

鋼製グリップを用いたトラス鉄筋合成床版の疲労耐久性

Fatigue Durability of Composite Deck with Mechanical Grip Truss Reinforcements

小栗文泰*, 高林和生**, 阪野雅則**, 石橋和美***, 谷口義則****, 松井繁之****, 堀川都志雄*****
 Fumiyasu OGURI, Kazuo TAKABAYASHI, Masanori SAKANO, Kazumi ISHIBASHI, Yoshinori TANIGUCHI,
 Shigeyuki MATSUI and Toshio HORIKAWA

- * 松尾橋梁(株) 技術開発室 (〒550-0005 大阪市西区西本町3-1-43)
- ** 工修 松尾橋梁(株) 技術開発室 (〒550-0005 大阪市西区西本町3-1-43)
- *** 松尾橋梁(株) 生産技術本部 (〒103-0007 東京都中央区日本橋浜町2-62-6)
- **** 工修 大阪工業大学 研究生 (〒535-8585 大阪市旭区大宮5-16-1)
- ***** 工博 大阪大学大学院教授 工学研究科 土木工学専攻 (〒565-0871 大阪府吹田市山田丘2-1)
- ***** 工博 大阪工業大学教授 工学部 都市デザイン工学科 (〒535-8585 大阪市旭区大宮5-16-1)

Recently, various steel plate and concrete composite decks have been developed to improve conventional reinforced concrete slabs and to obtain higher durability. In those decks, shear connectors and shear reinforcing for concrete become keys to obtain high durability. The authors have been developing a prefabricated 3-dimensional truss reinforcement with mechanical grips for fastening components. It works effectively to improve the keys.

To confirm the effectiveness of those truss reinforcements and durability of the composite deck with the reinforcements, a series of fatigue tests on the composite deck were carried out with a wheel running machine in which a tire for Jumbo-Jet was installed. The parameter was the connecting method of the truss reinforcements to the steel plate. The paper describes those test results and discussions related to the durability and connection effect.

Key Words : composite deck, mechanical grip truss reinforcement, fatigue test

1. はじめに

従来から鋼道路橋に広く採用されてきた鉄筋コンクリート床版は、型枠施工と配筋作業に要する時間が現場工期短縮の観点から問題視されており、近年では自動車の繰り返し通行による疲労損傷も問題となっている。また、鋼橋の合理化工法として主桁本数を減らし構造を簡略化する少数主桁形式が施工されているが、この場合、床版には長支間に対応できる大きな耐荷力と高い疲労耐久性が求められている。

著者らは現場作業量の軽減による工期短縮と施工精度の向上を目的に、鋼製グリップを用いたトラス鉄筋合成床版(MGT床版)の開発を進めており¹⁾、輪荷重走行試験により本床版の疲労挙動の把握および疲労耐久性の確認を行っている。

本論文では大阪工業大学八幡工学実験場にて実施した輪荷重走行試験について、載荷荷重 98~157kNおよび走行回数16万回までの結果を報告するものである。

2. MGT床版の概要

MGT床版は、図-1に示すように主鉄筋として機能する上弦筋と鋼製グリップにより結合された斜材筋から

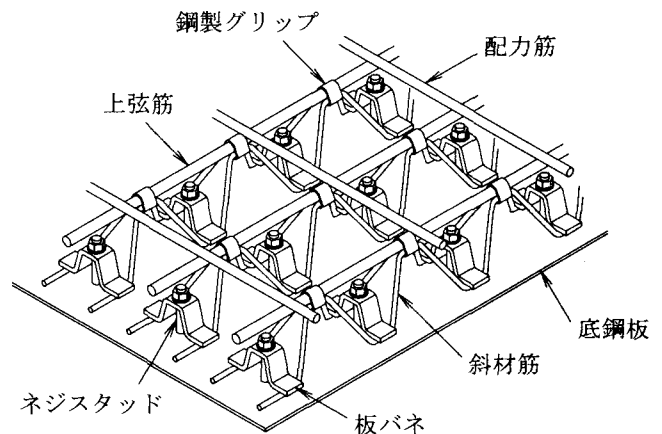


図-1 MGT床版の概念図

成るトラス鉄筋および底鋼板で構成され、トラス鉄筋と底鋼板とは、ネジスタッドにより板パネ(π形に曲げ加工された短冊鋼板)を介して連結される。これらの鋼板パネルを工場で作製し、現場にて配力鉄筋の配筋とコンクリート打込みを行って完成するハーフプレハブ鋼合成床版であり、型枠支保工が不要で現場作業の省力化が図れる。

以下にMGT床版の特長を示す。

- ①トラス鉄筋の高さと鉄筋径を変化させることにより、床版支間に応じた経済的な床版断面が選択できる。
- ②トラス鉄筋と底鋼板の結合をナット締めによる板バネ構造にすることで、組立作業の省力化が図れる。
- ③トラス鉄筋によるせん断補強効果により、疲労耐久性の向上が期待できる。
- ④鋼製グリップにて機械的に鉄筋を連結するので、溶接接合の場合に発生する初期不整による障害を排除できる。

なお、MGT床版では図-2に示すように1組のトラス鉄筋内側に板バネを配置した「内板バネ型」と、2組のトラス鉄筋間に板バネを配置した「外板バネ型」の2種類を検討している。内板バネ型はトラス鉄筋どうしが独立しているため、外板バネ型に比べて自由なトラス鉄筋配置が可能である。一方、外板バネ型はナット締めをトラスの外側で行うため、内板バネ型に比べて組立時の施工性が良好である。

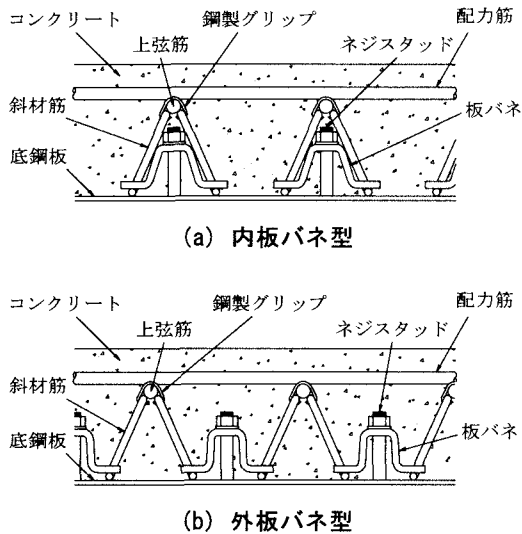


図-2 板バネの配置図

3. 輪荷重走行試験の概要

(1) 試験目的

実物大供試体を用いた輪荷重走行試験を実施して、走行回数に伴う以下の項目①～⑤の経時変化を測定し、板理論による計算値²⁾との比較を行い挙動を把握することにより、本床版の疲労耐久性を調べる。

- ① 床版のたわみ
- ② 鋼材のひずみ
- ③ 主要部材のずれ量
- ④ 底鋼板継手部の開閉量
- ⑤ コンクリートのひびわれ状況

(2) 供試体

供試体は床版支間2.5mの連続版として鋼構造物設計指針 PART B³⁾による設計を行い、床版厚、底鋼板厚、鉄筋配置およびスタッド本数を決定した。

供試体の種類および構造概要を表-1に示す。FAは鋼部材とコンクリートのずれ止めとしてネジスタッドを使用した内板バネ型の供試体である。FDはFAと同じずれ止めを使用した外板バネ型の供試体である。FBは斜材筋の曲げ間隔を他の供試体の2倍とし、ネジスタッドの減少分だけ頭付きスタッドを配置した内板バネ型の供試体である。FCは鋼製グリップと板バネがずれない状態を再現する供試体であり、上弦筋と斜材筋および斜材筋と底鋼板を溶接にて結合しトラス鉄筋自体をずれ止めとしている。

底鋼板継手部は各供試体の橋軸方向1/4点付近に設置している。本試験で採用した継手部構造を図-3に示す。下配力筋継手は上下の配力筋とコンクリートのみにより荷重に抵抗するRC構造として設計し、添接板は抵抗断面に算入していない。添接板はコンクリート打設時のモルタル漏れを防ぐためM12のスタッドボルトを用い

表-1 供試体構造の概要

供試体名	スタッド形状	スタッド間隔		トラス鉄筋結合方法		側面図	断面図	継手部構造
		橋直方向	橋軸方向	上側	下側			
FA	ネジスタッド (φ16×90)	220 mm	200 mm	グリップ	板バネ			下配力筋
FB	ネジスタッド (φ16×90)	440 mm	200 mm	グリップ	板バネ			下配力筋
	頭付きスタッド (φ16×80)	440 mm						
FC	—	—	—	溶接	溶接			引張ボルト
FD	ネジスタッド (φ16×90)	220 mm	200 mm	グリップ	板バネ			下配力筋

て固定した。引張ボルト継手は橋梁用高力ボルト引張接合設計指針(案)⁴⁾を参考にして設計し、M16の高力ボルトを橋軸直角方向に150mmピッチで配置した。供試体構造図を図-4に示す。

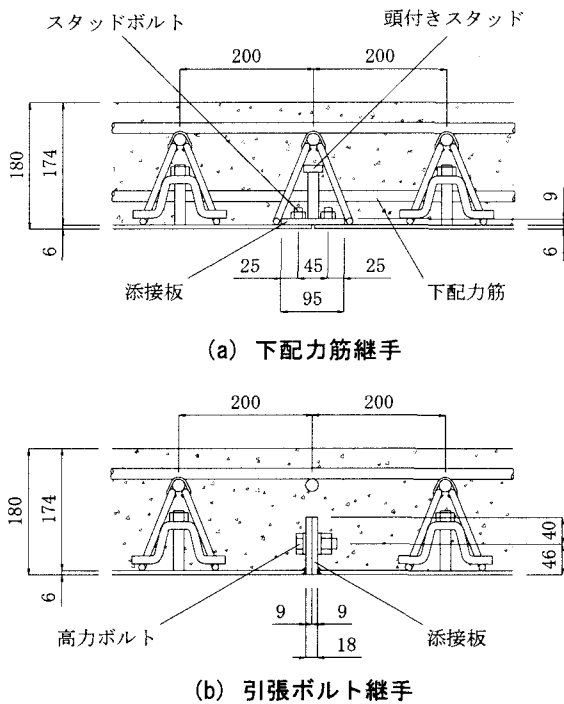


図-3 継手部の構造

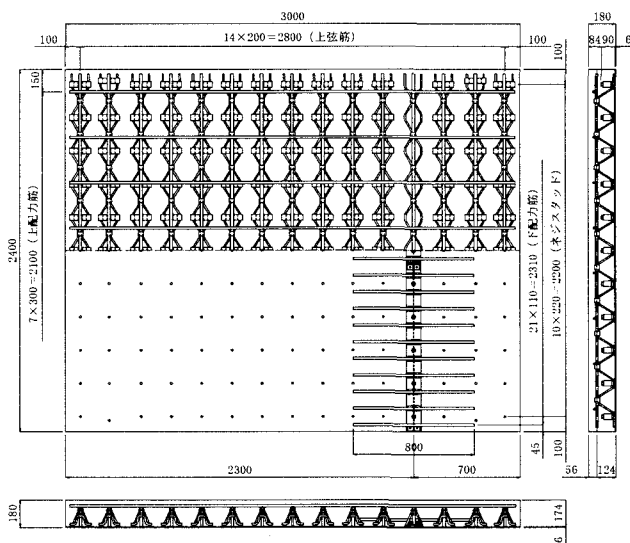


図-4 供試体構造図 (FA)

供試体に用いた材料は、底鋼板 (t=6mm) をSS400材、上弦筋 (D19) をSD345材、斜材筋 (D10) および配力筋 (D16) をSD295材とし、コンクリートの設計規準強度を 30N/mm^2 とした。なお、コンクリート材料はセメントに普通ポルトランドセメントを使用し、乾燥収縮によるひびわれを抑える目的で 20kg/m^3 の膨張材を添加した。

(3) 材料試験結果

コンクリートの材料試験結果を表-2に示す。

表-2 コンクリートの材料試験結果

	圧縮強度 (N/mm^2)	ヤング係数 (kN/mm^2)	ポアソン比 (ν)
4週目 (材齢28日)	40.9	30.0	0.20
試験前 (材齢72日)	48.3	32.3	0.20

(4) 試験方法

実橋に近い荷重形態であるゴムタイヤ式輪荷重走行試験機を使用し、橋軸方向へ供試体4体を直列に設置して試験を行った。供試体の配置を図-5に示す。供試体は設計床版支間での曲げモーメントと同等となるように支間2.0mで単純支持し、各供試体の端部は一方向版の性状を考慮して弾性支持とした。

輪荷重は床版支間中央を橋軸方向に走行させ、載荷荷重98~157kNで総計16万回の階段載荷を行った。図-6に本試験の載荷プログラムを示す。なお、同プログラム中の186kN (16~18万回) は、2002年12月現在実施中である。

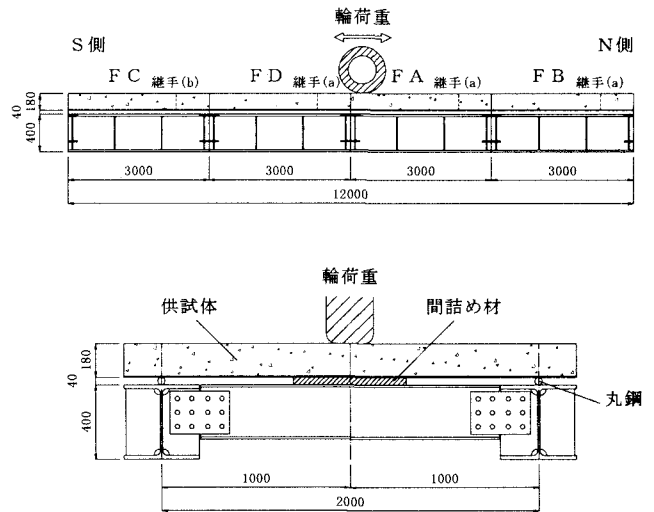


図-5 供試体配置図

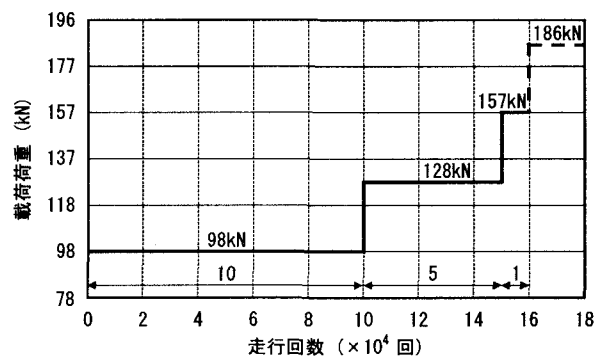


図-6 載荷プログラム

4. 輪荷重走行試験結果

(1) 床版のたわみ

図-7に各供試体中央点での鉛直たわみの経時変化を示す。すなわち同図は、載荷プログラムに従い、所定の走行回数毎に走行荷重と同じ大きさの静的荷重を供試体中央に載荷したときの、総たわみおよび残留たわみをプロットしたものである。この図から各供試体とも、総たわみおよび残留たわみは走行回数が多くなり、載荷荷重が大きくなるに伴って増加している。

次に、図-8には供試体中央点における弾性たわみの経時変化を示す。弾性たわみは総たわみから残留たわみを差し引いた弾性成分の値で表されるが、同図においてはすべて載荷荷重98kN（T荷重に相当）に換算した値で表している。これにより、床版の劣化を表すと考えられる曲げ剛性（床版の復元力特性に関係）の変化を読みとることができ、床版の疲労性状が推測できる。図中には、全断面を有効とした場合および引張側コンクリートを無視した場合の計算値も示す。この図より、FAを除く供試体については16万回の載荷まで弾性たわみはほとんど変化していない。FAについては7万回付近から若干増加し始め、16万回では初期走行時に比べ約10%程度の弾性たわみが増加していることがわかる。各供試体とも、全断面を有効とした場合の計算値と引張側コンクリートを無視した場合の計算値の間にあるが、全断面有効時の計算値に近い値を示しており、本試験の走行回数16万回程度では曲げ剛性の低下はほとんど発生していない。

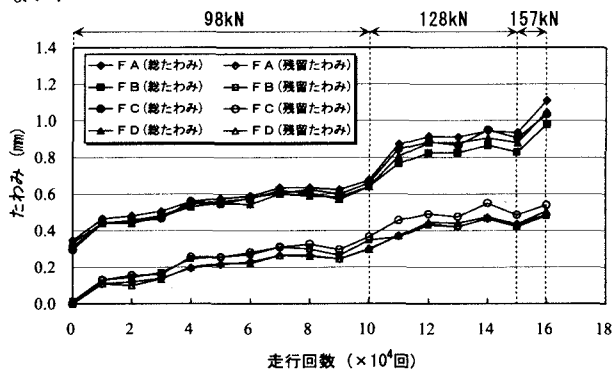


図-7 供試体中央点の鉛直たわみ（静的載荷時）

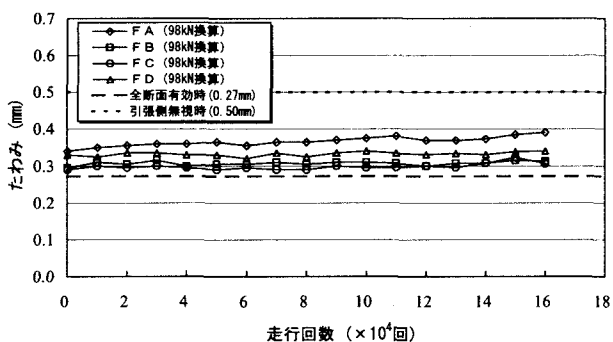


図-8 供試体中央点の弾性たわみ（静的載荷時）

また、図-9には走行時（以下、動的載荷時という）におけるFD供試体中央点の弾性たわみの挙動を示す。同図は輪荷重が98kN（走行回数1万回）および157kN（走行回数16万回）でのたわみである。この図から、98kNおよび157kN時のたわみのピーク値はそれぞれ0.42mmおよび0.63mmである。これに対応する静的載荷時のたわみは0.33mmおよび0.54mmであり、静的載荷時より動的載荷時の方が若干大きめのたわみ値となっている。これは、走行に伴う衝撃の影響が関与しているためと考えられる。表-3に載荷荷重98kNに対する157kN時の静的載荷時のたわみおよび動的載荷時のたわみの比較をまとめる。この表より同割合は、静的載荷時および動的載荷時に対してそれぞれ1.60~1.78および1.50~1.69であり、動的載荷時の方が若干小さくなっている。それらの間での差は小さいことから、走行時においても曲げ剛性は低下していないことが認められる。

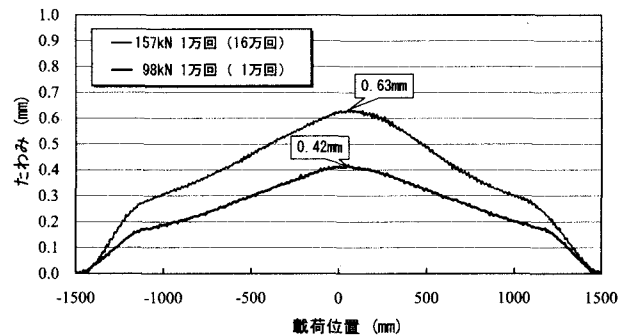


図-9 FD供試体中央点の弾性たわみ（動的載荷時）

表-3 静的載荷時および動的載荷時のたわみの比較

載荷方法	供試体名	走行回数および載荷荷重		②/①
		①	②	
		10,000回 98kN	160,000回 157kN	
静的	FA	0.35	0.62	1.78
	FB	0.31	0.50	1.60
	FC	0.30	0.50	1.65
	FD	0.33	0.54	1.65
動的	FA	0.39	0.66	1.69
	FB	0.38	0.59	1.55
	FC	0.35	0.54	1.54
	FD	0.42	0.63	1.50

(2) 底鋼板および主鉄筋のひずみ

図-10および図-11に供試体中央点における床版支間方向の底鋼板および上弦筋の静的載荷に対する弾性ひずみの経時変化を示す。同図の弾性ひずみは、弾性たわみと同様に総ひずみから残留ひずみを差し引いた値であり、載荷荷重98kNに換算している。

これらの図より底鋼板のひずみは、FBおよびFCではほぼ変化していないが、FDは16万回で逆にひずみが減少していることがわかる。FAでは載荷荷重が98kNから128kNに増加する10万回ぐらいから若干増加し始め、

157kNの16万回では初期の走行時に比べて25%程度増加している。FB～FDのひずみ値はすべて全断面有効時の計算値より小さく、FAのみ15万回付近から全断面有効時の計算値より若干大きくなるが、その値は小さいと言える。

次に、上弦筋のひずみはいずれの供試体も15万回まであまり変化はしないが、157kNとなる15万回以降で若干変動している。しかし、全断面有効時の計算値よりも小さい。

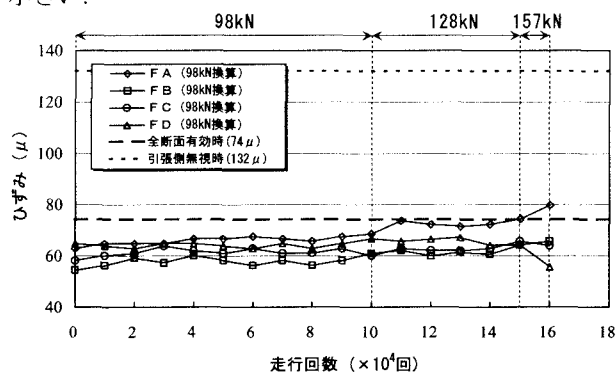


図-10 供試体中央点の底鋼板の弾性ひずみ

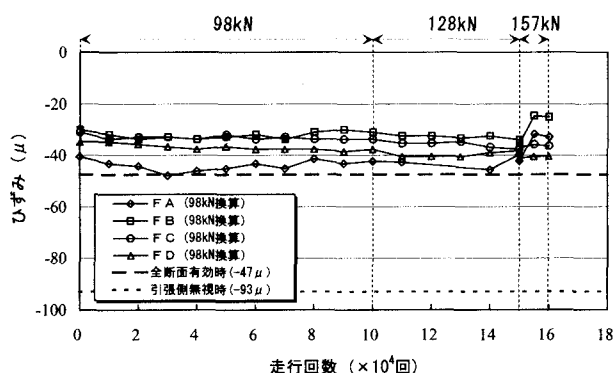


図-11 供試体中央点の上弦筋の弾性ひずみ

(3) 主要部材のずれ量

図-12に底鋼板とコンクリート下面の床版支間方向のずれ量の経時変化を示す。FA以外の供試体についてもほぼ同様の挙動であり、総ずれ量・残留ずれ量ともに走行回数および載荷荷重が増加してもほとんど変化が見られない。

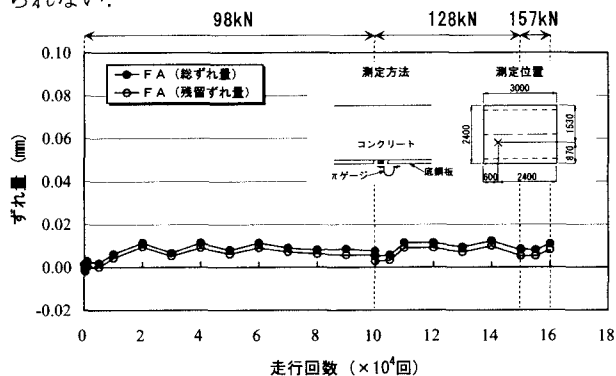


図-12 底鋼板とコンクリート下面のずれ量

図-13に底鋼板と板バネの床版支間方向のずれ量の経時変化を示す。載荷荷重が98kNから128kNに増加する走行回数10万回から総ずれ量が増加している。また、載荷荷重が大きくなるに従い供試体間で差が現れ、走行回数16万回での総ずれ量はFAが0.008mm、FBが0.029mmであり、FBはFAの3.6倍となっている。この差は斜材筋の曲げ間隔が大きいFBの方がトラス鉄筋内のコンクリートが拘束されることによるコンファインド効果が小さいことと、スタッドの半分が頭付きスタッドであるため、コンクリートとの接触面積が大きい板バネの分担が増加したためと考えられる。しかし、各供試体間で差はあるものの全体的に値が小さく、どのスタッド配置を使用しても床版の耐久性に与える影響は少ないと推測される。

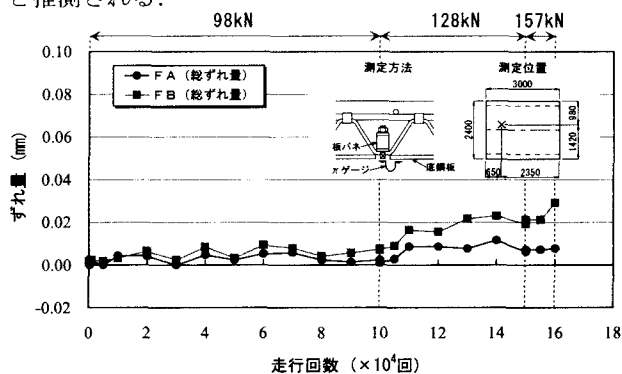


図-13 底鋼板と板バネのずれ量

図-14に上弦筋と鋼製グリップのずれ量の経時変化を示す。FAもFBも同じような挙動を示しており、走行回数および載荷荷重が増加しても総ずれ量は非常に小さく、ほとんど変化が見られない。

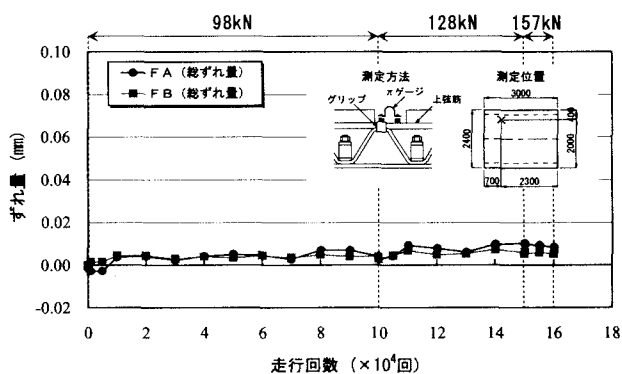


図-14 上弦筋と鋼製グリップのずれ量

(4) 底鋼板継手部の開閉量

図-15に継手部直上載荷時の継手部開閉量の経時変化を示す。各継手構造の最大開閉量はすべて157kN載荷時であり、下配力筋継手は0.018mm、引張ボルト継手は0.068mmであった。開閉量の大きい引張ボルト継手においても残留開閉量は0.01mm以下と弾性挙動を示しており、走行回数を重ねても開閉量の増加は見られない。

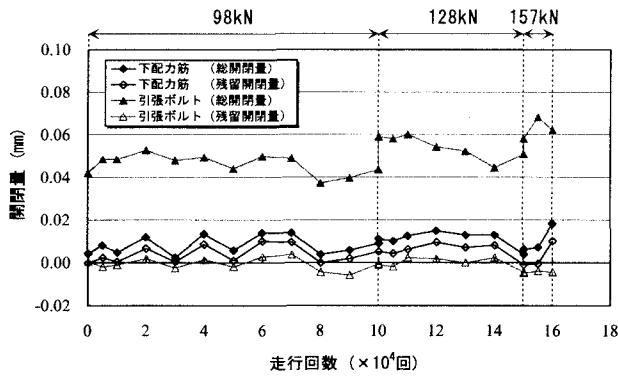


図-15 底鋼板継手部の開閉量

(5) ひびわれ状況

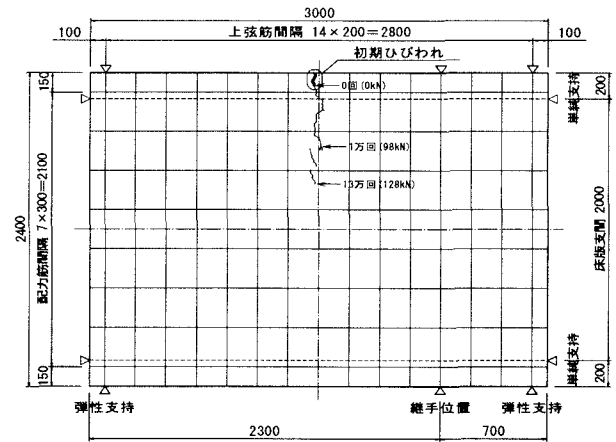
図-16に16万回走行後のひびわれ状況図を示す。試験前はF Aについて、乾燥収縮に起因すると考えられる初期ひびわれ（長さ10cm程度、幅0.08mm以下）が同図に示すように供試体上面の上弦筋位置に発生していた。他の供試体については、初期ひびわれは全く認められなかった。F Aについては初期ひびわれが徐々に進展し、供試体上面で床版支間中央方向に床版幅の1/3程度に達した（長さ80cm程度、最大ひびわれ幅0.1mm）。F Bについては同図に示すひびわれが発生したが、最大ひびわれ幅は0.08mm以下であった。F CおよびF Dについてはひびわれは認められなかった。いずれの供試体も許容ひびわれ幅 $0.005c = 0.15\text{mm}$ （ c ：コンクリートのかぶり⁵⁾）以下に留まっており、懸念されるオーダーには至っていない。

5. まとめ

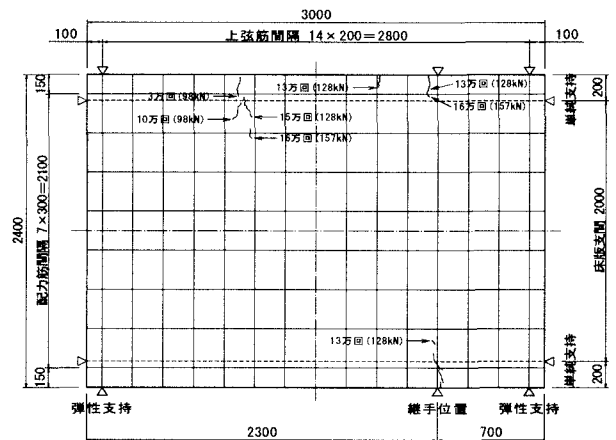
本試験から得られた結果を以下にまとめる。

- ①床版のたわみと鋼部材のひずみは全断面有効時の計算値に近い値を示しており、走行による劣化の影響はほとんど見られなかった。
- ②床版のたわみや鋼部材のひずみに関しては、異なる板バネ配置においても顕著な差は見出せなかった。
- ③コンクリート内部における板バネおよび鋼製グリップのずれ量は16万回の走行でも微小であり、劣化傾向は見受けられなかった。
- ④底鋼板の継手部は下配力筋継手も引張ボルト継手も弾性挙動を示しており、開閉量も最大で0.07mm程度と非常に小さかった。
- ⑤16万回走行後のひびわれは、初期ひびわれの進展したF Aにおいても0.10mmと小さく、全体挙動に与える影響はほとんど見られなかった。

以上の結果より本床版は走行回数16万回の輪荷重載荷においても全断面有効としての挙動を示しており、十分な疲労耐久性を有していると考えられる。また、本試験で使用したように板バネ配置を変化させても、供試体間



(a) F A



(b) F B

図-16 ひびわれ状況図（16万回走行後）

での差はほとんどないことが確認された。

なお、本試験は16万回走行後も載荷荷重186kNで継続しており、その結果もあわせて引き続き本床版の疲労挙動の検討を進めていきたい。

参考文献

- 1) 小堀義隆, 小林勝, 影石真一, 小栗文泰: 鋼製グリップを用いたトラス鉄筋床版の長支間適用に関する研究, 第二回道路橋床版シンポジウム講演論文集, pp. 19-24, 2000-10
- 2) 千川達也, 松尾和政, 堀川都志雄, 藤田琢也: 主桁と結合された床版の輪荷重点近傍の応力と断面力について, 第一回鋼橋床版シンポジウム講演論文集, pp. 55-60, 1998-11
- 3) 土木学会: 鋼構造物設計指針 PART B 合成構造物 [平成9年版]
- 4) 日本鋼構造協会: 橋梁用高力ボルト引張接合設計指針 (案), 平成5年2月
- 5) 土木学会: 2002年制定 コンクリート標準示方書 [構造性能照査編], pp. 97-99