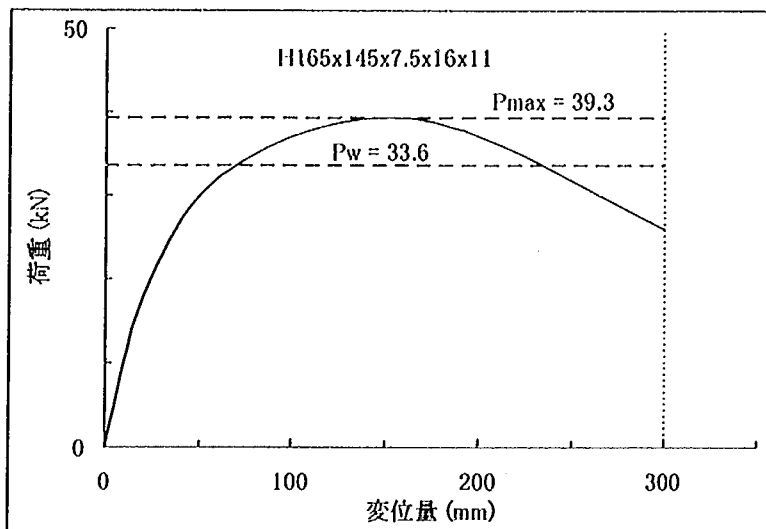
$$\therefore R_c = n_c \cdot \tau_{pa} \cdot S = 1.5 \times 85 \times 2520 = 321300 \text{ N} > F = 256000 \text{ N} \cdots \text{OK}$$

n_c : 割増係数(=1.5)

τ_{pa} : 許容押拔せん断応力度(=85 N/cm²,

コンクリート設計基準強度 $\sigma_{ck}=21\text{N/mm}^2$)

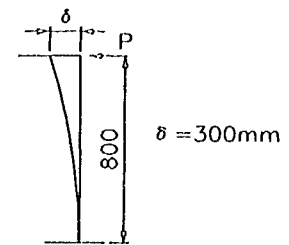
資料 3 支柱静荷重試験結果



高 さ: $H=800(\text{mm})$

最大支持力: P_{max}

極限支持力: P_w



(横梁中心高さに関わらず
荷重点は $H=800$)

6. 4. 3 床版に与える影響

防護柵の設計に当っては「道路橋示方書」に準じ床版に与える影響について安全性を照査することが必要である。従って実際の設計に当たっては以下に示す計算例を参考に安全性を照査するものとする。なお、設計条件は以下の通りとする。

設計条件

地覆及び床版の寸法

図6. 39の通り

(建設省制定標準設計に準拠)

コンクリートの設計基準強度

$\sigma_{ck}=21\text{N/mm}^2$

防護柵の種別

種別SB橋梁用ビーム型防護柵

支柱1本当りに加わる力

68.8kN

(支柱の最大支持力の高さ換算値 P'_{max} とする)

支柱間隔

1.5m

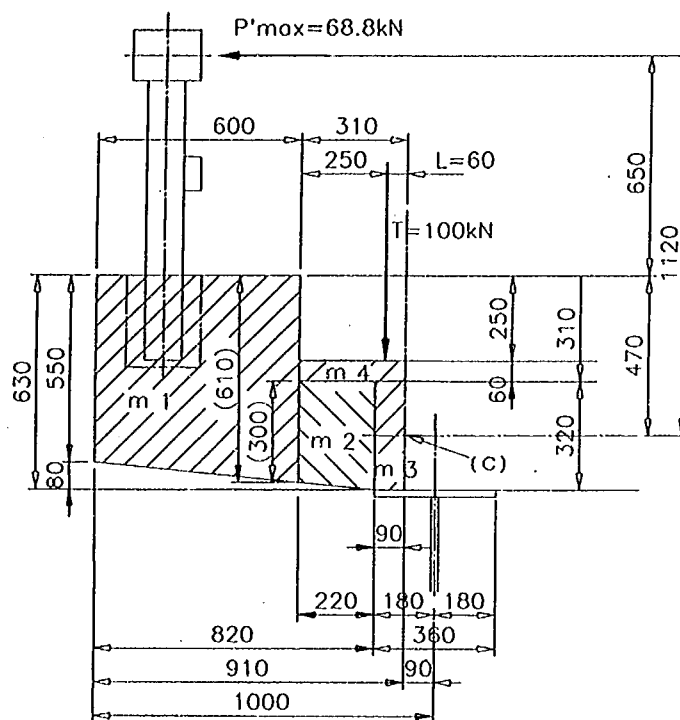


図6. 39 床版の形状

(1) 片持版 (C) 部の抵抗曲げモーメント M_R の算定 (1m幅当り)

$$\text{鉄筋断面積} \quad A_s = 2.865 \times \frac{1000}{125} = 22.92\text{cm}^2$$

(D19の公称断面積 2.865cm^2)

$$\text{鉄筋比} \quad P = \frac{A_s}{BD} = \frac{22.92}{100 \times 28} = 0.00819$$

$$\text{中立軸比} \quad k = \sqrt{2np + (np)^2} - np$$

ヤング係数比 $n = 15$ より

$$k = \sqrt{2 \times 15 \times 0.00819 + (15 \times 0.00819)^2} - 15 \times 0.00819$$

$$= 0.3878$$

なお、鉄筋の配置については、図 6. 40 参照のこと。

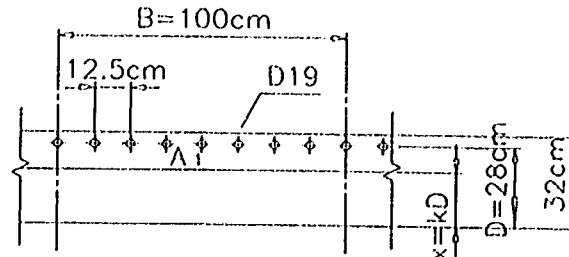


図 6. 40 床版の鉄筋配置図

中立軸までの距離 x

$$x = k D = 0.3878 \times 28 = 10.86 \text{ cm}$$

釣り合い中立軸までの距離 x'

$$x' = \frac{2 \cdot \sigma_{sa} \cdot A_s}{B \cdot \sigma_{ca}}$$

$$\text{ここに } \sigma_{sa} = 14,000 \text{ N/cm}^2$$

(道路橋示方書に規定する床版鉄筋の許容引張応力度)

$$\sigma_{ca} = 700 \text{ N/cm}^2$$

(道路橋示方書に規定するコンクリートの曲げ圧縮応力度)

$$\therefore x' = \frac{2 \times 14,000 \times 22.92}{100 \times 700} = 9.17 \text{ cm}$$

$x > x'$ より、鉄筋で抵抗曲げモーメントがきまる。

抵抗曲げモーメント M_R

$$M_R = A_s \cdot \sigma_{sa} \left(D - \frac{x}{3} \right)$$

$$= 22.92 \times 14,000 \left(28 - \frac{10.86}{3} \right)$$

$$= 7,823,054 \text{ N} \cdot \text{cm} \rightarrow 78.2 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

主荷重 + 衝突荷重の場合、許容応力度の割増を 1.5 とすると許容曲げモーメント M_R' は

$$M_R' = 1.5 \times M_R = 1.5 \times 78.2 = 117 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

(2) 片持版〔C〕部に発生する最大曲げモーメント $s M_{\max}$ (1 m幅当り)

$$s M_{\max} = M_1 + M_d + M_s$$

ここに M_1 : T荷重による曲げモーメント

M_d : 死荷重による曲げモーメント

M_s : 衝突による曲げモーメント

1) T荷重による曲げモーメント M_1

$$M_1 = \frac{P \cdot L}{1.30L + 0.25}$$

ここに $T = 100\text{kN}$

$$L = 0.06\text{m}$$

$$\therefore M_1 = \frac{100 \times 0.06}{1.30 \times 0.06 + 0.25} = 18.3\text{kN} \cdot \text{m} \text{ (1m 幅当り)}$$

2) 死荷重による曲げモーメント M_d

$$M_d = m \cdot g \cdot l$$

m : 質量

g : 重力の加速度

l : 重心から支点までの距離

$$\text{ここに } m_1 = 2,500 \times (0.55 + 0.61) \times 0.6 \times \frac{1}{2} = 870\text{kg}$$

$$m_2 = 2,500 \times (0.30 + 0.32) \times 0.22 \times \frac{1}{2} = 170.5\text{kg}$$

$$m_3 = 2,500 \times 0.09 \times 0.32 = 72\text{kg}$$

$$m_4 = 2,300 \times 0.06 \times 0.31 = 42.8\text{kg}$$

$$M_{d1} = m_1 \cdot g \cdot l_1 = 870 \times 9.8 \times 0.61 = 5201\text{N} \cdot \text{m} = 5.20\text{kN} \cdot \text{m}$$

$$M_{d2} = m_2 \cdot g \cdot l_2 = 170.5 \times 9.8 \times 0.2 = 334\text{N} \cdot \text{m} = 0.33\text{kN} \cdot \text{m}$$

$$M_{d3} = m_3 \cdot g \cdot l_3 = 72 \times 9.8 \times 0.045 = 32\text{N} \cdot \text{m} = 0.03\text{kN} \cdot \text{m}$$

$$M_{d4} = m_4 \cdot g \cdot l_4 = 42.8 \times 9.8 \times 0.155 = 65\text{N} \cdot \text{m} = 0.07\text{kN} \cdot \text{m}$$

$$\therefore M_d = M_{d1} + M_{d2} + M_{d3} + M_{d4} = 5.6\text{kN} \cdot \text{m}$$

3) 衝突による曲げモーメント M_s

$$M_s = \frac{M_{max}}{B_0} = \frac{M_{max}}{2 \times L_P} = \frac{77}{2 \times 1.5} = 25.7 \text{ kN} \cdot \text{m} \quad (1\text{m 幅当り})$$

ここに $M_{max} = 68.8 \times 1.12 = 77 \text{ kN} \cdot \text{m}$

B_0 : 荷重を受けるコンクリート床版有効長
(支柱間隔の2倍を有効長とする)

L_P : 支柱間隔 (= 1.5m)

以上より〔C〕部に発生する最大曲げモーメント $s M_{max}$ は

$$\begin{aligned} s M_{max} &= M_l + M_d + M_s \\ &= 18.3 + 5.6 + 25.7 = 50 \text{ kN} \cdot \text{m} \end{aligned}$$

(3) 照査

最大曲げモーメント $s M_{max} = 50 \text{ kN} \cdot \text{m}$

許容抵抗曲げモーメント $M_R' = 117 \text{ kN} \cdot \text{m}$

$$\therefore s M_{max} = 50 \text{ kN} \cdot \text{m} < M_R' = 117 \text{ kN} \cdot \text{m} \quad \text{OK}$$

6. 4. 4 歩車道境界の連続基礎

歩車道境界に、橋梁用ビーム型防護柵を設置する場合の設計計算例を以下に示す。

橋梁用ビーム型防護柵を直接床版に定着する場合、車両の衝突時に床版に大きな応力が生じ、床版に悪影響を与える恐れがある。このため、歩車道境界には、あらたに連続基礎を設置し、この上に支柱を定着するように設計する。歩車道境界の連続基礎の設置例を図6. 4 1に示す。

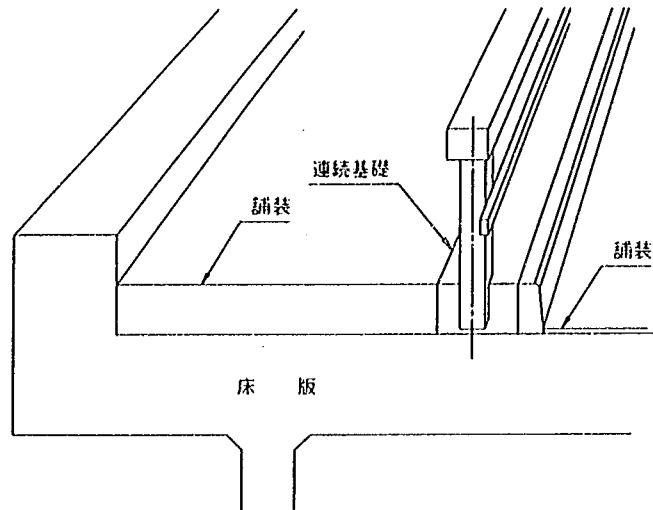


図6. 4 1 歩車道境界の連続基礎の設置例

(1) 設計条件

連続基礎の寸法

図6. 4 2の通り

コンクリートの設計基準強度

$\sigma_{CK} = 21 \text{ N/mm}^2$

防護柵の種別

種別B角ビーム型防護柵

支柱1本当りに加わる力

33.5kN

(支柱の最大支持力の高さ換算値 $P'_{\max} = 33.5 \text{ kN}$ とする)

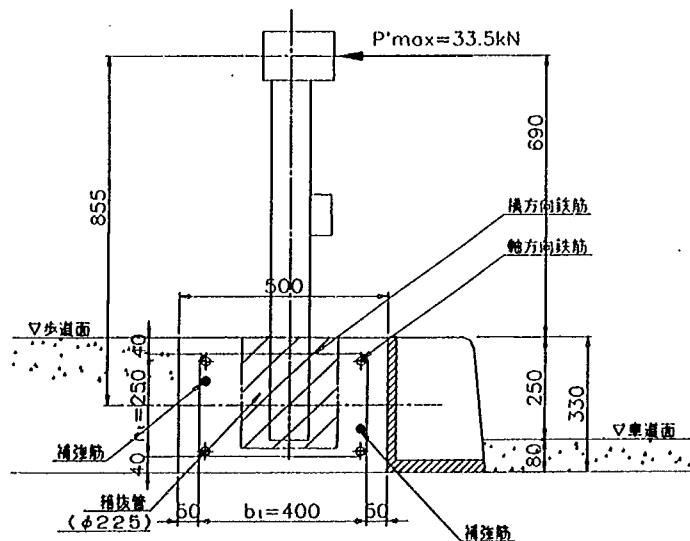


図6. 4 2 連続基礎一般図

(2) ねじり補強筋の設計（「道路橋示方書」参照）

1) ねじりモーメントに対する横方向鉄筋

間隔 a で配置されるねじりモーメントに対する横方向鉄筋 1 本の断面積を A_{wt} (cm^2) とすると、

$$A_{wt} = \frac{M_t \cdot a}{1.6 b_t \cdot h_t \cdot \sigma_y}$$

ここに、
 a : 横方向鉄筋の間隔 (cm)
 M_t : 部材断面に作用するねじりモーメント
 σ_y : 鉄筋の降伏点 (N/cm^2)
 b_t 、 h_t : 付図-25 に示す幅及び高さ

$$M_t = 33,500 \times 85.5 = 2,864,250 \text{ N} \cdot \text{cm}$$

$$b_t = 40 \text{ cm}, h_t = 25 \text{ cm}, a = 20 \text{ cm}$$

と仮定し、SD295 ($\sigma_y = 29,500 \text{ N}/\text{cm}^2$) を用いるとすると、

$$A_{wt} = \frac{2,864,250 \times 20}{1.6 \times 40 \times 25 \times 29,500} = 1.214 \text{ (cm}^2\text{)}$$

よって、D16 (1.986 cm^2) を配筋するものとする。

2) ねじりモーメントに対する軸方向鉄筋

部材断面に配置されるねじりモーメントに対する軸方向鉄筋の全断面を A_{ll} とすると

$$\begin{aligned} A_{ll} &= \frac{2 A_{wt} (b_t + h_t)}{a} \\ &= \frac{2 \times 1.214 (40 + 25)}{20} = 7.891 \text{ (cm}^2\text{)} \end{aligned}$$

よって、D16 (1.986 cm^2) を四隅に配筋するものとする。

(3) 転倒に対する定着鉄筋 (図 6. 4 3 参照)

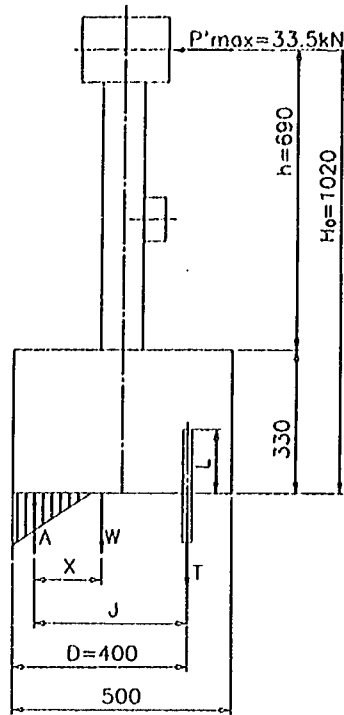


図 6. 4 3 設計参考図 (床版への定着)

連続基礎の床版への定着は、後打ちアンカー等を用いて行うものとする。

ここでは、単位長さ (支柱間隔 2 m) 当りの定着アンカーの設計を行う。

アンカーの受け持つ引張り力を T とし、連続基礎自重 (2 m 当り) を W とし、 A 点まわりの力のつりあいを考える。

$$T = \frac{H_0 \cdot P'_{\max} - W \cdot x}{J}$$

$$P'_{\max} = 33,500\text{N}, \quad W = 0.5 \times 0.33 \times 2 \times 2,500 \times 9.8 = 8,085\text{N}$$

$D = 40\text{cm}$ と仮定すると、

$$J = \frac{7}{8} D = \frac{7}{8} \times 40 = 35\text{cm}$$

$$x = \frac{50}{2} - \frac{1}{8} D = 25 - \frac{1}{8} \times 40 = 20\text{cm}$$

$$T = \frac{1020 \times 33500 - 8085 \times 20}{35} = 93,009\text{N}$$

2 m 当り 5 本で定着するとすれば、1 本当りのアンカーの引張り力 T_1 は、

$$T_1 = \frac{93009}{5} = 18,602\text{N}$$

よって、1本当りの必要断面積 A_s は、

$$A_s = \frac{T_1}{\sigma_y} = \frac{18602}{29500} = 0.631 \text{ cm}^2$$

ゆえに、連続基礎2mあたりD16（SD295）の後打ち定着アンカー5本にて定着を行う。

但し、定着アンカーの地覆との定着力は、 T_1 以上確保する。

なお、この場合の連続基礎への鉄筋の定着長 L は、

$$L = \frac{T_1}{\pi \cdot \phi \cdot n_c \cdot \tau_{oa}}$$

$$L = \frac{18602}{\pi \times 1.59 \times 1.5 \times 140} = 18 \text{ (cm)}$$

n_c : 割増係数 = 1.5

τ_{oa} : 許容付着応力度 = 140 N/cm²

ϕ : 定着アンカーの公称直径 (D16) = 1.59 cm

本例では、後打ち定着アンカーを用いるとしたが、一般の差し筋で定着させる場合は、鉄筋を連続基礎への必要定着長以上床板に差し込み、鉄筋とコンクリートの付着応力度以上の付着応力が期待できる注入材（膨張セメント等）をもって定着させるものとする。

以上、計算例を示したが、連続基礎の高さは最低でも33cm程度必要となるため、歩道の排水処理が困難になる場合も考えられる。このような場合は、連続基礎に排水穴を設けるなど現場条件に対応した排水処理を行う必要がある。

6. 5 標準構造の提案

新たな設計方法により設計を行ったアルミニウム合金製ビーム型防護柵の標準構造を以下に示す。

本報告書で示す構造から防護柵を選定する場合は、防護柵基準に基づき、設置する道路の種別、道路・交通状況、想定される衝突条件、路側等の設置場所に配慮することが必要となる。

6. 5. 1 標準構造図の見方

図は、各々図 6. 4 4 に示す構成になっており、それぞれの意味は以下に示すとおりである。

図の 1

構 造 図 面					仕様記号
図面構成：姿図、正面図、側面図					
図内指示内容：使用材料（材質等）					
形状寸法（形状、寸法、部材構成等）					
支持条件（基礎構造等）					
種別	強 度 (kJ)	防護柵の変形量 (m)	10ms 車両重心 加速度 (m/s ²)	参考質量 (kg/m)	

図の 2

図の 1 に示す横梁、支柱の静荷重試験結果				
図面構成：横梁の荷重－変位曲				
支柱の荷重－変位曲線				
支柱極限支持力 P_w と横梁極限曲げモーメント M_o の				
選定域グラフ内の位置				
構成部材	DIMENSION	材質（規格）	静荷重試験結果	備考
支柱				
主要横梁				
下段横梁				
横梁合計				

図－6. 4 4 図の構成

(1) 仕様記号

仕様記号は、種類、種別、支柱間隔・埋込み区分、横梁形状・本数を総括的に示す記号であり、表記内容は表 6. 16 に示すとおりである。なお本図集では、共同研究成果に基づいて提案された構造に対応する記号番号を示している。

仕様記号に示されている各記号の内容は以下のとおりである。

・種類

橋梁・高架部等に用いる橋梁用ビーム型防護柵として記号 H を、アルミニウム合金製材料による記号 a を組合せて示す。

・種別

防護柵基準で区分されている 7 種類の種別のうち、新設計法で設計が行える 6 種類として種別 SA、種別 SB、種別 SC、種別 A、種別 B、種別 C のいずれに該当するかを示す。

・支柱間隔

設計された防護柵の基本的支柱間隔（メートル単位）を示す。

・埋込み区分

防護柵基準では、埋め込み区分として土中に設置する方法と構造物上に設置する方法に二区分しているのので、ここではこれらの区分のうち構造物上に設置する場合の記号 B として示す。土中の記号は E となる。

・横梁形状

橋梁用ビーム型防護柵の横梁は、閉断面とし、このとき断面形状として四角型を記号 S、円形型を記号 P に区分し示す。

・横梁本数

橋梁用ビーム型防護柵の横梁は、主要横梁と下段横梁による複数本の横梁によって構成される。ここでは、この横梁本数を示す。

(2) 種別

防護柵基準のどの種別に当てはまるかを示す。

(3) 強度

図に示されている構造を設計する際に用いた強度 (kJ) を示す。

(4) 防護柵の変形量

防護柵基準では、車両用防護柵の変形に関与する規定として、最大進入行程（車両が防護柵に衝突したときに、前軸または後軸の車輪の内側（タンデム車では片側 2 輪の中心）が、防護柵の柵面の原位置より路外方向に踏み出た距離であり、車道軸と直角方向の最大距離をいう。）が示されている。橋梁用ビーム型防護柵は一般に変形量が小さく、車輪が路外にはみ出ない場合も考えられるので、ここでは、最大進入行程に関与する防護柵変形の目安として、防護柵の柵面の原位置が路外方向に変形した場合の車道軸と直角方向の最大値を、防護柵の変形量として示している。

(5) 車両重心加速度

防護柵基準の衝突条件Bに該当する実験により求められる車両重心の加速度である。
衝突条件Bの具体的な内容、および評価基準は下表に示すとおりである。

表 6. 1 7 衝突条件および評価基準

種 別	衝 突 条 件			10ms 加速度 評価基準 (m/s ²)
	車両質量 (ton)	衝突速度 (km/h)	衝突角度 (度)	
C、B		6 0		1 2 0
A	1	1 0 0	2 0	1 8 0
SC、SB、SA、SS				2 0 0

(6) 参考質量

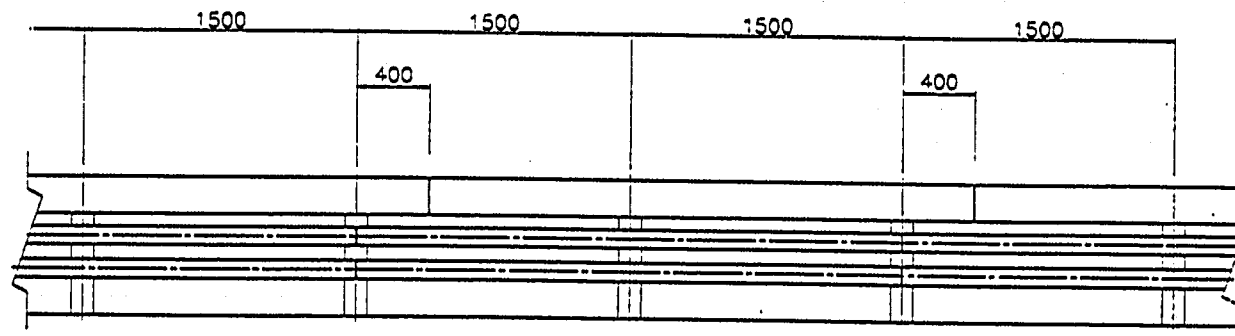
橋梁の構造設計などの参考として1メートル当たりの質量を示す。

6. 5. 2 標準構造

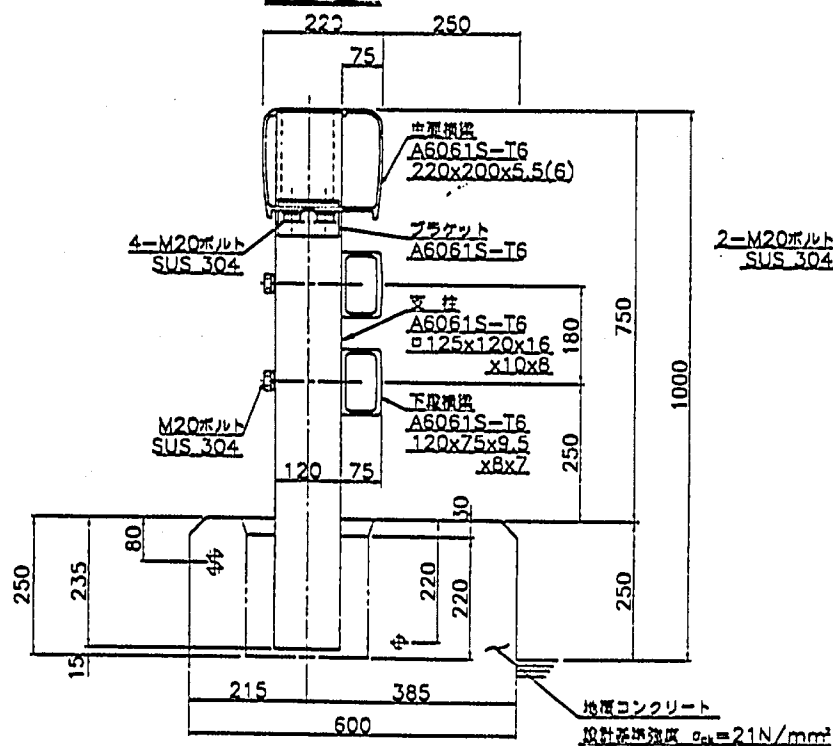
構造の仕様記号を表 6. 1 8 に示す。

表 6. 1 8 仕様記号

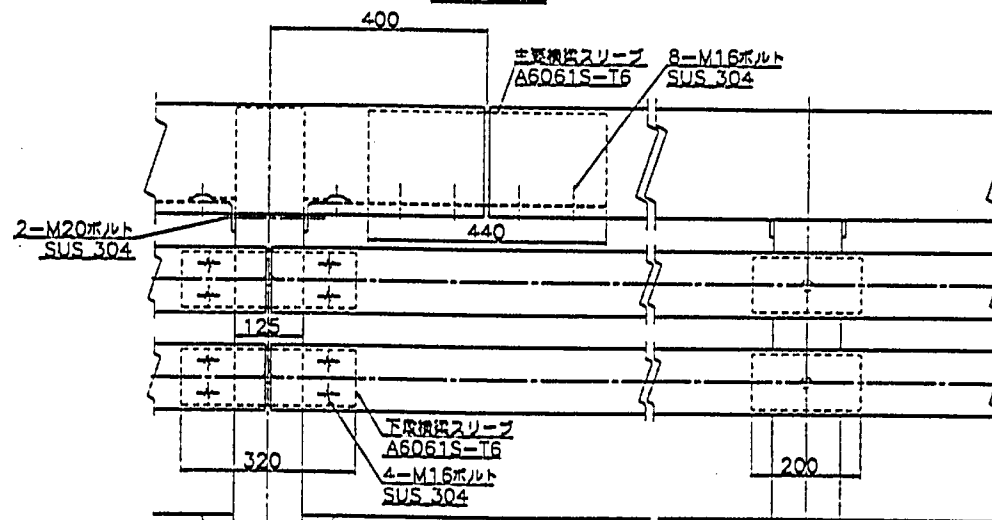
材質	種別	横梁断面形状	
		四角型	丸型
アルミニウム合金	SA	Ha-SA-1.5B-S3	
	SB	Ha-SB-1.5B-S2	
		Ha-SB-1.5B-S3	
	SC	Ha-SC-2.0B-S2	Ha-SC-2.0B-P3
		Ha-SC-2.0B-S3	Ha-SC-2.0B-P2
	A	Ha-A-2.0B-S3	Ha-A-2.0B-P3
		Ha-A-2.0B-S2	Ha-A-2.0B-P2
	B	Ha-B-2.0B-S3	Ha-B-2.0B-P3
		Ha-B-2.0B-S2	Ha-B-2.0B-P2
	C	Ha-C-2.0B-S3	Ha-C-2.0B-P3
		Ha-C-2.0B-S2	Ha-C-2.0B-P2



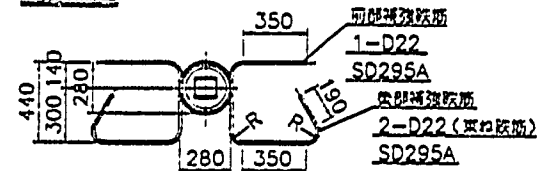
側面図



正面図

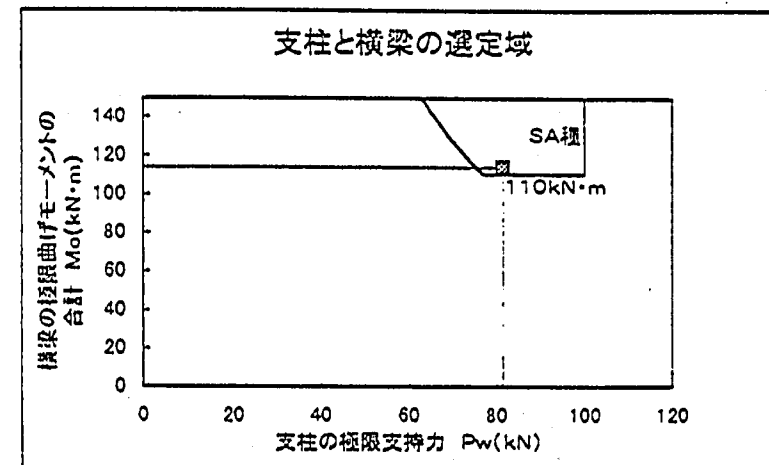
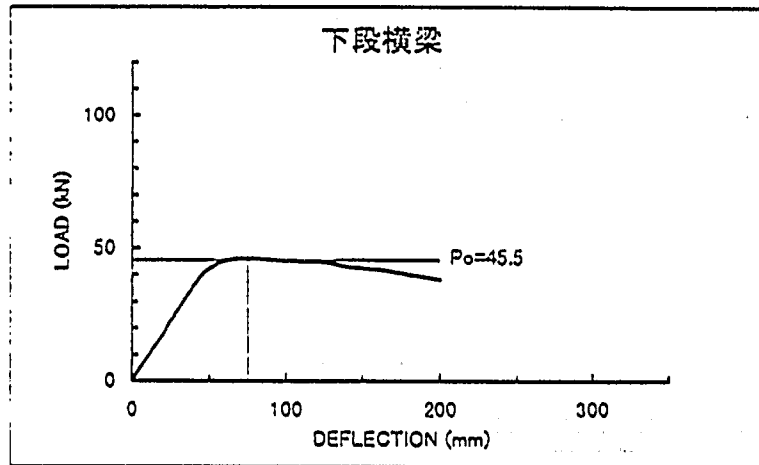
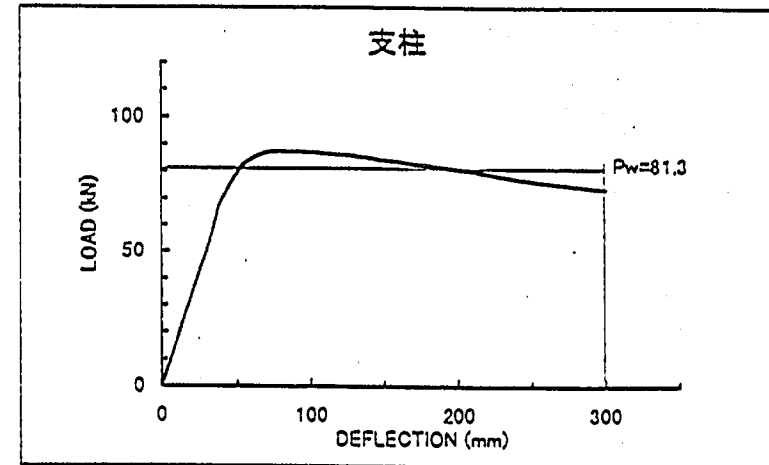
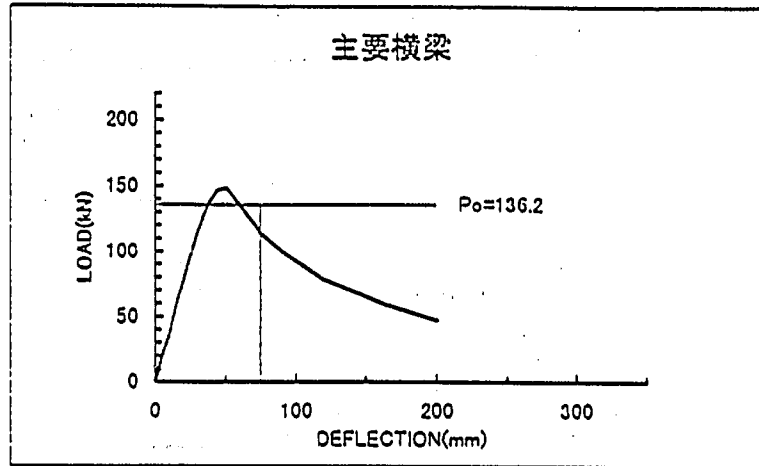


補強鉄筋図



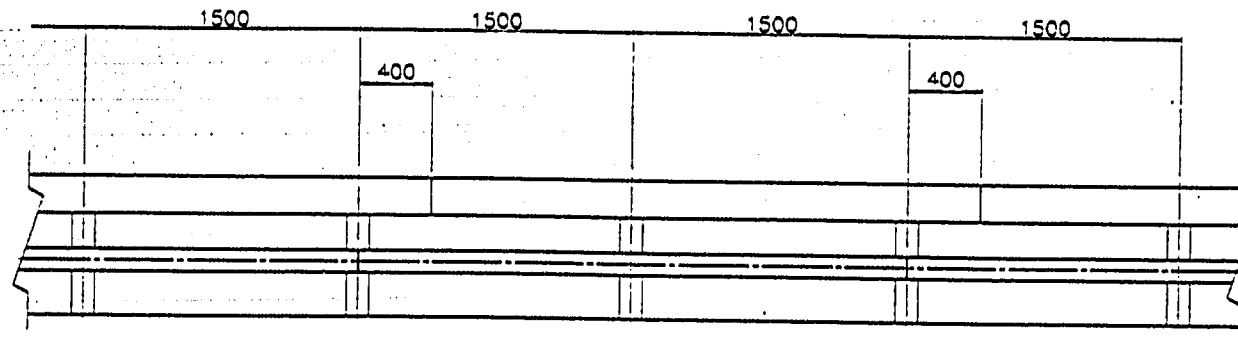
種別	強度 (kJ)	防護樹の厚形量 (m)	車両重心加速度 ($\text{m/s}^2/10\text{ms}$)	参考質量 (kg/m)
SA	420 以上	0.3 以下	200 未満	45.0

Ha-SA-1.5B-S3静荷重試験結果

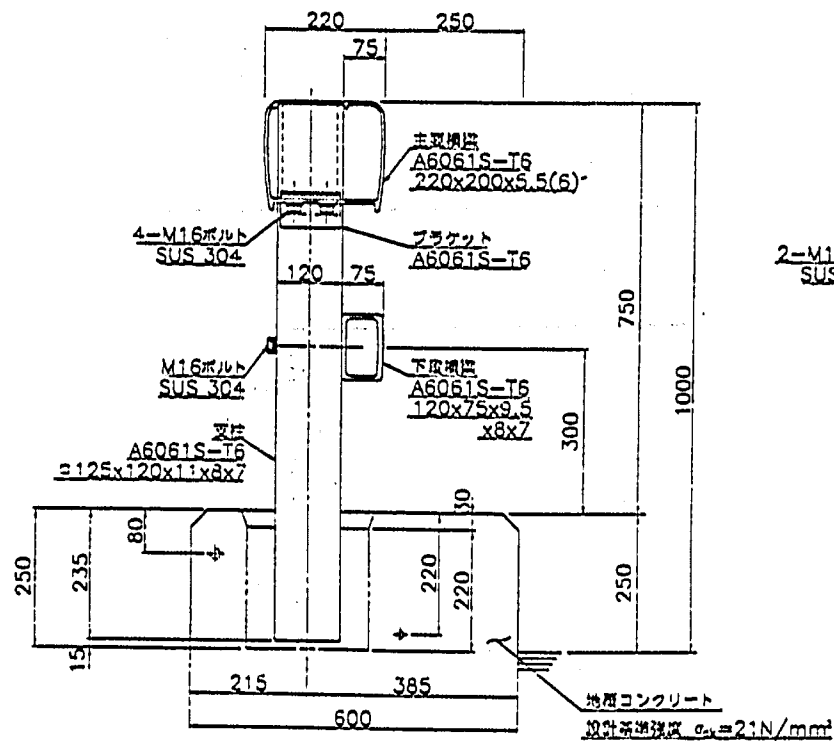


構成部材	DIMENSION	材質(規格)	静荷重試験結果	備考
支柱	□125X120X16X10X8	A6061S-T6(JIS H4100)	$P_w=81.3kN$	$P_{max}=87.2kN$
主要横梁	□220X200X5.5X6	A6061S-T6(JIS H4100)	$M_o=68.1kN \cdot m$	$M_o=L \cdot P_o/4, L=2(m)$
下段横梁	□120X75X9.5X8X7(×2本)	A6061S-T6(JIS H4100)	$M_o=22.8kN \cdot m(×2本)$	$M_o=L \cdot P_o/4, L=2(m)$
横梁合計			$\Sigma M_o=113.7kN \cdot m$	

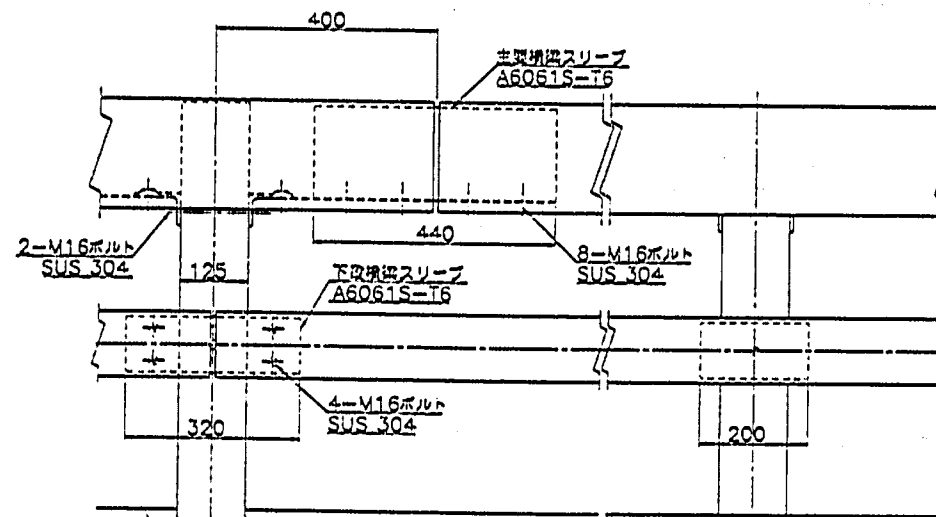
断面図



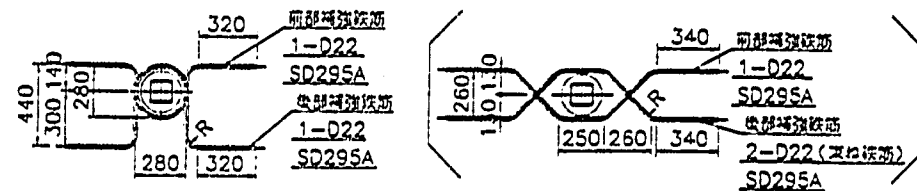
側面図



正面図

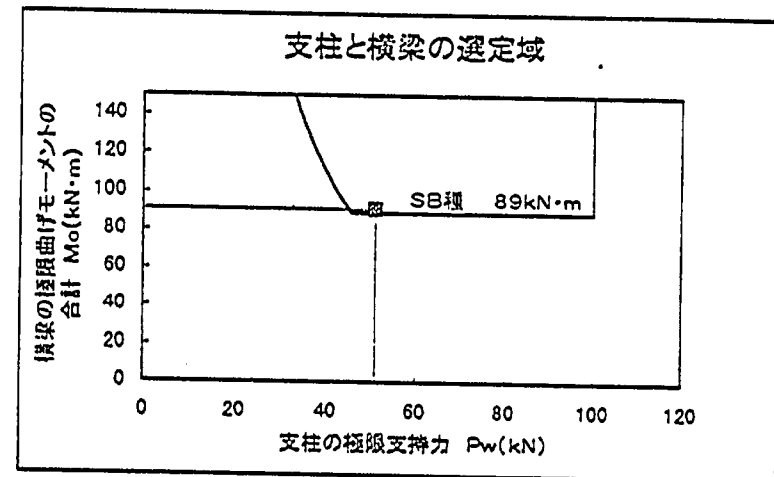
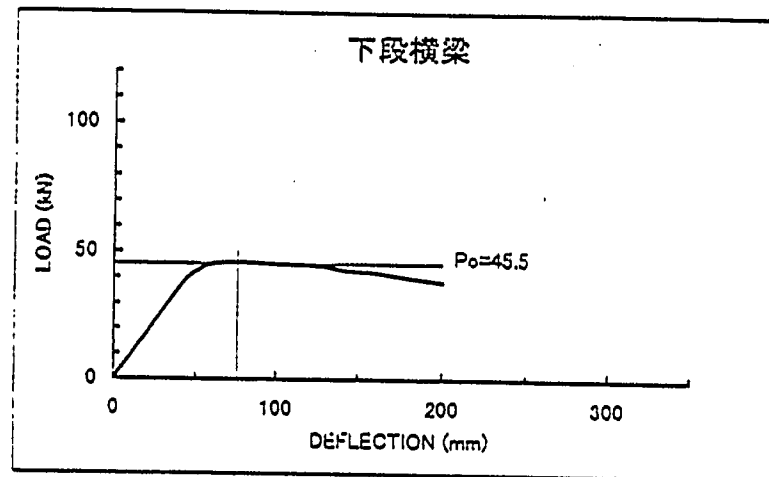
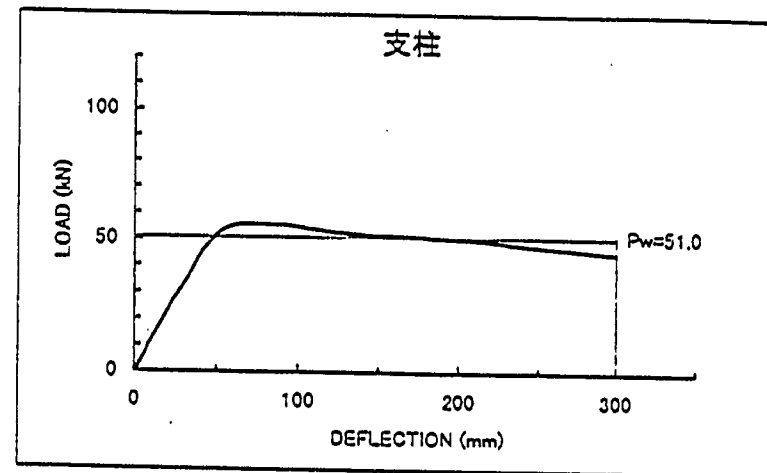
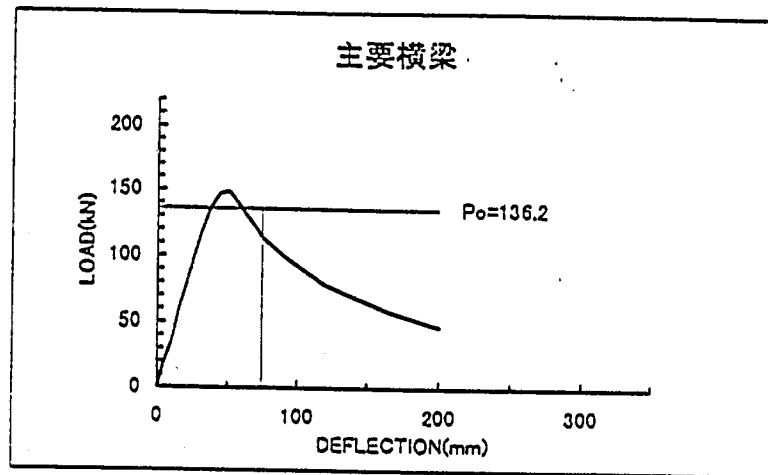


補強鉄筋図



種別	強度 (kJ)	防護樹の突形量 (m)	車両重心加速度 ($\text{m/s}^2/10\text{ms}$)	参考質量 (kg/m)
SB	280 以上	0.3 以下	200 未満	32.6

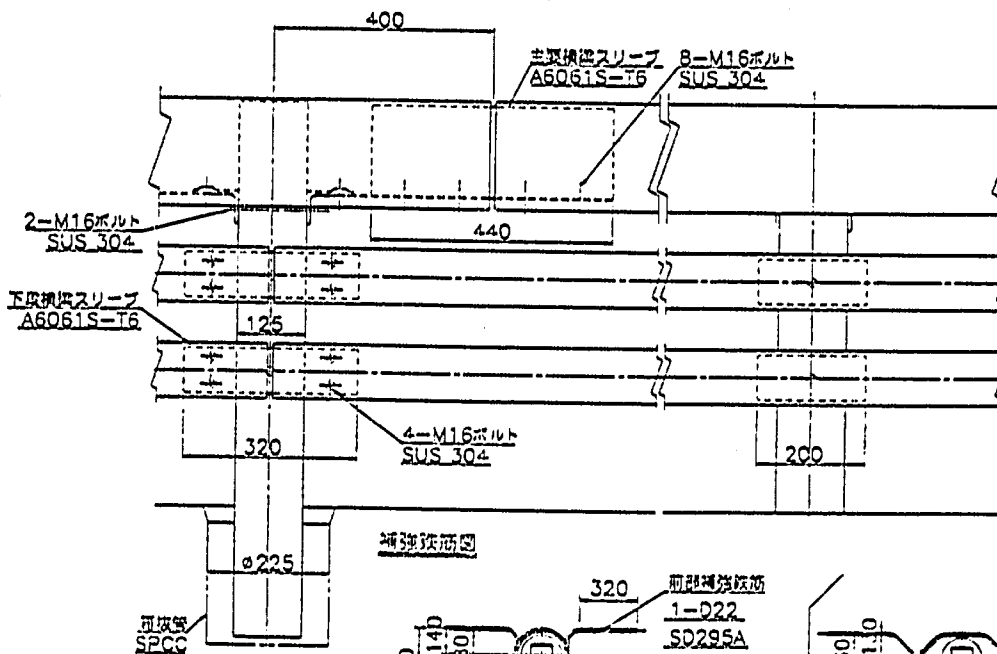
Ha-SB-1.5B-S2静荷重試験結果



構成部材	DIMENSION	材質(規格)	静荷重試験結果	備考
支柱	□125X120X11X8X7	A6061S-T6(JIS H4100)	$P_w=51.0kN$	$P_{max}=55.9kN$
主要横梁	□220X200X5.5X6	A6061S-T6(JIS H4100)	$M_o=68.1kN \cdot m$	$M_o=L \cdot P_o/4, L=2(m)$
下段横梁	□120X75X9.5X8X7	A6061S-T6(JIS H4100)	$M_o=22.8kN \cdot m$	$M_o=L \cdot P_o/4, L=2(m)$
横梁合計			$\Sigma M_o=90.9kN \cdot m$	

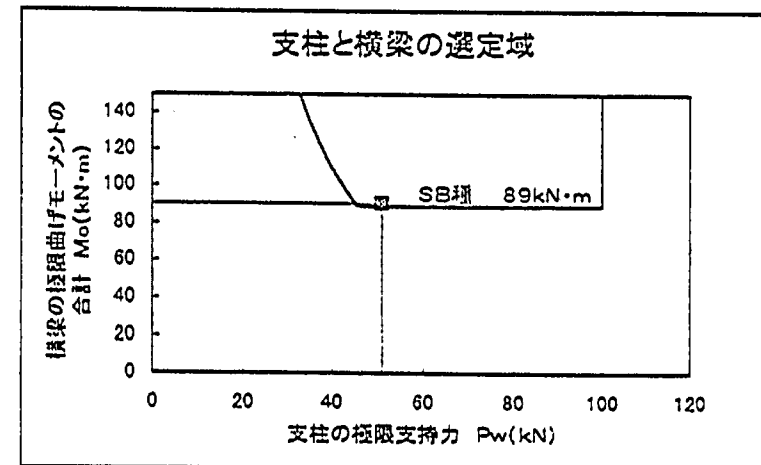
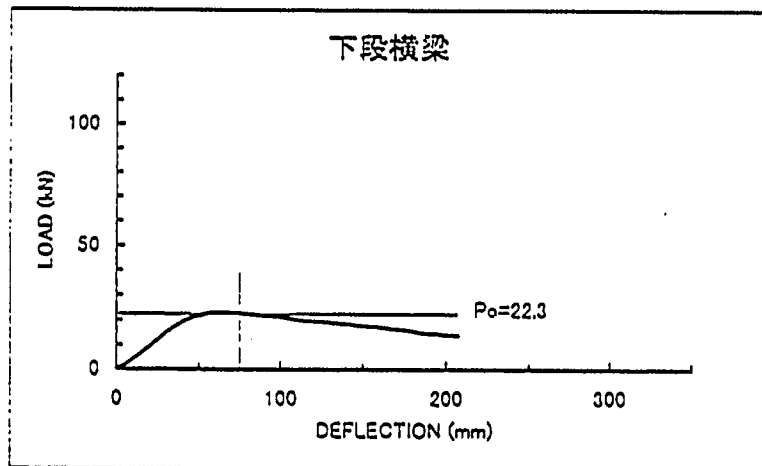
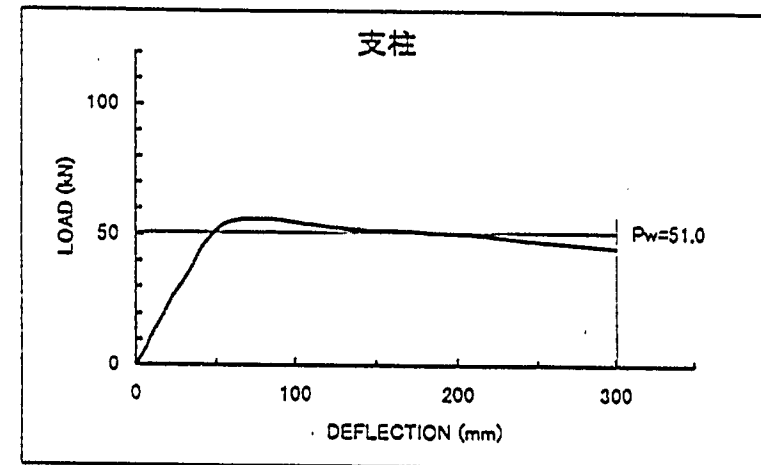
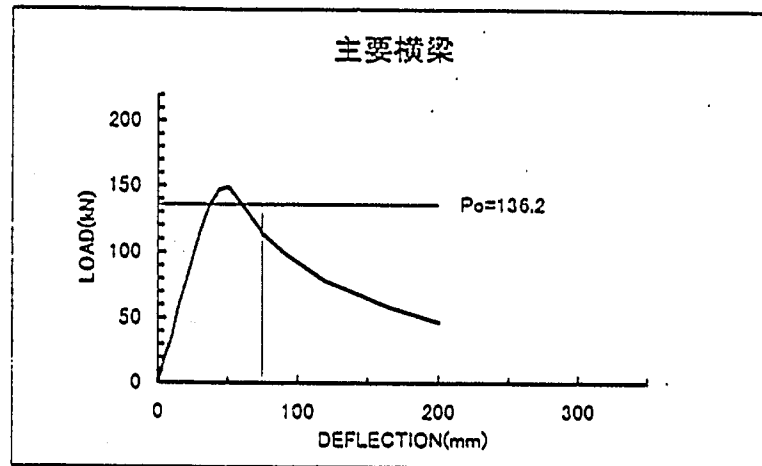
Technical drawing of a roof plan. The drawing shows a rectangular layout with dimensions 1500 and 400. The main area is divided into four sections by vertical lines. The dimensions 1500 and 400 are labeled at the top and bottom of the main sections. The drawing includes a smaller rectangular area attached to the bottom center.

正面圖



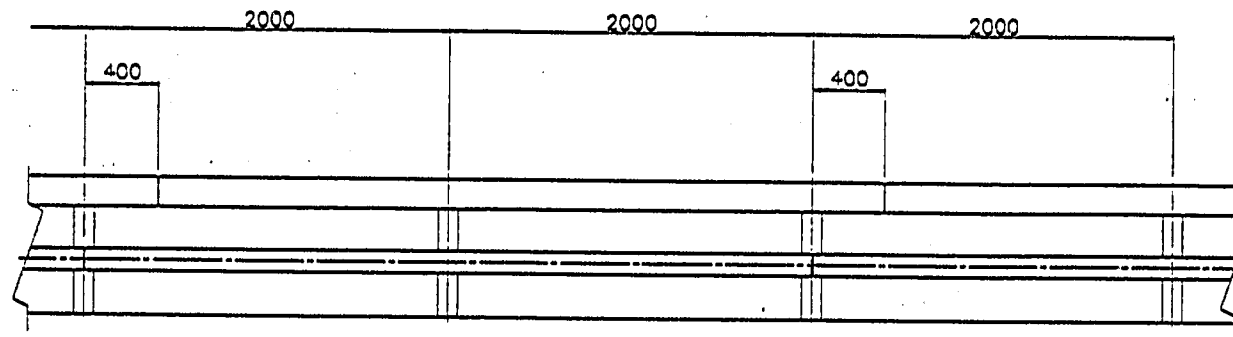
種別	強度 (kJ)	防透射出変形量 (m)	平面重心加速度 (m/s ² /10ms)	参考質量 (kg/m)
SB	280 以上	0.3 以下	200 未満	33.9

Ha-SB-1.5B-S3静荷重試験結果



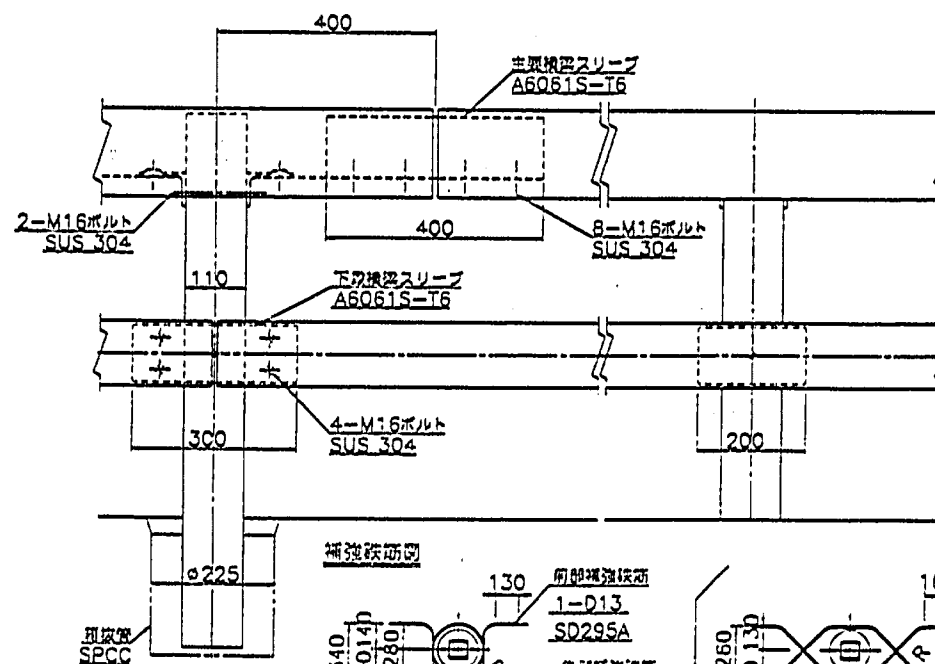
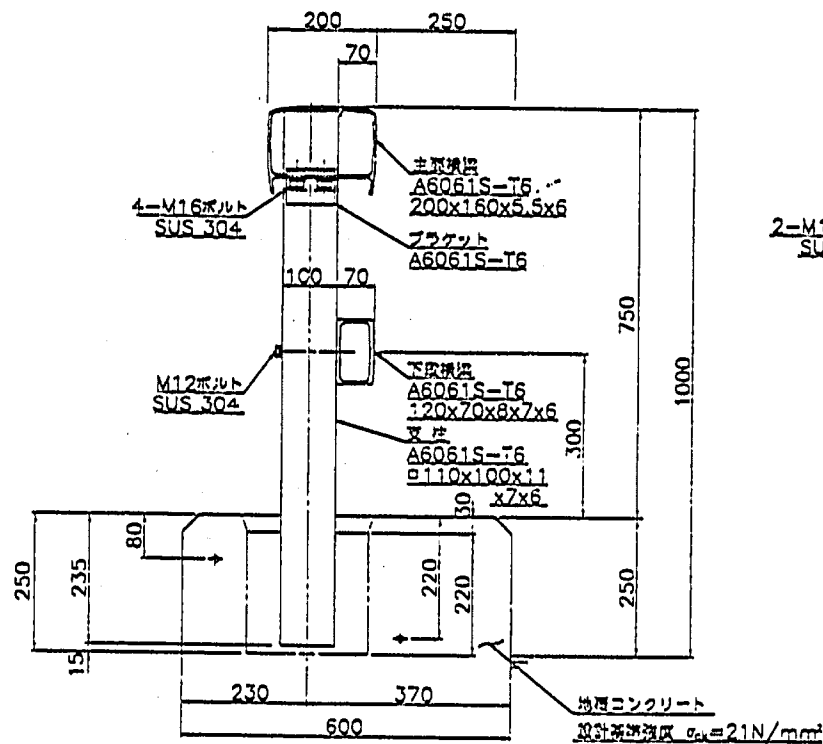
構成部材	DIMENSION	材質(規格)	静荷重試験結果	備考
支柱	□125X120X11X8X7	A6061S-T6(JIS H4100)	$P_w=51.0kN$	$P_{max}=55.9kN$
主要横梁	□220X200X5.5X6	A6061S-T6(JIS H4100)	$M_o=68.1kN \cdot m$	$M_o=L \cdot P_o/4, L=2(m)$
下段横梁	□100X70X6X5X4(×2本)	A6061S-T6(JIS H4100)	$M_o=11.2kN \cdot m(×2本)$	$M_o=L \cdot P_o/4, L=2(m)$
横梁合計			$\Sigma M_o=90.5kN \cdot m$	

図 2

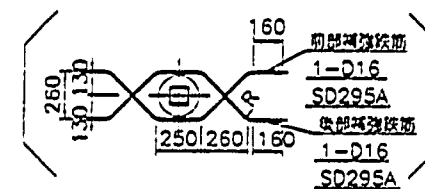
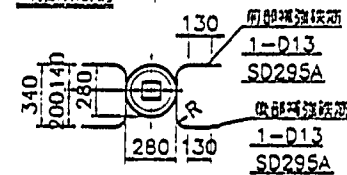


側面図

正面図

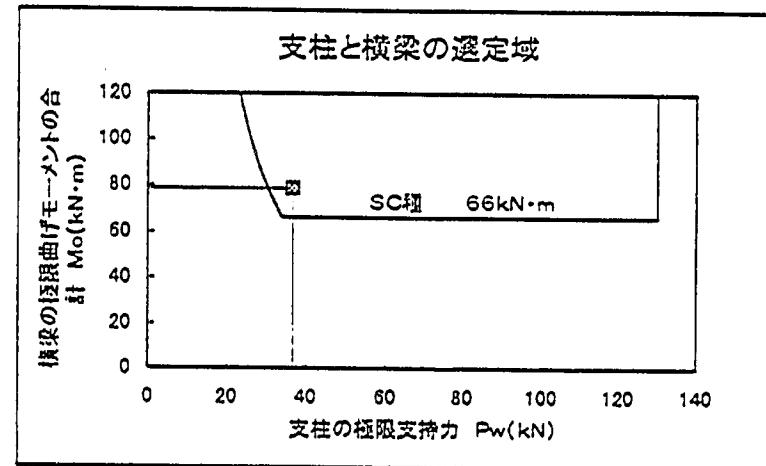
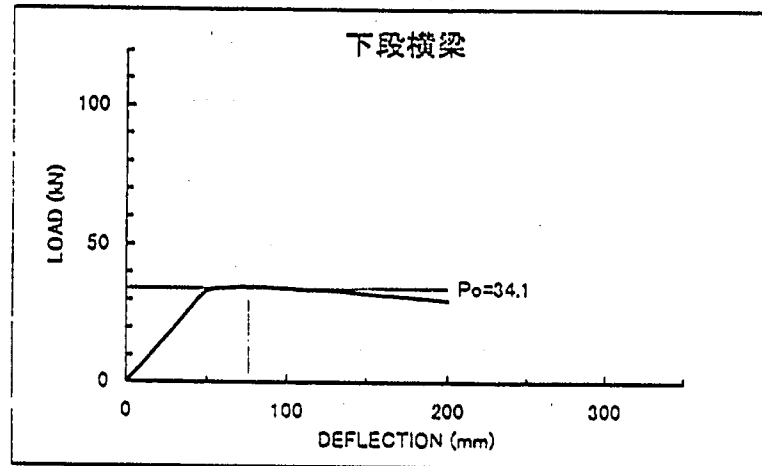
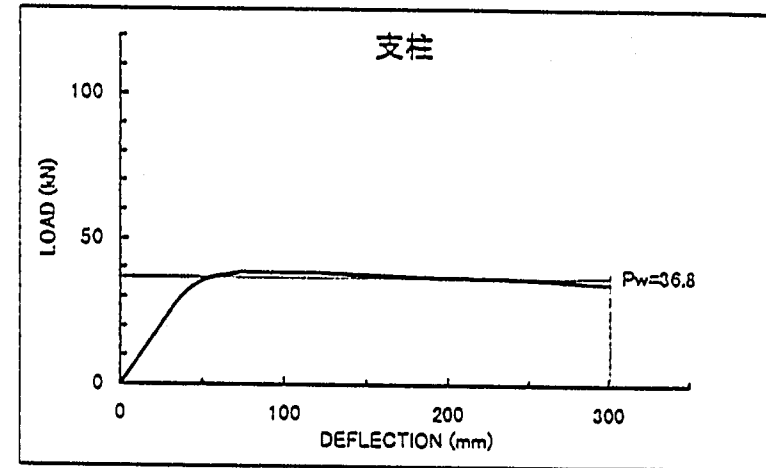
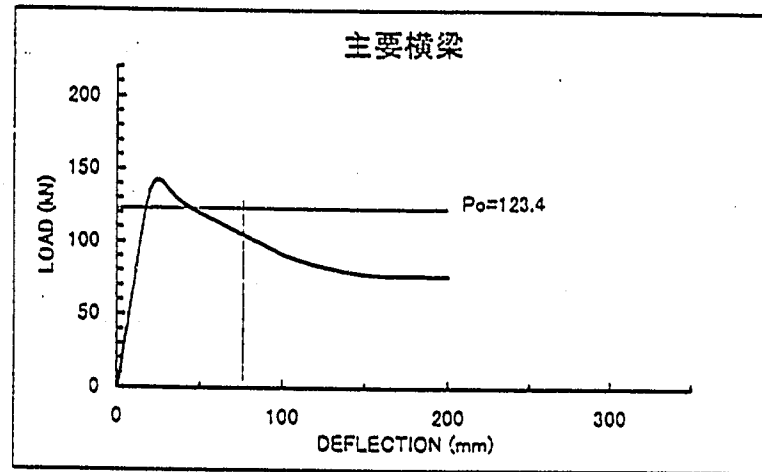


基礎断面図

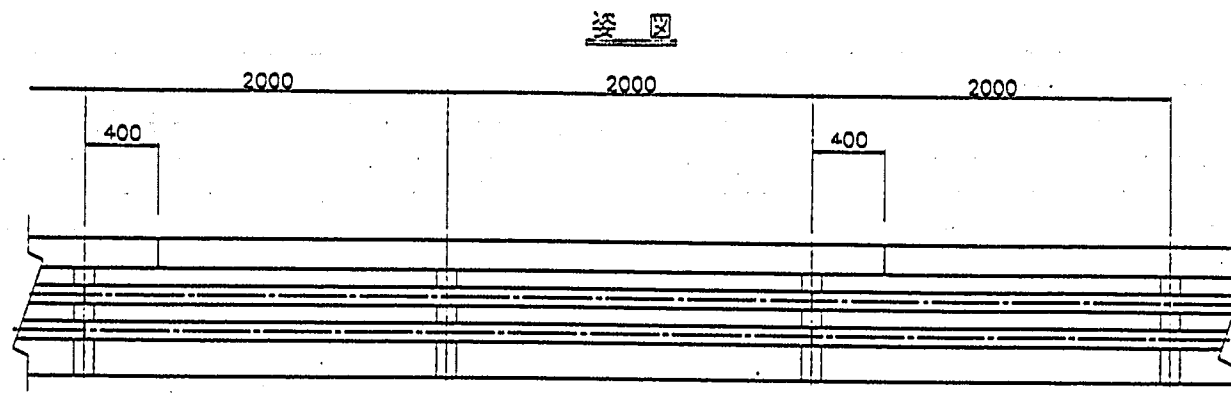


種別	強度 (kJ)	防護樹の变形量 (m)	車両重心加速度 ($\text{m/s}^2/10\text{ms}$)	参考質量 (kg/m)
SC	160 以上	0.3 以下	200 未満	23.3

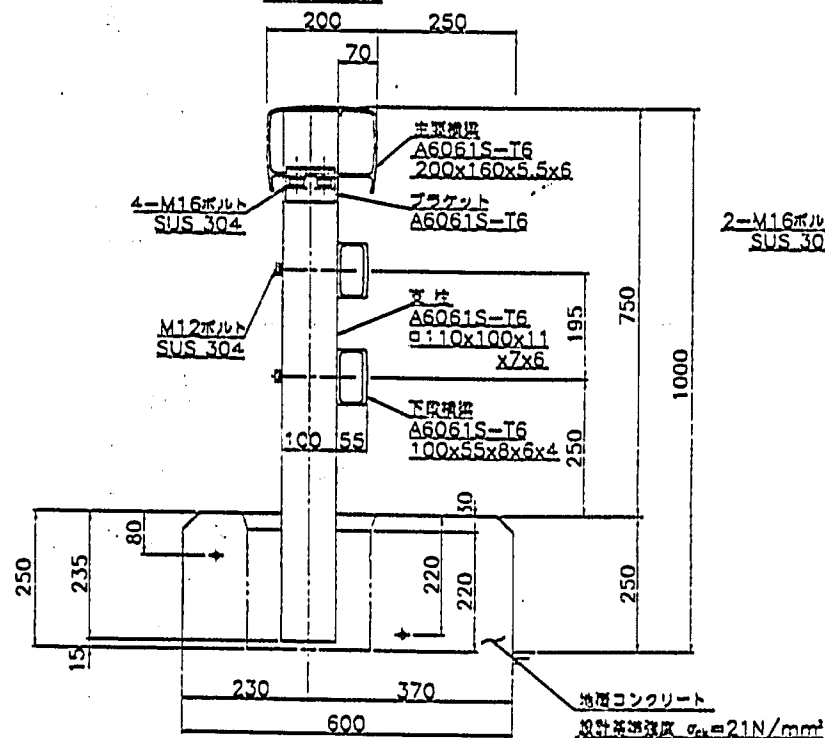
Ha-SC-2.0B-S2静荷重試験結果



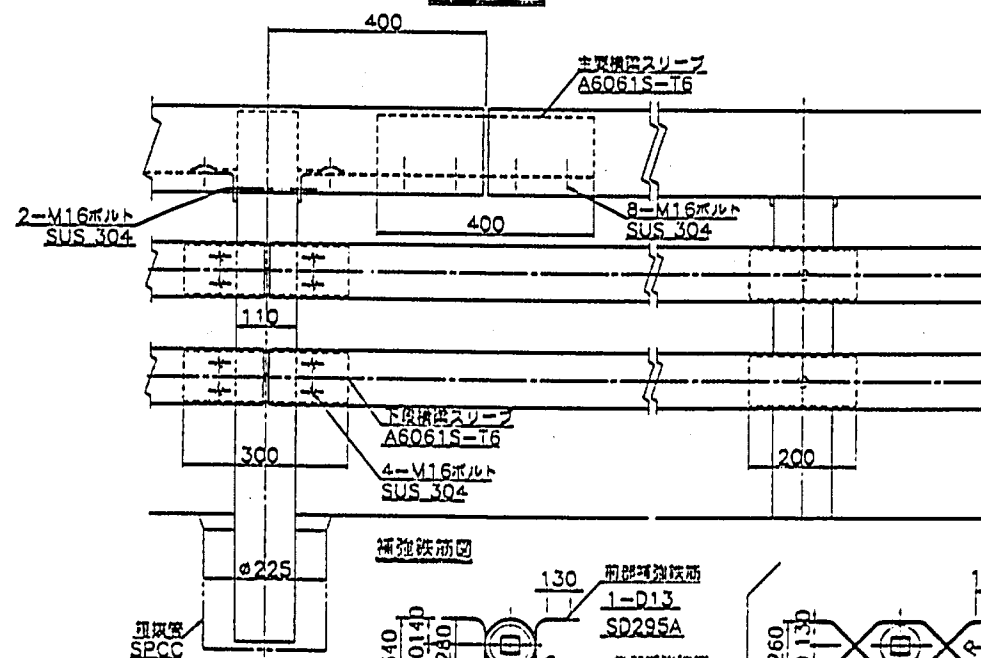
構成部材	DIMENSION	材質(規格)	静荷重試験結果	備考
支柱	□110X100X11X7X6	A6061S-T6(JIS H4100)	$P_w=36.8kN$	$P_{max}=38.2kN$
主要横梁	□200X160X5.5X6	A6061S-T6(JIS H4100)	$M_o=61.7kN \cdot m$	$M_o=L \cdot P_o/4, L=2(m)$
下段横梁	□120X70X8X7X6	A6061S-T6(JIS H4100)	$M_o=17.1kN \cdot m$	$M_o=L \cdot P_o/4, L=2(m)$
横梁合計			$\Sigma M_o=78.8kN \cdot m$	



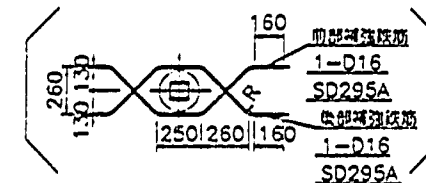
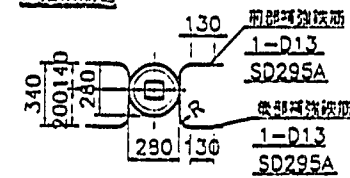
側面図



正面図

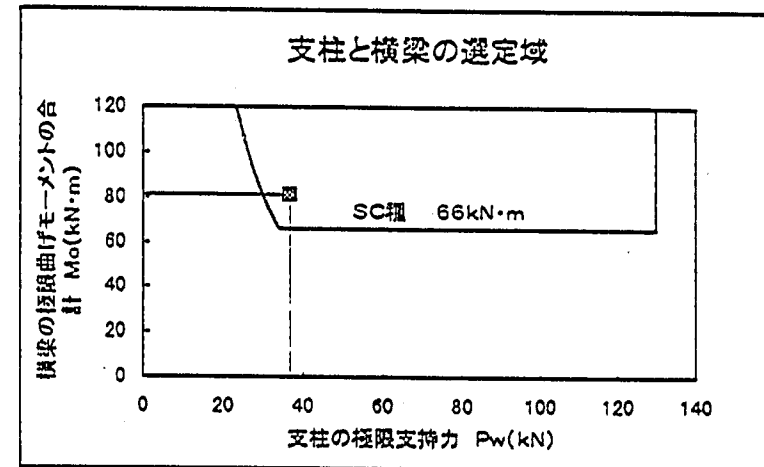
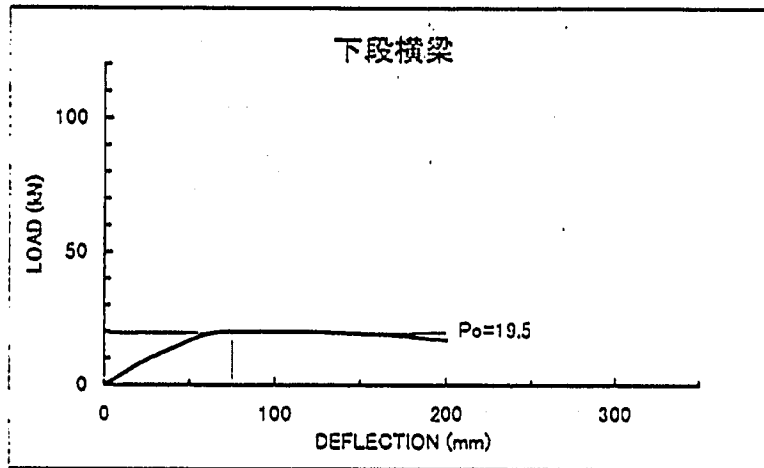
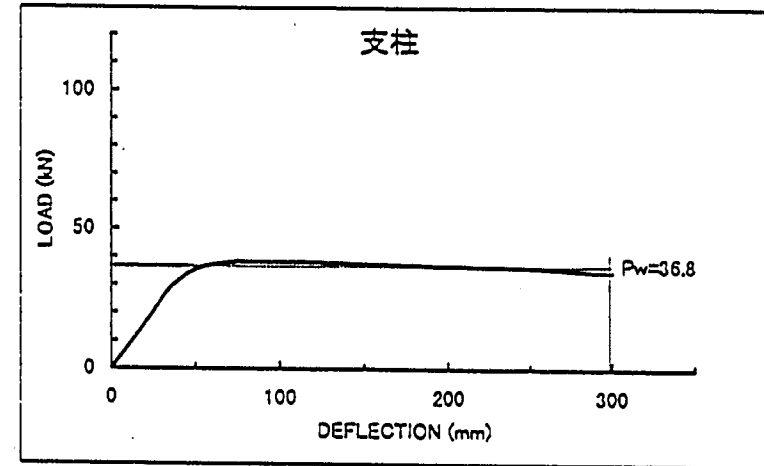
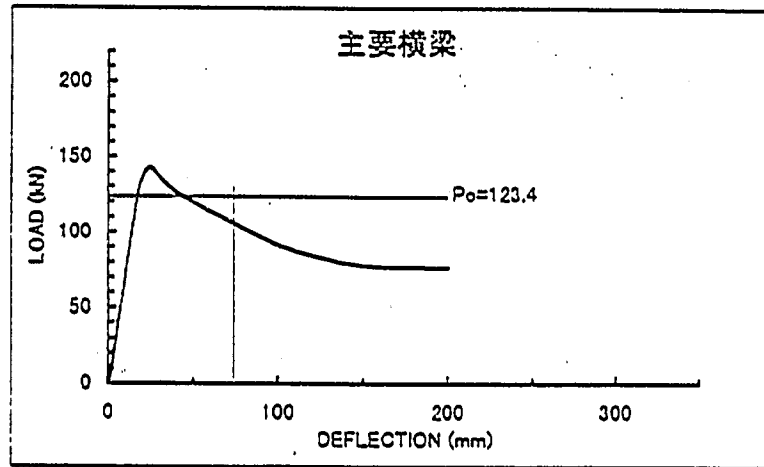


補強鉄筋図



種別	強度 (kJ)	防護層の変形量 (mm)	車両重心加速度 ($\text{m/s}^2/10\text{ms}$)	参考質量 (kg/m)
SC	160 以上	0.3 以下	200 未満	26.6

Ha-SC-2.0B-S3静荷重試験結果



構成部材	DIMENSION	材質(規格)	静荷重試験結果	備考
支柱	□110X100X11X7X6	A6061S-T6(JIS H4100)	$P_w=36.8kN$	$P_{max}=38.2kN$
主要横梁	□200X160X5.5X6	A6061S-T6(JIS H4100)	$M_o=61.7kN \cdot m$	$M_o=L \cdot P_o/4, L=2(m)$
下段横梁	□100X55X8X6X4(×2本)	A6061S-T6(JIS H4100)	$M_o=9.8kN \cdot m(\times 2本)$	$M_o=L \cdot P_o/4, L=2(m)$
横梁合計			$\Sigma M_o=81.3kN \cdot m$	

The diagram illustrates a cross-section of a three-lane highway. The top portion shows the overall layout with three lanes, each 2000 units wide, and a 400-unit shoulder on each side. The bottom portion provides a detailed view of the road surface, showing three lanes with dashed center lines and solid edge lines.

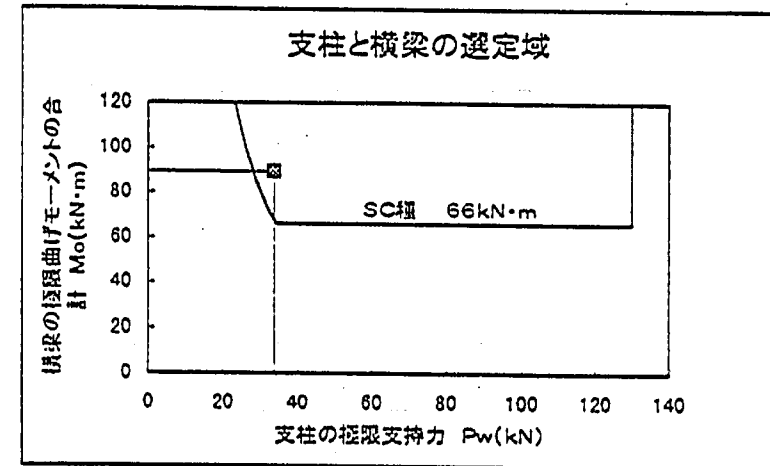
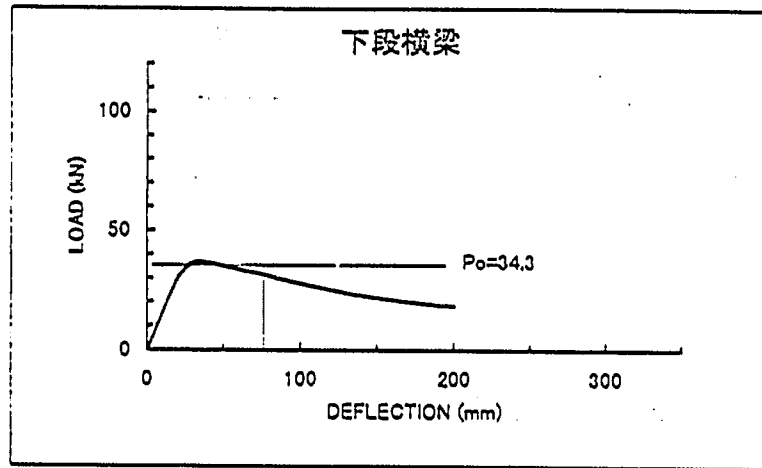
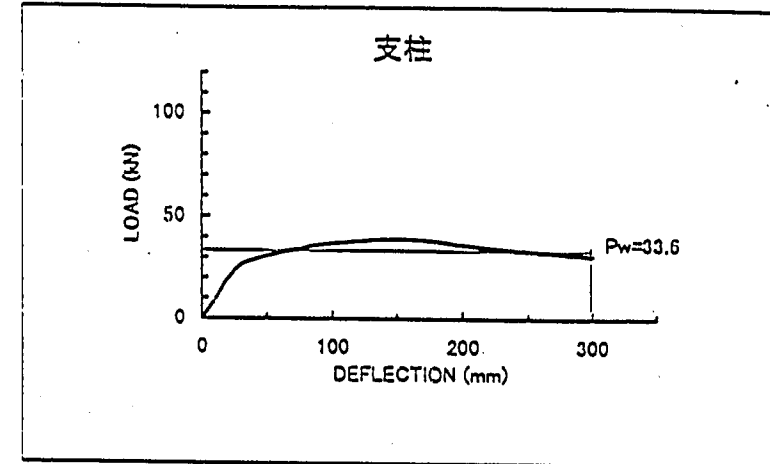
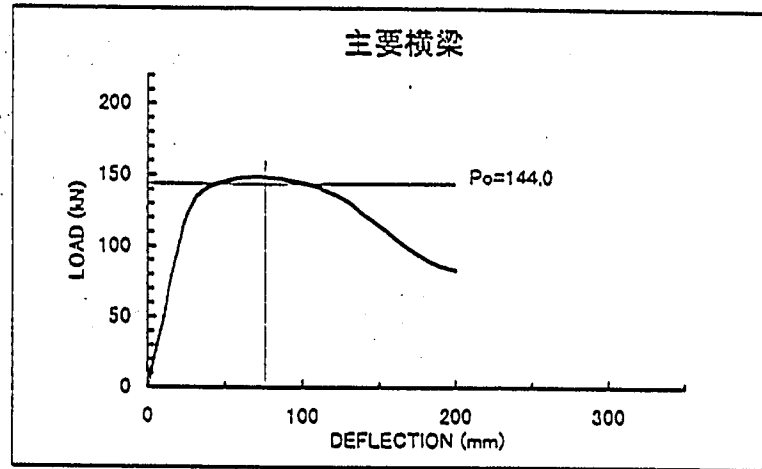
[illegible]

Technical drawing of a mechanical part, likely a flange or coupling, showing dimensions and material specifications. The drawing includes a cross-section view with dimensions: 340, 200, 140, 280, 130, 280, and 130. Material specifications are given as 1-D13 SD295A for the main body and 1-D13 SD295A for the flange. A note indicates "前部端部鉄筋" (Front end reinforcement) and "後部端部鉄筋" (Rear end reinforcement).

Technical drawing of a mechanical part, likely a shaft or axle, showing dimensions and material specifications. The drawing includes a central section with a square hole, flanked by two tapered sections. Dimensions are given in millimeters (mm). The left side has a total length of 260 mm, with a 130 mm section on the left and a 160 mm section on the right. The central section has a diameter of 250 mm. The right side has a total length of 160 mm, with a 130 mm section on the left and a 160 mm section on the right. The material is specified as 1-D16 and SD295A.

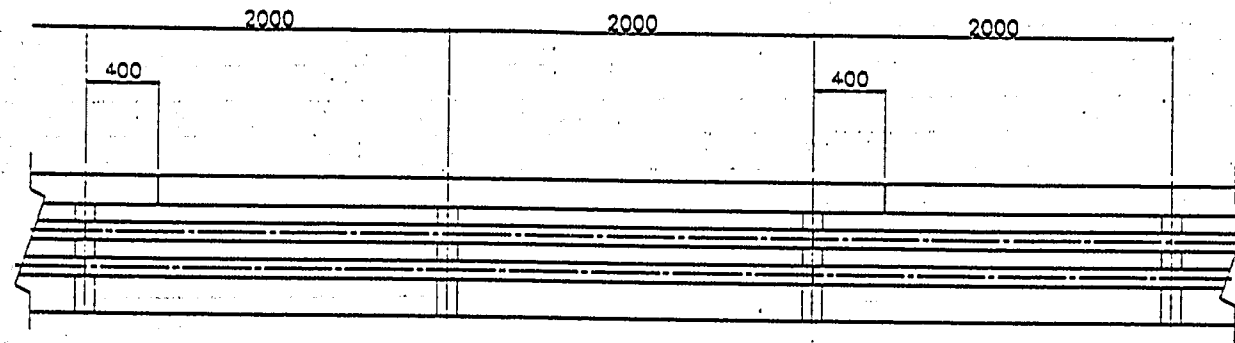
種別	強度 (kJ)	防護壁の厚み (m)	壁面重心加速度 (m/s ² /10ms)	参考質量 (kg/m)
A	130 以上	0.3 以下	180 未満	23.3

Ha-SC-2.0B-P2静荷重試験結果

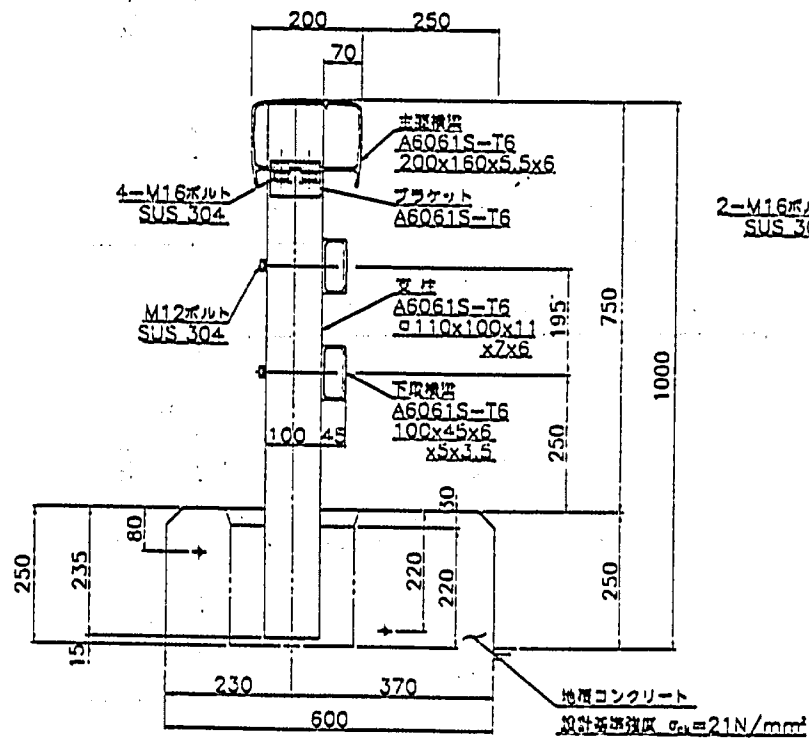


構成部材	DIMENSION	材質(規格)	静荷重試験結果	備考
支柱	H165X145X7.5X16X11(P2)	AC7A-F相当(JIS H5202)	$P_w=33.6kN$	$P_{max}=39.3kN$
主要横梁	$\phi 180X7.5$	A6061S-T6(JIS H4100)	$M_o=72.0kN \cdot m$	$M_o=L \cdot P_o/4, L=2(m)$
下段横梁	$\phi 130X5$	A6061S-T6(JIS H4100)	$M_o=17.2kN \cdot m$	$M_o=L \cdot P_o/4, L=2(m)$
横梁合計			$\Sigma M_o=89.2kN \cdot m$	

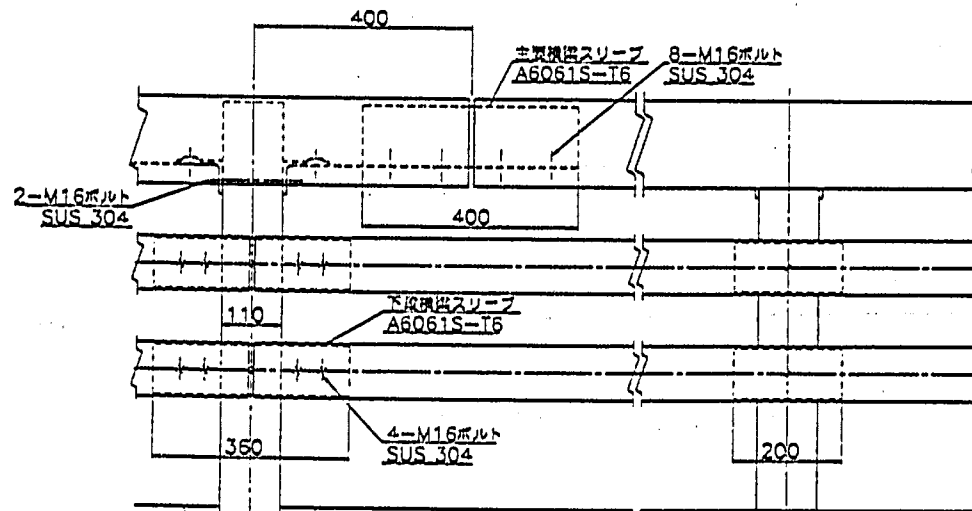
送



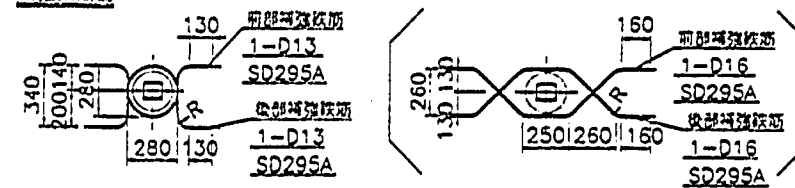
側面図



正面圖

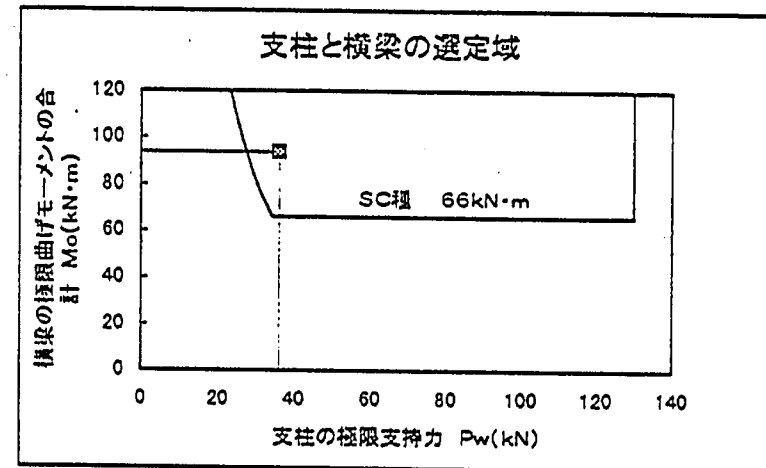
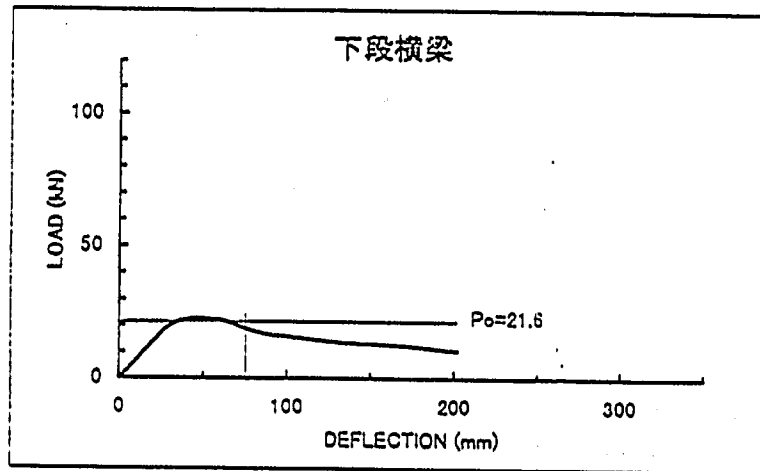
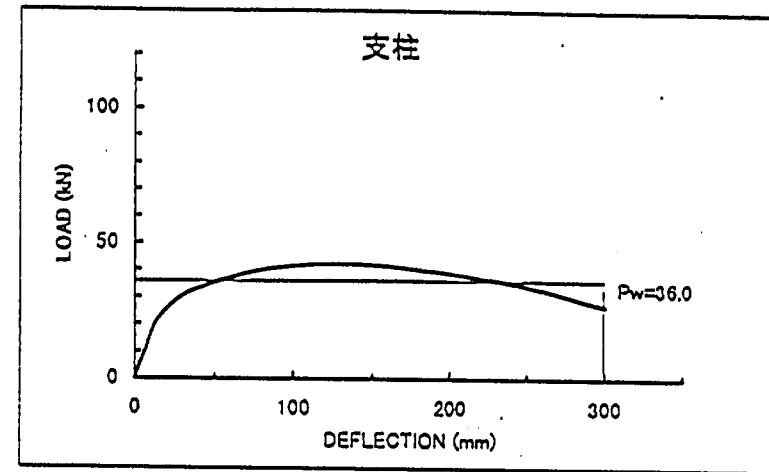
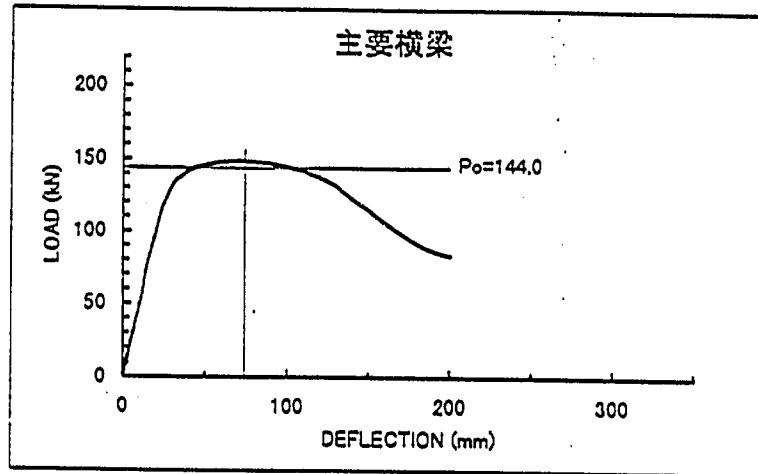


補強鉄筋図



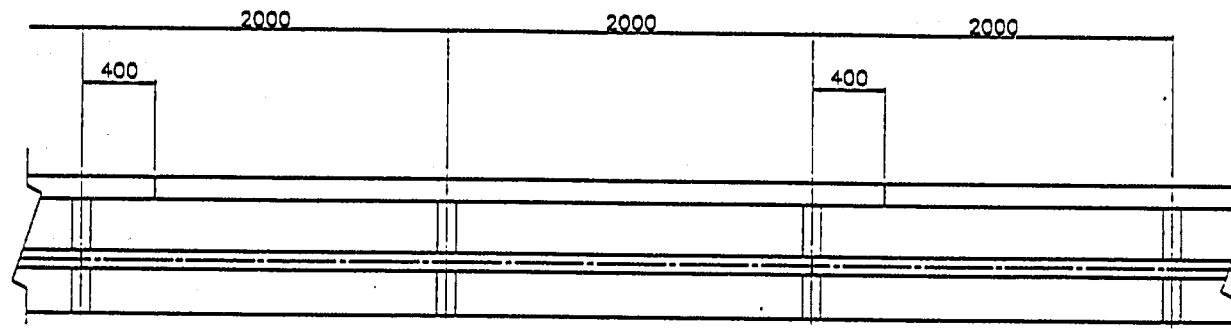
種別	強度 (kJ)	防護柱の外形寸 (m)	車両質量加速度 (m/s ² /10ms)	参考質量 (kg/m)
A	130 以上	0.3 以下	180 未満	24.3

Ha-SC-2.0B-P3静荷重試験結果

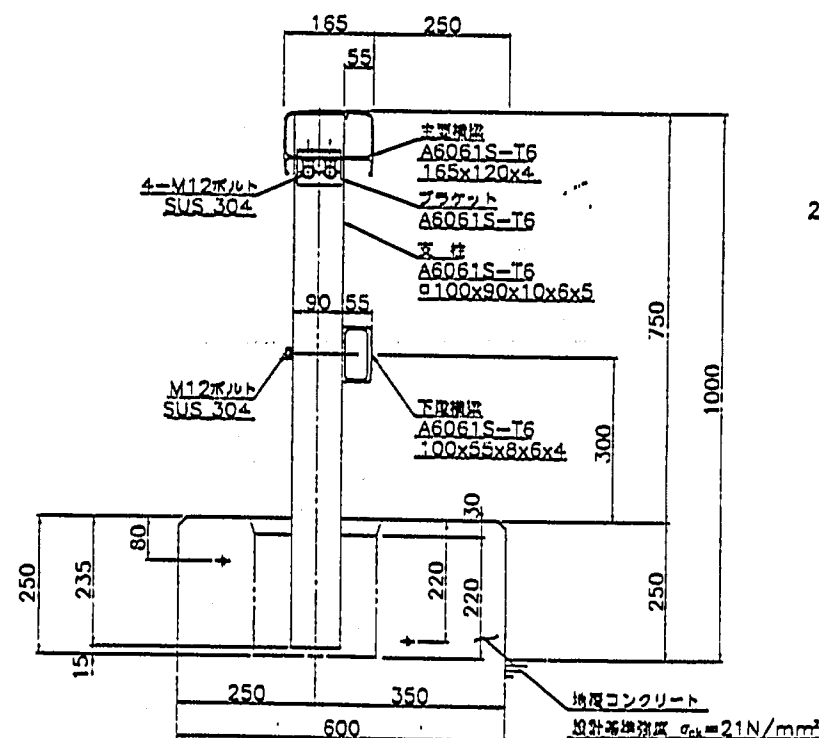


構成部材	DIMENSION	材質(規格)	静荷重試験結果	備考
支柱	H165X145X7.5X16X11(P3)	AC7A-F相当(JIS H5202)	$P_w=36.0kN$	$P_{max}=41.9kN$
主要横梁	$\phi 180X7.5$	A6061S-T6(JIS H4100)	$M_o=72.0kN \cdot m$	$M_o=L \cdot P_o/4, L=2(m)$
下段横梁	$\phi 110X3.5(\times 2本)$	A6061S-T6(JIS H4100)	$M_o=10.8kN \cdot m(\times 2本)$	$M_o=L \cdot P_o/4, L=2(m)$
横梁合計			$\Sigma M_o=93.6kN \cdot m$	

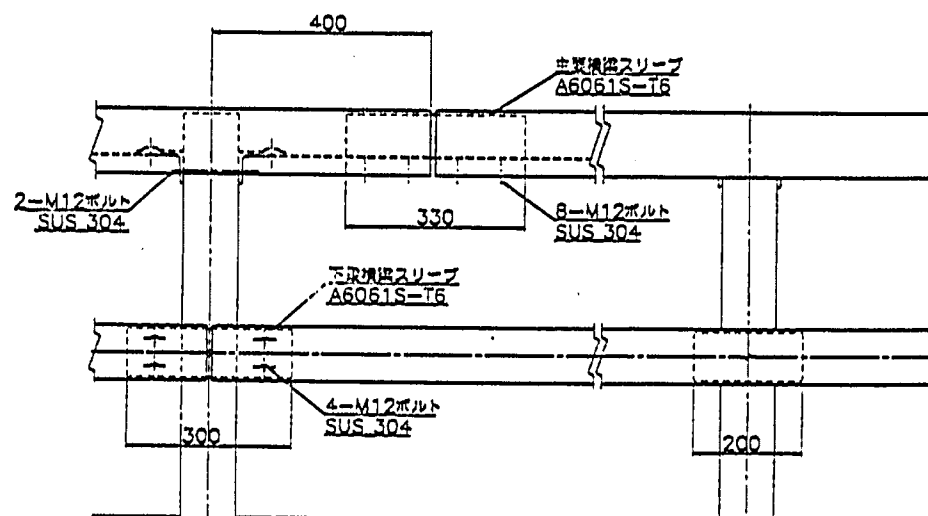
断面図



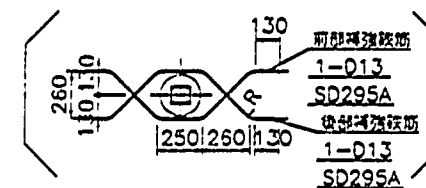
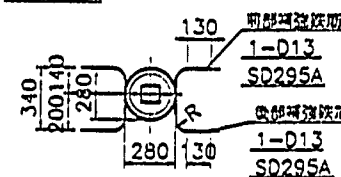
側面図



正面図

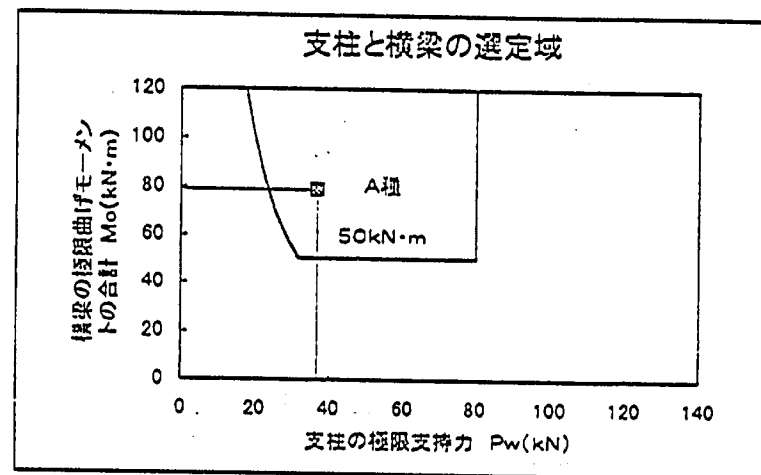
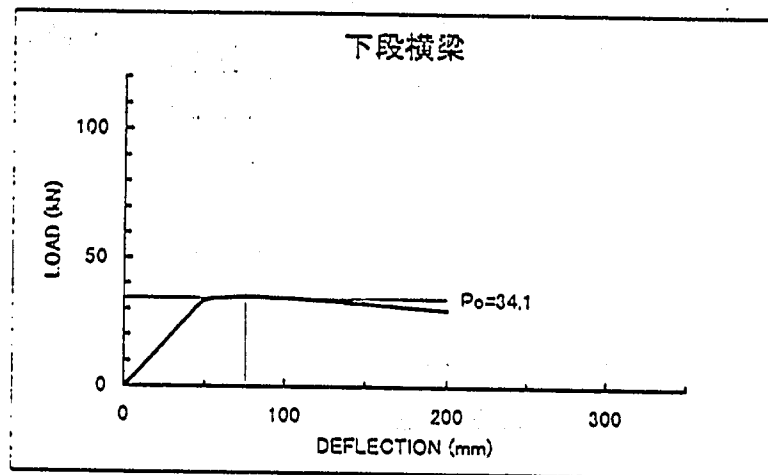
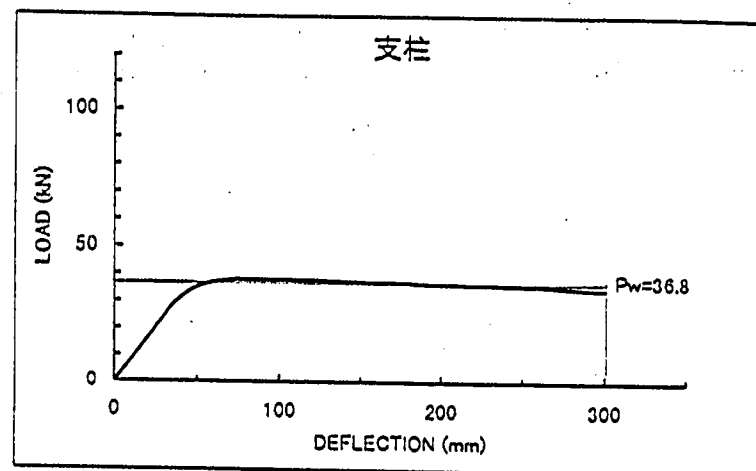
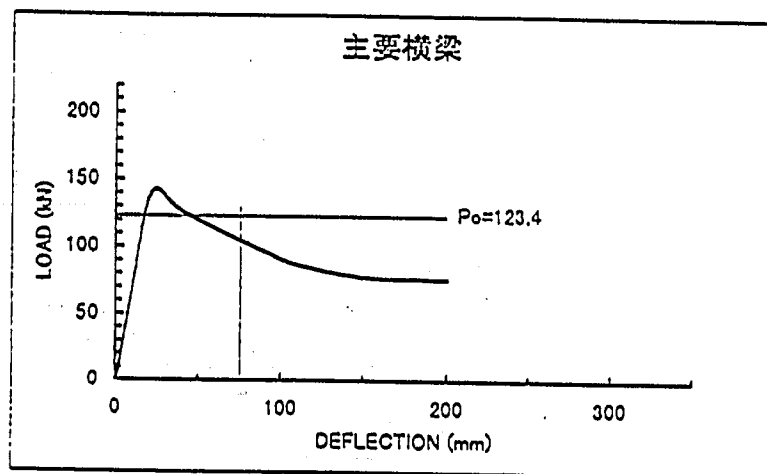


補強鉄筋図

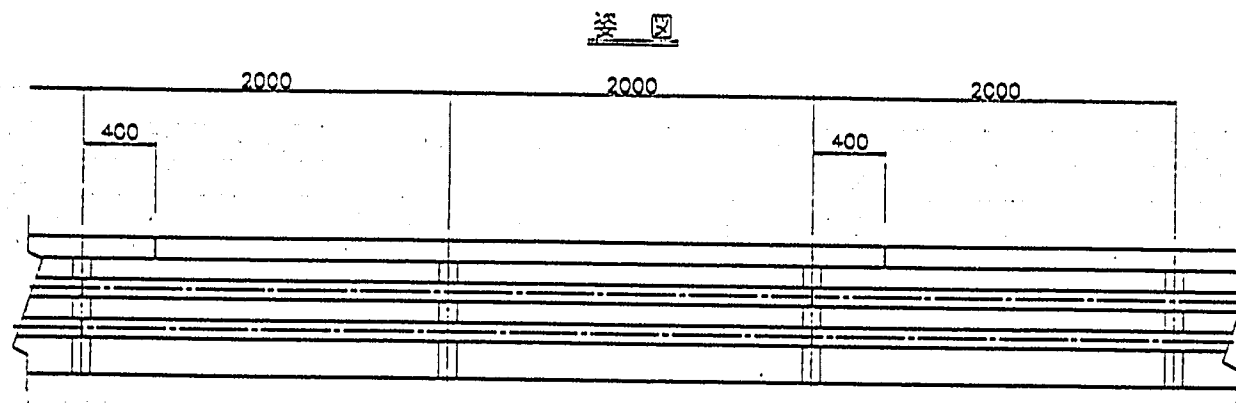


種別	強度 (kJ)	防護網の変形量 (m)	車両重心加速度 (m/s ² /10ms)	参考質量 (kg/m)
B	60 以上	0.3 以下	120 未満	15.3

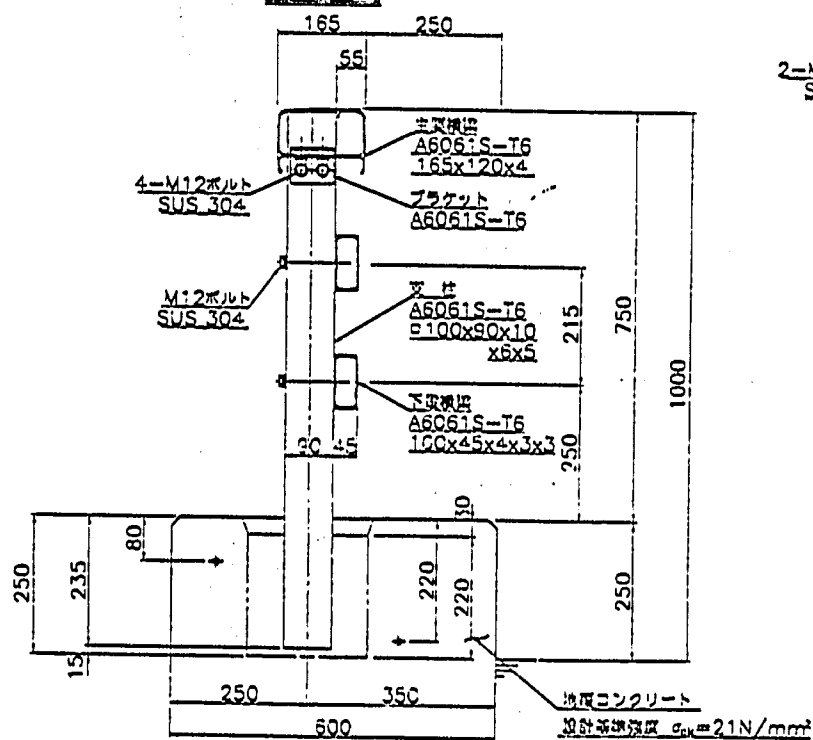
Ha-A-2.0B-S2静荷重試験結果



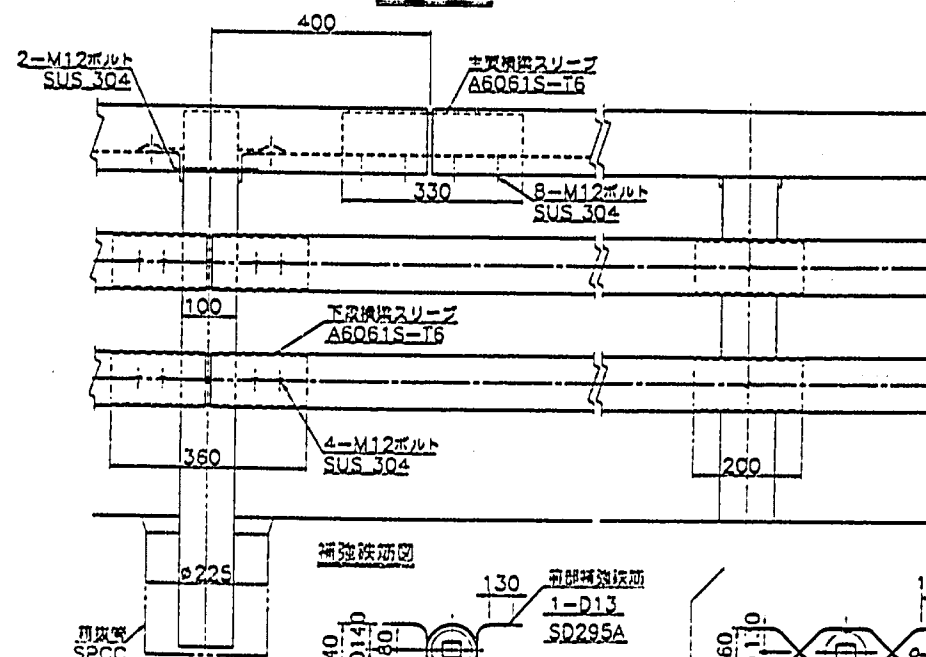
構成部材	DIMENSION	材質(規格)	静荷重試験結果	備考
支柱	□110X100X11X7X6	A6061S-T6(JIS H4100)	$P_w=36.8\text{kN}$	$P_{\max}=38.2\text{kN}$
主要横梁	□200X160X5.5X6	A6061S-T6(JIS H4100)	$M_o=61.7\text{kN}\cdot\text{m}$	$M_o=L\cdot P_o/4, L=2(\text{m})$
下段横梁	□120X70X8X7X6	A6061S-T6(JIS H4100)	$M_o=17.1\text{kN}\cdot\text{m}$	$M_o=L\cdot P_o/4, L=2(\text{m})$
横梁合計			$\Sigma M_o=78.8\text{kN}\cdot\text{m}$	



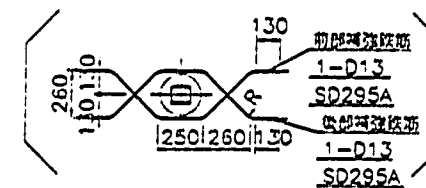
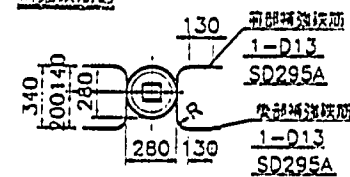
側面図



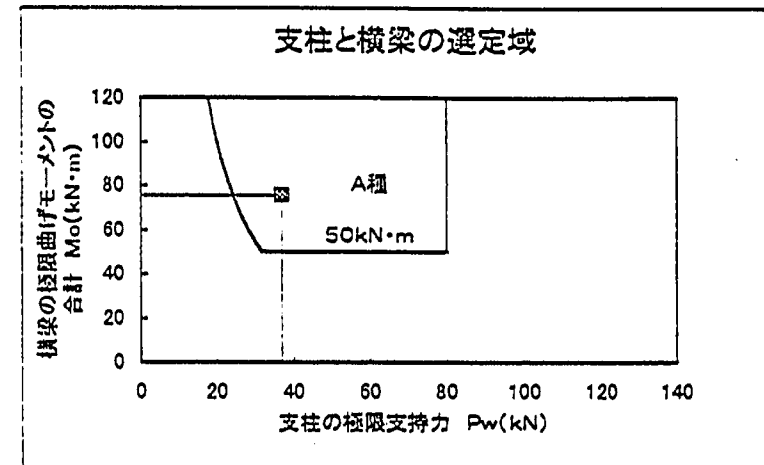
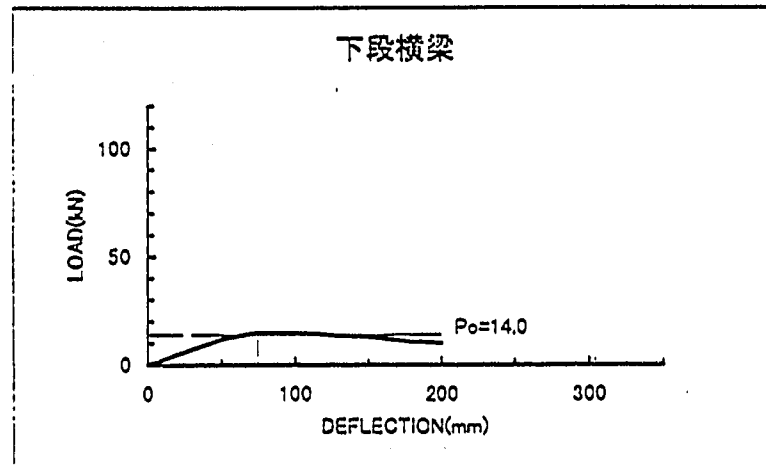
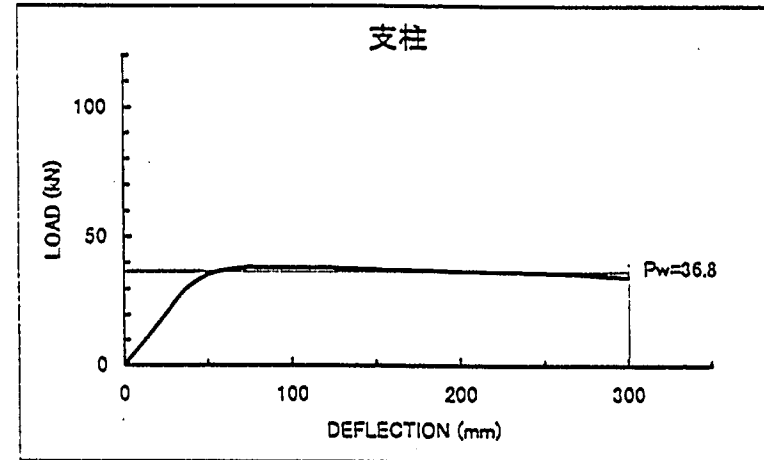
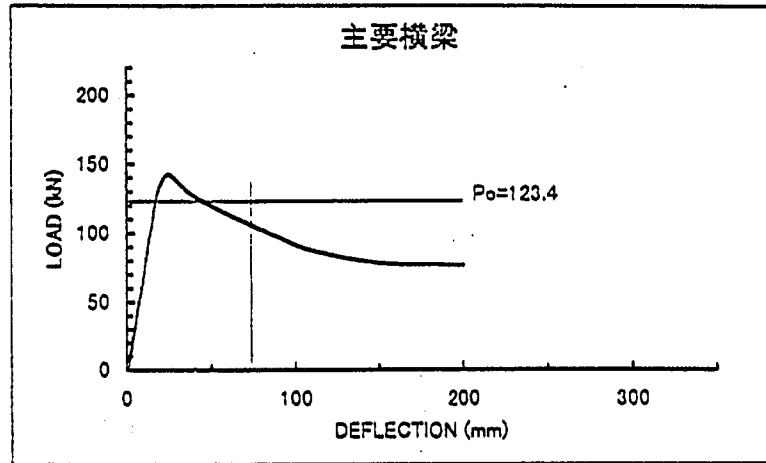
正面図



補強鉄筋図

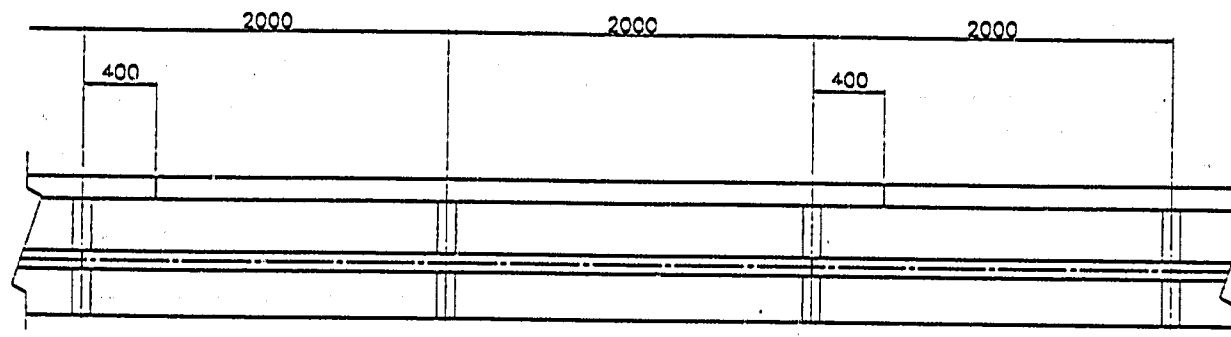


種別	強度 (kJ)	防護壁の変形量 (m)	車両重心加速度 ($\text{m/s}^2/10\text{ms}$)	参考質量 (kg/m)
B	60 以上	0.3 以下	120 未満	16.2

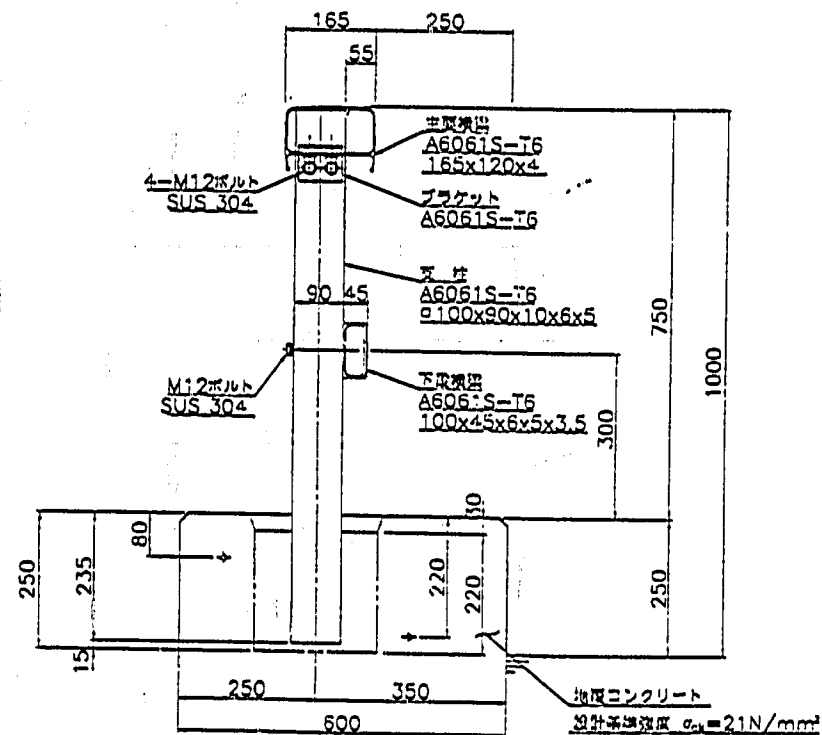


構成部材	DIMENSION	材質(規格)	静荷重試験結果	備考
支柱	□110X100X11X7X6	A6061S-T6(JIS H4100)	$P_w=36.8\text{kN}$	$P_{\max}=38.2\text{kN}$
主要横梁	□200X160X5.5X6	A6061S-T6(JIS H4100)	$M_o=61.7\text{kN}\cdot\text{m}$	$M_o=L\cdot P_o/4$, $L=2(\text{m})$
下段横梁	□100X45X6X5X3.5(×2本)	A6061S-T6(JIS H4100)	$M_o=7.0\text{kN}\cdot\text{m}(\times 2\text{本})$	$M_o=L\cdot P_o/4$, $L=2(\text{m})$
横梁合計			$\Sigma M_o=75.7\text{kN}\cdot\text{m}$	

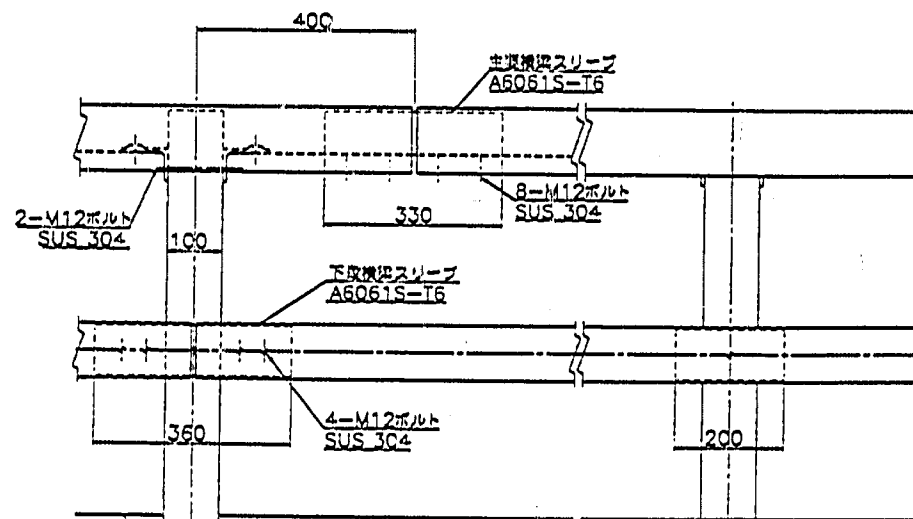
断面図



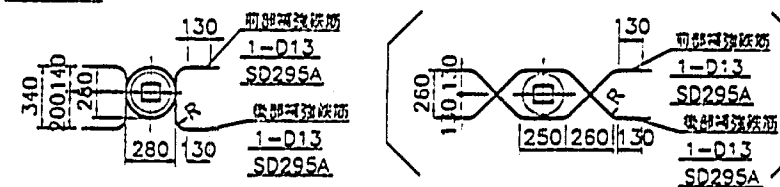
側面図



正面図

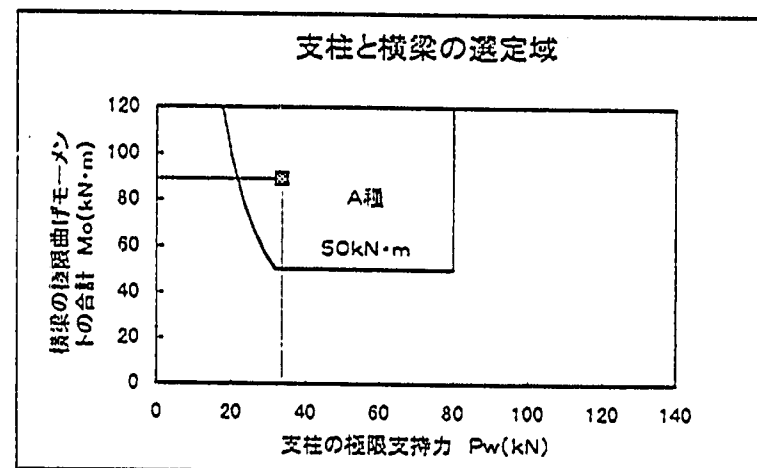
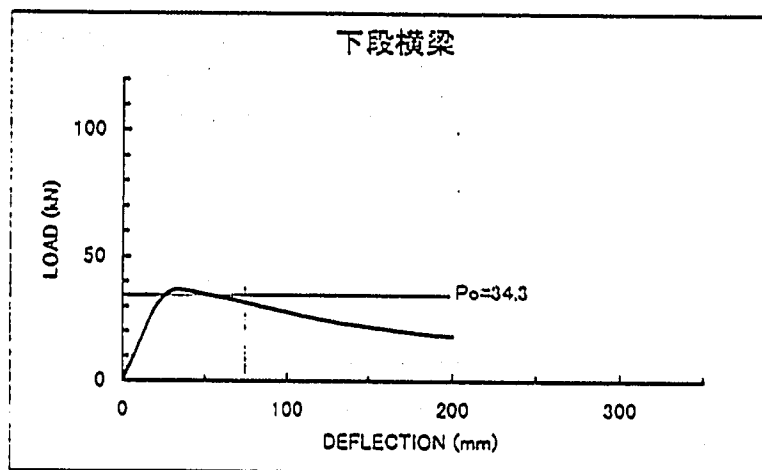
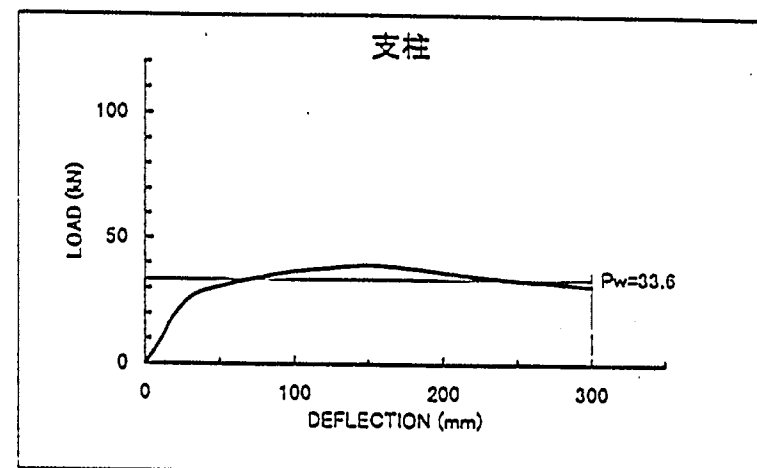
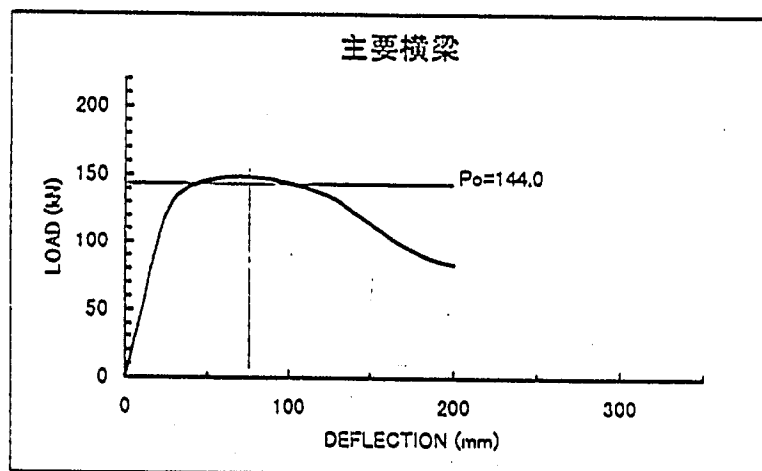


補強鉄筋図



種別	強度 (kJ)	防護壁の変形量 (m)	車両重心加速度 ($m/s^2/10ms$)	参考質量 (kg/m)
C	45 以上	0.3 以下	120 未満	14.1

Ha-A-2.0B-P2静荷重試験結果



構成部材	DIMENSION	材質(規格)	静荷重試験結果	備考
支柱	H165X145X7.5X16X11(P2)	AC7A-F相当(JIS H5202)	$P_w=33.6kN$	$P_{max}=39.3kN$
主要横梁	$\phi 180X7.5$	A6061S-T6(JIS H4100)	$M_o=72.0kN \cdot m$	$M_o=L \cdot P_o/4, L=2(m)$
下段横梁	$\phi 130X5$	A6061S-T6(JIS H4100)	$M_o=17.2kN \cdot m$	$M_o=L \cdot P_o/4, L=2(m)$
横梁合計			$\Sigma M_o=89.2kN \cdot m$	

Technical drawing of a structural connection between a column and a beam. The drawing shows a vertical column with a horizontal beam attached to its side. Dimensions are given in millimeters.

Column Dimensions:

- Total height: 1000
- Width: 165
- Top section height: 750
- Bottom section height: 250

Beam Dimensions:

- Total width: 600
- Height: 250
- Top flange width: 350
- Bottom flange width: 250

Connection Details:

- Top Plate:** A6061S-T6, 165x120x4
- Bottom Plate:** A6061S-T6, 100x45x4
- Bolts:** 4-M12 bolts, SUS 304
- Reinforcement:** 4-M12 bolts, SUS 304
- Concrete:** 21 N/mm²

2-M12ボルト
SUS 304

400

主要横筋スリーブ
A6061S-T6

330

8-M12ボルト
SUS 304

100

下段横筋スリーブ
A6061S-T6

360

4-M12ボルト
SUS 304

200

φ225

可成等
SPCC

130

断面寸法図
1-D13
SD295A

40

1-D13

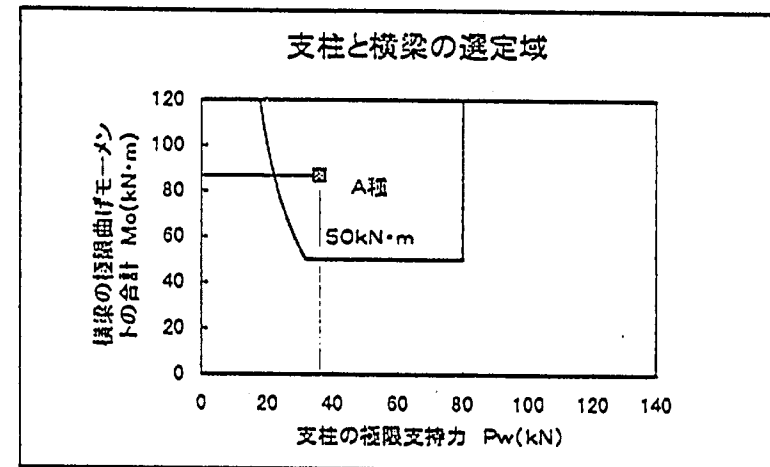
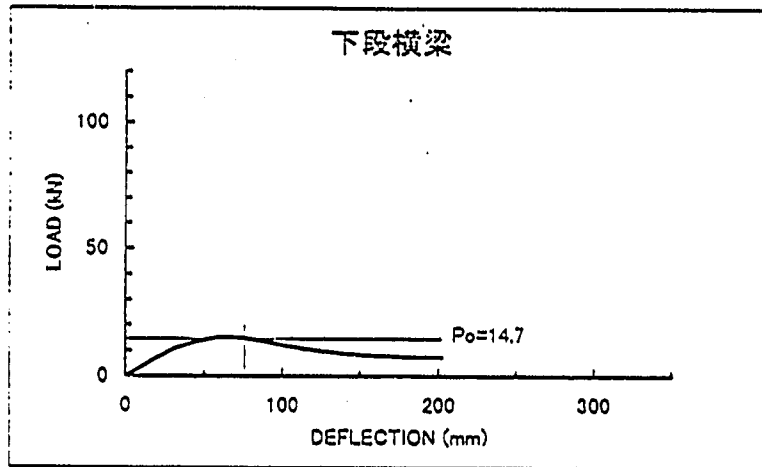
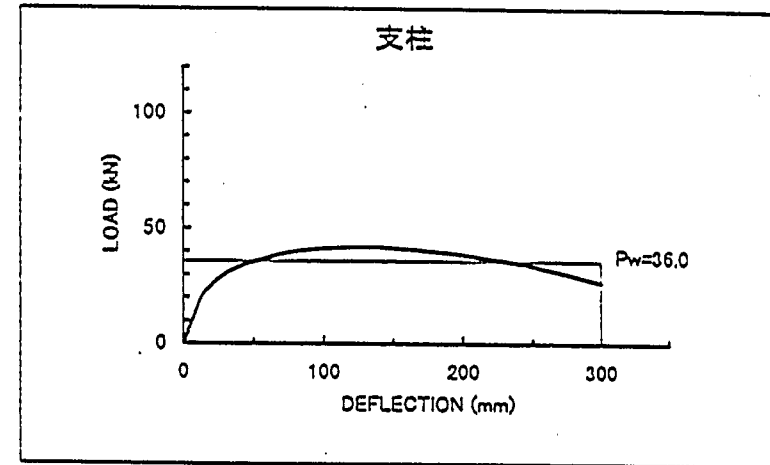
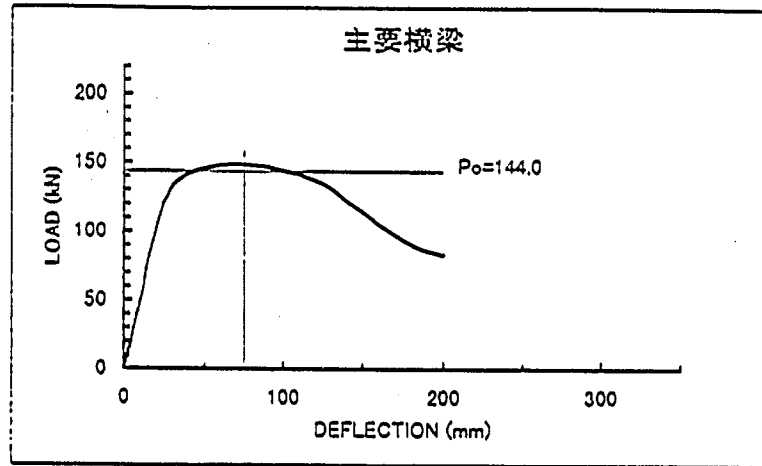
SD295A

Technical drawing of a mechanical part, likely a valve or fitting, showing dimensions and material specifications. The drawing includes a cross-section view with dimensions: 340, 200, 140, 280, 130, 280, and 130. Material specifications are given as 1-D13 SD295A for the main body and 1-D13 SD295A for the flange. The drawing is labeled '图 1' (Figure 1) and '图 2' (Figure 2).

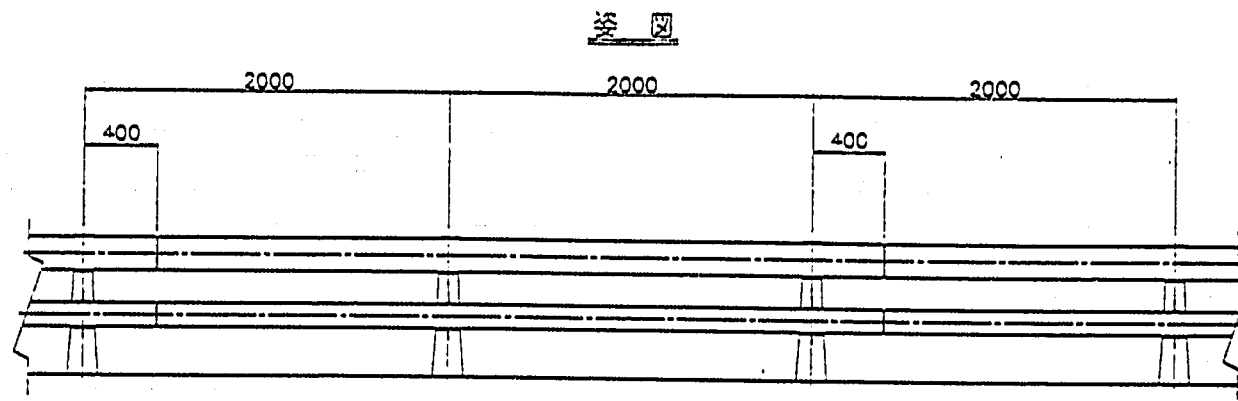
Technical drawing of a mechanical part, likely a shaft or axle, showing a cross-section with a central hole. The drawing includes dimensions: 260 (total length), 130 (distance from end to hole), 10 (hole diameter), 250/260 (shaft diameter), and 30 (flange thickness). The part is labeled "1-D13 SD295A" and "1-D13 SD295A".

種別	強度 (kJ)	可塑性の残形状 (m)	車両重心加速度 ($m/s^2/10ms$)	参考質量 (kg/m)
C	45 以上	0.3 以下	120 未満	16.2

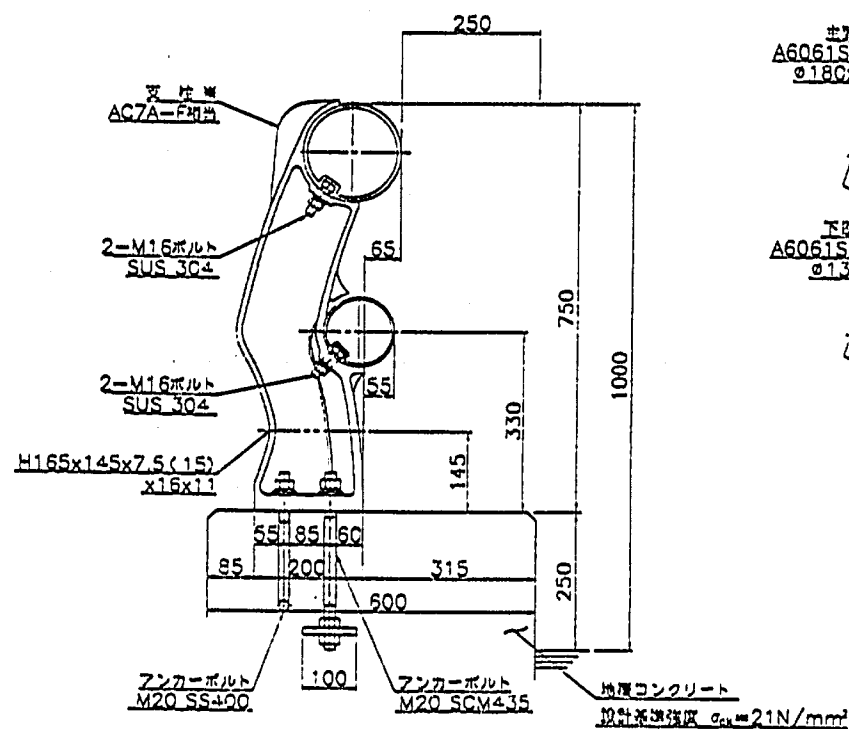
Ha-A-2.0B-P3静荷重試験結果



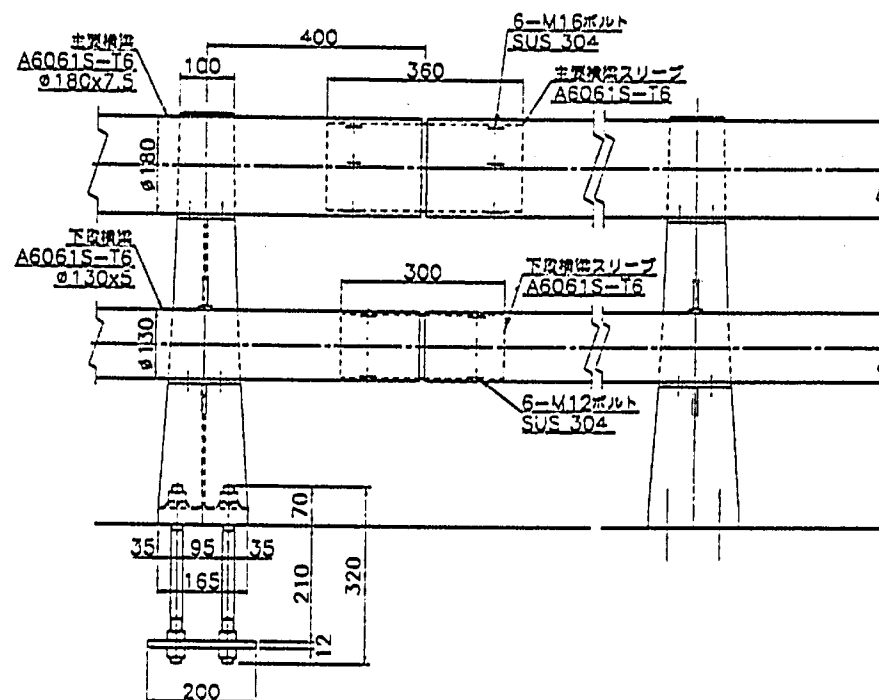
構成部材	DIMENSION	材質(規格)	静荷重試験結果	備考
支柱	H165X145X7.5X16X11(P3)	AC7A-F相当(JIS H5202)	$P_w=36.0kN$	$P_{max}=41.9kN$
主要横梁	$\phi 180X7.5$	A6061S-T6(JIS H4100)	$M_o=72.0kN \cdot m$	$M_o=L \cdot P_o/4, L=2(m)$
下段横梁	$\phi 90X3.5(\times 2本)$	A6061S-T6(JIS H4100)	$M_o=7.4kN \cdot m(\times 2本)$	$M_o=L \cdot P_o/4, L=2(m)$
横梁合計			$\Sigma M_o=86.8kN \cdot m$	



側面図



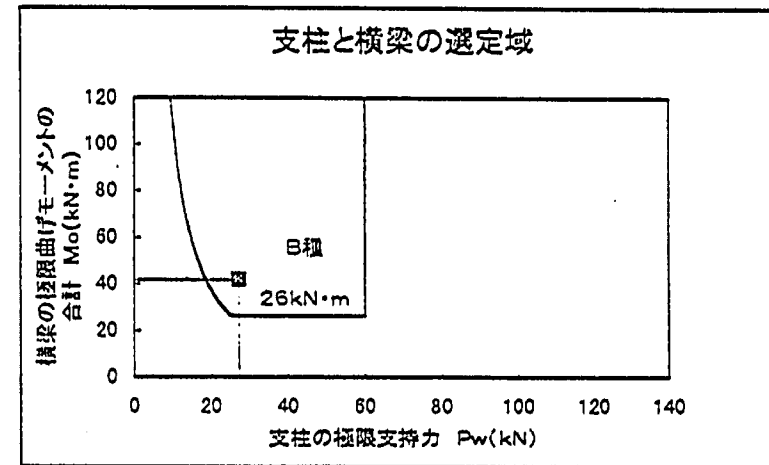
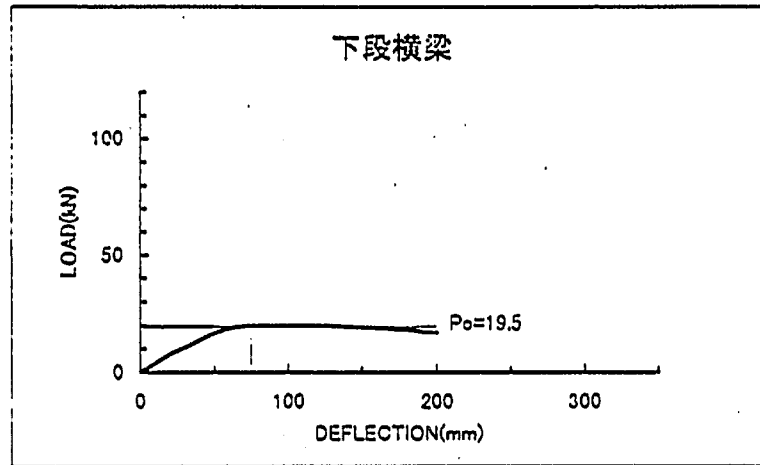
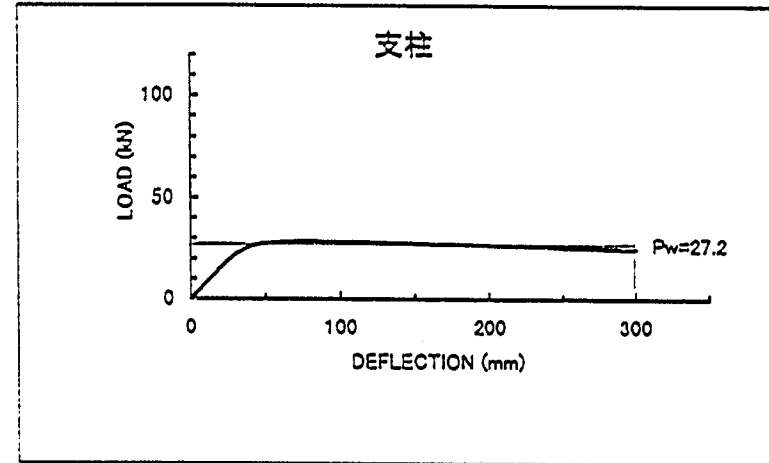
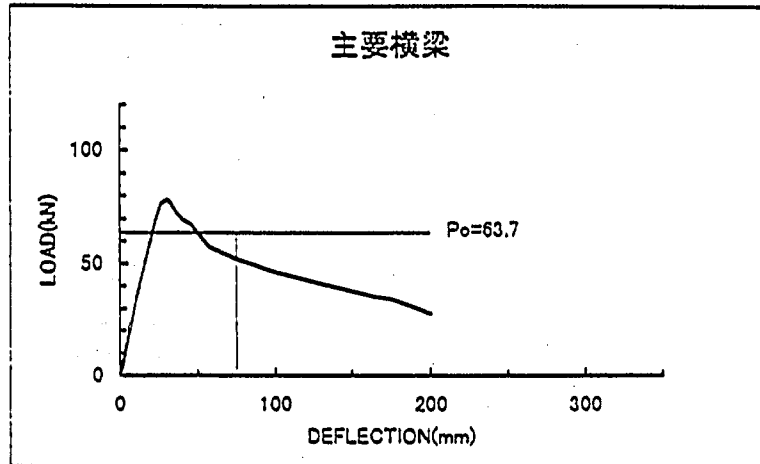
正面図



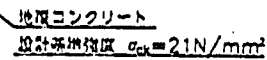
種別	強度 (kJ)	防護網の変形量 (m)	車両重心加速度 ($\text{m/s}^2/10\text{ms}$)	参考質量 (kg/m)
SC	160 以上	0.3 以下	200 未満	28.0

※ 本図表はAC7Aをベースに化学成分を調整し、伸び15%以上、引張強さ140N/mm²以上を確保するものとする。

Ha-B-2.0B-S2静荷重試験結果

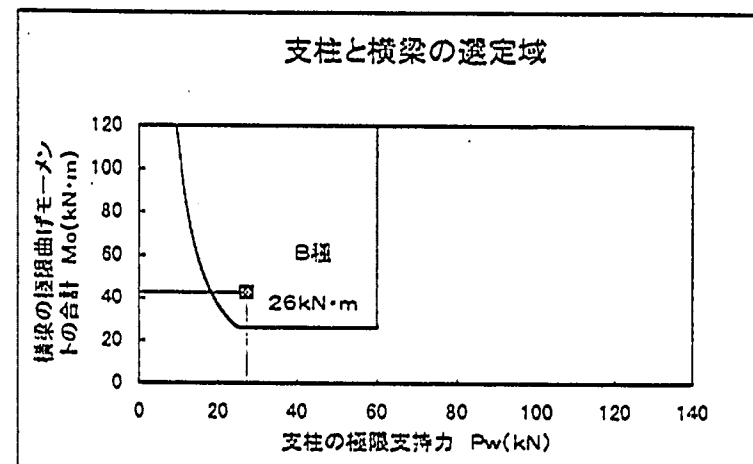
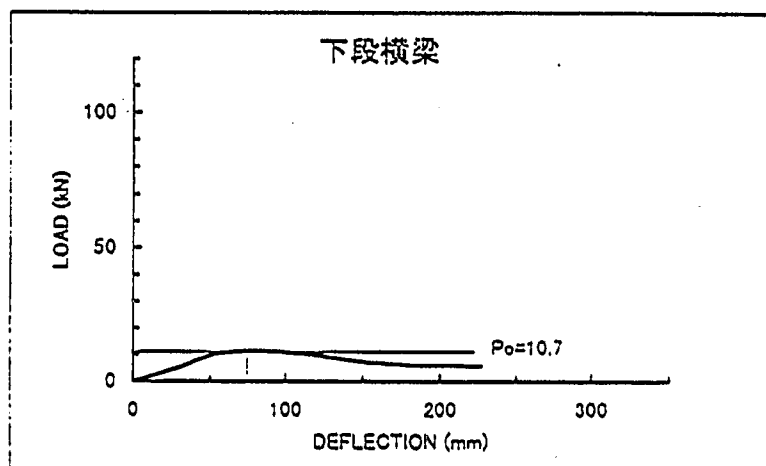
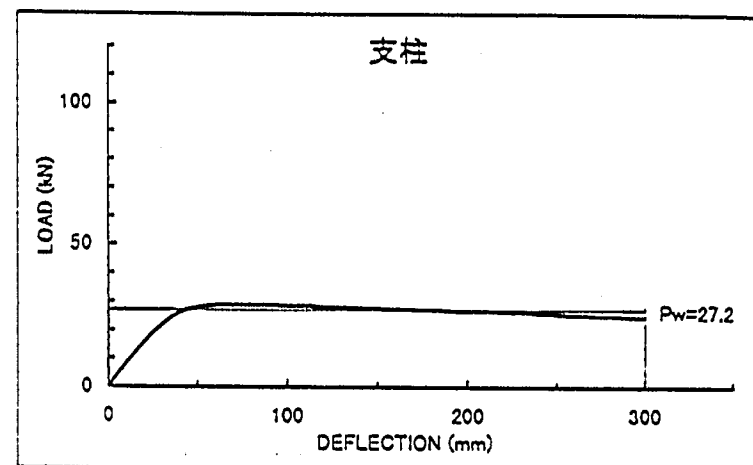
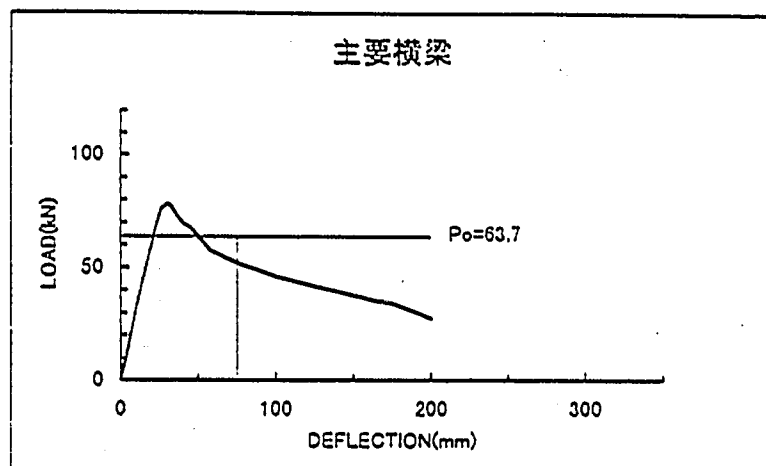


構成部材	DIMENSION	材質(規格)	静荷重試験結果	備考
支柱	□100X90X10X6X5	A6061S-T6(JIS H4100)	$P_w=27.2kN$	$P_{max}=28.9kN$
主要横梁	□165X120X4	A6061S-T6(JIS H4100)	$M_o=31.9kN \cdot m$	$M_o=L \cdot P_o/4, L=2(m)$
下段横梁	□100X55X8X6X4	A6061S-T6(JIS H4100)	$M_o=9.8kN \cdot m$	$M_o=L \cdot P_o/4, L=2(m)$
横梁合計			$\Sigma M_o=41.7kN \cdot m$	



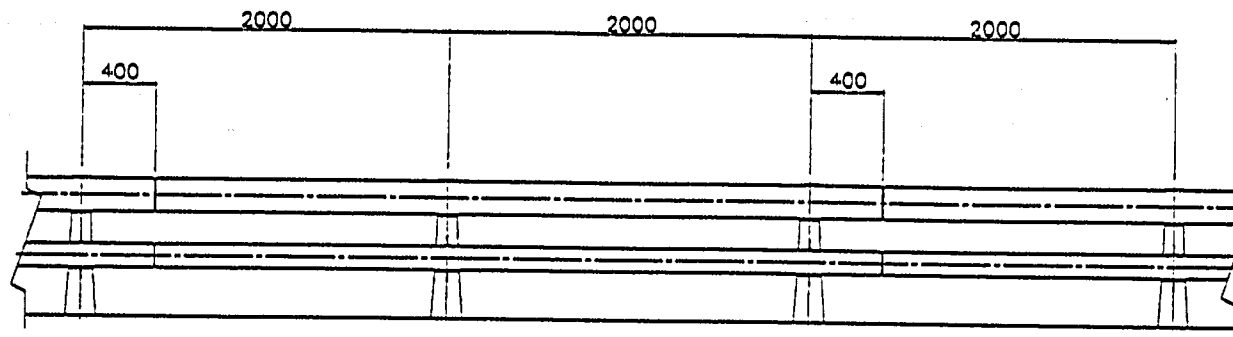
※ ほか変性にはAC7Aをベースに化学変性を調整し、伸び15%以上、引張強さ140N/mm²以上を確保するものとする。

Ha-B-2.0B-S3静荷重試験結果

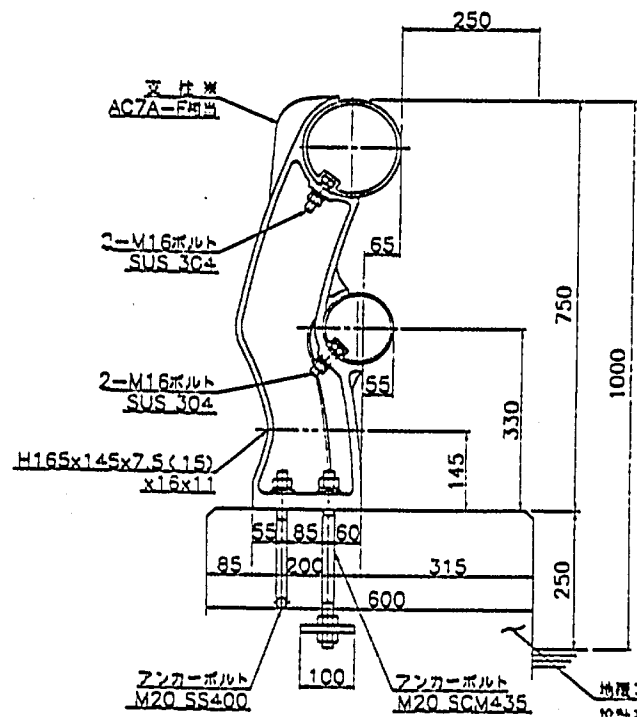


構成部材	DIMENSION	材質(規格)	静荷重試験結果	備考
支柱	□100X90X10X6X5	A6061S-T6(JIS H4100)	$P_w=27.2kN$	$P_{max}=28.9kN$
主要横梁	□165X120X4	A6061S-T6(JIS H4100)	$M_o=31.9kN \cdot m$	$M_o=L \cdot P_o/4, L=2(m)$
下段横梁	□100X45X4X3X3(×2本)	A6061S-T6(JIS H4100)	$M_o=5.4kN \cdot m(×2本)$	$M_o=L \cdot P_o/4, L=2(m)$
横梁合計			$\Sigma M_o=42.7kN \cdot m$	

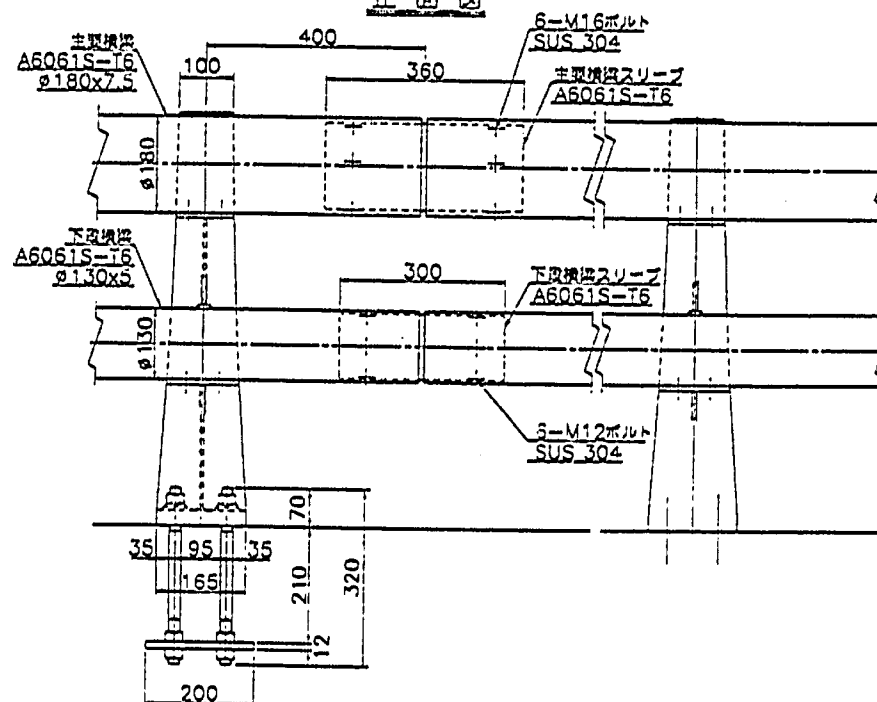
姿図



側面図



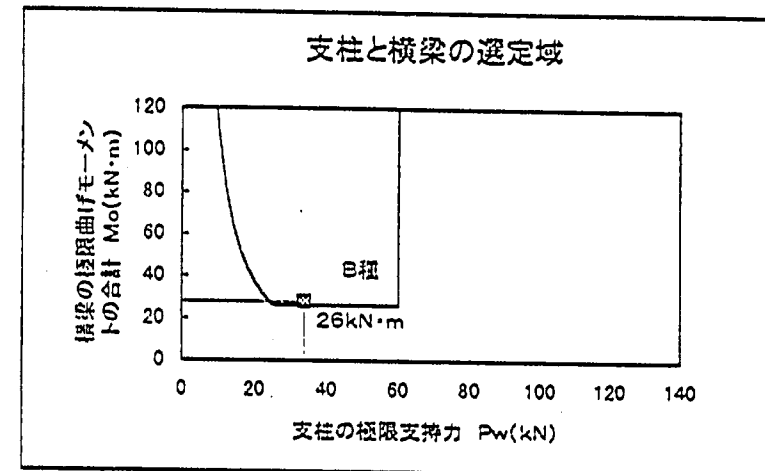
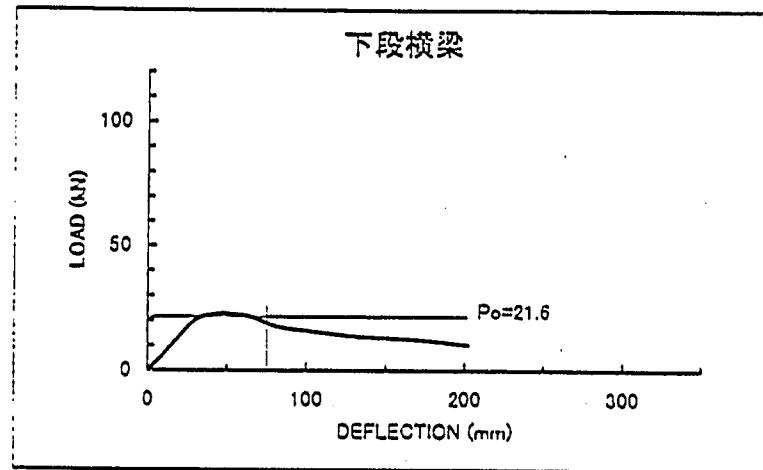
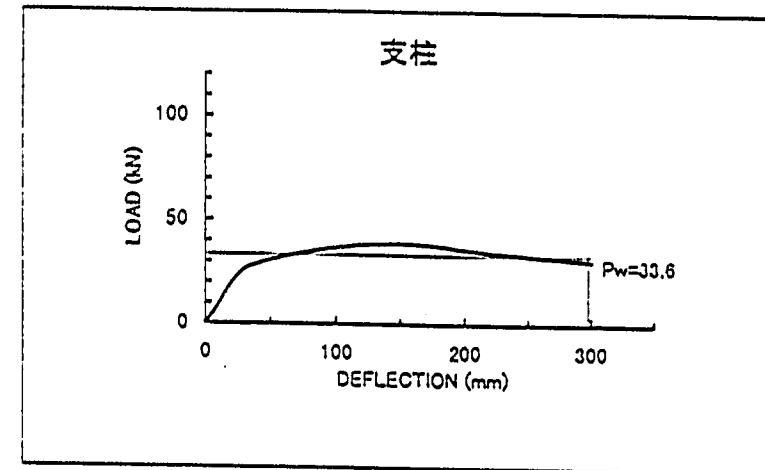
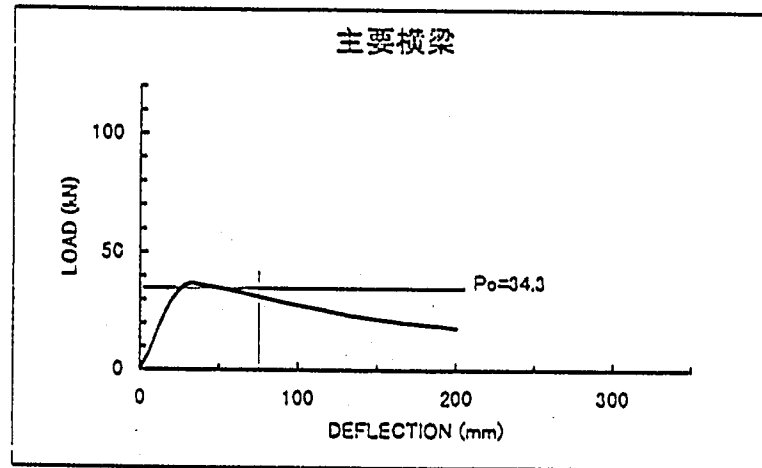
正面図

設計基準強度 $\sigma_{yk} = 21 \text{ N/mm}^2$

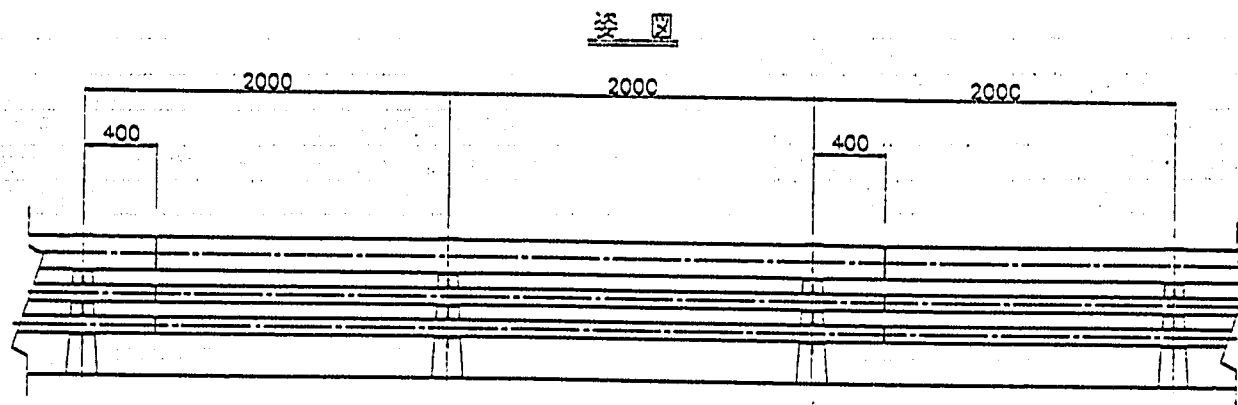
種別	強度 (kJ)	防護層の変形量 (mm)	風雨重心加速度 ($\text{m/s}^2/10\text{ms}$)	参考質量 (kg/m)
A	130 以上	0.3 以下	180 未満	28.0

※ 支柱等はAC7Aをベースに化学式成分を同等し、径φ15以上、引張強度140N/mm²以上を確保するものとする。

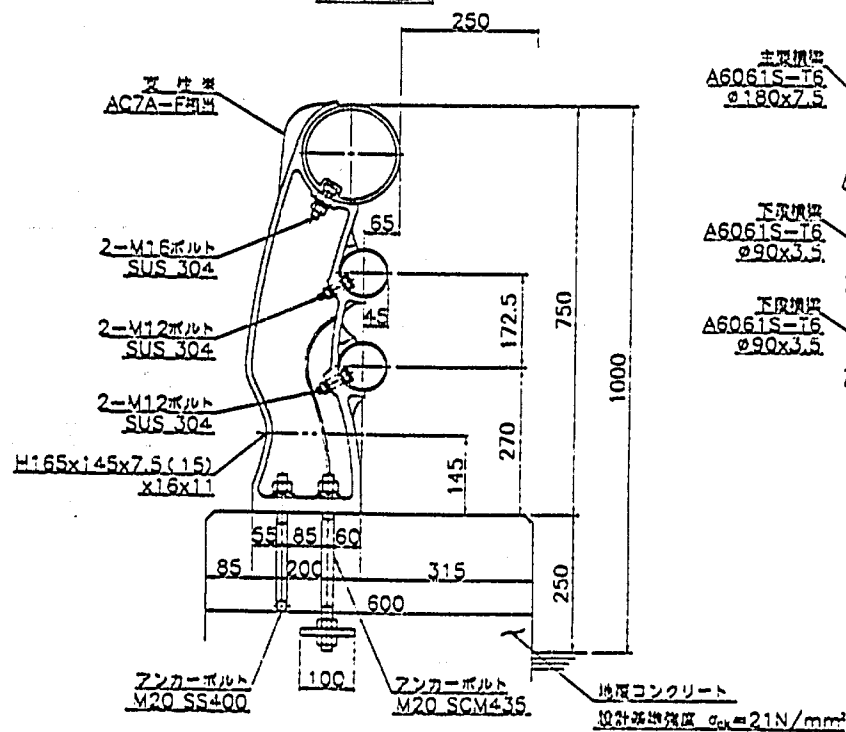
Ha-B-2.0B-P2静荷重試験結果



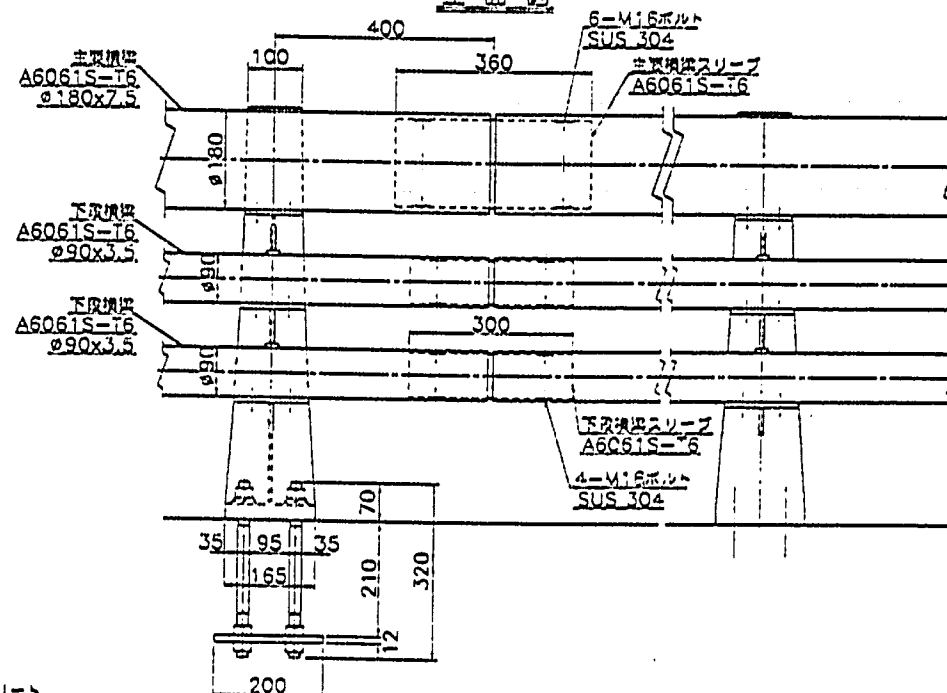
構成部材	DIMENSION	材質(規格)	静荷重試験結果	備考
支柱	H165X145X7.5X16X11(P2)	AC7A-F相当(JIS H5202)	$P_w=33.6\text{kN}$	$P_{\max}=39.3\text{kN}$
主要横梁	$\phi 130\text{X}5$	A6061S-T6(JIS H4100)	$M_o=17.2\text{kN}\cdot\text{m}$	$M_o=L\cdot P_o/4, L=2(\text{m})$
下段横梁	$\phi 110\text{X}3.5$	A6061S-T6(JIS H4100)	$M_o=10.8\text{kN}\cdot\text{m}$	$M_o=L\cdot P_o/4, L=2(\text{m})$
横梁合計			$\Sigma M_o=28.0\text{kN}\cdot\text{m}$	



側面図



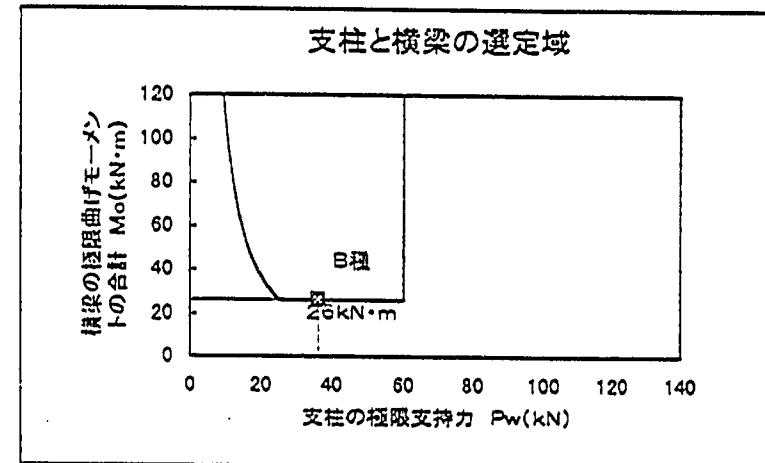
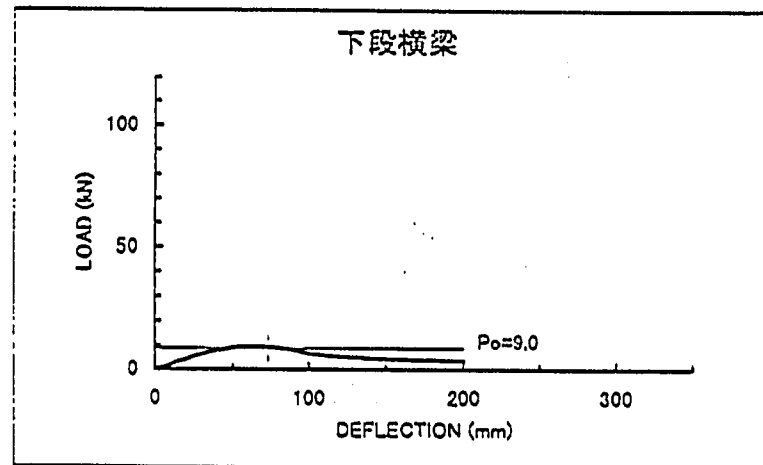
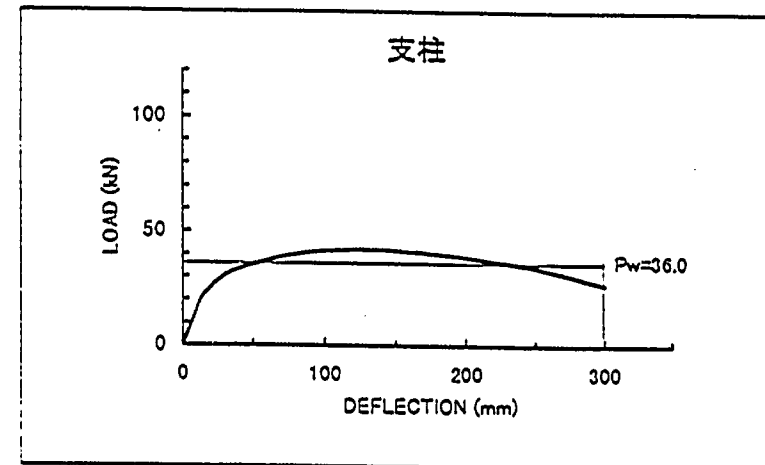
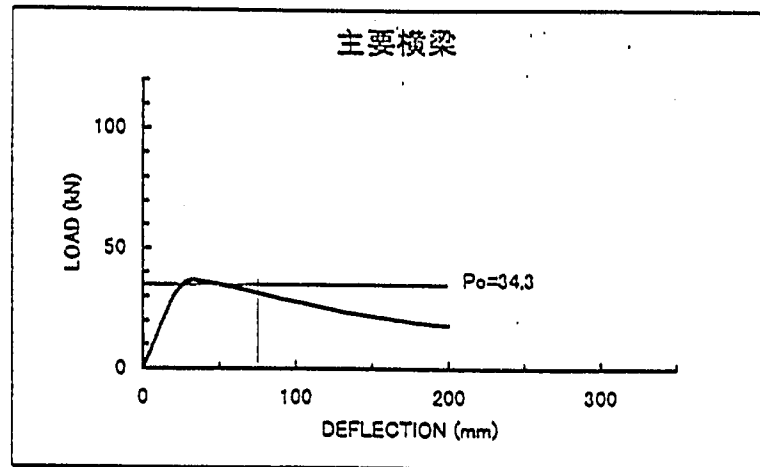
正面図



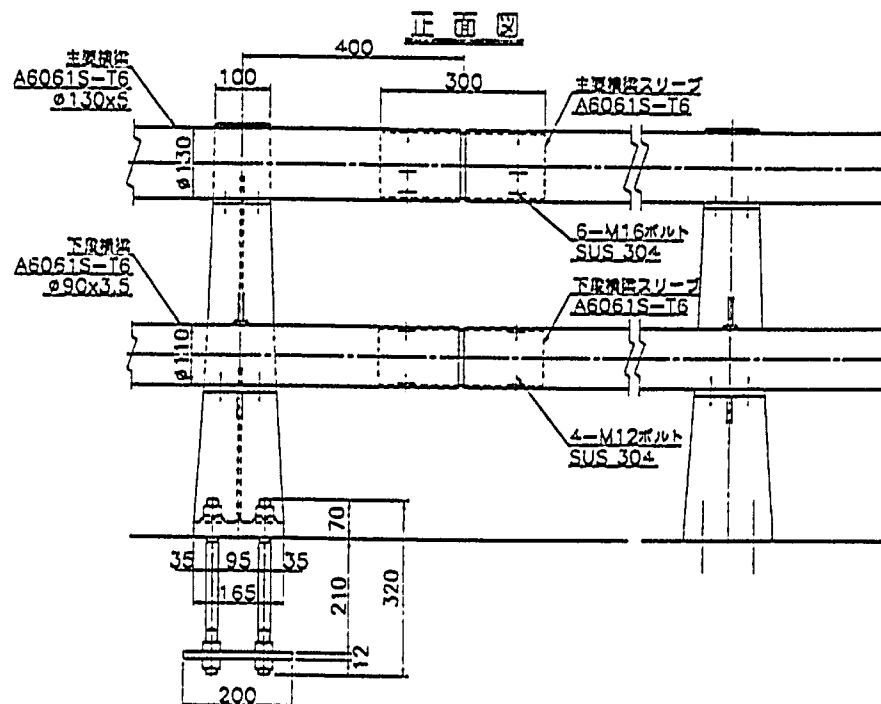
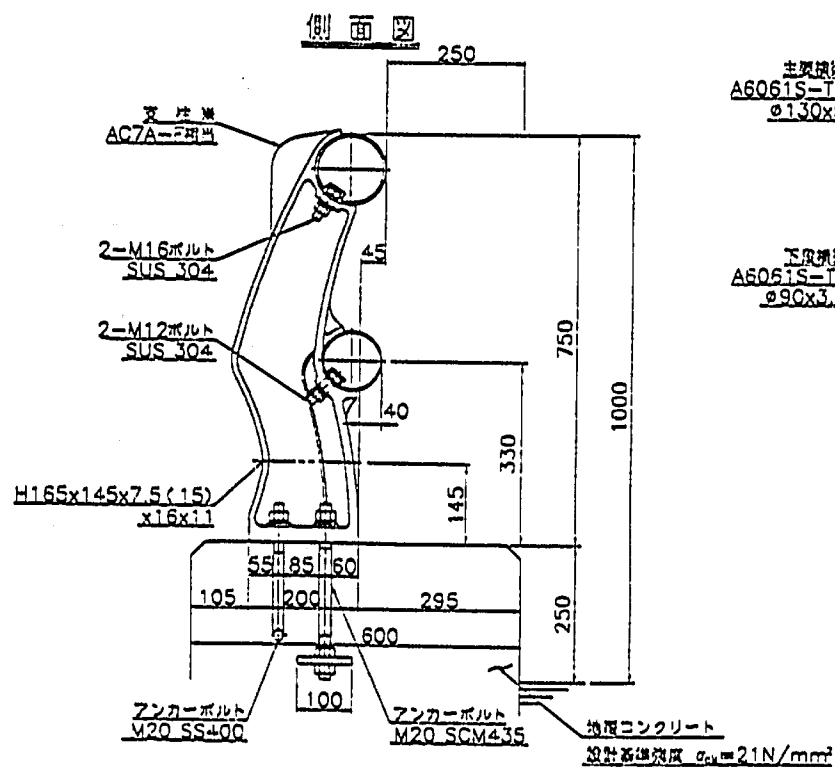
種別	強度 (kJ)	防護網の厚み (mm)	車両重心加速度 ($\text{m/s}^2/10\text{ms}$)	参考質量 (kg/m)
A	130 以上	0.3 以下	180 未満	27.9

* 此物又はAC7Aベースに化学成分を指定し、伸び15%以上、引張強さ140N/mm²以上を確保するものとする。

Ha-B-2.0B-P3静荷重試験結果

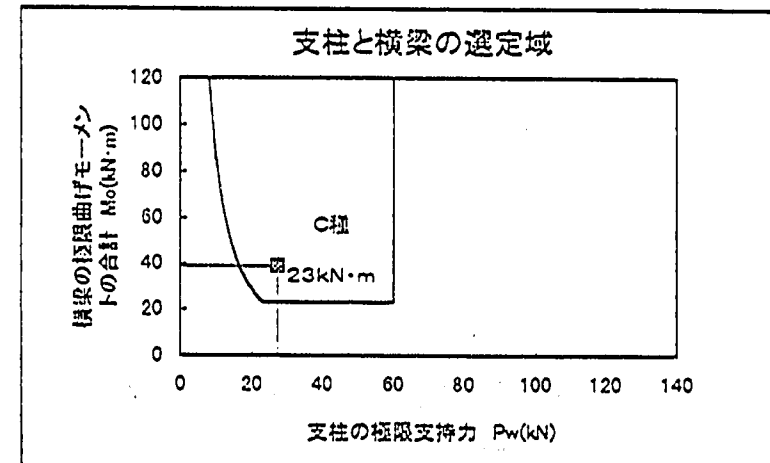
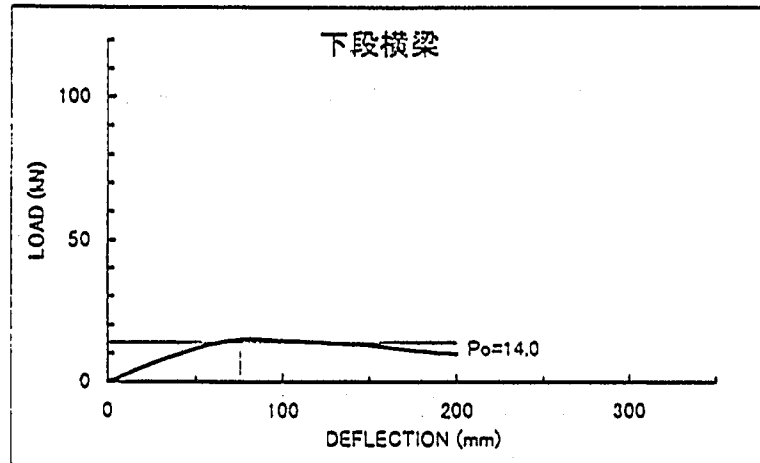
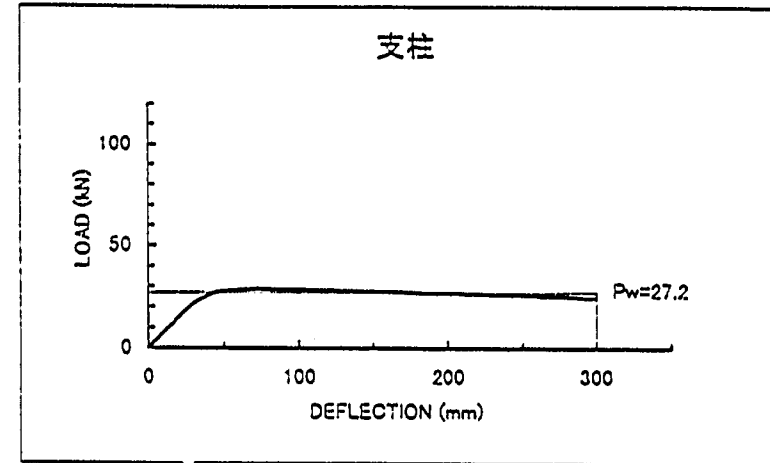
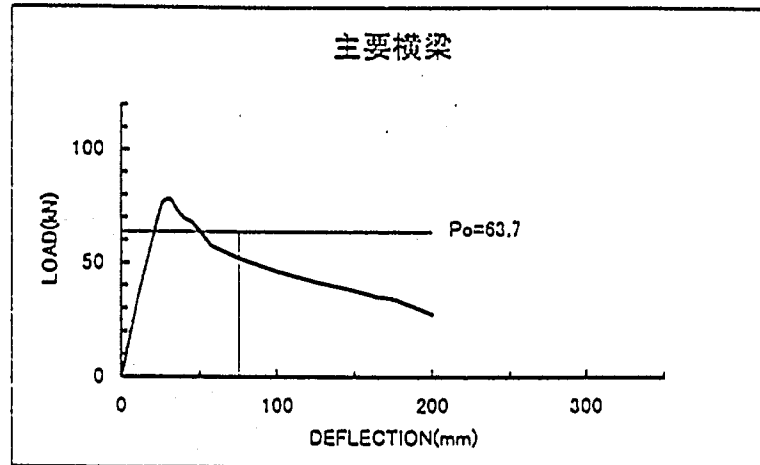


構成部材	DIMENSION	材質(規格)	静荷重試験結果	備考
支柱	H165X145X7.5X16X11(P3)	AC7A-F相当(JIS H5202)	$P_w=36.0kN$	$P_{max}=41.9kN$
主要横梁	$\phi 130X5$	A6061S-T6(JIS H4100)	$M_o=17.2kN \cdot m$	$M_o=L \cdot P_o/4, L=2(m)$
下段横梁	$\phi 80X3(\times 2本)$	A6061S-T6(JIS H4100)	$M_o=4.5kN \cdot m(\times 2本)$	$M_o=L \cdot P_o/4, L=2(m)$
横梁合計			$\Sigma M_o=26.2kN \cdot m$	

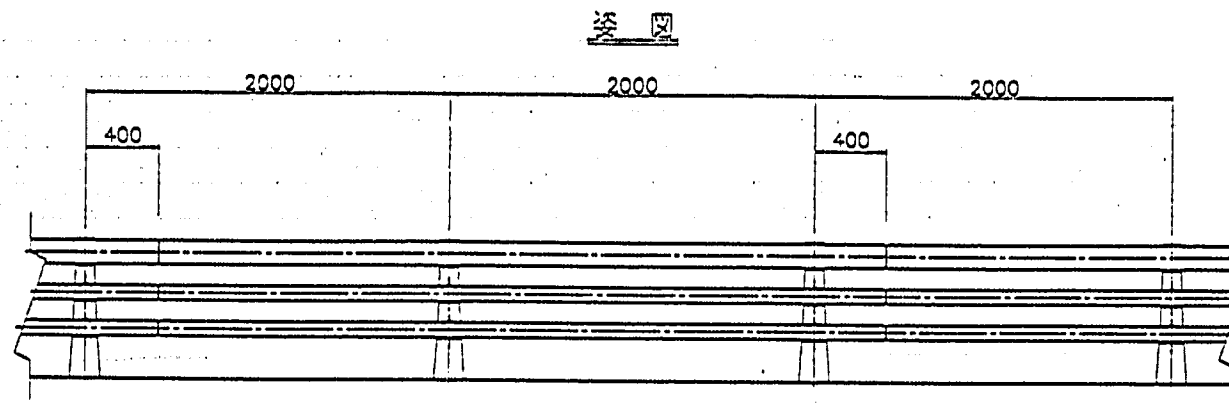


種別	強度 (kJ)	防護樹の變形量 (m)	風荷重心加速度 (m/s ² /10ms)	参考質量 (kg/m)
日	60 以上	0.3 以下	120 未満	19.3

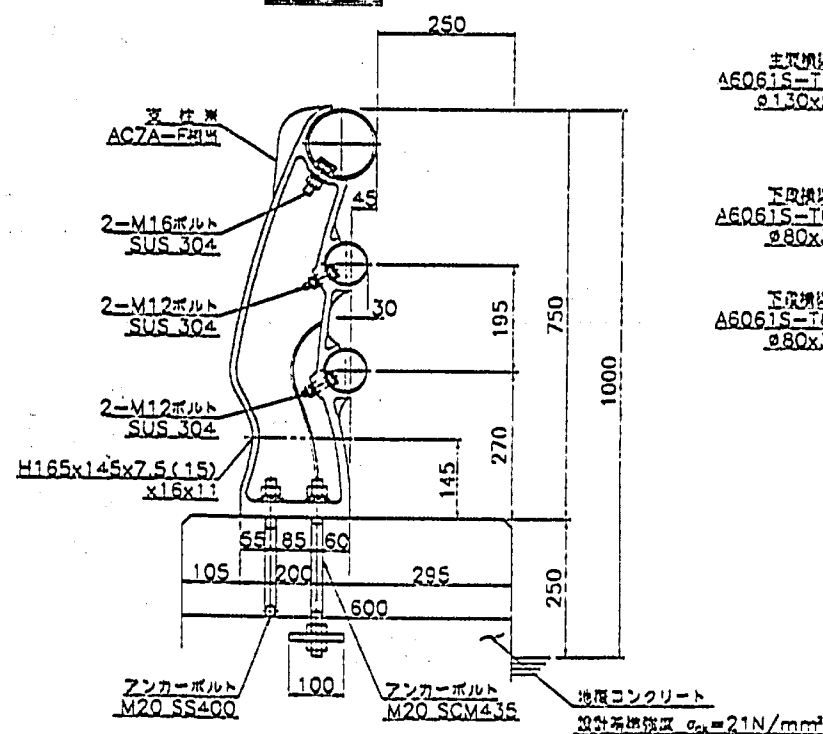
Ha-C-2.0B-S2静荷重試験結果



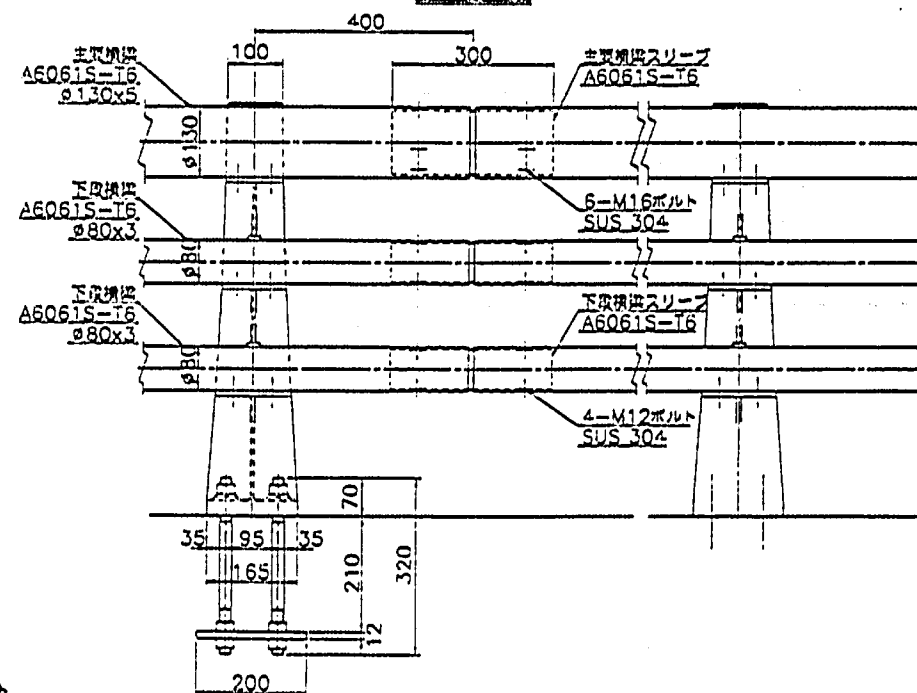
構成部材	DIMENSION	材質(規格)	静荷重試験結果	備考
支柱	□100X90X10X6X5	A6061S-T6(JIS H4100)	$P_w=27.2kN$	$P_{max}=28.9kN$
主要横梁	□165X120X4	A6061S-T6(JIS H4100)	$M_o=31.9kN \cdot m$	$M_o=L \cdot P_o/4, L=2(m)$
下段横梁	□100X45X6X5X3.5	A6061S-T6(JIS H4100)	$M_o=7.0kN \cdot m$	$M_o=L \cdot P_o/4, L=2(m)$
横梁合計			$\Sigma M_o=38.9kN \cdot m$	



側面図



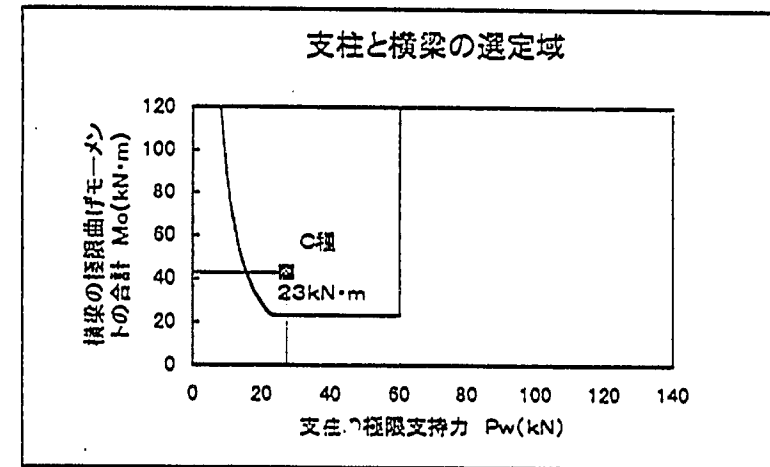
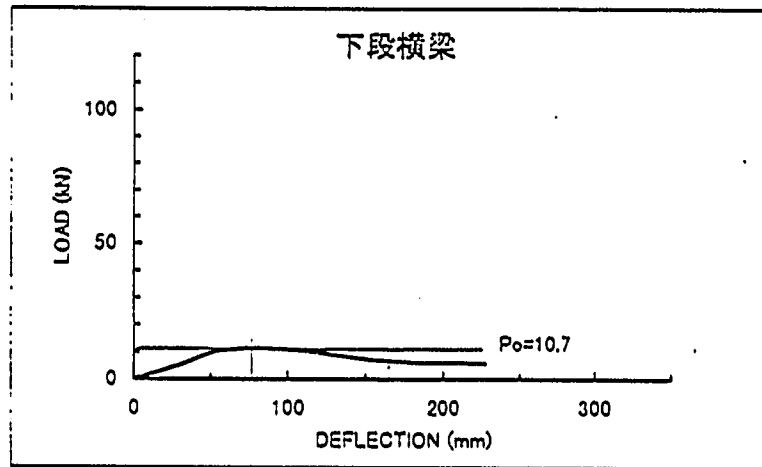
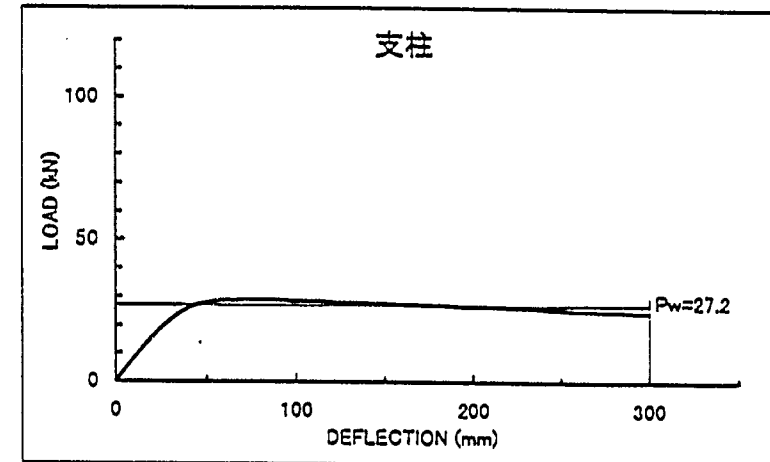
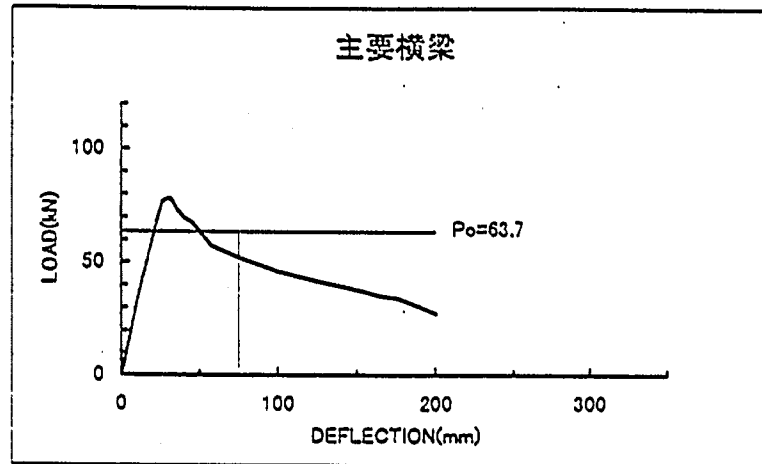
正面図



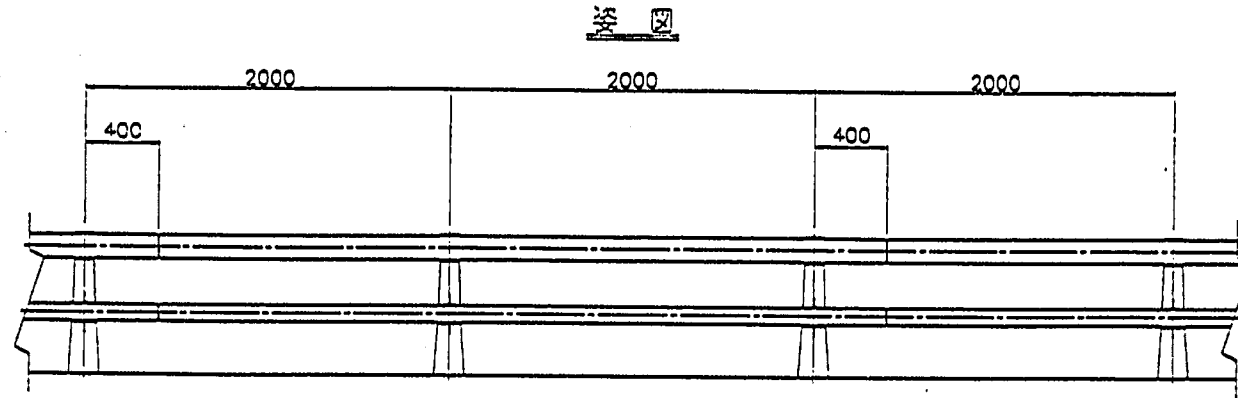
種別	強度 (kJ)	防護網の變形量 (m)	風向風心加速度 ($\text{m/s}^2/10\text{ms}$)	参考質量 (kg/m)
B	60 以上	0.3 以下	120 未満	20.4

* 鋼材又はAC7Aをベースに作業部を調整し、ヤビ15%以上、引張強度140N/mm²以上を確保するものとする。

Ha-C-2.0B-S3静荷重試験結果

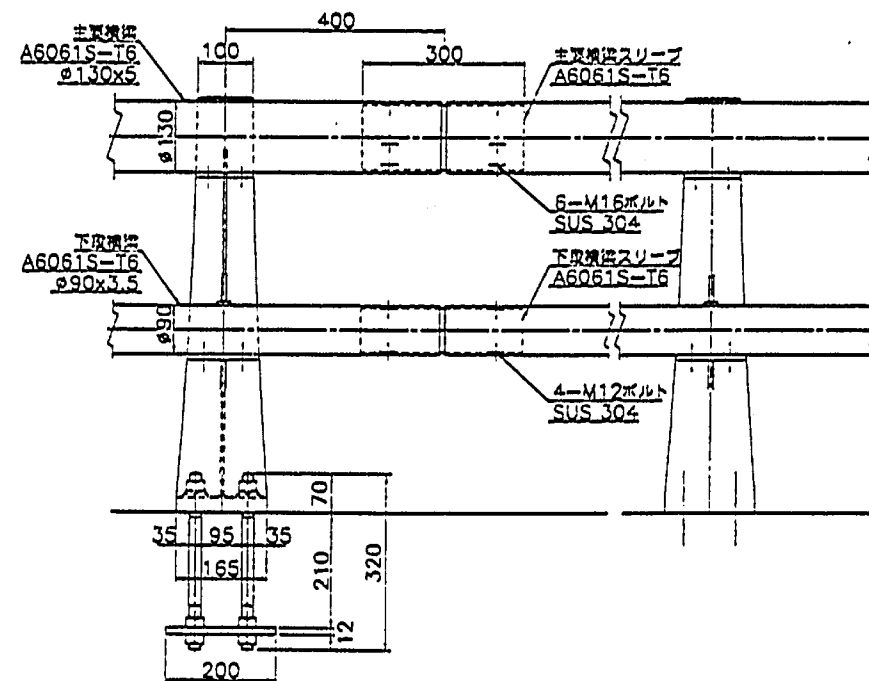
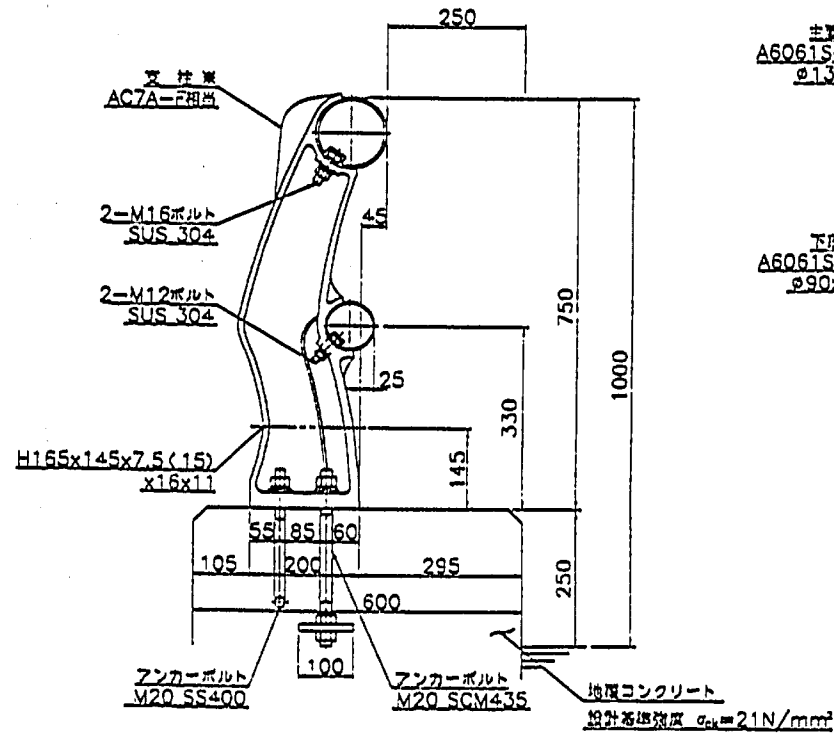


構成部材	DIMENSION	材質(規格)	静荷重試験結果	備考
支柱	□100X90X10X6X5	A6061S-T6(JIS H4100)	$P_w=27.2kN$	$P_{max}=28.9kN$
主要横梁	□165X120X4	A6061S-T6(JIS H4100)	$M_o=31.9kN \cdot m$	$M_o=L \cdot P_o/4, L=2(m)$
下段横梁	□100X45X4X3X3(×2本)	A6061S-T6(JIS H4100)	$M_o=5.4kN \cdot m(×2本)$	$M_o=L \cdot P_o/4, L=2(m)$
横梁合計			$\Sigma M_o=42.7kN \cdot m$	



側面図

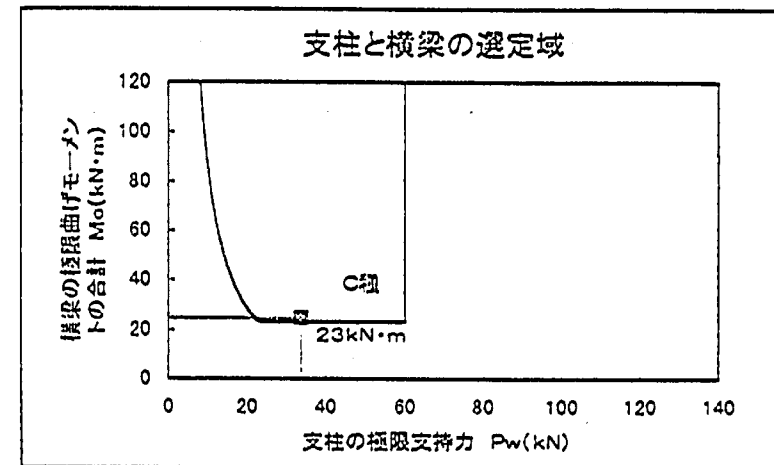
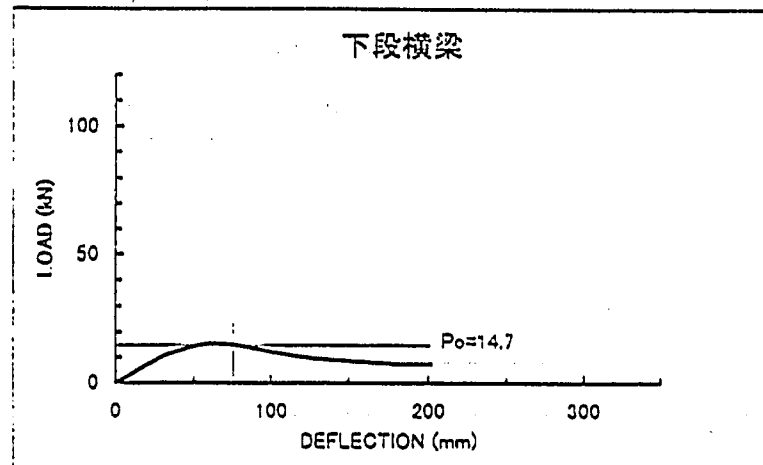
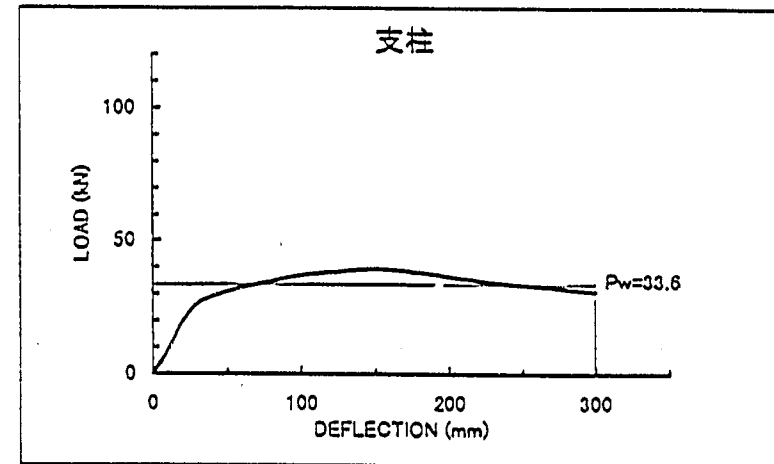
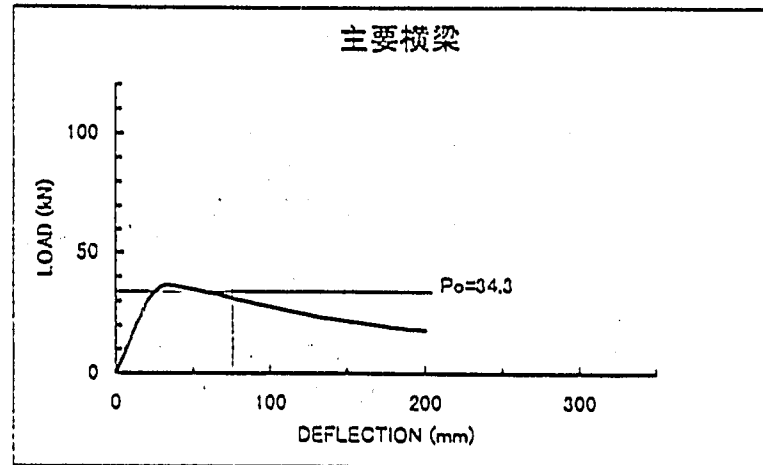
正面図



種別	強度 (kJ)	防護網の変形量 (m)	車両重心加速度 ($\text{m/s}^2/10\text{ms}$)	参考質量 (kg/m)
C	45 以上	0.3 以下	120 未満	18.3

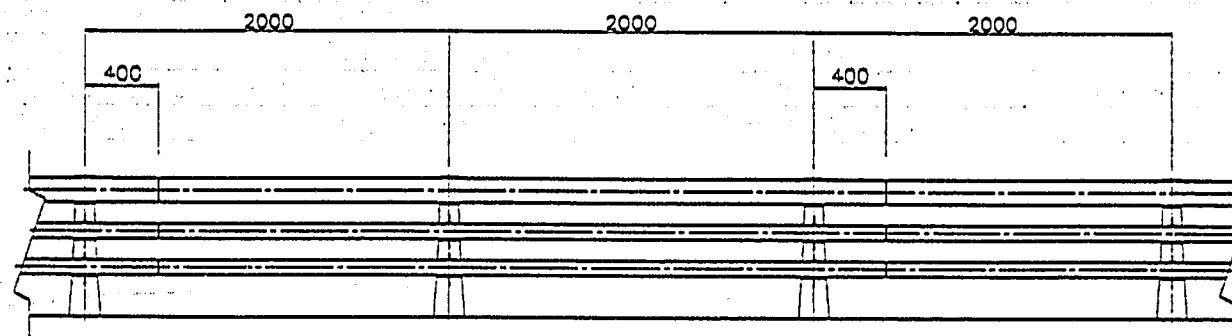
※ 鋼管支柱はAC7Aをベースに化学成分を調整し、伸び15%以上、引張強度140N/mm²以上を確保するものとする。

Ha-C-2.0B-P2静荷重試験結果

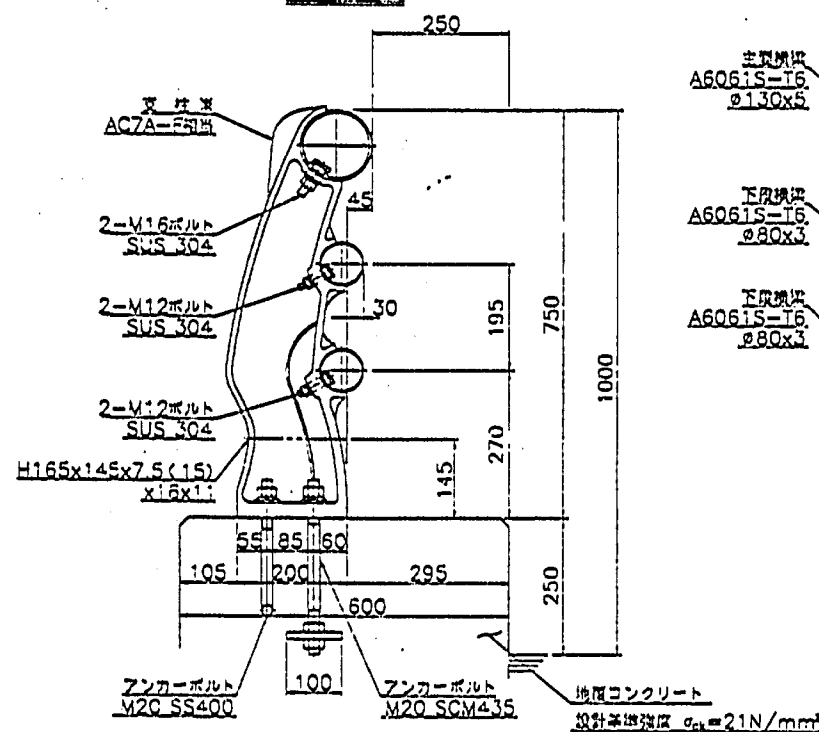


構成部材	DIMENSION	材質(規格)	静荷重試験結果	備考
支柱	H165X145X7.5X16X11(P2)	AC7A-F相当(JIS H5202)	$P_w=33.6 kN$	$P_{max}=39.3 kN$
主要横梁	$\phi 130 \times 5$	A6061 S-T6(JIS H4100)	$M_o=17.2 kN \cdot m$	$M_o=L \cdot P_o/4, L=2(m)$
下段横梁	$\phi 90 \times 3.5$	A6061 S-T6(JIS H4100)	$M_o=7.4 kN \cdot m$	$M_o=L \cdot P_o/4, L=2(m)$
横梁合計			$\Sigma M_o=24.6 kN \cdot m$	

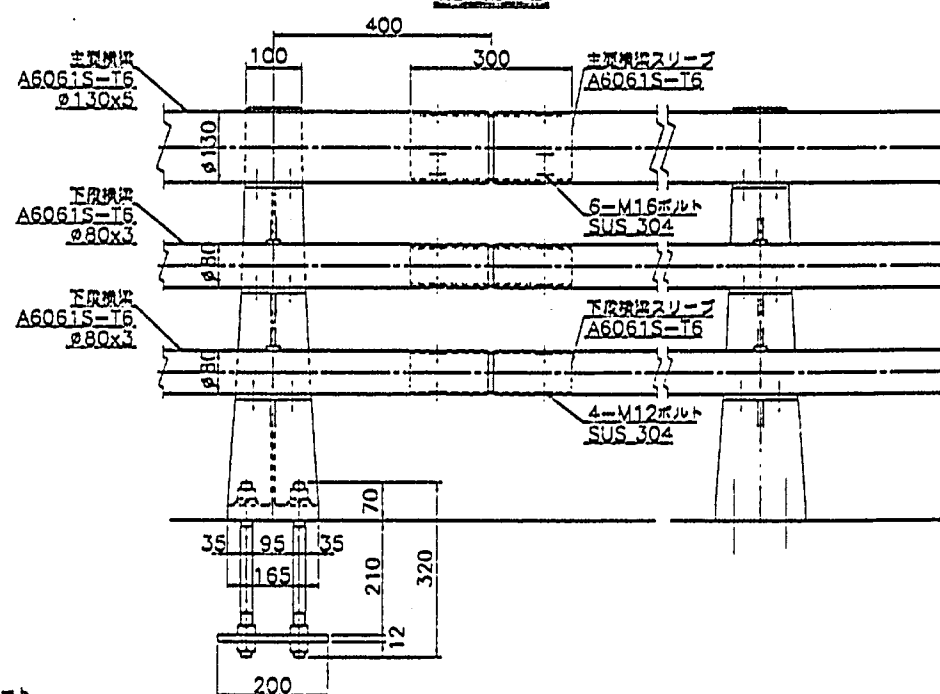
図 1



側面図



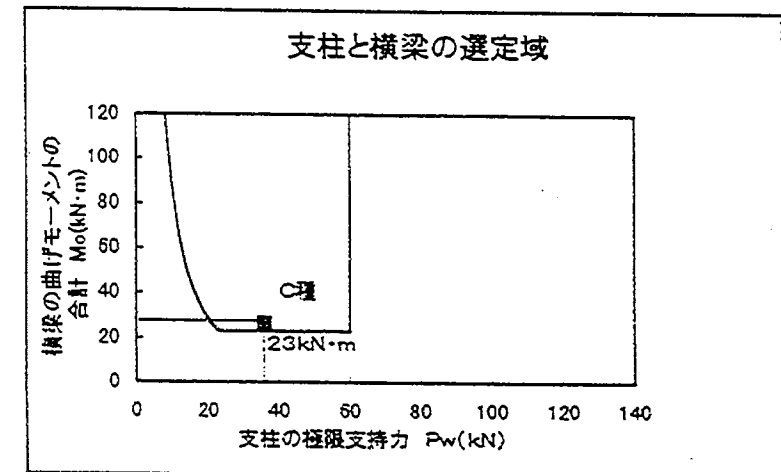
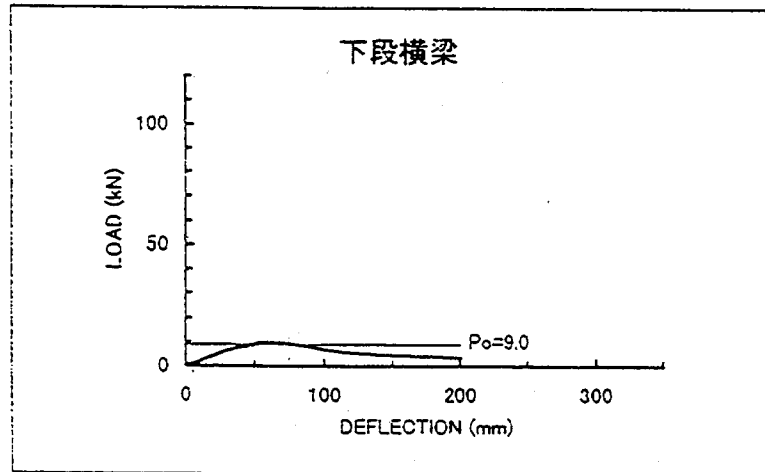
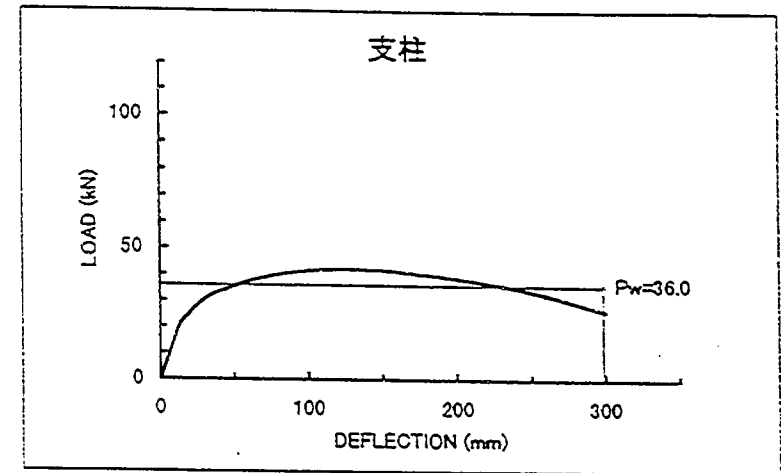
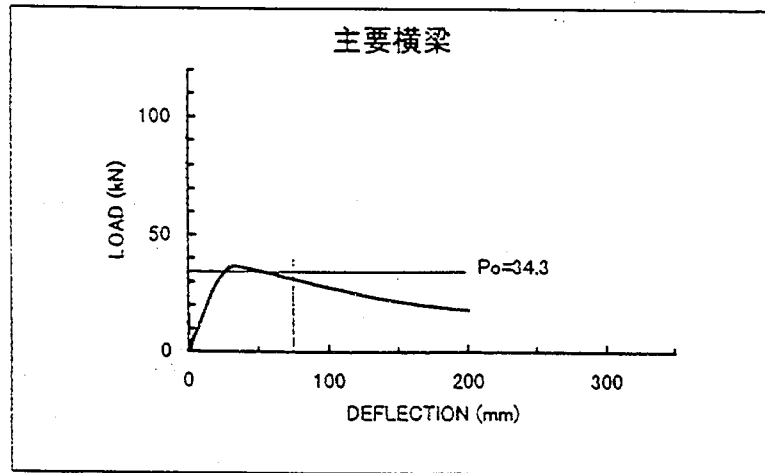
正面図



種別	強度 (kJ)	防護柵の変形量 (m)	車両重心加速度 ($\text{m/s}^2/10\text{ms}$)	参考質量 (kg/m)
C	45 以上	0.3 以下	120 未満	20.4

※ 本図面はAC7Aをベースに化学成分を調整し、伸び15%以上、引張強さ140N/mm²以上を確保するものとする。

Ha-C-2.0B-P3静荷重試験結果



構成部材	DIMENSION	材質(規格)	静荷重試験結果	備考
支柱	H165X145X7.5X16X11(P3)	AC7A-F相当(JIS H5202)	$P_w = 36.0 \text{ kN}$	$P_{\max} = 41.9 \text{ kN}$
主要横梁	$\phi 130 \times 5$	A6061S-T6(JIS H4100)	$M_o = 17.2 \text{ kN} \cdot \text{m}$	$M_o = L \cdot P_o / 4, L = 2(\text{m})$
下段横梁	$\phi 80 \times 3 (\times 2 \text{本})$	A6061S-T6(JIS H4100)	$M_o = 4.5 \text{ kN} \cdot \text{m} (\times 2 \text{本})$	$M_o = L \cdot P_o / 4, L = 2(\text{m})$
横梁合計			$\Sigma M_o = 26.2 \text{ kN} \cdot \text{m}$	

あとがき

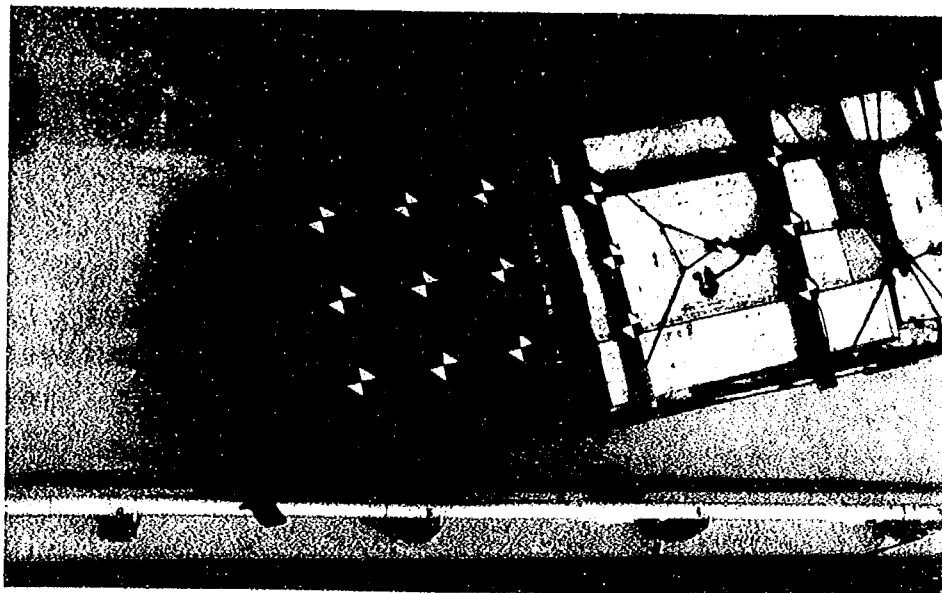
本共同研究により橋梁用ビーム型車両防護柵の新たな設計方法を確立し、これを平成 10 年 11 月に改定された防護柵設置基準に取り込むことができたことは、大きな成果といえる。

ただし、新たな設計方法で実用化された防護柵の現道設置後の機能確認調査や、今回積み残された S S 種の設計方法の確立など、残された課題も多い。今後これらの課題について研究を進め、さらに機能や経済性に優れた防護柵の検討が必要である。

参考文献

- (1) 建設省土木研究所、(社)軽金属協会、『アルミニウム合金製高強度型防護柵の開発に関する共同研究報告書』、共同研究報告書第42号、1990.3
- (2) 建設省土木研究所、(財)土木研究センター、『鋼製高欄型S種防護柵の開発に関する共同研究報告書』、共同研究報告書第74号、1992.3
- (3) 建設省土木研究所、(財)土木研究センター、『急カーブ用防護柵の構造形式及び支柱補強に関する共同研究報告書』、共同研究報告書第41号、1990.3
- (4) 濱田、安藤、岡田、『防護柵の動的支柱強度に関する一考察』、第22回日本道路会議論文集、1997.12
- (5) (社)土木学会、『構造物の衝撃挙動と設計法』、1994.1

参考資料) 実車衝突実験データ集



【付写真1-1】 車輛と対防護柵の位置関係（実験1）



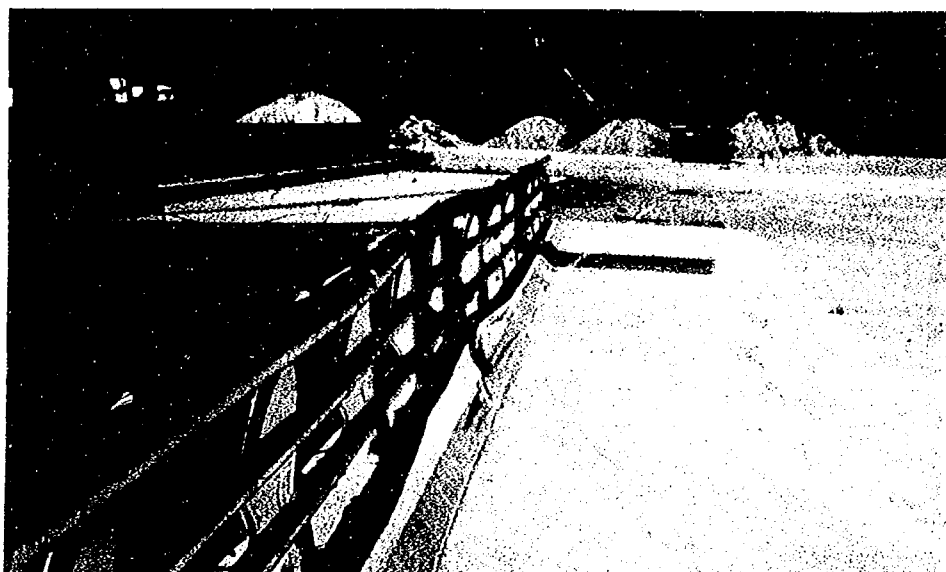
【付写真1-2】 車輛と対防護柵の位置関係（実験1）



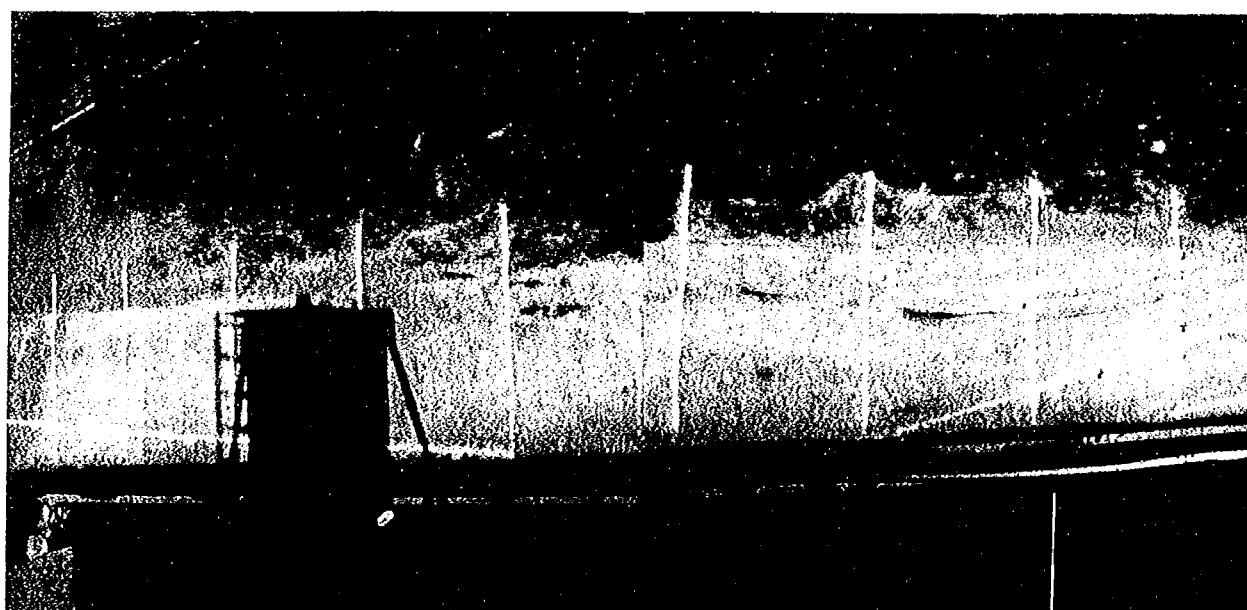
【付写真1-3】 車輛と対防護柵の位置関係（実験1）



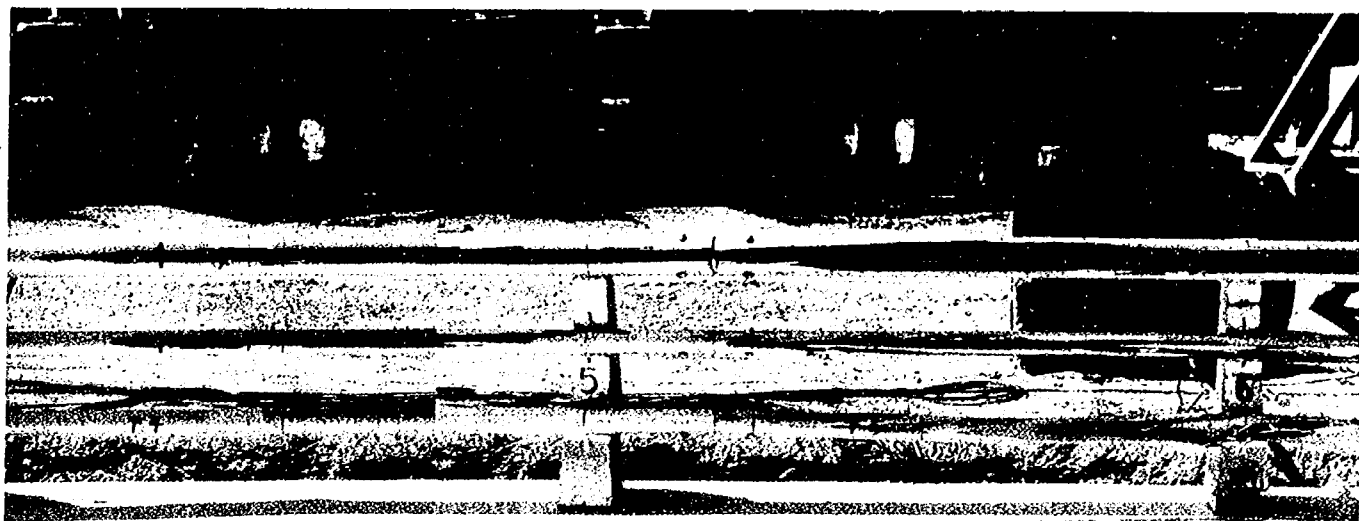
【付写真1-4】 防護柵の残留変型と軌跡状況（実験1）



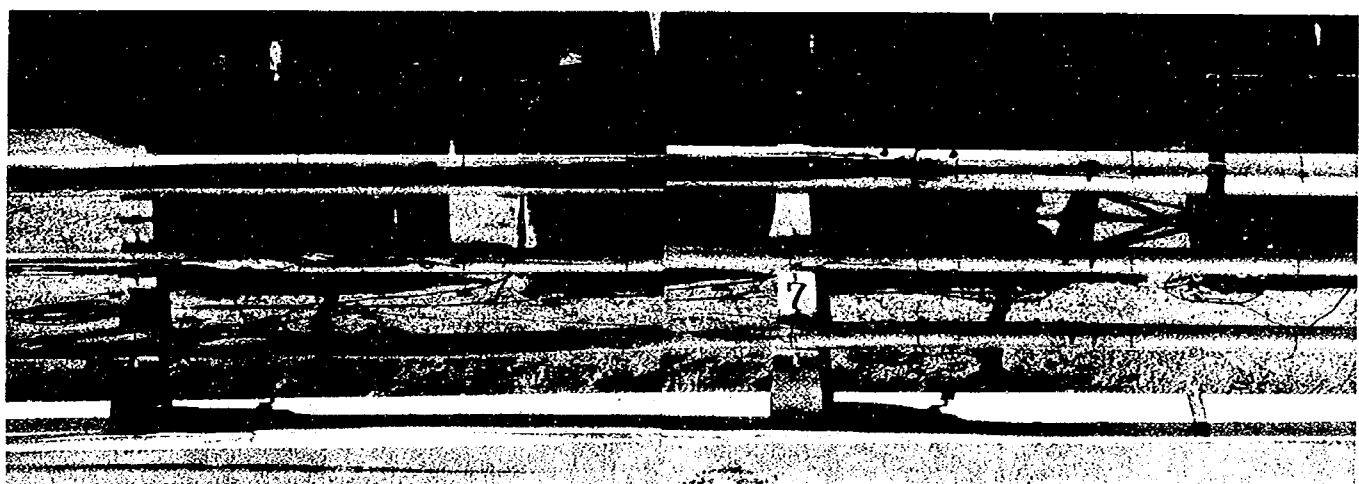
【付写真1-5】 防護柵の残留変型と軌跡状況（実験1）



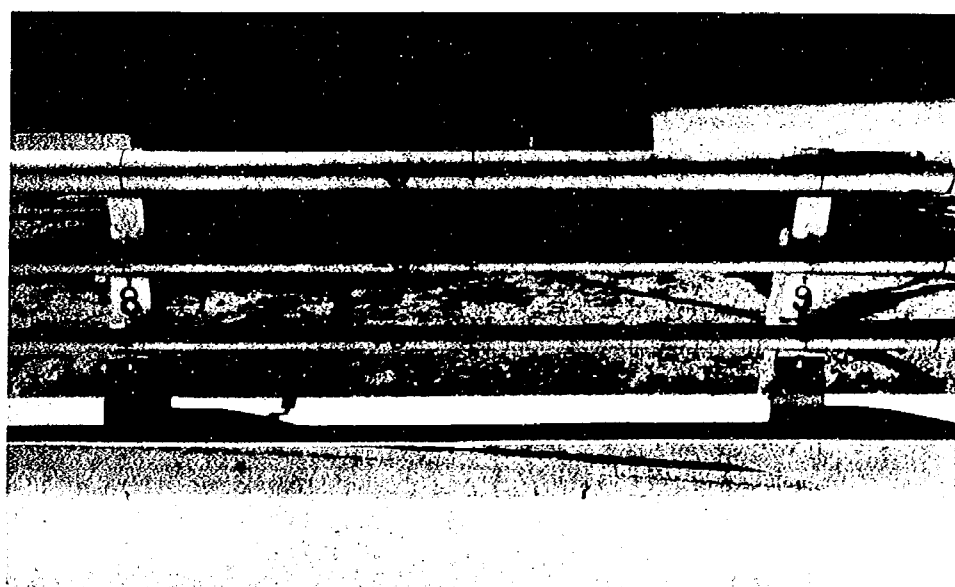
【付写真1-6】 防護柵の残留変型と軌跡状況（実験1）



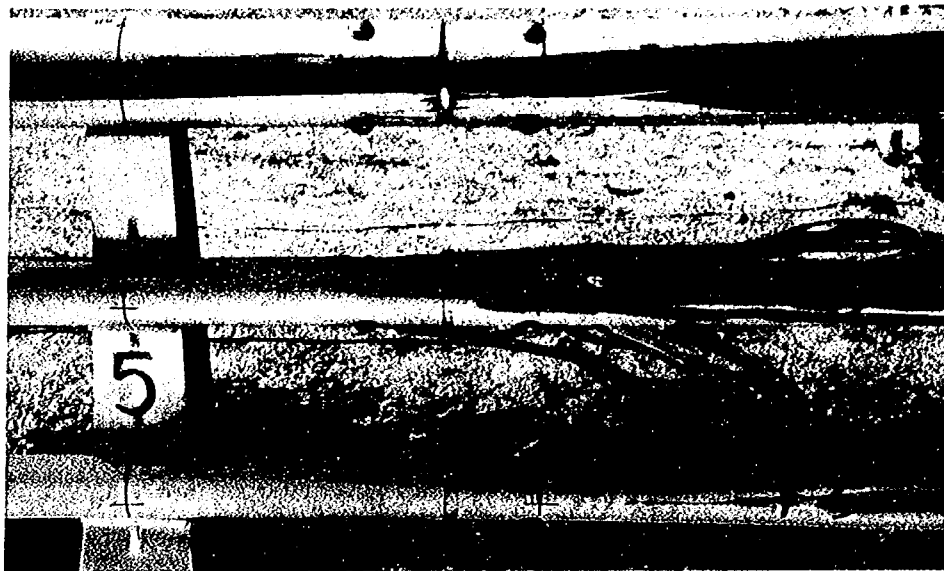
〔付写真1-7〕 防護柵の損傷状況（実験1）



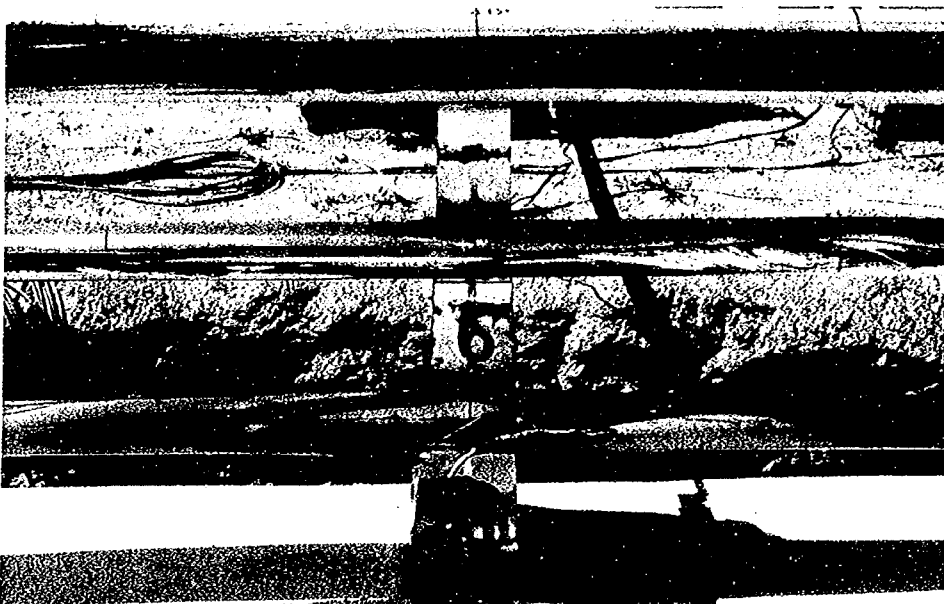
〔付写真1-8〕 防護柵の損傷状況（実験1）



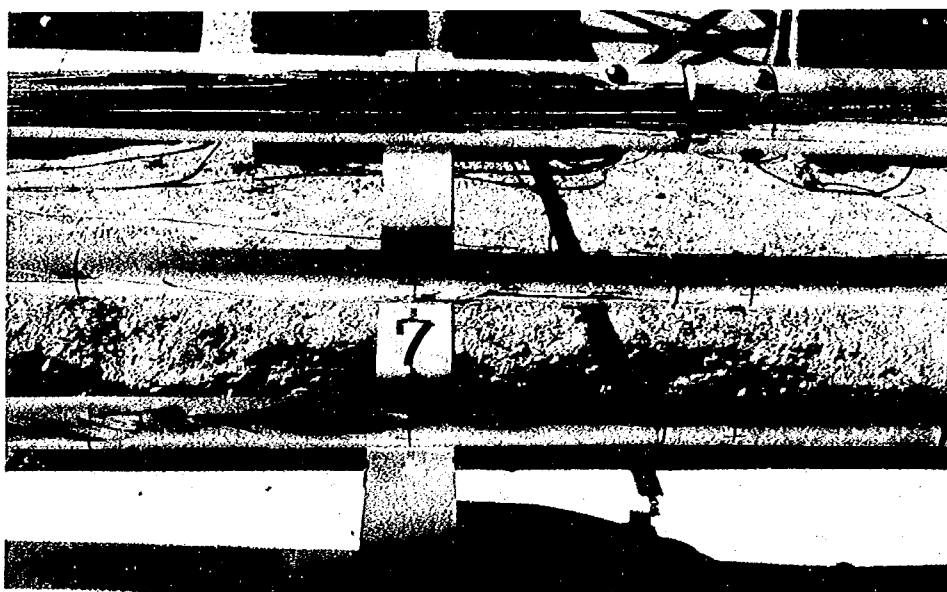
〔付写真1-9〕 防護柵の損傷状況（実験1）



〔付写真1-10〕 防護柵の局部損傷状況（実験1）



〔付写真1-11〕 防護柵の局部損傷状況（実験1）



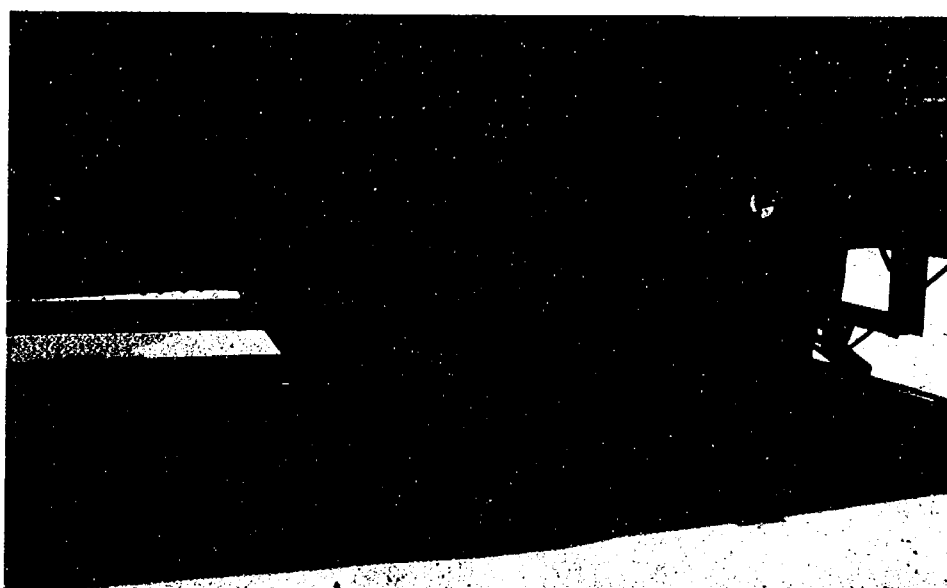
〔付写真1-12〕 防護柵の局部損傷状況（実験1）



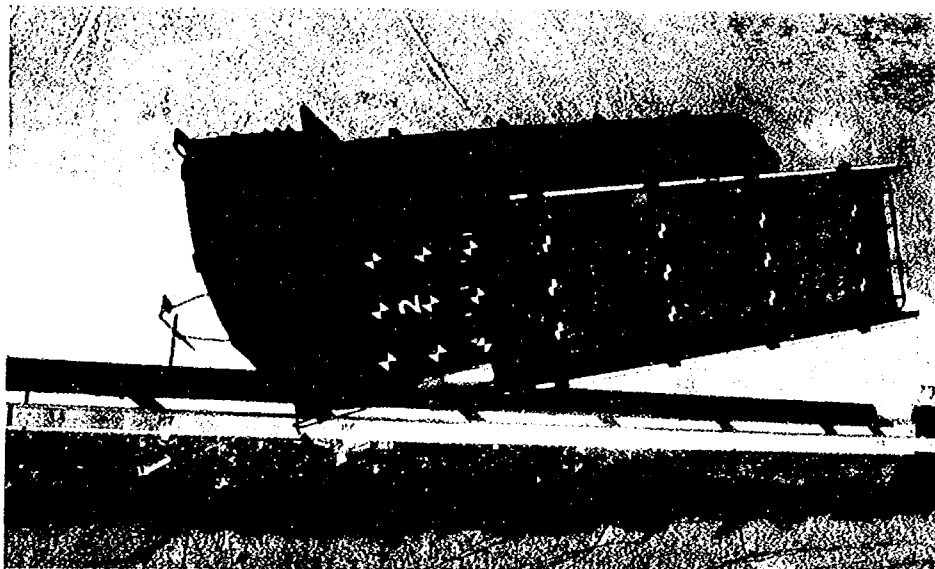
〔付写真1-13〕 車両の損傷状況（実験1）



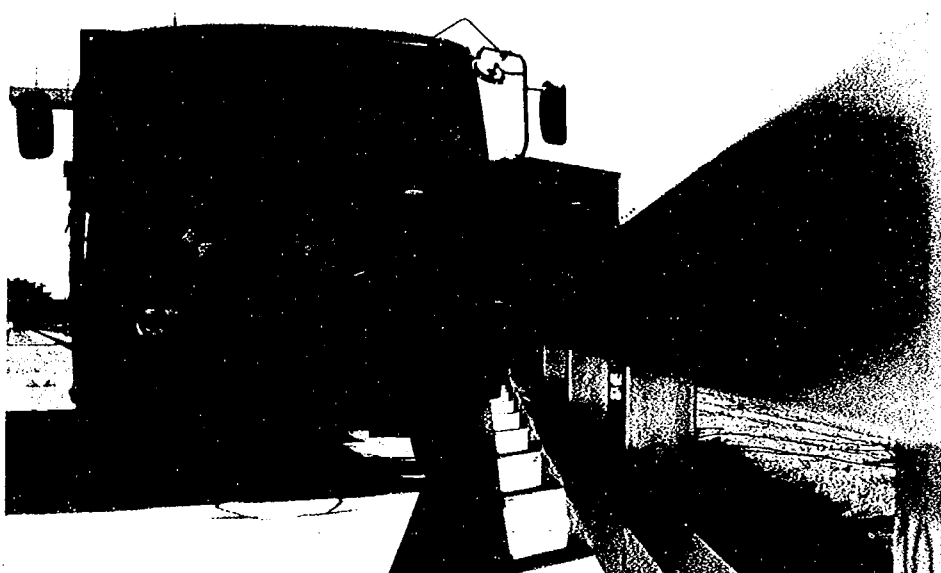
〔付写真1-14〕 車両の損傷状況（実験1）



〔付写真1-15〕 車両の局部損傷状況（実験1）



【付写真1-16】 車両と対防護柵の位置関係（実験2）



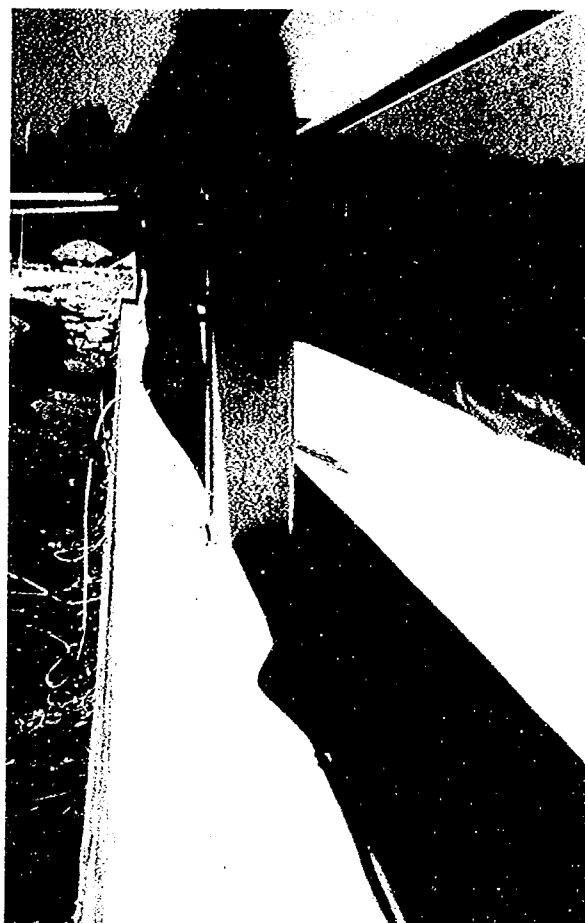
【付写真1-17】 車両と対防護柵の位置関係（実験2）



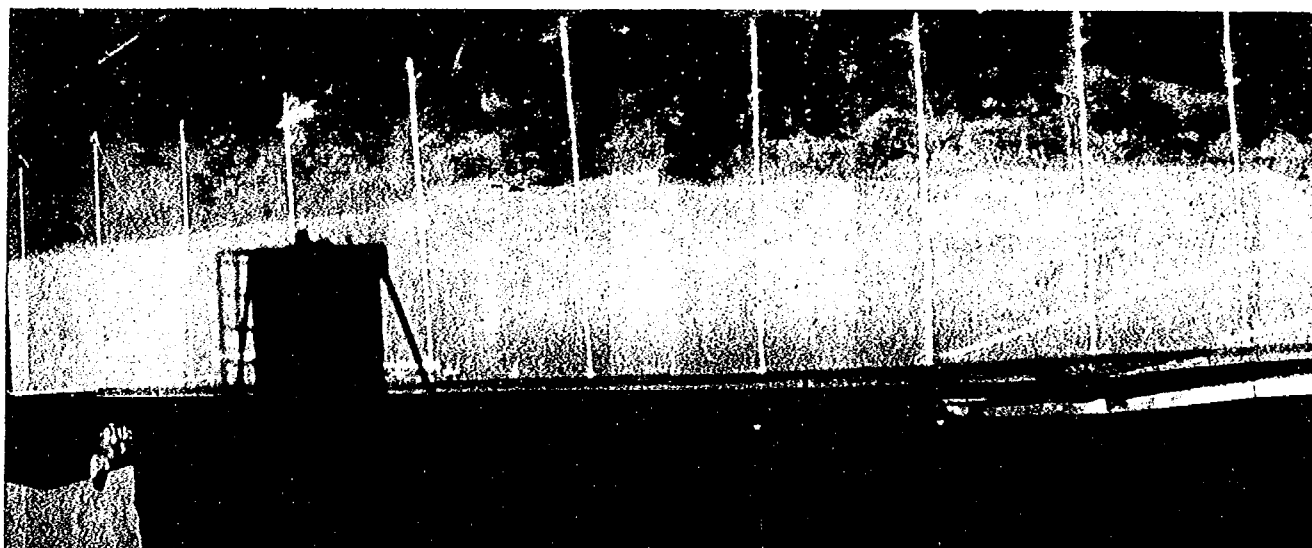
【付写真1-18】 車両と対防護柵の位置関係（実験2）



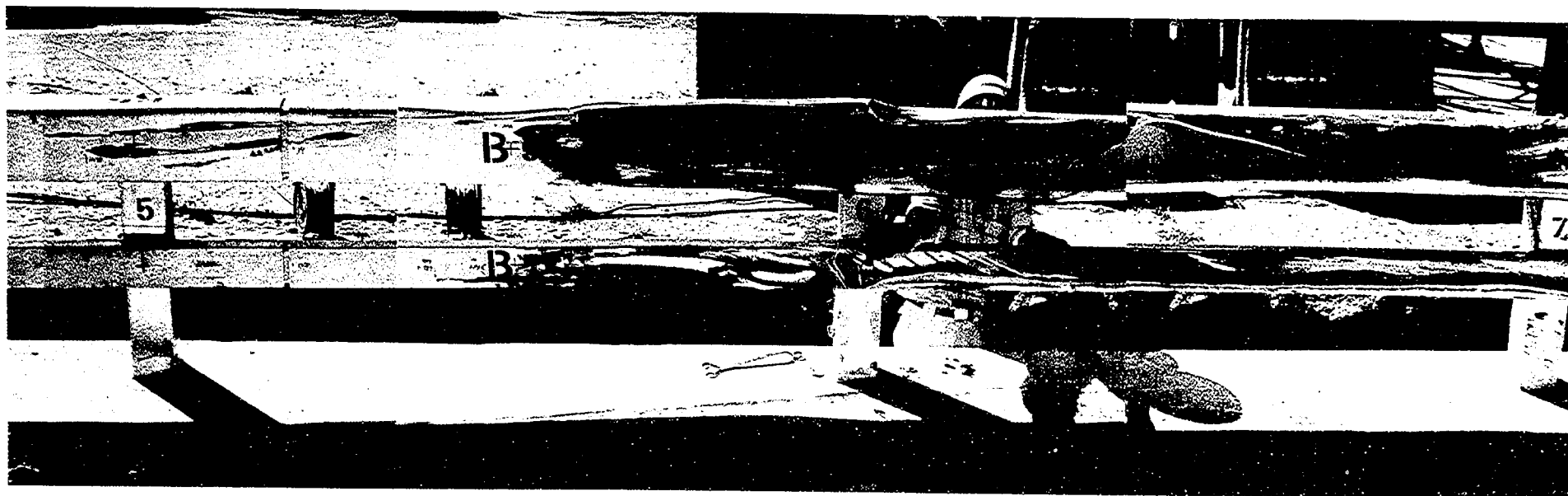
〔付写真1-19〕 防護柵の残留変型と軌跡状況
(実験2)



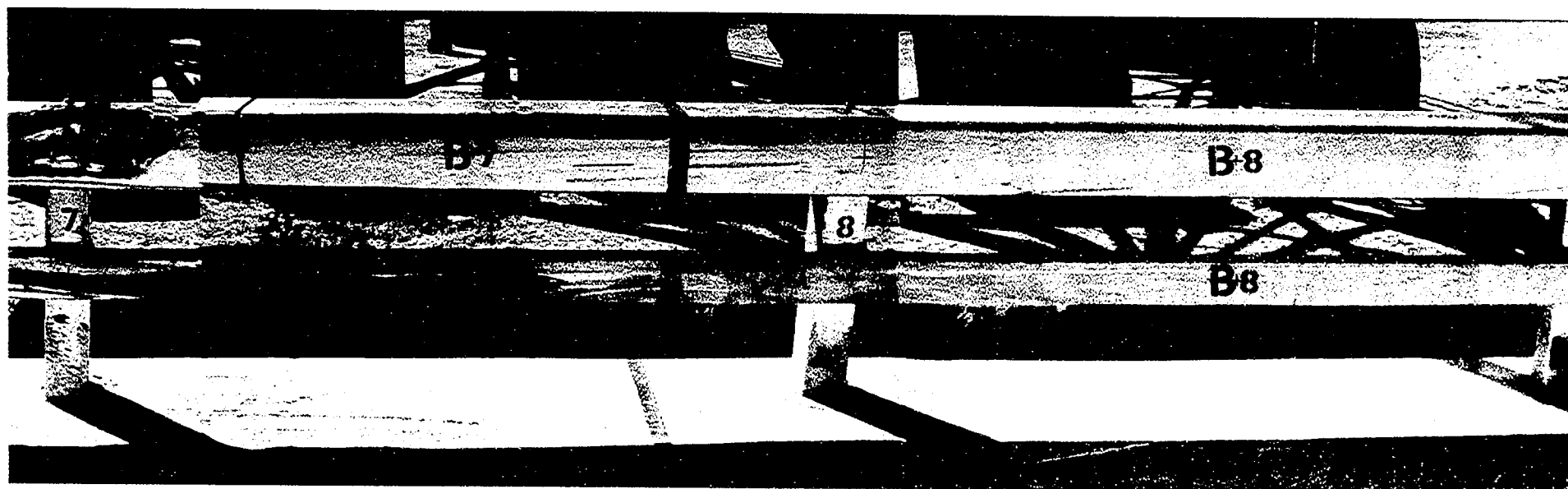
〔付写真1-20〕 防護柵の局部損傷状況 (実験2)



〔付写真1-21〕 防護柵の残留変型と軌跡状況 (実験2)



〔付写真1-22〕 防護柵の損傷状況（実験2）



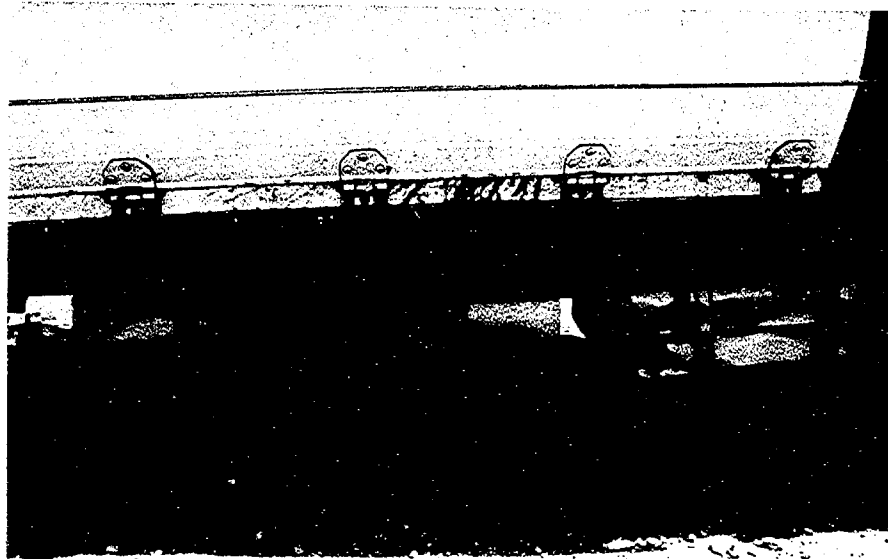
〔付写真1-23〕 防護柵の損傷状況（実験2）



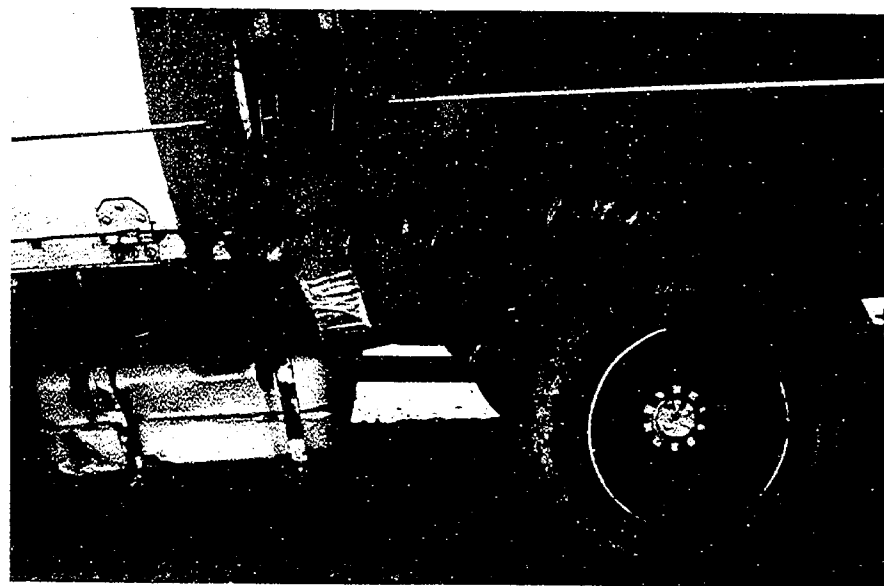
【付写真1-24】 車両の損傷状況（実験2）



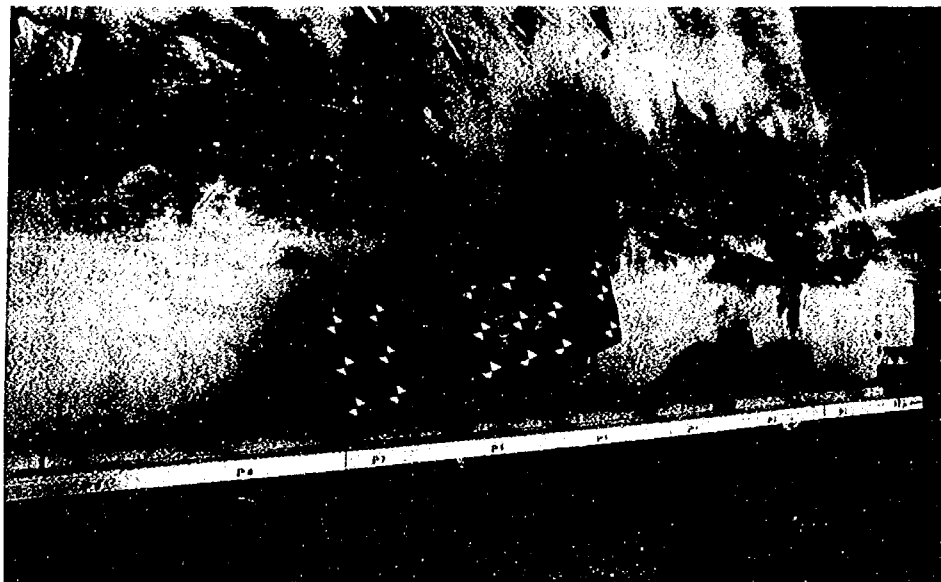
【付写真1-25】 車両の損傷状況（実験2）



【付写真1-26】 車両の損傷状況（実験2）



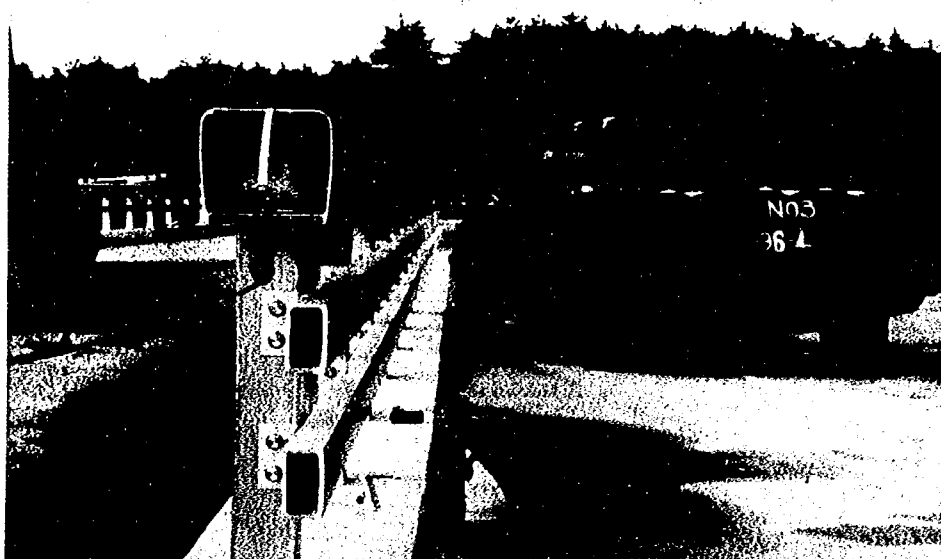
【付写真1-27】 車両の損傷状況（実験2）



〔付写真1-28〕 車両と対防護柵の位置関係（実験3）



〔付写真1-29〕 車両と対防護柵の位置関係（実験3）



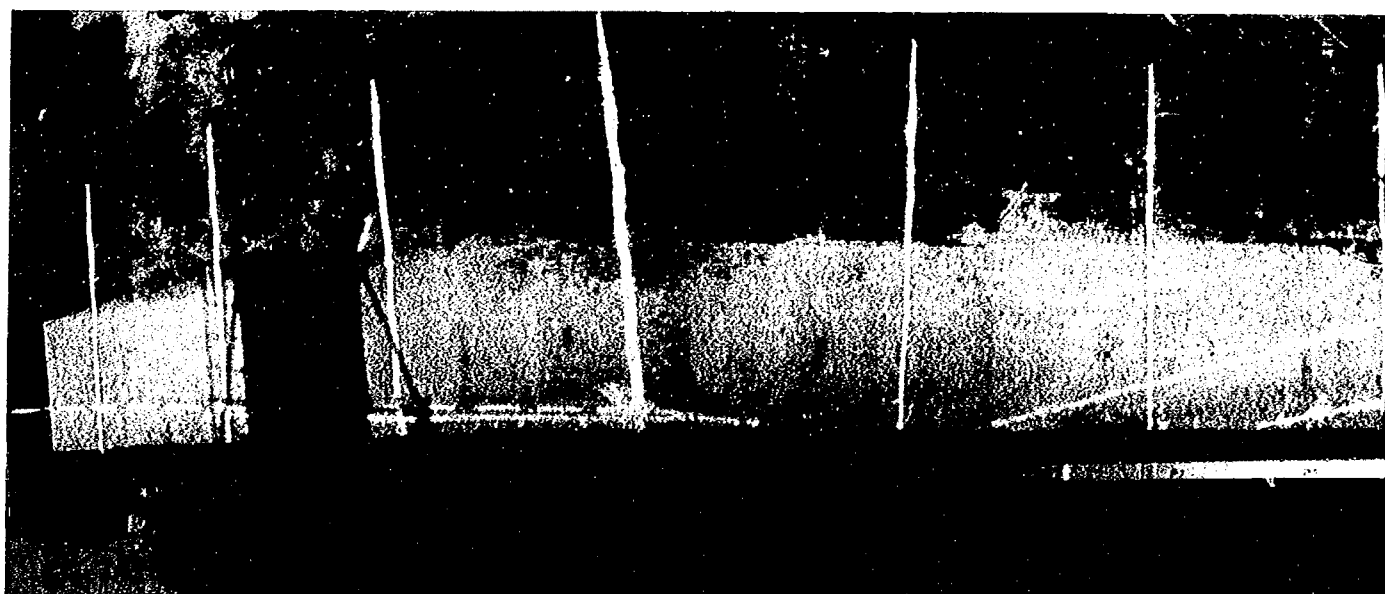
〔付写真1-30〕 車両と対防護柵の位置関係（実験3）



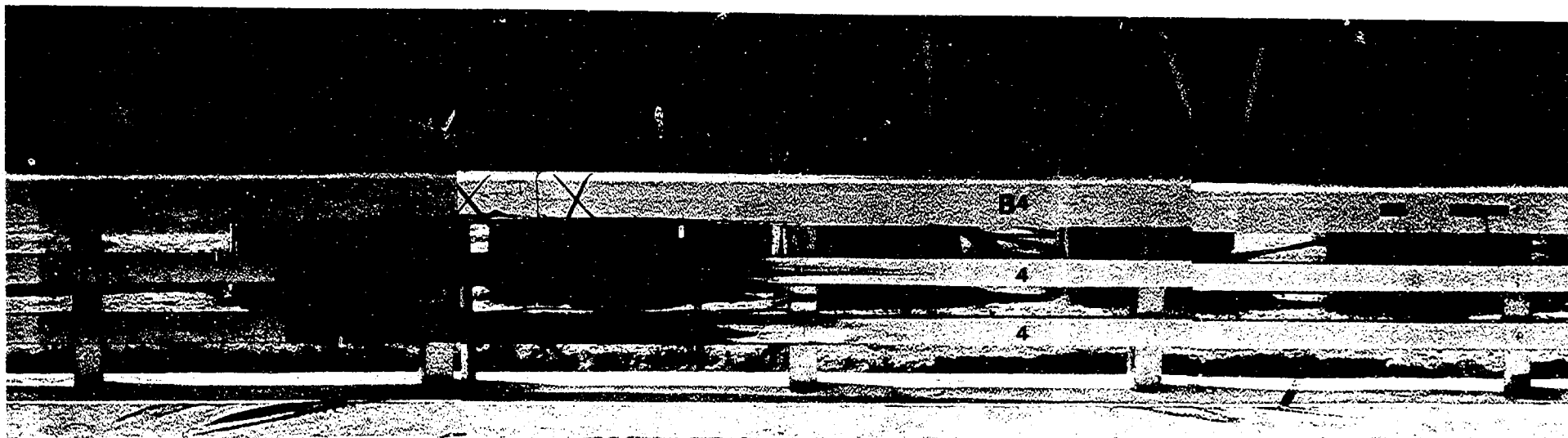
〔付写真1-31〕 防護柵の残留変型と軌跡状況（実験3）



〔付写真1-32〕 防護柵の残留変型と軌跡状況（実験3）



〔付写真1-33〕 防護柵の残留変型と軌跡状況（実験3）



[付写真1-34] 防護柵の損傷状況（実験3）



〔付写真1-35〕 車両の損傷状況（実験3）



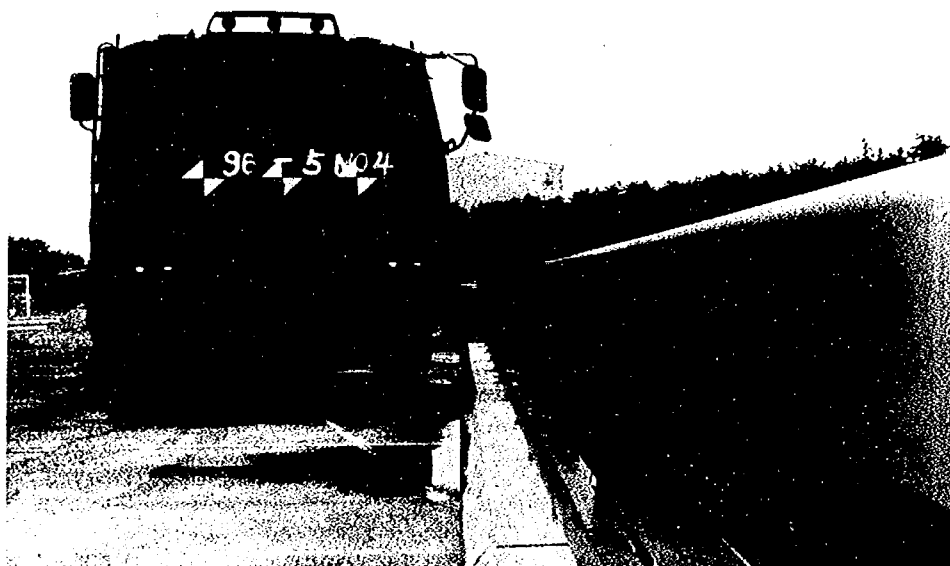
〔付写真1-36〕 車両の損傷状況（実験3）



〔付写真1-37〕 車両の損傷状況（実験3）



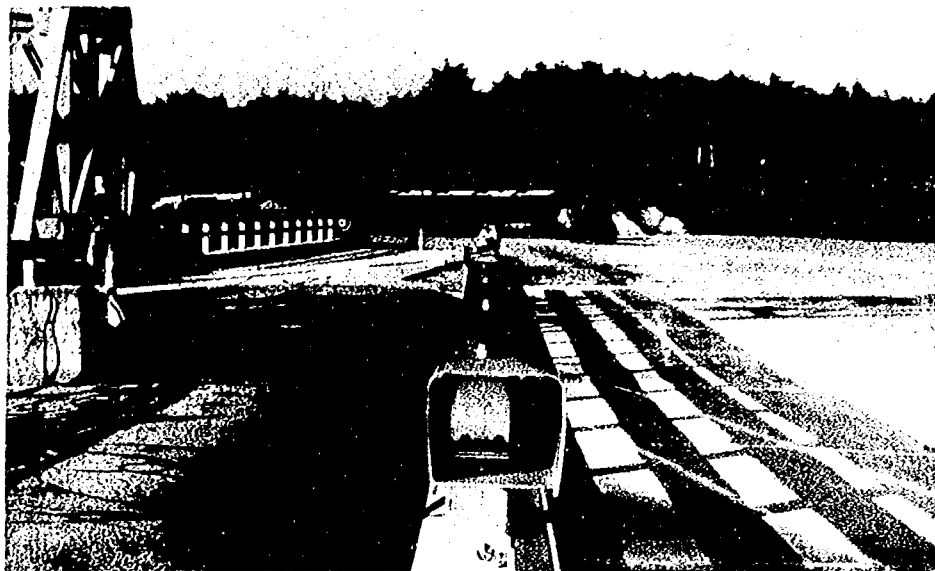
〔付写真1-38〕 車両と対防護柵の位置関係（実験4）



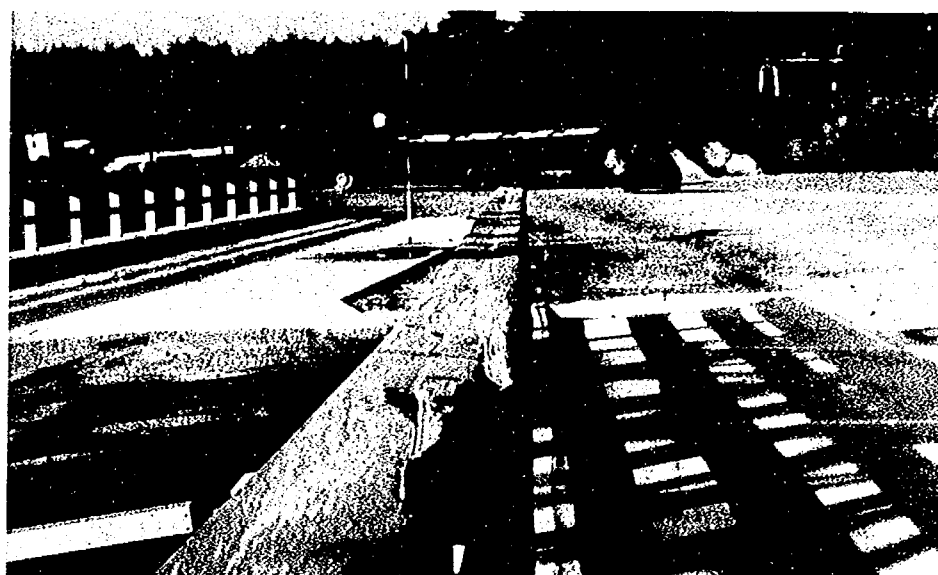
〔付写真1-39〕 車両と対防護柵の位置関係（実験4）



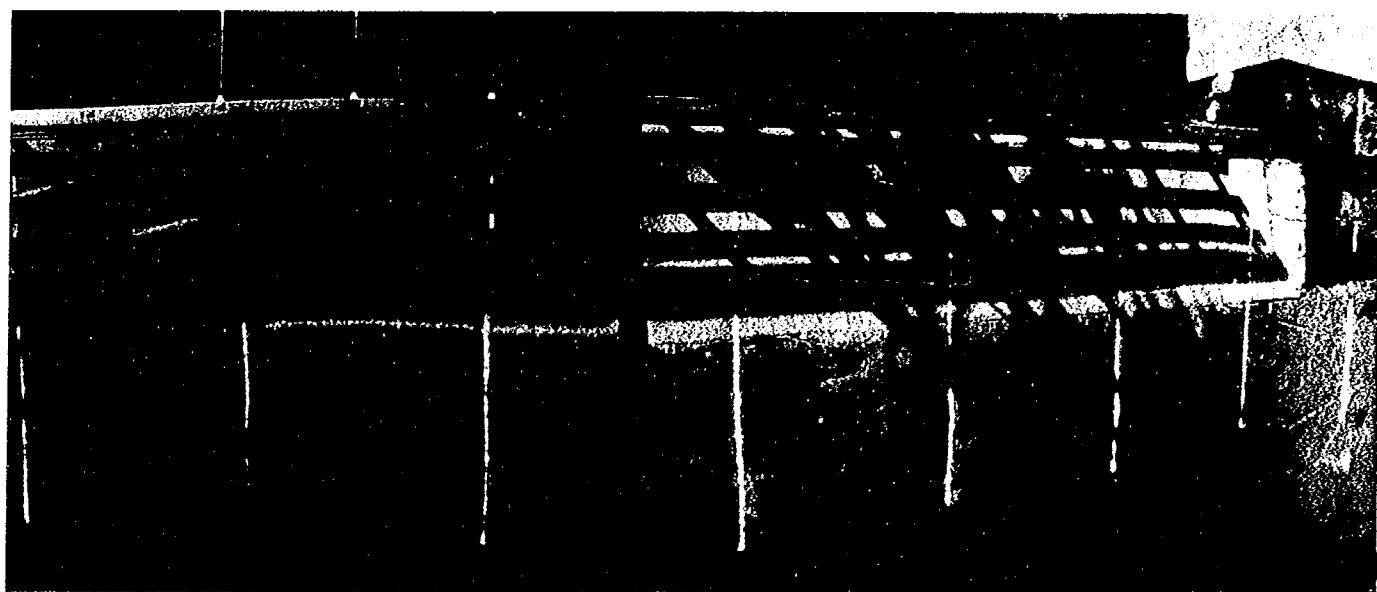
〔付写真1-40〕 車両と対防護柵の位置関係（実験4）



〔付写真1-41〕 対防護柵の残留変型と軌跡状況（実験4）



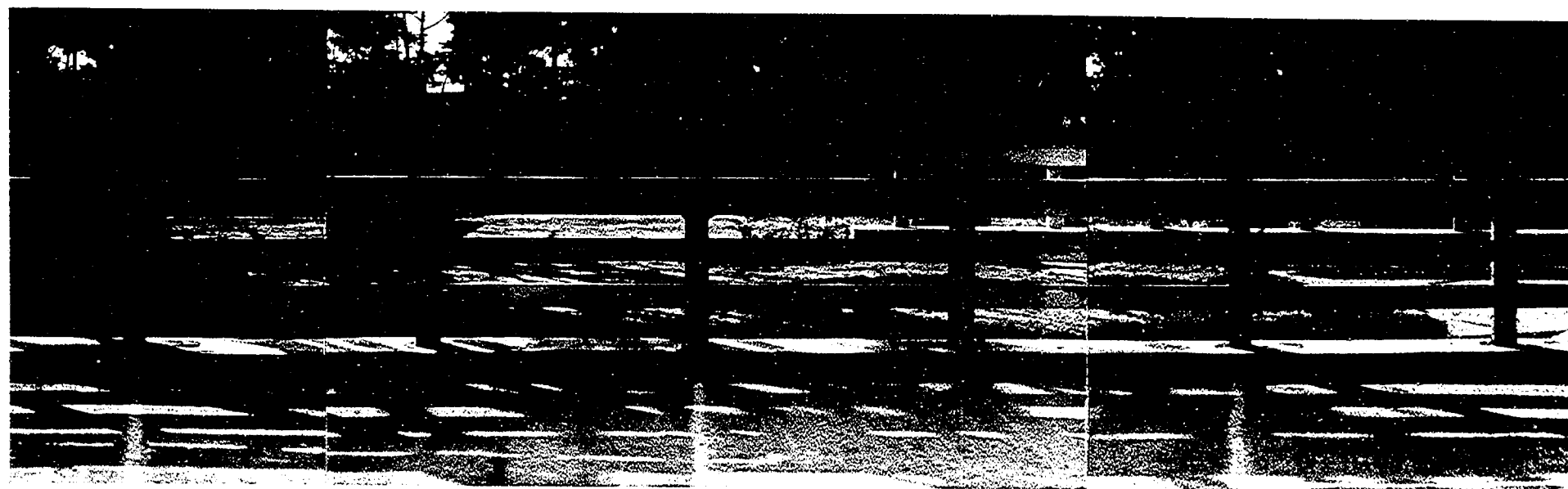
〔付写真1-42〕 防護柵の損傷状況（実験4）



〔付写真1-43〕 防護柵の残留変型と軌跡状況（実験4）



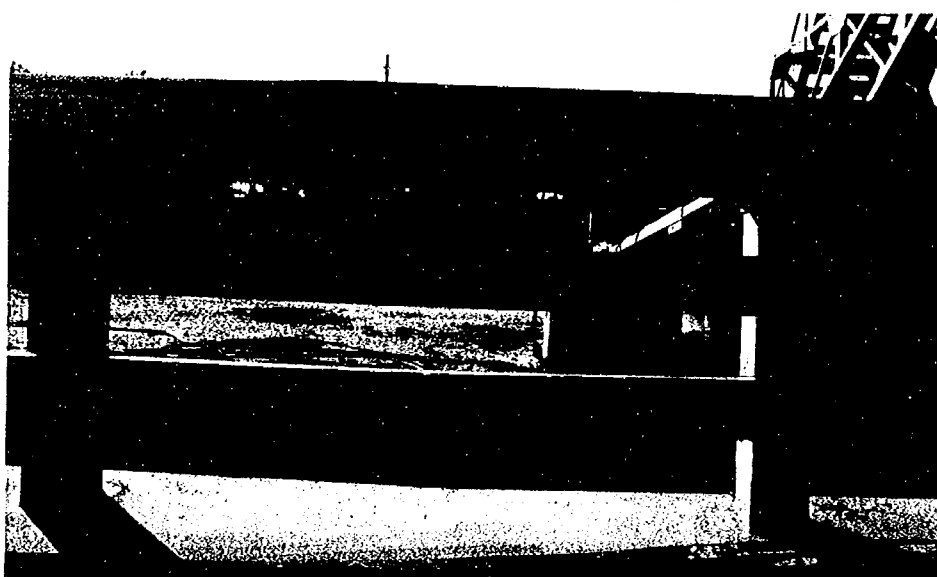
【付写真1-44】 防護柵の損傷状況（実験4）



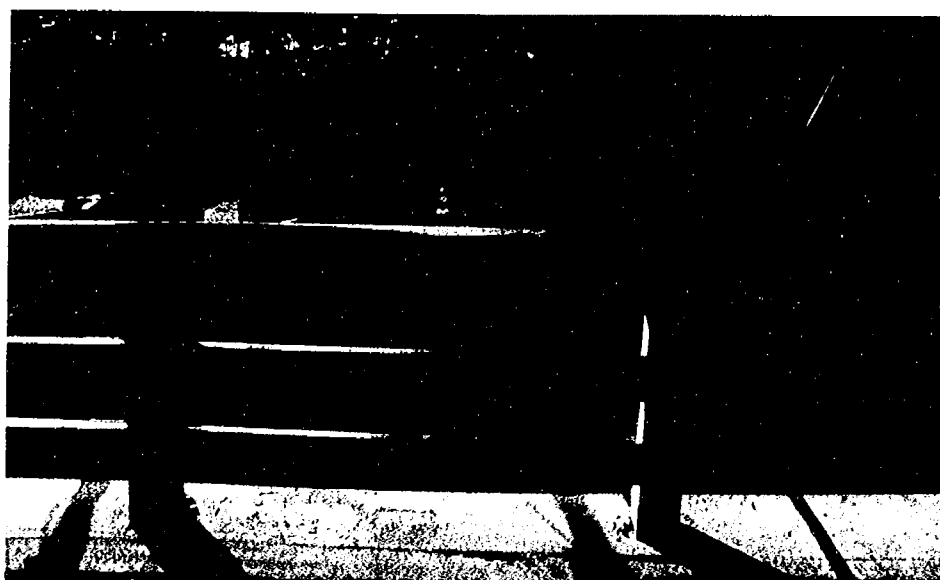
【付写真1-45】 防護柵の損傷状況（実験4）



【付写真1-46】 防護柵の局部損傷状況（実験4）



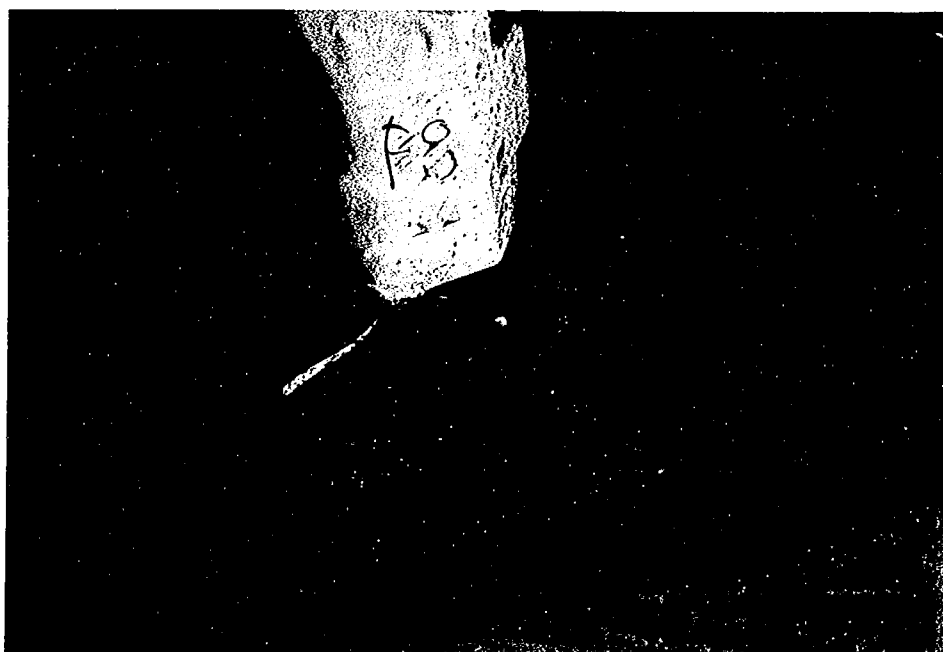
【付写真1-47】 防護柵の局部損傷状況（実験4）



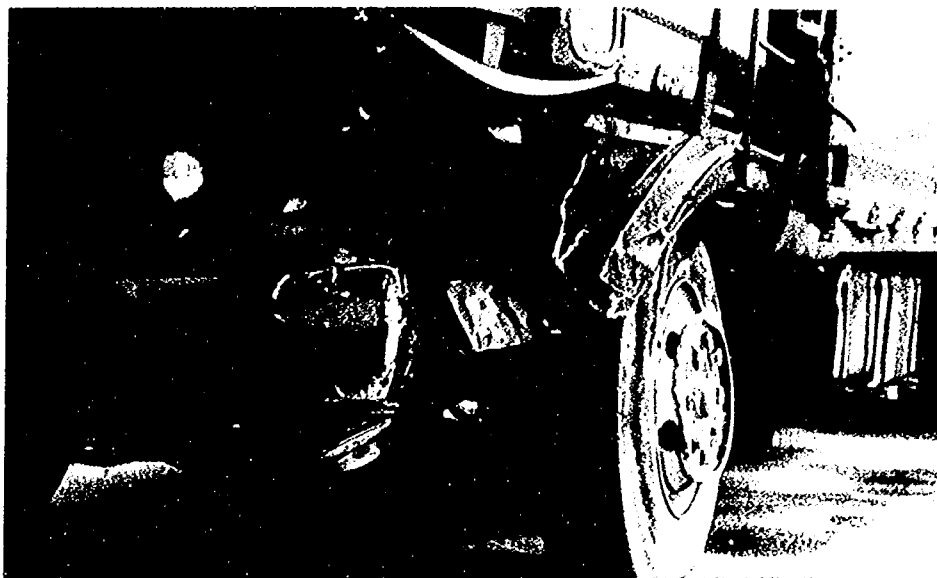
【付写真1-48】 防護柵の局部損傷状況（実験4）



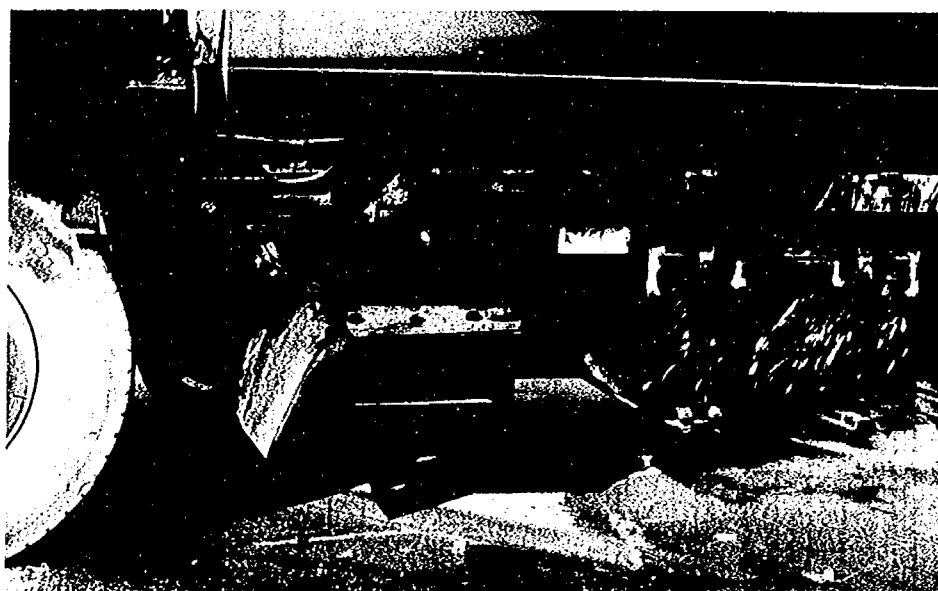
〔付写真1-49〕 支柱背面の地覆面上のクラック状況（実験4）



〔付写真1-50〕 支柱背面の地覆面上のクラック状況（実験4）



〔付写真1-51〕 車両の損傷状況（実験4）



〔付写真1-52〕 車両の損傷状況（実験4）



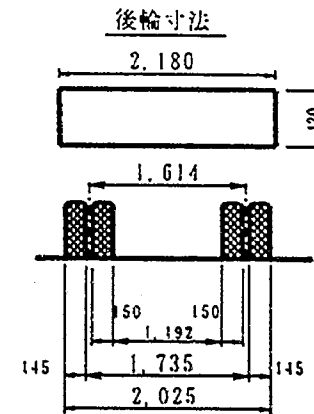
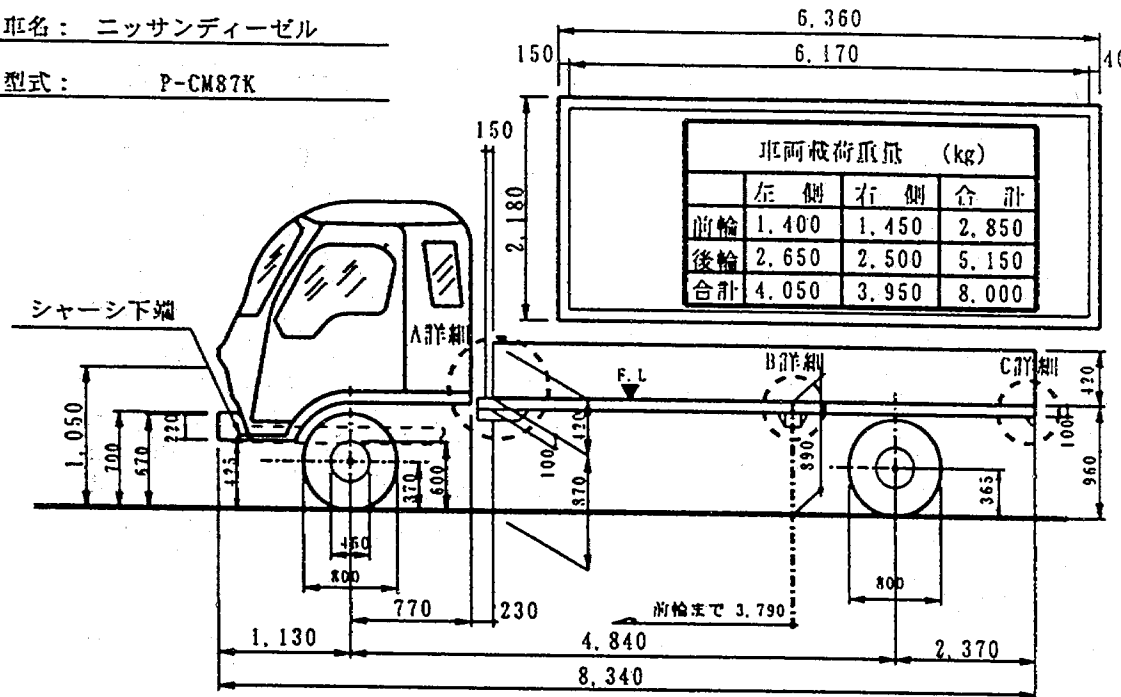
〔付写真1-53〕 車両の損傷状況（実験4）

実験車両の寸法と車検証

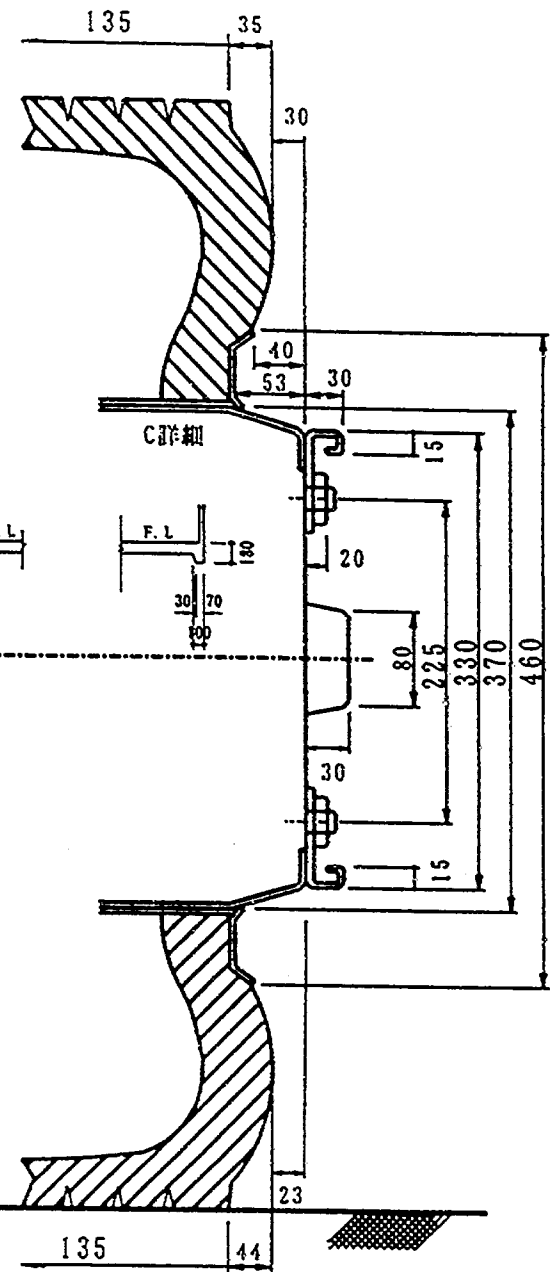
実験：1 96-2 (Gp-8.9型)

車名： ニッサンディーゼル

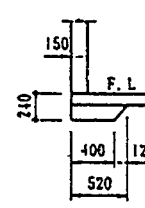
型式： P-CM87K



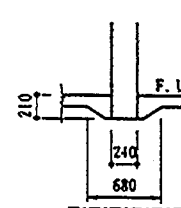
前輪詳細



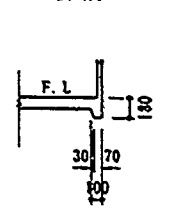
A詳細



B詳細



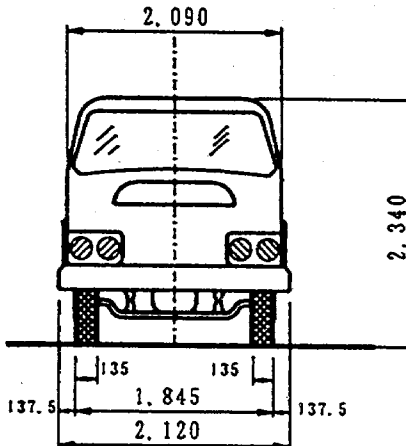
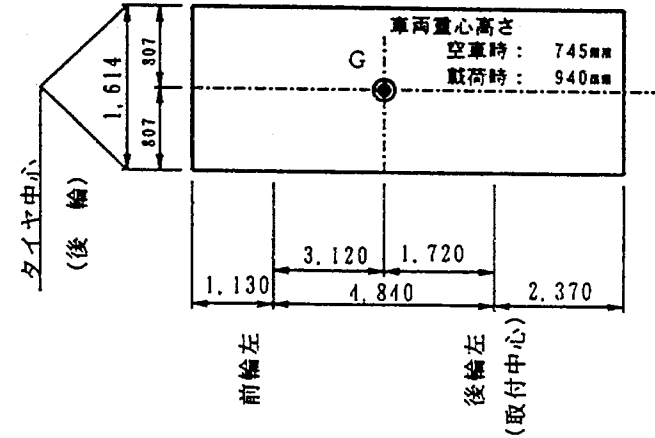
C詳細



タイヤ・サイズ

前輪	7.50-R16-14PR
後輪	7.50-R16-14PR

車両重心位置



番 号
01235

実験 1, 96-2(Gp-8.9型)

登 録 事 項 等 証 明 書

平成 8年 7月 8日 関東運輸局 茨城陸運支局長



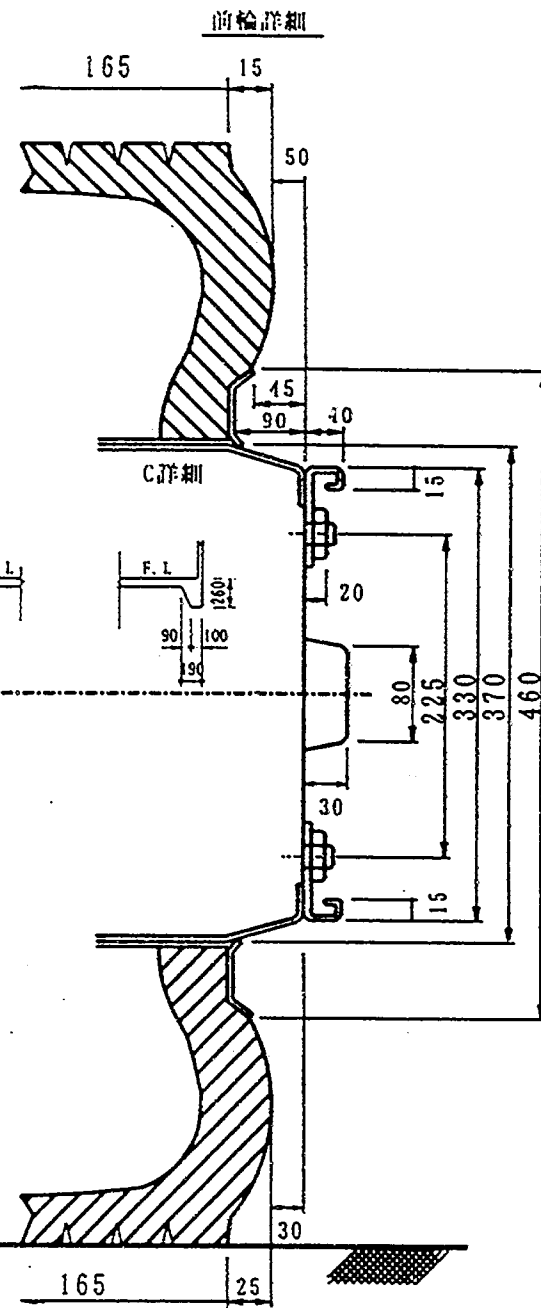
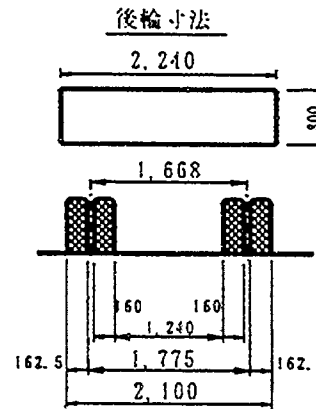
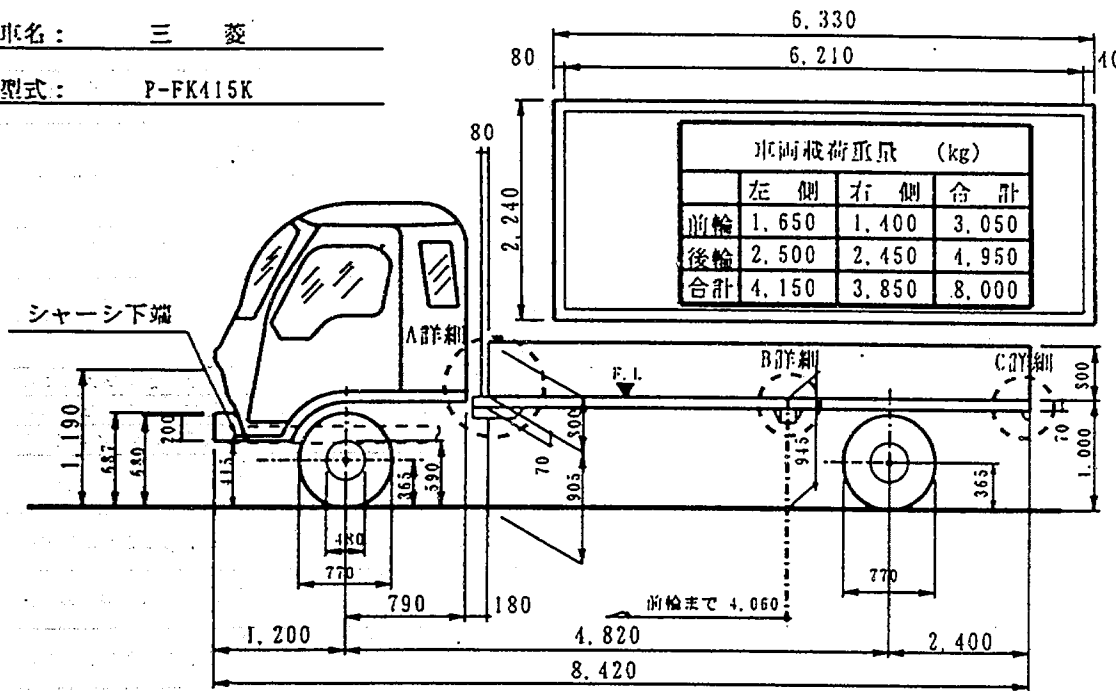
自動車登録番号又は車両番号/自動車子関係登録番号		登録年月日/交付年月日	初度登録年月	自動車の類別	用途	自動車事業力の別	車 体 の 形 状
土浦 1 I い 5604		平成 8年 2月 7日	昭和 61年 9月	普通	貨物 事業用		キャブオーバ
車 名		型 式	乗 車 定 員	最 大 積 載 量	車 両 重 量	全 長 総 重 量	
ニッサンディーゼル		P-CM87K	3人	4000kg	3730kg	7895kg	
車 台 番 号		原 動 機 の 型 式	長 さ	幅	高 さ	定 乗 乗 員	燃 料 の 性 質
CM87K-05484		FE6	839cm	219cm	272cm	6.92	軽油
所有者の氏名又は名称							前 付 積 重
所有者の住所							2060kg
使用者の氏名又は名称							前 付 積 重
使用者の住所							-kg
使用の本拠の位置							後 付 積 重
自動車の所在する位置		本 本 本					1670kg
有効期間の満了する日		備 考					
平成 7年 9月 13日		[] , 現在登録証明, 16条抹消済, この自動車は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							

実験車両の寸法と車検証

実験：2 96-3 (Gb-21型)

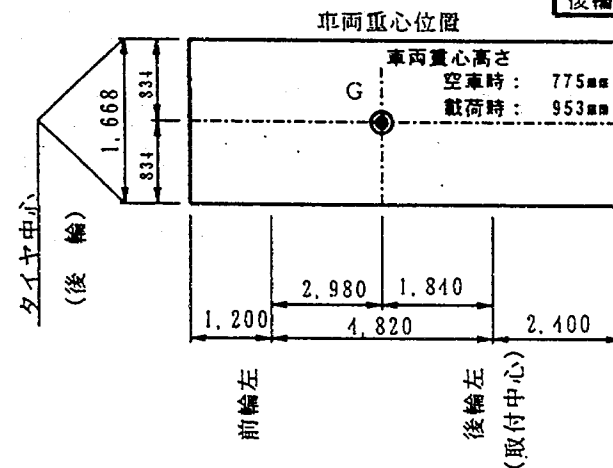
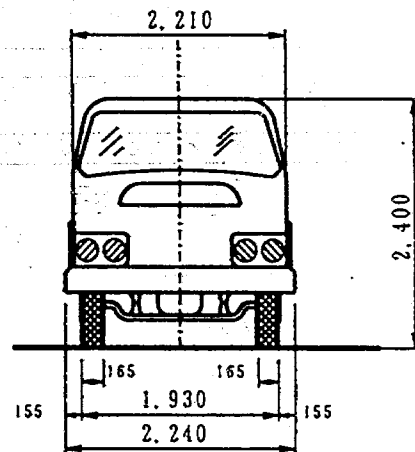
車名：三 菱

型式：P-FK415K



タイヤ・サイズ

前輪	7.50-R16-14PR
後輪	7.50-R16-14PR



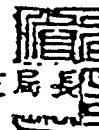
実験2 96-3 (Gb-21型)

番号
01979

自動車検査証

平成 7年 12月 25日

関東運輸局 千葉陸運支局長



車台番号		型式		車体定員		最大積重量		自重		全長	
11-1624		P-FK415K		3人		3750		2250		7955	
原動機の種類		長さ		幅		高さ		全高		全幅	
6D14		850		231		350		655		2080	
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							
千葉県		千葉県		平成 7年 12月 24日		【 】、新車登録「B」号22.400。この自動車は、平成7年12月16日以後の有効期間満了日を起して特定地域内に使用の登録を受けることができません。					

4040

2080

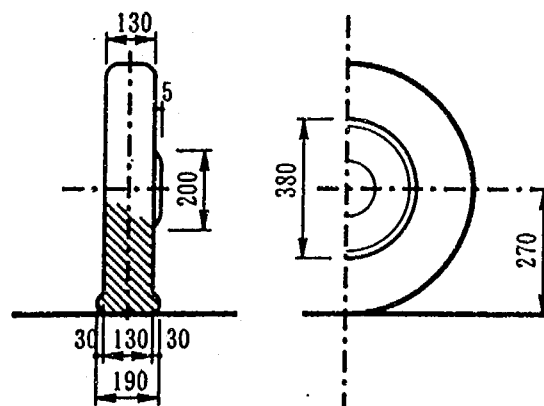
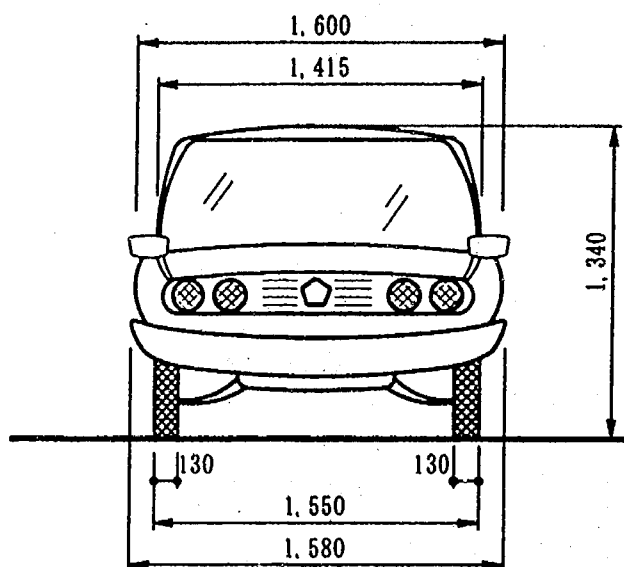
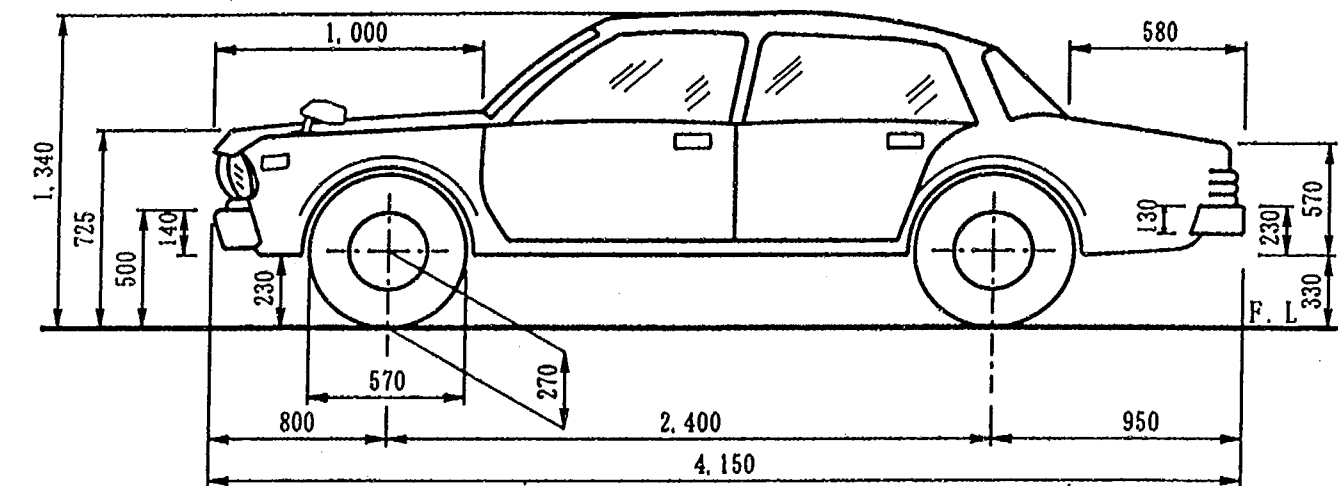
1650

実験車両の寸法と車検証

車 名：ニッサン サニー

形 式: E-B11 (1.270CC)

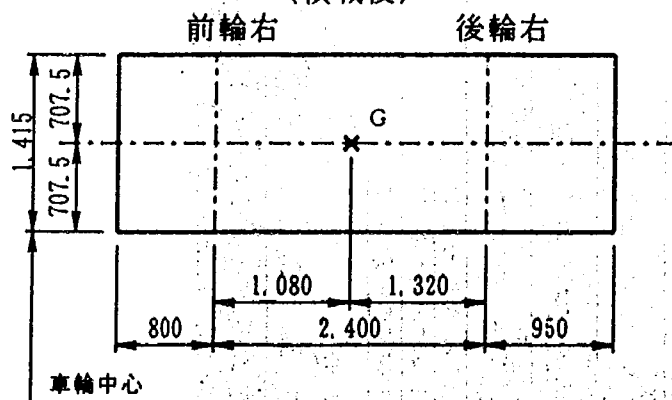
No. 96-4



タイヤサイズ

前 輪	165 SR 13
後 輪	155 SR 13

車兩重心位置
(積載後)



	車輛積載荷重量(kg)		
	左 側	右 側	計
前 輪	300	250	550
後 輪	200	250	450
合 計	500	500	1,000

実験車の寸法（実験3）

番 号

00603

登録事項等通知書

平成 6年 9月 8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/自動車予備検査証番号		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			
土浦 56 そ 1500		平成 6年 9月 8日	昭和 58年 9月	小型	乗用自家用		箱型			
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		E-B11		5人			760kg	1035kg		
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	期 限 分 割 額	
B11-516221		E13		405mm	162mm	139mm	ガソリン	4430	031	
所有者の氏名又は名称										前前軸重
所有者の住所										480kg
使用者の氏名又は名称	***									前後軸重
使用者の住所	***									後後軸重
使用の本拠の位置										280kg
自動車の所在する位置										
有効期間の満了する日										
平成 6年 9月 29日	[] , 抹消登録, 53年度排ガス適合, 車齢11年を超えた場合の有効期間は1年となります。 96-4									

〔注意事項〕

1. 申請された登録事項等と相違していないことを確認してください。もし相違しているときには、直ちに申し出てください。後日申し出られたときには更正の登録の手続きが必要となります。
2. 登録年月日の欄には、新規登録の年月日又は最新の移転登録の年月日が表示されています。
3. 自動車登録番号標の交付を受けられる方は、この通知書を自動車登録番号標交付代行者に提示してください。

自動車登録番号標 交付印



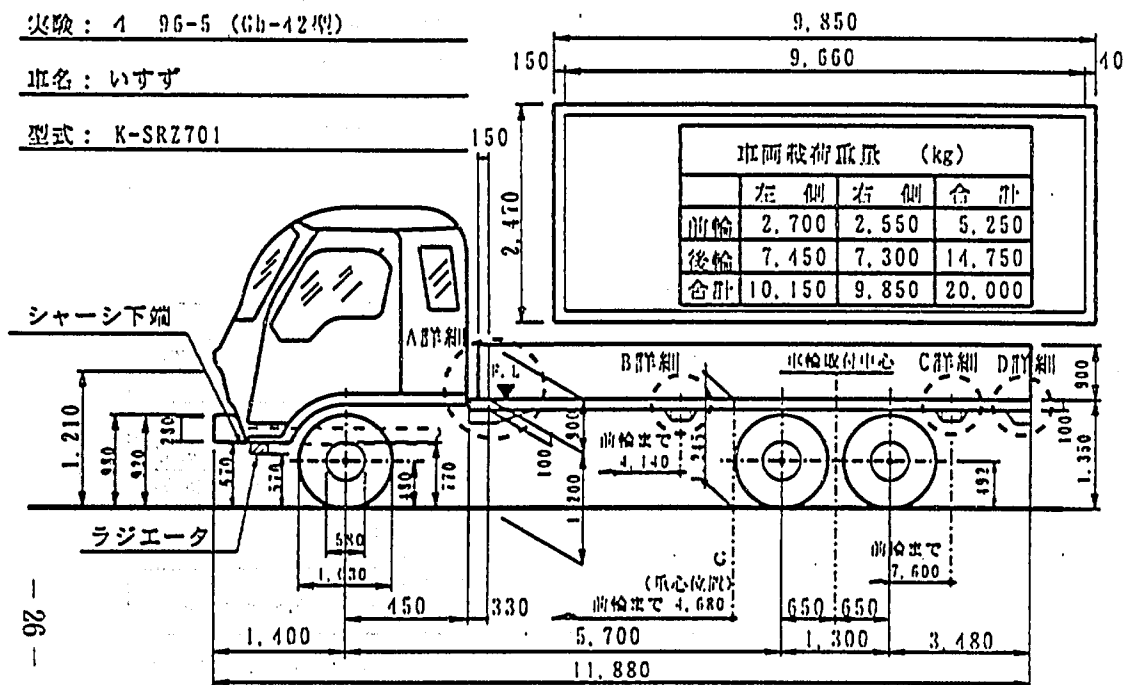
大蔵省印刷局製

実験車両の寸法と車検証

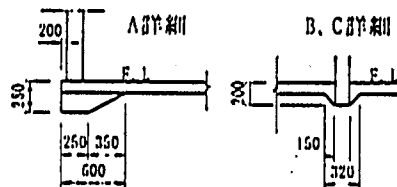
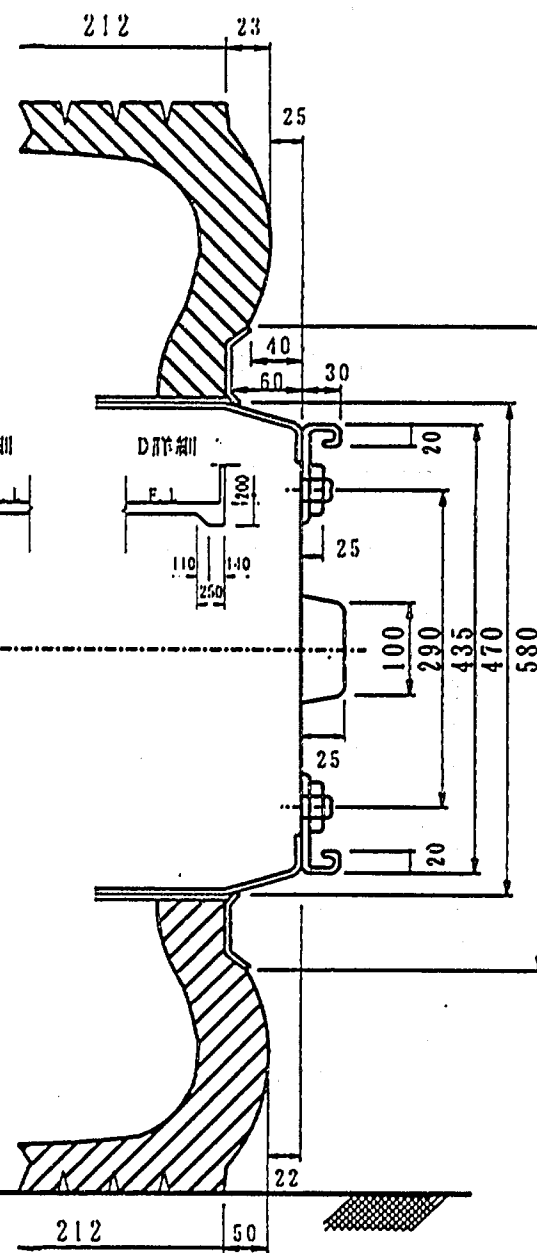
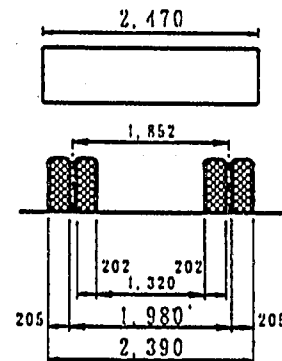
実験：4 96-5 (Gb-42型)

車名：いすゞ

型式：K-SRZ701

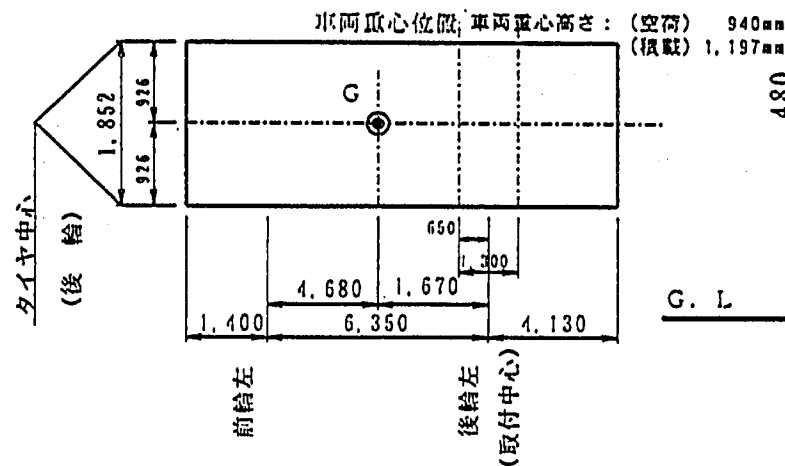
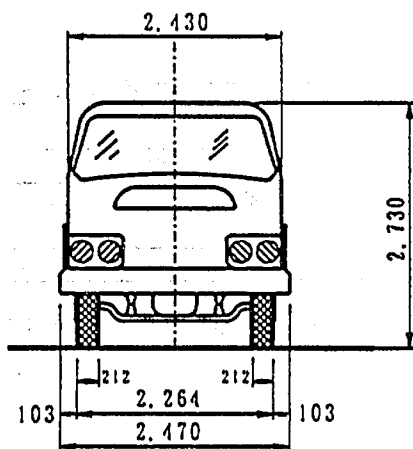


後輪寸法



タイヤ・サイズ

前輪	10-R20-14PR
後輪	10-R20-14PR



番号

00573

抹消登録証明書

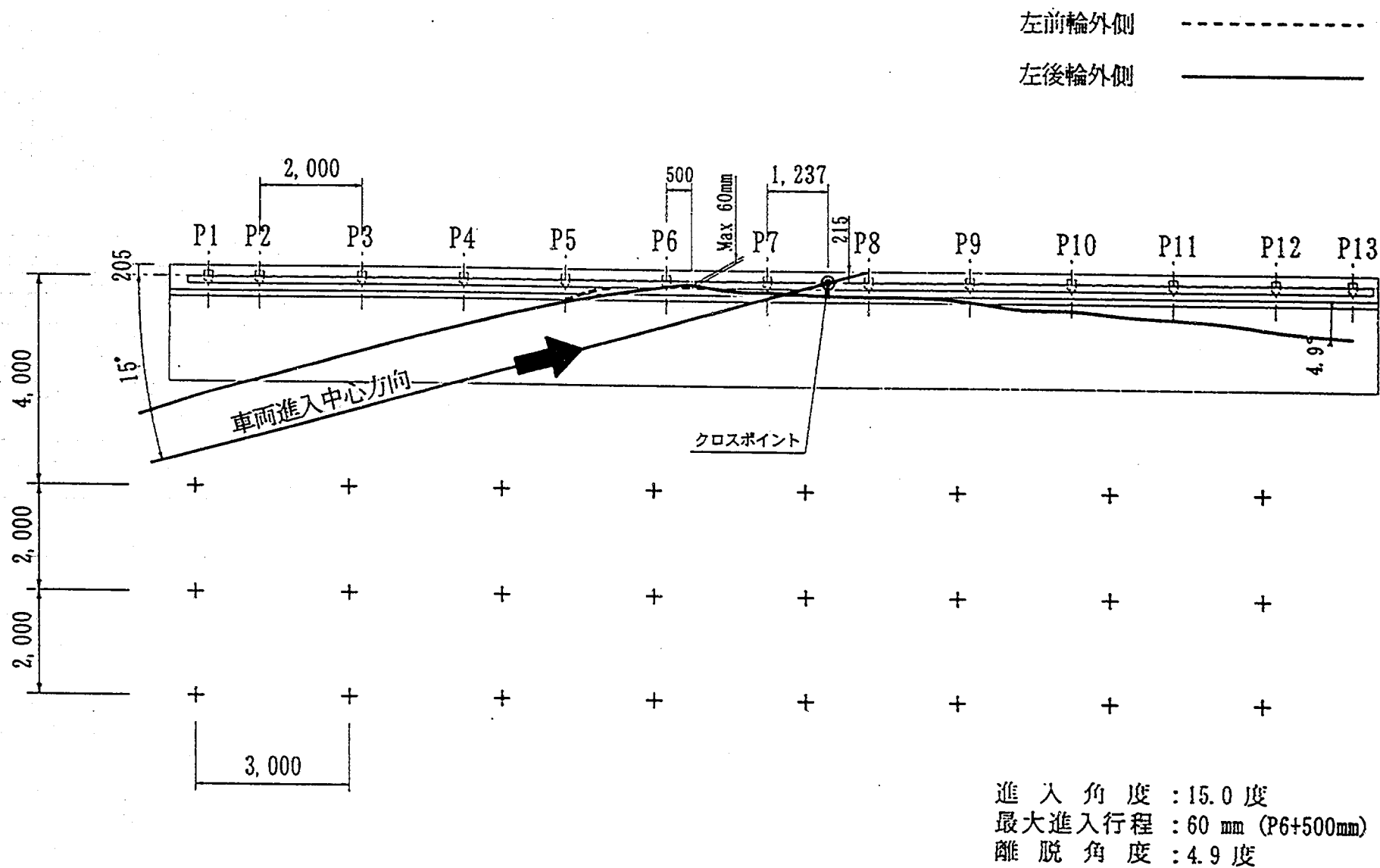
平成 5 年 11 月 30 日

関東運輸局 茨城陸運支局長

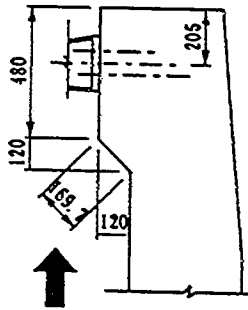
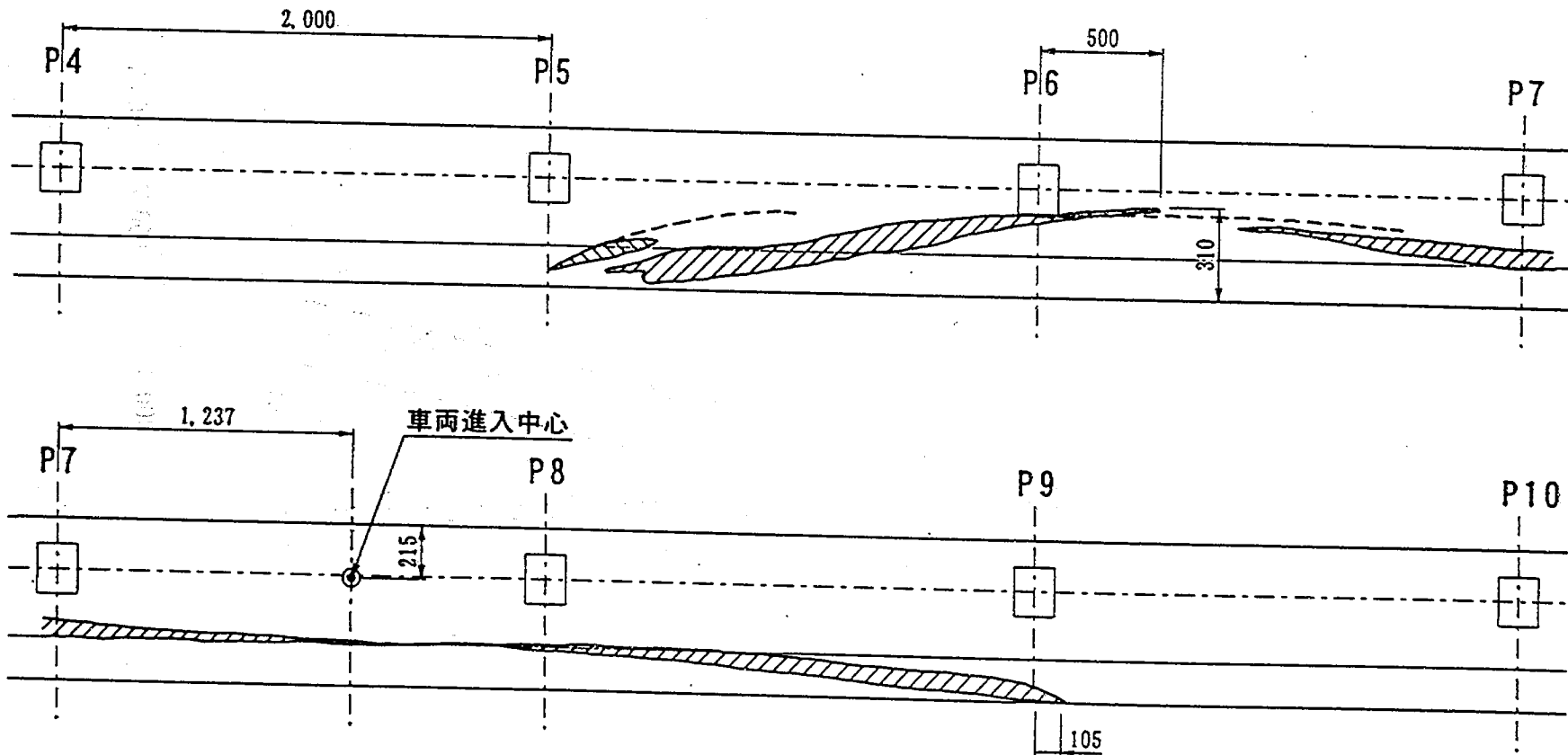
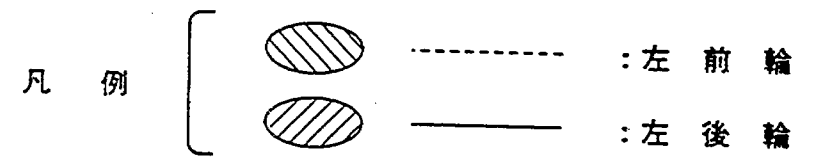


自動車登録番号又は車両番号/自動車運転免許証番号		登録年月日/交付年月日	初年度登録年月	自動車の種別	用途	自動車・半自動車の種別/番号	車 体 の 形 状			
水戸 11 あ 3954		平成 5 年 11 月 30 日	昭和 56 年 2 月	普通	貨物車兼用		キャブオーバー			
車 台 番 号		型式		乗車定員	最大積載量	車両重量	車両総重量			
いすゞ		K-SRZ701		3人	9250kg	10560kg	19975kg			
車 台 番 号		原動機の型式		長さ	幅	高さ	重量	燃料の種類	型式指定番号	期別
SRZ701-1934557		IOPA1		1198	749	371	1246	軽油		
所有者の氏名又は名称										前軸重
										4240kg
所有者の住所										前軸重
使用者の氏名又は名称										後軸重
***										3790kg
使用者の住所										後軸重
***										2530kg
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										
平成 6 年 2 月 25 日										
備 考										
[] 抹消登録										
122 157										

実録 1 (96-1)

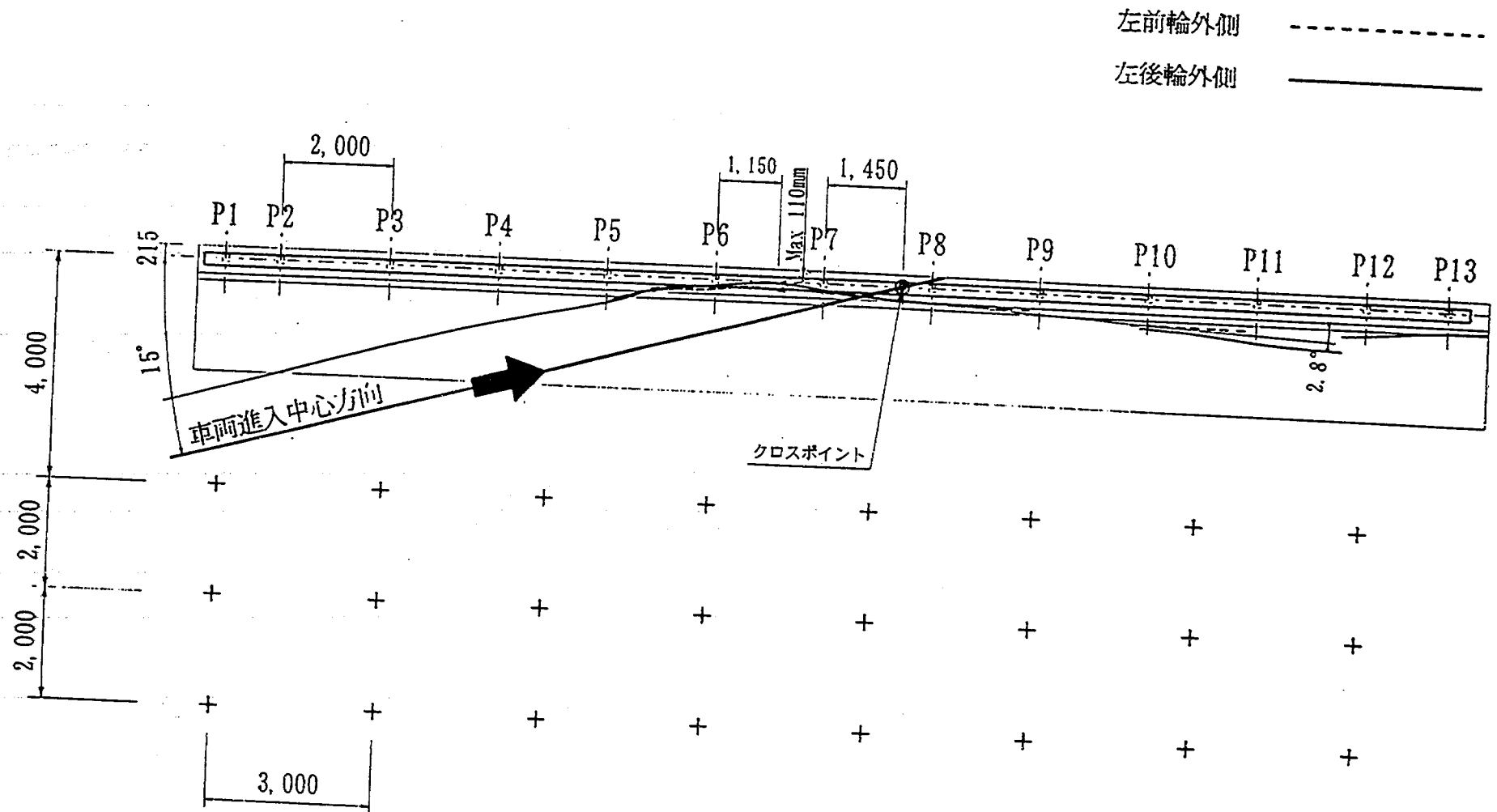


軌 跡 (実験1)



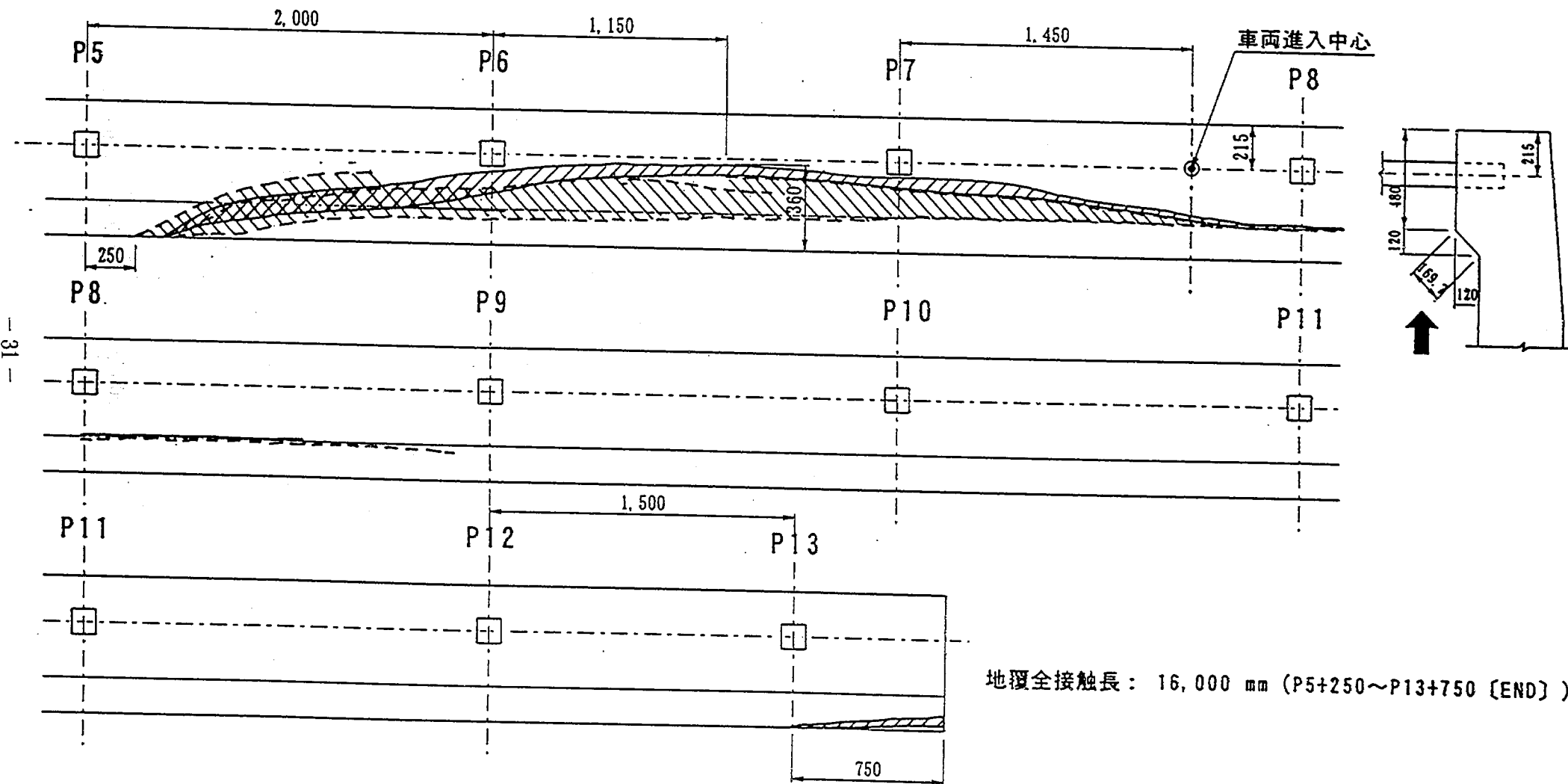
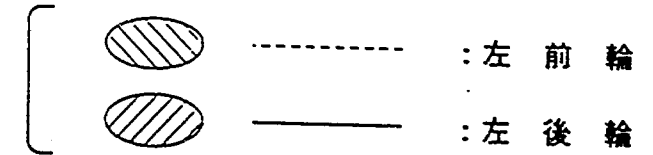
地覆面上の車輪の軌跡詳細 (実験1)

地覆全接触長: 8,105 mm (P5~P9+105)

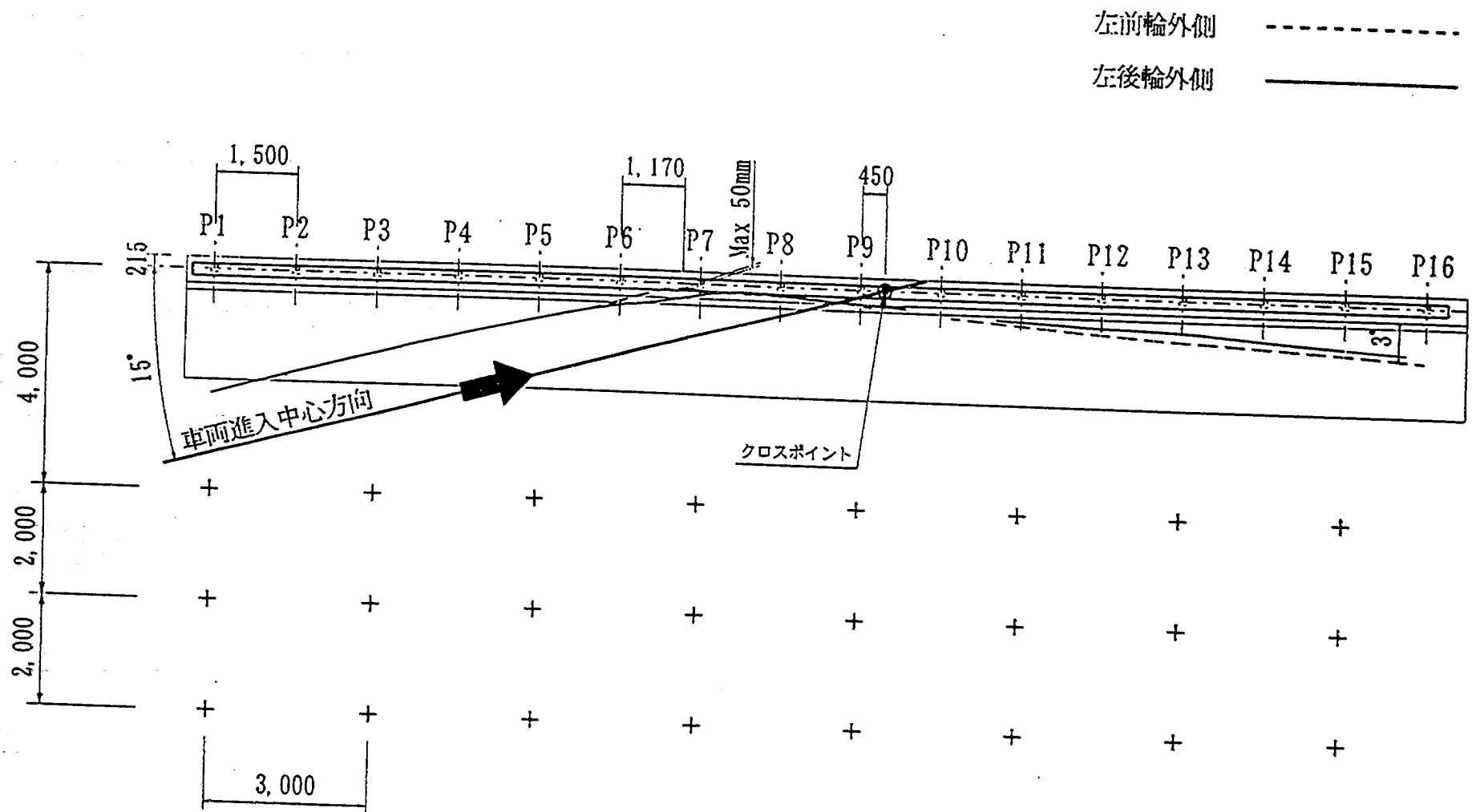


進入角度 : 15.0 度
 最大進入行程 : 110mm (P6+1150mm)
 離脱角度 : 2.8 度

凡 例



地覆面上の車輪の軌跡詳細 (実験2)

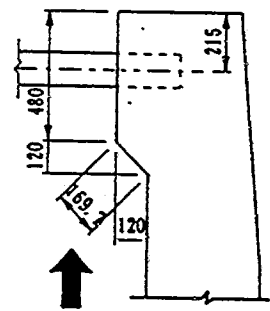
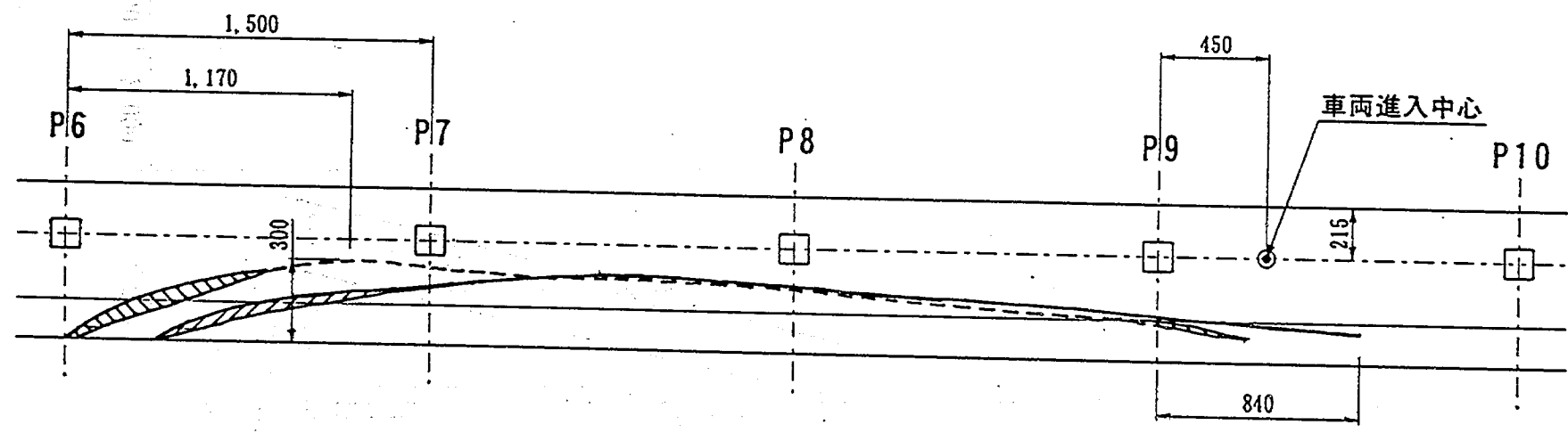


進入角度 : 15.0 度
 最大進入行程 : 50 mm (P6+1, 170mm)
 離脱角度 : 3.0 度

軌 跡 (実験 3)

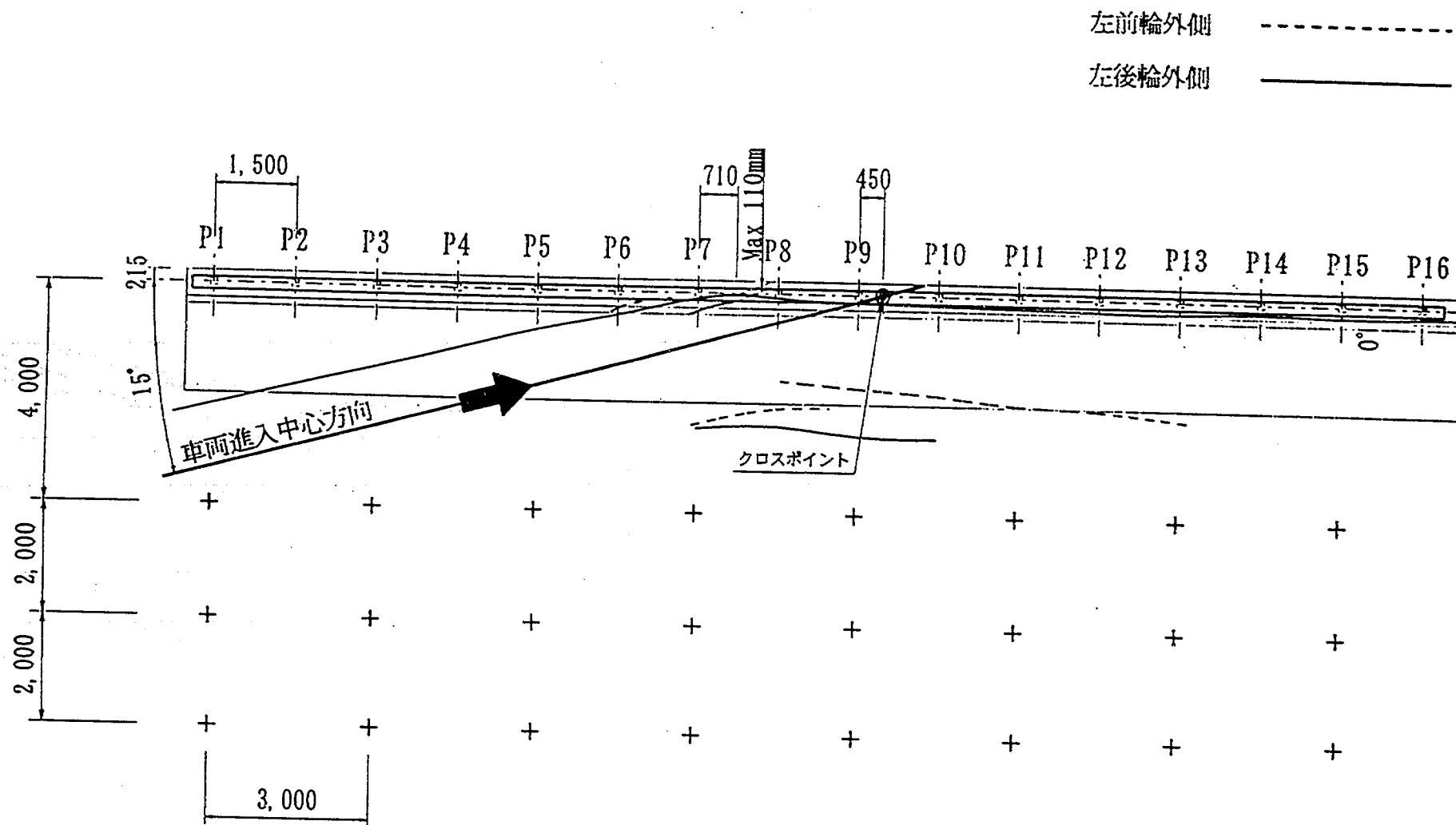
凡 例

	-----	: 左 前 輪
	—————	: 左 後 輪



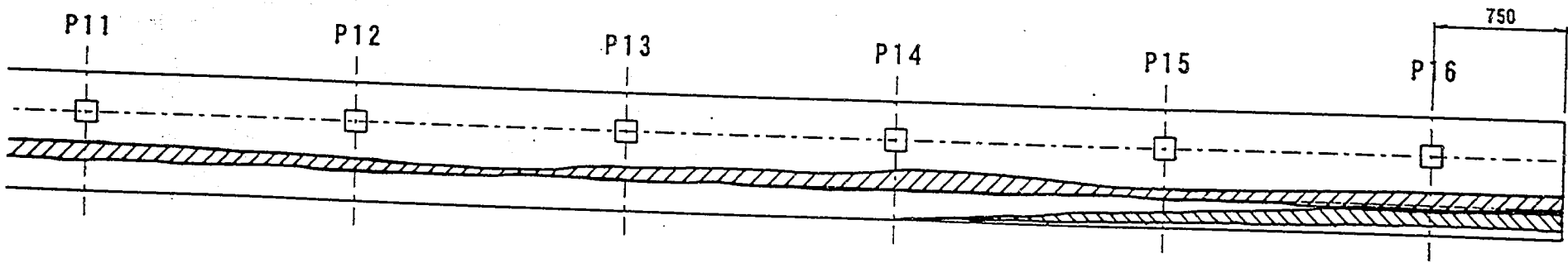
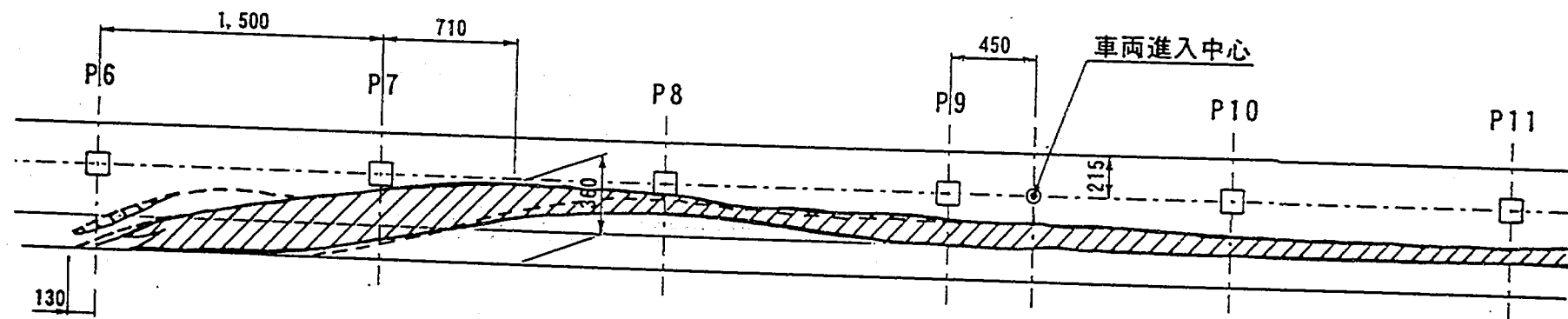
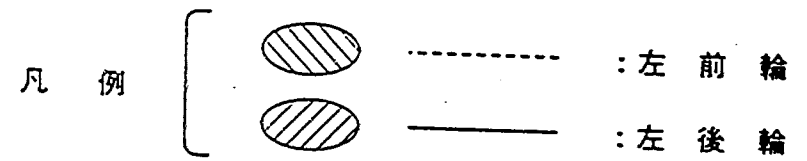
地覆全接触長: 5,340 mm (P6~P9+840mm)

地覆面上の車輪の軌跡詳細 (実験3)



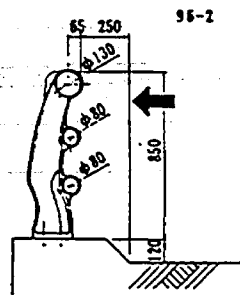
進入角度 : 15.0 度
 最大進入行程 : 110 mm (P7+710mm)
 離脱角度 : 0 度

軌 跡 (実験4)

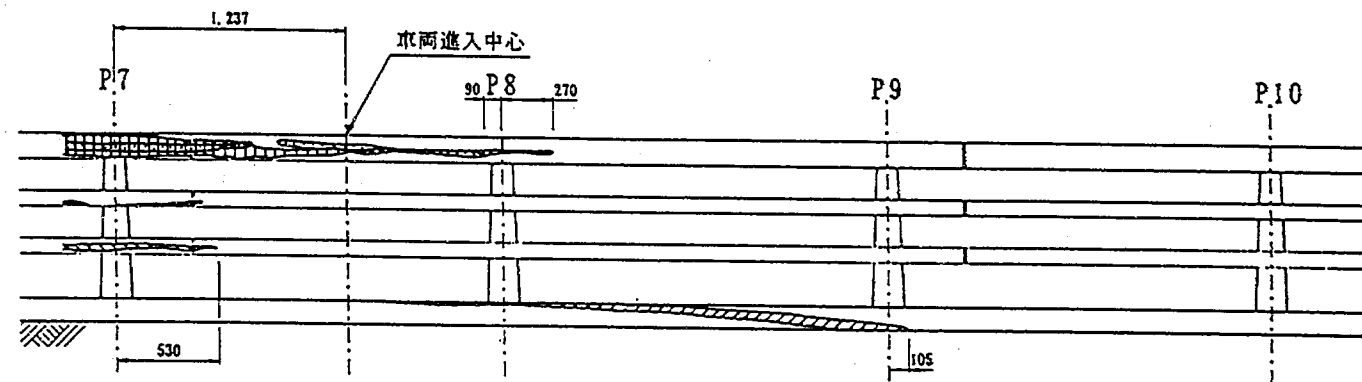
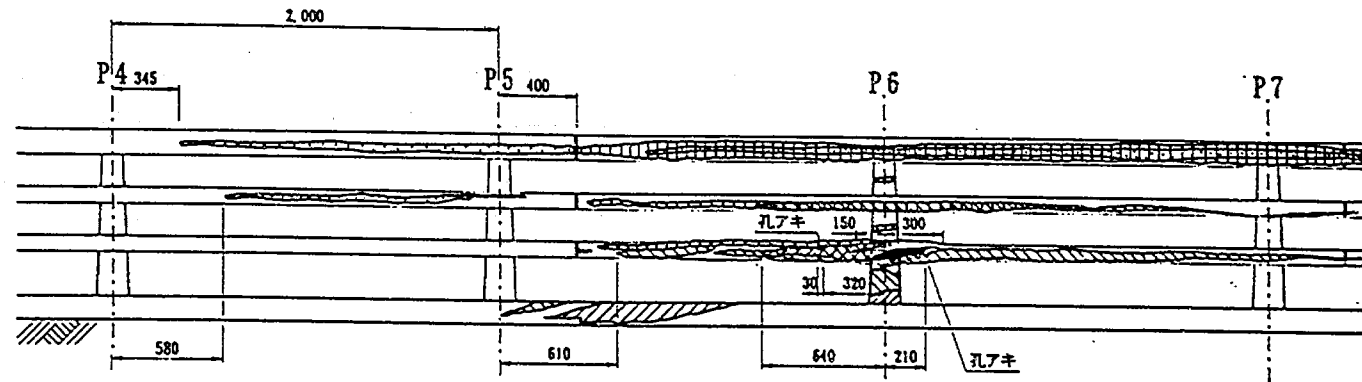


地覆全接触長： 15,880 mm (P5+1,370~P16+750 [END])

地覆面上の車輪の軌跡詳細 (実験4)

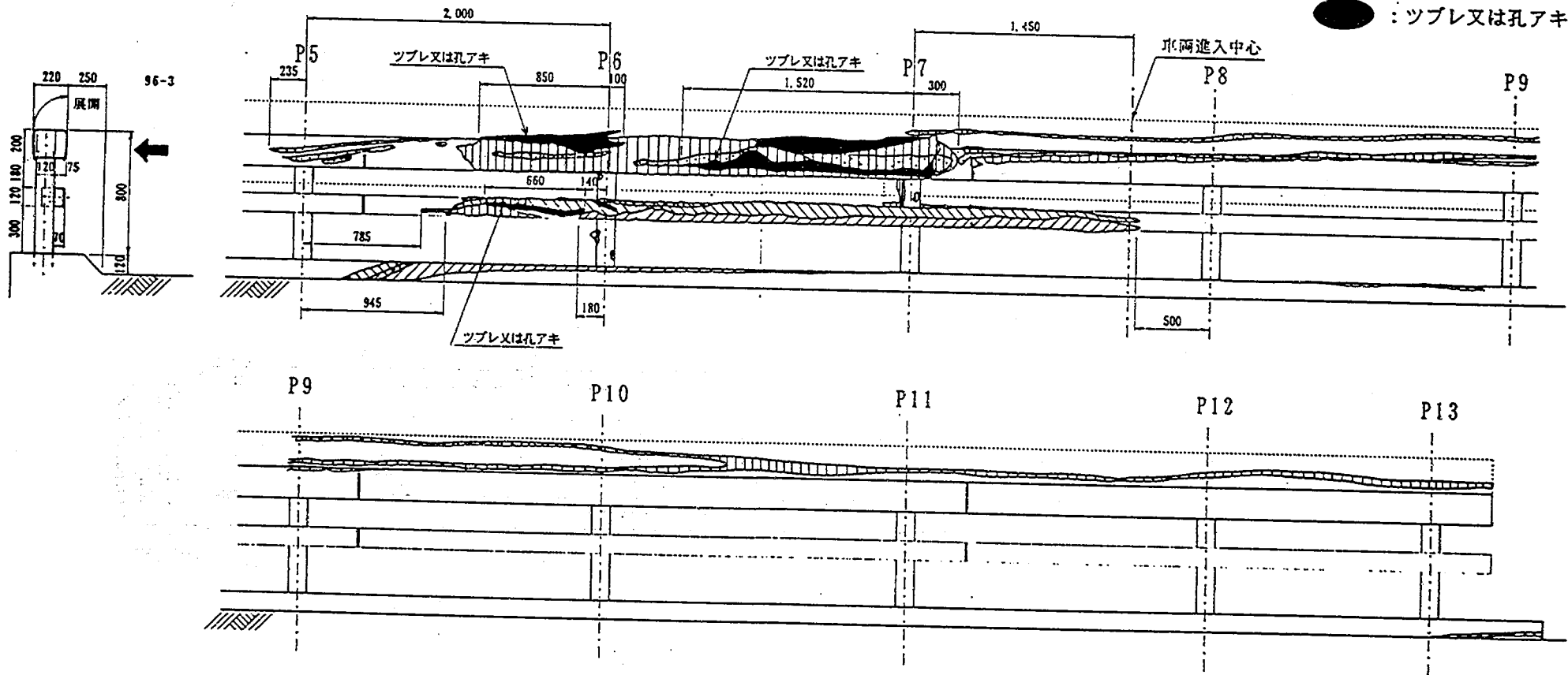
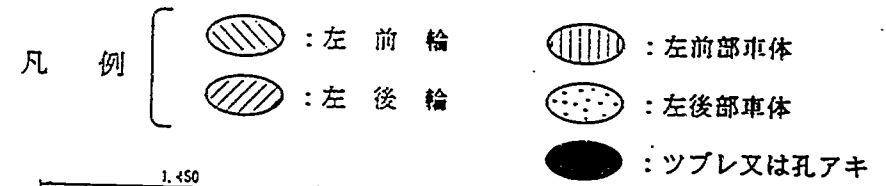


- 凡 例
- : 左 前 輪
 - : 左 後 輪
 - : 左前部車体
 - : 左後部車体
 - : 孔 ア キ



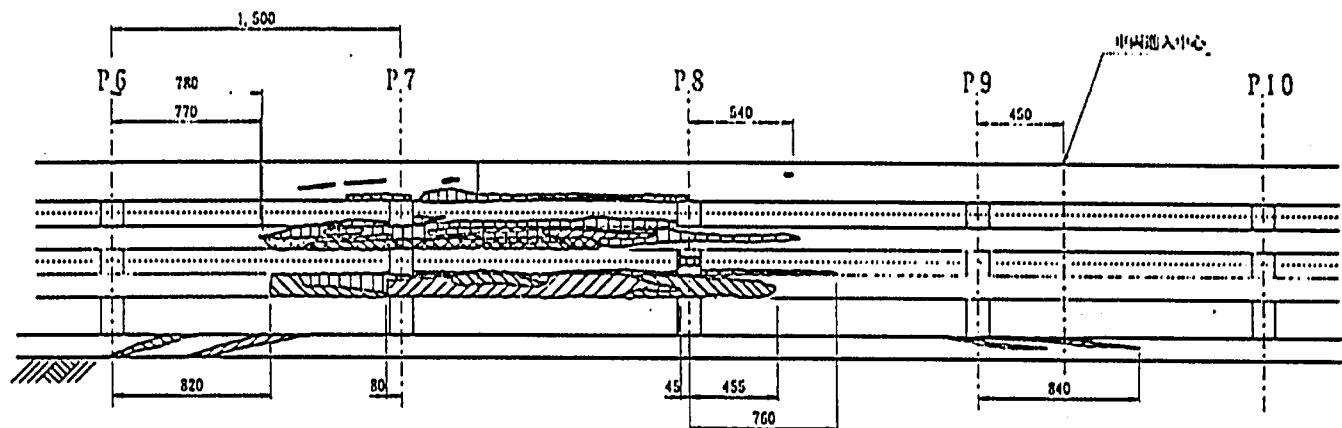
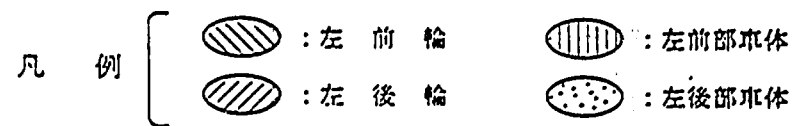
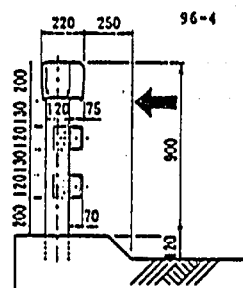
左前輪接触長	: 3.920 mm	(P5+ 610~P7+ 530)
左後輪接触長	: 850 mm	(P5+1,360~P6+ 210)
左前部車体接触長	: 5.870 mm	(P5+ 400~P8+ 270)
左後部車体接触長	: 7.565 mm	(P4+ 345~P7+1,910)
防護柵全接触長	: 7.925 mm	(P4+ 345~P8+ 270)
地覆全接触長	: 8.105 mm	(P5~P9+105)

スクラブマーク (実験1)



左前輪接触長	: 4.555 mm	(P5+ 945~P7+1,500)
左後輪接触長	: 3.680 mm	(P5+1,820~P7+1,500)
左前部車体接触長	: 15.115 mm	(P5+ 785~P13+400 (END))
左後部車体接触長	: 10.235 mm	(P4+1,765~P10)
防護柵全接触長	: 16.135 mm	(P4+1,765~P13+400 (END))
地覆全接触長	: 16.000 mm	(P5+ 250~P13+750 (END))

スクラブマーク (実験2)

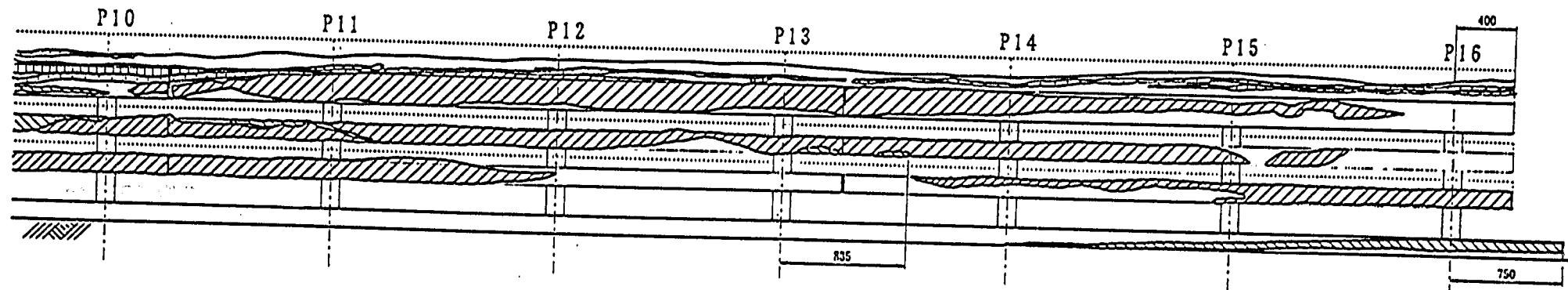
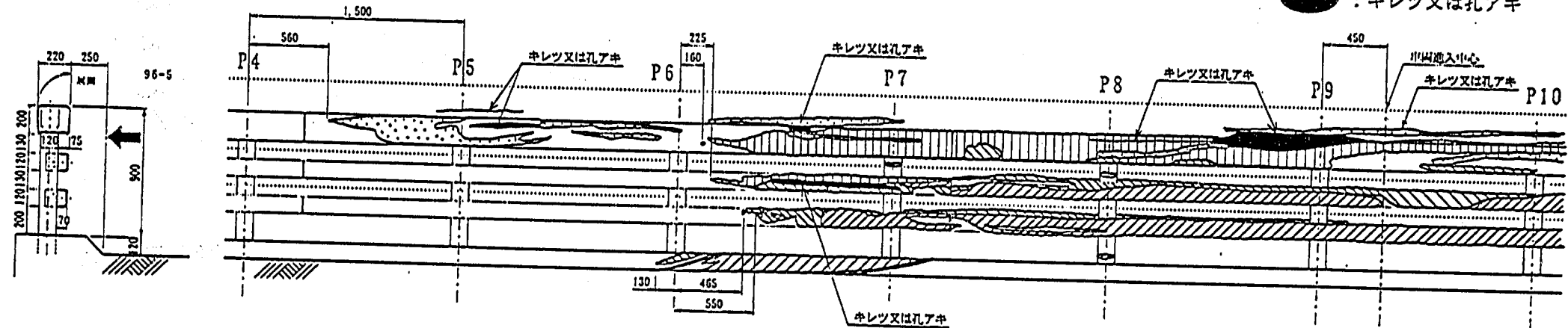


左前輪接触長	: 2,635 mm	(P6+820~P8+455)
左後輪接触長	: 1,535 mm	(P6+1,420~P7+1,455)
左前部車体接触長	: 2,990 mm	(P6+770~P8+760)
左後部車体接触長	: 2,220 mm	(P6+780~P8)
防護柵全接触長	: 2,990 mm	(P6+770~P8+760)
地覆全接触長	: 5,340 mm	(P6~P9+840)

スクラブマーク (実験 3)

凡 例

-  : 左 前 輪
-  : 左前部車体
-  : 左 後 輪
-  : 左後部車体
-  : キレツ又は孔アキ



左前輪接触長	: 10,870 mm	(P6+465~P13+835)
左後輪接触長	: 14,850 mm	(P6+550~P16+400 [END])
左前部車体接触長	: 15,240 mm	(P6+160~P16+400 [END])
左後部車体接触長	: 17,840 mm	(P4+560~P16+400 [END])
防護柵全接触長	: 17,840 mm	(P4+560~P16+400 [END])
地覆全接触長	: 15,880 mm	(P5+1,370~P6+750 [END])

スクラブマーク (実験4)

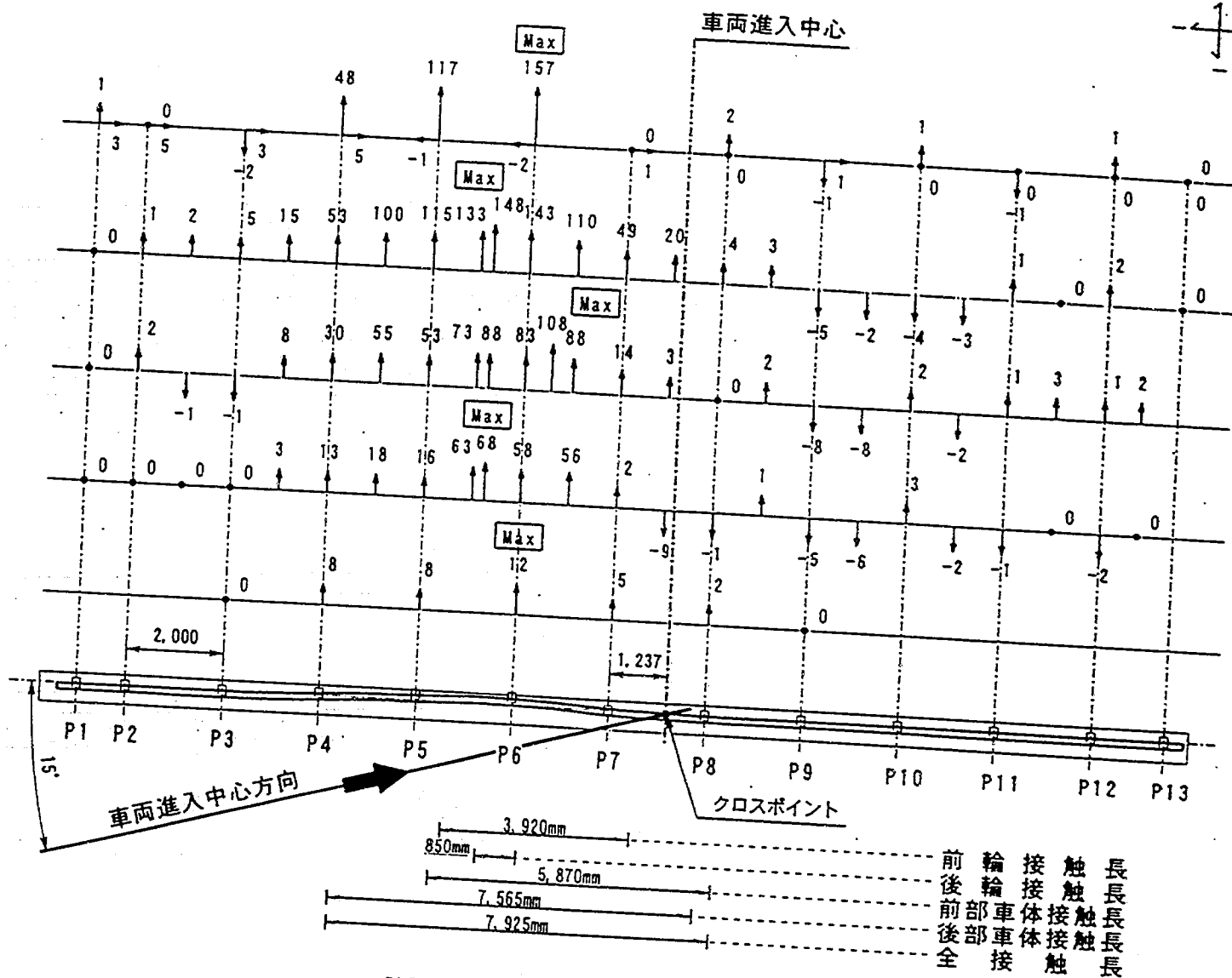
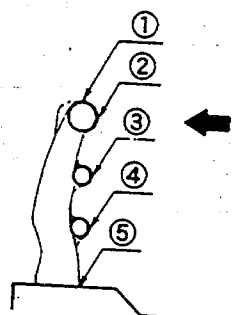
- 40 -

y 方向 單位：厘米



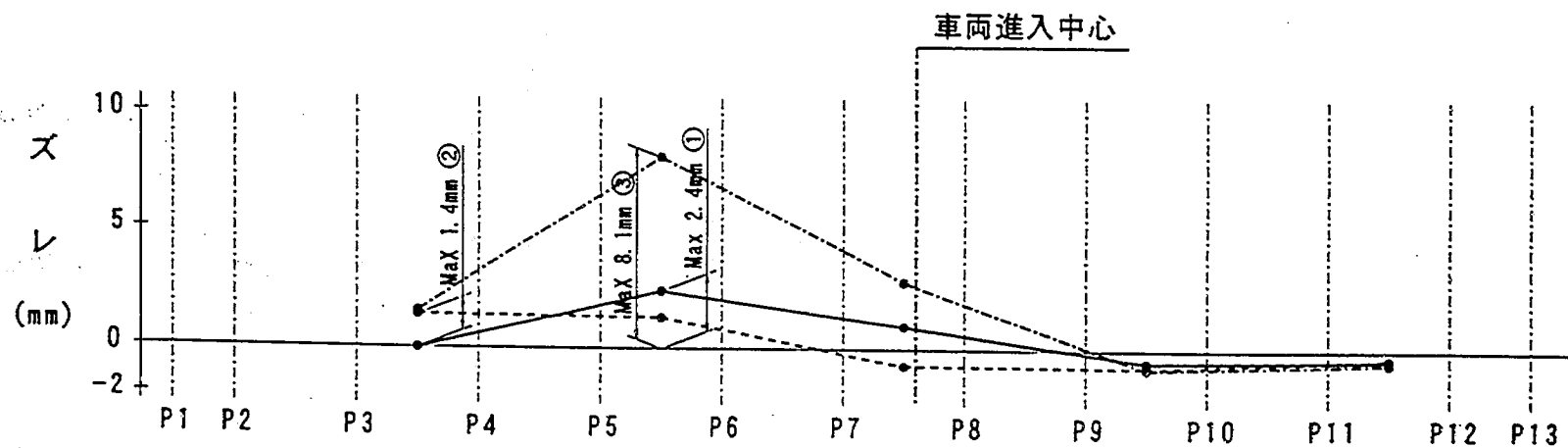
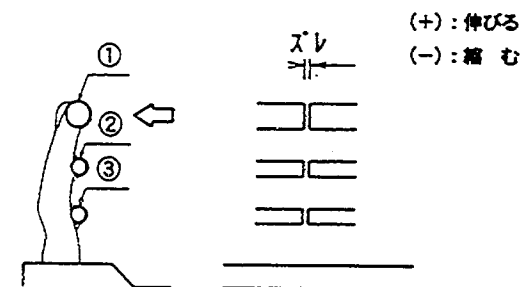
x 方向

- ① 支柱（頭部）
- ② 主要橫梁
- ③ 下段橫梁（上側）
- ④ 下段橫梁（下側）
- ⑤ 支柱（付根部）



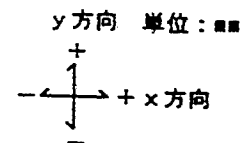
防護柵の残留変位 (実験1)

- : ① 主要横梁
- - - : ② 下段横梁(上側)
- · - : ③ 下段横梁(下側)



横梁の継手部のズレ (実験 1)

X, Y方向

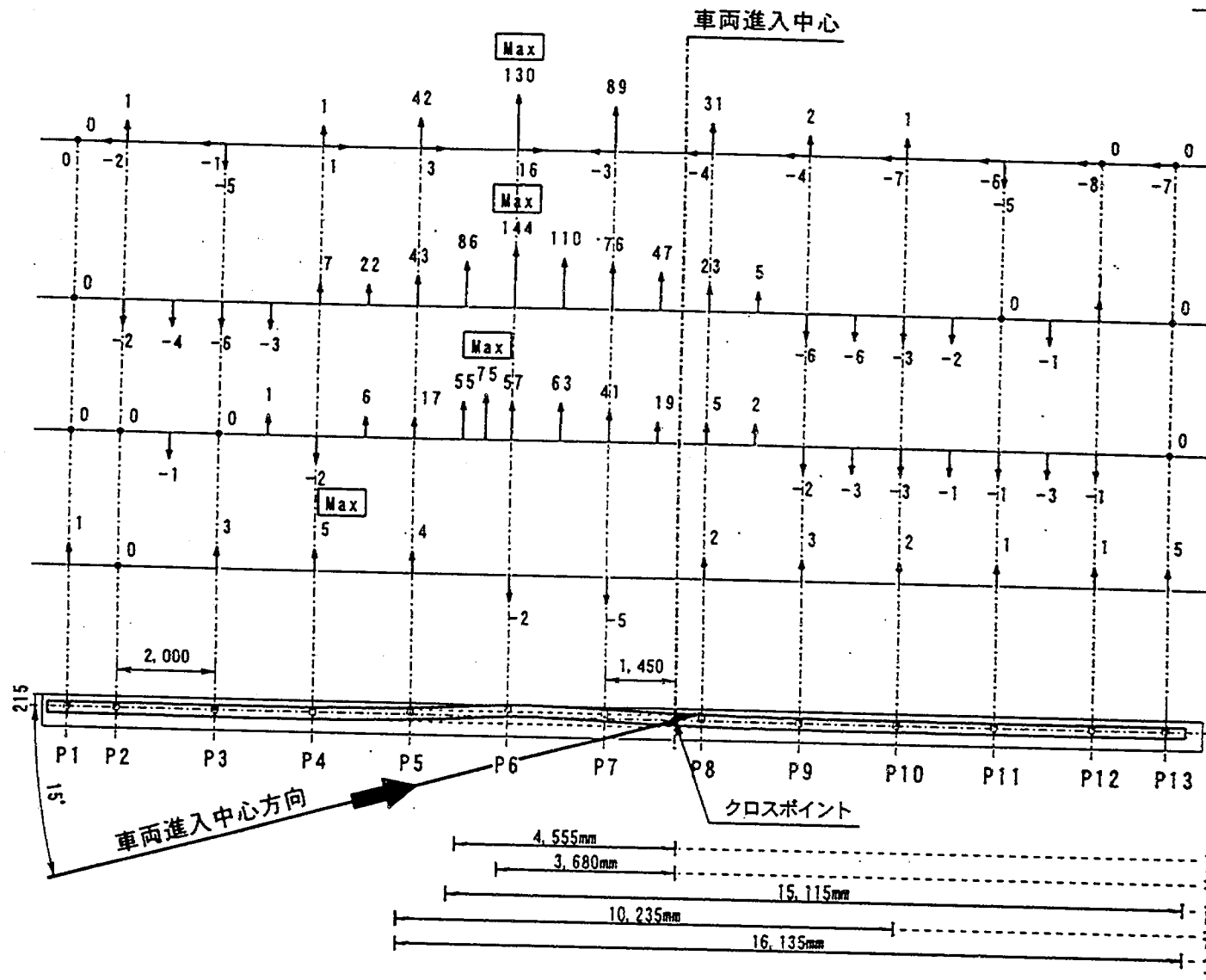
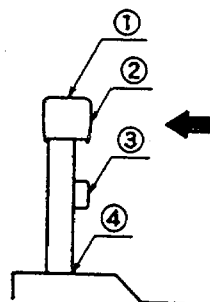


① 支柱 (頭部)

② 主要横梁

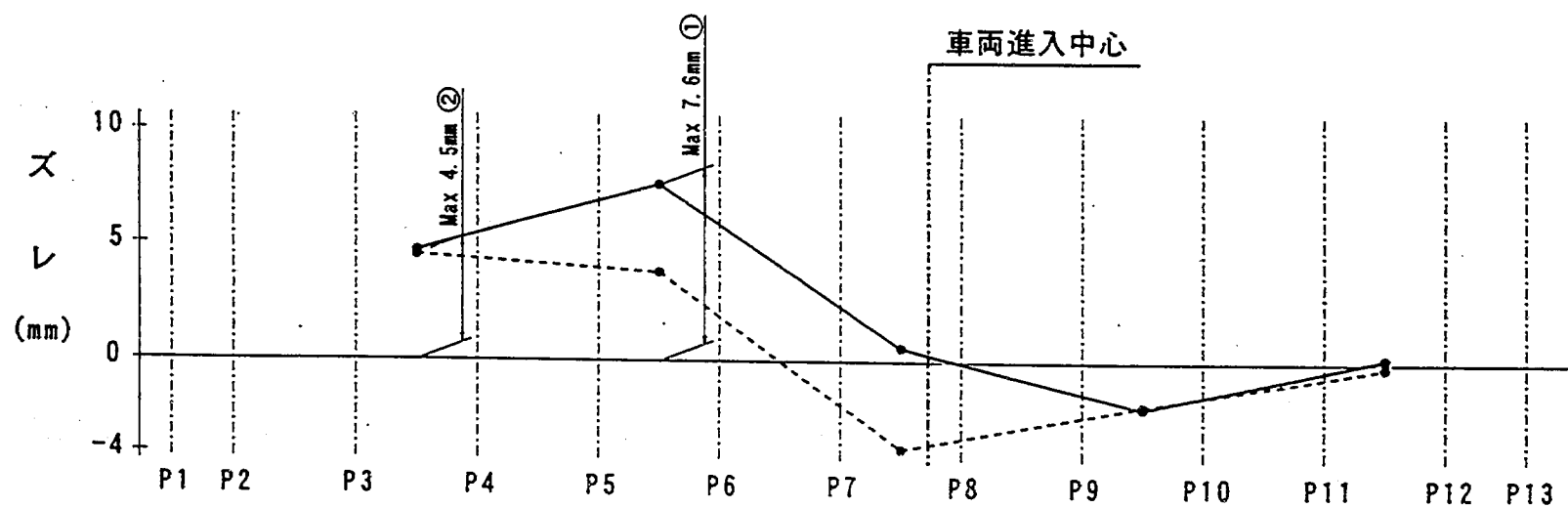
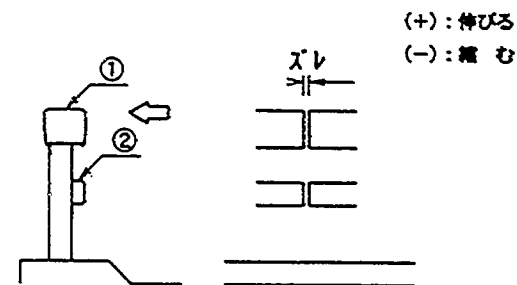
③ 下段横梁

④ 支柱 (付根部)



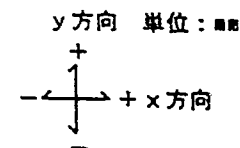
防護柵の残留変位 (実験2)

—— : ① 主要横梁
 - - - : ② 下段横梁



横梁の継手部のズレ (実験 2)

X, Y方向

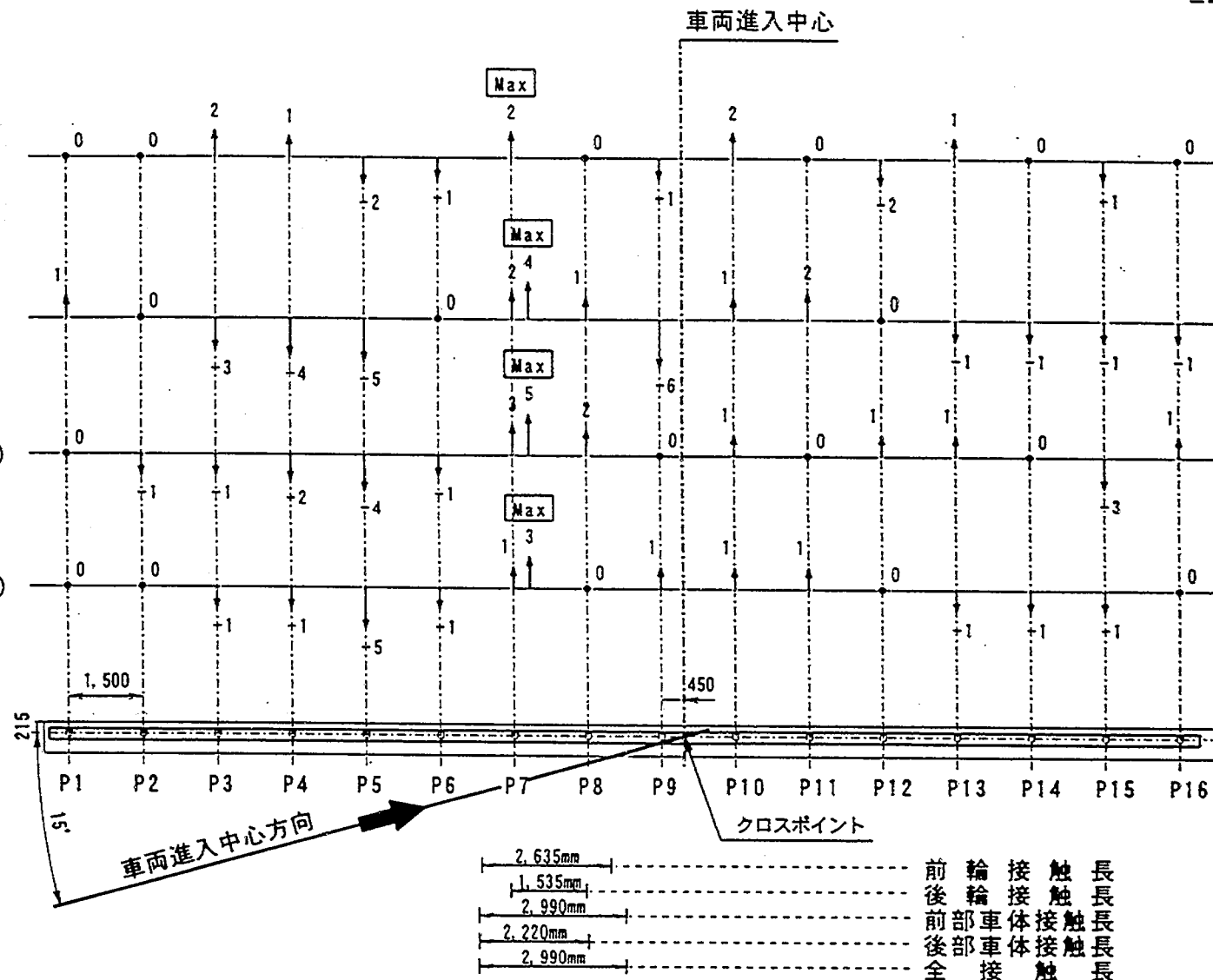


① 支柱 (頭部)

② 主要横梁

③ 下段横梁 (上側)

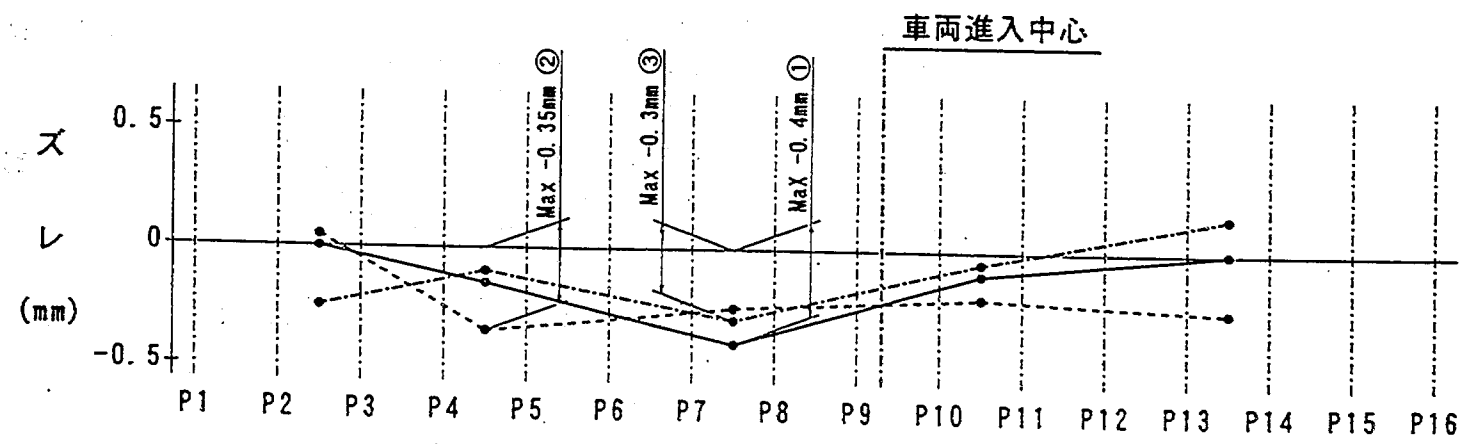
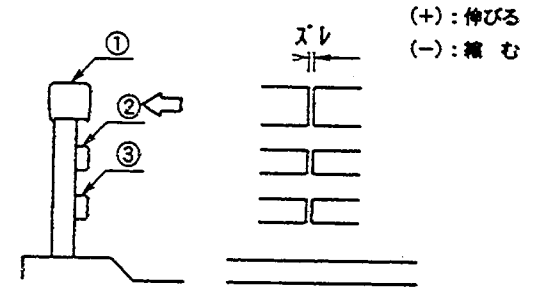
④ 下段横梁 (下側)



防護柵の残留変位 (実験 3)

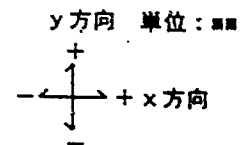
〔注記〕支柱付根部⑤の残留変位は0mmである。

- : ① 主要横梁
- - - : ② 下段横梁 (上側)
- · - : ③ 下段横梁 (下側)



横梁の継手部のズレ (実験 3)

X, Y方向



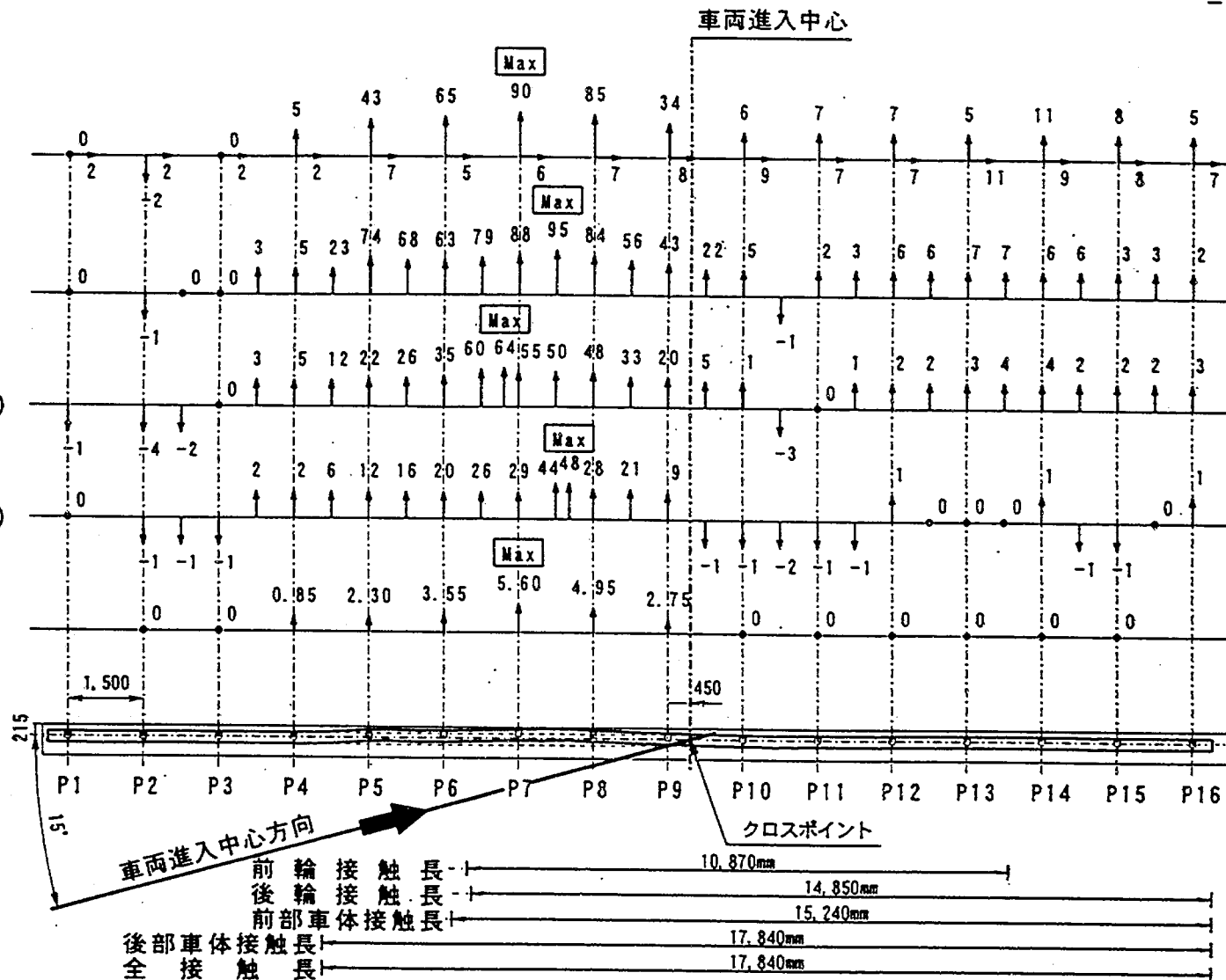
① 支柱 (頭部)

② 主要横梁

③ 下段横梁 (上側)

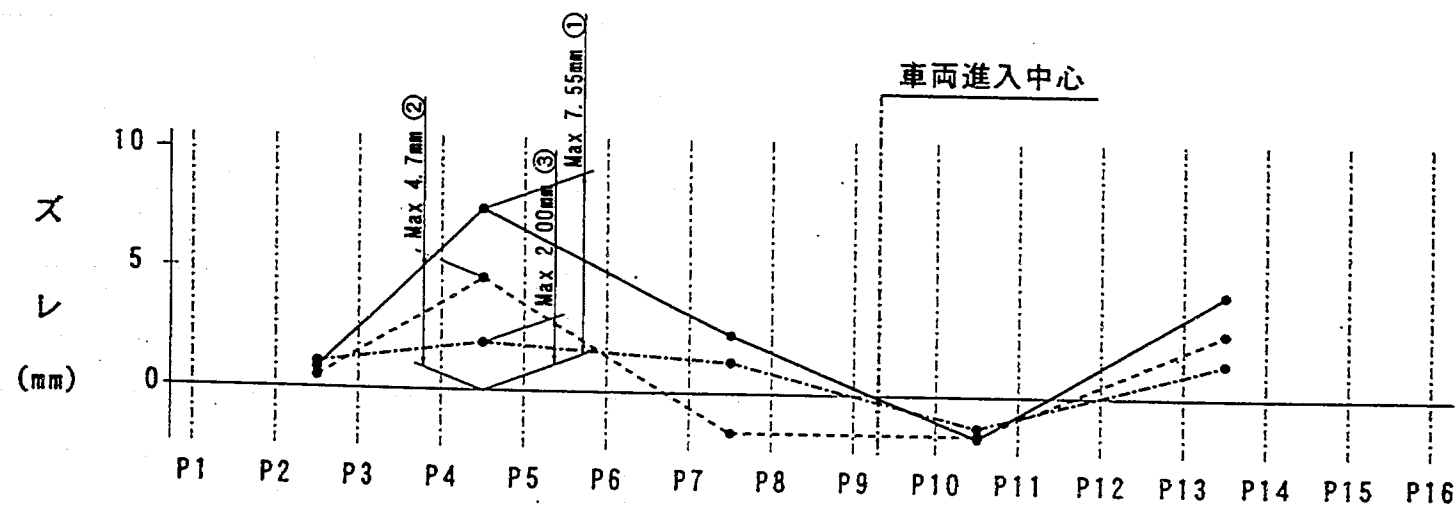
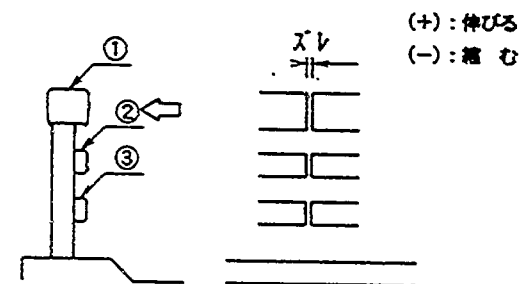
④ 下段横梁 (下側)

⑤ 支柱 (付根部)



防護柵の残留変位 (実験4)

- : ① 主要横梁
- - - : ② 下段横梁 (上側)
- · - : ③ 下段横梁 (下側)



横梁の継手部のズレ (実験 4)

加速度波形分析結果一覧表

[実験1:パイプビーム 8.9lf・m対応型防護柵衝突実験]

[実験2:ボックスビーム21lf・m対応型防護柵衝突実験]

[実験3:ボックスビーム42lf・m対応型防護柵衝突実験]

[実験4:ボックスビーム42lf・m対応型防護柵衝突実験]

		ソーマット方式			データロガー方式			
		車 両 重 心			助手席タミー（頭部）			助手席 タミー頭部 HIC値 (g)
		原波形 (g)	10msec 平 均 (g)	50msec 平 均 (g)	原波形 (g)	10msec 平 均 (g)	50msec 平 均 (g)	
実験 1 Gp-8.9型 中型貨物車 (64.7km/h)	X	6.66	4.27	3.18				—
	Y	13.51	4.62	3.35				
	Z	—	—	—				
	合 成	14.53	5.38	3.92				
実験 2 Gb-21型 中型貨物車 (100.6km/h)	X	31.28	5.13	3.52				—
	Y	-68.26	12.84	4.97				
	Z	—	0.04	0.06				
	合 成	68.65	13.46	5.64				
実験 3 Gb-42型 小型乗用車 (100.6km/h)	X	27.79	9.54	3.87	-15.65			117.1
	Y	38.56	13.20	8.05	48.62			
	Z	—	-0.02	0.02	11.77			
	合 成	45.30	13.53	8.44	51.08			
実験 4 Gb-42型 大型貨物車 (90.5km/h)	X	17.29	-3.45	1.40				—
	Y	-36.04	11.40	5.02				
	Z	—	—	—				
	合 成	36.26	11.41	5.02				
備 考		[注] 1. 原波形はRAMカードに収録した結果である。 (sampling time:5msec)						

加速度的原波形および分析波形 TEST1

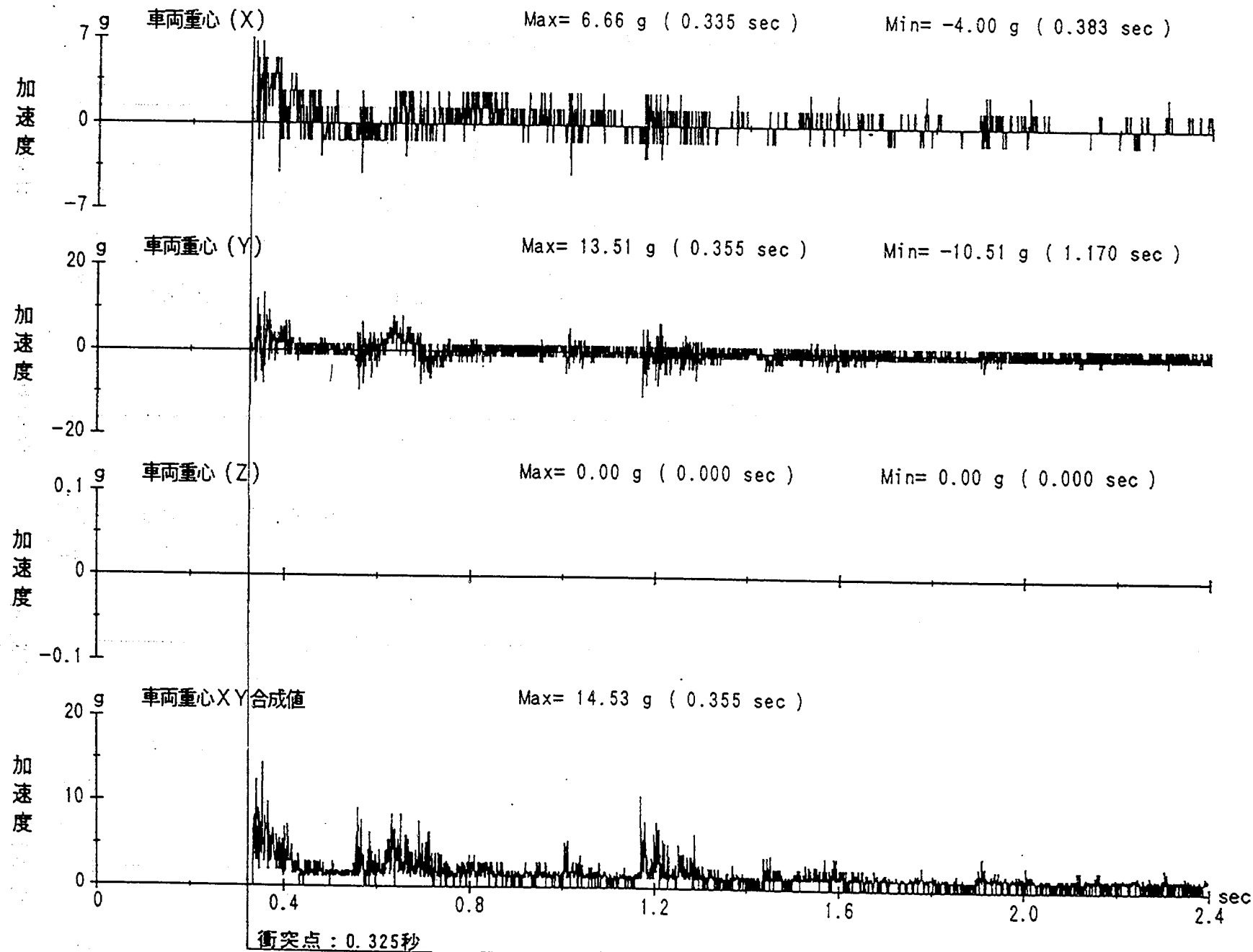


図 原波形及びXY合成値波形

TEST1

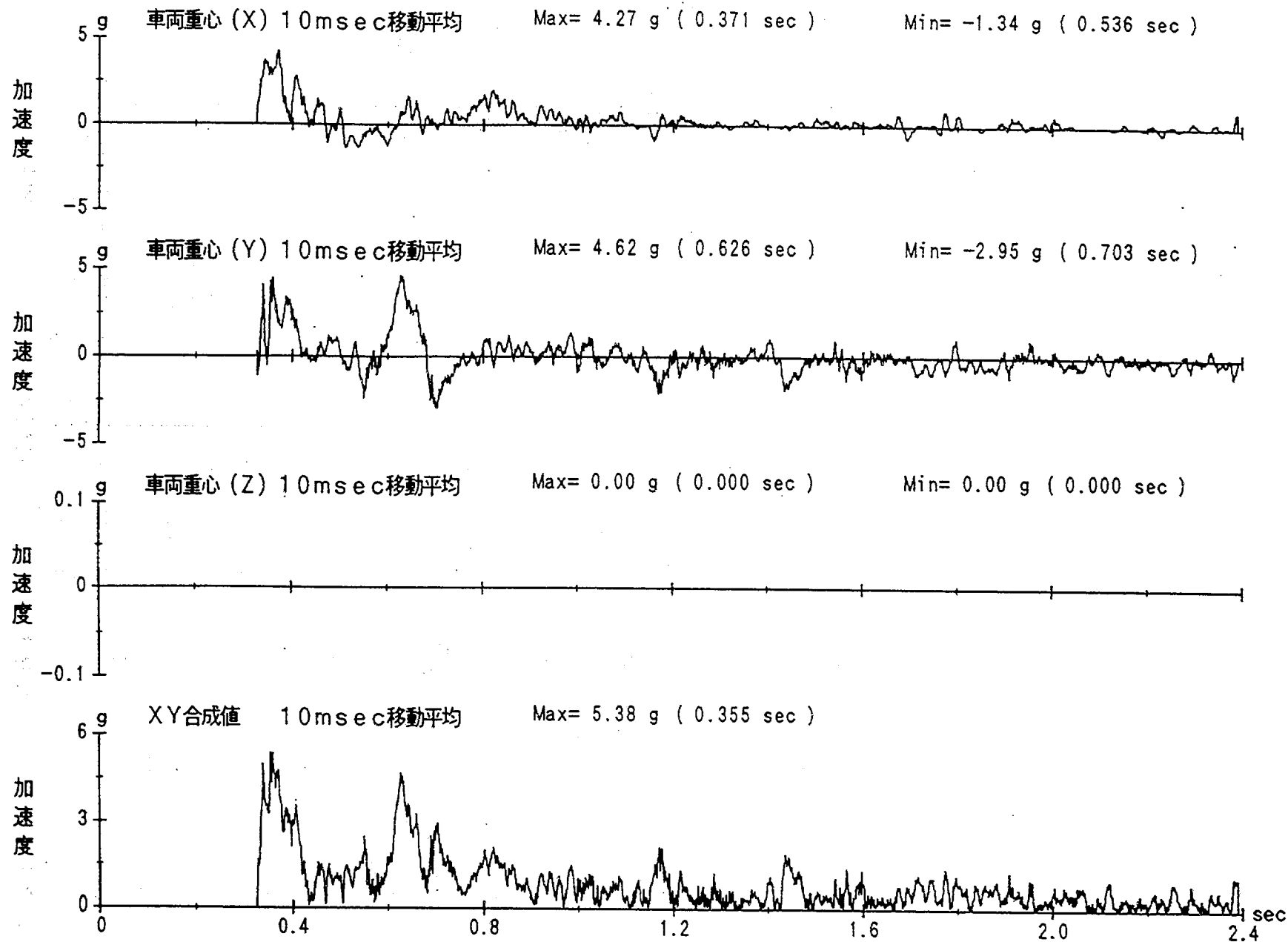


図 10 msec 移動平均及びXY合成値加速度波形

TEST1

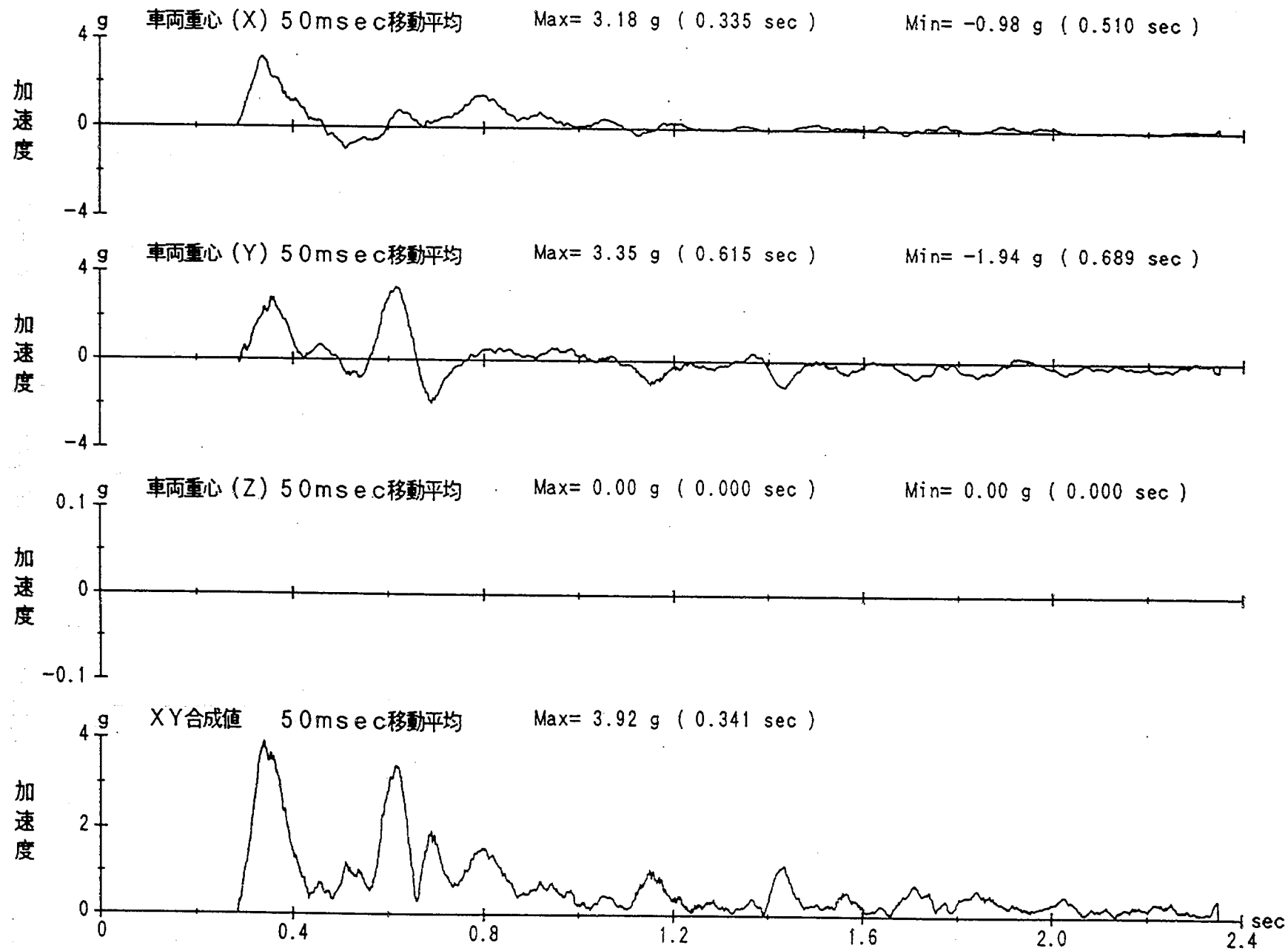
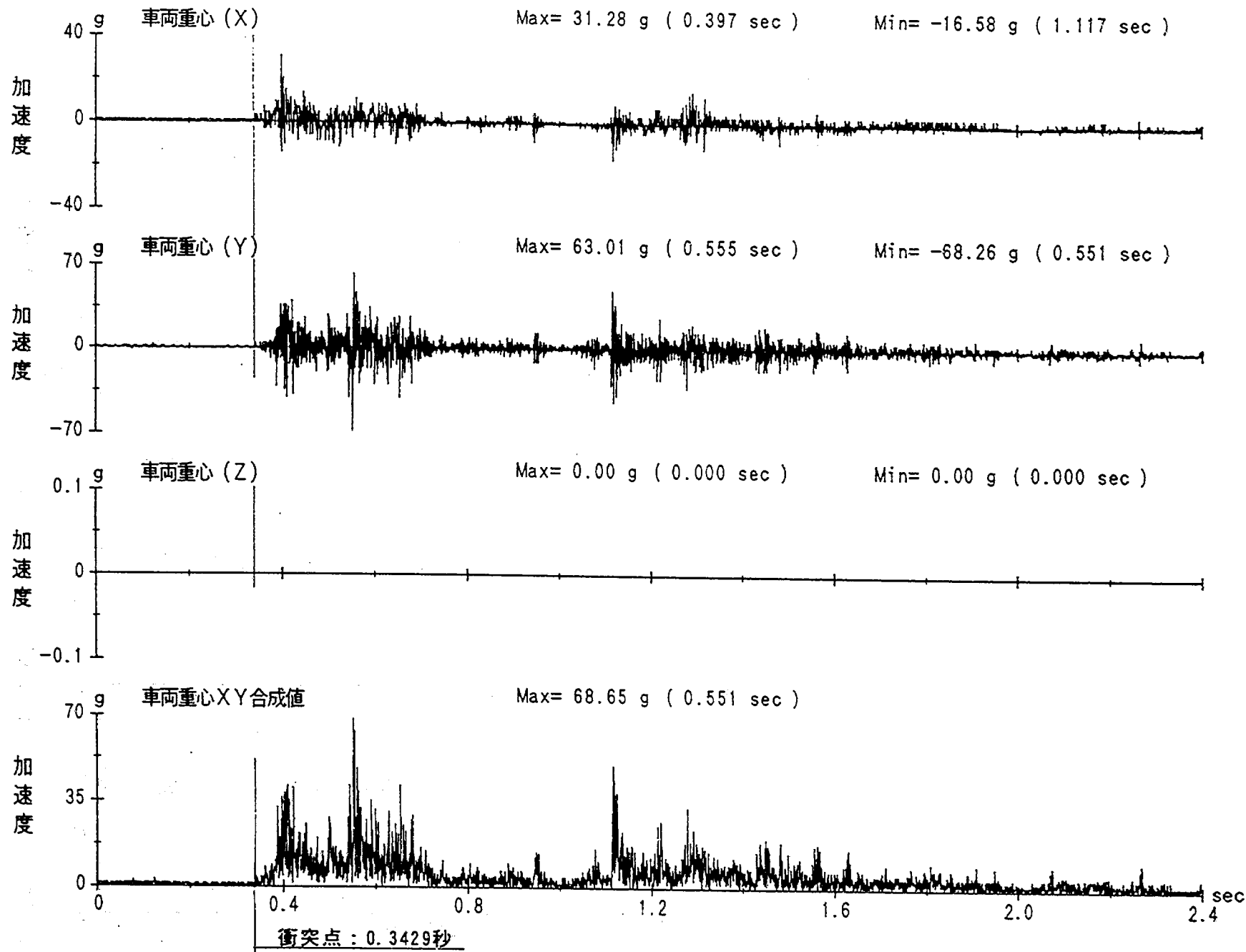


図 50msec移動平均及びXY合成値波形



図

原波形及びXY合成値波形

TEST2

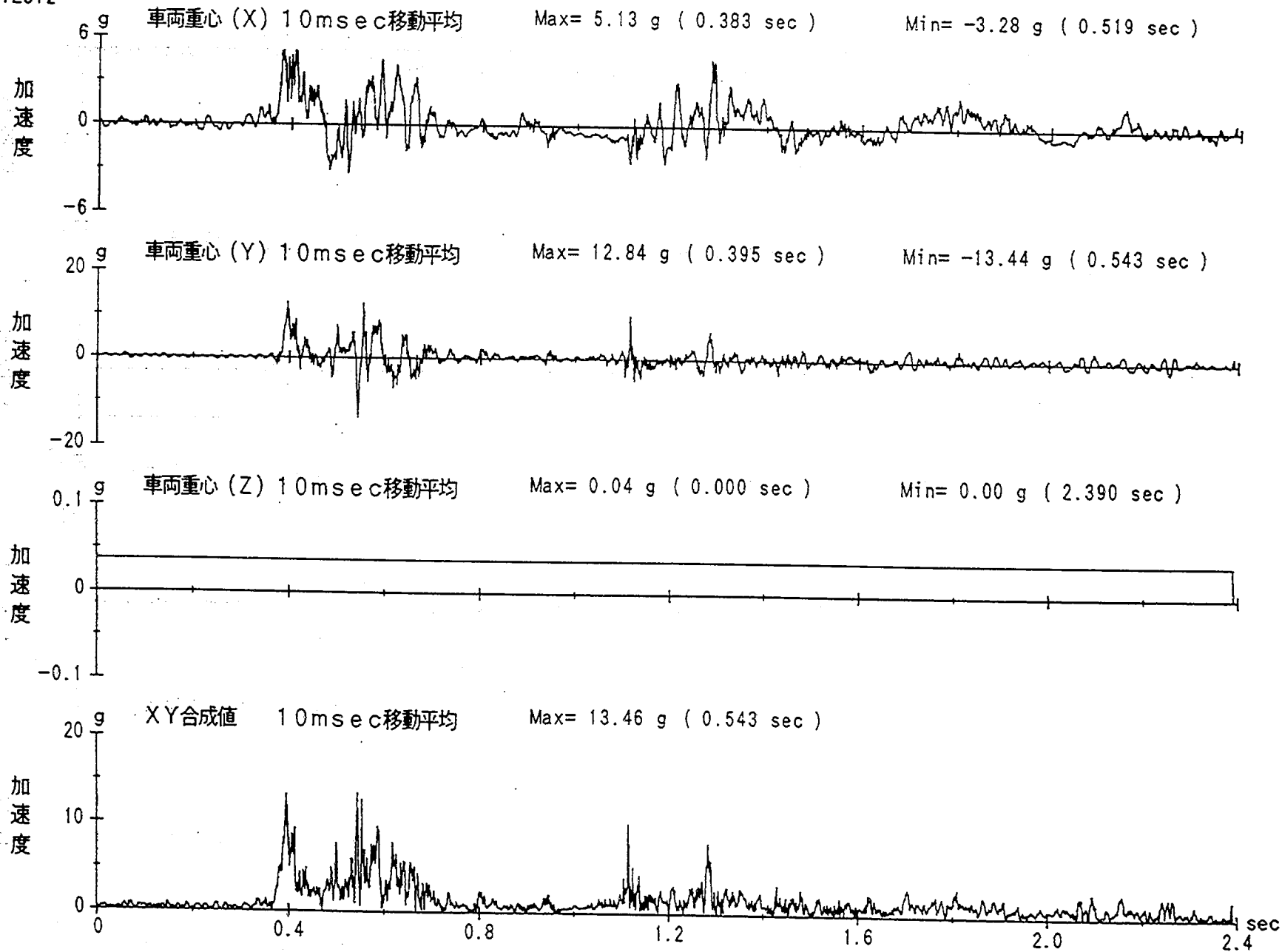


図 10 msec移動平均及びXY合成値加速度波形

TEST2

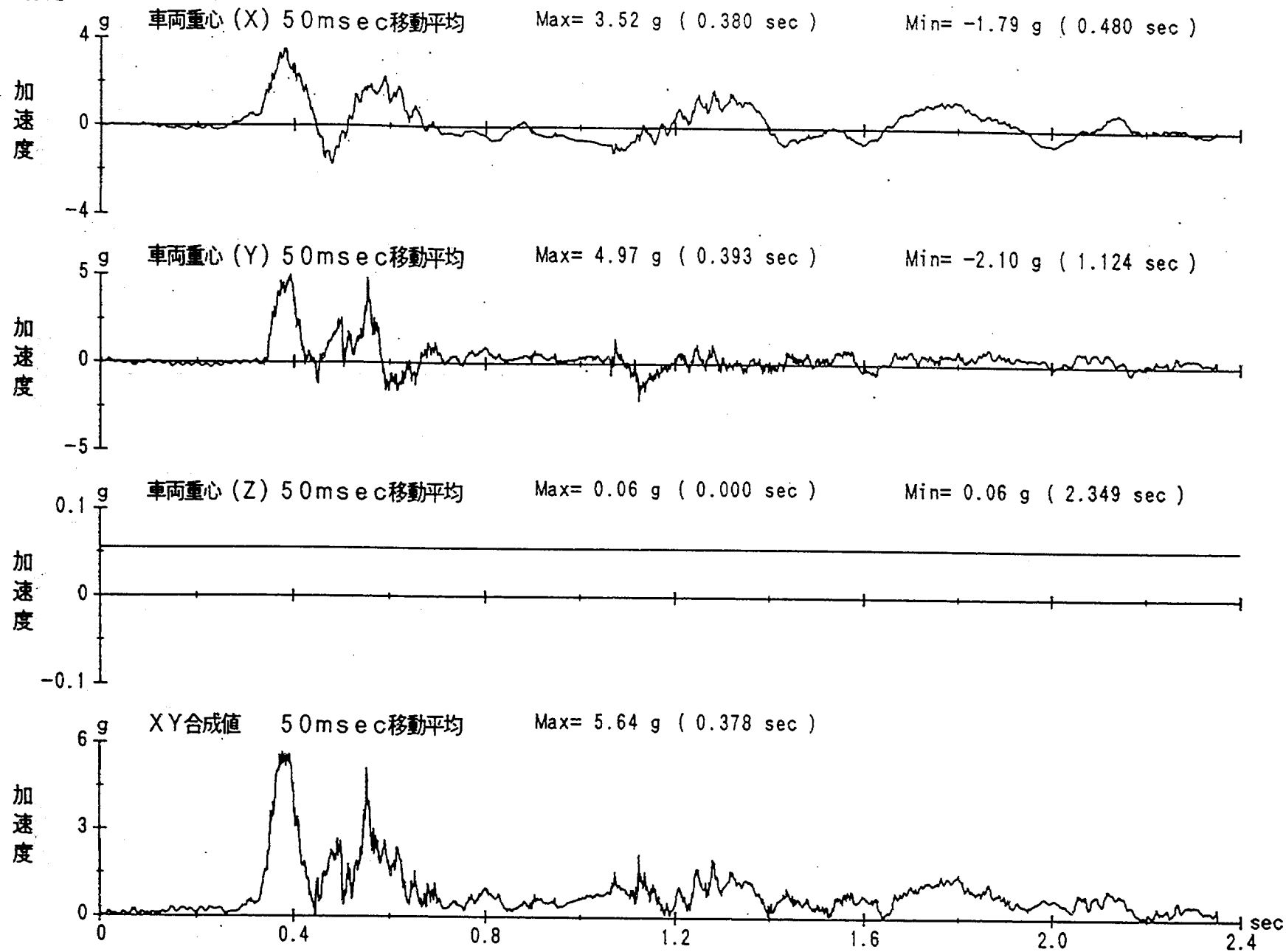
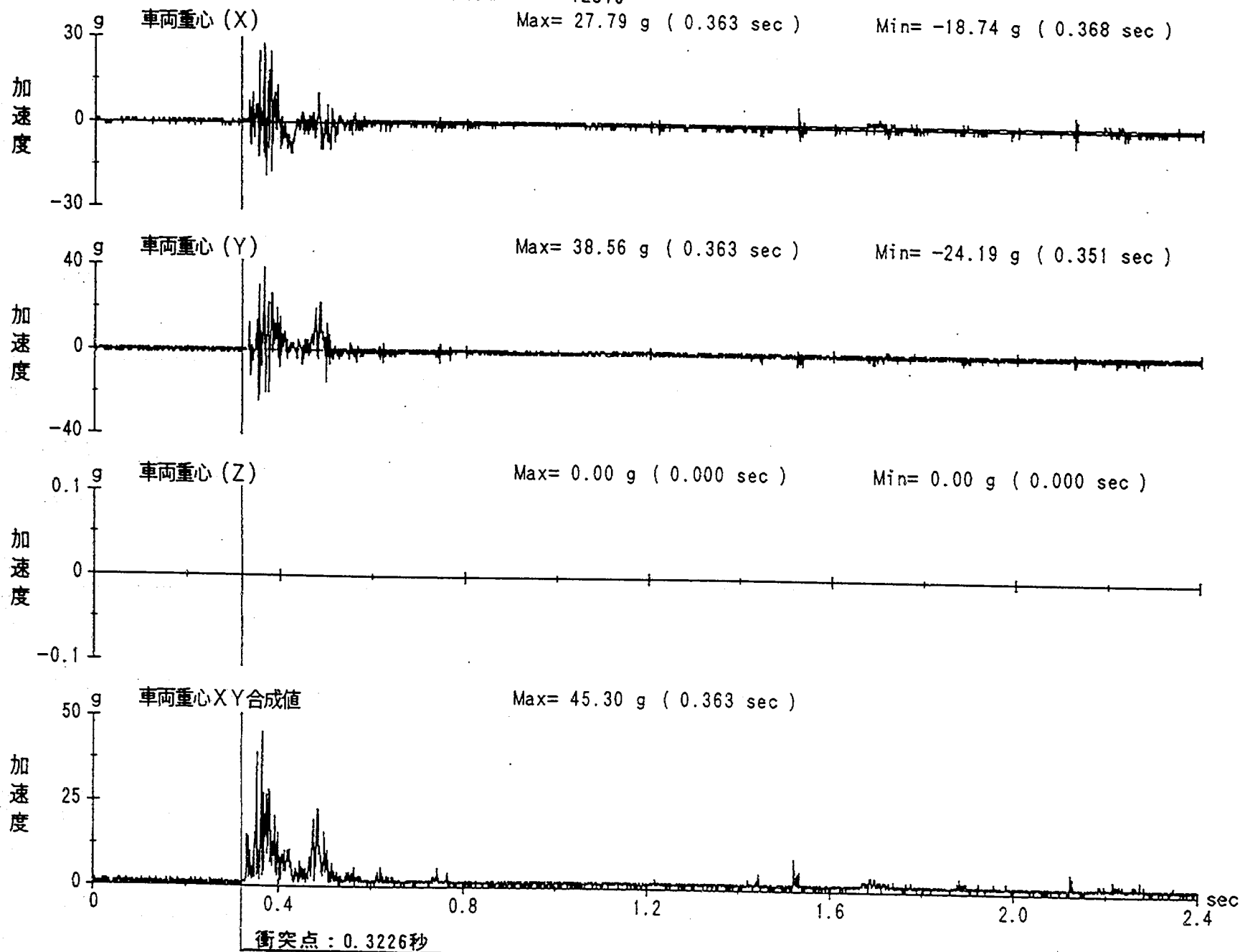


図 50msec移動平均及びXY合成値波形

車両の電気計測結果

1) 加速度の分析波形

TEST3



図

原波形及びXY合成値波形

TEST3

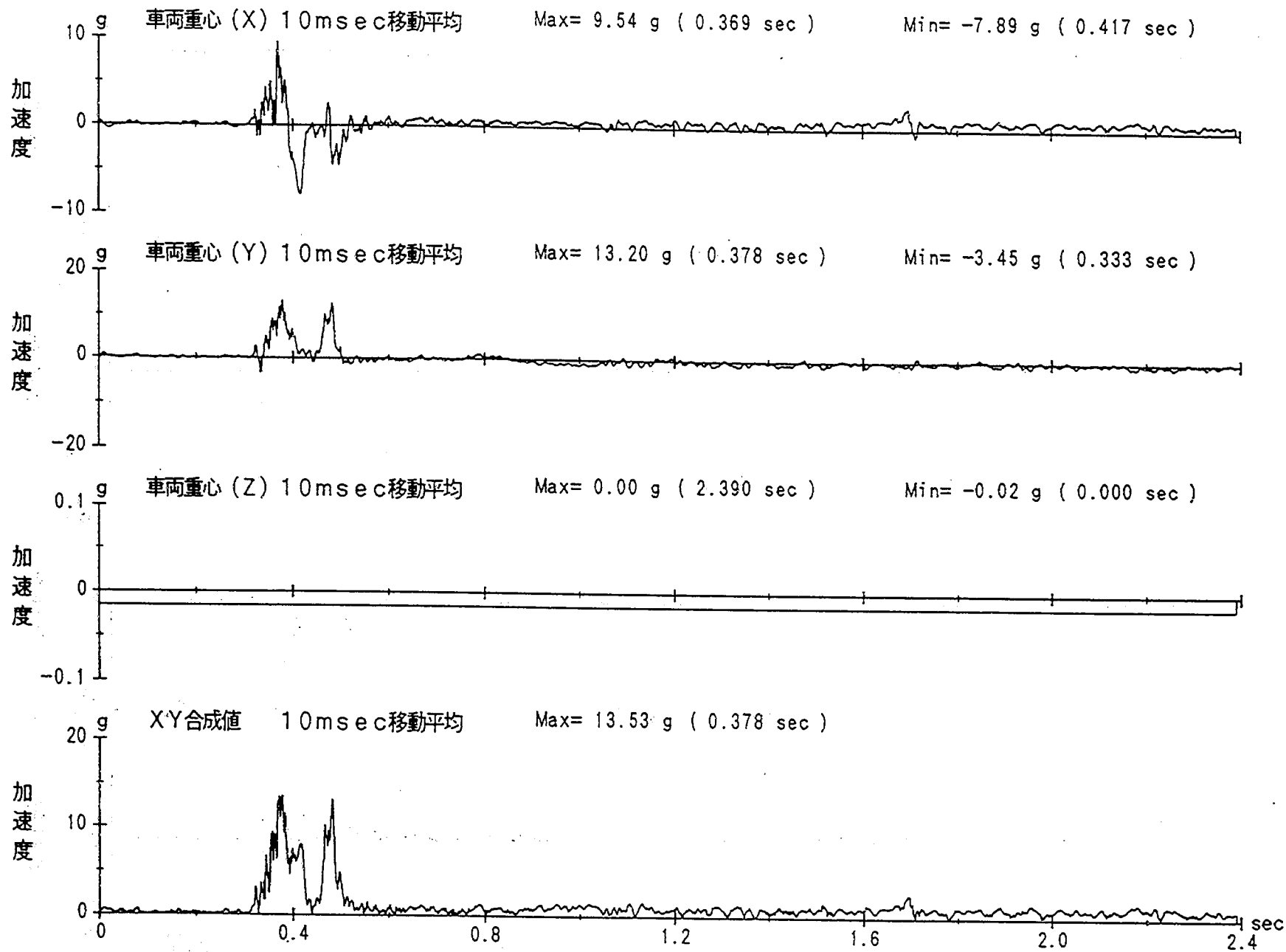


図 10 msec移動平均及びXY合成値加速度波形

TEST3

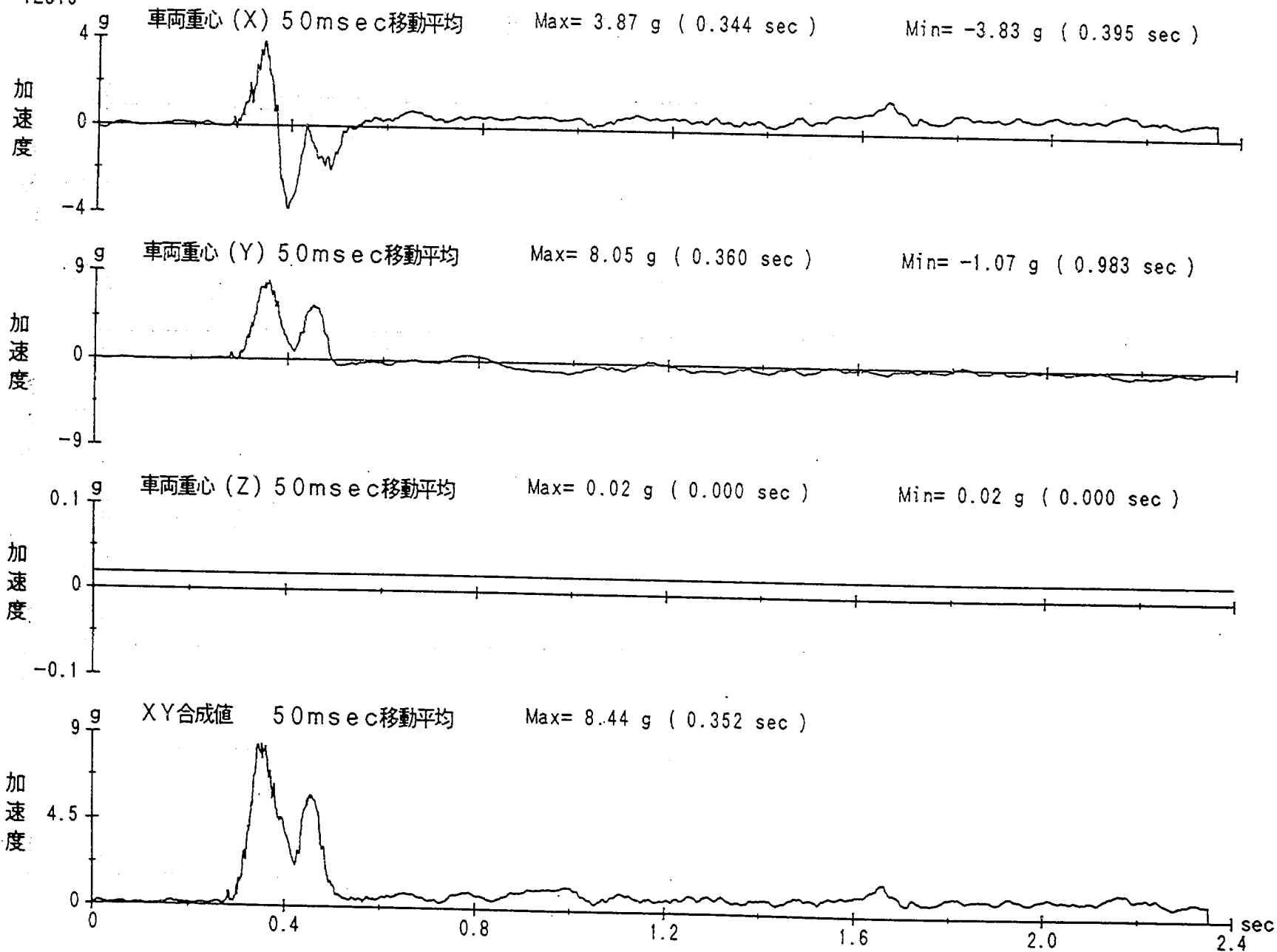


図 50msec移動平均及びXY合成値波形

TEST 3

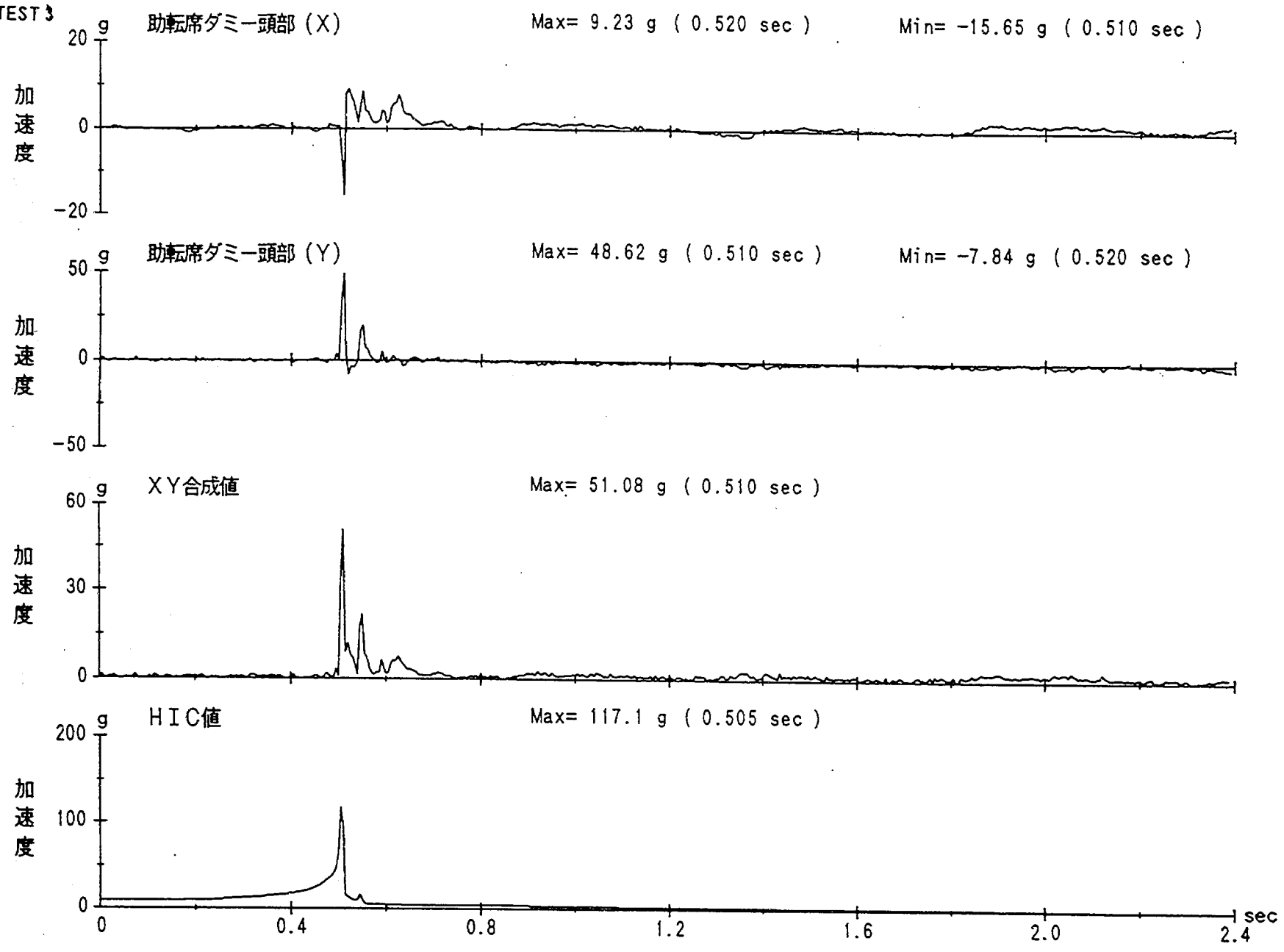
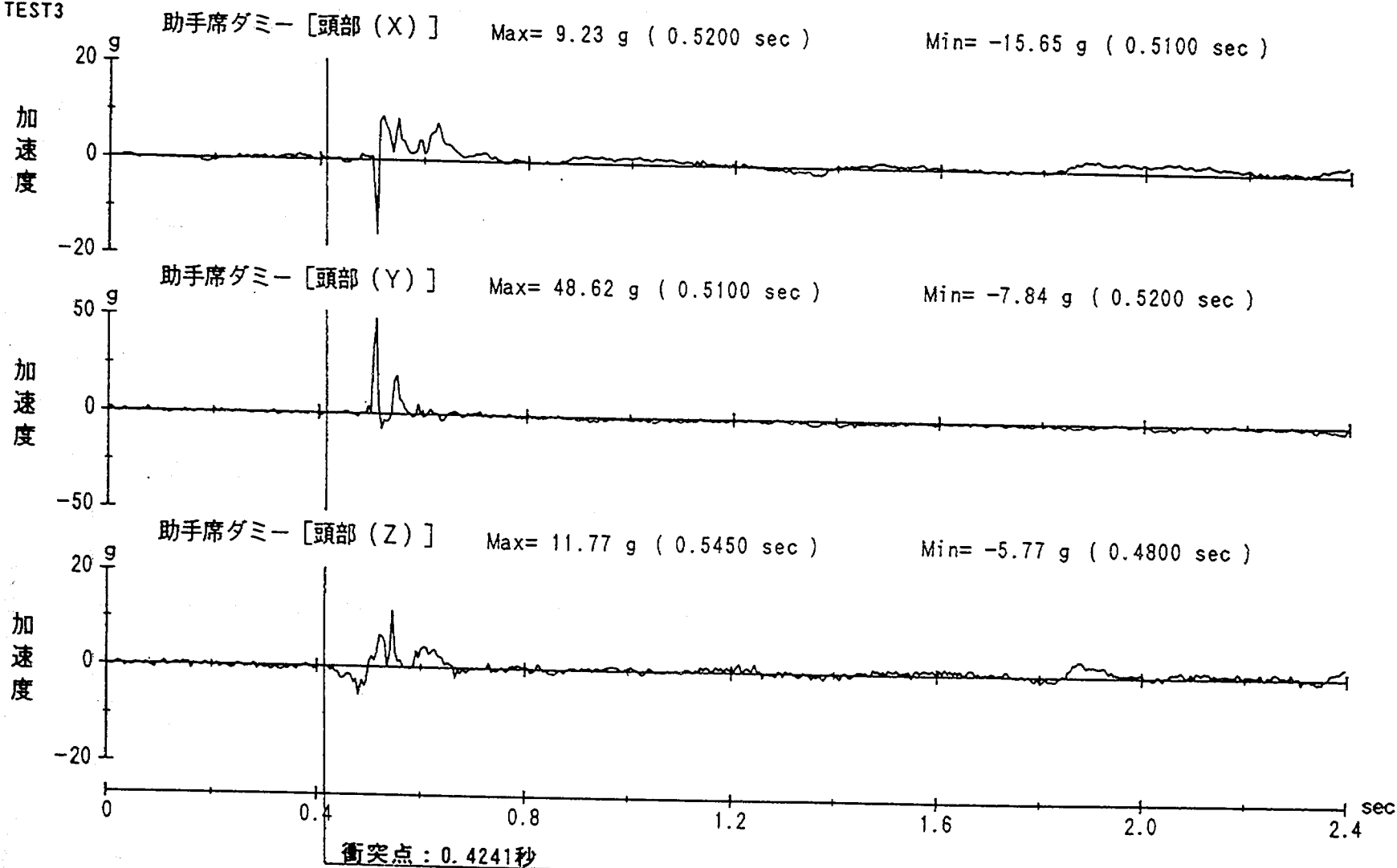


図 加速度原波形及びH I C値

TEST3



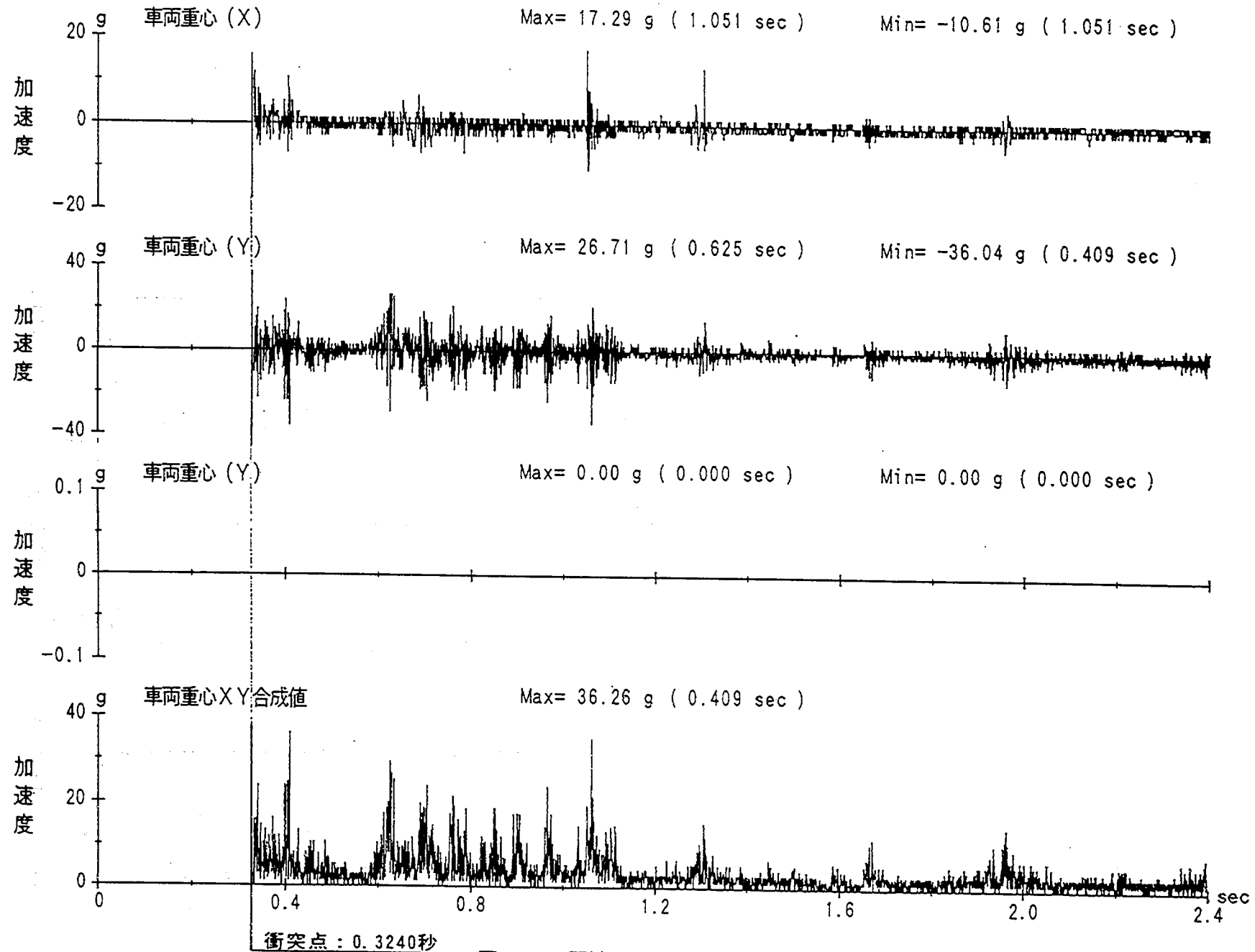
図

助手席ダミー (頭部) 加速度波形 (No. 3 実験)

車両の電気計測結果

1) 加速度の分析波形

TEST4



図

原波形及びXY合成値波形

TEST4

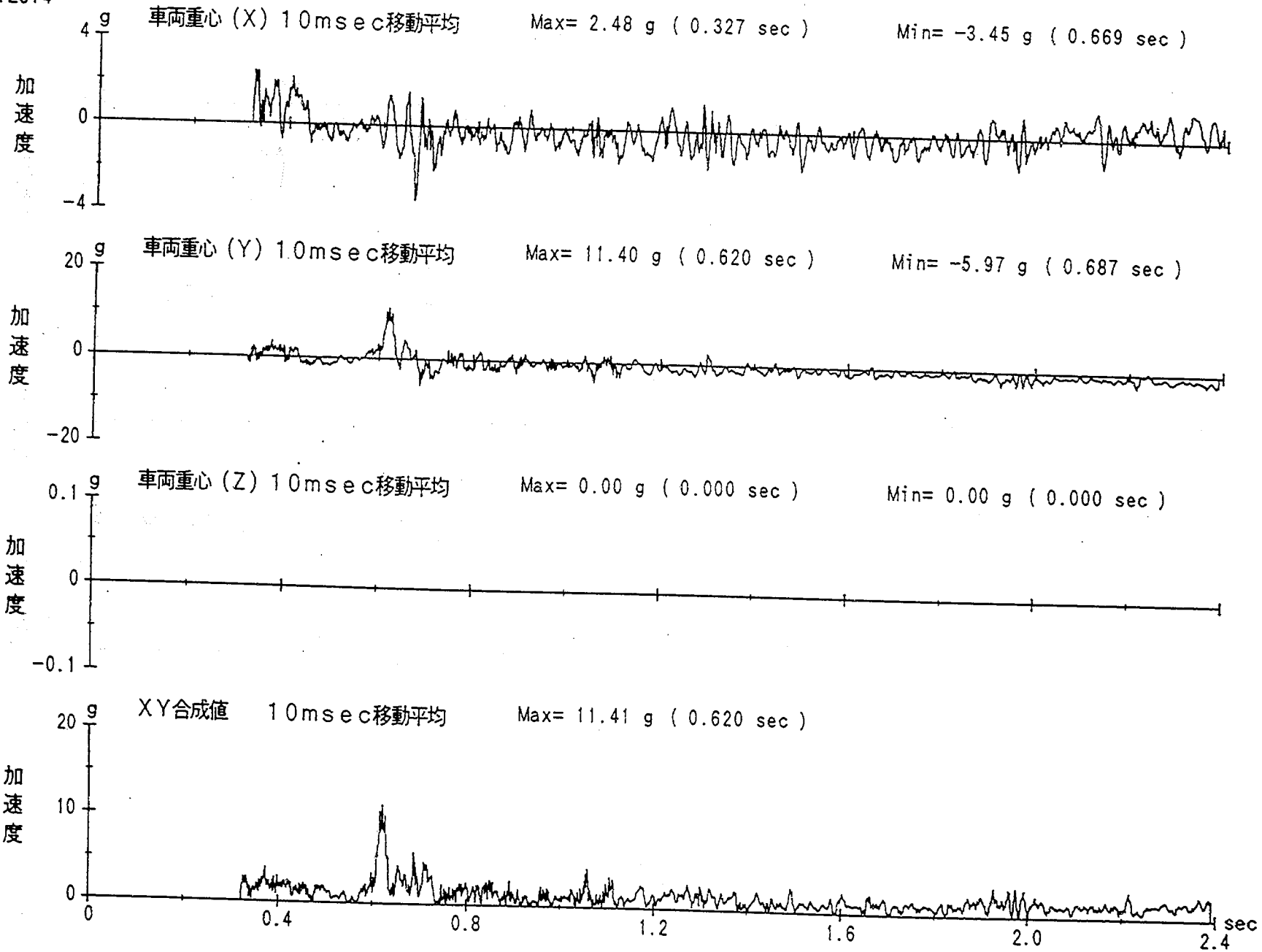


図 10 msec移動平均及びXY合成値加速度波形

TEST4

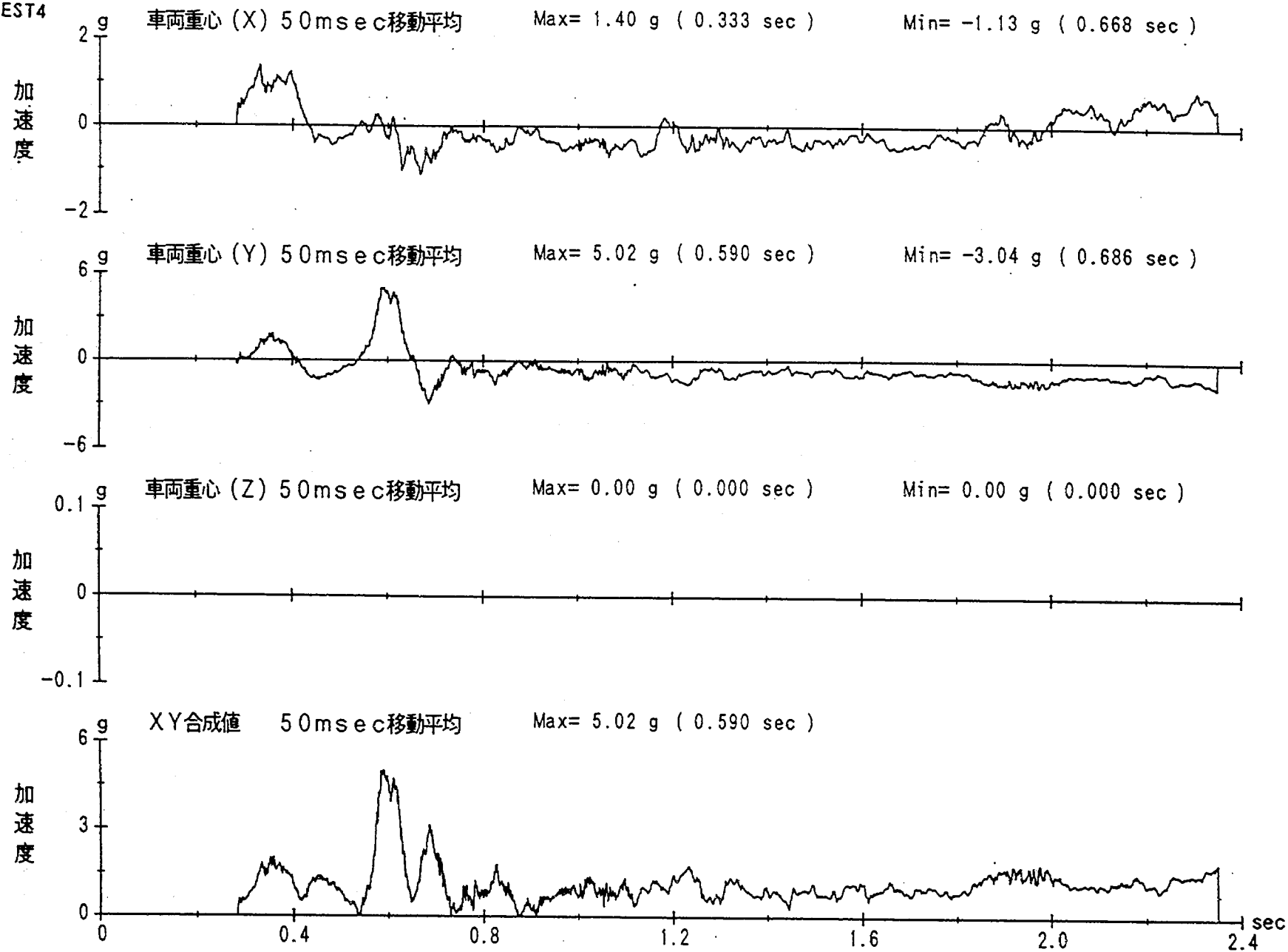
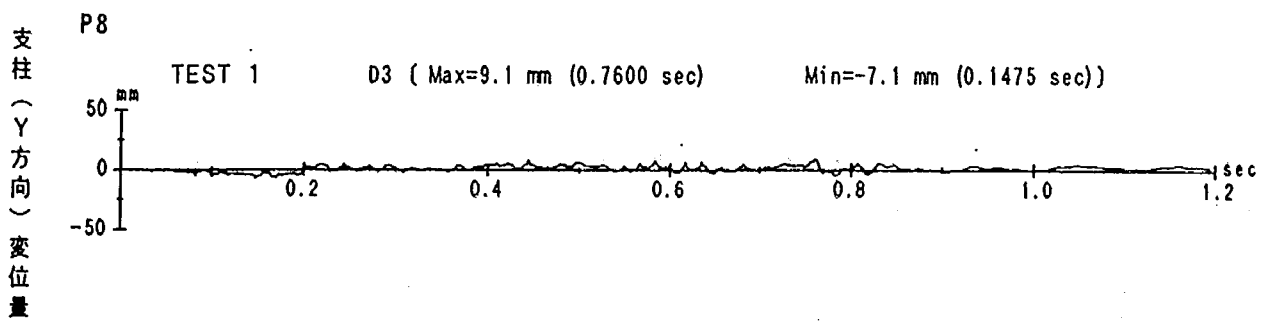
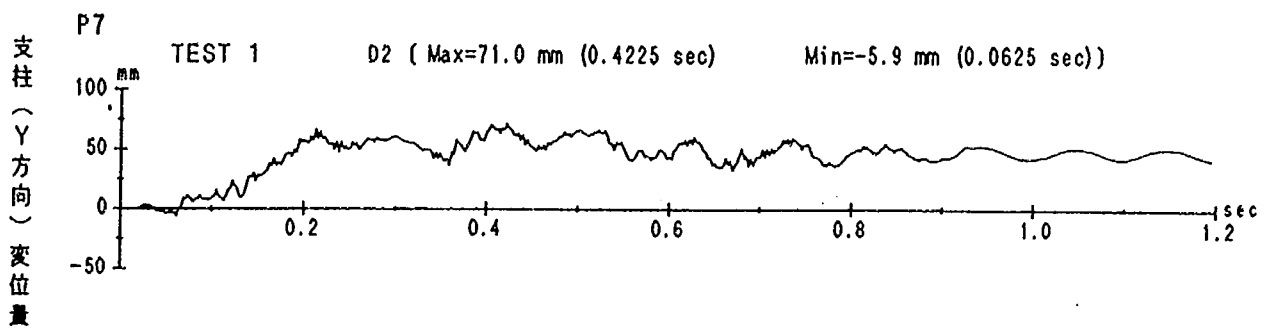
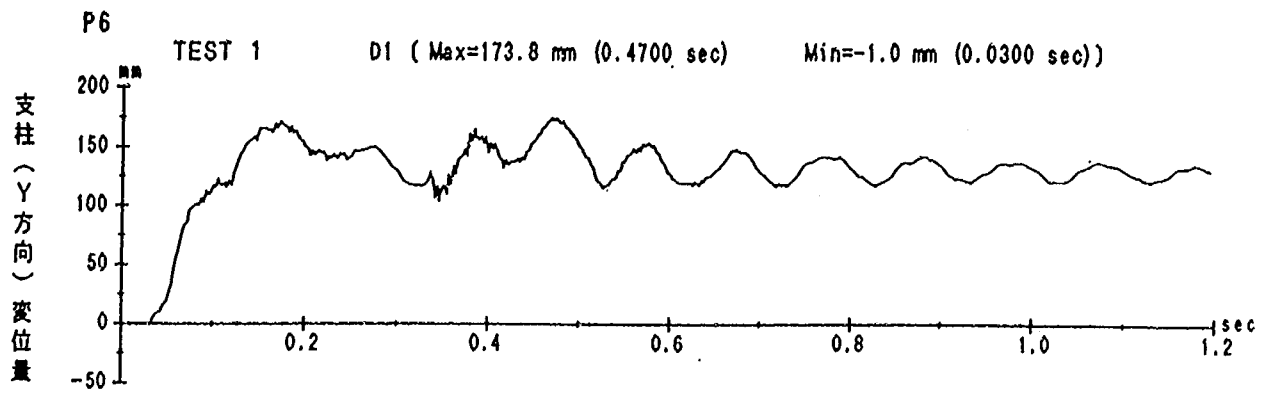
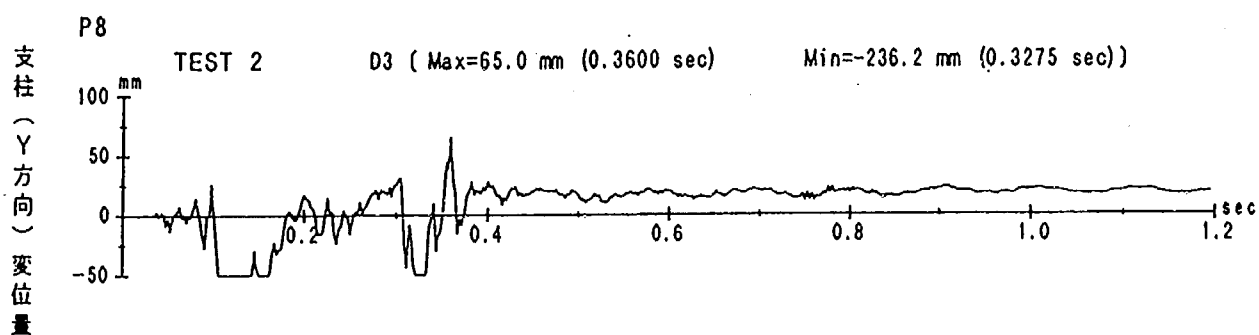
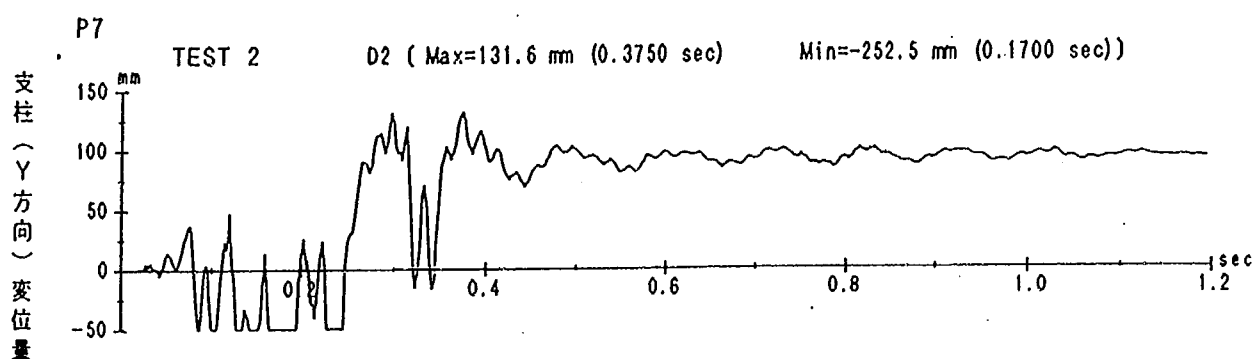
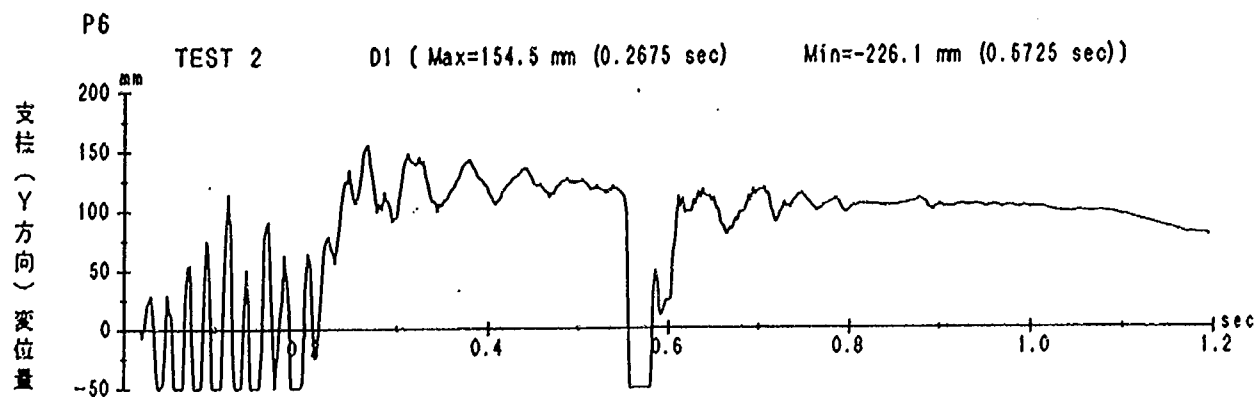
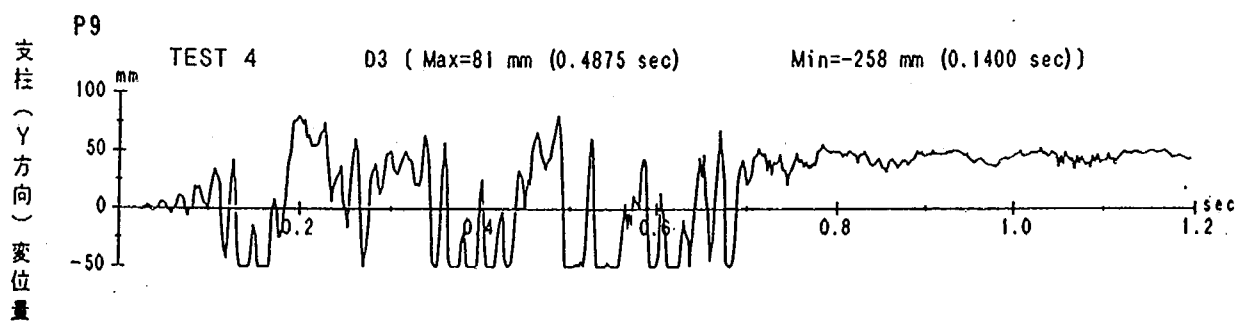
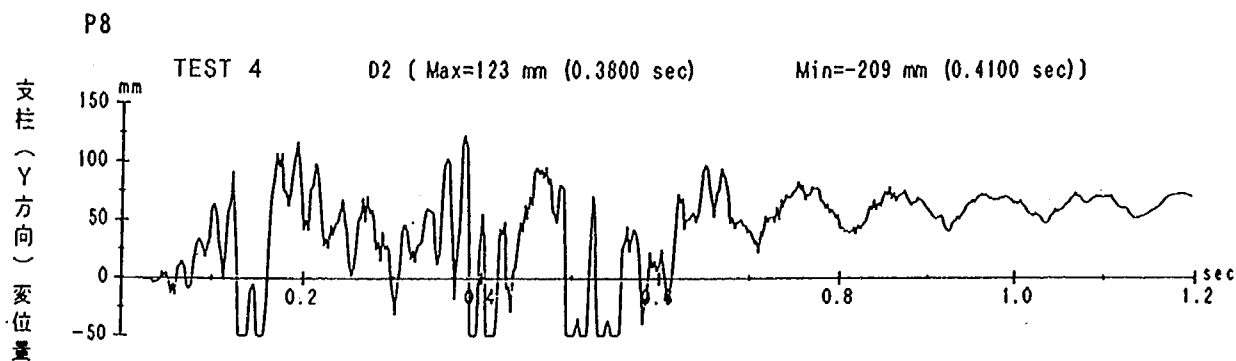
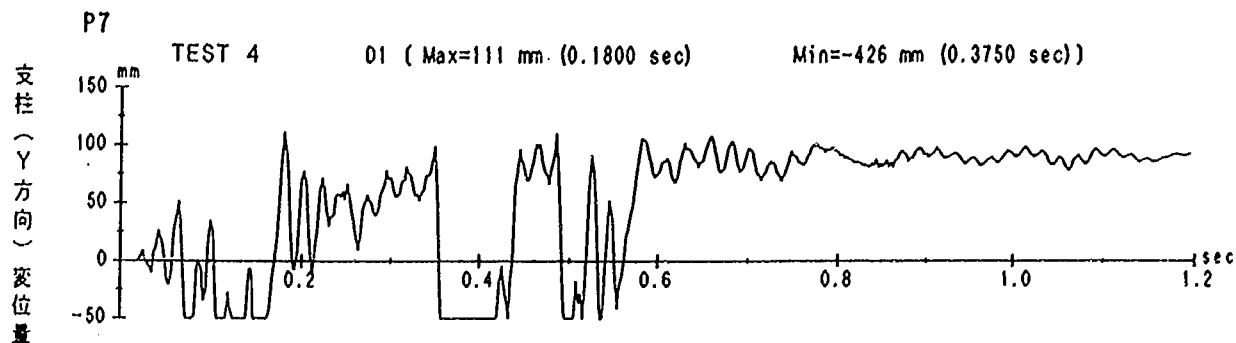


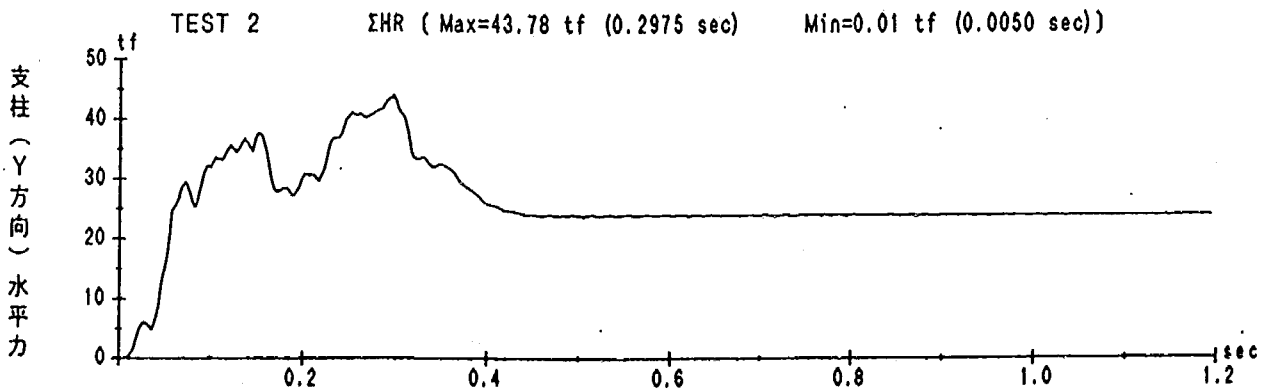
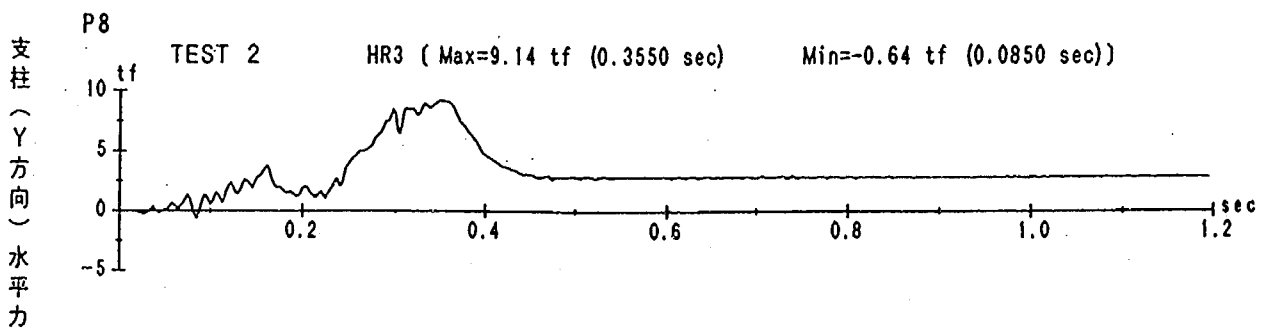
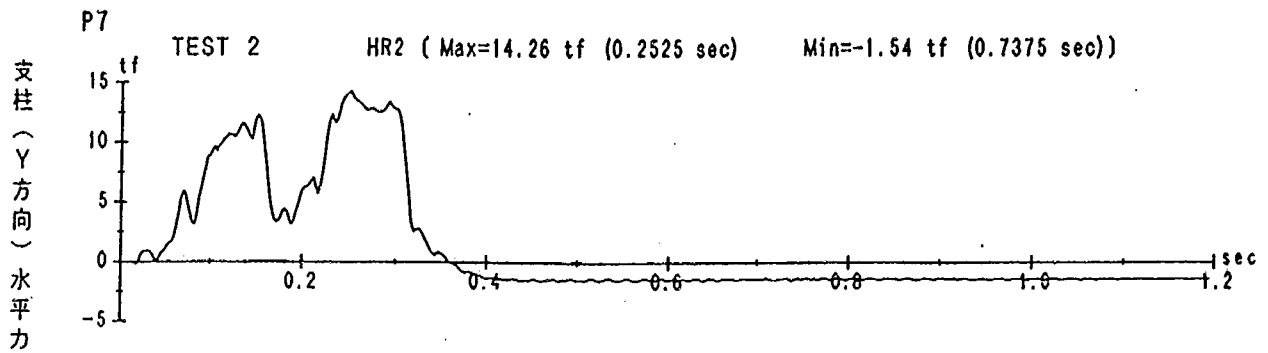
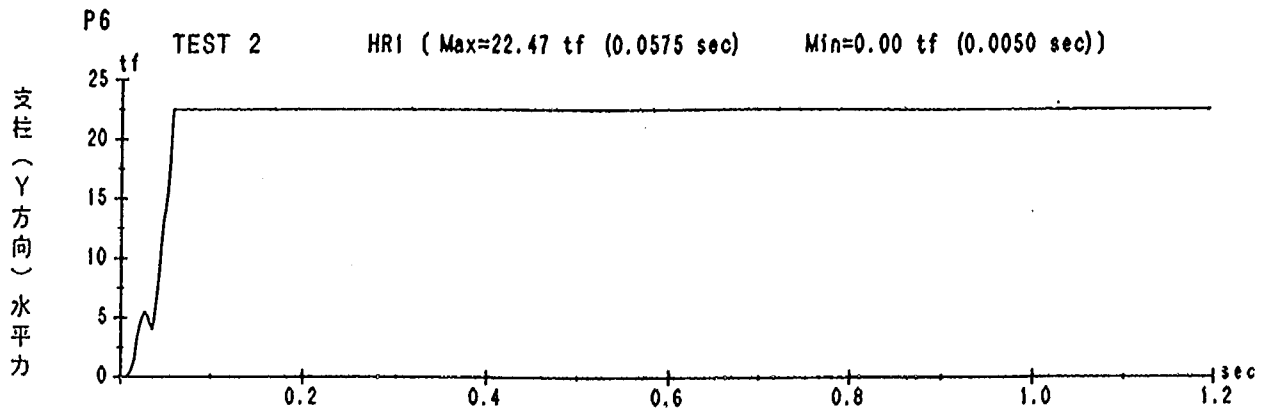
図 50 msec移動平均及びXY合成値波形



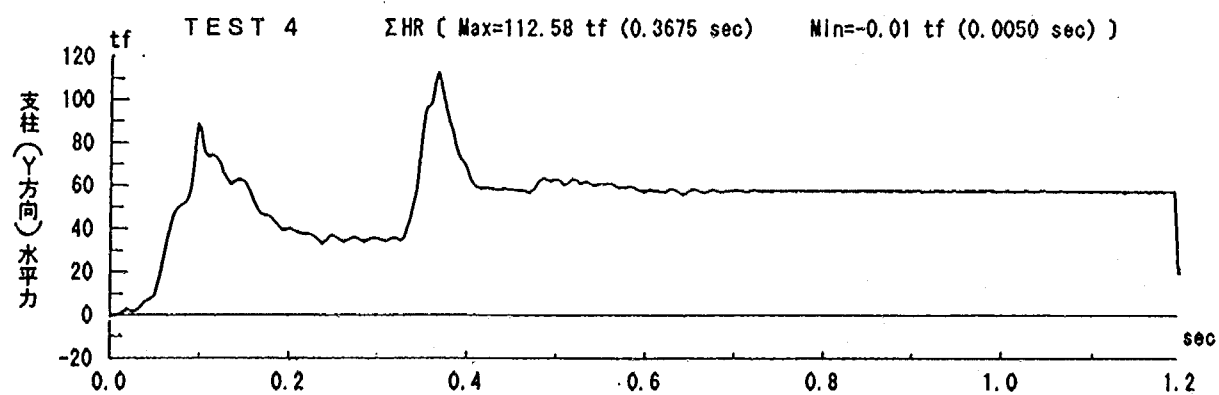
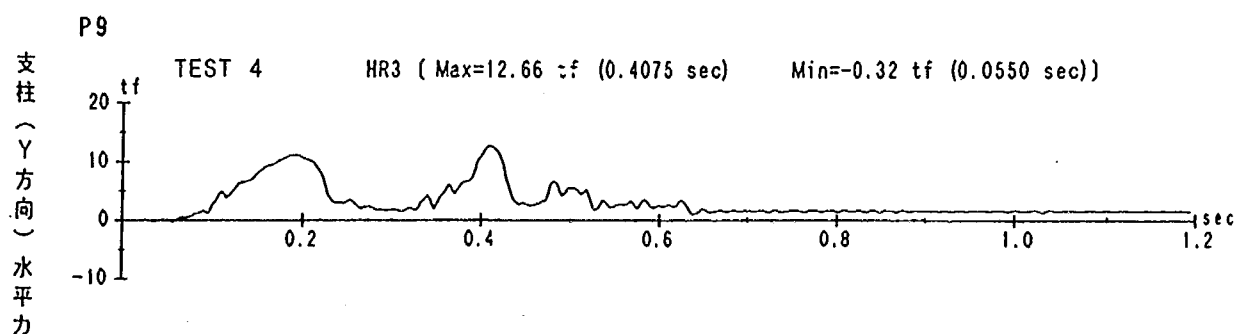
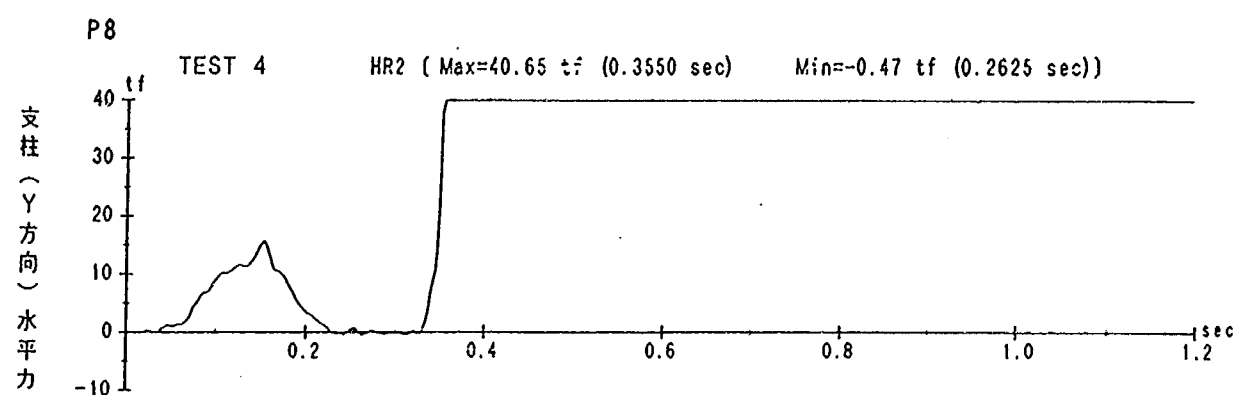
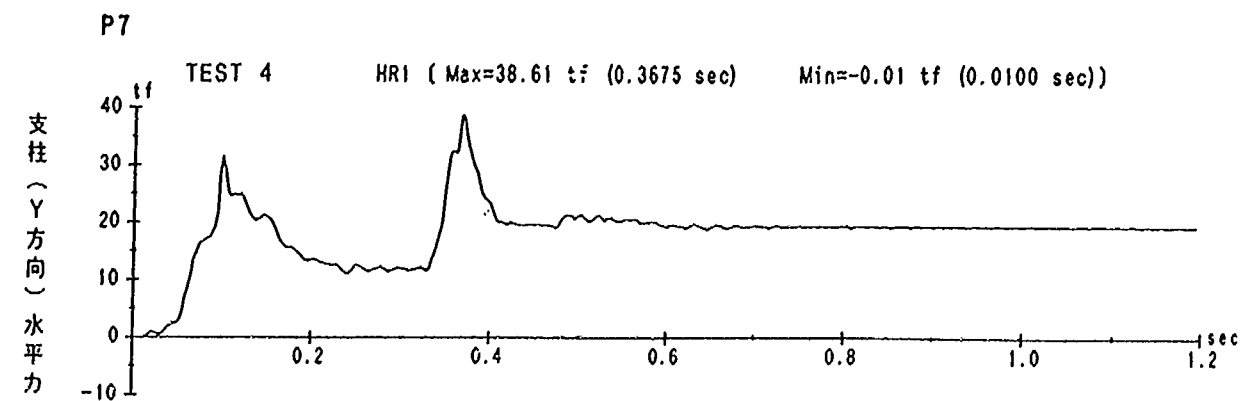




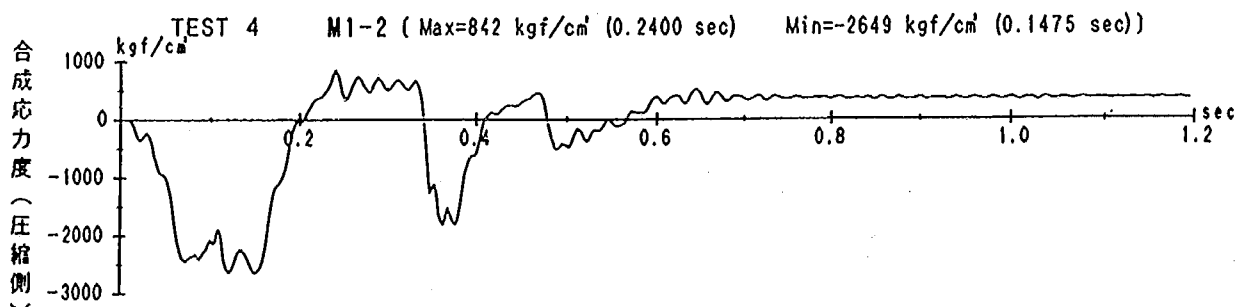
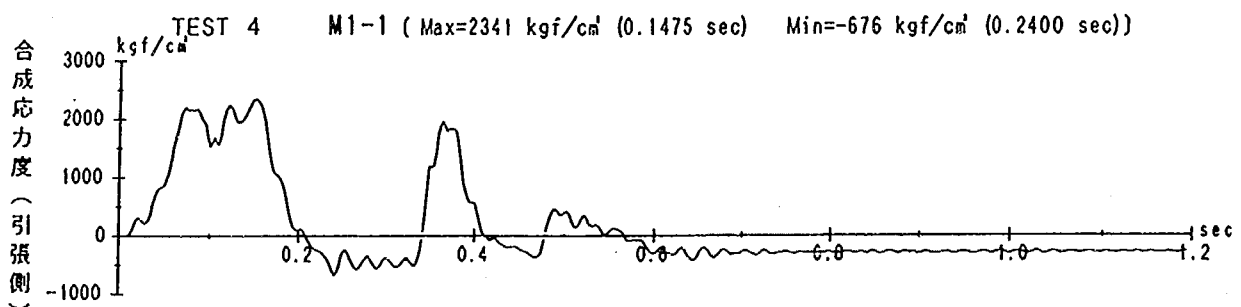
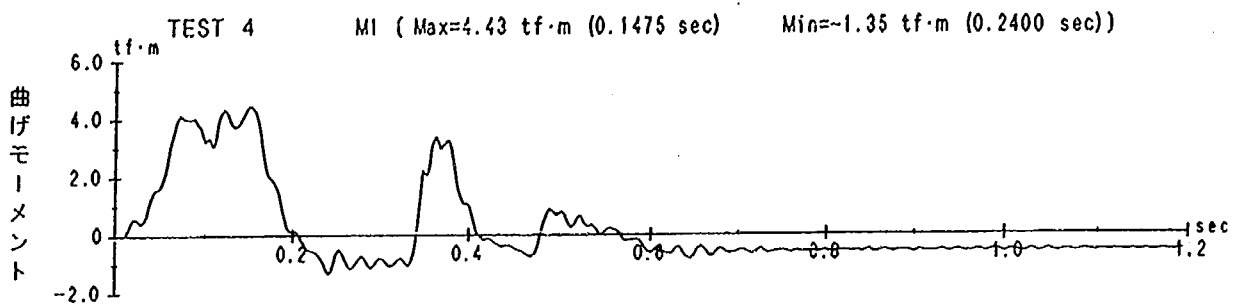
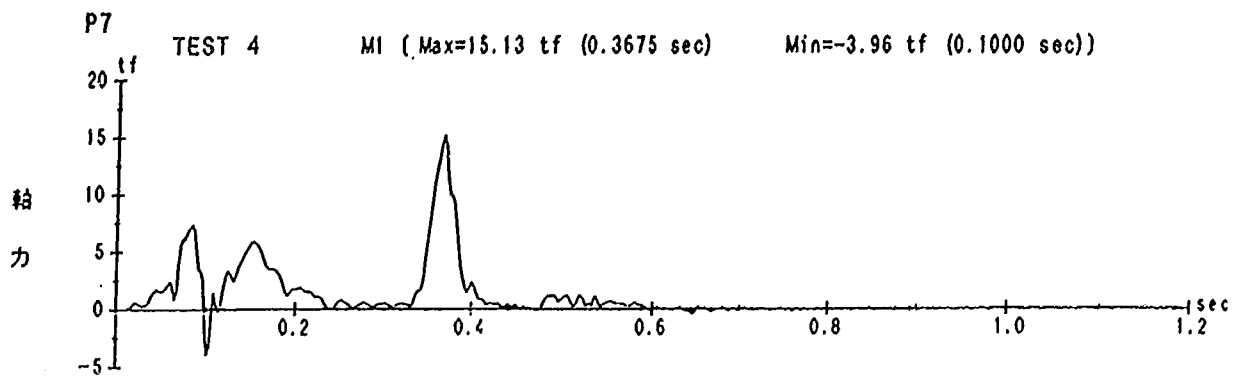
支柱に作用した防護柵直角方向（Y）の水平力と合計



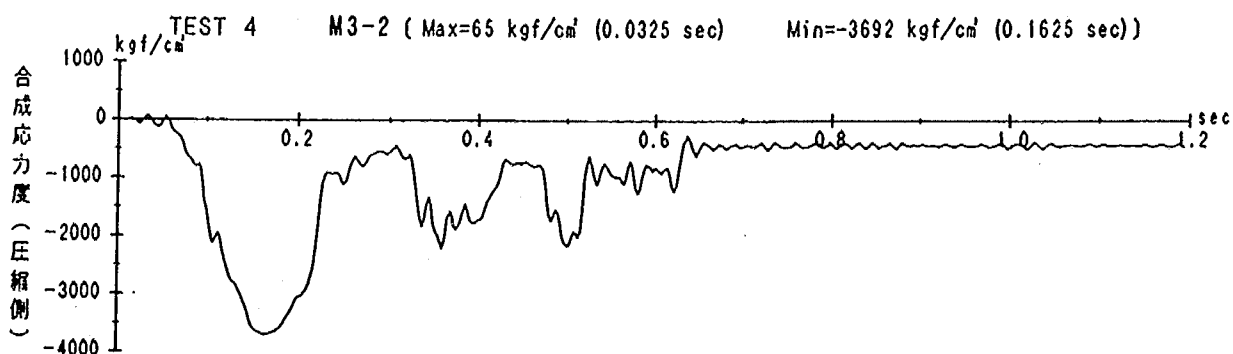
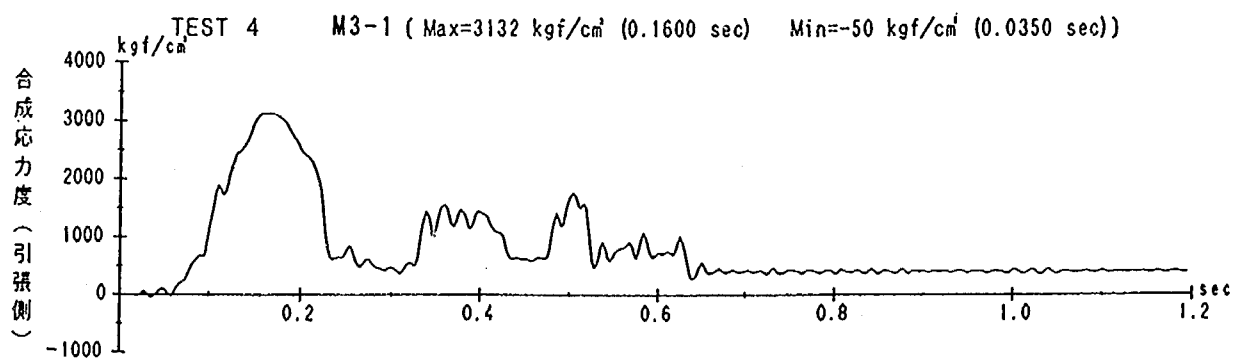
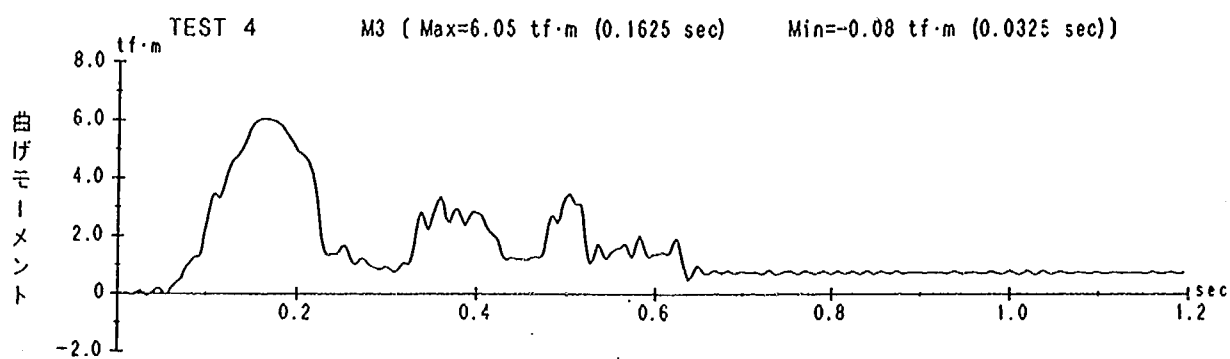
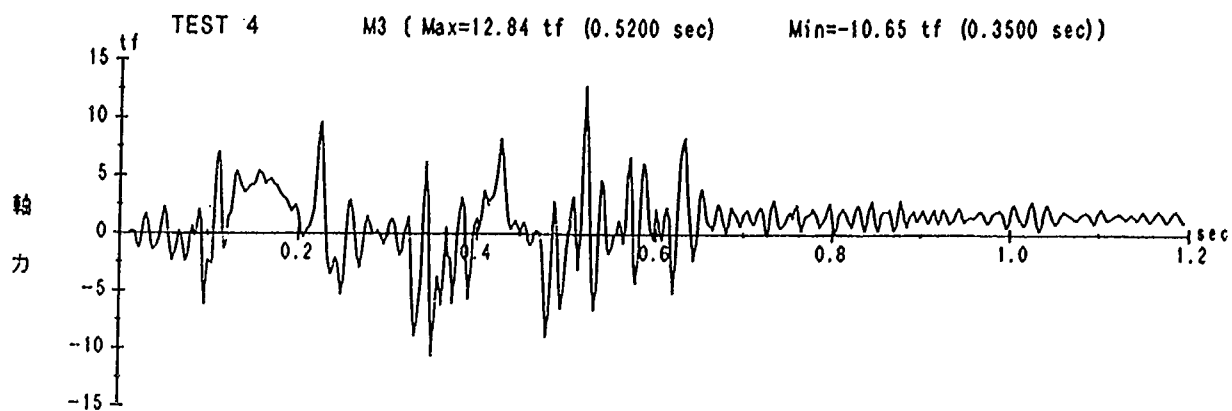
支柱に作用した防護柵直角方向（Y方向）の水平力と合計



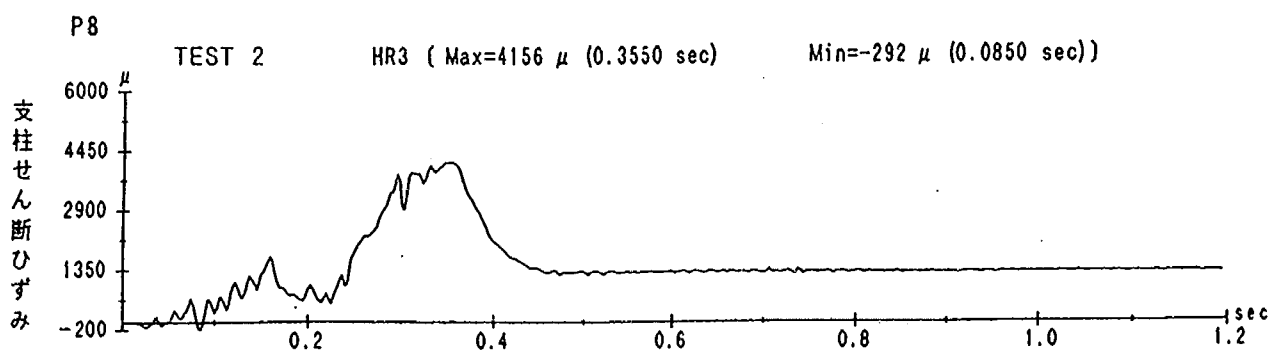
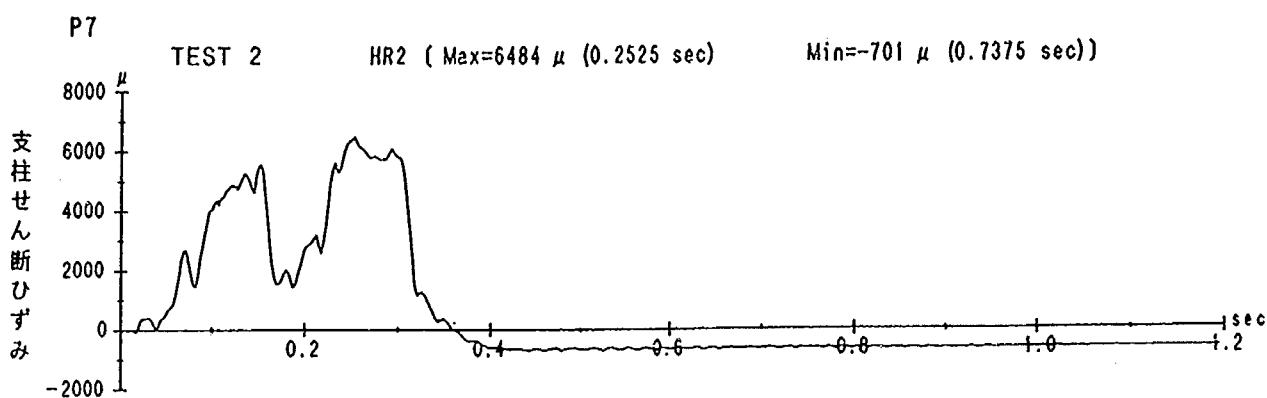
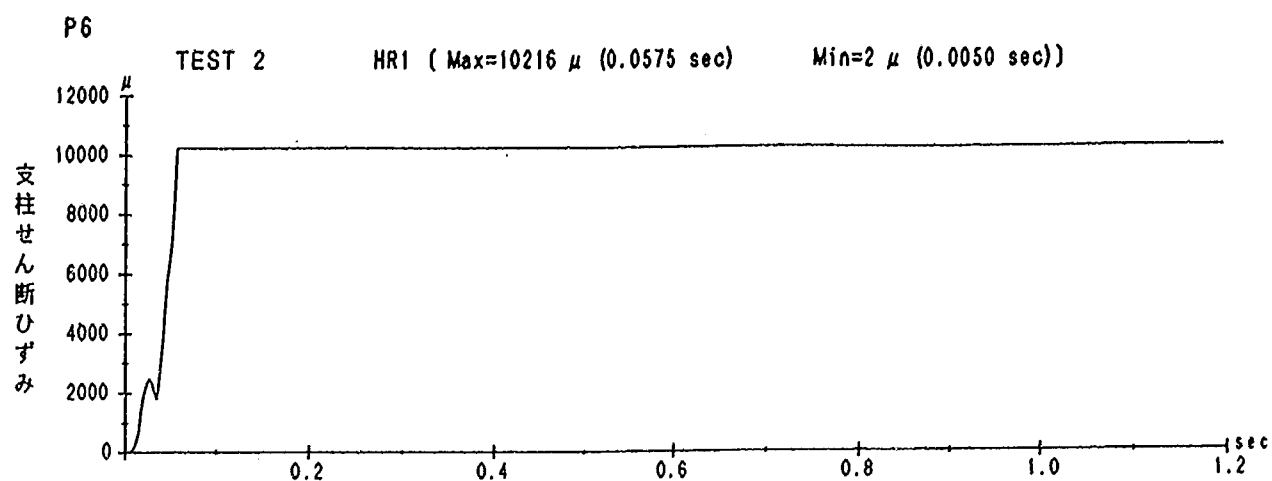
支柱に作用した軸力、曲げモーメントおよび合成応力



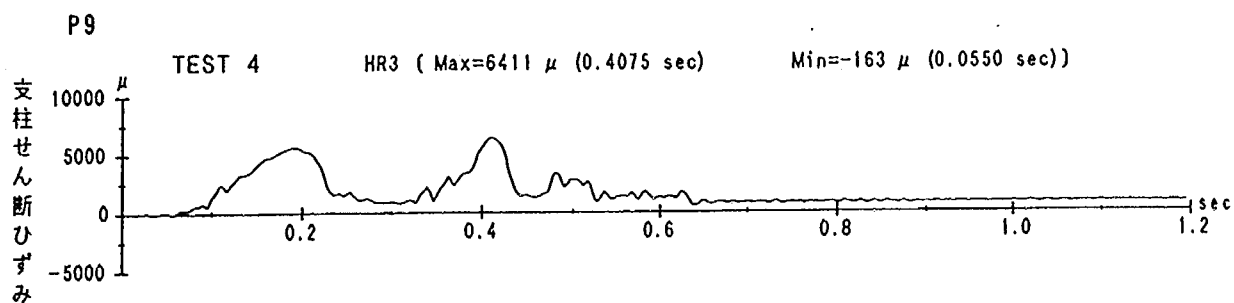
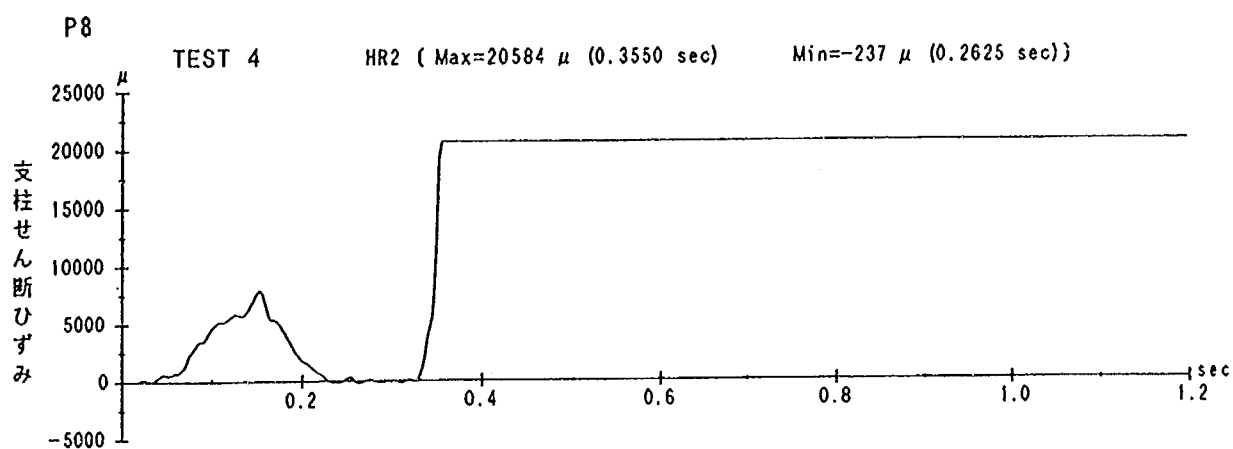
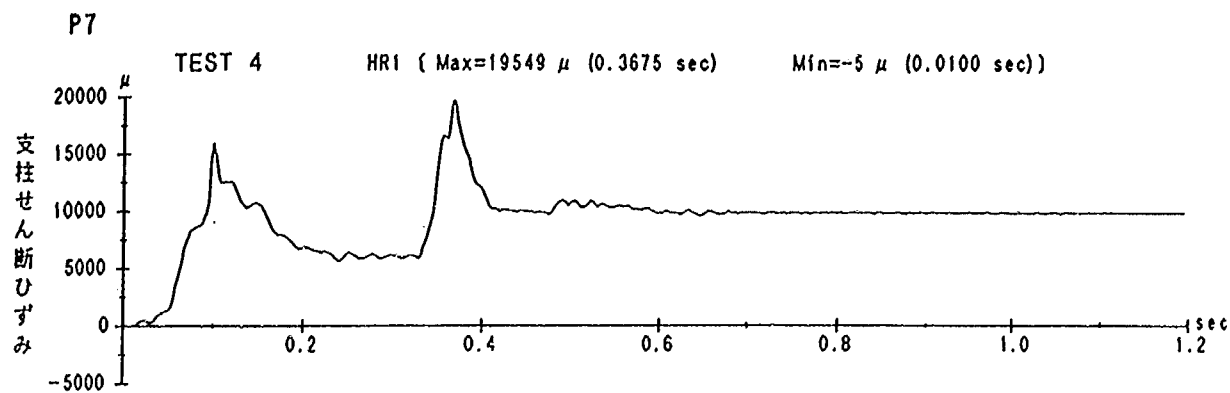
P9



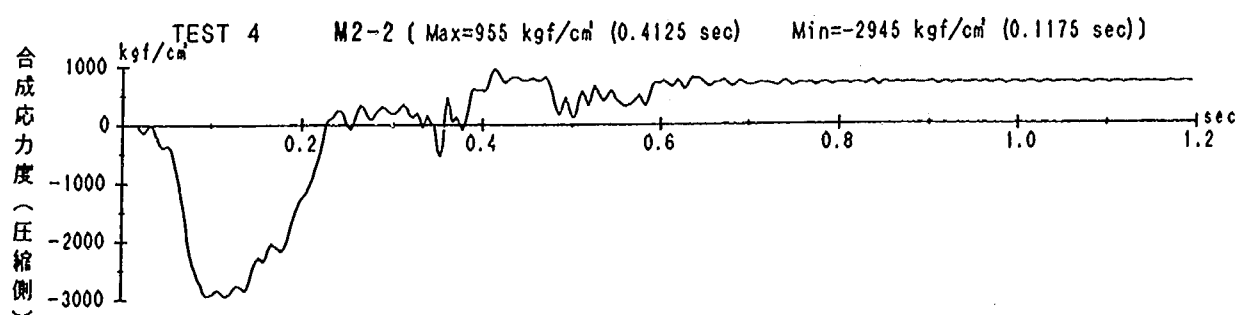
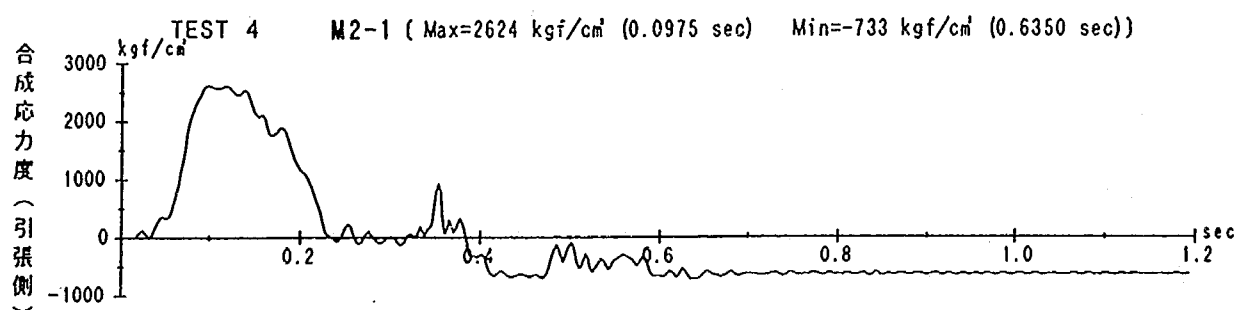
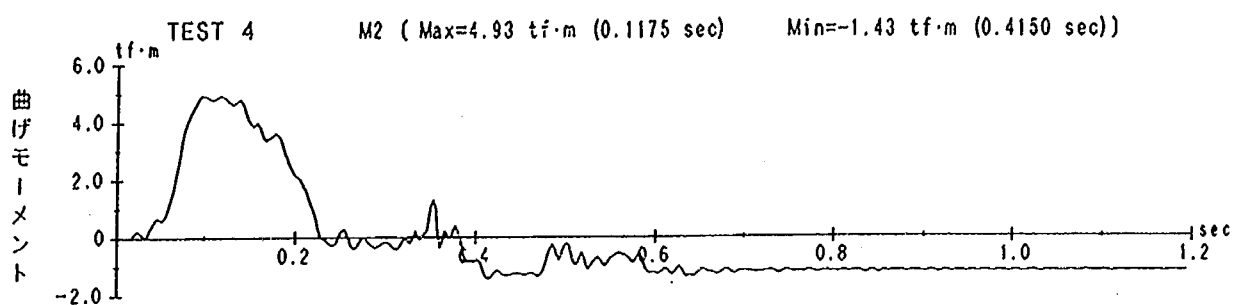
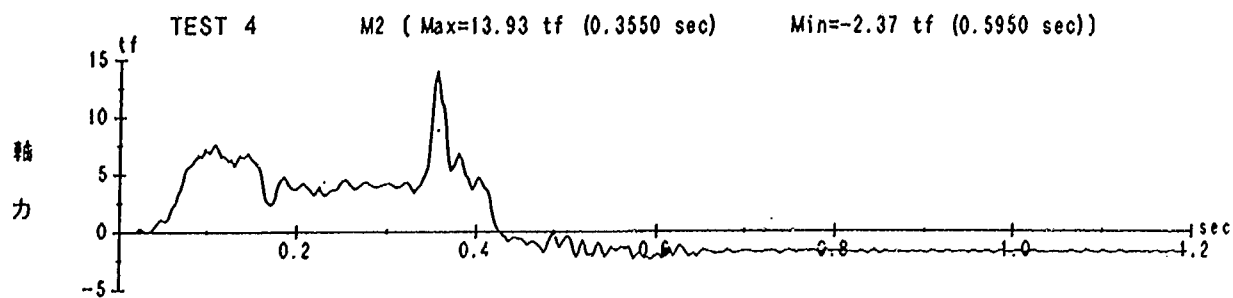
支柱に作用した防護柵直角方向（Y方向）のせん断ひずみ



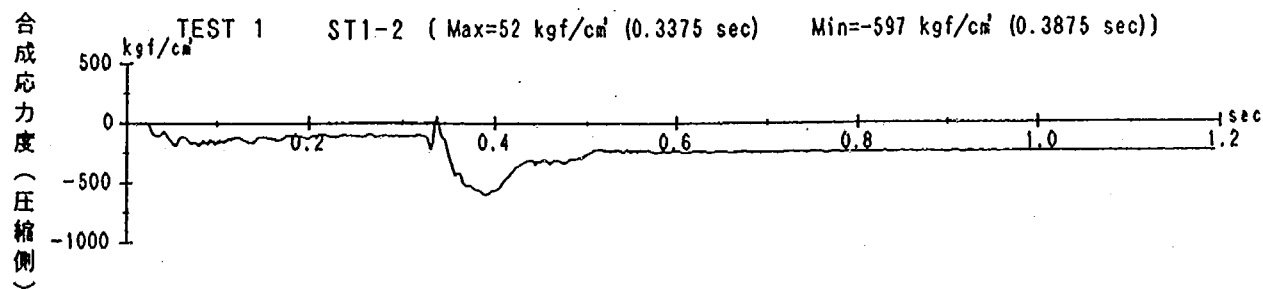
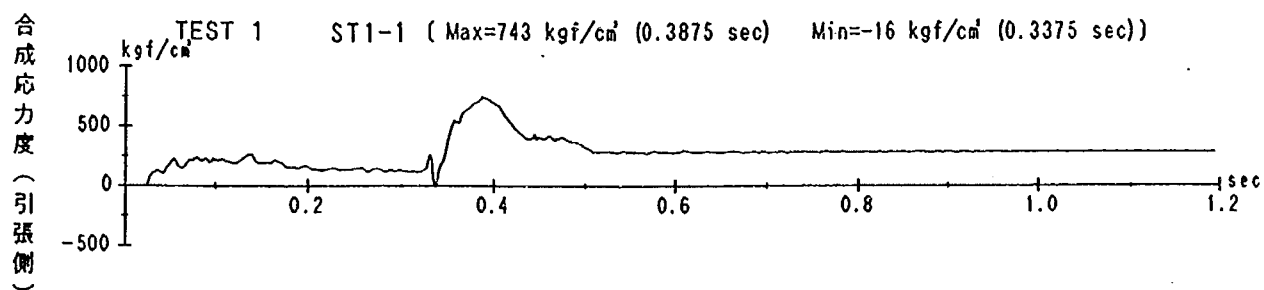
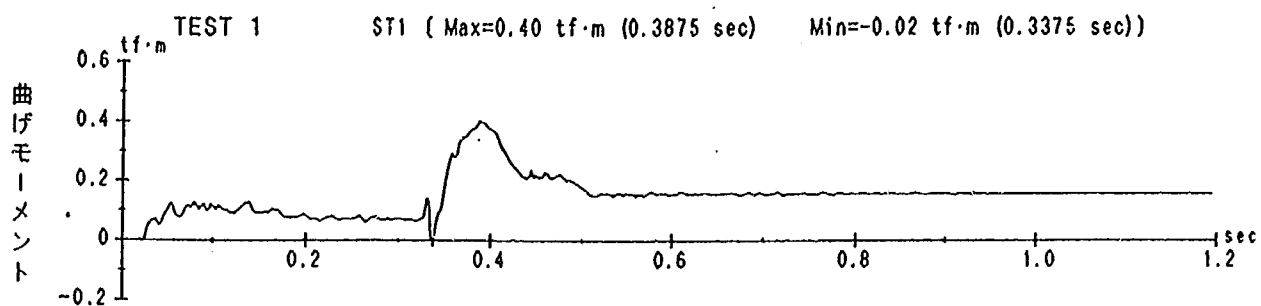
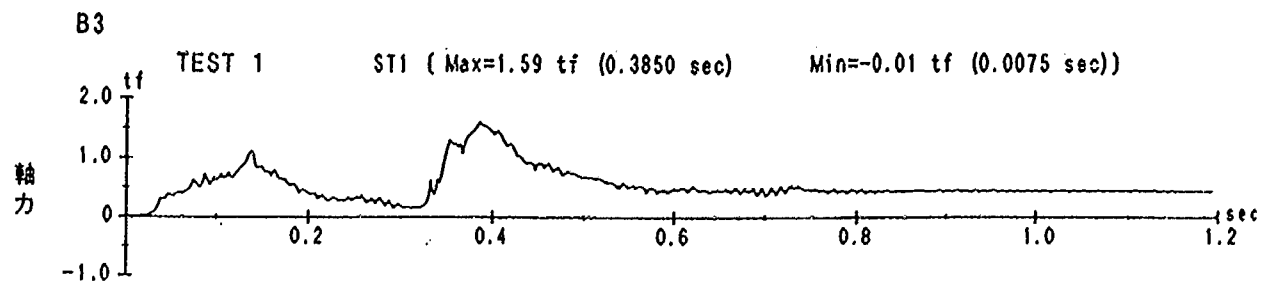
支柱に作用した防護柵直角方向（Y方向）のせん断ひずみ

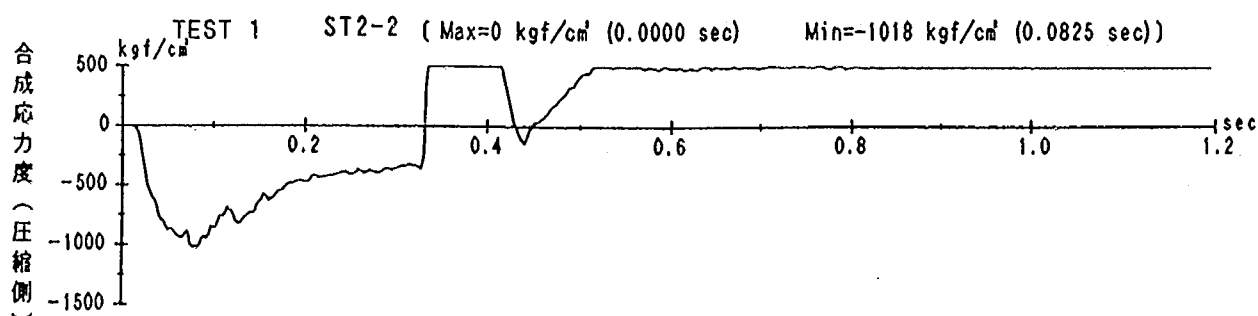
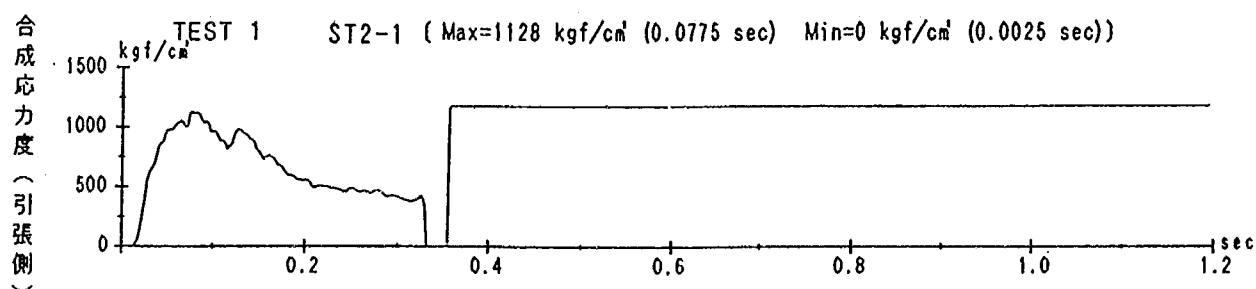
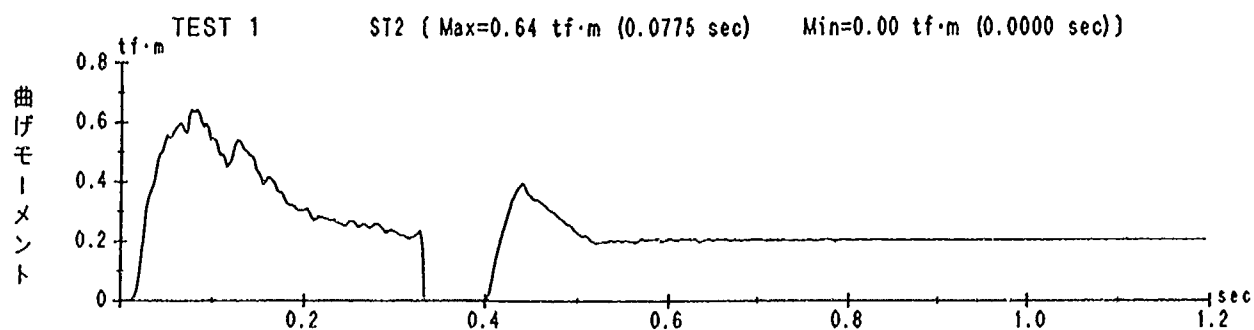
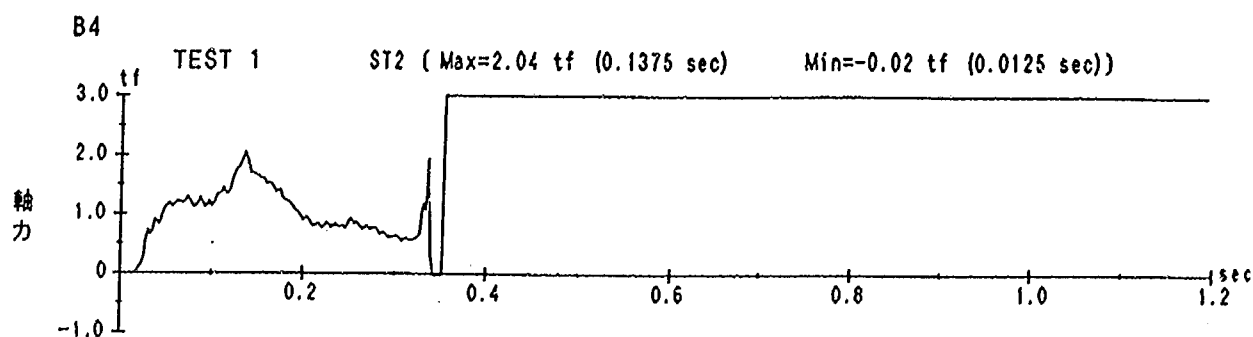


P8



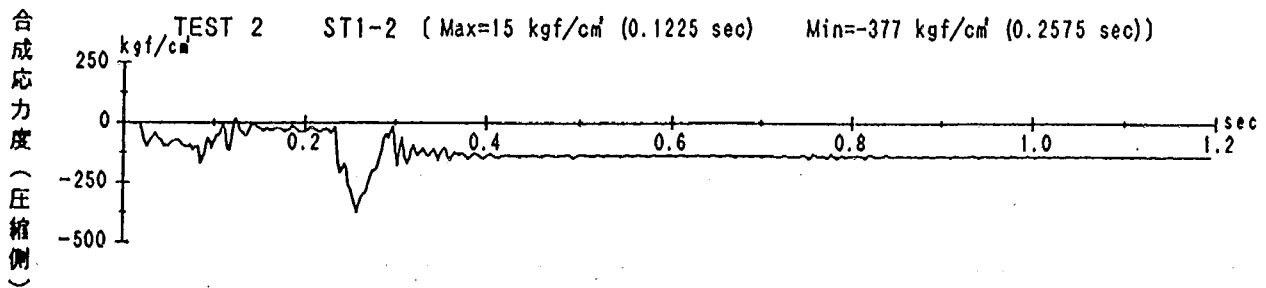
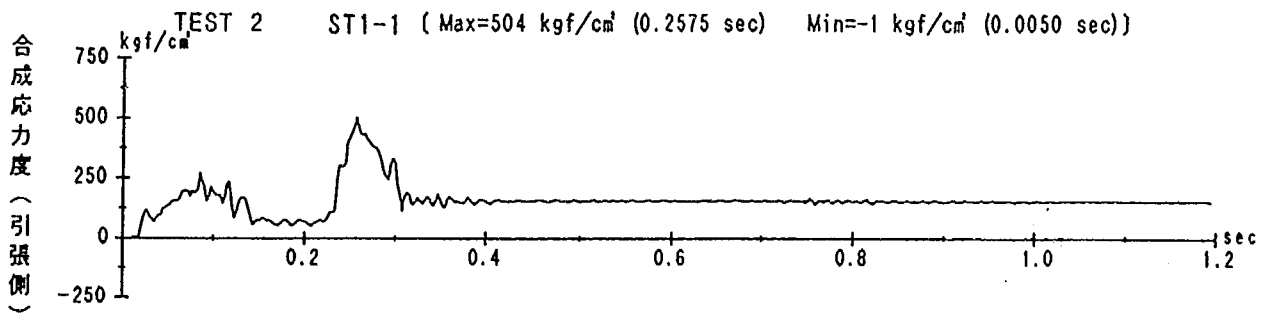
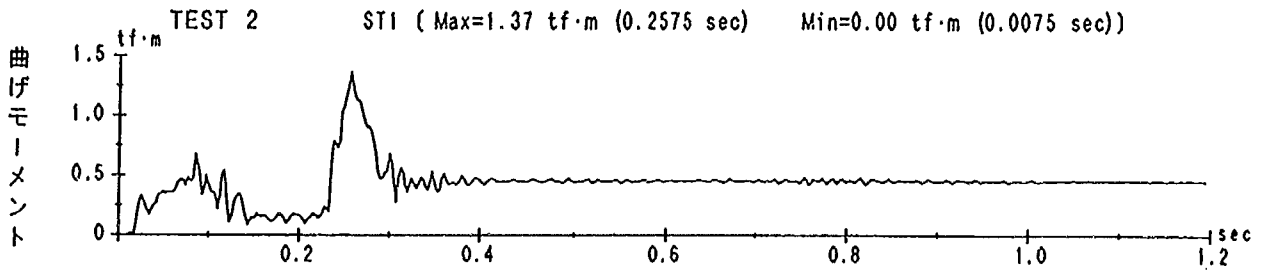
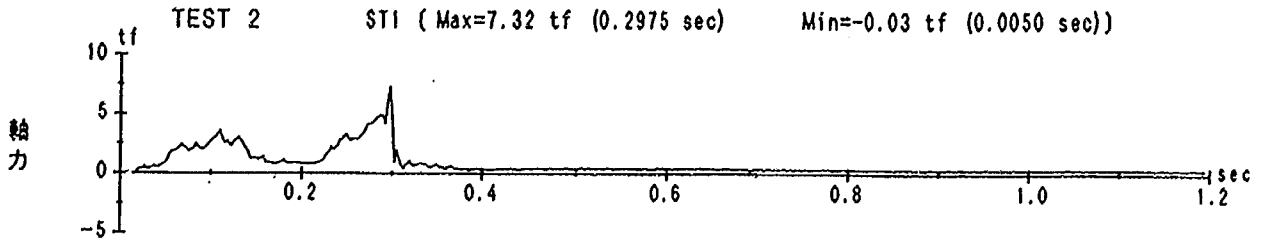
主要横梁に作用した軸力、曲げモーメントおよび合成応力度

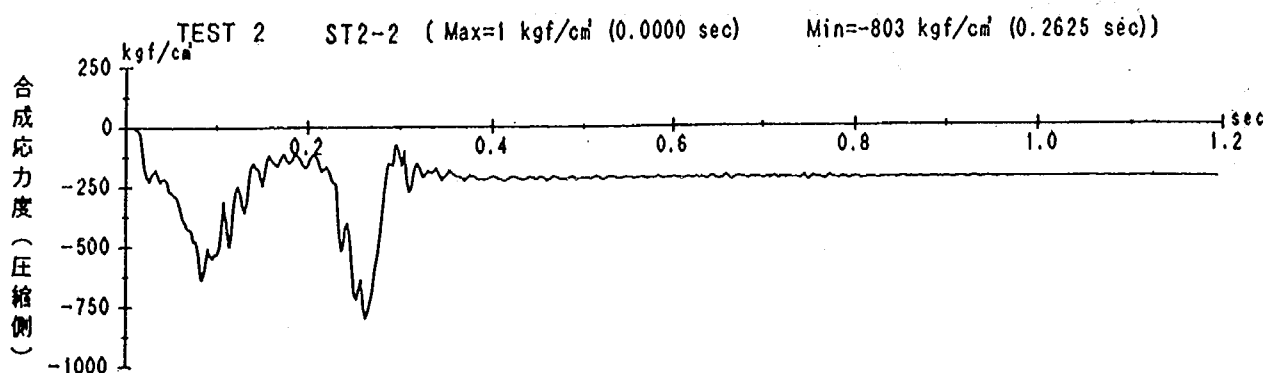
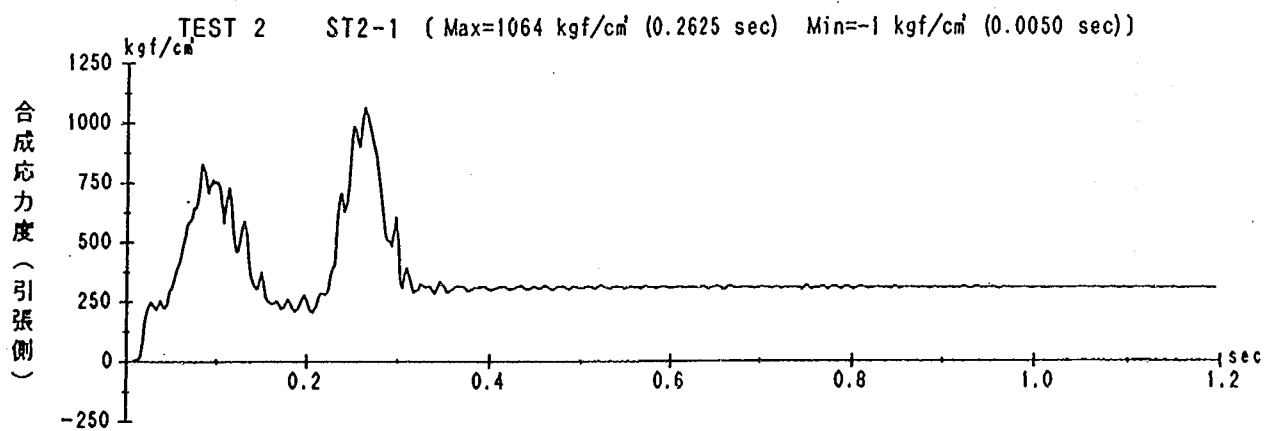
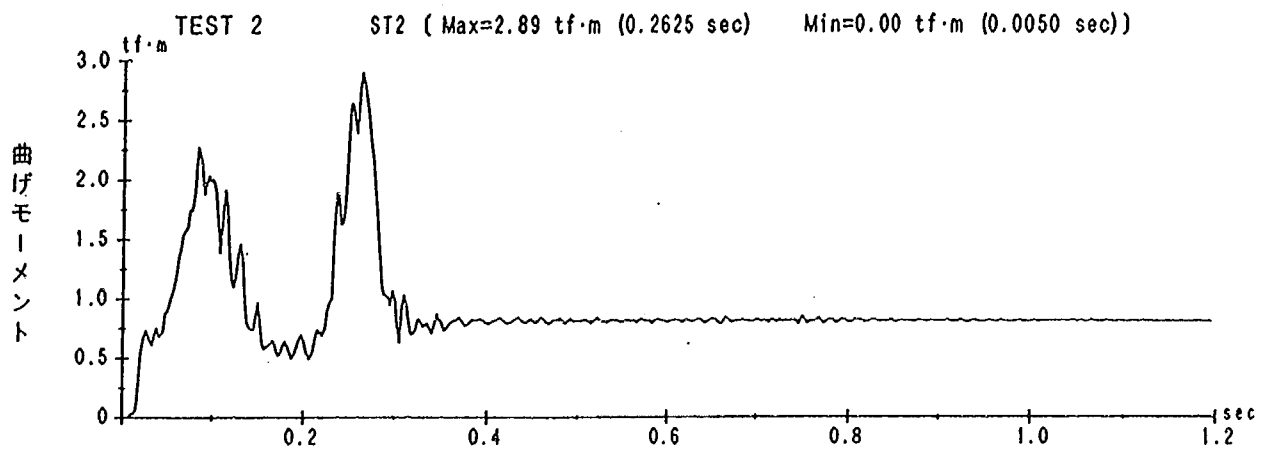
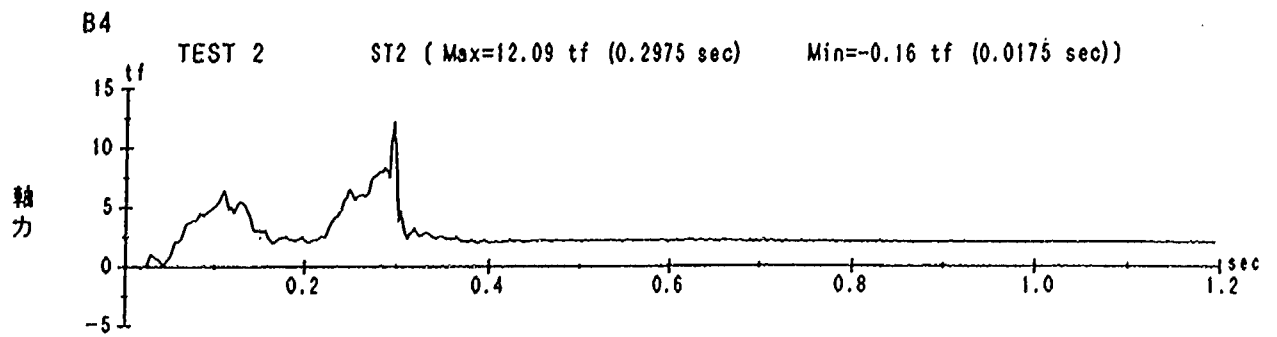




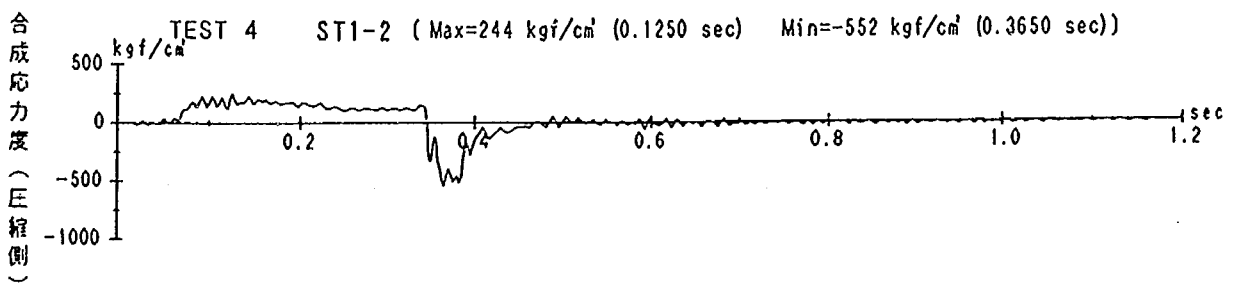
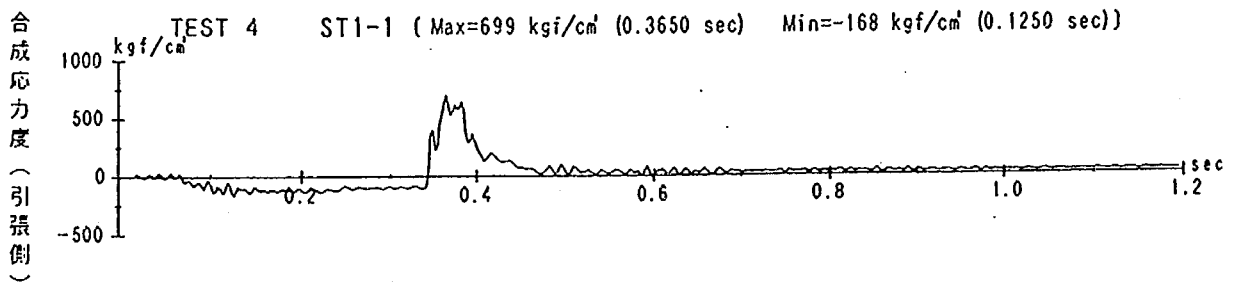
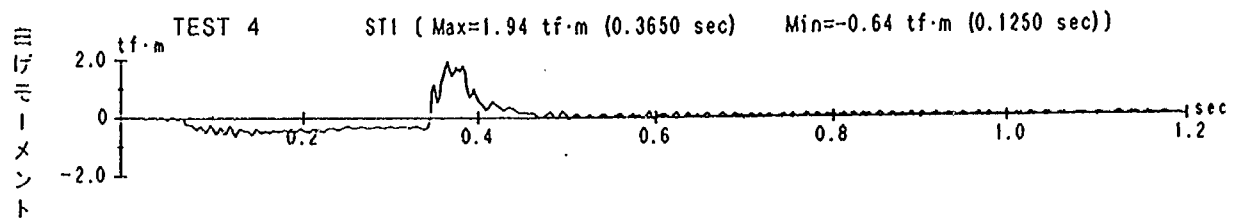
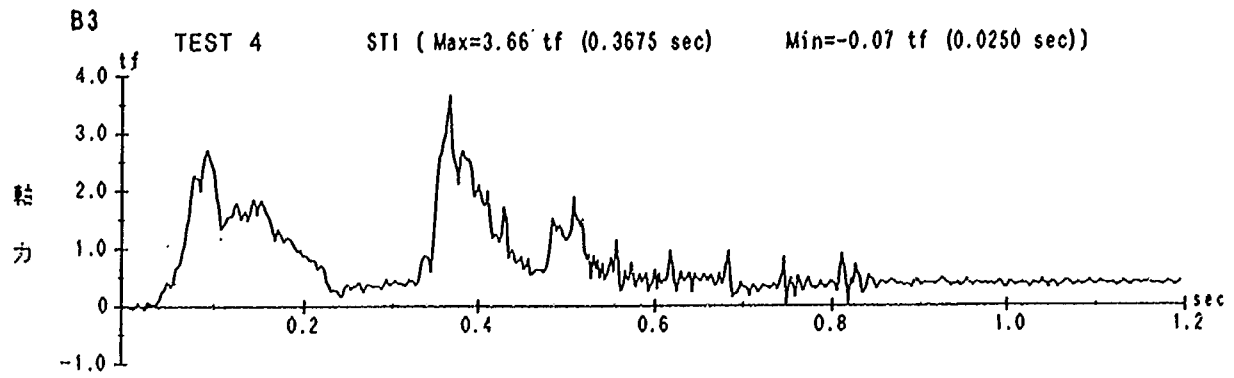
主要横梁に作用した軸力、曲げモーメントおよび合成応力度

B3

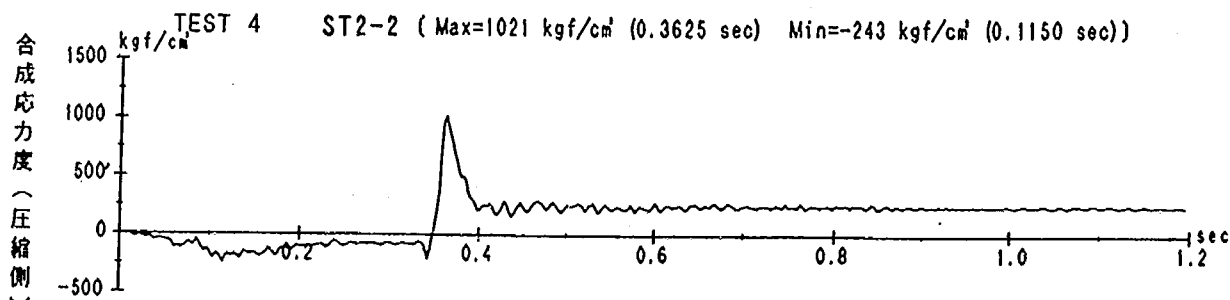
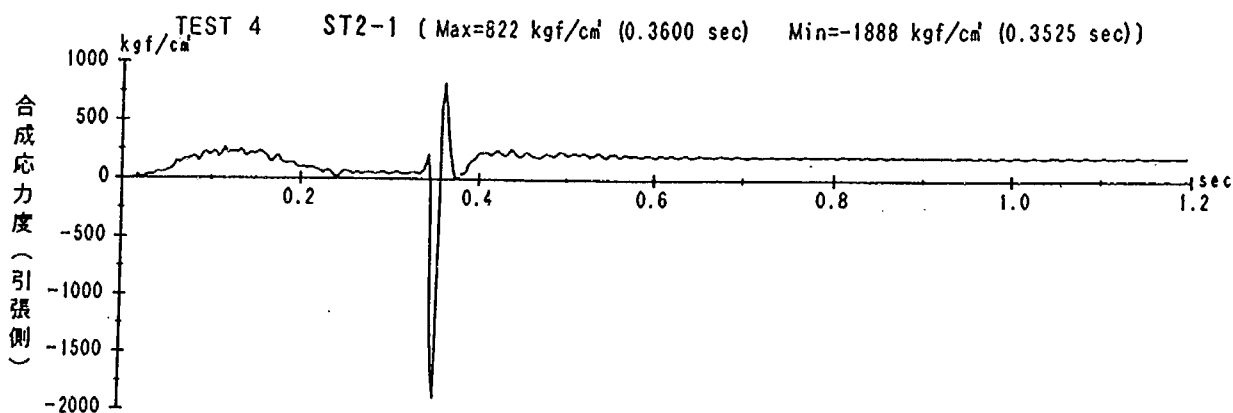
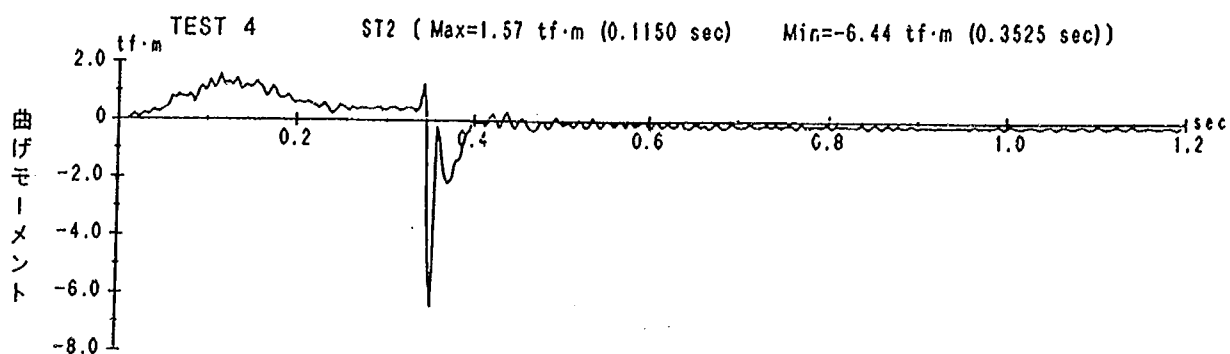
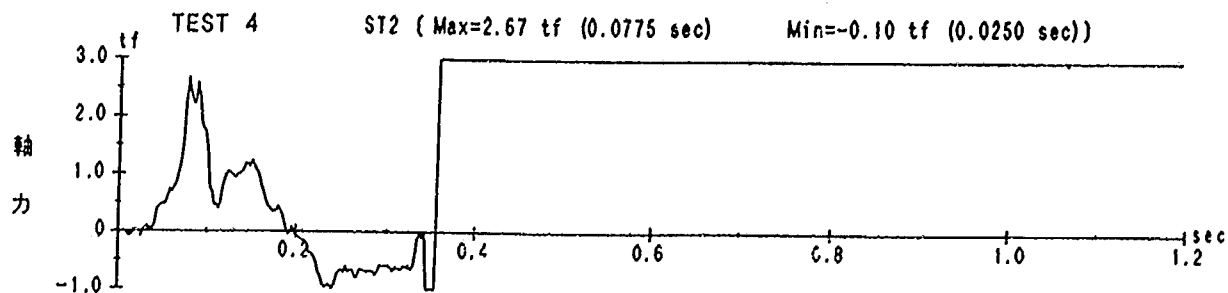




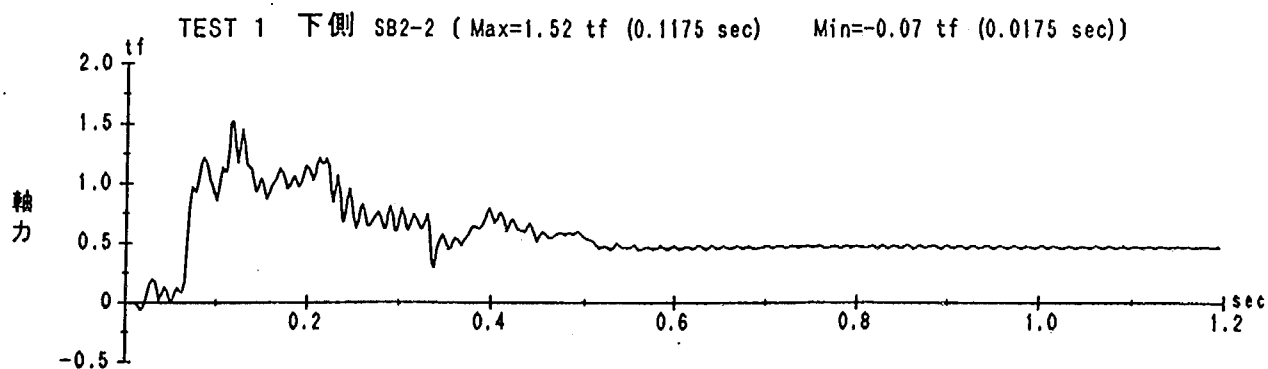
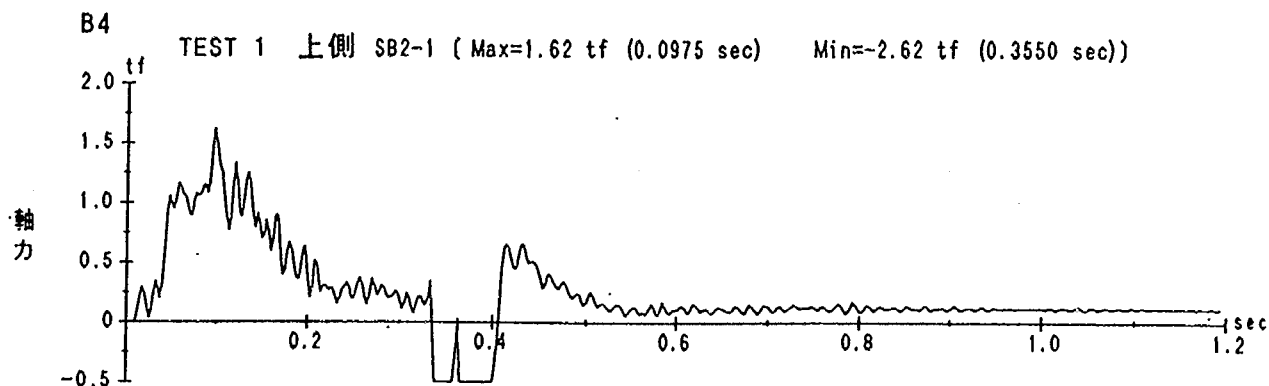
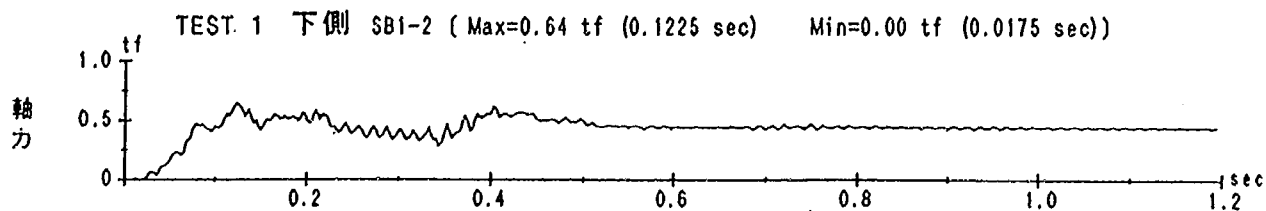
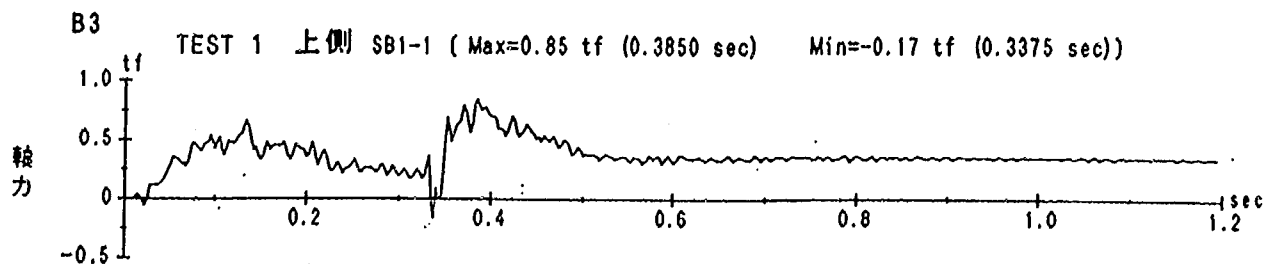
主要横梁に作用した軸力、曲げモーメントおよび合成応力



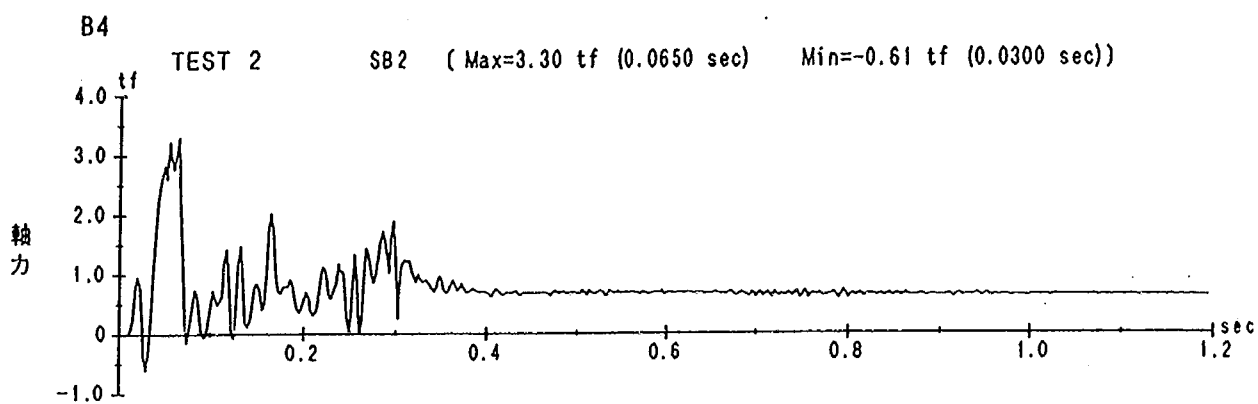
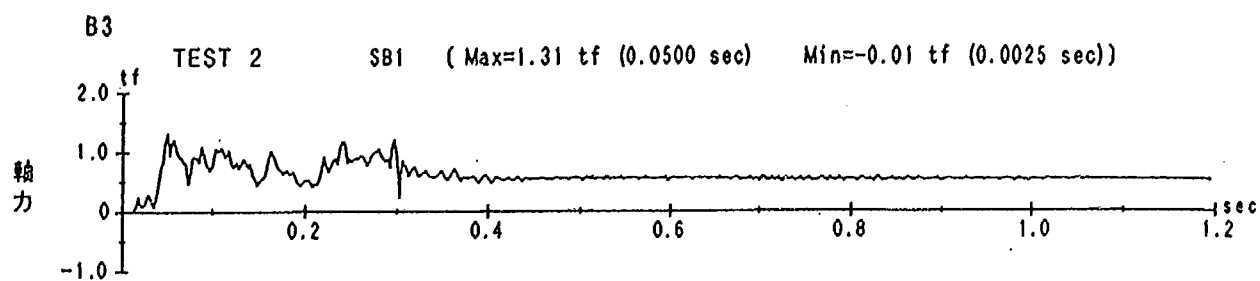
B4



下段横梁に作用した軸力

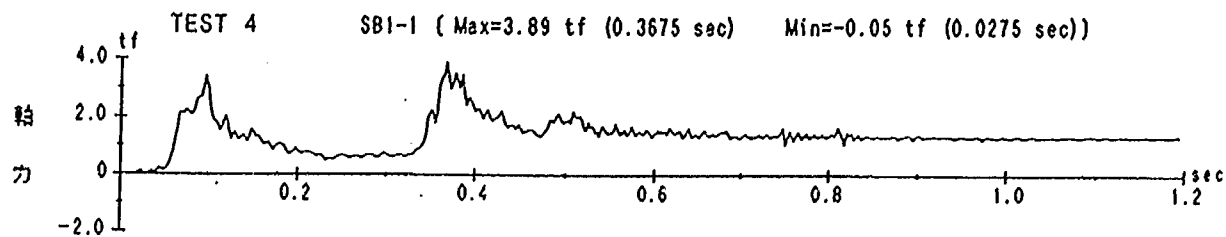


下段横梁に作用した軸力

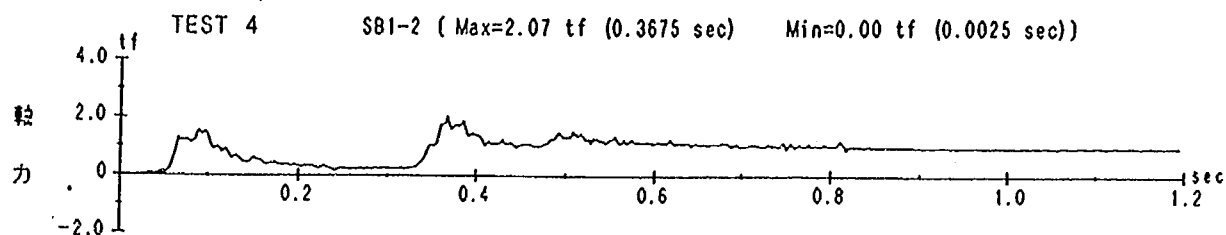


下段横梁に作用した軸力

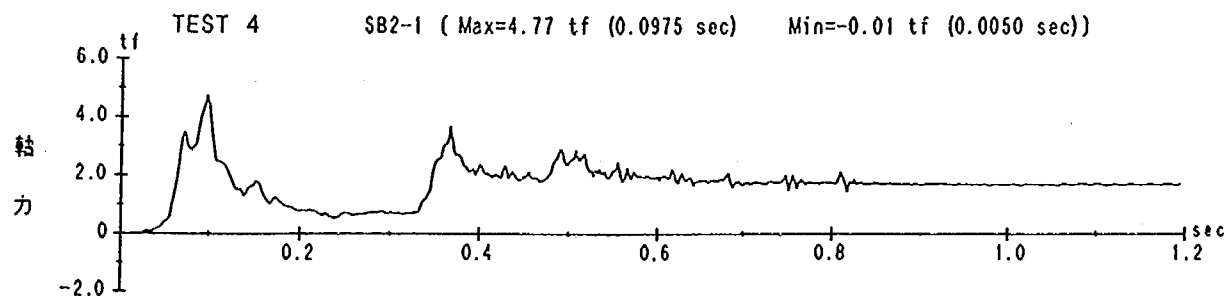
B3 上側



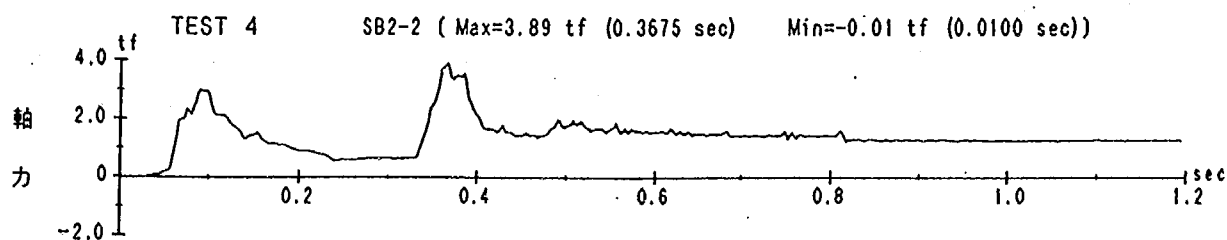
下側



B4 上側

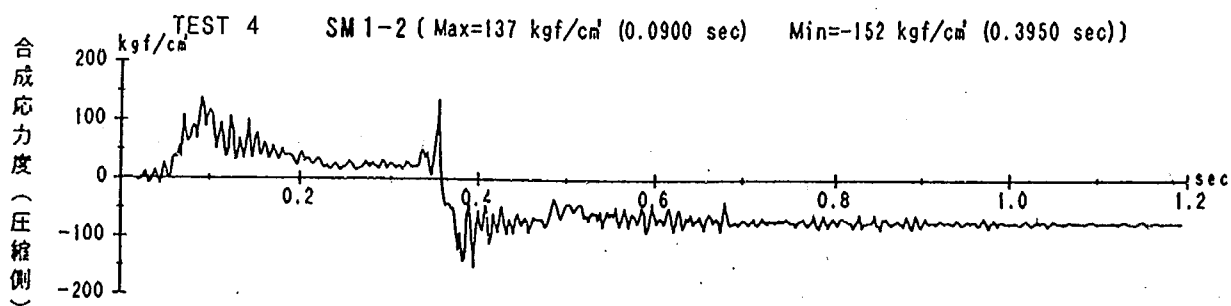
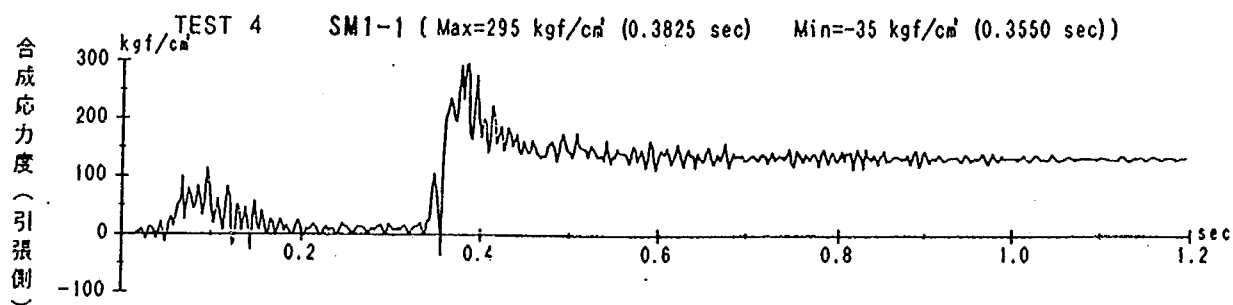
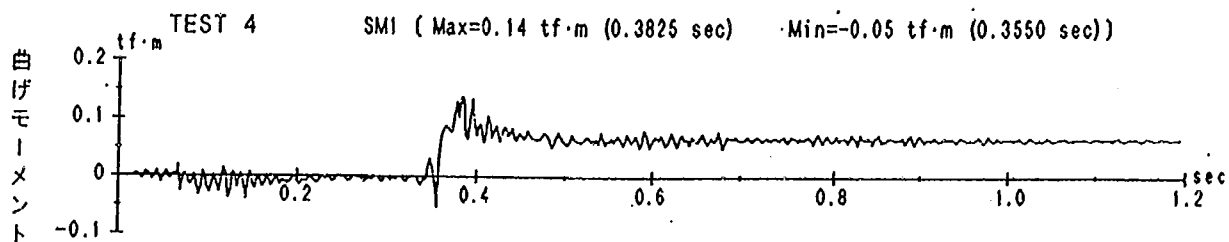
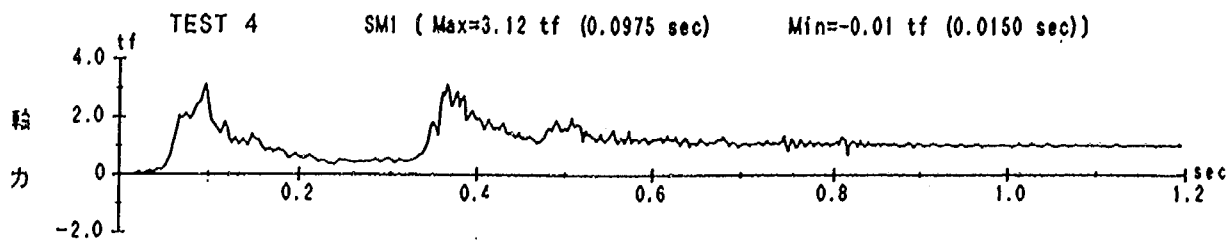


下側

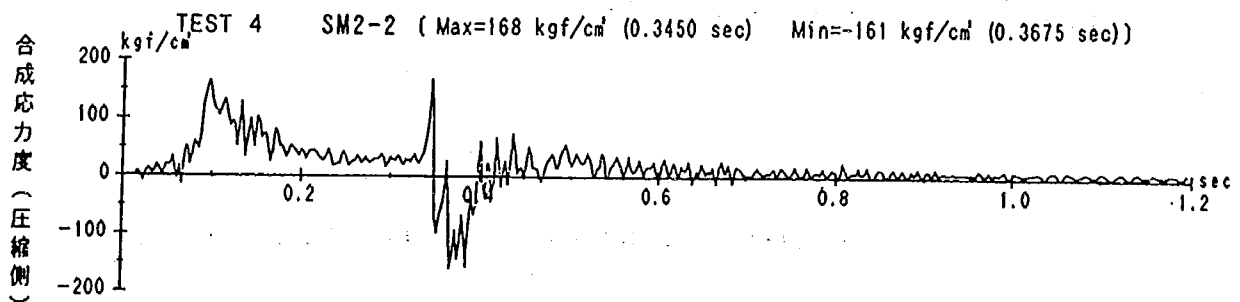
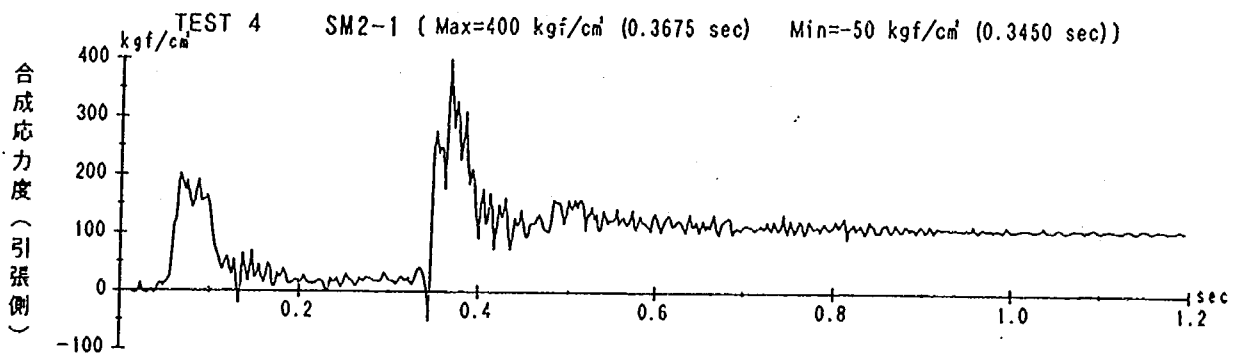
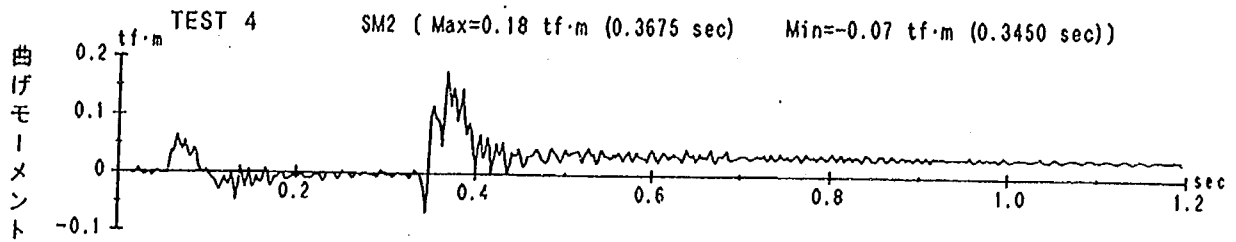
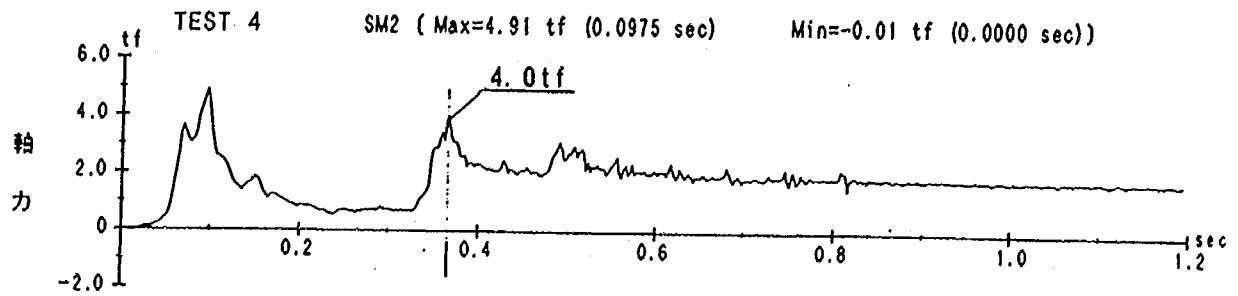


下段横梁に作用した軸力、曲げモーメントおよび合成応力

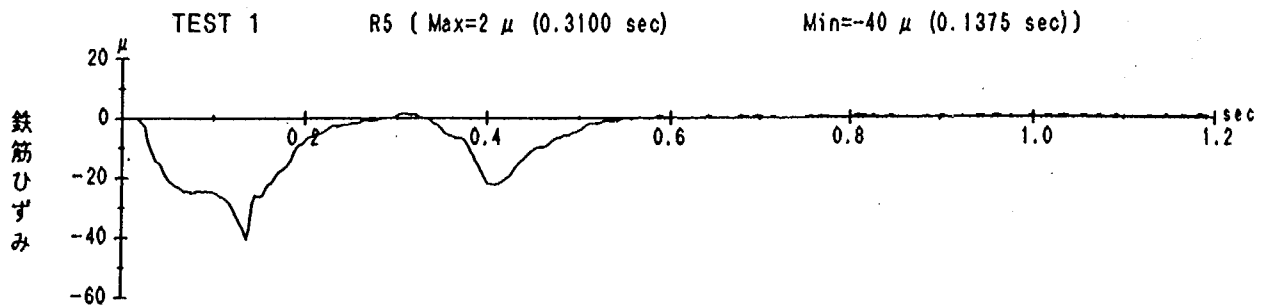
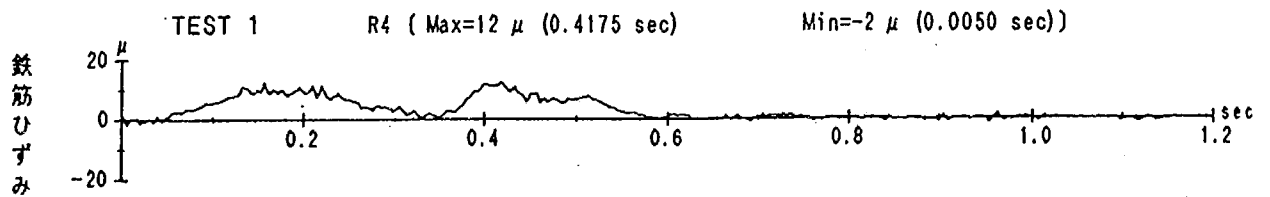
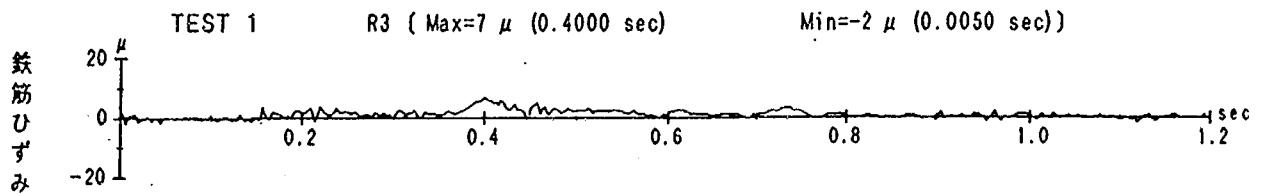
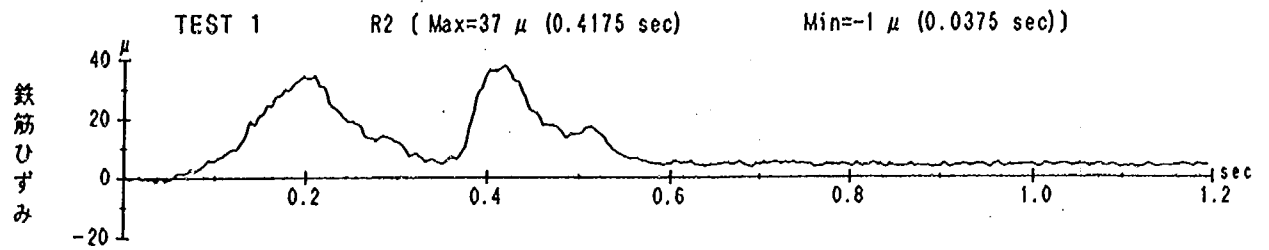
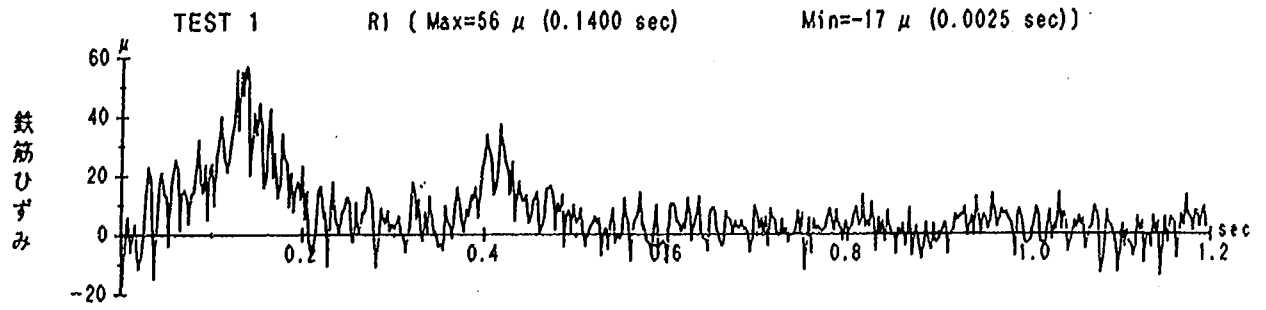
B3 上側のみ

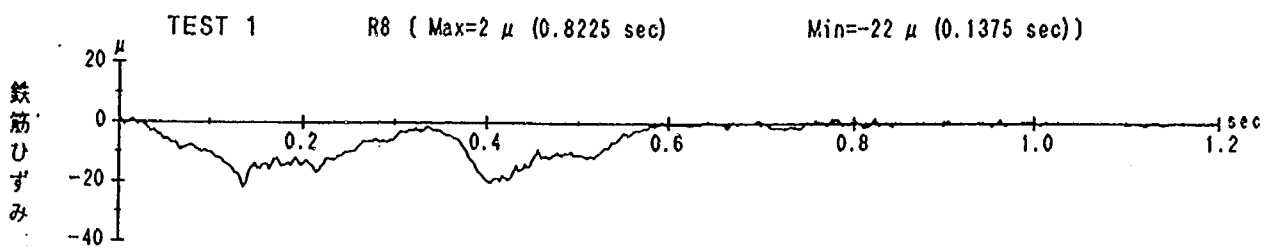
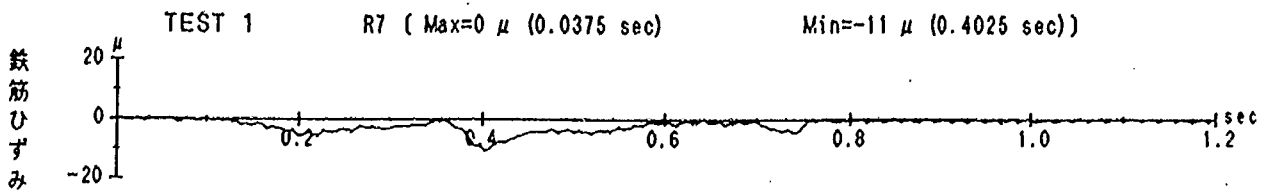
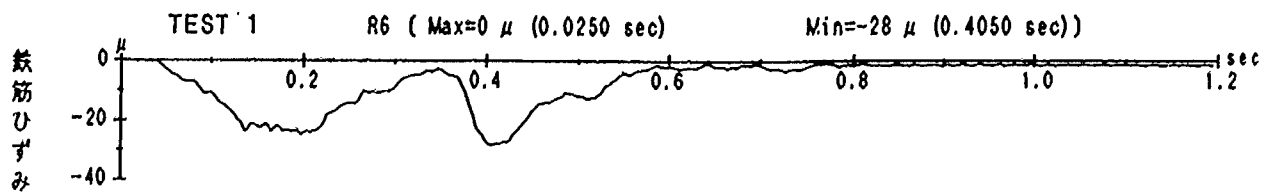


B4 上側のみ

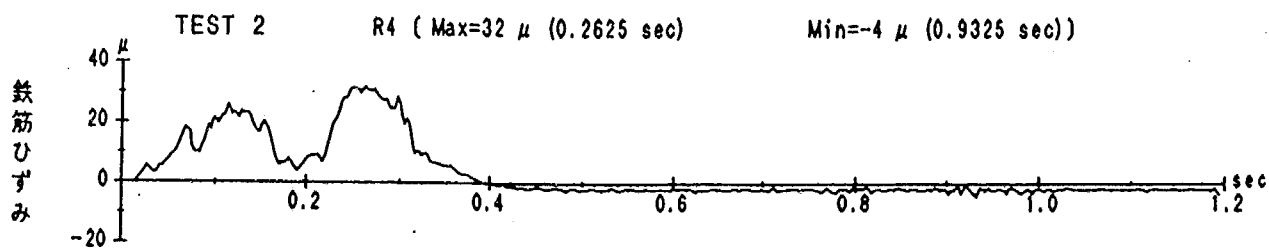
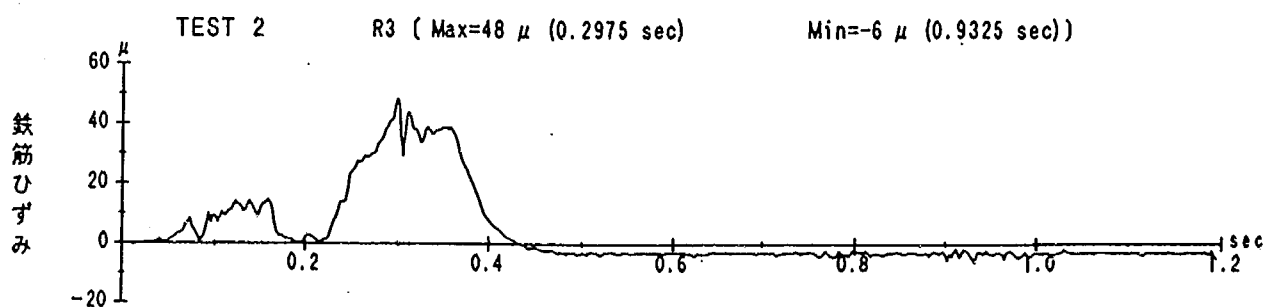
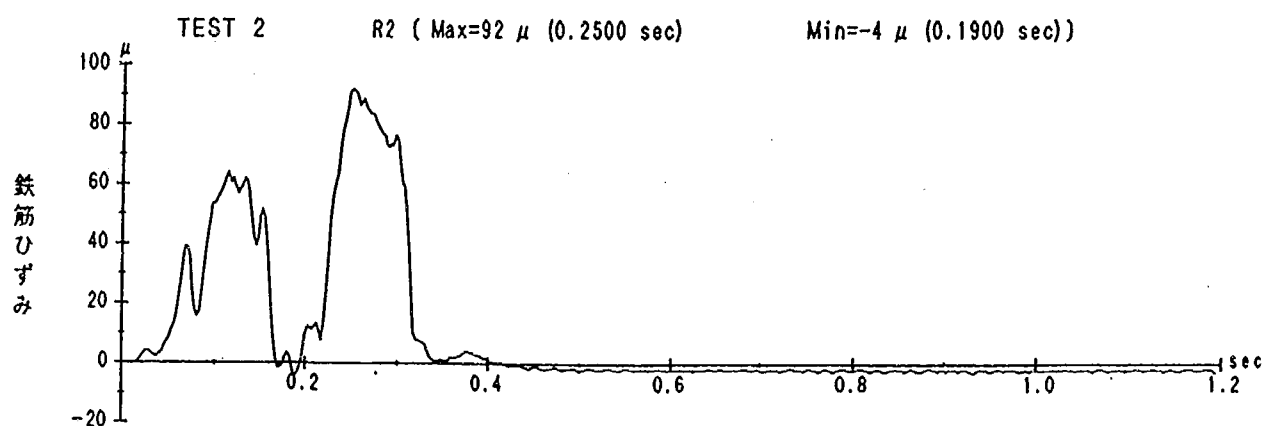
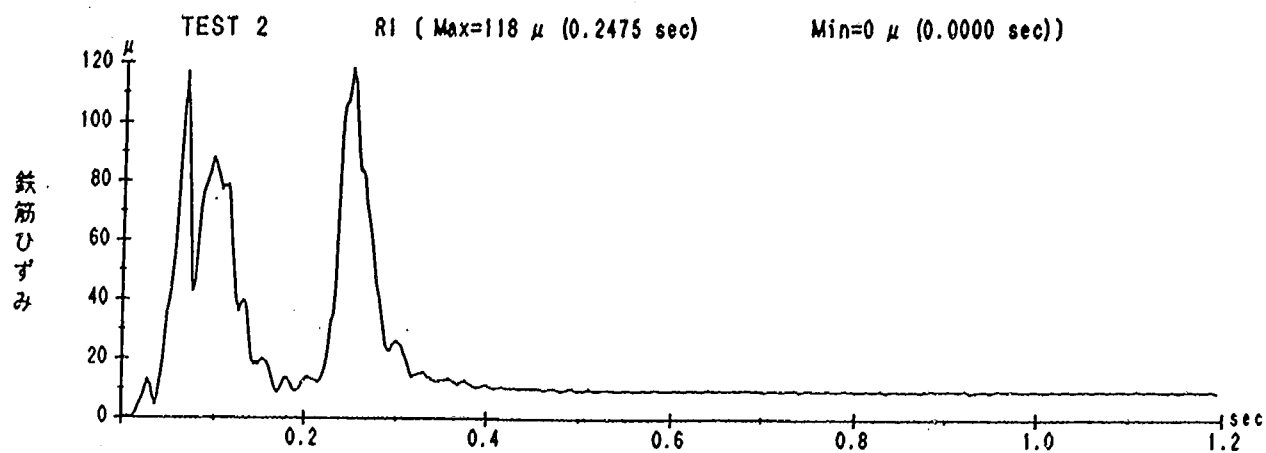


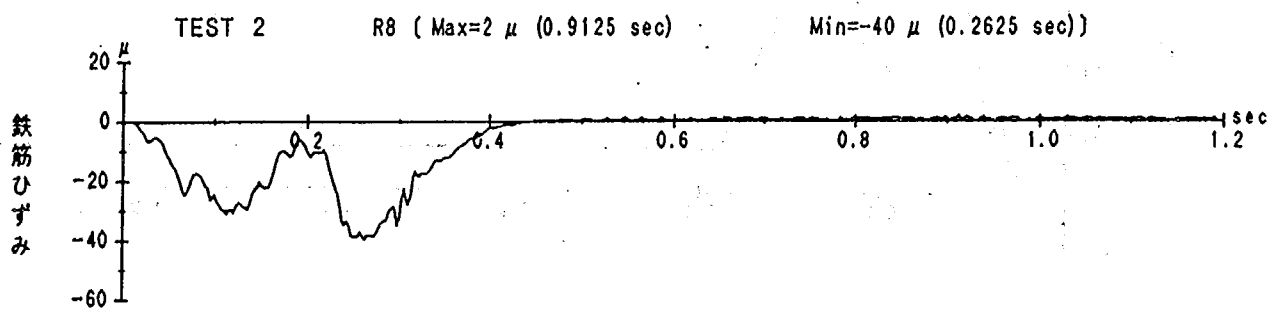
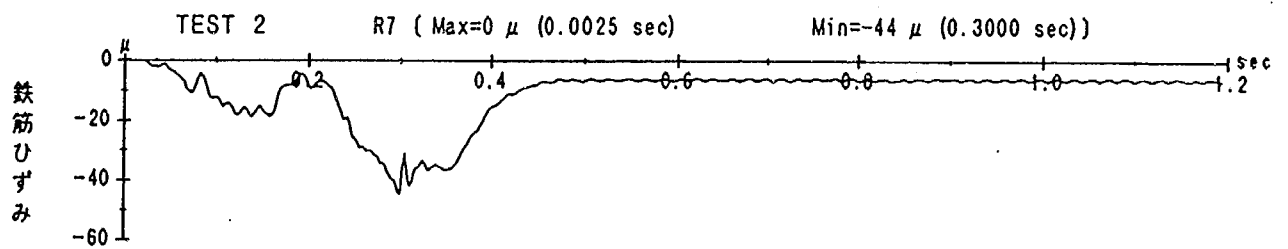
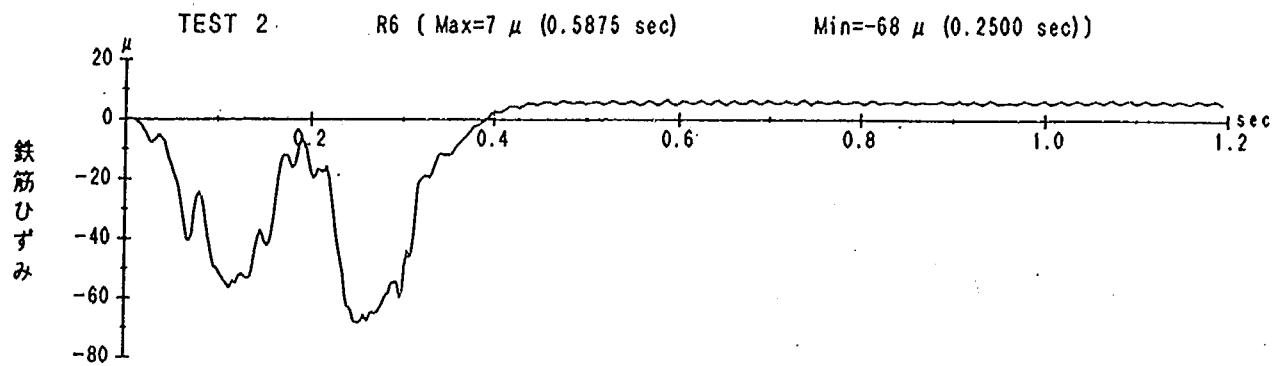
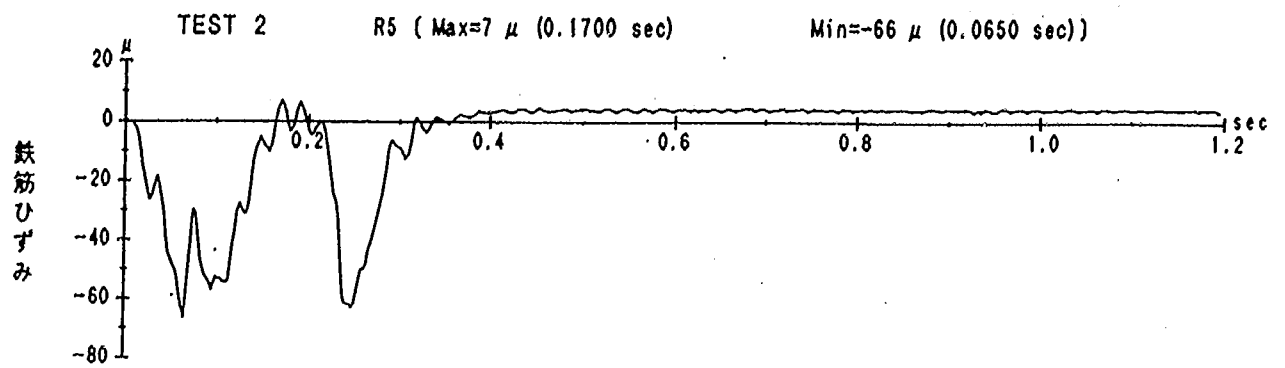
主鉄筋のひずみ



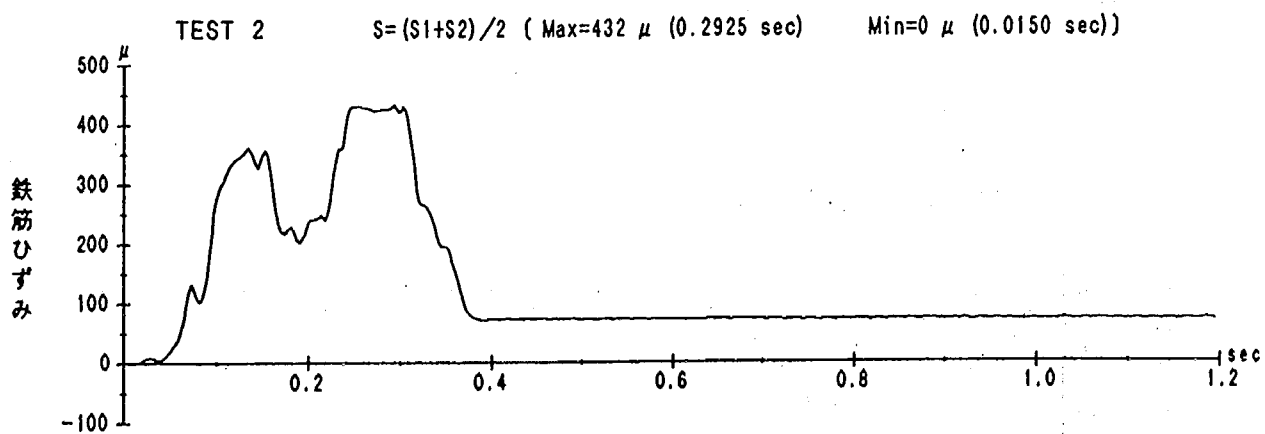
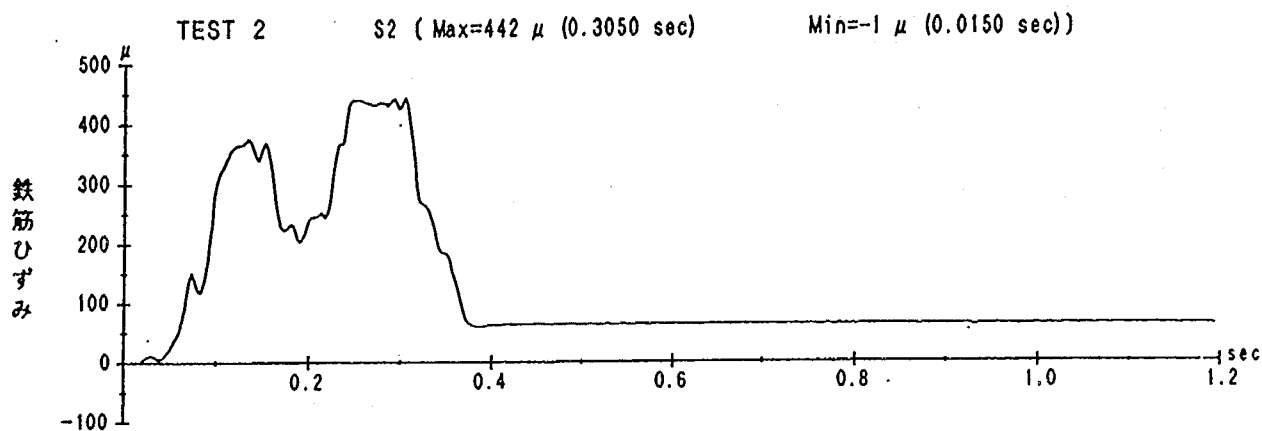
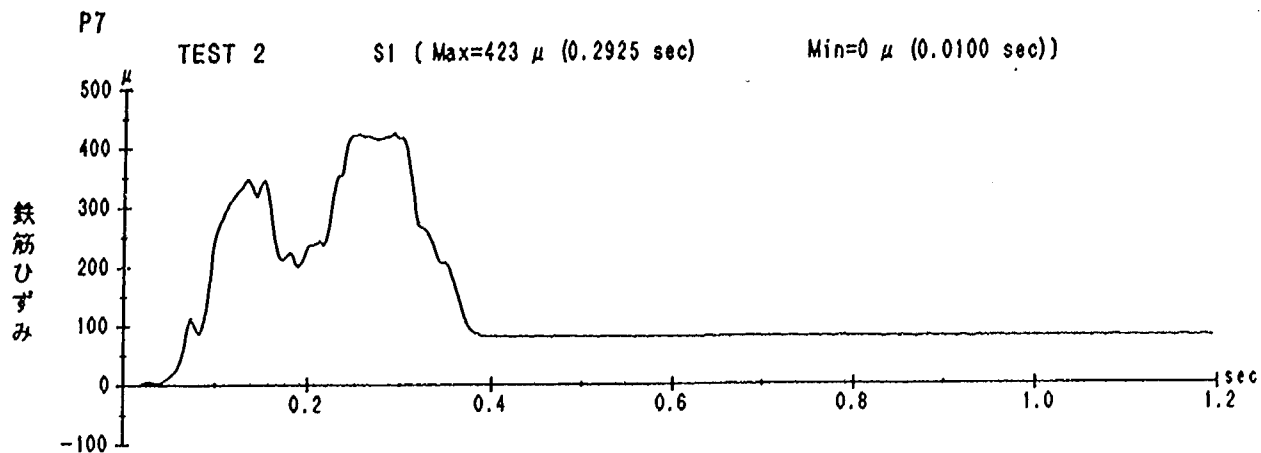


主鉄筋のひずみ

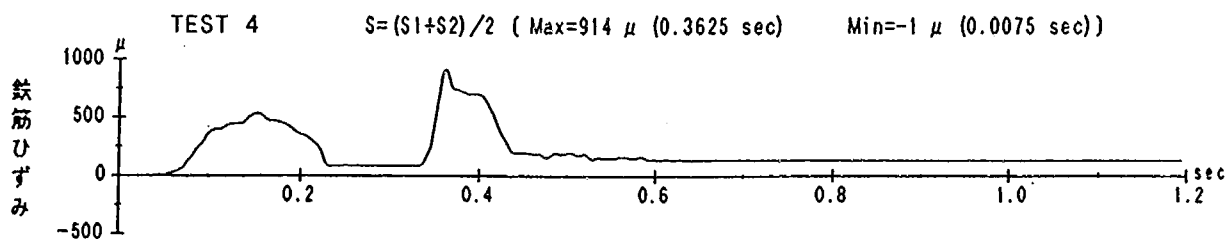
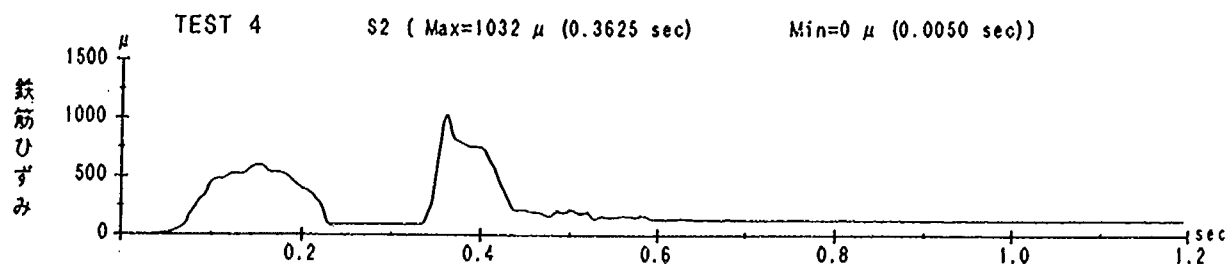
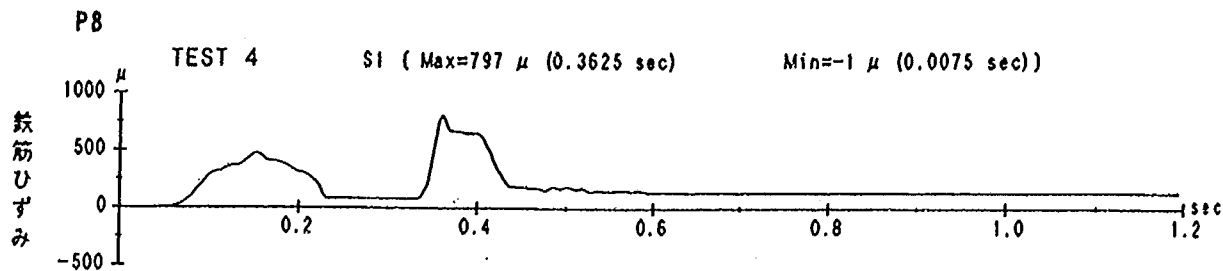


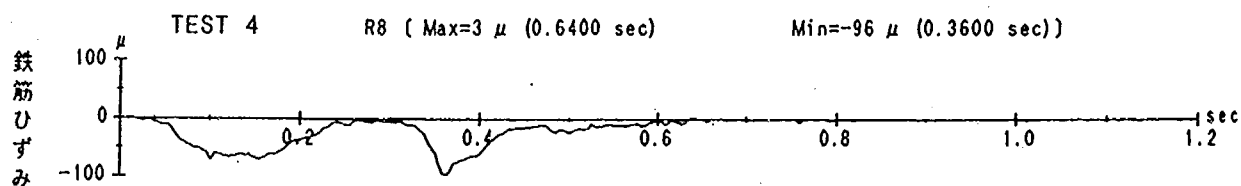
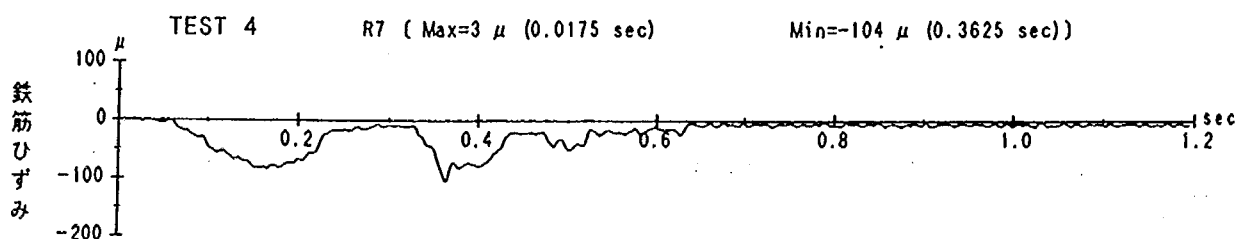
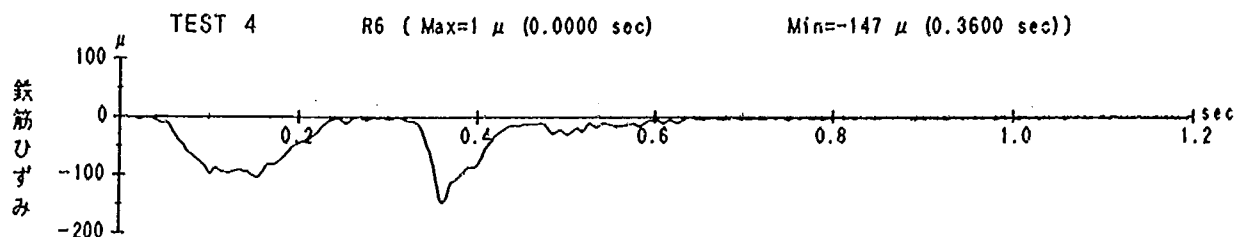
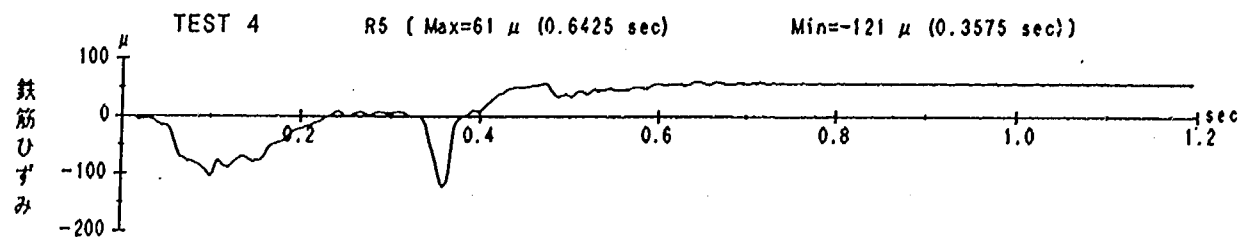


補強鉄筋の応力

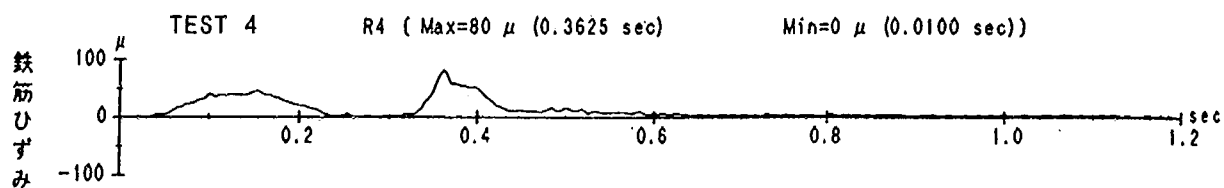
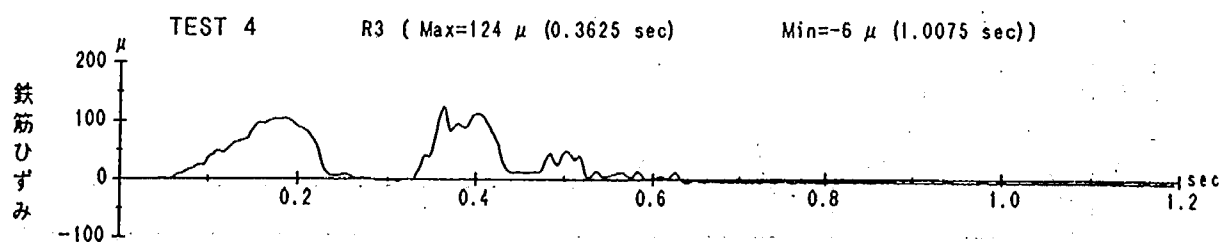
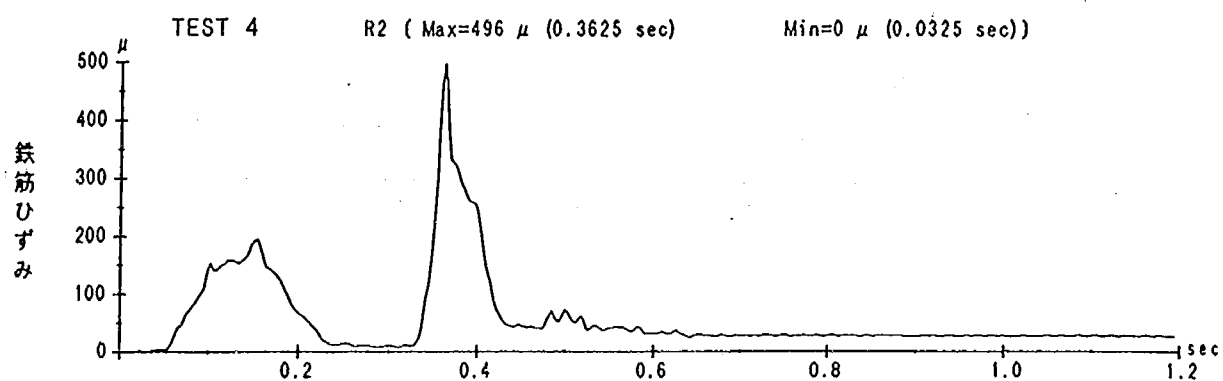
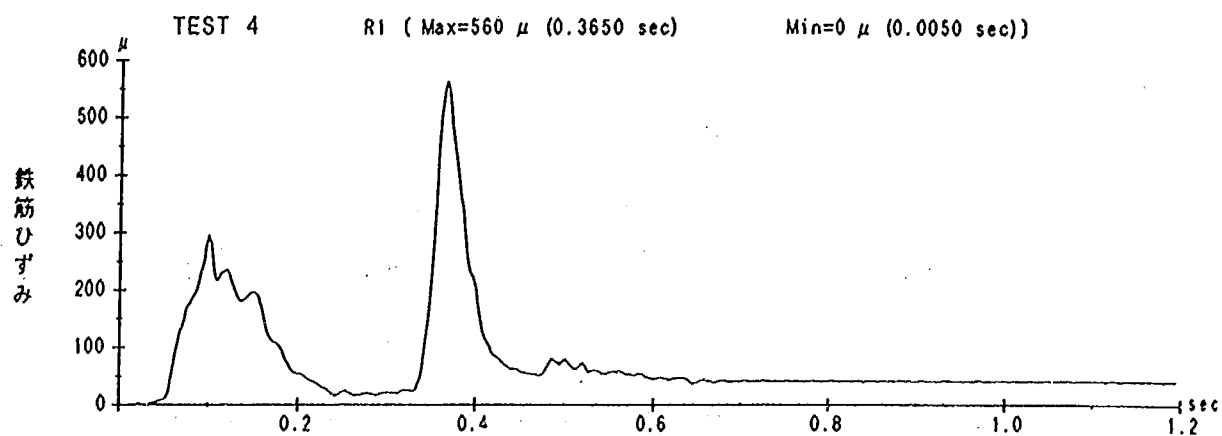


補強鉄筋のひずみ

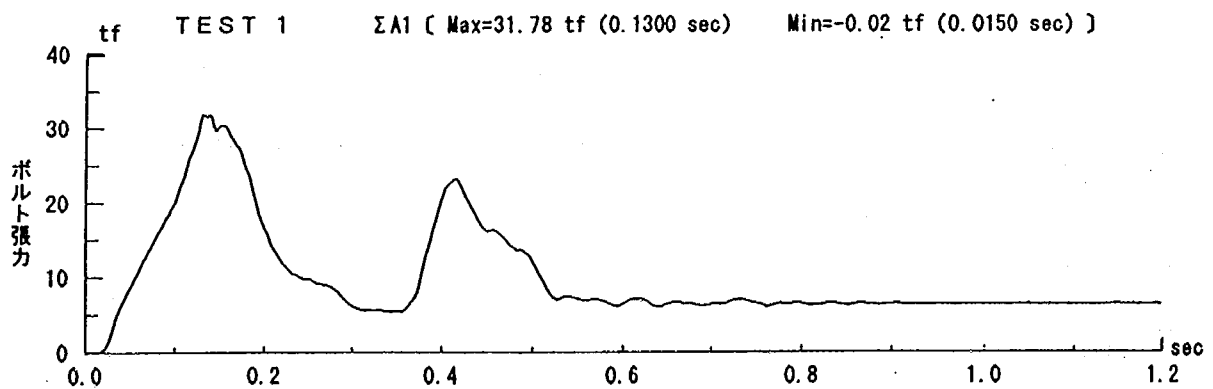
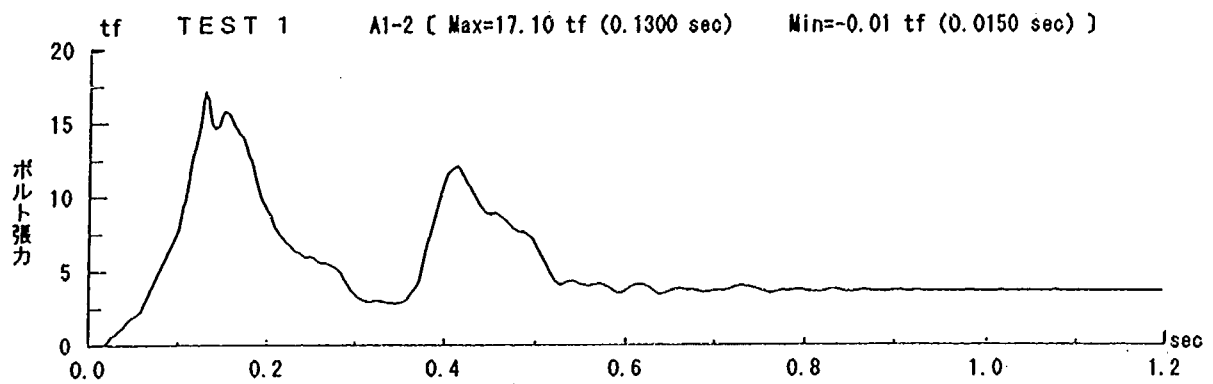
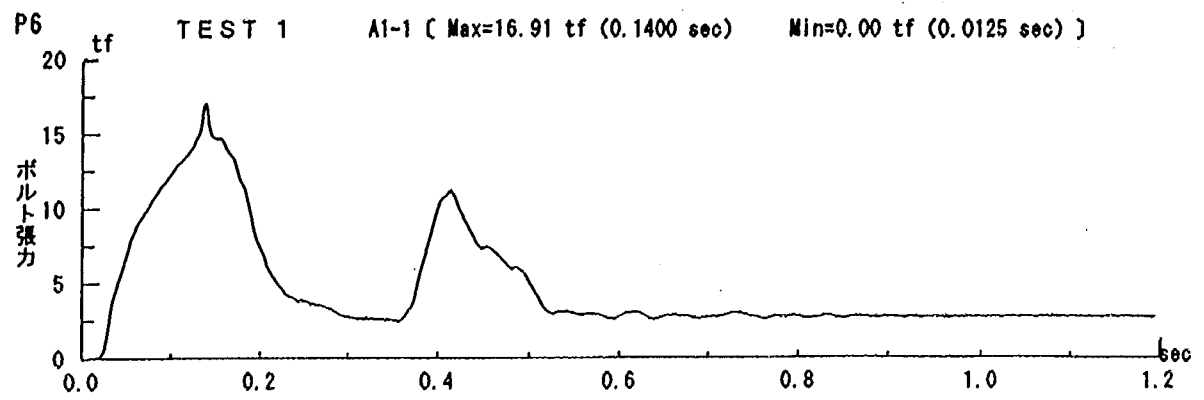




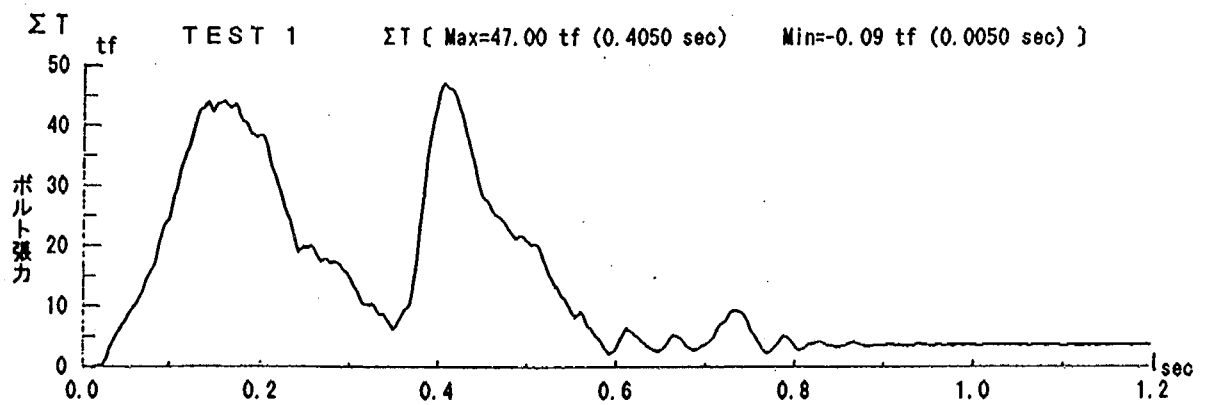
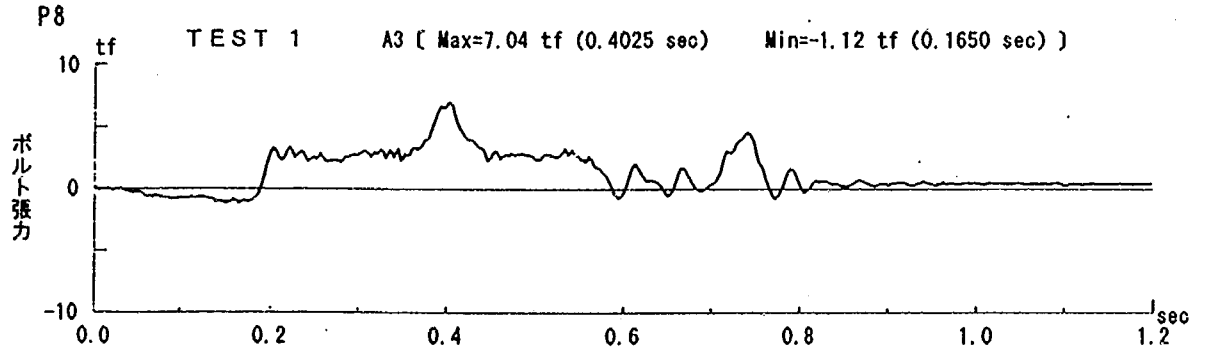
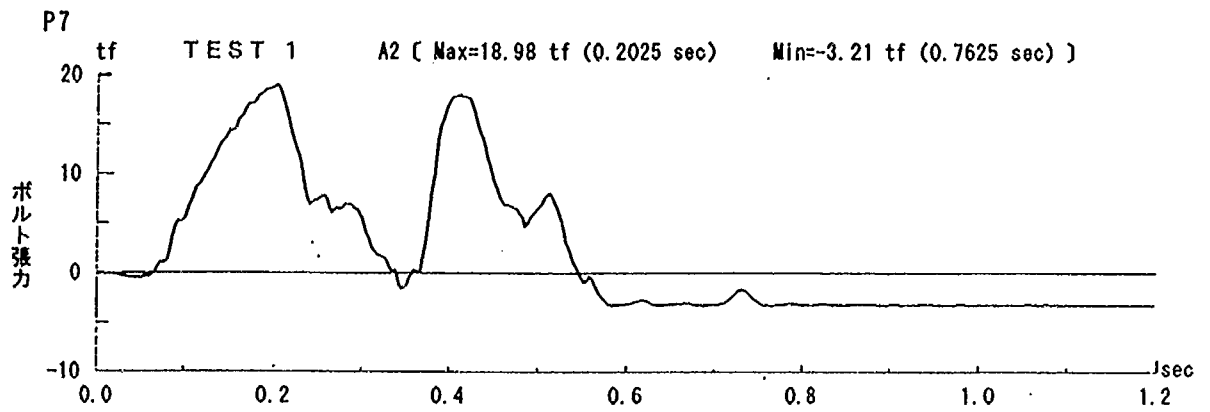
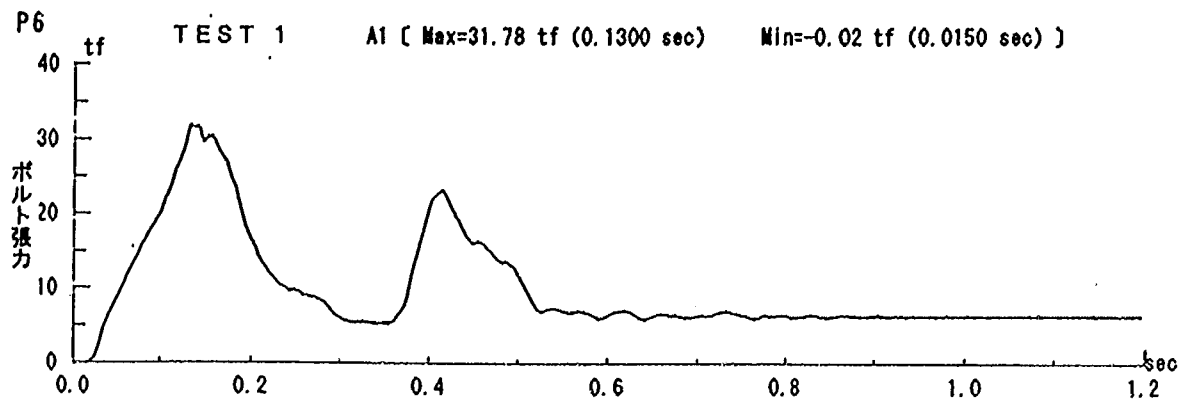
床版の地覆付根部および片持部の鉄筋応力
主鉄筋のひずみ

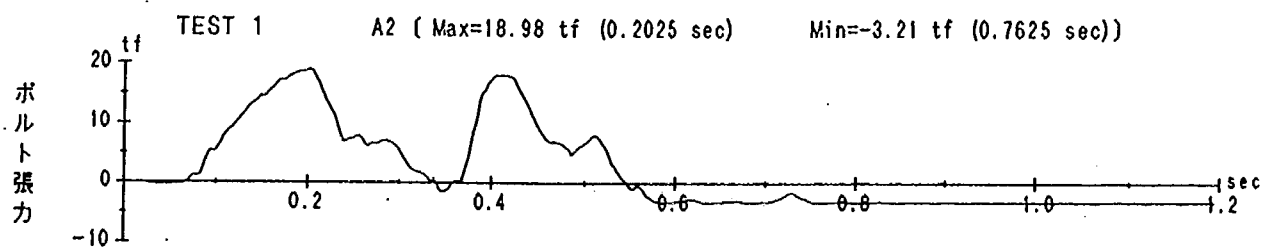
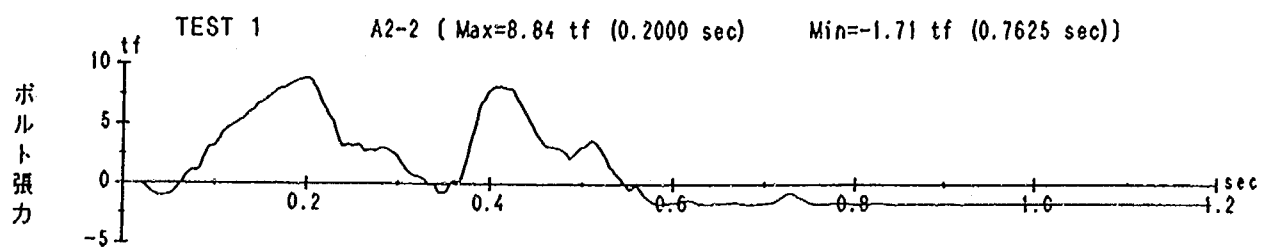
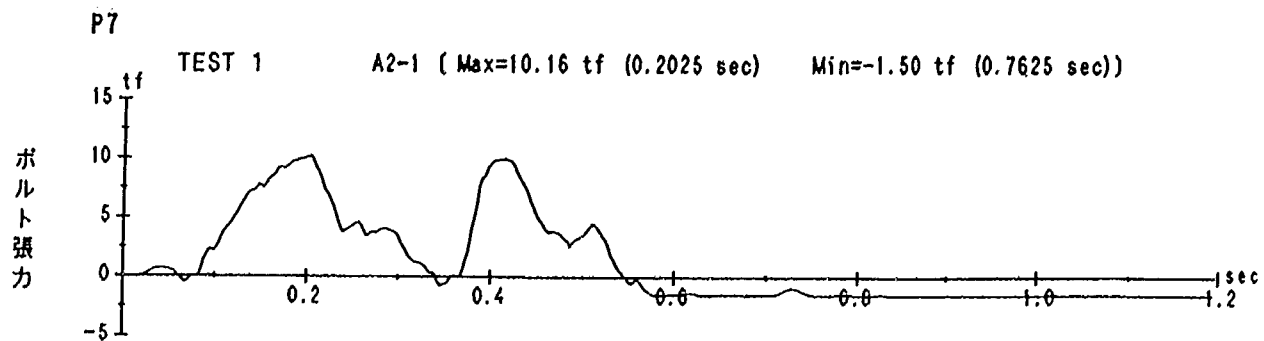


支柱の各々のボルト張力と合計張力

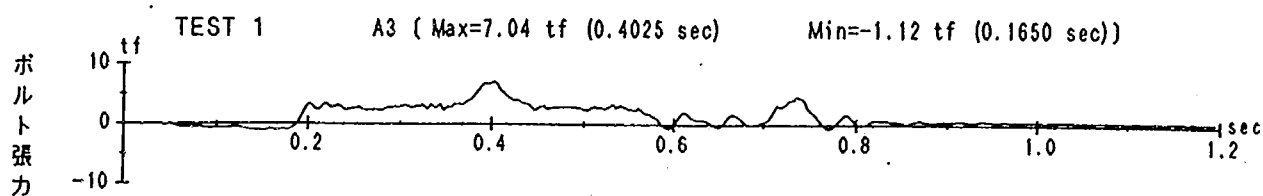
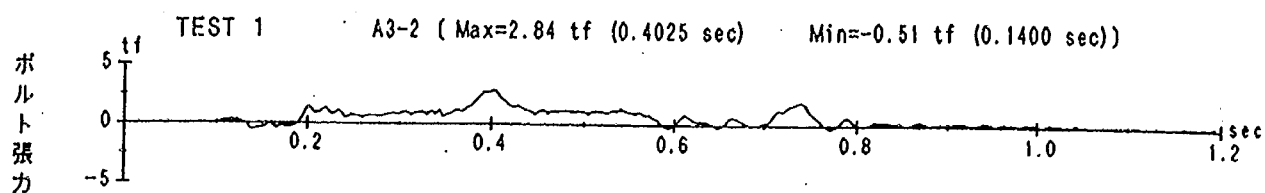
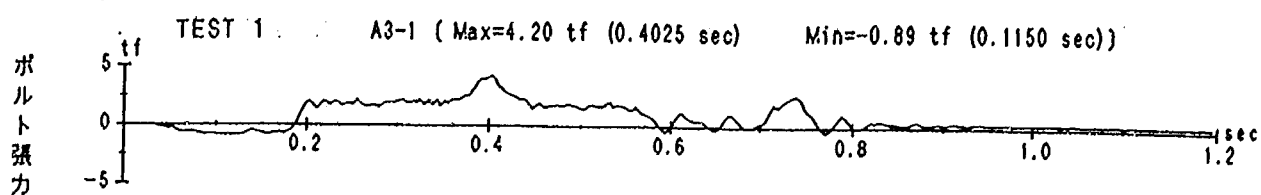


支柱のボルト（２本）の張力と合計

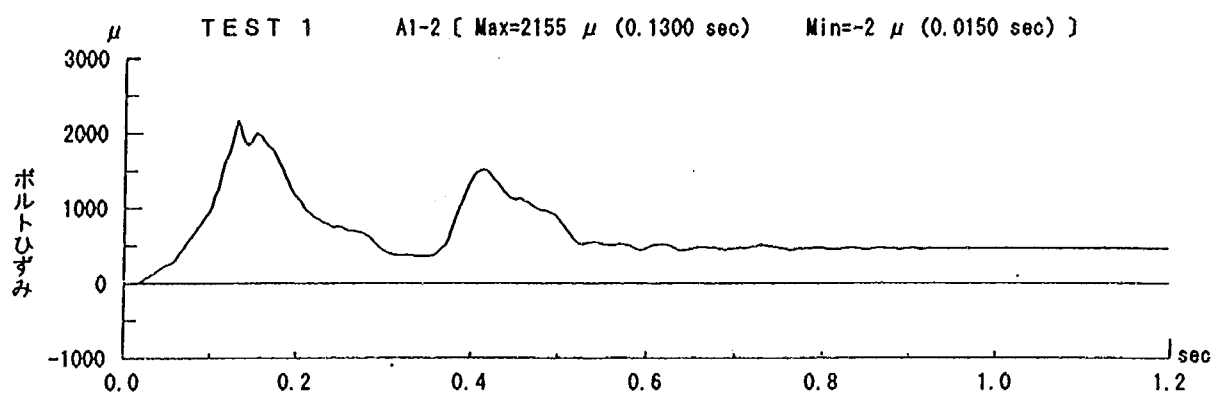
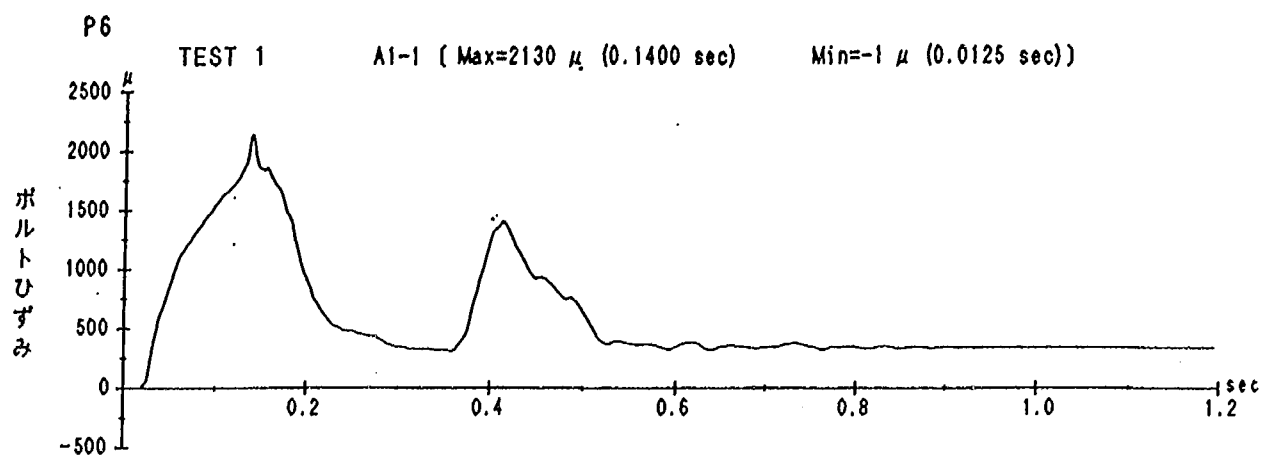




P8



支柱の各々のボルトのひずみ

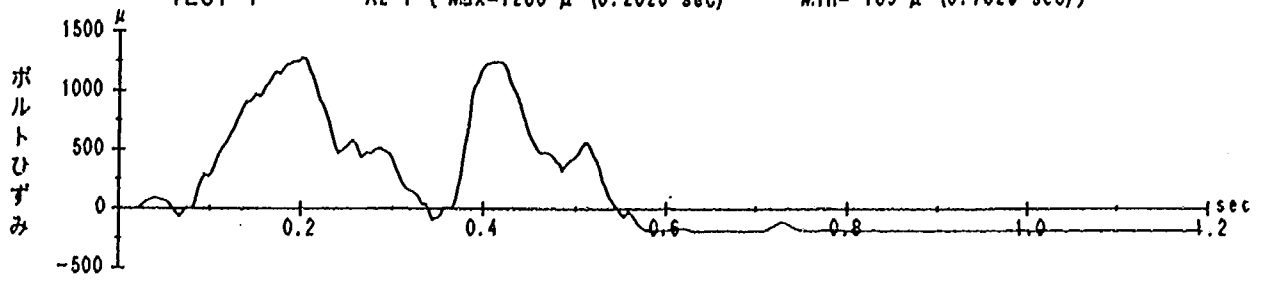


P7

TEST 1

A2-1 (Max=1280 μ (0.2025 sec)

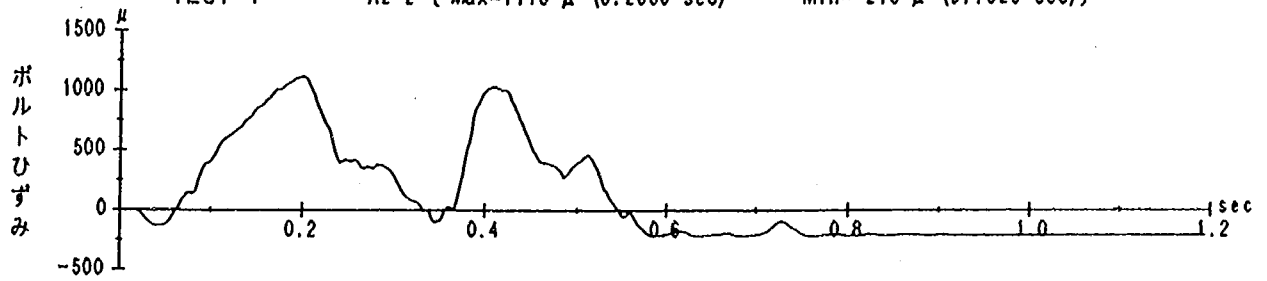
Min=-189 μ (0.7625 sec))



TEST 1

A2-2 (Max=1113 μ (0.2000 sec)

Min=-216 μ (0.7625 sec))



P8

