

土木研究所資料

水郷大橋の応力頻度測定

昭和63年2月

建設省土木研究所
構造橋梁部橋梁研究室

Copyright © 1988 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。

水郷大橋の応力頻度測定

橋梁研究室	室長	藤原	稔
同	主任研究員	西川	和廣※
同		滝沢	晃
同	部外研究員	小田	訓男

要旨

鋼床版の疲労設計法を検討するため、鋼床版箱桁橋において鋼床版溶接部などに自動車荷重により発生する応力の頻度を測定し、その応力頻度測定結果を用いてマイナーによる直線累積疲労被害則を適用し、部材の疲労寿命を推定した。

その結果、鋼床版の縦リブと横リブの交差部における応力集中はかなり大きく、その疲労寿命は最も厳しい条件下で約40～50年と推定された。

キーワード ; 鋼床版, スリットR部, 応力頻度測定

※ 現建設省道路局国道第二課課長補佐

まえがき

鋼床版は、自動車輪荷重を直接支持する構造であるため、自動車の走行によって大きな繰返し応力度を受ける。このため、道路橋示方書では鋼床版に対して疲労の照査が必要であることを定め、溶接部に対する許容応力度を規定している。

近年、鋼床版の縦リブにはU断面リブ(トラフリブ)を用いる例が多くなっている。この場合、横リブウェブ断面には縦リブを貫通させるために切欠き(スリット)が設けられるため、スリット周辺は複雑な応力状態となり、また、大きな応力が集中することが知られている。しかし、道路橋示方書においてはこれらの応力集中部の疲労に対する取扱いについては明確にされていないのが現状である。

今回は、一般交通に供用されている鋼床版箱桁橋(水郷大橋)において、鋼床版の縦リブと横リブの交差部におけるスリット部や溶接部などに生じる応力の大きさとその頻度を測定するとともに、この測定結果を用いて鋼床版各部の疲労寿命の推定を行った。なお、水郷大橋における応力頻度測定は昭和62年2月4日から2月6日にかけて行った。

目 次

まえがき

1. 水郷大橋の概要	1
1.1 構造の概要	1
1.2 交通量	6
2. 応力頻度測定の概要	8
2.1 応力頻度測定位置	8
2.2 大型車両による載荷試験	12
2.3 24時間応力頻度測定	13
3. 大型車両による載荷試験結果	14
3.1 荷重車走行による載荷試験結果	14
3.2 一般大型車両走行による載荷試験結果	20
4. 応力頻度測定結果	26
5. 疲労寿命の推定	36
6. 結 論	41

あとがき

1. 水郷大橋の概要

1.1 構造の概要

水郷大橋は一般国道51号が千葉県佐原市において利根川を渡る地点に昭和50年11月に架設された斜張橋(178.9m+111.6m)と3径間連続箱桁橋(3×80.6m)から成る橋長535mの橋梁である(図-1.1(a))。同橋は上下車線が分離され、それぞれ歩道2.5m および車道7.7m 合計10.2mの幅員を有する。鋼床版は板厚12mm のデッキプレートに320×200×8mmのトラブリブを30cm間隔で、また横リブを250cm間隔でそれぞれ溶接接合したものである(図-1.1(c))。また、舗装厚は80mmである。縦リブと横リブの交差部(図-1.1(d))では縦リブ直下の横リブウェブに垂直補剛材が設けられ、さらに縦リブ内にはダイヤフラムが設けられている。

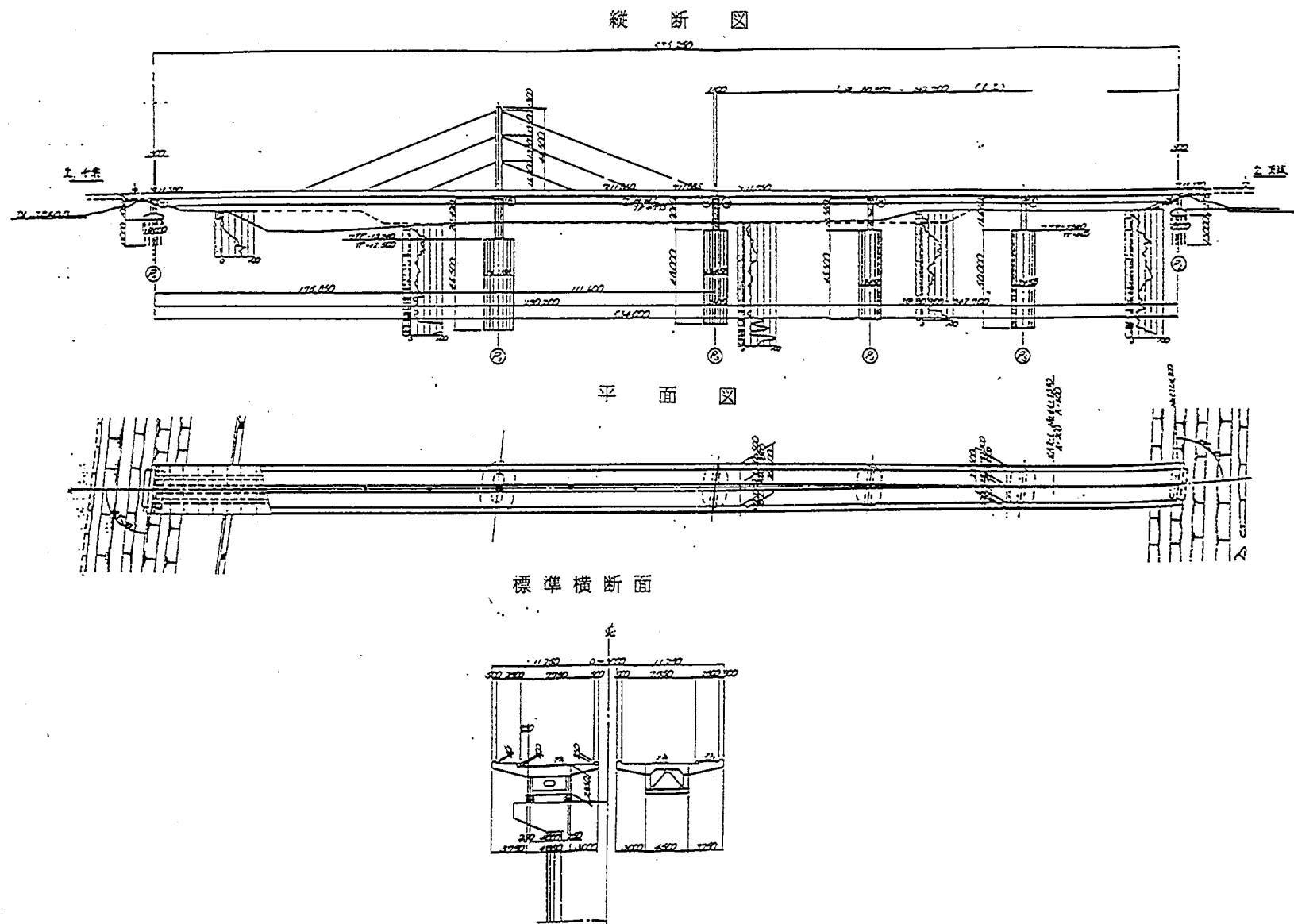
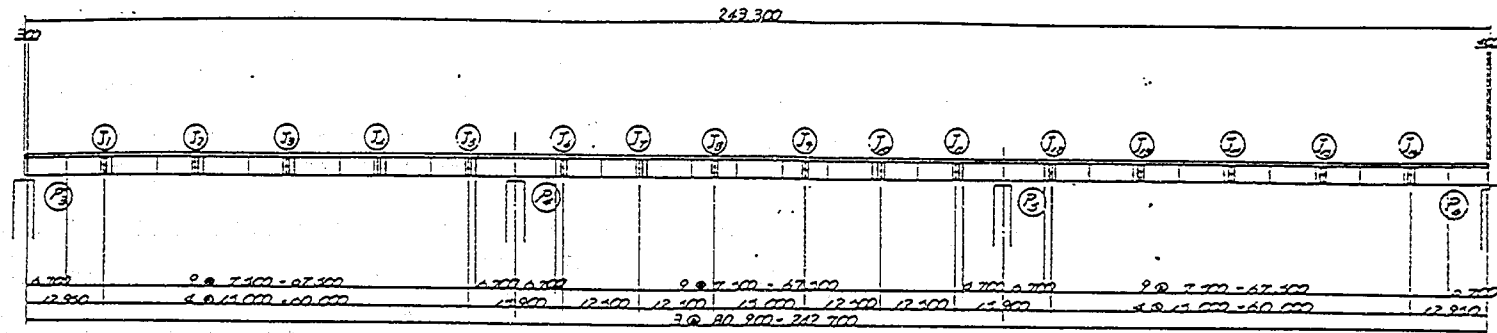
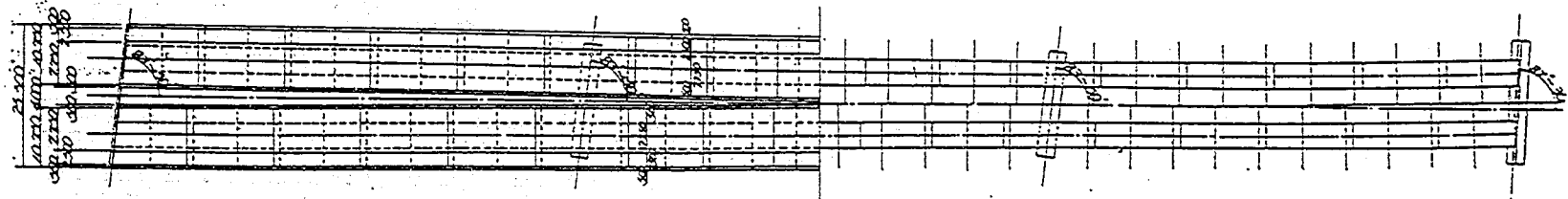


圖-1.1 (a) 水鄉大橋一般圖

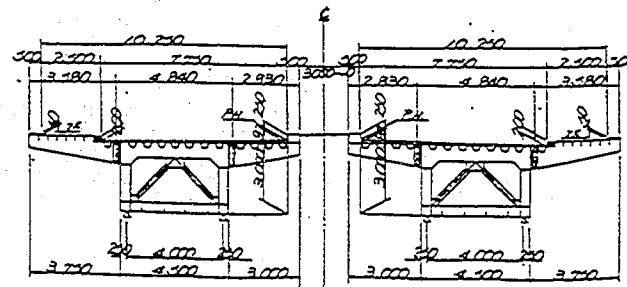
側 面 図



平面图

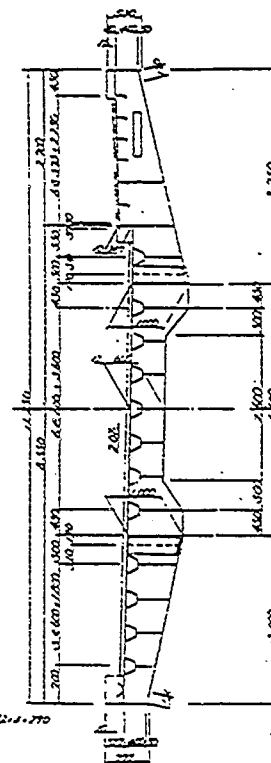


断面図



側面図の寸法は上下線の中心での長さを示す。

図一 1.1 (b) 3 径間連続箱桁部概要図



2. 1. 約2000枚を500枚に減らす。
2. 4000枚に増やす。

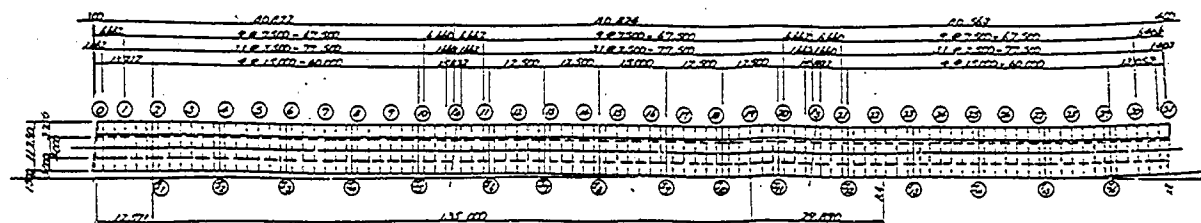
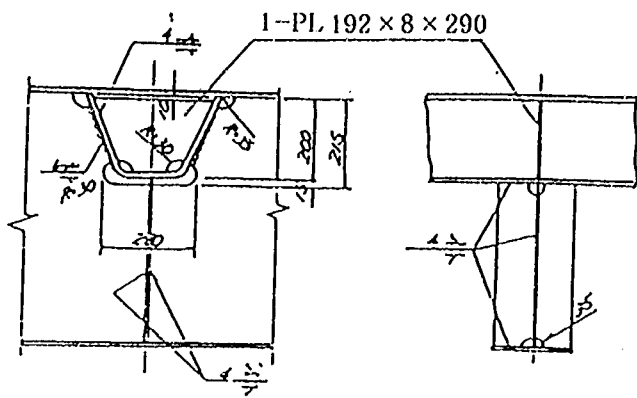
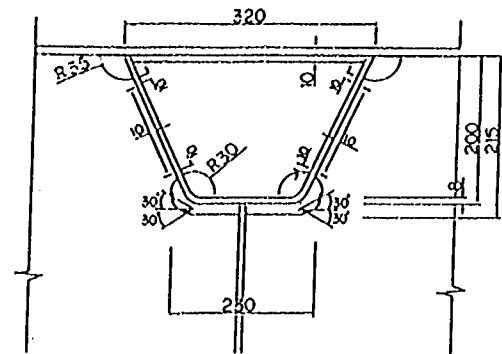


圖-1.1 (c) 鋼床版構造圖



車道部縦リブと横リブの交差部



スリット R 部詳細

図ー 1.1 (d) 鋼床版の縦リブと横リブの交差部詳細図

1.2 交通量

表-1.1 に今回の測定期間中に行った交通量調査結果を示す。千葉国道工事事務所による調査結果(1986年11月11日7時~11月12日7時)および今回の調査結果(1987年2月4日,5日)を図-1.2 に示すが、交通量および混入率ともほぼ同様の傾向を示している。日交通量は約20,000台、そのうち約20%の約4000台が大型車である。深夜に大型車混入率が高いのが特徴である。

表-1.1 交通量調査結果

車 種		普通車		大型車		特大車		合計	備 考
日時	車 種	通行量	混入率 (%)	通行量	混入率 (%)	通行量	混入率 (%)	通行量	
2/4 15:00 ~ 16:00	上り	550	83.5	42	6.4	67	10.1	659	大型, 特大車, 縦連 上り車線 下り車線 2台×9回(特) 3台×2回(特) 3台×3回(特・大) 4台×1回(特・大)
	下り	526	83.5	38	6.0	66	10.5	630	
	合計	1076	83.5	80	6.2	133	10.3	1289	
2/5 4:00 ~ 5:00	上り	57	32.9	26	15.0	90	52.0	173	上り車線 2台×9回(特) 3台×9回(特) 4台×1回(特) 5台×2回(特) 7台×1回(特・大) 7台×1回(特・大)
	下り	22	19.0	20	17.2	74	63.8	116	
	合計	79	27.3	46	15.9	164	56.7	289	
2/5 7:00 ~ 8:00	上り	781	89.6	28	3.2	63	7.2	872	上り車線 2台×9回(特) 3台×3回(特) 4台×1回(特・大) 7:50以降の混雑 7:30~7:50, 70m~100m 68m 7:50~橋上渋滞
	下り	524	77.7	51	7.6	99	14.7	674	
	合計	1305	84.4	79	5.1	162	10.4	1546	
2/5 15:00 ~ 16:00	上り	583	85.5	31	4.5	68	10.0	682	上り車線 2台×4回(特・大) 3台×1回(特) 2台×10回(特・大) 3台×3回(特・大) 4台×1回(特・大) 7台×1回(特・大) 16:00~橋上渋滞
	下り	625	83.0	45	6.0	83	11.0	753	
	合計	1208	84.2	76	5.3	151	10.5	1435	

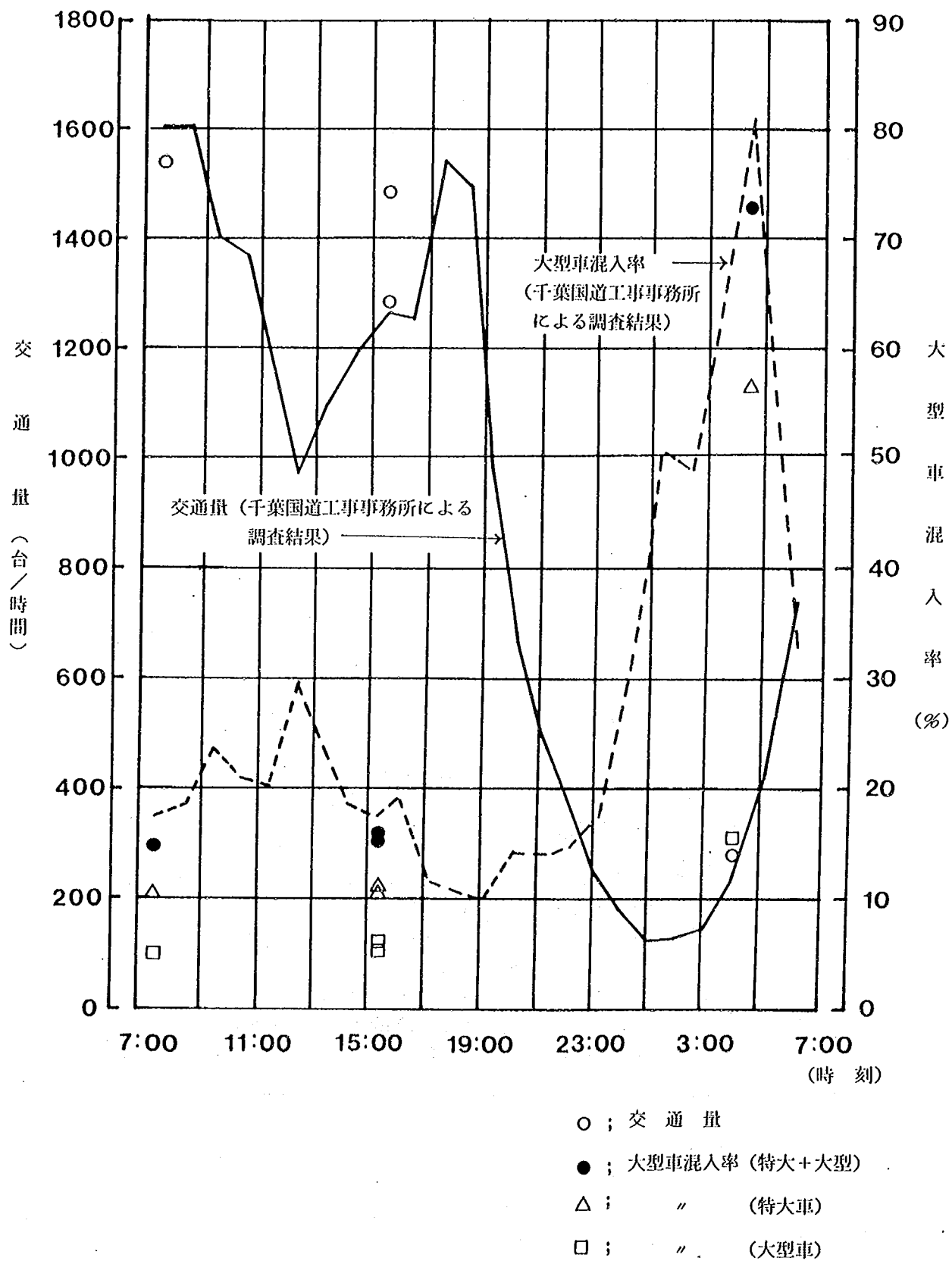


図-1.2 交通量および大型車混入率

2. 応力頻度測定概要

2.1 応力頻度測定位置

横リブと縦リブの交差部における溶接部およびスリットR部については主桁支間中央付近(A-A断面)の縦リブE, JおよびKの位置において応力頻度を測定した(ひずみゲージ番号1~16)(図-2.1(a))。このうち溶接部は縦リブKのひずみゲージ番号5, 6 および縦リブEの1, 12 であり、スリットR部は縦リブKの1~4, Jの7~10 およびEの13~16 である。

また、縦リブ支間中央(B-B断面)におけるデッキプレートと縦リブの溶接部の応力頻度を測定した(ひずみゲージ番号20, 21)(図-2.1(b))。さらに、主桁の桁端部付近(D-D断面)において、横リブと縦リブKの接合部の応力頻度を測定した(ひずみゲージ番号No 24~26)(図-2.1(c))。

なお、これらの局部応力測定の参考とするために、主桁支間中央付近(A-A断面)における横リブおよび主桁の応力頻度を測定し(ひずみゲージ番号17および18, 19)(図-2.1(b))、また縦リブ支間中央(B-B, C-C, E-E断面)における縦リブ下面の応力頻度を測定した(ひずみゲージ番号22, 23, 27)(図-2.1(b))。

ひずみゲージ貼付け状況を写真-1に示す。

表-2.1 ひずみゲージ番号一測定箇所

ゲージ番号	位 置
1~6	主桁の支間中央付近(A-A断面)の横リブと縦リブKの交差部および縦リブKのスリットR部
7~10	主桁の支間中央付近(A-A断面)の縦リブJのスリットR部
11~16	主桁の支間中央付近(A-A断面)の横リブと縦リブEとの接合部および縦リブEのスリットR部
17	主桁の支間中央付近(A-A断面)の横リブ支間中央部下フランジ
18~19	主桁の支間中央付近(A-A断面)の主桁下フランジでそれぞれ下り車線側, 上り車線側
20~21	主桁の支間中央付近(B-B断面)における縦リブKとデッキプレートの接合部で、それぞれ縦リブ, デッキプレート
22, 23, 27	縦リブH下面で、それぞれ主桁の支間中央付近(B-B断面), 1/4点(C-C断面), 桁端部(E-E断面)
24~26	主桁の桁端部付近(D-D断面)での横リブと縦リブKの接合部

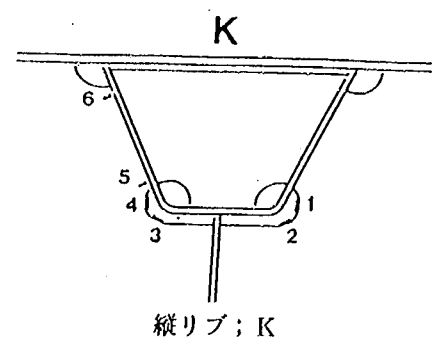
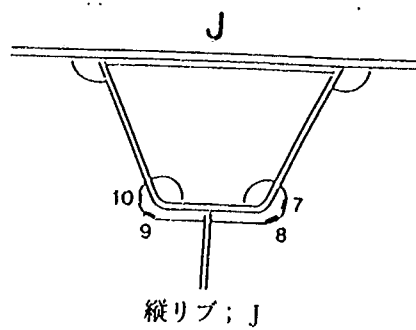
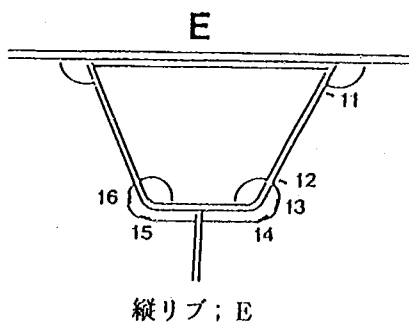
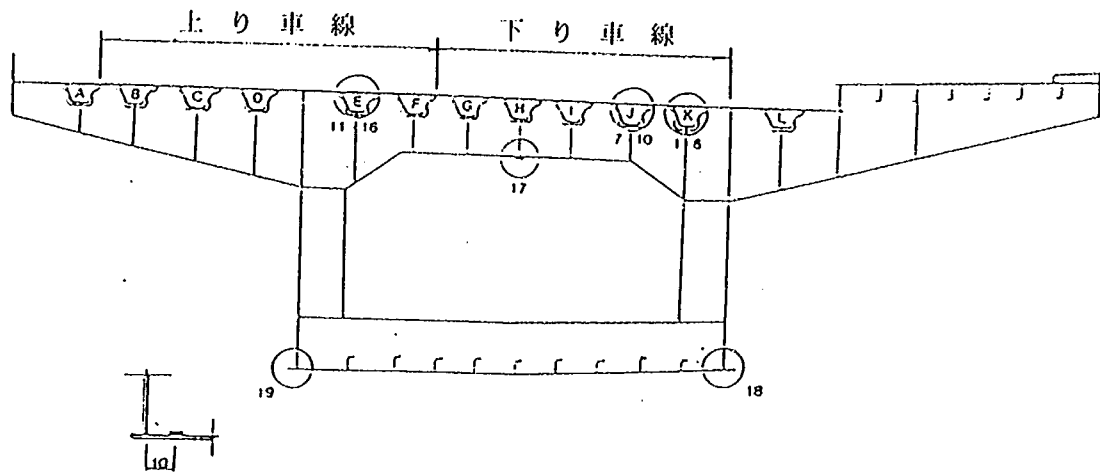
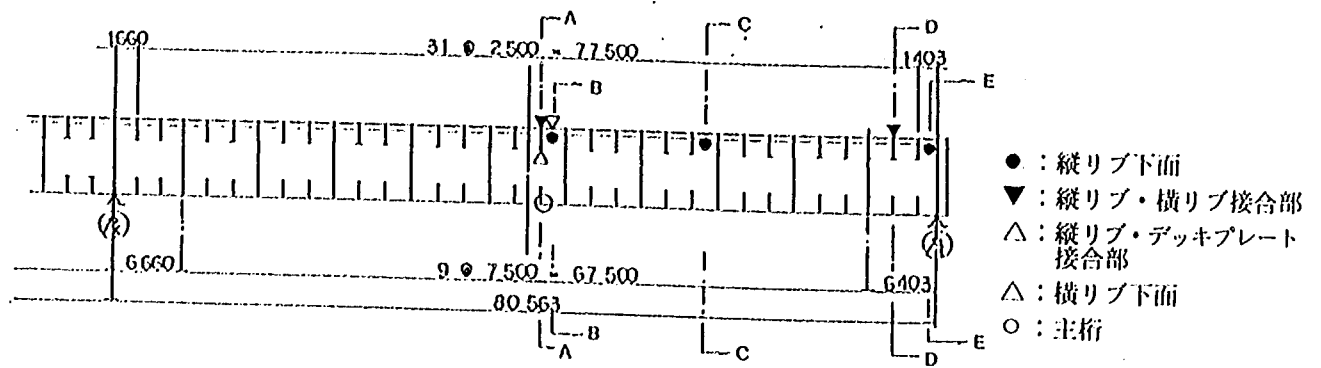
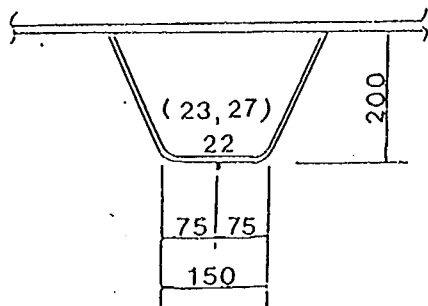
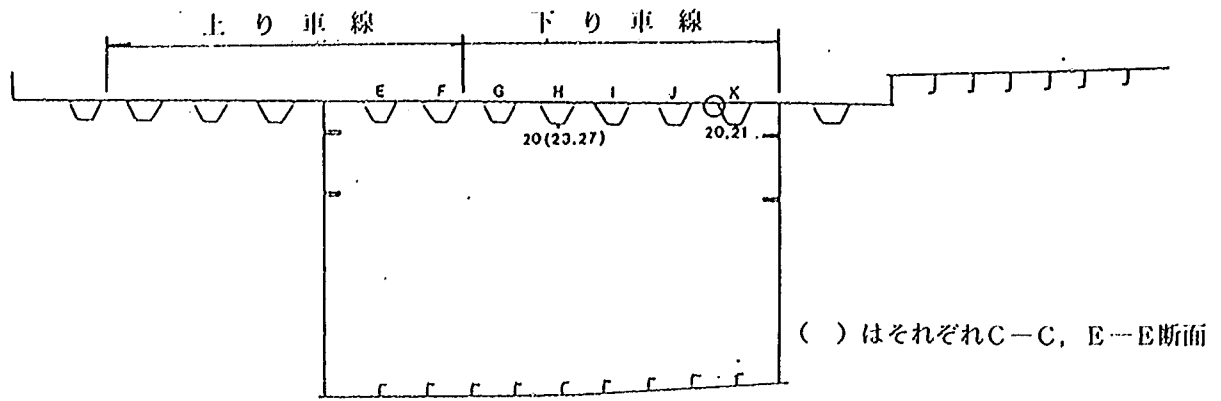
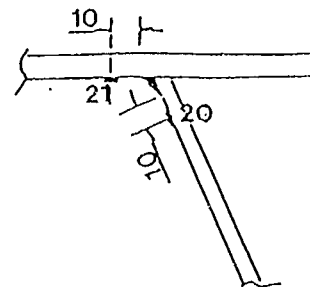


図-2.1 (a) ひずみゲージ貼付け位置 (A-A断面)

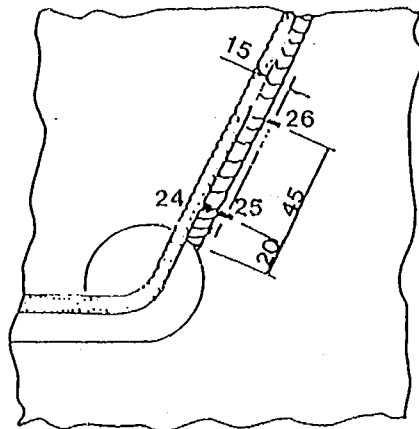
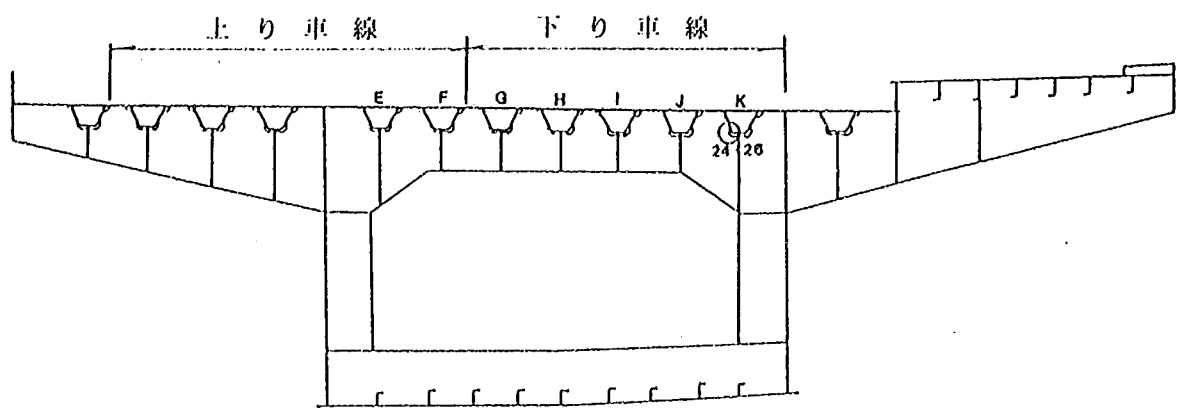


縦リブ：H



縦リブ：K

図-2.1 (b) ひずみゲージ貼付け位置 (B-B, C-C, D-D断面)



縦リブ：K

図-2.1 (c) ひずみゲージ貼付け位置 (D-D断面)

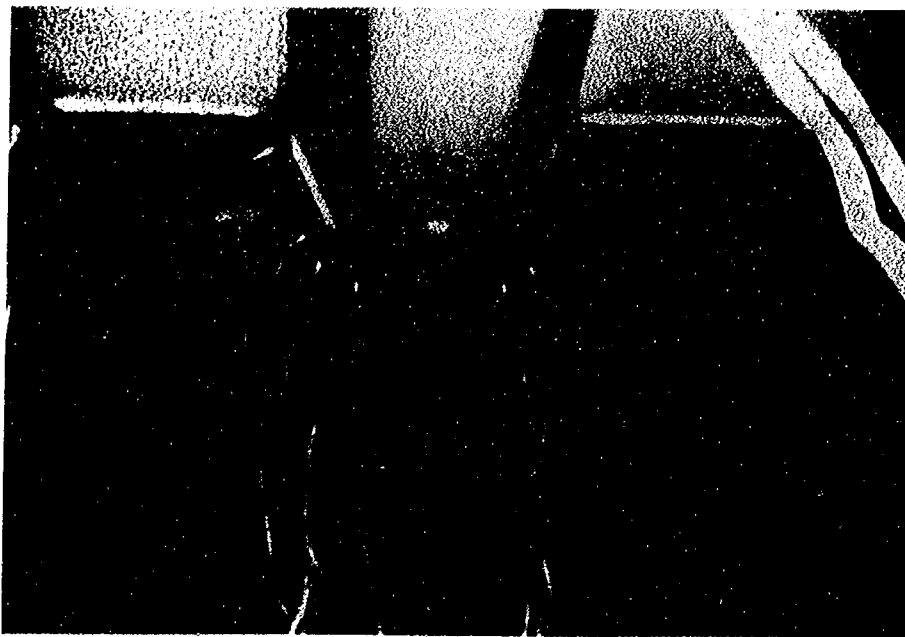


写真-1 スリット部ゲージ貼付け位置 (A-A断面, Kリブ)

2.2 大型車両による載荷試験

一般車両に対する24時間応力頻度測定に先立ち、荷重車(総重量21.4tのトラック)の走行および一般走行車両のうち重量の大きなものの走行を対象とした載荷試験を行った。

1) 荷重車走行

図-2.2に示す諸元の総重量21.4tの3軸トラック(写真-2)1台を時速50km/hで走行させてひずみ-時間曲線を記録した。測定は荷重車の通過位置のばらつきを考慮して交通量が比較的少ない時間帯に上下車線各10回ずつの走行に対して行った。

2) 一般大型車両走行

一般走行車両のうち比較的重量の大きな車両を対象にひずみ-時間曲線を記録した。走行速度はおよそ50~60km/hと推定される。写真-3に一般車両の走行状況を示す。

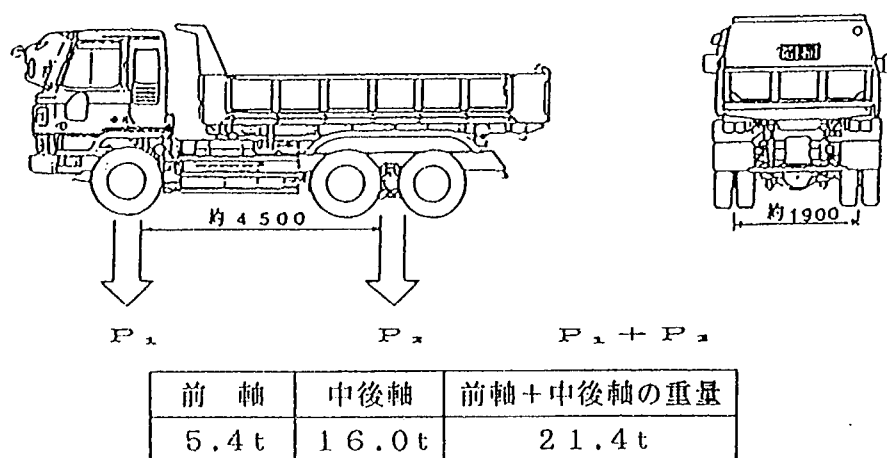


図-2.2 荷重車諸元

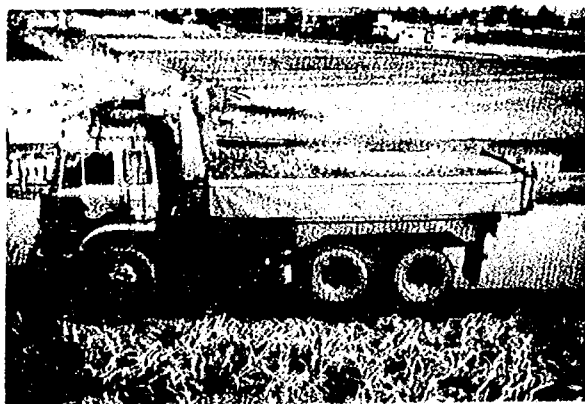


写真-2 荷 重 車

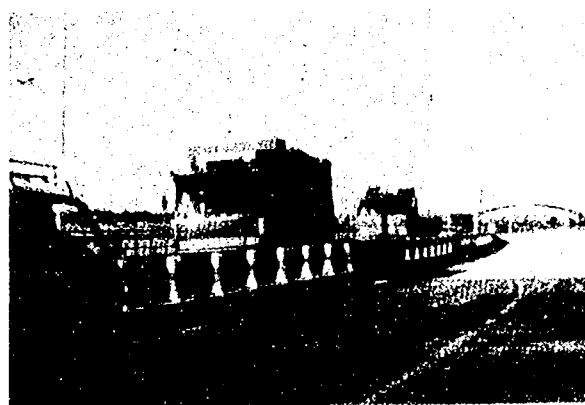


写真-3 一般車両走行

2.3 24時間応力頻度測定

応力頻度測定はヒストグラムレコーダ(自動応力頻度測定器)を使用して昭和62年2月4日13時から2月5日13時までと2月5日15時から2月6日15時までの2回24時間計測を行った。

ヒストグラムレコーダは、図-2.3に示すように、動的にひずみを計測しAD変換および頻度解析を行ってその結果を記憶するヒストグラムレコーダ本体と、キャリブレーション、解析方法の指定など初期条件の設定および計測データのアウトプットの際にのみ接続して使用するヒストグラムアナライザから成り、ブリッジボックスを介してひずみゲージなどのセンサーと接続して使用する。ひずみ波形そのものの解析には適さないが、長期にわたり膨大な応力頻度測定データを処理することができるのが特徴である。

応力頻度測定データの処理は次の2法によった。

1) Rain Flow Method (以下、RF法と言う)

疲労クラックの発生に対し支配的な応力範囲(Stress range, 応力の振れ幅)の頻度を最も良く表すと考えられている Range Pair Method に対して電子計算機の使用を容易にするために改良された方法であり、応力範囲の頻度分布を求めることができる。

2) Peak Valley Method (以下、PV法と言う)

ひずみ波形の極大値と極小値の発生頻度を求める方法であり、ここでは応力の符号および絶対値に関する情報を得るために使用した。

所有する計測装置が24点と限られているため、ケージ番号1~6および11~27をRF法で測定し、このうちケージ番号18, 19はPV法でも測定した。

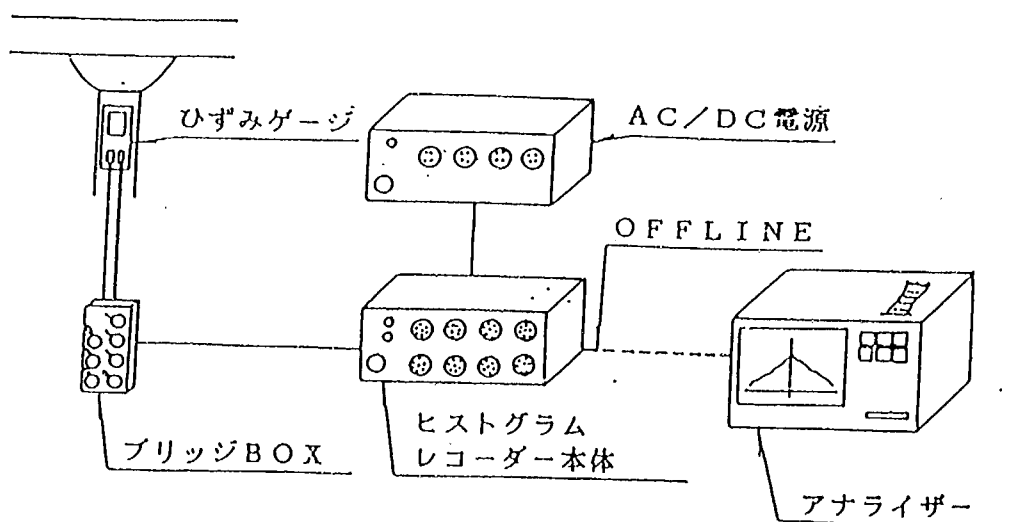


図-2.3 ヒストグラムレコーダおよび接続図

3. 大型車両による載荷試験結果

3.1 荷重車走行による載荷試験結果

表-3.1 および 3.2 に、荷重車の上り車線および下り車線各10回走行による構造各部の応力の最大値および最小値を示す。また、これらの結果、得られた構造各部の応力範囲を表-3.3 に示す。

図-3.1 および 3.2 に荷重車の上り車線走行9回目および下り車線走行5回目の構造各部のひずみ-時間曲線を示す。

(kg/cm^2)

-- 15 --

表-3.2 荷重車(総重量21.4t)下り車線走行時の応力度

(kg/cm²)

測定回数		1		2		3		4		5		6		7		8		9		10			
部材	種別	(+)	(-)	(+)	(-)	(+)	(-)	(+)	(-)	(+)	(-)	(+)	(-)	(+)	(-)	(+)	(-)	(+)	(-)	(+)	(-)		
スリット部	縦	1	0	231	0	273	0	147	0	199	0	231	0	252	0	168	10	62	0	94	0	231	
		2	308	286	352	341	308	207	352	407	396	253	0	253	0	253	0	253	0	253	0	253	
		リ	3	22	198	22	176	11	220	22	108	220	198	22	108	22	242	22	286	22	264	11	187
			4	0	785	0	716	0	843	0	831	0	831	0	785	0	877	0	808	0	831	0	727
	K		5	352	207	396	374	396	374	352	330	330	396	396	396	396	463	463	441	441	286	286	286
			6	21	105	10	63	21	105	10	105	115	105	105	105	105	136	105	115	105	126	105	105
		縦	7	33	77	55	132	22	154	33	88	121	66	99	44	66	22	154	154	187	187	44	77
			8	352	374	319	341	319	341	341	363	363	352	310	330	341	352	242	264	297	297	319	319
	リ		9	60	346	80	277	69	346	69	265	334	277	346	80	345	69	300	69	311	46	300	
			10	48	361	36	301	24	325	48	326	374	313	340	48	337	48	374	24	434	470	265	313
		縦	11	69	46	46	57	46	57	46	46	46	46	46	46	46	46	34	34	46	46	34	34
			12	99	88	110	110	110	110	99	99	99	88	88	110	110	132	132	121	121	66	66	
	リ		13	11	242	0	231	0	265	0	254	254	242	242	231	231	254	254	277	277	207	207	
			14	36	180	48	120	48	204	48	156	204	144	192	180	192	48	193	241	169	217	120	168
		E	15	127	138	161	150	138	150	138	138	138	138	138	138	138	161	161	184	184	115	115	
			16	0	75	0	75	0	88	0	75	75	75	75	75	75	75	75	75	75	75	63	63
	横		17	253	277	241	253	253	253	253	253	253	253	253	253	253	253	253	253	253	253	253	253
			18	144	169	156	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144
	主	19	110	143	121	110	110	110	110	110	110	110	110	110	110	110	110	110	110	110	110	110	
		20	46	46	57	46	46	46	46	46	46	46	46	46	46	46	46	46	46	46	46	46	
	縦	21	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23	
		22	168	168	136	168	168	168	168	168	168	168	168	168	168	168	168	168	168	168	168	168	
	リ	23	157	157	126	157	157	157	157	157	157	157	157	157	157	157	157	157	157	157	157	157	
		24	242	254	207	242	242	242	242	242	242	242	242	242	242	242	242	242	242	242	242	242	
下	25	34	23	46	34	34	34	34	34	34	34	34	34	34	34	34	34	34	34	34	34		
	26	0	46	0	46	0	69	0	34	34	34	34	34	34	34	34	34	34	34	34	34		
面	27	0	75	0	75	0	88	0	75	75	75	75	75	75	75	75	75	75	75	75	75		
	28	253	277	241	253	253	253	253	253	253	253	253	253	253	253	253	253	253	253	253	253		
傍	29	144	169	156	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144		
	30	110	143	121	110	110	110	110	110	110	110	110	110	110	110	110	110	110	110	110	110		
容	31	46	46	57	46	46	46	46	46	46	46	46	46	46	46	46	46	46	46	46	46		
	32	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23		
接	33	168	168	136	168	168	168	168	168	168	168	168	168	168	168	168	168	168	168	168	168		
	34	157	157	126	157	157	157	157	157	157	157	157	157	157	157	157	157	157	157	157	157		
近	35	242	254	207	242	242	242	242	242	242	242	242	242	242	242	242	242	242	242	242	242		
	36	34	23	46	34	34	34	34	34	34	34	34	34	34	34	34	34	34	34	34	34		
傍	37	0	46	0	46	0	69	0	34	34	34	34	34	34	34	34	34	34	34	34	34		
	38	94	84	63	94	94	94	94	94	94	94	94	94	94	94	94	94	94	94	94	94		
備	39	88	77	88	88	88	88	88	88	88	88	88	88	88	88	88	88	88	88	88	88		
	40	46	46	57	46	46	46	46	46	46	46	46	46	46	46	46	46	46	46	46	46		
考	41	0	46	0	46	0	69	0	34	34	34	34	34	34	34	34	34	34	34	34	34		
	42	0	46	0	46	0	69	0	34	34	34	34	34	34	34	34	34	34	34	34	34		
字	43	0	46	0	46	0	69	0	34	34	34	34	34	34	34	34	34	34	34	34	34		
	44	0	46	0	46	0	69	0	34	34	34	34	34	34	34	34	34	34	34	34	34		
備	45	0	46	0	46	0	69	0	34	34	34	34	34	34	34	34	34	34	34	34	34		
	46	0	46	0	46	0	69	0	34	34	34	34	34	34	34	34	34	34	34	34	34		
考	47	0	46	0	46	0	69	0	34	34	34	34	34	34	34	34	34	34	34	34	34		
	48	0	46	0	46	0	69	0	34	34	34	34	34	34	34	34	34	34	34	34	34		
字	49	0	46	0	46	0	69	0	34	34	34	34	34	34	34	34	34	34	34	34	34		
	50	0	46	0	46	0	69	0	34	34	34	34	34	34	34	34	34	34	34	34	34		
備	51	0	46	0	46	0	69	0	34	34	34	34	34	34	34	34	34	34	34	34	34		
	52	0	46	0	46	0	69	0	34	34	34	34	34	34	34	34	34	34	34	34	34		
考	53	0	46	0	46	0	69	0	34	34	34	34	34	34	34	34	34	34	34	34	34		
	54	0	46	0	46	0	69	0	34	34	34	34	34	34	34	34	34	34	34	34	34		
字	55	0	46	0	46	0	69	0	34	34	34	34	34	34	34	34	34	34	34	34	34		
	56	0	46	0	46	0	69	0	34	34	34	34	34	34	34	34	34	34	34	34	34		
備	57	0	46	0	46	0	69	0	34	34	34	34	34	34	34	34	34	34	34	34	34		
	58	0	46	0	46	0	69	0	34	34	34	34	34	34	34	34	34	34	34	34	34		
考	59	0	46	0	46	0	69	0	34	34	34	34	34	34	34	34	34	34	34	34	34		
	60	0	46	0	46	0	69	0	34	34	34	34	34	34	34	34	34	34	34	34	34		
字	61	0	46	0	46	0	69	0	34	34	34	34	34	34	34	34	34	34	34	34	34		
	62	0	46	0	46	0	69	0	34	34	34	34	34	34	34	34	34	34	34	34	34		
備	63	0	46	0	46	0	69	0	34	34	34	34	34	34	34	34	34	34	34	34	34		
	64	0	46	0	46	0	69	0	34	34	34	34	34	34	34	34	34	34	34	34	34		
考	65	0	46	0	46	0	69	0	34	34	34	34	34	34	34	34	34	34	34	34	34		
	66	0	46	0	46	0	69	0	34	34	34	34	34	34	34	34	34	34	34	34	34		
字	67	0	46	0	46	0	69	0	34	34	34	34	34	34	34	34	34	34	34	34	34		
	68	0	46	0	46	0	69	0	34	34	34	34	34	34	34	34	34	34	34	34	34		
備	69	0	46	0	46	0	69	0	34	34	34	34	34	34	34	34	34	34	34	34	34		
	70	0	46	0	46	0	69	0	34	34	34	34	34	34	34	34	34	34	34	34	34		
考	71	0	46	0	46	0	69	0	34	34	34	34	34	34	34	34	34	34	34	34	34		
	72	0	46	0	46	0	69	0	34	34	34	34	34	34	34	34	34	34	34	34	34		
字	73	0	46	0	46	0	69	0	34	34	34	34	34	34	34	34	34	34	34	34	34		
	74	0	46	0	46	0	69	0	34	34	34	34	34	34	34	34	34	34	34	34	34		
備	75	0	46	0	46	0	69	0	34	34	34	34	34	34	34	34	34	34	34	34	34		
	76	0	46	0	46	0	69	0	34	34	34	34	34	34	34	34	34	34	34	34	34		
考	77	0	46	0	46	0	69	0	34	34	34	34	34	34</									

表- 3.3 荷重車走行時の応力範囲

(kg/cm²)

	測 定 位 置	ゲージ 番号	上り車線走行		下り車線走行	
			引 張	圧 縮	引 張	圧 縮
横 リ ブ ス リ ット R 部	縦 リ ブ K	1	0	42	10	273
		2	11	66	407	0
		3	66	0	22	264
		4	46	23	0	877
		5	22	66	463	0
		6	42	0	21	126
	縦 リ ブ K	7	0	44	55	187
		8	66	0	374	22
		9	23	57	80	288
		10	0	84	48	483
	縦 リ ブ E	11	46	115	69	0
		12	154	88	132	0
		13	11	958	11	277
		14	0	531	48	193
		15	438	0	184	0
		16	63	743	0	88
横 リ ブ	中央支間	17	0	72	277	0
下フランジ		18	156	0	193	0
		19	176	0	154	0
縦 リ ブ デッキプレート	縦リブ K	20	11	0	57	34
		21	11	23	23	173
縦 リ ブ 下 面	縦リブK 中央支間	22	0	63	210	84
		23	10	42	189	73
溶接近傍	縦リブ K	24	0	0	0	105
		25	11	0	110	0
		26	0	0	69	0
縦 リ ブ 下 面	縦リブK 中央支間	27	23	0	254	46

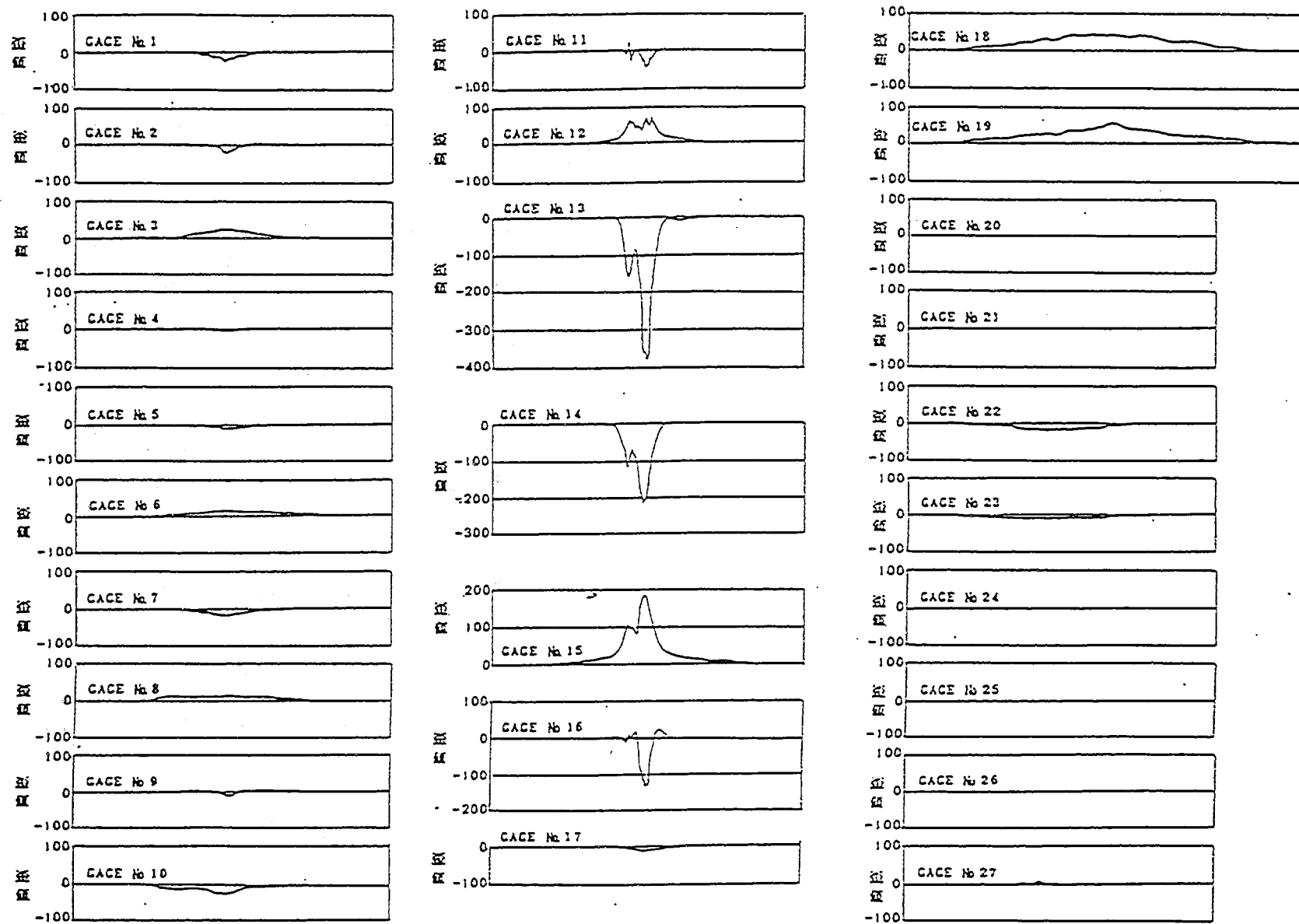


図-3.1 荷重車 (21.4 t) 上り車線走行によるひずみ—時間曲線の例 (9 回目)

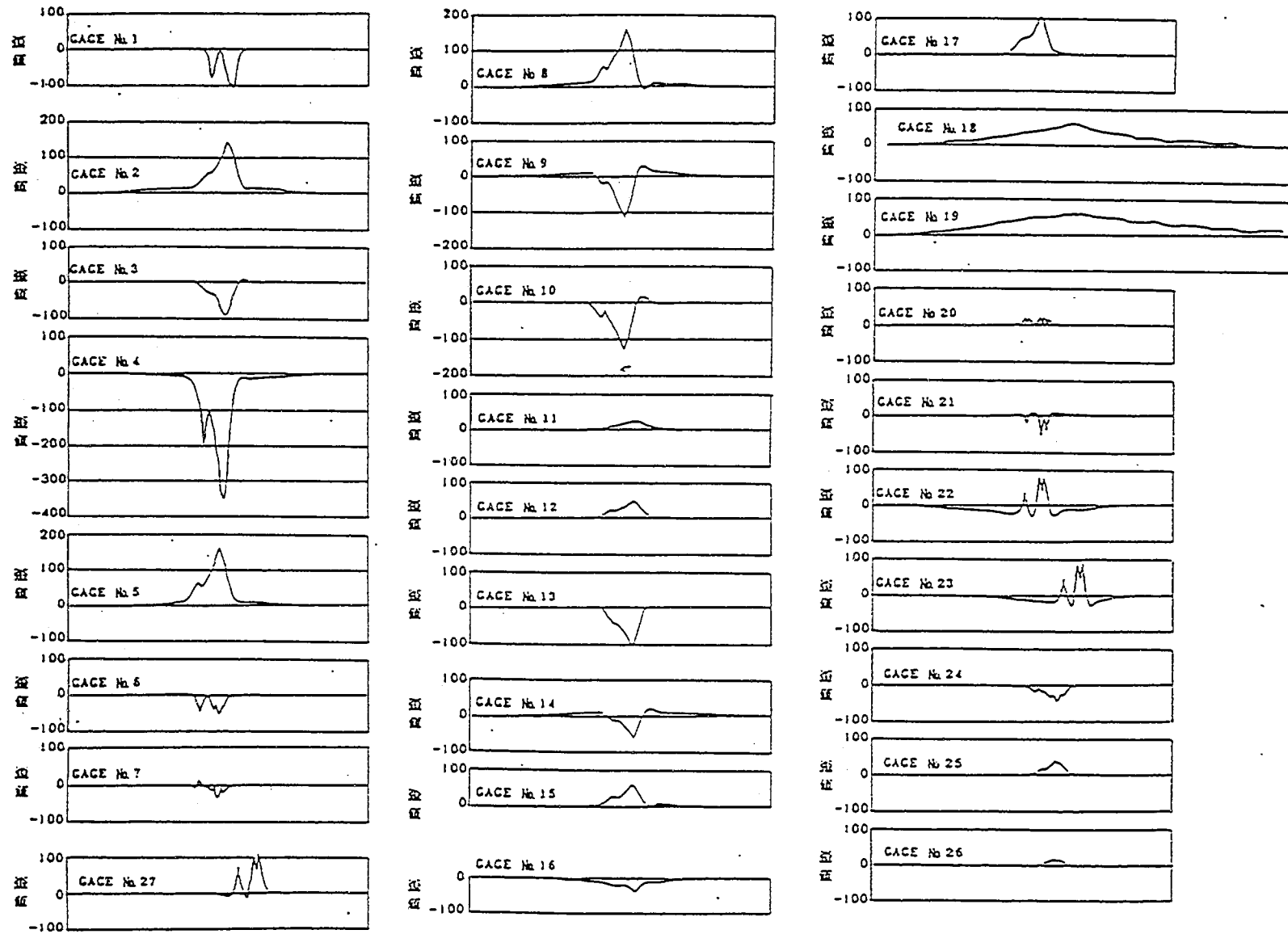


図-3.2. 荷重車(21.4 t)下り車線走行によるひずみ一時間曲線の例(5回目)

3.2 一般大型車両走行による載荷試験結果

荷重車走行による載荷試験の合間で一般の大型車両走行時の応力度についても上り車線および下り車線それぞれ10回測定を行った。表-3.4および3.5に一般の大型車両の上り車線および下り車線各10回走行による構造各部の応力の最大値および最小値を示す。また、これらの結果、得られた構造各部の応力範囲を表-3.6に示す。

図-3.3 および3.4 に一般の大型車両上り車線走行6回目および下り車線走行9回目の構造各部のひずみ-時間曲線を示す。

これらから、車両総重量21.4tの荷重車よりも大きな応力を発生させる車両がかなり多いことがわかる。一般車両通過時に最も大きな応力が発生した箇所は、上り車線通過時の縦リブEのゲージ13で最大約 $1700\text{kg}/\text{cm}^2$ の圧縮応力となっている。また、このときの主桁下フランジの応力度も約 $290\text{kg}/\text{cm}^2$ と荷重車のときの約2倍となっており、このときの通過車両が荷重車と同じダンプトラックであったことから推して、この車両の総重量は40t前後であったものと推定される。

(kg/cm^2)

-21-

表-3.5 一般大型車両下り車線走行時の応力度

(kg/cm²)

測定回数 部材ゲージ			1		2		3		4		5		6		7		8		9		10	
ス リ ッ ト R 部	縦 リ ブ K	1	(+) 0 (-) 210	210	0 262	262	0 210	210	0 157	157	0 273	273	0 136	136	10 157	167	10 178	188	10 168	178	10 94	104
		2	(+) 463 (-) 0	463	319 0	310	207 0	207	418 0	418	474 0	474	407 0	407	683 0	683	386 0	386	441 0	441	496 0	496
		3	(+) 33 (-) 286	310	11 187	108	22 108	220	22 253	275	22 330	352	22 275	207	44 410	463	22 286	308	22 341	363	33 341	374
		4	(+) 0 (-) 1108	1108	0 785	785	0 706	706	0 900	900	0 1178	1178	0 912	912	0 1108	1108	0 958	958	0 1085	1085	0 993	993
		5	(+) 520 (-) 0	520	319 0	310	330 0	330	441 0	441	507 0	507	441 0	441	738 0	738	441 0	441	520 0	520	518 0	518
		6	(+) 31 (-) 126	157	10 105	115	10 105	105	10 115	125	21 178	100	10 115	125	21 115	136	10 147	157	10 147	157	10 168	178
	縦 リ ブ J	7	(+) 22 (-) 176	198	44 22	66	33 77	110	22 198	220	22 132	154	11 165	176	33 132	165	11 108	209	11 154	165	22 154	176
		8	(+) 374 (-) 11	385	330 22	352	319 22	341	286 22	308	308 22	330	308 11	310	374 0	374	319 22	341	308 22	330	286 22	308
		9	(+) 115 (-) 346	461	60 265	334	46 265	311	80 242	322	80 311	301	69 254	323	138 381	519	80 242	322	80 277	357	57 300	357
		10	(+) 48 (-) 470	518	36 289	325	48 301	349	48 374	422	48 434	482	36 410	446	48 845	803	48 362	410	48 434	482	518 518	567
		11	(+) 69 (-) 0	60	46 0	46	46 0	46	57 0	57	57 0	57	57 0	57	92 0	92	46 0	46	57 0	57	46 0	46
		12	(+) 154 (-) 0	154	88 22	110	88 0	88	110 0	110	121 0	121	121 0	121	187 0	187	110 0	110	132 0	132	132 0	132
	縦 リ ブ E	13	(+) 0 (-) 358	358	0 242	242	0 210	210	0 254	254	0 300	300	0 288	288	0 415	415	0 254	254	0 311	311	0 300	300
		14	(+) 72 (-) 241	313	48 144	102	36 144	180	60 144	204	48 205	253	48 193	241	96 265	361	60 169	229	60 205	265	36 229	265
		15	(+) 219 (-) 0	219	138 0	138	127 0	127	138 0	138	173 0	173	173 0	173	277 0	277	150 0	150	161 0	161	161 0	161
		16	(+) 0 (-) 100	100	0 75	75	0 88	88	0 88	88	0 100	100	0 75	75	0 126	126	0 75	75	0 75	75	0 75	75
	横 リ ブ	17	(+) 326 (-) 0	326	241 0	241	217 0	217	241 0	241	289 0	289	241 0	241	289 0	289	241 0	241	265 0	265	241 0	241
		18	(+) 217 (-) 0	217	144 0	144	144 0	144	169 0	169	169 0	169	193 0	193	277 0	277	144 0	144	156 0	156	156 0	156
	主 桁	19	(+) 176 (-) 0	176	99 0	99	121 0	121	132 0	132	121 0	121	143 0	143	220 0	220	110 0	110	110 0	110	110 0	110
		20	(+) 92 (-) 23	115	46 0	46	46 11	57	57 23	80	69 46	115	69 46	115	46 23	69	57 46	103	60 46	115	46 23	69
	縦 リ ブ キ ー ト	21	(+) 34 (-) 115	149	23 92	115	23 150	173	23 161	184	34 138	172	23 161	184	57 254	311	23 150	173	23 150	173	23 173	196
		22	(+) 210 (-) 147	357	199 84	283	220 84	304	210 73	283	231 84	315	180 105	204	168 178	346	210 84	294	199 94	293	231 63	294
	縦 リ ブ 下 面	23	(+) 273 (-) 105	378	273 73	346	220 73	293	231 73	304	273 73	346	252 73	325	210 136	346	241 73	314	262 63	325	231 63	294
		27	(+) 346 (-) 57	403	311 46	357	265 34	299	334 46	380	300 57	357	334 46	380	369 57	426	265 46	311	288 46	334	311 46	357
消 換 近 傍	24	(+) 0 (-) 73	73	0 63	63	0 84	84	0 63	63	0 63	63	0 73	73	0 168	168	0 63	63	0 73	73	0 84	84	
	25	(+) 88 (-) 0	88	66 0	66	66 0	66	88 0	88	88 0	88	88 0	88	198 0	198	110 0	110	110 0	110	154 0	154	
	26	(+) 69 (-) 0	69	23 0	23	34 0	34	57 0	57	69 0	69	57 0	57	103 0	103	69 0	69	69 0	69	69 0	69	
	備 考		トレ-ラー車		トラック		トラック		キトリ7カー		トラック		トラック		トラック (鋼板積載)		トラック		トラック		トラック	

表一 3. 6 一般大型車両走行時の応力範囲

(kg/cm²)

	測 定 位 置	ゲージ 番号	上り車線走行		下り車線走行	
			引 張	圧 縮	引 張	圧 縮
横 リ ブ ス リ ット R 部	縦 リ ブ K	1	220	94	10	273
		2	154	132	683	0
		3	132	0	44	419
		4	46	381	0	1178
		5	110	99	738	0
		6	63	21	31	178
	縦 リ ブ K	7	22	99	44	198
		8	154	0	374	22
		9	57	34	138	381
		10	0	120	48	845
	縦 リ ブ E	11	23	219	92	0
		12	231	88	187	0
		13	11	1686	0	415
		14	36	978	96	265
		15	808	0	277	0
		16	126	1234	0	126
横 リ ブ	中央支間	17	84	120	326	0
下フランジ		18	289	0	277	0
		19	319	0	220	0
縦 リ ブ デッキプレート	縦リブ K	20	34	0	92	46
		21	23	0	57	173
縦 リ ブ 下 面	縦リブK 中央支間	22	0	105	231	178
		23	0	73	273	136
溶接近傍	縦リブ K	24	0	0	0	168
		25	0	0	198	0
		26	0	0	69	0
縦 リ ブ 下 面	縦リブK 中央支間	27	11	23	369	57

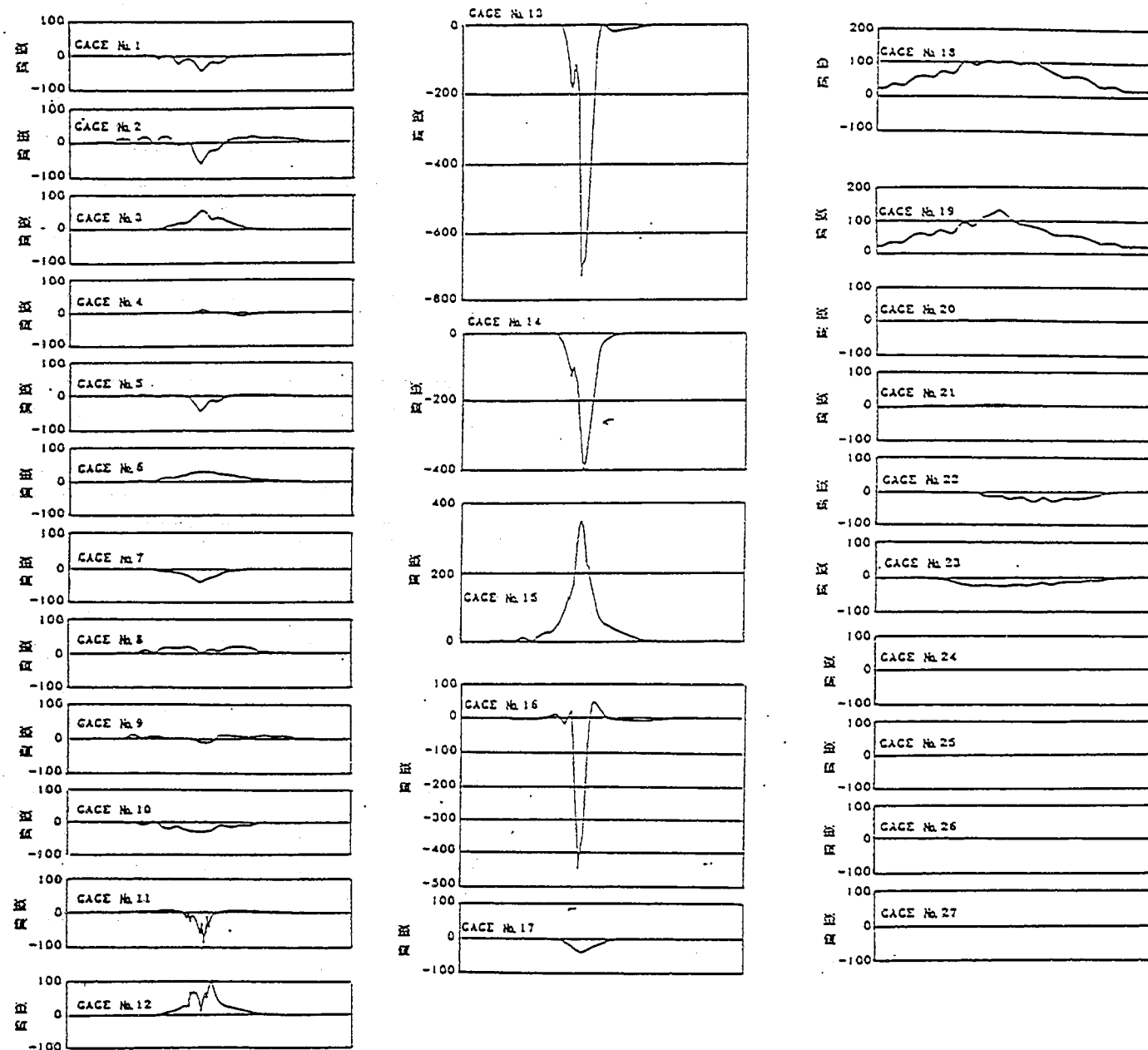


図-3.3 (a) 一般大型車両（ダンプ）上り車線走行によるひずみ-時間曲線の例（6回目）

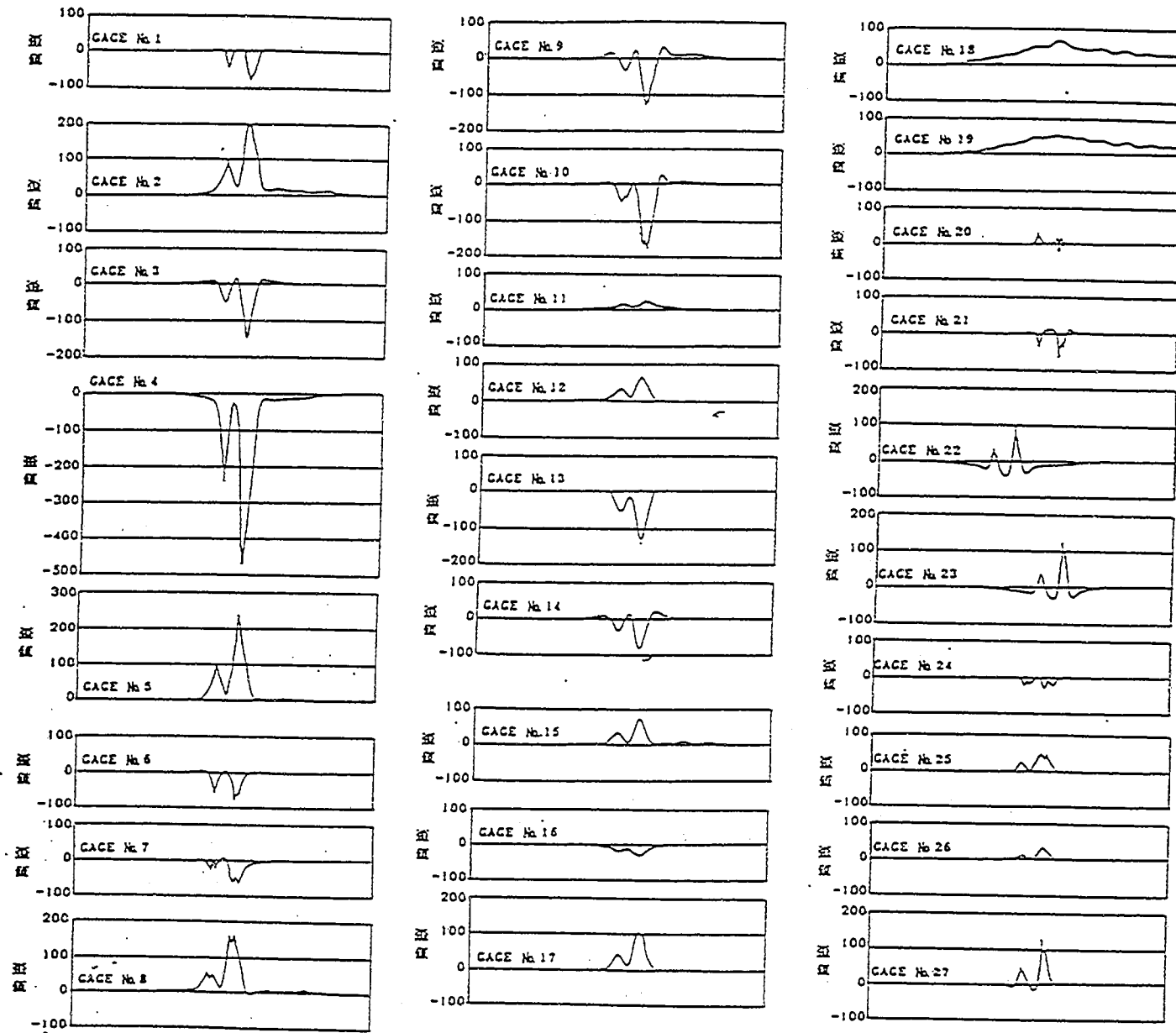


図-3.3 (b) 一般大型車両（トラック）下り車線走行によるひずみ-時間曲線の例（9回目）

4. 応力頻度測定結果

図-4.1(1)~4.1(4) および図-4.2(1)~4.2(4) は、それぞれ昭和62年2月4日13時から2月5日13時までの24時間(第1回目) および2月5日15時から2月6日15時までの24時間(第2回目)の応力頻度測定結果をヒストグラムにして示したものである。これらは、RF法により処理した応力範囲のヒストグラムである。縦リブKおよびEの応力頻度測定結果を見ると縦リブKのゲージ4, および縦リブEのゲージ13では $1000\text{kg}/\text{cm}^2$ 以上の応力範囲の繰返しがかなりの頻度で生じており、時には、 $2000\text{kg}/\text{cm}^2$ に達する応力範囲の繰返しが見られる。

図-4.3は、主桁下フランジのゲージ18, 19の応力頻度測定結果をRF法およびPV法により処理した応力範囲のヒストグラムである。荷重車走行時に発生する応力度は、最大 $200\text{kg}/\text{cm}^2$ 程度であるのに対して、ゲージ19においては、最大発生応力度が $500\text{kg}/\text{cm}^2$ を超えており、かなりの過積載車両が通行しているものと推定される。

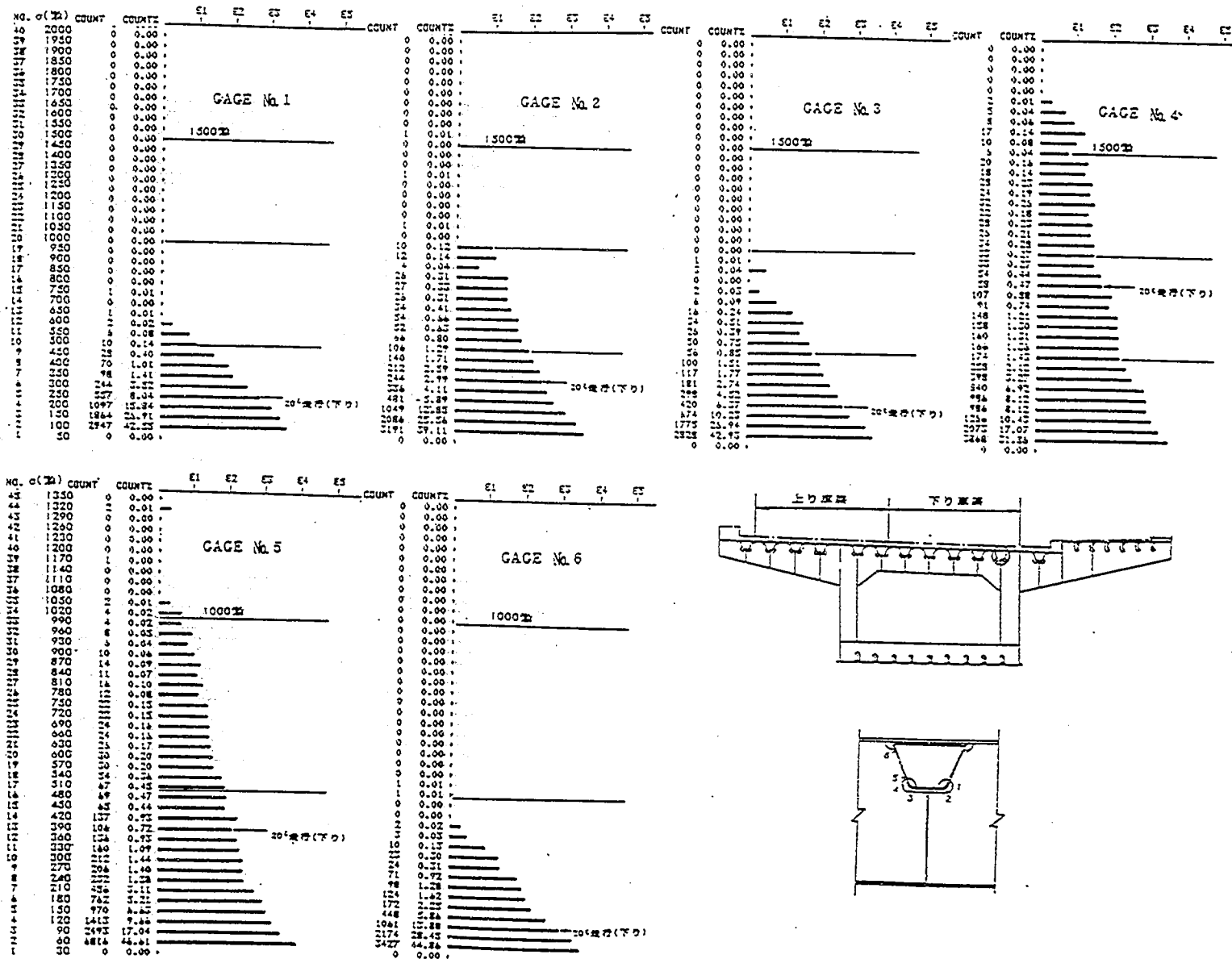


図-4.1 (1) 応力頻度測定結果 (ゲージ1~6: Rain Flow 法)
(第1回目: 昭和62年2月4日13時~2月5日13時)

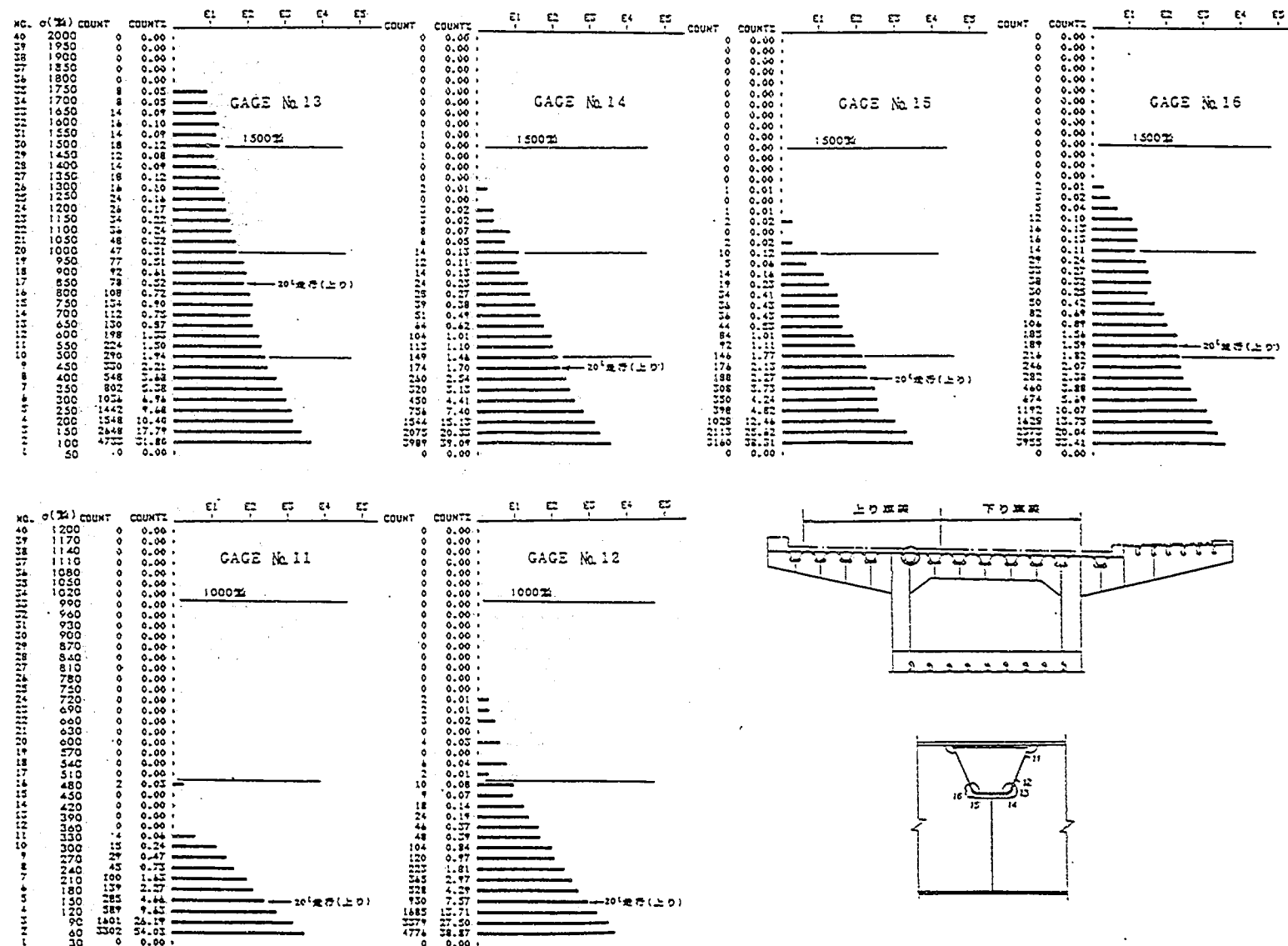


図-4.1 (2) 応力頻度測定結果 (ゲージ11~16: Rain Flow 法)
(第1回目: 昭和62年2月4日13時~2月5日13時)

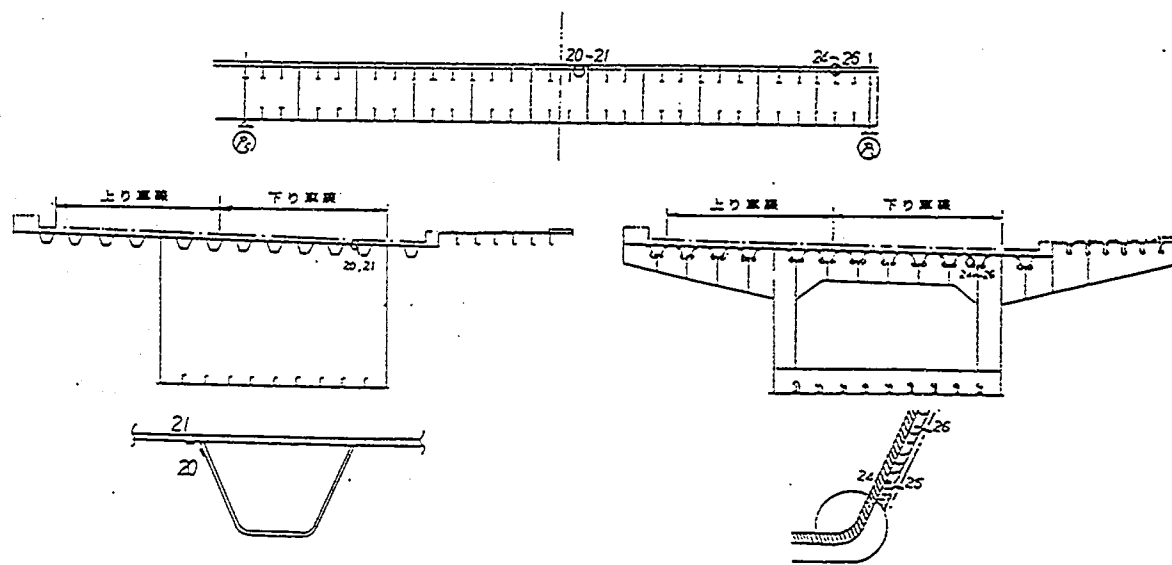
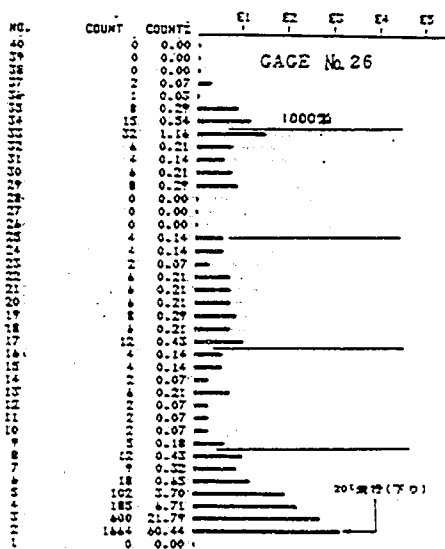
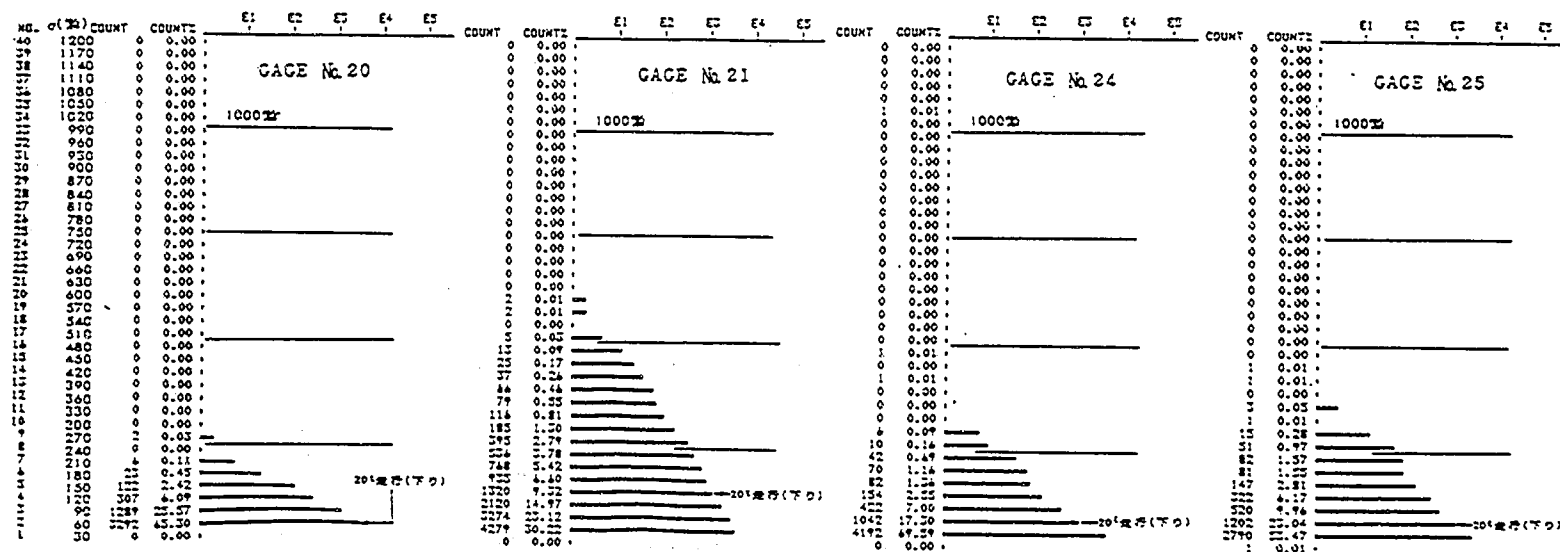


図-4.1 (3) 応力頻度測定結果 (ゲージ20~26: Rain Flow 法)
(第1回目: 昭和62年2月4日13時~2月5日13時)

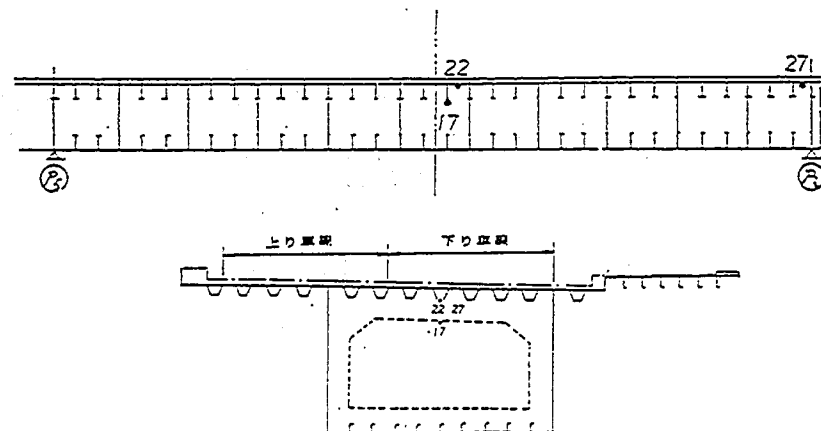
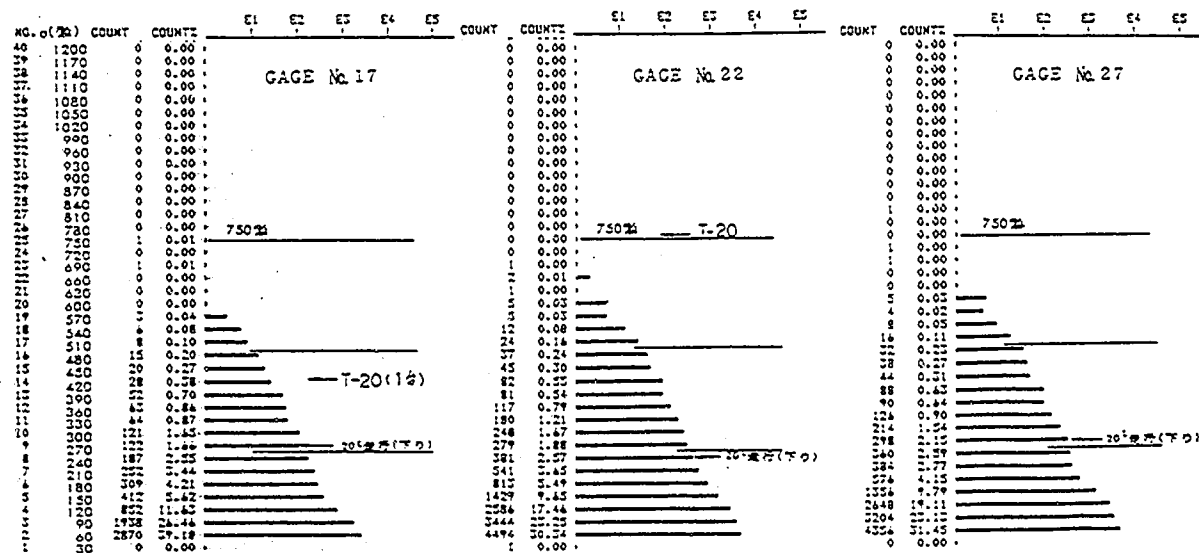


図-4.1 (4) 応力頻度測定結果(ゲージ17, 22, 27: Rain Flow 法)
(第1回目: 昭和62年2月4日13時~2月5日13時)

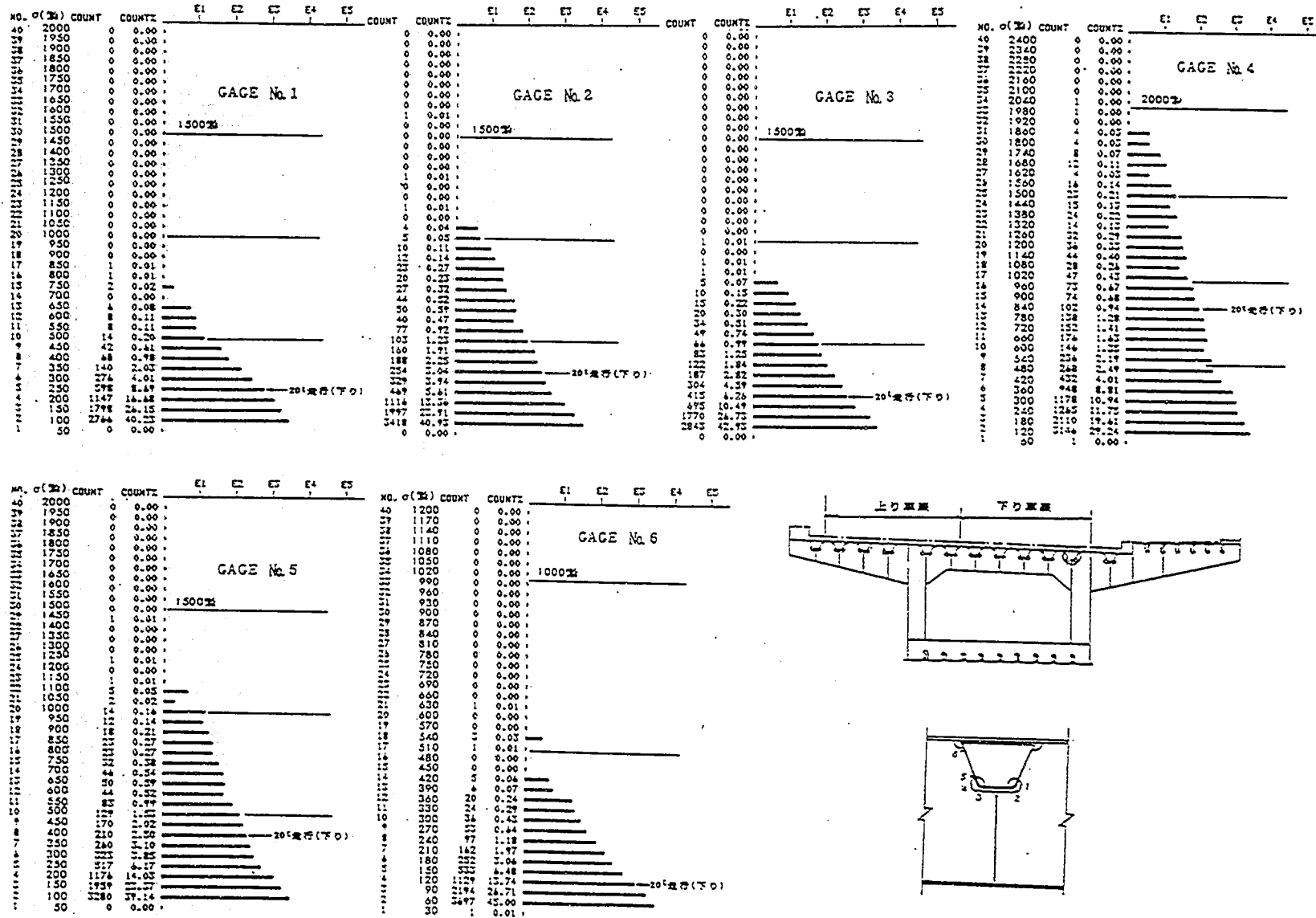


図-4.2 (1) 応力頻度測定結果 (ゲージ1~6: Rain Flow 法)
(第2回目: 昭和62年2月5日15時~2月6日15時)

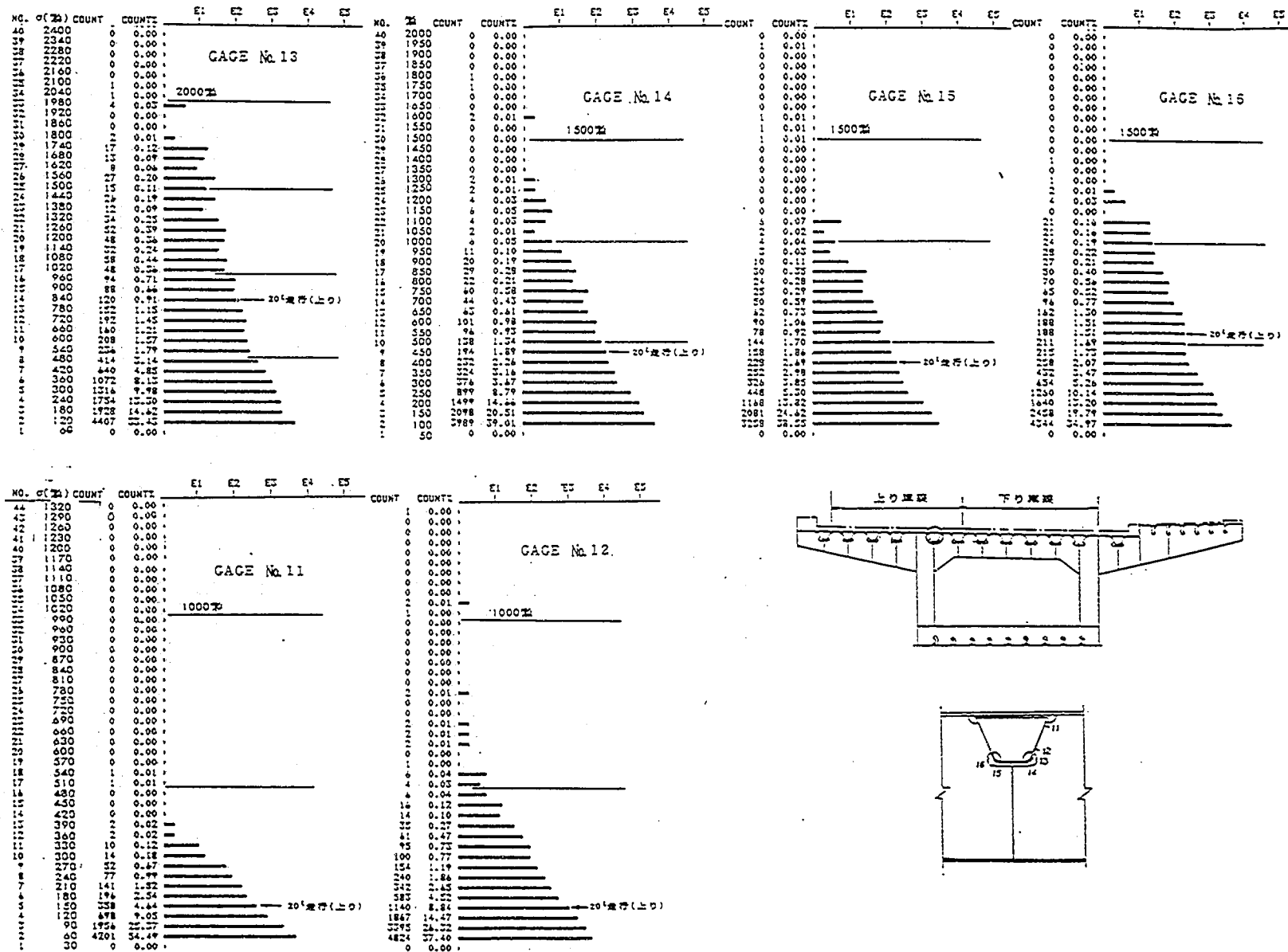


図-4.2 (2) 応力頻度測定結果 (ゲージ11~16: Rain Flow 法)
(第2回目: 昭和62年2月5日15時~2月6日15時)

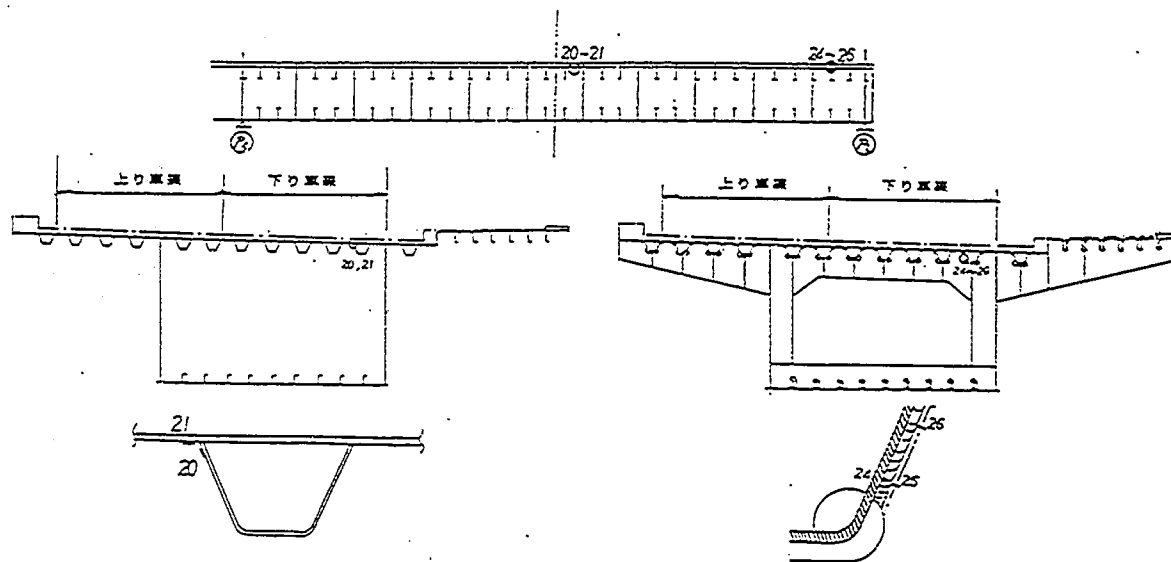
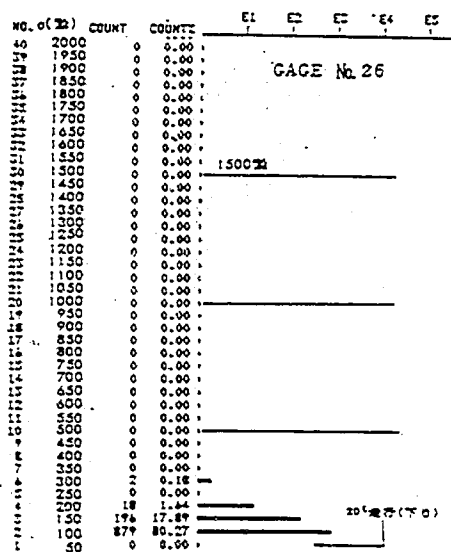
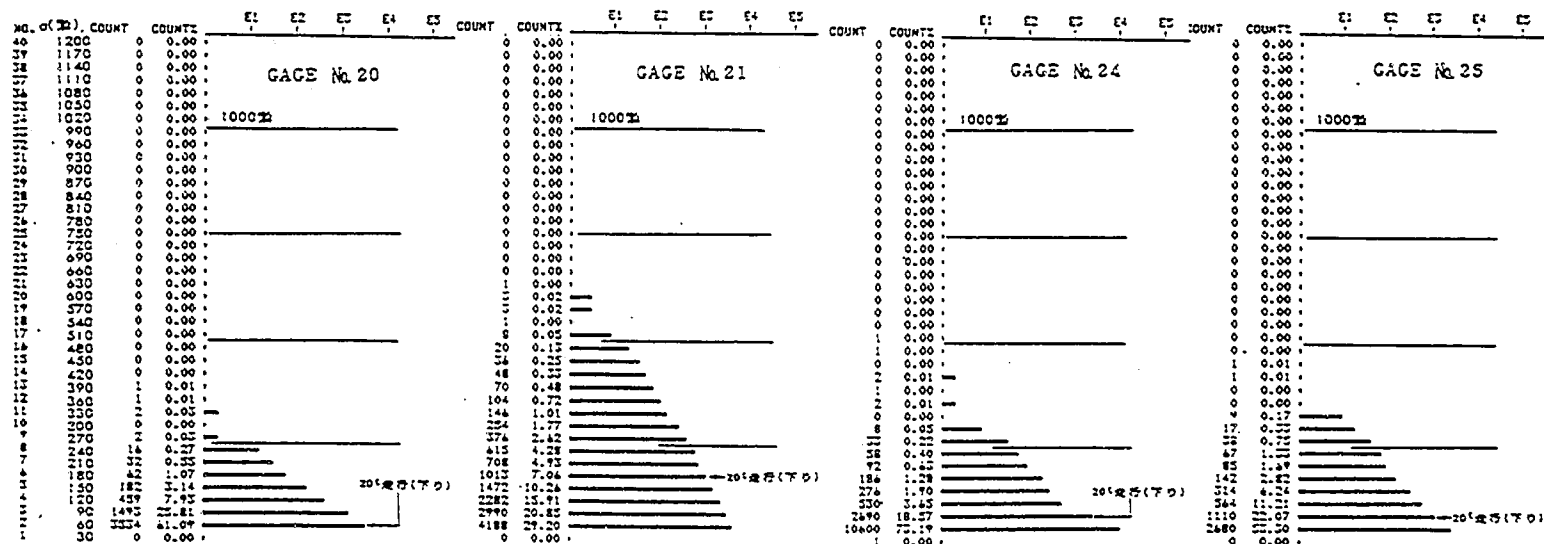


図-4.2 (3) 応力頻度測定結果 (ゲージ20~26: Rain Flow 法)
(第2回目: 昭和62年2月5日15時~2月6日15時)

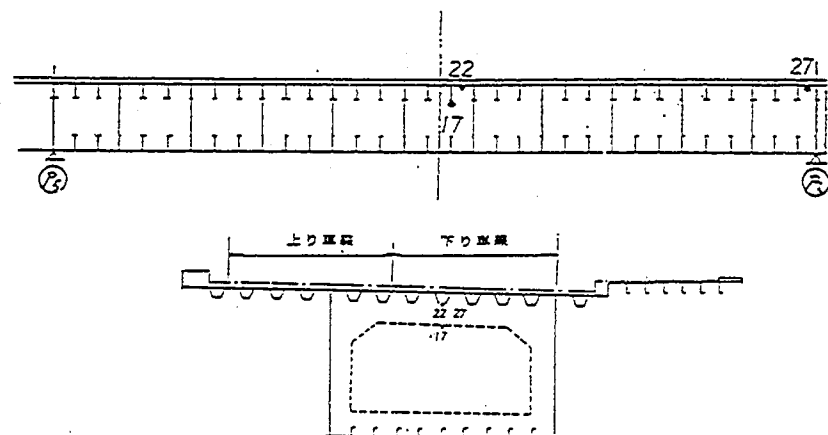
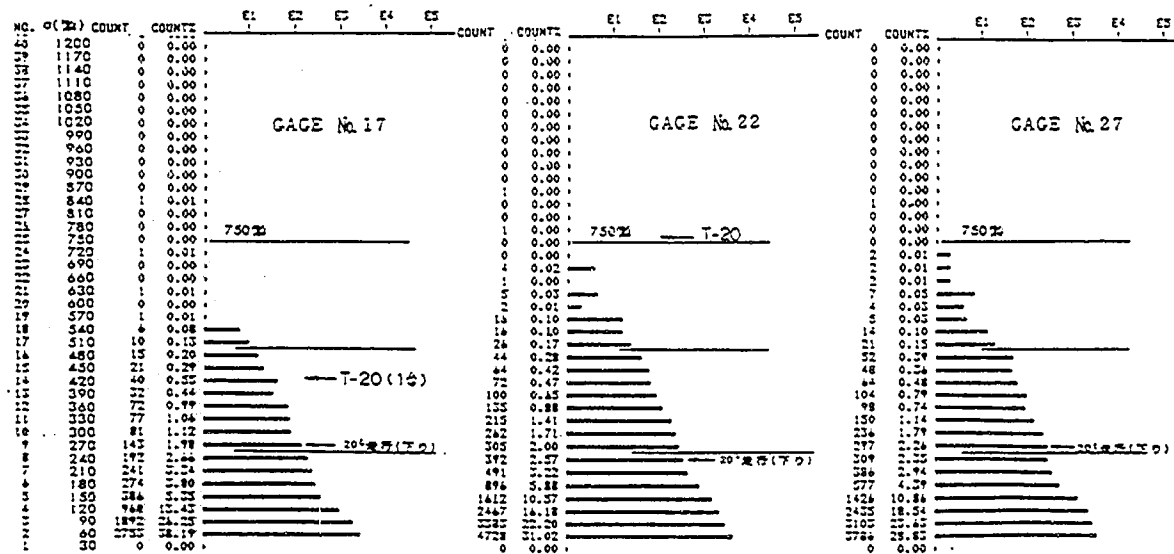
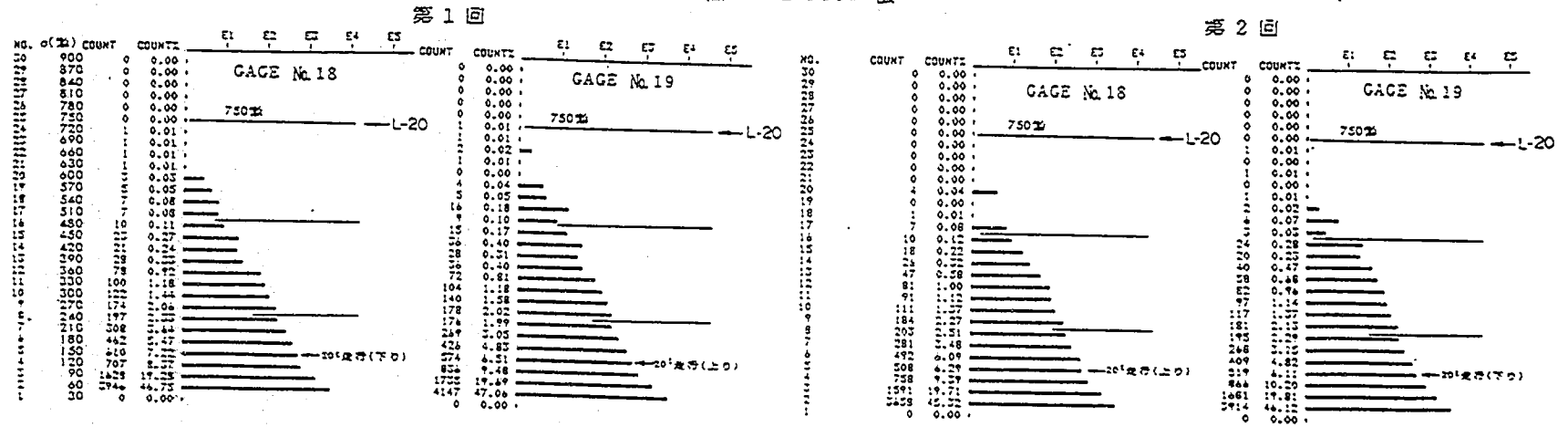


図-4.2 (4) 応力頻度測定結果 (ゲージ17, 22, 27: Rain Flow 法)
(第2回目: 昭和62年2月5日15時~2月6日15時)

(1) Rain Flow 表



5. 疲労寿命の推定

応力頻度測定結果を用いて、マイナーの累積疲労被害則により、今回応力頻度測定を行った構造各部の疲労寿命の推定を行った。

マイナーの累積疲労被害則に基づく構造各部の疲労寿命は次のように表わされる。

$$EL' = EL \cdot \left(\frac{\sigma_{fo}}{1000} \right)^4$$

ここに EL' : 修正疲労寿命(年)

EL : 換算疲労寿命(年)

$$EL = \frac{1/ED}{365}$$

σ_{fo} : 構造各部の基本疲労許容応力範囲(kg/cm^2)

ED : 換算疲労被害(1/日)

$$ED = \frac{1}{2 \times 10^6} \sum \left(\frac{\Delta \sigma_i}{1000} \right)^4 \times N_i$$

$\Delta \sigma_i$: 応力頻度測定(Rain Flow法)により求めた応力範囲(kg/cm^2)

N_i : 応力範囲 $\Delta \sigma_i$ の頻度(回)(測定では $\sigma_{\max}$ と $\sigma_{\min}$ をそれぞれ1回として計測しているため頻度数の1/2とする)

なお、換算疲労被害 ED (1/日) は200万回の繰返しに対する疲労強度が $1000 \text{ kg}/\text{cm}^2$ であるような構造部分の1日当りの疲労被害の累積の程度を表わす指標で、マイナー則によれば、この累積値が1になれば疲労によるクラックが発生進展することになる。したがって、 ED の逆数は、測定を行った日の交通条件が継続したと仮定した場合、損傷が生じるまでの日数を表わすことになり、これをさらに365日で割れば、損傷が生じるまでの年数を表わすことになる。ここでは、この値を換算疲労寿命(EL)と定義している。

構造各部の基本疲労許容応力範囲 σ_{fo} (kg/cm^2) は「国鉄建造物設計標準解説鋼鉄道橋編」(昭和58年5月、土木学会)に示されている基本疲労許容応力範囲(同文献P.72, 表4.2.4)および疲労設計に関する継手分類(溶接継手)(同文献P.74~75, 表4.2.8)を用いて、表-5.1および表-5.2のように設定した。

今回測定を行った構造各部の応力頻度測定結果を用いて疲労寿命の推定を行った結果を表-5.3(1)および(2)に示す。なお、表中の最大応力範囲は応力頻度測定結果(図-4.1(1)~4.2(4))から読み取った最大値を示している。なお、デッキプレートと縦リブの溶接部(ゲージ20)および縦リブと横リブの溶接部(ゲージ5, 6, 11, 12, 25, 26)の推定方法は図-5.1に示すとおりである。

今回、2回の24時間応力頻度測定結果および国鉄建造物設計標準に示されている基本疲労許容応力範囲を用いて、マイナー則により行った鋼床版各部の疲労寿命の推定では、主桁ウェブの近傍の縦リブKおよびEと横リブの交差部における横リブのスリット部において、約40~50

が得られた。しかし、使用した基本疲労許容応力範囲が安全を見込んで設定されているため、実際に、この程度の期間で疲労による損傷が生じる可能性は少ないと考えられるが、設計施工上注意すべき構造であると言える。

また、縦リブと横リブの溶接部(廻し溶接部)の修正疲労寿命を、道示 6.2.2 のリブ十字すみ肉溶接部の疲労強度 $900\text{kg}/\text{cm}^2$ を用いて推定したところ、縦リブ K の廻し溶接部は 44 ~ 50 年と短かく鋼床版各部の中では、最も疲労ダメージに対し厳しい箇所であると思われる。

表一 5.1 基本疲労許容応力範囲

継手区分	基本疲労許容応力範囲 σ_{fo} (kg/cm ²)
A	1530
C	1050
S ₂	820

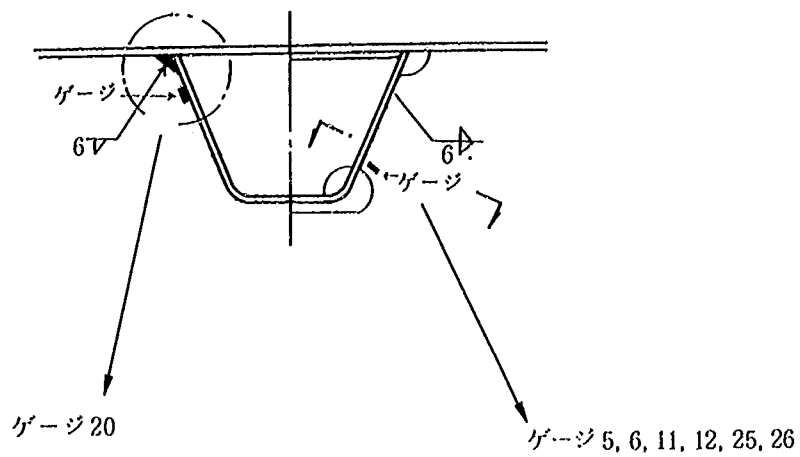
表一 5.2 疲労設計に対する継手区分

	ゲージ No	継手区分	備 考
横リブ スリット R 部	1 ~ 4 13 ~ 16	A	母 材
縦リブと横リブ および デッキプレート 接合部	5 ~ 6 11 ~ 12 20	S ₂ ¹⁾	廻し溶接部および縦リブとデッキプレート のすみ肉溶接部の疲労照査
	5 ~ 6 11 ~ 12 21	C	廻し溶接部および応力方向に直角なすみ肉 溶接 (縦リブとの) のある母材の疲労照 査
溶 接 近 傍	24	C	応力方向に直角なすみ肉溶接 (横リブとの) のある母材の疲労照査
	25, 26	S ₂ ¹⁾	縦リブと横リブのすみ肉溶接部の疲労照査
横 リ ブ	17	C	
縦 リ ブ 下 面	22, 27	C	縦リブ突き合わせ溶接部を想定 (仕上げなし)
下 フ ラ ン ジ	18, 19	C	ダイヤフラムを取付けた場合の母材の疲労 照査

- 1) すみ肉溶接部の疲労照査となるので応力度 ($\Delta\sigma_i$) は、溶接部の応力度 ($\Delta\sigma_{ia}$) を用いる。

$$\Delta\sigma_{ia} = \Delta\sigma_i \times \frac{t}{a}$$

[a : 溶接部ののど厚
t : 母材の板厚



$a = S \cdot \sin \theta$ $\Delta \sigma_{ia} = \Delta \sigma_i \times \frac{t}{a}$ $= 1.449 \Delta \sigma_i$ $EL' = EL \cdot \left(\frac{\sigma_{f0}}{1,000} \right)^4 \cdot \left(\frac{\Delta \sigma_i}{\Delta \sigma_{ia}} \right)^4$ $= EL \cdot \left(\frac{820}{1,000} \right)^4 \times \left(\frac{1}{1.449} \right)^4$ $= EL / 9.75$	$a = \frac{S}{\sqrt{2}}$ $\Delta \sigma_{ia} = \Delta \sigma_i \times \frac{t}{2a}$ $= 1.061 \cdot \Delta \sigma_i$ $EL' = EL \cdot \left(\frac{820}{1,000} \right)^4 \times \left(\frac{1}{1.061} \right)^4$ $= EL / 2.803$
---	--

図一 5.1 溶接部の修正疲労寿命 EL' の推定方法

表-5.3 (1) 疲労寿命の推定 (1回目の結果による)

	測定位置	ゲージ	継手区分	最大応力範囲 $\Delta \sigma_{max}$ (kg/cm ²)	換算疲労被害 E D (1/日)	換算疲労寿命 E L (年)	修正疲労寿命 E L' (年)
横 リ ブ ス リ ット R 部	縦 リ ブ K	1	A	750	2.35×10^{-6}	1170	6410
		2	A	1550	2.66×10^{-5}	103	564
		3	A	950	8.60×10^{-6}	319	1750
		4	A	1750	2.83×10^{-4}	9.7	53
		5	C	1320	2.90×10^{-5}	94	114
		"	S ₂	1320	2.90×10^{-5}	94	34
		6	C	540	4.99×10^{-7}	5490	6673
		"	S ₂	540	4.99×10^{-7}	5490	1959
	縦 リ ブ E	11	A	480	2.37×10^{-7}	11560	14051
		"	S ₂	480	2.37×10^{-7}	11560	4125
		12	C	720	2.17×10^{-6}	1260	1531
		"	S ₂	720	2.17×10^{-6}	1260	450
		13	C	1750	3.38×10^{-4}	8.1	44
		14	A	1550	4.33×10^{-5}	63	345
		15	A	1300	2.93×10^{-5}	93	510
		16	A	1300	7.05×10^{-5}	38.9	213
縦 リ ブ デッキプレート	縦リブ K	20	S ₂	270	4.16×10^{-8}	65860	6750
		21	C	600	3.42×10^{-6}	801	974
溶接近傍	縦リブ K	24	C	480	1.44×10^{-7}	19030	23100
		25	S ₂	450	2.71×10^{-7}	10110	3610
		26	S ₂	360	5.54×10^{-8}	49450	17600
横 リ ブ	中央支間	17	C	750	2.29×10^{-6}	1200	1460
縦 リ ブ 下 面	縦リブK	22	C	690	5.20×10^{-6}	527	640
	中央支間	27	C	810	4.29×10^{-6}	639	776
下フランジ		18	C	720	2.56×10^{-6}	1070	1300
		19	C	750	3.13×10^{-6}	875	1060

表一5.3 (2) 疲労寿命の推定(2回目の結果による)

	測 定 位 置	ゲージ	継手 区分	最大応力範囲 $\Delta \sigma_{\max}$ (kg/cm ²)	換算疲労被害 ED (1/日)	換算疲労寿命 EL (年)	修正疲労寿命 EL' (年)
横 リ ブ ス リ ツ ト R 部	縦 リ ブ K	1	A	850	3.37×10^{-6}	813	4460
		2	A	1600	2.69×10^{-5}	102	559
		3	A	1000	8.67×10^{-6}	316	1750
		4	A	2040	3.19×10^{-4}	8. ⁶	47
		5	C	1450	3.22×10^{-5}	85	103
		"	S ₂	1450	3.22×10^{-5}	85	30
		6	C	630	6.83×10^{-7}	4010	4874
		"	S ₂	630	6.83×10^{-7}	4010	1431
	縦 リ ブ E	11	C	540	3.61×10^{-7}	7590	9226
		"	S ₂	540	3.61×10^{-7}	7590	2708
		12	C	1320	4.01×10^{-6}	683	830
		"	S ₂	1320	4.01×10^{-6}	683	243
		13	A	2100	4.04×10^{-4}	6. ⁸	37
		14	A	1800	4.85×10^{-5}	56	310
		15	A	1950	3.54×10^{-5}	77	424
		16	A	1400	7.76×10^{-5}	35. ³	193
縦 リ ブ デッキプレート	縦リブ K	20	S ₂	390	9.33×10^{-8}	29360	3010
		21	C	630	4.16×10^{-6}	659	801
溶接近傍	縦リブ K	24	C	510	2.76×10^{-7}	9930	12100
		25	S ₂	450	2.61×10^{-7}	10500	3750
		26	S ₂	300	2.60×10^{-8}	105400	37600
横 リ ブ	中央支間	17	C	840	2.36×10^{-6}	1160	1410
縦 リ ブ 下 面	縦リブK	22	C	870	6.44×10^{-6}	425	517
	中央支間	27	C	840	5.56×10^{-6}	493	599
下フランジ		18	C	600	2.22×10^{-6}	1230	1500
		19	C	720	2.65×10^{-6}	1030	1250

6. 結 論

一般交通に供用中の鋼床版箱桁橋において鋼床版各部の応力頻度測定を実施し、その結果を用いて、鋼床版各部の疲労寿命の推定を行った。

その結果、総重量20tを超える車両が走行する状態においては、鋼床版の縦リブと横リブの交差部における切欠き部（スリット部）や溶接部に大きな応力範囲の繰返しが生じていることがわかった。

また、横リブのスリット部の疲労寿命は国鉄建造物設計標準に示される基本疲労許容応力範囲を用いて推定すると40～50年と短い値が得られた。ただし、ここで用いた疲労許容応力範囲は安全を見込んで設定されているため、実際にこの程度の期間で疲労による損傷が生じる可能性は少ないと考えられる。

参考文献

- 1) 伊藤 文人 : 実働荷重による疲労寿命設計, 鋼構造の研究, 1977年6月 技報堂
- 2) 国鉄建造物設計標準解説, 1983年5月, 土木学会
- 3) 国広 哲男, 藤原 稔, 武田 亘弘 : 鋼床版隅肉溶接部の疲労試験結果, 土木技術資料, Vol.16 No.2, 1974年2月
- 4) 国広 哲男, 藤原 稔 : 直方異方性板理論による鋼床版実用設計法, 土木研究所報告 第137号の1 昭和44年8月
- 5) 篠原 洋司, 西川 和廣, 滝沢 晃 : 疲労損傷を受けた合成H形鋼橋の応力頻度測定, 土木研究所資料第2344号, 昭和61年3月
- 6) 藤原 稔, 西川 和廣, 滝沢 晃, 小田 訓男 : 鋼床版試験橋の静的載荷試験, 土木研究所資料第2534号, 昭和63年1月
- 7) 藤原 稔, 西川 和廣, 滝沢 晃, 小田 訓男 : 鋼床版横リブの疲労強度に関する実験的研究, 第17回日本道路会議一般論文集, 昭和62年10月, 日本道路協会
- 8) 道路橋示方書・同解説 I 共通編, II 鋼橋編, 日本道路協会 昭和55年2月

あとかき

構造物の疲労寿命は、構造物の剛性、構造細目、荷重の状態等により異なるものであるため、道路橋示方書の疲労に関する規定の充実を目指して、今後とも応力頻度測定を実施して、データの蓄積を図る予定である。

今回の応力頻度測定に際して、協力頂いた建設省関東地方建設局千葉国道工事事務所の関係者の方々に、厚く御礼申し上げる。

水郷大橋の応力頻度測定

ISSN 0386-5878

土木研究所資料 第 2556 号

昭和 63 年 2 月 (1988)

建設省土木研究所橋梁研究室

藤原 稔, 西川和廣

滝沢 晃, 小田訓男

要 旨

鋼床版の構造各部に発生する応力の実態を把握するため、水郷大橋において、応力頻度測定を行い、疲労寿命を推定した。

キーワード：鋼床版、スリット R 部、応力頻度測定