

# 長支間 I 形鋼格子床版の輪荷重走行試験による疲労特性

## Fatigue Properties of IB-Grid Slabs for Long Span under WHEEL TRACKING LOAD

榎原英雄\*<sup>1</sup>, 杉井謙一\*<sup>2</sup>, 堀川都志雄\*<sup>3</sup>, 千川達也\*<sup>4</sup>, 中井博\*<sup>5</sup>

Hideo SAKAKIBARA, Kenichi SUGII, Tosio HORIKAWA, Tatsuya HOSHIKAWA and Hiroshi NAKAI

- \*1 神鋼建材工業(株) (〒541-0041 大阪府大阪市中央区北浜 2-6-17)
- \*2 工博 (株)神戸製鋼所 (〒657-0845 兵庫県神戸市灘区岩屋中町 4-2-15)
- \*3 工博 大阪工業大学 (〒535-0002 大阪府大阪市旭区大宮 5-16-1)
- \*4 大阪工業大学大学院 (〒535-0002 大阪府大阪市旭区大宮 5-16-1)
- \*5 工博 大阪市立大学 (〒558-0022 大阪府大阪市住吉区杉本 3-3-138)

Since road bridge of new type composited with a few girders is planned and builded in the 2nd TOMEI express highway. The structural system of a bridge is widely interested and studied for the purpose of shortenig of work period and reduction of construction cost. A length of span in the transverse direction of deck slab supplied in new bridges becomes larger than ordinary bridge.

In this paper, fatigue characteristics of newly developed I-shaped beam ( height:200mm) is examined under the repeated operation of loading. As a results, the fatigue properties of a new model are confirmed to be equivalent to old type known already. Nextly the fatigue characteristics of IB-grid slab constituted of new I-shaped beam is tested under wheel trucking machine with a pneumatic tire.

In this test, magnitude of loading varies from 10tf to 21tf and total cycles of running repetition reaches about 90,000. It is concluded that this slab contributed mechanically by steel base plate playing the role of mold form and new model with large rigidity has held high durability during severe examination.

key words : fatigue, IB-grid slab, wheel trucking load

### 1. まえがき

近年、橋梁のコスト縮減の目的で主桁本数を減らした少数主桁橋の採用が増えつつある。主桁の少数化に伴って床版支間が増大するため、長支間対応として従来より大型の I 形鋼を用いた I 形鋼格子床版（以下、IB 床版という）の開発を行った。本研究では、IB 床版の主要構造材である I 形鋼自体の疲労試験および実大の IB 床版の輪荷重走行試験を行い、最大荷重 21tf までの疲労特性を明らかにした。

I 形鋼の疲労試験では 3 点曲げ方式で載荷し、繰返し回数 200 万回での疲労強度を調査した。IB 床版の輪荷重走行試験では、高さ 200mm の I 形鋼を主部材とした実大の床版（支間長 5m、床版厚 25cm）を供試体として、床版のたわみ、I 形鋼、配力筋、底板等のひずみ、底板同士の開閉量等と走行回数との関係、すなわち、これらの経時変化と輪荷重の走行状態下での挙動を調査した。また、荷重値を 10tf から 21tf まで変化させた段階載荷を行い、たわみの増加を始めとする床版の劣化過程を追跡した。さらに、輪荷重走行試験終了後、供試体を切断して床版やはりの押抜きせん断耐力および曲げ耐力の実験を計画している。

### 2. IB 床版の構造概要

IB 床版は、図-1 に示すように、主部材として橋軸直角方向に I 形鋼を、橋軸方向には配力筋を配置する構造となっている。I 形鋼のウェブにはパンチ孔が設けられており、既往の実験<sup>1), 2)</sup>によれば、パンチ孔の応力集中部からクラックが発生するので、その形状と配置を適切にすることが IB 床版の疲労耐久性確保のうえで重要になる。

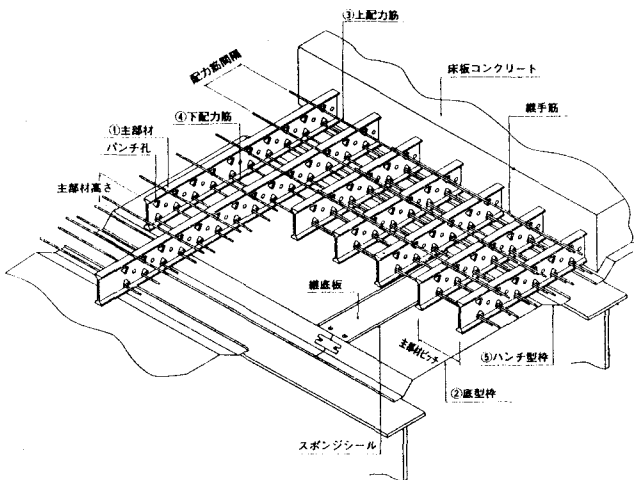


図-1 構造概要図

### 3. I形鋼の疲労試験

#### 3.1 試験方法

試験方法を図-2に示す。試験体は、I形鋼を2本平行に配置し、異形鉄筋で繋ぐ形状である。試験スパンは2mで中央集中荷重の3点曲げ方式で行った。荷重の振幅は最大14.5tfとして200万回まで繰返し载荷を行った。なお、クラックが発生する度に発生点を高力ボルトで締めつけてクラックの進展を阻止し、多数の疲労データが得られるようにした。

#### 3.2 試験結果

I形鋼のパンチ孔の形状と配置はあらかじめ最適化処理をおこなって決定されており、FEM解析によってウェブのせん断抵抗を最大化することを見出している<sup>1)</sup>。

静的载荷によるI形鋼パンチ孔部のMises応力分布を図-3に示す。パンチ孔部には曲げモーメントによる応力にせん断力の影響によって、コーナー部の応力は、中央部の応力の約2倍となっている。

疲労試験から得られたS-N線図を図-4に示す。縦軸はパンチ孔の最大応力の振幅をとっている。同図より、今回のI形鋼(I-200)の疲労強度は、従来のI形鋼(I-150)とほぼ同じであることが判る。

### 4. IB床版の輪荷重走行試験

#### 4.1 輪荷重試験装置

試験は大阪工大摂南大学の輪荷重試験装置を使用して行った。同装置は、道路橋のコンクリート床版、鋼床版や伸縮装置等の疲労および耐久性試験を始めとする走行繰返し作用下での現象を調査する事ができる。装置の概要を図-5に示す。

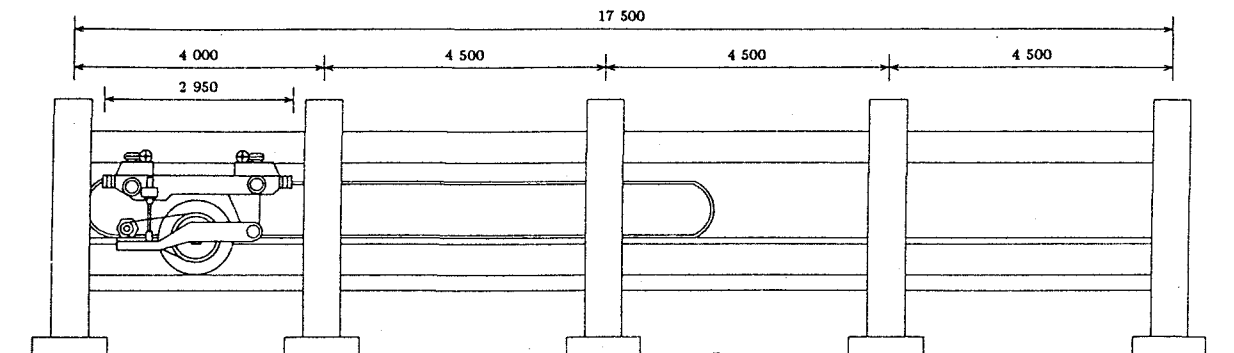


図-5 輪荷重試験装置

#### 4.2 床版の材料

試験体に使用したI形鋼は、SS400であり実降伏点は3000kgf/cm<sup>2</sup>であった。また、配筋筋は異形鉄筋SD345を使用した。コンクリートは普通コンクリートを使用し、設計基準強度は240kgf/cm<sup>2</sup>とした。コンクリートの28日強度は248kgf/cm<sup>2</sup>であった。

今回使用したI形鋼(I-200)の断面と諸元を表-1に示す。

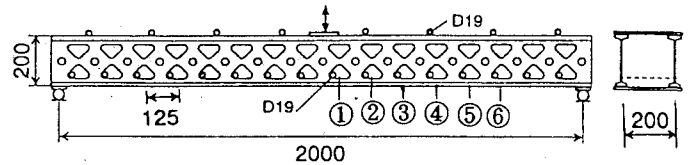


図-2 試験体

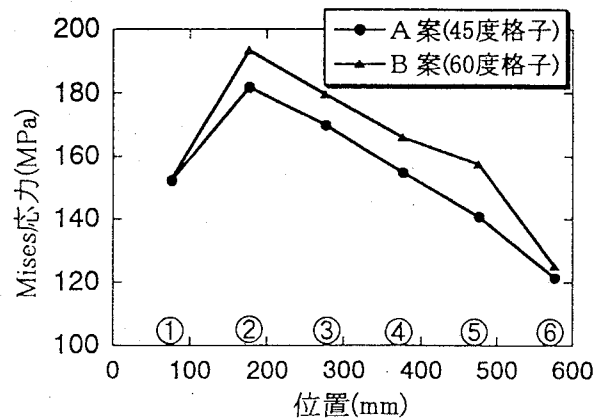


図-3 パンチ孔部の応力分布

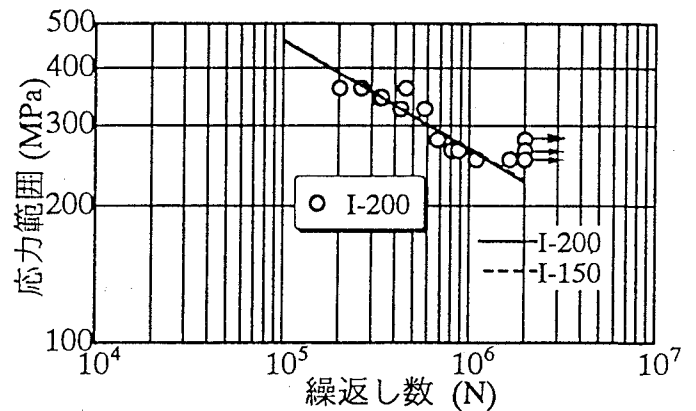


図-4 S-N線図

表-1 I形鋼(I-200)の断面と諸元

断面2次モーメント (cm <sup>4</sup> )	1650	
断面係数 (cm <sup>3</sup> )	162.9	
断面積 (cm <sup>2</sup> )	20.4	
単位重量 (kg/m)	19.7	
適用支間 (m)	4~8	
床版厚 (cm)	24~28	

### 4.3 載荷プログラム

載荷プログラムを図-6に示す。荷重値を10 tfから最大21 tfまで変化させた。各荷重段階での走行回数はたわみやI形鋼のひずみが停留した状態で判断し、次の荷重ステップに移行した。

### 4.4 試験体

試験体を図-7に示す。試験体は、長さを12 m、幅を5.5 mとし、支間長を5.0 mとする単純版であり、橋軸方向端部は弾性桁支持とした。また、隅角部は負の反力に抵抗する締付け金具を設置した。I形鋼を含むパネルは6分割で製作した。パネルは試験装置内に設置した支持架台上で組み立て、その後コンクリートを打設した。

試験体の設計は「鋼構造物設計指針」に基づいて行い、床版厚25 cm、支点部厚30 cmとした。また、配筋は橋軸直角方向にI形鋼(I-200)を22 cmピッチ、橋軸方向に配筋D19を12.5 cmピッチとした。

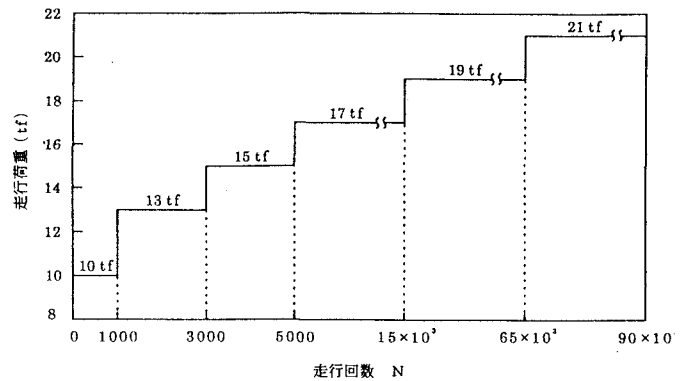


図-6 載荷プログラム

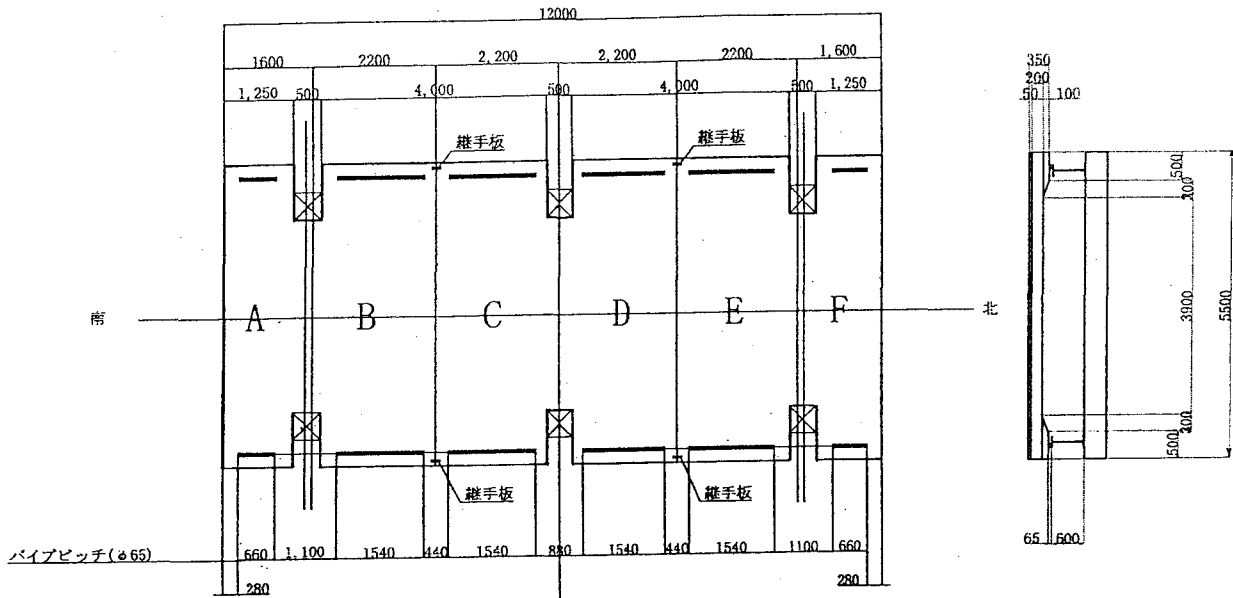


図-7 床版試験体

### 4.5 測定位置

変位計の取付け位置およびひずみゲージの取付け位置を、それぞれ図-8と9に示す。また、 $\pi$ ゲージによる開閉量およびずれ量の計測位置も図-8に示している。測定データは、パーソナル・コンピュータを介してフロッピーディスクに記憶させた。そして、ひずみ測定については、1ゲージ3線式を、また、たわみ、ずれ量等の測定は4ゲージ方式を採用した。測定は任意走行回数時での静的測定を主とし、主要点については輪荷重走行中の測定(以下、動的測定という)を行った。

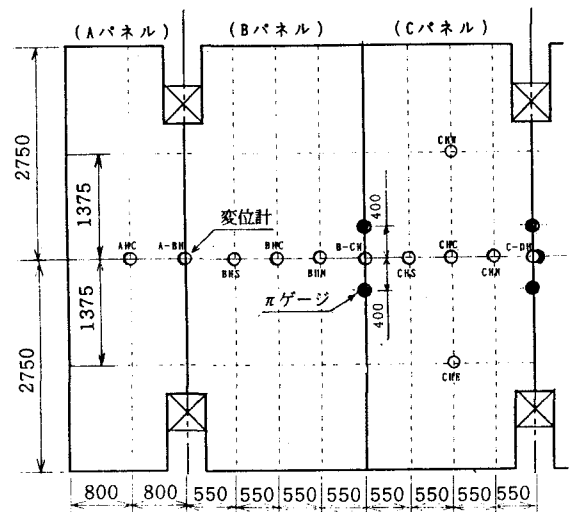


図-8 変位形取付け位置

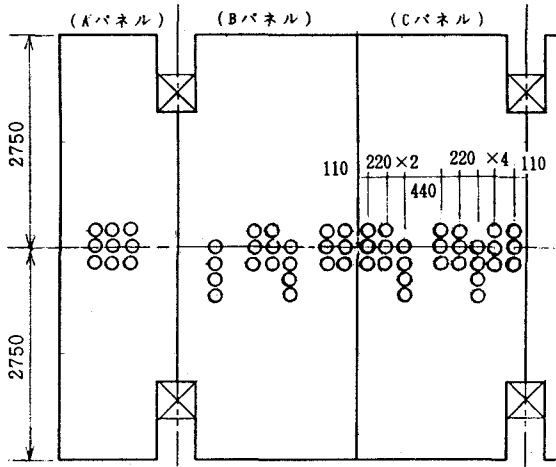


図-9 ひずみゲージ取付け位置

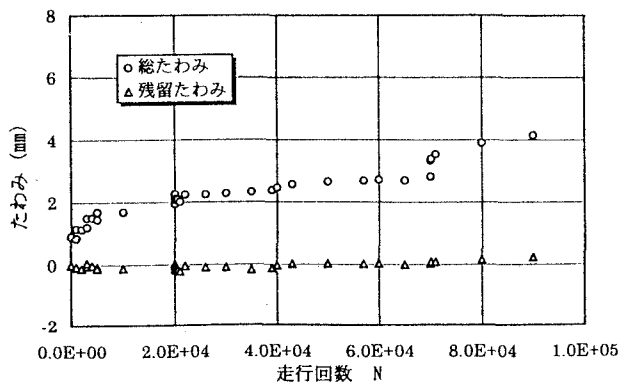
### 5. 走行試験の結果

試験結果のうち主なものを以下に示す。床版の中央に位置するCパネルのデータを代表として取上げる。

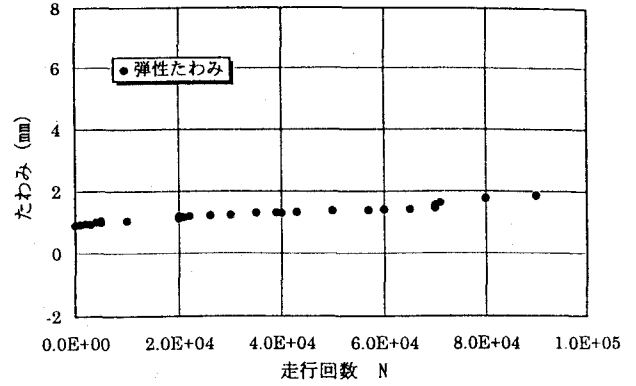
#### 5.1 たわみ

床版のたわみと走行回数を図-10に示す。a)は総たわみと残留たわみを示している。総たわみは輪荷重が測定点直上にある場合で、残留たわみは輪荷重が除荷される場合の値である。輪荷重を漸増させているので総たわみは増加しているが、残留たわみはほとんど零である。

総たわみと残留たわみとの差である弾性たわみと走行回数の関係を図-10のb)に示す。走行試験では段階載荷方式が採用されている。床版の復元力特性に関する弾性たわみの評価を検討するには定荷重に換算した値と比較しなければならない。以下ではこの荷重を10tfとした。同図より、弾性たわみは走行回数が増えるに従い増加傾向を示しているが、大きな荷重時でも急激な変化は見受けられない。



a) 総たわみと残留たわみ



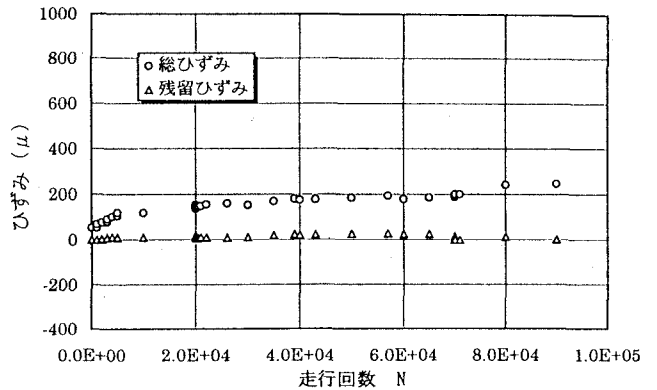
b) 弾性たわみ (10tf換算)

図-10 床版のたわみ

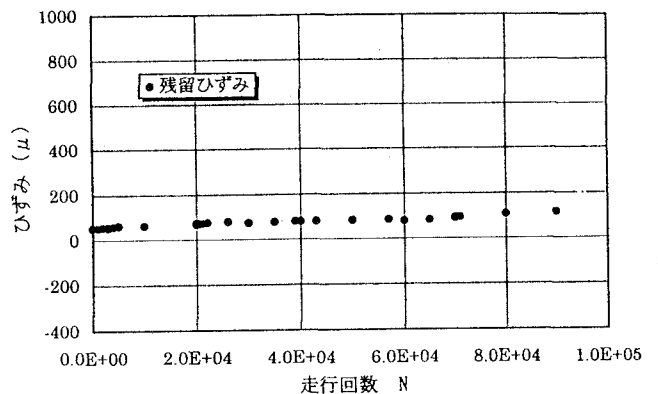
#### 5.2 I形鋼のひずみ

I形鋼の下フランジ下面に貼付したゲージのひずみの経時変化を図-11に示す。a)は総ひずみと残留ひずみを示し、b)は弾性ひずみである。

大きな荷重21tfに至っても、I形鋼のひずみはたわみと同様に増加傾向を示すが、急激な変化はない。



a) 総ひずみと残留ひずみ



b) 弾性ひずみ (10tf換算)

図-11 I形鋼のひずみ

#### 5.3 配力筋のひずみ

下配力筋の弾性ひずみの経時変化を図-12に示す。配力筋のひずみの変化はほとんど認められない。このことより、輪荷重は主要部材であるI形鋼で分担されていることが判る。I形鋼の橋軸直角方向の配置間隔22cmを拡げることにより、配力筋への荷重分散が期待できると推測される。

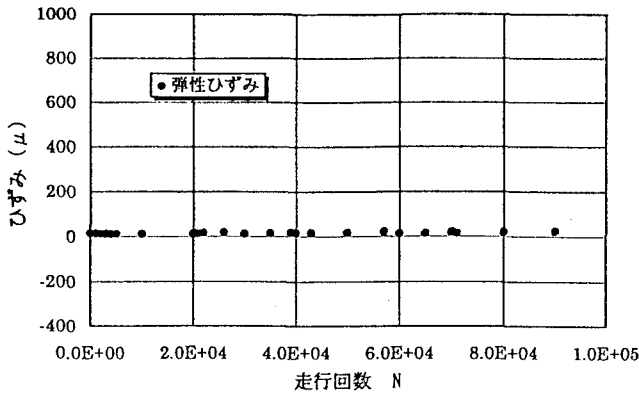


図-12 配筋筋のひずみ

#### 5.4 底板のひずみ

底板の橋軸直角方向および橋軸方向のそれぞれの弾性ひずみの  $4 \times 10^4$  回までの変化を図-13に示す。

橋軸直角方向のひずみはI形鋼のひずみと同程度の微小な漸増傾向を示すが、橋軸方向のひずみの増加はそれよりも大きい。したがって、底板には、曲げモーメントによるひずみが発生しており、その大きさはほぼI形鋼の下フランジのひずみと同程度である。一方、橋軸方向のひずみは、配筋筋のひずみがほぼ零であるのに対して、約  $120 \mu$  にも達している。このことより、底板 (1 mm) は曲げ抵抗に十分寄与していると言える。

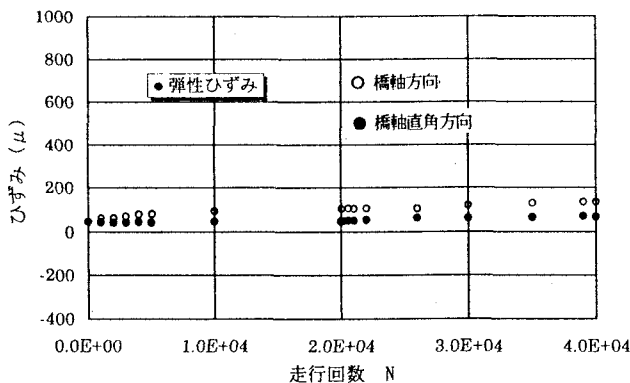


図-13 底板のひずみ

#### 5.5 コンクリートと底板間のずれ量

コンクリートと底板間のずれ量を計測することによって底板とコンクリートの合成作用を推定する。コンクリートと底板の橋軸直角方向のずれ量の測定結果を図-14に示す。コンクリートと底板のずれは  $8 \times 10^4$  回までほとんど認められず、底板はコンクリートと一体となって曲げモーメントやせん断力に抵抗していることが判る。

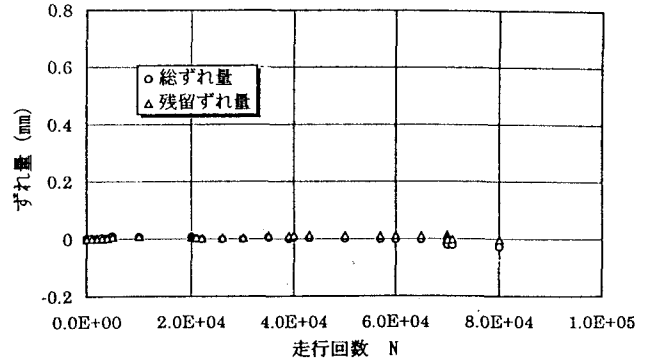


図-14 コンクリートと底板のずれ量

#### 5.6 底板継手部の開閉量

I B床版の底板は橋軸方向に継手部が生じる。本試験での継手部の構造はラップ型で点溶接を施した簡易なものである。開閉量の経時変化を図-15に示す。簡易な形状であっても  $4 \times 10^4$  回 (荷重 19 tf) に至っても総開閉量の大きさは 0.05mm以下に留まっている。

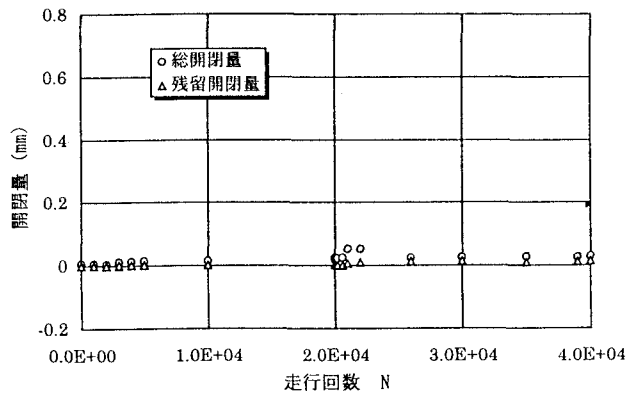


図-15 底板継手部の開閉量

#### 5.7 走行状態でのたわみの挙動

動的測定によるたわみの挙動を図-16に示す。計測においては初期値を零にセットしているため、測定された値は弾性成分となる。同図には輪荷重が 10 tf、19 tf の場合を示している。たわみのピーク値を示す点がほぼ測定点である。静的載荷時の荷重 10 tf と 19 tf での弾性たわみの増大率は約 1.4倍であるのに対して、動的測定による同じ荷重での増大率は約 1.4倍であった。このことから、輪荷重の走行時においても I B床版の曲げ剛性は低下していないと推察される。

#### 5.8 I形鋼のひずみの挙動

荷重 19 tf が作用している場の  $2 \times 10^4$  回と  $4 \times 10^4$  回時での輪荷重走行状態における I 形鋼下フランジのひずみの挙動を図-17に示す。  $2 \times 10^4$  回と  $4 \times 10^4$  回時での値を比較すれば、約  $15 \mu$  の増加に留まっており、床版の劣化は進行していないと考えられる。

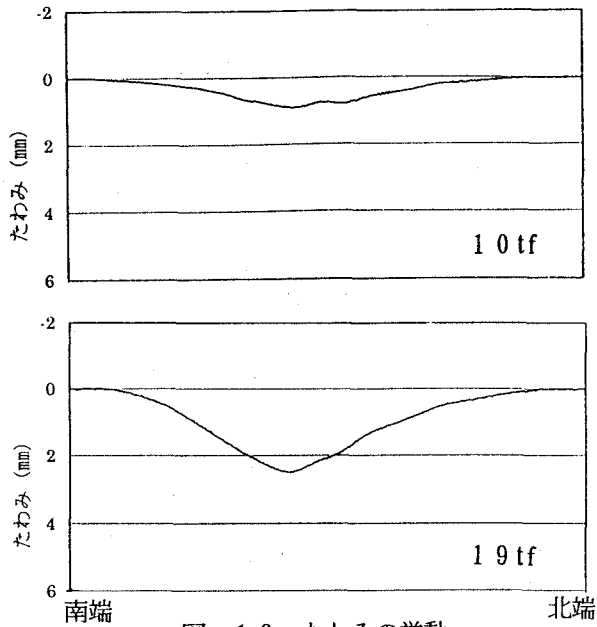


図-16 たわみの挙動

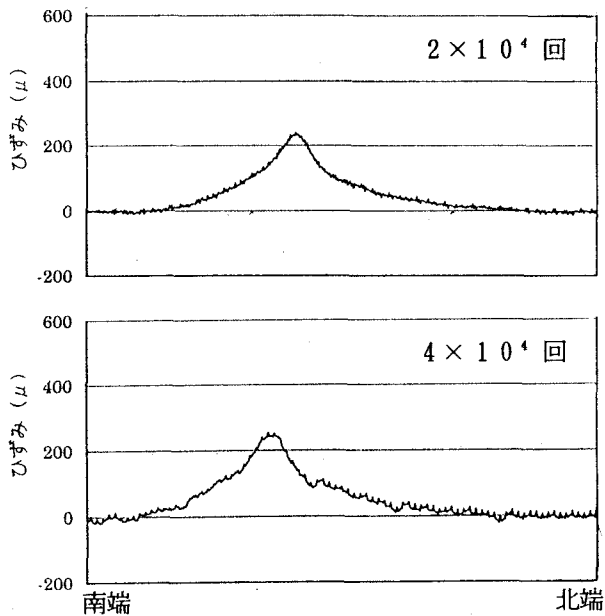


図-17 I形鋼のひずみの挙動

## 6. 考察

### 6.1 IB床版の耐久性

図-10より、弾性たわみは荷重が増加しても増加傾向が認められるが、大きな荷重21tfに至っても急激な変化はない。また、図-16からも床版の曲げ剛性の低下はほとんど認められず、輪荷重の繰返しによる床版の劣化は少ないと考えられる。さらに、図-11~12によれば、IB床版の主要部材であるI形鋼の走行回数に伴うひずみの漸増傾向は少ない。また、配力筋の弾性ひずみはほとんど発生していない。このことから輪荷重による応力はI形鋼と底板で分担されていると考えられる。以上より、荷重が大きくなってもIB床版の劣化現象は現れておらず、十分な耐久性があると言える。

### 6.2 底板の効果

底板(厚さ:1mm)は埋め殺し型枠として使用されており、設計上では構造材として考慮されていない。図-14より、コンクリートと底板のずれはほとんど発生せず、I形鋼とコンクリートは一体で挙動していることが判る。さらに、図-11と13より、I形鋼と底板のひずみはほぼ同じであることから、底板も曲げ応力を分担していることが判る。また、橋軸方向については、曲げ応力の分担率も高いため下配力筋には引張応力が作用していないと推測される。

### 6.3 IB床版の疲労設計

IB床版はI形鋼の疲労強度により決定されると言われている。I形鋼の疲労試験結果(図-4)より、新型のI形鋼と従来のI形鋼の疲労強度はほぼ同じであった。このことより、4mを超える長支間対応のIB床版の設計においても、従来の疲労設計<sup>3)</sup>と同様に扱うことができる。

## 7. おわりに

長支間対応のIB床版に関する輪荷重走行試験を行った結果、以下のことが明らかになった。

- 1) IB床版は、輪荷重の走行繰返しにおいて曲げ剛性の低下がほとんどなく、十分な耐久性を有することが明らかになった。
- 2) 型枠として使用している底板は、構造部材として十分に寄与している。今後、底板の構造化への検討を進める予定である。

本研究を進めるに際し、大阪大学松井繁之教授に貴重な御意見を戴きました。深く感謝の意を表します。

## 参考文献

- 1) 中川ほか，“長支間用I形鋼格子床版に用いるI形鋼の疲労特性”土木学会年次学術講演会概要集共通セッション，1998
- 2) 松井，前田，“鋼格子床版I形鋼の疲労特性に関する研究”，土木学会年次学術講演会概要集，1979
- 3) 高速道路調査会，“I形鋼格子床版の設計・施工に関する調査報告書”，1980