

PC鋼より線を用いたインターロッキング配筋の 施工実験

前田 欣昌* 菊池 智彦** 大滝 健*
高橋 浩史*** 黒岩 俊之****

要約： 橋脚の配筋合理化工法であるインターロッキング配筋において、配筋作業の更なる合理化を図ることを目的に、帯鉄筋に PC 鋼より線を適用し、これを主鉄筋に巻付ける工法を開発した。開発にあたっては特殊な技術が必要とせず普通作業員が組立てられることを目標とし、PC 鋼より線を所定の直径でコイル状に保持できる装置（クリップスタンドおよびコイルスタンド）や、コイルをかみ合わせる（インターロックする）方法、かみ合わせたコイルを所定の帯鉄筋間隔に配置するための装置などを考案し、その有効性を確認するために実大規模による施工実験を行った。その結果、従来の円形帯鉄筋を使用する場合と比べて配筋の作業効率が大幅に向上し、省人化および工期の短縮が図れることが明らかになった。

キーワード： インターロッキング配筋, PC 鋼より線, 配筋合理化, 施工実験

目次： 1.はじめに
2.実験概要

3.実験結果
4.まとめ

1. はじめに

兵庫県南部地震以降、耐震性向上のため鉄筋コンクリート橋脚には、より大きな塑性変形性能が要求されるようになり、横拘束筋の必要性が再認識されることとなった。その結果、中間帯鉄筋の配筋が密となり、帯鉄筋量の増加によるコスト増のみならず、施工性の低下やコンクリートの充填性の低下といった問題も生じている。

インターロッキング配筋は、複数組の円形の帯鉄筋を部分的に重ね合わせる配筋構造であり、中間帯鉄筋を用いなくとも円形の帯鉄筋による高い拘束効果によって、靱性に富んだ構造が得られる特徴を有している¹⁾²⁾。中間帯鉄筋の省略により在来矩形配筋に比べ帯鉄筋量を低減することが可能なため、先に述べた経済性、施工性およびコンクリートの充填性といった問題を解決する工法である。当社はこれまでに、このような特徴を有するインターロッキング配筋を用いた橋脚の耐震性能実験、ならびに帯鉄筋にスパイラル筋および円形帯鉄筋を使用した場合の施工性検証実験等を実施してきた³⁾⁴⁾。

本実験では、インターロッキング配筋の更なる合理化を図ることを目的に、通常の鉄筋よりも高強度、軽量かつ柔軟な PC 鋼より線を帯鉄筋に適用することを試みた。しかしながら、これまで PC 鋼より線をコイル状に整形し、インターロッキング配筋に適用した事例はないため、新たな施工方法を考案し、実大規模のモデルを用いて施工実験を実施した。

実験目的は以下のとおりである。

① PC 鋼より線の組立てを簡易に精度よく行うための

装置の開発

- ② 同上装置を用いた施工性の確認
- ③ 組立時間の計測に基づく施工効率の調査
- ④ 施工上の問題点の抽出

2. 実験概要


2.1 実験モデル

実験モデルの諸元を表1に示す。なお、使用した PC 鋼より線は呼び径 15.2mm、7本より B 種である。

実験モデルは、実大規模の橋脚基部の第 1 リフトを想定し、図 1 に示す形状寸法とした。PC 鋼より線のように連続したスパイラル状鋼材を帯鉄筋に適用する場合、帯鉄筋の組数の施工実績はこれまで 2 組までであったが、本実験ではさらに多組への適用を図るために帯鉄筋の組数を 3 組とした。また、軸方向鉄筋の継手に機械式継手や圧接継手が用いられる場合、当該部位の断面が大きくなり、帯鉄筋の施工に支障となる可能性がある。このようなケースを想定し、本実験では模擬的な機械式継手を軸方向鉄筋に千鳥に設置した。

表1 実験モデル諸元

	幅 B (m)	断面高 D (m)	高さ H (m)	軸方向 鉄筋 径-本数	帯鉄筋 径-ピッチ (mm)
試験体	7.0	3.0	2.5	D38-102本	7s15.2B ^{※1} -125

※1  7本より PC 鋼より線

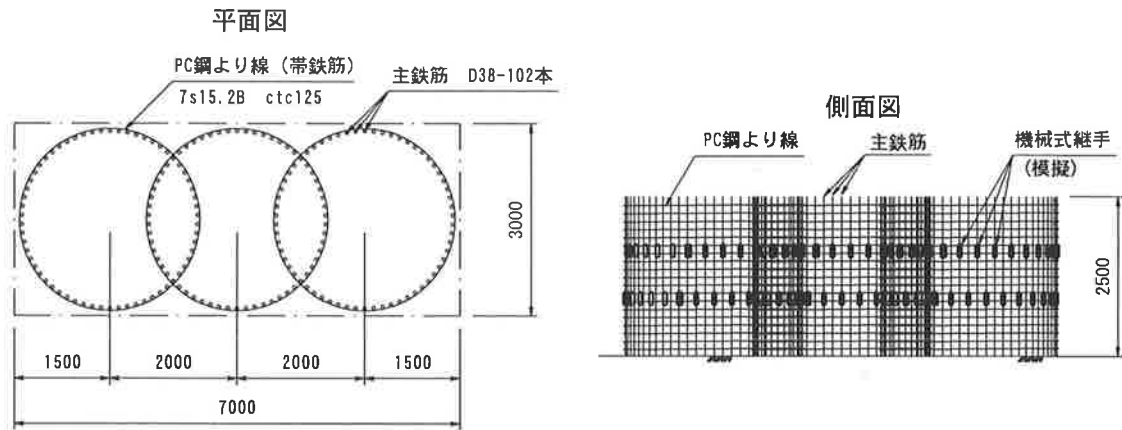
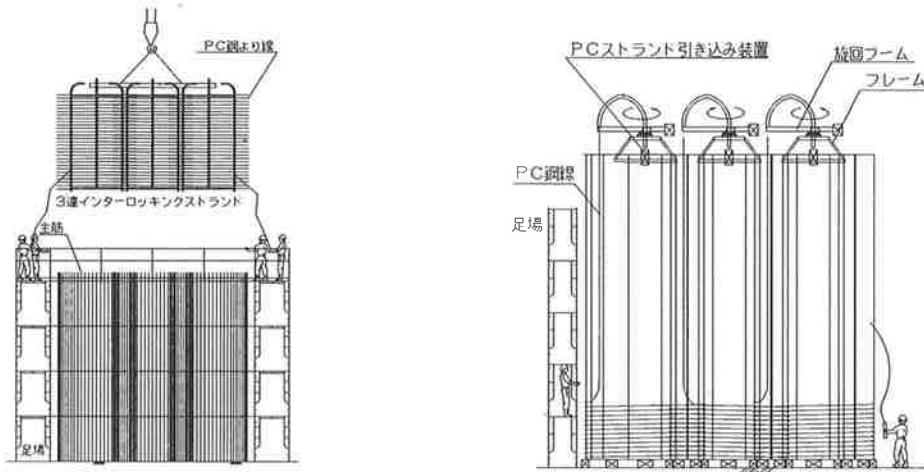


図1 実験モデル形状



地組一括架設方式 (方法A: 採用)

順次巻付け方式 (方法B)

図2 施工方法

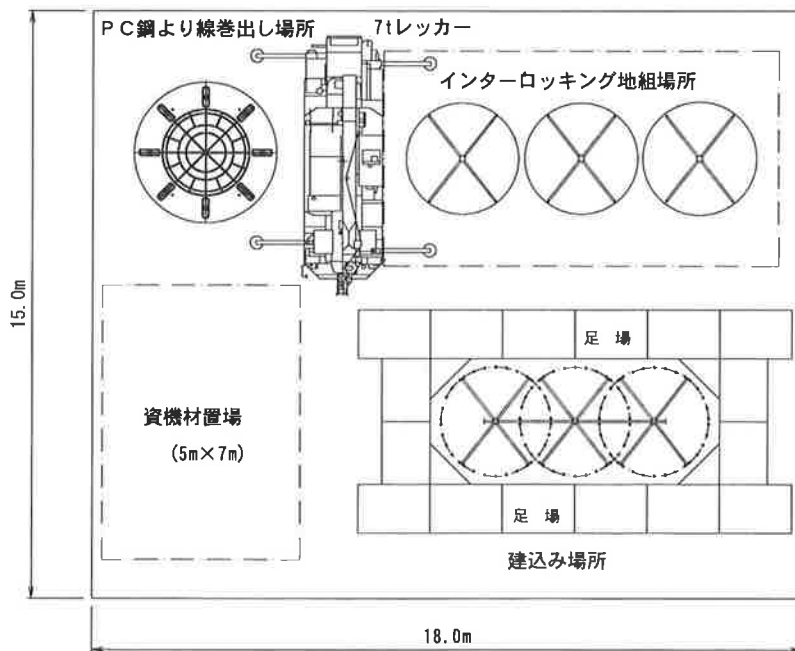


図3 実験ヤード

2.2 施工方法

PC 鋼より線を適用したインターロッキング配筋の施工方法として、大きく分けて図 2 に示す 2 通りの方法が考えられた。一つは事前に PC 鋼より線をかみ合わせて複数組を一括して主鉄筋に落とし込む方法 (A) であり、もう一つは主鉄筋に順次巻付けていく方法 (B) である。本実験では、作業人員の縮減、施工効率の合理化および施工の簡素化が可能と考えられた方法 A を採用し、詳細な施工方法を検討した。

2.3 施工条件

インターロッキング配筋の施工は、特殊な技術を必要とせず、普通作業員が組み立てられることを目標とした。表 2 に施工に要した人員および重機を示す。また、図 3 に施工実験ヤード図を示す。

3. 実験結果

3.1 施工性確認結果

施工は図 4 に示すフローにしたがって実施し、施工性について検証した。施工フローに基づいた施工手順図を図 5.1~5.3 に、施工状況写真を写真 1~12 に示す。

以下に施工手順の詳細、ならびに施工性に関する考察を示す。

① ターンテーブル・クリップの設置

PC 鋼より線を巻き出すために使用するターンテーブルを設置し、PC 鋼より線を所定のフープ径に保持させるためのクリップをその外側に設置する (写真 1)。クリップを支えるスタンドにはフープ径を調整する機能を持たせており、フープ径の精度を適切に確保することができる。なお、フープ径は軸方向鉄筋に機械式継手を使用することを考慮し、設計フープ径よりも直径で 40mm 大きくした。

② PC 鋼より線をターンテーブルに設置

③ PC 鋼より線をクリップにセット

ターンテーブルから PC 鋼より線を引き出し、クリップ内にセットする。クリップ内にセットされた PC 鋼より線は写真 2 に示すように、積み重なった状態となる。

④ PC 鋼より線をコイルスタンドに盛替

クリップに干渉しない位置にコイルスタンドを設置する。コイルスタンドは、帯鉄筋間隔を 50mm に保持するためのフックを有する構造とした。クリップにセットした PC 鋼より線を、写真 4 に示すように、コイルスタンドに盛替える。ここで、帯鉄筋間隔を設計値の 125mm ではなく 50mm にした理由は、コイルスタンドの高さを抑制し、足場を必要としない高さにすることで盛替作業の効率化を図ったためである。

⑤ コイルスタンド吊上げ

コイルスタンドにセットされた PC 鋼より線を、コイルスタンドごと吊上げる (写真 4)。

⑥ コイルスタンドを地組ヤードへ仮置き

⑦ コイルかみ合わせ

かみ合わせは、2つのコイルのうち一方のコイルをクレーンで吊った状態で水平に移動する方法で行った (写真 5)。かみ合わせる寸法の精度は、軸方向鉄筋に落とし込む際の施工性に直結するため重要であり、本実験では定規を用いてかみ合わせ寸法を確認した。写真 6 は地組完了後の 3 組のコイルである。

⑧ PC 鋼より線を枝付吊ロッドに盛替

枝付吊ロッドを用いて帯鉄筋間隔を 50mm から設計間隔である 125mm にセットする作業を行う。枝付吊ロッドは写真 7 に示すように吊天秤から吊り下げる構造になっている。盛替は、写真 8 に示すように、吊天秤を上昇させながら、PC 鋼より線の枝付吊ロッドへの盛替えと枝付吊ロッドの継ぎ足しを繰返し行うことによって実施した。なお、コイルは 1 組当たり 4 本の枝付吊ロッドで支持しており、安定した形状を保つことができた。

⑨ PC 鋼より線を軸方向鉄筋に落とし込み

写真 9 に示すように、吊天秤を用いて PC 鋼より線を軸方向鉄筋に落とし込む。PC 鋼より線のフープ直径を設

表 2 施工体制

名称	数量
普通作業員	4名
7tクレーン	1台

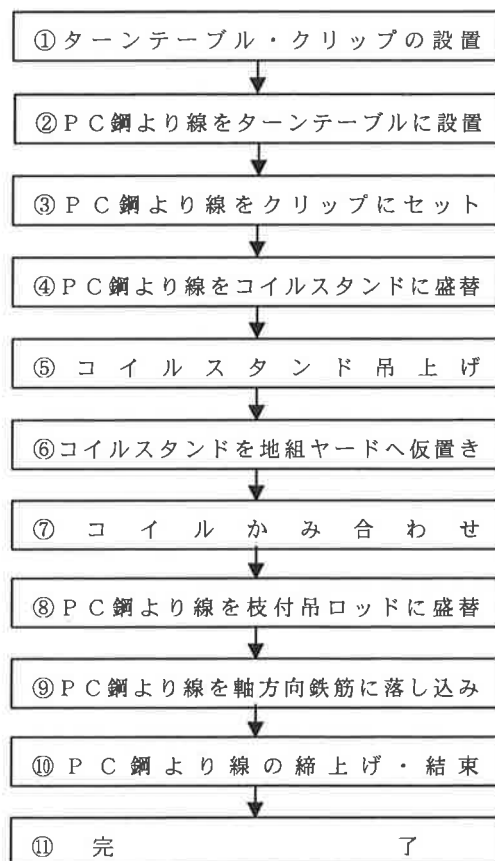
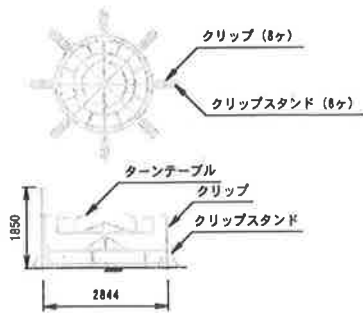
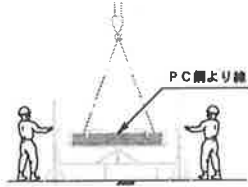


図 4 施工フロー

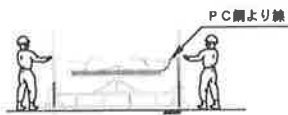
①ターンテーブル・クリップ設置



②PC鋼より線をターンテーブルに設置

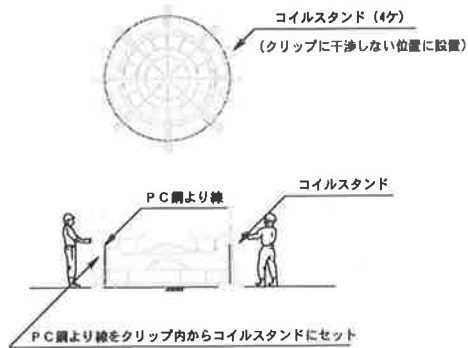


③PC鋼より線をクリップ内にセット
(クリップにて帯鉄筋を所定のフープ径に確保)



④コイルスタンド設置

PC鋼より線をコイルスタンドに盛替
(帯鉄筋間隔50mmを確保)



⑤コイルスタンド吊上げ

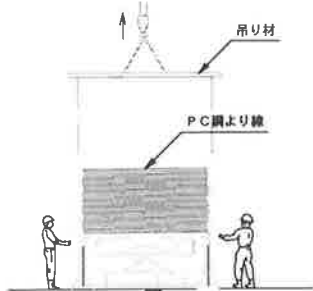


図 5.1 施工手順 (その1)

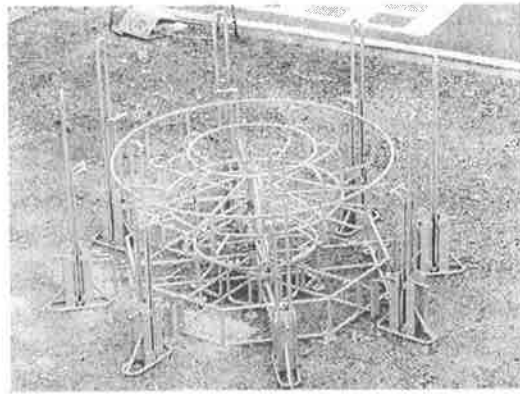


写真1 ターンテーブルとクリップ

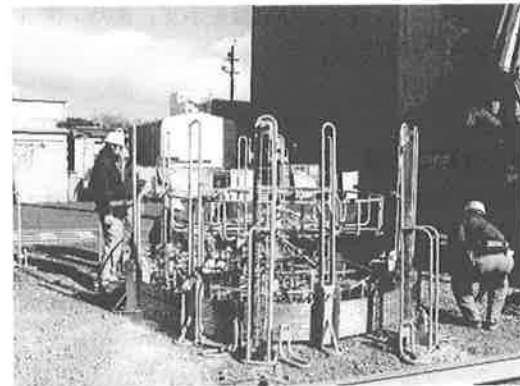


写真2 クリップ内にPC鋼より線をセット



写真3 コイルスタンドへの盛替 (50mmピッチ)

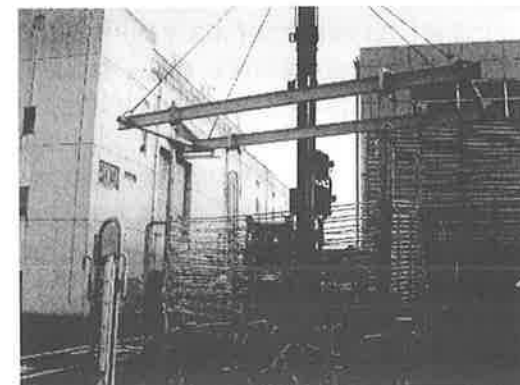
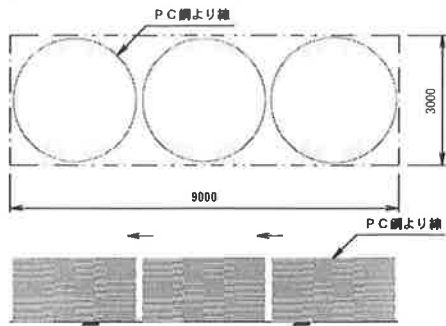
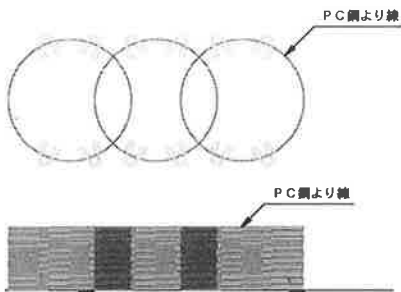


写真4 単体コイルの吊上げ

⑥コイルスタンドを地組ヤードへ仮置き



⑦PC鋼より線の地組



⑧吊天秤設置・吊上げ
枝付き吊ロッドへの盛替

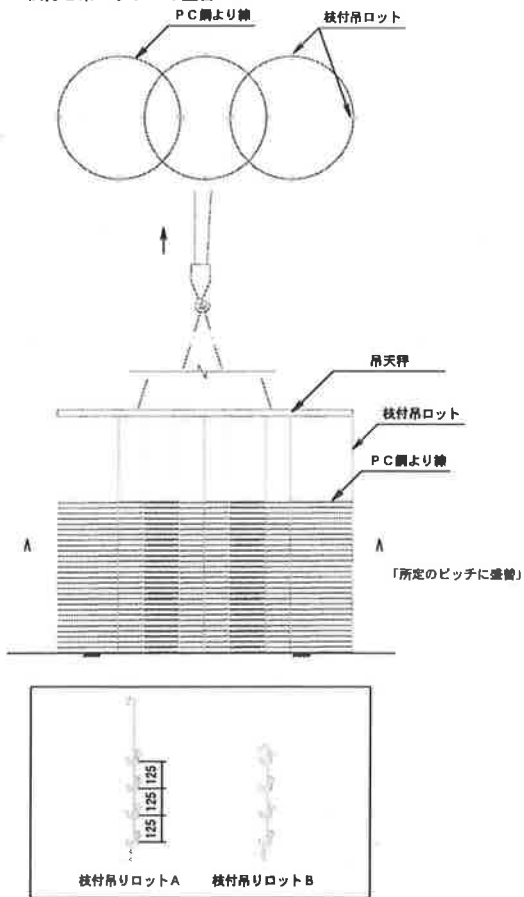


図 5.2 施工手順 (その 2)



写真 5 コイルのかみ合わせ

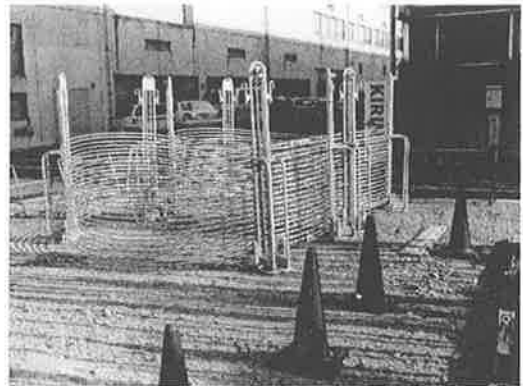


写真 6 PC鋼より線地組完了

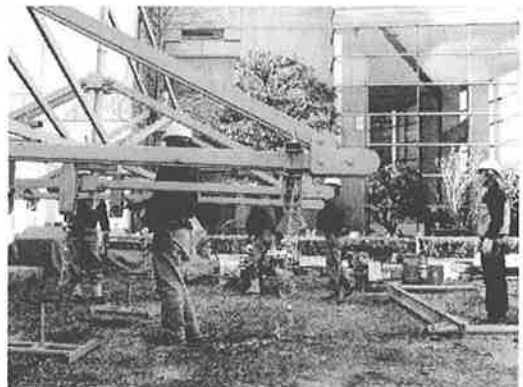


写真 7 吊天秤から垂らした枝付吊ロッド

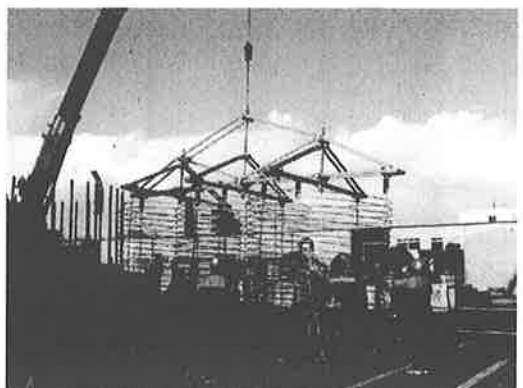
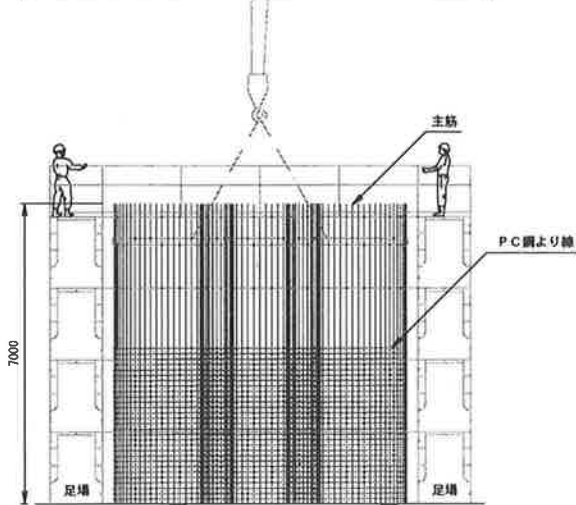
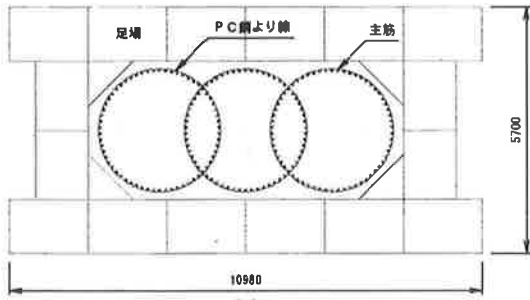


写真 8 枝付吊ロッドへの盛替・吊上げ

⑨軸方向鉄筋に地組インターロッキング配筋を落とし込み
(主筋周辺には事前に足場を設置)



⑩ PC鋼より線の締上げ・結束・1ロット完成

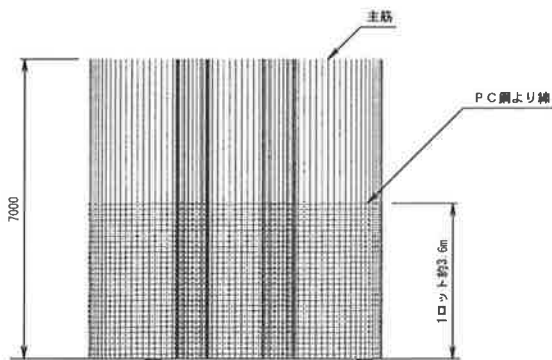
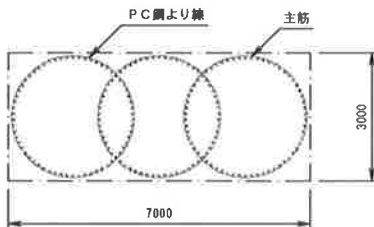


図 5.3 施工手順 (その3)

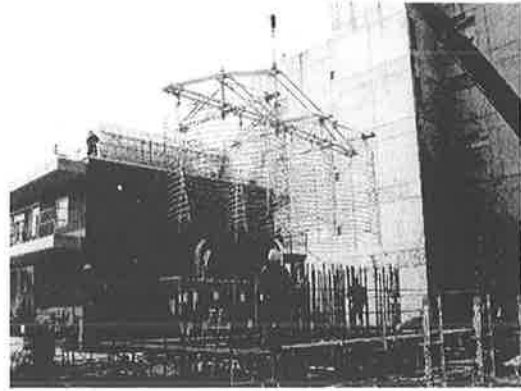


写真9 PC鋼より線の吊り込み

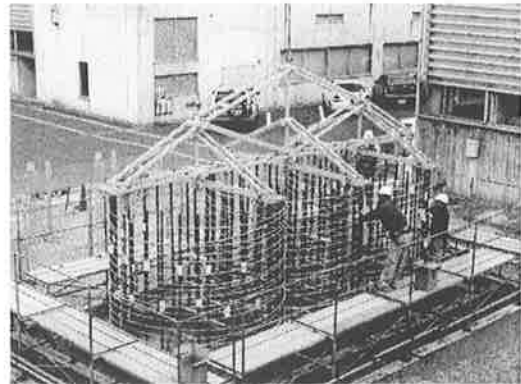


写真10 PC鋼より線の締上げ



写真11 結束・固定

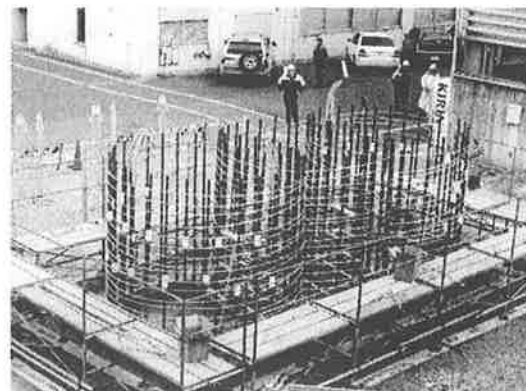


写真12 完成

計値よりも 4cm 大きくしておいたため、軸方向鉄筋継手位置においても落とし込みにおいて特に問題となることはなかった。

⑩ PC鋼より線の縮上げ・結束

PC 鋼より線のフープ直径が設計値よりも 4cm 大きいため、軸方向鉄筋に密着するように PC 鋼より線の縮上げを行った。縮上げは、下方から上方へ余った PC 鋼より線を順次縮出すように行った。このとき、縮出された上端の PC 鋼より線がコイルの形状を保持できるように、曲げた塩ビ管を配置し、その中を PC 鋼より線が通過するようにした。縮上げ完了後、PC 鋼より線固定用金具を用いて結束を行った（写真 11）。

⑪ 完了

完成状況を写真 12 に示す。

以上のように本実験で開発した装置を用いた施工方法により、PC 鋼より線を 3 組のインターロッキング配筋に適用することが可能であることが確認できた。さらに、同様の施工方法によれば、4 組以上のインターロッキング配筋にも適用可能と考えられる。また、施工性においても特に問題となる点はなく、普通作業員により、簡易にまた安全に施工することができた。なお、本工法は現

場で成形・加工できるため、フープ径の大きさに関係なく運送上の制約がないことも特徴である。

3.2 施工効率の調査結果

先述した施工方法により要した時間を表 3 に示す。計測の結果、1 ロット（高さ 2.5m）あたりの所要時間は 2 時間 30 分であった。すなわち、高さ 1m あたりの施工に要する時間は 1 時間であると換算できる。

表 4 は、帯鉄筋に PC 鋼より線を用いた本実験の場合、円形帯鉄筋を用いて TRiC 工法⁴⁾で施工した場合、および円形帯鉄筋を用いて標準的な施工方法による場合の 3 ケースの必要作業人数を試算し、比較したものである。ここで、円形帯鉄筋は PC 鋼より線との降伏強度比を勘案して重量を算出し、また、鉄筋の標準的な施工効率の

表 3 所要時間（1 ロット高さ 2.5m あたり）

STEP	作業内容	所要時間
①～⑦	コイル巻出し～インターロック地組	45分
⑧	吊ロット盛替	18分
⑨	軸方向鉄筋への落とし込み	32分
⑩	縮上げ・固定	55分
合計		150分

表 4 所要作業人数の比較（1 ロット高さ=2.5m あたり）

検討ケース	ケース 1	ケース 2	ケース 3
使用鋼材	PC鋼より線	鉄筋	鉄筋
施工方法	本実験	TRiC工法	標準工法
材質	B種	SD345	SD345
鋼材径	7s15.2	D29 ^{※1}	D29 ^{※1}
ピッチ(mm)	125	125	125
帯鉄筋の組数(組)	3	3	3
1ロット (H=2.5m) あたり重量(t)	0.582	3.303 ^{※2}	3.303 ^{※2}
所要人数(人)	加工	0	2.97 ^{※3}
	組立 (4人×2.5/7時間)	1.43	6.28 ^{※3}
	合計	1.43	9.25

【計算条件】

フープ径は2.8m

※1：PC鋼より線7s15.2B $\sigma_y=1570N/mm^2$ 、 $A_s=138.74mm^2$ より、降伏強度=1570×138.74=218kN

鉄筋D29 $\sigma_y=345N/mm^2$ 、 $A_s=642.4mm^2$ より、降伏強度=345×642.4=221kN よってPC鋼より線と等価と仮定

※2：円形帯鉄筋 1本あたりの加工寸法は、 $L=\pi \cdot \phi + 40 \cdot D + 2 \cdot (12D + 2\pi \cdot 3D/4)$ より、 $L=10.926m$

重量 $10.926m \times 5.04kg/m \times 2.5m / 0.125m \times 3 = 3.303t$

※3：表5による。加工：0.9×3.303=2.97人 組立：1.9×3.303=6.28人

※4：TRiC工法審査証明報告書より、1.52人/tを使用

表 5 鉄筋 1t あたりの標準所要人数

30m以下の場合													
	単位	D13以下		D16～D25		D29～D32		D35		D38		D51	
		加工	組立	加工	組立	加工	組立	加工	組立	加工	組立	加工	組立
世話役	人	0.2	0.4	0.2	0.3	0.1	0.2	0.18	0.19	0.13	0.16	0.13	0.12
鉄筋工	人	1.1	1.8	0.9	1.5	0.5	0.9	0.53	0.94	0.39	0.81	0.38	0.59
普通作業員	人	0.7	1.5	0.6	1.3	0.3	0.8	0.19	0.21	0.14	0.18	0.13	0.13
合計	人	2	3.7	1.7	3.1	0.9	1.9	0.9	1.34	0.66	1.15	0.64	0.84

算出には「土木工事積算基準（平成 4 年版）⁵⁾」に示される鉄筋工の標準所要人数（表 5）を使用した。

試算の結果、PC 鋼より線をインターロッキング配筋に適用することにより省人化が可能となり、施工効率は、標準的な円形帯鉄筋による施工に対し約 6.5 倍（9.25 人/1.43 人）に、また TRiC 工法に対し約 5.6 倍（7.99 人/1.43 人）に向上する結果となった。したがって、PC 鋼より線を使用した本提案工法によって、インターロッキング配筋の作業効率が大幅に向上すると考えられる。

3.3 今後の検討課題

本実験を通して明らかとなった、今後検討すべき課題を以下に示す。

- (1) PC 鋼より線を締上げる際に、軸方向鉄筋が内側に若干傾斜することがあったため、軸方向鉄筋の位置精度を確保する方法を検討する必要がある。
- (2) 現状では、PC 鋼より線の継手方法に 1.5 巻き重ねる方法を採用しているが、機械式継手やプレート定着等を使用した継手方法の合理化を検討する必要がある。

謝 辞

本実験は、神鋼鋼線工業株式会社との共同開発において実施したものです。この場をお借りして関係各位に感謝の意を表します。

参考文献

- 1) 大滝健・黒岩俊之：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に関する実験的研究，東急建設技術研究所報 No.24, PP37-44, 1998
- 2) 大滝健・黒岩俊之：インターロッキングスパイラル橋脚と従来矩形橋脚の橋軸方向載荷実験，東急建設技術研究所報 No.25, P P33-38, 1999
- 3) 井ヶ瀬良則・野村謙二・黒岩俊之・宮城敏明：インターロッキング式橋脚の耐震性能および施工方法について，コンクリート工学, Vol.40, No.2, 2002
- 4) (財) 国土技術研究センター 建設技術審査証明事業報告書 TRiC 工法（インターロッキング配筋による鉄筋コンクリート橋脚の急速構築工法）2005
- 5) 建設省 土木工事積算基準，1992

CONSTRUCTION TEST OF INTERLOCKING SPIRAL REINFORCEMENT USING PRESTRESSING STRAND

Y.Maeda, T.Kikuchi, T.Ohtaki
H.Takahashi, and T.Kuroiwa

In order to reduce labor force in fabricating transverse reinforcement of bridge piers, we developed a construction method for interlocking spiral reinforcement using prestressing strand. As the scheme require only usual workers and skills, several unique equipments for maintaining spiral diameter and pitch constant and interlocking spirals easily were devised.

Full scale construction test for investigating the construction process and time efficiency was conducted. The test result showed that this method significantly improved the construction procedure for the interlocking reinforcement and saved labor force and construction period.

4. まとめ

本実験により得られた知見を以下に示す。

- (1) 本実験で検証した装置・施工方法により、PC 鋼より線を 3 組のインターロッキング配筋に適用することが可能である。また、4 組以上への適用も可能と考えられる。
- (2) 本実験で検証した配筋作業は、特殊な技能を必要としないため、普通作業員による施工が可能であり、なおかつ安全に施工できる。
- (3) 現場で帯鉄筋を加工できるため、フープ径の大きさに関係なく、運搬上の制約がない工法である。
- (4) PC 鋼より線によるインターロッキング配筋の施工に要した時間は 1 ロット（高さ 2.5m）あたり 2.5 時間であった。
- (5) PC 鋼より線を用いることにより、省人化および施工効率の向上が図れる。施工効率は、円形帯鉄筋を用いた標準的な施工方法に対し 6.5 倍に、円形帯鉄筋を用いた TRiC 工法に対し 5.6 倍に向上すると試算された。