

# 15. 碎石ドレーン工法による砂地盤の液状化防止対策について

(株)鴻池組 伊藤克彦・\*中島 豊

## 1. まえがき

大規模な地震の際、緩い砂地盤の液状化が各種構造物に壊滅的な被害を与えることは、新潟地震以来広く認識されてきた。昨年の日本海中部地震においても構造物の被災原因のほとんどが砂地盤の液状化であるといわれ、液状化対策の重要性がさらに強調されることとなった。構造物に対する液状化対策は多岐にわたるが、現在のところサンドコンパクション工法に代表される締固めによる地盤改良工法が主流となっている。しかしながら、締固め工法は大きな振動・騒音および周辺地盤の変状を伴うため、市街地や既設構造物近傍での施工は困難である。このような場所での液状化防止対策として近年碎石ドレーン工法が注目され、その施工例も増加してきている。

碎石ドレーン工法は Seed らによって考案され、我国では日本鋼管㈱京浜製鉄所扇島の既設護岸背面の液状化防止に適用されたのが最初の事例である。本稿は碎石ドレーン施工機の開発経緯とその施工について述べる。

## 2. 碎石ドレーン工法の原理

碎石ドレーン工法は透水性の大きい碎石を砂地盤中に柱状に打設し、その排水効果によって地震時に発生する過剰間隙水圧を抑制するとともに消散を促進し地盤の液状化を防止する工法である。図-1に碎石ドレーンの配置と液状化防止機構を示す。

地震時、地下水位下の緩い砂地盤に繰返しせん断力が作用すると、地盤中に徐々に間隙水圧が蓄積され、上昇していく。それに伴って砂粒子間の接触力が減少、ついには砂粒子が間隙水中で浮遊し、あたかも比重の大きな液体状を示すこととなる。この現象が砂地盤の液状化であるが、碎石ドレーンを図-1のように打設した場合、ドレーン周辺の地盤内に発生した間隙水圧により地下水はドレーン中心に向う放射状の流れとなり、この流れによる排水に伴い間隙水圧の上昇の抑制、消散が発生することとなる。

砂地盤の液状化現象には上記のほか、二次液状化といわれる。下層地盤の上昇浸透流により上層地盤が液状化する現象もある。

碎石ドレーン工法は、下層の間隙水圧を直接地表に逃がし、二次液状化を防止する効果も期待できる。

## 3. 施工機械

碎石ドレーンの施工には当初中掘りを主体とするベント方式が使用されてきたが、施工性が悪いため、近年ではケーシングにスクリーを取付け回転・貫入させるケーシングオーガー方式の使用が一

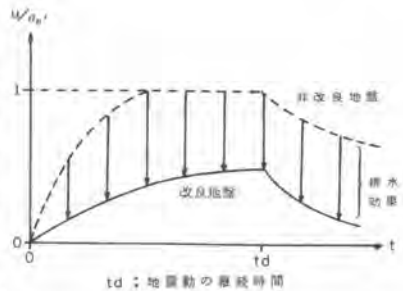
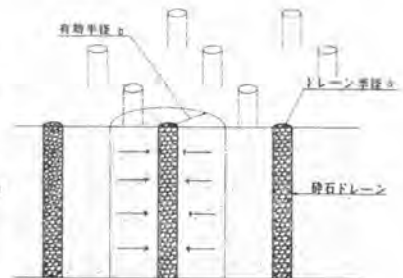


図-1 碎石ドレーンの配置と液状化防止機構

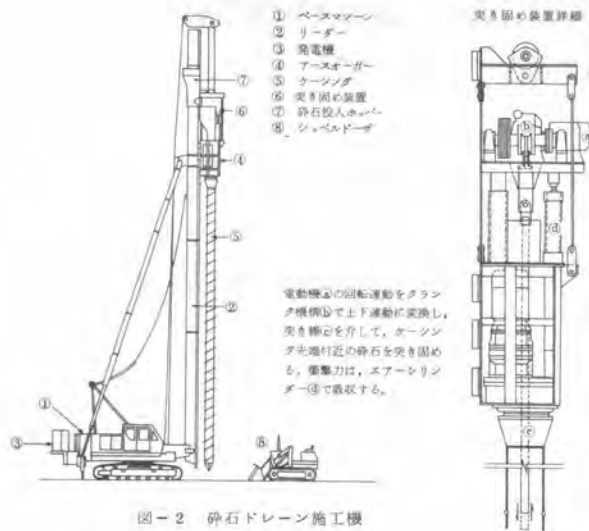


図-2 砕石ドレーン施工機



写真-1 砕石ドレーン施工機の全景

一般的となってきた。ケーシングオーガー方式は軟弱粘性土地盤を対象とする生石灰杭工法の施工方法として開発された方式でケーシング引抜き時の生石灰の地中への排出には圧縮空気を用いる。

砕石ドレーン施工機の開発に先だち、従来のケーシングオーガー方式で砕石ドレーンの施工性実験を行った。実験時、周辺地盤にエアブローが発生し、特に既設の砕石ドレーンおよびその周辺では水を伴ってエアが激しく噴出する現象が観測され、大きな地盤沈下、変状が発生した。その原因としては、①ケーシング内へのボイリング防止と砕石の地中への排出を目的とした圧縮空気の使用、②スクリーによるケーシング周辺の地盤の乱れ等が考えられた。

実験結果をもととして開発した砕石ドレーン施工機は、ケーシングオーガー方式をベースとし、三点式クローラー杭打機、砕石突き固め装置、アースオーガー、スクリー付ケーシング、および砕石投入装置より構成され、圧縮空気は使用していない。図-2にその構成を示し、写真-1に秋田港で施工中の施工機械の全景を示す。砕石の突き固め装置はアースオーガー上の突き棒駆動装置と、ケーシング中央を

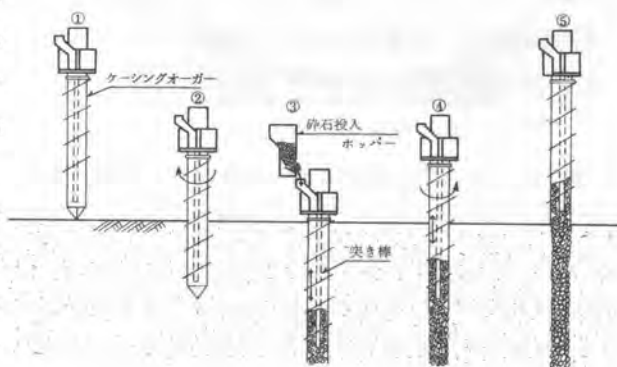


図-3 砕石ドレーン施工手順

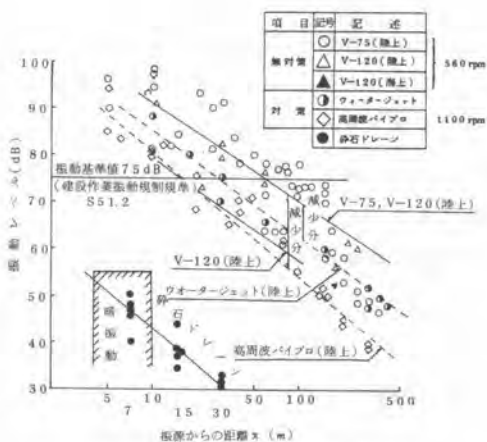


図-4 距離による振動減衰の比較

貫通する突き棒によって構成され、電動機の回転運動をクランク機構によって往復運動に変換し、ケーシング先端付近の碎石を突き棒先端で突固める機構としている。突固め装置で碎石を地中へ機械的に強制排出させることによって、碎石はスクリューによって乱されたケーシング外周部に押し拡げられ、乱れが修復されるとともに、碎石ドレーンの連続性を確実にする効果も期待できる。なおボイリング防止はケーシング内に注水し地下水位との平衡を保つことによって行う。

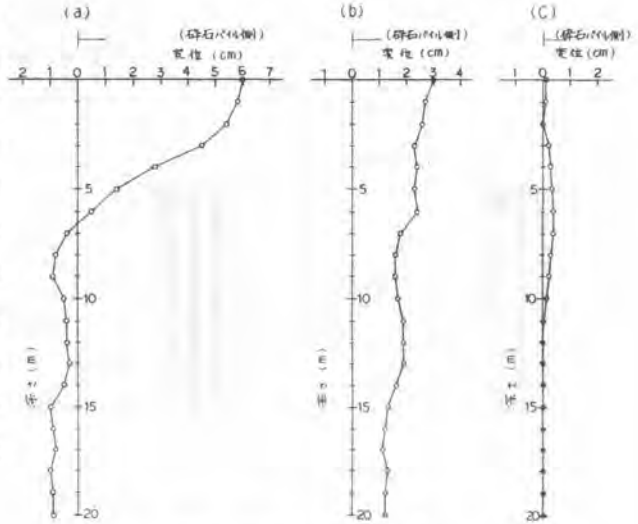


図-5 地中変位測定結果

施工は以下に示す手順で行う。

- ① 所定の位置に施工機を設置する。
- ② ケーシングを回転させながら所定の深度まで貫入する。
- ③ 回転を停止し上部より碎石を投入した後先端蓋を碎石および突き棒で開放する。
- ④ 突き棒で碎石を突固めながらケーシングを逆回転で引き上げる。
- ⑤ ケーシングを引き抜き碎石ドレーン打設を完了。

施工管理はケーシングオーガーの深度、碎石天端位置、碎石投入量を計測し、オペレーター横の指示盤に表示することによって行う。

図-4 に工事中行った振動測定結果をサンドコンパクションパイルの測定例と比較するが、碎石ドレーンの場合、暗振動程度で市街地での施工に対し全く問題とならないレベルであった。騒音測定結果に関しても暗騒音程度であった。

図-5 は、N値7~12の中砂地盤を対象とした(a)ベノト方式、(b)生石杭方式、(c)碎石ドレーン施

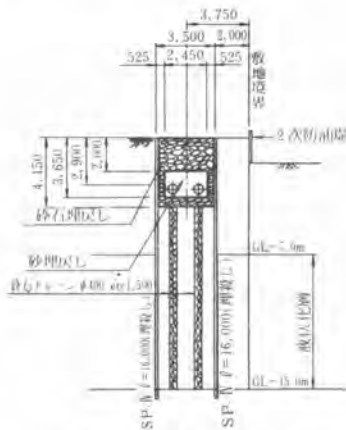


図-6 埋設管への適用例

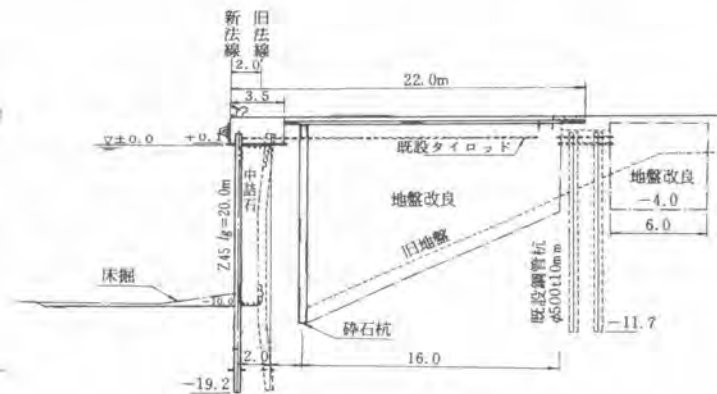


図-7 砕石への適用例

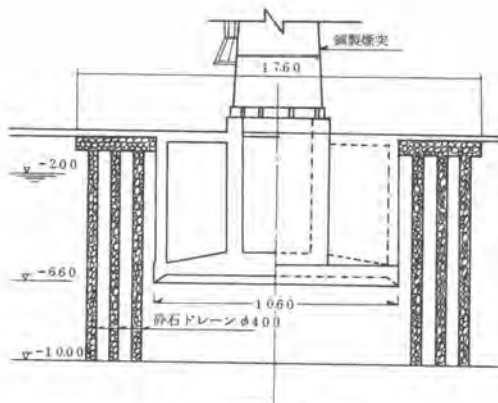


図-8 既設構造物への適用例

工機によって砕石ドレーンを施工した際の地中変位の測定結果で砕石ドレーン施工機による地中最大水平変位は4mm以下で無視できる程度小さく、突き棒の地盤変状防止効果が大きいことを示している。

#### 4. 施工

砕石ドレーンは主として岸壁背面補強、基礎杭の横抵抗保持を目的として施工されてきたが、現在ではパイプライン、共同溝等の液状化防止対策としての施工例も増加している。以下、砕石ドレーン施工機による施工例の概略を紹介する。

図-6は日本鋼管徳島島内に敷設された東京電力LNGガス導管の浮上り防止を目的とした砕石ドレーンの実施例の一つである。この場所は既設石油タンクの防油堤に

隣接しており、改良範囲が用地の制約上限定されているため、両側の埋殺し鋼矢板によって周辺地盤の液状化による影響を遮断している。なお、使用した砕石は、排水によって目詰りが発生しないように、かつ地山の透水係数に対し十分大きな値を有するという条件を満たす、5、6号の混合砕石（粒径20～5mm）である。

図-7は、日本海中部地震によって大きな被害を受けた秋田港向浜地区の復旧断面で、護岸背面の液状化防止を砕石ドレーン工法と締固め工法の併用で計ったものである。

図-8は、昭和30年代に建てられた日本鋼管徳島製鉄所内の煙突基礎の補強断面で、稼働中の高さ50mの鋼製煙突周辺で施工したものである。煙突周辺にはケーブルラック、電気室、工場建屋等が近接し、厳しい施工環境下での工事であった。

ここに紹介した施工例はいずれも既設構造物近傍での砕石ドレーン工事であるため、工事中、周辺地盤の変状を主体として測定管理を行ったが、地盤の変状はほとんど観測されず構造物に悪影響を与えることはなかった。

#### 4. あとがき

明治以降の震災記録に限定しても、液状化現象が記録された地震は40数例を数え、液状化地点は、日本全国の人口および工場の密集する沖積地盤に分布している。近い将来に予想される東海大地震等の大規模地震に対して、このような場所で液状化の発生する可能性は極めて高く、液状化防止対策の実施が急務となっている。今後とも本工法の特長をいかし、さらに有力な液状化防止対策となるよう研究開発を続けていきたいものとする。おわりにあたって本工法の共同開発者である日本鋼管(株)および研究開発、実施にあたって御指導、御協力をいただいた関係各意に感謝の意を表すものである。