

地盤改良体の摩擦抵抗を考慮した盤ぶくれ対策

ーなにわ筋線西本町駅部土木工事ー

Ground Heaving Prevention Measures to deal with Friction Resistance of Ground Improvement Work

中山 駿*¹ 中川達也*² 友近宏治*³

なにわ筋線は、2023 年春に開業した大阪駅（うめきた地下駅）と関西本線の JR 難波駅および南海本線の新今宮駅を連絡する新たな鉄道路線（なにわ筋線）の建設事業である。（仮称）西本町駅部では躯体工事に伴う掘削時（施工延長 340m、掘削幅 21.0m～27.0m、掘削深 GL-24.0m～31.0m、掘削土量 約 189,710m³）に盤ぶくれが起こる可能性がある。本報告は、地盤改良体の摩擦抵抗を考慮した盤ぶくれ対策について報告するものである。

概 要

key words : 地盤改良工、盤ぶくれ、高圧噴射攪拌工法、SUPERJET 工法

1. はじめに

なにわ筋線は 2023 年に開業した大阪駅（うめきた地下駅）と関西本線の JR 難波駅および南海本線の新今宮駅を連絡する新たな鉄道路線である（図-1）。大阪都心部を南北に縦貫する都市鉄道として整備し、鉄道ネットワークの強化、大阪の国際競争力強化、ひいては関西の活性化に資する新たな鉄道建設事業である¹⁾。（仮称）西本町駅部は、工事延長：340m、掘削幅：21.0m～27.0m、掘削深：24.0m～31.0m を開削工法にて築造する工事である。

過去に大阪近郊では同種工事において、被圧帯水層から出水したことに起因する陥没事故が発生している。当該工区においても地下水位が GL-1.5m と高く、掘削時の出水、盤ぶくれが課題であった（図-2）。



図-1 なにわ筋線計画路線図

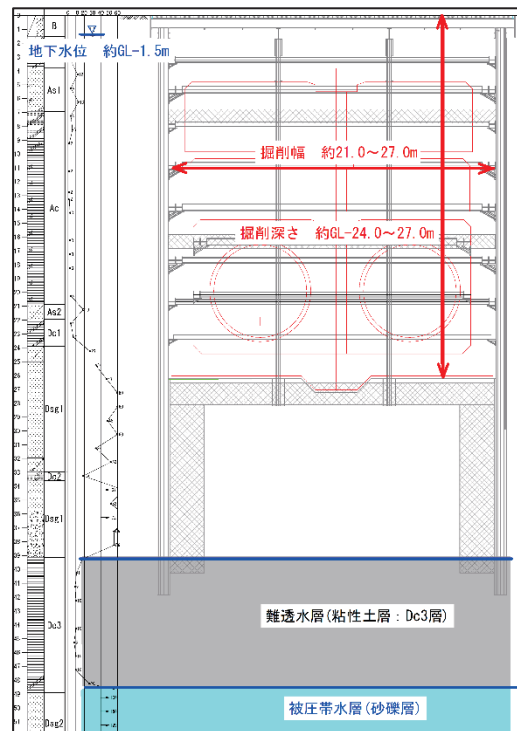


図-2 土質横断面図と躯体断面図

*1 Shun NAKAYAMA

大阪支社土木統轄部土木部

*2 Tatsuya NAKAGAWA

大阪支社土木統轄部土木部 副所長

*3 Koji TOMOCHIKA

土木事業本部土木本部技術部 副課長

2. 工事概要

工 事 名：なにわ筋線西本町駅部土木工事

発 注 者：関西高速鉄道株式会社

工事場所：大阪市西区阿波座2丁目地内

工 期：2020年12月17日～2028年3月15日

工事延長：340m

工事数量：ソイルセメント壁工	26,000 m ²
鋼製地中連続壁	1,700 m ²
路面覆工	8,800 m ²
地盤改良工	1,280 本
掘削工	200,000 m ³
土留支保工	15,000 t
躯体コンクリート	49,000 m ³
道路仮復旧工	13,000 m ²

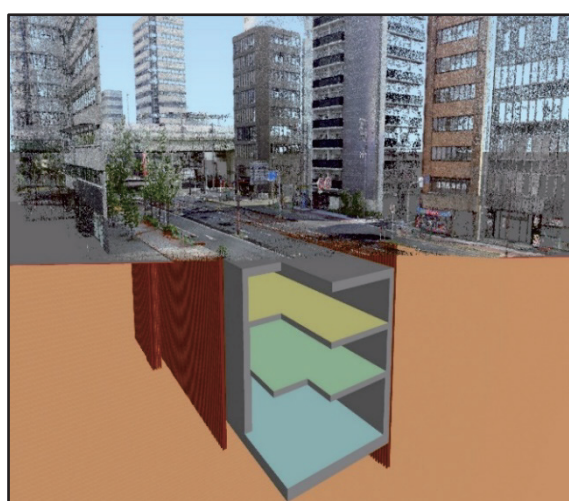


図-3 地下構造物の3D図面

3. 盤ぶくれ対策について

3.1 事前検討

対象地盤は難透水層である粘性土層の下に被圧帯水層である砂礫層がある事が事前調査で分かっていた。帯水層からの揚圧力で掘削底面が押し上げられる盤ぶくれにより、土留め壁が崩壊、掘削底面からの出水等の可能性があった。

開削工法を用いた掘削にあたり、より詳細な地盤調査(追加ボーリング調査:各土層の層厚、N値、強度試験等)を行った結果、当初の設計条件とは粘性土層(Dc3層)のせん断強度(C_u :粘着力)に差異があった。これは対象の粘性土層の特性にバラツキがあること、サンプリング方法の影響等が考えられた。そこで既往の調査結果等も考慮して、各調査の平均値 $C_u=167\text{kN/m}^2$ を採用し(表-1)、盤ぶくれ対策としての地盤改良工を計画した。

表-1 設計値と追加調査値の比較

調査名	Cu (平均値)
概略設計他、概略設計他2	No. 10、No.D 221 kN/m ²
追加調査	114.5 kN/m ²
上記2件名の調査の平均値	167 kN/m ²

3.2 対策の検討

①土留め延伸(案)

土留め壁を難透水層である粘性土層(Dc3層)まで延伸し遮水性を確保し、盤ぶくれ対策として地盤改良を土留めの掘削側近傍のみ($\phi 2900\sim 4500\text{mm}$ 、 $L=14.0\sim 16.0\text{m}$)に行う(図-4)。土留めと改良体の摩擦抵抗、改良体と地山の摩擦抵抗の増加に期待する。本案では、揚圧力に対して土留め壁際(破壊形態1)と改良体際(破壊形態2)で場合分けを行い、照査を行う。

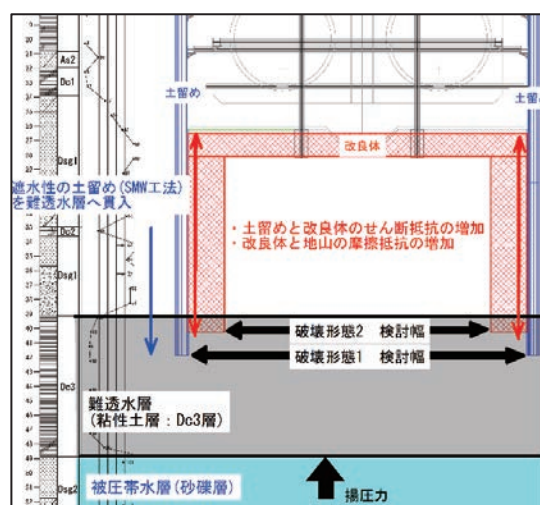


図-4 土留延伸(案) 概要

②難透水層構築(案)

掘削幅全体に改良体で難透水層を構築する(図-5)。せん断抵抗の大幅な向上が見込め、遮水性に関しては難透水層へ根入れすることで確保する。本案は揚圧力に対して土留め壁際(破壊形態1)で照査を行う。

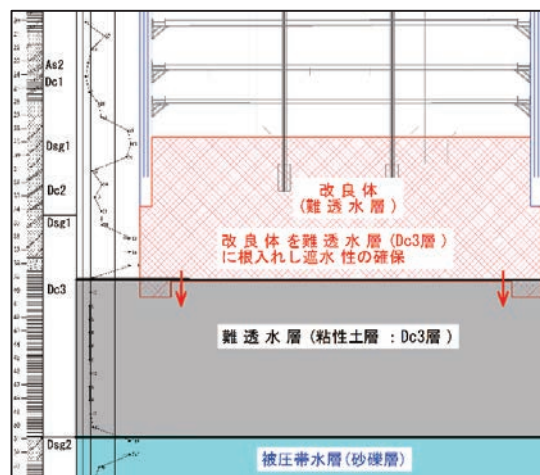
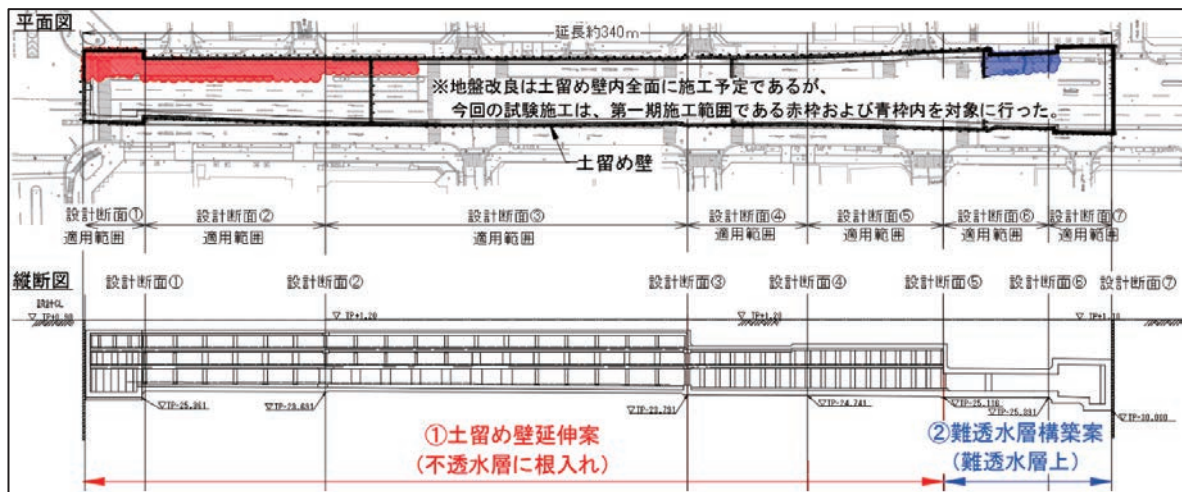


図-5 難透水層構築(案) 概要



図－6 設計断面別 地盤改良案

摩擦抵抗、せん断抵抗を考慮した検討式²⁾を式(1)に示す。摩擦抵抗(C_1)について破壊形態 1 は土留めと改良体間、破壊形態 2 では改良体と地山間で検討を行った。

本工事では大深度広幅員の帯状掘削となり、立坑のような比較的断面が小さく閉塞度が高いケースと比べると、難透水層のせん断抵抗力を高めることが重要である。式(1)の各安全率を比較すると、難透水層のせん断強度(C_2)を高めることが安全性確保に対して有効である。盤ぶくれ対策として、標準として土留め延伸(案)を採用するが、設計断面⑥、⑦範囲は掘削深さが深く、掘削幅も広い場合、土留め延伸(案)では対象となる帯水層がさらに深い箇所になり経済性に劣る。したがって、当該区間は、掘削底面下の地盤を改良する難透水層構築(案)を採用した(図－6)。

$$\frac{W}{F_1} + \frac{C_1}{F_2} + \frac{C_2}{F_3} \leq U \quad (1)$$

W：被圧面以浅の土塊重量($\Sigma B \cdot t \cdot \gamma$)

C_1 ：根入れ部分の土留め壁と地盤の摩擦抵抗
 $(2 \cdot \Sigma f \cdot t_1)$

C_2 ：難透水層のせん断抵抗($2 \cdot \Sigma \tau \cdot t_2$)

U：水圧(kN/m^2) ($H \times B$)

B：掘削幅(m)

t：重量抵抗層厚さ(m)

f：壁面との摩擦強さ(kN/m^2)

τ ：難透水層のせん断強さ(kN/m^2)

t_1 ：摩擦抵抗厚さ(m)

t_2 ：せん断抵抗厚さ(m)

γ ：重力抵抗層の湿潤単位体積重量(kN/m^3)

h：難透水層下面に作用する被圧水頭(m)

γ_w ：水の単位体積重量(kN/m^3)

H：難透水層下面に作用する被圧水頭(kN/m^2)

F_1, F_2, F_3 ：安全率 ($F_1=1.1, F_2=6, F_3=3$)

4. 施工上の課題

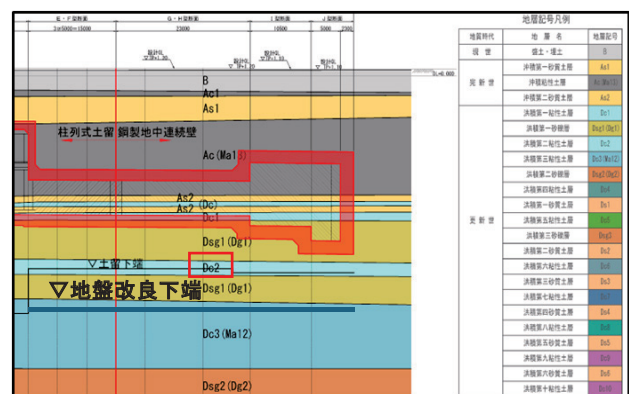
4.1 事前検討

西大阪地域の古大阪川に沿う本地域の土質は基本的に砂礫主体であり、桜川撓曲延長部の南側に分布する洪積砂礫層は粘土、シルトを含み、比較的細粒であることが分かっている³⁾。当該施工箇所においては、この性質の土質が砂礫層内に部分的に介在し、N値が粘性土層としては高いことから($N \geq 10$)、SUPERJET 工法では改良径を設定できなかった。図－7に示すDc2層がそれに該当する。

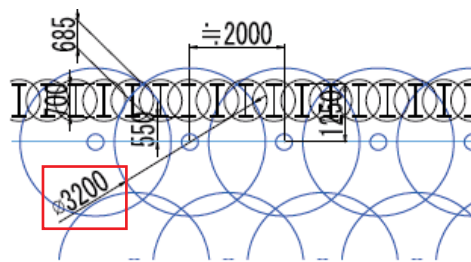
従来のSUPERJET 工法では層毎で施工できる改良径が異なる。粘性土層の改良は通常、改良径が小さくなる傾向がある。また、透水層はN値により改良径が変わり砂層は砂礫層に対して改良径が大きくなる傾向がある。

本工事の地盤状況として、30m以深には砂、礫、粘土それぞれの層があるため、難透水層構築案では改良体同士のラップ長の確保、土留め壁下端以深への施工(施工深度大)が課題となった。そのため、各土層に均一な $\phi 3200$ の改良径を施工することが求められた(図－8)。

設計改良径を満たさない場合、地下水の通り道ができ、盤ぶくれや土留め外からの出水のリスクが高まる。



図－7 土質分布縦断図



図－8 改良体平面配置図

4.2 対策の検討

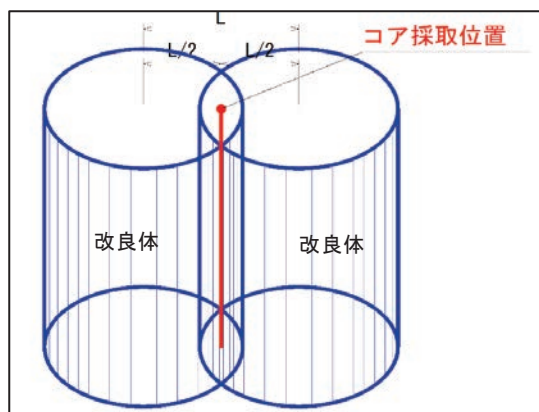
前述の課題を踏まえ、均一な改良径となるよう SUPERJET 工法の仕様を各土層に応じて変更した。具体的には、必要噴射圧力、単位噴射量、造成ロッド引上げ速度を増加、回転数は減少させ、より造成液が回るように変更した(表－2)。計画上、必要な径はφ3200mm だが、上記の仕様要件を踏まえると施工機械はφ5000mm が施工可能な SUPERJET50 となった。各土層に応じた施工仕様を設定し、有効性を試験施工にて確認した。

表－2 土層に応じた仕様一覧

項目	単位	標準仕様	SUPERJET50 特殊仕様				
			As1層	Ac1層	Dsg1層砂	Dc2層	Dsg1層礫
超高压ジェット	噴射圧力	MPa	34.5	28.0	33.0	30.0	38.0
	単位噴射量	m ³ /分	0.275×2方向 =0.55	0.25×2	0.27×2	0.26×2	0.29×2
圧縮空気	噴射圧力	MPa	0.7～1.03	1以上	1以上	1以上	1以上
施工仕様	引上げ速度	分/m	13.0	7.0	10.0	8.0	34.0
	回転数	rpm	6.0	-	5.0	-	6.0
			3.1	5.7	4.0	5.0	1.2
							3.6

5. 施工結果

試験施工では SUPERJET 工法技術資料⁴⁾ に準拠し、図－9 に示す隣接する 2 本の造成体の中間 (L/2) の位置とし、コアボーリングにより改良体を採取した。



図－9 試験施工コアボーリング方法

得られた改良体を写真－1 に示す。赤枠が砂層 (Dsg1 層 (砂))、青枠が粘性土層 (Dc2 層)、黄枠が砂礫層 (Dsg1 層 (砂礫)) である。目視による確認ではコアは短柱状で採取され、非常に硬く出来形は良好であった。盤ぶくれ対策として必要なせん断強度の確認のため、一軸圧縮試験を行った結果を表－3 に示す。いずれも目標強度を上回り良好な結果であった。



写真－1 コアボーリング試料

表－3 一軸圧縮試験結果

深度 (TP-m)	改良体土質	試験番号	一軸圧縮強度		目標強度
			KN/m ²	平均	
TP-25.550～29.090m	砂質土	1	3440	5787	1200
		2	5810		
		3	8110		
TP-29.090～31.290m	砂質土	1	14300	12600	1200
		2	11000		
		3	12500		
TP-31.290m～33.440m	粘性土	1	980	1880	400
		2	560		
		3	4100		
TP-33.440m～35.540m	砂質土	1	18700	17733	1200
		2	18400		
		3	16100		
TP-35.540m～37.140m	砂礫	1	20700	9587	1200
		2	5700		
		3	2360		

6. まとめ

試験施工で各土層に応じた仕様で所定の改良径、強度が確認できたことで、地盤改良工を用いた盤ぶくれ対策の本計画に反映することができた。

地盤改良体の摩擦抵抗を考慮した盤ぶくれ対策の事例はまだ少ない。本報告が盤ぶくれ対策を検討する際の一助になれば幸いである。当工事は大阪の中心地の幹線道路に規制帯を設けた中での大規模開削工事である。近隣住民への配慮を忘れず、安全な施工を引き続き行いたい。

【参考文献】

- 1) 関西高速鉄道 HP : <http://www.kr-railway.co.jp>
- 2) 鉄道構造物等設計標準・同解説 トンネル・開削編 令和 3 年 8 月 鉄道総合技術研究所
- 3) KG-NET(関西圏地盤情報ネットワーク)HP : <https://www.kg-net2005.jp/index.html>
- 4) SUPERJET 工法 技術資料