



せん断波速度 V_s を利用した
新しい液状化強度の推定法とその適用性検証

東京大学生産技術研究所
清田隆・片桐俊彦・志賀正崇

研究背景

液状化特性に大きな影響を及ぼす年代効果を、通常の設計でも評価できるようにしたい

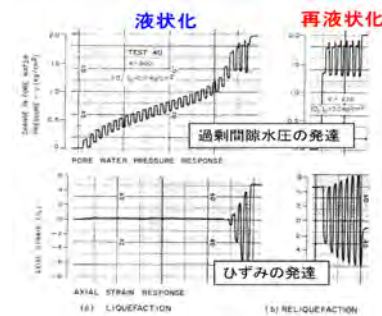
【正の年代効果】



関東地盤, 2011に加筆

3. 11による浦安市の液状化噴砂マップ
古くから陸地化していた地域では、液状化被害は少ない

【負の年代効果】



Finn et al., 1970
過去の地震履歴や液状化履歴、応力履歴などにより、地盤強度が低下することもあり得る

➢ 1980年代に簡易液状化判定法が開発された当初から、年代効果を考慮することは課題であった。

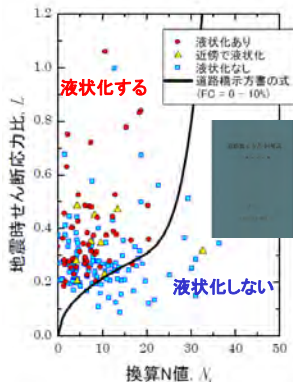
液状化強度の推定に関する諸問題

標準貫入試験(N値)に基づく簡易判定の現状

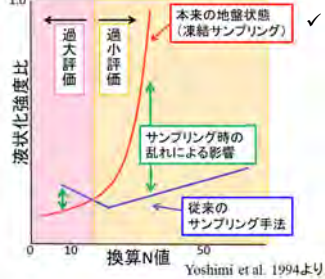
- ✓ 見逃しはほとんどないが、非液状化箇所の70%以上の地点で液状化強度を**過小評価**
- ✓ そもそもN値のみで密度と土粒子構造の影響を説明しようとするに無理がある

乱れの少ない試料による室内実験の現状

- ✓ 液状化検討の対象となる緩～中密の砂に対し、従来のチューブサンプリング法(トリプル・固定ピストン式等)ではその**品質に問題**がある。



東北地方太平洋沖地震時の液状化の実態
換算N値と地震時せん断応力比Lの関係
(土木研究所, 2014)



液状化防災に関する問題

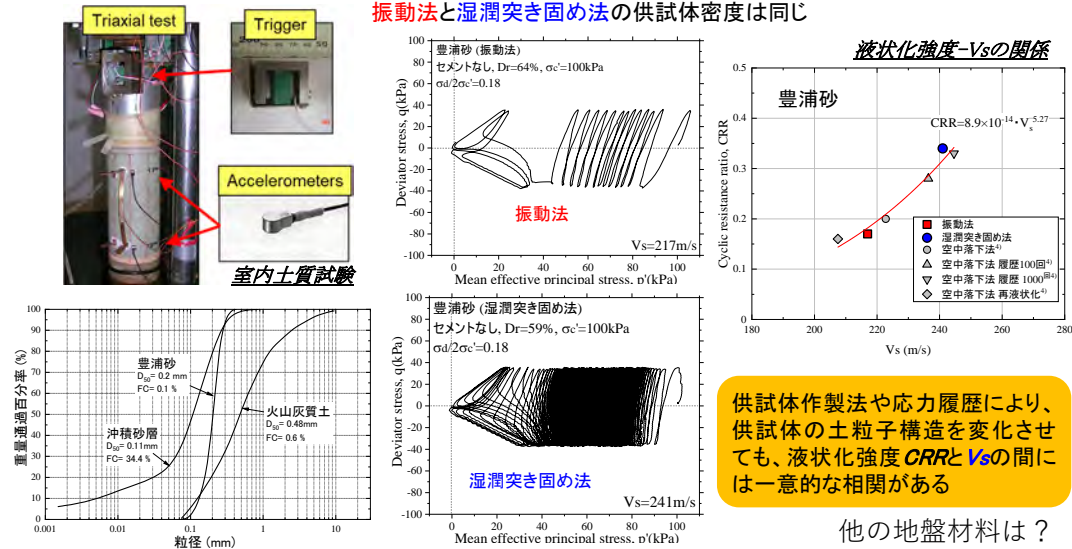
地価への影響、インフラ・構造物の耐震化への過剰投資、それに伴う対策の遅れに繋がる

Challenge

液状化強度に及ぼす年代効果の影響(即ち土粒子構造)をせん断波速度 V_s で説明する

液状化強度に影響を及ぼす年代効果(土粒子構造)

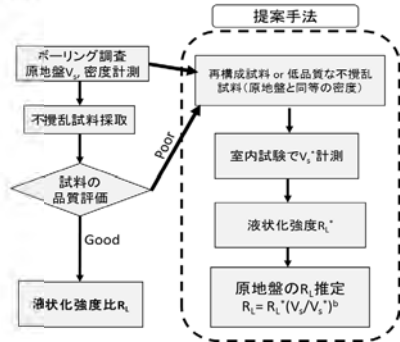
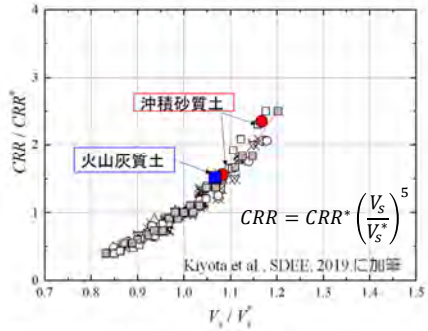
振動法と湿潤突き固め法の供試体密度は同じ



供試体作製法や応力履歴により、供試体の土粒子構造を変化させても、液状化強度CRRと V_s の間には一意的な相関がある

他の地盤材料は?

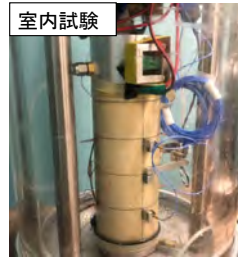
現場試験と室内試験を融合させた液状化強度推定法



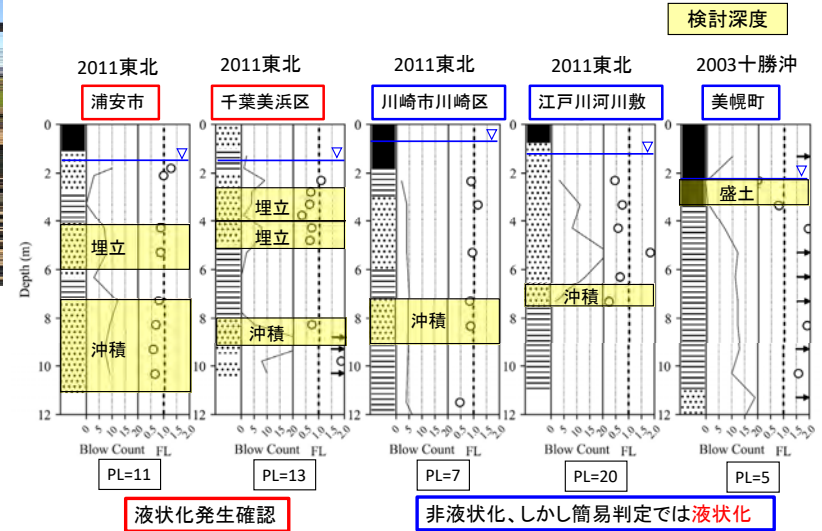
必要なパラメータ
PS検層: V_s
室内試験:
 V_s^* と CRR^*

提案手法の特徴:

- ある応力状態の液状化強度に及ぼす要因、①地盤種別、②密度、③年代効果(土粒子構造)、④応力履歴の内、原位置試料を用いて原位置密度に揃えることで①②を、原位置と室内試験の V_s で③④を考慮する合理的な手法
- 現行の地盤調査手法(PS検層、RI検層、液状化試験)で実現可能
- ボンディング効果(セメンテーションや塑性細粒分)を有しない地盤に有効
- 地盤工学分野で長年の課題であった地震履歴や年代効果(埋立・沖積～若い洪積の自然地盤)を考慮した液状化強度を推定できる可能性



新しい液状化強度推定手法の適用性検討



簡易法と室内試験結果、および新手法(清田ら)の比較

液状化発生確認

調査地名	対象地震	地表面加速度 (gal)	地質年代	液状化	検討深度 (GL-m)	平均N値	サンプリング	原位置 V_s (m/s)	室内試験		原位置CRR		安全率 F_L	
									V_s^* (m/s)	CRR^*	簡易法	清田ら	簡易法	清田ら
②千葉市美浜区	2011東北	232	埋立	発生	2.5-4.0	4	TS GP	89	110 117	0.31 0.40	0.20	0.11 0.10	0.64	0.35 0.32
				発生	4.0-5.0	8	TS	129	135	0.31	0.23	0.25	0.66	0.73
			沖積	不明	8.0-9.5	16	GP	148	151	0.39	26.8	0.35	69.9	1.14

埋立層

- 液状化地盤にしては、不攪乱試料(TSとGPサンプル)の液状化強度は大きすぎる(試料の乱れ)。
- V_s による新手法では、液状化強度は現実的な値に
- (GL-2.5~4.0m) それぞれ異なる不攪乱試料の液状化強度も、 V_s を考慮して新手法を適用すると同等の値になる。サンプリングによる土粒子構造の乱れが V_s で適切に補正されている。

沖積層でも、概ね妥当な結果

簡易法と室内試験結果、および新手法(清田ら)の比較

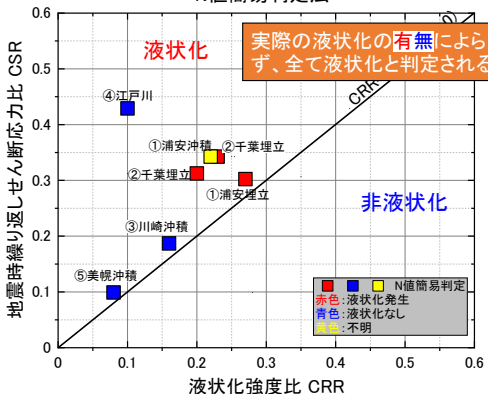
実際は非液状化、しかし簡易判定では液状化

調査地名	対象地震	地表面加速度 (gal)	地質年代	液状化	検討深度 (GL-m)	平均N値	サンプリング	原位置 V_s (m/s)	室内試験		原位置CRR		安全率 F_L	
									V_s^* (m/s)	CRR^*	簡易法	清田ら	簡易法	清田ら
③川崎市川崎区	2011東北	128	沖積	なし	7.2-9	5	攪乱	179	104	0.09	0.16	1.07	0.85	5.73
④江戸川河川敷	2011東北	262	沖積	なし	6.5-7.5	2	攪乱	155	128	0.16	0.10	0.42	0.24	0.98
⑤美幌町	2003十勝	85	盛土	なし	2.5-3.3	4	攪乱	124	119	0.22	0.08	0.28	0.78	2.42

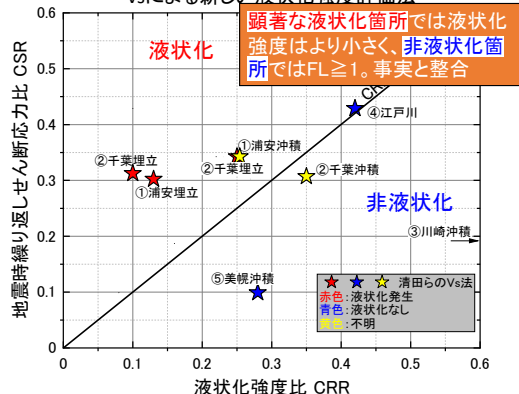
- 再構成試料を用いた室内試験の液状化強度は小さい(年代効果がない)
- V_s による新手法では、原位置と室内試験の V_s の比が年代効果を表現し、推定される液状化強度は大きくなる。
- いずれの地点でも、液状化が確認されなかった事実と整合する結果となった

まとめ

N値簡易判定法



Vsによる新しい液化強度評価法



本研究の知見が、年代効果や応力履歴を有する地盤の液化強度特性の理解に貢献し、延いては構造物の耐震設計の合理化につながることを期待いたします。

謝辞

一般社団法人 大成学術財団 関係者の皆様

江川拓也 様(土木研究所 寒地土木研究所)

石原雅規 様(土木研究所 つくば中央研究所)

本研究成果を含む業績により、令和2年度地盤工学会研究業績賞を受賞しました。

令和2年度地盤工学会賞受賞者

賞の名称	受賞業績名	受賞者
研究業績賞	砂質地盤の液化強度・変形特性に及ぼす年代効果の影響とその評価手法に関する研究	清田 隆(東京大学生産技術研究所)
研究業績賞	<ul style="list-style-type: none"> ● 授賞理由: 本業績は、砂質地盤の液化特性の年代効果に関して、先駆的な試験法の開発、精緻な実験と数多くの現場調査や事例解析などの結果に基づき、長年の研究を積み重ね、学術および技術の発展に大きく貢献した貴重な成果である。土粒子構造とセメンテーションに着目した年代効果の統一的な学術的解釈に基づいて、原位試験と室内試験を融合した調査によって現地盤の液化強度比の推定の高精度化を可能にした。また、個々の地盤に固有の年代効果を現行の地質調査技術を用いて定量的かつ合理的に評価することを可能にし、実務にも大きく貢献している。一連の研究業績は構造物の地盤耐震設計の合理化、液化化防災に関わる技術を総合的に発展させたものとして高く評価される。以上より、研究業績としてふさわしいと認められた。 	