

## 内牧高架橋の張出し床版の移動輪荷重走行疲労試験

鹿島・安部・ドーピー共同企業体 正会員 工修 ○ 鴻上 浩明  
 日本道路公団 静岡建設局 非会員 工修 本間 淳史  
 日本道路公団 静岡建設局 非会員 長谷 俊彦  
 鹿島・安部・ドーピー共同企業体 非会員 新井 崇裕

### 1. はじめに

内牧高架橋は、「張出し床版をストラットで支持する構造形式のPC箱桁橋(ストラット付箱桁橋)」、「箱桁断面の中心部分をプレキャストセグメントで先行架設した後、ストラットと張出し床版を後行架設する施工法(断面分割型プレキャストセグメント工法)」という二つの新技術・新工法を採用した橋梁である(図-1)<sup>1)</sup>。本橋の張出し床版は、張出し先端をストラットで支持する構造の他に、コアセグメントに張出し床版を後施工で場所打ちするため、断面内に橋軸方向の施工目地が介在するという特徴を有する。これらの特徴を有する本橋の張出し床版の疲労耐久性を確認する目的で、実物大の張出し床版模型を製作し、これに移動輪荷重を走行させて、床版の疲労試験を行った。本報告は、疲労試験の概要および結果について述べるものである。

### 2. 試験概要

#### 2.1 試験体

本橋の張出し床版は、1節で述べたとおり、特徴的な構造を有しているため、試験体は、半断面程度の模型とすることが望まれた。また、疲労試験ということもあり、寸法効果の影響を試験結果から排除するため、実物大の模型とする必要があった。しかしながら、試験装置の制約から、試験体の規模を実物大の半断面模型とすることは不可能であった。そこで、図-2に示すように、張出し床版の部位を切り出した模型とすることとし、「ストラット支持部」と「ウェブとの接合部」の境界条件を工夫することにより、実構造物と同等の挙動を示すように試験体を計画することとした(境界条件については、2.2節に後述する)。試験体の仕様ほかを図-3に示す。

#### 2.2 試験方法

##### (1) 移動輪荷重重載荷疲労試験機

疲労試験機は、JHI試験研究所所有の移動載荷疲労試験機を使用した。本試験機は、実際の輪荷重の走行を再現するため、床版に車輪による荷重を載荷させた状態で

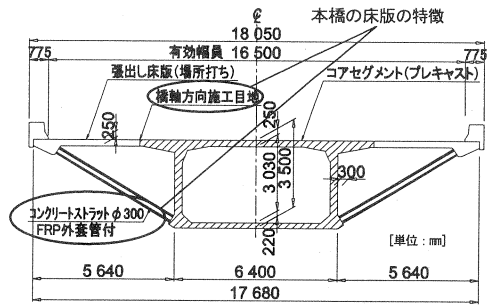


図-1 内牧高架橋の標準断面図

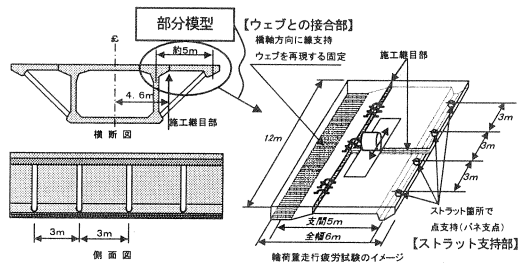


図-2 試験体の概念

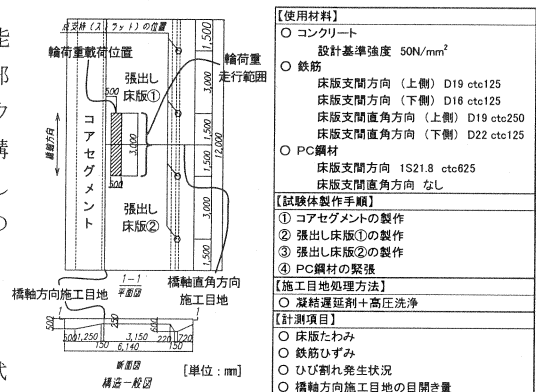


図-3 試験体の仕様ほか

載荷位置を移動させるものであり、実物大の床版等の疲労強度をより実際に近い状態で確認できるものである<sup>2)</sup>。

(2) 載荷位置

載荷位置は、以下の点を考慮し、橋軸方向施工目地位置から500mmの位置とした(図-3, 4)。

- 1) レーンマークとの関係から、実際に輪荷重が走行する可能性が高い位置を載荷位置とする。
  - 2) 橋軸方向施工目地部に最も大きなせん断力が作用する位置を載荷位置とする。
- 2)については、橋軸直角方向に輪荷重載荷位置を変化させたFEMによる影響線解析により算定した<sup>1)</sup>。

(3) 境界(支持)条件

2. 1節で述べた境界(支持)条件についての工夫は次のとおりとした。

- 1) 「ストラット支持部」の構造については、ストラットの代替としてストラット位置で点支持(バネ支承を配置)する方法によることとした。
- 2) 「ウェプとの接合部」におけるラーメン構造については、試験体と試験装置の支持架台を剛結合する方法によることとした。

これらの方法により、実構造物と等価な挙動を示すかについては、3次元要素を用いたFEM解析を行い、応力状態および変形モードを比較することにより、等価性を評価した。その結果、等価性が確認されたので、これらの方法によることとした<sup>1)</sup>。境界(支持)条件の概要を図-4に示す。

(4) 載荷荷重パターン

載荷荷重パターンは、平成9年度にJH試験研究所で実施した長支間PC床版の疲労試験時のものと同じものとした(図-5)。図-5に示す3Nの41万往復回の繰返し荷重までで、東名高速道路日本平本線軸重計のデータから供用年数を換算すると約100年間相当以上の荷重と回数に相当する<sup>1)2)</sup>。

3. 試験結果

3.1 床版たわみ・鉄筋ひずみの経時変化

載荷点直下における床版たわみおよび橋軸直角方向の下側鉄筋ひずみの経時変化を図-6に示す(試験体に98kNの輪荷重を静的載荷したときの結果で示す)。これより、荷重レベルを段階的に大きくしていく41万往復回以降は、緩やかに床版たわみ・鉄筋ひずみは増加していくものの、繰返し載荷の最終段階においても、急激な床版たわみ・鉄筋ひずみの増加は見られなかった。このことから、本床版は、移動繰返しに対して十分な疲労耐久性を有しているといえる。

3.2 床版たわみ・鉄筋ひずみの分布

床版たわみおよび下側鉄筋ひずみの橋軸直角方向分布図を図-7, 8にそれぞれ示す(試験体に各載荷ステップの輪荷重を静的載荷したときの結果で示す)。また、各

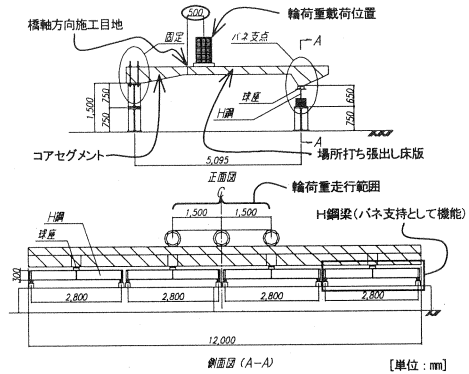


図-4 試験時の支持条件と載荷位置

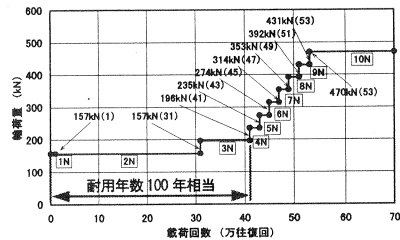


図-5 載荷荷重パターン

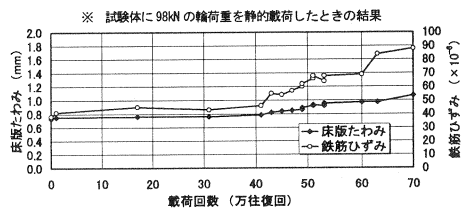


図-6 床版たわみ・鉄筋ひずみの経時変化

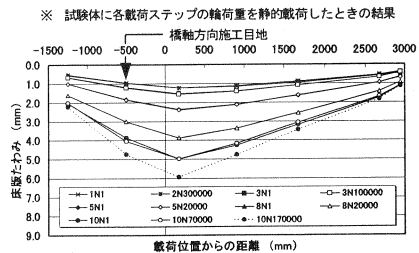


図-7 床版たわみの分布図

分布図の表示位置を図-9に示す。図-7, 8より, 同一荷重レベルにおける繰返し载荷前後で, 分布形状に大きな差がないことが認められる(例えば, 3N1と3N100000)。このことから, 本床版は, 移動繰返しに対して十分な疲労耐久性を有しているといえる。

また, 「橋軸方向施工目地」の位置に着目すれば, この位置で分布形状に特に異常は認められなかった(例えば, 橋軸方向施工目地の位置が変極点となるなど)。このことから, 橋軸方向施工目地部は十分な健全性を保持しているものと判断される。

### 3.3 橋軸方向施工目地の目開き量

$\pi$ 型変位計によって計測した橋軸方向施工目地の目開き量の経時変化を図-10に示す。図-10に示すとおり, 最終段階においても急激な目開き量の増加は見られなかった。また, その値は0.005mm程度と小さい値であった。このことから, 懸念していた橋軸方向施工目地部は, 移動繰返しに対して十分な健全性を有しているといえる。

### 3.4 ひび割れ深さ

施工目地に発生したひび割れ状況・深さを把握する目的で, ボーリングによるコア( $\phi$  100mm)の採取を行った。コアを採取した位置は, 橋軸方向施工目地部3箇所, 橋軸直角方向施工目地部1箇所合計4箇所である。コア採取位置を図-9(図中の①~④)に, ひび割れ発生状況を図-11にそれぞれ示す。

- 1) 橋軸方向施工目地部(①, ②, ③)において, ひび割れ深さは, 50~75mmと下側鉄筋付近までであり, 図心より上の施工目地部は健全性を保持していた。このことから, 橋軸方向施工目地部ではせん断力によるズレが生じていないことが確認された。
- 2) 橋軸直角方向施工目地部(④)において, ひび割れは床版上面まで貫通していたものの, せん断力によるズレが生じていたようなひび割れではなかった。また, 触手・目視による観測でもズレは観察されなかった。これらのことから, 橋軸直角方向施工目地部ではせん断力によるズレが生じていないものと類推される。

## 4. 考察

### 4.1 押抜きせん断破壊について

一般に, 両端が線支持されたRC床版の疲労損傷形態は, まず, 橋軸直角方向のひび割れが進展・貫通した後, 床版支間方向に床版が梁状化し, 最終的には押抜きせん断破壊をすることが知られている。また, PC床版についても, 同様の破壊形態を呈することが報告されている<sup>2)</sup>。今回の疲労試験では, 70万往復回の载荷後も床版が梁状

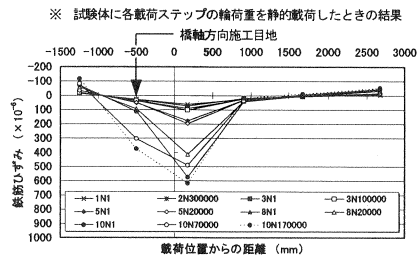


図-8 下側鉄筋ひずみの分布図

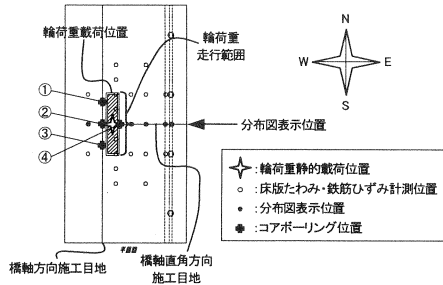


図-9 分布図表示位置とコア採取位置

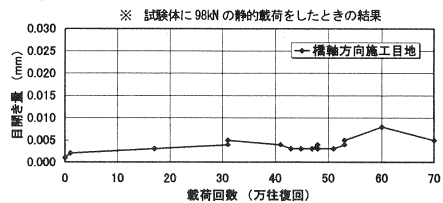


図-10 施工目地の目開き量の経時変化

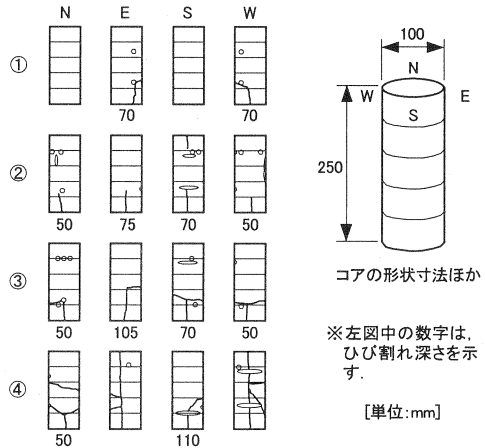


図-11 ひび割れ状況

化し、押抜きせん断破壊するような傾向は見られなかった。そこで、この試験結果を検証する目的で、今回の載荷荷重パターンで床版が疲労破壊する往復回数を推測することを試みた。推測方法の手順を以下に述べる。

- 1) まず、本橋の床版の耐荷力  $P_{sx}$  を、松井らによって提案されているPC床版の押抜きせん断耐荷力の評価式(式-1)<sup>3)</sup>を用いて算定する。これより、 $P_{sx} = 72,416$  [kgf] { 710 [kN] } が得られる。

$$P_{sx} = (2\tau_{s\max} \cdot X_m \cdot \alpha_m + 2\sigma_{t\max} \cdot C_m) B \cdots \text{(式-1)}$$

ここに、	
$P_{sx}$	: PC床版の押抜きせん断耐荷力 [kgf]
$\tau_{s\max}$	: コンクリートの最大せん断応力度 [kgf/cm <sup>2</sup> ]
$X_m$	: 主鉄筋に直角な断面の引張側コンクリートを無視した中立軸高さ [cm]
$\alpha_m$	: プレストレスされた床版の破壊角度に関する係数
$\sigma_{t\max}$	: コンクリートの最大引張応力度 [kgf/cm <sup>2</sup> ]
$C_m$	: 引張主鉄筋のかぶり [cm]
$B$	: 梁状化した梁幅 [cm]

- 2) 次に、1) で得られた結果をもとに、98kN の一定の輪荷重  $P_o$  を載荷した場合の破壊までの載荷回数  $N$  を、松井らによって提案されているRC床版の押抜きせん断強度推定式(式-2)<sup>2)4)</sup>を用いて算定する。これより、 $N = 1.972 \times 10^{13}$  [回] が得られる。

$$\text{Log}\left(\frac{P_o}{P_{sx}}\right) = -0.078351 \text{Log}N + \text{Log}1.52 \cdots \cdots \text{(式-2)}$$

ここに、	
$P_{sx}$	: PC床版の押抜きせん断耐荷力 [kgf]
$P_o$	: 輪荷重 [kgf]
$N$	: 破壊までの載荷回数 [回]

- 3) 最後に、2) で得られた結果をもとに、今回の荷重載荷パターン(図-5)における破壊までの載荷回数  $\sum N_i$  を、マイナー則の12乗(式-3)<sup>2)</sup>を用いて算定する。これより、 $\sum N_i = 1.172 \times 10^6$  [回] ( $5.86 \times 10^5$  [往復回]) が得られる。

$$N = \sum \left(\frac{P_i}{P_o}\right)^{12} \cdot N_i \cdots \cdots \text{(式-3)}$$

ここに、	
$N$	: 破壊までの載荷回数 [回]
$N_i$	: 載荷ステップ $i$ での載荷回数 [回]
$P_o$	: 輪荷重 [kgf]
$P_i$	: 載荷ステップ $i$ での載荷荷重 [kgf]

この推測方法によれば、本床版は58.6万往復回で破壊する、という試験結果に反する結果が得られた。この点についての考察は、今後の検討課題と考えているが、その因子として、両端線支持に比べて、片側をバネ支持することにより、床版に生じる曲率が緩やかとなり、輪荷重による影響が軽減された可能性があること、また、(式-2)は主にRC床版を対象とした式であることによるものと考えている。

### 5. おわりに

内牧高架橋の張出し床版の疲労耐久性を確認する目的で移動輪荷重走行疲労試験を行った結果、この床版構造の十分な疲労耐久性が確認された。また、懸念していた橋軸方向施工目地部は、疲労荷重に対し、特に弱点となることもなく、十分な健全性が確認された。橋軸方向施工目地の疲労荷重に対する健全性が確認されたことが、今後施工される同種工事(断面分割施工・既存橋梁の拡幅施工等)を計画する際の一助となれば幸甚である。

最後に、本試験の実施にあたり、第二東名高速道路 ストラットに支持された床版を有するPC橋の設計施工に関する技術検討委員会(委員長: 日本大学 山崎教授)から貴重なご助言を、また、(社)日本建設機械化協会 施工技术総合研究所から多大なるご協力を賜りました。ここに感謝の意を表します。

#### [参考文献]

- 1) 長谷俊彦, 本間淳史, 宮越信, 川崎輝夫, 新井崇裕: 橋軸方向施工目地を有するストラット付張出し床版の移動輪荷重走行疲労試験(第二東名高速道路 内牧高架橋), 土木学会第3回道路橋床版シンポジウム講演論文集, pp.193-198, 2003.6
- 2) 長谷俊彦, 上東泰, 安松敏雄: 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, 日本道路公団試験研究所報告, Vol.136, 1999.11
- 3) 東山浩士, 松井繁之: プレストレスしたコンクリート床版の押抜きせん断耐荷力, 土木学会構造工学論文集, Vol.44A, pp.1357-1364, 1998.3
- 4) 松井繁之: 橋梁の寿命予測—道路橋RC床版の疲労寿命予測—, 安全工学, Vol.30, No.6, pp.432-440, 1991