

R C橋脚のじん性率評価算定式に関する検討

幸左賢二¹・北沢正彦²・鈴木直人³

¹正会員 Ph. D. 阪神高速道路公団工務部（〒541大阪市中央区久太郎町4-1-3）

²正会員 工博 阪神高速道路公団工務部（〒541大阪市中央区久太郎町4-1-3）

³正会員 建設技術研究所 大阪支社（〒540 大阪市中央区大手前1-2-15）

1. はじめに

国内の土木構造物のじん性率算定手法の代表的なものとしては以下があげられる。

- 1) 道路橋示方書・耐震編（以下“道示”という）
- 2) 鉄道構造物等設計標準・同解説
- 3) 土木学会式（コンクリート標準示方書）

このうち、1)は曲げ破壊を想定しており、コンクリートの圧縮ひずみ量によって、終局変位を定義するが、計算されるじん性率は横拘束鉄筋量に対して敏感であり、配筋状態によっては実験と大きく異なる計算値を与える場合もある。2)、3)は正負交番載荷試験データをもとに、じん性率を耐力比（せん断耐力と曲げ耐力の比率）の関数で近似した実験式であり、簡易な手法で橋脚のじん性率の計算が可能である。しかしながら、その適用の元となった実験は、比較的低帯鉄筋比の部材を対象としており、曲げせん断破壊を想定した実験式である。阪神大震災以降、巨大地震を想定した耐震基準では設計外力が大きくなり、これに伴って橋脚は高い変形性能を要求され、結果として高帯鉄筋比となる傾向にあるが、これらの式の高じん性領域への適用性について検討したものは比較的少ない。

そこで、以下のことを目的として、一連の検討を現在実施中である。

- 1) 最近のR C橋脚の正負交番載荷試験結果を広く収集し、既往の提案手法と実験結果の比較を実施する。
- 2) 土木学会式を基本とし、道路橋の緒元に対応しかつ高じん性域でのせん断耐力の低下を考慮した修正式を提案する。
- 3) 供試体形状などのパラメータの影響分析および補正手法を検討する。

検討の結果、現在まで明らかとなった概要を表-1に示す。ここでは、これら一連の検討のうち、以下の項目について考察する。

1) 道示式と実験結果の比較を行う。

2) じん性率に影響を与えるコンクリートのせん断耐力低下、中間拘束鉄筋、鉄筋径、断面高さなどの影響度を評価する。

2. 検討手法

土木学会での検討に用いられた実験に加え、最近の阪神高速道路公団、建設省、J Rでの実験結果を追加するとともに、一般的な道路橋を想定し、帯鉄筋比0.1%以上、せん断支間比2.5以上の供試体を検討の対象とした。また、橋脚の破壊モードが計算上せん断破壊先行となるものは除外した。図-1に検討対象とした供試体の緒元の分布を示す。対象構造物をJ R系、道路系に区分すると以下の傾向が見られる。

- 1) 帯鉄筋比、圧縮強度、軸方向応力度はJ R系、道路系ともほぼ同様な分布となっている。
- 2) J R系はせん断支間比が4.0以下となっているのに対し、道路系では4.0以上のものが多い。これは、J R系は立体ラーメンを対象としていることが多く、せん断支間比が小さくなるためである。
- 3) 道路系は実橋脚が大断面、縮尺率が大きいため鉄筋径/断面幅の比が小さくなり、座屈強度が異なると考えられる。
- 4) 道路系は最近の実験結果が多く有効高さの大きい供試体が多い。

3. 道示式の適用性に関する検討

図-2に道示式（H. 8版）および復旧仕様式により求めた計算値と実験結果の対比を示す。また、図-3に帯鉄筋比とじん性率比（実験によるじん性率/計算によるじん性率）の関係を示す。復旧仕様式は全体的に小さめの計算値を与え、特に帯鉄筋比が0.5%程度の低じん性域においてその傾向が著しい。これに対して、道示式は計算上じん性率が10を超える場合もあり、全

表-1 じん性率の算定手法

	算定手法	適用範囲	問題点
道路橋示法書	解析的手法	高じん性域	帯鉄筋が少ないと過小評価
鉄道構造物等設計基準	実験近似式	低じん性域	適用範囲を越える高じん性域では過大評価
コンクリート標準示法書			

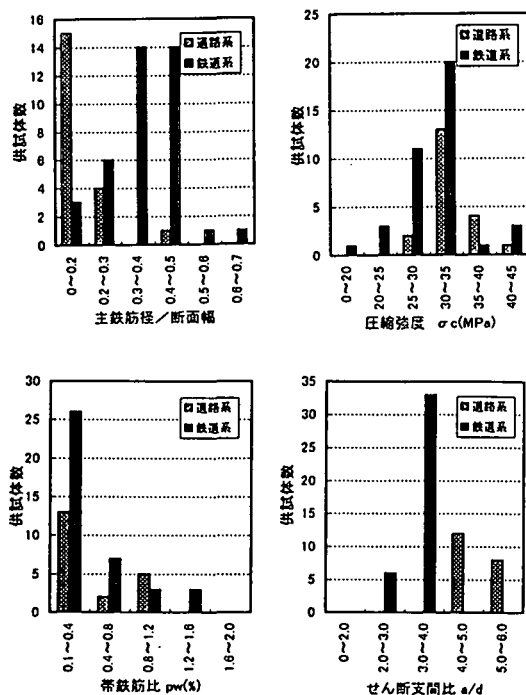


図-1 供試体緒元の分布

体的な傾向として過大な計算値を与えている。これについて考察を加える。図-4は d/h （有効高さ/断面高）とじん性率比の関係を示し、図-5は A_{st}/A_{sl} （側鉄筋量/引張鉄筋量）とじん性率比の関係を示す。現行道示では、終局変位算定する際にはかぶり部分のコンクリートを無視して計算することとなっているが、実験供試体では d/h の比率が0.90程度と比較的かぶりの影響が大きくなっている。このため、かぶりコンクリート考慮の有無が大きくじん性率に影響する結果となっている。しかしながら、実構造物では一般に d/h は0.96程度であり、かぶりコンクリート考慮の有無の影響は小さく、図-4に示すように道示でかぶり考慮との差異は小さいと考えられ、ほぼ実験値に対応した範囲になると考えられる。次に側鉄筋の影響を評価する。側鉄筋比の小さいと図-6の模式図に示すように、Y点からU点に急に大きく立ち上がることになり、YからU点までの面積を小さい。これに対して、道示式では塑性ひんじ長を0.5Dと仮定しているため、大きな面積を与えることになる。このため、復旧仕様と道示式で求めた値は大きく異なる結果となる。特に、側鉄筋比が小さい壁式橋脚では過大なじん性率を与える可能性がある。

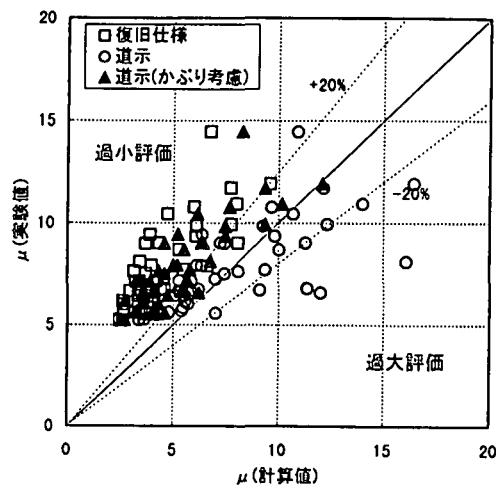


図-2 じん性率計算値とじん性率実験値

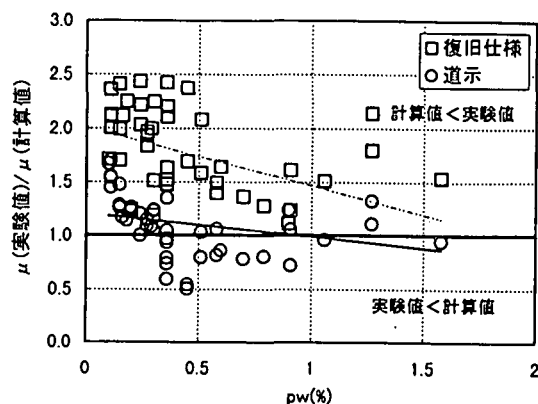


図-3 帯鉄筋比とじん性率比

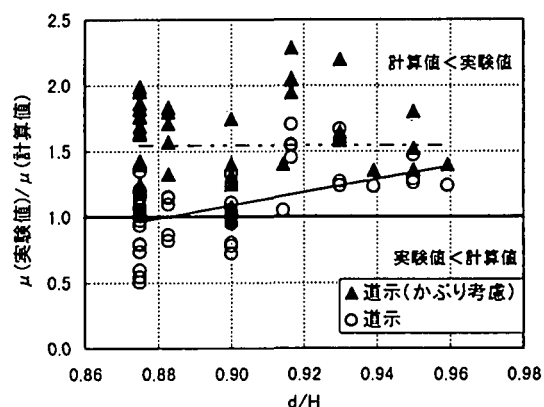


図-4 d/h とじん性率比

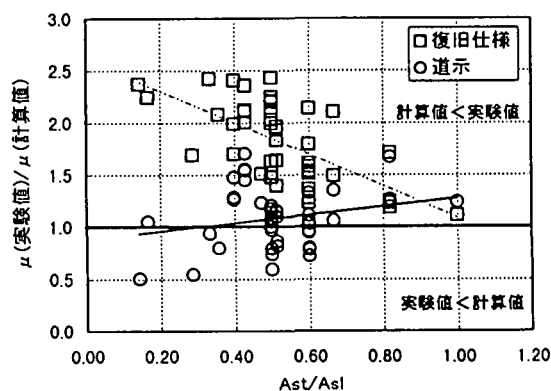


図-5 側鉄筋比とじん性率比

4. じん性率に影響を与えるパラメーター

1) コンクリートのせん断耐力

じん性率が大きくなるとコンクリートのせん断耐力が低下することが知られている。Priestleyらはじん性率4で、 V_c が初期の1/3に低下させることを提案している。土木学会ではコンクリートせん断力を50%、道示での地震タイプにより60～80%に低減している。図-7に V_{ce}/V_{cc} (実験により求めた V_c /計算により求めた V_c)とじん性率の関係を示す。ここで、 V_{cc} は、終局時の耐力から計算上の帯鉄筋によるせん断耐力を引いて求めた。ただし、 V_s の計算値が終局耐力よりも大きくなるものは、適用外としている。図をみると、じん性率が4以下の低じん性域ではコンクリートせん断力の実験値は計算値を上回っているが、じん性率の増加に伴い、コンクリートせん断力の実験値が急激に低下しじん性率が6以上ではコンクリートせん断力計算値の30%程度しか期待できないことが分かる。本解析によりばらつきは大きいものの、じん性率を6以上を期待する構造物ではコンクリートせん断耐力は計算値の30%程度に低減することが望ましいと考えられる。

2) 中間拘束筋の影響

新道示ではコンクリートの応力-ひずみ関係に横拘束効果を期待し、十分な拘束が得られる配筋を標準としている。しかしながら、補強設計においては、従来のラップタイプの帯鉄筋の変位じん性への寄与率を適切に評価する必要がある。そこで、中間拘束筋の状態によるじん性率の相違を調べた。図-8に実験結果と土木学会式を高じん性領域への適用を考慮した下記の提案式との対比を示す。

$$\mu = 1.95 (0.3V_c + V_s) / V_{mu} + 4.79 \quad (1)$$

提案式では中間帯鉄筋は断面積に応じて帯鉄筋比に換算され、その配置や定着方法は考慮されていない。図-8に示されるように、一般には同じ帯鉄筋比でも、中間拘束筋を有するほうがコアコンクリートや主鉄筋の拘束効果が大きいと考えられるが、その影響はあまり認められなかった。図-9にラップ定着した中間帯鉄筋を有する供試体の、道示による計算値と実験値の比較を示すが、ラップ定着した中間帯鉄筋も有効と考えた計算値が実験値とほぼ合っていることが分かる。以上の検討結果から、従来のラップ定着された中間帯鉄筋もじん性向上にはある程度有効であると考えられる。

3) 鉄筋径の影響

じん性に影響をおよぼすと考えられる鉄筋径、断面高について以下に考察する。 D/B (鉄筋径/断面幅)が増加するにつれて、じん性率比が増加する結果が得られた。既往の研究でも鉄筋径が大きいほど、座屈耐力が大きくなり、じん性率が大きくなることが示唆され

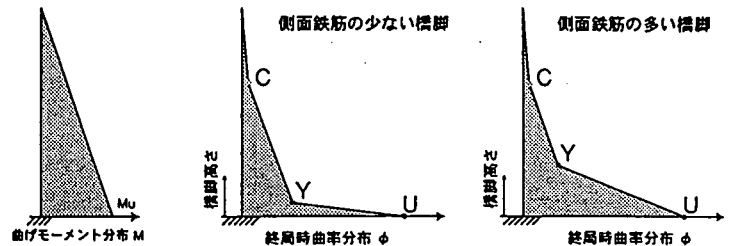


図-6 曲率分布模式図

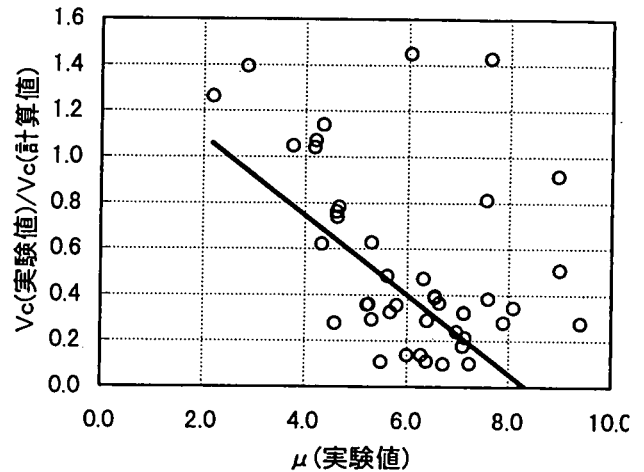


図-7 V_{ce}/V_{cc} とじん性率の関係

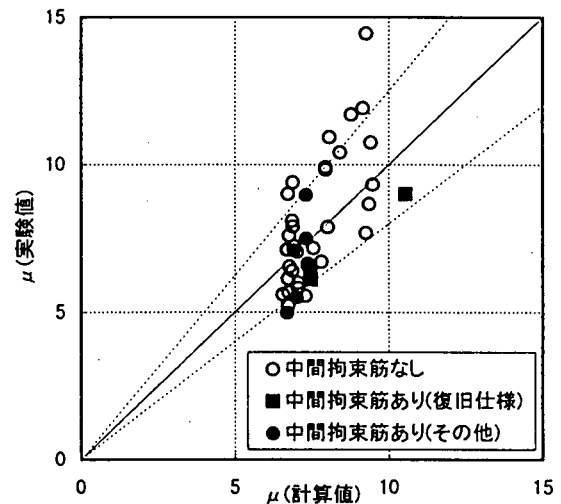


図-8 中間拘束鉄筋の定着方法による影響

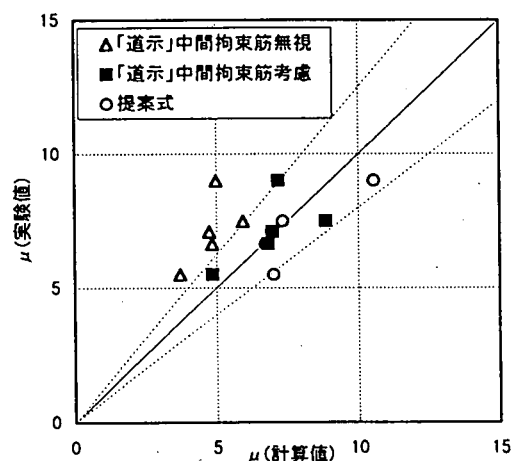


図-9 道示式の適用性

ている。須田らは、柱鉄筋の座屈挙動を、端部を回転拘束され弾性支承上に配置された棒部材が半波形で座屈する弾性座屈モデルとして提案している。

$$P_{cr} = C_1 (\beta_n E_o I_o)^{0.5} \quad (2)$$

ここに、 P_{cr} : 座屈強度 C_1 : 定数 (2.9) β_n : k/a
 k : バネ定数 a : 主鉄筋間隔

I_o : 軸方向鉄筋の断面二次モーメント

(2)式より算出した座屈強度を鉄筋断面積で除した σ_{cr} とじん性率比の関係を図-10に示す。座屈強度が大きくなるに従って、じん性率が大きくなっていることがわかる。すなわち、同じ帯鉄筋比であっても、主鉄筋径が大きいもの程、座屈強度が大きくなっている。

4) 断面高に関する検討

図-11に断面高とじん性率比の関係を示すが、断面高が大きいほど低いじん性率となっていることが分かる。その関係は $y = 3.97x^{-0.36}$ であり、ほぼ寸法比の三乗根に従っている。また、阪神道路公団では被災橋脚のデータ分析により、断面寸法と主鉄筋座屈長には図-12の関係があることを見出している。それによると、断面高が大きくなると相対的な座屈長が三乗根で減少することが示されている。すなわち、図-11の関係は、断面高が大きくなると相対的な塑性ヒンジ長が三乗根比で減少し、それに比例してじん性率が低下するとも考えることができる。前述の弾性座屈モデルによると、主鉄筋の座屈長 L_{cr} は $(E_o I_o / \beta_n)^{0.25}$ と比例関係にあることが示されている。

$$L_{cr} = C_2 (E_o I_o / \beta_n)^{0.25} \quad (3)$$

図-13に供試体および実橋脚モデルに対して、式により計算した座屈長と断面高 H の関係を示す。また、実測では $H=60\text{cm}$ のときに座屈長は $0.5H$ に一致することが示されている。そこで、近似曲線が $H=60\text{cm}$ のときに $L_{cr}=0.5H$ となるように定数 C_2 を設定した。図より断面高が大きいほど、相対的な座屈長は減少し、次式の関係が成立する。

$$L_{cr} = 0.5H (H_o/H)^{0.35} \quad (4)$$

ここに、 H_o : 基準断面高 (60cm)

すなわち、この傾向は実験結果とよく近似しており、座屈長が断面高の三乗根で減少することが示されている。以上の結果は、いずれもじん性率が断面高の1/3乗に比例して低下することを示している。

5. まとめ

検討結果を以下にまとめる。

- 1) 側鉄筋比の小さい橋脚の道示式は実験結果と大きく異なる可能性があり、今後検討を要する。
- 2) じん性率6以上を期待する構造物のコンクリートせん断耐力は、30%程度に低減することが望ましい。
- 3) じん性率は、主鉄筋径および断面高によって影響されることが予想され、今後検討を要する。

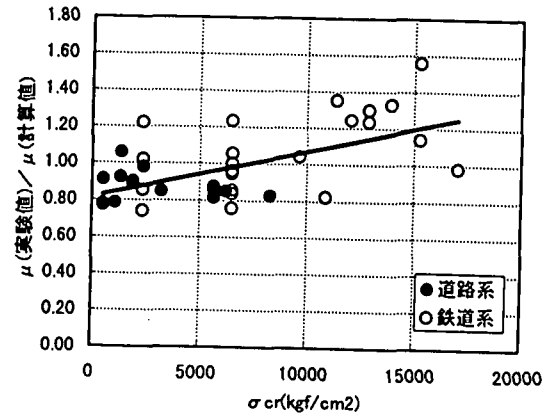


図-10 σ_{cr} とじん性率比

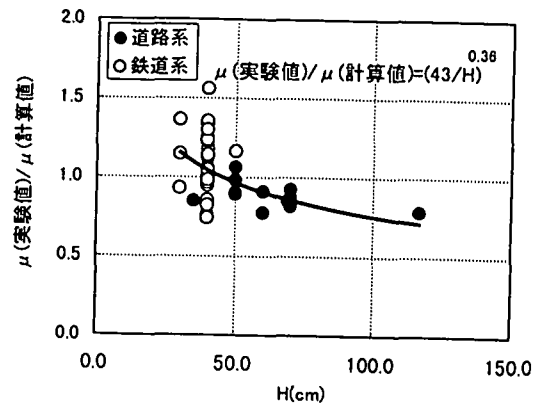


図-11 断面高とじん性率比

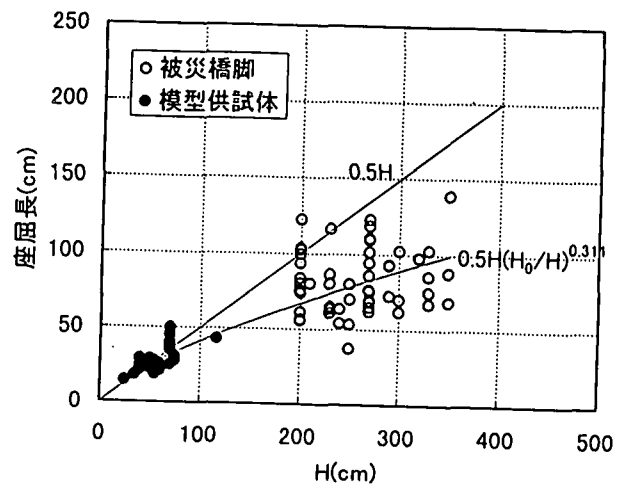


図-12 断面寸法と座屈長

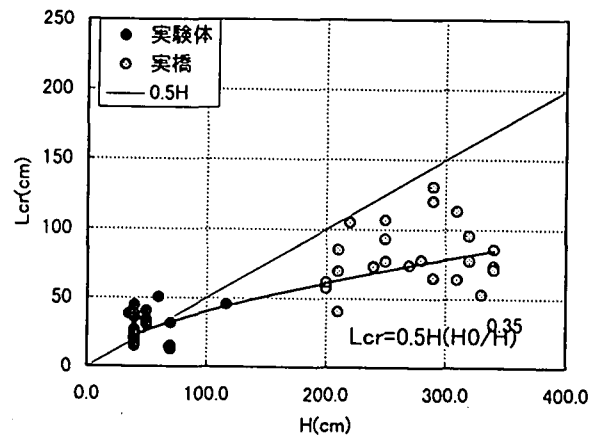


図-13 断面高と L_{cr} の関係