

2013/03/19
東日本大震災報告会
～ 震災から2年を経て ～

地盤の液状化判定の高度化 に向けた取組み

独立行政法人土木研究所
地質・地盤研究グループ
石原 雅規

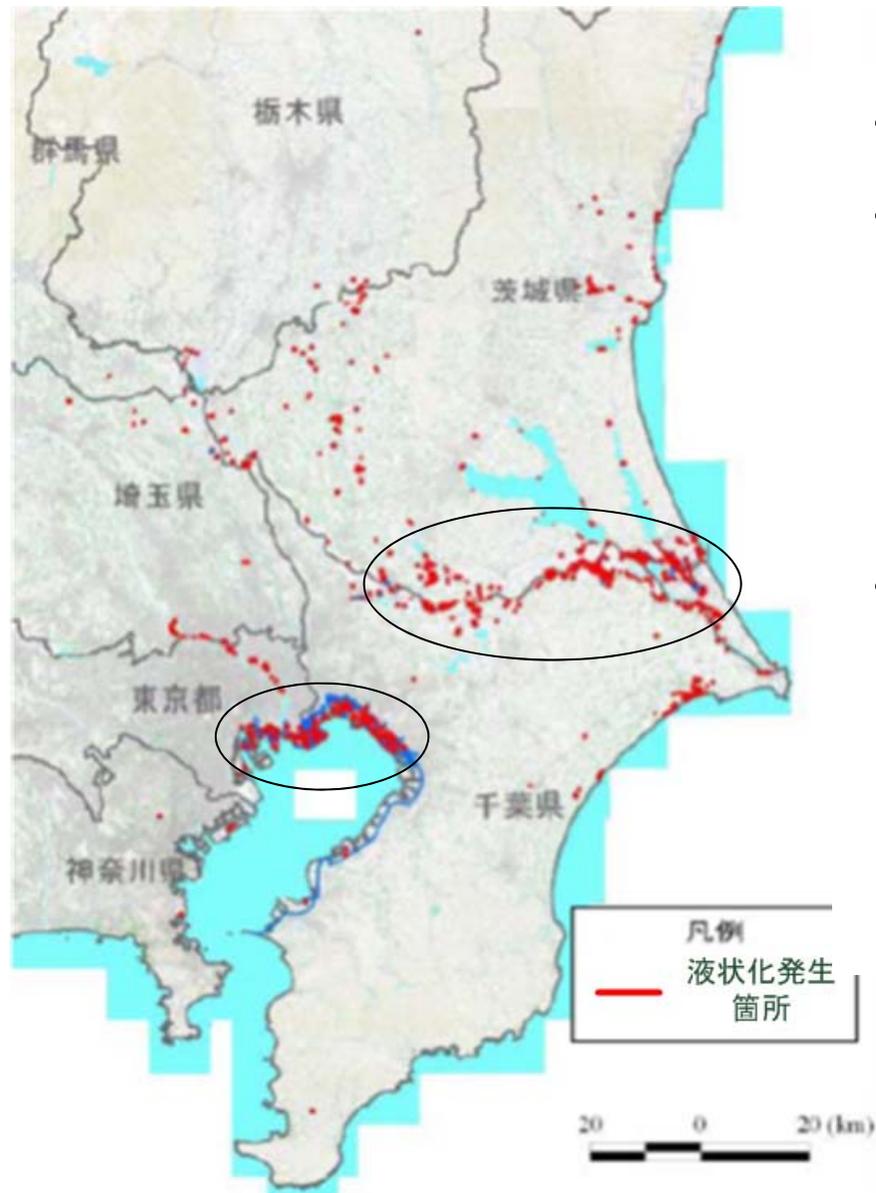


内容

1. 東日本大震災における液状化の発生状況と課題
2. 液状化判定法の検証
3. 成果の反映と今後の技術的課題
4. 最近の取り組み

1. 東日本大震災における 液状化の発生状況と課題

液状化の発生状況



- 現地踏査等により噴砂等を確認
- 今回の地震では、関東地方の極めて広い範囲で液状化現象が発生し、特に、東京湾岸部、利根川下流域で集中して発生。
- 埋立地、旧河道・旧池沼、干拓地で液状化が発生した割合が相対的に高い傾向がみられた。

関東地方整備局、地盤工学会の調査成果

液状化の発生状況 ー東北ー



基礎地盤の液状化による噴水
(阿武隈川河口部)

津波で痕跡が十分に確認できない



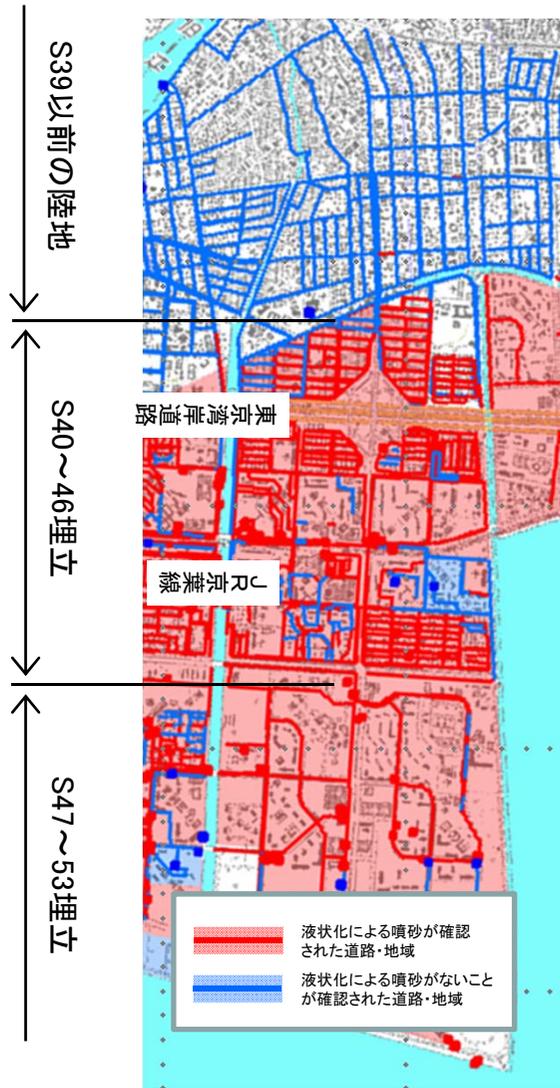
堤体の液状化による堤防の被災状況(阿武隈川)

粘性土地盤が相対的に多い

- 東北地方でも液状化が多数発生

←実態調査不可能、やや特殊。

液状化の発生状況 ー 関東 ー



噴砂(新木場)
かなり細かいがサラサラ

←基図 (関東地方整備局、地盤工学会の調査成果)

浦安市の液状化範囲と造成年代

液状化に関する疑問

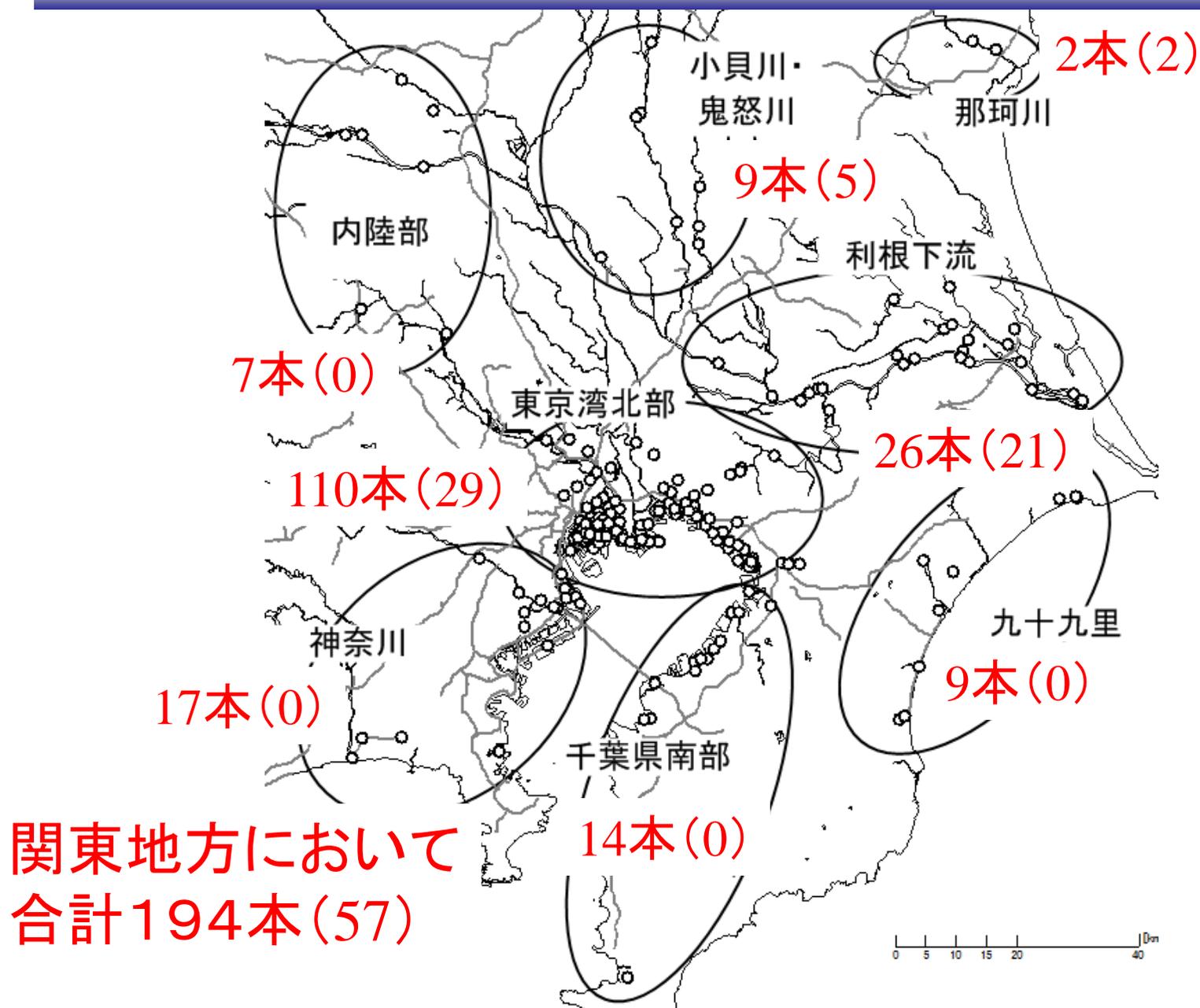
- 東京湾北部の最大加速度はそれほど大きくない(概ね200gal以下)が、激しく液状化した。これは今まで経験したこともない継続時間の長さ大きな余震が影響したのではないか？
⇒液状化判定法で見逃しがあったのでは！
⇒継続時間の影響は？
- 埋立地の噴砂は、非常に細かいさらさらの砂(シルト)が主体。液状化判定ではすでに細粒分の効果を考慮(量だけ)しているが、細粒分の性質により効果が違うのではないか？
⇒細粒分の影響は？
- 埋立地、旧河道等の新しい地盤では液状化被害が顕著であったが、自然地盤(古い)での液状化は非常に少ない。
⇒造成(堆積)年代の影響は？

2. 液状化判定法の検証

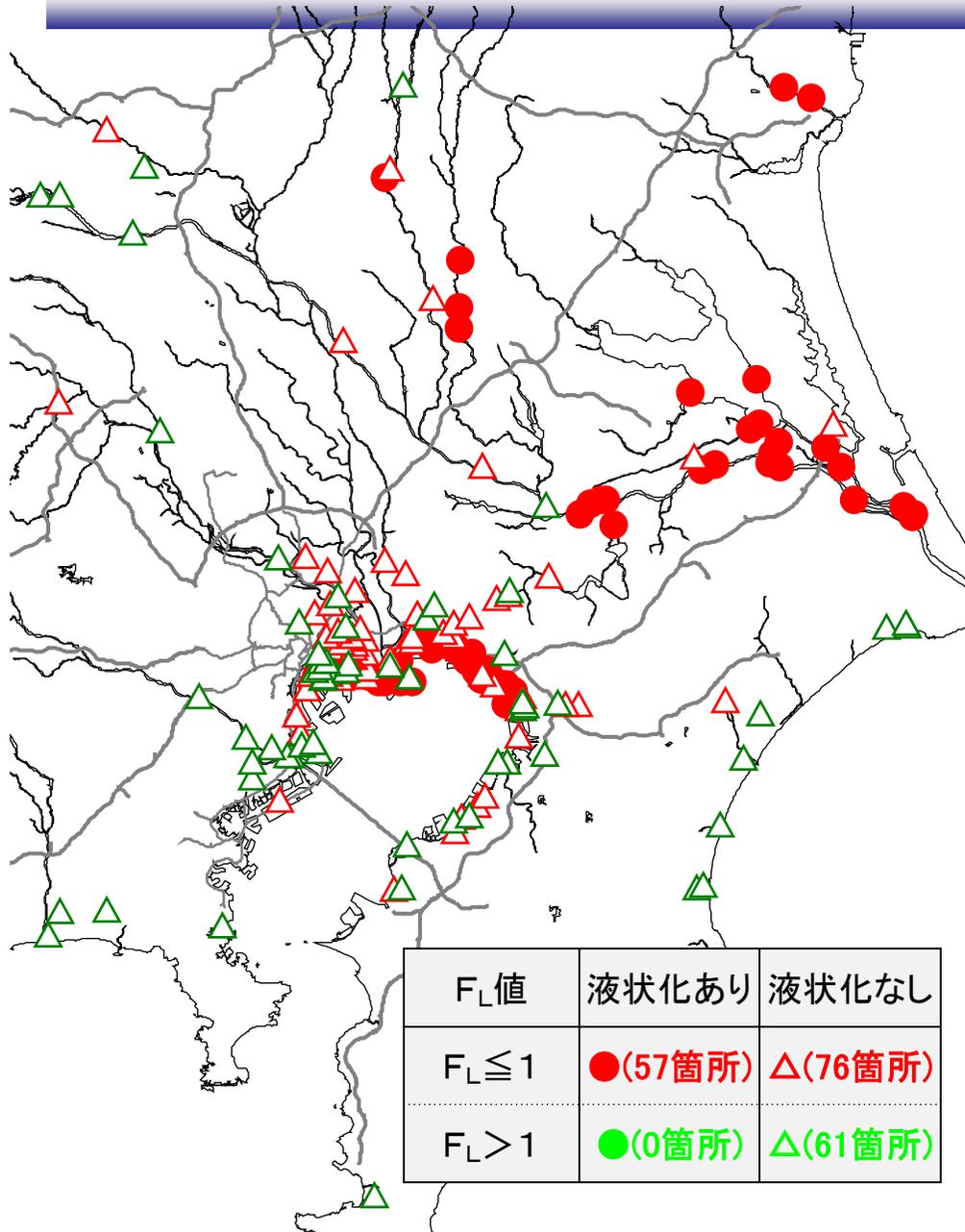
液状化判定法の検証方法

- ①ボーリングデータ収集
- ②液状化判定結果と実際の液状化を比較
- ③地盤の強度と液状化の状況
- ④地震動継続時間の影響
- ⑤細粒分の影響
- ⑥造成(堆積)年代の影響

①ボーリングデータ収集



②液状化判定結果と実際の液状化を比較



○液状化した箇所はすべて「液状化する」と判定（見逃しは無かった）⇒**現行の液状化判定法は、設計等の観点からは有効**

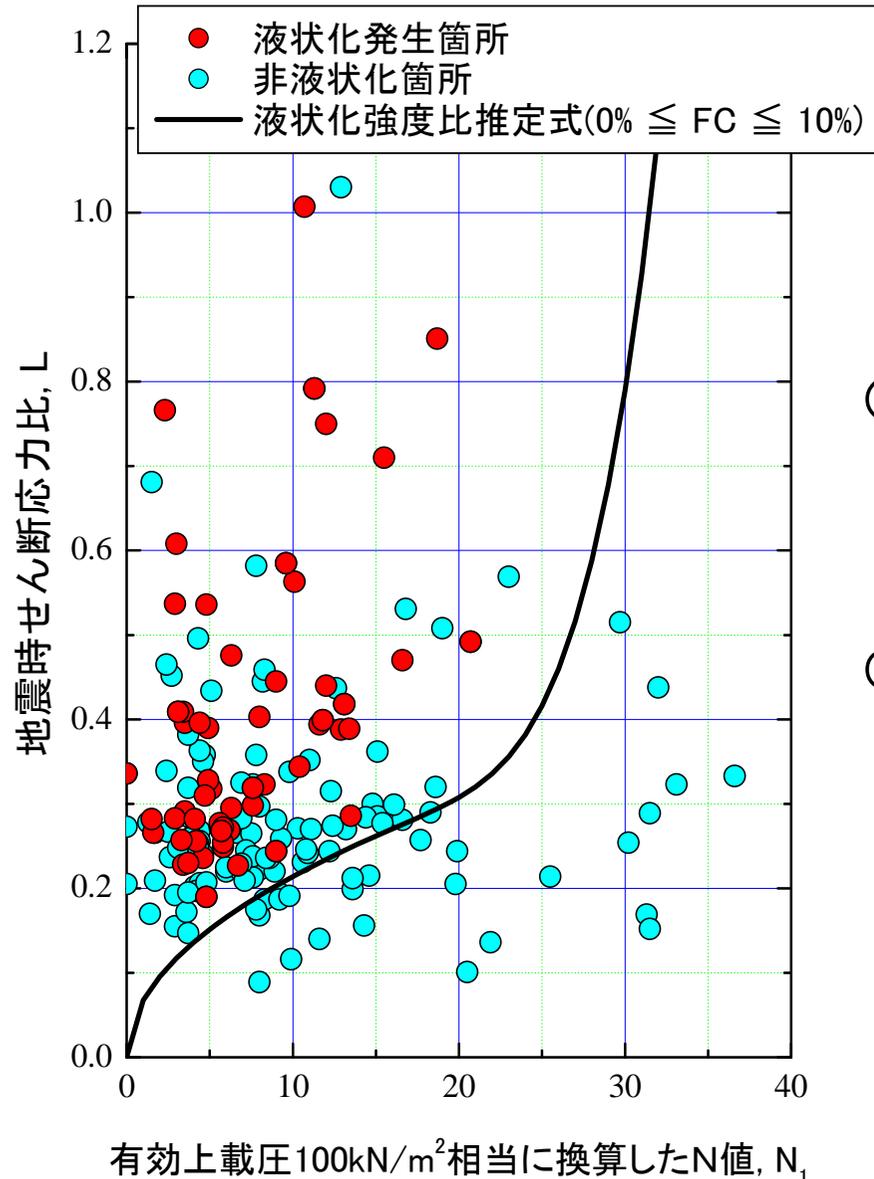
○液状化しなかったが $F_L \leq 1$ となる箇所（△空振り）の多くは、液状化した地域の周辺に分布
周辺地域と比較すると相対的に液状化しにくい地盤

- F_L の値が比較的大きい
- $F_L \leq 1$ となる層厚が薄い
- **細粒分含有率の影響**
- **地盤の造成年代の影響**

が考えられる。

○液状化せず $F_L > 1$ となる箇所（△）は、神奈川県内や千葉県南部など地震動の小さな地域や群馬県などの比較的地盤の良い地域に分布。

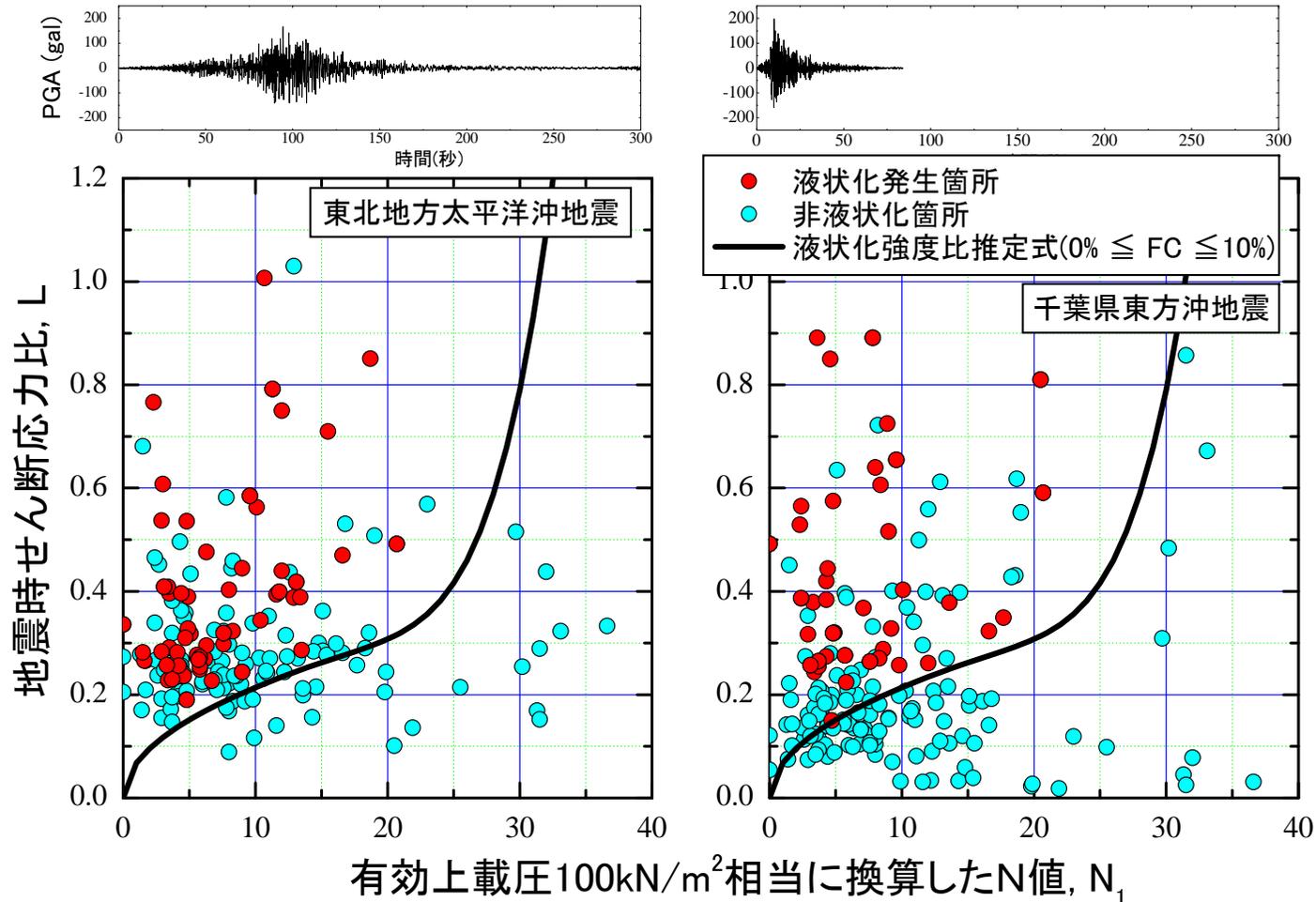
③地盤の強度と液状化の状況



○液状化強度推定式より上 ($F_L \leq 1$ の範囲) に液状化した箇所がプロットされており、現行の液状化判定法と整合していることが確認できる。

○今回液状化判定を実施した箇所は、比較的弱い地盤の箇所が多く、換算N値が20を超えるような箇所は比較的少なかった。

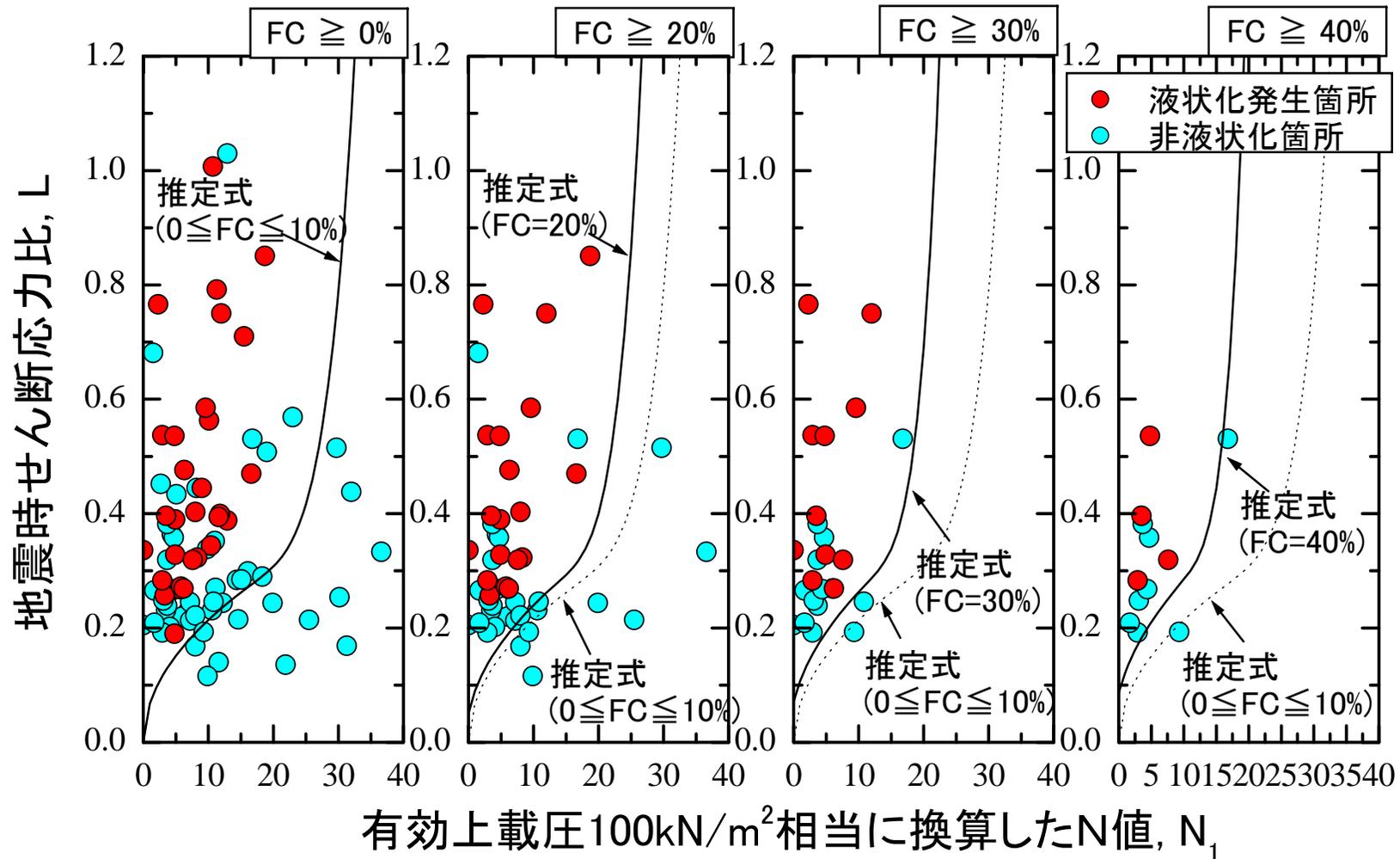
④地震動継続時間の影響



○液状化発生箇所のデータの分布（下限）は、いずれも推定式の少し上
 → 2つの地震の差は確認できない

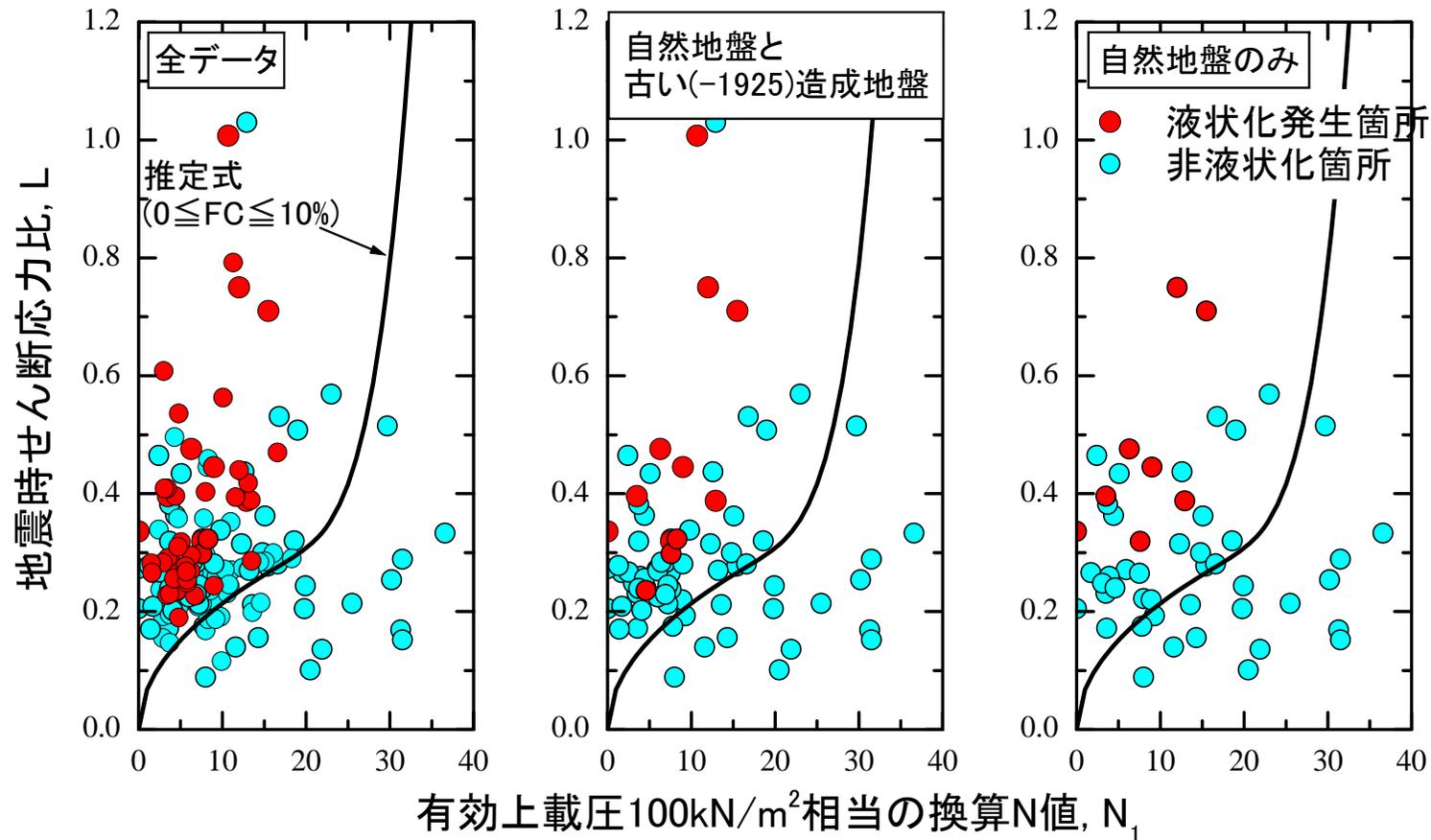
○液状化の有無・最も液状化しやすい土を整理 ⇔ 液状化の程度

⑤細粒分の影響



- 細粒分を多く含むほど、液状化発生箇所の分布範囲が狭まる（強い）
- 推定式の傾向と整合・余裕がある（引き上げ可能）
- 力学的（要素試験）なアプローチも必要

⑥造成(堆積)年代の影響



- 古いほど、液状化発生箇所のデータの分布範囲が狭まる（強い）
- 推定式では考慮されていないが、推定式は主に自然地盤の液状化強度試験結果がベース。

3. 成果の反映と今後の技術的課題

【成果の反映】

- 河川構造物耐震性能照査指針
- 道路橋示方書 耐震設計編
- 道路土工指針 軟弱工指針

【技術的課題】

以下の項目について、定量的な評価できるように研究を継続する

- 地震動の継続時間と繰返し回数が液状化に及ぼす影響
- 細粒分の性質や量が液状化に及ぼす影響
(ボーリング調査の実施により、データを増やす必要)
- 造成（堆積）年代が液状化に及ぼす影響と強度増加のメカニズム

4. 最近の取り組み

～細粒分の影響～

試料の品質・ばらつきに関する問題点

問題点1 細粒分の多い土においては、凍結サンプリングでは凍結膨張の影響が懸念され、チューブサンプリングによらざるを得ない。

→ 試料採取時の乱れにより、適切に評価できない場合があるのでは？

問題点2 細粒分の多い土においては、ペネ試料と液状化試験の1試料4供試体で、土質に著しい相違・ばらつきが存在する場合あり

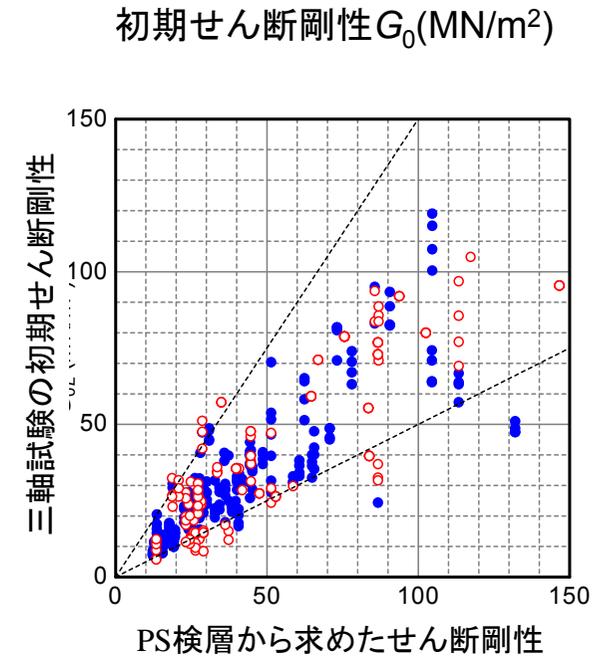
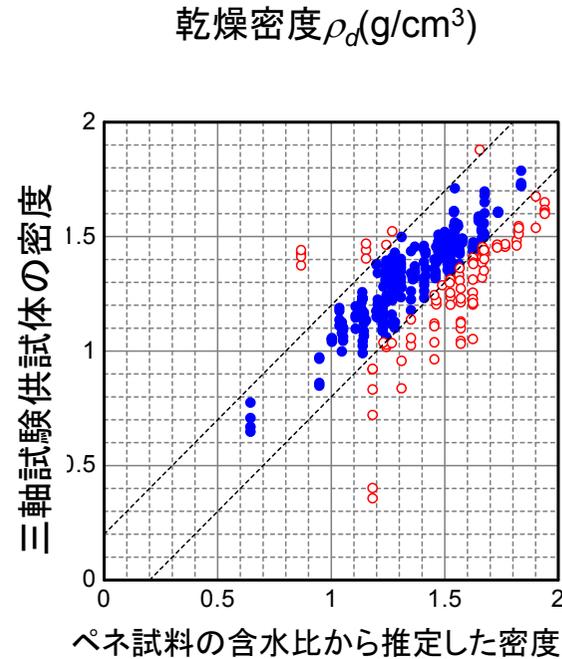
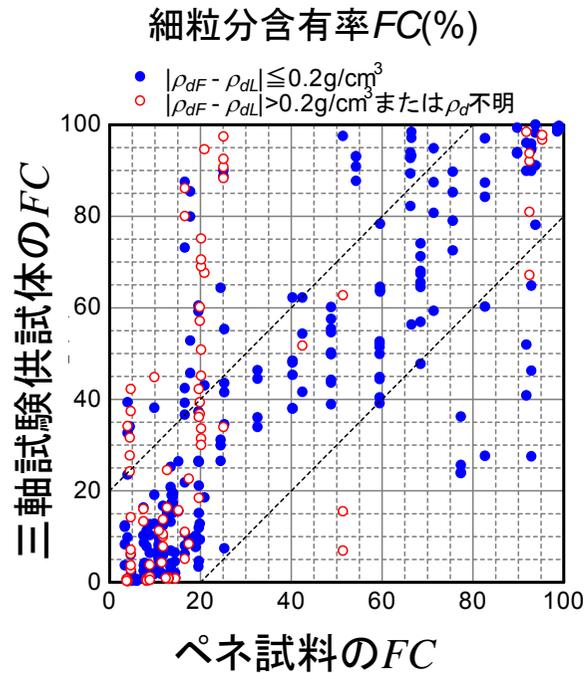
→ 採取方法の良否だけでなく、地盤が本来持つ空間的ばらつきの影響も大。

- 試料の品質評価：初期せん断剛性 G_0 がよく使われる
 - G_0 は、採取時の密実化・ゆるみによる密度、微視構造の変化

これだけで良いか？

- ここでは、次のものを選んだ。
 - ① 土質の違いを代表する指標 → 細粒分含有率 FC
 - ② 密度の違いを代表する指標 → 乾燥密度 r_d
 - ③ 微視構造の違いを代表する指標 → 初期せん断剛性 G_0

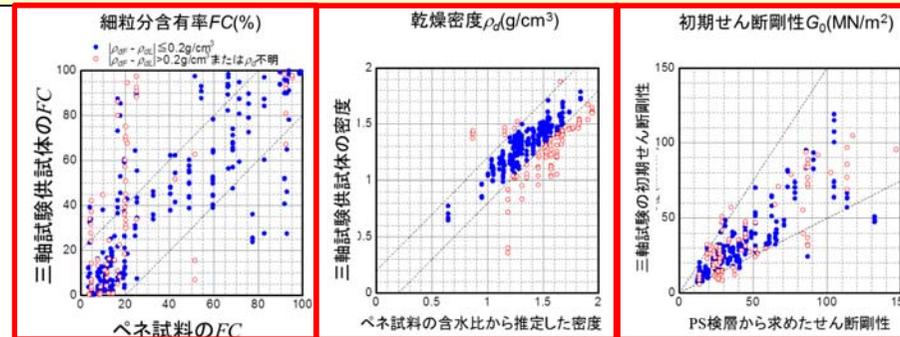
試料の品質・ばらつき



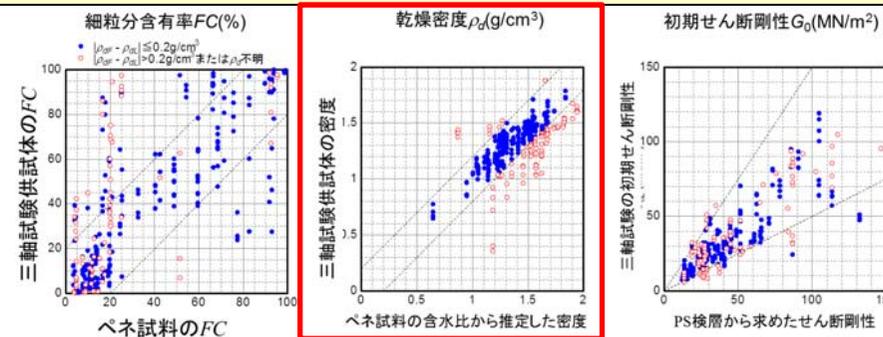
- 特に FC のばらつきが大.
- 例えば、 r_d がある程度のばらつきを持つもの (仮に $\pm 0.2 \text{g/cm}^3$ 以上) は、 FC 、 G_0 もばらついているかという、必ずしもそうではない!
 - 乾燥密度だけでは、試料の品質・ばらつきを評価する指標として不十分.
 - 様々な指標でデータの品質・ばらつきを評価することが必要.

繰返し三軸強度比 R_L の評価方法

グループA： FC が $\pm 20\%$ 以内， r_d が $\pm 0.2\text{g/cm}^3$ 以内， G_0 が $50\sim 150\%$ 以内の範囲にあるものを抽出

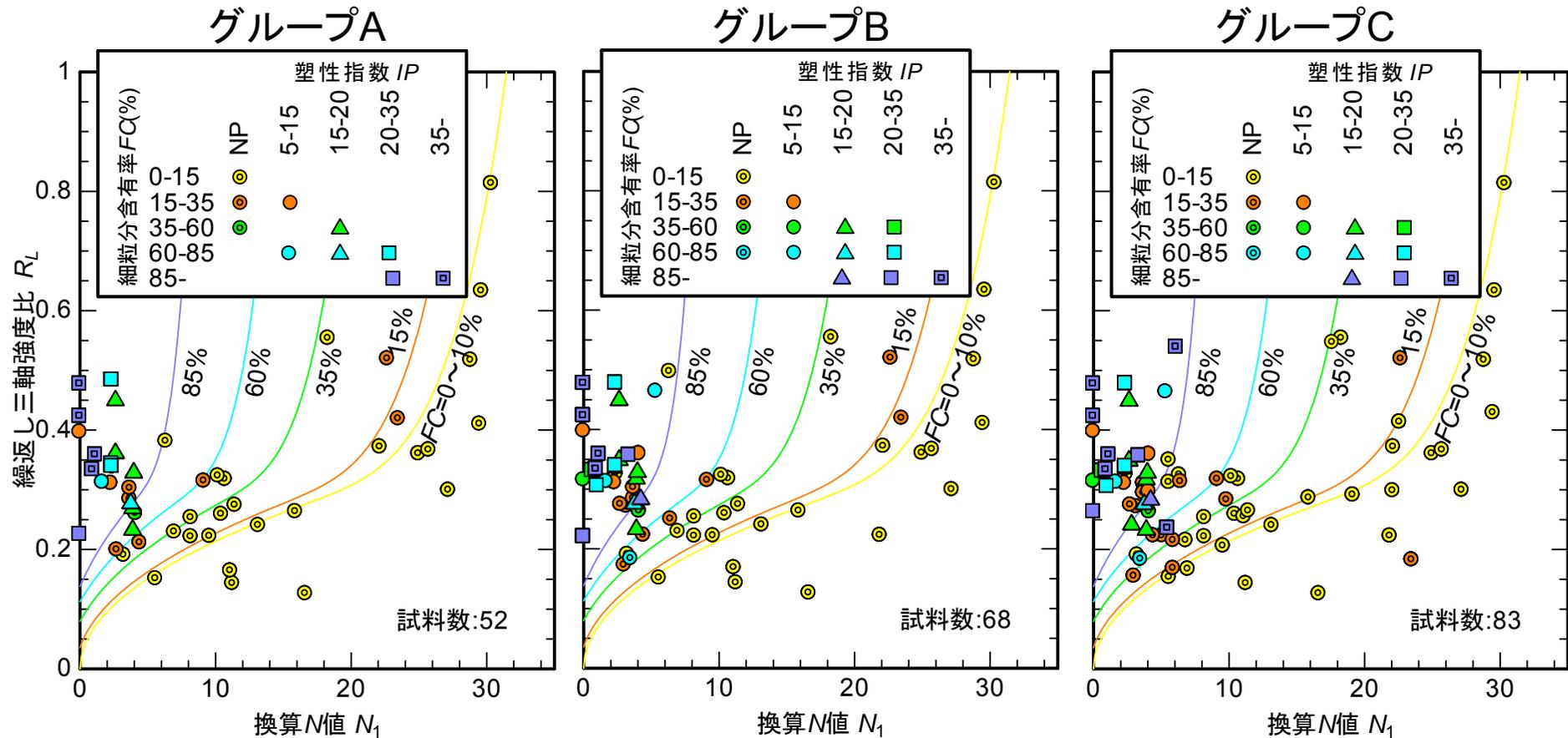


グループB： r_d が $\pm 0.2\text{g/cm}^3$ 以内の範囲にあるものを抽出



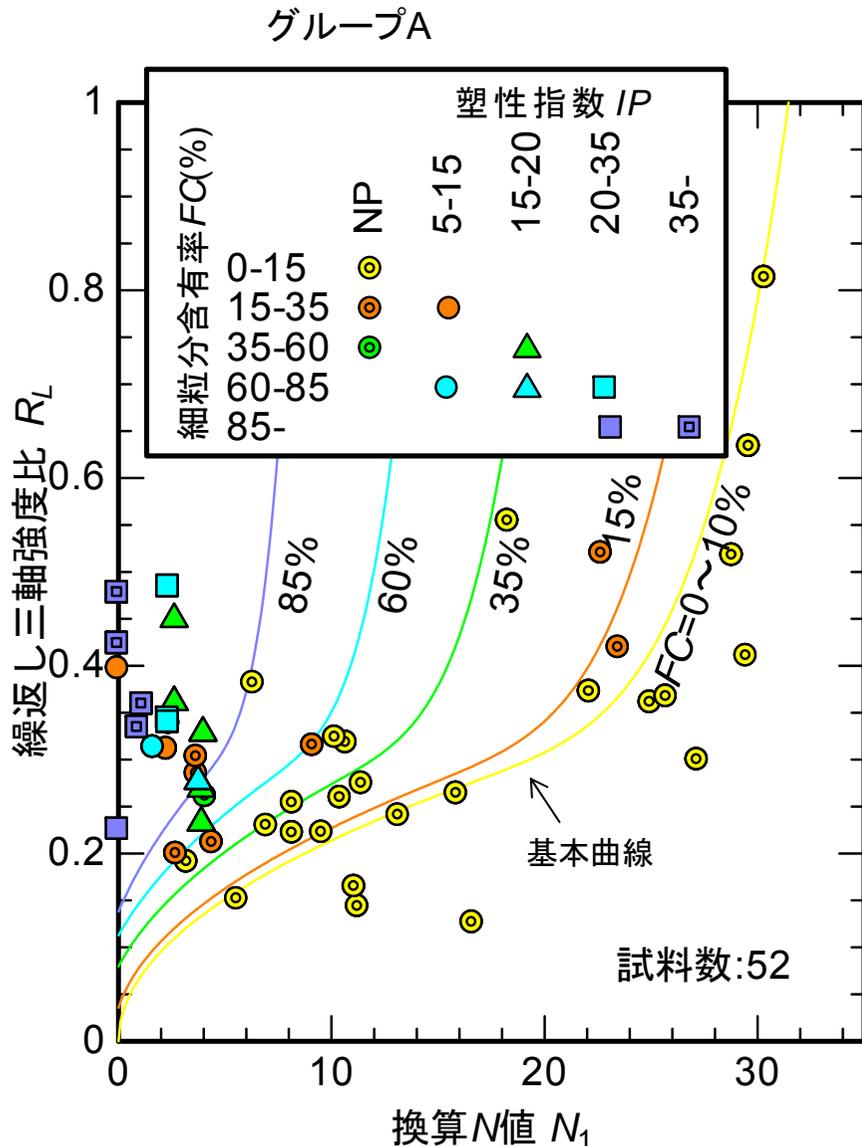
グループC：ばらつきが大きなものも含めた全データ

データの品質・ばらつきと $R_L \cdot N_1$ 関係



- ばらつきの小さなデータに絞り込んでいくことで、データ数は少なくなるが、 FC に応じて R_L が大きくなる傾向がより明瞭になる様子が見て取れる。
- グループAでは、塑性指数 IP に応じて R_L が大きくなる傾向があるように見える。
- データの品質・ばらつきの評価方法は、一定の妥当性を有していたと考えられる。
- グループAでもチューブ試料は FC 15%の領域で R_L が小。このあたりの領域では乱れの影響を排除しにくい。

今後の課題, 改善の方向性



- 液状化判定の対象とはならない土も含めてプロットしているが, $\varepsilon_{DA}=5\%$ で評価すると粘性土でも R_L が特別に大きいわけではない。
→ ひずみだけでは「液状化」と「繰返し軟化」の区別がついていない。どう区別するかが課題。
- 本調査によるデータを松尾 (2004) の液状化強度式と比較すると, FC が35%を超える領域では, 液状化強度式を引き上げることができそう。
- 細粒分の多い砂は, N_1 値が小さな値をとる。
→ 既往の液状化強度式は, N_1 の小さい領域で基本曲線が急激に原点に向かうため, N_1 の小さい領域で液状化強度を過小評価しやすい。
→ 基本曲線の形状を含めた見直しを行うことが, 改善の方向性の一つ。