

## FEMにより地すべり抑止杭の最大抑止力の算定を行うための基礎的研究

群馬大学工学部 正会員 ○若井明彦・鶴飼恵三・蔡 飛

群馬大学大学院工学研究科 田中 潔・五味潤裕一

## 1. はじめに

筆者らはこれまで三次元弾塑性 FEM に基づき、杭を有する斜面の安定解析（Cai & Ugai 2000 など）や個々の杭の抑止機構と最大抑止力（若井他 2001 など）について検討を行ってきた。本研究では、後者の立場から、鋼管抑止杭の FEM による抑止力算定について、地すべり末端部のモデル化も含めて予測の可能性を検討する。

## 2. FEM による最大抑止力の算定①（「くさび杭」のモデル化に関する検討）

現行の「新版・地すべり鋼管杭設計要領（2003）」には、杭の施工位置や地盤条件に応じて 4 種類の予測式（くさび杭・補強杭・抑え杭・せん断杭）が提示されている。これらは既往の研究に基づき提案されたものであり、それぞれが多くの実績を有している。しかしいずれも簡易モデルであるため、地盤と杭との 3 次元的な相互作用、地盤の進行性破壊などを必ずしも厳密に考慮しているかわからない。

まず「くさび杭」が仮定されるケースについて、Fig.1 のように最大抑止力の算定を試みた。地盤は弾完全塑性体と仮定した。材料定数を Table 1 に示す。すべり層内にせん断変形がより集中するように、今回はすべり層の  $E$  を移動層に比べて大幅に低減させた。Fig.1(a)は解析モデルの概要、Fig.1(b)は地盤内の初期応力分布を再現するための解析手順である。解析により得られた杭の最大曲げモーメント値を Fig.1(c)、すべり面位置のせん断力（地すべり抑止力）を Fig.1(d)にそれぞれ示す。いずれも杭頭における水平変位量との関係図である。ここで、杭材の許容曲げモーメントと許容せん断力が各々 418kNm, 1960kN であるとする、Fig.1(c), (d)より、変位 36.2mm の時に杭は曲げ降伏し、その時のせん断力（最大抑止力）は 591kN と算定される。ちなみに現行設計式に基づく、杭は変位 47.2mm で曲げ降伏を生じ、1201kN という過大な最大抑止力が得られた。

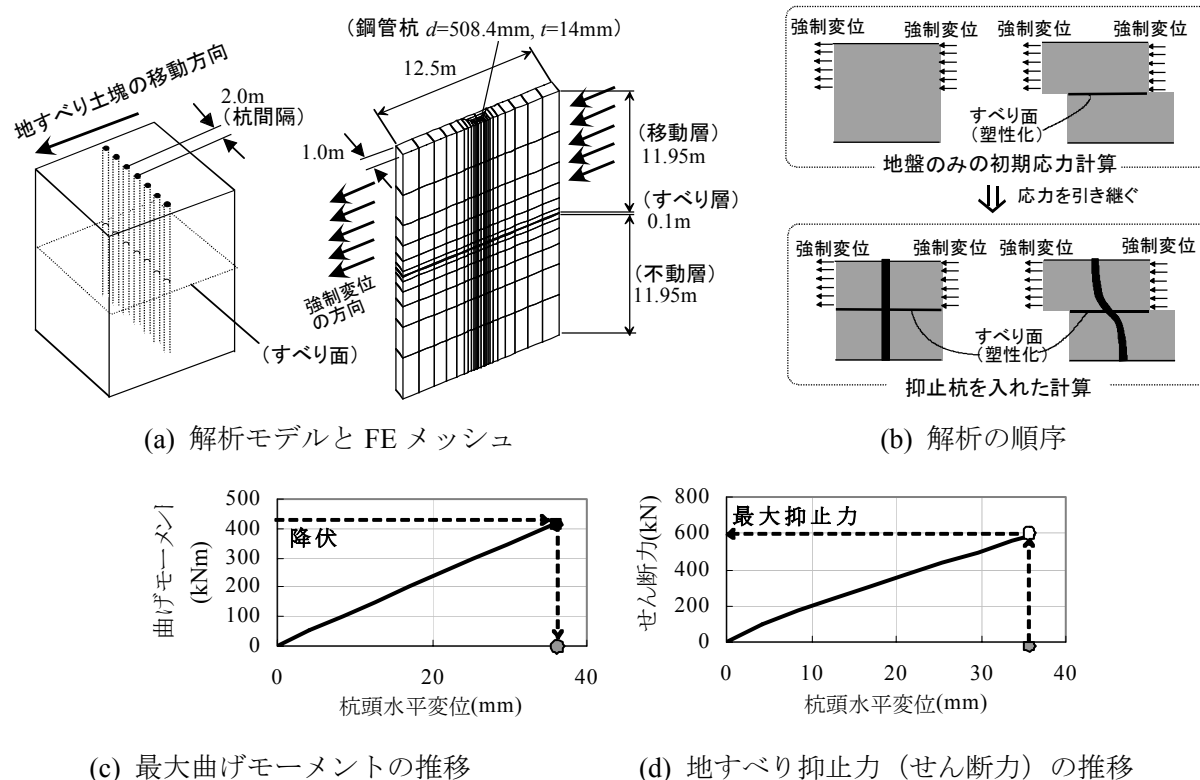


Fig.1 最大抑止力を算定するための FE 解析（くさび杭モデルに準拠）。

キーワード 地すべり，抑止杭，弾塑性，3次元，せん断力

連絡先 〒376-8515 群馬県桐生市天神町 1-5-1 群馬大学建設工学科 若井 明彦 wakai@ce.gunma-u.ac.jp

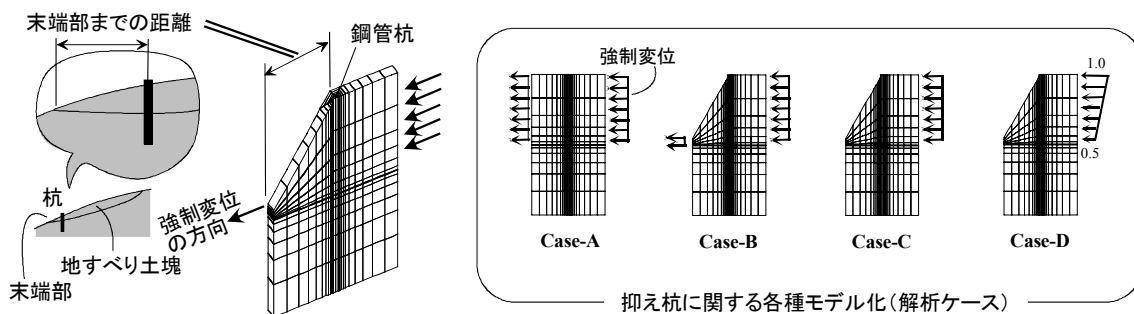


Fig.2 地すべり末端部近傍に施工された杭（「抑え杭」）のモデル化と解析ケース一覧。

Table 1 解析に用いた材料定数.

|                                      | 移動層   | すべり層  | 不動層   |
|--------------------------------------|-------|-------|-------|
| ヤング率 $E$ (MPa)                       | 29.43 | 2.943 | 147.2 |
| ポアソン比 $\nu$                          | 0.3   | 0.3   | 0.3   |
| 粘着力 $c$ (kPa)                        | 29.43 | 29.43 | 98.10 |
| 内部摩擦角 $\phi$ (deg)                   | 28.0  | 28.0  | 40.0  |
| グレイタシ角 $\phi$ (deg)                  | 0.0   | 0.0   | 10.0  |
| 単位体積重量 $\gamma$ (kN/m <sup>3</sup> ) | 17.66 | 17.66 | 20.60 |

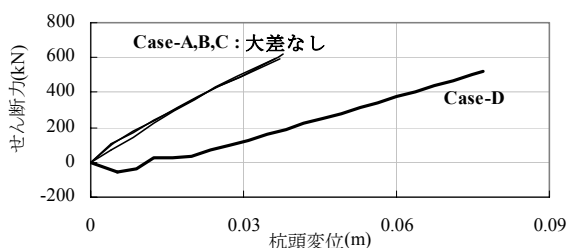


Fig.3 地すべり抑止力（せん断力）の推移。

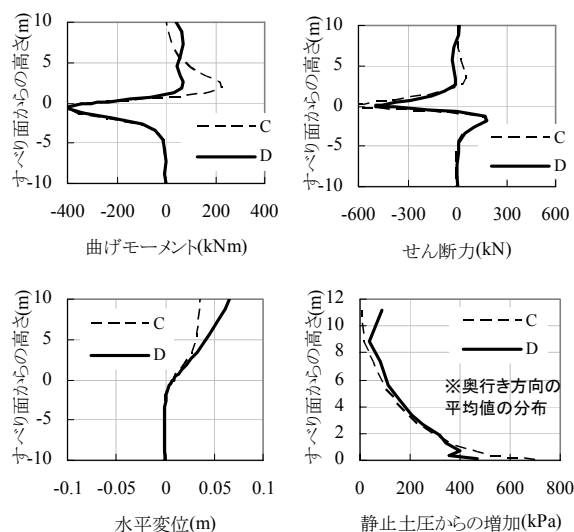


Fig.4 杭の内力・たわみ，载荷部の応力分布（Case-C, D）。

### 3. FEMによる最大抑止力の算定②（「抑え杭」のモデル化に関する検討）

地すべり末端部までの距離が短い場合について，同様に抑止力を算定する．杭から谷側の地すべり土塊について，すべり面が水平，地表面が末端に向って一様勾配で傾斜していると仮定した．材料定数は Table 1 と同一とした．各種条件を Fig.2 のように変化させた各ケースについて解析を行った．比較のため「くさび杭」仮定の Case-A も解析した．Case-C, D は杭の谷側の強制変位条件を除いたケースであり，Case-D は強制変位量を深さ方向に一様でなく，地表面とすべり面位置での大きさの比が 1 : 0.5 となるように载荷した．各ケースで得られた杭頭変位と抑止力の関係を Fig.3 に示す．各曲線の終点が最大抑止力に対応する．Case-D については，他の 3 つのケースと比較して，最大抑止力はやや小さめ，またその時の杭頭変位は極めて大きな値となった．Case-B, C は地すべり土塊の末端部直近に杭が施工された場合を想定したケースであるにも関わらず，Case-A と近い結果となったことは興味深い．このことは系に与えた強制変位の深さ方向分布が杭の変形挙動を支配することを示唆している．ちなみに谷側地盤の抵抗を完全に無視する現行設計法の「抑え杭」式に基づくと，204kN という過小な最大抑止力とともに，その時の変位量として 258mm という過大な値が得られた．

Case-C, D に関して，曲げ降伏時の曲げモーメント分布，せん断力分布，水平変位分布，载荷端の水平土圧分布（静止土圧成分を除いたもの）を Fig.4 に示す．Case-D は「抑え杭」仮定に特有のたわみモードおよび曲げモーメント分布の傾向が見られるが，Case-C はむしろ「くさび杭」と傾向が近いことが分かる．

抑止杭の最大抑止力を FEM により予測する際には，適切な強制変位（ないし外力）の入力が重要である．

#### 参考文献

Cai, F. and Ugai, K. (2000) : Numerical analysis of the stability of a slope reinforced with piles, Soils and Foundations, Vol. 40, No.1, pp.73-84. 「若井・鶴飼・蔡 (2003) : 種々の条件が地すべり抑止杭の抵抗力に及ぼす影響について，第 42 回日本地すべり学会研究発表会，pp.201-204.