

出水により細粒分吸出しを受けた河床材料の土粒子骨格構造の変化に関する研究

A study on changes in soil skeletal structure of riverbed materials suffused by flood water



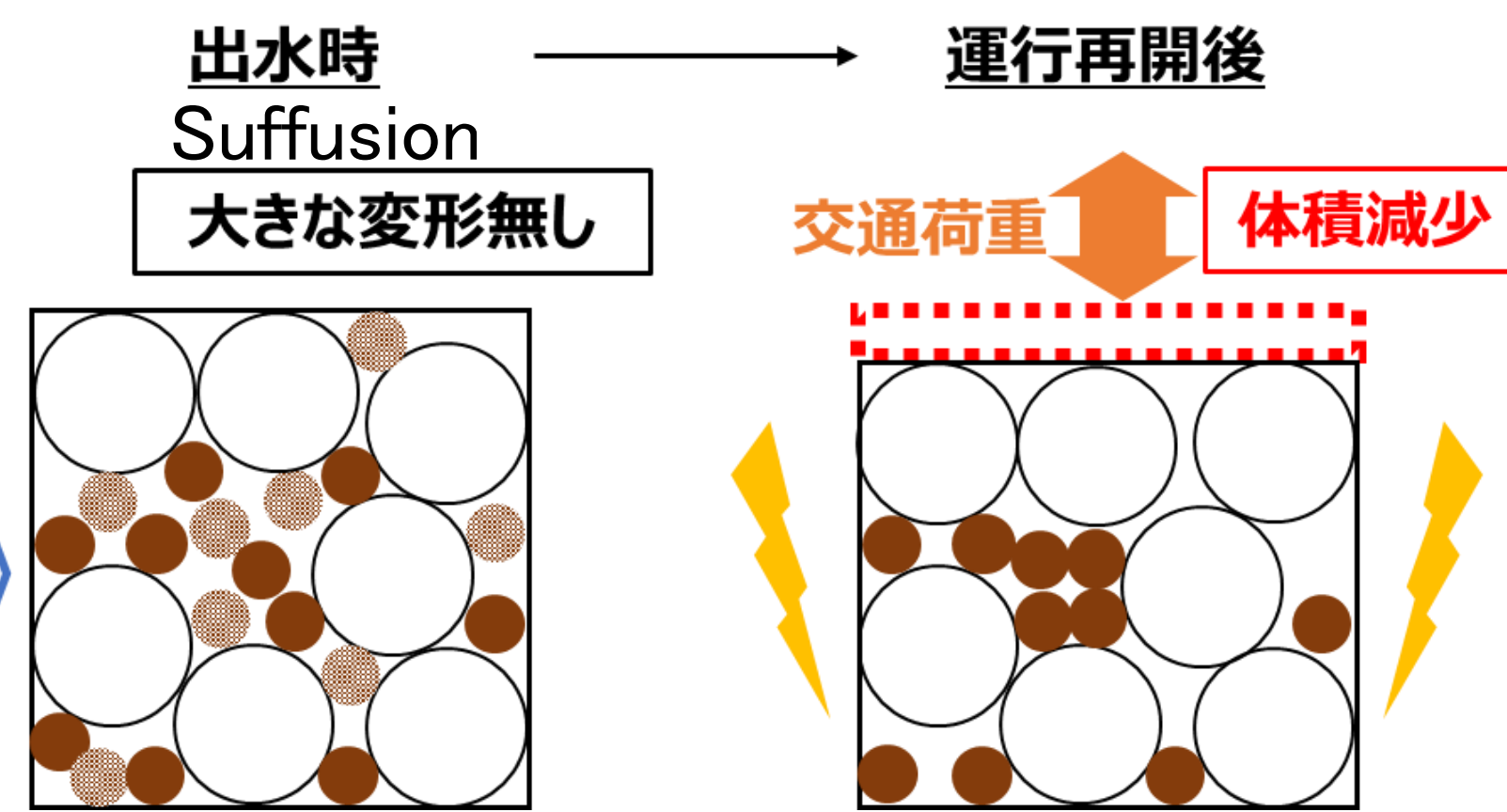
西永 侑生

(2024年度 修士論文概要)

東京大学大学院 工学系研究科 社会基盤学専攻 土質・地盤研究室

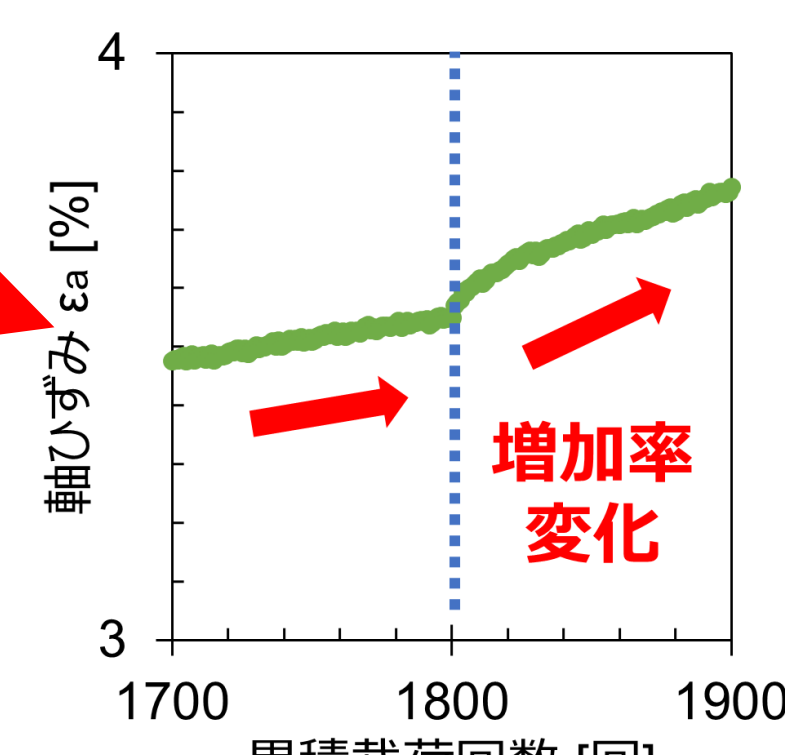
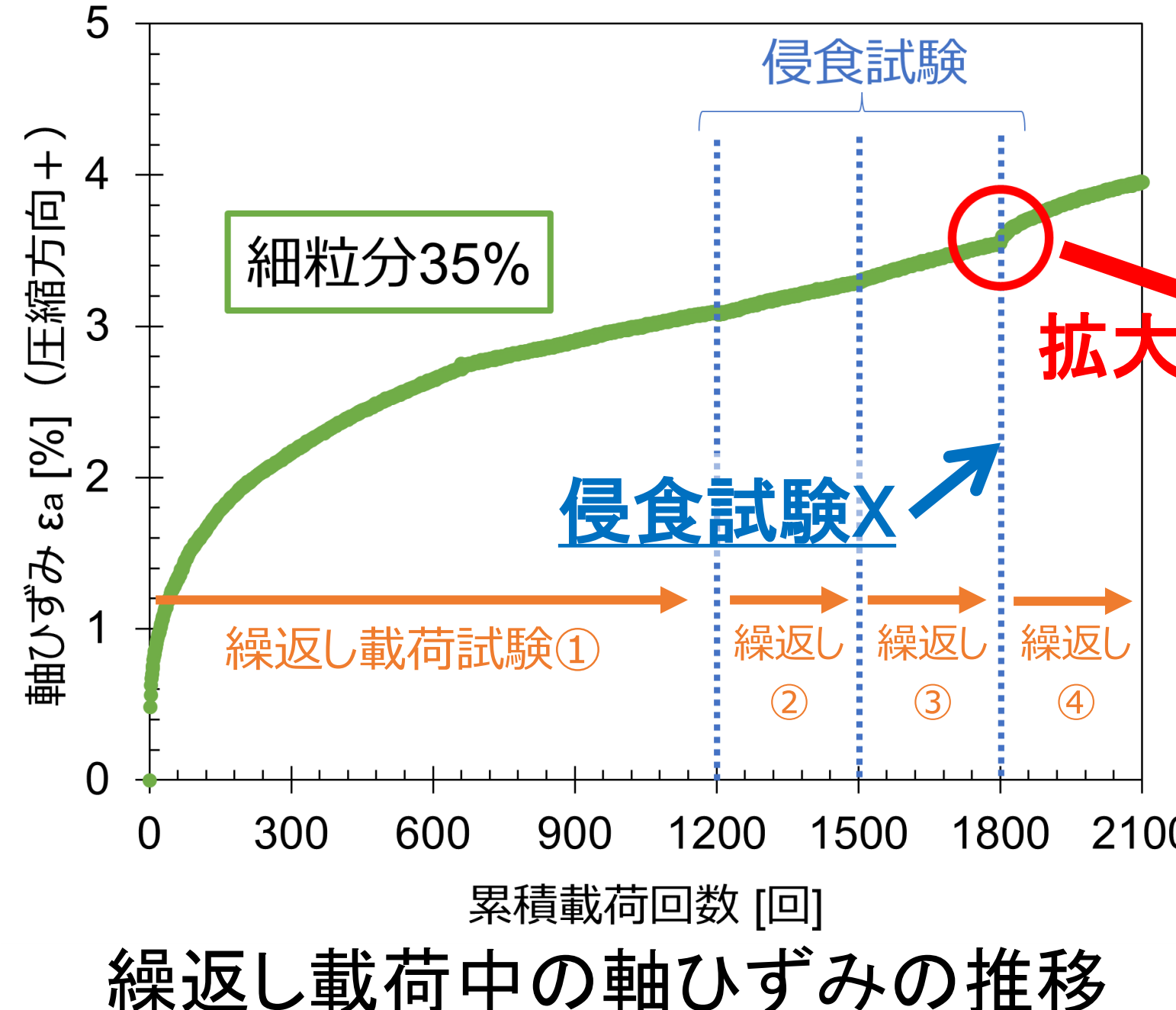
概要 近年、大きな出水から数日から数週間後に橋脚に変位が生じる現象「**遅れ変位**」が問題となっている。出水～変形に時間差が生じるメカニズムに関して、**橋脚基礎直下の支持地盤**に着目し、出水に伴う大きな浸透流で細粒分吸出しを受けた地盤(Suffusion)が、その後交通荷重により初めて土粒子骨格が変化する現象の関連が示唆されている。

本研究では、三軸試験機による吸出し試験・個別要素法(DEM)による解析により、細粒分吸出し後の交通荷重による変形が実際の橋脚直下の支持地盤で起きるか検討した。



左図: 遅れ変位のメカニズム (図解、Suffusion後の交通荷重により体積減少)
右図: 遅れ変位の関連が疑われる洗掘被災事例 (JR八高線神流川橋りょう)

三軸試験機による吸出し試験 供試体(珪砂2号・8号の混合砂)を作製し、出水を模擬した**上向き浸透流[侵食試験]**、出水後の列車通過を模擬した**繰返し载荷**を交互に与えた。



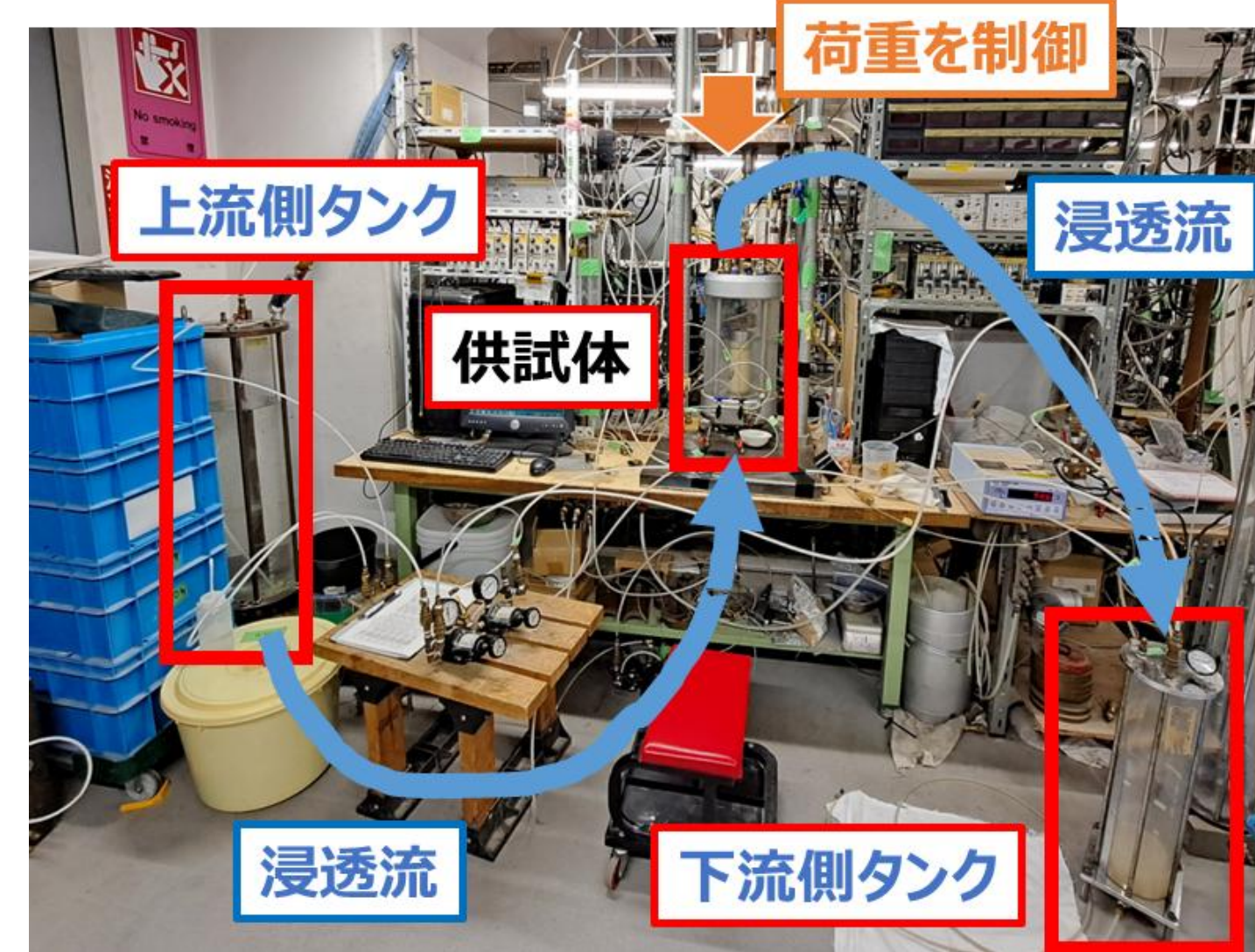
侵食試験中に変形しなかった供試体が繰返し载荷中に変形

細粒分が35%のとき、**侵食試験X**で変形しなかった供試体(suffusion)が、繰返し荷重を受けて大きく変形した(軸ひずみ増加率変化)。

→ **遅れ変位のメカニズムを再現できた**

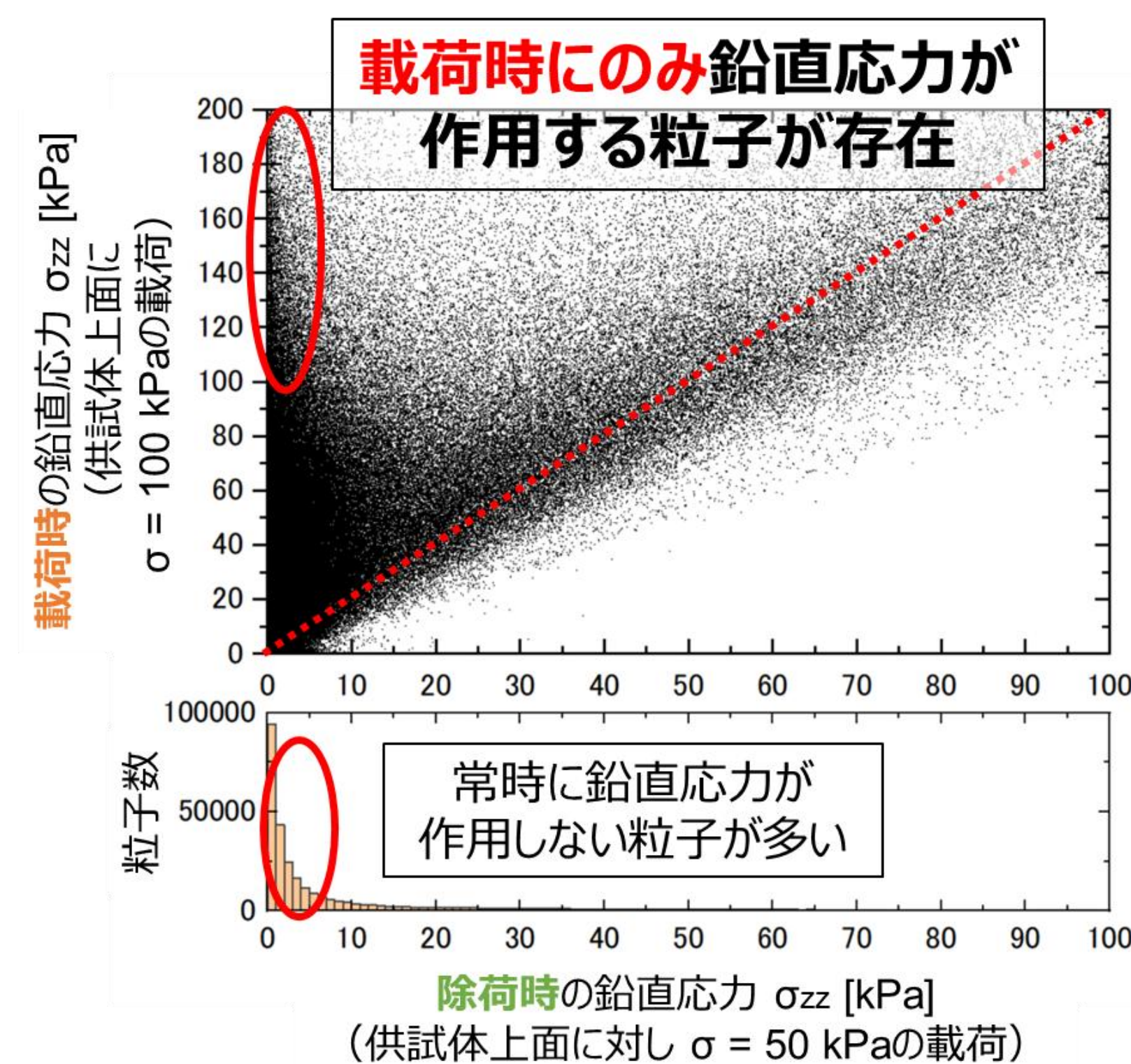
侵食試験Xの動水勾配 $i = 5.17$ は同様の現象が観察された既往の研究のケース(おおむね $i = 10$ 以上)より小さい。

→ **実際の橋りょうで生じる可能性を示唆**



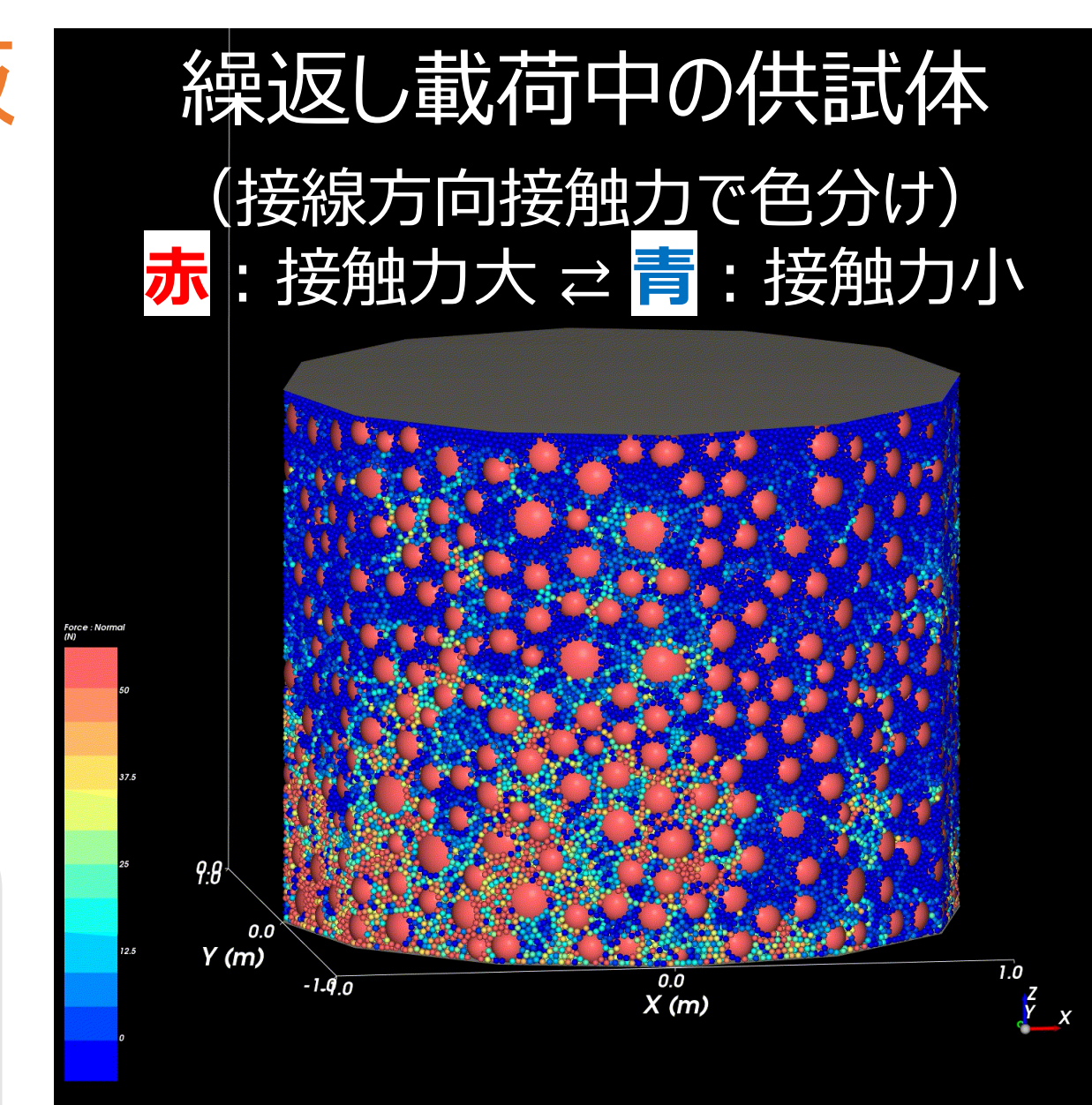
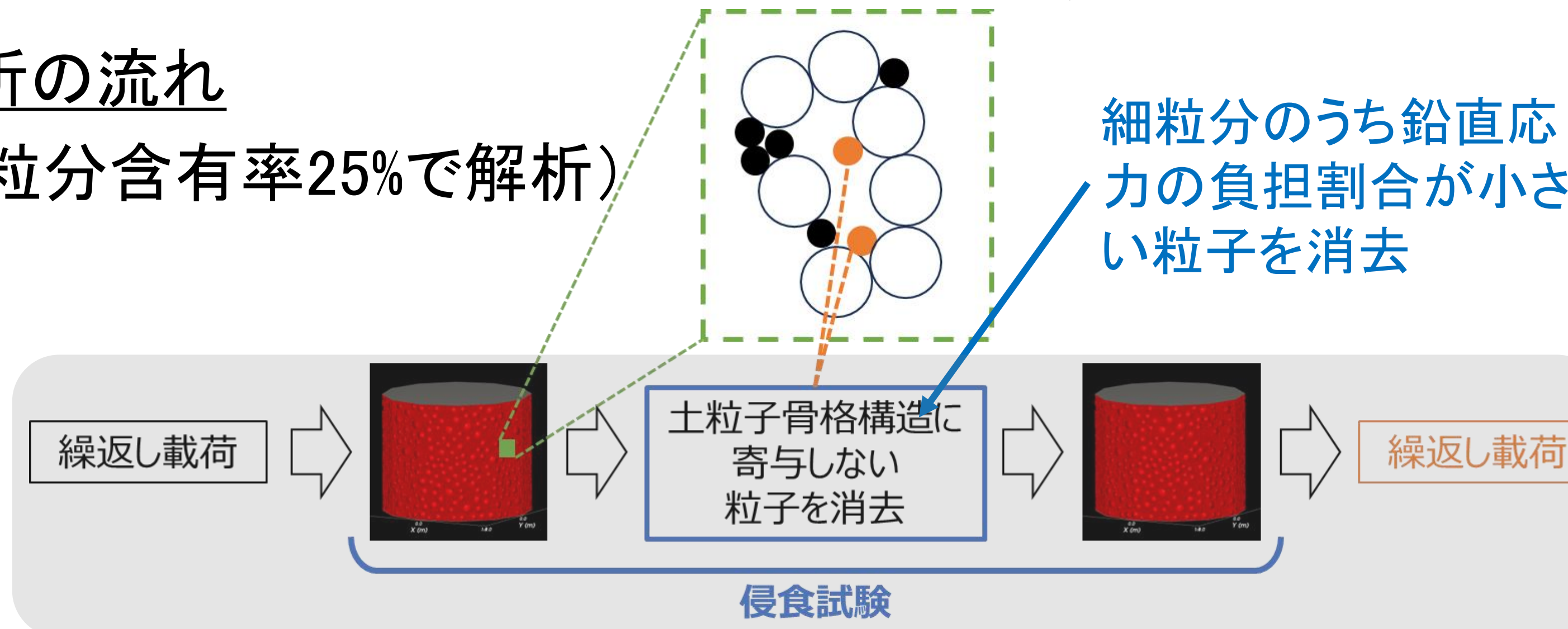
上図: 実験装置の概要
低動水勾配で安定的に浸透流を与える試験装置を開発

個別要素法による解析 筒の内部を土粒子を模した球形の粒子で満たし、**供試体上方の载荷板に载荷・粒子を消去**する操作を実施し、三軸試験機での実験を個別要素法で擬似的に再現した。



解析の流れ

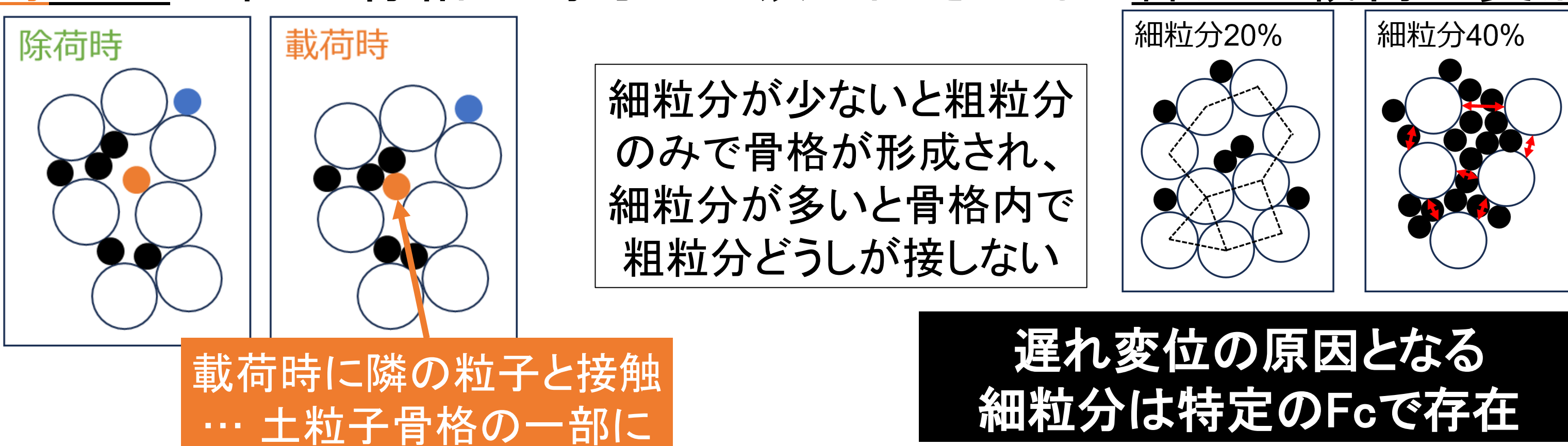
(細粒分含有率25%で解析)



除荷時(=供試体上面に50kPaの载荷)において、ほとんどの細粒分には鉛直応力が作用していない(=浮遊している)が、**载荷時**(=100kPaの载荷)に初めて大きな力を負担する「浮遊していた粒子」が多く存在する。→ **载荷時のみ土粒子骨格に寄与する粒子の存在を示唆**

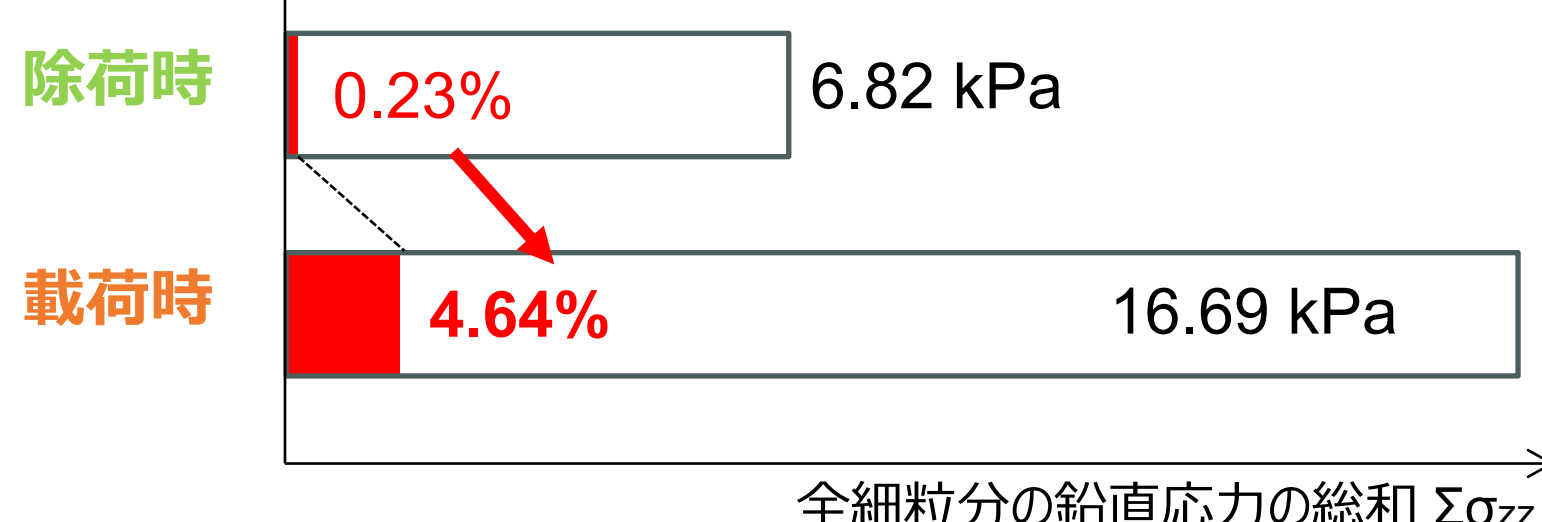
土粒子骨格構造に関する考察

実験: [仮説] 細粒分35%のとき、粒子●は、繰返し载荷の**载荷時**のみ土粒子骨格に寄与… 吸い出されると繰返し载荷で変形



解析: **除荷時**の鉛直応力が下位20%となる全細粒分の鉛直応力の総和 $\Sigma\sigma_{zz}^* = \blacksquare$ が除荷時 → 载荷時で**大幅に増加**

繰返し载荷時のみ鉛直応力が作用する粒子の影響が示された
→ **仮説の妥当性を検証**



主な結論

- 実際の河川橋りょうで想定される値に近い動水勾配で**遅れ変位**を再現する侵食現象が観察され、実際に橋脚の基礎直下の支持地盤で**内部侵食に起因する遅れ変位が生じる**ことが示唆された。
- 細粒分吸出し後の繰返し载荷試験における供試体の軸ひずみ増加率の変化に関する実験結果をもとに、細粒分を含む地盤について、繰返し荷重を受けたときの土粒子骨格の変化に関する仮説を提案した。
 - 繰返し载荷の**除荷時・载荷時**における細粒分の働き、土粒子骨格構造への寄与度の違いに着目
 - DEMによる解析で、**载荷時**にのみ応力を負担する粒子の存在を確認