ゴムタイヤ式輪荷重走行疲労試験機による RC 床版のはり幅の検討

Examination of girder width of RC slab in rubber tire type wheel running fatigue testing

関口幹夫^{*1},長屋優子^{*2},横山広^{*3},大西弘志^{*4},上條崇^{*5},堀川都志雄^{*6} Sekiguchi Mikio, Nagaya Yuko, Yokoyama Hiroshi, Onishi Hiroshi, Kamijo Takashi, Horikawa Toshio

*1 東京都土木技術センター 技術支援課(〒136-0075 東京都江東区新砂1-9-15)
 *2 独立行政法人土木研究所 技術推進本部(〒305-8516 つくば市南原1-6)
 *3 ショーボンド建設(株) 中部支社(〒920-0362 石川県金沢市古府1-140)
 *4 大阪大学大学院 工学研究科(〒565-0871 大阪府吹田市山田丘2-1)
 *5 住友金属工業(株) 土木橋梁部(〒541-0041 大阪市中央区北浜4-5-33)
 *6 大阪工業大学 都市デザイン工学科(〒535-8585 大阪市旭区大宮5-16-1)

In evaluation of durability with the results of wheel running fatigue testing for RC slabs of highway bridges, a method based on punching shear resistance with P_{sx} , proposed by Matsui is often utilized. In this method, the girder width (B) of RC slab, made as some girders by penetrated cracks caused to main reinforcement direction, is calculated with the relation between lengths of loading pad to distributing reinforcement direction (running direction) and thickness of slab.

In this paper, to aim at the actual measured data of penetrated cracks interval, it is studied what the deference of loading and supporting condition among testing machines, and characteristics of slabs is associated with that data, with principal component analysis and so on, As the result, a unified S-N curve with revised P_{sx} was proposed, based on penetrated cracks interval not to be affected by deference among testing machines and supporting condition so much.

Key words: wheel running fatigue testing, girder width, punching shear resistance, penetrated cracks interval, S-N curve キーワード:輪荷重走行疲労試験装置,はり幅,押抜きせん断耐力,貫通ひび割れ間隔,S-N 線図

1. はじめに

実物大 RC 床版試験体の輪荷重走行疲労試験装置は,

クランク式のゴムタイヤ載荷方式も存在するが、クラン ク式の鉄輪載荷ブロック方式(以下,鉄輪式)と自走式 のゴムタイヤ載荷方式(以下,ゴムタイヤ式)に大別さ れる.過去の実績は、走行スピードの速い鉄輪式が多く、 代表的なS-N線図は、大阪大学¹⁾(以下,阪大)と(独) 土木研究所²⁾(以下,土研)によって提案されている.し かし松井¹⁾の P_{ss} を使用した押抜きせん断耐力によるS-N式の評価では、両者は一致しない.その理由として試 験装置のタイプは同じでも、試験体の大きさや床版支間 の違い、載荷板(載荷ブロック又はタイヤ接地)寸法の 違いなどが影響しているものと考えられている.

一方、ゴムタイヤ式は、走行スピードが遅く、鉄輪式 ほど荷重を大きくできない、試験に時間が掛かるなどの 制約から実績は少ない. S-N 式の提案は、試験装置が 同一のショーボンド建設(以下、ショーボンド)と東京 都の試験装置によるデータを合せた横山³らによるもの が唯一である. この S-N 式も鉄輪式の阪大と土研の S -N 式のいずれとも一致しないことが判っている.

P_{sx}を使用した評価では、主鉄筋方向(本論文では、橋 軸直角方向)に発生する貫通ひび割れによりはり状化し たはり幅 B を鉄輪式の載荷ブロックの配力筋方向の幅 b と床版厚の関係より算定する.

本研究では、 P_{sx} による評価において重要な要素である はり幅Bに相当する貫通ひび割れ間隔を床版上面に実際 に発生した主鉄筋方向ひび割れから推定するとともに、 主成分分析および重回帰分析⁴⁰を行い、試験装置の違い や支持条件の相違が貫通ひび割れ間隔とどのような関連 性を持っているかについて検討する.次に、支持条件が 他の試験装置と大きく異なるゴムタイヤ式の東京都の P_{sx} の評価において、貫通ひび割れ間隔の実態を考慮した はり幅 B の算定に基づく修正 S-N 式を検討する.

2. 試験体のサンプル

検討の対象試験体は、過去に発表された文献 2).3).5).7).8)

荷機 方間	1 1		試験体 試験体	武殿141 1 広	床版厦	主鉄筋		配力鉄筋			コンクリ	載荷ブロック・		走行	走行回数		文	
	i A	€ 試験		床版支間方向 > 橋軸支向	支間万回			圧縮側(引張側)		-	ート強度	タイヤ接地可法		荷重		P/P_{sx}	献
式员	N	0.		(mm)	呼び径	有効高 (mm)	間隔 (mm)	呼び径	有効高 (mm)	間隔 (mm)	f'c (N/mm ²)	a (mm)	b (mm)	P(kN)	N(回)		留号	
	1	S39-1	6-20		167.0	D16(D16)	65 (132)	300(150)	D13 (D13)	70(107)	300(300)	33.9			157	3,020	0.590	
	2	S39-1	6-30	ľ	173.0	D16(D16)	45 (143)	300(150)	D13 (D13)	65(118)	300(300)	39.5			157	5,000	0.565	-
	3	B H08-2	8-20-20	205.0	D16(D16)	75 (170)	200(100)	D16 (D16)	100 (155)	300(150)	33.6			157	390,000	0.376	\mathcal{O}	
	4	H08-2	0-30	2020 × 4500	202.0	D16(D16)	D16 (D16) 65 (172) 2	200(100)	D16 (D16)	85(142)	300(150)	36.3			157	1,449,000	0.410	
+	. 1	3 S39-1	S39-19-20 支閉2500	支間2500	188.5	D16(D16)	63 (157)	125(125)	D10 (D13)	91(143)	300(300)	52.5			157	592,208	0.471	
果	1	4 S39-1	9-30	2辺単純支持	188.0	D16(D16)	34 (159)	125(125)	D10 (D13)	54(145)	300(300)	47.8	220	200	157	592,008	0.487	
「「「「「「」」「「」」「「」」「「」」」「「」」」「「」」」」「「」」」」「」」」」	1	8 S39-1	9-30	1辺弾性支持	190.4	D16(D17)	34 (159)	125(125)	D10 (D13)	54(145)	300(300)	43.1	230	390	157	600,000	0.475	8)
<u>⊐</u> ́	1	9 S47-1	8-20	(横桁)	177.5	D19(D19)	41 (137)	240(120)	D19 (D19)	61(120)	300(300)	31.4			157	102,531	0.549	
4	2	0 S47-1	8-30	1辺日田 端	180.0	D19(D19)	46 (138)	240(120)	D19 (D19)	71(119)	300(300)	40.1			157	849,529	0.513	
1	2	5 S47-2	S47-20-20		200.5	D19(D19)	40 (160)	250(125)	D16 (D16)	59(148)	200(100)	26.2			157	322,764	0.477	_
t	2	6 S47-2	0-30	-	201.2	D19(D19)	42 (161)	250(125)	D16 (D16)	59(146)	200(100)	33.1			157	904, 198	0.451	
式	2	9 共通調	試験		196.5	D16(D16)	41.4(158)	300(150)	D10 (D13)	43 (143. 1)	300(300)	34.3			157	225, 161	0.462	5)
シ	1	S-39-	19 - 1		190.0		30 (150)			43(146)	300(300)	37.1	346	404	220	562,315	0.443	
E 1	2	S-39-	19-2	0000110-00	190.0							40.1	362	428	250	85, 157	0.483	
75	3	S-39-	S-39-19-3	2800×3500 支閉2500	190.0		00 (100)					45.1	362	428	250	28, 900	0.480	3)
	4	S-39-19-4	19 - 4	2辺単純支持	190.0	D16(D16)		300(150)	D10 (D13)			45.1	378	451	280	26,600	0.521	
F	5	5 S-39-	16-1	2辺弾性支持 160.0	160.0	30 (130)						37.1	346	404	220	26, 798	0.529	
建	6	5 S-39-	16-2		160. 0 160. 0		30 (130)			43(116)		42.3	362	428	250	7,934	0.570	4
設	5 7	7 S-39-	16 - 3									30.3	315	347	160	329,802	0.441	
	1	RC39	9-1									26.9			157	27, 392	0.488	
	2	RC39	9-2					300(150)	D10 (D13)			28.6			176	59,078	0.538	2)
	. 3	8 RC39	9-3									13.6		200	105	1,423,112	0.413	
独	4	RC39	9-4									29.7			196	881	0.594	
+	5	RC39	9-5	190. 0	190.0	D16(D16)	30 (157)			43(143)	300(300)	31.1			167	45,034	0.501	
市	6	6 RC39	9-6	之間2500 支間2500								28.4	500		147	130,828	0.450	
研	: 7	RC39	9-7	2辺単純支持								25.4			152	272, 329	0.480	
鉄究	8	8 RC39	9-8	2辺弾性支持								27.1			118	2,750,073	0.366	
₩ 所 式	f g) RC39	9-9							()		26.6			157	224, 764	0.490	
~	1	0 RC47	(-1		200.0	D19(D19)	40 (160)	250(125)	D16 (D16)	58(142)	200(100)	29.9			210	148,927	0.593	
ļĻ	2	6 共通調	試験		194. 2		41.4 (158.0)			43 (143. 1)	ļ	30.7			157	1,342,300	0.438	
1	H	 土 共通語 	試験		193.6		44.4 (157.7)			43 (143. 6)	ļ	28.8	500	200	157	1,066,163	0.448	
Y	ВO	し 共通語	試験		196.5	D16(D16)	50.7 (158.6)	300(150)	D10 (D13)	43 (143. 3)	30.0 (300)	31.9	500	200	157	*3,250,000	0.427	5)
阪	大	A 共通詞	式験A	2200×3000 支間2000	193.8	D10(D10)	43.8 (154.3)	0.00(100)	DIO (DIO)	43 (139. 2)		34.3	300	120	157	40,000	0.517	7
阪	[大]	B 共通詞	弌験B	2辺単純支持 2辺弾性支持	198.0		52.2 (159.5)			43 (143.3)		34.3	300	120	140	626,000	0.445	

表-1 サンプル試験体の諸元と試験結果

から未補強の RC 床版かつ走行荷重が一定の条件下で破 壊した34体を抽出した.表-1にサンプル試験体の諸元 と試験結果(形状寸法,支持条件,配筋,コンクリート 圧縮強度,載荷板の寸法,載荷荷重,破壊時の走行回数, P/P_{ss}, 文献番号) を示す. ゴムタイヤ式は東京都 12 体と ショーボンド7体の計19体である.鉄輪式は土研の11 体のほか,共通試験 ^{5,6} の(株)IHI (石川島播磨重工) 1 体,(株)横河ブリッジ(以下,YBC)1体および阪大2 体の計 15 体である. なお, YBC 試験体は, 未破壊での 調査結果であるが破壊に近い状態であったと推察される ので検討の対象にした.

ヤ板)を挟んで荷重分散を良好にする方法が取られてい る. また, 載荷ブロックの接地形状は, 図-2 に示すよ うに異なる. 載荷ブロック寸法の幅 200 mm×長さ 500 mm は、道路橋示方書(以下、道示)の設計輪荷重寸法と一 致させたものである. 阪大は床版支間が 2m と狭いため 載荷面積をスケールダウンさせている. 一方, ゴムタイ ヤ式には、航空機用、トラック用ダブルタイヤ、ソリッ ドタイヤが採用されているが、ここで対象としている2 機種では航空機用ゴムタイヤである. ゴムタイヤ接地面 積は道示の設計輪荷重面積とほぼ一致する. 東京都の幅 は 390 mm長さが 340 mmであり、走行方向に縦長で幅と長 さの大小の関係が載荷ブロックと逆になっている.

試験体の支持条件を図-3 に示す.鉄輪式は、2 辺単

3. 試験装置の概要

試験装置の仕様を表 -2 に示す. 鉄輪式で は、載荷ブロックの形 状は図-1に示す4タ イプが存在する.載荷 ブロック上に鋼板を挟 む方法は共通であるが. 載荷ブロックと床版の 接触面には緩衝材のゴ ム板または合板(ベニ

表-2 試験装置の仕様

	設置機関	大阪大学	(独)土木 研究所	(株)横河ブリッ ジ(YBC)	(株) I H I	東京都	ショーボン ド建設(株)	
	駆動方式		クラン	/ ク式		自走式		
	最大荷重(kN)	294	490	196	490	2.	45	
	走行速度	1680往復/時	2000往復/時	1020往復/時	1800往復/時	350往	復/時	
性能	走行範囲(m)	2	3~1	2	3~1	6.5	12	
	試験体最大寸法 (m,幅×長さ)	2. 0×3.0	3.3×4.5	4.8×12.0	5.3×4.5	3.0×10.0	3.0×12.5	
***	車輪 (タイヤ型式)		鉄	航空機田ゴムタイヤ				
載何 方式	載荷ブロック型式	b	а	с	d	///1//1] -		
15 20	接地寸法(mm)	300×120	500×200	500×200	500×200	340×390	320×350	

注:載荷ブロック型式(a~d)は図-1参照,ゴムタイヤの接地寸法は荷重約160kN載荷時



なだらかな勾配をつける (b) 面取りブロックタイプ せん断キー

(d)2分割面取りブロックタイプ

図-1 載荷ブロックの形状 純支持2辺弾性支持方式である.ただし, 弾性支持の端桁の形状・剛度は統一されて いない. 一方, ゴムタイヤ式のショーボン ドは、走行長さが最大 12.5m も取れること から,2辺単純支持で複数の試験体を連続 的に配置して、2 辺弾性支持の横桁上をタ イヤが通過する載荷方式である. 東京都の 装置は、走行長さが最大6.5mと短いため、 2辺単純支持で試験体を2体並べ中央の横 桁で弾性支持してタイヤが通過する方式で ある. ただし、横桁は1本のため両端は自 由辺であり、自由辺側の 1m 手前までの走 行としている.

4. 下面のひび割れ発生状況

下面のひび割れの発生パターン,ひび割 れ進展状況は、同一仕様で同時製作した試 験体による共通試験 5の結果である図-4 では、走行範囲内の載荷直下は格子状ひび 割れ、周辺部は放射状であり、ゴムタイヤ

式(東京都)と鉄輪式(IHI, 土研)に大きな違いはない. 同様にひび割れ密度の進展状況も共通試験 5の図-5の 例では、ひび割れの発生初期は異なるものの、ひび割れ 密度の増加傾向は全般的に同程度であり、破壊時の最大



ゴムタイヤ式 (ショーボンド)

図-3 支持条件と試験体の配置 値もばらつきの範囲と考えられ、ゴムタイヤ式と鉄輪式 で大きく異ならない.

5. 貫通ひび割れ間隔の検討





5.1 貫通ひび割れ間隔の測定結果

貫通ひび割れ間隔の測定は、試験体上面ひび割れ図と 下面ひび割れ図および走行ライン切断面のひび割れ図の 関係から主筋方向の貫通ひび割れの長さが載荷板長さ以 上と推定されるひび割れを貫通ひび割れと定義して、間 隔を実測またはひび割れ図からのスケールアップで推定 した.東京都の主な測定例を図-6 に示す.図では貫通 ひび割れは太線で表示している.左右の試験体は中央で 接触(横桁上で弾性支持)した状態でセットされ、試験 体の外側の短辺には支持桁がない自由辺である.試験体 No.13,14 は昭和 39 年鋼道路橋示方書(以下,道示)を 適用した基準床版であり配筋は同一である.No.13 は自由 辺側の貫通ひび割れが少ない傾向が見られる. 貫通ひび 割れ間隔(以下,貫通ひび割れ間隔の測定値は平均値で 取り扱う)は、No.13 で 330.8 mm, No.14 で 311.0 mmである. No.25 とNo.26 は昭和 47 年道示基準の試験体で,貫通ひび 割れ間隔は 249.2 mmと 242.3 mmである. なお, No.13, 14 (昭和 39 年道示)に比べてNo.25, 26(昭和 47 年道示) の貫通ひび割れ間隔が狭い理由は、表-1 のコンクリー

の員通びひ割れ間隔が狭い理田は、表-1 のコンクリー ト強度がNo.13、14 に比べてNo.25、26 は約 15N/ mm²以上 小さいことによる影響と考えられる.

ショーボンド試験体の主な貫通ひび割れ間隔の測定 例を図-7に示す.試験体はすべて昭和39年道示基準で あるが,東京都に比べてひび割れの本数が少ない傾向が 伺える.その理由としては床版の走行方向の試験体長さ が東京都に比べ短いことが影響していると考えられる. 床版厚190mmの場合の貫通ひび割れ間隔は,No.1は285 mm,No2は400mmである.床版厚160mmのNo5は433.3mm, No6は274.3mmである.

鉄輪式の土研の主な試験体の貫通ひび割れ間隔の測 定例を図-8に示す. No.1の貫通ひび割れ本数は,他の試 験体に比べ少なく,貫通ひび割れ間隔も656.3 mmと他の 試験体の2倍程度大きいが,破壊状況は他の試験体と同 様とされている. No2の間隔は291.1mmである.その他 の昭和39年道示基準の土研試験体の間隔は,概ね300~ 400 mmである. No.10 は,昭和47年道示基準で貫通ひび割



図-6 東京都試験体の上面貫通ひび割れ間隔



表-3 分析データ

載荷	荷 試験体 式 No.		分析	はり幅 (mm)	貫通ひび割 れ間隔(mm)	載荷 法(板寸 1111)	床版厚 (㎜)	下側主筋 間隔(mm)	上側主筋 間隔(mm)	コンクリート強 度 (N/mm ²)	上限荷重 (kN)
1524	10		шу	В	r	а	b	t	mx	dx	fc	р
		13	1	676.0	330.8	230	390	190	125	125	52.5	157
	東京都	14	2	680.0	311.0	230	390	190	125	125	47.8	157
		18	3	680.0	226.9	230	390	190	125	125	43.1	157
		19	4	630.0	311.0	230	390	180	120	240	31.4	157
		20	5	628.0	288. 8	230	390	180	120	240	40.1	157
ゴ		25	6	686.0	249. 2	230	390	200	125	250	26.2	157
4		26	7	682.0	242.3	230	390	200	125	250	33.1	157
8		29	8	676.3	299.1	230	390	190	150	300	34.3	157
1	ショー ボンド	1	9	695.0	285.0	346	404	190	150	300	37.1	22.0
式		2	10	719.0	400.0	362	428	190	150	300	40.1	25.0
-		3	11	719.0	306.7	362	428	190	150	300	45.1	250
		4	12	742.0	332. 5	378	451	190	150	300	45.1	280
		5	13	635.0	433. 3	346	404	160	150	300	37.1	220
		6	14	659.0	274. 3	362	428	160	150	300	42.3	250
		7	15	578.0	280. 0	315	347	160	150	300	30.3	160
		1	16	482.0	656.3	500	200	190	150	300	26.9	157
		2	17	482.0	291.1	500	200	190	150	300	28.6	176
	<u>新</u>	3	18	482.0	385.7	500	200	190	150	300	13.6	105
	Ē	4	19	482.0	342.9	500	200	190	150	300	29.7	196
	+	5	20	482.0	300.0	500	200	190	150	300	31.1	167
	*	6	21	482.0	300.0	500	200	190	150	300	28.4	147
鉄	不研	7	22	482.0	287.5	500	200	190	150	300	25.4	152
論	70	8	23	482.0	420.0	500	200	190	150	300	27.1	118
	而	9	24	482.0	375.0	500	200	190	150	300	26.6	157
10	191	10	25	502.0	338.3	500	200	200	125	250	29.9	210
		26	26	478.2	338.6	500	200	190	150	300	30.7	157
]	HI	27	487.2	311.7	500	200	190	150	300	28.8	157
	J	BC	28	486.6	289.3	500	200	190	150	300	31.9	157
	阪	大A	29	398.3	300.0	300	120	190	150	300	34.3	157
	阪	大B	30	406.7	222.0	300	120	190	150	300	34.3	140
		注,正	市 古 哲	の試験	木No.1~11十 鉑	迷が	はむ、	されてい	スため险タ	l		

れ間隔は 338.3 mmである. なお,ひび割れ図を省略した その他の試験体のひび割れ間隔は,表-3 分析データに 示した. なお,表-1 に示した東京都No.1~4 は,床版上 面にアスファルト舗装がある試験体のため除外している.







5.2 貫通ひび割れ間隔の測定値と計 算値(はり幅B)の関係

貫通ひび割れ間隔の測定値(実際の 貫通ひび割れ間隔の平均値)と計算値 (はり幅 B で計算式は後述する式(2) のただし書き参照)との関係を図-9 に示す. ゴムタイヤ式東京都とショー ボンドの計算値は、タイヤ幅bが土研 の載荷ブロック幅 b に比べて約2倍大 きいため、鉄輪式に比べはり幅Bは1.5 倍程度大きく算定される.一方,貫通 ひび割れ間隔の測定値は概ね 200~ 400 mmの範囲に分布しており計算値よ り小さい.また、図-10には貫通ひび 割れ間隔の測定値と計算値の比(r/B) をプロットした. ゴムタイヤ式の分析 番号1~15の平均値は0.456、鉄輪式の 平均値は 0.726 で差異がある. この差 異は,鉄輪式の貫通ひび割れ間隔は, 載荷ブロックの影響を受けて固定され る傾向があると考えられ、ゴムタイヤ 式では、荷重が走行方向に連続してい

るために貫通ひび割れ間隔の測定値は鉄輪式より小さく なったものと考えられる.

5.3 主成分分析

表-3のはり幅 B を除く分析データを使用して主成分 分析を行った.主成分分析は、各因子のグループ分けと



a) 主成分1と2の関係 b) 主成分1と3の関係 図-12 主成分得点の分布 その影響の度合いを分析する手法である.分析対象行列 は相関行列とした.図-11a)は主成分1と主成分2の固 有ベクトルの関係であり、主成分1は試験体の配筋間隔 等(mx,dx,fc)と載荷板の寸法(a,b)で、主成分2 は荷重pと床版厚tのグループに分けられる.また、図 -11b)では主成分1と主成分3の関係であり、主成分3 は貫通ひび割れ間隔rが単独で大きく、独立した第3の グループであると解釈できる.

主成分1と主成分2,主成分1と主成分3の得点分布 を図-12に示す.図-12a)の横軸の得点分布は、プラス 側が鉄輪式、マイナス側にゴムタイヤ式が分布しており、 載荷板寸法(a, b)に影響されている.また、ゴムタイヤ 式は東京都とショーボンドに分かれて分布しており、両 者は異なることを示唆しているが、縦軸のプラス側は荷 重pの大きいゴムタイヤ式のショーボンドのデータがあ るので、この影響と推察できる.一方、図-12b)の縦軸 の貫通ひび割れ間隔rの分布は大差ない.すなわち、主 成分分析の結果からは、貫通ひび割れ間隔rは独立した 因子であり、横軸の主成分1(機種によるa, b)が変化 しても貫通ひび割れ間隔rへの影響は少ない.

5.4 重回帰分析

表-3のデータを基に貫通ひび割れ間隔を目的変数, はり幅Bを除くその他の項目を説明変数とする重回帰分 析を行った.回帰式は式(1)となる.

r=0.418a+0.232b-0.625t+0.711mx-0.177dx-0.668fc-0.203p+218.735・・・式(1) (決定係数 0.2120, 重相関係数 0.4605) 単相関は a=0.4092, b=-0.1615, t=-0.0580, mx=0.2742, dx=0.2218, fc=0.2201, p=0.0191 である.

決定係数は 0.2120 で精度の良い回帰式とはいえない. また、単相関のよい因子は、載荷板長さ a、下側主鉄筋 間隔 mx、コンクリート強度 fc、上側主鉄筋間隔 dx、の 順であったが、単相関の最大値は載荷板長さ a の 0.4 で あり、貫通ひび割れ間隔に強く影響する説明変数はない. 図-13 に示す残差 {貫通ひび割れ間隔の測定値-理論値 (式(1))} は、概ね±100 mm以内である.また、分析番 号 16 (土研No.1)の残差は+300 mmと大きく、この分析か らも例外データと見なしてもよいと考えられる.



図-13 貫通ひび割れ間隔の重回帰分析の残差

6. P_{sx}によるS-N線図の検討

6.1 押抜きせん断耐力(P_{sx})

松井¹⁾の押抜きせん断耐力 (P_{sx}) は式(2) である.

$$P_{ss} = 2B(\tau_{s\max} x_m + \sigma_{t\max} C_m) \qquad \cdot \cdot \cdot \vec{z} \quad (2)$$

ただし,

 $B=b+2d_d$

B:はり状化した RC 床版のはり幅(mm)

b:載荷板の配力鉄筋方向の辺長(mm)

d_d:引張側配力鉄筋の有効高さ(mm)

 τ_{smax} : コンクリートの最大せん断応力度(N/mm²)

xm: 引張コンクリート断面無視時の主鉄筋断面の上縁 から中立軸までの距離(mm)

 σ_{tmax} : コンクリートの最大引張応力度(N/mm²) C_{m} : 引張側主鉄筋のかぶり(mm)

式(2)のはり幅 B は、載荷板辺長(幅) b と引張側配力 鉄筋の有効高さ d_d で与えられる.鉄輪式土研の幅 b とゴ ムタイヤの幅 b は、図-2 に示したようにゴムタイヤの 方が約 2 倍大きく、この差がの P_{sx} に与える影響は、同 じ試験体でのゴムタイヤは鉄輪式に比べ約 1.4 倍大きく 算定値され、載荷荷重 P が同じ条件下での P/P_{sx} は、土研 に比べ東京都は約 0.7 倍小さくなる.また P/P_{sx} が鉄輪式 土研と同程度となるタイヤ幅 b は、160 mm程度になる.

6.2 一定荷重データのS-N線図

ここでは、S-N線図のSについては、松井の提案す る式(2)を使用して P/P_{sx}で無次元化した値で検討する.表 -1の文献データのS-N線図を試験装置別に図-14に 示す.試験体の床版支間と支持条件が同一で、走行範囲 が異なるゴムタイヤ式のショーボンドと鉄輪式のS-N 線図はほぼ一致する.一方、支持条件に自由辺を有する ゴムタイヤ式東京都のS-N線図は、ショーボンドS-N 線図の下方にスライドする.スライドした理由の一つは、 東京都の支持条件は短辺の一辺が自由辺という相違であ る.二つ目の理由は、タイヤの橋軸直角方向の長さaが 230 mmで土研の載荷ブロック 500 mmに比べ小さく、作用



図-14 試験装置別のS-N線図

表-4 解析結果5

a) 全断面有効

	たわみ		曲げモー	せん断力				
	δ_{mas}	M _x	_max	M_y	_max	Q_{x_exp} kN/m		
	mm		kNr	n/m				
土研	0.794	37.3	(1.00)	31.1	(1.00)	100.1	(1.00)	
阪大A	0.593	41.0	(1.10)	34.7	(1.12)	131.1	(1.31)	
阪大B	0.501	36.6	(0.98)	30.9	(0.99)	116.9	(1.17)	
東京都	0.872	46.5	(1.25)	32.0	(1.03)	106.8	(1.07)	
ΙΗΙ	0.941	39.8	(1.07)	33.9	(1.09)	92.4	(0.92)	
YBC	0.843	37.1	(0.99)	31.2	(1.00)	99.9	(1.00)	

b) RC 断面(引張コンクリート断面無視時)

	たわみ		曲げモー	せん断力				
	δ_{mas}	M _x	_max	My	_max	Q_{x_exp}		
	mm		kNr	n/m		kľ	N/m	
土研	5.091	47.5	(1.00)	22.8	(1.00)	120.4	(1.00)	
阪大A	3.897	50.8	(1.07)	26.1	(1.14)	157.6	(1.31)	
阪大B	3. 236	45.1	(0.95)	23.5	(1.03)	139.9	(1.16)	
東京都	5.891	57.3	(1.21)	22.4	(0.98)	122.2	(1.01)	
ΙΗΙ	5.806	50.6	(1.07)	25.0	(1.10)	112.1	(0.93)	
ҮВС	5.653	46.8	(0.99)	23.3	(1.02)	119.1	(0.99)	

注1)()内の数値は土研試験体に対する比 注2)Q、ev:輪荷重のエッジから主鉄筋断面有効高さの1/2だけ離

れた点において主鉄筋断面に作用する横せん断力

せん断力は変わらないが、曲げモーメント M_x が表-4b) のRC断面に示すように東京都は21%大きく作用するこ とである⁵⁾.前記二つの理由により東京都の試験体は、 早期に破壊したものと推察されるが、その影響を適切に 考慮するまでに至っていない.ここでは、東京都の貫通 ひび割れ間隔は、他の試験装置と同程度であることを考 慮して、 P_{xx} 算定の載荷幅(b)を阪大の120 mmと土研の200 mmの平均値160 mmと仮定して評価した結果を図-15に示 す.ショーボンドのゴムタイヤ式と鉄輪式のS-N線図 に一致する.ここでの東京都の P_{xx} の修正方法は、共通 のS-N式を検討する簡易な一手法と考えられる.

7. まとめ

本検討では、はり状化したはり幅と見なせる貫通ひび 割れ間隔の平均値を求め、主成分分析のほか、鉄輪式と ゴムタイヤ式の P_{sx} によるS-N線図を検討した.以下に 本検討で得られた知見を列挙する.

- (1) 貫通ひび割れ間隔の測定値は、鉄輪式とゴムタイヤ 式のいずれの試験体でも概ね 200~400 mmの範囲に ある.また,計算値のはり幅Bの40~80%と小さい.
- (2) 主成分分析では、貫通ひび割れ間隔は独立した第三の成分と評価される.鉄輪式とゴムタイヤ式では、第一主成分の載荷板寸法(a, b)に違いが見られるものの、第三主成分の貫通ひび割れ間隔に与える影響は少ない.また、貫通ひび割れ間隔に関する重回帰式は、床版諸元や載荷方式に強く影響されない.
- (3) 床版支間と支持条件が同一の鉄輪式とショーボンド のゴムタイヤ式の P_{sx}による S-N 線図は,走行範囲 が異なってもほぼ同じ結果になる.
- (4) 主鉄筋方向の短辺に自由辺を有する東京都のゴムタ イヤ式 P_{sx}による S-N線図は、ショーボンドの S-



図-15 修正S-N線図

N 線図の下方にスライドする. その原因は, 自由辺 を有する支持条件のほかに曲げモーメント M_x が鉄 輪式に比べ21%大きい影響が考えられる.

(5) 東京都のゴムタイヤ式の貫通ひび割れ間隔は、他の 試験装置と変わらないことから、P_{sx}算定の載荷幅 b を阪大と土研の平均値で評価する共通の S-N 線図 が得られる簡易な修正法を提案した.

8. おわりに

支持条件が他の試験装置と大きく異なる東京都ゴムタ イヤ式の修正 P_{ss}は、載荷幅 b を貫通ひび割れ間隔が他 の試験装置の試験体と同程度で大差ないことを根拠に修 正した.しかし、曲げモーメントが 21%ほど大きく作用 していた影響を合理的に考慮していない.今後、曲げ作 用の影響を適切に考慮するための検討が必要である.

参考文献

- 1) 松井繁之:橋梁の寿命予測,安全工学 Vol.30, No.6, pp.432-440, 1991.
- 国土交通省国土技術政策総合研究所:道路橋床版の疲労耐久性に関する試験,国総研資料第28号,2003.
- 3)横山広,長屋優子,関口幹夫,堀川都志雄:自走式試 験機による道路橋床版の使用限界の評価,第四回道路 橋床版シンポジウム講演論文集, pp.49-54, 2002.
- 4) 例えば圓川隆夫:多変量のデータ解析,朝倉書店,1990.
- 5)(財)災害科学研究所:各種の輪荷重走行試験装置下での床版疲労耐久性と S-N 疲労曲線の統一化についての総合評価,平成18年3月.
- 6)大西弘志,上條崇,関口幹夫,長屋優子,水越秀和, 肥後野孝倫,堀川都志雄:輪荷重走行試験結果の統一 的評価に関する検討,構造工学論文集,Vol.55A (2009 年3月)投稿中.
- 7) 関口幹夫, 宍戸薫: RC 床版の輪荷重走行疲労実験, 平成11年東京都土木技術研究所年報, pp.107-116.
- 8) 関口幹夫, 宍戸薫, 森俊介: RC 床版の輪荷重走行疲労実験, 平成 14 年東京都土木技術研究所年報, pp.89-100.
 (2008 年 9 月 18 日受付)