

令和元年6月10日現在

機関番号：34315

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2015～2018

課題番号：15K01265

研究課題名(和文) 豪雨斜面崩壊の予測精度の向上に向けた多地点透水試験法と浸透解析手法の構築

研究課題名(英文) Multipoint field measurement and numerical analysis of permeability to predict slope failures caused by heavy rain fall

研究代表者

田中 克彦 (Tanaka, Katsuhiko)

立命館大学・総合科学技術研究機構・上席研究員

研究者番号：00367997

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,600,000円

研究成果の概要(和文)：豪雨による斜面崩壊の発生を予測するために、対象エリアの透水係数(雨水が土中に浸透する速さ)を計測し、浸透流解析により土中の水分と水位を求めて、斜面の安定性を評価する技術が開発されつつある。発生の予測精度を上げるためには、対象エリアにおいて高密度に多地点の透水係数の分布を計測する技術が必要である。本研究ではまず、超音波を用いて多地点多深度の透水係数を簡便に計測する技術を提案し、現場透水試験への適応性を確認した。次いで、この測定法によって得られた透水係数の3次元分布を反映した雨水浸透流解析を行い、現場透水試験から浸透流解析までの一連の基礎技術を構築した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

これまで現場で簡便に透水係数を測定する適切な手法がなかったため、対象エリアにおいて透水性の多地点分布を考慮した十分な斜面安定解析が行われていなかった。本研究で超音波導波管を用いた透水係数の測定法を開発したことにより、現場の多地点、多深度において透水係数を簡便に測定できるようになった。これにより現場透水係数の3次元分布を反映した浸透流解析が可能になり、斜面崩壊の発生時期や発生規模の予測精度の向上を図ることができる。また、この技術を応用すれば、今後発生するかもしれない高降雨強度に対しても事前に斜面の安定性を評価することができ、ソフト、ハード両面で減災に貢献できる。

研究成果の概要(英文)：To improve the accuracy of prediction of slope failures caused by heavy rainfalls, multipoint field measurements of permeability are required. We developed a simple measurement technique of the permeability using ultrasonic waves, and confirmed a basic technique of the 3-dimensional seepage flow analysis using the multipoint and multi-depth seepage factors obtained by our measurement method.

研究分野：豪雨による斜面崩壊の予測

キーワード：斜面崩壊 土砂災害 超音波計測 透水試験 浸透流解析 土中水分水位モニタリング

$\frac{1}{2} \times 26 \text{ b} \ddot{u}$
 17 Mm^2
 7 m^2
 2 m^2
 M G $\text{K}8$

$\text{E}(\text{W} \text{S} \text{u} \text{b} 2 \times 8 \text{b} 3 \text{m} 2 \text{r})$
 $\text{b} 3 \text{æ} \text{ b}(\text{x} \ddot{u})$
 KS 7 μ 3 æ v 0 $\text{m} 2 \text{S}(\text{M})$

$\text{q} \text{ x} 8 \text{b} \text{S}$
 $\text{b} 4:$
 $\text{b} 8$

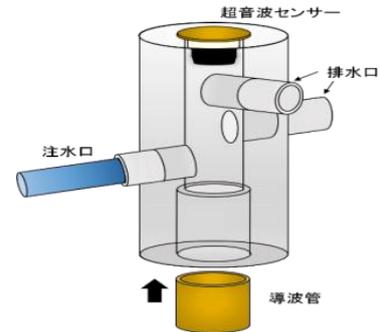
$2 \times 8 \text{b} 3 \text{m} 2 \text{b} 6 \text{S}$
 $\text{qN}\#$
 $22 \text{ H} \text{V}'$
 $\text{S} \text{B} \text{K} \text{S} \text{v} \text{b} \text{c} \text{p} \text{b} \text{I} \& \text{B}$

$\text{W} 2 \times 8 \text{b} \text{æ}$
 $\text{W}' 4(\text{c} \text{p} \text{z} \text{g} \text{b} \text{I} \text{b} \text{e})$
 $\text{K} \text{c} 2$
 $\text{A} \text{M} \text{S} \text{u} \text{h} \text{g} \text{b} \text{c} \text{K} \text{S}$
 $\text{N}\# \text{c} \text{M} 2 \text{b} 2 \times 8 \text{b} \text{æ}$
 $\text{b} 7 \text{b} \text{i} \text{M} \text{I} \text{e} 2 \text{S}$

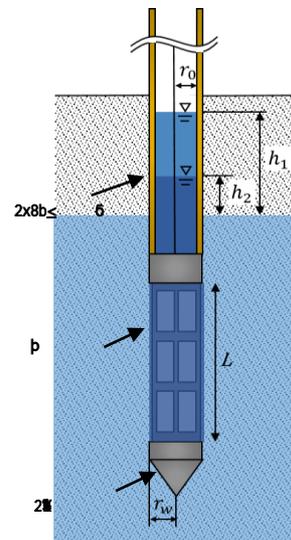
$\text{r} \text{ü} \text{t} 9 \text{b} \ddot{u}$
 3æ
 8b
 $\text{V}[\text{æ} \text{z}]$
 $3 \text{m} \text{e} \text{y} 8 \text{b} \text{æ}$
 $\text{A} \text{P}$
 $\text{u} 2 \text{A} \text{W} \text{S} \text{b} \text{c} 3 \text{m} \text{e}$
 1318J
 $40 \text{v} 9 \text{k}$
 $6 \text{æ} \text{o}$
 $\text{Fu} \text{e} \text{a}$
 S

$\text{H} \text{v} \text{r} \text{s} \text{l} \text{e} \text{v} \text{b}'$
 $\text{W} \text{K} \text{æ} \text{y} 8 \text{b}$
 $\text{O} \text{b} \text{u}$
 $\text{S} \text{u} \text{t} 9$
 $\text{J} \text{I} \text{S} \text{A}$
 $\text{c}-$
 $40 \text{cm} \text{b}$
 $6 \text{æ} \text{o}$
 $\text{Fu} \text{e} \text{a}$
 S

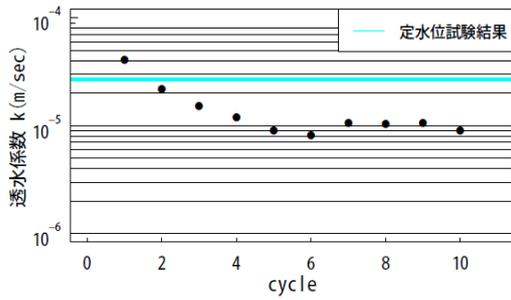
$\text{R} \text{W}$
 $\text{E} \text{Z} \text{æ}$
 $10^{-5} \text{m} / \text{sec}$
 $1 \text{p} 4 \text{z}$
 $5 \text{Z} \text{F} \text{c}$
 $1 \text{p} 5 \text{c} 8 <$
 6
 $5 \text{æ} 3200 \text{p}$
 $1 \text{p} 5 \text{c}$
 6
 $5 \text{æ} 3200 \text{p}$
 $1 \text{p} 5 \text{c}$
 6
 $5 \text{æ} 3200 \text{p}$
 $1 \text{p} 5 \text{c}$
 6



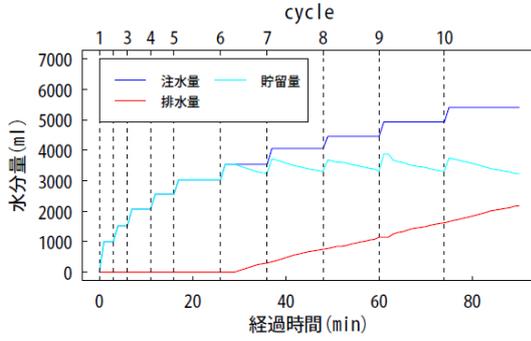
(a) V4



$(>) 3 \text{m} \text{e}$
 $\text{W} \text{æ}$

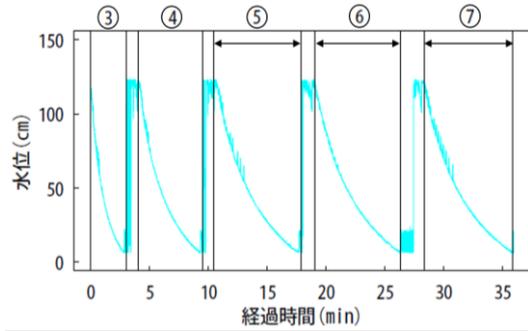


W0 3000



W 1 (5b i)

2.7 10^{-5} m/sec δ WS \hat{O}
 ut9b \hat{y} 6 ZFI S \hat{H}
 3000 1x10 $^{-5}$ m/sec \hat{O}
 PKZ 40# \hat{W} S \hat{O} t \hat{P} 0 \hat{E}
 c \hat{S} 0 \hat{b} 6) 30 \hat{E}
 9 \hat{S} 0 \hat{c} 4) K \hat{Z} 8 \hat{D}
 SuMb9 \hat{W} S \hat{b})
 300m8 \hat{E} 0 \hat{S} 0 \hat{b}
 b0 \hat{E} [c \hat{K} S0 \hat{E} b
 hb \hat{g} WZ # 300b \hat{r}
 @ 0.5 \hat{t} 2 \hat{G} 0 \hat{m} 2
 7 \hat{b} 0 \hat{E} 6 \hat{E} M3YC W 2 c \hat{y} 3 \hat{t} 7 \hat{E} 0 \hat{E} 6 \hat{E}
 5)@ 0cm \hat{r} b) 4 \hat{b} 7 \hat{K} Z \hat{y} 4 r \hat{b} Y8 \hat{b} 0 \hat{E}
 6 \hat{E} \hat{y} 5 ZFb \hat{S} 0 \hat{c} 0 \hat{E} 6 \hat{E} 0 \hat{P} 6 \hat{b} \hat{G} @
 0 \hat{b} 0 \hat{t} # 300/7_ c 0 \hat{E} 6 \hat{E} 0 \hat{P} 6 \hat{E}
 1 0 \hat{E} b \hat{E} op \hat{S} 0 \hat{y} _ 4)KS \ 8 KZ Gbb3 \hat{S} 0 \hat{E}
 XMGKS



W 2 \hat{y} b 0 \hat{E} 6 \hat{E} i

c W8 \hat{K} 8Y8 \hat{b}

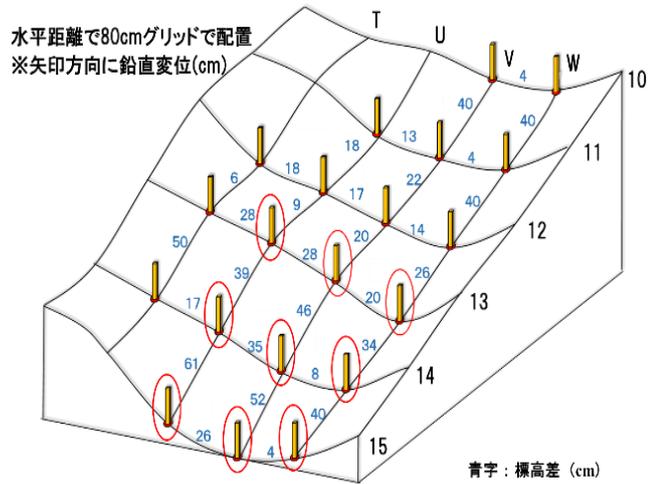
v 4 \hat{y} @

3 \hat{t} 7 \hat{E} 0 \hat{E} 6 \hat{E}

4 r \hat{b} Y8 \hat{b} 0 \hat{E}

\hat{G} @

(\hat{O}) \hat{S} 0 \hat{E} \hat{S}
 Q \hat{P} 1 \hat{B} 0 \hat{z}
 0 \hat{E} KZ \hat{E} 80
 0 \hat{E} 9 \hat{b}
 -s'@ 9Nb \hat{B} T \hat{S} 8
 P1 \hat{S} Nc4 \hat{K} \hat{E}
)(K \hat{W} 80 \hat{b}
 Gr \hat{b} 1 \hat{y} W \hat{V} @
 N \hat{I} 0 \hat{S} \hat{K}
 dbp \hat{P} 0 \hat{E} @
 \hat{b} 0 \hat{E} P1 \hat{E}
 2 \hat{y} 80cm b \hat{E}
 10 \hat{K} S W3_ I b4 \hat{r} \ \hat{E}
 9 \hat{K} GM P1 \hat{U} \hat{E}
 \hat{E} b I \hat{O} b q I b
 300 \ up(\hat{g} 0 \hat{E})
 0 \hat{E} b 0 \hat{z} /: Su_ (F \hat{y}
 0 \hat{E} & upb \hat{E}
 0 \hat{E} > /WS0 \hat{E}) \hat{y}
 N \hat{d} A \hat{C} K \hat{E} \hat{E}
 SBI \hat{E} % \hat{b} G \hat{K} S



青字: 標高差 (cm)

W 3 I b4 \hat{r} \hat{y} \hat{K}

A \hat{G} 7 \hat{G} p[

r \hat{S} 0 \hat{E} b
 S(F \hat{K} S2x8b3002 \hat{y} 7 \hat{E} 0 \hat{E} /WS(F \hat{y}

0 \hat{E} b) \hat{y} KZ I 4 \hat{E}

K \hat{S} 0 \hat{E} 6 \hat{K}

b 300) \hat{G} M

K \hat{E}

10cm 6 \hat{y} x \hat{b} \hat{E}

150cm \hat{E} 7 \hat{H} I S/ \hat{E} _

3 \hat{y} 10^{-2} m/sec \hat{V} b9 \hat{Q} 3 \hat{E} 7 \hat{H} 0 \hat{S} b

up 3 (x

\hat{E} 85cm r[

\hat{E}

Table 1: Hydraulic conductivity values for different soil layers.

Depth (cm)	U13	U14	U15	V13	V14	V15	W13	W14	W15
25	—	—	—	—	2.3×10 ⁻⁵	9.9×10 ⁻⁶	—	1.0×10 ⁻⁴	—
35	—	—	1.8×10 ⁻⁴	—	5.7×10 ⁻⁵	1.7×10 ⁻⁵	—	—	—
45	—	—	—	1.9×10 ⁻⁴	7.0×10 ⁻⁵	2.2×10 ⁻⁵	3.4×10 ⁻⁵	—	—
55	—	—	—	—	4.5×10 ⁻⁵	2.4×10 ⁻⁵	4.5×10 ⁻⁵	1.4×10 ⁻⁴	—
65	—	1.2×10 ⁻⁴	—	—	4.0×10 ⁻⁵	7.6×10 ⁻⁵	2.1×10 ⁻⁴	1.2×10 ⁻⁴	—
75	—	1.0×10 ⁻⁴	—	—	3.7×10 ⁻⁵	—	6.8×10 ⁻⁵	2.7	—
85	9.4×10 ⁻⁵	7.5×10 ⁻⁵	—	1.2×10 ⁻⁴	—	7.1×10 ⁻⁵	4.3×10 ⁻⁵	2.7	—

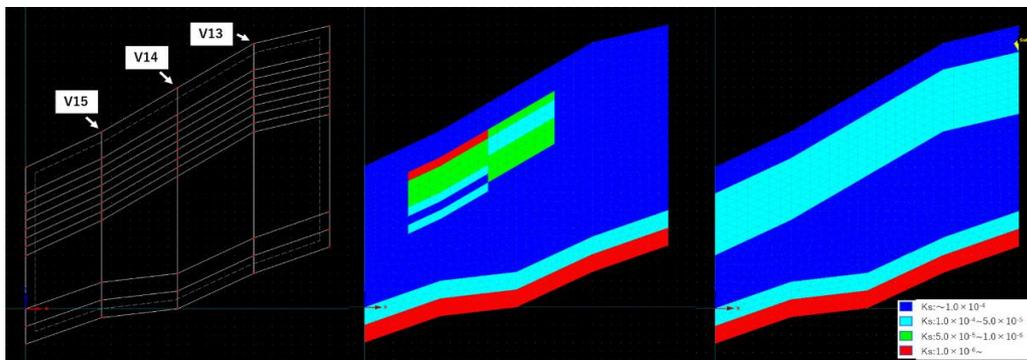
Unit: m/sec

up(i)

3bBæ0Y0S3æ0/WS71 8Z10
 (W) 7b7F7 7V6dWS
 3) Gb7KZ5S0x8b28S 4> up_
 EoUI 7pb(g' Uæ7) 7vbb
 (F202b) 7 1) 7M7 30cm _ 1 710 N_d 7C
 7M7 2 a 1[4E7 2x8b< 7K7Gb 7 32ch b+
 • 7S6b3pp) 777 7uS 777M[
 (KS7 Gp427x[7 7uS 777M[
 W 6 & > > 7M

773027KS3æ0
 7æ07 HYDRUS
 (F202 b) 7æ07877BK KS# 3æ
 X b 3 (x 7777188b3æ0VSO77
 HYDRUS 7SGb7787pb(77Sul'
)7877æ07K7

r077
 772A7Gr() 5) 77S807WS
 77S7K77SGb77K777
 3æ 7Z 07NS 737M)b7)7)z 7)z 7)z 7 WS
)8P17 2 07NS77Z777
 7v1 g847774b77) 7SGb07
 c 2 3æ077)b)7S777)8077 b7)"
 8 77æ07KS(1d) 77777 7
 77 MKZ 7 7) 77 73æ(x
 7æS 3æ(x77WS W 6& b7M377Su_
 b7



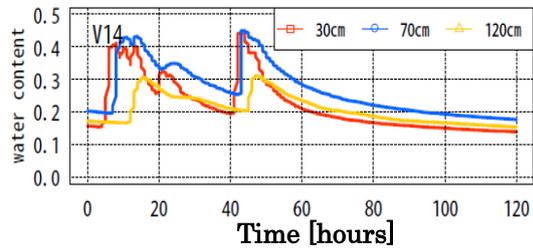
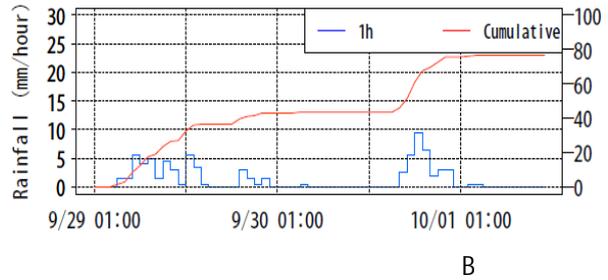
(a)

(b)

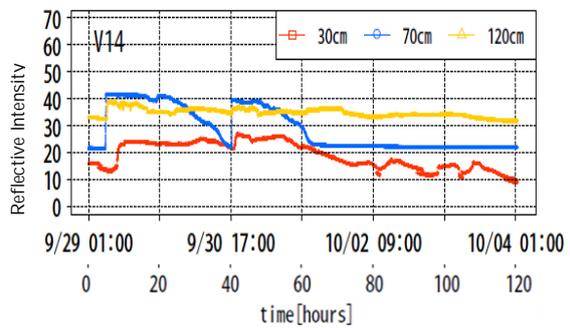
(c)

W4 7 7) 777

30cm 70cm 120cm b6(10
 Ajob 376
 xokS000006G
 SrSa0
 f & W 8& > >> 66)0
 S001
 /j/GK88Su (5b)/P
 00A8b(6)i
 3KSV b00 S F U b
)b)8PKZ 91 30W
 S)0P SM)0P1
 8Z f A(x0b5
 rS9b0000
 /W884N0@
 5b7F7f (2013" 9v 15
 ¥ 16 ¥) 82P1RZ
 8 Ü b300NS (Bb
 6000@ Gb 7F7µ
 8Z30xok
 S000K80
 00Y f b A)05
 00)Y op # 80WZ
 G01 S Gb80c 7 I Ü
 b770P1B
 8Zs8ob00
 98G01 S I 7fb "
 0 b0M d30e 9x7F7µl 3
 (x0P x (0188b
 oEMG@ b



(a) 30x0KS00Y



(b) (00

&> rü 0
 V2x8b0S # (F0002up(i)0
 000(x o. K S3002bM4b0S(K
 S0)b7)WS)8803002858f
 7b /' 000/WS0000000
 KZ0000 00S(4uSu Y3ae Mu2A^
 0 00K00NS@ 02A0(x° P10 1.6kv 1.6k
 G0KSI 0x000
 b80 7 I b30(x KS00 ES00
 00 I 0bm2[0 I 9x7F7µl 0 PKZ00N8
 obE/G0- G± 5_ 750P0' w_
 /: G0

> , 0*
 100, 00 (W0j)M8 2x8b0
 8S002bf0É W05
 DE/0M0n 1e7
 2017.

Kansai Geo-Symposium 2017. W05
 pp.186-189 0060Y-4

2> Hvorslev MF 8> Time lag and soil permeability in groundwater observations > Waterways
 (SHUH00W0WR0 > Vol. 36 > pp. 01-48 > 1951

30 70, 00 (W0j)M8x8b0
 8S3056(x0gbq Kansai Geo-Symposium 2018 W05
 DE/0M0n 1e7 pp.175-178 0060Y-4
 2018.

4> K. Tanaka, T. Suda, K. Hirai, K. Sako, R. Fukagawa > Monitoring of soil moisture and
 groundwater level using ultrasonic sensors > Japan. J. Appl.
 Phys > Vol. 48 > No. 9 > pp. 09KD12=1=09KD12=4 > 2009 >

5) . (W0M401900
 48000Ms8700

DE05600b
 Vol. 64 No. 3 pp.3-10 2011

7\$10E 0 6
 □ 70 ,% (W #i YM 2x8b
 8S 3æ56çxYçbq Kansai Geo-Symposi um 2018W%
 75D í 0E/6MDe71w 2018 175-178
 r 70 ,% (W #i YM2x8b
 8S # 3æ 002bfE Kansai Geo-Symposi um 2017W%
 75D í 0E/6MDe71w 2017 186-189

6 6
 □ #i 1æ80 % E2x8bb74w752d 2018 8G
 % , 2018
 r 70 ,% (W #i YM 2x8b
 8S 3æ56çxYçbq Kansai Geo-Symposi um 60Y-4
 2018
 s 70 ,% (W #i YM 2x8bç0{
 m2S3002b00E m 53 G00ç† 2018
 t 70 ,% (W #i YM 2x8b< # 30ç
 92 ¥ 8S3æ56çx b q „ B 30 ç0çrjg_ % ç†
 ý- 2018
 u 70 ,% (W #i YM2x8b
 8S # 3æ 002bfE Kansai Geo-Symposi um 60Y-4 2017
 v 70 ,% (W #i YM 2x8b
 8S # 3æ 002bfB 29 ç0ç† 2017
 w 70 ,% (W #i YM2x8b
 8S 3æ 002büt0çB 29 ç0 60Y-4çIn
 2017
 x #i 1æ80 E2x8bbç0ç 28 G
 ç 1n 2015

0E 2 6
 □ □ ç0ççç8b0ç □ □ □
 □ □ 2017 " 7 v 28 ¥
 r #i ç ,% 2Eçç 2x8bççç
 u 2016 " 6 v 23 ¥ ç b/j PR>
 s (W ç 2015 çç
 ç 2015 " 8 v 27-28 ç JST ç
 □ IM □ NHK ; 75ç 2015 " 6 v 2 ¥
 □))

(1)ç(*
 çç (W
 ç (Fujimoto Masami tsu)
 çç çç
 ç ç
 ç M
 □ 8 □ 8 60511508
 (ç □ 70
 ç (Hiraoka Nobutaka)
 ç ç
 ç □
 ç ç
 □ 88 □ 00756546