

平成 30 年 5 月 31 日現在

機関番号：14501

研究種目：基盤研究(B) (一般)

研究期間：2015～2017

課題番号：15H02993

研究課題名(和文) 豪雨による都市型複合地盤災害軽減のための学際研究

研究課題名(英文) Interdisciplinary research for urban flood mitigation against heavy rain

研究代表者

澁谷 啓 (SHIBUYA, SATORU)

神戸大学・工学研究科・教授

研究者番号：00206153

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 13,900,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、実在する都市をモデルケースとして、雨水浸透施設の設置場所選定のために、[1]3次元地形・地盤モデルの構築、[2]表層地盤の不飽和浸透特性の把握、[3]広域地下水流動解析の実施と結果の定量的評価、[4]雨水浸透適地マップの作成、という一連の流れに沿った地盤調査・解析手法を提案している。広域地下水流動解析により、広域に亘る地下水位の変動をうまく表現できること、雨水浸透適地マップに基づいて浸透施設を計画的に配置することにより、地盤災害のリスク低減が可能となること、等が分かった。

研究成果の概要(英文)：In this study, case study as such is described for a model city in Hyogo Prefecture. First, a 3-D stratigraphy model near ground surface was established based on the existing borehole data, a total of 432. Second, the water-retention characteristics of unsaturated surface soil above the ground water level were measured by performing in-situ infiltration test. Third, the 3D seepage flow analysis by considering these characteristics was carried out, and the results were evaluated by comparing the predicted ground water level against the field observation. Finally, a map for rainwater infiltration is proposed. It was manifested that the accuracy and reliability when predicting the fluctuation of ground water level were greatly enhanced by considering water retention characteristics of surface ground. Furthermore, any risk for secondary geo-hazards will be greatly reduced by installing seepage facilities based on the proposed map.

研究分野：地盤安全工学・防災学

キーワード：都市型水害軽減 3次元広域地下水流動解析 雨水浸透適地マップ 水災害 液状化

1. 研究開始当初の背景

過去に観測された時間雨量・日雨量の最大値を大幅に上回る記録的な局地的豪雨が頻発している。このような降雨特性の劇的な変化に伴い、都市部での浸水被害が全国で多数報告されている。背景として、都市部での道路舗装や建物の密集化により、雨水浸透面積が減少しているため、雨水が地盤に浸透できずに直ちに低地へ流出することによって浸水被害をもたらす。このような浸水被害を緩和するための対策として、雨水浸透枡を宅地内や道路側溝に設置して地盤内への雨水浸透を積極的に促進する方法がある。しかし、雨水浸透枡を設けることによって地盤内地下水が過剰に上昇すれば、傾斜地の不安定化、地震時の液状化、等の市民生活の場である都市地盤への悪影響を誘起しかねない。それで、浸透施設の設置にあたっては、地下水位上昇による二次的な地盤災害を誘起しないよう、適地/不適地を区別する必要がある。

2. 研究の目的

本研究では、雨水浸透施設設置場所の選定の合理化のため、兵庫県内に実在する都市(以下、A市)の全域を対象として、[1] ボーリングデータを用いた3次元地形・地盤モデルの構築、[2] 現場注水試験による表層地盤の不飽和浸透特性の把握、[3] 広域地下水流動解析の実施と結果の評価、[4] 雨水浸透適地マップの作成、という一連の流れに沿った地盤調査・解析手法を新たに提案し、その有用性および一般性について検討した。

3. 研究の方法

3.1 3次元地形・地盤モデルの構築

一般的な地形情報(GISデータ)に加え、約432箇所の既存のボーリングデータを活用して、GIS情報と地盤ボーリング情報を融合した3次元地形・地盤モデルを構築した。このモデルは、雨水浸透の対象となる表層地盤の複雑な地層構成を反映したことが特徴である。

3.2 表層地盤の不飽和浸透特性の把握

既存の地下水位観測孔を利用して、地盤工学会基準JGS1314「ボーリング孔を利用した透水試験方法」に準じた現場注水試験を行った。不飽和状態にある表層部に水分計および間隙水圧計を埋め込み、注水時および脱水時それぞれの負の間隙水圧(サクション)～体積含水率(水分量)関係、即ち、水分特性曲線を測定した。この結果を解析プログラムに反映することにより、地下水流動解析における表層地盤の保水性を反映した。

3.3 広域地下水流動解析の実施と結果

A市全域を対象として、一連の室内土質試験・原位置試験・現地計測のすべての結果を反映した広域地下水流動解析を実施した。この数値シミュレーションでは、降雨時の地盤浸透水が地下水位の変動に及ぼす影響を検討した。降雨特性として、A市で過去に浸水

被害が確認された平成元年の降雨および年間平均降雨を外力とした地下水流動解析を実施した。市内複数箇所における過去の地下水位変動記録と解析結果を総合的に比較検討し、解析モデルの妥当性および一般性を検証した。

3.4 雨水浸透適地マップの作成

広域地下水流動解析結果に基づき、降雨時に地下水位の上昇が大きいと予想される地域や降雨による浸透水が地中に残留する時間が長い地域を特定し、雨水浸透に対して適地および不適地を選定して雨水浸透適地マップの作成を行った。

3.5 飽和・不飽和土の液状化特性の把握

砂質土試料を用いた室内液状化強度試験では、現場条件を勘案し、低拘束条件下での飽和・不飽和地盤の液状化特性を把握した。

表-1 各地層に設定した透水係数

Layer	地層色	地層区分	透水係数
			$k_{x,y,z}$ [m/s]
1		表層土(中粒砂)	7.2×10^{-5}
2		礫	2.0×10^{-4}
3		砂質シルト	1.0×10^{-6}
4		砂質粘土	1.0×10^{-8}
5		中粒砂	2.8×10^{-5}
6		シルト	1.0×10^{-6}
7		粘土	1.0×10^{-8}
8		シルト質砂	2.8×10^{-5}
9		粘土	1.0×10^{-8}
10		粘土質砂	2.8×10^{-5}
11		粘土	1.0×10^{-8}
12		砂	2.8×10^{-5}
13		砂質粘土	1.0×10^{-8}
14		粘土質砂	2.8×10^{-5}
15		粘土	1.0×10^{-8}
16		粘土質砂	2.8×10^{-5}
17		粘土	1.0×10^{-8}

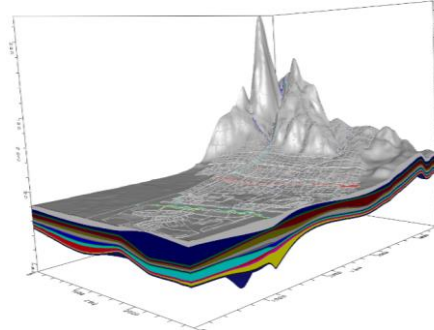


図-1 3次元地形・地盤モデル

4. 研究成果

4.1 3次元地形・地盤モデル

都市部における水害防災のデータとして利用されている5mメッシュ数値標高モデルを用い、3次元表層モデルを構築した。

3次元地盤モデルを構築するにあたって、解析エリアの地質構造を把握することが不可欠である。そこで、HGAを用いて1次元ボーリングデータを2次元・3次的に視覚化した。具体的な手順として、まず、HGAに全432本のボーリング情報(土質分類、層厚、地下水位など)を入力する。その際、ボーリ

ング柱状図に記載されている通りに土質分類を入力すると膨大な数の土質分類になるため、土質分類を簡略化した(表-1)。

一方、ボーリング柱状図からそれぞれ地層境界の標高を読み取り、地層と地層の境界面を作成した。これをボーリング最深部まで行い、2つの境界面で囲まれた領域を地層と認識させ、その領域に透水係数などのパラメータを設定することで地盤のモデル化を行った。得られた全17層から成る3次元地盤モデルを図-1に示し、各層の土質分類を表-1に示している。

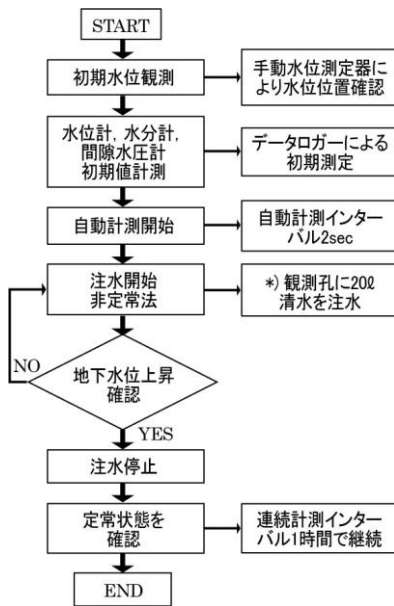


図-2 現場注水試験の概略フローチャート

4.2 水位観測孔を利用した現場注水試験

a) 地下水観測孔設置の概要

○公園内とDポンプ場内の2地点で、水位観測孔を利用した現場注水試験を行った。○公園内では、既存の地下水観測孔を活用して注水試験を実施するとともに長期の地下水変動を観測した。一方、Dポンプ場内には地下水観測孔が設置されていなかったため、ボーリングにより注水試験と地下水水位変動をモニタリングするための地下水観測孔を新たに設置した。

b) 現場注水試験の概要

初期に不飽和状態にある砂質地盤の透水特性を求めた。注水による浸透飽和化の過程を、表層の不飽和地盤内に設置した水分計及び間隙水圧計を用いて観測した。この試験により求めた不飽和透水特性を、地盤モデルのパラメータとして、雨水浸透解析に反映させる。地盤工学会基準JGS 1314「ボーリング孔を利用した透水試験方法」に準じた手順で試験を実施した。図-2に注水試験のフローチャートを示す。本試験の目的は、不飽和地盤内に水が浸透する過程(wetting過程)および乾燥過程(drying過程)での含水量(飽和度)と間隙水圧の関係、すなわち水分特性曲線を求めることにあるため、注水量そのものは参考値である。

c) 現場注水試験の結果

図-3は、間隙水圧計と水分計から得られたデータを用いて作成した水分特性曲線である。浸透パラメータの同定方法については後述するが、両地点での水分特性曲線は似通っていたため、Dポンプ場のdrying過程でのデータを用いて解析に必要なパラメータを決定した。

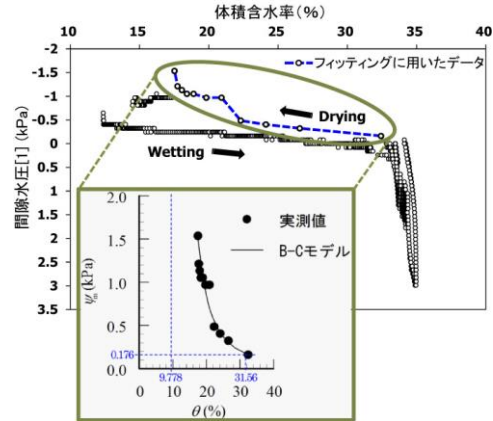


図-3 水分特性曲線の同定方法 (Brooks-Coreyモデル)(Dポンプ場のデータ)

4.3 不飽和浸透パラメータの同定

水分保持曲線と不飽和透水係数は、不飽和土中の水分移動特性に影響を及ぼす重要な物性値である。不飽和土中の水分移動を推定するためには、水分保持曲線と不飽和透水係数の水分移動特性を適切な水分移動特性モデル(hydraulic property model)で与える必要がある。体積含水率 θ と間隙水圧 ψ_m の関係を表す水分保持曲線は、これまでに様々なモデルが提案されている(Brooks & Corey (1964)¹⁾, van Genuchten (1980)²⁾, Campbell (1987)³⁾, Kosugi (1994)⁴⁾。一般的には、水分保持曲線の実測値に対してモデルを適合してモデルパラメータと同定する^{5), 6)}。現場注水試験結果を適用した広域地下水流動解析には、有限差分モデルであるGMSを使用した。解析における水分特性曲線は、ヒステリシスを無視し、現場注水試験の結果(排水過程の主曲線)からBrooks & Corey (1964)の式¹⁾によりフィッティングして式(1)を得た(図-3参照)。

$$S_e = \frac{\theta - \theta_r}{\theta_s - \theta_r} = \left(\frac{\psi_{me}}{\psi_m} \right)^\lambda = \frac{\theta - 9.778}{31.56 - 9.778} = \left(\frac{0.176}{\psi_m} \right)^{0.484} \quad (1)$$

ここで、 S_e : 有効飽和度、 θ : 体積含水率、 θ_s : 飽和体積含水率、 θ_r : 残留体積含水率、 ψ_{me} : 空気侵入値、 λ : 無次元パラメータ(間隙径分布指標)である。

以下の式(2)は、Burdineモデル⁷⁾を用いて得られた不飽和透水係数モデルの式である。

$$k = k_{ws} S_e^{\xi + 1 + 2/\lambda} = k_{ws} \left(\frac{\psi_{me}}{\psi_m} \right)^\xi = k_{ws} \left(\frac{\psi_{me}}{\psi_m} \right)^{3.452} \quad (2)$$

ここで、 k_{ws} : 飽和透水係数、 ξ : Brooks-Corey指数、 ξ : 無次元のパラメータ(Burdineモデルを用いた不飽和透水係数の推定には通常Burdineが提示した $\xi=2$ の関係が用いられる)である。

また、式(1)のように Brooks-Corey 指数(ϵ)が求められる。この Brooks-Corey 指数(ϵ)3.452 を表-3 に示すように不飽和浸透パラメータとして GMS の UZF1 package に入力して広域地下水流動解析を行った。

4.4 解析条件

a) 浸透パラメータ

地下水流動解析には、流動モデルにおいて個々のグリッドセルに対して透水係数や比貯留係数などの浸透パラメータが必要となる。本解析では、文献調査により得られる土質分類ごとの一般的な透水係数^{8),9)}を設定した(表-1 参照)。

また、[1] 同一の層の透水係数は一様、[2] 飽和度による透水係数の変化を考慮しない、[3] 透水係数の異方性はない、の3つを仮定した。また、透水係数以外の浸透パラメータは、現場観測データが得られなかったため、解析対象領域全域でそれぞれ一様であると仮定し、全ての層に同一の値を設定した(表-2 参照)。

表-2 設定した浸透パラメータ

比貯留率 S_s [1/m]	比産出率 S_y	有効間隙率 P_{eff}	全間隙率 P_{tot}
1.0×10^{-5}	0.2	0.15	0.3

表-3 不飽和浸透パラメータの一覧表

指標	数値
Brooks-Corey 指数	3.452
飽和含水比 (m^3/m^3)	0.3156
初期含水比 (m^3/m^3)	0.2
浸透率 (m/d)	0.0004
蒸発散要求率 (m/d)	0.0001
蒸発散収束深さ (m)	1.0
蒸発散収束含水比 (m^3/m^3)	0.1002

b) 初期条件

本解析では、解析対象領域の常時の地下水位を初期条件として地下水流動解析を実施した。ちなみに、今回の解析では、現場観測データが得られなかったため、表-3 に示す Brooks-Corey 指数以外の浸透パラメータは、GMS に設定されている初期設定値を用いた。

c) 降雨条件

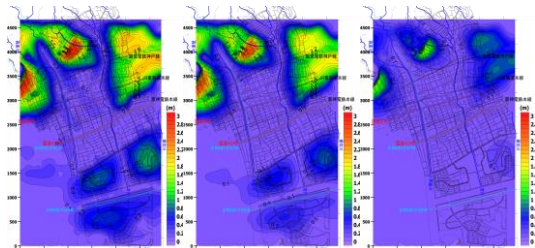
降雨条件として、2002 年から 2011 年までの 10 年間の A 市での年間降水量の平均値 1239.4 mm/year を解析対象領域全域に均等に 1 年間降らせた。

4.5 解析結果および雨水浸透適地・不適地マップの作成

図-4 は、降雨終了直後、1 ヶ月後、6 ヶ月後の各段階における、地下水位の変化量 ΔH ($\Delta H = H - H_0$) のコンター図である。

解析結果から東部の平坦部は降雨によって地下水位が変化しやすい地域であり、南部の埋立地は降雨により上昇した地下水位が初期状態へと復元するまでの時間が相対的に遅くなることが分かる。

浸透適地の選定基準として表-4、また浸透不適地は、表-5 に示す選定基準を適用した。浸透施設を設置する地盤は、浸透に伴う水位の上昇ができるだけ小さく、またその影響が速やかに解消されることが望ましい。一般に透水性が高い地盤では汲み上げ時や注水時の水位変化は小さいが、地下水位の変化は透水性のみならず地層構成にも依存する場合があるため、透水性のみを判断基準とすることは適切ではないと考えられる。このため、領域全体の地下水位分布を求めた上で、降雨浸透に伴う地下水位の応答を判断基準としている。この基準の根拠となる降雨終了直後および 1 ヶ月経過後の地下水位変化量は、図-4 を参照されたい。



(a) 降雨直後 (b) 1 ヶ月後 (c) 6 ヶ月後
図-4 降雨による地下水位変動量の経時変化 (ΔH)

表-4 浸透適地の選定基準

区分	選定基準の主な内容
最適地	降雨終了直後の時点で、降雨による地下水位の変動がほとんどない区域
適地	降雨終了後 1 ヶ月の経過時点で、降雨により上昇した地下水位が 100% 消散する区域
準適地	降雨終了後 1 ヶ月の経過時点で、降雨により上昇した地下水位が 100% 消散する区域 地下水位の上昇が最大地下水位上昇高 (ΔH_{max}) の 50% 未満

表-5 浸透不適地の選定基準

区分	選定基準の主な内容
浸水地	過去の浸水履歴地
浸透不適地	不適地 地下水位の上昇が最大地下水位上昇高 (ΔH_{max}) の 75% 以上 または、降雨中止後 6 ヶ月経過しても降雨前の状態に戻らない
	要検討地 地下水位の上昇が最大地下水位上昇高 (ΔH_{max}) の 50% 以上

一方、浸透不適地は、図-4 の解析結果に表-5 に示す選定基準を適用した。図-5 は、解析結果および表-4 と表-5 を踏まえて作成した浸透適地・不適地区分図である。ちなみに、図-5 に示す白色の地域は適地と要検討地の中間にあるとの判断から「準適地」とした。準適地は、降雨終了後 1 ヶ月の経過時点で、降雨により上昇した地下水位が 100% 消散する区域であり、降雨に伴う地下水位の上昇が最大地下水位上昇高 (ΔH_{max}) の 50% 未満となる区域である。即ち、準適地は、地下水位の消散速度の傾向は適地に準じるが、地下水位の上昇量は適地より約 0.2~0.7m 程度高い。

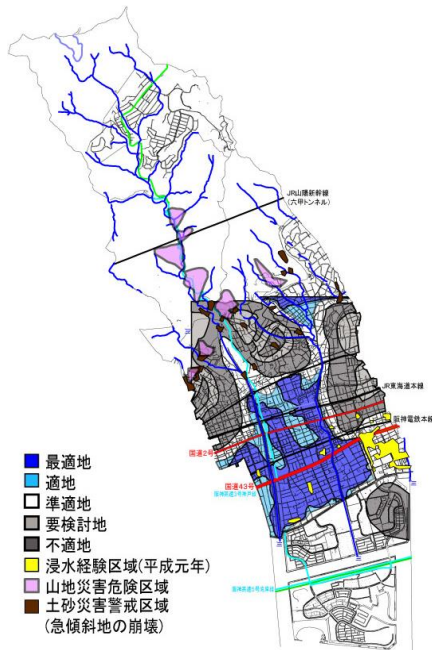
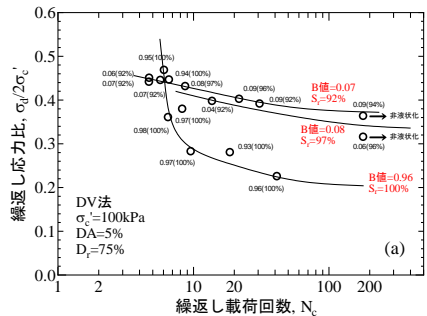
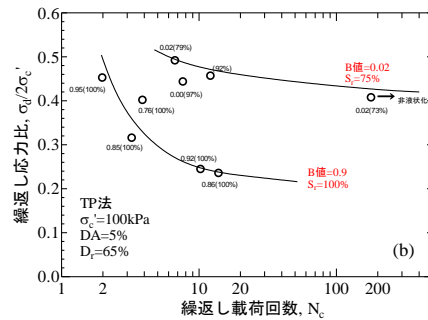


図-5 浸透適地および不適地の区分図



(a)DV法



(b)TP法

図-6 液状化試験結果

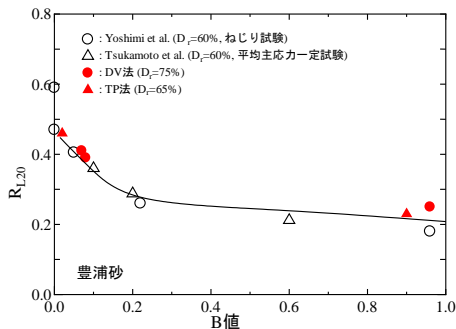


図-7 液状化強度と B 値の関係

4.6 飽和・不飽和土の液状化特性の把握 A市における地盤の液状化特性を把握する

研究の一環として、砂質土試料を用いて室内液状化強度試験を実施した。飽和状態に近い不飽和地盤を単に非液状化層と言ってしまうのか、その判断のためにも不飽和土の液状化特性について検討する必要がある。不飽和土の液状化特性を求める際には、平均主応力一定での繰返し三軸試験や繰返しねじりせん断試験などが行われている。しかし、応力条件としては適切ではないが、指標試験としての側圧一定の繰返し非排水三軸試験から不飽和土の液状化特性を評価可能であれば、複雑な試験を行う必要が無く利便性も高まる。

そこで、本研究では通常の側圧一定の繰返し非排水三軸試験を不飽和土に対して行い、平均主応力一定試験やねじり試験結果と比較して、その適用性を検討した。

試験に用いた試料は、豊浦砂 ($\rho_s=2.655\text{g/cm}^3$, $e_{\max}=0.968$, $e_{\min}=0.621$) である。供試体の作製には2種類の方法を用いた。一つは乾燥砂を漏斗を用いてモールド内に堆積させた後、電動バイブレータで締め固める乾燥振動法 (DV法) である。もう一つは予め含水比を調整した湿潤試料をモールド内で15層で突き固めて作製するタッピング法 (TP法) である。供試体の相対密度 D_r は DV法では75%、TP法は65%とした。供試体寸法は、直径70mm、高さ150mmである。用いた試験装置は通常の繰返し三軸試験装置で、繰返し非排水三軸試験は JGS0541 に従って行った。

飽和・不飽和での液状化強度を比較するために、DV法およびTP法で作製した供試体に対して行った液状化試験結果を図-6に示す。飽和供試体の液状化強度に対して、不飽和供試体の液状化強度は飽和度が低下することによって急激に液状化強度が増加するが、飽和度が95%程度以下に低下すると飽和度の違いによる液状化強度の変化が少なくなった。また、繰返し载荷中は飽和供試体では繰返し载荷とともに有効応力がゼロまで低下し変形が卓越するが、不飽和供試体では有効応力が低下せず伸張側に徐々に変形することによりせん断破壊を生じ、破壊形式が異なった。図-7は、本研究結果とねじり試験を行った Yoshimi ら¹⁰⁾、平均主応力一定試験を行った Tsukamoto ら¹¹⁾の結果を B 値と R_{L20} の関係で比較したものである。本研究結果のデータ数が少ないが、既往の研究結果とほぼ一致しており、側圧一定の繰返し三軸試験からも不飽和土の液状化強度をある程度は評価可能といえる。

4.7 結論

- ・ GIS 情報と地盤ボーリング情報を融合した3次元地形・地盤モデルを構築した。このモデルの特徴として、一般的な地形情報 (GIS データ) に加え、約432箇所の既存のボーリングデータを活用していること、雨水浸透の対象となる表層地盤の複雑な地層構成を反映したこと、の2点が挙げられる。

- ・ 水位観測孔を利用した現場注水試験により、地下水面より上部の不飽和状態にある表層

部に雨水が浸透した場合の不飽和浸透特性を評価した。表層の不飽和地盤内で土壌水分および間隙水圧の両方を測定し、表層部の水分特性曲線を求め、これを浸透解析モデルに適切に反映した。

・上記で得られた不飽和状態にある表層地盤の不飽和浸透特性を考慮した広域地下水流動解析を実施した結果、解析結果は市内 27 箇所に点在する既往の地下水位観測データと良く一致した。地下水変動推定精度の向上のためには、表層部の不飽和浸透特性を正しく評価し、解析に適切に反映することの重要性が確認できた。

・広域地下水流動解析結果に対して、降雨直後の地下水位の上昇量と地下水位の消散速度の 2 点に着目した基準を設けることにより、浸透適地・不適地マップを提案した。既往の地下水変動を考慮せず、地盤ボーリングデータおよび地形の情報のみに基づく浸透評価手法と比較して、本手法では、降雨による地下水の変動傾向を評価して地盤の浸透評価を行うため、地盤災害のリスク低減を斟酌した判定結果が得られる。本報告書で述べた提案法には十分な一般性があり、他都市における同様な雨水浸透施設の設置計画策定のための利用が期待できる。

今後、降雨による地下水の変動傾向と浸透施設が発揮し得る性能との関係を明確にした浸透評価基準について精査する必要がある。

参考文献

- 1) Brooks, R. H. and Corey, A. T. : *Hydraulic Properties of Porous Media*, Hydrol. Pap. No. 3, Colorado State Univ., Fort Collins, 1964.
- 2) van Genuchten, M. Th.: A closed-form equation for predicting the hydraulic conductivity of unsaturated soils, *Soil Science Society American Journal*, Vol. 44, pp. 892-898, 1980.
- 3) Campbell, G. S.: パソコンで学ぶ土の物理学 (中野政詩, 東山勇監訳), 鹿島出版会, 東京, 1987.
- 4) Kosugi, K.: Three-parameter lognormal distribution model for soil water retention, *Water Resour. Res.*, Vol. 30, pp. 891-901, 1994.
- 5) 坂井勝, 取出伸夫: 水分保持曲線と不飽和透水係数の水分移動特性モデル, 土壌の物理性, 111 号, pp. 61-73, 2009.
- 6) (社)地盤工学会: 不飽和地盤の挙動と評価, 2004.
- 7) Burdine, N. T.: Relative permeability calculations from pore-size distribution data, *Trans. Am. Inst. Min. Metall. Pet. Eng.*, Vol. 198, pp. 71-77, 1953.
- 8) 公益社団法人 地盤工学会: 地盤材料試験の方法と解説, 丸善出版事業部, p.450, 2009.
- 9) 地下水ハンドブック編集委員会: 地下水ハンドブック, 建設産業調査会, pp.75-76, 2009.
- 10) Yoshimi et al. (1989): Liquefaction resistance of a partially saturated sand, *S&F*, 29(3), 157-162.
- 11) Tsukamoto et al. (2002): Resistance of partly saturated sand to liquefaction with reference to longitudinal and shear wave velocities, *S&F*, 42(6), 93-104.

5. 主な発表論文等

[雑誌論文] (計 6 件)

- ① 澁谷啓, 西岡孝尚, 鏡原聖史, 南部啓太, 白濟民: 関西地方の斜面・造成地などにおける特色ある地域地盤特性: 阪神地域を例として, 基礎

工, Vol.45, No.5, pp.7-12, 2017, 査読有

- ② 田中悠暉, 川尻峻三, 橋本聖, 川口貴之, 中村大, 山下聡: 締固め度を変化させた盛土の降雨による崩壊形態と実効雨量, 土木学会論文集 C (地圏工学), Vol.73, pp.276-281, 2017, 査読有
- ③ 三鍋佑季, 川尻峻三, 川口貴之, 中村大, 山下聡: 締固めた砂質土の X 線 CT スキャンから得たサクシオンおよび配位数と力学特性の相関, 土木学会論文集 A2 (応用力学), Vol.71, No.3, pp.I_497-I_507, 2016, 査読有.
- ④ Kataoka, S., Shibuya, S., Kawaguchi, T., Kawajiri, S. and Wakamoto, T. : Evaluating deformation and liquefaction properties of sandy ground from in-situ and laboratory tests, Japanese Geotechnical Society Special Publication (The 15th Asian Regional Conference on Soil Mechanics and Geotechnical Engineering), Vol.7, pp.327-330, 2016, 査読有.
- ⑤ 澁谷啓, 白濟民, 齋藤雅彦: 雨水浸透施設の適地マップ作成のための地盤調査・解析法, 土木学会論文集 C 分冊 (地圏工学), Vol.71, No.4, pp.380-394, 2015, 査読有.
- ⑥ 川尻峻三, 布川修, 太田直之: 亀裂が散水時の模型盛土内の水分挙動に及ぼす影響, 土木学会論文集 C 分冊 (地圏工学), Vol.71, No.3, pp.204-217, 2015, 査読有.

[学会発表] (計 2 件)

- ① 白濟民, 許晋碩, 李俊憲, 片岡沙都紀, 澁谷啓: 既存の住宅造成地盤における地震時の液状化被害可能性予測に関する事例研究, 第 52 回地盤工学研究発表会, pp.1629-1630, 2017, 査読無.
- ② 白濟民, 許晋碩, 橋本真基, 小畑博之, 齋藤雅彦, 齋藤学, 澁谷啓: 都市型水害軽減のための雨水浸透枳の設置効果の評価, 第 50 回地盤工学研究発表会, pp.947-948, 2015, 査読無.

6. 研究組織

(1) 研究代表者

澁谷 啓 (SHIBUYA, Satoru)
神戸大学・大学院工学研究科・教授
研究者番号: 00206153

(2) 研究分担者

齋藤 雅彦 (SAITO, Masahiko)
神戸大学・大学院工学研究科・助教
研究者番号: 40283915
片岡 沙都紀 (KATAOKA, Satsuki)
神戸大学・大学院工学研究科・助教
研究者番号: 50552080
川口 貴之 (KAWAGUCHI, Takayuki)
北見工業大学・地球環境工学科・准教授
研究者番号: 20310964
川尻 峻三 (KAWAJIRI, Shunzo)
北見工業大学・地球環境工学科・助教
研究者番号: 80621680

(3) 連携研究者:

鳥居 宣之 (TORII, Nobuyuki)
神戸市立工業高等専門学校・都市工学科・准教授
研究者番号: 70294246