

インターロッキング式配筋構造を有する鉄筋コンクリート橋脚の 適用範囲について

長田光司¹ 広瀬 剛² 大橋 岳³ 大滝 健⁴

¹博士（工学）日本道路公団 試験研究所 橋梁研究室（〒194-8508 東京都町田市忠生1-4-1）

²日本道路公団 技術部 構造技術課（〒100-8979 東京都千代田区霞ヶ関3-3-2 新霞ヶ関ビル）

³日本道路公団 試験研究所 橋梁研究室（〒194-8508 東京都町田市忠生1-4-1）

⁴博士（工学）東急建設（株） 土木エンジニアリング部（〒150-8340 東京都渋谷区渋谷1-16-14）

1. はじめに

阪神大震災以降、鉄筋コンクリート橋脚における横拘束の必要性が再認識され、示方書の改訂に伴い設計上必要となる帯鉄筋量が増加した。その結果、帯筋量の増加に伴うコスト増や過密配筋に対する配筋の施工性の低下だけでなく、コンクリートの充填性に対する懸念も生じるようになってきた。

インターロッキング式配筋構造は、有効な横拘束の手法として米国カリフォルニア州では1970年代中頃から積極的に用いられてきている¹⁾。日本でも近年、インターロッキング配筋橋脚の変形性能やせん断耐力に関する研究が進められ²⁾、数例の実施工例が見られるようになった³⁾。

インターロッキング式配筋構造は合理的な配筋により帯鉄筋量を減らしても高い変形性能が期待できるため、一般的な中小橋脚では、在来配筋と比べ有利となることが多いが、既往の研究の範囲では、充実断面に限られる。また、施工上の制約により橋脚の断面形状によっては必ずしもインターロッキング式配筋が有利とならない範囲が存在する。

そこで、本検討は、既に在来配筋で設計されている橋脚を主な対象とし、インターロッキング式配筋に修正設計することのメリットを検討する目安として、いくつかの典型的な上部工形式や橋脚高さを対象として施工等から決定される適用限界に対する検討やコストメリットの試算を行うこととした。なお、本検討には工期短縮等の効果や周辺の特許事情は考慮していない。

2. 修正設計モデル

修正設計する橋脚は、上部工重量と橋脚高さの異なる10ケースを選定した。上部工重

量は上部工形式と支間長によって決まるため、ここでは代表的な5種類の上部工形式について、支間長と上部工重量の関係を調べた。結果を図1に示す。これに基づき、上部工重量はおおよそ4000～6000kN、6000kN～10000kN、10000kN～の3つに分類することとし、橋脚高さは、それぞれの上部工重量レンジのなかで、10m程度、10m～20m、20m～となるよう分類するものとした。このような分類に当てはまる橋梁を、既に基本設計が完了している設計図書から、調査、選定した。選定された対象橋梁一覧を表1に示す。上部工重量、橋脚高さについて、全て条件に当てはまるものを選定するのは困難であったため、若干条件から外れるものも含まれている。

3. 修正設計手順

在来配筋からインターロッキング配筋への修正設計の手順を図2に示す。耐力、変形性能等の算定は、基本的に道路橋示方書⁴⁾に従い、構造細目上の制約である隣り合う帯筋間隔等はCaltransの指針⁵⁾を参考に行っている。また、帯筋体積比の最小値0.3%は、JH等による実験結果³⁾に基づくものである。

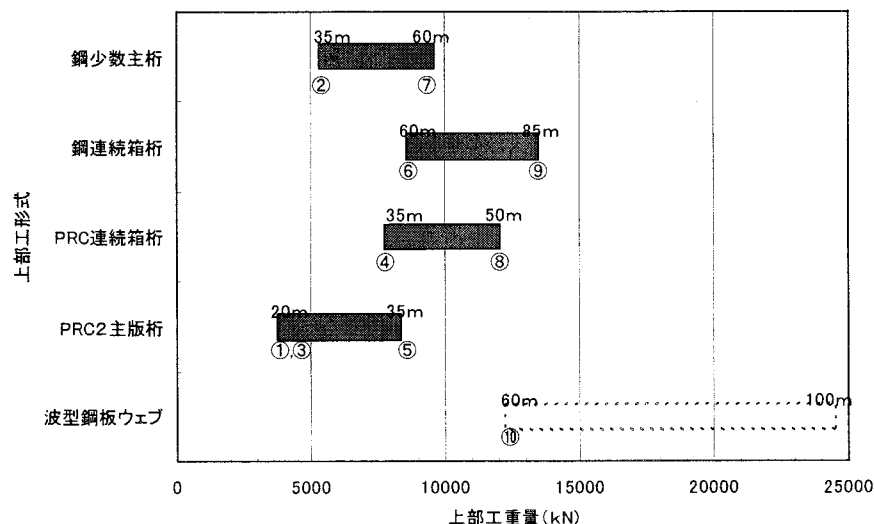


表1 修正設計対象橋脚

No.	上部工			橋脚 高さ m	シアスパン比		断面寸法	
	形式	支間長 m	上部工重量 kN		橋軸方向	直角方向	高さ m	幅 m
1	PRC2主版桁	22	4600	9.7	5.39	1.94	1.80	5.00
2	鋼少数主桁	35	6963	10.0	4.55	2.00	2.20	5.00
3	PRC2主版桁	20	6502	15.0	5.00	3.33	3.00	4.50
4	PRC連続箱桁	22	8137	10.2	5.67	2.04	1.80	5.00
5	PRC2主版桁	25	6340	15.5	6.20	3.10	2.50	5.00
6	鋼連続箱桁	60	10787	12.3	3.51	2.46	3.50	5.00
7	鋼少数主桁	53	7400	38	11.88	8.09	3.20	4.70
8	PRC連続箱桁	50	10434	8.3	2.37	1.66	3.50	5.00
9	鋼連続箱桁	85	11600	16.5	6.60	2.54	2.50	6.50
10	波形鋼板ウェブ	52	15200	27	7.71	4.50	3.50	6.00

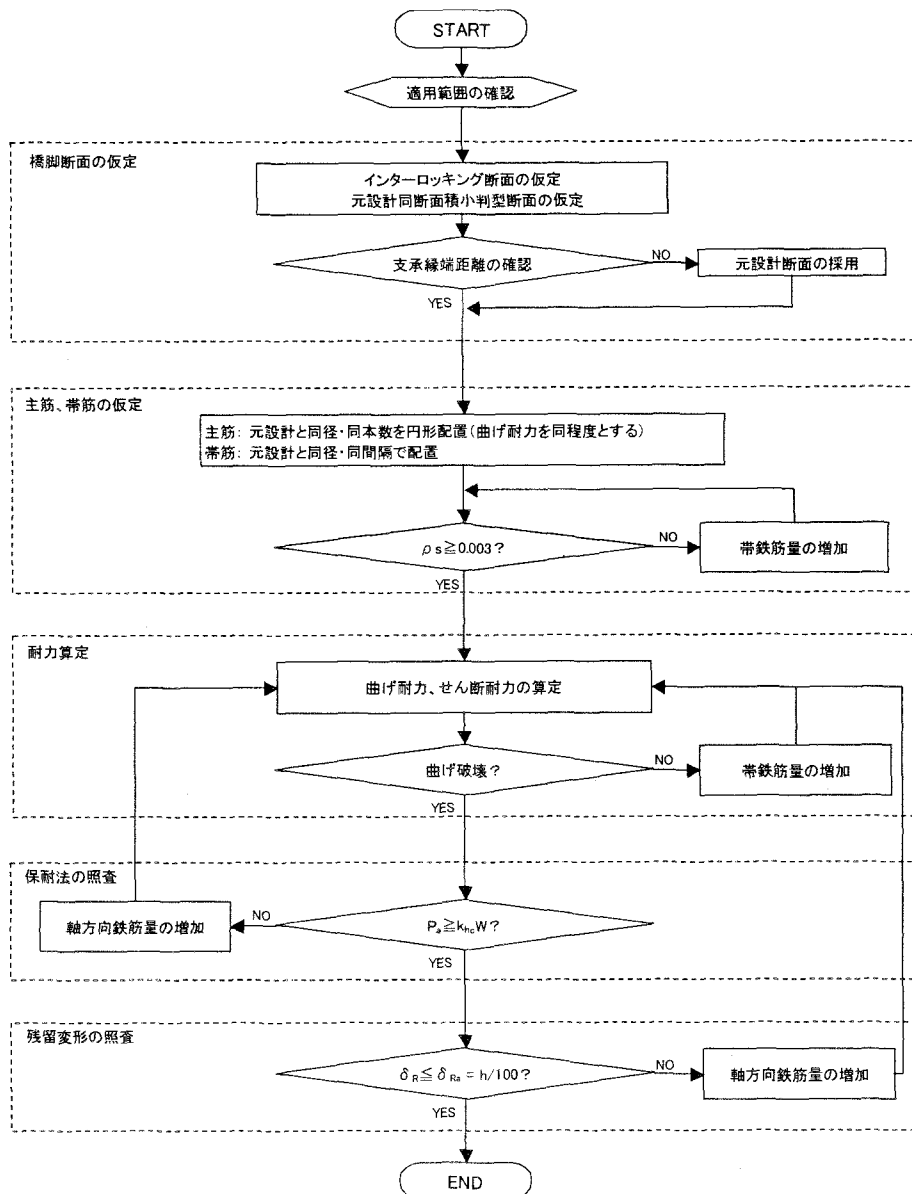


図2 修正設計フロー

4. 構造細目

対象とする橋脚は、充実の矩形断面を有する鉄筋コンクリート橋脚であり、その断面寸法は、4つの帯鉄筋をインターロックさせて補強できる範囲内とした。隣り合う帯鉄筋間隔を Caltrans の規定に従って、帯鉄筋径の 0.50~0.75 倍とすると、断面のおおよその縦横比は表 2 に示すようになる。表 3 に道路橋示方書の、構造細目上必要とされる鉄筋間隔を示す。主鉄筋および帯鉄筋ともに鉄筋径に応じて所定の鉄筋間隔を設けなければならないため、最大鉄筋量はこの制約も受けるものとして設計した。

5. 建設コスト

配筋変更で考慮すべき事項として、円形帯鉄筋の加工制約および運搬条件がある。鉄筋の標準品によって、作成できる円形帯鉄筋の最大直径と鉄筋径の関係を図 3 に示す。一般的に運搬可能なサ

イズは最大直径 3.0m であり、それ以上は現場での加工となる。また、3.0m を超える場合には、帯鉄筋を 2 本の半円形の鉄筋を組み合わせることによって作成する必要がある、その場合には、基準に従って継手長およびフックの長さだけ鉄筋量が増加することになる。帯鉄筋を 2 分割する

表 2 インターロックさせる帯鉄筋の数と橋脚断面縦横比

インターロックさせる帯鉄筋の数	断面の縦横比		
2	1.50	～	1.75
2～3	1.75	～	2.00
3	2.00	～	2.50
4	2.50	～	3.25

表 3 構造細目上決定される鉄筋の間隔

鉄筋径	40mm以上	粗骨材の最大寸法の4/3	鉄筋の直径の1.5倍	必要鉄筋あき	鉄筋最小間隔	鉄筋間隔(mm)					
						100	125	150	200	250	300
D13	40	34	23	40	55	○	○	○	○	○	○
D16	40	34	29	40	59	○	○	○	○	○	○
D19	40	34	35	40	64	○	○	○	○	○	○
D22	40	34	40	40	67	○	○	○	○	○	○
D25	40	34	46	46	77	○	○	○	○	○	○
D29	40	34	52	52	87	○	○	○	○	○	○
D32	40	34	58	58	97	○	○	○	○	○	○
D35	40	34	63	63	105	×	○	○	○	○	○
D38	40	34	69	69	115	×	○	○	○	○	○
D41	40	34	75	75	125	×	○	○	○	○	○
D51	40	34	92	92	153	×	×	×	○	○	○

粗骨材の最大寸法： 25 mm

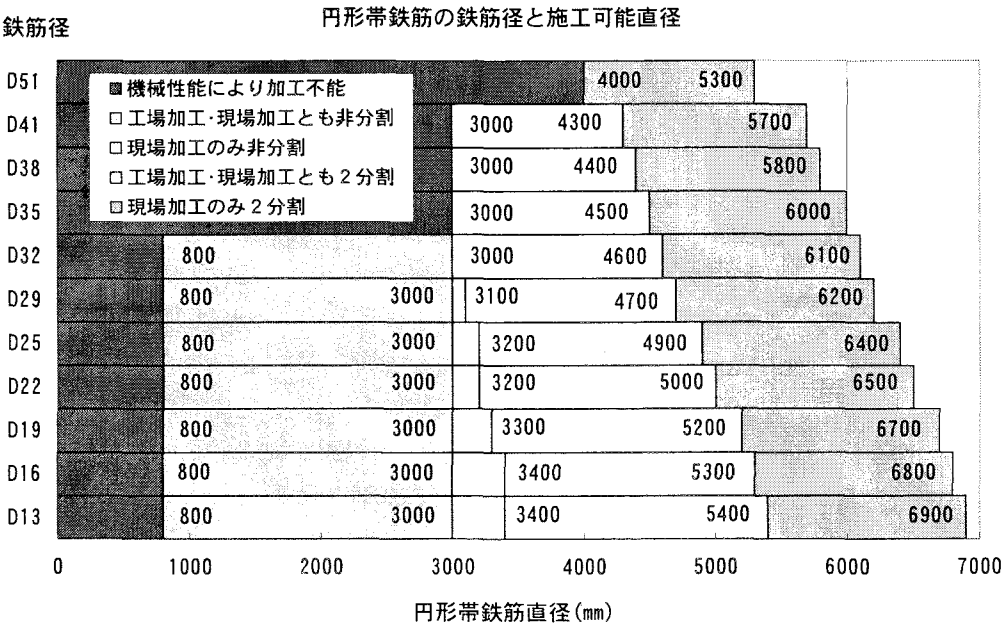


図 3 円形帯鉄筋の鉄筋径と加工可能径

ことによって増加する鉄筋量は、道路橋示方書に従えば、表4および図4に示すようになる。これによると、帯鉄筋を2分割することによって、およそ鉄筋量が10～20%増加することがわかる。

以上述べてきた条件に従って得られた修正設計結果に基づいて各橋脚の数量を計算し、コストを算出した結果を表5に示す。コスト算出における材料単価については、算出時点での材料単価を参考として、コンクリート：主鉄筋：帯鉄筋＝1：5.3：4.5と仮定した。また、これらの結果を橋脚

高さ と 上部工重量の関係でプロットしたものを図5に示す。図中の実線は、構造細目等の制約条件のもとで、設計上可能な最大上部工重量と橋脚高さの関係をⅠ種地盤、地域区分A（Cz＝1.0）の場合について示したものである。上部工重量が大きい ため断面を大幅に拡大する結果となった ケース10以外では、この範囲の中で、およそ10～20%のコスト減が見込める結果となった。

表 4 2 分割による円形帯鉄筋の増加量

各鉄筋径における鉄筋量比				
鉄筋径	①	②	③	④
	非分割最大直径	①に対する鉄筋長	①に対する2分割とした場合の鉄筋長	鉄筋量比 (③/②)
D13	3400	11636	12592	1.082
D16	3400	11857	13032	1.099
D19	3300	11763	13158	1.119
D22	3200	11669	13284	1.138
D25	3200	11889	13726	1.155
D29	3100	11869	13998	1.179
D32	3000	11775	14124	1.199
D35	2900	11681	14252	1.220
D38	2800	11587	14378	1.241
D41	2800	11807	14818	1.255
D51	2500	11599	15344	1.323

＊：ハッチング部は、曲げ加工機械の性能より加工不可能な為、参考値である。

2 分割による鉄筋の増加量（D32を使用し、φ3000とした場合）

	非分割	2 分割
概略図		
鉄筋長	$L = \pi \phi + 40D + 2 \cdot (12D + 2 \pi 3D/4)$ $= \pi \times 3000 + 40 \times 32$ $+ 2 \times (12 \times 32 + 2 \pi \times 3 \times 32/4)$ $= 11775(\text{mm})$	$L' = \pi \phi / 2 + 40D + 2 \cdot (12D + 2 \pi 3D/4)$ $= \pi \times 3000 / 2 + 40 \times 32$ $+ 2 \times (12 \times 32 + 2 \pi \times 3 \times 32/4)$ $= 7062(\text{mm})$ $L = 2 \cdot L' = 14124(\text{mm})$
鉄筋量比		1.199

図 4 2 分割による円形帯鉄筋の増加量

表5 修正設計による数量増減

番 号	項 目		インターロッキング在来		摘 要
			数量差	工費差	
ケース1	コンクリート		0.0%	0.0%	$\sigma_{ck}=30.0\text{N/mm}^2$
	鉄 筋	主鉄筋	33.3%	33.3%	SD345
		帯鉄筋	-54.3%	-54.3%	SD345
		鉄 筋 計	-20.5%	-17.1%	
	合 計		-----	-8.4%	
ケース2	コンクリート		-39.5%	-39.5%	$\sigma_{ck}=30.0\text{N/mm}^2$
	鉄 筋	主鉄筋	17.4%	17.4%	SD345
		帯鉄筋	-29.6%	-29.6%	SD345
		鉄 筋 計	6.0%	7.3%	
	合 計		-----	-17.9%	
ケース3	コンクリート		-14.3%	-14.3%	$\sigma_{ck}=30.0\text{N/mm}^2$
	鉄 筋	主鉄筋	17.4%	17.4%	SD345
		帯鉄筋	-55.6%	-55.6%	SD345
		鉄 筋 計	-8.3%	-5.7%	
	合 計		-----	-10.5%	
ケース4	コンクリート		0.0%	0.0%	$\sigma_{ck}=30.0\text{N/mm}^2$
	鉄 筋	主鉄筋	22.6%	22.6%	SD345
		帯鉄筋	-52.8%	-52.8%	SD345
		鉄 筋 計	-21.2%	-18.3%	
	合 計		-----	-10.1%	
ケース5	コンクリート		0.0%	0.0%	$\sigma_{ck}=30.0\text{N/mm}^2$
	鉄 筋	主鉄筋	8.6%	8.6%	SD345
		帯鉄筋	-76.0%	-76.0%	SD345
		鉄 筋 計	-38.7%	-35.4%	
	合 計		-----	-19.0%	
ケース6	コンクリート		-16.3%	-16.3%	$\sigma_{ck}=30.0\text{N/mm}^2$
	鉄 筋	主鉄筋	10.5%	10.5%	SD345
		帯鉄筋	-16.5%	-16.5%	SD345
		鉄 筋 計	-1.3%	-0.3%	
	合 計		-----	-9.0%	
ケース7	コンクリート		-23.2%	-23.2%	$\sigma_{ck}=30.0\text{N/mm}^2$
	鉄 筋	主鉄筋	14.3%	14.3%	SD345
		帯鉄筋	-62.0%	-62.0%	SD345
		鉄 筋 計	-19.4%	-16.5%	
	合 計		-----	-19.4%	
ケース8	コンクリート		-16.3%	-16.3%	$\sigma_{ck}=30.0\text{N/mm}^2$
	鉄 筋	主鉄筋	33.2%	33.2%	SD345
		帯鉄筋	-21.8%	-21.8%	SD345
		鉄 筋 計	2.2%	4.3%	
	合 計		-----	-10.5%	
ケース9	コンクリート		0.0%	0.0%	$\sigma_{ck}=30.0\text{N/mm}^2$
	鉄 筋	主鉄筋	2.6%	2.6%	SD345
		帯鉄筋	-39.4%	-39.4%	SD345
		鉄 筋 計	-20.1%	-18.5%	
	合 計		-----	-11.4%	
ケース10	コンクリート		46.6%	46.6%	$\sigma_{ck}=30.0\text{N/mm}^2$
	鉄 筋	主鉄筋	15.9%	15.9%	SD345
		帯鉄筋	-37.8%	-37.8%	SD345
		鉄 筋 計	-5.8%	-3.8%	
	合 計		-----	17.5%	

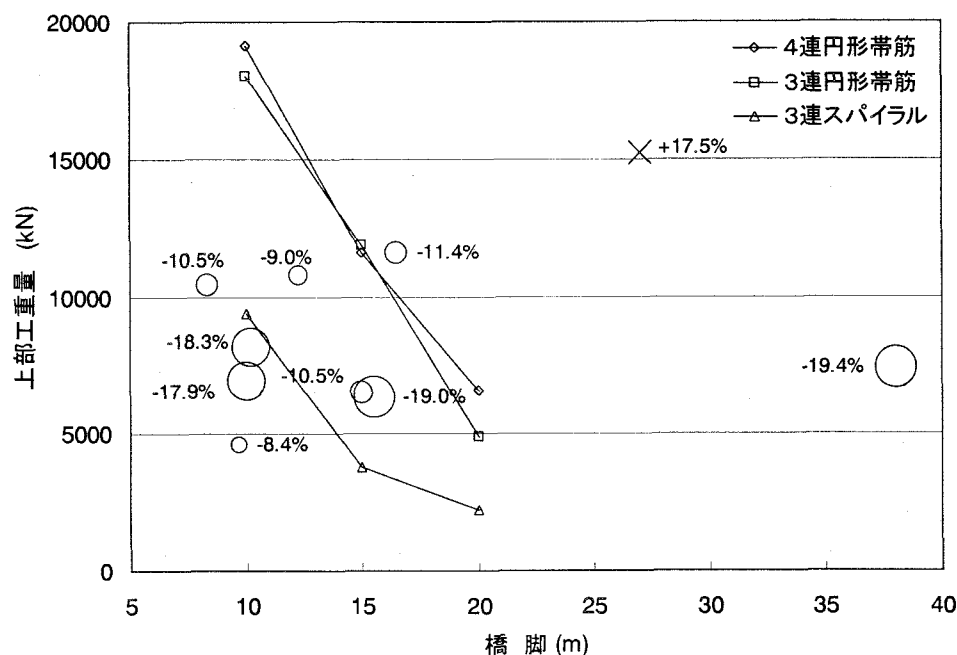


図5 インタロッキング配筋によるコスト縮減率

表6 インターロッキング式配筋の適用範囲の目安

No.	項 目	適用範囲
1	構造形式	柱式橋脚、壁式橋脚
2	上部工慣性力	上部工形式と支間長によって分類 4 0 0 0 ~ 1 2 0 0 0 kN程度
3	橋脚高さ	2.5 m程度未満
4	断面寸法	縦横比で1.5 ~ 3.25程度
5	帯筋の加工、運搬制約	帯筋径3.0 mまでは非分割加工で運搬可能 それ以上は基本的に分割加工 制約条件とはならない
6	上部工最大重量と橋脚高さの関係 (I種地盤、地域区分A)	帯筋を非分割とした場合、 脚高10 mで上部工重量2 0 0 0 0 kN程度 脚高15 mで上部工重量1 5 0 0 0 kN程度 脚高20 mで上部工重量 5 0 0 0 0 kN程度
7	支承形式	分散支承(元設計どおり) 制約条件とはならない
8	地盤種別	設計震度に反映(元設計どおり) 制約条件とはならない
9	基礎形式	直接基礎、杭基礎等を対象(元設計どおり) 制約条件とはならない

6. まとめ

コスト縮減を目的として、在来配筋からインターロッキング式配筋に修正設計し、上部工重量(上部工形式と支間長)と橋脚高さごとにその効果を調べた結果、おおよそ10~20%程度のコスト縮減率が見込めるという結果が得られた。

他の構造細目上の条件等も考慮に入れると、インターロッキング式配筋構造の経済的な適用範囲の参考として表6が得られる。実際の橋脚では本検討では考慮していない周辺状況等があり適用範囲を一律に定義することは難しいが、本検討によりインターロッキング配筋構造が有利となる概ねの範囲を示すことができた。今後、インターロッキング配筋構造の適用の増加に従い、その適性の範囲がより明確になってくるものと思われる。

参考文献

1. Tanaka, H. and Park, R., "Seismic Design and Behavior of Reinforced Concrete Columns with Interlocking Spirals" ACI Structural Journal, March-April 1993. pp192-203.
2. Ohtaki, T., Kuroiwa, T., Miyagi, T. and Mizugami, Y. "Seismic Performance of Bridge Columns with Interlocking Spiral/Hoop Reinforcement" Proceedings of 10th REAAA Conference, 2000.
3. Mizuguchi, K., Higashida, N., Osada, K. and Ohashi, G., "Design and Construction Highway Piers with Interlocking Hoops in Japan" 19th US-Japan Bridge Engineering Workshop, 2003.
4. (社)日本道路協会: 道路橋示方書・同解説 V 耐震設計編, 平成14年3月
5. Caltrans, 2000. Structures Seismic Design References, Bridge Design Specifications, California Department of Transportation, Sacramento, CA.