

## プレキャストPC床版継手の疲労耐久性照査試験

(株)高速道路総合技術研究所 正会員 工修 ○長尾 千瑛  
 (株)高速道路総合技術研究所 正会員 広瀬 剛

キーワード：プレキャストPC床版，継手，疲労耐久性

### 1. 背景と目的

高速道路会社3社の管理する道路は、供用から30年を経過した延長が約4割を超え、車両の大型化に伴う交通荷重の増加、凍結防止剤の大量散布や海砂の使用、1986年の塩化物総量規制など建設当時に考慮されていない環境条件が影響して多くの橋梁において床版の劣化が進行している。平成27年度からは特定更新等工事が開始し、今後、多くの鋼橋において床版取替えが計画されている。

プレキャストPC床版継手部の疲労安全性は、継手の開発会社が設定した輪荷重走行試験の条件にて評価されている。今後増える継手部の評価方法を統一するため、検討中のプレキャストPC床版継手部の疲労安全性確認試験について紹介する。

### 2. 試験条件の設定

#### 2.1 1年間の等価繰返し回数

使用する軸重計データは、最新の2005年でもっとも平均軸重の重い、東名日本平を採用した(表-1)。明らかに誤計測と想定される結果を排除し、耐用年数100年相当の156.9kN換算軸数を算出した。

$$N_{eq} = C_2 \cdot N_T$$

$$= 3.647 \times 10^{-4} \cdot 8,226,096 \times 1.15$$

$$= 3,450 \text{ 回/年}$$

ここで、

$$C_2 = \int_0^{P_{max}} \left(\frac{P}{P_0}\right)^m p(P) dP$$

m ; S-N曲線の傾きの逆数の絶対値 (RC床版のS-N曲線の傾きを使用=12.76)

P ; 任意の輪荷重

P<sub>0</sub> ; 基本輪荷重

p(P) ; 輪荷重に関する確率密度関数

N<sub>T</sub> ; 1年間の通行回数

※係数1.15は軸重計とトラカンのカウント台数の差に対する補正值

以上より、156.9kN/輪の1年間の等価繰返し回数は3,450回/年とした。

表-1 使用する軸重計データ

東名高速 日本平 (上り走行)			2005年1月～2005年12月		
軸重 範囲	中心 軸重 (P)	軸重計測値 軸数 n	軸重 範囲	中心 軸重 (P)	軸重計測値 軸数 n
0.0 ~ 1.0	0.5	1,207	30.0 ~ 31.0	30.5	37
1.0 ~ 2.0	1.5	85,776	31.0 ~ 32.0	31.5	35
2.0 ~ 3.0	2.5	589,842	32.0 ~ 33.0	32.5	24
3.0 ~ 4.0	3.5	1,474,888	33.0 ~ 34.0	33.5	26
4.0 ~ 5.0	4.5	1,715,448	34.0 ~ 35.0	34.5	12
5.0 ~ 6.0	5.5	1,443,993	35.0 ~ 36.0	35.5	5
6.0 ~ 7.0	6.5	964,653	36.0 ~ 37.0	36.5	5
7.0 ~ 8.0	7.5	675,002	37.0 ~ 38.0	37.5	5
8.0 ~ 9.0	8.5	480,928	38.0 ~ 39.0	38.5	3
9.0 ~ 10.0	9.5	361,956	39.0 ~ 40.0	39.5	3
10.0 ~ 11.0	10.5	215,058	40.0 ~ 41.0	40.5	1
11.0 ~ 12.0	11.5	109,527	41.0 ~ 42.0	41.5	1
12.0 ~ 13.0	12.5	46,851	42.0 ~ 43.0	42.5	2
13.0 ~ 14.0	13.5	21,661	43.0 ~ 44.0	43.5	1
14.0 ~ 15.0	14.5	12,369	44.0 ~ 45.0	44.5	0
15.0 ~ 16.0	15.5	7,069	45.0 ~ 46.0	45.5	1
16.0 ~ 17.0	16.5	4,676	46.0 ~ 47.0	46.5	2
17.0 ~ 18.0	17.5	4,050	47.0 ~ 48.0	47.5	0
18.0 ~ 19.0	18.5	2,656	48.0 ~ 49.0	48.5	0
19.0 ~ 20.0	19.5	2,108	49.0 ~ 50.0	49.5	1
20.0 ~ 21.0	20.5	1,692	50.0 ~ 51.0	50.5	1
21.0 ~ 22.0	21.5	1,346	51.0 ~ 52.0	51.5	0
22.0 ~ 23.0	22.5	990	52.0 ~ 53.0	52.5	0
23.0 ~ 24.0	23.5	783	53.0 ~ 54.0	53.5	2
24.0 ~ 25.0	24.5	537	54.0 ~ 55.0	54.5	0
25.0 ~ 26.0	25.5	331	55.0 ~ 56.0	55.5	0
26.0 ~ 27.0	26.5	218	56.0 ~ 57.0	56.5	0
27.0 ~ 28.0	27.5	137	57.0 ~ 58.0	57.5	0
28.0 ~ 29.0	28.5	91	58.0 ~ 59.0	58.5	0
29.0 ~ 30.0	29.5	86	59.0 ~ 60.0	59.5	0
			合計		8,226,096

## 2.2 載荷条件

試験には輪荷重走行試験機を用いる。供試体は、床版支間 2.5m で単純支持し、橋軸方向には弾性支持する。橋軸方向は、断面計算により供試体が無限に長いとみなせる長さの床版と比較して中央部で同様のたわみとなるような剛性をもつ H 型鋼材を横梁として用いる。供試体は、浮き上がりを防止し回転拘束を与えないように支持桁に固定する。床版供試体上には 500×200mm の載荷ブロックを一列に並べた軌道上を幅 500mm の鉄輪が±1.5m を往復するものとする。

### (1) 支間長の設定

過去に実施されたPC版継手無の試験体<sup>1)</sup>において、コンクリート強度が $56.7\text{N/mm}^2$ 、有効プレストレスが $3\text{N/mm}^2$ の場合、破壊面の角度は、文献<sup>2)</sup>によって計算すると $36^\circ$ 、破壊後の切断面(図-1)では、 $10^\circ \sim 30^\circ$  となっている。切断面で主鉄筋より下側の角度が $10^\circ$  となったのは、下側鉄筋に沿ってひび割れが進展したためと考えられる。そこで、今回の試験体もハンチ部にひび割れがかからないためには支間長が2500mm以上必要となる(図-2)。

一方、既往の研究<sup>3)</sup>において、支間長が短くなるほど床版の疲労寿命は短くなる。曲げモーメントではなくせん断力に大きく依存することが知られている。

今回取替えを予定している橋梁の支間長は、平成2年道路公団設計要領に記載の標準桁配置から、2.0m以上であることが想定される。2.5mより床版支間の短い橋梁に対して本試験結果を用いる場合、支間長の違いによるせん断力の違いは、別途、梁状化した床版の押抜きせん断耐力 $P_{SX}$ を算出する際に発生する応力により換算することとする。

以上から、支間長は2.5mとした。なお、せん断力に着目すると偏載荷することも考えられるが、載荷幅500mm内で均等に載荷出来ない恐れがあること、試験機の反力梁にねじれが加わり試験機が壊れる恐れがあることから荷重を均等にかける支間中央載荷とした。

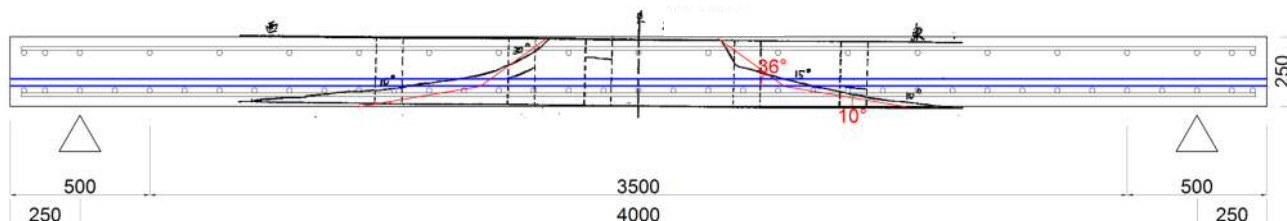


図-1 長支間PC床版の移動輪荷重走行疲労試験<sup>1)</sup> PC-1 破壊面 単位：(mm)

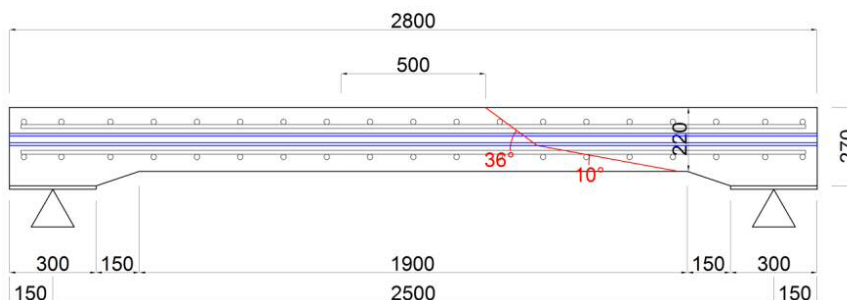


図-2 本試験体で想定する破壊面の角度 単位：(mm)

### (2) 載荷パターンの設定

PC床版継手部の疲労安全性は、RC床版における100年相当を要求性能とする。

載荷荷重は、NEXCO総研および他機関の保有する試験機を使用できることを条件とした。

RC床版の輪荷重走行試験において、乾燥状態と水浸状態では破壊回数が約1/100となるとの報告<sup>4)5)</sup>があることから、現場では常に水浸状態と仮定して、要求する試験回数を100倍とすることとした。

荷重ステップは、道路橋示方書の解説には階段荷重の事例が記載されている。異なる荷重で実施された試験を各荷重の破壊回数と比較する場合、S-N曲線の傾きが必要となる。しかし、PC版のS-N曲線の傾きは研究されていないことから、荷重荷重は一定荷重とした。

試験実施に要する期間を考慮して、クランク式試験機で2~3日で100年相当の耐久性が確認できる荷重として250kNに設定した。なお、基本荷重16t/輪を250kN/輪に換算する際には、S-N曲線の傾きの逆数mはRC床版の傾きと同様と仮定し12.76を用いている。

継手部には膨張コンクリートを用いるが、水浸時に膨張反応が継続する可能性があるとの知見もあることから、材料の違いなどによる影響を排除するため、試験時は乾燥状態で行うものとし、水張りは実施しないこととした。

設定した荷重STEPの計算根拠を表-2に示す。

表-2 換算耐用年数

荷重STEP	荷重強度 $P_i$ (kN)	基本荷重 $P$ (kN)	傾きの逆数 (松井式) $m=1/k$	荷重回数 (片道) $n_i$ 回	等価走行回数 $N_{eq} = \sum ((P_i/P)^m) \cdot n_i$ 回	耐用年数	耐用年数	摘要
					乾燥	乾燥	水浸 <sup>※</sup>	
1	250	156.9	12.76	100,000	$3.8 \times 10^7$	1.1 万年	111 年	乾燥

※ 乾燥状態を水浸状態への換算係数は1/100とした

### 2.3 試験体の設計

試験体は、連続版の3.2mとして設計要領第2集に基づき設計し、2.5mの単純支持版として試験する。

#### (1) 使用材料

使用材料は表-3に示すとおりとした。

継手部のコンクリートは、試験開始時の強度が高くなりすぎないように設定するものとした。これは、既往の解析結果<sup>6)</sup>より、コンクリート強度が6.0N/mm<sup>2</sup>大きくなるごとに疲労寿命が10倍になる可能性が報告されているためである。

鉄筋は設計要領では継手部のみにエポキシ樹脂塗装鉄筋を使用することを標準としているが、路線によっては全てエポキシ樹脂塗装鉄筋を使用する場合もあることから、エポキシ樹脂塗装鉄筋の付着性能が影響しないことを確認するため、プレキャストPC床版部もエポキシ樹脂塗装鉄筋を用いるものとした。

PC鋼材は、プレテンション方式の場合に部材の端部より65Φ区間(12.7Sの場合825mm)でプレストレスが二次放物線で分布することになるが、試験機械によっては試験体幅を大きく出来ない制約より、ポストテンション方式を採用した。また、PC鋼より線の場合、セット量により有効プレストレス応力のばらつきが大きくなることを懸念し、プレストレス量の調整がしやすいPC鋼棒とネジ定着を使用することとした。鋼棒の配置間隔は、プレテンション方式の配置間隔と同等程度となった。

表-3 使用材料の規格

材料		規格等
プレキャスト PC床版	コンクリート	呼び強度 50N/mm <sup>2</sup> 早強コンクリート
	鉄筋	SD345 エポキシ樹脂塗装鉄筋 (JSCE-E 102-2003) を使用
	PC鋼棒	SBPR B種 ポストテンション方式
継手部	コンクリート	試験開始時のコンクリート強度が設定強度±10N/mm <sup>2</sup> となるように調整する。
	鉄筋	防錆処理を付加

(2) 床版厚

床版の最小全厚tは、道示Ⅱ9.3.5に準じて、

$$t = (30L + 110) \times 0.9 = (30 \times 3.2 + 110) \times 0.9 = 185.4 \sim 190\text{mm}$$

一方、ループ継手では、鉄筋の曲げ直径が下記の式を満たす必要がある<sup>7)</sup>。

$$d_B \geq \left(1.4 + 2.8 \frac{\phi}{e}\right) \cdot \frac{\sigma_e}{\beta_{wN}} \cdot \phi = \left(1.4 + 2.8 \frac{19}{150}\right) \cdot \frac{140}{50} \cdot 19 = 93.3\text{mm}$$

ここで、 $\sigma_e$  ; 曲げ始点での発生鉄筋応力度 (=140N/mm<sup>2</sup> : 許容応力度と仮定)

e ; ループ鉄筋の中心間隔 (橋軸方向鉄筋ピッチ)

なお、道示「表-解 3.1.4 鉄筋コンクリート用棒鋼の機械的性質」より、曲げ内側半径は公称直径の2倍以上との規定があるため、 $d_B \geq D19 \times 2 \text{倍} \times 2$  (直径) = 76mm を確認した。

よって、鉄筋の曲げ直径から最小床版厚は220mm (図-3) とする。

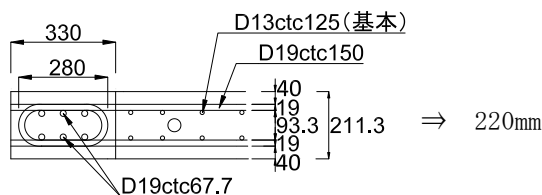


図-3 鉄筋の曲げ直径から決まる最小床版厚

(3) 床版の設計条件

道示Ⅱ鋼橋編9.2.4, 9.3.4による設計曲げモーメント, B活荷重, 連続版支間3.2m, 端支間曲げモーメント, T荷重の片側荷重P=100kN, 舗装等の橋面荷重は考慮しない条件で設計した試験体の配筋を表-4に示す。

表-4 試験体の配筋

部位	断面の方向
プレキャスト PC 床版部	橋軸直角方向 D13×125mm φ23@250mm×1段
	橋軸方向 D19×150mm
ループ継手	橋軸直角方向 D19×6本
	橋軸方向 D19×75mm

3. 今後の研究方針

以上の試験条件において、3体の輪荷重走行試験を実施しているところである。継手の要求性能は、100年相当の輪荷重に耐えた後に漏水が生じないことを想定している。結果については別に発表する予定である。

■参考文献

- 1) 長谷, 上東, 安松 : 長支間 PC 床版の移動輪荷重走行疲労試験による耐久性評価, コンクリート工学年次論文集, vol.21, No.3, pp.259-264, 1999
- 2) 東山, 松井 : プレストレスしたコンクリート床版の押抜きせん断耐力, 構造工学論文集 vol.44A, pp.1357-1364, 1998
- 3) 阪神高速道路公団 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, pp.92-96, 1991.12
- 4) 松井 : 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, コンクリート工学年次論文報告集 9-2, pp.627-632, 1987
- 5) 松井 : 道路橋床版の長寿命化技術, 森北出版, pp25, 2016
- 6) 藤山, 上條, 前川 : 輪荷重走行試験の既往データの分析と数値解析による床版疲労損傷要因の検証, 第7回道路橋床版シンポジウム論文報告集, pp243-247, 2012
- 7) F. レオンハルト・E. メニッヒ (横道英雄監訳) : 鉄筋コンクリートの配筋, 鹿島出版会, 1985年