

論文

幅員方向分割取替工法（半断面施工）に関する接合目地の検討

可児幸嗣*, 沖田佳隆**, 中田順憲***, 阿部嗣*, 松井繁之****

*戸田建設(株), 土木事業本部 技術プロジェクト部 (〒104-0032 東京都中央区八丁堀 2-8-5)

**戸田建設(株), 土木事業本部 土木技術統轄部 (〒104-0032 東京都中央区八丁堀 2-8-5)

***戸田建設(株), 土木事業本部 土木設計部 (〒104-0032 東京都中央区八丁堀 2-8-5)

****一般財団法人災害科学研究所 (〒541-0043 大阪市中央区高麗橋 4-5-13)

近年, 工事規制による社会的影響を最小限にするため, 幅員方向分割施工による床版取替工法が求められている. そこで筆者らは, 橋軸方向の接合に新技術である「すいすい C&T 工法」を用い, さらに橋軸直角方向をポストテンション方式の目地 (以下, 縦目地) 構造とするプレキャスト PC 床版を開発した. また, 縦目地に着目し, 実際の走行位置を考慮した輪荷重走行試験を行い, 所要の疲労耐久性を有することを確認した.

キーワード: プレキャスト PC 床版, 幅員方向分割施工, 輪荷重走行試験, 床版取替

1. はじめに

近年, 我が国の高速道路では建設後 50 年を超える 2m 以上の橋梁の割合は 40% を超えてきており, これら老朽化した道路橋の大規模更新・修繕事業が各地で取り組まれている. 大規模更新の際には交通規制をしながら既設の RC 床版から耐久性に優れたプレキャスト PC 床版 (以下, PCaPC 床版) を全断面で取り替える床版取替工事が数多く実施されている. そのような状況において, 施工の合理化を目的に橋軸方向接合部 (以下, 横目地と記す) に対して様々な接合方法が開発されてきた. しかし, 床版取替工事は渋滞, 事故リスク等社会的影響が大きく, インターチェンジ等連絡施設の近接箇所, 出入口等の橋梁幅が広く分割施工となる箇所や上下線が大きく離隔し交通規制延長が長くなる箇所等では物理的に適用が難しいため, 車線毎に交通規制をしながら床版を取り替える幅員方向分割取替工法 (以下, 半断面施工) が必要となる. 半断面施工では, 走行車線と追越車線を結合する橋軸直角方向接合部 (以下, 縦目地) が生じるが, その疲労耐久性の評価方法が確立されていない.

そこで, 筆者らは 5 者 (災害科学研究所, 熊谷組, 戸田建設, 日之出水道機器, ショーボンド建設) 共同で, この縦目地を含めた床版の疲労耐久性を評価することを目的に, 特に幅員方向での縦目地位置と疲労耐久性の関係に着目し, 載荷位置を移動させて縦目地に最大曲げと最大せん断力を繰り返し作用させる輪荷重走行試験方法を検討した. 本稿では, 検討した輪荷重走行試験方法と横目地の接合に筆者らが開発した「すいすい C&T 工法」¹⁾を適用し, 縦目地の接合にポストテンション方式を適用

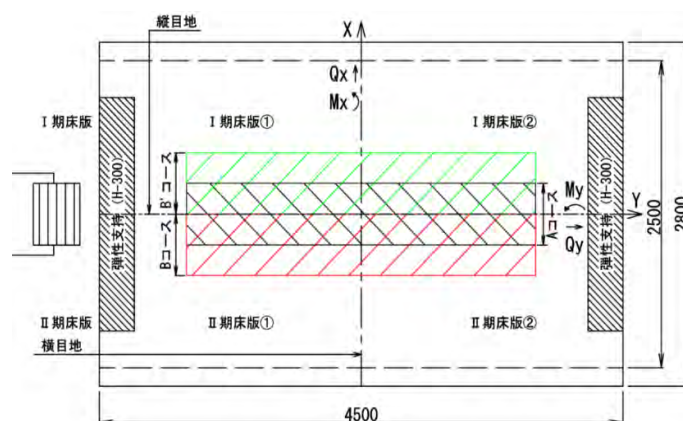


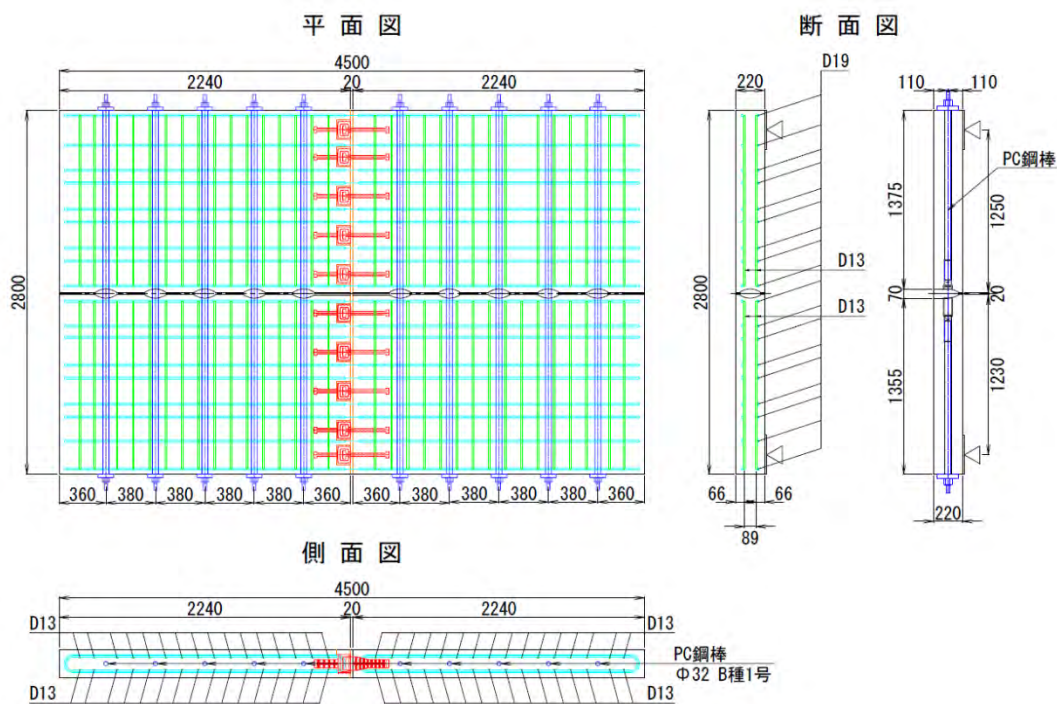
図-1 床版モデル

した PCaPC 床版を用いた輪荷重走行試験での疲労耐久性を確認した結果を報告する.

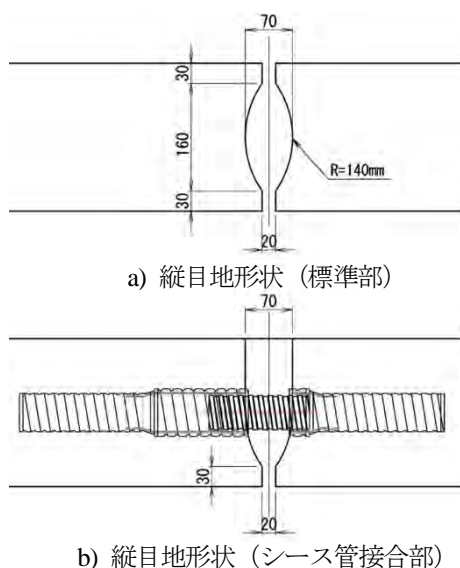
2. 試験概要

2.1 試験体

試験に用いた床版の形状寸法を図-1, 2 に示す. 形状寸法は「NEXCO 試験法 442」²⁾で規定されている. ここで, 橋軸直角方向 (主鉄筋方向) を x 軸, 橋軸方向 (配力鉄筋方向) を y 軸とする. そして, x 軸に直角の断面に作用する曲げモーメントならびにせん断力を M_x , Q_x と略記し, y 軸に直角の断面に作用する曲げモーメントならびにせん断力を M_y , Q_y と略記する. また, 床版は支間 2.5m で単純支持し, 橋軸方向の端部は弾性支持とする.



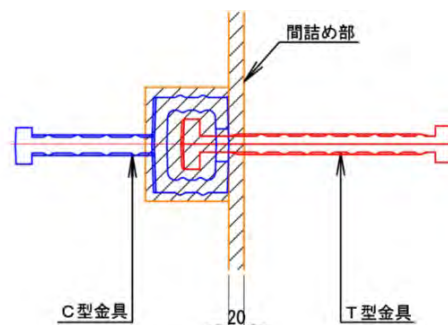
図－2 試験体詳細図



図－3 縦目地形状

(1) 縦目地形状の検討

縦目地の形状を図－3 に示す。標準部は上下端部の間詰め幅を 20mm とし、半径 140mm の円弧上のせん断キーを設け、中央部の幅を 70mm とした。せん断キーの形状は、後行床版を設置する際にせん断キーが継手金具と干渉せず、標準部では上下端部の幅が従来と変わらず充填作業の煩雑化が生じないように決定した。シース管接続部は、床版設置後に PC 鋼より線を通すための中子を挿入する作業が必要となるため、シース接続部上端を 70mm の間詰め幅とし、中子の挿入作業の容易さと、モルタル充填時の仕上げの観点から平面形状を楕円形とした。下端の間詰め幅は 20mm とした。それにより横目地に使用する「すいすい C&T 工法」と同様に下型枠の簡略化が可能である。



図－4 横目地形状 (平面図)

本試験においては、接合面が最も引張抵抗に弱いことを踏まえ、縦目地接合面は M_x が最大となる支間中央に配置した。

(2) 横目地の継手構造

横目地の形状を図－4 に示す。横目地は間詰め部の鉄筋配置が不要とし、型枠配置も簡素化できる「すいすい C&T 工法」とした。同工法は先行床版に 300mm 間隔で埋設されている C 型金具に、後行床版の T 型金具を挿入し、20mm の間詰め部へ無収縮モルタルを充填することによって一体化できる。

(3) 試験開始時の諸元

試験開始時の供試体諸元を表－1 に示す。

表－1 試験体コンクリートの試験開始時の諸元

種類		試験結果	材齢
先行床版	σ_c	74.4 N/mm ²	61 日
	E_c	32.0 kN/mm ²	
後行床版	σ_c	78.3 N/mm ²	56 日
	E_c	32.9 kN/mm ²	

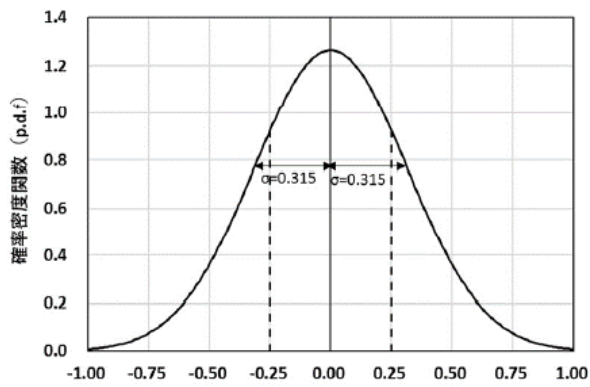


図-5 車両走行位置の確率密度関数

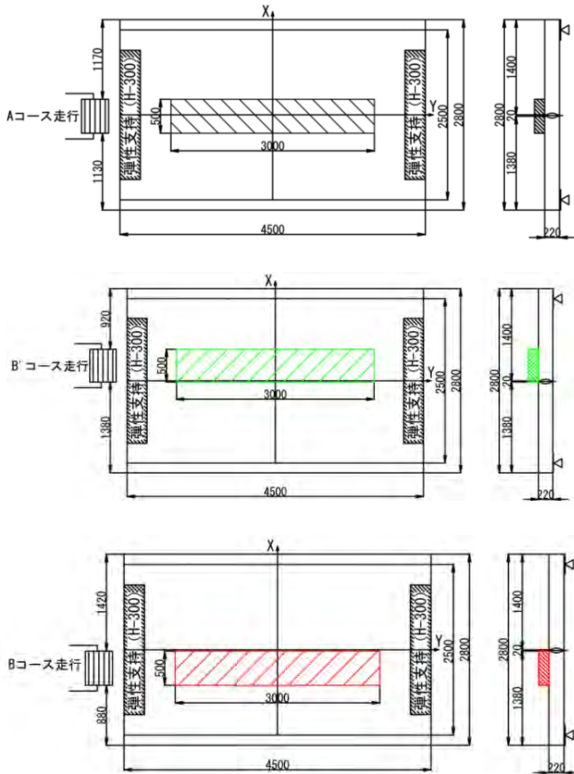


図-6 走行位置図

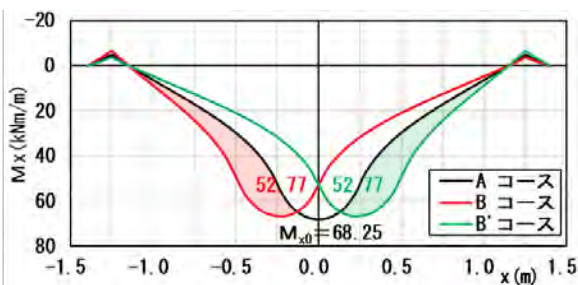


図-7 My 分布 (y=0)

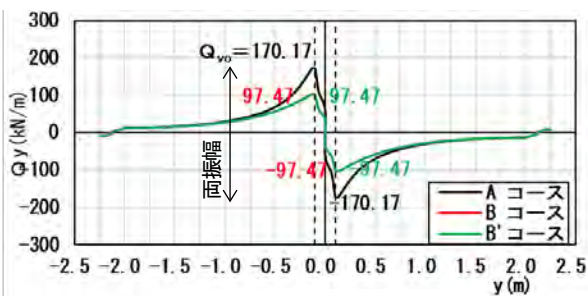


図-8 Qy 分布 (x=0)

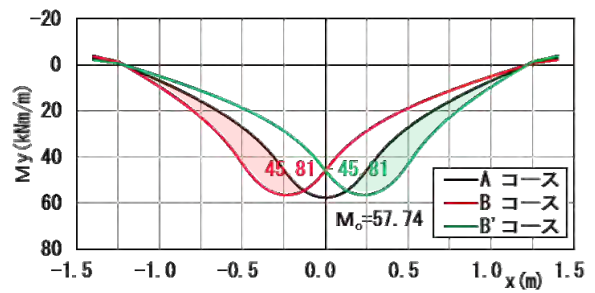


図-9 Mx 分布 (y=0)

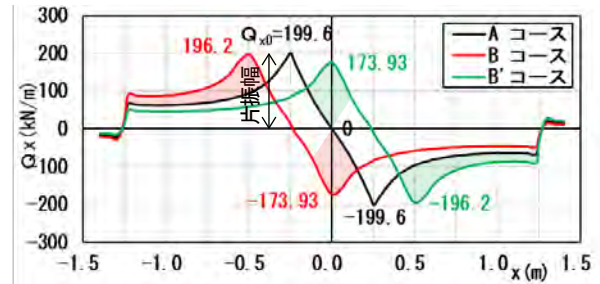


図-10 Qx 分布 (y=0)

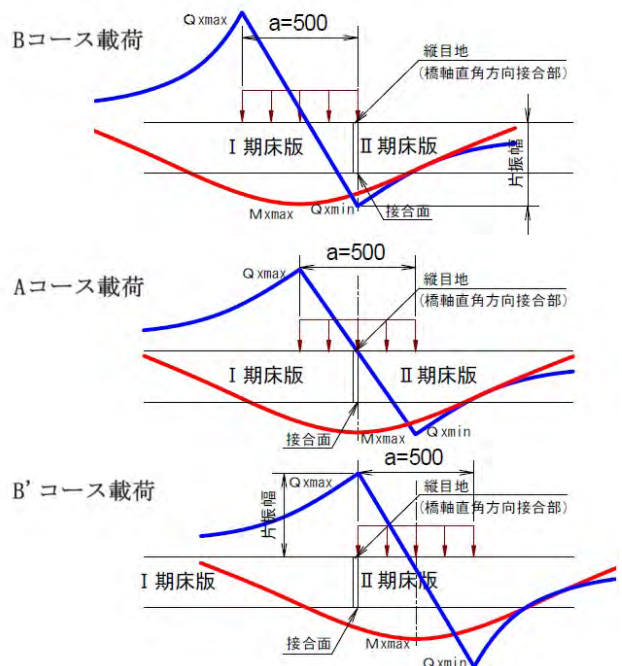


図-11 载荷位置の移動に伴う断面力

2.2 試験方法

(1) 走行位置

車両の走行位置は図-5 に示すように偏差 30cm 程度を持つ正規分布に従うことが確認されている³⁾。実際の車両走行時は図-5 に示す正規分布の範囲内でランダムに走行するが、本試験では試験装置の都合により、図-6 に示す 3 コースで载荷を行った。床版の疲労破壊は曲げにより発生進行することから、A コースは文献²⁾に準じて縦目地に最大 Mx を作用するよう支間中央に载荷し

た。また、過去の実験⁴⁾で走行位置端部付近から押し抜きせん断破壊を生じていることから B コース、B' コースは A コースから 250mm ずつ移動した位置で載荷し、 M_x によりひび割れ範囲を広げるとともに、縦目地に最大・最小 Q_x を作用させた。走行コースの違いによる影響を把握するため、平面 FEM 解析を用いて図-1 に示す A コース、B コース、B' コースに 250kN 載荷した際の各種断面力分布 (M_y , Q_y , M_x , Q_x) を図-7~11 に示す。図-7, 9 より、曲げモーメント M_x , M_y は A コースから B コース、B' コースに移動しても原点 (0m) では約 20% 低減するだけであるが、図-10 に示すように同じ移動量でもせん断力 Q_x は 0 から $\pm 173\text{kN}$ に大幅に変化する。このことから、走行位置による曲げモーメントへの影響は少ないが、せん断力はピークを示す走行位置の幅が狭く、走行位置による影響が大きい。ここで B コース、B' コースに載荷した場合と A コースに載荷した場合を比較すると、図-7, 9, 10 の B コース、B' コースはそれぞれ赤と緑に着色した領域において、A コースより曲げモーメントおよびせん断力が増加している。これにより、コースを変更すると橋軸直角方向の劣化範囲が広がると考えられる。

図-11 に示すように A コース載荷では M_x が作用するが Q_x は作用しないが、B コース、B' コース載荷では M_x の他、最大・最小 Q_x が作用する。すなわち載荷位置により M_x と Q_x の組み合わせが異なり、 Q_x の影響を考慮できる。また、図-12 に示すように走行位置の移動に伴うひび割れ発生範囲の拡大に対応するためハンチ無しとした。

(2) 走行回数

走行回数は、文献³⁾との整合性を図り A コースは 10 万回とした。B コース、B' コースは図-5 に示す走行位置の確率密度より A コースとの確率比より算出した載荷回数を切り上げ 3 万回とした。よって計 16 万回の走行を、縦目地を有する床版の耐用年数 100 年相当の疲労耐久性評価指標とした。

(3) 試験機および載荷ステップ

試験はショーボンド建設(株)補修工学研究所が保有する輪荷重走行試験機を用いて行った。試験状況を写真-1 に示す。本試験機はレールにより支持桁の移動が可能な構造となっており走行位置の変更が可能である。図-13 に示す載荷ブロックは床版の不陸、荷重、たわみへの追従性が良好な分割型載荷ブロック(写真-2)を用いた。

輪荷重走行試験は表-2 に示す載荷ステップに従い実施し、STEP4 終了後に図-14 に示すように全ての走行コースを網羅する範囲に 5mm 以上の水深で水張を行い、6 時間経過後、床版下面より漏水がないことを確認し耐用年数 100 年相当を有することを確認した。その後、破壊性状およびひび割れの進展を確認するため、STEP5 として A コースを 400kN で 10 万回走行させた。

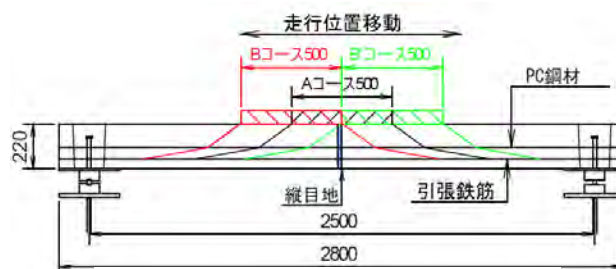


図-12 試験体橋軸直角方向断面



写真-1 輪荷重走行試験機



図-13 載荷ブロック設置状況



写真-2 載荷ブロック

表-2 載荷 suteltupu

	STEP1	STEP2	STEP3	STEP4
載荷コース	A	B	B'	A
載荷荷重(kN)	250	250	250	250
載荷回数(万回)	5	3	3	5
累計(万回)	5	8	11	16

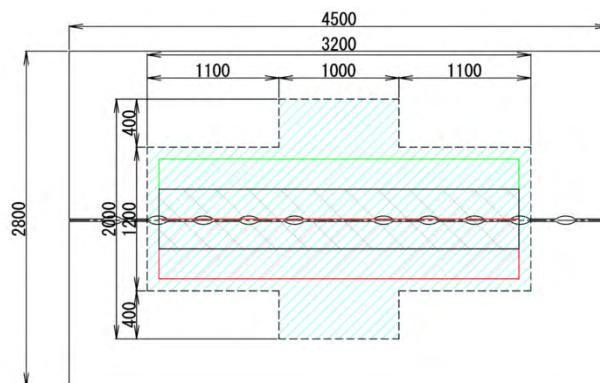


図-14 水張範囲

3. 試験結果

3.1 たわみ

床版中央部のたわみを図-15 に示す. 16 万回走行時までの活荷重たわみは 1.0mm 程度で, 走行位置の変動による明確な増加はなかった. 載荷回数ごとの橋軸方向と橋軸直角方向のたわみ分布を図-16, 17 に示す. 橋軸方向, 橋軸直角方向ともにたわみは連続的に分布していることを確認した. 橋軸直角方向では B コース, B'コースである 8 万回および 11 万回においては載荷位置の違いにより, たわみ分布に偏りが生じているが, A コースである 16 万回以降は対称の分布を示している. また, 各STEPの最大たわみとの比率分布を図-18, 19 に示す. たわみ比率分布は載荷回数が増加しても同程度であることから, 床版全体の剛性の低下は僅かといえる.

3.2 目開き量

縦目地中央の目開き—走行回数関係を図-20 に示す. 250kN 16 万回走行終了時の活荷重による縦目地の目開き量は, 0.05mm 以下と小さく, ほゞ一定の値で推移した. なお横目地の目開き量も同様の挙動を示しており, 最大で 0.13mm であった土木学会コンクリート標準示方書で規定される許容ひび割れ量 0.14mm (0.0035c) であることから, 十分な耐久性を有していると考えられる.

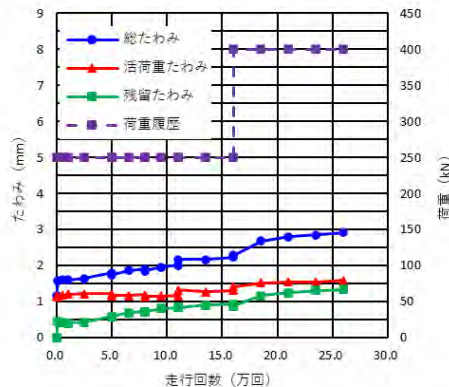


図-15 床版中央部たわみ量 (250kN 換算)

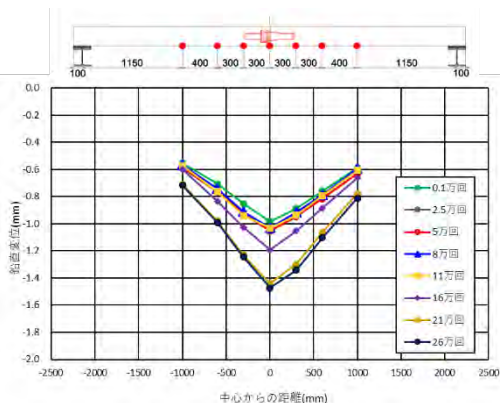


図-16 橋軸方向たわみ分布 (250kN 換算)

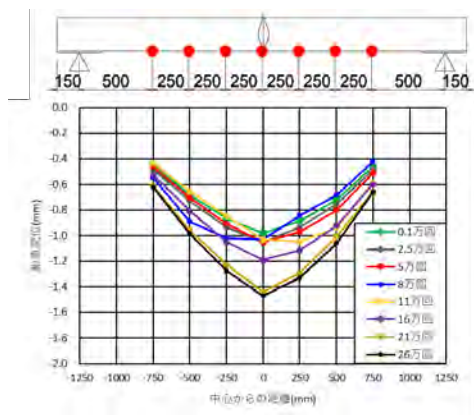


図-17 橋軸直角方向たわみ分布 (250kN 換算)

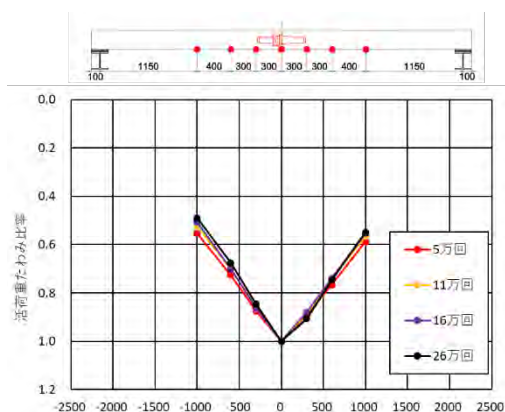


図-18 橋軸方向たわみ比率分布

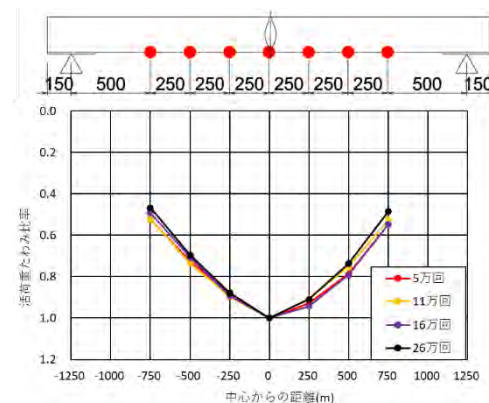


図-19 橋軸直角方向たわみ比率分布

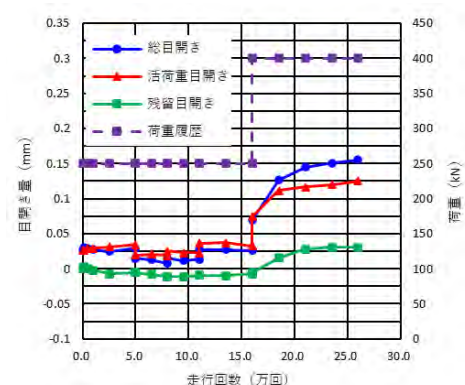


図-20 縦目地中央目開き量 (250kN 換算)

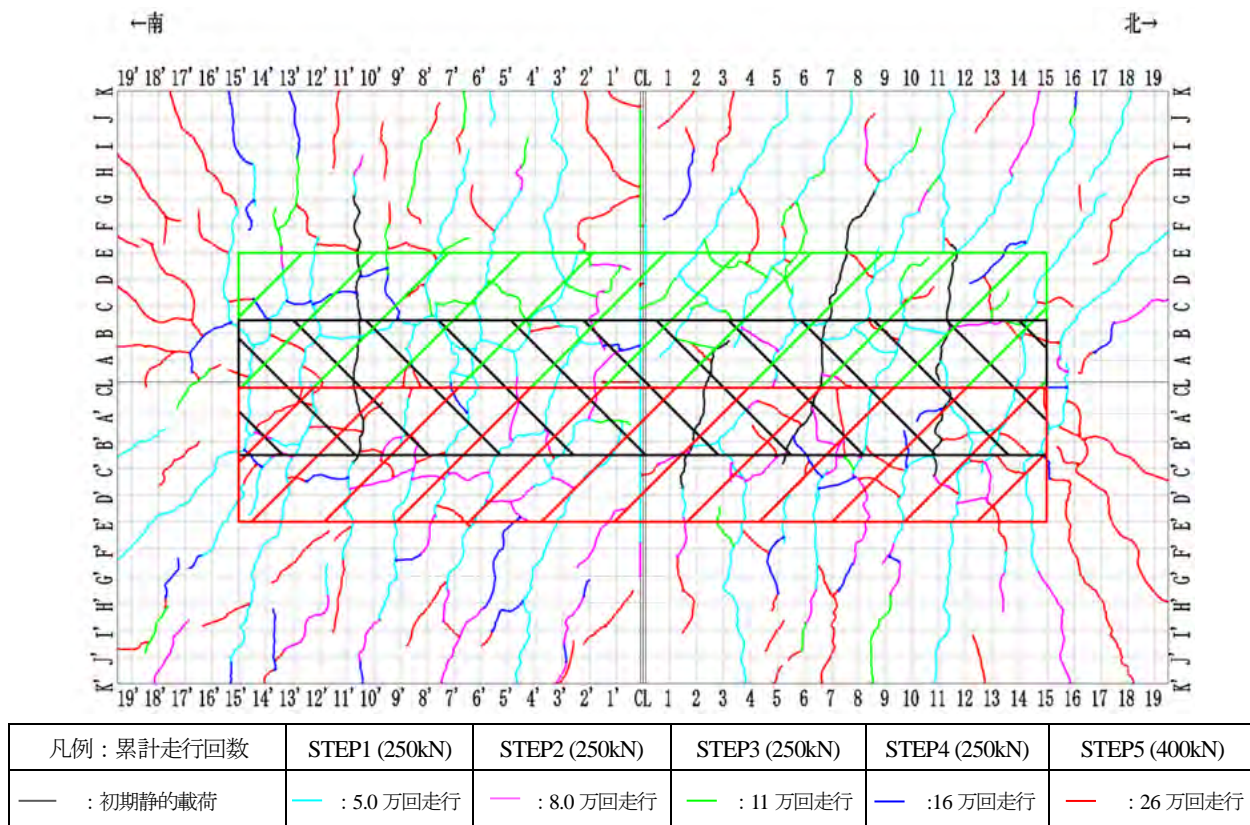


図-21 ひび割れ分布

3.3 ひび割れおよび漏水試験結果

試験体下面のひび割れを図-21に示す。床版下面のひび割れは、16万回走行後も進展し、プレキャストPC床版全体に均等なひび割れが発生しており、継手を有しないプレキャストPC床版⁴⁾と同様な床版挙動したと考えられる。また耐用年数100年に相当する250kNの16万回走行後に局所的な損傷が見られず、漏水試験では6時間経過後、床版下面より漏水が確認されなかったことから、本供試体床版の疲労耐久性は十分にあると検証できた。ひび割れ範囲は以前実施したすいすいC&T工法の横目地のみを有する床版と比べ、広いことが確認された。これは3コース走行載荷法によるものと考えられる。

4. まとめ

縦目地を有する床版の疲労耐久性を評価するため、NEXCO試験法442を基にして縦目地に最大曲げと最大せん断力を作用させることができる3コース走行載荷法による輪荷重走行試験方法を考案した。

16万回走行後に実施した漏水試験で、目地部より漏水が確認されなかったことから、横目地の接合に当社が開発した「すいすいC&T工法」を適用し、縦目地の接合にポストテンション方式を適用したPCaPC床版は100年

相当の疲労耐久性を有していると考えられる。

謝辞

試験方法の検討並びに試験の実施にあたり、災害科学研究所、熊谷組、日之出水道機器、ショーボンド建設に協力を頂き、また高速道路総合技術研究所橋梁研究室よりご助言ご指導を頂いた。記して謝意を表します。

参考文献

- 1) 可児幸嗣, 北原慎也, 大河内孝彦, 沖田佳隆, 加藤美由紀, 守屋健一, 松井繁之: 取替PC床版の新たな機械式継手の開発 その2<床版の疲労耐久性試験>, 土木学会第76回年次学術講演会, VI-226, 2021.9
- 2) 東日本高速道路株式会社, 中日本高速道路株式会社, 西日本高速道路株式会社: NEXCO 試験方法, 第4編構造関係試験方法, 試験法442 プレキャストPC床版接合部の疲労耐久性試験方法, pp.86-89, 2020.
- 3) 松井繁之: 道路橋床版, 森北出版, 2007.10.
- 4) 後藤俊吾, 長谷俊彦, 本間淳史, 平野勝彦: PC床版の疲労耐久性評価方法の提案, 構造工学論文集, Vol.66A, pp.762-773, 2020.

(2024年7月12日受付)