

水圧入力に対する砂層中の間隙水圧の過渡的応答 (第1報)

實渕 哲也*

Transient Response of Pore-Water Pressure under the Water Pressure Inputs in Sand Layers (No.1)

By

Tetsuya JITSUFUCHI*

**National Research Institute for Earth Science and Disaster Prevention*

Abstract

Experimental results of pore-water pressure responses under step-type and pulse-type water pressure inputs in sand layers are shown. The pore-water pressure responses of a saturated sand and an unsaturated sand with high degree of saturation (>87.8%) are investigated. Both of the sands responded dynamically against the inputs of water pressure. The responded fluctuations of pore-water pressure were attenuated and shifted in phase along the paths of propagations. Under the step-type water pressure inputs, the amplitudes of the pore-water pressure were higher in the unsaturated sand than in the saturated sand.

キーワード：間隙水圧 (Pore-water pressure), 過渡応答 (Transient response)

1. はじめに

斜面崩壊の発生時には、斜面土層中の間隙水圧の挙動が重要なファクターになる。例えば、斜面土層中の間隙水圧は、崩壊発生の直前に急激に上昇することが報告されている (Moriwaki, 1993; 日浦他, 1993)。また、この間隙水圧は、主に斜面土層の急速なせん断変形にともなない発生し、過剰間隙水圧となって斜面の有効応力を減少させ、斜面が流動化し崩壊することも指摘されている (Iverson and Lahusen, 1989)。この他にも、佐々 (1986) は広範囲の実際の自然斜面が一気に崩壊した現象を、急速な載荷による非排水載荷状態で発生する過剰間隙水圧にもとづき説明している。

*防災科学技術研究所 先端解析技術研究部 先端測定技術開発研究室

一般には、過剰間隙水圧は土粒子の負のダイランシーにより、せん断変形中の間隙に発生し、それにより土粒子の有効応力が減少し、土層はせん断変形に対する抗力を失い流動化すると説明されている(石原, 1976)。しかし、斜面崩壊において、瞬間的な崩壊発生の要因としての、せん断変形と過剰間隙水圧との相互作用には不明な点が多い。本研究では、この機構解明のために間隙水圧の伝達特性、特に過渡的な動特性を明らかにする目的で実験的検討を行った。

本実験では、せん断変形と過剰間隙水圧との相互作用の解明には、まず土粒子間隙中を伝わる水圧の把握が重要であると考え、土粒子間隙構造を破壊することなく(せん断変形を加えず)、供試土槽へ水圧入力を与えることで過剰間隙水圧を発生させ、その伝達特性を調べた。対象として、耐圧性のパイプ中の砂(飽和砂, 不飽和砂)を用い、その両端での間隙水圧変動を測定した。水圧入力は、ステップ状水圧入力、パルス状水圧入力を加え間隙水圧の過渡的な応答を測定し動特性を調べた。耐圧性のパイプ中の砂について、周期的な圧力入力に対する間隙水圧の定常的な応答測定は、井上(1975)により行われており、本実験ではこの既往の結果との関係も確認した。

2. 実験装置

実験装置の模式図を図1に示す。以下、機能別にブロックに分け、その機構の概要を説明する。

2.1 入力圧力発生ブロック (Input pressure generate block)

このブロックは、供試土槽(TT)に加える圧力を発生させる。まず、ダイヤフラム式圧力ポンプで圧力タンク(Pressure tank)(容量50ℓ)に空気圧を蓄える。圧力設定は0.0 kgf/cm²から4.0 kgf/cm²までの任意の圧力を0.01 kgf/cm²刻みで設定できる(1 kgf/cm²=98.067kPa)。コントローラーからの制御信号(精度10⁻⁹ sec)で電磁弁1(SV1)(応答時間10msec)を開くと同時に電磁弁2(SV2)(応答時間10msec)を閉じ圧力タンク(Pressure tank)内の空気圧を、圧力バッファタンク1(T1)(塩ビ製, JIS5k VP100, Φ100mm×1000mm, 容量7.85ℓ)に加える。圧力バッファタンク1(T1)には、測定項目に応じて一定量の脱気水をいれ、圧力タンク(Pressure tank)から送られた空気圧を水圧に変換し、供試土槽(TT)に水圧変動を発生させる。制御信号がない状態では、電磁弁1(SV1)は閉、電磁弁2(SV2)は開の状態にある。電磁弁2(SV2)にはバックプレッシャー設定タンク(T2)がつながれており、圧力バッファタンク1(T1)にバックプレッシャーとして作用させる空気圧を0.0 kgf/cm²から1.0 kgf/cm²まで設定することができる(供試土槽(TT)には圧力バッファタンク1(T1)の水柱も静水圧として作用している)。以下では、バックプレッシャー設定タンク(T2)が0.0 kgf/cm²の場合をバックプレッシャーがない場合、バックプレッシャー設定タンク(T2)に0.0 kgf/cm²より大きな圧力を設定する場合をバックブ

(HP 8116 A)からなる。コントローラーからの制御信号でファンクションジェネレータは一定時間の電磁弁 (SV 1) (SV 2) 駆動用矩形パルスを発信し電磁弁 1, 2 (SV 1) (SV 2) を駆動する。すべての動作はコントローラーで制御される。

2.5 データ収集ブロック (Data collecting block)

このブロックは、3台のA/Dコンバータ(絶縁入力型, 最大サンプリング速度 250 kHz)とコントローラーからなる。電磁弁(SV 1) (SV 2)駆動用矩形パルス, 水圧センサー 1 (S 1), 2 (S 2)の電圧出力がそれぞれのA/Dコンバータで同時サンプリングされ、一旦バッファメモリに格納される。バッファメモリがフルになるとデータはコントローラーのハードディスクに格納される。すべての動作はコントローラーで制御される。

3. 供試試料

実験用供試土には風乾した鹿島産川砂をフルイで分級し粒径 2 mm-425 μm としたものを使用した。その諸特性を表 1 に、粒径加積曲線を図 2 に示した。

表 1 供試土の諸特性

Table. 1 Characteristics of experimental sand-grains

Type	Grain Size (mm)		Dry Density (g/cm ³)	Coefficient of Permeability (cm/sec)
	2.000-0.850	0.850-0.425		
Sand	2.3 (%)	97.7 (%)	1.59	0.107

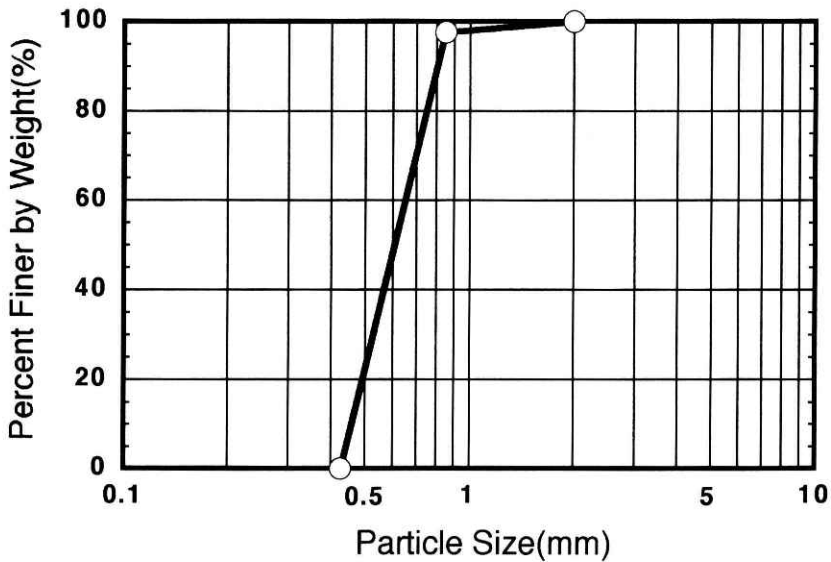


図 2 供試土の粒径加積曲線

Fig. 2 The grain size accumulation curve of experimental sand-grains

4. 実験項目と実験方法

実験は、脱気水のみ、飽和砂、不飽和砂の3つの場合について、各々、ステップ状、およびパルス状の圧力入力を加え、水圧センサー1 (S1)、2 (S2) の応答を測定した。飽和砂、不飽和砂に加えた圧力変動は、先に示した Moriwaki (1993) や落合ら (1991) の実験で観測された間隙水圧変動と同程度の大きさ (1 kPa-10 kPa) とした。

4.1 観測される信号と圧力入力の発生方法

電磁弁1 (SV1)、電磁弁2 (SV2) の駆動により圧力タンク (Pressure tank) の圧力は圧力バッファタンク1 (T1) 中の空気層、脱気水層、および供試土槽 (TT) 中の試料層に加えられる。すなわち観測される信号は、圧力入力、空気層、脱気水層、試料層 (以下これら各々を要素と呼ぶ) からなる対象 (以下これを系と呼ぶ) に加えられた際の応答である。この系の応答は、各々の要素の量と性質により変化する。本実験では、ある一定量の空気層と脱気水層からなる系の応答が試料層 (脱気水、飽和砂、不飽和砂) の違いによりどのように変化するかに注目し観測した。

発生させた圧力入力は、ステップ状圧力入力とパルス状圧力入力である。ステップ状圧力入力は5 sec間、電磁弁1 (SV1) をON、電磁弁2 (SV2) をOFFし発生させ、系の圧力を圧力タンク (Pressure tank) の圧力と同じ大きさにし、そののち初期圧力 (バックプレッシャー) の値に解放する。パルス状圧力入力は、50 msec および 100 msec 間、電磁弁1 (SV1) をON、電磁弁2 (SV2) をOFFし発生させ、系に圧力タンク (Pressure tank) の圧力を入力し、そののち初期圧力 (バックプレッシャー) の値に解放する。これらの圧力入力は供試土層 (TT) に脱気水のみを入れた場合の水圧センサー1 (S1) の出力を目安に設定した。この系の応答は、圧力バッファタンク1 (T1) の空気層が少ないほど、ステップ状の圧力入力、パルス状圧力入力ともに振動的な波形が観測された。空気層を多くすると両者の振動特性は減少した。本実験では、非振動的圧力応答と振動的圧力応答を観測できるように圧力バッファタンク1 (T1) の空気層の量を設定した。すなわち、ステップ状の圧力入力は、圧力バッファタンク1 (T1) の上部に空気を864 cm³ 入れた状態に対し、5 sec間、電磁弁1 (SV1) をON、電磁弁2 (SV2) をOFFし発生させ、脱気水のみの場合の水圧センサー1 (S1) の出力が目標値 (圧力タンク (Pressure tank) の設定圧力) に非振動的に整定する設定とした (図3参照)。パルス状圧力入力は、圧力バッファタンク1 (T1) の上部に空気を118 cm³ 入れた状態に対し、50 msec および 100 msec 間、電磁弁1 (SV1) をON、電磁弁2 (SV2) をOFFし発生させ、脱気水のみの場合の水圧センサー1 (S1) の出力が、第1波目の振幅が大きい減衰振動波形 (数 Hz 程度) となる設定とした (図4参照)。

4.2 脱気水のみでの圧力応答測定

供試土槽 (TT) に脱気水のみをいれた状態で、ステップ状、およびパルス状の圧力入力を加え、水圧センサー1 (S1)、2 (S2) の応答を測定した。実験では供試土槽 (TT) を水平

にした場合の水平 1 次元方向の応答を測定した。脱気水は水を約 1 時間煮沸させ水中の気泡を除き、これを冷ましたものを使用した。

4.3 飽和砂の圧力応答測定

供試土槽 (TT) に飽和砂をいれ、ステップ状、およびパルス状の圧力入力を加え水圧センサー 1 (S1), 2 (S2) の応答を測定した。実験では入力端を下にして鉛直にたてた場合の鉛直 1 次元方向の応答を測定した。飽和砂は、供試砂を水浸させ約 2 時間煮沸し、その後、冷ましたものを使用した。飽和砂の充填は供試土槽 (TT) の出力端を上にし鉛直に立てて行った。供試土槽 (TT) には、あらかじめ約 10 cm ほど脱気水を入れ、小型の容器に水封した飽和砂を、供試土槽 (TT) の水中で容器から出し沈降させ充填した。こうすることで飽和砂への気泡の混入を防いだ。実験終了後、出力端の蓋をはずし Φ 100 mm, SUS 製 300 μ m メッシュのフィルターを付け透水試験を行い飽和透水係数を測定した。

4.4 不飽和砂の圧力応答測定

試料充填用圧力タンクに不飽和砂をいれ、バックプレッシャー設定タンク (T2) の圧力を 0.0 kgf/cm², 0.30 kgf/cm² (29.42 kPa) と設定した場合それぞれに対し、ステップ状およびパルス状の圧力入力を加え水圧センサー 1 (S1), 水圧センサー 2 (S2) の応答を測定した。実験では入力端を下にし、鉛直にたてた場合の鉛直 1 次元方向の応答を測定した。不飽和砂は、飽和砂として使用した供試土槽 (TT) 中の供試砂をそのまま用いた。不飽和状態は供試土槽 (TT) を鉛直にたて、上下の手動コック (MV1) (MV2) を開き飽和砂の間隙中の水を 24 時間排水し、さらに毎分 5.5 ℓ の空気を上部から下部に向け 1 時間通気させ排水した後に、脱気水を下方より浸水させ作成した。このような不飽和砂の作成は飽和砂の砂層骨格構造とほぼ同様の構造をもった不飽和砂の供試体を作成すること、および、実際の自然斜面の飽和度の状態に近づけることを考慮し行った。飽和度は供試土槽 (TT) に供試砂をいれたまま重量を測定し、飽和砂のときと不飽和砂の時の重量の違いから算定し求めた (バックプレッシャー設定タンク (T2) の圧力が 0.0 kgf/cm² の場合のみ測定した)。またバックプレッシャー設定タンク (T2) の圧力はバックプレッシャーとして不飽和砂に作用するが、水柱にして約 3 m の加圧力を設定した。この加圧力下にある不飽和砂では、バックプレッシャー設定タンク (T2) の圧力が 0.0 kgf/cm² 状態で砂層間隙中に取り込まれた気泡が、加圧とともに収縮し、その分、脱気水が流入し結果的に飽和度は高くなる。この飽和度は、圧力バッファタンク 1 (T1) の水の供試土槽 (TT) への流入量 (体積) から算定し求めた。

5. 実験結果と考察

表 2 にそれぞれの実験条件を示した。なお結果に示した間隙水圧は、各実験のバックプレッシャーを基準 (0.0 kPa) にしたものである。また測定結果の観測波形に認められる小刻みな変動 (約 \pm 0.07 kPa) は測定ノイズである。

表2 実験条件

Table. 2 Data pertaining to tests which are shown in Fig.3 through Fig.14

Test No.	Type	Input type	P (kPa)	Pi (kPa)	Ti (sec)	T (°C)	Sr (%)
1	boiled water	step	68.6	0.0	5.00	20.0	-
2	boiled water	pulse	269.7	0.0	0.05	20.0	-
3	saturated sand	step	4.9	0.0	5.00	21.0	100.0
4	saturated sand	pulse	19.6	0.0	0.05	21.0	100.0
5	saturated sand	pulse	269.7	0.0	0.05	21.0	100.0
6	unsaturated sand	step	4.9	0.0	5.00	22.0	87.9
7	unsaturated sand	pulse	58.8	0.0	0.05	22.0	87.9
8	unsaturated sand	step	34.3	29.4	5.00	20.5	89.8
9	unsaturated sand	pulse	19.6	0.0	0.10	20.5	87.9
10	unsaturated sand	pulse	49.0	29.4	0.10	20.5	89.8

P: Pressure of pressure tank
 Pi: Pressure of initial pressure setting tank
 Ti: Open time of solenoid valve
 T: Water temperature
 Sr: Degree of saturation

5.1 水の応答測定結果と考察

ステップ状圧力入力の応答結果を図3に、パルス状圧力入力の応答結果を図4に、また図5は、水圧センサー1 (S1) と水圧センサー2 (S2) の出力を同一座標面にプロットしたものである。図3より、水圧センサー1 (S1)、2 (S2) の出力は両者とも、入力圧力 (圧力タンク (Pressure tank) の設定圧力) に向かってオーバーシュートせず (行き過ぎ量なし) に整定することが読み取れる。圧力が上昇する過程で若干、波形がゆらいているが、これは圧力バッファタンク1 (T1) の上部の空気層で空気の乱れによる圧力分布が生じ、圧力タンク (Pressure tank) からの空気の流入が脈動的になっているためではないかと考えられる。また、図4より、水圧センサー1 (S1) の出力は減衰振動的波形 (5 Hz 程度) で、それが、振幅が減衰することなく、また位相が遅れることなく、水圧センサー2 (S2) でも測定された。位相が遅れていないことは、さらに図5で2つのセンサーの出力が一致していることから確認できる。以上の結果を以下にまとめる。

- ①脱気水の場合で圧力バッファタンク1 (T1) の上部に 864 cm³ の空気がある場合、ステップ状圧力入力を加えると、水圧センサー1 (S1) の出力は入力圧力に向かってオーバーシュートせずに整定した。
- ②脱気水の場合で圧力バッファタンク1 (T1) の上部に 118 cm³ の空気がある場合、パルス状圧力入力を加えると、水圧センサー1 (S1) の出力は振動的に減衰する圧力変化を示した。
- ③脱気水の場合、水圧センサー1 (S1) で観測された圧力は、振幅と位相が変化せず水

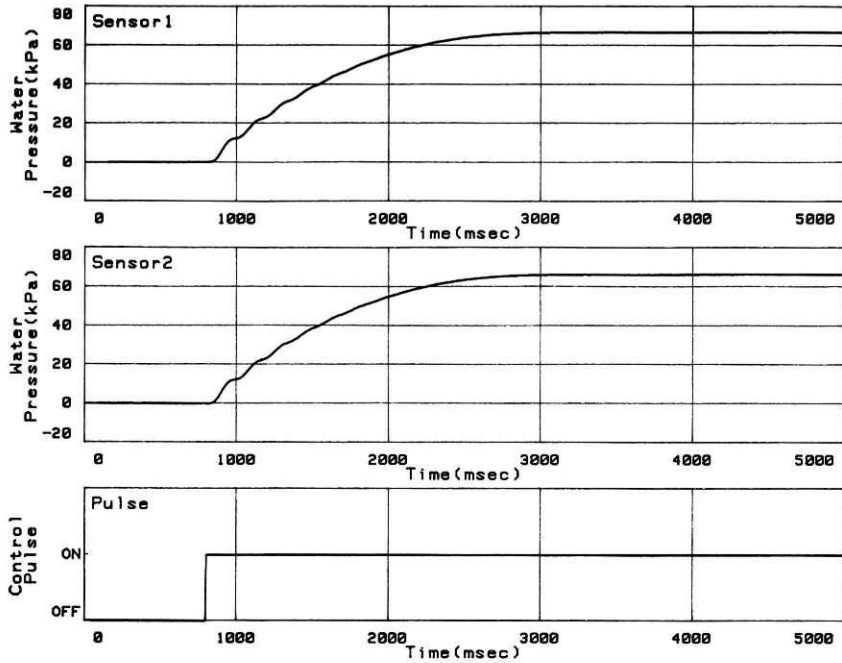


図3 ステップ状圧力入力に対する脱気水の応答, 実験番号1

Fig. 3 The response of boiled water's pressure under step-type water pressure input, Test No.1

圧センサー2 (S2) で観測された。

5.2 飽和砂の圧力応答測定結果と考察

図6にステップ状圧力入力に対する応答測定結果, 図7, 図8, 図9, 図10にパルス状圧力入力に対する応答測定結果を示した。図8, 図10は, 水圧センサー1(S1)と水圧センサー2(S2)の出力を同一座標面にプロットしたものである。図6より, ステップ状圧力入力に対しては水圧センサー1 (S1), 2 (S2) の応答はほぼ同様で, オーバーシュートせずに入力圧力に向かって整定 (整定時間約0.5秒) している。図7より, パルス状圧力入力に対しては水圧センサー1 (S1), 2 (S2) の応答は減衰振動的で, 水圧センサー2 (S2) の応答は水圧センサー1 (S1) に比べ振幅がわずかに減少し, 位相が少し遅れていることが読み取れる。位相の遅れは図8で, より明確に認められる。図9は図4の脱気水の応答と比較の為に, 脱気水に加えたパルス入力と同様の入力を飽和砂に加えた場合の測定結果である。この場合, 水圧センサー1 (S1), 2 (S2) の応答は脱気水に比べより減衰的で, 振動周期が長い減衰振動波形であることが分かる。また, 図9より水圧センサー2 (S2) の応答の振幅は水圧センサー1 (S1) に比べ減少していること, 図10より水圧センサー2 (S2) の応答は水圧

水圧入力に対する砂層中の間隙水圧の過渡的応答—實測

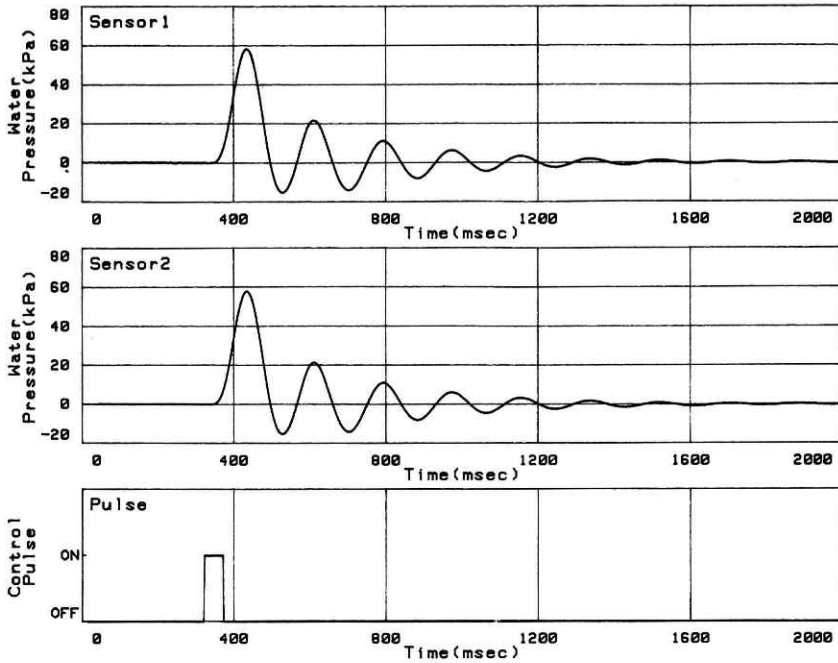


図4 パルス状圧力入力に対する脱気水の応答, 実験番号2

Fig. 4 The response of boiled water's pressure under pulse-type water pressure input, Test No.2

ンサー1 (S1) の応答に比べ位相が遅れていることが分かる。以上の結果から飽和砂層は圧力変動に対し動特性を持つと考えられる。以上の結果を以下にまとめる。

①飽和砂の場合、圧力バッファタンク1 (T1) の上部に 864 cm³ の空気がある系のステップ状圧力入力に対する水圧センサー1 (S1) の応答は、オーバーシュートせずに入力圧力に向かって整定 (整定時間約 0.5 sec) した。

②飽和砂の場合、圧力バッファタンク1 (T1) の上部に 118 m³ の空気がある系のパルス状圧力入力に対する水圧センサー1 (S1) の応答は、脱気水よりも減衰的で、振動周期が長い減衰振動波形であった。

③飽和砂の場合、水圧センサー1 (S1) で測定された減衰振動波形は、振幅が減少し、位相が遅れ水圧センサー2 (S2) で観測された。すなわち、飽和砂の一端で発生した圧力変動は減衰と位相遅れを生じ伝達されている。

5.3 不飽和砂の圧力応答測定結果と考察

得られた結果をバックプレッシャーを加えない場合とバックプレッシャーを加えた場合に分け示す。

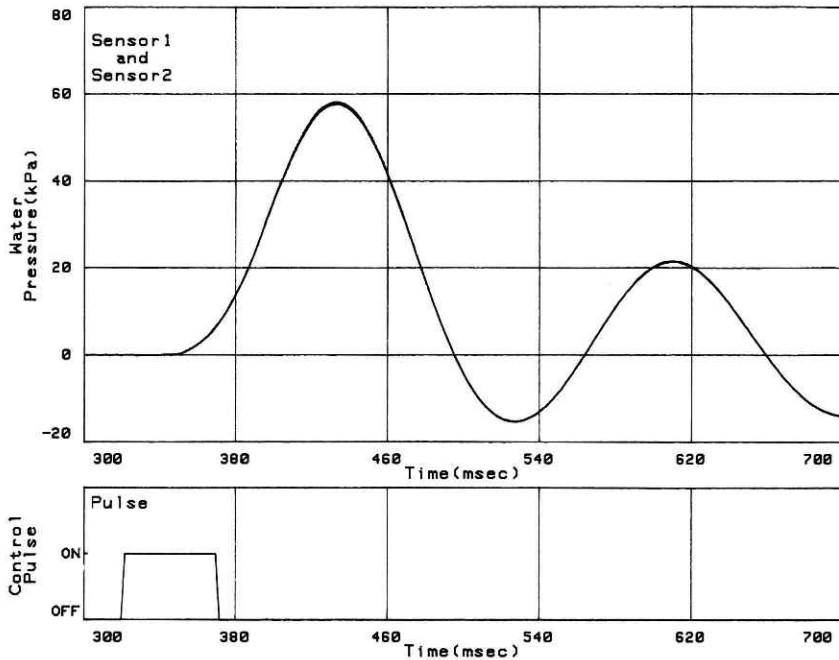


図 5 パルス状圧力入力に対する脱気水の応答, 実験番号 2

Fig. 5 The response of boiled water's pressure under pulse-type water pressure input, Test No.2

5.3.1 不飽和砂の圧力応答測定結果と考察 (バックプレッシャーがない場合)

図 11 にステップ状圧力入力に対する応答測定結果, 図 12 にパルス状圧力入力に対する応答測定結果を示した. 図 11 より, ステップ状圧力入力時の水圧センサー 1 (S1), 2 (S2) の応答は, オーバーシュートを示し, 入力圧力に向かって整定 (整定時間約 1.3 sec) している. また, 水圧センサー 2 (S2) の応答は, 水圧センサー 1 (S1) の応答に比べ, 立ち上がりが遅れ, オーバーシュート量も小さくなっている. パルス状入力の場合の水圧センサー 1 (S1) の応答である図 12 (不飽和砂) と図 7 (飽和砂) を比較すると, 不飽和砂のほうが, 振動周期が長く, 減衰が大きい傾向がある. また, 図 12 より水圧センサー 2 (S2) の応答は水圧センサー 1 (S1) に比べ減衰と位相遅れがともに大きい. この結果は, 井上 (1975) によって行われた飽和度の高い砂層中の間隙水圧の定常的周波数応答の測定結果とも矛盾していない. 以上の結果から不飽和砂層は圧力変動に対し, 飽和砂層と異なる動特性を持つと言える. 以上の結果を以下にまとめる.

①バックプレッシャーを加えない不飽和砂の場合, 圧力バッファタンク 1 (T1) の上部に 864 cm³ の空気がある系のステップ状圧力入力に対する水圧センサー 1 (S1) の応答は, オー

水圧入力に対する砂層中の間隙水圧の過渡的応答—實測

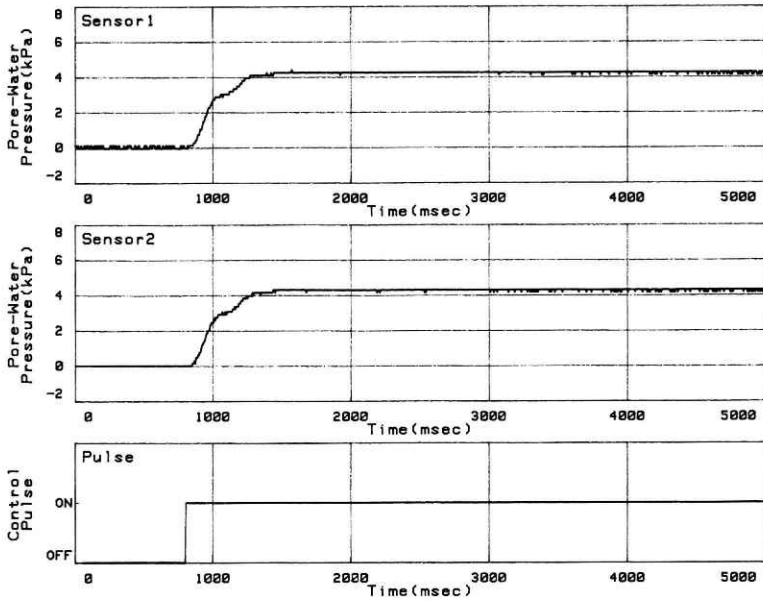


図 6 ステップ状圧力入力に対する飽和砂の応答, 実験番号 3

Fig. 6 The response of pore-water pressure in saturated sand under step-type water pressure input, Test No.3

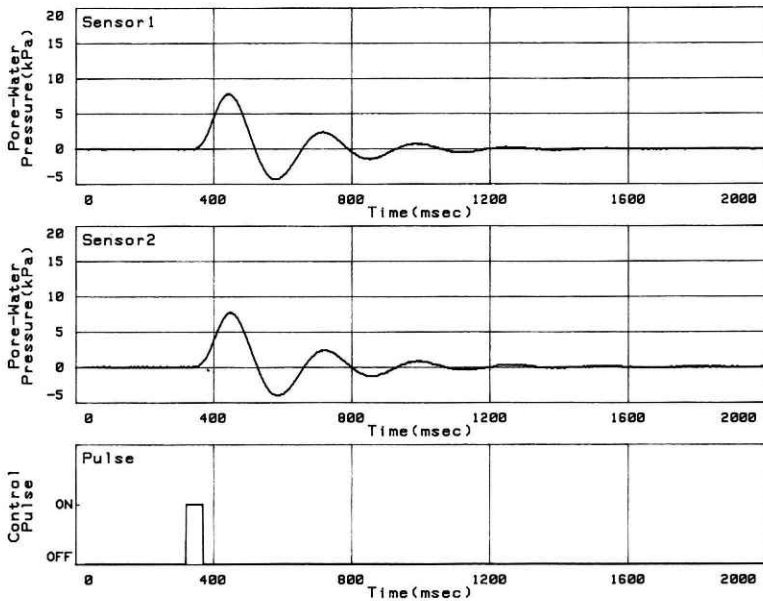


図 7 パルス状圧力入力に対する飽和砂の応答, 実験番号 4

Fig. 7 The response of pore-water pressure in saturated sand under pulse-type water pressure input, Test No.4

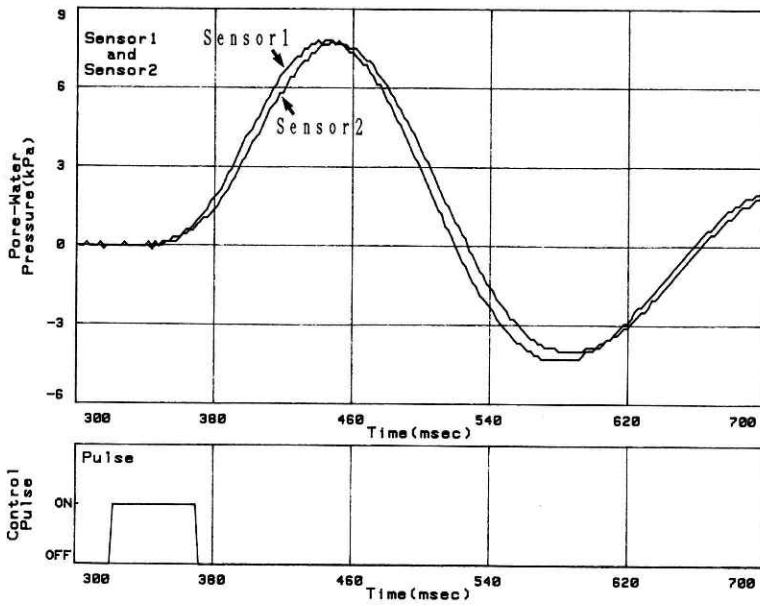


図 8 パルス状圧力入力に対する飽和砂の応答, 実験番号 4

Fig. 8 The response of pore-water pressure in saturated sand under pulse-type water pressure input, Test No. 4

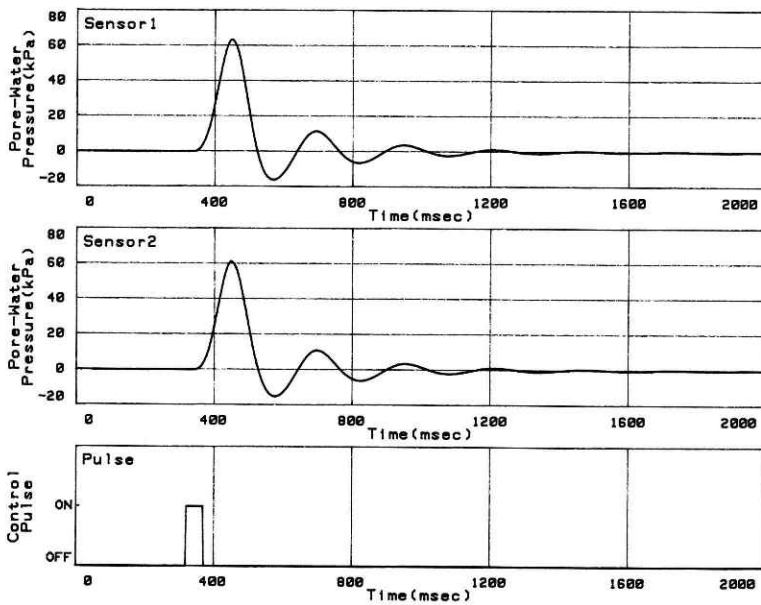


図 9 パルス状圧力入力に対する飽和砂の応答, 実験番号 5

Fig. 9 The response of pore-water pressure in saturated sand under pulse-type water pressure input, Test No. 5

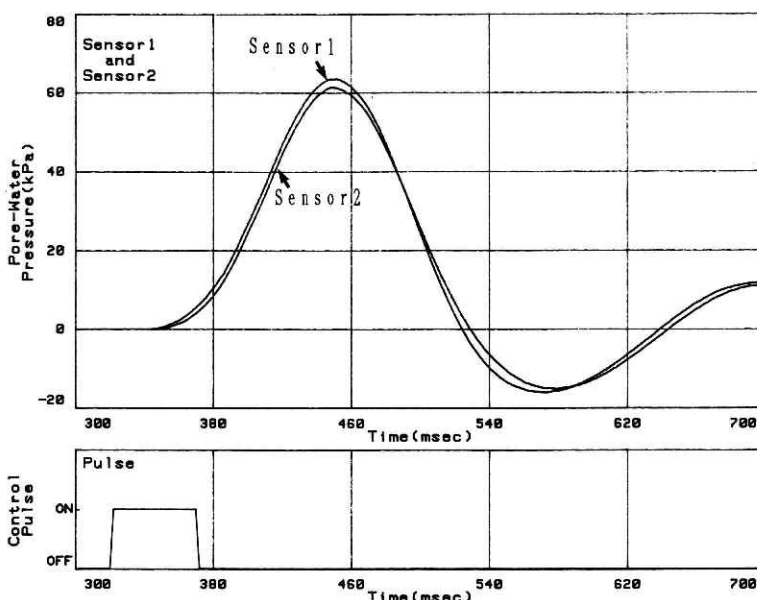


図10 パルス状圧力入力に対する飽和砂の応答, 実験番号 5

Fig. 10 The response of pore-water pressure in saturated sand under pulse-type water pressure input, Test No.5

バーシュートを示し, 入力圧力に向かって整定 (整定時間約 1.3 sec) した。

②バックプレッシャーを加えない不飽和砂の場合, 圧力バッファタンク 1 (T 1) の上部に 118 cm³ の空気がある系のパルス状圧力入力に対する水圧センサー 1 (S 1) の応答は, 飽和砂に比べ減衰が大きく, 振動周期が長くなった。

③不飽和砂の場合, 水圧センサー 1 (S 1) で測定された減衰振動波形は, 飽和砂の場合に比べ振幅が減少し, 位相遅れが大きくなって水圧センサー 2 (S 2) で観測された。

5.3.2 不飽和砂の圧力応答測定結果と考察 (バックプレッシャーを加えた場合)

図 13 にバックプレッシャーを 0.0 kgf/cm² (図 13 (a)), 0.30 kgf/cm² (29.42 kPa) (図 13 (b)) と設定した場合のステップ状圧力入力に対する応答測定結果, 図 14 にバックプレッシャーを 0.0 kgf/cm² (図 14 (a)), 0.30 kgf/cm² (29.42 kPa) (図 14 (b)), と設定した場合のパルス状圧力入力に対する応答測定結果を示した。水圧センサー 1 (S 1) の出力に注目し, 図 13 ((a), (b)) を比べると, バックプレッシャーが高い (飽和度も高い) 方が, 応答波形のオーバーシュート量が増え, 振動を伴いながら整定していること, および信号の立ち上がりが急になっていることが分かる。同様に水圧センサー 1 (S 1) の出力に注目し, 図 14 (a), (b) を比べると, バックプレッシャーが高い (飽和度も高い) 方が, 振動周期が短く, 振幅の大きな圧力応答が発生していることが分かる。以上の結果から不飽和砂層の圧力変動に対する動特性はバックプレッシャーによって変化すると考えた。また, 図 13 ((a),

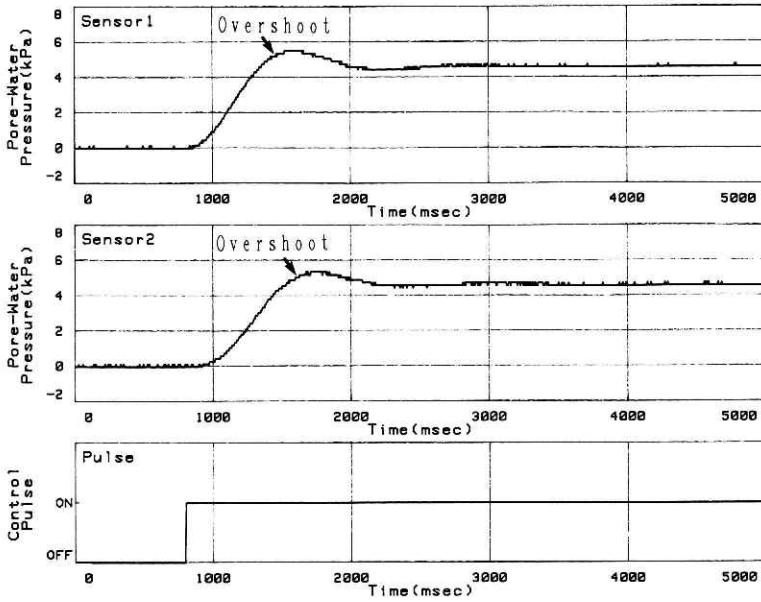


図11 ステップ状圧力入力に対する不飽和砂の応答, 実験番号 6

Fig. 11 The response of pore-water pressure in unsaturated sand under step-type water pressure input, Test No.6

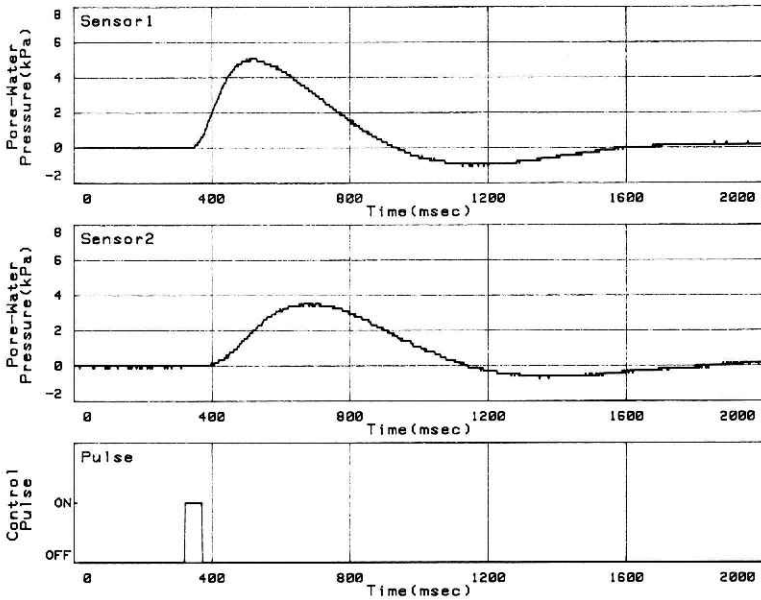


図12 パルス状圧力入力に対する不飽和砂の応答, 実験番号 7

Fig. 12 The response of pore-water pressure in unsaturated sand under pulse-type water pressure input, Test No.7

水圧入力に対する砂層中の間隙水圧の過渡的応答—實測

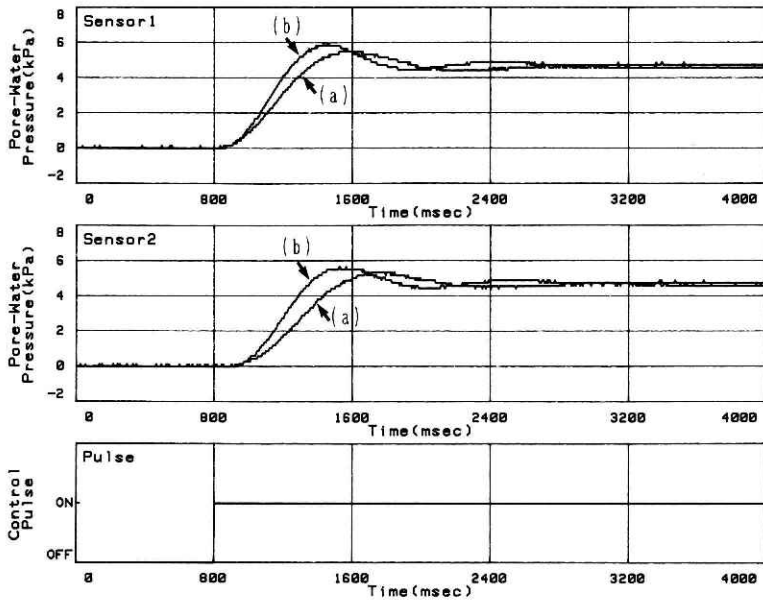


図13 加圧環境下でのステップ状圧力入力に対する不飽和砂の応答, (a) 実験番号 6, (b) 実験番号 8

Fig. 13 The response of pore-water pressure in unsaturated sand under step-type water pressure input (pressurized condition), (a) Test No. 6, (b) Test No. 8

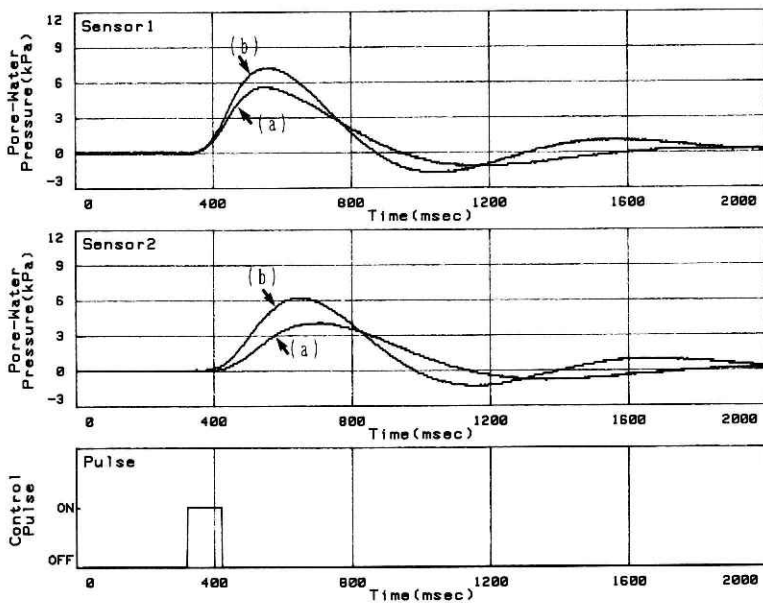


図14 加圧環境下でのパルス状圧力入力に対する不飽和砂の応答, (a) 実験番号 9, (b) 実験番号 10

Fig. 14 The response of pore water pressure in unsaturated sand under pulse-type water pressure input (pressurized condition), (a) Test No. 9, (b) Test No. 10

(b)), 図14(a), (b)の水圧センサー2(S2)の応答は水圧センサー1(S1)で測定された波形に比べ, 振幅が減少し, 位相が遅れて観測された。以上の結果を以下にまとめる。

①バックプレッシャーがない場合に作成した不飽和砂に, バックプレッシャーを加えた場合, そのステップ状圧力入力に対する水圧センサー1(S1)の応答は, バックプレッシャーが高い方が, オーバーシュート量が増え, 振動を伴いながら整定した。

②バックプレッシャーがない場合に作成した不飽和砂に, バックプレッシャーを加えた場合, そのパルス状圧力入力に対する水圧センサー1(S1)の応答は, バックプレッシャーが高い方が, 振幅が大きく, 振動周期が短い圧力応答を示した。

6. 結 論

6.1 入力信号と水圧センサー1(S1)の応答関係について

脱気水のみ(5.1の①), 飽和砂(5.2の①), および不飽和砂(5.3.1の①)のステップ状圧力入力に対する応答結果によると, 不飽和砂は, 系に振動特性を与えると考えられる。さらに, バックプレッシャーを加えた不飽和砂(5.3.2の①)の応答結果によると, 不飽和砂が加圧環境下にある場合, この振動特性が強くなる傾向がある。これらの結果から, 自然斜面中の不飽和砂が何らかの加圧力を受けた場合, 本実験と同様に加圧力によって飽和度が上昇し, 圧力変動に対し, 振動的な応答を示すことが考えられる(今回の実験では飽和度を固定しバックプレッシャー(加圧力)のみを変化させた実験を行っていないので, バックプレッシャー(加圧力)のみの影響を述べることはできない)。また飽和砂(図6)と不飽和砂(図13(a), (b))とを比べると, 同じステップ状圧力入力を受けた場合, 観測される圧力の最大値は, 不飽和砂のほうが大きい。このことは, 自然斜面中の不飽和砂が, ステップ状圧力変動を受けた場合, 飽和砂より大きな間隙水圧を発生させる可能性があることを示唆している。

パルス状圧力入力では振動的な水圧を発生させているが, 飽和砂, 不飽和砂とともに, この水圧の振動を減衰させている。これより, 両者は, 振動的な水圧に対し, 動特性を持つことが考えられる。両者の特性の違いは今後の解析で検討する。

6.2 水圧センサー1と水圧センサー2の応答関係について

飽和砂(5.2の③), 不飽和砂(5.3.1の③), バックプレッシャーを加えた不飽和砂(5.3.2の②)の応答結果によると, 飽和砂, 不飽和砂とともに, 振動する水圧変動に対し, 動的応答を示している。このことから, 自然斜面中の一端で発生した振動的な間隙水圧は, 減衰と位相遅れをとれない伝達されることが考えられる。

今回の実験で試料の入力端に発生させた圧力は立ち上がりに遅れがあった(これは, 圧力バッファタンク1(T1)の上部の空気層の影響によると考えられる)。したがってより広い周波数レンジに対する試料の応答を調べるには, この点の実験方法を改良し, 高い周波数成分を持つ圧力入力が発生させ, 実験を行なう必要がある。

参考文献

- 1) 日浦啓全・松永誠・細田豊 (1993) : 豪雨による崩壊発生と間隙水圧の挙動. 第 32 回地すべり学会研究発表講演集, 365~366.
- 2) 井上令作 (1975) : 飽和度の高い砂層における間隙水圧の伝ば. 土木学会論文報告集, No. 236, 81~92.
- 3) 石原研而 (1976) : 土質動力学の基礎. 鹿島出版会, 303pp.
- 4) Iverson R.M.・LaHusen R.G.(1989) : Dynamic pore-pressure fluctuations in rapidly shearing granular materials. SCIENCE, Vol. 246,796~799.
- 5) Moriwaki H. (1993) : Behavior of pore-water pressure at slope failure.Proceedings of the seventh international conference and field workshop on landslide in CZECH and SLOVAK REPUBLICS / 28 August-15 September 1993, 263~268.
- 6) 落合博貴・三森利昭・大倉陽一・森脇寛 (1991) : 崩壊発生時の間隙水圧の動的変動. 第 30 回地すべり学会研究発表講演集, 103~104.
- 7) 佐々恭二 (1986) : 御岳土石流などの不飽和土石流の流動機構について. 京都大学防災研究所年報, No. 29-B1, 315~329.

(原稿受理: 1994 年 7 月 20 日)