

液状化強度曲線の類型化と経験式の提案

応用地質 正会員 ○三上 武子
東北学院大学 正会員 吉田 望

1. はじめに

1995 年兵庫県南部地震を契機として各種設計指針に性能設計が取り入れられようになり、液状化の発生や変形予測に有効応力解析が行われるケースが増えつつある。地震動は不規則波形であるため、広い範囲の繰返し回数に対して液状化強度曲線が一致するように解析モデルのパラメータを決める必要があるが、実務では実験値が得られない場合もあるため、特定の繰返し回数に対する液状化強度から広い範囲の繰返し回数に対する液状化強度を推定できる方法があると都合が良い。

そこで、筆者らが過去に行ってきた液状化試験の結果を整理して、実用的な液状化強度曲線の推定法について検討を行った。本稿では、繰返し回数 $N_c=20$ 回のときの液状化強度 R_{L20} から $N_c=5$ 回のときの液状化強度 R_{L5} を簡易的に推定する方法について述べる。ここで、 $N_c=20$ 回は、地震時の繰返し回数がおおむね 20 回程度以下と考えられていること¹⁾や道路橋示方書などの指針で定義されている繰返し回数であることから採用した。また、 $N_c=5$ 回は、過去の液状化強度曲線のシミュレーションで採用された回数であること²⁾やデータの精度を考慮して採用した。

2. 検討に用いたデータの性質

検討に用いたデータは、日本全国から採取した 302 試料の液状化試験結果である。採取地の内訳を表-1に示す。試料は全てチューブサンプラーで採取したもので、細粒分の少ない試料は、試験室への運搬時に凍結させている。試料の物性を図-1に示すが、緩い砂試料だけではなく、硬質な試料や細粒分を含んだ砂試料など非常に多岐にわたっていることがわかる。

液状化試験は JGS 0541-2000 に準拠し、原位置の土被り圧を拘束圧として実施した。液状化の定義は、両振幅軸ひずみ DA が 5% に達した時点とした。繰返し応力比 R と N_c の関係をプロットし、手動で滑らかな曲線を結んで $N_c=5$ 回および 20 回のときの R を読み取り、それぞれ R_{L5} および R_{L20} とした。このとき、データにばらつきがある場合は平均的な曲線を設定したが、密度や含水比、繰返し载荷前までに発生した変形量などから明らかに性状が異なると判断したデータは除外して液状化強度曲線を設定した³⁾。

表-1 試料の採取地		
採取地域	地点数	データ数
北海道	3	7
東北	10	54
関東	41	96
北陸	16	47
中部	12	40
近畿	8	20
中四国	6	24
九州	4	14
合計	100	302

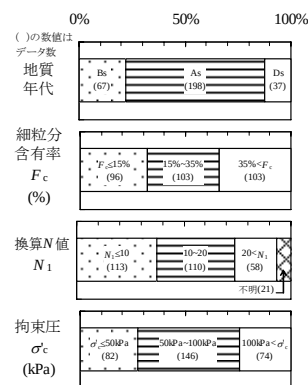
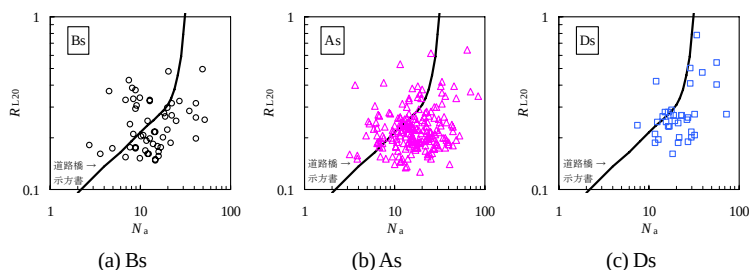
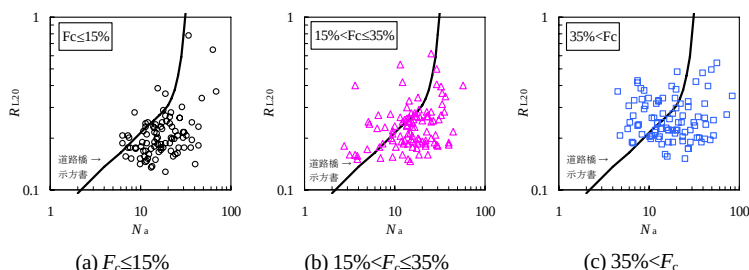
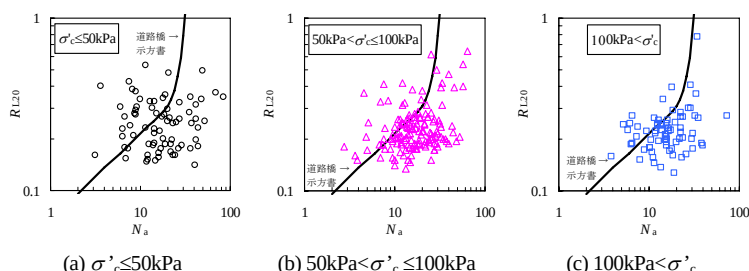


図-1 試料の物性

図-2 地質年代別に見た R_{L20} と補正 N 値の関係図-3 細粒分含有率別に見た R_{L20} と補正 N 値の関係図-4 拘束圧別に見た R_{L20} と補正 N 値の関係

キーワード 液状化強度曲線, 地質年代, 細粒分含有率, 実験式

連絡先 〒331-0812 埼玉県さいたま市北区宮原町 1-66-2 応用地質(株) TEL 048-663-8611

3. 検討結果

R_{L20} と補正 N 値 N_a の関係を地質年代, 細粒分含有率 F_c および拘束圧 σ'_c 別にプロットして図-2～図-4に示す。図中には, 道路橋示方書の推定式(以下, 推定式と記す)も併せて示した。いずれの図も非常にばらつきが大きい, 図-2 (a) Bs では, 推定式の両側に実験データが分布しているのに対して, (c) Ds ではほとんどのデータが推定式の下側に分布している。同様の傾向は図-3(a) $F_c \leq 15\%$ および図-4 (c) $100\text{kPa} < \sigma'_c$ でも認められ, 細粒分が少なく締まった砂試料の R_{L20} は, 推定式に比べて小さくなっている。

R_{L5} と R_{L20} の関係を地質年代別にプロットして図-5に示す。図中の実線および式は回帰分析により求めたものである。前掲の $R_{L20} \sim N_a$ 関係は非常にばらつきが大きかったが, $R_{L5} \sim R_{L20}$ 関係は比較的まとまりが良く, (a) Bs と (b) As の $R_{L5} \sim R_{L20}$ 関係はほぼ等しい。一方, (c) Ds は若干傾向が異なり, ばらつきが大きく, $R_{L5} \sim R_{L20}$ 関係の傾きが小さい。要因を検討するため, F_c 別に記号を変えてプロットしたところ, $F_c \leq 15\%$ のデータが特に傾向が異なることがわかった。ここで, $R_{L5} \sim R_{L20}$ 関係の傾きが小さいということは, 同一の R_{L20} に対して R_{L5} が小さくなる, すなわち 20 回以下の繰返しでは液状化しやすいことを意味し, 液状化強度の大小を意味しているわけではないことに注意する必要がある。

$R_{L5} \sim R_{L20}$ 関係を F_c , σ'_c および N_a 別にプロットして図-6～図-8に示す。いずれの分類においても, ほぼ同じ範囲にデータが分布しており, 回帰分析から得られた関係式の係数部は 1.33～1.56, 指数部は 1.01～1.09 で図-5(c) Ds のような大きな違いは認められない。以上より, 実験データを Bs+As, Ds ($F_c \leq 15\%$), Ds ($15\% < F_c$) の 3 種類に分類して $R_{L5} \sim R_{L20}$ 関係の回帰式を求めた。結果を図-9に示す。

4. まとめ

不攪乱試料を用いた液状化試験結果を整理し, Bs+As, Ds ($F_c \leq 15\%$), Ds ($15\% < F_c$) の 3 種類に分類して $R_{L5} \sim R_{L20}$ 関係の推定式を提案した。

参考文献

- 1) Seed, H. B., Tokimatsu, K., Harder, L. F. and Chung, R. M.: Influence of SPT procedure in soil liquefaction resistance evaluations, Journal of the Geotechnical Engineering, ASCE, Vol. III, No. 12, ASCE, pp. 1425-1445, 1985.
- 2) 石原研而 他: 地盤および土構造物の有効応力解析, 地盤と土構造物の地震時の挙動に関するシンポジウム発表論文集, 土質工学会, pp. 50-136, 1989.
- 3) 三上武子, 吉田望: 砂質土の液状化強度曲線の経験式, 第 45 回地盤工学研究発表会, 2010 (投稿中)。

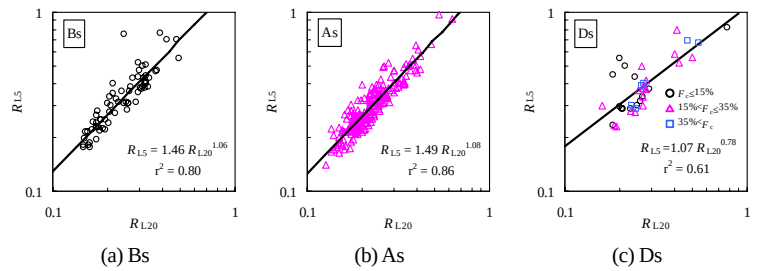


図-5 地質年代別に見た R_{L5} と R_{L20} の関係

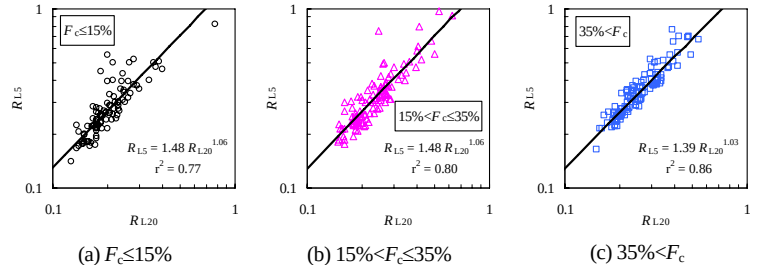


図-6 細粒分含有率別に見た R_{L5} と R_{L20} の関係

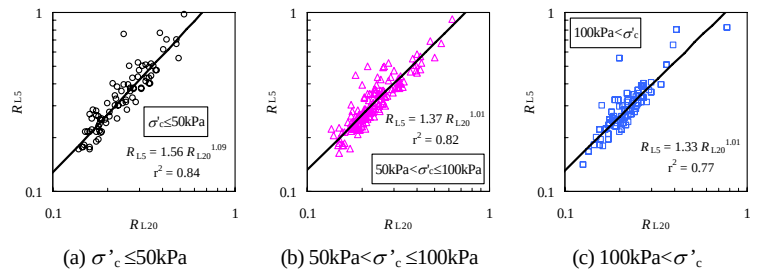


図-7 拘束圧別に見た R_{L5} と R_{L20} の関係

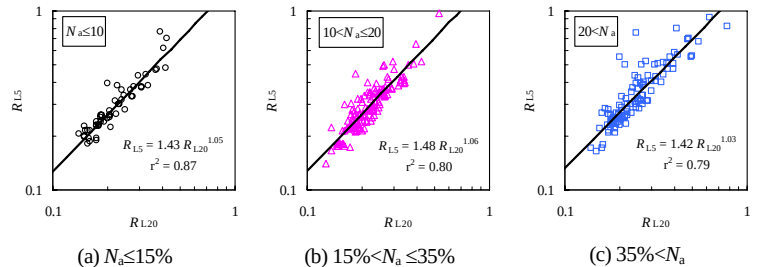


図-8 補正 N 値別に見た R_{L5} と R_{L20} の関係

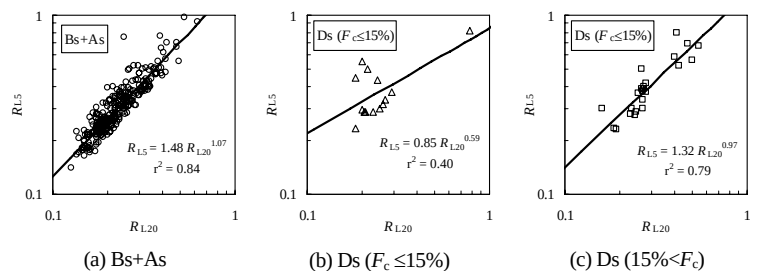


図-9 $R_{L5} \sim R_{L20}$ 関係の類型化