

ハンチ後付けプレキャスト床版に関する実験的研究

An experimental study on precast slabs with haunches bonded with epoxy adhesive

佐藤政勝*, 横山 広**, 木田秀人***

Masakatsu SATO, Hiroshi YOKOYAMA, Hideto KIDA

- *工博 ショーボンド建設(株)補修工学研究所室長 (〒305-0003 茨城県つくば市桜 1-17)
** ショーボンド建設(株)補修工学研究所課長
***工修 ショーボンド建設(株)補修工学研究所

The shape of the haunch is frequently changed to respond to longitudinal changes of the height of bridge deck or the width of top flange of the steel main girder. A haunch-bonded panel method was developed which bonds haunches to a simple rectangular slab, using complicated forms only for the haunches.

In this study, compressive and tensile load tests were conducted on panels precast to form integrated units, and on units of panels with haunches bonded, and effectiveness of the haunch-bonded panel method and optimum haunch shapes were studied. Then wheel loading tests under moving loads, and high cycle fatigue tests at fixed points were carried out to verify endurance of haunch-bonded precast prestressed concrete slabs under repeated loads. As a result, the following points were revealed.

- (1) Load carrying capacity and cracking characteristics of haunch-bonded panels were almost the same as for precast integrated panels. No delamination of connectors was observed.
- (2) A right-angled haunch specimen, standing out of the top flange of the girder by a length more than double the depth of the haunch, sufficient for application on real bridges.

Key Words : *Precast Slab, Precast PC Slab, haunch, bond, load-carrying capacity*

1. まえがき

平成6年2月に改訂された道路橋の設計活荷重の増加に伴い、取替え床版として、床版厚さを旧床版のものと同等に抑え、かつ高耐久性を有するプレキャストコンクリート床版が採用される傾向にある。プレキャストコンクリート床版では、既設主桁との取り付け部に該当するハンチと矩形状スラブが一体で成形されるが、橋面高さや鋼主桁上フランジ幅の橋軸方向変化に対応できるよう、ハンチの形状を変化させることが多い。そのため、ハンチの型枠製作に余分な費用を要し、製造規模が小さい場合には型枠施工費に占める比率がかなり高くなる。特に、PC鋼より線による横締め作業を必要とするプレキャストPC床版の製作ヤードでは、1作業ラインで多数のPC版を製作できる施工技術の改善が強く要請されている。

本研究では、複雑な型枠はハンチに限定し、矩形状スラブにハンチを後付けした「ハンチ接着パネル工法」を開発した。すなわち、矩形状のスラブにハンチを後付けすることにより、プレキャスト床版製作の省力化を図り、製造コストの削減を達成する。そこで、一体成形した床版とハンチを後付けした床版単体の圧縮・引張繰返し載荷試験を行い、耐荷力と破壊性状を求め、ハンチ接着パネル工法の有効性及び適切なハンチ形状について考察した。次に、移動載荷走行試験および定点

高サイクル疲労試験により、ハンチ接着プレキャストプレストレストコンクリート(PC)床版の繰返し荷重に対する耐久性について確認した。

2. ハンチの形状・下面勾配

2.1 鉄筋コンクリート床版

道路橋示方書を遡ると、床版のハンチ規定としては、昭和40年に初版発行された「鋼道路橋の合成ゲタ設計施工指針」第28条 床版のハンチの条項がある。この条項は現行の道路橋示方書・同解説(日本道路協会)における鋼橋Ⅱ編6.1.10とほぼ同じ内容である。第28条では、床版には鋼桁上でハンチをつけるものとし、そのハンチの傾斜は1:3より緩やかにするのがよい。ハンチの傾斜については、「土木学会コンクリート標準示方書」の規定に準じたとしている。「コンクリート標準示方書」では、負の曲げモーメントによる応力度の計算において、スラブおよびはりの有効高さは、ハンチを考慮してこれを定めてよい。この場合、ハンチは1:3より緩やかな傾きの部分だけを有効とする。

昭和54年に初版発行された「鋼道路橋設計便覧」第1章1.1.6(2)ハンチの形状では、ハンチの傾斜 θ があまり急になると型枠が組みにくくなるので、 $\theta \leq 20$ 度となるようにする旨の記述がある。

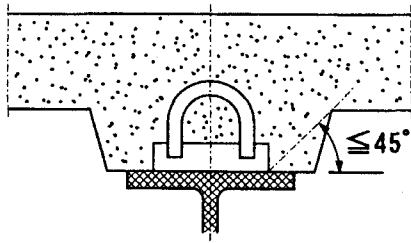


図-1 Eurocode 4におけるハンチの形状

「鉄道構造物等設計標準・同解説」第2編 鋼とコンクリートとの合成鉄道橋では、一般にスラブにハンチをつけるものとし、そのハンチの傾斜は1:2より緩やかなものとする。

また、外国の規定「Eurocode 4, および BS 5400 Part 5」では、ハンチを設ける場合は、ハンチの側面はずれ止めの外側端から45度で引いた線の外側にあるものとする。この規定は、図-1に示すように、ブロック端、または縁端のスタッドから45度の立ち上がりであり、主桁上フランジ端を着目した場合には、1:1よりも厳しいハンチ下面勾配を許容するものである。

2.2 プレキャスト床版

プレキャスト床版設計施工マニュアルにおける床版のハンチの規定は、前述の道路橋示方書の床版のハンチの条項に準拠しているが、第9章 プレキャスト床版と支持桁の結合部には、ハンチプレート等を用いた直角ハンチの事例が示されている。

最近発行された「鋼構造物設計指針, PART B 合成構造物」第2編 合成桁、床版のハンチ条項に、プレキャスト床版の場合は、ハンチを設けなくてもよい旨の条文がある。解説では、既存橋梁の床版取替に際し、ハンチを設ける場合には、直角ハンチでよいが、ハンチ部の床版有効厚さを増してはいけない。この有効厚さを増すには、ハンチの傾斜は、1:3より緩やかにする必要があるとしている²⁾。

3. ハンチに着目した交番載荷実験

3.1 目的

プレキャスト床版単体の圧縮・引張繰返し載荷実験を行い、耐荷力と破壊性状を求め、ハンチ接着パネル工法の有効性と適切なハンチ形状を求める。

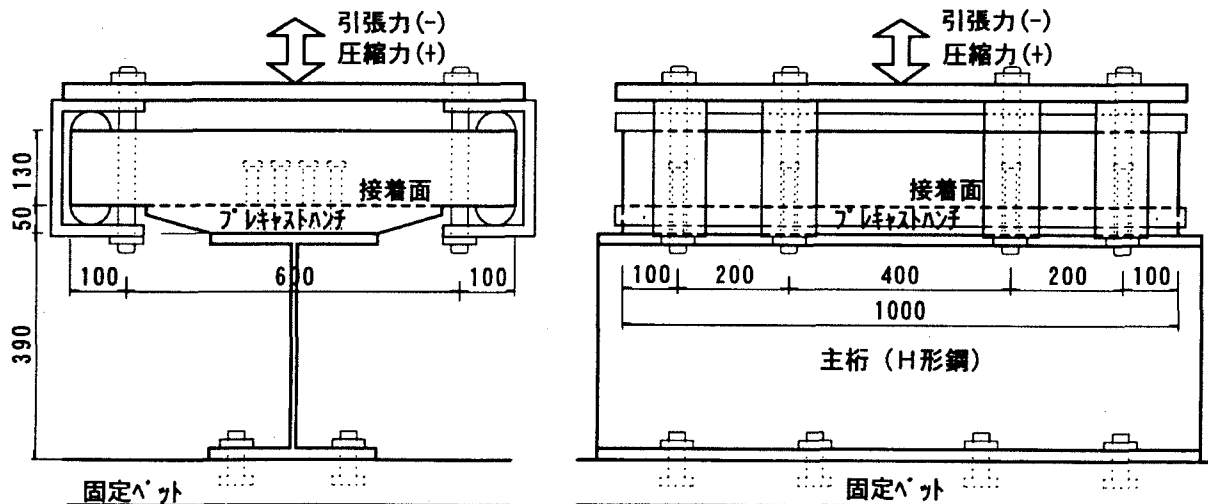
3.2 供試体の諸元

表-1に供試体の種類を示し、その形状寸法を図-2に示す。矩形スラブ(13cm*80cm*1m)とハンチ(厚さ5cm)を一体形成した供試体 HSIS, この供試体と同じ形状のハンチ(厚さ5cm)をエポキシ樹脂接着したもの HSPS, そのハンチ下面勾配を1:1としたもの HE8S, さらにハンチ下面勾配を直角としたもの HV6S と HV0S, および鋼主桁と床版をスタッド無しで樹脂接着のみで接合したもの NV6N である。

コンクリートには、呼び強度 45N/mm², 粗骨材の最大寸法 13mm の生コンクリートを用いた。水中養生した材令2週目の圧縮強度は、45.1N/mm²で、気中養生した材令4週目の圧縮強度は、43.8N/mm²であった。使用した異形鉄筋 D10 (SD 295) の降伏点および引張強さは、それぞれ 336N/mm² および 487N/mm² であった。

表-1 供試体の種類とハンチ形状

| 供試体の記号 | パネルの成形方法 | ハンチの形状 | | スタッドの有無 |
|--------|-----------|--------|-------|---------|
| | | 勾配 | 下面突出長 | |
| HSIS | 一体成形 | 1:3 | 無 | 有 |
| HSPS | プレキャストハンチ | " | 無 | 有 |
| HE8S | " | 1:1 | 8cm | 有 |
| HV6S | " | 直角 | 6cm | 有 |
| HV0S | " | " | 無 | 有 |
| NV6N | " | " | 6cm | 無 |



(a)断面図

(b)側面図

図-2 供試体の形状寸法および低サイクル繰返し載荷方法 (単位 mm)

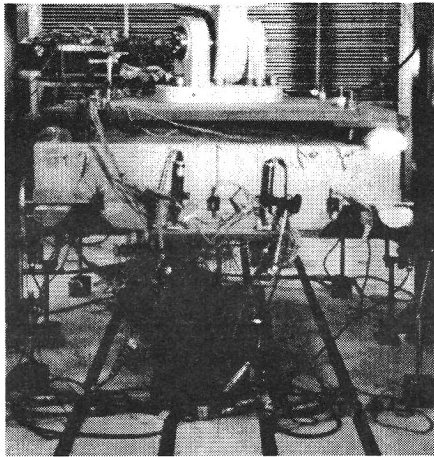


写真-1 荷重実験状況

3.3 試験方法

図-2, 写真-1に示すように, 床版張出し部両端において荷重頂板と矩形状スラブ下面をアンカーボルトで固定し, 200kN 疲労試験機により引張・圧縮荷重の低サイクル繰り返し荷重を実施した。床版両端の回転変形を拘束しないように, 床版上下面に半丸鋼を置き, また床版両端に均等な線荷重が掛るように, 中央付近は粗な間隔に桁端では密な間隔に4本(計8本)のアンカーボルトを配置した。

荷重荷重のステップは, まず圧縮荷重を160kNまで荷重し, 徐荷した後に, 引張荷重を160kNまで荷重し, 零に徐荷した。次に, 圧縮荷重(200kN)まで増加し, 徐荷を経て, 引張荷重(200kN)まで荷重した。この段階で, 接着接合面のはく離やコンクリートが引張破壊が生じない供試体については, さらに圧縮・引張(±200kN)荷重を繰り返し荷重し, 破壊までの回数と耐力を求めた。桁中央断面の異形鉄筋に貼付けたひずみゲージにより実応力を求めた。また, 電気式変位計により中央部床版の鉛直たわみを, π形クリップゲージにより接着接合面のはく離を測定した。

3.4 実験結果と考察

3.4.1 実験結果

図-3に, 全供試体について, コンクリートの割裂破壊に至るまでの荷重履歴, 繰り返し回数およびコンクリートのひび割れ状況を示し, 本実験で最も大きい耐力(繰り返し回数)の供試体 HE8S の桁中央部床版の荷重-変位曲線を図-4に示す。また, 圧縮荷重 200kN 荷重後の引張荷重 180kN でコンクリートが破壊した供試体 HV6S の桁中央部床版の鉛直変位, 上鉄筋のひずみ, および桁端に溶植したスタッドのひずみを図-5~7に示す。

3.4.2 後付けハンチとスラブの一体性

ハンチを接着接合した供試体の破壊性状は, 図-3(b)に示すように, 一体成形した供試体と同じコンクリートの割裂破壊であり, 接着面におけるはく離は, 観察されなかった。ハンチ下面勾配1:3の一体成形の供試体と後付けハンチの供試体の最大荷重を比較すると, 両供試体とも1サイクル目の

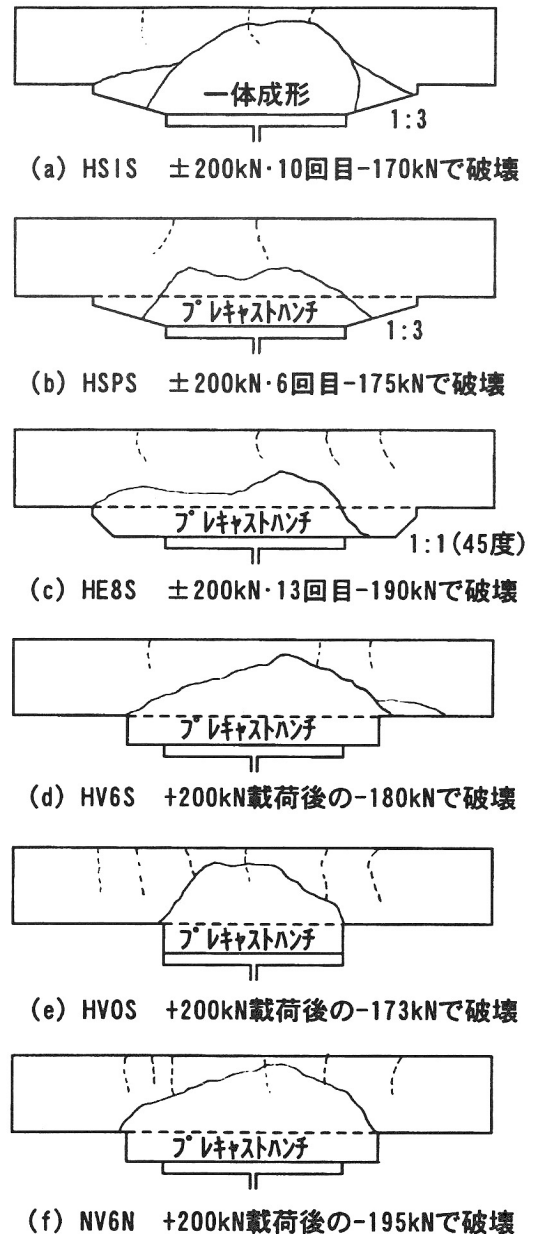


図-3 破壊荷重とコンクリートのひび割れ性状

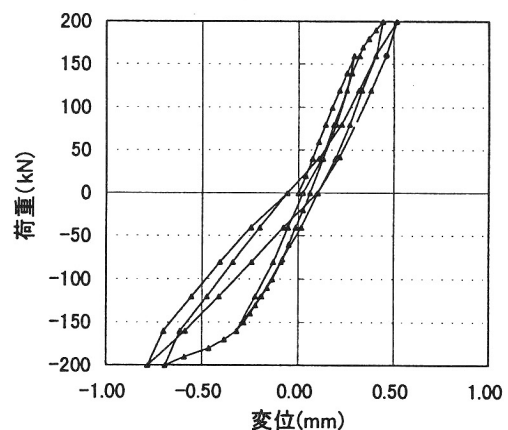


図-4 供試体 HE8S の荷重-変位曲線

±200kNでは破壊せず、その後の繰り返し载荷においてコンクリートが引張割裂した。低サイクル繰り返し試験では、繰り返し10回と6回は有意的な差と考え難く、両供試体の耐力は同等と見なせるので、後付けハンチした床版は、力学的にハンチを一体成形した床版と同等であることが確認された。

3.4.3 スタッドの影響

スタッド無しの供試体 NV6N の最大荷重 195kN は、スタッドを溶植した供試体 HV6S のものより高い値であり、両供試体のコンクリートの割裂ひび割れパターンも類似な傾向を示した。また、図-7からは、圧縮 160kN と引張 160kN の範囲でのスタッドの軸方向ひずみは、 $-8 \sim 12 \mu$ ($-1.6 \sim 2.4 \text{N/mm}^2$) と小さい。この値は、載荷荷重によるスタッドの弾性変形ひずみに相当する等から、本実験のようにスタッドの高さ方向に荷重載荷する場合には、スタッドによる影響は、無視できる程度に小さいと判断される。

3.4.4 直角ハンチの有効性

接着面のはく離を観察する目的で、圧縮と引張の交番荷重を載荷したが、一般には、張出し部の床版には、圧縮力による負の曲げモーメントが支配的であり、引張力による正の曲げモーメントは小さく、本実験で観察されたようなコンクリートの割裂破壊は実橋の床版に生じることはない。

図-3(d)に示すように、下面突出長 6cm の直角ハンチを有する供試体の最大荷重は、圧縮力 200kN を超えるものであって、実橋の適用に対しては、直角ハンチでも、十分な耐力が保証された。

3.4.5 ハンチ形状の提案

本実験で最も大きな耐力を示した供試体 HE8S の下面突出長 8cm は、ハンチ厚さ 5cm の 1.6 倍であることを参照にし、直角ハンチの下面突出長として、ハンチ厚さの 2 倍以上が目安となる。

桁下から床版下面を見た場合、直角ハンチは景観上難がある他、プレキャスト床版の輸送や架設中に角欠けが懸念されるが、下面コーナーに面を取ることよりこれらの問題は解決される。

本実験の成果から得られた図-8 に示す直角ハンチについては、鋼構造物設計指針²⁾に準じて、ハンチ厚さを考慮した有効厚さを採用できる。

- (1)ハンチは矩形とし、下面コーナーに面を取る。
- (2)ハンチの最小厚さ 6cm 程を原則とする。
- (3)下面突出長はハンチ厚さの 2 倍以上とする。

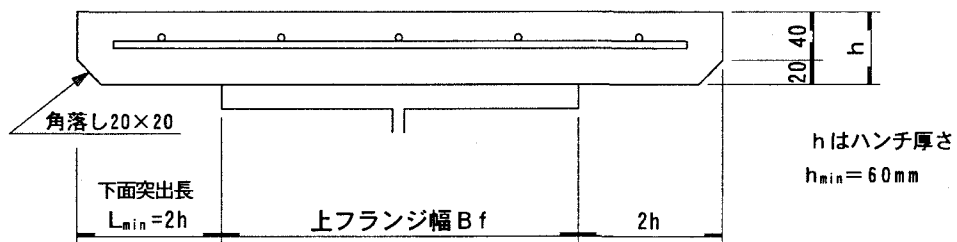


図-8 実橋に提案したハンチ (単位 mm)

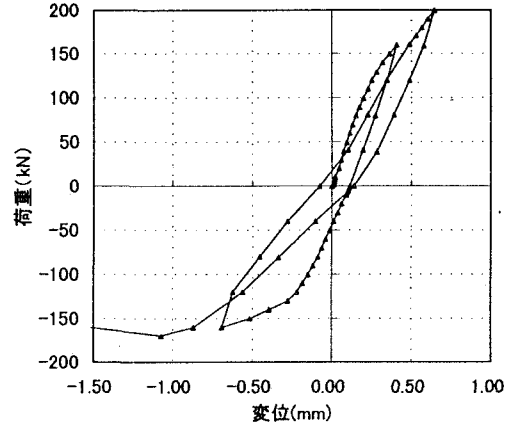


図-5 供試体 HV6S の荷重-変位曲線

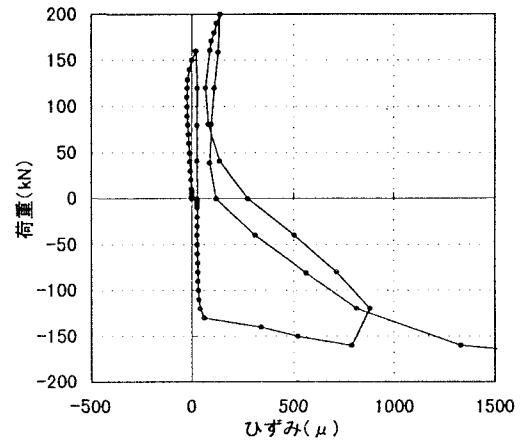


図-6 供試体 HV6S の床版下鉄筋の荷重-ひずみ曲線

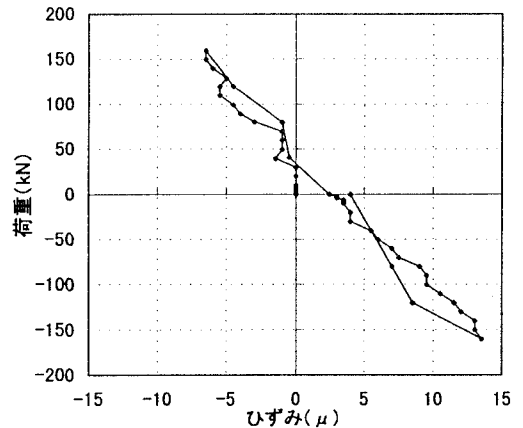


図-7 供試体 HV6S のスタッドの荷重-ひずみ曲線

4. ハンチ接着プレキャストPC床版の移動載荷および 定点疲労試験

4.1 目的

自走式移動載荷試験および定点头サイクル疲労試験により、ハンチ接着プレキャスト床版の疲労耐久性を確認する。

4.2 供試体の諸元

写真-2、-3 に示すように、矩形PCスラブ（18cm×2.4m×2.8m）とハンチ（厚さ 5cm）をそれぞれ製作し、ハンチをエポキシ樹脂（平均接着厚 3mm）で接着した。写真-4 に示すように、2 主 I 形鋼上フランジ上面に取りつけた半丸鋼上に床版 2 枚を設置し、橋軸方向に PC 鋼より線で緊張し、ハンチ接着プレキャスト PC 床版供試体を製作した。供試体の形状寸法、配力鉄筋および PC 鋼より線の径、本数、配置を図-9 に示す。

コンクリートには呼び強度 45N/mm²、粗骨材の最大寸法 25mm の生コンクリートを用いた。気中養生した材令 4 週目の圧縮強度は 53.5N/mm²、その 1/3 の応力における割線弾性係数は 32.7kN/mm² であり、実験終了後に実施した圧縮強度は 55.1N/mm² で、その割線弾性係数は 35.3kN/mm² であった。使用した PC 鋼より線のミルシート値を表-2 に示す。

表-2 PC 鋼より線の機械的性質

| JIS 規格 | 線径 mm | 引張荷重 kN | 降伏荷重 kN | 伸び % |
|---------|----------|------------|------------|---------|
| G3536 | | | | |
| SWPR7BN | 12.76 | 191 | 174 | 8.3 |
| SWPR19N | 21.8 | 582 | 540 | 6.7 |

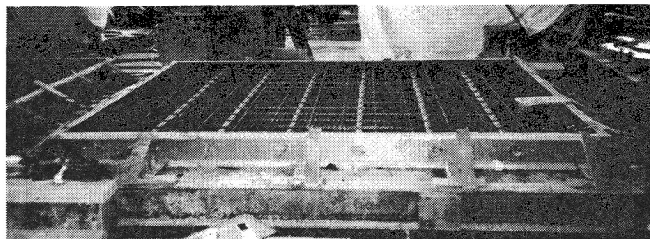


写真-2 矩形スラブの鋼材配置

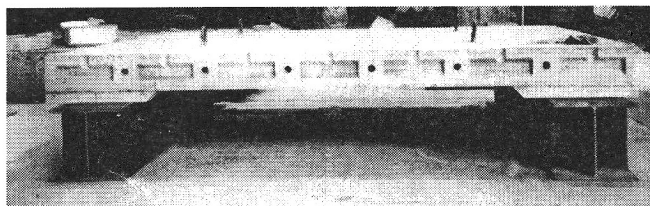


写真-3 ハンチを後付けたプレキャストPC床版

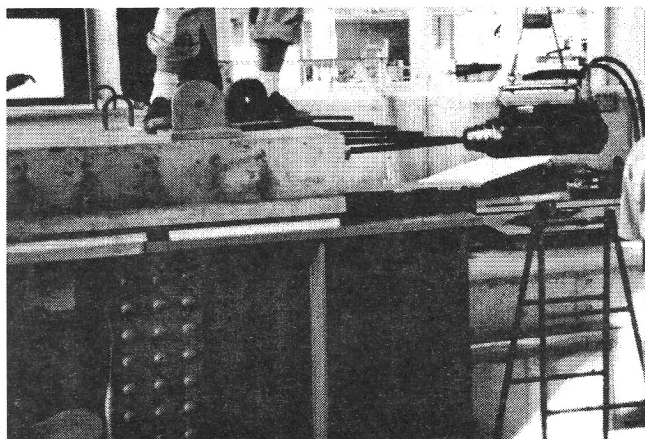


写真-4 橋軸方向におけるPC鋼より線の緊張作業

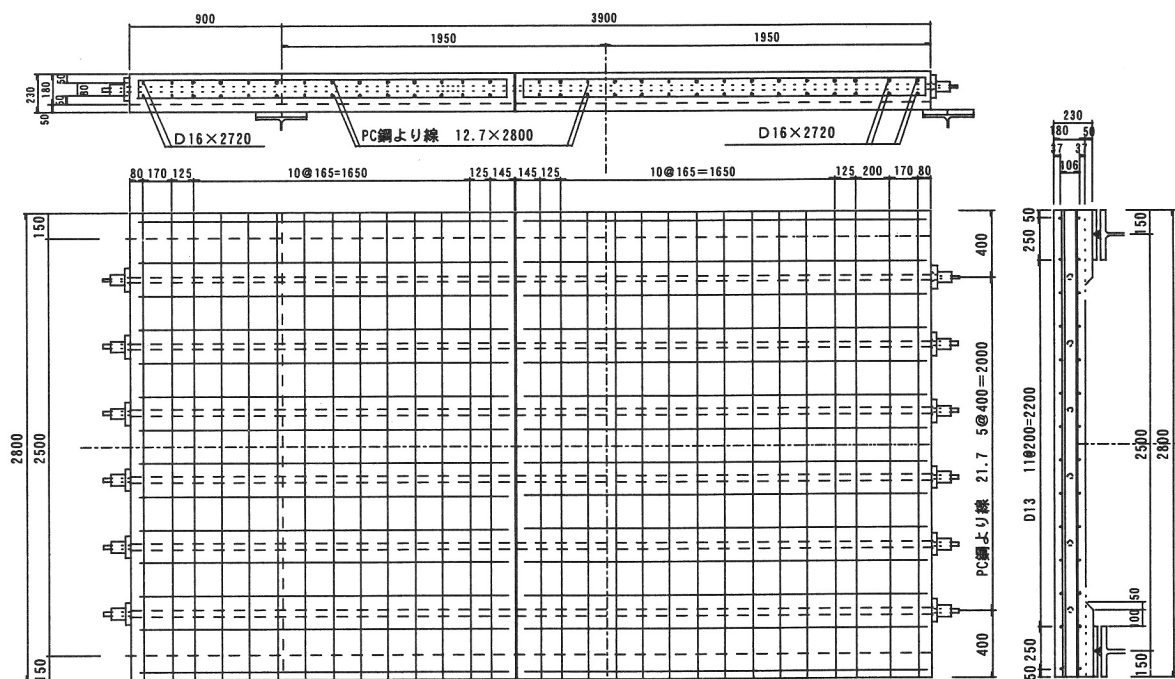


図-9 プレキャストPC床版供試体の形状寸法 (単位 mm)

4.3 試験方法

ハンチ接着プレキャストPC床版供試体とその床版上を走行中の移動載荷試験機を写真-5に示す。供試体は橋軸直角方向を回転可能な単純支持とし、橋軸方向を横桁による弾性支持としている。

移動載荷試験の載荷プログラムを図-10に示す。荷重を300kNまでに増加させ走行させたが、コンクリート下面にひび割れが発生せず、供試体が破損する前兆が観察されなかったため、移動載荷試験を中断し、供試体を500kN疲労試験機に移動し、床版中央集中荷重による定点疲労試験を実施した。その載荷プログラムを図-11に示す。

4.4 実験結果と考察

図-12に移動載荷試験時における床版中央の鉛直変位の経時変化を示す。自走式移動載荷試験機による延べ50万回の繰返し載荷に対して、プレキャストPC床版の下面およびハンチのコンクリートにひび割れが観察されず、また、図-12に示すように床版中央におけるたわみの増加はほとんどなかった。

次に、500kN疲労試験による延べ500万回の繰返し試験では、集中載荷400kNに増加させた段階で、集中載荷位置床版下面にひび割れが発生し、その後の300万回繰返し載荷に対し、そのひび割れが若干進展したが、ハンチのコンクリートにひび割れは発生せず、ハンチの接着も健全な状態であった。

5. まとめ

ハンチに着目した交番載荷実験およびハンチ接着プレキャストPC床版供試体の自走式移動載荷と定点疲労試験により以下の点が明らかとなった。

- (1)ハンチ接着した床版の耐力と破壊時のひび割れ性状は、一体成形のものとはほぼ同じ傾向を示し、ハンチ接着した床版は力学的に一体成形した床版と同等であることが確認された。
- (2)下面突出長6cmの直角ハンチ床版供試体の最大荷重は200kN以上を有し、実橋の適用に対し、十分な耐力が保証された。
- (3)下面突出長がハンチ厚さの2倍以上である直角ハンチについては、鋼構造設計指針の床版ハンチ条項に準じて、ハンチ厚さを考慮した有効厚さを採用できる。
- (4)自走式移動載荷と定点疲労試験機による繰返し載荷試験から、ハンチ接着プレキャスト床版供試体の高疲労耐久性およびハンチ接着工法の信頼性が確認された。

文献

- 1)プレストレスト・コンクリート建設業協会：プレキャスト床版設計施工マニュアル，pp.39，1994.3.
- 2)土木学会鋼構造委員会：鋼構造物設計指針，PART B 合成構造物，pp.62-63，1997.9.

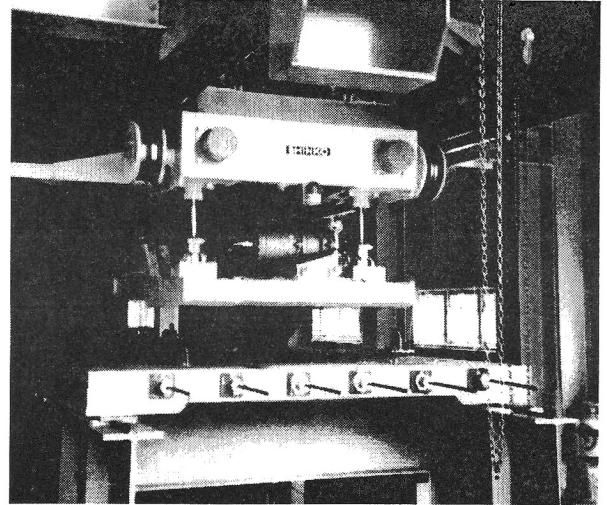


写真-5 プレキャストPC床版と移動載荷試験機

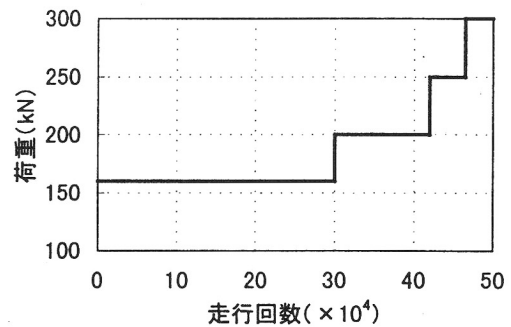


図-10 移動載荷試験の載荷プログラム

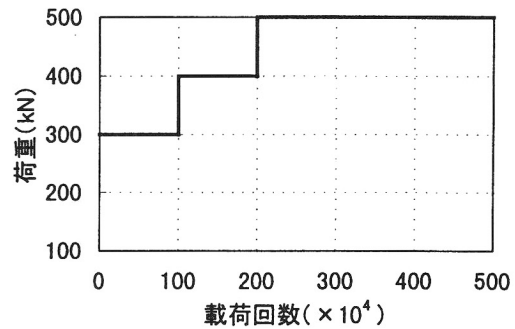


図-11 定点疲労試験の載荷プログラム

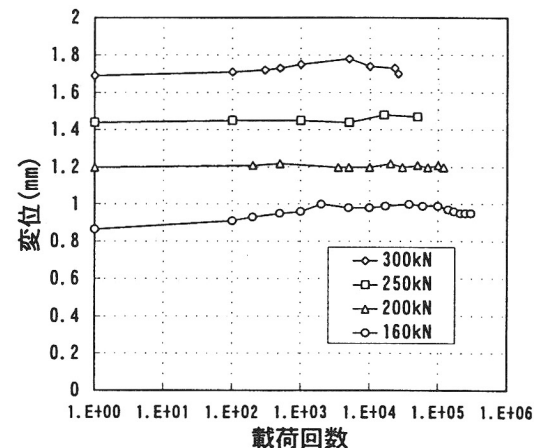


図-12 移動載荷試験時における床版中央変位の経時変化