

## 少数主桁用リブ付きプレキャストPC床版の実験的研究

### An Experimental Study on Precast Prestressed Concrete Slabs with Ribs for Fewer Steel Girders

八部順一<sup>\*</sup>, 山本晃久<sup>\*\*</sup>, 大垣賀津雄<sup>\*\*\*</sup>, 済藤英明<sup>\*\*\*\*</sup>, 星埜正明<sup>\*\*\*\*\*</sup>, 堀川都志雄<sup>\*\*\*\*\*</sup>

Jun-ichi YABE, Akihisa YAMAMOTO, Kazuo OHGAKI, Hideaki SAITO, Masaaki HOSHINO and Toshio HORIKAWA

<sup>\*</sup>工修 川崎重工業(株) 鉄構事業部 橋梁技術総括部 部長 (〒136-8588 東京都江東区南砂 2-6-5)

<sup>\*\*</sup>工修 川崎重工業(株) 鉄構事業部 橋梁技術総括部 課長 (〒136-8588 東京都江東区南砂 2-6-5)

<sup>\*\*\*</sup>工修 川崎重工業(株) 鉄構事業部 橋梁技術総括部 課長代理 (〒136-8588 東京都江東区南砂 2-6-5)

<sup>\*\*\*\*</sup>川崎重工業(株) 関東技術研究所 新材料研究部 (〒275-8585 千葉県野田市二ツ塚 118 番地)

<sup>\*\*\*\*\*</sup>工博 日本大学 理工学部交通土木工学科 教授 (〒274 千葉県船橋市習志野台 7-24-1)

<sup>\*\*\*\*\*</sup>工博 大阪工業大学 工学部土木工学科 教授 (〒535 大阪府大阪市旭区大宮 5-16-1)

In recent years minimum cost of the bridge as a whole, rather than minimum weight of the steel, is considered more significant in Japan. Saving the labor cost in the construction site, cutting construction times and making the quality of the bridge higher, lead to minimum cost of the bridge. Considering these conditions, precast prestressed concrete deck slabs are desirable for this type of plate girder bridge with fewer girders. One of the problems of these slabs is how to join precast deck panels with each other. In these circumstances a new type deck, in which precast concrete panels are joined by compressing the ribs arranged in both ends of the panels by means of prestressing-steel bars, is conceived. Authors have confirmed the ultimate strength of this type of slab by static loading test till now. Further, we carry out test by running load under wheel trucking machine to confirm durability of this slab. This paper describes the merits of this slab and presents progress report of the test.

*Key Word* precast PC slab, joint, wheel trucking machine

#### 1. はじめに

近年、建設費の縮減が求められる中、鋼橋建設においては合理化・省力化の検討が進められている。従来のRC床版を有する多主桁橋に変わり、欧州諸国で見られるような広幅員のPC床版を有する少主桁橋が有力な構造形式の一つとして認められ、設計・施工事例が見受けられるようになってきた<sup>1)</sup>。

一方、場所打ち床版とプレキャスト床版を比較すると、甲乙つけがたいが、現地工事の省力化、工期短縮あるいは木製型枠材の消費削減、さらに品質・耐久性の向上等を視野にいれて、床版のプレキャスト化についても種々検討されてきている<sup>2)~5)</sup>。

プレキャスト床版の技術課題の一つとして、パネル相互間の連結部の設計・施工が挙げられる。従来の構造では、あらかじめ床版内にシースを配置しておき、鋼桁上に床版を敷設した後にPC鋼線により一体化する方法があるが、現場作業が複雑で工期も長くなり省力化や経済性という点で問題が残る。また、この他にも、ループ鉄筋継手を用いる方法では、間詰め部が部分的にRC構造となり構造上の弱点となるなどの問題点が指摘されている。

このような状況の中で、これらの問題点を解消することのできる構造系を模索した結果、床版接合部にリブを設け、リブ相互を橋軸方向に締付けボルトで結合する方式を採用することによって、継手部においてせん断力と曲げモーメントの伝達を保持し、各パネルを一体化させて版としての効果を生み出す新形式プレキャストPC床版(以下、ニューPPCスラブと呼ぶ)を考案した。この床版は、弱点と考えられる接合部にリブを設けて曲げ剛性を向上し、ループ鉄筋継手のように部分的にRC構造となるなどの問題点を解決している。現在までに、ニューPPCスラブの模型を製作し、接合部の曲げ試験およびせん断試験、ならびに接合部を含めた床版全体の静的載荷実験を行い、パネル間の曲げモーメントやせん断力の伝達特性や応力集中現象、また接合部でのずれ、および終局耐荷力などに着目した結果、床版の全体挙動では特に問題点となることがないと確認している<sup>6)・7)</sup>。

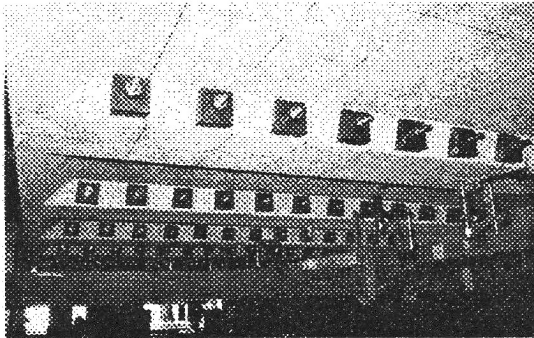
しかしながら、接合部の開きやずれなどの局所的な変形挙動や、締付けボルトの軸力変動およびずれ止めに発生する応力などについては、静的載荷試験による調査では未だ不十分な点が見受けられる。そこで、移動輪荷重試験機を用いた動的載荷実験を行い、本形式の床版各部の動的挙動について調査・検討を行った結果を紹介する。

## 2. ニューP P Cスラブの特長

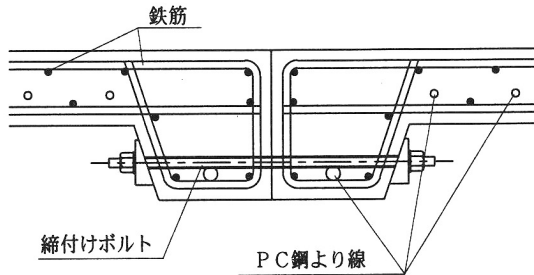
図-1に本実験に用いたニューP P Cスラブ下面の状況と継手構造を示す。

本床版の特長は、以下のとおりである。

- ①床版支間が5m以上の少主桁橋に適した構造である。
- ②場所打ちによる間詰めコンクリート部分がないので、施工が簡略化され、かつ損傷や漏水の原因となる弱点部が無くなる。



a) 下面の様子



b) 接合部構造

図-1 ニューP P Cスラブ

- ③接合部の剛性が高く、たわみ量が小さいので、床版間のせん断力によるずれの影響が減少する。また、架設時でも工事用車両が容易に通行できる。
- ④床版破損時にも部分的な取替えが容易にできる。
- ⑤橋軸直角方向の曲げに対してリブの剛性が有効に作用して、一般部の版厚を減じることができ、全体としての重量の軽減化が図れる。

## 3. 実験概要

### (1) 実験供試体

実験供試体は、実物を想定した大きさ(支間6m、橋軸方向幅2m)のニューP P Cスラブを1/2に縮小したモデルを用いた。供試体の種類、形状等を図-2と表-1に示す。床版厚は一般部で100mm、リブ部およびハンチ部で200mmである。また、橋軸直角方向は一般部にはプレテンション方式で10tf、リブ部にはポストテンション方式で12tfのプレストレスをそれぞれ導入した。このパネル8枚をそれぞれ接合面応力が $15\text{kgf/cm}^2$  ( $5.7\text{tf/本}$ )となるように締付けボルトで一体化した。接合面は鋼製型枠を脱型した状態に、実橋施工においては接着剤塗布を前提としているが、本実験においては安全側の評価を

表-1 供試体寸法、仕様

供試体	パネル寸法 [mm]	スタッド仕様 [mm]	橋軸方向間隔 [mm]	橋軸直角方向 本数 [本]
Panel A,B	3400×1000×200	$\phi 13 \times 100$	600	3
Panel C,D		$\phi 13 \times 100$	300	
Panel E,F		$\phi 13 \times 80$	300	
Panel G,H		$\phi 13 \times 80$	600	

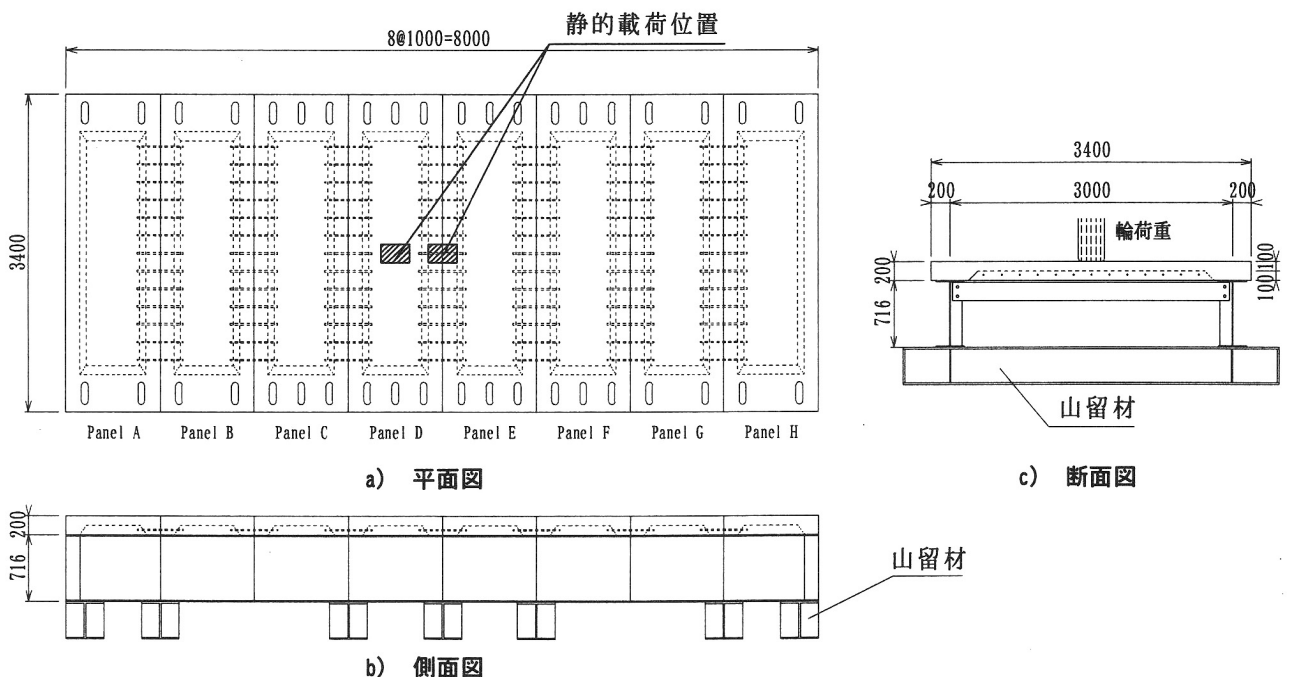


図-2 実験供試体

得るために、そのままのドライ継手としている。

また、ずれ止めには頭付きスタッドを用い、床版ジベル孔に無収縮モルタルを注入施工することによって床版と鋼桁を一体化させている。ここでは、ずれ止めの差異が床版の動的挙動に与える影響を確認するため、2枚ごとに頭付きスタッドの配置や高さ等を変化させている。実験開始時のコンクリートおよび無収縮モルタルの圧縮強度はそれぞれ 600, 570kgf/cm<sup>2</sup> である。また締付けボルトは SBPR930/1080 φ 15mm の鋼棒を採用している。

## (2) 実験方法

本実験は図-2 b), c) に示したように、供試体のある一定間隔に配置された山留材上に多点支持で配置し、輪荷重を床版支間中央部で橋軸方向に移動させることとした。載荷荷重は 10tf としたが、供試体は 1/2 の縮小模型としているので、実橋では 40tf 載荷に相当する。本報告は 10tf で 5 万回走行までのデータに基づくものであり、任意の走行回数で停止させ、図-2 a) に示した床版中央部およびリブ部において静的載荷を行い、床版のたわみやひずみ等の経時変化を測定した。また、輪荷重走行中の床版各部の挙動についても確認するために、締付けボルトの軸力やスタッドに作用する応力の輪荷重の走行に伴う挙動(以下、動的応答という)を計測した。

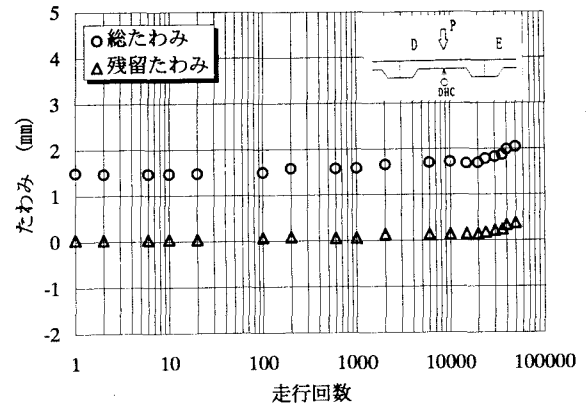
## 4. 実験結果

### (1) 床版変位

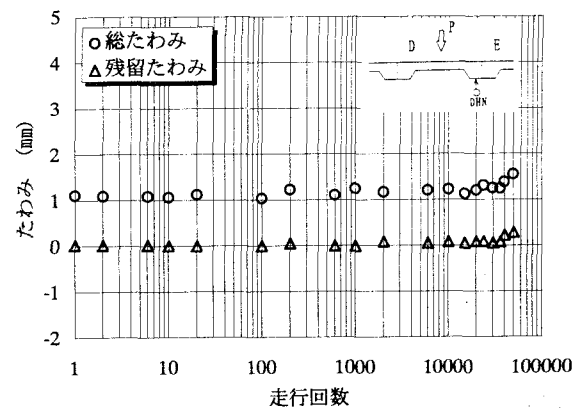
図-3 に床版の鉛直変位の経時変化を示す。同図 a) は、各輪荷重走行で D パネル中央に静的載荷荷重 10tf を負荷したときの直下のたわみである。同図中、△○印はそれぞれ荷重載荷前後のたわみであり、荷重走行の影響による残留たわみと、静的載荷によるたわみを重ね合わせた総たわみを意味している。同図より、総たわみと残留たわみの差から求められる弾性たわみは、輪荷重 10tf で 5 万回走行後もほとんど変化が現れていないことがわかる。ここで、2 万回から残留たわみが多少増加しているが、これは供試体や変位計の支持条件など長期計測の影響が現れていると考えられ、その値は 0.3mm 程度に留まっている。

また、同図 b) は同様に D パネル中央位置に載荷したときのパネル D-E 間のリブ部のたわみを示す。上述の一般部の計測値と比較して弾性たわみが 0.4mm 程度小さいが、これはリブ部の曲げ剛性が大きい上に 1 パネルあたり 2 本のリブで荷重を分担するためと考えられる。このような挙動については、ソリッド要素を用いた床版の立体 FEM 解析の結果と弾性たわみとが、よく一致していることを確認している。

同様に、載荷位置を変えて計測しているが、どの位置においても弾性たわみの走行回数による影響は見られず、残留たわみも小さいことから、たわみの観点からは



a) 一般部 (DHC)



b) リブ部 (DHN)

図-3 床版の変位

ほとんど劣化が進んでいないといえる。

### (2) 床版のひずみ

図-4 は、D パネル中央に 10tf で静的載荷したときの床版下面の載荷位置直下とリブ部での橋軸直角方向ひずみである。同図より、リブ部の弾性ひずみは約 150 μ で一般部ひずみの約 2 倍となっており、力の分担が曲げ剛性の大きいリブ部に偏っていることがわかる。

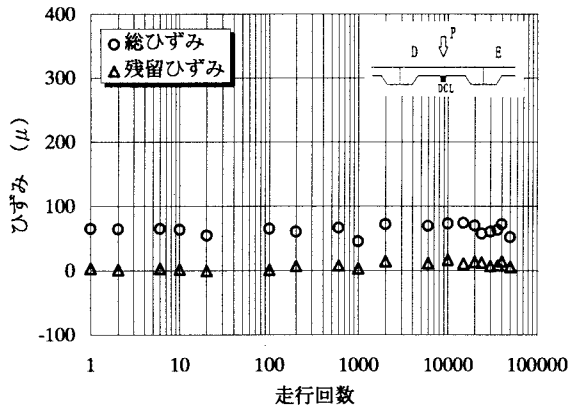
5 万回走行後の残留ひずみは、一般部ではほとんど生じていないが、リブ部には 110 μ 程度発生している。また、ここでも総ひずみと残留ひずみの差から得られる弾性ひずみは走行回数に関係なくほぼ一定の値を保っている。

### (3) 床版間の開き・段差

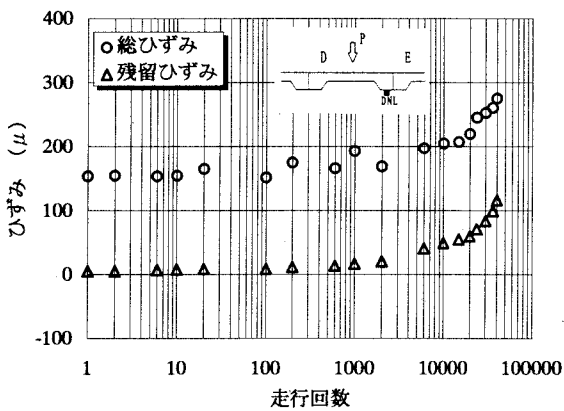
図-5 には、10tf で静的載荷したときの D-E パネル接合部間の π 型変位計による上下面の開閉量を示している。開閉量の計測には π 型変位計の接触位置間のコンクリートの局所的な変形も含まれているが、同図より、上面が -0.2mm、下面が 0.02mm と開閉量の絶対値が約 10 倍程度にもなっていることがわかる。さらに、これらの結果によれば上面では閉じて下面では開くという現象が想像できるが、両方ともかなり小さな値であるので荷重 10tf では接合部の開閉はほとんど生じないといえる。

このような現象の定量的な評価については、別途 FEM 解析による検討を進める予定である。

また上面、下面とも弾性開閉量に変化は見られない。しかしながら上面の残留開閉量においては、約 1.5 万回まで開きが大きくなる方向に変化しその後一定となっているが、これは点接触していた床版が面接触に変化したためと思われる。



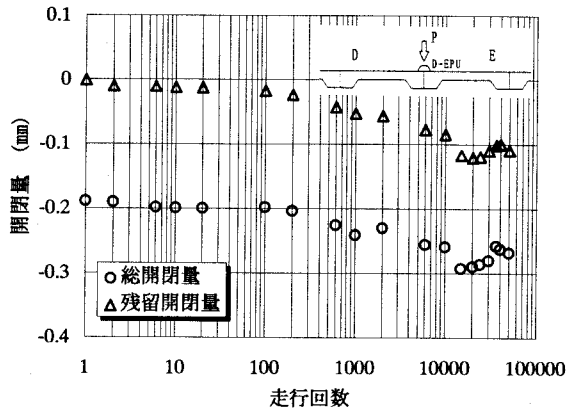
a) 一般部 (DCL)



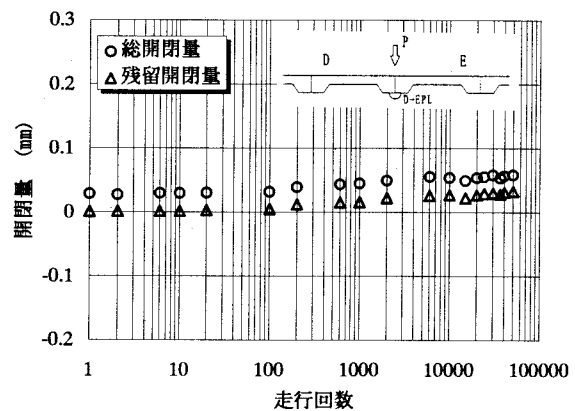
b) リブ部 (DNL)

図-4 床版下面のひずみ

図-6は、Dパネル中央部およびD-Eパネル接合部に10tf 載荷したときのD-Eパネル接合部下面の段差量(ずれ量)を示しており、接合面の鉛直方向のずれ量を簡易な治具を介してπ型変位計により計測したものである。同図 a), b)から、いずれの載荷状態においても10tfで5万回走行後まで全くずれが生じていないことがわかる。

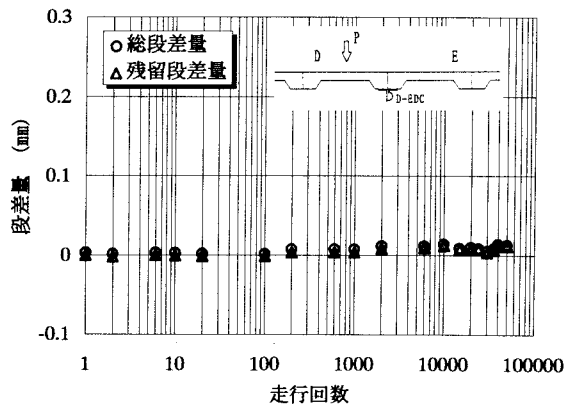


a) 上面の開閉量 (D-EPU)

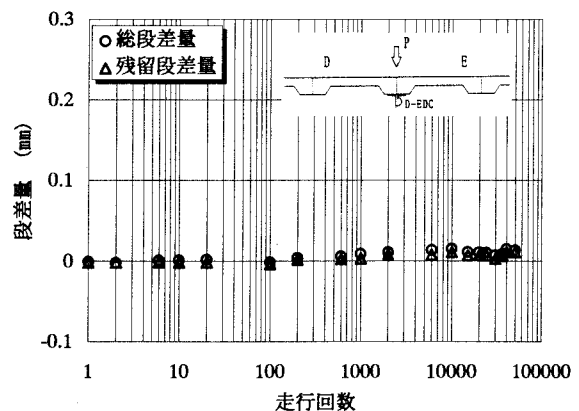


b) 下面の開閉量 (D-EPL)

図-5 接合部の開閉量



a) パネル中央載荷



b) リブ部載荷

図-6 接合部の段差量

#### (4) 締付けボルト

ニューP P Cスラブはそれぞれのパネルのリブ部を締付けボルトによって一体化して供用されることになる。したがって、床版として機能するためには締付けボルトが所定の軸力を保持していることが重要である。実橋でボルトの軸力管理を実施することは困難な作業を伴うため、本実験では現場での使用性と迅速性を考慮に入れた方式、すなわち超音波による軸力測定法を用いている。実験当初に導入した軸力に対する5万回走行後の残存する軸力の比率の頻度分布を図-7に示す。同図より、導入軸力の変動は8%以下に留まっていることがわかる。この方式はハンディタイプの測定器であるので、実橋でも十分対応できると推測できる。また、ボルトに作用するひずみの経時変化を図-8に示す。ここではD-Eパネル接合部に10tf 載荷したときの載荷点直下の締付けボルトを代表点として挙げた。同図より、ボルトの弾性ひずみの変動は僅かであり、導入軸力によるひずみに対する比率も小さい。このことより、初期に導入する軸力が床版コンクリートのクリープ等による影響を考慮しても大幅に低下することはないと考えられる。

#### (5) 輪荷重の移動に伴う供試体の挙動

##### a) 締付けボルトのひずみ

載荷荷重10tfで5万回走行時での輪荷重の走行に伴う締付けボルトのひずみの動的応答を図-9に示す。こ

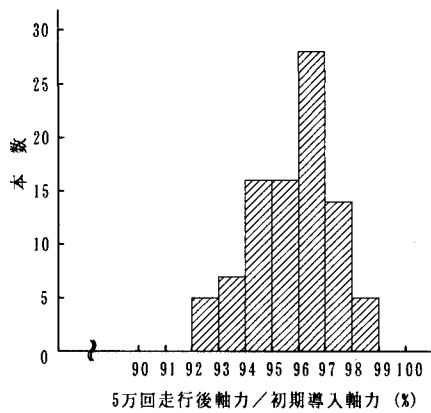


図-7 軸力変動量の頻度分布

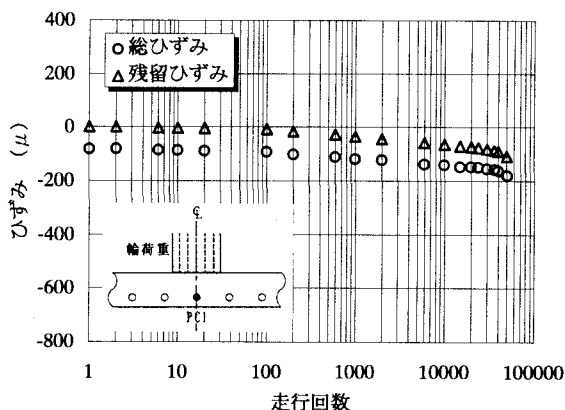


図-8 締付けボルトひずみの経時変化

で、計測しているボルトはD-Eパネル接合部を対象に、床版支間中央で輪荷重直下をPC1、輪荷重の荷重分散による影響が床版内を45°分布で広がると仮定した場合のほぼ境界線付近をPC2、そして載荷位置より少し離れた位置をPC3とした。同図より、PC1の最大値が75μとPC2、PC3の値の約2倍近くひずみが発生していることがわかる。このことから、締付けボルトの軸力変動は輪荷重直下のものを対象に照査を行えばよいことが伺える。

また締付けボルトのひずみが圧縮側に変動している点については、3.(3)で述べた接合部上下面の開閉量から接合面のひずみ分布を想定すると図-10のようになり、締付けボルト位置が圧縮領域にあることから理解できる。このように上下面の開閉量から、締付けボルト位置のひずみを逆算すると約80μとなり、実測されたPC1の最大値とほぼ一致していることがわかる。さらにボルトに作用する軸応力の最大変動量は150kgf/cm<sup>2</sup>(0.3tf)であり、初期導入量3313kgf/cm<sup>2</sup>(5.7tf)に対して約5%にすぎない。

##### b) スタッドのひずみ

計測したスタッドはパネルDに用いられたものとし、図-11に示すように1列配置の3本を対象としている。スタッドの軸力は、同図に示すようにスタッドの軸部に貼付した橋軸直角方向の表裏に2枚のひずみゲージの平均値から得られ、曲げモーメントはそれらの値の差によって求めている。

図-12にDパネルと主桁の結合に用いた頭付きスタッドの5万回走行後の軸力および曲げモーメントの挙動を示す。同図a)より、内側に配置されたDSWではほと

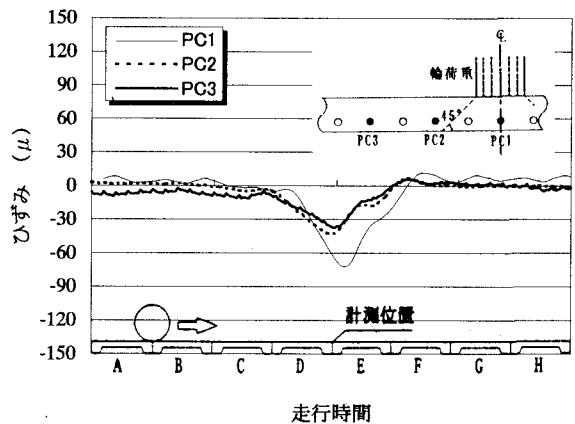


図-9 締付けボルトひずみの動的応答

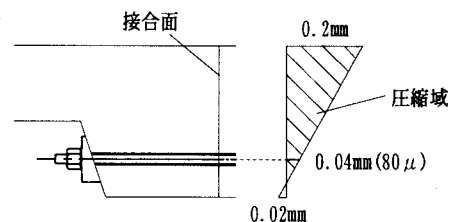


図-10 接合面のひずみ分布図

んど軸力は生じておらず、また腹板直上に配置されたDSCが外側に配置されたDSEの約4倍の引抜き力となっていることがわかる。この軸力の分布は、筆者らが以前に行った実験結果とよく一致している<sup>8)</sup>。この理由の一つとして、腹板直上のスタッドはそれに作用する軸力を直接腹板に伝達するのに対して、上フランジ外側では腹板天端を中心とするフランジの首振り変形により、軸力が低減されていることが考えられる。また、発生軸力は最大のDSCでも80kgf(60kgf/cm<sup>2</sup>)程度で小さい値である。これは床版-鋼桁間の鉛直方向の力の伝達がスタッドだけではなく、モルタル部の負担によっても行われているからと推測される。

また、同図b)より頭付きスタッドの曲げモーメントは6kgf・cm(56kgf/cm<sup>2</sup>)であり、橋軸直角方向の曲げによる影響もそれほど大きくないことがわかる。

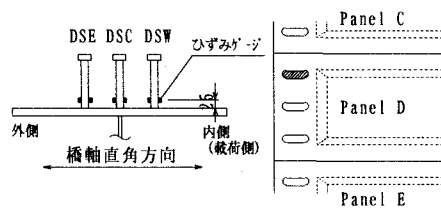
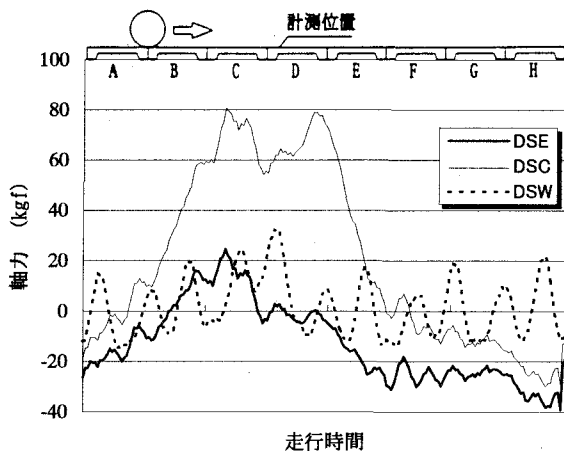
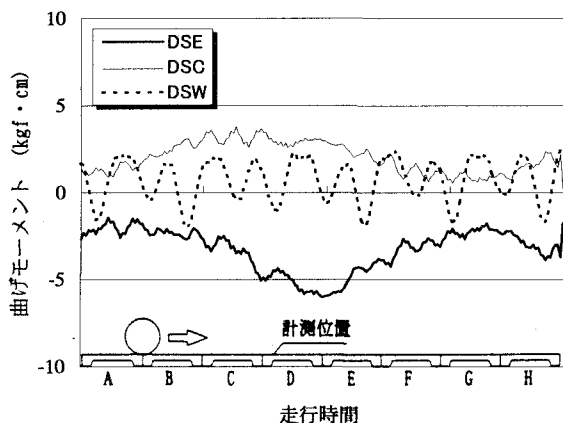


図-11 計測スタッド



a) 軸力の変動



b) 曲げモーメントの変動

図-12 スタッドの挙動

#### 4. まとめ

本文は、新しい継手構造であるリブ付きプレキャストPC床版「ニューPPCスラブ」の特長を述べ、1/2 供試体の輪荷重走行試験機による耐久性確認試験で得られた載荷荷重10tf(実橋では40tf載荷に相当)の5万回走行までのデータをまとめたものである。

本研究により得られた本床版の動的特性をまとめると以下のとおりである。

- ① 10tf載荷の5万回走行後においても弾性たわみやひずみに変化が見られない。
- ② 接合部直上に輪荷重を載荷したときのパネル間の開閉量は、上面が閉じる方向に0.2mm程度であり下面は開く方向に0.02mm程度発生する。また接合部の段差は生じていない。
- ③ 接合部直上に10tfの輪荷重載荷したときの締付けボルトは圧縮応力が発生しており、その最大値は、直下のものでも150kgf/cm<sup>2</sup>程度に留まっている。
- ④ 計測した3本のスタッド軸方向応力を比較すると、腹板直上のスタッド発生応力が大きく、10tfの輪荷重載荷時で最大60kgf/cm<sup>2</sup>程度に達するのに対し、内外スタッドの軸方向応力は30kgf/cm<sup>2</sup>以下で小さい。

現在、荷重値が21tfまでの段階載荷での輪荷重走行試験を継続中であり、FEM解析による値と走行実験の結果との照合を踏まえて、ニューPPCスラブの耐久性の検討を行う予定である。

#### 参考文献

- 1) (財) 高速道路調査会：橋梁の単純化に関する調査検討報告書，1993
- 2) 中井博編：プレキャスト床版合成桁橋の設計・施工，森北出版，1988
- 3) 森山陽一，橋吉宏，松井繁之，牛島祥貴，梶川靖治，大澤浩二：ループ状継手を有するプレキャスト床版接合部の疲労耐久性試験，土木学会第50回年次学術講演会概要集，I-A152，1995.9
- 4) 水口和之，村山陽，北山耕造，山下茂樹：東海大府高架橋におけるプレキャストPC床版の設計と施工，プレストレストコンクリート，Vol.40，No.2，pp.19~30，1998.3-4
- 5) 真鍋英規，林功治，松井繁之：チャンネル形状プレキャストPC床版の開発，プレストレストコンクリート，Vol.40，No.2，pp.36~44，1998.3-4
- 6) 八部順一，大垣賀津雄，作川孝一：新形式プレキャストPC床版(ニューPPCスラブ)の開発，川崎重工技報，132号，pp.61~66，1997.1
- 7) 星埜正明，大垣賀津雄，八部順一，長瀬嘉理：新形式プレキャストPC床版の実験的研究，構造工学論文集，Vol.43，pp.1121~1130，1997.3
- 8) 長井正嗣，八部順一，大垣賀津雄，済藤英明，石川裕一：PC床版合成2主桁橋の床版-鋼桁接合部の応力特性に関する実験的研究，土木学会第53回年次学術講演会概要集，I-A317，1998.10