

火山灰質盛土の地盤改良対策における地下水流動解析の適用

札幌市建設局 正会員 ○佐々木 将仁, 須志田 健
水文企画 渡辺 修

復建技術コンサルタント 正会員 佐藤 真吾

札幌市建設局 正会員 山本 淳司, 藤永 壮毅, 櫻井 英文

1. はじめに

平成 30 年北海道胆振東部地震により発生した札幌市清田区里塚地区の地盤被害の主要因は、傾斜盛土地盤の弱層部における液状化に伴う地中の土砂流動であると考えられた¹⁾²⁾。札幌市では被災市街地の復旧に際し、再発防止対策工として、地盤改良工及び地下水排除工を選定し³⁾、平成 31 年 4 月より対策工事を進めている。

火山灰質土の谷埋め盛土造成地である当地区においては、地盤改良による地盤の固化の影響により、難透水の改良体が地下水流を遮断し、地下水位の堰上げ、いわゆるダムアップ現象の発生が懸念された。

本稿では、里塚地区の再発防止対策工の検討過程において実施した、三次元浸透流解析を用いた地下水位の堰上げに対する検討の概要を報告する。

2. 解析条件（モデル形状、境界条件、水理定数等）

地下水位の堰上げ発生の可能性、その影響範囲や程度等を検討するため、三次元地下水流動モデルを構築し解析を行った。モデルイメージを図-1 に示す。モデル作成に必要な条件の取得を目的として、表-1 に示す調査を実施し、各調査結果を整理の上、表-2 に示す地層区分毎に水理定数を設定した。モデル範囲は里塚地区の地下水流動を特徴付けていると考えられる旧地形や河川流域を考慮の上、図-2 に示す範囲（面積＝218,800 m²）とした。次に境界条件（想定地下水涵養量 2mm/日、三里川暗渠への地下水排水、その他周囲からの地下水出入り無し）を踏まえた上で、図-3 に示す実測地下水位の再現性を検証しながら、透水係数の最良の組み合わせを探索する試算を行った。以上の手順により得た最も再現性の高いモデルの地下水位分布を図-4 に示す。

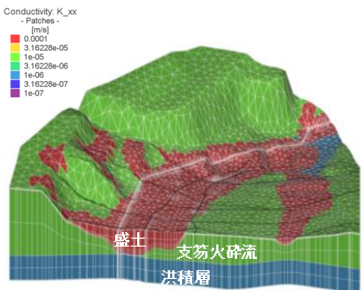


図-1 三次元解析モデルイメージ

表-1 解析条件取得の為の調査

調査項目	調査対象数量、目的条件等
地下水位観測	ボーリング孔当初37箇所 +追加9箇所(地下水位変動観測)
地質調査	標高(現地形、旧地形) 地下水集水域(三里川流域面積)
既往地形資料収集	地下水流動量
三里川流量実測	地下水涵養量÷基底流出高
三里川区間湧水量の測定	地盤改良区間の地下水流入量 ÷流動阻害を受ける地下水流動量
地下水検層	追加B-9箇所 流動層の鉛直分布

表-2 地層区分毎の水理定数

水理地質区分	透水係数 (m/sec)	
	水平方向k _h	鉛直方向k _z (原則k _h の1/5)
盛土	1.0×10 ⁻⁵	2.0×10 ⁻⁶
地山(支笏火砕流)	5.0×10 ⁻⁶	1.0×10 ⁻⁶
地山(洪積層)	5.0×10 ⁻⁷	1.0×10 ⁻⁷
旧氾濫原、旧水路周辺	5.0×10 ⁻⁴	1.0×10 ⁻⁵
三里川BOX(暗渠河川)	2.0×10 ⁻²	1.0×10 ⁻⁷ (暗渠側面のみ流入)

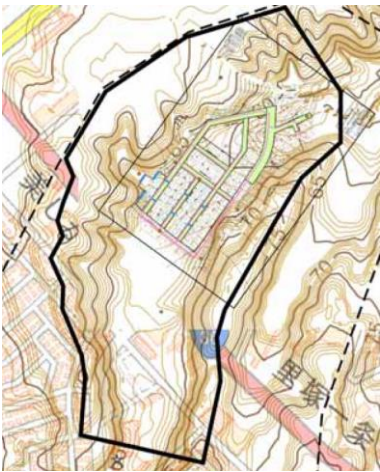


図-2 モデル範囲

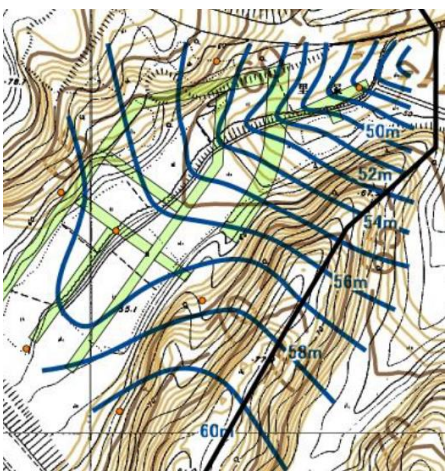


図-3 実測地下水位分布

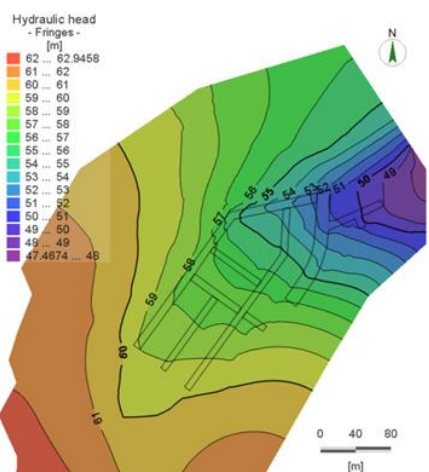


図-4 再現地下水位分布

キーワード 地下水, ダムアップ, 浸透流解析, 地盤改良, 谷埋め盛土, 火山灰質土

連絡先 〒060-8611 札幌市中央区北1条西2丁目 札幌市建設局市街地復旧推進室 TEL011-211-2390

なお、モデルの再現性を高める上で、特に地盤改良施工箇所(図-2 及び図-3 に示す道路及び道路に囲まれた街区)近傍の再現地下水位を実測地下水位に近付けるよう繰り返し計算を行った。結果として、それら検証対象箇所に関するモデル再現水位と実測水位の最小二乗誤差が、実測地下水位分布幅の 5%程度に収まっていることから、施工の影響による地下水位変動の傾向や範囲を評価する上で妥当なモデルであるとした。

3. 解析結果（施工に伴う地下水位変化予測）

前述のモデルを用い、表-3 に示す各ケースにおける対策工施工に伴う地下水位の変化予測を実施した。対策工のうち、道路部及び宅地部における地盤改良は、対策前地下水位以深の盛土層に対し固化を行うものである。また、地下水排除工は、道路部改良体の直上（対策前地下水位の位置）に、開削により排水用暗渠管を敷設し地下水排除を行いつつ、管周りを碎石層に置換するものである。対策工区分毎の水理定数を表-4 に示す。排水対策を併用せずに、道路部及び宅地部の地盤改良のみを行うケース①及びケース②では、難透水の改良体による地下水流遮断の影響により、最大で 3m を超える地下水位の堰上げが起こる解析結果となった。

このうち、地下水位上昇量が最大となるケース②における地下水位上昇量の分布（施工前図-4 との差分）を図-5 に示す。地盤改良箇所の上流側（図中の左下側）で大きく水位が変化し、最大で 3.9m 程度の上昇となった。

次に、実際の対策内容と同様の、道路、宅地及び公園における地盤改良に加え、道路の地盤改良箇所に排水用暗渠管を敷設し、排水対策を併用したケース④の施工後地下水位上昇量の分布を図-6 に示す。排水対策を併用することで、地下水位の上昇は概ね 50cm 程度に収まる結果となった。

表-3 各解析ケースと地下水位上昇量		
No.	解析ケース	地下水位 上昇量
ケース①	深層混合処理工(道路)施工, 排水対策無し	最大3.2m
ケース②	深層混合処理工(道路),薬液注 入工(宅地)施工,排水対策無し	最大3.9m
ケース③	深層混合処理工(道路)施工, 排水対策有り	最大0.6m
ケース④	深層混合処理工(道路),薬液注 入工(宅地)施工,排水対策有り	最大0.6m

表-4 対策工区分毎の水理定数

対策工区分	透水係数(m/sec)	
	水平方向k _h	鉛直方向k _z
深層混合処理(道路)	1.0×10 ⁻⁸	1.0×10 ⁻⁸
薬液注入(宅地)	1.0×10 ⁻⁷	1.0×10 ⁻⁷
碎石置換(公園,暗渠周り)	5.0×10 ⁻⁴	5.0×10 ⁻⁴

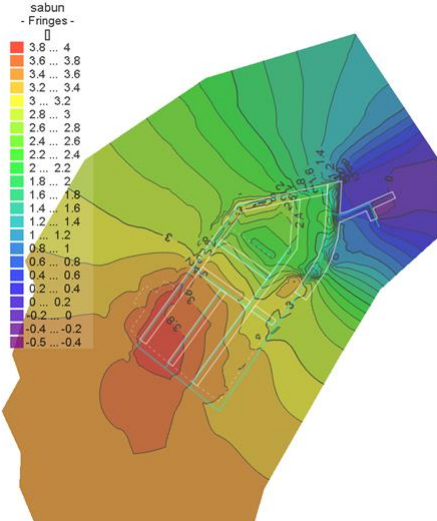


図-5 地下水位上昇量分布
(ケース②)

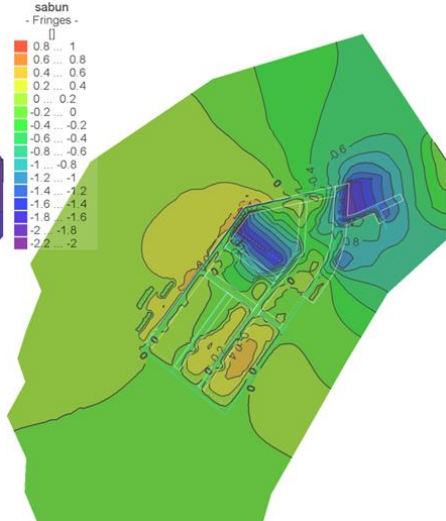


図-6 地下水位上昇量分布
(ケース④)

4. おわりに

里塚地区では、本解析結果に基づき、地盤改良工と地下水排除工の詳細設計を進め、対策工事を行っている。対策工事では、暗渠管設置箇所（改良体の直上）の関係上、一部を除き暗渠管敷設に先行して地盤改良工事を施工しており、一時的に地下水位の堰上げが確認されている。これらの予測解析結果と実際の堰上げ量の傾向は概ね一致しており、施工前の検討過程のみならず、現場条件に応じた施工時の検討においても適用性が示された。

谷埋め盛土など特に集水地形で地下水位以深の地盤改良にあたっては、固化等による難透水の改良体が地下水流を遮断するなど、排水対策を行わない場合、ダムアップによる周辺地下水位の堰上げが生じる可能性がある。その影響は、条件次第で、液状化強度に影響を及ぼすような大きな上昇にもなり得る。対策工事による周辺地下水位の変化を浸透流解析により予測することは、詳細な対策工の配置や施工順序などの検討に有効であると考えられる。

参考文献

1) 地盤工学会：平成 30 年北海道胆振東部地震による地盤災害調査団最終報告書，pp.20-54，2019。
2) 佐々木将仁，渡部要一，川尻峻三，櫻井英文，須志田健：北海道胆振東部地震における札幌市清田区里塚地区の市街地の復旧について，地盤工学会北海道支部技術報告集 第 60 号，pp.139-148，2020。
3) 佐々木将仁，須志田健，後藤雄平，佐藤真吾，渡部要一，山本淳司，藤永壮毅，櫻井英文：札幌市清田区里塚地区における再度災害防止対策，第 55 回地盤工学研究発表会，京都，2020。