インフラ防災・減災：
地盤工学と発泡ジオシンセティックス(FGS)

第16回 CSJ化学フェスタ2026（日本化学会）

令和8年10月21日

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

話題の構成

1. 土木、地盤そして防災・減災

2.補強材としてのジオシンセティックスと発泡ジオシンセティックス

3. 地震時に発泡ジオシンセティックスが耐震性を発揮した事例

4. 耐震性向上のメカニズム（模型実験と数値実験による検証）
   ①道路盛土
   ②橋台背面アプローチ

5. まとめ

1. 土木、地盤そして防災・減災

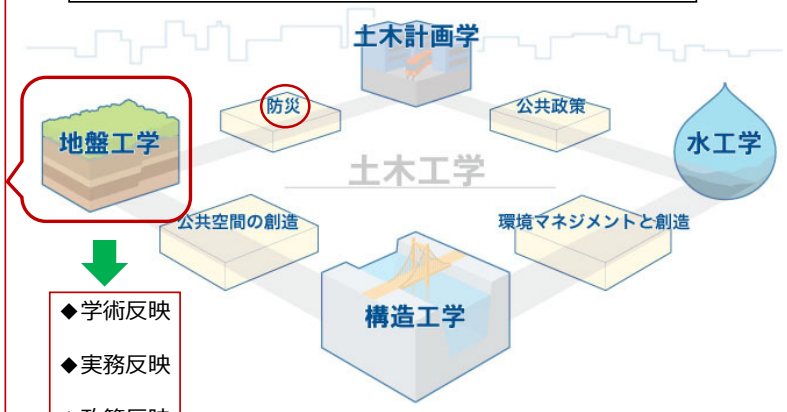
土木工学の一分野としての地盤工学とその技術の役割

◆フロントエンド技術
・安全な国土の創造への貢献（強靭化）
☛耐震化、気候変動対応など
☛インフラ老朽化対策

◆バックエンド技術
・安心な社会＆生活空間の維持への貢献
☛産業廃棄物・災害廃棄物（排出資源）利用
☛核廃棄物処分技術
☛土壌汚染対応
☛役割を終えた材料や構造物への対応

＊この分類の有用性
・社会的価値を明確化できる
・技術開発や政策立案の指針になる
・多分野連携が進む

【安全・安心で快適な社会の構築への貢献】
・地域、国、地球



◆学術反映
◆実務反映
◆政策反映

（日建連編：施工が分かるイラスト土木入門、彰国社、(2022)に基づいて作成 ）

地盤工学と化学 ☛ 必須だが、総じて、土木屋はあまり強くない？

◆地盤改良と化学反応の利用 ☛ 体質改善

＜例＞固化材や薬液注入によるによる地盤強度増加: セメントや石灰などの安定処理材を土に混ぜ、化学を起こすことで、軟弱地盤を強固な構造物支持地盤へと変える。

◆高分子加工品による地盤補強 ☛ 体力維持

＜例＞ EPSブロックを含むジオシンセティックスクスによる地盤補強

☛ 今日のお話

◆環境保全と地盤汚染対策

＜例＞有害物質の吸着・遮水: 粘土は特有の物理化学的性質（イオン交換容量や逆浸透膜作用）により、重金属や有害物質を吸着・抑制する機能を持つ。

◆ 廃棄物のリサイクルと有効利用

＜例＞①固化処理と不溶化: 焼却灰や汚泥などの固体系廃棄物をセメント等の固化材で処理し、力学特性を改善するとともに重金属等の溶出を抑える技術、②**温暖化効果ガス(GHGs)**の吸着＆貯留

◆化学を含む連成解析による土構造物と基礎地盤の課題解決

＜例＞熱・水理・力学・化学（THMC）連成: **高レベル放射性廃棄物の地層処分**や温暖化効果ガス(GHGs)の地下貯留（CCS）などでは、岩盤や地盤内での温度・地下水の移動・応力・化学反応が相互に影響し合う。

自然災害のとらえ方

◆単一災害：地震災害，水害，台風災害，火山災害

1959伊勢湾台風，1964新潟地震，1997兵庫県南部地震，2019関東東北水害など

◆複合災害：

①地震と雨の複合：2004新潟中越地震，2024能登半島地震

②地盤沈下と海面上昇：三大湾，メガデルタ，バンコック，ベニスなど

◆連鎖災害：

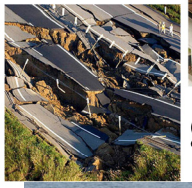
①結果の連鎖：地震➢津波➢放射能汚染：2011東北太平洋沖地震

②要因の連鎖：活断層の活動の連鎖（令和8年熊本地震）

＊“複合災害”と“連鎖災害”は，災害の大規模化，激甚化，広域化を齎す



(a) Derailment of *Shinkansen* (right)





(b) Complete collapse of highway's embankment (Left)



生活インフラ＆社会インフラの防災・減災の基本的考え方

【防災から減災へ】

◆防災：損傷をなくし、機能を持続的に維持できる

◆減災：損傷しても早期に回復する手段があり、実践が可能



【“事後(Reactive)保全”から“予防(Proactive保全”へ】



(https://seisui-kk.com/column/infrastructure-management)

＊**予防保全によると**30年の間に約30%ほどコスト縮減に繋がる

（国土交通省による）

＊**基本思想**：科学的リスク評価 ☛ 物理的強化と冗長性*を確保 ☛ 持続可能な視点でインフラ防災・減災を推進（地域協働による**迅速復旧**とそれに引き続く復興体制とを重視）（＊もし一つがダメになっても、ほかに代わりがあるようにする）

2. 補強材としてのジオシンセティックスと発泡ジオシンセティックス

補強土壁の補強原理＆メカニズム

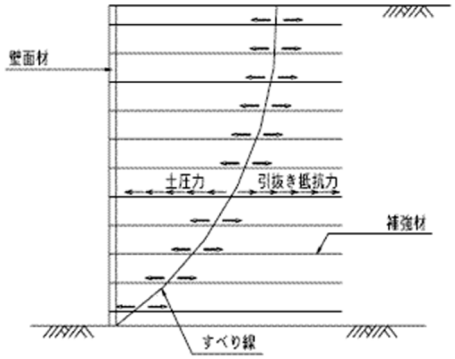
◆補強土の由来
フランス語でTerre（土）＋ Armee（補強）

1963年: フランスの技術者アンリ･ビダール（Henri Vidal）氏*が開発
1967年: 日本にテールアルメ工法が紹介され、鉄道技術研究所などで各種実験が開始された。
1972年: 日本道路公団の中央自動車道で、国内初となるテールアルメ工法が採用された。

＊砂浜で砂と松葉を組み合わせ、砂山を築きながら構想。


（Henri Vidal）





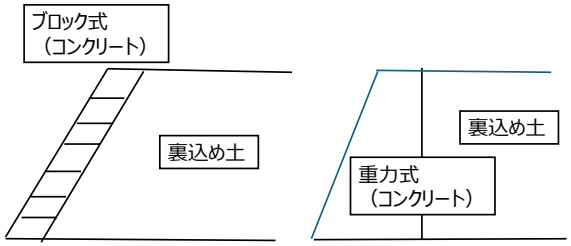
壁面材に作用する土圧力に対し，盛土材に敷設した引張り補強材の引抜き抵抗力によって釣り合いを保ち，土留め壁の効果を発揮する

補強土壁の補強原理＆メカニズム
☛傾斜盛土が直立盛土へ！

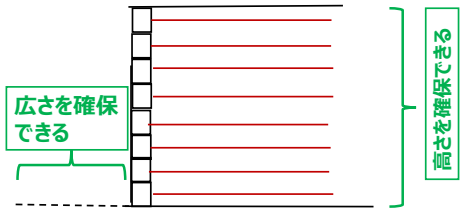


(a) 砂山（松葉混入無し）

(b) 砂山（松葉混入あり）
☛摩擦力の増大

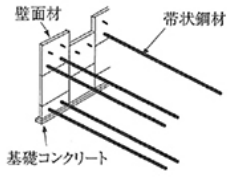
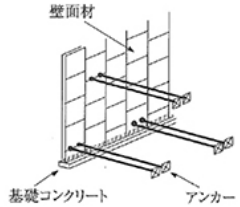
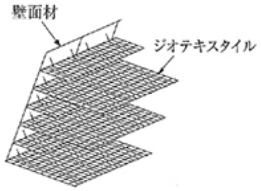
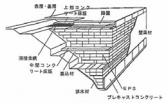


従来の擁壁（傾斜盛土）　☛

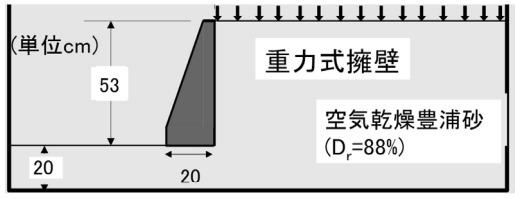


補強土擁壁（直立盛土）

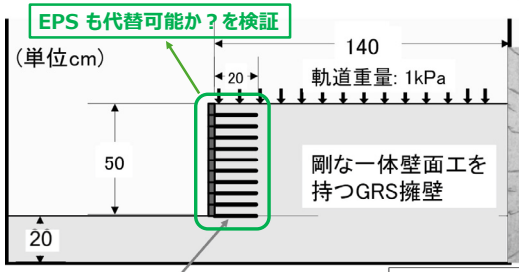
補強土壁の種類

工法名		テールアルメ工法	多数アンカー工法	ジオテキスタイル補強土壁	EPS工法
概要図[1]					
補強材		帯状鋼材（ストリップ）	アンカー（タイバー，アンカープレート）	ジオテキスタイル	発泡ポリスチレン（EPS）
盛土材適用範囲	土質材料	細粒分含有量 25%以下	細粒分含有量 50%未満 および シルト（ML）（MH） 粘性土（CL）	細粒分含有量 50%未満	ー （EPSが土・岩石の代わり）
	岩石質材料	最大粒径は 25cm 以下	最大粒径 25cm 以下 かつ スレーキング率 30%以下	補強材が損傷する恐れがあるので注意が必要	

補強土擁壁の耐震性を示す実例（1995年兵庫県南部地震）





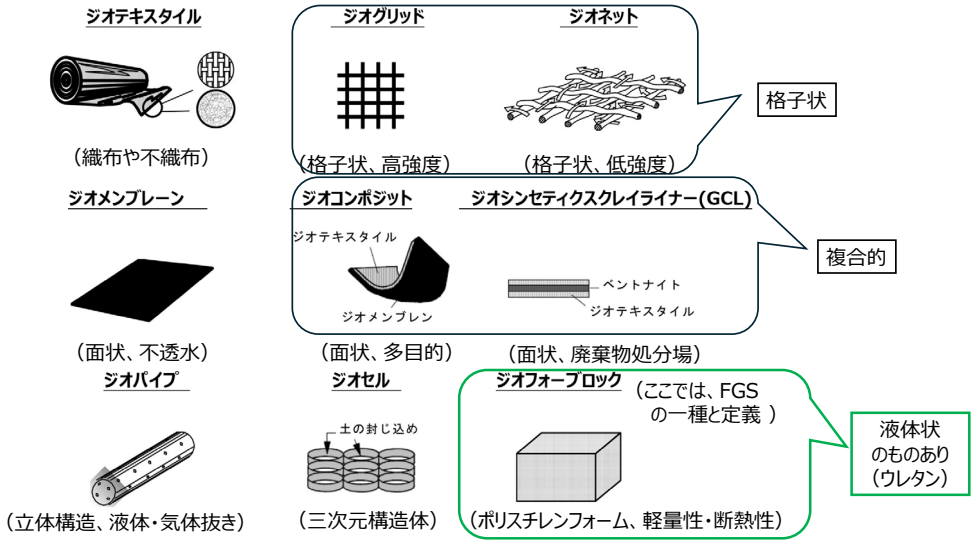


補強材(格子状のリン青銅帯材: t=0.2mm)



旧耐震設計法で設計(k_h = 0.2)では、全補強材層がL/H= 0.4と短くても成立

ジオシンセティックスの種類（FGS を含む）



発泡ジオシンセティックスとは？

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）【ブロック状】	・"**e**xpanded **poly**s**t**yrene" 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	・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【液体状】	・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と、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とがある	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	施工当初はブロック状の構造体とスラー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		

身の回りにある泡（㈱JSP 田中富智夫氏による）



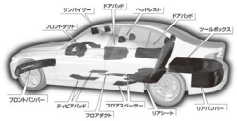
(a) 魚屋さんを救った白い革命



(b) 納豆王国を支える



(c) 大地を支える泡



(e) 車の中に入っている泡



(d) 家の中に入る泡

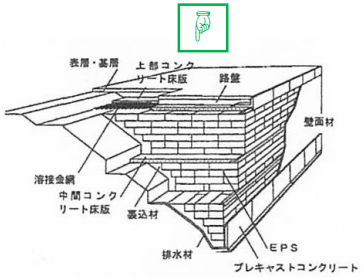
FGS(発泡ブロック:EPS)の特徴

特長	説明
軽量性	密度は、土質材料の 1/100、他の軽量材と比較しても約 1/10 から 1/50 程度の超軽量である
圧縮性	圧縮性が低く、せん断破壊が生じにくい
自立性	ブロックそのものの組み合わせて自立できるとともに、擁壁構造物の背面に設置でき、土圧を大幅に低減できる
施工性	(1) 人力での設置や運搬が可能、 (2) 大型建設機械が進入できない場所や急傾斜地や軟弱地盤における施工が容易、 (3) 現地の条件に合わせた加工切断も用意
経済性	(i) 騒音低減など周辺環境対策に有効、(ii) 大幅な工期短縮、(iii) 維持管理業務が簡易であるなどのことから、他の技術に比べて経済的である
耐久性	・発泡スチロールの主原料であるポリスチレンは、非常に安定した物質であり化学的な反応を起こすこともほとんどない ・そのため日光などを遮断するなど簡単な条件下で、半永久的にそのままの形状、性能で残存する特性がある

●軽量性 ☛ 慣性力低下・土圧低減 ☛ 地震時安定性確保



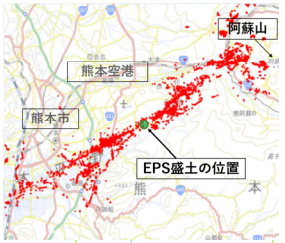
◆EPS による（土留め）補強土壁例

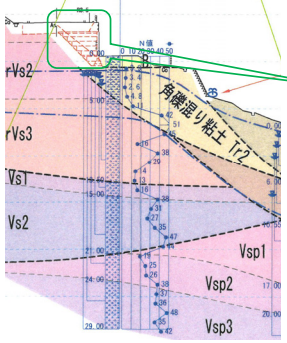


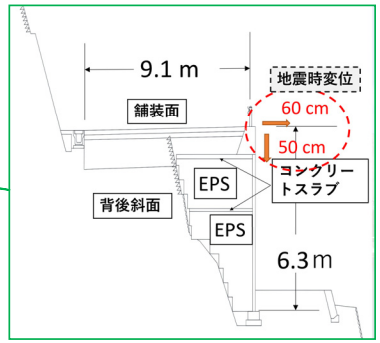
◆ EPS による土留め壁（道路）の構造

3. 地震時に発泡ジオシンセティックス（EPSブロック）が耐震性を発揮した事例

2016年熊本地震における被災事例











☛ 全壊ではなく、一部損壊あるいは半壊にとどまった要因は？

一車線の走行確保
☛“全壊”ではなく、一部損壊”あるいは“半壊”

熊本地震におけるFGS（EPS）道路の被災状況



写真① 熊本県道 28 号熊本高森線 道路拡幅ＥＤＯ−ＥＰＳ盛土の損傷状況

(b) 熊本県道 28 号熊本高森線
道路拡幅ＥＤＯ−ＥＰＳ盛土の損傷状況
（ 熊本県上益城郡益城町杉堂 ）



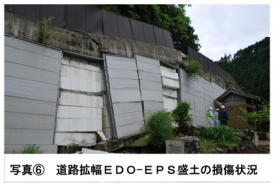
写真③ 地点近傍にて確認された地表の亀裂



写真② 地点近傍にて確認された地表の亀裂の応急補修状況



写真④ 道路拡幅ＥＤＯ−ＥＰＳ盛土の損傷



写真⑥ 道路拡幅ＥＤＯ−ＥＰＳ盛土の損傷状況



写真⑦ コンクリートパネルの損傷状況

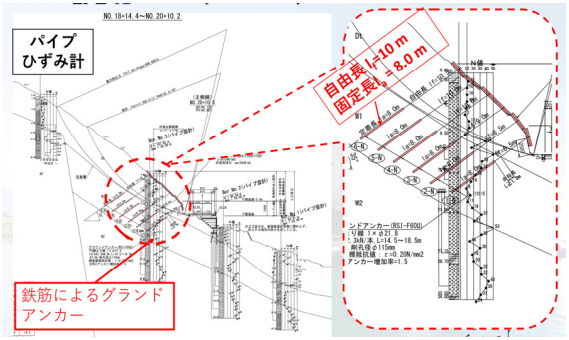
山典：国土交通省 国土地理院 平成 28 年熊本地震に関する情報：地震による亀裂分布【4 月 20 日 19 時 20 分公表】



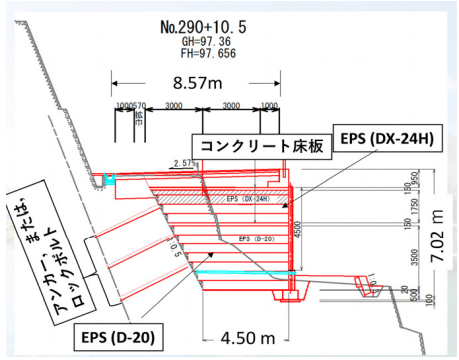
写真⑤ 道路拡幅ＥＤＯ−ＥＰＳ盛土の損傷状況（段差 80 cm）

二車線道路の被災
↓
被災したが一車線通行は可能
↓
この道路盛土は破壊したと言うべきではないか？（学会での議論）
↓
一社線走行は可能なので、“一部損壊”、したがって、破壊ではない
（電気機器や自家用車では、“故障”に該当）

2016年熊本地震における被災盛土の事後対応



(a) 自然斜面の恒久復旧



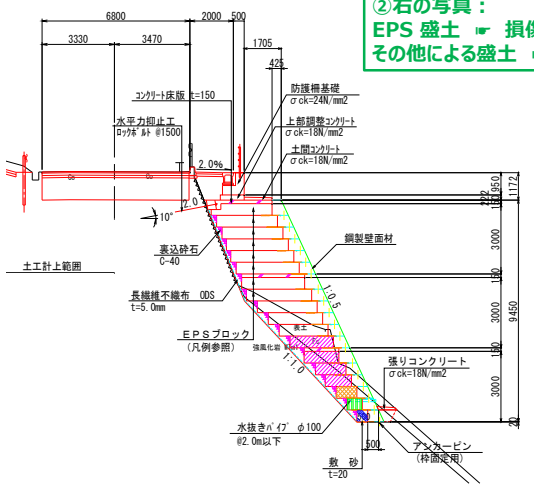
(b) 道路盛土の恒久復旧

◆恒久復旧対策の概要
1. 自然斜面と道路盛土とも補強，
2. ブロック積層の数を増やす、
3. 改良緊結金具を適用

☛ 2026年熊本地震では、ダメージはなし

令和6年能登半島地震におけるEPS盛土と周辺土構造物の被災（石川県輪島市）：被災前

②右の写真：
EPS 盛土 ☛ 損傷無し
その他による盛土 ☛ 損傷あり





竣工時



EPS盛土位置と斜面崩壊箇所

（Google Mapによる）

令和6年能登半島地震におけるEPS盛土と周辺土構造物の被災状況



地山斜面崩壊と路面クラック



法枠工のすべり





EPS盛土部に変状はなく，通常盛土部には路面クラックが多数確認された





EPS盛土と通常盛土の境界部でずれが生じている

EPS盛土には変状は見られないが，近傍ののり面に崩壊箇所がある．また，通常盛土部のすべり変状によるクラックの発生と，健全なEPS盛土との境界部のずれが生じた．

発泡ジオシンセティックス（EPS)の耐震性向上例
（2024年能登半島地震，七尾市，通常擁壁とEPS盛土の比較）



Google Map（2024年9月）

平面位置

通常擁壁





EPS補強盛土



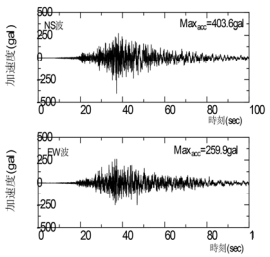
壁面状況



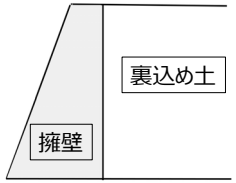
路面状況

発泡ジオシンセティックス（EPS)の耐震性向上例 <続>（2024年能登半島地震）

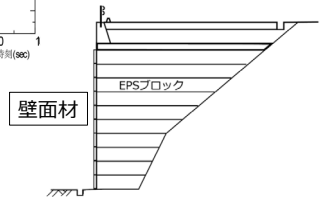
地震動
（レベル２想定）



構造物



(a) 通常の擁壁



(b) FGS(EPS)補強盛土

構造物の変状



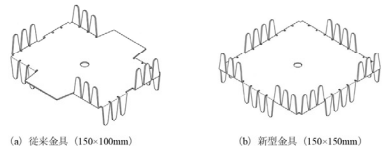
（顕著な変状）

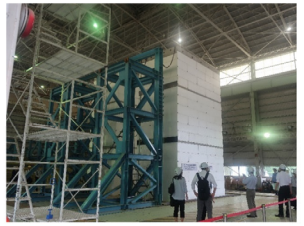


変状の様子
（微細な変状）

4. 耐震性向上のメカニズム（模型実験と数値実験による検証）

EPS の耐震性向上に及ぼす緊結金具の効果





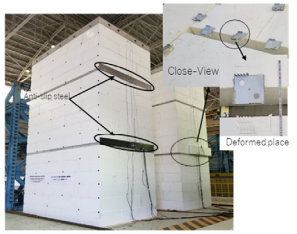
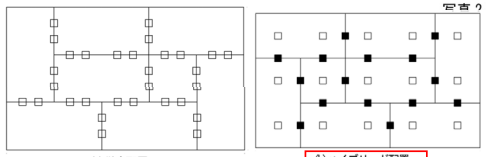
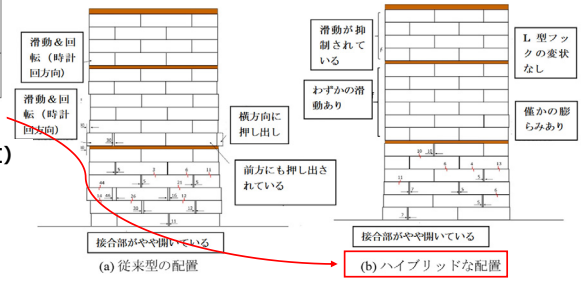


写真 3　模型実験に用いた EPS 構造体

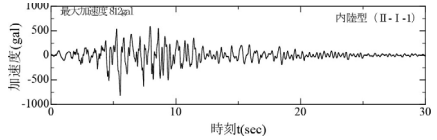


実物大振動模型模型実験の概観

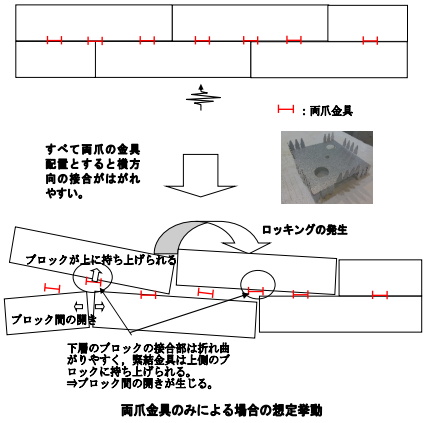
（防災科学技術研究所において実施、2018）



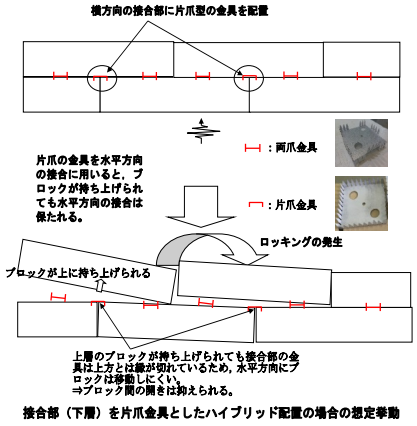
【採用した地震波形】（最大加速度 812 gal、レベルII）



緊結金具のハイブリッド配置によるロッキング変状の軽減



(a) 従来配置の場合



(b) ハイブリッド配置の場合

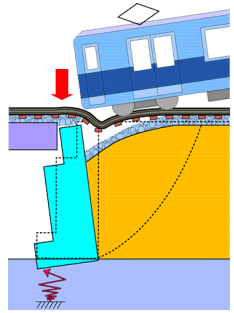
交通施設（特に鉄道）の橋台の地震時損傷と対策の必要性

☛ 鉄道は変形を嫌う重要インフラ

既設橋台も大きな地震荷重下での性能を高める必要あり



1995年兵庫県南部地震で生じた橋台裏込め土の沈下
(Aoki et al. 2003)



橋台の変状 ☛ 車両走行困難

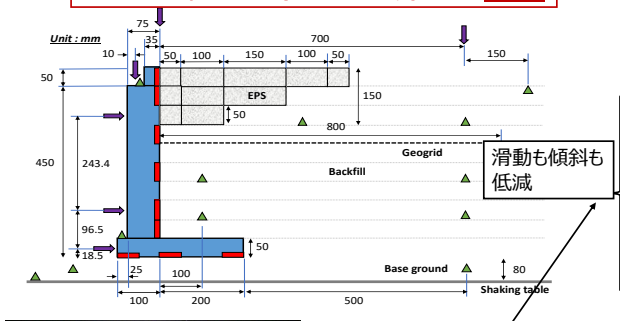
対策例：EPSとジオグリッドを併用した片持ち梁式橋台とその裏込め土の耐震性を高める工法

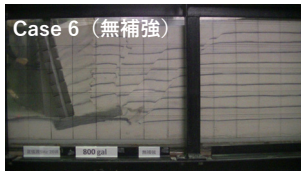
＜例＞ 地盤補強土工法（運動抵抗増加）＆ 軽量化盛土－EPSブロック（地震時土圧低減）

➢地震時安定性の確保

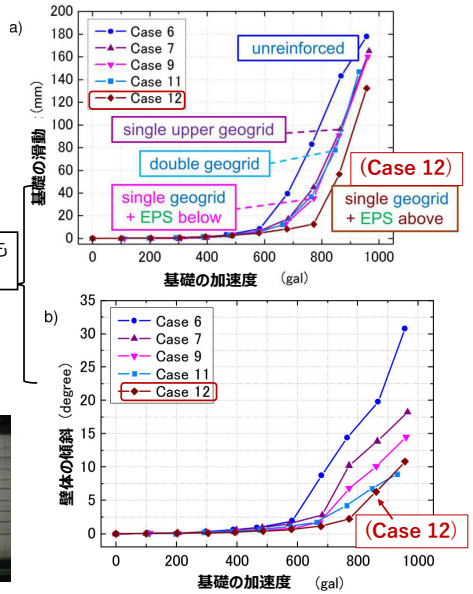
EPSブロック とジオグリッドの併用による橋台の耐震効果（京川ら：2018&Koseki, 2022 による）

Case 12：複合補強（中層ジオグリッド＋EPS上部）

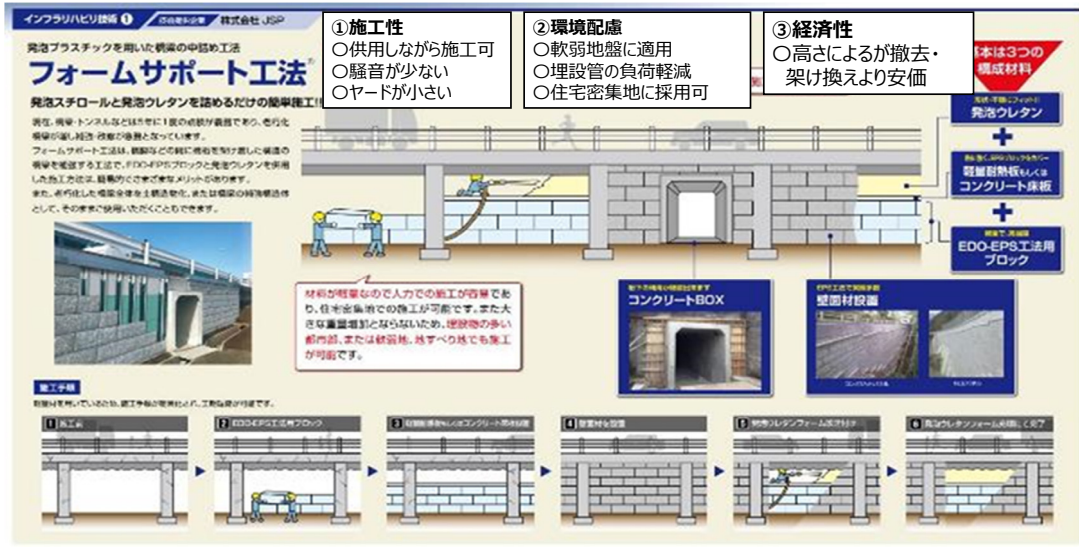




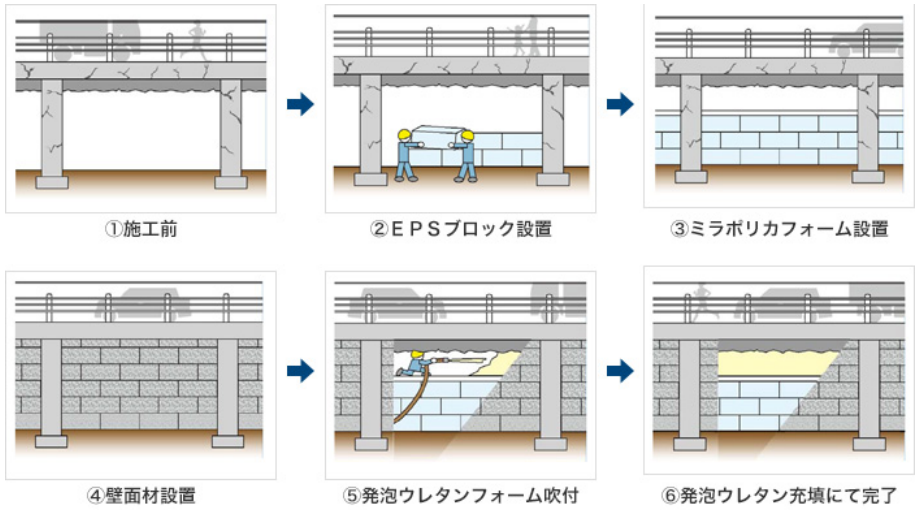




橋梁の耐震化＆長寿命化（EPS ブロックとウレタンの併用）



橋梁の耐震化＆長寿命化技術（EPS ブロックとウレタンの併用）



室内模型実験による検証 1
（レベルI:中規模）

◆実験条件　(i) 加速度：L1地震動入力加速度は約200 cm/s^{2}に設定、(ii) 周波数は4 Hzで載荷回数は、正弦波30 波

◆実験結果

(1) 単純桁、複数桁とも EPS & ウレタン併用工法が耐震性向上に効果がある

(2) ウレタンに変えて、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

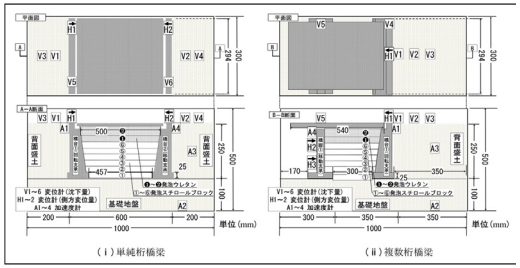
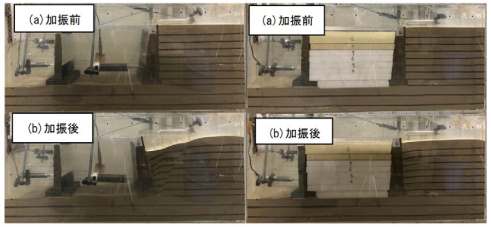


図 4 FS 工法に関する室内模型実験の概要 [6]



(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]

室内模型実験による検証 2
（レベルⅡ：大規模）

◆**実験条件**　(i) 加速度：L2地震動
入力加速度は100～1600 cm/s^2
100 cm/s^{2}刻みのステップ加振
(ii) 周波数は4 Hz.、波形・波数は正弦波 30波
(iii)相似則を考慮した材料選定

◆**実験結果**
(1) EPS &ウレタン併用工法はL2地震動においても橋梁（単純梁）の耐震性向上に効果がある
(2) 桁下にBOXカルバートを用いたケースでも軽量発泡材のみと同様の結果を得る
(3)走行可否（25 cm 以下）より、模型縮尺1/20を考慮した2.8 mm からも耐震性向を確認

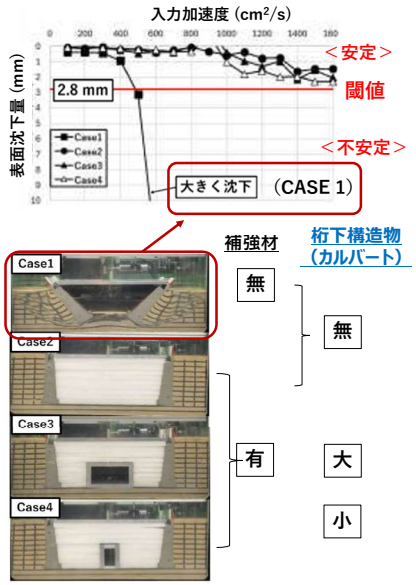


図-12　各ケースの模型地盤の様子

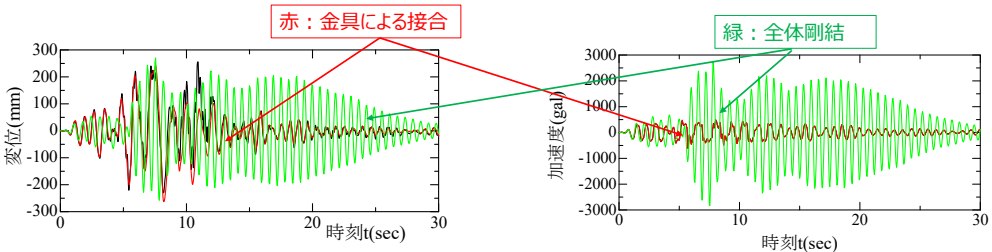
なぜ、発泡ジオシンセティックスは耐震性が高いのか？

特性	特徴	耐震性向上の効果
軽量性	軽量であることから，地震時慣性力が小さい.	支持地盤や接合構造物（橋台など）への地震時作用が小さいため，地震時の外的安定に対する問題が生じにくい.
自立性	比較的高い強度を有し，自立する.	材料の高い強度より，地震時の内的な安定に対して高い性能を有する.
振動特性	軽量で自立性がある発泡ジオシンセティックスの振動特性.	ブロック間の緩い拘束によって振動吸収能力が高くなり、耐震性を向上させる.

◆**内的安定性**：補強土の「中身（補強領域そのもの）」が安全かどうか（破断しないか、引き抜けないかなど）を確かめる検討
◆**外的安定性**：補強土壁を「1つの大きなカタマリ（仮想的な一つの擁壁）」とみなして、地盤や周囲に対して安全か（滑動しないか、転倒しないかなど）を確かめる検討

EPS ブロックの耐震性の要因：数値解析による（防災科研における模型実験対象）

◆**緊結金具による固定　☛　柔な拘束**
ブロック体の集合であるため作用力によって生じるブロック間の小さいずれや開きが振動を吸収する.
ブロック間の変位は振動抑制に寄与する.　☛　剛より柔に！
◆**すべてのブロックを接着剤で固定　☛　剛な拘束**
➢実験：固定面（接着剤による）がはがれて大きな転倒モードを示した.
➢解析：下記に示すように，金具のみの接合とブロック間を剛結した条件では，最大変位に大きな差がないものの大きな自由振動が継続すること，応答加速度は4倍程度になること

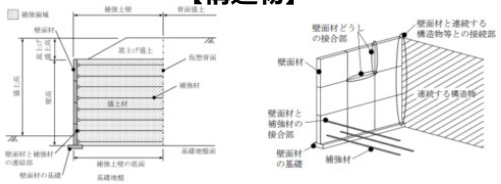


モデル天端の応答変位と加速度比較（解析値）

☛接着剤よる**豪な拘束**より、緊結金具による**柔な拘束**の方が、耐震性向上に効果的

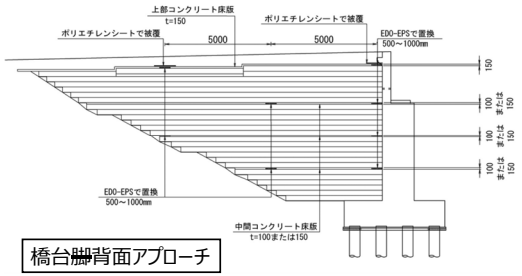
二つの構造物の耐震性のメカニズム　☛　“一体化”がキーワード

【構造物】



(a) 横断図　　(b) 鳥瞰図

壁体構造物



橋台躯体背面アプローチ

【耐震性のメカニズム】

EPS(FGS)補強盛土を前提にすると…
1) EPSブロック相互の緩い拘束（緊結金具による適度な**一体化**）によって振動吸収能力（減衰効果）が高くなり、耐震性が向上する。
2) EPSブロックは土質材料のような粒状体ではないので自立性があり、すべり破壊（せん断破壊）も生じない。
3) 軽量であるため基礎地盤への負荷も軽減される。

【橋軸方向（道路縦断方向）】
両側を抗土圧構造物（橋台）と一般盛土で拘束されているため、**一体化**することによってEPS盛土単体で地震時安定性に関する問題は生じない。
橋台とEPSとの衝突は、基礎地盤の条件によって次の２ケースが考えられる。
・橋台の慣性力が背面側に向かう場合…EPS側に橋台がもたれかかる
・橋台の慣性力が前面側に向かう場合…EPS側から橋台を押す
「道路橋示方書」などに基づいて橋台の設計・照査を行っておけば、いずれの場合も橋台の損傷に至るおそれはない。
【橋軸直角方向（道路横断方向）】
上の壁体構造物と同様。

まとめ

- EPS ブロックを中心とした発泡ジオシンセティックス(FGS)は、軽量であることから、地震時の慣性力が小さく、土構造物（柔な構造物）の耐震性を向上させる
- EPS ブロックの拘束は、剛結（接着剤による）よりは、緩く緊結（金具による）するほうが振動を吸収して耐震性を高めることができる
- ブロック状FGS（EPS）と液状FGS（発泡ウレタン）の併用、ブロック状FGS（EPS）とジオシンセティックスの併用による技術は、橋梁（剛な構造物）の耐震性向上と長寿命化に貢献できる
-
- ☛以上から、EPS ブロックを中心とした発泡ジオシンセティックス(FGS)は、柔な構造物と剛な構造物の両方の地震時災害低減に有効である

謝辞

- 本稿をまとめるにあたっては、EPS機構（EDO)の窪田達郎さまと西　剛整さまに多大なご助言とご協力を戴きました.
- また、㈱JSP　田中富智夫さま、積水化成品工業㈱中山貴弘さま他の皆様には貴重な資料のご提供をいただきました.
- ともに、記して、深甚の謝意を表します.