

## III-270

## 特殊石灰パイル工法による液状化対策

戸田建設（株） 正会員 渡辺 稔明 正会員 橋本 司  
 正会員 落合 正水 谷澤 亮  
 正会員 朝倉 弘明

## 1. はじめに

軟弱地盤に特有な地盤の破壊現象は、沈下と液状化である。沈下は長期的に発生し、液状化は地震時に突発的に発生する。沈下は構造物の剛性で対応しやすいが、液状化は地盤そのものを変えないと対応できない場合が多いので、対策工法は地盤改良によることが多い。本報では液状化防止工法として開発した「特殊石灰パイル工法」の原理および現場試験によって得られた結果について報告する。

## 2. 工法原理

特殊石灰と湿润状態の砂や有姿の水淳、石膏を混合した材料を、地下水位以下の緩い砂地盤中にパイル状に打設する。その際、水和反応の活性度を抑えた硬焼の特殊石灰を用いるため、地下水と直ちに反応することなく、パイルの造成が可能となる。特殊石灰パイルは、土中水と反応して膨張し、パイル間の砂地盤を静的に締め固め密度を増大させる。また、パイル自体は、ポゾラン反応によって徐々に硬化して強度を発現する。このためよく締まった砂層と固化して強度を持った柱状体の複合地盤として改良され、地震が起こっても液状化しない良好な地盤となる。反応前後の特殊石灰パイルとパイル間地盤の関係を図-1に示す。

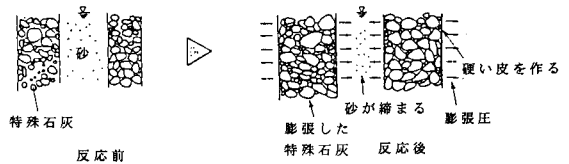


図-1 反応前後のパイルと地盤の関係

表-1 生石灰の物理特性

| 生石灰の種類 | 嵩比重<br>(g/cm <sup>3</sup> ) | 空隙率<br>(%) | 比表面積<br>(cm <sup>2</sup> /g) |
|--------|-----------------------------|------------|------------------------------|
| 軟 焼    | 1.59                        | 52.5       | 19,700                       |
| 硬 焼    | 2.81                        | 16.1       | 400                          |

## 3. パイル材料

特殊石灰パイル工法で使用する特殊石灰は、石灰石を高温で焼き締めた硬焼生石灰のことを言う。通常の生石灰は、軟焼生石灰のことを指すが、両者の違いは表-1に示すように明確である。硬焼生石灰は嵩比重が大きく、空隙率が小さい。つまり生石灰の結晶が発達して空気に触れる容積が小さくなった生石灰である。硬焼生石灰は水和反応時間が遅く、水分のある砂や水淳、石膏と混合しても30分間くらいは水和反応を起こさない。従って、ケーシング内にパイル材料を詰めて引き抜いてもパイル材料を地盤中に残置する事が可能となっている。

生石灰は水と反応して消石灰となるが、それ自体は短期的に強度を持たない。そこで高価な硬焼生石灰は少量加えることとし、膨張後ポゾラン反応に必要な砂、水淳、石膏を添加して硬化させる。添加材料はどれも一種の廃棄物であり、手を加えないでそのまま用いる。

## 4. 施工方法

パイルを造成する機械は、図-2に示すようなケーシングでリーダーを装備した三点支持のクローラーに装着した物を用いる。地上で予め4種材料を混合した物をクレーンで吊り上げ、図のサイドホッパーに投入、ケーシング内に落とし込んで空気弁を閉じ、上部よりケーシング内を加

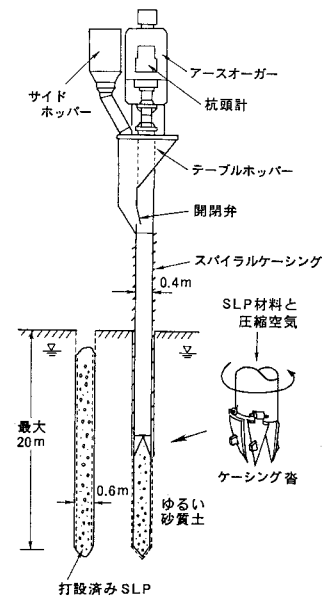


図-2 特殊石灰パイル工法施工機

圧して材料とケーシング内壁の摩擦を切り、ケーシングを逆転しながら引き抜くことで先端開閉弁を開かせ、特殊石灰パイル材料を地盤中に残置する。

## 5. 改良効果

現場実験で得られた改良効果について、以下に述べる。

図-3は、パイル打設前後（事後は打設1ヶ月後）のN値の分布を示している。図中にはパイルピッチ、パイル材料の配合を変えた5

ケースの測定結果を示しているが、各ケースとも打設後のN値が平均して10であったものが15程度に上昇していることがわかる。

図-4は、特殊石灰パイルの三角形配置の中央で改良前後に実施した密度検層の結果である。いずれも地下水位（GL-3m）以深では、パイルの膨張による明らかな密度の増加が認められた。

## 6. 膨張率とパイル強度

現場実験で掘り出したパイルの径は、間隙不変と仮定した膨張率（1.05）に比べて、実際は1.2～1.4倍に膨張していた。これは生石灰が消石灰になったとき見かけ上2倍以上に膨張しパイルの間隙が増加したことによると思われる。図-5は掘り出したサンプルの一軸圧縮試験結果である。 $q_u$ は、 $2\text{kgf/cm}^2$ 前後の強度を有し、パイル内の砂は、圧縮されて硬くなっていた。したがって、液状化対策の他に、接地圧がそれほど大きくない構造物に対する支持力対策にもなり得ると考えている。

## 7. まとめ

軟弱地盤に特殊石灰パイルを打設することにより、特殊石灰パイルの膨張効果から、パイル間地盤のN値および密度が増加し地震時にも液状化しない地盤になることが確認された。しかし、工法原理のなかで述べた、「よく締まった地盤と強度を持った柱状体の複合地盤」とみなすためには、特殊石灰パイル本体の長期安定性の確認とパイル強度のばらつきをなくす配合バランスの決定、およびパイル強度に対する配合設計を可能にする必要がある。長期安定性の確認については、当社つくば技術研究所内にある大型土槽内に特殊石灰パイルを平成4年11月に打設し、水浸状態でパイルを養生し、5年計画で掘り出し強度試験を行う予定である。パイル本体の強度に関しては、配合物の内容による反応速度の問題（特殊石灰の膨張時期とボゾラン反応時期の前後関係）および配合物の粒度構成などの要因別に強度発現に関わる重要ファクターを見だし、配合計算式を確立するべく室内実験を行っている。これらの課題を解決することにより「特殊石灰パイル工法」が軟弱地盤耐震対策工法としての信頼性を得ていくものとする。

## 参考文献

- 1) 花田、光成他：砂質土地盤の特殊石灰パイルによる液状化対策実験、第25回土質工学研究発表会
- 2) 光成、下田他：特殊石灰パイルによる液状化対策実験（その1～その3）、第26回土質工学研究発表会

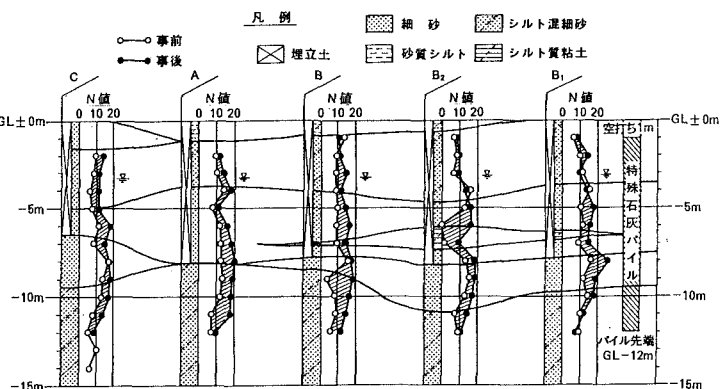


図-3 パイル打設前後のN値分布

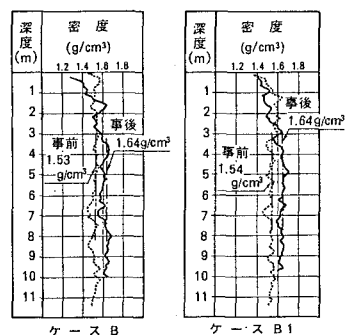


図-4 パイル打設前後の密度の変化

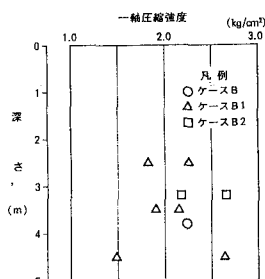


図-5 一軸圧縮強さ