# 縮小RC床版供試体を使用した輪荷重走行試験

角間恒\*, 佐藤孝司\*\*, 西弘明\*, 松井繁之\*\*\*

\*博(工),(国研)土木研究所 寒地土木研究所 (〒062-8602 札幌市豊平区平岸1条3丁目1-34)
\*\*(国研)土木研究所 寒地土木研究所 (〒062-8602 札幌市豊平区平岸1条3丁目1-34)
\*\*\*工博,大阪大学名誉教授 (〒565-082 吹田市山田西 4-2-40-1006)

道路橋 RC 床版の疲労耐久性評価では,一般的に輪荷重走行試験が実施 されるが,実物大供試体の使用により試験が大規模化せざるを得ない現状 がある.材料劣化の進行により劣化損傷形態が多様化する RC 床版の現状 を踏まえると,豊富な試験結果を蓄積するため,縮小供試体を用いる試験 方法の確立は有意義である.本論文では,実物大および縮小供試体を使用 した輪荷重走行試験を実施し,たわみ性状や損傷・破壊性状,S-N 関係の 比較により,縮小供試体による試験方法の妥当性等について検討した. キーワード: RC 床版,縮小供試体,輪荷重走行試験

## 1. はじめに

昭和40年代から顕在化した道路橋 RC 床版(以下,床版)の疲労問題においては,劣化損傷機構の解明や疲労耐久性を表す S-N 曲線の提案に輪荷重走行試験<sup>1)</sup>が貢献してきた.また,近年報告事例が増加している,凍害<sup>2)</sup>やアルカリシリカ反応<sup>3)</sup>といった材料劣化と疲労との組合せによる複合劣化を受けた床版に対しても,その劣化損傷過程の評価や対策技術の確立において輪荷重走行試験が大いに活用されるものと考えられる.

一方で,輪荷重走行試験の多くでは実物大の床版供試体(以下,実物大供試体)が使用されるために試験が大 規模化せざるを得ず,多様な劣化要因を取り入れた試験 の実施は困難である.したがって,試験の容易さや試験 結果の蓄積の観点から,実物大供試体を縮小した供試体

(以下,縮小供試体)を使用した試験方法の確立は大変 有意義である.

以上より、本論文では、縮小供試体を使用した輪荷重 走行試験方法の確立に向けた基礎的検討として、実物大 および縮小供試体の輪荷重走行試験を実施し、たわみ性 状や破壊性状、S-N関係に着目して両者の比較を行った.

## 2. 輪荷重走行試験

#### 2.1 試験装置

試験には、表-1に示す2台の輪荷重走行試験機を使用した.実物大試験機は松井が考案したクランク式の輪荷重走行試験機<sup>1)</sup>であり、小型試験機は実物大試験機の縮小版である.

項目	実物大試験機	小型試験機
載荷機構	クランク式	クランク式
走行範囲	2.0m	1.0m
走行速度	24 往復/分	24 往復/分
タイヤの種類	鉄輪,ゴム	鉄輪,ウレタン
最大荷重 (鉄輪時)	300kN	40kN

### 表-1 輪荷重試験機の仕様

#### 2.2 供試体

表-2に供試体の基本諸元を,表-3に供試体の一覧を 示し,以下にその詳細を説明する.

#### (1) 概要

試験には,昭和31年の鋼道路橋設計示方書 4に準ずる 床版供試体を使用した.実物大供試体は床版厚 160mm として設計し,縮小供試体は試験機の性能を考慮して実 物大供試体の2/5 に縮小した.

### (2) 使用材料

供試体コンクリートの配合および圧縮・静弾性係数試験の結果を表-3 に示す.縮小供試体においては、粗骨材の最大寸法をかぶりの約2/3に相当する10mmとした.

鉄筋は、実物大供試体では丸鋼鉄筋(SR235)あるい は異形鉄筋(SD345)を使用し、主鉄筋および配力鉄筋 の径をそれぞれ16mmおよび13mmとした。縮小供試体 では異形鉄筋(SD295A)を使用し、主鉄筋および配力 鉄筋ともに径6mmとした。

#### 2.3 支持方法

供試体の支持条件は、走行方向2辺(長辺)を丸鋼に よる単純支持、走行直角方向2辺(短辺)をH形鋼によ

表-2 供試体の基本諸元

/#+⇒+>/++-		寸法			主鉄筋		配力鉄筋		
浜政体	走行直角	走行	厚さ	径	有効高	間隔	径	有効高	間隔
个里力门	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)
実物大	2,650	3,300	160	16	120 (40)	130 (260)	13	105.5 (54.5)	230 (230)
縮小	1,060	1,370	64	6	48 (16)	45 (90)	6	42 (22)	120 (120)

#### 表-3 供試体の一覧

			コンクリート <sup>※2</sup>			押抜きせん断	十二十五	
供試体名 <sup>※1</sup> 床版種別 鉄角	鉄筋種別	配合	圧縮強度 (N/mm <sup>2</sup> )	弾性係数 (kN/mm <sup>2</sup> )	耐力 <sup>%3</sup> (kN)	走行简重 (kN)	荷重比 <sup>%4</sup>	
L-43-0.41			SR235 24.8 20N	43.0	25.9	268.3	110.0	0.41
L-42-0.57		SR235		41.7	25.4	264.2	150.0	0.57
L-37-0.78		24-0	24-8-20IN	36.6	26.0	242.4	190.0	0.78
L-39-0.59		SD345		38.6	23.9	254.7	150.0	0.59
S-35-0.46		小 SD295A	24-8-10N	35.3	23.8	49.5	23.0	0.46
S-38-0.40			32-8-10N	37.9	26.2	50.6	20.0	0.40
S-41-0.58			24-8-10N	40.8	29.8	51.3	30.0	0.58
S-52.0.51			34-8-10N	52.3	33.6	58.3	30.0	0.51

※1 供試体名のつけ方:床版種別(L:実物大,S:縮小)-コンクリートの圧縮強度-荷重比

※2 コンクリートの圧縮強度と弾性係数は試験開始時の値

※3 押抜きせん断耐力は式(1)による計算値

※4 荷重比は走行荷重と押抜きせん断耐力の比

表一4	支持方法の詳細

項目		実物大 試験機	小型 試験機
	単純支持	2,350mm	960mm
又行间隔	弹性支持	3,150mm	1,270mm
H 形鋼の呼称寸法		175×175	100×50

## 表-5 載荷方法の詳細

項目		実物大 試験機	小型 試験機
載荷ブロック1組	走行直角	300mm	200mm
による載荷面積	走行	120mm	80mm
走行範囲	3	±1.0m	±0.5m

る弾性支持とした.また,供試体の四隅には浮き上がり 防止材を設置した.支持方法の詳細を表-4に示す.

#### 2.4 載荷および計測方法

輪荷重の載荷には鉄輪を使用し、床版支間中央に並列 して敷き並べた載荷ブロックの上を連続走行させた.な お、鉄輪の軌道部では、載荷ブロックの上にベニヤ板お よび鋼板の敷設を、床版と載荷ブロックの間には供試体 表面の不陸を修正するためのエポキシ樹脂の塗布および 衝撃および騒音防止のためのベニヤ板の敷設を行った. 載荷方法の詳細を表-5に示す.

輪荷重走行は、一定荷重の下、供試体が破壊に至るまで実施した.各供試体の走行荷重は表-3に示しており、 次式で得られる梁状化した床版の押抜きせん断耐力 <sup>5</sup>に 対する比(以下、荷重比)の範囲は0.40~0.78 である.

$P_{sx}=2B(f_vX_m+f_tC_m)$	(1)
$B=b+2d_d$	(2)
$f_v = 0.656  f_c^{0.606}$	(3)
$f_t=0.269 f_c^{2/3}$	(4)

ここに、 $P_{sx}$ :梁状化した床版の押抜きせん断耐力 (kN), B:梁状化の梁幅 (mm), b:載荷板の走行方向の辺長 (mm), d<sub>d</sub>:配力鉄筋の有効高さ (mm),  $X_m$ :引張側コンクリー トを無視した主鉄筋直角断面の中立軸深さ (mm),  $C_m$ : 引張側主鉄筋のかぶり (mm),  $f_c$ :コンクリートの圧縮 強度 (N/mm<sup>2</sup>),  $f_v$ :コンクリートのせん断強度 (N/mm<sup>2</sup>), f<sub>i</sub>:コンクリートの引張強度 (N/mm<sup>2</sup>) である.

本試験では,所定の回数において輪荷重走行を停止し, 供試体中央での静的載荷により供試体下面のたわみを計 測した.また,目視によるひび割れの観察および打音に よるはく離の検査も行った.

## 3. 試験結果

本章では、供試体コンクリートの圧縮強度および荷重 比が同程度である L-42-0.57, L-39-0.59, S-41-0.58 に着目 して、たわみ性状と損傷・破壊性状を比較する.また、 最後に縮小供試体による S-N 関係を示す.

### 3.1 供試体中央たわみ

#### (1) たわみと走行回数の関係

図-1 に, L-42-0.57, L-39-0.59, S-41-0.58 の供試体中 央での活荷重たわみ(以下,たわみ)と走行回数の関係 を示す. なお, 縮小供試体のたわみは, 物理量の相似則 に基づき実物大供試体でのたわみに換算している.

$$\delta^* = \alpha \cdot \delta/n \tag{5}$$
  
$$\alpha = n^2 \cdot P^*/P \tag{6}$$

ここに、 $\delta^*$ :換算後のたわみ (mm)、 $\delta$ :たわみの計測値 (mm)、 $\alpha$ :係数、n:相似比 (=2/5)、P\*:換算荷重 (kN)、

P:試験時の輪荷重(kN)である.ここで,実物大供試体と縮小供試体では載荷ブロック寸法などの差異により 走行荷重に相似則が成立しておらず,係数αにより走行 荷重の差異も補正している.

いずれの供試体も走行回数の増加とともにたわみが漸 増し,L-42-0.57 では2.9 万回,L-39-0.59 およびS-41-0.58 では4.8 万回でたわみが急増して破壊に至った.各供試 体のたわみを比較すると,縮小供試体のS-41-0.58 は,実 物大供試体のL-42-0.57 と同程度のたわみを推移し,破壊 直前ではL-39-0.59 のたわみと概ね一致する.

#### (2) たわみ分布

図-2に、L-39-0.59 および S-41-0.58 においてたわみ増 加勾配が大きくなり始める走行回数4万回における分布 を示す.載荷位置は供試体中央,たわみ計測位置は単純 支持間隔あるいは弾性支持間隔の中央であり,横軸は支 持間隔の 1/2 で無次元化している.また,図中には, S-41-0.58 について引張側コンクリートを無視した断面 を用いた場合の理論たわみも図示する.

各々のたわみ分布を比較すると、走行回数4万回では、 走行方向および走行直角方向ともに、縮小供試体 S-41-0.58の分布が実物大供試体 L-39-0.59の分布と一致 する.また、両者は理論たわみとも一致することから、 活荷重たわみが引張コンクリートを無視した理論たわみ に達した時を使用限界状態と定義する既往の知見のは、 縮小供試体にも適用できる.

## 3.2 損傷·破壊性状

### (1) 床版下面の損傷状況

図-3 に、破壊時における供試体下面の損傷状況を示 す.いずれの供試体も、軌道部近傍では2方向のひび割 れが発生し基本的なひび割れ性状は類似しているが、 L-42-0.57 および L-39-0.59 では軌道部直下において明ら かにコンクリートがブロック化しているのに対し、 S-41-0.58 ではコンクリートのブロック化が顕著ではな い.本研究で使用した縮小供試体4体の中には、ブロッ ク化するものとしないものがあったが、その差異は明ら かではなく、今後詳細な比較が必要である.

破壊時のコンクリートのはく離・はく落範囲は, L-39-0.59 では円形状に分布し,2 方向に押抜き面が形成 されているが,はく離・はく落はまず走行直角方向に生 じ,走行方向へは終局状態に達してからの数回の走行で 生じたものであり,損傷・破壊性状は他の2 体と同様で あると判断した.



図-4 は供試体下面のひび割れ密度と走行回数の関係 であり、横軸は破壊時の走行回数で無次元化した.なお、 縮小供試体の計測結果は、縮小比を考慮して実物大に換 算した値である.図より、全ての供試体で概ね同様のひ び割れ密度の増加を示し、S-41-0.58 では丸鋼鉄筋を使用 した L-42-0.57 と同程度である.異形鉄筋を使用した場合、 丸鋼鉄筋を使用した場合よりひび割れ密度が増加する とされる<sup>7</sup>が、本試験では異なる傾向であった.

### (2) 押抜きせん断破壊の範囲

表-6 は、破壊性状の比較として、打音検査により確認された下面コンクリートはく離・はく落部最外縁から載荷ブロック端部までの距離、および主鉄筋の有効高から押抜きせん断破壊の範囲を簡易に推定したものである. 表-6 より、縮小供試体の破壊範囲が実物大供試体と同程度であることがわかる.

#### (3) S-N 関係

図-5は、本試験から得られた全供試体の S-N 関係で あり、縮小供試体の S-N 関係は、実物大供試体の曲線を 精度良く再現している.また、丸鋼鉄筋を使用した場合、 ひび割れ分散性の低下とひび割れ幅の増大により、異形 鉄筋を使用した場合と比較して疲労耐久性が低下すると されている<sup>7</sup>が、図-5 では鉄筋種類による違いは見ら れない.

本試験では、実物大供試体にはリブと節を有する異形



鉄筋を、縮小供試体にはリブのないネジ状の節を有する 異形鉄筋を使用した. コンクリートと鉄筋の付着強度は 鉄筋の形状により異なるが、床版の疲労挙動における鉄 筋形状の影響は明確ではない. また, 縮小供試体におい てコンクリートの粗骨材寸法を縮小した影響も明らかで はない. したがって、こうした影響要因を考慮して、縮 小供試体による S-N 関係の精度の再検証が必要であろう.

## 4. おわりに

本論文では、実物大 RC 床版供試体および縮小 RC 床 版供試体の輪荷重走行試験を実施した. その結果, 両者 ではたわみ性状やひび割れ性状, S-N 関係が概ね一致し,

- 68 -

Ψ a:はく離・はく落部最外縁から載荷ブロック端部 までの距離

縮小供試体の輪荷重走行試験により, RC 床版が疲労破 壊に至るまでの挙動を評価できることを示唆した.

が限定された条件の下で輪荷重走行試験を実施したもの である. 今後は、床版の挙動における寸法効果等の確認 を行い、縮小供試体を使用した輪荷重走行試験の妥当性

- 1) 松井繁之:道路橋コンクリート系床版の疲労と設計法
- 2) 三田村浩, 佐藤京, 本田幸一, 松井繁之: 道路橋 RC 床版上面の凍害劣化と疲労寿命への影響,構造工学論
- 3) 五島孝行, 大田孝二, 梶尾聡, 鈴木康範, 井戸康清, 島田守:アルカリ骨材反応で損傷した道路橋床版の調 查, 土木学会年次学術講演会講演概要集, Vol.68, No.1, pp.835-836, 2013.
- 4) 日本道路協会: 鋼道路橋設計示方書, 1956.
- 5) 松井繁之:移動荷重を受ける道路橋 RC 床版の疲労強 度と水の影響について,第9回コンクリート工学年次 論文報告集, pp.627-632, 1987.
- 6) 松井繁之, 前田幸雄: 道路橋 RC 床版の劣化度判定法 の一提案, 土木学会論文集, 第374号/I-6, pp.419-426, 1986.
- 7) 赤代恵司, 三田村浩, 渡邉忠朋, 岸徳光: 丸鋼鉄筋を 用いた RC 床版の疲労特性に関する実験的研究,構造 工学論文集, Vol.57A, pp.1297-1304, 2011.

(2016年7月18日受付)