

土砂に埋没した人体の肺の呼吸動作模擬実験

(独法) 労働安全衛生総合研究所	正会員	豊澤 康男
(株) ジオデザイン	正会員	○ 浦上 朋靖
(株) ジオデザイン	正会員	丸山 憲治

1. はじめに

斜面工事などの建設工事中に土砂崩壊が発生し、作業員が崩壊土砂に巻き込まれ、生埋めによって死亡災害となる場合がある。この災害の中には、首から上部は地上にある状態で、生埋め直後は意識などがはっきりしているにもかかわらず、時間の経過とともに意識が無くなり死亡するケースが報告されている。土砂崩壊による死亡の原因は圧死であると判断されるケースが多いが、実際に生埋めになった人体に作用する圧力が計測された事例はなく、人体にどの程度の圧力が作用するのかは不明である。また、崩壊土砂が粒状体である場合、呼気・吸気の繰り返し動作によって人体周辺の土砂が動き、これによって呼気・吸気が困難になる可能性も示唆される。そこで、土砂に生埋めになった人体の肺をモデル化し、呼気・吸気を模擬する実験を行い、地盤と肺の動作による相互作用により呼吸状態がどのように変化していくのかを検討することとした。

2. 実験装置の概要

実験装置の概要図を図1に示す。高さ60cm、幅100cm、奥行き70cmのプラスチック製の試料容器内に地盤を作製し、地盤内に人体の肺と見立てたゴム製の球状の測定用セル(図2)を地盤中央の地表面から40cmの位置に埋設した。地盤には豊浦標準砂を使用した。測定用セルとビューレットの内部に水を入れ、各々配管によって接続し、ビューレット内に空圧を作用させて、ビューレットの水圧および測定用セルに流入出する水量を制御した。吸気時は39.2kPaの空気圧でセルを膨張させ、呼気時は空気圧を開放することによってセル内の水を自然排水によって収縮させ、人間の肺の呼吸動作を模擬した。ビューレットにはメモリを設け、各呼気・吸気時の水量を読み取って呼吸量を測定した。また、呼吸時の水圧の変化を調べるため、セルの内部の水圧を測定した。地盤中央の地表面には変位計を設置し、呼吸による地盤の変形を調べた。

3. 実験の概要

本実験では、地盤の相対密度と呼吸開始時における呼気と吸気の先行順番を変化させて計5ケースの実験を行った。実験ケースを表1に示す。Case1～Case4の地盤は、自然乾燥砂を多重ふり落下法によって作製した。Case5の地盤は、40cmの高さまで水を投入した後自然乾燥砂を多重ふり落下法によって投入し、土槽の底部に設置した排水用の穴によって排水を行い水締めを行ったものである。測定用セルの重量は呼気終了時で約4kgとなるようにしている。また、1回の通常の呼吸換気量は約500ccであることから、1回目の吸気時の水の流入量を500mlとしており、地盤に埋設するときのセルの重量は吸気先行型の場合は約4kg、呼気先行型の場合は約4.5kgとしている。人間の呼吸サイクルに費やす時間

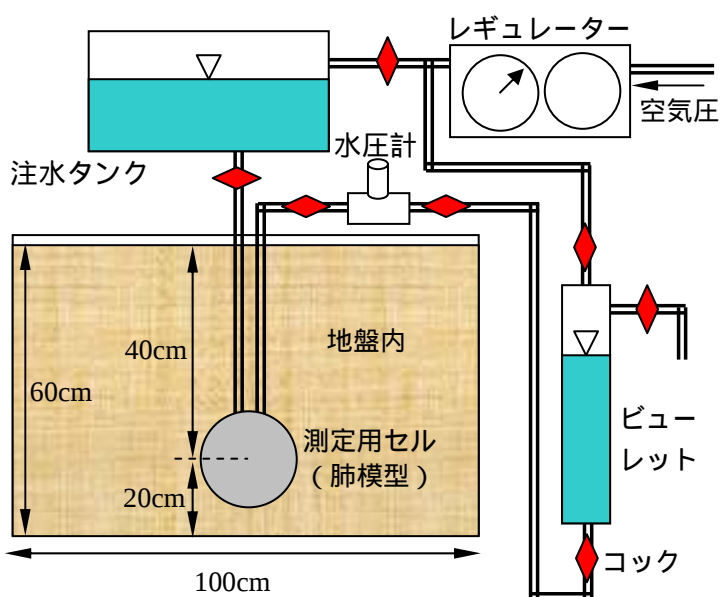


図1 実験の概要図

キーワード 労働災害、土砂崩壊、土圧、呼吸、肺モデル

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 042-491-4512

はほぼ一定であると考え、1回目の吸気に費やした時間を測定し、2回目の呼気以降、500mlを吸気する時間が1回目よりかかる場合は1回目に費やした吸気時間まで吸気した時点で呼気に切り替えた。一方、1回目より早く500mlを吸気する場合は500mlを吸気した時点で呼気に切り替えた。1回の実験における呼吸回数は吸気時の最大水圧がほぼ変化しなくなるまで行い、最大で60回までとした。

4. 実験結果

図2に地盤中央における地表面変位量を示す。Case1～Case4は呼吸を重ねるのに従って、沈下していくことが分かる。これは、セルが膨張・収縮することによって乾燥砂地盤が主働化し、膨張時に受働土圧が発生することを示している。Case5は呼吸回数によらず、地表面はほぼ変化しなかった。

図3に吸気時の最大水圧の変化を示す。1回目の吸気時の最大水圧を見ると、Case2、Case4およびCase5がその他のケースよりも大きいことが分かる。これは、 D_r が大きいほど吸気時に肺が受ける圧力が大きくなるためである。呼吸回数を重ねると、Case1～Case4では、呼吸回数が増加するに従って最大水圧が増加することが分かる。これは、呼吸を重ねるごとに砂地盤が沈下するため、吸気によるセルの膨張に対して受働の抵抗力が大きくなるということである。一方、Case5では、呼吸開始後急激に減少し、呼吸回数が20回以降でほぼ一定となることが分かる。これは、Case5では地盤がほぼ沈下していないことから、水締め地盤は自立しセルの膨張によって膨張時のセルの大きさの空洞が確保できるためだと考えられる。

図4に1回の呼吸における換気量の変化を示す。Case1～Case4は呼吸を重ねるのに従って呼吸換気量が減少しており、 D_r が比較的小さいCase1およびCase3よりも D_r が比較的大きいCase2およびCase4の方が呼吸量の減少が大きいことが分かる。また、呼気先行型であるCase3およびCase4は呼吸開始直後から呼吸量が減少しているのに対し、吸気先行型のCase1およびCase2は呼吸回数が10回以降になってから減少していることが分かる。また、Case5は呼吸量が減少せず一定であった。

5. まとめ

土砂に生埋めになった人体の肺の呼吸時における地盤との相互作用について知見を得るため模型実験を行った。地盤が乾燥砂の場合、 D_r が大きいほど吸気時に肺が受ける圧力が大きく、呼吸回数が増加すると、地盤が沈下し膨張時に肺が受ける圧力（受働土圧）も増加して、一度の呼吸で吸い込める空気量が減少していく。一方、水締め地盤では、地盤が自立しているため、肺部周囲の地盤に空洞が確保できるため、肺が受ける圧力は低減し、呼吸量は保たれていた。

表1 実験ケース

ケース	地盤の状態	载荷サイクル	w (%)	D_r (%)
Case1	緩	吸気先行	-	28.3
Case2	密	吸気先行	-	77.4
Case3	緩	呼気先行	-	34.9
Case4	密	呼気先行	-	81.2
Case5	水締め	吸気先行	21.2	80.2

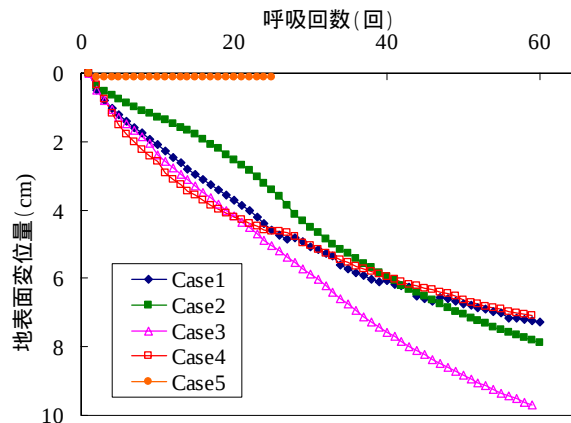


図2 地盤中央部における地表面変位

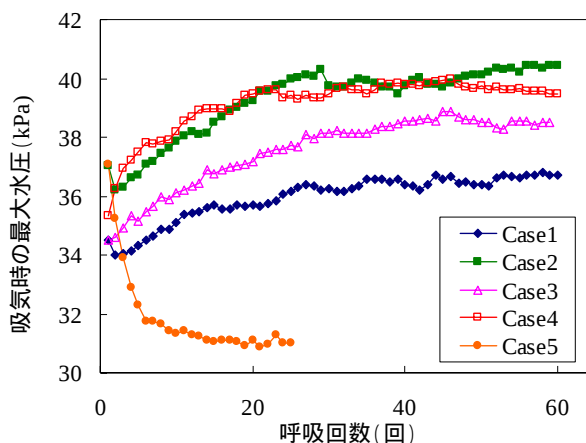


図3 吸気時の最大水圧の変化

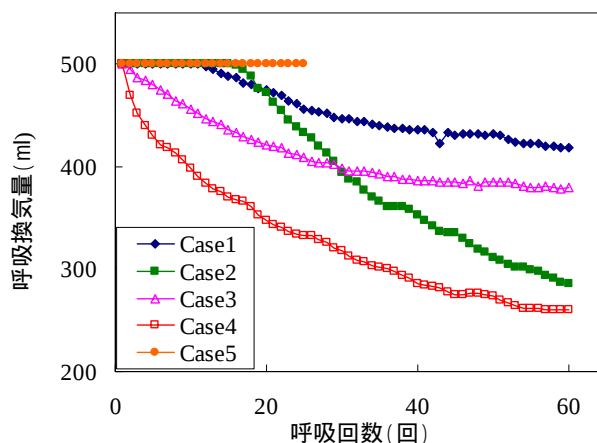


図4 1回の呼吸における呼吸量の変化