

3.6 実交通との比較

3.6.1 概要

輪荷重走行試験の初期載荷荷重としては、これまで 150kN 程度が採用されることが多い。また階段載荷による場合には数万回の一定荷重載荷毎に 20kN 程度単位で載荷荷重を増加させて破壊に至るまで載荷荷重を増加させつづける方法がとられることが多く、試験によっては最終段階で 400kN という実橋では生じ得ないような大きな載荷荷重を与えることになる場合も多い。

一方、これらの試験による結果を実橋の条件における疲労耐久性に置き換えるには、多様な軸重で膨大な数の繰り返し載荷が行われる実橋床版の載荷条件との定量的な換算を行う必要がある。しかしコンクリート床版の疲労損傷過程に対する供試体実験条件と実橋床版の条件との相関関係についてはこれまでに明らかにされておらず、実験結果から実橋の供用条件における疲労寿命を定量的に評価することは困難な状況である。

本研究では、前節までにコンクリート要素に発生するひずみ等の普遍的な物理量と関連づけた疲労被害則を適用することで繰り返し移動載荷される荷重によるコンクリート系の床版の疲労損傷過程が解析で表現できる可能性を示した。解析で与える疲労被害則の感度（べき乗則）を変えることで本解析手法により疲労損傷過程の再現性を維持しながらある程度は時間的にキャリブレーションできる余地があることを示した。

ここでは過去に実施された荷重実態調査から、供用下の床版に載荷される荷重条件を再現し、解析に用いる疲労被害則の感度（べき乗）を調整することで解析的に実橋の疲労耐久性の絶対値評価を試みた。

3.6.2 輪荷重分布

本検討では活荷重実態データとして、昭和 59 年に旧土木研究所で実施された国道 357 号線の有明付近での車重実態調査結果⁹⁾から得られた交通荷重を用いることとした。

調査では、車種毎の車重、軸重分布を詳細に把握するため、車両の種類を 21 車種に細分している。車種分類は車両形状、ナンバープレート及び速度表示灯の有無などをもとに目視によって行っており、マット式重量計で取得された軸重データと組み合わせることで車種毎の重量を特定している。さらに下表に示すような車種分類区分毎の標準的な軸重配分率を用いてそれぞれの車両毎に軸重を特定しなおしている。

表-3.6.1 に車種分類と軸重分配、表-3.6.2 に車両重量頻度分布を示す。またこれらが大分類（下表の記号区分）で統合して輪重（=1/2 軸重）の頻度分布としたものを表-3.6.3 に示す。

表-3.6.1 車種分類と軸重分配

車種分類 ^{※)}	記号	軸重分配(%)				
		1軸目	2軸目	3軸目	4軸目	5軸目
軽自動車	C	50.2	49.8			
乗用車						
貨客車						
小型トラック	ST	23.9	76.1			
ロングボディトラック	MT	19.6	80.4			
中型トラック						
大型トラック	LT	14.1	54.8	31.1		
大型トラック1-2						
大型トラック2-1						
大型トラック2-2						
ダンプ1-1	LD	11.7	44.3	44		
ダンプ1-2						
大型ミキサ						
大型ミキサ1-2						
大型タンクローリー1-1	TR	13.7	54.2	32.1		
大型タンクローリー2-1						
セミトレーラー3軸以上	TT	6.4	18.5	18.3	29.4	27.3
フルトレーラー3時以上						
マイクロバス	BS	37.1	62.9			
中型バス						
大型バス						

※) 国総研資料第2539号 限界状態設計法における設計活荷重に関する検討

表-3.6.2 車両重量頻度分布

車重	C			ST		MT		LT		LD		TR		TT		BS						
	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	
軽自動車	7195	51895	8860	859	1781	1759	61	405	32	14	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
乗用車	2599	20356	16261	9557	4984	4960	572	512	387	124	31	189	136	59	655	240	332	480	3	39	332	
貨客車	0	148	827	4984	2051	4960	572	512	387	124	31	189	136	59	655	240	332	480	3	39	332	
0-2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
2-4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
4-6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
6-8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
8-10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
10-12	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
12-14	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
15-16	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
16-18	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
18-20	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
20-22	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
22-24	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
24-26	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
26-28	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
28-30	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
30-32	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
32-34	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
34-36	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
36-38	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
38-40	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
40-42	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
42-44	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
44-46	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
46-48	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
48-50	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
50-52	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
52-54	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
54-56	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
56-58	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
58-60	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
60-62	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
62-64	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
64-66	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
66-68	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
68-70	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
70-72	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
72-74	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
74-76	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
76-78	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
78-80	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
80-82	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
82-84	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
84-86	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
86-88	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
88-90	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
90-92	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
92-94	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
94-96	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
96-98	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
98-100	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
最大車重	9794	72435	26091	16510	5234	14165	2495	8452	1344	777	883	4410	59	567	861	1636	3851	419	229	341	605	
				16		40				70				62		42		96				22

表 3.6.3 車両輪重頻度分布

中央輪重		C	ST	MT	LT	LD	TR	TT	BS	合計	頻度割合
0 ≦ t < 1	0.5	135900	11275	10677	1337	505	383	1187	2	161266	42.82
1 ≦ t < 2	1.5	78432	5812	6954	5813	2369	1389	2257	313	103339	27.44
2 ≦ t < 3	2.5	1950	9820	5304	6278	1292	1206	2974	124	28948	7.69
3 ≦ t < 4	3.5	274	5003	56	4593	2285	1112	3342	312	16977	4.51
4 ≦ t < 5	4.5	225	0	7019	5120	1767	880	3358	451	18617	4.94
5 ≦ t < 6	5.5	275	828	4552	1847	1927	640	1456	414	11726	3.11
6 ≦ t < 7	6.5	325	0	212	2993	1015	249	1752	241	6463	1.72
7 ≦ t < 8	7.5	375	0	2404	3572	392	436	1194	15	8013	2.13
8 ≦ t < 9	8.5	425	0	1149	1863	288	327	569	165	4412	1.17
9 ≦ t < 10	9.5	475	0	17	1286	367	165	782	219	2836	0.75
10 ≦ t < 11	10.5	525	0	484	921	488	127	706	79	2805	0.74
11 ≦ t < 12	11.5	575	0	0	897	1366	142	356	7	2770	0.74
12 ≦ t < 13	12.5	625	0	131	797	632	149	350	0	2059	0.55
13 ≦ t < 14	13.5	675	0	45	676	400	115	256	8	1500	0.40
14 ≦ t < 15	14.5	725	0	0	418	348	72	149	0	987	0.26
15 ≦ t < 16	15.5	775	0	11	277	276	51	138	0	703	0.19
16 ≦ t < 17	16.5	825	0	7	149	266	23	152	0	597	0.16
17 ≦ t < 18	17.5	875	0	0	14	238	12	115	0	379	0.10
18 ≦ t < 19	18.5	925	0	1	103	345	5	57	0	511	0.14
19 ≦ t < 20	19.5	975	0	0	54	277	0	58	0	389	0.10
20 ≦ t < 21	20.5	103	0	0	45	198	3	47	0	293	0.08
21 ≦ t < 22	21.5	108	0	1	38	158	2	22	0	221	0.06
22 ≦ t < 23	22.5	11.3	0	0	28	114	3	31	0	176	0.05
23 ≦ t < 24	23.5	11.8	0	0	15	102	0	19	0	136	0.04
24 ≦ t < 25	24.5	12.3	0	1	27	120	0	10	0	158	0.04
25 ≦ t < 26	25.5	12.8	0	0	9	111	0	8	0	128	0.03
26 ≦ t < 27	26.5	13.3	0	0	18	40	0	3	0	61	0.02
27 ≦ t < 28	27.5	13.8	0	0	15	27	0	2	0	44	0.01
28 ≦ t < 29	28.5	14.3	0	0	1	22	0	0	0	23	0.01
29 ≦ t < 30	29.5	14.8	0	0	18	8	0	0	0	26	0.01
30 ≦ t < 31	30.5	15.3	0	0	4	4	0	0	0	8	0.00
31 ≦ t < 32	31.5	15.8	0	1	10	4	0	0	0	15	0.00
32 ≦ t < 33	32.5	16.3	0	0	12	0	0	0	0	12	0.00
33 ≦ t < 34	33.5	16.8	0	0	3	5	0	0	0	8	0.00
34 ≦ t < 35	34.5	17.3	0	0	0	1	0	0	0	1	0.00
35 ≦ t < 36	35.5	17.8	0	0	0	0	0	0	0	0	0.00
36 ≦ t < 37	36.5	18.3	0	0	1	0	0	0	0	1	0.00
37 ≦ t < 38	37.5	18.8	0	0	1	0	0	0	0	1	0.00
38 ≦ t < 39	38.5	19.3	0	0	0	0	0	0	0	0	0.00
39 ≦ t < 40	39.5	19.8	0	0	0	0	0	0	0	0	0.00

輪重頻度構成比

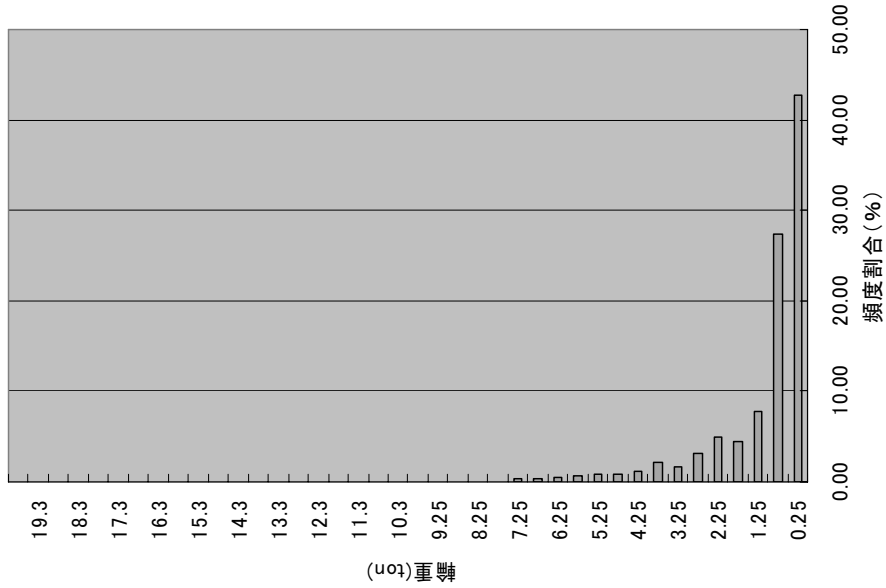


図 3.6.1 軸重頻度構成比

3.6.3 供用期間 100 年における換算台数の検討

本研究で提案する疲労解析手法の実交通によるキャリブレーションを行うにあたり、前節で作成した車両重量実態データから解析に用いるモデル荷重データを作成する。

まず床版の疲労耐久性に支配的な影響を及ぼすと考えられる軸重が大きな車両でかつ台数が多いもの（大型トラック（LT）、大型ダンプ（LD）、タンクローリー（TR））のみを抽出する。表-3.6.4 に抽出された車両の重量頻度分布と軸重頻度分布を示す。

次に、これらの頻度分布について、大型車両の台数が比較的多い路線を代表させるために総台数が 9000 台/日/車線（一般的な国道の日交通量の 30,000 台/日/車線、大型車混入率 30%相当）となるよう台数調整を行う。表-3.6.5 に台数調整された車両重量頻度分布を示す。

最後にこれらに代表車両タイプ毎の車両重量と軸重の関係から対応する軸重頻度分布（軸重の 1/2 が輪重）を求めた。表-3.6.6 に台数調整された軸重頻度分布を示す。

表-3.6.4 車両重量分布（車種別）

車重 tf	車重 tf	LT				小計	LD				小計	TR		小計
		大天 7,8	大天 9,10	大天 11,12	大天 13,14		大天 15	大天 16	大天 17	大天 18		大天 19	大天 20	
		大型トラ	大トラ後タン	大トラ前タン	大トラ両タン		大ダンプ	大ダンプ後タ	大ミキサー	大ミキ後タン		大タンク	大タン前タン	
0-2	1	3	0	0	0	3	0	0	0	0	0	6	0	6
2-4	3	61	1	0	0	62	27	0	0	0	27	22	3	25
4-6	5	405	32	14	5	456	179	3	27	2	211	111	15	126
6-8	7	572	114	41	21	748	231	26	8	2	267	141	48	189
8-10	9	512	387	124	31	1054	189	105	12	34	340	122	286	408
10-12	11	395	1276	303	97	2071	136	456	4	33	629	101	440	541
12-14	13	281	1485	227	177	2170	59	655	1	35	750	49	240	289
15-16	15	155	980	180	114	1429	25	376	0	17	418	55	88	143
16-18	17	60	685	135	79	959	14	155	0	9	178	37	54	91
18-20	19	25	591	108	55	779	12	104	0	25	141	37	78	115
20-22	21	13	665	101	74	853	2	118	1	62	183	21	113	134
22-24	23	5	649	50	28	732	3	183	1	57	244	35	112	147
24-26	25	6	581	32	14	633	0	207	1	94	302	40	72	112
26-28	27	0	382	15	12	409	1	263	2	115	381	29	43	72
28-30	29	0	176	4	14	194	0	245	1	70	316	24	27	51
30-32	31	1	115	3	12	131	3	187	0	10	200	14	9	23
32-34	33	1	69	1	17	88	0	174	0	0	174	9	3	12
34-36	35	0	45	0	9	54	0	137	0	1	138	5	0	5
36-38	37	0	42	0	2	44	2	131	0	0	133	3	0	3
38-40	39	0	32	0	5	37	0	119	0	0	119	0	2	2
40-42	41	0	25	0	3	28	0	118	1	0	119	0	3	3
42-44	43	0	14	0	1	15	0	107	0	0	107	0	0	0
44-46	45	0	25	0	2	27	0	84	0	1	85	0	0	0
46-48	47	0	7	2	0	9	0	99	0	0	99	0	0	0
48-50	49	0	17	0	1	18	0	79	0	0	79	0	0	0
50-52	51	0	15	0	0	15	0	57	0	0	57	0	0	0
52-54	53	0	18	0	0	18	0	51	0	0	51	0	0	0
54-56	55	0	3	0	1	4	0	60	0	0	60	0	0	0
56-58	57	0	8	2	0	10	0	43	0	0	43	0	0	0
58-60	59	0	10	2	0	12	0	25	0	0	25	0	0	0
60-62	61	0	3	0	0	3	0	15	0	0	15	0	0	0
62-64	63	0	0	0	0	0	0	6	0	0	6	0	0	0
64-66	65	0	0	0	0	0	0	11	0	0	11	0	0	0
66-68	67	0	0	0	1	1	0	4	0	0	4	0	0	0
68-70	69	0	0	0	1	1	0	2	0	0	2	0	0	0
70-72	71	0	0	0	0	0	0	2	0	0	2	0	0	0
72-74	73	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
74-76	75	0	0	0	0	0	0	2	0	0	2	0	0	0
76-78	77	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1	0	0	0
78-80	79	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
80-82	81	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
82-84	83	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
84-86	85	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
86-88	87	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
88-90	89	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
90-92	91	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
92-94	93	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0
94-96	95	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
96-98	97	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
98-100	99	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
最大車重		2495	8452	1344	777	13068	883	4410	59	567	5919	861	1636	2497
					701					621			421	

表-3.6.5 車両重量分布

車重 tf	車重 tf	LT	LD	TR
0-2	1	1	0	3
2-4	3	26	11	10
4-6	5	191	88	53
6-8	7	313	112	79
8-10	9	442	142	171
10-12	11	868	263	227
12-14	13	909	314	121
15-16	15	599	175	60
16-18	17	402	75	38
18-20	19	326	59	48
20-22	21	357	77	56
22-24	23	307	102	62
24-26	25	265	127	47
26-28	27	171	160	30
28-30	29	81	132	21
30-32	31	55	84	10
32-34	33	37	73	5
34-36	35	23	58	2
36-38	37	18	56	1
38-40	39	15	50	1
40-42	41	12	50	1
42-44	43	6	45	0
44-46	45	11	36	0
46-48	47	4	41	0
48-50	49	8	33	0
50-52	51	6	24	0
52-54	53	8	21	0
54-56	55	2	25	0
56-58	57	4	18	0
58-60	59	5	10	0
60-62	61	1	6	0
62-64	63	0	3	0
64-66	65	0	5	0
66-68	67	0	2	0
68-70	69	0	1	0
70-72	71	0	1	0
72-74	73	0	0	0
74-76	75	0	1	0
76-78	77	0	0	0
78-80	79	0	0	0
80-82	81	0	0	0
82-84	83	0	0	0
84-86	85	0	0	0
86-88	87	0	0	0
88-90	89	0	0	0
90-92	91	0	0	0
92-94	93	0	0	0
94-96	95	0	0	0
96-98	97	0	0	0
98-100	99	0	0	0
合計		5474	2480	1046

合計 9000

表-3.6.6 軸重分布

中央 輪重	LT	LD	TR	合計	頻度割合		
0 ≤t< 1	0.5	0.25	560	212	160	932	3.45
1 ≤t< 2	1.5	0.75	2435	992	582	4009	14.85
2 ≤t< 3	2.5	1.25	2630	541	505	3676	13.62
3 ≤t< 4	3.5	1.75	1924	957	466	3347	12.40
4 ≤t< 5	4.5	2.25	2145	740	369	3254	12.05
5 ≤t< 6	5.5	2.75	774	807	268	1849	6.85
6 ≤t< 7	6.5	3.25	1254	425	104	1783	6.61
7 ≤t< 8	7.5	3.75	1496	164	183	1843	6.83
8 ≤t< 9	8.5	4.25	780	121	137	1038	3.84
9 ≤t< 10	9.5	4.75	539	154	69	762	2.82
10 ≤t< 11	10.5	5.25	386	204	53	643	2.38
11 ≤t< 12	11.5	5.75	376	572	59	1007	3.73
12 ≤t< 13	12.5	6.25	334	265	62	661	2.45
13 ≤t< 14	13.5	6.75	283	168	48	499	1.85
14 ≤t< 15	14.5	7.25	175	146	30	351	1.30
15 ≤t< 16	15.5	7.75	95	116	21	232	0.86
16 ≤t< 17	16.5	8.25	62	111	10	183	0.68
17 ≤t< 18	17.5	8.75	6	100	5	111	0.41
18 ≤t< 19	18.5	9.25	43	145	2	190	0.70
19 ≤t< 20	19.5	9.75	23	116	0	139	0.51
20 ≤t< 21	20.5	10.3	19	83	1	103	0.38
21 ≤t< 22	21.5	10.8	16	66	1	83	0.31
22 ≤t< 23	22.5	11.3	12	48	1	61	0.22
23 ≤t< 24	23.5	11.8	6	43	0	49	0.18
24 ≤t< 25	24.5	12.3	11	50	0	62	0.23
25 ≤t< 26	25.5	12.8	4	46	0	50	0.19
26 ≤t< 27	26.5	13.3	8	17	0	24	0.09
27 ≤t< 28	27.5	13.8	6	11	0	18	0.07
28 ≤t< 29	28.5	14.3	0	9	0	10	0.04
29 ≤t< 30	29.5	14.8	8	3	0	11	0.04
30 ≤t< 31	30.5	15.3	2	2	0	3	0.01
31 ≤t< 32	31.5	15.8	4	2	0	6	0.02
32 ≤t< 33	32.5	16.3	5	0	0	5	0.02
33 ≤t< 34	33.5	16.8	1	2	0	3	0.01
34 ≤t< 35	34.5	17.3	0	0	0	0	0.00
35 ≤t< 36	35.5	17.8	0	0	0	0	0.00
36 ≤t< 37	36.5	18.3	0	0	0	0	0.00
37 ≤t< 38	37.5	18.8	0	0	0	0	0.00
38 ≤t< 39	38.5	19.3	0	0	0	0	0.00
39 ≤t< 40	39.5	19.8	0	0	0	0	0.00
合計				合計軸数	27000		

3.6.4 代表荷重と頻度を用いた H8 床版の疲労耐久性について

(1) 検討概要

作成した輪荷重分布に対して、実橋を想定した床版モデルを対象に疲労解析を行い、耐久性を有するとされる現行道路橋示方書で設計した床版の耐久性確認を行う。ここで、計算は異なる疲労被害則の感度（べき乗）にて行い、疲労被害則の感度（べき乗）を変えることで疲労耐久性の時間的な絶対値評価を試みた。

解析ではモデルに代表荷重（100kN）を移動载荷した計算を行い、破壊に至るまでの損傷過程について実橋の床版で想定される疲労損傷過程および設計上期待している疲労耐久性との比較から、床版の疲労解析に用いる疲労被害則の感度（べき乗）（軸重の代表荷重とその頻度への換算率）について考察する。

本検討では、これまでの検討を参考に 8,10,12 の異なる 3 種のべき乗則を適用した試算を行ってそれぞれを比較検討した。

図-3.6.2 にそれぞれの疲労被害則の感度（べき乗）に則った換算率で算出した、軸重毎の損傷度に占める比率の分布を示す。荷重が繰り返し载荷される事によるエネルギー振幅の頻度と、損傷との関係に対数軸で整理したため、疲労被害則の感度（べき乗）の値が大きくなるにつれて、大きな軸重が損傷度に与える影響がより大きくなる。

(2) 解析概要

解析では表-3.6.7 に示す構造緒元の床版モデルを対象とする。この床版では「道路橋示方書Ⅱ鋼橋編（平成 8 年度）」に従って、床版支間 3.0m の連続版の設計と同様となるよう、配筋を決定している。

表 3.6.7 構造概要一覧

床版	厚さ (mm)	弾性係数(N/mm ²)		支間方向鋼材		支間直角方向鋼材		中立軸高さ(mm)	
		コンクリート	鋼材	位置(mm)	鋼材	位置(mm)	鋼材	支間方向	直角方向
H8n	250	2.50 × 10 ⁴	2.0 × 10 ⁵	40	D19@300	58	D16@250	64	58
				210	D19@300	192	D16@250		

解析モデルは、これまで検討してきたように、床版をソリッドモデルとし、100mm × 100mm 程度の大きさの要素に分割した。鉄筋は埋め込み要素とした。

疲労被害則には、主引張応力による弾性ひずみエネルギーの振幅量の蓄積が要素の破壊に寄与する（3.3.2 の検討におけるケース⑦）とした。

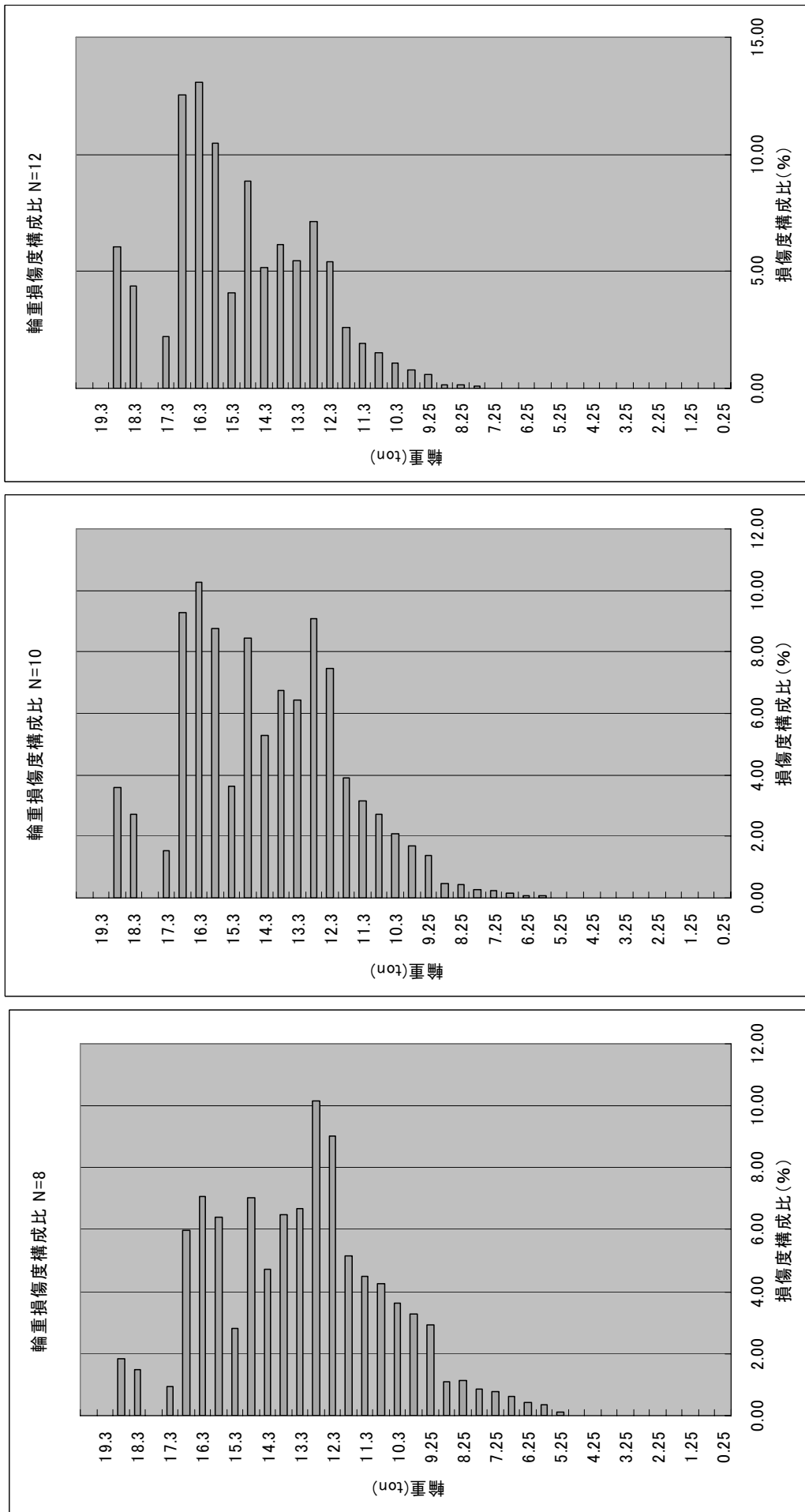


図 3.6.2 軸重損傷度構成比

表 3.3.5 損傷度割合

べき乗が8の場合

輪重	W^8	W^8_n	損傷度割合
0.25	1.53E-05	1.42E-02	0.00
0.75	1.00E-01	4.01E+02	0.00
1.25	5.96E+00	2.19E+04	0.00
1.75	8.80E+01	2.94E+05	0.00
2.25	6.57E+02	2.14E+06	0.00
2.75	3.27E+03	6.05E+06	0.00
3.25	1.24E+04	2.22E+07	0.01
3.75	3.91E+04	7.21E+07	0.02
4.25	1.06E+05	1.10E+08	0.03
4.75	2.59E+05	1.97E+08	0.06
5.25	5.77E+05	3.71E+08	0.11
5.75	1.19E+06	1.20E+09	0.35
6.25	2.33E+06	1.54E+09	0.44
6.75	4.31E+06	2.15E+09	0.62
7.25	7.63E+06	2.68E+09	0.77
7.75	1.30E+07	3.02E+09	0.87
8.25	2.15E+07	3.94E+09	1.14
8.75	3.44E+07	3.80E+09	1.10
9.25	5.36E+07	1.02E+10	2.94
9.75	8.17E+07	1.13E+10	3.27
10.25	1.22E+08	1.26E+10	3.63
10.75	1.78E+08	1.48E+10	4.27
11.25	2.57E+08	1.56E+10	4.50
11.75	3.63E+08	1.78E+10	5.15
12.25	5.07E+08	3.12E+10	9.02
12.75	6.98E+08	3.51E+10	10.14
13.25	9.50E+08	2.31E+10	6.67
13.75	1.28E+09	2.25E+10	6.50
14.25	1.70E+09	1.64E+10	4.73
14.75	2.24E+09	2.44E+10	7.05
15.25	2.93E+09	9.80E+09	2.83
15.75	3.79E+09	2.22E+10	6.42
16.25	4.86E+09	2.44E+10	7.06
16.75	6.20E+09	2.08E+10	6.00
17.25	7.84E+09	3.28E+09	0.95
17.75	9.85E+09	0.00E+00	0.00
18.25	1.23E+10	5.16E+09	1.49
18.75	1.53E+10	6.40E+09	1.85
19.25	1.89E+10	0.00E+00	0.00
19.75	2.31E+10	0.00E+00	0.00

$$\sum (W_i^8 \times n_i) = W_{10}^8 \times N$$

N= 3.46E+11
 N= 3.46E+03
 N₁₀₀= 1.26E+08
 100年では

10⁸

べき乗が10の場合

輪重	W^{10}	W^{10}_n	損傷度割合
0.25	9.54E-07	8.89E-04	0.00
0.75	5.63E-02	2.26E+02	0.00
1.25	9.31E+00	3.42E+04	0.00
1.75	2.69E+02	9.02E+05	0.00
2.25	3.33E+03	1.08E+07	0.00
2.75	2.47E+04	4.57E+07	0.00
3.25	1.31E+05	2.34E+08	0.00
3.75	5.50E+05	1.01E+09	0.00
4.25	1.92E+06	2.00E+09	0.00
4.75	5.85E+06	4.45E+09	0.01
5.25	1.59E+07	1.02E+10	0.02
5.75	3.95E+07	3.98E+10	0.06
6.25	9.09E+07	6.01E+10	0.10
6.75	1.96E+08	9.80E+10	0.16
7.25	4.01E+08	1.41E+11	0.22
7.75	7.82E+08	1.81E+11	0.29
8.25	1.46E+09	2.68E+11	0.43
8.75	2.63E+09	2.91E+11	0.46
9.25	4.59E+09	8.70E+11	1.38
9.75	7.76E+09	1.08E+12	1.71
10.25	1.28E+10	1.32E+12	2.10
10.75	2.06E+10	1.71E+12	2.72
11.25	3.25E+10	1.97E+12	3.14
11.75	5.02E+10	2.46E+12	3.91
12.25	7.61E+10	4.69E+12	7.46
12.75	1.14E+11	5.71E+12	9.08
13.25	1.67E+11	4.05E+12	6.45
13.75	2.42E+11	4.25E+12	6.76
14.25	3.45E+11	3.33E+12	5.29
14.75	4.87E+11	5.31E+12	8.45
15.25	6.80E+11	2.28E+12	3.63
15.75	9.39E+11	5.51E+12	8.77
16.25	1.28E+12	6.45E+12	10.27
16.75	1.74E+12	5.83E+12	9.27
17.25	2.33E+12	9.77E+11	1.55
17.75	3.10E+12	0.00E+00	0.00
18.25	4.10E+12	1.72E+12	2.73
18.75	5.37E+12	2.25E+12	3.58
19.25	6.99E+12	0.00E+00	0.00
19.75	9.03E+12	0.00E+00	0.00

$$\sum (W_i^{10} \times n_i) = W_{10}^{10} \times N$$

N= 6.28E+13
 N= 6.28E+03
 N₁₀₀= 2.29E+08
 100年では

10¹⁰

べき乗が12の場合

輪重	W^{12}	W^{12}_n	損傷度割合
0.25	5.96E-08	5.56E-05	0.00
0.75	3.17E-02	1.27E+02	0.00
1.25	1.46E+01	5.35E+04	0.00
1.75	8.25E+02	2.76E+06	0.00
2.25	1.68E+04	5.48E+07	0.00
2.75	1.87E+05	3.46E+08	0.00
3.25	1.39E+06	2.48E+09	0.00
3.75	7.73E+06	1.43E+10	0.00
4.25	3.47E+07	3.60E+10	0.00
4.75	1.32E+08	1.00E+11	0.00
5.25	4.38E+08	2.82E+11	0.00
5.75	1.31E+09	1.32E+12	0.01
6.25	3.55E+09	2.35E+12	0.02
6.75	8.95E+09	4.46E+12	0.03
7.25	2.11E+10	7.40E+12	0.06
7.75	4.69E+10	1.09E+13	0.08
8.25	9.94E+10	1.82E+13	0.14
8.75	2.01E+11	2.23E+13	0.17
9.25	3.92E+11	7.45E+13	0.57
9.75	7.38E+11	1.02E+14	0.79
10.25	1.34E+12	1.39E+14	1.06
10.75	2.38E+12	1.98E+14	1.52
11.25	4.11E+12	2.50E+14	1.92
11.75	6.93E+12	3.39E+14	2.60
12.25	1.14E+13	7.03E+14	5.39
12.75	1.85E+13	9.28E+14	7.12
13.25	2.93E+13	7.11E+14	5.46
13.75	4.57E+13	8.04E+14	6.16
14.25	7.01E+13	6.76E+14	5.18
14.75	1.06E+14	1.16E+15	8.86
15.25	1.58E+14	5.30E+14	4.07
15.75	2.33E+14	1.37E+15	10.48
16.25	3.39E+14	1.70E+15	13.07
16.75	4.88E+14	1.63E+15	12.54
17.25	6.94E+14	2.91E+14	2.23
17.75	9.78E+14	0.00E+00	0.00
18.25	1.37E+15	5.72E+14	4.39
18.75	1.89E+15	7.91E+14	6.07
19.25	2.59E+15	0.00E+00	0.00
19.75	3.52E+15	0.00E+00	0.00

$$\sum (W_i^{12} \times n_i) = W_{10}^{12} \times N$$

N= 1.30E+16
 N= 1.30E+04
 N₁₀₀= 4.76E+08
 100年では

10¹²

(3) 解析結果

実床版との比較では、床版の破壊過程における特徴的な段階である以下の3つの状態の現れる時期や状況に着目して考察する。

- ・ 中立軸の上の要素の破壊
- ・ 最上縁コンクリート要素の破壊
- ・ たわみ（主鉄筋ひずみ）の急増

作成した重交通を想定した実態軸重分布から代表荷重を 100kN として求めた 100 年間の換算回数は、疲労被害則のべき乗（傾き）を $N=8$ としたとき、 1.26×10^8 回、 $N=10$ において、 2.29×10^8 回、 $N=12$ において、 4.76×10^8 回である。

解析結果の一覧を表-3.6.8 に示す。H8 道路橋示方書で設計された床版が本検討で想定した重交通の条件において 100 年程度の疲労耐久性を有すると仮定すると、解析においても換算回数が 10^8 回程度で床版に破壊の徴候が顕著に現れる場合に疲労耐久性が一致することになる。そのため本検討からは疲労被害則のべき乗（傾き）を $N=10$ 程度とすることで実橋床版の疲労耐久性を現行道路橋示方書の要求性能に照らして概ね推定できるものと考えられる。

表 3.6.8 各段階の換算回数と解析ステップ

モデル	上2段目要素破壊		最上段要素破壊		鉄筋ひずみ急変(1)		鉄筋ひずみ急変(2)	
	換算回数	解析ステップ	換算回数	解析ステップ	換算回数	解析ステップ	換算回数	解析ステップ
100kN(N=8)	7.9E+06	205	1.5E+07	333	1.7E+07	410	5.0E+07	772
100kN(N=10)	3.5E+08	200	7.3E+08	298	8.7E+08	373	4.9E+09	856
100kN(N=12)	1.5E+10	197	3.4E+10	288	5.1E+10	367	2.9E+11	746

1) 床版たわみ

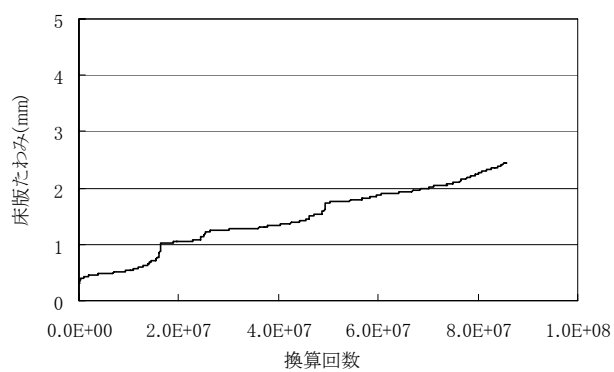


図 3.6-1 H8 床版 (荷重 100kN、N=8)

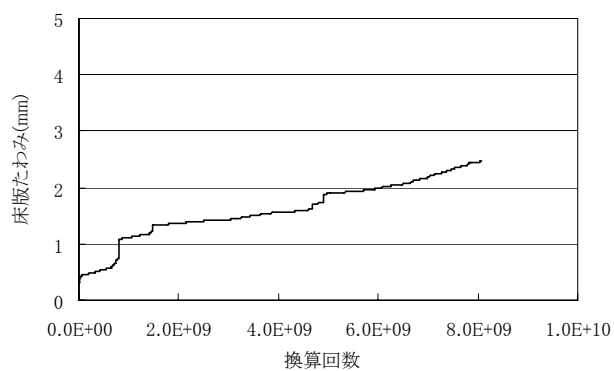


図 3.6-2 H8 床版 (荷重 100kN、N=10)

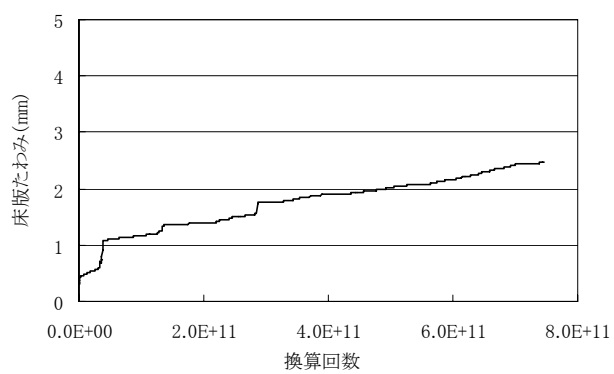


図 3.6-3 H8 床版 (荷重 100kN、N=12)

2) 鉄筋ひずみ

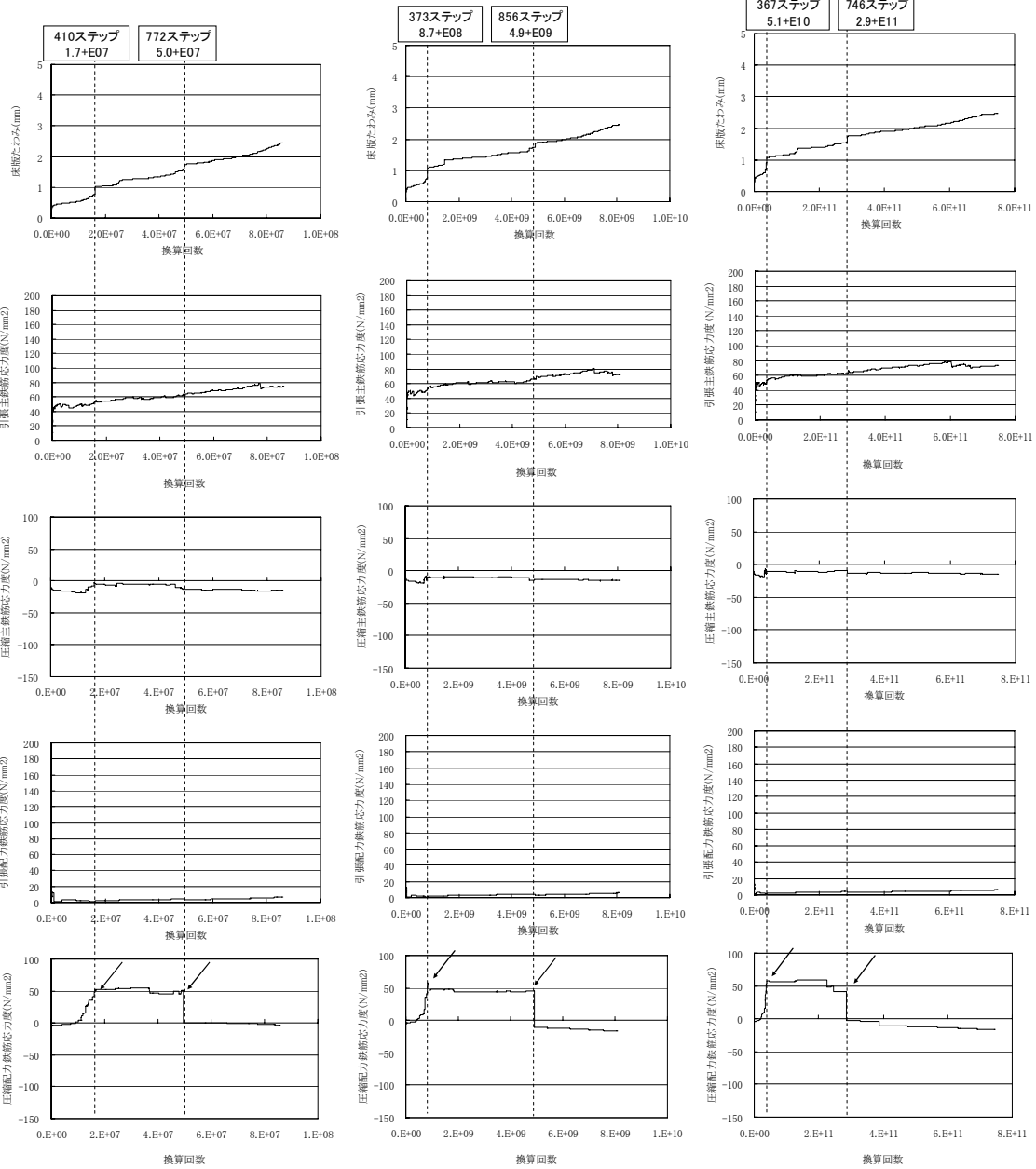


図 3.6-4 100kN N=8

図 3.6-5 100kN N=10

図 3.6-6 100kN N=12

3) 要素の損傷状況
荷重 100kN、N=8 計算結果
Step 205

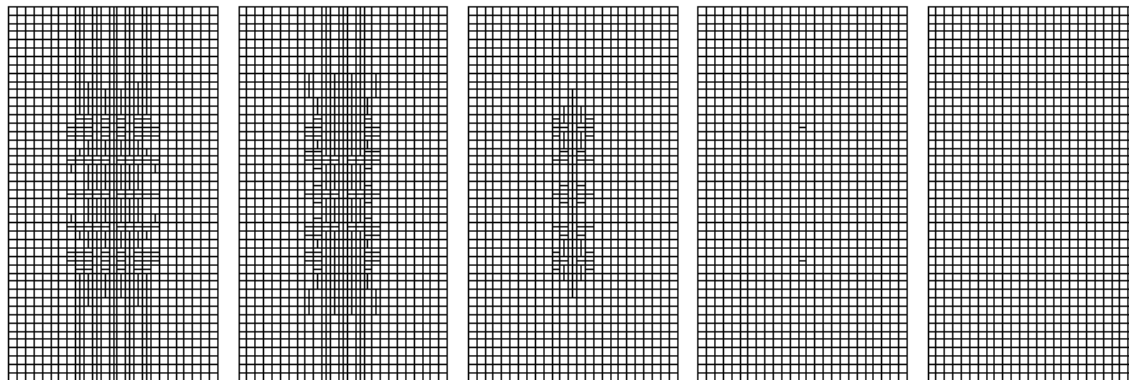


図 3.6-7 上から 2 段目の要素破壊時 (換算回数 : 7.89×10^6 回)

Step 333

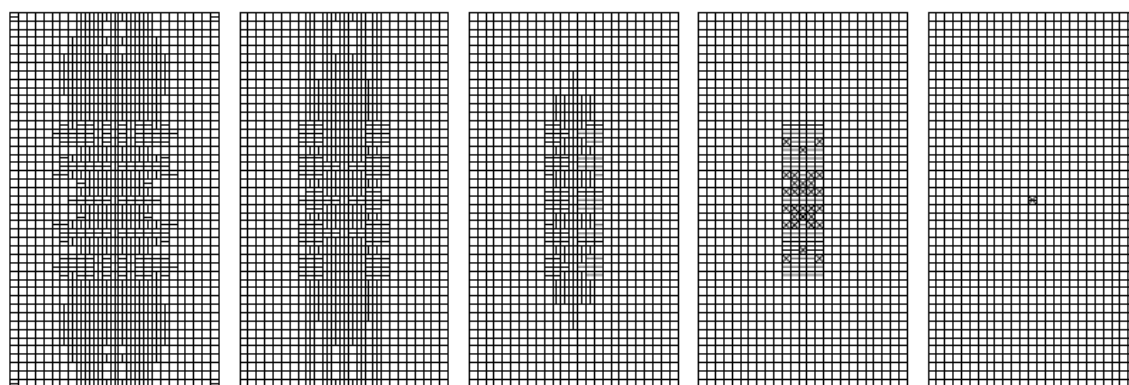


図 3.6-8 最上段の要素破壊時 (換算回数 : 1.46×10^7 回)

荷重 100kN、N=10 計算結果
Step 200

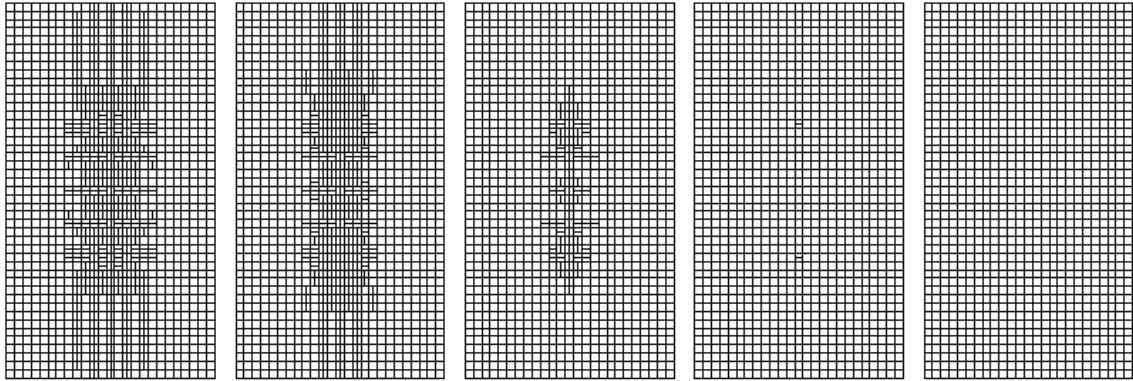


図 3.6-9 上から 2 段目の要素破壊時 (換算回数 : 3.48×10^8 回)

Step 298

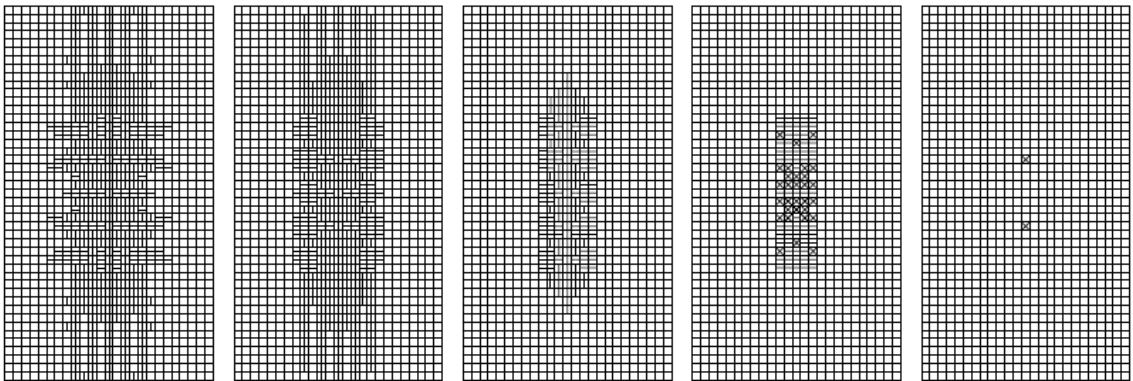


図 3.6-10 最上段の要素破壊時 (換算回数 : 7.32×10^8 回)

荷重 100kN、N=12 計算結果
Step 197

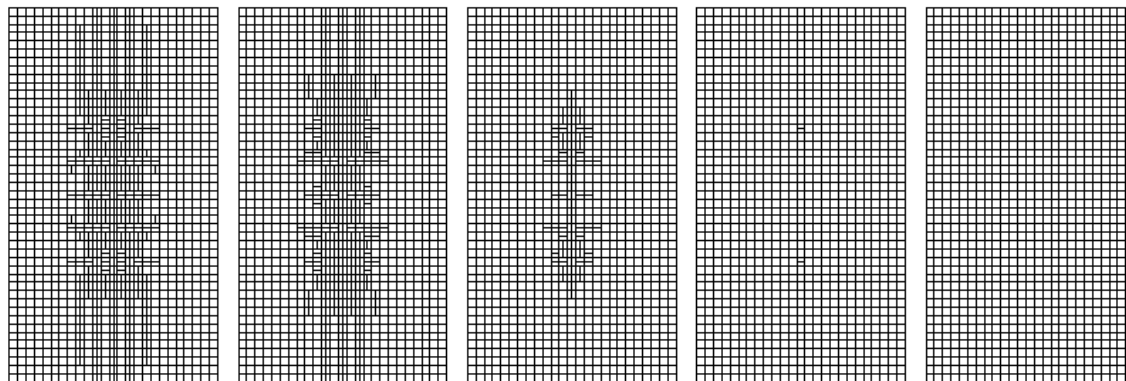


図 3.6-11 上から 2 段目の要素破壊時 (換算回数 : 1.51×10^{10} 回)

Step 288

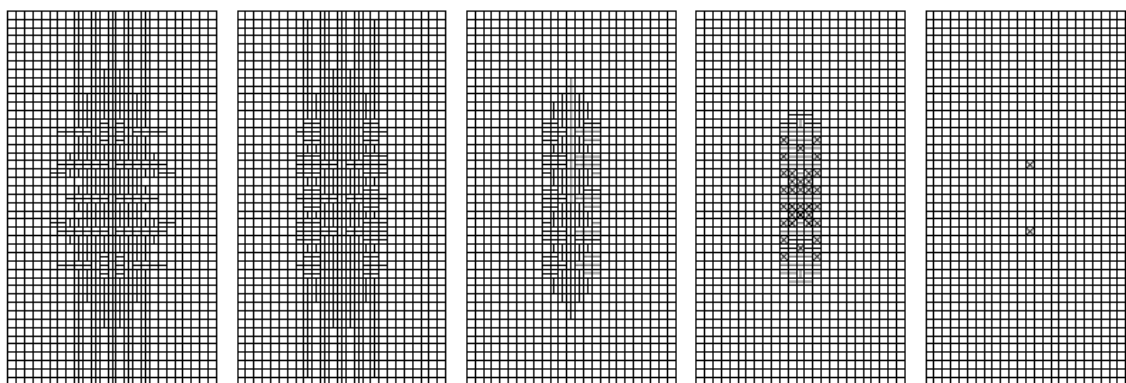


図 3.6-12 最上段の要素破壊時 (換算回数 : 3.41×10^{10} 回)

4) 計算ステップと換算回数の関係

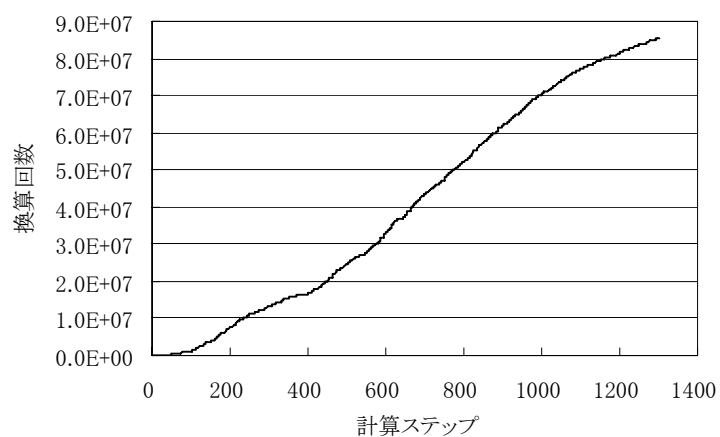


図 3.6-13 100kN N=8

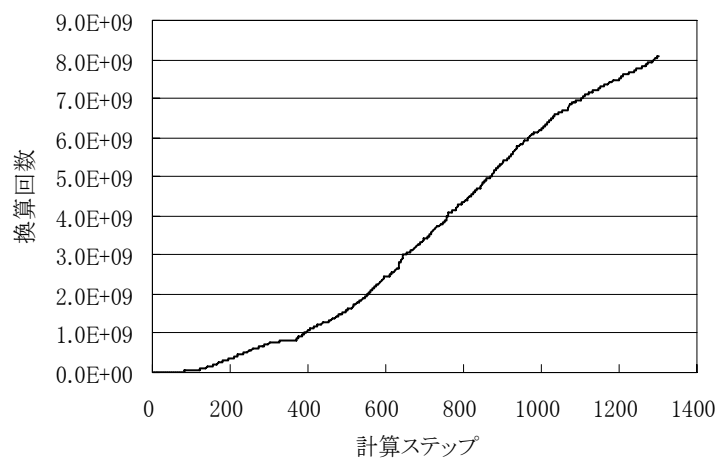


図 3.6-14 100kN N=10

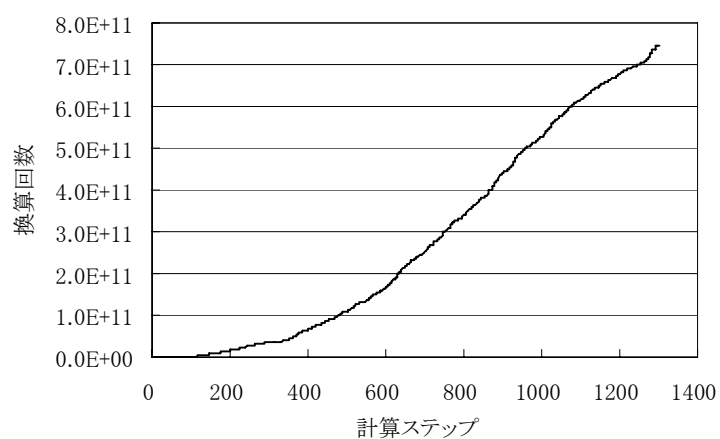


図 3.6-15 100kN N=12

(4)まとめ

これまでの検討により、様々な構造形式のコンクリート系の床版の疲労耐久性について、解析的に疲労損傷過程をある程度評価できる可能性のあることが示された。

コンクリート床版の自動車荷重による疲労耐久性は、外力条件やコンクリートの品質にも大きく左右され、そのばらつきが大きいことから解析によって実現象を精度よく推定することは現実的でない。したがって、実務の設計においても、例えば現行基準による場合との相対比較において少なくとも設計供用期間における耐荷力性能が大きく劣ることがないこと、あるいは十分な余裕をもって確保される可能性が高いかどうかを概略推定できればよいと考えられる。

これらを考慮すると、新しい構造形式の床版であっても、床版コンクリートの各部の応力状態がある程度精度よく算出できる解析モデルに対して本章で検討した床版コンクリートの疲労被害則を適用し、かつ適当な感度（べき乗則）による試算を行うことで、対照床版（例えばH8道示準抛床版）との疲労耐久性の相対比較において要求性能（設計供用期間における耐久性確保とその信頼性）の検証の一部とすることができる可能性がある。

【3章 参考文献】

- 1) 菅田紀之,尾崎昶:各種コンクリートの疲労強度および疲労破壊性状に関する研究, 土木学会論文集, No.669/V-50, pp.1-16.2001.2
- 2) コンクリート標準示方書構造性能照査編、(社)土木学会、2002
- 3) 松井繁之:道路橋コンクリート系床版の疲労と設計法に関する研究、大阪大学提出学位請求論文、1984.11
- 4) 鋼構造物の疲労設計指針・同解説、(社)日本鋼構造協会編,技報堂出版
- 5) 二羽淳一郎,前田詔一,岡村甫;異形鉄筋の疲労強度算定式,土木学会論文集,No354/V-2,pp73-pp79,1985.2
- 6) 中谷、内田、西川他;道路橋床版の疲労耐久性に関する試験、国土技術政策総合研究所資料第28号、2002.3
- 7) 建設省土木研究所・(社)日本橋梁建設協会:省力化に対応した鋼桁橋の設計施工に関する共同研究報告書(Ⅱ)、建設省土木研究所共同研究報告書第241号、1999.12
- 8) 春日井、永田、高田、井上:帯鋼ジベルを用いた新しい合成床版の疲労耐久性と破壊性状、土木学会第60回年次学術講演会、2007.9
- 9) 建設省土木研究所:限界状態設計法における設計活荷重に関する検討、土木研究所資料第2539号,1988.1
- 10) 街道、渡辺、橘、松井、堀川:鋼・コンクリート合成床版の輪荷重走行試験および3次元有限要素解析による疲労耐久性評価、構造工学論文集 Vol.50A、土木学会、2004.3
- 11) 阿部、井澤、中川:トラス鉄筋により補強された型枠鋼板付き合成床版の疲労特性、第4回複合構造の活用に関するシンポジウム、土木学会、1999年