

プレキャスト床版の Broom 継手構造の輪荷重走行試験による疲労耐久性(その2)

Fatigue Durability for precast decks slabs with broom joints under wheel trucking test (2)

正願地 祐*, 藤井 堅**, 谷口 義則***, 堀川 都志雄****, 財津 公明*****
Yuu Shoganji, Katashi Fujii, Yoshinori Taniguchi, Toshio Horikawa, Kimiaki Zaitsu

*極東工業(株) 開発室 (〒732-0052 広島市東区光町 2-6-31)

**工博 広島大学大学院助教授 工学研究科 (〒739-8527 東広島市鏡山 1-4-1)

***大阪工業大学研究員 (〒535-0002 大阪市旭区大宮 5-16-1)

****工博 大阪工業大学教授 工学部都市デザイン工学科 (〒535-0002 大阪市旭区大宮 5-16-1)

*****(株)さとうベネック 土木事業本部 (〒870-8678 大分市舞鶴町 1-7-1)

At previous 1, fatigue durability was cleared by the wheel loading test. In this paper, after finishing the wheel loading test, the slab, joint of loop and broom were investigated by punching shear test using slab specimen which was used in the previous test. Then shear failure load, failure mode and deflection of each punching shear test were measured.

RC slabs which have been damaged by the wheel loading test, were reinforced by Bottom Thickness Increasing Method using CFRP grid. Then after reinforcing the slab, the wheel loading test were carried out again to investigate the effect of reinforcement by measuring slab deflection and the strain of CFRP grid. This experiment could be applied in a measure for increasing number and enlargement of vehicles in existing reinforcement slab road.

Key Words: punching shear, CFRP joint structure, fatigue, wheel loading test, reinforcement

1. はじめに

輪荷重走行試験において、走行載荷により一定の損傷(ひび割れ密度 7.9m^2)を与えた RC 床版に対し、炭素繊維(以下、CFRP と呼ぶ)グリッドによる下面増厚工法による補強を行った。CFRP グリッドは炭素繊維を格子状に樹脂加工した補強材で、CFRP グリッドと吹付けポリマーセメントモルタルを用いて、既設道路橋床版の下面増厚補強を行うものである。この工法で RC 床版補強後、再度輪荷重走行試験を行って床版のたわみや CFRP グリッドのひずみを計測し、補強効果の確認を行った。これは車両の増加・大型化に伴う既設道路橋床版の補強や通行車両の大型化対策を対象とした補強工法に対応した実験である。

また、「その1」において輪荷重走行試験を行い、一般的に使用されている Loop 継手と直鉄筋で構成される単純かつ簡単な新しい継手構造(以下、Broom 継手と呼ぶ)の疲労耐久性を論じている。本論文では、走行試験終了後の床版供試体を用いて、一般床版部、Loop および Broom 継手部の押抜きせん断試験を実施し、押抜きせん断破壊荷重、たわみ性状および継手目地部の開閉量を計測し、破壊性状を観察した。

2. 輪荷重走行載荷試験

2. 1 実験供試体

実験供試体は図-1 に示すように、寸法 $11,200 \times 3,200 \times 200\text{mm}$ 、床版支間長 $2,800\text{mm}$ の供試体である。5つの RC 床版(右から順に A, B, C, D, E パネルと称する)に、道路橋示方書における B 活荷重相当の後輪1 輪荷重である 98kN 、次に衝撃係数を考慮し 127kN 、さらに 20% および 40% 割増しの過積載を考慮して、それぞれ 147kN および 167kN と増加させて 33 万回まで階段状載荷走行試験を行った。33 万回走行時の床版下面のひび割れを図-2 に示す。各パネル名の下の数値はひび割れ密度である。その後、RC 床版の A, B パネルをそれぞれ PC 床版の F, G パネルに取り換え、E パネルに CFRP グリッドによる下面増厚工法を施した。33 万回走行以降の実験供試体を図-3 に示す。

本報告では、CFRP グリッドによる下面増厚の効果に着目するため、E パネルの評価・考察を行うこととした。CFRP グリッドは高強度カーボン繊維を使用し、橋軸方向および橋軸直角方向ともに 50mm 間隔に工場加工されたものを使用した。E パネル床版下面に CFRP グリッド(写真-1, 2)を取付け、ポリマーセメントモルタルを 14mm 吹付けて既設床版と一体化させた。また、各床版コンクリートの材料特性を表-1、CFRP グリッドの材料特性を表-2 に示す。

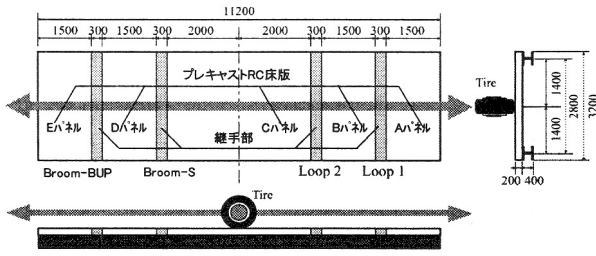
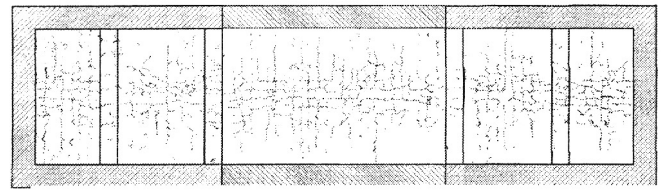


図-1 RC床版供試体



Eパネル 7.947m² Dパネル 5.009m² Cパネル 5.256m² Bパネル 5.121m² Aパネル 5.431m²

図-2 33万回走行時のひび割れ状況

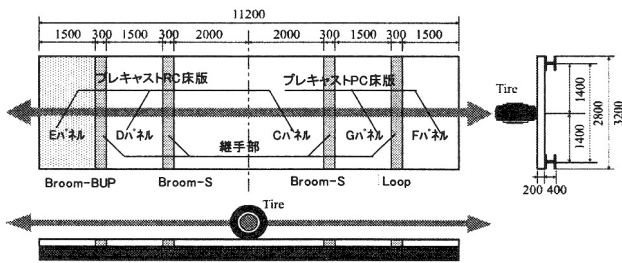


図-3 PC床版供試体

表-1 コンクリートの材料特性

	RC床版	PC床版	継手部
圧縮強度 N/mm ²	53.6	58.1	37.3

表-2 CFRPグリッド性状

	公称断面積 N/mm ²	弾性係数 kN/mm ²	引張強度 N/mm ²
CFRPグリッド [*]	17.5	10.0	1400

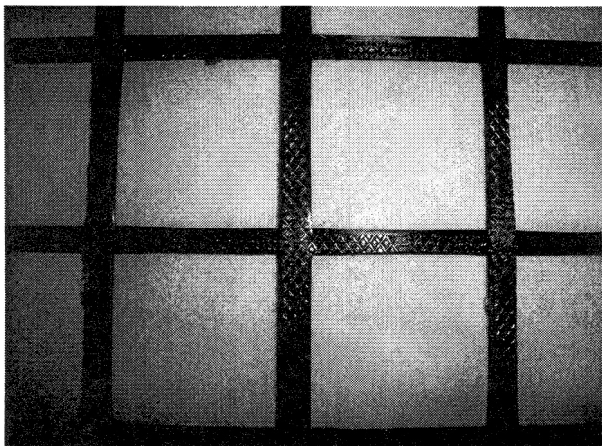


写真-1 CFRPグリッド (平面)

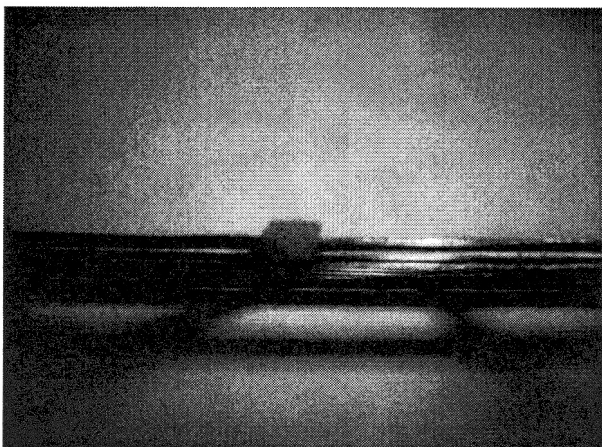


写真-2 CFRPグリッド (断面)

2. 2 実験方法

(1) 荷重方法

本実験では図-1 に示すように輪荷重が床版支間中央を橋軸方向に走行するように供試体を配置した。走行試験の荷重プログラムを図-4 に示す。33万回走行以降127kNを1万回、147kNを1万回、167kNを2万回、186kNを8万回として、補強後の総走行回数12万回(補強前を含めた総走行回数は45万回)とした。

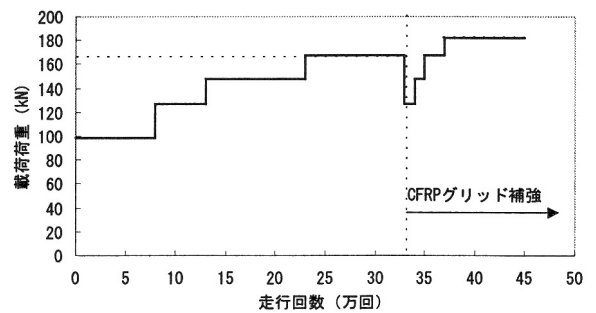


図-4 荷重プログラム

(2) 計測項目

各載荷荷重で所定の走行回数時に輪荷重を停止させて静的荷重を行った。載荷断面図を図-5 に示す。Eパネル中央部において床版のたわみ、鉄筋ひずみ、CFRPグリッドのひずみの経時変化を計測した。CFRPグリッドの計測点を図-6 に示す。なお、鉄筋ひずみの計測では、鉄筋の側面に約4mm×3mmの溝を加工した上で、溝内にひずみゲージを貼付し、鉄筋の付着機能の逸失を防止している。

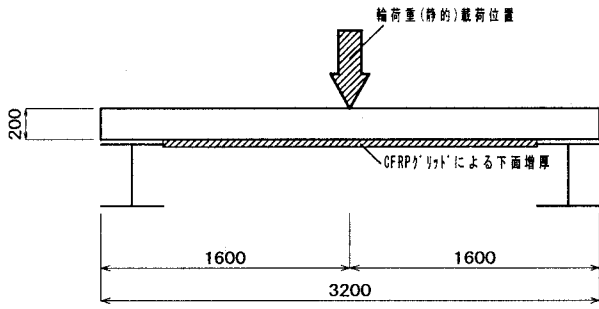


図-5 荷重断面図

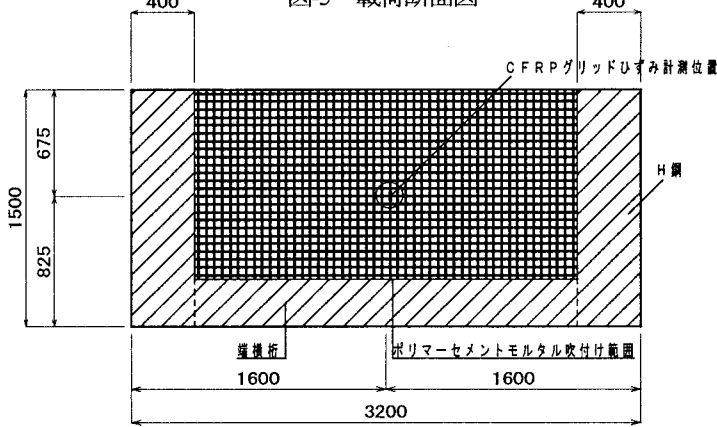


図-6 CFRP グリッドひずみ測定位置

2. 3 実験結果

(1) 静的荷重による弾性たわみ

図-7 にパネル中央点の荷重直下での総たわみと残留たわみの経時変化を、図-8 に B 活荷重 98kN に換算した弾性たわみを示す。この弾性たわみはこの時点での床版が保持している曲げ剛性に関連しており、弾性たわみが大きくなることは、曲げ剛性の低下する傾向を表わす。33 万回走行時 (167kN 荷重時) の弾性たわみは 0.94mm、残留たわみは 1.21mm であった。補強後 4 万回走行時 (167kN 荷重時) での弾性たわみは 0.73mm と約 22% 低下し、引張無視時のたわみの約 28% 程度に留まっている。

(2) 鉄筋の弾性ひずみ

図-9 に橋軸方向の引張側主鉄筋の弾性ひずみを示す。33 万回走行時の引張側主鉄筋の弾性ひずみは 268 μ であったが、補強後は 206 μ に減少した。その後の荷重でも、大幅な増加は見られず、45 万回走行時の 182kN を荷重した際のひずみは 229 μ であり、補強前の最大値の 268 μ と 85% 下回っており、ひび割れの進展は認められない。

(3) CFRP グリッドのひずみ^{1), 2)}

図-10 と 11 に橋軸直角方向と橋軸方向の CFRP グリッドの弾性ひずみを示す。CFRP グリッドの場合、荷重荷重が増加しても、弾性ひずみに大きな変化は見られなかった。弾性ひずみの最大値は橋軸直角方向で 660 μ となっており、応力に換算すれば約 66N/mm² となる。CFRP グリッドの引張強度 1400N/mm² に対しては、十分すぎる安全側のオーダーである。

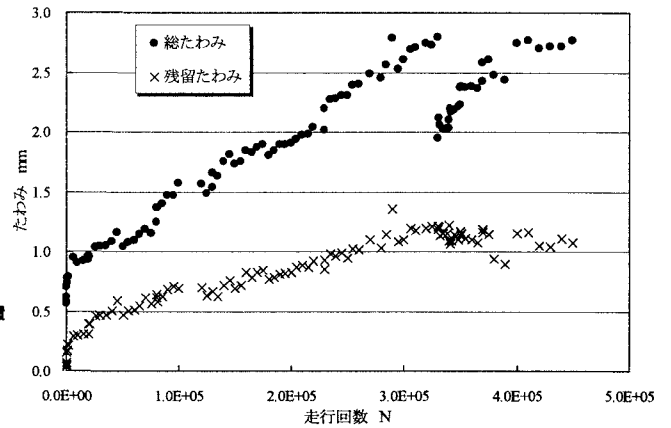


図-7 総たわみと残留たわみ

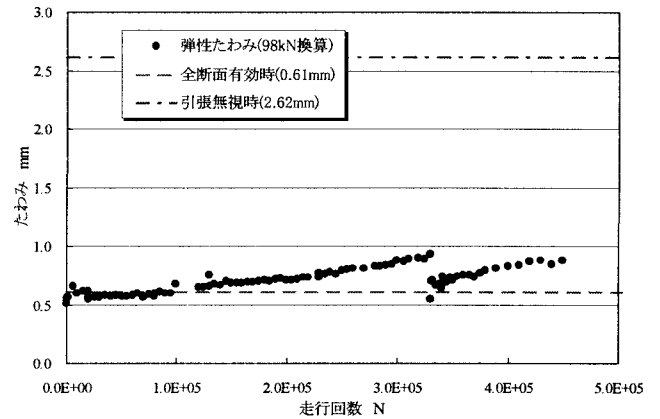


図-8 弾性たわみ

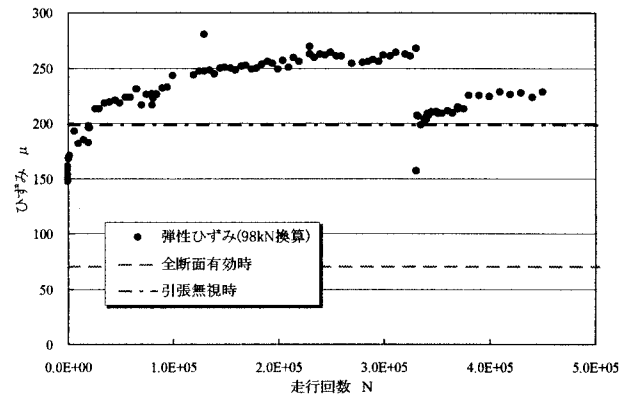


図-9 引張側主鉄筋の弾性ひずみ

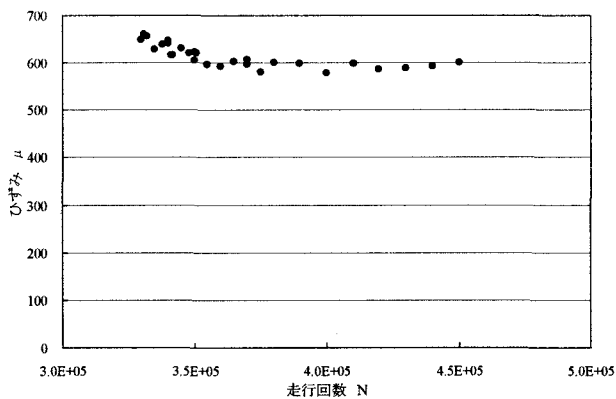


図-10 CFRP グリッドの弾性ひずみ (橋軸直角方向)

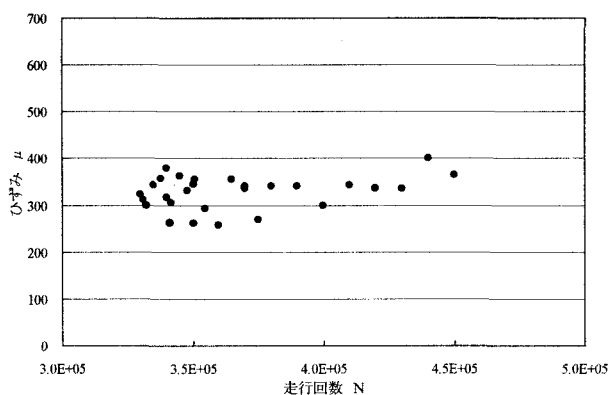


図-11 CFRP グリッドの弾性ひずみ (橋軸方向)

2. 4 まとめ

今回行った輪荷重走行載荷試験によって、以下の所見が得られた。

- ① 床版の弾性たわみおよび鉄筋のひずみは、CFRP グリッドによる下面補強で、これらの値を低減させることが可能である。その後、載荷荷重を 182kN に増加させて走行回数が 8 万回経過しても、補強効果は十分であることが判った。このことから、CFRP グリッドを用いた下面増厚はたわみやひずみを低減させる効果すなわち、曲げ剛性を向上させると言える。
- ② CFRP グリッド自身に発生するひずみは、下縁の主鉄筋のひずみより大きいですが、応力値での比較においても CFRP グリッドの引張強度よりかはるかに小さい値となり、疲労破断する危険性がないと推測される。

3. 押抜きせん断試験^{3), 4)}

3. 1 実験供試体

図-3 に示す輪荷重走行載荷試験終了後、床版供試体の押抜きせん断試験を行った。各床版の 4 つの接合部には継手を設け、左から Broom 継手 L 型鉄筋 (以下、Broom-BUP という)、Broom 継手直鉄筋 (以下、Broom-S という)、Loop 継手とした。

各継手の構造を図-12 に示す。用いた鉄筋径は、各継手

とも主筋 D19 および配力筋 D16 である。なお、継手部内の鉄筋の重ね継手長は、継手部の空間を考慮して 250mm (鉄筋径 15φ) とした。

3. 2 実験方法

実験方法を図-13 に示す。載荷ジャッキ (2000kN 用) で加圧し 250×250 の正方形の鋼板 (厚さ 25mm) を介して、荷重載荷する。2000kN 用のロードセルによって載荷荷重を制御しながら漸増載荷により、実験供試体を押抜きせん断破壊に至らしめた (写真-3)。

図-14 に載荷位置を示す。床版中央の標準部、Broom-S 継手部および Loop 継手部の 3 ヶ所で試験を行った。載荷スパンは、標準部では 1000mm、継目部は 1400mm としている。計測は床版のたわみに着目し、載荷点中央部のたわみを各荷重段階で順次測定した。

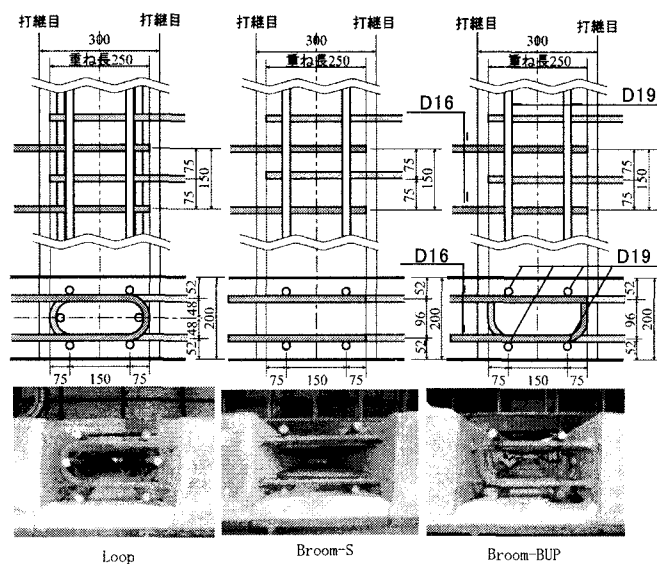


図-12 継手構造

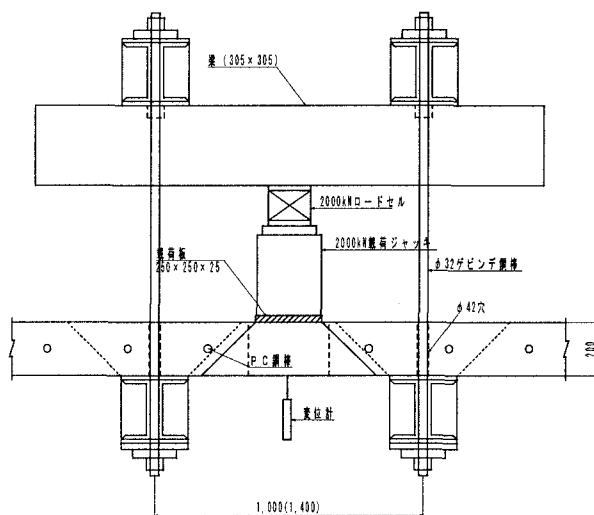


図-13 実験方法

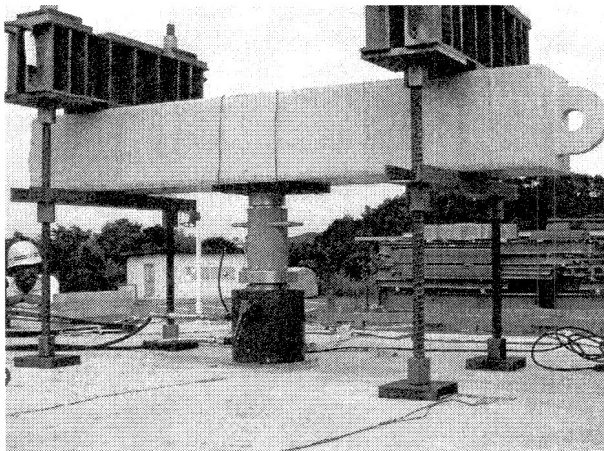


写真-3 実験状況

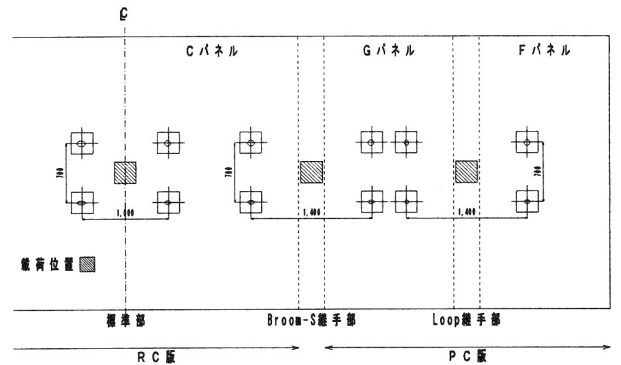


図-14 載荷位置

3. 3 実験結果

(1)荷重とたわみの関係

荷重とたわみの関係を図-15 に示す。継手無しの標準部の破壊荷重が 1175kN と最も高い値となった。継目部では Loop 継手部 1009kN, Broom-S 継手部 1066kN と差が見られず、Broom 継手部のせん断耐力は Loop 継手部とほぼ同じであった。たわみは標準部で 3.68mm, Broom 継手部 4.02mm, Loop 継手部 3.06mm と Loop 継手部のたわみが最も小さい値となった。表-3 に、実験値とコンクリート標準示方書の押抜きせん断耐力式⁵⁾による計算値を示す。計算値をもとにしたこれらの実験値の比は 0.81~0.97 の範囲にある。

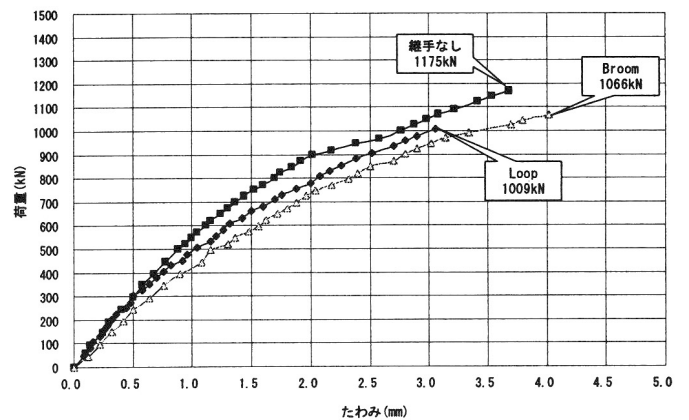


図-15 荷重とたわみとの関係

(2)開閉量

図-16 に継手目地部の開閉量測定位置を示す。開閉量はπゲージにて測定した。図-17, 18 に Broom 継手部と Loop 継手部の継目部開閉量の変化を示す。図-17 より Broom 継手部は、載荷荷重 650kN までは床版との一体性を保持していたことが分かる。また、図-18 より Loop 継手部は、載荷荷重 200kN で目地の開きが生じた。たとえば、かぶり厚さ 40mm の許容ひび割れ幅 0.005 c と同じ値となる開閉量 0.2mm に着目すれば、それぞれの荷重は Broom 継手部の 769kN (開閉量左右合計値), Loop 継手部 710kN となり、同じ開閉量を示す荷重は Broom 継手の方が大きいことが判る。

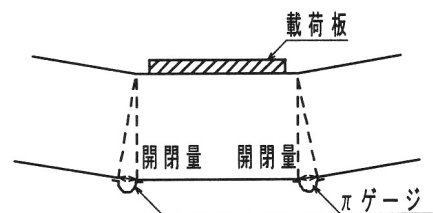


図-16 開閉量測定位置

(3)破壊性状

図-19 に各載荷部の床版下面の破壊性状を示す。各載荷部ともに橋軸方向では、支点 (H 鋼) の拘束部付近で破壊が見られた。図-20 にせん断破壊線の推定図を示す。この図は、床版上面付近は載荷版端部から破壊によるひび割れが見られ、写真-4 から治具取付予備孔より下縁主鉄筋に沿う形での剥離が生じ H 鋼のフランジ先端に至っていることから、推定される破壊線は図のように推量される。また、破壊領域は標準部が最も小さい結果となり、Loop, Broom 継手部の破壊領域はほぼ同じであった。

表-3 押抜きせん断試験結果と計算値

	標準部 (kN)	Loop 継手部 (kN)	Broom-S 継手部 (kN)
実験値	1175	1009	1066
土木学会式	1214	1239	1182

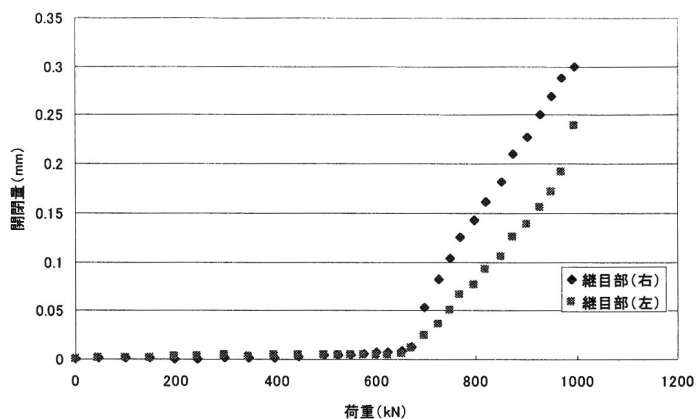


図-17 継目部開閉量 (Broom 継手部)

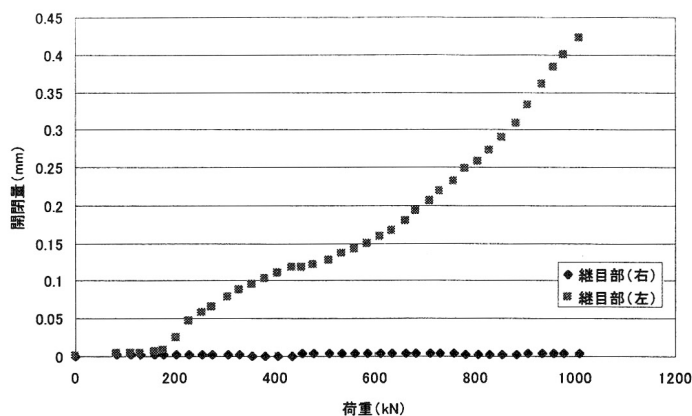


図-18 継目部開閉量 (Loop 継手部)

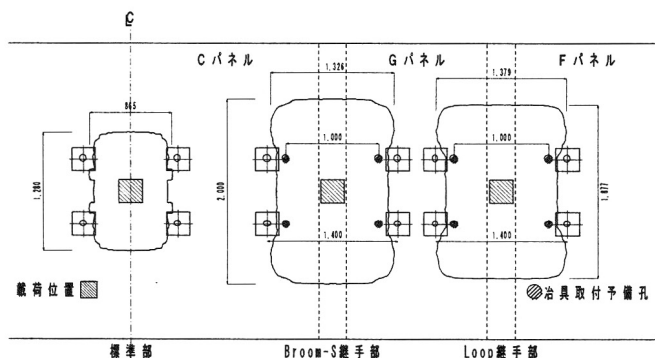


図-19 床版下面の破壊性状



写真-4 床版下面の破壊状況

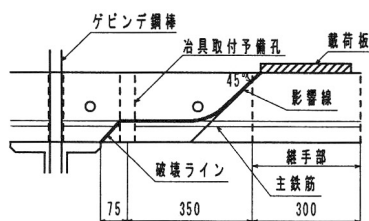


図-20 せん断破壊線の推定図

3. 4 まとめ

今回行った押抜きせん断試験から、以下の所見が得られた。

- ① 押抜きせん断耐力は Broom 継手部 1066kN, Loop 継手部 1009kN, 標準部 1175kN であり、各継ぎ手構造による差は見られず、Broom 継手は Loop 継手と静的には同等であると言える。
- ② 継目部の開閉量は開閉量 0.2mm に着目した場合、それぞれの荷重は、Broom 継手部 769kN, Loop 継手部 710kN となり Broom 継手の方が大きな値である。また、継目部の目地における破壊は生じなかったことより、静的耐力では目地部は継手部の欠陥にはなっていないことが判る。
- ③ 破壊性状は、標準部と各継手部による、荷重スパン、桁の拘束部の影響が表れたが、特に Broom と Loop 継手による違いは見られなかった。

謝辞

本実験研究の研究・実施にあたり、大阪工業大学および広島大学の学生の方々には、多大なるご協力を頂いた。これらの方々には、深く感謝の意を表します。

参考文献

- 1) 佐藤貢一, 関根健一, 小林朗, 財津公明: FRP グリッド工法により床版下面増厚補強した道路橋 RC 床版の輪荷重走行載荷試験による補強効果の確認, 土木学会第 56 回年次学術講演会概要集, CS7-028, 2001
- 2) 星島時太郎, 太田黒博文, 坂井広道, 松井繁之: 損傷した道路橋床版の炭素繊維シートによる補強効果に関する実験的研究, 橋梁と基礎, pp.23-28
- 3) 高橋義裕, 佐藤靖彦: CFRP 補強 RC スラブの押抜きせん断耐力について, 土木学会第 56 回年次学術講演会概要集, V-531, 2001
- 4) 東山浩士, 松井繁之, 水越陸視: PC 床版の押しぬきせん断耐力算定式に関する検討, 土木学会構造工学論文集 Vol.47A, pp.1347-1353
- 5) コンクリート標準示方書[構造性能照査編], 土木学会, pp.73-75