

III-B11

弾塑性バネ～梁系解析手法の精度評価

NKK 基盤技術研究所 正会員 南部 俊彦 正会員 関口 宏二

1. はじめに

地盤～構造物系の静的解析手法として、構造物（例えば杭、パイプライン等）を梁要素に地盤を弾塑性バネ要素にモデル化する手法がよく用いられる。我々は、このような解析で使用する幾つかのプログラムの解析精度を、理論解の得られる簡易な解析モデルにより検証した。ここにその理論解および検証事例を紹介する。

2. 検証のための解析モデルと理論解

図1に解析モデルを示す。弾完全塑性型の反力特性を示す一様地盤中に、下端をピン支持された剛性が無限大の杭（梁要素）があるものとし、杭頭に水平荷重 Q を与える。水平力とモーメントの釣り合いから水平荷重 Q と載荷点変位 δ_0 の関係が以下のように導かれる。

$$\begin{aligned} \text{I. } \delta_0 \leq \delta_y \quad (Q \leq Q_y) \quad & \text{のとき} \quad \delta_0 = \frac{3Q}{\ell \cdot E_s} \\ \text{II. } \delta_0 > \delta_y \quad (Q > Q_y) \quad & \text{のとき} \quad \delta_0 = \frac{\delta_y}{\sqrt{3 \cdot \left(1 - \frac{2Q}{\ell \cdot E_s \cdot \delta_y}\right)}} \end{aligned}$$

ここに、 δ_y ：弾塑性型地盤バネの降伏変位 (cm)

E_s ：地盤反力の初期勾配 (kgf/cm²)

Q_y ：地盤弾性限界荷重 (kgf) ($= \frac{\ell \cdot E_s \cdot \delta_y}{3}$)

ℓ ：杭長 (cm)

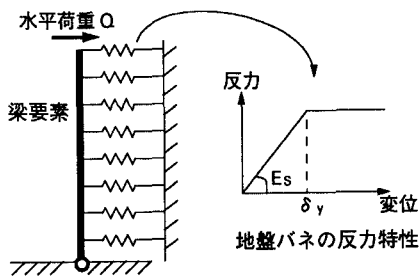


図1 解析モデル概要

3. 検証事例

3.1 解析条件

解析精度の検証を行った3本のプログラムの概要を表1に、解析に用いたパラメータを表2に示す。また解析モデルの諸元は以下の通り。

(杭の曲げ剛性 $EI = 1.0 \times 10^{16} \text{ kgf} \cdot \text{cm}^2$, $l = 10\text{m}$, $\delta_y = 2\text{cm}$, $E_s = 150\text{kgf/cm}^2$)

表1 解析に用いたバネ～梁系プログラム

プログラム名	非線形解析手法	連立1次解法
Program A	反復法	ガウスの消去法
Program B	増分法(収束計算なし)	ウェーブフロント法
Program C	増分法(収束計算あり)	ブロックスカイライン法

表2 解析に用いたパラメータ

プログラム名	要素分割数	収束許容値	荷重step	地盤バネ2次勾配
Program A	20, 40, 100	1, 0.1, 0.01, 0.0001%	1tf	0.0
Program B	20, 40	—	1, 0.5, 0.1tf	0.0
Program C	10, 20	0.1, 0.001%	1, 0.10, 0tf	1, 0, 0.01, 0.0001%

3.2 解析結果

(1) Program A

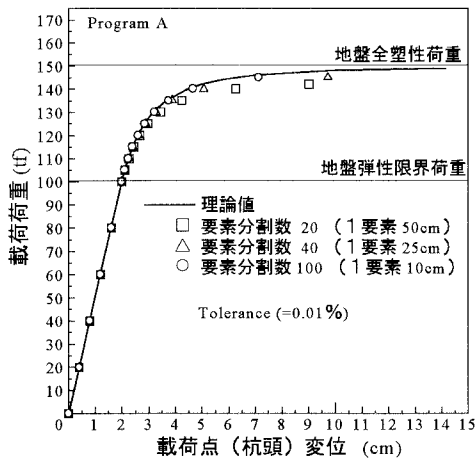
図2(a)は要素分割数が解に与える影響を示したものである。要素分割数を100とした場合に理論値と良く一致している。図2(b)は収束許容値をパラメータとした時の結果である。これらの結果から、要素分割数が解析結果に与える影響は大きいものといえる。また、通常程度の要素分割数の場合には、理論値よりも変位が大きく算出される傾向にある。

(2) Program B

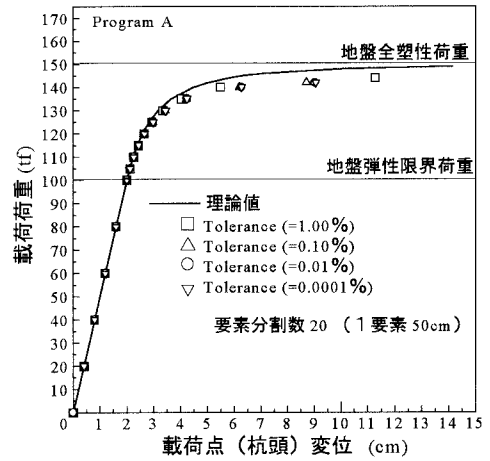
図3(a)は要素分割数が解に与える影響を示したものである。この図から、要素分割数20と40ではほぼ同じ値を示すことがわかる。図3(b)は荷重増分の大きさの影響を示したものである。荷重ステップをより小さくしたほうが理論値と良く一致することがわかる。このプログラムでは、各荷重段階において収束計算を行わないため、荷重増分の大きさが解に及ぼす影響は大きいといえる。

(3) Program C

図4(a)に地盤バネの2次勾配が解に与える影響を示す。このプログラムでは、地盤バネの2次勾配を完全に0と入力出来ないためパラメータとした。図から、地盤バネの2次勾配は初期勾配の0.01%程度であれば理論値とほぼ一致する。図4(b)に荷重増分の大きさによる影響を示す。荷重増分の値を変えてもほぼ同一の解が得られた。これは、各荷重段階で収束計算を行っているためと考えられる。

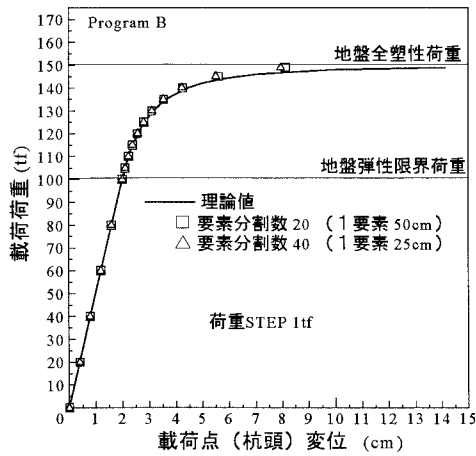


(a) 要素分割数の影響

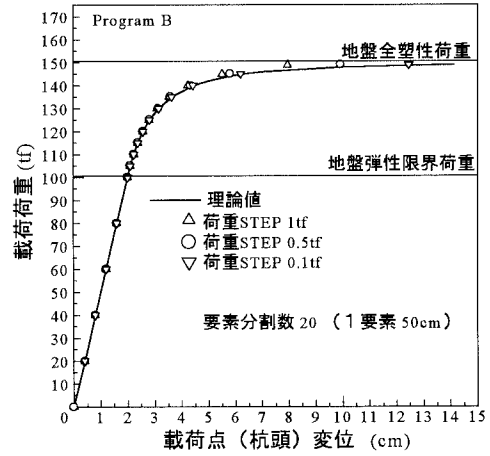


(b) 収束許容値の影響

図2 Program Aの解析結果

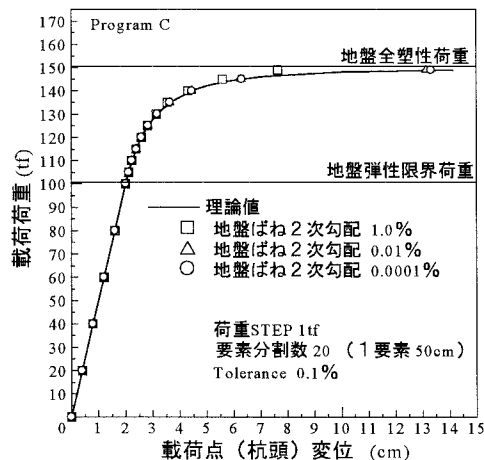


(a) 要素分割数の影響

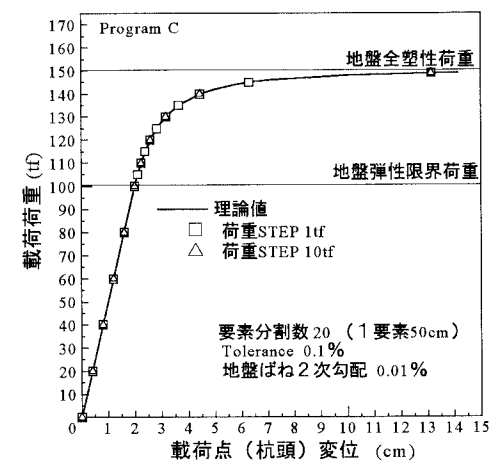


(b) 荷重増分値の影響

図3 Program Bの解析結果



(a) 地盤バネ 2次勾配の影響



(b) 荷重増分値の影響

図4 Program Cの解析結果