

防災・減災、国土強靱化のための発想の転換および先取り技術・工法  
 ー道路盛土のすべり崩壊、傾斜地の液状化・地盤流動、堤防の越流破堤などー

常田賢一

(一社) 地域国土強靱化研究所 顧問、大阪大学 名誉教授

概要

我が国では、最近の 10 年間だけでも、2015 年関東・東北豪雨、2016 年熊本地震、2019 年台風第 19 号、令和 6 (2024) 年能登半島地震など、道路盛土のすべり崩壊、液状化による傾斜地の地盤流動、洪水による堤防の越流破堤などにより、甚大な被害が発生している。このように繰り返される災害に対して、国土交通省は 2018 年度から「防災・減災、国土強靱化のための対策」に取り組んでいるが、実効性のある対策のためには、従来の踏襲、延長では限界があり、発想を転換し新たな技術・工法を先取ることが必須である。

本文は、令和 6 年能登半島地震で改めて顕在化した道路盛土のすべり崩壊の対策、同地震により新たな脅威となった液状化に留まらない地盤流動の対策、越流に対する要求性能を実現する堤防強化技術などに関する 13 の発想を提起し、その実現のための新技術・工法の具体を示し、今後の対応の動機付けとする。

目次

はじめに	2
1. ジオテキスタイルによる天端補強技術	3
2. ふとんかごによる盛土の堤内排水・安定化技術	15
3. ふとんかごによる盛土の法尻安定化技術	27
4. 壁式地盤改良による透水型地盤安定化技術	29
5. 多段かご工による堤防の越流水減勢技術	42
6. 盛土の残留変形解析法の第三者評価と実装化	51
7. 鉛直地震動の検証と設計地震動の評価	53
8. まとめ：今後、必要な発想の転換、先取りする取組みの姿勢	54

Ken-ichi TOKIDA: Strategic Change and Innovative Technology on Prevention, Reduction, and National Land Resilience against Future Natural Disasters, Technical Report of Local Resilience Research Institute, Vol.4, No.1, pp.1-64, 2026.3.

Abstract

During the last ten years in Japan, serious disasters caused severe damages in 2015 Kanto-Tohoku Heavy Rainfall, 2024 Noto-Peninsula Earthquake and so on. Ministry of Land, Infrastructure and Transport started various kinds of projects for Prevention, Reduction, and National Land Resilience. For effective methods against future natural disasters, we should change the strategy and propose innovative technology. In this technical report, for the above-mentioned strategy and technology, the author would like to propose new practical methods as follows.

- 1) Reinforcing Method of Road Embankment Crest using Geotextile
- 2) Inside Drainage and Seismic Reinforcing Method of Road Embankment using Square Gabions
- 3) Seismic Stabilizing Method of Road Embankment Toe using Square Gabions
- 4) Parallel Wall Ground Improving Method to Prevent Lateral Ground Flow at Slope Induced by Liquefaction
- 5) Reinforcing Method of River Dyke to Prevent Overflowed Failure using Multistage Square Gabions
- 6) Verification and Validation on Residual Deformation Analytical Method for Road Embankment
- 7) Investigation and Design Estimation on Vertical Seismic Ground Motion

はじめに

本文は、2025年5月23日、(株)ケイエフおよびいさぼうネット[五代開発(株)]の主催による、「第47回 K&i ウェブアカデミー：盛土崩壊 その実践的アプローチ」の基調講演の際に、聴講者に配布したPPT資料(修正しないで、そのまま掲載)を、(一社)地域国土強靱化研究所[LRRRI: Local Resilience Research Institute]の技術資料として編集したものである。

なお、編集に当たっては、PPT資料の説明内容を文章化するだけでなく、関連する情報および講演後から現在(2026.3)までの行政的動向、調査結果などを適宜、追加している。

本文の主旨は、下記のPPT1のとおり、

災害列島の我が国では、防災・減災、国土強靱化は国策として続くが、道路盛土、堤防などの盛土構造に関して、従来の仕様設計に基づく既往技術・工法の経験工学的、場当たりの、後追いの技術・工法に留まらず、多様性を志向する性能設計に展開するため、エビデンスを明示した技術・工法を開発・提案し、実装化、実用化することが必須である。本講により、今後の対策に関わる、従来の枠にとらわれない、先取りした技術・工法を例示するので、土工構造物の性能設計の視点を理解し、新たな発想への転換、実装化に果敢に努めて頂きたい。

である。

そして、本文は、新たな発想あるいは先取りによる技術・工法として、11(本文中で3つ追加)の新たな発想による下記の1~5の5技術を掲げている。ここで、技術1~4は令和6年能登半島地震の道路盛土の被害、技術5は近年の洪水時の越流破堤に対する技術・工法であるが、各技術により期待できる効果は、下記のPPT1のとおりである。さらに、本文では、新たに2つの発想による技術6および技術7を追加したが、それぞれ、今後の盛土に係わる技術評価および耐震設計法を先取る事項として重要である。したがって、K&i ウェブアカデミーで示した8つの発想は、本文では13の発想として提示する。

1. ジオテキスタイルによる天端強化技術
2. ふとんかごによる盛土の堤内排水・安定化技術
3. ふとんかごによる盛土の法尻安定化技術
4. 壁式地盤改良による透水型地盤安定化技術
5. 多段かご工による堤防の越流水減勢技術
6. 盛土の残留変形解析法の第三者評価と実装化
7. 鉛直地震動の検証と設計地震動の評価

PPT1

## 第47回 K&i ウェブアカデミー：基調講演

### 防災・減災、強靱化のための発想の転換・先取り技術・工法

一道路盛土のすべり崩壊、傾斜地の液状化・地盤流動、堤防の越流破堤一

2025.5.23

大阪大学 名誉教授 常田賢一

主旨：災害列島の我が国では、防災・減災、国土強靱化は国策として続くが、道路盛土、堤防などの盛土構造に関して、従来の仕様設計に基づく既往技術・工法の経験工学的、場当たりの、後追いの技術・工法に留まらず、多様性を志向する性能設計に展開するため、エビデンスを明示した技術・工法を開発・提案し、実装化、実用化することが必須である。  
本講により、今後の対策に関わる、従来の枠にとらわれない、先取りした技術・工法を例示するので、土工構造物の性能設計の視点を理解し、新たな発想への転換、実装化に果敢に努めて頂きたい。

話題：先取り技術・工法例

期待できる効果

\*かご工：ふとんかご

1. ジオテキスタイルによる天端強化技術：盛土のすべり破壊制御&舗装の亀裂・段差防止
2. かご工による盛土の堤内排水・安定化技術：盛土の堤内排水強化&すべり破壊制御
3. かご工による盛土の法尻安定化技術：盛土の法尻排水強化&土留め強化
4. 壁式地盤改良による透水型地盤安定化技術：傾斜地の盛土すべり抑制&液状化による地盤流動抑制
5. 多段かご工による堤防の越流水減勢技術：堤防の裏法尻・法先の侵食防止&堤内地への影響低減

(注) 壁式改良工法は【第1部】駒延氏、かご工法は【第2部】藤木氏の工法紹介を参照。

# 1. ジオテキスタイルによる盛土の天端補強技術

下記の PPT2 の写真<sup>2</sup>は、2004 年新潟県中越地震の道路盛土の被害例である。現地調査における気づきは、「写真左は致命的な崩壊だが、写真右は法肩と法面の表層の部分的な被害に留まり、路肩部の応急復旧により道路の通行機能が確保できている」であり、盛土の被害形態と道路の通行機能に相関がある点である。

さて、地震時に盛土の変状、崩壊を防止する（させない）ことは従来からの設計思想である。しかし、例えば、円弧すべり法によるすべり安全率の評価は、すべりの発生の有無だけによる安定性の評価であり、変状・崩壊させない設計が前提であるが、地震動の作用が大きくなると、対応させる構造の規模が大きくなり、不経済になる問題が発生する。そのため、道路橋の設計では 1995 年阪神・淡路大震災を契機として設計法が見直されて、損傷、変状を許容する「性能設計」に転換したが、道路盛土などの道路土工構造物では、2015 年によりやく道路土工構造物技術基準が制定され、基準で性能設計が規定されることになった。

2004 年新潟県中越地震は、道路土工構造物技術基準の制定の 10 年前であるが、上記の被害形態の差異の気づきから、盛土の横断方向のすべり面の発生位置を変えるあるいはすべり量を抑制する、いわゆる性能設計である「すべり破壊制御工法」の設計概念を提案した。その概念は、「すべりの有無ではなく、被害を許容し、その規模を評価する、力の設計から変位の設計への転換」であり、性能設計そのものである。

そして、設計概念の一つの「天端補強構造」はジオテキスタイルによる路床の強化工法として具体化し、2011 年東北地方太平洋沖地震の復旧などで導入されたが、土工分野における性能設計の普及の遅れにより、実務設計では普及していなかった。しかし、令和 6 年能登半島地震では、のと里山海道などにおける甚大かつ多数の盛土の崩壊に直面し、対策メニューとして「天端補強工」が提示されるに至り、**発想 1：路床強化する天端補強工により【すべり破壊制御】ができるのではないか！**と再評価するに至った。

なお、2004 年新潟県中越地震を契機とした著者の道路盛土の耐震性評価の研究の端緒は、2004 年に創設された国土交通省道路局の道路新技術会議の第 1 回研究助成であり、研究成果は文献 1) を参照されたい。

文献 1) 常田・小田・中平：道路機能に基づく道路盛土の経済的な耐震強化・補強技術に関する研究開発, ISSN 1883-3594, No.17-4, 道路新技術会議 道路政策の質の向上に資する技術研究開発成果報告レポート, No.17-4, 平成 20 年 7 月。

PPT2

## 1. ジオテキスタイルによる盛土の天端（路床）強化技術

目的・効用：盛土のすべり破壊制御&舗装の亀裂・段差防止

**発想 1：地震時の盛土のすべり崩壊は、路床強化する天端補強工により【すべり破壊制御】ができるのではないか！**

2004 新潟県中越地震  
道路機能の低下 大



致命的な被害

2車線に及んだすべり崩壊事例

道路機能の低下 小



軽微な被害

法肩付近に留まったすべり破壊事例

すべり面の位置および変位量を制御し、車道部における損傷を限定的に止める設計法が有効！  
すべり破壊制御工法 と呼ぶ  
すべりの有無でなく、被害を許容し、その規模を評価するのが**性能設計**。【力の設計でなく、変位の設計】<sup>2</sup>

「すべり破壊制御」の設計概念を具体化する盛土構造として、下記の5構造を提示していた。このうち、1)、3)~5)は2004年新潟県中越地震の被害、2)は2007年能登半島地震の被害からの発想である。

- 1) 天端補強構造：盛土の天端付近に限定した部分的な補強により、すべり面の発生位置あるいはすべり量を制御する工法。
- 2) 人工基盤構造：盛土の堤内にすべり面が通らない堅固な人工基盤を設けて、すべり面の発生位置を制御する工法。
- 3) のり尻補強構造：盛土ののり尻に限定した部分的な補強により、すべり量を制御する工法。
- 4) 遮断補強構造：盛土の路肩の直下に建て込んだ構造体の補強により、すべり面の位置およびすべり量を制御する工法。
- 5) のり面補強構造：盛土ののり面部を補強し、すべり面が発生しないように制御する工法。

上記の構造は、従来の仕様設計でなく、性能設計を意識したものであり、構造提案をする場合、提案構造が道路土工構造物技術基準で規定される、性能1、2、3のどの性能を実現できるかが説明できるとよい。

本文では、下記のPPT3の赤枠で示す3つの構造を示すが、2005年頃に先取り構造として意識したのは、構造1)の「天端補強構造」であり、盛土のすべりを道路の通行機能に直接関係する天端、車道面に発生させず、路肩、のり面に誘導することとした。つまり、路肩、のり面の損傷は許容し、後日、復旧するとの考えである。その具体的な工法は、本文p.5以降のジオテキスタイルを用いた路床強化〔文献2〕である。

その後、令和6年能登半島地震でも繰り返された舗装の被害から、構造1)が舗装の段差・亀裂の防止に直結することにも着目し、本文p.8の発想2による舗装の耐震強化を先取りとした。また、構造2)の先取りの動機は文献2)などを参照することとし、本文p.16の発想4による人工基盤の数値計算例およびp.21、22の適用事例を示す。さらに、構造3)の先取りの動機は、令和6年能登半島地震で顕在化したのり尻のふとんかごの被害であり、本文p.27の発想5によるふとんかごの耐震安定性の検証の必要性を提起する。

なお、道路盛土の縦断方向の沈下、段差の被害については、2004年新潟県中越地震の被害から、路面の連続性を確保する「縦断線形円滑化（工法）」の概念を提案しているが、詳細は文献1)を参照されたい。

文献2) 野村雄樹・常田賢一・竜田尚希：改良道路盛土におけるジオテキスタイルを用いた天端一体化補強の適用性，平成22年度近畿地方整備局研究発表会，新技術新工法部門，No.903，pp.1-6，2010。

PPT3

新たな視点：仕様設計から性能設計に展開する！  
力の釣り合いの設計から変形の形態・規模を考慮した設計へ  
盛土は“滑らせない”から“すべり位置を変える” “すべり量を減らす”へ

すべり破壊制御：5つの設計概念

(1) 盛土の天端付近に限定した部分的な補強により、すべり面の発生位置あるいはすべり量を制御する工法。 【天端補強構造】

(2) 盛土の堤内にすべり面が通らない堅固な人工基盤を設けて、すべり面の発生位置を制御する工法。 【人工基盤構造】

(3) 盛土ののり尻に限定した部分的な補強により、すべり量の制御工法。 【のり尻補強構造】

(4) 盛土の路肩の直下に建て込んだ構造体の補強により、すべり面の位置およびすべり量を制御する工法。 【遮断補強構造】

(5) 盛土ののり面部を補強し、すべり面が発生しないように制御する工法。 【のり面補強構造】

常田・小田・中平：道路機能に基づく道路盛土の経済的な耐震強化・補強技術に関する研究開発，ISSN 1883-3594，No. 17-4，道路新技術会議 道路政策の質の向上に資する技術研究開発成果報告レポート，No. 17-4，平成20年7月

新技術・工法を提示し、実務的な普及を図るためには、それらの妥当性、有効性のエビデンス（根拠）を明示することが必要である。そのため、ジオテキスタイルを用いた路床強化による「天端補強構造」の崩壊メカニズム、すべり破壊制御の効果について、下記の方法によりエビデンスの検証を実施した。

- (1) 実物大の補強盛土の静的自重すべり実験      \*文献1) を参照。
- (2) 動的遠心载荷模型実験                              \*文献1) および下記の PPT4 参照。
- (3) 数値解析    \*文献1) を参照。
- (4) 実道路での施工事例                                      \*本文の p.6 および p.7 参照。

下記の PPT4 の動的遠心载荷模型実験では、模型盛土の天端・法肩を強化するジオテキスタイルの配置構造を4ケースとし、30G 場で正弦波（60Hz, 30 波）を作用させた。実験結果から、4 ケースとも無対策盛土よりも天端の残留変位が低減できるが、特にケース2 の構造の効果が高いこと分かる。また、無対策およびケース2 の 500Gal 作用後の天端の状況および断面を見ると、無対策の場合、すべりは天端に至り、天端の損傷が顕著であるのに対して、ケース2 の場合、天端の変状は皆無であり、すべりは補強領域の下方の法面で発生している、つまり、すべり面は誘導、制御できたことが明らかである。

なお、上記(1) の実大の静的自重すべり実験は、盛土の静的な自重すべりの再現ではあるが、無対策の場合のすべり面より奥までジオテキスタイルを敷設した場合、天端が保持されることが実証されている。

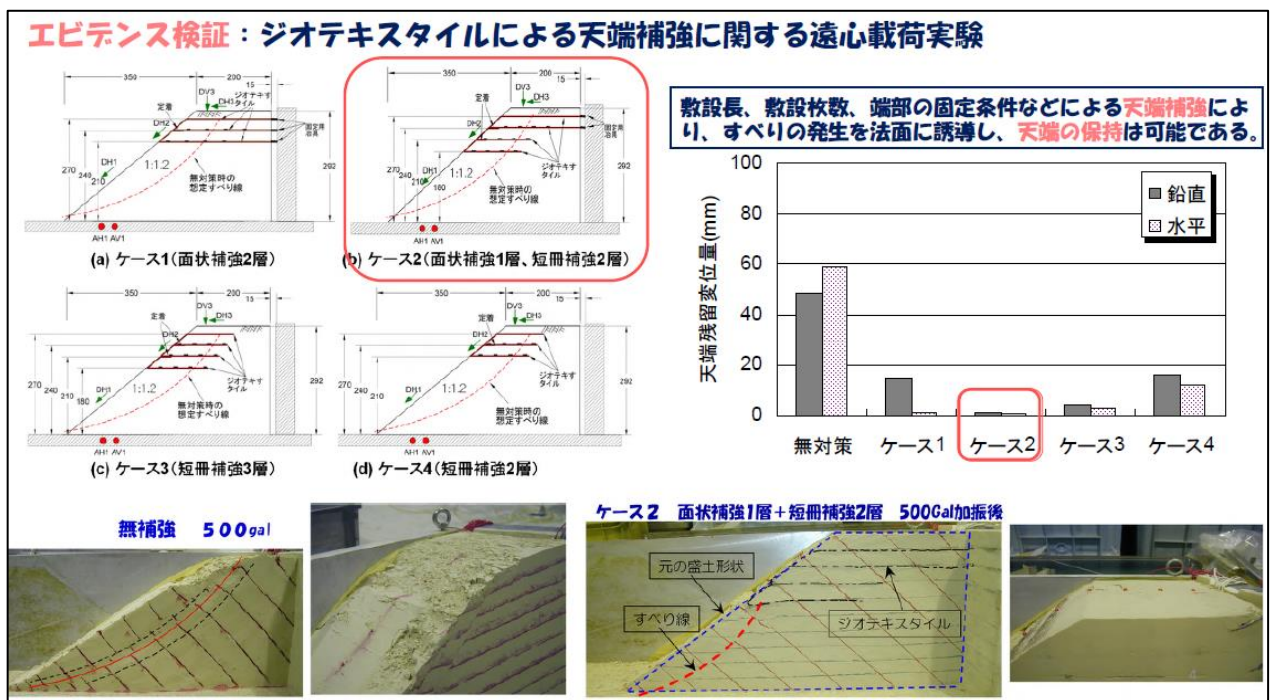
上記により、ジオテキスタイルによる天端補強の効果から、ケース2 の基本構造を本文の p.6 の実道路および p.7 の工事用道路の設計、施工に反映した。

ここで、上記の4つの異なるエビデンスに関して、道路土工構造物技術基準（2025.6）では、設計に際しての基本事項として、下記のように規定されている。

『道路土工構造物の設計は、地質・地盤等の不確実性を考慮しつつ、理論的で妥当性を有する方法や実験等による検証がなされた方法、これまでの経験・実績から妥当とみなせる方法等、適切な知見に基づいて行う。』  
 上記の(1) および(2) は「実験等による検証」、(3) は「理論的で妥当性を有する方法」、(4) は「実績から妥当とみなせる方法」に該当する。なお、種々のエビデンスの体系化と事例は文献3) を参照されたい。

文献3) 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への展開—，  
 (一社) 地域国土強靱化研究所，330p., 2023.3

PPT4



さて、新技術・新工法の効果的で有力なエビデンスは、試験施工、実施工であるが、ジオテキスタイルによる「天端補強構造」では、まず、技術・工法の周知および第三者評価を得るために、学会発表、国土交通省関係の会議・研究発表会での発表に努めるとともに、事業者への説明、周知に努めた。

その結果、下記の **PPT5** の実道路の復旧工事、次ページの **PPT6** の工事用道路の施工工事が実施された。

事例 1：東北地方整備局 仙山河川国道事務所・国道 6 号

2011 年東北地方太平洋沖地震で被災した既存道路の復旧で採用。技術提案はコンサルタント。

事例 2：北陸地方整備局 金沢河川国道事務所・工事用道路

新設道路の工事用道路で試験施工。技術提案は事務所への独自説明。

現在（2026.3）までの実例はこれらの 2 件だけである。その理由は広報には鋭意努めたが、2005～2007 年の国土交通省道路局による研究助成の成果発表から 2015 年の道路土工構造物技術基準の制定までは、道路盛土の耐震設計・耐震対策に対する意識が従前のままに低く、さらに、2015 年の上記の基準の制定を受けた（公社）道路協会による盛土工指針の改定が行われなかったため、2025 年の道路土工構造物技術基準の改定まで同様な状態が続いたことが関係する。そのため、直近の道路土工構造物技術基準の改定（2025.6）を受けて、今後（2026.3 以降）、盛土工指針、擁壁工指針などが、どう改定されるかが注視される。

なお、下記の **PPT5** の国道 6 号の工事では、片側交互通行の下で、上下線を順次施工することにより、2 車線の施工ができたことから、新設道路だけでなく、既設道路でも施工が可能であることが実証された。

ここで重要な点は、国道 6 号での採用はコンサルタントによる技術提案であることが特筆でき、コンサルタントやゼネコンの技術情報になること、それらが事業者に提案されることが実装化の鍵である。

上記の「ジオテキスタイルによる天端補強技術」は、令和 6 年能登半島地震の盛土被害に対する緊急性により実施された「盛土のり面点検」（本文 p.10）において、新たに明記された「天端補強工」の工法例と位置付けており、本文の契機である「K&I WEB セミナー」、**文献 4-1）、4-2）**などで周知を図っている。

**文献 4-1)** 辻 慎一郎・竜田尚希・常田賢一：ジオシンセティックス天端補強による道路盛土の耐震化，第 30 回日本道路会議，No.2004，2013.10

**文献 4-2)** 伊藤修二・常田賢一：道路盛土の耐震性向上のための天端補強工，第 37 回日本道路会議，No.4026，2025.11

PPT5

**天端補強工の採用例 1：2011 年東北地方太平洋沖地震による被害盛土の復旧**  
仙山河川国道事務所 国道 6 号 宮城県山元町

**\* 路床を強化**

面状敷設長約 9m × 2枚

短冊敷設長 2m × 層厚 0.5m 2枚

遠心実験のケース 2 の構造

新設だけでなく、  
既存道路にも適用が可能

辻・竜田・常田：ジオシンセティックス天端補強による道路盛土の耐震化，第 30 回日本道路会議，No. 2004，2013.

辻・常田：道路盛土の耐震性向上のための天端補強工，第 36 回日本道路会議，2025. 11（投稿中）

\* 工法の具体については、**前田工繊（株）** <https://www.maedakosen.jp/> に問合せを。

5

下記の **PPT6** は、北陸地方整備局金沢河川国道事務所の事業である能越自動車道・七尾氷見道路における新設橋梁の工事用道路での工事例である。工事の実施時期は 2009 年であるが、道路新技術会議が研究助成の成果の普及・活用を強く求めていることもあり、**文献 1)** の研究成果の報告後（2008 年以降）において、研究成果を広報する活動の一環として、独自に同事務所に技術提案し、同事務所の理解を得て実現した。また、施工時期は前回の 2007 年能登半島地震の直後であるが、下記の【参考】のとおり、能登有料道路の大規模な盛土被害に対する発注者（金沢河川国道事務所）の問題認識が高かったことが関係する。

以上は、新技術・工法の利活用が第一線の事務所および関係機関、関係者の問題認識と実行力が重要であることを示唆するが、今後本格化する令和 6 年能登半島地震の復興も同様である。

なお、上記の工事により、道路の平面線形の曲率半径が小さくとも施工が可能であることなどの知見が得られ、前述の国道 6 号の工事と同様、ジオテキスタイルによる「天端補強工」の実装性が示されている。

さらに、新たに本文 p.8 の舗装の亀裂・段差の防止技術・工法としても、今後の活用、展開が想定される。

**【参考】** 国道 470 号能越自動車道・七尾氷見道路は、2007 年 3 月能登半島地震により多数の盛土が崩壊したため、七尾氷見道路では耐震性の確保が重要課題とされた。そして、北陸地方整備局金沢河川国道事務所は、2015 年の道路土工構造物技術基準が制定される前に、適用が義務化されていない、参考資料扱いの「道路土工—盛土工指針」を参考として、高盛土において震度法によるレベル 1 地震動およびニューマーク法（従来型 Newmark 法）によるレベル 2 地震動に対する安定性の照査を実施したが、その先進性、先取りが特筆できる（**図-1** 参照）。なお、本例は本文 p.5 の**文献 3)** を参照されたい。

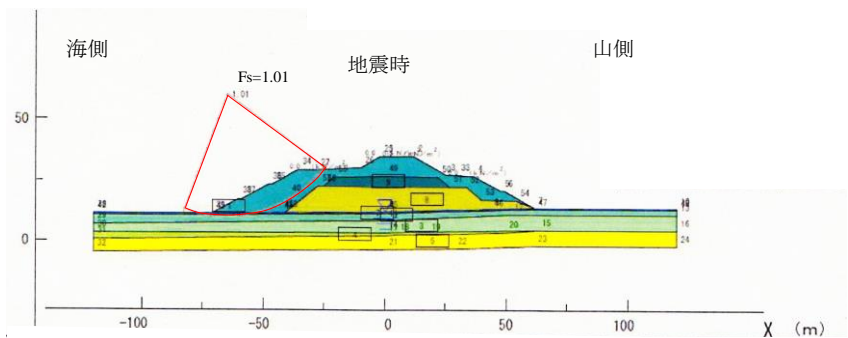


図-1 ニューマーク法による安定計算：地震時／海側すべり：文献 3)

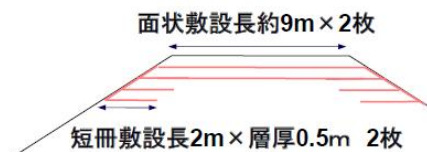
PPT6

**天端補強工の採用例2：能越自動車道・七尾氷見道路の工事用道路**

金沢河川国道事務所  
 黒崎第二高架橋下部その1工事  
 平成21(2009)年1月~12月  
 \* 2007年能登半島地震の後

適用盛土 盛土高：最大約20m  
 施工延長：約100m  
 天端補強工期：1ヶ月

面状2枚+短冊2枚=3層  
 4400m<sup>2</sup>



道路線形：曲率が大きくとも適用が可能



従来、地震が発生すると、下記の**写真 1** のとおり、道路舗装の亀裂、段差、すべりなどの変状が随所、多数発生しているものの、当たり前の風景になっており、舗装の耐震性は特に議論されず、対策もほとんど採られてきていないのが実状である。

その理由は、舗装は常時の交通荷重の支持が目的であること、道路盛土の耐震性に対する認識と同様に「壊れても直ぐに復旧できる」との意識が先立つこと、舗装の被害が広範囲にわたるため事前対策をすると膨大なコストがかかることなどにより、舗装構造の耐震性には関心が向かなかったと思われる。

しかし、下記の**写真-1** あるいは **PPT7** の令和 6 年能登半島地震の舗装の被害からは、舗装構造の致命的な被害を防止し、地震直後の通行機能を可能な限り確保し、速やかな復旧支援が図れるようにすることが望まれることは自明である。そのため、今後は、舗装の地震時の安定性の確保に努めることも必要である。

そこで、令和 6 年能登半島地震を契機とし、舗装の耐震性の向上策の先取り技術として再認識したのが「天端補強構造」であり、**発想 2：地震時に恒常化している道路面の亀裂、段差は、路床強化による「天端補強工」により防止、抑制できるのではないか！**・・・と発想を展開するに至った。

さて、地震時の舗装の損傷の防止のためには、舗装の被害特性の把握が必要であるが、下記の事例のように、「施工目地、区画線の位置での亀裂・段差の発生」が特徴の一つである。これは、舗装の施工手順に関係すると思われ、施工の不連続性が舗装構造の微妙な不連続性となり、当該部位が弱部になると想定できる。さらに、この特徴を逆手にとると、盛土の切り盛り境における被害の有無と同様に、「舗装構造、施工に起因する不連続性により舗装の損傷は制御できる」と発想ができる。



**写真-1** 繰り返される道路舗装の損傷：2024 年能登半島地震  
左：朝日デジタル・土井良典撮影 右：朝日デジタル・小林一茂撮影

PPT7

**発想 2：地震時に恒常化している道路面の亀裂、段差は、路床強化による【天端補強工】により防止、抑制できるのではないか！**

2024 年能登半島地震




舗装の特徴的な壊れ方  
施工目地、区画線の位置での亀裂・段差の発生。

\* 舗装（表層・基層・路盤）は弾性域の仕様設計であり、舗装下の路床の変状を考慮した性能設計ではない

“従来の損傷したら補修”ではなく、減災のため、  
先取り技術・工法はないか？ → 路床：盛土天端の強化！

7

さて、下記の **PPT8** のように、舗装は「表層・基層・路盤（本文は、舗装部位と呼ぶ。）」で構成される構造であり、その下に「路床・路体あるいは基礎地盤（同、土工部位と呼ぶ。）」があるが、前者は舗装分野、後者は土工分野の範疇にあり、関係者も前者は舗装業界、後者はゼネコンとなり、縦割りの関係にある。

しかし、これまでの両分野の活動の経緯上、設計・施工・維持管理の対応は分離されているが、舗装部位と土工部位は相互に連続した一体構造である。そのため、舗装部位と土工部位の全体構造の最適化〔全体構造最適と呼ぶ。**文献3**〕は、部位・部材の「複合構造最適」と言える。つまり、舗装部位と土工部位の各部位の最適化は「単一構造最適」であり、従来からの取組みの姿勢であるが、今後は領域を超えて、連携した「複合構造最適」による「全体構造最適」の姿勢が必要かつ有効であり、その取組みが望まれる。

さて、舗装は常時の車両の走行荷重に対する弾性域の設計が基本であり、地震動の作用による亀裂、段差などの塑性域の変状は想定していないため、従来、耐震性の性能設計は想定されていない。しかし、地震動作用に対して「路床、基礎地盤」が安定していれば、道路の上部構造である舗装は安定であるので、盛土の路床強化あるいは基礎地盤の安定化により、舗装の耐震性の向上が期待できる。

このように、舗装の「全体構造最適」が実現できる工法の一つが「路床強化工」であり、従来考えられていない先取り技術・工法としての意義は高い。

なお、道路土工構造物技術基準・同解説（2025.11）〔**文献5**〕では、路床の設計について、下記が規定されているが、路床に要求されるのは、従来からの常時の交通荷重を支持する剛性構造に留まっている。

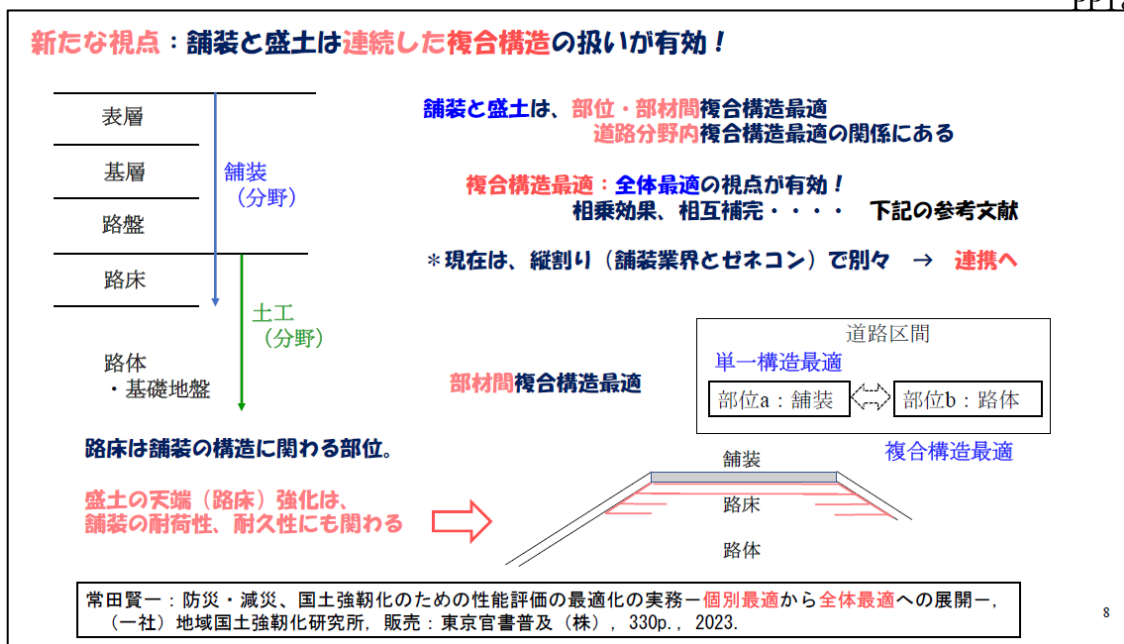
p.148 (6) 盛土部の路床の設計

路床は、舗装を直接支えるほぼ均一な厚さ約 1m の土の層であり、その支持力は舗装の厚さを決定する基礎となる。路床の役割は、上部の舗装と一体となって交通荷重を支持するとともに、交通荷重を均一に分散して路体に伝えることである。したがって、路床の構造と舗装の設計が個々に独立したものではなく一体として合理的なものとなるよう留意し、路床の構築にあたっては、舗装から要求される支持力、剛性を満足するよう実施する必要がある。

しかし、国土交通省道路局の第 26 回道路技術小委員会（2025.8、議事録参照）では、舗装の技術基準の改定（案）の審議において、技術基準の改定の方針の一つとして、舗装に求められる性能が明確化されているので、舗装の性能設計に関する今後の推移が注視される。

**文献5**）（公社）日本道路協会：道路土工構造物技術基準・同解説、2025.11

PPT8



その際、上記の審議の中で、「災害時の迅速な舗装復旧について基準なりを考える時期」、「舗装と土工は連続構造として両分野の連携が必要」の意見が出され、災害時の早期復旧は必須であるため、今後の議論の必要性が確認され、今後の検討を待つ状況にある。その際、「路床補強工」は一つの選択肢である。

さて、令和6年能登半島地震の盛土の被害を受けて、国土交通省道路局は2024.7に全国の緊急輸送路に対する「盛土のり面点検」を実施している。その結果は、第25回道路技術小委員会（2025.3.21、配付資料参照）、第27回道路技術小委員会（2026.3.3、配付資料参照）において、進捗状況などが報告されている。

ここで、高速道路、直轄国道、地方管理道路の点検対象箇所、要対策箇所および進捗状況は、下記のPPT9のとおりであり、点検完了箇所は順次、対策が着手される。なお、2025.3時点の地方管理道路は点検中であつたが、第27回道路技術小委員会では表-1が報告され、地方管理道路も点検、対策が進捗している。

今後は、令和8年度内に地方管理道路の全箇所の点検が完了予定とされているが、注視されるのは、要対策箇所において、どのような手順、スケジュールにより、どのような対策が適用されるかである。

PPT9

**注視：最近の新たな政策的動向** **道路技術小委員会（2025.3.21）から**

**盛土のり面点検の進捗状況** 国土交通省

---

○令和6年7月より、全国の緊急輸送路において点検に着手し、  
 ・高速道路、直轄国道については、令和6年度内に点検を完了させ、要対策箇所を確定。  
 ・地方管理道路については、点検対象箇所数が多いことから、第1次緊急輸送道路を優先して調査を推進中。  
 ○点検の完了した箇所から、順次、対策に着手。

**■点検の進捗状況（R7.3末現在）**

道路種別	点検対象箇所	要対策箇所	進捗状況
高速道路	約900箇所	74箇所	・全箇所、点検完了
直轄国道	約1,500箇所	271箇所	・全箇所、点検完了 (うち26箇所において対策工事に着手)
地方管理道路	第1次	点検中	・334箇所、点検完了 (うち29箇所において対策工事に着手) ・R7年度内に全箇所、点検完了見込
	第2・3次		・491箇所、点検完了 ・R8年度内に全箇所、点検完了見込

**令和6年能登半島地震の盛土被害を受けて、全国の緊急輸送道路で盛土のり面点検を実施。**

**今後 要対策箇所について対策が進められる。**

**課題 どのような対策（工法）が適用されるか！**

**→次ページのイメージ**

表-1：点検の進捗状況  
 (R8.3末時点)  
 第27回道路技術小委員会  
 (2026.3.3) による

**盛土のり面点検の進捗状況** 国土交通省

---

○令和6年7月より、全国の緊急輸送道路において点検に着手  
 ○高速道路、直轄国道については、令和6年度内に点検を完了、詳細調査が完了した箇所から対策に着手  
 ○地方管理道路については、第1次緊急輸送道路を優先して点検を推進し、令和7年度内に点検完了見込。  
 第2・3次緊急輸送道路については、令和8年度内に点検完了予定  
 ○点検完了箇所から、順次、詳細調査を実施し対策に着手

**■点検の進捗状況（R8.3末時点）**

道路種別	点検対象箇所	要対策箇所	進捗状況
高速道路	約900箇所	74箇所	・全箇所、点検完了 (うち15箇所において対策に着手)
直轄国道	約1,500箇所	271箇所	・全箇所、点検完了 (うち58箇所において対策に着手)
地方管理道路	第1次	129箇所 (見込)	・全箇所、点検完了見込 (うち34箇所において対策に着手)
	第2・3次	約3,700箇所	・約2,500箇所、点検完了(67%完了) (うち11箇所において対策に着手) ・R8年度内に全箇所、点検完了予定

上記の点検結果に基づいて、特に、地方管理道路の管理者（地方自治体）による防災対策事業に対して、計画的かつ集中的に支援するためとして、国土交通省道路局は下記の **PPT10** のように、令和7年度に「道路盛土法面防災対策補助制度の創設」を図り、令和8年度以降も普及、活用を努める予定である。

なお、補助要件は、1) 緊急輸送道路、2) 盛土のり尻から測った盛土高が概ね10m以上の盛土、3) 地山傾斜地等水の集まりやすい地形条件に造成された盛土とされ、これらは対策箇所のイメージとして示されている。また、対策イメージも示されているが、イメージの具体化と課題は次ページのとおりである。

新たに創設される支援制度について、地方自治体などどのように活用するかであるが、支援制度の主旨を活かすためには、通常の仕様設計ではなく、要対策箇所ごとの状態を踏まえた最適設計が必要である。

そのために、設計コンサルタント、ゼネコンなどは、盛土の対策技術のノウハウ、技術を保有するとともに、要対策箇所の状況に応じた最適な対策計画、対策方法のエビデンスを示し、事業者（道路管理者）に提示できることが必須である。その際、2024.7の「盛土のり面点検」の際に提示された、点検要領および点検結果に対する対策イメージなどを参照して、その具体化が必要となるが、その善し悪しは提案者の技術力などに依存し、技術者個人、さらには所属機関（会社など）の差別化、生き残りに直結する。

PPT10

## 道路盛土法面防災対策補助制度の創設

○ 令和6年能登半島地震を踏まえた盛土のり面点検に基づく防災対策事業に対し、計画的かつ集中的に支援する個別補助制度を創設（令和7年度より）

《補助要件》

- 1) 緊急輸送道路
- 2) 盛土のり尻から測った盛土高が、概ね10m以上の盛土
- 3) 地山傾斜地等水の集まりやすい地形条件に造成された盛土

■ 対象箇所イメージ

■ 対策イメージ

排水ホースリング設置例

ふとんかご設置例

新たな個別補助制度が創設  
R7(2025)～

地方自治体などは、  
【道路盛土法面防災対策  
補助制度】を  
活用するために、設計は  
どうするか？

そのために、民から、  
どのような技術的な提案、  
支援をするか、できるか？

対策のイメージの具体化  
→次ページ

3
10

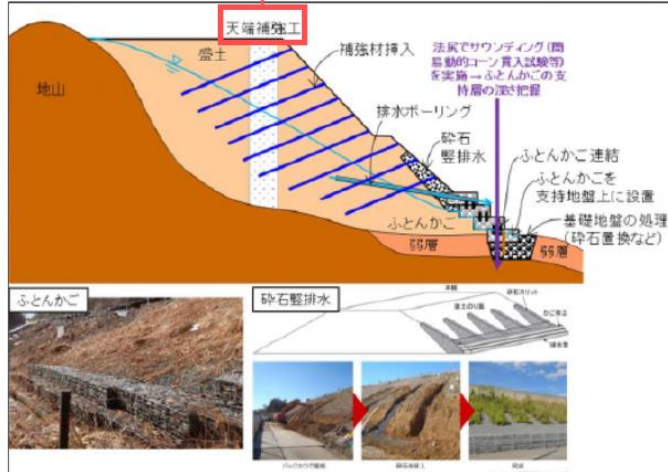
さて、要対策箇所における具体的な対策をどうするかであるが、2024.7の「盛土のり面点検」の際に出された「令和6年能登半島地震を踏まえた盛土のり面の点検要領」では、「対策工検討のための詳細調査、対策の進め方」が補足されており、参考図として、上記の **PPT10** の対策イメージが示されている。

そのため、対策の推進に係わる技術者は、対策イメージを参考にして、対策の具体的な設計を行うことになるが、従来の延長上として、対策イメージの技術・工法を単なる「仕様規定」として適用するのではなく、対象となる盛土に固有な地域的な状態を把握し、適用する技術・工法の意義、効果を吟味、検証し、当該盛土に最適な技術・工法を提示し、適用することが望まれる。

なお、改定された道路土工構造物技術基準（2025.6）の設計は、新設又は改築が対象であるが、その主旨を要対策とされた既設盛土でも先取りする、つまり、技術基準で新たに規定された「盛土の限界状態」を所要の道路機能に応じて評価しておけば、当該盛土の将来的な安定性の確保、向上に資すると言える。

## 対策のイメージを具体化（提案）する際の留意点：先取り対応が必要

**(1) 今まで、馴染みがない、天端補強工をどのような構造にするか？**



**(2) ふとんかごを置く**  
基礎地盤の処理をする・だけではないこと。  
なぜ、そうするのかの視点が必要。  
\* 現在義務化されていない、地震時の安定性（滑動・転倒・支持力）を照査すべき。  
**土質力学の基本！**

**(3) 水平排水層、基盤排水層を入れればよい**  
・・・だけではないこと。  
\* ポイント：堤内から恒常的に排水する。

**あるべき方向性** \* 重要と評価される盛土道路土工構造物技術基準（新設・改築）を含めて  
① 経験工学的、場当たりの、後追いの対応から脱却することが望まれる。  
② 土工分野でも【論理的に妥当な方法】を取り入れることが望まれる。

\* 官民ともに、技術力の向上が必須  
\* 現在、特別には規定されていない。  
① 盛土内部からの排水強化 → 話題2.へ  
② 当初設計で地下水位を考慮 が必要。

上記の PPT11 で示される対策イメージを具体化する際の留意点は、下記のとおりである。

- (1) 「天端補強工」の構造の具体化：天端補強工は従来にはない構造であるため、馴染みが無く、具体化するイメージが湧かないと思われるので、どのような構造にするかの検討が必要である。本文では、ジオテキスタイルによる「天端補強工」の具体化を提示している。
- (2) 「ふとんかご」の安定性の照査の実施：令和 6 年能登半島地震の盛土におけるふとんかごの被害に基づき、ふとんかごの連結、基礎地盤の処理が明記されているが、なぜ、そのような措置をするかの明示が必要である。特に、ふとんかごを土留めとして活用するのであれば、擁壁と同様に、土質力学の基本である「地震時の滑動・転倒・支持力の照査」が必須であるが、対策イメージでは明記されていない。言い換えると、基礎地盤を処理し、ふとんかごを連結して設置するだけの場当たりの「仕様設計」ではないことが必要である。
- (3) 「水平排水層、基盤排水層、排水ボーリング」の意義の確認：従来から、水平排水層、基盤排水層、排水ボーリング、言い換えると、仕様は既に規定されており、対策イメージはそれらを踏襲しているが、それらは経験的な仕様であって、通常の構造の盛土には適用できるが、令和 6 年能登半島地震で大規模に被災したような条件の盛土では、次ページの図-2(a)の「排水施設の例」の仕様は不十分である。同図は従来を踏襲した盛土の横断方向の 2 次元断面における排水仕様であり、これに対して、次ページの図-2(b)による令和 6 年能登半島地震で教訓とされた 3 次元的な視点からは、照査断面の設定方法の指摘だけでなく、さらに、3 次元地盤状態にある 3 次元盛土構造に対する排水系統、排水構造などの具体的措置により、盛土の全体安定の視点による評価方法の規定が必要である。（注）本文 p.19 には平面の排水施設の設置イメージ（図 5）がある。  
なお、盛土の排水に関しては、次ページの“方向性”の 3) のとおり、現在設計では考慮されていない、① 盛土内の初期の地下水位の設定、② 地下水位の経時的な変化の想定などに関する根本的な課題があり、その対応の規定が必要である。
- (4) 補強材挿入の設計：これは上記の PPT11 では言及していないが、グランドアンカーが必要な自然基盤ではなく、軟弱な人工盛土に支持させるのであれば、相応の構造とすることが要件であるので、すべりに対する安定性を確保できるように、最適な技術・工法の選択が必要である。

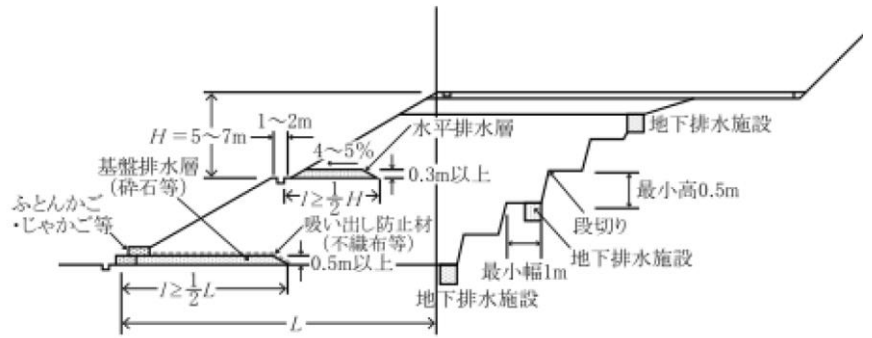


図-2(a) 排水施設の例  
(p.139：図解 6-13)

解図 6-13 降雨や浸透水の作用を受けやすい盛土の排水施設の例

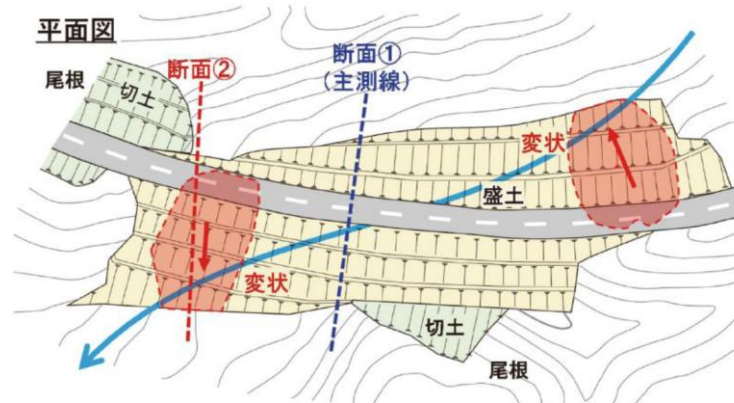


図-2(b) 照査断面のイメージ  
(p.127：図解 6-9)

図-2 道路土工構造物技術基準・同解説 [文献 5] から抜粋

文献 5) [再掲] (公社) 日本道路協会：道路土工構造物技術基準・同解説、2025.11

上記から、すべての盛土を同列に扱う必要がないことを前提として、重要とされる盛土の安定性の評価について、今後のあるべき“方向性”は、下記のとおりである。

1) 経験工学的、場当たりの、後追いの対応から脱却すること。

災害ごとに得られる知見は有益であるが、根本的な課題対応にはならず、その都度の知見が得られ、対応が繰り返される。基本的な課題を抽出、整理して、体系的・計画的に対応を考え、準備（調査、研究、技術開発など）することが必要である。

2) 土工分野でも【論理的に妥当な方法：設計法の確立】を軽視しないこと。旧態依然の施工で何とかする・何とかなる・・・ではなく、設計段階での最適化に努め、施工段階の手戻りを減らすこと。

道路土工構造物技術基準（2025.6）では、施工段階で発生する不具合に対して、設計段階、さらには計画段階に立ち返っての対応が規定されているが、計画段階に遡ることは非常に困難である。また、施工段階の設計変更は適宜、実施すればよく、現実的にも十分可能であるが、単なる仕様の変更設計ではなく、論理的に説明できる設計法に基づく妥当性の照査が必須である。

そのためには、不確実性を盾とした、仕様、見なしによる施工偏重・依存から脱却し、構造設計に長けた橋梁分野に倣い、論理的な設計法の研究・開発に取り組むことが、将来の道路土工構造物の分野の存在意義、技術の展開、人材の生き残りのために必要である。

3) 現在、盛土の当初設計では、上記の図-2(a)のような排水施設の設置を前提として、盛土内部の地下水位は想定していない。しかし、盛土は完成後の経年変化により、盛土内部は湿潤化し、さらには地下水位が上昇して不安定状態に至っている盛土があることは災害事例からも周知の事実である。それ

に対して、現在のように、維持管理段階で盛土の排水機能を回復、強化する事後対応もあるが、将来、地下水位の上昇が懸念される盛土は、予防保全として当初設計において然るべき地下水位（初期水位、水位変化）を想定した設計の規定が必要である。

なお、想定地下水位に対して、**図-2(a)**の排水施設が盛土安定のために不十分である場合は、他の排水施設、例えば、盛土内部からの排水を強化する「堤内排水」（本文、p.15）など、代替方法を検討し、設計するなどの柔軟な対応、さらにそれらの対応を受け入れる柔軟な規定が必要である。

上記のとおり、盛土の安定性に深く関わることが認知されている盛土内部の地下水位の影響を論理的に評価するために、**発想9：地下水位の影響が想定される盛土（新設・改築および既設）は、地下水位およびその経年変化を想定し、安定性の照査が必要ではないか！・・・と発想するが、従来の当初設計にはない先取りである。＊発想9は、本文で新たに追加した。**

ここで、対象となる盛土は、「盛土のり面点検」の点検対象の条件である、(1) 盛土高おおむね10m以上の盛土、(2) 地山傾斜地等の水の集まりやすい地形条件に造成された盛土が考えられる。

なお、「令和6年能登半島地震を踏まえた盛土のり面の点検要領」（本文のp.10、11）を補足する『「令和6年能登半島地震を踏まえた盛土のり面の点検」対策工検討のための詳細調査、対策の進め方』では、対策の必要性の検討は「盛土の水位によって対策の必要性を検討することを基本」として、簡易現地調査および対策工検討のための詳細調査の結果に基づき、下記の2区分を定義している。

盛土内水位\*が高い場合（盛土内水位が観測位置のり尻からの高さの1/3程度以上を目安としてよい。（**図3(a)**参照））は「(4) 対策の実施」を行う。

※盛土内水位はのり尻からの高さで定義する（**図3**参照）

盛土内水位が低い場合（盛土内水位が観測位置のり尻からの高さの1/3程度以下を目安としてよい。（**図3(b)**参照））は「(5) 重点監視（盛土内の水位観測）」による経過観察を行う。

上記は、既設盛土に対する盛土内水位の目安を示しているが、当初設計でも同様に地下水位（当初水位、水位変動など）を想定（目安を規定あるいは浸透流解析によるなど）すれば良い。

さらに、「盛土の安定性を評価する場合、安定解析や数値計算等を利用」としているが、これは論理的方法による照査を要求しているので、それに応えるための信頼性、确实性を検証した数値解析方法に関する規定が必要である。

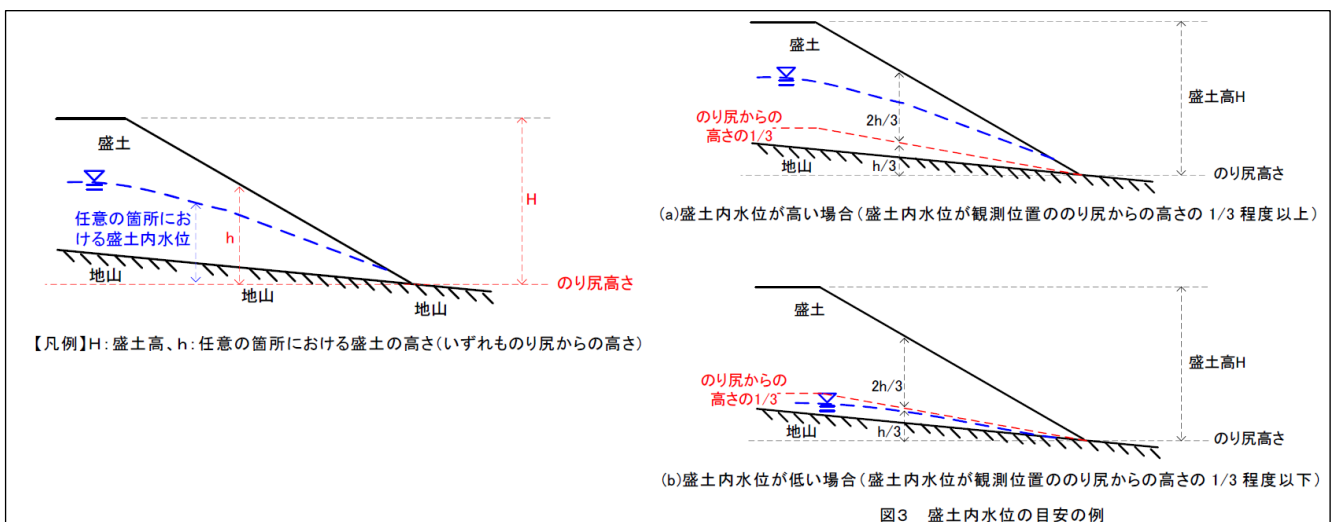


図-3 盛土内水位の目安の例

『「令和6年能登半島地震を踏まえた盛土のり面の点検」対策工検討のための詳細調査、対策の進め方』から抜粋

## 2. ふとんかごによる盛土の堤内排水・安定化技術

本文の p.12 の対策イメージにおいて、ふとんかごの適用が明記されていることに関して、「のり尻での土留め機能」としての安定性の照査の必要性を指摘した。本章では、従来のふとんかごの使用目的である「盛土法尻の排水」から、「盛土内部からの排水強化」と「人工基盤の機能」の両機能を発想する。ここで、発想の基本は、盛土内部にふとんかごを設置することにより、「水平排水層、基盤排水層、ふとんかご、堅排水による排水では限界がある場合、盛土内部から恒常的に排水（本文では、「堤内排水」と呼ぶ。）することが有効」であるとともに、「堤内に剛体構造としてのふとんかご構造体を設けることにより、人工基盤（本文 p.4）としてすべり破壊制御が可能」であることから、「一構造二機能」の視点である。

まず、排水機能の強化については、**発想3：盛土内部からの恒常的な「堤内排水」が必要ではないか！・・・**の発想による先取り技術・工法を提示する。

下記の PPT12 は、2011 年東北地方太平洋沖地震による常磐自動車道の被災盛土の復旧状況であり、多段式ふとんかごおよび砕石堅排水が採用されている。ここで、「砕石堅排水」は本文 p.12 の対策イメージでも図-4 が参照されているが、同工法は NEXCO 東日本の発案による先取り工法であること、既設盛土が対象であることに注意が必要である。なお、同工法はバックホウが届く位置まで既設盛土を掘削し、砕石層を設けて、盛土内部からの排水を促す後付け工法であり、「堤内排水」を意図する。

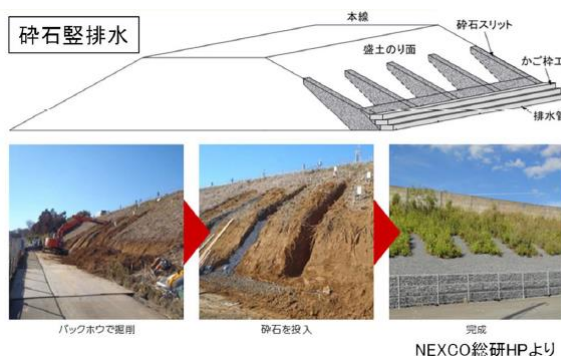


図-4 砕石堅排水

なお、多段式ふとんかごは、土留め構造として安定性を照査すれば、耐震性の確保は可能である。他方、新設・改築の盛土では、砕石堅排水ではなく、さらに盛土内部から排水できる構造が有効である。この点に関しても、NEXCO 各社は後述（p.21、p.22）の設計例のとおり、盛土工指針を先取りした「堤内排水」を実施していることが特筆できる。

PPT12

### 2. ふとんかごによる盛土の堤内排水・安定化技術

目的・効用：盛土の堤内排水強化&すべり破壊制御

**発想3：水平排水層、基盤排水層、ふとんかご、堅排水による排水は限界がある場合、盛土内部からの恒常的な【堤内排水】が必要ではないか！**

**NEXCO砕石堅排水工：トレンチ状砕石層**



**本来の目的：既設盛土の後施工／排水の回復・強化  
あくまで、局所的・表層的な措置**

のり尻かご3段：H1.5m  
+トレンチ状排水砕石層の設置  
(幅0.5m、間隔2m程度)



**多段フトンカゴ**  
\*安定性が照査されれば、地震時の土留め機能も期待できる

さて、ふとんかごは、①低コスト、②施工性がよい、③透水性がよい、④災害時の復旧工法としての実績が多いなどの特徴、利点があり、通常、仮設的な排水構造として盛土ののり尻に設置される。そして、基盤排水層がある場合は堤内の排水を受ける構造として機能するが、基盤排水層の集水範囲は限定的であり、その意味ではふとんかごは堤体の部分的な排水に留まっている。盛土内の排水をより確実、効果的に行うためには盛土の内部全体からの排水が有効であり、本文では「堤内排水」として前ページの**発想3**とした。なお、本文 p.13 の図-2(a)では「地下排水施設」が記されているが、図でも明らかな部分的排水に留まる。

さらに、下記の PPT13 の盛土内に設置するふとんかごは、積み重ねて相応規模の剛体的な構造にすると、すべり面が通らない層になるので、**発想4：【堤内排水】のふとんかごは、【人工基盤】としてすべり破壊制御もできるのではないか！**・・・と発想し、ふとんかごによる人工基盤化を先取り技術とした。

つまり、新しい視点・先取り対応は、法尻に留めず、盛土の内部でのふとんかごの設置であり、それによると、下記の2つの発想による「堤内排水機能」と「人工基盤機能」が実現できる。

**発想3**：【堤内排水機能】排水は表面、法尻に留まらず、内部／深部から排水する。

**発想4**：【人工基盤機能】すべり面位置をかご構造体の上面に誘導・制御する。

したがって、堤内ふとんかごは、排水性と耐震性を兼ねることになるが、新技術・工法を考える際の姿勢は、単一目的のための「単一機能」から複数の目的を実現する「一構造二機能」、「複合機能」、「多機能構造」、「Multiple-Functions」の志向であり、技術・工法の意義として、機能性と経済性を兼ね備えた工法である。上記の2機能の可能性、妥当性は、それぞれ本文 p.17 および p.18 に示すとおりである。

なお、人工基盤構造は文献 6)、堤内ふとんかごの排水性と耐震性の向上は文献 7)、8)などを参照されたい。

文献 6) 野村・常田・寺西：すべり破壊制御における人工基盤構造の適用性に関する検討，土木学会関西支部，Ⅲ，2010.

文献 7) 北口・常田：道路盛土における堤内ふとんかごの排水性および耐震性の評価，第 51 回地盤工学研究発表会，No.564，2016.

文献 8) 藤木孝則・常田賢一：堤内ふとんかごによる道路盛土の排水性および耐震性の向上，第 32 回日本道路会議，No.4011，2017.10

PPT13

**発想4：【堤内排水】のふとんかごは、【人工基盤】としてすべり破壊制御もできるのではないか！**

新しい視点・先取り対応：堤内ふとんかごの設置

発想① → 堤内排水：排水は表面、法尻に留まらず、内部／深部から排水できる

発想② → 人工基盤：すべり面位置をかご構造体の上方に誘導・制御できる

\*排水性と耐震性を兼ねる。

姿勢：単一機能から複合機能、多機能構造化 → 経済性、機能性の向上

13

野村・常田・寺西：すべり破壊制御における人工基盤構造の適用性に関する検討，土木学会関西支部，Ⅲ，2010.

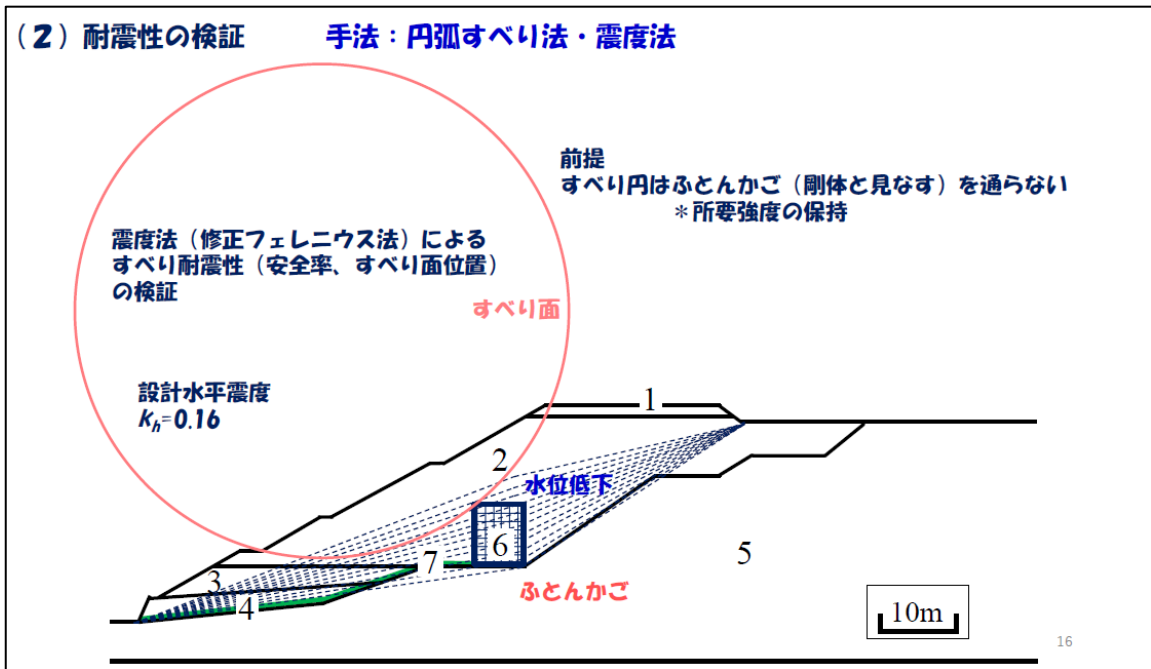
北口・常田：道路盛土における堤内ふとんかごの排水性および耐震性の評価，第51回地盤工学研究発表会，No. 564，2016.



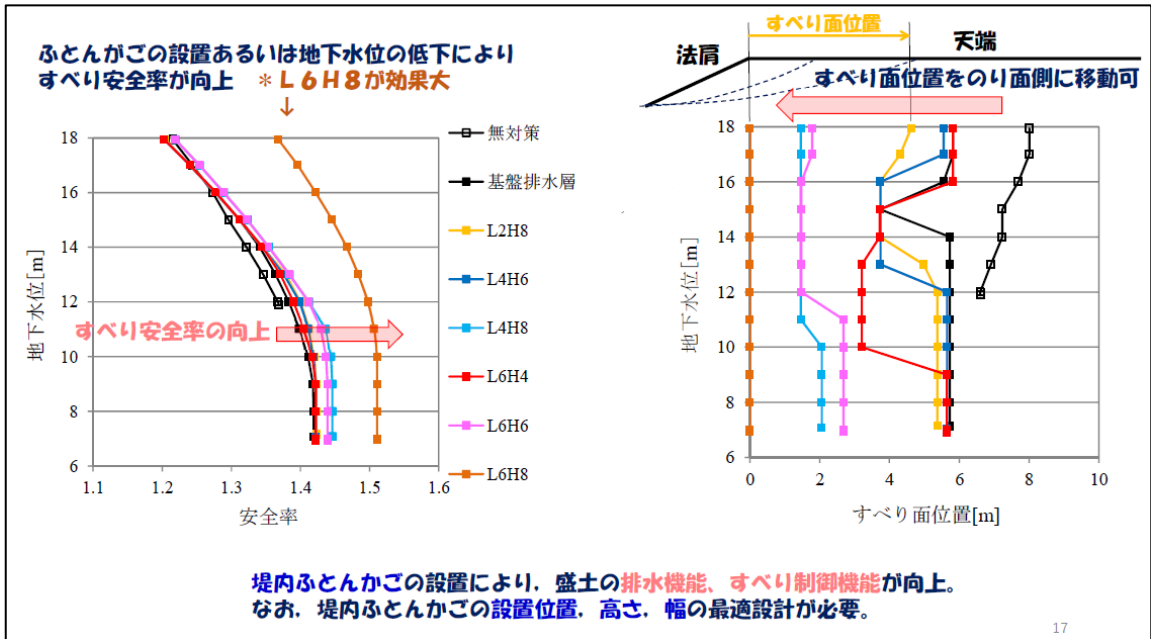
同一水位に対して堤内ふとんかごによりすべり安全率が増加し、堤内ふとんかごの規模が大きくなると、すべり面は法肩の方に移動する。例えば、L6H8 [L:幅 (m)、H:高さ (m)] の場合は、すべり面が法肩に達する。

上記のとおり、堤内ふとんかごの設置位置や高さ、幅により、安全率の向上と性能設計に繋がるすべり面位置の制御が可能であることが、論理的、数値解析的に確認できる。

PPT16

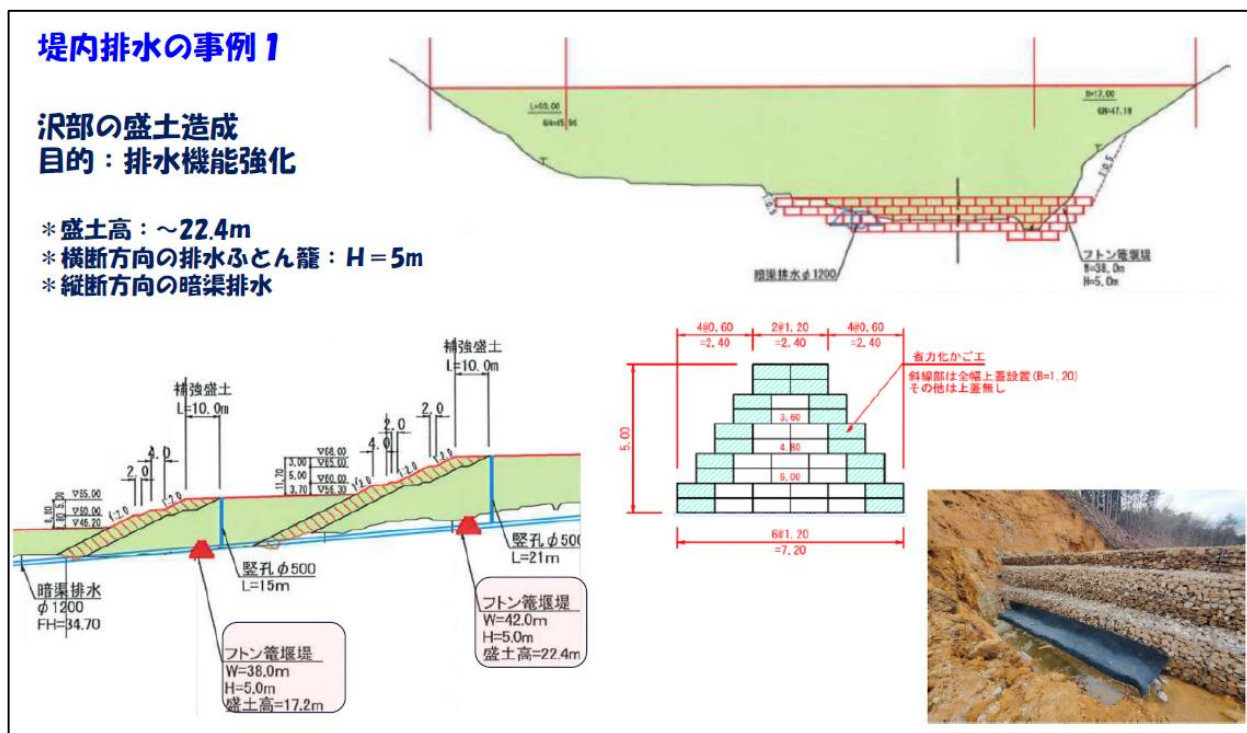


PPT17



さらに、堤内ふとんかごのエビデンスに関係がある施工事例について、下記の3事例を示す。

まず、「堤内排水」について、次ページの PPT18 の事例 1 がある。これは兵庫県内の造成盛土であるが、設計図 [共和ハーモテック (株) の提供: 抜粋] のとおり、盛土高 20m 程度に及ぶ沢部の大規模盛土である。集水が想定される盛土の底部では、横断方向にふとんかごによる「フトン竈堰堤」(高さ H : 5.0m、底面幅 7.2m、延長 W : 40m 程度) を設けて集水するとともに、暗渠により沢部下流方向に排水を図っている。



上記の PPT18 の事例 1 は、相当規模の延長と幅がある 3 次元構造の大規模盛土において、平面的かつ立体的な排水機能の向上を図る構造であり、排水構造の規模、形態により 3 次元的な排水を促すことに長けている。なお、道路土工構造物技術基準・同解説（2025.11）[文献 5] では、下記の図-5 のとおり、地下排水溝や基盤排水層の設置イメージが示されているが、平面的な排水システムであるため、設計に際しては、立体的な排水システムまで検討することが必要である。

その際は、従来の仕様にとらわれず、性能評価の視点による新たな技術などを、エビデンスを示して、先取りする姿勢が必要である。

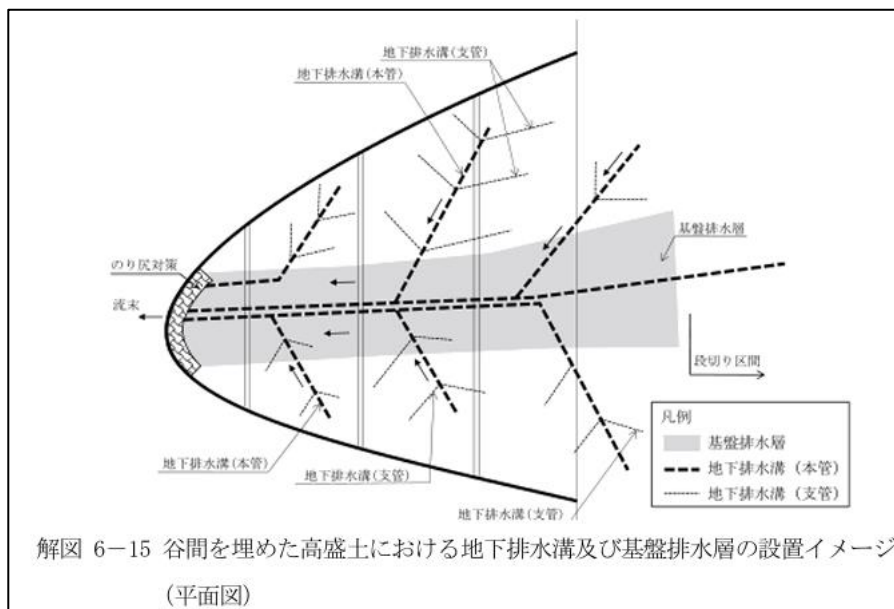


図-5 高盛土の排水溝、排水層の設置イメージ [文献 5] から抜粋

なお、事例 1 のとおり、「フトン籠堰堤」は既にも実績がある技術・工法であるが、その拠り所は、次ページの図-6(a) [文献 9]：図 4-8-1] である。同図は兵庫県の「宅地造成等規制法による宅地造成技術マニュアル」の抜粋であるが、谷筋等の傾斜地の盛土の排水のための「ふとん籠埋設工」が例示されている。さらに、次ページの図-6(b) [文献 9]：図 4-8-2] があり、「ふとん籠埋設工」の構造要件が明記されている。

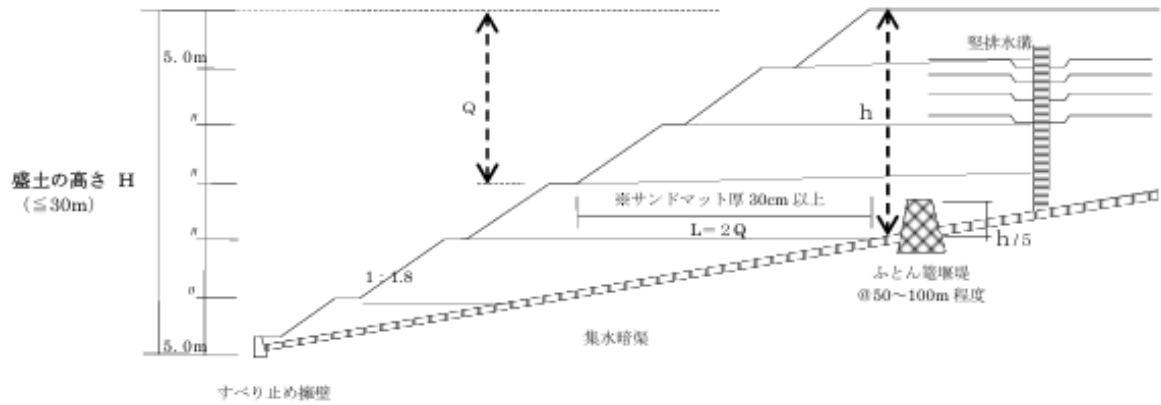


図4-8-1 <谷筋等の傾斜地における盛土排水層の例>

(a) 谷筋等の傾斜地における盛土排水層の例

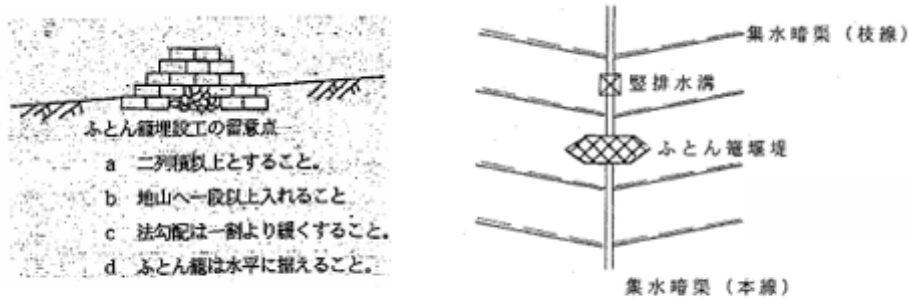


図4-8-2 <ふとん管堰堤の例>

(b) ふとん管堰堤の例

図-6 谷筋等の傾斜地における盛土排水層の例：文献9)

また、国土交通省の盛土等防災マニュアルの解説〔文献10〕では、下記の図-7〔文献10〕：図V・2-9〕が示されている。図中の「排水壁」からは、碎石、横断排水管、縦断排水管などにより、盛土の内部から集排水を促していることが読み取れるが、この「排水壁」は「堤内排水」に通じる。

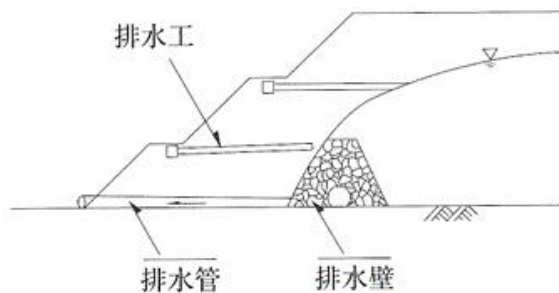


図-7 排水壁の例：文献10)

図V・2-9 排水壁の例

以上のとおり、道路分野以外でも、盛土の内部からの排水の必要性により、様々な工夫がされていることが分かるが、他分野の技術・工法を俯瞰して、道路盛土に適用する柔軟な姿勢が必要である。

文献9) 兵庫県県土整備部住宅建築局建築指導課：宅地造成等規制法による宅地造成技術マニュアル(第二次改訂版)、平成23年7月(令和3年10月一部改訂)

文献10) 盛土等防災研究会：盛土等防災マニュアルの解説、ぎょうせい、2023.11

次に、「堤内排水」に該当する NEXCO の 2 社による 2 事例を示すが、「堤内排水」に留まらず、残留変形解析（ニューマーク法など）による性能設計を実施しており、性能設計の先取りとしても特筆できる。

**事例 2** 新東名高速・加瀬沢地区の高盛土：NEXCO 中日本（2000.1～2004.7） \* 下記 PPT19

- ・堤内排水の実施：垂直排水層（厚さ 3m）／トンネルずり・硬岩の導入。
- ・レベル 2 地震動の考慮：動的変形解析（FLAC、レベル 2 地震動）。
- ・性能設計の実施：天端鉛直沈下量 49.6cm。許容沈下量 50cm 以下に設定。  
（注）FLAC：現在、NECXO の技術基準では、ニューマーク法の使用が規定されている。

**事例 3** 新名神高速・宝塚北 SA における高盛土：NEXCO 西日本 \* 次ページ PPT20

- ・3 次元浸透流解析の実施：排水計画において、三次元水収支解析を実施。
- ・堤内排水の実施：鉛直排水層の設置。
- ・豪雨を考慮：100 年確率降雨、42 時間継続総雨量 289mm による安定性照査。
- ・レベル 2 地震動を考慮：見なしにせず、L2 地震動による安定性照査。
- ・性能設計の実施：ニューマーク法による変位量照査。基準値は 50cm に設定。

これらの 2 事例は、いずれも大規模盛土であることから、従来の仕様である水平排水層、基盤排水層だけでは不十分なため、それぞれ「垂直排水層」、「鉛直排水層」として、盛土内部に排水層を設置し、排水強化を図っているが、盛土の状態を考慮した論理的方法による合理的な設計である。なお、**事例 2** および **事例 3** は、それぞれ**文献 11)** および**文献 12)**、さらに、それらの事例の要点は**文献 3)** を参照されたい。

以上の**事例 1～3** のとおり、「堤内排水」が実装可能な技術は既にあり、実績もある。

- 文献 11)** 関・八木：加瀬沢地区大規模土工の設計・施工、特集：新東名高速道路（御殿場～三ヶ日）の開通，基礎工，pp.50-56，2012.7.
- 文献 12)** 安藤・山口・滝川・小野・中西・遠藤：新名神高速道路宝塚北 SA の高盛土区間の地質状況と盛土設計，第 53 回地盤工学研究発表会，論文番号 569，2018.
- 文献 3)** [再掲] 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への展開—，（一社）地域国土強靱化研究所，330p.，2023.

**堤内排水の事例 2：新東名高速・加瀬沢地区における高盛土**      NEXCO 中日本  
2000.1～2004.7

- 盛土量約 350 万 m<sup>3</sup>、最大盛土高さ約 90m の高盛土
- 盛土内排水：水平排水層（厚さ 1m）・遮断層（厚さ 0.6m）吸出し防止シート（1mm）：勾配 10%  
垂直排水層（厚さ 3m）、1：0.5 \* トンネルずり・硬岩 \* 垂直排水層：堤内排水の強化
- 基礎地盤排水：φ 2m・2本 & φ 1.2m・2本（盛土内排水の受け）
- 円弧すべり法（設計震度 0.20）・地震時安全率 1.19：許容安全率 1.00 以上
- 動的変形解析（FLAC、レベル 2 地震動）・天端鉛直沈下量 49.6cm：許容沈下量 50cm 以下  
【性能設計】

（注）現在、NECXO の技術基準では、ニューマーク法の使用が規定されている。→事例 3

図-6 盛土内排水処理図

関・八木：加瀬沢地区大規模土工の設計・施工、特集：新東名高速道路（御殿場～三ヶ日）の開通，基礎工，pp. 50-56，2012. 7.

### 堤内排水の事例3：新名神高速・宝塚北SAにおける高盛土 NEXCO西日本

- 盛土量約350万 $m^3$ 、最大盛土高さ約70mの高盛土
- 排水計画（地下排水工、雨水排水工、鉛直排水層）に対して、三次元水収支解析を実施。  
\* 豪雨時に地下水位の上昇はないことを確認 \* 堤内排水の強化
- 豪雨時（100年確率：42時間継続総雨量289mm）の安定性： $F_s = 1.25$
- 地震時（レベル2地震動）の安定性： $F_s = 1.00$
- ニューマーク法による変位量照査：基準値 = 50cm 【性能設計】

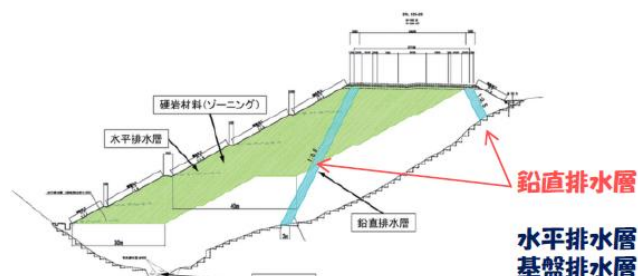


図-3.66 盛土構造<sup>(63)</sup>

#### 事例1～3：技術は既にあり、実装できる環境にある！

安藤・山口・滝川・小野・中西・遠藤：新名神高速道路宝塚北SAの高盛土区間の地質状況と盛土設計，第53回地盤工学研究発表会，論文番号569，2018.



写真-3.17 宝塚北 SA 高盛土完成状況

20

盛土の性能設計と「人工基盤」の設計・施工の先進事例は、2011年東北地方太平洋沖地震の復興のため、2011年度より東北地方整備局仙台河川国道事務所が事業化した、三陸沿岸自動車道歌津・本吉道路がある〔文献13〕参照。同設計では、道路土工構造物技術基準の制定（2015）以前に、盛土の性能設計が実施されており、設計に対する発注者の問題認識の高さと設計コンサルタントの技術力が評価できる。次ページのPPT21のとおり、設計の特徴は下記の1)～6)があり、直轄事業で性能設計を先取りした好例である。

- 1) 性能の明示とレベル2地震動の照査：性能2を明示し、レベル2地震動に対する機能を考慮。
- 2) 応急復旧による復旧の迅速化：緊急車両だけでなく、一般車両の早期通行を確保。
- 3) 盛土の残留変形による性能評価：すべり安全率だけでなく、ニューマーク法ですべり量を算出。
- 4) すべり面位置による性能評価：性能2の確保のため、最小幅の通行帯を設定。
- 5) 天端の許容段差量による設計：通行帯の許容段差（20cm程度以下）を照査基準に設定。
- 6) 人工基盤によるすべり量の抑制：人工基盤構造によりすべり量を低減し、許容段差以内を実現。

なお、当初設計ではレベル1地震動による設計が実施されており、堤体および基礎地盤を通るすべりの不安定性に対して、盛土の両側の基礎地盤の深層混合処理工法が計画されていた。しかし、深層混合処理された盛土の状態、レベル2地震動を作用させたところ、基礎地盤上の盛土本体にすべりが発生し、その対応が必要とされた。その対応策として、盛土本体を強化する方法もあるが、発生する岩ズリを利用した人工基盤の設置が検討された。その際、人工基盤の規模、高さの設定が必要となるが、人工基盤の上で発生するすべりに対して、許容段差（20cm）を満足するように人工基盤の高さ（8m）が決められた。

本事例の教訓は、① レベル1地震動だけの設計では不十分であり、レベル2地震動の設計が必要であること、② 2011年当時において、既に性能設計が可能な技術的環境にあったことである。

なお、三陸沿岸自動車道歌津・本吉道路の高盛土で明らかになった上記の教訓①は、次ページのPPT22の令和6年能登半島地震でも、のと里山海道、穴水道路の道路盛土の被害から再認識されることになった。

文献13) 佐藤 忍：道路盛土における大規模地震時の評価手法と対策について、第32回日本道路会議、No.4004、2017.

### 人工基盤による性能設計例：レベル2地震動対応の高盛土

三陸沿岸自動車道歌津・本吉道路：2011年度より東北地方整備局仙台河川国道事務所が事業化。道路土工構造物技術基準の制定2015の以前に、盛土の性能設計を実施。

**本事例の特徴**

- 1)性能2を明示し、レベル2地震動に対する機能を考慮。
- 2)通行確保を緊急車両に止めず、一般車も対象。
- 3)すべり安全率だけでなく、ニューマーク法によりすべり量を算出。
- 4)性能2の確保のため、最小幅の通行帯(路肩部を除いた9.5m)を設定。
- 5)路面変状の発生を許容した通行帯の許容段差(20cm程度以下)を設定。
- 6)岩ずりを利用した人工基盤構造を設けて、すべり面位置を上方に移動し、すべり量を低減。

**人工基盤：軟岩スリ**

(注) 深層混合処理工法はレベル1対応  
→ レベル2では堤体がすべり、人工基盤により対応。

**教訓：レベル1とレベル2の両方の検証が必要。レベル1では不十分。**  
→ 次ページ

佐藤 忍(仙台河川国道事務所)：道路盛土における大規模地震時の評価手法と対策について、第32回日本道路会議、No. 4004、2017.

三陸沿岸自動車道  
高盛土

下記の PPT22 のとおり、令和 6 年能登半島地震においても再認識すべき教訓として、レベル 1 地震動の検証だけでは不十分であった、穴水 IC の補強土壁による高盛土の被害例がある。同盛土は、補強土壁および嵩上げ盛土の複合構造であるが、今次のレベル 2 相当の地震動により、嵩上げ盛土のすべり崩壊が発生し、補強土壁の上部が欠損した。ここで注意すべきは、当該盛土の被害の原因は嵩上げ盛土のすべり崩壊であり、補強土壁自体は耐震性には問題はなかった点である。

### 再認識すべき教訓：令和6年能登半島地震でもレベル1とレベル2の両検証が必要 / レベル1の検証だけでは不十分な事例が顕在化

穴水 IC では、嵩上げ盛土がすべり崩壊し、補強土壁の上部が欠損。  
**原因：**嵩上げ盛土のすべり崩壊が先行したことによる。  
**課題：**補強土壁自体は安定(L-1設計)であったが、なぜ、嵩上げ盛土がすべり崩壊したのか。  
 \*単なる集水的な地形(素因ではあるが)だけでは、説明できない

**\*類似の被害は、2007年の大規模崩壊の復旧(補強土壁)箇所でも見られる。**

**検証事項：嵩上げ盛土の設計法の妥当性！**

例えば、穴水ICの補強土壁の被害に関する次ページの文献14)は、「過去に確認されていない変状形態であり、被災地周辺に作用した地震動が補強土壁の設計時の想定を上回っていたこと、地震前の積雪による融雪水が嵩上げ盛土部に浸透して土の強度が低下したことが変状発生要因」としている。ここで、要因と

する「過去に確認されていない変状形態」とは、「嵩上げ盛土の崩壊による補強土壁の損傷」であるが、変状要因は地震動規模、浸透による土の強度低下だけでは説明がつかず、基本的な問題がある。

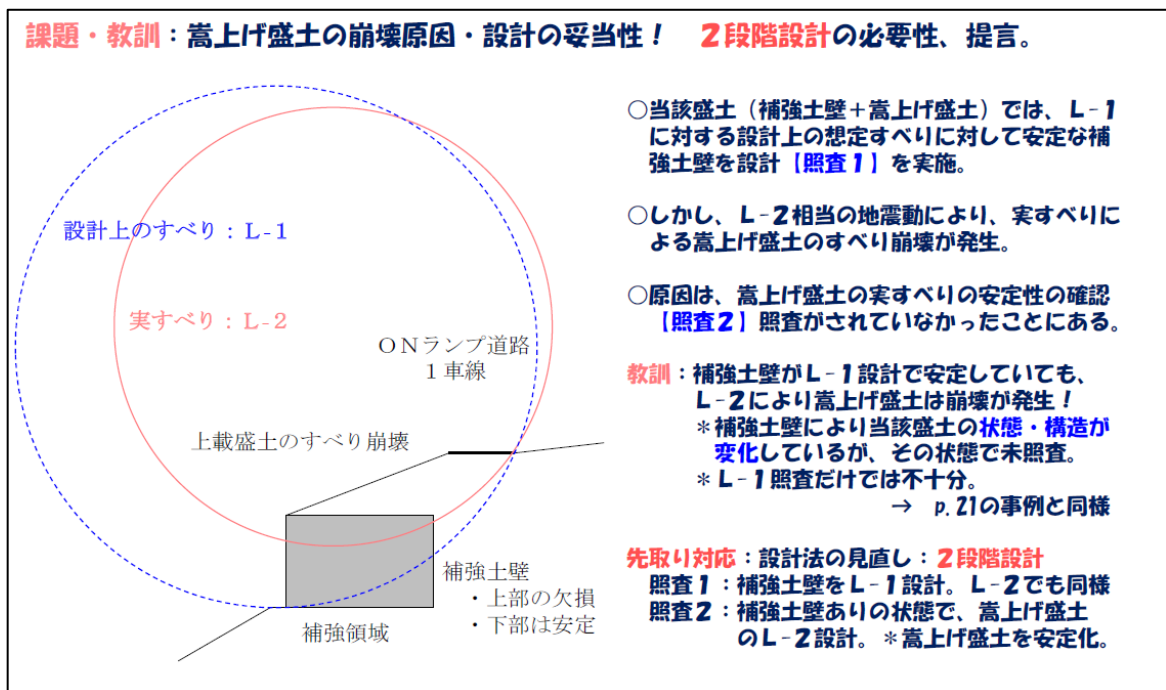
また、類似の被害は、穴水 IC 以外の補強土壁による盛土、言い換えると、2007 年能登半島地震で崩壊し、補強土壁で復旧された嵩上げ盛土でも発生している。これらの被害の特徴は、補強土壁自体は安定（L-1 設計）であったが、レベル 2 地震動（L-2）相当の今次の地震動により、嵩上げ盛土部がすべり崩壊あるいは沈下、段差の変状を発生し、道路機能が低下し、通行止めを余儀なくされた状態に至ったことである。そのため、従来着目されなかった新たな被害形態として原因究明と対処方法の検討が必要である。

以上のとおり、嵩上げ盛土を擁する補強土壁の現行の設計法の妥当性について、下記の PPT23 の課題の認識と対応が想定できる。PPT23 は、穴水 IC で被害を受けた嵩上げ盛土の設計概念であるが、補強土壁を擁する嵩上げ盛土の従来の設計法は、図の青破線の円弧すべりに対する安定解析（円弧すべり法、震度法、レベル 1 地震動：照査 1 と呼ぶ。）により補強土壁の構造が決まり、そこで設計が終了していた。そのため、設計された補強土壁がある状態で、レベル 2 地震動が作用した嵩上げ盛土の安定性の照査（照査 2 と呼ぶ。）は実施されていなかった。そのため、今次のレベル 2 相当の地震動により、嵩上げ盛土がすべり崩壊した。

上記の嵩上げ盛土を擁する補強土壁の全体系構造に関する教訓は、「L-1 地震動による補強土壁の安定性の照査、構造決定に留まらず、補強土壁がある状態で L-2 地震動による嵩上げ盛土の安定性の照査が必要」である。つまり、補強土壁の設置により当該盛土の全体系の状態・構造が変化するので、補強土壁だけの設計に留まらず、その状態での照査が必要であるが、前ページの PPT21 の三陸沿岸自動車道の設計との共通性によれば、発想 10：盛土の安定性の照査は L-1 地震動と L-2 地震動による 2 段階照査が必要ではないか！・・・と発想できるが、従来にない設計姿勢の先取りである。\*発想 10 は、本文で新たに追加した。

文献 14) 小浪岳治・林 豪人・伊藤友哉・前田健一：令和 6 年能登半島地震で被災したアンカー補強土壁の数値解析に基づく補強対策の提案、第 37 回日本道路会議、No.4006、2025.11

PPT23



上記のとおり、令和 6 年能登半島地震の教訓として、嵩上げ盛土を擁する補強土壁の設計は、従来、設計で規定されていない「照査 1 と照査 2 による 2 段階設計」を実施することが必要である。

なお、公的基準ではない「補強土(テールアルメ)壁工法 設計・施工設計マニュアル 第 4 回改訂版(H26.8)」

[文献 15] では、補強土壁を含む盛土の全体安定の検討について、下記の記述がある。

『特に、テールアルメの背後に高い嵩上げ盛土を設ける場合や斜面上等にテールアルメを設置する場合は、背面盛土及び基礎地盤を含めたテールアルメの外側及び補強領域を通過するすべりに対する検討を行う。また、嵩上げ盛土の盛土斜面内のすべりに対する検討も必要である。』

特に、上記の「嵩上げ盛土の盛土斜面内のすべりに対する検討」が重要であり、今後、検討方法の具体化が必要ではあるが、嵩上げ盛土の安定性の照査に言及している点は先取りとして特記できる。今後は、令和 6 年能登半島地震の重要な知見として、今後改定される盛土工指針、擁壁工指針での規定が必要である。

さらに、道路土工構造物技術基準（2025.6）が改定され、道路土工構造物技術基準・同解説（2025.11）が発行されたが、同解説では、盛土の地震動の扱いについて、下記（抜粋）のように解説している。

p.65～66 （3）地震動の作用

地震動の作用としては、レベル 1 地震動及びレベル 2 地震動の二種類の地震動を考慮する必要がある。……地震動の特性が異なることから、タイプ I 及びタイプ II 両方の地震動を耐震設計で考慮する必要がある。

p.140～141 v) 地震動の作用に対する盛土の安定性の照査

実験等による検証がなされた解析手法等による照査に関係して、「レベル 1 地震動の作用に対する性能 1 の照査及びレベル 2 地震動の作用に対する性能 2 の照査は、地震の影響を考慮した円弧すべり法によって盛土及び基礎地盤のすべりに対する安定を照査することにより上記の安定と変位の照査を満足すると考えてよい。レベル 1 地震動に対して性能 1、レベル 2 地震動に対して性能 2 を要求する盛土のうち、盛土や周辺地盤の特性から大きな被害が想定される盛土については、地震動の作用に対する盛土の安定性の照査を行う必要がある。地震動の作用に対する盛土の安定性の照査にあたっては、十分な排水処理と入念な締め固めを前提に、レベル 1 地震動に対する照査を行えば、レベル 2 地震動に対する照査を省略してよい。ただし、盛土や周辺地盤の特性や隣接する施設等の条件から極めて重大な二次的被害のおそれのある盛土については、レベル 2 地震動に対する性能 2 の照査を行うのがよい。

上記の規定では、地震動の作用として「レベル 1 地震動およびタイプ I 及びタイプ II のレベル 2 地震動を考慮する」としている。そして、地震動の作用に対する盛土の安定性の照査では、「円弧すべり法により安定と変位の照査をする」としているが、円弧すべり法では安定の照査はできるが、変位の照査はできない。

また、「十分な排水処理と入念な締め固めを前提」として、「レベル 1 地震動に対する照査を行えば、レベル 2 地震動に対する照査を省略してよい」とするのは、これまでの災害に基づく経験工学的な判断であり、論理的な説明とは言えない。また、「ただし」書きにより、「極めて重大な二次的被害のおそれのある盛土」では「レベル 2 地震動に対する性能 2 の照査を行うのがよい」としているが、どのような盛土を対象とすべきかを規定すること、「行うのがよい」ではなく「行う」とすることが基準類として必要である。さらに、レベル 2 地震動の照査が必要な条件として「二次的被害」を挙げているが、道路機能に係わる直接的な「一次的被害」も同様であり、その規定が必要である。

また、谷埋めの高盛土の構造については、下記（抜粋）が解説されている。

p.124 谷埋めの高い盛土に解図 6-8 の概念図のような対策を用いて復旧した区間、すなわち適切な地下排水及び水平排水を施し、良質土を用いて入念に締め固めた補強盛土をのり尻に配置するとともに基礎地盤を碎石で置換し、路体の上部に改良した現地の建設発生土を用いた区間には、顕著な変状や崩壊が生じなかった。のり尻の補強盛土及び基礎地盤の置換は地震時の盛土の安定性を高める目的で設計され、入念に施工されたものである。補強盛土に盛土材料として用いられた礫質土及び基礎地盤の置換に用いられた碎石は、安定性だけでなく排水性も高い。谷を埋める盛土の底部では供用中の地山からの水の浸透が懸念されるが、盛土の底部及びのり尻付近の基礎地盤の排水性が改善されたことにより、地震時の盛土全体の安定性が更に高まり、顕著な変状や崩壊が生じなかったものと考えられる。したがって、崩壊などの致命的な状況となった場合に復旧が困難となる高盛土については、令和 6 年能登半島地震の上記事例を参考に粘り強い構造とすることで、致命的な状態をなるべく回避し、早期復旧が可能となるよう配慮することが有効である。

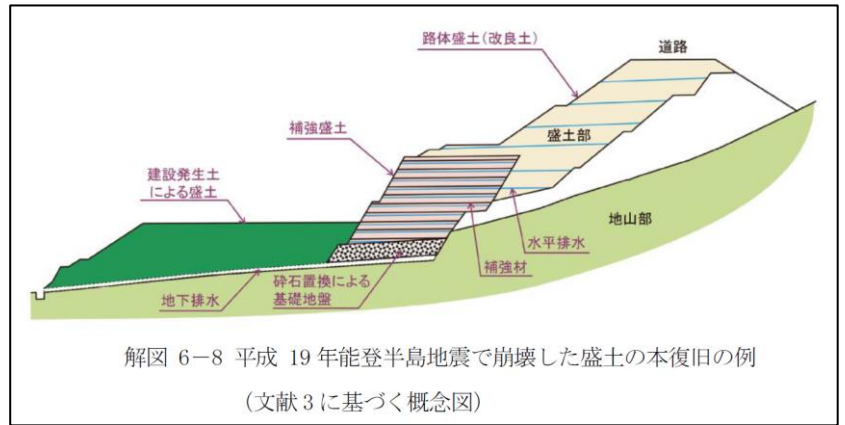


図-8 2007 年能登半島地震の本復旧の例  
[文献 5) の抜粋、原文のまま]

上記の図-8 [文献 5) : 解図 6 - 8] で例示されている様々な対策は、下記のとおり、経験工学的な仕様であり、工学的に安定であることを定量的、論理的に照査することが、実務の設計では必要である。

- (1) 「概念図のような対策を用いて復旧した区間……顕著な変状や崩壊が生じなかった。」は現象からの経験、推察であるが、排水、締め固めた補強盛土、基礎地盤を砕石で置換、改良した現地の建設発生土がそれぞれどのように機能して安定性が確保されたかの具体的な説明が必要である。具体化されないと、工学的な根拠がないまま、図-8 [文献 5) : 解図 6 - 8] が一人歩きする懸念がある。
- (2) 「のり尻の補強盛土……地震時の盛土全体の安定性が更に高まり、顕著な変状や崩壊が生じなかったものと考えられる。」も現象からの知見、推察であるが、基礎地盤の置換は地震時の盛土の安定性を高めるのにどう機能するのか、機能させるのか、基礎地盤の置換に用いられた砕石は安定性があるのか、排水性はどうか改善されたのかの具体的な説明が必要である。具体化されないと、(1) も含めて、論理的な根拠がない仕様設計に留まる懸念がある。
- (3) 「令和 6 年能登半島地震の上記事例を参考に粘り強い構造とすることで、致命的な状態をなるべく回避し、早期復旧が可能となるよう配慮することが有効である。」とあるが、「粘り強い」は河川、海岸では理解されているが、道路では未だであり、道路の粘り強い構造とはどういうことか、どう設計すれば粘り強い構造になるのか、どうすれば早期復旧が可能になるのか、具体的な説明が必要である。具体化されないと、設計の根拠を理解しない、説明ができない設計になる懸念がある。

上記の道路土工構造物技術基準・同解説 (2025.11) において、図-8 [文献 5) : 解図 6 - 8] を除く、L-1 地震動および L-2 地震動に関する解説は、基本的に 2015 年の道路土工構造物技術基準の解説書である「道路土工構造物技術基準・同解説 (2017.3)」を踏襲し、さらに 2007 年能登半島地震の能登有料道路の被災盛土の復旧仕様を例示しており、前述の三陸沿岸自動車道歌津・本吉道路の軟弱地盤上の高盛土の設計、2024 年能登半島地震の穴水 IC などの補強土壁を擁する嵩上げ盛土などの被害の教訓は反映されていない。

なお、上記を始め、道路土工構造物技術基準・同解説 (2025.11) は、仕様規定、見なし規定が柱であり、論理的、定量的な設計法が示されていないため、実務的な性能規定型設計はできない懸念がある。

今後 (2025.11~) 改定が予定されている、盛土工指針、擁壁工指針などでは、道路土工構造物技術基準 (2025.6) の改定の柱の一つとされる「性能規定の具体化」が必須であり、そのための規定がないと、2015 年の技術基準の制定から数えた今後 10 年は、「性能設計、性能規定が進展しない、失われた 20 年」になる懸念がある。

文献 15) 土木研究センター：補強土 (テールアルメ) 壁工法 設計・施工設計マニュアル 第 4 回改訂版, 平成 26 年 8 月.  
文献 5) [再掲] (公社) 日本道路協会：道路土工構造物技術基準・同解説、2025.11

### 3. ふとんかごによる盛土の法尻安定化技術

令和6年能登半島地震では、下記のPPT24のとおり、「道路盛土ののり尻に設置した布団かごの基礎が脆弱であったため、ふとんかごが流動」とされ、盛土法尻のふとんかごの被害の顕在化が特徴である。

しかし、既往のふとんかごの適用状況を見れば、今次のふとんかごの被害は当然の結果であることの認識が必要である。つまり、従来、ふとんかごは法尻の排水を目的とする構造であり、特に、地震時の安定性の照査が行われていないため、地震時の流動は当然であり、基礎の脆弱性だけが原因ではない。

そのため、今次の被害を再度発生させないためには、ふとんかごの設計法を見直すことが必要である。他方、防食技術の向上によりふとんかごの耐久性が向上しているのので、地震時のふとんかごの流動を防ぐのであれば、擁壁と同様に土留め構造とすることが必要かつ有効である。つまり、土留め構造として、常時だけでなく、地震時の安定性（滑動、転倒、支持力）を論理的、数値解析的に照査すべきである。

しかし、道路土工構造物技術基準・同解説（2025.11）では、安定性の照査は説明がなく、経験に基づく「基礎地盤の処理」の仕様規定止まりであり、支持力の確保のための基礎地盤処理の必要性の説明がない。経験的な仕様規定の基礎処理ではないことの説明は、工学的技術に係わる基準類の基本的役割である。

上記から、**発想5**：ふとんかごは【土留め構造】とし、地震時安定性を照査すべき！・・・を発想したが、基準類でも数値解析による「地震時の滑動・転倒・支持力」の客観的な照査の規定が必要である。

次ページのPPT25はふとんかごの被害状況であり、ふとんかごの大規模移動のほか、ふとんかごがずれて押し出されている事例もあるが、いずれのふとんかごも盛土のすべり崩壊の抑止機能は発揮していない。

将来、ふとんかごの類似被害を発生させないためには、ふとんかごは【排水機能】＋【土留め機能】、つまり、「一構造二機能」を備えた構造物として安定性を照査し、活用することが必要かつ有効である。

なお、ふとんかごの耐久性の向上について、例えば、溶接金網（ハイパープレメッシュ：建技審証第0801号）は、耐久性などの技術的審査を経ており、仮設でなく、本設構造として適用できる状況にある。

PPT24

### 3. ふとんかごによる盛土の法尻安定化技術

目的・効用：盛土法尻の排水強化&土留め強化

#### 発想5：ふとんかごは【土留め構造】とし、地震時安定性を照査すべきではないか！

【参考】のり尻に設置した布団かごの基礎が脆弱であった例  
【土工】

国土交通省



R6能登半島地震で顕在化したのり尻ふとんかごの被害

- \*元々、排水用であり、移動（流動）は当然。
- \*かごの耐久性が向上しているのので、擁壁構造とすることが有効。
- \*そのためには、常時だけでなく、地震時の安定性を照査すべき。  
→ 先取り対応

【現時点：照査が明記されていない】

- \*安定性とは、滑動、転倒、支持力。  
→【基礎地盤の処理】だけの感覚的なく、支持力の確保の機構的な理由付けが必要。
- 基礎処理をすればよい・ではないこと。  
なぜ、処理するか視点！

5

24

**のり尻のふとんかごの変状・損傷状況 輪島道路**



**法尻のふとんかごのずれ**

**ふとんかごの流動**

**教訓：**従来のふとんかごの設置目的は排水であったので、盛土のすべりには機能しない：**当然の結果！**

**先取り対応：**ふとんかごの土留め機能について、地震時の安定性（滑動・転倒・支持力）を照査して、活用。

**\*排水機能+土留め機能**

**\*実現可能な背景：**かごの耐久性向上  
溶接金網の技術審査証明  
.....

25

下記の PPT26 は、法尻に設置するふとんかごによる盛土の安定化の2方法である。方法1はふとんかごだけによる安定化構造 [文献 16] 参照] であるが、地震時の安定化は可能である。また、方法2は土留めの補強土壁と排水のふとんかごの複合構造であり、複数の工法の組合せ、機能分担による複合化は有効である。なお、方法2の事例の箇所は、令和6年能登半島地震による盛土天端の路面変状は皆無であった。

ここで、災害時の現地調査では、被害の有無の差異などの気づきが重要であるが、そのためには AI に期待できない、感度、センスを磨くことである [文献 17] 参照] 。

文献 16) 陳 文仲・常田賢一・平山淳基・須藤直俊：大型ふとんかごのすべり特性および安定性の評価，第13回日本地震工学シンポジウム，No.141，pp.2468-2475，2010。

文献 17) 常田賢一：津波による地盤災害の現地調査，講座：地盤災害の現地調査，第6回，地盤工学会誌，Vol.73，No.09，pp.49-64，2025.9

**のり尻ふとんかごの安定化方法例**

**方法1：段積ふとんかご**

**地震時の滑動・転倒・支持力の照査**

(a) オーバーラップ構造 (b) ひな段構造



**補強土壁：テールアルメ工法**

**ふとんかご**

**補強土壁**

**ふとんかご**

(注) 通常、常時の安定は照査されている

**参照：【第2部】藤木氏**

陳 文仲・常田賢一・平山淳基・須藤直俊：大型ふとんかごのすべり特性および安定性の評価，第13回日本地震工学シンポジウム，No. 141，pp. 2468-2475，2010。

26

#### 4. 壁式地盤改良による透水型地盤安定化技術

壁式改良工法は、有明海沿岸道路の道路盛土の沈下対策として新たに考案された工法であり、**図-9**のように、盛土の縦断方向に、ある間隔で改良した横断壁を設置することにより盛土を沈下抑制する機構である。九州地方整備局の有明海沿岸道路の試験盛土は、2017年2月の完成後、2024年7月まで動態観測が実施されており、約7年半後までの盛土の沈下特性から、沈下抑制工法としての有効性が検証されている[**文献 18)、19)**]。なお、盛土および用地境界の許容沈下量による性能設計が実施されている。

下記の **PPT27** のとおり、壁式改良工法の特徴の一つとして「横断壁の間の地下水の流れを阻害しない」があるが、その特徴から横断方向に地下水の流れがある傾斜地の道路盛土の地盤改良への応用が考えられた。その具体化として、本章では「傾斜基盤上の道路盛土のすべり対策」および令和6年能登半島地震で新たな災害形態として顕在化した傾斜地の地盤流動に対する「道路を利用した傾斜地盤上の地盤流動対策」の2つの応用方法を示すが、工法の特徴を活かし、他の技術ニーズに展開することは先取りと言える。

なお、本工法は、特許第5961712号の「変位抑止壁を備える壁式地盤改良工法」、NETISD/KT-180144-Aの「フローティング型 壁式改良工法」、さらに、河川分野のテーマ設定型の「軟弱地盤上の堤防整備における周辺地盤に影響を与えない圧密・排水促進の技術」の技術比較表が公表されている。

なお、有明海沿岸道路の試験盛土以外では、北陸地方整備局高田河川国道事務所の上越・三和道路で実施された実績がある[**文献 20)、3)**]。

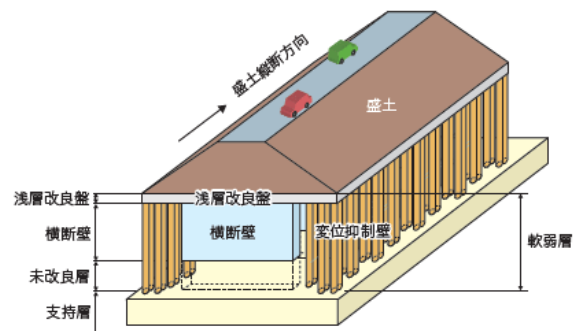


図-9 壁式改良工法概念図

- 文献 18)** 壁式改良工法研究会：壁式地盤改良工法 パラウォール工法、パンフレット、(一財) 土木研究センター、2020.10  
**文献 19)** 駒延勝広・檜原伸介・西川剛一：大川佐賀道路における壁式地盤改良工法の沈下特性、第37回日本道路会議、No.4054、2025.11  
**文献 20)** 山田十一：盛土の沈下安定対策におけるフローティング型壁式地盤改良工法について、高田河川国道事務所令和3年度(第31回)技術研究発表会、発表論文番号2、2022.2.25  
**文献3)** [再掲] 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一個別最適から全体最適への展開一、(一社) 地域国土強靱化研究所、330p., 2023

PPT27

### 4. 壁式地盤改良による透水型地盤安定化技術

目的・効用：傾斜地の盛土安定化&地域一体型液状化・地盤流動抑制

軟弱地盤上の道路盛土の性能規定型の沈下対策工法

↓応用：先取り化

沢部の道路盛土のすべり崩壊&傾斜地の道路の地盤流動の対策工法

- ・改良体&壁間土のすべり抵抗を發揮。
- ・壁間の地盤の液状化の発生抑制。
- ・壁間の地下水流を阻害しない。

参照：【第1部】駒延氏

**壁式改良工法**

**従来工法：コラムリンクなど**

27

まず、「壁式改良工法の傾斜基盤上の道路盛土のすべり対策」について、発想の動機となった事例は、下記の **PPT28** の高速道路の盛土である。同盛土は、NEXCO 東日本の秋田自動車道（岩瀬地区）の盛土区間にあり、断面図のとおり、おぼれ谷に堆積する軟弱地盤上に高さ 6m で施工されている。

**文献 21)** によると、盛土の安定対策として法面部に DJM による直径 1m の改良杭、本線部にサンドドレーンが打設されたが、サンドドレーンの打設及びその後の盛土の進行に伴い、改良杭の杭頭で水平変位が発生・蓄積し、路体にクラックが発生した。そして、これらの変状対策として、抑え盛土の追加などが行われ、盛土は 1996 年 10 月に完成し、1997 年 11 月に供用したが、19 年経過した時点（2016 年）でも路面の変状が続いている。そのため、変状要因の調査が実施され、軟弱層厚と沈下量に相関がないこと、盛土部の沈下が大きいことなどが明らかとなり、変状要因として、傾斜した基盤あるいは盛土材（泥岩）のスレーキングの影響が考察されている。

上記の報告内容について、下記の状況を鑑みると、上記で変状要因として考察されている影響以外に、改良杭上の盛土の地下水位上昇の影響が考えられる。

- ・軟弱地盤である泥岩の基盤が傾斜している
- ・接円改良（改良率 80%程度）により、山側から谷側への地下水の流れが阻害され、ダムアップすることにより、盛土内の地下水位が上昇する

本事例は、盛土などの基礎地盤で横断方向に地下水の流れがある場合、地下水流を阻害しないことが重要であることを示唆しており、その機能が期待できる「壁式改良工法」（改良率 20～30%程度）の適用可能性を想定した。つまり、**発想 6：【壁式改良工法】は傾斜地・沢埋め盛土のすべり安定化対策として活用できるのではないか！**・・・を発想として、既存工法を応用した展開を図る、先取り姿勢である。

さらに、【壁式改良工法】による剛な改良体の機能として、本文 p.4 の **PPT3** の盛土のすべりに対するすべり破壊制御の概念の一つである「人工基盤構造」の可能性を新たに想定したが、詳細は次ページに示す。

**文献 21)** 澤野幸輝・高坂敏明・外崎靖也・長尾和之・及川 洋：おぼれ谷に堆積する軟弱地盤上に施工された高速道路盛土の沈下変状に関する考察、第 71 回土木学会年次学術講演会講演概要集、III060、pp.119-120、2016

PPT28

PPT28

**発想 6：【壁式改良工法】は、傾斜地・沢埋め盛土のすべり安定化対策として活用できるのではないか！**

**課題：**傾斜基盤上の軟弱地盤の盛土  
施工中、供用後の変状発生

**原因：**傾斜した基盤あるいは盛土材  
（泥岩）のスレーキングが影響

**更に、**地下水の流れの阻害、  
堰上げ（ダムアップ）  
・盛土部の地下水位上昇  
が想定される。

↓

**壁式改良工法の適用可能性**

**1) 地下水流を阻害しない**

**2) 人工基盤化によるすべり制御**

→ 次ページ

地質名	記号	N値の範囲	平均N値
盛土	Bn	2～11	6
サンドマット	Sm	2～11	7
有機質土	Au-p	0～7	2
上部粘性土	Au-c	0～9	1
下部粘性土	Al-c1	2～11	5
泥岩	Fin	8～150	7

澤野他：おぼれ谷に堆積する軟弱地盤上に施工された高速道路盛土の沈下変状に関する考察、第71回土木学会年次学術講演会、III060、pp.119-120、2016.

【壁式改良工法】で期待できる恒常的な盛土の安定化については、下記の PPT29 の 3 つの効用がある。

**効用 1**：すべり面の発生位置を制御【すべり破壊制御：すべり面位置制御：性能設計】

PPT29 の説明図の傾斜基盤上の盛土内に、壁式改良工法による剛体構造を設置すると、すべりの臨界円は黒色の円から赤色の円の位置に誘導、制御できる。この概念は、本文 p.4 の「すべり破壊制御」のうちの「人工基盤構造」であり、剛体構造は人工基盤の機能を発揮する。なお、さらに天端の剛性が高ければ、天端にすべり面は発生せず、道路の機能は確保される。

**効用 2**：法面のすべり量を抑制【すべり破壊制御：すべり量抑制：性能設計】

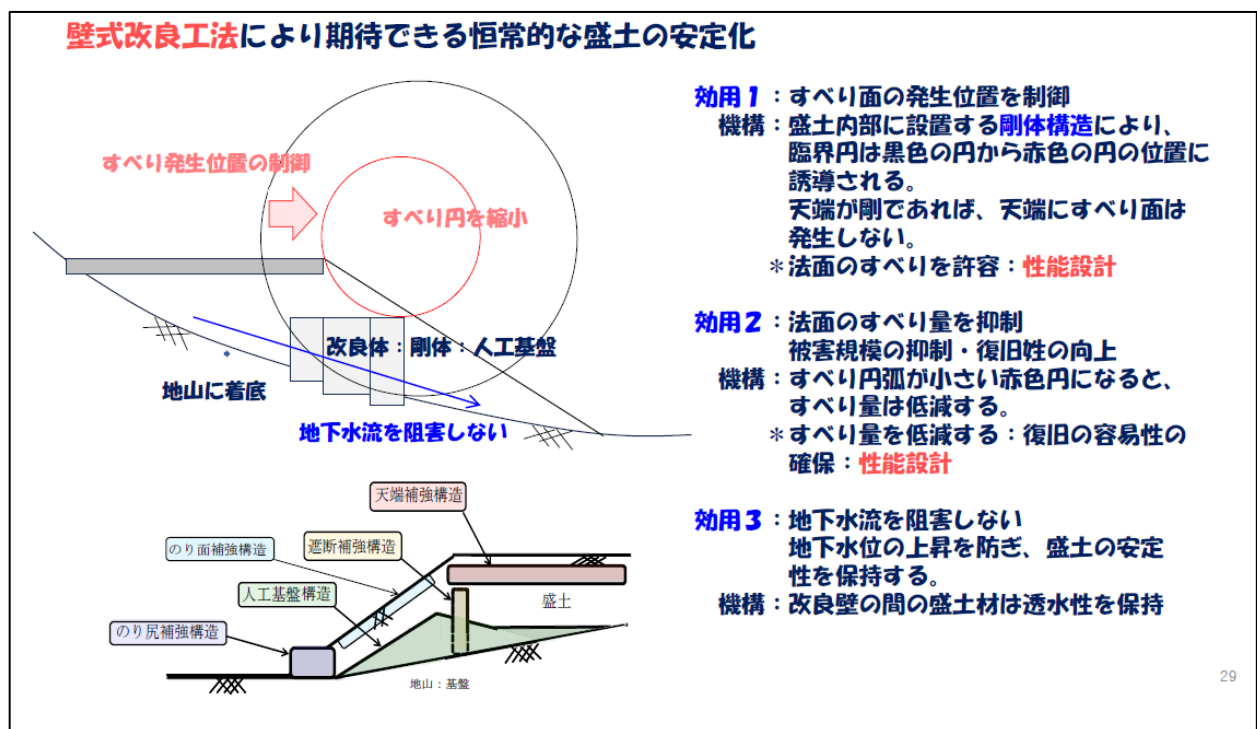
人工基盤によりすべり面位置が法面方向に移動すると、盛土内のすべり面の長さが縮小され、すべり量は低減する。すべり量の低減により、復旧の容易性、修復性は向上する。

**効用 3**：地下水流を阻害しない

【壁式改良工法】は横断壁の間の地下水流の流れを阻害しないので、地下水位の上昇を防ぎ、盛土の安定性が保持できる。

上記のとおり、傾斜地盤に設置する盛土の安定性の確保、向上のために、【壁式改良工法】の適用性とその複合的な効用は明らかであり、活用が望まれる。

PPT29



## 土工構造物の技術基準に関する最近（四半世紀）の動向

地震時の盛土の被害および盛土などの道路土工構造物の設計などに関わる基準類の変遷は、次ページの PPT30 のとおりである。

著者が道路盛土の被害などに強く関心を持った契機は、2004 年 10 月の新潟県中越地震の現地調査である。そして、盛土の性能設計に関する耐震性の評価、対策などに関する調査・研究は、2005 年度を初年度とする道路局の道路新技術会議による第 1 回研究助成制度への応募、採択により着手でき、その後、道路盛土に関する調査・研究に努めたが、それらの成果は次ページの文献 1)、22)、23)などを参照されたい。

上記の研究開始 10 年後の 2015 年には道路土工構造物技術基準が策定され、さらに 10 年後の 2025 年に

は改定に至っており、従来、あまり重視されていなかった道路盛土を始めとする道路土工構造物（切土・斜面安定施設、盛土、カルバート）の技術的環境は変化し、進展しているが、性能規定は端緒に留まる。

2004年10月	【新潟県中越地震】道路盛土の被害	
2007年3月	【能登半島地震】能登有料道路の盛土被害	
2009年8月	【駿河湾を震源とする地震】東名高速・牧之原の盛土被害	
2009年11月～	・道路のり面・緊急点検	*上記地震を受けた全国一斉点検
2010年4月	・道路土工 盛土工指針 改定	
2011年3月	【東北地方太平洋沖地震】常磐高速の盛土被害	
2015年3月	・道路土工構造物技術基準の制定	*初めての策定：技術基準は土工が最後
2016年4月	【熊本地震】沿道斜面の崩壊被害	
2017年3月	・道路土工構造物技術基準・同解説の刊行	*2015.3 技術基準の解説書
2017年8月	・道路土工構造物点検要領の制定	*点検（1巡目）用
↓		
2018年度～	・特定土工構造物法定点検（1巡目）	*2018～2022：5年
2022年3月	・道路土工構造物点検要領（暫定版）の改訂	*点検（2巡目）用
2023年度～	・特定土工構造物法定点検（2巡目）	*2023～2027：5年
2024年1月	【令和6年能登半島地震】のと里山海道・穴水道路の盛土被害	
2024年7月～	・盛土のり面点検	*能登半島地震を受けた緊急輸送道路の点検
2025年3月	・第25回道路技術小委員会 道路土工構造物技術基準（案）報告	

下記の PPT30（2025.5 時点）以降の行政的な動向は、下記のとおりである。

2025年6月 道路土工構造物技術基準の改定 \*技術基準：R7.6.26 都市局長・道路局長連名通知

2025年11月 道路土工構造物技術基準・同解説の改定 \*技術基準の解説書／技術図書

今後（2026.3～）は、下記が予定されているが、性能規定の具体化、早期の発行が注目される。

2025年度以降（予定） 指針類（盛土工、擁壁工など）の改定 \*指針類／技術図書。

文献 1) [再掲] 常田・小田・中平：道路機能に基づく道路盛土の経済的な耐震強化・補強技術に関する研究開，ISSN 1883-3594, No.17-4, 道路新技術会議 道路政策の質の向上に資する技術研究開発成果報告レポート, No.17-4, 平成20年7月。

文献 22) 盛土の性能向上技術研究会：盛土の性能評価と強化・補強の実務，（一財）土木研究センター，2014.10

文献 23) 土工構造物の性能向上技術研究会：土工構造物の性能の評価と向上の実務，（一財）土木研究センター，2019.3

PPT30

参考：道路土工構造物の基準類の変遷		
*切土・斜面安定施設、盛土、カルバート		
2004年10月	新潟県中越地震	
2007年3月	能登半島地震	
2009年8月	駿河湾を震源とする地震	
2009年11月～	道路のり面・緊急点検	*既設
2010年4月	道路土工 盛土工指針 改定	*新設・改築
2011年3月	東北地方太平洋地震	
↓		
2015年3月	道路土工構造物技術基準の制定	*新設・改築
2016年4月	熊本地震	
↓		
2017年3月	道路土工構造物技術基準・同解説の刊行	*新設・改築
2017年8月	道路土工構造物点検要領の制定	*既設
2018年度～	特定土工構造物法定点検（1巡目）	*既設
2022年3月	道路土工構造物点検要領（暫定版）の改訂	*既設
2023年度～	特定土工構造物法定点検（2巡目）	*既設
↓		
2024年1月	令和6年能登半島地震	
2024年7月～	盛土のり面点検	*既設
2025年3月	道路土工構造物技術基準（案）報告	*新設・改築
今後		
↓		
2025年度後半（予定）	道路土工構造物技術基準の改定	*新設・改築
	道路土工構造物技術基準・同解説の改定	*新設・改築
2025年度以降（予定）	関係指針（盛土工、擁壁工など）の改定	*新設・改築

30

次に、「壁式改良工法による道路を利用した傾斜地盤上の地盤流動対策」について、その発想の動機は、令和6年能登半島地震の際に、石川県内灘町などで顕在化した、地盤流動（側方流動とも言う。）である。

下記の **PPT31** は内灘町の液状化危険度マップの抜粋であるが、日本海と河北潟に挟まれた砂丘の背後（河北潟側）の傾斜地で発生した液状化により砂丘側から河北潟方向に地盤流動が発生し、広い地域で住宅などの被害が発生した。地盤流動は、隣接する金沢市、かほく市、さらに遠い新潟市でも発生した。

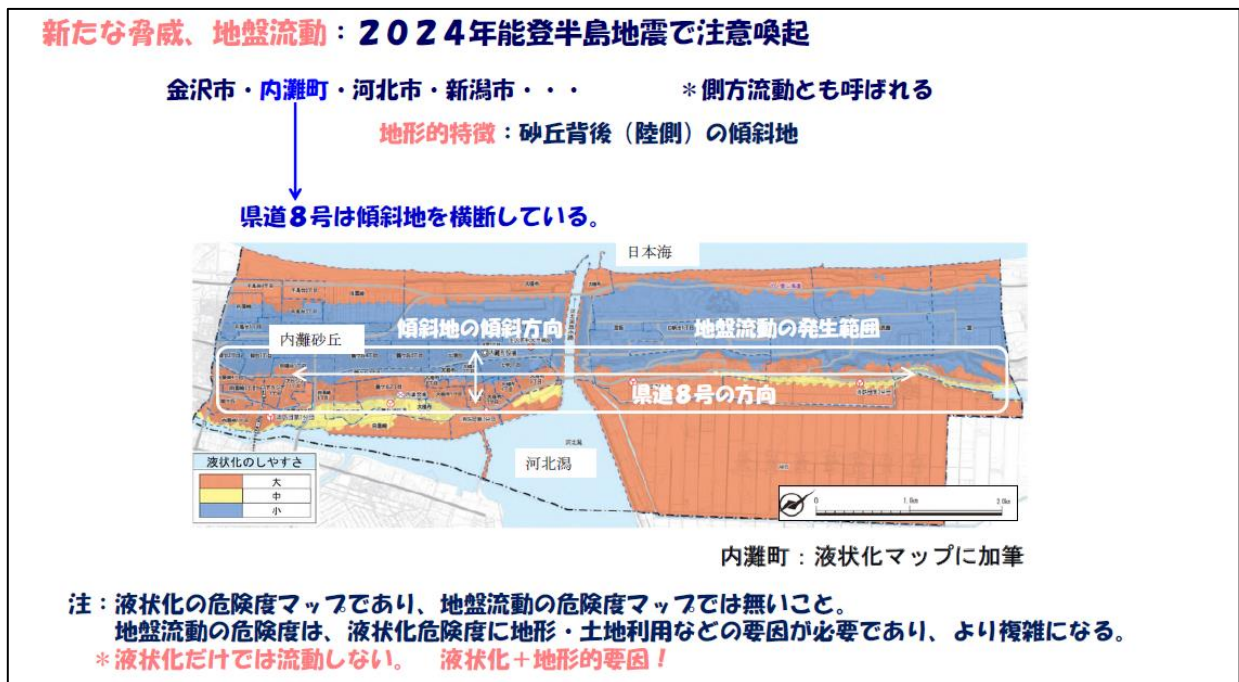
液状化に伴う地盤流動は、内灘町の液状化危険度マップの「液状化のしやすさ」が“大”あるいは“中”とされる地域で発生しているが、液状化しただけでは地盤流動は発生せず、傾斜地、河岸、沿岸などの地表面の傾斜や高低差がある地表面の状態、つまり、地形的な要因が加わって発生する。

ここで、液状化に起因する地盤流動は、最初にその存在が指摘された1983年日本海中部地震、その後に発生が確認された1964年新潟地震、道路橋の設計に反映される契機となった1995年阪神淡路大震災で発生していた。近年の2011年東北地方太平洋沖地震および2016年熊本地震でも発生しているが、限られた地域、場所での発生であったため、これまで地盤流動対策は特別には意識されていなかった。

そのような背景の中、上記のとおり、令和6年能登半島地震では広範囲かつ甚大な地盤流動が発生したため、傾斜地などの地盤流動を「新たな脅威」と認識することが必要である。

なお、今次の地盤流動に関して、技術的な先取りとしては「地盤流動の危険度マップの作成・整備」が想定できるが、それは液状化の危険度マップを基本として、地形・土地利用などの要因を考慮することになる。そして、評価要因が増えるため液状化マップよりも複雑になるため、地盤流動の危険度の評価方法に関する調査・検討が必要である。さらに、対象地域が限定的であるため、液状化マップと同様な作成・整備が進められるかは、行政的な判断を含めての課題であると思われる。

PPT31



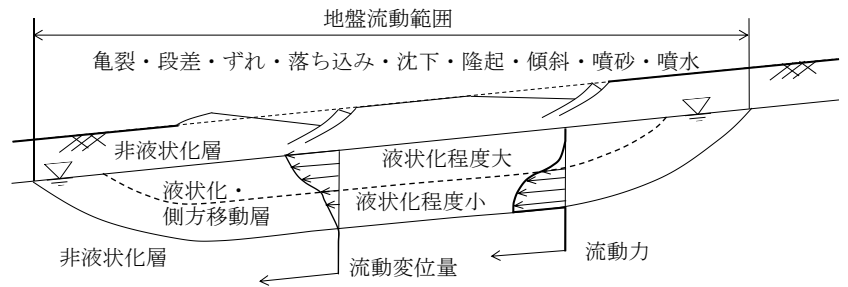
### 地盤流動の発生特性

次ページの **PPT32** は、令和6年能登半島地震の地盤流動の発生状況（内灘町）であるが、詳細は **文献 21)**、**22)**を参照されたい。ここで、現地調査から得られた地盤流動の特徴は、下記のとおりである。

地盤流動の発生は、地表面あるいは家屋などの構造物の変状、被害から想定できる。次ページの **PPT32**

の写真からも分かるとおり、地盤流動による地表面の変状は、**図-10**に示す、亀裂、段差、ずれ、落ち込み、沈下、隆起、傾斜などであり、噴砂、噴水は地表面で確認できる液状化の発生の証である。

なお、技術者は、現地調査の際、上記の変状を見落とさず、地表面あるいは構造物の変状から、液状化あるいは地盤流動の発生の有無を判別できることが必要である。特に、液状化は噴砂など、ピンポイントで発生するのに対して、地盤流動は広い範囲で発生するため、部分的な現象だけでなく、地域全体を俯瞰することが必要である。



**図-10** 液状化による傾斜地の地盤流動の発生機構の概念

さて、内灘町の現地調査 [文献 24] において、液状化・地盤流動の抑制要因の気づきがあり、広域的な地盤流動の発生の有無の比較に基づくと、地盤流動の抑制要因は下記の5つが想定できる。

- |                       |                            |
|-----------------------|----------------------------|
| (1) 県道 8 号の舗装・路床構造    | * 道路構造の人工地盤による液状化・地盤流動の抑制。 |
| (2) 建築物等の基礎構造の存在      | * 建築物の杭基礎などによる地盤流動の抑制。     |
| (3) 道路などの盛土構造の存在      | * 盛土の上載荷重による液状化・地盤流動の抑制。   |
| (4) 水路の護岸構造の存在        | * 護岸の矢板基礎などによる地盤流動の抑制。     |
| (5) 傾斜地上端付近の砂丘の隣接地盤構造 | * 地下水位が低い砂丘の影響による液状化の抑制。   |

上記の気づきは、現地では無被害にも着目するなど、日頃からの現象の観察力の醸成が必要である。

**文献 24)** 常田賢一・島 馨・土橋聖賢・小野田 敏：令和 6 年能登半島地震による液状化・地盤流動の現地調査からの知見—内灘町の地盤変状および住宅被害に基づく地盤流動特性および対策方法の考察—，地盤工学会誌，Vol.72，No.7，pp.43-46，2024.

PPT32

**地盤流動の発生特性：要件**

- ・液状化発生
- + 広域的発生
- ・傾斜地・不陸地形（護岸）

**変状から地盤流動が判別できる力！**

- \* 俯瞰的視野

矢印は概略の傾斜方向

**液状化・地盤流動の抑制要因がある！**

現地調査から、地盤流動を抑制する5要因。

- ① 県道8号の舗装・路床構造 → **ここに着目！**
- ② 建築物等の基礎構造
- ③ 道路などの盛土構造
- ④ 水路の護岸構造
- ⑤ 傾斜地上端付近の砂丘の隣接地盤構造

**\* 現地調査では、地域全体を見ること。**

**\* 被害の有・無を見ること。\* 観察眼、気付く力が必要。**

常田・島・土橋・小野田：令和6年能登半島地震による液状化・地盤流動の現地調査からの知見—内灘町の地盤変状および住宅被害に基づく地盤流動特性および対策方法の考察—，地盤工学会誌，Vol. 72，No. 7，pp. 43-46，2024

地盤流動対策を考えるに際して、現地調査で気づいた5つの抑制要因のうち、(1) 県道8号の舗装・路床構造に着目した。その理由は、内灘町を南北に縦貫する県道8号は、砂丘背後の傾斜地をほぼ横断しており、地盤流動の流動方向と直交しているが、次ページのPPT34のとおり、県道の山側と谷側の地盤流動状況を比較すると、地盤流動による変状、被害は県道8号の山側で顕著であるのに対して、谷側は軽微であったことから、県道8号が地盤流動を抑制していると想定したためである。

ここで、道路構造として人工的に構築される舗装（表層・基層・路盤）があるが、道路舗装の液状化特性について、下記のPPT33のとおり、2011年東北地方太平洋沖地震による浦安市の液状化被害および対策に関する報告書〔文献25〕を参照すると、下記の有益な知見が得られる。

『液状化による車道部の沈下などが、歩道部、宅地より小さく、その理由は(1)車道部の舗装の剛性は歩道部、宅地、地盤に比べて大きい、(2)車道部の舗装の透水性は歩道部、宅地地盤と比べて高いことによる。』  
ここで、浦安市の県道の車道の舗装構成例は、下記のPPT33のとおり、下記が記されている。

- (1) 表層・(中間層)・基層の層厚：150～200mm、路盤の層厚：750～950mm、舗装厚：900～1,150mm。
- (2) 路盤は再生粒調碎石、再生クラッシャーランで施工。

このように、路盤までの舗装は自然地盤ではない、1m程度の厚さがある人工的な改良地盤になるが、さらに、舗装の支持層の路床が改良（強度、透水性の向上）されると、改良地盤の規模は増加し強化される。

上記のように、道路の車道部は、路床を含めて自然地盤ではなく、周辺よりも剛性、透水性が高い改良地盤であり、周辺地盤（歩道含む）よりも相対的に液状化し難いことが特筆できる。

文献25) 浦安市：浦安市市街地液状化対策検討委員会，報告書，H28.9

PPT33

### 道路舗装の耐液状化の知見：2011年東北地方太平洋沖地震の浦安市の液状化被害から

【舞浜3丁目】宅地沈下

車道部の舗装構造は、宅地に比べて強固であり、宅地側の液状化が顕著となり、沈下が発生したと推察される。

**浦安市の県道の車道の舗装構成例（上図：県道）**

- ①表層・(中間層)・基層の層厚：150～200mm、路盤の層厚：750～950mm、舗装厚：900～1,150mm。
- ②路盤は再生粒調碎石、再生クラッシャーランで施工、周辺地盤より噴砂・噴水は発生し難かった。

道路の舗装：車道部は自然地盤でなく、改良地盤

**委員会報告からの有益な知見**

**舗装の特徴：**液状化による道路の沈下などが、歩道部、宅地より小さい（上図）

**理由：**(1) 車道部の舗装の剛性は、歩道部、宅地地盤に比べて大きい  
(2) 車道部の舗装（路盤、路床）の透水性は、歩道部、宅地地盤と比べて高い

**知見：**道路の舗装・車道部は、周辺よりも剛性、透水性が高い改良地盤であり、相対的に液状化し難い

浦安市：浦安市市街地液状化対策検討委員会，報告書，H28.9. 2016

上記のとおり、2011年東北地方太平洋沖地震の埋立て地の液状化被害について、液状化による沈下は道路（舗装）で抑制されている事実によれば、令和6年能登半島地震において、次ページのPPT34のとおり、県道8号が山側の地盤流動を抑制している事象からは、液状化の発生と同様に、地盤流動でも道路構造（剛性、透水など）が関係すると推察できる。

そのため、平坦部の舗装の下方を改良する「壁式改良工法」は、舗装と改良体が一体構造化されることにより、車道部の剛性はさらに高められ、地盤流動の一層の抑制に貢献できることになる【文献 26】。

上記から、2011年東北地方太平洋沖地震の液状化に関わる道路構造および令和6年能登半島地震の地盤流動の抑制に関わる道路構造に基づいて、**発想7：道路構造強化できる【壁式改良工法】は、傾斜地の地盤流動対策として活用できるのではないか！**・・・を想定したが、液状化による地盤流動対策として、道路の地下空間を利用すること、さらに道路構造を強化、排水性を保持することは、従来にはない先取りである。

文献 26) (一財) 土木研究センター 壁式改良工法研究会：フローティング型 壁式地盤改良パラウォール工法設計・施工マニュアル (改訂版), 技術資料 E-2, 2025.7

PPT34

**発想7：道路構造強化できる【壁式改良工法】は、傾斜地の地盤流動対策として活用できるのではないか！**



令和6年能登半島地震  
内灘町では傾斜地で地盤流動（側方流動）が発生

現場での気付き：県道8号が山側の地盤流動を抑制していると推定される。写真参照

↓

関連事項：2011年東北地方太平洋沖地震の埋立て地の液状化被害では、液状化による沈下は道路（舗装）で抑制されている。  
\*前ページ

↓

視点・先取り：液状化の影響の抑制および地盤流動の抑制を積極的に図れる、道路構造は、どうすればよいか？

↓

**【壁式改良工法】が使えるのでは！**

(一財) 土木研究センター 壁式改良工法研究会：フローティング型 壁式地盤改良パラウォール工法設計・施工マニュアル (改訂版), 技術資料E-2, 2025.7 (予定)

34

ここで、2011年東北地方太平洋沖地震の液状化被害を受けて、次ページのPPT35のとおり、国土交通省都市局は広域的かつ一般住宅を取り込んだ液状化対策事業を打ち出した。その具体的な工法は、【地下水位低下工法】および【格子状地下壁】が例示された。その後、2016年熊本地震の液状化対策でもこれらの2工法が基本的に検討されているが、【地下水位低下工法】の採用が多いのが実情である。

上記の液状化対策事業では、道路などの公共用地と民間用地を一体的に扱う点が新たな取り組みであるが、当初の工事費は行政負担であるものの、整備後の施設（排水ポンプなど）の維持管理費を住民負担とするか否かが懸案とされており、事業を円滑に進めるための解決すべき課題の一つになっている。

なお、上記の2工法は、あくまで例示とされ、他の工法を排除するものではないとされているが、検討の実績がある工法が採用され易いのが実情である。しかし、上記工法でも対象箇所での適用の妥当性は十分な検討が必要であり、また、上記の2工法以外の新技術・工法も利活用する姿勢が必要である。

ここで、上記2工法を地盤流動対策として適用する際の技術的課題は、上記2工法は平坦部で有効であるが、遮水矢板あるいは改良壁により地域あるいは地盤が仕切られるので、特に傾斜地で特有な地下水の流れは遮断されることになり、それらは適用できない。そのため、傾斜地における傾斜方向の地下水流を阻害しない【壁式改良工法】の有効性が指摘できる。

**参考工法**：2011年東北地方太平洋沖地震による平坦部の地域一体型：**全体最適の液状化対策として、【地下水位低下工法】【格子状地中壁】が例示され、導入。**

**課題**：これら2工法は、平坦部では有効であるが、傾斜地の地下水の流れを遮断、阻害するため、そのままでは適用出来ない。

↓

**先取り対応策**：地下水流を阻害しない**【壁式改良工法】**が有効。

「第1回 熊本市液状化対策技術検討委員会」  
**宅地液状化防止事業の実態と課題**

国土交通省 都市局  
 都市安全課 松下一樹  
 平成29年6月27日

**液状化被害を受けた宅地の復旧について** 国土交通省

**地下水位低下工法**

適している場所

- 地下水位が施工により下がっている状態にあること
- 不同沈下を引き起こす粘土層が厚く連続していないこと
- 傾斜地に道路があり、排水管を設置するスペースがあること

総事業費 国(1/2) 地方公共団体(1/2)

※維持管理費は、市の判断で個人負担額を徴収  
 ⇒市の負担や、4千円/年・戸(30年間)程度の徴収の事例あり

**格子状地中壁工法**

適している場所

- 街区全体の住民密度が高まること
- 敷地割が比較的整形であり、高低差が小さい街区
- 敷地割が大きすぎず、家屋の間隔が2m以上離れている

事業費 (道路部) 国(1/2) 地方公共団体(1/2)

事業費 (宅地部) 国(1/2) 地方公共団体(1/2)

さて、公共施設などの液状化対策は既に優先的に実施されてきているが、表-2 [文献 27) ] は2011年東北地方太平洋沖地震を契機とした「液状化対策推進事業」、「宅地液状化防止事業」による財政支援の下で、民地も対象として実施されている対策例を整理している。同表では、地盤変状を「液状化」および「液状化に伴う地盤流動」に区分したが、液状化対策では「地下水位低下工法（排水管方式）」が多い。他方、事例が少ない地盤流動対策は地盤改良工法が採用されているが、改良方法（構造形態、改良率など）で区分しており、香取市は「格子状地中壁方式」、熊本市は「接円方式」による河岸の地盤流動対策である。なお、内灘町について、表-2 では、次ページの PPT36 の【並列壁方式】を試案としている。

表-2 2011 東北地方太平洋沖地震以降の液状化および地盤流動の広域対策の事例：文献 27)

地盤変状	液状化		液状化に伴う地盤流動			
	平坦地		河川の近傍：高低差		傾斜地：高低差	
対策の目的	地下水位を低下させ、液状化の発生を抑制		地盤の変形を抑制	地盤流動を抑制	地盤流動を防止	地盤流動を抑制
工法名	地下水位低下工法 (排水管方式)	地下水位低下工法 (汲み上げ井戸方式)	地盤改良工法 (格子状地中壁方式)		地盤改良工法 (接円方式)	地盤改良工法 (並列壁方式)
併用工法	遮水鋼矢板	遮水鋼矢板	—	変形抑制鋼矢板	排水管・すべり防止鋼矢板	堤内ふとんかご工・暗渠排水工
施工実績	茨城県神栖市					石川県内灘町
	茨城県鹿嶋市	千葉県我孫子市 *委員会での検討のみ	千葉県浦安市 *地下水位低下法から変更	千葉県香取市	熊本県熊本市	
	千葉県千葉市					
	埼玉県久喜市		千葉県香取市			
	熊本県熊本市					
地震	2011年東北地方太平洋沖地震、2016年熊本地震				2016年熊本地震	2024年能登半島地震
備考	熊本市	熊本市	浦安市 香取市	香取市	熊本市	本文の試案

文献 27) 常田賢一・駒延勝広・土橋聖賢：傾斜地の地盤流動特性に基づく地盤流動対策の技術的検討—壁式改良工法の適用—, LRR1 技術資料, Vol.3, No.3, pp.1-34, 2025.7

## 傾斜地の地盤流動対策の試案

上記までの経緯、状況から、傾斜地の液状化に伴う広域的な地盤流動の発生特性および道路構造の地盤流動の抑制性に注目すると、例えば、内灘町のような地形、道路などの条件の場合、下記の **PPT36** の「壁式改良工法（並列壁方式）＋路床・路体の碎石置換＋暗渠排水」の試案が例示できる。

道路山側、道路本体および道路谷側ごとの対策の目的および技術・工法は下記のとおりであるが、排水ポンプ不要など、維持管理の永続的負担抑制のため、地の利である地下水の自然流下を基本とする。

- 1) 道路山側：道路などの公共空間を利用した地下水位低下により液状化層を低減し、非液状化層を増加する。なお、地下水位低下は管渠ではなく、碎石による暗渠排水とし、傾斜利用の自然排水とする。
- 2) 道路本体：傾斜地の液状化範囲を仕切る位置に道路を設置し、壁式改良工法による地盤強化により道路構造の仕切り性（本文 p.38：流動範囲水平長  $L$  を低減）を活用し、排水性を阻害しない。山側からの自然流下の地下水は路床の碎石置換（かご工など）により排水を促す。

＊内灘町の場合、県道 8 号の位置は確定しているが、市道を含めて対象にするは検討課題である。

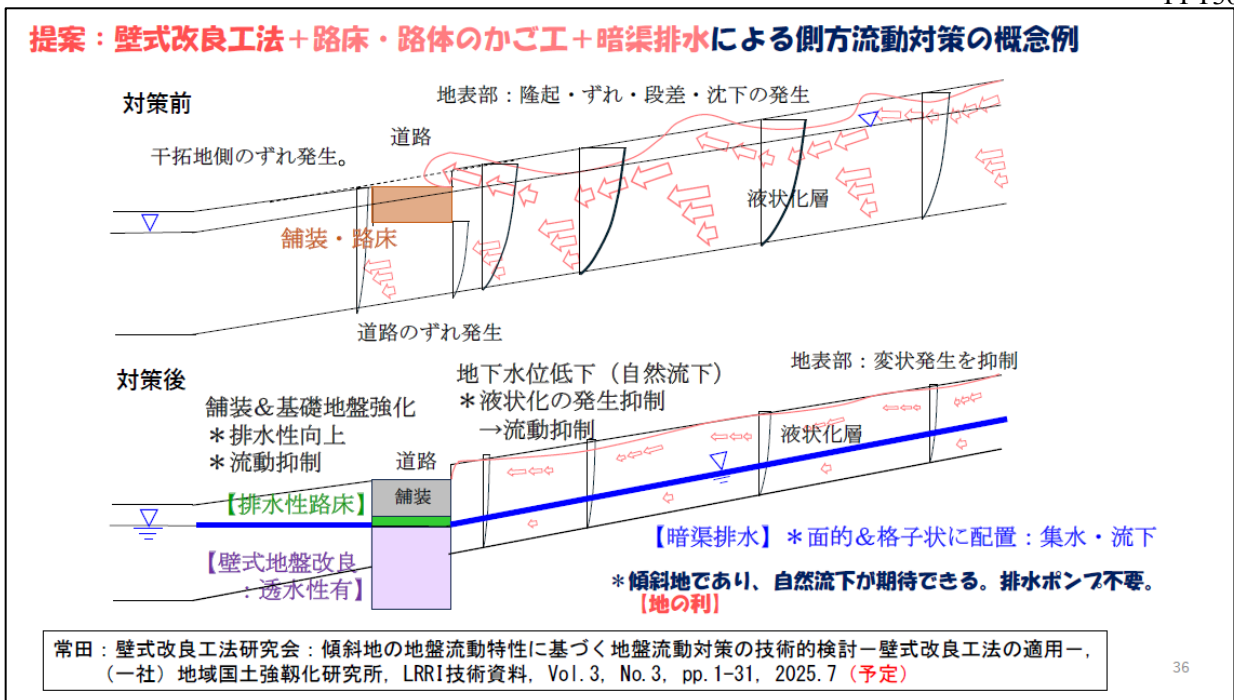
- 3) 道路谷側：山側から流下し、道路を通過する地下水を碎石による暗渠排水により末端の水部に自然流下する。＊内灘町の場合、河北潟の水位に合わせる。

なお、令和 6 年能登半島地震に対する地盤流動対策について、検討が具体化している金沢市の場合、【地下水位低下工法】が選定されており、地下水位を深度 3m まで低下させるための排水ポンプ、集水管網の整備が検討されている [文献 28]。同工法は、地下水位の低下により液状化を抑制し、併せて、液状化に起因する地盤流動変位の抑制を意図している。なお、集水管は  $\phi 300\text{mm}$  のポリプロピレン製であり、集水管の周辺地盤の地下水を管内に浸透させる構造であるが、浸透性能の長期持続性、排水ポンプの点検・維持・更新などの課題が想定できる。

なお、前ページの文献 27) では、山側からの地盤流動の作用を考慮した道路下の【壁式改良工法】の設計法と試算例を示している。

文献 28) 金沢市：金沢市被災地区復旧技術検討会議，議事資料，第 1，2，3 回および第 4 回（令和 7 年 2 月 14 日）

PPT36



## 液状化に起因する地盤流動に関する基礎知識

液状化により発生する地盤流動を考える場合、技術的な基礎知識が必要である。

ここでは、地盤流動の発生特性、地盤流動量の簡易予測法および液状化による諸現象の視点と姿勢について、3つの基礎知識を示す。

### 【基本知識 1】液状化による傾斜地の地盤流動の発生特性（流動変位と流動力）の特徴

地盤流動と液状化の発生特性の差異について、下記の **PPT37** のとおり、以下の特性（知見）がある。

【特性 1】地盤流動の影響には流動変位量と流動力があるが、両者は液状化の程度（ $F_L$  値）により相反する関係がある。つまり、液状化が進行する、つまり、液状化に対する抵抗率（ $F_L$  値）が増加すると、流動変位量は増加し、逆に流動力は減少する。

【特性 2】地盤流動はある過剰間隙水圧比以下では発生せず、液状化がある程度進行してから流動を始める。つまり、液状化の発生程度、過剰間隙水圧比を抑制すると流動が抑止できる。ここで、「ある程度」とは、例えば「過剰間隙水圧比 0.6~0.8」である [文献 27] 参照。

### 【基本知識 2 - 1】地盤流動量の簡易予測方法 (1) \* 下記の **PPT37**

現在でもよく引用されるのは、濱田・安田・磯山・恵本（1986） [文献 29] ] による永久変位量：流動変位量（ $D$ ）の経験的な算定式である。

$$D=0.75\sqrt{H^3\theta} \quad (1)$$

ここに、 $H$ ：液状化層厚（m）、 $\theta$ ：地表面あるいは液状化層下面のうちの最大勾配（%）

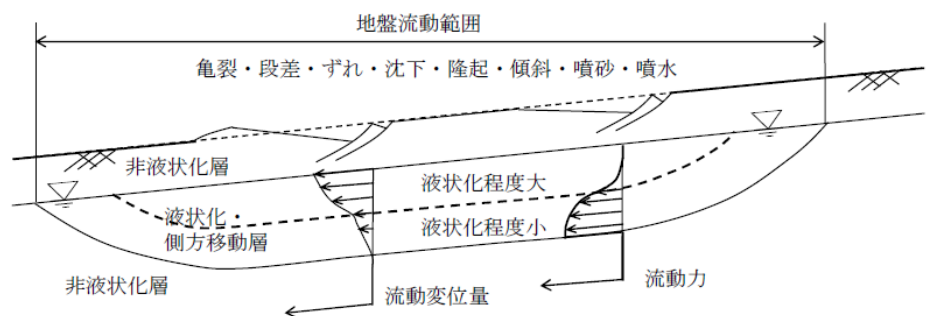
式 (1) の特徴は、2 つの要因だけで最大変位量が算定できる点であるが、他の要因は除外されていること、流動方向の流動変位量の分布は考慮していないことを理解して、使用することが必要である。

なお、式 (1) は、1983 年日本海中部地震により発生した地盤流動に基づいて提案された。

文献 29) 濱田政則・安田 進・磯山龍二・恵本克利：液状化による地盤の永久変位の測定と考察，土木学会論文集，N0.376 /III-6, pp.211-220, 1986.

PPT37

### 基本知識 1] 液状化による傾斜地の地盤流動の発生特性（流動変位と流動力）の概念



【知見】①流動変位量と流動力は、液状化の程度（ $F_L$  値）により相反する特性があること。  
②地盤流動は、ある過剰間隙水圧比以下では発生しない。→対策は、ある水圧比以下に抑制すればよい。

### 【基本知識 2 - 1】地盤流動量の予測方法 (1) 現在でもよく引用されるが、特徴を理解すること

濱田・安田 進・磯山・恵本（1986）による永久変位量：流動変位量の算定式

$$D=0.75\sqrt{H^3\theta} \quad (1)$$

液状化層厚（ $H$ ：m） 地表面あるいは液状化層下面のうちの最大勾配（ $\theta$ ：%）

【特徴】① 2 要因 ② 最大変位量

濱田政則・安田 進・磯山龍二・恵本克利：液状化による地盤の永久変位の測定と考察，土木学会論文集，N0. 376 /III-6, pp. 211-220, 1986.

37

【基本知識 2 - 2】地盤流動量の簡易予測方法 (2) \* 下記の PPT38

1990 年代当初に、東・常田・松本・東畑 (1992) [本文 p.40、文献 30] が提案していた流動変位量の簡易算定式 (2)~(5) である。今日まであまり注目されてきていないが、下記のとおり、前ページの式 (1) よりも多く (4 つ) の影響要因が考慮でき、流動変位量の分布に基づくことが特徴である。

[L=10~100m の場合]

流動範囲の中央  $D=1.73 \times 10^{-5} \cdot L^{1.94} \cdot H_L^{0.298} \cdot H_{NL}^{-0.275} \cdot \theta_S^{0.963}$  (2)

流動範囲の上端  $D=2.07 \times 10^{-5} \cdot L^{1.64} \cdot H_L^{0.295} \cdot H_{NL}^{-0.276} \cdot \theta_S^{0.978}$  (3)

[L=100~1,000m の場合]

流動範囲の中央  $D=1.29 \times 10^{-5} \cdot L^{1.99} \cdot H_L^{0.280} \cdot H_{NL}^{-0.243} \cdot \theta_S^{0.995}$  (4)

流動範囲の上端  $D=1.70 \times 10^{-5} \cdot L^{1.99} \cdot H_L^{0.278} \cdot H_{NL}^{-0.242} \cdot \theta_S^{0.995}$  (5)

ここに、 $D$  : 地表面の流動変位量 (m)、 $L$  : 流動範囲水平長 (m)、 $H_L$  : 液状化層厚 (m)

$H_{NL}$  : 表層の非液状化層厚 (m)、 $\theta_S$  : 地表面の勾配 (%)

式 (2) ~ (5) の特徴は、液状化の範囲の規模  $L$  と表層の非液状化層の層厚  $H_{NL}$  も考慮した 4 要因により、流動範囲の中央あるいは上端 (最大) の変位量が算定できることである。

なお、式 (1) と式 (2)~(5) による地盤流動方向の流動変位量の分布のモデルは、下記の PPT38 の図に示すとおり、式 (1) は式 (2)~(5) よりも大きく算定される傾向がある。

ここで、重要なことは、地盤流動対策である「流動変位量の抑制」のためには何をすれば良いかが、式 (2)~(5) から想定できることである。つまり、これらの式では 4 つの要因は「べき数」により影響の増減 (±) と程度 (数値の大小) が表現されている。そのため、算定式に基づく流動変位量の抑制方法は、下記の 4 方法が想定できる。なお、下記のとおり、方法 1~方法 3 が現実的である。

方法 1 : 流動範囲水平長  $L$  を低減する [べき数+2 程度]。

べき数が他の要因より大きいので、流動範囲を短縮する効果は大きい。

\* 本文 p.33 の内灘町の県道 8 号は、傾斜地の流動範囲を仕切る効果がある。

方法 2 : 液状化層厚  $H_L$  を低減する。 [べき数+0.3 程度]

べき数によると、 $L$ 、 $\theta_S$  より効果は小さく、方法 3 とほぼ同程度である。

\* 地下水位の低下は、方法 2 と方法 3 が連動しており、相乗効果がある。

方法 3 : 表層の非液状化層厚  $H_{NL}$  を増加する。 [べき数-0.3 程度]

\* 地下水位の低下により実現できる。

PPT38

**【基本知識 2 - 2】地盤流動量の予測方法 (2)** 1990年代当初での先取り：注目されてきていない

東・常田・松本・東畑 (1992) による流動変位量算定式

【特徴】 ① 4 要因    ② 上端最大・下端ゼロの変位分布

[L=10~100m の場合]

流動範囲の中央  $D=1.73 \times 10^{-5} \cdot L^{1.94} \cdot H_L^{0.298} \cdot H_{NL}^{-0.275} \cdot \theta_S^{0.963}$  (2)

流動範囲の上端  $D=2.07 \times 10^{-5} \cdot L^{1.64} \cdot H_L^{0.295} \cdot H_{NL}^{-0.276} \cdot \theta_S^{0.978}$  (3)

[L=100~1,000m の場合]

流動範囲の中央  $D=1.29 \times 10^{-5} \cdot L^{1.99} \cdot H_L^{0.280} \cdot H_{NL}^{-0.243} \cdot \theta_S^{0.995}$  (4)

流動範囲の上端  $D=1.70 \times 10^{-5} \cdot L^{1.99} \cdot H_L^{0.278} \cdot H_{NL}^{-0.242} \cdot \theta_S^{0.995}$  (5)

ここに、 $D$  : 地表面の流動変位量 (m)  
 $L$  : 流動範囲水平長 (m)     $H_L$  : 液状化層厚 (m)  
 $H_{NL}$  : 表層の非液状化層厚 (m)     $\theta_S$  : 地表面の勾配 (%)

東 拓生・常田賢一・松本秀應・東畑郁生：液状化による地盤流動量の簡易予測，  
土木学会年次学術講演会，講演概要集，第3部，47巻，pp.262-263，1992.

方法4：地表面の勾配  $\theta_s$  を低減する。 [べき数+1 程度]

\*地下水位低下より効果があるが、広域的な地形修正は難しい。なお、造成当初では可能。

なお、式 (2)~(5)を導出した、数値解析方法：ポテンシャルエネルギー最小化理論（東畑郁生：東京大学名誉教授）による地盤流動変位量の計算値と1983年日本海中部地震での実測値の比較例によれば、傾斜地方向の流動変位の分布形状および変位量の再現性が高く [文献 30]、2024年能登半島地震の地盤流動の発生斜面の計測事例においても整合の妥当性が例示されている [本文 p.34、文献 24]。

**【基本知識 3】液状化の発生程度による挙動・規模の差異を知ること**

下記の PPT39 の概念図は、液状化の発生程度の進行、言い換えると、過剰間隙水圧比 (0.0~1.0) の増加により、支持力の低減、浮力の上昇、流動変位の増加、流動力の低減 [文献 31] など、影響を受ける構造物の応答・挙動の規模に及ぼす影響が異なることを示す。つまり、

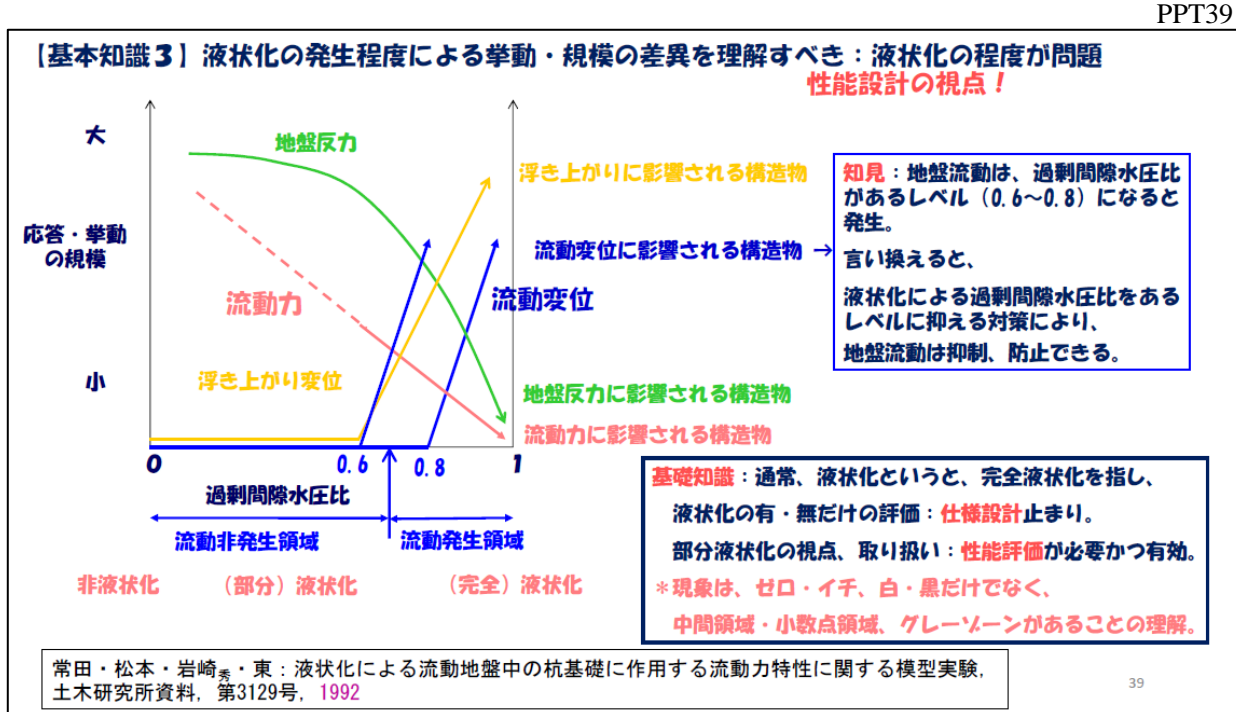
- (1) 液状化、地盤流動の影響は、液状化の発生程度により変わること。
- (2) 構造物ごとに液状化、地盤流動の影響の視点、評価が異なること。

を知っておくことが重要である。

さて、液状化については、「液状化=完全液状化状態：過剰間隙水圧比 1.0」、「非液状化=液状化していない状態=過剰間隙水圧比 0.0」が一般的認識であるが、実際の液状化現象は下記の PPT39 のとおり、「不完全液状化状態：0 < 過剰間隙水圧比 < 1.0」があることの認識が必要である。

つまり、「非液状化」、「液状化」とする液状化現象に限らず、「ゼロ」、「イチ」あるいは「白」、「黒」の両極だけで考えるのではなく、「中間領域」、「小数点以下」、「グレーゾーン」の視点が重要であり、それにより固定観念の仕様設計から性能設計に臨める柔軟な視野・思考が可能になる。

なお、技術者の思考、姿勢も同様であり、ゼロ・イチでない多様性、柔軟性が必要である。



文献 30) 東 拓生・常田賢一・松本秀應・東畑郁生：液状化による地盤流動量の簡易予測，土木学会年次学術講演会，講演概要集，第3部，47巻，pp.262-263，1992。

文献 31) 常田・松本・岩崎<sup>秀</sup>・東：液状化による流動地盤中の杭基礎に作用する流動力特性に関する模型実験，土木研究所資料，第3129号，1992。

## 5. 多段かご工による堤防の越流水減勢技術

近年、2015年9月関東・東北豪雨による鬼怒川、2019年10月台風第19号による千曲川などでは、洪水の越流による堤防の破堤が頻発し、広域にわたる浸水により甚大な被害が発生したため、越流破堤に対する取り組み、対策が課題になっている【文献32】。

国土交通省は、令和2（2020）年2月に「令和元年台風第19号の被災を踏まえた河川堤防に関する技術検討会」、令和4（2022）年5月に「河川堤防の強化に関する技術検討会」を設置し、今後の本格的な河川堤防の強化対策の実施に向けた検討につなげるため、越水に対して減災効果を発揮する「粘り強い河川堤防」の技術開発など、積極的な技術的検討を実施している。

そして、越水に対して「粘り強い河川堤防」の技術は、現時点では強化対策の効果や幅に不確実性があるため、現段階で必要となる性能を評価し設計できる段階に至っていないことから、「粘り強い河川堤防」のための工法の公募、パイロット施工や大型の水理模型実験等による確認を行いながら、対策工法の検証を行い、技術開発を進める、また、対策工法の評価を踏まえて、本格的な河川堤防の強化対策の実施に向けた検討につなげる・・・としている。

下記のPPT40のとおり、当初は鬼怒川の越流破堤に対する「危機管理型ハード対策としての粘り強い堤防」が謳われたが、その後、千曲川などの越流破堤を受けて「危機管理型ハード対策を上回る粘り強い堤防」へと要求レベルが高められた。そのため、当初は「堤防天端の保護」と「堤防裏法尻の保護」が必要とされたが、その後「裏法面の保護」を含めた、堤防の全体系に対する粘り強さが要求されるようになった。

文献32) 常田賢一：河川堤防の洪水時の破堤特性、性能評価および対策—今後の展望—，LRRRI 技術資料，Vol.2，No.1，pp.1-51，2024.3

PPT40

### 5. 多段ふとんかごによる堤防の越流水減勢技術

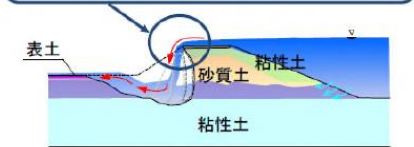
**目的・効用：危機管理型ハード対策を上回る粘り強い堤防  
堤防の裏法尻・法先の侵食防止&堤内地への影響低減**

**発想8：越流水の法尻での減勢には、ふとんかごの【多段構造】が有効ではないか？**

**2015年関東・東北豪雨：鬼怒川の越流破堤**  
→「危機管理型ハード対策」による粘り強い堤防  
**天端の保護＋裏法尻の保護** \*法面は対象外

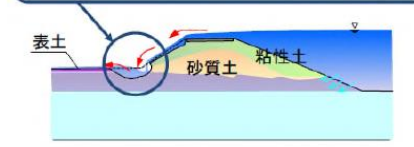
堤防天端の保護

○ 堤防天端をアスファルト舗装等で保護し、法肩部の崩壊の進行を遅らせることにより、決壊までの時間を少しでも延ばす



堤防裏法尻の補強

○ 裏法尻をブロック等で補強し、深掘れの進行を遅らせることにより、決壊までの時間を少しでも延ばす



40

本章は、堤防の全体構造のうちの「堤防裏法尻の保護」を実現する技術・工法に着目しているが、**発想8：越流水の法尻での減勢には、ふとんかごの【多段構造】が有効ではないか！**・・・と想定し、「多段ふとんかご」（以下、「多段かご工」。）を先取りしてきている。その主旨は、これまで堤防の裏法尻ではドレーン工が技術的に公認されており、碎石層を設けて排水性の向上が図られてきているが、越流水に対し

て碎石層は脆弱なため、構造的に形状が保持できる碎石を詰めたふとんかごを多段に積み、排水と越流水の緩衝を実現することである。

さて、国土交通省の事務連絡（平成 28 年 3 月）[「危機管理型ハード対策」の施工について]による「裏法尻の保護」は、下記の **PPT41** のとおり、コンクリートブロックの敷設が基本であり、条件によっては併記された「かごマット」も可能とされた。しかし、導入の実態は、コンクリートブロックの採用がほとんどであり、裏法面の勾配に合わせた、矩形ではない形状のかごマットの採用は皆無であった。

PPT41

**裏法尻の保護の実態**      **国土交通省の事務連絡は、下記の3構造**

**かごマット**  
補強材:かごマット

**植生の繁茂！  
管理上の不具合・施工の不良？**

\* コンクリートブロックやかごマット等による被覆としているが、ブロックの採用がほとんど。  
\* **かごマット**の構造は、法面形状に合わせたイメージ図になっているが、採用は皆無。

41

次ページの **PPT42** は、上記の「かごマット」とは形状が異なるが、事務連絡では規定されていないことから、先取り構造とした「多段かご工」の提案である。「多段かご工」の構造的な特徴、優位性は、

- ① 法尻での排水性が高い
- ② 越流水の法尻での流速低減が大きい
- ③ 越流水（流速）による民地への影響を低減する
- ④ 施工性が良好（矩形・溶接金網）である
- ⑤ 小口部はかごを奥に入ると粘り強さ（侵食時間を延ばす）が向上する
- ⑥ 常時および洪水時に堤内排水（堤内水位の低下）ができる

など、多種多様である。

他方、コンクリートブロックはブロック上端の侵食性、法尻の排水性、法尻の流速の低減、目地部の施工性・維持管理（上記の **PPT41**）など、また、かごマットは施工性、小口の耐侵食性などが懸念される。

特に、越流水に対して、ブロック、かごマットの上端が侵食の弱部になるので注意が必要である。また、「多段かご工」のかご枠には、従来から一般的な菱形金網のほか、新たな溶接金網があり、後者は本文 p.27 において道路盛土への適用に関して技術審査証明済みの素材があることを例示したが、堤防への適用の事例（例えば、本文 p.45 の【事例 1】）もあり、菱形金網の特徴を活かした利活用が望まれる。

新たな視点：多段ふとんかごの提案

	国交省の事務連絡	提案構造：先取り構造	
概要案			
補強効果	・越流時の法尻洗掘抑制 * ブロックの安定性	・越流時の法尻洗掘抑制 ・堤内排水 ・法尻流速の減勢 (小)	・越流時の法尻洗掘抑制 ・堤内排水 ・法尻流速の減勢 (大)
施工性	・容易 A日程度/10m	・やや難 B日程度/10m	・やや容易 C日程度/10m
経済性	D千円/10m 程度	E千円/10m 程度	F千円/10m 程度

**多段かごの優位性**

- ①のり尻の排水性高い
- ②のり尻の流速低減大きい  
→民地への影響低減
- ③施工性良好 (矩形・溶接金網)
- ④小口部は、かごを奥に入れると粘り強さ(侵食時間を延ばす)が向上
- ⑤常時でも排水(洪水前の堤内水位の低下)など。

\*法尻の排水性?  
\*のり尻の流速低減?  
\*施工性：かご形状による組立て・詰めが難?  
\*小口の耐侵食性?

(注1) ブロック上端と堤体：境界部(小口)は弱部 → 侵食のトリガー  
(注2) 従来の蛇籠：菱形金網 と 新たなかご：溶接金網：技術審査証明済み/土木研究センター

42

「多段かご工」の提案のエビデンス検証

提案した「多段かご工」の妥当性は、下記の PPT43 の室内小型模型実験 [文献 33)、34) ] により検証した。同実験からは相似率による実物での定量的効果の検証はできないが、下記の相対評価は可能である。

- (1) 侵食抑制対策の効果の有無、さらに対策構造間の相対的な効果の差異、優劣の確認。
- (2) 「多段かご工」の法尻侵食の抑制、さらに堤内地側における越流水の流速低減の確認。

文献 33) 跡治志由大・常田賢一・植田裕也・小柿裕治・大橋 響：かご工による堤防の越流対策に関する実験的研究, Kansai Geo-Symposium2016, No.7-4, 2016.11

文献 34) 常田賢一：2015 年 9 月関東・東北豪雨による鬼怒川の越流破堤要因および模型実験による粘り強い堤防構造の検討, 平成 28 年度近畿地方整備局研究発表会, 防災・保全部門, No.13, 2016.6

PPT43

エビデンス検証：「多段かご工」の提案と、室内小型模型実験による検証

小型実験模型

かご工模型

単位(mm)

かご工：無

単位(mm)

かご工：1段

単位(mm)

かご工：2段

実物の定量的な効果の検証はできないが、

- (1) 侵食抑制対策の効果の有無、さらに対策構造間の相対的な効果の差異、優劣の確認は可能。
- (2) 「多段かご工」ののり尻侵食の抑制、さらに堤内地側に対する流速低減効果を検証。

跡治志由大・常田賢一・植田裕也・小柿裕治・大橋 響：かご工による堤防の越流対策に関する実験的研究, Kansai Geo-Symposium2016, No. 7-4, 2016.11

43

## 「多段かご工」の法尻補強—実施例— \*下記の PPT44

「多段かご工」は、近畿地方整備局研究発表会〔文献 34〕で発信したが、2016 年度に淀川河川事務所の宇治川において、下記の PPT44 の写真のように「かごマット工」の端部に施工された。「多段かご工」の階段状の流水減勢は明白であるが、整備局の理解は得られたものの、国土技術政策総合研究所の理解は得られなかった。そのため、当時は「越流対策としての多段かご工」の理解を得ることが懸案であった。

PPT44



## 最近の変化：堤防法尻の越流水減勢の「多段かご工」の適用

「危機管理型ハード対策を超える粘り強い堤防」の意識が普及しつつある中で、「多段かご工」の事例が見られるようになってきている。【事例 1】は前述の事務連絡（本文 p.43）に明記されているが、適用事例が皆無である「かごマット」である。また、【事例 2】は越流水の緩衝および侵食に対する粘り強さがある斬新な「多段かご工」である。さらに、【事例 3】は法尻補強工としても有効な「多段積型かご工」である。

### 【事例 1】 関東地方整備局 常陸河川国道事務所：那珂川

令和元年の台風第 19 号による洪水で浸水した那珂川の上流 61km 付近の右岸である。当該堤防では越流はしていないが、上流側からの浸水により堤内地が滞水した場所である。次ページの写真-2 のとおり、洪水時、堤防の裏法尻には、事務連絡の「かごマット」が設置済みであった。

事務連絡による「かごマット」の設置例が少ないので補足すると、次ページの図-11 は「かご工」と呼ばれる「かごマット」の断面図であり、構造の主な特徴と留意点は、下記のとおりである〔文献 35〕参照〕。

- 1) かご工はそれ自体排水機能があるので、堤体からの排水処理が必要な場合は側溝などを設置する。
- 2) かご工と法面の境界に設ける「斜め小口」として、三角形に割栗石の砕石層を設置しているが、境界部の構造の連続性、一体性の確保のためには、コンクリート製の小口よりも妥当である。
- 3) 鉄線かごは、表面と下面がひし形金網、縦の仕切り部は溶接金網であるが、ひし形金網の仕切り網は自立しないので、施工性に難があり、自立する溶接金網が妥当である。法面部の金網は矩形ではない斜め形状であり、金網の製作、砕石の敷設などについて、コストと施工性に課題がある。
- 4) かご工は覆土されていないが、今次の浸水でも砕石内に泥土が堆積しており、植生の活着が期待できるので、当初からの覆土も考えられる。その場合、土留めが必要になる（次ページ【事例 2】参照）。

文献 35) 鳥居謙一・常田賢一：新材料等を用いた越水に対する盛土強化工法研究会の設立と活動，土木技術資料，土木研究センター・ニュース，Vol.64，No.1，2022.



写真-2 「かごマット」の設置状況：2020.3

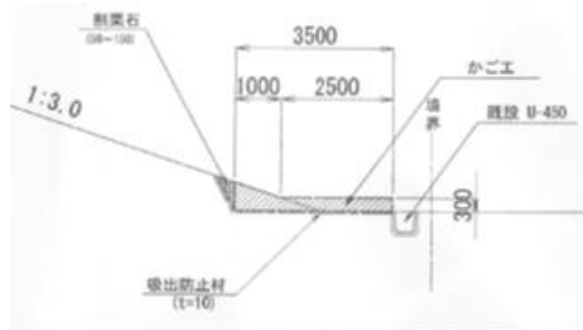


図-11 かご工の断面図（抜粋）：常陸河川国道事務所提供

【参考】写真-3は、越流により裏法面に敷設されていたブロックが捲れ上がっている堤防の被害事例（右側が天端）である。事務連絡によるブロックよりも小型の接続ブロックが敷設されていたが、ブロック上端から侵食している。裏法面とブロックの境界は弱部であり、侵食のトリガーになることを示唆する。



写真-3 接続ブロックの捲れ上がり例

【事例2】A 地方整備局 B 河川事務所：共和ハーモテック（株）の提供（抜粋）

ドレーン工とされる3段積み・2ステップのふとんかご（高さ0.5m）は、最上面のステップ幅0.5m、最上段と2段目のかごの間のステップ幅1.0mであり、法面勾配（1：2.1）では要求性能の天端の“越流深30cm”（本文 p.49 参照）の緩衝は十分に期待できる（図-12、図-13）。かごの奥行き長が6、7mあるので、常時、洪水時の排水性が高く、野芝種子吹付工の下端に小口が無くとも、裏法面の侵食に対して相当な余裕（侵食代）：粘り強さがある好例である。さらに、【事例3】と同様に、最上面の覆土：衣土（ $t=0.3m$ ）の植生の活着による吸出し防止材との一体性が創出され、境界部での流下水の誘導、侵食防止が想定できる。

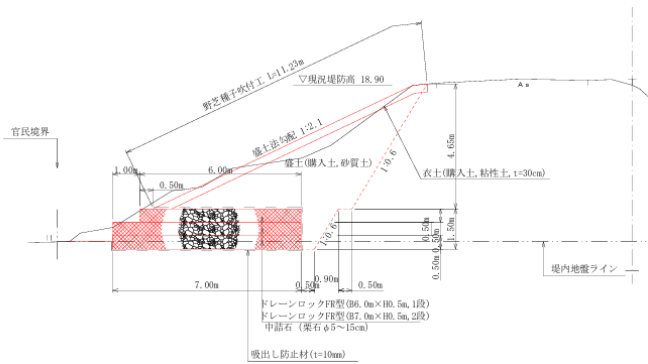


図-12 川裏側の堤防断面（抜粋）

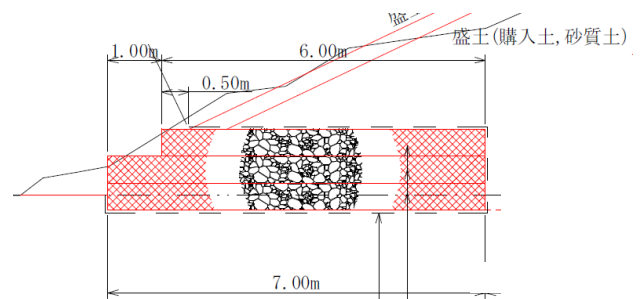


図-13 ふとんかごの構造：図-12の拡大



写真-4 ふとんかごの設置状況



写真-5 壁面材の設置状況

なお、前ページの**写真-4**はかごだけの設置、**写真-5**はかご前面に壁面材および排水側溝の設置の例であるが、後者の場合、**【事例1】**で言及した、かごの上面に吸出し防止材を敷設すると覆土が可能になる。

**【事例3】**茨城県：藤井川 \*現地調査（2026.3）および茨城県河川課、水戸土木事務所の協力による令和元年の台風第19号により、那珂川の支川の藤井川左岸で越流破堤が発生した。下記の**写真-6**は応急復旧の状況であり、**写真-7**は本復旧された状況である。当堤防の本復旧では、本文 p.42 の「危機管理型ハード対策」による法尻補強のための工法として、裏法尻にふとんかご（かご工と呼ぶ。）が多段で設置されている。土地利用（官民境界）などの地域事情により、ブロックではなく「かご工」が使用された点が特徴であるが、技術的にも有効かつ有益な事例である。



写真-6 応急復旧の状況 202003



写真-7 本復旧後の現在の状況：202603

下記の**図-14**は堤防断面、**図-15**は法尻補強工であるが、当堤防では下記の技術的対応が特筆できる。

- 1) 危機管理型ハード対策の「堤防天端の保護」および「堤防裏法尻の補強」が実施されており、特に「堤防裏法尻の補強」では「かご工：多段積型」が採用されていること。次ページの**写真-8**参照。  
\*「堤防天端の保護」は、一般的な舗装と法肩ブロックによる保護が行われ、「堤防裏法尻の補強」は一般的なブロックではなく、下記の2)の理由により、有効な「かご工」が採用されている。
- 2) 地域的事情である堤防の官民境界の制約に対応できる、急勾配構造のかご工が適用されていること。  
\*法勾配（1：2）では官民境界に抵触するため、急勾配（1：0.5）が可能なかご工を採用している。
- 3) かご工は4段積み・ステップ4面の構造で、かごの奥行き長1.0m、ステップ長は最上面が1.0m、その他が0.25mであること。  
\*堤防の法勾配が1：2であること、越流水は流下による流速増加により水深が減じることから、かご工の最上面においては、要求性能の天端の“越流深30cm”（本文 p.49 参照）の越流水に対して、ステップ幅1.0m（後述では、吸出し防止材の被覆により0.7m程度）による緩衝効果が期待できる。ここで、かご工の緩衝効果は、①かご工上面の衝突、②かご内部の碎石間の通水、③かごによる跳水とかご内部の通水の相互干渉などによるエネルギーロスであり、法先、さらに堤内地における越流水の流速の低下、抑制である。その結果、法先地盤の侵食、破堤は防止され、家屋などの被害は低減される。

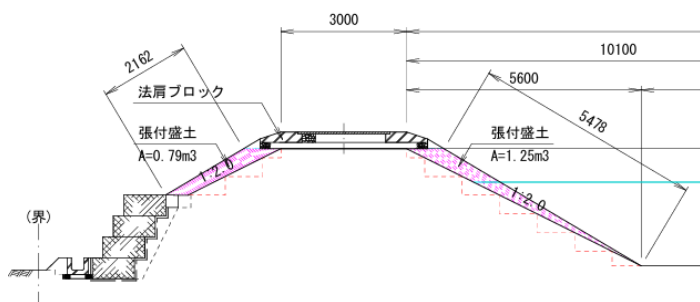


図-14 本復旧の堤防断面（抜粋）：茨城県の提供

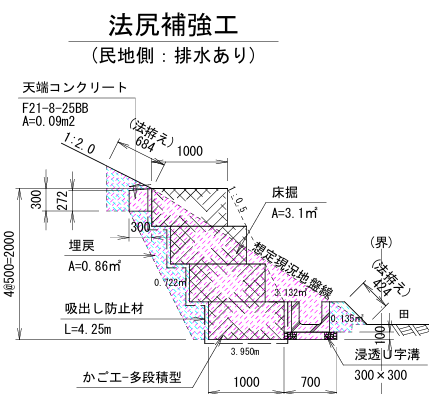


図-15 法尻補強工：同上

写真-8 かご工の設置状況  
2026.3



写真-9 かご工の天端の状況  
\*幅 1.0mのうち、約 0.3mが吸出し防止材の巻込みにより被覆され、約 0.7mが露出しているが、植生の活着が見られる。  
2026.3

4) 法尻補強工の細部構造の特徴は、下記が特記できる。

- (4-1) ドレーン工（高さ 0.5m）と比べ、かご工 4 段（同 2m）は常時、洪水時の堤内排水の効果が大きい。
- (4-2) かご工に巻く吸出し防止材の敷設では、侵食の弱部となる最上段のかご工と裏法面との境界部の連続性に注意が必要である。なお、現地調査では上記の**写真-9**の気づきがあった。つまり、天端コンクリートで抑えられ、巻込まれた吸出し防止材は活着する植生とともども流下水を誘導し、さらに、法面と「法拵え（のりごしらえ）」の植生（芝など）との連続性が形成、保持され、法面とかご工の弱部が植生被覆されて侵食防止になる。このような流下方向への吸出し防止材の巻込みが有効である。

### 危機管理型ハード対策を上回る粘り強い河川堤防へと要求水準が高まる

2019 年台風第 19 号の千曲川などの越流破堤後、「危機管理型ハード対策を上回る粘り強い河川堤防」の整備に変化し、国土交通省の要求は「堤防全体系：天端+裏法+裏法尻」の防護である。そのため、下記の**PPT45**のとおり、天端、法面、法尻などの「部位・部材構造最適」ではなく、要素技術をパッケージ化し、堤防の全体系の「全体構造最適」[文献 3)] が実現できる技術・工法であることが必須要件である。

言い換えると、従来の要素技術だけの技術提案では要求を満足できず、要素技術を組合わせた総合技術が要求されるように変化したことの認識（頭の切り替え）が必要である。

文献 3) [再掲] 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への展開—，（一社）地域国土強靱化研究所，販売：東京官書普及（株），330p., 2023.

PPT45

**鬼怒川以降も、越流破堤が頻発！**  
**2019年台風第19号：千曲川などの越流破堤**

→ **危機管理型ハード対策を上回る粘り強い河川堤防の要求へ**  
**堤防全体系：天端+裏法+裏法尻の防護**  
→ **要素技術のパッケージ化：全体最適化が要求要件に！**

\*従来の部位ごとの要素技術だけでは、要求に応えられない。  
→ 堤防全体を俯瞰し、**複合構造化**、そのための連携、**全体最適化**が必要に。

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への展開—，（一社）地域国土強靱化研究所，販売：東京官書普及（株），330p., 2023.

## 新たな政策：越水に対する要求性能を満足する堤防

従来、下記のPPT46のとおり、「河川砂防技術基準 設計編」（令和元年7月改定）による堤防の要求性能は、「堤防に求められる基本的な性能」、「設計に反映すべき性能」、「設計に当たって考慮すべき事項」の3点であったが、新たに「越水に対する性能」が追加され、越水した場合でも決壊までの時間を少しでも長くする粘り強い性能が要求されることになった（令和4年5月）。そして、同要求性能は「越流水深30cm+越流時間3時間」と規定されたが、要求性能を定量的な評価基準として設定したのは画期的であり、特筆できる。

言い換えると、道路盛土と同様な構造特性（長大など）、地質・土質の不確実性がある堤防は、2015年関東・東北豪雨による鬼怒川の破堤を契機とし、その後の2019年台風第19号の千曲川などの破堤に対して、従来は全く想定していなかった「越流破堤」による災害の重大性を認識するとともに、短期間（概ね、2015～2022年）に精力的な取組みに努めており、その結果、堤防の越流に対する性能設計（要求性能の定量化）は道路土工構造物に先んじることになった。今後、堤防と同様な特異性を持つ道路土工構造物においても、堤防に見倣い、遅滞なく、「性能規定の具体化」に努めることが必要である。

上記の4つの要求性能を満足する「危機管理型ハード対策を上回る粘り強い河川堤防」に関する第1回目の技術公募が、2023年3月に開始され、審査を経て、2024年11月に結果が公表された。4段階（A・B・C・D）の評価のうち、公表されたB評価は4工法、C評価は1工法であった。

なお、第2回目の公募は、2025年3月に開始され、同年12月に応募が締切られており、今後、審査、公表の予定である。

そのため、今後は第1回公募の公表技術の現場導入への展開および第2回公募の公表結果が注視される。

PPT46

### 新たな政策：越水に対する要求性能を満足する堤防

「河川砂防技術基準 設計編」（令和元年7月改定）による堤防の要求性能：3区分  
 「堤防に求められる基本的な性能」、「設計に反映すべき性能」、  
 「設計に当たって考慮すべき事項」  
 新たな要求性能（令和4年5月）が追加  
 「越水に対する性能」越水した場合でも、決壊までの時間を少しでも長くする粘り強い性能

**要求性能：越流水深 30cm+越流時間 3時間**  
定量的な評価基準の設定は、画期的！      道路盛土はどうなる、どうする？

**2023年3月** 第1回技術公募  
→ 審査  
**2024年11月** 結果公表  
**B評価：4工法**  
→次ページ  
**2025年3月**  
第2回目の公募が開始

\* 応募者は、第1回を参考に準備

堤防強化のイメージ  
(実線：既存の堤防の性能、破線：越水に対する粘り強さを付加した場合の性能)  
※維持管理における人的・技術的な状況等を踏まえた検討を実施

## B 評価：4 工法の概要

第1回目の技術公募の結果、B 評価とされた工法は、下記の **PPT47** のとおり、民間・大学の応募による下記の4工法である。

- 1) カゴ枠法面工 [日鉄建材(株)]
- 2) 改良型被覆ブロック等を用いた表面被覆型の堤防強化技術 [共和コンクリート工業(株)・(株)建設技術研究所]
- 3) 透気防水シート(ブリザーブルシート) [太陽工業(株)・(国立大学法人)京都大学]
- 4) 越流対策型 布製型枠工法 [旭化成アドバンス(株)・大嘉産業(株)・太陽工業(株)]

これらの工法から注目されるのは、1) のカゴ枠法面工以外の3工法でも法尻はかご枠を設置して堤防内部の排水および越流水の緩衝(大小ある)を図っている点であり、法尻でのかご枠の有効性を示唆する。

なお、上記の4工法は、公表されている各工法の特徴を整理した「技術比較表」(下記:項目のみ抜粋)を参照して、対象堤防の状態・条件などに適合性を考慮して選定し、導入を図ることが必要である。

### 技術比較表の項目

技術の概要	: 技術の概要 概要図
構造の適用範囲	: 実験結果に基づく適用範囲 適用範囲の考え方 堤高・天端幅・法勾配・土質・境界の位置(法尻からの必要幅) その他の適用範囲、備考
設計にあたって考慮すべき事項	: 構造物の耐久性 施工性: 施工性 特殊な施工・仮設の必要性等 経済性
関連技術基準	: 応募技術に係る技術基準類

PPT47

**B 評価：4 工法**

日鉄建材株式会社

**カゴ枠法面工**

カゴ枠法面工  
法尻カゴ枠  
根固めカゴ枠  
\*多段: 2段

太陽工業株式会社、国立大学法人京都大学

共和コンクリート工業株式会社、株式会社建設技術研究所

**改良型被覆ブロック等を用いた表面被覆型の堤防強化技術**

ドレーンエ+のり尻保護工(かご枠)

旭化成アドバンス株式会社、大嘉産業株式会社、太陽工業株式会社

太陽工業株式会社、国立大学法人京都大学

**透気防水シート「ブリザーブルシート」**

ドレーンエ+のり尻保護工(かご枠)

旭化成アドバンス株式会社、大嘉産業株式会社、太陽工業株式会社

代表的な断面構造図(法尻部の用地に余裕がない場合)

ドレーンエ+のり尻保護工(かご枠)

**越流対策型 布製型枠工法**

ドレーンエ

**工法を理解して、事業展開を支援することが必要。**

## 6. 盛土の残留変形解析法の第三者評価と実装化

道路盛土の設計において、従来は「仕様設計」が柱であったが、今後は道路土工構造物技術基準（2025.6）の改定の柱の一つである、「性能規定の具体化」が最優先課題である。

その具体化を担う、道路土工構造物技術基準・同解説（2025.11）では、盛土の安定性の照査に関して、下記（抜粋）のように解説されている。

### 同解説：p.140 v) 地震動の作用に対する盛土の安定性の照査

論理的な妥当性を有する方法や実験等による検証がなされた解析手法等による照査として、盛土内水位が低く基礎地盤も十分な安定性がある盛土については、地震動レベルに応じて盛土及び基礎地盤がすべりに対して安定であること又は変位量が許容値以下であることを照査する必要がある。このとき、許容変位は、上部道路への影響、損傷した場合の修復性及び隣接する施設への影響を考慮して定める。解析手法等の選定にあたっては、想定する被害形態、現場条件、設定した照査指標、解析手法の特徴等を考慮するのがよい。変形の照査には、地震時に盛土に作用する慣性力を考慮した計算法（ニューマーク法など）の適用が考えられる。また、水の影響が懸念される谷埋め盛土や基礎地盤の液状化が懸念される盛土など、地震動による盛土及び基礎地盤の強度低下が懸念される盛土については、実験等による検証がなされた強度低下も考慮可能な解析手法（静的自重変形解析など）の適用が考えられる。

上記の地震時の盛土の安定性の照査に関する解説については、下記の理解と留意が必要である。

- (1) 「すべりに対して安定であること」は、従来からの円弧すべり法（震度法）による照査を意味する。
- (2) 「変位量が許容値以下であること」は、性能設計を意味しているが、①照査指標としての変位量の設定、②変位量の算出方法、③算出した変位量の評価基準の3点が明確でない設計はできない。上記では、①の「照査指標」の具体の言及（どの変位など）がないので、規定が必要である。
- (3) (2) の③算出した変位量の評価基準、言い換えると、上記の「許容変位」は、「諸影響を考慮して定める」とあるが、設計者、事業者の判断に委ねられており、許容変位の理解が曖昧になる可能性がある。そのため、所要の評価基準値（の扱い）を規定すること、道路管理者の判断を促すことが必要である。
- (4) (2) の②変位量の算出方法、言い換えると、上記の「解析手法等の選定」は、「解析手法の特徴などを考慮」とあるが、選定は設計者、事業者の判断に委ねられており、設計の信頼性が保証できない可能性がある。そのため、既に実務用として市販されている多様な解析手法、ソフトウェアの妥当性、適用性について、設計者、事業者が理解しやすく、選定の判断を支援する規定が必要である。
- (5) 「変形の照査には、計算法（ニューマーク法など）の適用が考えられる」とあるが、「考えられる」は設計者、事業者の判断に委ねられおり、例えば、ニューマーク法の適用に必須である入力標準地震動などに関する規定が無ければ、第三者（例えば、会計検査など）に対して合理性を容易には説明できない恐れがあり、根拠となる客観的、定量的な規定が必要である。
- (6) 「水の影響が懸念される谷埋盛土、盛土の強度低下」に対して、「静的自重変形解析などの適用が考えられる」とあるが、静的自重変形解析は液状化する基礎地盤に対しては汎用的な解析手法であるものの、そもそも盛土内の地下水位を想定していない現行の設計法において、盛土（内部）への適用の妥当性の検証と明示が必要である。

ここで、上記（5）で例示される「ニューマーク法」は、盛土の性能設計のための残留変形解析法の一つであり、簡便法ではあるが、ソフトウェアは市販されており、一般的に知られている方法である。そして、同法でも盛土の動的挙動の評価の違いにより、多様な方法が提示されているが、それらの方法の妥当性を客観的に認定する第三者評価は実施されていない。一方、道路土工構造物技術基準・同解説（2025.11）では、「ニューマーク法」は名称の例示だけであるが、高速道路株式会社：NEXCO では技術基準〔文献 36〕では規定されており、既に実用に供され、先取りされている。

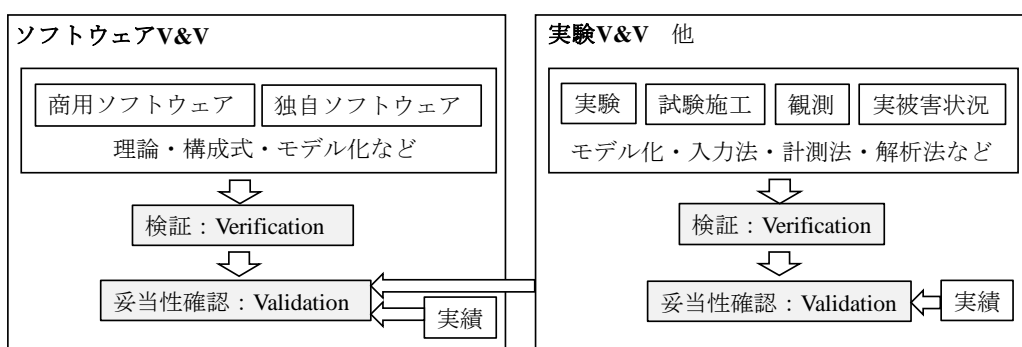
例えば、盛土に固有な地震動の増幅特性を考慮したニューマーク法には、改良 O 型および NEXCO 型が

あるが、**文献 37) ~39)**などを参照されたい。

さて、上記の数値解析方法などの信頼性に関する現状の課題に対して、新たな取り組みがなされている。それは、V&V (Verification & Validation) と呼ばれる企業活動、戦略であり、製品・システム・サービスなど (以下、製品など) の設計・開発・製造などの過程が適正に実施され、社会に供される製品などが適正であるかについて、「検証 (Verification) 」と「妥当性確認 (Validation) 」の2つの視点、段階による評価を実施して、社会に供される製品などの品質に対する信頼性を客観的に保証する手段とされている。

ここで、**図-16**のとおり、数値計算のソフトウェアに関する V&V は、「ソフトウェア V&V」と呼べるが、土木分野の数値解析プログラム、ソフトウェアは、現在は開発者側によるエビデンスに依存しており、第三者による客観的な「検証」および「妥当性確認」がなされないまま、使用されているのが実情である。

このため、設計の信頼性を左右する市販の数値計算ソフトウェアに関しても、相応の第三者評価を経ることが必要であり、さらに基準類では解析手法の妥当性を検証し、明示することが、信頼性に基づく基準類の使命であり、道路土工構造物技術基準の解説書、指針類でも同様である。



**図-16** ソフトウェア V&V に係る実験 V&V などの関連の概念例：**文献 3)**

例えば、盛土の「性能規定の具体化」に必須である「残留変形解析法」には、ニューマーク法、静的自重解法、有限要素法、粒子法 (DEM) など、多様な方法が想定できるが、道路盛土の性能照査に適用するためには、国土交通省道路局が進める点検支援技術と同様に、「残留変形解析法」のカタログ、技術比較表の整備を進め、発注者、利用者の利用の支援を図ると共に、支援技術の整備の目的の一つに掲げられているように、指針類に反映することが、解析法の普及、活用および業務の効率化に必要である。

上記のとおり、従来、数値計算ソフトウェアの妥当性について、開発者、販売者側の説明に疑問を持つことは皆無であったが、性能設計などの信頼性向上のためには、**発想 11: 盛土の残留変形解析法などでは、市販の解析プログラム (数値計算ソフトウェア) の妥当性の確認が必要ではないか! . . .**が指摘でき、その実践は従来にない先取りである。**\*発想 11** は、本文で新たに追加した。

なお、土木分野における V&V および土木学会の活動は、土木学会 HP、**文献 3)** を参照されたい。

**文献 36)** 東日本高速道路株式会社・中日本高速道路株式会社・西日本高速道路株式会社：設計要領 第一集土工保全編・土工建設編、令和 6 年 7 月。

**文献 37)** 西山大策・常田賢一・寺西弘一・都間英俊：実被害盛土における改良 O 型 Newmark 法の適用性に関する検討、第 54 回地盤工学シンポジウム、平成 21 年度論文集、No.38、pp.239-242、2009.11。

**文献 38)** 三好忠和・常田賢一・三谷浩司・木村武雄：盛土内の地震応答加速度を考慮したニューマーク法の解析手法についての一考察、第 33 回日本道路会議、No.4036、2019.11

**文献 39)** (一財) 土木研究センター・NEXCO 西日本エンジニアリング関西 (株)・五大開発 (株)：改良型ニューマーク法計算及び FEM 地震応答解析システム A-Newmark、2019 年 7 月。

**文献 3)** [再掲] 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一個別最適から全体最適への展開一、(一社) 地域国土強靱化研究所、330p., 2023。

## 7. 鉛直地震動の検証と設計地震動の評価

令和6年能登半島地震では、**写真-10**の輪島市の七階建のRC造建物の転倒〔**文献40**〕が注目されたが、その原因の解明には転倒の発生メカニズムおよび地震動特性を明らかにすることが必須である。

そのため、従来、構造物の全体系の設計では考慮されていない鉛直地震動に着目し、RC造建物の転倒メカニズムを考察（鉛直地震動に関する**図-17**の2つの作用型を想定）するとともに、令和6年能登半島地震の震央距離が8kmから64kmまでにある大谷、輪島、穴水、富来の4地点で観測された加速度時刻歴データを分析し、時刻ごと（0.01秒）の水平加速度（NS、EW）に対する鉛直加速度（UD）の比（加速度比と呼ぶ。）の発生特性を把握し、加速度比の標準化を試行した〔**文献41**〕。

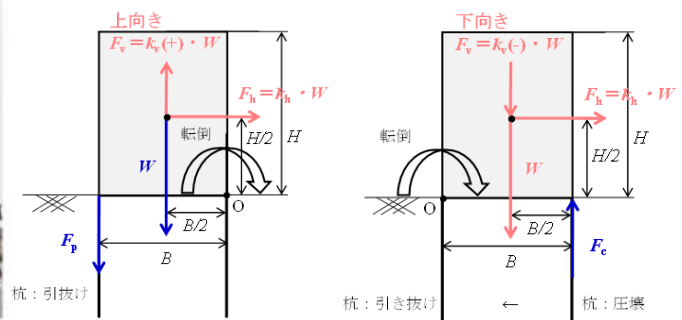
その結果、能登半島地震の震央に近い地域では、水平加速度に対して相当規模の鉛直加速度が相当の時間経過内において発生していることを明らかにするとともに、**図-18**のとおり、設計のための加速度比（＝鉛直加速度／水平加速度）の標準化を例示している。

従来、土木分野では鉛直地震動は考慮されてきておらず、輪島市の転倒原因調査でも鉛直地震動の影響に関して言及はないが、特に内陸直下型地震の場合、鉛直地震動の影響が想定されるので、**発想12**：「新たな脅威」である「鉛直地震動」による照査が必要ではないか！・・・による先取り対応が必要である。

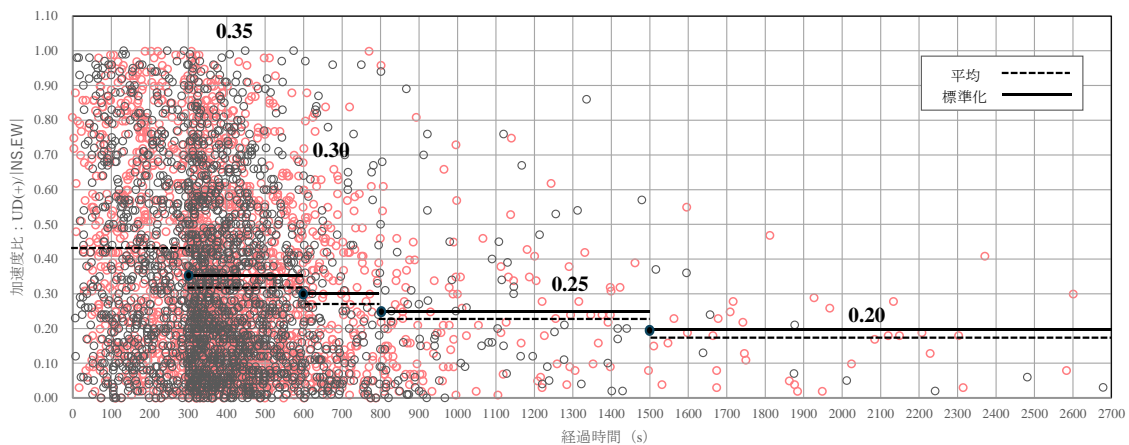
\***発想12**は、本文で新たに追加した。



**写真-10** 七階建てRC造建物の転倒：輪島市  
文献40)



**図-17** 上向き鉛直震度作用型と下向き鉛直震度作用型  
文献41)



**図-18** 上下方向の加速度比データと標準加速度比の関係：図中の数値は標準値：文献41)

**文献40** 国立研究開発法人 建築研究所：令和6年（2024年）能登半島地震による建築物の基礎・地盤被害に関する現地調査報告（速報），令和6年2月14日，2024。

**文献41** 常田賢一：令和6年能登半島地震による鉛直地震動の特性－新たな脅威、鉛直地震動－，LRR技術資料，Vol.3, No.1, pp.1-58, 2025.3

## 8. まとめ：今後、必要な発想の転換、先取りする取組みの姿勢

### (1) 技術の先取りおよび技術者の姿勢・視点に関する図書

本文の技術・工法の手先取りおよび技術者に必要な姿勢・視点に関して基礎となる図書は、それぞれ、下記の PPT48 で紹介する【参考図書 1】および【参考図書 2】であるが、下記の特徴がある。

#### 【参考図書 1】

我が国では、1995 年の阪神淡路大震災を契機として、土木構造物の設計法は性能設計に大きく舵を切り、現在、性能設計は認知されている現状にある。しかし、構造物によっては、性能設計が汎用化、実務化には至っていない状況にある。また、近年の土木構造物を始めとする社会インフラに対する国民、利用者などの要望が多様化かつ複雑化し、新たな技術が開発・普及され、さらに、DX など、急激なデジタル情報化が進展している状況にあり、個々の構造物の性能設計に留まらず、事業のあらゆる段階、分野を俯瞰した対応が必要とされている。そのような状況を鑑みて、本書は、従来の性能設計などのように、個別の事業段階などにおける最適化を「個別最適化」とし、他方、設計・施工・維持管理を含めた全段階、さらには、事業段階に留まらず、事業の対象分野や地域、関係する政策や機関などを俯瞰した最適化を「全体最適化」として、将来の事業の取組みの方向性あるいは対策の位置付けの明確化、想定外の事象に対する柔軟な対応、社会インフラを享受あるいは利害に関係する国民などからの理解の向上のためには、取組みの姿勢は「個別最適」から「全体最適」への展開が有効であり、それにより、防災・減災、国土強靱化などの政策の効果的な実現に資することができると考えている。

#### 【参考図書 2】

現代は高度情報化社会にあるが、今後は少子高齢化、人材不足などにより、土木分野、土木技術者を取り巻く環境はより厳しくなることが予想される。一方、災害の頻発、施設の老朽化など、今までは未経験な状況を迎えることになるため、土木分野、土木技術者に対する社会的期待、役割は益々高くなる。

そのような状況において、社会からの土木分野に対する付託に的確に応えるため、土木技術者は、将来に向かって如何に考えて、如何に行動すべきかを絶えず自問自答し、期待に応えるプロフェッショナルを目指すことが必要である。

本書は I 部と II 部の構成とし、第 I 部は土木技術者の倫理および土木のプロフェッショナルとしての意識を喚起するために必要な基本的な姿勢を、第 II 部は土木技術者として業務に従事する際に有効と思われる

PPT48

<p><b>参考図書 1</b></p> <p>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 一 個別最適から全体最適への展開一、(一社)地域国土強靱化研究所、327p. 2023. 3</p>  <p>防災・減災、国土強靱化のための性能評価の最適化の実務 一 個別最適から全体最適への展開一</p>  <p>一般社団法人 地域国土強靱化研究所</p> <p>東京官書普及(株) 〒101-0054 東京都千代田区神田錦町1-2 TEL : 03-3292-3701 URL : <a href="http://www.tokyo-kansho.co.jp">http://www.tokyo-kansho.co.jp</a> 土木関係専門書籍販売サイト シビルBooks 地域国土強靱化研究所書籍販売サイト</p>	<p><b>参考図書 2</b></p> <p>常田賢一：土木技術者のためのプロフェッショナルとしての姿勢と視点、(一財)土木研究センター、237p. 2020. 6</p>  <p>土木技術者のためのプロフェッショナルの姿勢と視点</p>  <p>一般財団法人 土木研究センター</p> <p>主旨</p> <ul style="list-style-type: none"><li>・土木工学倫理</li><li>・土木の使命</li><li>・土木の特徴</li><li>・実務的な課題と対応</li><li>・...</li></ul> <p>(一社)土木研究センター <a href="http://pwrc.or.jp/books/book_046.html">http://pwrc.or.jp/books/book_046.html</a></p>
---	--

48

多面的な視点を提示している。特に、第Ⅱ部は、付属資料を含めて、著者の専門分野である土質・地盤・防災の工学に関する取り組み事例を中心として、他分野にも通じ、有益と思われる視点を取り上げている。また、付属資料は、著者の経験から得られた実務で役立つと思われる具体的、技術的な知見を添えている。

以下では、本文の随所で参照している【参考図書1】[文献3]を紹介するが、下記のPPT49に示す4つの章で構成している。

**第1章**は、構造物などに必要とされる性能評価の姿勢について、構造物の性能設計における性能の最適化、施工・維持管理を含めた、設計に留まらない性能の最適化を概観し、設計などの個別の事業段階に留まらない幅広い段階・分野における性能の最適化のため、「個別最適」と「全体最適」の視点を提起し、「全体最適」への展開の意義を示す。

**第2章**は、性能の最適化を志向する際に考えられる5つの分類を提示し、それぞれの事例を示す。また、評価指標と評価基準に関する根拠・エビデンスの現状を概観し、その体系化と具体例を示す。

**第3章**は、次ページのPPT50のとおり、道路分野、河川分野、砂防分野、海岸分野にわたる、性能設計、性能評価を事例を示す。

なお、下記のPPT49に示すとおり、【参考図書1】の先取りの特徴は、下記の3点である。

- 1) 様々な事象は、個別最適 → 総合最適 → 全体最適に対応づけられることを指摘。  
\* 様々な事象について、まず5つの分類により、全体最適化の視点で整理している。
- 2) 対象分野は、道路、河川、砂防および海岸の各分野を対象。  
\* 各分野の性能評価の視点、取組みを分野横断的に比較している。
- 3) 2章6)では、技術・工法のエビデンスの提示・説明手段を体系化し、各手段を例示。  
\* 上記2)の分野横断的比較に基づき、各分野のエビデンスの体系化、一般化を試行している。

今後、プロフェッショナルである技術者に必要な姿勢は、絶えずアンテナを高くし、広く情報を集め、先取りの意識を持って、仕様にとらわれない論理的に説明ができる技術に取組み、適時適切に提案、説明し、性能設計および性能評価を深化、実装することである。

PPT49

参考図書1の目次構成	
<p>第1章 性能と性能評価の基本</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1) 性能設計の契機と推移</li> <li>2) 性能設計から性能評価への展開</li> <li>3) 性能評価の意義と特徴</li> </ol>	<p>第2章 性能評価における多様な視点</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1) 災害による被害レベルは性能レベル</li> <li>2) 俯瞰の評価による全体最適</li> <li>3) 粘り強い性能</li> <li>4) 評価指標と評価基準</li> <li>5) 性能評価の妥当性の根拠・エビデンス</li> <li>6) 技術・工法の提案のための根拠・エビデンスの明示事例</li> <li>7) ローカルルールの位置付け</li> </ol>
<p>第3章 性能評価・最適化の実際</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1) 施策・行動計画における性能評価・最適化</li> <li>2) 分野別の性能評価・最適化の事例</li> </ol>	
<p>第4章 まとめと課題</p>	
<p><b>先取りの特徴</b></p> <p><b>1) 様々な事象は、個別最適→総合最適→全体最適に対応づけられることを指摘。</b> * 様々な事象を最適化の視点で整理。</p> <p><b>2) 対象分野は、道路、河川、砂防および海岸の各分野を対象。</b> * 各分野の性能評価の視点、取組みを分野横断的に比較。</p> <p><b>3) 2章6)では、技術・工法のエビデンスの提示・説明手段を体系化し、例示。</b> * エビデンスの体系化。</p>	
<p>常田賢一：防災・減災、国土強靱化のための個別最適から全体最適への展開、 地盤工学会誌, Vol. 72, No. 4, pp. 1-8, 2023. 4.</p>	

49

## 参考図書 1 第3章 3.2 性能設計、性能評価の事例

必要な姿勢：アンテナを高くし、広く情報を集め、提案し、活用する／性能設計の理解の深化

3.2.1 道路分野	241
3.2.1.1 能登有料道路：盛土の性能設計	241
3.2.1.2 三陸沿岸道路：盛土の性能設計	243
3.2.1.3 阪神高速道路・三宝 JCT：性能設計による液化化対策	244
3.2.1.4 新名神高速道路・宝塚北 SA：高盛土の性能設計	247
3.2.1.5 島根県の落石対策：道路ネットワークの全体最適	250
3.2.1.6 六甲有料道路の落石対策：全段階最適	251
3.2.1.7 別府市板地橋の地震断層対策：全段階最適	255
3.2.1.8 新阿蘇大橋の地震断層対策：部材間複合構造最適・全段階最適	258
3.2.2 河川分野	261
3.2.2.1 滋賀県の流域治水対策：全段階最適・地域最適	262
3.2.2.2 3次元地盤探査による堤防の基盤漏水の危険度評価：全段階最適	266
3.2.2.3 危機管理型ハード対策を上回る越水対策：部材間複合構造最適	271
3.2.3 砂防分野	275
3.2.3.1 CIM 活用による地すべり対策：全段階最適・広域最適	275
3.2.4 海岸分野	282
3.2.4.1 津波に対する防潮堤の最適化：多様な個別最適の深化	282
3.2.4.2 津波に対する防潮堤の最適化：分野間複合構造最適（1）	285
3.2.4.3 盛土の活用による津波防災の最適化：分野間複合構造最適（2）	291

15事例  
道路分野：8  
河川分野：3  
砂防分野：1  
海岸分野：3

50

### (2) 雑感による先取りの概念・姿勢

下記の13の雑感（本文 p.58：PPT51 参照）は、現時点での著者の思いであるが、先取りの思索、姿勢も含んでいる。各雑感の詳細は、それぞれ数ページで記述している【参考図書1】を参照されたい。

#### 雑感 1：向き合う姿勢を明示する

地震断層に対する姿勢は【避ける、追従する、吸収する、誘導する】、土石流に対する姿勢は【離災（離れる）、避災（かわす）、抑災（抑える、防災（防ぐ））】がある。このように、自然現象、災害などに向き合う姿勢を明確にすることは、技術者が全体を俯瞰できることに留まらず、地元住民、施設利用者などに対して、現象、取組み、対策などの理解を促すためにも有効である。

#### 雑感 2：外的作用を L1 レベルと L2 レベルで考える

既に、【L1 地震動と L2 地震動】、【L1 津波と L2 津波】、【L1 洪水と L2 洪水】があるが、道路においても【L1 降雨と L2 降雨】に区分し、想定することにより、降雨規模に応じた粘り強い土工構造物の位置付けの明確化と具体的な技術・工法の開発および事業への活用が期待できる。

#### 雑感 3：構造物を望ましい壊れ方に制御する

道路盛土の「すべり破壊制御」および「縦断線形円滑化」は、すべりや段差の発生を制御する積極的な姿勢であり、天端補強構造や人工基盤構造は具体的な設計に反映されている。関連して、近年、国の研究機関でも想定外の作用に対して「破壊を制御する設計思想」が検討されている。

#### 雑感 4：洪水の激甚な氾濫は、川津波ではないか

頻発する洪水による浸水被害を言い表すために、「津波」の用語を使うと、「津波のような段波状の破壊的な氾濫流」の意味では、「津波洪水」よりも、山津波（土石流：Debris Flow など）、海津波＝津波から連想できる「川津波（氾濫流：Inland Flood など）」と呼ぶのが適当である。なお、「津波洪水は全国各地でも起こる」は素人でも言えることであり、専門家、有識者として社会的な評価を受ける者は、狭隘な谷底平野で発生し易いなどの特性を踏まえた高い専門性に基づく説明が必要である。

#### 雑感 5：二次元数値シミュレーションはデジタルツインの先駆け、何を学ぶか

デジタルツインが叫ばれているが、これまで何気なく実施していた円弧すべり解析は、次元が低い2次元空間における、粗いデジタルツインであり、技術者は既に経験済みである。従って、その経験を3次元

のデジタルツインの場でも活かすことにより、見栄えだけのデジタル空間に惑わされず、フィジカル空間および実現象の再現性が高く、信頼できるサイバー空間の構築およびその見極めが必要である。

#### 雑感 6：泥流と土石流は区別されることがある

2021年7月3日に発生した、静岡県熱海市伊豆山地区の土石流は、多様な分類ができる。

- ・泥流型土石流：泥土の流出が主体の土石流 ←→石礫型土石流：石・礫・岩が主体の土石流
- ・山腹斜面源土石流：山腹斜面の崩壊土砂の流出 ←→溪床源土石流：溪床の堆積土砂、基岩の流出
- ・泥流：泥土が主体の流出 ←→土石流：従来の認識の土石流
- ・埋立て型土石流：人為的に造成された土砂の流出 ←→自然由来型土石流：山腹斜面、溪床の土砂の流出

#### 雑感 7：特定土工構造物の法定点検方法は、改善・充実している

道路土工構造物では、2015年3月に「道路土工構造物技術基準」の策定後、2017年8月に「道路土工構造物点検要領」が策定され、特定土工構造物を中心とする既設構造物の法定点検などによる維持管理が充実している。その後も2巡目の法定点検のため、2022年3月に「道路土工構造物点検要領（暫定版）」が改訂されるなど、点検に関わる最新の知見などを反映した改定は、適時、実施されている。このような整備された環境において必要なことは、点検の主旨を理解し、それを適切に実践することである。

#### 雑感 8：堤防には余裕高と余盛高、さらに舗装厚がある

洪水時の堤防の越流発生の有無とその規模は、堤防高さに関係する。堤防の高さの基本は、計画高水位＋余裕高（0.6～2m）の計画断面（定規断面）であるが、越流の評価では、さらに余盛り高（0.1～0.5m）と舗装（表層・基層・路盤）があり、舗装面の高さが堤防の実効的な高さになっていることに留意すると良い。なお、洪水時の応急的な土嚢積みも堤防高さを応急的に高める措置と言える。

#### 雑感 9：3次元点群データの活用は、形状評価に留めない

点検支援技術として、3次元点群データの活用が謳われているが、それは地形、構造物の表面的な形状の把握に限って有効なことに留意すべきである。そして、斜面の危険度は地形だけでは評価できず、斜面の地盤内部の地下水位、湿潤状態などが影響するので、形状情報に留まらず、他の要因を含めた複合的評価、つまり、地形内部の地下水分布などの状態評価、変状の素因（ハザード）に留まらない構造物の「性能喪失リスク」の評価など、3次元点群データに留まらず、更なる活用の深化、展開が必要である。

#### 雑感 10：ICT数量土工から、ICT品質土工へ展開

ICT土工では、構造物の形状（座標、数量）に留まらず、構造物の品質（強度、含水状態など）を把握し、管理することが必須である。そのため、現在の座標計測、数量把握を目的にするICTの段階は「ICT数量土工」であり、さらには、土工の品質の計測・把握のための「ICT品質土工」に展開、ステップアップすることが必要であり、その実現のための計測技術・施工法の開発に努めることが必須である。そこに、土木技術者は存在感を示し、生き残る意味、術がある。

#### 雑感 11：発生機構から見ると、土砂化は幅広い

橋梁分野の【床板の土砂化】、地盤分野の【地盤の土砂化：液状化】、舗装分野の【舗装・路盤の土砂化】および砂防分野の【風化基岩の土砂化】の共通点は、構造物（床板、地盤、路盤、基岩）における空隙・間隙の存在、水の浸透・滞水、繰り返される外的作用（交通荷重、地震動、気温変化）、間隙（水）圧の発生であり、その結果、構造物が破砕する破壊現象であることである。したがって、上記と同様な条件が揃えば、「土砂化」は、これら以外でも想定し得る現象であり、幅が広い。

#### 雑感 12：土砂・洪水氾濫のほかに、流木・洪水氾濫が発生している

近年の洪水では、流出する土砂の河道内堆積に起因する氾濫、「土砂・洪水氾濫」が注目されているが、流木による河道閉塞も既往の洪水でも多数見られる現象であり、その存在を明確にするためには、認知されている「土砂・洪水氾濫」と同様に、「流木・洪水氾濫」と呼ぶとよい。

#### 雑感 13：異種構造の境界は弱部であり、変状が発生しやすい

災害による土木構造物の被害、損傷の発生の有無や程度を見ると、構造物の有無あるいは材料、形状などの構造特性、設置場所の地形・土質特性などの条件が異なる境界部では、外的作用に対する挙動の差異により、顕著な変状が発生するトリガーとなるので注意が必要である。言い換えると、これらの弱部に注意することが必要かつ有効である。

**参考図書 1 13の雑感：思い 多様な視点&課題の認識と提起**  
**必要な姿勢：現状を容認しない、広い視野、課題認識、柔軟な発想、将来を展望**

雑感 1：向き合う姿勢を明示する	21
雑感 2：外的作用をL1レベルとL2レベルで考える	26
雑感 3：構造物を望ましい壊れ方に制御する	71
雑感 4：洪水の激甚な氾濫は、川津波ではないか	86
雑感 5：二次元数値シミュレーションはデジタルツインの先駆け、何を学ぶか	122
雑感 6：泥石流と土石流は区別されることがある	123
雑感 7：特定土工構造物の法定点検方法は、改善・充実している	169
雑感 8：堤防には余裕高と余盛高、さらに舗装厚がある	181
雑感 9：3次元点群データの活用は、形状評価に留めない	183
雑感10：ICT数量土工から、ICT品質土工へ展開	237
雑感11：発生機構から見ると、土砂化は幅広い	238
雑感12：土砂・洪水氾濫のほかに、流木・洪水氾濫が発生している	295
雑感13：異種構造の境界は弱部であり、変状が発生し易い	296

(3) 地震断層対策および津波防災対策における先取りの姿勢

本文で提起した、13の発想および13の雑感で示す先取りの他に、【参考図書1】(2023.3)に先行している、下記のPPT52の【地震断層対策】(2012.11)および次ページのPPT53の【津波防災対策】(2016.4)がある。それぞれの先取りの姿勢は、下記のとおりである。詳細は各PPTの書籍を参照されたい。

**【地震断層対策】**地震断層は人為的に押さえ込むことは不可能であるが、対応の姿勢には、本文のp.56の雑感1の【避ける、追従する、吸収する、誘導する】があり、どの姿勢で臨むかを明確にして、その姿勢に応じた対応策を工夫、創出すれば、地震断層と共生できる。どのような対応策を先取りするか、できるかが肝要である。

PPT52 (発行は 2011.12)

**その他の発想に関わる参考図書(1)**  
**最新事例：新阿蘇大橋の設計→追従する**

**活断層とどう向き合うか**

常田 賢一  
片岡 正次郎 共著  
理工図書

発行：理工図書  
発行：2016.4

**内容**  
 ・地震断層による被害  
 ・影響の評価方法  
 ・対策の姿勢  
 ・対策事例 など

**【発想】**  
 知恵を出せば、  
 地震断層と共生できる！

**根尾谷断層 (1891年濃尾地震、M=8.0)**

構造物への影響変位量

小 ← → 大

地震断層の発生変位量

小 ↑ ↓ 大

**地表地震断層に対する姿勢**

- ・吸収
- ・追従
- ・避ける
- ・誘導

吸収する | 追従する | 避ける

← 技術開発・工夫 →

誘導する

**【津波防災対策】**津波に対する物理的な対策としては「防潮堤」があるが、所要の高さがある遮蔽物が構築できれば、既往のコンクリート造の傾斜堤、直立堤である必要はない。土堤の盛土は津波抑制性、耐久性、景観性、維持管理性、LCC など、コンクリート造と比較して相当な優位性があり、創意工夫した盛土構造による「防潮盛土」、「避難盛土：命山」などは先取り対応である。なお、2011年東北地方太平洋沖地震の12年後の復興状況は、**文献 42)**を参照されたい。

**文献 42)** 常田賢一：東日本大震災の復興により津波に備える沿岸陸域の姿から学ぶ—津波災害から12年を経て—、LRRRI 技術情報 20230311、pp.1-88、2023.3

PPT53

**その他の発想に関わる参考図書(2)**  
最新動向：南海トラフ巨大地震の備え



**内容**

- ・津波被害特性
- ・盛土の耐越流性
- ・性能評価
- ・盛土による津波対策例

**【発想】**  
盛土は津波に粘り強く、L2津波に対応できる



**防潮のための盛土の活用：3タイプ**

**甚大な被害と高コスト・高機能の防潮堤**



**軽微な被害と低コスト・相応機能の堤防**



**(4) 今後、必要な発想の転換、先取りの認識、姿勢**

本文では、K&i ウェブアカデミーの8つに新たに5つを追加し、下記の13の**発想**を提示した。

- 発想 1：路床強化する天端補強工により【すべり破壊制御】ができるのではないか！ (p.3)
- 発想 2：地震時に恒常化している道路面の亀裂、段差は、路床強化による「天端補強工」により防止、抑制できるのではないか！ (p.8)
- 発想 3：盛土内部からの恒常的な「堤内排水」が必要ではないか！ (p.15)
- 発想 4：【堤内排水】のふとんかごは、【人工基盤】としてすべり破壊制御もできるのではないか！ (p.16)
- 発想 5：ふとんかごは【土留め構造】とし、地震時安定性を照査すべき！ (p.27)
- 発想 6：【壁式改良工法】は傾斜地・沢埋め盛土のすべり安定化対策として活用できるのではないか！ (p.30)
- 発想 7：道路構造強化できる【壁式改良工法】は、傾斜地の地盤流動対策として活用できるのではないか！ (p.36)
- 発想 8：越流水の法尻での減勢には、ふとんかごの【多段構造】が有効ではないか！ (p.42)
- 発想 9：地下水位の影響が想定される盛土（新設・改築および既設）は、地下水位およびその経年変化を想定し、安定性の照査が必要ではないか！ (p.14)

発想 10：盛土の安定性照査は L-1 地震動と L-2 地震動による 2 段階照査が必要ではないか！（p.24）

発想 11：盛土の残留変形解析法などでは、市販の解析プログラム（数値計算ソフトウェア）の妥当性の確認が必要ではないか！（p.52）

発想 12：「新たな脅威」である「鉛直地震動」による照査が必要ではないか！（p.53）

発想 13：設計条件（強度定数）により施工条件を照査することが必要ではないか！（p.63）\*後述

上記のような発想をし、実践するためには、次ページの PPT54 の認識、姿勢、行動が必要である。

1. 令和 6 年能登半島地震の道路盛土被害を精査し、学び、盛土ののり面点検結果に基づく対策を実施し、将来、類似災害を再発させない。  
主旨：令和 6 年能登半島地震は性能設計への転換の契機であり、再度災害防止・予防保全となる。  
2007 年、2024 年の次の 3 度目の能登半島地震の類似の被害は許されず、その覚悟が必要。
2. 従来仕様設計による経験的、場当たりの、後追いの対応を容認しないで、現場をよく見て、地域性に基づく技術・工法の提示をする。それができる眼、技術力を備える。  
主旨：仕様設計、見なし設計は AI で可能であり、依存すると技術者は不要になる危機感を持つ。
3. 土工構造物でも破壊メカニズムに基づいて、理論的に妥当な方法を取り入れ、客観的、合理的な構造設計により技術水準の高度化を図る。  
主旨：仕様設計・見なし設計・現状容認・惰性＝昭和（人、物）から脱却する意識が必要。
4. 仕様規定、見なし規定でなく、AI ができない、知恵・工夫が必要な性能設計を理解し、実践する。  
主旨：AI は実績、既往の知識止まり、問いの答えは出すが、内容の信憑性に懸念があり、論理的思考は不可である。経験・実績主義からの脱却無くして、進歩、生き残りは無い。  
そのためには、技術のリーディングが必須であり、道路土工構造物技術基準・同解説、指針類の改定（2025 以降）が絶好かつ最後のチャンスである。  
2015 年から 2025 年は性能設計に移行できなかった「失われた 10 年」、2025 年からの次の 10 年を「失われた 20 年」にしない責務は、特にリーダーの官にあるが、民・学も連帯すべき。
5. 土工に関わる官民学の体制強化をし、新たな技術・工法の開発、その理解と積極的な活用を図る。  
主旨：性能設計は新技術・工法の開発を促す・・・は掲げるだけでなく、実践すべき。  
そのため、官主導の連携、さらに民・民連携もある。その姿勢は、要素技術の【深化：個別最適】と【連携による強化：全体最適】が最適かつ必須。
6. 発注者からの「指示待ち」でなく、技術者、コンサルタント、ゼネコンなど関係し、責任がある者として、枠にとらわれず、「攻め：プロポーザル」の姿勢を示し、行動する。  
主旨：基準類は全国標準であり、その遵守は誰（AI 含む）でもでき、差別化の手段にならない。  
民は、待ちから攻めるため、情報収集力・技術力・説明力の向上により差別化し、生き残る。  
基準類を先取りする、先見的、自主的な取組み、説明性のあるプロポーザルを実施する。

上記が「理解できるか、実践できるか」であるが、産学官のいずれも、「できないは勉強不足、しないは認識不足」であり、特に、基準類に責任がある、官のリードが不可欠である。

さらに、上記では現在における著者の考え、思い、懸念などを列記したが、今後、急速に進展し、その影響が拡大する AI について、AI は基準類に規定される仕様、見なしは当然、知識化されるので、仕様設計、見なし設計は、将来、AI に取って代われ、AI で十分である。その場合の懸念は、AI は知識化されてい

ない新技術・工法は対象にならず、技術者の専門性も必要が無いため、技術・工法の開発および技術者の技術力向上に繋がらず、いずれも衰退する懸念がある。

PPT54

### まとめ：今後、必要な発想の転換、先取りする取組みの姿勢

1. 令和6年能登半島地震の道路盛土被害を精査し、学び、盛土ののり面点検結果に基づく対策を実施し、将来、類似災害を再発させない。  
\* 転換の契機、再度災害防止・予防保全
2. 従来の仕様設計による経験的、場当たりの、後追いの対応を容認しないで、現場をよく見て、地域性に基づく技術・工法の提示をする。  
\* 仕様設計はAIで可能：技術者不要へ
3. 土工構造物でも破壊メカニズムに基づいて、理論的に妥当な方法を取り入れ、客観的、合理的な構造設計により高度化を図る。  
\* 仕様設計・現状容認＝昭和からの脱却
4. 安易、見なしの仕様設計から、AIができない、知恵・工夫が必要な性能設計を理解し、実践する。  
\* AIは実績止まり、論理的思考は不可 → 実績主義からの脱却  
\* 技術のリーディングが必須→道路土工構造物技術基準・同解説の改定（2025年度後半）、指針類の改定（2025以降）が絶対かつ最後のチャンス。逃さないこと！
5. 土工に関わる官民学の体制強化をし、新たな技術・工法の開発、その理解と積極的な活用を図る。  
\* 要素技術の【深化：個別最適】と【連携による強化：全体最適】
6. 発注者からの「指示待ち」でなく、技術者、コンサルタントとして、枠に捕らわれず、「攻め：フロポーザル」の姿勢を示し、行動する。  
\* 基準類は全国標準：遵守は誰でもでき、差別化の手段にならない  
\* 待ちから攻めへ：情報収集力・技術力・説明力の向上：差別化・生き残り  
\* 基準類を先取りする

上記を理解できるか、実践できるか？ できないは勉強不足、しないは認識不足。

最後に、道路土工構造物技術基準、道路土工構造物技術基準・同解説から、2つの課題を喚起する。

#### 【課題1】新技術・工法のエビデンスに関する取り扱い

新たに制定された道路土工構造物技術基準（2015.3）（以下、技術基準2015）は、設計に際しての基本事項として、下記を規定していた。

「道路土工構造物の設計は、理論的で妥当性を有する方法や実験等による検証がなされた方法、これまでの経験・実績から妥当とみなせる方法等、適切な知見に基づいて行うものとする。」

そして、道路土工構造物技術基準・同解説（2017.3）（以下、同解説2017）は、上記の規定に対して、盛土の状態が要求性能に応じた限界状態を超えないことの照査について、下記（抜粋）の解説をしていた。

#### p.68 iii) 照査方法

照査は、盛土の形状、想定する作用、限界状態に応じて適切な基づいて行う。この際、盛土本体の設計を、既往の経験・実績に基づく仕様の適用、又は工学的計算による盛土の安定性の照査のいずれで行うかは、基礎地盤や盛土の条件等により判断する。

#### 4) 照査における既往の経験・実績の適用

盛土に必要な性能が確保できると考えられる仕様の一つとして、「道路土工-盛土工指針」に示す、標準のり面勾配がある。

一方、改定された道路土工構造物技術基準（2025.6）（以下、技術基準2025）は、設計に際しての基本事項として、下記を規定している。

「道路土工構造物の設計は、地質・地盤等の不確実性を考慮しつつ、理論的で妥当性を有する方法や実験等による検証がなされた方法、これまでの経験・実績から妥当とみなせる方法等、適切な知見に基

づいて行う。」

そして、道路土工構造物技術基準・同解説（2025.11）（以下、同解説 2025）は、上記の規定に対して、盛土の状態が要求性能に応じた限界状態を超えないことの照査について、下記（抜粋）の解説をしている。

p.102 7) 照査の基本的な考え方

一般に、盛土の性能照査方法には次の a) から c) までのものがある。

a) 論理的な妥当性を有する方法や実験等による検証がなされた解析手法等による照査

b) 既往の経験・実績から妥当とみなせる解析手法による照査

c) 既往の経験・実績から要求性能を満足するとみなせる仕様（標準のり面勾配等）の適用

a) は、照査の対象となる項目（変形量等）を論理的な妥当性を有する方法や実験等による検証がなされた適切な手法等で照査するものである。b) は比較的簡単な試験・解析手法であるが、既往の経験・実績からほぼ適切な結果を与えると見なせる解析手法等で照査するものである。c) は、既往の経験・実績に基づいて要求性能を満足すると見なせる構造仕様を所定の適用範囲のもとで適用するものであり、定量的な照査を必要としないが、ここでは便宜上同列に扱う。

上記のとおり、盛土の設計の照査について、同解説 2017 は技術基準 2015 の規定の一部である「既往の経験・実績に基づく仕様の適用」又は「工学的計算による盛土の安定性の照査」としていたが、同解説 2025 では技術基準 2025 の規定と整合させて、c) の「既往の経験・実績から要求性能を満足するとみなせる仕様」を a)、b)、c) と同列と見なすことを補足すると共に、同解説 2017 での「工学的計算」は、a) 「実験等による検証がなされた解析手法等」、b) 「既往の経験・実績から妥当と見なせる解析手法」として分類、整理され、さらに、a) 「論理的な妥当性を有する方法」が明記されている。

したがって、同解説 2025 は同解説 2017 と同様に、経験的な仕様規定の標準のり面勾配が踏襲されているが、安易に標準のり面勾配の見なしに流れず、盛土の状態を把握し、必要がある場合（判断が必要）は「論理的な妥当性を有する方法」、「実験等による検証がなされた解析手法等」、「既往の経験・実績から妥当と見なせる解析手法」による性能設計により、定量的、客観的な照査が必要である。

なお、技術基準 2025 では、『地質・地盤等の不確実性を考慮しつつ』が追記されているが、この追記は土工構造物に固有な特性ではあるが、不確実性を盾、隠れ蓑、言い訳にしないで、可能な限り不確実性を評価し、減ずる努力（調査・研究など）が必要である。

## 【課題 2】設計条件と施工条件の整合に関する課題

技術基準 2015 では、「第 5 章 道路土工構造物の施工」の (1) では、下記のとおり「設計と施工の整合」が規定されていた。

「道路土工構造物の施工は、設計において定めた条件が満たされるよう行わなければならない。」

そして、技術基準 2025 では、上記を引き継いだ「第 7 章 施工」の (1) は、下記のとおり修正され、施工で満足すべき設計の条件・事項が掘り下げられるとともに、満足されない場合の対応に言及している。

「道路土工構造物の施工は、設計の前提条件及び設計段階で定めた事項等を満足するよう行わなければならない。ただし、設計の前提条件及び設計段階で定めた事項等が満足されない場合には、道路土工構造物の性能が確保されることを確認し、必要に応じて設計及び施工方法を見直さなければならない。」

一方、技術基準 2015 および技術基準 2025 の「施工」の (1) に関する、それぞれの同解説 2017 および同解説 2025 は、基本的な主旨が変わっていないため、ここでは、同解説 2025 を確認すると、「解表 7-1

使用する土質材料が変わった場合に留意すべき点の例」の着目点の一つとされる「強度特性（強度定数）」について、留意点を下記のように解説している。

「せん断抵抗角、粘着力といった土の強度定数が変わると道路土工構造物に作用する土圧が変わる場合がある。安定性が低下する場合には、形式・形状の変更や安定処理が必要になる」

この解説では、「強度定数が変わる」とするが、「施工」に関して強度は扱われていない。また、「土圧の変化」に言及しているが、強度が関係する「盛土の安定性の変化」の方がより重要である。さらに、「安定性が低下」とあるが、強度に依らなければ「低下」は判断できない。このような不整合は、解説は強度に言及してはいるが、強度を評価指標にしていないため、直接的に比較できないことに起因する。

そして、例えば、強度に深く関係する、第6章の「6－7－2 盛土」では、「標準のり面勾配の適用範囲を超える盛土の設計における照査の基本的考え方」として、

「一方、盛土及び盛土周辺地盤の条件が次の①（盛土直下及びその周辺の地盤条件）又は②（盛土自体の条件）のいずれかに該当する場合には、常時の作用に対する照査、さらには必要に応じて降雨の作用及び地震動の作用に対する安定性の照査を行い、盛土構造（盛土材料の使用区分等）、地下排水施設、のり面勾配、のり面保護施設及び締固め管理基準値等の品質管理の方法を検討する。締固め管理基準値は、解表 6－6 又は解表 6－7 の値を目安としつつ、設計で前提とする強度等の力学特性が発揮されるよう定める必要がある。」

と解説し、日常管理の基準値の目安を解表 6-6（路体）および解表 6-7（路床及び構造物との接続部）により、粘性土は「空気間隙率、飽和度」、砂質土は「締固め度」の管理基準値を規定し、それらにより施工管理するとしている。しかし、上記解説の「安定性の照査」には「強度」が必要であり、また、「設計で前提とする強度等の力学特性が発揮される」で強調する「強度」は、「締固め度など」では検証できない。この点も、上記の留意点と同様に、強度の言及と取り扱いの不整合に起因する。

このように、同解説2017および同解説2025の「施工」では、①強度とは直接的な関係がなく、②計測上の不確実性の懸念がある、③旧態依然の便宜的な指標であるなどの特徴がある「締固め度など」による照査を妥当としているが、盛土の安定性の評価に用いられ、設計の前提条件である「強度」との整合がとられていない。言い換えると、技術基準2025の「設計の前提条件及び設計段階で定めた事項等を満足」は検証されていない。なお、逆に、「締固め度など」で盛土の安定性を照査する設計ができるか・・・と言うことになるが、当然、設計はできない。

上記から、本文で新たに加える最後の発想として、**発想13：設計条件（強度定数など）により施工条件を照査することが必要ではないか！・・・**を提示するが、「締固め度など」の旧態依然の不確実性の懸念がある間接的な指標による施工管理から脱却することは、先取りである。**\*発想13**は、本文で新たに追加した。

なお、例えば、「締固め度」試験は、①人手が掛かり、②個人差が出易い、③将来の人材不足の環境に馴染むかなどの懸念があり、ICT の流れにあつては、新たな評価指標、計測方法の開発（省力化・自動化など）が必要と思われる。また、施工で強度の計測、照査を明文化すれば、例えば、広い面積がある盛土を転圧ごとに迅速かつリアルタイムで自動計測する技術が必要となり、新たな技術展開に繋がる。

最後に、繰り返しになる事項もあるが、今後の技術者としての視点、姿勢は、下記のとおりである。

1. 令和 6 年能登半島地震の被害による知見、言い換えると、経験は重要ではあるが、それらは単発的に発生しているが故に、それらを「その場しのぎ」の仕様規定に留めず、盛土でも橋梁と同様に、性能規

定による客観的、論理的、定量的な照査が必要である。言い換えると、「既往の経験・実績」だけでは「場当たりの」、「小手先の」、「後追いの」な仕様、安易な見なしに留まり、それを抛り所とするのは楽であるが、新たな展開には繋がらず、将来の道路土工構造物の技術展開はなく、衰退が危惧される。

2. 将来の技術者の姿勢は、下記の PPT55 のとおり、旧態依然の仕様を鵜呑みにするのではなく、エビデンスに基づく技術・工法の先取りする柔軟性を持ち、現場の状態が洞察でき、それを踏まえた技術・工法の提案ができる技術者の専門性を醸成すること、それらを普遍化、常態化することが必須である。
3. 新技術・工法を適用する際に第一として考慮されることは会計検査であると思われるが、基準類は全国を対象とした統一的、平均的な技術の規定であるので、個別の土工構造物の特異性が考慮されている訳ではない。そのため、基準類の仕様規定、見なし規定が馴染まない、妥当性が満足されない場合、技術者は専門的技術力により気づき、妥当な照査手法による検討を行うことが必要である。そして、基準類の規定によらない場合は、専門技術者として、責任を持って毅然と妥当性の説明をすればよい。
4. 「安易な基準類は、安易な技術環境を許容し、技術・技術者の衰退に繋がる」ので、基準類は AI に依存しない、できない技術・工法の検証の必要性を規定することにより、技術者の専門性の発揮、動機づけを促す使命がある。さらに、そのための研究・開発を計画的に進めることが必要である。言い換えると、基準類が改定できる成果がない、あるいは内容が希薄である場合は、それまで計画的、的を射た研究・開発が実施されてきていない証である。
5. 想定外に対応できる柔軟性は、設計だけの「個別段階最適」、対象構造物だけの「個別構造物最適」である『個別最適』に留まらず、計画、設計、施工、維持管理の「全段階最適」および隣接・連続する構造物との性能、限界状態の整合を図る「複合構造最適」による『全体最適』の姿勢を基本とすると実現できる。言い換えると、『木（個別）を見て、森（全体）も見る』である。ここで、木は戦術、森は戦略であり、『戦術を活かす戦略』と『戦略を実現する戦術』の双方向の視点、取組みがある。言い換えると、技術者は、戦術である技術・工法の習得、開発の深化に努めるとともに、戦略の眼による俯瞰力を備えると、自己強靱化になる。

PPT55

**土工分野の技術向上、人材の充実・強化が必要です。**

**そして、  
現状を容認しない、安易な見なしに流れないで、  
発想を転換し、絶え間なく、新しい技術・工法に挑戦しましょう。**

**そのため、  
基準類を遵守しながらも、土工に固有な地域性を見極めて、  
それを考慮した技術・工法を提案し、  
責任と自信を持って説明し、実践しましょう。**

**なお、  
想定外に対応するには、個別最適では限界があり、全体最適の姿勢が必要です。**

**つまり、  
木（戦術：個別最適）を見て、森（戦略：全体最適）も見ることです。**

55

以上