

補強鋼材量がコンクリート柱部材耐力に及ぼす影響

日大生産工（院）○片岡 利憲

日大生産工 水口 和彦

日大生産工 木田 哲量

日大生産工 澤野 利章

日大生産工 阿部 忠

1.はじめに

近年の公共事業費削減，あるいは高度経済成長期に建設された公共施設の老朽化などから，社会基盤施設に対して早期より適切な補修・補強を施し，延命化を図ることが求められている。

橋梁下部構造体の1つである RC 橋脚の耐震補強は，一般的に鋼板巻き立て工法，RC 巻き立て工法，連続繊維巻き立て工法などを用いて実施されている^{1),2)}。これらの中でも施工および構造計算が比較的容易である理由から鋼板巻き立て工法が最も多く採用されている。この工法は，鋼板を設置する部位により曲げ補強，せん断補強が可能であり，柱部材が水平力を受けた場合の脆性的な破壊を防止し，十分な地震変形性能を付与して，耐震性の向上を図る工法である。

従来から，この鋼板巻き立て工法に関する研究は各研究機関等で行われている^{3),4),5)}。しかしながら，研究の多くは曲げに対する検討を行っているものであり，軸方向圧縮力が作用した場合の検討はあまり行われていないのが現状である。そこで本研究では，この鋼板巻き立て工法に着目し，鋼材厚と巻き立て長のそれぞれ異なる6種類の鋼材で補強した柱モデル供試体に軸圧縮力載荷実験を行い，補強鋼材厚および巻き立て長の違いが変形性状および耐荷力に与える影響を考察した。

2.実験概要

2.1 材料特性

1) コンクリート

本供試体に用いるコンクリートには，普通ポ

ルトランドセメントと5mm以下の砕砂および5～20mmの碎石(JIS A 5005)を使用し，設計基準強度は24N/mm²とした。ここで，コンクリートの配合を表-1に示す。

2) 充填材

コンクリート柱と鋼材の隙間に注入する充填材には，実橋の橋脚補強工事でも使用されているエポキシ樹脂を使用した。ここで，エポキシ樹脂の材料特性値を表-2に示す。

3) 補強鋼材

実橋の RC 橋脚補強では，補強用鋼材を配置した後に鋼材間の溶接を行うが，本モデル実験

表-1 コンクリート配合表

W/C (%)	S/a (%)	単位体積重量(kg/m ³)				
		W	C	S	G	AE
56	43.8	144	258	820	1065	2.75

表-2 エポキシ樹脂の材料特性

圧縮強度	60N/mm ²
圧縮弾性強度	1500～3500N/mm ²
曲げ強度	50N/mm ²
引張強度	35N/mm ²
引張せん断接着強さ	10N/mm ²

表-3 鋼管の形状

鋼管内径 (mm)	鋼材厚 (mm)	長さ (mm)	ヤング係数 (kN/mm ²)
107.9	1.0	140	200
	2.0		
	3.0		
	1.0	180	
	2.0		
	3.0		

*Influence of the Steel Volume on Axial Compressive Load-Carrying Capacity
of Concrete Column*

by Toshinori KATAOKA,

Kazuhiko MINAKUCHI, Tetsukazu KIDA, Toshiaki SAWANO and Tadashi ABE

表-4 供試体名称

		巻き立て長	
		140mm	180mm
鋼材厚	1mm	EP-140-1-1,2,3	EP-180-1-1,2,3
	2mm	EP-140-2-1,2,3	EP-180-2-1,2,3
	3mm	EP-140-3-1,2,3	EP-180-3-1,2,3

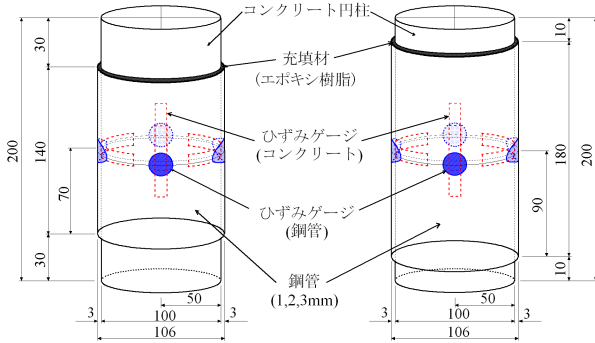


図-1 供試体形状寸法図

の場合には、鋼材を溶接することが困難である
 ので、コンクリート柱を巻き立てる鋼材には、
 鋼材の溶接に関わる諸要因を考慮して JIS
 G3444 に規定されている一般構造用鋼管を鋼材
 厚 1mm, 2mm, 3mm, 鋼材長 140mm, 180mm
 にそれぞれ加工して用いた。ここで、本供試体
 に使用した鋼管の形状を表-3 に示す。

2.2 供試体の作成

コンクリート柱を鋼材厚 1mm, 2mm, 3mm, 補強長 140mm, 180mm の鋼管で補強する。この際、軸方向圧縮力が鋼管に直接作用しないように上下両端をそれぞれ 30mm, 10mm 突出させるように鋼管をはめ込み、コンクリートと鋼管との間隙に充填材を流し込み、柱モデル供試体とした。

ここで、供試体の名称は表-4 に示す通りとして、それぞれ 3 本ずつ計 18 体とした。また、コンクリート表面および鋼管表面の供試体高の $1/2$ 、周長の $1/4$ 間隔の交点となる 4 カ所にひずみゲージを貼付した。なお、鋼板巻き立て工法においては、実務上、流動性などの問題からエポキシ樹脂の場合は約 4mm 程度の間隙幅を確保することとなっている。よって、本研究においてもこの点を考慮し、間隙幅を 3mm とした。ここで、供試体の形状寸法を図-1 に示す。

表-5 供試体耐荷力および拘束効果

供試体	コンクリート 強度 (kN)	最大荷重 (kN)	平均 (kN)	拘束効果	平均
EP-140-1-1	188.4	531.5	544.03	2.82	2.89
EP-140-1-2		560.2		2.97	
EP-140-1-3		540.4		2.87	
EP-140-2-1		531.28	602.54	2.82	3.20
EP-140-2-2		624.8		3.32	
EP-140-2-3		651.54		3.46	
EP-140-3-1		602.2	619.77	3.20	3.29
EP-140-3-2		641.4		3.40	
EP-140-3-3		615.70		3.27	
EP-180-1-1		558	560.00	2.96	2.97
EP-180-1-2		550		2.92	
EP-180-1-3		572		3.04	
EP-180-2-1		667.34	723.37	3.54	3.84
EP-180-2-2		663.58		3.52	
EP-180-2-3		839.2		4.45	
EP-180-3-1	835.46	827.90	4.43	4.39	
EP-180-3-2	809.04		4.29		
EP-180-3-3	839.2		4.45		

2.3 荷重・載荷および計測方法

載荷方法は、圧縮試験機(能力:2000kN)により荷重を一定の速度で載荷させ、荷重 10kN 増加ごとの軸方向および周方向のひずみを計測した。ひずみゲージ貼付状況を図-1 に示す。

3.実験結果および考察

3.1 実験耐荷力

実験より得られた各供試体の最大耐荷力および拘束効果を表-5 に示す。なお、最大耐荷力とは、実験より得られた最大荷重としており、最大耐荷力をコンクリートの圧縮強度で除したものを拘束効果として評価する。

同表より鋼材厚の違いによる耐荷力を比較すると、EP-140-1, 2, 3 の最大耐荷力は平均でそれぞれ 544.03kN, 602.54kN, 619.77kN となっており、鋼材厚を大きくするに伴って、最大耐荷力も増加している。

同様に、EP-180-1, 2, 3 の最大耐荷力はそれぞれ平均して 560.00kN, 723.37kN, 827.90kN となり、鋼材厚の増加に伴い、最大耐荷力も増加している。

また、コンクリート円柱を鋼材で補強することにより拘束効果は、EP140-1, 2, 3 で約 2.9 倍, 3.2 倍, 3.3 倍程度, EP-180-1, 2, 3 で約 3.0

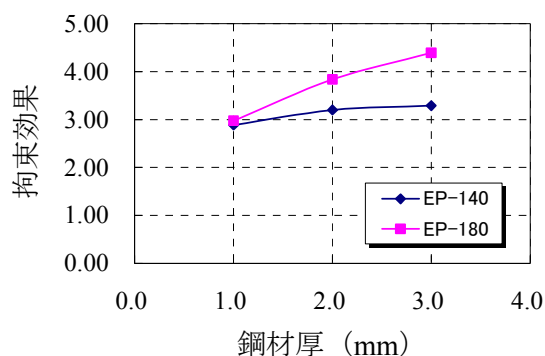


図-2 拘束効果と鋼材厚の関係

倍, 3.8 倍, 4.4 倍程度となった。

次に, 巻き立て長さの違いによる耐荷力を比較する。EP140, EP180 の最大耐荷力は, EP140-1, 2, 3 でそれぞれ 544.03kN, 602.54kN, 619.77kN であり, EP180-1, 2, 3 で 560.00kN, 723.37kN, 827.90kN となり, 巻き立て長が 40mm 長くなることにより, それぞれ 15.97kN, 121.16kN, 208.13kN の耐荷力が高くなった。

3.2 拘束効果と鋼材厚の関係

図-2 に拘束効果と鋼材厚の関係を示す。同図より鋼材厚が 2mm, 3mm と増加するに従い, 拘束効果も比例的に増していることが分かる。

また, EP-140 と EP-180 では, 鋼材厚 1mm において拘束効果は類似した値を示している。しかしながら, 鋼材厚が 2mm, 3mm と大きくなるに従い, その差異も広がり, 3mm においては, EP140 と EP180 で拘束効果を比較すると, それぞれ 3.29, 4.39 とその差異もより大きなものとなっている。これは, EP140-1, EP180-1 においては鋼材厚が 1mm と比較的薄いものであるために, 終局時において鋼材に破断が生じ, 巻き立て長さの違いによる拘束効果の顕著な差異は生じなかったものと思われる。しかし, 鋼材厚を増加させると突出部, すなわち巻き立て長さの影響が顕著なものとなり, EP140 では鋼材厚を増加させても突出部より破壊が生じ, 鋼材による横拘束が有効に機能しなかったと考えられる。

3.3 荷重とひずみ関係

本研究では, 補強鋼管が異なる 6 種類の供試体を各々 3 本ずつ用いた。実験では, 各供試体

に軸方向圧縮力を作用させた場合のコンクリート(C)および鋼材(S)の各方向のひずみの平均値を用いて荷重とひずみ関係より変形性状を検討した。なお, 変形性能の限界値はひずみゲージの信頼性を考慮して 20000×10^{-6} までとした。

図-3(a), 3(b)は, 荷重と拘束コンクリート柱表面および鋼材の軸方向ひずみの関係を示したものである。各図より, コンクリートと鋼材のひずみ関係をみると, 初期段階より類似したひずみの増加傾向を示しており, コンクリートのひずみ増加に追従して鋼管のひずみ増加がみられる。これは, 充填材であるエポキシ樹脂の接着が良好であり, コンクリートと鋼材が一体となり, 軸圧縮力に抵抗しているためと考えられる。また, コンクリート柱に圧縮力を作用させた場合, その終局圧縮破壊時の平均圧縮ひずみは, 畑野らの報告によれば⁶⁾, 2100×10^{-6} 程度である。これと比較すると, EP140-3, EP180-3 ともにコンクリートのひずみは 2100×10^{-6} 以降も荷重の増加に対してひずみは増加しており, EP180 の場合は, 最終的に 10000×10^{-6} を超え, 約 4 倍程度の変形を呈している。しかしながら, EP-140-1, 2 は EP-180 に比すると全体的にひずみの伸びが少なくなっている。これは, コンクリート突出部から先行的に破壊が進展したためであると考えられる。したがって, 鋼材でコンクリート柱を横拘束することにより柱材のじん性が向上している。

図-4(a), 4(b)は, 荷重と拘束コンクリート柱表面および鋼材の周方向ひずみの関係を示したものである。各図より, コンクリートおよび鋼材のひずみ関係をみると, EP-140-3, EP180-3 において, それぞれ 500kN, 600kN 付近まではコンクリートの体積膨張, およびそれに伴って生じる内圧による鋼管のひずみの増加がみられ, 荷重の増加に対して比較的直線的なひずみの増加がみられる。しかし, その後の荷重増加では, ひずみの増加傾向が著しい。これは, コンクリートの体積膨張を抑制していた鋼材に塑性変形

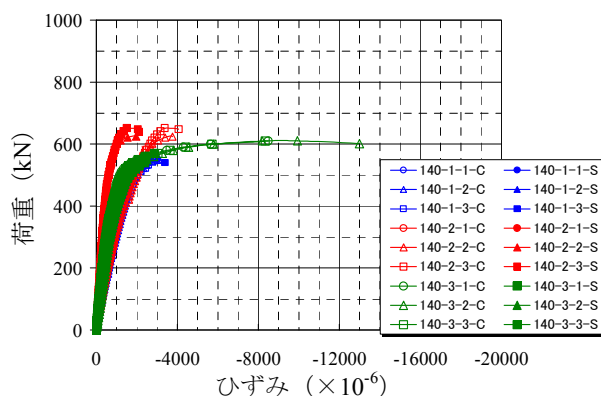
が生じたためと考えられる。なお、EP140-1, 2 においては、鋼材ひずみが他の供試体に比して低い値を示している。これは、この供試体における鋼材による横拘束が十分に発揮出来なかったためであると考えられるが、今後継続研究する予定である。

4.まとめ

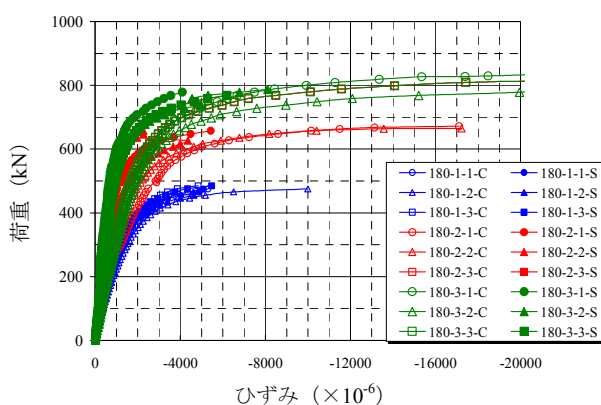
- ①鋼材厚の増加に伴い、最大耐荷力も向上している。
- ②コンクリート円柱を鋼材で補強することにより、EP140-1, 2, 3 で約 2.9 倍, 3.2 倍, 3.3 倍程度、EP-180-1, 2, 3 で約 3.0 倍, 3.8 倍, 4.4 倍程度の補強効果が得られた。
- ③巻き立て長が 40mm 長くなることにより、EP-140-1, 2, 3 と EP180-1, 2, 3 それぞれを比較すると 15.97kN, 121kN.16, 208.13kN の耐荷力が高くなっている。
- ④鋼材厚の増加に伴い、拘束効果は増した。
- ⑤エポキシ樹脂は附着性能が高く、変形性能を同調させることに優れており、供試体構成材料を一体化させるのに適している。

参考文献

- 1) (社)土木学会：コンクリート標準示方書維持管理編，pp74-77(2001)
- 2) 日本道路公団：設計要領第Ⅱ集，橋梁保全編，5 章，耐震補強
- 3) 川島一彦ほか：鉄筋コンクリート橋脚の耐震補強とその設計，橋梁と基礎，No.1，pp.27-34 (1996)
- 4) 水口和彦ほか：鋼材で拘束されたコンクリート柱の力学特性に関する実験研究，セメント・コンクリート論文集，No.55，pp.309-314 (2002)
- 5) 片岡利憲ほか：鋼材補強コンクリート柱の鋼材厚の違いが圧縮耐荷力に及ぼす影響に関する実験研究，第 42 回日本大学生産工学部学術講演会，土木部会，pp.21-24(2009)
- 6) 畑野正：コンクリートの如き脆性体のひずみに立脚した破壊論，土木学会論文報告集，第 153 号，pp.31-39 (1968)

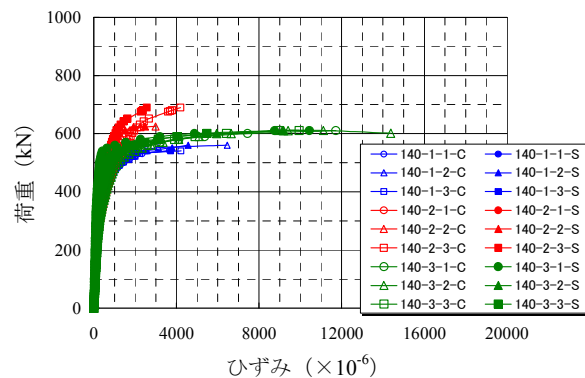


(a) EP-140 (1, 2, 3mm)

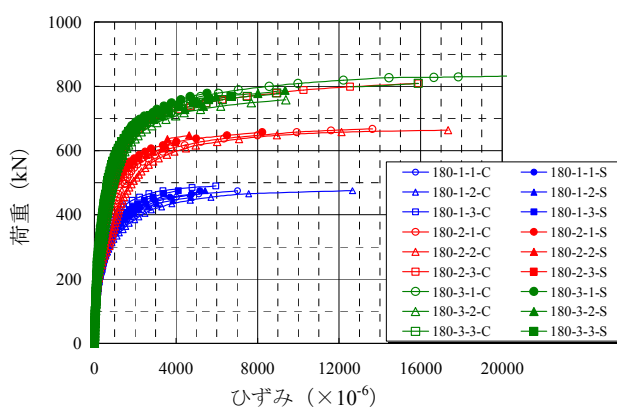


(b) EP-180 (1, 2, 3mm)

図-3 荷重と軸方向ひずみの関係



(a) EP-140 (1, 2, 3mm)



(b) EP-180 (1, 2, 3mm)

図-4 荷重と周方向ひずみの関係