

機関番号：11301

研究種目：研究活動スタート支援

研究期間：2009～2010

課題番号：21860008

研究課題名（和文） 降雨による谷埋め盛土地盤の水分分布の変化予測手法の開発

研究課題名（英文） The development of change forecast technique of moisture distribution for the filled-valley ground

研究代表者

森 友宏 ( MORI TOMOHIRO )

東北大学・大学院工学研究科・助教

研究者番号：40552394

研究成果の概要（和文）：地盤内の礫・空隙の混入率，および細粒部の乾燥密度が土の水分特性に及ぼす影響を明らかにするために，大型アクリル円筒を用いた不飽和浸透実験を行った．実験より，礫・空隙の混入が土の水分特性曲線の形状に及ぼす影響は小さく，細粒部の乾燥密度の影響は大きい事が明らかとなった．また，土に空隙を混入させた場合，土が不飽和のうちには水分の浸透速度が小さくなった事から，不飽和地盤に水が浸透する時には，水は空隙を通るのではなく，細粒部を通る事が明らかとなった．

研究成果の概要（英文）：The unsaturated seepage experiment which used large scale acrylic column was performed to clarify influences that the mixing rate of gravel and of void and the dry density of fine fraction exert on the soil water character. As a result, it was shown that the influence about the shape of soil water characteristic curve was little on the mixing rate of gravel and of void, and large on the dry density of fine fraction. Then, the water seepage velocity of unsaturated soil became small when voids were mixed with soil. Therefore it was shown that water passed through not void but fine fraction when water infiltrated in the unsaturated ground.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2009 年度	1,080,000	324,000	1,404,000
2010 年度	980,000	294,000	1,274,000
年度			
年度			
年度			
総計	2,060,000	618,000	2,678,000

研究分野：地盤工学

科研費の分科・細目：工学・地盤工学

キーワード：土の水分特性，不飽和土，浸透

## 1. 研究開始当初の背景

2006 年（平成 18 年）9 月 30 日に、「宅地造成等規制法の一部を改正する法律」が施行され，大地震発生時に大規模な被害が生じる危険性のある宅地を「造成宅地防災区域」として指定し，宅地所有者等に対して安全の為に必要な対策を講じるよう，勧告および改善命令を行うこととなった．しかし，造成宅地

防災区域の指定を行うためには，指定区域が大地震時に崩壊が発生する蓋然性を明確にし，地震対策工の手法とその効果について具体的な基準を示す事が求められている．

過去の被災事例から，大規模盛土造成地の谷埋め盛土は大地震時に被害を受けやすい地形として挙げられているものの，谷埋め盛土の全てが大地震時に被害を受けるわけで

はなく、盛土の材質、密度、形状、地下水位、盛土内の水分状況によって地震時に被害を受ける危険性は大きく変化する。だが、現状では谷埋め盛土地盤の地震時の危険性を定量的に評価する手法は開発されていない。

以上の事を踏まえて、研究代表者は谷埋め盛土地盤の地震時安定性の評価手法の開発を行うために、2006年からこれまで、盛土の水分特性を考慮した谷埋め盛土斜面の地震応答に関して研究を行ってきた。しかし、応募者が行った谷埋め盛土地盤の不飽和浸透流解析から求めた盛土内の飽和度分布や不飽和土の透水係数は、原位置観測による観測データとは傾向が異なる部分が見受けられた。これは、実際の谷埋め盛土地盤には多くの礫分や空隙が含まれているにも関わらず、浸透流解析に用いる土の水分特性は礫分を取り除いたふるい分け試料を用いた試験で求められている事が影響していると考えられる。また、谷埋め盛土の三次元形状が地下水移動に及ぼす影響を考慮できていない事も要因の一つであると考えられた。

## 2. 研究の目的

降雨による谷埋め盛土地盤内の水分分布の経時変化を予測するために、地盤内の礫・空隙の混入率、および細粒部の乾燥密度が不飽和土の水分浸透特性に及ぼす影響を明らかにする。

## 3. 研究の方法

本研究では、内径 0.2 m、高さ 2.2 m の大型アクリル円筒を用いた不飽和浸透試験を行った。試験には宮城県仙台市内の大規模造成宅地の谷埋め盛土の土を用いた。試験は礫分を除いた粒径 2 mm 以下の砂分のみのケースと粒径 9 mm～粒径 53 mm の礫分を混入したケース、そして空隙を混入したケースについて行った。試験供試体は、高さ 2.2 m、直径 0.2 m のアクリル円筒に試料を入れて突固めを行い作成した(写真-1)。また、混入した空隙を写真-2 に示す。空隙要素は、3 mm × 3 mm の穴の開いた樹脂製のネットに切込みを入れてサイコロ状に整形して作成した。供試体の作成にあたって、2 mm 以下の砂分の乾燥密度を制御した。供試体内の飽和度の経時変化を計測するため、G.L. = -1.9 (No. 1)、-1.7 (No. 2)、…、-0.1 m (No. 10) に土壤水分計 (Decagon 社製 EC-5) を設置した。

不飽和浸透試験は以下の手順で行った。試験ケースの詳細は表-1 に示す。

### Step1: 下方からの吸水

図-1-1) のように土柱の下端を地下水面と仮定し、サクシヨンのみによる下方からの吸水を行った。この過程の最終状態から水分特性曲線の主吸水曲線を求めた。

### Step2: 上方からの降雨の入力

供試体の上方より水を滴下し、不飽和土に水を浸透させた。この過程は、乾燥状態から降雨を浸透させた時の水の不飽和浸透の様子を観察するために行った。

### Step3: 飽和透水試験

図-1-3) のように供試体の下から上へ水を透水させ、上部から排水を行った。ここでは飽和透水速度を求めた。

### Step4: 下方からの排水

飽和透水試験によって供試体全体が飽和した状態から、上部は大気開放として下方から排水を行った。この過程の最終状態から水分特性曲線の主脱水曲線を求めた。

### Step5: 上方からの降雨の再入力

降雨条件は Step2 と同様。湿潤状態の供試



写真-1  
不飽和浸透試験装置



写真-2  
試験に使用した空隙

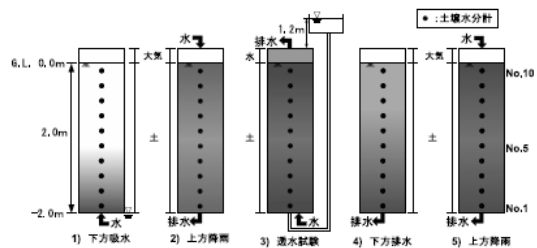


図-1 試験手順の模式図

表-1 試験ケース

	土の種類 (体積比)	砂分の乾燥密度 (g/cm <sup>3</sup> )	降雨強度 (mm/h)
case1	砂 (100%)	1.05	10
case2	砂+礫 (80%:20%)	1.05	10
case3	砂+空隙 (80%:20%)	1.05	3
case4	砂+礫 (80%:20%)	1.20	0.75~3

体に降雨を入力する事により、乾燥状態の供試体への水の浸透との違いを観察した。

#### 4. 研究成果

図-2 に、Step1, Step4 より得られた各ケースの飽和度分布を示す。この図は縦軸を水頭によるサクションと読み替えれば水分特性曲線と同様のものと考えられる。Case3 では、乾燥した砂分に空隙を混入すると、空隙内に砂分が多量に侵入してしまうため、砂分の初期飽和度を約 20% に設定することで侵入を防いだ。図-2 を見ると、砂分の乾燥密度が  $1.05 \text{ g/cm}^3$  である Case1, Case2, Case3 では、水分特性曲線にさほど大きな違いは見られない。つまり水分特性曲線の形状に礫・空隙の影響は受けないと言える。一方、砂分の乾燥密度が  $1.20 \text{ g/cm}^3$  である Case4 は、同じ礫分混入の Case2 と比べて主吸水曲線が地表面側にシフトし、さらに主排水曲線も高飽和度側にシフトしている。これは砂分の密度の増加に伴い水分を保持する力が大きくなったと考えられる。土の水分特性曲線の形状は、砂分の乾燥密度の影響を受けていることがよくわかる。

図-3, 図-4, 図-5, 図-6 は各ケースの飽和度の時刻歴を示したものである。Case1, Case2, Case3 を比べると、飽和度の時刻歴は礫分や空隙分に関わらず似た形状となっているのが分かる。砂分の乾燥密度の違う Case4 を見てみると、一度飽和度が上昇するとそのまま長時間高飽和度を維持した形状となっている。

表-2, 表-3 は G.L. -0.9m での各ケースの乾燥降雨過程、飽和排水過程における飽和度の時間変化率 ( $dS_r/dt$ ) を表したものである。また、図-7, 図-8 は表-2, 表-3 をグラフにして示したものである。図-7 を見ると、低飽和度状態から高飽和度状態へ移行する乾燥降雨過程においては、砂分中の礫・空隙が水の浸透の障害となって浸透速度に影響を与えていることが分かる。つまり、水

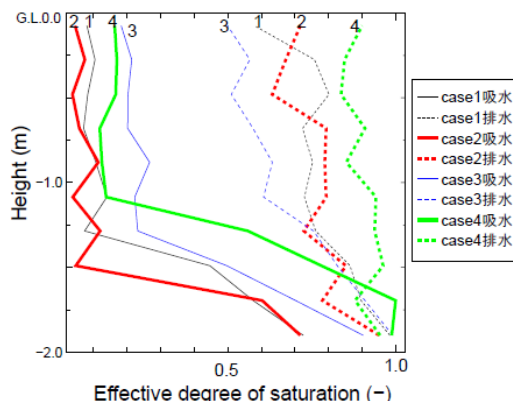


図-2 飽和度の高さ分布

はそのほとんどが砂分中を移動し、浸透していくと考えられる。一方、高飽和度状態から低飽和度状態へ移行する飽和排水過程においても、礫・空隙が水の浸透の障害となって

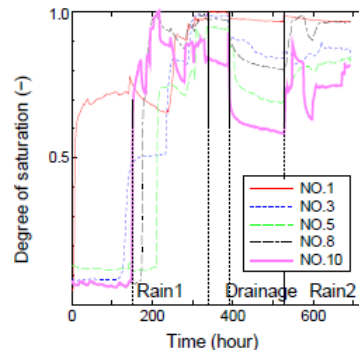


図-3 飽和度変化時刻歴 (Case1)

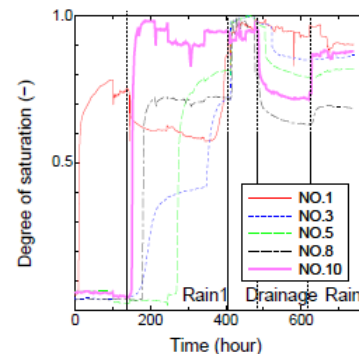


図-4 飽和度変化時刻歴 (Case2)

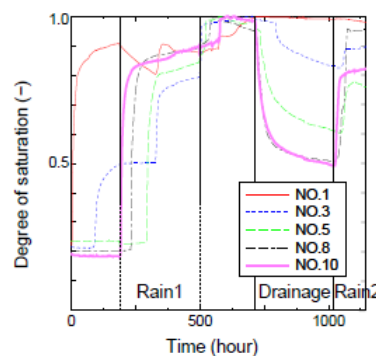


図-5 飽和度変化時刻歴 (Case3)

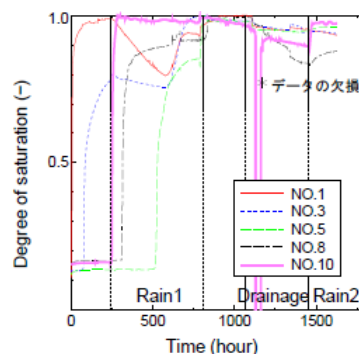


図-6 飽和度変化時刻歴 (Case4)

いることがわかる。飽和排水における飽和度変化速度は、乾燥降雨過程とは異なり、同じ砂分乾燥密度では礫>空隙となっている。これは、飽和状態では空隙内に水が充満しているため水の絶対量が多く、飽和度が低下しにくいからであると考えられる。また、砂分の乾燥密度を大きくすると、乾燥降雨過程、飽和排水過程共に浸透速度はさらに遅くなっている。これは砂分が密になったことで土粒子の間に水が浸入しにくくなったためである。

表-2 飽和度の時間変化率 (Step2)

飽和度	乾燥降雨過程 (/sec) G.L.-0.9 m			
	0.2	0.4	0.6	0.8
case1	$1.40 \times 10^{-2}$	$1.55 \times 10^{-2}$	$1.38 \times 10^{-2}$	$2.54 \times 10^{-3}$
case2	$3.04 \times 10^{-3}$	$2.15 \times 10^{-3}$	$3.56 \times 10^{-4}$	-
case3	$3.81 \times 10^{-3}$	$3.94 \times 10^{-3}$	$6.49 \times 10^{-4}$	$1.27 \times 10^{-4}$
case4	$1.28 \times 10^{-3}$	$1.34 \times 10^{-3}$	$1.12 \times 10^{-4}$	$4.80 \times 10^{-5}$

表-2 飽和度の時間変化率 (Step4)

飽和度	飽和排水過程 (/sec) G.L.-0.9 m			
	0.8	0.85	0.9	0.95
case1	$7.77 \times 10^{-5}$	$4.85 \times 10^{-4}$	$2.84 \times 10^{-3}$	$2.74 \times 10^{-3}$
case2	$4.86 \times 10^{-5}$	$6.47 \times 10^{-5}$	$1.39 \times 10^{-3}$	-
case3	$4.75 \times 10^{-5}$	$1.11 \times 10^{-4}$	$1.11 \times 10^{-4}$	$6.65 \times 10^{-4}$
case4	-	$1.60 \times 10^{-4}$	$4.80 \times 10^{-5}$	$4.80 \times 10^{-5}$

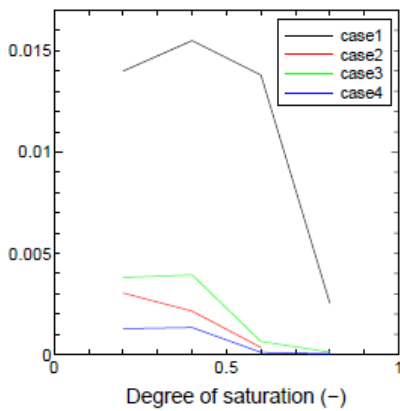


図-7 飽和度の時間変化率 (Step2)

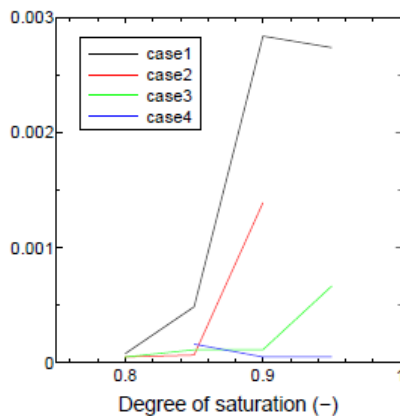


図-8 飽和度変化時刻歴 (Case1)

本研究より得られた知見を以下に示す。

(1) 土の水分特性曲線の形状は、地盤内の細粒部分の密度にのみ強く依存し、地盤内の礫・空隙が土の水分特性曲線の形状に及ぼす影響は小さい。

(2) 不飽和地盤に水が浸透する場合、水は地盤内の細粒部分を伝って浸透していくため、地盤内の礫・空隙は浸透の妨げとなる。排水に関しても同様の傾向が見られた。

(3) 地盤全体としての透水速度を主に支配するのは、地盤内の細粒部分の密度である事が実験より明らかとなった。

## 5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[学会発表] (計 5 件)

① T. Mori, K. Sasaki, M. Kazama, R. Uzuoka : The soil water characteristic curve considered hysteresis and the case study of analysis for reproducing the unsaturated seepage experiment, 4th Japan-Taiwan Joint Work Shop, Sendai, Japan, pp.91-100, 2010/10/25. (査読無)

② 森友宏, 佐々木航平, 渦岡良介, 風間基樹 : ヒステリシスを考慮した土の水分特性モデルと不飽和浸透実験の再現解析事例, 平成 22 年度不飽和土研究会論文集, pp. 33-40, 仙台, 2010/9/25. (査読無)

③ 佐々木航平, 森友宏, 風間基樹 : 礫分を含む土の不飽和浸透実験の再現解析事例, 平成 22 年度不飽和土研究会論文集, pp. 27-32, 仙台, 2010/9/25. (査読無)

④ 佐々木航平, 森友宏, 風間基樹, 渦岡良介 : 土柱法による礫分を含む土の水分特性に関する研究, 第 45 回地盤工学研究発表会, pp. 909-910, 松山, 2010/8/19. (査読無)

⑤ 佐々木航平, 風間基樹, 渦岡良介, 森友宏 : 土の水分特性のヒステリシスを考慮した地表面付近の土中水分移動の再現, 土木学会平成 21 年度東北支部技術研究発表会, CD-ROM, III-22, 仙台, 2010/3/6. (査読無)

## 6. 研究組織

(1) 研究代表者

森 友宏 (MORI TOMOHIRO )  
 東北大学・大学院工学研究科・助教  
 研究者番号 : 40552394

(2) 研究分担者

( )

研究者番号 :

(3) 連携研究者

( )

研究者番号 :