

# 都市型立坑に於ける掘削途中の底盤改良に関する施工報告

木村 祥明\*  
Yoshiaki Kimura

## § 1. はじめに

「立坑内盤ぶくれ」対策には、①薬液注入工法 ②高圧噴射注入工法、③固結工法、④ディーブウエル工法などがあり、その施工基面は、間隙水圧水位および自由水位より上方に設けられるのが一般的である。

本報告は、「立坑内盤ぶくれ」抑制工法のうち、高水圧の影響を受けるGL.-39mに施工基面が位置し、周囲を連壁で閉塞された条件下での薬液注入工法について、検討および施工した結果について述べるものである。

## § 2. 盤ぶくれの調査・検討

原設計における検討では重量バランスによる安全率が計算されていた。その値は必要安全率を満足しないものであり、かつ連壁根入れ土層の調査結果が不十分なため、補助工法の検討と追加調査の必要性が示されていた。

実施工にあたり、ボーリング調査を行い盤ぶくれについて再検討した。重量バランスによる検討では必要安全率を満足しなかったが、地盤と連壁の摩擦を考慮した検討において、安全率が確保できる結果を得たため、計測工により確認しつつ補助工法なしで施工することとした。

連壁内の掘削作業の進捗に伴い、連壁変状や湧水量の増加、時間経過による地下水位の上昇が確認されたため、盤ぶくれの初期現象と判断し、再度調査検討を行った。その結果、最終掘削時において盤ぶくれの懸念が判明したため、対策工法を実施することとなった。

当初、施工実績や経済性を考慮しダブルパッカーによる不透水層造成工法（改良厚：5m）を選定した。工法決定後、施工性確認のための試験削孔において、改良体を造成する深度（GL.-65m）で20ℓ/min、連壁下端付近（GL.-72m）で100ℓ/minの砂を伴う湧水が確認された。この状況ではケーシングの閉塞やスリーブグラウトの希釈など工法的に不適であるため、施工方法の再検討を余儀なくされた。この際、連壁に近いポイントで追加のボーリング調査（平成12年度）を行い、詳細な土質状

況（コア採取、電気検層、土質試験、現場透水試験、間隙水圧試験）を確認した。ボーリング調査の結果をもとに工法検討（表-1）した結果、図-1、表-2に示す二重管ストレーナー（複相式）工法による改良長24.0mの底盤改良工事を実施することとした。

表-1 工法検討

	二重管ストレーナー(複相式)工法	二重管ダブルパッカー工法
地下水の噴出	ショートゲルによる即時止水が可能である。	即時止水ができない。
適合性	◎	×
高被圧砂質土の改良	浸透注入材による浸透改良体の形成が可能。	浸透注入材による浸透改良体の形成が可能。
適合性	◎	◎
注入深度 32.88m	施工実績は20m程度まで。 × シルト・砂層土層の場合は30m以深まで可能。	30m以深の削孔は可能である。大深度実績も多く、110mの実績もある。
適合性	※○	◎
連壁内の改良	低吐出・低圧力に設定することにより、連壁・地盤への影響を少なくできる。	注入圧力が低く、連壁への影響が少ない。
適合性	○	○

※立坑内の土質条件(砂・シルト層)を加味すると30m以深の削孔は可能である。

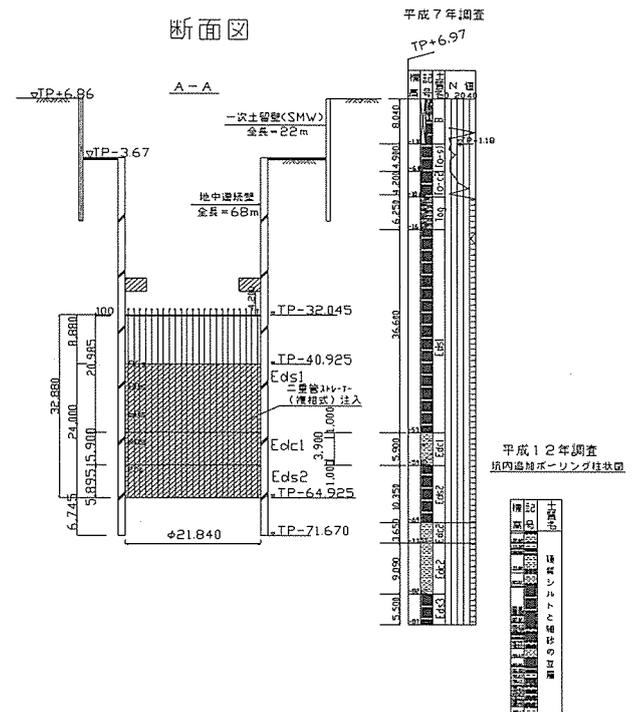


図-1 注入図

表-2 注入量内訳

二重管ストレーナー（複相式）注入工法

	砂質土(Eds-1)	粘性土(Edc-1)	砂質土(Eds-2)	合計
対象土量	4,951.9m <sup>3</sup>	1,462.5m <sup>3</sup>	2,585.6m <sup>3</sup>	900.0m <sup>3</sup>
注入率(瞬結)	9.6%	8.3%	8.4%	—
注入率(緩結)	38.4%	16.7%	33.8%	—
注入率(合計)	48.0%	25.0%	42.2%	—
注入量(瞬結)	475,383 ℓ	121,388 ℓ	217,191 ℓ	813,962 ℓ
注入量(緩結)	1,901,530 ℓ	244,238 ℓ	873,988 ℓ	3,019,701 ℓ
注入量(計)	2,376,913 ℓ	365,626 ℓ	1,091,124 ℓ	3,833,663 ℓ

粘性土（Edc 1）の上下 1 mは砂質土注入率で注入する。

\*関東（支） 虎ノ門共同溝（出）

### § 3. 注入計画

二重管ストレーナー（複相式）工法では、高被圧を受ける大深度で、かつ大改良厚の施工実績が無いため、種々の検討を行い、施工の確実性を向上させた。

#### (1)高被圧下での施工について

本工事の底盤改良範囲は、高被圧水が作用する締まった洪積砂層を主体として構成されており、わずかな注入ムラで掘削時にトラブルが発生する恐れがある。そのため、より均質な改良体の形成が必要と考えた。

注入速度は注入材の地盤における浸透形態（浸透注入、割裂注入）及び注入効果との関連性が非常に高く、砂層を対象とする注入では薬液が間隙水を押し出して置換する浸透注入による改良が理想である。

砂層での均質な浸透改良体の形成には、低粘性でゲルタイムの長い注入材を、低速度で注入する必要がある。注入速度が増加するに伴い浸透形態から割裂形態へ移行し、均質な改良が困難となる。浸透注入を行うための限界注入速度を測定する試験方法として、 $q_{cr}$ 試験がある。

試験方法は、注入深度までスリーブ管を建込み、CB液で穴埋めし二重管で地山まで削孔する。その後片側をパッカーでシールし、吐出量を増加させながら注水する。圧力変化のデータをグラフにプロットし、比例関係が成立している箇所を調べ、その半分の傾きの線を書き入れ、グラフとの交点が限界注入速度となる。

図-2に試験結果を示す。本現場での限界注入速度 $q_{cr}$ は8.9 l/minと9.9 l/minが得られた。一般的に砂層での最適注入速度は、8~10 l/minであり当現場の試験結果とも一致する。

本工事では、発注者の積算基準である16.0 l/minと大きな開きがあるが、施工の確実性を優先し注入速度を10.0 l/minで施工することとした。

#### (2)大改良厚の施工

長尺削孔における削孔精度や浸透範囲・注入孔の配置は良質な改良体形成のために重要であると考えた。

削孔精度については、浅い深度での実績や、玉石層が無く硬質シルトや細砂からなる地質などを考慮し1/50程度の精度が確保できると考えた。

浸透半径については、karolの式より決定した。

$$r = 6.2^3 \sqrt{\frac{R \cdot q \cdot t}{n}} = 6.2^3 \sqrt{\frac{0.5 \cdot 10 \cdot 60}{0.352}} = 58.8 \text{ cm}$$

r：浸透半径（cm）

R：溶液の粘度の逆数

（注入材の粘度1.5~2.5より2.0の逆数）

q：注入量（l/min）= 10 l/min（ $q_{cr}$ 試験より）

t：ゲルタイム（min）= 60min

n：間隙率=0.352（ボーリング試験より）

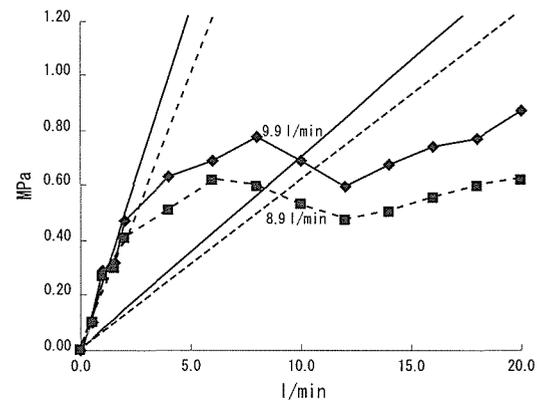


図-2  $q_{cr}$ 試験結果

表-3 事後効果確認結果

調査孔	土質	現場透水係数k(cm/s)	粘着力C(kN/m <sup>2</sup> )
No.1	Eds1	$1.269 \times 10^{-5}$	201
	Eds2	$9.222 \times 10^{-6}$	116
No.2	Eds1	$2.920 \times 10^{-5}$	183
	Eds2	$7.346 \times 10^{-6}$	88
No.3	Eds1	$1.041 \times 10^{-5}$	99
	Eds2	$3.171 \times 10^{-5}$	92
目標値		$1.0 \times 10^{-5}$ cm/s以下	80kN/m <sup>2</sup> 以上

よって浸透半径は60cmとした。

注入孔の配置については、浸透注入による改良の場合、薬液が土層の弱い部分に浸透するため先に決めた浸透半径で改良されるわけではない。しかし施工実績より、浸透半径間に多少隙間があっても改良効果が得られることが分かっており、一般的には若干の隙間を許容している。当工事では、注入効果の重要度を考え、注入孔間隔を狭めかつ複列正方形千鳥配置で隙間が発生ないように施工した。

### § 4. 施工結果

施工完了後、立坑内の3箇所ですべて事後効果確認を行なった。表-3に結果を示す。各ポイントでの計測値は目標値を適正な範囲で満足するものであり、その後の掘削作業においても掘削に伴う連壁変位以外見られず、盤ぶくれを回避することができた。

### § 5. おわりに

計測工により、盤ぶくれの初期現象が把握でき、そのデータやボーリング調査、施工方法を綿密に検討をした結果、過去に実績の無い施工方法にもかかわらず無事施工が完了した。

本工事において数多くのご指導、ご協力を頂いた関係各位に厚くお礼申し上げます。