

I S S N 0386—5878
土 研 資 料 第 1820 号

土 木 研 究 所 資 料

橋梁の設計動荷重に関する試験調査報告書〔V—1981〕

昭和 57 年 3 月

建 設 省 土 木 研 究 所
構 造 橋 梁 部 構 造 研 究 室

Copyright © 56年度 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 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、複写は土木研究所長の承認を得ずしてこれを行なってはならない。

序

昭和56年度に実施した「橋梁の設計動荷重に関する試験調査」の結果をとりまとめ、以下の項目について報告する。

- (1) 実働自動車荷重のとりまとめ
- (2) 走行荷重による単純桁の動的応答模型実験(その1)
- (3) 走行荷重による単純桁の動的応答数値計算

昭和57年3月

構造研究室	室長	山本邦夫
	主任研究員	桂樹正隆
	研究員	水上幹之
	室員	永原隆

第1章 実働自動車荷重のとりまとめ	1
1.1 解析概要	1
1.2 関数形	1
1.3 解析に用いた資料	2
1.4 解析方法、結果および考察	2
1.5 図・表	4
第2章 走行荷重による単純桁の動的応答模型実験	22
2.1 まえがき	22
2.2 動荷重載荷装置の概要	22
2.3 模型実験における相似則の検討	24
2.3.1 支配方程式	24
2.3.2 エネルギー比	24
2.3.3 動荷重載荷装置への適用	26
2.4 大型トラック模型の構造諸元（理想値および実験値の比較）	27
2.4.1 タイヤ強度の測定	27
2.4.2 懸架バネ強度の測定	27
2.4.3 バネ上質量の極慣性モーメントの測定	28
2.4.4 トラニオン部の極慣性モーメントの測定	29
2.5 橋梁模型	29
2.6 図・表	30
第3章 走行荷重による単純桁の動的応答数値解析	49
3.1 まえがき	49
3.2 計算モデル	49
3.2.1 2自由度系の運動方程式	49
3.2.2 4自由度系の運動方程式	51
3.2.3 5自由度系の運動方程式	52
3.2.4 6自由度系の運動方程式	54
3.3 タイヤのジャンプを考慮したモデル	56

第1章 実働自動車荷重のとりまとめ

1.1 解析概要

従前より、低車速領域（40Km/h以下）における路面凹凸に起因する実働自動車荷重実測調査を実施してきたが、資料もかなり蓄積されたので、昨年度低車速領域における実働自動車荷重の一部とりまとめを行なった。しかしながら、昨年度の解析では予備検討という意味もあり車速範囲により、異った関数形を仮定して解析をおこなったため、かならずしも統一のとれた解析結果とはなっていなかった。

そこで、今年度は中高車速領域（40Km/h～80Km/h）における実測調査にも新たに加え、総ての資料を用いて総合解析をおこない、動的付加荷重の大きさを路面平坦性（ σ : mm）、輪重（W : ton）および走行速度（V : Km/h）の3要目を用いて推計するための予測式の検討をおこなった。解析にあたって、昨年同様に1つの調査区間内での動的付加荷重の累積度数曲線の α %値（以下 F_a と呼ぶ）という概念を導入した。この理由は、従来の解析結果より動的付加荷重の標準偏差と路面平坦性とは強い相関関係があるものの、動的付加荷重の最大値と路面平坦性の間では相関がかなり小さくなることが明らかになったので、 F_a と路面平坦性との間に強い相関関係がどの程度の α 値まで維持されるかを明確にするためである。

1.2 関数形

昨年度の解析においては、低車速領域と中高車速領域において異なる関数形の予測式を前提として検討をすすめた。この理由は関数形によりどの程度の精度が期待できるかを検討する意味も含めていた。それぞれのデータに対して最も近似度の高い関数形をさがすとなると、その関数形が α の値によって異なる可能性があるが、今回の解析においては、過去の解析結果より意味がありそうな次のような関数形を導入し、比較検討することによってすべてのデータに対して精度のよい予測式を決定することを検討した。

解析に用いた関数形を以下に示す。

$$\textcircled{1} \quad F_a = (a \cdot \sigma + b) \cdot W^c \cdot V^d \quad [c, d = 0.5 \sim 1.5 \text{ (121ケース)}]$$

$$\textcircled{2} \quad F_a = (a \cdot \sigma + b) \cdot W^c \cdot \log V \quad [c = 0.5 \sim 1.5 \text{ (11ケース)}]$$

$$\textcircled{3} \quad F_a = (a \cdot \sigma + b) \cdot \log W \cdot V^c \quad [c = 0.5 \sim 1.5 \text{ (11ケース)}]$$

$$\textcircled{4} \quad F_a = (a \cdot \sigma + b) \cdot \log W \cdot \log V$$

1.3 解析に用いた資料

未知定数の決定には昨年度までの実測資料（調査A、B、C、D、およびE）を用いた。ただし、調査Dの調査地点8には調査区間内に橋梁が含まれており、伸縮装置部の段差のために衝撃的な荷重が発生しているため、この解析には不適当であるので、この資料を除いて解析を行なった。また、調査Bの調査地点14のデータにも一部欠陥があったので解析から除いた。解析に用いた総計533ケースの資料の概要は表-1.1のとおりである。

表-1.1 資料一覧表

調査種別	調査地点数	解析対象とした調査地点数	試験車		路面平坦性(σ ,mm)		走行速度 (km/h)	データ数
			種類	車重(ton)	最大	最小		
A	30	30	マイクロバス (三菱ローザ B215)	2.50	5.30	0.79	① 調査地点1 20,30,40,50,60 ② 調査地点2~30 20,30,40	$5+3\times 29$ $=92$
B	30	29	大型トラック (日野 KB320)	9.96	4.79	0.95	① 調査地点1 20,30,40,50 ② 調査地点2~13,15~30 20,30,40	$4+3\times 28$ $=88$
C	12	12	同上	① 7.77 ② 4.02	2.90	0.96	① 調査地点1 20,30,40,50,60 ② 調査地点2~12 20,30,40	$2\times (5+3\times 11)$ $=76$
D	12	11	同上	① 10.34 ② 9.04 ③ 6.36 ④ 5.41 ⑤ 4.52	5.50	0.67	① 調査地点1 20,30,40,50,60 ② 調査地点2~7,9~12 20,30,40	$5\times (5+3\times 10)$ $=175$
E	10	10	同上	① 10.30 ② 7.19 ③ 4.00	3.11	0.77	① 調査地点1, 2 40,50,60,70,80 ② 調査地点3~10 40,50,60	$3\times (5\times 2+3\times 8)$ $=102$
総 計								533

1.4 解析方法、結果、および考察

前記533ケースの資料から、 F_a の値（ただし、 $\alpha = 70, 71, \dots, 100$ ）をおのおの算出し、それらの結果を基にして、各仮定式に対し、最小二乗法を適用して各仮定式の未知定数a, b, c, dを決定した。さらに決定された予測式を用いて F_a の予測値を算出して実測値と比較し、相関係数を求めた。

関数形の違いによる相関係数の値を比較するために、各関数形において最高評価式を決定しグラフ化した。結果を図-1.1に示す。相関係数は各最高評価式とも、 α が増大するにつれて最初は大きくなる傾向があり、 $\alpha = 91\% \sim 94\%$ の間で最大となり、その後は減少を始める。そして

各関数形の評価としては、 $\alpha = 100\%$ 値においては $\log W \cdot V^*$ が最も精度が良く、 $\alpha = 70\% \sim 99\%$ 値においては $W^* \cdot V^4$ が最も精度が良い。このため、予測式の関数形を $W^* \cdot V^4$ の形に定め以後の解析を進めた。しかし、図 - 1.1 に示す $W^{1.0} \cdot V^{0.8}$ が最も精度が良いわけではなく、図 - 1.2 に示すように $W^{1.0} \cdot V^{0.8}$ の関数形も α 値が 90% 以上になると精度が悪くなる。そこで、関数形は変えずに変数 c , d を変えることによって最も精度の良い式にすることにした。解析の結果予測式は表 - 1.2 のようになった。その予測値と実測値の相関図を図 - 1.3 に示す。

$\alpha(\%)$	予 測 式
70 ~ 89	$(a \cdot \sigma + b) \cdot W^{1.0} \cdot V^{0.8}$
90 ~ 97	$(a \cdot \sigma + b) \cdot W^{0.9} \cdot V^{0.8}$
98 ~ 99	$(a \cdot \sigma + b) \cdot W^{0.8} \cdot V^{0.8}$
100	$(a \cdot \sigma + b) \cdot W^{0.6} \cdot V^{0.7}$

$\alpha(\%)$ により予測式の変数をかえることにより $\alpha=100\%$ においてもかなり精度が良くなり、当初の目標であったすべてのデータに適用しうる予測式が決定されたものとする。

また、用途により一貫した予測式を使用したい場合は、 $(a \cdot \sigma + b) \cdot W^{1.0} \cdot V^{0.8}$ である程度の予測ができるものと考えられる。

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52	53	54	55	56	57	58	59	60	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70	71	72	73	74	75	76	77	78	79	80	81	82	83	84	85	86	87	88	89	90	91	92	93	94	95	96	97	98	99	100
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52	53	54	55	56	57	58	59	60	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70	71	72	73	74	75	76	77	78	79	80	81	82	83	84	85	86	87	88	89	90	91	92	93	94	95	96	97	98	99	100
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52	53	54	55	56	57	58	59	60	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70	71	72	73	74	75	76	77	78	79	80	81	82	83	84	85	86	87	88	89	90	91	92	93	94	95	96	97	98	99	100
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52	53	54	55	56	57	58	59	60	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70	71	72	73	74	75	76	77	78	79	80	81	82	83	84	85	86	87	88	89	90	91	92	93	94	95	96	97	98	99	100
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52	53	54	55	56	57	58	59	60	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70	71	72	73	74	75	76	77	78	79	80	81	82	83	84	85	86	87	88	89	90	91	92	93	94	95	96	97	98	99	100
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52	53	54	55	56	57	58	59	60	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70	71	72	73	74	75	76	77	78	79	80	81	82	83	84	85	86	87	88	89	90	91	92	93	94	95	96	97	98	99	100
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52	53	54	55	56	57	58	59	60	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70	71	72	73	74	75	76	77	78	79	80	81	82	83	84	85	86	87	88	89	90	91	92	93	94	95	96	97	98	99	100
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52	53	54	55	56	57	58	59	60	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70	71	72	73	74	75	76	77	78	79	80	81	82	83	84	85	86	87	88	89	90	91	92	93	94	95	96	97	98	99	100
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52	53	54	55	56	57	58	59	60	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70	71	72	73	74	75	76	77	78	79	80	81	82	83	84	85	86	87	88	89	90	91	92	93	94	95	96	97	98	99	100
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52	53	54	55	56	57	58	59	60	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70	71	72	73	74	75	76	77	78	79	80	81	82	83	84	85	86	87	88	89	90	91	92	93	94	95	96	97	98	99	100
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52	53	54	55	56	57	58	59	60	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70	71	72	73	74	75	76	77	78	79	80	81	82	83	84	85	86	87	88	89	90	91	92	93	94	95	96	97	98	99	100
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52	53	54	55	56	57	58	59	60	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70	71	72	73	74	75	76	77	78	79	80	81	82	83	84	85	86	87	88	89	90	91	92	93	94	95	96	97	98	99	100
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52	53	54	55	56	57	58	59	60	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70	71	72	73	74	75	76	77	78	79	80	81	82	83	84	85	86	87	88	89	90	91	92	93	94	95	96	97	98	99	100
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52	53	54	55	56	57	58	59	60	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70	71	72	73	74	75	76	77	78	79	80	81	82	83	84	85	86	87	88	89	90	91	92	93	94	95	96	97	98	99	100
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52	53	54	55	56	57	58	59	60	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70	71	72	73	74	75	76	77	78	79	80	81	82	83	84	85	86	87	88	89	90	91	92	93	94	95	96	97	98	99	100
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52	53	54	55	56	57	58	59	60	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70	71	72	73	74	75	76	77	78	79	80	81	82	83	84	85	86	87	88	89	90	91	92	93	94	95	96	97	98	99	100
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52	53	54	55	56	57	58	59	60	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70	71	72	73	74	75	76	77	78	79	80	81	82	83	84	85	86	87	88	89	90	91	92	93	94	95	96	97	98	99	100
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52	53	54	55	56	57	58	59	60	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70	71	72	73	74	75	76	77	78	79	80																				

表- 1.3 動的付加荷重の累積率に対する予測式の係数

係 数 動的付加荷重の累積率	a ($\times 10^{-3}$)	b ($\times 10^{-3}$)	c	d
7 0	0.385	1.203	1.0	0.8
7 1	0.405	1.266	1.0	0.8
7 2	0.425	1.337	1.0	0.8
7 3	0.441	1.414	1.0	0.8
7 4	0.469	1.464	1.0	0.8
7 5	0.505	1.509	1.0	0.8
7 6	0.522	1.590	1.0	0.8
7 7	0.550	1.652	1.0	0.8
7 8	0.568	1.732	1.0	0.8
7 9	0.600	1.802	1.0	0.8
8 0	0.627	1.877	1.0	0.8
8 1	0.655	1.953	1.0	0.8
8 2	0.687	2.030	1.0	0.8
8 3	0.721	2.105	1.0	0.8
8 4	0.755	2.182	1.0	0.8
8 5	0.795	2.252	1.0	0.8
8 6	0.841	2.326	1.0	0.8
8 7	0.879	2.413	1.0	0.8
8 8	0.924	2.504	1.0	0.8
8 9	0.979	2.587	1.0	0.8
9 0	1.223	3.210	0.9	0.8
9 1	1.316	3.290	0.9	0.8
9 2	1.405	3.402	0.9	0.8
9 3	1.509	3.519	0.9	0.8
9 4	1.627	3.651	0.9	0.8
9 5	1.787	3.756	0.9	0.8
9 6	1.982	3.887	0.9	0.8
9 7	2.228	4.053	0.9	0.8
9 8	3.005	5.230	0.8	0.8
9 9	3.591	5.878	0.8	0.8
1 0 0	12.039	17.907	0.6	0.7

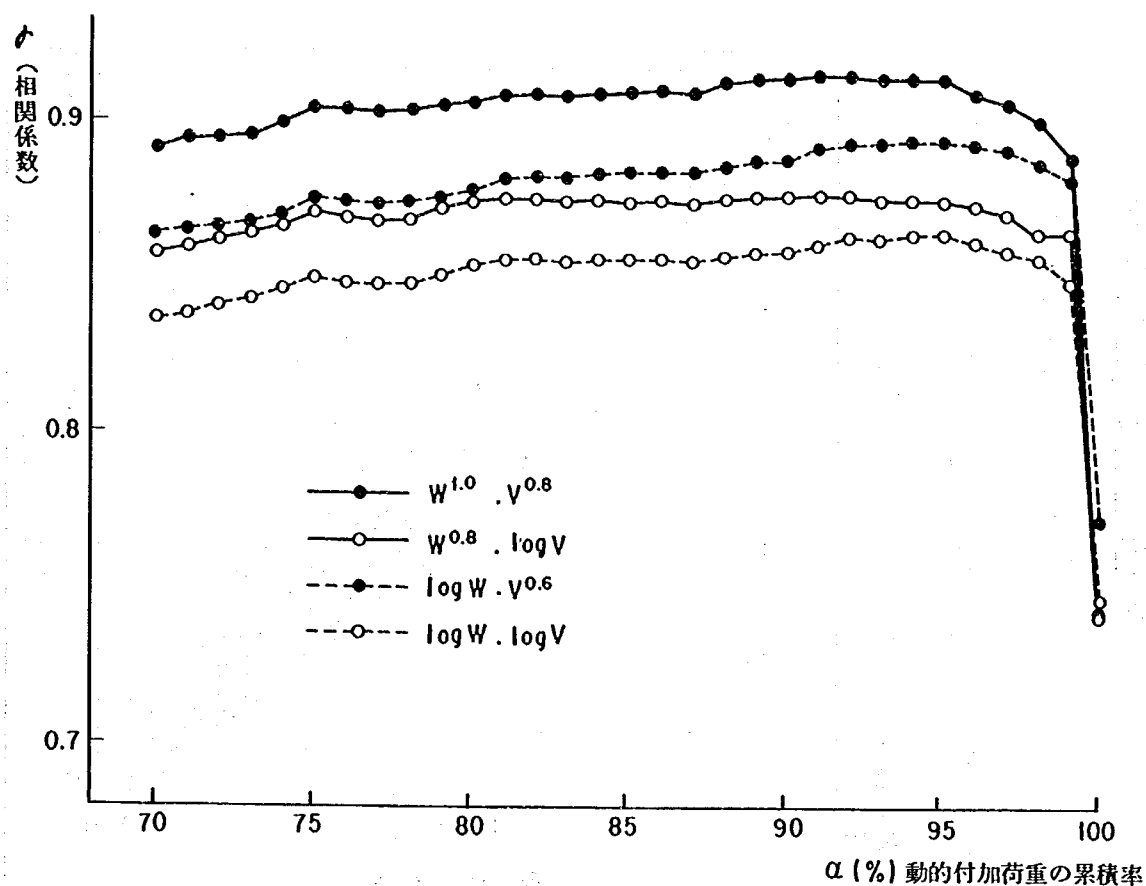


図- 1.1 各関数形における最高評価式の相関係数

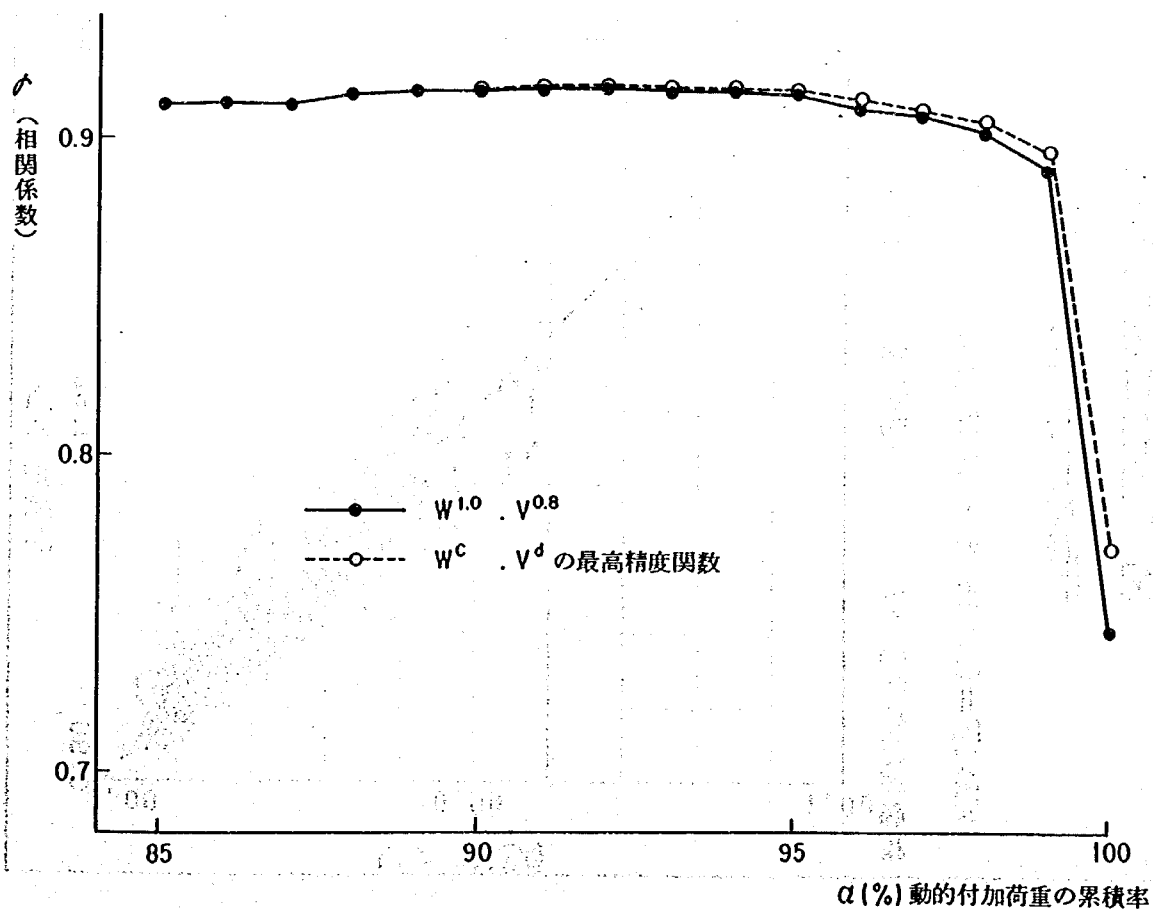


図- 1.2 最高評価式とその関数形の最高値との比較

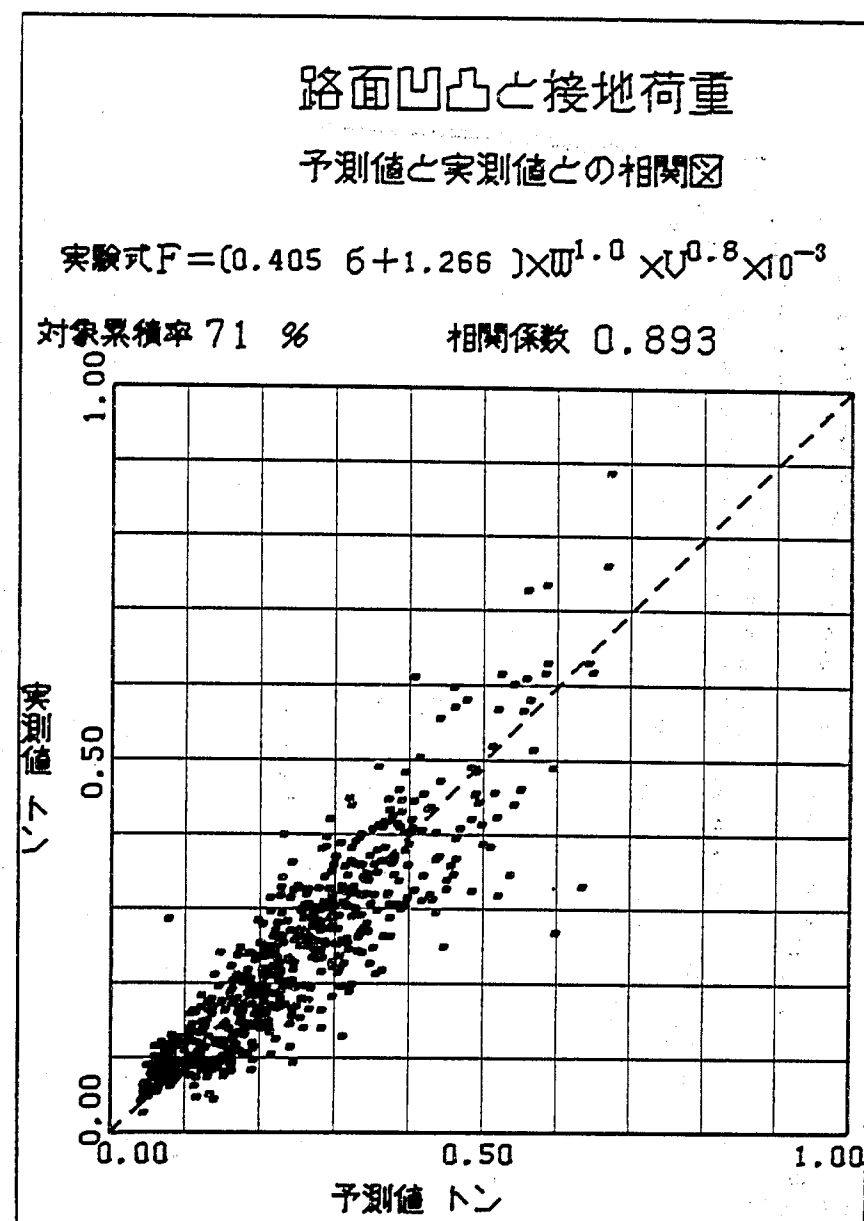
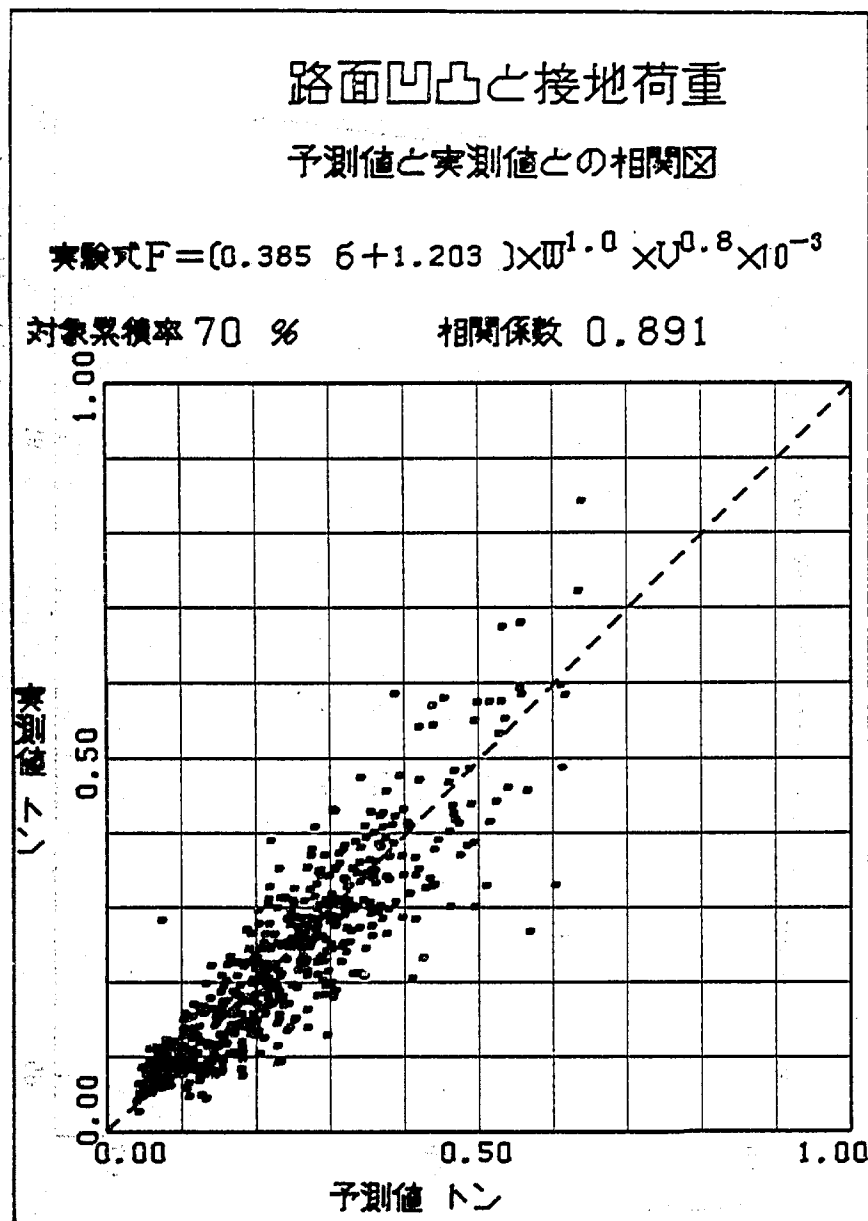


図 - 1.3(1) ($\alpha = 70, 71\%$)

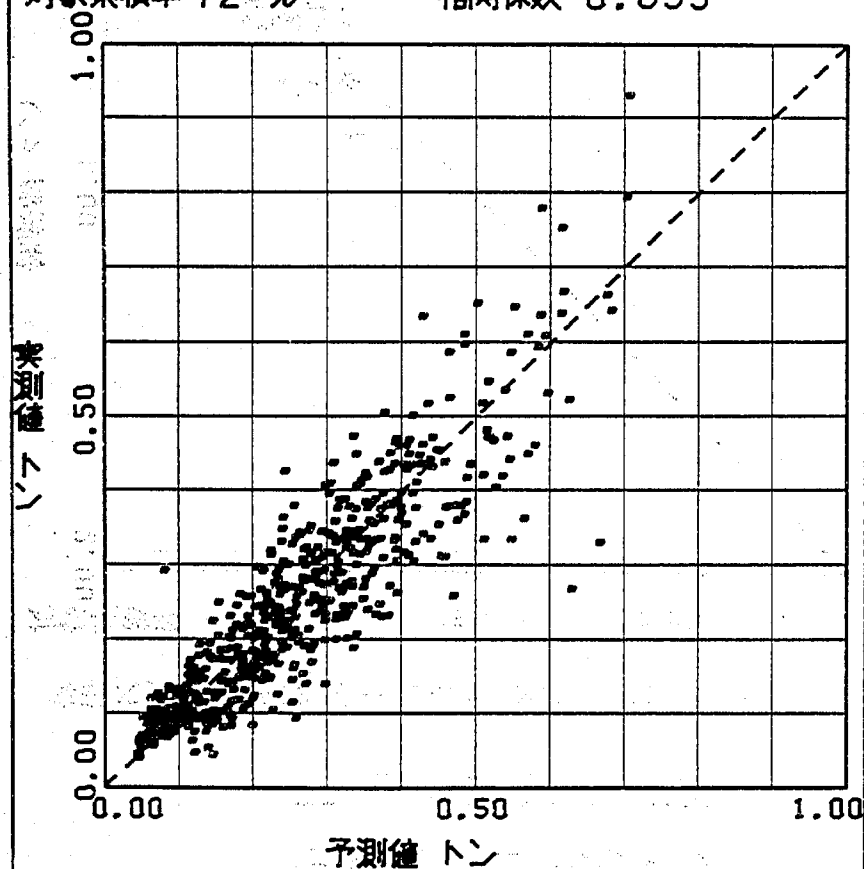
路面凹凸と接地荷重

予測値と実測値との相関図

$$\text{実験式 } F = (0.425 \ 6 + 1.337) \times W^{1.0} \times V^{0.8} \times 10^{-3}$$

対象累積率 72 %

相関係数 0.893



路面凹凸と接地荷重

予測値と実測値との相関図

$$\text{実験式 } F = (0.441 \ 6 + 1.414) \times W^{1.0} \times V^{0.8} \times 10^{-3}$$

対象累積率 73 %

相関係数 0.895

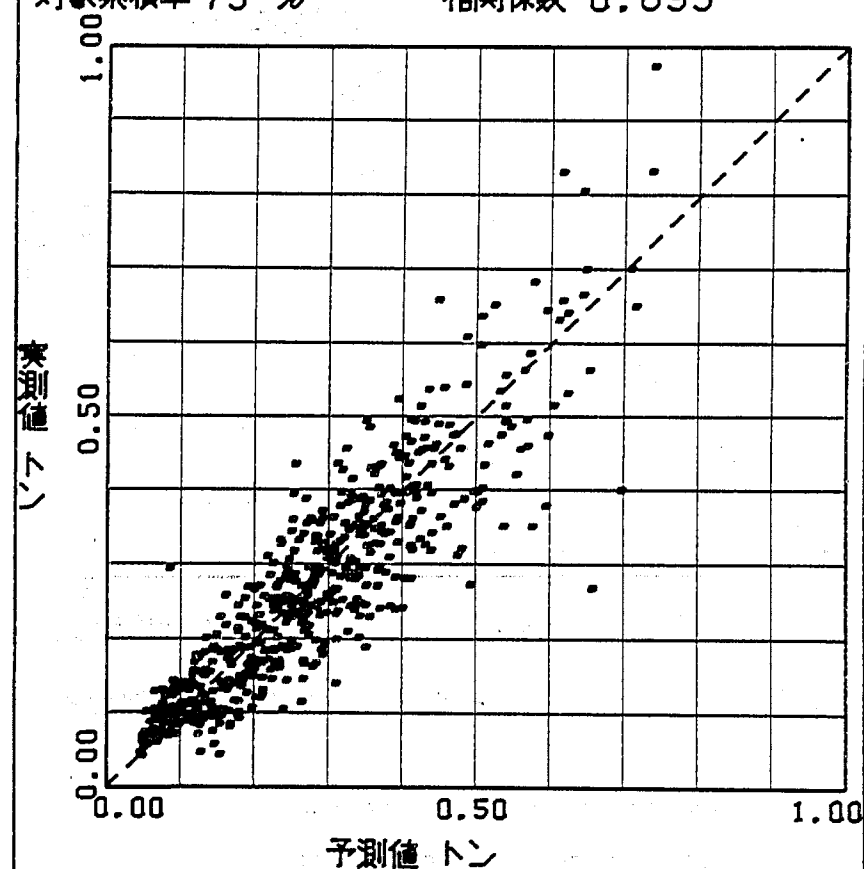


図 - 1.3 (2) ($\alpha = 72, 73\%$)

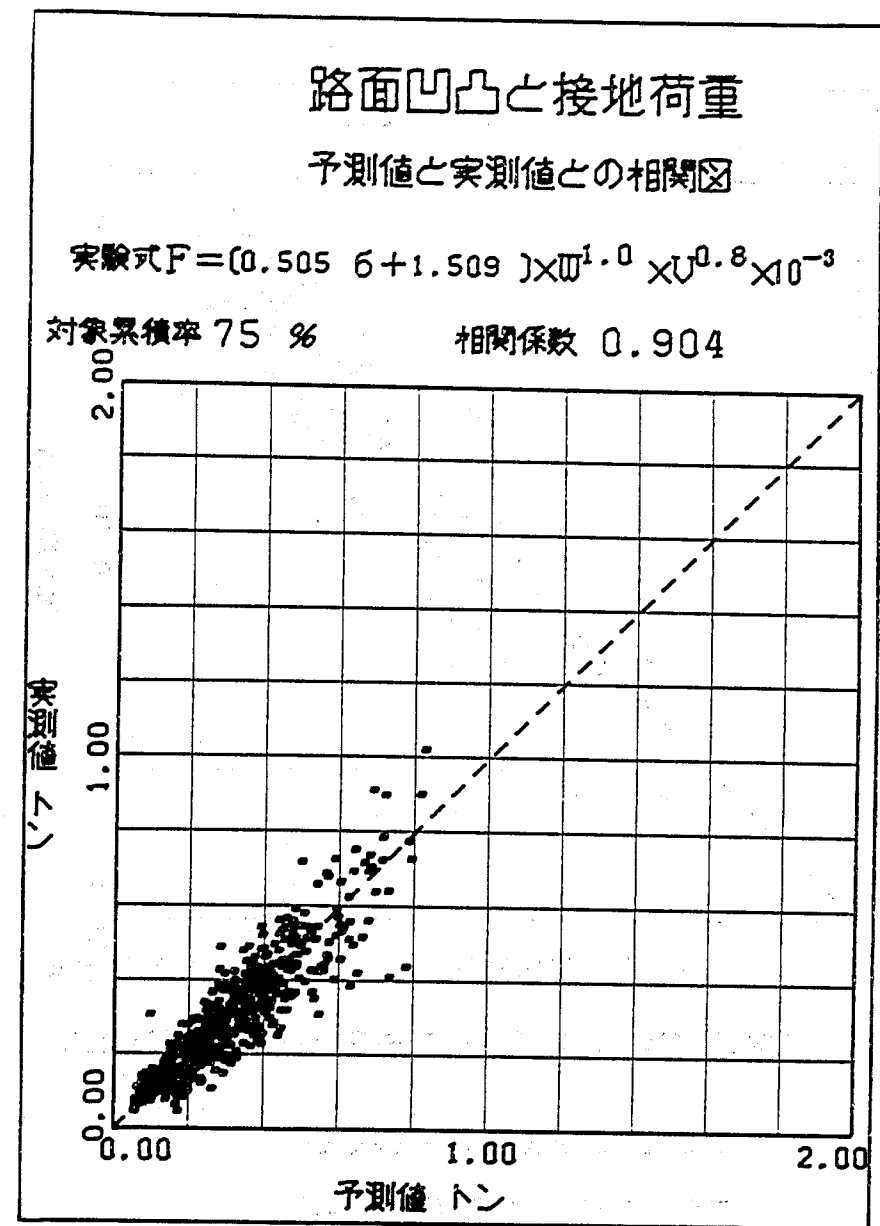
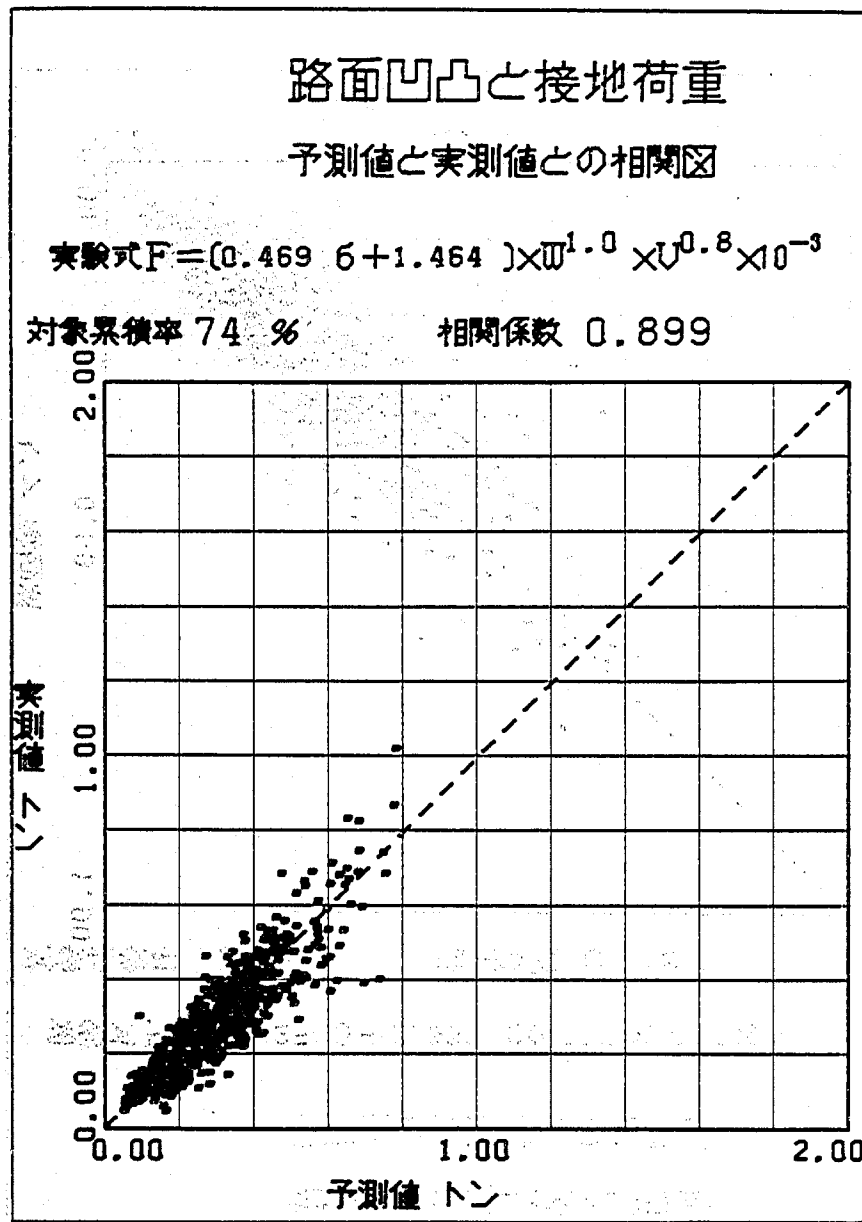


図 - 1.3 (3) ($\alpha = 74, 75\%$)

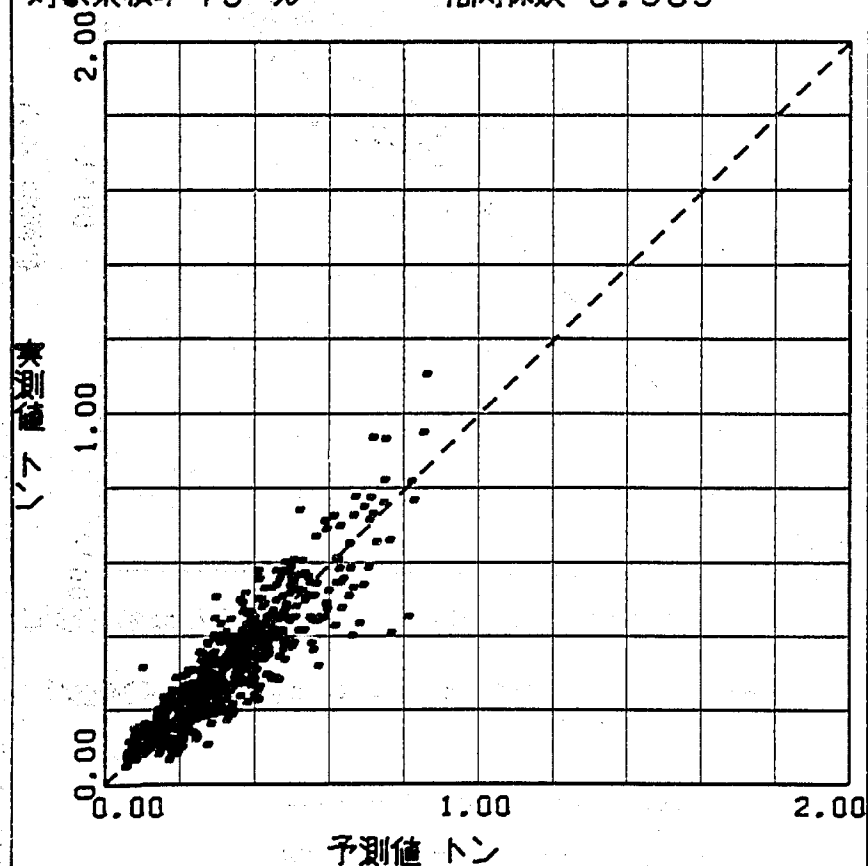
路面凹凸と接地荷重

予測値と実測値との相関図

$$\text{実験式 } F = (0.522 \ 6 + 1.590) \times W^{1.0} \times V^{0.8} \times 10^{-3}$$

対象累積率 76 %

相関係数 0.903



路面凹凸と接地荷重

予測値と実測値との相関図

$$\text{実験式 } F = (0.550 \ 6 + 1.652) \times W^{1.0} \times V^{0.8} \times 10^{-3}$$

対象累積率 77 %

相関係数 0.901

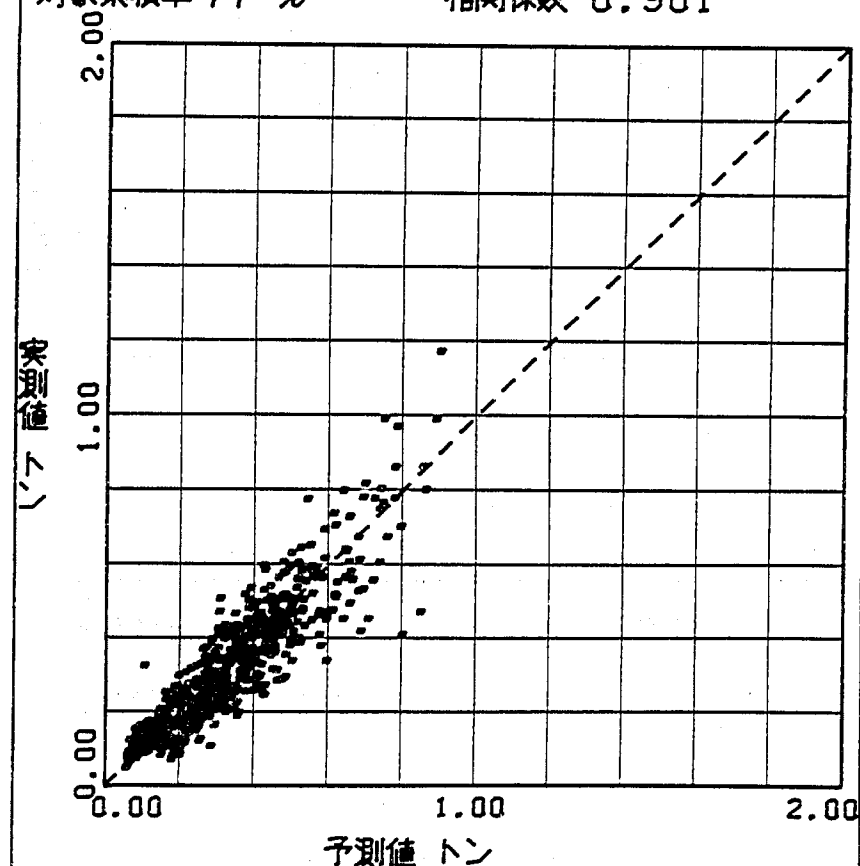


図-1.3(4) ($\alpha = 76, 77\%$)

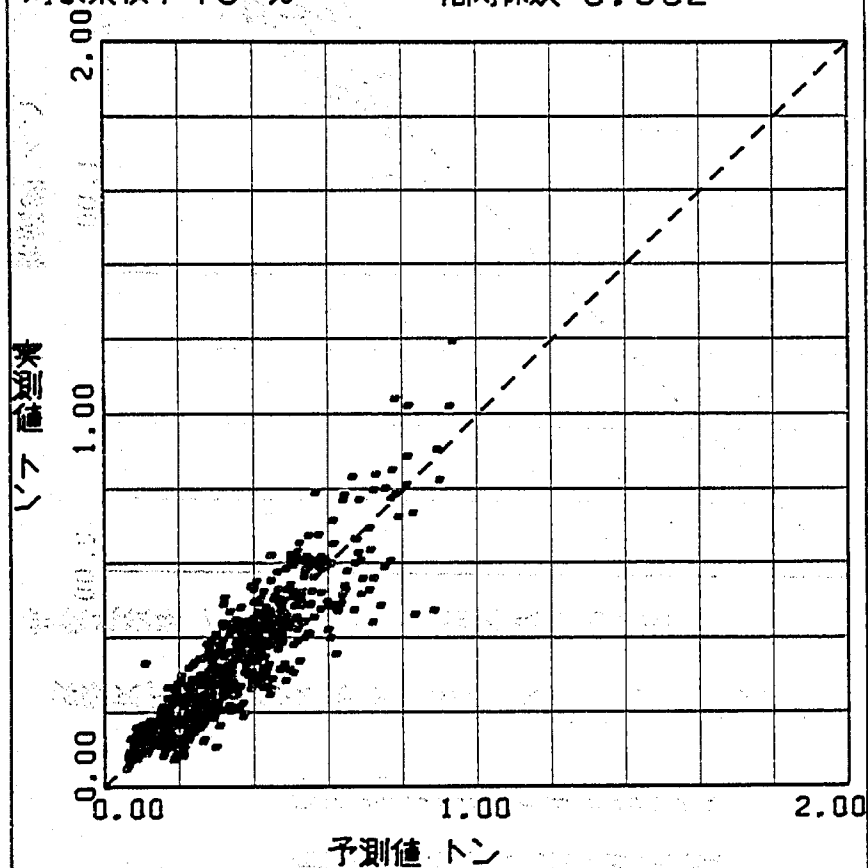
路面凹凸と接地荷重

予測値と実測値との相関図

$$\text{実験式 } F = (0.568 \text{ } 6 + 1.732 \text{ }) \times W^{1.0} \times U^{0.8} \times 10^{-3}$$

対象累積率 78 %

相関係数 0.902



路面凹凸と接地荷重

予測値と実測値との相関図

$$\text{実験式 } F = (0.600 \text{ } 6 + 1.802 \text{ }) \times W^{1.0} \times U^{0.8} \times 10^{-3}$$

対象累積率 79 %

相関係数 0.904

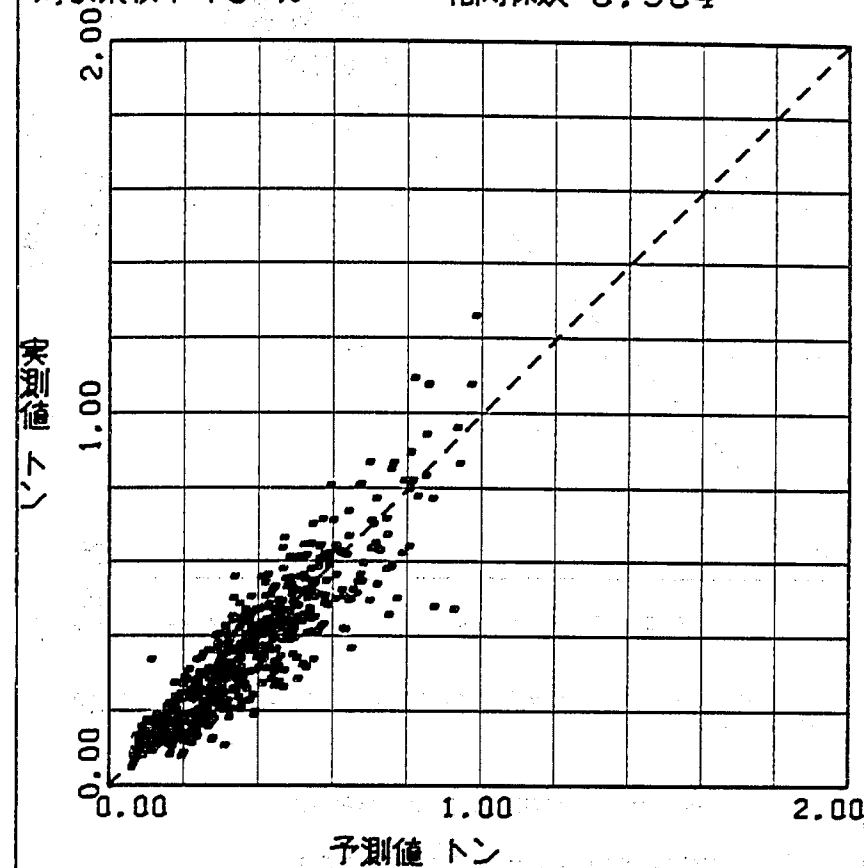


図 - 1.3 (5) ($\alpha = 78, 79 \%$)

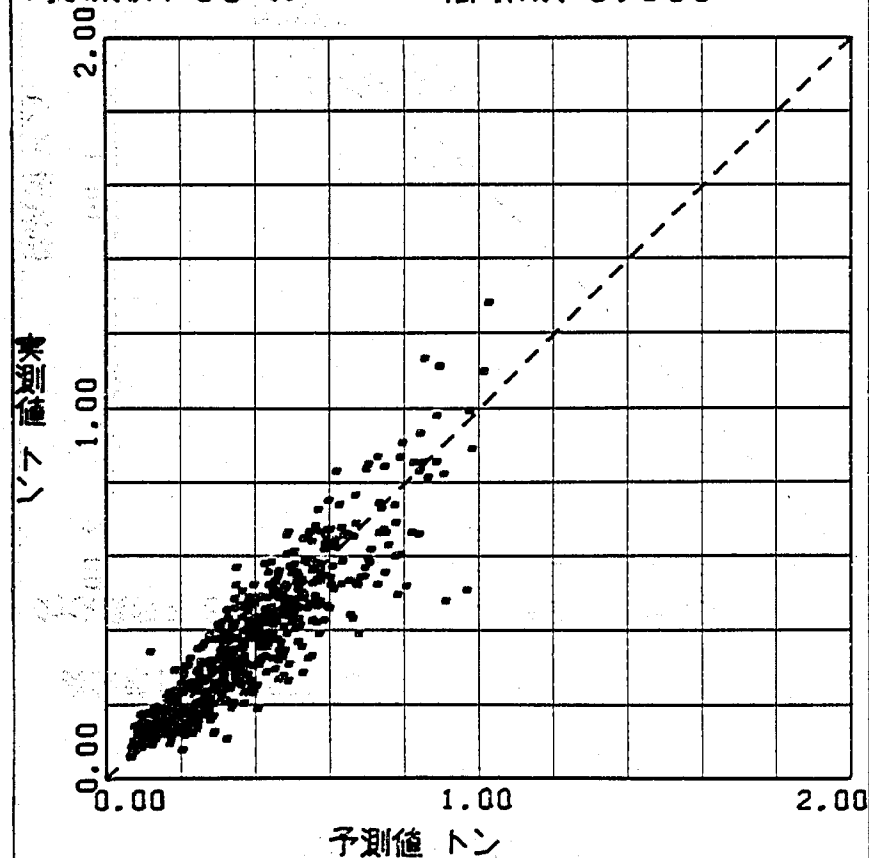
路面凹凸と接地荷重

予測値と実測値との相関図

$$\text{実験式 } F = (0.6276 + 1.877) \times W^{1.0} \times V^{0.8} \times 10^{-3}$$

対象累積率 80 %

相関係数 0.906



路面凹凸と接地荷重

予測値と実測値との相関図

$$\text{実験式 } F = (0.6556 + 1.953) \times W^{1.0} \times V^{0.8} \times 10^{-3}$$

対象累積率 81 %

相関係数 0.908

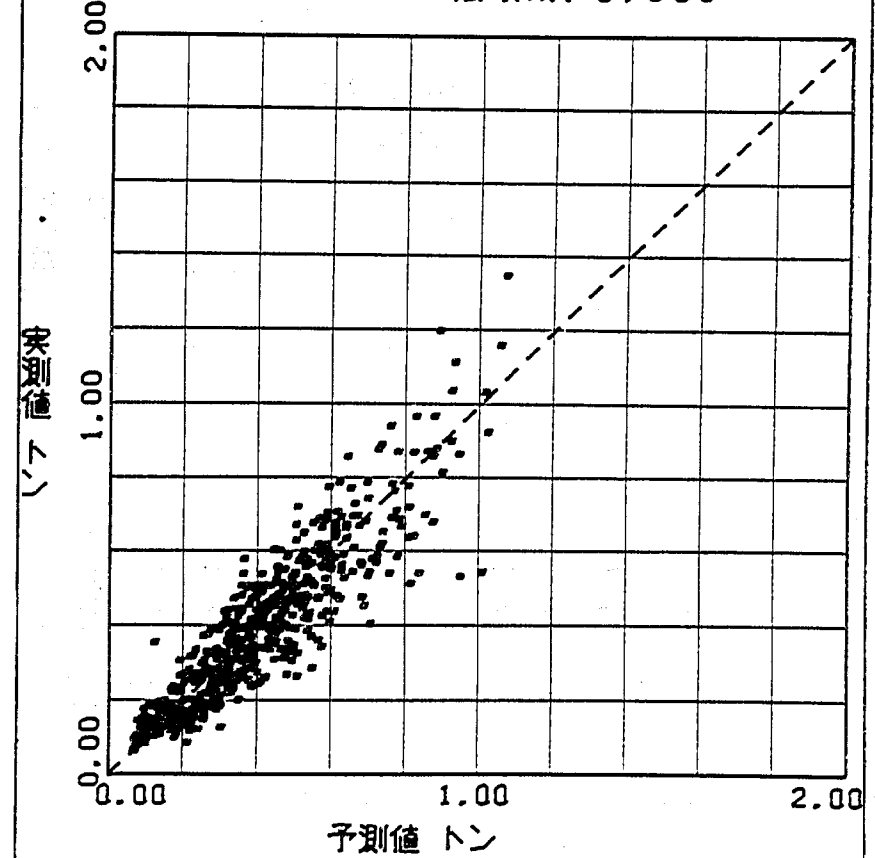


図-1.3(6) (α = 80, 81 %)

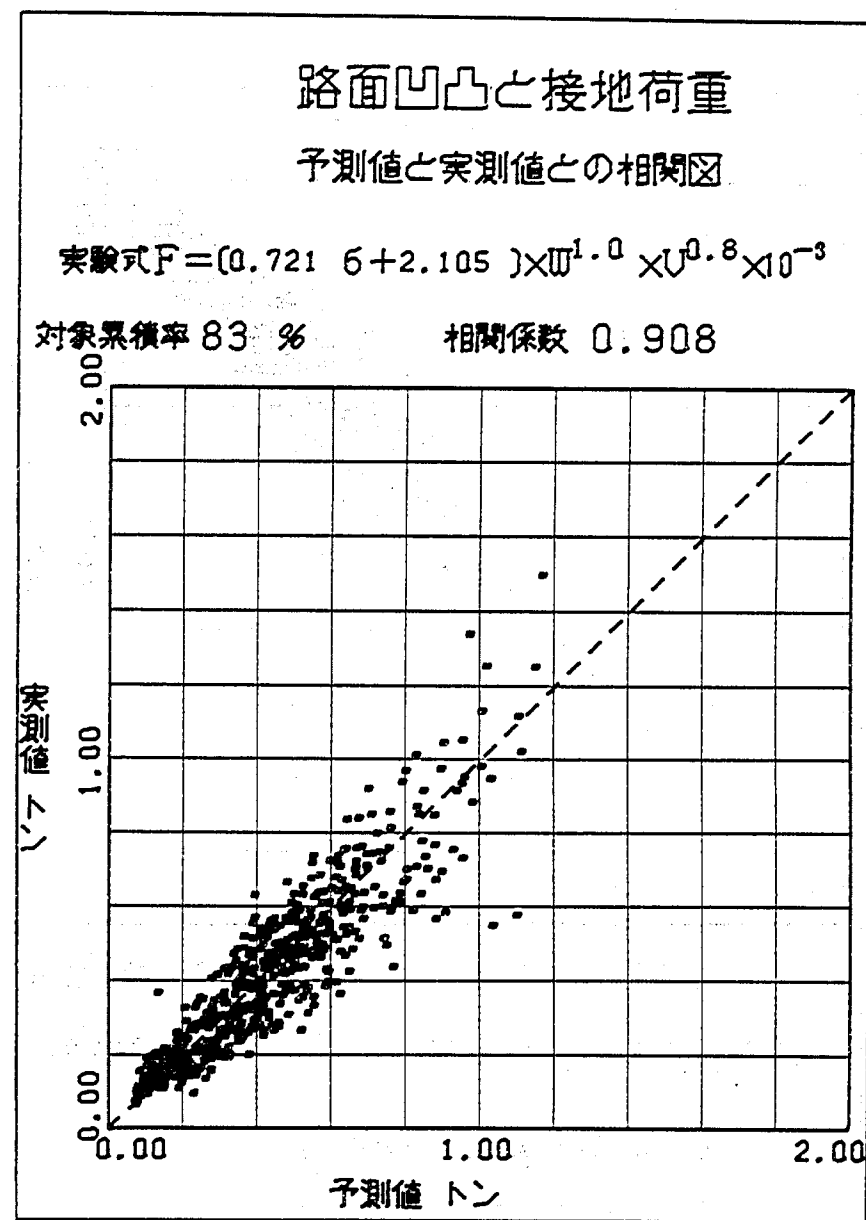
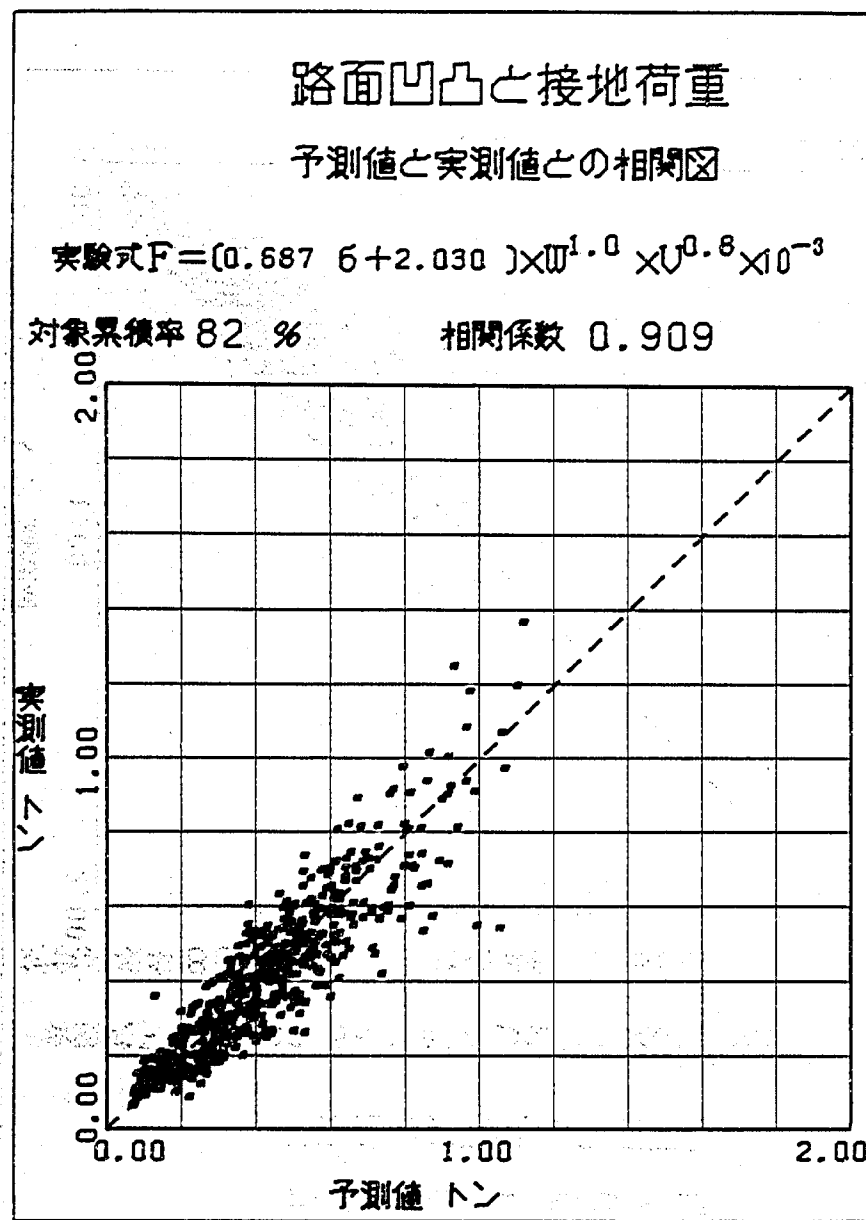


図-1.3(7) ($\alpha = 82, 83\%$)

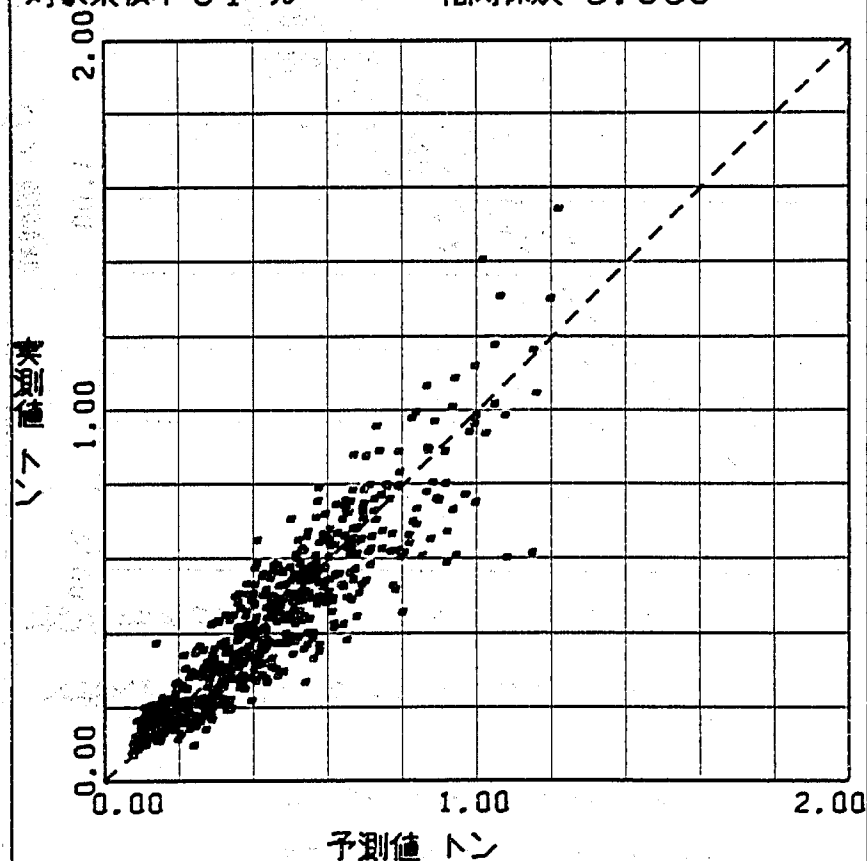
路面凹凸と接地荷重

予測値と実測値との相関図

$$\text{実験式 } F = (0.755 \ 6 + 2.182) \times W^{1.0} \times V^{0.8} \times 10^{-3}$$

対象累積率 84 %

相関係数 0.909



路面凹凸と接地荷重

予測値と実測値との相関図

$$\text{実験式 } F = (0.795 \ 6 + 2.252) \times W^{1.0} \times V^{0.8} \times 10^{-3}$$

対象累積率 85 %

相関係数 0.910

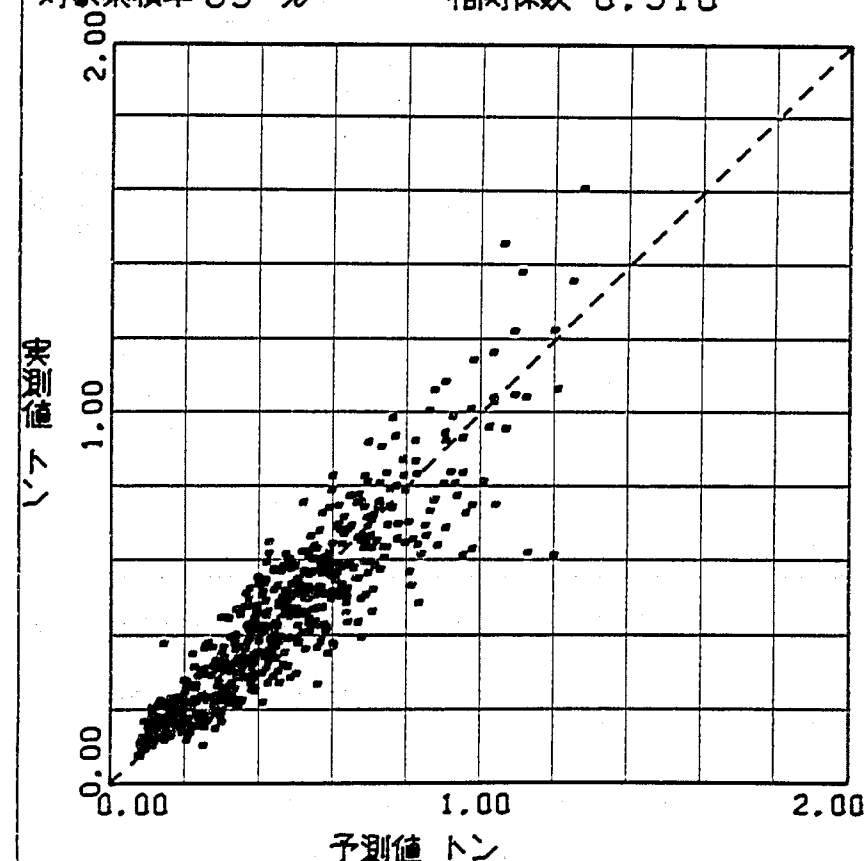


図 - 1.3 (8) ($\alpha = 84, 85 \%$)

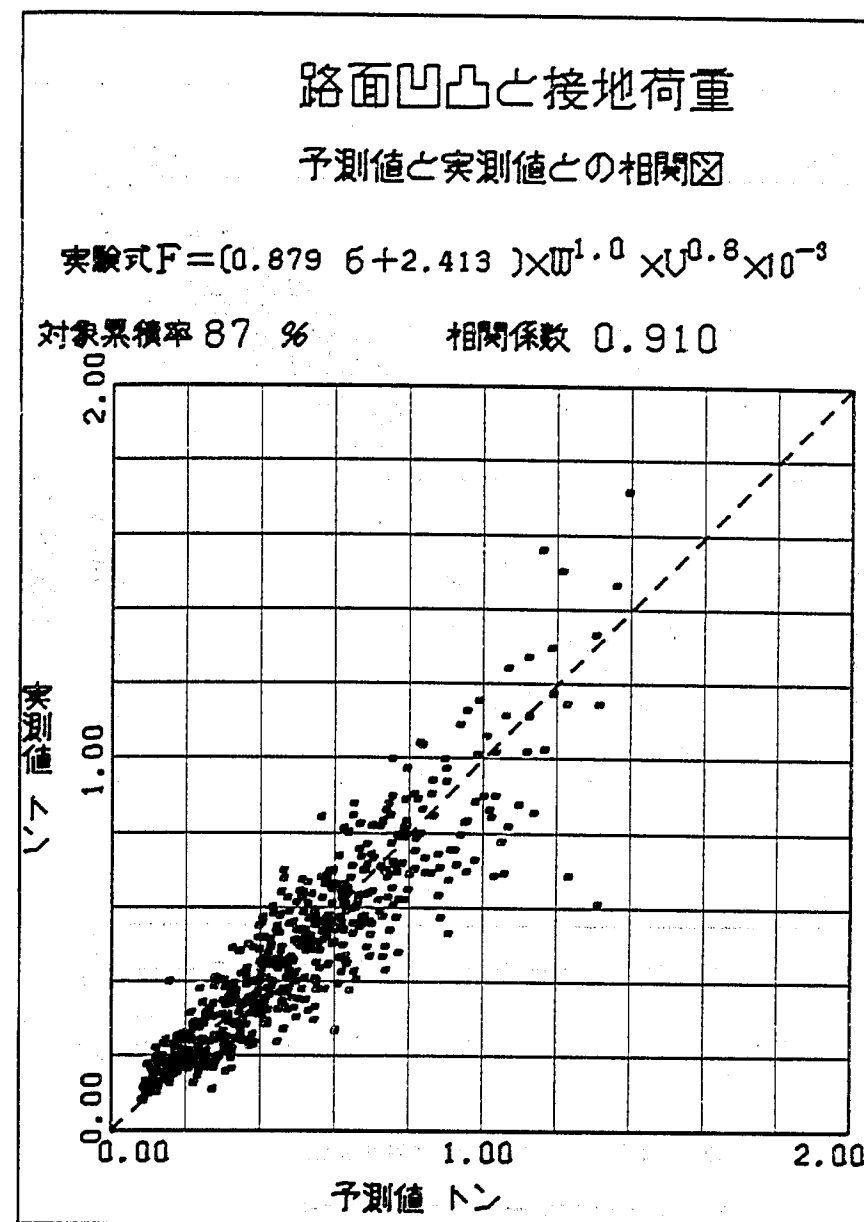
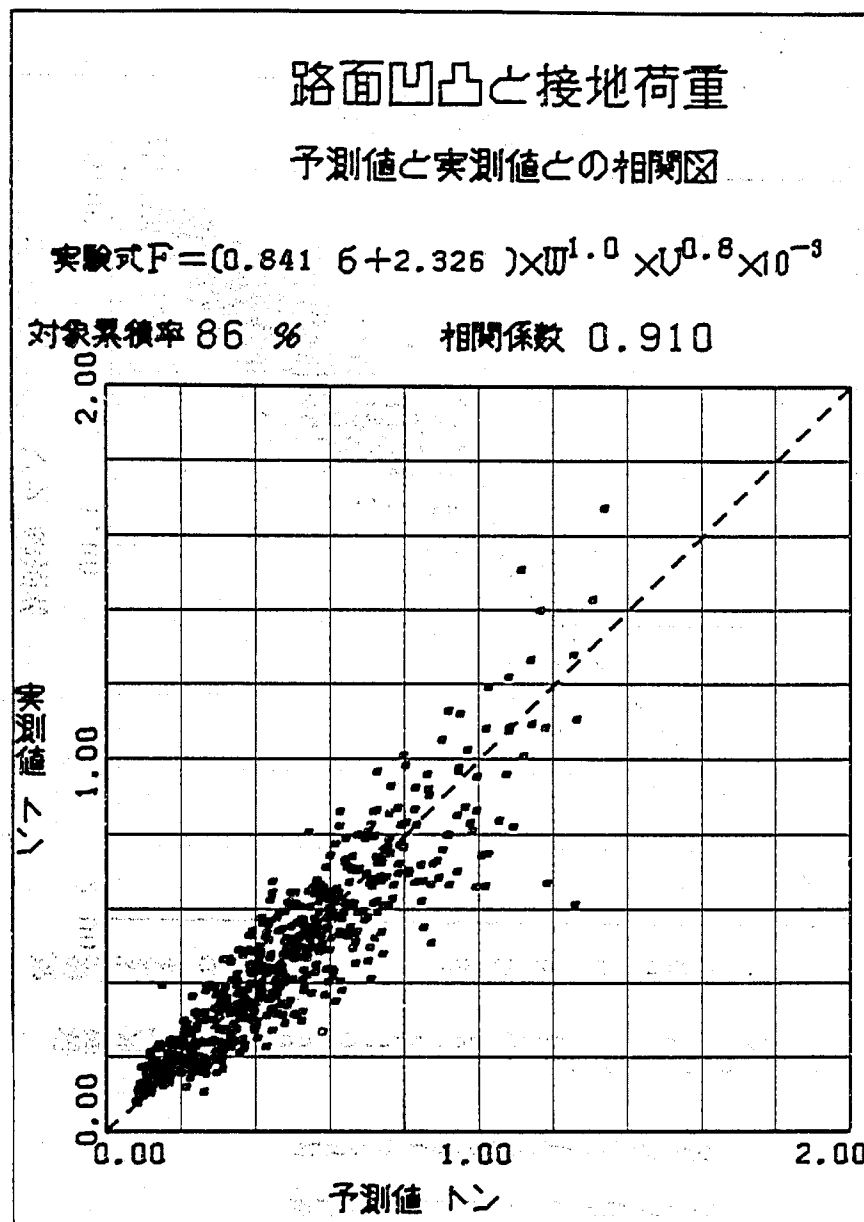


図 - 1.3 (9) ($\alpha = 86, 87\%$)

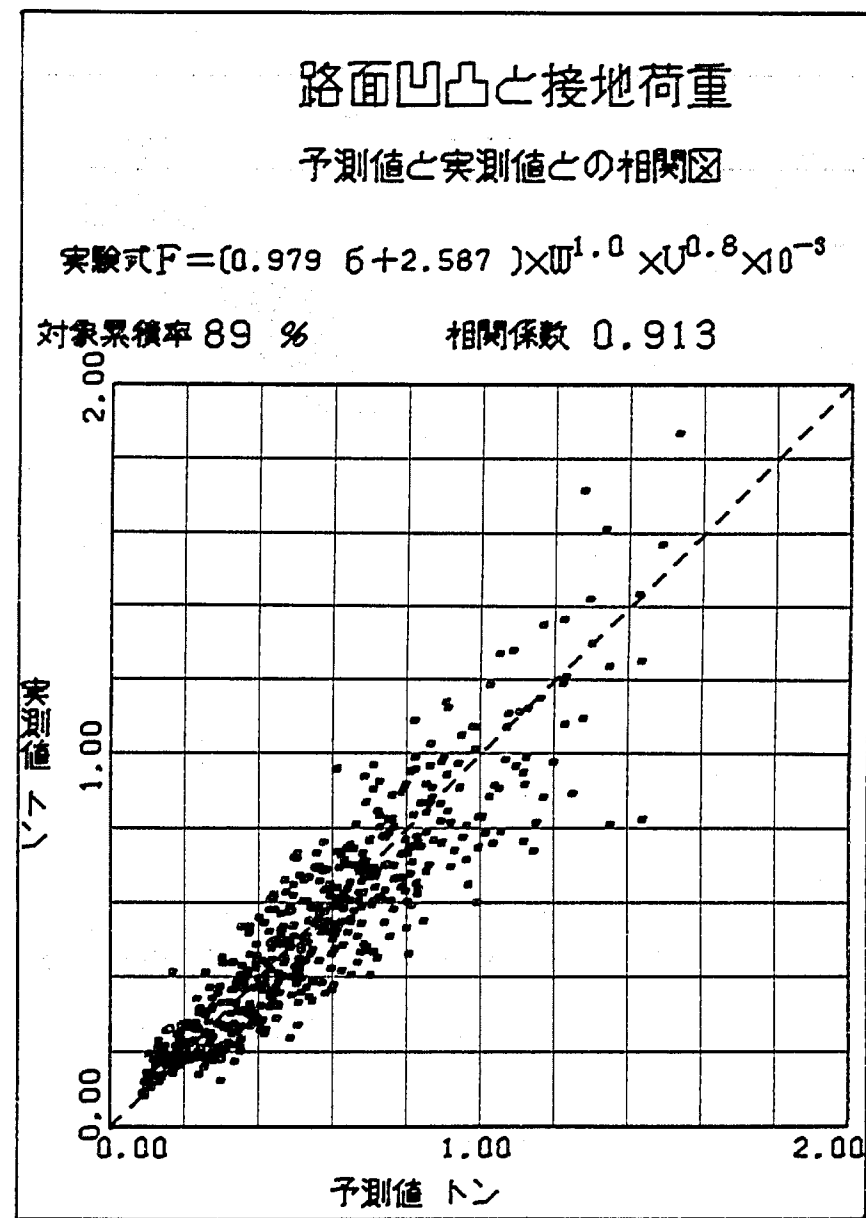
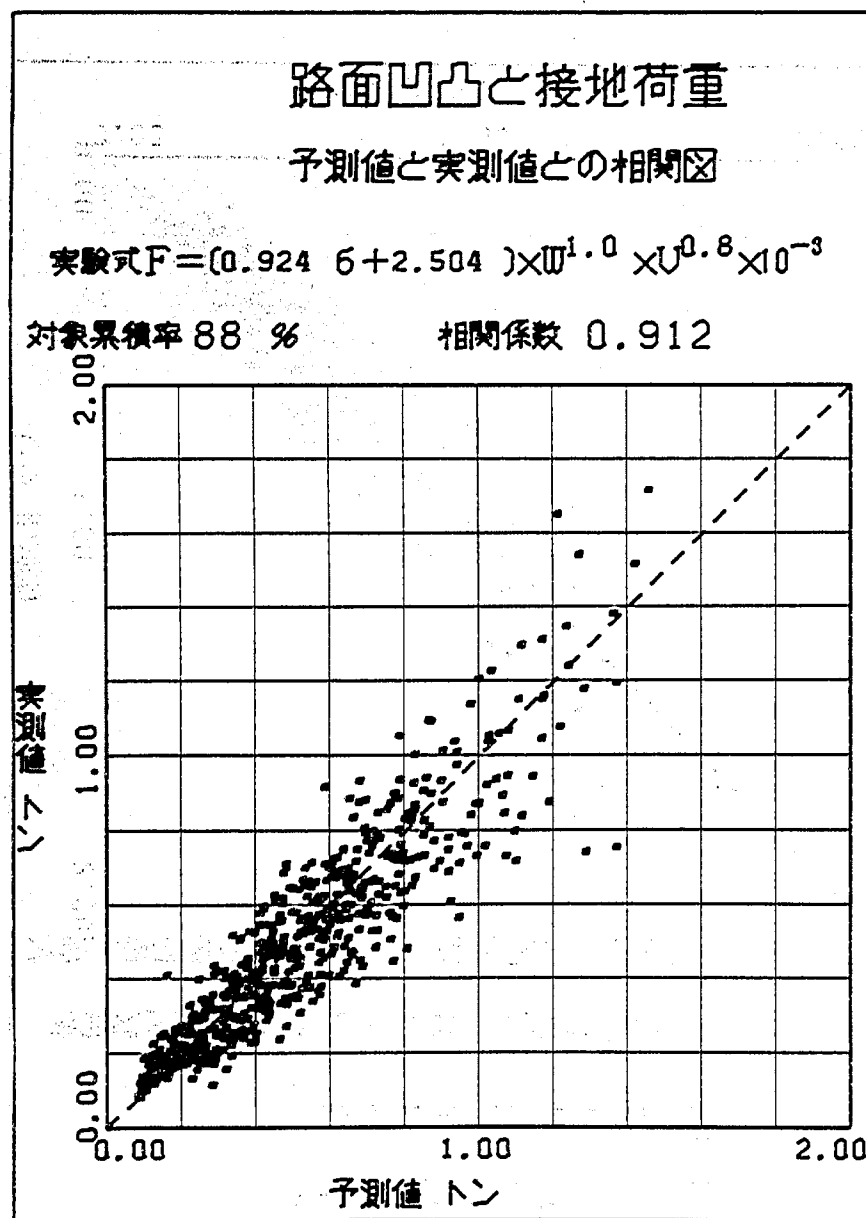


図 - 1.3 (10) ($\alpha = 88, 89\%$)

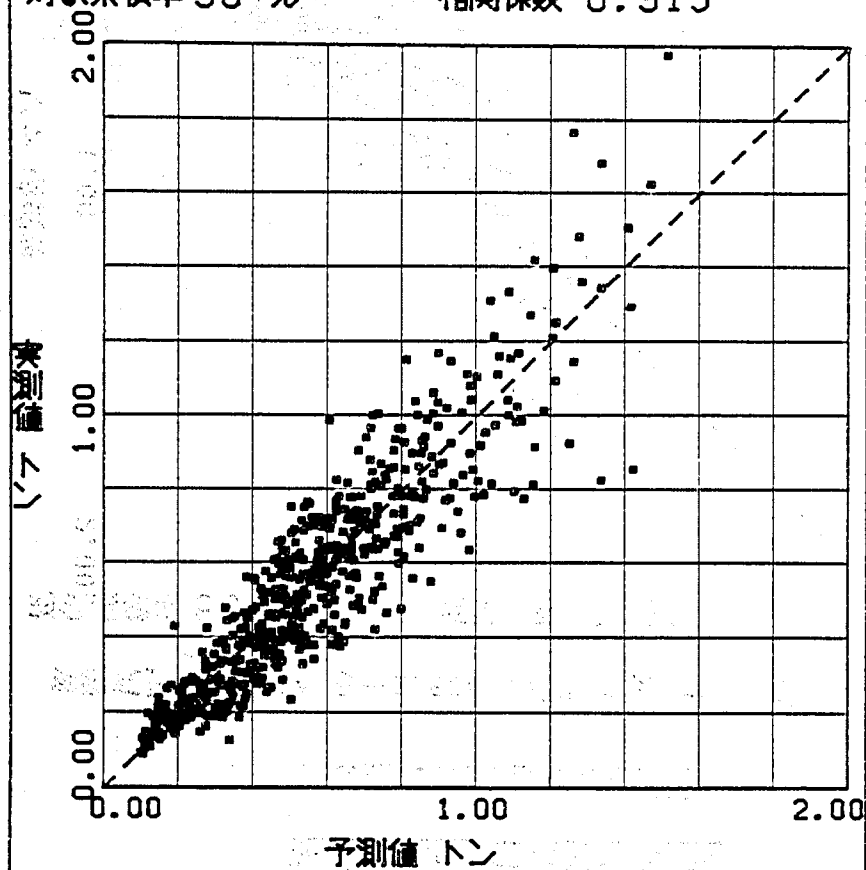
路面凹凸と接地荷重

予測値と実測値との相関図

$$\text{実験式 } F = (1.223 \ 6 + 3.210 \) \times W^{0.9} \times U^{0.8} \times 10^{-3}$$

対象累積率 90 %

相関係数 0.913



路面凹凸と接地荷重

予測値と実測値との相関図

$$\text{実験式 } F = (1.316 \ 6 + 3.290 \) \times W^{0.9} \times U^{0.8} \times 10^{-3}$$

対象累積率 91 %

相関係数 0.915

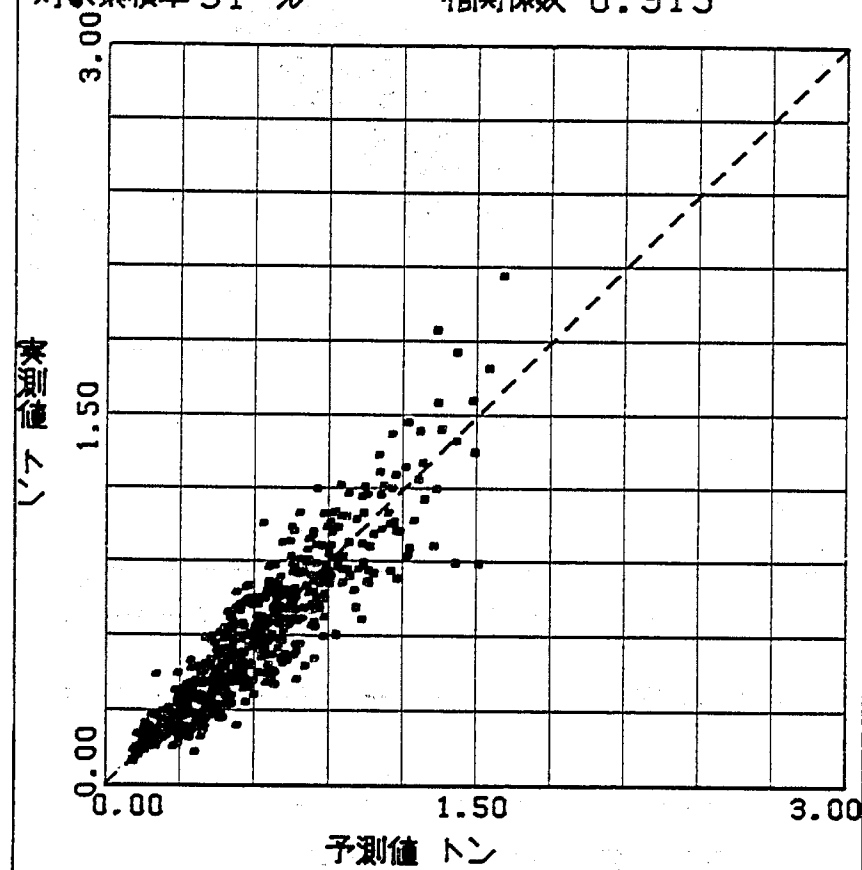


図 - 1.3 (1) (α = 90 , 91 %)

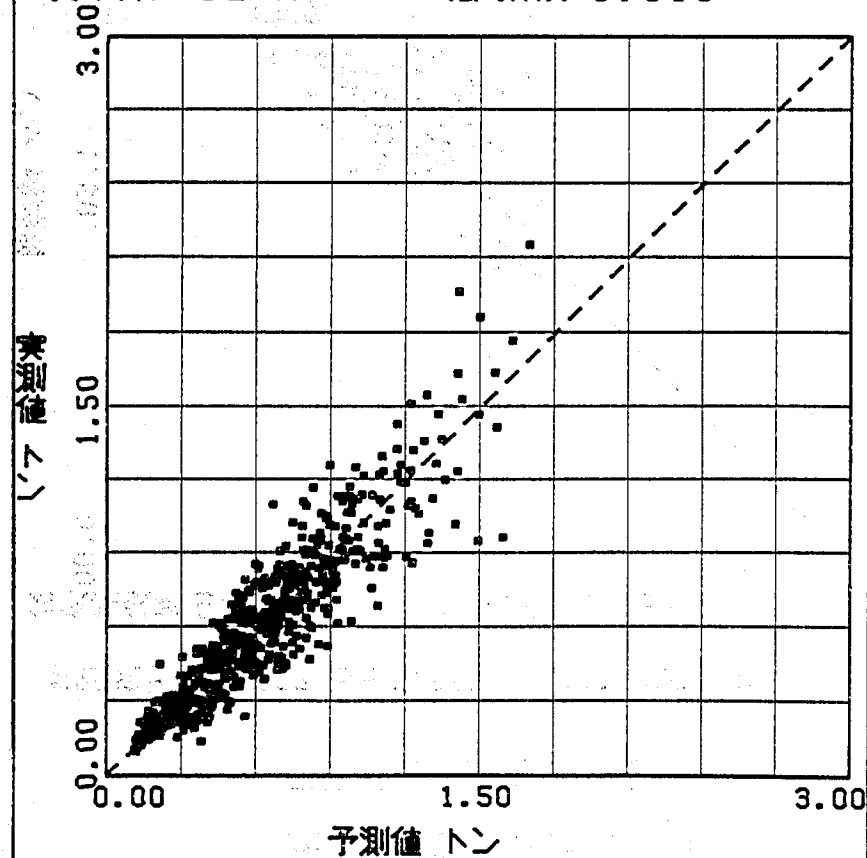
路面凹凸と接地荷重

予測値と実測値との相関図

$$\text{実験式 } F = (1.405 \text{ } 6 + 3.402 \text{ }) \times W^{0.9} \times V^{0.8} \times 10^{-3}$$

対象累積率 92 %

相関係数 0.915



路面凹凸と接地荷重

予測値と実測値との相関図

$$\text{実験式 } F = (1.509 \text{ } 6 + 3.519 \text{ }) \times W^{0.9} \times V^{0.8} \times 10^{-3}$$

対象累積率 93 %

相関係数 0.914

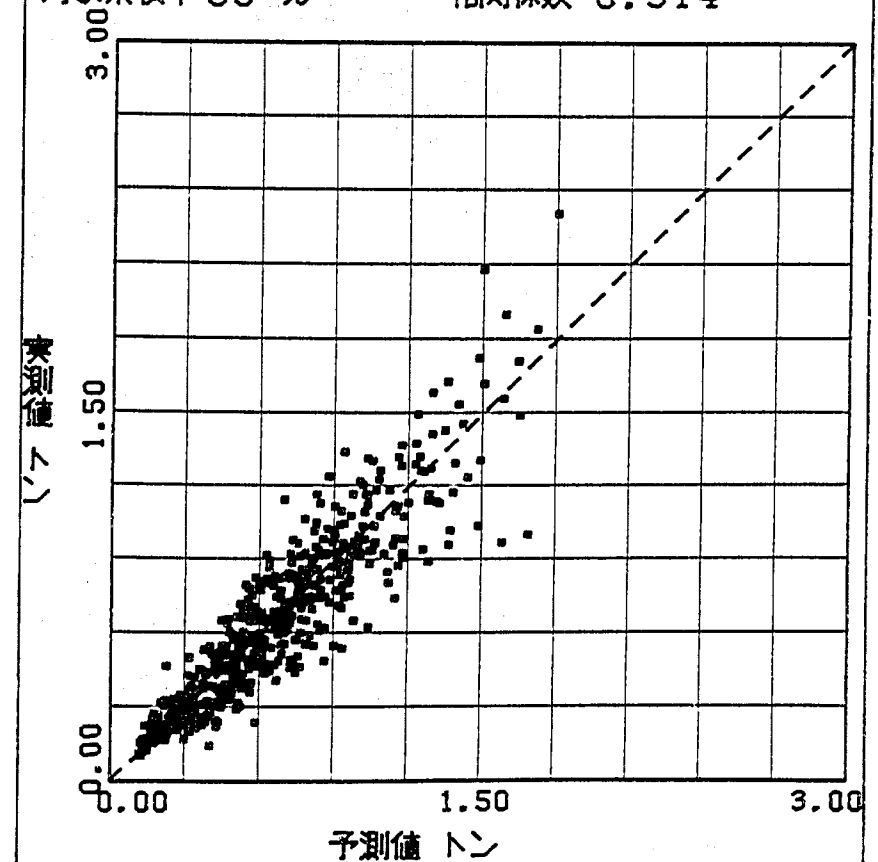


図 - 1.3 (2) ($\alpha = 92, 93 \%$)

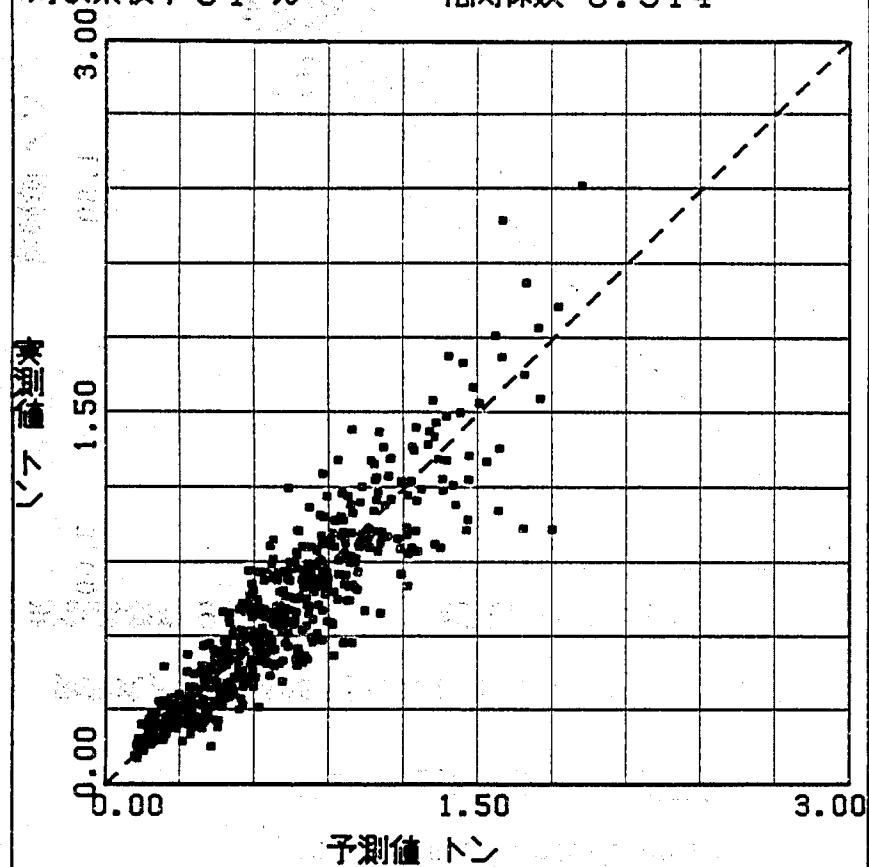
路面凹凸と接地荷重

予測値と実測値との相関図

$$\text{実験式 } F = (1.627 \ 6 + 3.651 \ 7) \times W^{0.9} \times U^{0.8} \times 10^{-3}$$

対象累積率 94 %

相関係数 0.914



路面凹凸と接地荷重

予測値と実測値との相関図

$$\text{実験式 } F = (1.787 \ 6 + 3.756 \ 7) \times W^{0.9} \times U^{0.8} \times 10^{-3}$$

対象累積率 95 %

相関係数 0.913

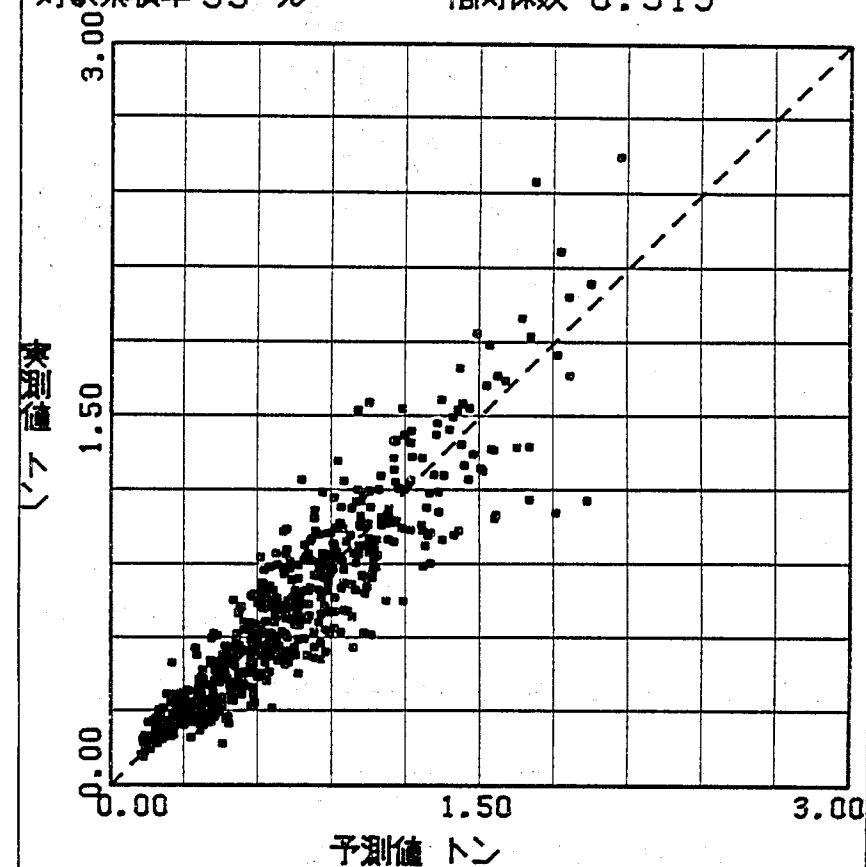


図 - 1.3 (13) ($\alpha = 94, 95\%$)

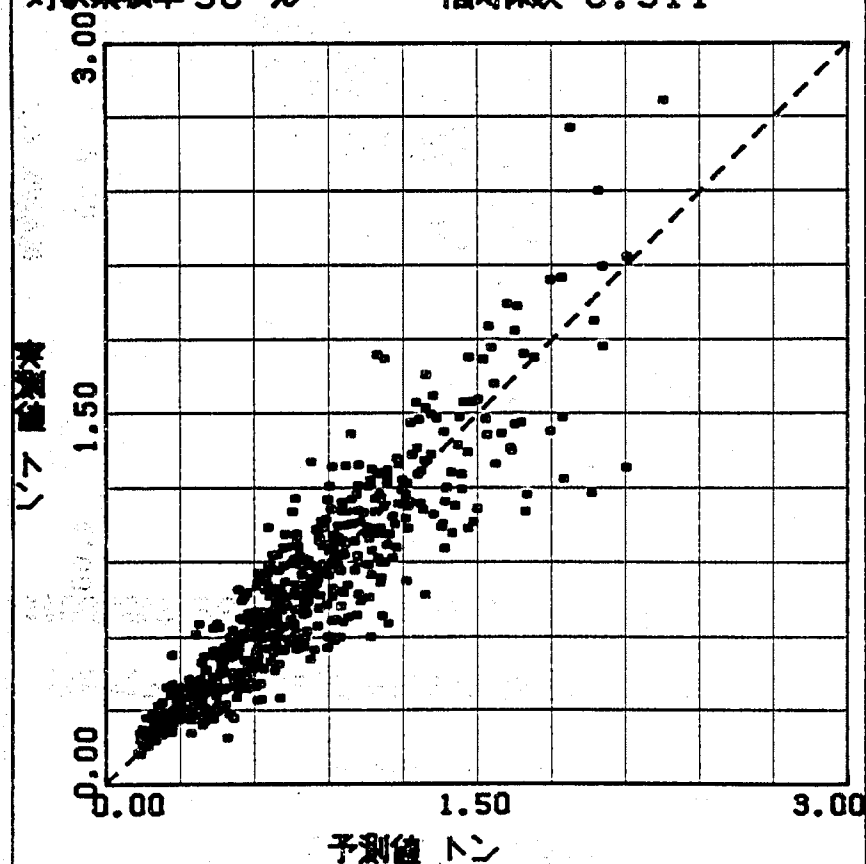
路面凹凸と接地荷重

予測値と実測値との相関図

$$\text{実験式 } F = (1.982 \text{ } \bar{G} + 9.887) \times W^{0.9} \times V^{0.8} \times 10^{-3}$$

対象累積率 96 %

相関係数 0.911



路面凹凸と接地荷重

予測値と実測値との相関図

$$\text{実験式 } F = (2.228 \text{ } \bar{G} + 4.059) \times W^{0.9} \times V^{0.8} \times 10^{-3}$$

対象累積率 97 %

相関係数 0.908

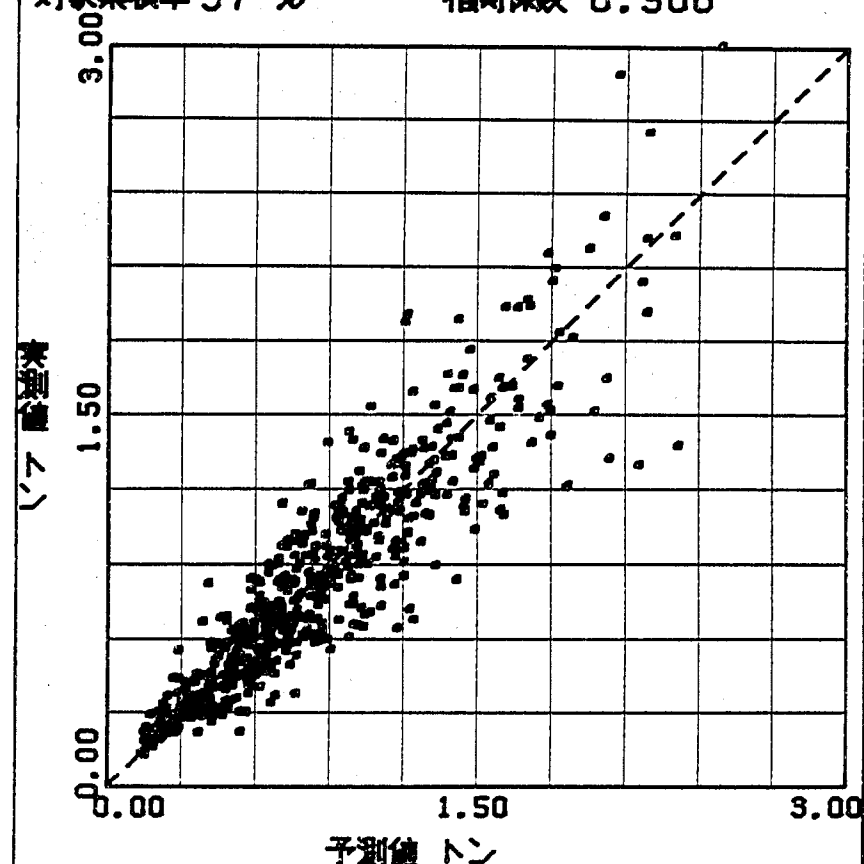


図 - 1.3 (14) ($\alpha = 96, 97\%$)

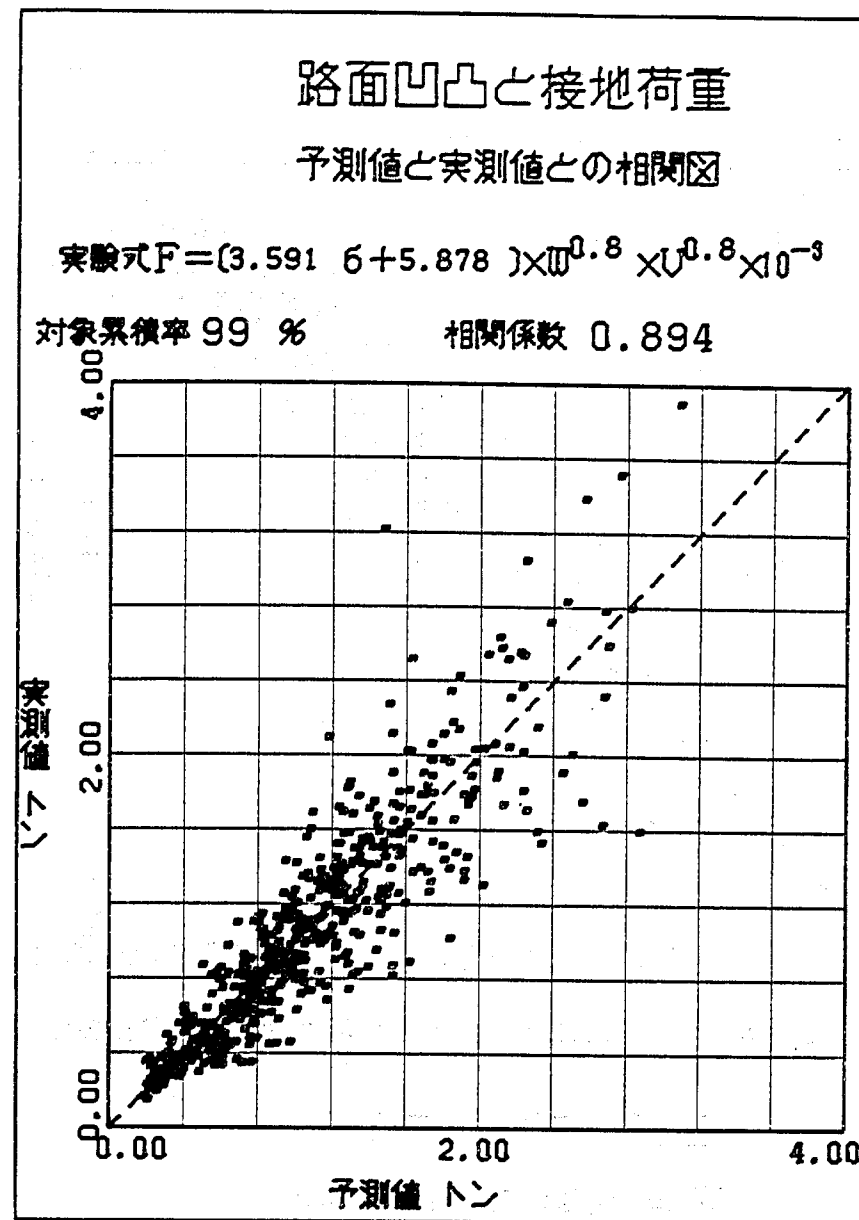
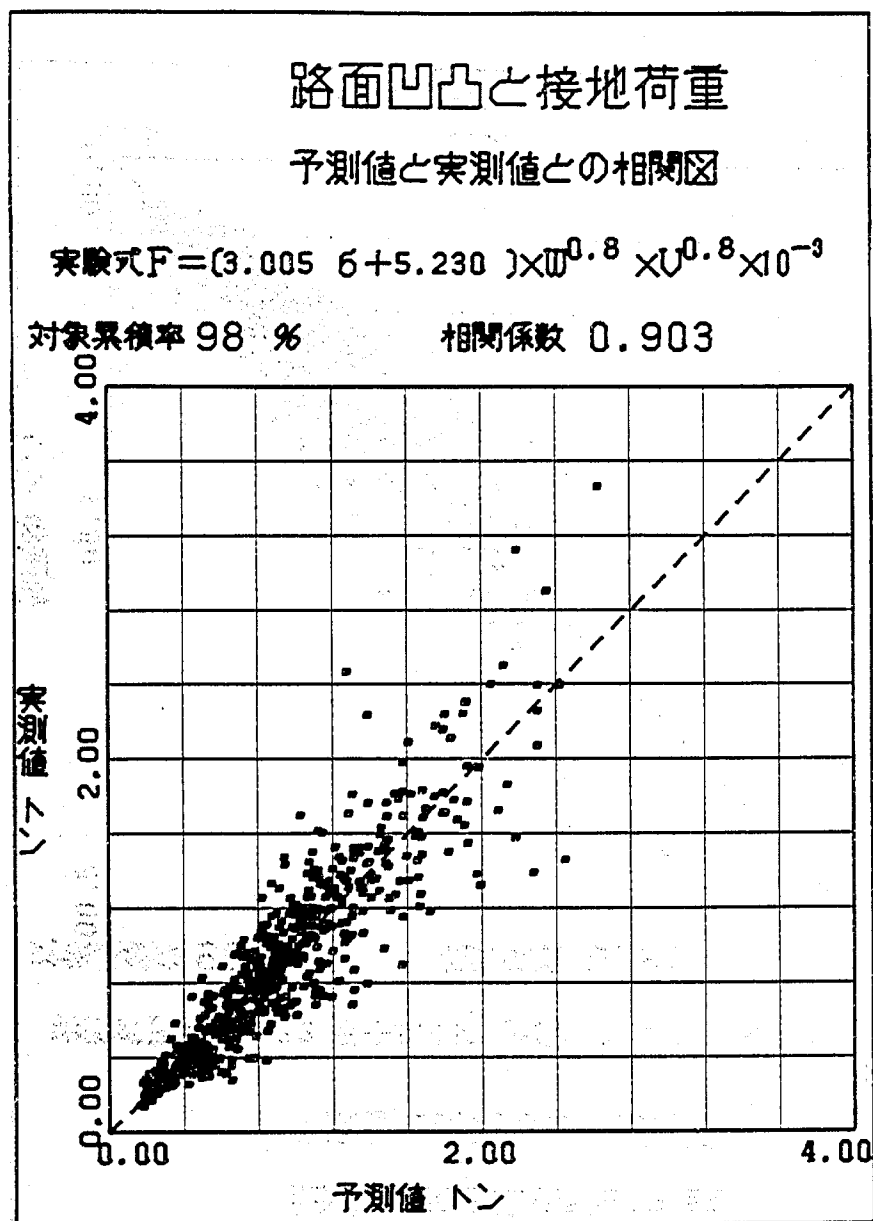


図-1.3(15) ($\alpha = 98, 99\%$)

路面凹凸と接地荷重

予測値と実測値との相関図

実験式 $F = (12.0396 + 17.907) \times W^{0.6} \times V^{0.7} \times 10^{-3}$

対象累積率 100%

相関係数 0.768

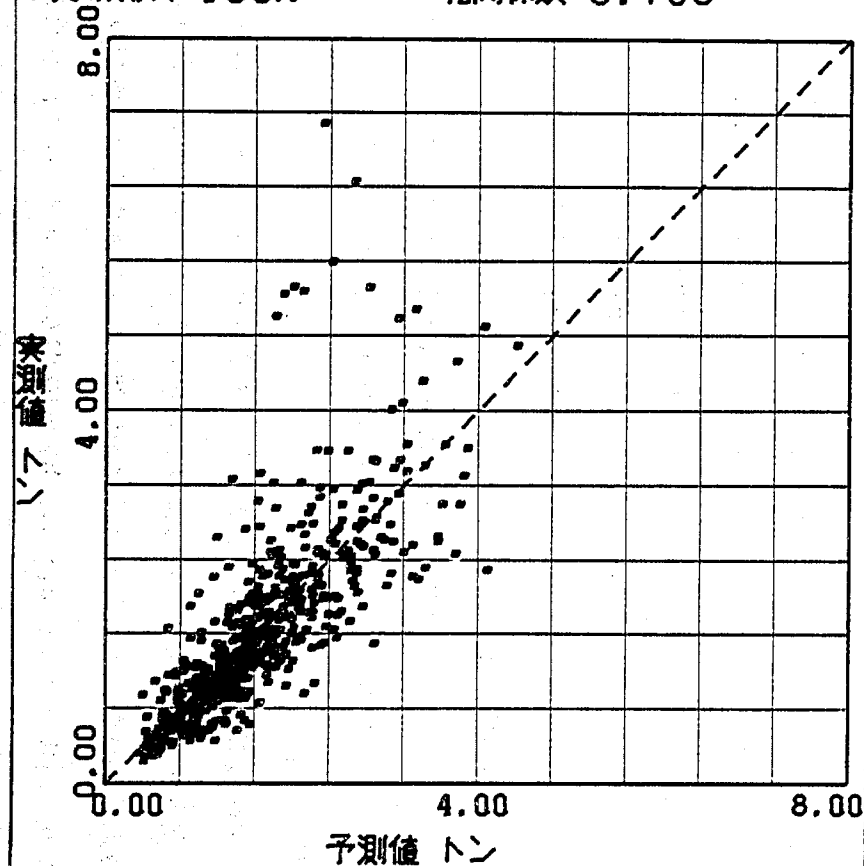


図 - 1.3 (16) ($\alpha = 100\%$)

第2章 走行荷重による単純桁の動的応答模型実験（その1）

2.1 ま え が き

近年、道路交通の過密化、高速化および車両重量の増大に伴って、自動車が橋梁等の道路構造物に与える影響は益々苛酷なものになっている。一方、橋梁設計に用いる衝撃係数も必ずしもその実態が明らかになっているわけではないため、その明確化が必要となっている。このような状況をうけ、衝撃係数の再検討に関する研究を51年度より実施してきた。数値計算による検証および現地での実測のみでは現象が複雑なこともあり、必ずしも実態を良く把握しているとは云えない面もある。当研究室では、より基本的な面より問題をつめることを考え、基本的な条件のもとで、走行荷重による構造物の応答を把握するため、昨年度模型実験を行なうための動荷重載荷装置、2自由度系サスペンション模型および大型トラック模型を製作し、今年度10m、20m、30m、40m、50m および60mの橋梁模型を製作したので、以下それらの装置、模型の概要を述べることにする。

2.2 動荷重載荷装置の概要

本装置は橋梁等の土木構造物の模型に対して移動荷重を載荷させるための実験装置であり、走行台車、走行制御装置、走行台車専用レール、暴走停止装置、給電装置、アブローチトラック、模型支持台、安全装置などからなっている。主要性能諸元は下記のとおりである。

○走行台車速度設定範囲	0.05～4.00 m/sec
○走行台車速度設定ステップ	0.01 m/sec
○走行台車速度変動	±1%以内（等速区間において）
○走行台車定速走行距離	5 m

走行台車（図-2.8 参照）は走行制御装置からの制御をうけて、走行台車専用レール上を、載荷装置をけん引しながら走行するものであり、最大積載重量は700kgであり、剛性は0.1mm/500kg以内である。

走行制御装置は制御盤および操作盤で構成され、オペレーターの走行条件の入力を受けて走行台車を制御するとともに、走行速度を検出しその値を表示する。台車の走行制御は、①自動前進自動後進、②自動前進、③マニュアル前進マニュアル後進の3種類ができる。また、図-2.4に示すように近接スイッチ $a_1 \sim a_3$ 、 $b_1 \sim b_4$ がある。 $a_1 \sim a_3$ は、台車暴走時の危険防止用としての非常制動の作動および通常走行時における常用制動の作動を自動的に行なうためのものであり、 $b_1 \sim b_4$ は、それぞれの地点の通過時に台車の走行速度を算出し、基準速度より大きい場合に非

常制動が作動するようになっている。

走行台車用レール（図－2.5 参照）は走行台車を支持誘導し、その走路となるもので走行台車の走行に伴う振動が載荷装置あるいは橋梁模型に伝達し、実験に支障を及ぼすことがない構造、強度、精度を有している。

暴走停止装置は走行制御装置の故障時に、走行台車の暴走を機械的に停止させるためのものである。

給電装置は走行台車を観測室内の操作盤より遠隔操作するため、走行制御装置から走行台車への動力伝達、相互間の制御信号および走行台車上実験用計測器から観測室へのデータの伝送を行なうものである。

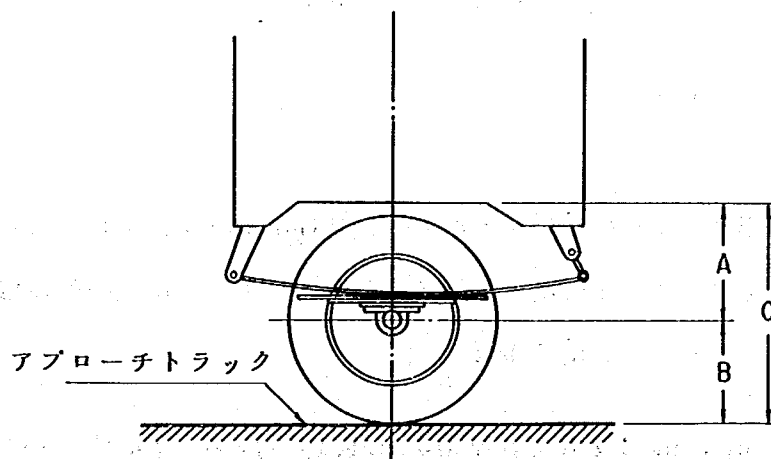
アプローチトラック（図－2.6 参照）は走行台車が橋梁模型部以外にあるときに載荷装置を支持するためのものである。

模型支持台（図－2.7 参照）は長さの異なる橋梁模型を支持するためのものであり、架台および架台上を平行移動、昇降する支柱からできている。

安全装置は模型支持台、アプローチトラック付近で実験準備等の作業を行なっている作業員に対する保護装置である。

また、現在のところ載荷重として、6 自由度系大型トラック模型（図－2.14, 15, 16 参照）と実物大 2 自由度系サスペンション模型（図－2.9 参照）を製作した。実物大 2 自由度系サスペンション模型のタイヤバネおよび懸架バネ係数を測定したので以下にその結果を表－2.1 および図－2.10 に示す。測定は静的荷重（重錘 1 枚 50 kg）を段階ごとに加えその変位を計測して行なった。

表－2.1 サスペンション模型のバネ係数の測定結果



※ タイヤ空気圧 1.9 kg/cm²

重錘枚数	0	1	2	3	4	5	4	3	2	1	0
A寸法	421	418	411	405	399	393	399	405	411	418	422
B寸法	308	306	304	301	299	296	298	299	301	304	305
C寸法	729	724	715	706	698	689	697	704	712	722	727
ΣΔA	0	3	10	16	22	28	22	16	10	3	1
ΣΔB	0	2	4	7	9	12	10	9	7	4	3

※ タイヤ空気圧 1.5 kg/cm²

重錘枚数	0	1	2	3	4	5	4	3	2	1	0
A寸法	421	415	409	404	398	391	397	403	409	416	421
B寸法	300	299	298	294	292	289	291	294	296	299	301
C寸法	721	714	707	698	690	680	688	697	705	715	722
ΣΔA	0	6	12	17	23	30	24	19	12	5	0
ΣΔB	0	1	2	6	8	11	9	6	4	1	-1

2.3 車両走行による道路橋の動的応答に関する模型実験における相似則の検討

2.3.1 支配方程式

図-2.1に示す自動車・橋梁系の運動方程式をエネルギー法から求める際の位置エネルギー(V)および運動エネルギー(T)は次式で表わされる。

$$V = \frac{EI}{2} \int_0^{\ell} \left(\frac{\partial^2 Z_s}{\partial X^2} \right)^2 dX + \frac{1}{2} K_1 (Z_1 - Z_2)^2 + \frac{1}{2} K_2 (Z_2 - \bar{Z})^2 - m_1 g \bar{Z} - m_2 g \bar{Z} \quad \dots\dots\dots(1)$$

$\bar{Z} = Z_s + Z_{s,}$ EI ; 橋梁の曲げ剛性

$$T = \frac{1}{2} \cdot \frac{W}{g} \int_0^{\ell} (\dot{Z}_s)^2 dX + \frac{1}{2} m_1 (\dot{Z}_1)^2 + \frac{1}{2} m_2 (\dot{Z}_2)^2 \quad \dots\dots\dots(2)$$

W ; 橋梁の単位長さ当り重量

2.3.2 エネルギー比

(1)および(2)式の右辺各項は、それぞれエネルギーの Dimension を有するので、それぞれの項について原型と模型のエネルギー比を一致させることにより、現象全体の相似条件を満足することができる。エネルギー比を n_E^* とおくと

$$n_E^* = \frac{n_E}{n_E'} \quad n_E, n_E' ; \text{それぞれ原型および模型に対するエネルギー} \quad \dots\dots\dots(3)$$

と表現される。

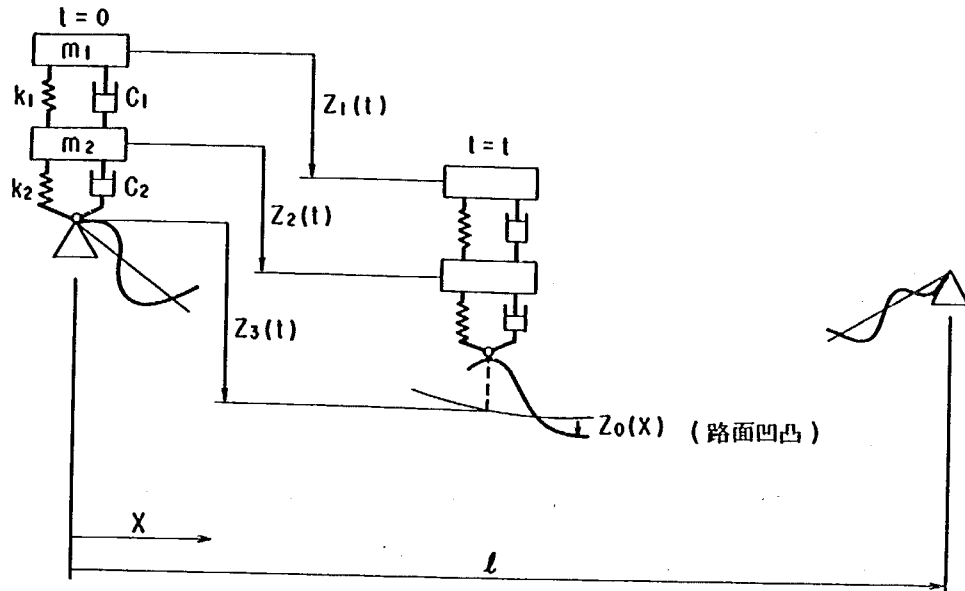


図 - 2.1 橋梁・自動車系の座標

(3)式は(1)および(2)式の右辺各項において成立する必要があるので、

$$(EI)^* = \frac{(EI)}{(EI)'}, \quad \ell^* = \frac{\ell}{\ell'}, \quad K^* = \frac{K}{K'}, \quad m_v^* = \frac{m_v}{m_v'}$$

$$m_b^* = \frac{m_b}{m_b'}, \quad t^* = \frac{t}{t'}$$

K ; 自動車のバネ係数

m_v ; 自動車の総質量

m_b ; 橋梁の総質量

ℓ ; 長さ

右肩の「*」は相似比

を表わす。右肩の「'」は模型に対するものであること

右肩の無い場合は原型に対するものであること

とおくと

a) (1)式右辺第1項より

$$\frac{(EI)^*}{\ell^*} = n_E^* \quad \dots\dots\dots(4)$$

b) (1)式右辺第2・3項より

$$K^* \cdot (\ell^*)^2 = n_E^* \quad \dots\dots\dots(5)$$

c) (1)式右辺第4・5項より

$$m_v^* \cdot \ell^* = n_E^* \quad \dots\dots\dots(6)$$

d) (2)式右辺第1項より

$$m_b^* \cdot \frac{(\ell^*)^2}{(t^*)^2} = n_E^* \quad \dots\dots\dots(7)$$

e) (2)式右辺第2・3項より

$$m_v^* \cdot \frac{(\ell^*)^2}{(t^*)^2} = n_E^* \quad \dots\dots\dots(8)$$

がそれぞれ得られる。

2.3.3 動荷重載荷装置への適用

今回実験対象とする橋梁のスパン長は、 $\ell=10、20、40、60、80、100m$ とした。模型支持台の長さが $\ell'=4m$ であるので、最大限測定区間を有効に使えば模型縮尺はそれぞれ $1/2.5、1/5、1/10、1/15、1/20、1/25$ となる。しかしながら、模型の製作本数を減らすため、 $\ell=10、20、40、60m$ に対しては、縮尺 $1/15、\ell=80、100m$ に対しては縮尺 $1/25$ にて実験を実施することにした。よって

$$\ell^* = 15 \text{ もしくは } 25 \text{ となる。}$$

また、(6)および(8)式を連立させると

$$\ell^* = (t^*)^2 \quad \dots\dots\dots(9)$$

が得られる。

(A) $\ell^* = 15$ の場合

$$(9)\text{式より } t^* = \sqrt{15} \text{ となる。}$$

$m_v^* = 600$ を仮定すると、(6)式より $n_E^* = 9,000$ となり、さらに(4)、(5)、(7)式より

$$(EI)^* = 135,000$$

$$K^* = 40$$

$$m_b^* = 600$$

となる。走行速度の相似比(V^*)は

$$V^* = \frac{\ell^*}{t^*} = \sqrt{15}$$

となり、実験装置の最大走行速度は $V'_{\max} = 4m/sec$ であるので、原型に対しては、

$$V_{\max} = V^* \cdot V'_{\max} = \sqrt{15} \times 4 \div 15.5m/sec \div 56Km/h$$

(B) $\ell^* = 25$ の場合

$$t^* = 5$$

$m_v^* = 3,000$ と仮定すると、 $n_E^* = 75,000$ となり

$$(EI)^* = 1,875,000$$

$$K^* = 120$$

$$m_b^* = 3,000$$

$$v^* = 5$$

$$V_{\max} = v^* \cdot V'_{\max} = 5 \times 4 = 20 \text{ m/sec} = 72 \text{ km/h}$$

以上の結果をまとめると次の表-2.2を得る。

表-2.2

項 目	$\ell = 10, 20, 40, 60 \text{ m}$	$\ell = 80, 100 \text{ m}$
時間の相似比 (t^*)	$\sqrt{15}$	5
長さの相似比 (ℓ^*)	15	25
橋梁質量の相似比 (m_b^*)	600	3,000
橋梁曲げ剛性の相似比 (EI^*)	135,000	1,875,000
自動車質量の相似比 (m_v^*)	600	3,000
自動車バネ定数の相似比 (k^*)	40	120
走行速度の相似比 (v^*)	$\sqrt{15}$	5
原型に対する最大速度 (v)	56 km/h	72 km/h

2.4 大型トラック模型の構造諸元 (理論値および実験値の比較)

大型トラック模型は、2.3で述べた相似則にしたがって橋長10~60 mに適合する縮尺1/15のものを製作したので以下に理論値と実験値を比較する。

2.4.1 タイヤのバネ係数

タイヤのバネ係数は、専用機具にタイヤ4輪を装着し、機具上部に荷重を載荷したときの機具の沈下量をダイヤルゲージで測定しその結果より算出した。その結果を表-2.4 (I)、(II) および図-2.1 1 (I)、(2)に示す。

2.4.2 懸架バネ係数の測定

懸架バネ係数は次の方法で求めた。3本の測定用ビームから作られたトラック模型輪重測定治具を用いて、重量既知の重錘をのせたときのビームの歪をストレインメータで読みとりプロットして校正值 (μ/Kg) を求める (図-2.1 2 (I)、(2)、(3))。次に、輪重測定治具にトラック模型をおき、付属の荷重を用いて載荷し、各輪重を受けるビームの歪をストレインメ

ータで測定し、求めた校正値を用いて、重量に変換し、 F_1 、 F_2 、 F_3 の変化の様子を求めた（表－2.5）。最後にトラック模型に付属の荷重の載荷を行ないバネの変形をスケールで測定しグラフにプロットした（図－2.13(1)、(2)、(3)）。

2.4.3 バネ上質量の極慣性モーメントの測定

バネ上質量の極慣性モーメントは、トラック模型から、車軸、タイヤをとりはずし、回転中心を支持し、さらに強度が既知であるバネA、Bを取り付け自由回転振動させたときの振動数を測定し、次式より算出した。

$$f = \sqrt{(k_1 l_1 + k_2 l_2^2) / I_\theta} / 2\pi$$

f ：振動数（＝106/30）

k_1 ：バネAのバネ定数（＝1.4 Kg/cm）

k_2 ：バネBのバネ定数（＝1.4 Kg/cm）

l_1 ：回転中心からバネAまでの距離（＝25.2 cm）

l_2 ：回転中心からバネBまでの距離（＝24.9 cm）

今回の実験では、振動数が30秒間当り106回となり、 $I_\theta = 3.565 \text{ Kg} \cdot \text{sec}^2 \cdot \text{cm}$ となった。

次に付属荷重の極慣性モーメントを算出し、トラック模型に荷重載荷したときの極慣性モーメントを求めた。各付属荷重は次式により求めた。結果を以下の図－2.2および表－2.3に示す。

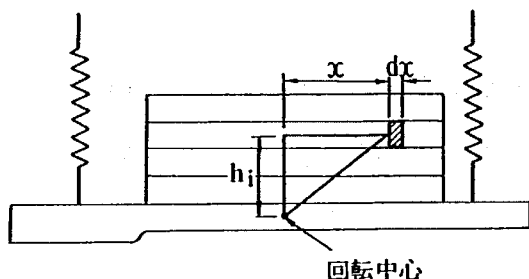
$$I_{\theta i} = \int_0^{l'} x^2 \cdot W/g \cdot \ell \, dx$$

W ：付属荷重の重量

g ：重力加速度

l ：付属荷重の全長

ℓ' ：左図



$$\ell' = \sqrt{x^2 + h_i^2}$$

図－2.2

表- 2.3

	極慣性 ($Kg \cdot sec^2 \cdot cm$)	累 計 ($Kg \cdot sec^2 \cdot cm$)
自重	3,5 6 5	3,5 6 5
①	1,0 0 8	4,5 7 3
②	1,0 5 4	5,6 2 7
③	1,1 3 6	6,7 6 3
④	1,2 5 5	8,0 1 8
⑤	1,4 1 2	9,4 3 0
⑥	1,6 1 3	1 1,0 4 3
⑦	0.1 5 3	1 1,1 9 6

2.4.4 トラニオン部の極慣性モーメントの測定

図- 2.3のように、トラニオン部に強度が既知であるバネa、bを取りつけ、回転振動させ、振動数を加速度計で測定し極慣性を算出した。トラニオン部の極慣性モーメントは、

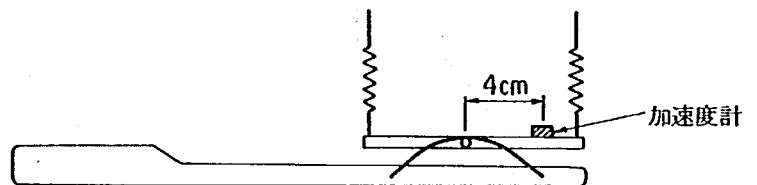


図- 2.3

$I_{\theta} = 48.1 g \cdot sec^2 \cdot cm$ であつた。測定結果に加速度計の影響はなかつた。

以上の測定結果をまとめて表- 2.8 に示す。

2.5 橋梁模型

橋梁模型は 2.3 で述べた相似則にしたがつて製作したが、実験を行なっていないので相似比 (表- 2.6)、橋梁模型諸元の理論値 (表- 2.7) および寸法等 (表- 2.9, 10) を示すにとどめることにする。

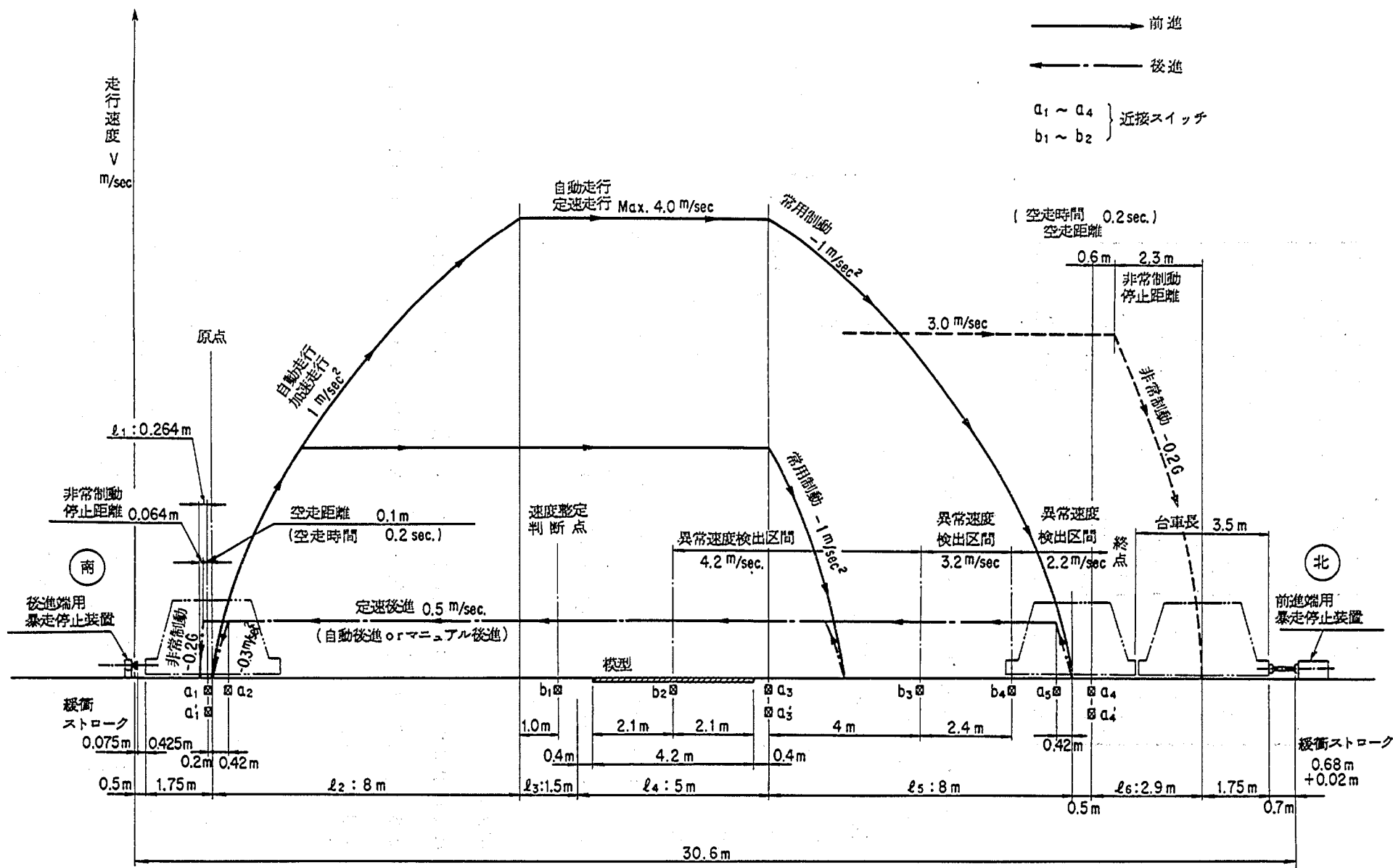


図-2.4 自動走行モードおよび近接スイッチ配置図

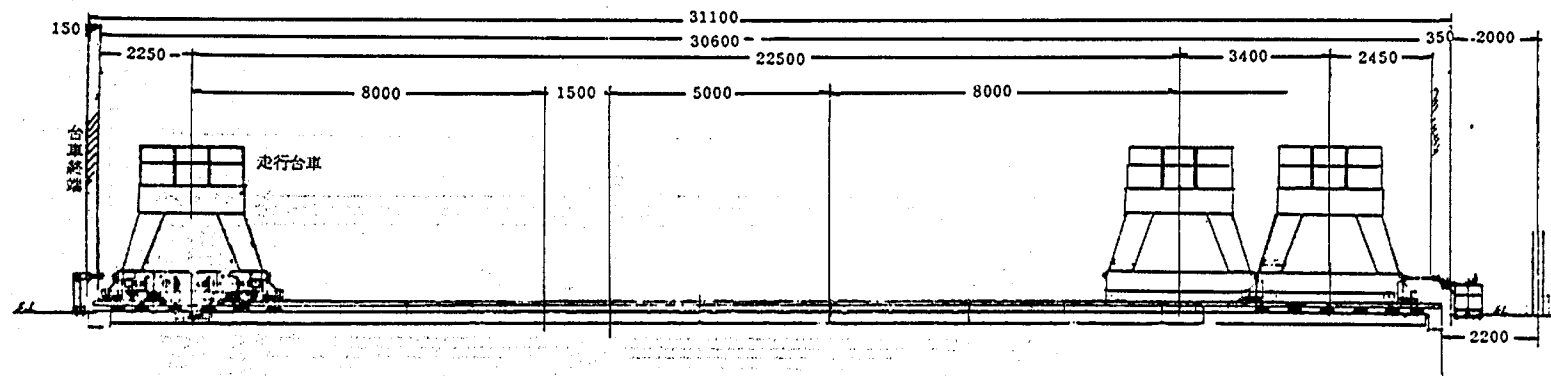
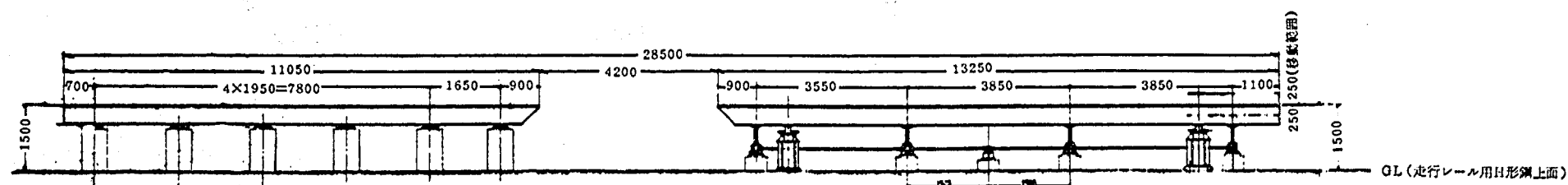


図-2.5 動荷重装置概要図



固定式アプローチトラック

模型支持台

昇降可変式アプローチトラック

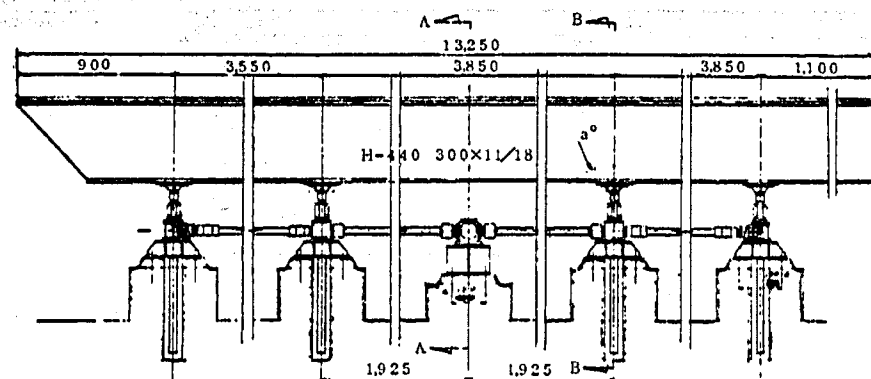


図-2.6 アプローチトラック

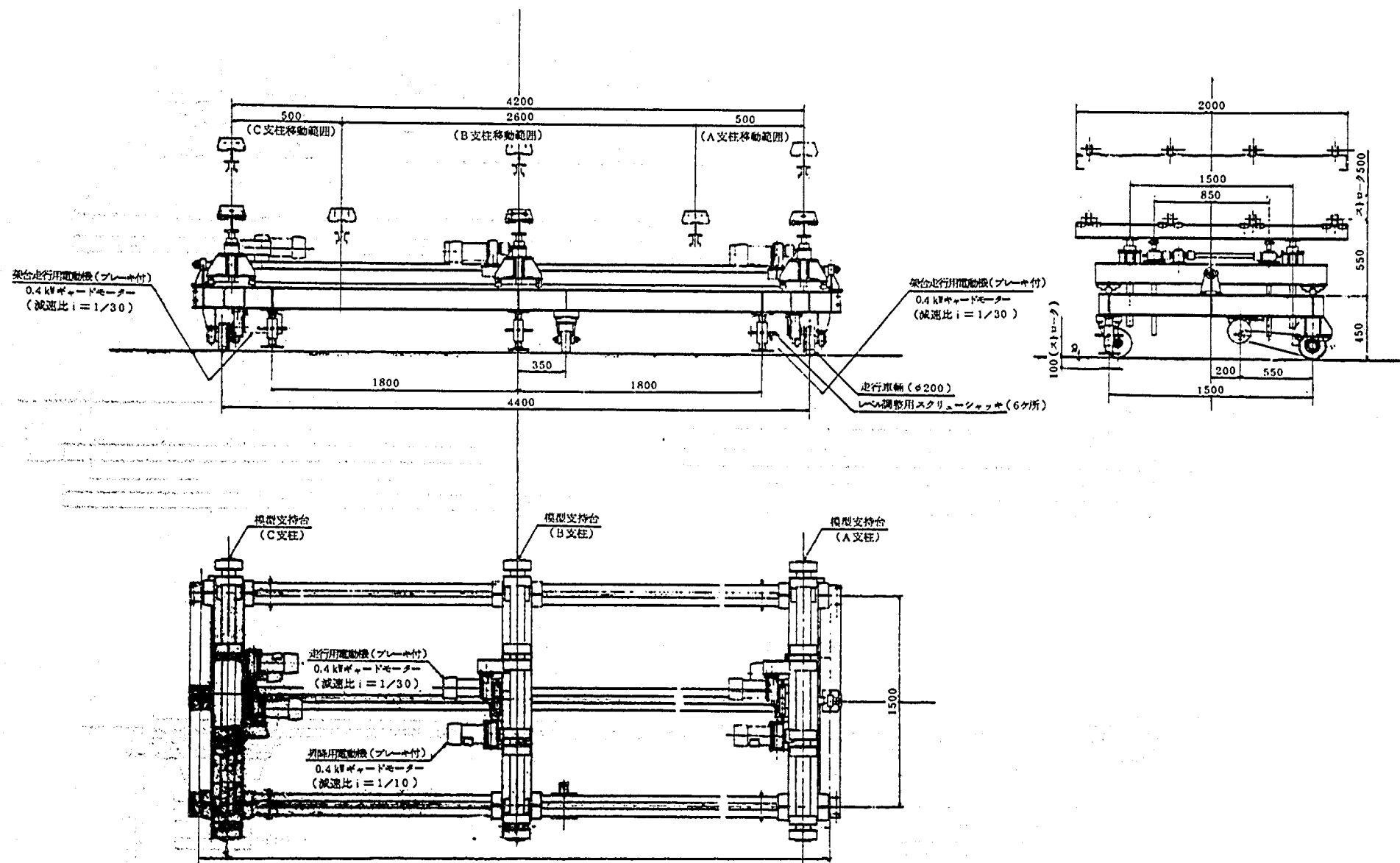


図 2.7 模 型 支 持 台

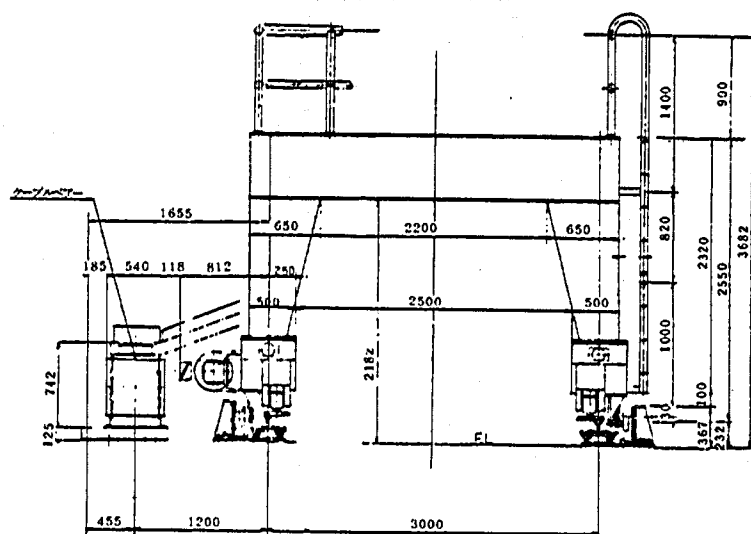
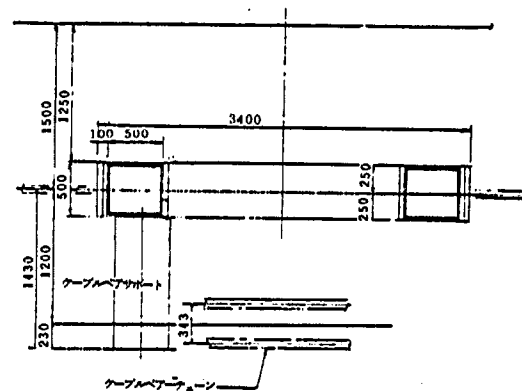
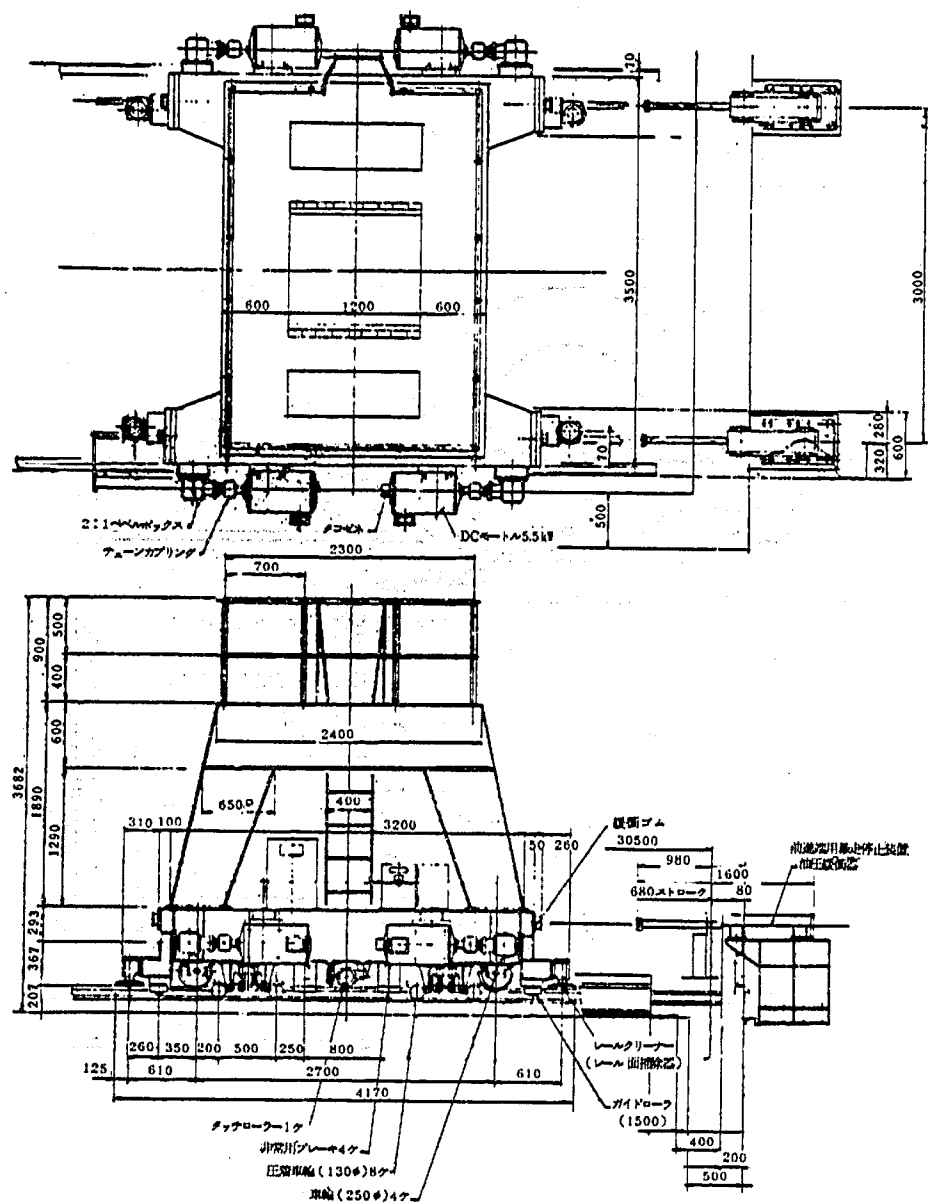


図-2.8 走行台車

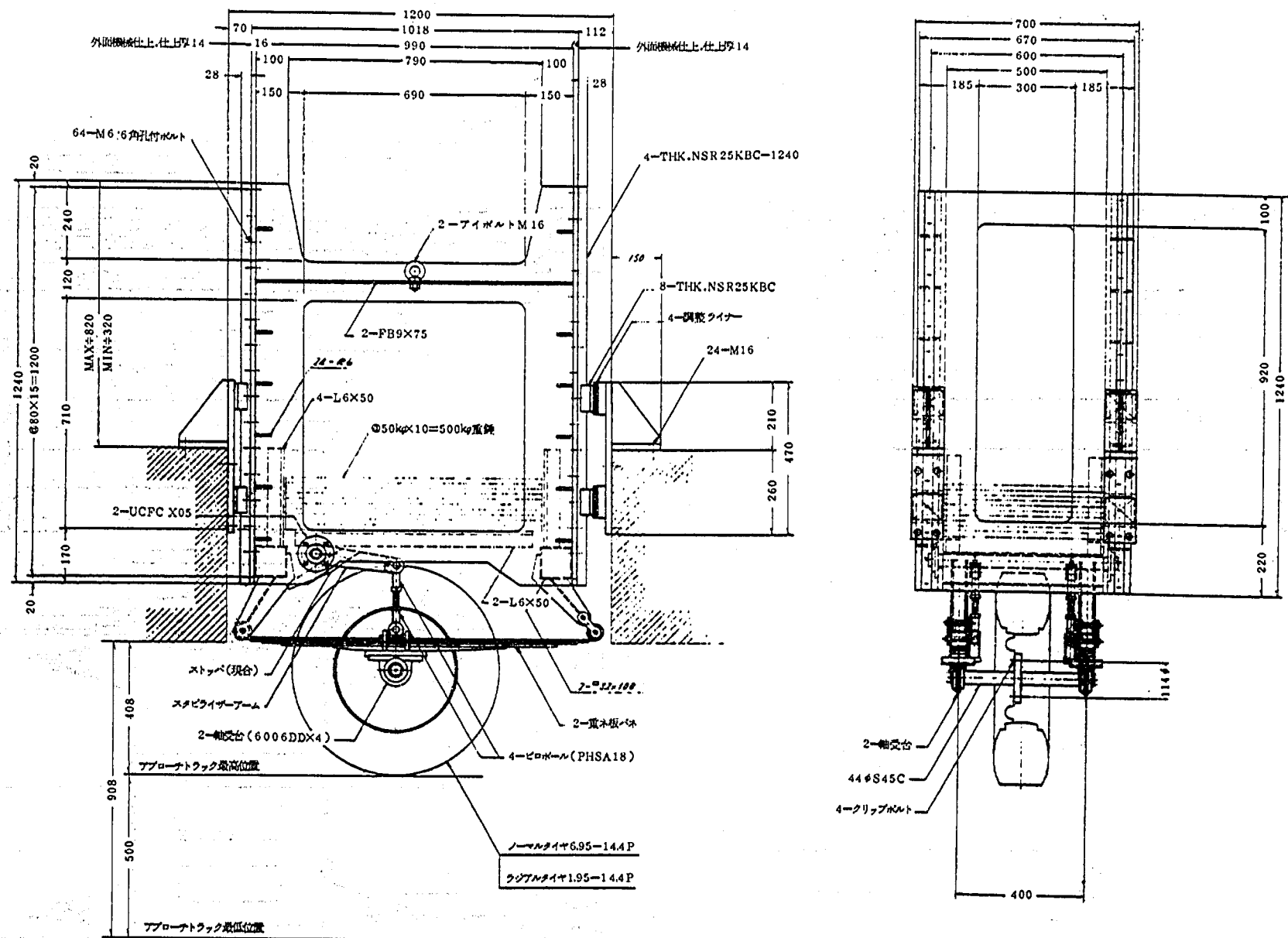


図-2.9 2自由度系サスペンション模型

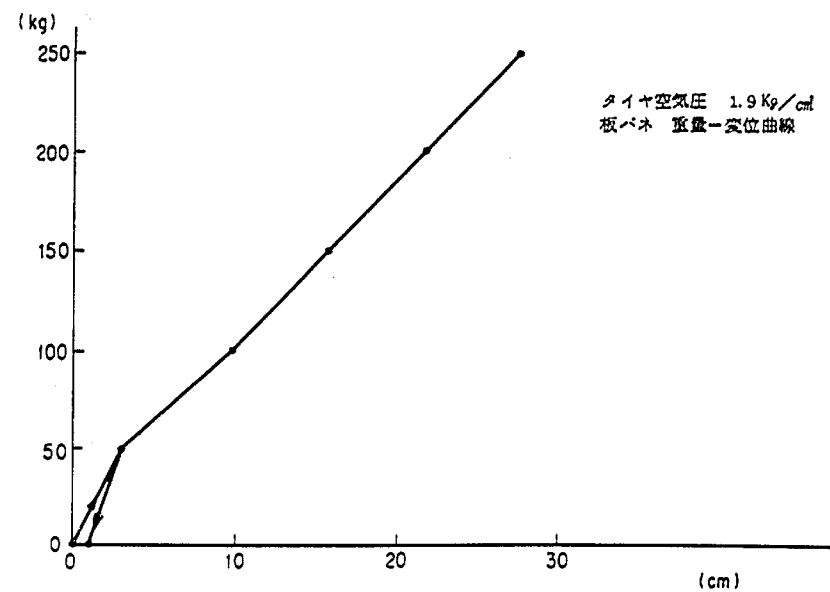
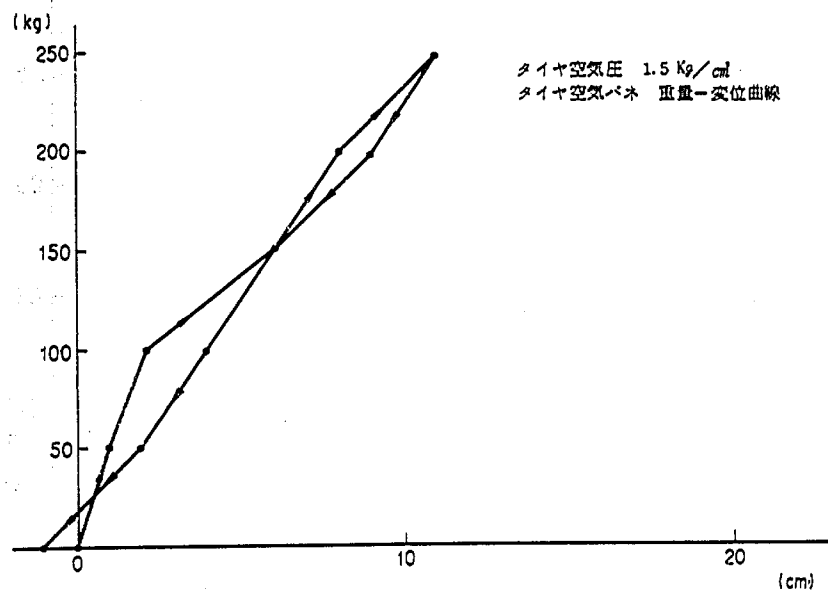
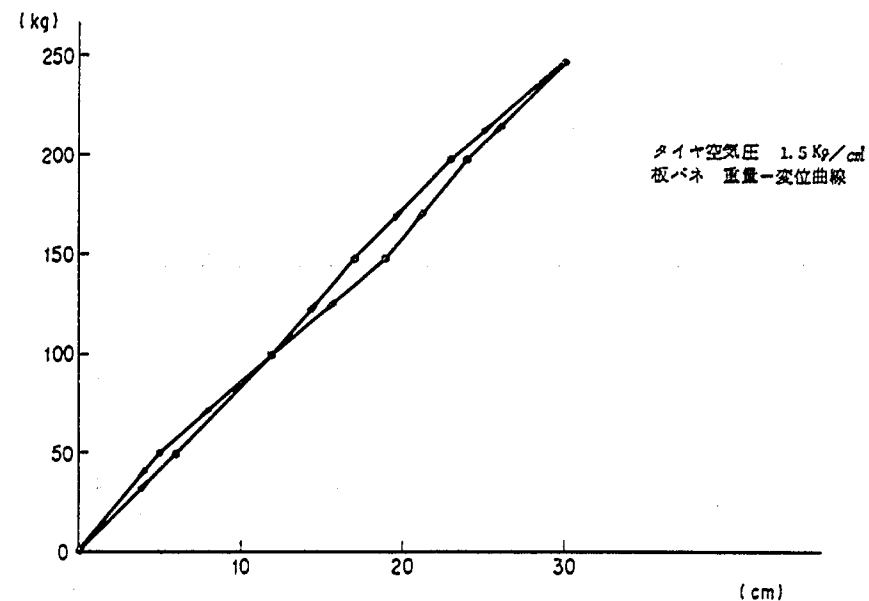
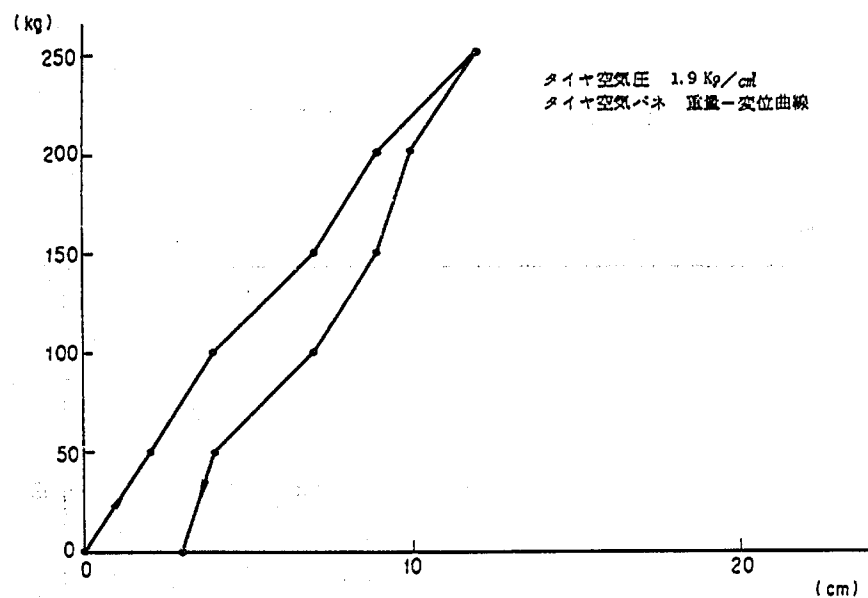
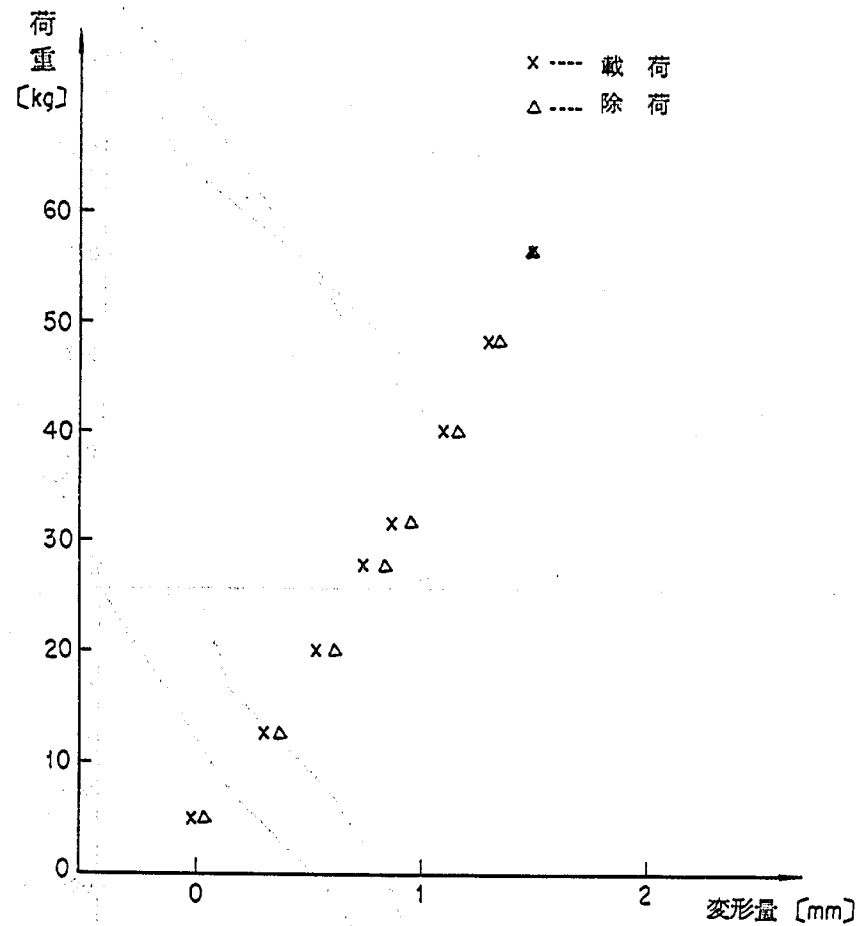
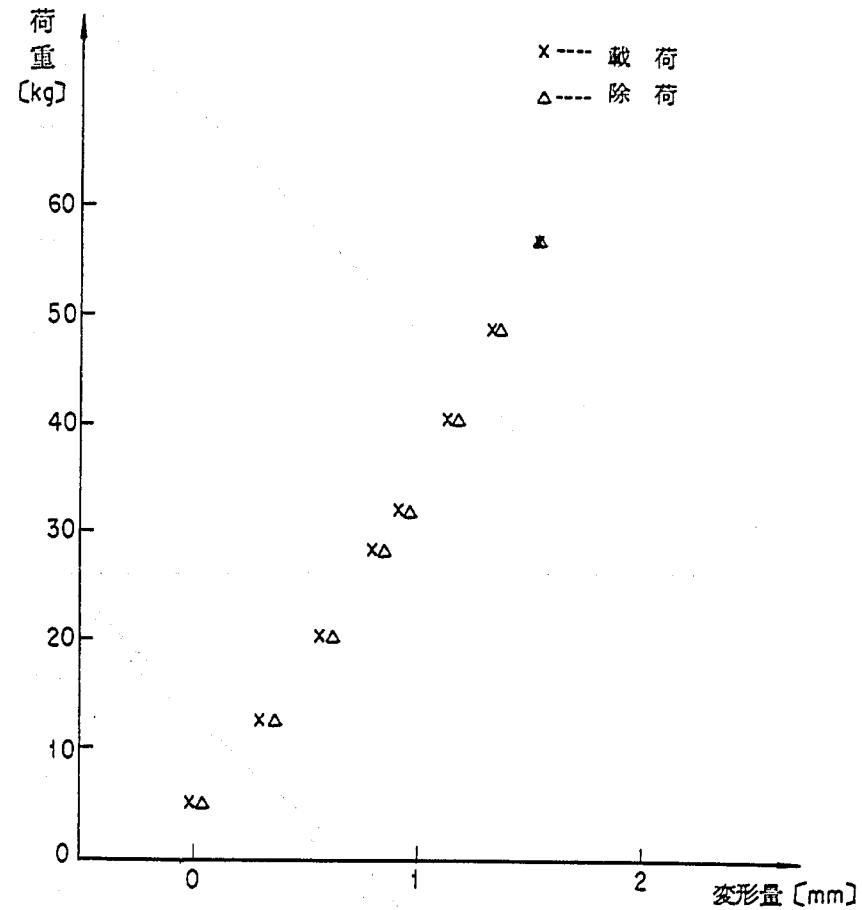


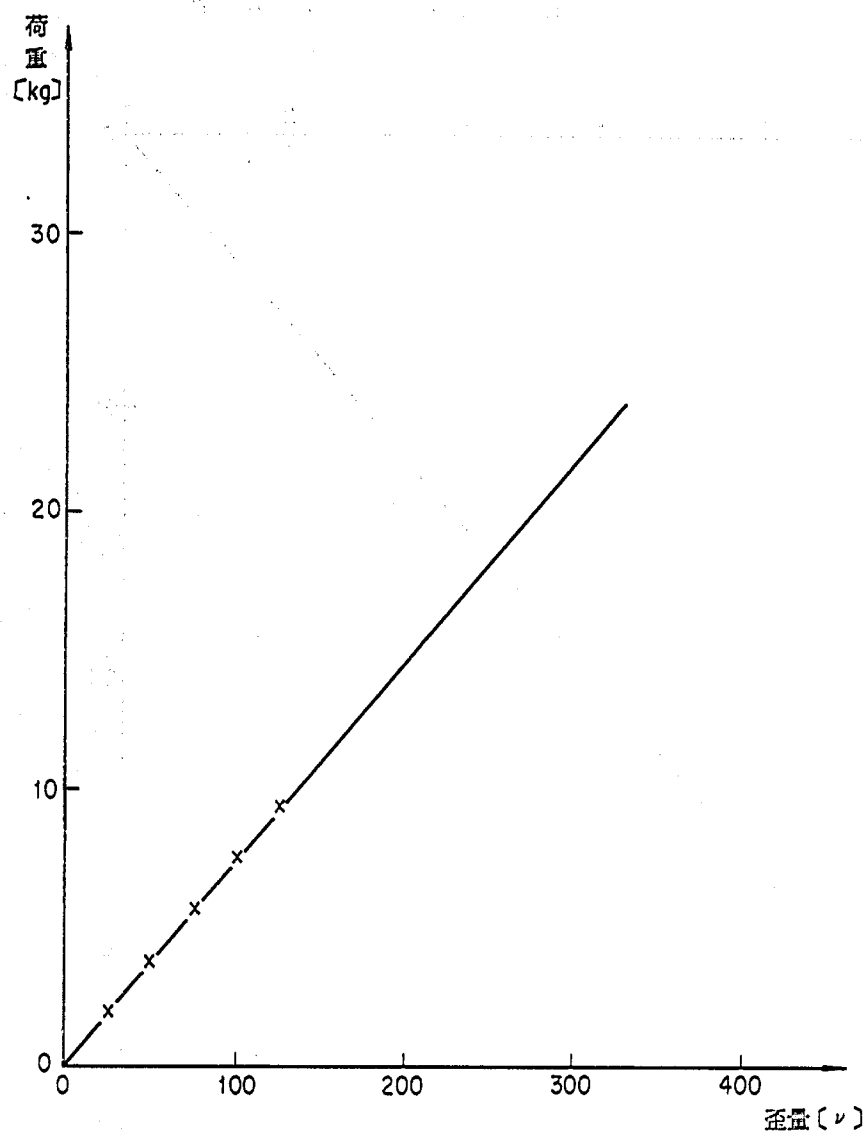
図 - 2.10 サスペンション模型のバネ係数の測定結果



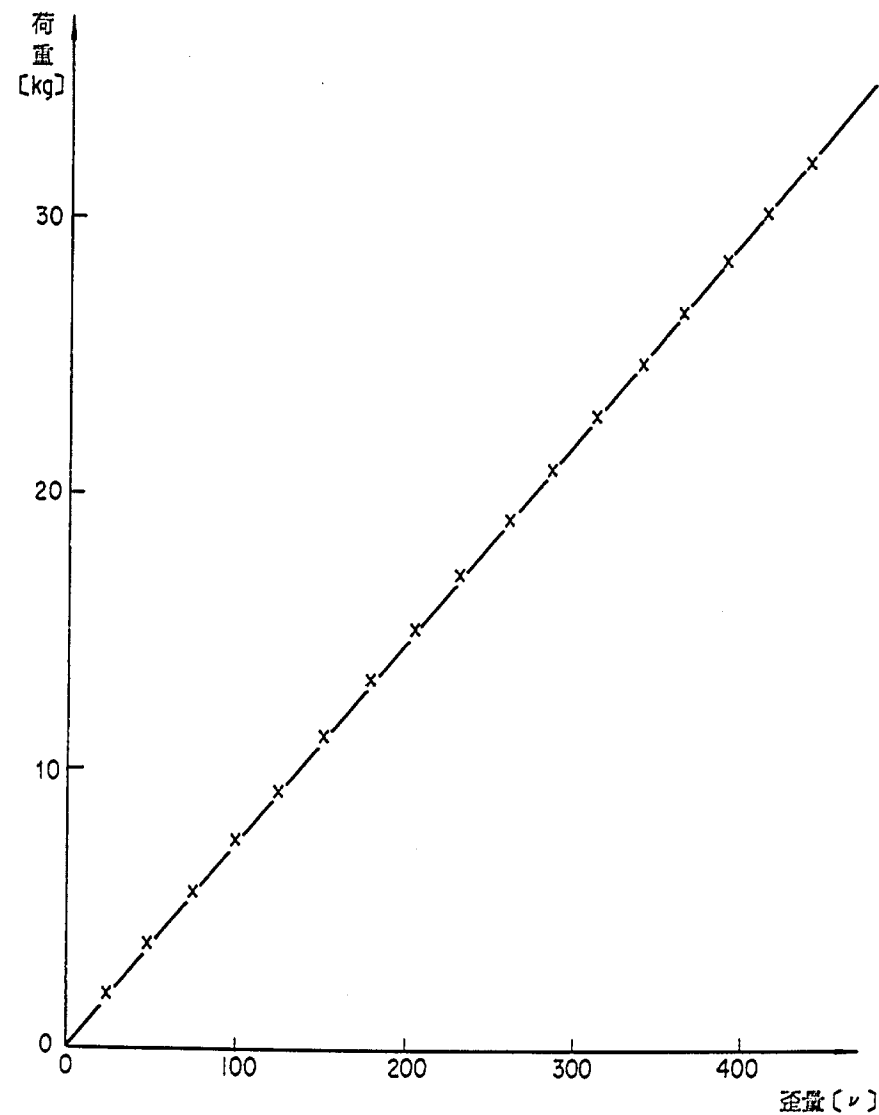
図— 2.1 1 (1) タイヤ強度の測定結果



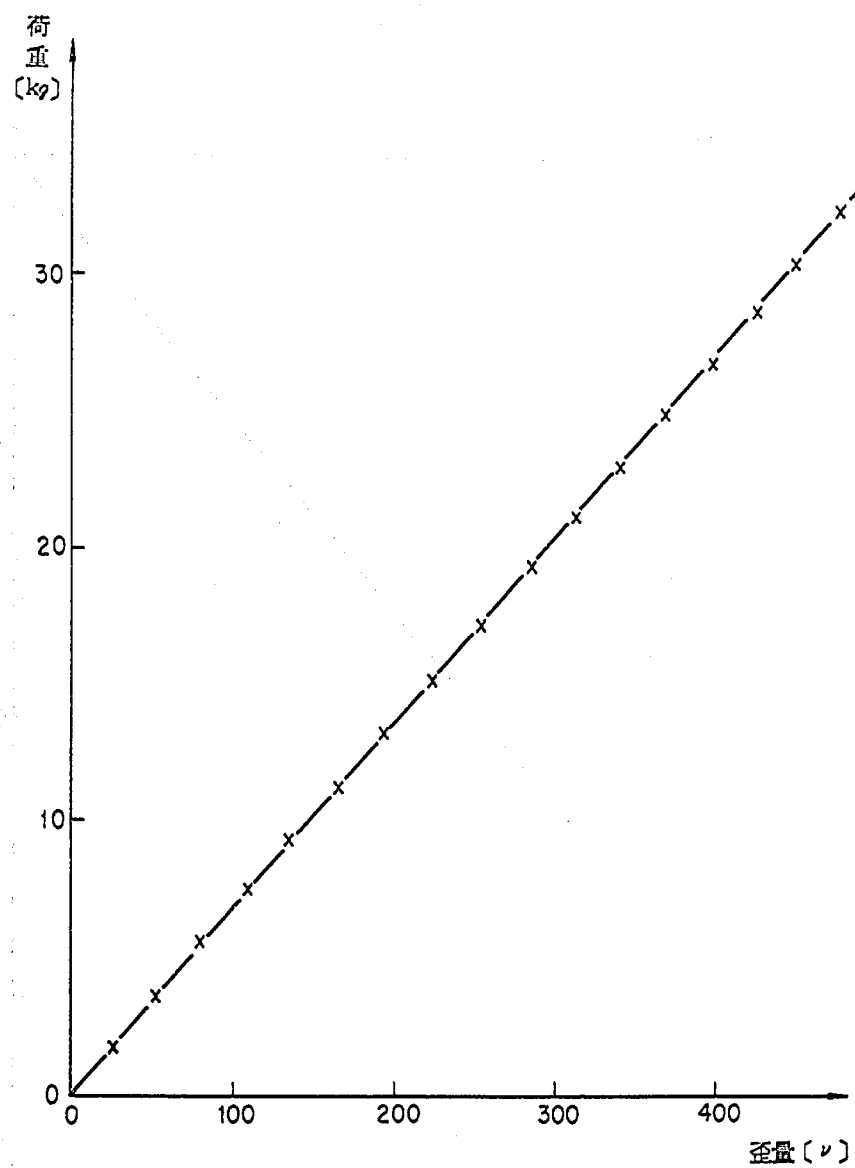
図— 2.1 1 (2) タイヤ強度の測定結果



図一 2.1 2(1) 輪重測定治具の校正（前軸用）



図一 2.1 2(2) 輪重測定治具の校正（後前軸用）



図一 2.1 2 (3) 輪重測定治具の校正 (後後軸用)

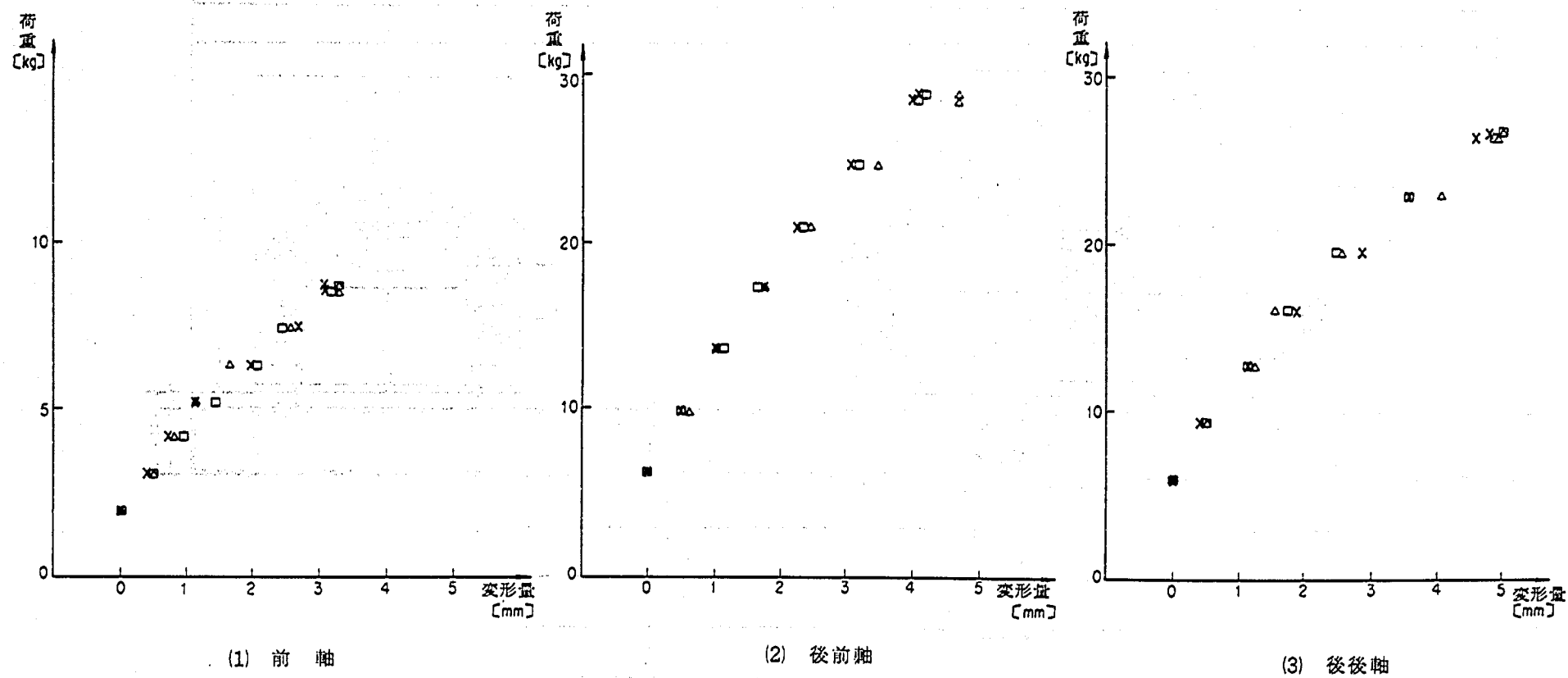


図 - 2.13 (1), (2), (3) 懸架バネ係数の測定結果

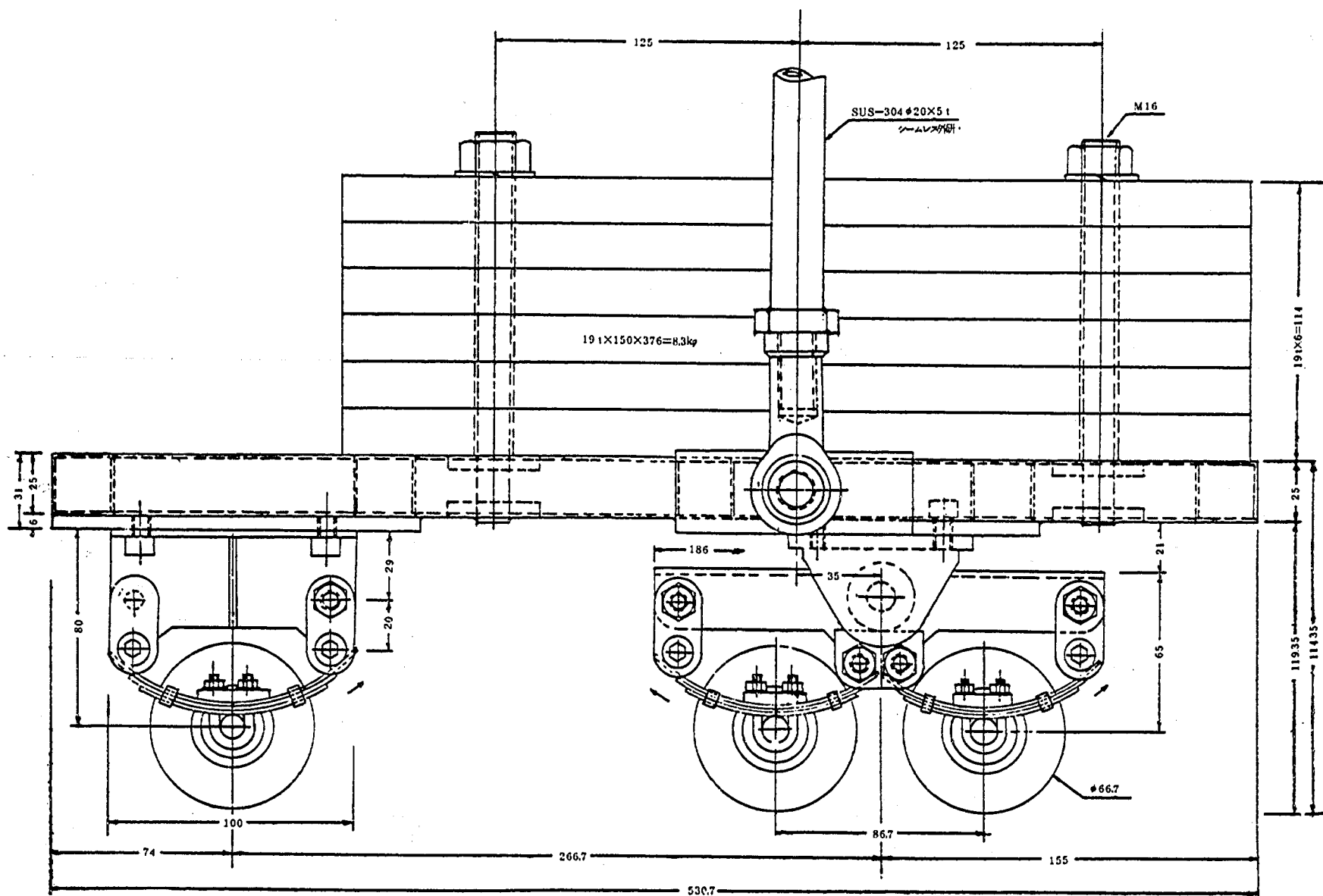


図-2.14(1) 6自由度系トラニオントラック模型側面図(3軸)

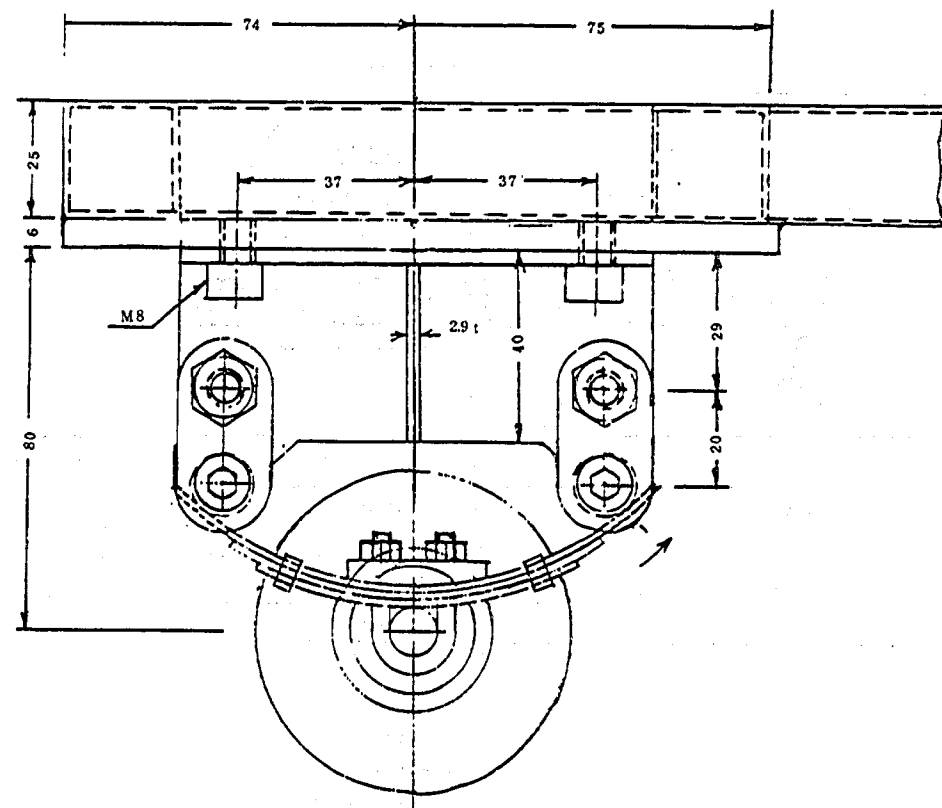
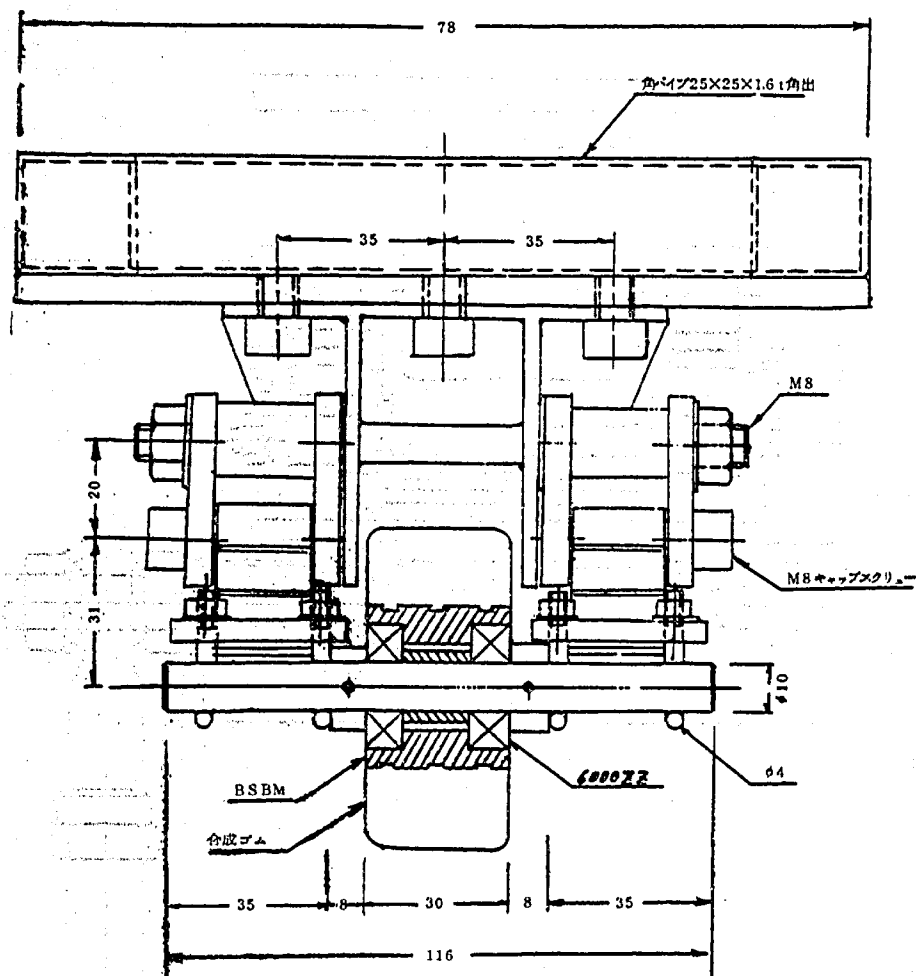


図-2.1 4 (2) 6 自由脱系トラニオントラック模型 (前輪)

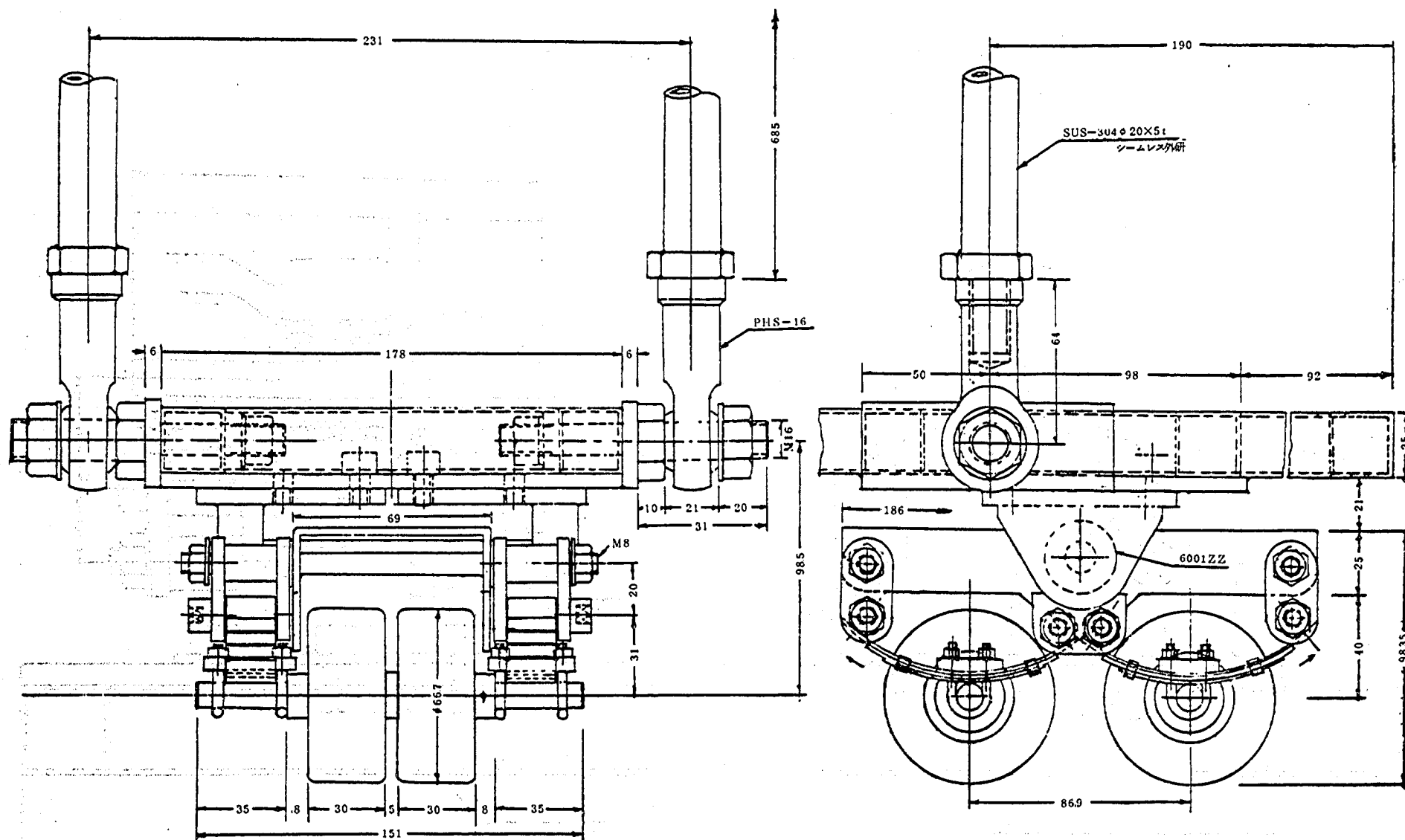


図-2.14(3) 6自由度系トランスラック模型(後輪)

表-2.4 (I) タイヤ強度の測定結果

測定結果 (I)

荷重重量 (Kg)	荷重重量+自重 (Kg)	載荷・ダイヤルゲージの読み (mm)	差 (mm)	除荷・ダイヤルゲージの読み (mm)	差 (mm)
	5,291*	4,210		4,141	
			0.318		0.333
7,502	12,793	3,892		3,808	
			0.250		0.252
7,505	20,298	3,642		3,556	
			0.230		0.221
7,500	27,798	3,412		3,335	
			0.112		0.107
3,748	31,546	3,300		3,228	
			0.225		0.207
8,210	39,756	3,075		3,021	
			0.202		0.184
8,178	47,934	2,873		2,837	
			0.183		0.147
8,174	56,108	2,690		2,690	

*…自重

表-2.4 (II) タイヤ強度の測定結果

測定結果 (II)

荷重重量 (Kg)	荷重重量+自重 (Kg)	載荷時のダイヤルゲージの読み (mm)	差 (mm)	除荷時のダイヤルゲージの読み (mm)	差 (mm)
	5,291*	4,096		4,042	
			0.305		0.319
7,502	12,793	3,791		3,723	
			0.269		0.261
7,505	20,298	3,522		3,462	
			0.238		0.243
7,500	27,798	3,284		3,219	
			0.113		0.095
3,748	31,546	3,171		3,124	
			0.222		0.221
8,210	39,756	2,949		2,903	
			0.207		0.186
8,178	47,934	2,742		2,717	
			0.192		0.167
8,174	56,108	2,550		2,550	

*…自重

表-2.5 各車軸にかかる重量

	前軸 (Kg)	後前軸 (Kg)	後後軸 (Kg)	計 (Kg)	誤差 (%)
0	A	B	C	A+B+C=D	E=O-D/D
0	0	0	0	0	0
	134	439	414		
車体 14,530	1,948	6,379	6,017	14,344	1.3
	133	441	412		
① 22,740	3,030	10,027	9,377	22,434	1.4
	133	442	411		
② 30,918	4,100	13,663	12,718	30,481	1.4
	132	444	413		
③ 39,092	5,143	17,368	16,130	38,641	1.2
	132	445	412		
④ 47,274	6,229	21,018	19,486	46,733	1.2
	133	445	413		
⑤ 55,466	7,352	24,691	22,892	54,935	1.0
	134	447	414		
⑥ 63,679	8,512	28,441	26,365	63,318	0.6
	134	448	413		
⑦ 64,365	8,656	28,813	26,573	64,042	0.5
平均	133	444	413		

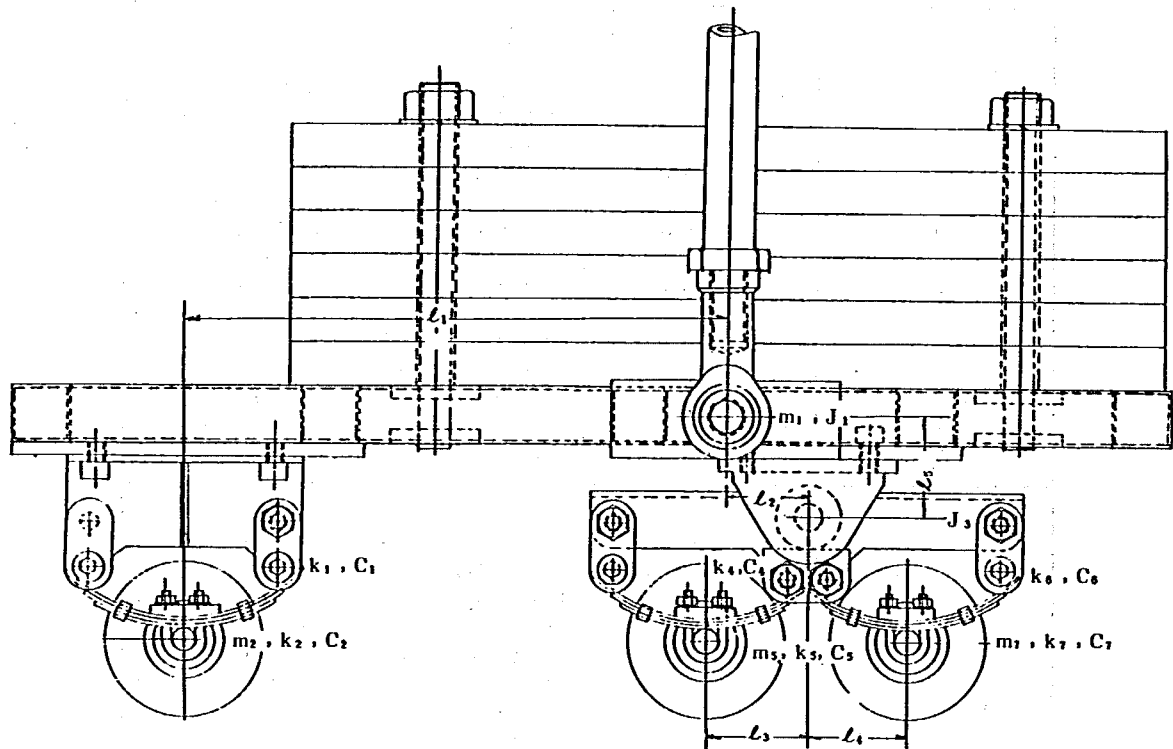
表-2.6 相似比

項 目	$\ell = 10 \sim 60 m$
時間の相似比 (t^*)	15
長さの相似比 (ℓ^*)	15
橋梁質量の相似比 (m_B^*)	600
橋梁曲げ剛性の相似比 (EI^*)	135,000

表-2.7 実橋に対する橋梁模型の諸元

実 橋 の 諸 元			
スパン長 ℓ (m)	単位長当重量 w (Kg/m)	曲げ剛性 $E I$ (Kg $\cdot$ cm ⁴)	固有振動数 (HZ) (鉛直たわみ1次)
10	1900.0	2.00×10^{12}	15.9541
20	2420.0	6.21×10^{12}	6.2275
30	2586.7	12.42×10^{12}	3.7860
40	2670.0	24.41×10^{12}	2.9386
50	2720.0	42.20×10^{12}	2.4500
60	2753.3	65.78×10^{12}	2.1113
模 型 の 諸 元			
模型のスパン長 ℓ' (m)	模型の単位長当重量 w' (Kg/m)	模型の曲げ剛性 $E I'$ (Kg $\cdot$ cm ⁴)	固有振動数 (HZ) (鉛直たわみ1次)
0.667	47.50	14.81×10^6	61.79
1.333	60.50	46.00×10^6	24.12
2.000	64.67	92.00×10^6	14.66
2.667	66.75	180.81×10^6	11.38
3.333	68.00	312.59×10^6	9.49
4.000	68.83	487.26×10^6	8.18

表- 2.8 トラック模型の理想値と実験値

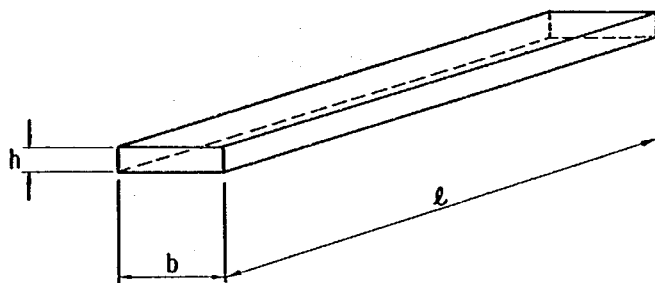


3 軸 6 自由度系 1/15 トラニオントラック模型主要諸元

		記号	実トラック	相似比	理想値	実験値	想定実トラック値
質量	ばね上質量	m_1	5.86t	600	9.77 Kg	12.50	7.50t
	前軸ばね下質量	m_2	0.54t	600	0.90 Kg	0.47	0.28t
	後軸前側ばね下質量	m_3	1.16t	600	1.93 Kg	0.78	0.47t
	後軸後側ばね下質量	m_4	1.05t	600	1.75 Kg	0.78	0.47t
極慣性	ばね上重心軸まわり慣性モーメント	J_1	4,045 Kg m sec ²	135,000	2,996 Kg cm sec ²	3,565 Kg cm sec ²	4,813 Kg m sec ²
	トラニオン軸まわり慣性モーメント	J_2	1.14 Kg m sec ²	135,000	0.844 g cm sec ²	48.1 g cm sec ²	64.9 Kg m sec ²
ばね定数	前軸ばね定数	k_1	38 Kg/mm	40	0.95 Kg/mm	2.13 Kg/mm	85.2 Kg/mm
	前軸タイヤばね定数	k_2	200 Kg/mm	40	5.00 Kg/mm	84.7 Kg/mm	338.8 Kg/mm
	後軸前側ばね定数	k_3	192 Kg/mm	40	4.80 Kg/mm	5.63 Kg/mm	225.2 Kg/mm
	後軸前側タイヤばね定数	k_4	380 Kg/mm	40	9.50 Kg/mm	16.93 Kg/mm	667.2 Kg/mm
	後軸後側ばね定数	k_5	192 Kg/mm	40	4.80 Kg/mm	4.57 Kg/mm	182.8 Kg/mm
	後軸後側タイヤばね定数	k_6	390 Kg/mm	40	9.75 Kg/mm	16.93 Kg/mm	667.2 Kg/mm
	後軸後側タイヤばね定数	k_7	390 Kg/mm	40	9.75 Kg/mm	16.93 Kg/mm	667.2 Kg/mm
長	前軸より重心までの距離	l_1	3.977 m	15	26.51 cm	23.2 cm	34.8 m
	トラニオン中心から重心までの距離	l_2	1.258 m	15	8.39 cm	3.5 cm	0.53 m
	後前軸よりトラニオン中心までの距離	l_3	0.65 m	15	4.34 cm	4.34 cm	0.65 m
	後後軸よりトラニオン中心までの距離	l_4	0.65 m	15	4.33 cm	4.34 cm	0.65 m
	トラニオン中心から重心までの鉛直距離	l_5		15		4.60 cm	0.69 m

橋梁模型原形図

表- 2.9 橋梁模型



材質 S S 4 1

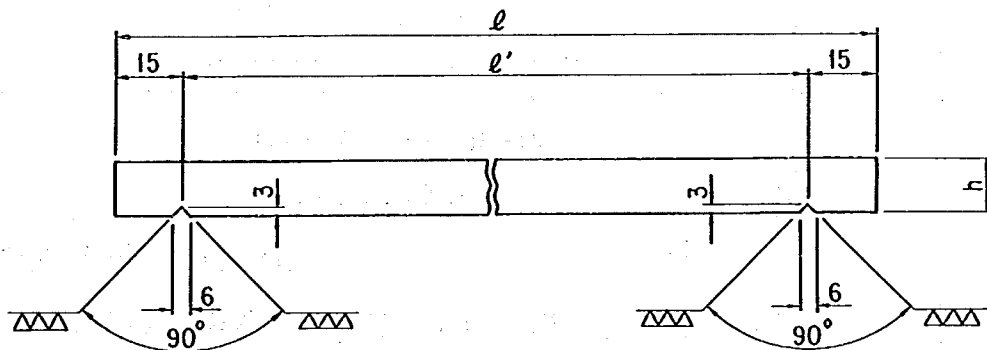
仕上 各面共▽▽

寸法および個数

単位 mm

番号	模型名称	h	b	l	個数
1	10 m 模型	19.5	114.2	697	1
2	20 m "	26.0	149.2	1,363	1
3	30 m "	34.5	127.9	2,030	2
4	40 m "	41.8	141.5	2,697	1
5	50 m "	54.0	113.6	3,363	1
6	60 m "	60.5	125.8	4,030	1

橋梁模型支承部加工図



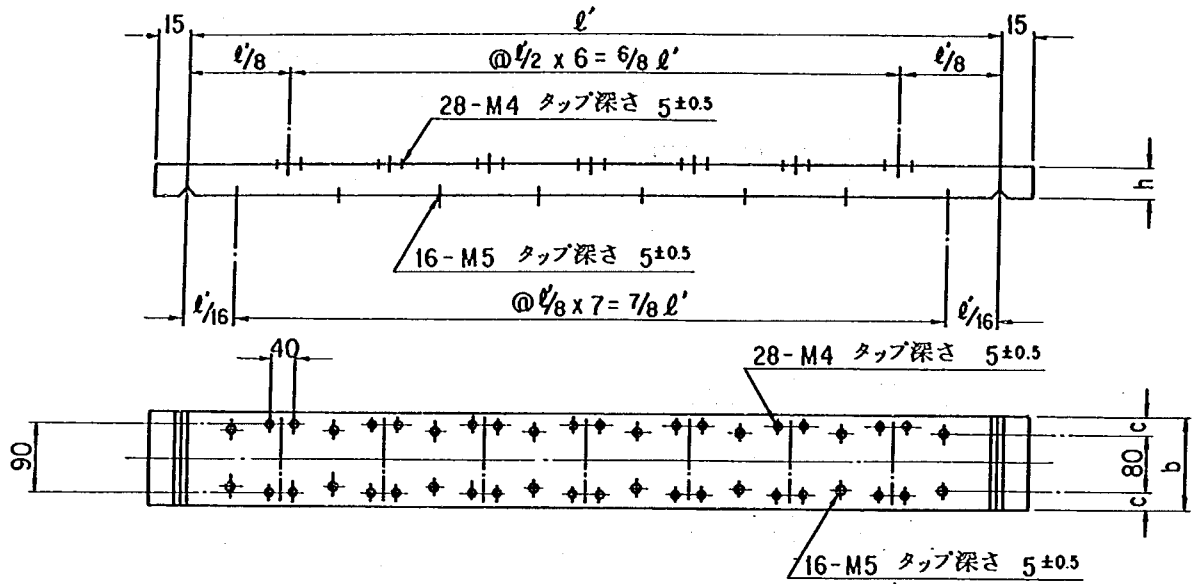
寸法および個数

単位 mm

番号	模型名称	l	l'	個数
1	10 m 模型	697	667	1
2	20 m "	1,363	1,333	1
3	30 m "	2,030	2,000	2
4	40 m "	2,697	2,667	1
5	50 m "	3,363	3,333	1
6	60 m "	4,030	4,000	1

表-2.10 橋梁模型

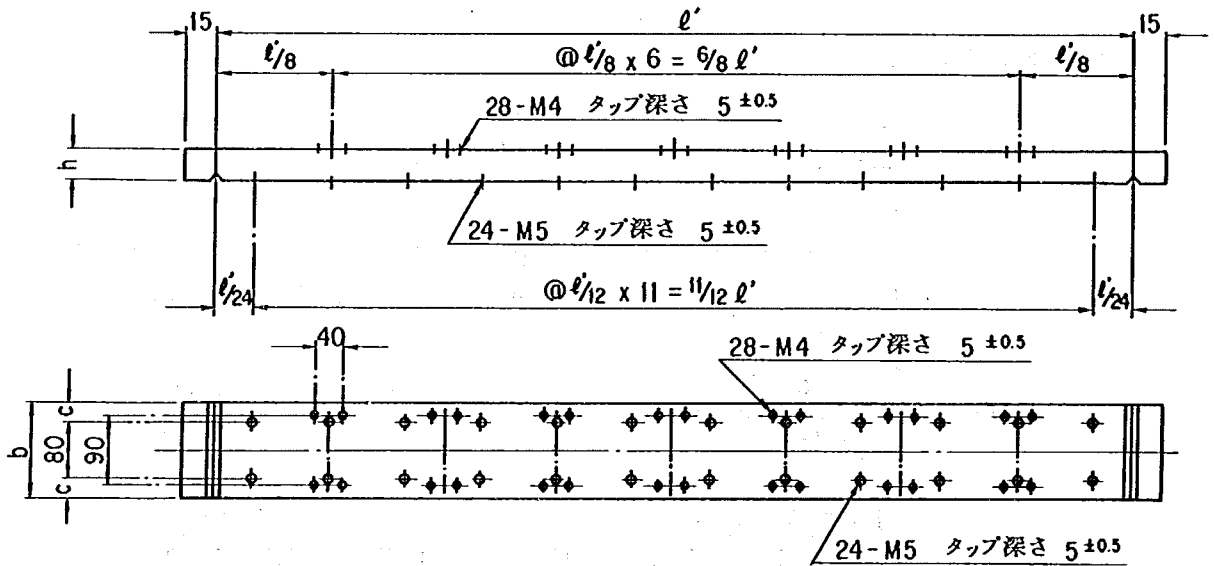
橋梁模型タップ加工図



寸法および個数

単位 mm

番号	模型名称	$l'/16$	$l'/8$	C	個数
1	10 m 模型	41.7	83.4	17.1	1
2	20 m "	83.3	166.6	34.6	1



寸法および個数

単位 mm

番号	模型名称	$l'/24$	$l'/12$	$l'/8$	C	個数
3	30 m 模型	83.3	166.7	250.0	23.95	2
4	40 m	111.1	222.3	333.4	30.75	1
5	50 m	138.9	277.8	416.6	16.8	1
6	60 m	166.7	333.3	500.0	22.9	1

3. 走行荷重による単純桁の動的応答数値計算

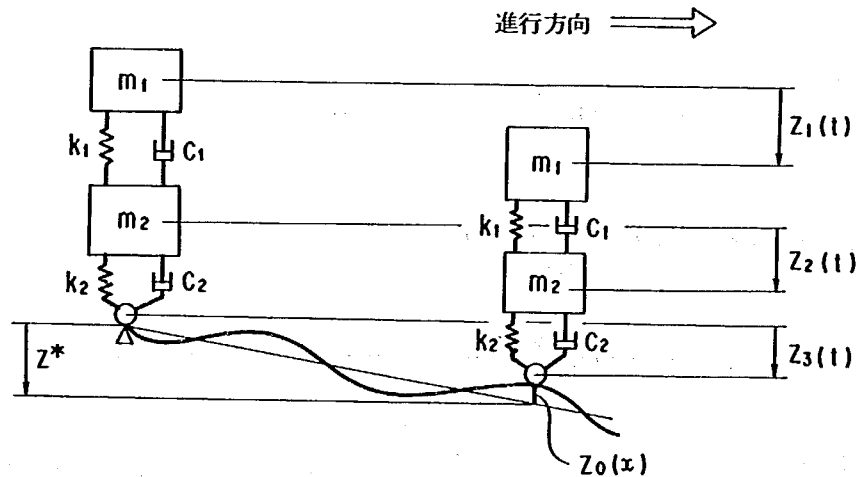
3.1 ま え が き

当研究室では、走行荷重による単純桁の動的応答計算を昭和51年度から実施しているが、今までの数値計算では、車両のモデルを2自由度系と仮定しており、必ずしも実際の車両を忠実にモデル化しているとは言い難い面があった。今年度は、車両をモデル化する場合、今までの2自由度系に加え、さらに3つのタイプ(4自由度系、5自由度系、6自由度系)を考えそのモデル化を行ない、加えてタイヤのジャンプを考慮できるプログラムの開発を実施したので、その概要をのべる。

3.2 計算モデル

3.2.1 2自由度系の運動方程式

ここではLagrange の運動方程式から求める。



Z_1 ; バネ上質量の変位

Z_2 ; バネ下質量の変位

Z_3 ; 作用点の変位

$$Z_3 = Z^* + Z_0(x)$$

Z^* ; 桁の変位

$$Z^* = \sum_{s=1}^{\infty} q_s(t) \cdot \sin \frac{s\pi x}{\ell}$$

$Z_0(x)$; 路面凹凸

• 位置エネルギー V

$$V = \frac{EI}{2} \int_0^{\ell} \left(\frac{\partial^2 Z^*}{\partial x^2} \right)^2 dx + \frac{1}{2} k_1 (Z_1 - Z_2)^2 + \frac{1}{2} k_2 (Z_2 - Z_3)^2 - (m_1 + m_2) g Z_3 \dots\dots\dots(1)$$

• 運動エネルギー T

$$T = \frac{1}{2} \cdot \frac{w}{g} \int_0^{\ell} (\dot{Z}^*)^2 dx + \frac{1}{2} m_1 (\dot{Z}_1)^2 + \frac{1}{2} m_2 (\dot{Z}_2)^2 \dots\dots\dots(2)$$

• 散逸エネルギー D

$$D = \frac{1}{2} C^* \int_0^{\ell} (\dot{Z}^*)^2 dx + \frac{1}{2} C_1 (\dot{Z}_1 - \dot{Z}_2)^2 + \frac{1}{2} C_2 (\dot{Z}_2 - \dot{Z}_3)^2 \dots\dots\dots(3)$$

(1)、(2)、(3)式を Lagrange の運動方程式(4)に代入し、整理すれば(5)式となる。

$$\frac{d}{dt} \left(\frac{\partial T}{\partial \dot{q}_s} \right) - \frac{\partial T}{\partial q_s} + \frac{\partial D}{\partial \dot{q}_s} + \frac{\partial V}{\partial q_s} = 0 \dots\dots\dots(4)$$

$$\cdot \frac{\partial T}{\partial \dot{q}_s} = \frac{1}{\partial \dot{q}_s} \left\{ \frac{w}{2g} \int_0^{\ell} \{ \dot{q}_s(t) \}^2 \sin^2 \frac{\pi x}{\ell} dx \right\} = \frac{w}{g} \dot{q}_s \int_0^{\ell} \sin^2 \frac{\pi x}{\ell} dx = \frac{w\ell}{2g} \dot{q}_s \dots\dots\dotsイ)$$

$$\cdot \frac{d}{dt} \left(\frac{\partial T}{\partial \dot{q}_s} \right) = \frac{w\ell}{2g} \ddot{q}_s \dots\dots\dotsロ) \quad \cdot \frac{\partial T}{\partial q_s} = 0 \dots\dots\dotsハ)$$

$$\begin{aligned} \cdot \frac{\partial D}{\partial \dot{q}_s} &= \frac{1}{\partial \dot{q}_s} \left\{ \frac{C^*}{2} \int_0^{\ell} (\dot{q}_s(t))^2 \sin^2 \frac{\pi x}{\ell} + \frac{C_2}{2} (\dot{Z}_2 - \dot{Z}_3)^2 \right\} \\ &= \frac{C^* \ell}{2} \dot{q}_s - C_2 (\dot{Z}_2 - \dot{Z}_3) \times \frac{1}{\partial \dot{q}_s} (\dot{Z}_3) \\ &= \frac{C^* \ell}{2} \dot{q}_s - C_2 (\dot{Z}_2 - \dot{Z}_3) \sin \frac{\pi x}{\ell} \dots\dots\dotsホ) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \cdot \frac{\partial V}{\partial q_s} &= \frac{1}{\partial q_s} \left\{ \frac{EI}{2} \int_0^{\ell} \left(\frac{\pi}{\ell} \right)^4 (q_s \sin \frac{\pi x}{\ell})^2 dx + \frac{1}{2} k_2 (Z_2 - Z_3)^2 - (m_1 + m_2) g Z_3 \right\} \\ &= \frac{EI}{2} \left(\frac{\pi}{\ell} \right)^4 \left(\frac{q_s^2}{\partial q_s} \right) \int_0^{\ell} \sin^2 \frac{\pi x}{\ell} dx - \{ k_2 (Z_2 - Z_3) + (m_1 + m_2) g \} \times \frac{1}{\partial q_s} (Z_3) \\ &= \frac{EI}{2} \left(\frac{\pi}{\ell} \right)^4 q_s - \{ k_2 (Z_2 - Z_3) + (m_1 + m_2) g \} \sin \frac{\pi x}{\ell} \dots\dots\dotsヘ) \end{aligned}$$

イ)、ロ)、ハ)、ニ)、ホ)、ヘ)より4)式は

$$\frac{w\ell}{2g} \ddot{q}_s + \frac{C^* \ell}{2} \dot{q}_s - C_2 (\dot{Z}_2 - \dot{Z}_3) \sin \frac{\pi x}{\ell} + \frac{EI}{2} \left(\frac{\pi}{\ell} \right)^4 q_s - \{ k_2 (Z_2 - Z_3) + (m_1 + m_2) g \} \sin \frac{\pi x}{\ell} = 0$$

整理すると

$$\frac{w\ell}{2g} \ddot{q}_s + \frac{C^*\ell}{2} \dot{q}_s + \frac{EI}{2} \left(\frac{\pi}{\ell}\right)^4 q_s - \{k_2(Z_2 - Z_3) + C_2(\dot{Z}_2 - \dot{Z}_3) + (m_1 + m_2)g\} \sin \frac{\pi x}{\ell} = 0 \quad \dots\dots\dots(5)$$

また、車両の運動方程式は次のようになる。

m_1 について

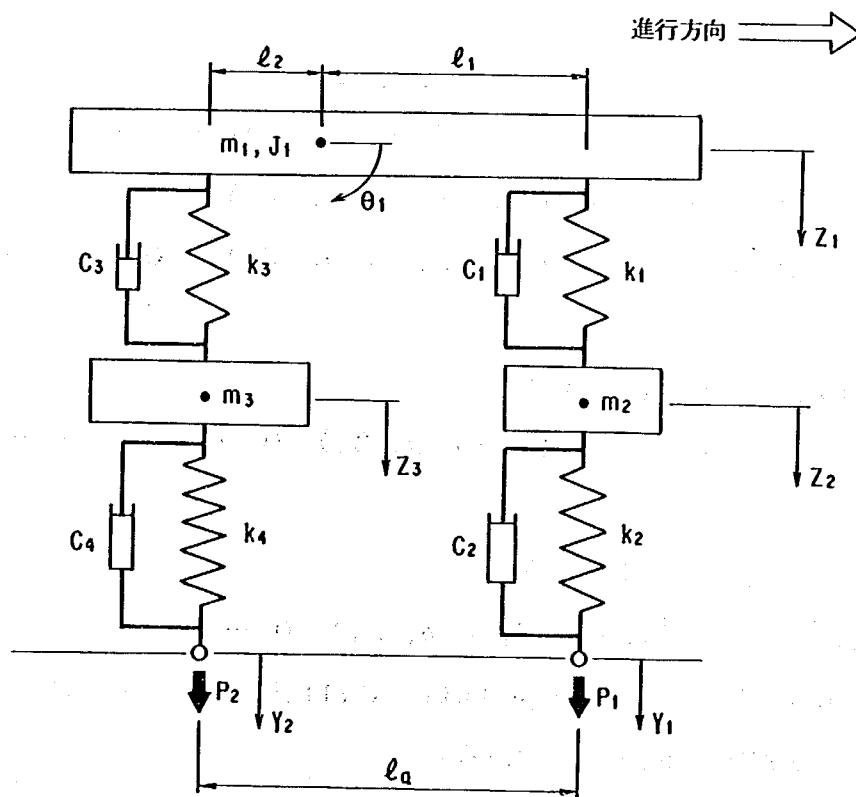
$$m_1 \ddot{Z}_1 + k_1(Z_1 - Z_2) + C_1(\dot{Z}_1 - \dot{Z}_2) = 0 \quad \dots\dots\dots(6)$$

m_2 について

$$m_2 \ddot{Z}_2 + k_1(Z_2 - Z_1) + C_1(\dot{Z}_2 - \dot{Z}_1) + k_2(Z_2 - Z_3) + C_2(\dot{Z}_2 - \dot{Z}_3) = 0 \quad \dots\dots\dots(7)$$

(5)、(6)、(7)を数値積分法によって解き、橋桁の動的たわみ Z^* などを求める。

3.2.2 4自由度系の運動方程式



4自由度系ではパラメータが多すぎ、Lagrange の運動方程式を利用して、連立方程式を組み立てるのは非常に煩雑となる。従って、ここでは振動形解析法を用い、換算質量、換算外力から連立方程式を組み立てる。

$$P_1 = C_2 (\dot{Z}_2 - \dot{Y}_1) + k_2 (Z_2 - Y_1) + m_2 g + \frac{(m_1 \ell_2^2 + J_1) g}{\ell_a^2} \dots\dots\dots(8)$$

$$P_2 = C_4 (\dot{Z}_3 - \dot{Y}_2) + k_4 (\dot{Z}_3 - \dot{Y}_2) + m_3 g + \frac{(m_1 \ell_1^2 + J_1) g}{\ell_a^2} \dots\dots\dots(9)$$

換算外力 O_s は以下のようになる。

$$O_{s1} = \sqrt{\frac{2}{m\ell}} \sin \frac{s\pi x}{\ell} \left\{ C_2 (\dot{Z}_2 - \dot{Y}_1) + k_2 (Z_2 - Y_1) + m_2 g + \frac{(m_1 \ell_2^2 + J_1) g}{\ell_a^2} \right\} \dots\dots\dots(10)$$

$$O_{s2} = \sqrt{\frac{2}{m\ell}} \sin \frac{s\pi (x - \ell_a)}{\ell} \left\{ C_4 (\dot{Z}_3 - \dot{Y}_2) + k_4 (Z_3 - Y_2) + m_3 g + \frac{(m_1 \ell_1^2 + J_1) g}{\ell_a^2} \right\} \dots\dots\dots(11)$$

$$\frac{w\ell}{2g} \ddot{q}_s + \frac{C^* \ell}{2} \dot{q}_s + \frac{EI}{2} \left(\frac{\pi}{\ell}\right)^4 q_s = O_{s1} + O_{s2} \dots\dots\dots(12)$$

(12)式が Bridge 系の運動方程式である。

Vehicle 系の運動方程式は以下のようになる。

m_1 について

$$m_1 \ddot{Z}_1 + C_1 (\dot{Z}_1 + \ell_1 \dot{\theta}_1 - \dot{Z}_2) + k_1 (Z_1 + \ell_1 \theta_1 - Z_2) \\ + C_3 (\dot{Z}_1 - \ell_2 \dot{\theta}_1 - \dot{Z}_3) + k_3 (Z_1 - \ell_2 \theta_1 - Z_3) = 0 \dots\dots\dots(13)$$

$$J_1 \ddot{\theta}_1 + \ell_1 \{ C_1 (\dot{Z}_1 + \ell_1 \dot{\theta}_1 - \dot{Z}_2) + k_1 (Z_1 + \ell_1 \theta_1 - Z_2) \} \\ - \ell_2 \{ C_3 (\dot{Z}_1 - \ell_2 \dot{\theta}_1 - \dot{Z}_3) + k_3 (Z_1 - \ell_2 \theta_1 - Z_3) \} = 0 \dots\dots\dots(14)$$

m_2 について

$$m_2 \ddot{Z}_2 + C_2 (\dot{Z}_2 - \dot{Y}_1) + k_1 (Z_2 - Y_1) \\ - C_1 (\dot{Z}_1 + \ell_1 \dot{\theta}_1 - \dot{Z}_2) - k_1 (Z_1 + \ell_1 \theta_1 - Z_2) = 0 \dots\dots\dots(15)$$

m_3 について

$$m_3 \ddot{Z}_3 + C_4 (\dot{Z}_3 - \dot{Y}_2) + k_4 (Z_3 - Y_2) \\ - C_3 (\dot{Z}_1 - \ell_2 \dot{\theta}_1 - \dot{Z}_3) - k_3 (Z_1 - \ell_2 \theta_1 - Z_3) = 0 \dots\dots\dots(16)$$

(12)、(13)、(14)、(15)、(16)の連立方程式を Runge-kutta-Gill 法、Milne 法 などの数値積分法によつて解き、 q_s 、および P_1 、 P_2 などを求める。

3.2.3 5 自由度系の運動方程式

4 自由度系と同様に振動形解折法により運動方程式をたてる。

m_1 について

$$m_1 \ddot{Z}_1 + C_1 (\dot{Z}_1 + \ell_1 \dot{\theta}_1 - \dot{Z}_2) + k_1 (Z_1 + \ell_1 \theta_1 - Z_2) + C_3 (\dot{Z}_1 - \ell_3 \dot{\theta}_1 - \dot{Z}_3) + k_3 (Z_1 - \ell_3 \theta_1 - Z_3) = 0 \quad \dots\dots\dots (24)$$

$$J_1 \ddot{\theta}_1 + \ell_1 \{ C_1 (\dot{Z}_1 + \ell_1 \dot{\theta}_1 - \dot{Z}_2) + k_1 (Z_1 + \ell_1 \theta_1 - Z_2) \} - \ell_3 \{ C_3 (\dot{Z}_1 - \ell_3 \dot{\theta}_1 - \dot{Z}_3) + k_3 (Z_1 - \ell_3 \theta_1 - Z_3) \} = 0 \quad \dots\dots\dots (25)$$

m_2 について

$$m_2 \ddot{Z}_2 + C_2 (\dot{Z}_2 - \dot{Y}_1) + k_2 (Z_2 - Y_1) - C_1 (\dot{Z}_1 + \ell_1 \dot{\theta}_1 - \dot{Z}_2) - k_1 (Z_1 + \ell_1 \theta_1 - Z_2) = 0 \quad \dots\dots\dots (26)$$

m_3 について

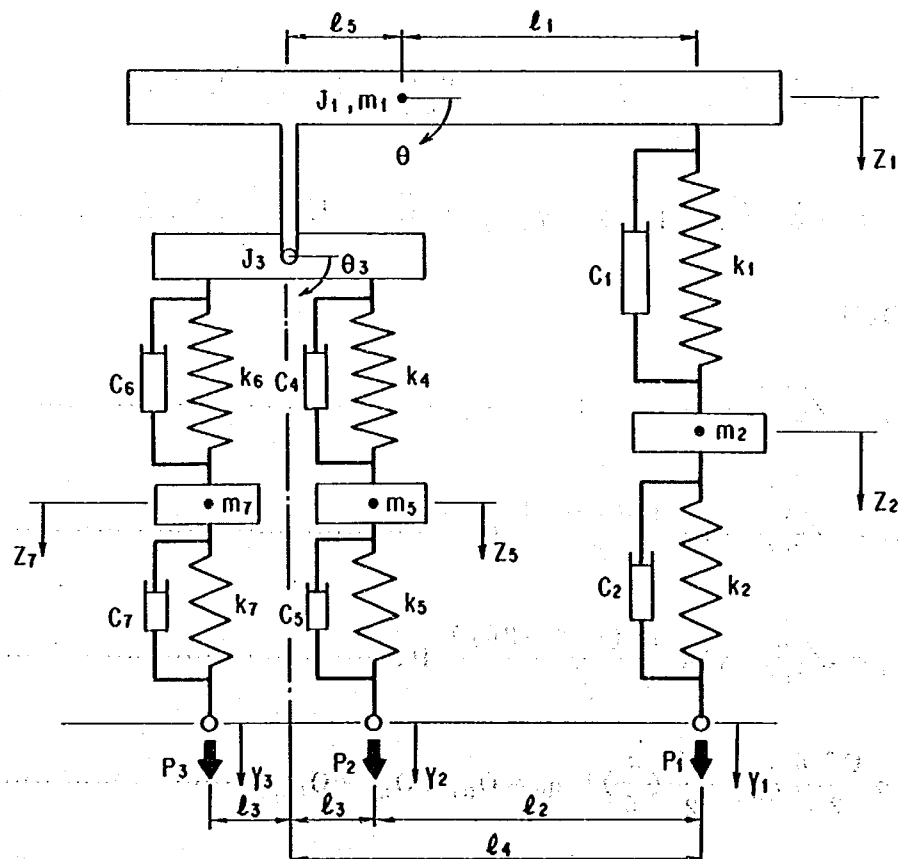
$$m_3 \ddot{Z}_3 + C_4 (\dot{Z}_3 + \ell_3 \dot{\theta}_3 - \dot{Y}_2) + k_4 (Z_3 + \ell_3 \theta_3 - Y_2) + C_5 (Z_3 - \ell_5 \theta_3 - Y_3) + k_5 (Z_3 - \ell_5 \theta_3 - Y_3) \quad \dots\dots\dots (27)$$

$$- C_3 (\dot{Z}_1 - \ell_3 \dot{\theta}_1 - \dot{Z}_3) - k_3 (Z_1 - \ell_3 \theta_1 - Z_3) = 0$$

$$J_3 \ddot{\theta}_3 + \ell_3 \{ C_4 (\dot{Z}_3 + \ell_3 \dot{\theta}_3 - \dot{Y}_2) + k_4 (Z_3 + \ell_3 \theta_3 - Y_2) \} - \ell_5 \{ C_5 (\dot{Z}_3 - \ell_5 \dot{\theta}_3 - \dot{Y}_3) + k_5 (Z_3 - \ell_5 \theta_3 - Y_3) \} = 0 \quad \dots\dots\dots (28)$$

(23)~(28) を Runge-Kutta-Gill 法などにより数値解析を行ない q_s , $P_1 \sim P_3$ などを求める。

3.2.4 6自由度系の運動方程式



接地力 P について

$$P_1 = C_2 (\dot{Z}_2 - \dot{y}_1) + k_2 (Z_2 - y_1) + m_2 g + \frac{(m_1 \ell_5^2 + J_1) g}{\ell_4^2} \quad \dots\dots\dots (29)$$

$$P_2 = C_3 (\dot{Z}_3 - \dot{y}_2) + k_3 (Z_3 - y_2) + m_3 g + \frac{J_3 g}{4 \ell_3^2} + \frac{(m_1 \ell_1^2 + J_1) g}{2 \ell_4^2} \quad \dots\dots\dots (30)$$

$$P_3 = C_7 (\dot{Z}_7 - \dot{y}_3) + k_7 (Z_7 - y_3) + m_7 g + \frac{J_3 g}{4 \ell_3^2} + \frac{(m_1 \ell_1^2 + J_1) g}{2 \ell_4^2} \quad \dots\dots\dots (31)$$

換算概力 Q_i について

$$Q_{s1} = \sqrt{\frac{2}{m \ell}} \sin \frac{s \pi x}{\ell} P_1 \quad \dots\dots\dots (32)$$

$$Q_{s2} = \sqrt{\frac{2}{m \ell}} \sin \frac{s \pi (x - \ell_2)}{\ell} P_2 \quad \dots\dots\dots (33)$$

$$Q_{s3} = \sqrt{\frac{2}{m \ell}} \sin \frac{s \pi (x - \ell_2 - 2 \ell_3)}{\ell} P_3 \quad \dots\dots\dots (34)$$

$$\frac{w \ell}{2 g} \ddot{q}_s + \frac{C^* \ell}{2} \dot{q}_s + \frac{E I}{2} \frac{\pi^4}{\ell} q_s = Q_{s1} + Q_{s2} + Q_{s3} \quad \dots\dots\dots (35)$$

m_1 について

$$\begin{aligned} m_1 \ddot{Z}_1 + C_1 (\dot{Z}_1 + \ell_1 \dot{\theta}_1 - \dot{Z}_2) + k_1 (Z_1 + \ell_1 \theta_1 - Z_2) \\ + C_4 (\dot{Z}_1 - \ell_3 \dot{\theta}_1 + \ell_3 \dot{\theta}_3 - \dot{Z}_5) + k_4 (Z_1 - \ell_3 \theta_1 - \ell_3 \theta_3 - Z_5) \\ + C_6 (\dot{Z}_1 - \ell_3 \dot{\theta}_1 - \ell_3 \dot{\theta}_3 - \dot{Z}_7) + k_6 (Z_1 - \ell_3 \theta_1 - \ell_3 \theta_3 - Z_7) = 0 \end{aligned} \quad \dots\dots\dots (36)$$

$$\begin{aligned} J_1 \ddot{\theta}_1 + \ell_1 \{ C_1 (\dot{Z}_1 + \ell_1 \dot{\theta}_1 - \dot{Z}_2) + k_1 (Z_1 + \ell_1 \theta_1 - Z_2) \} \\ - k_3 \{ C_4 (\dot{Z}_1 - \ell_3 \dot{\theta}_1 + \ell_3 \dot{\theta}_3 - \dot{Z}_5) + k_4 (Z_1 - \ell_3 \theta_1 + \ell_3 \theta_3 - Z_5) \} \\ + C_6 (\dot{Z}_1 - \ell_3 \dot{\theta}_1 - \ell_3 \dot{\theta}_3 - \dot{Z}_7) + k_6 (Z_1 - \ell_3 \theta_1 - \ell_3 \theta_3 - Z_7) = 0 \end{aligned} \quad \dots\dots\dots (37)$$

m_2 について

$$\begin{aligned} m_2 \ddot{Z}_2 - C_1 (\dot{Z}_1 + \ell_1 \dot{\theta}_1 - \dot{Z}_2) - k_1 (Z_1 + \ell_1 \theta_1 - Z_2) \\ + C_2 (\dot{Z}_2 - \dot{Y}_1) + k_2 (Z_2 - Y_1) = 0 \end{aligned} \quad \dots\dots\dots (38)$$

m_3 について

$$\begin{aligned} m_3 \ddot{Z}_3 - C_4 (\dot{Z}_1 - \ell_3 \dot{\theta}_1 + \ell_3 \dot{\theta}_3 - \dot{Z}_5) - k_4 (Z_1 - \ell_3 \theta_1 + \ell_3 \theta_3 - Z_5) \\ + C_5 (\dot{Z}_3 - \dot{Y}_2) + k_5 (Z_3 - Y_2) = 0 \end{aligned} \quad \dots\dots\dots (39)$$

m_7 について

$$\begin{aligned} m_7 \ddot{Z}_7 - C_6 (\dot{Z}_1 - \ell_3 \dot{\theta}_1 - \ell_3 \dot{\theta}_3 - \dot{Z}_7) - k_6 (Z_1 - \ell_3 \theta_1 - \ell_3 \theta_3 - Z_7) \\ + C_7 (\dot{Z}_7 - \dot{Y}_3) + k_7 (Z_7 - Y_3) = 0 \end{aligned} \quad \dots\dots\dots (40)$$

J_3 について

$$J_3 \ddot{\theta}_3 + \ell_3 \{ C_4 (\dot{Z}_1 - \ell_3 \dot{\theta}_1 + \ell_3 \dot{\theta}_3 - \dot{Z}_3) + k_4 (Z_1 - \ell_3 \theta_1 + \ell_3 \theta_3 - Z_3) \\ - \ell_3 \{ C_5 (\dot{Z}_1 - \ell_3 \dot{\theta}_1 - \ell_3 \dot{\theta}_3 - \dot{Z}_1) + k_5 (Z_1 - \ell_3 \theta_1 - \ell_3 \theta_3 - Z_1) \} = 0 \quad \dots\dots\dots(41)$$

(32)~(41)までの連立2階微分方程式をRunge-Kutta-Gill法などによって解く。

3.3 タイヤのジャンプを考慮したモデル

自動車は橋梁に高速で進入する場合、伸縮継手部の段差などにより瞬間的にタイヤがジャンプする場合が考えられる。3.2の計算モデルの運動方程式においては、基準原点を静的なつり合い状態からとっており、またタイヤはどのような運動状態でも路面に接しているものと仮定しているため、上記のような現象をそのままあてはめて数値解析することはできない。従ってここでは、タイヤが路面からはなれ—ジャンプした場合の運動方程式を検討し、3.2の各系の運動方程式に全て適合できるような新たなプログラムを作成したものである。以下2自由度系を例にとりその主な考え方をのべる。

例えば、2自由度系の場合を考えると、平常時の運動方程式は前述のように

m_1 について

$$m_1 \ddot{Z}_1 + C_1 (\dot{Z}_1 - \dot{Z}_2) + k_1 (Z_1 - Z_2) = 0 \quad \dots\dots\dots(1)$$

m_2 について

$$m_2 \ddot{Z}_2 + C_2 (\dot{Z}_2 - \dot{Z}_3) + k_2 (Z_2 - Z_3) \\ - C_1 (\dot{Z}_1 - \dot{Z}_2) + k_1 (Z_1 - Z_2) = 0 \quad \dots\dots\dots(2)$$

車輪が接地していない場合は、(2)式において

$$\dot{Z}_2 - \dot{Z}_3, \quad Z_2 - Z_3$$

が存在しないので、これらに関する項がなくなる。

しかし(1)、(2)の運動方程式は静的つり合い状態を変化量の原点にとっているもので、空中状態における時は重力の項が必要となる。また、その重力の量はバネの静的状態における力に等しい。

下バネの静的たわみ量をHとすると ($Z_2 - Z_3 = -H$)

$$G = k_2 H = m_1 g + m_2 g$$

$$m_1 \ddot{Z}_1 + C_1 (\dot{Z}_1 - \dot{Z}_2) + k_1 (Z_1 - Z_2) = 0 \quad \dots\dots\dots(3)$$

$$m_2 \ddot{Z}_2 - C_1 (\dot{Z}_1 - \dot{Z}_2) - k_1 (Z_1 - Z_2) = (m_1 + m_2) g \quad \dots\dots\dots(4)$$

上のように(1)式はそのまま、(2)式は(4)式のように置き換えられる。

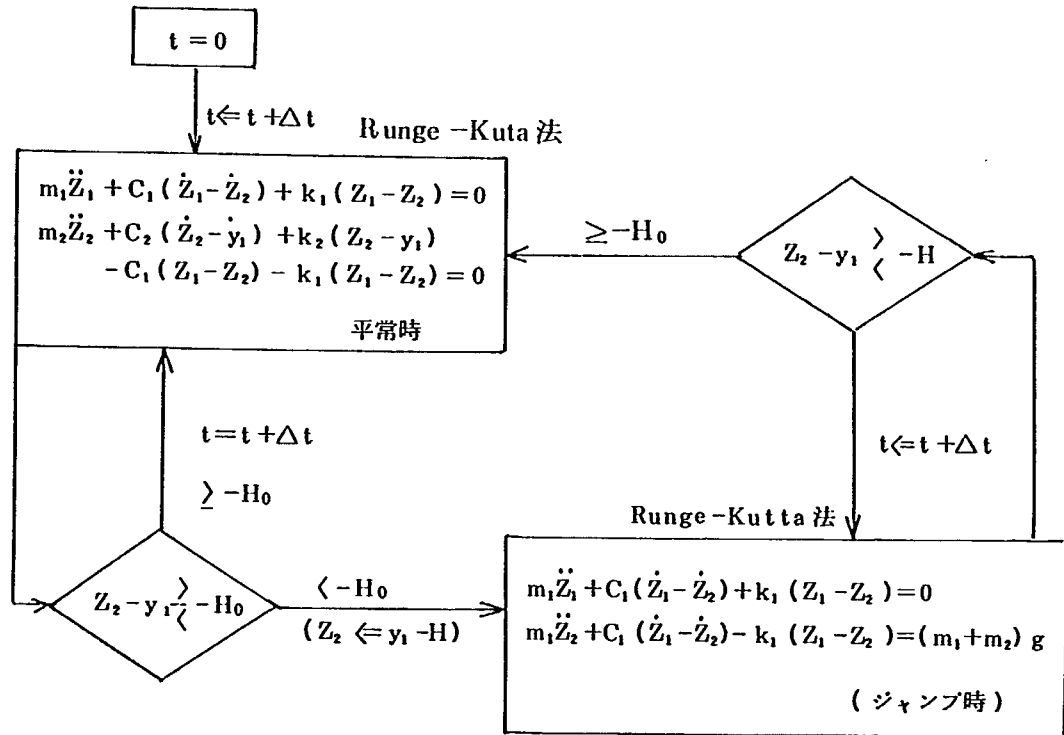
ジャンプに入る時刻には(4)式の初期条件として、 Z_2 に

$$Z_2(t_0) = Z_3(t_0) - H$$

$\dot{Z}_2$ に対してはそのまま直前に来まった $\dot{Z}_2$ を用いる。

ジャンプ中、常に $(Z_2 - Z_3)$ の値を求め、 $-H$ より大きくなったらジャンプ終了であり、同時に次の時刻での運動方程式を(4)から(2)へもどす。

以下の考え方をフローチャートに示せば以下の如くなる。



H: タイヤの静的たわみ量

橋梁の設計動荷重に関する
試験調査報告書〔V-1981〕

土木研究所資料第 1820号
昭和57年3月(1981)

山本邦夫・桂樹正隆
水上幹之・永原 隆

キーワード：路凹凹凸，走行荷重，動的応答，動的付加荷重

要 旨 昭和55年度に実施した橋梁の設計動荷重に関する
試験調査の成果をとりまとめたものである。内容は、

- (1) 実動自動車荷重のとりまとめ
- (2) 走行荷重による単純桁の動的応答模型実施(その1)
- (3) 走行荷重による単純桁の動的応答数値解析



郵便はがき

305-□□

40円切手
をはいて
下さい。

茨城県筑波郡豊里町大字旭一番地

建設省土木研究所

構造研究室 御中

No. 19

No. 19

配布先氏名

配布先住所





土木研究所資料第1820号 部

上記のとおり受領しました。

所 属 (住所)

氏 名

⑩

