

東日本旅客鉄道株式会社 正会員 ○藤沢 一
 東日本旅客鉄道株式会社 正会員 土井博己
 東日本旅客鉄道株式会社 正会員 斉藤敏勝

1. まえがき

薬液注入は、その施工の簡便さから地盤補強工事として多く用いられている。とりわけ、輻輳する空間での都市土木工事では、薬液注入は必要不可欠な補助工法となっている。しかし、薬液注入は既設構造物に近接して施工することが多いため、注入に伴い地盤、あるいは近接構造物が変状するという施工管理上大きな問題がある。今回、鉄道高架橋のほぼ真下を縦断して通過するシールドトンネル工事において、薬液注入による鉄道高架橋の隆起観測結果をまとめ、注入と地盤隆起範囲の関係について検討したので以下に報告する。

2. 工事概要

本工事は、圧気工法、薬液注入工法の補助工法を併用する鉄道複線型の円形大断面シールドトンネル工事である。シールドの外径は12.5m、土被りは約12~18mである。今回計測を行った箇所断面図を図1に示す。地層は上から盛土、沖積層(As)、武蔵野層相当層(Ds1, Ds2, Dm1)、洪積層(Ds2, Dm2)、東京礫層(Ds2, Dg4)となっている。薬液注入は武蔵野層相当層(GL-8m~18m)と東京礫層(GL-25m以深)の一部に行っている。以下、この武蔵野層相当層について述べる。この層は中間部がN値約20~30程度であり、上部と下部はN値50でよく締まっている。粒度分布は、上部が粗砂~中砂、下部が細砂である。粒徑加積曲線を図2に示す。透水係数は、GL-15m付近で 6.29×10^{-5} cm/sec(注水法)、 2.26×10^{-5} cm/sec(回復法)である。注入はパイロットトンネルより二重管ロッド複相工法で行った。注入孔の配置は、注入範囲縁端で1.0m間隔、シールド進行方向に対して0.75mを標準とし、千鳥配置とした。注入は注入削孔機を10数台設置しながら行い、施工時の注入範囲はシールドトンネル方向はおよそ20m、上下方向約10m、トンネル横断方向約20mである。注入薬液は、溶液型水ガラス系を用い、ゲルタイムは瞬結約10秒、緩結約10分、注入速度は約10 l/minである。注入圧力(自記流量圧力計による)は、各ステップ最終30秒間の平均値でみると、約8~10 kgf/cm²の値を示し、GL-16mで測定した間隙水圧(1.26 kgf/cm²)の約6~8倍の範囲にある。注入量を注入対象範囲で除した注入率は約20%であった。高架橋の隆起量は、シールドトンネルが鉄道高架橋のほぼ真下に位置する延長約100m間にわたりラーメン式橋台と高架橋の柱に沈下計を設置し観測した。今回は図1に示す右側の柱に取り付けた15個の沈下計につ

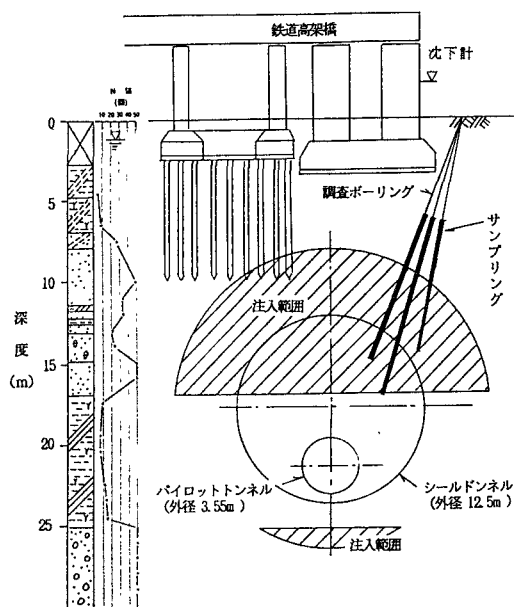


図1 断面図

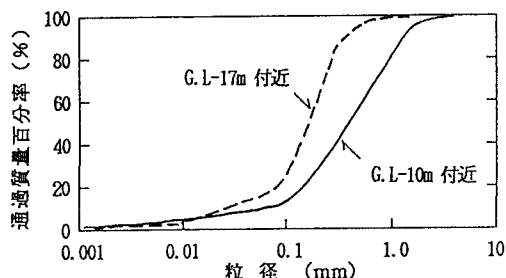


図2 粒徑加積曲線

いて測定値を整理した。

3. 注入状況

注入効果確認のために、図1に示すように調査ボーリング（7本）を行い、採取試料（48試料）に含まれる薬液成分（非晶質シリカ）を分析¹⁾して注入率を求めた。注入率のヒストグラムを図3に示す。注入率の平均値は約22%になり、注入量から求めた値（約20%）とほぼ同じ値になった。しかし、10%以下の低注入率の試料が多いことが目立つ。この結果から注入状況を推察すると、割裂注入になっている範囲がかなりあると考えられる。

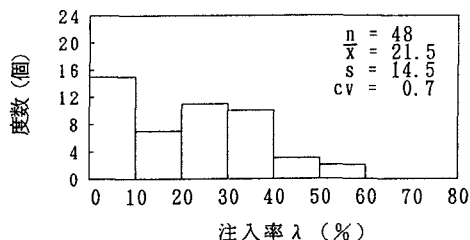


図3 注入率ヒストグラム

4. 隆起範囲観測結果

各測定点の隆起量と注入範囲からの距離の関係を図4に示す。隆起量は1日分の値である。注入範囲の中心は、各注入孔の注入点の位置をもとに各注入量を加味し、荷重平均により算出した。図より、隆起量のおよぶ範囲は注入範囲から水平距離約60～70mの範囲まで達している。特に隆起量の著しい範囲は注入範囲中心から約20mの範囲となっている。このような注入による地盤の変状は、注入圧力に起因した地盤の隆起、側方押し出しによる変状であり、その影響する領域は受傷破壊領域として考えられる。すなわち、図5に示すように、注入範囲直上付近は注入圧により上方に地盤が押し上げられる。そのため、最大主応力は水平面に働くので、破壊面は水平面と $45 + \phi/2$ の傾きをなす。図5に示すようにこの範囲は注入範囲中心から約17～18mまでであり、図4の観測結果では隆起量は特に著しい。このような地盤隆起の影響は、注入範囲下端の隅からの $45 + \phi/2$ の傾きの範囲までおよぶと考えられる。この範囲は図5では約22～23m付近までであるが、図4の観測結果でも、この範囲まで隆起量は比較的顕著である。

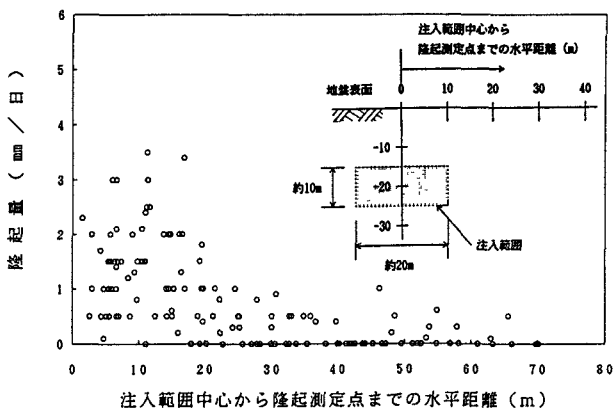


図4 注入による地盤隆起観測結果

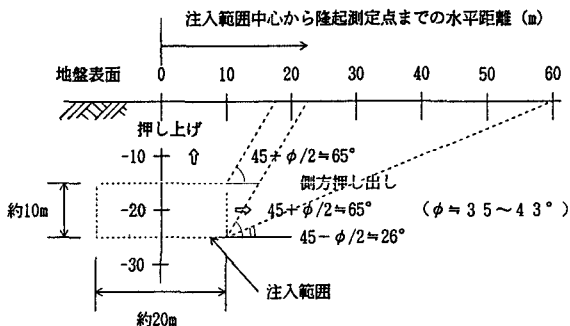


図5 注入による地盤変状領域（図4の場合）

ある。側方への押し出しによる影響範囲は、最大主応力が鉛直面に働くため破壊面は鉛直面と $45 + \phi/2$ の傾きをなし、水平面と $45 - \phi/2$ の傾きをなす。しかし、この側方への押し出しによる地盤の隆起は、上方に押し上げられる変状に比べればかなり小さいと考えられる。図4においては、水平距離50～60mでも隆起している。これは割裂注入がかなり優勢な注入状況から推察して、注入薬液の逸出による影響もあると考えられるが、これが薬液注入による変状特性のひとつであると考えられる。

《参考文献》1) 藤沢他、ボーリング採取試料から得られる注入効果の分析とp-tチャートの検討、薬液注入工法における注入効果の予測確認手法に関するシンポジウム、土質工学会、平成5年3月