

## 道路橋RC床版の共通試験に関する解析

### Analysis about Unified Examination of Reinforced Concrete Slabs in Highway Bridge

上條崇<sup>1</sup>, 鈴木孝洋<sup>2</sup>, 大西弘志<sup>3</sup>

Takashi KAMIJO, Takahiro SUZUKI and Hiroshi ONISHI

<sup>1</sup> 住友金属工業株式会社 土木橋梁部 (〒104-6111 東京都中央区晴海 1-8-11)

<sup>2</sup> 株式会社東京鐵骨橋梁 技術本部 技術開発部 (〒108-0023 東京都港区芝浦 4-18-32)

<sup>3</sup> 大阪大学大学院工学研究科 地球総合工学専攻 (〒565-0871 大阪府吹田市山田丘 2-1)

The deterioration mechanism of existing reinforced concrete slabs has been identified by wheel running examinations. The wheel running machines are classified into two types such as the crank type equipped with steel wheels and the self-running type equipped with pneumatic tires. However, results obtained from each machine type can not be estimated on the same level. For the purpose of clarifying influence of testing methods, unified wheel running examinations of reinforced concrete slabs have been carried out. In this report, some analytical considerations about the results of the examinations are dealt with. First, the results of the examinations were compared with the existing S-N curve. Next, as for each specimen, FEM analyses were performed to examine the difference of results obtained from each method.

**Key Words:** wheel running test, reinforced concrete slab, FEM

#### 1. はじめに

道路橋 RC 床版のひび割れ損傷は、すでに昭和 40 年代初期に発生が認められ、大学・公的研究機関等での室内実験および実橋調査等により損傷メカニズムの研究が行われてきた。特に、これらの損傷メカニズムの解明には、輪荷重走行試験機の活用による研究の寄与が大きい。

輪荷重走行試験機は任意の荷重を作用させながら試験体上に輪荷重が往復運動するもので国内に十数台が設置されている。輪荷重試験機はその構造から、フライホイール等の回転力を往復運動に変換するクランク式（鉄輪式）と移動台車に駆動装置を搭載する自走式（ゴムタイヤ式）に大別される。この 2 つのタイプの試験機はそれぞれに特長を有しているものの、両者の相関が明確になっておらず、試験結果について十分には整合が図られていないのが現状である。

このような背景のもと、土木学会鋼構造委員会道路橋床版の調査研究小委員会（平成 13 年 11 月～平成 16 年 11 月）では RC 床版の疲労耐久性を統一的に評価するためには、同一の条件で製作された試験体を用いて同時に試験を行う必要があると考え、RC 床版の共通輪荷重走行試験を計画した<sup>1)</sup>。この計画は平成 16 年 10 月より、(財)災害科学研究所と民間企業 29 社との共同研究<sup>2)</sup>として実施に移され、官公庁ならびに大学が保有する試験機で走行試験が行われている。加えて、輪荷重試験機を保有する民間企業からも共通試験への賛同が得られ、石川島播磨重工業株式会社ならびに株式会社横河ブリッジにおい

て自主参加による走行試験が行われている。

共通試験で得られた結果は土木学会鋼構造委員会道路橋床版の合理化検討小委員会試験方法分科会（平成 17 年 4 月～）において整理と考察が加えられている。

本文では、まず共通試験で得られた結果を既往の S-N 関係と比較した結果を報告する。次いで試験体間の結果の差異を把握するために FEM で床版のたわみと断面力を計算した結果を報告する。FEM では床版をシェル要素でモデル化し、輪荷重の接地圧分布の影響、床版の平面度の影響（版全体の反りの影響）も検討した。

#### 2. RC 床版の共通輪荷重試験

##### 2.1 試験体

試験体の一覧を表-1に、荷重ブロックの種類を図-1に示す。また、試験体の形状および寸法を図-2に示す。試験体は、配筋鉄筋量が現行基準と比較して少なく、損傷事例が多く見られる昭和39年道路橋示方書に準じて製作した8体のRC床版である。試験体の厚さは一定とし、床版支間は過去の試験の実績をふまえて2.0mおよび2.5mとした。コンクリートは設計基準強度 $\sigma_{28}=24\text{N/mm}^2$ の普通コンクリートとし、施工技術総合研究所内のヤードで8体同時にコンクリートを打設して製作した（打設日；H16.9.2）。以下では簡単のために各機関の試験体を表-1の略称で呼ぶこととする。

##### 2.2 荷重方法

表-1 試験体の一覧

試験体 略称	試験体 寸法 (mm)	床版 支間 (mm)	主鉄筋 ( )内は圧縮鉄筋			配力鉄筋 ( )内は圧縮鉄筋			載荷 方法	載荷 ブロック	実施機関
			呼び	有効高 (mm)	間隔 (mm)	呼び	有効高 (mm)	間隔 (mm)			
阪大1 阪大2	幅 2200 長さ 3000 厚さ 190	2000							クランク式	大阪大学	
土研	幅 2800 長さ 4500 厚さ 190	2500							クランク式	独立行政法人 土木研究所	
山口大1 山口大2	幅 2200 長さ 4000 厚さ 190	2000	D16 (D16)	150 (30)	150 (300)	D13 (D10)	146 (43)	300 (300)	自走式	なし	山口大学
東京都	幅 2800 長さ 4500 厚さ 190	2500							自走式	東京都 土木研究所	
IHI	幅 2800 長さ 4500 厚さ 190	2500							クランク式	石川島播磨重工業㈱ (自主参加)	
YBC	幅 2800 長さ 4500 厚さ 190	2500							クランク式	神橋河ブリッジ (自主参加)	

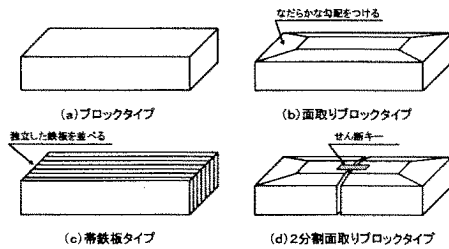


図-1 載荷ブロック

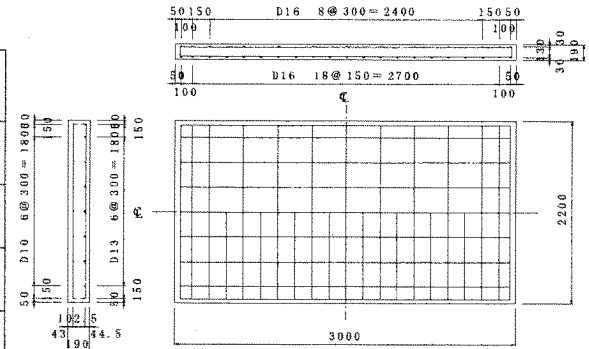
試験機にはクランク式および自走式の2つのタイプの  
輪荷重走行試験機を用いた。

試験時の載荷荷重は「道路橋床版の調査研究小委員会」  
の検討<sup>1)</sup>をもとに、157kNの荷重を一定載荷することを  
原則とした。但し、山口大の試験機は最大荷重が147kN  
であるため147kNの一定載荷で試験した。また、大阪大  
学では阪大1試験体が早期に破壊したことを受けて阪大  
2試験体は140kNの一定載荷で試験した。走行試験機の  
載荷位置は床版支間中央とし、載荷幅と走行範囲は各試  
験機の仕様に基づいて決定した。

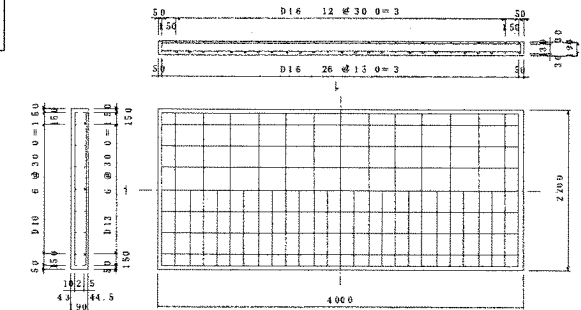
### 2.3 試験体の支持条件

共通試験では、試験体が橋軸方向に連続な一方向版と  
して挙動するように支持した。

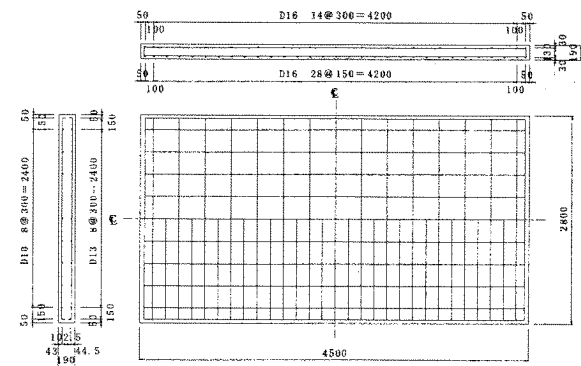
試験体の4支持辺をそれぞれ長辺・短辺と呼び(図-3  
参照)、長辺は試験体と主桁の間に丸鋼を設置して鉛直方  
向の変位のみを拘束した単純支持条件、短辺は端横桁を  
利用した弾性支持条件とすることを標準とした。ただし、  
東京都試験体では短辺の片側を自由端とした。支持方法  
を図-4に、各試験機での支持条件をまとめて表-2に示す。  
また、各試験機の規格の違いにより、支間長、端横桁間  
隔、端横桁サイズなどは異なっている。



(a) 阪大1, 阪大2試験体



(b) 山口大1, 山口大2試験体



(c) 土研, 東京都, IHI, YBC試験体

図-2 試験体形状

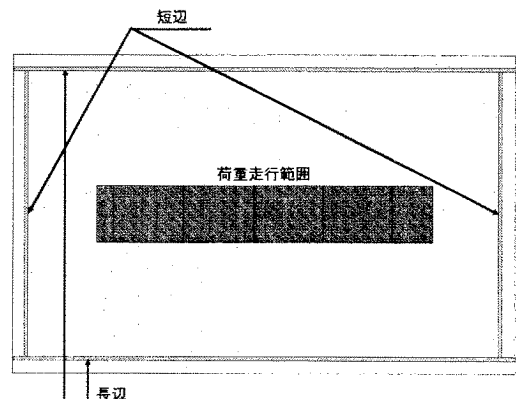


図-3 床版支持辺の呼称

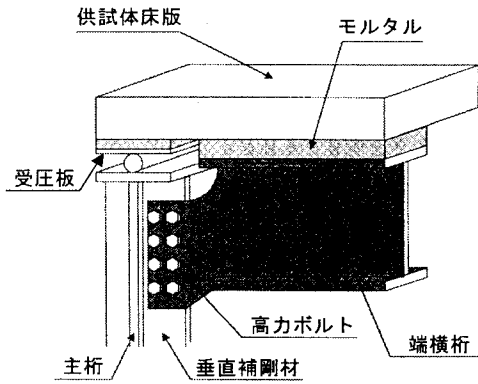


図-4 試験体支持方法

表-2 試験体支持条件

	支持条件	支間長 (mm)	端横桁間隔 (mm)	主桁支持	端横桁 (弾性支持辺)
阪大1 阪大2	長辺:2辺単純 短辺:2辺弾性	2000	2850	単純 (線支承)	H248×124×5/8
土研	長辺:2辺単純 短辺:2辺弾性	2500	4200		H300×300×10/15
東京都	長辺:2辺単純 短辺:1辺弾性、1辺自由	2500	—		H488×300×11/25(片側のみ)
IHI	長辺:2辺単純 短辺:2辺弾性	2500	4200		H498×400×16/25
YBC	長辺:2辺単純 短辺:2辺弾性	2500	4200		H300×300×10/15

表-3 試験条件と試験結果

試験体	試験条件 (出来形考慮)								試験結果
	載荷 荷重	載荷板辺長 (橋軸方向)	床版厚	圧縮側 鉄筋位置	引張側 鉄筋位置	引張側配 力筋位置	コンクリー ト圧縮強度	ヤング 係数	走行回数*
	$P$ (kN)	$b$ (mm)	$h_s$ (mm)	$d_m'$ (mm)	$d_m$ (mm)	$d_d$ (mm)	$f_c'$ (N/mm <sup>2</sup> )	$E_c$ (N/mm <sup>2</sup> )	N(回)
土研	157	200	(199.3)	(39.6)	(166.5)	(149.6)	30.7	21723	(1,260,000)
阪大1	157	120	193.8	43.8	154.3	139.2	34.3	25026	40,000
阪大2	140	120	198.0	52.2	159.5	143.3	34.3	25026	626,000
東京都	157	390	196.5	41.4	158.0	143.1	34.3	25026	225,161
IHI	157	200	193.6	44.4	157.7	143.6	28.8	20040	1,066,163
YBC	157	200	196.5	50.7	158.6	143.3	31.9	22830	(3,250,000)

\*1) 土研試験体の床版厚、鉄筋位置は電磁波レーダーによる推定値

\*2) (走行回数) の試験体は未破壊

### 3. 実験の考察

#### 3.1 破壊時走行回数

共通試験の試験条件と破壊時走行回数をまとめて表-3に、表-3をもとに各試験体について、はり化したRC床版の押抜きせん断耐力 ( $P_{sx}$ ) を算出した結果を表-4に、 $P_{sx}$  で整理された既往の疲労強度曲線と試験結果との比較を図-5に示す。表-4および図-5では、表-3の床版の出来形と材料試験によるコンクリート強度とを考慮して押抜きせん断耐力を算出した。表-3の床版厚、鉄筋位置は試験後の試験体を切断して測定した値であるが、土研試験体については126万回走行時点で試験を中断しており、試験再開の可能性があることから切断調査を実施していない。このため、土研試験体の鉄筋位置は電磁波レーダーにより非破壊で調査した推定値である。また、大阪大学ではコンクリートの圧縮試験を実施していないので、阪大1試験体、阪大2試験体のコンクリート圧縮強度には試験時材令に近い東京都試験体のコンクリート圧縮強度を記入した。

なお、表-3のコンクリートのヤング係数は式(1)で算出した。式(1)は大阪大学の研究で採用されているヤング係

数推定式である。

$$E_c = 900 \cdot (f_c' - 29.4) + 20580 \quad (\text{N/mm}^2) \quad (1)$$

RC床版の押抜きせん断耐力は式(2)で算出する。

$$P_{sx} = 2B(\tau_{s\max} x_m + \sigma_{t\max} C_m) \quad (2)$$

$$B = b + 2d_d \quad (3)$$

$$\tau_{s\max} = 0.252 f_c' - 0.00251 f_c'^2 \quad (4)$$

$$\sigma_{t\max} = 0.269 f_c'^{2/3} \quad (5)$$

ただし、

$B$ : はり化したRC床版のはり幅(mm)

$a, b$ : 載荷板の主鉄筋方向の辺長、配力鉄筋方向の辺長(mm)

$x_m$ : 主鉄筋断面の上縁から中立軸までの距離(mm)

(引張域のコンクリート断面積を無視して算出)

$d_d$ : 引張側配力鉄筋の有効高さ(mm)

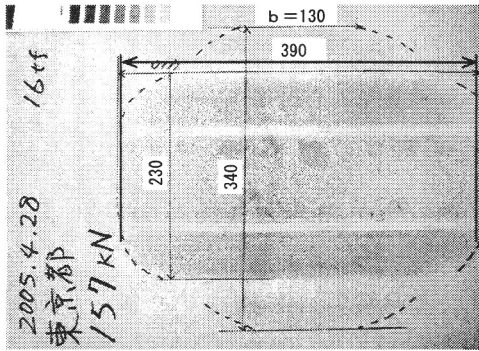
$C_m$ : 引張側主鉄筋のかぶり(mm)

$\tau_{s\max}$ : コンクリートの最大せん断応力度(N/mm<sup>2</sup>)

$\sigma_{t\max}$ : コンクリートの最大引張応力度(N/mm<sup>2</sup>)

表-4 押抜きせん断耐力計算結果

試験体	$x_m$ (mm)	$B$ (mm)	$C_m$ (mm)	$\tau_{smax}$ (N/mm <sup>2</sup> )	$\sigma_{imax}$ (N/mm <sup>2</sup> )	$P_{sx}$ (kN)	$P/P_{sx}$
土研	51.6	499	32.8	5.37	2.63	363	0.433
阪大1	47.2	398	39.5	5.69	2.84	304	0.517
阪大2	48.8	407	38.5	5.69	2.84	315	0.445
東京都	47.6	676	38.5	5.69	2.84	515	0.305
IHI	51.9	487	35.9	5.18	2.53	350	0.448
YBC	50.2	487	37.9	5.48	2.70	368	0.427



← 走行方向 →

写真-1 東京都試験体の輪荷重接地面の大きさ

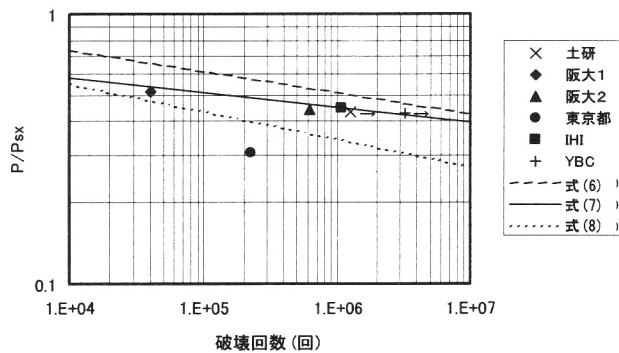


図-5 S-N線と試験結果

$f'_c$ : コンクリートの圧縮強度(N/mm<sup>2</sup>)

$P_{sx}$ の算出でははり化したRC床版のはり幅  $B$  を算出するために載荷板の橋軸方向辺長  $b$  が必要である。クランク式試験機ではブロック状の載荷板を採用しているため  $b$  は明確である。一方、ゴムタイヤを採用している自走式試験機は載荷荷重の大きさによってタイヤ接地面の大きさが変化する特性がある。表-3中の東京都試験体では、157kN 載荷時の実測結果(写真-1)に基づき  $b=390\text{mm}$  とした。

図-5には、既往の研究による疲労強度曲線(S-N線)として、式(6)~式(8)を図示した。

松井による S-N 線<sup>3)</sup>;

$$\log_{10} \frac{P}{P_{sx}} = -0.0784 \cdot \log_{10} N + \log_{10} 1.52 \quad (6)$$

土木研究所による S-N 線<sup>4)</sup>;

$$\log_{10} \frac{P}{P_{sx}} = -0.0545 \cdot \log_{10} N + \log_{10} 0.957 \quad (7)$$

自走式(ゴムタイヤ)試験機の S-N 線<sup>5)</sup>;

$$\log_{10} \frac{P}{P_{sx}} = -0.101 \cdot \log_{10} N + \log_{10} 1.38 \quad (8)$$

材料強度と出来形を考慮して  $P_{sx}$  を算出すると、図-5においてクランク式試験機による試験体破壊時走行回数プロットは式(7)の近傍に集まる結果となった。

一方、自走式の東京都試験体は、輪荷重接地面が橋軸方向に長いことに起因して、他の試験体よりも  $P_{sx}$  が大きく計算され、結果的に S-N 関係では他の試験体と比べてかなり下方にプロットされた。

クランク式試験機による結果については一つの S-N 線に集約できる可能性があるが、自走式試験機による結果とクランク式による結果とを統一的に評価するには、コンクリート強度や床版出来形の考慮だけでは不十分である。

クランク式と自走式の破壊時走行回数に差をもたらす要因としては、(a)輪荷重の接地面の状態(面圧の広がり)、(b)試験体の支持方法の差異による床版作用断面力の相違、(c)床版端部を輪荷重が走り抜けるか否か、が挙げられる。特に、輪荷重の接地面については、ゴムタイヤを採用する自走式試験機では荷重の大きさによって輪荷重の接地面の大きさが変わることで、接地面の形状が橋軸直角方向よりも橋軸方向の方が長い形状であること、タイヤ中心とタイヤ側辺に近い位置では接地長さが異なることなどの特徴があり、破壊時走行回数を整理する上でこれらの取り扱いに留意が必要と考えられる。

表-4、図-5では、東京都試験体(自走式)の  $P_{sx}$  算出の前提となるはり化した床版のはり幅は、式(3)から  $B=681\text{mm}$  となる。その一方で、東京都試験体の上面ひび割れ発生状況では、橋軸直角方向の貫通ひび割れの間隔は上面主鉄筋の配置間隔に近い300mm程度であり、式(3)で求めたはり幅  $B$  は実際よりも大きな値を与えていると考えられる。

表-5 試験体の出来形と曲げ剛性

			設計値	実測					
				土研	阪大①	阪大②	東京都	I H I	YBC
諸条件	$f'_c$	N/mm <sup>2</sup>	24.0	30.67	34.34	34.34	34.34	28.8	31.9
	$E_c$	N/mm <sup>2</sup>	25000	28240	28400	28400	28400	26300	28000
	$E_s/E_c$		8.00	7.08	7.04	7.04	7.04	7.60	7.14
	床版厚	mm	190.0	(199.3)	193.8	198.0	196.5	193.6	196.5
	主筋有効高(上)	mm	30.0	(39.6)	43.8	52.2	41.4	44.4	50.7
	主筋有効高(下)	mm	160.0	(166.5)	154.3	159.5	158.0	157.7	158.6
	配力筋有効高(上)	mm	43.0	(52.0)	58.3	70.0	54.6	57.3	64.1
	配力筋有効高(下)	mm	145.5	(149.6)	139.2	143.3	143.1	143.6	143.3
全断面有効	主筋方向 $E_c \cdot I_v$	N・mm <sup>2</sup> /m	1.595E+13	2.027E+13	1.846E+13	1.961E+13	1.931E+13	1.723E+13	1.895E+13
	配力筋方向 $E_c \cdot I_v$	N・mm <sup>2</sup> /m	1.463E+13	1.895E+13	1.745E+13	1.858E+13	1.821E+13	1.616E+13	1.793E+13
RC断面 ( $E_s/E_c=15$ )	主筋方向 $E_c \cdot I_v$	N・mm <sup>2</sup> /m	3.725E+12	4.020E+12	3.350E+12	3.588E+12	3.549E+12	3.520E+12	3.557E+12
	配力筋方向 $E_c \cdot I_v$	N・mm <sup>2</sup> /m	1.221E+12	1.305E+12	1.128E+12	1.229E+12	1.191E+12	1.198E+12	1.234E+12

注1) 鉄筋位置, 床版厚は複数箇所を測定した平均値。

注2) 土研試験体の実測値は電磁波レーダーにより推定したもの。

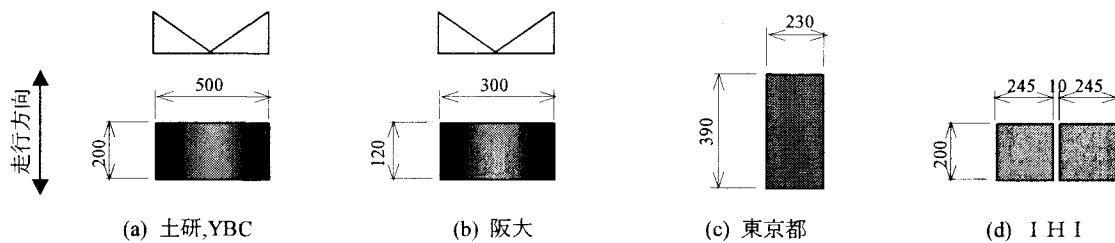


図-6 輪荷重接地圧の取り扱い

式(3)のはり幅  $B$  は,  $S-N$  関係の縦軸側 (荷重比) に影響を与えるパラメータであり, RC床版のように  $S-N$  線の傾きが緩やかな場合には, 実験結果の整理やその解釈に大きな影響を及ぼす。クランク式と自走式との結果を统一的に扱うためには, 自走式の場合のはり幅  $B$  について, 既往データも含めた検証が今後必要と考えられる。

### 3.2 作用断面力に関する解析

#### (1) 試験体の支持条件

今回の共通試験において, 試験機ごと異なる試験体支持条件(表-2)や輪荷重接地面の条件の相違により, 試験体の作用断面力に差が生じていたことが考えられる。

そこで, シェル要素を用いた FEM で各試験体の作用断面力を求め, 試験体間での断面力の差を検討した。

#### (2) 曲げ剛性

共通試験の試験体は全て同一配筋で設計し同時にコンクリートを打設したものの, 配筋状況やコンクリート強度には試験体間のばらつきが認められた。そこで, FEM では各試験体について実際の配筋状況とコンクリートの実測ヤング係数とを考慮して床版の曲げ剛性を算出した。FEM では主鉄筋と配力鉄筋の配筋位置ならびに鉄筋量が床版の曲げ剛性に寄与することを考慮して, 異方性版として取り扱った。各試験体の曲げ剛性を表-5 に示す。

#### (3) 輪荷重

感圧紙により各試験体の輪荷重載荷面の圧力分布を測定した結果では, 接地圧は必ずしも等分布ではないことが観察された。そこで, 試験機毎に輪荷重接地圧分布の特徴を考慮して, 図-6 に示す接地圧を与えて解析した。なお, 図-6 は感圧紙で確認した傾向を大幅に簡略化しており, 実際の接地圧分布とそれが解析結果に与える影響については引き続き詳細に検討する必要がある。

#### (4) 要素分割

要素辺長は, 100mm 程度 (床版厚の 1/2 程度) とし, 結果抽出の便から試験体センターライン付近では要素辺長をやや小さくした。

解析結果のうち, 横せん断力 (面外せん断力) に着目すると, 横せん断力は輪荷重載荷面の周辺上で最大値 (最小値) をとる。このため, 輪荷重載荷範囲に隣接する要素の寸法によって得られる横せん断力の最大値が変化してしまい結果の整理に都合が悪い。そこで, せん断力の評価位置として「輪荷重エッジから主鉄筋断面の有効高さの 1/2 だけ離れた点」を選び試験体間で比較した。要素分割の例として, 土研試験体のものを図-7 に示す。

#### (5) 解析結果

各試験体について, 床版の曲げ剛性を全断面有効とした場合と引張域のコンクリートを無視した場合 (RC 断面) のたわみと断面力の最大値をまとめて表-6 (a), (b) に示す。

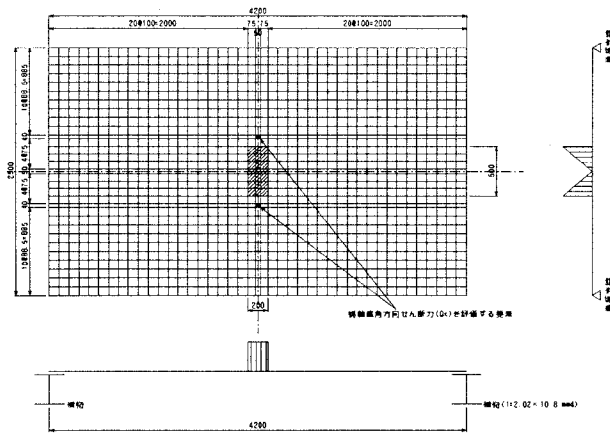


図-7 要素分割（土研試験体）

表-6 解析結果

(a) 全断面有効

	たわみ	曲げモーメント				せん断力	
		$\delta_{max}$	$M_{x,max}$		$M_{y,max}$		$Q_{x,exp}$
		mm	kNm/m		kNm/m		kN/m
土木研究所	0.794	37.3	(1.00)	31.1	(1.00)	100.1	(1.00)
阪大1	0.593	41.0	(1.10)	34.7	(1.12)	131.1	(1.31)
阪大2	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)
IHI	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

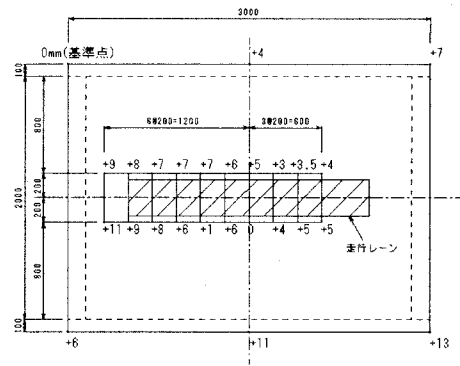
	たわみ	曲げモーメント				せん断力	
		$\delta_{max}$	$M_{x,max}$		$M_{y,max}$		$Q_{x,exp}$
		mm	kNm/m		kNm/m		kN/m
土木研究所	5.091	47.5	(1.00)	22.8	(1.00)	120.4	(1.00)
阪大1	3.897	50.8	(1.07)	26.1	(1.14)	157.6	(1.31)
阪大2	3.236	45.1	(0.95)	23.5	(1.03)	139.9	(1.16)
東京都	5.891	57.3	(1.21)	22.4	(0.98)	122.2	(1.01)
IHI	5.806	50.6	(1.07)	25.0	(1.10)	112.1	(0.93)
YBC	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)  $Q_{x,exp}$ : 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

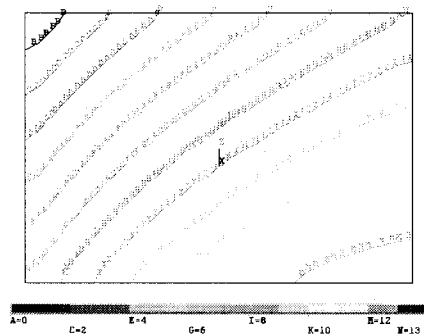
これらの結果から、他の試験体より少ない走行回数で破壊に至っている阪大1（4万回で破壊）、東京都試験体（22.5万回で破壊）では、他の試験体より大きな曲げモーメントとせん断力が作用していたと考えられ、作用断面力の差が破壊時走行回数の差を生じていると考えられる。

また、IHI（106.6万回で破壊）のせん断力（ $Q_{x,exp}$ ）は未破壊の土研、YBCよりも8%程度小さく、曲げモーメントは7%~10%大きく計算された。破壊時走行回数の序列と断面力の関係より、破壊時走行回数は床版に作用するせん断力のみならず曲げモーメントの影響も少なからず受けていると考えられる。



※ 数値は基準点に対する高低差をレベル測定した結果

図-8 平面度の測定結果（阪大1試験体）



(mm)

図-9 解析モデルの初期たわみ（CASE-B, CASE-C）

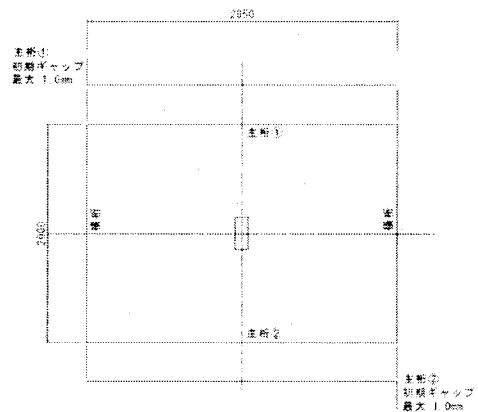


図-10 主桁-床版間の初期ギャップ（CASE-C）

### 3.3 試験体の平面度に関する解析

#### (1) 平面度の測定結果

3.1ならびに3.2では、試験体出来形として床版厚と鉄筋配筋状況（有効高さ）とを各試験体について個別に考慮した。しかし、今回試験を行った試験体の中には床版全体の平面度などの寸法精度が他の試験体より劣るものがあつた。平面度に問題があつた試験体は、阪大1試験体と東京都試験体であり、いずれも他の試験体よりも

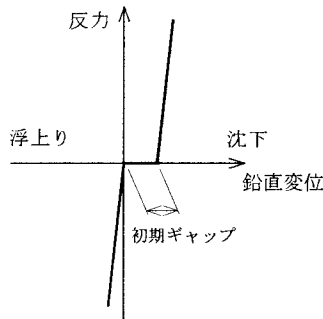


図-11 ギャップ要素の反力-変位関係

表-7 解析ケース(平面度の影響)

	版厚・鉄筋位置	平面度(初期形状)	主桁-床版間の隙間
CASE-A	考慮	—	—
CASE-B	考慮	考慮	—
CASE-C	考慮	考慮	考慮

表-8 解析結果(平面度の影響)

(a) 全断面有効

	たわみ		曲げモーメント				せん断力	
	$\delta_{max}$		$M_{x,max}$		$M_{y,max}$		$Q_{x,exp}$	
	mm		kNm/m		kNm/m		kN/m	
CASE-A	0.593	(1.00)	41.0	(1.00)	34.7	(1.00)	131.1	(1.00)
CASE-B	0.593	(1.00)	41.0	(1.00)	34.7	(1.00)	131.1	(1.00)
CASE-C	0.714	(1.20)	42.7	(1.04)	31.1	(0.90)	132.5	(1.01)

(b) RC 断面

	たわみ		曲げモーメント				せん断力	
	$\delta_{max}$		$M_{x,max}$		$M_{y,max}$		$Q_{x,exp}$	
	mm		kNm/m		kNm/m		kN/m	
CASE-A	3.897	(1.00)	50.8	(1.00)	26.1	(1.00)	157.6	(1.00)
CASE-B	3.897	(1.00)	50.8	(1.00)	26.1	(1.00)	157.6	(1.00)
CASE-C	4.061	(1.04)	51.4	(1.01)	25.7	(0.98)	157.9	(1.00)

少ない走行回数で押抜きせん断破壊に至っている。このことから、試験体の平面度が試験体の作用断面力に影響を与えていたことが考えられる。ここでは、阪大1試験体について試験体の平面度の影響を解析面から検討した。

試験前に試験機に据付けた状態で測定した阪大1試験体の初期形状を図-8に示す。

阪大1試験体は、走行レーンが水平になるように試験体を据付けたが、床版内で最大13mmの高低差が生じた。

(2) 解析内容

図-8を参考に以下の2種類の解析を行い、3.2で述べた解析結果(実測の床版厚の鉄筋位置に基づき版の曲げ剛性を算出し、各試験機の輪荷重接地面の特徴を考慮した解析ケース)と比較した。以下では3.2の解析結果をCASE-Aと表記する。

CASE-B; 床版の出来形がフラットではなく版自身の形状が反っている場合

CASE-C; 床版と主桁との間に部分的に隙間を生じている場合(ギャップ要素により再現)

CASE-B解析では、解析モデルに図-9に示す初期たわみ(床版面外方向の初期不整)を与えて解析した。

次に、CASE-C解析では主桁と試験体との間に隙間がある状況を想定した解析を行った。実際は試験体下面には受圧板を介して支持しており(図-4)、試験体と受圧板との間にはジェットセメントなどの間詰めを施している。よって試験体の平面度に問題が無ければ試験体と受圧板とは十分に密着した状態と考えられるが、試験体の平面度が悪い場合には間詰め材の厚みが支持位置によって変化し、部分的に間詰めが不十分になる個所が生じることが考えられる。CASE-C解析はこのような状況を想定したものである。CASE-C解析では、試験体に図-10に示す初期ギャップを与えて解析した。ギャップ要素には図-11に示す構成関係を与えた。解析ケースの一覧を表-7に示す。

(3) 解析結果

阪大1試験体について、床版の曲げ剛性を全断面有効とした場合と引張域のコンクリートを無視した場合(RC断面)のたわみと断面力の最大値をまとめて表-8(a),(b)に示す。これらの結果から、以下のことが確認できる。

- 1) 初期形状考慮の CASE-B を CASE-A と比較すると、たわみと断面力の変化は無い。したがって、10 数 mm の初期たわみは試験体の作用断面力にはほとんど影響をしないといえる。
- 2) 主桁-床版間にギャップ (最大 1mm) を考慮した CASE-C では、活荷重たわみが小さい全断面有効の場合に、CASE-A よりもたわみ、橋軸直角方向曲げモーメント ( $M_{x,max}$ ) 及び橋軸直角方向のせん断力 ( $Q_{x,exp}$ ) がわずかに増大した。
- 3) 床版全体の曲げ剛性を RC 断面で評価した場合の解析値では、床版の活荷重たわみが大きくなってギャップの影響が相対的に小さくなることから、CASE-A と CASE-C の断面力の差はほとんどなくなった。

以上により、床版の平面度 (初期形状) が悪い場合と平面度が良い場合とを比較すると作用断面力の変化はなく、床版の平面度が破壊時走行回数に与える影響はほとんど無かったと考えられる。

ただし、床版の平面度が悪いために主桁-床版間に隙間が生じてしまうと試験体の作用断面力のうち、橋軸直角方向の作用断面力がわずかではあるが大きくなる。また、この傾向は試験体の曲げ剛性が全断面有効の場合 (= 実験の初期段階) に大きく現れる。これらのことから、平面度が劣る試験体では実験初期段階において他試験体よりも早くひび割れが進展していたことが考えられる。

なお、ここでは、試験体上面が傾斜していることにより生じる輪荷重の片当たりや接地面積の変化を解析に反映していないが、実際にはこれらも破壊時走行回数に影響した可能性もある。

#### 4. まとめ

本文では、共通試験で得られた結果を既往の  $S-N$  関係と比較した。また試験体間の結果の差異を把握するために FEM で床版のたわみと断面力を計算した。この結果、以下のことが明らかになった。

- (1) クランク式試験機で得られた結果は、既往研究による  $S-N$  線の近傍に集まる結果であり、一つの  $S-N$  線に集約できる可能性がある。
- (2) 自走式試験機の結果とクランク式試験機の結果とを

統一的に評価するには、コンクリート強度や床版出来形の考慮だけでは不十分であり、(a) 輪荷重の接地面の状態 (面圧の広がり)、(b) 試験体の支持方法の差異による床版作用断面力の相違、(c) 床版端部が輪荷重が走り抜けるか否か、といった影響の考慮が不可欠と考えられる。

- (3) 解析結果より、試験体の平面度 (初期形状) が悪い場合と平面度が良い場合とを比較すると作用断面力の差はほとんど無く、床版の平面度が破壊時走行回数に与える影響はほとんど無かったと考えられる。ただし、主桁-床版間に隙間を生じるような条件では、作用断面力が変化して試験体の破壊時走行回数に影響を与えていたことが考えられる。

本論文で示した一連の成果は (財) 災害科学研究所において企画された「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 (28 社共同研究)」の一部として実施された輪荷重走行試験により与えられたこと、本共通試験のデータ整理と分析は、現在「道路橋床版の合理化小委員会」に継続され、試験法分科会の委員の多大な協力によりまとめられたことを記し、深謝の意を表す。今後は共通試験で得られたデータをさらに詳細に検討して破壊時の  $S-N$  線の統一化や使用限界状態の  $S-N$  線の設定を進めたい。

#### 参考文献

- 1) 土木学会 鋼構造委員会 道路橋床版の調査研究小委員会 第 1 分科会：床版の輪荷重走行試験，道路橋床版の設計の合理化と耐久性の向上，pp.1-62，2004 年
- 2) (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 (28 社共同研究で委託)，2006 年
- 3) 松井繁之：橋梁の寿命予測、安全工学 Vol. 30, No.6, pp.432-440, 1991 年
- 4) 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，p.45，2002 年 3 月
- 5) 横山，長屋，関口，堀川：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.49-54，2004 年