

展 望

発泡ジオシンセティックス (FGS) : これまでとこれから

EPS 開発機構 (EDO) 会長
(一社) 地域国土強靱化研究所 代表理事
安原一哉
(茨城大学名誉教授)

1. はじめに

振り返ってみると、第1回のジオシンセティックス（当時はジオテキスタイルと称されていた）に関する国際会議はパリで開かれたが、この時の日本からの出席者は、千田昌平氏一人だったと聞いている。第2回大会は1982年にラスベガス（MGM ホテル）で開かれたが、日本からの投稿論文は2編きりだった。今から考えると隔世の感がある。あれから40年も経過した。

ところで、表題に関連する EPS が IGS の国際会議でセッションとして取り上げられたのは比較的最近のことで、たしか、2006年の第8回大会（横浜）の 때가最初ではないかと記憶する。また、“発泡ジオシンセティックス”（以下、発泡 GS (FGS) と称する）という用語を筆者が目にしたのはごく最近の2022年¹⁾ではないかと思われるが、国際的には、ジオシンセティックスの中で“発泡ジオシンセティックス”という名称よりは、ジオフォーム (Geofoam) と呼称されることが多い。ジオフォームの代表である EPS はノルウェーから我が国に導入されたのちに、1986年に発泡スチロール土木工法開発機構 (EDO)²⁾が設立され我が国独自の展開を進めている。

本文では、上記のような過去を振り返りつつ、40年の間で激変してきた世界の中で求められる課題に FGS がどのように応えていけるかについて展望したい。

2. 発泡ジオシンセティックス (FGS) の分類

前述のように、発泡ジオシンセティックス (FGS) を明確に定義されたことは今までになかったと思われるので、ここでは、以下のように定義する。

発泡剤によって作製されたスラリー状かブロック状の構造体を建設の目的で使用されるもののうち、特に、地盤工学的な課題解決のために適用されたものを“発泡ジオシンセティックス (Foamed Geosynthetics: FGS と略称)”と定義する。なお、ここで言う“発泡材”とは、合成樹脂の中にガスを細かく分散させて軽量かつ弾性を持たせた素材のことで、原材料として、主として、ポリエチレン、ポリスチレン、ポリプロピレン、ポリウレタンが利用されている。

この定義によって表-1に示すように便宜的に、(i) 単一の FGS からなるものと(ii) 複数の FGS とに分類してその適応事例を簡単にまとめた。

表-1 FGSの種類、特徴及び適用事例

発泡ジオシンセティックスの種類		特徴	適用場面例
単一の発泡ジオシンセティックス	EPS (ビーズ状ポリスチレンフォーム)	<ul style="list-style-type: none"> ・"expanded polystyrene"の頭文字をとってEPSと略称 ・ドイツで生まれた代表的な発泡プラスチック系の断熱材 	<ul style="list-style-type: none"> ・軟弱地盤上の盛土 ・平時や地震時において土圧低減が必要な壁体構造物
	発泡ビーズ	発泡スチロール (EPS) の原料となる中に発泡剤が入った直径1mm程度のポリスチレンの粒 (ビーズ)	・低品質土やリサイクル材料を軽量化して土構造物とする
	発泡ウレタン	<ul style="list-style-type: none"> ・ウレタン樹脂に発泡剤 (フロンガス等) を加えて発泡させてつくった断熱材や充填剤のこと。 ・発泡スチロールのように軟質のもの、発泡が終わればプラスチック程度の硬さになる硬質のものがある。 	・構造体が適用できない部分を充てんの必要のある空隙や空洞
	発泡モルタル or エアモルタル	スラリー状のモルタル (セメント・原料土・水を練り混ぜた物) に発泡させた気泡を混入し作られた材料	・ブロック状の構造体が適用できない空隙や空洞の充填
複数の発泡ジオシンセティックスを組み合わせたもの	EPS (ブロック状) とウレタンの組み合わせ	<ul style="list-style-type: none"> ・施工当初はブロック状の構造体とスラリー状の組み合わせであるが、最終的には一体化した構造体となる 	・地盤と一体化させた橋梁の長寿命化技術
	EPS (ブロック状) とエアモルタルの組み合わせ		

3. インフラにおける課題と対応

(1) 時代認識³⁾

表題に限ったことではないが、技術の展望を考えるに当たって、まず何よりも考えなければならないのは、“今はどんな時代か？”ということであろう。図-1を参照しながら災害という立場で考えてみると、(i) 頻度も高く規模も大きくなる地震、(ii) 猛烈な雨の襲われる回数も増えるし時間当たりの強度も量も増える雨、(iii) 頻度も増え、大規模化する台風など災害を引き起こす外力は大きくなる傾向にある。

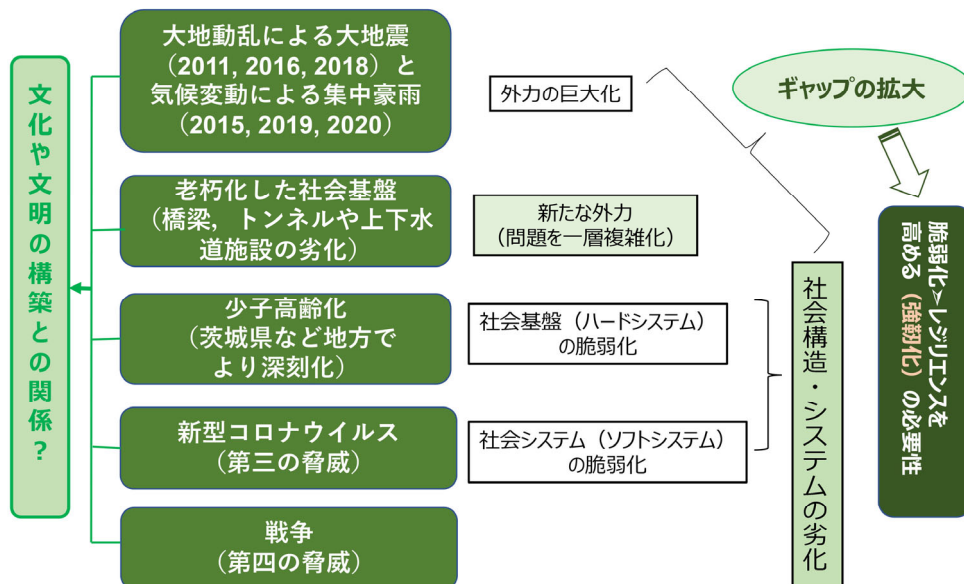


図-1 時代認識：今はどんな時代か？

一方、戦後 50 年余の間にインフラ施設は老朽化して上記の自然外力に対する抵抗力は低下し

ている。したがって、図-2に示すように、外力と抵抗力のギャップが拡大するのでこれを埋めなければならない。このギャップが“脆弱性” (Vulnerability) で、このギャップを埋める作業が“強靱化”ということになる。あるいは、インフラや社会の“レジリエンス (Resilience)” を高めると表現することもできる。強靱化の方策には、(i) ハードウェア、(ii) ソフトウェアに加えて、(iii) ヒューマンウェアや(iv) コマンドウェアが考えられる。ここで取り上げるこのうちの(i) ハードウェアに属するものであるが、他のウェアとの連携も考える必要がある。

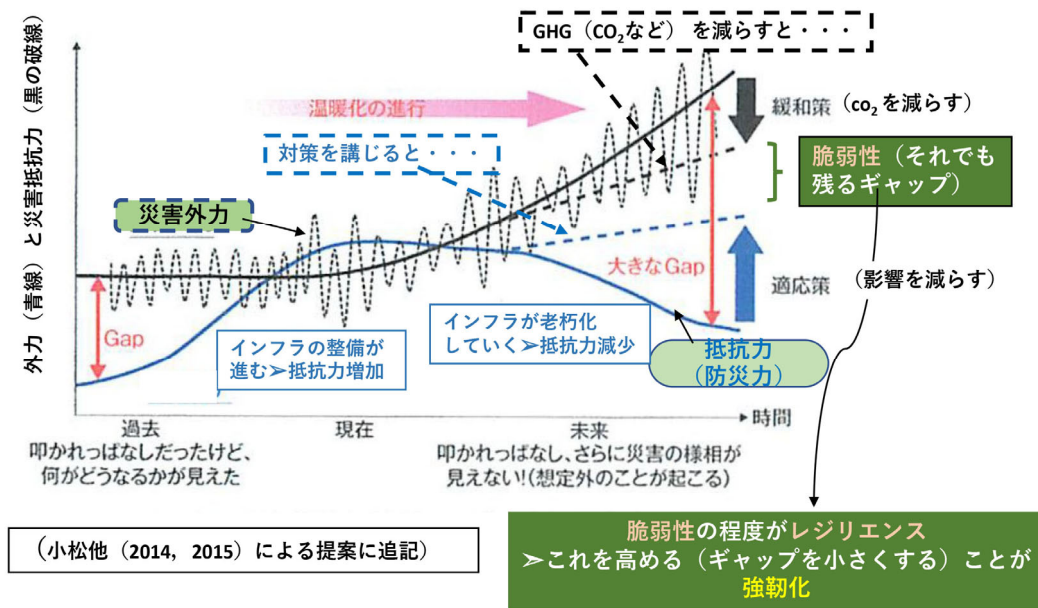


図-2 気候変動における脆弱性と強靱化^{3), 4)}

(2) 課題例：インフラの老朽化・長寿命化はレジリエンスを高めること

ハードウェアの適用においていくつかの大事なことがある。その一つとして、老朽化した既存のインフラの長寿命化を考える場合、既存のどの施設から長寿命化対策を講じるのかという優先順位を決める方法が必要である。ここでは、インフラの長寿命化において重要な事項のいくつかのうち、表題のFGSの適用事例を考えてみよう。

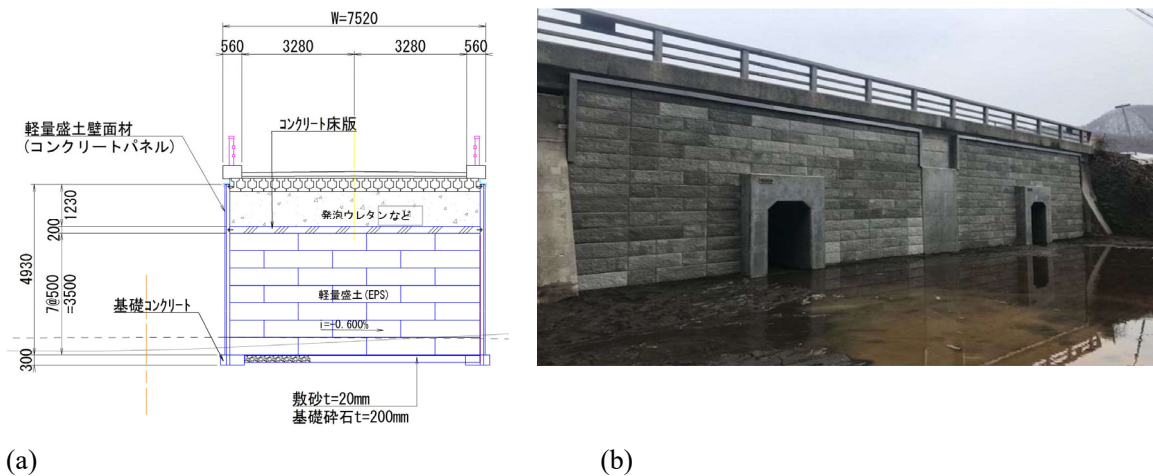


図3 橋脚と地盤を一体化させた橋梁長寿命化技術の例⁵⁾

インフラの長寿命化というとすぐ思い浮かぶのが橋梁の老朽化対策である。橋梁と地盤との一体化を目指した技術としてフォームサポート工法がある。図-3(a)は、その概要を示したものであり、図-3(b)は適用現場の一例である。

この技術の有効性を確認するための1G下での室内振動台模型実験を検討した事例がある⁶⁾。

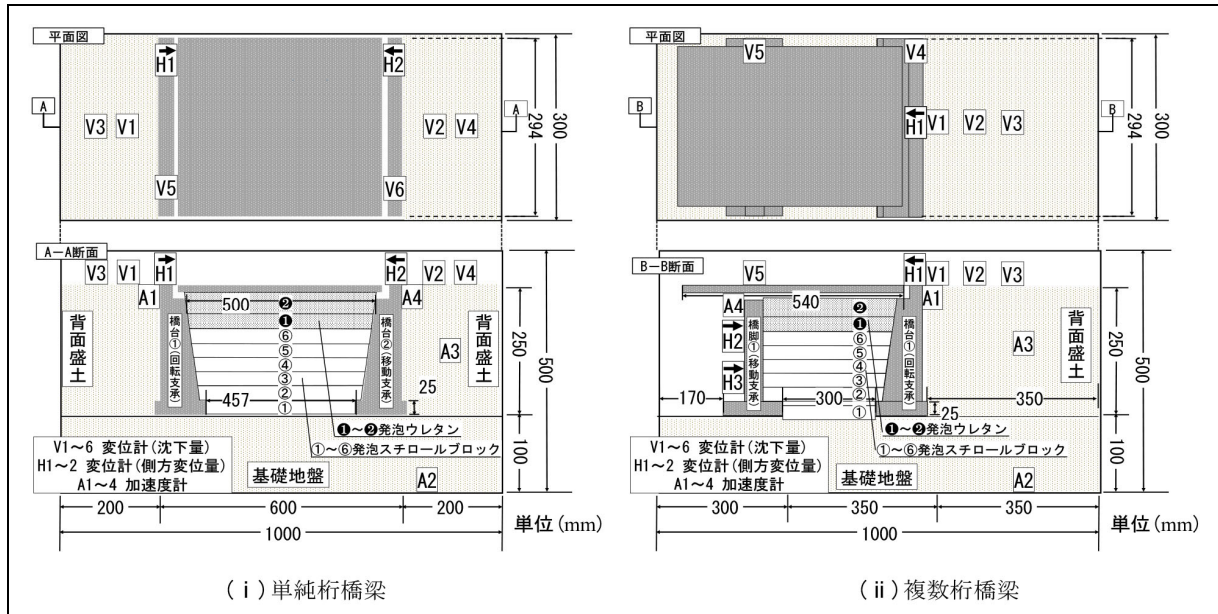
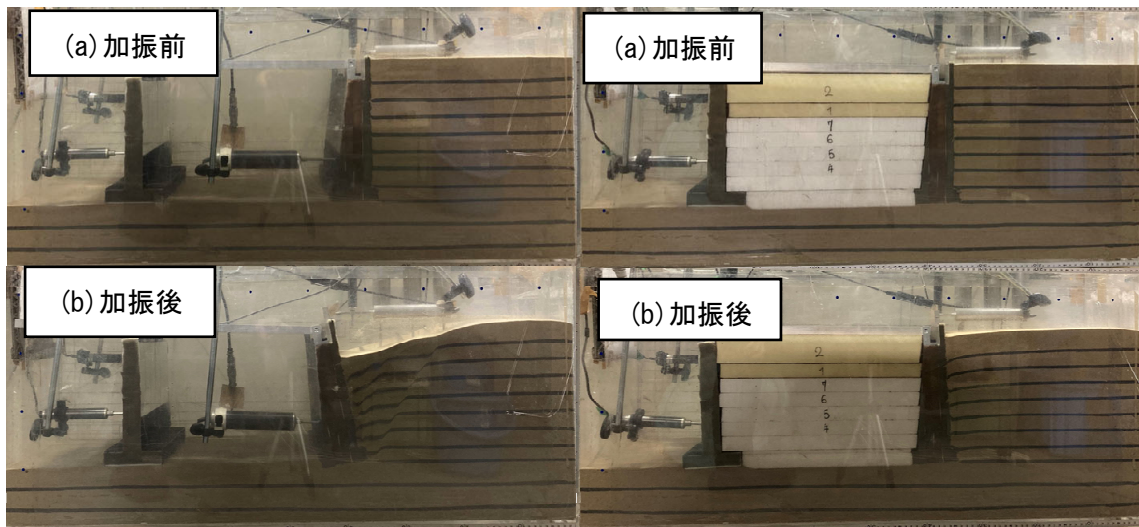


図-4 FS 工法に関する室内模型実験の概要⁶⁾



(a) 補強なし (b) 補強あり (EPS6 段敷設+ウレタン充填)

図-5 FS 工法に関する振動台模型実験の一例⁶⁾

図-4 と図-5 はその概要を示したものである。ここにおける実験条件は、(i) 加速度 : L1 地震動を想定して、入力加速度は約 200 cm/s^2 に設定、(ii) 周波数は 4 Hz で载荷回数は、正弦波 30 波である。この条件の下での実験結果を考察して、(1) 単純桁、複数桁とも EPS & ウレタン併用法が耐震性向上に効果がある、(2) 比較のために、ウレタンに代わって FCB、高流動コンクリートを用いて中詰めを行った場合でも耐震性能を向上させることが出来ることがわかった。

周知のように、ごく近い将来には全国の橋梁の約 50%が建設後 50 年を経過することから、老朽化橋梁の補修・補強が一層必要となっているが、すべての橋梁を更新することも困難な中、道路交通を供用したまま、橋脚・橋台間などの桁下に EPS ブロックと発泡ウレタン等を中詰めし、かつ比較的低コストで補修・補強できる本技術のような長寿命化技術の普及が期待される。

4. 困難な場面に克服するための技術

(1) 耐震性の高度化

a) 2016 年熊本地震における経験^{7), 8), 9)}

前記の FS 工法は橋梁の耐震化を高めることによって長寿命化を図ろうとしたものであるが、同様の EPS を適用して道路の耐震性を高める試みも FS 工法に先行して実施されている。一例として 2016 年の熊本地震における EPS 盛土の被災事例を取り上げてみよう。



(a) EPS 盛土と基礎地盤の損傷の様子



(b) 地震後のEPS盛土の様子

写真-1 EPSによる道路盛土の損傷の様子

写真-1に示すように、2度にわたる大きな地震動によって、道路盛土背後の自然斜面が崩壊したためと道路盛土基礎（空石積み擁壁）の損傷のために、前面に約 60 cm だけせり出すとともに、鉛直方向に約 50 cm だけ沈下したが、完全な崩壊を免れた。そのため、復旧に当たっては、盛土本体は図-6に示すように、EPS 盛土に戻すことを原則とし、まず、緩んだ地山を除去するが、当初の施工計画を考慮して、(i) 底面の幅を広くする、(ii) 地山とのグラウンドアンカーを敷設

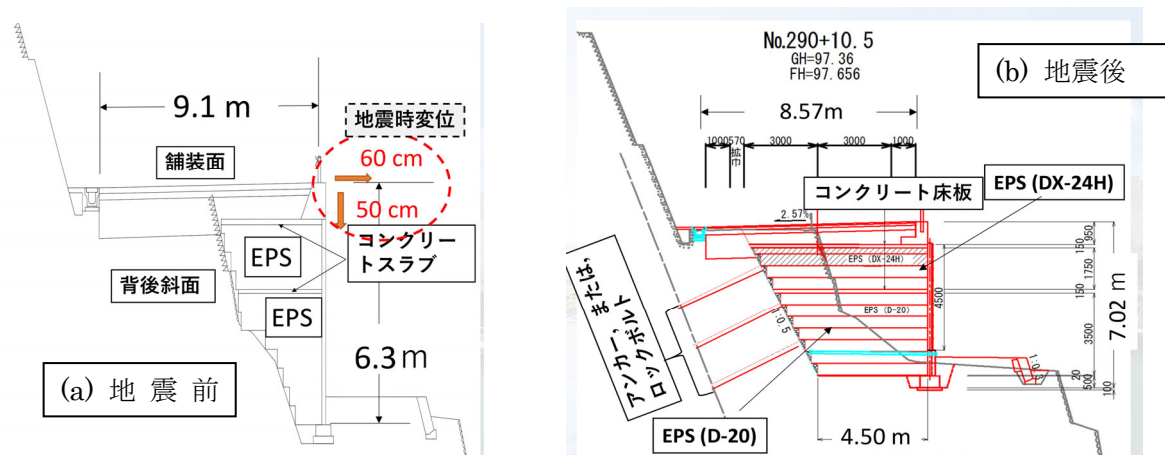


図-6 地震前後のEPS によって補強された道路盛土

する、などによって盛土全体の安定性を増大させるなどを講じた。

b) EPS の新たな緊結方法

EPS を適用した土木構造物を構築するに当たって、EPS ブロックに工夫を加えて構造物の耐震性を高めるために、EPS ブロック同士を緊結する金具（JMB）を工夫した技術がある。

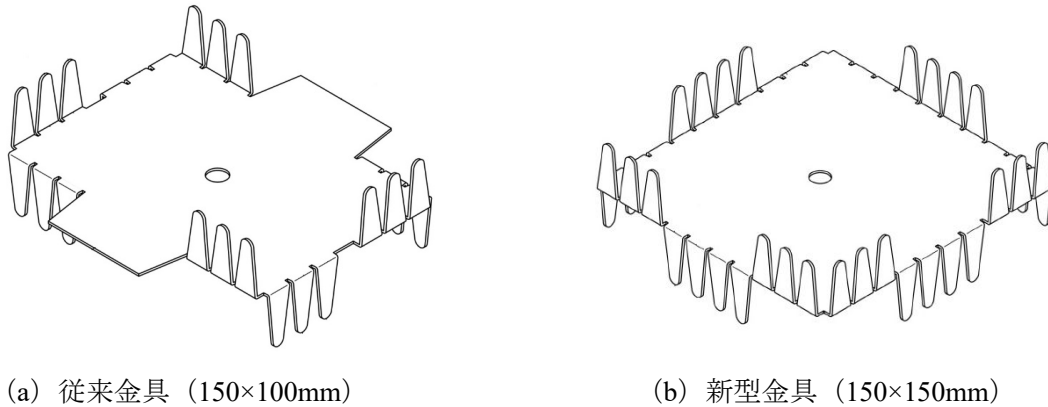


図-7 EPSブロック同士をつなぐ緊結金具

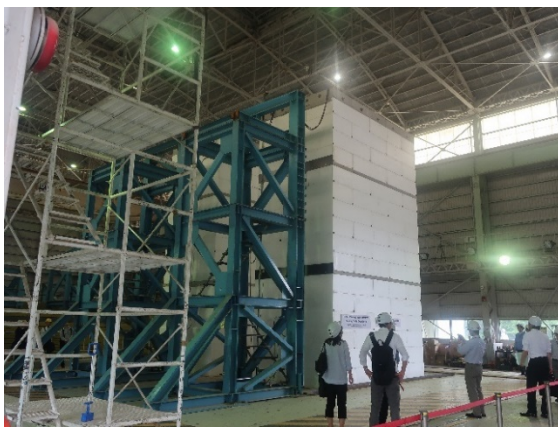


写真-2 実物大振動模型実験の概観

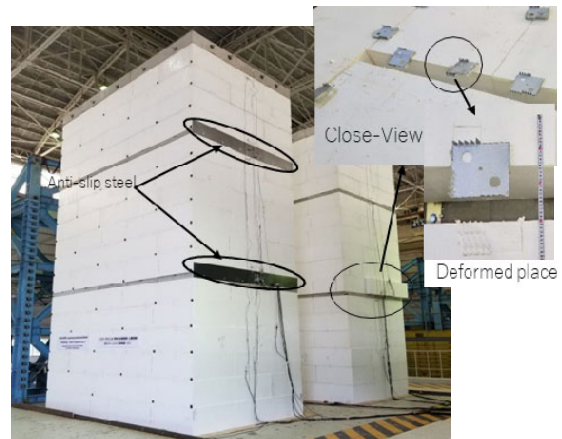


写真-3 模型実験に用いた EPS 構造体

この新しい金具（図-7(b)）の有効性は大型振動台模型実験によって検証されている。写真-2は、2019年に防災科学研究所で実施されたときの様子を示している。EPS 盛土構造体のスケールは、写真-2、写真-3に示すように高さ8m、奥行5m、幅3mでほぼフルスケールに近いものである。この模型盛土を構成するEPSブロック同士を緊結する際に、図-8に示した(a)従来金具(150×100mm)、(b)新型金具(150×150mm)のどちらが有効かを確かめるために、図8(a)のようなレイアウトとした。特に、ロッキングに対してより拘束効果の高い緊結金具の配置パターンとして、両面スパイクと片面スパイクを併用した新しい配置パターンを検証した。加えて、以下のような工夫を施して実験を行った。

- i) 図-8(c)に示すように、緊結する金具（Joint Metal Binder: JMB）の新たな配置を採用した
- ii) 写真-3に示したようなL型の金属フックをEPS間に設置した

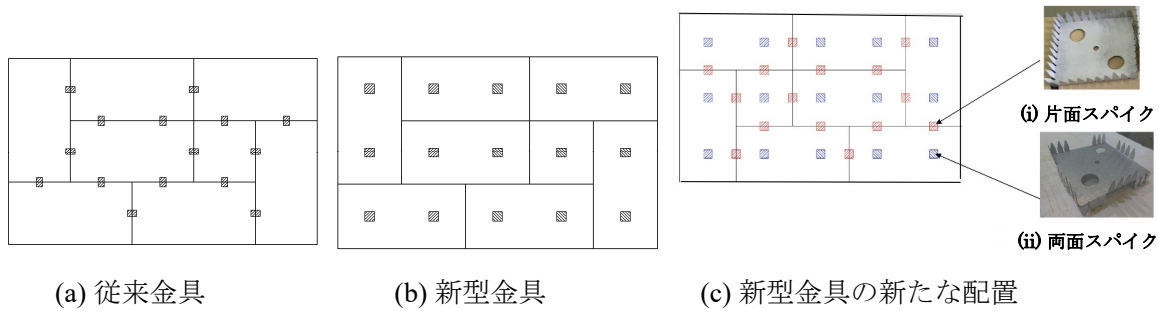


図-8 緊結する金具（JMB）の配置¹⁰⁾

このような改良を加えた模型 EPS 盛土の振動台模型実験によると、図-9 に示した例にみられるように、JMB のハイブリッドな配置と L-型金属フックの併用によって EPS 盛土の地震時の安定性を維持することに効果があることが確認された。

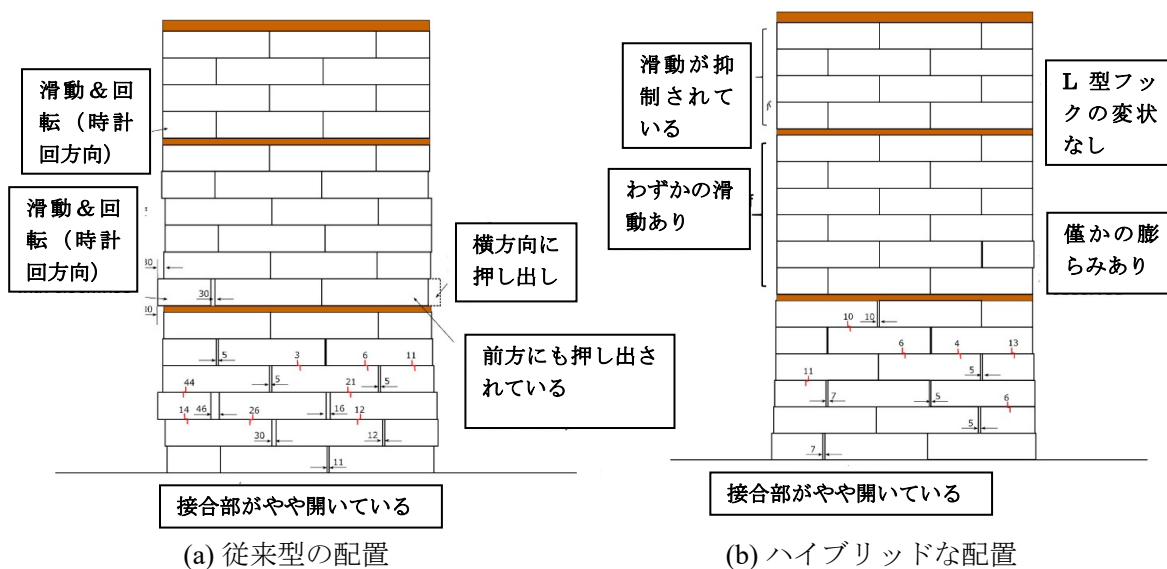


図-9 フルスケールの振動台実験結果にみられる EPS の変状に及ぼす緊結金具（JMB）の効果

このような模型実験から、残された課題として EPS のロッキングの対応策として以下のようなことが期待される。

- i) EPS 間のロッキングによる変状 ➤ 目地に金具を設置し、折り返し部を設けた金具の設置
- ii) 床版と EPS 間のロッキングによる変状 ➤ 床版の鉄筋に EPS を差し込み固定、床版端部に鉛直壁の設置

2) EPS とジオグリッドとの併用

EPS を適用した橋梁の耐震性を高度化するために他の技術との融合の事例もある。例えば、EPS ブロックとジオグリッド、さらに、これにネイリング技術を組み合わせることによって、一層、耐震性が向上することが古関ら¹¹⁾、京川ら¹²⁾や古関¹³⁾の一連の研究で明らかになっている。

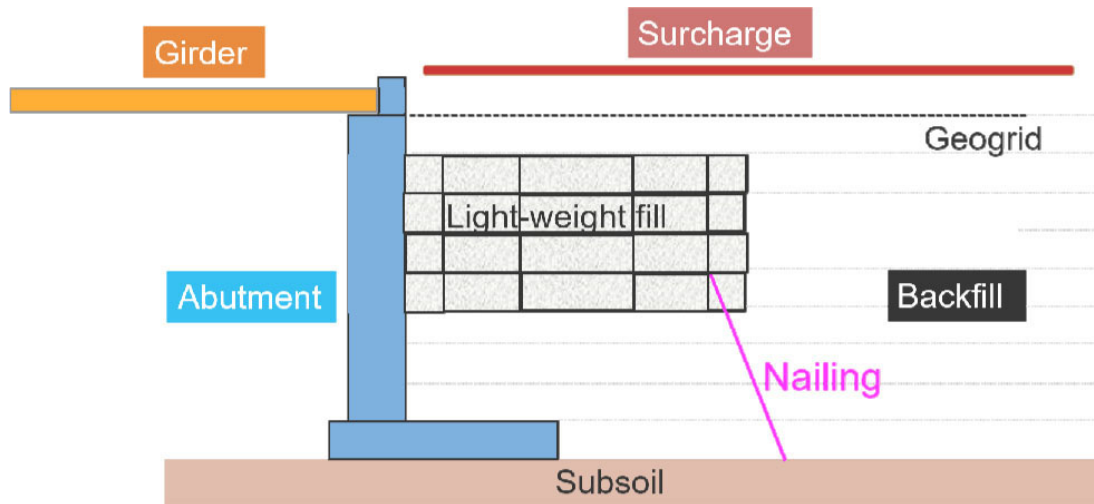
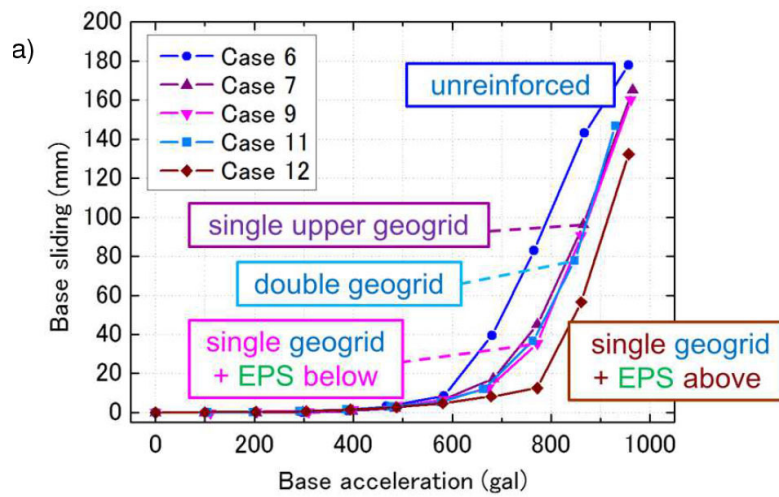
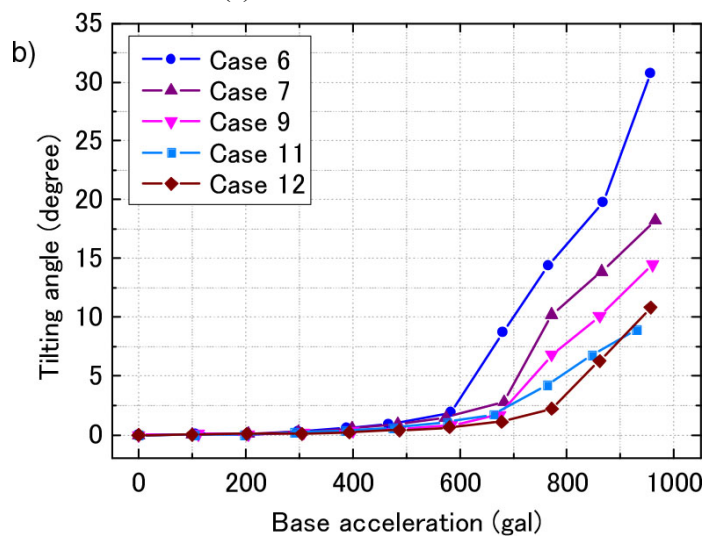


図-10 振動台模型実験のレイアウト¹⁴⁾



(a) 底部のすべり変位



(b) 壁体の変位

図-11 振動台模型実験結果の一例¹³⁾

図-11 は 1G 振動台模型実験結果をまとめた例であるが、これから、特に、橋梁裏込め地盤の上段にジオグリッド、中段に EPS ブロックとネイリングをそれぞれ配置することによって地震時における橋脚の変位、傾斜と裏込め地盤の沈下が抑制できることがからわかっている。

(2) 複合による多機能化

このような EPS とジオグリッドの併用は、常時においても急斜面道路の安定性と緑化の確保に有用であることを示した事例（図-12）がある¹⁴⁾。

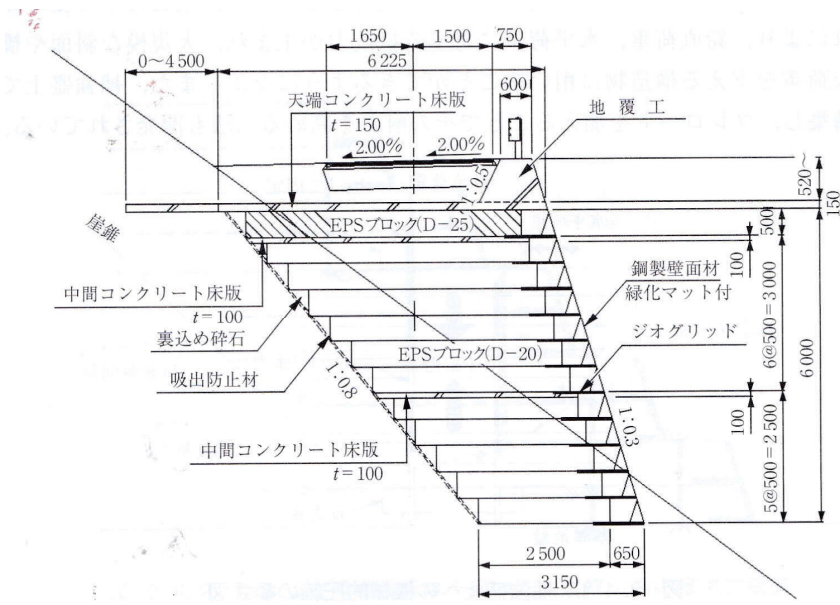


図-12 急傾斜地における EPS とジオグリッドの併用

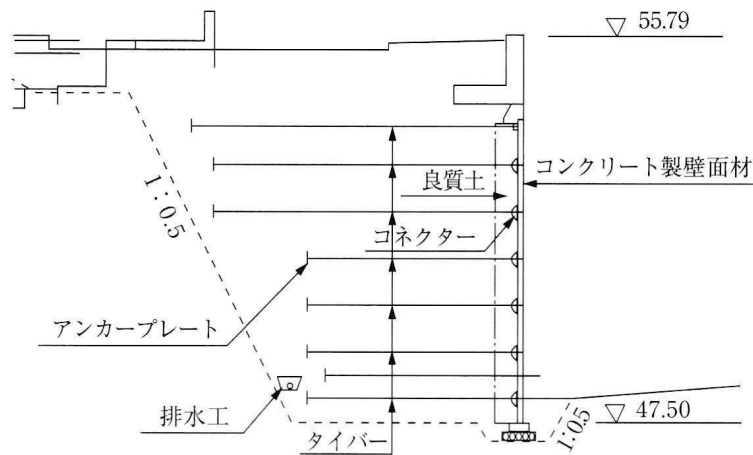


図-13 多数アンカー工法と発泡廃ガラスの組み合わせた盛土構築の例¹⁵⁾

剛な補強材料と柔な補強材料の併用としては、多数アンカー工法と発泡廃ガラスを利用した軽量混合土とを組み合わせ軟弱地盤上に盛土を構築した例が図-13 に示されている¹⁵⁾。この併用工法によれば、軟弱地盤対策としての杭基礎が不要になったこと、補強材に作用する設計引張り張力が低減できたことから、コストダウンが可能になったとされている。なお、ここで紹介された発

泡廃ガラスは、厳密にいうと、表-1における分類には入らないものであるが、広義の FGS として紹介した。

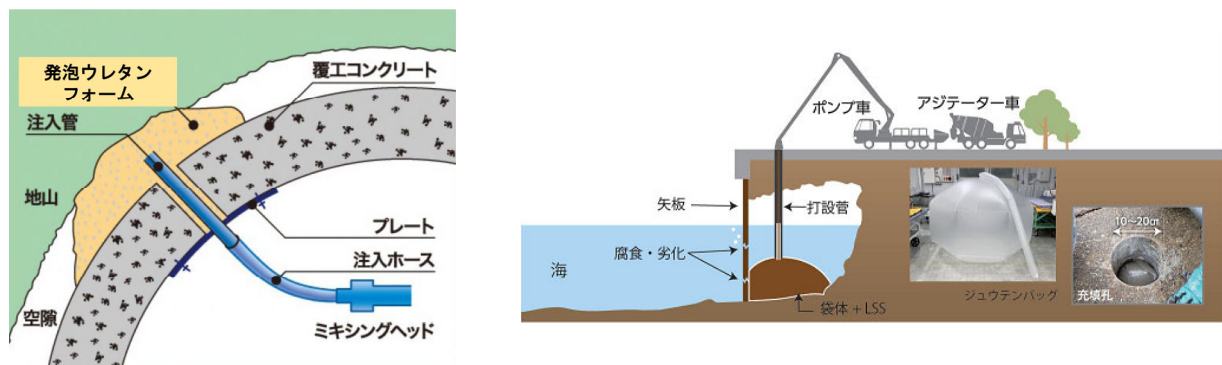
(3) グリーントランスフォーメーション (GX) への貢献

先に示した図-12 の事例は EPS とジオグリッドの併用が急斜面道路の安定性ととも緑化の確保にも貢献できることを示した事例であるが、FGS を利用して GX へ貢献している事例も最近増えてきているように感じる。なお、GX の重要性は 5. においても再度触れたい。

(4) 空洞充填

都市における生活空間に深刻な影響を及ぼす最近の話題は地盤の陥没と空洞の形成によって住民に不安を与えることである。2016 年に福岡市でのトンネル工事現場での陥没事例や 2020 年東京都調布市で起きた住宅街で道路が陥没した事例は記憶に新しい。

近年都市部で頻発している道路陥没は、いくつかの要因が考えられるが、多くの場合老朽埋設管の破損部等から土砂が流出することに起因することが多い。このように、空洞化の主要因であるインフラの老朽化に加えて、近年の気候変動に伴い今後さらなる増大が予想される。このような陥没防止のためには、地中レーダ探査によって路面下空洞を探知し、補修などの事前対応を施すことが最も効果的であるが、効率的かつ合理的な道路維持管理システムの構築が喫緊の課題である。事後対応の有力な技術として、空洞充填が考えられるが、桑野¹⁶⁾によると、このような充填材料として求められる物性として、①可塑性、②水中不分離性、③分離抵抗性、④単位容積質量（軽量、 1.0 Mg/m^3 以下）、⑤一軸圧縮強さ（再掘削性を考慮）、⑥速硬性があるなどが必要とされている。このような要請を満たす技術例としては、(i) 発泡ウレタン、(ii) 発泡モルタル、(iii) エアモルタル、(iv) 流動化処理土などが有力である。



(a) 発泡ウレタン¹⁷⁾

(b) 流動化処理土¹⁾

図-14 空洞充填技術例

図-14 は道路空洞の事例ではないが、(a) は、充填トンネル覆工背面の空洞を発泡ウレタンで充填することにより、トンネルの損傷や災害を未然に防ぐ事例である。また、(b) は、港湾などの護岸施設の空洞の閉塞工事に流動化処理土など充填材を使用した工事が計画されるに当たって、充填材の流出の懸念があったので、柔軟性があり破損しにくいシート素材で袋状の“ジュウテンバッグ”を作り、その中に充填材を注入した施工事例である。特に、図-14(b) の事例は、シート状の GS と FGS の複合技術として特筆される。ただ、(b) の事例の流動化処理土は、桑野¹⁶⁾の言う充填剤の要件である④単位容積質量（ 1.0 Mg/m^3 以下）を必ずしも満たすものではないことに注意したい。

(5) 気候変動対応

a) 浮力対策

時代認識のところで述べたように、(ii) 猛烈な雨に襲われる回数も増えるし時間当たりの強度も量も増える降雨、(iii) 大規模化する台風などによって災害を引き起こす外力は大きくなる傾向がある。社会空間や人間空間における脆弱性を強化するために発泡ジオシンセティックスの果たす役割を考えてみると、その役割を脅かしそうなのは、軽量なために、河川や海岸などの水際線においては、浮力の影響で発泡 GS による構造体を不安定にさせる。このような場合の対策として、以下の様な技術が提案されている。

- i) 沈下量を許容した EPS 適用計画を実施するに当たって、**図-15** に示すように、EPS ブロックの構築段数を減らし、さらに下部に空隙率 60%の浮力対策ブロックを併用することで、急激な地下水位の上昇の際にも浮き上がりが発生させにくい構造とした設計・施工事例が報告されている¹⁾。

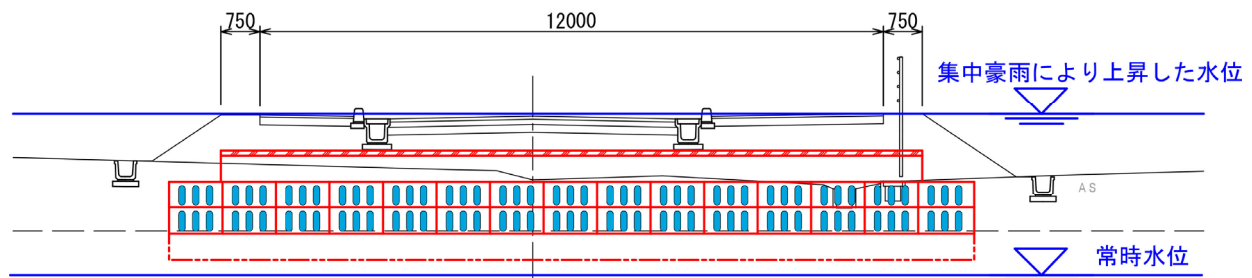
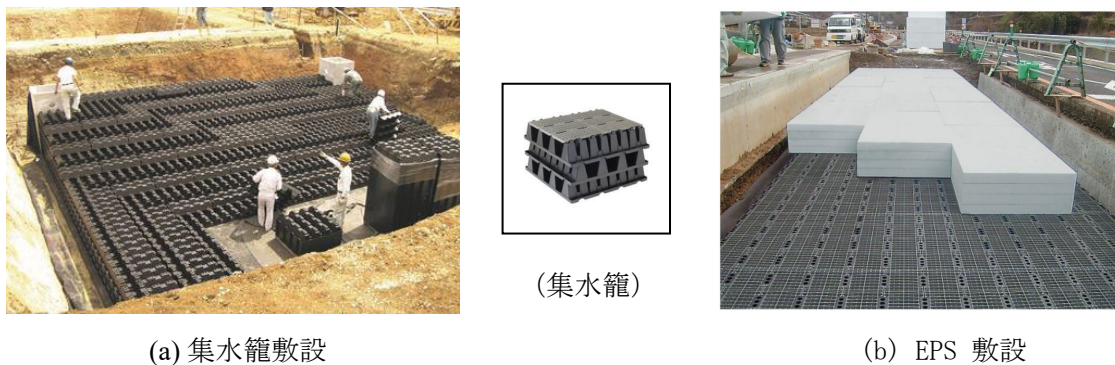


図-15 ポリプロピレンのリサイクル材を利用した雨水貯留施設の浮上対策¹⁾

- ii) **図-16** はポリプロピレンのリサイクル材を利用した集水籠を結合させた貯水槽を EPS ブロックの下部に設置してここに雨水を集約し EPS ブロックの浮上を防ぐ試みを示したものであり、水害対策とともに、水資源を貯留できるなど多機能な技術になっている¹⁸⁾。



(a) 集水籠敷設

(b) EPS 敷設

図-16 EPS 浮力対策のための雨水貯留システム¹⁸⁾

ここで紹介したような技術を駆使することによって、今後さらに超軽量土である発泡GSも気候変動に対応出来る技術であることを実証していく必要がある。

b) 断熱効果の利用

一方、発泡GSの断熱効果を利用できる利点がある。家屋について考えると、屋根や外壁へ適用できるようになれば、室内の冷暖房費は削減することができると考えられる。したがっ

て、地盤や土構造物に敷設することによって凍上防止や地中熱の維持につなげられる可能性がある。例えば、地中熱の利用には地中熱交換システム用パイプが必要であるが、これに FGS の利用を考えるなど、今後は、気候変動に対応するためにこのような新しい技術開発を目指す必要がある。なお、凍上防止についてはすでにいくつかの事例がある¹⁹⁾。

(6) 事後対応（事後保全：Reactive）から事前対応（予防保全：Proactive）へ

老朽化した既存のインフラの長寿命化に比べると、新規のインフラ構築は少なくなる傾向にはあるものの、インフラの強靱化が求められる重要な新規場面においては、事後対応（事後保全：Reactive）から事前対応（予防保全：Proactive）へ思想転換が必要である²⁰⁾。なお、ここで用いられている事後対応（事後保全：Reactive）と事前対応（予防保全：Proactive）とは別に、毛利ら²¹⁾は、予防保全的な処置を Active safety と呼び、災害に対する被害を低く抑えて全体のダメージを軽減するような受動的な処置を Passive safety と呼び、“能動的な予防保全対策を進めながらも、受動的な被害軽減技術による堤体の構築や迅速な復旧を可能とする構造様式の開発が重要である”としている。

この課題に応えるための一つのキーワードとして“粘り強い強い構造物”ということがある。筆者²²⁾は、ジオネットやジオグリッドと砕石を利用したハイブリッド補強土技術を提案したことがあるが、発泡 GS を利用した“粘り強い強い構造物”の提案はまだ多くない。少ない一例として、常田²³⁾は、2011 年の東北太平洋沖地震後“粘り強い土構造物”の検討が進めてきたが、発泡ビーズなどを利用した“ハイグレードソイル”は、“改質柔軟性”を有することから、“粘り強い土構造物”の一つと考えられることを指摘している。

図-17 と図-18 に示すように災害対応分野と気候変動適応分野では、対策に対する用語が異なっている。災害対応分野と気候変動適応分野の関係者の共通理解の不足が両分野の連携の妨げになっているのではないかと懸念している。

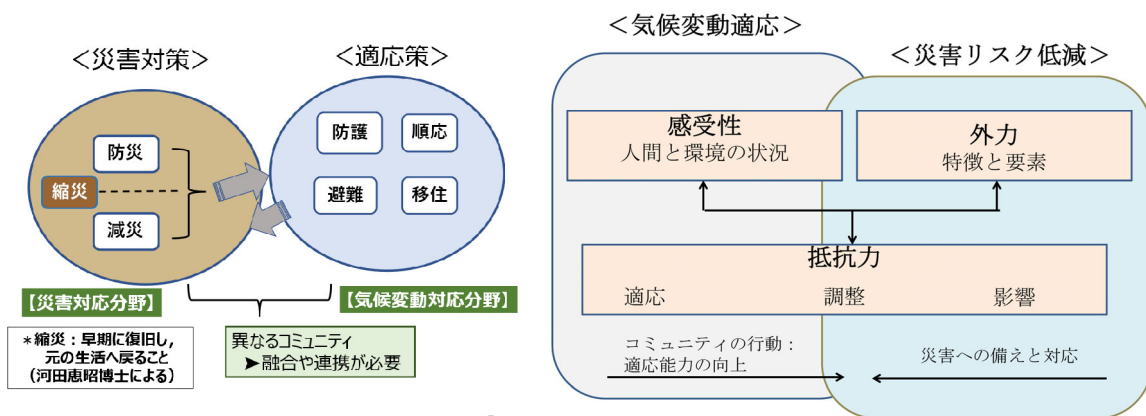


図-17 災害対応と気候変動適応の関係²⁴⁾ 図-18 災害リスク低減と気候変動適応の関係²⁵⁾

5. 今後に向けて

2006年に本学会誌の展望として寄稿させていただいた“地盤の軽量化技術”²⁶⁾の中で解決すべき重要な課題として以下を紹介させていただいた。

- 1) 建設業を製造業の一つと位置づけるなら、製造業ですでに取り入れられているインヴァースマニファクチャリング(逆工場、inverse manufacturing)のような思想を導入した、“作

るときに、対象とするインフラの役割を終えたときの処置方法を事前に考慮した研究開発”を行っていく必要がある。ただ、留意すべきは、電化製品とか自家用車などと違って、われわれが対象とするインフラストラクチャは、日常生活の身の回りの機器と比べてライフサイクルが大きく異なる点である。

- 2) 環境負荷低減においては、リサイクル材料の利用が有望と考えられているが、リサイクル地盤材料に共通に適用できる化学的・生物学的影響評価手法の確立が重要である。とくに、後者の生物学的影響評価は今後の地盤工学の分野で不可欠の課題である。今後の展開がとりわけ望まれている分野である。

このうち、2)については、それなりの配慮をされてきたように思えるが、1)についてはそのような状況には至っていないように感じられる。そもそも、製造業の対象である電化製品や自家用車のライフサイクルと社会インフラのそれとは大きく違うので、建設業と通常言うところの製造業とは同列には論じられないのではないか？という意見を聞くが、そのような言い訳をしていては建設業の社会的な意義の認識は広がらないし、さらに言うなら、社会的認知の向上がないなら建設業の未来は暗い、言わざるを得ない。

さて、激動する世界情勢のなかで、建設技術者にとっても考えるべきごく最近のキーワードを取り上げて締めくくりとしたい。もっともポピュラーなものは、グリーンインフラストラクチャ、次は、“脱成長”というキーワード、最後のひとつは、“人新世”である。

これらが今回のトピックである“発泡ジオシンセティックス”とのかかわりについては、筆者以下の様に考えている。

- i) グリーンインフラとの連携：最近 DX（デジタルトランスフォーメーション）と並んで、GX（グリーントランスフォーメーション）が全く新しい思想のように盛んに喧伝されているが、インフラ整備に関わってきた建設業では、グリーン化やグリーンインフラストラクチャは重要なツールであることは既成の事実として認識されてきた²⁷⁾。また、オバマ大統領の折に、グリーンニューディール、それと軌を一にして我が国では、佐和²⁸⁾によるグリーン資本主義の提言があった。今言う、DX は、グリーンインフラに限ったことではなく、エネルギーも含めた社会全体の“グリーン化”で省庁をまたぐ課題としてクローズアップされたところに新さがある。FGSとの関係で言うと、補強土技術の複合の中で紹介した事例に続けてもっと推進されるべきと考えられる。

なお、(一社)地域国土強靱化研究所では、コンクリートを中心としたグレーインフラストラクチャ(**Grey infrastructure**)、植物を中心としたグリーンインフラストラクチャ(**Green Infrastructure**) 加えて土構造物をブラウンインフラストラクチャ(**Brown infrastructure**)として、これらを融合させる GGB 構想の推進を提案している。このような中に FGS をどのような形で取り入れていくかを考えていくことも新たな展開を切り開いていくものと考えられる。FGS を含むものではないが、図-19 は、GGB 構想に属する提案事例を示したものである。

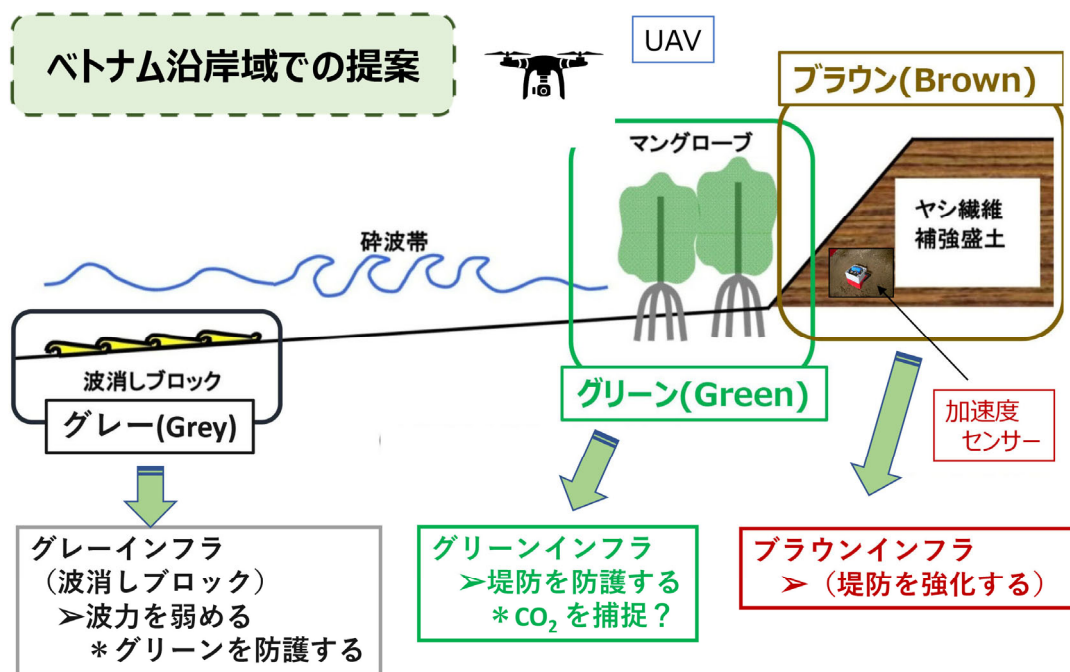


図-19 グレー・グリーン・ブラウンインフラストラクチャ (GGB) 構想の具体例

- ii) 脱成長²⁹⁾：このキーワードは、インフラの長寿命化と等価であると理解すれば、ここで紹介している“FGS”は、図-12 で事例紹介したように、このような要請に応える可能性を有している。
- iii) 人新世：ここでいう“人新世”は、要するに、“地球環境の危機”の地質時代³⁰⁾ということであるが、これも前述の気候変動対応技術に象徴されているように、FGS は、この要請に応えていけるポテンシャルを有している。さらに、同種の技術、他分野の技術を複合することによって多機能な要請に応えていけるポテンシャルも有していることから、この方面においても発泡GSは有望な技術と位置付けられる。

6. まとめ

- ・ FGS は現在のインフラ施設が抱える重要な課題（地震の巨大化、気候変動の激甚化、グリーン化など）に応えていける技術であることが確認された。
- ・ このうち、地震の巨大化に対しては、FGS 同士の組み合わせや FGS と他の技術（ジオグリッドなど）を併用することによってその効果を一層高めることが出来る。また、技術の複合化によって複数に機能を有する多機能技術となる可能性もある。
- ・ インフラの長寿命化の例として、橋梁と地盤を一体化させて老朽化橋梁の長寿命化を図る技術も FGS 同士の組み合わせによって実現できるものである。
- ・ また、流動性のあるウレタンやエアモルタルは老朽化したトンネルなどできる空洞の充填による構造物の長寿命化にも有効である。
- ・ FGS が軽量であることによって、気候変動に起因する降雨による水位上昇に伴う浮上する

という課題があるが、これに対する対策についても、他の技術との併用によって克服できる。状況によっては、多目的に機能する場合もあって、“気候変動というピンチをチャンスに変える”という発想に適う好例と考えられる。

「時代認識」の章でもふれたが、今後に向けた建設技術の喫緊の課題は気候変動への対応である。今日の困難な課題の根源は“気候変動”にあるという指摘もある³⁰⁾。もちろんこれには異論もあるが、少なくとも2007年に筆者²⁵⁾が論じたように、IPCCやCOPのような国際的機関に貢献していき余地があることをIGSやISSMGEでも一層認識して、一般に周知する努力を続けていくことが地盤工学やFGSの社会的認知を一層広げていくチャンスであると考えられる。

謝辞

本文をまとめるに当たっては、EPS開発機構(EDO)及び(一社)LRRIの会員をはじめとする多くの方々のご助言や資料のご提供を頂いた。記して深甚の謝辞を表す次第です。

引用文献・参考文献

- 1) 小浪岳治：第37回ジオシンセティックスシンポジウム事例紹介セッション「発泡ジオシンセティックス」、ジオシンセティックス技術情報、Vol.39、No.1、pp.21-32、2023.3.
- 2) EPS機構(EDO)：<https://www.cpcinc.co.jp/edo/>
- 3) Komatsu, T., Shirai, N., Tanaka, M., Harasawa, H., Tamura, M. and Yasuhara, K. (2013). "Adaptation Philosophy and strategy against climate change-induced geo-disasters", Proc. Tenth JGS Symp. on Environmental Geotechnics, Tokyo, Japan, pp. 76-82.
- 4) 小松利光・押川英夫・橋本典明：防災力・レジリエンス向上のための水・土砂災害分野の適応策、環境研究、No. 179、pp. 47-56、2015.
- 5) 株JSP資料による
- 6) 池澤雄之介、榎本 忠夫、安原 一哉、半根 隆巳、小暮 直親、田中 富智夫、北相模 剛：EPSを用いて補強された橋梁の振動台実験による耐震性評価、Vol.79、No.13(特集号：地震工学)、土木学会地震工学論文集、Vol.42、2023(掲載決定).
- 7) 安原一哉、小浪岳治、種市敬一、窪田達郎、塚本英樹：2度にわたる大規模地震でも完全崩壊しなかったEPS盛土：熊本地震被災事例からの教訓、ジオシンセティックス論文集、第33巻、153-158、2018
- 8) Yasuhara, K., Tsukamoto, H., Taneichi, K., Konami, T., Kubota, T. (2021). An Expanded Polystyrene Foam (EPS) Road Robust to Successive Great Kumamoto Earthquakes in 2016, Geotechnical Engineering Journal of the SEAGS & AGSSEA Vol. 52, No. 4, December 2021 ISSN 0046-5828.
- 9) 公益社団法人地盤工学会九州支部 熊本地震被災構造物の復旧に関する調査研究委員会：熊本地震被災構造物の復旧に関する調査研究、pp.55-61、2023年1月
- 10) 西剛整、谷美宏、林夏希、窪田達郎、京川裕之、古関潤一、小浪岳治：EPS盛土の実大振動台実験による新型緊結金具の効果とロックンク対策の評価、ジオシンセティックス論文集、第34巻、153-160、2019

- 11)Koseki, J., Yamazaki, Y., Kyokawa, H., Konami, T., Nishi, T. and Kubota, T. (2018). Shaking table tests on combined use of EPS and geogrid to improve seismic stability of bridge abutments, Proc. of 11th International Conference on Geosynthetics, Seoul, S16-01.
- 12)京川裕之、川崎広樹、古関潤一、西剛整、小浪岳治、窪田達郎：EPS ブロックとジオグリッドを併用した橋台の耐震対策に関する振動台実験、ジオシンセティックス論文集、第 34 巻、161-168、2019
- 13)Koseki, J., Geosynthetic-reinforcement and its combination with other methods for soil retaining walls to resist against large seismic loads, 1st Tatsuoka Lecture in Geo-Asia2022, Taipei, 2022.
- 14)間昭徳、青山義人、浅野一生、小山敦也、千代田健：ジオグリッドと鋼製壁面材を利用した EPS 急こう配緑化軽量盛土工法の施工事例、ジオシンセティックス技術情報、18(2)、2002.
- 15)川原秀樹、小浪岳治、工藤章光、水谷仁、山本圭一：発泡廃ガラス軽量混合土の多数アンカー式補強土壁への適用、第 38 回地盤工学研究発表会講演集、pp. 1787-1788、2003
- 16)例えば、桑野玲子：路面下空洞の実態と陥没対策、第 2 回路面下空洞連絡会資料、2020.12/3
- 17)田中弘栄：現場発泡ウレタンによる空洞充填技術、ジオシンセティックス技術情報、pp. 7-11、2019.7
- 18) (一財) 土木研究センター：アクアロード、建設技術審査証明報告書、2021.
- 19)例えば、米澤豊司、青木一二三、堀井克己、舘山勝、小島謙一：土留め壁の断熱材に硬質ウレタンフォームを使用した断熱効果の検討、ジオシンセティックス論文集、第 16 巻、251-258、2001.
- 20)安原一哉、村上哲：2.気候変動に伴う地盤工学的リスクと対応、講座・平野が抱える地盤工学的課題とその対策、地盤工学会誌、67-4 (735)、43-50、2019.
- 21)毛利栄征、松島健一、堀俊和、有吉充、山崎真司、龍岡文夫：地震・洪水による堤体の災害と補強土工法による減災技術の開発ジオシンセティックス技術情報、pp. 9-25、2008.11
- 22)安原一哉、Chandan, G.、榊原務、村上哲、小峯秀雄：不織布によるハイブリッド・サンドイッチ補強土の有効性と多機能化、ジオシンセティックス論文集、No. 19、pp. 139-146、2004.
- 23)常田賢一：防災・減災、国土強靱化のための性能評価の最適化の実務－個別最適から全体最適に展開－、(一社) 地域国土強靱化研究所、2023.3.
- 24)安原一哉：2021 年度第 2 回宅地地盤の評価に関する最近の知見講習会講義資料、地盤工学会、2022.
- 25)Turner, B. L., Kasperson, R. E., Matson, P. A., McCarthy, J. J., Corell, R. W. and Christensen, L.: Framework for vulnerability analysis in sustainability science. Proc. of the National Academy of Sciences of the United States of America, 100(14), pp.8074-8079, 2003.
- 26)安原一哉：地盤の軽量化技術、ジオシンセティックス技術情報、pp. 1-5、2006.7
- 27)三木博史：地盤工学と他分野との連携、技術融合、社会貢献について、ジオシンセティックス論文集第 21 巻、pp. 1-4、2006.12
- 28)佐和隆光：グリーン資本主義、岩波新書、2008.
- 29)斎藤幸平：人新世の「資本論」、集英社新書、2020.
- 30)例えば、読売新聞、令和 4 年 11 月 27 日朝刊