

すいすい C&T 工法の幅員分割施工を考慮した輪荷重走行試験

戸田建設(株) 正会員 ○可児 幸嗣
戸田建設(株) フェロー 沖田 佳隆
戸田建設(株) 正会員 中田 順憲 阿部 嗣
大阪工業大学 フェロー 松井 繁之

1. はじめに

近年、老朽化した道路橋の大規模更新・修繕事業が各地で実施されている。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が必要となる。幅員方向分割取替では、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、走行コースを変化させ、縦目地に最大曲げモーメントと最大せん断力を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. 幅員分割施工用輪荷重走行試験

車両の走行位置は図-1 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²⁾。実際の車両走行時は図-1 に示す正規分布の範囲内で

ランダムに走行するため、忠実に再現するために走行位置を変化させるランダム走行が理想であるが、現有の試験装置で実現可能な方法として床版に作用する断面力を考慮し代表的な走行コースを試験法に組み込む決定する必要がある。

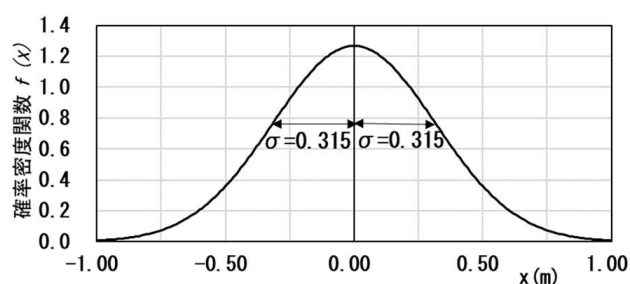


図-1 車両走行位置の確率密度関数

(1) 床版に作用する断面力

床版に作用する断面力について、図-2 に示す「NEXCO 試験法 442」^{3),4)}で示された形状寸法の床版モデルを用いて説明する。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 軸に直角な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 軸に直角な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。

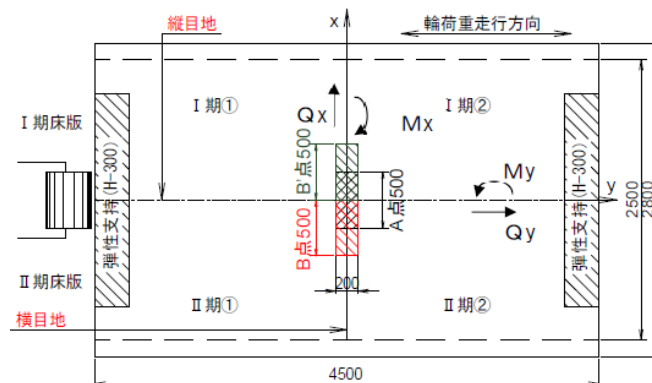


図-2 床版モデル

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

連絡先 〒104-0031 東京都中央区京橋 1-7-1 戸田建設 技術プロジェクト部プロジェクト 1 課 TEL 090-2354-6257

a) 横目地に作用する断面力

移動載荷に伴う橋軸方向断面力の変化を図-3に示す。横目地の接合面には車両1台毎に最大曲げモーメントと正負両振幅の交番繰り返しのせん断力が作用する。これより、「NEXCO 試験法 442」は横目地の疲労耐久性を評価する方法として適するものといえる。

b) 縦目地に作用する断面力

走行コース毎の M_x , Q_x の分布を図-4に示す。図-4に示すように、載荷位置中央が縦目地と一致するA点を走行する場合、縦目地には最大曲げモーメント M_x が作用するがせん断力は作用しない。一方、載荷位置端部が縦目地と一致するB点、B'点を走行する場合、曲げモーメント M_x の他に、最大・最小せん断力 Q_x が作用する。このように、走行位置が変動する場合、縦目地に作用する断面力が変化する。

よって、曲げモーメント M_x だけでなくせん断力 Q_x の影響を試験法に組み込む必要がある。

(2) 試験法概要と試験体

a) 走行位置 (3 コース走行載荷法)

実際の車両走行時は図-1に示す正規分布の範囲内でランダムに走行するが、本試験法では試験機の都合により、図-5, 6に示す3コースでの載荷とした。3コースでの載荷とすることで、図-4に示すようにAコース載荷では最大曲げモーメント M_x が作用し、Bコース、B'コース載荷では曲げモーメント M_x の他、最大・最小せん断力 Q_x が作用する。すなわち各コースの走行により M_x と Q_x の組み合わせが変化させることで可能となり、せん断力 Q_x の影響を考慮できる。なお、図-5, 6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。

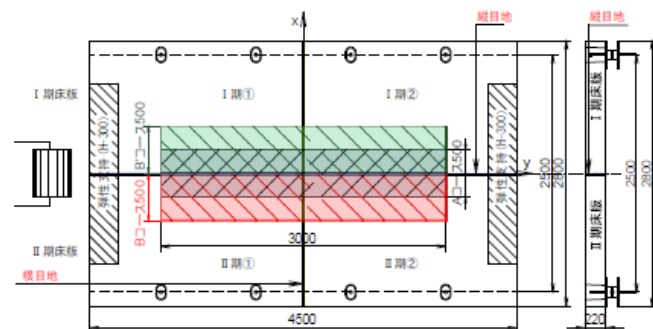


図-5 試験体概要

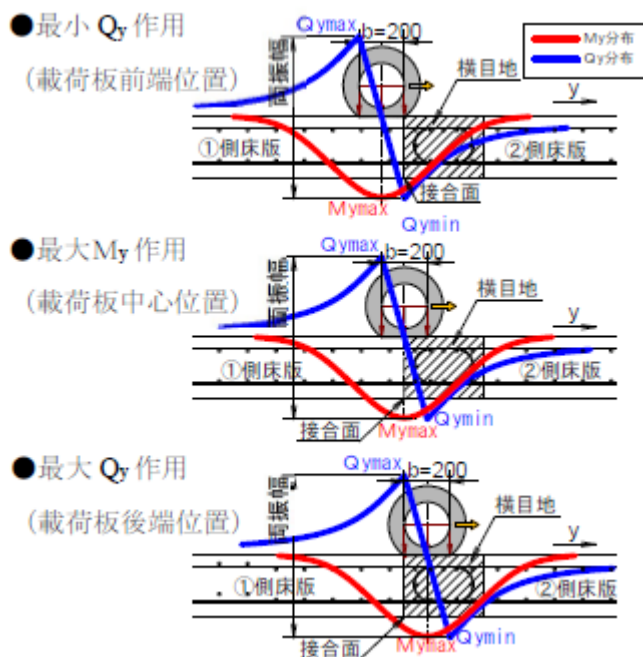


図-3 移動載荷に伴う橋軸方向断面力の変化

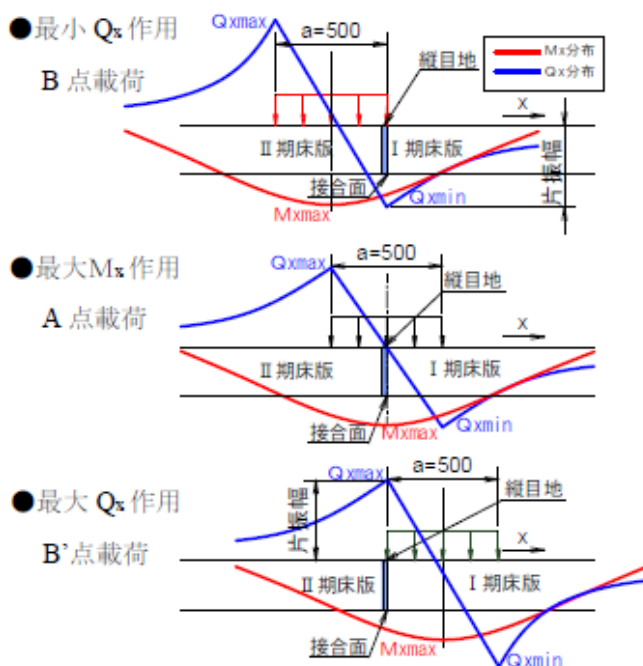


図-4 載荷位置の移動に伴う断面力

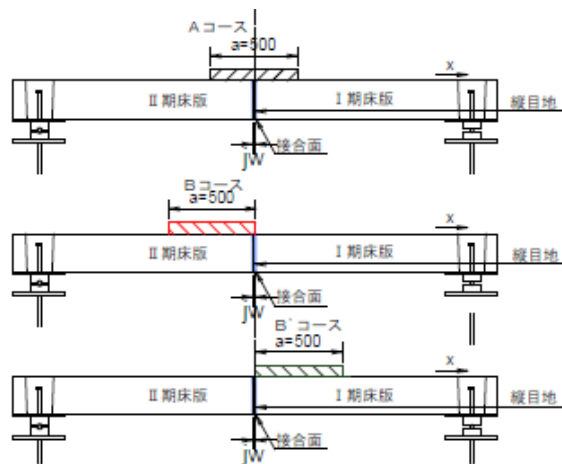


図-6 載荷コース

b) 疲労耐久性の評価指標

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て、各コースの走行回数は図-1 に示すように走行位置が変動する任意の断面力を各載荷コースで生じる基本断面力 (A コース: M_{xmax} , B コース: Q_{xmax} , B' コース: Q_{xmin}) に換算した等価繰り返し回数として算出した結果を基に、「NEXCO 試験法 442」^{3),4)}との整合性を図り、A コースは 10 万回、B コース、B' コースは 3 万回とし、計 16 万回の走行をとした。載荷ステップは表-1 に示す。

表-1 載荷ステップ

	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

c) 試験機

走行位置の移動に対応可能な写真-1 に示す試験機を用いた。本試験機の走行装置は固定され移動できないが、試験体を載せた支持桁をレールにより橋軸直角 (x 軸) 方向に移動することで軌道位置を変更し、移動載荷を可能とした。

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。



写真-1 試験装置

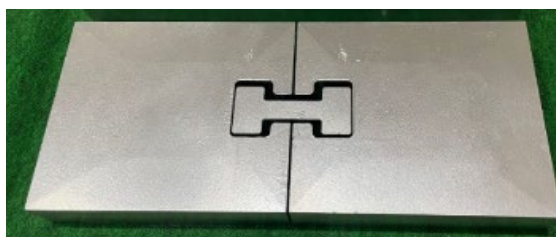


写真-2 載荷ブロック

d) 漏水試験

表-1 に示す載荷ステップ終了後、図-7 に示す漏水試験を行い、下面からの漏水が無いことを確認することで耐用年数 100 年を有するものと判断することとした。

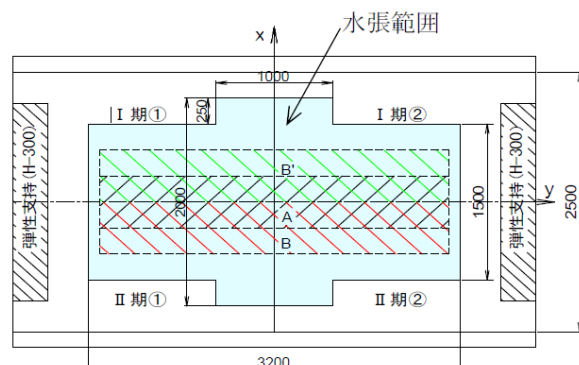


図-7 漏水試験範囲

3. すいすい C&T 工法の継手構造

(1) 縦目地の形状

縦目地の形状を図-8 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。

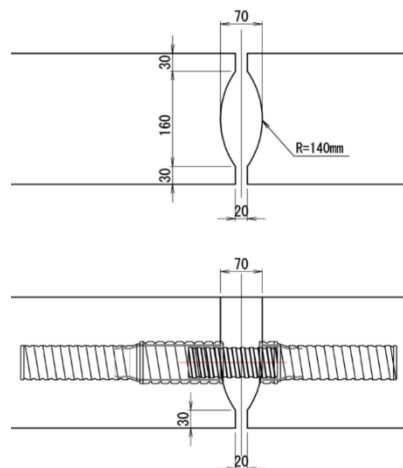


図-8 縦目地形状 (断面図)

(2) 横目地の形状

横目地の形状を図-9 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で一体化できる。

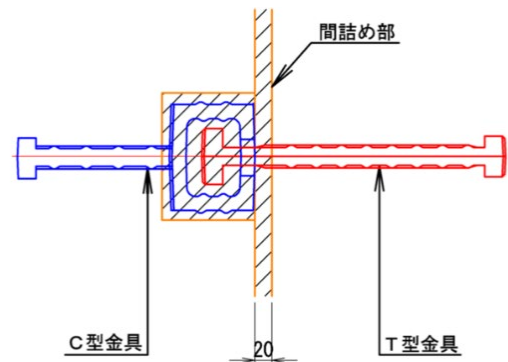


図-9 横目地形状（平面図）

4. すいすいC&T 工法の輪荷重走行試験

(1) 試験概要

試験体概要を図-10、試験開始日のコンクリート圧縮強度および静弾性係数を表-2 に示す。試験体形状、鋼材配置、支持条件は試験法 442 に準じ床版支間 2.5m、橋軸方向長さ 4.5m、床版厚さ 220mm とした。

(2) 試験方法

前頁に示す疲労耐久性の評価指標の载荷ステップである STEP4 の走行を終了したのち漏水試験を行い、さらに STEP5 として载荷荷重を 400kN に上げ、A コースで 10 万回の载荷を実施した。

表-2 载荷ステップ

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

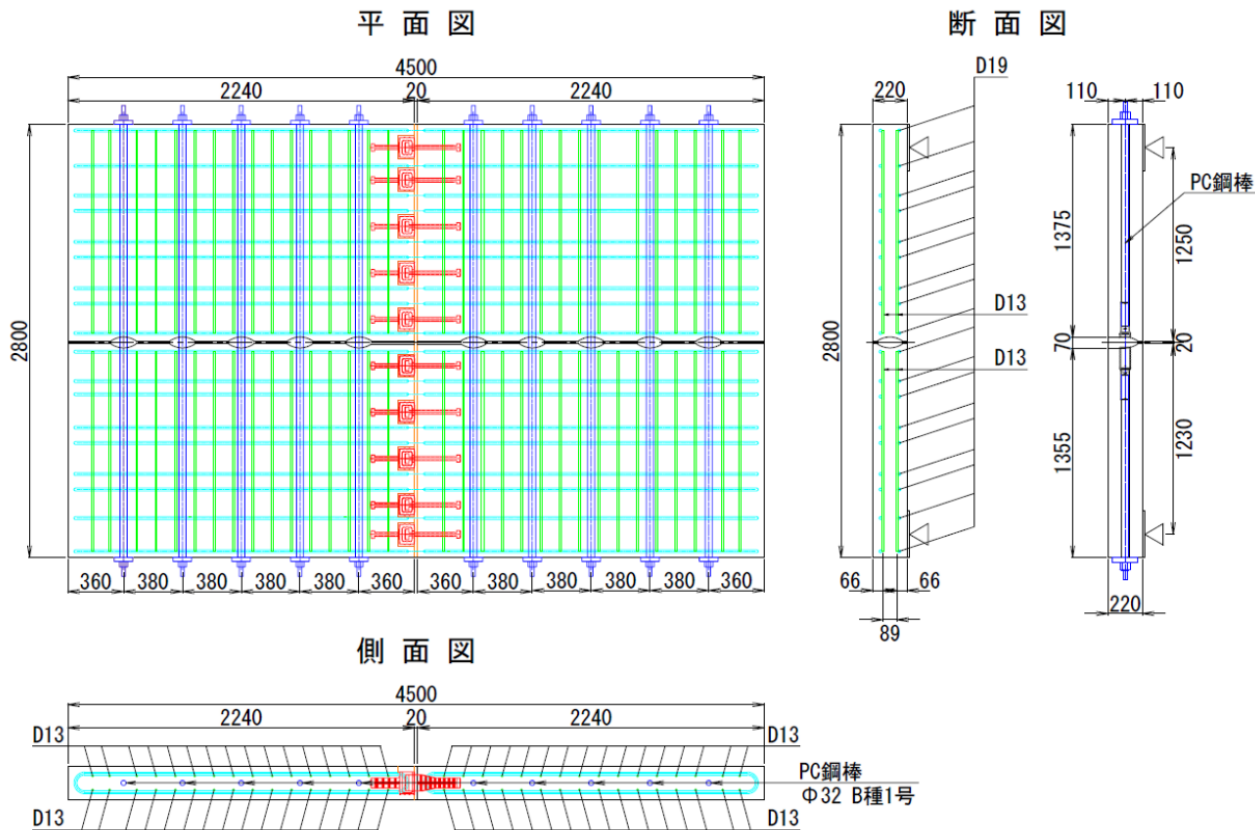


図-10 試験体概要

(2) 試験結果

a) たわみ

床版中央部のたわみを図-11 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。载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-12, 13 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 万回においては载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-14, 15 に示す。たわみ比率分布は载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。

b) 目開き量

縦目地中央の目開き－走行回数関係を図-16 に示す。250kN 16 万回走行終了時の活荷重による縦目地の目地開き量は、0.05mm 以下と小さく、ほぼ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。

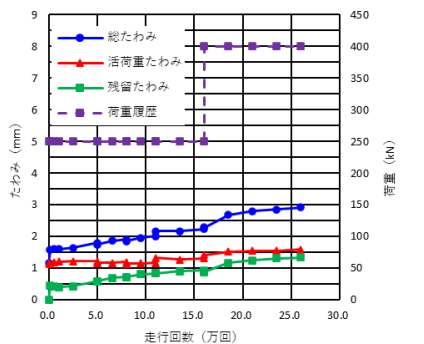


図-11 床版中央部たわみ量 (250kN 換算)

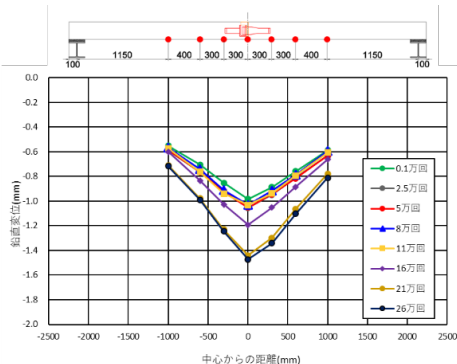


図-12 橋軸方向たわみ分布 (250kN 換算)

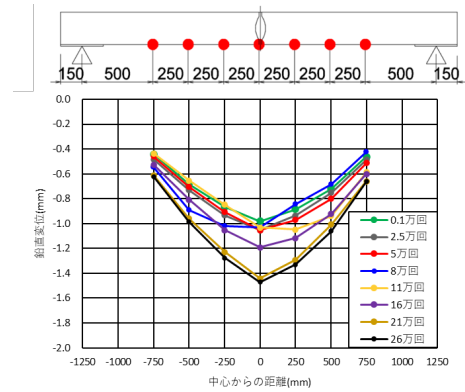


図-13 橋軸直角方向たわみ分布 (250kN 換算)

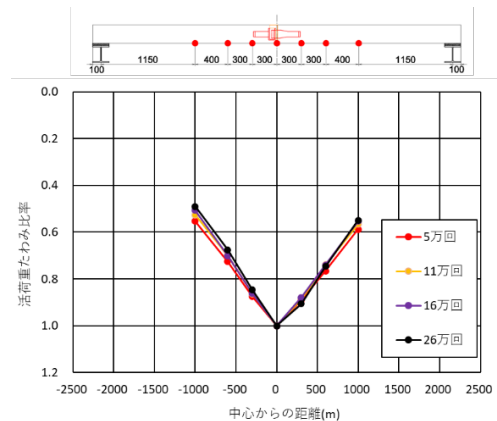


図-14 橋軸方向たわみ比率分布

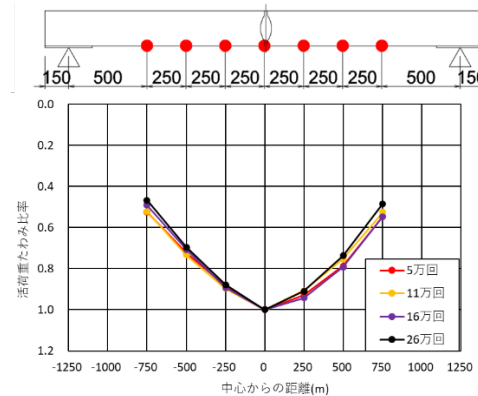


図-15 橋軸直角方向たわみ比率分布

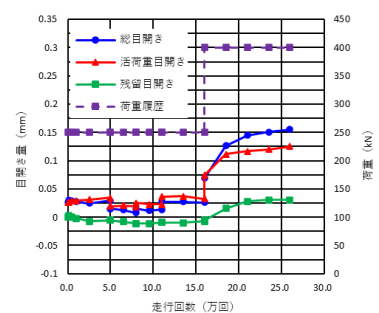


図-16 縦目地中央目開き量 (250kN 換算)

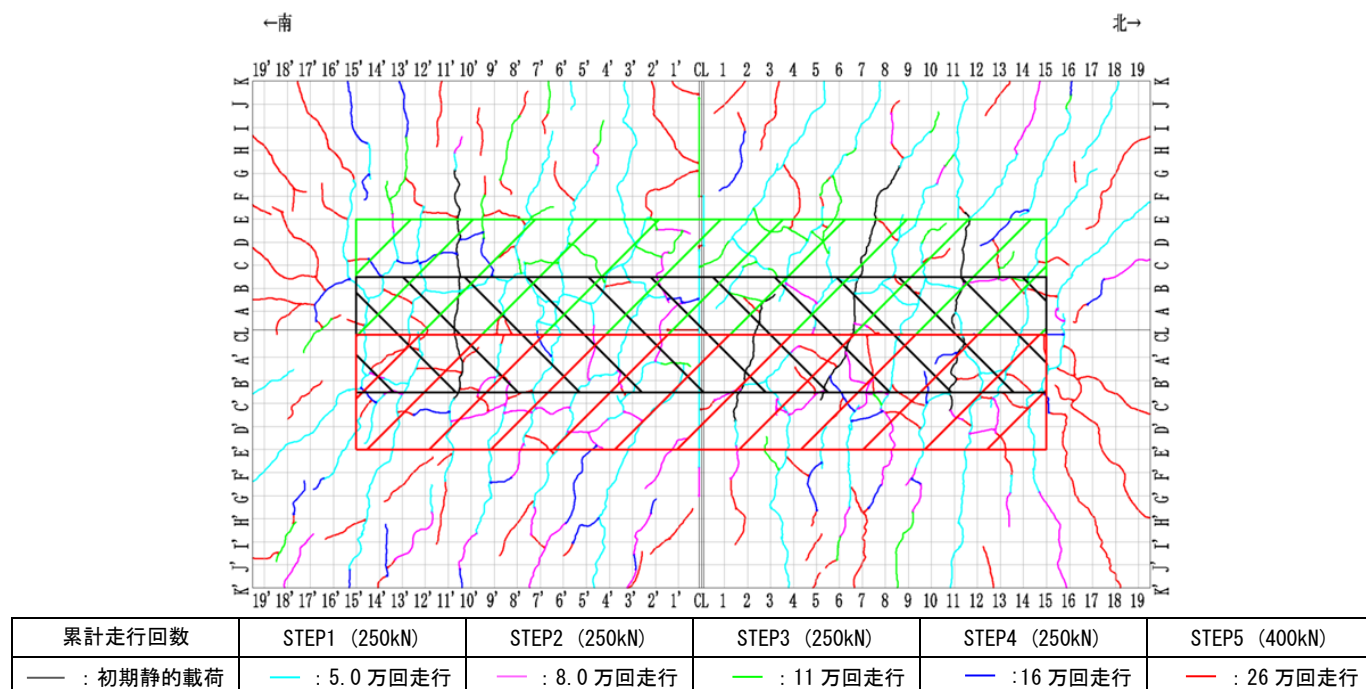


図-17 ひび割れ分布

b) 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-17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¹⁾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。

5. 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・最小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) 松井繁之: 道路橋床版, 森北出版, 2007.10.
- 3) 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.
- 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