

(30) RCループ継手を有するプレキャストPC床版の移動載荷試験

大阪大学 工学部 土木工学科 正会員 松井繁之
 日本道路公団 名古屋建設局構造技術課 角昌隆
 日本道路公団 名古屋建設局名古屋工事事務所 向井盛夫
 株式会社 ピー・エス名古屋支店 正会員○北山耕造

1. はじめに

現在、日本道路公団では鋼道路橋の省力化工法として鋼少数主桁工法を採用した。床版工においては省力化と長支間床版となることから従来のRC場所打ち床版に代わるプレキャストPC床版が採用された。従来のプレキャストPC床版橋軸方向の連続化は、ポストテンション方式により橋軸方向にプレストレスを与え一体化するPC構造とするのが一般的である。これは現場における継目施工が容易であり、耐荷性・耐久性について十分な確証が得られていることによる。しかし、従来の場所打ち床版に比べ一般的にコスト面で割高であることにくわえ、床版損傷による部分取り換えなど維持管理面においてもコストが割高である。

こうしたなか、第二京名自動車道東海大府高架橋においてプレキャストPC床版の橋軸方向継手工法として、ループ状鉄筋継手構造(以下、RCループ継手と略す。)を採用しコストの低減を積極的に図ろうとするものである。RCループ継手構造はループ状鉄筋のフープ効果により重ね継手長さが短くなり間詰め幅を小さくすることが可能である。一方、継手部が一断面に集中するため、橋軸方向の連続性確保と耐久性に関する信頼が課題である。現在までにRCループ継手に関する実験等は、最近いくつか行われてきており、実橋としての実績も数橋でてきたが、RCループ継手に関する規定は、わが国では整備されていないのが現状である。

日本道路公団では、平成6年度にプレキャストPC床版接合部の輪荷重移動載荷試験つづいて平成7年度に破壊性状および終局耐力の確認を目的とした定点載荷試験を実施しており、RCループ継手の十分な耐力・耐久性を有することを確認している。

本稿は、現在まで実施された試験結果をふまえ実橋レベルの供試体によるRCループ継手の耐久性および長支間床版の性状把握を目的として実施した試験について報告する。

2. 実験概要

2.1 RCループ継手

ループ継手長算出はDIN 1045の規定に従い、ループ鉄筋発生応力度を $\sigma_s=1600 \text{ kgf/cm}^2$ とした。発生応力度(設計では制限値)は、長支間になると床版厚が厚くなり、従来の破壊性状である押抜きせん断破壊でなく曲げが支配的になるものと考えられることから、鉄筋疲労とコンクリートのひびわれ幅に対して制限するものと考え決定した。また、RCループ継手部施工の簡素化のためPC版形状をRCループ継手部の型枠になるようフランジを設けた。

図-1にRCループ継手の詳細図を示す。

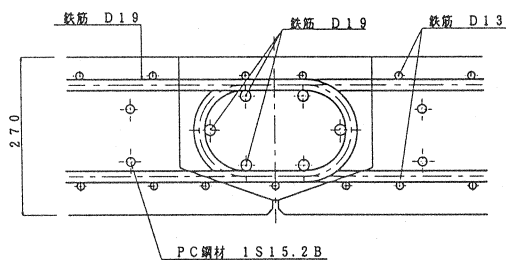


図-1 RCループ断面図

2.2 試験体構造と試験機

試験体はプレキャストPC床版とRCループ継手部および端部場所打部よりなり、橋軸直角方向にはプレ

テンション方式によるPC構造であり、橋軸方向はループ状鉄筋継手により接合するRC構造である。試験は、RCループ継手部の異質性による違いを比較するため、プレストレスを導入したケースも同一試験体で実施した。コンクリート設計基準強度は、PCa床版およびRCループ継手部とも $\sigma_{ck} = 500 \text{ kgf/cm}^2$ とし、RCループ継手部コンクリートには乾燥収縮保証として膨張材を使用している(単位膨張材量 50 kg/m^3)。

試験機は、JH試験研究所が所有する長支間床版構造の試験体に対応したものであり、この種の試験機としては国内最大級である。荷重載荷形態は、輪荷重、軸荷重、タンデム荷重載荷および矩形波による変動荷重制御が可能である。

本試験では、可変台形波による荷重制御により移動載荷範囲 $\pm 1.5 \text{ m}$ 内で実走行に近い荷重振幅を再現している。なお、試験体形状を図-2、試験機を

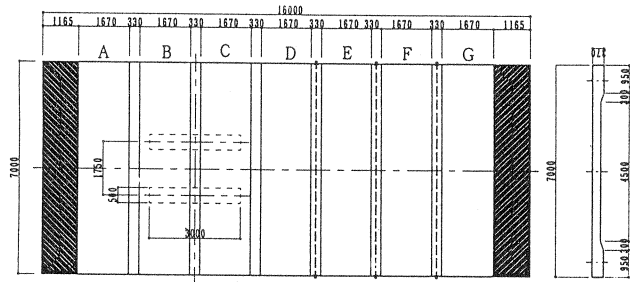


図-2 試験供試体

図-3使用材料の性質を表-1に示す。

表-1 使用材料の性質

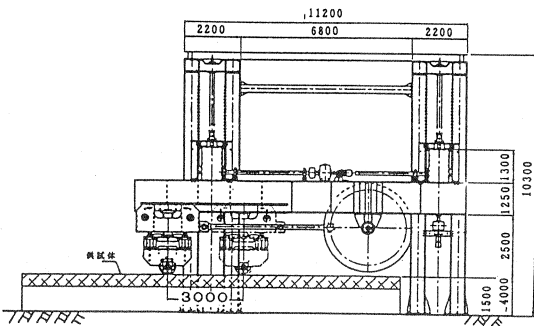


図-3 試験機姿図

鋼材		P C 鋼材		鉄筋	
種別		S F P R 7 B 15.2		S D 345	
品質					
標準直径 (mm)		15.25	D19	D13	
断面積 (cm ²)		140.7	2.865	1.267	
降伏荷重 (kg f/cm ²)		17 700	4 080	3 850	
引張強度 (kg f/cm ²)		19 800	5 740	5 410	
コンクリート					
(kg f/cm ²)	材令	圧縮強度	ヤング係数	引張強度	
P C a 部材	28	577	3.80 × 10 ⁴	35.8	
	187	644		37.3	
R C ループ継手	28	666	3.47 × 10 ⁴	38.1	
	126	753		40.3	

2.3 載荷方法

載荷は、静的載荷および動的移動載荷を行った。荷重強度およびステップの考え方は、荷重の基本値を軸重 20 tf 、最大値で道示Ⅲで算出される連続版の橋軸直角方向曲げモーメントを再現できる強度とした。

動的移動載荷では、過積載荷重も考慮に入れた荷重ステップを検討した結果、過積載荷重(軸重 32 tf)は間にあることがわかった。実際の走行を考えれば道示Ⅲで想定される走行形態はまれであり、疲労の観点から考えれば過積載荷重状態で床版の耐久性は確認できるものと考えた。よって、動的移動載荷におけるSTEP-2(過積載荷重状態想定)の載荷回数を最も多く設定した。

載荷条件は、①静的載荷時は輪帯幅(接地面積) $50 \times 20 \text{ cm}$ の載荷版を使用、②打継目部の貫通ひびわれ発生確認のための水張状態はSTEP-2、3で最後の2万往復で実施、③浮上り防止を設けた。

(1) 静的試験

想定荷重は、軸重荷重 20 tf に衝撃を考慮した値から道示橋軸直角方向(床版支間方向)の曲げモーメントを再現できる強度までを 5 tf きざみでステップアップしていった。図-4、5に示すように荷重載荷位置は橋軸直角方向に3ケース、橋軸方向にRCループ継手直下、打継目近傍のPCa版上およびPCa版中央の3ヶ所を各ケースで実施した。

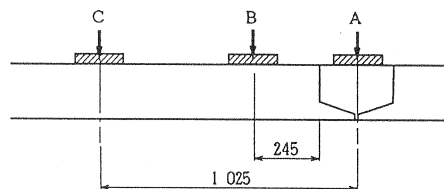


図-4 橋軸方向載荷位置

- CASE-1: 分配性能の把握
- CASE-2: 道示載荷状態の検証
- CASE-3: せん断着目

・初期載荷荷重

衝撃を考慮する (i=0.357)

$$20 \times 1.357 = 27.14 \text{ tf} \rightarrow 27.5 \text{ tf}$$

・橋軸直角方向設計最大曲げモーメントに等価な軸重荷重

$$\begin{aligned} \text{道示値 (連続版)} &: (0.12 \cdot L + 0.07) \times 10 \times 0.8 \times 1.20 \\ &= 7.584 \text{ tf} \cdot \text{m/m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{FEM値: 試験体モデルに軸重20tfを載荷したときの値} \\ &= 3.19 \text{ tf} \cdot \text{m/m} \end{aligned}$$

軸重20tf×道示連続版/試験体FEM (PCa版着目)

$$\rightarrow 20 \times 7.584 / 3.19 = 47.5 \text{ tf}$$

・軸重27.5tf強度→47.5tfまで5tf単位でステップアップ

(2) 動的移動載荷

載荷方法は、載荷のスタートとエンド位置で荷重を低減させた台形波荷重とすることにより荷重の振幅が大きく実橋に近い状態を再現している。荷重は、所定荷重を一定回数載荷した後次のステップへ荷重を増加させた。荷重増分は10tfとし最大荷重は試験機能力から50tfまでとした。

・各ステップの載荷荷重強度

STEP-1

静的載荷荷重強度→軸重20tf相当強度。

連続版と単純版の曲げの比 (実橋モデルFEM値使用)

$$\text{単純版/連続版} = 5.849 / 6.998 = 0.836$$

$$\rightarrow 20.00 \times 0.836 = 16.7 \text{ tf}$$

採用強度 : 20.0 tf

載荷回数 : 4万往復

FEM解析によると発生曲げモーメントは $M=3.2 \sim 4.4 \text{ tf} \cdot \text{m/m}$

(橋軸、橋軸直角方向ともほぼ同等の値を示す) 程度で、コンクリート発生応力度は $\pm 26 \sim 36 \text{ kgf/cm}^2$ (引張強度 $f_{tk} = 0.5 \cdot f'_{ck} \cdot 2^{1/3} = 0.5 \times 500^{2/3} = -32 \text{ kgf/cm}^2$) である。橋軸直角方向にはプレストレスが応力度で 50 kgf/cm^2 導入されているため引張応力は発生しない。橋軸方向および橋軸直角方向のRCループ継手部は、初期の段階でのひびわれは発生せず、載荷回数が増すに従ってひびわれが発生すると考えられた。

STEP-2

過積載荷重 (タンデム車) 想定で軸重32tf (大阪、中央環状線: 超過確率2.5%で軸重和39.2tf、京葉道路: 5.0%で約40tf) 相当荷重。

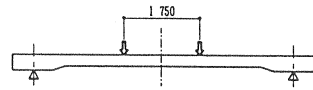
○橋軸直角方向連続版の曲げを再現する荷重強度

$$\rightarrow 32.00 \times 0.836 = 26.8 \text{ tf}$$

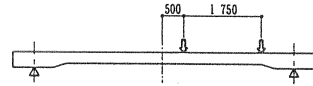
採用強度 : 30.0 tf

: 30万往復

1. ケース 1



2. ケース 2



3. ケース 3

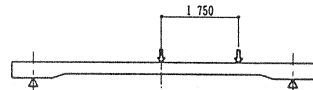


図-5 橋軸直角方向載荷位置

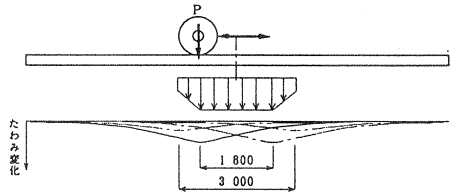


図-6 載荷時の変形図

TL-25荷重1台載荷

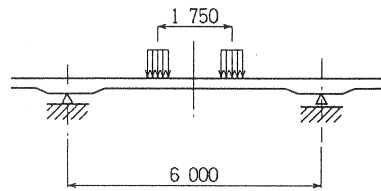


図-7 想定載荷状態

過積載1台載荷

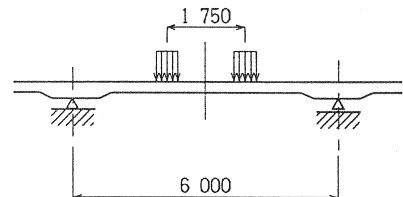


図-8 想定積載状態

発生曲げモーメント $M=4.8\sim 6.6\text{tf}\cdot\text{m}/\text{m}$ 程度で、コンクリート応力度は $\pm 40\sim 54\text{kgf}/\text{cm}^2$ である。橋軸直角方向にはひびわれが発生せず、橋軸方向は許容ひびわれ幅程度のひびわれが発生すると考えられる。すなわち、橋軸方向の設計曲げモーメント($5.12\text{tf}\cdot\text{m}/\text{m}$)と等価でもあり、橋軸方向RCループ継手に対する検証ステップと位置づけられる。

STEP-3

橋軸直角方向の設計曲げモーメントと等価な荷重強度。

○荷重強度

$\rightarrow 47.5/1.357 = 35.0\text{tf}$

採用強度 : 40.0tf

: 10万往復

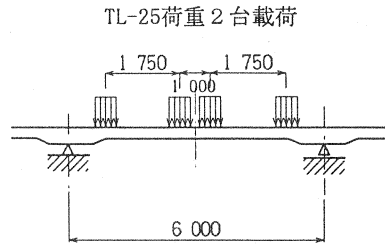


図-9 想定荷重状態

道示橋軸直角方向の曲げモーメントを再現するためひびわれ発生限界状態にあるが、載荷回数が増加すれば橋軸方向に微細なひびわれが発生するものと考えられる。橋軸方向の鉄筋応力は、 $\sigma_s=1900\sim 2600\text{kgf}/\text{cm}^2$ 程度である。載荷回数の設定は、2台の設計荷重車両が併走する確率分を1日10回あるとし、1年で3,650回、50年で18万回(9万往復)程度と考えた。図-10に荷重ステップ図を示す。

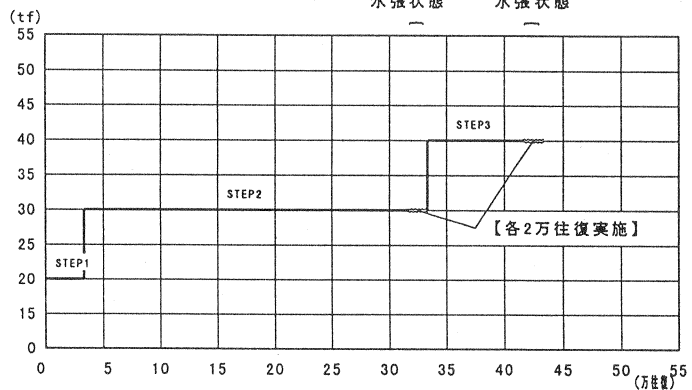


図-10 荷重ステップ図

2.4 計測項目

橋軸方向および橋軸直角方向の各載荷ケースを考慮し、変位計および鉄筋のひずみ計を設けた。断面内ひずみ分布を求める際の補助とするためにコンクリート上下面にもひずみ計を配置した。床版下面と打継目のひびわれ状況を観察、スケッチおよびCCDカメラによるひびわれ挙動の撮影を実施した。

3 実験結果

3.1 ひびわれ発生状況

静的載荷荷重強度 30.0tf をPCa版中央、打継目近傍に載荷したとき載荷直下に橋軸直角方向のびわれを確認できた。その後、荷重を最大の 47.5tf まで上げたが、ひびわれは載荷直下近傍のみにとどまった。動的移動載荷のステップが進むにしたがい載荷直下のひびわれは、じょじょに進展したものの最終ステップ終了時の新たなひびわれは1~2本程度であった。ひびわれ幅の最大値は、 0.08mm であり許容ひびわれ幅 $\omega a=0.005\times 55.5\text{mm}=0.28\text{mm}$ でありひびわれ深度も浅いこと、載荷回数、ステップ荷重の増加に伴う経時変化はみられなかった。また、静的載荷を行っていないPCa版(B版)にはひびわれの発生はみられなかったことから、過積載車両の走行により初期のひびわれは生じるものの、ひびわれ深度は浅く鉄筋が制御していると考えられる。

荷重載荷を行っているRCループ継手部(B、C版間)をはさんむ両支点のRCループ継手部打継目上面にひびわれがみられた。ひびわれは、版端部の自由縁から発生しており、ひびわれ長さは $50\sim 60\text{cm}$ 程度でそれ以上の進展はみられなかった。ひびわれ幅の挙動はひびわれ幅方向とひびわれ方向の合成された挙動を示し、ねじりが生じていることがわかる。ただし、実橋においては張出し部を有していることから支点上のひびわれ発生はまれであると考えられる。

3.2 たわみ

図-11に変位計配置図、静的載荷における荷重たわみ関係を図-12~13、動的移動載荷における各ステップのたわみ経時変化と分布を図-14に示す。静的載荷における荷重除荷後の残留たわみは、PCa版中央で0.12mm、RCループ継手部で0.14mm生じていた。橋軸方向分布状態をみるとPCa版中央で橋軸直角方向のひびわれによる折れがみられた。経時変化については、ひびわれと同様に顕著な変化はみられなかった。

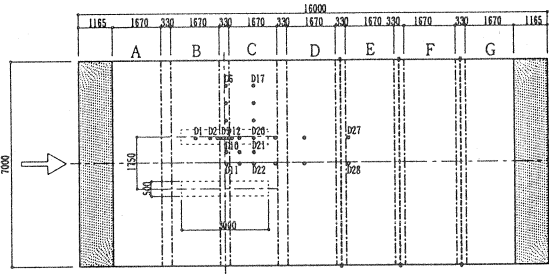


図-11 変位計配置図

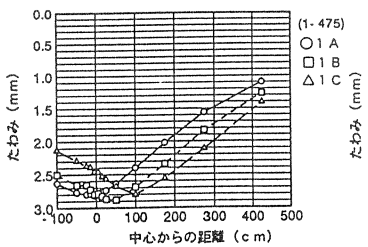


図-12 橋軸方向のたわみ

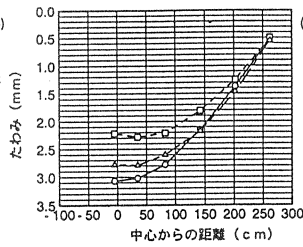


図-13 橋軸直角方向たわみ

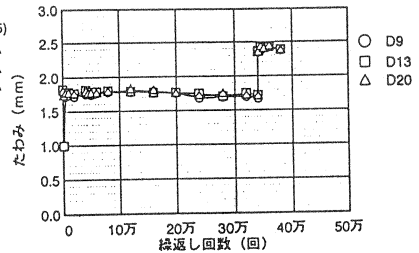


図-14 たわみの計時変化

3.3 ひずみ

図-15~16に静的載荷時のCASE-1(支間中央載荷)における荷重直下の鉄筋ひずみ分布図を、図-17に動的移動載荷時の橋軸方向下縁鉄筋ひずみの経時変化を示す。RCループ継手部、PCa版直下に発生したひびわれのため鉄筋ひずみが荷重47.5tf時に188 μ 、196 μ であった。RCループ継手部にもPCa版部と同程度のひびわれが発生していることがわかる。また、RCループ継手部とPCa版で大きな違いが見られないことからひびわれ発生後の橋軸方向応力分配性能に違いがないことを示す。打継目近傍載荷では、RCループ継手部とPCa版部にひびわれが発生しているためひずみの分配がおこったと考えられる。

図-18に荷重30tf時の断面ひずみ分布を示す。RCループ継手部は、橋軸、橋軸直角方向ともひびわれが発生していることがわかる。また、断面の有効高は引張鉄筋位置までは有効と考えられること、橋軸方向のRCループ継手部とPCa版部に違いはほとんどないことがわかる。経時変化についても変化は見られず一定の剛性を保有していると判断できる。

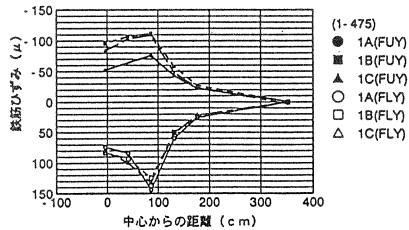


図-15 橋軸直角方向ひずみ分布図

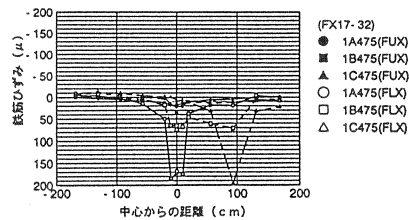


図-16 橋軸方向ひずみ分布図

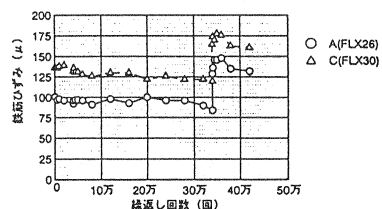


図-17 橋軸方向下縁鉄筋ひずみの経時変化

4. 設計曲げモーメント

床版設計を行う場合の設計曲げモーメントは、道示に準拠して行っており妥当性の確認が必要である。表-2に道示曲げモーメントに対し、ひずみ値より算出した値を示す。なお、ヤング係数比 $\eta = 5.66$ としたときの値であり、橋軸方向は引張側コンクリート断面无視している。したがって、橋軸方向算出曲げモーメントは、ヤング係数比有効断面の考え方についての検討が必要であることをふまえ参考値として示す。この結果をより判断すれば道示に示される設計曲げモーメントにより床版設計を行えば床版機能を損なうことはないと考えられる。

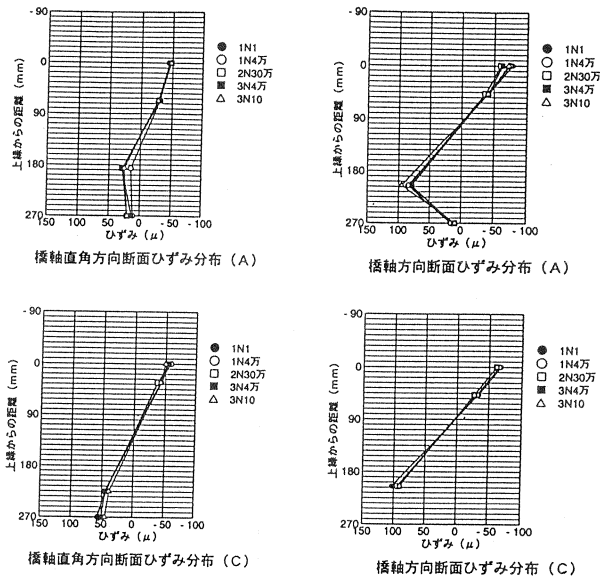


図-18 断面ひずみ分布図

表-2 曲げモーメント比較

5. おわりに

試験結果をまとめると以下のとおりである。

- ① R Cループ継手部、R C部材の橋軸方向には、設計車輛の併走お

よび過積載車輛の走行でひびわれが発生するものの、ひびわれ深さは浅く剛性低下の影響は顕著ではない。

- ② たわみ、ひずみとも経時変化は見られず、荷重分配性能に大きな変化はないと判断できる。

- ③ 床版設計曲げモーメントは道示レベルで算出されたもので設計可能である。

6mを越える支間の床版設計は、道示レベルで設計を行えば問題がないと考えられるが、長支間化にするにしがたい道示で考えられる車輛走行ケースの確率は小さいものとなる。今後、経済性と安全性のバランスを考えた設計を行う必要があると考えると今後の課題であろう。R Cループ継手構造は、橋軸方向の連続性確保は十分可能であり、P C a床版工事における橋軸方向連続化工法として有効であると判断する。

現在試験は、R Cループ継手部にプレストレスを導入したケースを実施中であり、現在終了したケースとの比較検討も行って行く予定である。機会があれば報告したいと思います。

参考文献

- 1) 土木学会；コンクリート標準示方書 平成3年度版
- 2) 前田幸雄・松井繁之；鉄筋コンクリート床版の押し抜きせん断耐力の評価式、土木学会論文、第348号/V-1, PP. 133~141、1984. 8
- 3) F・レオンハルト、E・メニッヒ（横道英雄 監訳）；鉄筋コンクリートの配筋（レオンハルトのコンクリート講座3）、鹿島出版会、PP. 63~70、1985. 4
- 4) コンクリートライブラリー79；コンクリート技術の現状と示方書改訂の動向、土木学会、PP. 134~137、1994. 7