

補強土壁におけるL型防水工の適用性に関する実験的研究

Experimental Study on the Applicability to the L-shaped Drainage using Geosynthetics in the Reinforced Earth Wall

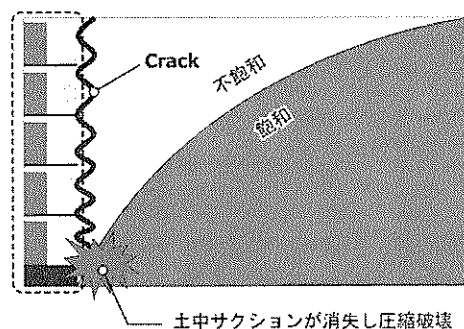
白 濟 民	許 晋 碩	尾 方 武 文
Jemin Baek	Jinsuk Hur	Takefumi Ogata
金 秉 洙	忠 野 祐 介	澁 谷 啓
Byeongsu Kim	Yusuke Tadano	Satoru Shibuya

1. はじめに

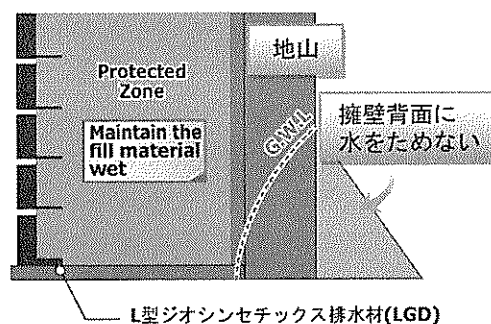
近年、雨水浸透に起因して補強土壁が被災する事例が増えている。平成16年台風23号の豪雨災害では、兵庫県内で建設中の補強土壁が、背面部での急激な水位上昇に伴い崩壊した。背部の斜面や地山からの雨水浸透により盛土内の飽和領域が拡大し、サクシオン圧の低下による盛土材の剛性および強度低下を引き起こしたことが主たる原因であった。

一般にシルト質土や砂質土など細粒土を使用した土構造物では透水性が低いことから、一旦盛土内に雨水浸透が生じると排水に時間を要し、飽和状態が長時間継続する傾向が見られる。長期にわたる飽和状態の形成は、図-1(a)に示す様な盛土内部でのせん断圧縮破壊を招き、補強材による補強効果を消失させることとなる。したがって盛土被害軽減のためには、盛土内への雨水等の浸入および盛土背部での帯水を許さないことが重要となる。この種の盛土崩壊を防ぐために澁谷ら(2008)^{1), 2), 3)}は従来の排水工の弱点を改善したL型排水盛土防水工を提案している。この工法は従来の盛土と擁壁境界部に設置した排水工とは異なり、盛土内に鉛直に設置したジオシンセティック排水材によって盛土背面からの浸透水を下方に落とし、盛土底部に設置している排水層から速やかに浸透水を盛土外へ排水させる方法である。これは、盛土自体を防水領域と考え、単に遮水するのではなく、十分な排水によって盛土背面からの浸透水を断固として許さず、盛土背部からの浸透水の蓄積を防ぐことに特徴がある(図-1(b))。さらに、L型排水盛土防水工の用途を「沢部の腹付け盛土」「大規模盛土」「谷埋め盛土または既設盛土対策」に分けて提案している⁴⁾。

本研究では、ジオシンセティックを用いたL型排水工をテールアルメ壁に適用し、その防水効果を検証するため、実物大盛土実験および数値解析を実施した。実物大盛土実験は、大型土槽を用いた給水実験とし、L型排水材の設置の有無によるテールアルメ壁の挙動差を把握した。挙動把握のため、変位観測(壁面の変位計、パイプひずみ計)、盛土内部の水位観測などの様々な動態観測を実施している。なお、実物大盛土実験に先立ち、盛土材として使用した自然土について、一連の室内試験を通して物理的特性、透水・pH特性、締め特性およびセ



(a) 補強土壁内部の飽和による圧縮破壊



(b) LGD 設置による盛土の飽和化防止

図-1 飽和による破壊とLGD防水工の概念図

ん断強度特性を調査している。数値解析としては、数値シミュレーションを実施してテールアルメ壁の全体的な安定性を評価した。また、汎用プログラムである SEEP/W (浸透解析専用プログラム) を用い、適用したL型排水工の性能を浸透流解析により評価した。

2. 実験に用いた盛土材料の特性

2. 1 物理的特性

本実験で使用した盛土材は、建設現場において発生した建設残土であり、材料名として自然土と称することとする。表-1 に自然土の基本的な物理特性をまとめる。土粒子密度 $\rho_s = 2.609 \text{g/cm}^3$ であり、三角座標による分類では細粒分質礫質砂 (SFG) に分類される。図-2 に自然土の粒径加積曲線を示すが、均等係数および曲率係数はそれぞれ 126.7 と 2.46 の値を示し、粒径幅の広い土である。なお、0.075 mm 以下の細粒分の含有率は 32.6% 程度である⁵⁾。

表-1 用いた試料の基本的な物理特性

材料名		自然土	
含水比	w (%)	23	
土粒子の密度	ρ_s (g/cm ³)	2.609	
間隙比 ^{*1)}	e	0.655	
飽和度 ^{*2)}	S_r (%)	88.0	
空気間隙率 ^{*3)}	n_a (%)	4.8	
粒度特性	石分 (%)	75 mm 以上	0
	礫分 (%)	2~75 mm	25.2
	砂分 (%)	0.075~2 mm	42.2
	細粒分 (%)	0.075 mm 以下	32.6
	平均粒径	D_{50} (mm)	0.23
	最大粒径	D_{max} (mm)	26.5
	均等係数	U_c	126.7
	曲率係数	U_c'	2.46

* 1) $e = \frac{\rho_s}{\rho_d} - 1$ * 2) $S_r = \frac{w \rho_s}{e \rho_w}$
 * 3) $n_a = 100 - \rho_d / \rho_w (100 / \rho_s + w)$

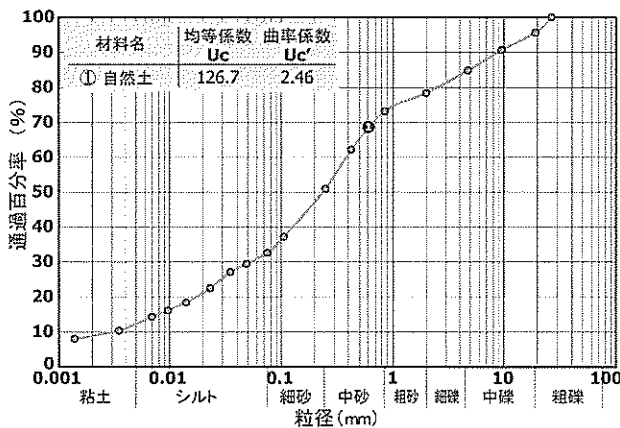


図-2 粒径加積曲線

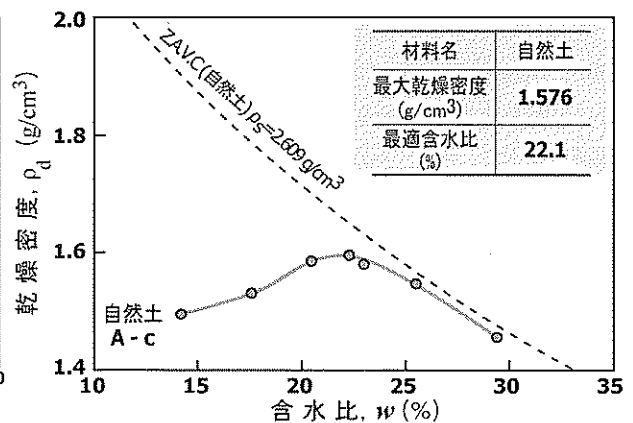


図-3 締固め曲線

2. 2 締固め特性および強度特性

自然土の締固め特性は、JIS A 1210「突固めによる土の締固め試験」に従い、A-c 法【(モールド: 直径 10cm, 高さ 12.73cm), (湿潤法, 非繰り返し)】によった。図-3 に締固め曲線を示すが、最大乾燥密度は 1.576g/cm^3 、最適含水比は 22.1% を示す。また、強度特性を把握するため三軸圧縮試験を行った。表-2 に三軸圧縮試験の条件を示すが、中型三軸圧縮試験装置を用いて試験を実施した。ここで、供試体の直径は、試料の最大粒径の 20 倍以上を標準とするが、粒径幅の広い場合は最大粒径の 5 倍程度まで許容される⁶⁾ ことから、最大粒径が 26.5 mm である自然土の供試体として、直径 10cm, 高さ 20cm のものとした。図-4 に自然土の破壊時のせん断応力を示す。自然土の内部摩擦角は $\phi_d = 29.7^\circ$ であり、一般的な設計値⁷⁾ ($c_d = 0, \phi_d = 30 \sim 35^\circ$) より小さい値を示す。

表-2 三軸圧縮試験の条件

CD 試験	締固め度 D_c (%)	拘束圧力 σ' (kPa)	ひずみ速度 (%/min)
	90	50 100 200	0.1

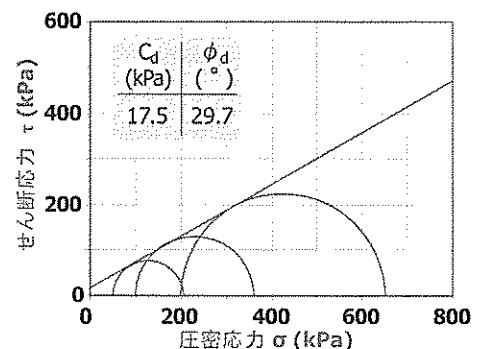


図-4 せん断応力と有効応力の関係

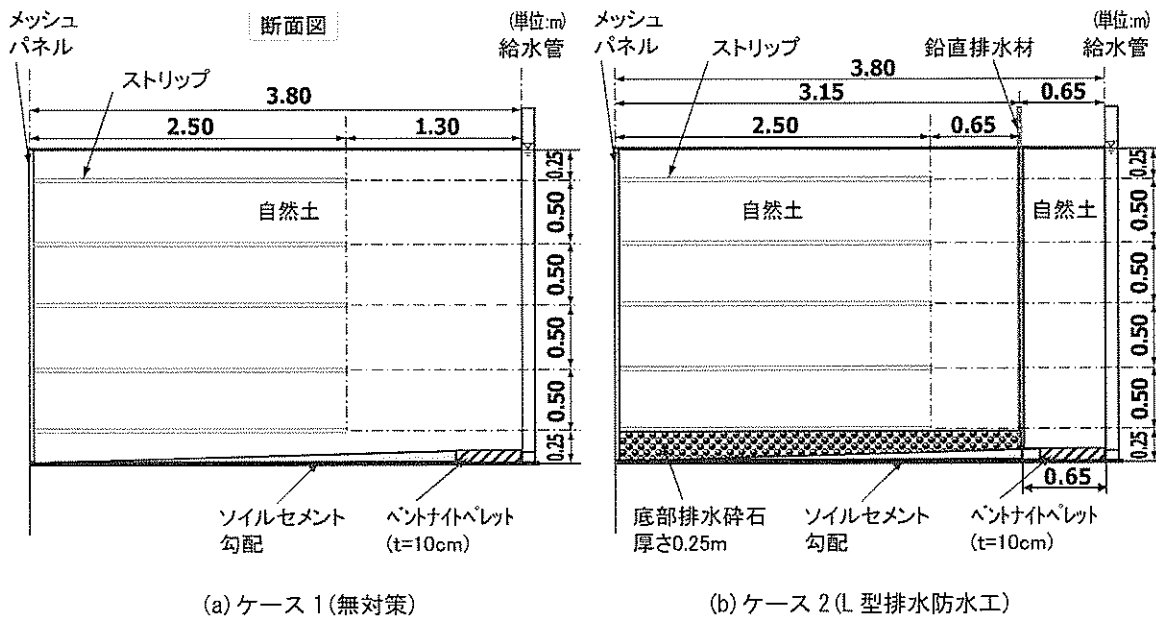
2. 3 土壌環境特性および透水特性

盛土材料としては締固め管理が容易で、かつ、高い透水能力を有している材料が適している。自然土の透水特性について透水試験を実施した。試験は、自然土を 10cm×12.73cm のモールドを用いて締固め度 $D_c=90\%$ で締固めた後、変水位透水試験を実施した。試験の結果、自然土の透水係数は $6.84 \times 10^{-8} \text{m/s}$ 程度と「非常に低い」の透水性を示す。

一方、建設残土である自然土を盛土材料として利用する場合、周辺土壌に及ぼす環境的な影響を評価する必要がある。関連法律（水質汚濁防止法）の排水基準である pH の許容値が 5.8~8.6（海域 5.0~9.0）と規定⁹⁾されていることから、本実験では pH 値の測定を行った。日本の土壌は一般的に酸性を示すものが多いが、今回使用した自然土は pH=10 と弱アルカリ性を示す。

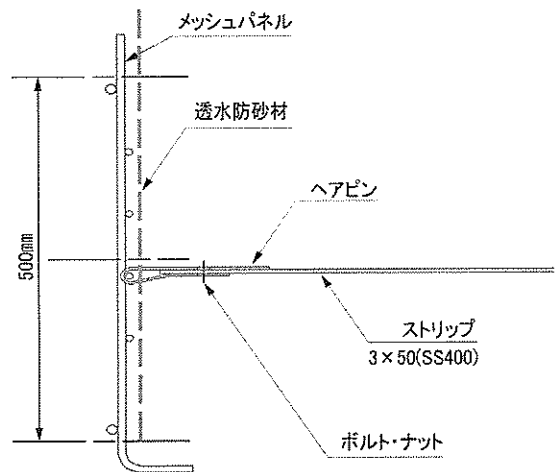
3. 実物大盛土実験

3. 1 実物大盛土の構造および設計方法



図一5 実物大盛土断面概略図

本研究に用いた実物大盛土実験の土槽は、高さ 3.0m、幅 2.0m、奥行き 4.0m の内空断面で、周囲を防水シートで被覆しており、背面部には、等間隔で多数の小孔を設け、小孔からの土の流入を防ぐため不織布を巻いた塩化ビニル管（VP 管）である給水管（直径 200 mm、ストレーナ加工）を建て込んでいる。また、補強土壁による盛土は、高さ 2.5m、幅 2.0m、奥行き 3.8m である（図一5）。テールアルメ壁は、実施工に使用されている部材を用い、テールアルメの設計基準⁹⁾に沿って設計した。使用した部材は、壁面材として高さ 500 mm×幅 2,000 mm のメッシュパネルを用い、裏面には透水防砂材を配して盛土材のこぼれ出しを防止している。補強材としては、厚さ 3 mm×幅 50 mm のリブ付きストリップ（材質 SS400）を用い、接続金具を介してメッシュパネルに連結させた（図一6）。鉛直排水材は通水断面を確保するためのコア材を不織布で挟んだ構造になっている（図一7）。コア材の材質は高密度ポリエチレン（HDPE）、不織布はポリプロピレン（PP）不織布である。コア材の断面形状は溝幅 12.5 mm、溝深さ 10.0 mm で遮水用の穴（φ6 mm）が 75 mm 間隔で空けられている。また、鉛直排水材は 3 段に分けて建て込み、それぞれの排水材の結合部分はコア材を専用の金具で結合し、上段の不織布の裾をスカート状にして下段の不織布に両面テープで



図一6 テールアルメ壁の形状および構造

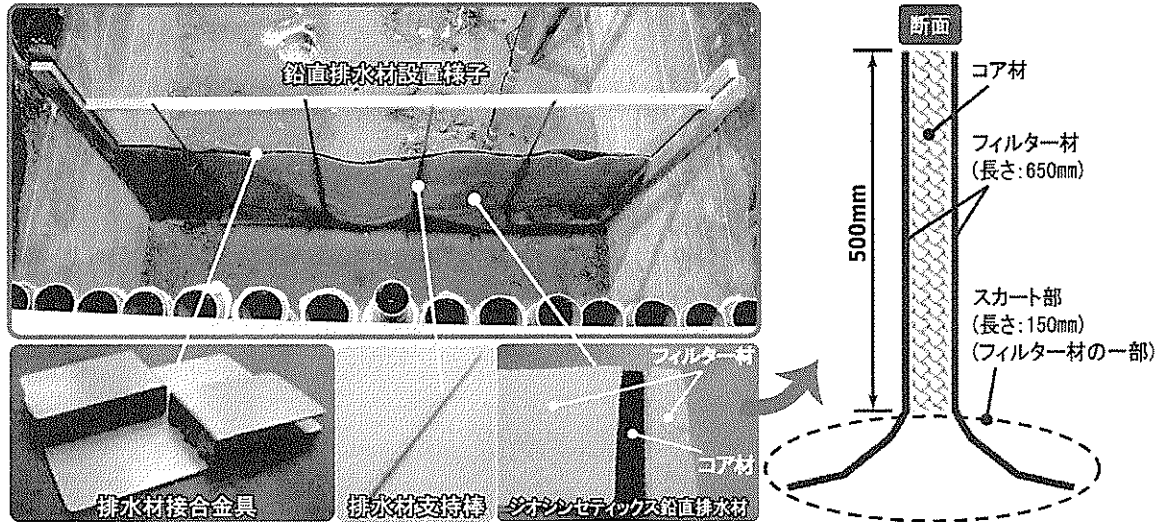


図-7 ジオシンセティクス鉛直排水材

接着することにより容易に施工できた¹⁰⁾。

一方、表-3 に大型実験のケースごとの実験条件および設計時の土質定数をまとめている。盛土材の自然土は、細粒分含有率 F.C.=32.6%であることから、テールアルメの設計基準によれば[B]材料に該当する。[B]材料ではストリップとの摩擦係数は、 $f^* = \tan \phi$ の関係において $\phi=25^\circ$ とされるが、本実験ではリップ付きストリップを用いた一面せん断試験結果(表-4)に基づき¹¹⁾、ストリップと盛土材との摩擦係数を検討した¹²⁾。ストリップに作用する鉛直応力と最大せん断応力 τ_{max} の関係は式-1で表すことができる。

$$f^* = \frac{\tau_{max}}{\sigma} \quad (1)$$

ここに、 f^* ：見かけの摩擦係数、 σ ：土被り圧で本実験モデルでは $\sigma = \gamma \cdot H$ 、 γ ：単位体積重量=17.06 (kN/m³)、 H ：土被り厚=2.5 (m) とした。計算結果としては不飽和状態では $\phi=37.3^\circ$ 、飽和状態で $\phi=36.8^\circ$ となり、[A]材料における最低値である $\phi=36^\circ$ を満足する。この値を用い、補強材の引抜けに対する計画安全率 $F_s=1.0$ (通常、 $F_s=2.0$) としてストリップの配置仕様を決定した。ストリップの引抜けに対する安全率の場合、通常は $F_s=2.0$ として設計されるが、本実験においては、真の安全率を確認するため $F_s=1.0$ として設計した。引抜けに対する安全率は式-2による。

$$F_s = \frac{2 \cdot f_i^* \cdot \sigma_{vi} \cdot b \cdot L_e}{T_i} \quad (2)$$

ここに、 f_i^* ： i 段目における見かけの摩擦係数、 σ_{vi} ： i 段目における鉛直応力 (kN/m²)、 b ：ストリップ幅 (m)、 L_e ：抵抗領域内長さ (m)、 T_i ： i 段目ストリップに作用する引張り力 (kN)、算定された安全率を表-5に示す。

表-3 初期設計時の土質定数

区分	湿潤密度 ρ_t (g/cm ³)	粘着力 c_d (kN/m ²)	せん断抵抗角 ϕ_d (°)	ストリップとの摩擦角 ϕ_d (°)
ケース1 自然土 (無対策)	1.74	0	30	36.0
ケース2 自然土				

表-4 リップ付きストリップを用いた一面せん断試験結果

供試体 D×H (cm)	6.00×2.50	
土粒子密度 ρ_s (g/cm ³)	2.610	
ρ_{dmax} (g/cm ³)	1.560	
$\rho_d = \rho_{dmax} \times 0.90$	1.404	
含水比 w (%)	24.0	
試料の状態	不飽和	飽和
粘着力 c (kPa)	2.6	4.3
せん断抵抗角 ϕ (°)	35.1	33.0

表-5 各段における引抜け安全率

段数 (i)	ΔH (m)	ΔB (m)	L (m)	F_s
1	0.50	1.00	2.50	1.042
2				1.025
3				1.007
4				1.158
5				1.300

表-6 盛土材料の主な物理特性

区分	湿潤密度 ρ_t (g/cm ³)	自然含水比 w (%)	粘着力 c_d (kPa)	せん断抵抗角 ϕ_d (°)	実験締固め度 D_c (%)	最大乾燥密度 ρ_d (g/cm ³)	最適含水比 w_{opt} (%)
ケース1 自然土 (L排水材なし)	1.85	24.4	17.5	29.7	90	1.576	22.1
ケース2 自然土	1.78	22.3	17.5	29.7	90	1.576	22.1

3. 2 実物大盛土の築造方法および締固め度管理法

表-6 に実物大実験に用いた自然土の主な物性値を示す。ケース1は事前に行った自然土の土質試験結果から飽和状態で安全率 $F_s \approx 1.0$ となる様にストリップの配置仕様決定を行い、自然土のみを用いて排水材は設置していない。ケース2もケース1と同じ設計で施工を行った。図-8にケース1とケース2の実物大盛土の施工過程を示す。今回用いた自然土は細粒分含有率 $F_c=32.6\%$ であるため、テールアルメの設計基準⁹⁾によれば、[B]材料にあたり、無対策では盛土材として用いることができない材料である。なお、参考として同設計基準では、細粒分25%以下の土であれば改良することなく盛土材として使用できると規定されている。



(a) ケース1(無対策)

(b) ケース2(L型排水防水工)

図-8 実物大盛土の施工過程

L型防水工の排水効果を確認するために、同じ自然土を用いて無対策盛土(ケース1)とL型排水盛土(ケース2)の比較を行った。

試験盛土の製作は、センサー類を設置しながら各層を所定厚さ25cmになるように撒き出しした後、60kgのプレートを用いて転圧した。各層の締固め度の管理は、層毎にポータブル支持力測定機であるキャスポルのIa値による推定締固め度および2層・4層・6層・8層目において砂置換による現場密度測定により確認した。表-7に各実験ケースの品質管理結果の平均値をまとめて示す。

3. 3 実験手順および計測方法

盛土実験における給水方法は、背面給水パイプの水位を最大2.5mまで上昇させることにより行った。初期水位を2.5mまで急激に上昇させた後、水位テスターを用いて一定となるように給水量を調整した。L型排水材からの排水量を一定時間毎に計測し、排水量が一定となった状態を定常状態とした。定常状態を確認してから各試験ケースの経時変化観察を行い、その後自然排水により脱水した。

図-9 に実物大盛土実験の計器配置図を示す。土槽盛土の挙動を把握するため、実験盛土の地盤造成時にセンサー類を埋設して実験中の盛土挙動をした。補強土壁の動態観測としては、前面に設けた基準点からの変位量を変位計により計測した。また、パイプひずみ計を設置して地盤内の変形挙動を観測した。一方、サクシオン計と水分計は各層地盤造成後表面に埋設し、地盤内の水位は観測孔（塩ビパイプ）を埋設して水位テスターで手動測定した。また、背面浸透パイプ内に水位計と温度計を設置して経時変化を記録した。これらの計測は、各センサーからスイッチボックスおよびデータロガーを介し1分間毎に記録した¹³⁾。

4. 実物大盛土実験の結果

4. 1 変形挙動

無対策実験であるケース1は、背面からの給水に伴い盛土内の水位は上昇、前面への排水は給水後約25分経過した時点で認められた。このとき、ストリップ先端部に亀裂が発生、壁面は80~100mmの変位量を示した(図-11(a))。継続した給水によりさらに盛土内水位が上昇、補強土背面部中心に亀裂拡大した(図-10(a))。52分後に給水停止したが水位低下は鈍く、壁は補強材と一体で大きく前方へ挙動し、最終的には崩壊に至った(図-10(b))。

ケース1での地中ひずみの分布状況(累積曲げひずみ)(図-12)より、A,B-Line共に補強土壁面から0.5~1.0m付近での挙動が認められ、上位では壁面側のA-Lineでのひずみが卓越する。これらに基づき崩壊形態を推定し、すべりによる安全率評価を行うと、最大水位を考慮時に安全率 $F_s=0.97$ 、水位の無い状態では $F_s=1.04$ となり、実挙動に整合した。

一方、L型排水防水工実験であるケース2は、給水開始直後より水平排水層前面から排水し、背面水位が盛土高さの2.5mに達するに2hを要する(ケース1では、51分を要する)。この過程でケース1同様ストリップ先端付近にヘアクラック(図-10(c))が生じたが、範囲が拡大することは無かった。その後、定常水位状態にて5h維持したが、盛土内への水位上昇は認められず、補強土壁面の水平変位も最大4.7mmと微小変形に留まり(図-11(b))、安定した状態にあった。一方、背面土では地表面が5cm沈下するなど、経時変化に伴い乱れが生じた。

4. 2 浸潤線の変化

表-7 実験ケースごとの品質管理結果

区分	含水比 w (%)	締固め度 D_r (%)		最大乾燥密度 ρ_d (g/cm ³)	最適含水比 (%)
		キャスポル	砂置換		
ケース1 自然土 (無対策)	24.4	90	93	1.576	22.1
ケース2 自然土	22.3	91	91		

表-8 用いた試料の変形・強度特性(室内試験結果)

区分	弾性係数 E_{50} (kPa)	ポアソン比 ν	粘着力 c_d (kN/m ²)	せん断抵抗角 ϕ_d (°)
ケース1 自然土 (無対策)	7,500	0.32	17.5	29.7
ケース2 自然土				

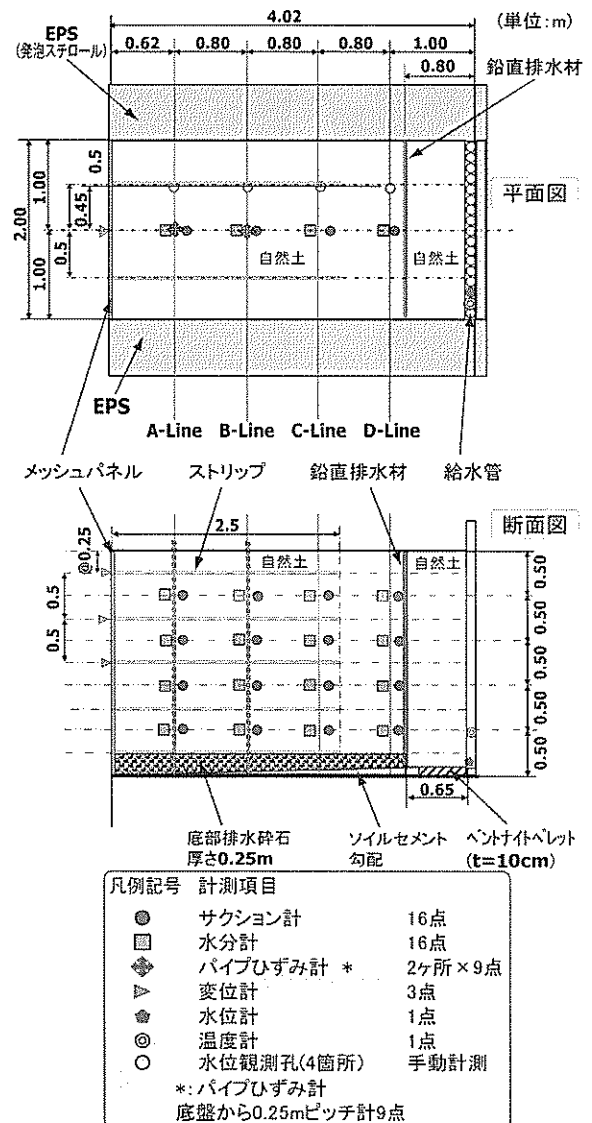


図-9 実物大盛土実験の概要図

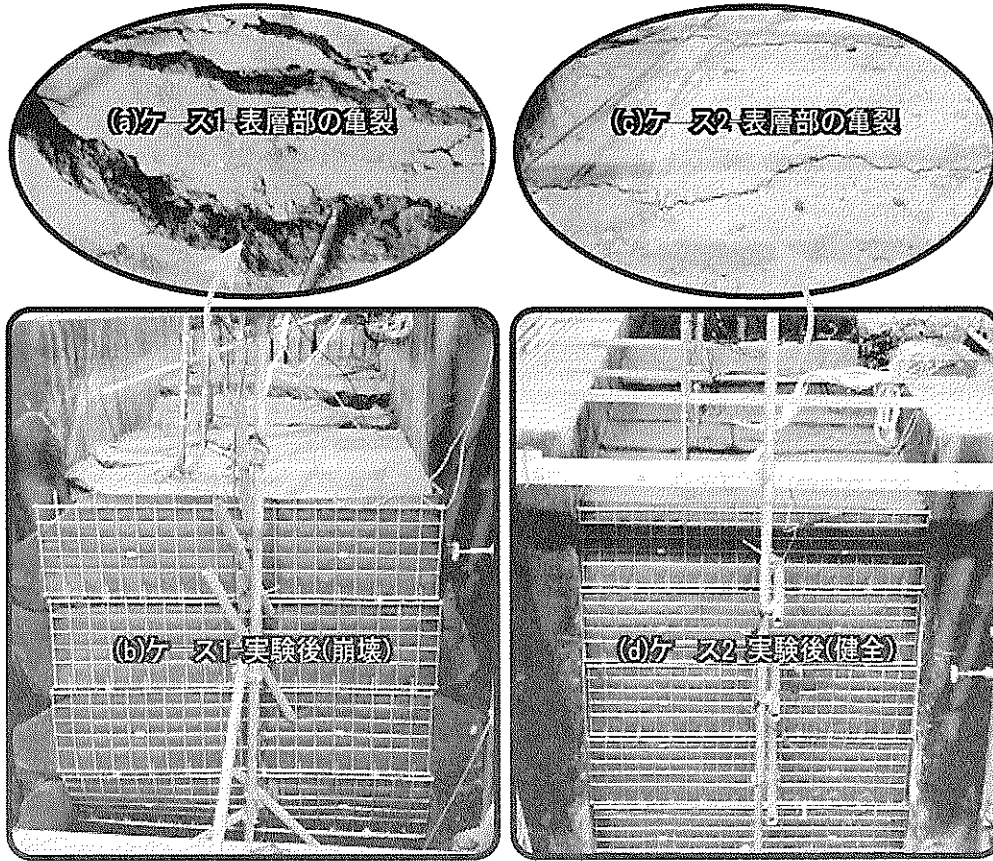


図-10 表層部の状態および実験後の全景

図-13 はケース1とケース2の給水実験における浸潤線の変化を示す。L型排水材が設置されているケース2の浸潤線を見ると盛土内部への水の浸透はないことが確認できる。この結果は、L型排水防水工の排水及び防水効果が発揮されたものと考えられる。また、図-14 は補強土背面(D-Line:壁面から3.02m)におけるサクシオン圧の経時変化である。ケース2はケース1に比して排水効果が明瞭であり、長時間持続している。

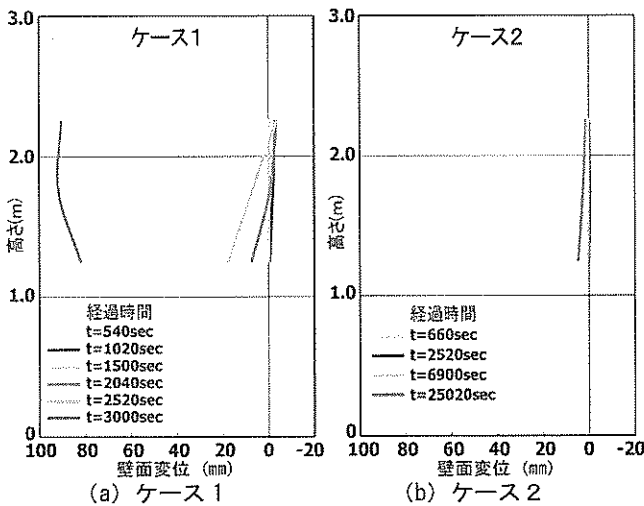


図-11 壁面変位

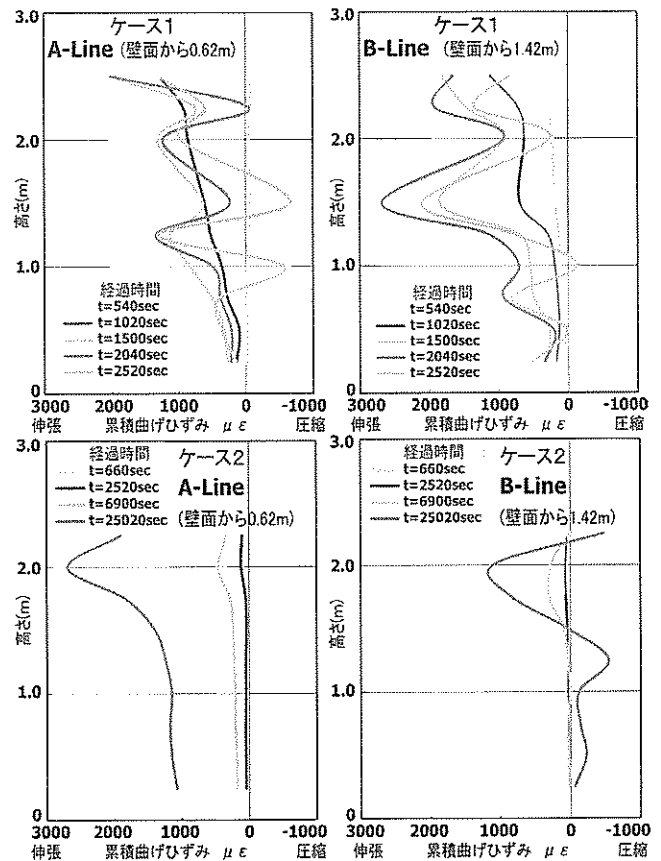


図-12 地中パイプひずみ分布図(累積曲げひずみ)

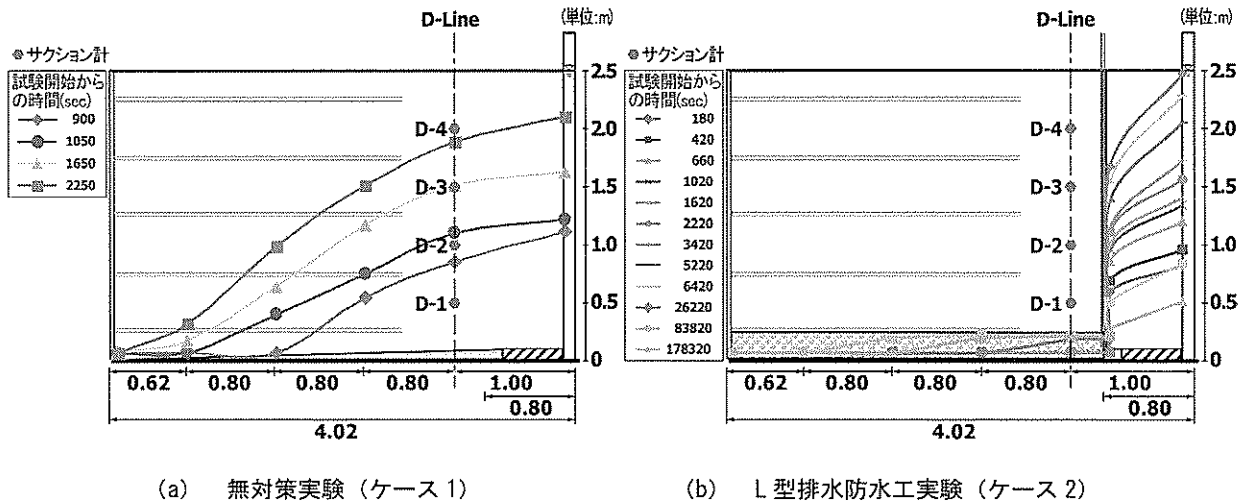


図-13 給水実験における水位変動の比較

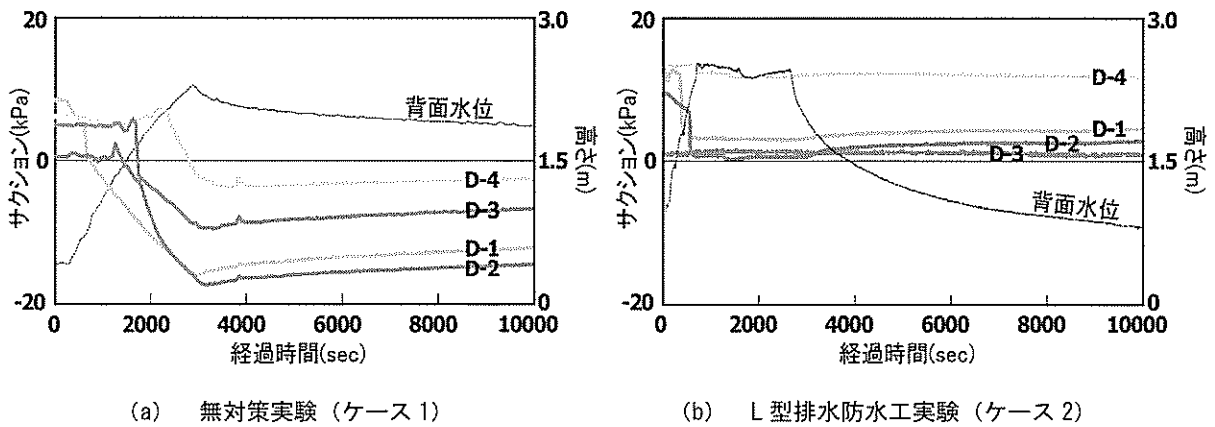


図-14 D-Lineにおけるサクシヨン圧の比較

5. 浸透流解析によるL型防水工の性能評価

前述までは、テールアルメ補強土壁にジオシンセティックス型排水材を採用した場合の防水効果を実物大盛土実験より確認した。本章では、実物大盛土実験の条件と同様なモデルを採用したFEM数値解析の実施によりL型防水工の性能を検証している。

5.1 解析方法および解析モデル

本研究のFEM数値解析には、地盤工学の研究者や技術者などの間で国際的に広く用いられている汎用プログラムであるGEO-SLOPE社が開発したSEEP/W(浸透解析専用プログラム)が採用されている。図-15には実物大盛土実験のケース2(L型排水材の採用ケース)に相当する浸透流解析モデルを示す。ケース1の場合は、ケース2のモデルと同様な寸法、境界条件および給水条件で、鉛直排水材と底面排水層を除いたモデルでケース2と同様な浸透流解析を実施した。

一方、盛土材の透水係数は室内透水試験結果を参考して、 $k=10^{-8}m/s$ を適用し、鉛直排水材のフィルター材の透水係数と底面の排水砕石層の透水係数は円滑な排水を仮定して $k=10^{-3}m/s$ を適用している。なお、今回の浸透流解析には、鉛直排水材や底面排水層の閉塞については考慮していない。また、背面給水に対する流入条件を反映するため、高さ2.5mである盛土背面土に、実物大盛土実験で行った給水条件と同様な水頭条件、即ち、時間-水頭変化の関数を適用した不定流浸透流解析を実施した(図-16参照)。

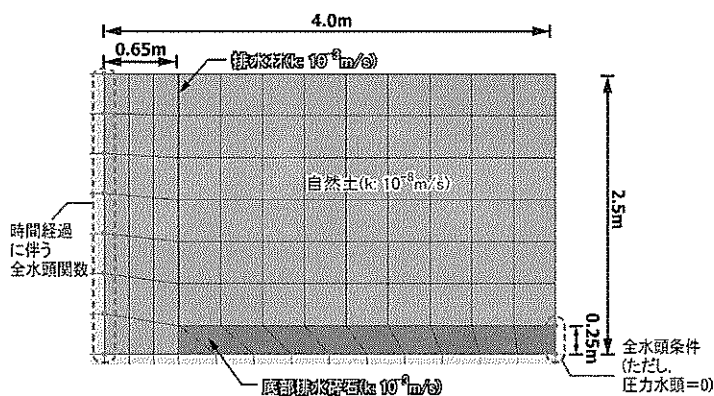


図-15 浸透流解析に用いたモデル(ケース2)

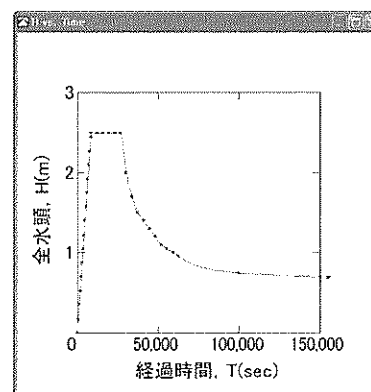


図-16 時間-水頭変化の関数

5. 2 解析結果および考察

図-17に時間経過に伴う盛土内の間隙水圧分布と流速ベクトルを示す。この結果より、背面給水による水位の増加に伴い、L型排水材の外部区域にて飽和化が進行されることが分かる。ちなみに、L型排水材の内部区域は背面の水位が2.5mまで上昇(143分後)しても盛土内部への浸透は見られないことが明らかである。

一方、定常水位の間(～383分後)飽和領域が拡大することなく、水位低下時(503～743分後)には鉛直排水材により排水が促進されている様子がうかがえ、L型排水材を介して盛土外部へ排水される様子が再現されている。これらの結果から、L型排水材の設置により背面に急激な水位上昇が生じて、補強土壁に水圧の影響や水の浸透はほぼないと評価できる。

6. 実験結果の考察

本研究は、大型土槽実験によるL型排水材の検証実験として、ジオシンセティックスを用いたL型排水盛土防水工を補強土(テールアルメ)壁工法に適用し、優れた効果を確認した。

無対策であるケース1では、背面からの給水に伴い盛土内水位が上昇し、ストリップ先端部に亀裂が発生、壁面は80～100mm水平変位し、最終的には崩壊に至った。しかし、L型排水盛土防水工を実施したケース2の場合、盛土内への水位上昇は認められず、補強土壁面の水平変位も最大4.7mmと微小変形に留まり、安定した状態にあった。

計測結果に基づき崩壊形態を推定し、すべりによる安全率評価を行った。ケース1の崩壊形態としてはストリップ先端付近を通る円弧すべりに近似され、安全率として無対策では $F_s=0.97$ 、L型防水工実施では $F_s=1.04$ を示し、実験結果との整合が認められた。また、L型排水盛土防水工をテールアルメに適用したケース2は、外部からの水の浸透を防ぐことで、壁面および内部の挙動を抑制し、背面水位上昇に対しても外的安定を保つことができることが分かった。ケース2の場合について浸透解析を行った結果、L型防水工の適用により、地盤内への地下水の浸透は見られず、盛土背面の地下水が速やかに排水されることを確認した。

7. おわりに

L型排水工は、谷埋め盛土など背面側からの浸透水が懸念される箇所でも有効に機能するものと思われる。また、東北地方太平洋沖地震では補強土壁面の一部が大変形した事例が報告¹⁴⁾されており、補強土壁盛土内への雨水浸透や排水不良が誘因として挙げられている。排水機能が健全な状態では震度6強～7の強震動観測地区であっても被災を免れており、防水効果の高い本工法の適用は巨大地震時にも有意と考えられる。

防水効果の観点から、本実験に使用した自然土は一般的な環境基準を超える材料であり、実現場に適用した場合に環境面での問題となることが考えられる。雨水が盛土内部に浸透するとその低い透水性から、排水に時間を要することとなる他、長期にわたり周辺環境に影響を与える懸念が残る。浸透流解析結果からL型排水工により盛土内部への水の浸透を防ぐ盛土防水工の効果は、建設発生土のリサイクルを含めた環境問題にも適用出来るものと考えられる。

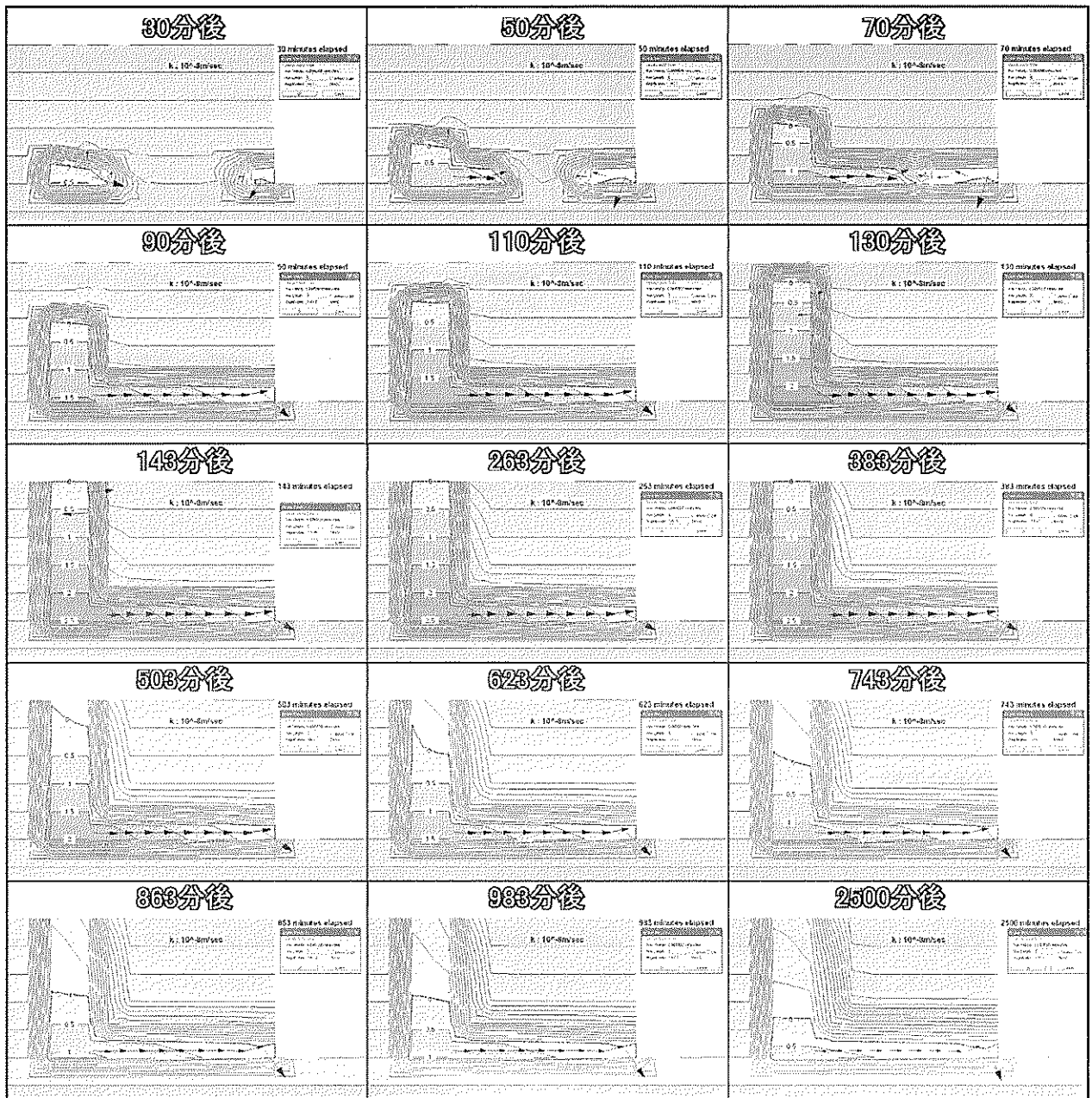


図-17 時間経過に伴う間隙水圧分布および流速ベクトル図 (ケース2)

謝辞：本研究は（財）鉄鋼業界環境保全技術開発基金の支援を受けた。

参考文献

- 1) 澁谷啓, 齋藤雅彦, 原健二, 三井仁哉：ジオシンセティックスを用いた「L型排水盛土防水工」の提案, 第43回地盤工学研究発表会発表講演集, pp. 1539-1540, 2008. 7
- 2) 原健二, 齋藤雅彦, 三井仁哉, 澁谷啓：ジオシンセティックスを用いたL型排水盛土防水工の模型実験と数値シミュレーション, 第43回地盤工学研究発表会発表講演集, pp. 1541-1542, 2008. 7
- 3) 原健二, 澁谷啓, 齋藤雅彦, 鳥居宣之, 蔡鍾吉, 樹尾孝之：ジオシンセティックスを用いたL型排水盛土防水工, ジオシンセティックス論文集, Vol. 23 (2008), pp. 147-154
- 4) 澁谷啓：盛土崩壊のメカニズムと対策工, ジオシンセティックス論文集, Vol. 23 (2008), pp. 1-14

- 5) 白濟民, 金秉洙, 本郷隆夫, 澁谷啓: 製鋼スラグ混合土の透水・力学的特性に関する研究, 第 47 回地盤工学研究発表会発表講演集, pp. 541-542, 2012. 7
- 6) 社団法人地盤工学会: 地盤材料試験の方法と解説, 平成 21 年 11 月, p. 554
- 7) 東中西日本高速道路 (株): 設計要領第一集土工編, 平成 21 年 7 月
- 8) 国土交通省: <http://www.mlit.go.jp/>, pH および悪臭に関する留意事項, 資料 1-6-9.
- 9) (財) 土木研究センター: 補強土 (テールアルメ) 壁工法設計・施工マニュアル第 3 回改訂版, 2003. 11
- 10) 忠野祐介, 澁谷啓, 金秉洙, 許晋碩, 白濟民, 尾方武文, 石川雅英, 森英一郎, 水田智幸, 市原明恵: ジオシンセティックスを用いた L 型防水工の補強土壁への適用性に関する実物大盛土実験 (その 1) (大型土槽実験による L 型排水材の検証実験), 第 47 回地盤工学研究発表会発表講演集, pp. 1323-1324, 2012. 7
- 11) 金秉洙, 中村努, 尾方武文, 澁谷啓: 一面せん断試験装置を用いた製鋼スラグ混合土とメタルストリップ補強材との摩擦特性の測定, 第 47 回地盤工学研究発表会発表講演集, pp. 501-502, 2012. 7
- 12) 尾方武文, 石川雅英, 本郷隆夫, 許晋碩, 金秉洙, 澁谷啓: ジオシンセティックスを用いた L 型防水工の補強土壁への適用性に関する実物大盛土実験 (その 2) (テールアルメにおける L 型排水材の効果について), 第 47 回地盤工学研究発表会発表講演集, pp. 1325-1326, 2012. 7
- 13) 許晋碩, 森英一郎, 水田智幸, 市原明恵, 尾方武文, 本郷隆夫, 澁谷 啓: ジオシンセティックスを用いた L 型防水工の補強土壁への適用性に関する実物大盛土実験 (その 3) (スラグを用いた補強土壁の挙動について), 第 47 回地盤工学研究発表会発表講演集, pp. 1327-1328, 2012. 7
- 14) 日本テールアルメ協会: 平成 23 年 (2011 年) 東北地方太平洋沖地震 被災調査 報告書<第二報>, 2011. 10

著 者

白 濟民	神戸大学大学院博士後期課程, 地盤工学
許 晋碩	神戸大学大学院博士後期課程, 地盤工学
尾方 武文	ヒロセ株式会社
金 秉洙	神戸大学大学院 研究員, 博士 (工学), 地盤工学
忠野 祐介	神戸大学大学院博士前期課程, 地盤工学
澁谷 啓	所員, 博士 (工学), Ph. D., 地盤工学

