

インフラメンテナンスに用いる表面波探査 Surface wave exploration used for slope infrastructure maintenance

美馬 健二、川浪 聖志（有限会社太田ジオリサーチ）

Kenji MIMA, Seishi KAWANAMI (Ohta Geo Research Co., Ltd.)

1. はじめに

近年、降雨による空石積擁壁の崩壊が、たびたび発生している。筆者らは、崩壊原因の多くは、擁壁背部の土砂流出による空洞化であると考えている。今後、空石積擁壁のメンテナンスを行っていくべきではあるが、点検手法は目視調査が一般的であり、擁壁内部を調査する手法はあまり普及していない。

国土技術政策総合研究所は、擁壁内部の調査の必要性を指摘しており、表面波探査を用いた擁壁調査手法を考案している¹⁾。また、計測されたS波速度により擁壁の健全度を評価する指標も定めている。本発表では、この表面波探査法を用いて、空石積擁壁の健全度を評価した事例と、これを応用してモルタル吹付斜面に適用した事例を紹介する（モルタル吹付斜面の事例紹介は、紙面の都合上、割愛する）。

2. 擁壁の表面波探査

表面波探査は、図-1のように、擁壁表面に地震計を水平方向に0.5～1m間隔で3個以上並べ、その端部をハンマーで起振し、表面波の通過する時間と周波数を測定器で計測することで、擁壁壁体及び背後の地盤のS波速度を求めることができる。最終的には、図-2の基準により擁壁の危険度を評価する。本事例では、目視調査で危険度「小」と評価された空石積擁壁41箇所では表面波探査を実施した。



図-1 空石積擁壁の表面波探査状況

3. 空石積擁壁の表面波探査結果

既存空石積擁壁で表面波探査を行った結果を図-3に示す。本事例では、目視点検で危険度「小」と評価された擁壁の44%が、危険度「大」となる結果となった。

S波速度 (m/s)		危険度区分
壁体	背後の地盤	
1000以上	かつ100以上	小
500～1000	かつ100以上	中
500未満	又は100未満	大

図-2 表面波探査を用いた擁壁の危険度評価基準¹⁾

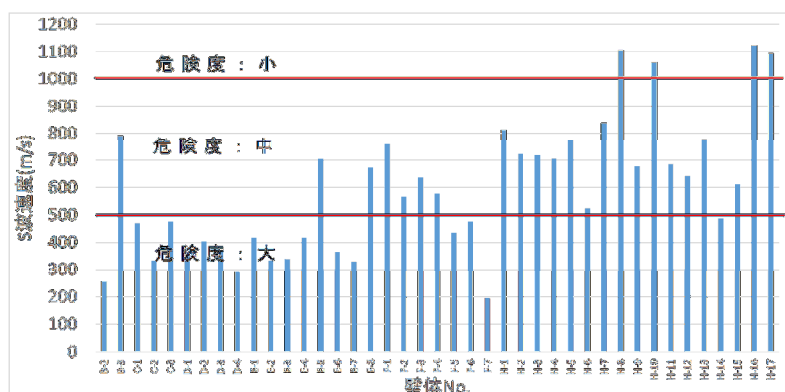


図-3 空石積擁壁壁体のS波速度

参考文献

1)国土技術政策総合研究所. 2013. 多世代利用型超長期住宅及び宅地の形成・管理技術の開発. 国総研プロジェクト研究報告第42号. pp.V-8.

インフラメンテナンスに用いる 表面波探査



擁壁の表面波探査



モルタル吹付斜面の表面波探査

太田ジオリサーチ

○美馬 健二
川浪 聖志

日本地すべり学会関西支部技術研究集会「若手が実践する新技術」

概要

1. 空石積^{から}擁壁の問題

- ・空石積擁壁と練石積^{ねり}擁壁の違い
- ・空石積擁壁の崩壊事例
- ・空石積擁壁はなぜ空洞化するのか？
- ・目視による空石積擁壁と練石積擁壁の判別の難しさ
- ・**擁壁の表面波探査**と危険度評価方法の説明
- ・空石積擁壁の危険度評価結果
- ・石積接着補強工法施工後の擁壁の危険度評価結果

擁壁背後の空洞化が問題。

2. モルタル吹付の問題

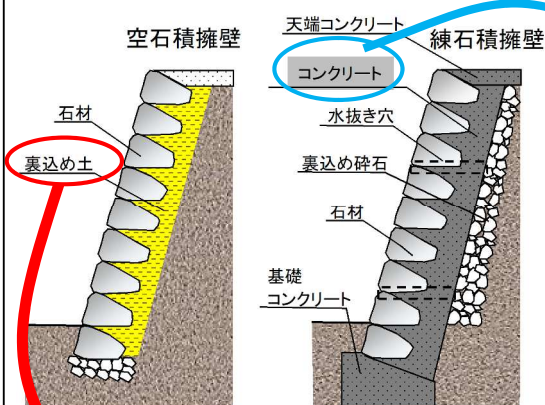
- ・モルタル吹付の目的と効果
- ・モルタル吹付斜面の崩壊メカニズム(推定)
- ・モルタル吹付背面の地山はどの程度風化すると崩壊するのか。モルタル吹付崩壊斜面のすぐ横で、**表面波探査**を実施した結果

地山の風化が原因

空石積擁壁の問題

空石積擁壁と練石積擁壁の違い

石積擁壁には、空石積擁壁と練石積擁壁の2つの構造がある。



がけの土質 擁壁の勾配	第1種 岩、岩層、砂利又は砂利混り砂	第2種 真砂土、関東ローム硬質粘土その他これらに類するもの	第3種 その他の土質
70°を超え75°以下(約3分)			

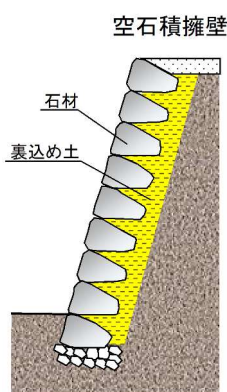
宅地防災マニュアルの解説〔I〕による練積み造擁壁の構造

練空石積擁壁は、石材背後に充填するコンクリート厚(40~90cm)が規定されている。

空石積擁壁は、背後にコンクリートが無い。

なぜ空石積擁壁は存在しているのか。

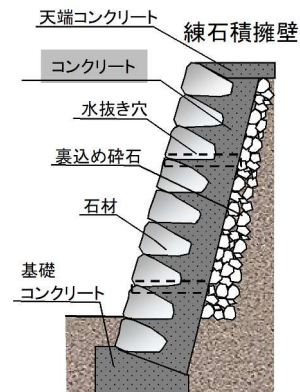
空石積擁壁



昔はOKだった。

都市部の宅地では、1961~1968年あたり(高度経済成長期半ば)から練石積擁壁に変わっていったと考えられる。

練石積擁壁



近年、都市部で作られている擁壁は練積。

1961年、**宅地造成等規制法**が施行され、空石積擁壁は技術基準を満たさない擁壁となった。

1968年、**都市計画法**が施行され、擁壁は宅地造成等規制法の基準に適合させる旨が記されている。

宅地の空石積擁壁は、**50年以上前に建設**されたものである可能性が高く、**メンテナンスが行われていないことが多い。**

空石積擁壁の崩壊事例

空石積擁壁の崩壊が相次いでいる。

宅地

2021年6月25日
大阪府大阪市西成区天下茶屋東2丁目
空石積擁壁崩壊



観光地

2021年8月14日
京都府京都市東山区清水1丁目
空石積擁壁崩壊



道路

2021年9月4日
兵庫県淡路市尾崎
空石積擁壁崩壊

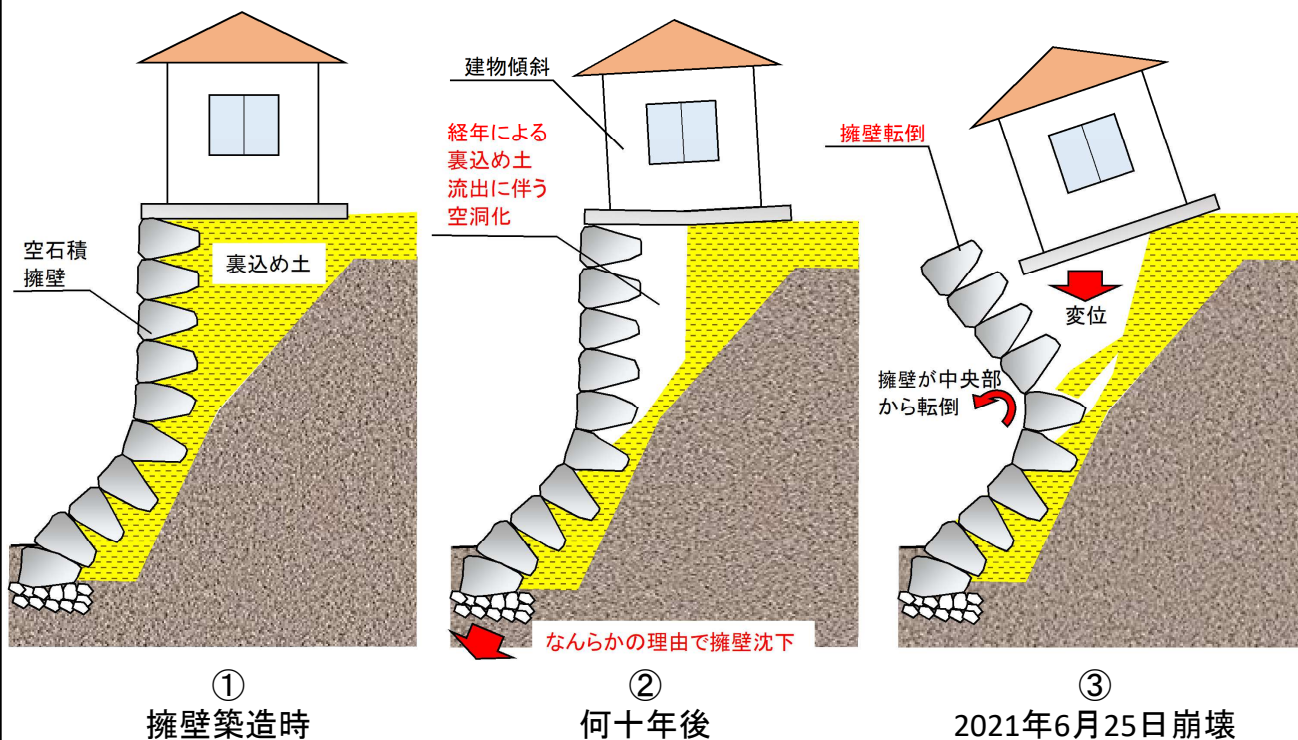
いずれも記録的豪雨ではない降雨で崩壊していることが特徴。

大阪市西成区天下茶屋東2丁目の空石積擁壁崩壊動画

(動画: 近隣住民提供)



大阪市西成区天下茶屋東2丁目の空石積擁壁崩壊メカニズム(仮説)



空石積擁壁は、背面が空洞化しやすい。
また、基礎地盤が変形すると、石材の噛み合わせを失い、不安定化する。

大阪市西成区天下茶屋東2丁目の空石積擁壁崩壊動画

既に建物が傾斜している。

(動画: 近隣住民提供)



空石積擁壁はなぜ空洞化するか？



空石積擁壁は石材間に隙間があり、この隙間から裏込め土が流出しやすいと考えられる。

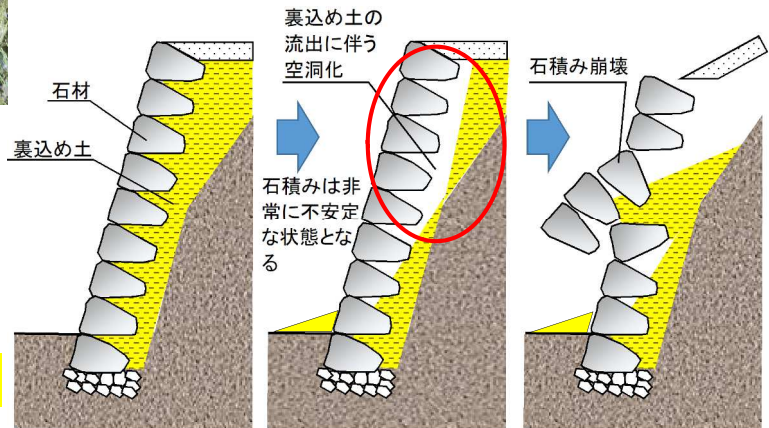
長い年月をかけて、裏込め土は徐々に流出し、**石材の背後が空洞化する。**



石積擁壁は「もたれ構造」である。



石材の自立が困難。



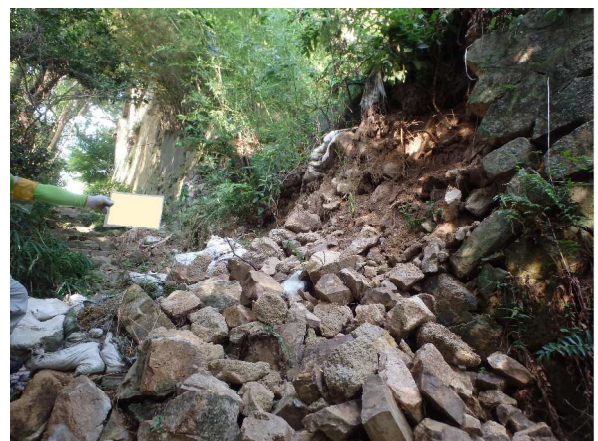
空石積擁壁の背後空洞化に伴う崩壊メカニズム（推定）

石積み崩壊

空石積擁壁の石材背後の空洞状況



崩壊前



崩壊後

空石積擁壁の石材背後の空洞状況



主たる崩土は
石材であり、土
はほぼ無い。

空石積擁壁の崩壊現場

石材のすぐ裏が、メ
ジャーが1m挿入でき
るほど空洞化している。

地山の土圧による崩壊ではなく、擁壁単独の
崩壊であった。

崩壊の原因は、裏込め土の空洞化である可
能性が高い。



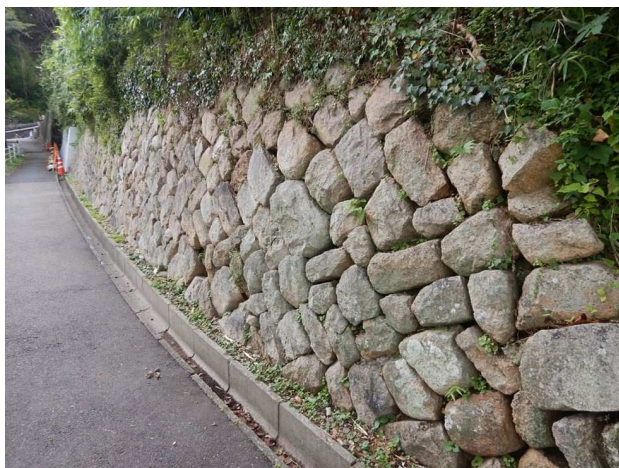
崩壊部から空石積擁壁の
側面が観察できる

石材背後の裏
込め土は栗石
混り土

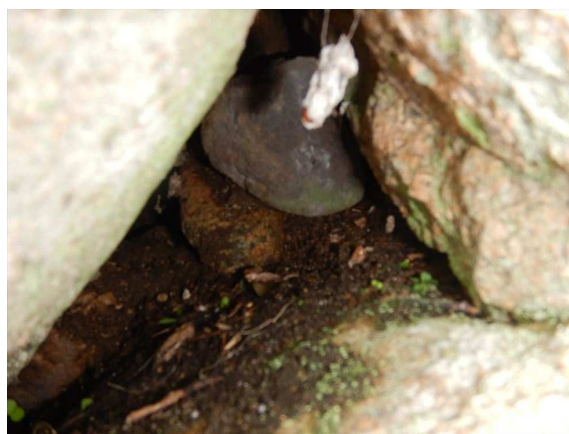
空洞化



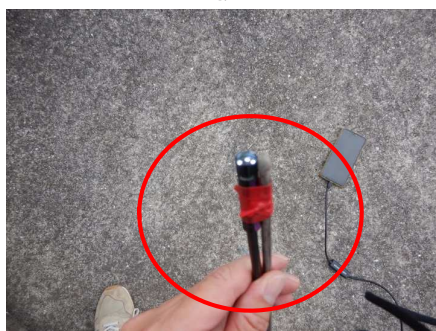
空石積擁壁の石材背後の空洞を小型カメラで観察してみた



対象の空石積擁壁



石材の奥を覗くと、土と礫が見える。



石材の隙間から、
廉価なLEDライト付き小型カメラを挿入し、
石材の裏側を覗いてみた。

空石積擁壁の石材背後の空洞を小型カメラで観察(動画)

深度40～50cm空洞化していた。



目視による空石積擁壁と練石積擁壁の判別の難しさ

維持管理上、空石積擁壁と練石積擁壁を判別することは非常に重要である。

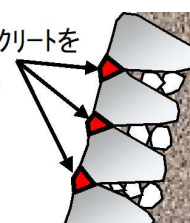
空石積擁壁と練石積擁壁は目視で判別できるか？



実は、これらはすべて空石積擁壁である。

空石積擁壁と練石積擁壁を目視だけで判別することは困難な場合がある。

表面だけコンクリートを詰めている。



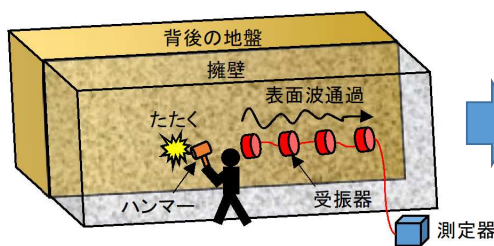
背後にコンクリートは無い。

このパターンが多い。

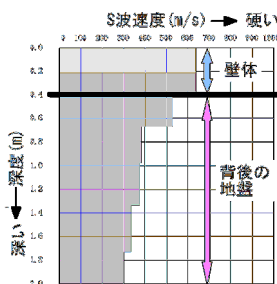
擁壁の表面波探査の説明

2013年、国土技術政策総合研究所により、**擁壁の表面波探査¹⁾**が考案された。

1) 国土技術政策総合研究所：「多世代利用型超長期住宅及び宅地の形成・管理技術の開発 V.宅地技術部門（国総研プロジェクト研究報告第42号）」,2013)



擁壁の表面波探査模式図



表面波探査の結果例

S波速度 (m/s)		危険度区分
壁体	背後の地盤	
1000以上	かつ100以上	小
500～1000	かつ100以上	中
500未満	又は100未満	大

S波速度による擁壁の
危険度評価判定基準

※S波速度は速いほど硬いという指標。



擁壁の表面波探査状況

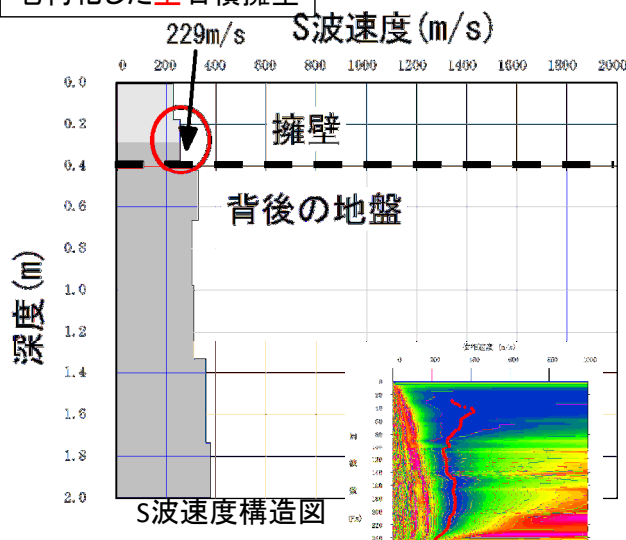
国土交通省が示す危険度「大」とは

変状等の程度が特に顕著で、危険な宅地擁壁である。早急に所有者等に対する勧告・改善命令の発令を検討する必要があり、防災工事を行うとともに、周辺に被害を及ぼさないよう指導する。

1. 受振器3個以上を0.5～1.0mの間隔で一直線に配置する。
2. 受振器の端部で、ハンマーを用いて1回起振する。
3. 測定器により表面波が受振器を通過する時間と周波数を測定し、周波数ごとの表面波の位相速度を解析する。
4. 3分の1波長経験則より、S波速度構造図を作成する。
5. 擁壁の危険度を判定する。

擁壁の表面波探査結果例

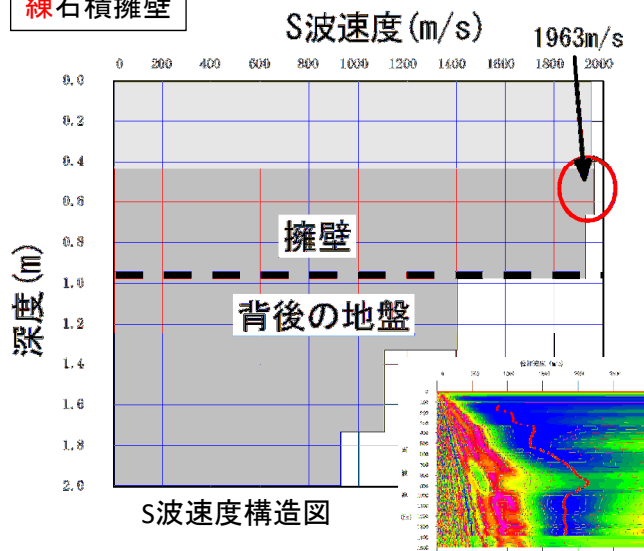
老朽化した**空石積擁壁**



空石積擁壁の探査結果事例
S波速度 V_s =229m/s

危険度:大

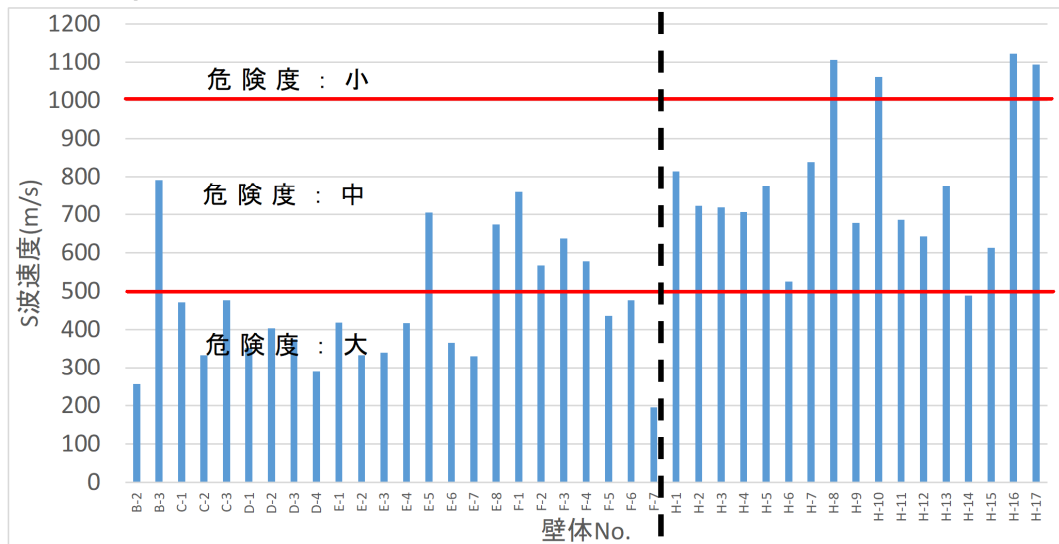
練石積擁壁



練石積擁壁の探査結果事例
S波速度 V_s =1963m/s

危険度:小

ある敷地内に設置されている空石積擁壁41箇所を表面波探査を実施した結果



玉石積み

玉石積み ← | → 間知石積み

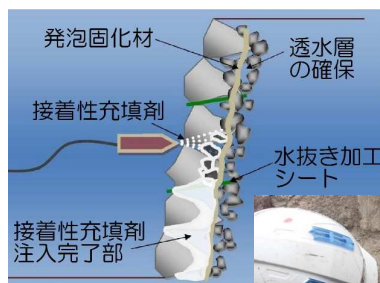
危険度	箇所数	率
小	4	10%
中	19	46%
大	18	44%
計	41	100%

全体の44%が危険度:大である。



間知石積み

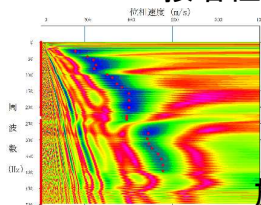
石積接着補強工法の効果の検証



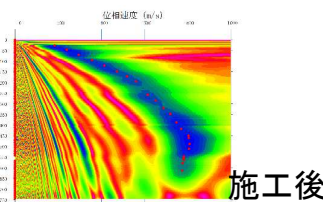
表面波探査状況

S波速度が
1.5倍上昇

接着性充填剤の注入状況



施工前



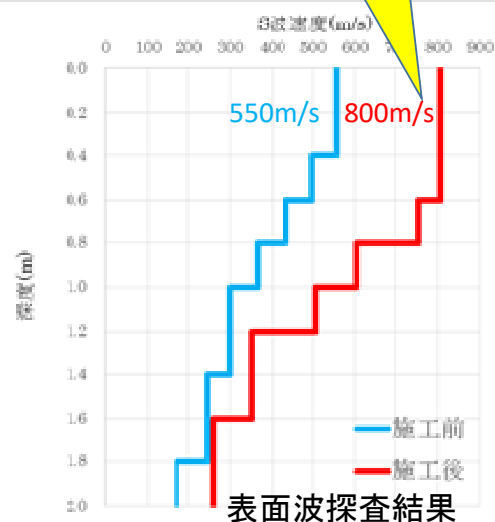
施工後



施工前



施工後



表面波探査結果

モルタル吹付の問題

昭和40年＝1965年
施工後約50年を超える

モルタル吹付は、「昭和40～50年代に多数施工された。近年、その後の地山の風化等の経年劣化により、場所によっては吹付工の背面が著しく土砂化・空洞化し、それらが要因で吹付工が部分崩落する等の問題も多数生じており、維持管理が課題となっている」

※佐々木ら(2015):道路のり面斜面对策におけるアセットマネジメント手法に関する研究(1), 土木研究所平成27年度プロジェクト研究・重点研究報告書, pp.1. 引用

- ①近年、モルタル吹付斜面の部分崩落が多数生じている。
- ②その原因は、地山の風化等の経年劣化である。

今後、モルタル吹付斜面の崩落が懸念される。



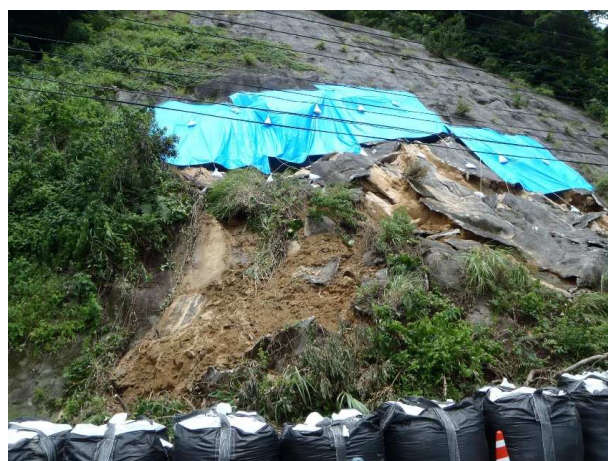
モルタル吹付の崩壊状況

モルタル吹付の目的と効果



モルタル吹付施工状況

(高速道路技術センター:現場のチェックポイント,平成11年3月より引用)



モルタル吹付斜面の崩壊

モルタル吹付の目的

斜面やのり面に湧水が少なく、当面崩壊の危険性は少ないが、亀裂が多く風化しやすい岩、風化してはげ落ちるおそれのある岩等の風化を抑制する目的で用いる

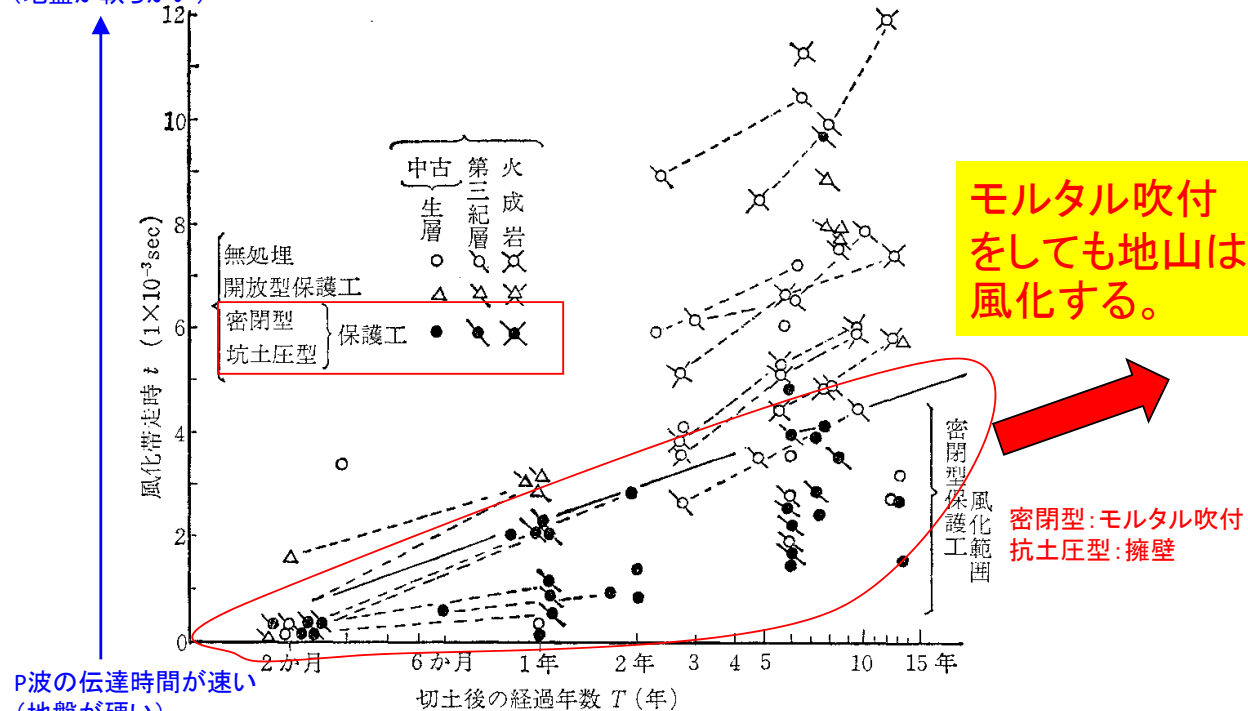
平成29年12月版
日本道路協会:落石
対策便覧P127

モルタル吹付をしたら、岩盤は永久に風化しないという意味なのか？

⇒いいえ。次ページの文献参照

モルタル吹付の目的と効果

P波の伝達時間が遅い
(地盤が軟らかい)

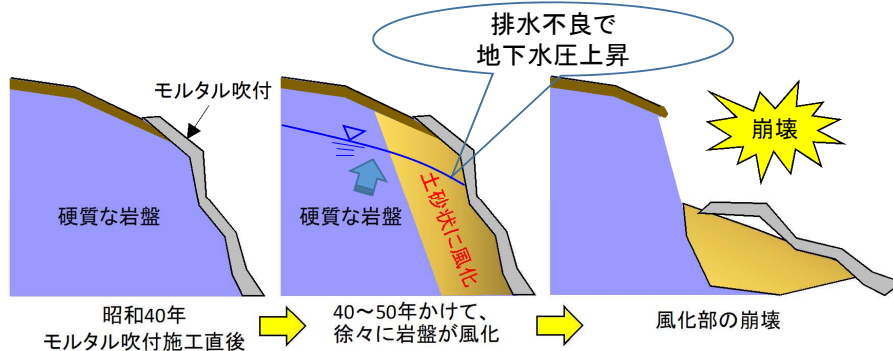


P波の伝達時間が速い
(地盤が硬い)

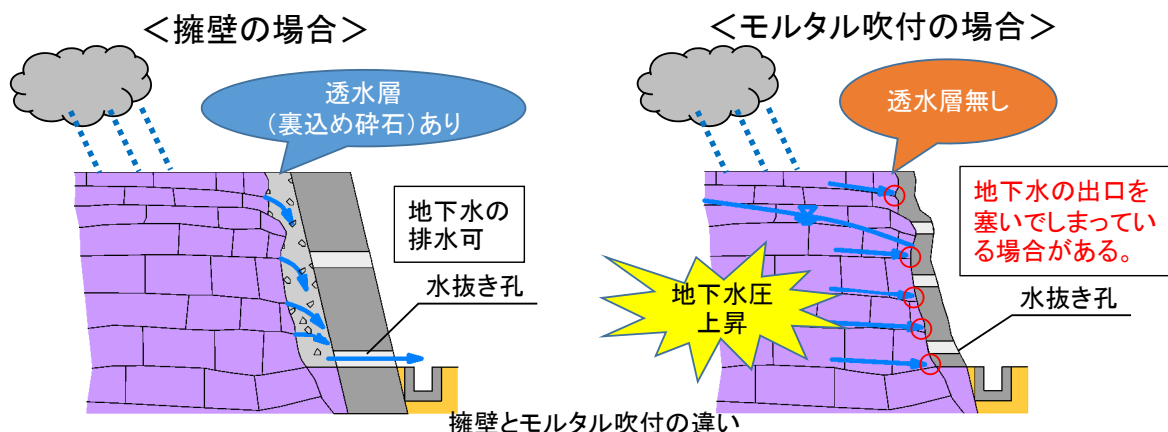
保護工種別風化量の経時変化

奥園誠之: 切取斜面の設計から維持管理まで, 鹿島出版, 1983.引用

モルタル吹付斜面の崩壊メカニズム(推定)



維持管理において、モルタル背面の地山の風化度を把握することが重要である。

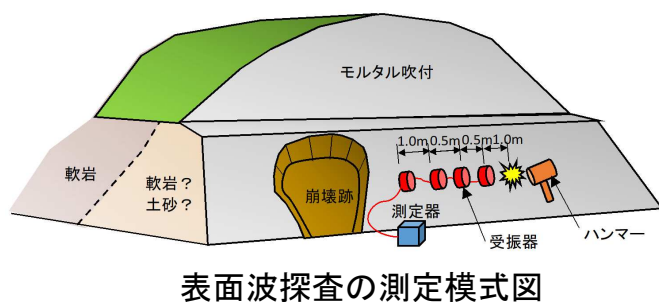


豪雨時の擁壁に作用する水圧(参考)



右城: 擁壁のトラブル事例から学ぶ, p69, 2020. 引用

モルタル吹付崩壊斜面のすぐ横で、表面波探査を実施した結果



地山は、s波速度がいくらになったら崩壊するのかを把握したい。

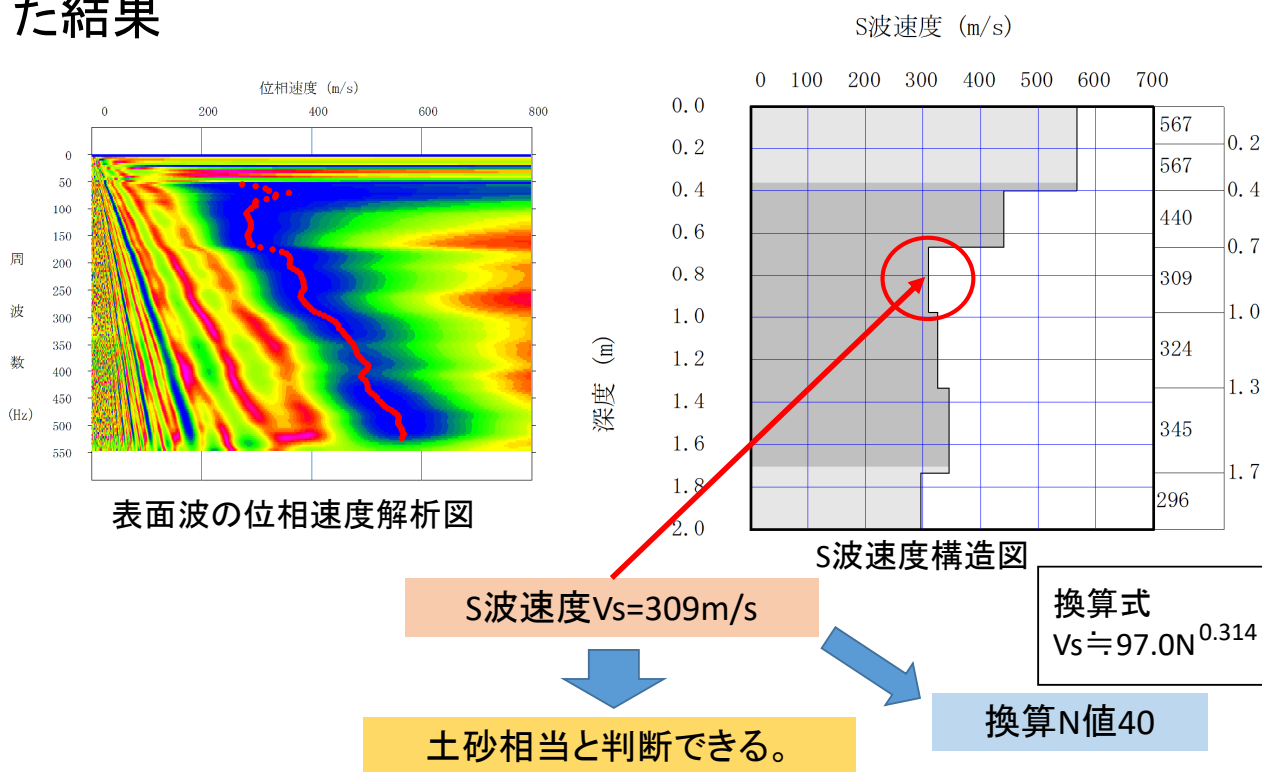


実際に崩壊したモルタル吹付斜面のすぐ横で、表面波探査を実施した。



表面波探査実施状況

モルタル吹付崩壊斜面のすぐ横で、表面波探査を実施した結果

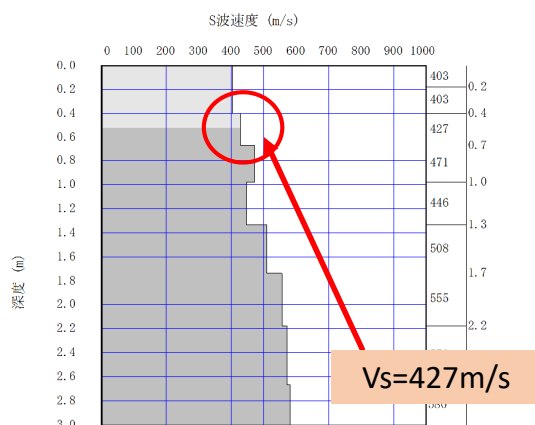


S波速度 $V_s = 300 \text{ m/s}$ 程度 (土砂相当) で崩壊する可能性があることが分かった。

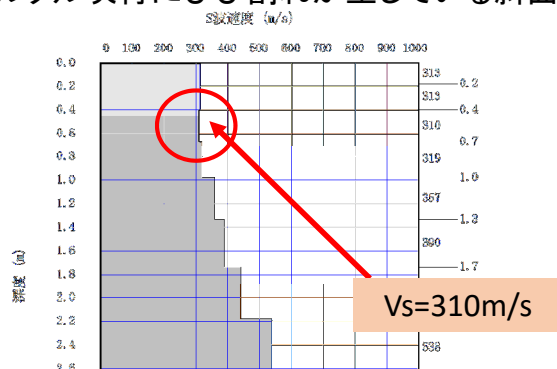
モルタル吹付の変状斜面と非変状斜面で、表面波探査を実施した例



A. モルタル吹付に変状の無い斜面



B. モルタル吹付にひび割れが生じている斜面



$V_s \doteq 300 \text{ m/s}$ で崩壊した事例があるため、Bの斜面は崩壊する可能性がある。

まとめ

空石積擁壁の問題

- ・空石積擁壁の崩壊は、擁壁背面の空洞化が原因となっている場合がある。
- ・擁壁の健全度調査は、表面波探査が有効である。
- ・石積接着補強工法は、空石積擁壁の補強に効果がある。
- ・山際に擁壁やモルタル吹付を設置する場合は、水圧について検討する必要がある。

モルタル吹付の問題

- ・モルタル吹付斜面の崩壊は、地山の風化が原因となっている場合がある。
- ・モルタル吹付の地山強度は、表面波探査を用いることで非破壊で調査ができる。
- ・モルタル吹付斜面が崩壊する地山の風化度合は、S波速度300m/sが目安である。

ご清聴ありがとうございました。