

武田モデルの RC 橋脚への適応性の検討

九州工業大学
九州工業大学
大日本コンサルタント(株)
新構造技術

学生会員
正会員
正会員
正会員

宮原みか子
幸左 賢二
田崎 賢治
栗根 聡

1. はじめに

現在、地震応答解析等に使用する RC 構造物の復元力特性モデルとして、コンクリートのひび割れ、鉄筋の降伏が考慮されている武田モデル^{1) 2)} (図-1)がよく利用されているが、武田モデルは鉄筋コンクリート梁を用いた実験により、じん性率 3 程度の範囲で提案されたものである。最近の構造物はエネルギー吸収を増大させるような設計になっており、じん性率が大きい傾向にある。したがって、じん性率が大きい RC 橋脚における武田モデルの適用性について、除荷剛性の関係式 $k_r = k_y (\delta_{max} / \delta_y)^{-\alpha}$ に着目し、検討していくこととする。

2. 検討条件

表-1 に試験体の諸元を示す。検討対象試験体は、RC 単柱曲げ破壊をしているものとし、帯鉄筋比 0.1% 以上、せん断スパン比 2.5 以上、じん性率 5 以上であるものとした。それら試験体の実験により得られた橋脚天端における荷重-変位曲線を用いて比較検討を行う。また、検討範囲は図-2 に示すように降伏点 (P_y) から最大荷重点 (P_{max}) までとする。

3. 結果及び考察

図-3 に荷重-変位曲線から得られた除荷剛性の関係式の例として、No. 9 の結果を示す。降伏点から反対側のひび割れ点を結んだ勾配に対する除荷剛性の比率 k_r / k_y を $\log - \log$ 図上に示し、横軸に降伏時の変位 δ_y に対する除荷開始点の変位 δ_{max} の比 δ_{max} / δ_y をとったものである。全範囲の履歴曲線を考慮した場合 (図-2 参照)、表-1 に示した試験体全てに 対し検討を行った結果、平均で $k_r = 1.13 k_y (\delta_{max} / \delta_y)^{-0.10}$ という式が算出され、剛性低下率は一般的に武田モデルを用いる際に使用される 0.4 と一致するが、1.13 の傾きを持つ結果となった。この係数は、武田モデルでは降伏点における除荷の場合、反対側のひび割れ点を指すことにより $k_r / k_y = 1$ となるのに対し、 $k_r / k_y = 1.13$ となることを示している。つまり、降伏点において反対側のひび割れ点を指すのではなく、係数 1.13 だけ勾配が大きくなることを示しており、武田モデルは降伏後のエネルギー吸収を過小評価していることになる。

また、13 体の除荷剛性の関係式について検討したところ、

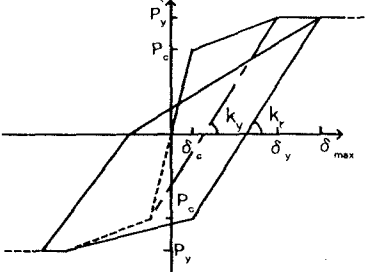


図-1 武田モデル (降伏後)

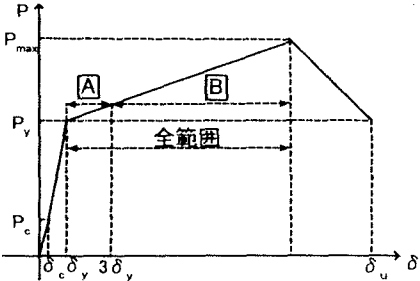


図-2 検討範囲

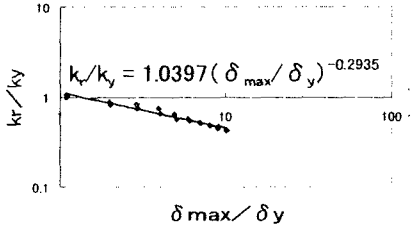


図-3 除荷剛性の例 (No. 9) (全範囲)

表-1 試験体諸元

	断面形状 (mm ²)	a/d	帯鉄筋比 (%)	主鉄筋比 (%)	じん性率 δ _u /δ _y	最大荷重時 のじん性率
No. 1 ³⁾	400×400	3.19	0.7692	2.865	10.94	8.59
No. 2 ³⁾	400×400	3.19	1.056	2.865	16.64	12.29
No. 3 ³⁾	400×400	3.19	0.905	1.986	16.09	9.11
No. 4 ³⁾	400×400	3.19	0.792	1.267	22.48	11.38
No. 5 ³⁾	400×400	3.19	0.453	1.267	11.59	5.77
No. 6 ³⁾	400×400	3.19	1.267	2.865	16.56	11.28
No. 7 ³⁾	400×400	3.19	1.056	2.865	13.04	8.66
No. 8 ³⁾	400×400	3.19	0.528	1.986	12.89	7.98
No. 9 ³⁾	400×400	3.19	1.655	2.865	14.43	10.18
No. 10 ³⁾	400×700	1.52	1.056	1.842	13.41	9.87
No. 11 ³⁾	400×400	2.5	0.845	1.834	14.19	8.71
No. 12 ³⁾	400×400	3.46	0.57	1.58	10.96	6.01
No. 13 ⁴⁾	400×400	3.46	0.57	1.85	14.19	6.58

図-4 に示すようにどれもじん性率 3 を境に式に差が見られた。そこで、じん性率 3 を境にその前後の履歴曲線について検討し、得られた式を以下に示す。

$$\text{じん性率 3 までの場合 (図-2.A): } k_r = k_y (\delta_{\max} / \delta_y)^{-0.31} \quad (1)$$

$$\text{じん性率 3 以上の場合 (図-2.B): } k_r = 1.3 k_y (\delta_{\max} / \delta_y)^{-0.45} \quad (2)$$

以上の結果より、じん性率 3 までの場合、剛性低下率は 0.31 という値が算出された。図-5 に剛性低下率の分布を示しているが、試験体 No. 5 が平均値に比べ誤差 26% と大きい。

この原因として、試験体 No. 5 が他の試験体に比べ主鉄筋比や帯鉄筋比が小さいことにより、最大荷重時のじん性率が小さくなったことが挙げられる。つまり、エネルギー吸収が小さくなるような履歴曲線を描くため、剛性低下率 γ の値が大きくなったと考えられる。図-6(a) にじん性率 3 の場合における履歴曲線の比較の例として No. 9 の結果を示した。 $\gamma = 0.31$ の方が 0.40 に比べ、実験値の除荷剛性と適応性がよいが、差がない結果となっている。以上より、剛性低下率は主鉄筋比や帯鉄筋比に影響を受けるものと考えられるが、概ねじん性率 3 までは、武田モデルは適用可能であり、 $\gamma = 0.31$ とすることにより正確に除荷剛性を表すことができる。

図-6(b) に式(2)を用いて、実験値と一般的に用いられる武田モデル($\gamma = 0.4$)との比較を示す。武田モデル($\gamma = 0.4$)は、実験値よりも除荷剛性が小さく、エネルギー吸収を過小評価しているのに対して、式(2)を用いた場合、実験値の除荷剛性を正確に表している。図-6 より、武田モデルはじん性率 3 までは実験値の除荷剛性とほぼ一致しているが、じん性率が大きくなるにつれて誤差が大きくなっていることがわかった。

4. まとめ

じん性率が大きい RC 橋脚における武田モデルの適用性について、除荷剛性に着目し、検討した結果を以下に示す。

$$\text{全範囲の場合: } k_r = 1.13 k_y (\delta / \delta_y)^{-0.40}$$

$$\text{じん性率 3 程度までの場合: } k_r = k_y (\delta / \delta_y)^{-0.31}$$

$$\text{じん性率 3 程度以上の場合: } k_r = 1.3 k_y (\delta / \delta_y)^{-0.45}$$

剛性低下率は主鉄筋比、帯鉄筋比に影響を受けるが、上述した除荷剛性式がより正確にエネルギー吸収を表すと考えられる。

参考文献

- 1) 武田寿一：高強度鉄筋コンクリートの研究（大型梁の破壊実験報告），建築学会論文報告集 71 号，pp 7-12，昭和 37 年 4 月。
- 2) Takeda T: Concrete Response to Simulated Earthquakes. Journal of the Structural Division, ASCE Vol. 96, No. ST 12, pp 2557-2573, December 1970.
- 3) 小林薫，西原卓也，石橋忠良：大変形領域の交通荷重を受ける RC 橋脚のフーチングからの鉄筋拔出し特性に関する実験的研究，コンクリート工学年次論文報告集，Vol. 21, No. 3, pp 1249-1245, 1999
- 4) Ductility Design Subcommittee. Earthquake Engineering Committee Japan Society of Civil Engineers: CYCLIC LOADING TEST OF REINFORCED CONCRETE BRIDGE PIERS, March, 2001, Tokyo

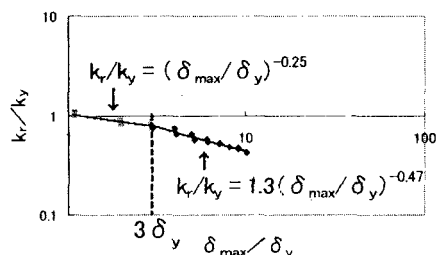


図-4 じん性率 3 を境にした除荷剛性の例 (No. 9)

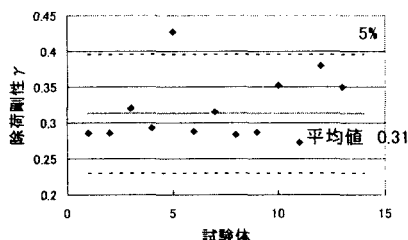
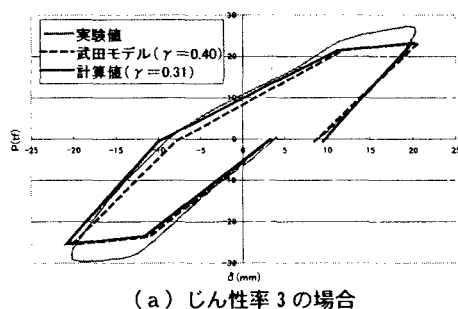
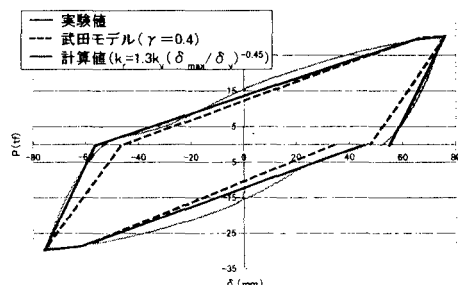


図-5 剛性低下率の分布（じん性率 3 まで）



(a) じん性率 3 の場合



(b) じん性率 10 (P_{max}) の場合

図-6 履歴曲線比較の例 (No. 9)