

榑 鴻池組 正 南川洋士雄 正 大橋 昭

榑 鴻池組 正 川崎 健次 正 小松賢一

1 まえがき

軟弱地盤の改良に用いられる噴射攪拌工法はその改良範囲をソイルセメント柱として設定でき、噴射量やノズルの直径、あるいは硬化剤を選択することにより、柱直径や強度など目的に応じた施工ができるという長所を有している。また最近では特にジェットの掘削距離の増大をはかるために多重管ノズルの採用による噴射技術などの検討がなされている。本報では新しい試みとして、高压気泡の瞬発的な膨張衝撃力に着目し従来の構造的にシンプルな単管方式を利用して、多量の気泡を混入した硬化剤懸濁液の高压噴射実験を行なった結果、ジェットの掘削距離の増加と均質な混合効果が確認されたので報告する。

2 実験概要

2.1 実験地盤状況： 地盤の構成は図-1に示すようにGL-7m付近を境に上部はN値5以下の砂質土、下部はN値1以下の軟弱な粘性土から成るチュウ積層である。本実験において比較対象した地層はGL-4.7~6.8mに存在するN値2~4の非常にゆるい飽和したシルト質細砂層である。

2.2 実験方法： 硬化剤はミキサーで水セメント比1.0のセメント懸濁液に所定量の気泡を混合したものである。起泡剤としてはエアーモルタル用に使用さ

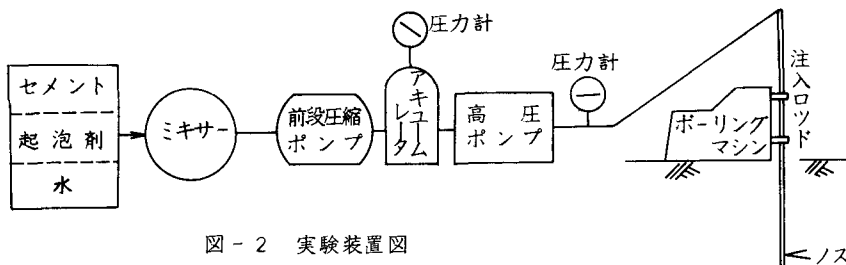


図-2 実験装置図

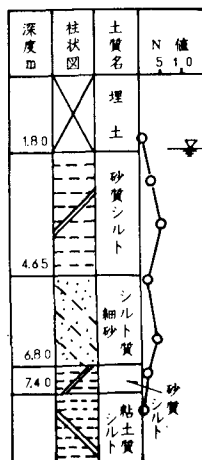


図-1 土質柱状図

れている蛋白質を主成分とした比重1.16の液体で、これを希釈して起泡装置にかけて気泡を作製した。なお硬化剤中の気泡は微細な独立気泡である。ノズルからの噴射にはこの気泡混入硬化剤を一旦前段圧縮ポンプとアキュムレータムによつて10~15%の圧力調整し、気泡体積を圧縮させた状態で高圧ポンプに送り込み再加圧する方法とした。ソイルセメント柱の施工は表-1に示す噴射条件のもとにロッドを引き上げ、GL-9~3mまでの長さ6mとした。施工本数は表-2に示すように気泡混入量0~4.4%（実測、体積%）の3ケース合計8本、施工の間隔は2m以上とした。なお噴射圧力200%における硬化剤の噴射量は、気泡混入量の多少にかかわらず、毎分約77.5Kg（セメント+水）である。

表-1 噴射条件

使用ノズル	φ3.0mm
ノズル回転数	20rpm
ロッド引上速度	20cm/分
噴射圧力	200%
噴射量(200%)	51ℓ/分

表-2 実験ケース

ケース	気泡混入率	施工数
①	0%	3本
②	28~32%	2本
③	38~44%	3本
硬化剤 水/セメント=1.0		

また、深さ5mおよび6mの位置で直径10cmのコアを水平方向に採取し、一軸圧縮試験と割裂試験を行ない強度特性を求めた。さらにこれらのテストピースを用いて単位体積重量（湿潤および乾燥）、固結土粒子比重、空げき率等の測定と、強度との関連を把握するためEDTA分析を行ないCa量からセメントの混入率（乾燥重量%）を求めた。

2.3 調査項目： 施工結果の確認は3ヶ月後に周辺を掘削し、柱の固結状況と形状を観察調査した。

また、深さ5mおよび6mの位置で直径10cmのコアを水平方向に採取し、一軸圧縮試験と割裂試験を行ない強度特性を求めた。さらにこれらのテストピースを用いて単位体積重量（湿潤および乾燥）、固結土粒子比重、空げき率等の測定と、強度との関連を把握するためEDTA分析を行ないCa量からセメントの混入率（乾燥重量%）を求めた。

3 実験結果および考察

得られた結果の一覧を表-3に示す。数値は各ケースについての平均値である。

表-3 実験結果 (カッコ内は①に対する増減%を示す)

	気泡混入率 体積%	柱平均径 cm	柱最大径 cm	湿潤密度 g/cm ³	空げき率 %	圧縮強度 kgf/cm ²	引張強度 kgf/cm ²	ヤング率 kgf/cm ²	ポアソン比	セメント 混入率%
①	0	6.7	7.6	1.64	4.0	49.4	5.3	39600	0.200	45.42
②	28~32	7.0 (+4.5%)	8.0 (+5.3%)	1.58 (-3.7%)	8.2	46.7 (-5.5%)	4.5 (-15.1%)	39100 (-1.3%)	0.197 (-1.5%)	43.16 (-5.0%)
③	38~44	7.9 (+17.9%)	9.1 (+19.7%)	1.47 (-10.4%)	13.5	31.1 (-37.0%)	2.6 (-50.9%)	23700 (-40.2%)	0.191 (-4.5%)	37.05 (-18.4%)

a 気泡混入ジェットによる固結柱の直径は、気泡を混入しない通常のジェットによる固結柱の直径より気泡混入率38~44%の場合、平均径で17.9%、最大径で19.7%増加しており、気泡を混入することによる土中ジェットの破砕力の増大効果が認められた。この原因としてノズル出口周辺でのジェットの運動エネルギーに、約1/200に圧縮された高圧気泡の瞬発的な膨張衝撃力が追加されるために破砕力が増加したものと考えられる。気泡混入率28~32%の場合には柱径は4~5%の増大にとどまった。

b 気泡混入ジェットによる固結柱の湿潤密度は、気泡混入率38~44%の場合で10.4%減少した。この時の空げき率13.5%は注入した気泡入り硬化剤の容積と攪拌領域の体積(固結柱の体積)との比(1:2)および施工深さでの土圧を考慮すればほぼ妥当な値と考えられる。

c 固結柱の一軸圧縮強度として、気泡を混入しない①の場合で38.7~78.9kgf/cm²、②の場合で31.9~58.2kgf/cm²、③の場合には24.6~47.6kgf/cm²を得た。すなわち気泡混入率38~44%の場合で37%の強度低下を生じており、ヤング率および割裂試験から求めた引張強度もほぼ同様の傾向を示している。ポアソン比は気泡の混入率が増すにつれて幾分小さくなる傾向がみられる。

d 気泡混入ジェットによる固結柱の破断面には直径1mm前後の気泡がきわめて均一に分布し、固結体内部には通常のジェット工法の場合にしばしば見受けられる未攪拌土塊はほとんど観察されなかつた。これは気泡の存在によつて混合攪拌領域の土粒子の相対運動が容易になり、硬化剤との混合攪拌効果があがつたためと考えられる。

e 気泡を混入することにより無気泡の場合と比較すると、固結柱の強度は低下するが逆に断面積が増加するため、柱の耐力低下は約12%にとどまっている。さらに柱全体の均一性を考慮すれば改良地盤としての強度はむしろ向上するものと思われる。

4 あとがき

噴射攪拌工法に気泡混入ジェットを利用する工法は、今回初めて実施されたものであり実験装置などに多少の不備はあつたが、多量の気泡を混入した硬化剤を土中で噴射攪拌することにより径の大きいソイルセメント柱が施工可能なこと、さらにまた攪拌効果を増大し得ることが確認された。したがつて、ソイルセメント柱を数多く施工して全面的な地盤改良を行なう場合や止水壁に用いる場合、あるいは改良地盤の自重を増大させることなく表層改良を行なう場合等には、本工法はその施工上の簡便さ——従来の構造的に単純なシステムをそのまま利用し、これに前段圧縮ポンプと起泡装置を付加するだけで容易に施工できる——により今後実際施工への適用が期待される。しかしながら気泡を混入したジェットの土中での破砕力あるいは攪拌効果といった力学的特性の評価についてはまだまだ不明の点が多くあり、今後大型実験などによつて解明していきたいと考えている。