

ジオセルを用いた堤脚安定工法

～中小河川における粘り強い堤防構築のための効率的補強対策～



一般社団法人 リバーテクノ研究会

地盤WG 堤脚安定工小WG

一般社団法人 リバーテクノ研究会
地盤 WG 堤脚安定工小 WG 名簿

【地盤WG】

西江 俊作	中央開発株式会社
安藤 欽一	中央開発株式会社
織作健二郎	中央開発株式会社
坂本 淳一	中央開発株式会社
東野 圭悟	中央開発株式会社
佐藤 謙司	応用地質株式会社
阿部 知之	応用地質株式会社
新清 晃	応用地質株式会社
倉田 大輔	応用地質株式会社

【材料WG】

鍋嶋 靖浩	旭化成アドバンス株式会社
榊尾 孝之	太陽工業株式会社
今川圭太郎	株式会社田中
石川 雅洋	東洋紡株式会社
明永 卓也	三菱ケミカルインフラテック株式会社

— 目 次 —

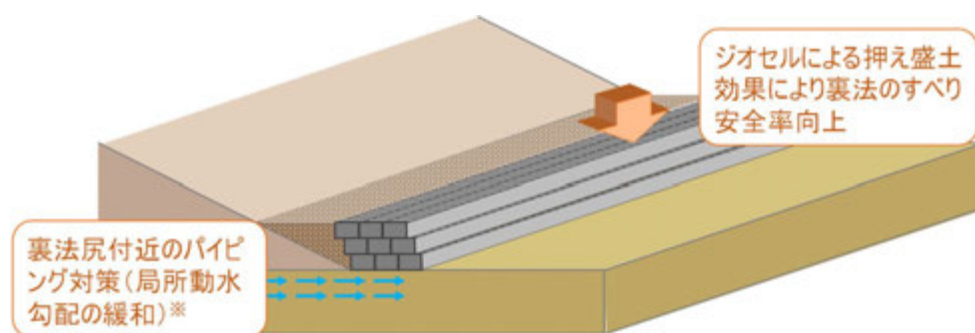
1. はじめに.....	1
2. ジオセル工法の特徴.....	2
3. モデル堤防を対象とした効果の検証.....	3
4. ジオセルの施工手順.....	10
5. その他の効果.....	11
6. 工事費.....	12
7. 製品.....	12
8. まとめ.....	16

1. はじめに

近年、洪水の発生頻度は増加傾向にあり、また気候変動に伴い、その規模は増大している。これは、特に流下断面の小さい中小河川にとって大きな脅威であり台風襲来時等には、堤防周辺で大小様々な被害が生じている。しかし、その数と延長は膨大であるため、十分な対応策が実施されているとは言い難く、今後の効果的かつ効率的な整備と対策が望まれる。

洪水時における堤防の被災形態はいくつかあるが、ここでは堤体に河川水が浸透することによって発生するすべり破壊（浸潤破壊）に着目する。浸透に対する安全性が低い河川堤防に対する対策工として、断面拡大工法やドレーン工法が挙げられる。断面拡大工法は、堤防断面の拡大によって浸透路長の延長、平均動水勾配の低減、法面の緩勾配化によるすべり安全率の向上、川裏法尻近傍の基礎地盤のパイピング対策といった効果を期待するものである。ドレーン工法は、堤体内に浸透した河川水や降雨による裏法尻の不安定化に対して、浸透水を速やかに排除する目的で設置されるものである。その排水効果によって堤体内浸潤面を低下するとともに、法尻部をせん断抵抗の大きいドレーン材料で置換し安定性を増す効果もある。

上記は抜本的な堤防強化工法であるが、条件によっては、簡易な工法で安全性の向上を図れる可能性がある。その一つとして、本資料では**ジオセルを用いた堤脚安定工法**を提案する。これは、押え盛土の材料にジオセルを用いて、川裏側のすべり安全率の向上を図るものである。ジオセルの中詰材に単粒度碎石のような透水性の高い材料($k=1.0 \times 10^{-3} \text{m/s}$ 程度)を用いることで、川裏側法尻部のパイピング対策という効果も期待するものである。



※中詰材に透水性の高い材料を用いた場合

図-1.1 ジオセルを用いた堤脚安定工法のイメージと効果

ジオセル工法とは

ジオセル工法は、高密度ポリエチレン板やジオグリッドをカゴ状にしたジオセル内部に、土砂や碎石等の充填材を詰めることで、強度のある構造体を形成するもので、法面保護、擁壁、河川護岸、路盤支持力の向上など、様々な用途で効果を発揮している。



2. ジオセル工法の特徴

(1) 軽量・コンパクト

ジオセルは軽量であり、人力による搬入・展開も容易である。また、折りたたんでコンパクトに梱包するため、保管も便利でスペースを取らない。



写真-2.1 搬入されたジオセル



写真-2.2 ジオセルの保管状況

(2) 簡単施工

軽量のため、人力による搬入・展開が可能である（重機不要）。そのため、狭小な場所でも施工時の支障は少ない。また、施工上の制約が少ないため、工費・工期の面で有利となる。



写真-2.3 ジオセルの展開

(3) フレキシブルな構造

素材が耐久性、柔軟性に優れているため、現場の形状に合わせた施工が可能となる。階段工等の附帯施設周辺、曲線部等でも容易に追従できるため、設置場所の制約が少ない。



写真-2.4 曲線部における設置

3. モデル堤防を対象とした効果の検証

※ジオセル工法の適用を検討する場合、同様の方法により効果を検証されたい。

(1) 裏法すべり破壊に対する安全性の向上

押え盛土工によるすべり安全率向上の効果を確認するため、堤体の規模を変えながら、すべり安定解析における最小安全率の変化を確認した。また、比較用として断面拡大工法による効果も確認した。図-3.1 にジオセルの設置イメージを示す。

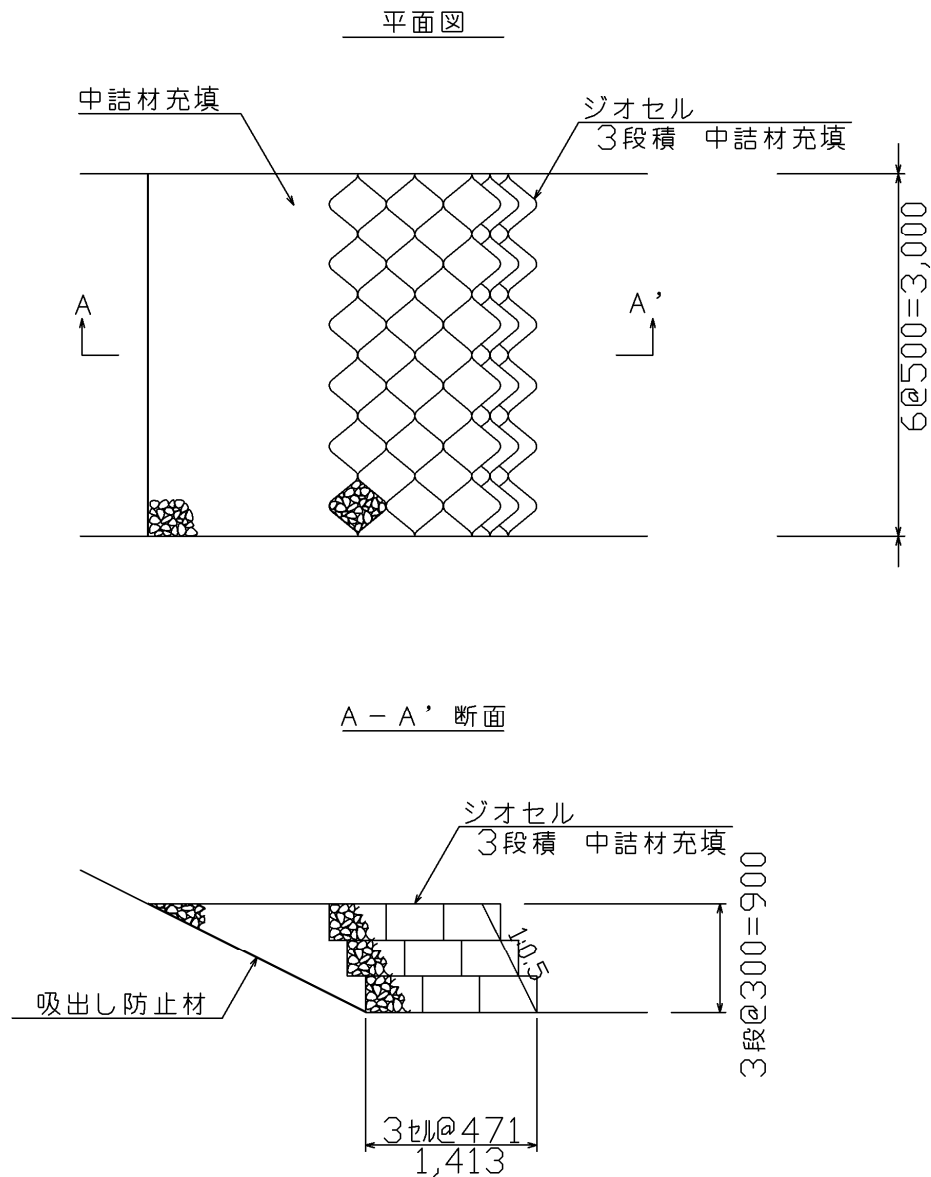


図-3.1 ジオセルの設置イメージ

(a) 計算モデル

【土質構成】

対象の河川堤防の土質構成は、基礎地盤は下位より基礎岩盤(T)、沖積砂礫層(Ag)、沖積砂質土層(As)で構成されており、堤体は砂質土である。

モデルに用いた土質定数を表-3.1 に示す。

表-3.1 土質定数

区分	記号	湿潤密度 γ_t kN/m ³	飽和密度 γ_{sat} kN/m ³	粘着力 c kN/m ²	せん断抵抗角 ϕ 度
ジオセル		20.0	20.0	0	40
堤体	Bs	19.9	21.0	1	33
基礎地盤	As	18.0	20.0	0	33
	Ag	20.0	22.0	0	35
	T(泥岩)	18.0	20.0	108	22

【堤防及びジオセルの形状】

堤防天端幅は3mに固定し、堤防高を2m、3m、4m、5m、8mとした5ケースを設定した。法面勾配は1:1.5とした。

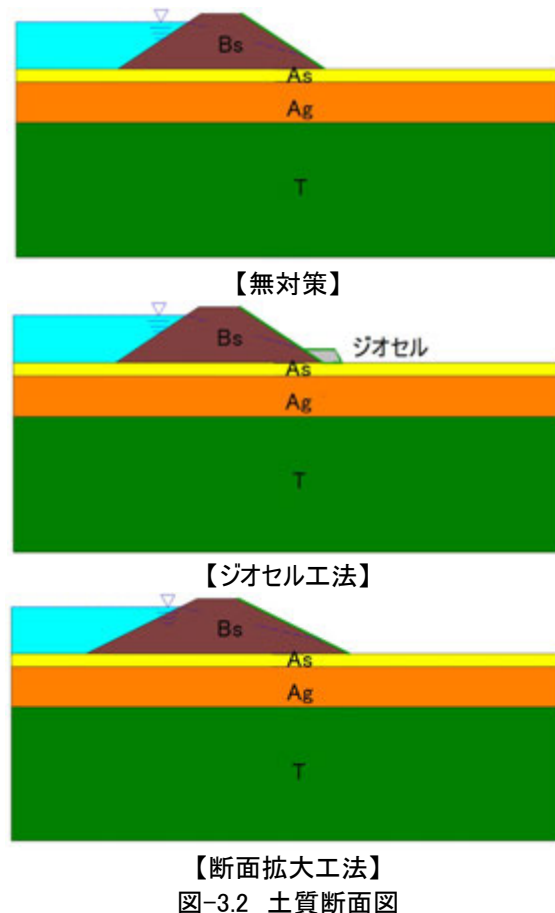
堤防法尻に設置するジオセルは、3段積み(高さ0.9m)、堤内側の勾配は1:0.5とした。

比較用として実施する断面拡大工法は、天端幅は変えず、法肩から2割勾配の形状とした。

【水位条件】

浸潤線は後述する(2)の浸透流解析の結果を参考に、川表側の水位から川裏側のジオセル天端に向かう直線により設定した。川表側の水位は、堤防天端から余裕高(0.6m)を差し引いたものとした。

検討に用いた土質断面図を図-3.2 に示す。



(b) 計算結果

無対策、ジオセル工法、断面拡大工法の各ケースにおける最小安全率を図-3.3 に示す。また、無対策に対するジオセル工法、断面拡大工法の最小安全率の変化率を図-3.4 に示す。

図-3.3 から、無対策に比べて、ジオセル工法、断面拡大工法ともにすべり安全率向上の一定の効果が見える。堤防高 4～5m を境として、それより低い場合はジオセル工法、高い場合は断面拡大工法が有効となった。無対策に対する最小安全率の変化率を示した図-3.4 から**堤防高の低いケースにおいてジオセル工法の効果が大きい**。このことから、本工法は中小河川の小規模な堤防において効果を発揮する。

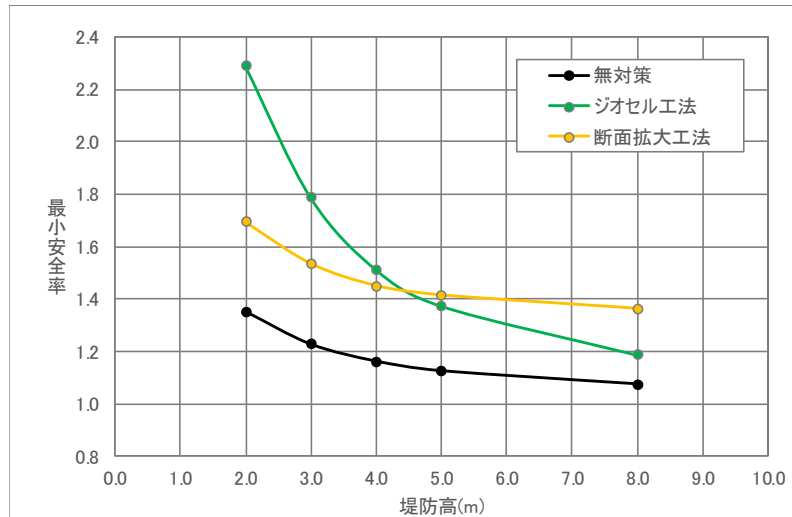


図-3.3 最小安全率

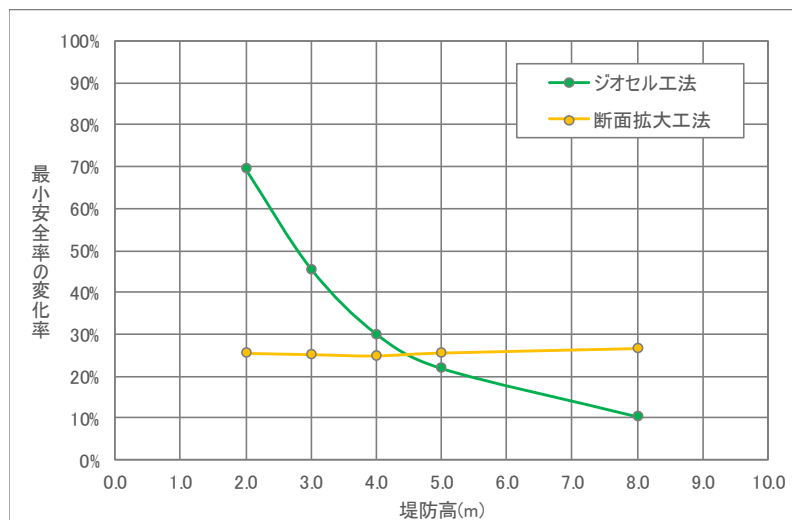


図-3.4 最小安全率の変化率

※ジオセル工法: ジオセル設置時の最小安全率／無対策時の最小安全率、
断面拡大工法: 断面拡大時の最小安全率／無対策時の最小安全率

(c) 適用上の留意点

臨界円が基礎地盤を深く通過する粘性土地盤では、対策効果が得られ難い場合があることを留意する必要がある。

(2) パイピングに対する安全性の向上

川裏側の法尻部に設置したジオセルの中詰材に、単粒度碎石のような透水性の高い材料($k=1.0 \times 10^{-3} \text{m/s}$ 程度)を用いた場合のパイピング抑制に対する効果を確認するため、浸透流解析を実施した。ジオセルの設置イメージは、(1)で示した図-3.1と同様である。

(a) 計算モデル

【土質構成】

対象の河川堤防を図-3.5 及び図-3.6に示す。対象の河川堤防の土質構成は(1)と同様で、基礎地盤は下位より基礎岩盤(T)、沖積砂礫層(Ag)、沖積砂質土層(As)で構成されており、堤体は砂質土である。

【ジオセルの形状】

堤防法尻に設置するジオセルは、(1)と同様に3段積み(高さ0.9m)、堤内側の勾配は1:0.5とした。

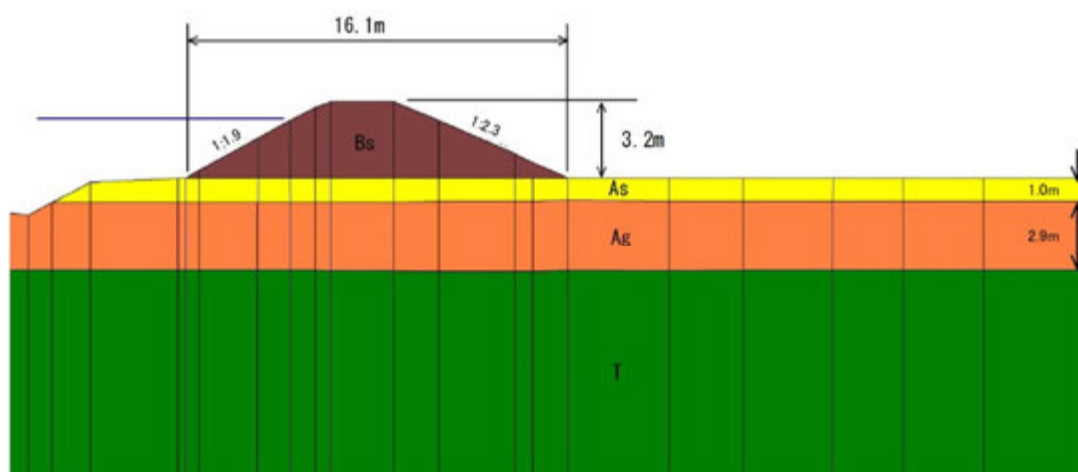


図-3.5 無対策時のモデル

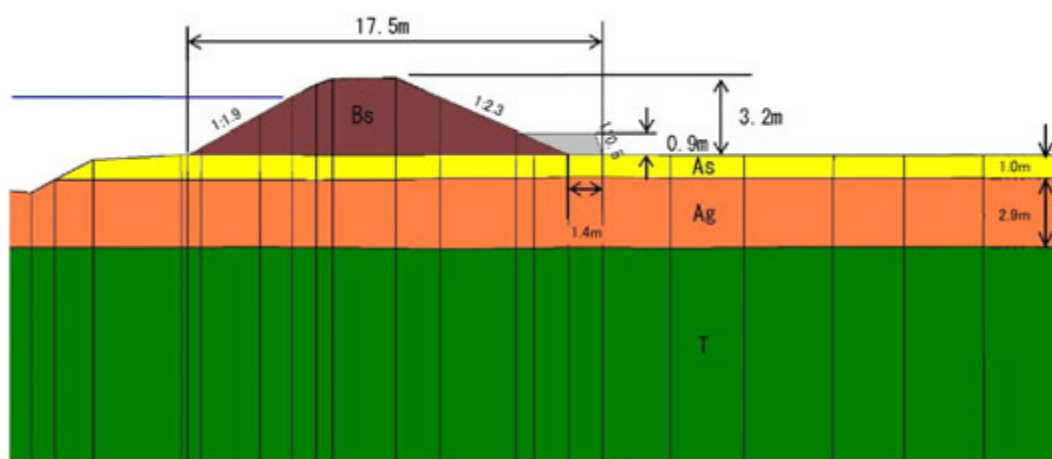


図-3.6 対策時のモデル(ジオセル3段積み(H=0.9m))

【土質定数】

モデルに用いた土質定数を表-3.2 に示す。

表-3.2 土質定数

区分	記号	湿潤密度 γ_t kN/m ³	飽和密度 γ_{sat} kN/m ³	飽和透水係数 k_s m/s
ジオセル		20.0	20.0	1.00×10^{-3}
堤体	Bs	19.9	21.0	5.00×10^{-6}
基礎地盤	As	18.0	20.0	5.00×10^{-6}
	Ag	20.0	22.0	3.00×10^{-5}
	T(泥岩)	18.0	20.0	1.00×10^{-7}

【洪水外力】

図-3.7 に洪水外力の設定条件を示す。計算モデルのひな形となっている洪水外力に対して、河川水位が HWL の状態になった時間から、そのまま 150 時間程度 HWL を継続し、HWL の定常状態に等しくなるように河川水位を設定した。

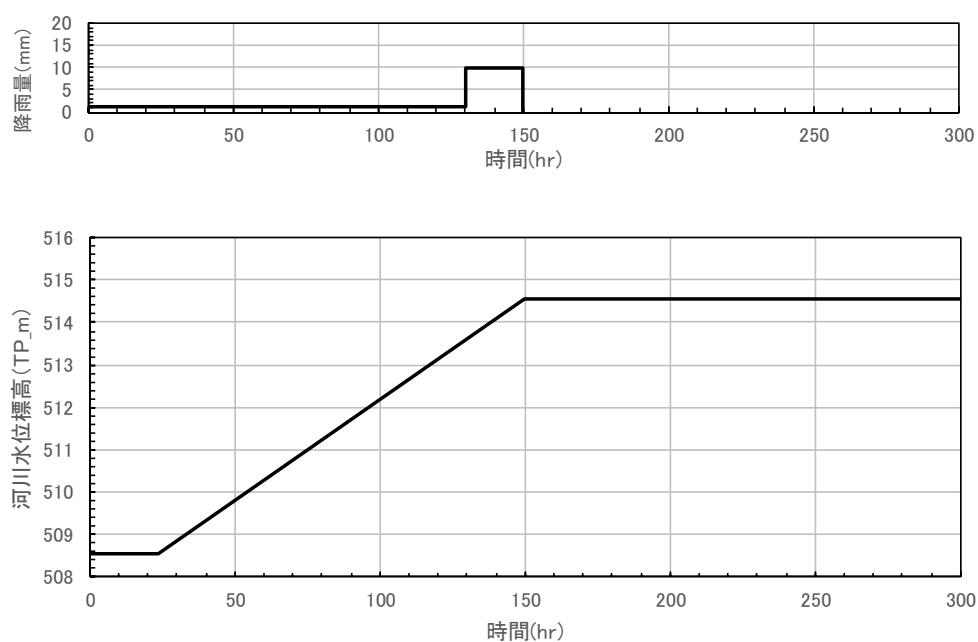


図-3.7 設定した洪水外力

(b) 計算結果

【パイピング破壊】

表-3.3 に示すとおり、無対策のときの局所動水勾配が $i_v=0.658$ 、 $i_h=0.605$ であったのに対して、対策後では、ジオセル設置範囲の局所動水勾配は最大でも $i_v=0.395$ 、 $i_h=0.182$ となっており、パイピング破壊に対する対策効果が認められる結果となった。

表-3.3(a) 局所動水勾配の照査結果 (t=300hr 時、鉛直方向)

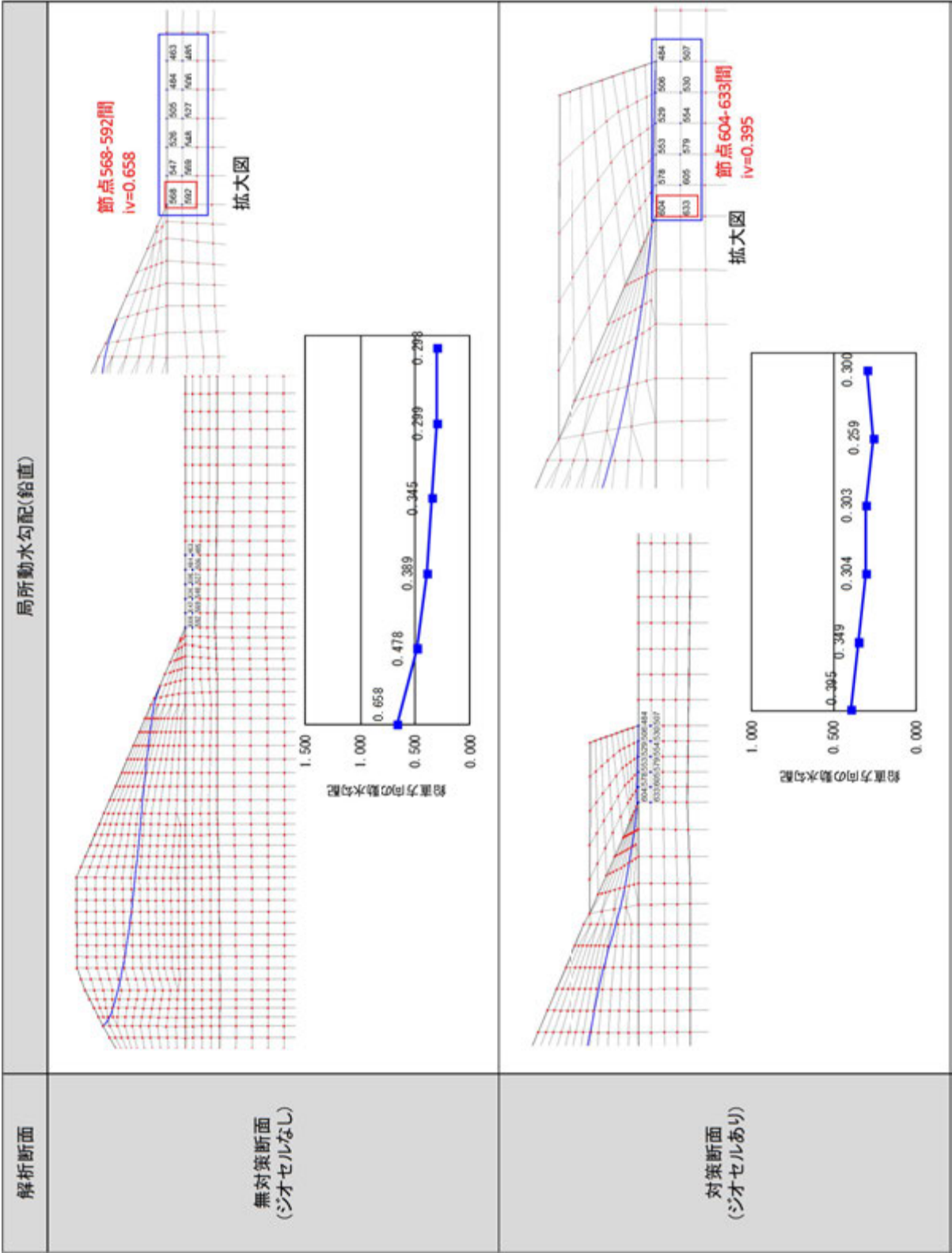
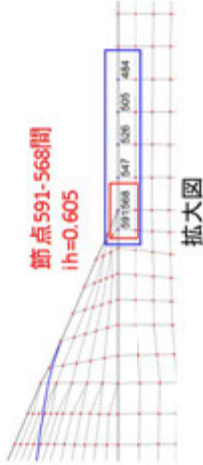
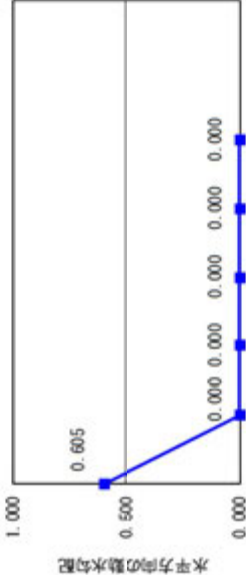
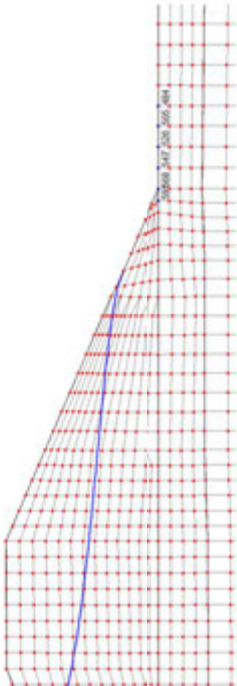
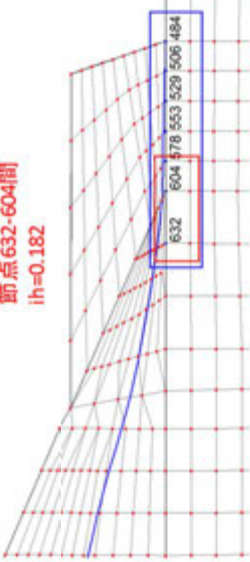
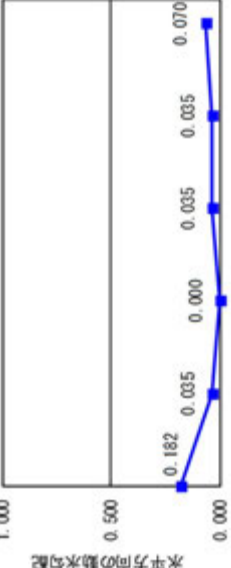
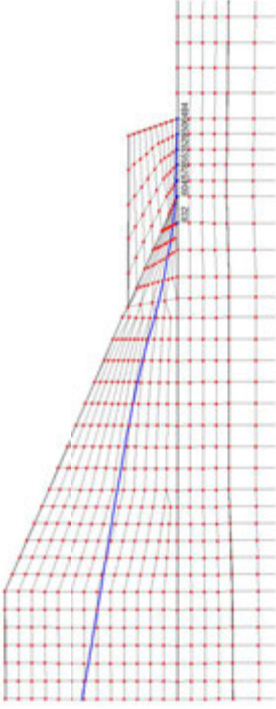


表-3.3(b) 局所動水勾配の照査結果 (t=300hr 時、水平方向)

解析断面	局所動水勾配(水平)
無対策断面 (ジオセルなし)	 拡大図
対策断面 (ジオセルあり)	 拡大図

4. ジオセルの施工手順

①展開枠への取り付け 専用の展開枠にジオセルを取り付けて展開する。	
②ジオセルの据置 展開枠を上にして、ジオセルを所定の位置に設置する。	
③ジオセル端部の接続 順次、延長方向に並べた後、端部を接続する（接続部材アトラキーまたはリベット）。	
④中詰材の充填 ジオセルの内部に中詰材を充填する。展開枠を外した後、振動ローラー等を用いて充填材を十分に転圧する。	
⑤前面セルの充填 前面のセルの転圧には突き棒等を用いて、曲面形状を整えるように充填する。 必要な高さまで①～⑤を繰り返す。前面に勾配をつける場合は、セットバックしてジオセルを積上げる。	

※上記は、ジオウェブ(旭化成アドバンス)の施工手順を示したものです。他の製品の施工方法は、販売各社にお問い合わせください。

5. その他の効果

(1) 堤脚保護及び緑化

階段状に積み上げるため、法留め・堤脚保護工としての効果が期待できる。ジオセルの天端高が高くなる場合には、敷設幅を変えて法留めとして必要な重量を確保することで対応する。また、前面や上部のセルに良質土を充填することで、表面の緑化を図ることができる。



写真-5.1 多段積みしたときの緑化の状況

(2) 裏法尻の洗掘対策

「水防災意識社会再構築ビジョン」(平成 27 年 12 月 11 日、国土交通省水管理・国土保全局)では、危機管理型ハード対策が取り組みの一つとして挙げられている。いわゆる粘り強い構造の堤防の整備である。この一例として、裏法尻をブロック等で補強し、越流水による深掘れの進行を遅らせることで、決壊までの時間を稼ぐという方策が掲げられている(図-5.1 参照)。ジオセル工法は、河川護岸としての使用実績があり、アンカーピンによるセルの固定と中詰材によってその機能を果たしている。ジオセルを裏法尻に敷設すれば、越流水による洗掘対策の効果も期待できる。

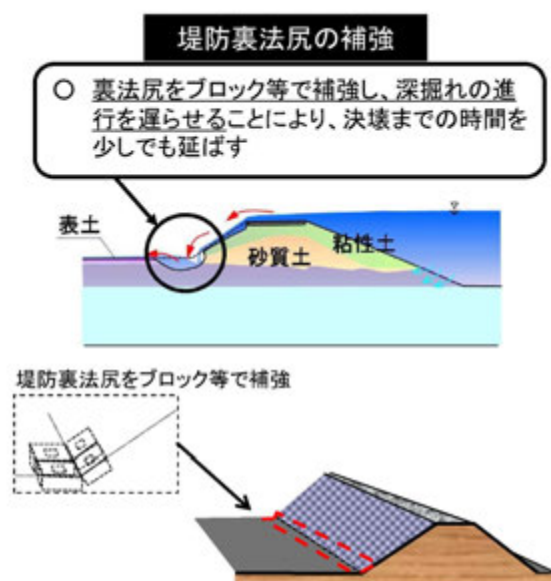
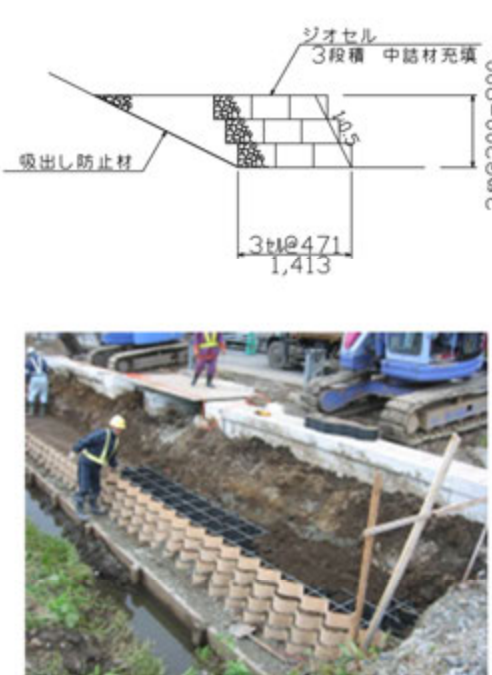
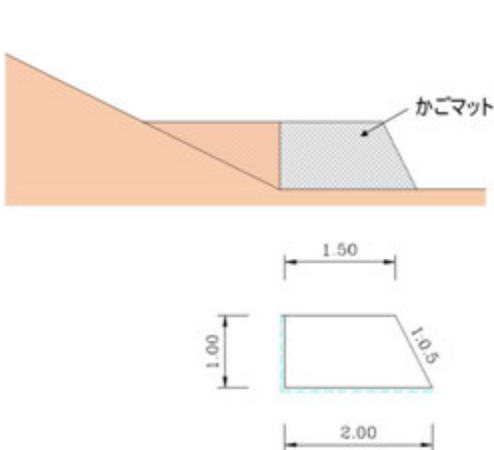


図-5.1 堤防裏法尻の補強(出典:「水防災意識社会 再構築ビジョン」、国土交通省、H27.12)

6. 工事費

ジオセルによる堤脚安定工の工事費及び施工日数を表-6.1 に示す。なお、比較対象として、かごマット工により概ね同じ規模の押え盛土を施工した場合の工事費及び施工日数を示す。

表-6.1 工事費及び施工日数

	ジオセル(ジオウェブ:旭化成アドバンス)	かごマット
構造		
概算工事費	¥400,000/10m	¥680,000/10m
摘要	■中詰材には割栗石を使用	■湾曲部は間詰材で調整 ■中詰材には割栗石を使用
施工日数	4日/100m	6日/100m

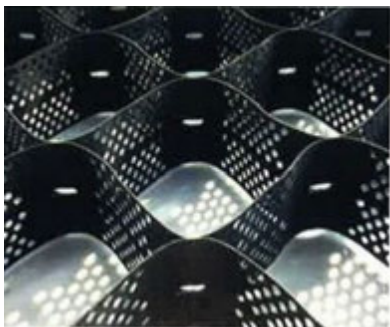
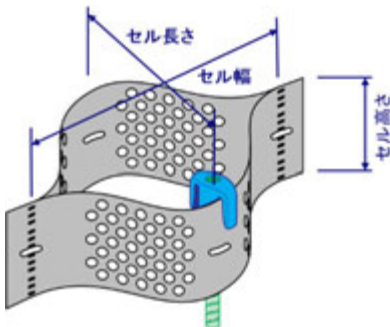
※H30 公共工事設計労務単価(東京都)等、H30 単価を用いた試算。

7. 製品

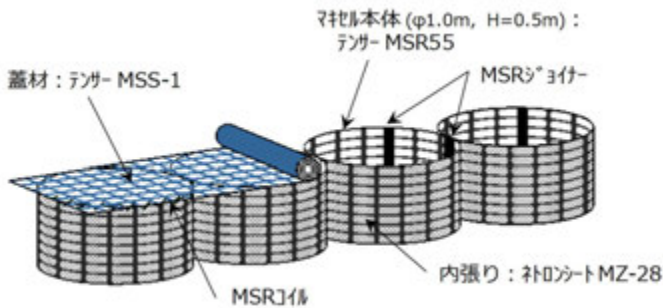
ジオセルの製品一覧を表-7.1 に示す。また、次ページより各製品の詳細を示す。

表-7.1 製品一覧

商品名	取扱会社	セルサイズ	厚み
ジオウェブ	旭化成アドバンス株式会社	約250～500mm	100～300mm
ダイヤセル	三菱ケミカルインフラテック株式会社	約1000～1750mm	500mm
マキセル	三井化学産資株式会社	1000mm	500mm

製品名	ジオウエツプ											
社 名	旭化成アドバンス(株)											
製品概要												
「ジオウエツプ」は U.S.Army.Corps of Engineers(アメリカ陸軍工兵司令部)とアメリカのプレスト社が 1970 年半ば頃から共同開発された製品及び工法です。当初の目的はアメリカ陸軍において、砂浜や砂漠、軟弱地盤など重機の搬入が困難な場所での進入路確保のために開発されました。 「ジオウエツプ」は、高密度ポリエチレン(HDPE)製の細長い板状材料を規定の間隔で高周波圧着を行い、展開することにより、立体ハニカム構造を構築する商品で、セル構造に充填材を詰めることにより、強度のある連続構造体となります。材料の表面にはエンボス加工と呼ばれる表面処理と穴開け加工が施されています。 擁壁工、法面保護工、路盤・支持力補強工と様々な複合的な工法への応用が可能です。												
製品写真												
												
				 エンボス加工拡大写真								
製品規格												
用途	タイプ名	製品番号	特注区分	公称セル高さ (mm)	セル数		標準セルサイズ 誤差±10% (mm)		標準展開寸法 (m)		標準 展開面積 (m ²) ※ R3、R4 は壁面積	重量 kg
					幅方向	長さ方向	幅方向	長さ方向	幅方向	長さ方向		
法面保護工 路盤補強工	S100	GW20V41034PT		100	10	34	250	224	2.50	7.60	19.0	約 25
	S150	GW20V61034PT	特注品	150								約 37
	S200	GW20V81034PT	特注品	200								約 49
	M100	GW30V40834PT		100	8	34	313	282	2.50	9.60	24.0	約 26
	M150	GW30V60834PT		150								約 39
	M200	GW30V80834PT	特注品	200								約 51
	L100	GW40V40534PT		100	5	34	500	471	2.50	16.00	40.0	約 25
	L150	GW40V60534PT		150								約 37
L200	GW40V80534PT	特注品	200	約 49								
かごマット工	L300	GW40V120521PT	特注品	300		21		457		9.60	24.0	約 46
擁壁工	R3グリーン	GW30V60803PG1		150	8	3	331	267	2.65	0.80	0.4	約 4
	R4グリーン	GW30V60804PG1		150		4				1.07		約 5
	R3サンドカラー	GW30V60803PS1	特注品	150	8	3	331	267	2.65	0.80	0.4	約 4
	R4サンドカラー	GW30V60804PS1	特注品	150		4				1.07		約 5
その他特記事項			エンボス加工は土・砂等の充填材の摩擦力を高めることに寄与し、穴開加工は透水性を高めるとともに、砕石等充填材の界面摩擦角を高めることに寄与します。									

製品名	ダイヤセル		
社 名	三菱ケミカルインフラテック(株)		
製品概要			
ダイヤセルは、軽量で高耐久なプラスチック製のかご工です。高密度ポリエチレン製の前面テンサー、背面テンサー、トラステンサーの3つの部材から構成されており、あらかじめ工場にて折り曲げ加工等を実施済みであるため、施工延長や曲線に応じて、柔軟に部材の現地組立が可能です。 ダイヤセルは、中詰材に建設発生土を利用することが可能です。また、セルの前面には緑化マットを備えることで、小段だけでなく全体を緑化可能です。地形への追従性が高く、擁壁やのり面、護岸や根固めに等に利用できます。			
製品写真			
Technical drawing details: - Overall width: $10600 \pm 5\%$ - Overall height: $1200 \pm 5\%$ (with a note for the direction of travel) - Cell width: 1060 (mm) - Cell height: 1200 (mm) - Components: テンサ-DCT-70, テンサ-DCT-40, トラステンサ-DCT-40T, 前面: 固定杭P*, 背面: 固定杭S - Bottom part shows a cross-section with a width of $10600 \pm 5\%$ and a height of 500 (mm). - Unit: 単位(mm) Photos: - 緑化前 (Before greening): Shows the Dia Cell structure installed on a slope. - 緑化後 (After greening): Shows the Dia Cell structure covered with green vegetation.			
製品規格			
製品標準規格			
タイプ	基本寸法(m)	セル寸法(m)	備 考
ダイヤセル 1200 型	W 1.2 × L 10.6 × H 0.5	1.06 × 1.2	擁壁型
ダイヤセル 1750 型	W 1.75 × L 10.6 × H 0.5	1.06 × 1.75	
その他特記事項			

製品名	マキセル多段積み工法																						
社 名	三井化学産資(株)																						
製品概要																							
マキセル多段積み工法は、筒状にしたジオグリッド(テンサー)を連結材(ジョイナー)で接続し、中詰材を充填した構造体(マキセル)を積み上げ、法面を安定化する工法です。 資材が軽量で、組立てや現場合合わせが容易で工期短縮が図れます。高密度ポリエチレン製のため、腐食の恐れが無く、酸性やアルカリ性に対しても安定した性能を示します。 中詰材に現地発生土を使用することも可能で、植生シートにより法面の緑化が可能です。 中詰材を単粒砕石とし、蓋材を設置することで護岸工としても適用が可能です。																							
製品写真																							
   																							
製品規格																							
<table><tr><th>部 材</th><th>使用目的</th><th>仕様</th></tr><tr><td>テンサーMSR55</td><td>マキセルの筒状材</td><td>高さ0.5m×長さ3.3m</td></tr><tr><td>MSRジョイナー</td><td>マキセルの筒状材、マキセル同士の接続</td><td>幅4.5cm×長さ0.5m</td></tr><tr><td>植生シート</td><td>のり面の植生</td><td>幅0.5m×長さ2.1m</td></tr><tr><td>ネットロネットMZ-28</td><td>ごみ防止シート</td><td>幅0.5m×長さ2.0m</td></tr><tr><td>テンサーMSS-1</td><td>上蓋材</td><td>幅1.15m×長さ50m</td></tr><tr><td>MSRコイル</td><td>マキセルと蓋材の連結</td><td>φ40mm×長さ0.75m</td></tr></table> 			部 材	使用目的	仕様	テンサーMSR55	マキセルの筒状材	高さ0.5m×長さ3.3m	MSRジョイナー	マキセルの筒状材、マキセル同士の接続	幅4.5cm×長さ0.5m	植生シート	のり面の植生	幅0.5m×長さ2.1m	ネットロネットMZ-28	ごみ防止シート	幅0.5m×長さ2.0m	テンサーMSS-1	上蓋材	幅1.15m×長さ50m	MSRコイル	マキセルと蓋材の連結	φ40mm×長さ0.75m
部 材	使用目的	仕様																					
テンサーMSR55	マキセルの筒状材	高さ0.5m×長さ3.3m																					
MSRジョイナー	マキセルの筒状材、マキセル同士の接続	幅4.5cm×長さ0.5m																					
植生シート	のり面の植生	幅0.5m×長さ2.1m																					
ネットロネットMZ-28	ごみ防止シート	幅0.5m×長さ2.0m																					
テンサーMSS-1	上蓋材	幅1.15m×長さ50m																					
MSRコイル	マキセルと蓋材の連結	φ40mm×長さ0.75m																					
その他特記事項	主部材であるテンサーは単一材料で一体成形のため、強固な結節点を有し、ほつれや切断箇所の劣化の心配がありません。テンサー同士の接続、マキセル同士の接続はジョイナーにより簡易に接続でき、連結強度は本体強度と同等で十分に強固です。																						

8. まとめ

本資料では、ジオセルを用いた堤脚安定工について、工法の特徴や施工手順等を示すとともに、同工法により期待される効果の検証を行った。ジオセルを用いた堤脚安定工の効果を下記に示す。

- 「軽量・コンパクト」、「簡単施工」、「フレキシブルな構造」により施工上の制約が少ない。
- 工事費、施工日数の面でも、既存工法に比べて優位である。
- モデル堤防を対象として裏法すべり破壊に対する効果を検証した結果、すべり安全率向上の効果を確認することができた。特に、堤防高 4～5m より低い場合に優位な結果となり、中小河川等の比較的小規模な堤防に適用した場合に効果を発揮する。
- 同様に、パイピングに対する効果を検証した結果、中詰材に透水性の高い材料 ($k=1.0 \times 10^{-3} \text{m/s}$ 程度)を用いることで、局所動水勾配が緩和された。

既設堤防への本工法の適用にあたって、既設堤防及び基礎地盤の土質条件に留意し、本資料で示した手法により効果を検証されたい。