

# 内部侵食を受けた砂質土の繰返し変形特性と剛性の変化に関する研究

Study on cyclic deformation characteristics and change in stiffness of suffused soil



西永 侑生

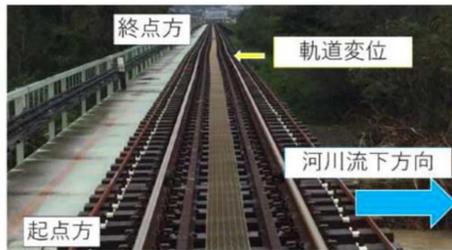
(2022年度 卒業論文概要)

東京大学 工学部 社会基盤学科 土質・地盤研究室

## 概要

河川橋りょうにおいて、橋脚が大規模出水による河床侵食・洗掘により変位や傾斜が生じる被害が相次いでいる。特に出水時に変位が見られなかった橋脚に、その後の列車荷重で突然変位が生じる「遅れ変位」という現象が橋りょう維持管理の観点から問題となっている。

本研究では、この「遅れ変位」について、橋脚基礎地盤での内部侵食が寄与していることを前提にして、実際の橋りょうの維持管理でこの現象を未然に検知できるかについて明らかにすることを目的としている。三軸試験機を用いた侵食試験、繰返し载荷試験を実施し、各試験の前後で剛性などの地盤変形特性を調べた。

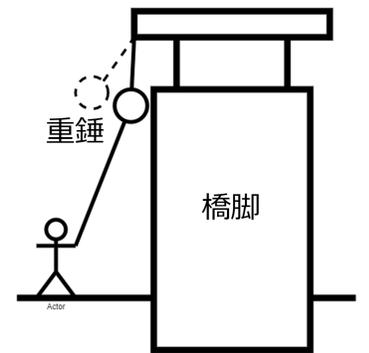


左図：鉄道車両通過時の遅れ変位による橋りょうの変位(神流川橋梁)  
出典：「八高線神流川橋りょうで発生した橋脚洗掘の原因と対策」(丸山ほか)

### ◇衝撃振動試験

重錘で橋脚に衝撃力を与えて応答を計測し、フーリエ解析により橋脚の固有振動数を評価する。

固有振動数の低下から橋脚基礎地盤の残存支持力の低下を検知する。

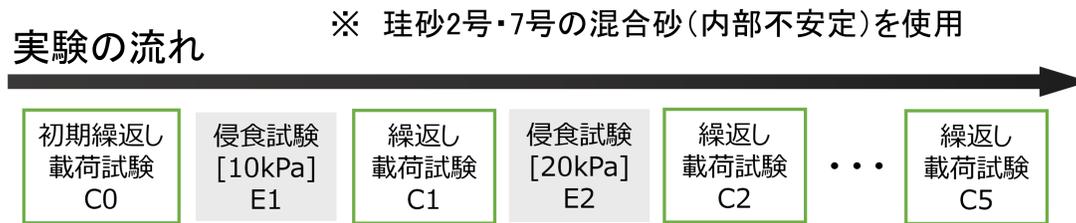


上図：衝撃振動試験の概要図

## 実験手順

载荷試験・侵食試験の間に微小ひずみ载荷試験を実施。

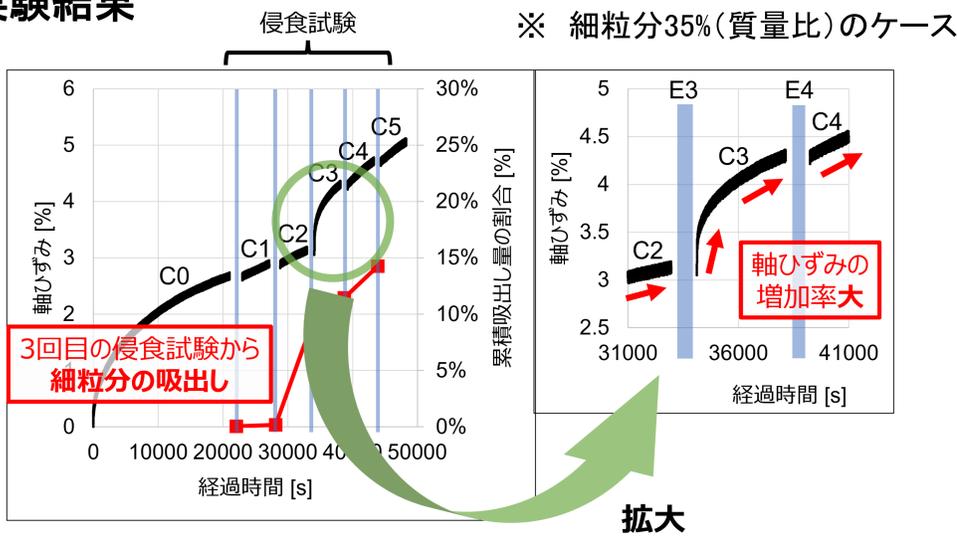
侵食試験では、供試体に与圧の異なる2つのタンクに接続して上向き浸透流を与える。



C0: 長年の列車通過を模擬  
E1~5: 出水を模擬 ([ ]内: 上下流タンクの水頭差・10kPaずつ上げる)  
C1~5: 出水後の列車通過を模擬 (载荷回数300回)



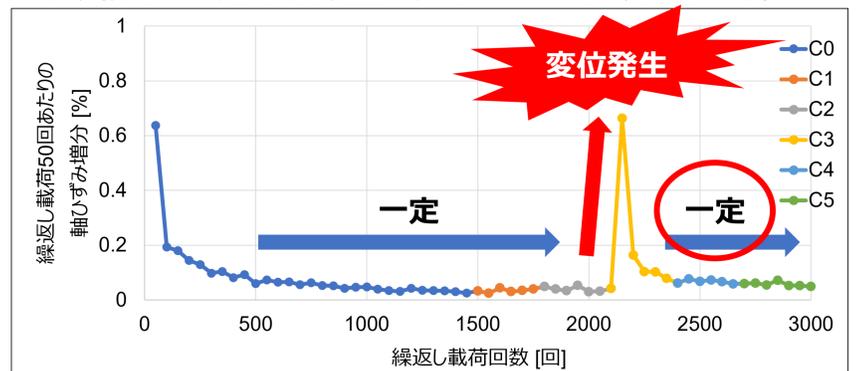
## 実験結果



鉛直ひずみ・吸出し量の時刻歴(上図)にて、3回目の侵食試験から細粒分の吸出しが見られ、直後の繰返し载荷で軸ひずみの増加率が大きくなった。

## 考察② 軸ひずみ増分の変化

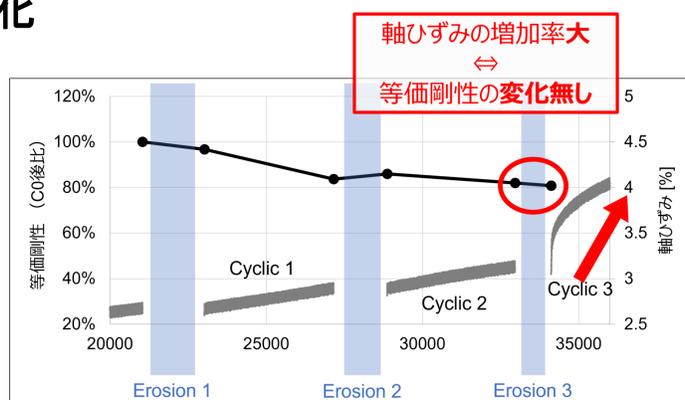
繰返し载荷50回あたりの軸ひずみ増分(下図)にて、3回目の繰返し载荷で増分が大きくなったのち、4回目以降では増分が2回目までと同水準に減少した。  
→遅れ変位発生後に橋脚に十分に繰返し载荷を与えれば、橋脚は再び安定化することが示唆された。



## 考察① 剛性の変化

吸出しがみられた侵食試験の前後で剛性の変化は見られなかった。

→衝撃振動試験による剛性の測定では遅れ変位を事前に検知できないことが示唆された。



右図：初期繰返し载荷試験直後を基準とした等価剛性と軸ひずみの時刻歴

## 結論

- ① 出水後の衝撃振動試験で固有振動数の低下が検知されず、「橋脚基礎地盤からの吸出しなし」と診断されても、列車の運行再開後に大きな変位が生じる可能性がある。
- ② 大きな変位が生じたのちに十分繰返し载荷を与えれば、土粒子骨格構造は吸出し以前の水準に戻り、橋りょうの再供用が可能であると考えられる。



上図：保守車両を用いた繰返し载荷試験(JR東日本撮影)

# 細粒分吸出し後の砂質土における 繰返し変形特性を規定する要因の検討

Examination of influencing factors on the deformation properties in cyclic loading of the suffused soil



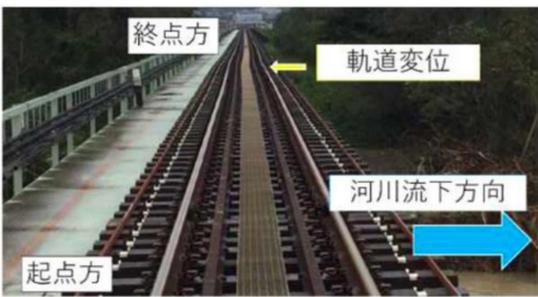
西尾 典紘

(2021年度 卒業論文概要)

東京大学 工学部 社会基盤学科 土質・地盤研究室

## 概要

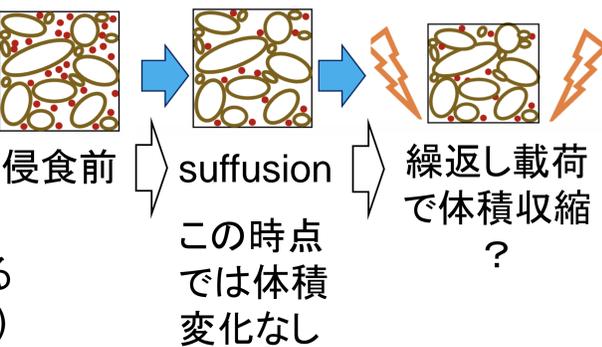
河川橋梁において、大きな出水が発生していない中で、**鉄道車両通過時**に橋脚の**変位が突然**見られる被害(以後、鉄道車両通過時の遅れ変位と呼ぶ)が近年注目されている。本研究ではそのメカニズムを、「細かい粒子の吸出し(suffusion)により橋脚基礎地盤が弱体化し、そこに鉄道車両通過による繰返し荷重が作用したことで、土粒子骨格構造が変化して**体積収縮**が発生した」と想定した。そして、三軸試験機を用いた**侵食試験**、繰返し荷重試験から、この仮説の妥当性を検討した。



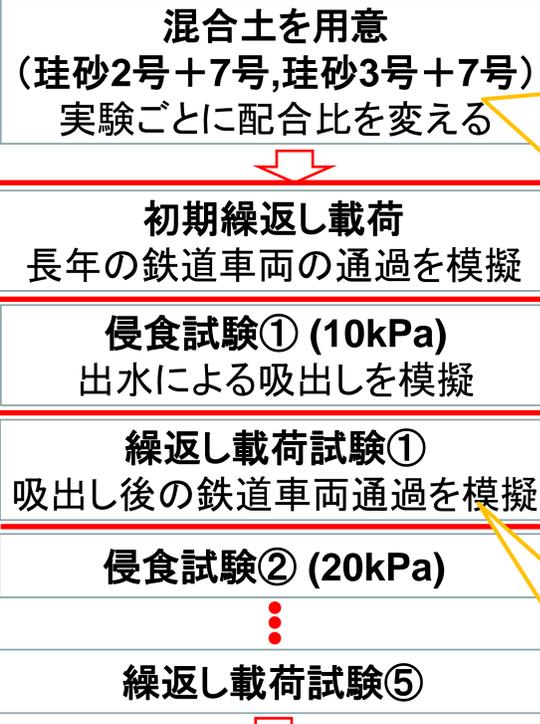
鉄道車両通過時の遅れ変位による軌道変位(JR八高線・神流川橋梁)

丸山ほか「八高線神流川橋りょうで発生した橋脚洗掘の原因と対策」より引用

仮説



## 試験の流れ



②「suffusion → 繰返し荷重でひずみ蓄積」の地盤条件は?

微小ひずみ荷重試験

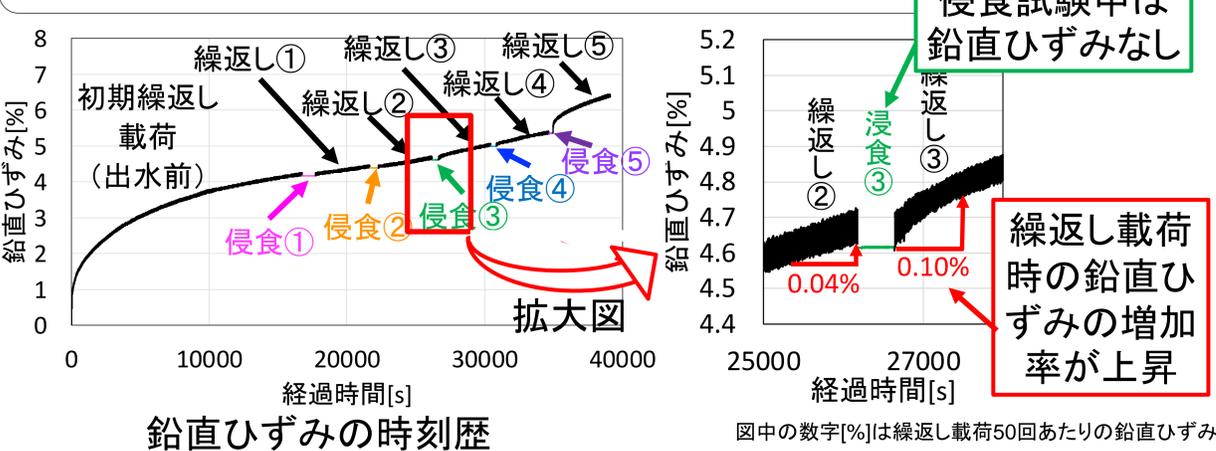
③剛性は変化?

①suffusion後の繰返し変形特性は?

## ①suffusion後の繰返し変形特性

下図は鉛直ひずみの時刻歴である。侵食試験③、④では、侵食試験中は鉛直ひずみが見られないのに対し、その後の繰返し荷重で**鉛直ひずみの増加率が上昇**している。

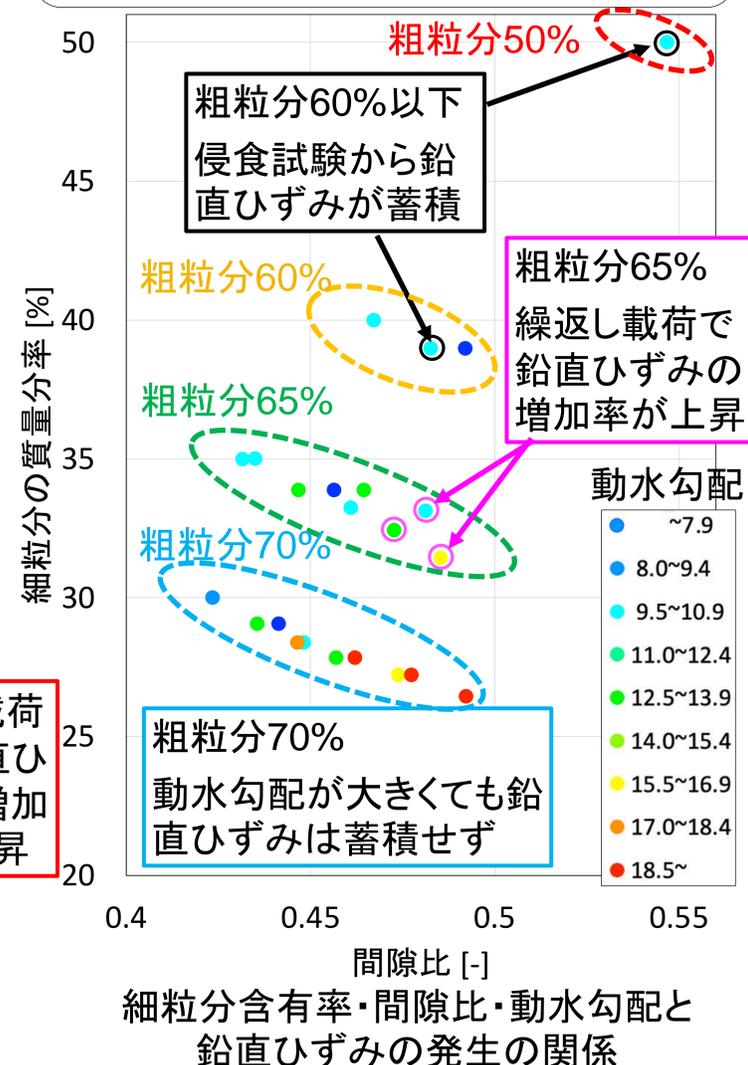
→ suffusion後の繰返し荷重で変位が生じ得ると示唆。鉄道車両通過時の遅れ変位の特徴を説明できた。



## ②鉛直ひずみ発生リスクの高い地盤条件

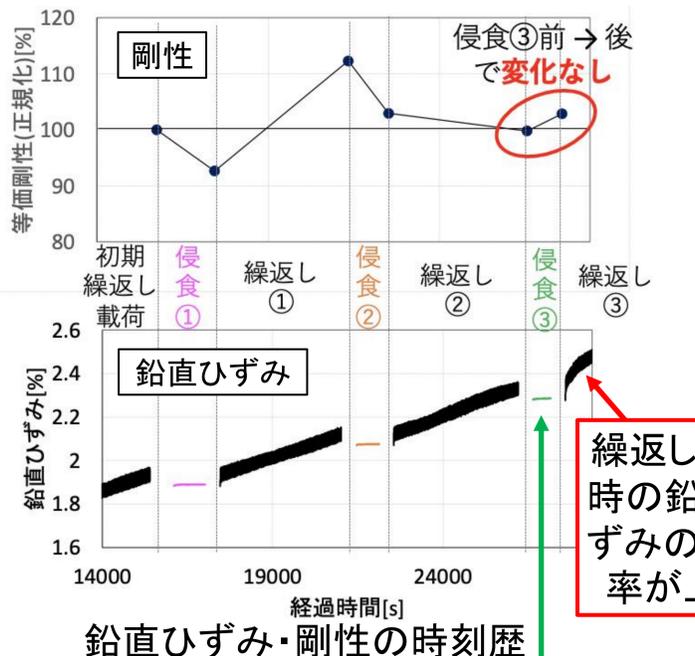
細粒分の割合が高く、**間隙比**が高く、**動水勾配**が大きくなると、鉛直ひずみが発生することが確認された。これらのパラメータは、細かい粒子が多い部分を水が流れること、水の流れが激しく、細かい粒子が十分吸い出されることに関わっていると考えられる。

→ 主に細粒分が骨格を形成、緩詰め地の地盤で吸出しによる鉛直ひずみ発生リスク大。



## ③剛性の変化

右図に示す試験では、侵食試験③で鉛直ひずみは発生しなかった一方、その直後の繰返し荷重③で鉛直ひずみの増加率が上昇した。一方で、侵食試験③の前後で**剛性に顕著な低下は見られていない**。



→ 「suffusion → 繰返し荷重で鉛直ひずみ」では、**侵食試験後の時点では剛性の変化は見られない**。現在主流の橋脚健全性判定法である衝撃振動試験では**健全性の低下を把握できない**ことを示唆。

繰返し荷重時の鉛直ひずみの増加率が上昇

侵食試験中は鉛直ひずみなし

# Evaluation of Suffusion Potential for Different Gap-Graded Soil Compositions and the Possibility of Delayed Scour

配合の異なるギャップグレード珪砂からの細粒分の吸出し現象および遅れ洗掘の発生可能性の評価



Ali Naqi  
(Outline of Master Thesis, September 2021)  
Department of Civil Engineering, University of Tokyo, Japan

THE UNIVERSITY OF TOKYO  
GEOTECHNICAL ENGINEERING LAB.

## Introduction:

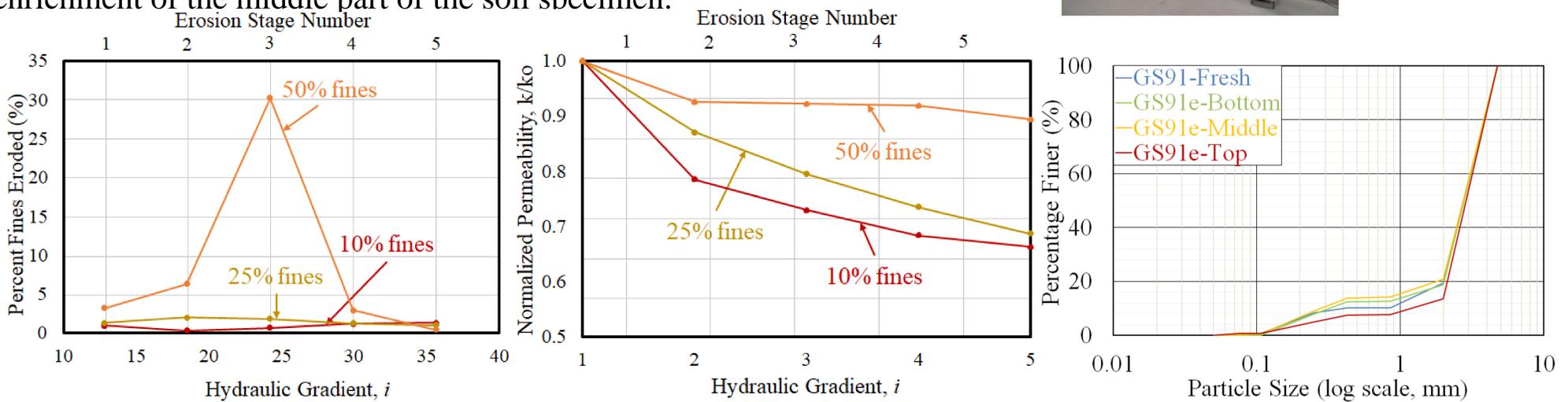
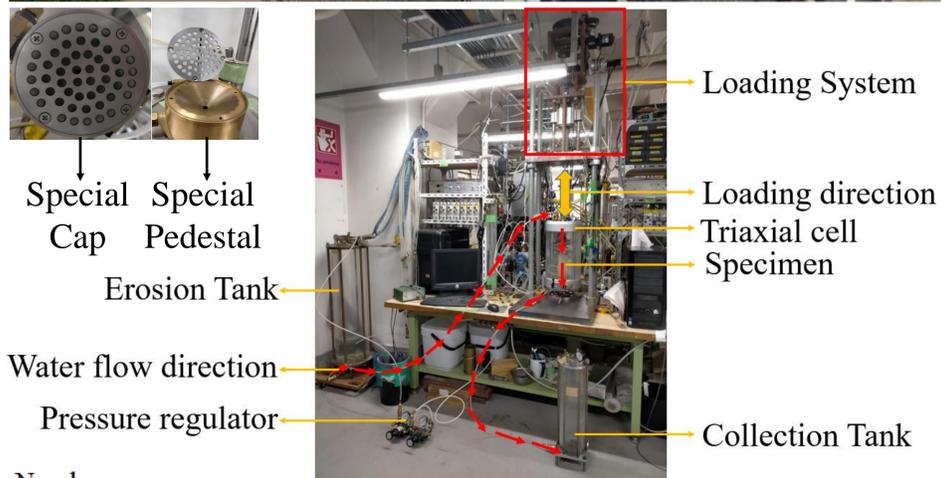
Suffusion is seepage induced fine mass loss from the soil mix. In Japan, many bridge piers with shallow foundations have failed because of it. This study is aimed at understanding suffusion and the conditions which leads to “delayed scour”, causing failure of structures several days after the heavy rainfall, as it is almost impossible to detect and predict.

## Methodology:

The triaxial apparatus modified for erosion tests was used to test different gap-graded compositions prepared between silica sand no. 2 and silica sand no. 7 by under-compaction method at same relative density of 79%.

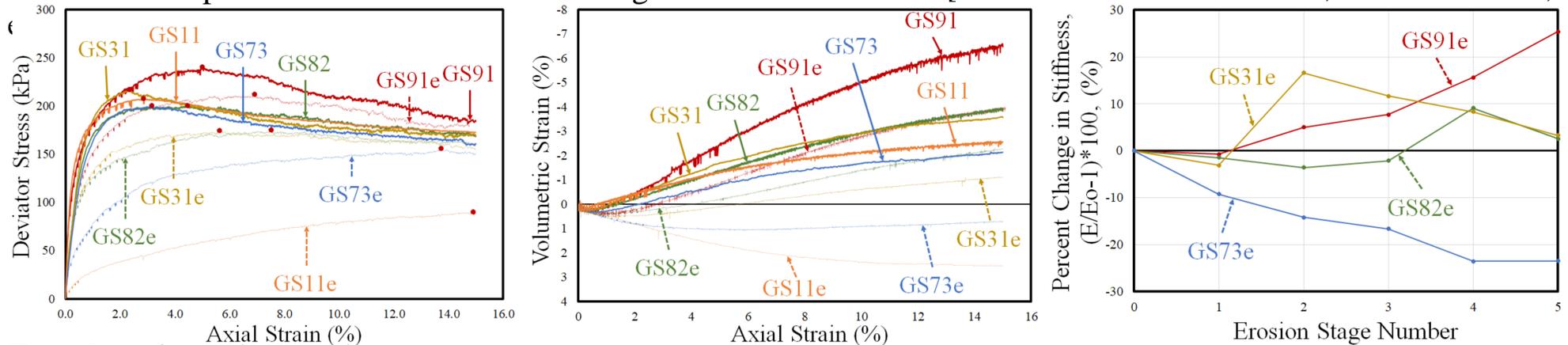
## Results of erosion tests:

Under same erosion conditions, soil with higher fines content exhibits higher erodibility. The permeability of soil decreases as the erosion progresses due to the fine enrichment of the middle part of the soil specimen.



## Results of monotonic loading tests:

The monotonic loading tests on eroded and non-eroded tests on different gap-graded compositions showed that the soil exhibit less strength and has become more contractive after erosion. The stiffness of low initial fines content specimen shows an increase while that of high initial fines content exhibits a decrease. The stiffness of medium fines content specimen fluctuates but on average remains unaffected. [GSXYe → X: Coarse fraction, Y: Fines fraction,



## Results of cyclic loading tests:

Cyclic loading tests on different compositions illustrates that when the “suffusion” is transformed into “suffusion”, there is large accumulation of strain under the cyclic loading. It is accompanied by a drastic decrease in the stiffness of the soil. It may be one of the reasons of the delayed scour observed at the actual site.

