

鋼板巻き補強された鉄筋コンクリート橋脚のアンカーによる拘束効果に関する検討

(公財) 鉄道総合技術研究所 正会員 ○中田 裕喜, 鬼頭 直希, 岡本 大

1. はじめに

鉄筋コンクリート（以下、RC）橋脚は一般に大断面であるため、RC ラーメン高架橋柱に比して、外部からの巻立て材による軸方向鉄筋の座屈に対する拘束効果は小さいと考えられる。本研究は、鋼板巻立て補強された RC 橋脚の、アンカーによる軸方向鉄筋の座屈に対する拘束効果について検討したものである。

2. 実験概要

図-1 および表-1, 2 に、供試体諸元を示す。No.1 は辺長比（断面の長辺／短辺）が 3 で、今回実験を行った供試体である。補強方法は、鋼板（SS400）を巻立て、断面を貫通させた PC 鋼棒（C 種）を 2 列配置した。ただし、鋼板および貫通 PC 鋼棒をあらかじめ設置した後、コンクリートを打設した。プレストレスは導入していない。なお、鋼板下端には 50mm のあきを設けている。載荷方法について、 $a=2000\text{mm}$ ($a/d=4.4$) の位置において、引張鉄筋の降伏時の変位 δ_y を基準変位とし、 δ_y , $2\delta_y$, $4\delta_y$... $2n\delta_y$ (n は整数) と δ_y の偶数倍で各サイクル 3 回の繰返し載荷を行った。載荷は弱軸方向である。軸力は、鉛直ジャッキにより 750kN（応力で 1.0N/mm^2 ）の一定載荷とした。

なお、WP32 および WP34 は文献¹⁾で検討されたものであり、辺長比は 6 としている。WP32 のアンカーとして D6 の鉄筋が 2 列に、WP34 については、基部 1D (D: 断面短辺高さ) の範囲で M8 の全ねじボルトが 5 列に千

鳥配置されている。ただし、いずれのアンカーも断面を貫通しておらず、軸方向鉄筋の裏面から 30ϕ (ϕ : アンカー径) の長さとなっている。WP32, WP34 は No.1 と供試体諸元やアンカーの定着方法が異なるため、直接の比較はできない。しかし、断面幅 b の影響を考慮した鋼板巻き高架橋柱の変形性能算定式²⁾と比較することでアンカー水平間隔の影響に配慮し、アンカーの拘束の程度が変形性能算定式の適用性に及ぼす影響の確認の観点から、検討に加えた。

3. 実験結果

図-2 に水平荷重と水平変位関係を、図-3 に No.1 における試験終了時 ($-14\delta_y-1$) での鋼板のはらみ出し状況を示す。No.1 について、アンカーにより軸方向鉄筋の座屈が拘束され、アンカー間の軸方向鉄筋の座

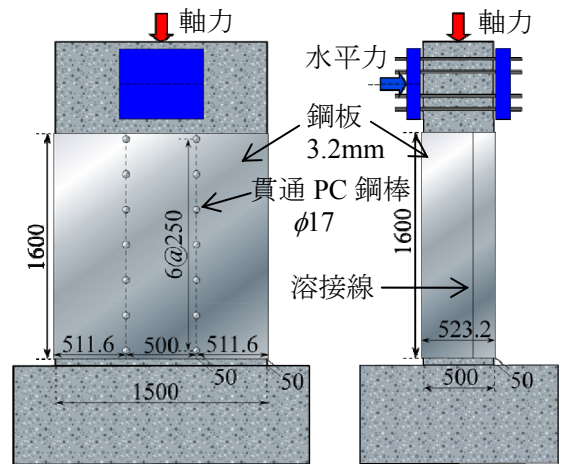


図-1 供試体諸元 (No. 1) 単位: mm

表-1 既設部諸元

供試体名	既設部寸法				f'_c (N/mm^2)	軸方向鉄筋				帯鉄筋				軸応力 (N/mm^2)	無補強時		
	b (mm)	D (mm)	d (mm)	a (mm)		径	規格	f_y (N/mm^2)	p_t (%)	径-間隔	規格	f_y (N/mm^2)	p_w (%)		V_{mu} (kN)	V_c (kN)	V_{mu}/V_c
No.1	1500	500	455	2000	36.3	D16	SD345	378	0.61	D6-150mm	SD345	468	0.11	1.0	499	546	0.91
WP32 ¹⁾	3000	500	465	2000	18.3	D16	SD295A	375	0.58	—	—	—	—	0.5	749	812	0.92
WP34 ¹⁾	—	—	—	—	21.4	—	—	362	—	—	—	—	—	—	728	858	0.85

表-2 補強材諸元

供試体名	鋼板		アンカー						充填材		*1：鋼板を型枠内に配置し、充填材厚さを既設部と一体打ち。ただし、下端のあきを 50mm 確保（図-1）	
	厚さ (mm)	種類	f_y (N/mm ²)	種類	f_y (N/mm ²)	f_u (N/mm ²)	平均間隔 (mm)		定着方法	種類		厚さ (mm)
							水平方向	鉛直方向				
No.1	3.2	SS400	278	PC鋼棒(C種)	1185	1286	507	250 (d/2)	貫通	コンクリート ^{*1}	10	
WP32 ¹⁾			271	D6	419	605	1009	250 (d/2)	軸方向鉄筋の裏面から30φ	モルタル	10	
WP34 ¹⁾			279	M8	570	914	504					

安全係数 1.0, 実強度

*1: 鋼板を型枠内に配置し、充填材厚さ相当を既設部と一体打ち。ただし、下端のあきを 50mm 確保 (図-1)

b : 断面長辺幅, D : 断面短辺幅, d : 有効高さ, a : セン断スパン, f'_c : コンクリート圧縮強度, f_y : 降伏強度, p_t : 引張鉄筋比, p_w : 帯鉄筋比, V_{mu} : 曲げ耐力³⁾に達するときのせん断力, V_c : セン断補強鋼材を用いない棒部材のせん断耐力³⁾, f_u : 引張強度

keyword: 鉄筋コンクリート橋脚, 鋼板巻立て補強, アンカー, 拘束効果, 変形性能

連絡先: 〒185-8540 国分寺市光町 2-8-38 (公財) 鉄道総合技術研究所 TEL 042-573-7281

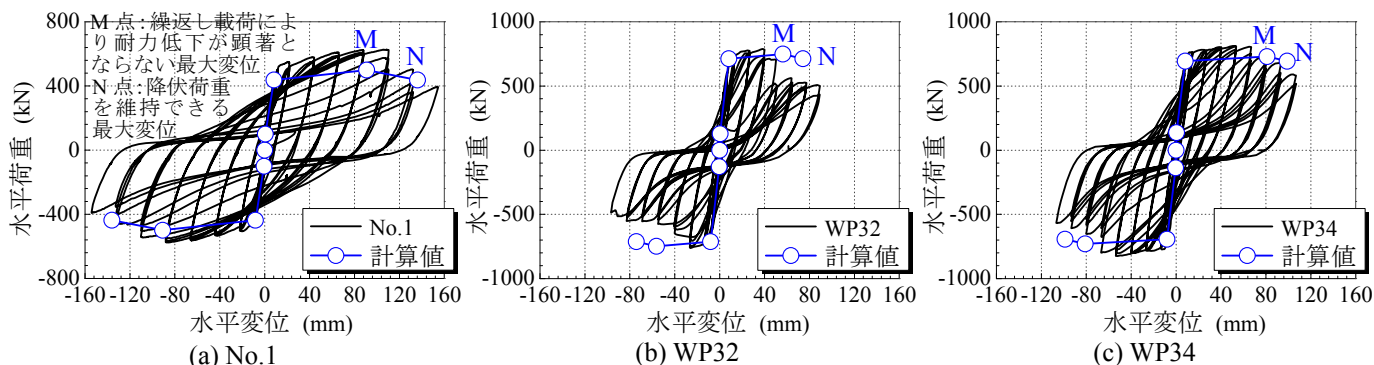


図-2 水平荷重－水平変位関係

屈に伴う鋼板のはらみ出しにより、水平荷重の低下が生じた。なお、WP32 はアンカーの引抜けにより、WP34 は試験終了までアンカーが引抜けることなく鋼板のはらみ出しにより水平荷重が低下している¹⁾。

No.1 のアンカーのひずみについて、ひずみの計測が可能であった $-10\delta_y-2$ までにおいて、アンカーは降伏していない。また、側面の鋼板においては、基部より100mm 上方の位置にて、 $-8\delta_y-3$ のときに降伏ひずみ(1390 μ)に達し、試験終了までの最大ひずみは1466 μ であった。なお、WP32, WP34 についてはアンカーひずみを計測していないため、降伏の有無は不明である。

No.1 のように、アンカーの拘束力が大きければ、アンカー間で鋼板がはらみ出すと考えられるため、拘束効果に関する断面幅をアンカー水平間距離とみなせる可能性がある⁴⁾。そこで、鋼板巻き高架橋柱の変形性能算定式²⁾における b にアンカー平均水平間距離(表-2)を用いて変形性能を算定した(以下、計算値)。なお、変形性能算定式におけるM点、N点²⁾の塑性ヒンジ回転角は式(1)の通りであり、 k_{rb} および p_{sr} に b の影響が考慮されている。

$$\theta_{pm} = (0.021k_{w0} \cdot p_w + 0.0083k_{sr0} \cdot p_{sr} \cdot k_{rb} + 0.013) / (0.79p_t + 0.153)$$

$$\theta_{pn} = \theta_{pm} + \Delta\theta_p, \quad \Delta\theta_p = K_p \cdot (M_y - M_m), \quad K_p = k / M_m, \quad k = -0.21 \quad (1)$$

ただし、 $0.021k_{w0} \cdot p_w + 0.0083k_{sr0} \cdot p_{sr} \cdot k_{rb} + 0.013 \leq 0.04$, $0.79p_t + 0.153 \geq 0.78$

ここに、 p_{sr} : 補強鋼板比(%)で $p_{sr} = 2t/b$, b : 断面幅(mm), t : 鋼板厚(mm), k_{w0} , k_{sr0} : 帯鉄筋強度または鋼板強度を考慮する係数²⁾, k_{rb} : 柱寸法を考慮する係数で $k_{rb} = -0.0013b + 1.9 \geq 0$, である。

図-2 に計算値を、図-4 に無次元化拘束量と変形性能の実験値/計算値の比較を示す。無次元化拘束量とは、単位高さあたりにおいて、降伏強度を考慮した貫通 PC 鋼棒総断面積を、降伏強度を考慮した側面鋼板断面積で除したものである。無次元化拘束量が小さい(あ

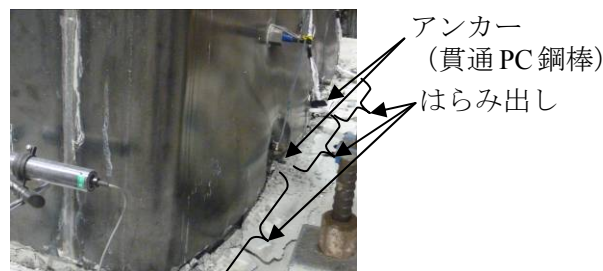


図-3 試験終了時の損傷状況 (No. 1)

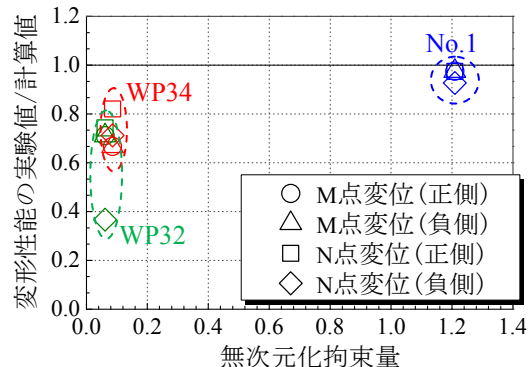


図-4 無次元化拘束量と変形性能算定式の適用性

るいはアンカーを貫通していない) WP32, 34 に対しては、計算値は実験値を過大評価すること、無次元化拘束量が1.2であるNo.1であれば、計算値により概ね評価できることを確認した。

なお、表-1 に示すように、いずれの供試体も V_{mu}/V_c は1.0より小さく、斜めひび割れが顕著でなかった。斜めひび割れが顕著な場合は、さらに検討が必要である。

4. まとめ

貫通 PC 鋼棒により拘束し、かつ降伏強度を考慮した貫通 PC 鋼棒総断面積が降伏強度を考慮した側面鋼板断面積より大きい場合、拘束効果に関する断面幅を貫通 PC 鋼棒の水平間隔とすることで、鋼板巻き高架橋柱の変形性能算定式を適用できることが示唆された。

参考文献

- 岡本ら：壁式橋脚の鋼板巻立てによる耐震補強効果，コンクリート工学年次論文集，Vol.22，No.3，pp.1615-1620，2000。
- 鉄道総合技術研究所：既存鉄道コンクリート高架橋柱の耐震補強設計指針，2013。
- 土木学会：2012年制定 コンクリート標準示方書(設計編)，2013.3。
- 宮本ら：既設橋脚の鋼板巻き耐震補強方法に関する実験的研究，コンクリート工学年次報告集 9-2，pp.275-280，1987。