

RCプレキャスト床版の耐荷力および耐久性試験

Loading and Durability Tests of RC Precast Slab

佐藤 徹*¹ 清水 功雄*² 高橋 秀幸*³
Toru SATO Isao SHIMIZU Hideyuki TAKAHASHI

Summary

Development of precast slabs is being carried out, since this type of slab is advantageous from the stand point of saving of labor on the construction site.

This paper describes the structural performance of RC precast slabs and the results of static, dynamic and travelling vehicle loadings in order to adopt the practical applications.

1. まえがき

近年の建設事業においては労働者の不足や高齢化が問題となっており、その対策の一つとして労働環境改善や作業の合理化・省力化が進められている。鋼橋工事においては、特に型枠工・鉄筋工などの熟練作業者を大量にかつ長期にわたって必要とする鉄筋コンクリート床版施工について、プレキャスト化などにより省力化を行うことが効果的であると考えられる。

これまでのプレキャスト床版の施工事例では、ポストテンション方式によるプレストレス導入によって接合部を一体化させるPCプレキャスト床版の方が、プレストレスを導入しないRCプレキャスト床版より採用される機会が多かったが、これはプレキャスト床版の問題点とされる接合部の耐久性に対して、PC方式の方がより十分な信頼性を保証できるためであると思われる。しかしながらPCプレキャスト床版は、現場でのプレストレス導入作業が必要であるため必ずしも合理化や省力化へつながらないケースも生じ、経済性においても建設費が高騰することは避けられない。これに対して、ループ状重ね継手を用いたRCプレキャスト床版による施工が、現場での作業性や経済性に優れた床版工法として注目されてきており、耐荷力や耐久性に関するいくつかの実験研究成果も報告されている。

「上信越自動車道 八木沢高架橋（鋼上部工）工事」においても、省力化工法を検討するモデル工事対象橋であることから、現場作業の省力化を図るためにループ状重ね継手を用いたRCプレキャスト床版を採用した。

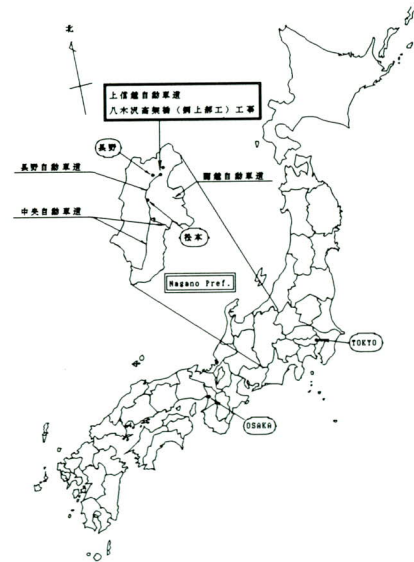


図-1 施工位置図

本工事では従来から研究が進められてきた構造を基本とし、施工性および作業時の安全性をさらに向上させるために、接合部の型枠を一切使用しない合理的な継手形状を検討し、図-2に示す構造を採用することにした。

*1技術本部 技術開発部技術開発課 *3千葉工場 製造部品品質管理課

*2技術本部 技術開発部次長

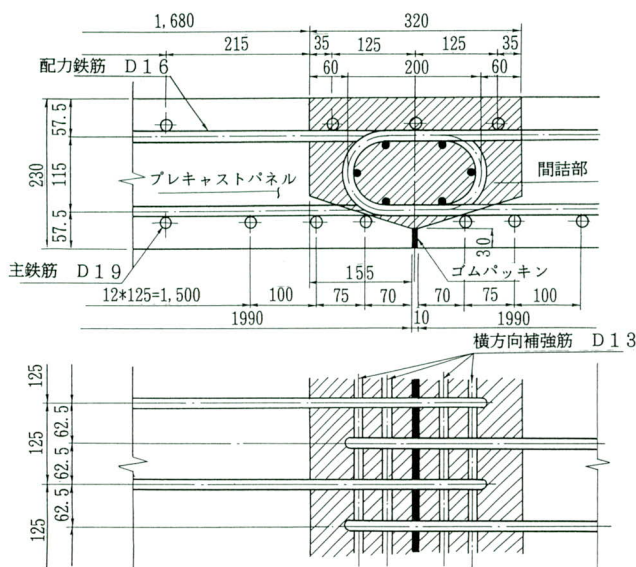


図-2 連結部の継手構造

この継手構造を採用することにより、

- ①継手部の下面型枠の設置および下側主鉄筋の配筋作業がなくなることにより、現場での型枠工・鉄筋工などの熟練作業者が不要となり省力化に効果がある。
- ②床版作業用の足場設置の必要がなく、省力化が図れるとともに作業の安全性が格段に向上する。
- ③現場でのコンクリート打設量が少なく、施工管理が容易で工程短縮が可能。

などの特長を有することになると考える。ただし実橋に適用するに当たっては、特殊な継手形状（特に床版コンクリート下側の張り出し）に関する構造特性を確認しておく必要があることから、以下に述べるような各種の実験を実施した。

2. 載荷試験の概要

載荷試験ではまず、図-2に示したループ状重ね継手構造の重ね継手長および鉄筋間隔の妥当性に関する試験を行い、次にははり構造および版構造での基礎的な耐力・耐久性に関する試験を実施した。各試験結果の概要を報告する。

(1) 継手引張性能試験

床版パネルの現場架設作業は鋼桁上に順次据え付ける方法となるため、継手部のループ鉄筋は従来の重ね継手のように鉄筋間隔を0として鉄筋同士を添わせることは不可能で、床版下側の張り出し形状の製作上の問題等か

ら、重ね継手長も短いことが望ましい。理論的には鉄筋重ね長 $l_u \geq 1.5d_B$ (d_B : ループ鉄筋の最小曲げ直径)、鉄筋純間隔 $e \leq 4\phi$ (ϕ : 鉄筋径) まで有効とされており、この場合の応力伝達性能を確認するための試験として実施した。供試体は継手部のみに着目したもので、鉄筋に引張力を加えることにより生じるひびわれ状況や荷重により継手性能を評価する。供試体寸法形状を図-3に、試験状況を写真-1に示す。

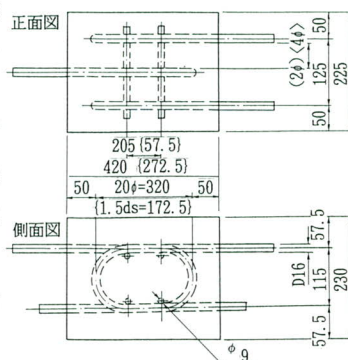


図-3 供試体形状

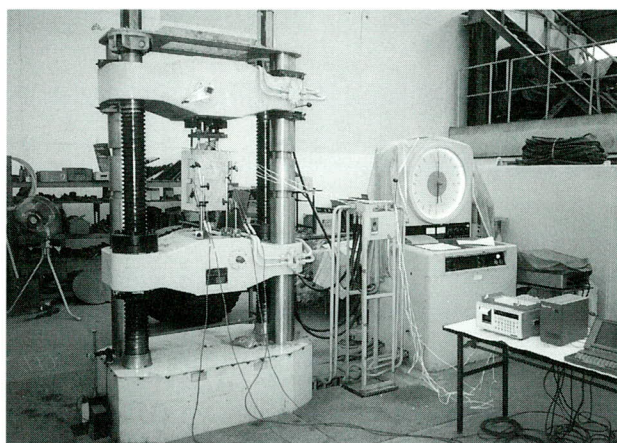


写真-1 継手引張性能試験状況

ひびわれ観察結果の代表例を図-4に示すが、供試体に発生したひびわれは縦方向の引き抜き割裂と、荷重の増加とともに横方向へ進展した割裂であり、供試体の配筋や形状の違いによる差異は特に現れていない。

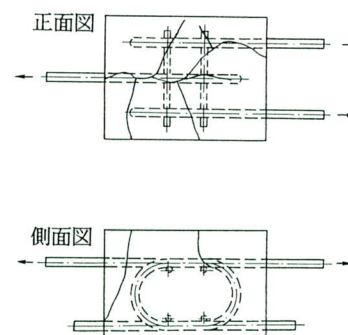


図-4 ひびわれ状況

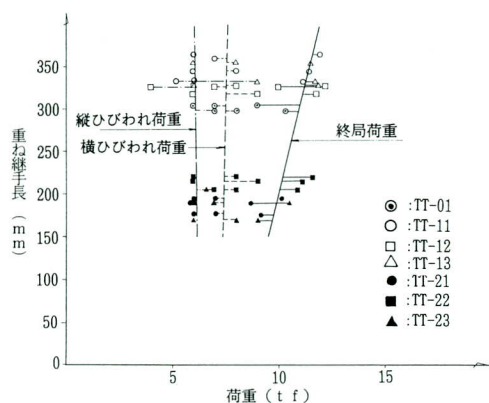
また表-1の試験結果一覧表および図-5の関係図に示すように、ひびわれ発生荷重は供試体の種類に関係なくほぼ一定で、終局荷重が重ね継手長の長い場合に上昇する傾向にある。

表-1 継手引張性能試験結果
(a) 鉄筋素材引張試験結果

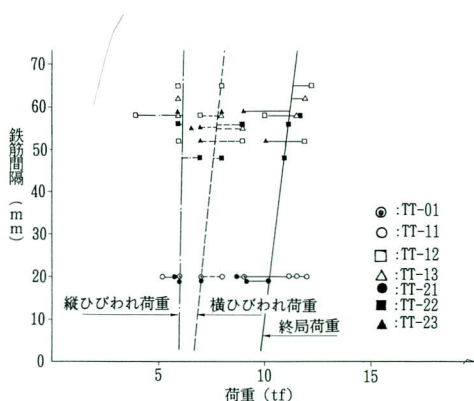
形状寸法	断面積 (mm ²)	降伏荷重 (kgf)	降伏点 (kgf/mm ²) (基準引張強度)	最大荷重 (kgf)	引張強度 (kgf/mm ²) (基準引張強度)
D16 (SD345)	198.6	7650	39 (≥ 35)	11100	56 (≥ 50)

(b) 継手引張試験結果

継手構造	番号	縦われ荷重 (tf)	横われ荷重 (tf)	終局荷重 (tf)	破壊モード	重ね長 (mm)	鉄筋間隔 (mm)
重ね継手	01	6.0	7.0	13.2	付着割裂	320	0
ループ	11	5.7	7.0	11.6	付着割裂	320	0
	12	5.3	8.0	11.4	付着割裂	320	32
	13	6.0	7.0	11.7	付着割裂	320	64
	21	5.9	6.6	9.3	付着割裂	172.5	0
継手	22	6.3	8.3	11.2	付着割裂	172.5	32
	23	6.2	7.3	9.8	付着割裂	172.5	64



(a) 鉄筋重ね長-荷重関係



(b) 鉄筋間隔-荷重関係

図-5 鉄筋配置と耐荷力関係図

以上の結果により、実際の床版パネルの鉄筋配置は鉄筋間隔を4φ以内、重ね継手長を1.5d_B以上確保することで、応力伝達機能は満足されると評価した。

(2) 継手構造耐力試験

この継手構造は配力筋の連結に用いるものであることから、橋軸方向のはりモデル供試体により、配力筋方向の曲げに対する性状を確認するための試験として実施した。供試体の床版厚と鉄筋配置は実橋と同一で、荷重は打継面にせん断力を作用させるように支間中央の1点載荷とした。静的載荷試験では主に打継面でのひびわれ発生状況の違いを観察する目的で、今回採用する継手構造とともに打継面を鉛直とした場合との比較を行うことにした。また継手部の耐久性を確認するために、定点繰返載荷試験も合わせて実施している。供試体形状・寸法を図-6に、試験状況を写真-2に示す。

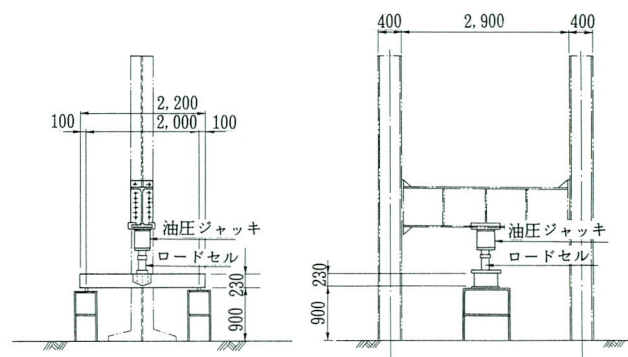
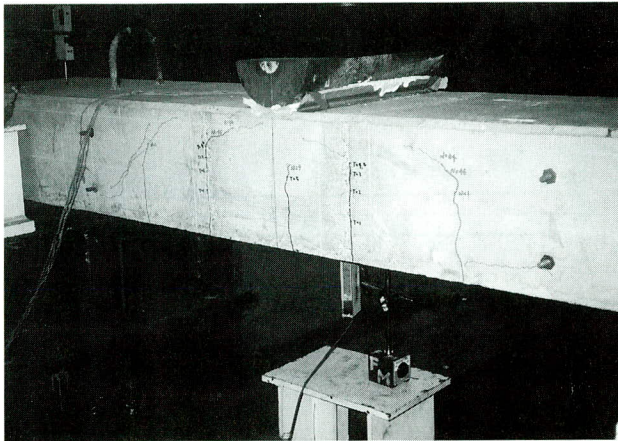


図-6 供試体形状・寸法

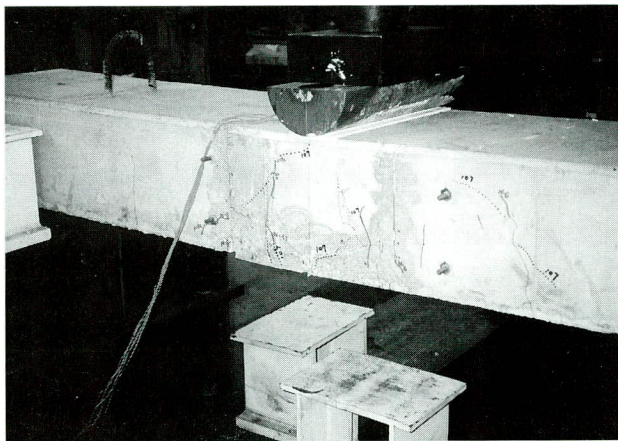


写真-2 継手構造耐力試験状況

静的載荷試験でのひびわれ観察によれば、鉛直打継面を有する供試体では初期ひびわれが打継面から発生するのに対し、床版下側を張り出した構造では打継面からのひびわれは生じず、通常の曲げひびわれのみであった。終局破壊モードは両者とも供試体上側の圧壊であり、継手構造の違いによる明確な差は現れていない。



(a) 打継面鉛直



(b) 床版張出構造

写真-3 静的載荷試験でのひびわれ状況

また、静的載荷試験における計測結果の代表例として、支間中央での鉛直変位を図-7に示す。

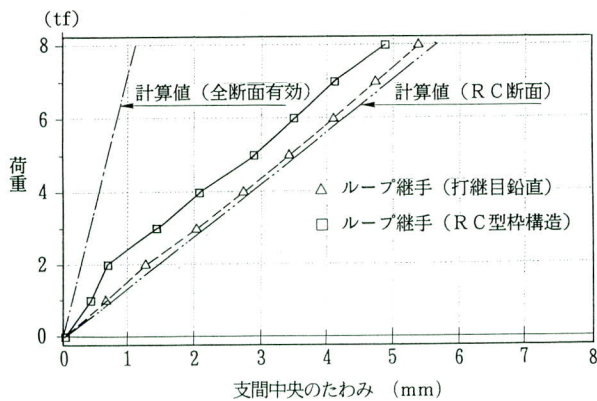


図-7 荷重-変位関係図

変位性状は、床版張出形状の供試体が初期ひびわれの発生まで全断面有効に近い挙動を示しており、ひびわれ

発生後はRC断面としての性状である。鉛直打継面を有する供試体では、載荷直後にひびわれが発生したために初期段階からRC断面としての性状を示している。

繰返載荷試験では、RC断面計算における引張側鉄筋の応力範囲を1600kgf/cm²に設定し試験を実施した。ひびわれ状況は静的載荷試験とほぼ同様であり、断面剛性の変化も初期ひびわれの発生以降、繰返回数増加に対してほとんど変化していないことから、耐久性も十分満足されるものと思われる。

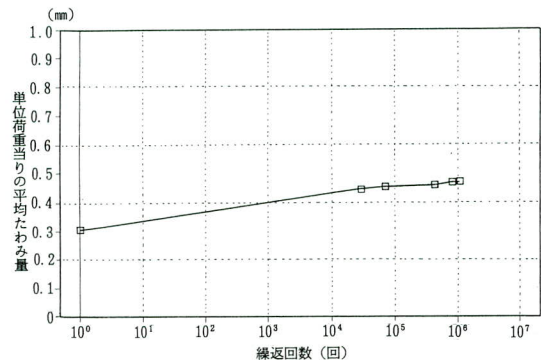


図-8 繰返載荷試験での変位性状の変化

(3) 床版継手耐力試験

RC床版など荷重が集中的に作用する場合の終局耐力は、押抜きせん断破壊によって決まるとされている。継手部(間詰部)が構造的弱点かどうか、押抜きせん断破壊試験による耐力および繰返載荷試験による耐久性を確認することにより検証した。供試体は実橋床版と同一諸元とし、床版支間長は試験装置の制約から本橋2.7mに対し2.3mとした。供試体の寸法・形状を図-9に、試験状況を写真-4に示す。

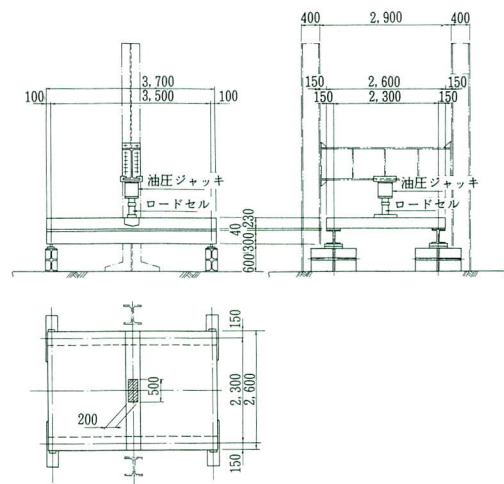


図-9 供試体の寸法・形状

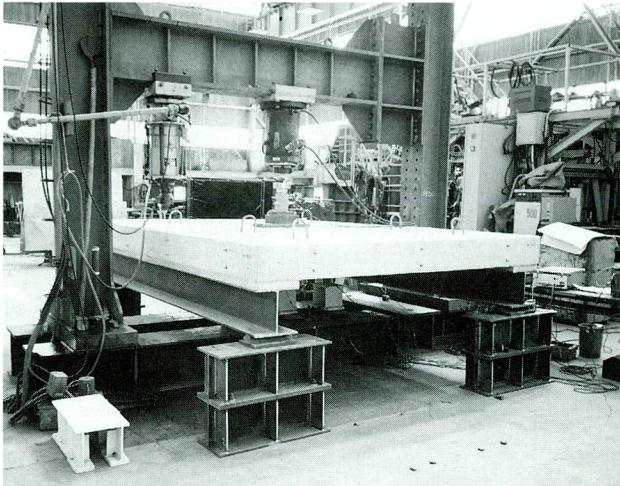


写真-4 床版継手耐力試験状況

押抜きせん断破壊試験の結果は表-2に示す通り計算値を超える荷重で破壊しており、ひびわれの発生状況も継手に起因するものには特に見られないことから、間詰部の耐荷力は十分であると思われる。

表-2 押抜きせん断破壊試験結果

試験破壊荷重 (tf)	計算せん断破壊荷重(tf)		試験値／計算値の比率	
	コンクリート示方書	前田・松井式	コンクリート示方書	前田・松井式
98.0	61.78	97.47	1.59	1.01

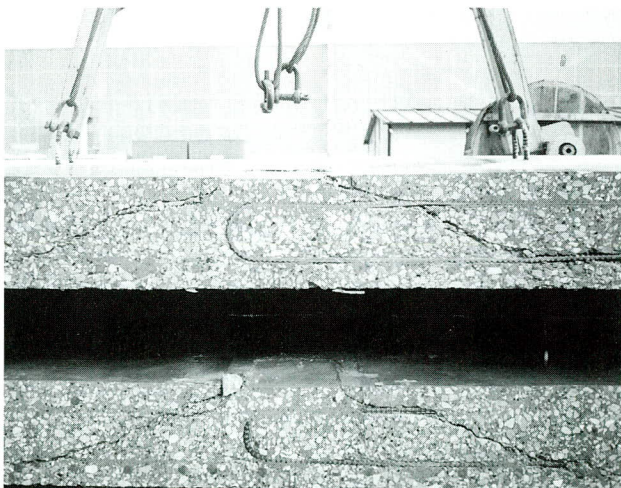


写真-5 押抜きせん断破壊状況

定点繰返載荷試験においても、ひびわれは荷重載荷位置直下で継手方向の発生が見られるが全体的には放射状の曲げひびわれが支配的であり、また図-10の床版たわみと繰返回数との関係で明かなように、初期段階のひびわ

れ発生に伴ったたわみ増加傾向は認められるが、400万回まで継続した段階でも断面性能の低下はなく耐久性に関しても問題ない。

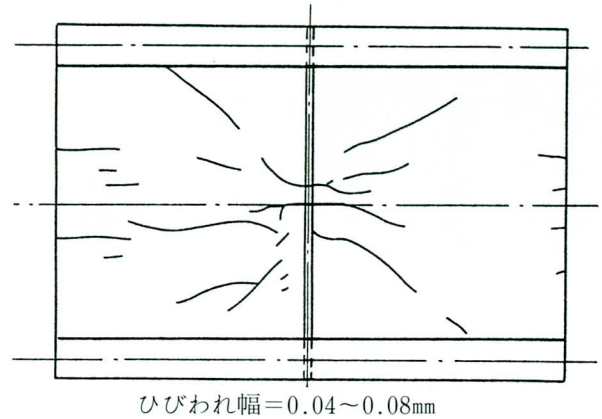


図-10 版供試体の繰返載荷試験でのひびわれ状況

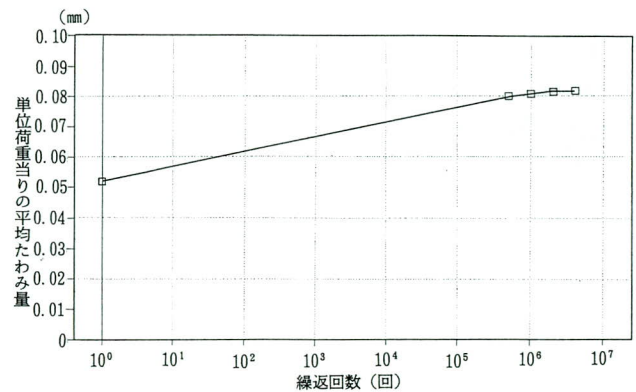
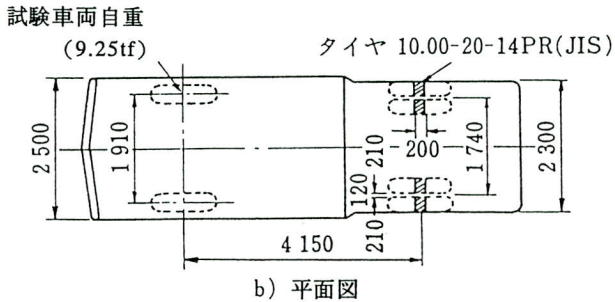
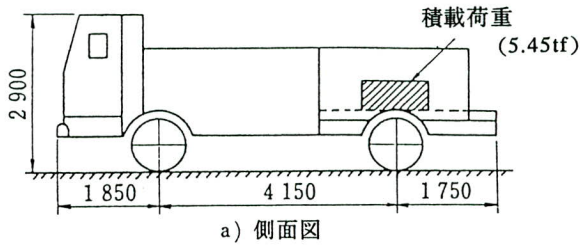
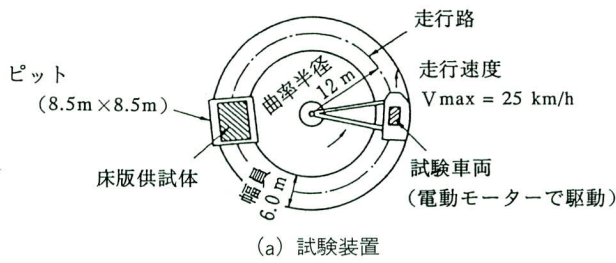


図-11 版たわみ-繰返回数関係

3. 走行荷重耐久性試験

(1) 試験概要

実際の床版に発生している損傷は、定点繰返載荷試験の破壊モードとは異なるものであり、構造物としての耐久性を確認するためには、車両の走行を想定した疲労試験により判断する必要があることから、この試験を実施することにした。この試験で用いた試験装置を図-12に示す。本試験装置は試験車両が電動モータで駆動され、円形走行路上を最大25km/hで繰り返し走行出来る構造となっている。試験車両の輪荷重は表-3に示す通りである。また走行路にはピットが設けられており、ここに設置された供試体上を試験車両が繰り返し走行する。



(b) 試験車両
図-12 道路耐久性試験装置

表-3 荷重車両輪荷重

	前 輪		後 輪	
	内 側	外 側	内 側	外 側
荷重 (tf)	2.56	2.14	5.22	4.97

供試体は床版厚 ($t=23\text{cm}$) と鉄筋径 (主鉄筋 D19、配力筋 D16) を実橋と同一とした。但し、表-3 に示した試験車両の後輪荷重が約 5tf と設計輪荷重に比べ小さいことから、主鉄筋間隔を 170mm、床版支間長を 5m と拡大し、主鉄筋応力度が $1300\text{kgf}/\text{cm}^2$ 程度と許容応力度を超える様に設計している。

供試体の形状・寸法は図-13 に示す通りであり、継手部のループ鉄筋については重ね継手長 200mm (12.5ϕ)、鉄筋間隔 64mm (4ϕ) とした。使用コンクリートはプレキャスト部が早強コンクリート、継手部の間詰コンクリートが膨張コンクリートであり、設計基準強度は各々 300 kgf/cm^2 である。

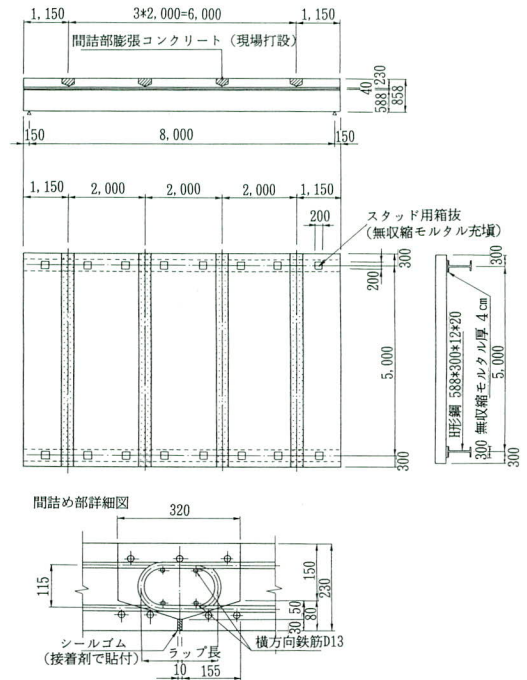
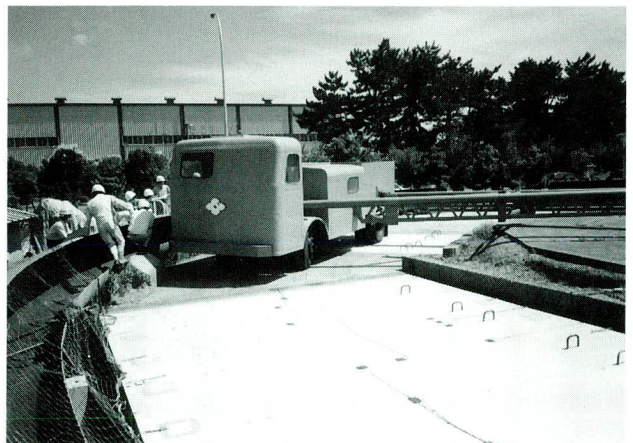


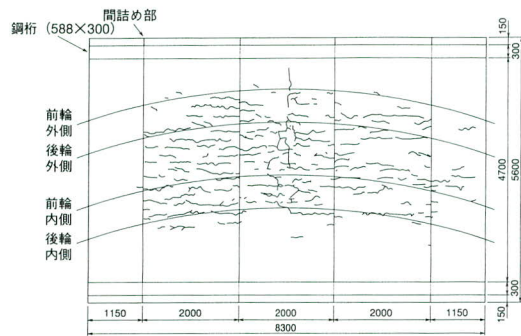
図-13 供試体の寸法・形状



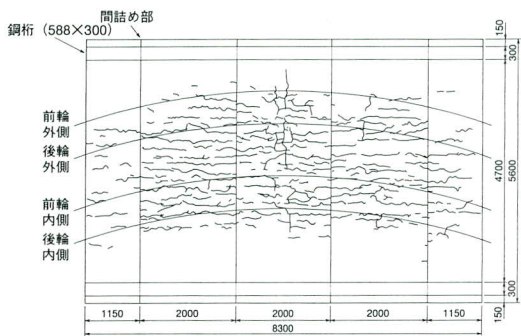
(a) 試験装置全景



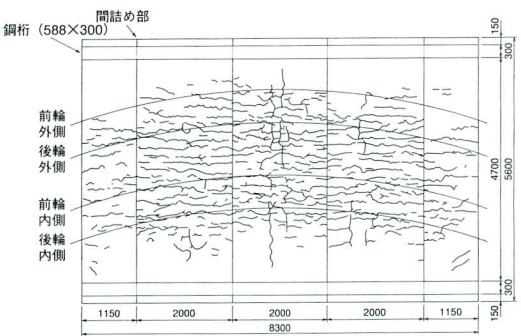
(b) 供試体と試験車両
写真-6 走行荷重耐久性試験状況



(a) N = 1 万回



(b) N = 15 万回



(c) N = 20 万回

図-17 床版下面のひびわれ状況

(3) 定点載荷試験

疲労試験での床版の挙動は全断面有効のまま変化せず、破壊に至るような損傷の発生は期待できないことから、試験車両輪荷重の約2倍の荷重を載荷することで床版のひびわれを促進させ、より設計計算(RC断面計算)に近い状態での挙動を確認することを目的にこの試験を実施した。本試験は疲労試験における15万回走行時の計測終了後に行い、図-18に示す載荷位置に表-4の最大荷重までウェイトを載荷した。なお疲労試験の走行回数20万回は、本試験後の5万回を含めたものである。

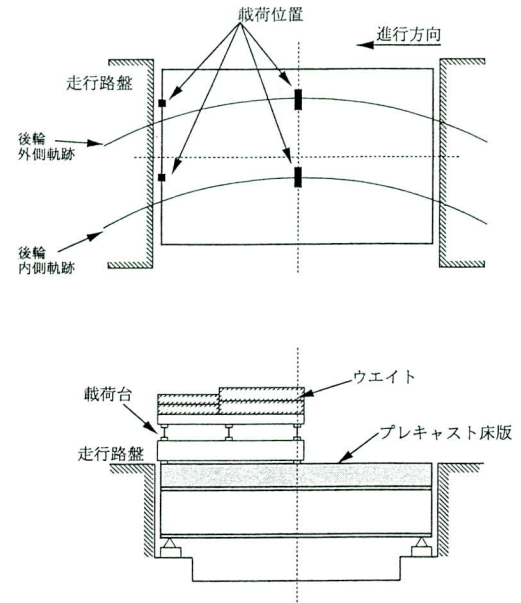


図-18 定点載荷試験での載荷状況

表-4 定点載荷試験における最大荷重

	前 輪		後 輪	
	内 側	外 側	内 側	外 側
荷重 (tf)	5.337	7.037	11.437	12.350

図-19に試験結果の代表例として、床版中央部の鉛直変位を示す。試験結果は概ね全断面有効に近い性状を示している。また、載荷時と除荷時において生じている変位差は、供試体の温度変化の影響であると考えている。

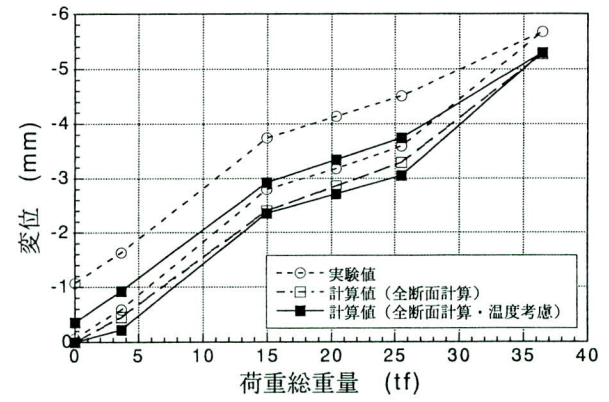


図-19 床版中央部変位

この定点載荷試験は床版のひびわれを促進させる目的で行われたが、試験車両の約2倍の荷重に対してもほぼ全断面有効の挙動を示しており、その後の疲労試験においても定点載荷の影響は認められなかったことから、プレキャスト床版の十分な耐荷力が確認されたと言える。

4. あとがき

現場工事における省力化工法としてRCプレキャスト床版の施工を実施するにあたり、特殊な継手構造を採用することから、床版および継手部の耐久性検証を主な目的として一連の実験的研究を行った。

実験より得られた結果をまとめ、以下に記す。

- ①床版下面のひびわれは配筋方向が卓越し、継手部近傍からの目立ったひびわれの発生はないことから、継手が床版の弱点とはなっていない。
- ②変位・ひずみ性状も、全断面有効としての挙動がひびわれ発生後も保たれており、十分な耐久性が確保されている。
- ③パネル接合部を一部断面欠損と考えた場合でも、床版として性状には大きな変化はなく、連続版として設計できる。
- ④重ね継手長が短く、鉄筋間隔がある程度開いた場合でも継手性能は従来のものと同等で、移動輪荷重下の疲労性状にも問題は無い。
- ⑤施工面からは現場での作業性が格段に向上し、大幅な省力化が可能である。

今回採用したループ状重ね継手を用いたRCプレキャスト床版は、静的載荷試験、繰返載荷試験および疲労試験により、その耐荷力および耐久性に問題がないことが確認できた。また床版支間が長い場合でも、継手部には特筆すべき問題は生じなかった。

本研究では床版の断面力を大きくするために支間長を5mと伸ばしており、今後の少数主桁橋に対応する試験ともなっている。温度変化による影響も比較的大きいものであり、床版と鋼桁の接合方法も含め検討すべき問題が確認されたが、これらについては現在更なる検討を加えているところである。

最後に、本実験研究を実施するにあたり大阪市立大学の中井教授には継手構造の参考となる御意見を、大阪大学の松井教授には試験方法に対する御助言を賜り、埼玉大学の町田教授にも試験場まで御足労戴き、試験に対する御指導を賜りました。日本道路公団名古屋建設局構造技術課および長野工事事務所の方々には施工および実験に対するさまざまな御指導を戴きました。深く御礼申し上げます。また共同企業体の構成会社である(株)サクラ

ダ、および走行試験の共同研究者である住友金属工業(株)の各関係者の方々にも多大なる御協力を戴きました。記して感謝の意を表します。

<参考文献>

- 1) 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年
- 2) 前田研一、橘吉宏、柳澤則文、志村勉、梶川康男：合成斜張橋・プレキャスト床版の設計法とループ状重ね継手の耐久性に関する研究、構造工学論文集 Vol.36 A、土木学会、pp.1305~1312、1990年3月
- 3) 中井博、川口昌宏、柳沼善明、阪野雅則、鍵和田功：プレキャスト RC 床版ループ鉄筋重ね継手の強度および疲労に関する実験的研究、構造工学論文集 Vol.41 A、土木学会、pp.1069~1076、1995年3月
- 4) F・レオンハルト、E・メニッヒ(横道英雄監訳)：鉄筋コンクリートの配筋(レオンハルトのコンクリート講座③)、鹿島出版会、1985
- 5) 前田幸雄、松井繁之：鉄筋コンクリート床版の押抜きせん断耐荷力の評価式、土木学会論文集、第348号/V-1、pp.133~141、1984年8月
- 6) 松井繁之：道路橋コンクリート系床版の疲労と設計法に関する研究、大阪大学博士論文、昭和59年11月
- 7) 佐藤徹、森山陽一、小森武、高橋秀幸：RCプレキャスト床版におけるループ鉄筋重ね継手の引張性能試験、土木学会第50回年次学術講演会概要集、I-156、pp.312~313、1995年9月
- 8) 清水功雄、森山陽一、柳本泰伴、小森武：道路耐久性試験装置によるRCプレキャスト床版の疲労試験、土木学会第50回年次学術講演会概要集、I-154、pp.308~309、1995年9月
- 9) 渡辺吉章、芦塚憲一郎、藤井裕吉：RCプレキャスト床版による鋼橋工事の省力化、第21回日本道路会議、No.825、pp.816~817、1995年10月
- 10) 佐藤徹、野路正浩、小森武、森山陽一：ループ状重ね継手を用いたRCプレキャスト床版の移動輪荷重下における耐久性に関する実験的研究(1995年9月、構造工学論文集 Vol.42A、土木学会に投稿)

1995.10.11受付