

東大 正会員 石原研和  
○ 不動建設 正会員 桑原正彦

1 はじめに 液状化の判定は従来N値から相対密度を、相対密度から応力比を求めて動的セン断力を推定し、地震時に発生するセン断力と比較して行なわれている。この方法は簡便であるが、N値と相対密度の関係が土質、飽和状態によ、て大きく異なるので、精度の高い方法とはいいい難い。一方、液状化対策としてゆるい砂地盤をサンドコンパクションパイル工法などにより地盤改良を行なう場合、施工管理はN値を指標として行な、ており、地盤改良によ、て期待される応力比の増加について調査することは少ない。また、室内の動的試験に供する不攪乱試料を得たとしても高価で採取個数、採取位置が限られている。そこで、応力比に関係する多くのパラメーターをできるだけ除いて、N値から直接に応力比を推定できれば液状化判定、施工管理の両面できわめて有効な手法となりえよう。ここでは、その第1歩として沖積砂地盤、埋め立て地盤で深さ15m以浅から採取した不攪乱試料を用いて繰り返し三軸試験を実施し、それから得られた応力比と、同時に求められた貫入抵抗との相関性を調べ、若干の考察を行な、た。

## 2 オランダ式コーン貫入試験値、N値と応力比の関係

1) オランダ式コーン貫入試験値と応力比の関係 細粒分が10%以下、繰り返し回数20回で初期液状化を生ずるに必要な応力比と貫入抵抗の関係を図1に示す。図中に示した直線は最小自乗法によ、て得た回帰直線である。相関係数、回帰性の検定を行なうと、危険率5%で相関がないという仮説、回帰性がないという仮説は成り立たないことが明らかとな、た。ここで危険率5%は統計量に対する信頼度として習慣的に用いられている標準値である。以上の結果から、コーン貫入抵抗から応力比を推定可能であることが統計的に示された。静的な貫入抵抗と応力比の相関を調べた例はないが、静的な貫入試験はかなり鋭敏に地盤の変化を把握できる利点があり、次に示す標準貫入試験よりも相関がよい。

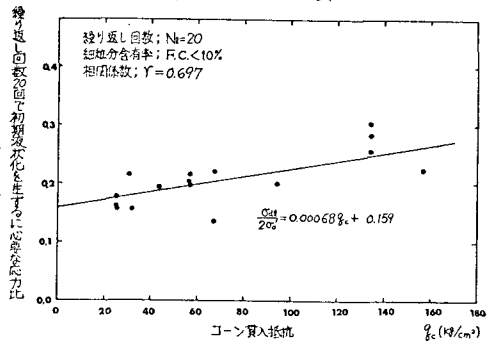


図1 繰り返し回数20回における応力比とコーン貫入抵抗の関係

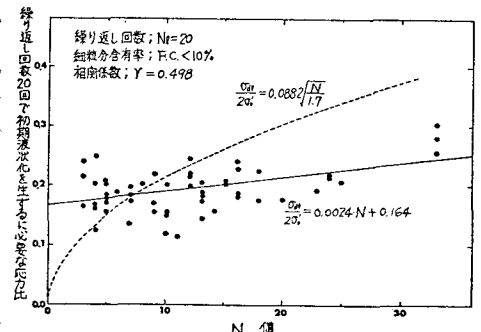


図2 繰り返し回数20回における応力比とN値の関係

2) N値と応力比の関係 細粒分が10%以下、繰り返し回数20回で初期液状化を生ずるに必要な応力比とN値の関係を図2に示す。統計的検討を行なうと上記と同様の結果が得られ、N値からも応力比が推定可能である。図中の破線は表1の式(2)を示したものである( $\sigma'v = 1 \text{ kg/cm}^2$ )。式(2)はN値が5~10では試験値とあ、てくるが、10を越えると試験結果より大きな値をとることがわかる。実線は最小自乗法によ、て得た回帰直線である(式(4))。また、細粒分が10%以上、繰り返し回数20回で

表1 応力比、相対密度、N値の間の関係

|                              | 繰り返し回数; $N_0$                        | 繰り返し回数 $N_0=10$                                                               | 繰り返し回数 $N_0=20$                                                                |
|------------------------------|--------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------|
| 初期液状化、あるいは5%<br>歪を生ずるに必要な応力比 | $\sigma'_{al}/\sigma'_{v0} \sim D_r$ | $\sigma'_{al}/\sigma'_{v0} = 4.6 \times 10^{-3} \cdot D_r$ (谷本) <sup>1)</sup> | $\sigma'_{al}/\sigma'_{v0} = 4.2 \times 10^{-3} \cdot D_r$ (大橋ら) <sup>2)</sup> |
| とN値の関係を図3に示す。                | $D_r \sim N$                         | $D_r = 21\sqrt{N/(\sigma'_{v0} + 0.7)}$                                       | $(\sigma'_{v0} = 1.0 \text{ kg/cm}^2)$ (Meyerhof) <sup>3)</sup>                |
| 細粒分が多くなると応力比                 | $\sigma'_{al}/\sigma'_{v0} \sim N$   | $\sigma'_{al}/\sigma'_{v0} = 0.0966/N/(\sigma'_{v0} + 0.7)$ 式(1)              | $\sigma'_{al}/\sigma'_{v0} = 0.0882/N/(\sigma'_{v0} + 0.7)$ 式(2)               |
| が大きくなることが認めら                 | 回帰直線                                 | $\sigma'_{al}/\sigma'_{v0} = 0.170 + 0.0042 \cdot N$ 式(3)                     | $\sigma'_{al}/\sigma'_{v0} = 0.164 + 0.0024 \cdot N$ 式(4)                      |

れる。しかし、細粒分の多いところではN値が低いので標準貫入試験は適当とはいえない。そこで、以降の議論は細粒分10%以下の砂地盤について議論を行なう。

3. 既存の液状化資料と実験結果の対比 Seed, Arango, Chan<sup>5)</sup>は過去に発生した地震による液状化、否液状化地盤の境界のN値と応力比の関係を原位置で得られた加速度の記録から推定して求めている。この結果に、式(1)、(2)および今回の試験結果から得た式(3)、(4)をあてはめると図4のようにになる。これより、式(1)、(2)はN値が低いと液状化の限界値に近い値をとるが、大きくなると応力比を過大評価する。式(3)、(4)はN値20以上では応力比を過小評価し、N値が低いと過大評価する。これは、ゆるい砂地盤では試料が採取時に収縮し、密な砂地盤では膨張するためと思われる。よってN値から応力比を推定するときは次のようにするのがよいと思われる。0 ≤ N < 5のとき式(1)か(2)、5 ≤ N < 10のとき式(1)か(2)あるいは式(3)か(4)、10 ≤ N < 20のとき式(3)か(4)。

4. N値より回帰直線によって推定した応力比の意味 N値は打撃法による値が異なり、一般にN値5で±3、N値10で±5、N値15で±5のばらつきが認められる。このばらつきを考慮したとき、任意のN値で応力比がどのようなばらつきを呈するのか調べてみた。その結果の一例を図5に示す。この結果を危険率5%で適合度検定を行なうと正規分布することが確かめられた。その他のN値、繰り返し回数の場合についても同様の結果を得た。また、この時の応力比の平均値、標準偏差と回帰直線から得た応力比の値を表2に示す。標準偏差は細粒分10%以下ではほぼ0.03と一定の値となっている。また、各N値に対応する平均応力比と回帰直線から求めた応力比の値はほぼ一致してくる。この結果から、N値5から15の任意のN値に対して応力比は式(3)、(4)で得た応力比を平均値とし、標準偏差0.03の正規分布をしていると考えられる。

5. まとめ 1). 応力比はコーン貫入抵抗、N値と相関性、回帰性があり、コーン貫入抵抗、N値より応力比を推定することが可能である。2). N値から応力比を推定するとき、過去の液状化資料にもとづくと、N値の大きさによって式(1)から式(4)を使いわけるのがよい。3). N値5から15の任意のN値に対して、応力比は式(3)、(4)で推定した応力比を平均値とし、標準偏差0.03の正規分布をする。

なお、これらの結果は数少ない過去の液状化資料にもとづいているので、実務に適用できるよう今後さらに検討してゆくことにしている。

6. 参考文献 1). 谷本喜一, "飽和砂質土の室内実験による液状化," 第16回土質工学シンポジウム発表論文集, pp.24~26, 1971. 2). 大橋昭光, 岩崎敏男, 龍岡文夫, 宮田浩通, "地震時における地盤流動化判定法の検討," 土木技術資料 vol.19-4, pp.9~14, 1977. 3). Meyerhof et al., "Discussion for Session 1" Proc. 4th ICSMFE vol.3, p.116, 1957. 4). Seed, H.B., Arango, I and Chan C.K., "Evaluation of Soil Liquefaction Potential During Earthquakes" Report. No. EERC 75-28. EERC. Univ. of California, Berkeley. 5). 関東地質調査業協会技術委員会, "標準貫入試験の打撃法に関する比較実験" 土と基礎, vol.24-4, No.218, April, pp.57~65, 1978

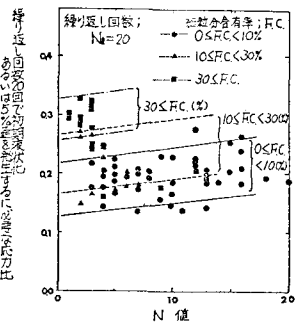


図3 細粒分10%以下の場合の応力比とN値の関係

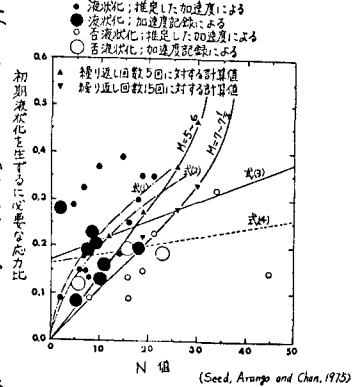


図4 液状化地盤、否液状化地盤の応力比とN値の関係

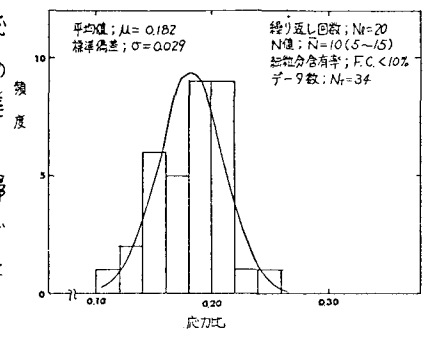


図5 N値が10のときの応力比の分布

表2 各N値における応力比の平均値と標準偏差

| 繰り返し回数; Nt | N値 | N=5   |       | N=10  |       | N=15  |       |
|------------|----|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
|            |    | 平均応力比 | 得た応力比 | 平均応力比 | 得た応力比 | 平均応力比 | 得た応力比 |
| 10         | 10 | 0.207 | 0.191 | 0.207 | 0.212 | 0.215 | 0.233 |
|            |    | 0.036 |       | 0.036 |       | 0.039 |       |
| 20         | 20 | 0.185 | 0.176 | 0.182 | 0.188 | 0.187 | 0.200 |
|            |    | 0.030 |       | 0.029 |       | 0.033 |       |
| 30         | 30 | 0.176 | 0.167 | 0.173 | 0.177 | 0.177 | 0.187 |
|            |    | 0.028 |       | 0.028 |       | 0.031 |       |