

改良型ループ継手を適用したプレキャストPC床版の疲労耐久性

(株)富士ピー・エス 正会員 修 (工) ○畠山 繁忠
 (株)富士ピー・エス 正会員 修 (工) 正木 守
 (独)大分工業高等専門学校 工博 日野 伸一
 九州大学大学院 博 (工) 濱田 秀則

Abstract : An improved loop joint with oblique arrangement of loop joint for the purpose of reducing the deck slab thickness is proposed. In previous study, static bending test was conducted to confirm the bending load capacity, and it was clarified that the required load-carrying behavior and durability were exhibited. In this study, the wheel moving load test was conducted to confirm the fatigue durability of precast PC deck slab applied improved loop joint. As a result, it was confirmed that required fatigue durability, which requires for about 100 years, was exhibited.

Key words : Loop joint, Precast PC deck slab, Wheel moving load test, Joint structure

1. はじめに

近年、高速道路の道路橋において、凍結防止剤の散布や内在塩分による塩害、車両の大型化に伴う交通荷重の増大など、様々な要因により損傷・劣化した RC 床版を、耐久性に優れ、かつ急速施工が可能なプレキャスト PC 床版に取り替える事例が増えている。床版の継手構造は、継手としての実績が多く、特殊な加工を必要としないループ継手が多く採用されているが、鉄筋径のランクアップなどで床版厚が厚くなる傾向であり、床版厚の低減が課題とされている。そこで本研究では、床版厚の低減を目的としてループ鉄筋を傾斜配置した改良型ループ継手を開発した(図-1)。先行研究¹⁾として、改良型ループ継手を適用した RC はりの静的曲げ試験を実施した。その結果、ループ鉄筋を角度 45° まで傾斜させても RC 曲げ理論により設計が可能であり、また、曲げ耐荷力は通常ループ継手(角度 90°)の場合と同等であることが確認された。

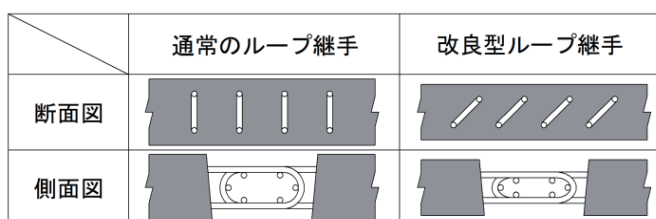


図-1 ループ継手比較イメージ

新しい継手構造を高速道路の道路橋へ適用するためには、NEXCO 設計要領²⁾において、継手構造が所要の疲労耐久性(100年相当耐久性)を有することを、実験で適切に確認することが求められている。そこで、改良型ループ継手を適用したプレキャスト PC 床版の疲労耐久性の確認を目的に、実物大のプレキャスト PC 床版試験体を用いた輪荷重走行試験を実施した。

新しい継手構造を高速道路の道路橋へ適用するためには、NEXCO 設計要領²⁾において、継手構造が所要の疲労耐久性(100年相当耐久性)を有することを、実験で適切に確認することが求められている。そこで、改良型ループ継手を適用したプレキャスト PC 床版の疲労耐久性の確認を目的に、実物大のプレキャスト PC 床版試験体を用いた輪荷重走行試験を実施した。

2. 試験概要

2.1 試験体

図-2 に試験体形状寸法および変位計・ π ゲージ位置図を、図-3 に継手位置断面図を示す。試験体は、改良型ループ継手を配置した 2 枚のプレキャスト PC 床版とそれらを接合する間詰部で構成される。プレキャスト PC 床版には、活荷重作用時に床版曲げ作用に対し床版下縁で $2\text{N}/\text{mm}^2$ 程度の引張応力が生じるプレストレスを橋軸直角方向に導入した。それらを改良型ループ継手で接合して 1 枚の

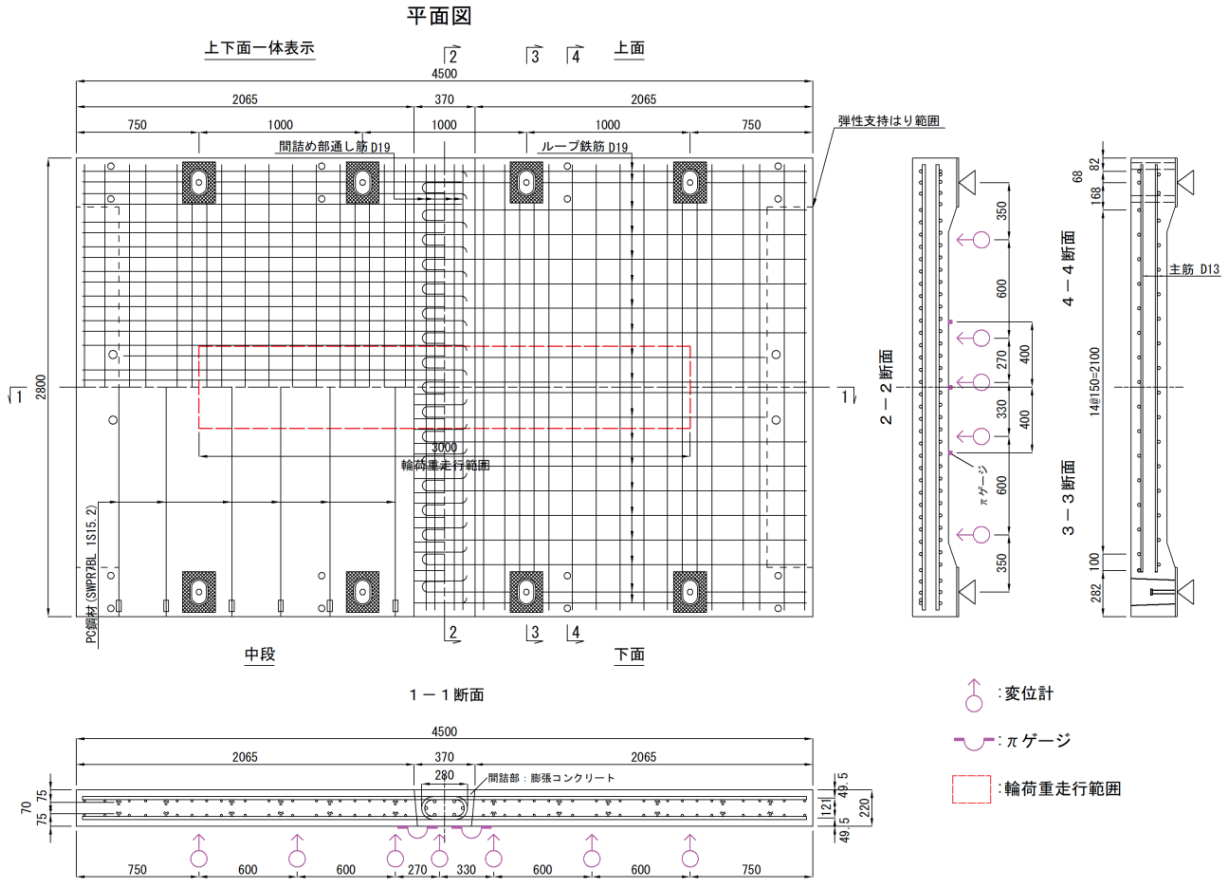


図-2 試験体形状寸法および変位計・πゲージ位置図 (単位: mm)

1方向PC床版とした。試験体形状は長さ4.5m, 幅2.8mとし、支間部の床版厚は220mmとした。ループ鉄筋にはD19を使用し、150mm間隔で配置した。また、ループ鉄筋の傾斜角度は、D22ループ鉄筋を使用した場合に必要な床版厚240mmを220mmまで低減できる角度である62.1°とした。ここでいう必要な床版厚とは、次式(1)²⁾により算出されるループ鉄筋の必要曲げ直径に、鉄筋径とかぶり厚40mmを上下縁側それぞれに加えた値を10mm単位で切り上げた数値である。なお、 σ_e は140N/mm²として計算した。

$$dB = (1.4 + 2.8 \cdot \varphi/e) \cdot \varphi \cdot \sigma_e / \sigma_{ck} \geq 5\varphi \quad (1)$$

ここで、

dB : ループ鉄筋の最小曲げ直径(内側) (mm)

φ : 鉄筋径 (mm)

e : ループ面の中心間隔 (mm)

σ_e : 曲げ始点での発生鉄筋応力度 (N/mm²)

σ_{ck} : コンクリートの設計基準強度 (N/mm²)

表-1に材料特性値一覧を示す。コンクリートの設計基準強度は50N/mm²とし、間詰部には膨張材

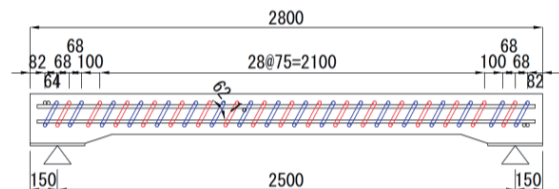


図-3 継手位置断面図 (単位: mm)

表-1 材料特性値一覧 (単位: N/mm²)

材料	適用箇所	記号	特性値	備考
コンクリート	床版部	σ_c	76.8	打設後79日目
		E_c	39200	
	間詰部	σ_c	60.3	打設後39日目
		E_c	33700	膨張con
鉄筋	D13 D19	f_u	550	エポキシ樹脂塗装鉄筋
		f_y	400	
		E_s	200000	
PC鋼材	1S15.2	σ_u	1962	
		σ_y	1812	
		E_s	191000	



写真-1 圧着グリップ



写真-2 輪荷重走行試験機



写真-3 水張り試験状況

を 20kg/m^3 添加した早強ポルトランドセメントを用いたコンクリートを使用した。鉄筋はエポキシ樹脂塗装鉄筋で SD345, PC 鋼材は SWPR7BL 1S15.2 を使用した。PC 鋼材はプレテンション方式で配置したため、試験体端部から 65ϕ 区間は、プレストレス力が減少する。そこで本試験では、定着長の低減を目的として、PC 鋼材端部に写真-1 に示すような圧着グリップを設置した。

2.2 試験方法

(1) 輪荷重走行試験機

試験は(株)G&U 技術研究センターが保有する輪荷重走行試験機を用いて行った。使用した試験機を写真-2 に示す。試験機の車輪は直径 0.7m 、幅 0.5m の鉄輪で、走行時の最大荷重は 490kN 、回転速度は最高 15 回転/分であり、試験は $10\sim 15$ 回転/分の速度で行った。

(2) 試験条件および計測項目

支持条件は支間長 2.5m の単純支持とし、幅 500mm 、長さ 3m の間 (図-2 破線部) を繰返し走行する往復荷重とした。荷重ステップ図を図-4 に示す。本試験では 100 年相当耐久性の確認として既往の文献³⁾を参考に、 $250\text{kN} \times 10$ 万回を実施した。その後、プレキャスト部と間詰部間の目地からの漏水の有無を確認する水張り試験を行った。水張り試験状況を写真-3 に示す。水張り試験は水深 10mm で、水を 6 時間静置した。水張り試験後、水を取り除き、試験体の疲労破壊性状の確認を目的に図-4 に示すように 4 万回荷重ごとに 50kN ずつ荷重を増加させ、試験機の最大荷重である 490kN まで荷重を増加させた。各荷重段階における荷重回数の合計は 46 万回であり、この条件における換算走行回数は、基本軸重³⁾を 157kN 、床版表面を乾燥状態、S-N 曲線の傾きの逆数を松井ら⁴⁾が提案する 12.76 として次式(2)より求めると、およそ $4,400$ 億回となる。

$$N_{eq} = \sum \left(\frac{P_i}{P_0} \right)^m \times N_i \quad (2)$$

ここで、

N_{eq} : 基本軸重による荷重荷重回数

P_i : 輪荷重 (kN)

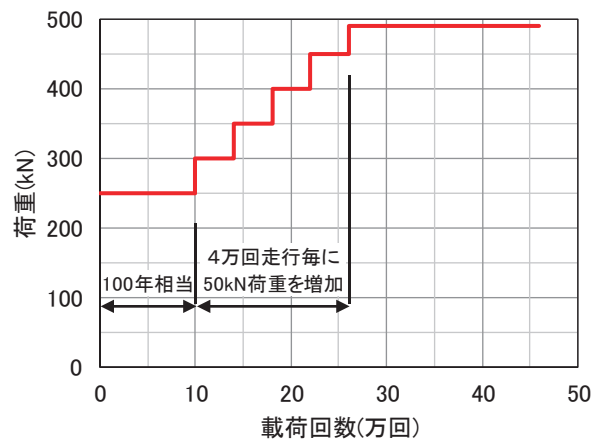


図-4 荷重ステップ図

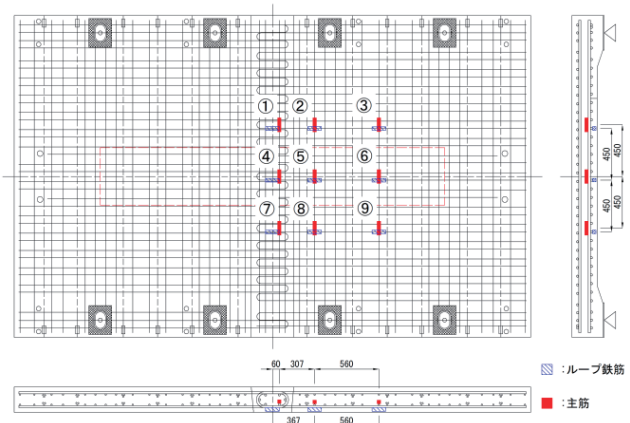


図-5 ひずみゲージ位置図

P_0 : 基本輪荷重 (=157kN)

m : S-N 曲線の傾きの逆数の絶対値 (=12.76)

N_i : 輪荷重 P_i における載荷回数

走行載荷試験開始直前にゼロセットを行い、所定回数載荷後に床版中央部において静的載荷を行い、床版のたわみ、鉄筋ひずみ、プレキャスト部と間詰部界面の目地開き量を計測した。床版のたわみは鉛直変位計、鉄筋ひずみはひずみゲージ、目地開き量は π ゲージを用いて計測した。鉛直変位計および π ゲージ位置は図-2に、ひずみゲージ位置は図-5に示す。

3. 試験結果および考察

3.1 走行回数-活荷重たわみ

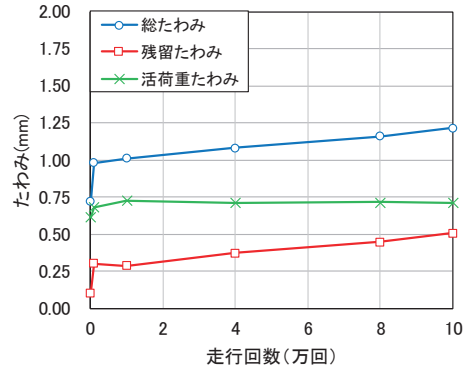
図-6 に床版中央部における走行回数-たわみ関係を示す。図-6(a)は 100 年相当耐久である 250kN × 10 万回の詳細を、図-6(b)は全ての荷重ステップにおける走行回数-たわみ関係を示している。総たわみは各荷重段階の最大荷重時、残留たわみは除荷時に計測した値、また、活荷重たわみは総たわみから残留たわみを差し引いた値を示す。総たわみおよび残留たわみは、載荷回数の増加とともに漸増し、また、490kN 以降でのたわみはそれまでより大きく増加する傾向を示した。一方、活荷重たわみはいずれの荷重段階においてもおおそ一定の値を示した。そのほかの鉛直変位計測位置においても同様の傾向を示しており、継手構造に起因するたわみの急激な変動は確認されなかった。

3.2 走行回数-たわみ分布

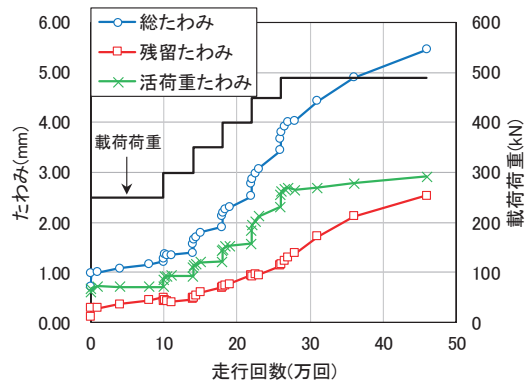
図-7(a)に床版支間方向(橋軸直角方向)、図-7(b)に床版支間直角方向(橋軸方向)の変位計測位置とたわみの関係を示す。値は各荷重段階における最終載荷時の活荷重たわみを示している。載荷荷重の増加とともにいずれの計測位置においても活荷重たわみは増加し、また、荷重ステップが増すにつれステップ間のたわみ差が大きくなっていることが確認できる。図-7(a)について、支間中央を中心にして左右のたわみを比較すると、いずれの荷重段階においてもおおそ同等の値を示していることが確認された。これより、ループ鉄筋を傾斜配置しても、床版支間方向のたわみ挙動に差はないと考えられる。

3.3 PC 床版と間詰部の目地開き量

図-8 に載荷回数-目地開き量関係を示す。図は全

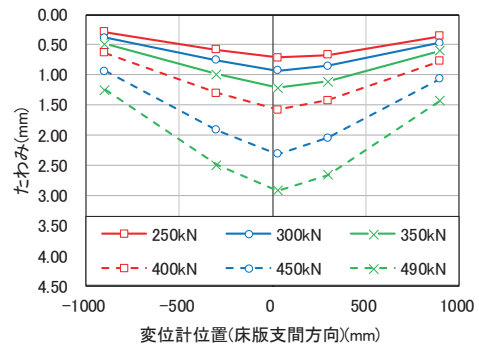


(a) 250kN × 10 万回 (100 年耐久相当) 詳細

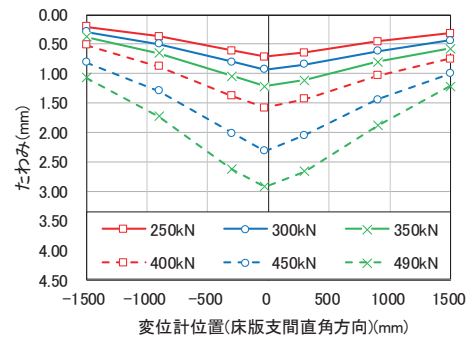


(b) 全走行回数

図-6 走行回数-たわみ関係



(a) 床版支間方向



(b) 床版支間直角方向

図-7 変位計位置-たわみ関係 (活荷重たわみ)

6箇所のうち最も大きな数値を示した荷点直下における値を示しており、それぞれの値の表示形式は図-6と同様とした。図-8(b)より、たわみの場合とは異なり、各荷重段階での目地開き量は変動しており、一定の値を示さなかった。輪荷重の衝撃により、それぞれの走行回数時で鉛直方向に微小な段差が生じたためと推察される。一方、図-8(a)の100年相当の疲労耐久性である250kN×10万回に着目すると、最も大きい値で0.07mmであり、極めて小さな目地開き量であった。250kN×10万回後の水張り試験では、下面の目地部からの漏水は確認されなかったことから、100年相当の疲労耐久性を有すると考えられる。

3.4 走行回数-ひずみ関係

図-9(a)にループ鉄筋下面側ひずみ、図-9(b)に主鉄筋下面側ひずみの走行回数とひずみの関係を示す。グラフ中の番号は図-5と対応しており、また、ひずみは活荷重ひずみを示している。活荷重ひずみは総ひずみから残留ひずみを差し引いた値であり、総ひずみは各荷重段階の最大荷重時のひずみ、残留ひずみは除荷時のひずみである。図-9(a)より、ループ鉄筋に生じるひずみは、間詰め部に近いほど大きくなる傾向を示し、とくに荷点直下の④では大きい値を示した。ゲージ③、⑥、⑨では、ひずみは圧縮を示した。これは、床版の支持条件により当該位置では負曲げが生じているためと考えられる。10万回までのひずみの推移を見ると、急激なひずみの増加は確認されない。図-9(b)の主鉄筋では、支間中央位置(④、⑤、⑥)においてひずみは大きくなる傾向を示しており、通常の床版挙動と同様であると考えられる。支間中央から450mmずつ離れた位置のゲージ①、②、③と⑦、⑧、⑨を比較すると、載荷荷重350kNまではいずれもほぼ同等のひずみを示している。一方、400kN以降では②と⑧に着目すると、ひずみは 50×10^{-6} 程度の差が生じている。これは、床版下面のひび割れの進展に伴い差が生じたものと考えられる。主鉄筋においても、10万回までは急激なひずみの増加は確認されなかった。

3.5 走行回数とひび割れ図

図-10にひび割れ進展図を示す。250kNまでは目地開きおよびプレキャスト部で床版支間方向のひび割れが生じた。その後間詰部では床版支間直角方向にひび割れは発生していない。そのため、ループ継手

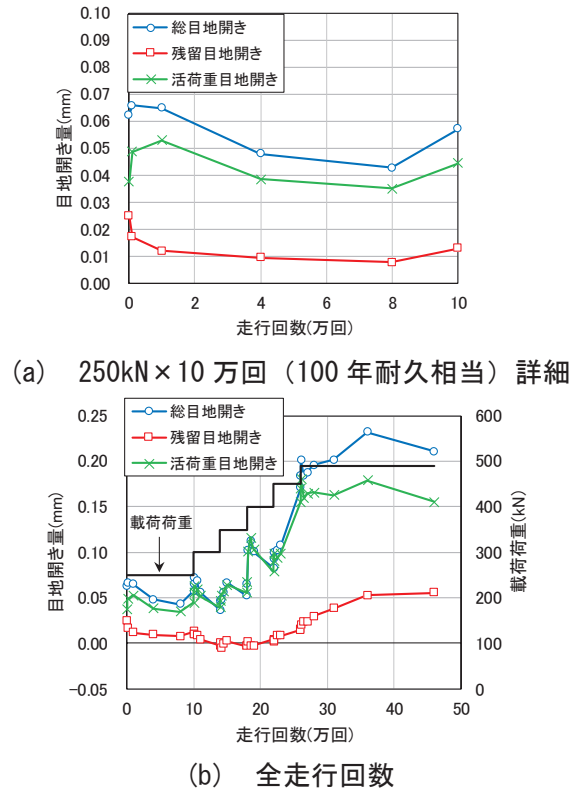


図-8 走行回数-目地開き量関係

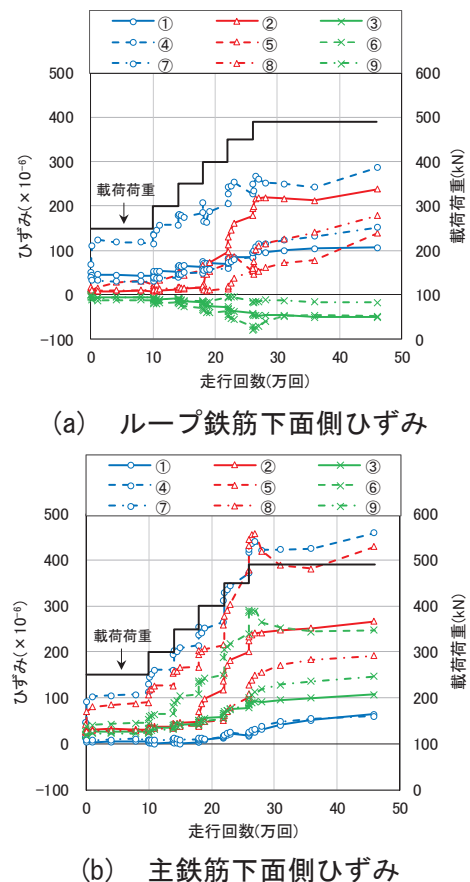


図-9 走行回数-鉄筋ひずみ関係 (活荷重ひずみ)

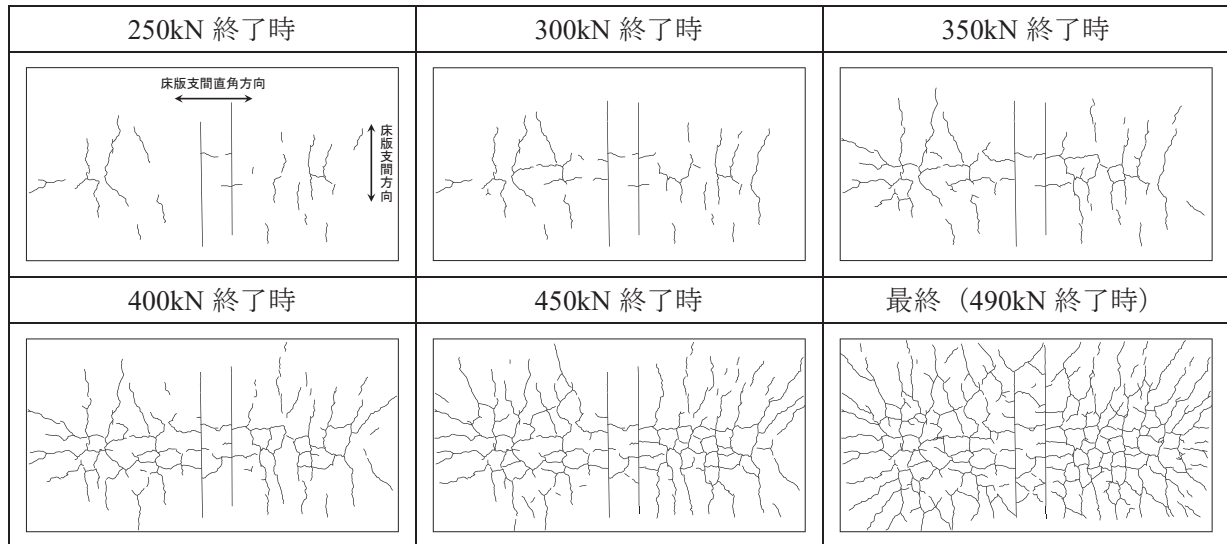


図-10 ひび割れ進展図

を傾斜配置した間詰部の疲労耐久性は、PC床版部と同等以上であると考えられる。490kN×20万回載荷後も疲労による押抜きせん断破壊は生じなかったことから、改良型ループ継手は十分な疲労耐久性を有していると考えられる。

4. まとめ

本研究により得られた知見を以下に示す。

- (1) 輪荷重走行試験を行った結果、実橋での100年相当の損傷を与える荷重ステップ(250kN×10万回)では、鉛直たわみ、目地開き、鉄筋ひずみの急激な増加、および水張り試験による床版下面からの漏水は確認されなかった。
- (2) 間詰部のひび割れも急激な進展は見られず、最終的なひび割れ性状も亀甲状であり、一般的なひび割れ進展と同様であることから、ループ鉄筋の傾斜配置による影響は確認されなかった。
- (3) 490kN×20万回載荷後も疲労による押抜きせん断破壊は生じなかった。

以上より、改良型ループ継手はループ鉄筋角度が 62.1° ～ 90° の範囲内で十分な疲労耐久性を有していると考えられる。

謝辞

輪荷重走行試験を行うにあたり、(株)高速道路総合技術研究所の方々には貴重なご助言を賜りました。また、(株)G&U技術研究センターに実験のご協力を頂きました。ここに記して感謝の意を示します。

参考文献

- 1) 畠山繁忠, 左東有次, 正木守, 日野伸一: プレキャスト PC 床版の改良型ループ継手構造の適用に関する基礎的研究, プレストレストコンクリート工学会第 27 回シンポジウム論文集, pp.379-382, 2018.11
- 2) 東日本, 中日本, 西日本高速道路株式会社: 設計要領第 2 集橋梁保全編, 平成 29 年 7 月
- 3) 長尾千瑛, 広瀬剛: プレキャスト PC 床版継手の疲労耐久性照査試験, プレストレストコンクリート工学会第 26 回シンポジウム論文集, pp.189-192, 2017.10
- 4) 松井繁之: 道路橋床版 設計・施工と維持管理, 森北出版, 2007