建築分野の耐震設計指針によるフレキシブル RC 橋脚の耐力評価に関する考察

大日本コンサルタント(株) 正会員 〇高 文君 吉澤 努 非会員 石井 喜代志 (株)大塚社会基盤総合研究所 フェロー 大塚 久哲 九州大学大学院 正会員 梶田 幸秀

1. はじめに

本研究では、既設橋のフレキシブル RC 橋脚を対象に検討を行った.対象橋脚は壁厚が薄く橋軸方向にフレキシ ブルであるが、橋軸直角方向には耐震壁を有する門型 RC ラーメン橋脚である.この形式の橋脚が採用された当時 の設計地震力は現在の道路橋示方書におけるレベル1地震動相当であり、橋脚の厳密なせん断耐力照査も義務付け られていなかったことから、中央壁(耐震壁)に構造要素としての強度を期待していない設計であったと推測される. しかし、1995 年兵庫県南部地震後に、設計地震力が大幅に引き上げられたことから、既設橋梁もレベル2地震動に 対して耐震補強設計を行う必要が生じている.橋脚の耐震設計では、曲げ破壊を先行させることが望ましいことか ら、せん断耐力と曲げ耐力の両者を的確に把握し、その大小関係を明らかにすることが必要であるが、耐震壁を有 する門型 RC ラーメン橋脚については地震時の耐力、特にせん断耐力に関する知見がほとんどなく、レベル2地震 動に対して想定すべき破壊モードが不明確である.

道路橋示方書¹⁾に基づくせん断耐力評価式は、矩形断面・円形断面・中空矩形断面に適用できるが、耐震壁を有 する I 型断面となる本橋脚のせん断耐力評価は想定されていない(図-1参照).これに対し、本橋脚と同様な構造 形状に建築分野の「耐震壁」がある.建築分野の耐震壁には、80年以上の研究実績があるが、その研究理論を用い て当該橋脚のせん断耐力と曲げ耐力を評価する場合、その適用性に関して検討・考察が必要である.以上のような 背景を踏まえ、本研究では、建築分野の耐震設計指針のせん断耐力^{2),3)}と曲げ耐力^{3),4)}の評価手法を調査し、本橋 脚の耐力を適切に評価できる算定手法を検討した.また、計算値と既往の実験値^{5),6)}との比較から、本橋脚の破壊 モードを考察した.

2. 建築分野におけるせん断耐力評価式

建築分野のせん断耐力評価式として、主に部材実験結果に基づいて提案された実験式とトラス・アーチ理論から 求められた理論式がある.両式とも建築分野の耐震壁によく適用されているが、本橋脚と建築分野の耐震壁を比べ ると、両側柱と中央壁の断面積の割合に顕著な差異があるため、コンクリートの有効断面積とせん断補強筋の影響 などを適切に考慮することが必要である.そこで本研究では、実験式において、**図**-1 のように、コンクリート断 面は1型断面の断面積と等価な面積となる矩形断面に置換させ、有効面積の長さは両側柱の中心間距離(j_e)、厚さ は等価矩形断面の幅(t_e)にする.せん断補強筋の耐力は柱と壁の断面積の割合を重みとして平均したものである。 修正した実験式を式(1)とする.理論式において、トラス機構のコンクリート圧縮束の角度(ϕ)を45°で一定値と し、せん断補強筋の負担分は柱と壁の断面積の割合を考慮した方法を取込み、修正した理論式を式(2)とする.

$$Q_{su,1} = \left\{ \frac{0.068P_t^{0.23}(F_c + 18)}{\sqrt{M/(Q \cdot l) + 0.12}} + 0.1\sigma_0 + 0.85\sqrt{P_{cs} \cdot \sigma_{cy} \cdot \left(\frac{A_c}{A}\right)} + P_{ws} \cdot \sigma_{wy} \cdot \left(\frac{A_w}{A}\right) \right\} t_e \cdot j_e \quad (1)$$

$$Q_{su,2} = t_w l_{wb} \left[P_{cs} \cdot \sigma_{cy} \cdot \left(\frac{A_c}{A}\right) + P_{ws} \cdot \sigma_{wy} \cdot \left(\frac{A_w}{A}\right) \right] \cot \phi + \tan \theta (1 - \beta) t_w l_{wa} v \sigma_B / 2 \quad (2)$$

$$= L_c \cdot L_c \cdot L_e = A/l : I$$
型断面の断面積と等価な面積となる矩形断面の幅(mm)

 A:橋脚(供試体)の全断面積(mm²)
 l:橋脚(供試体)の全長(mm)

 j_e :両側柱の中心間距離(mm)
 P_{cs} :両側柱の帯鉄筋比

 σ_{cy} :柱帯鉄筋の降伏強度(N/mm²)
 A_c :両側柱の断面積(mm²)

 P_{ws} :中央壁の横方向鉄筋比
 σ_{wy} :壁横筋の降伏強度(N/mm²)

 A_w :中央壁の断面積(mm²)
 t_w :中央壁の厚さ(mm)

 そのほかのパラメータは、文献 2)、3)
 を参照されたい.



キーワード フレキシブル RC 橋脚, 耐震壁, せん断耐力, 曲げ耐力

連絡先 〒170-0003 東京都豊島区駒込 3-23-1 大日本コンサルタント(株) インフラ技術研究所 TEL:03-5394-7604

3. 建築分野における曲げ耐力評価式

建築分野の耐震壁における終局曲げモーメントの計算は、文献3)、4)に定められている式(3)を用いて行う.

$$M_{u} = 0.9a_{t} \cdot \sigma_{ty} \cdot D + 0.4a_{w} \cdot \sigma_{wy} \cdot D + 0.5N \cdot D(1 - \frac{N}{B_{c} \cdot D \cdot F_{c}})$$
(3)

ここに,

 a_t : 引張側柱の主鉄筋の全断面積(mm²) σ_t : 引張側柱の主鉄筋の降伏強度(N/mm²)

 $a_t \cdot \sigma_{ty} = \sum \left(a_{t,D16} \cdot \sigma_{ty,D16} + a_{t,D10} \cdot \sigma_{ty,D10} \right)$

*a*_{t.D16}, *σ*_{tv.D16}: 主鉄筋直径 16mm の全断面積および降伏強度 D: 耐震壁(供試体)の全長(mm)

 $a_{t,D10}$, $\sigma_{ty,D10}$:主鉄筋直径 10mm の全断面積および降伏強度 l_w :I型断面の場合は両側柱中心間距離(mm) a_w :中央壁の縦方向鉄筋の全断面積(mm²) σ_{wy} :中央壁の縦方向鉄筋の降伏強度(N/mm²)

そのほかのパラメータは、文献 3)、4)を参照されたい.

4. 計算値と実験値の比較、および破壊モードの考察

せん断耐力と曲げ耐力の計算値と実験値の比較を表-1に示す。ここで、 $Q_{su,1} \ge Q_{su,2}$ は式(1)、(2)によるせん断耐力の計算値である. $Q_{mu,3}$ は式(3)による終局曲げモーメントをせん断スパンで除した計算値である.実験値は載荷実験で得られた各供試体の最大耐力(最大荷重値)である.また、本検討で対象となる供試体概要、実験ケースおよび載荷方法については文献 5)、6)を参照されたい.

文献 6) に示したように,供試体 No.1 の塑性率は 2.5, No.2 と No.3 は 3.7, No.4 は 4.6 であった.本研究の耐力の計算結果によると,せん断耐力 $Q_{su,1}$ ではすべての供試体で $Q_{su,1} > Q_{um,3}$ より曲げ破壊型と判断されるが,せん断耐力 $Q_{su,2}$ では横方向鉄筋が少ない供試体 No.1 のみ $Q_{su,2} < Q_{um,3}$ よりせん断破壊型と判断される.

写真-1に各供試体の終局破壊状況を示す.供試体 No.1 の破壊形態はせん断破壊に近く,それ以外は曲げ破壊 に近いと考えられる.これは、Q_{su.2}とQ_{um.3}による破壊形態の判定と一致している.これにより、本橋脚の破壊形態 を、No.1は塑性率 2.5 ではあるがせん断破壊型、No.2~4 は曲げ破壊型とする.ただし、せん断破壊型の供試体 No.1 の耐力はQ_{su.2}と違いが見られることから、式(2)を本形式のフレキシブル RC 橋脚に適用するにはまだ検討が必要で あると考えられる.

供封休	せん断耐力		曲げ耐力	宝驗値
No.	Q _{su,1}	Q _{su,2}	Q _{mu,3}	入歌世
	(kN)	(kN)	(kN)	(kN)
1	352.89	230.88	309.23	304.75
2	396.18	326.65	309.24	321.00
3	423.62	323.95	309.31	318.00
4	439.35	393.33	309.30	324.50
供試体 No.	計算值/実験值			
1	1.16	0.76	1.01	
2	1.23	1.02	0.96	
3	1.33	1.02	0.97	
4	1.35	1.21	0.95	

表-1 計算値と実験値の比較



(b) 供訊体 No.2 (c) 供訊体 No.3 (d) 供詞 写真-1 終局破壞状況

5. まとめ

建築分野の耐力評価式により本橋脚の破壊形態の推定は可能なようであり、本橋脚では塑性率3以上を示す配筋 状態であれば曲げ破壊型と分類して、弾塑性設計が可能であると言える.ただし、耐力値については、横方向鉄筋 が少ない場合では、まだ改善の余地があると考えられる.

参考文献

- 1) 公益社団法人日本道路協会:道路橋示方書·同解説 V 耐震設計編, 2012
- 2) 日本建築学会:鉄筋コンクリート造建物の靱性保証型耐震設計指針・同解説, 1999
- 3) 日本建築学会:鉄筋コンクリート造建物の終局強度型耐震設計指針・同解説, 1990
- 4) 日本建築学会:建築耐震設計における保有耐力と変形性能, 1990
- 5) 大塚久哲,高文君,伊藤耀,河邊修作,今村壮宏:軸力と交番載荷を受けるフレキシブル RC 橋脚の復元力特性と軸方向鉄 筋の伸び出し量に関する考察,土木学会論文集 A1 (構造・地震工学), Vol.70, No.4, I_433-I_442, 2014.7
- 6) 大塚久哲,高文君:耐震壁を有する門型 RC ラーメン橋脚の復元力特性と耐震補強,大塚総研アカデミック叢書 2,2015