

PC 鋼より線を用いたインターロッキング式橋脚の実橋脚への適用に向けた実験的検討

Experimental Investigation for the Application of Interlocking Pier with Prestressing-steel Strand to the Actual Bridge Leg

奈良 正*
NARA Tadashi

* 前 (財) 沿岸技術研究センター 調査部 主任研究員

Interlocking pier has lateral ties with a circular hoop reinforcing bars or circular spiral bars that are partially overlaid. This type of ties has high concrete restraint effect and has excellent deformation performance without arranging intermediate hoop reinforcing bars. Last year, for the purpose of the further rationalization of construction and the extension of the application for interlocking pier, the experiment for interlocking pier with prestressing-steel strand was carried out. This experiment showed the possibility of application of PC steel strand wire to a bridge leg.

This paper reports the experimental results carried out by elemental structural testing for obtaining the necessary data in designing the interlocking pier with prestressing-steel strand.

Key Words : prestressing-steel strand, interlocking pier

1. はじめに

インターロッキング式橋脚とは、橋脚の横拘束筋として、円形帯鉄筋あるいは円形スパイル筋を部分的に重ね合わせたものである。在来式配筋橋脚のように中間帯鉄筋を配さずに高いコンクリート拘束効果が期待できることから、従来配筋タイプと比べて大幅に帯鉄筋量を低減することができる¹⁾。

平成 15 年度、国土交通省関東地方整備局横浜港湾空港技術調査事務所発注による「平成 15 年度 東京国際空港インターロッキング橋脚耐震性検討調査」において、インターロッキング式橋脚の適用範囲を拡大し、さらなる施工の合理化を目的として、円形帯鉄筋の代わりに PC 鋼より線を用いたインターロッキング式橋脚が可能であるかを検証するための実験（以下、パイロット実験）を実施している。

その結果、所要の性能が得られ、PC 鋼より線の適用可能性が確認できた²⁾。

平成 16 年度は、前年度の検討結果を踏まえ、実橋脚に適用するために、東京港臨海大橋（仮称）のアプローチ部橋梁を例に、PC 鋼より線を用いたインターロッキング式橋脚を設計することを想定して、必要なデータを得るための要素構造実験を行った。

本稿は、上記実験を基に、PC 鋼より線を用いたインターロッキング式橋脚の実用化に向けた検討について報告するものである。

2. 要素構造実験概要

2.1 試験体概要

本実験においては、パイロット実験の成果を生かし、

PC 鋼より線をインターロッキング式橋脚へ適用するために、設計上必要な基礎データを得るための実験を計画した。実験の目的は以下の 2 つである。

- 1) 変形性能およびエネルギー吸収能の観点から、等価帯筋体積比（帯筋径、間隔、降伏耐力）をパラメータとした円柱試験体の実験を行い、PC 鋼より線の適切な横補強量を調べる。
 - 2) せん断耐力の観点から、PC 鋼より線によるインターロッキング試験体の実験を行い、隣り合う帯鉄筋のせん断伝達により、所要のせん断耐力を有するかを調べる。
- 表-1 に試験体の諸元を、図-1 に実験目的 1) の、図-2 に実験目的 2) の試験体形状を示す。

試験体 No. 1 は、横拘束筋に鉄筋を用いた在来インターロッキング式橋脚タイプの試験体であり、塑性率 $\mu=6$ が得られる帯体積比（ $\rho_s=0.3\%$ ）を有する試験体とした。

試験体 No. 2, 3, 4 は、横拘束筋に PC 鋼より線を用いた試験体で、帯筋間隔を 125mm と固定し、等価帯筋体積比を 0.15%, 0.30%, 0.45% に変化させ、横拘束筋の巻き付け間隔を一定とした場合の等価帯筋体積比の影響を見る試験体とした。

試験体 No. 5, 6 は、横拘束筋に PC 鋼より線を用いた試験体で、帯筋間隔を 60cm 程度に固定し、等価帯筋体積比を 0.15%, 0.30% とした試験体とした。この試験体は、上記試験体 No. 2, 3 に対し、帯筋間隔の影響を見る試験体とした。

試験体 No. 7 は、横拘束筋に PC 鋼より線を用いた試験体で、インターロッキング配筋のせん断伝達性能を評価するために、2 連のインターロッキング式配筋とした。等価帯筋体積比は 0.2% 程度とし、せん断破壊型になるように帯筋間隔を設定した。

表-1 試験体の諸元

実験目的	No.	断面形状	直径 ϕ (mm)	高さ h (mm)	軸方向鉄筋		横拘束鉄筋	
					径 規格 本数	鉄筋比 (%)	規格	等価体積比
1)	1	円形	800	2700	D22 SD345 24本	1.85	径@ピッチ SD295A D10@125	0.304
	2						3.5mm×1 ϕ 3.5@125	0.157
	3						2.9mm×2 ϕ 5.8@125	0.300
	4						2.9mm×3 ϕ 6.25@125	0.433
	5						2.3mm×1 ϕ 2.3@65	0.146
	6						3.5mm×1 ϕ 3.5@65	0.302
2)	7	小判型	幅:800 せい:1350	2700	D22 SD345 46本	1.89	2.9mm×2 ϕ 2.9@150	0.250

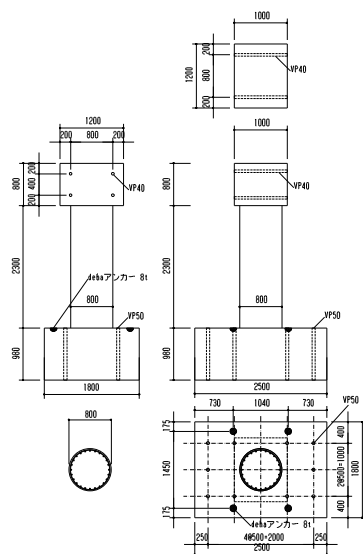


図-1 実験目的1)の試験体形状 (No. 1～No. 6)

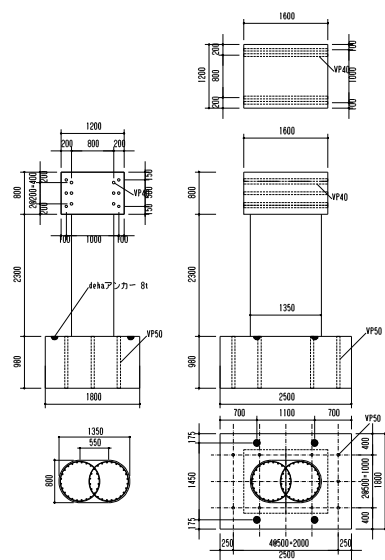


図-2 実験目的2)の試験体形状 (No. 7)

試験体寸法は、試験機の性能 (1500kN) および入手可能な鋼材と等価帯筋体積比の組み合わせを考慮して決定した。

なお、等価帯筋体積比とは、後述の式(1)に示すように

PC 鋼より線の帯鉄筋体積比 ($\rho_s^{R_s}$) を、円形帯鉄筋と PC 鋼より線の降伏強度比 (f_{wy}^{PC}/f_{wy}^S) で換算した値である。

また、No. 7 試験体は、短辺長を No. 1～No. 6 試験体と同一 (800mm) として、長辺長は図-3 に示すように、隣り合う帯鉄筋間隔が帯鉄筋フープ径の 0.75 倍程度となるように決定した。

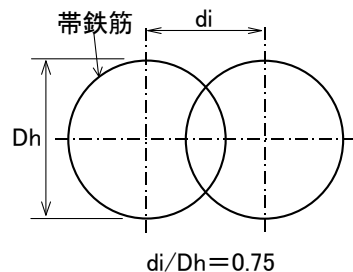


図-3 隣り合う帯鉄筋間隔

2.2 荷重装置および荷重方法

荷重装置は、図-4 に示すように、カンチレバー式の正負交番荷重とし、PC 鋼棒によってフーチング部を反力床に固定し、試験体加力スタブに 1500kN 級アクチュエータを架装した。

また、軸力は本実験対象橋脚の上部工荷重 (死荷重+活荷重) と橋脚自重によって実橋脚基部断面に生ずると考えられる軸圧縮応力度を想定し、柱基部の圧縮応力度が 0.5N/mm^2 で一定になるように、PC 鋼棒を介して、油圧ジャッキにより試験体頂部に作用させた。

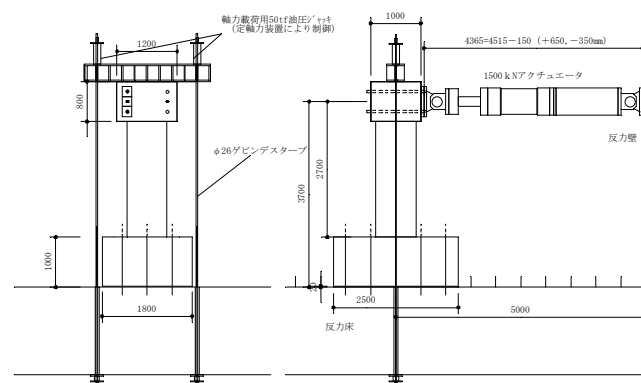


図-4 荷重装置

荷重方法は、定変位正負交番荷重とし、道路橋示方書に基づき初降伏水平耐力まで荷重制御で荷重した後、変位制御で変位靱性率 $\mu = 1.0, 1.5, 2.0, 3.0, 4.0, 6.0, 8.0 \dots$ の各変位において 3 回繰り返す荷重方法とした。

なお、実験は 1 サイクル目における耐力が、最大耐力の 80% 程度以下となるまで荷重した。

測定項目は、軸力、水平荷重、水平変位、曲率、せん断変形、主鉄筋および帯鉄筋ひずみ等であり、ひび割れ状況等の損傷・破壊進捗状況の目視確認も行った。

3. 実験結果および考察

3.1 円柱試験体 (No. 1～No. 6)

No. 1～No. 6 試験体の実験結果を表-2 に、荷重-変形包絡線を図-5 に、履歴吸収エネルギーを図-6、等価粘性減衰定数を図-7 に示す。

実験結果より、以下の点が確認できた。

【諸耐力および破壊形式】

- ・ 曲げ耐力：等価帯筋体積比にかかわらず、設計計算での曲げ耐力が得られた。
- ・ 破壊形式：曲げ破壊、曲げ降伏後のせん断破壊ともに設計計算どおりとなった。

【変形性能】

- ・ 等価帯筋体積比を同等とすれば、在来配筋試験体 (No. 1) と同等な変形性能が得られた。
- ・ 等価帯筋体積比が 0.3% 以上で、塑性率 $\mu \approx 6.0$ を有する。
- ・ 帯筋間隔を狭くすることによる変形性能の改善は期待できない。

【エネルギー吸収能】

- ・ 等価帯筋体積比が同等以上であれば、在来配筋試験体と同等の等価粘性減衰およびエネルギー吸収能を有する。
- ・ 塑性率 $\mu = 4.0$ では、等価粘性減衰およびエネルギー吸収能は、帯筋体積比によらずほぼ一定である。
- ・ 塑性率 $\mu = 6.0$ では、等価粘性減衰およびエネルギー吸収能は、等価帯筋体積比が大きくなるとやや大きくなる傾向にある。

【破壊性状】

- ・ 在来試験体 (No. 1) と等価帯筋体積比が同等であれば、設計上考慮すべき変形レベル ($\mu = 4.4$) においては、同様な破壊進展状況となった。ただし、ひび割れ幅は在来にくらべてやや大きく、最終的に PC 鋼より線は破断した。

表-2 実験結果 (No. 1～No. 6)

No.	等価 体積比 %	曲げ耐力 (道示) kN	降伏荷重 kN	降伏変位 mm	最大荷重 kN	限界変位 mm	塑性率 μ	破壊 形式
1	0.304	424	365	16.8	470	126	7.5	F
2	0.157	424	363	17.5	444	99	5.7	FS
3	0.300	424	356	17.6	454	111	6.3	F
4	0.433	424	359	17.1	455	136	8	F
5	0.146	424	369	17.3	438	68	4	FS
6	0.302	424	366	17.1	438	102	5.9	F

注) 破壊形式: F: 曲げ破壊, FS: 曲げ降伏後せん断破壊,

S: せん断破壊

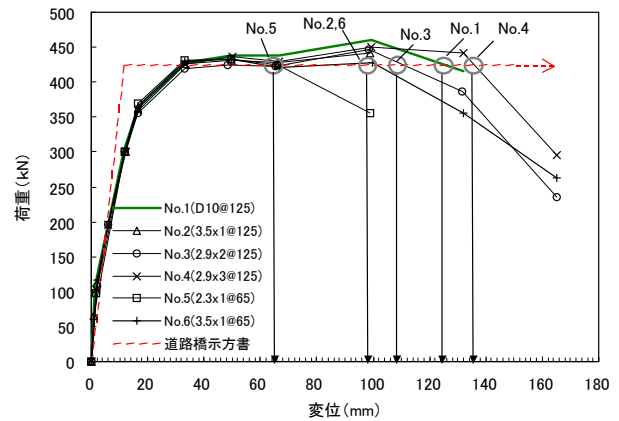


図-5 荷重-変形包絡線

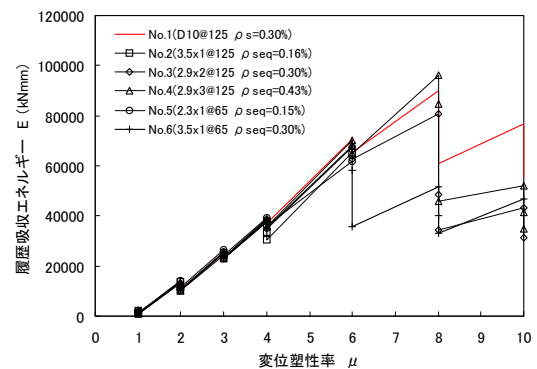


図-6 履歴吸収エネルギーと塑性率の関係

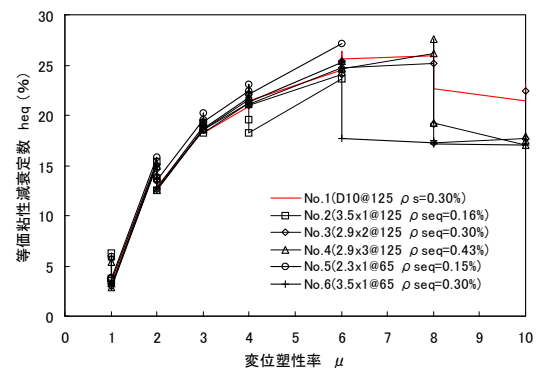


図-7 等価粘性減衰定数

3.2 インターロッキング試験体 (No. 7)

No. 7 試験体の実験結果を表-3 に、荷重-変形履歴曲線を図-8 に示す。実験結果より、以下の点が確認できた。

表-3 実験結果 (No. 7)

No.	等価 体積比 %	曲げ耐力 (道示) kN	せん断耐力 Ps0 (kN)			最大荷重 (Ps0比) kN
			コンクリート Sc0	PC鋼より線 Ss	合計 Sc0+Ss	
7	0.25	1396	540	369	908	1337 (1.47)

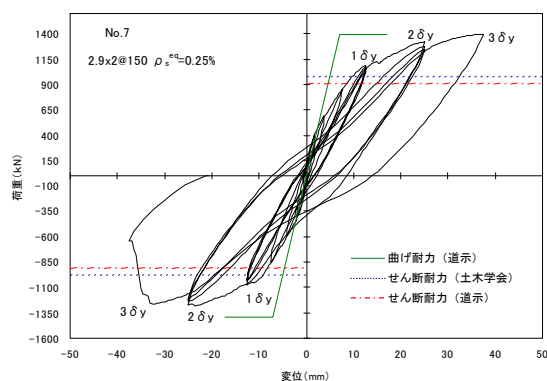


図-8 荷重－変形履歴曲線(No. 7)

【諸耐力および破壊形式】

- せん断耐力：隣り合う帯筋間隔が帯筋フープ径の 0.75 倍の場合、試験体は一体として挙動し、設計計算以上のせん断耐力を有していた。

【破壊性状】

- インターロッキング試験体は、曲げ降伏の後、せん断ひび割れが拡大し、 $3\delta_y$ においてPC鋼より線の破断を伴いせん断破壊した。

以上の結果を総括すると、PC 鋼より線を横拘束筋に用いたインターロッキング橋脚は、隣り合う帯筋間隔が帯筋フープ径の 0.75 倍であっても、隣り合う帯鉄筋のせん断伝達能力は有効に発揮され、道路橋示方書を用いてせん断耐力を評価できると考えられる。しかし、RC 部材のせん断破壊性状は、寸法効果、材料特性、軸力およびシアパン比などの多くの要因と密接な関係があるため、本実験結果の適用は本実験と同程度の条件下に限定されるといえる。

4. おわりに

本実験で得られた結果を踏まえ、PC 鋼より線を用いたインターロッキング橋脚を実橋脚に適用するにあたっての、設計方針・構造細目を以下に挙げる。

- PC より線の耐力および変形性能は、道路橋示方書に基づいて算定する。
- PC より線の等価帯筋体積比は、鉄筋を用いた在来型の帯筋体積比以上とする。

$$\rho_s^{eq} = \frac{f_{wy}^{pc}}{f_{wy}^s} \times \rho_s^{pc} \dots\dots\dots(1)$$

ここで、 ρ_s^{eq} : 等価帯鉄筋体積比

ρ_s^{pc} : PC鋼より線の帯鉄筋体積比

f_{wy}^{pc} : PC鋼より線の降伏強度

f_{wy}^s : 円形帯鉄筋の降伏強度

- 隣り合う帯鉄筋間隔は、帯鉄筋フープ径の 0.75 倍以下とする。(図-3 参照)
- 使用する PC より線は、折り曲げによる破断強度の低下を防止する観点から、できるだけ素線の細いものを用いることが望ましい。

なお、本実験は、東京港臨海大橋（仮称）のアプローチ部橋梁を例に、PC 鋼より線を用いたインターロッキング式橋脚を適用することを前提に実験を行った。従って、試験体数の制約上、上記設計方針、構造細目を一般化するまでのデータは得られていない。特に、PC 鋼より線の降伏強度を全強度有効として、等価帯鉄筋体積比やせん断耐力を算出する点については、議論のあるところである。適用に当たっては、対象橋脚のスケールダウンモデルにて耐震性能実験を行い、適用性の確認をとる必要がある。

最後に、本報告は、国土交通省関東地方整備局横浜港湾空港技術調査事務所発注による「平成 16 年度 東京港臨海道路インターロッキング橋脚耐震性能検討調査」において実施された耐震性能実験成果の一部を取りまとめたものである。検討に際し技術検討会（座長：福手勤 東洋大学工学部環境建設学科教授）において様々なご意見、ご指導を頂きました関係者に厚く御礼申し上げます。

参考文献

- 大滝 健・黒岩俊之・細木康夫：インターロッキング型フープ筋を有する鉄筋コンクリート橋脚の耐震性能，土木学会第 53 回年次学術講演会概要集 V，pp. 1122-2236, 1998.
- 奈良 正：PC 鋼より線を用いたインターロッキング橋式脚の耐震性能について，沿岸センター研究論文集 No. 4(2004)，pp. 45～48, 2004.