

III-385

ジョイント要素を用いた地すべり抑止杭の数値解析

京都大学工学部 正員 足立紀尚, ○木村 亮,

建設省 正員 多田 智

1. はじめに わが国は世界でも有数の地すべり発生国であり、地すべり危険地帯が数多く指定されている。地すべりを防止するために、地すべり抑止杭による抑止工法が多用されているが、地盤と杭の相互作用によってその抑止機構は複雑である。筆者らは現在までに砂質地山を想定し、降下床を用いた2次元模型実験を行い、定性的にはあるが地すべり抑止杭の抑止機構の解明を行った¹⁾。また、弾完全塑性有限要素法を用いて、実験結果と比較検討した²⁾。本報告は、ジョイント要素を用いた弾性有限要素法（要素境界すべりモデル：IESM）³⁾による数値解析を行い、実験結果と比較したものである。

2. 2次元模型実験の概略 模型実験の詳細については紙面の都合上文献1)に譲るが、実験の概略を述べる。まず図-1に実験装置の模式図を示す。地すべり現象を降下床で表現し、地盤材料は砂質地盤を想定してアルミ棒積層体（ $\gamma=2.10\text{gf/cm}^3$, $\phi=30^\circ$, $c=0\text{kgf/cm}^2$ ）を用いた。本実験では土塊を約90度回転させて、底部が一様に降下する降下床によって流動を生じさせ、地すべり引張り領域に打設された抑止杭の抑止機構を調べていることに特徴がある。地すべり抑止並列杭では杭前面にアーチが形成され、地すべりを抑止することが判明した。

3. 解析手法 解析に用いるモデルは2次元平面ひずみ問題として扱ったIESM³⁾である。ジョイント要素は弾完全塑性的挙動を示すものと仮定し、垂直方向の構成関係は、接触の場合は応力とひずみがばね定数 k_n をもつ線形関係として与える。また、せん断方向に関しては作用せん断力が降伏応力に達するとすべりが生じ、それ以下であるとせん断ばね係数 k_s をもつ線形弾性体として挙動する。降伏応力は接触状態においては Mohr-Coulomb の降伏規準を適用し、はく離状態ではゼロとした。ここで、ばね定数 k_n , k_s は四角形、三角形要素のヤング率 E の10倍とした。アルミ棒積層体の2軸試験結果および側方土圧の測定より表-1に示す材料定数、境界条件を解析に用いた。

ジョイント要素を用いた弾性有限要素解析ではジョイント要素の配置が解析結果に影響を与える⁴⁾。ここでは実験結果より杭間にアーチが形成されることが判明しているため、村山らの研究⁵⁾を参考にして図-2のように要素分割を行い、三角形、四角形要素の周囲にジョイント要素を配置した。解析対象は、アルミ棒載荷高さ $z=25\text{cm}$ 、杭中心間隔 $s=4.0d$ （ d ：杭幅=3cm）、方形断面杭、並列配置のケースとし、解析領域は対称性を考慮して杭を含む杭中心間隔の半分（図-1の斜線部）を取った。境界条件は、側面は x 方向固定、 y 方向自由とし、底面は x , y 方向ともに固定としている。降下床の降下は、メッシュ底面の黒丸の節点に、降下床と杭の相対変位を強制変位として与えることにより表現した。

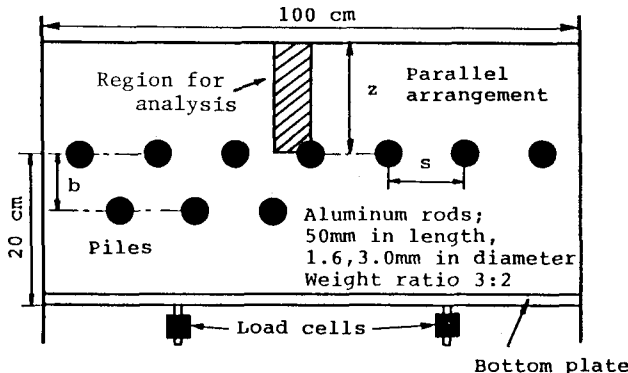


図-1 2次元模型実験装置

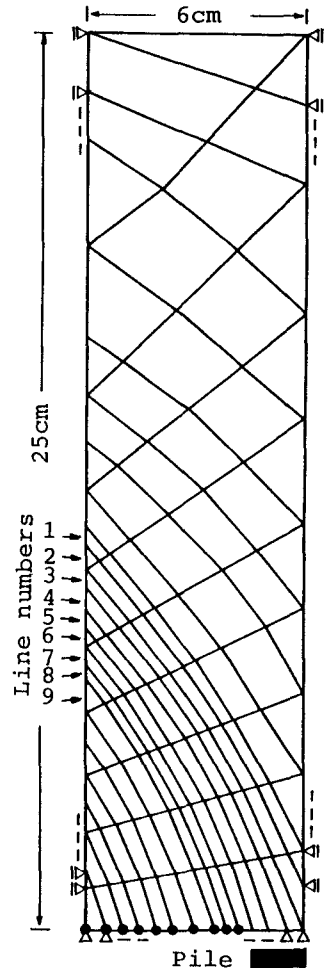


図-2 有限要素メッシュ

表-1 解析に用いたパラメータ

Unit weight γ (kgf/cm ³)	0.0021
Young's modulus E (kgf/cm ²)	5.0
Poisson's ratio ν	0.33
Cohesive strength c (kgf/cm ²)	0
Internal friction angle ϕ (°)	30
K_0 value	0.8

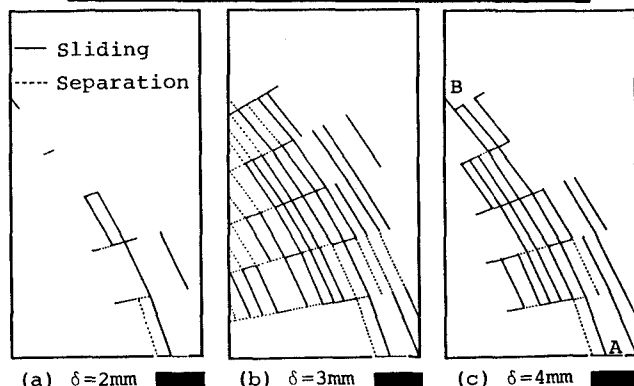


図-4 ジョイント要素の塑性化状態とアーチ作用

4. 解析結果および考察 杭に作用する荷重と降下量の関係を、実験結果と比較したものが図-3である。図より解析では実験よりも大きめの値をとっている。しかし、荷重がピークに達した後はほぼ一定値をとる傾向を示しており、定性的には実験結果を説明し得ている。

次に図-4にジョイント要素の塑性化状態を示す。図中実線がすべりを起こしている要素で、点線ははく離している要素である。図から杭左端部を起点としてジョイント要素にすべりおよびはく離が生じ、降下量が大きくなると塑性化したジョイント要素がアーチ状に広がっていく。図(c)（降下量 $\delta=4.0\text{mm}$ 時）のジョイント要素の状態に注目すると、杭左端部のA点を起点としたジョイント部分を境として、それよりも左側の部分ではかなりはく離が生じている。つまりこの部分は降下床の降下とともに下方へ移動しており、それよりも上部にある領域は、AB部分にアーチが形成されるために、降下が阻止されていると考えられる。

最後に、杭に作用する荷重がピークに達した時点のアーチ部付近の四角形および三角形要素列（図-2参照）のひずみ状態を示したのが図-5である。図より要素列1～4は鉛直方向圧縮、水平方向引張りとなっている。しかし、要素列5～9は逆に鉛直方向引張り、水平方向圧縮となる。よって要素列4および5の境界付近に変形モードの逆転があり、アーチが形成されている推定できる。アーチよりも上に位置する要素は下方への移動を阻止されるために鉛直方向に圧縮され、アーチよりも下にある要素は降下するために鉛直方向引張りとなる。特に要素列6～9はひずみ量が他の要素列に比べて小さく、ジョイント要素のはく離によって降下床とともに一様に降下していると考えられる。

5. おわりに ジョイント要素を配置した弾性有限要素解析を用いて、地すべり抑止杭の2次元模型実験を解析し、”実験結果にもとづく要素分割を行うと、実験におけるアーチ作用を表現できる”という知見を得た。今後は他の杭間隔に対しても同様の解析を行い、さらなる検討を行う予定である。

参考文献 1) 足立ほか：土木学会論文集，第400号，1988，pp. 243-252 2) 足立ほか：土質工学会講演集，1989（投稿中） 3) 足立ほか：土木学会論文集，第385号，1985，pp. 129-136 4) 湯浅ほか：土質工学会講演集，1988，pp. 1891-1894 5) 村山ほか：土木学会論文集，第187号，1971，pp. 98-108

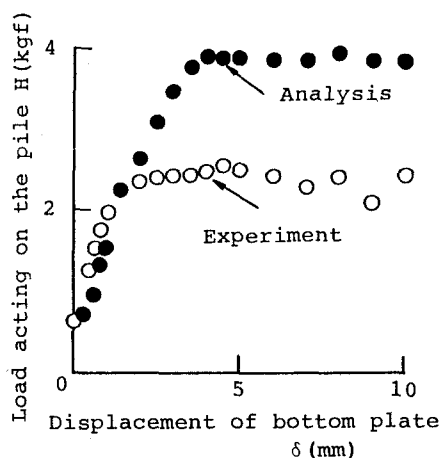


図-3 杭に作用する荷重と降下床の降下量の関係

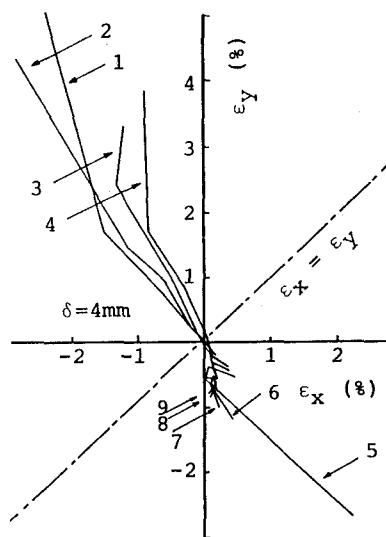


図-5 弾性体要素のひずみ状態