



講座

有限要素法の基礎と地盤工学への応用

9. 講座を終わるにあたって

田 村 武 (たむら たけし)

京都大学教授 大学院工学研究科土木工学専攻

「有限要素法がどういうものであるか」から始め、地盤工学への応用として「圧密解析」、「液状化解析」そして「剛塑性解析」について説明を行ってきた。ここで全体のエッセンスをまとめておこう。

9.1 基礎理論

はじめの4回(3章)までは特に初心者を意識して、やさしい例題を用いて繰返し、有限要素法の基礎理論を説明した。たしかに例題はやさしいものであったが、理論としては一般論へも適用できるような工夫を施した。例えば、くどいほど現れた「弱形式」という用語は、あまり浸透していない。それを力学的に解釈すれば「仮想仕事の原理」と等価であるが、「仮想仕事の原理」を物理法則ととらえることに戸惑いと混乱に大きな原因がある。「仮想仕事の原理」は「数学の恒等式」と理解する方がはるかに自然である。いいかえれば、「仮想仕事の原理」という用語を完全に排除して「弱形式」といい換えた方がはるかに混乱は少なくなる。このような舞台装置に納得ができれば2.から4.まで容易に読めると思う。

9.2 圧密解析と液状化解析

数値解析における地盤工学独自の問題に圧密解析と液状化解析がある。ここでのポイントは「間隙水圧」の意味である。圧密問題の基本は「非排水問題」である。注意すべきは「非排水問題」の数値解析では、実は間隙水は存在しない。実際にそうである。微小な土要素の釣合い式に間隙水圧の項は存在するが、間隙水自体の釣合い式は扱わない。では、どういう背景から間隙水圧が計算されるかといえば、「体積変化に対する拘束条件」である。簡単な例を示すと、図9.1(a)に示す片持ち梁の中央に荷重 P を作用させるとその先端にはたわみ δ が生じる。ここで図9.1(b)のように先端に支点を設けると、たわみは0になるが、当然、反力 R が生じる。この支点が「間隙水」に相当し、支点反力 R が「間隙水圧」に相当する。支点を意識しなくても、たわみ δ が0であるという条件があれば反力 R が計算できるのである。この状況が飽和土の連成解析の原点である。ただし、液状化を対象として動的解析する場合は、さまざまなバージョンが出てくるが、ここにおいても「非排水問題」の考え方が基本になっている。

9.3 剛塑性解析

通常の有限要素法と異なり剛塑性解析では、構造物が

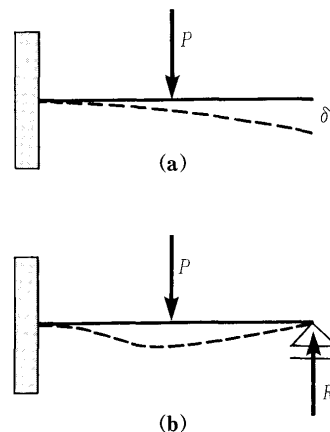


図9.1 支点と反力

精一杯の荷重を支え、限界をわずかに超えてまさに崩壊している状態を直接に計算する。円弧すべりやクーロン土圧の計算と同じことを有限要素法で行う。円弧すべりやクーロン土圧を計算するとき、地盤のヤング率やポアソン比が不要であったように、剛塑性有限要素法では弾性係数は不要である。また、円弧すべりやクーロン土圧では地盤の変位ではなく、どのような形態(モード)ですべるかが重要である。このことを念頭におけば剛塑性解析は身近に思える。しかし、以下の1点は重要である。円弧すべりでは最小安全率の円を探すことになり、クーロン(主働)土圧では最大値を計算して正解を求める。なぜこのような極値をとるかを少し調べると、この極値条件が釣合い式と等価であることがわかる。正確には釣合い式の「弱形式」である(これが上界法の本質である)。これを踏まえておけば、なぜ有限要素法を用いて極限解析ができるのかが直観的に理解できることになる。

かなり初等的な範囲に限るということで出発したが、できあがった講座全体を眺めてみると、かなり高度と思える内容まで含まれている。しかし、各章を始めから読めば十分理解できるように著者の配慮がある。じっくりと読んで味わってほしい。

最後に多忙な中、貴重な原稿を執筆いただいた著者の方々ならびに講座担当委員各位に深く御礼を申し上げる。

本講座担当委員:

大谷 順(リーダー)、石井武司、奥野哲夫、
小宮一仁、長尾俊昌、前村庸之、山本 彰

講 座

表—9.1 講座「有限要素法の基礎と地盤工学への応用」掲載一覧表

回数	章 タ イ ト ル	執筆者(敬称略)	掲載号・ページ
1	1. 講座を始めるにあたって	田 村 武 (京都大学)	平成13年2月号, 59~61
2	2. 微分方程式のおさらいと有限要素法の基礎(1) 2.1 はじめに 2.2 簡単な微分方程式の誘導 2.3 近似解とその意味	田 村 武 (京都大学)	3月号, 47~52
3	2. 微分方程式のおさらいと有限要素法の基礎(2) 2.4 有限要素法の基礎理論 2.5 おわりに	田 村 武 (京都大学)	4月号, 45~49
4	3. 一次元問題の有限要素解析 3.1 境界値問題の弱形式 3.2 有限要素解析の基礎式 3.3 計算例 3.4 節点変位 3.5 精度 3.6 アイソパラメトリック要素	山 口 栄 輝 (九州工業大学)	5月号, 39~44
5	4. 多次元問題の有限要素解析 4.1 弾性体の境界値問題 4.2 有限要素解析の基礎式 4.3 アイソパラメトリック要素 4.4 ガウス積分 4.5 有限要素方程式の解法 4.6 応力算定法	山 口 栄 輝 (九州工業大学)	6月号, 41~46
6	5. 土と水の連成問題 5.1 飽和土の連続体モデル 5.2 有効応力の原理 5.3 一次元土-水連成問題 5.4 間隙水圧の意味 5.5 一次元有限要素離散化 5.6 圧密の固有値	飯 塚 敦 (神戸大学)	7月号, 37~43
7	6. 地盤の変形問題 6.1 多次元圧密の基礎とビオの式 6.2 弱形式と空間離散化 6.3 時間離散化 6.4 赤井・田村の方法	飯 塚 敦 (神戸大学)	8月号, 31~36
8	7. 動的問題に対する有限要素法(1) 7.1 動的問題に対するビオ (Biot) の式 7.2 ビオの式とその近似化 7.3 ビオの式の有限要素法への定式化	吉 田 望 (佐藤工業㈱)	9月号, 35~40
9	7. 動的問題に対する有限要素法(2) 7.4 境界条件 7.5 質量マトリックス 7.6 固有値解析 7.7 減衰マトリックス 7.8 運動方程式の数値積分法 7.9 その他の注意	吉 田 望 (佐藤工業㈱)	10月号, 33~38
10	8. 地盤工学における剛塑性有限要素法(1) 8.1 剛塑性論の基礎 8.2 剛塑性有限要素法の地盤工学への導入 8.3 剛塑性有限要素法の支配方程式 8.4 ミーゼス材料と飽和粘土	小 高 猛 司 (京都大学)	11月号, 33~38
11	8. 地盤工学における剛塑性有限要素法(2) 8.5 剛塑性有限要素法の計算の注意事項 8.6 土-水連成解析 8.7 破壊時にダイレイタンスを示す材料に対する剛塑性有限要素法 8.8 まとめ	小 高 猛 司 (京都大学)	12月号, 65~68
12	9. 講座を終わるにあたって	田 村 武 (京都大学)	12月号, 69~70