

鋼板によって巻立て補強した鉄筋コンクリート橋脚の限界状態変位評価手法の検証

国立研究開発法人土木研究所 正会員 ○石崎 寛史, 澤田 守, 大住 道生

1. はじめに

道路橋示方書V耐震設計編¹⁾(以下、道示)では、曲げ破壊型の鉄筋コンクリート橋脚(以下、RC 橋脚)の塑性変形能の評価法が規定されている。この方法は、軸方向鉄筋の引張ひずみを指標の一つとして正負交番載荷試験における水平力―水平変位関係や損傷状況を踏まえて限界状態 2,3 に相当する水平変位(以下、限界状態変位)を特定し、その変位を重回帰分析より求めたものである²⁾。一方、文献³⁾に基づく巻立て補強した RC 橋脚の限界状態評価法では、最大水平耐力付近で安定していた水平力が低下し始める点を設計上の終局変位とみなし、これに安全係数(限界状態 2 : 1.5, 限界状態 3 : 1.2)を考慮することによって限界状態変位を算出しているが、この限界状態変位は、直接橋脚の変位や損傷状況、抵抗特性の関係を評価した点ではないといった課題がある。

著者らは巻立て補強した RC 橋脚の評価手法を道示¹⁾と同等のメカニズムに基づく設計手法とすることを目的に、巻立て補強した RC 橋脚の損傷状態に応じた限界状態の評価や不確実性を考慮した部分係数の設定に向けて、巻立て補強した RC 橋脚の塑性ヒンジ長 L_p ⁴⁾や限界状態⁵⁾の評価を行っている。しかし、文献⁴⁾⁵⁾の検討において、対象としている供試体数は、鋼板によって巻立て補強した RC 橋脚(以下、鋼板巻立て橋脚)に限れば 4 供試体と、検証数が少ないことが課題となっていた。本稿では、既往の鋼板巻立て橋脚の正負交番載荷実験結果を収集し、提案した限界状態変位の評価式の推定精度の検証結果について報告する。

2. 対象供試体

本稿で対象とした供試体の一覧を表-1 に示す。対象とした供試体^{6)~11)}は、過去に行われた鋼板巻立て橋脚の実験のうち、正負交番繰返し載荷が行われており、同一変位での載荷繰返し回数が 3 回のものとした。対象供試体のうち、橋脚基部にアンカー定着を行う曲げ耐力補強が 3 基(図-1 (a)), アンカー定着を行わないじん性補強が 9 基(図-1 (b))である。

3. 限界状態変位の評価手法

実験における限界状態変位の評価手法は、星隈らが提案した新設 RC 橋脚の評価手法²⁾と同様の観点で行った。具体的には、限界状態 2 は、3 回繰返し載荷のうち、1 回目載荷の水平力の最大値と 3 回目載荷の水平力の最大値の比率が 85%を上回り、かつ、2 回目載荷のエネルギー吸収量と 3 回目載荷のエネルギー吸収量の比率が 90%を上回る限界の状態とした。また、限界状態 3 は水平耐力を保持している限界の状態とした。上述の指標に基づき、各供試体の実験結果より算出した限界状態変位の一覧を表-2 に示す。

表-1 対象供試体の諸元

補強 目的 分類	供試 体 No.	断面 形状	断面 寸法 (mm)	載荷 高さ (mm)	軸方向 鉄筋比 (%)	帯鉄筋 体積比 (%)	軸方向鉄筋		アンカー筋		参考 文献
							径	降伏点 (N/mm ²)	径	降伏点 (N/mm ²)	
曲げ 耐力 補強	1	矩形	600 × 600	2950	1.59	0.13	D10	382	D13	345	6)
	2	矩形	600 × 600	3010	1.59	0.13	D10	381	M12	298	7)
	3	矩形	600 × 600	3010	1.59	0.13	D10	381	M12	298	7)
じん 性 補強	4	矩形	500 × 500	2330	2.28	0.07	D10	362	-	-	8)
	5	矩形	500 × 500	2330	2.28	0.07	D10	362	-	-	8)
	6	矩形	800 × 800	3000	2.48	0.25	D32	345	-	-	9)
	7	矩形	800 × 800	3000	2.48	0.25	D32	350	-	-	9)
	8	矩形	800 × 800	3000	2.48	0.25	D32	350	-	-	9)
	9	矩形	800 × 800	3000	2.48	0.25	D32	346	-	-	10)
	10	矩形	800 × 800	3000	2.48	0.25	D32	346	-	-	10)
	11	矩形	500 × 500	2000	3.45	0.24	D13	359	-	-	11)
	12	矩形	500 × 500	2000	3.45	0.24	D13	359	-	-	11)

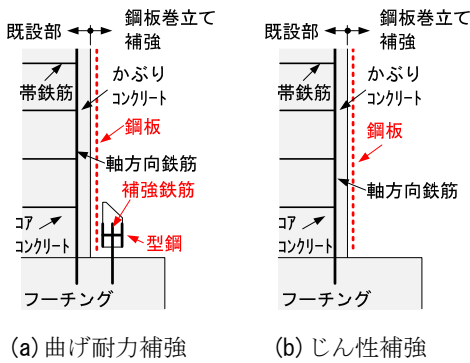


図-1 対象供試体の概念図

キーワード 鉄筋コンクリート橋脚, 耐震補強, 限界状態, 鋼板巻立て, 設計法

連絡先 〒305-8516 茨城県つくば市南原 1-6 (国研) 土木研究所構造物メンテナンス研究センター TEL 029-879-6773

新設 RC 橋脚の計算による限界状態変位の評価式は、道示¹⁾では、式 (1) により算出することが規定されている。補正係数 k は、実験値が評価式を 1.3 倍程度上回ったことを考慮して設定されたものである¹²⁾。

$$\delta_{ls} = k \cdot (\delta_{ye} + (\phi_s - \phi_y) L_p (h - L_p / 2)) \quad (1)$$

本稿では、鋼板巻立て橋脚の計算による限界状態変位の計算値は、著者らの提案手法^{4), 5)}に基づき、式 (2) の β_{co} を、式 (3) に示す β_{sc} と置き換え算出した。この限界状態変位の評価式の詳細については、文献^{4), 5)}を参照されたい。

$$\varepsilon_{st} = C \cdot L_p^{0.15} \cdot \phi^{0.15} \cdot \beta_s^{0.20} \cdot \beta_{co}^{0.22} \quad (2)$$

$$\beta_{sc} = \frac{384 E_c I_{sc}}{5 n d^3 s} \quad (3)$$

4. 限界状態変位の算出結果及びその精度

前章にて算出した限界状態変位の実験値と計算値の比率の図-2に頻度分布、表-3に統計値を示す。頻度分布及び統計値には、本稿で検証した12供試体に加え、既往文献⁵⁾にて検証済みの鋼板巻立て橋脚4供試体を加えた結果である。また、統計値には新設橋を対象とした構造諸元でのRC橋脚の検証結果¹²⁾も示し、鋼板巻立て橋脚と新設RC橋脚の推定精度を比較した。なお、計算値は、評価式による推定精度を確認する目的で、前述の補正係数 k を考慮していない。

実験値と計算値の比率の平均値は、限界状態2、3ともに、新設RC橋脚の補正係数である $k=1.3$ と概ね近い値になる。図-3に示す、限界状態の変位について実験値と計算値を比較したのもでも、 $k=1.3$ 付近で良好な分布となっている。ばらつきについても、限界状態2、3ともに、20%程度となり、補正係数設定時と同程度である。

以上より、著者らの提案手法^{4), 5)}を用いた場合において、鋼板巻立て橋脚の限界状態変位算出時の補正係数 k は、新設RC橋脚と同様に1.3とすることで、新設RC橋脚の設計法と同様の信頼性を確保できることが確認できた。

5. まとめ

本稿では、鋼板巻立て橋脚について、提案されている限界状態変位の評価式のばらつきの検証を行った。今後の課題は、

同様の限界状態変位の評価式が提案されている炭素繊維によって巻立て補強したRC橋脚について、提案式の適用性を検証し、設計法としての所定の信頼性の確保について検討していく。

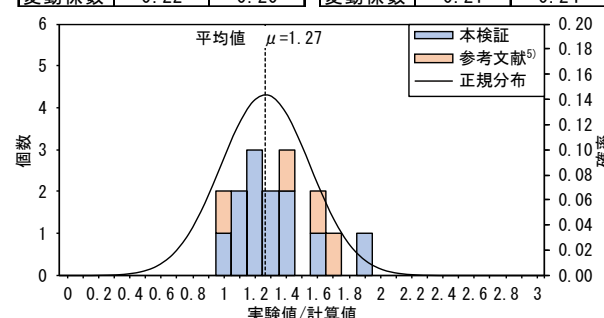
参考文献 1)(社)日本道路協会:道路橋示方書・同解説 V 耐震設計編,2017. 2)星隈ら:鉄筋コンクリート橋脚の地震時限界状態の評価手法に関する研究,土木研究所資料,No.4262,2013. 3)(社)日本道路協会:既設道路橋の耐震補強に関する参考資料,1997. 4)宮田ら:巻立て補強された鉄筋コンクリート橋脚の塑性ヒンジ長の評価,構造工学論文集,Vol.65A,pp.250-263,2019. 5)宮田ら:巻立て補強された鉄筋コンクリート橋脚の限界状態評価に関わる解析的検討,第22回橋梁等の耐震設計シンポジウム講演論文集,pp.123-130,2019. 6)幸左ら:RC橋脚の変形性能向上に関する実験的研究,土木学会論文集 No.578/V-37,pp.43-56,1997. 7)川島ら:鉄筋コンクリート橋脚の耐震補強法とその設計,橋梁と基礎,pp.27-34,1996.1. 8)中野ら:鋼板補強したRC橋脚の基部に着目した静的交番載荷試験,土木学会第52回年次学術講演会,V-323,pp.646-647,1997. 9)谷村ら:RC柱の鋼板巻き補強における鋼板分割の影響に関する実験的研究,土木学会第51回年次学術講演会,V-530,pp.1058-1059,1996. 10)西川ら:鋼板巻き補強柱部材の変形性能,コンクリート工学年次論文報告集,Vol.18,No.2,pp.1505-1510,1996. 11)金子ら:既設RC橋脚の耐震性向上に関する実験検討,土木学会第51回年次学術講演会,V-528,pp.1054-1055,1996. 12)大住ら:V耐震設計編の改定と関連する調査研究,土木技術資料,第60巻,第2号,pp.30-33,2018.

表-2 実験における限界状態時の変位

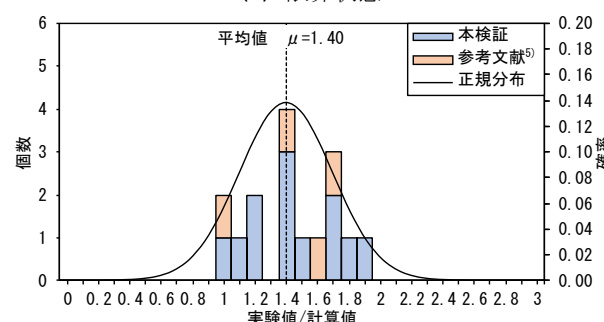
供試体 No.	限界状態2		限界状態3		供試体 No.	限界状態2		限界状態3	
	基準変位	変位 (mm)	基準変位	変位 (mm)		基準変位	変位 (mm)	基準変位	変位 (mm)
1	5 δ_y	83	6 δ_y	99	7	4 δ_y	73	6 δ_y	113
2	6 δ_y	81	7 δ_y	95	8	6 δ_y	101	8 δ_y	134
3	5 δ_y	67	6 δ_y	81	9	6 δ_y	85	8 δ_y	113
4	6 δ_y	73	7 δ_y	85	10	10 δ_y	115	12 δ_y	138
5	3 δ_y	44	5 δ_y	74	11	5 δ_y	39	6 δ_y	47
6	6 δ_y	103	8 δ_y	138	12	6 δ_y	45	7 δ_y	53

表-3 限界変位 (実験値/計算値) の統計値

(a) 限界状態2			(b) 限界状態3		
	本検証	新設RC ¹²⁾		本検証	新設RC ¹²⁾
データ数	16	34	データ数	16	34
平均値	1.27	1.22	平均値	1.40	1.32
標準偏差	0.28	0.24	標準偏差	0.29	0.31
変動係数	0.22	0.20	変動係数	0.21	0.24

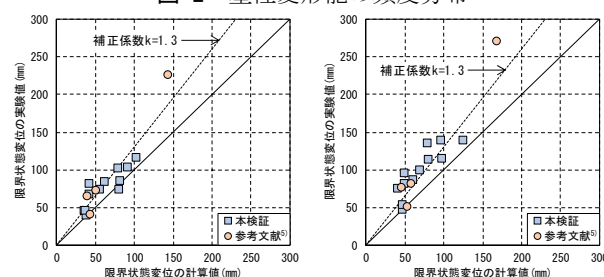


(a) 限界状態2



(b) 限界状態3

図-2 塑性変形能の頻度分布



(a) 限界状態2

(b) 限界状態3

図-3 限界状態の変位の比較