

開削工事における留意すべき地盤について -片福連絡線連壁出水事例を主として-

1. はじめに

片福連絡線の(仮称)野田阪神駅(現在は、JR東西線 海老江駅)として、開削延長365mにわたる駅部開削工事の北端部80m区間の工事では、シールドトンネル工事の発進基地となる地下4層の駅を構築していた。計画掘削深度の床付面まで、あと数mで到達という段階まで掘削が進行したときに、平成4年4月3日に出水事故が発生し、地表部でも周辺地域で地盤沈下が発生し、民家に被害が発生した。なお、同様のトラブル事例が、昭和50年9月に、大阪駅前第2ビル建築現場で発生していることから、併せて紹介しておくこととする。

少し古い話になるが、これらの事故の対応で判明した調査結果について、「災害は忘れた頃にやってくる」ことから、地盤調査技術者向けに、開削工事における留意すべき地盤として、臨海平野における下部沖積砂質土層を紹介する。

2. 対象地域の地盤と施工状況について

(1) 対象地域の地盤

現在はJR東西線として開通している海老江駅周辺(図-1、当時は(仮称)野田阪神駅)で、地下4層の駅を建設するために、開削工事が行われていた。この地域の地盤構成は次のようであった。

- ①地表から順に表土、上部沖積砂層(As1層、 N 値 ≤ 20)、沖積粘土層(Ac1層(N 値 $=0\sim 5$ 程度)、Ac2層(N 値 $=5\sim 10$ 程度))、下部沖積砂質土層(As2層)、上部洪積砂礫層(Ug1層、 N 値 ≥ 50 以上)、上部洪積粘土層(Uc2層、 N 値 $=10$ 前後と硬質)および下部洪積砂礫層(Ug2層、 N 値 ≥ 60)であった。
- ②特に問題となった地層は、下部沖積砂質土層(As2層)であり、複雑な堆積環境からなる流動性の高い砂を含む被圧滞水層である。その下位の上部洪積砂礫層(Ug1層)は、 250kN/m^2 以上の高い被圧地下水を有している。また、下部洪積砂礫層(Ug2層)は、G.L.-43m付近より以深にあり、 N 値 ≥ 60 とよく締まっているが、この層も 400kN/m^2 以上の被圧地下水を有している。

(2) 施工状況

開削工事は、掘削幅 $=16.5\sim 22.5\text{m}$ で、掘削床付面 $=\text{GL}-24.1$ (一般部) $\sim \text{GL}-26.9\text{m}$ (シールド発進立坑位置)と、比較的深い掘削が行われていた。また、下位のUg1層、Ug2層ともに前述したように、高い被圧水位を有していた。したがって、Uc2層の盤膨れ対策として、分割掘削とグラウンドアンカーを組合せた工法が採用されていた。

工法の手順(図-2～図-3)は以下の予定であった。

- ①Ac1層を、生石灰杭で地盤改良し、ブロック境界に鋼矢板による仕切土留工施工後、 $\text{GL}-16.6\text{m}$ まで掘削。
- ② $\text{GL}-16.6\text{m}$ 以深では、1～4ブロックに分割し、1、3ブロックにグラウンドアンカーを打設し、Ug2層の被圧水压に抵抗できる残土荷重を2、4ブロックに残し、先行ブロック(1、3ブロック)を計画底面まで掘削し、下床版を施工(なお、土留工は、連続土留壁(泥水固化壁工法))。
- ③Ug2層に定着したグラウンドアンカーを緊張し、下床版に締結。
- ④盤膨れに抵抗する力をアンカーで補いながら、後攻の2、4ブロックを計画底面まで掘削する予定であった。

3. 出水事故の発生と現場での緊急対応措置について

(1) 発生した出水事故状況

施工手順の3ブロック内の $\text{GL}-21.4\text{m}$ 付近を掘削中に、隣接する2ブロックとの境界と土留め壁との隅角部から出水が始まった。掘削土の埋戻し等の対処を試みたが、次第に出水量が増大し、細砂を含む黄色の出水で掘削面が湛水された(写真-1)。

これらの結果、地表部では国道2号線北行き車線の西側の歩道やこれに隣接する民家において、地盤沈下に伴う家屋の変状が生じることとなった。(被害状況:最大沈下 $=25\text{cm}$ 、範囲:出水ヶ所から西側80m程度、東西100m程度、結果的に、34家屋の応急補修)

緊急交通対応として、直ちに北行き2車線の内の1車線を通行止めとし、歩道の迂回を確保するなど行って、交通の安全を確保した。本トラブルによる出水は、当初 $1\text{m}^3/\text{min}$ ～最大 $9\text{m}^3/\text{min}$ となり、 $20,000\text{m}^3$ の湛水となった。また、流入した土砂は、 350m^3 (図-4)にも及んだ¹⁾。

(2) 緊急対応措置について

緊急対策措置としては、以下の手順となった。

- ①隣接工区の揚水井(Ug2層)から、坑内へ $5\sim 6\text{m}^3$ の注水作業を行っ

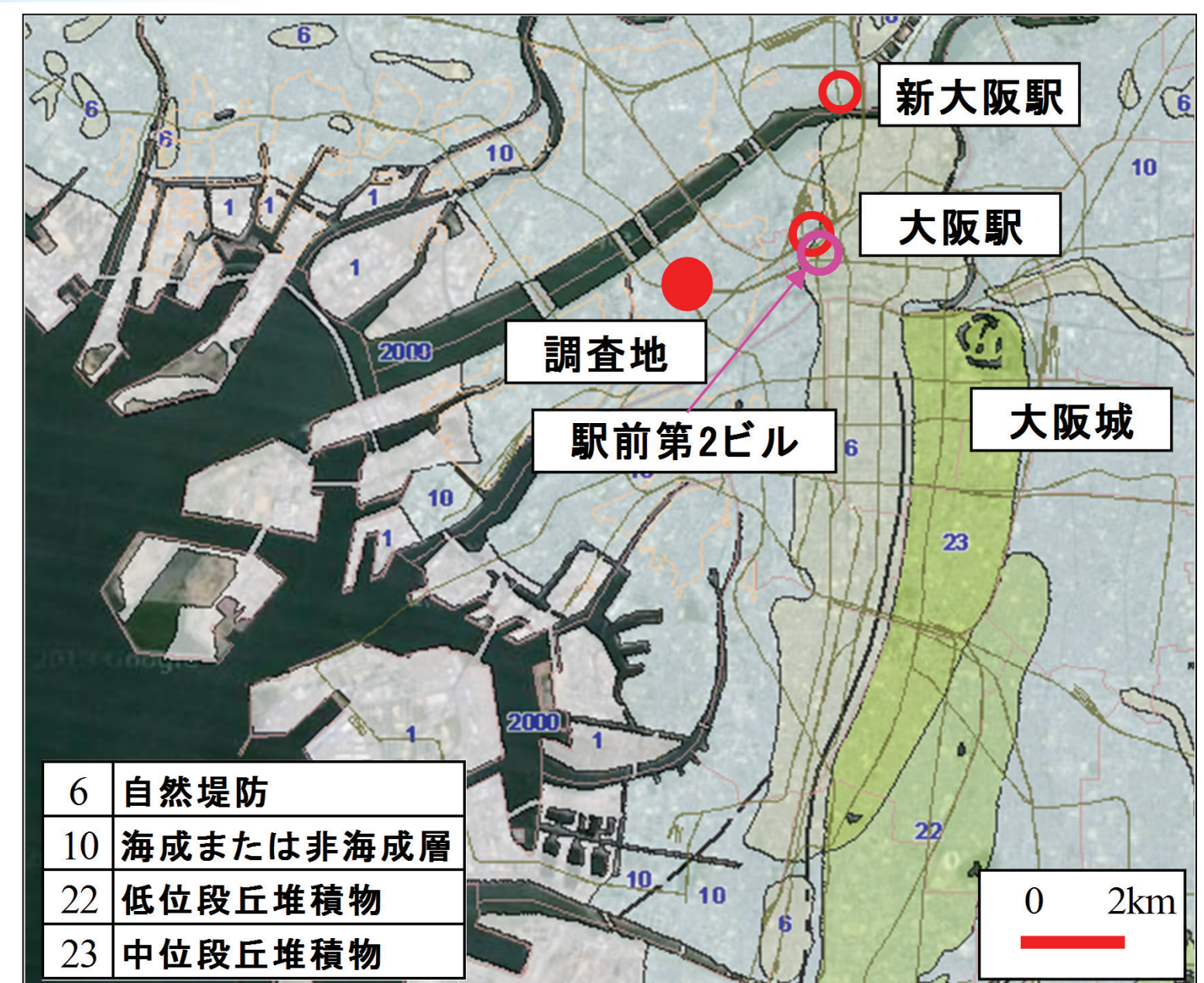


図-1 調査地案内図 (元図:(独)産業技術総合研究所に加筆)

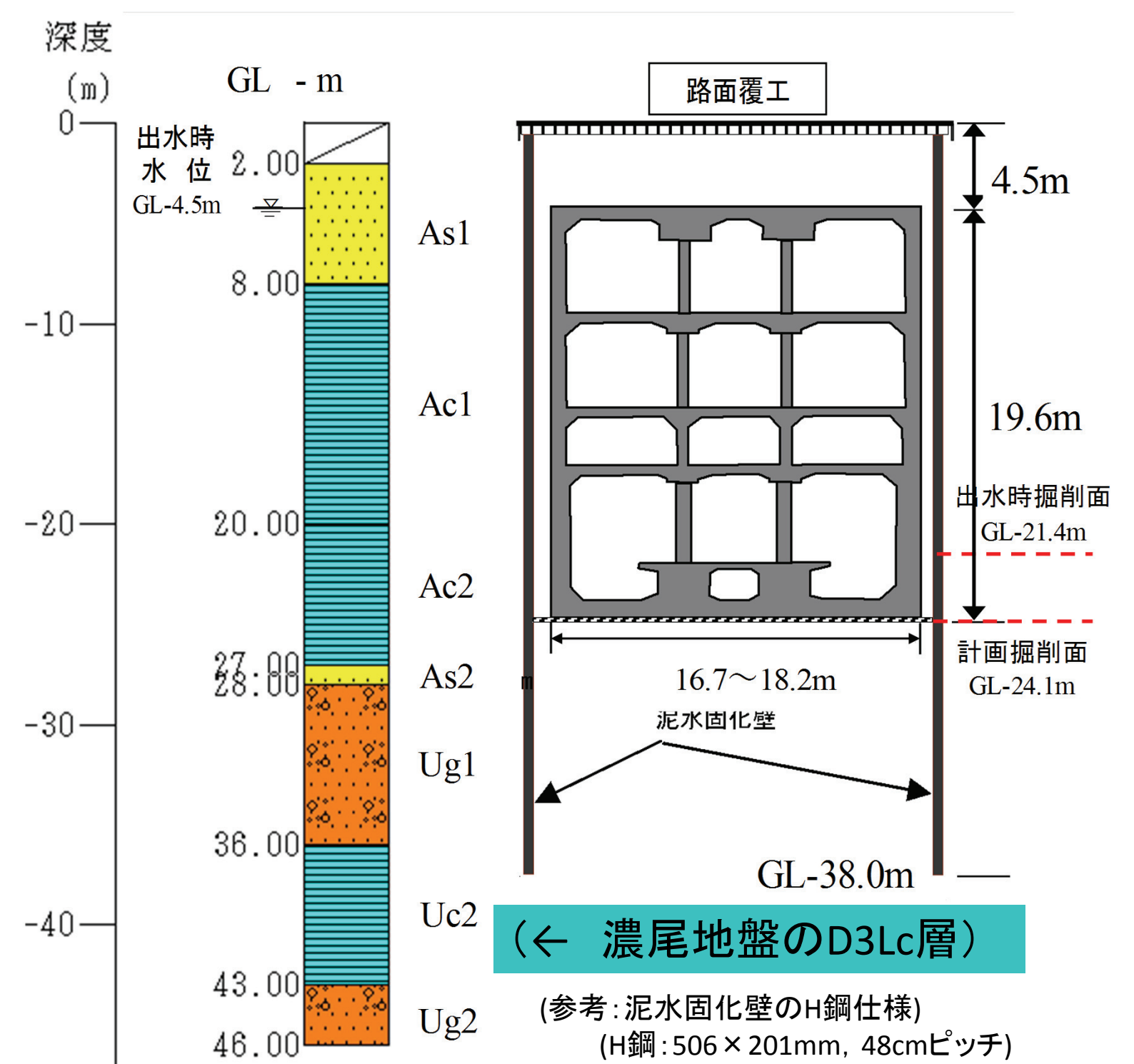


図-2 調査地付近の構築断面図¹⁾を修正・加筆

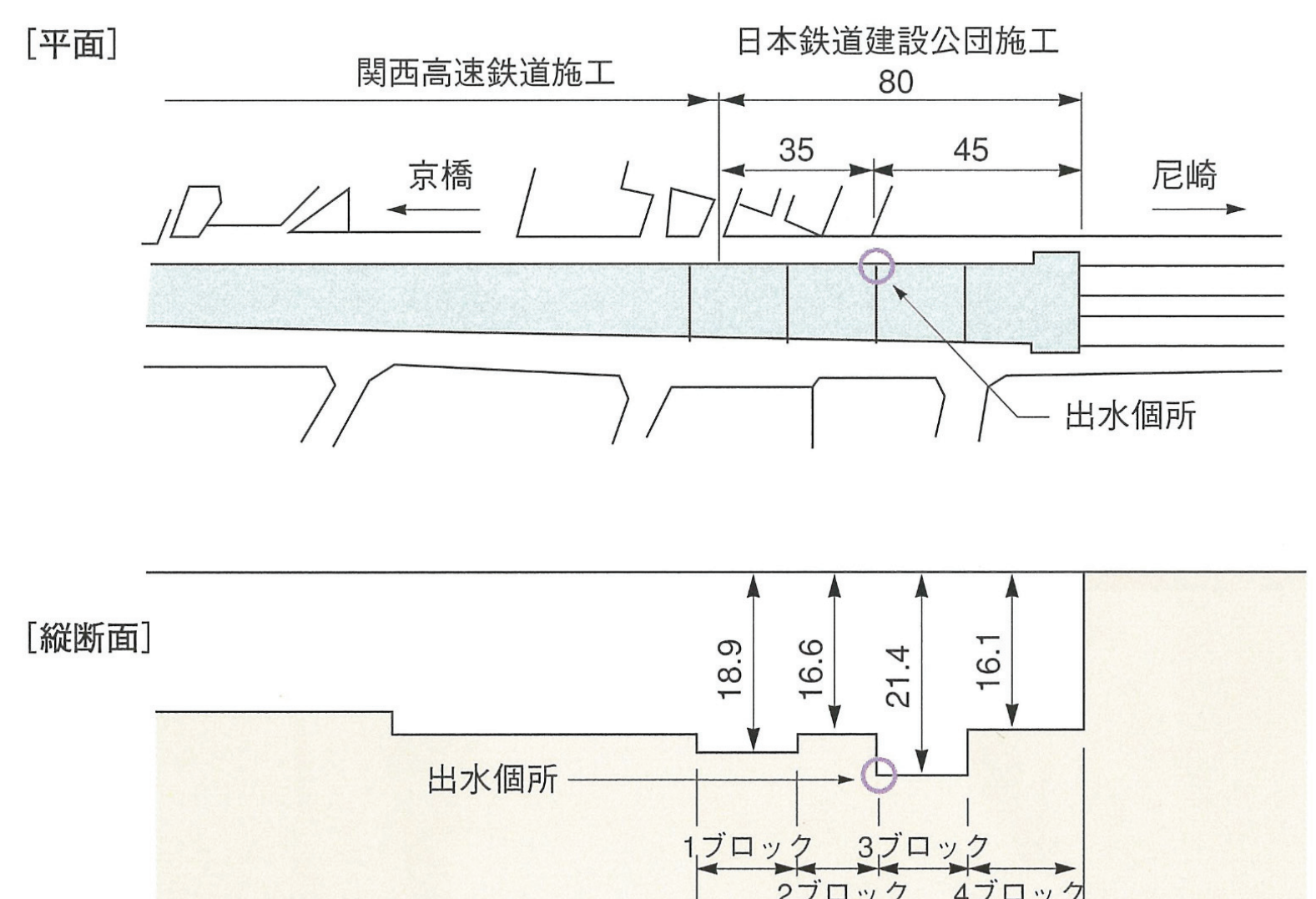


図-3 調査地の掘削断面の概要²⁾

開削工事における留意すべき地盤について -片福連絡線連壁出水事例を主として-

- て、坑内外の水位差を減少させ、流入する水の勢いを抑制した。
- ②坑外から止水と地盤沈下の拡大を防止するために、最初に薬液注入工(一次注入)を行った。
 - ③オールケーシング(φ65cm)で、大口径ボーリングマシンにより GL-29m(Ug1層上部)迄の掘削を行った後、生コンクリートを投入(二次注入, 3孔実施)するなどの対策を講じた。基本的には、この1本目の生コン注入によって、出水量が大幅に低減されることとなった。
 - ④止水を十分行うために、出水ヶ所を中心に南北10m程度、東西3.7mの範囲で水ガラス系の溶液型薬液注入(三次注入)が実施された。結果的には、③の対策が大きな効果があったとされている³⁾。

4. 大阪駅前第2ビル建築現場における異常出水の発生

大阪駅前第2ビル現場の事例では、昭和50年9月、地下の掘削が地下4階部分のGL-20～23m付近まで進み、掘削完了(GL-23～25m)まであとわずかのところで、連壁の継手部に接する掘削地盤面から建物内部に漏水が始まった。直ちに止水対策が講じられたが、水とともに土砂が流入し、周辺の地表面が沈下し始めた。沈下の影響範囲は、建物の南側およそ30×40mに及び、これに伴って16棟(29世帯)の家屋に傾斜等の被害が発生した。また隣接する国道2号線の陥没は、最大1.46mに達した。推定によれば、建物内への累計流入水量は約30,000m³、流入土砂量は約550m³と報告されている(図-5)³⁾。

5. 開削工事において留意すべき地盤について

ここで示した2つの事例を参考にすると、臨海平野の市街地における開削工事(図-5)において、留意すべき地盤として、“下部沖積砂質土層”が浮き上がってくる。この地層について、解説してまとめる。

(1) 地下水の分布パターン

- ①上部沖積砂質土層(自由地下水層)
- ②下部沖積砂質土層
(不規則に分布する砂層が有する第1被圧水層)
- ③洪積第1砂礫層
(Ug1層:天満砂礫層と呼ばれる第2被圧地下水層)

(2) 下部沖積砂質土層の工学的特性

問題の地層である“下部沖積砂質土層”は、地形的にも地下水を集水しやすい環境にあることが推測され、下記の分布特性を有する。

- ①削剥された天満砂礫層の谷部を埋積するように堆積しており、上位の沖積粘土層と下位のUg1層との間で、層厚 $H=0.5\sim3.0$ m程度で狭在し、細砂主体で、小礫を一部で含み下記の特性を有する。

(As2層の特性) * 高い地下水位 (または水頭差), $w_n=20\sim40\%$

- * 75 μ 以下の細粒分含有率 $20\leq F_c\leq 40\%$
- * 均等係数 $30\leq U_c\leq 90$ (粒度配合良好)
- * 透水係数 $1.5\times 10^{-5}\leq k\leq 1.2\times 10^{-3}(m/s)$

- ②淡水域～海水域に移行する漸移的な堆積環境にあり、海浜性の均等粒度でルーズな特性(N 値 $\approx 15\sim 25$)を有する。
- ③比較的含水比が高く、ボーリング掘削中に孔内泥水の逸水や孔壁崩壊が認められる。
- ④事故が発生したヶ所では、事後調査によって、この下部沖積砂質土層(As2層)が欠如していることも判明している。

参考・引用文献

- 1) 公益社団法人 地盤工学会関西支部、トラブル事例分科会 WG3開削グループ編、開削工事におけるトラブルについて、pp.2-3～2-4、2013年3月
- 2) 日経コンストラクション編、建設事故-重大災害70例に学ぶ再発防止策-:片福連絡線連壁出水、pp.78～81、2007年8月
- 3) 柴田 徹:関西における地盤問題から、社団法人 土質工学会関西支部編、三十周年記念誌、pp.99-104、1988年11月



写真-1 出水事故状況²⁾

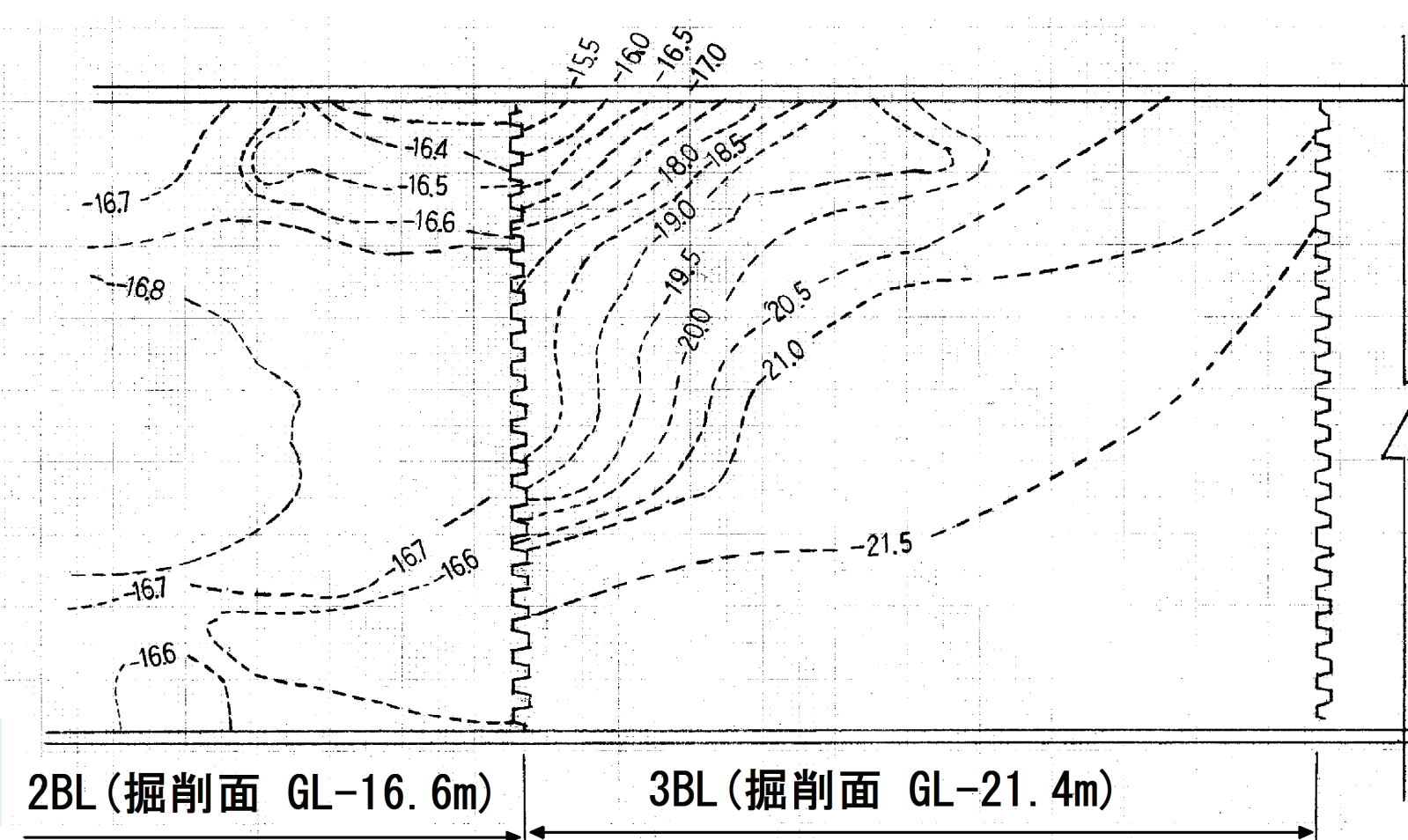
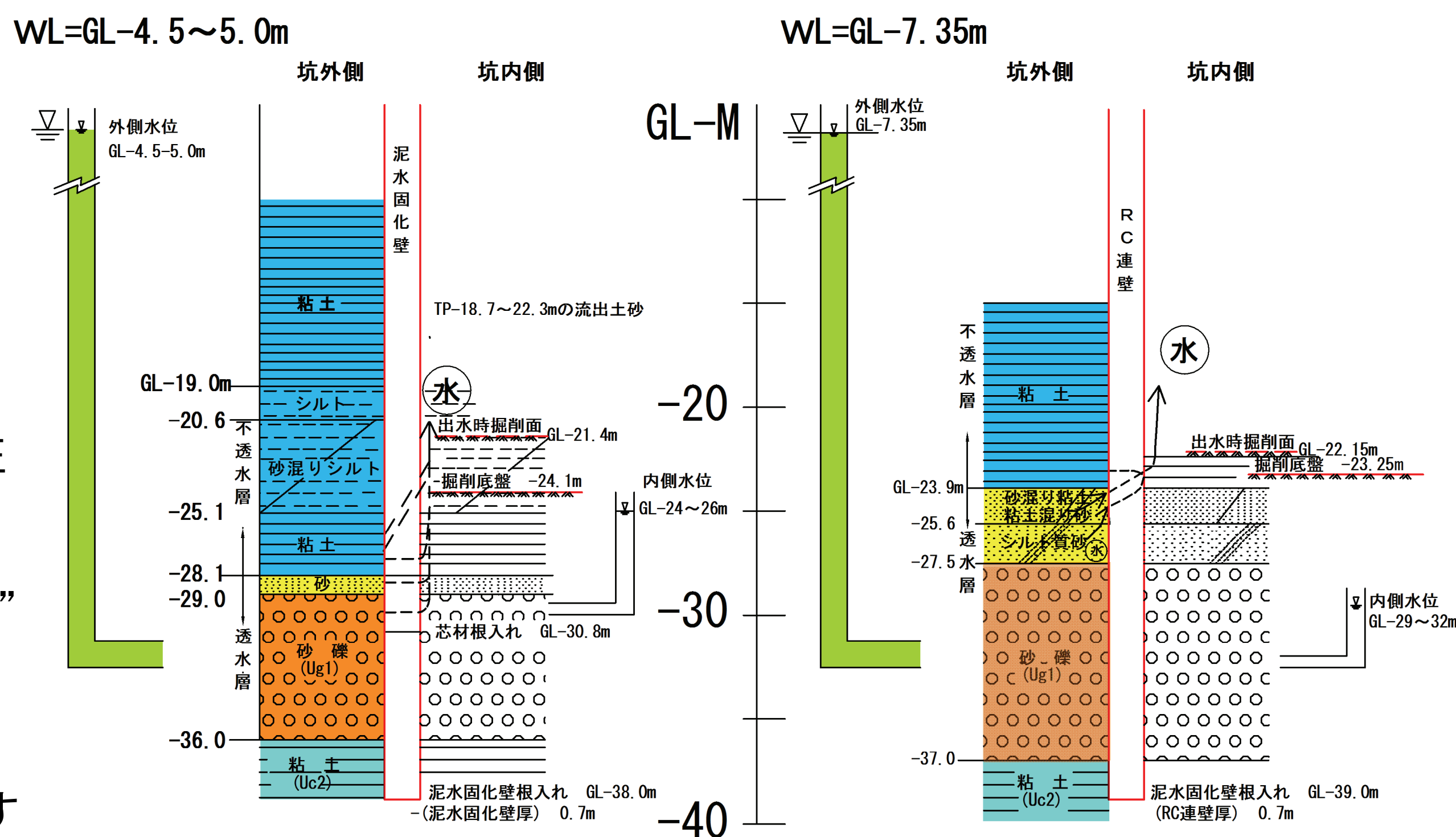


図-4 流入した土砂の形状



野田阪神駅(1992年) 大阪駅前第2ビル(1975年)
図-5 野田阪神駅と大阪駅前第2ビルの近似性³⁾を加筆・修正

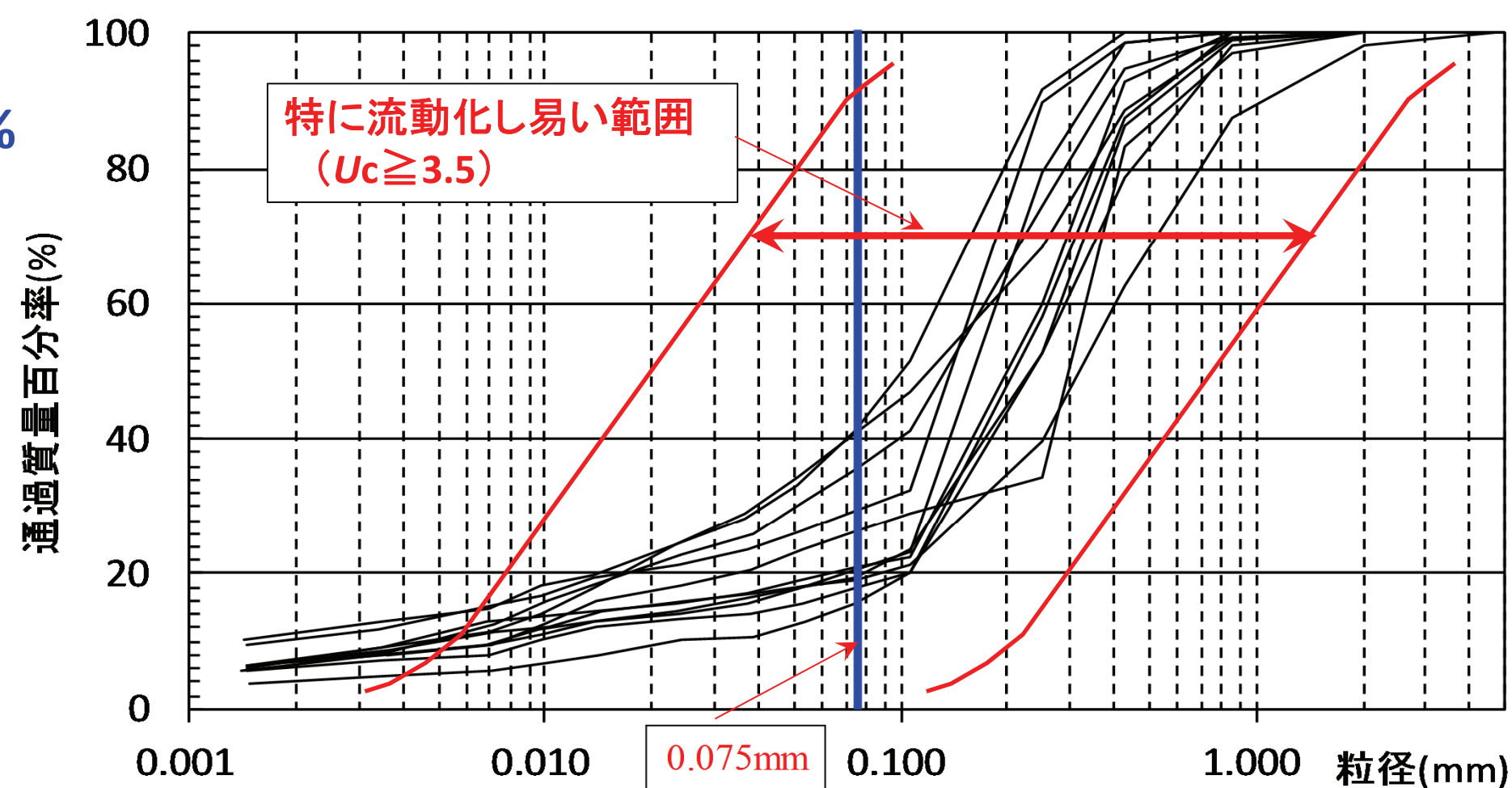


図-6 当該地の沖積砂質土層の粒径加積曲線