

コンクリート部分充填円形鋼製橋脚の地震時挙動を再現する簡易解析モデルの提案

東京電機大学 正会員 ○石澤 俊希
 東京電機大学 正会員 井浦 雅司
 東京電機大学 非会員 穂川 ゆき子

1. 目的

コンクリート部分充填矩形鋼製橋脚の簡易解析モデルは、既往の研究において復元力モデル¹⁾、 $M-\phi$ 関係による骨組モデル²⁾、および $\sigma-\varepsilon$ 関係による骨組モデル³⁾ 等が提案されている。一方、コンクリート部分充填円形鋼製橋脚（以後、円形 PCFST 橋脚と略す）の簡易解析モデルに関する研究報告は少ない。そこで本報告では、著者らが提案した中空円形鋼製橋脚の簡易解析モデル⁴⁾を用い、それにコンクリートの影響を追加し、円形 PCFST 橋脚の簡易解析モデルを提案する。また、既往の静的繰返し載荷実験結果との比較により精度の検証を行う。

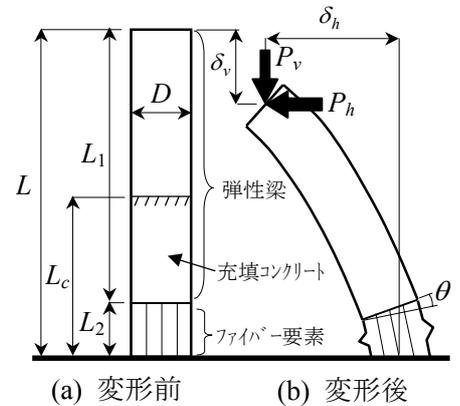


図1 橋脚モデル

2. 解析モデルの概要

本モデルは、図1に示すように長さ L_1 の弾性梁と長さ L_2 のファイバー要素の二要素によって構成される。弾性梁部は鋼管のみの剛性を有しており、材料的には線形を仮定した。一方、ファイバー要素部は局部座屈が発生する部分であり、図2に示すように鋼管は円周方向に、充填コンクリートは層状に分割した。鋼管の構成則には文献4)で提案したモデルを用い、コンクリートの構成則には文献3), 6)および7)で提案されているモデルを用いた。その概要を3.で述べる。また、既往の研究によると鋼管と充填コンクリートの滑りや離間により、コンクリートが十分に作用しないことが確認されている。そこで本モデルでは、滑りや離間等の付着特性を考慮するため、コンクリートの有効断面積を低減している。その詳細を4.で述べる。

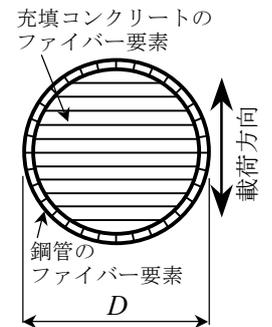


図2 断面モデル

3. 充填コンクリートの構成則

本モデルで用いた充填コンクリートの構成則を図3に示す。図に示すように、鋼管の拘束効果により通常のコンクリートに比べ最大圧縮応力が大きく、また劣化勾配が緩やかとなる。図中の f_{cc} 、 ε_{cc} 、 ε_{cu} および Z の決定方法は参考文献3), 6), 7)を参照していただきたい。

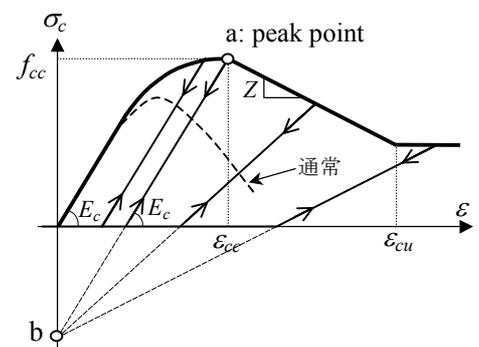


図3 充填コンクリートの構成則

4. 充填コンクリートの有効断面積

本モデルの充填コンクリートの有効断面積 A_c^* は、次式で求める。

$$A_c^* = A_c \times k_1 \quad \dots \dots \dots (1)$$

ここで、 A_c はコンクリート断面積、 k_1 は低減係数である。 k_1 はファイバー要素部の回転角 θ (図1(b)参照) の関数であり、図4に履歴モデルの模式図を示す。図中の太線 oa は回転角 θ の二次曲線であり、次式で求められる。

$$k_1 = A\theta^2 + B\theta + C, \quad A = -\frac{E_e^2}{4}, \quad B = E_e - 2A\theta_e, \quad C = 1 + \frac{B^2}{4A} \quad \dots \dots \dots (2)$$

ここで、 θ_e と E_e はそれぞれの二次曲線（例えば、曲線 oa や曲線 be ）における

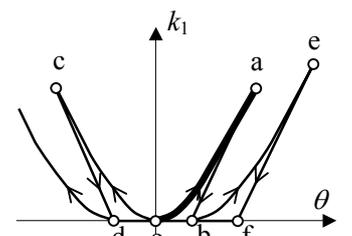


図4 係数 k_1 の履歴モデル

キーワード 円形鋼製橋脚、コンクリート充填、座屈、地震時挙動

連絡先 〒350-0394 埼玉県比企郡鳩山町石坂 東京電機大学理工学部 TEL:049-296-2911 (代表)

$k_1=0$ の時（例えば、点 o や点 b）の回転角と勾配である。これらは経験最大回転角 $\theta_{e\max}$ から次式により求める。

$$\theta_e = \alpha_1 \theta_{e\max} \dots\dots\dots (4)$$

$$E_e = \alpha_2 \sin \theta_{e\max} + E_{e0} \geq 0 \dots\dots\dots (5)$$

$$\alpha_1 = \begin{cases} 0.280 - 0.01(L_c/L) \left(\left| L_c - L(1 - M_{z(s)}/M_{u(s+c)}) \right| / L \right)^{-1} & \text{(ダイヤフラムが有る場合)} \\ 0.653 - 0.043(L_c/L) \left(\left| L_c - L(1 - M_{z(s)}/M_{u(s+c)}) \right| / L \right)^{-1} & \text{(ダイヤフラムが無い場合)} \end{cases} \dots\dots\dots (6)$$

$$\alpha_2 = \begin{cases} 6400 - 58500(L_c/L) \left(\left| L_c - L(1 - M_{z(s)}/M_{u(s+c)}) \right| / L \right) & \text{(ダイヤフラムが有る場合)} \\ 1740 - 95200(L_c/L) \left(\left| L_c - L(1 - M_{z(s)}/M_{u(s+c)}) \right| / L \right) & \text{(ダイヤフラムが無い場合)} \end{cases} \dots\dots\dots (7)$$

$$E_{e0} = \begin{cases} 220 L_c / L - 45 & \text{(ダイヤフラムが有る場合)} \\ 105 L_c / L + 21 & \text{(ダイヤフラムが無い場合)} \end{cases} \dots\dots\dots (8)$$

ただし、 $M_{z(s)}$ は鋼管のみの全塑性モーメント、 $M_{u(s+c)}$ は鋼管と充填コンクリートの合成断面における終局モーメントである。 $M_{z(s)}$ と $M_{u(s+c)}$ の計算では、文献 7)を参考にコンクリートの引張応力を無視し、またコンクリートは軸力を負担しないものとした。 k_1 の履歴は、図 4 に示す経路 o→a→b→o→c→d→b→e→f を辿る。まず、経路 o→a は式(2)にしたがって二次曲線となる。点 a において、式(4)と式(5)を用いて θ_e と E_e を算出し、点 b(0, θ_e) に向かって移動する。その後、回転角が負側に移動してマイナスになると、経路 o→a と同じように経路 o→c を通る。そして、再度回転角が正側に移動すると経路 c→d→b と移動し、点 a で算出した θ_e と E_e を用いて、経路 b→e が二次曲線として得られる。

5. 実験結果と解析結果の比較

文献 7)の実験結果を用いて、本モデルの精度を検証する。ただし、本研究では基部に局部座屈が発生した供試体を対象としている。検証に用いた供試体の構造諸元を表 1 に示す。まず、本解析結果と実験結果の最大荷重の比較を図 5 に示す。図中には 45 度の線を記入した。図より本モデルが最大荷重を精度よく推定できることが分かる。次に、本解析結果と実験結果の履歴曲線の比較を図 6 に示す。ダイヤフラムの有無に対する本モデルの精度を確認するため、図中には No.3-3 と No.2-3 の結果を示した。図より、コンクリート充填鋼管の特徴である軟化後の硬化現象が本モデルにより再現されており、また、解析結果と実験結果がよく一致していることが確認できる。

6. まとめ

本研究では円形 PCFST 橋脚の簡易解析モデルを提案し、既往の実験結果との比較により、良い精度を有することが確認された。

参考文献

- 1) 子林ら：構造工学論文集, Vol.43A, pp.859-868, 1997.
- 2) 小野ら：構造工学論文集, Vol.48A, pp.683-692, 2002.
- 3) 葛ら：構造工学論文集, Vol.48A, pp.675-682, 2002.
- 4) ISHIZAWA ら：Earthquake Engineering and Structural Dynamics, Vol.34, pp.985-1004, 2005.
- 5) GE ら：Engineering Structures, Vol.25, pp.337-345, 2003.
- 6) SUSANTHA ら：Earthquake Engineering and Structural Dynamics, Vol.31, pp.195-216, 2002.
- 7) 井浦ら：土木学会論文集, No.696/I-58, pp.285-298, 2002.

表 1 文献 7)の供試体の構造諸元

供試体 No.	構造寸法				径厚比	充填率	ダイヤフラムの有無
	D	L	t	L _c			
	mm	mm	mm	mm		%	
No.2-2	502	1750	5.8	298	87	17	-
No.2-3	502	1750	5.8	490	87	28	-
No.2-4	502	1750	5.8	840	87	48	-
No.3-3	400	1750	5.8	595	69	34	有
No.3-4	400	1750	5.8	595	69	34	-
No.4-3	400	1750	5.7	595	70	34	有

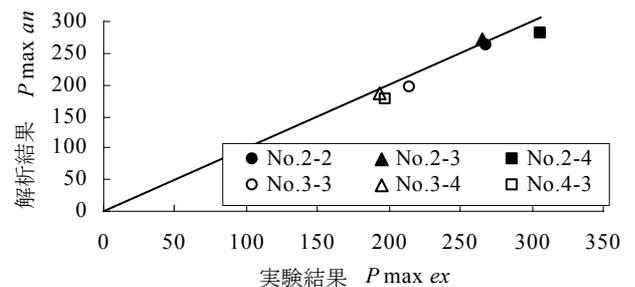


図 5 最大荷重の比較

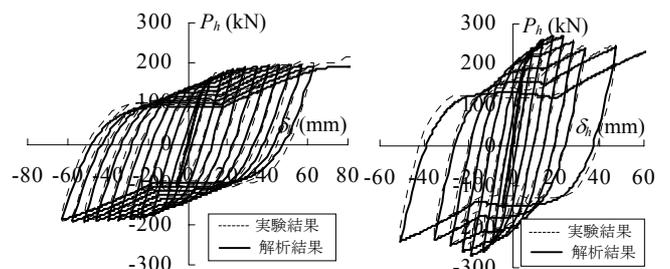


図 6 履歴曲線の比較