

溶液型薬液注入工法による球状改良地盤の強度特性

五洋建設（株） 正会員 林健太郎 河村健輔
中央大学理工学部 正会員 藤井斉昭 堤 俊明

1. はじめに

近年開発された液状化対策を目的とした溶液型薬液注入工法は、浸透性がよく溶脱率の低いシリカ系恒久薬液を地盤内の空隙に浸透注入し、土中に球状の改良体を連続させる球状改良体による地盤改良工法である。本工法による球状改良体地盤に対する動的な模型実験¹⁾はこれまでに数多く行い、耐震効果については十分な改良効果のあることを明らかにしてきた。そして液状化対策を目的に矢板護岸の背面や、構造物の基礎地盤に実施工されている。ところで、改良体自体の強度特性や圧縮性を明らかにすることは容易で、これまでも排水あるいは非排水条件での三軸圧縮試験などの要素試験はその都度行っている。しかし、これはあくまで改良体そのものであって、このような球状の改良体を含む地盤全体の挙動ならびに強度の評価について知る必要があった。そこで、今回は球状改良地盤における主動破壊問題を念頭にした切土斜面の安定を調べる遠心模型実験を行ったのでここに報告する。

2. 実験概要

実験には昨年までの動的実験に用いたのと同じ福島県産の相馬砂を用いた。この砂を剛性の高い二次元土槽内に水中落下法で撒き出し、相対密度 $Dr=60\%$ の地盤を作製した。また、薬液の配合は改良土の一軸圧縮強さが 80kN/m^2 になるように配合した。これと同じ条件の供試体について行った室内要素試験の結果を表-1に示す。模型地盤の作製は、土槽内に水中落下法で相馬砂を水平に撒き出しながら所定の位置に別途作製した球状改良体を積み上げていった。球状改良体は所定の強度、密度となるようゴム風船を利用して作製した。これまでの動的実験²⁾ではせん断土槽の中に予め注入孔を設置し、実地盤と同じように薬液を浸透注入して模型地盤の中に球状の改良体を作製していた。しかし、今回の実験では球状改良体を含む地盤全体の破壊形状を調べることが目的であり、その上、動的実験をはるかに上回る30個ほどの改良体を模型地盤内に作る必要があった。その場合には改良体の数だけ注入孔と注入管の一部が模型内に残されることになり、小寸法の模型ではそれらによる影響は無視できないと考えた。

次に、この地盤を50Gの遠心場で自重圧密させ、同時に土槽底面から徐々に排水を行って模型地盤の未改良部を不飽和状態にした。これは未改良部の透水力等による影響をなくすためである。こうして不飽和になった土槽内の地盤から斜面を削り出し、引き続いてこの斜面が崩壊に至るまで遠心加速度を上昇させた。ここで斜面の勾配は鉛直切土のほかにも、勾配を持たせた斜面もいくつか取り入れたが、ここでは球状改良体が配置された鉛直斜面の一例を図-1に示す。なお、図のような球状改良体を含む斜面のほかにも、地盤全体を薬液で全面改良したものと未改良の鉛直斜面についても同様の崩壊実験を行った。実験当初は変位計や加速度センサーを斜面に取り付けていたが、この実験では計測よりむしろ斜面が崩壊に至るまでの破壊状況の観測に重きを置いた。

表-1 地盤の材料特性

項目	未改良土	改良土	
乾燥密度 ρ (g/cm ³)	1.426		
間隙比 e	0.83		
透水係数 k (cm/s)	1.3×10^{-2}	3.7×10^{-8}	
一軸圧縮強さ q_u (kN/m ²)	—	80	
三軸試験	c (kN/m ²)	0	40
	ϕ (度)	38	35

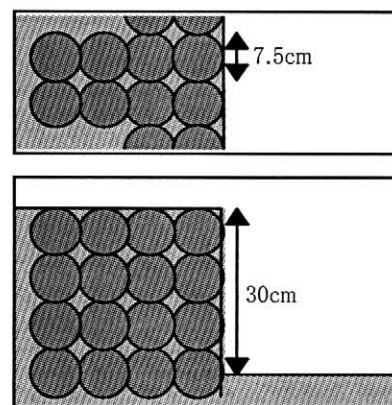


図-1 球状改良体の配置

キーワード 遠心力模型実験, 薬液注入, 砂地盤, 粘着力, 斜面安定

連絡先 栃木県那須郡西那須野町四区町 1534-1 五洋建設株式会社, 0287-39-2107, 〒329-2746

3. 実験結果および考察

鉛直切土斜面について図-1のような球状改良の他、全面改良、未改良の3ケースについて実験を行った。それぞれについて崩壊の特徴を以下に述べる。

(1) 全面改良

模型斜面の高さは $h=20\text{cm}$ と 30cm の2種類で行った。遠心加速度を上昇させていくと、崩壊加速度に至る少し前(1~2割)になると、斜面肩地表面に数本のテンションクラックが発生する。図-2はこのときの崩壊を模式的に描いたもので、最も斜面よりの亀裂から図のabcdの土塊が突発的に崩壊する。全面改良における鉛直斜面の限界高さは $H_{cr}=12\sim 20\text{m}$ で、このときのテンションクラックの深さ z_t は何れも $h/2$ 前後であった。これは Terzaghi が経験値として提唱しているものとよく一致している。ここで崩壊した土塊abcdの力の釣り合い式より、せん断面bc上での粘着力 c_f を逆算してみた。改良体のせん断抵抗角を表-1より $\phi=35^\circ$ とすると、崩壊実験による全面改良の粘着力は $c_f=42\sim 46\text{ kN/m}^2$ の範囲で、これは表に示した室内実験の c' に極めて近い値となった。

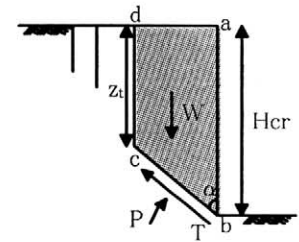


図-2 全面改良斜面の破壊形態

(2) 球状改良

模型斜面の高さは $h=30\text{cm}$ として、球状改良体の配列を図-1およびこれと少し変えたものについて、限界高さを調べる実験を行った。この場合も斜面肩地表面にテンションクラックが表れた後、配列の一行目と二行目の間から崩壊が生じた。図-3は崩壊後のスケッチを示したものである。この場合のテンションクラックは明瞭でなく、むしろ円弧滑りに近い形で崩壊が生じ、滑り線上にある改良体はせん断あるいは前面に押し出されていた。この球状改良による鉛直斜面の限界高さは $H_{cr}=5.7\sim 7.5\text{m}$ であった。ここで $\phi=35^\circ$ の円弧滑りとして限界高さより逆算した球状改良の粘着力の値は $c_b=15\sim 17\text{ kN/m}^2$ の範囲であった。

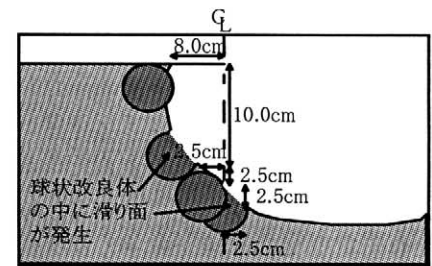


図-3 崩壊後のスケッチ (球状改良斜面)

(3) 未改良

これは不飽和砂地盤に対する見かけの粘着力をおさえておく目的で行った。この鉛直斜面の限界高さは $H_{cr}=1.2\sim 1.5\text{m}$ で、これより逆算で求めた見かけの粘着力は $c_0=3.0\sim 3.8\text{ kN/m}^2$ であった。

以上は鉛直切土斜面に対する実験の結果である。ところで、球状改良体を鉛直に積み上げて作ったこの斜面では、改良体相互には何の接着もされていない。このため模型内に積み上げていく段階ではどちらにも転がるほど不安定で、このことが実験の結果に強く影響している恐れがあった。

そこで改良体を積み上げていくときの不安定さを取り除くため、3~5分の勾配を持たせた球状改良体の斜面について同様の崩壊実験を行った。その結果は図-4に示すとおり、斜面勾配がゆるくなるに従い改良体が安定するのか、 $\phi=35^\circ$ として逆算で求めた粘着力の値は大きくなった。

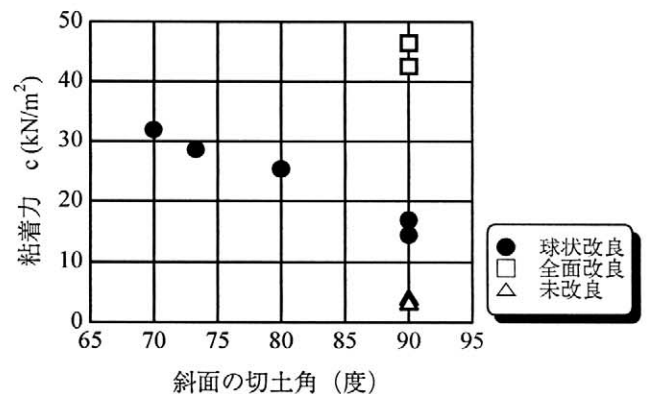


図-4 斜面勾配の違いによる粘着力の逆算値

4. おわりに

以上の実験を踏まえ、球状改良体が接触面では相互に重なり合う実地盤では、少なくとも鉛直の球状改良斜面で得られた上記の粘着力 c_0 よりも大きい値となると考えられる。図-4を参考にすると、球状改良体を含む地盤全体のせん断強さとしての粘着力項は、改良体そのもの(ここでは $c=40\text{ kN/m}^2$)の1/2程度は考えることができる。

- 【参考文献】
- 1) 吉川・藤井・林ら、薬液注入による液状化対策工法の研究、第33回地盤工学研究発表会、1998
 - 2) 松井・藤井・林ら、球状改良による液状化対策工法、土木学会第54回年次学術講演会、1999