

土木研究所資料

疲労損傷を受けた合成H形鋼橋の応力頻度測定

昭和61年3月

建設省土木研究所
構造橋梁部橋梁研究室

Copyright © 1986 fiscal year 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ってはならない。

疲労損傷を受けた合成H形鋼橋の応力頻度測定

橋梁研究室 室 長 篠 原 洋 司
主任研究員 西 川 和 廣
滝 沢 晃

要 旨

活荷重に起因する繰返し応力により、横桁を取付ける垂直補剛材と主桁上フランジとの溶接部に疲労損傷を生じた単純合成H鋼橋の応力頻度測定を行った。その結果、損傷を引起した応力は、横桁による主桁間の荷重分配作用とRC床版のたわみによって生じたものであること、RC床版の補強のために行われた縦桁の増設は、損傷部に発生する応力を著しく軽減する効果があることなどが明らかになった。同時に、車両制限を大幅に上回る重量を有する車両が数多く存在し、疲労損傷を生じさせる大きな要因となっていることが浮き彫りにされた。

また、今回新たに導入したヒストグラムレコーダ（自動応力頻度測定器）を使った応力測定法が、簡便でありながら必要な情報を得る手段として非常に優れたものであることを確認した。

キーワード： 鋼橋，疲労損傷，応力頻度測定，補強工法

ま え が き

損傷したRC床版の補強工事中、H形鋼橋の横桁を取付ける垂直補剛材と主桁上フランジとの溶接部に、疲労によるものと思われるクラックが発生しているのが発見された。現状では、クラックは上記の溶接部に限られており、直接橋梁の耐力に影響を及ぼす性質のものではないが、前例が少ないこともあり、どのような対策が適当であるかについての回答は得られていない。

この種の疲労クラックは、以前に1例だけ発見されたことがあり、静的および動的載荷試験やFEM解析を行って損傷原因と対策についての検討をしたことがある（土木研究所資料第2123号）が、必ずしも確信の持てる結論は得られなかった。今回、橋梁の構造は少し違うが再び応力測定を行う機会を得たので、前回の検討結果をより確実なものとし、さらに床版補強のために行われた縦桁増設がこの損傷にどのような影響を及ぼすかを知るため、縦桁増設の前後における損傷部の応力測定を実施した。

その結果、損傷を引起した応力は、横桁による主桁間の荷重分配作用とRC床版のたわみによって生じたものであること、RC床版の補強のために行われた縦桁の増設は、損傷部に発生する応力を著しく軽減する効果があることが明らかになった。同時に、20トントラックを大幅に上回る重量を有する車両が数多く存在し、疲労損傷を生じさせる大きな要因となっていることが浮き彫りにされた。

また、本測定においては、今後同じような疲労問題が生じたときの現場応力測定をより簡便かつ効率の良いものとするため、測定手法の確立を1つの目的とした。すなわち、今回は交通規制や測定終了後のデータ整理のための労力を極力押えるため、静的載荷試験を省略し、荷重車による動的載荷試験とヒストグラムレーダ（自動応力頻度測定器）による応力頻度測定のみを行い、その結果この方法が非常に優れたものであることを確認した。

今後疲労による損傷問題が生じた場合、その対策を検討する上で本報告が何等かの役にたてば幸いである。

昭和61年3月

建設省土木研究所

構造橋梁部 橋梁研究室

室 長 篠 原 洋 司

主任研究員 西 川 和 廣

滝 沢 晃

目 次

まえがき

1. 損傷を受けたS高架橋の概要と損傷状態	1
1.1 S高架橋の概要	1
1.2 損傷状況	1
2. 応力測定の方法と概要	9
2.1 応力測定の目的	9
2.2 応力測定位置	9
2.3 荷重車による動的載荷試験	11
2.4 24時間応力頻度測定	12
3. 損傷原因の推定	15
3.1 予想される損傷原因	15
3.2 損傷分布からの推定	15
4. 応力測定結果	19
4.1 荷重車による動的載荷試験	19
4.2 一般車両通過時の応力	23
4.3 応力頻度分布	26
4.4 累積被害則の適用	27
5. 床版補強の影響	33
5.1 縦桁増設によるRC床版の補強	33
5.2 縦桁増設後の応力	33
6. 損傷部の補修・補強について	42
7. 結 言	44
あ と が き	45
付 録	47

1. 損傷を受けたS高架橋の概要と損傷状況

1.1 S高架橋の概要

S高架橋は、支間 20.28 m、全幅員 21 m の単純合成 H 形鋼橋 5 連から成り、昭和 44 年に架設された。一般図および標準断面図を図-1.1 に外観を写真-1.1 に示す。

横組構造は、標準設計¹⁾とは異なっており、図-1.2 および写真-1.2 に示すように高さ 380 mm の溝形鋼を中間横桁として用い垂直補剛材に高力ボルトで取付けられている。横桁間隔は 5070 mm (支間の 1/4) で荷重分配横桁および横構はない。主桁間隔は 2700 mm と H 形鋼橋としてはやや広く、床版厚は 190 mm と現在の基準と比べてやや小さい。幅員構成は、上下それぞれ 2 車線と両側に設置された歩道から成っている。

最近の交通量調査結果を表-1.1 に示すが、日交通量は上下線合せて約 65,000 台、そのうち 22.3% の約 14,400 台が大型車である。周辺にはプレキャストコンクリート製品等、重量物を扱う工場が多く、また米軍基地が近いことなどから夜間における超重量車の通行量が多いのが特徴である。

1.2 損傷状況

S高架橋では RC 床版の損傷が著しいため、縦桁増設による補強工事が行われていたが、ここで対象とする垂直補剛材と上フランジの溶接部のクラックはこの工事の際に発見された。

損傷は、中間横桁を取付ける垂直補剛材と主桁上フランジとの隅肉溶接部に生じており、主桁ウェブと反対側、補剛材コバ面の溶接部からクラックが発生し、ウェブ方向に進展している。クラックの発生位置などの特徴から、これらは文献²⁾および³⁾に報告したものと同様の疲労クラックであると考えられる。

代表的なクラックの状況を図-1.2 および写真-1.3 に示す。クラックはその発生位置から 2 種類に分類される。1 つは図-1.2(a)のように溶接止端の応力集中部から発生したもの、もう 1 つは(b)のようにルート部(溶接される材片の交差する部分)から発生したものである。一般に溶接のサイズが小さいと、溶接部が弱点となって(b)のようなクラックが発生しやすく、逆に溶接サイズが大きくなると、(a)のような補剛材そのもののクラックが主体となるが、ここでは(c)のように両方が同時に発生しているケースもあり、溶接サイズが 2 種類のクラックを区分する境界値付近であったことを示唆している。クラックの規模は、垂直補剛材のコバ面にわずかにみえる程度のものから、補剛材を厚さ方向に貫通し、側面に 65 mm も伸びたものまで広範囲である。但し、垂直補剛材にはスカラップがないため、他橋の事例にみられたようなスカラップ周辺からのクラックは存在しない。

図-1.3 は橋梁全体における損傷の分布を示したものである。本橋は 8 本の主桁からなり、損傷を生じたところと同じ溶接部は支点上を除いて全部で 420 箇所あり、そのうち約 46% の 196 箇所に疲労クラックを生じている。損傷の分布は上下線ともほぼ同様であり、車道部の損傷率が高く、特に 2 つの車線にはさまれる G 3 および G 6 桁に集中しているのが分る。逆に、歩道部の損傷は非常に少ない。このように、疲労クラックが通過車両により生じる繰返し応力に起因するものであることは明らかである。

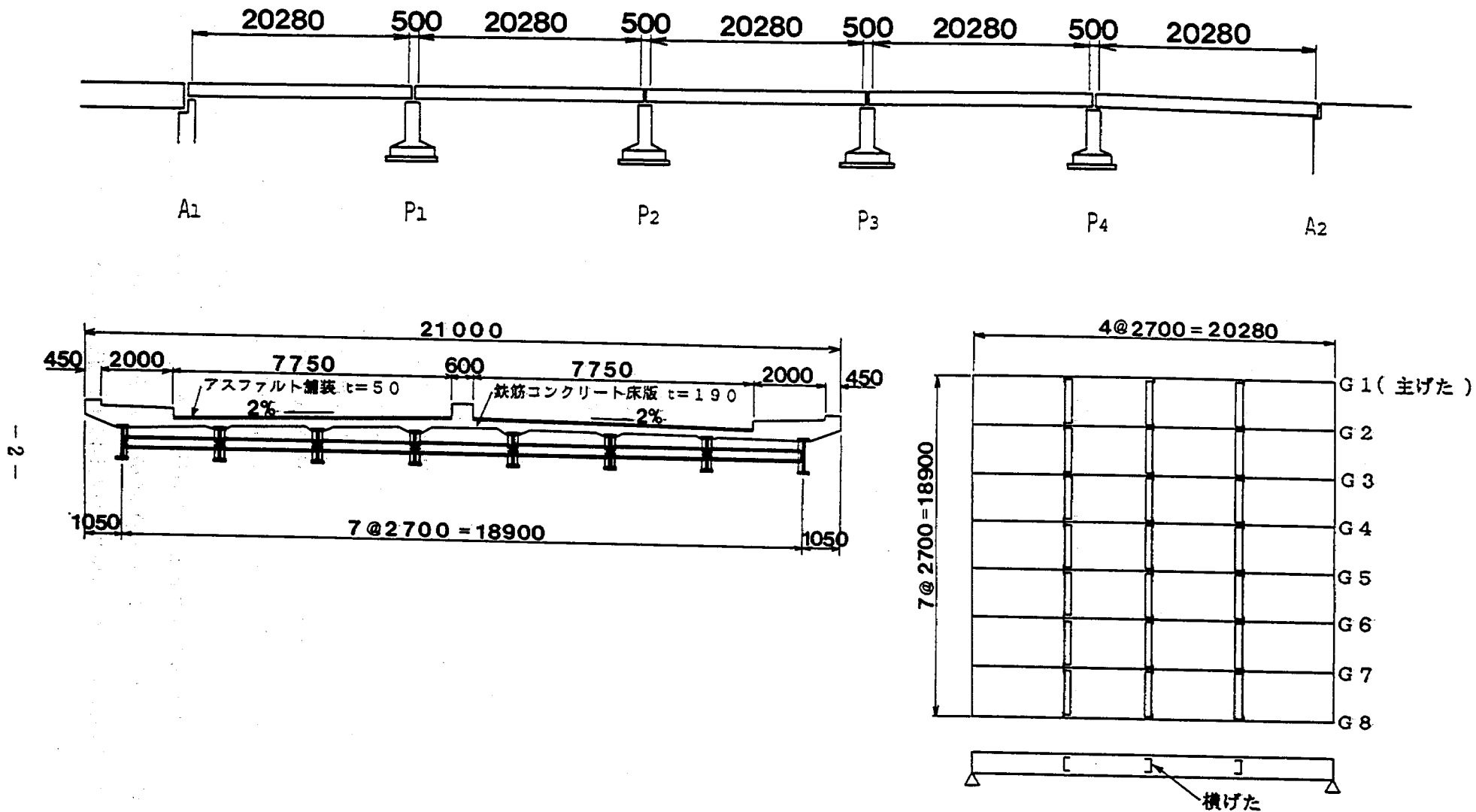
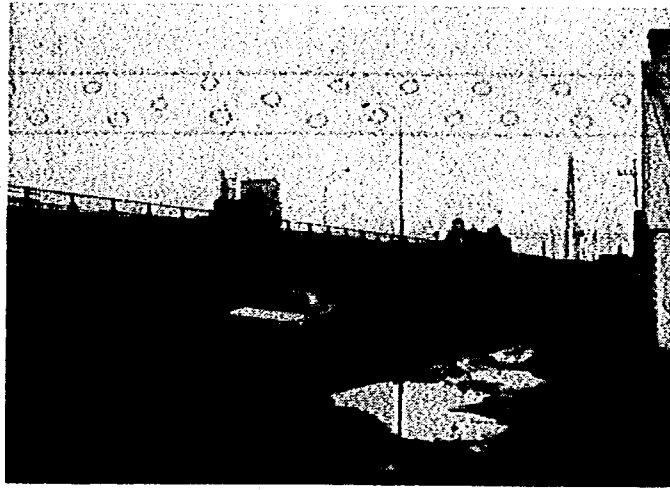
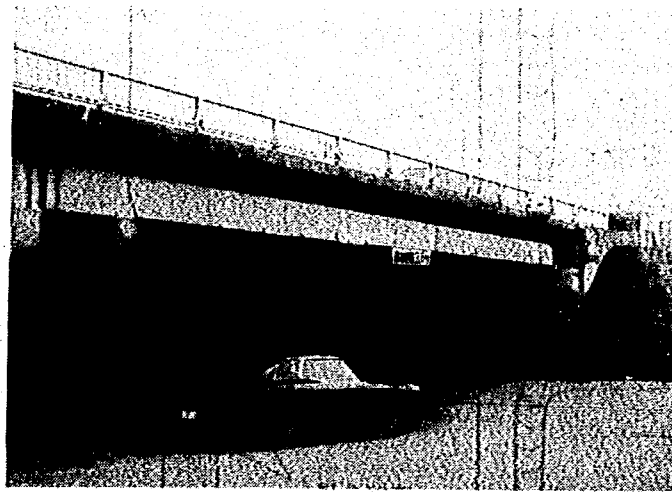


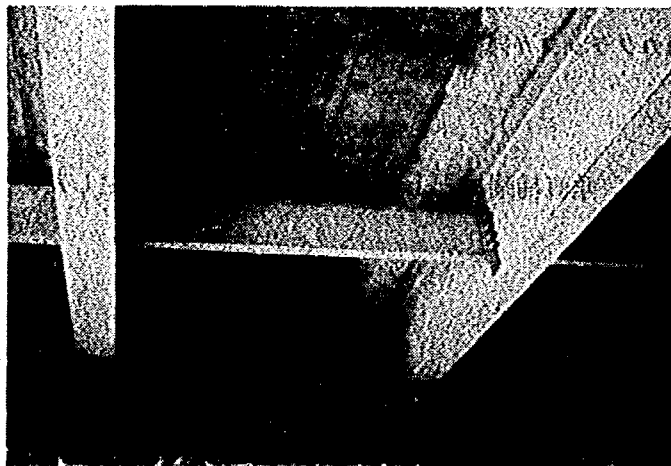
図 - 1.1 S 高架橋の一般図



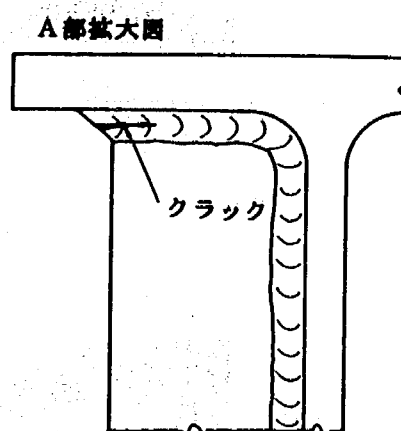
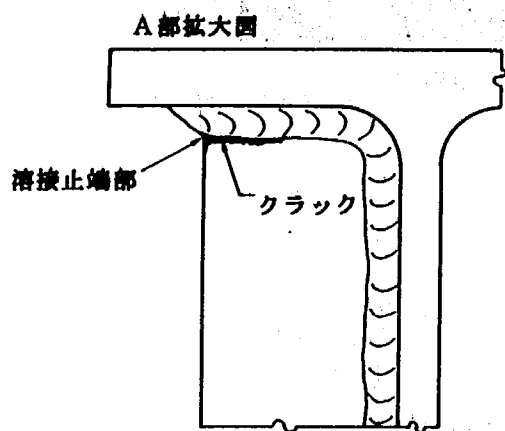
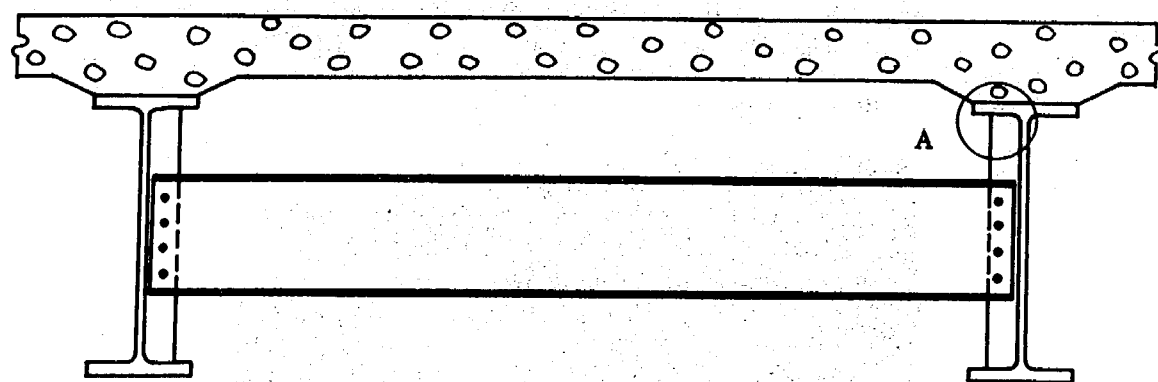
写真－ 1.1(a) S高架橋の外観



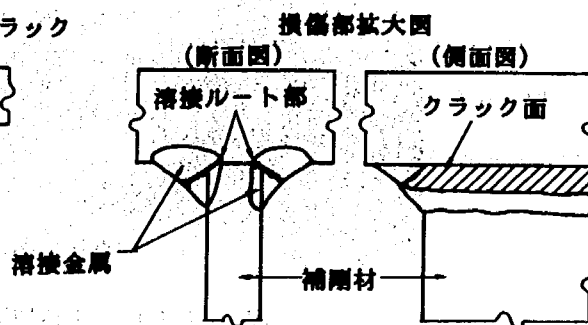
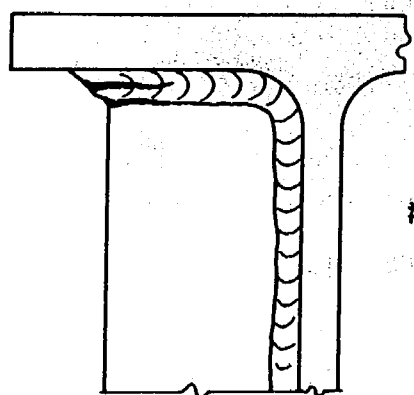
写真－ 1.1(b) S高架橋の外観



写真－ 1.2 横組構造



(a) 溶接止端から発生したクラック



(b) ルート部から発生したクラック

(c) 2種のクラックが同時に発生した例

図-1.2 垂直補剛材と上フランジの溶接部に発生したクラック

アキ - ヒル

3384 321.9

シモイリス・三

BB00440Eに*ナシシキイリス*ミ1000

時 間	方 向	歩行者	自転車	青・水 牛馬車	動力付 2輪車	白 動 車 組 (台)										合 計
						全 用 水 車			小 計	貨 物 車					小 計	
						乗用	貨 用	合 計		乗用	小 計	貨 物	貨 物	貨 物		
7	上り	0	15	0	148	98	1978	18	2094	93	256	45	247	19	660	2754
	下り	6	22	0	172	69	2363	18	2450	124	122	358	253	16	873	3323
8	上り	6	37	0	320	167	4341	36	4544	217	378	403	500	35	1533	6077
	下り	1	15	0	107	84	1250	8	1342	93	328	109	366	27	923	2265
9	上り	1	20	0	217	28	1194	21	1243	123	187	294	296	34	934	2177
	下り	2	35	0	324	112	2444	29	2585	216	515	403	662	61	1857	4442
9	上り	2	4	0	30	45	544	3	592	48	258	87	556	36	985	1577
	下り	1	2	0	111	38	740	6	784	81	187	260	477	50	1055	1839
10	上り	3	6	0	141	83	1284	9	1376	129	445	347	1033	86	2040	3416
	下り	1	0	0	28	64	595	5	664	57	207	142	581	43	1030	1694
10	上り	0	4	0	98	28	674	7	709	81	171	243	468	42	1005	1714
	下り	1	4	0	126	92	1269	12	1373	138	378	385	1049	85	2035	3408
11	上り	0	3	0	40	36	521	7	564	61	233	109	412	41	856	1420
	下り	0	2	0	63	10	568	3	581	83	179	263	446	37	1008	1589
12	上り	0	5	0	103	46	1089	10	1145	144	412	372	858	78	1864	3099
	下り	0	1	0	65	20	505	5	530	58	127	201	351	47	784	1314
13	上り	0	3	0	116	56	967	7	1030	96	283	288	745	72	1484	2514
	下り	0	1	0	43	46	628	2	676	50	227	155	476	28	936	1612
14	上り	0	4	0	58	25	637	3	665	82	168	273	375	34	932	1597
	下り	0	5	0	101	71	1265	5	1341	132	395	428	851	62	1868	3209
14	上り	0	1	0	64	43	591	4	638	57	274	176	414	33	954	1592
	下り	0	3	0	45	17	529	6	552	84	169	312	380	24	969	1521
15	上り	0	4	0	109	60	1120	10	1190	141	443	488	794	57	1923	3113
	下り	7	7	0	101	49	747	10	806	50	226	199	447	37	959	1765
16	上り	5	5	0	54	29	598	5	632	128	154	253	393	53	981	1613
	下り	12	12	0	155	78	1345	15	1438	178	380	452	840	90	1940	3378
16	上り	3	12	0	145	52	833	10	895	60	252	210	445	32	999	1894
	下り	1	18	0	55	20	651	5	676	62	140	253	327	47	829	1505
17	上り	4	30	0	200	72	1484	15	1571	122	392	463	772	79	1828	3399
	下り	4	14	0	159	78	1193	16	1287	53	358	163	371	31	976	2263
17	上り	3	19	0	101	19	1050	16	1085	149	184	368	270	32	1003	2088
	下り	7	33	0	260	97	2243	32	2372	202	542	531	641	63	1979	4351
18	上り	3	13	0	182	85	1432	16	1533	70	236	190	412	19	927	2460
	下り	1	7	0	87	55	1189	11	1255	91	121	332	145	34	723	1978
19	上り	4	20	0	269	140	2621	27	2788	161	357	522	557	53	1650	4438
	下り	21	87	0	1098	716	10774	101	11591	730	3011	1672	5121	371	10905	22496
12時間計	上り	18	107	0	1126	358	10698	106	11162	1146	1909	3410	4181	450	11096	22258
	下り	39	194	0	2224	1074	21472	207	22753	1876	4920	5082	9302	821	22001	46754
24時間計	上り	27	107	0	1535	1129	17046	123	18298	982	3828	2346	7360	478	14994	33292
	下り	24	137	1	1527	537	16234	126	16897	1416	2253	4412	5728	582	14391	31288
上り		51	244	1	3062	1666	3280	249	35195	2398	6081	6758	13088	060	29385	64580
14 夜 車 (%)		131	126	0	138	155	155	120	154.7	128	124	133	141	129	133.6	144.3

S80.10. 8				W=1	
最速比率 (%)	貨物比率 (%)	大貨車 台数	大貨車 通入率	時間係數 (%)	壓力比率 (%)
76.0	24.0	284	10.3	8.3	54.7
73.7	26.3	287	8.6	10.6	0.0
74.8	25.2	571	9.4	9.4	0.0
59.2	40.8	401	17.7	6.8	51.0
57.1	42.9	351	16.1	7.0	0.0
58.2	41.8	752	16.9	6.9	0.0
37.5	62.5	595	37.7	4.7	53.8
42.6	57.4	533	29.0	5.9	0.0
40.3	59.7	1128	33.0	5.3	0.0
39.2	60.8	629	37.1	5.1	50.3
41.4	58.6	517	30.2	5.5	0.0
40.3	59.7	1146	33.6	5.3	0.0
39.7	60.3	460	32.4	4.3	52.8
36.6	63.4	486	30.6	5.1	0.0
38.1	61.9	946	31.4	4.7	0.0
41.7	58.3	421	35.1	3.6	52.3
40.3	59.7	403	30.7	4.2	0.0
41.0	59.0	824	32.8	3.9	0.0
41.9	58.1	506	31.4	4.8	50.2
41.6	58.4	412	25.8	5.1	0.0
41.8	58.2	918	28.6	5.0	0.0
40.1	59.9	451	28.3	4.8	51.1
36.3	63.7	410	27.0	4.9	0.0
38.2	61.8	861	27.7	4.8	0.0
45.7	54.3	494	28.0	5.3	52.2
39.2	60.8	451	28.0	5.2	0.0
42.6	57.4	945	28.0	5.2	0.0
47.3	52.7	487	25.7	5.7	55.7
44.9	55.1	379	25.2	4.8	0.0
46.2	53.8	866	25.5	5.3	0.0
56.9	43.1	418	18.5	6.8	52.0
52.0	48.0	318	15.2	6.7	0.0
54.5	45.5	736	16.9	6.7	0.0
62.3	37.7	447	18.2	7.4	55.4
63.4	36.6	190	9.6	6.3	0.0
62.8	37.2	637	14.4	6.9	0.0
51.5	48.5	5593	24.9	67.6	50.3
50.1	49.9	4737	21.3	71.3	0.0
50.8	49.2	10330	23.1	69.4	0.0
55.0	45.0	7961	23.9	100.0	51.6
54.0	46.0	6436	20.6	100.0	0.0
54.5	45.5	4397	22.3	100.0	0.0

表-1.1(b) (秋)季交通量調査表 7* - 34

通称名 (カタカナ) 10 - 19

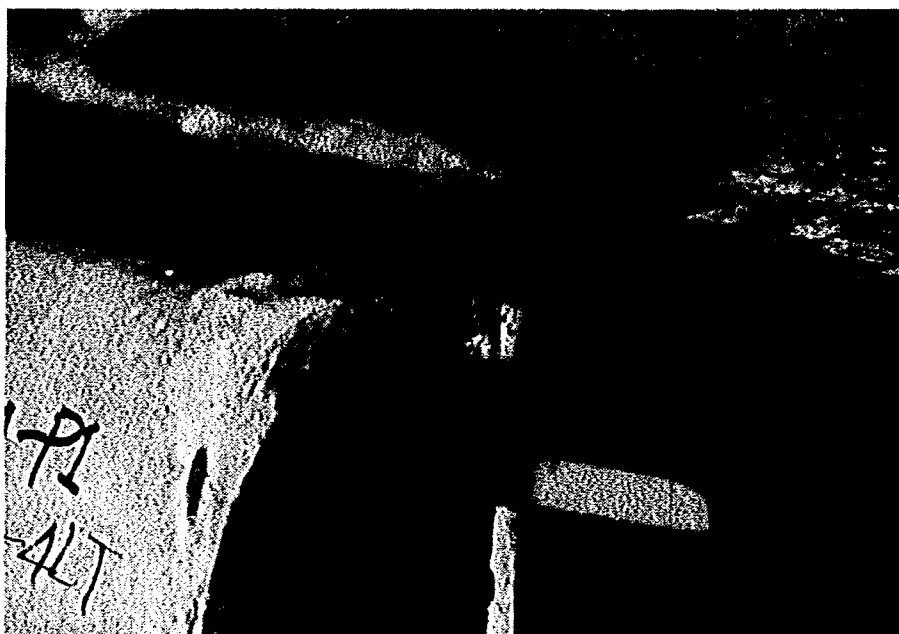
ヨコハマ コストウ

シモイマイズミ

区間コード	区間名 (カタカナ)	観測地点コード	観測地点名 (カタカナ)	車線数	歩道の有無	車道幅員 (m)	時間交通量 (台/時)	日交通量 (台/日)	平均トリップ長 (km)				沿道状況	平均速度 (km/h)	区間延長 (0.1km)	中央部の有無	歩道幅員 (m)		道路交差センサス 12 時 交通量 (台/12h)	道路交差センサス 24 時 交通量 (台/24h)	道路交差センサス 市町村コード	道路交差センサス 市町村名称	道路交差センサス 市町村区画番号
									乗用車	小型貨物車	大型貨物車	平均					左	右					
1234567	20 - 30		コストウ2467コウ																				
1234567	40 - 64		観測地点名 (カタカナ)																				
8800440	ストナシモイマイズミ1000	5	4			313.60								27.8	1.9	1			41754		14212	145	

時間	方向	歩行者	自転車	軽便車	動力付2輪車	車 両 (台)										合計
						乗用車	小型貨物車	大型貨物車	貨物車	バス	トラック	その他	小計	乗用車	小型貨物車	
19	上り	2	8	0	110	85	1417	5	1507	60	183	145	212	5	605	2112
1	下り	1	11	0	85	55	1249	5	1309	48	104	277	114	16	559	1868
20	上り	3	19	0	195	140	2666	10	2816	108	287	422	326	21	1164	3980
2	下り	3	8	0	107	85	1085	3	1173	32	136	101	134	8	411	1584
21	上り	3	8	0	187	114	2043	9	2166	94	174	300	232	26	826	2992
2	下り	0	1	0	66	63	889	1	953	36	96	94	133	11	370	1323
22	上り	0	6	0	54	23	762	3	788	43	31	112	98	7	291	1079
2	下り	0	7	0	120	86	1651	4	1741	79	127	206	231	18	661	2402
22	上り	0	0	0	46	54	687	1	742	20	60	79	137	3	299	1041
1	下り	0	1	0	34	12	549	0	561	12	27	87	89	5	220	781
23	上り	0	1	0	80	66	1236	1	1303	32	87	166	226	8	519	1822
1	下り	1	1	0	24	27	468	0	495	12	40	46	123	1	222	717
24	上り	1	1	0	54	34	856	1	891	31	51	101	210	6	399	1290
0	下り	0	0	0	12	9	184	0	193	4	21	47	95	4	171	364
1	上り	0	0	0	15	9	272	0	281	13	8	18	81	3	123	404
1	下り	0	0	0	27	18	456	0	474	17	29	65	176	7	294	768
2	上り	0	0	0	12	7	157	0	164	3	6	50	143	7	209	373
2	下り	0	0	0	13	3	133	1	137	1	9	18	58	2	88	225
3	上り	0	0	0	25	10	290	1	301	4	15	68	201	9	297	598
2	下り	0	0	0	8	6	126	0	132	7	13	13	113	5	151	283
3	上り	0	0	0	8	3	98	1	102	3	7	13	105	17	145	247
4	下り	0	0	0	16	9	224	1	234	10	20	26	218	22	296	530
3	上り	0	0	0	7	7	131	0	138	7	19	22	216	13	277	415
4	下り	0	0	0	3	11	114	0	125	1	12	4	86	4	107	232
4	上り	0	0	0	10	18	245	0	263	8	31	26	302	17	384	647
5	下り	0	0	0	4	0	72	0	72	7	11	26	167	12	223	295
5	上り	0	1	0	10	8	184	0	192	14	33	40	375	25	487	679
5	下り	1	2	0	15	8	189	4	201	26	63	16	305	20	430	631
6	上り	1	0	0	17	6	133	0	139	15	32	52	251	18	368	507
6	下り	2	2	0	32	14	322	4	340	41	95	68	556	38	798	1138
7	上り	2	7	0	51	54	827	8	889	38	158	47	420	17	680	1569
7	下り	1	4	1	31	21	808	3	832	46	54	141	313	25	579	1411
7	上り	3	11	1	82	75	1635	11	1721	84	212	188	733	42	1259	2980
12時間計	下り	6	20	0	437	413	6272	22	6707	252	817	674	2239	107	4089	10796
24時間計	上り	27	107	0	1535	1129	17046	123	18298	982	3828	2346	7360	478	14994	33292
16時間計 (%)	下り	24	137	1	1527	537	16234	126	16897	1416	2253	4412	5728	582	14391	31288
	計	51	244	1	3062	1666	33280	249	35195	2398	6081	6758	3088	1060	29385	64580
		131	126	0	138	155	155	120	154.7	128	124	133	141	129	133.6	144.3

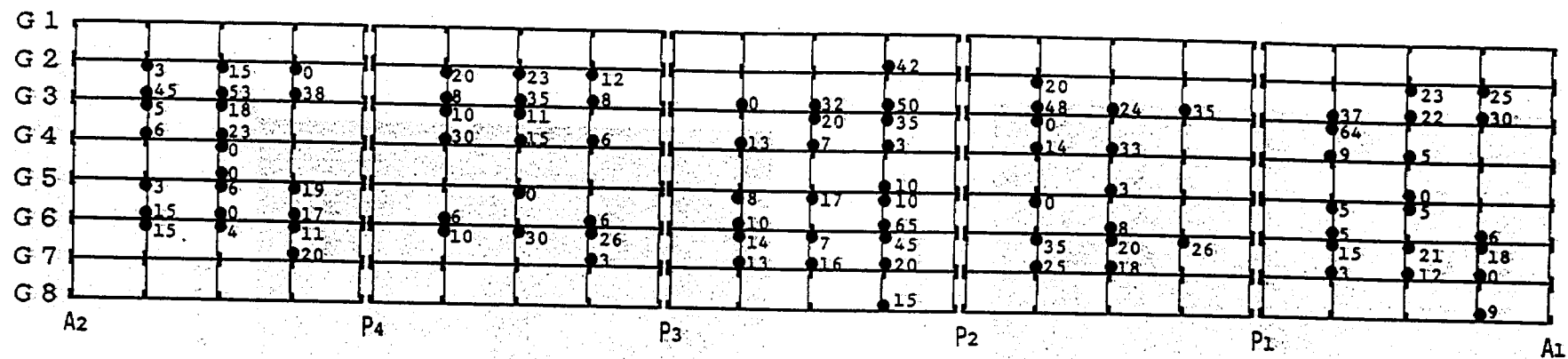
SA0.10.8						W=1					
乗用車比率 (%)	貨物車比率 (%)	大型車比率 (%)	大型車比率 (%)	大型車比率 (%)	大型車比率 (%)	乗用車比率 (%)	貨物車比率 (%)	大型車比率 (%)	大型車比率 (%)	大型車比率 (%)	大型車比率 (%)
71.4	28.6	222	10.5	6.3	53.1	70.1	29.9	135	7.2	6.0	0.0
70.8	29.2	357	9.0	6.2	0.0	74.1	25.9	145	9.2	4.8	52.9
70.5	29.5	122	8.7	4.5	0.0	72.4	27.6	267	8.9	4.6	0.0
72.0	28.0	145	11.0	4.0	55.1	72.0	28.0	145	11.0	4.0	55.1
73.0	27.0	108	10.0	3.4	0.0	72.5	27.5	253	10.5	3.7	0.0
71.3	28.7	141	13.5	3.1	57.1	71.8	28.2	94	12.0	2.5	0.0
69.0	31.0	124	17.3	2.2	55.6	69.1	30.9	93	16.2	1.8	0.0
69.1	30.9	217	16.8	2.0	0.0	53.0	47.0	99	27.2	1.1	52.6
69.6	30.4	84	20.8	1.3	0.0	61.7	38.3	183	23.8	1.2	0.0
44.0	56.0	150	40.2	1.1	62.4	60.9	39.1	61	27.1	0.7	0.0
50.3	49.7	211	35.3	0.9	0.0	46.6	53.4	118	41.7	0.9	53.4
41.3	58.7	123	49.8	0.8	0.0	44.2	55.8	241	45.5	0.8	0.0
33.3	66.7	229	55.2	1.2	64.1	53.9	46.1	90	38.8	0.7	0.0
40.6	59.4	319	49.3	1.0	0.0	31.3	68.7	221	57.6	1.2	56.6
24.4	75.6	179	60.7	0.9	0.0	28.3	71.7	400	58.9	1.1	0.0
31.9	68.1	329	52.1	1.9	55.4	27.4	72.6	269	53.1	1.6	0.0
29.9	70.1	598	52.5	1.8	0.0	56.7	43.3	445	28.4	4.7	52.7
59.0	41.0	361	24.2	4.5	0.0	57.8	42.2	786	26.6	4.6	0.0
62.1	37.9	2368	21.9	32.4	54.5	63.5	36.5	1699	18.8	28.7	0.0
62.8	37.2	4067	20.5	30.6	0.0	55.0	45.0	7961	23.9	100.0	51.6
54.0	46.0	6436	20.6	100.0	0.0	54.5	45.5	4397	22.3	100.0	0.0



写真－ 1.3(a) 溶接止端部から発生したクラック



写真－ 1.3(b) ルート部から発生したクラック



* ●はクラック発生箇所
数字は垂直補剛材側面のクラック長

図-1.3 疲労クラックの分布

2. 応力測定の目的と概要

2.1 応力測定の目的

今回行った応力測定の主な目的は次の通りである。

- (1) 損傷部に生じる応力状態を知ることにより、損傷原因を明らかにする。
- (2) RC床版補強のための縦桁増設の疲労損傷部に及ぼす影響を把握する。
- (3) 以上の結果から損傷部の補修・補強法を立案する。

本橋における疲労クラックは、主桁と中間横桁との取付け部に生じた局部応力によって引起されたものと考えられるが、このような局部応力を解析により実用上十分な精度で算出することは容易でなく、成功した事例も少ないことから、損傷原因の究明には応力の実測結果が有力な決め手となるものと思われる。また、疲労による損傷事例そのものが少ないため、実際に疲労クラックが生じた部分にどのような応力が働いていたかについて実測した例は我が国ではほとんどなく、繰返し応力に対する鋼部材の疲労限界状態を研究する上で貴重なデータとなるものと考えられる。

さらに、今後このような疲労損傷問題が増加する傾向がみられるため、比較的簡易な方法により疲労に対する安全性を確認する方法を確立するために、本試験では種々の試みを行っている。

通常、橋梁の載荷試験は、交通を規制し荷重既知の車両を静的に載荷して歪やたわみを計測することが多い。静的な載荷試験では比較的容易に多点の歪を計測することができるが、交通規制を行うためには複雑な手続きと多くの人員を必要とする。

これらのことから本試験では、最少限の測定機器、人員、時間および項目により必要十分な情報を得るために、静的載荷試験を省略し、

1) 荷重車による動的載荷試験

2) 24時間の応力頻度測定

を実施することとした。

動的載荷試験により得られる歪履歴曲線は、荷重の載荷位置による一種の影響線を表すもので、局部応力の発生機構に関する情報を含み、一方の応力頻度データは、局部に蓄積される疲労被害の大きさを直接的に表すものとして重要である。

2.2 応力測定位置

損傷分布および車線の位置を勘案した上で計測位置（全部で10点）を図-2.1のように設定した。③、⑥および⑨は下フランジ下面中央で橋軸方向、その他は図に示すように垂直補剛材のコバ面に鉛直方向に歪ゲージを貼り付けた。②～④および⑧～⑩の測定位置は、それぞれ支間の中央および1/4点ということ意外は同じ条件である。垂直補剛材に貼ったゲージの上フランジ下面からの距離は、測定部に最大15mmのクラックが存在したため、その影響を排除するため2倍の30とした。本橋の場合、主桁上フランジと横桁とが離れているので、この距離の影響は小さいものと予想される。垂直補剛材への歪ゲージの貼り付け状況を写真-2.1に示す。測定対象をP4～A2間としたのは、この区間のみ縦桁増設前で

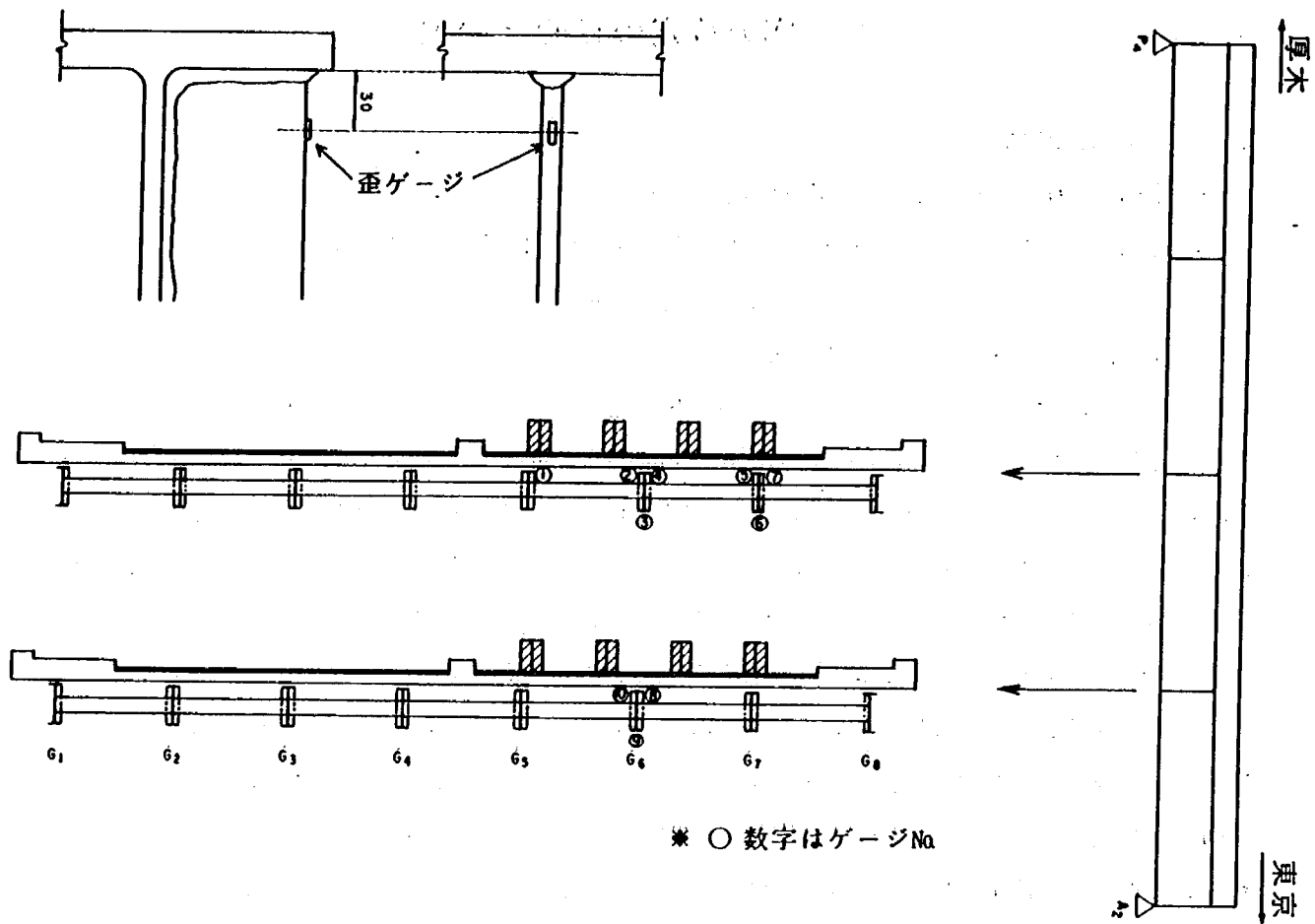


図-2.1 歪ゲージ貼り付け位置



写真-2.1 歪ゲージ貼り付け状況

あったことによる。

上下線を比較の上、比較的損傷の少ない位置を選択した。

2.3 荷重車による動的載荷試験

測定に使用した機器およびその接続を図-2.2に示す。

測定の対象とした載荷状態はつぎの2通りとした。

1) 荷重車走行

図-2.3に示す諸元を有する総重量20トンの3軸トラックを1台走行車線および追越車線を走行させ、歪履歴曲線を記録するもので、衝撃の影響があると考えられるため走行速度を時速10km/hおよび50km/hの2通りとした。後者の場合、車両の通過位置が車線中央からずれる恐れがあるため、2回ずつ行うこととした。

交通規制を行わないため、計測時に一般車両が混入する可能性があるが、大型車が同時に通過しない限り無視することにした。交通量が比較的小さい時間帯を選んで計測を行ったため、実際には問題は生じなかった。

2) 一般車両走行

荷重車のほか、一般走行車両のうち比較的重量の大きそうなものをえらび、50台程度について歪履歴曲線を記録した。通行車線および車両の種類についてはできる限り記録したが、走行速度はおおよそ50~70km/hと推定される。

以上の計測を縦桁増設前後にそれぞれ行った。測定機器の容量の都合で同時に8点の歪しか計測できないため、表-2.1に示すように測定点を選んで計測した。

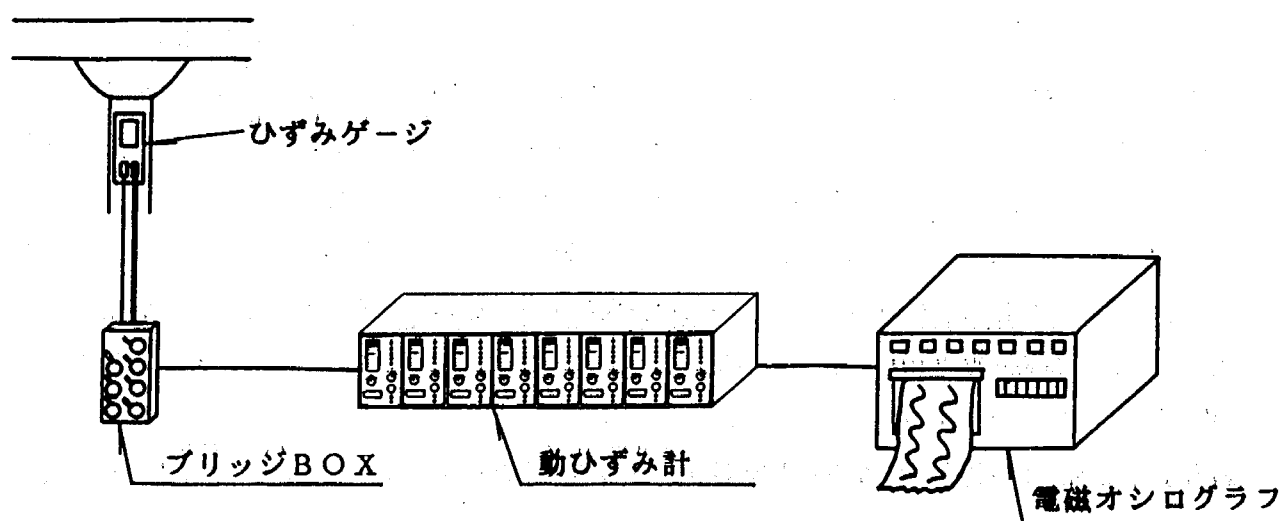
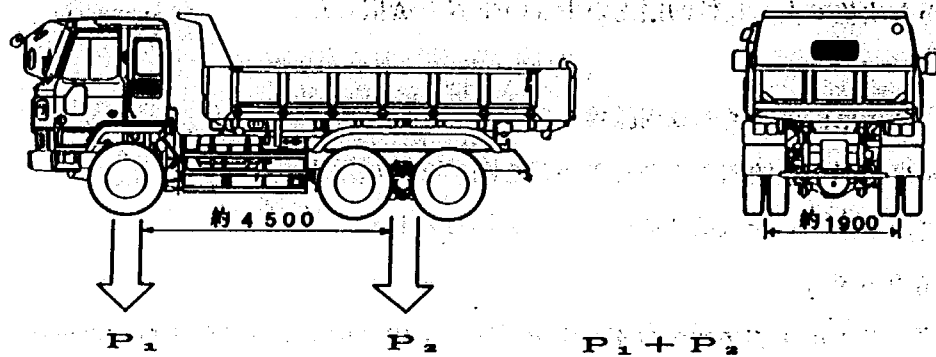


図-2.2 測定機器および接続図



補強前	5.27	14.94	20.21
補強後	4.98	15.05	20.03

※数字は軸重 (ton)

図-2.3 荷重車の諸元

2.4 24時間応力頻度測定

疲労に対する影響の大きさを評価するには、発生する応力のほかにその繰返し回数が重要なファクターとなる。本測定には最近開発されたヒストグラムレコーダ（自動応力頻度測定器）を使用して主桁および損傷部付近における24時間の応力頻度を測定した。

ヒストグラムレコーダは、図-2.4に示すように、動的に歪を計測しAD変換、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ーから成り、ブリッジボックスを介して歪ゲージなどのセンサーと接続して使用する。従来、応力頻度測定を行う場合には、長時間用データレコーダにより歪波形を記録し、電子計算機を使用してAD変換しそのデータをもとに頻度解析を行わなければならなかったため、計測は必然的に徹夜作業になり、データの解析に非常に多くの時間を費やしたが、ヒストグラムレコーダの使用により、計測は完全に自動化されるとともに計測の終了と同時に解析結果が得られるため、応力頻度測定が極めて容易にできるようになった。発生する歪波形を逐次処理し、応力頻度データだけを記憶してその他の情報は捨ててしまうため、歪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データを処理することができるのが大きな特長である。また、写真-2.2に見られるように、レコーダ本体が非常にコンパクトであり、装置の設置場所の問題が少ないことも1つの特長である。

応力頻度測定により得られる情報の種類はデータの処理方法によって決まるが、今回は次の2法によった。

1) Rain Flaw Method (以下、RF法と言う)

疲労クラックの発生に対し最も支配的な応力範囲（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 を、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)

歪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。

頻度分布の解析法の詳細については、文献⁴⁾等を参照されたい。

現在16点分の計測装置しか所有していないため、表-2.1に示すように測定点と処理方法を選んで計測した。計測期間は縦桁増設前後それぞれ24時間ずつとした。

表-2.1 測定位置と測定項目の対応表

測定 項目 ゲージ No	応力履歴	応力頻度	
		R. F.	P. V.
1	○		
2	○	○	○
3	○	○	
4	○	○	○
5	○	○	○
6	○**	○	
7	○	○	○
8	○*	○	○
9		○	
10	○	○	○

* 補強前のみ ** 補強後のみ

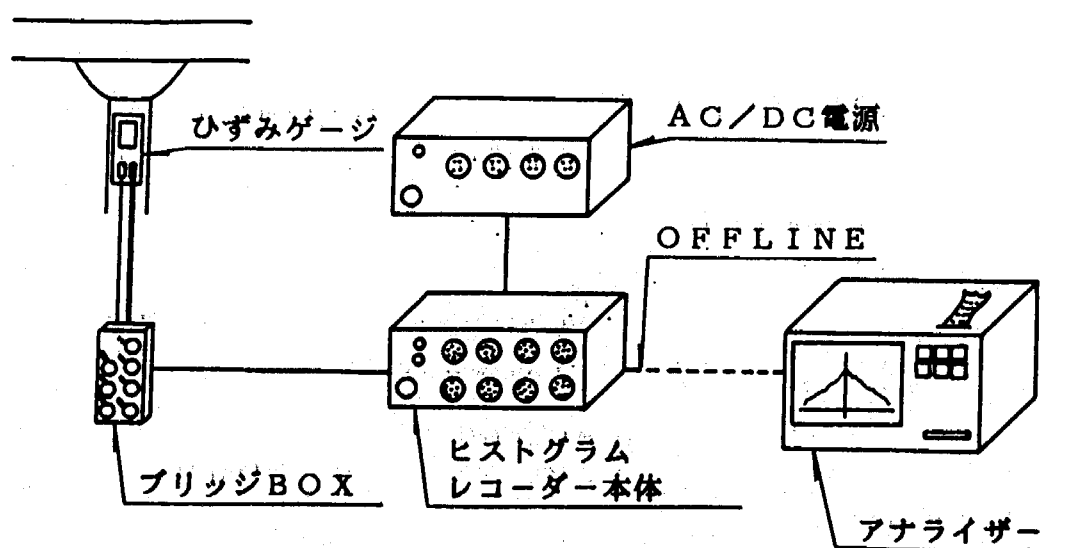


図-2.4 ヒストグラムレコーダおよび接続図

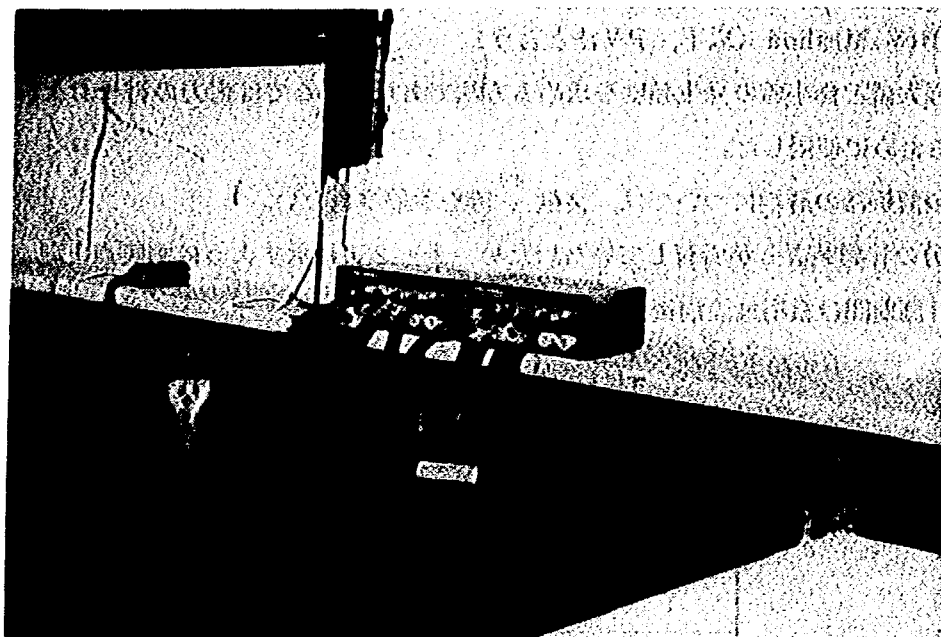


写真-2.2 ヒストグラムレコーダ設置状況

3. 損傷原因の推定

3.1 予想される損傷原因

クラックの発生状況や過去の事例から、この種のクラックの発生原因として以下に述べる4点をあげることができる。

(1) 横桁の荷重分配作用

車両の通過位置によっては、主桁間の沈下量に差が生じるが、そこに横桁がある場合には、せん断力を伝達することにより主桁間の荷重分配が行われる。このとき、横桁には図-3.1に示すように端部に曲げモーメントが発生し、垂直補剛材と上フランジの溶接部には曲げモーメントとせん断力が作用し、疲労クラックの発生原因となる応力の繰返しを生じる。横桁の剛性が比較的高く、かつ横桁の本数が少ない場合には、荷重分配作用が主原因となる可能性が高いものと考えられる。

(2) 床版のたわみ

車両の通過に伴って床版はたわむが、たわみ角は主桁上で最大となる。図-3.2に示すように、一般部では鋼桁の回転に対する抵抗が小さいので大きな応力は発生しないが、横桁や対傾構がある位置では、たわみ角を拘束するために図示したような応力が発生する。床版厚が小さく主桁間隔が大きい場合には、これが主原因になりやすいものと予想される。

(3) 横桁の取り付け方法による偏心曲げ

本橋の横桁は、図-3.3に示すように垂直補剛材の片側に高力ボルトにより取り付けられている。このため、横桁に曲げモーメントやせん断力が作用すると、垂直補剛材は横桁の中立軸方向に引張られ、面外変形が生じ局部的な応力が発生する。この場合、横桁払込み側の裏側が引張り応力状態となるので、クラックは発生しやすい。この要因の影響は、横桁の取り付け方法に大きな偏心があり、かつ横桁位置が上フランジに近い場合に顕著になると予想される。

(4) 溶接の不良

溶接部に割れや不溶着などの欠陥があれば、最初からクラックがあるのと同じこととなり、小さな応力の繰返しでもクラックが進展することがある。

以上、4通りの推定される原因について述べたが、本橋の損傷がこれらのうちどれに起因するものであるかについて、クラックの発生状況や測定された応力履歴から推定する。但し、損傷部、すなわち垂直補剛材と主桁上フランジの溶接部の品質は、通常あまり良いものとは言えないが、本橋における溶接は、外観上特に劣るものとは考えられず、(4)が主原因である可能性は小さい。

3.2 損傷分布からの推定

橋梁のどの位置に損傷が集中しているかを調べることにより、損傷の原因をある程度推定することができる。図-3.4は、損傷の分布と損傷の程度を、同じ格子構造を有する5連の支間を合計して示したものである。

主桁ごとのクラック発生率およびクラック長の合計には明確な差があり、走行、追越車線に接する部

分、特に両車線にはさまれたG3およびG6桁の損傷度が高くなっている。一方、横桁ごとの整理を
と、たわみの大きい支間中央とその両側の横桁部の損傷度には有為な差はみられない。したがって、3.
1に述べた(1)横桁の荷重分配作用が支配的な要因とは考え難い。

図-3.5は、垂直補剛材の横桁取り付け側とその反対側におけるクラック長の比較をしたものであるが、
有為な差は認められない。したがって、(3)横桁の取り付け方法による偏心曲げの影響も主要因とは考え
られない。

以上のことから、本橋のRC床版の損傷がかなり進行していることを考え合せると、(2)床版のたわみ
の影響がかなり大きいのではないかと推察される。

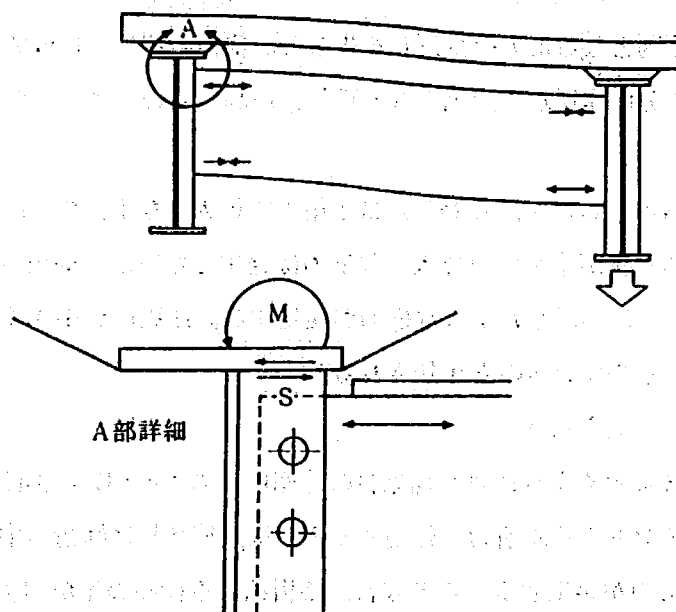


図-3.1 予想される損傷原因 (1)横桁の荷重分配作用

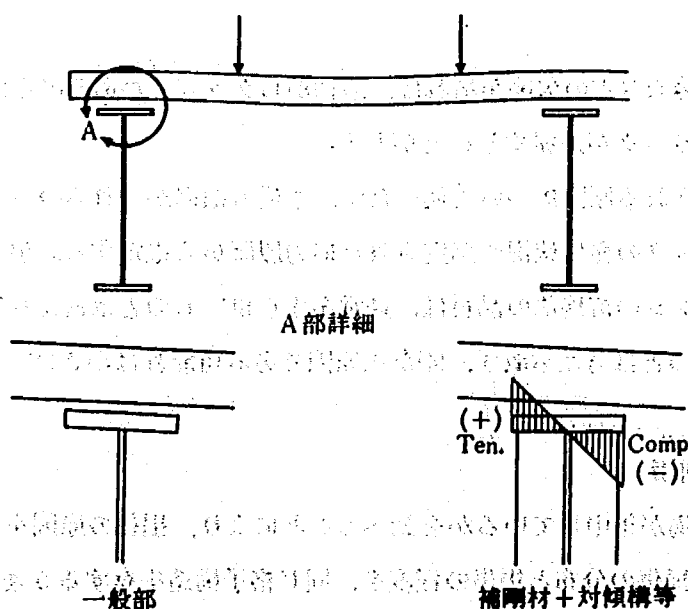
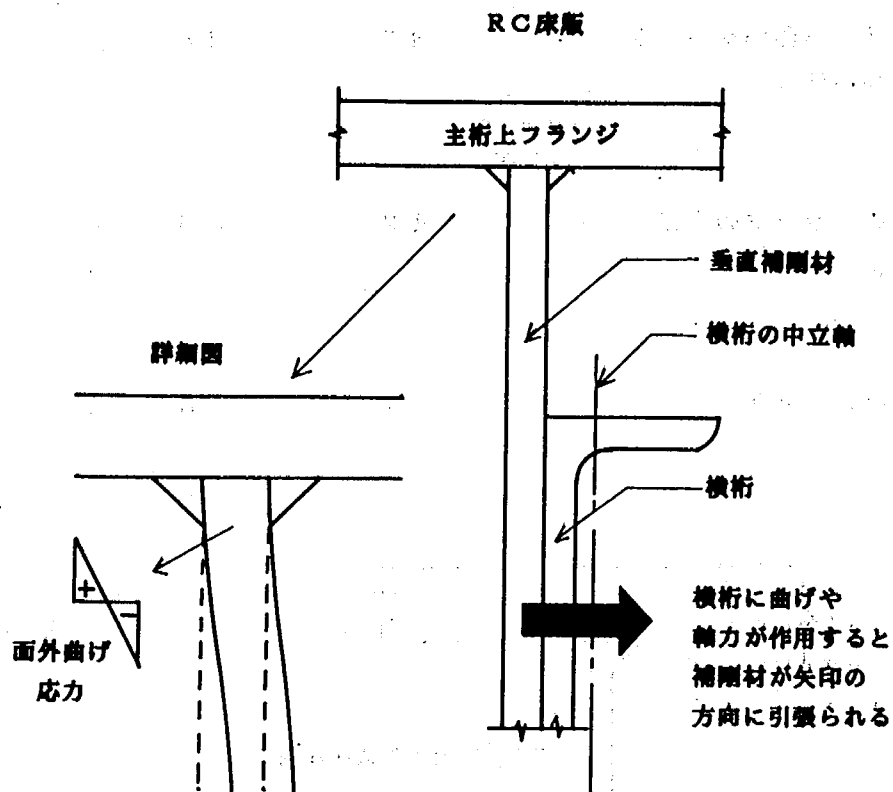
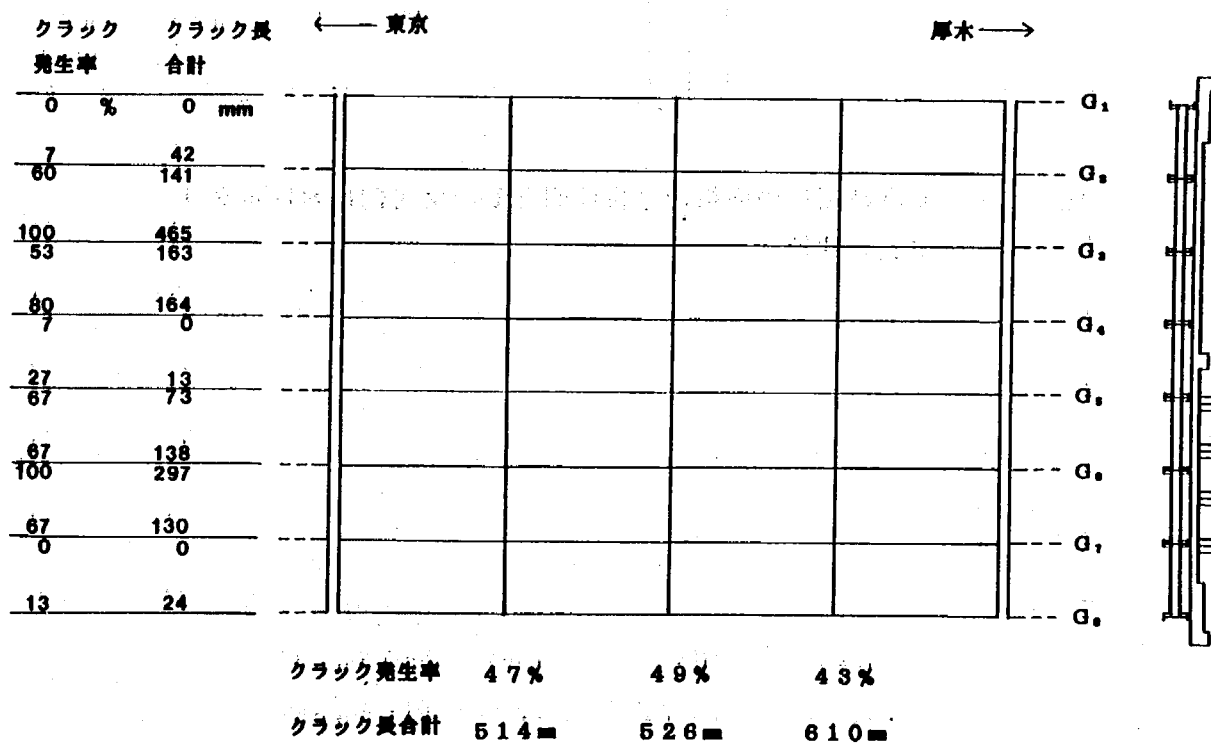


図-3.2 予想される損傷原因 (2)床版のたわみ



図－3.3 予想される損傷原因 (3)横桁の取り付け方法による偏心曲げ



図－3.4 損傷分布図

横げた払込み側のクラック 38 44 %
の方が長い場合

反対側のクラックの方が 42 48 %
長い場合

長さが等しい場合 7 8 %

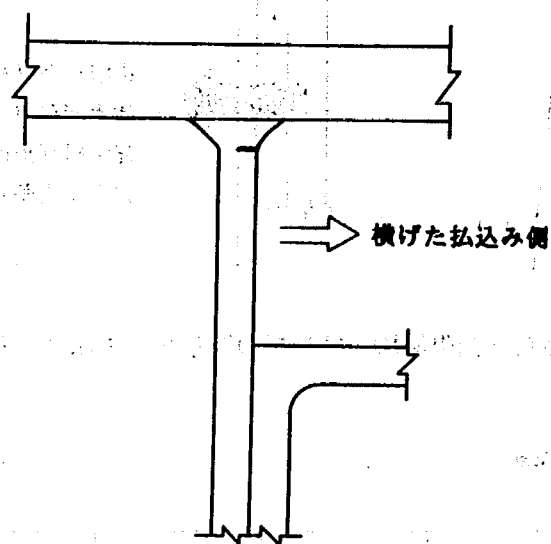


図-3.5 垂直補剛材の横桁取り付け側とその反対側におけるクラック長の比較

4. 応力測定結果

4.1 荷重車による動的載荷試験

図-4.1は、本橋と比較的近い構造を有する支間20mの2径間連続非合成プレートガーダー橋における歪履歴曲線の計測例である²⁾。図中1-2 Y, 2-2 Yと記号を付した曲線が本橋における垂直補剛材の計測位置とほぼ一致する。

図(a)は、荷重分配横桁を取り付ける垂直補剛材の応力、図(b)は中間対傾構を取り付ける垂直補剛材の応力を示したもので、荷重車として使用したのは2軸ダンプトラックである。

図(a)の波形は、ほぼ主桁のたわみの影響線に近い形をしており、2つの車軸の影響を区別することはほとんどできない。横桁の荷重分配作用は主桁間にたわみ量の差が発生した時に初めて生じるが、荷重分配横桁を取り付けた垂直補剛材に生じる応力履歴曲線が主桁のたわみ影響線に近い形をしているのはこのためと考えられる。

一方、図(b)の曲線は2つの車軸の存在が明確に区別でき、車軸が測定している垂直補剛材の近傍を通過した時にのみ応力が発生している。これは中間対傾構の剛性が小さいため、主桁間の荷重分配作用に起因する応力は比較的小さく、RC床版のたわみに起因する応力が卓越するためではないかと考えられる。

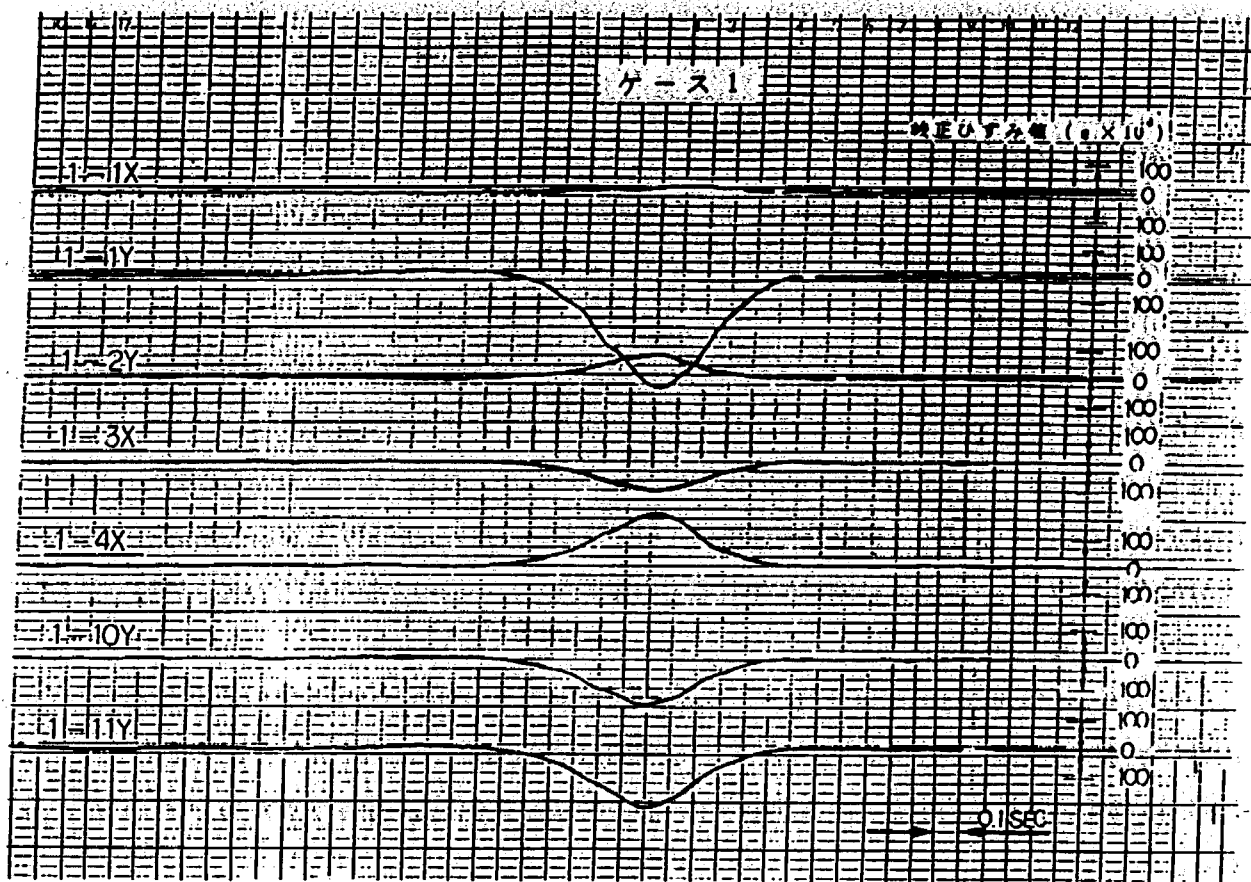
以上のように、垂直補剛材上端付近に生じる応力履歴曲線には、2通りの特徴的な形状が見られるが、図-4.1に示したものは、一方が荷重分配横桁、他方が中間対傾構と横組材の剛性が大幅に異なるためその差が明瞭に出たものと考えられる。本橋のように比較的剛性の小さい中間横桁が使用されている場合には、図-4.1(a)(b)程の極端な差は現れず、中間的なものとなることが予想される。

図-4.2および3は、本橋の動的載荷試験時における応力(図には歪として表示)履歴曲線を示したものである。使用した荷重車が3軸車であることを除けば、図-4.1と条件はほぼ同様である。

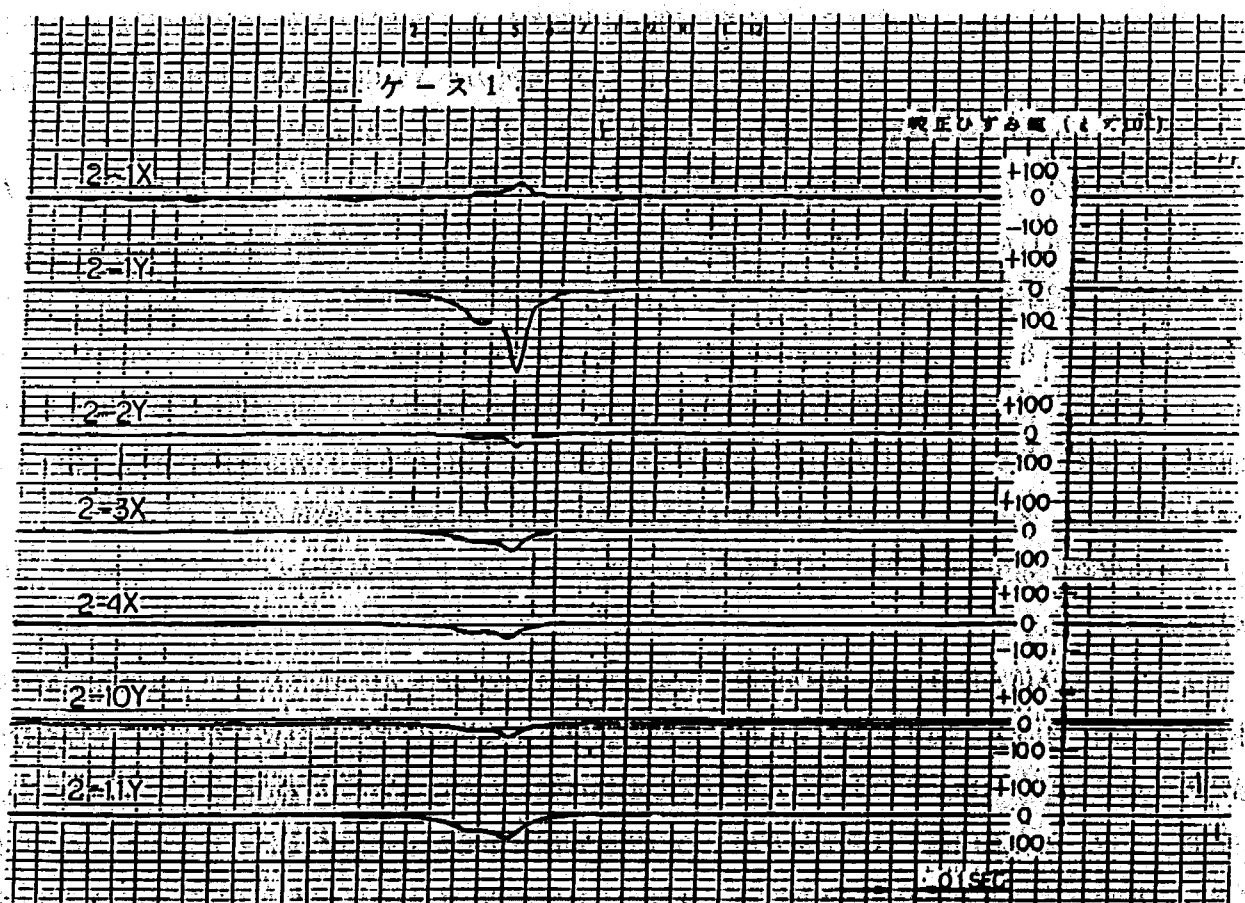
走行車線を荷重車が通過した場合(図-4.2)には、車輪が間近を通過した位置の歪履歴曲線(ゲージNo.4, 5および8)に前後車軸の影響が現れている。特にNo.5では、ほぼ直上を車輪が通過したためか、タンデムの2軸すら判別できる。No.4および8は、通過する車輪に対し同じ位置にあるためよく似た曲線となっているが、支間中央のNo.4と1/4位置のNo.8とでは最大値の出る位置が異なっている。いずれの場合も、図-4.1(a)(b)ほど明確な特徴は見られず、予想通りの傾向を示している。

これらの位置に発生する応力は、垂直補剛材が床版のたわみを下から拘束する形となるためすべて圧縮側となっている。

No.1, 2および10の位置では、追越車線を荷重車が通過した場合に前に述べた3点とほぼ同じ荷重条件となる(図-4.3)。No.1および2には、車軸通過時の比較的鋭いピークが見られるが、走行車線通過時の3点ほどではない。このような走行車線と追越車線との差については特に検討はしていないが、一般に上下線一体の直線橋では橋面排水のための横断勾配を中央から両側に向かって付けるため、中央に近い主桁ほど床版との間のハンチが大きくなり、これが床版のたわみに起因する応力を低減させる働きをしていることも1つの理由として考えられる。

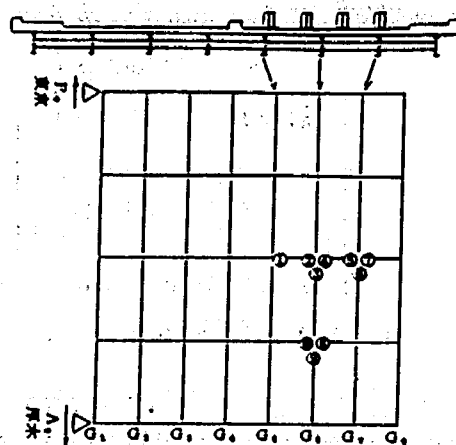


(a) 荷重分配横桁位置



(b) 中間対傾構位置

図 - 4.1 垂直補剛材に生じる応力履歴曲線の測定例²⁾



補強前

走行車線 50km/h

荷重車 (20t)

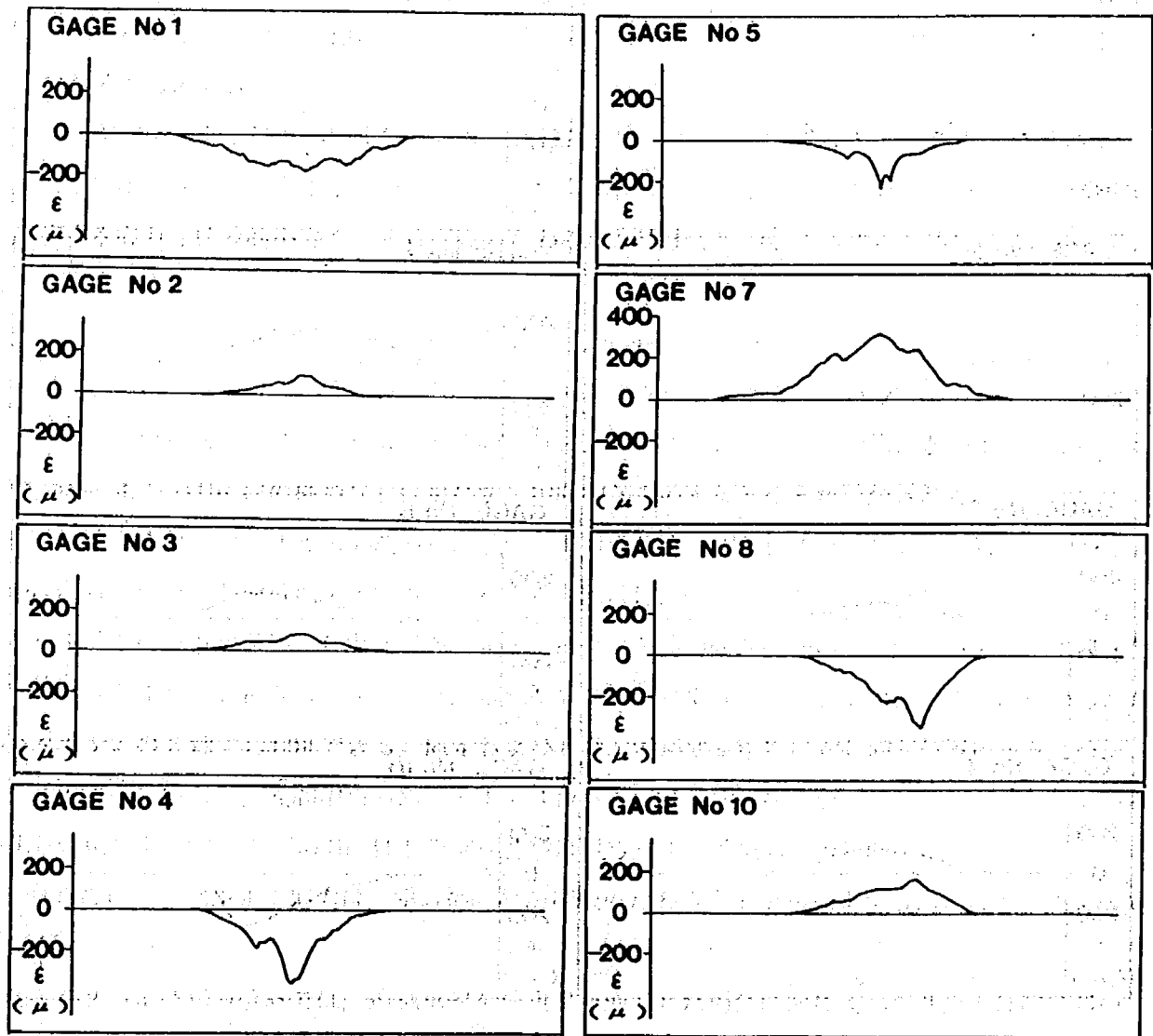
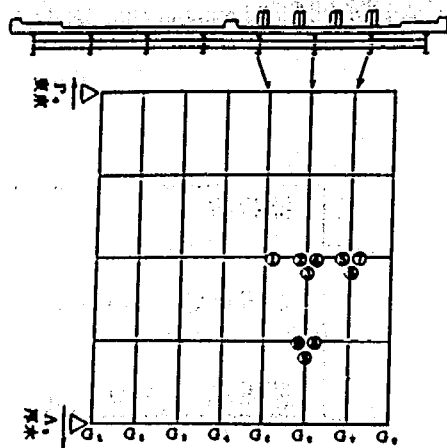


図-4.2 動的載荷試験時における応力履歴曲線図



補強前

追越車線 50km/h

荷重車 (20t)

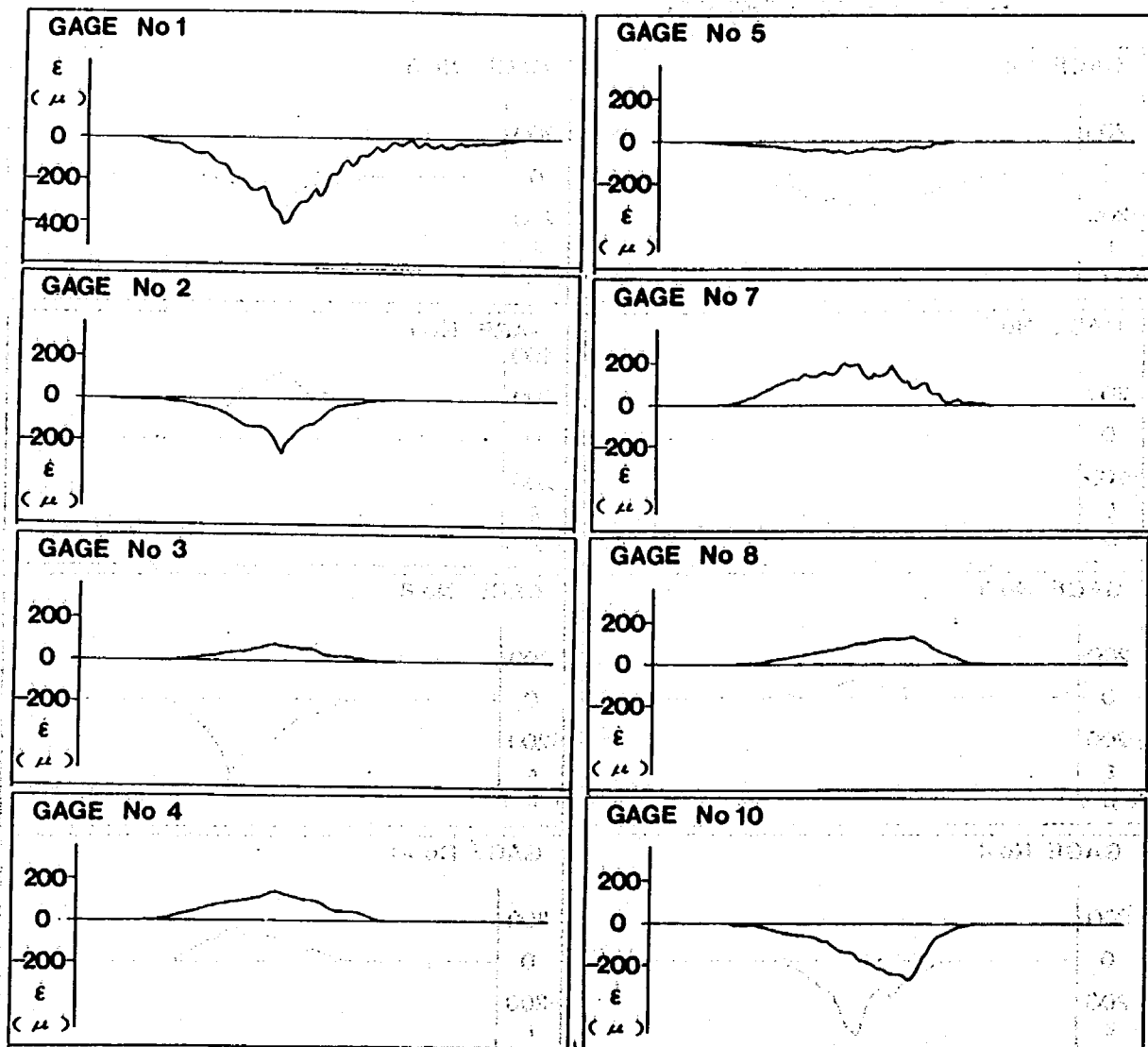


図-4.3 動的載荷試験時における応力履歴曲線図

一方、荷重車走行時に大きな圧縮力を発生する垂直補剛材の主桁をはさんで反対側の（走行車線通過時にはNo 2, 7 および10, 追越車線通過時にはNo 4 および8）には、床版が上フランジから引離される状態になるため鉛直方向には引張り応力が生じている。歪波形については、圧縮側ほど車輪通過時のピークは明らかではない。

No 2, 4, 8 および10では、車両の通過位置により発生する応力の符号が変化することが分る。正負の応力の絶対値は圧縮応力のほうが大きくなっている。

No 3 は、G 6 主桁支間中央下フランジの応力履歴曲線を示したものである。衝撃の影響で波形がやや乱れているが、ほぼ主桁の曲げモーメント影響線の形状を示している。

垂直補剛材に発生した応力度（歪値×ヤング係数）の絶対値では、追越車線通過時のNo 1 が最も大きく約860 kg/cm²、走行車線および追越車線を合せた応力範囲でもNo 1 が最も大きく1240 kg/cm²となっている。主桁下フランジの応力はすべて引張り側で、その大きさはおよそ160~170 kg/cm²である。因みにこれは、横桁の荷重分配効果を見出し、合成桁断面として試算（車両通過位置の詳細は推定）した応力度の約65%に当たる。

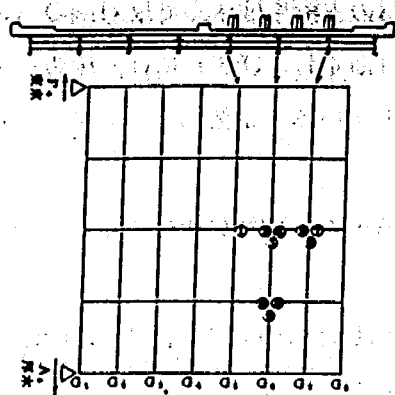
No 7 の応力は、いずれの荷重状態においても引張り応力が発生しており、その絶対値もかなり大きい。しかし、No 7 および同じ位置の垂直補剛材にはほとんど損傷がないなど、説明のし難い結果となっている。測定時の誤りの可能性など種々検討を加えたにもかかわらず、すべてを説明し得る理由は見出せなかったが、この位置の応力を解明することがそれほど重要でないことを考慮して、これ以上のNo 7 に関する検討は保留する。

4.2 一般車両通過時の応力

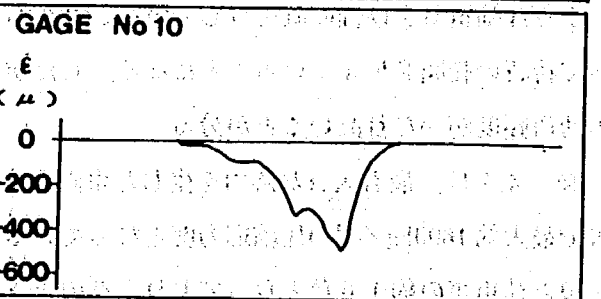
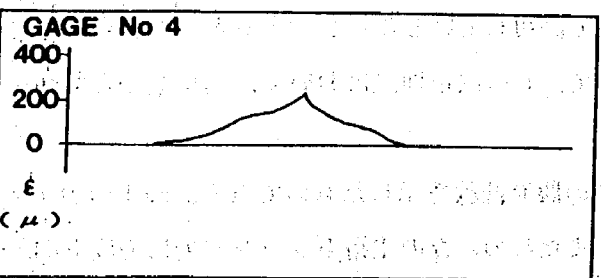
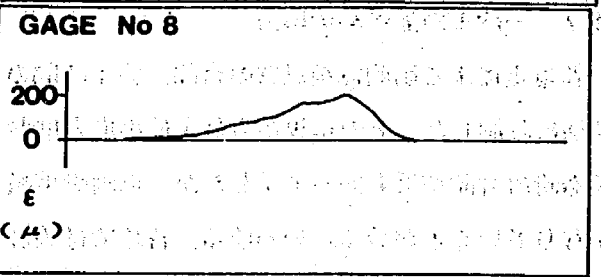
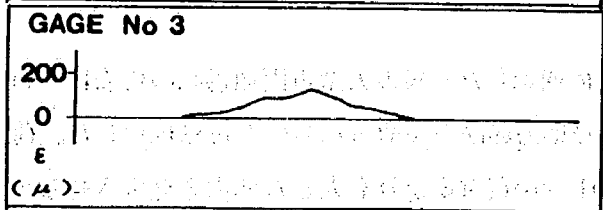
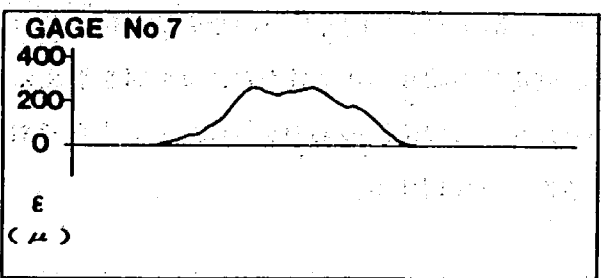
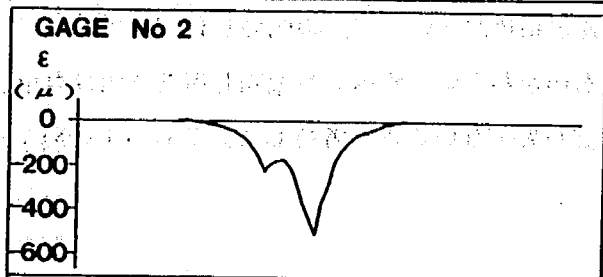
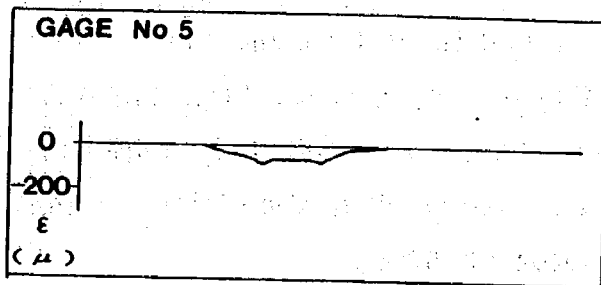
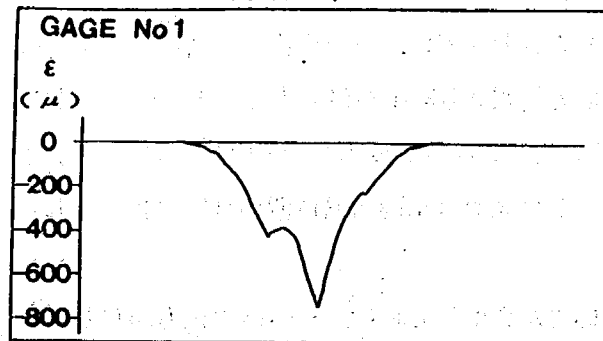
荷重車による動的載荷試験の間、約1時間の間に通過した一般の大型車両通過時の応力についても同様に計測した。その結果から最大最小応力度および応力範囲を讀取ったものを付録に示した。荷重車通過時の計測結果も並べて示したが、車両総重量20トンの荷重車よりも大きな応力を発生させる車両がかなり多いことが分る。いわゆる、特認では設計荷重（TL-20）より大きい影響を橋梁部材に与えないような軸重および軸配置を有していることをもって許可していることを考えると、これらの車両はすべて特認の範囲を超えていることになる。したがって、この測定地点において、過積載と思われる車両の通過頻度がかなり高いことが分る。

図-4.4 は、最も大きな応力を生じた車両通過時の履歴曲線を示したものである。No 1 の歪ゲージ位置で最大約1600 kg/cm²の圧縮応力度となっている。またこのときの主桁下フランジの応力度も約260 kg/cm²と荷重車の約1.6倍となっており、このときの通過車両が荷重車と同じ3軸トラックであったことから推して、この車両の総重量は32トン前後であったものと推定される。

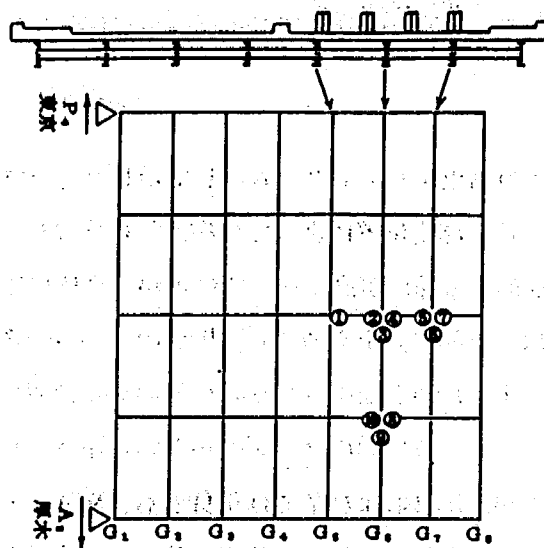
図-4.5 は、走行追越両車線を大型車が続けて通過した時の応力履歴曲線を示したものである。波形から2台の通過が判別できるが、No 2, 4, 8 および10で応力が正負に交番しているのがよく分る。ここでは詳述しないが溶接部の疲労強度に対して応力比（ $R = \sigma_{max} / \sigma_{min}$ ），言い換えれば応力の正負の影響は小さいことが分っている。したがって、これらの位置では実質的な応力範囲が大きくなるため、



補強前
追越車線
一般走行



図一4.4 動的載荷試験時における応力履歴曲線図



補強前

追越・走行車線

一般走行

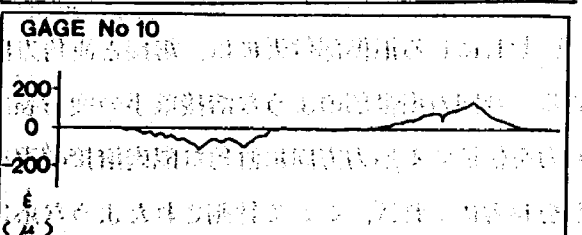
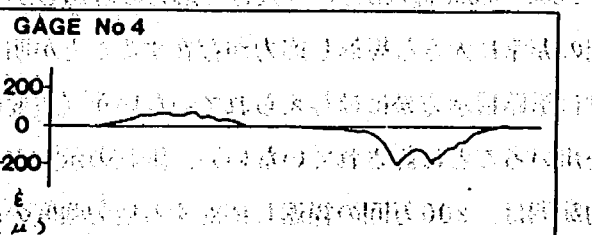
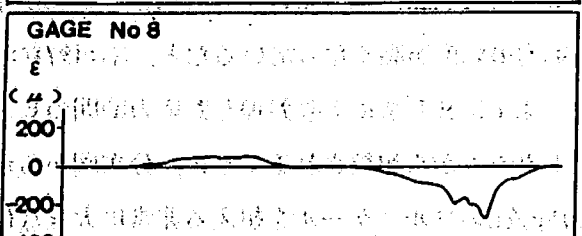
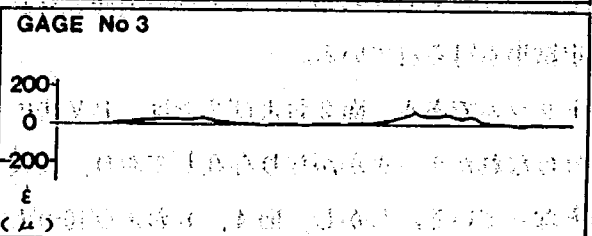
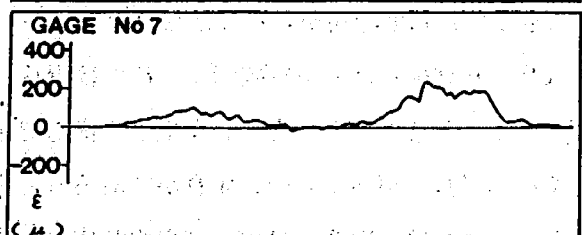
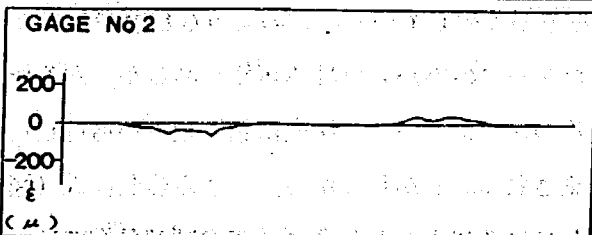
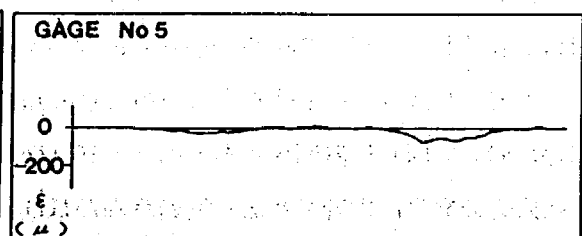
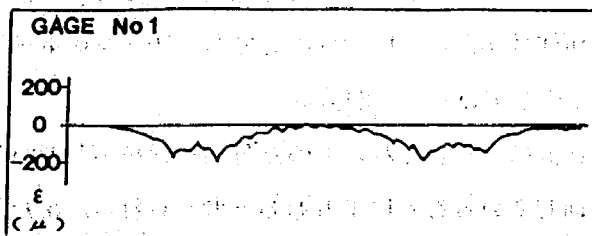


図-4.5 動的載荷試験時における応力履歴曲線図

疲労に対してはかなり不利となる。

4.3 応力頻度分布

図-4.6および7は、垂直補剛材の応力頻度計測の結果をヒストグラムにして示したものである。図-4.6は、応力の極大極小値の発生頻度を表している。測定位置によって分布形状は異なり、すべてに正負の応力が含まれており、0付近すなわち微小な応力の頻度が高くなっているが、全体に圧縮側に大きな応力が偏って発生していることが分る。これは、車輪が直上を通過し、床版のたわみ変形によって垂直補剛材上端を押え付けられた時に大きな応力が生じるためと推測される。No.5の測定位置では、G7桁の外側を車輪が通過する可能性が小さいことから、引張り応力の発生頻度が非常に小さくなっている。

計測器のフルスケールは $\pm 1600 \text{ kg/cm}^2$ と設定したが、No.2および7では正負とも、No.4、5および8では圧縮側でフルスケールをオーバーしている。このことはR F法による応力範囲の頻度計測にある程度影響を及ぼし、実際よりもやや小さめに評価する可能性がある。いずれにしても、20トン荷重車通過時の最大応力をはるかに上回る応力がかなりの頻度で生じていることが分る。

車線に対して同じ位置関係にあるNo.2と10、No.4と8は、それぞれよく似た分布形状を示している。これは応力の発生に影響を及ぼす通過車両がほぼ共通していることによるものと考えられる。また、No.2および7では頻度分布からかけはなれた応力がかなり多く生じている。どのような状態でこのように大きな応力が発生したのかを確認することは得られたデータのみからでは不可能であるが、ある特別な載荷条件下で非常に大きな応力を発生する構造であるのか、あるいは、深夜に超大型車が通過したか（近くに米軍基地がある）のいずれかであろうと推測される。しかしながら、ひずみ履歴曲線（図-4.2～5）によれば、No.7にはすべて引張り応力が生じているにもかかわらず、応力頻度分布ではむしろ圧縮応力の頻度が高くなっているなど、不可解な測定結果も得られている。

図-4.7はR F法により処理した応力範囲のヒストグラムである。No.2および7では、P V法によるヒストグラムから想像されるように、分布図からかけはなれたデータがかなり存在しており、最大値は 3200 kg/cm^2 のフルスケールを超える非常に大きな値となっている。しかし、No.4、8および10のように比較的まとまった分布を示す場合においても、最大 $2200 \sim 2300 \text{ kg/cm}^2$ という大きな応力の繰返しが見られ、いずれにしろ損傷部付近には、溶接と直角方向の非常に大きな繰返し応力が存在することが明らかである。今回の損傷部のような溶接継手の疲労強度は道路橋示方書には与えられていないが（主要部材に応力を伝達する応力方向に直角な隅肉溶接継手を用いることは許されていない）、国鉄の示方書⁶⁾などを参考にすれば、ここで計測されたような応力範囲は、200万回の繰返しに対する疲労強度の倍以上の値となっており、これらの位置に疲労クラックが生じてもおかしくない条件となっていることが分る。

車線に対して同じ位置関係になるNo.2と10およびNo.4と8については、P V法の場合と同様、分布形状がよく似ている。

図-4.8は、主桁下フランジに発生する応力範囲の頻度分布を示したものである。No.3および9は、同じG6桁のそれぞれ1/2および1/4支間の位置における測定値であるため、分布形状はよく似て

おり、応力の最大値はNo 3の方がやや大きくなっている。No 3と6すなわちG 6桁とG 7桁の比較では、No 6の応力がかかなり大きくなっている。これは、走行車線側に大型車両の通行が多いこと、G 7桁の直上が車輪の通過位置に近いことなどによるものと考えられる。

G 6およびG 7桁支間中央下フランジの設計活荷重応力度がL-20に対して約840 kg/cm²、ゲージNo 3の20トン荷重車1台通過時の計測最大応力度が約170 kg/cm²であったことなどを考え合せると、衝撃の影響がかかなりあったとしても、相当重量の大きな車両がかかなりの頻度で通過しているものと予想される。

4.4 累積被害則の適用

ヒストグラムを見るだけでもそれぞれの測定位置における繰返し応力の大きさを知ることができるが、ここでは、マイナーによる直線累積被害則を適用し、各部の累積被害を計算して定量的に検討することを試みた。同じ著者により別の橋について検討した例がある⁷⁾が、今回と方法は同じである。

マイナーの直線累積被害則は、ランダムな繰返し応力が作用する鋼部材の疲労寿命を推定するための手法であり、各種の文献に詳しく記述されているので詳述は避けるが、おおよそ次のような方法である(例えば文献⁶⁾参照)。

一般に、一定応力繰返し下における鋼材の疲労強度は次の式で表わすことができる。

$$\Delta \sigma = C \cdot N^{-1/m} \quad \dots\dots\dots (4.1)$$

ここに、N : 疲労寿命 (荷重の繰返し回数)

$\Delta \sigma$: 応力範囲 (kg/cm²)

C, m : 定数

溶接継手における定数mは、鋼材の種類によりほぼ一定であり、SS 41, SM 50 クラスの鋼材では約4となることが知られている。ここで応力範囲に対する頻度分布が与えられれば、次式により一定期間内において継手に蓄積される疲労被害 (Damage) の大きさを計算することができる。

$$\begin{aligned} D &= \sum \frac{n_i}{N_i} \\ &= \sum \frac{n_i}{(\Delta \sigma_i / C)^{-m}} \quad \dots\dots\dots (4.2) \end{aligned}$$

ここに、D : 累積被害 (D = 1で損傷が生じる)

N_i : 応力範囲 $\Delta \sigma_i$ に対する疲労寿命 (回)

n_i : 応力範囲 $\Delta \sigma_i$ の頻度 (回)

ここでは、土木研究所および国鉄の疲労試験データ^{6), 8)}から、定数Cおよびmをそれぞれ5.3および4として24時間の疲労被害の計算を試みた (付図-1参照)。微小な応力の取り扱いについては種々議論のあるところであるが、ここでは仮に500 kg/cm²未満の応力範囲を無効として計算した。

図-4.9は、計算した24時間の累積被害と、疲労損傷程度の関係を示したものである。ヒストグラムから想像されるように、No 4および8の累積被害が最も大きく、No 10, 2, 7, 5の順となっている。

図-1.3に示した損傷状況のデータから、各々の測定点と同じ構造条件となるものを5連分集め、垂直補剛材側面のクラック長の平均とクラック発生率をそれぞれ示した。No.5を除けば、累積被害が大きいほど損傷程度が大きくなる傾向が見られる。測定を行ったP4-A2間の上り線は、橋の通過後すぐに立体交差があり、多くの大型車が右左折のため側道に流れる。このため、測定支間の走行車線では、車両は比較的左端に近い部分を走行する傾向があり、他の支間と垂直補剛材の応力状態が異なる可能性がある。そこでそれぞれの測定位置における補剛材側面のクラック長を同様に示してみたが、この場合には、累積被害の計算値との矛盾は少なくなる。

累積被害の計算値はほぼ $6 \times 10 \sim 3.5 \times 10$ の範囲にあり、仮に現在の交通状態が続くと仮定すると、約7.8～44年で疲労損傷が発生することになる。これは本橋の供用後損傷が発見されるまでの期間が約16年であったことを考えると、ほぼ妥当な数字である。

図-1.3に示した損傷状況のデータから、各々の測定点と同じ構造条件となるものを5連分集め、垂直補剛材側面のクラック長の平均とクラック発生率をそれぞれ示した。No 5を除けば、累積被害が大きいほど損傷程度が大きくなる傾向が見られる。測定を行ったP4-A2間の上り線は、橋の通過後すぐに立体交差があり、多くの大型車が右左折のため側道に流れる。このため、測定支間の走行車線では、車両は比較的左端に近い部分を走行する傾向があり、他の支間と垂直補剛材の応力状態が異なる可能性がある。そこでそれぞれの測定位置における補剛材側面のクラック長を同様に示してみたが、この場合には、累積被害の計算値との矛盾は少なくなる。

累積被害の計算値はほぼ 6×10^{-4} 3.5×10^{-4} の範囲にあり、仮に現在の交通状態が続くと仮定すると、約7.8～44年で疲労損傷が発生することになる。これは本橋の供用後損傷が発見されるまでの期間が約16年であったことを考えると、ほぼ妥当な数字である。

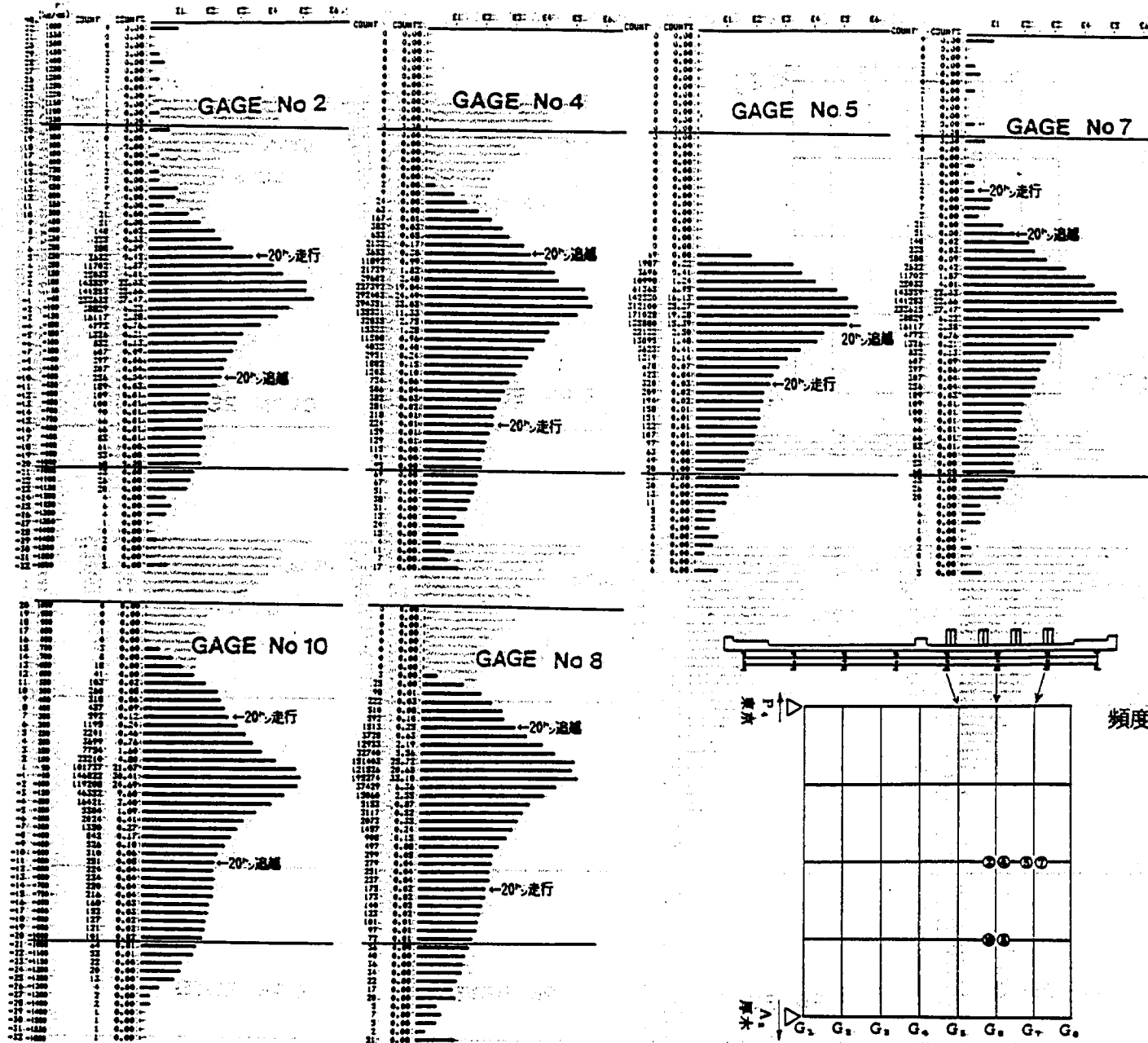


図-4.6 Peak Valley Method による応力頻度分布 (補強前)

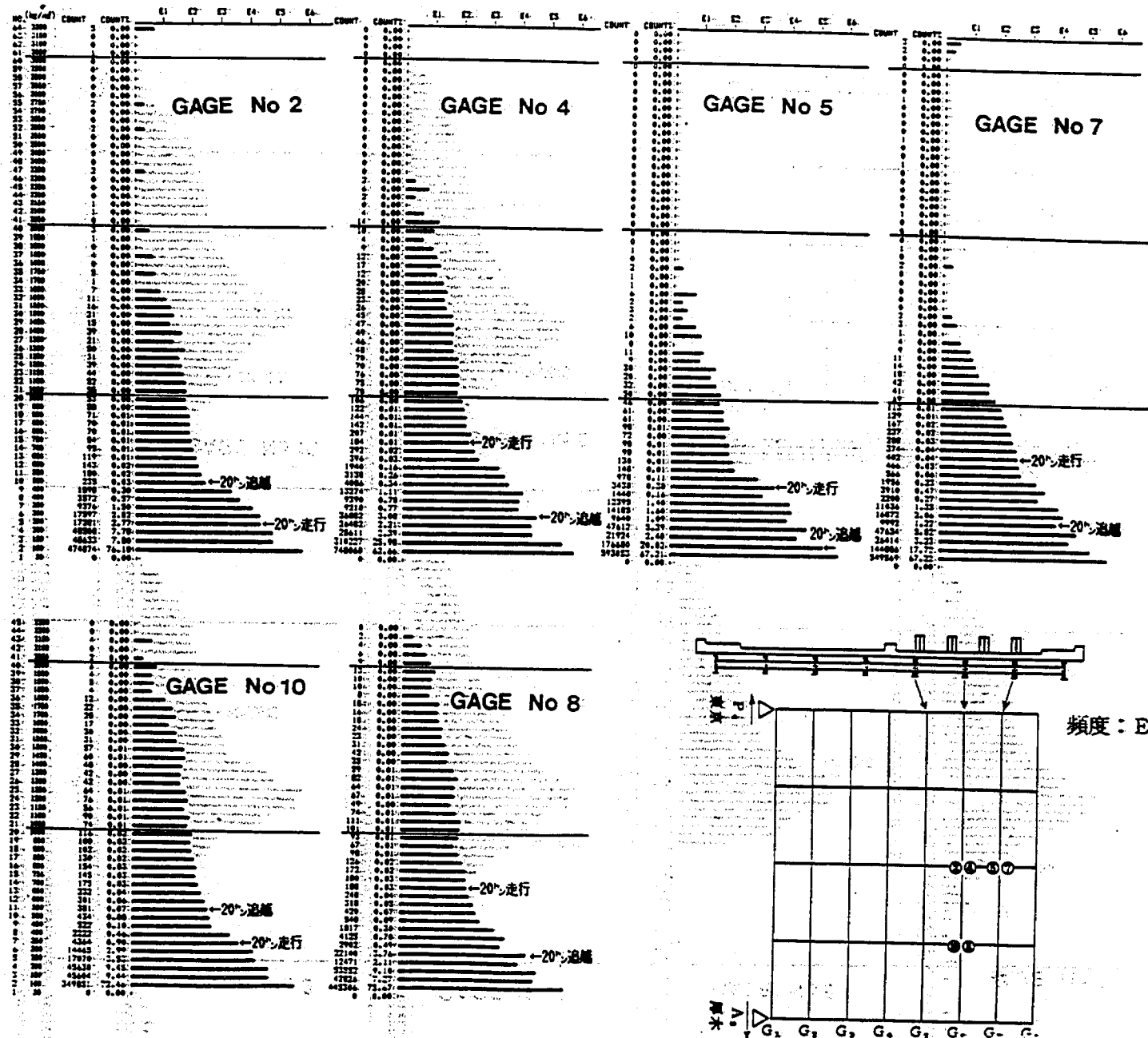


図-4.7 Rain Flow Method による応力頻度分布 (補強前)

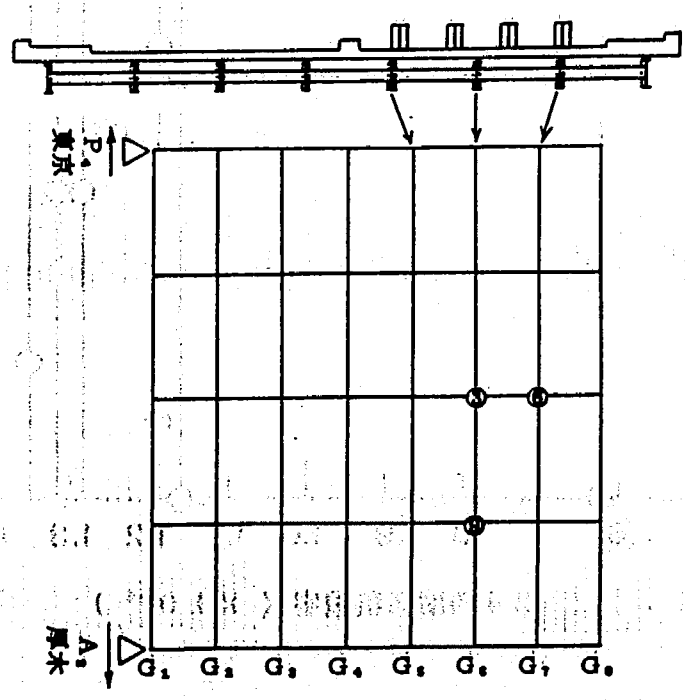
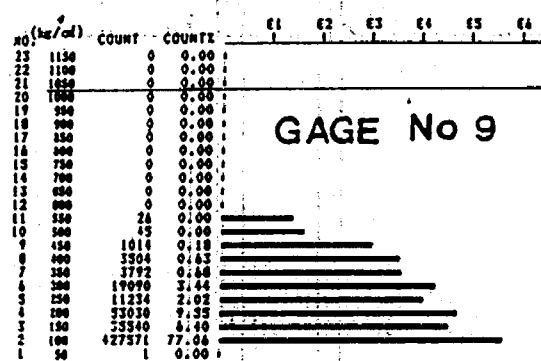
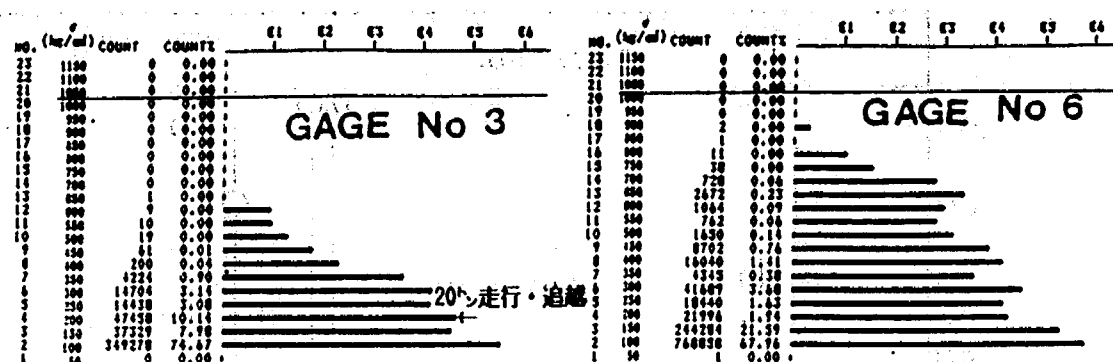


図-4.8 Rain Flow Method による主桁下フランジの応力頻度分布 (補強前)

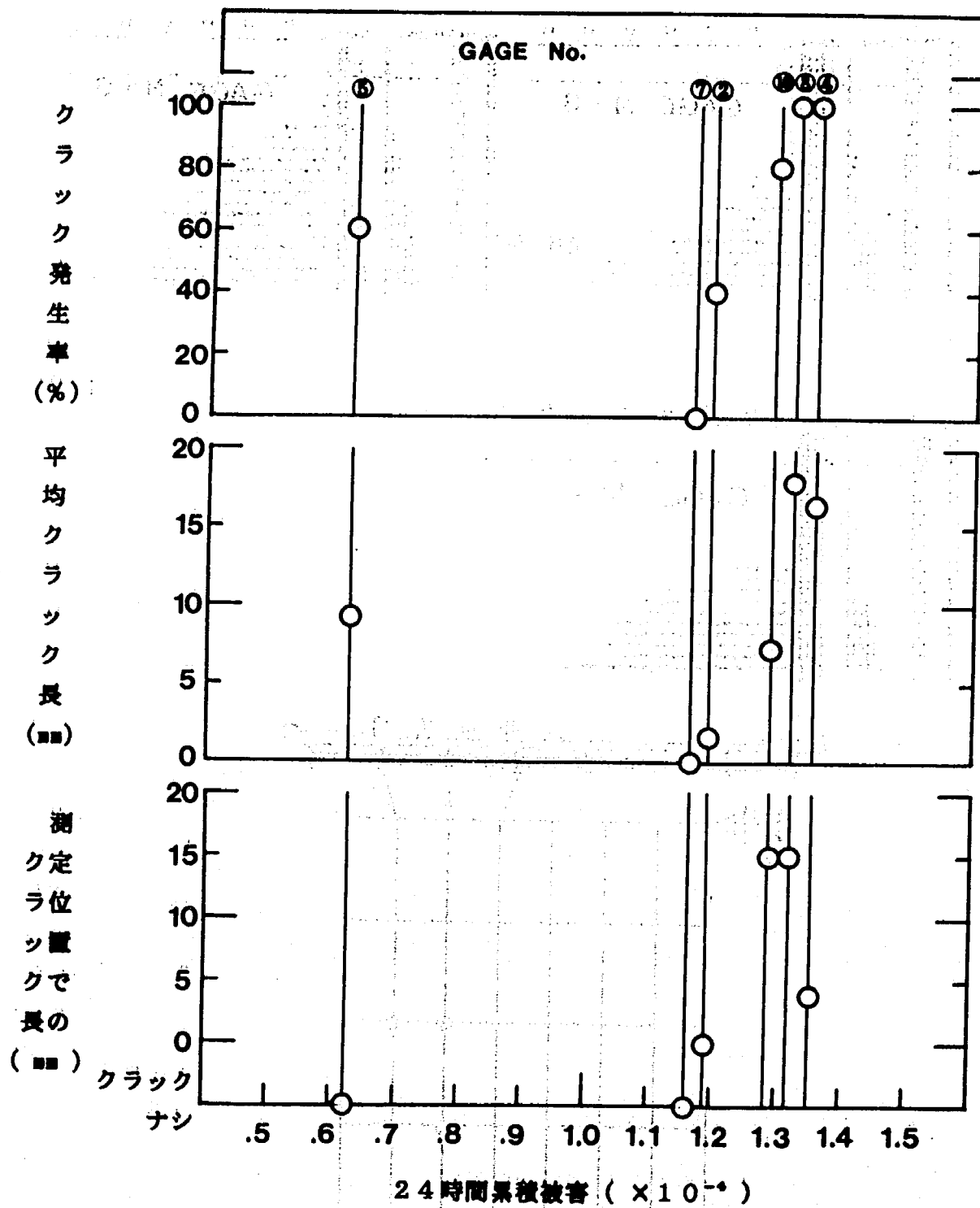


図-4.9 24時間累積被害と損傷程度の関係

5. 床版補強の影響

5.1 縦桁増設によるRC床版の補強

前述したように、本橋の疲労クラックはRC床版補強のための縦桁増設時に発見された。増設された縦桁は、図-5.1に示すように $450 \times 200 \times 9 \times 14$ mmのH形鋼で、車道下の主桁間にそれぞれ1本ずつ設置され、RC床版とのすきまには樹脂が注入された。縦桁は横桁により支持される構造となるため、横桁そのものの補強も必要になる。本橋では、既存の横桁の中間に新たに横桁を増設するとともに、既存の横桁も縦桁と同じ寸法の大きいものに交換された。

縦桁増設後は、主桁間の荷重分配がより多くの横桁に分散されるため、荷重の分配効果により発生する繰返し応力は軽減されることが期待される。また、縦桁増設により床版のたわみも抑制されることから、床版のたわみに起因する応力も低減されるものと予想される。

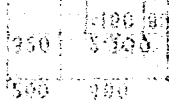
5.2 縦桁増設後の応力

図-5.2および3は、縦桁増設前後における荷重車通過時の歪履歴曲線の変化を示したものである。補強前(図-4.2および3)に比べて発生する応力がかかなり小さくなっていることが確認できる。ゲージNo.2および4では、荷重分配により発生した応力の符号が逆になっており、橋の格子構造が大幅に変化したことを示している。

縦桁増設前後における応力の振れ幅がどの程度低減したかを示したものが表-5.1である。ゲージNo.4, 5および7の応力範囲は、車両の走行車線通過時に大きな値となるが、縦桁増設後これらの値はそれぞれ約 $1/20$, $1/4$, $1/3$ と非常に小さくなっている。ゲージNo.1, 2および10の応力範囲は、追越車線走行時に大きくなるが、やはり縦桁増設後においては、それぞれ約 $1/4$, $1/2.5$, $1/4$ と小さくなっている。さらに、主桁の応力であるゲージNo.3の測定値を見ると、走行車線走行時で約90%, 追越車線走行時で約80%と減少しており、橋全体としての荷重分配効果もかなり改善されていることがわかる。

さらに、同じことを応力頻度分布で比較したのが図-5.4~6である。応力範囲 500 kg/cm^2 以上の応力を有効として24時間における疲労に対する累積被害を計算すると表-5.2のようになり、損傷部の受ける被害(Damage)が著しく減少していることがわかる。表の下段は、仮に現在の交通状態が続いたとした場合の疲労寿命を計算したものであるが、これを見ても疲労に対する性状が改善されたことがよく分る。

以上のように、RC床版補強のために行われた縦桁増設が、損傷部のみならず橋梁各部に生じる応力を著しく軽減し疲労寿命を伸ばす効果があることを確認することができた。



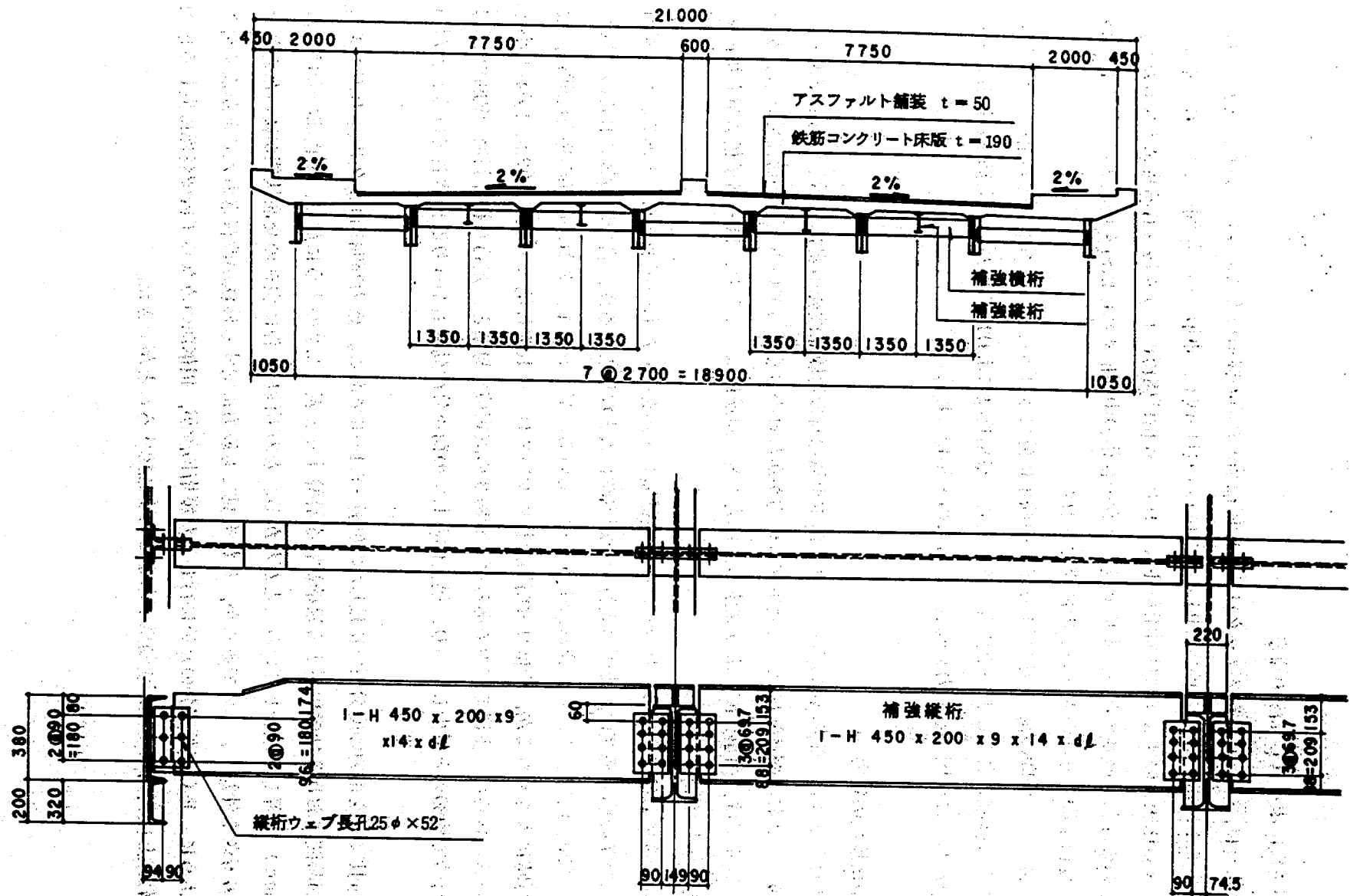
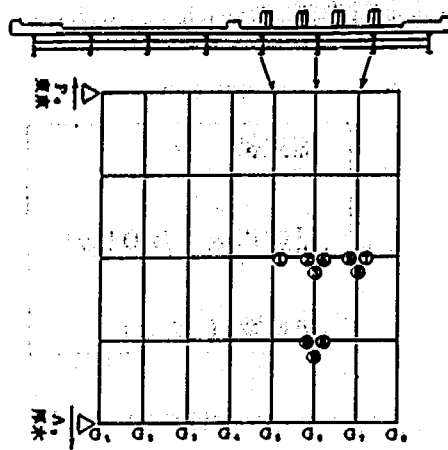


図- 5.1 R C床版の縦筋増設補強の概要



補強後

走行車線 50km/h

荷重車 (20t)

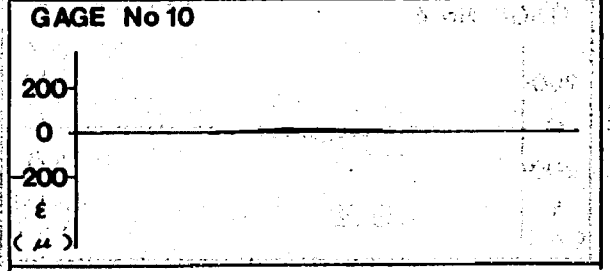
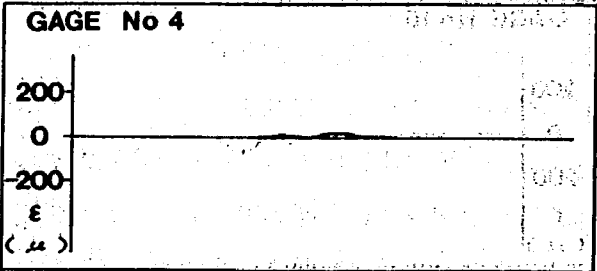
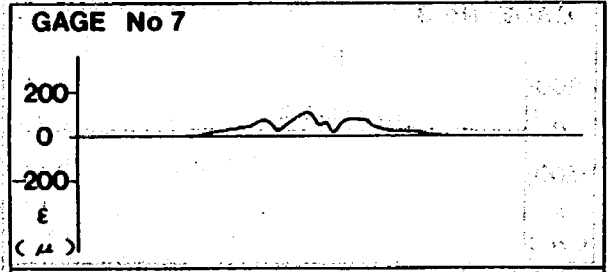
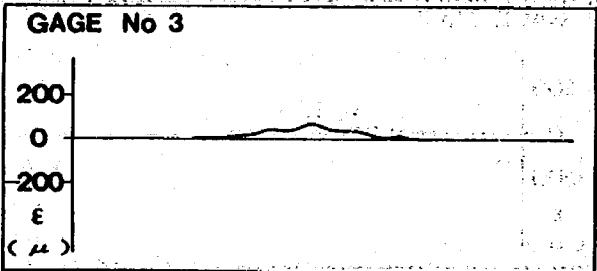
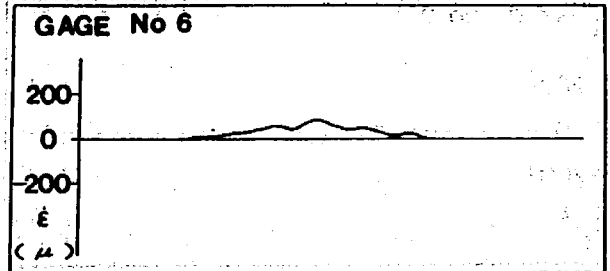
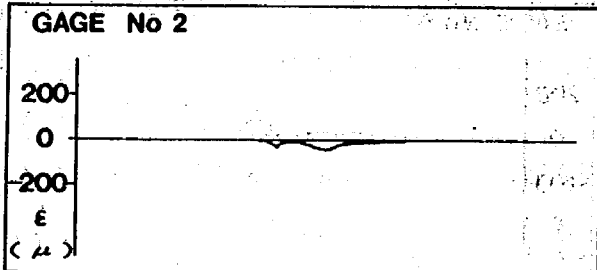
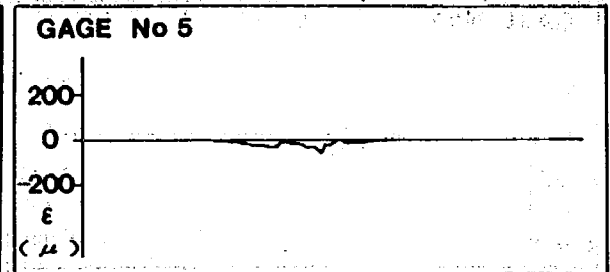
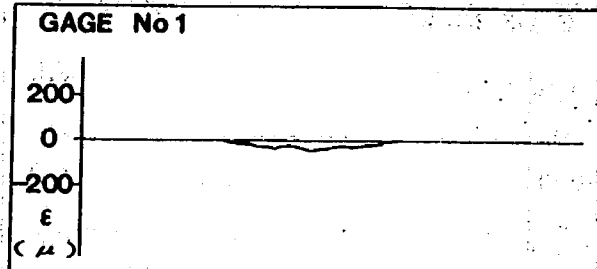
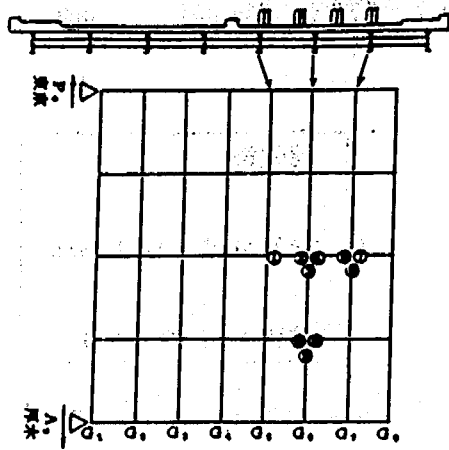


図 6.2 動的載荷試験時における応力履歴曲線図



補強後

追越車線 50km/h

荷重車 (20t)

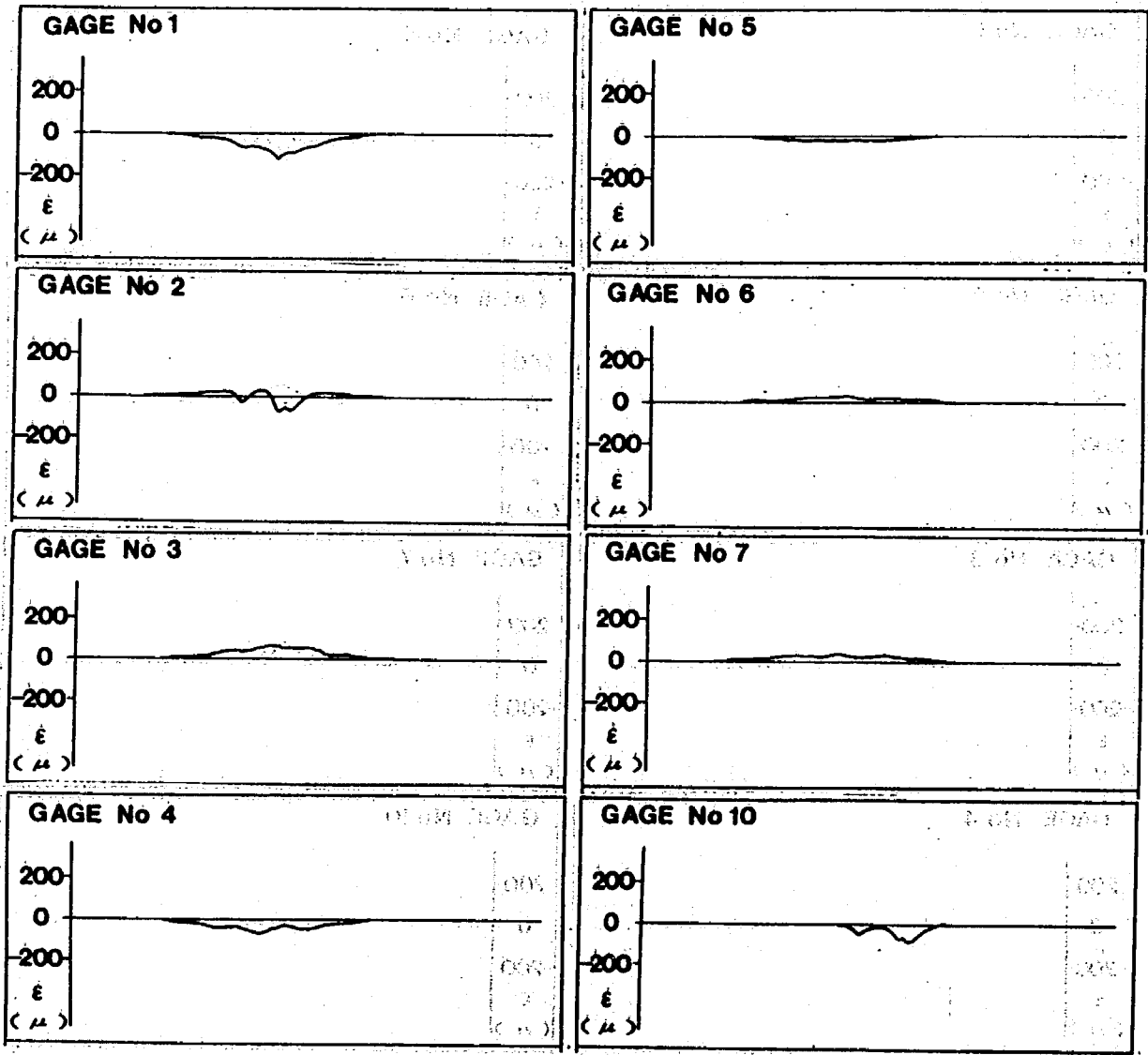
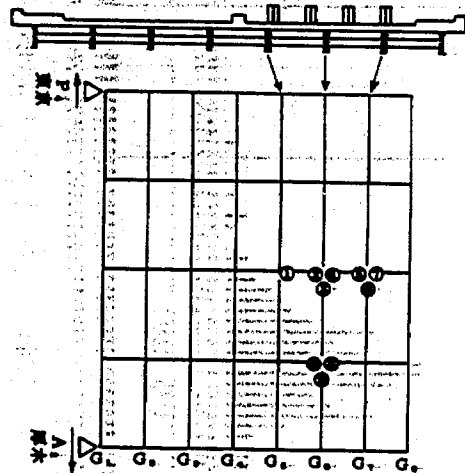


図 5.3 動的載荷試験時における応力履歴曲線図

表-5.1 荷重車載荷時の応力度（応力幅）

車速 km/h	GAGE NO.	補 強 前 (単位: kg/cm ²)							補 強 後 (単位: kg/cm ²)							補 強 後 / 補 強 前								
		1	2	3	4	5	7	8	10	1	2	3	4	5	6	7	10	1	2	3	4	5	7	10
		1	2	3	4	5	7	8	10	1	2	3	4	5	6	7	10	1	2	3	4	5	7	10
走	10	378	336	158	257	257	257	924	630	84	84	147	42	84	189	210	21	0.22	0.25	0.93	0.05	0.25	0.33	0.03
行	50	389	221	173	238	434	257	693	357	105	84	153	42	138	189	221	21	0.27	0.38	0.88	0.08	0.23	0.32	0.06
通	10	168	168	168	273	84	378	294	210	210	126	158	42	84	84	189	21	0.17	0.43	0.75	0.58	0.50	0.22	0.27
越	50	168	168	158	272	105	420	263	257	400	189	126	147	42	63	84	189	0.15	0.38	0.79	0.54	0.40	0.20	0.28



- *1. 50kmは、2箇の平均値。
- *2. GAGE NO.3, 6は、主けた。

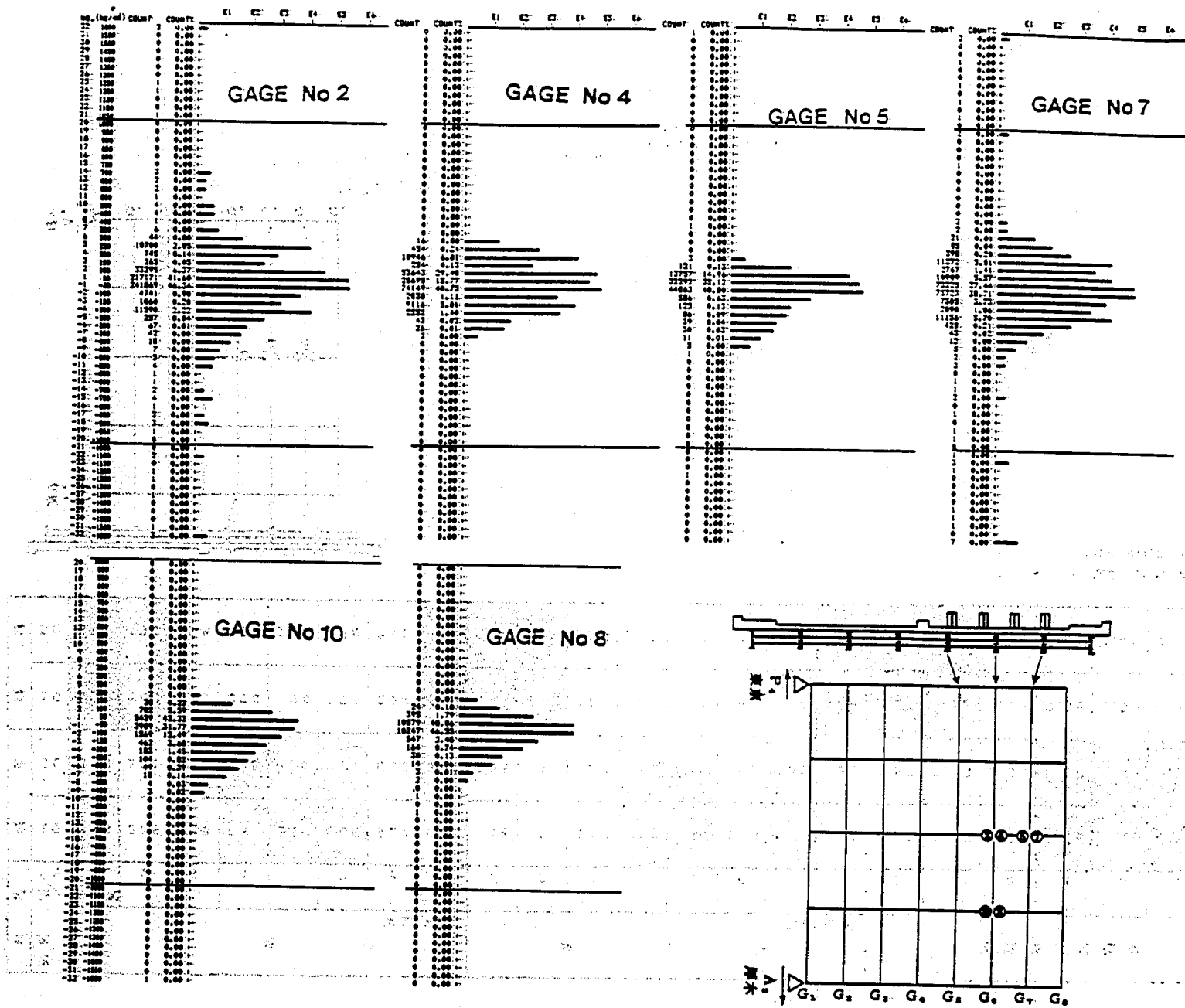


図-5.4 Peak Valley Methodによる応力頻度分布(補強後)

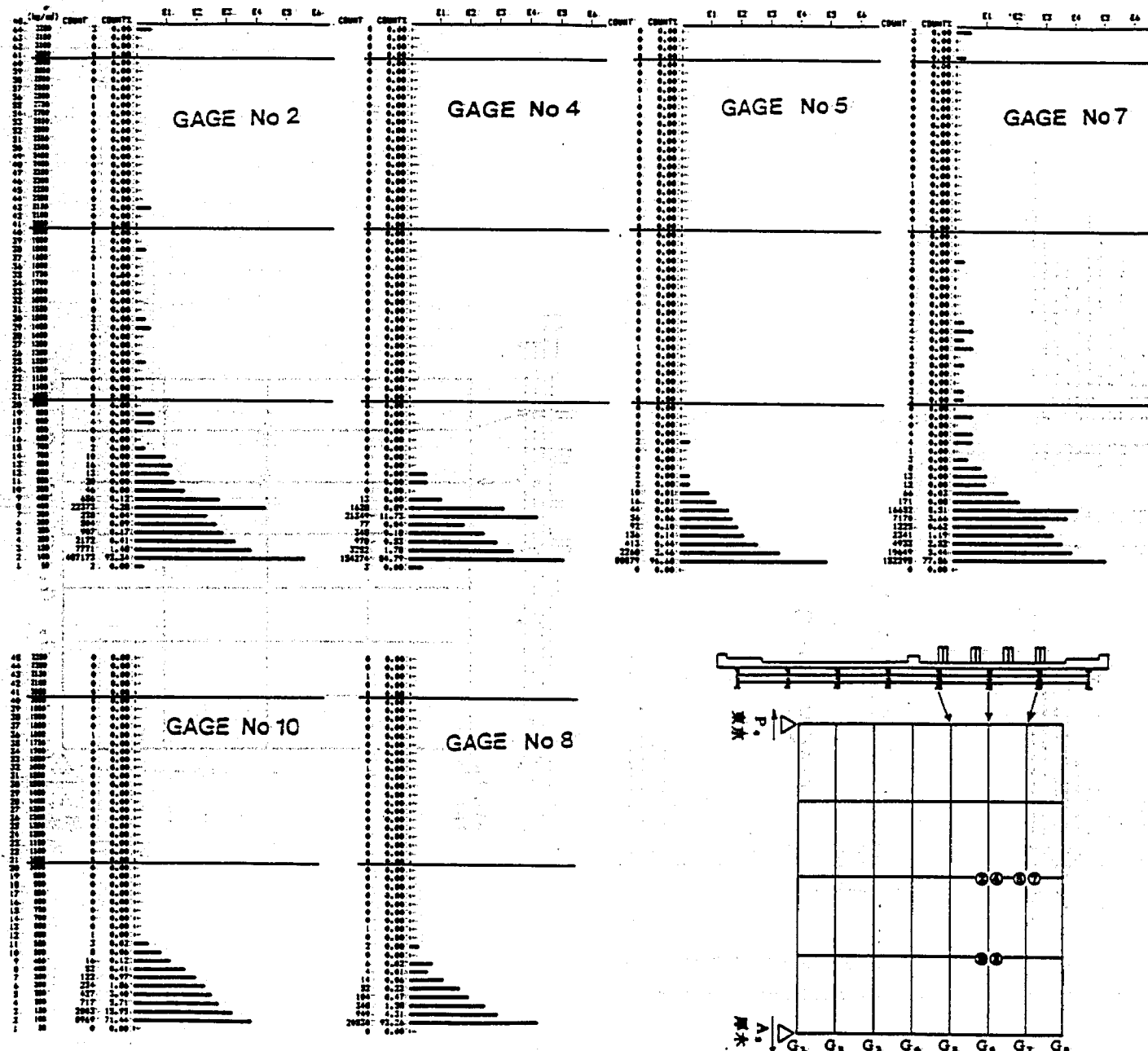


図-5.5 Rain Flow Methodによる応力頻度分布(補強後)

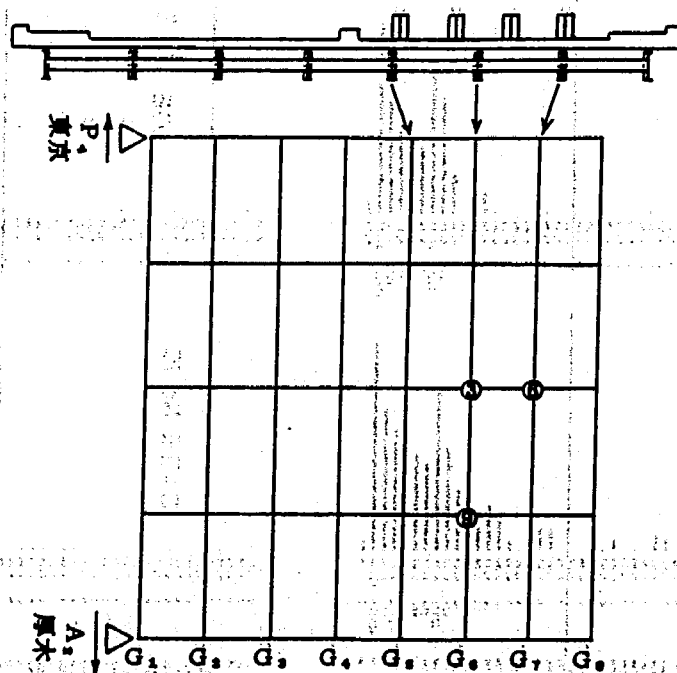
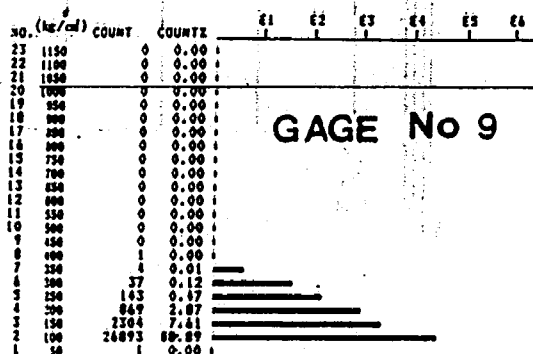
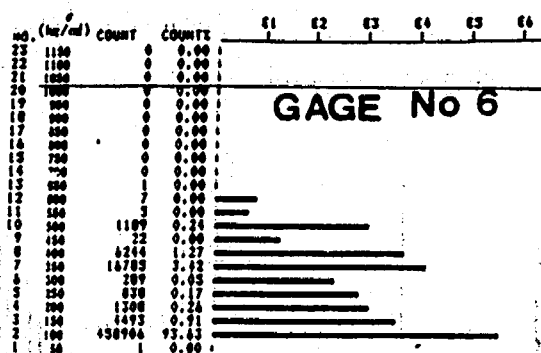
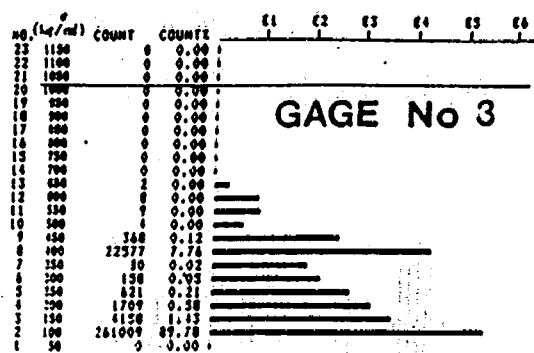


図-5.6 Rain Flow Method による主げた下フランジの応力頻度分布 (補強後)

表-5.2 24時間累積被害の計算値

GAGE NO.		2	4	5	7	8	10
2-4 時間 疲労被害	1)補強前	1.90×10^{-6}	3.51×10^{-6}	6.22×10^{-5}	1.63×10^{-4}	3.18×10^{-4}	2.88×10^{-4}
	2)補強後	4.71×10^{-5}	1.19×10^{-7}	1.75×10^{-7}	4.83×10^{-5}	2.15×10^{-5}	8.21×10^{-7}
	2)/ 1)	$\frac{1}{4.0}$	$\frac{1}{2,950}$	$\frac{1}{355}$	$\frac{1}{3.4}$	$\frac{1}{148}$	$\frac{1}{350}$
推定 疲労寿命 (年)	補強前	14.4	7.8	44	16.8	8.6	9.5
	補強後	58.1	23,023	15,656	56.7	1,274	3,337

6. 損傷部の補修・補強について

疲労による損傷が発生した場合の対策として、クラックという有害な部分を取除き、もとの部材断面を取戻すいわゆる補修と、疲労クラックの再発を防止するための補強について検討する必要があるが、ここでは補修・補強の要否あるいはその方法についてはさて置き、本橋における損傷部の疲労寿命の改善という見地から述べることにする。

鋼部材の溶接部の疲労強度を改善するためには次の2通りの方法が考えられる。1つは溶接部に働く局所的な応力度を軽減する方法、もう1つは部材に作用する力そのものを小さくする方法である。前者については、1) 損傷部における部材断面を増加するために補強材を取付ける、2) 溶接のサイズを大きくする、3) 溶接集中部の形状をグラインダーがけや r をつけることにより滑らかにし、応力集中率を低減させる、などの具体的な対策が考えられるが、多くの場合、溶接やガウジング等、供用中の橋梁に熱を加える作業が必要となり、欠陥を残さず満足のゆく結果を得るためには、周到な事前検討と施工管理が必要である。また、安易に部材を補強することは、構造物全体の荷重分担を変え、かえって損傷部の分担を増加させることがあるので注意が必要である。

一方、部材に作用する力を軽減するにはかなり大がかりな構造の変更を必要とするため、現実的な対策とはなり難いのが普通である。しかし、本橋の場合、RC床版の補強を目的とした縦桁増設がたまたま行われ、その結果損傷部に作用する応力度が著しく低下したことは前に述べた通りである。何度も述べているが、SS41やSM50材の溶接部の疲労寿命は作用する応力範囲の4乗に逆比例する。荷重車による動的載荷試験によれば、縦桁増設により損傷部に働く応力範囲は少なくとも補強前の $1/2.5$ 以下になっており、単純計算すれば、溶接部が疲労する速度は約 $1/40$ 以下に低下することになる。このことは、現在すでに発生している疲労クラックについてもその成長が鈍化するか、場合によっては停留することも期待できることを意味している。

以上のように、偶然行われたRC床版の補強対策が、今回の疲労損傷に対する改善にもつながり、場合によってはすでに十分な対策となっている可能性もあるのである。したがって、本橋の疲労損傷については、かえって事態を悪化させてしまう可能性のある溶接による補修は行わず、当面は縦桁増設による効果を期待して今後の推移を見守るのが賢明であると考えられる。

本橋の損傷部周辺の形状はやや複雑であり、疲労クラックの進展速度を支配するパラメータである応力拡大係数の算出は容易でないが、ほとんどの小さな疲労クラックについては、停留するか成長が非常に遅くなることが期待される。しかし、すでに数10mmにも達しているクラックについては、安全のため追跡調査を行うのが良いと考えられる。追跡調査の方法はそれほど厳密なものである必要はなく、例えば疲労クラックに沿って目盛りのついたスチールテープなどを貼りつけ、塗装面に現れたクラックと一緒に半年ないし1年一度位毎に写真に撮って記録し、1mm程度の精度でクラック長を計測すれば十分であろう。

現状のようなクラックの状態であれば、橋梁全体の耐荷力に影響はないが、主桁本体にまでクラックが進展するようであれば、なんらかの対策を施す必要があろう。万が一疲労クラックの進展速度が速く、

停留する見込みがない場合には、そのようなクラックに対してのみ、施工方法を十分に検討の上、次の方法により補修・補強するのが良いと考えられる。

- 1) 損傷部をガウジングし、開先をとって全断面溶け込みグループ溶接とする。
- 2) 溶接の垂直補剛材側の止端部をグラインダーあるいはTIG溶接などにより滑らかに仕上げる。

上記の1)、2)は、それぞれルート部および止端部から発生した疲労クラックに対する補強方法であり、本橋においては、両方のクラックが共存しているため、両方の対策が必要となろう。

7. 結 言

本試験により得られた結果を列挙すると次の通りである。

- (1) 損傷部に作用する繰返し応力は、横桁による主桁間の荷重分配作用と床版のたわみに起因するものの組合せであり、車線との位置関係によりその割合は異なる。
- (2) マイナーの直線累積被害則により応力頻度分布から求めた24時間の累積被害値は、測定点と同じ条件を有する部位の損傷程度と良い相関があり、疲労に対する安全性を評価するための指標として使用することが期待される。
- (3) 損傷したRC床版を補強するために行われた縦桁の増設は、主桁間の荷重分配性状とRC床版のたわみ性状を改善し、損傷部に作用する応力を著しく軽減する効果がある。
- (4) 本橋に発生した疲労クラックは、縦桁増設による損傷部の応力軽減効果が著しいため、進展速度が鈍化あるいは停留することが期待できる。したがって、当面は手を触れずに今後の推移を追跡調査するのが適当であろう。その結果、進展を続けるクラックがあれば、そのようなクラックだけを選んで「ガウジング」＋「全断面溶け込みグループ溶接」＋「止端部仕上げ」により補修するのがよいと考えられる。
- (5) 応力頻度測定の結果、20トントラックによる動的載荷試験時に発生した応力度をはるかに超える応力が数多くカウントされており、車両制限を大幅に超える重量を有する車両がかなり多く通行していることが明らかである。今回の疲労損傷についても一次要因としてこれら超重量車によるところが大きいものと考えられる。
- (6) 今回行った動的載荷試験と応力頻度測定の組合せは、自動化された計測器の導入により、極めて少ない労力と時間で必要なデータを入手することができ、疲労に対する安全性を評価するための計測方法として優れている。

あ と が き

ヒストグラムレコードによる橋梁の応力頻度測定は、実はこれが初めてではなく、3年程前に同じような疲労損傷を受けた橋梁の調査時に測器会社からPR機を借用して使ってみたのが始まりである。このときの結果は、第16回道路会議の指定課題論文⁷⁾としてすでに発表したが、その後応力頻度測定の重要性和データの活用の可能性を認識し、機器を購入して今回の測定となった次第である。

これまで、橋梁については解析や実験室での試験を通じて多くの研究が行われてきたが、すでに多くの既設橋梁のストックを有し、これらをいかに長持ちするように維持管理していくかが重要な課題となった今日、実際の橋梁が活荷重によりどのようなダメージを受けているのかをもっと良く知る努力が必要である。今回行った方法による応力測定が、そのための情報を得る手段として最も簡便かつ有効な方法であると考えている。

応力頻度測定というのは通常の载荷試験と異なり、より生に近い情報を統計的な形で入手することに意義がある。衝撃の影響をはじめ種々のファクターについてはあるがままの形で測定することになるが、無視されるそれらのファクターを補ってあまりある重要な情報を得ることができるといえよう。

今後、今回のような疲労損傷を受けた場合の対策の検討や、鋼橋の疲労に対する設計荷重を設定するための研究に活用していくことはもちろんであるが、さらに、

- 限界状態設計法のための設計活荷重を決めるために行っているシミュレーション解析の妥当性の検討
- 既設橋梁の新しい安全性評価手法の開発
- 橋梁を一種の秤として使用することによる作用活荷重強度（軸重分布に相当）の評価
- 鋼橋の横組部材取り付け部等局部的な疲労に対する設計手法の開発

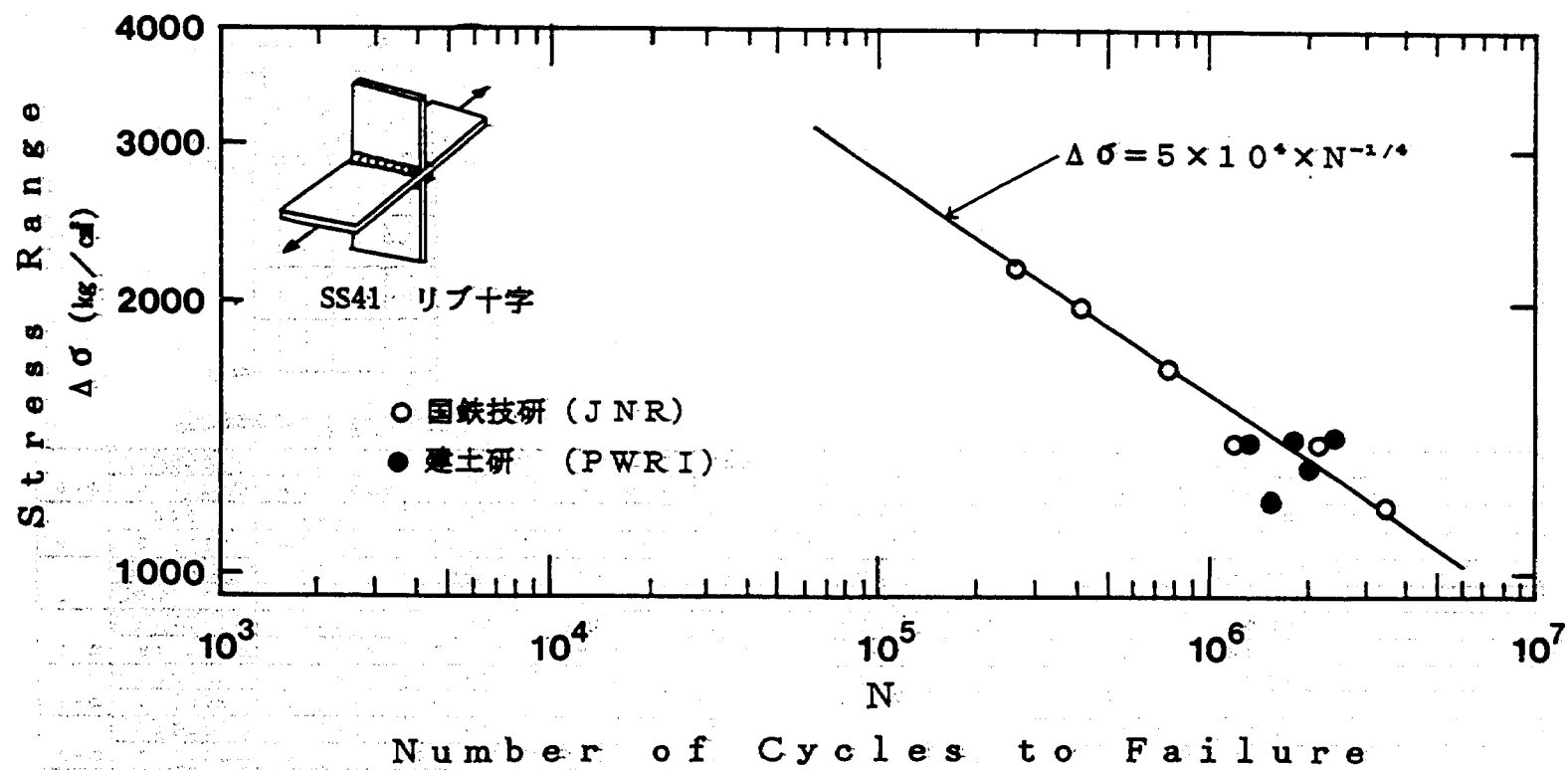
などにも応用してゆくつもりである。

最後に、この計測を行うに際し便宜をはかっていただいた建設省関東地方建設局横浜国道工事事務所厚木出張所の高木義和技術係長、荷重車の手配等ご協力いただいた東京舗装工業株式会社の関係者諸氏ならびに詳細な疲労クラックの調査をしていただいた横河工事株式会社の岸 信男氏に心から御礼申し上げます。

参 考 文 献

- 1) 建設省：土木構造物標準設計図集 H形鋼橋，1983年4月
- 2) 建設省土木研究所構造橋梁部橋梁研究室：土木研究所資料第2123号 共和高架橋載荷試験報告書，1984年6月
- 3) 西川和廣：道路橋における疲労問題と補修・補強，橋梁と基礎，Vol.17 No.8，1983年8月
- 4) 西川和廣：道路構造物の損傷例補修例，道路，1982年11月
- 5) 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
- 6) 国鉄建造物設計標準解説，1983年5月，土木学会
- 7) 西川和廣：既設道路橋の疲労に対する耐荷力判定の試み，第16回日本道路会議特定課題論文集，1985年10月，日本道路協会
- 8) 国廣哲男，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

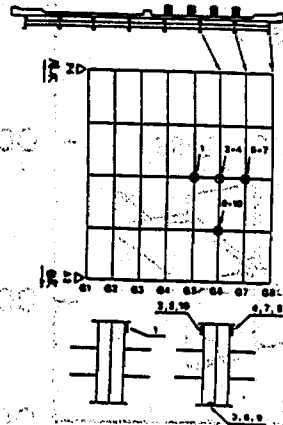
付 録



付図-1 SS41材リブ十字隅肉溶接継手の疲労試験データ^{6) 8)}

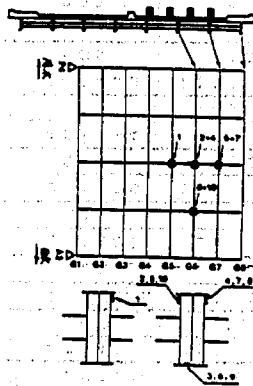
一般車両走行中における動的計測結果 (補強前)

CASE 車 種	1		2		3		4		5		7		8		10		車 種
	(+)	(-)	(+)	(-)	(+)	(-)	(+)	(-)	(+)	(-)	(+)	(-)	(+)	(-)	(+)	(-)	
1	42	252	147	0	126	0	0	464	0	252	483	0	0	420	252	0	車 種
	294		147		126		0	464		252	483		0	420	252		走行
2-①	0	420	210	0	158	0	0	665	0	525	693	0	0	588	315	0	3軸 貨車
	420		210		158		0	665		525	693		0	588	315		走行
2-②	0	336	210	0	147	0	0	672	0	231	567	0	0	546	294	0	3軸 貨車
	336		210		147		0	672		231	567		0	546	294		走行
3	126	273	126	0	105	0	0	323	42	126	441	126	0	693	315	0	3軸 水ロー
	400		126		105		0	323	168		567		0	693	315		走行
4	0	693	273	0	231	0	0	948	0	777	819	0	0	1082	462	0	2軸 貨車
	693		273		231		0	948	777		819		0	1082	462		走行
5	0	756	252	63	242	0	101	706	0	609	735	0	105	756	399	105	ダンプ
	756		315		242		807		609		735		105	756	399	105	通船、走行
6-①	0	1386	0	1386	262	0	463	0	0	168	567	0	441	0	0	1008	3軸 貨車×2台
	1386		0	1386	262		463		0	168	567		441		0	1008	通船
6-②	0	588	0	588	168	0	168	0	0	105	420	0	336	0	0	672	3軸 貨車
	588		0	588	168		168		0	105	420		336		0	672	通船
6-③	84	756	42	378	126	42	294	42	21	63	357	63	273	63	84	483	3軸 貨車
	756		42	378	126	42	294	42	21	63	357	63	273	63	84	483	通船
7	178	0	0	42	32	0	80	0	0	0	0	105	63	0	42	63	3軸 貨車
	178		0	42	32		80		0	0	0	105	63		42	63	対行車線の通船車線
8	0	336	189	0	136	0	0	524	0	294	483	0	0	462	294	0	コンテナ 後のみ
	336		189		136		0	524	294		483		0	462	294		走行
9-①	0	1080	63	588	189	0	323	0	0	105	483	0	336	42	84	672	3軸(前輪1軸、後輪2軸)
	1080		63	588	189		323		0	105	483		336	42	84	672	通船
			651		189		323		105		483		378		756		3軸 貨車



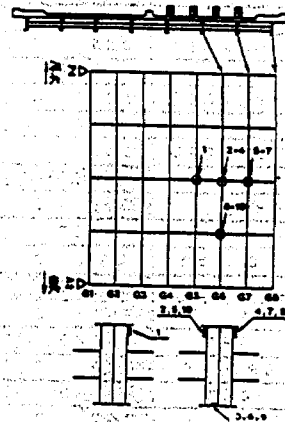
一般車両走行中における動的計測結果 (補強前)

CASE No.	1		2		3		4		5		7		8		10		車 種
	(+)	(-)	(+)	(-)	(+)	(-)	(+)	(-)	(+)	(-)	(+)	(-)	(+)	(-)	(+)	(-)	
9-①	0	893	0	231	116	0	210	0	0	63	294	0	189	0	0	336	通越
	893		231		116		210		63		294		189		336		小型
10-①	0	420	0	189	95	0	202	40	0	42	210	0	210	42	42	294	通越
	420		189		95		202		42		210		210		42		3軸(前輪2軸,後輪1軸)
10-②	0	189	0	42	32	0	126	0	0	21	84	0	84	0	0	105	通越
	189		42		32		126		21		84		84		105		2軸
11	0	252	84	0	73	0	0	242	0	126	357	0	0	273	189	0	走行
	252		84		73		242		126		357		273		189		3軸(前輪2軸,後輪1軸)
12	0	546	0	189	115	0	222	0	0	126	525	0	273	0	0	546	通越
	546		189		115		222		126		525		273		546		3軸(前輪1軸,後輪2軸)
13	0	399	294	0	210	0	0	887	0	525	672	0	0	336	420	0	走行
	399		294		210		887		525		672		336		420		3軸(前輪1軸,後輪2軸)
15	0	357	210	84	147	21	121	729	0	336	567	42	105	630	336	189	走行
	357		210		147		121		336		567		105		336		3軸(前輪1軸,後輪2軸) 実車
16	0	483	168	0	168	0	0	585	0	336	630	0	0	303	420	0	走行
	483		168		168		585		336		630		303		420		3軸(前輪1軸,後輪2軸)
17	0	378	0	378	126	0	262	0	0	63	357	0	252	0	0	504	通越
	378		378		126		262		63		357		252		504		3軸(前輪1軸,後輪2軸)
18	0	168	84	0	63	0	40	242	0	63	315	0	84	294	210	42	走行
	168		84		63		40		63		315		84		210		3軸(前輪2軸,後輪1軸)
19	42	126	84	0	42	0	161	0	0	42	210	0	0	210	147	0	走行
	126		84		42		161		42		210		210		147		3軸(前輪1軸,後輪2軸) 空車
20	84	462	294	0	220	0	0	189	0	567	756	0	0	966	441	0	走行
	462		294		220		189		567		756		966		441		タンク(前輪1軸,後輪2軸)フライアッシュ
21	42	126	0	42	0	0	60	81	0	0	0	84	84	0	84	42	対行車両の走行車線
	126		42		0		60		0		84		84		126		Car Carry



一般車両走行中における動的計測結果（補強前）

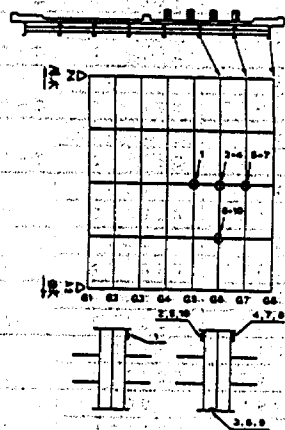
CASE No.	1		2		3		4		5		7		8		10		車 種
	(+)	(-)	(+)	(-)	(+)	(-)	(+)	(-)	(+)	(-)	(+)	(-)	(+)	(-)	(+)	(-)	
22	0	420	0	126	94	0	161	0	0	84	294	0	147	0	0	210	車 種
	420		126		94		161		84		294		147		210		車 種
23	147	420	210	0	157	0	0	585	0	399	851	0	0	546	294	0	3軸(前軸1軸,後軸2軸) 空車
	567		210		157		585		399		851		546		294		走行
24-①	0	441	84	189	63	0	181	282	0	126	273	63	189	336	168	336	3軸(前軸1軸,後軸2軸) パン
	441		273		63		463		126		336		525		504		通越,走行
24-②	0	231	84	0	42	0	0	315	0	126	273	0	0	315	168	0	Car Carry
	231		84		42		315		126		273		315		168		通越,走行
25	0	210	105	0	95	0	0	282	0	184	357	0	0	336	210	0	Car Carry
	210		105		95		282		84		357		336		210		走行
26	42	84	42	0	32	0	60	105	0	42	126	0	63	84	84	21	3軸(前軸1軸,後軸2軸)
	126		42		32		105		42		126		147		105		対行車線の走行車線
27	0	588	210	0	189	0	0	544	0	399	651	0	0	714	399	0	3軸(前軸1軸,後軸2軸) 空車
	588		210		189		544		399		651		714		399		走行
28	0	252	189	0	105	0	60	484	0	252	462	0	0	525	336	0	3軸(前軸2軸,後軸1軸)
	252		189		105		484		252		462		525		336		走行
29	0	294	168	0	115	0	0	525	0	189	504	0	0	441	231	0	3軸(前軸1軸,後軸2軸) 空車
	294		168		115		525		189		504		441		231		対行車線の走行車線
30	42	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	21	0	Car Carry(前軸2軸,後軸1軸)
	42		0		0		0		0		0		0		21		走行
31-①	42	294	252	0	168	0	0	189	0	399	567	42	0	840	378	0	3軸(前軸1軸,後軸2軸)
	336		252		168		189		399		609		840		378		走行
31-②	63	231	189	0	126	0	0	315	0	315	462	0	0	546	294	0	3軸(前軸1軸,後軸2軸)
	294		189		126		315		315		462		546		294		走行
32	42	0	0	105	84	0	141	60	42	0	252	0	126	0	42	210	3軸(前軸1軸,後軸2軸)
			105		84		201		42		252		126		252		通越
																	3軸(前軸1軸,後軸2軸)



191

一般車両走行中における動的計測結果（補強前）

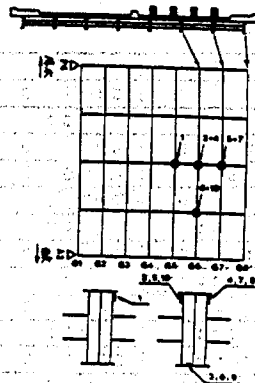
CASE No.	1		2		3		4		5		7		8		10		車 種
	(+)	(-)	(+)	(-)	(+)	(-)	(+)	(-)	(+)	(-)	(+)	(-)	(+)	(-)	(+)	(-)	
43-①	0	561	0	483	168	0	273	0	0	84	378	0	294	0	0	630	通船
	561		483		168		273		84		378		294		630		20ton(荷重車,10km/h) 1台のみ
44	0	525	210	0	168	0	0	726	0	483	714	0	0	861	420	0	走行
	525		210		168		726		483		714		861		420		3輪(前輪1輪,後輪2輪)
45	0	546	273	0	200	0	0	607	0	630	756	0	0	840	378	0	走行
	546		273		200		607		630		756		840		378		3輪(前輪1輪,後輪2輪)
46	0	399	231	0	178	0	0	725	0	504	693	0	0	651	357	0	走行
	399		231		178		725		504		693		651		357		20ton(荷重車,50km/h) ほぼ中央
47	0	378	210	0	168	0	0	725	0	483	672	0	0	785	357	0	走行
	378		210		168		725		483		672		785		357		20ton(荷重車,50km/h) ほぼ中央,小型
48-①	42	231	105	0	84	0	0	362	0	168	378	0	0	420	231	0	走行
	273		105		84		362		168		378		420		231		Car Carry
48-②	0	126	84	0	63	0	0	273	0	105	273	0	0	252	147	0	走行
	126		84		63		273		105		273		252		147		Car Carry
49	0	504	0	231	105	0	201	0	0	84	336	0	252	0	0	546	通船
	504		231		105		201		84		336		252		546		2輪
50	0	861	0	462	147	0	262	0	0	126	420	0	252	0	0	546	通船
	861		462		147		262		126		420		252		546		20ton(荷重車,50km/h)
51	0	525	0	525	168	0	282	0	0	84	420	0	273	0	0	567	通船
	525		525		168		282		84		420		273		567		20ton(荷重車,50km/h),小型



一般車両走行中における動的計測結果 (補強後)

(kg/d)

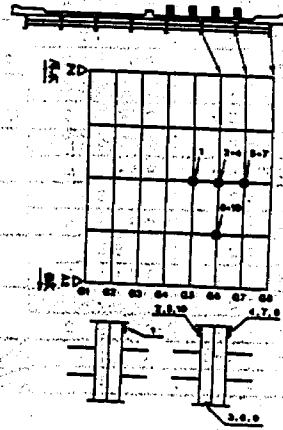
CASE No.	1		2		3		4		5		7		8		10		車 種
	(+)	(-)	(+)	(-)	(+)	(-)	(+)	(-)	(+)	(-)	(+)	(-)	(+)	(-)	(+)	(-)	
1	0	84	0	84	74	0	0	63	0	0	63	0	0	0	0	63	通越
	84		84		74		63		0		63		0		63		3輪or4輪(?)
2	0	126	0	84	189	0	0	21	0	126	210	0	0	126	0	0	走行
	126		84		189		21		126		210		126		0		3輪(ホソウ機械)
3	0	63	0	84	74	0	11	11	11	11	126	0	0	0	0	0	走行
	63		84		74		22		22		126		0		0		3輪(扇機具)
4	0	126	63	336	221	0	0	168	0	84	126	0	0	42	0	378	通越
	126		336		221		168		84		126		42		378		3輪(スレート)
5-①	0	0	42	63	74	0	0	63	0	42	63	0	0	0	0	126	通越
	0		105		74		105		42		63		0		105		2輪
5-②	0	63	0	84	84	0	42	0	42	42	126	42	0	42	0	0	走行
	63		84		84		42		84		126		42		0		3輪(?)
6	0	189	0	84	231	0	42	63	0	126	210	63	42	168	42	21	走行
	189		84		231		105		126		273		210		63		3輪(側)
7	0	63	0	42	74	0	0	63	0	42	126	63	0	0	0	42	走行、通越
	63		42		74		84		42		126		0		42		3輪(カラ?) 3輪(?)
8	63	63	0	63	168	0	42	42	42	42	126	84	42	84	0	0	併走
	126		63		168		84		84		126		126		0		走行 3輪、通越 2輪
9	0	84	42	63	84	0	0	0	0	42	42	0	0	0	0	63	通越
	84		63		84		84		42		42		0		63		4輪
10	0	84	63	84	116	0	0	84	42	0	126	84	0	11	0	84	併走
	147		147		116		84		42		126		11		84		走行 2輪、通越 3輪
11-①	0	84	0	63	126	0	0	0	42	42	126	84	0	42	21	0	
	84		63		126		0		84		126		42		21		6台 詳細不明 (併走あり)
11-②	0	63	0	84	105	0	42	0	84	0	126	84	0	63	21	0	
	63		84		105		42		84		126		63		21		



一般車両走行中における動的計測結果 (補強後)

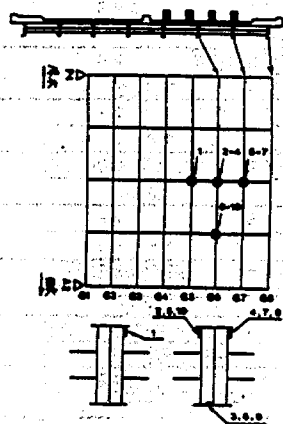
CASE 車種	1		2		3		4		5		7		8		10		車 種
	(+)	(-)	(+)	(-)	(+)	(-)	(+)	(-)	(+)	(-)	(+)	(-)	(+)	(-)	(+)	(-)	
11-①	0	105	84	21	105	0	0	105	0	0	84	0	0	0	0	105	車 種
	105		105		105		105		0		84		0		0		車 種
11-②	0	63	0	63	63	0	0	63	0	0	42	0	0	0	0	63	6台 詳細不明 (併走あり)
	63		63		63		63		0		42		0		0		
11-③	0	21	0	42	63	0	21	0	63	0	105	105	0	0	0	0	
	21		42		63		21		63		105		0		0		
11-④	0	105	84	63	147	0	0	126	0	0	84	0	0	0	0	147	
	105		147		147		126		0		84		0		0		
12	0	42	0	63	74	0	0	0	42	11	147	126	0	21	0	0	走行
	42		63		74		0		53		147		21		0		Carrier Car
13	0	42	0	63	63	0	0	0	21	21	126	84	0	42	0	0	走行
	42		63		63		0		42		126		42		0		2軸+3軸

CASE 車種	1		2		3		4		5		6		7		10		車 種
	(+)	(-)	(+)	(-)	(+)	(-)	(+)	(-)	(+)	(-)	(+)	(-)	(+)	(-)	(+)	(-)	
14	0	84	0	84	95	32	21	0	0	42	84	0	0	0	21	21	走行
	84		84		127		21		42		84		0		42		ダンプ (空)
15	0	126	0	126	126	0	42	0	0	63	168	0	0	0	0	0	走行
	126		126		126		42		63		168		0		0		2軸 (腐材)
16-①	0	21	21	105	74	0	0	84	0	21	42	0	63	0	0	84	連結
	21		105		74		84		21		42		63		84		セミトレーラー (重量車あり)
16-②	0	189	0	84	210	0	42	0	0	252	0	0	252	0	0	0	走行
	189		84		210		42		252		0		252		0		セミトレーラー ()



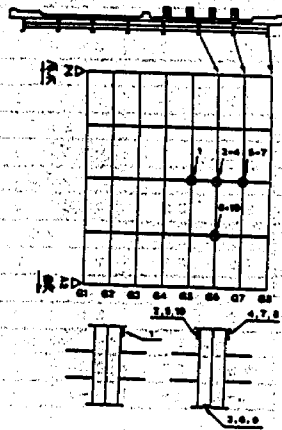
一般車両走行中における動的計測結果（補強後）

車線 No.	1		2		3		4		5		6		7		10		車 種
	(+)	(-)	(+)	(-)	(+)	(-)	(+)	(-)	(+)	(-)	(+)	(-)	(+)	(-)	(+)	(-)	
16-②	0	84	21	84	84	0	0	84	0	42	84	0	84	0	0	84	通船
	84	84	105		84		84		42		84		84		84		セミトレーラー（重量車あり）
17	0	42	0	42	63	0	0	0	21	21	63	0	105	0	0	0	走行
	42		42		63		0		42		63		105		0		セミトレーラー
18	0	84	42	84	105	0	0	84	0	21	42	0	42	0	0	63	通船
	84						84		21		42		42		63		3軸 コンテナ
19	0	63	63	168	178	0	0	168	0	42	105	0	63	0	0	210	通船
	63		231		178		168		42		105		63		210		セミトレーラー
20	0	42	42	105	105	0	0	63	63	0	126	0	168	84	0	105	通船, 走行
	168		147		105		63		63		126		168		105		4軸+3軸
21	0	84	0	42	63	0	11	11	21	21	63	0	84	84	0	0	走行
	84		42		63		22		42		63		84		0		セミトレーラー
22	0	63	0	63	84	0	21	0	63	0	105	0	105	105	0	0	走行
	63		63		84		21		63		105		105		0		3軸(バン)
23	0	168	0	126	189	0	42	42	0		231	0	231	0	21	0	走行
	168		126		189		84				231		231		21		5軸(セグメント)
24	0	63	63	252	84	0	84	0	0	42	63	0	63	0	0	210	通船
	294				84		84		42		63		63		210		3軸
26	0	84	0	84	147	0	42	0	21	63	105	0	168	84	21	0	走行
	84		84		147		42		84		210		168		21		3軸
27	0	105	0	84	84	0	21	0	0	42	126	0	84	84	0	0	走行
	105		84		84		21		42		126		84		0		3軸
28	0	42	42	84	84	0	0	84	0	42	63	0	63	0	0	84	通船
		84		84			84		42		63		63		84		3軸



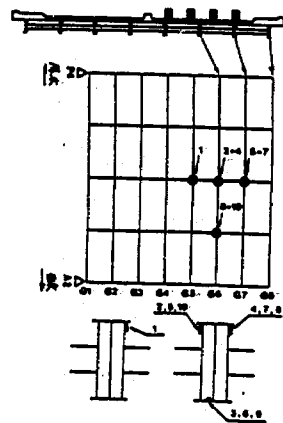
一般車両走行中における動的計測結果（補強後）

CASE No.	1		2		3		4		5		6		7		10		車 種
	(+)	(-)	(+)	(-)	(+)	(-)	(+)	(-)	(+)	(-)	(+)	(-)	(+)	(-)	(+)	(-)	
29	0	35.1	63	168	105	0	0	126	0	42	42	0	84	0	0	210	通船
	35.1		231		105		126		42		42		84		210		3輪(前輪1輪,後輪2輪)
30	0	35.1	63	168	168	0	0	147	0	42	84	0	84	0	0	210	通船
	35.1		231		168		147		42		84		84		210		ダンブ
31	0	35.1	63	231	179	0	0	168	0	42	84	0	84	0	0	252	通船
	35.1		294		179		168		42		84		84		252		ダンブ(30ton位)
32	0	84	0	84	105	0	21	0	0	63	126	0	35.1	0	21	0	走行
	84		84		105		21		63		126		35.1		21		3輪
33	0	35.1	63	147	126	0	11	147	0	42	84	0	84	0	0	168	通船
	35.1		210		126		158		42		84		84		168		20ton(荷重車,10km/h)
34	0	84	0	84	84	0	42	0	0	84	126	0	35.1	0	21	0	走行
	84		84		84		42		84		126		35.1		21		3輪(前輪2輪,後輪1輪)
35	0	35.1	21	84	42	0	0	63	0	21	21	0	42	0	0	84	通船
	35.1		105		42		63		21		21		42		84		セミトレーラー
36	0	35.7	84	273	168	0	0	168	0	84	126	0	147	0	0	42	通船
	35.7		35.7		168		168		84		126		147		42		3輪
37	0	63	0	84	63	0	42	0	0	63	84	0	42	0	0	42	通船～走行(レーンチェンジ)
	63		84		63		42		63		84		42		42		セミトレーラー
38	0	35.1	21	42	42	0	0	63	0	21	21	0	42	0	0	42	通船
	35.1		63		42		63		21		21		42		42		セミトレーラー(荷高コンテナ?)
39	0	189	84	126	126	0	0	168	0	63	84	0	105	0	0	84	通船
	189		210		126		168		63		84		105		84		3輪(?)
40-①	0	63	0	63	95	0	21	0	0	42	105	0	35.1	0	42	0	走行(右より)
	63		63		95		21		42		105		35.1		42		3輪
40-②	0	35.1	63	147	105	0	0	105	0	42	84	0	105	0	0	168	通船
	35.1		210		105		105		42		84		105		168		3輪



一般車両走行中における動的計測結果（補強後）

CASE 車種	1		2		3		4		5		6		7		10		車 種
	(+)	(-)	(+)	(-)	(+)	(-)	(+)	(-)	(+)	(-)	(+)	(-)	(+)	(-)	(+)	(-)	
41-①	0	42	0	63	40	0	21	0	0	42	84	0	84	63	0	0	混合
	42		63		40		21		42		84		84		0		セミトレーラー（背高コンテナ）×4台
41-②	84	189	0	126	242	0	21	42	0	21	252	0	231	0	0	42	混合
	273		126		242		63		21		252		231		42		ダンプ
42	0	105	0	84	147	0	42	0	0	126	168	0	84	0	21	0	走行
	105		84		147		42		126		168		84		21		20ton(荷重車,50km/h)
43	0	105	0	84	158	0	42	0	0	105	84	0	84	0	21	0	走行
	105		84		158		42		105		84		84		21		20ton(荷重車,50km/h)
44	0	84	63	84	126	0	0	126	0	42	63	0	84	0	0	84	通船
	84		84		126		126		42		63		84		0		20ton(荷重車,50km/h)
45-①	0	42	0	21	42	0	0	84	0	0	21	0	42	0	0	21	通船
	42		21		42		84		0		21		42		0		混合
45-②	0	63	0	63	74	0	0	0	42	42	84	0	84	0	0	0	走行
	63		63		74		0		84		84		84		0		混合
45-③	0	84	63	189	158	0	0	84	0	42	63	0	63	0	0	168	通船
	84		63		158		84		42		63		63		0		混合
46	0	63	0	84	95	0	0	0	63	63	126	0	84	147	0	0	走行
	63		84		95		0		126		126		84		0		3軸×2台
47-①	0	105	95	0	116	0	42	0	11	84	147	0	84	0	0	0	走行
	105		95		116		42		95		147		84		0		3軸
47-②	0	84	21	95	42	0	0	42	0	0	0	0	63	0	0	63	通船
	105		21		42		42		0		0		63		0		3軸
48	0	84	63	168	126	0	0	168	0	42	63	0	84	0	0	168	通船
	84		63		126		168		42		63		84		0		20ton(荷重車,50km/h)
49	0	84	0	84	147	0	42	0	21	63	189	0	84	0	21	0	走行
	84		84		147		42		84		189		84		21		20ton(荷重車,10km/h)



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(1986)
建設省土木研究所橋梁研究室
篠原洋司, 西川和廣,
滝沢晃

キーワード; 鋼橋, 疲労損傷, 応力頻度測定, 補強工法

要 旨

活荷重に起因する繰返し応力により, 横桁を取り付ける垂直補
剛材と主桁上フランジとの溶接部に疲労損傷を生じた単純合成H
形鋼橋の応力頻度測定を行った○

郵便はがき

四十円切手
をはって下
さい

3 0 5 - □ □

茨城県筑波郡豊里町大字旭一番地

建設省土木研究所
橋梁研究室 御中

No. 33

No. 33

配布先氏名

配布先住所

○

土木研究所資料第2344号 部

上記のとおり受領しました。

所 属（住所）

氏 名 印