

土木研究所資料

第1865号

橋梁活荷重の信頼性解析

昭和57年7月

建設省土木研究所
構造橋梁部橋梁研究室

Copyright © 57年度 by P. W. R. I

All rights reserved. No part of this book may be reproduced by any means, nor transmitted, nor translated into a machine language without the written permission of the Director of P. W. R. I.

この報告書は、土木研究所長の承認を得て刊行したものである。したがって、本報告書の全部又は一部の転載、複写は土木研究所長の承認を得ずしてこれを行なってはならない。

ま え が き

橋梁設計に限界状態設計法もしくは、荷重係数設計法を導入しようとする試みは具体化しており、すでに諸外国では限界状態設計法にもとづく設計示方書も公表されている。このためには、信頼性レベルを考慮して厳密に橋梁活荷重を評価することが必要となる。一方、橋梁床版の破損など、活荷重に起因する橋梁部材の破損も多く、維持・管理の面からも橋梁活荷重の実態を明らかにする必要がある。

橋梁研究室では、現在までに数多くの活荷重の解析を試みており、その結果は、土木研究所資料 No. 626, No. 701, No. 936, および No. 1534 などに示した。これらの資料には、維持・管理や設計基準の検討に有効に利用されている。しかしながら、車両の大型化、大型車両の増加はいぜんとして続いており、これらの解析も十分なものとは言えなくなってきた。すなわち、重車両は2軸、3軸のタンデム軸をもつようになり、T荷重の信頼性を評価するためにはタンデム軸の実態を厳密に把握する必要が生じてきた。また、過積載の重量車やトレーラー等の増加により、L荷重の信頼性を評価するためには、これら重車両の実態を把握することがますます重要になってきた。

このような情勢を考慮して、橋梁研究室では、道路局、関東地方建設局の協力のもとに、昭和56年度に東京周辺の国道で活荷重の実態調査を行った。本報告は、この調査結果および解析結果についてとりまとめたものである。諸々の制約により、データ数は十分とは言えないが、橋梁活荷重についてある程度の実態を示すことができたと考えている。

昭和 57 年 7 月

建設省土木研究所橋梁研究室

研究員 金 井 道 夫
佐 藤 和 徳

目 次

ま え が き

1. 荷重レベルの定義	1
2. T荷重に関する解析	3
(1) T荷重に関する問題点	3
(2) T荷重に関する調査の概要	8
(3) シミュレーションによるT荷重の解析	30
(4) 終局荷重, 使用荷重, 疲労荷重に関する考察	34
3. L荷重に関する解析	38
(1) L荷重に関する問題点	38
(2) L荷重に関する調査の概要	39
(3) シミュレーションによるL荷重の解析	43
(4) 終局荷重, 使用荷重に関する考察	66
4. 結 論	70
参考文献	71

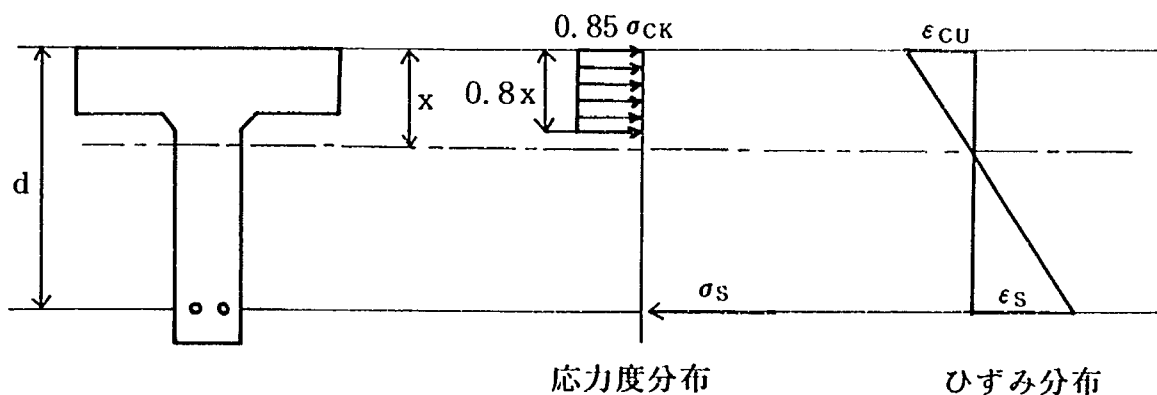
1. 荷重レベルの定義

本報告では、限界状態設計法の導入を前提として、橋梁の設計示方書で規定される限界状態の照査に用いるべき活荷重を、実態調査により明らかにするものである。限界状態設計法の導入を考えた場合、活荷重を次のレベルで定義する必要がある。

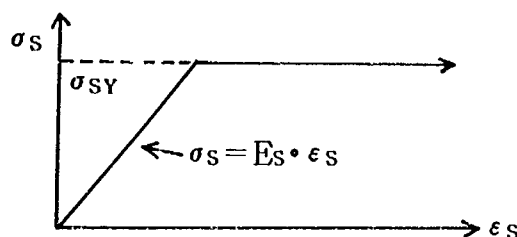
(1) 終局荷重

橋梁の耐荷力(終局限界状態)を照査する場合に用いる荷重である。限界状態設計法にもとづく設計示方書に規定される耐荷力は、たとえば図-1に示す鉄筋コンクリート部材の破壊抵抗曲げモーメントのように、構造物の極限状態をモデル化して算出したものである。したがって、耐荷力を照査する荷重は、橋梁の供用期間に予想される最大荷重である必要がある。本報告で示す終局荷重は、原則として、50年間の供用期間を想定し、その供用期間に想定される最大荷重の平均値とする。

上記において、最大荷重の平均値を用いることには議論がある。最大荷重の変動を考慮して、荷重としても十分余裕をもった荷重を規定することが本来必要である。しかし、一般に、最大荷重の変動係数は十分小さいこと、また、最大荷重の推定自体にかなりの不確定性が生じていること等を考慮して、平均値を用いることとした。この点に関しては、将来のデータの蓄積により修正していくことが必要であろう。



ここに、鉄筋の応力-ひずみ曲線は、



また、コンクリートの終局ひずみ = 0.0035

図-1 鉄筋コンクリート部材の破壊抵抗曲げモーメントの算出

(2) 使用荷重

使用性(使用限界状態)を照査する場合に用いる荷重であり、適切な名称がないため、仮に使用荷重と呼ぶことにする。使用限界状態として規定される限界状態は、たわみ、振動、PC橋のひびわれ発生、RC橋のひびわれ幅など多種多様である。また、これらの限界状態を、どの程度のレベルで満足させるのかについても、現時点では結論が得られていない。

たとえば、たわみ、振動等の使用限界状態の照査は、サービスレベルをどの程度に保つかという照査であり、利用者の数、周辺的环境条件等に応じて規定されるべきであるかもしれない。一方、PC橋のひびわれ、RC橋のひびわれ幅などは、橋梁の耐久性に関する事項であり、この場合に照査に用いる荷重のレベルは構造物の耐久性への配慮から決定されるべきである。

このような事情を考慮して、本報告では、使用荷重について具体的に規定することは行わなかった。しかし、本報告にもとづき、生起頻度に対応した活荷重を規定することは可能である。

(3) 疲労荷重

鋼床版の溶接部やRC床版は疲労破壊を生じる可能性があることは指摘されており、これら疲労現象を照査するための活荷重も提示する必要がある。ここでは仮に疲労荷重と呼ぶ。本報告では、疲労荷重の取扱いの一例を示す。なお、疲労現象については、全般的に未解決の問題があり、ここでは体系的な取扱いは行わなかった。

本報告では、以上3つのレベルの活荷重について示すこととするが、使用荷重、疲労荷重については、その概念や取扱いについてより詳細な検討を必要としている。

2. T 荷重に関する解析

(1) T 荷重に関する問題点

床版、縦げた、スパンの短い床版橋などの橋梁部材は、車両が1台載荷された状態で設計断面力が決定される。このような場合の照査に用いられるのが、道路橋示方書¹⁾に規定されるT荷重であり、次のように規定されている。

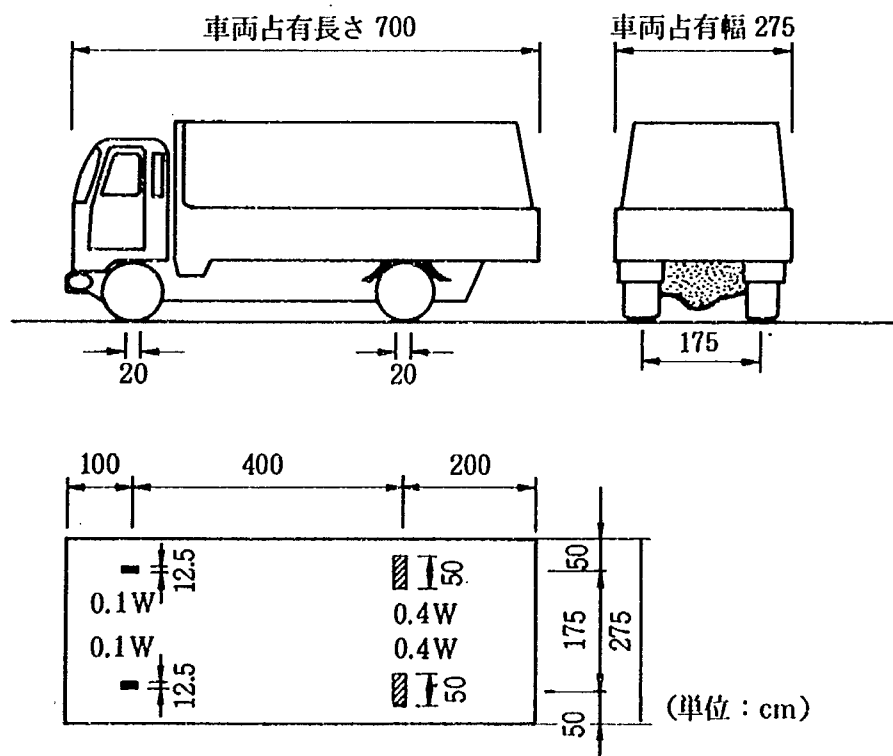
床版および床組を設計する場合の活荷重

床版および床組を設計する場合の活荷重は次のとおりとする。

- 1) 車道部分にはT荷重を負荷するものとする。自動車は1橋につき縦方向には原則として1台、横方向には台数に制限がないものとし、設計部材に最も不利な応力が生じるように載荷するものとする。T荷重の橋軸直角方向の車輪中心の負荷位置は車道部分の端部より25 cm までとする。

T 荷 重

橋の等級	荷 重	総 荷 重 $W(t)$	前輪荷重 $0.1W(kg)$	後輪荷重 $0.4W(kg)$	前輪輪帯幅 $b_1(cm)$	後輪輪帯幅 $b_2(cm)$	車輪接地長 $a(cm)$
1 等 橋	T-20	20	2,000	8,000	12.5	50	20
2 等 橋	T-14	14	1,400	5,600	12.5	50	20



道路橋示方書に規定されるT荷重は、実際に道路上を走行する車両そのものではなく、モデル化した車両である。道路を通行する車両は、一般的に車両制限令により次のように定められている。

一般的制限

道路法上の道路を通行する車両の幅、重量、高さ、長さ等は、次に示す値以下でなければならない(道路法第47条第1項、車両制限令第3条)。

イ 幅 2.5メートル

ロ 重量

総重量 20トン

軸重 10トン

輪荷重 5トン

ハ 高さ 3.8メートル

ニ 長さ 12メートル

ホ 最小回転半径

車両の最外側のわだち 12メートル

ヘ 長さについては、上記ニにかかわらず、高速自動車国道においては、セミトレーラに限り16.5メートルとする。ただし、この場合においては、積載物が被牽引車の車体の前後からはみ出してはならない。

ト バン型及びコンテナ用のセミトレーラ連結車の総重量については、上記ロにかかわらず、表の値とする。ただし、これが適用される車両は軸重が9トン以下で、かつ、軸数が4以上の車両でなければならない。

バン型のセミトレーラ連結車及びコンテナ用の
セミトレーラ連結車の総重量の最高限度

区 分	最 遠 軸 距	総重量の最高限度
高速自動車国道を 通行するもの	8メートル以上9メートル未満	24トン
	9メートル以上10メートル未満	25.5トン
	10メートル以上11メートル未満	27トン
	11メートル以上12メートル未満	28トン
	12メートル以上13メートル未満	29トン
	13メートル以上14メートル未満	30トン
	14メートル以上15メートル未満	31トン
	15メートル以上15.5メートル未満	32トン
	15.5メートル以上	34トン
その他の道路を通 行するもの	8メートル以上9メートル未満	24トン
	9メートル以上10メートル未満	25.5トン
	10メートル以上	27トン
備考：最遠軸距とは、車両の最前軸との軸間距離をいう。		

なお、車両制限令では、以上の一般的規定のほかに、特殊な車両の通行を認める制度も設けてある。

特殊な車両の特例

道路法及び車両制限令に規定する制限値を超える車両であっても、道路管理者は、車両の構造又は車両に積載する貨物が特殊であるためやむを得ないと認めるときは、その車両を通行させようとする者の申請に基づいて、通行経路、通行時間等について、道路の構造を保全し、又は交通の危険を防止するために必要な条件を付して、その車両の通行を許可又は認定することができる」とされている。

許可と認定の区別は、次のとおりである。

イ 許可（道路法第47条の2）

許可は、道路法第47条の2の規定によるものであって、車両制限令における（1）一般的制限及び（2）橋梁等の個別的制限の制限値を超える車両の通行について行われるものであり、いわゆる「特殊車両の通行許可制度」がそれである。

ロ 認定（車両制限令第12条）

認定は、車両制限令第12条によるものであって、車両制限令における（3）幅等の個別的制限の制限値を超える車両の通行について行われるものである。

さて、床版や縦げた等に大きな影響を与えるのは、実際には大型車両のタンデム軸である。すなわち、床版や縦げたは載荷スパンが短いため、1つの軸の直下の断面力に対しては、その軸から3～4m以上離れた軸はほとんど影響を及ぼさない。したがって、大型車の後輪による断面力を算出する場合、前輪の影響は小さいのが普通である。しかし、後輪がタンデム軸であった場合、タンデム軸間距離は1.3mと小さいため、断面力は1軸の場合よりかなり大きなものとなる。特に、トレーラー等においては、総重量が大きく、2軸、3軸のタンデムが多用されるため、橋梁部材への影響は大きい。

このため、諸外国では、タンデム軸の総重量を規制していることが多い。表－1はアメリカ各州の車両制限を示すが、1軸最大重量18,000ポンドに対して、タンデム総重量は32,000ポンドに規制している州が多い。すなわち、タンデム軸の1軸の軸重は16,000ポンドとしていることになる。また、表－2に世界各国の車両制限を示すが、ほとんどの国でタンデム規制を設けており、タンデム軸距により細かくタンデム総重量を規定している場合も見受けられる。

これに対して、我国の車両制限令ではタンデム軸に関する規定がない。道路橋示方書のT荷重の後輪は、タンデム軸の影響を考慮はしているが、構造形式によっては、T荷重はタンデム軸の影響を危険側に評価しており、さらに、過積、偏載が一般化しているのも事実である。このために、我国の橋梁の縦げた、床版は過酷な条件下におかれていることは、容易に推定できる。活荷重の実態を十分解析するとともに、当面は設計安全率を十分に見込んでいくことが必要である。

表-1 アメリカ各州の車両制限 (文献4より引用)

Line	State	Width inches	Height ft. in	Length - feet						Axle load - pounds				Specified maximum gross weight - pound ¹						
				Single unit			Truck tractor semitrailer	Other combination	Single		Tandem		Truck		Truck - tractor semitrailer			Other combination		
				Truck	Bus	Semitrailer or Trailer			Statutory limit	Including statutory enforcement tolerance	Statutory limit	Including statutory enforcement tolerance	2 - axle	3 - axle	3 - axle	4 - axle	5 - axle			
1	Alabama	96	13.6	40	40	NS	55	NP	18,000	19,800	36,000	39,600							73,280	
2	Alaska	96	13.6	40	40	NS	60	65	20,000		34,000			30,000	44,000	50,000	64,000	78,000	100,000	
3	Arizona	96	13.6	40	40	NS	65	65	18,000		32,000									
4	Arkansas	96	13.6	40	40	NS	55	65	18,000		32,000									
5	California	96	13.6	40	40	40	60	65	18,000		32,000									
6	Colorado	106	13.6	35	40	NR	60	60	18,000		36,000									
7	Connecticut	102	13.6	55	55	40	55	NS	22,400	22,848	36,000	36,720	32,000	53,800	53,800	67,400	73,000		NP	
8	Delaware	96	13.6	40	42	40	55	60	20,000		36,000			30,000	65,000	48,000				
9	Florida	96	13.6	35	40	NS	55	55	20,000	22,000	40,000	44,000								
10	Georgia	96	13.6	55	55	NR	55	55	18,000	20,340	36,000	40,680					73,280	73,280		
11	Hawaii	108	13.6	40	40	NR	55	65	24,000		32,000									
12	Idaho	106	14.0	35	35	NR	1960	2465	18,000		32,000									
13	Illinois	96	13.6	42	42	42	2155	60	18,000		32,000			36,000	50,000	50,000	64,000	73,280	73,280	
14	Indiana	106	13.6	36	40	NR	55	65	18,000	19,000	32,000	33,000	36,000	50,000	54,000				72,000	
15	Iowa	96	13.6	35	40	NR	2455	2455	18,000	18,540	32,000	32,960								
16	Kansas	96	13.6	42'6"	40	42'6"	55	55	18,000		32,000									
17	Kentucky	96	13.6	35	35	NR	2455	65	18,000	18,900	32,000	33,600	30,000	44,000	44,000	62,000	73,280	73,280		
18	Louisiana	96	13.6	35	40	NR	60	65	18,000		32,000									
19	Maine	102	13.6	55	55	NR	55	55	22,000		36,000			32,000	51,800	51,800	66,300	73,280	73,280	
20	Maryland	96	13.6	55	55	NR	55	2465	22,400		36,000									
21	Massachusetts	96	NS	35	40	NR	55	NP	22,400		36,000			46,000	60,000	60,000	73,000	73,000	NP	
22	Michigan	96	13.6	35	40	40	1255	2265	18,000		32,000							73,280	73,280	
23	Minnesota	96	13.6	40	40	40	55	55	18,000		32,000							73,280	73,280	
24	Mississippi	96	13.6	35	40	NR	55	55	18,000		28,650	32,000								
25	Missouri	96	13.6	40	40	NR	55	7250	18,000		32,000									
26	Montana	106	13.6	35	40	NR	60	60	18,000		32,000									
27	Nebraska	96	13.6	40	40	NR	60	60	18,000	18,900	32,000	33,600	36,000	54,000	54,000	71,146	71,146	71,146		
28	Nevada	96	NR	40	40	NR	170	170	18,000	18,900	32,000	33,600								
29	New Hampshire	96	13.6	35	40	NR	55	55	22,400		36,000			33,400	55,000	52,800	66,400	73,280	73,280	
30	New Jersey	106	13.6	35	40	55	50	22,400	23,520	32,000	33,600									
31	New Mexico	106	13.6	40	40	NR	65	65	21,600		34,320									
32	New York	96	13.6	35	40	35	55	55	22,400		36,000							71,000	71,000	
33	North Carolina	96	13.6	35	40	NR	55	55	18,000	19,000	36,000	38,000	31,500	49,875	49,875	67,200	73,280	73,280		
34	North Dakota	106	13.6	35	40	NR	1260	1260	18,000		32,000									
35	Ohio	96	13.6	40	40	NR	55	65	19,000	19,570	32,000	32,960								
36	Oklahoma	96	13.6	40	45	NR	155	65	18,000		32,000			18,000	32,000	35,000	50,000	64,000	73,280	
37	Oregon	96	13.6	35	40	40	2160	2275	20,000		34,000							76,000	76,000	
38	Pennsylvania	96	13.6	35	40	40	55	2455	22,400	23,072	36,000	37,080	33,000	47,000	50,000	60,000	71,145	71,145		
39	Rhode Island	102	13.6	40	40	40	55	55	22,400		NS			36,000	44,000	53,800	67,400	73,280	88,000	
40	South	96	13.6	40	40	NR	55	2455	20,000		32,000			35,000	46,000	50,000	65,000	73,280	73,280	
41	South Dakota	96	13.6	35	40	NR	2265	2265	18,000		32,000									
42	Tennessee	96	13.6	40	40	NS	55	55	18,000		32,000				44,000	48,000	62,000	73,280		
43	Texas	96	13.6	40	40	40	55	65	18,000		32,000									
44	Utah	96	14.0	45	45	45	60	60	18,000		33,000			36,000	51,000	54,000	69,000	79,900	79,900	
45	Vermont	96	13.6	50	50	NS	55	55	22,400	23,520	36,000							73,280	73,280	
46	Virginia	96	13.6	35	40	NR	50	50	18,000		32,000							70,000	70,000	
47	Washington	96	13.6	35	40	40	1960	65	18,000		32,000			28,000	36,000	46,000	60,000	68,000	72,000	
48	West Virginia	96	12.6	35	40	35	50	50	18,000	18,900	32,000	33,600					70,000	70,000	70,000	
49	Wisconsin	96	13.6	35	40	35	55	55	18,000	19,500	30,400	32,000								
50	Wyoming	96	13.6	50	40	NR	65	65	18,000		32,000	36,000								
51	District Columbia	96	12.6	40	40	NS	50	50	22,000			38,000						70,000	70,000	

表-2 世界各国の車両制限 (文献4より引用)

諸 元 国 名	寸 法		軸 重			単 車				ト レ ー ラ					
	高 さ m	巾 m	単 軸 t	タン ム 軸 t	タン デ ム 間 隔 ~ 荷 重 d (m) ~ t	2 軸 車		3 軸 車 以 上		1 軸		2 軸		3 軸	
						重 量 t	長 さ m	重 量 t	長 さ m	重 量 t	長 さ m	重 量 t	長 さ m	重 量 t	長 さ m
オーストリア	4	2.5	10	16		16	12	22	12	8	12	16	12	22	12
ベルギー	4	2.5	13	20	片軸10tを超えない	19	11	26	11	13	8	20	11	26	11
ブルガリヤ	3.8	2.5	8 7.25 6	2軸車 " " " "		16	11	22.5	12						
チェコスロバキヤ	4	2.5	10	16	④ 1.0 1.2 2.0 1.1 1.3 ⑤ 10 13 16 11.5 14.5	16	12	22	12	10	12	16	12	22	12
デンマーク	3.6	2.5	8	14.5	d > 1.3	16	10	22	12			16		22	
東ドイツ	4	2.5	10	16		14	10	18.5	12	10		16		24	
フィンランド	3.8	2.5	8	13		12.5	11	17.5	11	8	7	16	12	-	12
フランス	-	2.5	13	21	d > 1.35	19	11	26	11	13	11	19	11	26	11
ギリシャ	3.8	2.5	9	16	d < 1 14.5 d > 1 16		12		12	-					
ハンガリー	4	2.5	8	14.5		16	10	20	11	8		16		20	
アイルランド	バス 4.57	2.5	10	16	1.02 < d < 2.13	16	10.97	22	10.77	10	7	16	7	22	7
イタリア	4	2.5	10	14.5	d < 2	14	10	3軸18 4軸22	11	6	6	14	7.5	18	8
ルクセンブルク	4	2.5	13	19	片軸10tを超えない	19	10	26	12	-					
オランダ	4	2.5	10	16		-	11		11	-	8	-	11	-	11
ノールウェー		2.35	8~10	12~16		-	10	-	-						
ポーランド	4	2.5	8 (10)	14.5 (16)	④ 1.0 1.2 2.0 1.1 1.3 ⑤ 10 13 16 11.5 14.5	16	11	24	11	8		14	10	21	11
ポルトガル	4	2.5	10	16		15	10	20	10	10	12	16	12	22	12
ルーマニア	4	2.75	10	16		16	10	24	12	6	10	20	11		
スペイン	4	2.5	13	21	W = 14.7 + 1.4(d - 0.9)	20	11	26	12			20	11	26	12
スウェーデン	-	2.5	10	16	d < 2	16		22	24						
スイス	4	2.3	(+2) 10	14	1 < d < 2	16	10	16	10	8	-	12	-	12	
トルコ	3.8	2.5	8	14.5			10		11	8					
ソ連	3.8	2.5	10	18		17.5	12	25	12	-	-	-	-	-	-
イギリス	バス 4.6	2.5	9 10 11	16 18	1.22 < d < 2.13	14 15 16	11	20 28	11	9/10	77	14 15 16	12	22	12
西ドイツ	4	2.5	10 (13)	16 (21)	1 < d < 2	16	12	22	12	10	12	16	12	22	12
ユーゴスラビア	4	2.5	10	16			11	24	12						

(2) T荷重に関する調査の概要

車両による床版、縦げた等の断面力を算出する場合、いくつかの要因が影響する。最も支配的な要因は車両の車軸の配置と軸重であり、特に、タンデム軸の軸間距離と軸重が重要である。次に、衝撃係数も断面力に影響を与える要因であり、衝撃係数の実態を把握する必要がある。最後に、車輪が路面上のどの位置を通過するかによって、縦げた、床版の断面力は変動する。T荷重に関する信頼性解析を行うためには上記の各要因について明らかにする必要がある、以下に概要を述べる。

1) タンデム軸の実態

タンデム軸に関する調査は、後述するL荷重の調査と同時に行い、大型トラック、大型ダンプおよびセミトレーラーの軸配置と軸重を、国道4号、6号、246号、254号、および16号の重量計測所で測定した。調査した車両は200台程度であるが、タンデム軸を有する大型車で積載状態にあるものに限定して、表-T-1に示す49台分のデータを抽出した。表-T-1に示すように、大型車の中には車両制限令で最大軸重10tと規定されているにもかかわらず、最大23t以上の軸重を有するものがあり、これらがタンデム軸になっていることから、橋梁部材への影響は大きいことが予想される。

表-T-1には、スパン5mの縦げた、スパン10mの縦げたおよびスパン3mの床版を例にとり、上記の49台の車両が最もきびしい位置に載荷された時の曲げモーメントを、T-20による曲げモーメントに対する比によって示した。この数値が1.0を越える確率はそれほど大きくないが、最大の値は2.0に近く、橋梁部材がタンデム軸によって、きびしい荷重状態におかれていることを示している。

図-T-1-(1)~(12)に、表-T-1に示したスパン5m、10mの縦げた、スパン3mの床版の曲げモーメントを、極値確率紙、正規確率紙、対数正規確率紙、ワイブル確率紙にプロットしたものを示した。図に示すように、スパン5m、10mの縦げた、スパン3mの床版とも曲げモーメントの分布は二重指数分布(極値分布)によく適合する。図-T-1-(1)、(5)、(9)より判断して、二重指数分布による縦げた、床版の曲げモーメントのモデル化を行った場合、まれに生じる事象、言い換えれば累積相対度数が大きい事象については、若干安全側の値が推定値として得られることが考えられる。

二重指数分布以外では、対数正規分布が比較的よい直線性を示すが、推定誤差が若干大きくなる傾向があり、今回は採用しなかった。また、正規分布およびワイブル分布については、ほとんど直線性を示さない。

以上により、タンデム軸による縦げたと床版の曲げモーメントについては、二重指数分布による近似を行うこととする。二重指数分布の分布型、平均値、標準偏差は次のとおりである。

$$F(x) = \exp \{-\exp \{-\alpha(x-u)\}\} \dots\dots\dots (1)$$

$$\mu = u + 0.577/\alpha$$

$$\sigma = \pi / (\sqrt{6} \cdot \alpha)$$

ここに

α, u ; 定数

μ, σ ; 二重指数分布の平均値、標準偏差

表-T-1 実測した車両の縦げた、床版への影響

(1)

番号	第 1 軸		第 2 軸		第 3 軸		第 4 軸		第 5 軸		$M_L=5$	$M_L=10$	M_S
	P_1	L_1	P_2	L_2	P_3	L_3	P_4	L_4	P_5	L_5	$\frac{M_L}{M_T-20}$	$\frac{M_L}{M_T-20}$	$\frac{M_S}{M_T-20}$
1	4,900	185	5,500	350	12,800	930					0.800	0.762	0.800
2	4,600	150	8,400	725	5,600	855					0.693	0.747	0.670
3	5,600	155	9,000	715	5,200	845					0.719	0.765	0.698
4	5,500	175	5,500	345	9,200	745					0.575	0.653	0.575
5	6,200	155	23,100	720	12,000	850					1.804	1.904	1.756
6	5,000	145	11,500	710	6,700	835					0.920	0.980	0.893
7	5,800	140	17,800	700	11,000	830					1.443	1.544	1.398
8	5,000	130	9,400	470			12,100	985	12,000	1,110	1.116	1.249	1.068
9	4,800	120	5,400	345	9,300	935					0.581	0.554	0.581
10	5,900	140	10,600	455	11,100	585					1.012	1.250	0.969
11	5,400	150	9,800	710	5,800	840					0.787	0.839	0.763
12	4,500	145	8,400	700	5,000	825					0.675	0.720	0.655
13	4,600	170	5,500	340	9,000	925					0.563	0.536	0.563
14	5,200	150	9,600	660	5,800	790					0.774	0.827	0.751
15	5,400	135	12,600	455	9,400	1,070	11,300	1,190			0.988	1.087	0.950
16	4,700	200	5,100	365	11,000	950					0.688	0.655	0.688
17	4,900	135	11,300	435	6,900	1,125	7,300	1,255			0.706	0.789	0.636

(2)

番号	第 1 軸		第 2 軸		第 3 軸		第 4 軸		第 5 軸		$M_L=5$	$M_L=10$	M_S
	P_1	L_1	P_2	L_2	P_3	L_3	P_4	L_4	P_5	L_5	$\sqrt{M_T-20}$	$\sqrt{M_T-20}$	$\sqrt{M_T-20}$
18	6,200	130	10,300	690	6,600	815					0.842	0.904	0.815
19	6,300	140	17,300	740	11,000	865					1.412	1.514	1.367
20	4,400	180	5,000	360	7,600	950					0.475	0.465	0.475
21	4,900		10,100		10,400		18,300		18,300		1.693	1.895	1.619
22	3,800	190	5,400	370	6,900	950					0.431	0.466	0.436
23	4,100	130	7,500	730	4,800	860					0.613	0.658	0.593
24	4,700	170	8,100	480	7,900	605	10,600	1,200	15,700	1,330	1.299	1.401	1.257
25	5,400	165	8,600	475	9,100	600					0.827	1.035	0.792
26	6,000	160	5,800	730	4,300	870					0.492	0.535	0.474
27	5,700	140	8,300	735	6,200	860					0.705	0.767	0.680
28	5,200	140	8,700	315			5,500	985	7,300	1,110	0.623	0.719	0.679
29	5,700	160	7,400	745	4,900	875					0.610	0.656	0.590
30	4,800	140	8,100	450			5,400	920	8,000	1,050	0.662	0.714	0.640
31	4,200	115	7,700	475	8,200	605					0.744	0.832	0.713
32	5,200	140	11,300	435	9,000	1,250	10,800	1,405			0.945	1.039	0.909
33	5,400	140	8,400	435	6,700	920	6,700	1,050			0.620	0.709	0.593
34	4,900		10,000		10,400		18,300		18,300		1.693	1.895	1.619
35	5,500	140	8,000	665	5,100	795					0.653	0.701	0.632
36	6,300	135	14,900	435	12,200	1,085	13,300	1,210			1.197	1.329	1.148
37	4,300	180	8,600	470	8,700	600	14,700	1,455	14,900	1,575	1.372	1.534	1.313
38	4,400	115	5,900	440	6,600	575	6,100	1,275	6,300	1,400	0.590	0.734	0.566

(3)

番号	第 1 軸		第 2 軸		第 3 軸		第 4 軸		第 5 軸		$M_L=5$	$M_L=10$	M_S
	P_1	L_1	P_2	L_2	P_3	L_3	P_4	L_4	P_5	L_5	$\frac{M_T-20}{M_T-20}$	$\frac{M_T-20}{M_T-20}$	$\frac{M_T-20}{M_T-20}$
39	4,000	130	7,600	705	5,300	835					0.634	0.686	0.613
40	5,700	120	8,800	720	5,100	850					0.703	0.748	0.683
41	5,500	130	9,600	660	5,300	790					0.759	0.805	0.738
42	5,300	140	9,300	700	5,400	825					0.743	0.791	0.722
43	5,200	130	8,100	450	8,400	585					0.768	0.964	0.735
44	5,100	130	8,800	455	8,900	585					0.820	1.022	0.785
45	5,600	135	8,700	450	8,700	580					0.805	1.024	0.770
46	5,000	140	8,900	460	8,600	590					0.814	1.016	0.780
47	6,800	135	10,500	470	6,400	600					0.848	1.040	0.822
48	5,600	135	9,200	465	9,500	600					0.870	1.079	0.833
49	5,800	140	8,300	455	9,100	585					0.818	1.023	0.784

1) $M_L=5$, $M_L=10$ はスパン 5 m, 10mの縦げたの実測車両による曲げモーメント

2) M_S はスパン 3 mの床版の実測車両による曲げモーメント

3) 表中 $P_1 \sim P_5$ 単位: kg, $L_1 \sim L_5$ の単位: cm

$M_L = 5 / M_T = 20$

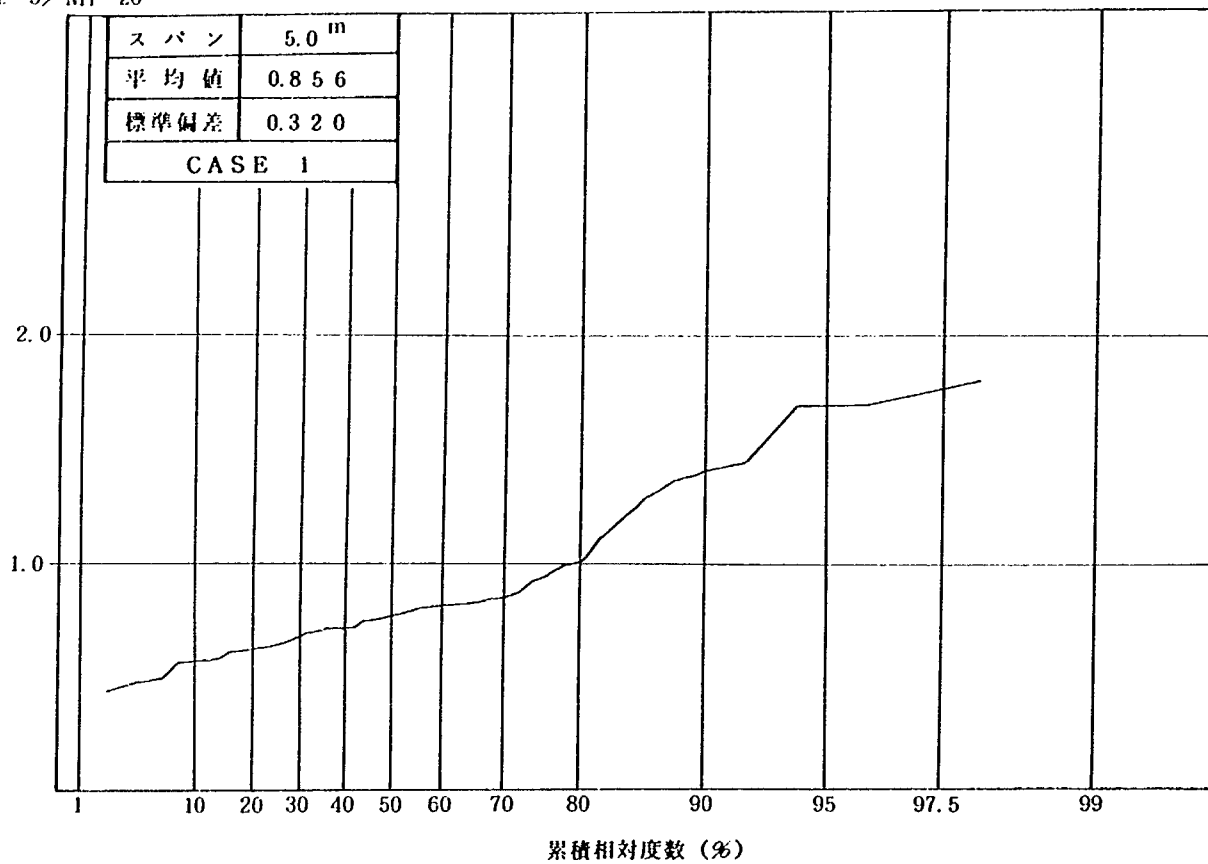


図-T-1-(1) スパン 5 m の縦げたの曲げモーメント (極値確率紙)

$M_L = 5 / M_T = 20$

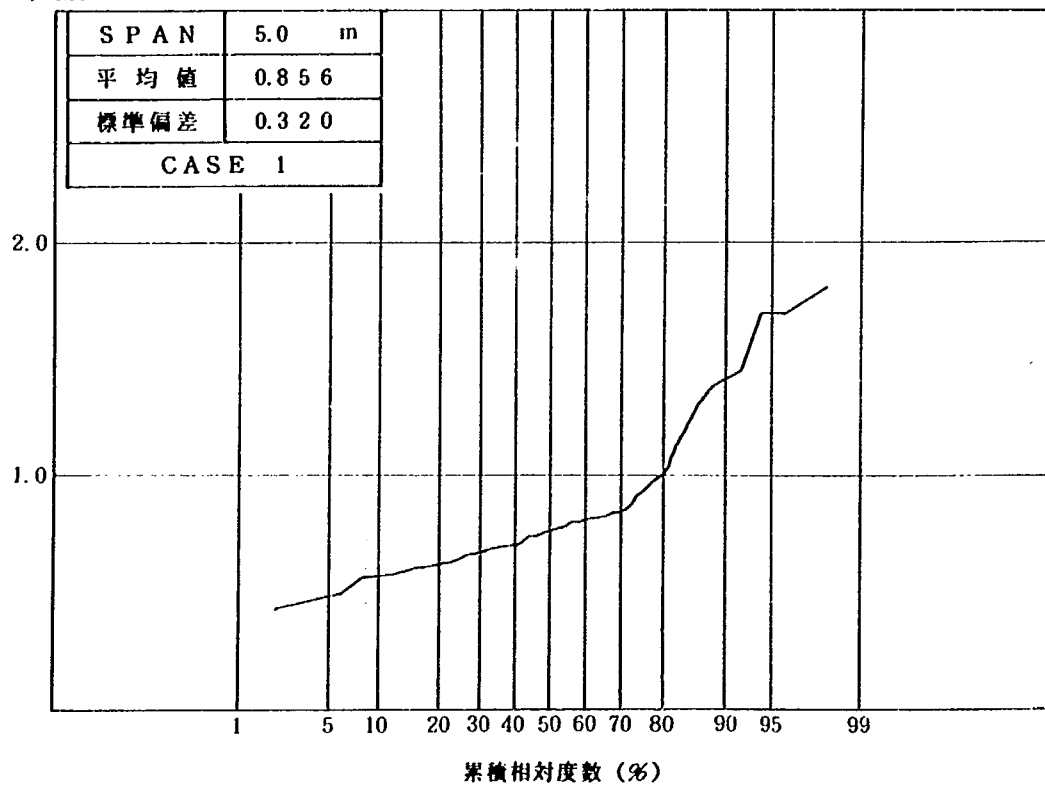


図-T-1-(2) スパン 5 m の縦げたの曲げモーメント (正規確率紙)

$$M_L = 5 / M_T - 20$$

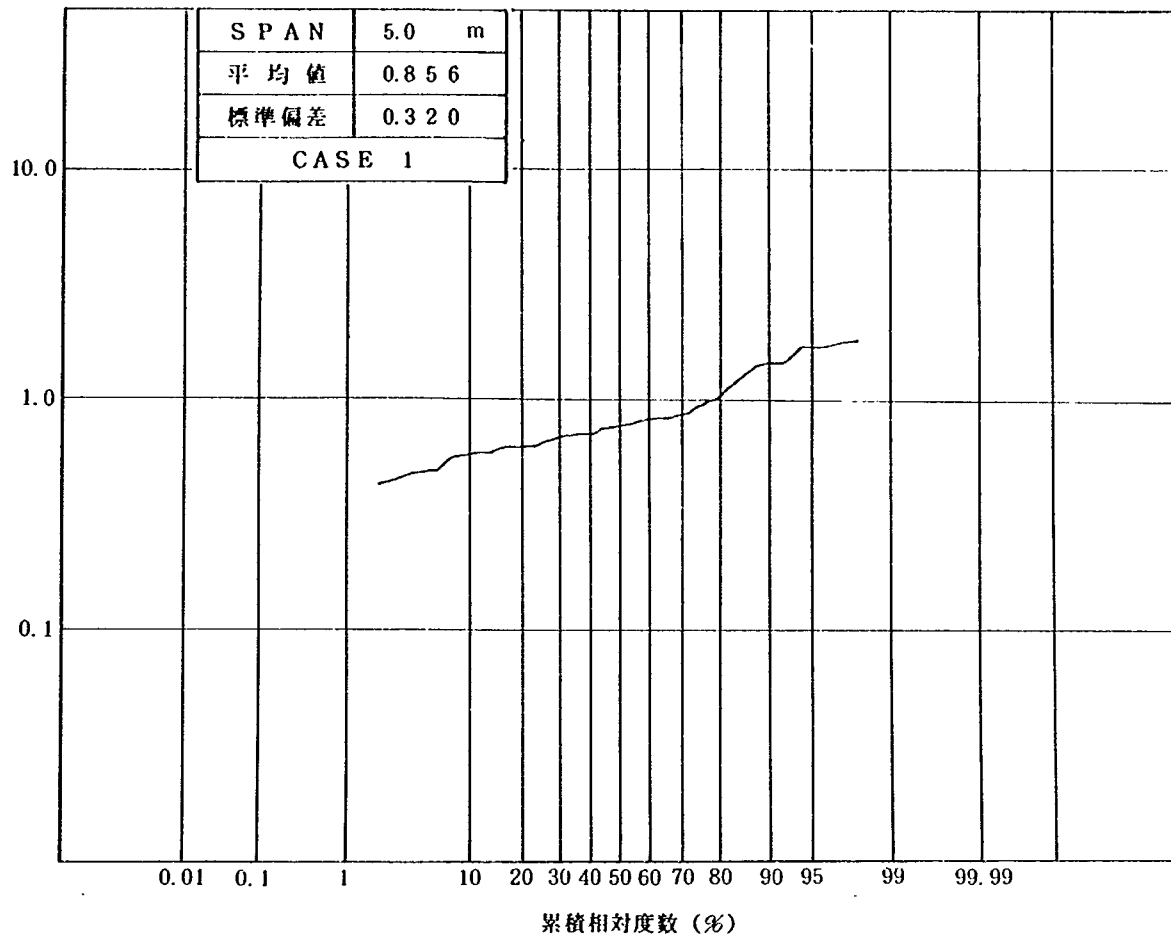


図-T-1-(3) スパン5mの縦げたの曲げモーメント (対数正規確率紙)

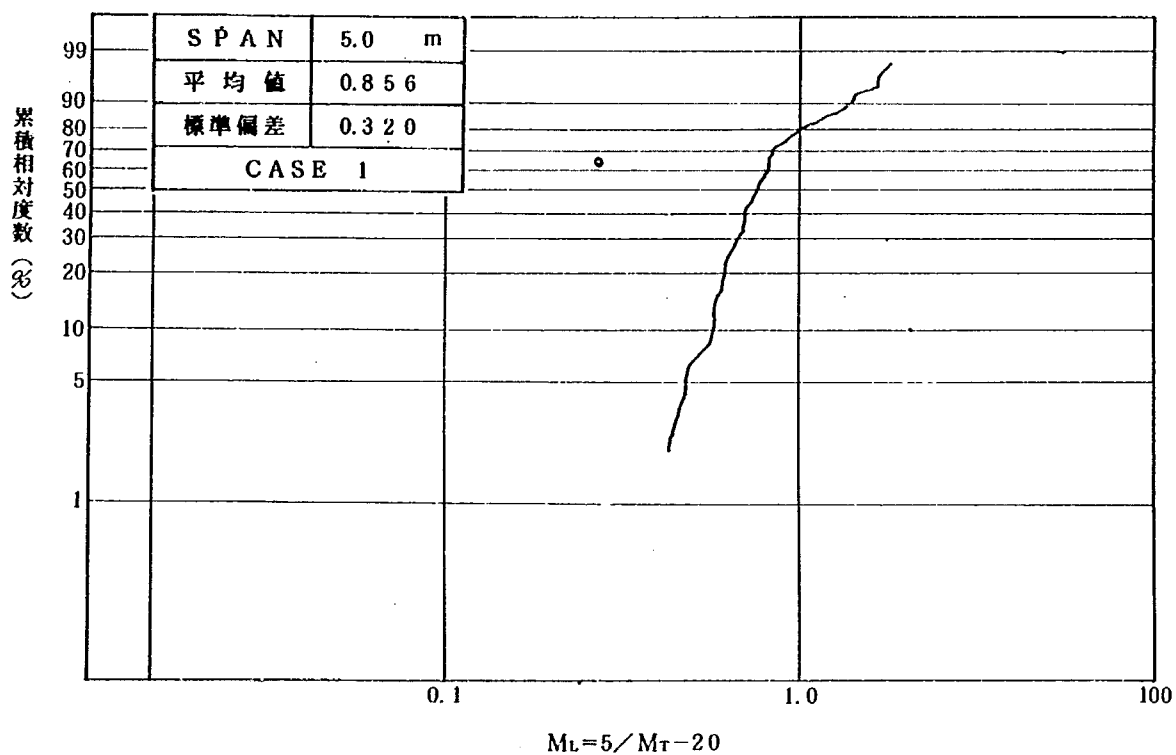


図-T-1-(4) スパン5mの縦げたの曲げモーメント (ワイブル確率紙)

$$M_L = 10/M_T - 20$$

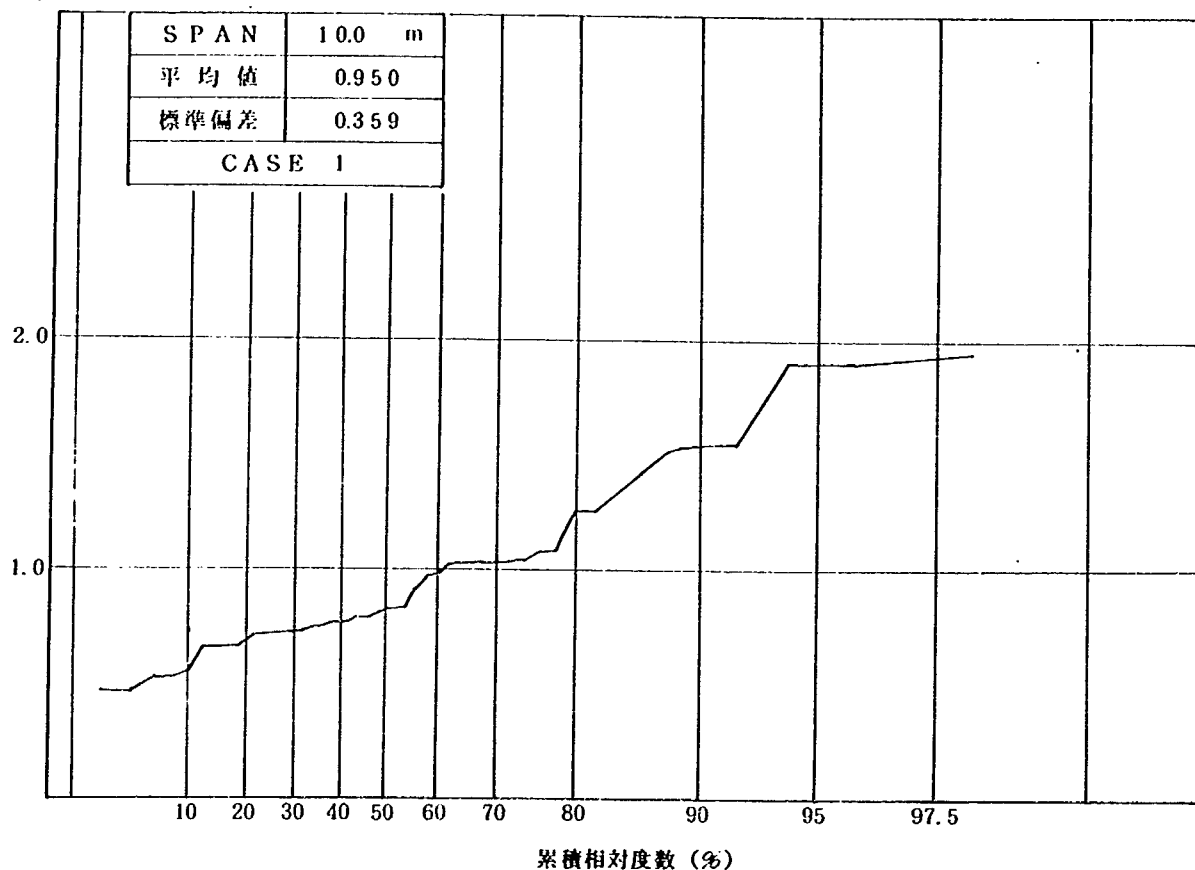


図-T-1-(5) スパン10mの縦げたの曲げモーメント (極値確率紙) 累積相対度数

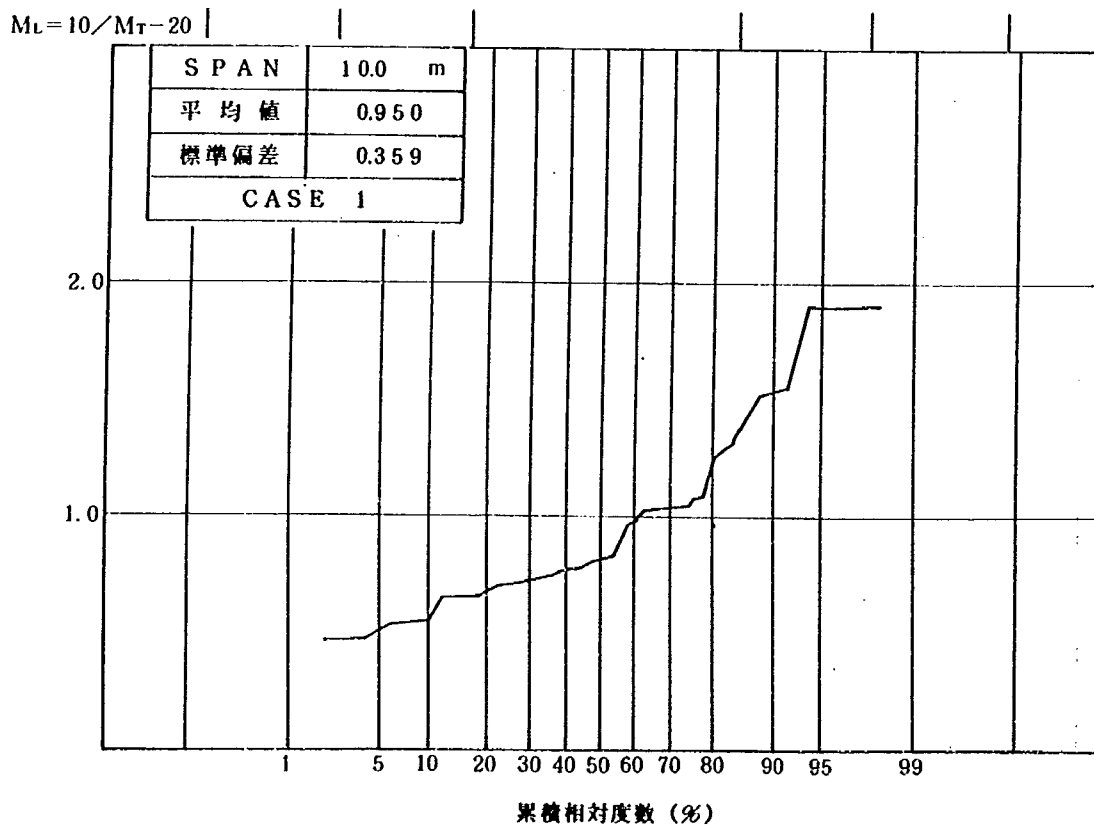


図-T-1-(6) スパン10mの縦げたの曲げモーメント (正規確率紙)

$$M_L = 10/M_T - 20$$

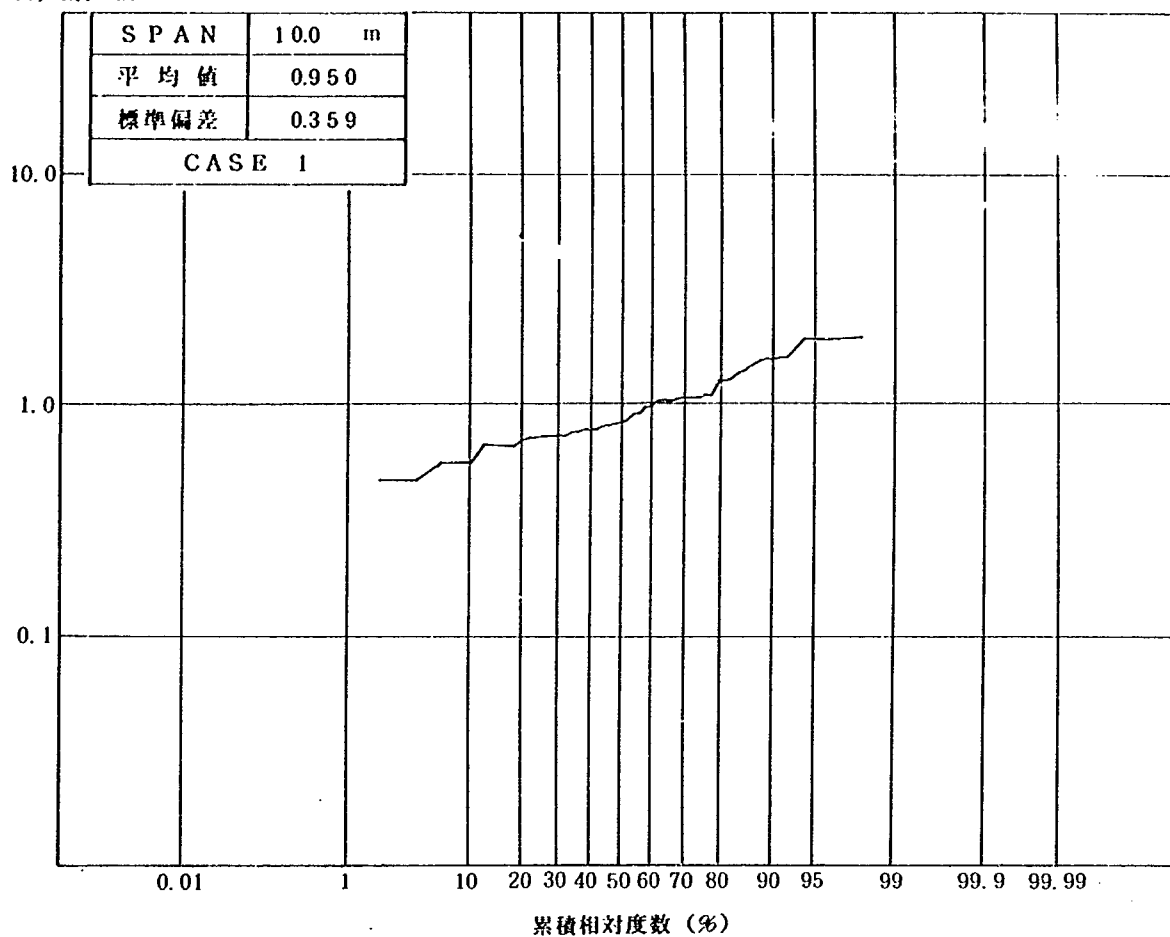


図-T-1-(7) スパン10 mの縦げたの曲げモーメント (対数正規確率紙)

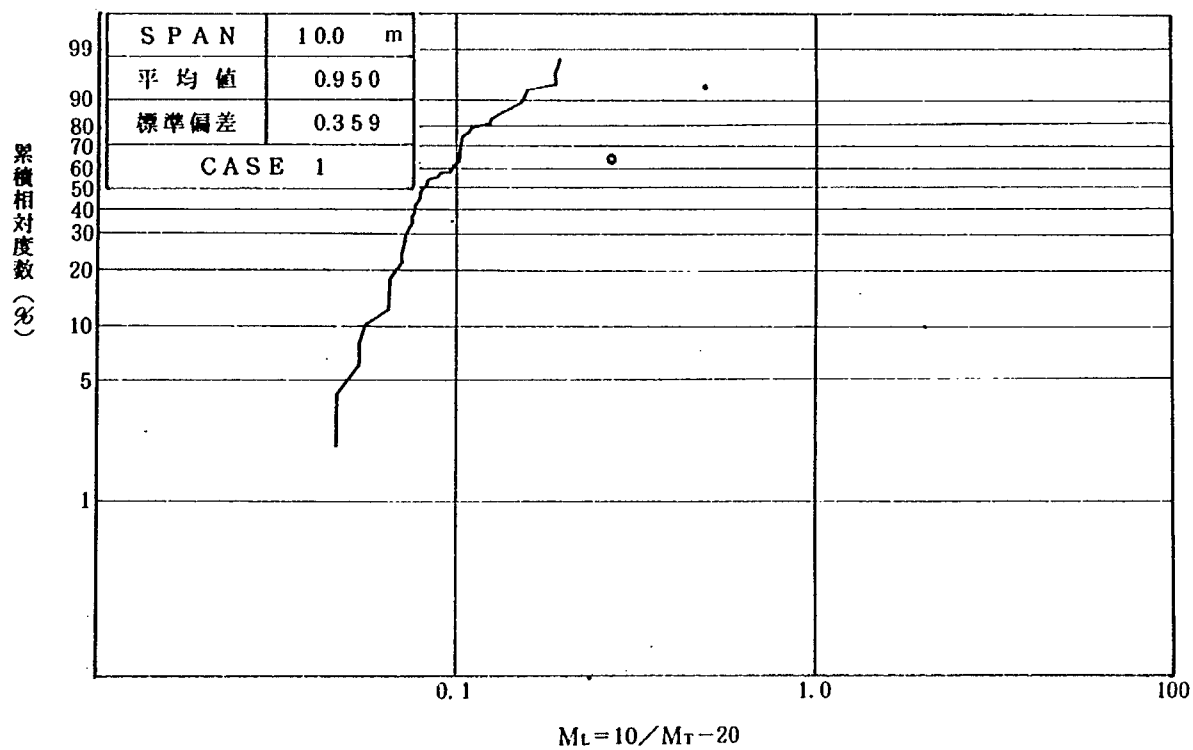


図-T-1-(8) スパン10 mの縦げたの曲げモーメント (ワイブル確率紙)

M_s/M_T-20

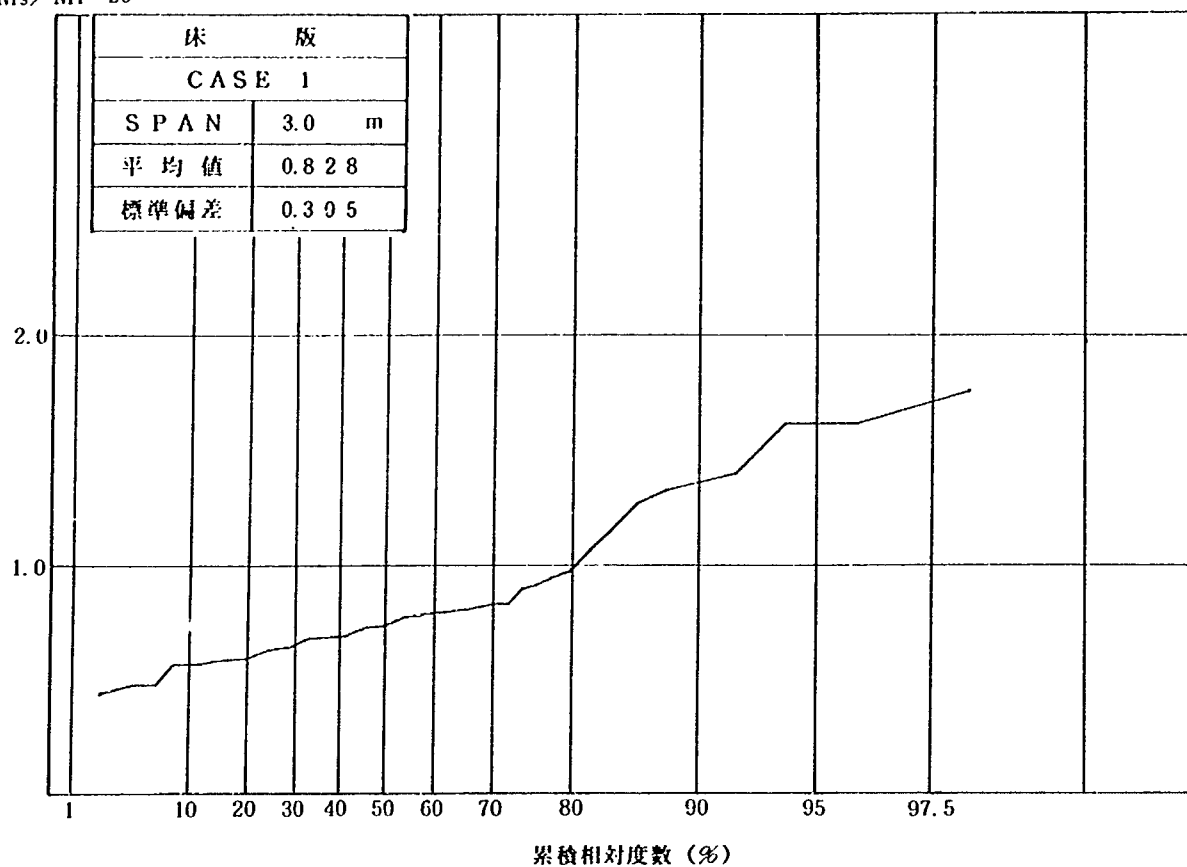


図-T-1-(9) スパン 3 m の床版の曲げモーメント (極値確率紙)

M_s/M_T-20

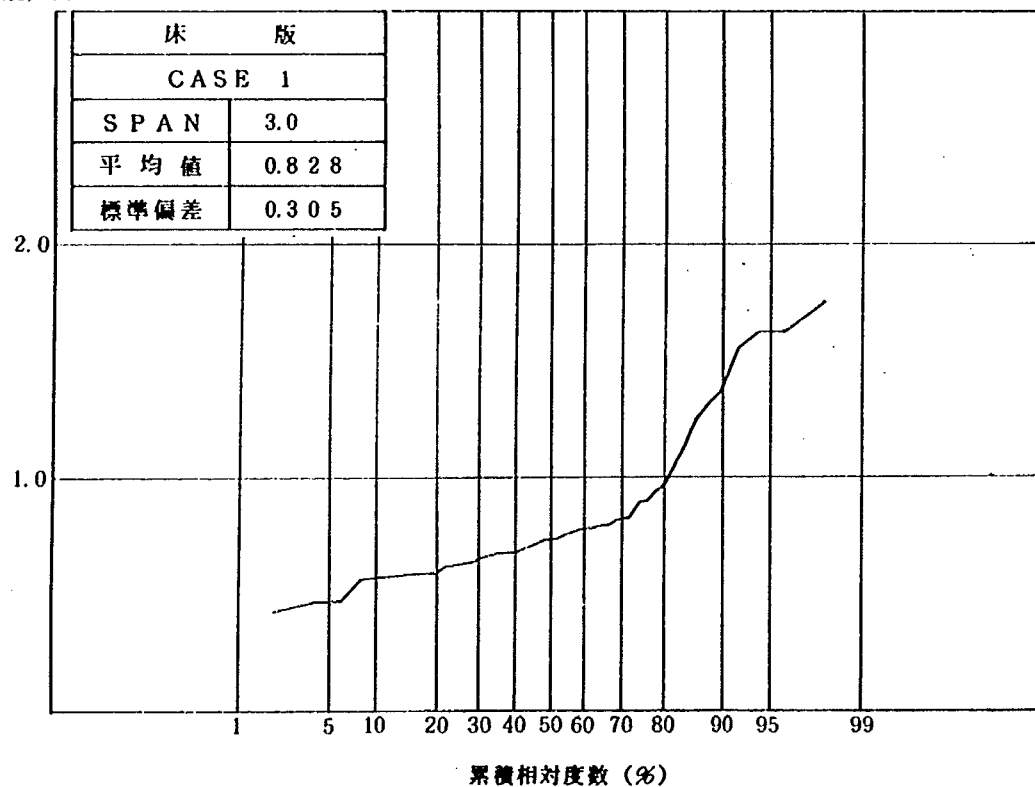


図-T-1-(10) スパン 3 m の床版の曲げモーメント (正規確率紙)

M_s/M_r-20

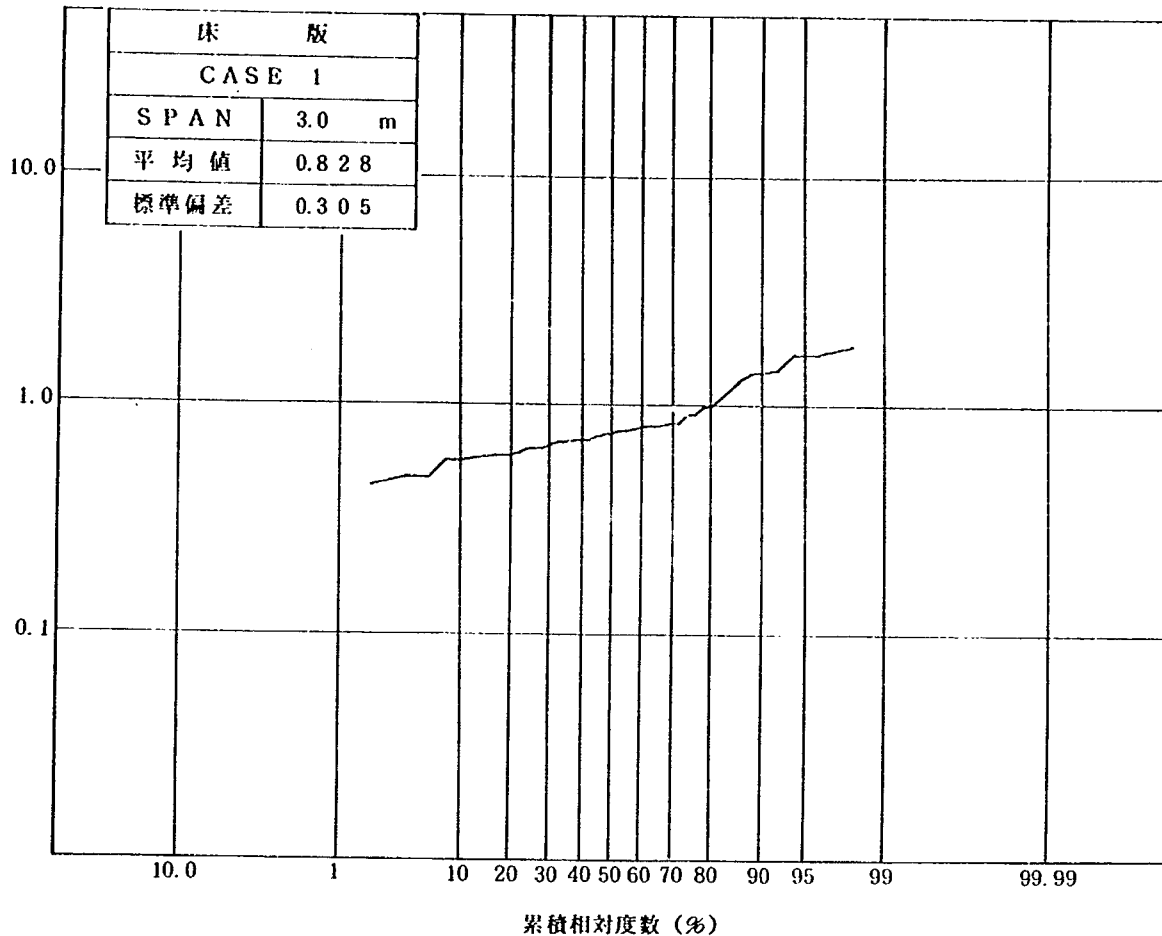


図-T-1-(11) スパン3mの床版の曲げモーメント (対数正規確率紙)

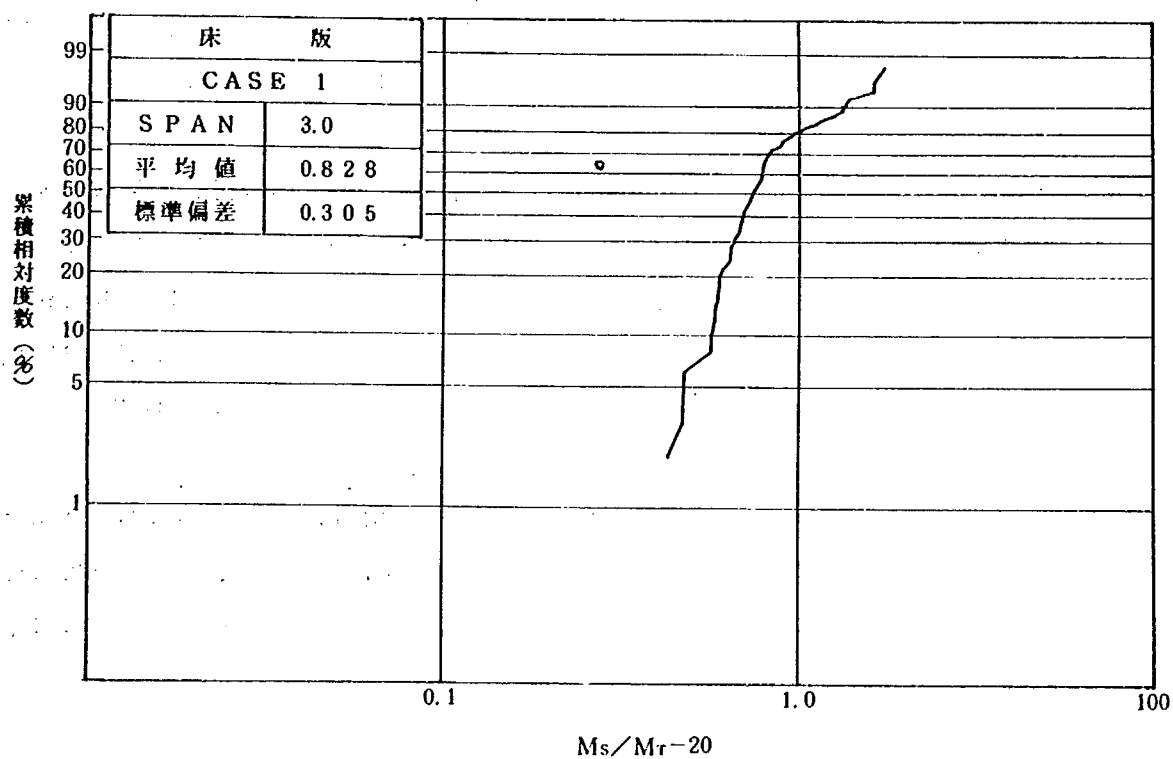


図-T-1-(12) スパン3mの床版の曲げモーメント (ワイブル確率紙)

(1)式のXを、(2)式のように定義した場合、 α 、 u の値は、縦げた、床版についてそれぞれ以下のとおりである。

$$X = \frac{\text{実測された車両による縦げた、床版の曲げモーメント}}{T-20 \text{による縦げた、床版の曲げモーメント}} \dots\dots\dots (2)$$

対 象	α	u
スパン 5 m の縦げた	4.00	0.712
スパン 10 m の縦げた	3.57	0.788
スパン 3 m の床版	4.20	0.691

2) 衝撃係数について

道路橋の設計においては、活荷重は通常は衝撃を生じるものとされるため、活荷重に対する安全性を検討する場合には、衝撃の実態を把握することも不可欠である。T荷重を考える場合、鋼橋、コンクリート橋を問わず、衝撃係数の設計値は次のとおりである。

$$i = \frac{20}{50 + L} \dots\dots\dots (3)$$

ここに

L ; 部材の支間長

これに対して、橋梁部材に生じる衝撃は、いくつかの要因により変動する。特にT荷重による衝撃を対象として考えた場合は、路面の不整によるバネ下重量の振動が衝撃に関して支配的な影響を与えることが分っている。これに関する実験データを以下に示す。

最初の実験は、T荷重による衝撃のメカニズムを調べるために、新国道4号の新利根川橋(鋼床版連続箱げた橋)において行ったものである。鋼床版には、図-T-2に示すように、12点のゲージを貼付け、車両通過にともなう動ひずみを計測した。実際の路面状況を再現する目的で、ゲージNo. 11, 12の300mmもしくは1500 mm手前に踏み板を設置した。一方、車両は、2軸のベンケルマントラック(総重量約14t)を用い、バネ下重量の計測を行うとともに、電気信号により、鋼床版の動ひずみとの時間的対応を図った。実験は、走行速度や踏み板位置などを変えて、約30ケースについて行った。

実験結果のうち、主要なものを図-T-3-(1)~(4)に示す。図-T-3に示すデータのうち、上3本のデータは、後軸右、後軸左、後軸合計の軸重変動を示すものであり、較正值は1.0 t/cmもしくは3.0 t/cm、下方が正の値となっている。一方、下12本のデータは、No. 1~No. 12のゲージの動ひずみを表わし、軸重データと同じ時間軸の上にプロットされている。

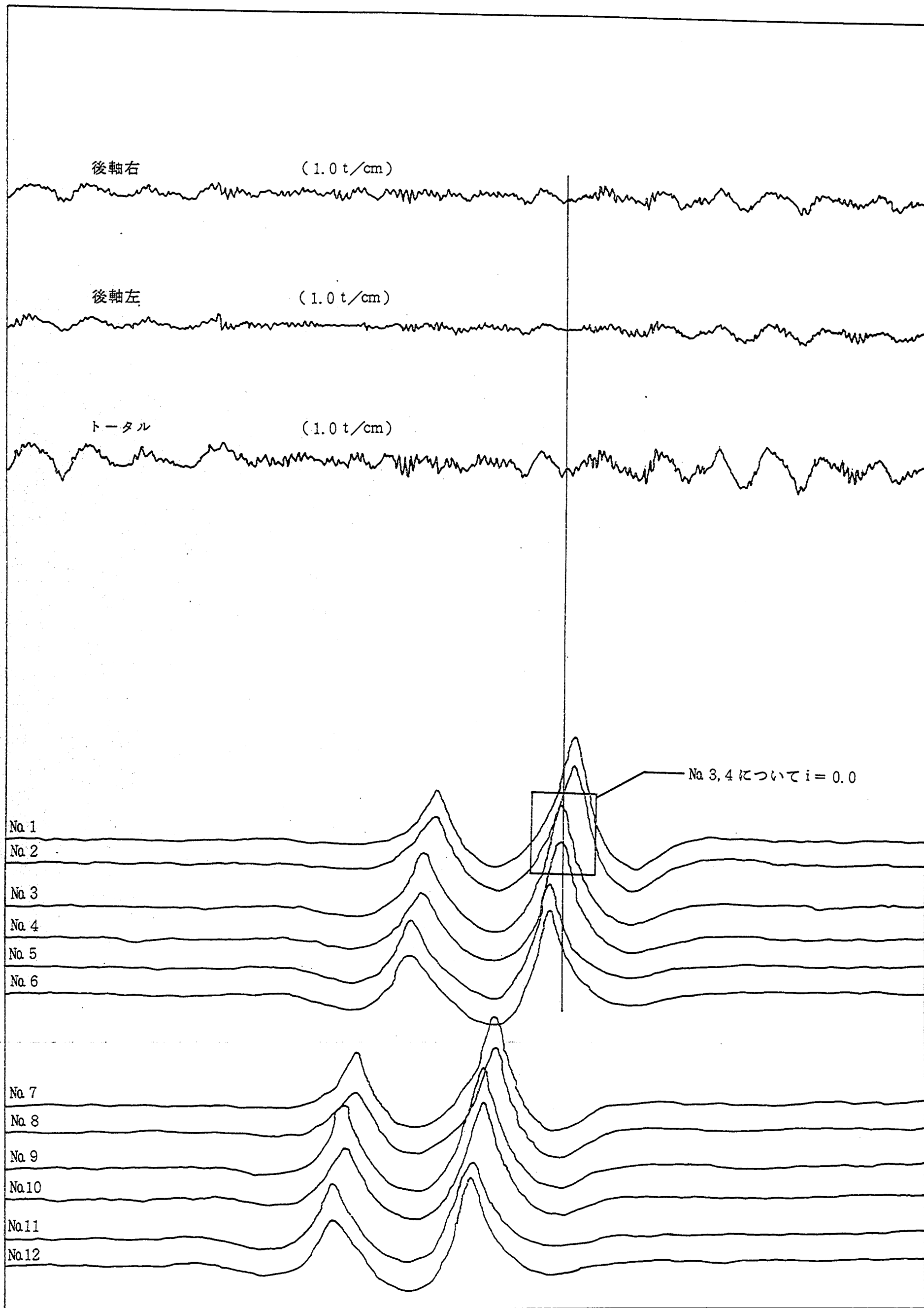


図-T-3-(1) 踏み板なし, 10 km/h の場合

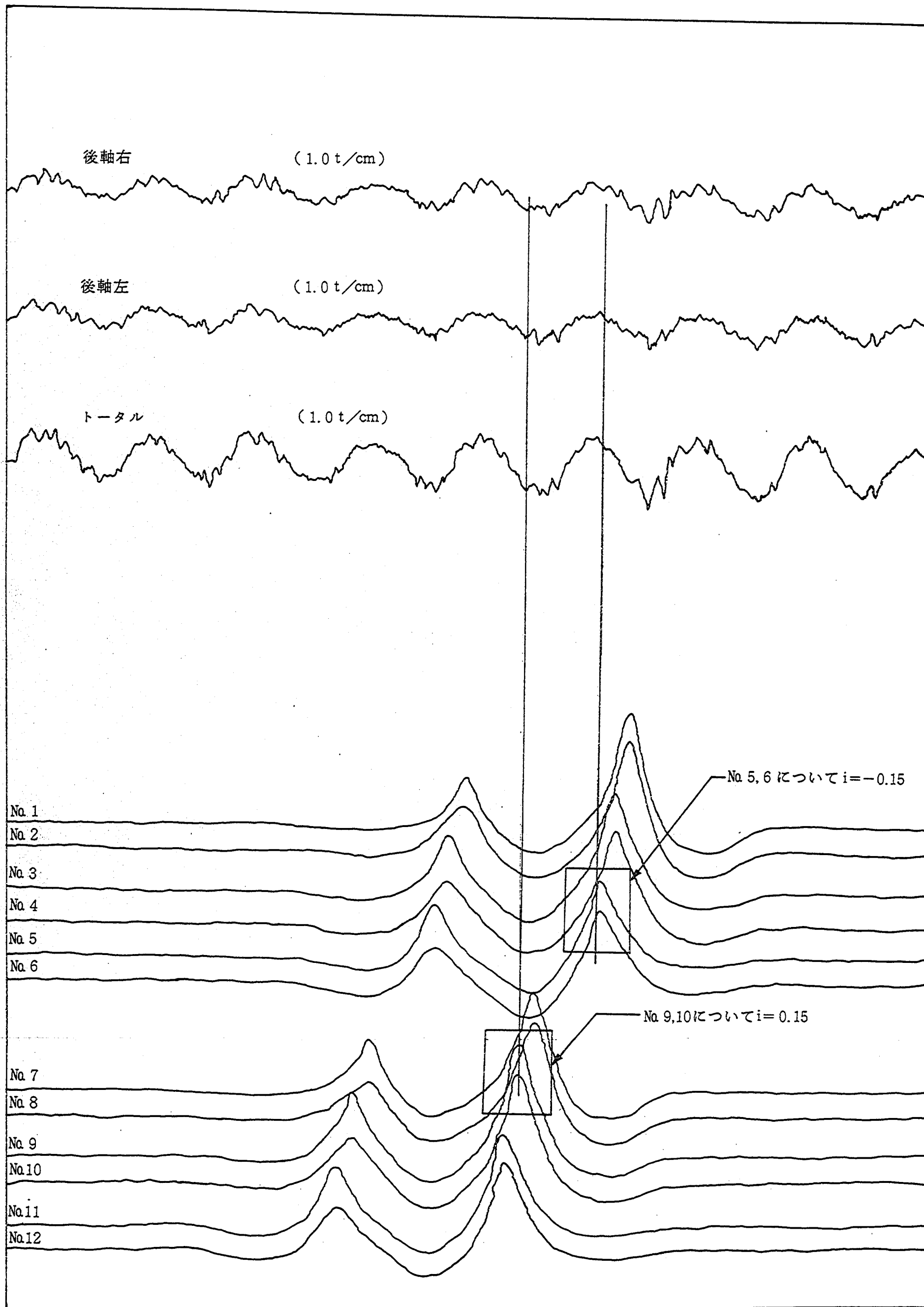
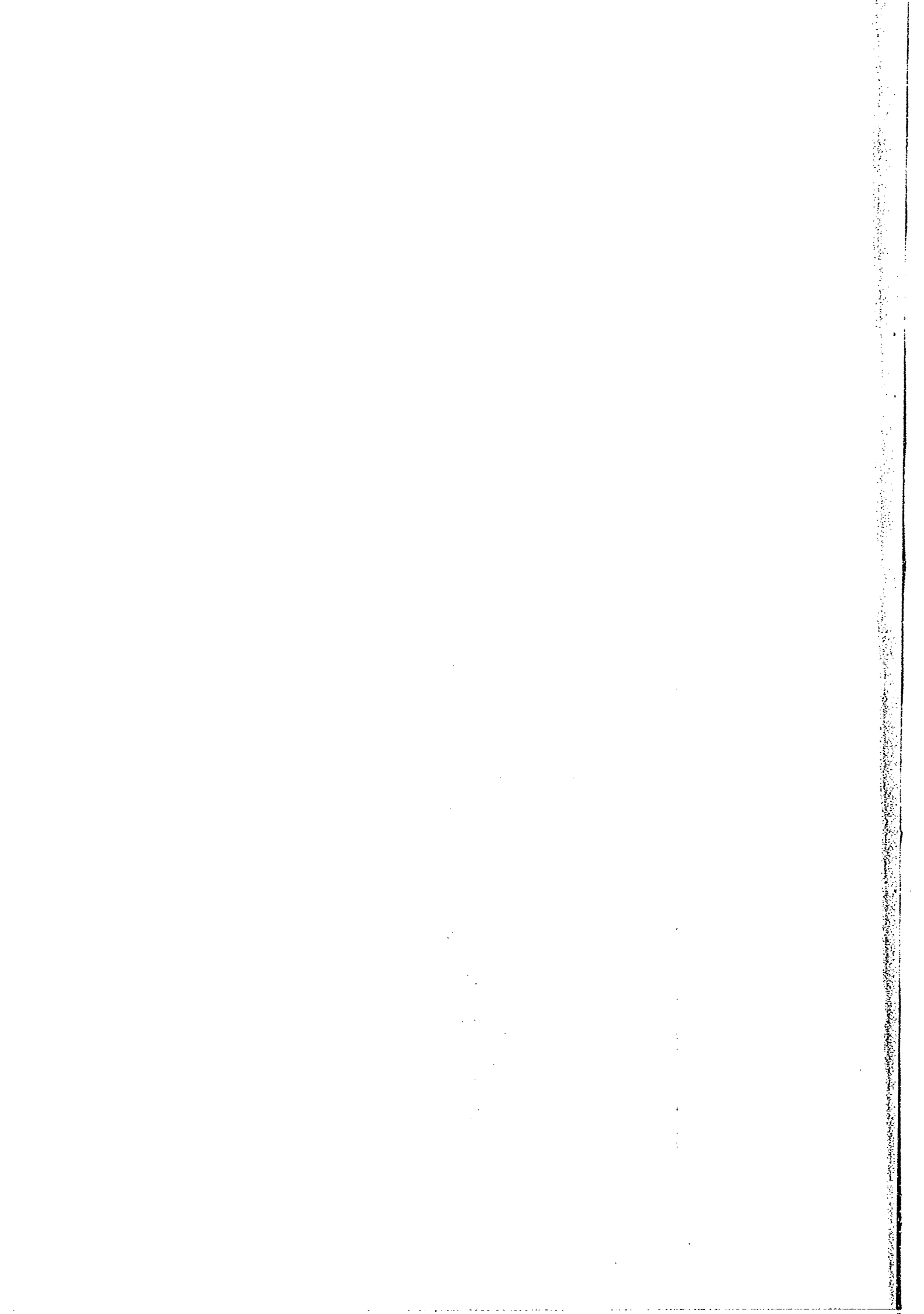


図-T-3-(2) 踏み板なし, 30 km/h の場合



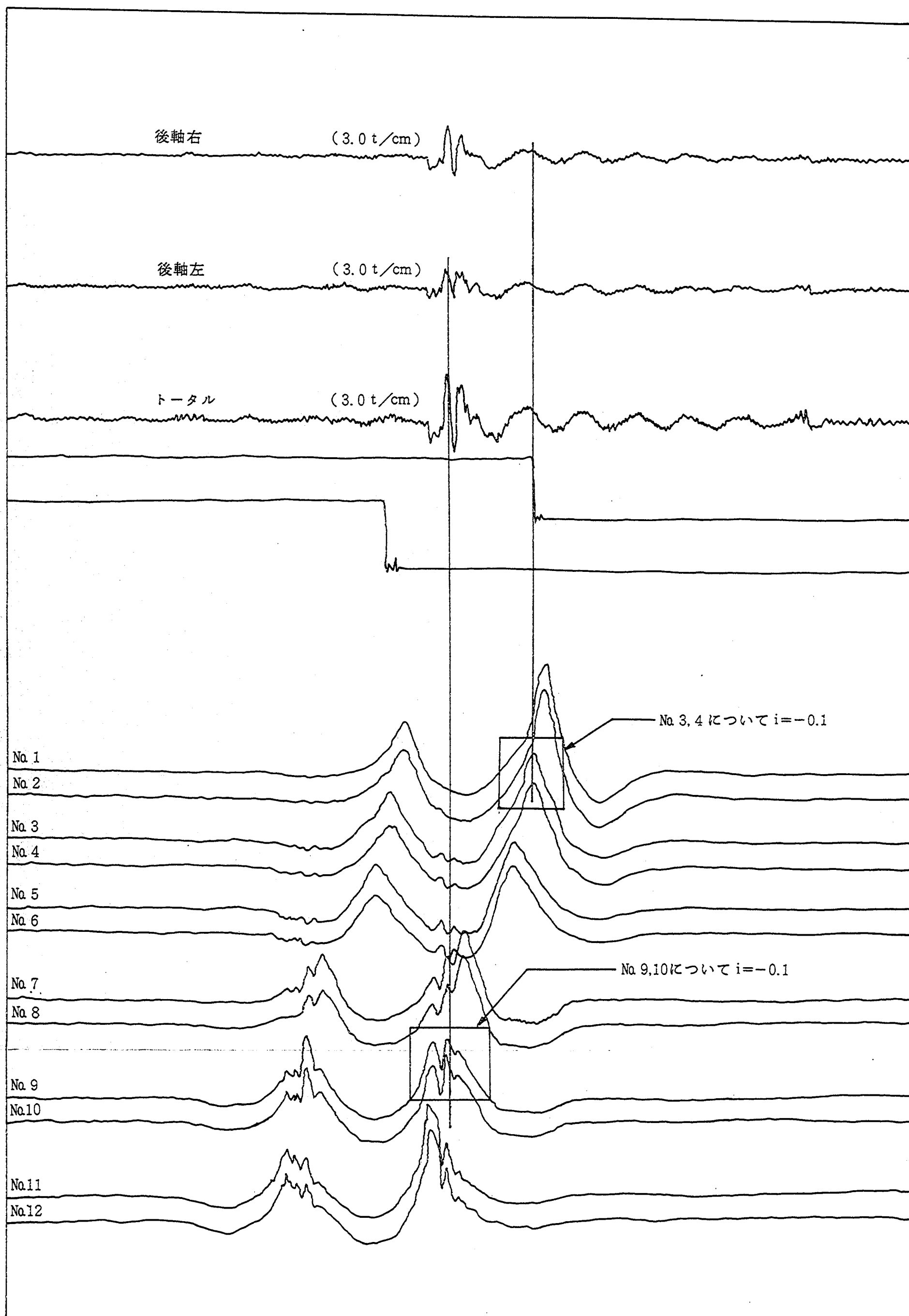


図-T-3-(3) 踏み板あり, 10 km/h の場合

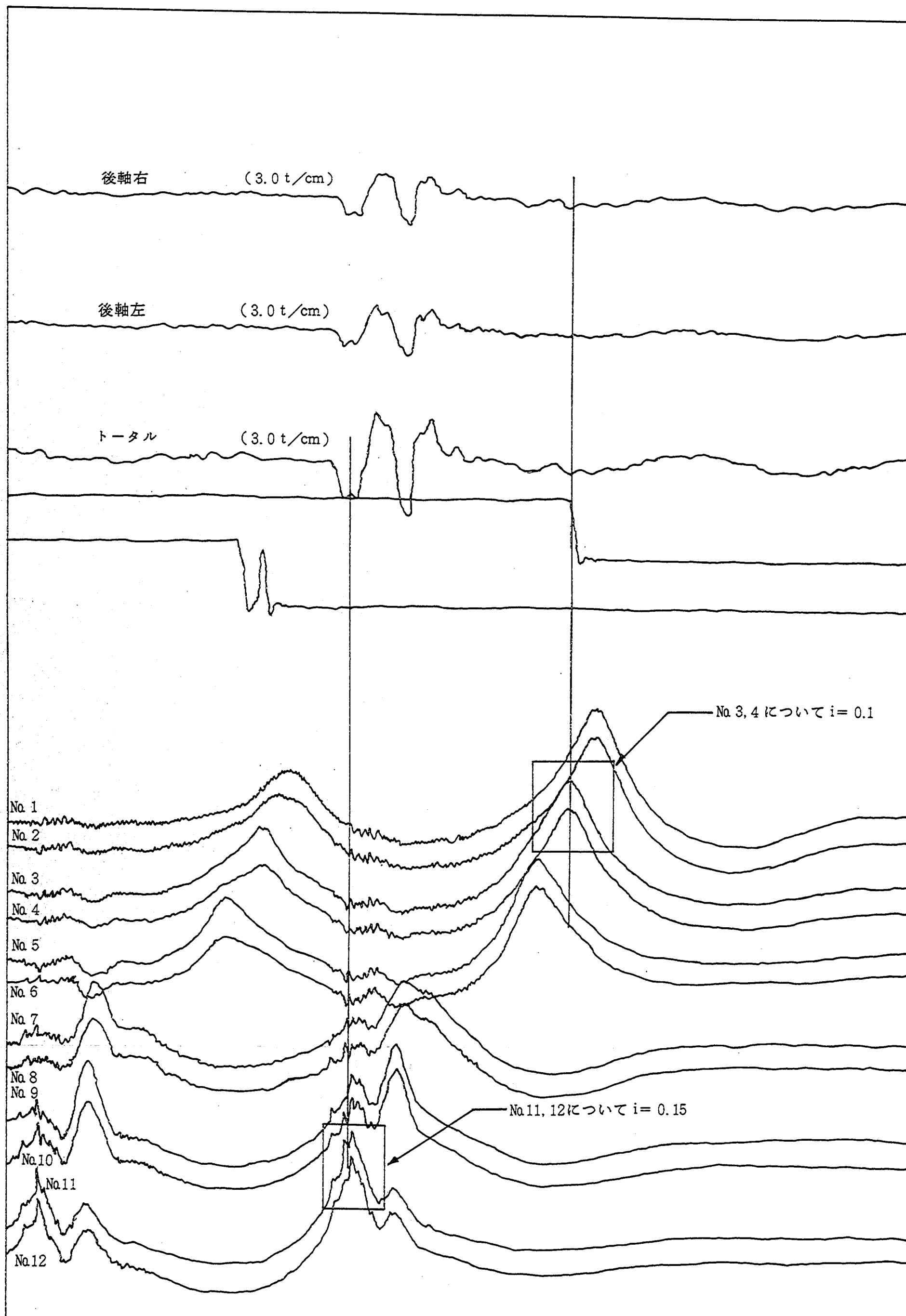


図-T-4-(4) 踏み板あり, 40 km/h の場合

図-T-3-(1)は、踏み板なし、速度10 km/h の場合を示すが、踏み板がないため、軸重の変動は0.2～0.3 t にすぎない。この場合に観測された動ひずみは静ひずみにほぼ等しく、衝撃係数はほぼ0.0である。図-T-3-(2)は、踏み板なしで速度30 km/h の場合を示す。この場合、走行速度が高いためにバネ下重量の変動が大きく、軸重は最大で1.2 t 程度の変動を示す。これにともなう動ひずみを見ると、No. 9, No.10のゲージについては、動ひずみがピークを示す時点で、軸重も正の大きな値を示している。このため、衝撃係数はほぼ0.15と正の大きな値を示す。一方、No. 5, No. 6のゲージについては、動ひずみがピークを示す時点で、軸重変動は負の値を示しており、このため、衝撃係数は負の値となっている。踏み板がある場合のデータを図-T-3 (3)～(4)に示すが、軸重と動ひずみの対応は上記と同じであり、このような傾向は、他の実験ケースについても言える。この理由は、鋼床版は応答速度が速いため、動的応答を考える場合、過去の経緯はほとんど関係せず、動ひずみが最大となる時点での車両のバネ下重量の大きさが支配的となるためであると説明できる。すなわち、鋼床版の衝撃は、車両のバネ下重量の変動により支配される。このことは、同じく応答速度の速い鉄筋コンクリート床版や縦げたでも同様であると考えられる。

さて、上記により衝撃のメカニズムについては明らかとなったが、衝撃係数の分布は、路面の状態により差が大きい。ここでは、伸縮装置等により最大20 mm の段差が生じることを考え、この場合の衝撃係数の分布を実験により求めた。実験は、土木研究所構内の舗装試験路において行った。動ひずみは、図-T-2の場合と同じく鋼床版の縦リブで計測した。車両は、2軸トラック、3軸ダンプ、5軸セミトレーラーを用いた。結果は、表-T-2に示すとおりである。

表-T-2に示した結果は、踏み板の位置を衝撃が大きくなるように移動させて求めたものであり、最もきびしい路面状態での衝撃の実態を表わしていると考えられる。したがって、今回の解析では表-T-2の値(速度10 km/h の場合)を用いることとした。すなわち、衝撃係数は、平均0.19、標準偏差0.054として今後の解析を行う。

表-T-2 衝撃係数実測結果

		速 度 10km/h						速 度 20 km/h						備 考
車 種	静重(μ)	動重(μ)	動重 静重	平 均	標準偏差	平 均	標準偏差	動重(μ)	動重 静重	平 均	標準偏差	平 均	標準偏差	
トラック (2軸)	1535	1955	1.27	1.27	0.012			1780	1.16	1.16	0.008			動重は踏み板(H=20mm)の場合の実測値
		1975	1.29					1800	1.17					
		1930	1.25					1760	1.15					
		—	—					—	—					
		—	—					—	—					
ダンプ (3軸)	1055	1230	1.17	1.15	0.019	1.19	0.054	1220	1.16	1.15	0.017	1.13	0.031	
		1180	1.12					1180	1.12					
		1200	1.14					1200	1.14					
		1220	1.16					1220	1.16					
		—	—					—	—					
セミ トレーラー (5軸)	1475	1780	1.21	1.18	0.019			1615	1.09	1.10	0.019			
		1705	1.16					1635	1.11					
		1745	1.18					1645	1.12					
		1730	1.17					1585	1.07					
		—	—					—	—					

3) 走行位置について

実橋では、各車両が部材に対して最もきびしい位置を走行するとは限らない。走行位置は、各車両によっても異なり、これによって実際の断面力は最もきびしい位置に載荷した場合の断面力に対して低減されることになる。以前に国道上で実測した結果⁵⁾によると、車両の走行位置の変動の標準偏差は30 cm程度であり、今回の解析でもこの数値を用いることとする。すなわち、解析上は、走行位置の中央値は部材にとって最もきびしい位置とし、そのまわりに走行位置が標準偏差30 cmで変動することとした。

(3) シミュレーションによるT荷重の解析

(2)に概要を述べた調査結果をもとに、縦げた、床版に与えるT荷重の影響を、コンピューターシミュレーションにより解析する。シミュレーションの過程を図-T-4に示す。すなわち、乱数により任意の車両(積載状態にある貨物乗用車)のタンデムによる曲げモーメント、衝撃係数、走行位置による低減係数を決定する。ここに、それぞれの分布特性は、(2)に述べた調査結果により決定する。これにより、1台の大型車両が縦げた、床版に与える影響を、衝撃や走行位置の影響も含めて再現することができる。この過程を数多く繰返すことにより、大型車両による、縦げた床版の曲げモーメントの分布特性を知ることができる。

なお、シミュレーションを行うにあたっては、調査結果にもとづく解析(Case-1)のほかに、次に示すケースについても解析を行った。

CASE-1 調査結果にもとづく基本ケース。

CASE-2 タンデム軸の過大な影響を低減するために、車両のタンデム軸間距離を2.0 mとしたケース。その他の諸元は変更がないとする。

CASE-3 表T-1に示すように、タンデム軸の軸重の不均等が大きく、このために曲げモーメントが大きくなる傾向がある。これを避けるためにタンデム軸をピン構造として、軸重の不均等をなくしたケース。

CASE-2, CASE-3は、T荷重による曲げモーメントを少しでも低減させるために想定したケースである。

コンピューターシミュレーションの結果を図-T-5-(1)~(3)に示す。また、シミュレーション結果の平均値、標準偏差は表-T-3に示す。結果は、二重指数分布への適合性がきわめて良好なため、極値確率紙へのプロットのみを示してある。なお、図-T-5-(1)~(3)は、積載状態にある重量車1台に関する分布特性を示すものと考えてよい。図に示されるように、積載状態にある重量車の約1割は、T-20による曲げモーメントより大きい曲げモーメントを縦げた、床版に与える。特に、スパン10mの縦げたはタンデム軸の影響によりきびしい状態におかれていると考えられる。また、積載状態にある重量車の約1%は、T-20の1.5倍以上の曲げモーメントを縦げた、床版に与える。CASE-2, CASE-3の対策は、一定の効果をあげている。特に、CASE-2の効果は大きい。

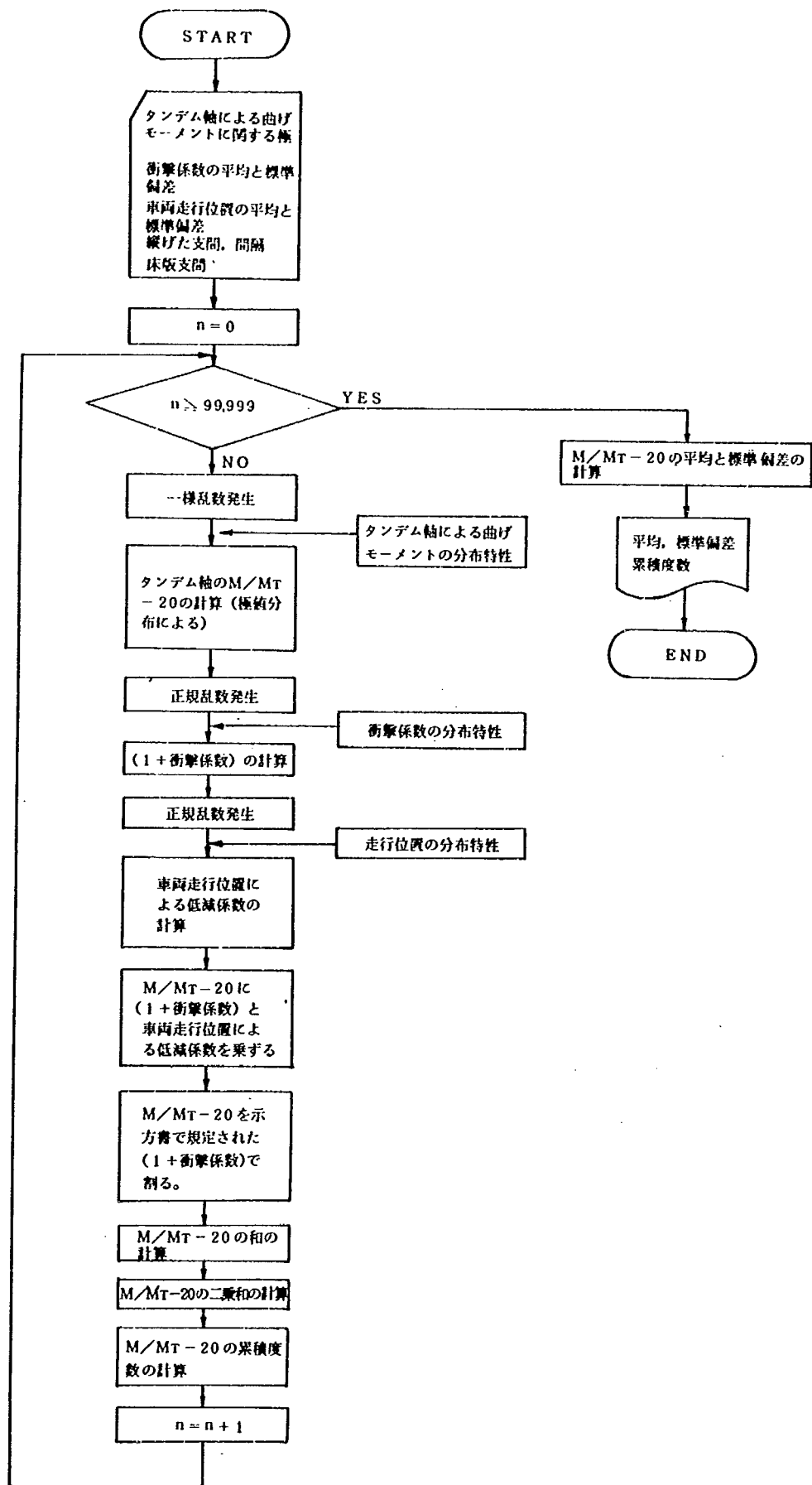


図-T-4 シミュレーションプログラム

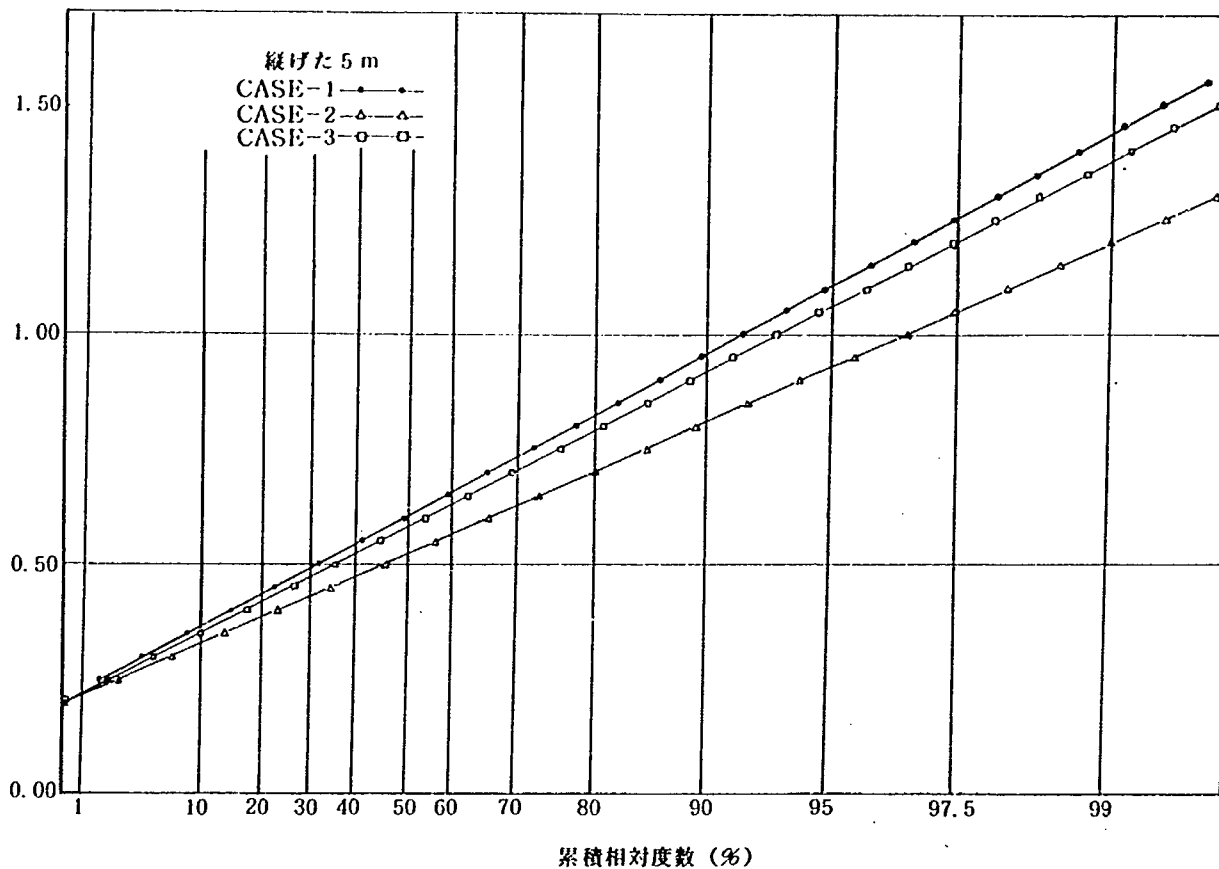


図-T-5-(1) 衝撃，走行位置の影響を考えた曲げモーメント（縦げた，スパン 5 m）

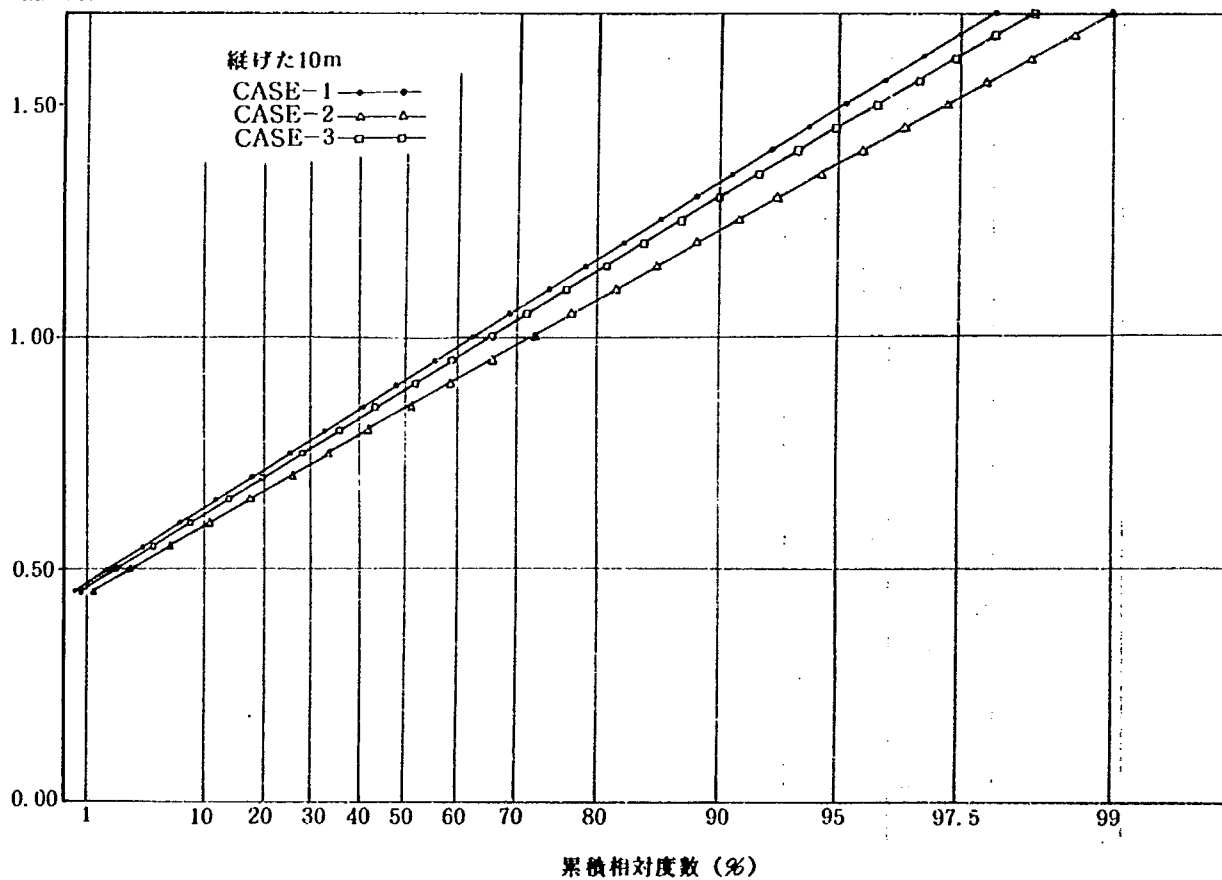


図-T-5-(2) 衝撃，走行位置の影響を考えた曲げモーメント（縦げた，スパン10 m）

M/M_T-20

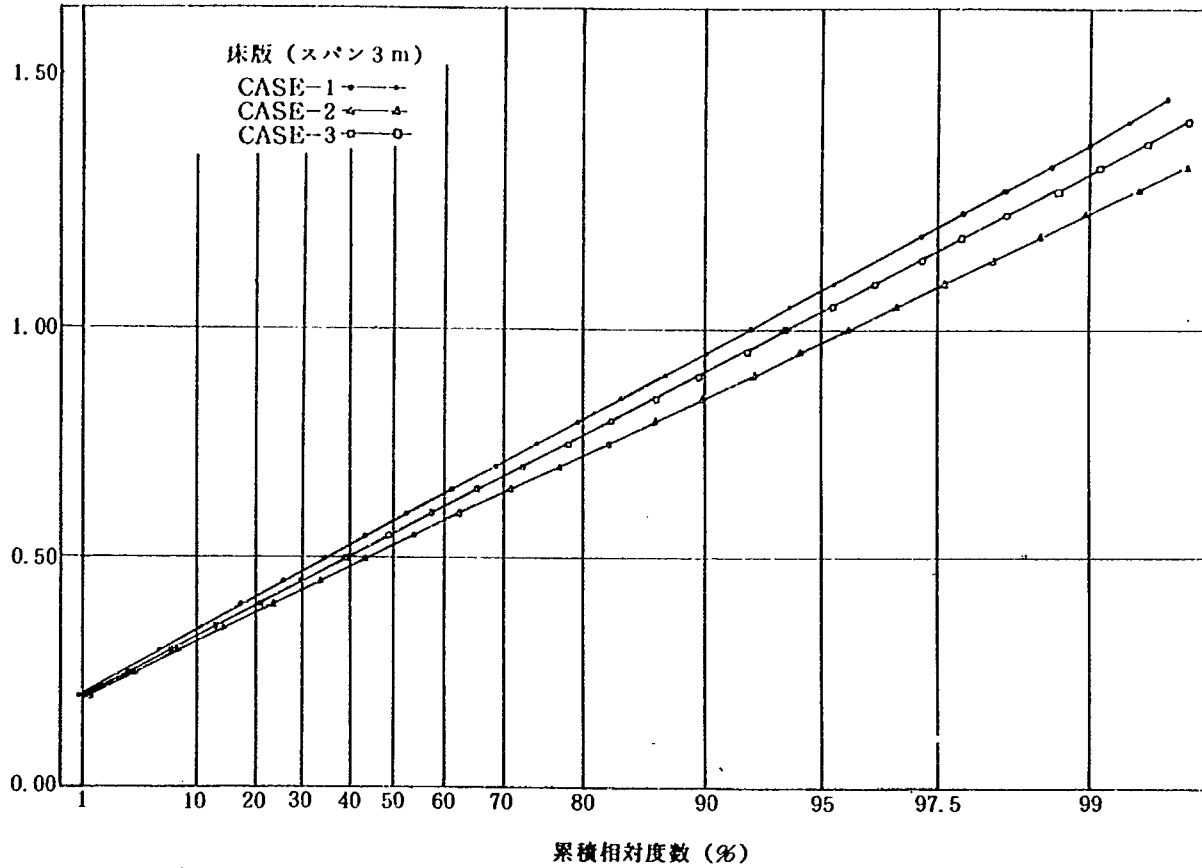


図-T-5-(3) 衝撃, 走行位置の影響を考えた曲げモーメント (床版, スパン 3 m)

表-T-3 縦げた, 床版の曲げモーメントの平均値と標準偏差
(T-20に関する比率)

		CASE-1	CASE-2	CASE-3
縦げた 5 m	平均	0.6123	0.5235	0.5875
	標準偏差	0.2668	0.2142	0.2556
縦げた 10m	平均	0.9238	0.8549	0.9030
	標準偏差	0.3313	0.3017	0.3219
床版	平均	0.5947	0.5370	0.5660
	標準偏差	0.2642	0.2316	0.2521

(4) 終局荷重, 使用荷重, 疲労荷重に関する考察

1) 終局荷重

終局荷重については, その定義より, 供用期間中に想定される最大荷重を示せばよい。したがって, 前述のとおり, ここでは50年間の供用期間の最大荷重の期待値を示すことにする。

図-T-5-(1)~(3)より, 再現期待値は容易に求めることができる。縦げた, 床版を対象にして, CASE-1~CASE-3について再現期待値を求めた結果を表-T-4, 図-T-6に示す。ただし, 数値は, 衝撃を含むT-20の曲げモーメントに対する比率を示し, 積載状態の大型車の台数は, L 荷重に関する調査結果(後述)をもとに表-T-4に示すように仮定している。

表-T-4 終 局 荷 重

	再 現 期 間	CASE-1	CASE-2	CASE-3
縦げた 5m	1 カ 月	2464	2010	2361
	1 年	2983	2427	2858
	50 年	3799	3081	3640
縦げた 10m	1 カ 月	3521	3220	3427
	1 年	4167	3808	4054
	50 年	5179	4730	5038
床版スパン 3 m	1 カ 月	2428	2144	2315
	1 年	2940	2593	2804
	50 年	3746	3299	3573

ただし, 再現期間に想定される積載状態の大型車台数は, 次を仮定

1カ月 ; 13050 台 1 年 ; 156,600 台 50 年 ; 7830,000 台

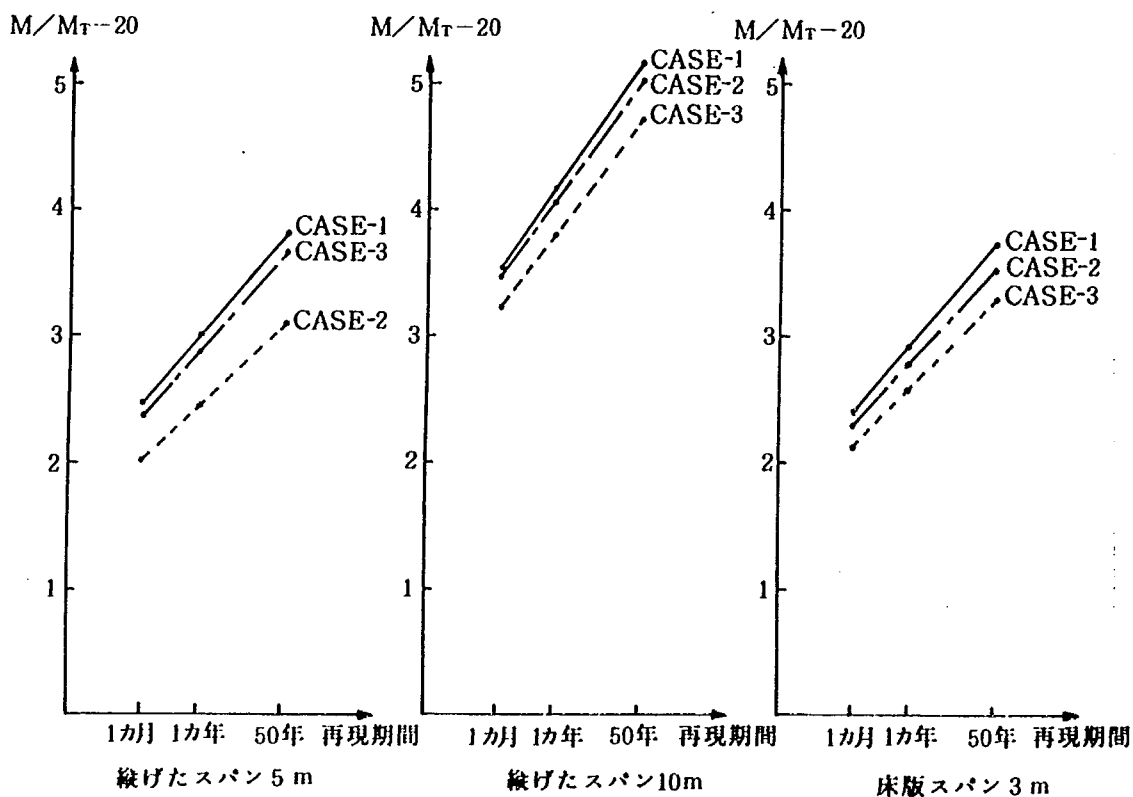


図-T-6 終 局 荷 重

表-T-4、図-T-6に示されるように、50年再現期間に対応する終局荷重は、T-20の3.0倍を越え、特にスパン10mの縦げた場合に大きな値となる。CASE-2、CASE-3の対策は、この数値を0.2～1.0低減させる効果をもつ。50年再現期間に対応した終局荷重が計算上このように大きくなる理由は、次のように考えられる。すなわち、今回の解析では、特にタンデム軸に関するデータ数が少ないため、分布型を十分精度よく指定できているとは言えない。このようなデータにもとづいて、長い再現期間に対応する終局荷重を推定することには基本的な無理がある。1カ月程度の再現期間に対応する終局荷重は、かなり精度を期待できると考えられ、1カ月再現期待値であるT-20の2.5倍程度の荷重は、実際に載荷されることが予想される。それ以上の荷重が載荷されるかどうかについては、別の観点より検討することも必要である。

なお、鋼橋の設計安全率が1.7であるからといって、たとえば、設計活荷重の3倍の車両が載荷された場合に直ちに部材の破壊を生じることはない。縦げた、床版は、静的強度の面では大きな余裕をもつことが知られている。すなわち、縦げたは床版との荷重分配によって、また床版は大きな塑性強度により、一般に設計で考えている限界状態より耐荷力は大きい。したがって、縦げたや床版が1回の載荷で破壊した事例がないからといって、設計活荷重をはるかに越える重量車の存在は否定はできない。また逆に、縦げたや床版は耐久性で寿命が定まるため、大きな静的強度を理由に過積を認めることもできない。

結論として、今回の解析に用いたデータ量では、50年再現期待値を正確に推定することはできないが、少なくともT-20の2.5倍以上の影響をもつ車両の存在は確認できた。これらが橋梁部材に与える影響については慎重に検討を行っていく必要がある。

2) 使用荷重

使用荷重については、前述のとおり、どのような限界状態を考えるかによってその定義が異なるため、一般論として規定することはできない。図-T-5-(1)～(3)によれば、縦げたおよび床版については、積載状態の大型車両の1%以上が、T-20の1.5倍以上の影響を与えられと考えられる。したがって、通常の使用性を考慮する時に、1.5 T-20程度の荷重で照査することは必要となろう。

3) 疲労荷重

疲労についても、荷重のみを単独で取扱うことには困難があり、取扱いの詳細は文献5)6)等を参照されたい。

ここでは、疲労寿命に関する目安を得るために、文献5)6)に示された考え方にもとづき、縦げたの疲労寿命を概算する。理論の概要は次のとおりである。

縦げたの1つの詳細構造の疲労寿命は次式で表わすことができ、さらに Miner 則を適用することとする。

$$s^m \cdot \bar{n} = c \quad \dots\dots\dots (4)$$

ここに

- s ; 応力振幅
- $\bar{n}$; 疲労寿命の平均値
- c ; 定数

応力振幅 s がランダムに変動する変数である場合、疲労寿命の平均値 $\bar{n}$ は次のように表わせる。

$$\bar{n} = \frac{0.83 \cdot c}{E(s^m)} \dots\dots\dots (5)$$

ここに 0.83 は、 s がランダム変数であることに対する補正係数であり、 $E(s^m)$ は s^m の期待値である。

s は、前述のように二重指数分布で表わすのが適当であるが、疲労寿命を推定する場合は、平均値付近での挙動が問題となるため、これをベータ分布で近似しても誤差が少ないことが知られている。ベータ分布の分布型は次のとおりである。

$$f(s) = \frac{1}{B(q, r)} \cdot \frac{s^{q-1} \cdot (s_0 - s)^{r-1}}{(s_0)^{q+r-1}} \dots\dots\dots (6)$$

ここに q, r ; 分布型のパラメーター

s_0 ; 分布型の上限值

この場合、 $\bar{n}$ は次のように表わすことができる。

$$\bar{n} = 0.83 \cdot c / (s_0^m \cdot \frac{\Gamma(m+q) \cdot \Gamma(q+r)}{\Gamma(q) \cdot \Gamma(m+q+r)}) \dots\dots\dots (7)$$

さて、詳細構造としては、リブ十字継手を考えると、文献7)より $s - \bar{n}$ 曲線は次のように表わすことができる。

$$s^{5.56} \cdot n = 1.58 \times 10^{12} \quad (s \text{ は } \text{kg/mm}^2) \dots\dots\dots (8)$$

溶接部での T-20 による応力度は 12 kg/mm^2 とする(衝撃含む)と、(7)式により $\bar{n}$ を求めることができる。ただし、(7)式の s_0 は 1 カ月期待値、1 年期待値、50 年期待値を仮定した。この場合、分布型の平均値と標準偏差 μ, σ より、 q と r は次式により算出できる。

$$\mu = \frac{q}{q+r} \cdot s_0 \dots\dots\dots (9)$$

$$\sigma^2 = \frac{q-r}{(q+r)^2 (q+r+1)} \cdot s_0^2 \dots\dots\dots (10)$$

結果を表-T-5に示す。表に示すように、 s_0 の仮定は結果にほとんど影響しない。また特に 10 m の縦げたの疲労寿命は短かく、50 年間の耐用年数が得られない状況にある。CASE-2, CASE-3 の対策は、疲労寿命を延ばすことに対して十分効果が認められる。

上記の計算は概算であるが、疲労の面からも、大型車の影響が大きいことは明らかであり、今後の対策が必要とされる。

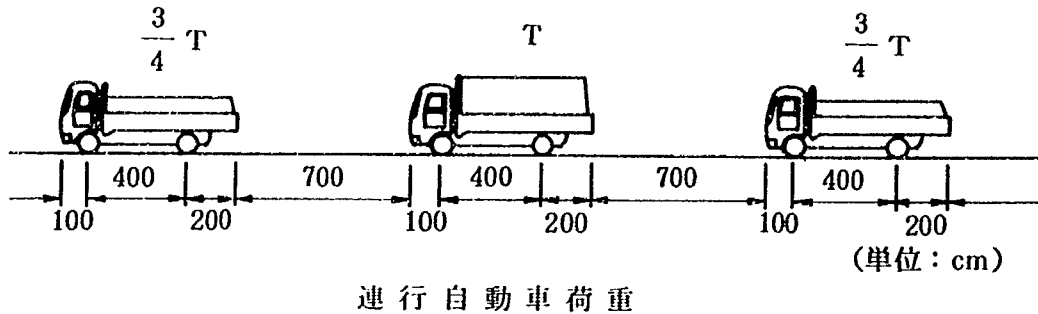
表-T-5 疲労寿命（積載状態にある大型車の可能通行台数）

ケース	So の 値	縦 げ た ス パ ン 5 m	縦 げ た ス パ ン 10 m
C A S E 1	上限1カ月期待値	4,610,000	710,000
	" 1 年 "	4,420,000	690,000
	" 50 年 "	4,240,000	680,000
C A S E 2	上限1カ月期待値	12,800,000	1,130,000
	" 1 年 "	12,340,000	1,100,000
	" 50 年 "	11,890,000	1,080,000
C A S E 3	上限1カ月期待値	5,800,000	820,000
	" 1 年 "	5,500,000	800,000
	" 50 年 "	5,300,000	780,000

3. L 荷重に関する解析

(1) L 荷重に関する問題点

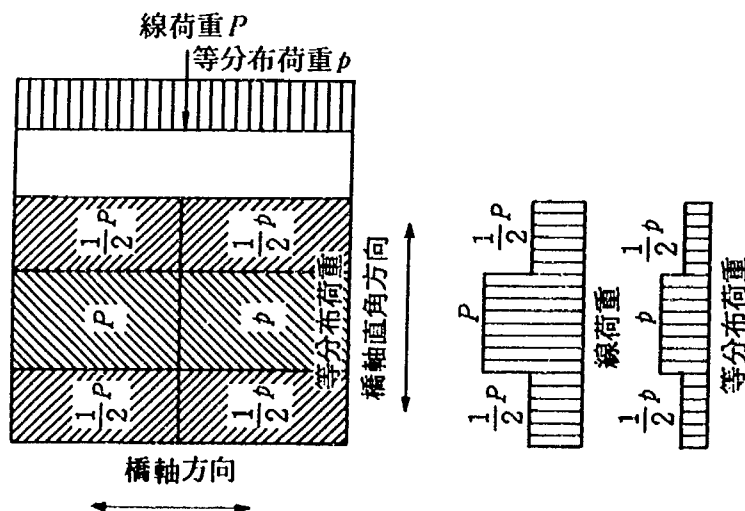
橋梁の主げたの断面力は、橋梁上に車両が連行して走行する状態により決定される。このような連行状態は、道路橋示方書では連行自動車荷重として次のようなモデル化を行っている。



しかし、このような車両で主げたを設計することは、設計実務上困難を招くため、連行自動車荷重をさらに簡略化したL 荷重が規定されている。

主げたを設計する場合の活荷重は次のとおりとする。

- 1) 車道部分には1橋につき1個の線荷重と等分布荷重よりなるL 荷重を加载するものとする。
L 荷重は考えている点または部材に最も不利な応力が生じるように橋の幅 5.5 m までは線荷重 P および等分布荷重 p (主載荷荷重) を、残りの部分にはそれらのおおの 1/2 (従載荷荷重) を加载するものとする。



橋の等級	荷 重	主載荷荷重（幅 5.5 m）				従載荷荷重
		線 荷 重 P (kg/m)	等分布荷重 p (kg/m ²)			主載荷荷重の 50%
			$L \leq 80$	$80 < L \leq 130$	$L > 130$	
1 等 橋	L - 20	5,000	350	$430 - L$	300	
2 等 橋	L - 14	1 等橋の 70%				

L : 支間長(m)

L 荷 重

ここで、長径間および多車線の場合に L 荷重の荷重強度を低減しているのは、重量車両が縦・横方向に多数連行する確率が小さいためである。

さて、 L 荷重については、 T 荷重に比べて载荷のひん度が小さいこと、1 台の過積載車の影響が小さいことから、橋梁設計上 T 荷重ほど問題を生じているとは考えられていない。特に、疲労については考慮する必要はないと考えられる。しかしながら、過積状態にある大型車が多いこと、大型車混入率が増加していること、さらに、主要幹線道路では大型車による渋滞が橋梁上でしばしば発生していることから、設計で考慮している連行自動車荷重は過小である可能性がある。このため、現状をふまえて、 L 荷重に対する適切な安全率を設定する必要がある。

本報告書では、1 車線に载荷される L 荷重について検討する。多車線の場合、長径間の場合については、別途検討を行う予定である。

(2) L 荷重に関する調査の概要

L 荷重の解析を行うために、国道 4 号、6 号、246 号、254 号において、車種別混入率、車種別総重量、車両長の計測を行った。まず、調査を行った地点を表-L-1 に示す。車種分類は、シミュレーションを正確に行うために、できるだけ細かい分類を行うこととし、表-L-2 に示す 23 分類を用いた。表-L-2 に示した車種分類について、大型車両については各計測地点で実際に車両総重量と車両長を計測し、それぞれの平均値と標準偏差を表-L-2 に示すように設定した。小型車両の総重量と車両長は、カタログデータにより決定したが、この仮定はシミュレーション結果に大きな影響を与えない。

さらに、各計測地点では、各車種の混入率を 48 時間にわたって計測した。国道上では、特に夜間の大型車混入率が大きいため、表-L-3-(1) には 24 時間交通量を、表-L-3-(2) には夜間 12 時間交通量を示した。シミュレーションは、夜間 12 時間のデータを用いて行っている。

表-L-1 活 荷 重 調 査 地 点

国 道	246 号	東京都世田谷区玉川台 1-9
国 道	6 号	東京都葛飾区青戸 7-4
国 道	4 号	東京都足立区平野 2-10
国 道	254 号	東京都練馬区北町 3-1

表-L-2 車種分類表

番号	車 種		平均車両長 (m)	変動係数	平均重量 (ton)	変動係数
1	軽自動車		3.1	0	0.85	0.10
2	普通自動車		4.4	0.07	1.20	0.30
3	トラック	空車	4.4	0.07	2.50	0.10
4		積載	4.4	0.07	4.50	0.10
5		空車	6.0	0.08	3.50	0.08
6		積載	6.0	0.08	7.50	0.12
7		空車	8.5	0.15	5.00	0.20
8		積載	8.5	0.15	14.00	0.23
9		空車	11.0	0.05	9.00	0.05
10		積載	11.0	0.05	19.00	0.32
11	大型ダンプ	空車	7.5	0.03	9.00	0.05
12		積載	7.5	0.03	23.00	0.06
13		過積載	7.5	0.03	26.00	0.12
14	セミトレーラー	空車	14.0	0.11	13.00	0.15
15		積載	14.0	0.11	27.70	0.40
16	フルトレーラー	空車	18.0	0.05	15.00	0.15
17		積載	18.0	0.05	27.70	0.40
18	大型タンクローリー		8.0	0.08	19.00	0.05
19	大型生コン車		7.5	0.08	19.00	0.05
20	大型ゴミ・バキューム車		8.0	0.08	19.00	0.05
21	バス	マイクロ	5.5	0.06	4.00	0.10
22		中型	8.5	0.03	8.00	0.03
23		大型	10.5	0.08	13.00	0.08

表-L-3-(1) 24 時 間 交 通 量

番号	車 種		国道 246 号		国 道 6 号		国 道 4 号		国 道 254 号	
			実測値 (台)	累積確率 (%)	実測値 (台)	累積確率 (%)	実測値 (台)	累積確率 (%)	実測値 (台)	累積確率 (%)
1	軽 自 動 車		2,110	3.676	2,065	3.724	1,815	3.542	2,233	5.113
2	普 通 自 動 車		44,892	78.210	38,199	68.880	33,425	65.223	33,634	77.015
3	ト ラ ッ ク	空 車	46,331	80.717	40,056	72.229	35,022	68.340	35,392	81.040
4		積 載	50,266	87.573	45,566	82.165	40,097	78.243	39,875	91.306
5		空 車	51,017	88.881	46,535	83.912	41,227	80.448	40,586	92.934
6		積 載	53,209	92.700	49,872	89.929	44,714	87.252	42,022	96.222
7		空 車	53,317	92.888	50,024	90.203	44,828	87.474	42,100	96.400
8		積 載	53,636	93.444	50,559	91.168	45,305	88.405	42,265	96.778
9		空 車	53,911	93.923	51,135	92.207	46,116	89.988	42,468	97.243
10		積 載	55,655	96.962	53,490	96.453	48,610	94.854	42,846	98.109
11	大 型 ダ ンプ	空 車	55,767	97.157	53,688	96.810	48,925	95.469	43,035	98.541
12		積 載	55,947	97.470	53,861	97.122	49,254	96.093	43,134	98.768
13		過積載	55,971	97.512	53,900	97.192	49,296	96.193	43,145	98.793
14	セミトレーラー	空 車	56,073	97.690	53,988	97.351	49,467	96.527	43,166	98.841
15		積 載	56,435	98.321	54,308	97.928	49,939	97.448	43,207	98.935
16	フルトレーラー	空 車	56,437	98.324	54,309	97.930	49,943	97.455	43,209	98.940
17		積 載	56,471	98.383	54,330	97.968	49,955	97.479	43,210	98.942
18	大型 タンクローリー		56,598	98.605	54,760	98.743	50,647	98.829	43,339	99.237
19	大 型 生 コ ン 車		56,913	99.153	54,797	98.810	50,707	98.946	43,373	99.315
20	大型ゴミ, バキューム		56,914	99.155	54,828	98.866	50,727	98.985	43,374	99.318
21	バ ス	マイクロ	56,950	99.218	54,885	98.969	50,787	99.102	43,403	99.384
22		中 型	56,969	99.251	54,921	99.033	50,833	99.192	43,422	99.428
23		大 型	57,399	100.000	55,457	100.000	51,247	100.000	43,672	100.000

※ 実測値は、交通量調査 2 回の累加台数 (48 時間)

表-L-3-(2) 夜間12時間交通量

番号	車 種		国 道 246号		国 道 6 号		国 道 4 号		国 道 254 号	
			実 測 値 (台)	累積確率(%)	実 測 値 (台)	累積確率(%)	実 測 値 (台)	累積確率(%)	実 測 値 (台)	累積確率(%)
1	軽 自 動 車		489	2371	536	2518	561	2745	554	3801
2	普 通 自 動 車		16,194	78,524	14,941	70,185	13,960	68,311	12,106	83,049
3	ト ラ ッ ク	空 車	16,557	80,284	15,308	71,909	14,403	70,479	12,501	85,758
4		積 載	17,333	84,047	16,674	78,326	15,894	77,775	13,505	92,646
5		空 車	17,491	84,813	16,924	79,500	16,153	79,042	13,658	93,696
6		積 載	18,367	89,061	18,625	87,491	17,711	86,666	14,063	96,474
7		空 車	18,390	89,172	18,655	87,632	17,732	86,768	14,078	96,577
8		積 載	18,566	90,026	18,825	88,430	17,954	87,855	14,128	96,920
9		空 車	18,640	90,385	18,919	88,872	18,096	88,550	14,164	97,167
10		積 載	19,959	96,780	20,493	96,266	19,515	95,493	14,300	98,100
11	大 型 ダンプ	空 車	20,002	96,989	20,583	96,688	19,634	96,076	14,401	98,793
12		積 載	20,104	97,483	20,688	97,182	19,833	97,049	14,460	99,197
13		過積載	20,117	97,546	20,716	97,313	19,880	97,279	14,465	99,232
14	セミトレーラー	空 車	20,148	97,697	20,737	97,412	19,904	97,397	14,468	99,252
15		積 載	20,385	98,846	20,918	98,262	20,118	98,444	14,481	99,341
16	フルトレーラー	空 車	20,385	98,846	20,918	98,262	20,119	98,449	14,481	99,341
17		積 載	20,411	98,972	20,934	98,337	20,126	98,483	14,481	99,341
18	大 型 タンク ロ ー リ ー		20,455	99,185	21,108	99,154	20,269	99,183	14,506	99,513
19	大 型 生 コ ン 車		20,503	99,418	21,111	99,169	20,279	99,232	14,514	99,568
20	大 型 ゴ ミ, バ キ ュ ム 車		20,504	99,423	21,120	99,211	20,291	99,290	14,514	99,568
21	バ ス	マイクロ	20,516	99,481	21,134	99,277	20,305	99,359	14,522	99,623
22		中 型	20,518	99,491	21,143	99,319	20,323	99,447	14,529	99,671
23		大 型	20,623	100,000	21,288	100,000	20,436	100,000	14,577	100,000

※実測値は、交通量調査2回の累加台数(夜間12時間2回)

(3) シミュレーションによるL荷重の解析

L荷重についても、計算機によるシミュレーションによって、終局荷重、使用荷重の検討を行った。シミュレーションは、大型車混入率の高い夜間を対象に行い、完全渋滞時の主げた曲げモーメントを再現した。これは、衝撃が零であっても、完全渋滞時が通常の走行状態より大きな曲げモーメントを与える⁸⁾⁹⁾ためである。また、主要国道では、夜間であっても信号等によりしばしば短時間の完全渋滞は生じており、完全渋滞を考えることは必要である。

シミュレーションのフローを図-L-1に示す。すなわち、乱数により任意の車両の車種を、表-L-3(2)に示した混入率特性より決定する。つづいて、乱数により、その車両の総重量、車両長を表-L-2に示した特性にもとづいて決定する。このようにして定めた車両を橋げた上に配置して、一回の完全渋滞状態を再現することができる。シミュレーション例を図-L-2に示す。

このようなシミュレーションを多数くり返して、実車両による主げた曲げモーメントのヒストグラムを作成することができる。なお、シミュレーションは、調査データにもとづく基本ケース(CASE-1)のほかに、車両の大型化を考慮した4つのケース(CASE-2~CASE-5)を設定している。それぞれのケースの仮定を表-L-4に示す。これらのケースでは、総重量を増加させた場合には、CASE-2を除いて車両長も増加させており、主げたに対する影響を小さくするように配慮している。CASE-1~CASE-5について、シミュレーション結果のヒストグラムの一例を図-L-3に示す。図に示すように、L荷重については、曲げモーメントがL-20による曲げモーメントを上回ることはまれであり、T荷重など過酷な状態にはない。このことは、表-L-5に示したシミュレーション結果の平均値および標準偏差によっても明らかである。一般に、スパンが長い場合に、シミュレーション結果の平均値が増加する傾向にあるが、スパンが長い場合は完全渋滞を生じる頻度も小さく、必ずしも過酷な状態にあるとは限らない。

シミュレーション結果の分布型について、確率紙により検討する。正規確率紙、対数正規確率紙、ワイブル確率紙へのプロットの一例を、それぞれ図-L-4-(1)~(4)、図-L-5-(1)~(4)、図-L-6-(1)~(4)に示すが、これらのプロットは十分な直線性を示さない。一方、極値確率紙へのプロットを図-L-7-(1)~(20)に示すが、極値確率紙へのプロットはかなり良好な直線性を示す。このため、終局荷重の推定には、二重指数分布を用いることとする。なお、プロットした曲線の性状から見て、二重指数分布による推定は、若干安全側の推定値を与える可能性がある。

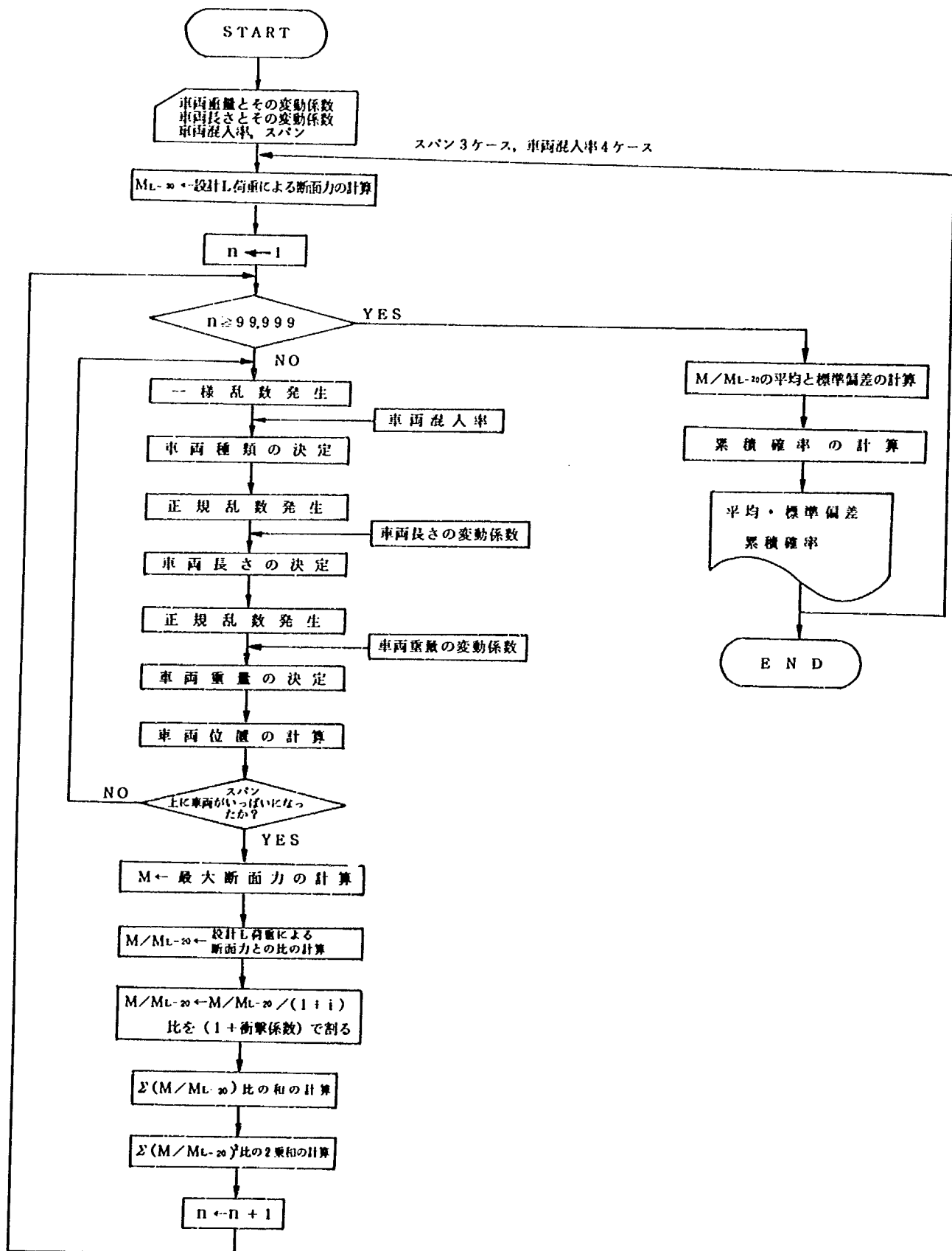
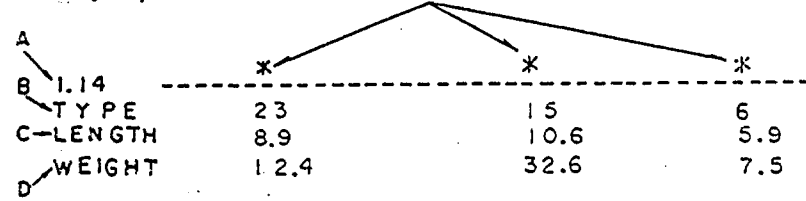


図-L-1 L荷重に対するシミュレーションプログラム

凡例

車両中心位置



1.02	*	*	*	*	*	*	*	*	*
TYPE	2	2	6	1	10	2	10	10	15
LENGTH	5.0	4.6	6.8	3.1	10.8	4.6	11.2	11.0	13.4
WEIGHT	1.1	0.9	6.7	0.8	28.7	1.8	26.7	20.7	50.3

1.03	*	*	*	*	*	*	*	*	*
TYPE	2	10	2	2	2	15	15	2	6
LENGTH	4.4	11.2	4.1	4.2	4.2	13.8	14.9	4.5	5.7
WEIGHT	0.3	23.8	1.9	1.3	1.5	35.0	44.2	1.4	7.1

1.05	*	*	*	*	*	*	*	*	*
TYPE	10	10	13	15	4	2	10	2	2
LENGTH	11.3	11.3	7.6	11.8	4.5	3.9	10.7	4.2	4.8
WEIGHT	12.4	24.7	22.7	38.0	3.5	1.4	7.2	1.0	1.7

1.06	*	*	*	*	*	*	*	*	*
TYPE	4	1	8	4	10	10	10	2	2
LENGTH	4.3	3.1	9.5	4.6	10.5	10.7	10.4	4.2	4.3
WEIGHT	4.2	1.0	15.4	4.9	25.1	34.9	18.9	1.4	0.6

1.11	*	*	*	*	*	*	*	*	*
TYPE	2	2	6	6	15	15	10	4	2
LENGTH	4.4	4.7	5.8	5.6	13.0	13.9	11.1	4.9	4.4
WEIGHT	0.9	0.9	8.3	9.3	34.2	39.7	14.9	4.4	0.9

1.11	*	*	*	*	*	*	*	*	*
TYPE	6	3	2	2	15	12	10	10	2
LENGTH	6.7	3.2	4.2	4.3	14.2	7.4	9.7	10.8	4.7
WEIGHT	6.6	2.5	0.8	1.7	30.6	25.9	27.7	19.8	1.1

1.14	*	*	*	*	*	*	*	*	*
TYPE	1	6	2	18	2	2	15	10	3
LENGTH	3.1	5.7	4.5	8.8	4.2	4.0	11.8	11.6	4.2
WEIGHT	0.9	8.0	1.1	19.7	1.4	1.0	48.5	25.2	2.8

1.14	*	*	*	*	*	*	*	*	*
TYPE	23	15	6	2	15	4	10	2	4
LENGTH	8.9	10.6	5.9	4.5	12.8	4.4	10.9	4.2	4.1
WEIGHT	12.4	32.6	7.5	1.4	43.4	4.1	25.6	1.2	3.7

1.15	*	*	*	*	*	*	*	*	*
TYPE	5	6	2	10	15	12	6	15	2
LENGTH	6.2	6.2	4.0	11.7	13.2	7.4	5.5	13.3	4.4
WEIGHT	3.3	7.5	1.3	28.0	32.2	20.6	9.4	32.6	0.9

1.15	*	*	*	*	*	*	*	*	*
TYPE	2	2	23	2	2	12	15	15	2
LENGTH	4.2	4.3	9.7	4.6	4.1	7.1	14.7	13.0	4.4
WEIGHT	2.0	0.8	13.4	0.9	1.2	21.9	35.1	50.6	1.4

1.22	*	*	*	*	*	*	*	*	*
TYPE	2	10	2	6	15	10	2	11	6
LENGTH	3.6	10.3	4.1	6.2	13.8	9.8	4.4	7.7	4.7
WEIGHT	1.3	14.9	1.1	8.4	49.3	31.5	1.2	8.9	7.5

図-L-2 シミュレーション結果 (スパン80 m)

表-L-4 車両大型化を考慮したケース

	番号	車 種		平均車両長 (m)	変動係数	平均重量 (ton)	変動係数
CASE-1 基本ケース	9	トラック	空 車	11.0	0.05	9.00	0.05
	10		積 載	11.0	0.05	19.00	0.32
	11	大 型 ダンプ	空 車	7.5	0.03	9.00	0.05
	12		積 載	7.5	0.03	23.00	0.06
	13		過積載	7.5	0.03	26.00	0.12
CASE-2 (23 ton トラック を考慮した場合)	9	トラック	空 車	11.5	0.05	9.00	0.05
	10		積 載	11.5	0.05	21.85	0.32
	11	大 型 ダンプ	空 車	7.5	0.03	9.00	0.05
	12		積 載	7.5	0.03	23.00	0.06
	13		過積載	7.5	0.03	26.00	0.12
CASE-3 (25 ton トラック を考慮した場合)	9	トラック	空 車	12.0	0.00	11.25	0.05
	10		積 載	12.0	0.00	23.75	0.32
	11	大 型 ダンプ	空 車	7.5	0.03	9.00	0.05
	12		積 載	7.5	0.03	23.00	0.06
	13		過積載	7.5	0.03	26.00	0.12
CASE-4 (25 ton トラック ダンプを考慮し た場合)	9	トラック	空 車	12.0	0.00	11.25	0.05
	10		積 載	12.0	0.00	23.75	0.32
	11	大 型 ダンプ	空 車	9.0	0.00	11.25	0.05
	12		積 載	9.0	0.00	28.75	0.06
	13		過積載	9.0	0.00	32.50	0.12
CASE-5 (28 ton トラック ダンプを考慮し た場合)	9	トラック	空 車	12.0	0.00	12.60	0.05
	10		積 載	12.0	0.00	26.60	0.32
	11	大 型 ダンプ	空 車	9.0	0.00	11.25	0.05
	12		積 載	9.0	0.00	28.75	0.06
	13		過積載	9.0	0.00	32.50	0.12

表-L-5 シミュレーション結果

(上段 平均値, 下段 標準偏差)

CASE	スパン	国道246号	国道6号	国道4号	国道254号
1	40 m	0.266 0.179	0.298 0.173	0.380 0.177	0.171 0.105
	80 m	0.341 0.156	0.381 0.152	0.394 0.156	0.223 0.095
	120 m	0.417 0.155	0.468 0.152	0.483 0.156	0.275 0.094
2	40 m	0.281 0.196	0.315 0.192	0.324 0.193	0.173 0.112
	80 m	0.360 0.171	0.402 0.168	0.413 0.170	0.226 0.100
	120 m	0.440 0.169	0.494 0.168	0.507 0.170	0.279 0.099
3	40 m	0.290 0.206	0.324 0.201	0.332 0.202	0.175 0.117
	80 m	0.369 0.179	0.412 0.175	0.423 0.177	0.229 0.105
	120 m	0.451 0.176	0.505 0.175	0.518 0.176	0.282 0.103
4	40 m	0.293 0.208	0.327 0.205	0.338 0.208	0.179 0.125
	80 m	0.372 0.181	0.416 0.178	0.429 0.182	0.232 0.111
	120 m	0.455 0.179	0.510 0.177	0.526 0.181	0.286 0.109
5	40 m	0.308 0.227	0.345 0.225	0.354 0.226	0.182 0.132
	80 m	0.391 0.197	0.437 0.195	0.449 0.198	0.236 0.117
	120 m	0.478 0.195	0.536 0.194	0.551 0.197	0.291 0.116

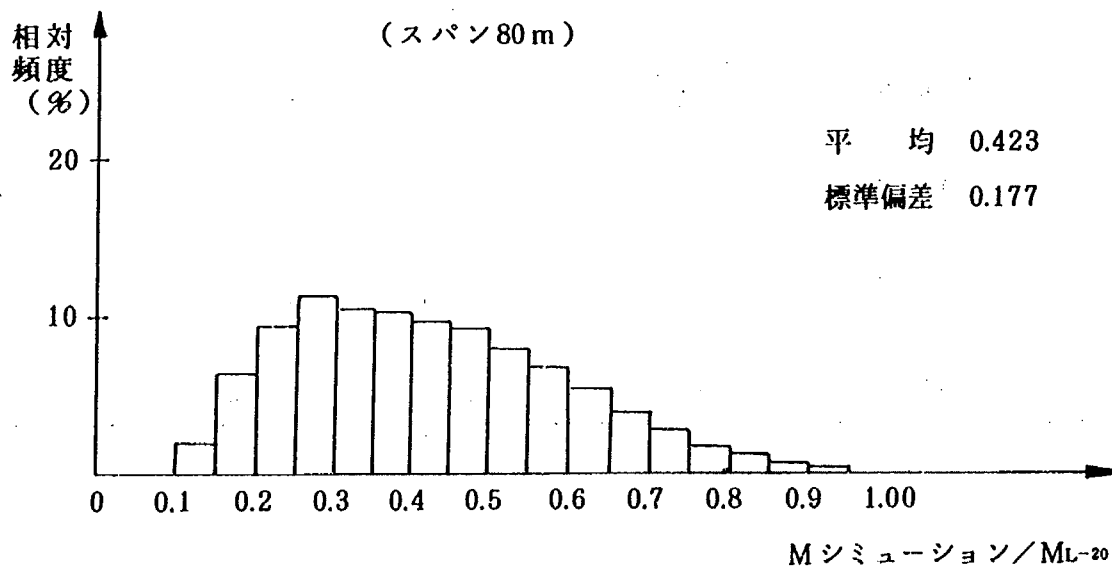
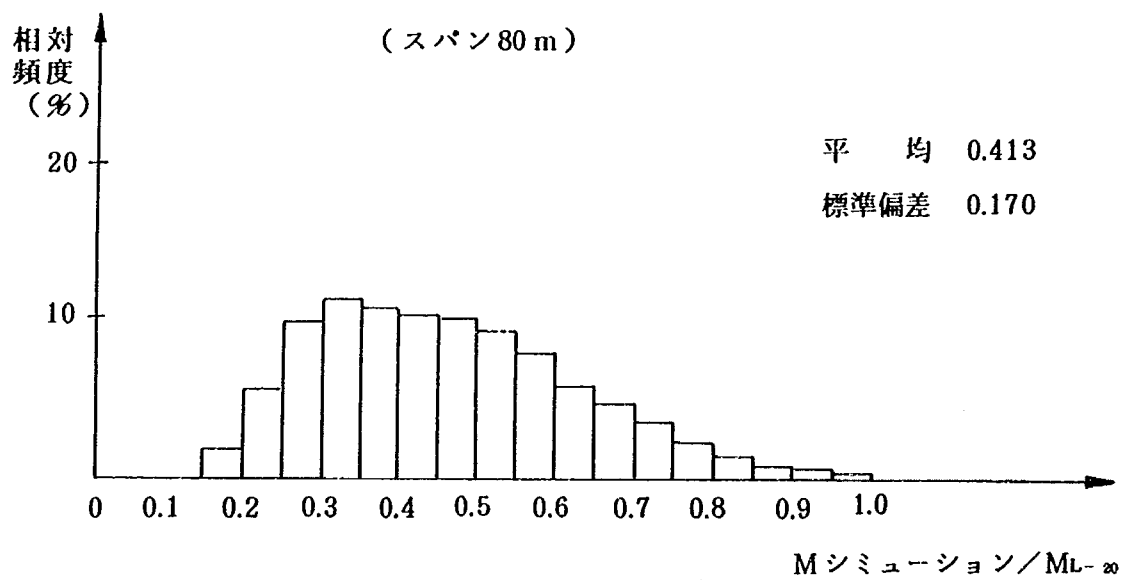
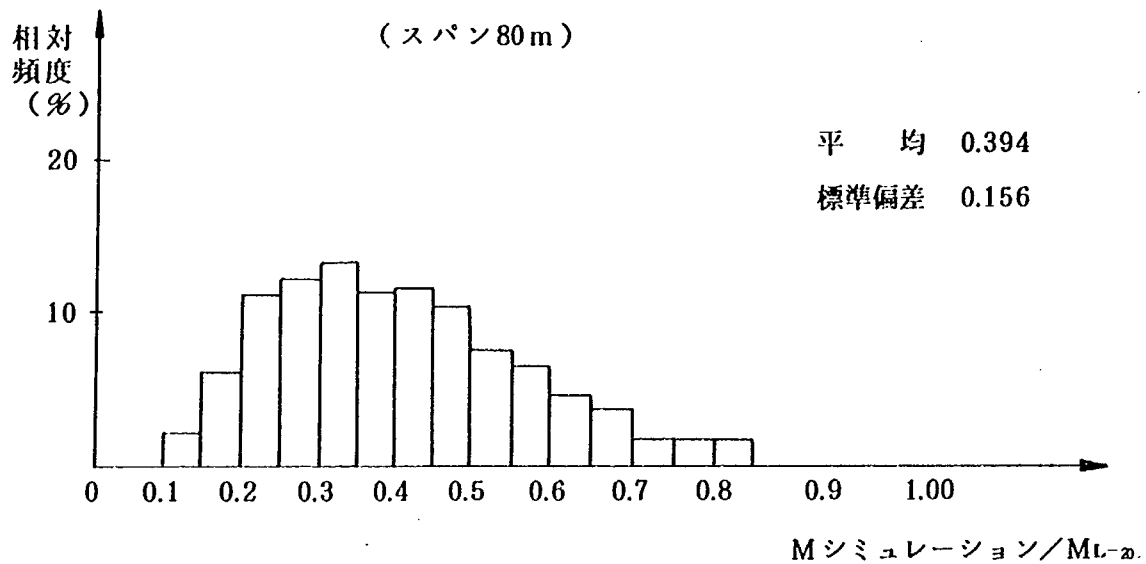


図-L-3 シミュレーション結果のヒストグラム (1)

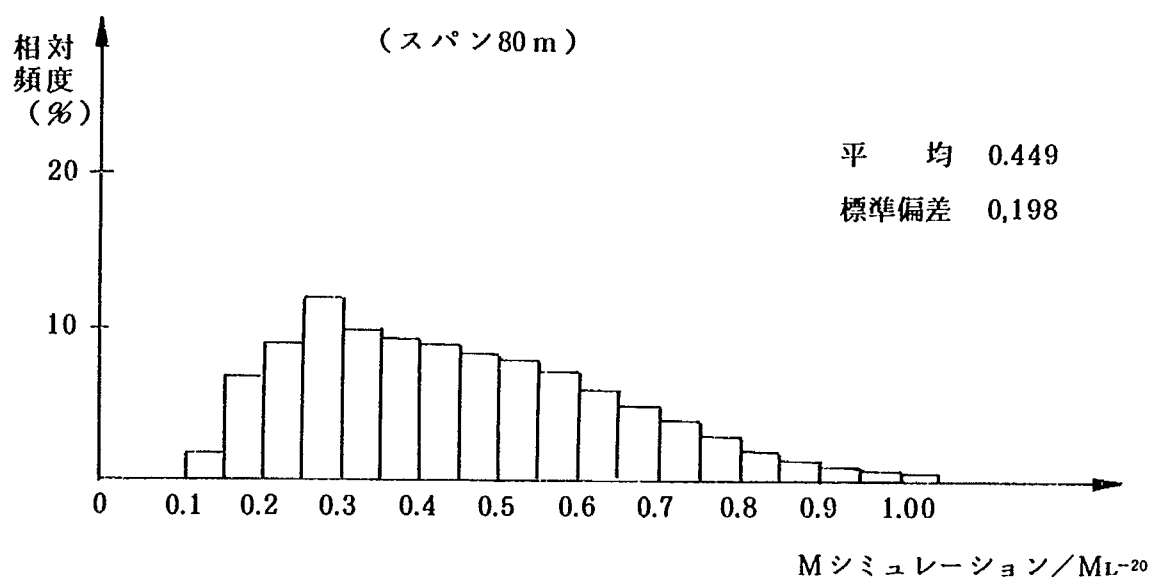
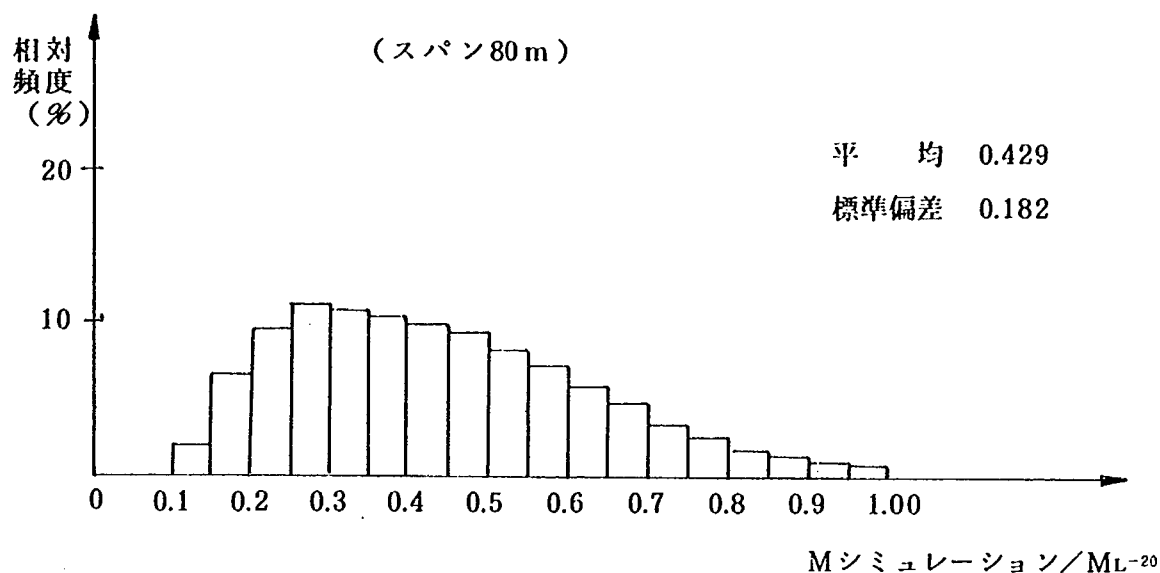


図-L-3 シミュレーション結果のヒストグラム (2)

Mシミュレーション/M_L-20

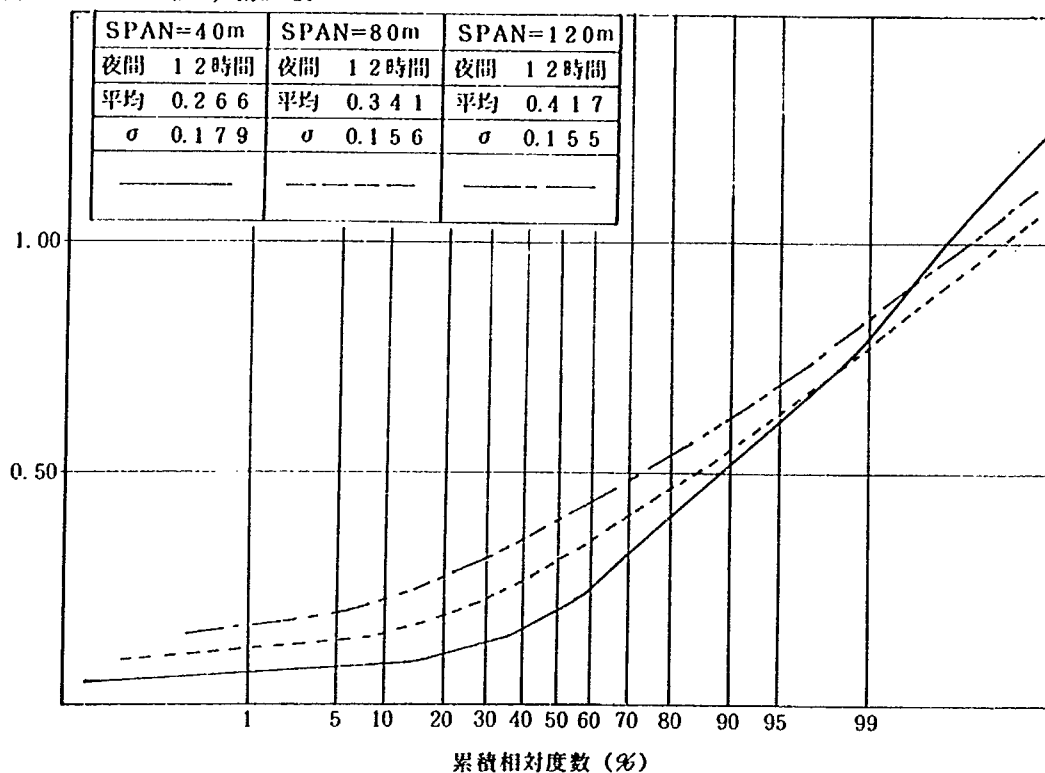


図-L-4-(1) L荷重のシミュレーション (正規確率紙, 246号, CASE-1)

Mシミュレーション/M_L-20

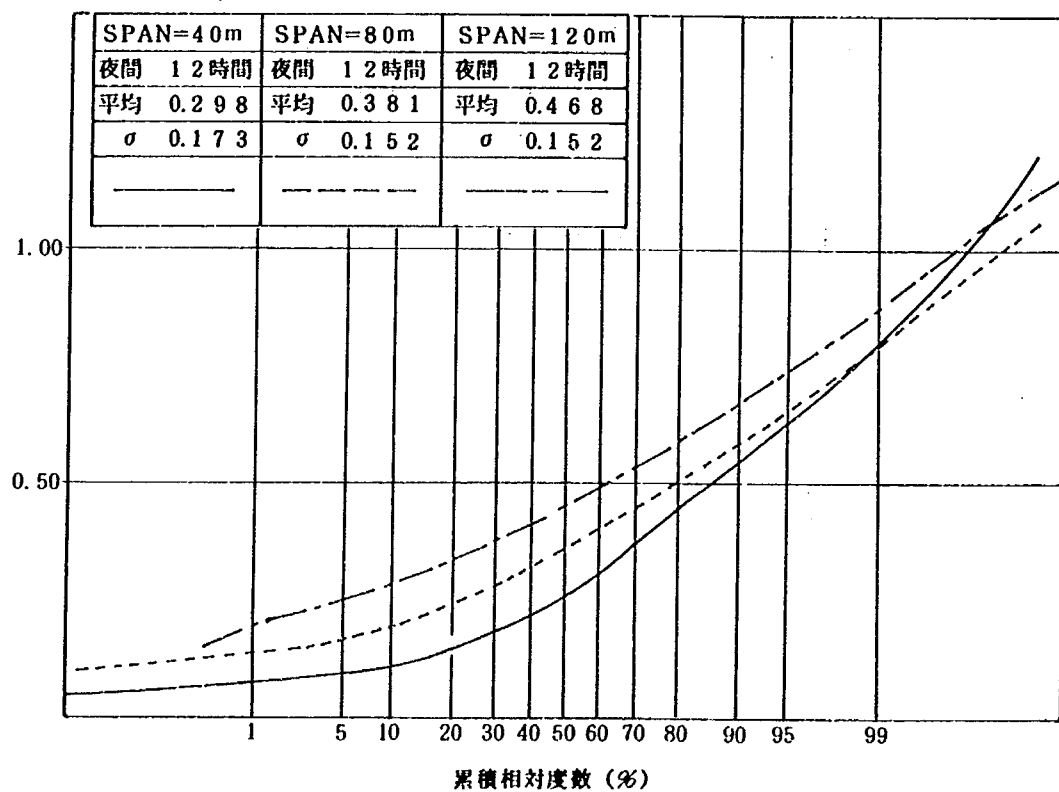


図-L-4-(2) L荷重のシミュレーション (正規確率紙, 6号, CASE-1)

Mシミュレーション/M_L-20

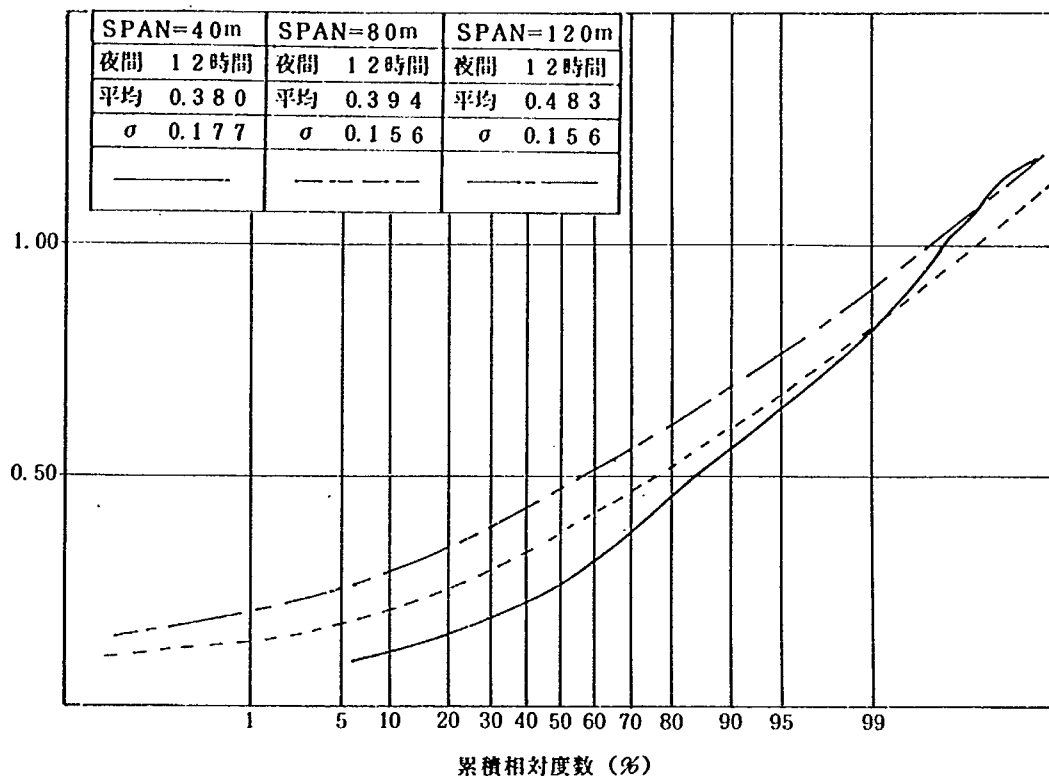


図-L-4-(3) L荷重シミュレーション (正規確率紙, 4号, CASE-1)

Mシミュレーション/M_L-20

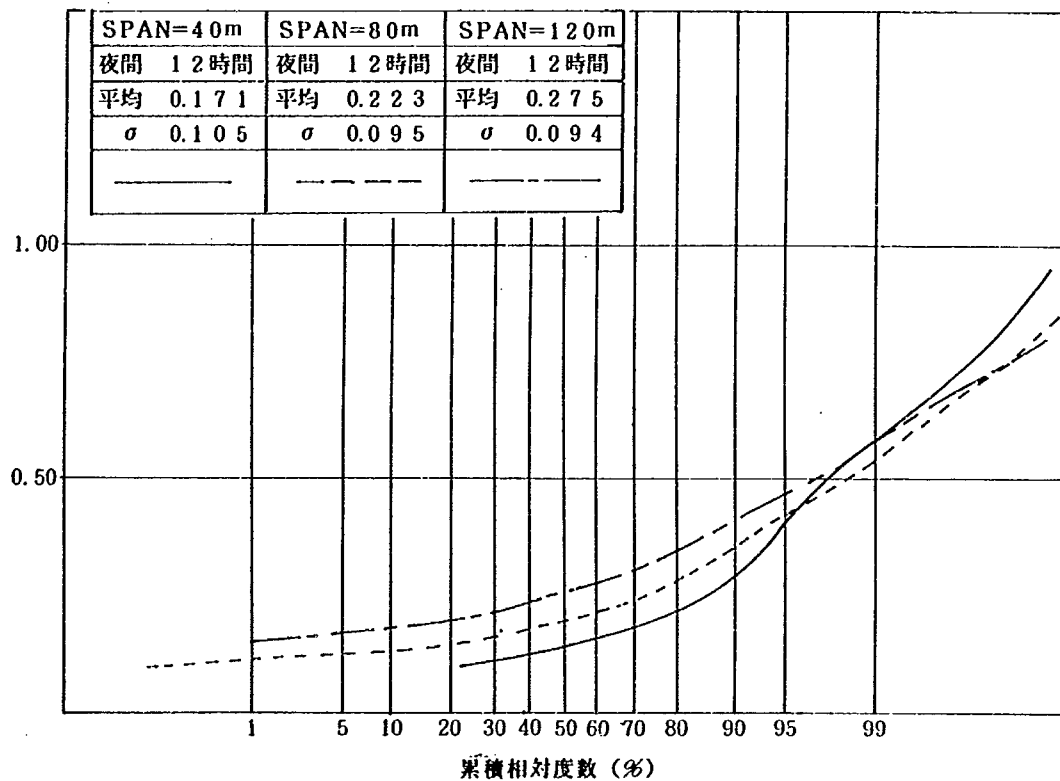


図-L-4-(4) L荷重シミュレーション (正規確率紙, 254号, CASE-1)

Mシミュレーション/M_L-20

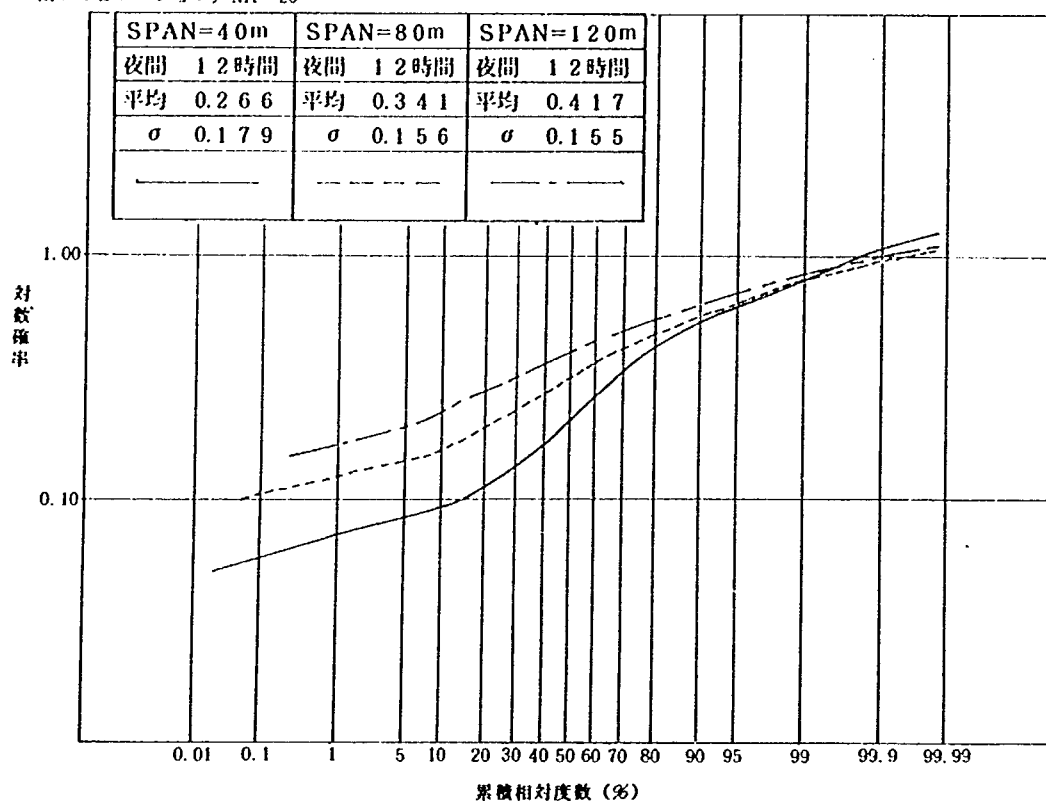


図-L-5-(1) L荷重のシミュレーション (対数正規確率紙, 246号, CASE-1)

Mシミュレーション/M_L-20

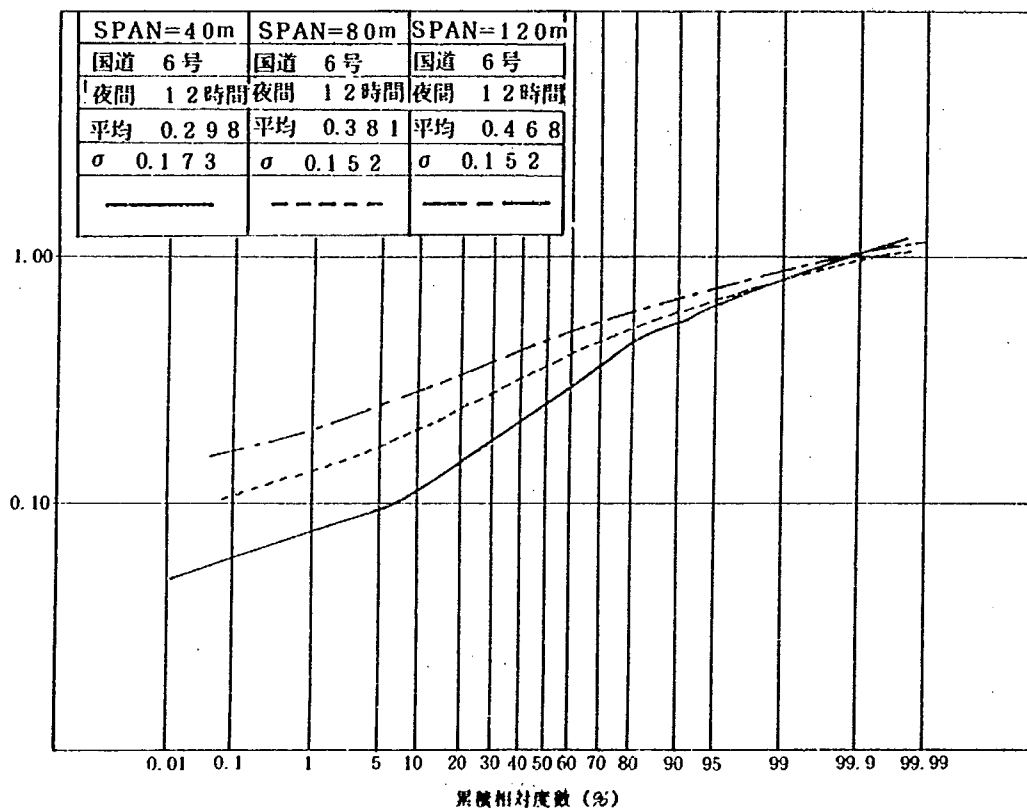


図-L-5-(2) L荷重のシミュレーション (対数正規確率紙, 6号, CASE-1)

Mシミュレーション/M_L-20

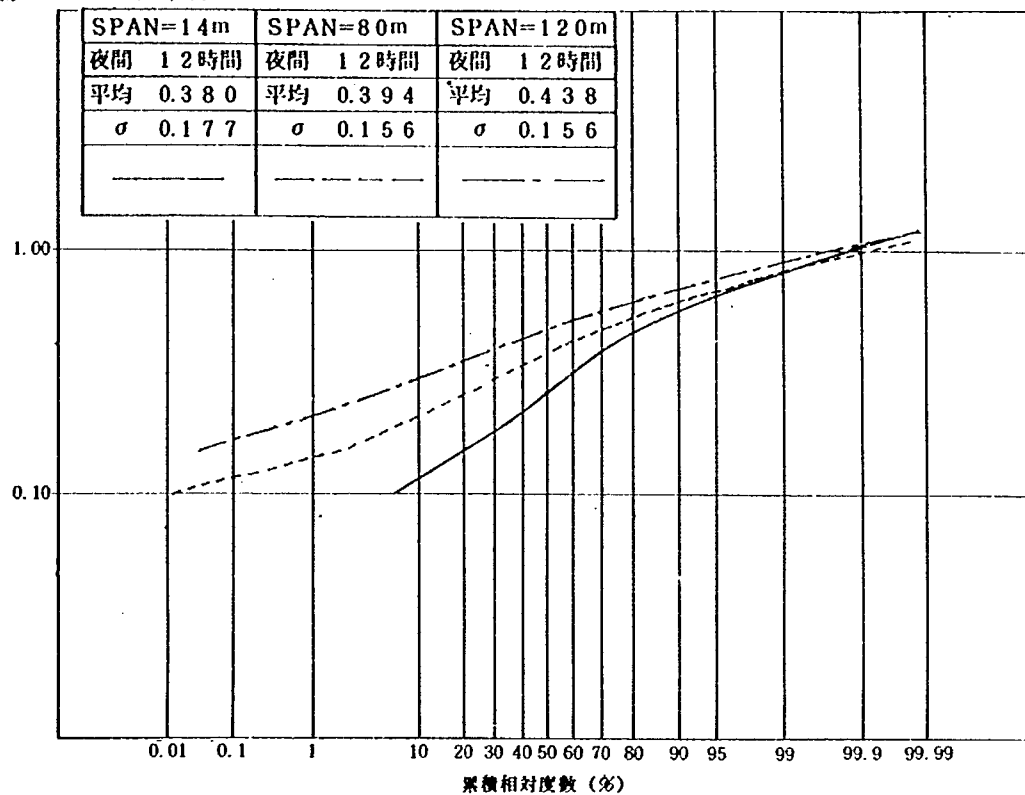


図-L-5-(3) L荷重シミュレーション (対数正規確率紙, 4号, CASE-1)

Mシミュレーション/M_L-20

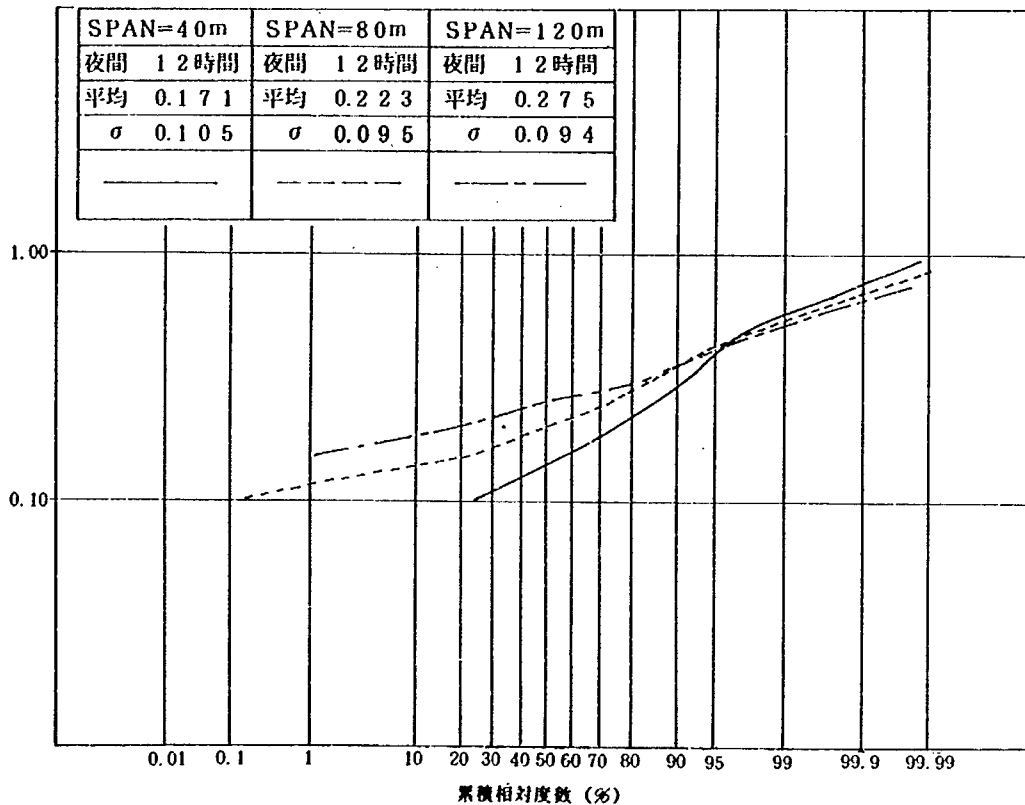


図-L-5-(4) L荷重シミュレーション (対数正規確率紙, 254号, CASE-1)

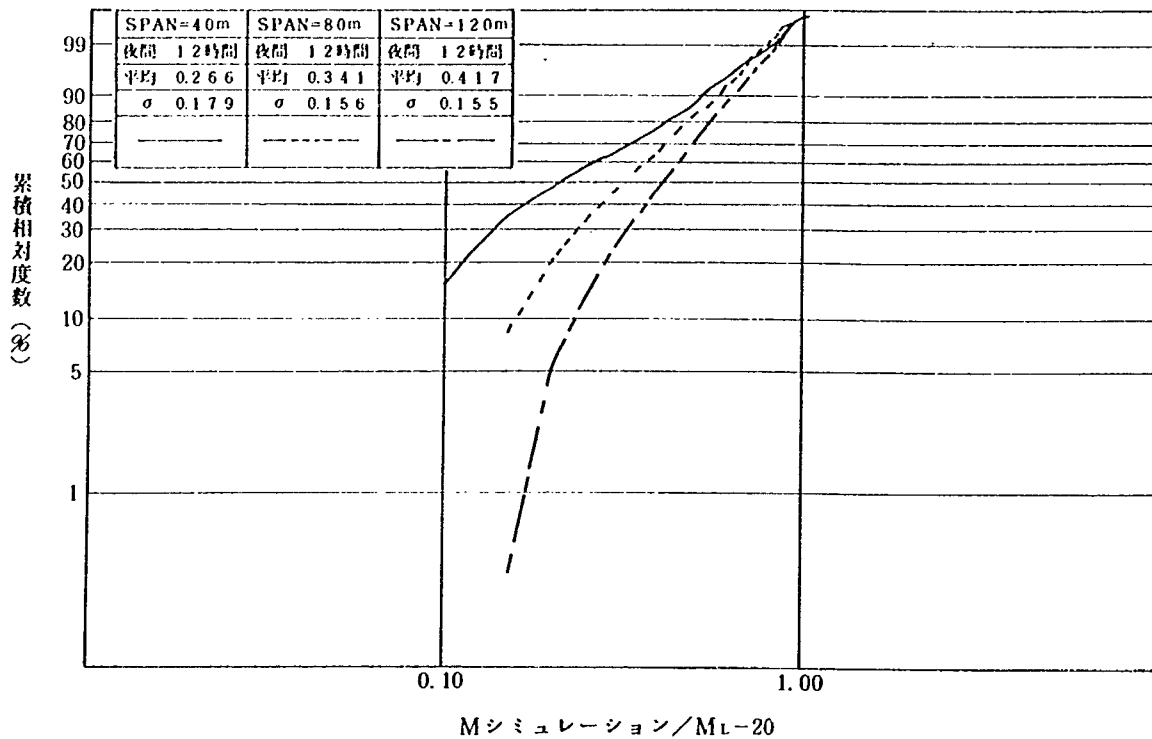


図-L-6-(1) L荷重のシミュレーション (Weibull 確率紙, 246号, CASE-1)

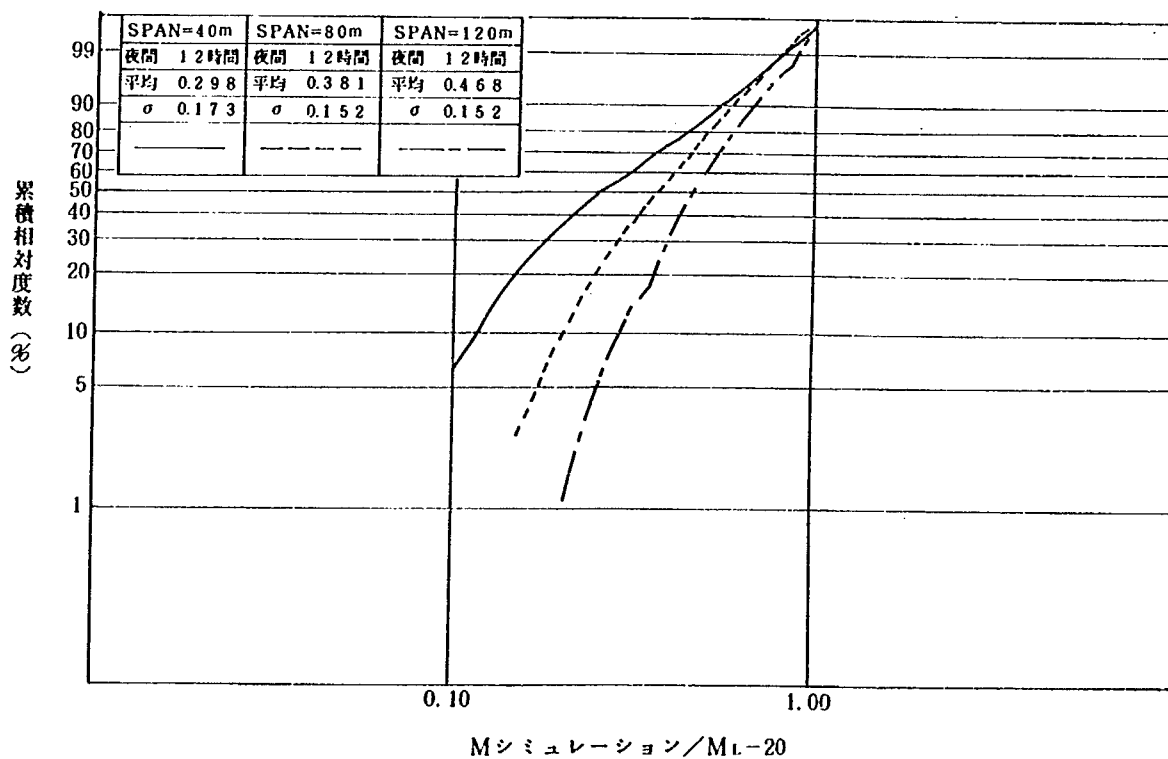


図-L-6-(2) L荷重のシミュレーション (Weibull 確率紙, 6号, CASE-1)

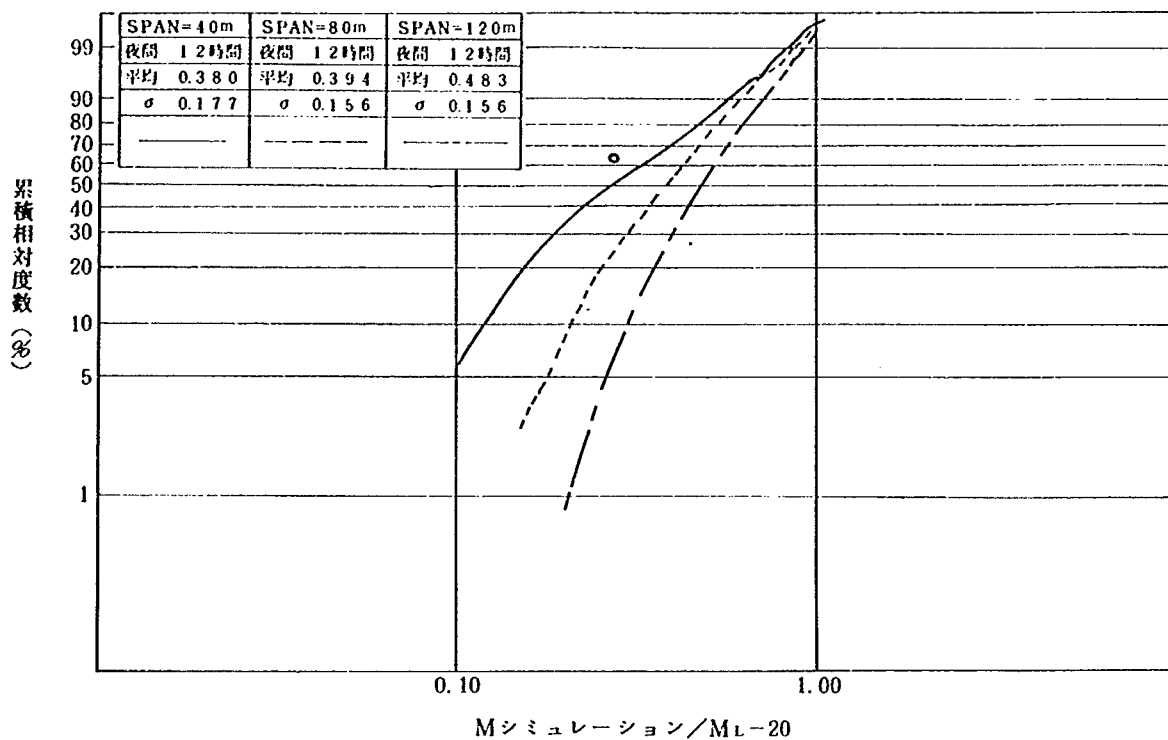


図-L-6-(3) L荷重のシミュレーション (Weibull 確率紙, 4号, CASE-1)

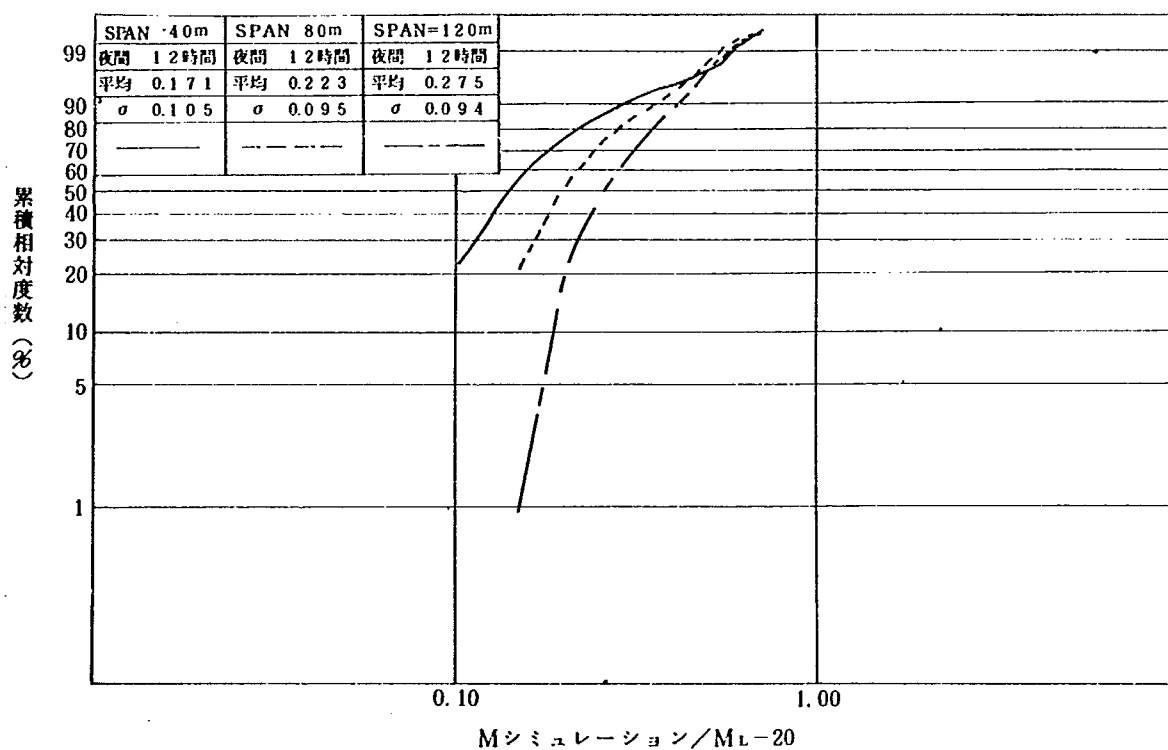


図-L-6-(4) L荷重のシミュレーション (Weibull 確率紙, 254号, CASE-1)

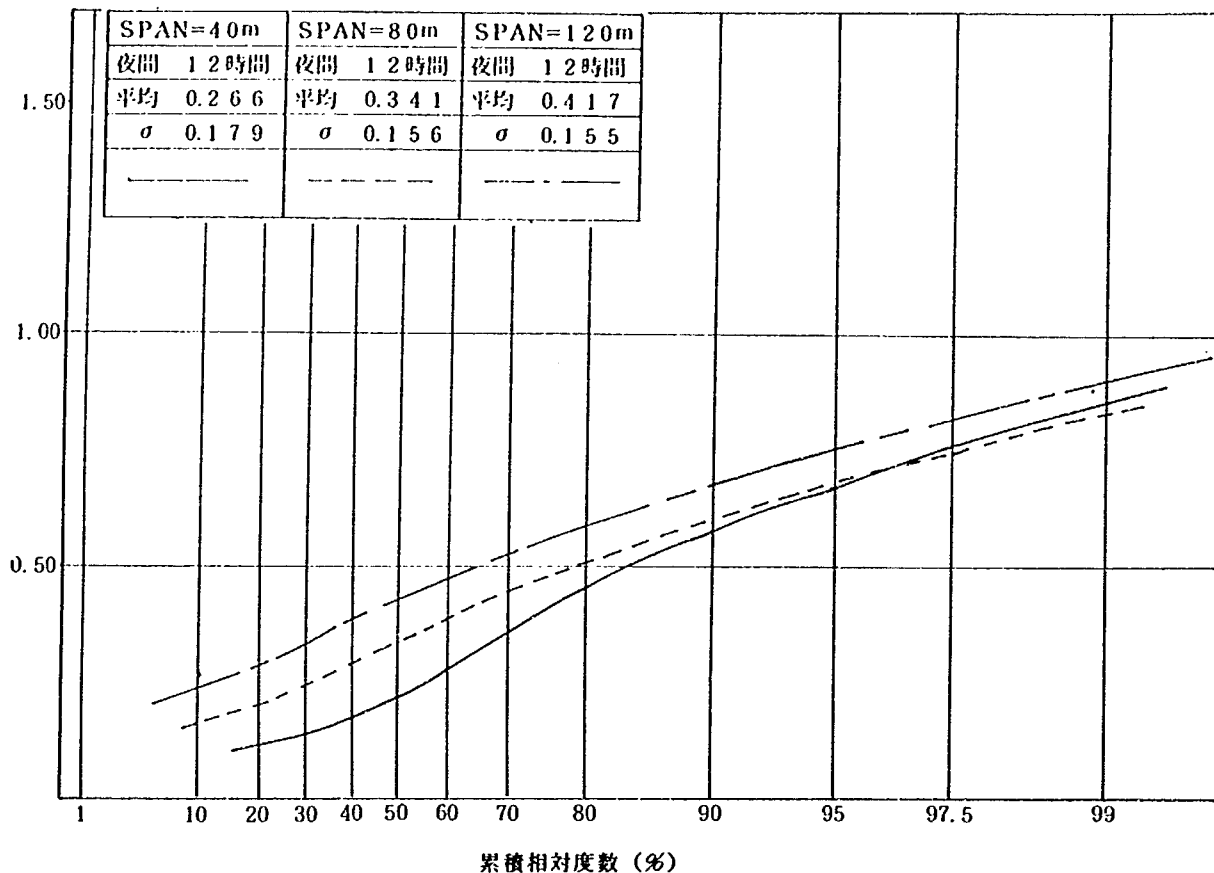


図-L-7-(1) L荷重のシミュレーション (極値確率紙, 246号, CASE-1)

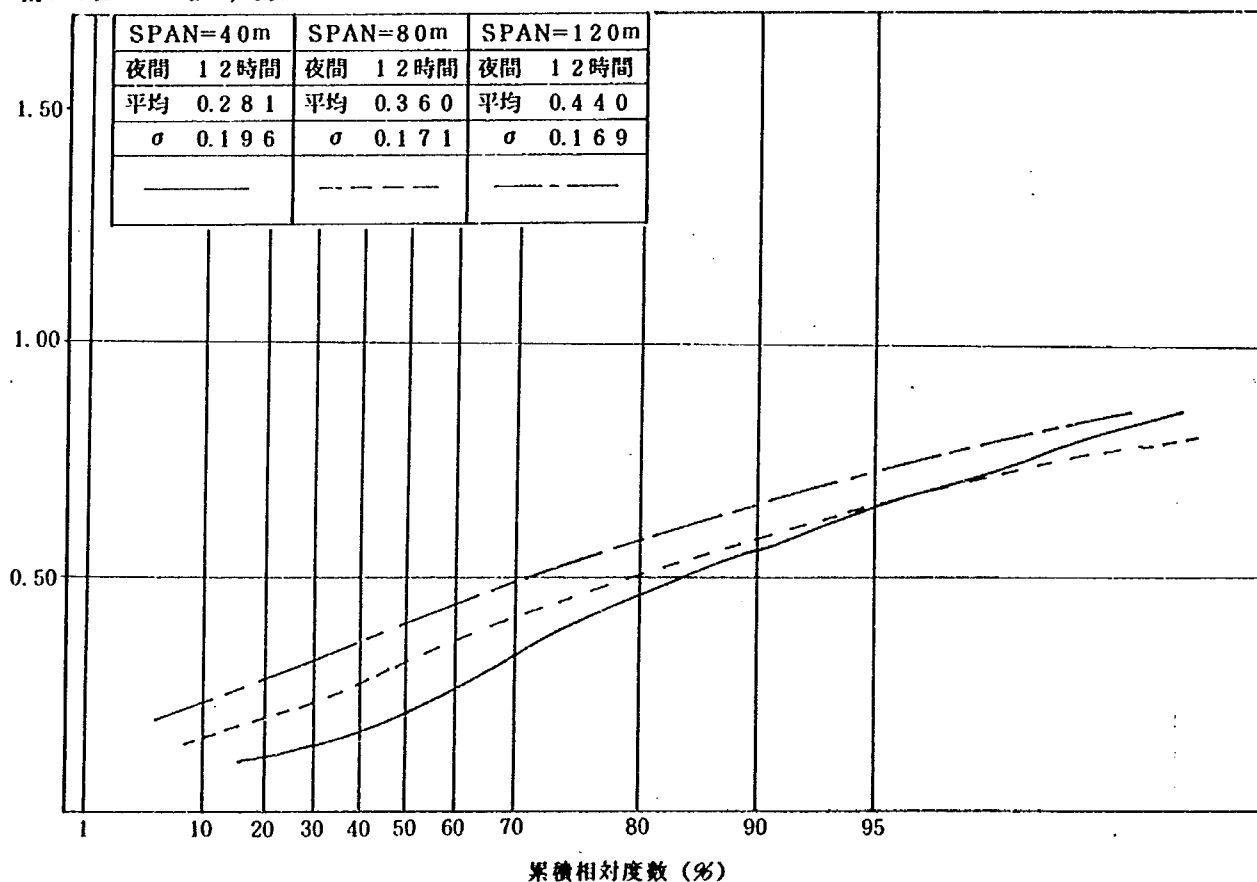


図-L-7-(2) L荷重のシミュレーション (極値確率紙, 246号, CASE-2)

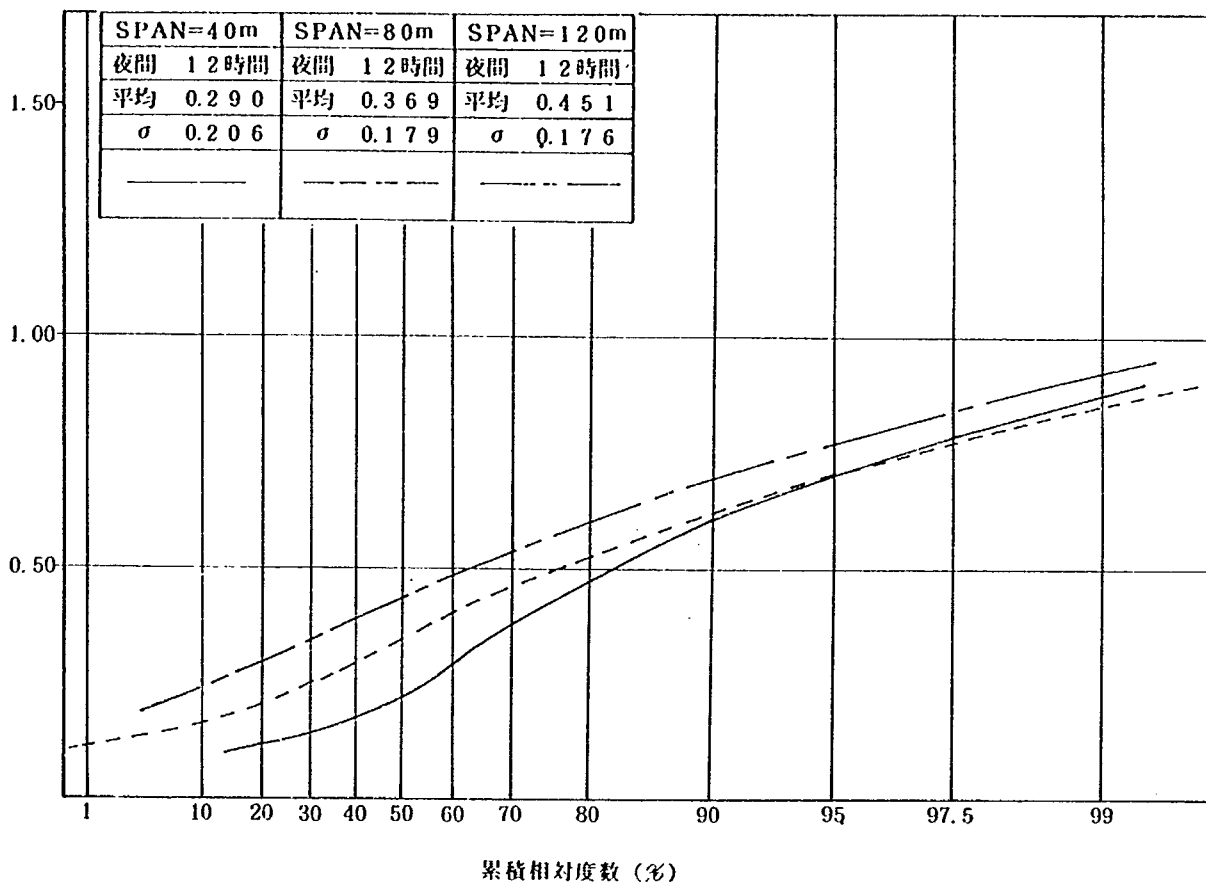


図-L-7-(3) L荷重のシミュレーション (極値確率紙, 246号, CASE-3)

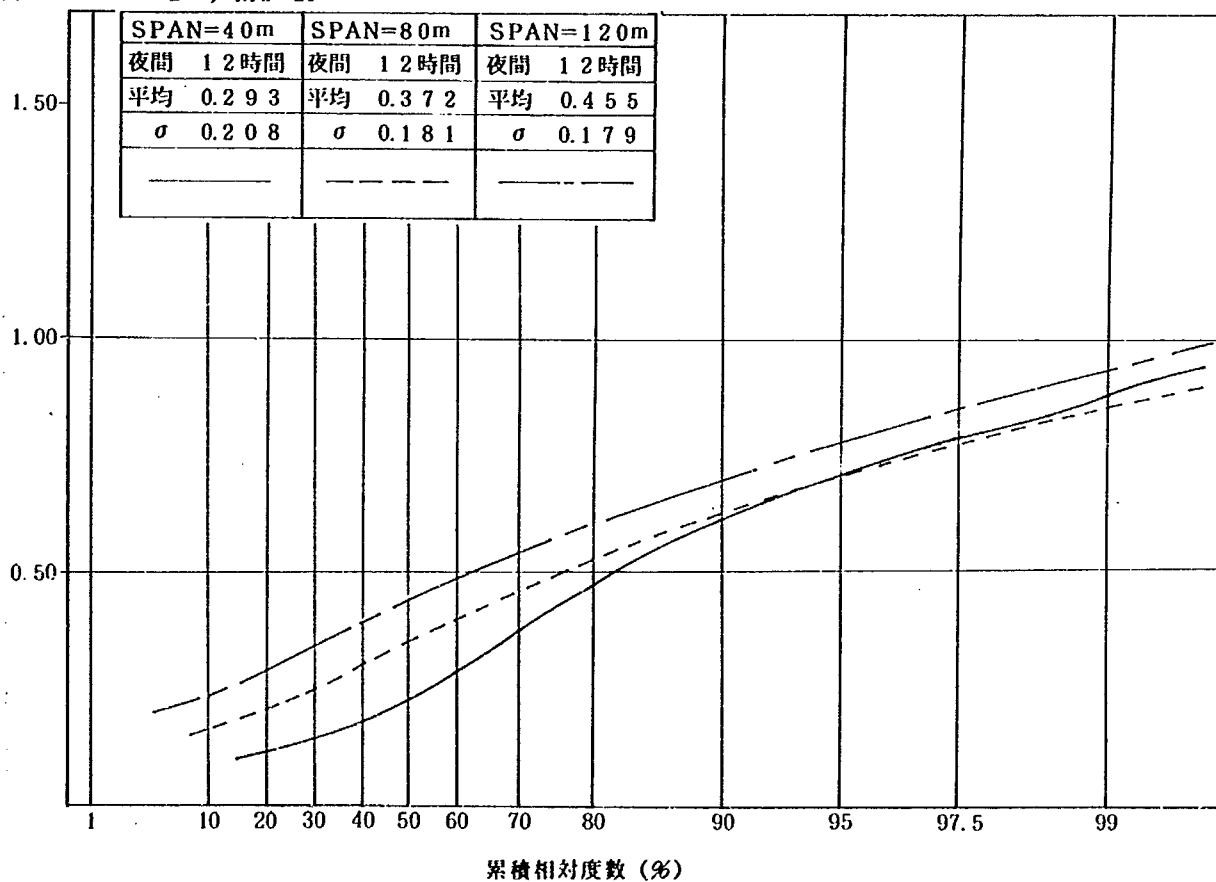


図-L-7-(4) L荷重のシミュレーション (極値確率紙, 246号, CASE-4)

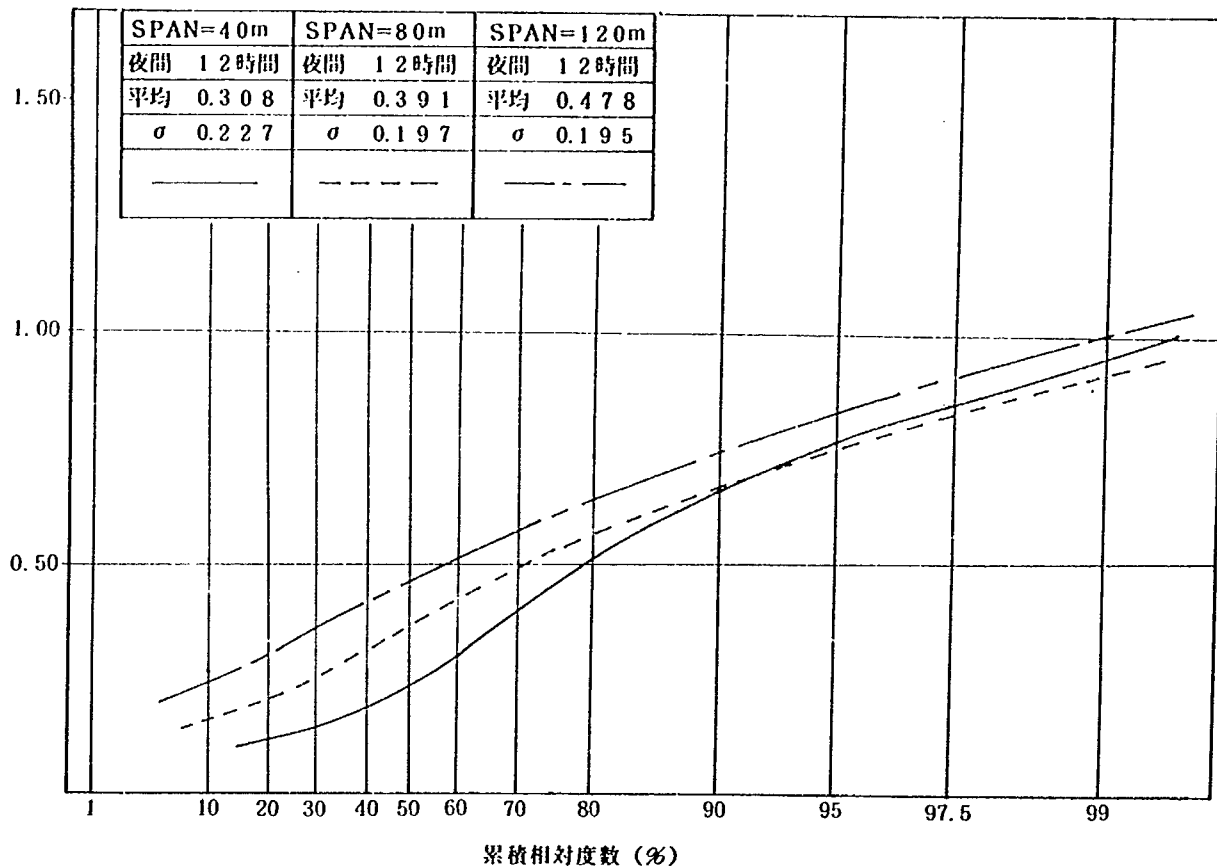


図-L-7-(5) L荷重のシミュレーション (極値確率紙, 246号, CASE-5)

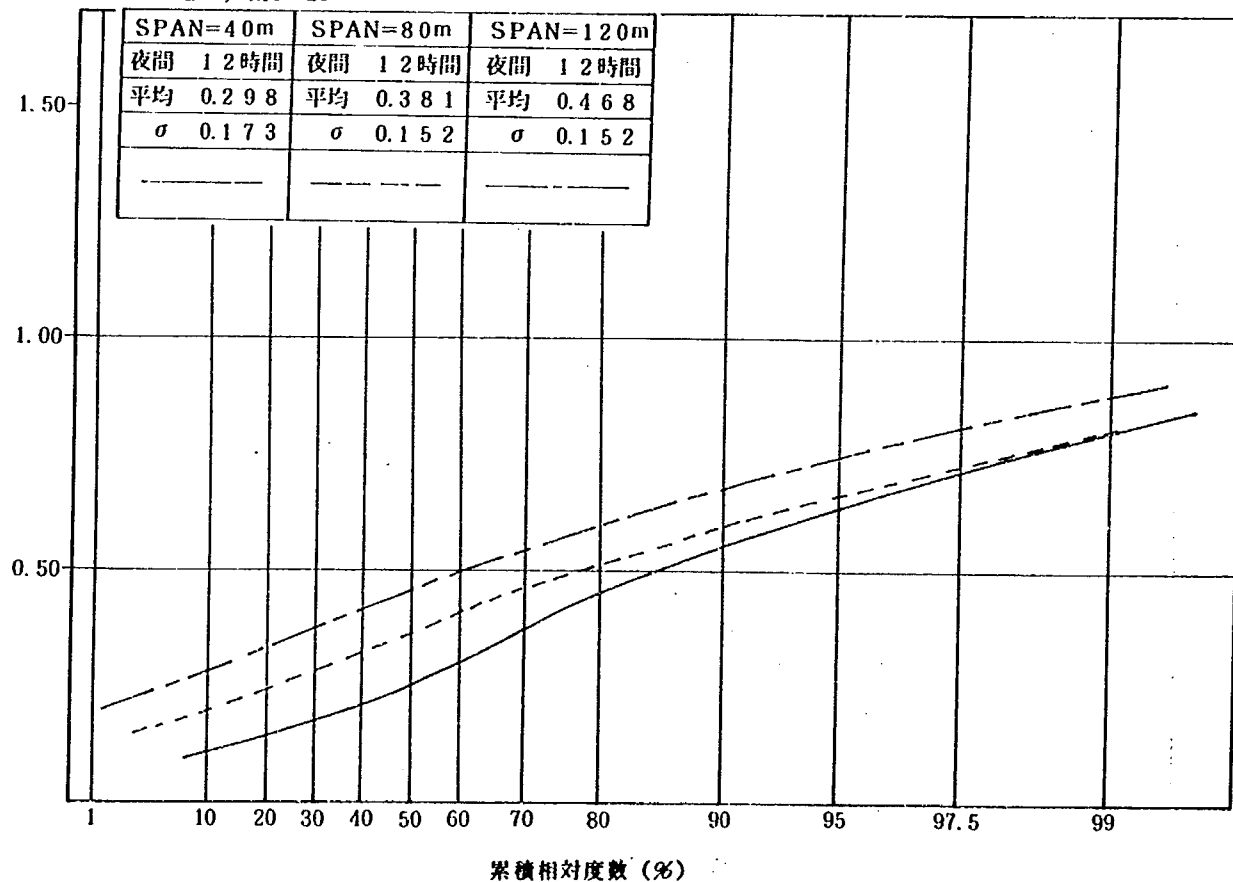


図-L-7-(6) L荷重のシミュレーション (極値確率紙, 6号, CASE-1)

Mシミュレーション/M_L-20

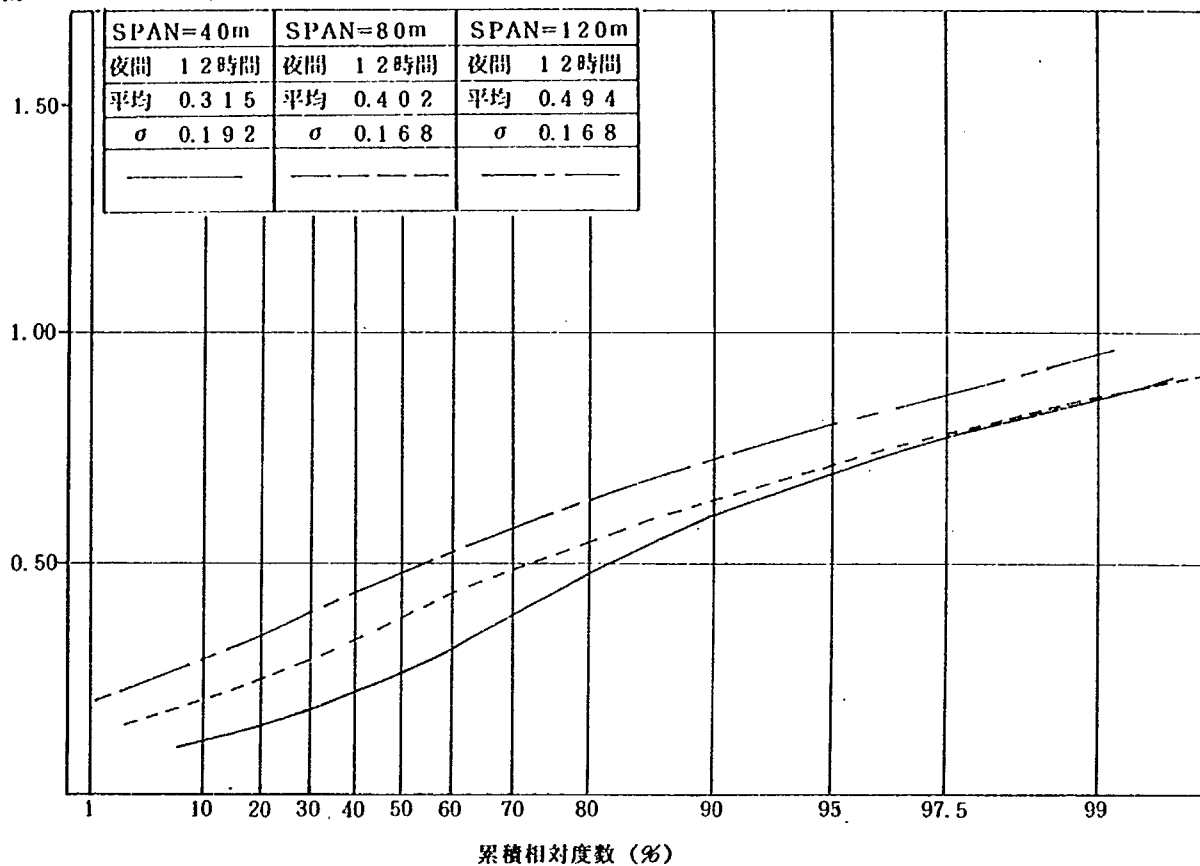


図-L-7-(7) L荷重のシミュレーション (極値確率紙, 6号, CASE-2)

Mシミュレーション/M_L-20

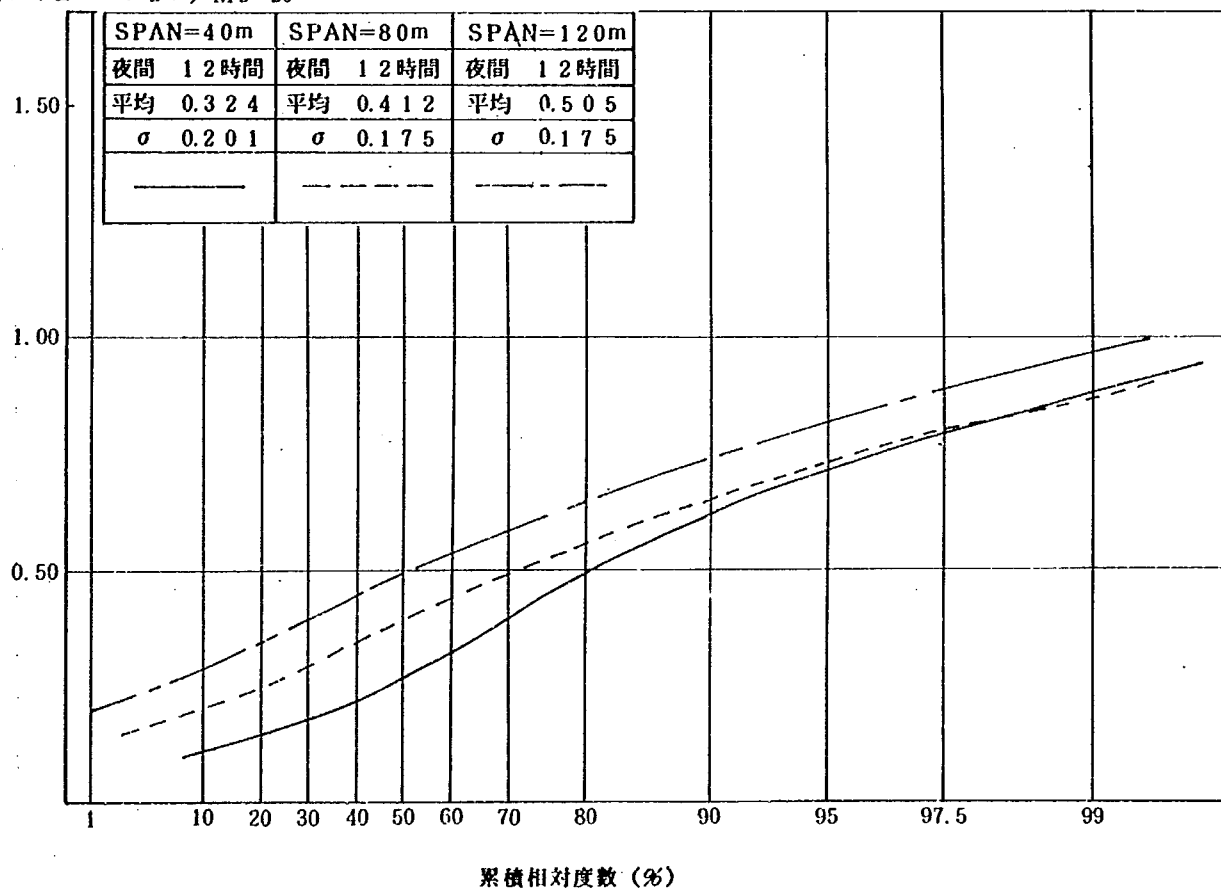


図-L-7-(8) L荷重のシミュレーション (極値確率紙, 6号, CASE-3)

Mシミュレーション/M_L-20

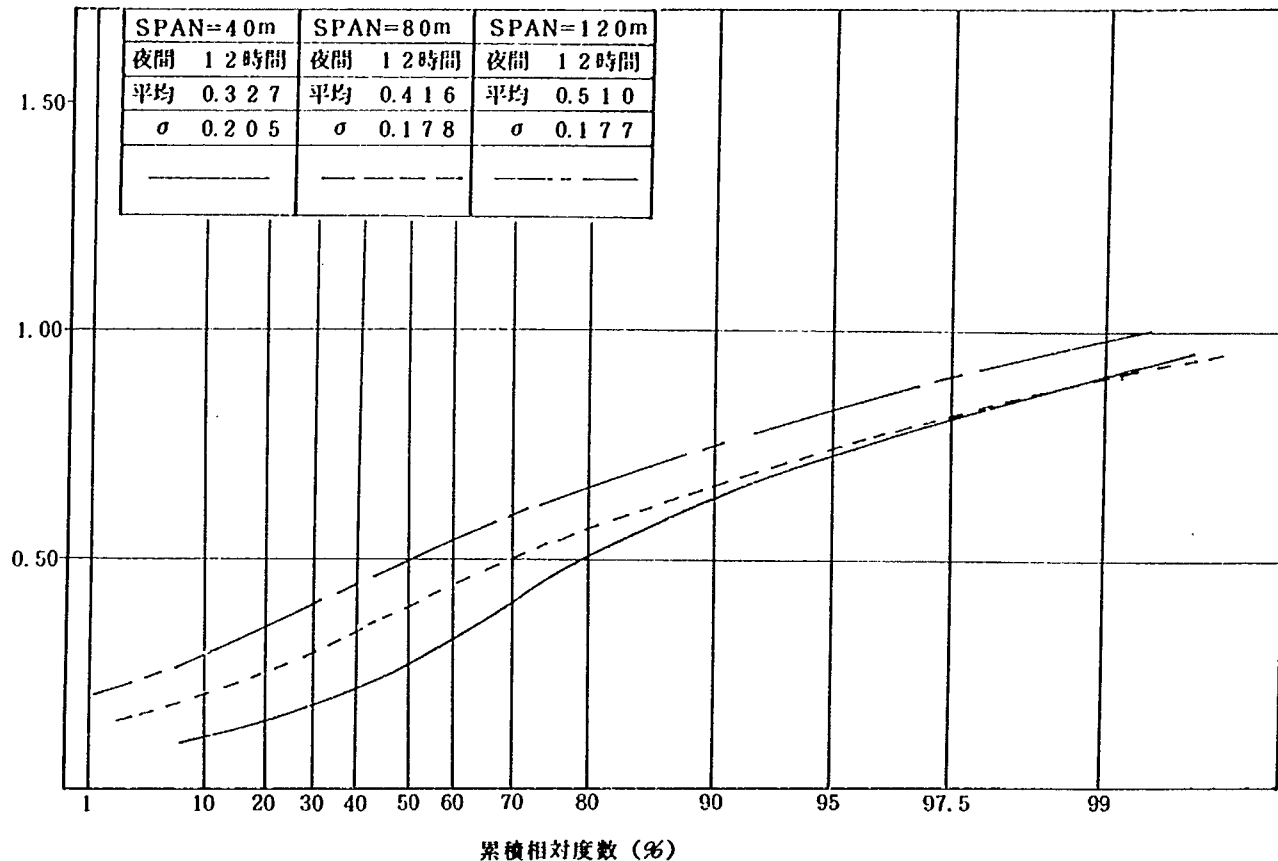


図-L-7-(9) L荷重のシミュレーション (極値確率紙, 6号, CASE-4)

Mシミュレーション/M_L-20

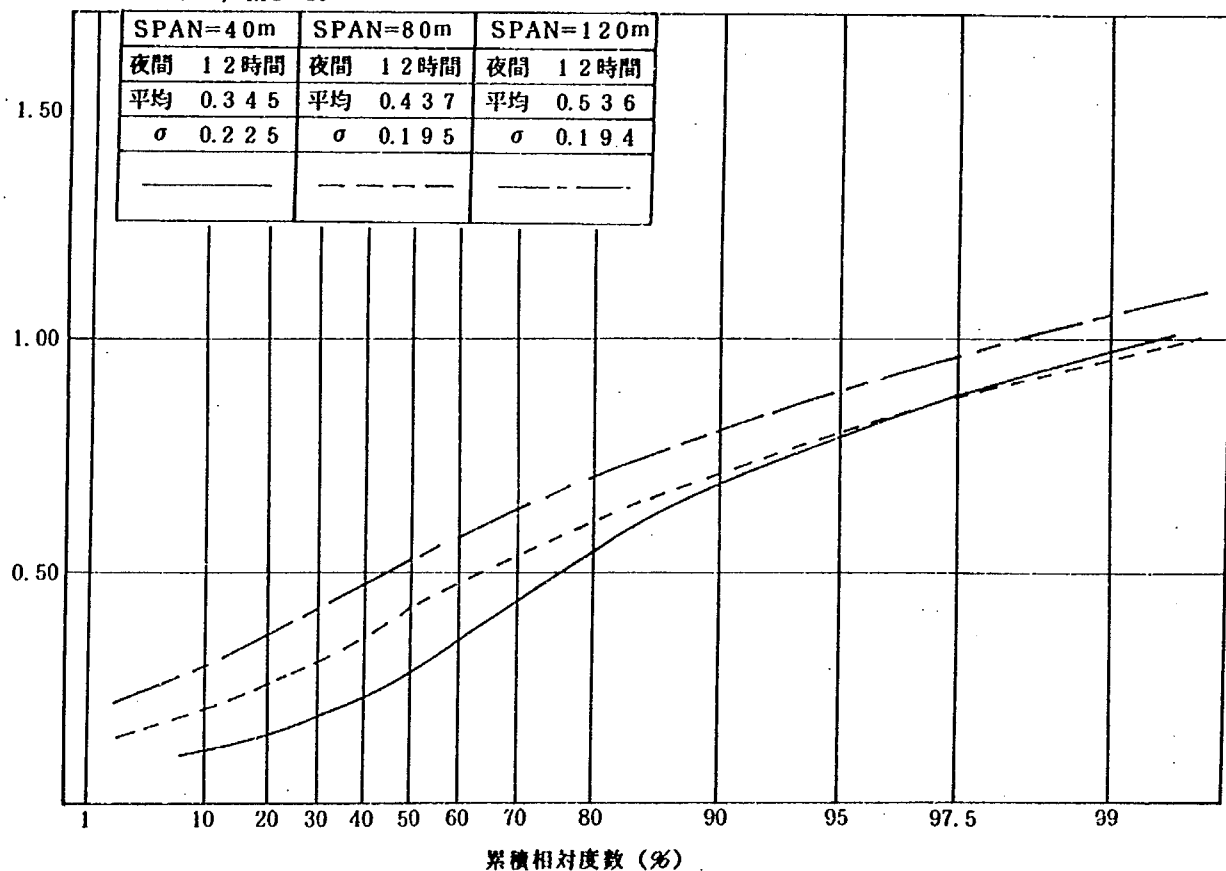


図-L-7-(10) L荷重のシミュレーション (極値確率紙, 6号, CASE-5)

Mシミュレーション/M_L-20

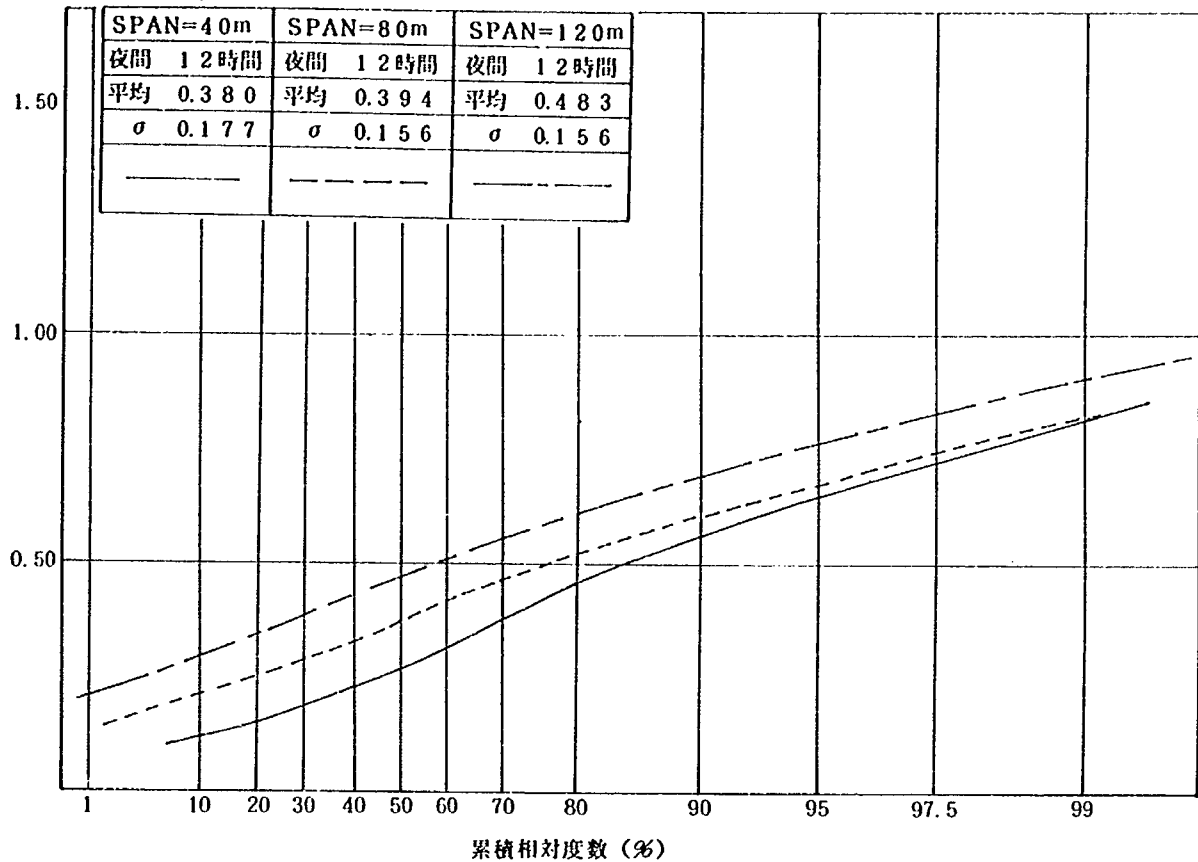


図-L-7-(1) L荷重のシミュレーション (極値確率紙, 4号, CASE-1)

Mシミュレーション/M_L-20

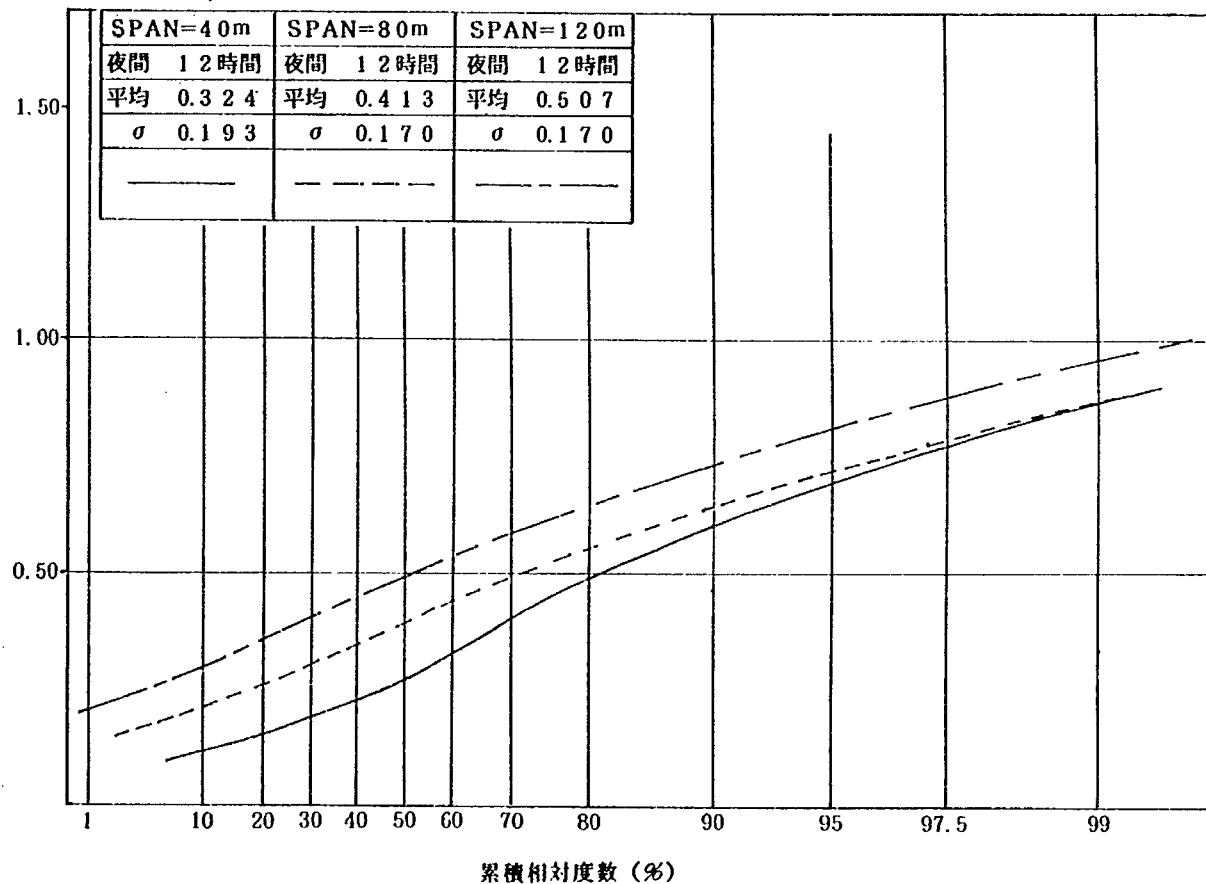


図-L-7-(2) L荷重のシミュレーション (極値確率紙, 4号, CASE-2)

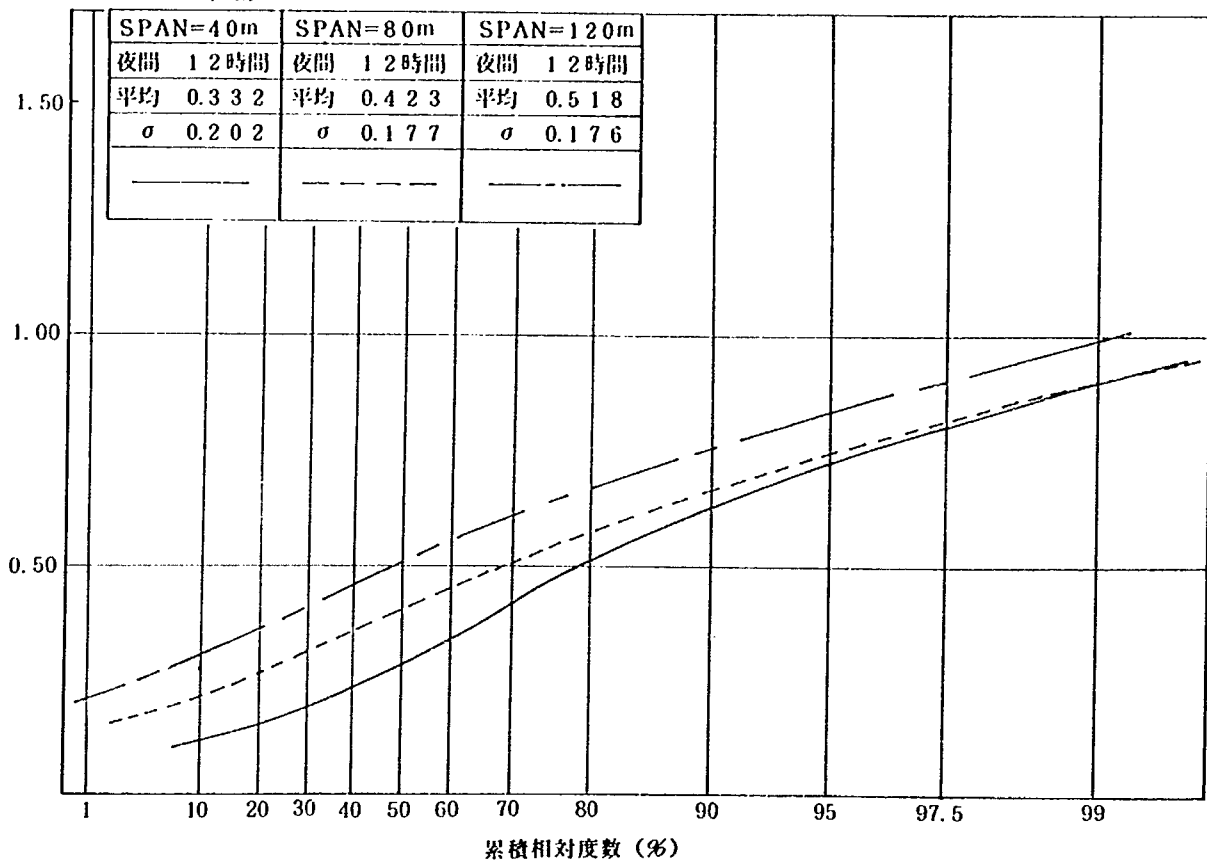


図-L-7-(13) L荷重のシミュレーション (極値確率紙, 4号, CASE-3)

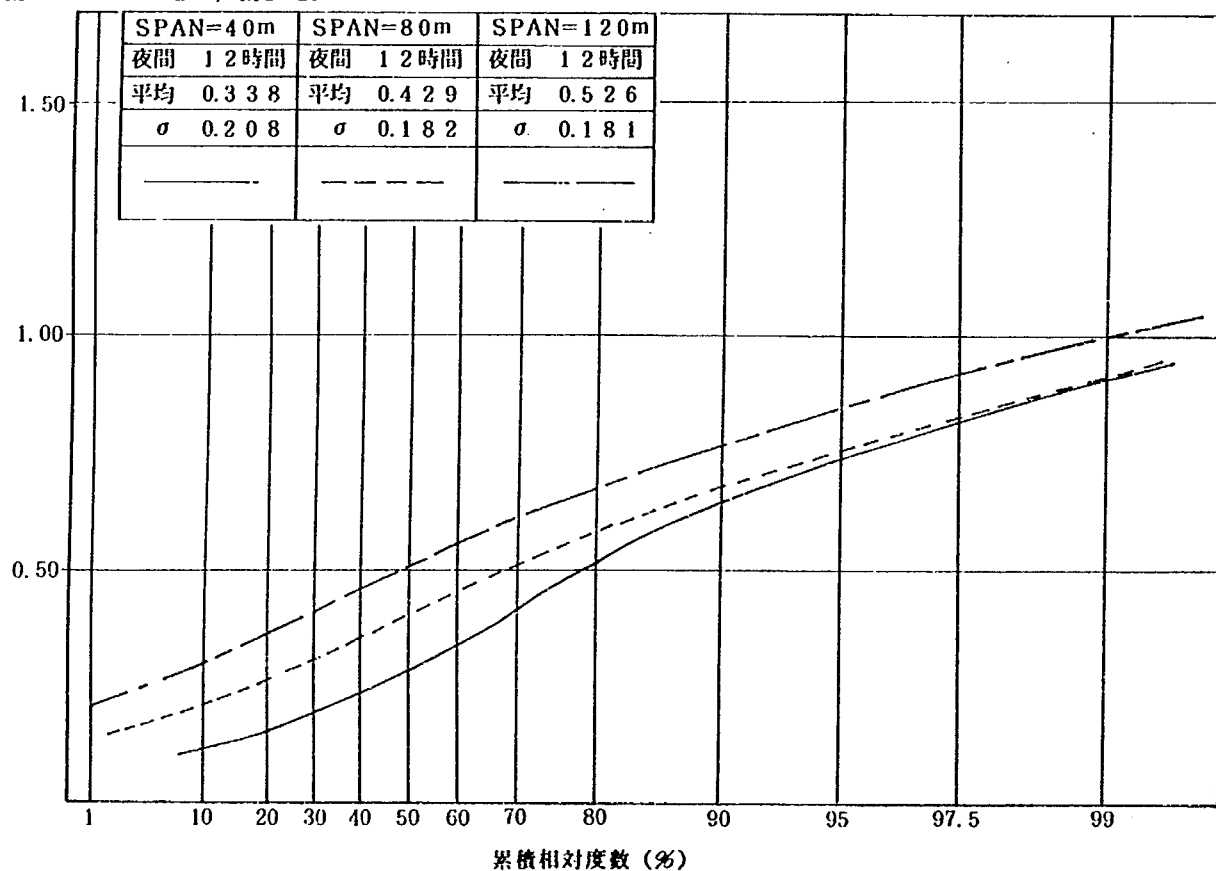


図-L-7-(14) L荷重のシミュレーション (極値確率紙, 4号, CASE-4)

Mシミュレーション／M_L-20

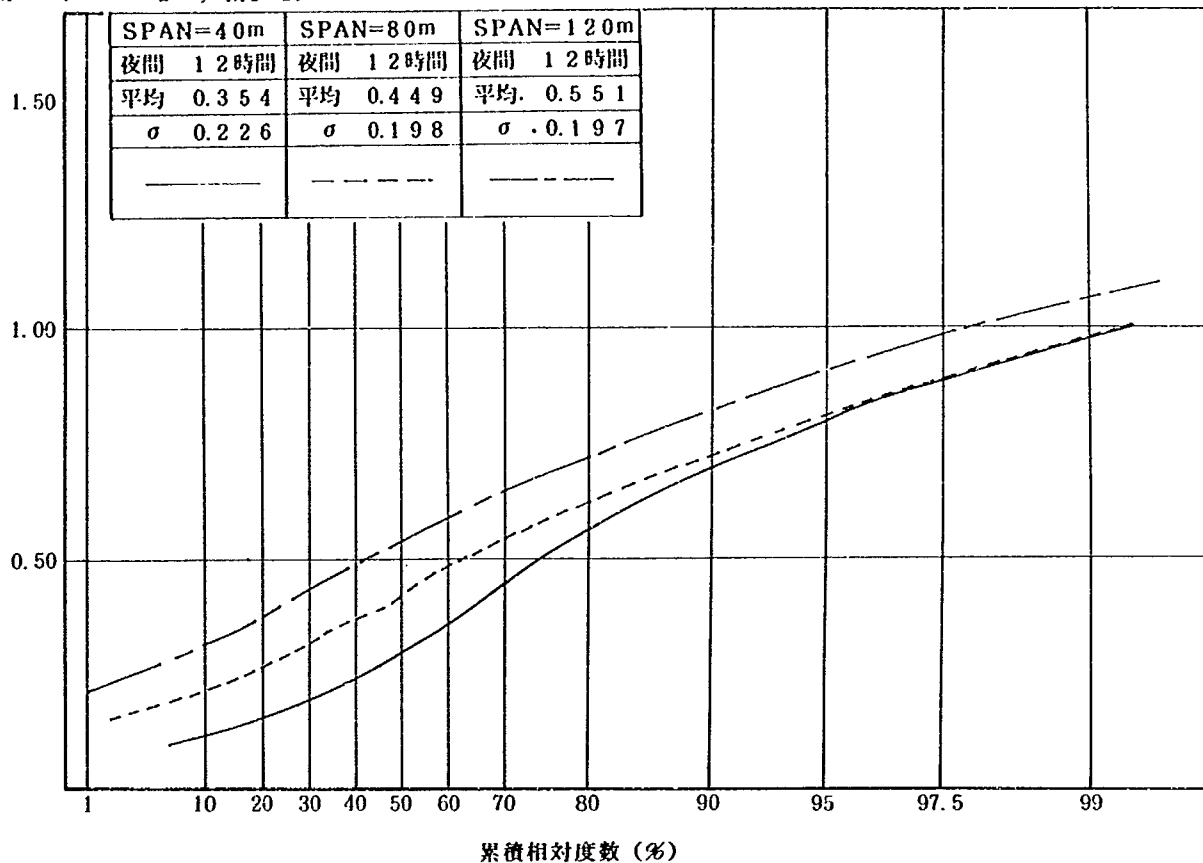


図-L-7-15 L荷重のシミュレーション (極値確率紙, 4号, CASE-5)

Mシミュレーション／M_L-20

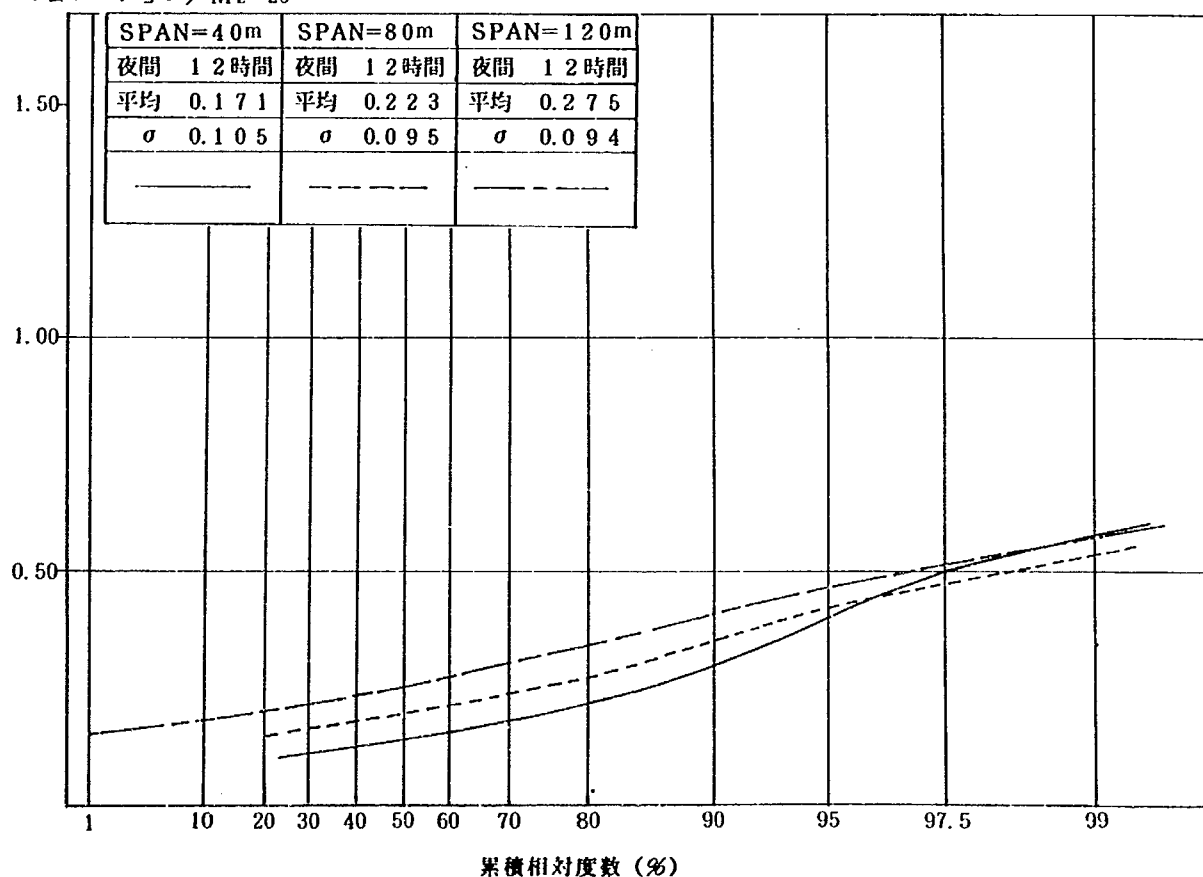


図-L-7-16 L荷重のシミュレーション (極値確率紙, 254号, CASE-1)

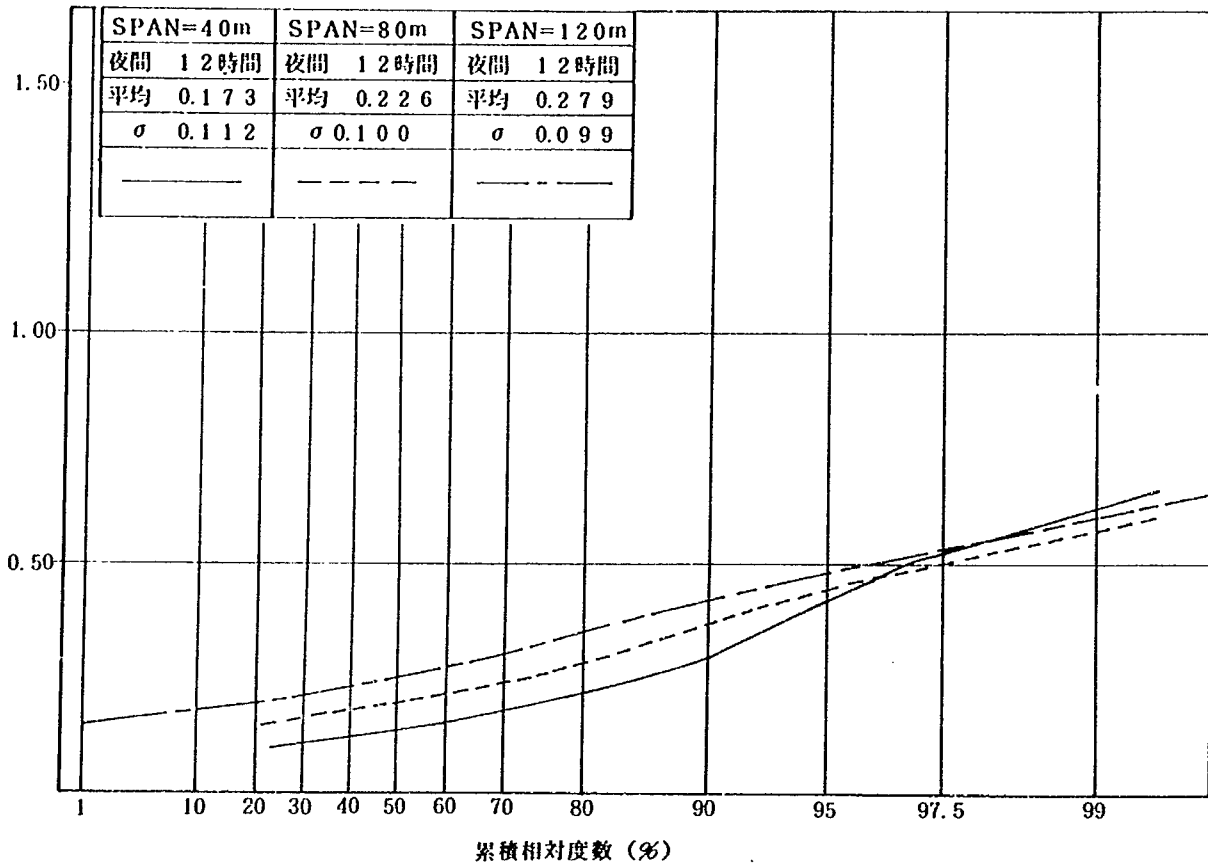


図-L-7-(17) L荷重のシミュレーション (極値確率紙, 245号, CASE-2)

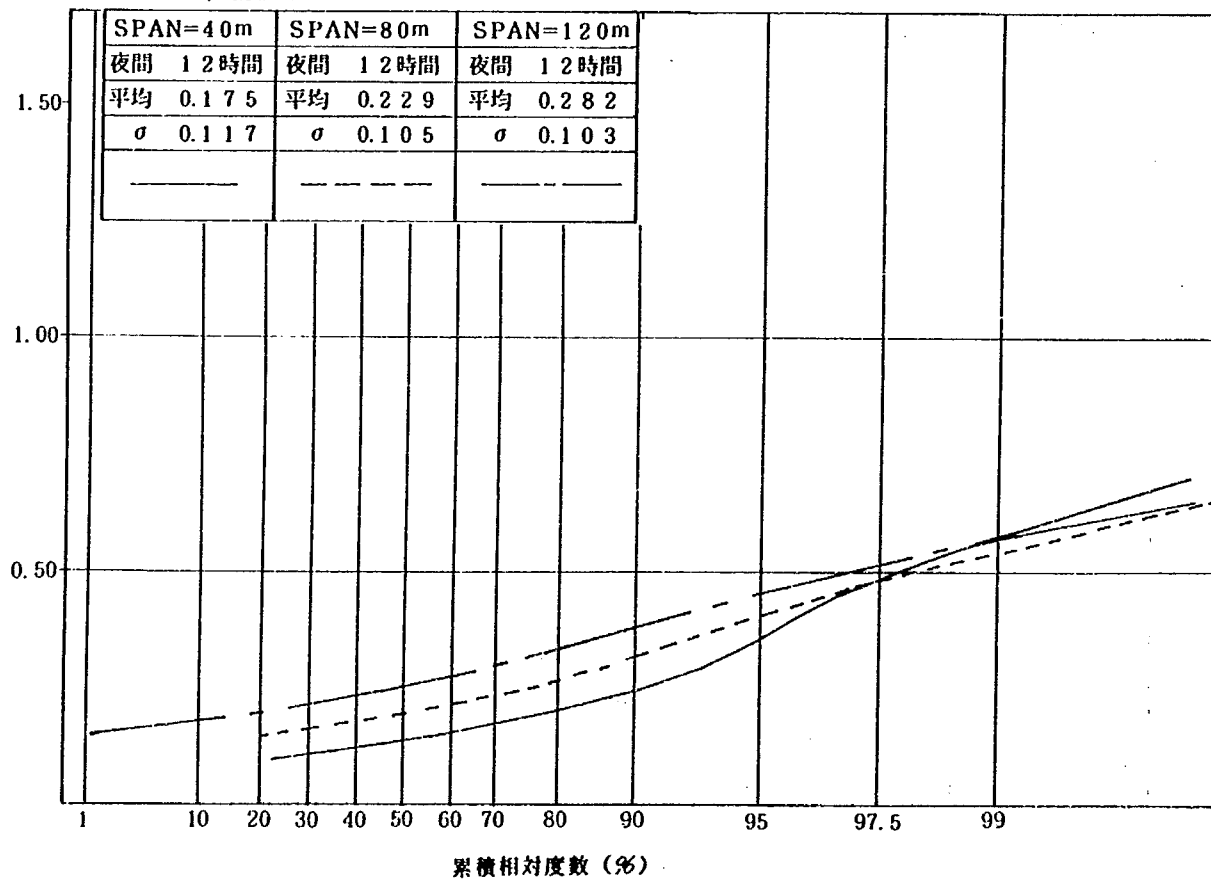


図-L-7-(18) L荷重のシミュレーション (極値確率紙, 254号, CASE-3)

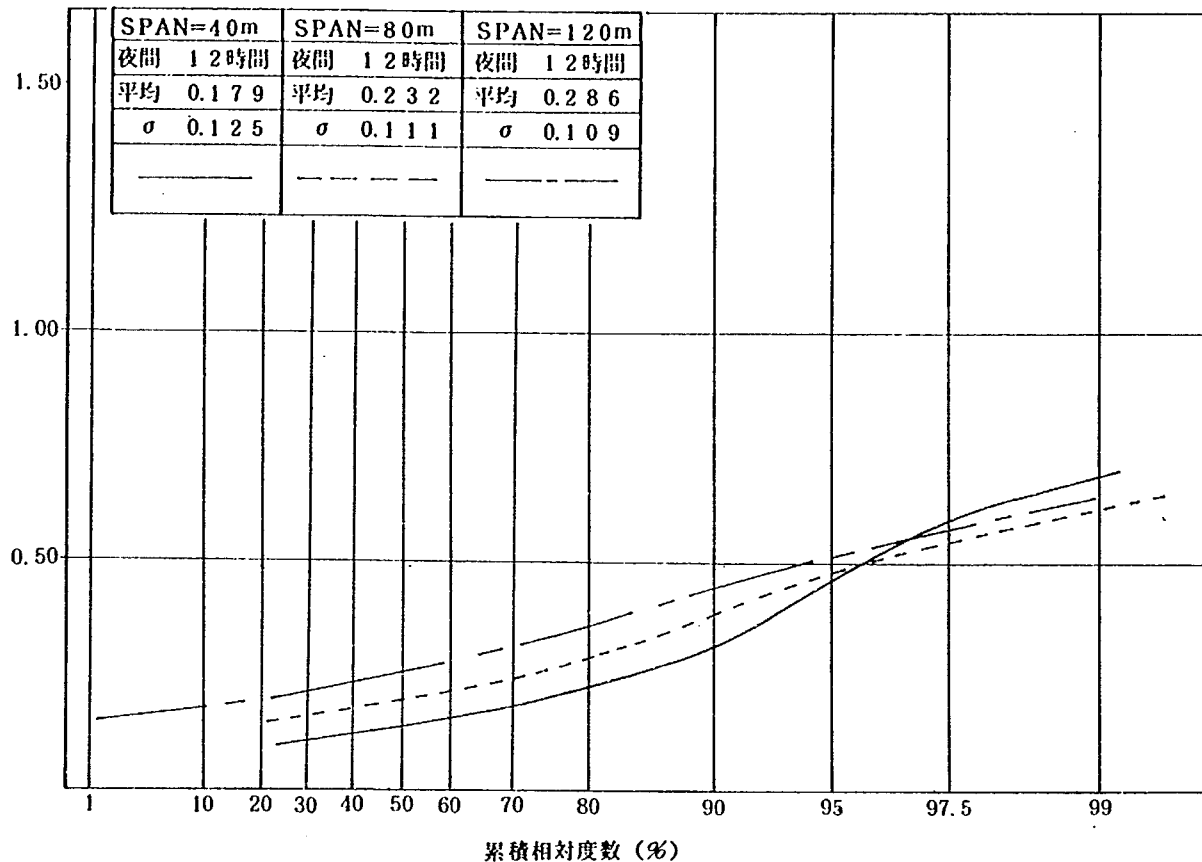


図-L-7-19 L荷重のシミュレーション (極値確率紙, 254号, CASE-4)

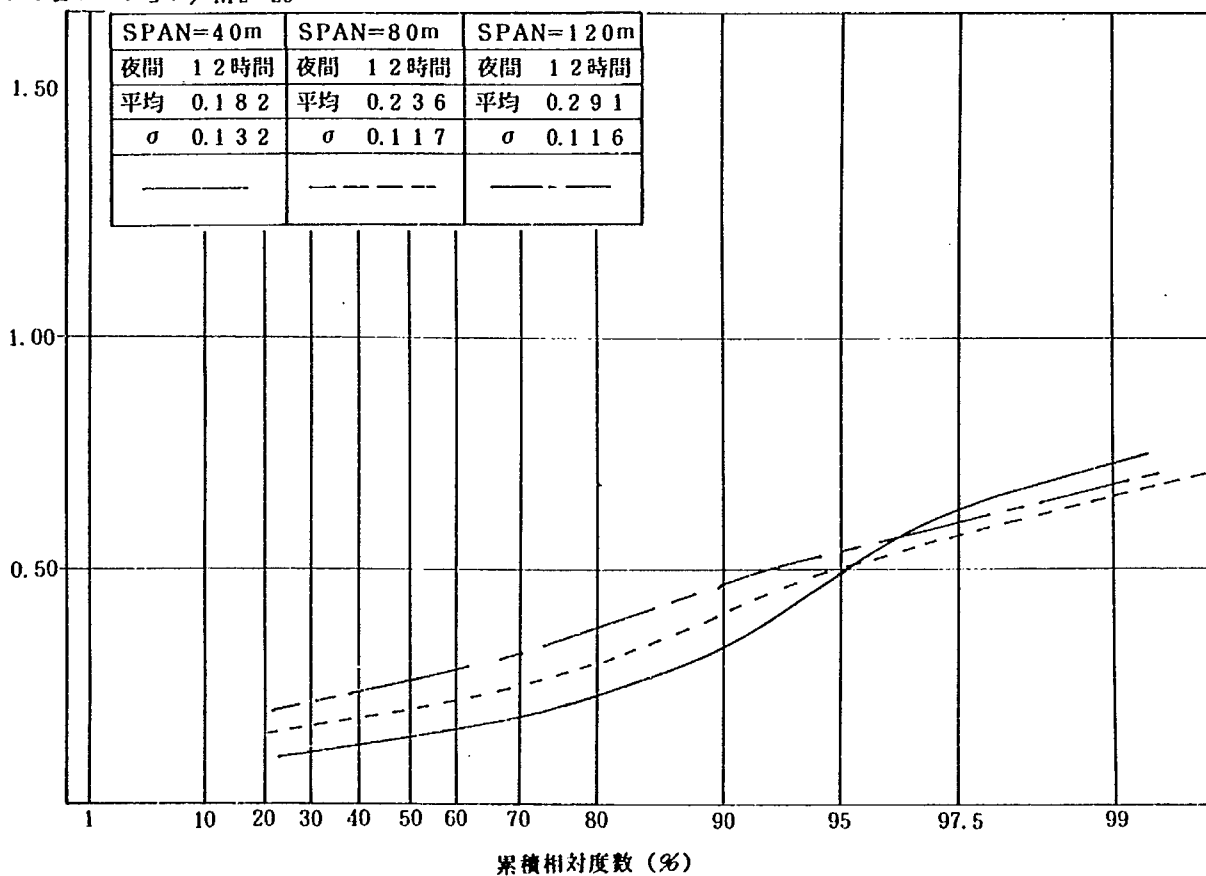


図-L-7-20 L荷重のシミュレーション (極値確率紙, 254号, CASE-5)

(4) 終局荷重，使用荷重に関する考察

1) 終局荷重

上記により終局荷重を求めた結果を，表-L-6および図-L-8-(1)~(4)に示す。なお，これらは再現期間50年に対応する値である。これらにおいては，1日夜間12時間に生じる渋滞回数を仮定しているが，実際に生じる渋滞回数はスパン，周囲の状況により異なることに注意する必要がある。

図-L-8に示したように，大型車混入率の大きい国道4号，6号，246号での終局荷重は，渋滞回数の仮定にもよるが，基本ケースであるCASE-1に対してL-20の1.5~2.2程度であり，50年の再現期待値を考えるとあまり大きな値ではない。また，大型車混入率の小さい国道254号では，50年再現期待値を考えても，終局荷重はL-20の最大1.3倍程度であり，設計荷重としてのL-20はこれらの路線に対しては十分妥当なものであると言える。

一方，CASE-2~CASE-5については，CASE-1と比べて終局荷重がL-20の0.2倍~0.5倍程度増加する傾向があり，特に，大型車の多い国道ではきびしい影響を与えることになる。したがって，車両の大型化については，橋梁の安全性に関して十分慎重な検討を行う必要がある。

2) 使用荷重

使用荷重については，限界状態の考え方が確立されていないため，定量的な議論を行うことはできない。しかしながら，図-L-7に示すように，通常の状態において，主げたの曲げモーメントがL-20による曲げモーメントを超過することはきわめてまれであり，L-20を使用荷重の1つの目安と考えることはできる。

L-20に対する比

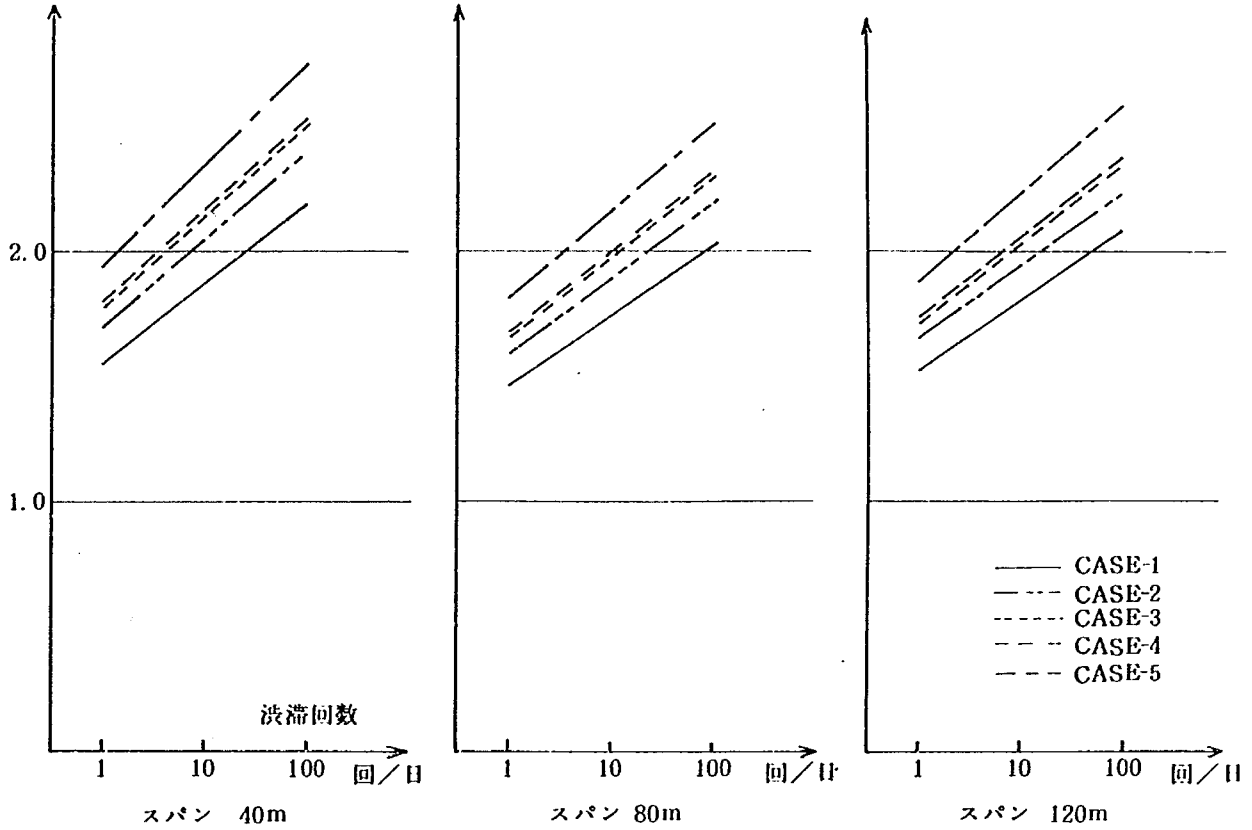


図-L-8-(1) 国道246号での終局荷重

L-20に対する比

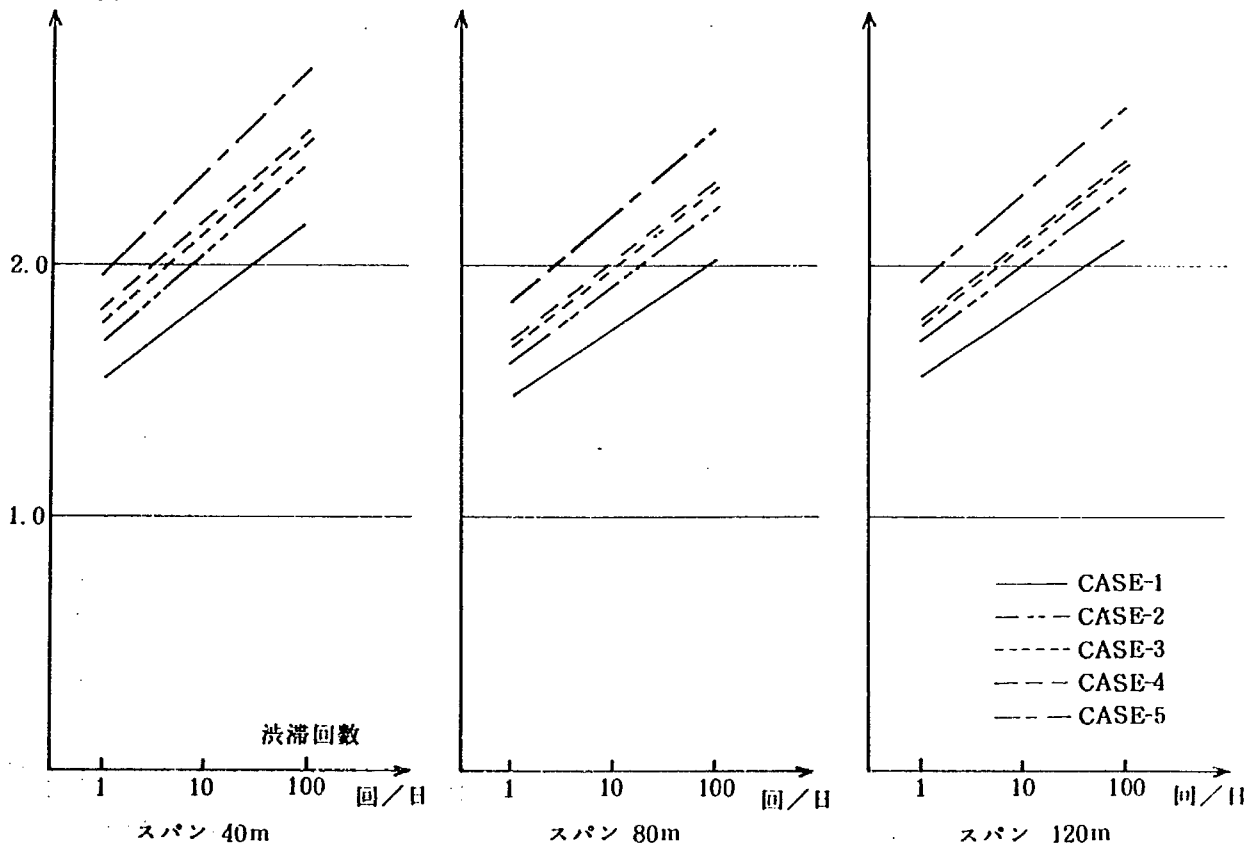


図-L-8-(2) 国道6号での終局荷重

L-20に対する比

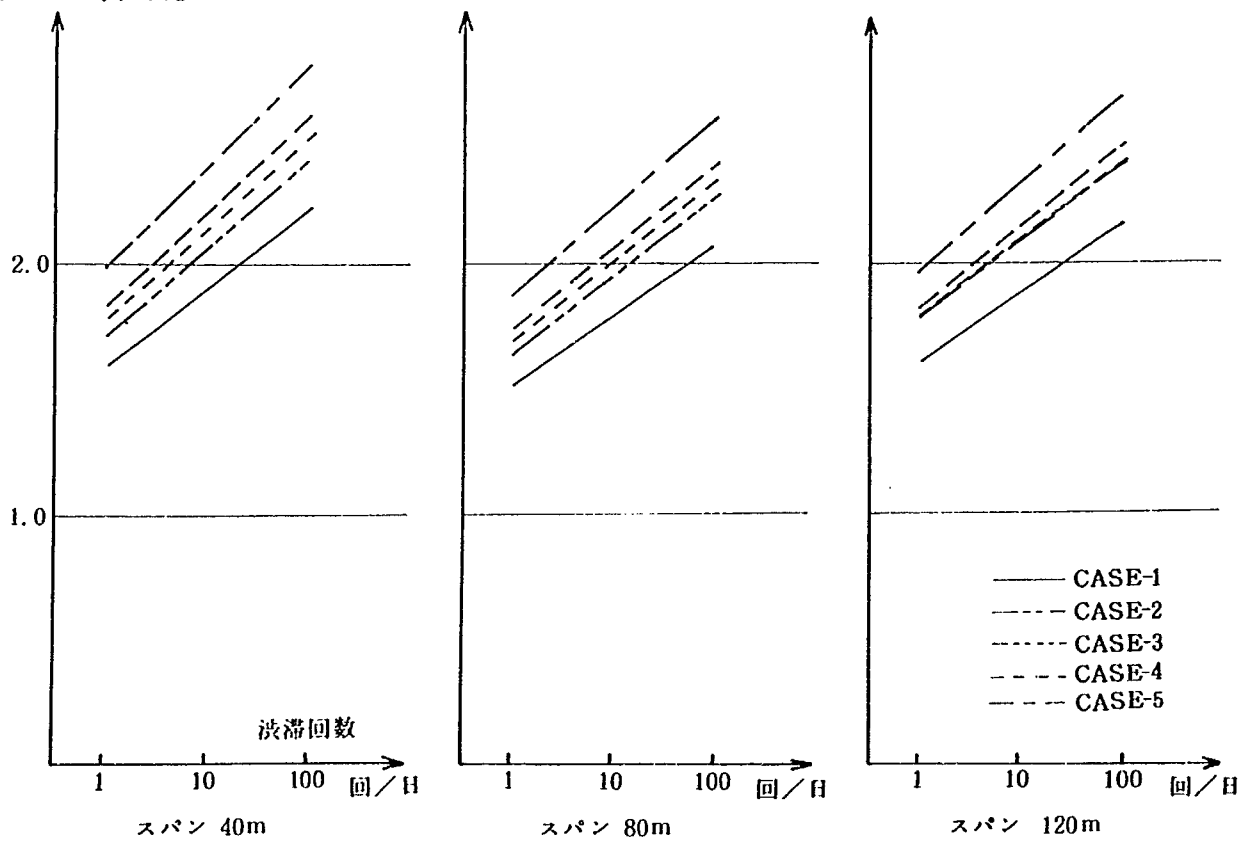


図-L-8-(3) 国道4号での終局荷重

L-20に対する比

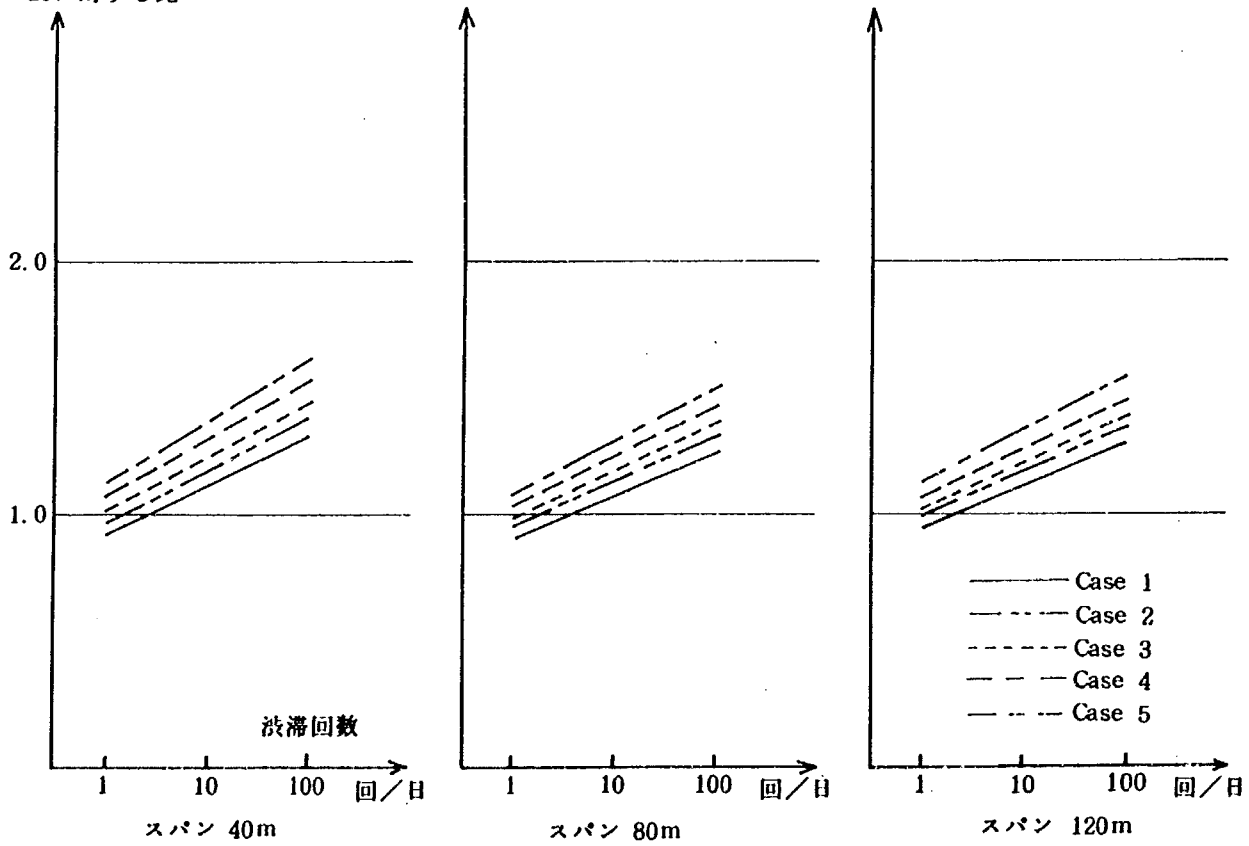


図-L-8-(4) 国道254号での終局荷重

表-L-6 終 局 荷 重

CASE	スパン (m)	波帯回数(回/円)	国 道246 号	国道 6 号	国道 4 号	国道 254号
1	40	1	1555	1544	1654	0.927
		10	1876	1854	1972	1.116
		100	2198	2165	2290	1.304
	80	1	1464	1475	1517	0.907
		10	1744	1748	1797	1.078
		100	2024	2021	2077	1.248
	120	1	1533	1562	1606	0.952
		10	1811	1835	1886	1.121
		100	2090	2108	2166	1.289
2	40	1	1692	1697	1714	0.979
		10	2044	2042	2060	1.181
		100	2396	2387	2407	1.382
	80	1	1591	1612	1637	0.946
		10	1898	1913	1942	1.126
		100	2205	2215	2248	1.305
	120	1	1657	1704	1794	0.992
		10	1960	2005	2099	1.170
		100	2264	2307	2405	1.347
3	40	1	1773	1772	1786	1.017
		10	2143	2133	2149	1.227
		100	2513	2493	2512	1.437
	80	1	1657	1672	1697	0.985
		10	1979	1986	2015	1.174
		100	2300	2300	2333	1.362
	120	1	1718	1765	1785	1.024
		10	2034	2079	2101	1.209
		100	2350	2393	2417	1.394
4	40	1	1791	1803	1836	1.079
		10	2164	2171	2209	1.303
		100	2538	2539	2583	1.528
	80	1	1675	1698	1739	1.031
		10	2000	2017	2066	1.231
		100	2325	2337	2393	1.430
	120	1	1744	1784	1829	1.067
		10	2065	2102	2154	1.263
		100	2387	2420	2479	1.458
5	40	1	1942	1965	1981	1.132
		10	2350	2369	2387	1.369
		100	2758	2773	2793	1.606
	80	1	1809	1841	1875	1.078
		10	2163	2191	2230	1.288
		100	2517	2541	2586	1.499
	120	1	1882	1933	1969	1.126
		10	2232	2281	2323	1.334
		100	2582	2629	2677	1.543

4. 結 論

国道上での調査結果をもとに、橋梁活荷重の実態を、設計T荷重、L荷重との対比において検討した。主要な結論は次の通りである。

(1) T荷重に関しては、大型車両の100台に1台はT-20の1.5倍を超える曲げモーメントを、床版、縦げた等の部材に与える。また、1カ月期待値を考えると、T-20の2.5～3.0倍程度の曲げモーメントが作用している。このような状態は、従来からも経験的には知られていることであり、橋梁設計では、T荷重で設計される部材の安全率を経験的に大きくとっている。しかしながら、設計車両よりはるかに大きな車両が通行することは異常であり、設計体系をゆがめ、また部材の安全性の一貫性を欠く原因にもなる。このようなことから、車両の現状以上の重量化はとうてい許容しがたいと判断されるし、また、タンデム軸重の規制等を行うことも急務であると考えられる。

(2) L荷重に関しては、1車線の完全渋滞を考えると、L-20を超える曲げモーメントが主げたに作用することはきわめてまれである。また、50年期待値を考えると、主げたに作用する曲げモーメントは、安全側に推定してもL-20は、T-20に比べて実態に近いものである。特に、大型車混入率が小さい場合は、L-20は、設計荷重として十分妥当である。

一方、車両の総重量については、特殊車両の通行許可限度算定要領に示されるように、車両長の大きい車両については総重量を大きくとれるという議論があり、事実、通行区分のA条件もそのように運用されている。しかし、3章に示したように、A条件を満たす車両があっても、これらが連行して通行する状態まで考えた解析を行うと、主げたには現状より大きな断面力を与えることになる。このため、車両の大型化を一般的に認める場合は、これらの車両が連行して走行することの影響がL荷重についても生じることに留意すべきであり、いずれかにせよ慎重な検討が必要である。

(3) 以上の解析にはいくつかの仮定が含まれている。また、現在の示方書に規定される許容応力度等には、永年の経験にもとづいて、荷重に対する余裕等の多くの安全率が考慮されている。したがって、本報告の結論のみをもって、現行示方書の安全率を定めることはできない。このためには、限界状態の分析を含めた総合的な検討が必要である。

参 考 文 献

- 1) 日本道路協会；道路橋示方書・同解説，55年2月
- 2) 日本道路交通情報センター；車両制限実務の手引，54年1月
- 3) 車両制限令，36年7月，政令第265号
- 4) 高速道路調査会；大型車両の限界に関する研究報告書，48年10月
- 5) 金井 他；橋梁の応力頻度と疲労設計法に関する一提案，土木技術資料22-3
- 6) A. H. - S. Ang；Strctural Reliability and Probability- Based Design，Japan Society for the Promotion of Science，June 1976
- 7) 金属材料技術研究所；疲れデータシート，54年1月
- 8) 国広 他；設計活荷重に関する研究，土木研究所資料 第701号
- 9) 金井 他；橋梁活荷重の実態と設計安全率，土木研究所資料 第1534号

建設省土木研究所橋梁研究室
金井 道夫, 佐藤 和徳

キーワード: 活荷重, 信頼性, シミュレーション

要 旨

橋梁の設計活荷重の信頼性について, 活荷重の実態調査結果および電子計算機によるシミュレーションにより検討した結果をとりまとめたものである。

