

## (17) プレキャストスラブ橋桁の連結部構造に関する実験的研究

㈱エンル・住友・昭和JV                      ○伊藤 綾子  
 日本道路公団                                      池田 隆成  
 ㈱エンル・住友・昭和JV                      正会員 藤原 保久  
 ㈱エンル・住友・昭和JV                      正会員 阿部 裕

### 1. はじめに

北関東自動車道六美高架橋では、プレキャストスラブ橋桁を単純桁として架設し、中間支点上で場所打ちコンクリートを用いて主桁を連結する連結方式が採用されている。従来の連結部は桁の上縁側及び下縁側に連結主鉄筋を配置するのに対し、本橋では、施工の合理化・省力化を目的として上縁側の連結部主鉄筋のみによる床版連結構造としている。

本橋では、このような連結部構造の耐久性や耐荷力を確認することを目的として、重ね継手タイプ及びループ継手タイプについて、連結部の部分模型による載荷実験を行い、その適用性を検討した。さらに、連結部ループ継手構造をモデル化したFEM解析を行い、実験値との整合性を確認し、ループ継手構造における橋軸直角方向の必要鉄筋量を決定した。本稿では、これら実験の概要、FEM解析による照査、それらに基づいた連結部の設計概要について報告する。

### 2. 橋梁概要

本橋は、多径間連結構造を主とした橋長約2,700mのPRCプレテンション中空床版桁で、有効幅員が9.875mの上下線分離構造である。下部構造は杭基礎で、橋脚高さは5～10mである。

橋梁諸元を表-1に、橋梁一般図を図-1に示す。

表-1 橋梁諸元

工事名	六美高架橋 (PC上部工) 工事
所在地	栃木県下都賀郡壬生町
設計速度	100 km/h
橋長	2743.5 m
有効幅員	9.875 m
平面線形	R=3,500 m
横断勾配	0.0~1.163%
縦断勾配	2.00%

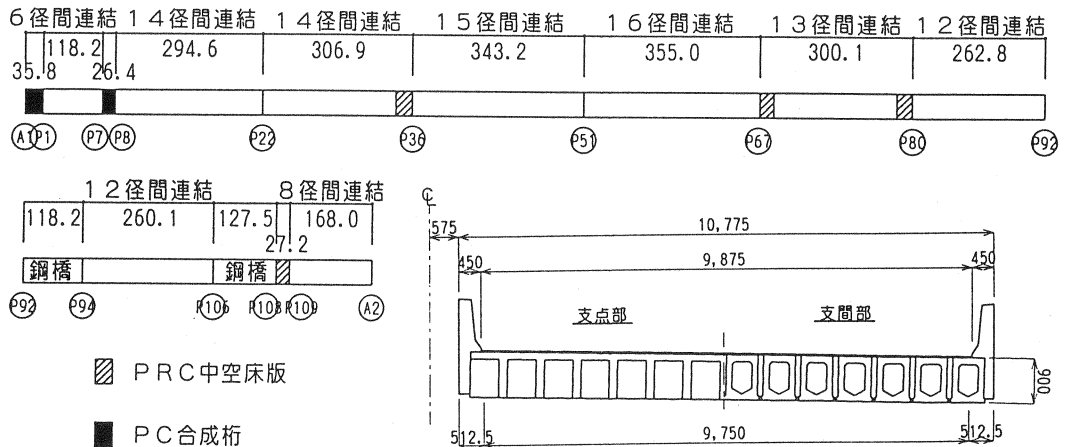


図-1 全体一般図

3. 連結部の実験

3-1. 供試体

連結部の挙動をより正確に把握するため、供試体の断面形状は主桁1本分の実物大とし、橋軸方向は曲げモーメントの交番点付近までを取り出した部分模型とした。供試体の諸元を表-2に、概要図を図-2に示す。

表-2 供試体の諸元

項目	継手種類	重ね継手タイプ	ループ継手タイプ
断面寸法 (mm)		750mm×900mm, L=7200mm	
連結部主鉄筋		D32-6本 (SD345)	D29-5本 (SD345)
連結部の 作用曲げ モーメント及び 鉄筋応力度	死荷重時	M=8.9 tf・m $\sigma_s=258$ kgf/cm <sup>2</sup>	M=8.9 tf・m $\sigma_s=264$ kgf/cm <sup>2</sup>
	設計荷重時	M=44.1 tf・m $\sigma_s=1276$ kgf/cm <sup>2</sup>	M=44.1 tf・m $\sigma_s=1309$ kgf/cm <sup>2</sup>
	終局荷重時	M=104.5 tf・m $\sigma_s=3023$ kgf/cm <sup>2</sup>	M=104.5 tf・m $\sigma_s=3102$ kgf/cm <sup>2</sup>
	終局耐力	M=132.0 tf・m $\sigma_s=3500$ kgf/cm <sup>2</sup>	M=165.2 tf・m $\sigma_s=3500$ kgf/cm <sup>2</sup>

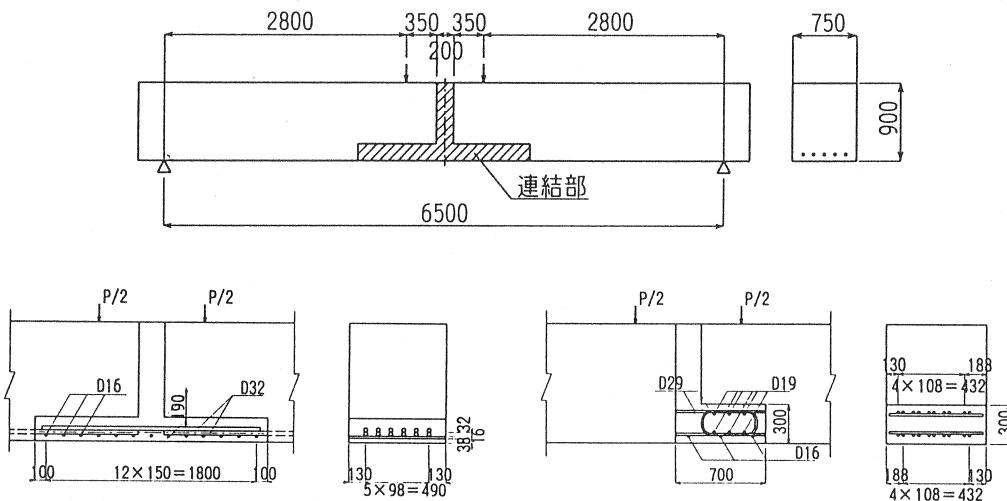


図-2 供試体概要図

3-2. 疲労試験

連結部の設計断面力においては、変動荷重の占める割合が大きく、繰り返し回数が多いため、疲労に対する安全性を確認する必要がある。本実験では、死荷重時の曲げモーメントを下限値、設計荷重時の曲げモーメントを上限值として200万回の繰り返し载荷を行った。载荷は50t型のアクチュエーターを用いて行い、加振速度は2HZとした。

図-3に重ね継手タイプ、図-4にループ継手タイプの荷重-変位の履歴曲線を示す。両タイプとも载荷回数が増加するに従って、鉛直変位量、鉄筋ひずみとも増加するがその割合は徐々に小さくなる。200万回载荷終了時においても、鉄筋ひずみは降伏ひずみの1/3~1/5程度であり、曲げ剛性もほとんど低下していない。引張縁のコンクリートには初期载荷時より0.1~0.2mm程度のひび割れが発生しているものの、その後ほとんど進展していない。

以上の実験結果より、両タイプとも連結部構造として十分な耐久性を有していると判断される。

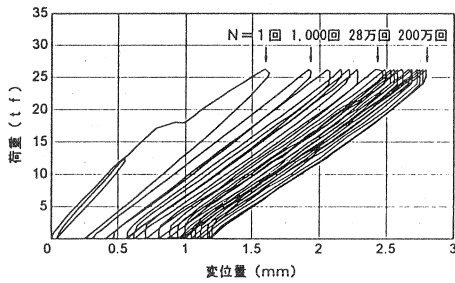


図-3 重ね継手タイプ 荷重-変位の関係

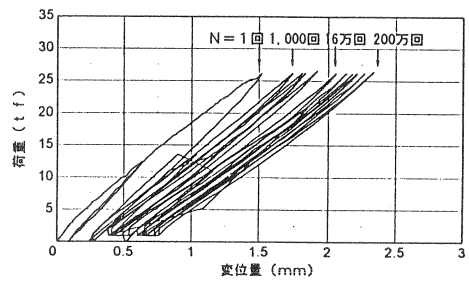


図-4 ループ継手タイプ 荷重-変位の関係

3-3. 曲げ耐力試験

曲げ耐力試験では、疲労試験終了後の供試体を使用して部材の破壊まで载荷し終局耐力を確認した。载荷は、200t型の油圧ジャッキを用いて静的に行った。

図-5に重ね継手タイプの荷重-変位の関係とひび割れ図を示す。部材の終局耐力は、計算値に対して1.3倍程度の値を示しており、終局荷重に対する安全率は $\alpha=1.5$ 程度確保されている。破壊時の圧縮側コンクリートひずみは、 $3000\mu$ 程度生じているものの圧壊には至らず、連結部には、水平方向のひび割れが発生している。これらより、最終的な破壊形態は連結部主鉄筋の付着割裂破壊に近い形態と考えられる。

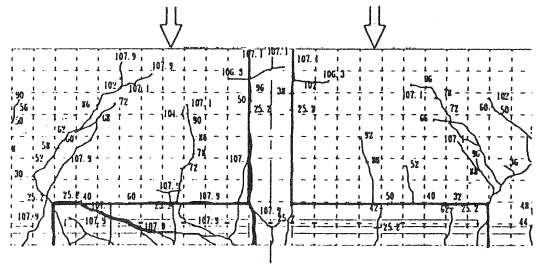
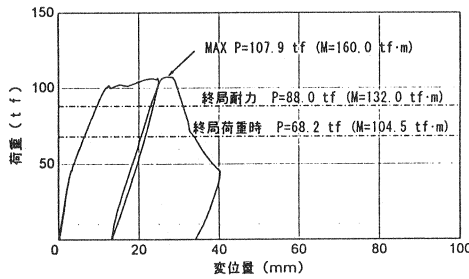


図-5 重ね継手タイプの荷重-変位の関係とひび割れ図

図-6にループ継手タイプの荷重-変位の関係とひび割れ図を示す。部材の終局耐力は計算値に対して1.1倍程度の値を示しており、終局荷重時に対する安全率は $\alpha=1.8$ 倍確保されている。破壊時には、圧縮側コンクリートが圧壊しており、また部材降伏後の変形量も大きいことから十分なじん性を有していると判断される。

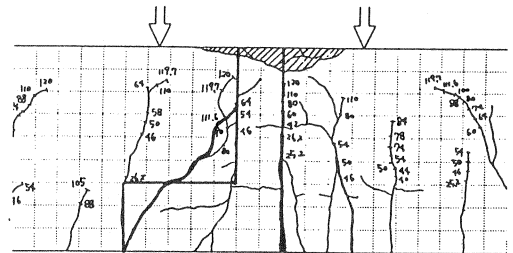
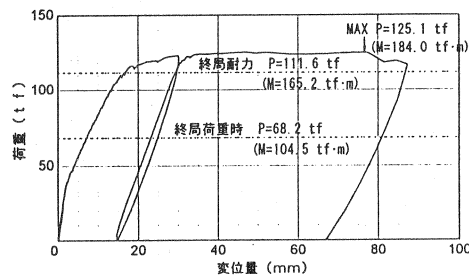


図-6 ループ継手タイプの荷重-変位の関係とひび割れ図

図-7に、荷重とループ継手内部のコンクリートひずみの関係を示す。荷重の増加に伴って引張ひずみが増加するが、ある荷重を越えると圧縮側にひずみが増加し始め、終局時には、 $1200\mu$ 程度の圧縮ひずみが生じている。これは初期段階では、部材が弾性体として荷重に抵抗するが、ひび割れの進展に伴って引張側の抵抗部材は鉄筋のみとなり、連結鉄筋の力の伝達は、ループ内のコンクリートを介して行われるためと考えられる。従って、ループ継手の方が重ね継手より連結鉄筋の継手長を低減できることを示している。

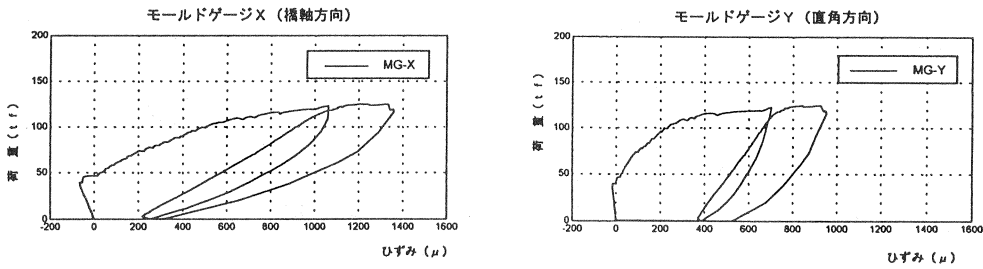


図-7 ループ継手内部の荷重-コンクリートひずみの関係

3-4. 実験のまとめ

- ① 200万回の疲労試験の結果、重ね継手タイプ、ループ継手タイプとも十分な疲労強度を有していることが確認できた。
- ② 曲げ耐力試験の結果、重ね継手タイプ、ループ継手タイプとも終局荷重に対して十分な安全性を有していることが確認できた。
- ③ ループ継手タイプでは、鉄筋の応力伝達がループ内部のコンクリートを介して行われるため、重ね継手タイプに比べ継手長を短くすることができる。

以上の結果より、本橋の連結部構造は、原則として場所打ち部分をより小さくできるループ継手タイプとした。

4. 連結部のFEM解析

ループ継手タイプの実験供試体においては、過去の事例により、ループ内部直角方向にD19×6本を配置したが、終局荷重レベルでは、直角方向のコンクリートひずみはほとんど発生していない。これは、通常の床版に使用されるループ継手部では、荷重によって直角方向の曲げモーメントが作用し、これに抵抗する直角方向鉄筋が配置されるのに対して、本橋のような構造では、直角方向曲げモーメントが作用しないためである。よって、ここではループ継手部の応力状態を解明し、直角方向の補強方法を決定するため、FEM解析を行った。

4-1. 解析のモデル化

ループ継手構造においては、終局耐力時の引張力Zがループ鉄筋に作用するとループの内側に腹圧力Puが作用することにより、ループ面に対し直角方向の割裂力を生じると考えられる。(図-8)

従って、解析モデルはループ鉄筋に囲まれたコンクリート部分をモデル化し、ループ鉄筋に作用する引張力2Zを圧縮力として、5ヶ所のループ継手配置位置に載荷した。解析条件を表-3に、解析モデルを図-9に示す。

表-3 解析条件

設計基準強度	$\sigma_{ck} = 35.0 \text{ kgf/cm}^2$
ヤング係数	$E_c = 2.95 \times 10^5$
ポアソン比	$\mu = 0.177$ (実測値)
厚み	$T = 20 \text{ cm}$
終局耐力時の鉄筋引張力	
$Z = \sigma_{pu} \times A = 35 \text{ kgf/mm}^2 \times 642.4 \text{ mm}^2$ $= 22,484 \text{ kgf}$	

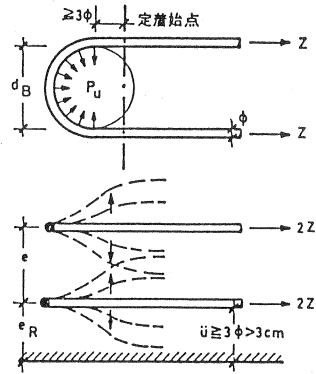


図-8 ループ定着

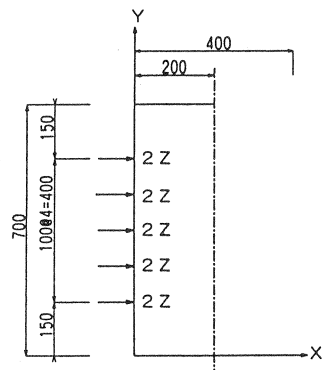


図-9 解析モデル

4-2. 解析結果

ループ継手構造のFEM解析の結果、直角方向に引張応力の最大値(-20kgf/cm<sup>2</sup>)が生じるのは、5ヶ所の荷重位置のうち外側のみで、他は-10kgf/cm<sup>2</sup>程度であった。図-10に応力分布図(σ<sub>y</sub>)を示す。引張応力が生じている位置に直角方向鉄筋を配置することとした。

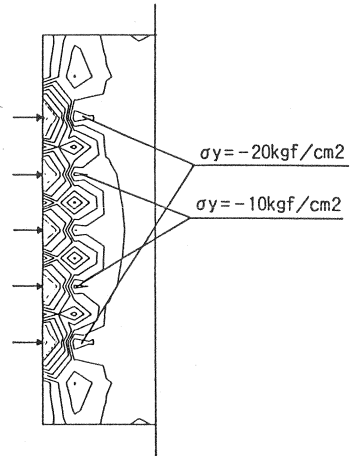


図-10 応力分布図(σ<sub>y</sub>)

4-3. 解析値と実験値の比較

実験で測定したループ内部のコンクリートひずみとFEM解析によるコンクリートひずみについて比較した。

実験値は、FEM解析と条件を合わせるため、終局耐力時(鉄筋応力度σ<sub>s</sub> = 35kgf/mm<sup>2</sup>)のコンクリートひずみ量を選定し、解析値は、モールドゲージ配置位置近傍の値を選定した。

表-4 コンクリートひずみ比較表

		単位	解析値(MAX)	測定値
応力	σ <sub>x</sub>	kgf/cm <sup>2</sup>	202	215
ヤング係数	E <sub>c</sub>	//	2.950E+05	3.070E+05
橋軸方向ひずみ	ε <sub>x</sub>	μ	685	700

橋軸方向ひずみは、解析値と測定値を比較するとほぼ一致していた。

4-4. 必要鉄筋量

FEM解析による橋軸直角方向の引張応力は、外側の荷重位置で最大値(-20kgf/cm<sup>2</sup>)が出ている。この最大値より、直角方向に作用する割裂力を算出し必要鉄筋量を決定した。

・横方向必要鉄筋量(ループ1ヶ所当たり)

$$A_{s req} = \sigma_{y max} \times A / \sigma_{sa}$$

$$= 20 \times 200 / 1800$$

$$= 2.222 \text{ cm}^2 < 1.986 \times 2 = 3.972$$

A : 分割要素の断面積  
σ<sub>sa</sub> : 鉄筋の許容引張応力度

以上より、直角方向にD16×2本配置することとした。

5. 連結部の設計

連結部はRC構造として設計し、設計荷重作用時には鉄筋応力度、ひび割れ幅を照査し、終局荷重作用時には曲げ耐力を照査した。連結部の設計断面力として、曲げモーメントは、後死荷重、活荷重及びクリープによる断面力を考慮した。軸力は、多径間連結桁として計画されているため、主桁の乾燥収縮、温度変化による軸方向変位が下部工によって拘束されることで作用する軸方向引張力を考慮した。

施工順序は、連結部の設計断面力を軽減させるため高欄を先行施工させている。

<六美高架橋の施工順序>

- ①プレテンション中空床版桁を架設する。
- ②横組・間詰め部を施工する。
- ③高欄を施工する。
- ④連結部を施工する。
- ⑤連結部の高欄及び舗装を施工する。

<従来の施工順序>

- ①プレテンション中空床版桁を架設する。
- ②横組・間詰め部を施工する。
- ③連結部を施工する。
- ④高欄及び舗装を施工する。

これらを考慮した断面力で連結部の設計を行うと連結部配筋タイプは表-5に分類される。タイプ別の応力一覧表を表-6に、配筋図を図-11に示す。

表-5 連結部配筋タイプ

	曲げモーメント	軸力	配置鉄筋(1ヶ所当たり)		構造
	M(tf・m)	N(tf)	主桁	間詰め部	支間長L
TYPE 1	$0 \leq M < 30$	$20 \leq N$	D22-5	--	$L < 15$
TYPE 2	$30 \leq M < 45$	$30 \leq N$	D29-5	--	$20.1 \leq L \leq 21.5$
TYPE 3	$45 \leq M$	$30 \leq N$	D29-5	D29-1	$21.5 \leq L \leq 22.1$

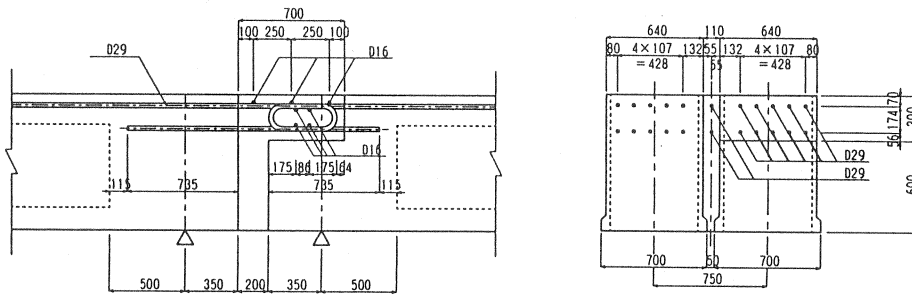


図-11 連結部配筋図

表-6 連結部応力一覧表

設計 荷重 作用時	鉄筋配置		D22-5本	D29-5本	D29-6本	
	断面力	M	tf・m	28.3	42.3	47.3
	N	tf	-2.0	-16.6	-26.3	
コンクリート応力度	$\sigma_c$	kgf/cm <sup>2</sup>	42.5	52.4	53.7	
鉄筋応力度	$\sigma_s$	kgf/cm <sup>2</sup>	1354.2	1393.3	1370.9	
曲げひびわれ幅	w	cm	0.01906	0.01835	0.01806	
許容ひびわれ幅	w <sub>a</sub>	cm	0.02065	0.01943	0.01943	
終局 荷重 作用時	作用時曲げモーメント	M <sub>D</sub>	tf・m	63.5	100.3	106.1
	破壊抵抗曲げモーメント	M <sub>u</sub>	tf・m	95.7	149.6	175.0
	曲げ破壊安全度	S <sub>D</sub>		1.507	1.492	1.649

6. おわりに

プレテン中空床版桁の連結部実験より、上縁側の連結部主鉄筋のみによる連結構造でも、重ね継手、ループ継手ともに十分な強度を有していることが確認できた。特にループ継手は、場所打ち部分の切欠き寸法を小さくできることから施工性も良く、十分なじん性を有していることから連結部構造に適すると判断された。

今後、プレテン連結桁における連結構造の設計に当たりこの報告が役立てば幸いである。

7. 参考文献

- 1) (財) 高速道路技術センター：北関東自動車道 構造物に関する技術検討(その3) 1997.3
- 2) 土木学会：コンクリート標準示方書[設計編] 平成8年版
- 3) 鹿島出版：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
- 4) 伊藤、布施、池田：プレキャストスラブ橋桁の連結部構造に関する実験的研究  
土木学会第53回年次学術講演会論文集 1998.10