

塑性ヒンジ部のモデル化について

(株)荒谷建設コンサルタント 正会員 吉田隆千代

1. まえがき

本文は、RC橋脚の塑性ヒンジ部のモデル化について考察を行うものである。さて、現行のモデル化は、次のとおりである¹⁾。

- ①塑性ヒンジ部の中央に回転バネを設け、バネの上下を剛梁でつなぐ(以下、バネ+剛梁要素とよぶ)。
- ②回転バネの大きさは、バネの回転によって上部工慣性力作用位置に生じる変位と、塑性ヒンジ部の変形によって同位置に生じる変位とが、等しくなるように設定する。

著者は以前から、②のやり方に疑問を感じていた。回転バネの設定に、なぜ慣性力作用位置の変位を媒介とする間接的な方法を用いるのか、変位と応力の関係が直接定まらない不静定構造(例えば、ラーメン橋脚)の場合はどうなるのか、逆台形橋脚のように断面が高さ方向に変化する場合はどうするのか、等の疑問である。

ここに提案する方法は、初等材料力学に基づくきわめて単純なやり方であって、新規性や高度な解釈を全く含まない。あまりに簡単な方法なので、すでに議論され尽くされている(あるいは、議論する価値もない)かもしれない。また、提案法の導出過程に基本的な誤りがあるかもしれない。その際はご叱正を賜れば幸いである。

2. 現行法

塑性ヒンジ部のモデル化の方法は、つぎのように定められている¹⁾。

$$M_{pc} = \beta M_c \quad \dots\dots\dots (1)$$

$$M_{py} = \beta M_y \quad \dots\dots\dots (2)$$

$$M_{pu} = M_u \quad \dots\dots\dots (3)$$

$$\theta_{pc} = \phi_c L_p \frac{1 + \alpha^2}{2\beta} \quad \dots\dots\dots (4)$$

$$\theta_{py} = \phi_y L_p \frac{1 + \gamma\alpha}{2\beta} \quad \dots\dots\dots (5)$$

$$\theta_{pu} = \theta_{py} + (\phi_u - \phi_y) L_p \quad \dots\dots\dots (6)$$

$$\alpha = 1 - \frac{L_p}{h} \quad \dots\dots\dots (7)$$

$$\beta = \frac{1 + \alpha}{2} \quad \dots\dots\dots (8)$$

$$\gamma = \frac{\phi_c}{\phi_{y0}} + \left(1 - \frac{\phi_c}{\phi_{y0}}\right) \left(1 - \frac{L_p}{L'}\right) \quad \dots\dots (9)$$

$$L' = \left(1 - \frac{M_c}{M_{y0}}\right) h \quad \dots\dots\dots (10)$$

ここに、 M_{pc} , M_{y0} , M_{py} , M_{pu} は、回転バネのひび割れ、初降伏、降伏および終局モーメント、 θ_{pc} , θ_{py} , θ_{pu} は、回転バネのひび割れ、降伏および終局回転角、 ϕ_c , ϕ_{y0} , ϕ_u は、断面のひび割れ、初降伏および終局曲率、 L_p は塑性ヒンジ長、 h は橋脚基部から上部工慣性力作用位置までの距離である。また、その他の記号は下図に示すとおりである。

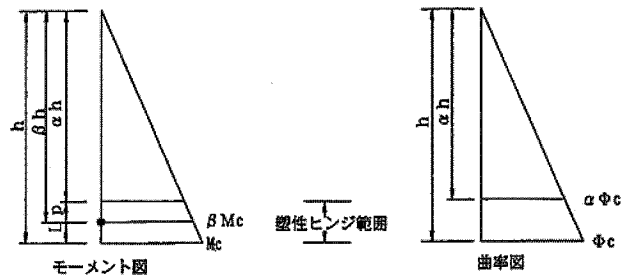


図-1 ひび割れ時のモーメントと曲率

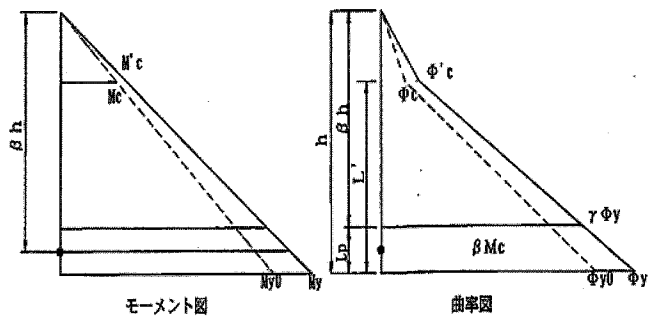


図-2 降伏時のモーメントと曲率

3. 提案法

塑性ヒンジ部の上端と下端との間の相対変位を考える。長さ L_p の梁要素に曲げモーメントが作用しているときの先端・下端間の回転角の差を

θ , 水平変位の差を δ とすると, それぞれ次のように計算される.

$$\theta = \int_0^{L_p} \phi dy \quad \dots\dots\dots (11)$$

$$\delta = \int_0^{L_p} \phi (L_p - y) dy \quad \dots\dots\dots (12)$$

塑性ヒンジ部内では, 曲率は一定であると仮定すると, (11) (12) は次のようになる.

$$\theta = L_p \bar{\phi} \quad \dots\dots\dots (13)$$

$$\delta = \frac{1}{2} L_p^2 \bar{\phi} = \frac{1}{2} L_p \theta \quad \dots\dots\dots (14)$$

ここに, $\bar{\phi}$ は塑性ヒンジ部内における平均曲率である. 図-3 に, 塑性ヒンジ部の曲げと変位の関係を見るために, 梁要素とバネ+剛梁要素を並べて示す.

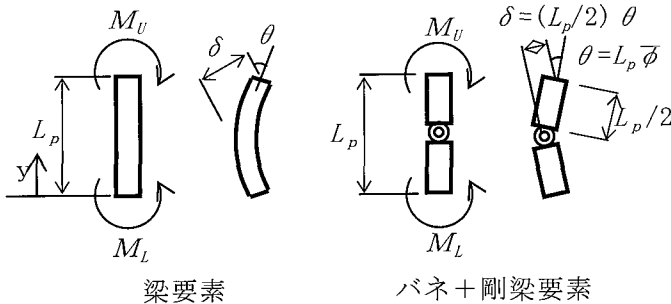


図-3 塑性ヒンジ部の曲げと変位の関係

塑性ヒンジ部内の曲率は一定である, と仮定すれば, (13) (14) に示すように θ と δ は簡単に求まる. また, (13) 式を用いれば, 梁要素の $M-\phi$ 特性から, バネ+剛梁要素の $M-\theta$ 特性への変換を, 容易に行うことができる (図-3).

現行のモデル化は, 前頁に示すように, $M-\theta$ 特性を上部工慣性力作用位置における水平変位を介して算出するようになっている.

なぜ (13) 式を用いて $M-\phi$ 特性から直接求めてはいけないのだろうか?

塑性ヒンジ部の上端の曲率と下端の曲率の差を気にしているのであれば, それらの差は僅かであり, 平均すれば問題ないと考える.

4. 数値解析およびまとめ

ここでは, 提案法の妥当性を確認するためにラーメン橋脚を対象に (図-4), 固有振動解析を行った. 解析は次の3ケースについて実施した.

表-1 解析ケース

No.	塑性ヒンジ部のモデル化
1	梁要素
2	現行法 ²⁾ によるバネ+剛梁要素
3	提案法によるバネ+剛梁要素

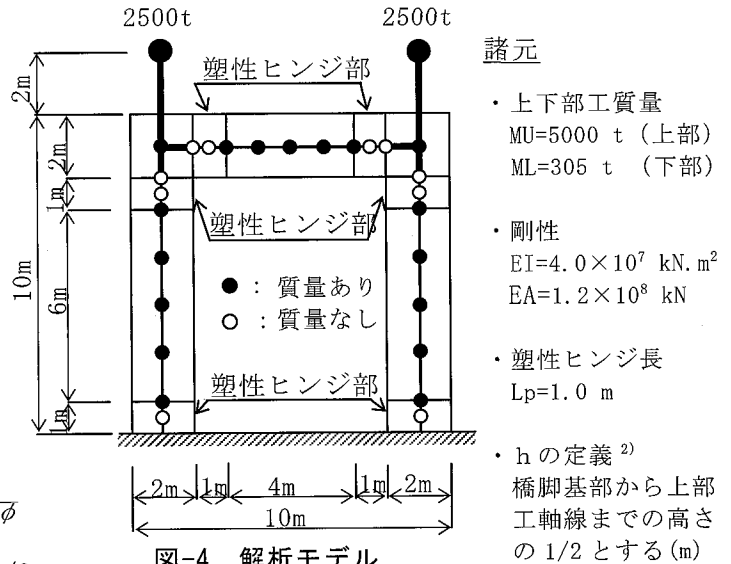


図-4 解析モデル

表-2 固有振動解析結果 単位: Hz

No.	1次モード	2次モード	3次モード
1	2.022	12.819	40.212
2	1.955 (3.31%)	12.693 (0.98%)	38.961 (3.11%)
3	2.010 (0.59%)	12.746 (0.57%)	40.092 (0.30%)

【注】 () 内は, 梁要素モデルの固有振動数に対する誤差 (%) を示す.

固有振動解析結果を表-2 に示す. 表-2 を見れば, 提案法による解の方が, 現行法による解よりも高精度であることが判る.

現行法は, 断面が高さ方向に変化しない単柱橋脚への適用を想定しているため, 不静定構造や, 逆台形橋脚など高さ方向に断面が変化する橋脚へ適用する際は, 精度低下が懸念される. しかし, 提案法にはこれらの心配は全くない.

複雑な計算が必要で精度低下が懸念される現行法よりも, 簡単に計算できて高精度の解が得られる提案法が勝れるように思われる.

【参考文献】

- 1) (財) 土木研究センター:平成8年度耐震設計ソフトウェアに関する研究委員会報告書, 平成9年5月
- 2) 日本道路公団:設計要領第二集-橋梁・擁壁・カルバート, 橋梁設計編, 第3章耐震設計, 平成10年7月