

締切掘削時の複合遮水層の評価手法

国土交通省 正会員 松山 隆雄 永岡 勝典
日本道路公団 正会員 ○川口 真史
エイトコンサルタント 正会員 藤村 孝二 工藤 健雄

1.はじめに

都市部の高規格道路や鉄道駅部のような大断面の構造では、開削工法が主に採用されるが、大深度化に伴い盤膨れが問題となることが多い。このため地下水の豊富な都市部では、地下水低下工法による地盤沈下の周辺環境への悪影響をさけるため、遮水性が確保されるより深部の遮水層まで山留めを施工し、地下水を遮断する対策を行う例が多い。しかし、不必要に深い山留めを施工することは将来にわたって地下水流動阻害を生じさせることになる。そこで本報文では、山留め壁を極力短くすることを目的に、比較的透水性の低い中間層(複合地盤)を遮水層として、浸透流解析を用いて安全性を検証する工法を提案する。

2.中間遮水層の遮水性能

本計画地盤では、図-1、表-1 に示すように、盤膨れ対策のための確実な遮水層は Dc4 層である。しかし、Dc4 層に山留め壁を貫入すると壁長は約 55m にも達することになり、経済性もさることながら地下水流動阻害の面でも問題となる。そこで、本計画では中間に位置する Dc3、Dc3' 層が複合遮水層として適合しないかどうか検証することとした。このため、Ds3 層を揚水する多孔式揚水試験結果(透水量係数、貯留係数、漏水係数)により水理解析を行ったところ、本層全体の透水係数は $9.63 \times 10^{-6} \text{cm/sec}$ となり、遮水層としての候補となり得ると判断した。しかし、完全遮水層の定義を表-2 と考えると多くの項目で適合しない上、遮水層の連続性(局部漏水)が懸念されたため、本計画では浸透流解析を用いて安全性を検証することとした。

表-2 完全遮水層の定義(案)

透 水 係 数	$k_{20}=1 \times 10^{-5} \text{cm/sec}$ 以下
細粒分含有率	$FC \geq 70\%$
電 気 検 層	$\rho a \leq 50 \Omega \cdot \text{cm}$
平 均 N 値	$10 \leq N \leq 30$
層 厚	$D \geq 3.0 \text{m}$

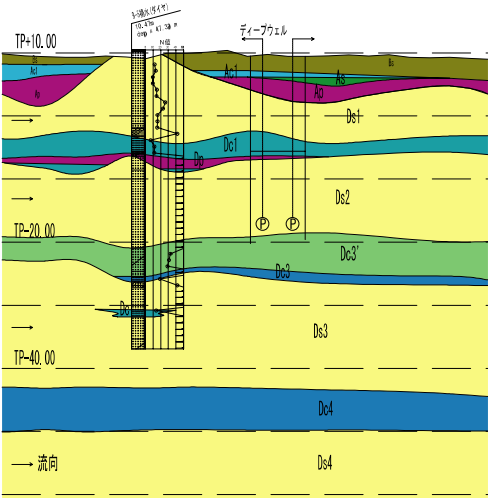


図-1 地層概要図

表-1 地層の概要(代表値)

地層	圧縮指数	地下水位	透水係数 cm/s
Ac	$C_c=0.46$	---	---
Ap	$C_c=4.20$	---	---
Ds1	---	TP+9.18	2.0×10^{-3}
Dc1	---	---	1.0×10^{-6}
Ds2	---	TP+5.10	3.0×10^{-3}
Dc3	---	---	3.0×10^{-4}
Dc3'	---	---	1.5×10^{-5}
Ds3	---	TP+3.91	3.0×10^{-3}

3.許容地下水位低下量と浸透流解析手法

本計画での地下水変動による影響（液状化、井戸枯れ、圧密沈下、既存構造物、湧水、植生等）は、広域的平面浸透流解析（準三次元解析、平面二次元解析）等により、高有機質土（Ap）の圧密沈下が支配的となる。ここで、許容圧密沈下量は関係機関との調整により 2cm と定められ、図-2 に示すように過圧密領域の水位低下量の 1/2 と正規圧密領域の水位低下量の和をもって許容地下水位低下量とした。よって、Ap 層の圧密沈下量と Ds2 層の許容地下水位低下量との相関を連続観測結果から重回帰式により求め、許容地下水位低下水位を TP-2.26m (Ap 層 許容低下水位 TP+5.21m) と設定した。また、解析手法は、締切り底部からの被圧地下水の鉛直涵養が問題となることから、軸対称浸透流解析を行うこととした。なお、局部漏水が懸念されることから、複合遮水層の等価透水係数を 10^{-3} 、 10^{-4} 、 10^{-5}cm/sec の 3 段階で検証する。

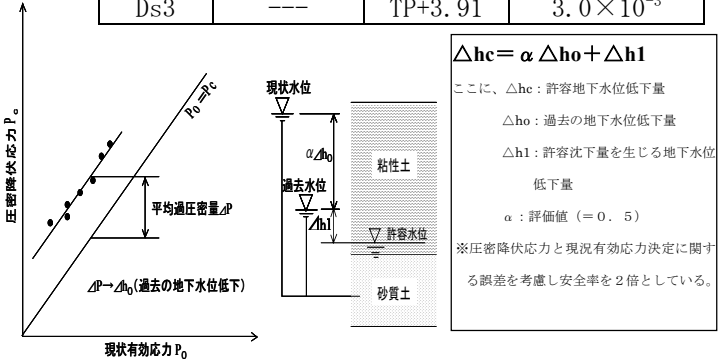


図-2 圧密沈下による許容地下水位低下

$$\Delta h_c = \alpha \Delta h_o + \Delta h_1$$

ここに、 Δh_c ：許容地下水位低下量
 Δh_o ：過去の地下水位低下量
 Δh_1 ：許容沈下量を生じる地下水位低下量
 α ：評価値（＝0.5）
※圧密降伏応力と現有効応力決定に関する誤差を考慮し安全率を2倍としている。

4.解析結果

各掘削底面水位（内部水位）と複合遮水層の等価透水系数の関係は図-4 のようになり、掘削底面下に水位を低下させるためには、全体で $0.6 \sim 0.8 \text{ m}^3/\text{min}$ 程度の揚水が必要となることがわかる。

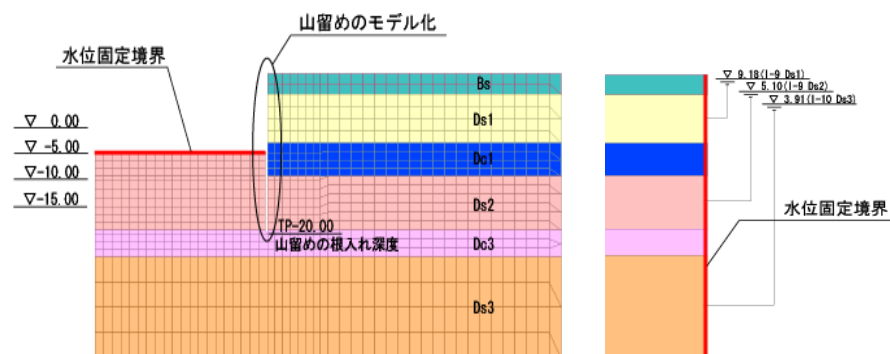


図-3 境界水位の設定とモデル図

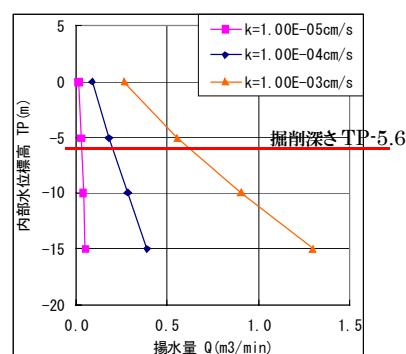


図-4 Dc3 層の透水系数、揚水量、内部水位

ここで、大野らの方法による算定式と揚水試験により確認された限界実流速により、揚水による個々の粒子の移動を検証すると、図-5 に示すとおり限界実流速以下となり、浸透による目詰まり現象等の問題は生じない。また、山留め背面水位（外部水位）と揚水量との関係は図-6 のとおりであり、最大の 10^{-3} cm/sec のオーダーで $0.78 \text{ m}^3/\text{min}$ が許容最大揚水量となる。その揚水量に対する内部水位は、図-7 により算定すると掘削底面下である $\text{TP} \sim 8.0 \text{ m}$ 程度となる。以上の解析より、本計画の場合は、多少の遮水層の不連続が生じて、周辺環境への影響を抑えながら、底盤安定のための所定の地下水位低下が可能であり、遮水層に適合すると判断した。

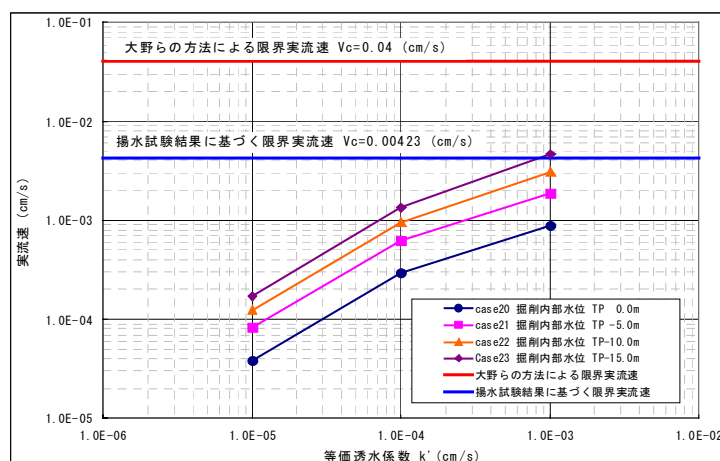


図-5 実流速と限界実流速

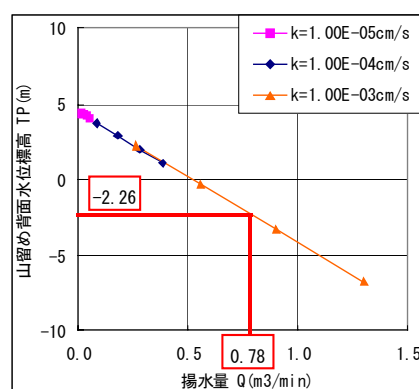


図-6 外部水位と揚水量

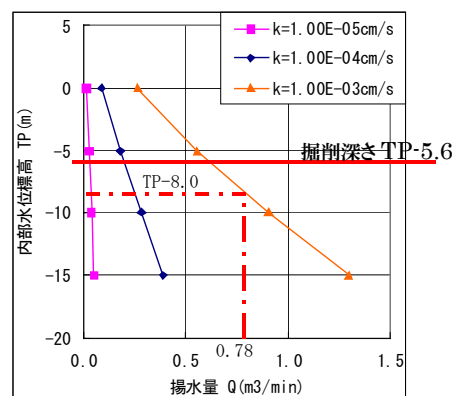


図-7 内部水位と揚水量

5.ディープウエル施工時の提案

本計画では水平涵養ではなく鉛直涵養の把握が必要不可欠であり、予備揚水試験、段階揚水試験、連続揚水・回復試験を山留め施工後掘削施工前に実施することで確実な掘削が可能となる。特に、適正揚水量は一般に限界揚水量の $0.7 \sim 0.8$ で決定されるが、本計画段階ではその判定が非常に難しいため、複合層からの鉛直涵養量如何では適正揚水量を変化させる必要がある。つまり、揚水時の内部水位はディープウエルの揚水量と漏水量のバランスにより変化すると考えられ、確認試験を反映させたウエルの運転管理が重要となる。さらには、揚水量と外部水位との関係を把握するために、Ap 層地下水位を間隙水圧計等により直接観測することも重要である。

6.おわりに

多くの場合、浅い位置に完全遮水層が連続して存在することは稀であり、局部漏水が問題となる。このため、深い山留めの採用や地盤改良による盤膨れ対策をやむなく採用することが多い。本報文ではこのような状況において、複合地盤を複合遮水層として評価する手法について提案を行った。また、今後の施工による結果をもとに逆解析等を行いながら、環境面や経済性においてより適合する手法へと改善していく所存である。

キーワード: 盤膨れ、地下水流動阻害、許容地下水位低下量、浸透流解析、確認試験

連絡先: 〒261-0014 千葉県千葉市美浜区若葉二丁目 9 番 3 号 TEL.043-350-3348 FAX.043-350-3326