

# 合理化少数主桁橋における ループ継手プレキャスト PC 床版の開発

Development of Precast PC-slab with Loop Joint  
on Rational Orthotropic Plate Girder Bridge

技術本部 相場 充\*<sup>1</sup>  
横浜製作所 秋山 洋\*<sup>2</sup> 高橋 徹\*<sup>3</sup>  
長谷川 和正\*<sup>4</sup>

東海大府高架橋では、主桁（けた）本数を従来の7本程度から3本へ少数化し、増加した床版スパンに対してはPC床版を用い、更に現地工事の合理化を図るため床版をプレキャスト化して上架し、床版継手には間詰コンクリート長さが短かく施工性の良いループ継手を採用した。このループ継手の成立性を検証するために強度試験を行った。要素引張試験では、ループ内コンクリートコア部で決定されるループ継手強度は鉄筋の降伏強度以上あることを明らかにするとともに、構造パラメータの影響度について考察を行った。また実機切出しモデルによる曲げ耐力試験及び疲労試験を行って、ループ継手は十分な強度及び耐久性を有していることを検証した。

The Toukai-Obu Highway Bridge is an I-beam girder bridge with three girders that reduce its cost compared to conventional I-beam girder bridge, which use several girders. A prestressed concrete (PC) slab is used against a long span between girders. To reduce the constructional cost, the precast slab uses a loop joint. We discuss the design and construction of the bridge and the strength tests on the loop joint. An elemental test of joints verified that the loop joint has sufficient strength because the concrete core is surrounded by the loop shaped R-bars. We also considered the effect of the structural parameters. A test of a real-scale model verified that the PC slab with loop joints has sufficient strength and durability.

## 1. はじめに

第二東名・名神高速道路で計画された鋼連続桁板（ばんげた）橋梁では、構造の簡略化を図り、コスト低減を目的としたループ継手プレキャスト PC 床版を用いた鋼少数主桁橋が採用された。

鋼橋の建設が急増し始めた昭和40年代前半ころは、主桁間隔が4 m程度で、床版厚18 cm程度の薄いRC床版が設計されたが、40年代後半になって予想を上回る大型交通量の増加に伴い、RC床版の陥没損傷が多く報告され、50年代に至っては鋼主桁と横補剛部材の交差箇所二次応力に起因した疲労損傷が発見されるようになった。この対策として床版スパンが3 m以下となるように主桁本数を多くし、床版厚も20 cm以上となるように厚くして鉄筋応力を下げる設計となっていった。こうして鋼桁橋は厚いRC床版と比較的に配置した鋼主桁の組合せが一般化した。しかし、最近になって省力化・コスト低減の要求が強まり、場所打ちRC床版と鋼多主桁の組合せでは対応が難しく、また今後の社会構造の変化も考慮して現場作業を極力減らす新しい構造が必要になってきた。そこで橋軸直角方向にプレストレスを導入したプレキャスト床版をあらかじめ工場で作成し、現場で橋軸方向にループ継手で連結を行う新しいタイプの床版を用いた鋼少数主桁橋を検討し、東海大府高架橋で採用した。

鋼少数主桁橋はヨーロッパを中心にすでに多くの実例があるが、我が国では場所打ちPC床版を用いた鋼少数主桁の採用はあるものの、ループ継手プレキャストPC床版を用いた鋼少数主桁橋の採用事例がなかった。

本報では、東海大府高架橋の特徴を述べるとともに、新規採用したループ継手プレキャストPC床版の継手構造の強度検証結果を中心に述べる。

## 2. 東海大府高架橋の特徴

### 2.1 設計

図1(a)、(b)に従来橋と東海大府高架橋で採用した少数主桁橋の構造を示す。その構造上の特徴は以下に示すように、主桁本数を削減するなど構造を合理化するとともに、ループ継手プレキャスト床版により現場施工の合理化を図ったことにある。

- ① 主桁本数を3本に減らすため、6 mに増大する床版支間に対してPC床版を採用。
- ② 横桁を10 m間隔とし、横構を省略したことから主桁の部材数の減少と加工・架設の省力化ができる。
- ③ 床版が厚く主桁も大型化することから、全体の剛性を落さずに鋼重や部材数の減少が可能で、加工量の少ない構造となりコストが削減できる。
- ④ プレキャストPC床版の採用で架設工期の短縮と省力化ができる。
- ⑤ PC床版の連結に従来の重ね継手に代る新型ループ継手の採用で、間詰幅を狭小化し、現地コンクリート施工の合理化が可能。
- ⑥ プレキャスト化により工場でのPC床版の集中的な品質管理ができ、信頼性の高い構造となる。
- ⑦ 工場でのプレストレス導入により床版自体の耐久性が向上でき、主桁も単純な構造を採用することで疲労に係る二次応力の発生箇所やそのレベルを小さくできる。

### 2.2 施工

鋼主桁についての施工上の特徴は、少数主桁となるためフランジが70 mm程度の厚板となることと、その継手は美観も考慮して現場溶接継手となることである。

\*1 横浜研究所鉄構研究室

\*2 鉄構技術部主務

\*3 鉄構品質保証課主務

\*4 鉄構技術部建設課

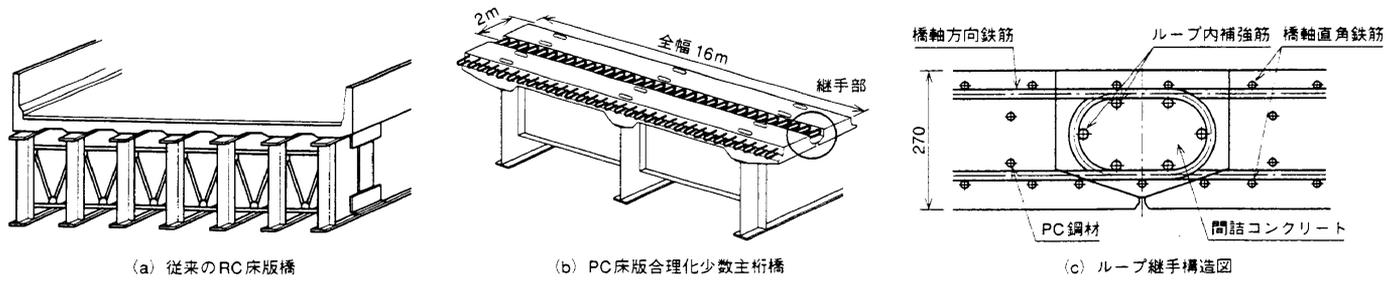


図1 東海大府高架橋 3主桁+ループ継手プレキャストPC床版を採用して構造を合理化した。  
Structure of Toukai-Obu Highway Bridge

フランジには TMCP 鋼板を使用した。溶接品質確保のため厚板 TMCP 鋼板の予熱管理、自動溶接施工法及び自動超音波探傷検査 (AUT) を適用・実施した。

自動溶接施工では、フランジの溶接には MAG 溶接ロボットを、ウェブの溶接には自動エレクトログラスアーク溶接を採用した。特にフランジの溶接では溶接によるひずみ (角変形、収縮) 及び残留応力を極力少なくするため、多層溶接ロボットが溶接可能な 25° の V 型狭開先を採用した。

また、主桁全断面溶接の検査方法として溶接部のモデル探傷実験を行い、検査方法と判定基準を確立して超音波自動探傷装置 (AUT) を採用した。

### 3. ループ継手の強度検証

東海大府高架橋では初めてループ継手を用いたプレキャスト PC 床版を採用することとした。そこで実設計に先立ってループ継手の成立性を検証するため、要素モデル及び梁モデルによる試験を実施した。その結果の概要を示す。

#### 3.1 継手の設計

ループ継手は、図 1 (c) に示したように鉄筋をループ状にして突出させ、互いに重ね合わせて間詰コンクリートを打設し接合する継手形式である。ループ継手は従来の鉄筋継手がコンクリートと鉄筋の付着力のみで接合するのに対し、ループ内のコンクリートコ

ア部の圧縮効果による接合強度が得られるために継手長さが短縮できる。そのためプレキャスト床版では、現地での間詰コンクリート量が低減でき、打設に要する時間を短縮できるため、コンクリート施工の合理化が可能となる。

ループ継手の設計法には DIN<sup>(1)</sup>の規定及びレオンハルトの提案した評価式<sup>(2)</sup>がある。DIN では従来の重ね継手の長さに対して 0.5 倍の長さとなる。

またレオンハルトはループ内コンクリートの腹圧力と呼ばれる、コンクリートへの圧縮力で評価する手法を提案している。腹圧力  $P_u$  は式 (1) で表される。

$$P_u = \frac{2Z}{d_b \phi} \quad (1)$$

ここで、

$Z$ : 鉄筋 1 本に作用する引張力

$d_b$ : ループ直径

$\phi$ : 鉄筋径

レオンハルトはこの腹圧力がコンクリートの圧縮強度を下回ることを条件としている。ただしコンクリートのひび割れ防止の観点から、重ね長さ  $L$  に対して以下の制限式 (2) を加えている。

$$L \geq 1.5 d_b \quad (2)$$

#### 3.2 要素試験

ループ継手の強度を検証し、基本的な強度特性を把握するため要素試験を行った。

##### (1) 試験方法

図 2 に試験体形状を示す。試験はループ継手単体での強度を確認するため、継手部のみの要素試験として、2 組の継手を有する試験体を用いて、単調引張による強度試験を行った。

試験体は形状を変えて各要素の影響度も比較するようにした。表 1 に試験体の種類を示す。ここで標準形は、重ね長さとループ径の比  $L/d_b = 1.5$  とした、DIN 及びレオンハルトの式により得られる形状とした。

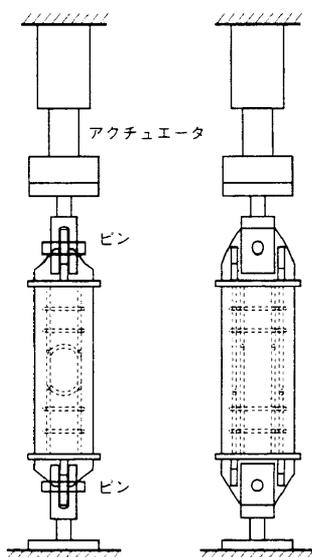


図2 要素試験体 引張荷重によるループ継手要素試験体の形状を示す。  
Shape of elemental test piece

表1 要素試験ケースと試験結果  
Elemental test cases and results

試験体 No.	試験体の種類	鉄筋呼び径	ループ径 (mm)	重ね長さ (mm)	コンクリート圧縮強度 (kgf/cm <sup>2</sup> )	鉄筋降伏応力 (kgf/cm <sup>2</sup> )	鉄筋降伏荷重 (tf)	試験結果最大荷重 (tf)
1	ループ内補強筋 なし	D13	110	170	326	3430	17.4	22.6*
2	標準形	D13	110	170	326	3430	17.4	23.1*
3	鉄筋径 大	D16	110	170	326	3520	28.0	24.1
4	ループ径 小	D13	80	140	326	3430	17.4	17.0
5	重ね長さ 小	D13	110	140	516	3430	17.4	21.0
6	重ね長さ 大	D13	110	200	516	3430	17.4	24.4*

\*試験機ストローク限界に達したため中断。

(2) 試験結果

試験結果の荷重と変位の関係について図3に示す。

なお、No.1, 2, 6については試験機ストロークの限界に達したため途中で中断している。表1に各試験結果の最大荷重を示す。試験体の鉄筋及びコンクリートの材料試験結果と、それによる鉄筋4本分の降伏強度も表1に合せて示す。

ここから、標準形であるNo.2は鉄筋の降伏強度以上の十分な強度を有していることが分かる。

(3) 影響因子の考察

各形状による違いを見ると、No.3, 4, 5では最大荷重に達した後、耐力を失い荷重が低下している。各試験体のクラック状況を図4に示すが、これらのケースではループ筋に沿ったクラックが生じており、ループ内コンクリートコア部が破壊していると考えられる。

No.3では耐力は標準よりも高い。これは鉄筋が太くなり、鉄筋が降伏するよりも先にコンクリートコアが破壊したと考えられる。また、No.4, 5では標準形よりも耐力が低く、コンクリートコアの強度が不足していたと考えられる。

これらコンクリートコア部で破壊した試験体について、耐力から求めた式(1)のレオンハルトの腹圧力とコンクリートの圧縮強度の比と、重ね長さとループ径の比  $L/d_b$  との関係は図5のようになり、相関関係がある。すなわち、重ね長さがループ径に対して小さいと、コアの強度が低下するが、重ね長さを長くすると、コアの強度が増すと考えられる。 $L/d_b=1.5$ ではコンクリート圧縮強度に対し2倍の強度となり、実用上はこの程度

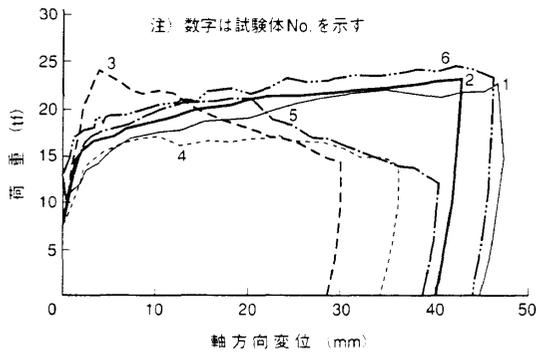


図3 要素試験結果 要素試験の各試験体の荷重と変位の関係を示す。  
Elemental test result

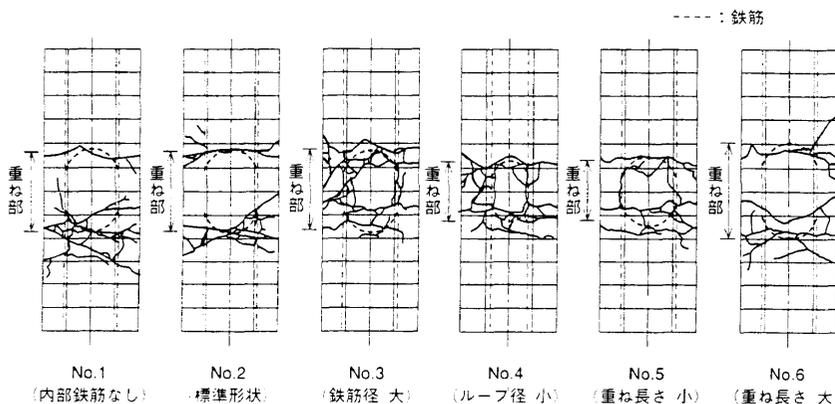


図4 要素試験クラック形状 試験終了時のクラック形状を示す。No.3, 4, 5ではループコア部が破壊しているのが分かる。  
Crack shape after elemental test

で十分であると思われ、レオンハルトの式(2)と一致する。

また、表1に示したループ内補強筋のないNo.1と補強筋を有するNo.2の最大荷重では差がほとんど見られないが、図3に示した荷重と変位の関係でNo.1は荷重の初期段階で剛性の低下が見られることや、床版として一体化した際の荷重分配効果などを考慮すると、ループ内補強筋は廃止できないと考えられる。

3.3 検証試験

次に、より実際に近い状態での強度及び耐久性を確認するため、実機を切出した梁モデルによる試験を行った。

(1) 試験方法

試験体は実機の一部を橋軸方向に切出した形状をしており、幅方向にループ継手4本分である。この継手部に曲げモーメントを載荷し、耐力試験及び疲労試験を実施した。疲労試験では、引張側鉄筋の設計応力が  $1400 \text{ kgf/cm}^2$  になるモーメント荷重を200万回繰返した後、静的に耐力試験を実施した。なお、試験体のループ継手は、実際の施工における配筋の施工性を考慮して、U字型に加工した鉄筋を差込む形式とした。また、比較のため継手を有しない一体型の試験も実施した。

(2) 試験結果

試験結果の荷重と変位の関係を図6に、最終クラック形状を図7に示す。表2に各試験体のコンクリート及び鉄筋の材料試

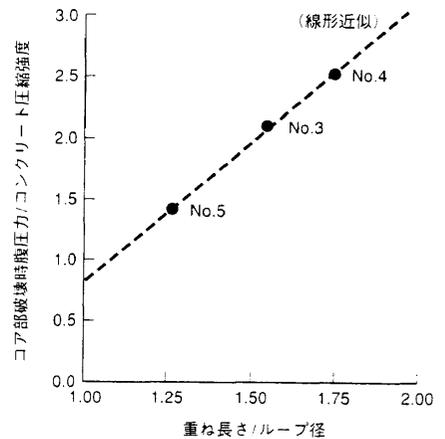


図5 破壊時腹圧力とループ継手長/ループ径の関係 継手長が長いほどコンクリートコアの強度は増大している。  
Relation between concrete core strength and shape of loop joint

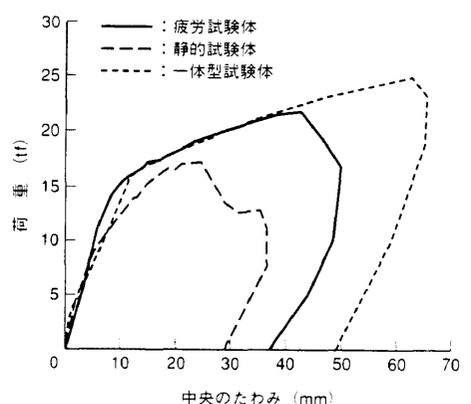


図6 検証試験結果 静的荷重試験結果のモーメント荷重と中央部変位の関係を示す。  
Result of proving test

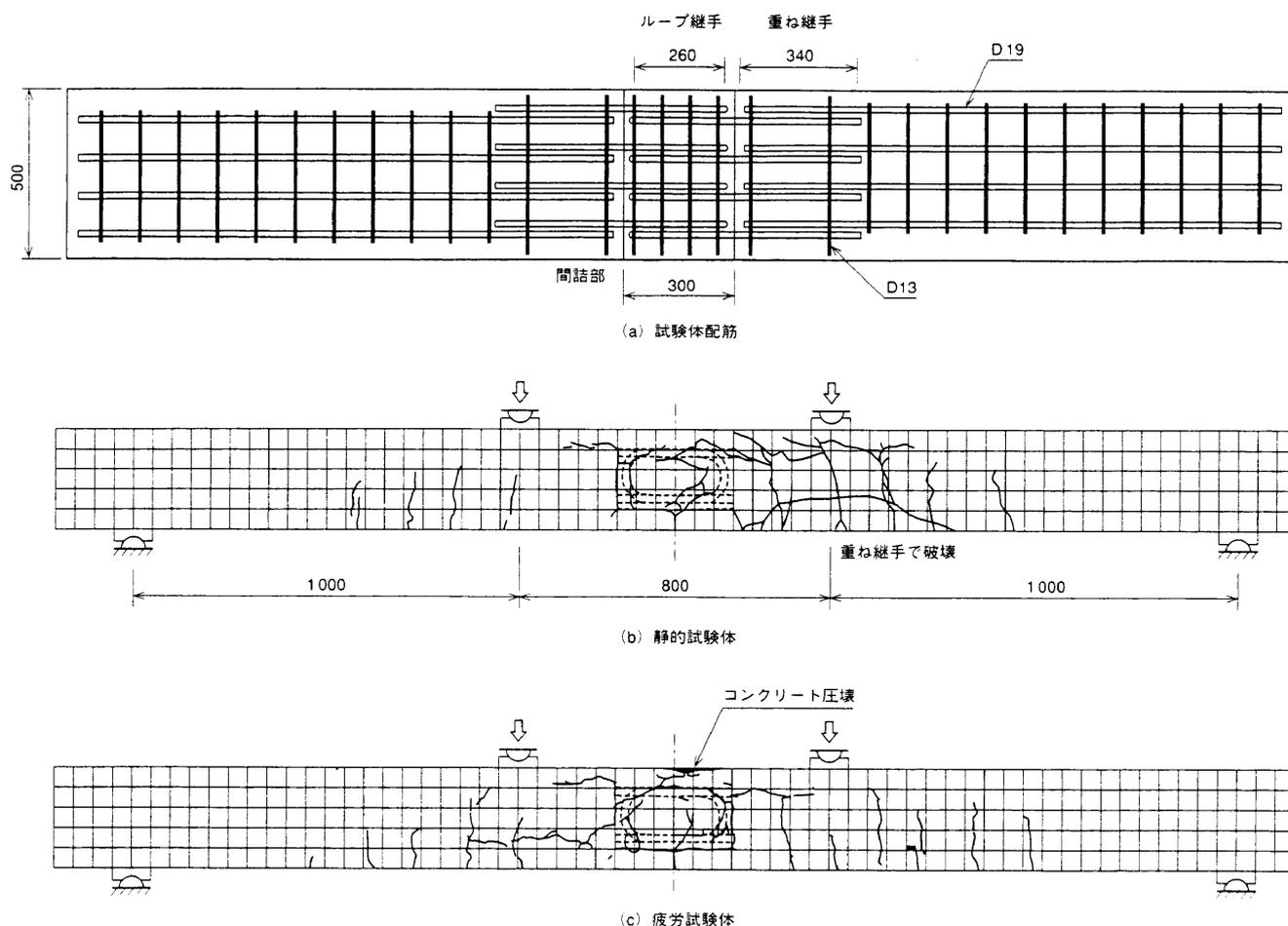


図7 検証試験クラック形状 検証試験後のクラック形状を示す。  
Crack shape after proving test

表2 検証試験結果  
Proving test results

試験体の種類	コンクリート圧縮強度 (kgf/cm <sup>2</sup> )		鉄筋降伏応力 (kgf/cm <sup>2</sup> )	設計耐力 (tf)	試験結果最大荷重 (tf)
	床版部	間詰部			
静的載荷試験体	496	406	3 680	16.7	17.2
疲労試験体	620	450	3 680	17.4	21.6
一体型静的試験体	620		3 680	17.4	24.9

験結果と、鉄筋降伏荷重の計算値及び試験結果の最大荷重を示す。静的試験では、設計耐力を超えると床版相当部分とループ筋の重ね継手部で破壊し、急激に耐力が低下した。一方、設計荷重 200 万回繰返し後の静的試験では、耐力は間詰コンクリート上部の圧壊で決まり、静的試験よりも向上した。ただし、静的試験は、コンクリートの材齢が少なく強度が十分に発現していない段階で行ったため、鉄筋とコンクリートの付着力が不足していたと考えられ、十分な材齢があれば疲労試験体と同等以上の強度があったものと考えられる。

(3) 考察

静的試験の結果では、設計耐力を上回る耐力を得ることができた。また、ループ継手ではなく重ね継手で破壊したことから、

ループ継手は従来の重ね継手よりも高い強度を有していることが確認できた。疲労試験でも耐力の低下は見られなかったことから、ループ継手は基本的に十分な強度及び耐久性を有していることが検証できた。

4. おわりに

東海大府高架橋で少数主桁合理化橋梁を成立させるため採用したループ継手を有するプレキャスト PC 床版について、ループ継手の成立性を検証するため試験を行った。その結果、ループ内コア部で決定されるループ継手の強度は、鉄筋の降伏強度以上であることが確認できた。また、ループ継手の構造パラメータの影響度について考察を行い、ループ継手強度は作用腹圧力と、重ね長さとループ径の比が関係し、重ね長さをループ径の 1.5 倍以上とれば良いことを確認した。実機切出しモデルによる耐荷力試験及び疲労試験を行い、十分な強度及び耐久性を有していることを検証した。

参考文献

- (1) DIN 1045, Structural use of concrete, 1978, p.53
- (2) F・レオンハルトほか, レオンハルトのコンクリート講座③ 鉄筋コンクリートの配筋, 鹿島出版会(1985) p.43