

# 既設道路橋床版の疲労耐久性に関する検討

Examination about the fatigue durability of highway bridge slabs

内田 賢一\* 西川 和廣\*\*  
Kenichi UCHIDA, Kazuhiro NISHIKAWA

\* 建設省土木研究所 (〒305-0804 茨城県つくば市大字旭1番地)  
\*\*工修 建設省土木研究所 (〒305-0804 茨城県つくば市大字旭1番地)

Slabs of highway bridges are members which directly support the wheel load. Recently, traffic volume and number of large sized car have increased. So, it is expected that slabs are in severe condition.

On account of this, it becomes urgent to clear the destruction mechanism of RC slabs and to examine the effective repair / reinforcement method that meet damage state.

So, in this studies, in order to grasp the fatigue durability of highway bridge slabs built by old standards, authors carried out Wheel Running Tests specimens built by old standards.

As a result of examination, It is understood that the fatigue durability of RC slabs improved largely as standards were revised.

key words: Wheel Running Test, RC slab, fatigue durability

## 1. 目的

わが国では現在、図-1に示す様に13万橋(支間15m以上)以上の道路橋が供用されており、こうした膨大な数の道路橋を適切に維持管理することが重要な課題となっている。特に輪荷重を直接受ける道路橋床版は、交通量の増大および車両の大型化の影響を大きく受け過酷な状況が生じると予想される。この様な中、道路橋床版の破壊メカニズムの解明や既設床版の損傷状態に応じた効果的な補修・補強工法の検討が求められている。

そこで本研究では、古い基準で製作された既設道路橋の床版の疲労耐久性を把握することを目的に表-1に示す昭和39年鋼道路橋設計示方書<sup>1)</sup>、昭和47年<sup>2)</sup>、平成8年道路橋示方書<sup>3)</sup>(以下「道示」)に準じて製作した鉄筋コンクリート床版(以下「RC床版」)供試体を対象に輪荷重走行試験を実施した。

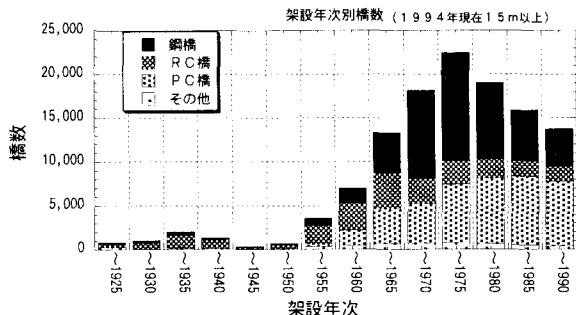


図-1 架設年次と橋数の関係

表-1 主な道路橋示方書(連続版)

		昭和39年11月 鋼道路橋設計示方書	昭和47年3月 道路橋示方書	平成8年12月 道路橋示方書	
輪荷重 (一等橋)		8	8	10	
	設計曲げモーメント	主鉄筋方向	$0.4P(L-1)/(L+0.4)$	$(0.12L+0.08)P \times 0.8$	$(0.12L+0.08)P \times 0.8$
		配力筋方向	(主鉄筋量の25%以上)	$(0.10L+0.04)P \times 0.8$	$(0.10L+0.04)P \times 0.8$
		衝撃係数	$20/(50+L)$	設計曲げモーメントを含む	設計曲げモーメントを含む
	割増し	1,000台以上で設計曲げモーメントを20%割増し	床版支間2.5m以上で $1.0+(L-2.5)/12$		
床版厚	最小版厚(cm)	約14	16 or $3L+11$	16 or $3L+11$	
	割増し			500未満 1.10 500以上1,000未満 1.15 1,000以上2,000未満 1.20 2,000以上 1.25	

## 2. 供試体

表-2に供試体の一覧を示す。供試体は、配力筋不足により特に損傷事例の多い昭和39年道示に準じて製作されたRC床版供試体9体、大型車交通量により設計曲

げモーメントの割増しを行うものとし配力鉄筋方向の設計曲げモーメントを与えた昭和47年道示、設計輪荷重の改訂および大型車交通量による床版の最小全厚の割増を行うものとした現行の平成8年道示に準じて製作したRC床版供試体を各1体の合計11体とした。

表-2 供試体の一覧

供試体名	供試体数(体)	適用示方書(年)	床版厚(cm)	鉄筋方向	呼び径	有効高さ(cm)	間隔(cm)
RC39	9	39	19	主鉄筋	D16 (D16)	15.7 (3)	15 (30)
				配力鉄筋	D13 (D10)	14.3 (4.3)	30 (30)
RC47	1	47	20	主鉄筋	D19 (D19)	16 (4)	12.5 (25)
				配力鉄筋	D16 (D16)	14.2 (5.8)	10 (20)
RC8	1	8	25	主鉄筋	D19 (D16)	21 (4)	15 (15)
				配力鉄筋	D16 (D13)	19 (5.6)	12.5 (12.5)

( ) : 圧縮側の値

供試体は、床版支間3.0mの連続版として各道示に準拠して設計し、床版厚および主および配力鉄筋量を決定した。

図-2～図-4に供試体の形状・寸法の例を示す。供試体の橋軸方向の寸法は、輪荷重走行試験機の走行範囲3.0mに対し0.75mの余裕を持たして4.5mとした。さらに供試体の橋軸直角方向の寸法は、単純支持にて試験を行うため支間中央の曲げモーメントが3.0mの連続板と同様になる2.5mで支持するものとし床版幅2.8mで製作した。

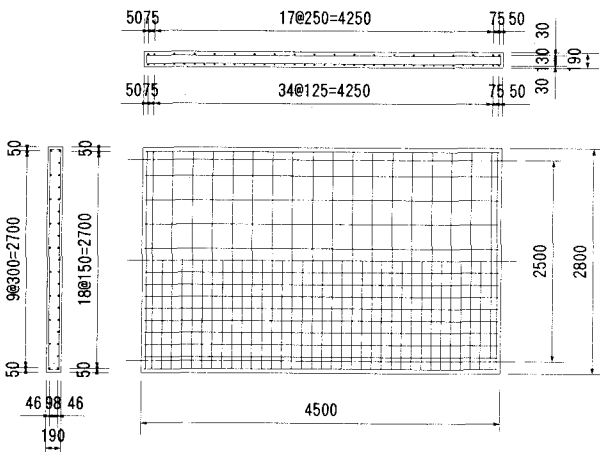


図-2 RC39供試体の形状・寸法(単位:mm)

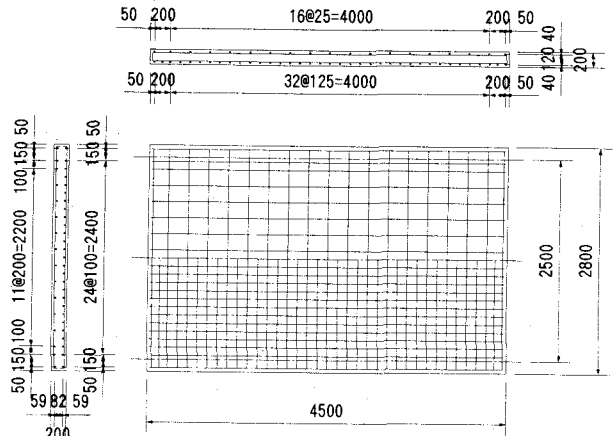


図-3 RC47供試体の形状・寸法(単位:mm)

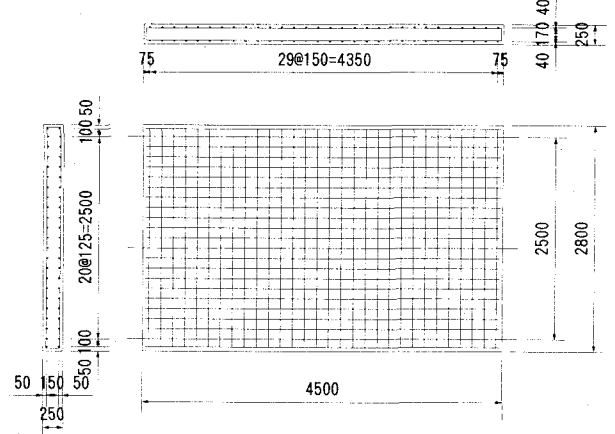


図-4 RC8供試体の形状・寸法(単位:mm)

なお、供試体の製作時には、RC床版のコンクリートの設計基準強度を考慮し、試験時のコンクリート強度が300kgf/cm<sup>2</sup>程度となる様に考慮した。

### 3. 試験方法

荷重試験は、図-5および表-3に示す実際の輪荷重の走行を再現可能な輪荷重走行試験機で行った。輪荷重走行試験は、床版供試体上に500×200mmの荷重ブロックを一行に並べた軌道上を幅500mm鉄輪が±1.5m往復して荷重するものとした。供試体は、輪荷重走行試験機に橋軸直角方向に単純支持し、橋軸方向には弾性支持した。さらに、供試体は、浮き上がりを防止するために回転拘束を与えないように支持桁に固定した。

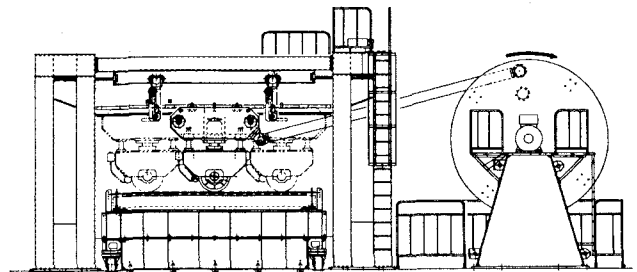


図-5 輪荷重走行試験機

表-3 輪荷重走行試験機の諸元

項目	仕様		
形状・寸法	試験機寸法	フレーム：高さ約5m×長さ約8m フライホイール：直径3.5m, 重さ10tf	
	供試体最大寸法	幅3.0m×長さ4.5m×厚さ0.35m (床版)	
	車輪の種類	鉄輪：直径700mm×幅300mm	
		鉄輪：直径700mm×幅500mm	
ゴムタイヤ：9.00-R20-14PR相当			
性能	駆動	走行範囲	±0.5/±1.0/±1.25/±1.5m
		最大回転速度	59.8/42.3/37.8/34.7rpm
	載荷	最大載荷力	走行時：50tf (490kN) 停止時：100tf (981kN)
		最大載荷ストローク	200mm

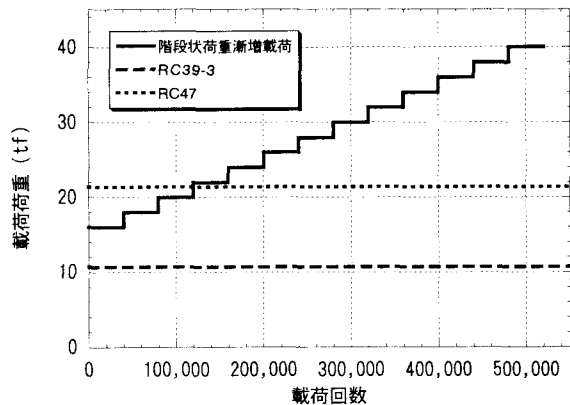


図-6 階段状荷重漸増載荷

RC39-2~9 供試体およびRC47 供試体に加えた載荷荷重 (P) を表-4 に示す。供試体に与えた荷重は計算により求めた静的押し抜きせん断強度  $P_0$ <sup>4)</sup> (式-1) の約30%前後とした。また、RC39-1 およびRC8 供試体の載荷荷重は、図-6 に示す16tf を初期荷重として4万回走行毎に2tf ずつ階段状に荷重を増加させる階段状荷重漸増載荷 (以下「階段載荷」) を行った。階段載荷は、大きな疲労耐久性を有する床版において荷重を漸増させる試験を行うことで一種の促進試験を行い、疲労耐久性の比較を容易に行えるように考慮したものである。

表-4 載荷荷重の一覧

供試体名	荷重(tf)
RC39-2	17.9
RC39-3	10.7
RC39-4	20.0
RC39-5	17.0
RC39-6	15.0
RC39-7	15.5
RC39-8	12.0
RC39-9	16.0
RC47	21.4

$$P_0 = \tau_{\max} \{2(a+2x_a)x_d + 2(b+2x_d)x_a\} + \sigma_{\max} \{2(4C_a+2d_d+b)C_a + 2(a+2d_a)C_d\} \quad (\text{式-1})$$

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

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

a, b: 載荷板の主鉄筋方向、配力鉄筋方向の辺長 (cm)

$x_a, x_d$ : 引張側コンクリート無視した場合の主鉄筋断面、配力筋断面の圧縮側コンクリート表面から中立軸までの距離 (cm)

$d_a, d_d$ : 引張側主鉄筋、配力鉄筋の有効高さ (cm)

$C_a, C_d$ : 主鉄筋、配力鉄筋のかぶり厚さ (cm)

#### 4. 試験結果

##### 4.1 供試体の破壊状況

各供試体の破壊状況を図-7~図-9 に示す。ここで、すべての供試体は、押し抜きせん断により破壊に至った。

各供試体の下面には、亀甲状の曲げひび割れが生じるが上面にも輪荷重の走行により橋軸直角方向のひび割れが発生した。これらのひび割れの本数は、破壊直前でRC39 供試体が約8本、RC47 供試体が約3本、RC8 供試体においては約1本と道示の改訂が行われる毎に少なくなる事がわかった。

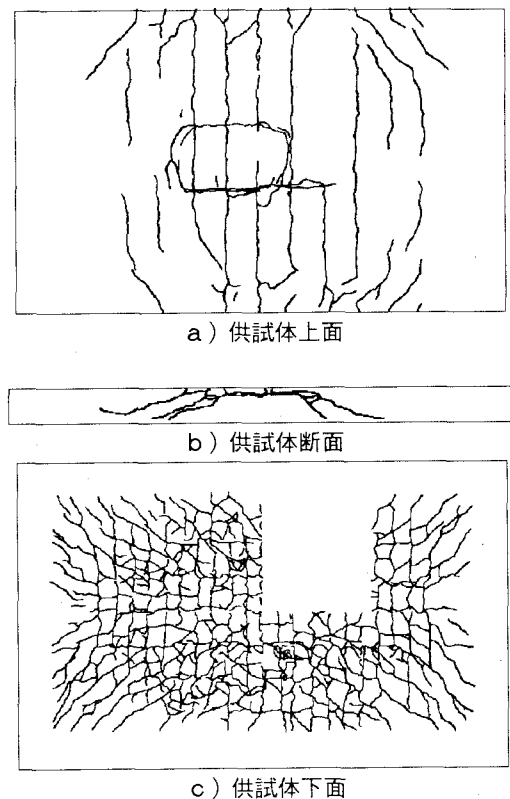
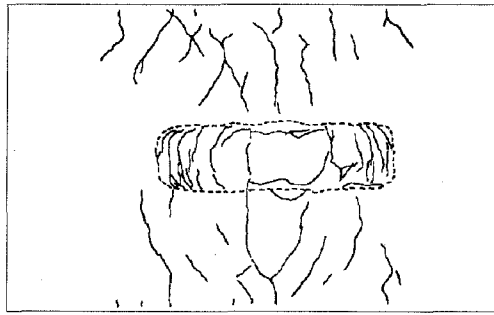
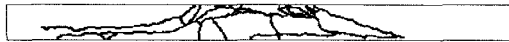


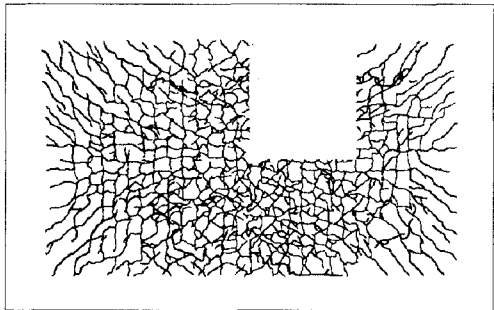
図-7 RC39 供試体の破壊状況



a) 供試体上面

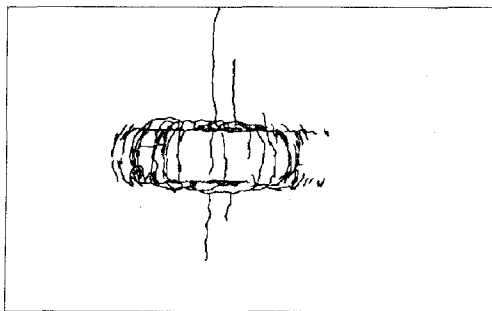


b) 供試体断面

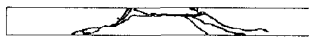


c) 供試体下面

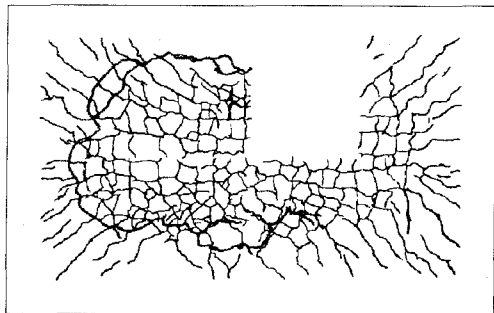
図-8 RC47 供試体の破壊状況



a) 供試体上面



b) 供試体断面



c) 供試体下面

図-9 RC8 供試体の破壊状況

ここでRC47、RC8 供試体の上面の橋軸直角方向ひび割れをRC39 供試体のそれと比較すると大幅に少なくなっていることが判る。これは、主鉄筋量に対する配力鉄筋量の比がRC39 供試体の約30% (道示では25%以上) からRC47およびRC8 供試体の約80% (道示では70~80%) と大幅に増えたことによるものと考えられる。さらにRC8 供試体の橋軸直角方向のひび割れがRC47 供試体のそれと比較して少ないのは、床版厚さも関係しているものと考えられる。

#### 4.2 走行回数と破壊回数の関係

各供試体の破壊時走行回数と載荷荷重 (段階載荷においては破壊時荷重) の一覧を表-5 に示す。さらにここでは、RC床版の疲労耐久性はマイナー則により近似できるとの報告<sup>4)</sup> によりRC39-2~8、RC47、RC8 供試体について16tfの載荷荷重にて試験を行ったものとし、走行回数を既往の研究を参考<sup>4)</sup> に換算したものを合わせて示す。また、RC39 供試体の走行回数に対するRC47およびRC8 供試体の走行回数の比を示す。

表-5 各供試体の破壊時走行回数の一覧

供試体名	破壊時荷重 (tf)	破壊時走行回数 (回)	コンクリート圧縮強度 (kgf/cm <sup>2</sup> )	16tf換算破壊時走行回数 (回)	換算回数 RC39平均
RC-39-1	16.0→16.0	27,392	274	27,392	1
RC-39-2	17.9	59,078	292	247,320	
RC-39-3	10.7	1,423,112	139	8,387	
RC-39-4	20.0	881	302	15,190	
RC-39-5	17.0	45,034	317	97,611	
RC-39-6	15.0	130,828	290	57,419	
RC-39-7	15.5	272,329	259	181,617	
RC-39-8	12.0	2,750,073	276	70,004	
RC-39-9	16.0	224,764	271	224,764	
RC47	21.4	148,927	305	6,088,106	59
RC8	16.0→28.0	255,649	276	49,666,487	481

ここで換算を行ったRC39-2~8 供試体の破壊時走行回数は、RC39-1のそれと比較すると大きなばらつきを生じる結果となった。これは、既往の研究を参考にしたS-N線の傾きが約1.3乗と鋼材等のそれと比較して大きいことにより、静的押し抜きせん断耐力すなわち試験時の供試体におけるコンクリート実強度および実際に配置されている鉄筋の有効高さ等の影響を受けているためと考えられる。

表-5において現行道示のRC8 供試体の16tf換算破壊時走行回数が他の供試体と比較して大幅に多いことがわかる。

段階載荷における載荷荷重と破壊時走行回数の関係を

図-10に示す。ここでは、段階荷重を行っていないRC39-2~9およびRC47供試体の走行回数をマイナー則により段階荷重の破壊時走行回数に換算した。

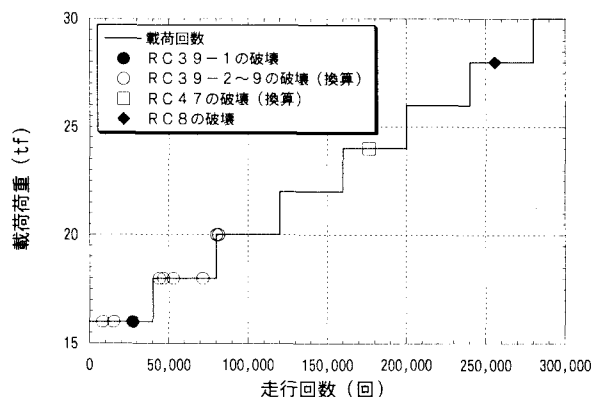


図-10 段階荷重試験結果

図-10においてRC39供試体の破壊時荷重が1.6~1.8 tf、RC47供試体が2.4 tf、RC8供試体が2.8 tfとなり適用示方書が新しくなるにつれて大幅な疲労耐久性の向上が確認された。

以上の結果より、道示の改訂により行われた設計曲げモーメントの割増や床版の最小全厚の割増により曲げ破壊耐荷力のみならず押し抜きせん断破壊をともなう疲労耐久性も向上したためと考えられる。

#### 4.3 走行回数と供試体中央の関係

図-11に同一荷重パターンである段階荷重を行ったRC39-1供試体とRC8供試体の走行回数と供試体中央変位の関係を示す。なお、それぞれの供試体は破壊直前に大きく変形し押し抜きせん断にて破壊に至った。

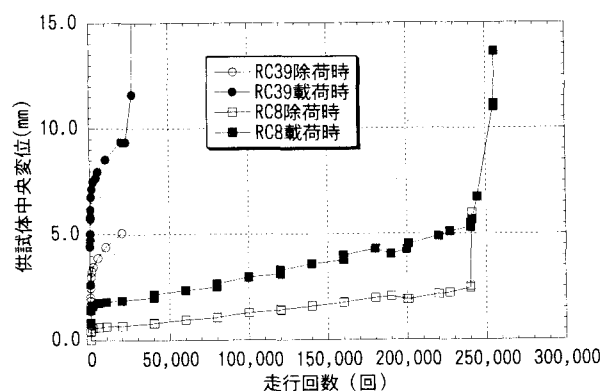


図-11 走行回数-供試体中央変位の関係

載荷荷重1.6 tfで破壊したRC39供試体の載荷時変位は、9 mmを越えた時点で急激に増加し破壊に至った。一方、RC8供試体は載荷荷重1.6 tfでも載荷時変位が2 mm程度と小さく、破壊直前の載荷荷重2.8 tfでも載荷時変位は6 mmと小さな値を示した。さらに、RC

8供試体の破壊時直前の活荷重たわみは約3 mmとRC39供試体の約4 mmと比較しても小さな値となった。

#### 4.4 RC39供試体のS-N関係

図-12にRC39供試体のS-N関係を示す。S-N線は、縦軸(S)に静的押し抜きせん断強度P。(式-1)に対する載荷荷重Pの比を無次元量で示し、横軸(N)に走行回数をともに対数で示した。

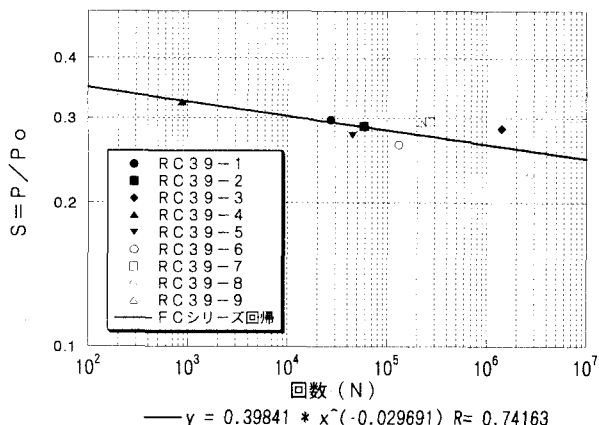


図-12 RC39供試体のS-N関係

図-12において本試験結果により求めたS-N線は、既往の研究<sup>4)</sup>と異なる結果を示した。これは本試験の供試体数が9体と少ないことが影響していることが明らかであり今後試験結果の充実とRC39供試体のみならず他の供試体もあわせて検討する事が必要であると考えられる。

#### 4.5 鉄筋の維ひずみ分布

図-13および14にRC39およびRC8供試体の走行回数および荷重の増加毎の主鉄筋の維ひずみ分布を示す。ここで、供試体下面に配置された主鉄筋のひずみは、走行回数および荷重の増加にともなって大きく増加する傾向を示した。しかし、供試体上面に配置された主鉄筋は、その割合が小さく載荷初期に減少の傾向を示した後、破壊前に増加の傾向を示した。さらに、RC8供試体下面に配置された主鉄筋のひずみは、破壊の直前で約800 μとRC39供試体のそれと比較して小さな値を示し供試体上面に配置された主鉄筋のひずみも同様な傾向を示した。

同様に図-15および16にRC39およびRC8供試体の走行回数および荷重の増加毎の配力鉄筋の維ひずみ分布を示す。主鉄筋のひずみの増減割合は、載荷荷重の増加により供試体の上下で大きく異なったが、配力鉄筋では、走行回数および載荷荷重の増加によっても増減割合が上面と下面で破壊の直前まで同様な値を示した。

さらに、RC8供試体下面に配置された配力鉄筋のひずみは、破壊の直前で約150 $\mu$ とRC39供試体の950 $\mu$ と比較して小さな値を示した。ここでRC8供試体の配力鉄筋のひずみが破壊の直前でも非常に小さな値を示したのは示方書の改訂により主鉄筋量に対する配力鉄筋量の比が約30%から約80%へと増加したためと考えられる。

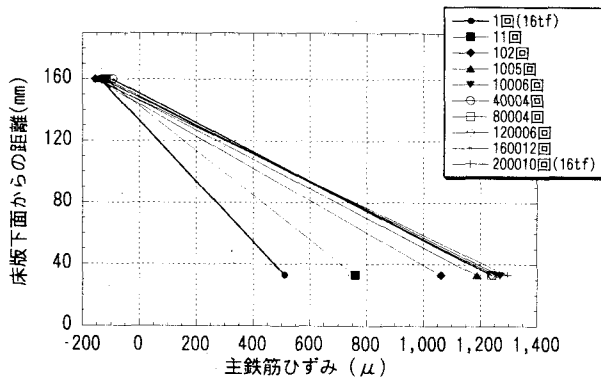


図-13 RC39-9供試体の主鉄筋維ひずみ分布

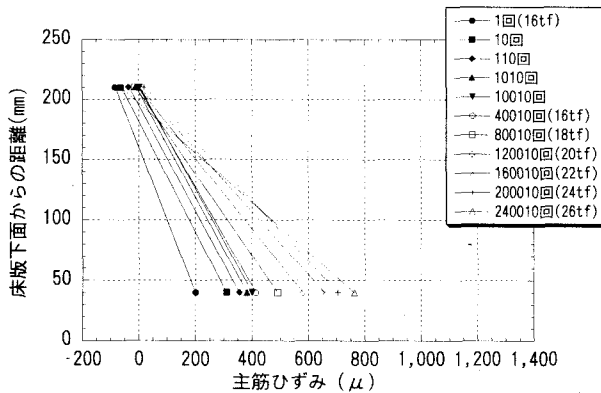


図-14 RC8供試体の主鉄筋維ひずみ分布

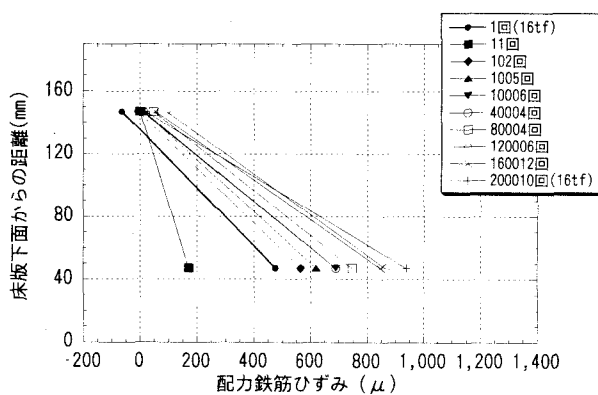


図-15 RC39供試体の配力鉄筋維ひずみ分布

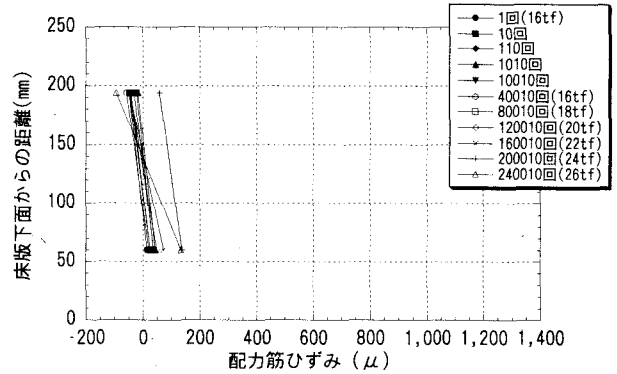


図-16 RC8供試体の配力鉄筋維ひずみ分布

### 5. まとめ

本研究では、既設道路橋床版の疲労耐久性を把握することを目的に輪荷重走行試験を行った結果以下のことが理解された。

- (1) RC床版の疲労耐久性の低下に大きく影響すると考えられる床版上面の橋軸直角方向ひび割れは、適用示方書が新しくなる毎に発生する本数が少なくなることが確認された。
- (2) 適用示方書が新しくなる毎にRC床版の疲労耐久性が大幅に向上している事が確認でき、現行道示に準拠して製作された供試体は、昭和39年道示および昭和47年道示に準拠して製作された供試体と比較して大きな疲労耐久性を有することが理解された。
- (3) 現行基準の平成8年道示に準拠して製作された供試体に配置された鉄筋のひずみは、破壊直前においていずれも降伏していない事が確認された。

### 参考文献

- 1) 日本道路協会：鋼道路橋設計示方書，1964
- 2) 日本道路協会：道路橋示方書・同解説 鋼橋編，1972
- 3) 日本道路協会：道路橋示方書・解説 鋼橋編，1996
- 4) 阪神高速道公団 阪神高速道路管理技術センター：道路橋RC床版のひびわれ損傷と耐久性、平成3年12月
- 5) 西川、内田：既設床版の疲労耐久性に関する実験的検討，第22回日本道路会議論文集，1997.12
- 6) 西川、内田：既設道路橋床版の疲労耐久性に関する検討，第53回土木学会年次学術講演会，1998.10