

本日の内容

✓ 土構造物とは？

鉄道土構造物を例にとって

✓ 切土の地震被害と対策

✓ 盛土の地震被害と対策

+ 液状化リスクに関する最近の知見

✓ 年代効果

✓ 液状化履歴の影響

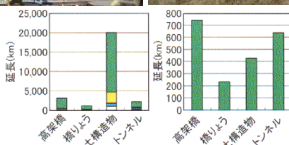
鉄道土構造物の地震時挙動と液状化リスク

古関 潤一（東京大学）

土構造物とは？



切土
または切取
(JR大糸線)

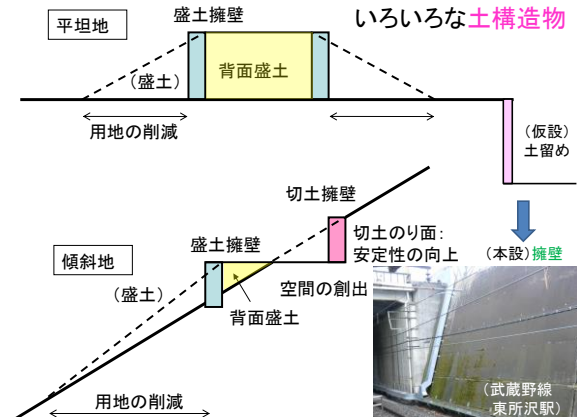


①普通鉄道

②新幹線

村田修(2003)より

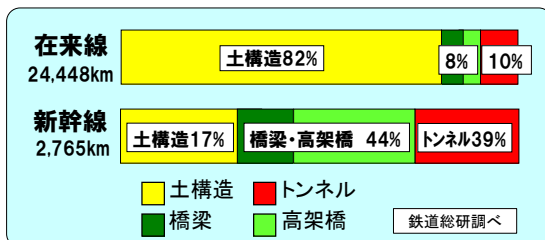
盛土
(JR成田線)



鉄道構造物の構成

● 在来鉄道の約8割が土構造物（橋梁、トンネルは地形上やむを得ない箇所での限定的使用）

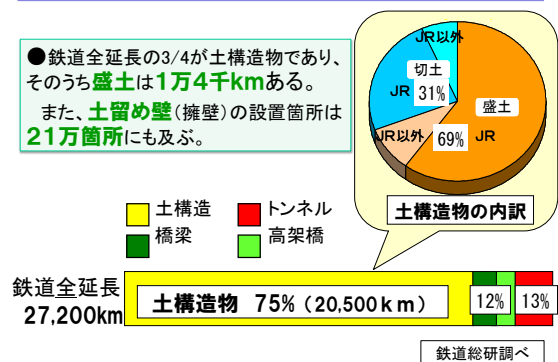
● 一方、昭和39年以降の新幹線の建設においては、土構造物は約2割以下に激減し、高架橋、トンネルが急増



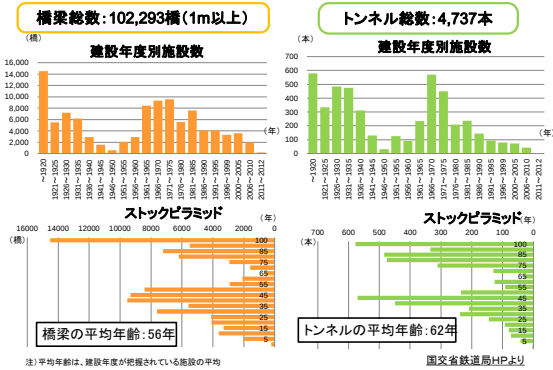
土構造物(盛土・切土比率)と土留め壁数量

● 鉄道全延長の3/4が土構造物であり、そのうち盛土は1万4千kmある。

また、土留め壁(擁壁)の設置箇所は21万箇所にも及ぶ。



鉄道施設のストック量(橋梁・トンネル)



本日の内容

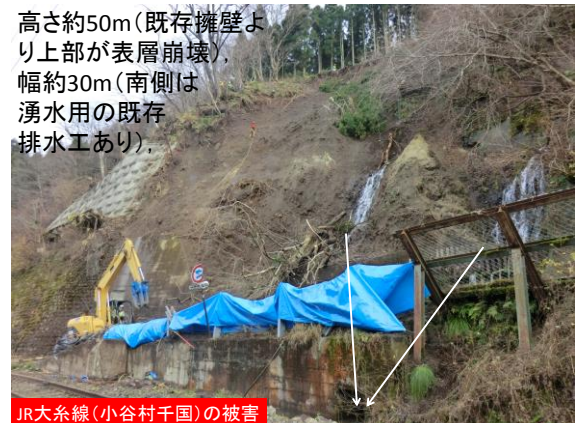
✓ 土構造物とは？

鉄道土構造物を例にとって

- ✓ 切土の地震被害と対策
- ✓ 盛土の地震被害と対策

+ 液状化リスクに関する最近の知見

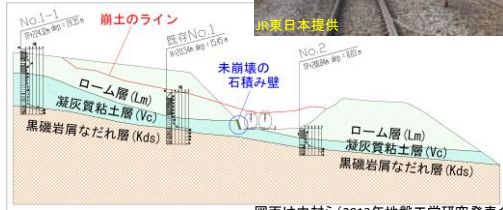
- ✓ 年代効果
- ✓ 液状化履歴の影響



JR東北線(豊原～白坂)

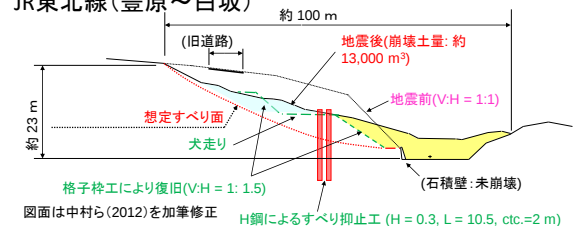


JR東日本提供



図面は中村ら(2013年地盤工学研究発表会)による

JR東北線(豊原～白坂)



図面は中村ら(2012)を加筆修正

格子枠工と犬走り
(2011年11月撮影)周辺で無被害だった切土
(最大高さ14 m)

崩壊原因と影響要因は？

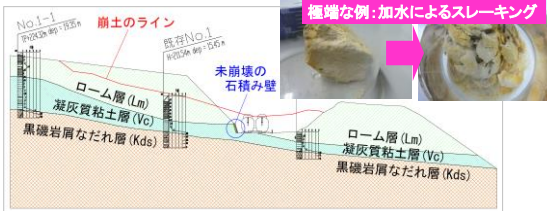
⇔後述する**盛土**と比べて,**切土**の地震時崩壊事例は限定的

✓ (施工直後はOKでも)長時間かけて**風化(強度低下)**進行

✓ ある程度風化した時点で、**地震力**や**降雨の影響**が引金?

→過去の崩壊事例が限定的でも、**今後は(徐々に)増加??**

⇒(まずは)崩壊時の**影響**が大きい**箇所**の**現況把握**が必要



1923年9月1日関東地震



水道橋側
では...

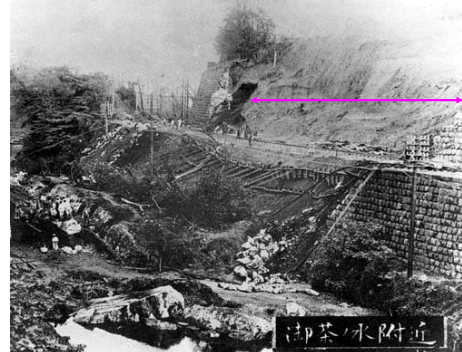
この付近の
神田川は江戸
時代初期(17
世紀)に掘削⇒
少なくとも斜面
上部は**切土**

湯島側からの**御茶ノ水橋**(国立科学博物館地震資料室
HP: <http://research.kahaku.go.jp/rikou/namazu/index.html>)

御茶ノ水の崖崩れ1(国立科学博物館地震資料室HP:
<http://research.kahaku.go.jp/rikou/namazu/index.html>)



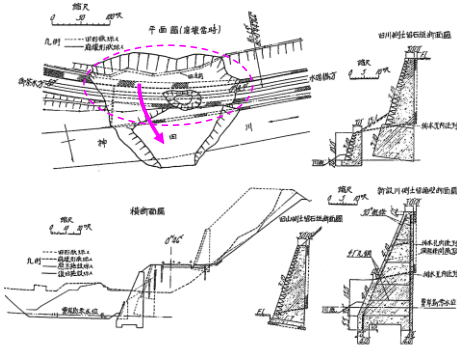
御茶ノ水の崖崩れ2(国立科学博物館地震資料室HP:
<http://research.kahaku.go.jp/rikou/namazu/index.html>)



約80 m

御茶ノ水附近

御茶ノ水の崖崩れ3・・・切取・土留壁の被害 (鉄道省:大正十二年関東大地震震害調査報告)



御茶ノ水～水道橋での補強工事 (2015年2月撮影)



棒状補強材
の施工状況



(イメージ図)

詳細は藤原ら(2015:基礎工4月号)参照

<https://www.jreast.co.jp/press/2012/20120702.pdf>

本日の内容

✓ 土構造物とは？

鉄道土構造物を例にとって

✓ 切土の地震被害と対策

✓ 盛土の地震被害と対策

+液状化リスクに関する最近の知見

✓ 年代効果

✓ 液状化履歴の影響

鉄道盛土の地震被害事例

東日本大震災(2011年3月11日):
JR成田線(安食～小林)の盛土被害



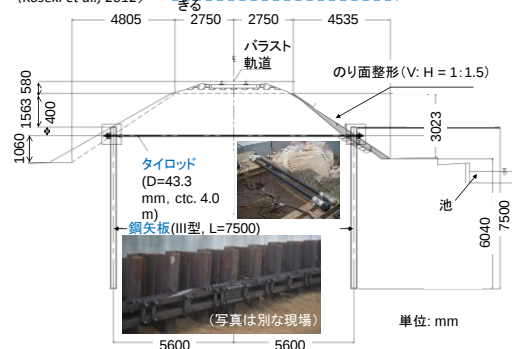
周辺地盤で噴砂発生
⇒盛土支持地盤が液状化

JR東日本提供



復旧断面

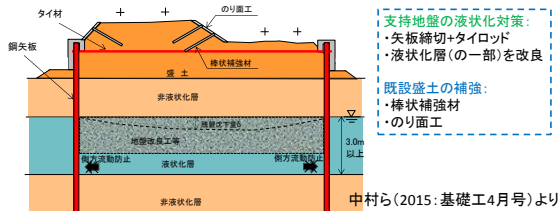
(Koseki et al., 2012)



今後の事前対策は？

⇨ 既設鉄道盛土を供用しつつ対策するのは容易ではない

- ✓ (支持地盤の液状化対策として) 複数の工法を併用
- ✓ 支持地盤が強化されると盛土の地震時応答が増大?
 - 支持地盤と盛土をバランス良く強化することが重要
 - ⇒ 盛土自体が液状化・風化する可能性についても検討必要



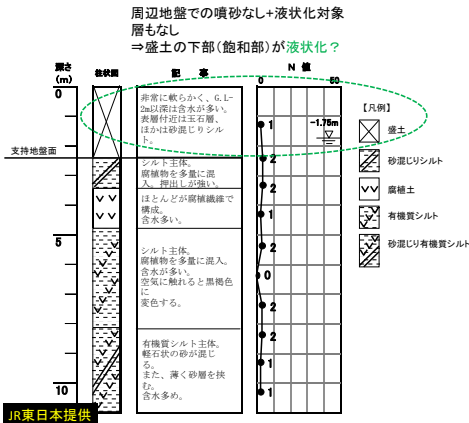
東日本大震災(2011年3月11日)
JR東北線(泉崎～矢吹)の
盛土被害



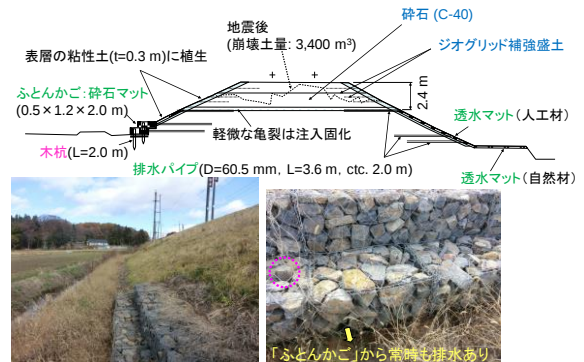
復旧断面

(Koseki et al., 2012)

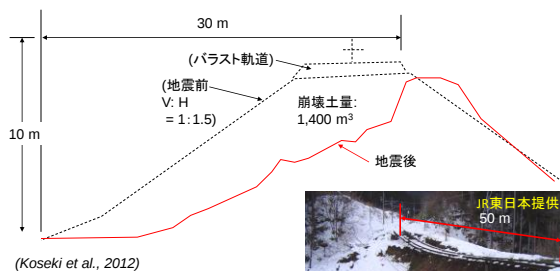
良質な材料・耐震性の高い工法を用いて上部盛土を再構築
+排水性能を高めて下部盛土内の地下水位を低下



JR東日本提供

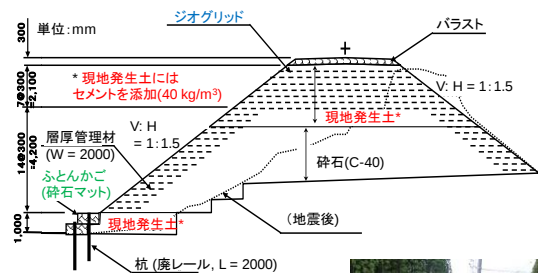


「ふとんかご」から常時も排水あり



(Koseki et al., 2012)

東日本大震災(2011年3月11日)
JR仙山線(作並～ハツ森)の
盛土被害

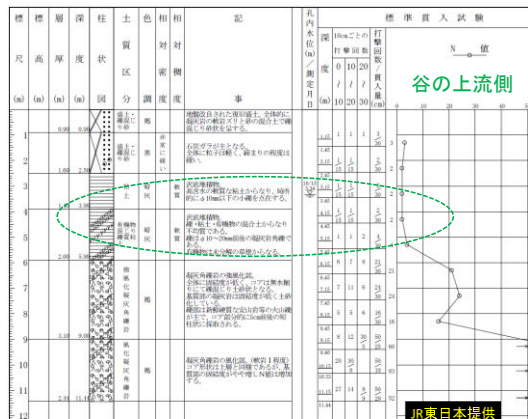
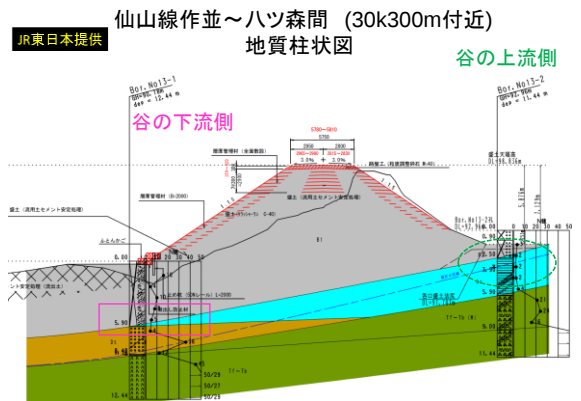


復旧断面

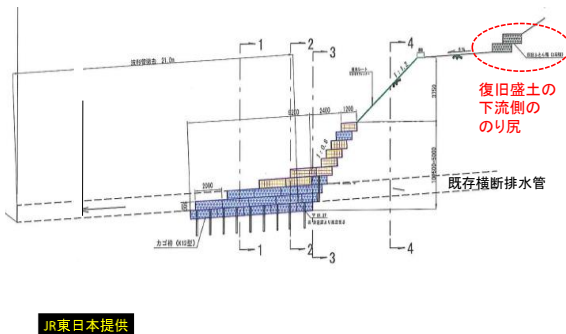
(Koseki et al., 2012)

現地発生土を有効利用しながら
耐震性の高い工法を用いて盛土を再構築
+排水性能を高めて盛土内の地下水位を低下





復旧:下流側下部の既存横断排水管周辺にも 「ふとんかご」設置



本日の内容

✓ 土構造物とは？

鉄道土構造物を例にとって

✓ 切土の地震被害と対策

✓ 盛土の地震被害と対策

±液状化リスクに関する最近の知見

✓ 年代効果

✓ 液状化履歴の影響



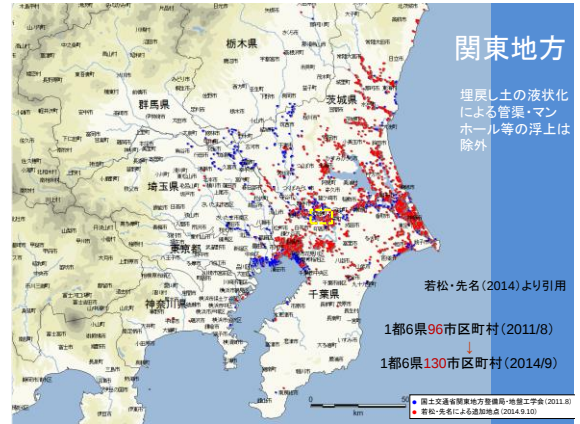
東日本大震災 広域で発生した 液状化被害

**1都12県
193市区町村**

東北6県**63**市区町村
関東1都6県**130**市区町村

本震の震央から最も遠い液状化地点
神奈川県平塚市真田(440km)

若松・先名(2014)より引用



関東地方

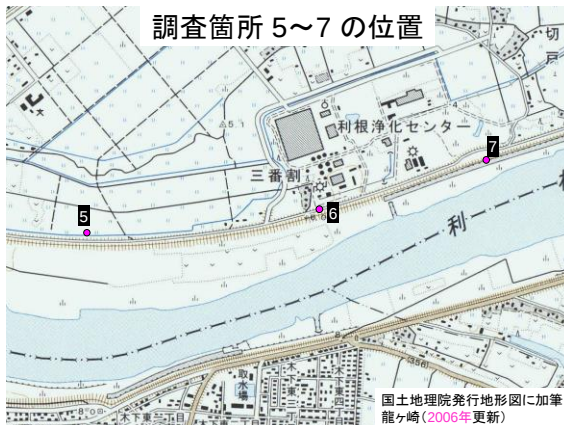
埋戻し土の液状化
による管渠・マン
ホール等の浮上は
除外

若松・先名(2014)より引用

1都6県**96**市区町村(2011/8)

1都6県**130**市区町村(2014/9)

● 国土交通省関東地方整備局・地震工学会(2011.8)
● 若松・先名による通知地点(2014.9.10)



調査箇所 5～7 の位置

国土地理院発行地形図に加筆
龍ヶ崎(2006年更新)

調査箇所 5 の被災状況

堤内側の利根川左岸

堤防のり面がすべり+天端沈下+のり面の皺上変形



堤外側テニスコート等で噴砂+
歩道部低地湛水(いずれも限定的)



調査箇所 6

下水処理場構内・外で噴砂



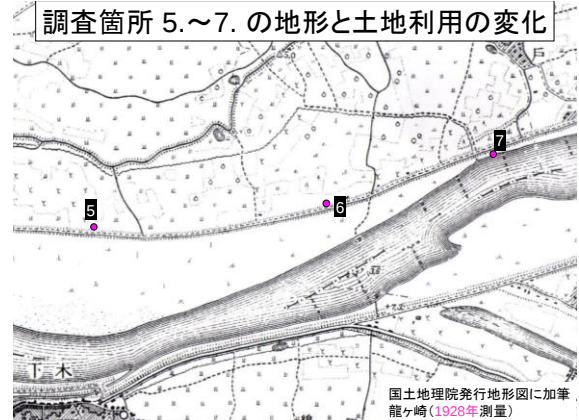
調査箇所 7

水害履歴あり?

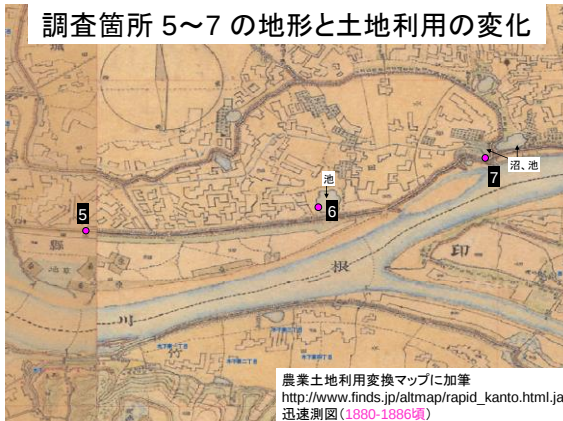
調査箇所 5~7.付近の古い航空写真



調査箇所 5.~7. の地形と土地利用の変化



調査箇所 5~7 の地形と土地利用の変化



液状化リスクに関する最近の知見

今回の震災で:
 なぜ埋立地での被害が顕著?
 ⇒なぜ空振れもあった?

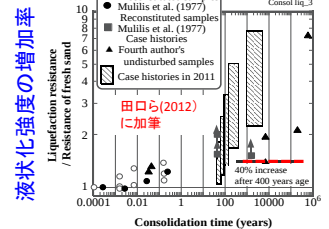
年代効果?
 ✓ セメンテーションの発現
 ✓ 土粒子構造の変化

今後の対策に向けて:
 今回液状化した箇所は、
 次は液状化しにくい?

液状化履歴の影響
 ✓ 密度が変化
 ✓ (同じ密度のまま)
 土粒子構造の変化?

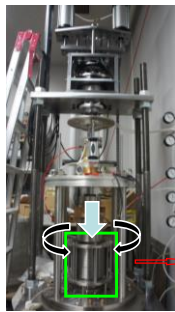
400~500年以上経過した沖積層の「年代効果」

市街地液状化対策推進ガイドライン(国土交通省)
<http://www.mlit.go.jp/common/001034417.pdf>
 では1.4倍を上限として考慮できる



圧密(=堆積・造成後の経過)時間

複数回液状化試験 (Wahyudi, 2014)



豊浦砂の中空間筒供試体:
 内径 9, 外径 15 cm
 (初期相対密度約55%)

A. 鉛直応力200 kPaで一次元圧縮

B. 定体積繰返しせん断試験 (鉛直変位固定)

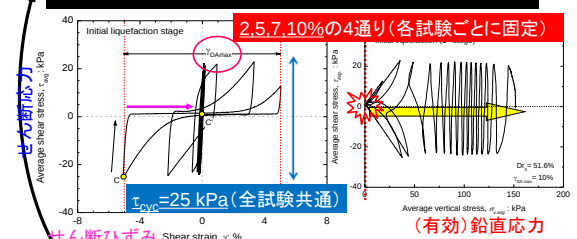
厚さ5mmのリングを積層させた
 もので供試体の側面を拘束:
 写真では31枚
 ⇒本研究では11枚(高さ5.5cm)



多層リング単純せん断試験装置

A. 鉛直応力200kPaで一次元圧縮

B. 定体積繰返しせん断試験 (鉛直変位固定)



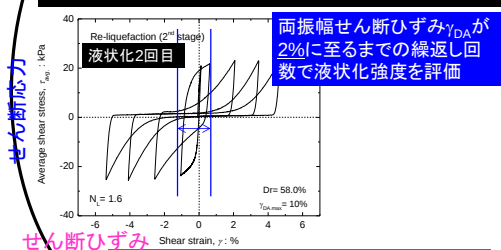
B~D:

複数回実施

D. 一次元再圧縮

A.鉛直応力200kPaまで一次元圧縮

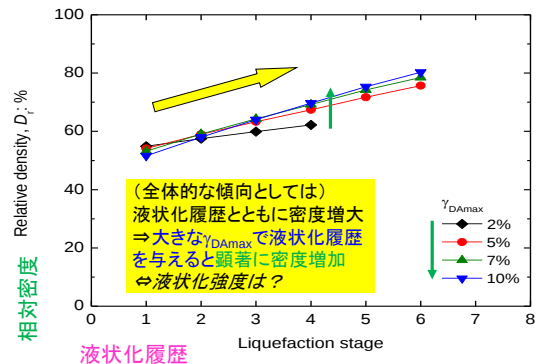
B. 定体積繰返しせん断試験 (鉛直変位固定)



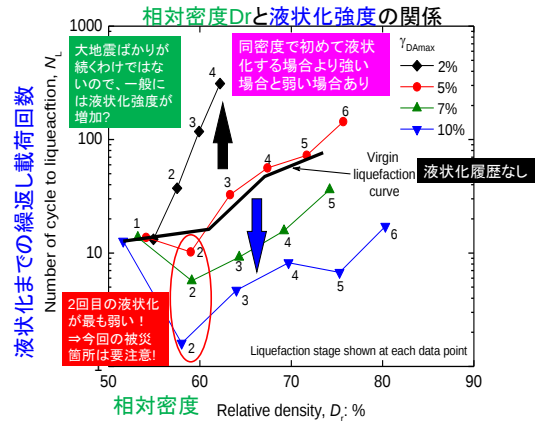
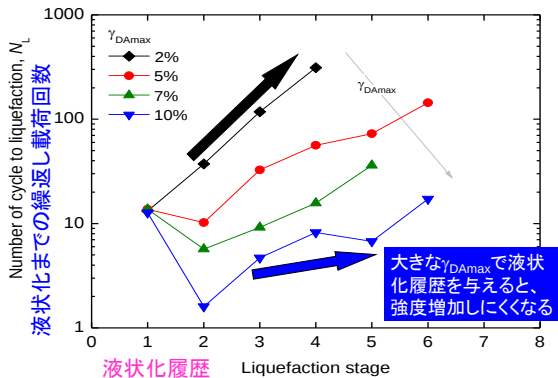
C. せん断ひずみゼロまで手動除荷

B~D: 複数回実施 D. 一次元再圧縮

液状化履歴に伴う相対密度の変化



液状化履歴に伴う液状化強度特性の変化



液状化リスクに関する最近の知見 (再掲)

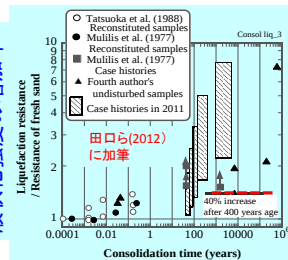
今回の震災で:
なぜ埋立地での被害が顕著?
⇒なぜ空振りもあった?

年代効果?
✓ セメンテーションの発現
✓ 土粒子構造の変化

今後の対策に向けて:
今回液状化した箇所は、
次は液状化しにくい?

液状化履歴の影響
✓ 密度が変化
✓ (同じ密度のまま)
土粒子構造の変化?

液状化強度の増加率



圧密(=堆積・造成後の経過)時間

まとめ

切土の地震時崩壊事例はこれまで限定的
✓ 長時間かけて風化(強度低下)が進行し、今後増加する可能性あり
⇒ (まずは) 崩壊時の影響が大きい箇所の現況把握が必要

盛土支持地盤の液状化対策
✓ 複数工法を併用+支持地盤と盛土をバランス良く強化
⇒ 盛土自体が液状化・風化する可能性についても検討必要

液状化リスクに関する最近の知見
✓ 長期間堆積すると年代効果+液状化履歴の影響を受ける
⇒ 今回の被災箇所は次回が要注意

謝辞: 東日本旅客鉄道株式会社と公益社団法人鉄道総合技術研究所
に現場案内・情報提供のご協力をいただいた

ご清聴ありがとうございました!