土砂に埋没した足模型の引き抜き試験

（独）労働安全衛生総合研究所　　正会員　○豊澤　康男，伊藤　和也
（株）ジオデザイン　　正会員　　浦上　朋靖

１．はじめに

土砂崩壊による労働災害の死亡者は近年においても 30 人前後で推移している．これらの災害の現場調査における関係者からの証言などで，「崩壊土砂に足が埋まって動けなくなったところ，引き続いて起こった崩壊土砂に埋まって亡くなった.」という情報が多くある．土砂崩壊の多くは，雨水に関連していることから，崩壊土砂は多分に水を含んでいることが多いと考えられる．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は誰もが経験していることであるが，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．そこで，条件の異なる土砂に人間の足に見立てた足模型を埋没させて，その足模型を引き抜く実験を行ったのでその結果を報告する．

２．実験の概要

Fig.1 に実験で使用した足模型を示す．実際の掘削工事では安全靴を着用することが多いが，足が埋まるような軟弱な地盤では長靴を着用することもあることから，足模型として足の人体模型（Fig.1 **の左図**）に靴下と長靴を着用させたものを用いた．足模型には足首の関節が人間とほぼ同じように自由に可動するものを使用した．実験は，①滑車を介して荷重を段階的増加させる荷重制御実験及び，②一定速度で足模型を引き抜く変位制御実験を行った．それぞれの実験の状況を概要図として Fig.2，Fig.3 に示す．約 10cm の厚さの砂の上に足模型を設置し，足が深さ 30cm 埋まったとして計 40cm の厚さになるように川砂を投入した．引抜抵抗力の測定にはロードセル(LTZ-500KA(5kN))を用いた．また，不動点に設置したワイヤー式変位計(DTP-05MDS(500mm))の先端を足模型に設置し，足模型の引抜時の変位を測定した．変位制御の実験では引抜速度を 16.35mm/sec とし，荷重制御実験では 30 秒ごとに 1kgf の荷重を増加させた．

Fig.1 足模型

Fig.2 変位制御実験

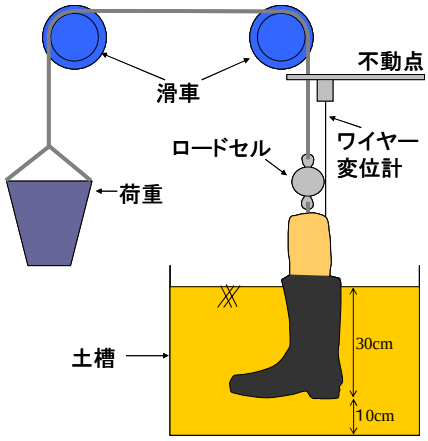

Fig.3 荷重制御実験

３．地盤の概要

実験の地盤には川砂を使用した．計 5 種類の実験を行ったが，本地盤の含水比と相対密度は Table.1，Table.2 に示すとおりである．ケース-1 は足模型を設置し，その周りに自然乾燥した砂を上方から降らせた地盤（緩い地盤を再現した.）であり，ケース-2 はケース-1 と同様に地盤を作成した後，層毎に締固めを行った地盤（密な地盤を再現した.）である．ケース-3 ではケース-1 に比べて含水比の高い砂を降

Table.1 荷重制御実験の地盤条件

実験ケース	地盤の種類	W (%)	相対密度 Dr(%)
A-1	川砂	3.7	26.3
A-2	川砂	3.8	77.9
A-3	川砂	17.2	46.7
A-4	川砂	28.8	63.3
A-5	川砂	15.8	72.3

Table.2 **変位**制御実験の地盤条件

実験ケース	地盤の種類	W (%)	相対密度 Dr(%)
B-1	川砂	2.7	21.6
B-2	川砂	2.8	81.8
B-3	川砂	16.8	37.2
B-4	川砂	29.0	60.4
B-5	川砂	13.0	70.9

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

らせて緩い地盤を再現した．ケース-4 では川砂に水を含ませて混ぜ合わせ所定の高さまで投入した後，地表面まで水を注入したものである．ケース-5 はケース-4 の状態から下部から排水することにより水締めを行ったものである．

4．実験結果

4-1　荷重制御実験結果

荷重制御による実験の結果を Fig.4 に示す．この図は鉛直変位と引抜抵抗力の関係を示している．砂地盤の相対密度が大きいとケース A-4 を除いて最大引抜抵抗力が大きい傾向にあることが分かる．これは，相対密度が大きいほど地盤の強度も大きくなるため，足模型を引き抜くのにより大きな力が必要となると理解できる．ケース A-4 は相対密度は高いものの地盤と水位がほぼ同じ高さのため砂の流動性が高く，同じ引き抜き力を継続して作用させることでいわゆるクリープ現象が起こり少ない力で引き抜きが可能なものと考えられる．ケース A-5 の引抜抵抗力は最大を示して減少をした後再度増加しているが，これは足模型を引き抜くことによって足の裏部に発生するサクション(負圧)によるものだと考えられる．また，この図から最大引抜抵抗力が大きいと最大引抜抵抗力を迎えるときの鉛直変位量が小さく，逆に最大引抜抵抗力が小さいと最大引抜抵抗力となるときの鉛直変位量が大きいことが分かる．

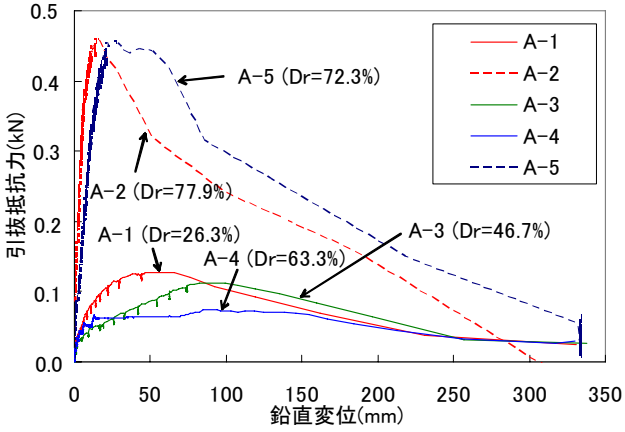

Fig.4　足模型の引抜抵抗（荷重制御による実験結果）

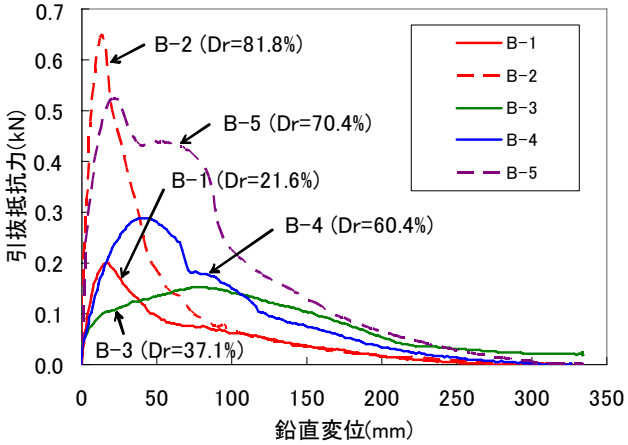

Fig.5　足模型の引抜抵抗（変位制御による実験結果）

4-2　変位制御実験結果

変位制御による実験の結果を Fig.5 に示す．荷重制御実験と同様に砂地盤の相対密度が大きいと最大引抜抵抗力が大きい傾向にあることが分かる．変位制御の実験は，実際に土砂に埋まった場合にそこから逃げようとするとき足を抜いて一歩進もうとするまでの状況を再現していると考えられる．土砂崩壊後の水を含んだドロドロ状の土砂に埋まった場合，約 0.3kN(30kgf)の引き抜き力が必要であることから，動くことはほとんど不可能と思われる．さらにその状態から水が抜けた場合は約 0.5kN(50kgf)の引き抜き力が必要となることが分かった．また，砂地盤の実験において引抜抵抗力がピークを示した後の挙動に注目すると，ピーク後すぐに減少する挙動のほかに一度減少したのち再度抵抗が大きくなる挙動があるのが分かる．この挙動を示すのは含水比が他のケースよりも比較的高いケース B-4(w=29%)，ケース B-5(w=13%)であることからサクションが影響しているものと考えられる．Fig.6 に相対密度と最大抵抗力の関係を示す．ケース B-1 とケース B-3 が異なっているものの全体として相対密度が高いほど最大引抜抵抗力が大きくなる傾向にあることが分かる．

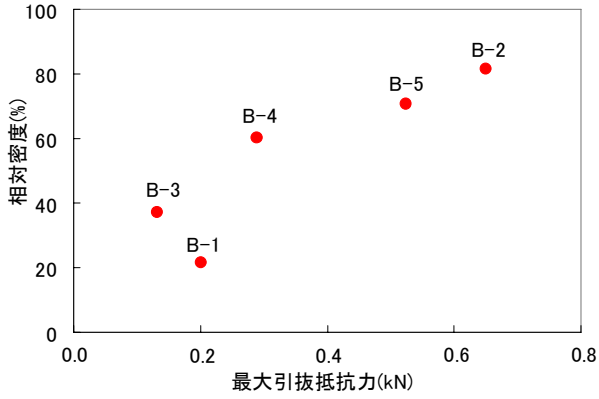

Fig.6　相対密度と最大引抜抵抗力（変位制御実験結果）

5．終わりに

土砂に埋没した足模型の引き抜き実験を行った結果，地盤が砂の場合には地盤の相対密度が大きいほど大きな引抜力が必要となり，密な地盤では約 0.3kN(30kgf)以上の引き抜き力が必要であることが分かった．一旦土砂に 30cm 程度埋まった場合，避難がほとんど不可能と思われる．