

技術報文

ジオシンセティックスによる盛土の液状化対策

— SECURE-G 工法 —

エターナルプレザーブ株式会社

一般社団法人ジオシンセティックス変形抑制工法研究会 久保 幹男・横山 公明・ラアウン

1. はじめに 併用工法の一環として

地盤の液状化時に盛土の変形を抑制するために、盛土下部あるいは基盤にジオシンセティックスを砕石で挟込む併用工法（SECURE-G）を開発推進してきています¹⁾。

1999年6月に道路公団の高盛土敷網工法として高強度帯状ジオセティックスが使われました。サンドマット上にジオシンセティックスを敷設する併用工法でした²⁾。

それ以来、軟弱地盤対策工としてドレーン・浅層改良・改良体などの併用工法を主眼として進めてきています。

2007年10月に港湾空港技術研究所主催の発破を用いた滑走路の液状化実験が行われました。当社は岡三リビング株式会社と共同で盛土の液状化実験に参加しました。その時の断面図(図-1)を示します。高強度帯状ジオシンセティックスによる砕石マットレス工として対策しました。不陸はなく水平変位の抑制が示唆できる結果でした。

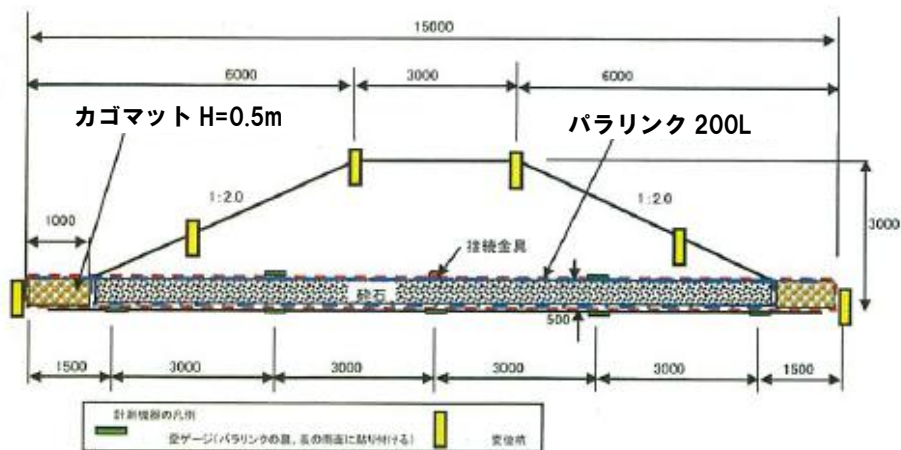






図-1 北海道石狩での実物大の空港施設を用いた実験的研究：港湾空港技術研究所³⁾

2008年4月に、SECURE-G工法の特許を取得しました。そこから動的遠心模型実験を行い、また一般社団法人研究会を立ち上げ、開発研究活動をさらに加速してきました。深層混合処理トフト工法のように液状化の発生を抑制する工法ではなく、液状化の発生は許すものの盛土の変形を抑制する工法です。

2. 橋台背面段差抑制における補助工法

特に力を入れてきましたのは2011年東北地震で被害が報道されました橋台背面の段差の問題です。液状化による段差懸念に対する必要性もあることから、橋台背面アプローチ盛土段差対策に資するSECURE-G工法を推進してきました。

2013年三宝JCTにおける対策工の事例を紹介します。この液状化対策は階段アプローチ式地盤改良で、阪神高速・大阪大学・鹿島建設において図-2のように対策されました。さらにレベル2震度法にて盛土の円弧すべり対策がSECURE-G構造でされました。かつ縦断方向にもジオシンセティクスが敷設され、段差対策にプラスアルファの効果が期待されました。

箇所	道路の限界状態		性能目標
道路縦断	勾配		12%以下
	沈下		25cm以下
道路横断	勾配		15%以下
	滑り破壊		25cm以下

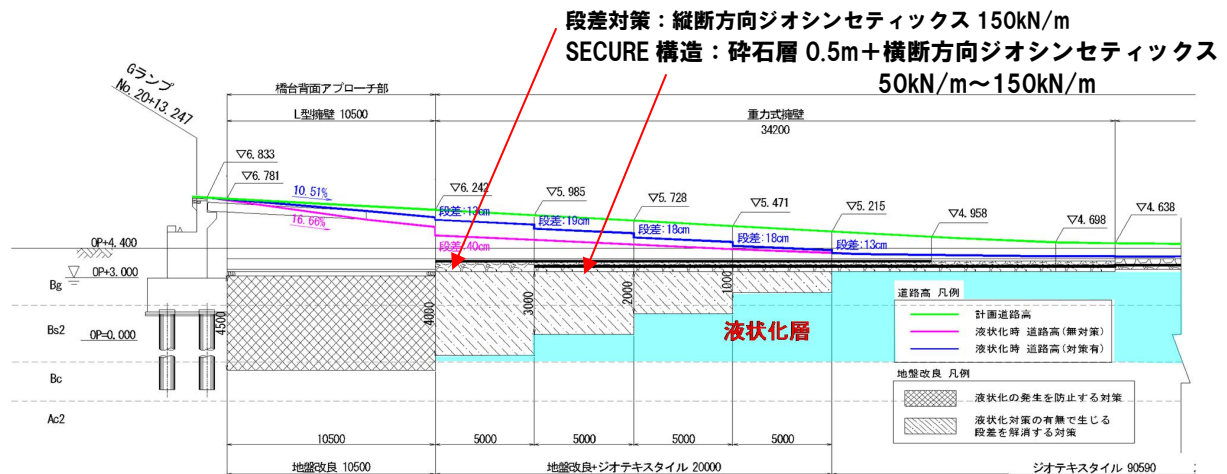
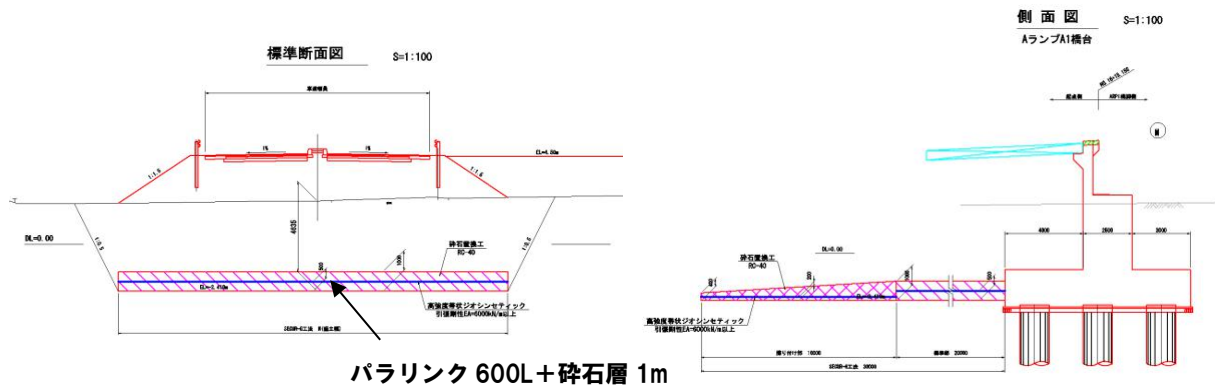


図-2 三宝 JCT (阪神高速) の縦断図並びに限界状態と性能目標⁴⁾

橋台背面などは、重要度 1 の路線において連続する構造物の機能面からレベル 2 地震動において性能 2 とする考え方が、2017 年道路土工構造物技術基準・同解説に具体例として出されています⁵⁾。

そういった設計に対する考え方の中で、SECURE-G 工法が橋台背面に対策工として採用された事例を紹介します。

2018 年高知中央 IC (図-3) においては、レベル 2 地震動における許容沈下量が 50cm という中で採用されました。ジオシンセティクスの強度は弾性床土上の梁計算から算出し、沈下量の算出には静的 FEM の ALID を用いています。ALID は、液状化判定による液状化抵抗率 F_L が基本パラメータとなり、安田らが提案している F_L に対応する液状化時の地盤の剛性低下を考慮することで、液状化時の変形を評価する 2 次元有限要素法です⁶⁾。また、昨今では 2016 年土木研究所が出している河川堤防の液状化対策工の手引きにおける液状化強度の見直し、有効土被り圧による液状化層の剛性見直しも標準的に取り入れて解析を行っています⁷⁾。



さらに、2019年宮城県気仙沼市役所 都市計画道路潮見町赤岩五駄鱈線で以前の三陸鉄道のアトモ含む道路盛土で、橋台背面アプローチ改良に続いて SECURE-G 工法（ジオシンセティックス 300kN/m or 500kN/m 製品強度+砕石層 1.6m）が用いられています。レベル2地震動で照査しています。円弧すべり計算時に地震時の過剰間隙水圧を考慮する△U法（以下、△U法）と ALID で照査しています。



図-3 高知中央 IC (土佐国道事務所) の施工事例

2020年山陰自動車道においても橋台背面に SECURE-G 工法が用いられました。4車線想定下の広い盛土ですが、両法尻改良杭、さらに橋台縦断方向地盤改良と橋台背面 20m 区間に SECURE-G 対策工（弾性床上梁計算からジオシンセティックス 500kN/m 製品強度+砕石層 1m）が敷設されました。レベル2地震動対策として、沈下許容値 50cm 以内です。

3. 津波多重防御堤・津波避難高台・津波対策嵩上げ駐車場

2011年東北地震の時に仙台東部道路が津波のそれ以上の遡上を抑えました。そこから津波多重防御堤が多く実施されるに至りました。海岸沿いに津波多重防御堤が作られますので、緩い砂層が広く深く存在することが多く、液状化が検討され、液状化時の沈下対策が必要とされます。ジオシンセティックスを用いた対策が多くみられます。

2014年岩沼市（図-4）において、レベル1地震動における△U法に基づく安定対策工として津波多重防御堤の道路が施工されました。海岸から近く津波の被害が大きかったところです。互層で液状化層が深層に厚く堆積していましたがジオシンセティックス 100kN/m 製品強度が敷網として使われました。



図-4 津波避難防御堤（岩沼市）

2015年仙台市においても津波の被害が大きく既存の県道塩釜亘理線の横に新たに7mの津波多重防御堤が構築されました(図-5)。許容沈下量設定の下、液状化による沈下対策として浅層又は中層地盤改良が採用されました。△U法にて照査し、改良だけでは不足する安全率をジオシンセティックス(150~900kN/m製品強度)を改良体の直上に敷設することにより補いました。

2019年石巻において海岸近くに津波復興記念公園が建設されていますが、その隣に津波避難高台として命の丘という高さ9mの盛土造成地が作られました(完成2021年)。寒地土木研究所とドーコンの特許工法のグラベル基礎補強工法で液状化対策をしています。グラベル中詰め材1m層を高強度ジオシンセティックス1000kN/m製品強度にてマットレスとして、盛土下部に縦方向・横方向で各1段敷設しています。

また、2019年大分県佐伯市において、海岸近くにレベル2地震動対策として津波避難高台が作られました。全面改良は費用が掛かりすぎることから支持力対策・変位対策・液状化対策として部分的に改良をしていますが、幅広い未改良部にはSECURE-G構造が弾性床土上の梁計算からジオシンセティックス強度を算出し(400kN/m製品強度+砕石層2m) or (500kN/m製品強度+砕石層2.5m)にてレベル2において許容沈下量50cm以内という設定で採用されています。

津波対策の駐車場においても液状化時の沈下・側方変位・不同沈下対策で用いられました。2013年海岸べりのNEXCO四国事務所の高松駐車場(図-6)です。津波が来て引いた後に緊急車両が直ちに発進できるように津波推定高さ2mを嵩上げしています。その基盤下にSECURE-Gを敷設しました。



図-5 塩釜亘理線(仙台市)の施工事例

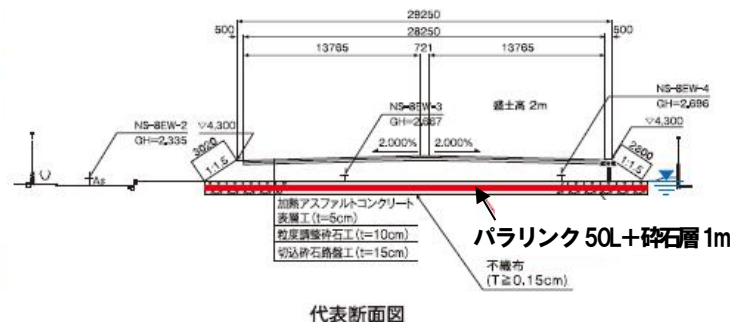


図-6 NEXCO 高松駐車場の施工事例

4. 縦断延長の長い道路の液状化対策

重要度1の路線で橋梁など構造物はレベル2地震動で設計されることが標準ですが、縦断方向に長い道路においては、レベル1地震動で設計される事例とレベル2地震動で設計される事例があります。

縦断延長の長い道路の液状化対策のレベル2事例としては、2012年青森河川国道工事事務所上北天間林道路があります。レベル2地震動における△U法と震度法での対策工を検討し、各々の円弧すべり手法の中で、必要とされる強度（Treq：円弧すべりにおける必要安全率を上回る抵抗モーメント増加の為に必要とされるジオシンセティックス強度）の大きい方で、それを上回るジオシンセティックス強度（TAE：地震時におけるそのジオシンセティックスの設計強度）が採用されています。海岸に近いこの路線では、Ap層、As層及びAc層の地層構造においては液状化層（As層）が厚いので△U法でジオシンセティックス400kN/m～700kN/m製品強度×2段、Ac層、As層及びAc層の地層構造のところはAc層の厚さから震度法にてジオシンセティックスジオシンセティックス500kN/m製品強度×2段～900kN/m製品強度×2段が対策工で選ばれ、盛土下部に敷設されました。

2020年東九州道の志布志～大崎区間においてレベル2地震動で設計されました。ウナギの養殖の関係から地盤改良ではなく、ALIDの変形照査で許容沈下量50cm以内ということでSECURE-G工法が採用されています。許容沈下量50cmを満足するために弾性床土上の梁計算からのシンセティックス強度算出にて400kN/m製品強度+砕石層2m or 700kN/m製品強度+砕石層3mを敷設しました。

ここからは、縦断延長の長い道路の液状化対策においてレベル1地震動で決定された事例です。

過剰間隙水圧を考慮した△U法で液状化対策の必要性を確認するのは共通していますが、対策工を求める時にジオシンセティックスの強度を決めるやり方で2つの方法が見られます。ひとつは△U法で円弧すべりで不足する安全率をジオシンセティックスの必要強度で補う事例です。もうひとつは弾性床土上の梁からジオシンセティックスの必要強度を決める事例です。

いずれにしてもここで取り上げている事例ではSECURE-G構造が採用され、静的FEM(ALID)にて許容沈下量に対して問題ないかを確認しています。

2018年熊本57号北側復旧ルート(図-7)があります。レベル1地震動における許容沈下量が20cmであり、静的FEM解析(ALID)にて許容値以下であることをSECURE-G構造にて確認しています。この現場は地下水位が高いこと、また地表面付近に液状化砂層があり、砕石による置換え効果が顕著でした。

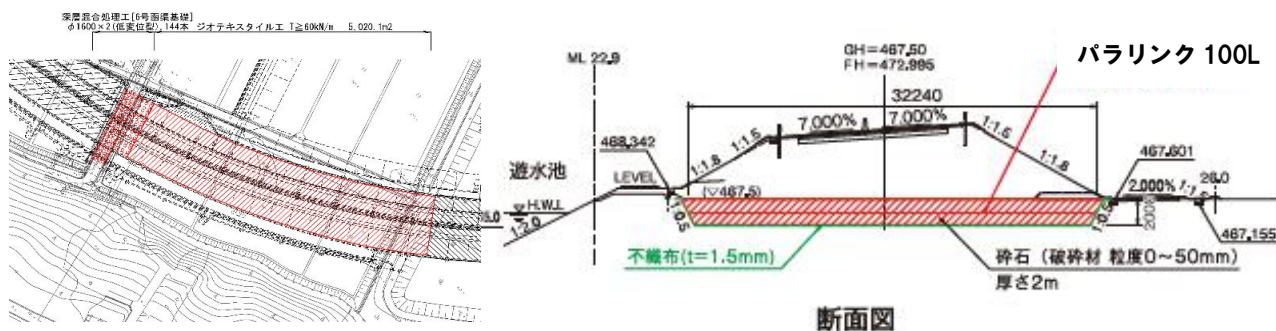
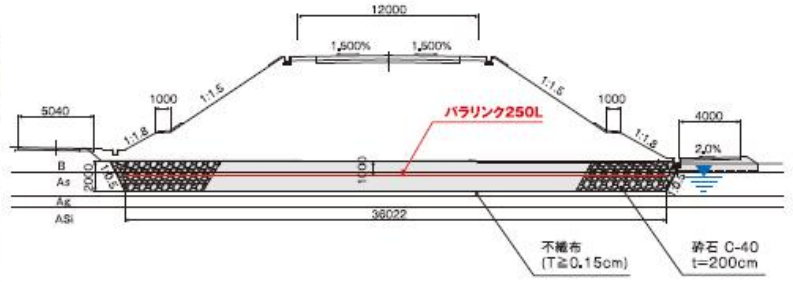
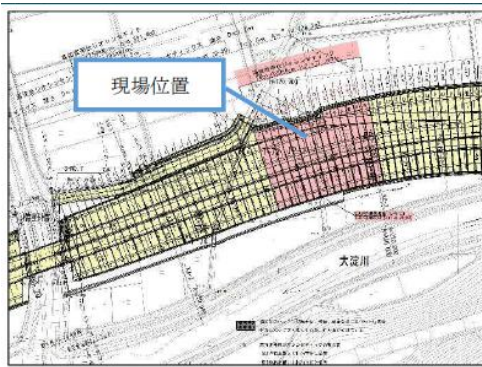


図-7 熊本57号北側復旧ルート(熊本河川国道事務所)の施工事例



代表断面図



大隅地域振興局による路線説明



SECURE 会による説明



見学の様子

図-8 末吉道路（鹿児島県大隅地域振興局）の施工事例⁸⁾

2018年都城道路ではジオシンセティックス強度400kN/m+砕石層1m厚で施工されています。橋台背面付近であることも変形解析を行った理由で、許容沈下量はレベル1地震動において25cmでした。

2018年鹿児島大隅地域振興局の末吉道路(図-8)の事例です。許容沈下量がレベル1地震動において25cmでした。地下水位が高く、釜揚げ排水や分離用不織布のピン押えなど有りました。砕石層からの排水は盛土の基盤排水層へと抜けていくようにすることへの確認もされています。IGS現場見学会を行い、鹿児島大学・宮崎大学・関係者の方々が参加され、大隅地域振興局からの事業説明があり、(社)ジオシンセティックス変形抑制工法研究会からSECURE-G工法を説明しました。

5. 今後の縦断延長の長い道路への液状化対策への提案

橋台背面などに関しては液状化時の段差緩和として、レベル2地震動におけるSECURE-Gによる対策工の提案に今後も力を入れていきます。

また、縦断延長の長い道路においては、重要度1の路線でもレベル1地震動に対する照査が今後もあると思われます。また、橋台近辺は緩い砂層が厚いことも多く、液状化の検討も多いかと思えます。

当SECURE-G工法は、砕石+ジオシンセティックスの盤効果から、側方流動・沈下抑制効果があり、変形はするものの盛土形状を保持したような状態にて沈下するといった特徴が有る工法です。現場の地下水位・地層・土質情報によっては、対策工をジオシンセティックスのみの強度で行うのではなく、明らかにφ材として層をなす砕石層に、その盤効果を高める機能を持つジオシンセティックス補強構造で行うことは、望ましいケースが多いと思えます。

上記のことを明らかにしていく為に、道路管理者・コンサルタント・エンジニアの方々に色々な現場事例をモデル化し、SECURE-G対策工効果を変形量も含めて示していきたいと思えます。

SECURE-G工法は自然に優しいCO2発生が少ない対策工です。地震に強い強靱なインフラに向けて貢献できればと思えます。

参考文献

- 1) Hajime Kawasaki, Mikio Kubo, Hla AuNg : Case study of the geosynthetic deformation control method for embankment during liquefaction by using geosynthetic sandwiched with gravel, ICG11th, 2018
- 2) 長尾和之, 今吉英明, 小浪岳治, 川原秀樹 : 高強度帯状ジオシンセティックによる軟弱地盤上の盛土補強効果, ジオシンセティックス論文集第14巻, pp.19-25, 2018年11月.
- 3) 菅野高弘, 中澤博志 : 液状化対策に関する実物大の空港施設を用いた実験的研究, 港湾空港技術研究所資料, pp.314-328, 2009年6月.
- 4) 谷澤史剛, 坂梨利男, 内村祥史, 小林寛, 佐藤彰紀 : 道路盛土の液状化対策工の性能設計—三宝ジャンクション建設工事—, 第48回地盤工学研究発表会, pp.1153-1154, 2013年7月.
- 5) 社団法人日本道路協会 : 道路土工構造物技術基準・同解説, pp.33-45, 2017年3月
- 6) Susumu YASUDA, Nozomu Yoshida, Kenji ADACHI, Hiroyoshi KIKU, Keisuke Ishikawa :

SIMPLIFIED EVALUATION METHOD OF LIQUEFACTION -INDUCED RESIDUAL
DISPLACEMENT , Vol.17,No.6 JourNal of JapaN AssociatioN for Earthquake ENgiNeeriNg , 2017

- 7) 河川堤防の液状化対策の手引き, 土木研究所 地質・地盤研究グループ土質・振動チーム, 2016年
- 8) 鎌尾彰司 : ジオシンセティックス液状化変形抑制工法見学会, ジオシンセティックス技術情報 Vol.34, pp.66-69, 2018年11月.