

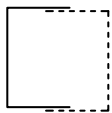
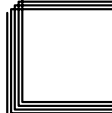
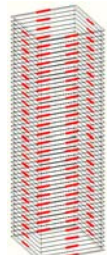
高架橋柱耐震補強工法「普通鉄筋スパイラル巻立工法」の実構造物への適用

株式会社奥村組 正会員 ○山口 治
株式会社奥村組 川崎 茂
北総鉄道株式会社 佐藤 栄寿
北総鉄道株式会社 南 博

1. はじめに

高架橋柱の耐震補強は、せん断耐力および変形性能の向上を目的とした工法が多数開発され実構造物に適用されている。そのうち、高張力鉄筋を使用したスパイラル筋巻立工法¹⁾（以下、従来工法）は、1997年の実用化以降これまでに3,000本を越える適用実績を有する。しかし近年では、従来工法では適用できない大断面の柱や、鋭角を有する柱への補強の必要性が増している。そこで、適用範囲の拡大とコスト削減を目的として、普通鉄筋を使用したスパイラル巻立工法²⁾（以下、新工法）を開発し、実物大供試体の正負交番載荷試験によりせん断耐力と変形性能を有することを確認した³⁾。本稿では、供用中の鉄道高架橋柱に対して普通鉄筋スパイラル巻立工法を適用した耐震補強を実施したので報告する。

表－1 せん断補強鉄筋の特長

工法名称	帯鉄筋(普通鉄筋)巻立工法	従来工法 高張力筋スパイラル巻立工法	新工法 普通鉄筋スパイラル巻立工法
鉄筋種類	SD345,SD390	SBPD1275/1420	SD345,SD390
鉄筋加工形状 ^{*1}	 1本:3辺+溶接しろ 1.8kg	 1束9巻きで加工 30kg	 1本:3辺+溶接しろ 4.4kg
継手方法	フレア溶接 10D	2重の重ね継手	フレア溶接 10D
継手長略図 ^{*2}	 (102箇所、16.3m)	 (6箇所、40.3m)	 (67箇所、10.7m)
継手の割合 ^{*3}	10%	24%	6%

*1: □800mmの柱に対しD16(高張力筋はφ12.6mm)で加工した1部材の重量

*2: □800mm、L=3.0mの柱、鉄筋間隔60mmで比較

*3: 補強鉄筋全体に占める継手部分の割合

2. 普通鉄筋スパイラル巻立工法の特長

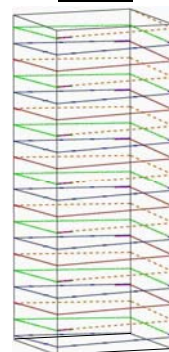
コンクリート巻立てによるせん断補強のうち、鉄筋巻立て方法の異なる3工法（一般的な帯鉄筋、従来工法、新工法）の特長の比較を表－1に示す。

帯鉄筋によるせん断補強では、普通鉄筋を使用し1段ずつ閉合して組立てる。このとき、上下段との継手位置の干渉をなくす設計上の配慮や、1段あたり2箇所のフレア接合が必要となる。

従来工法は、工場でスパイラル状に加工した高張力鉄筋（SBPD 1275/ 1420）を用いて既設柱に人力で巻立てる工法である。鉄筋の継手が重ね継手であり火気を使用しない利点がある。しかし、材料強度 1,275 kN/mm²に対して、既設コンクリート圧縮強度の 25 倍（400kN/mm²～600kN/mm²程度）として設計する点や、継手を2重の重ね継手とするために鉄筋使用量の増加による施工費向上が課題であった。また、高張力鉄筋の鋭角な曲げ加工ができず柱の適用断面が限定されている点が難点であった。

新工法は、既設柱の3辺と溶接部分から成る形状に加工した普通鉄筋（SD 345,SD390 等）をスパイラル状に配置し、継手部分をフレア溶接で接合する工法である（図－1）。これにより、従来工法に比べて鉄筋単価が低減し、全体のコスト低減が可能となるうえ、鋭角の曲げ加工が可能となり、適用可能な柱断面が増加した。また、帯鉄筋と比べて継手箇所が3分の1に減少し、施工の効率化、工期・工費の削減を実現した。

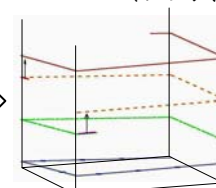
立体図



鉄筋部材の加工形状

① 柱の3辺と継手部分で形成された部材を巻き立てる
②
③ 継手部分（フレア溶接）

拡大



図－1 普通鉄筋スパイラル巻立工法概略図

キーワード 耐震補強、柱巻立、普通鉄筋スパイラル、実構造物適用

連絡先 〒108-8381 東京都港区芝 5-6-1 (株) 奥村組 東日本支社 TEL 03-5427-2323

3. 適用箇所

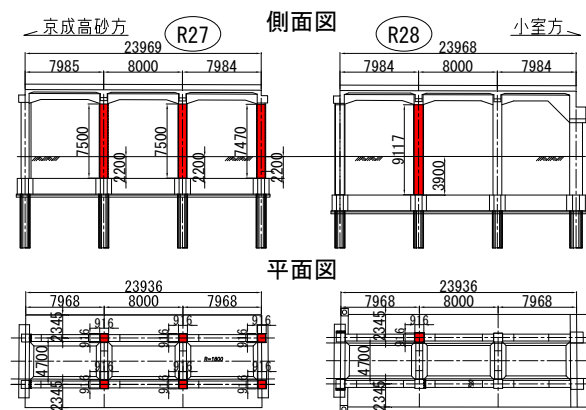
新工法の適用箇所は、図－2に示す北総鉄道鎌ヶ谷高架橋（千葉県鎌ヶ谷市）の変電所敷地内 R27,R28 のうち7本(図－3)および一般部 R32,R34,R35 のうち30本(図－4)の合わせて37本である。柱断面は800mm～900mmの正方形で、1層部の高さが6.9m～9.1m、中間梁のある2層部では4.0m～6.0mである。土被りがある箇所は、土留工として軽量鋼矢板(R27,R35)およびライナープレート(R28,R32,R35)を設置し掘削を行った。



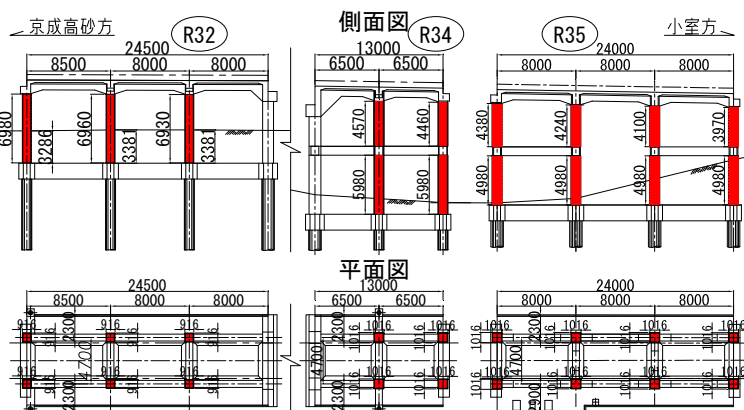
図－2 鎌ヶ谷高架橋位置図

表－2 適用箇所の寸法

場 所	本数	断面寸法 (mm)	柱高さ (m)	土被り (m)
R27	6	800×800	7.47～7.50	2.2
R28	1	900×900	9.12	3.9
R32	6	800×800	6.93～6.98	3.29～3.38
R34(上段)	4	900×900	4.46～4.57	—
R34(下段)	4	900×900	5.98	1.10～1.30
R35(上段)	8	900×900	3.97～4.38	—
R35(下段)	8	900×900	4.98	0.40～4.70



図－3 鎌ヶ谷高架橋(R27, R28)施工箇所



図－4 鎌ヶ谷高架橋(R32, R34, R35)施工箇所

4. 補強鋼材の設計

新工法の耐震設計は、「鉄道構造物等設計標準・同解説 コンクリート構造物」（以下、コンクリート標準）および施設管理者と協議の上決定した設計検討フロー（図－5）に準じて実施した。保有耐力，設計せん断力を簡便法により算出し，以下の条件によりせん断補強の要否を判定した。

$V_u/V_d > 1.0$ 曲げ破壊先行 …… 補強不要

$V_u/V_d \leq 1.0$ せん断破壊先行 …… 要補強

$V_d = M_u/L_a$ 設計せん断力算出式

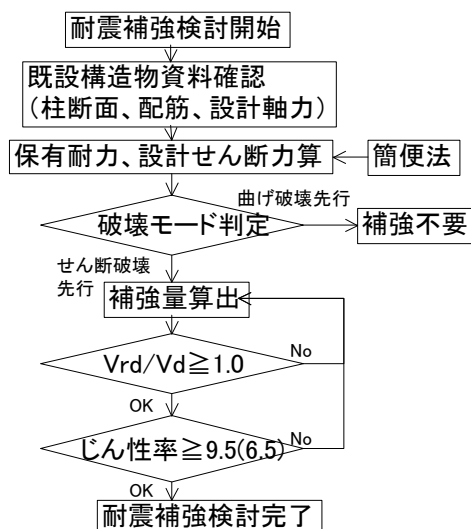
ここに V_u =既設柱のせん断耐力(kN)， V_d =設計せん断力(kN)，

M_u =既設柱の終局モーメント(kN)， L_a =せん断スパン長(kN)

せん断破壊先行の柱に対して，補強後のせん断耐力 V_{rd} が設計せん断力 V_d を上回るよう補強鉄筋を配置する。補強後のせん断耐力は，コンクリート標準の「棒部材の設計せん断耐力」に準じ，式(4.1)により算出した。

$$V_{rd} = V_{cd} + V_{sd} + V_{SPd} \quad (4.1)$$

ここに V_{cd} =既設柱のコンクリートにより受け持たれる設計せん断耐力(kN)



図－5 設計検討フロー

V_{sd} =既設柱のせん断補強鉄筋により受け持たれる設計せん断耐力(kN)

V_{SPd} =新たに設置するスパイラル筋により受け持たれる柱部材の設計せん断耐力(kN)

コンクリート標準では、 V_{SPd} の算出に用いるスパイラル筋の設計引張強度 f_{SPy} について、高強度のせん断補強筋を用いるとせん断破壊時の斜めひび割れ幅が過大となりせん断耐力が低下するため、コンクリート設計圧縮強度 f'_{cd} の 25 倍または 800N/mm^2 以下として上限値を設けている。従来工法は、高張力鉄筋の設計引張強度 $1,275\text{N/mm}^2$ に対して、既設コンクリート強度に応じて計算される $400\text{N/mm}^2 \sim 600\text{N/mm}^2$ で設計するため、部材強度に応じた性能を発揮できずに、材料の使用量が増大していた。

新工法では、普通鉄筋の設計引張強度が 345N/mm^2 、 390N/mm^2 であり、部材強度をロスなく反映でき、補強鉄筋量の低減につながった。

じん性率は、実大試験体で確認した式(4.2)、式(4.3) ⁴⁾により設定した目標値 9.5 を上回るよう補強量を算出した。せん断スパンが小さい 2 層ラーメン構造の上部柱については、補強量が過大となる傾向があることから、じん性率の目標値を 6.5 以上とした。

$$\mu_{SPd} = \delta_u / \delta_y = (\mu_0 \cdot \delta_{y0} + \delta_{u1}) / (\delta_{y0} + \delta_{y1}) \quad (4.2)$$

ここに μ_{SPd} : 柱部材の設計補強じん性率

δ_u : 終局変位(mm)

δ_y : 降伏点変位(mm)

δ_{y0} : 降伏時の躯体変形による変位(mm)

δ_{y1} : 降伏時の軸方向鉄筋の抜け出しによる回転変位(mm)

δ_{u1} : 終局時の軸方向鉄筋の抜け出しによる回転変位(mm)

μ_0 : 躯体のじん性率

$$\mu_0 = 1.6 + 5.6 V_{SPy} \cdot L_a / M_{SPud} + (11.4 P_s - 1.4) \cdot P_s$$

$$\text{ただし, } 0.9 \leq V_{SPy} \cdot L_a / M_{SPud} \leq 2.7 \quad (4.3)$$

P_s : せん断補強鉄筋比 $\leq 0.6 \%$

$$(11.4 P_s - 1.4) \cdot P_s \geq 0$$

M_{SPud} : 終局曲げ耐力

表－3 補強鉄筋検討結果一覧

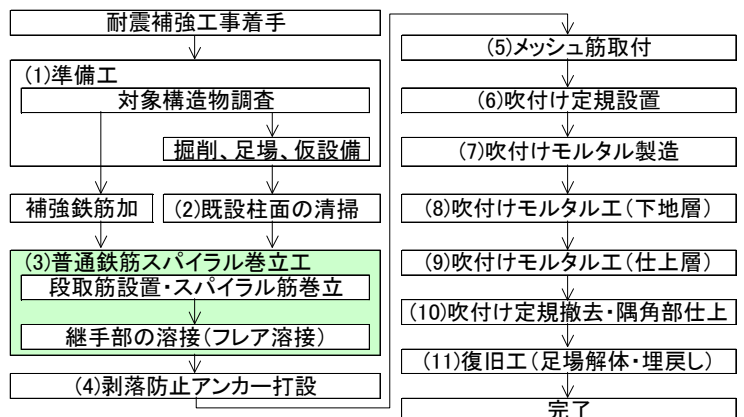
箇所	柱No.	方向	せん断力比	じん性率	補強鉄筋		
			$V_u/V_d \geq 1.0$	μ_{SPd}^{*4}	規格	径	間隔
R27	C2～C4	2方向	1.997	10.09	SD345	D13	70mm
R28	C2	線路方向	1.852	9.85	SD345	D16	90mm
		直角方向	2.175	11.62			
R32	1	2方向	1.885	9.52	SD345	D13	70mm
		線路方向	2.074	10.42			
	2	直角方向	1.988	9.94	SD345	D13	70mm
		線路方向	2.067	10.39			
	3	直角方向	1.981	9.91	SD345	D13	70mm
		線路方向	1.87	9.68			
R34	2下部	線路方向	2.002	10.33	SD345	D13	50mm
		直角方向	1.392	7.64			
	2上部	線路方向	1.472	7.95	SD345	D13	55mm
		直角方向	1.857	9.75			
	3下部	線路方向	1.992	10.15	SD345	D13	50mm
		直角方向	1.407	7.67			
	3上部	線路方向	1.421	7.62	SD345	D13	55mm
		直角方向	1.946	9.60			
R35	1下部	2方向	1.382	6.94	SD345	D13	65mm
		2方向	1.955	9.63			
	2下部	2方向	1.347	6.68	SD345	D13	65mm
		2方向	1.955	9.63			
	3下部	2方向	1.370	7.01	SD345	D13	60mm
		2方向	1.946	9.75			
	4下部	2方向	1.317	6.82	SD345	D13	60mm
		2方向					
	4上部	2方向			SD345	D13	60mm
		2方向					

*4: 9.5以上を設定、2層ラーメンの上層(網掛け)は6.5以上

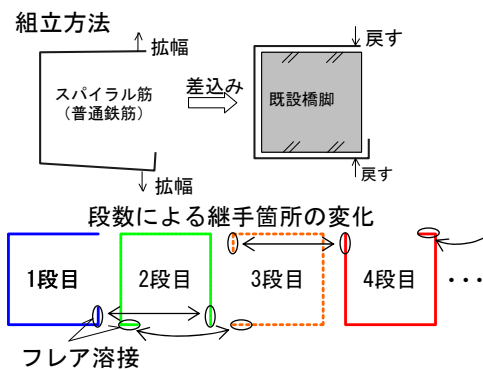
上記手順で算出した補強鉄筋量を表－3に示す。対象とする柱で線路方向、線路直角方向の既設配筋が異なる場合、各々に補強鉄筋量を算出し、必要量の多い補強鉄筋を採用した。検討の結果、全ての柱で継手部の鉄筋あき間隔が確保される配筋間隔であり、施工性は良好と判断した。

5. 施工性の評価

新工法の施工フローを図－6に、鉄筋組立方法を図－7、組立状況を写真－1に示す。従来工法のスパイラル筋は、高張力鉄筋をらせん状に曲げ加工して現地に搬入し、鉄筋の束を回転させながら柱に巻立てるため、鉄筋組立に熟練度を要した。新工法では、通常の鉄筋組立と同様、一般的な方法で組立が可能となえ、1つの部材が軽量となるため、品質の向上、工期の短縮が期待できる。



図－6 施工フロー



図－７ 普通鉄筋の組立方法



写真－１ 普通鉄筋の組立状況

新工法の施工性について従来工法と比較した結果、差異のある項目について表－４に示す。

①仮設備：スパイラル鉄筋の巻立に要する施工スペースが減少し、土留め部における掘削面積の縮小や、足場設置面積の低減が可能となった。

②鉄筋材料：同様の補強性能で比較した場合、強度差で鉄筋径の増と使用重量の増加となるが、鉄筋材料単価差により材料費の低減が可能となった。また、汎用材料であるため、調達および加工の容易さにより加工期間が２日間となり１２日間短縮できた。

③鉄筋巻立：使用した鉄筋径が D13,D16 の場合、溶接長が 10D と短いため巻立てに支障はなかった。鉄筋径が大きくなるに伴い溶接長が大きくなり巻立てに影響があると予想される。

また、鉄筋総重量は増加するが、組立部材が 30kg から 4.4kg と軽くなり組立効率が向上したため、全体の施工日数に変化はなかった。

④継手：有資格者によるフレア溶接が必要となり、２日の工期増と施工費の増となった。

⑤施工費：鉄筋継手の施工費が増加したが、鉄筋材料の減少と材料加工と組立の工期短縮に伴い、材料を含めた鉄筋組立工で約 30%、耐震補強工事全体で約 5%のコスト縮減が可能となった。

表－４ 新工法における施工の優位性

比較項目		従来工法 高張力筋スパイラル	新工法 普通鉄筋スパイラル	差
①仮設備	掘削面積	9.62m ² /本 3.5mライナープレート	7.07m ² /本 3.0mライナープレート	2.55m ² /本低減
	足場設置面積	6.33m ² /本 仕上げ面から0.75m	4.06m ² /本 仕上げ面から0.5m	2.27m ² /本低減
②鉄筋材料	使用重量	13.9t	12.5t	1.4t増加
	材料単価	100(基準)	30	70%低減
③鉄筋組立	加工期間	14日	2日	12日低減
	施工日数	28日	28日	なし
④鉄筋継手	継手方法	重ね継手	フレア溶接	－
	施工日数	なし(組立に含む)	2日	2日増加
⑤施工費	鉄筋組立工	100(基準)	70	30%低減
	耐震補強工	100(基準)	95	5%低減

６．施工マニュアルの整備

今回の適用事例を踏まえて新工法の施工マニュアルを整備し、耐震性能を確保するために必要な検査項目および管理規格値を網羅した。新工法を適用するには同マニュアルを基本とし、工事発注者の承認を得た上で仕様を決定し、施工計画を立案作成することを標準化した。これにより、施工業者や技能者の別による品質のばらつきをなくし、適正な耐震性能を発揮できる体制とした。

７．今後の課題

新工法を供用中の実構造物に適用し、狭隘な場所での施工性を確認するとともにコスト縮減を実現した。今後は、本工事で適用できなかった太径のスパイラル鉄筋巻立てにおける課題の解決および効率化を進め、他の実構造物への適用を進めていく。また、今後の工事で実施した効率化事例、品質向上対策等を施工マニュアルに反映し、より良い品質確保体制の構築を目指す。

参考文献 1)高橋一成他：スパイラル筋巻立による高架橋脚の耐震補強工法の開発，耐震補強・補修技術，耐震診断技術に関するシンポジウム講演論文集,pp.79-86,1998.3 2)山口治他：高架橋柱における普通鉄筋スパイラル巻立工法の耐震性能評価,土木学会第 67 回年次学術講演会,I-063,2012.9 3)公益財団法人鉄道総合技術研究所：溶接型スパイラル筋巻立工法による耐震補強効果確認試験に関する技術指導,2012.2 4)財団法人鉄道総合技術研究所：既存鉄筋コンクリート高架橋柱等の耐震補強設計・施工指針—スパイラル筋巻立工法編—, 1996.12