振動式コーン試験・定点振動法におけるデータ解析方法の改良に関する検討

（国研）土木研究所　　正会員　○京田 達郎，谷本 俊輔，大重 綱平
国際会員　佐々木 哲也

1.　はじめに　著者らは，これまで地盤の液状化特性を直接的に把握することを目的とした原位置液状化試験法として，振動式コーン試験・定点振動法の開発[1), 2), 3)]を行っている．本報では同試験法で得られた計測データの解析手法について，改良を試みた結果を報告する．

2.　プローブの動的挙動と従来手法　振動式コーン試験法とは，CPT に類似した先端プローブを振動させ，原位置で地盤に液状化を生じさせることにより，液状化特性を把握する手法である．特に，定点振動法と呼んでいる試験法は，プローブの貫入を停止した状態で振動強さを漸増させ，プローブから周辺地盤に作用した力と先端抵抗の変化を関連付けることで，液状化強度の推定を行うものである．

上記プローブは内蔵した偏心ウエイトを水平面内で回転させることで振動を発生させるものであり，回転周波数 f の計測値から偏心ウエイトの遠心力 C を把握することや，プローブの加速度計測値からプローブの慣性力 I を把握することは可能である．しかし，周辺地盤への作用力を直接把握することは難しい．そこで，**図-1** に示す水平面での動的な力のつり合いから次の運動方程式が成り立つことを仮定し，C, I から水平反力 R を求めることとしている．

$$Ce^{i\omega t} + Ie^{i\omega t} + Re^{i\omega t} = 0 \qquad (1)$$

なお，C，I，R はいずれも複素振幅である．

式（1）は 1 質点系の運動方程式とほぼ同形であり，第 1 項が入力動，第 2 項が慣性力項，第 3 項が復元力項と対応しているため，入力動に相当する C に対する I，R の振幅比として，**図-2** の関係が得られる．なお，f_n および h はプローブ質量や周辺地盤の反力特性，減衰特性等から決まる固有振動数および減衰定数であり，これらを定めることによって C，I，R の関係を一意的に定めることができる．以上から分かるように，$|C|$，$|I|$の計測値から$|R|$を求めるためには，f_n および h をいかに設定するかが重要なポイントとなる．**図-3** に計測データ例を示す．回転周波数 f の増加に対して$|I/C|$が一時的に示すピークやその前後の増減傾向から，慣性力増幅比$|I/C|$は**図-2** の周波数特性で表現できると考えられる．これに対して既報[2)]では，ピーク時刻における$|I/C|$と回転周波数から f_n，h を同定し，これを全時刻に対して一定であると仮定していた．しかし，固有振動数が地盤剛性とともに変化しうることを考えれば，実際には f_n も経時的に変化するものと考えられるため，既報の方法で f_n や$|R|$を適切に推定できているのは$|I/C|$ピーク時刻に限られる．

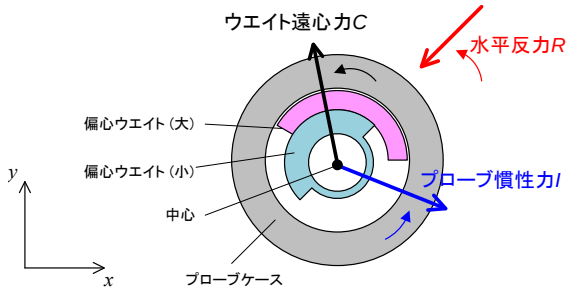

図-1　水平面内におけるプローブの力のつり合い

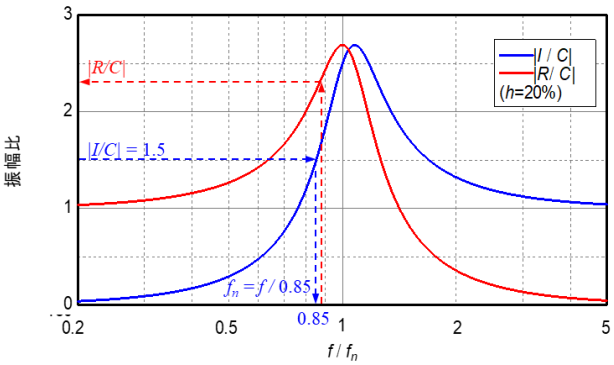

図-2　プローブの周波数応答特性

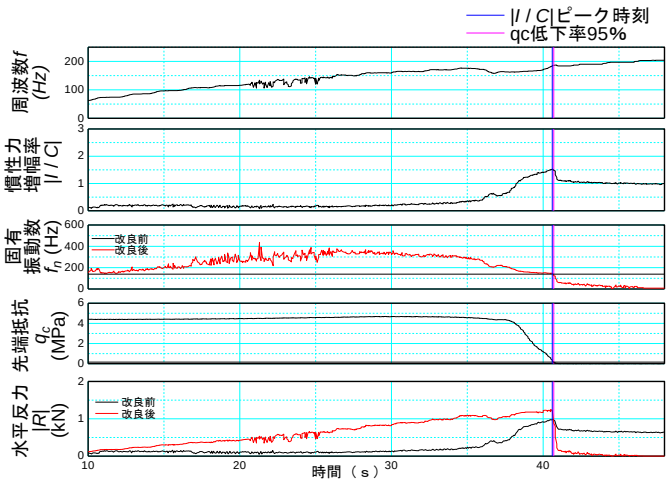

図-3　振動式コーン現場試験計測データ例
（偏心ウエイト交差角　0°）

キーワード　液状化強度，原位置試験，コーン貫入試験
連絡先　〒305-8516　茨城県つくば市南原 1 番地 6　国立研究開発法人 土木研究所　TEL 029-879-6771

© Japan Society of Civil Engineers

3. 改良手法 以上の背景から，水平反力$|R|$の推定方法の改良を試みた．ここで試行した改良手法は①慣性力増幅比$|I/C|$のピーク値からhを定め，これが変化しないと仮定し全時刻について一定として扱う②各時刻で得られた慣性力増幅比$|I/C|$から**図-2**の関係を用いてf/f_nを求める．③**図-2**の関係を用いて$|R/C|$，$|R|$を順次求める，というものである．このように固有振動数f_nを一定値ではなく経時変化するものとして扱うことにより，地盤反力の時刻歴をより精度よく推定することができると考えられる．**図-3**に計測データとその解析結果を示す．プローブの回転周波数fの増加に対して，改良によって経時変化するようになったf_nは一時的に増加傾向を示すものの，30s付近から先端抵抗q_cが0に低下する時間帯を超えて低下し続けている．このことから$|R|$算出のパラメータであるf_nは，手法の改良によってより適正に評価されているものと考えられる．結果として$|R|$を改良前後で比較すると，$|I/C|$のピーク時刻においては一致し，その他の時間帯では大きく異なるものとなった．

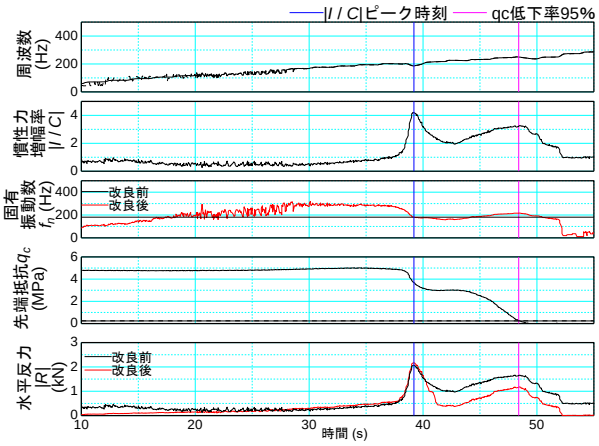

図-4 振動式コーン現場試験計測データ例（偏心ウエイト交差角 120°）

4. 現場実験データ[2),3)]への適用 3.で示した改良手法を現場実験データに適用する．ここでは既報[3)]と同様にq_c低下率95%に達した時点での$|R|$を正規化し，液状化試験結果等と対比することとしている．なお，その時点以前に$|R|$最大値が出ているケースがあるが，本報で示す正規化水平反力度（受圧面積で除し，有効上載圧で正規化したもの）はすべてq_c低下率95%時点のものである．

偏心ウエイト（**図-1**参照）を120°交差させた試験時の計測データを**図-4**に示す．偏心ウエイトを交差させた際に遠心力が小さくなる影響で，39秒付近の$|I/C|$ピーク時刻における先端抵抗の低下は僅かであり，q_cは周波数の増加によってピーク時刻の約10秒後に低下率95%に達した．この場合，改良前の手法により求めた正規化水平反力度（**図-5**）は，液状化試験結果等に比べ大きめな値を示しているのに対し，改良手法によって求めた値については，液状化試験結果等の範囲内の値となっており，f_nが経時変化するよう扱うことにより一定の改善が見られる．

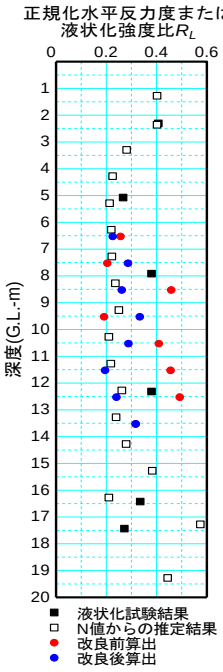

図-5 正規化水平反力度分布（偏心ウエイト 120°交差）

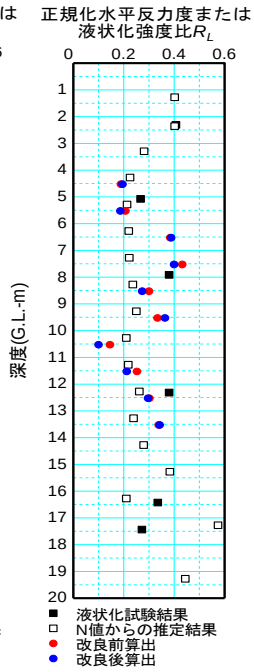

図-6 正規化水平反力度分布（偏心ウエイト 0°交差）

次に**図-6**に，**図-3**で示した試験データ時刻歴（偏心ウエイト0°交差）から求めた正規化水平反力度の分布を示す．**図-3**において先端抵抗q_cが比較的単調に低下していたこのデータでは，改良による正規化水平反力度の大きな変化はみられない．これらの結果から，改良手法の効果は遠心力が小さいケースにおいてのみ現れることが分かる．

5. まとめ 本報では原位置液状化試験法として開発中である振動式コーン試験法における，計測データの解析手法について改良の検討を行った．手法の改良によって，特定のケースにおいてはある程度の効果がみられたが，さらなる改良の余地があると思われる．一定の精度で地盤の液状化強度を把握するため，解析手法について今後も改良を加えていきたい．

参考文献 1) 石村陽介ら：室内土槽実験による振動式コーンを用いた原位置液状化強度の評価指標に関する検討，第54回地盤工学研究発表会，pp.169-170，2019.7.2) 谷本俊輔ら：振動式コーン・定点振動法における計測データと水平反力の関係，第55回地盤工学研究発表会，22-6-3-01，2020.7.,3) 大重綱平ら：振動式コーンを用いた原位置液状化強度の推定に関する現場実験，第55回地盤工学研究発表会，22-6-3-02，2020.7.

© Japan Society of Civil Engineers