

# 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)

Wheel Running Fatigue Test of Strutted Wing Slab with Longitudinal Construction Joint  
(New Tomei Express Way, Uchimaki Viaduct)

長谷俊彦\*, 本間淳史\*\*, 宮越信\*\*\*, 川崎輝夫\*\*\*\*, 新井崇裕\*\*\*\*

Toshihiko NAGATANI, Atsushi HOMMA, Makoto MIYAKOSHI, Teruo KAWASAKI, Takahiro ARAI

\* 日本道路公団 静岡建設局 (〒420-0857 静岡県静岡市御幸町 11-30 エクセルワード静岡ビル)

\*\* 工修 日本道路公団 静岡建設局 静岡工事事務所(〒420-0804 静岡県静岡市竜南 1-26-20)

\*\*\* 日本道路公団 静岡建設局 静岡工事事務所(〒420-0804 静岡県静岡市竜南 1-26-20)

\*\*\*\* 鹿島・安部・ドーピー共同企業体 内牧高架橋(PC上部工)工事事務所(〒421-2117 静岡県静岡市幸庵新田 72-1)

Uchimaki Viaduct is box girder bridge with the wing slab supported by diagonal struts. The central rectangular part of the box girder section is fabricated as a precast member (hereafter referred to as the "core segment"), which does not include most of the wing slab. Cast in place construction with form travelers is applied to the wing slab. After struts are installed to the core segments, concrete of the wing slab is placed. This wing slab has the characteristic as follows : supported by struts and arranged longitudinal construction joints in cross section. In order to investigate the fatigue property of the wing slab, authors carried out wheel running fatigue test with a full-scale model. As a result, the wing slab keep enough rigidity after the 700,000 times cyclic loads, the fatigue safety is confirmed.

Key words : strutted wing slab, wheel running fatigue test, longitudinal construction joint

## 1. はじめに

内牧高架橋は、日本道路公団(以下、JH と称す)静岡建設局が建設する第二東名高速道路に位置する橋梁である。第二東名高速道路は、比較的山岳地帯を通ることもあり、構造物比率が高く、本線延長の 33%が橋梁で計画されている。橋梁計画は、「省力化及び機械化施工が可能であり、かつ耐震性及び景観性に優れた合理的な連続橋」を基本思想として、新技術・新工法を積極的に取り入れている。このうち、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 2 つの新技術・新工法を採用した橋梁である。内牧高架橋の標準断面図を図-1.1 に示す。

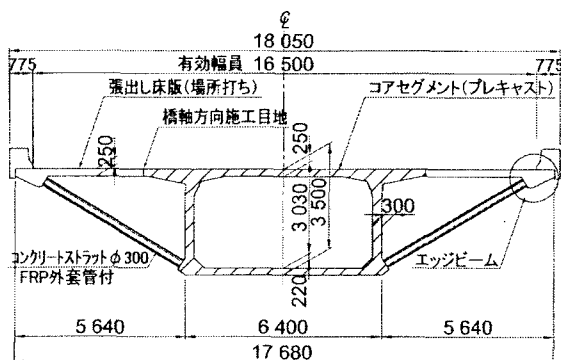


図-1.1 内牧高架橋の標準断面図

ストラット付箱桁橋は、張出し床版支間を大きく取れるため、同一幅員と比較すると、従来の箱桁橋よりも箱桁断面を縮小することができる。これにより、上部構造を軽量化し、同時に下部構造を小規模化して、耐震性や経済性に優れた合理的な橋梁とすることを意図したものである。第二東名高速道路の幅員仕様(広幅員 16.5m)では、ここにこの構造形式が効果的であるため、JH 静岡建設局で積極的に採用を計画している。本橋は、このうち最初に施工する橋梁であり、今後施工する同種工事に採り入れるべき点や改善点等をフィードバックすることを意図したパイロット事業的要素の色濃い工事である。

また、断面分割型プレキャストセグメント工法は、プレキャストセグメント(以下、セグメントと称す)を小さくすることが可能であり、セグメントの製作・架設設備の規模を小さくすることができる。これにより、施工性、経済性を向上させることを意図したものである。この工法は、ストラット付箱桁橋の構造形式と同様に、広幅員の橋梁に有効な手法といえる。

一方、この2つの新技術・新工法は、国内ではほとんど事例がないこともあり、検討すべき技術課題がいくつかある。その一つとして、ストラットで支持する張出し床版の疲労特性が挙げられる。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。床版の疲労特性については、種々の研究<sup>1)2)</sup>がなされ、その破壊メカニズムは徐々に解明されて

きているが、前述の特徴が張出し床版の疲労耐久性にどのような影響を及ぼすかは不明瞭である。そこで、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。

本論文は、まず、内牧高架橋の床版の設計について概説し、続いて、張出し床版の移動輪荷重に対する疲労耐久性に関する検討について報告するものである。

## 2. 床版の設計

### 2.1 床版のプロポーシオン

#### (1) 床版厚

箱桁内の床版厚は、道路橋示方書の最小床版全厚の算定式より算定した値とした<sup>3)</sup>。また、張出し床版の床版厚については、箱桁内の床版厚と同じにすることとした。

#### (2) ストラット取付け位置

ストラット取付け位置は、床版の曲げモーメント分布に影響を及ぼすため、ストラット取付け位置をパラメータとした FEM 解析を行った。FEM 解析は、床版、ウェブ、底版、及びエッジビームをシェル要素とし、ストラットを梁要素としたモデルを用いた(図-2.1)。また、パラメータは、張出し床版の先端から 0.0~2.0m に 0.5m 単位でストラットの取付け位置を変化させた 5 ケースとした。

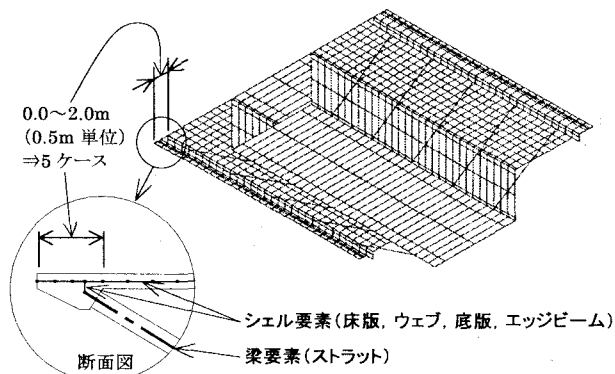


図-2.1 解析モデル

解析から得られた曲げモーメント分布を図-2.2 に示す。図-2.2 に示すとおり、ストラット取付け位置を張出し床版先端から 1.0m の位置にしたときに、正負双方の曲げモーメントの絶対値がほぼ一致した。このことは、正負双方のモーメントに対する必要 PC 鋼材量が等しくなるため、構造的には一番合理的なストラット取付け位置であると判断した。

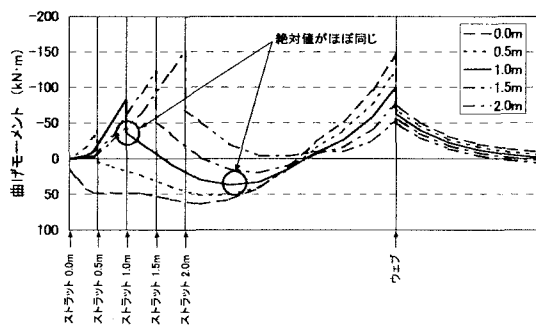


図-2.2 解析結果

床版のプロポーシオンを図-2.4 に示す。

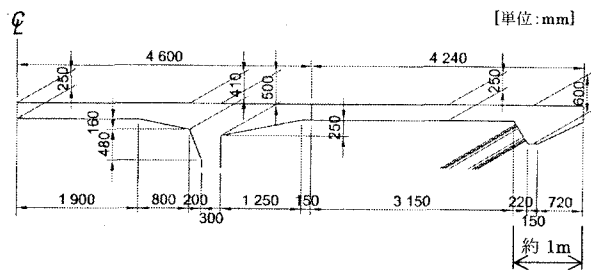


図-2.4 床版のプロポーシオン

### 2.2 床版の設計断面力

設計断面力は、ソリッド要素を用いた 3 次元 FEM 解析により算定した。設計断面は、ストラットのある断面とストラットのない断面で断面力分布が異なるため、双方の断面を設計断面とした(図-2.5)。

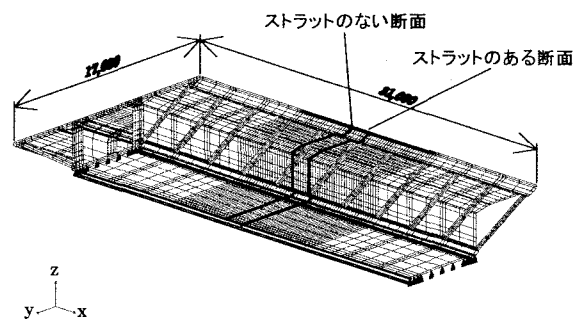


図-2.5 ソリッド要素を用いた 3 次元 FEM 解析

活荷重断面力は、4 通りの T 荷重(輪荷重)載荷パターン(図-2.6)を想定して解析を行い、正負双方の一番大きい値を選定して、これを活荷重の設計断面力とした。T 荷重による床版支間方向の設計曲げモーメント算定結果を表-2.1 に示す。参考として、道路橋示方書による場合の結果を併記する。

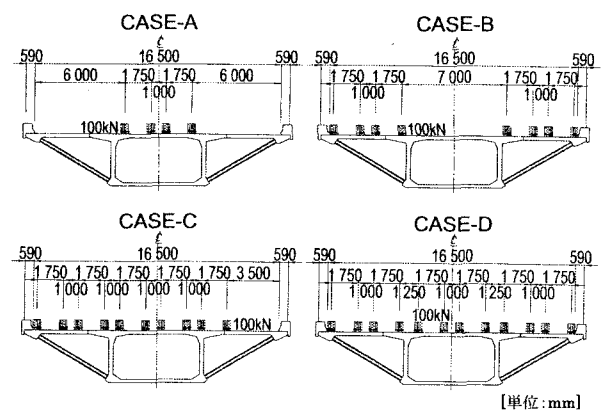


図-2.6 活荷重(T 荷重)載荷パターン

表-2.1 T 荷重による設計曲げモーメント(床版支間方向)

計算方法	箱桁外(張出し床版)		箱桁内	
	支間	支点	支点	支間
FEM 解析	36.0	-98.1	-44.9	34.9
道路橋示方書	62.0 ※	-101.2 ※	-116.0	71.4

※ 張出し床版の設計曲げモーメントは連続版として計算した。【単位:kN·m/m】

### 2.3 床版の設計

算定された断面力に対し、PRC部材(橋軸直角方向:PRC部材, 橋軸方向:RC部材)として設計した。永久荷重のみが作用する場合には、引張応力の発生を認めず、永久荷重に加えて活荷重と温度変化の影響を考慮する場合には、ひび割れ発生限界までの引張応力の発生を許容した。また、風荷重を考慮する場合には、床版に発生するひび割れの幅を許容値以下に抑えるものとした。

以上の条件で設計を行った結果、床版横締めが必要PC鋼材量は、張出し床版には1S21.8を625mmピッチで、箱桁内の床版には1S21.8を500mmピッチで配置する結果となった。PC鋼材配置を図-2.7に示す。

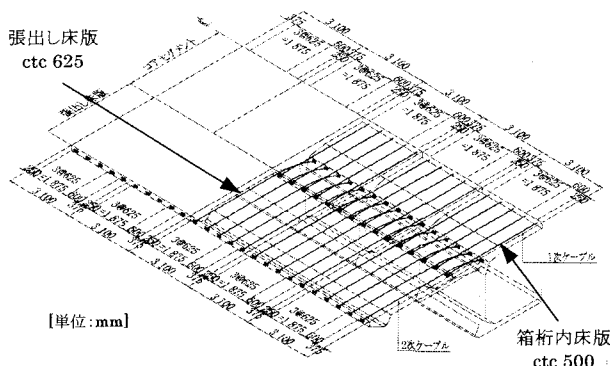


図-2.7 PC鋼材配置

## 3. 移動輪荷重走行疲労試験

### 3.1 試験目的

一般的に施工目地は構造上弱点となる可能性があるため、応力度や応力変動の小さい位置に目地を設ける等の配慮をする必要がある。特に床版は、活荷重(輪荷重)による繰返し荷重の影響を直接受けるため、床版に配置される施工目地部が、疲労耐久性上、弱点になる可能性が高い。このため、床版に施工目地が介在する場合、疲労安全性を確認するために疲労試験を行うケースが多い<sup>4)</sup>。本橋においても、張出し床版は、橋軸方向に施工目地が介在する上に、床版の支持条件が一般的でないため、実物大の張出し床版模型に移動輪荷重を走行させて、疲労安全性を確認することとした。

### 3.2 試験体

#### (1) 試験体の計画

試験体は、実構造物と同等の挙動を示すことに主眼を置き、次の点に留意して計画した。

- 1) 実物大の模型とすることとした。
- 2) 本橋の構造的特徴を再現できるようにした。

しかしながら、試験装置の能力から実物大の全体模型とすることは不可能であった。そこで、実物大部分模型で実構造物と同等の挙動を示すよう境界条件を工夫することとした。これによる試験体の概念を図-3.1に示す。また、試験体の特徴を以下に示す。

- 1) 橋軸方向長さは4セグメント分とし、12mとした。
- 2) 断面形状は、高さ方向はウェブ付根までをモデル化した。

横方向はウェブ付根とハンチの交点までとした。

- 3) 張出し床版部(場所打ち施工部)には、橋軸直角方向の施工目地を設けた。
- 4) ストラットは配置せず、その代替としてストラット位置にバネ支承を設けた(バネ支承はH形鋼で構築)。

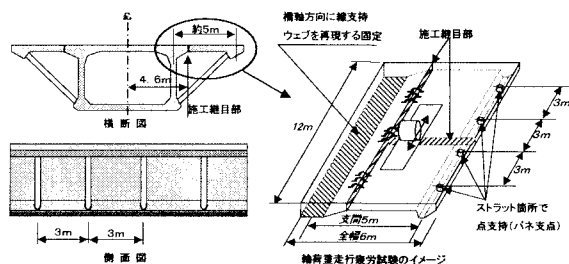


図-3.1 試験体の概念

#### (2) 試験体の設計

図-3.1の概念に示す試験体では、ストラットを直接モデル化することは、困難であった。そこで、試験体の設計にあたり、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)することにより、実構造物と等価な挙動を示すかどうか、FEM解析により検討した。検討内容を以下に示す。

まず、図-2.5に示した解析モデル(実構造物)に、図-2.6に示す活荷重CASE-Dを載荷し、ストラット取り付け位置におけるストラット軸力の鉛直方向成分と変形量の鉛直方向成分を算定した。これより、ストラット取り付け位置における鉛直方向バネ値を計算した(図-3.2)。

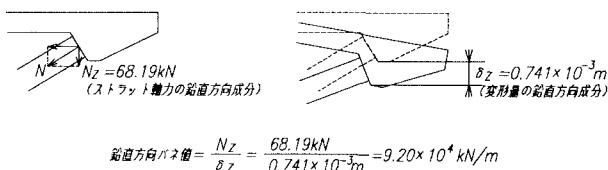


図-3.2 バネ値の算定方法

次に、ストラットの代替として、ストラット位置にバネ支承を配置したモデル(ストラットのないモデル:図-3.3)を構築し、先に求めたバネ値をバネ支承に入れたFEM解析を行った。この解析結果と実構造物の解析結果を比較・検討することにより、等価性について評価した。なお、比較項目は、変形モードと応力度分布とした。

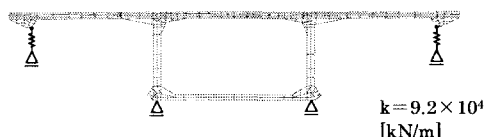


図-3.3 ストラットのないモデル(代替としてバネ支承)

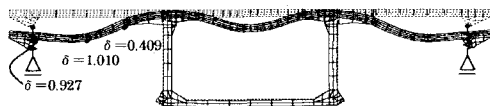
変形モード、応力度分布の解析結果を、図-3.4、図-3.5にそれぞれ示す。これらより、バネ支承にすることにより、ストラットとほぼ等価な変形モード、応力状態を再現できるこ

とが確認された。そこで、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)することにより、試験体を製作することとした。

試験体の仕様(構造一般図, 配筋図, PC鋼材配置図)を図-3.6に示す。



(a) ストラットのあるモデル(実構造物)



(b) ストラットの無いモデル(バネ支承)

[単位:mm]

図-3.4 変形モードの比較

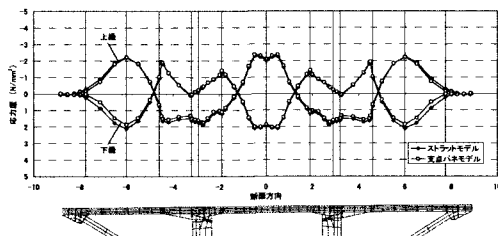


図-3.5 応力度分布の比較

### (3) 試験体の製作

試験体の製作は、次の手順で行った(図-3.6 参照)。

- 1) コアセグメントの製作
- 2) 張出し床版①の製作
- 3) 張出し床版②の製作
- 4) PC鋼材の緊張
- 5) PCグラウト

なお、施工目地部は、本試験を行う目的の主要因の一つであるため、試験体製作時には、以下に示す実構造物と同等の処理をした。

- 1) 凝結遅延剤+ハイウォッシャーで目荒らしをした。
- 2) 橋軸方向の施工目地には、1次ケーブル(PC鋼材)の定着体を配置した。

### (4) 使用材料

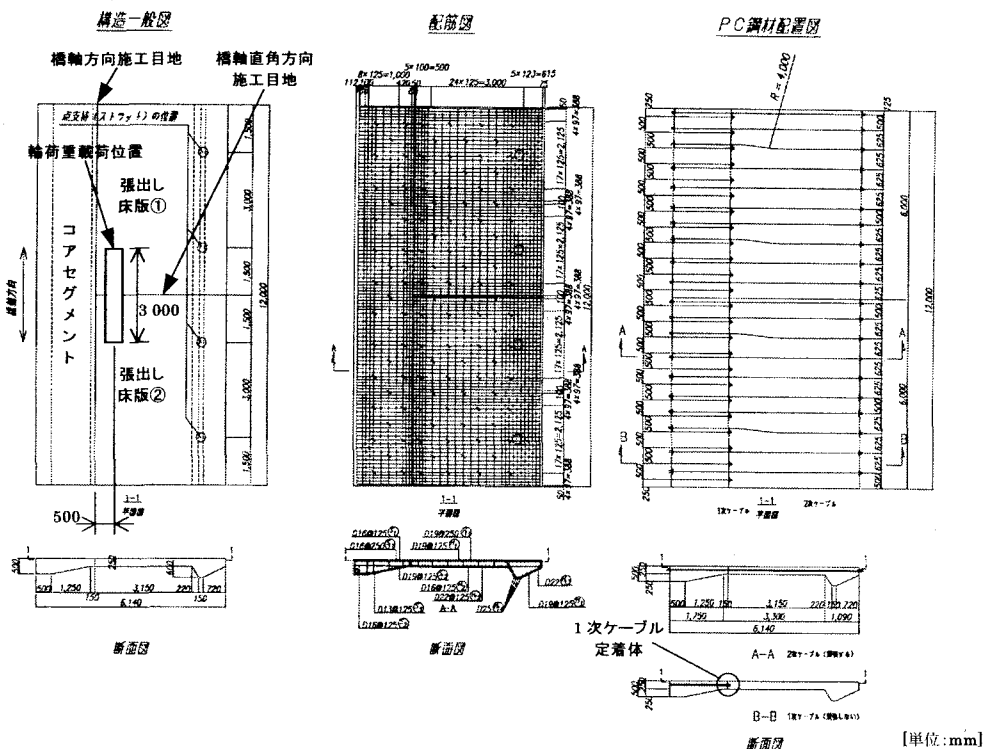
試験体に使用した主な材料の仕様を以下に示す。

- 1) コンクリート : 設計基準強度 50N/mm<sup>2</sup>
- 2) 鉄筋 : SD345
- 3) PC鋼材 : SWPR19 1S21.8

### 3.3 試験方法

#### (1) 移動輪荷重載荷疲労試験機

疲労試験機は、JH 試験研究所所有の移動載荷疲労試験機を使用した。本試験装置は、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載荷位置を移動させるものであり、実物大の橋梁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。



[単位:mm]

図-3.6 試験体の仕様

試験装置の概要を図-3.7 に示す。なお、本試験装置の荷重範囲は、中心位置から、前後 1.5m (全長 3.0m) の範囲内を往復荷重する機構となっている。試験体の最大支間は 6.0m、移動荷重の最大荷重は 490kN である。

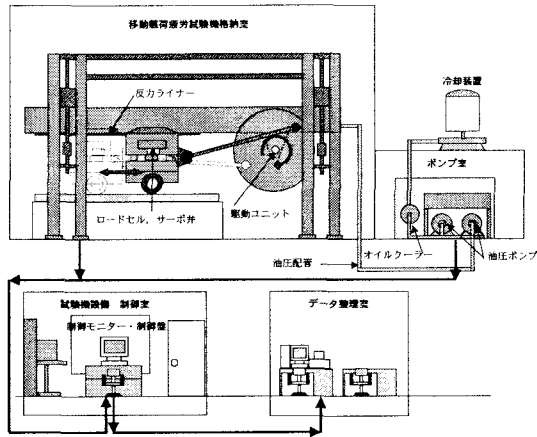


図-3.7 試験装置の概要

(2) 荷重位置

荷重位置は、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(荷重位置は図-3.6 に示す)。

- 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荷重位置とする(図-3.8)。
  - 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荷重位置とする。
- 2)については、橋軸直角方向における輪荷重荷重位置を変化させ、FEM による影響線解析を行った。その結果を図-3.9 に示す。

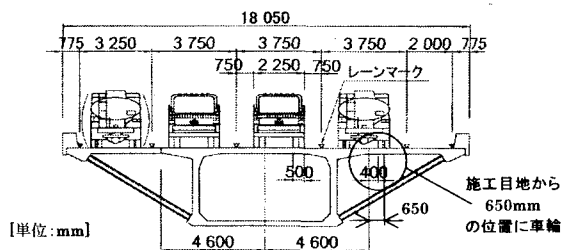


図-3.8 レーンマークと輪荷重走行位置の関係

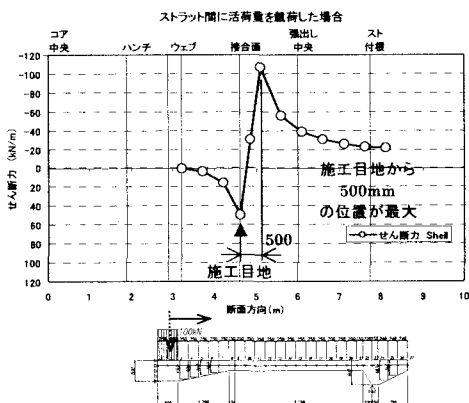


図-3.9 FEM による影響線解析結果

(3) 荷重方法

荷重は、図-3.10 に示すように、移動輪荷重を段階的に増加させながら実施した。この輪荷重荷重パターンは、平成 9~10 年度に JH 試験研究所で実施した、床版厚 250mm の RC床版及び PC床版の輪荷重走行疲労試験<sup>5)</sup>と同一のものである。なお、図-3.10 に示した耐用年数 100 年相当は、現東名高速道路の平成 9 年度における日本平の本線軸重計データをもとに、RC床版の疲労 S-N 曲線によりマイナー則でシングル軸重に換算し、年間の降水時間を考慮して推定したものである<sup>5)</sup>。

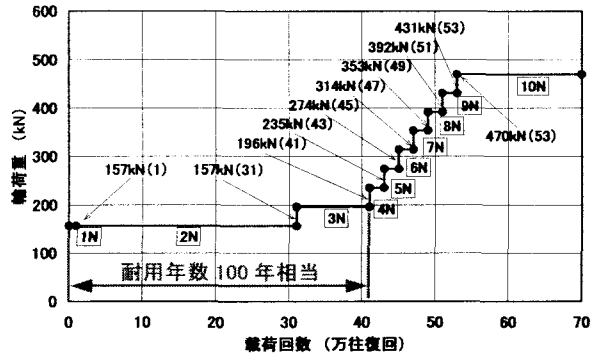


図-3.10 荷重要領

(4) 計測項目

試験時の主な計測項目を図-3.11 に示す。

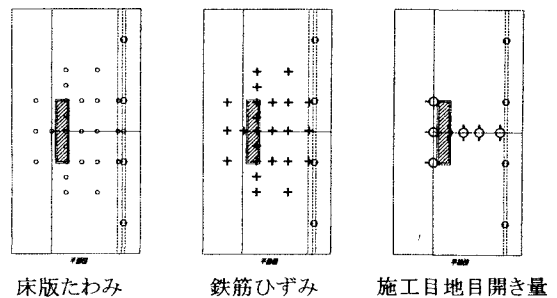


図-3.11 計測項目

3.4 試験結果

試験結果は、床版たわみ・鉄筋ひずみ、ひび割れ発生状況、施工目地目開き量のそれぞれについて、試験体に 98kN (10tf) の輪荷重を静的荷重としたときの計測結果で示す。

(1) 床版たわみ・鉄筋ひずみ

荷重点直下における床版たわみ及び橋軸直角方向の下側鉄筋ひずみの経時変化を図-3.12 に示す。図-3.12 に示すとおり、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、繰返し荷重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。

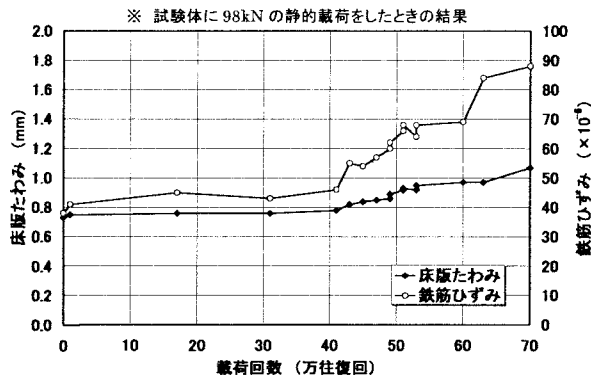


図-3.12 床版たわみ・鉄筋ひずみの経時変化

(2) ひび割れ発生状況

31万、41万、70万往復回載荷終了後のひび割れ状況を図-3.13に示す。耐久性上、有害であると考えられる0.2mm以上のひび割れが観測されたのは、45万往復回(載荷荷重275kN)のときであった。70万往復回(試験終了時)では、載荷点直下の殆どのひび割れが0.2mm以上のひび割れ幅であったが、せん断破壊を呈するようなひび割れは観察されなかった。また、施工目地部には、最終段階までズレは観察されなかった。

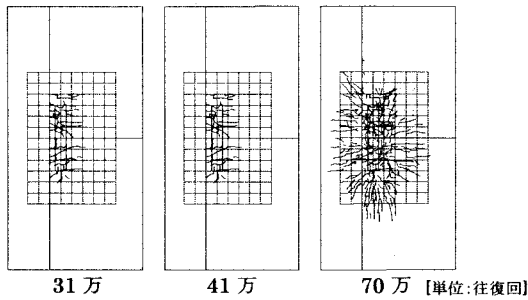


図-3.13 ひび割れ発生状況

(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-3.14に示す。図-3.14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の施工目地部は、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。

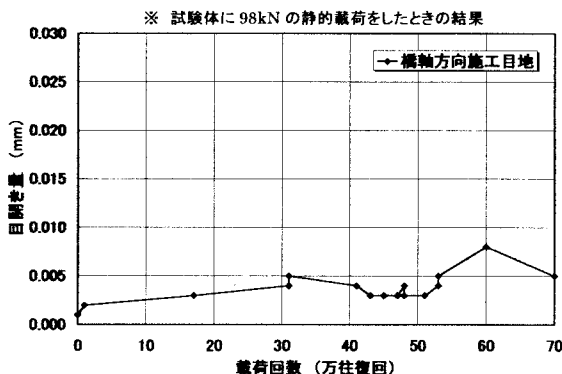


図-3.14 施工目地の目開き量の経時変化

3.5 試験結果の評価と考察

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>5)</sup>。今回の疲労試験では、床版が押抜きせん断破壊するような傾向は見られなかった。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、一要因として、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と考えている。

4. おわりに

本橋の張出し床版模型に、70万往復回の移動輪荷重漸増載荷を行った結果、確認されたことを以下に整理する。

- 1) 床版たわみ及び鉄筋ひずみは経時的に漸増するものの、その量は微増であり、破壊に至るような傾向は示されなかった。また、ひび割れは、繰返し回数及び載荷荷重の増加によって、密度・幅とも増加したが、押し抜きせん断破壊を呈するような傾向は見られなかった。これらのことから、床版は十分な疲労耐久性を有していると判断される。
- 2) ひび割れ幅が0.2mm以上となったのは、49万往復回以降であり、これは、耐用年数100年相当にあたる41万往復回を超えているため、腐食に対する耐久性としても十分なものを有していると判断される。
- 3) 懸念していた橋軸方向の施工目地部については、目開き量はほとんどなく、またズレも観察されなかったことから、設計で想定している最大のせん断力が施工目地部に作用しても、そこが弱点となって破壊に至るようなことはないことが確認された。

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 施工技術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) 例えば、角田與史雄, 井藤昭夫, 藤田嘉夫: 鉄筋コンクリートスラブの押し抜きせん断耐力に関する実験的研究, 土木学会論文報告集, 第299号, pp.105-115, 1974
- 2) 例えば、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し抜きせん断耐荷力, 土木学会構造工学論文集, Vol.44A, pp.1357-1364, 1998.3
- 3) 日本道路協会: 道路橋示方書・同解説 IIIコンクリート橋編, 平成8年2月
- 4) 佐藤健俊, 上杉泰右, 照沼英彦, 今村晃久: 上和会高架橋の床版及び横方向の設計について, プレストレストコンクリート技術協会 第11回シンポジウム論文集, pp.649-654, 2001.11
- 5) 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