

耐力比を用いたRC橋脚のじん性率評価式の検討

Study on Ductility Evaluation Formula of Reinforced Concrete Bridge Piers

幸左賢二*・鈴木直人**

Kenji KOSA and Naoto SUZUKI

*正会員 Ph.D. 阪神高速道路公団 工務部 (〒541 大阪府大阪市中央区久太郎町四丁目一番三号)

**正会員 工修 (株) 建設技術研究所 大阪支社 (〒540 大阪府大阪市中央区大手前一丁目二番十五号)

In discussion of the seismic safety of reinforced concrete bridge piers under strong earthquakes, importance of ductility demands has been widely recognized along with the strength ones, and therefore adequate evaluation of the ultimate ductility factor of columns should be one of the most significant subjects.

In this article we tried to establish the evaluation formula of the ductility factor in terms of shear-flexural strength ratio of columns, thru collecting and examining the results of the past lateral loading tests of columns subject to load reversals. After that, effects of several parameters other than the 'strength ratio' on column's ductility were investigated in detail and discussed the correction scheme on account of these parameters.

Key Words: reinforced concrete, ductility, shear strength, flexural strength, shear-flexural strength ratio

1. はじめに

平成7年兵庫県南部地震による被害状況から、RC橋脚の耐震性を評価する場合、その耐力以上に変形性能の重要性が再認識され、橋脚のもつ終局じん性率を適切に評価することが重要な課題となってきた。

じん性率の算定手法としては、各機関から種々の手法が提案されており、代表的なものとして以下の手法があげられる。

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

1) は断面の $M-\phi$ 関係をもとに、降伏時、終局時の曲率分布を、塑性ヒンジ長を考慮して柱軸方向に積分することにより、解析的にじん性率を求める手法である。断面の $M-\phi$ 計算上で圧縮側コンクリートが圧壊した状態を終局点としており、曲げ破壊を想定したものである。また、帯鉄筋による拘束効果はコンクリートの $\sigma-\epsilon$ 関係上で終局ひずみ ϵ_{cu} に反映される。

現在、道路橋ではこの手法によりじん性率を求めることにより設計が行なわれている。しかし、せん断耐力と曲げ耐力の近接した橋脚では曲げせん断破壊と

なり、基本的に曲げ破壊を前提とした道示式は架空の終局点を提示していることになる(図-1)。また、計算されるじん性率は横拘束筋量に対して比較的敏感であり、配筋状態によっては実験と大きく異なった計算値を与える場合もある。

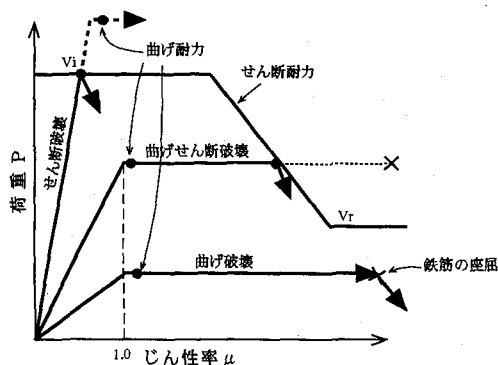


図-1 RC橋脚の耐力と破壊モード

2), 3) は正負交番荷重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、比較的簡易な手法で橋脚のじん性率が計算可能である。その適用範囲は比較的低帯鉄筋比の部材に限られ、主に曲げせん断破壊を想定したものと考えることができる。

しかし、近年の耐震基準では橋脚は高い変形性能を要求され、高帯鉄筋比となる傾向にあり 2), 3) 式の適用外となる場合が多い。

本論は、耐力比を用いた評価法を中心に、以下の点に着目して RC 橋脚のじん性率評価式について検討を行ったものである。

- 最近の RC 橋脚の正負交番載荷試験例を広く収集し、実験結果と比較することにより、既往の提案式 1), 2), 3) の適用性を検証する。
- 土木学会式を基本とし、道路橋の諸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提案式の作成。
- 耐力比以外のパラメータに関する影響分析および補正方法の検討

2. 検討手法

(1) 交番載荷試験

阪神高速道路公団では、従来の橋脚に比べ高い帯鉄筋比とした RC 柱十数体に対して正負交番載荷試験を行ない、高じん性域までの変形性能の評価を行なっている⁴⁾⁵⁾。

本研究では、阪神高速道路公団での実験に加え、土木学会の定式化で用いられた実験データ⁶⁾、および最近の建設省土木研究所⁷⁾、首都高速道路公団⁸⁾、鉄道系⁹⁾¹⁰⁾¹¹⁾の実験データをもとに、検討を行なうものとした。鉄道系の実験は、鉄道構造物を対象としたものであり、道路橋の諸元とは若干異なったものとなっている。

これらの供試体の中から、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、軸方向圧縮応力度 2.0 MPa 以下の矩形供試体 55 体を検討の対象とした。帯鉄筋比については、近年の設計基準の変化に伴い高帯鉄筋比の橋脚が多く構築される傾向にあり、上限値は設けないものとした。また、橋脚の破壊モードがせん断破壊先行 ($V_s + V_c < V_{mu}$) となるものに対しては除外した。交番載荷の繰返し数は 3 回～10 回のものを対象とした。図-2 に検討対象とした供試体の諸元を示す。

帯鉄筋比が 0.1～0.4% の供試体が多いが、1.0% を超える供試体もある。土木学会での検討に比べ、帯鉄筋比が相対的に高く、また a/d が大きい供試体が多いため、実験での破壊形態は曲げ破壊と報告されているものも多い。曲げ破壊した供試体では、最終的に鉄筋破断に至ったものも多いが、次節 (2) で定義した終局変位時には主鉄筋の座屈程度となっている。

V_c/V_{mu} は 1.5 以下となるが、 V_s/V_{mu} は土木学会式の適用範囲 (≤ 1.4) を超えるものも多い。

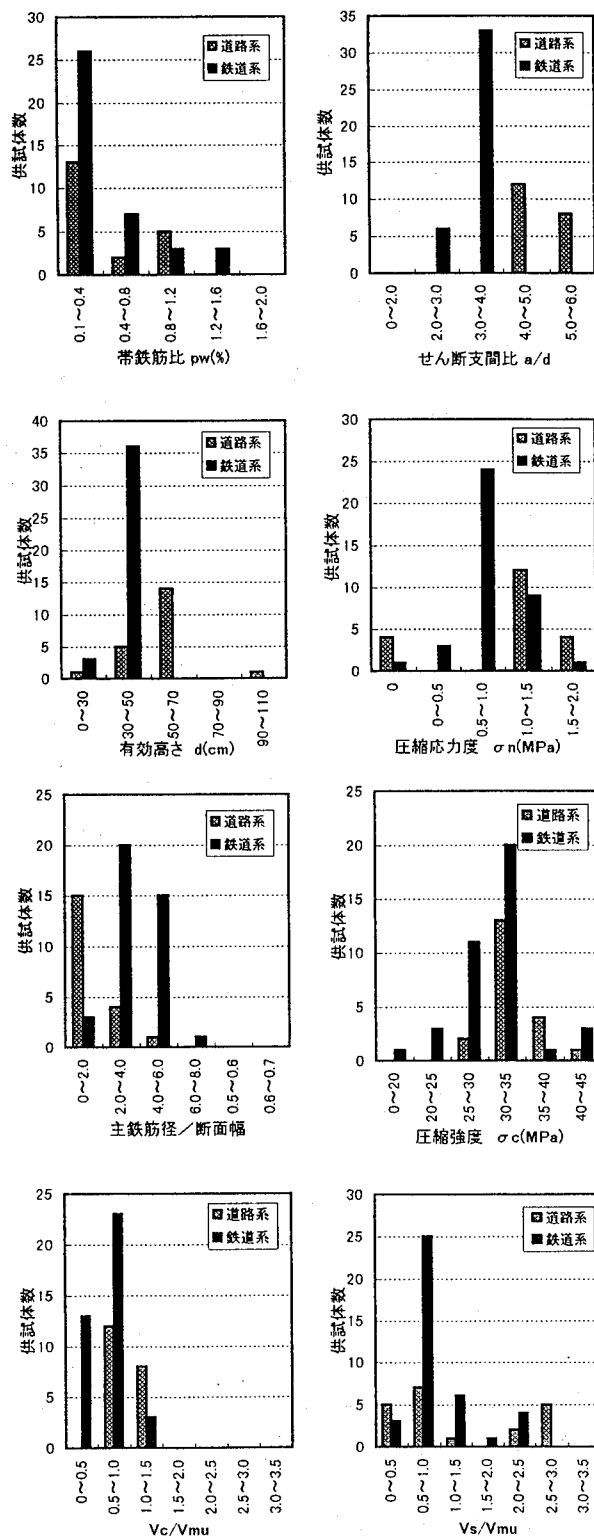


図-2 供試体諸元の分布

鉄道系は比較的断面寸法の小さい立体ラーメンが多く、実寸に近い縮尺での実験例が多い。逆に、道路系は実橋脚が 2m 以上の断面寸法をもつ大型橋脚が多いため、縮尺率の大きなものとなっている。鉄道系、

道路系に対し、以下の傾向が見られる。

- 鉄道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。鉄道系は立体ラーメンが多いため（ラーメンの場合、せん断支間は橋脚高の半分となる）、低めのせん断支間を対象としていると考えられる。
- 道路系は実橋脚が大断面であり、縮尺率が大きいいため鉄筋径/断面幅が小さい。
- 道路系は大型の供試体が多い。

(2) じん性率の算定手法

一連の実験は、それぞれ別の機関で行なわれており、実験結果のじん性率も提示されているが、各研究者により降伏点、終局点の定義が異なっている。ここでは、各実験で得られた荷重－変位曲線をもとに、次のように統一した観点からじん性率を再整理した。

- 1) 降伏点は材料定数を補正した上で計算上の降伏荷重 P_y (最外縁主鉄筋が降伏した荷重) を算定し、実験で得られた荷重－変位曲線上で P_y に相当する変位を求め降伏変位 δ_y と定義した。
- 2) 終局変位 δ_u は、荷重－変位曲線の包絡線において、最大荷重後に荷重が降伏荷重 P_y となった時を最大変位とした。
- 3) じん性率は $\mu = \delta_u / \delta_y$ により算定した。

縮尺率の小さい実験の場合、鉄筋抜け出しの影響が無視できない場合もあるが、抜け出しによる影響の分離が困難な実験もあり、ここでは両者とも鉄筋の抜け出し量を含んだ形となっている。

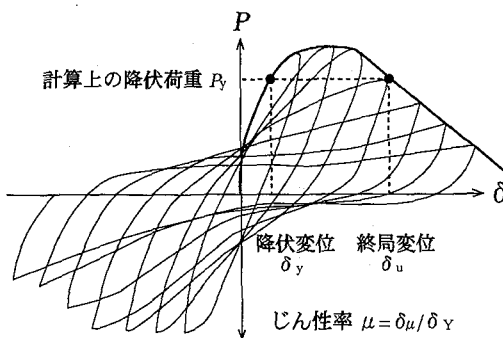


図-3 降伏点・終局点の定義

3. じん性率評価式の検討

(1) 既往の計算式の検証

選定した供試体に対し、1)「道示」式、2) 土木学会式、3) 鉄道式により計算したじん性率と実験値との比較を行なった。ただし、高じん性率の供試体は、土木学会式と鉄道式の適用範囲を超えるものが多い。図-4～6に各算定式と実験値との関係を示す。

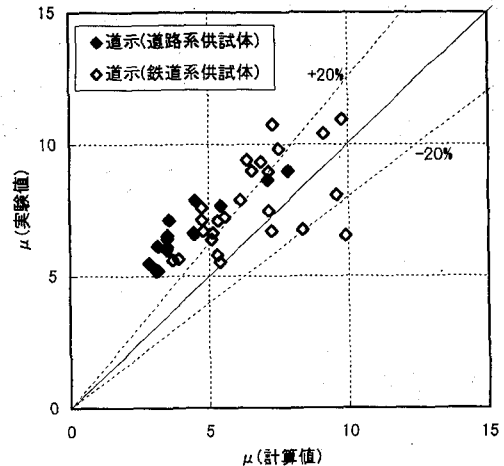


図-4 実験値と計算値の比較（「道示」式）

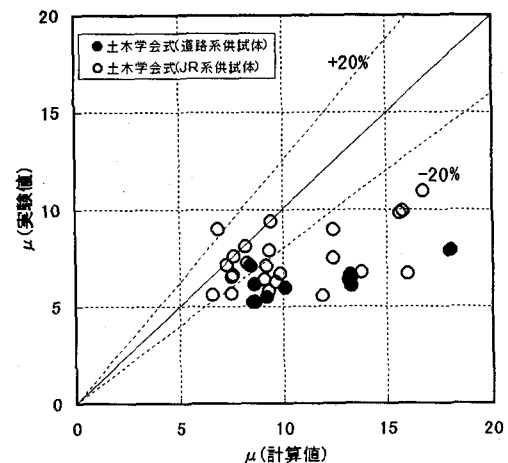


図-5 実験値と計算値の比較（土木学会式）

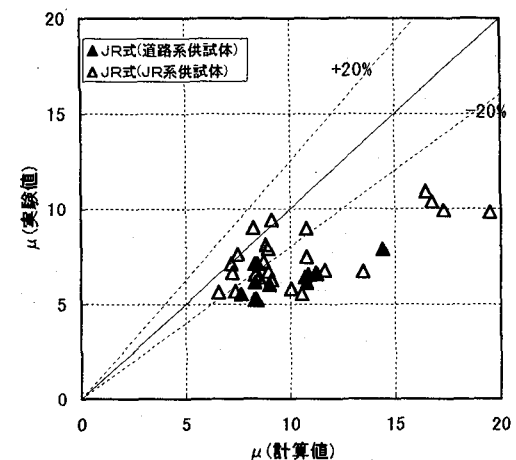


図-6 実験値と計算値の比較（鉄道式）

「道示」式は比較的一致しているといえるが、低じん性域で($\mu \leq 8$) 若干低めのじん性率を与える。また、高じん性域では過大なじん性率を与える場合がある。

図-7 に d/H (有効高さ/断面高さ) と μ (実験値)/ μ (「道示」式) の関係を示す。 d/H が小さくなる(かぶりが大きい)に従って過大な計算値を与える傾向にある。「道示」では安全側を考慮してかぶりを無視するものとなっているが、かぶりを無視した場合、終局耐力は減少するが終局じん性率が大きく計算されることに注意する必要がある。しかし実橋(道路橋)の場合、相対的なかぶりは小さく $d/H \geq 0.95$ の範囲にある場合が多く、かぶりの影響は特に問題とならないものと考えられる。

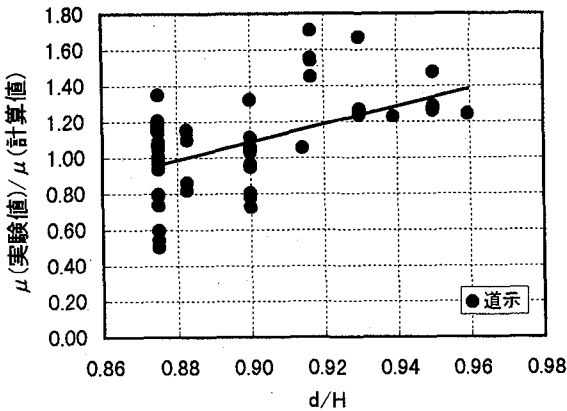


図-7 d/H と μ (実験値)/ μ (計算値) の関係

耐力比の関数とした 2), 3) 式では、 $\mu = 8$ 程度の領域までは実験値と比較的一致した計算値を与えるが、適用範囲を超える高じん性域では過大な計算値を与えている。

(2) 修正提案式の検討

耐力比の関数とした土木学会式と鉄道式は、その適用範囲を超えた橋脚に対しては過大なじん性率を与えることがわかった。そこで、近年の高じん性率を期待する橋脚まで適用可能な修正式の検討を行なった。土木学会式(式(1))と鉄道式(式(2))は、次式で表される。

$$\mu = 12(0.5V_c + V_s)/V_{mu} - 3 \dots\dots\dots (1)$$

$$\mu = -1.6 + 5.6(V_c + V_s)/V_{mu} + (11.4 \cdot p_w - 1.4) \cdot p_w \dots\dots\dots (2)$$

土木学会式は耐力比のみの関数を基本とし、さらに軸方向圧縮応力度の影響を考慮するものとなっている。一方、鉄道式は耐力比の他に帯鉄筋の拘束効果を考慮した式となっている。本研究では、帯鉄筋の効果等について系統的な実験を行っていないため、鉄道式のように、帯鉄筋の効果まで同定することは困難であると考え、土木学会式を基本に係数の修正を試みるものとした。

図-8 に耐力比 $(0.5V_c + V_s)/V_{mu}$ とじん性率との関係を示す。ここで、 V_c, V_s はコンクリート標準示方書により算定した。耐力比の増加にともないじん性率も増加傾向にあるが、勾配を 12 とした式(1)は耐力比の影響を過大に見積もっていることがわかる。そこで、

$$\mu = A(B \cdot V_c + V_s)/V_{mu} + C \dots\dots\dots (3)$$

として、実験値に最も適合する係数 A, B, C を同定した。ここで係数 B は、繰り返し載荷によるコンクリートのせん断耐力 V_c の低下を考慮した係数であり、まず土木学会式と同様に $B = 0.5$ として検討を行なった。図より近似直線は次式のように設定できる。

$$\mu = 1.91(0.5V_c + V_s)/V_{mu} + 4.56 \dots\dots\dots (4)$$

土木学会式の値 $A = 12$ と比較して 1/6 程度の勾配となっている。図-9 に式(4)により算定した計算値と実験値の関係を示す。 μ (実験値)/ μ (計算値) の変動係数は 23.0% であった。

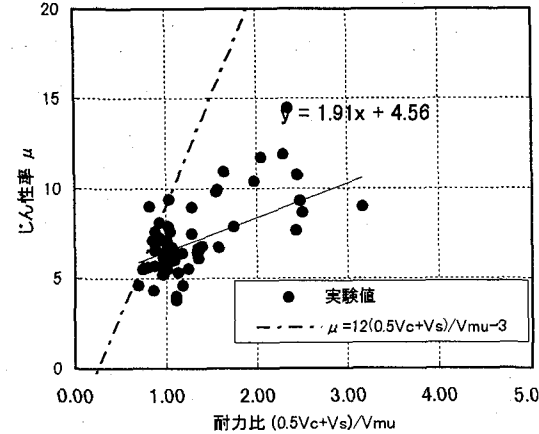


図-8 $(0.5V_c + V_s)/V_{mu}$ とじん性率の関係

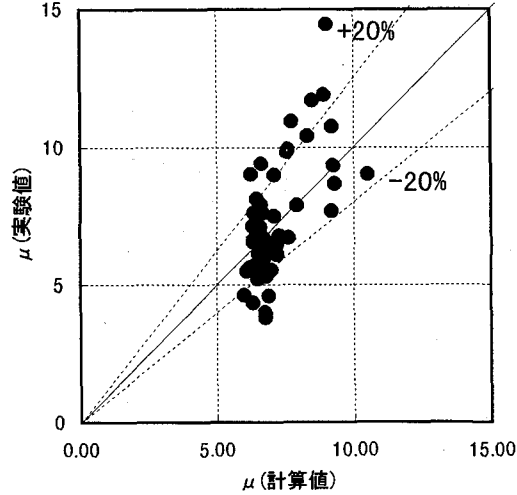


図-9 μ (実験値) と μ (計算値) の関係

図-10 に、 μ (実験値)/ μ (計算値) と V_c/V_{mu} の関係を示す。 V_c/V_{mu} が大きいほど μ が大きく計算される

ことを示しており、 $B = 0.5$ では V_c/V_{mu} の影響を過大に評価していると判断される。一般的に、じん性率が大きくなるほどせん断耐力が低下することが知られており、それは主にひびわれ等によりコンクリートのせん断耐力 V_c が低下することに起因するものである。Priestley¹²⁾ らは $\mu=4$ で V_c が初期の $1/3$ 程度になるとしている (図-11)。本検討では、土木学会式の適用範囲よりさらに高じん性域を対象としており、 V_c が 0.5 より低下しているものと考えられ、 $B = 0.3$ と仮定し係数 A, C を再度同定した。

図-12 に $(0.3V_c + V_s)/V_{mu}$ とじん性率 (実験値) との関係を示す。図より近似直線は

$$\mu = 1.95(0.3V_c + V_s)/V_{mu} + 4.79 \quad \dots\dots\dots (5)$$

となる。図-13 に式 (5) により算定した計算値と実験値の関係を示す。 $\mu(\text{実験値})/\mu(\text{計算値})$ の変動係数は 22.4% であり、若干ではあるが $B = 0.5$ とした場合より改善されている。しかし、まだ最大 $\pm 50\%$ 程度のばらつきが見られる。

道路系の供試体は比較的ばらつきは少ないが、鉄道系に比べ低めの実験値となっていることがわかる。また、側面筋のない供試体は低いじん性率となっている。

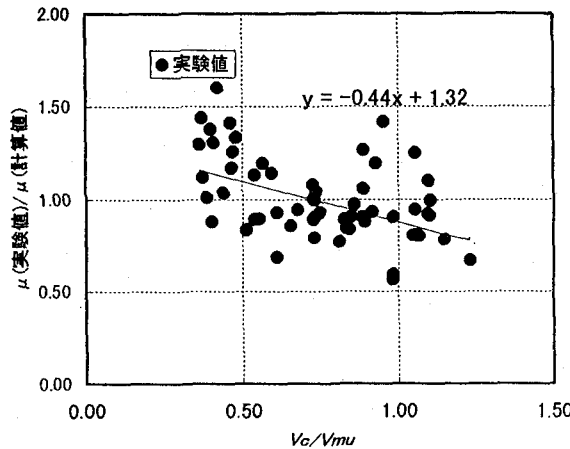


図-10 $\mu(\text{実験値})/\mu(\text{計算値})$ と V_c/V_{mu}

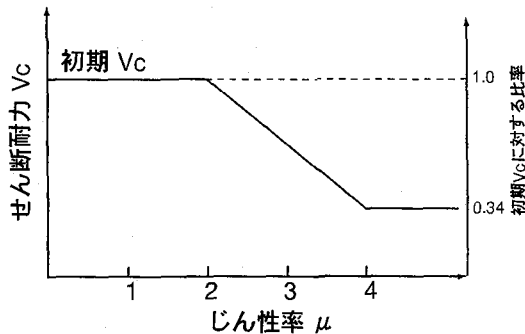


図-11 μ ともなう V_c の低下

実験では側面筋のない供試体のほうが μ が小さくなる。一方で、計算上、断面形状が同じであれば側面筋の有無にかかわらずせん断耐力はほぼ同じとなるが、曲げ耐力は側面筋が無いと小さくなる。その結果、耐力比は大きくなり式 (5) より μ が大きく計算される (図-14)。

このように、側面筋が無い場合は、その影響を評価しえないため、別途に取り扱う必要がある。通常の橋脚では、ある程度の側面筋を有しており、以後、側面筋の無い供試体は検討対象から削除するものとした。

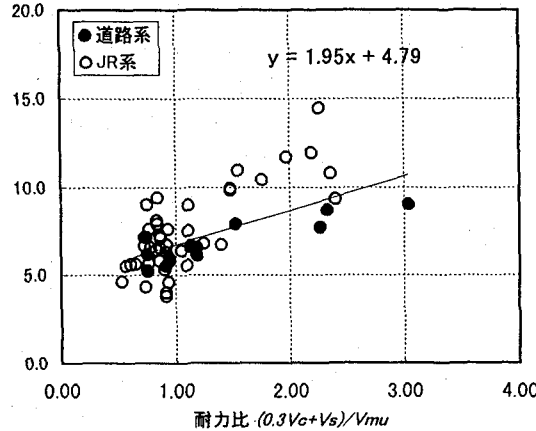


図-12 $(0.3V_c + V_s)/V_{mu}$ とじん性率の関係

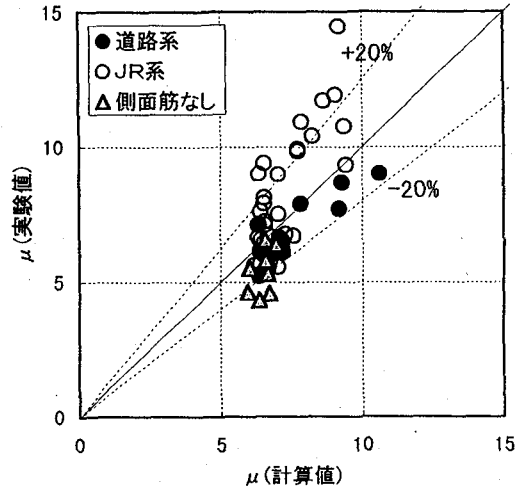


図-13 $\mu(\text{実験値})$ と $\mu(\text{計算値})$ の関係

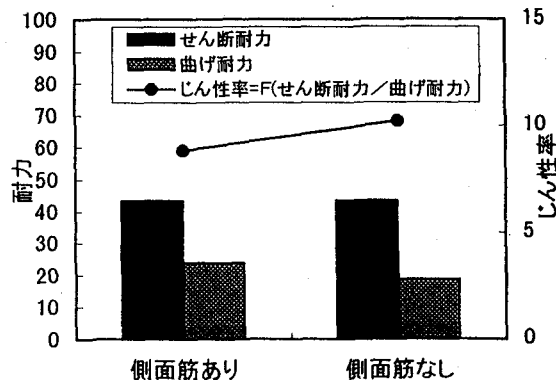


図-14 側面筋の影響

側面筋が無い供試体を除くと、次式のようになる。

$$\mu = 1.63(0.3V_c + V_s)/V_{mu} + 5.59 \dots\dots\dots (6)$$

ここで、適用範囲は、以下のように設定できる。

$$V_c/V_{mu} \leq 1.4 \quad , \quad V_s/V_{mu} \leq 3.5$$

$$0.5 \leq (0.3V_c + V_s)/V_{mu} \leq 3.0$$

$$\text{帯鉄筋比} \quad p_w \geq 0.1 \%$$

$$\text{せん断支間比} \quad a/d \geq 2.5$$

$$\text{軸方向圧縮応力度} \quad \sigma_n \leq 2.0 \text{ MPa}$$

基本式 (1) と比較して以下の点が考察できる。

- 曲げ降伏後にせん断破壊をするような比較的低帯鉄筋比の橋脚においては、せん断耐力を増加させ、せん断破壊を防ぐことによりじん性率が大きく向上する。ある程度せん断耐力を増加させると、曲げ破壊に支配されるようになり、それ以上の帯鉄筋の増加はコアコンクリートの拘束等にしか寄与しないため、耐力比の勾配を低下させる必要がある。
- 高じん性域を評価する場合、コンクリートのせん断耐力の寄与分を低下する必要がある。

4. じん性率に影響を与えるパラメータ

式 (6) では、じん性率を耐力比のみの関数で評価した。しかし、実際には鉄筋径など耐力比以外の要因によってもじん性率は変化する。ここでは、じん性率に影響を及ぼすと考えられる諸量と $\mu(\text{実験値})/\mu(\text{計算値})$ の関係に着目して検討を行った。

(1) 鉄筋径

図-15 をみると、同じ耐力比であれば d_b/B が大きい (断面 B に比較して鉄筋径 d_b が太い) ほどじん性率が大きくなる傾向があることがわかる。既往の研究¹³⁾では、同じ主鉄筋量でも使用する主鉄筋径が大きいほど、じん性率が大きくなることが示唆されている。これは、鉄筋径が太いほど座屈しにくくなり、終局変位が大きくなるためと考えられている。

図-13 において、鉄道系のじん性率が大きくなる傾向にあった。鉄道系と道路系では縮尺率が異なり、鉄道系の方が相対的に太径の鉄筋を使用している。鉄道系のじん性率が大きい理由として、この縮尺率の相違が一因として考えられる。

(2) 断面高さ

図-17 に断面高 H と実験値/計算値の関係を示す。断面高が大きいほど低めのじん性率となっていることがわかる。その関係は $y = 3.97x^{-0.36}$ であり、ほぼ寸法比の 3 乗根に従っている。

阪神公団では被災橋脚のデータ整理より、断面寸法と主鉄筋座屈長の間に図-16 のような関係があること

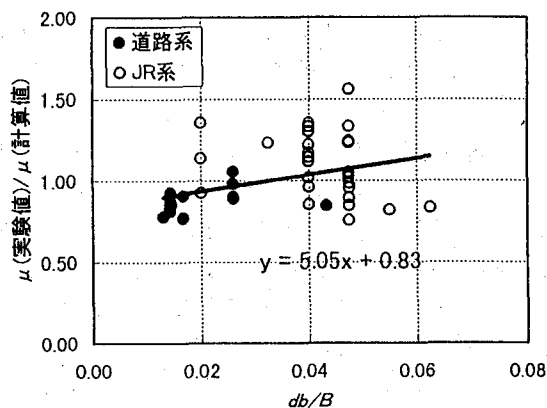


図-15 d_b/B と $\mu(\text{実験値})/\mu(\text{計算値})$ の関係

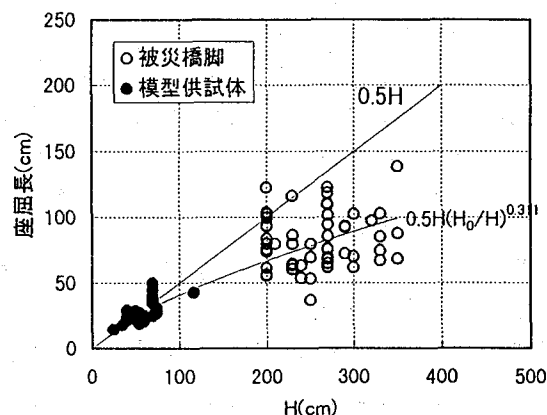


図-16 断面寸法と座屈長

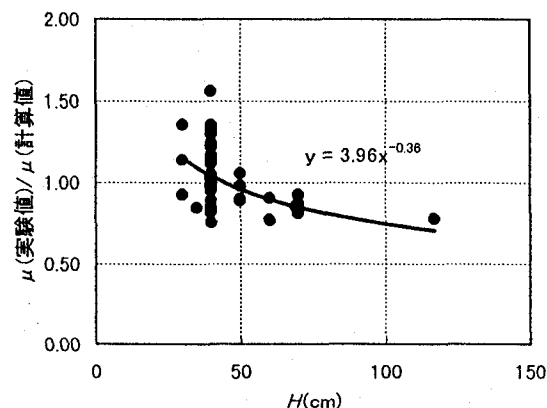


図-17 H と $\mu(\text{実験値})/\mu(\text{計算値})$ の関係

を見出している¹⁴⁾。それによると、断面高が大きくなると相対的な座屈長 ($\propto$ 塑性ヒンジ長) が 3 乗根で減少することが示されている。図-17 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 3 乗根で減少し、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。

(3) 帯鉄筋比, 軸方向鉄筋比

図-18 をみると p_w が大きくなるとじん性率が増加する傾向にある。これは、帯鉄筋はせん断耐力を向上する効果とともに、その拘束効果により内部コンクリートの終局ひずみの向上や主鉄筋の座屈を抑制

する効果があるためと考えられ、鉄道式(式(2))ではこの効果を取り入れて定式化している。しかし、ここではその影響は小さいと考え、特に考慮しないものとした。

軸方向鉄筋比 p_t に関しては特定の傾向は見られなかった。

(4) 軸圧縮応力度

軸方向圧縮応力度 σ_n が増加するとじん性率が低下することは一般的に知られているが、ここでは $\sigma_n \leq 2.0\text{MPa}$ の供試体を対象としており、軸力に応じて若干低下傾向にあるが、その影響は比較的少ないものとなっている。

(5) せん断支間比

図-20 に a/d と実験値/計算値の関係を示す。 a/d が大きいほどじん性率が低下していることがわかる。これは、 a/d が小さいとコンクリートのせん断耐力 V_c は増加するが、本検討での V_c 計算時にこの影響を考慮していないことが一因として考えられる。しかし、 a/d の大きい供試体に道路系が偏っているため、鉄筋径、断面高さ等 a/d 以外の要因も含まれている可能性もある。

(6) 補正式の検討

$d_b/B, H, a/d$ の値は相互に関連しあうものであり、じん性率のばらつきがどの要因に起因するものか特定するのが困難である。すなわち、断面寸法の増加は相対的に細径の鉄筋を使用することになり、主鉄筋の座屈強度や座屈長の低下、鉄筋抜け出しの減少等に影響を及ぼす。ここでは簡便のため、それらの影響を評価する指標として、独立に d_b/B および H による補正を試みた。

a) 鉄筋径による補正

図-15より、 $\mu(\text{実験値})/\mu(\text{計算値})$ との間には、 $\mu(\text{実験値})/\mu(\text{計算値}) = 5.05d_b/B + 0.83$ の関係がある。そこで、式(6)に d_b/B による補正を施し、

$$\mu' = \mu * (5.05d_b/B + 0.83) \dots\dots\dots (7)$$

とする。式(7)による計算値と、実験値の比較を図-21に示す。変動係数は13.6%となり、比較的ばらつきの少ない結果となった。

b) 断面高さによる補正

図-17より、 $1/H$ の3乗根に比例すると仮定して、 $\mu(\text{実験値})/\mu(\text{計算値})$ との近似直線を求めると、 $\mu(\text{実験値})/\mu(\text{計算値}) = (46.3/H)^{1/3}$ の関係にある。そこで、式(6)に H による補正を施し、

$$\mu' = \mu * (46.3/H)^{1/3} \dots\dots\dots (8)$$

とする。式(8)による計算値と、実験値の比較を図-22に示す。変動係数は13.6%となり、 d_b/B による補正と同様に、比較的ばらつきの少ない結果となった。

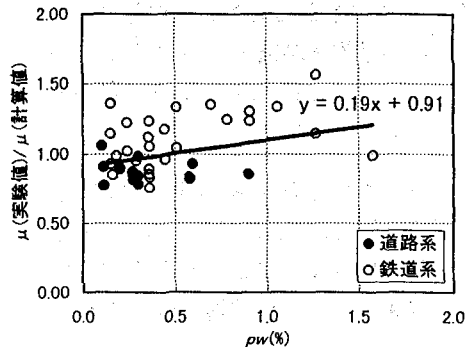


図-18 p_w と $\mu(\text{実験値})/\mu(\text{計算値})$ の関係

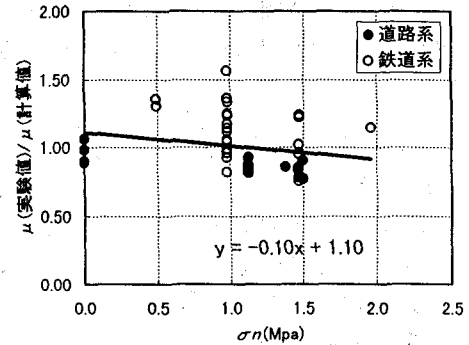


図-19 σ_n と $\mu(\text{実験値})/\mu(\text{計算値})$ の関係

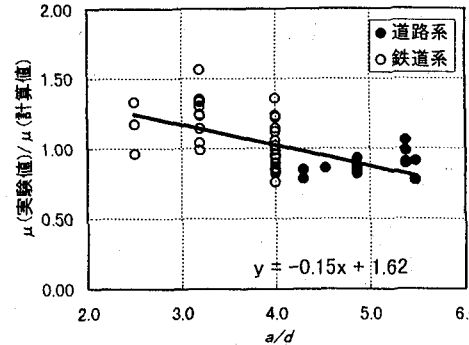


図-20 a/d と $\mu(\text{実験値})/\mu(\text{計算値})$ の関係

図-23に H による補正後の d_b/B と $\mu(\text{実験値})/\mu(\text{計算値})$ との関係を示す。 H で補正を施すことにより d_b/B に特定の傾向がなくなっている。

5. まとめ

本研究では、耐力比によるじん性率評価式を中心に、高じん性を期待する橋脚に対しての適用性を、正負交番水平載荷試験データと比較することにより検証した。主な成果は以下のとおりである。

- 1) 耐力比を用いた既往のじん性率算定式は、適用範囲を超えた高じん性域においては過大な計算値を与える
- 2) 土木学会式を次式のように修正することにより、高じん性域に対しても適用可能である。

$$\mu = 1.63(0.3V_c + V_s)/V_{mu} + 5.59 \dots\dots\dots (9)$$

高じん性域では、せん断耐力の増加にともなうじん性率の増加率が減少し、さらにコンクリート寄与分を 0.3 程度に低下させる必要があることがわかった。

- 3) 同一の耐力比の場合 鉄筋径 d_b /断面幅 B が小さいほど、じん性率が低下する傾向にある。これは、同一主鉄筋比でも主鉄筋径が大きいほど座屈強度が増加することに関連づけられる。
- 4) 同一の耐力比の場合 $(1/H)^{1/3}$ に比例して、じん性率が低下する傾向にある。これは、断面高さ H が増加しても、塑性ヒンジ長は頭打ちになることに関連づけられる。
- 5) d_b/B または H により補正を行なうと、比較的良好な近似値を与えることがわかった。しかし、実際には両者が相互に影響しているものと考えられる。本研究で取り扱った供試体群は、これらの影響について系統的に実験されたものではないため、要因の特定は困難であった。今後、これらをパラメータとした体系的な実験の蓄積により、じん性率に影響を及ぼす要因についての分析が望まれる。

参考文献

- 1) (社) 日本道路協会: 道路橋示方書・同解説 V 耐震編, 平成 8 年 12 月
- 2) 鉄道総合技術研究所: 鉄道構造物等設計標準・同解説 コンクリート構造物, 平成 4 年 10 月
- 3) 土木学会: コンクリート標準示方書・設計編, 平成 8 年
- 4) 横井, 藤井, 安田, 幸左: 損傷を受けた橋脚の補強効果に関する実験的研究, コンクリート工学年次論文報告集, 第 18 巻第 2 号, 1996.7.
- 5) 幸左, 大塚, 星隈, 中島: RC 橋脚の補強手法に関する実験的研究, コンクリート工学年次論文報告集, 第 18 巻第 2 号, 1996.7.
- 6) 土木学会: 阪神淡路大震災被害分析と靱性率評価式, 平成 8 年 3 月
- 7) 川島, 長谷川, 長島, 小山, 吉田: 鉄筋コンクリート橋脚の地震時保有水平耐力の照査法の開発に関する研究, 土木研究所報告, 第 190 号, 平成 5 年 9 月
- 8) 小坂, 小笠原, 佐々木, 津野, 渡辺, 田中, 坂田: 横拘束筋の定着方法の相違による RC 橋脚の耐震性能の確認実験, 「コンクリート系構造物の耐震技術」に関するシンポジウム論文報告集, 1997.4
- 9) 石橋, 吉野: 鉄筋コンクリート橋脚の地震時変形能力に関する研究, 土木学会論文集, 第 390 号, 1988/2.
- 10) 岩田, 石橋, 大庭, 菅野: 既設 RC の外側に帯筋を追加した補強 RC 柱の交番載荷実験, コンクリート工学年次論文報告集, Vol.18, No.2, 1996
- 11) 菅野, 石橋, 大庭, 山内: 鋼板巻き補強 RC 柱の交番載荷実験, コンクリート工学年次論文報告集, Vol.18, No.2, 1996
- 12) M.J.Nigel Priestley, Ravindra Verma and Yan Xiao: Seismic Shear Strength of Reinforced Concrete Columns, Journal of Structural Engineering, Vol.120, No.8, 1994.8.

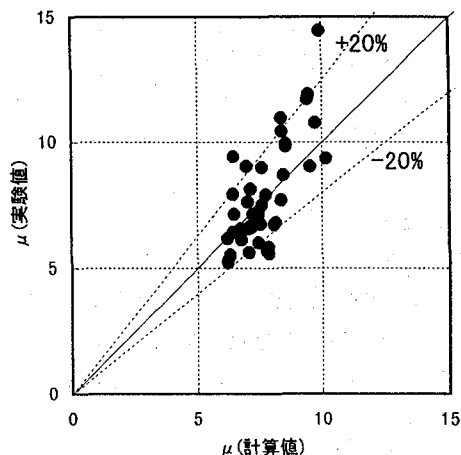


図-21 μ (実験値) と μ (計算値) の関係 (d_b/B 補正後)

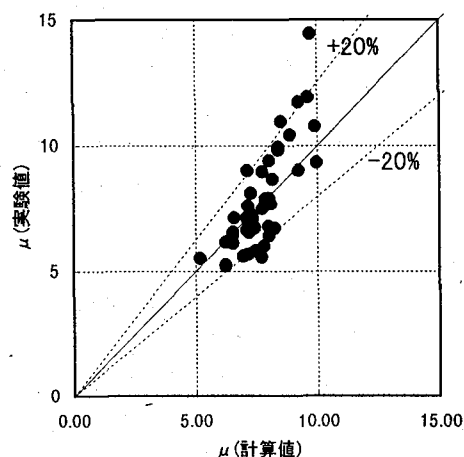


図-22 μ (実験値) と μ (計算値) の関係 (H 補正後)

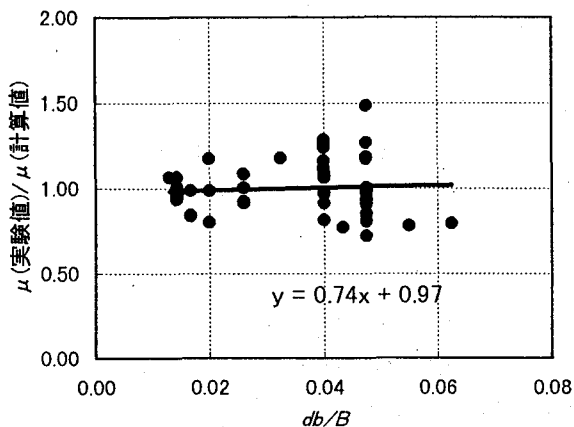


図-23 d_b/B と μ (実験値)/ μ (計算値) の関係

- 13) 新保, 村山, 須田, 一宮: RC 柱の柱筋座屈挙動に関する実験的検討, 土木学会第 49 回年次学術講演会, 平成 6 年 9 月
- 14) 田中, 林, 幸左, 安田: RC 橋脚損傷度の定量的評価, コンクリート工学年次論文報告集, Vol.19, 1997.7

(1997 年 9 月 26 日受付)