

軟弱粘土に埋没した脚部の引抜き抵抗について

(独)労働安全衛生総合研究所

正会員 ○石田 直子(元重点支援協力員)

正会員 豊澤 康男, 伊藤 和也

1. はじめに

土砂崩壊による労働災害の死亡者数は近年において年間 30 名前後で推移している。これらの災害では「崩壊土砂に足が埋まって動けなくなった」、「救助に行こうとしたが、土砂に足が埋まってしまい動けなくなってしまった」という情報が多くある。土砂崩壊の多くは雨水に関連しており、そのため崩壊土砂は多分に水を含んでいると想定される。このような土砂に足を取られた場合、足が抜け難くなることが予想されるが、その抜け難さの程度は定量的には知られていないのが現状である。本研究では避難・救助、二次災害防止への第一歩として、足の抜き難さを定量的に把握することを目的としている。

ここでは粘土地盤に人間の足を模擬した足模型を埋没させ、その引抜き抵抗を計測したのでその結果を報告する。

2. 実験概要

図 1 に実験で使用した足模型(左図)を示す。足模型には足首部分が人間の関節とほぼ同様に稼働する物を使用し、靴下と安全靴を着用(右図)させた。粘土地盤における引抜き抵抗はサクションによる影響が大きいと想定されることから、通常的安全靴に加え、安全靴の底に 6 カ所穴を開け(図 2) 引抜き時に地盤と靴底の間に空気が入りやすいよう工夫したものをを用いた。低速(2~9mm/sec) 高速(230mm/sec 程度)の 2 種類の一定速度で足模型を垂直に引抜く変位制御実験を行った。実験の概要を図 3 に示す。引抜き抵抗の計測には、足模型と引上げ装置との連結部に設置したロードセルを、引抜き量の測定には不動点に設置したワイヤー式変位計を用いた。実験条件としては、足模型の埋没高さ(10cm, 15cm), 引抜き速度(低速, 高速), 安全靴の仕様(穴有り, 穴無し)を変化させた全 8 ケース(表 1)とした。実験では作業性及び土槽との周面摩擦の影響を考慮し、幅 60cm, 奥行き 90cm, 高さ 60cm のプラスチック製の土槽を用いた。試料には藤ノ森粘土(W_L 62.5%, W_P 28.4%)を用い、足模型を設置した際、周辺地盤が自立することを目安にし、含水比を調整した。



図 1 実験に使用した足模型



図 2 安全靴(穴有り)

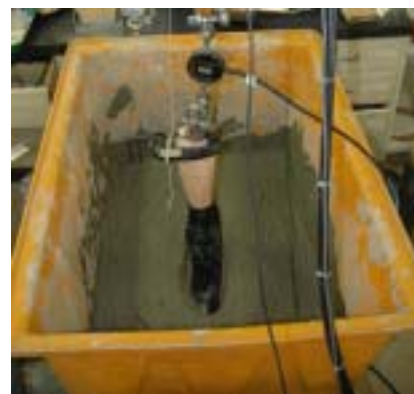


図 3 実験の概要

	埋没深 さ (cm)	引抜き速 度 (mm/sec)	含水比 (%)	穴
Case1	10	3.5	55.8	無し
Case2	10	2.3	56.1	有り
Case3	10	228	56.1	無し
Case4	10	232	56.1	有り
Case5	15	3.5	56.1	無し
Case6	15	9.2	55.9	有り
Case7	15	228	56.1	無し
Case8	15	232	55.9	有り

表 1 実験条件

キーワード 労働災害, 土砂崩壊, 避難, 引抜き, 足模型

連絡先 〒204-0024 東京都清瀬市梅園 1-4-6 (独法)労働安全衛生総合研究所 TEL:0424-91-4512

この地盤中央に足模型をのせ、靴底が土槽底面に着くまで上から押し込むようにして設置した。

3. 実験結果

図 4-1～図 4-4 に引抜き抵抗-鉛直変位関係を示す。

まずここでは、引抜き開始時の弾性的挙動から変化する点を A とし、その後 10 数 cm の鉛直変位後に引抜き抵抗が減少する点を B、穴有りと穴無しの 2 つの引抜き抵抗が同様の値を示し収束し始める点を点 C とした。

図 4-1～図 4-4 より、全てのケースにおいて変化点 A を境に、穴有りの引抜き抵抗が穴無しの引き抜き抵抗を 0.15kN 程度下回っている。このことから変化点 A で靴底から空気が入り、サクシオンが失われ始めたと考える。さらに全てのケースにおいて変化点 A は鉛直変位 20mm 付近に位置していることから、サクシオンが失われ始めるのは引抜き速度や埋没深さに関係ないと思われる。一方、低速で引き抜いた Case2,6 では明確な変化点 B が見られないのに対し、高速で引き抜いた Case4,8 では変化点 B が存在する。このことから、高速で引抜いた場合には靴底からの空気の供給が十分では無かったと思われる。埋没量が 5cm 増加すると、引抜き抵抗は穴の有無にかかわらず 0.1kN 程度増加している。また、高速で引抜いた場合には低速で引抜くよりも 0.2～0.3kN 引抜き抵抗が増加している。また、全てのケースにおいて引き抜き抵抗が収束するには埋没量よりも大きい鉛直変位が必要となっている。これは足模型の足首部分が動き、引抜き抵抗が持続したためと思われる。地盤から完全に足模型が抜けた状態でも引き抜き抵抗は 0.1kN 近く発生している。足模型の重量が 0.065kN であることから、足模型には 0.035kN 程度の重量の粘土が付着していたと考えられる。

5. おわりに

土砂に埋没した足模型の引き抜き実験を行った結果、粘土地盤では引抜き抵抗はサクシオンによるものが支配的であることが分かった。また、サクシオンは引抜き速度が早いほど大きな引抜き抵抗を発揮する。本実験では装置の性能上、最大引抜き速度は約 230mm/sec となったが、避難する際には、それより早い速度で足を動かそうとする。そのため避難時に必要とする引抜き力は本実験で得られた以上の力が必要と思われる。また、粘土が大量に付着した安全靴は想像以上に重く、歩数を重ねると足の甲の部分にも粘土が覆い被さり、さらに重く動きにくくなる。一方、ゆっくり足を引抜こうとすると、支持側の足は粘土地盤に埋まってしまい支持側の足が引抜き難くなってしまう悪循環に陥ることも想定される。これらのことからたとえ 10cm 程度といえども、足が埋まってしまった場合には避難が困難になることもあると考えられる。

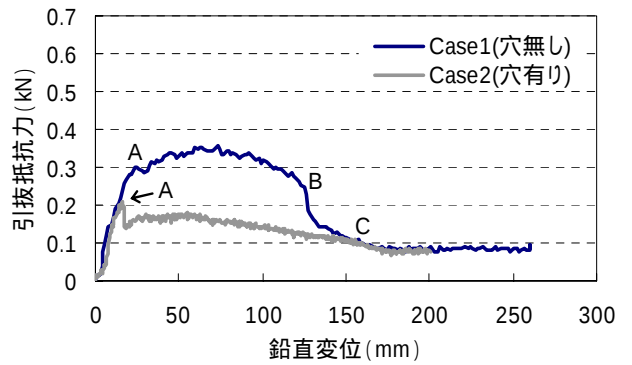


図 4-1 Case1,2(10cm,低速)

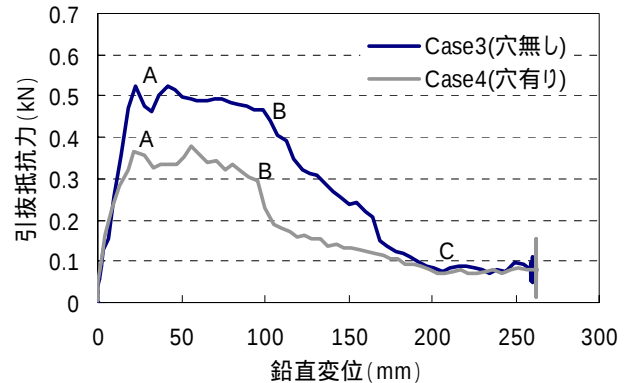


図 4-2 Case3,4(10cm,高速)

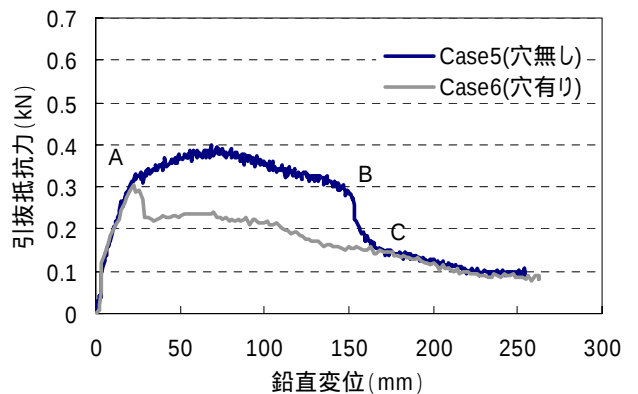


図 4-3 Case5,6(15cm,低速)

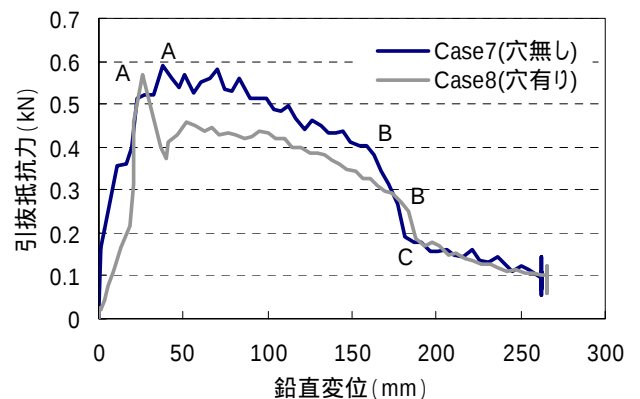


図 4-4 Case7,8(15cm,高速)