

地盤全体としての強度低下率を指標とした液状化判定法の提案

(公財) 鉄道総合技術研究所 正会員 ○坂井 公俊

(公財) 鉄道総合技術研究所 正会員 小島 謙一

1. はじめに

液状化危険度を簡易に判定するために一般的に用いられている PL 値は、扱いが簡便であるものの、物理的な観点からの定量的な判断が困難であるという問題を有している。この問題を解決するために、筆者らは地盤全体系を対象とした静的非線形解析法を実施し、この結果から“地盤全体系の強度低下曲線”を算定する手法を提案している¹⁾。さらにこの結果と地表面位置の相対変位波形を組み合わせることで、地盤全体系の強度変化率を簡易に評価できる可能性がある。そこで本検討では、サンプル地盤に対して地盤全体系の強度低下曲線と地表面地震動を組み合わせ強度低下の簡易評価法を提案するとともに、求めた強度変化率と詳細な有効応力解析の結果を比較することで、提案手法の有効性を検証することを目的とする。

2. サンプル地盤に対する地盤全体系の強度低下曲線の評価

検討対象とした地盤の速度構造を図1に示す。今回は、 $V_s=400\text{m/s}$ の基盤層の上に、堆積層が30m連続する比較的単純な模擬地盤を対象とした。基本的な構成土質は粘性土とし、深さ10~15mの位置に層厚5mの砂質土層が混在している。この地盤の固有周期は $T_g=0.80\text{s}$ である。

この地盤に対して、弾性時の特性と繰り返し载荷に伴う影響も含んだ非線形特性を設定する。弾性時の特性は、堆積層が $V_s=150\text{m/s}$ 、 $\gamma=17\text{kN/m}^3$ の均質地盤、基盤として $V_s=400\text{m/s}$ 、 $\gamma=20\text{kN/m}^3$ の地盤が半無限に連続するとした。続いて表層地盤の非線形構成則としては、せん断応力-せん断ひずみ関係と水圧非考慮時の履歴特性をGHE-Sモデル²⁾、水圧考慮時のダイレイタンス特性をおわんモデル³⁾によって表現することとした。各層に与えるパラメータは、鉄道構造物の設計基準⁴⁾に示されている標準的なパラメータに適合するように設定した。

この地盤に対して、まず地表面変位 $\delta=3\text{cm}$ 、繰り返し回数 N を最大30回に設定し、繰り返し载荷¹⁾を実施することで得られた地盤全体系の荷重 K_h -変位 δ 関係を図2に示す。この図より、まず一定の地表面変位 δ で繰り返し载荷することで、徐々に荷重レベルが低下していることが分かる。この結果から、各繰り返し回数 N における荷重の変化率 β を算定できるとともに、目標変位 δ を変化させた静的繰り返し载荷の結果を統合することで、地盤全体系の強度変化曲線を評価可能であることが確認された。

続いて各地盤において、目標地表面変位 δ を1~40cmまで1cm刻みで変化させて静的繰り返し载荷を実施し、地盤全体系の強度変化曲線¹⁾を算出した。最終的に得られた結果を図3に示す。これより、当初想定していたように同一強度変化 β において、地表面変位 δ が小さくなるほど多くの繰り返し回数 N_c を必要とすること、同一変位 δ では強度変化 β が小さいほど多くの繰り返し回数が必要となることが確認できる。

3. 強度変化曲線を用いた液状化判定の有効性

地盤全体系の強度変化曲線を活用することで、地震後の強度低下量を定量的に評価できると考えられる。具体的には、全応力解析によって得られる地表面位置の相対変位波形と強度変化曲線を組み合わせた累積損傷度法を適用することで、地震後の強度低下率を算定する。この強度低下の程度によって液状化の有無(厳密には地表面地震動の変化の程度)を抽出できる可能性がある。これは、ある地盤要素の液状化強度曲線とこの地盤に作用するせん断応力波形から、累積損傷度法によって液状化判定を行う手法^(例えば4)を地盤全体系に拡張したものに相当する。

この手法の有効性を確認するために、鉄道構造物の耐震設計に用いられるL2地震動スペクトルIIを入力とし

キーワード 液状化判定, 液状化強度曲線, 累積損傷度法

連絡先 〒185-8540 東京都国分寺市光町 2-8-38 (公財) 鉄道総合技術研究所 地震動力学 TEL042-573-7394

た全応力解析を実施し、地表面位置の相対変位波形を算出した。なお、この時の地震動の最大加速度は、200galと1000galに調整している。得られた相対変位波形と図3の結果を用いて、地盤全体系の強度変化率 β を算定した結果を図4に示す。これらの図には、全応力解析、有効応力解析によって得られた地表面位置の絶対加速度波形、相対変位波形も示している。これを見ると、まず入力加速度200galの場合(図4(a))は地震動の繰り返し作用によっても強度低下はほとんど発生していない。それとともに、地表面位置の地震動波形は水圧考慮の有無にかかわらずほぼ同一の応答となっている。一方で、入力加速度が1000galの場合(図4(b))では、地震動が作用するに伴って徐々に強度が低下し、地震後の強度変化率 β は0.1よりも小さな値となっている。また、地表面位置の時刻歴波形を見ると、水圧を考慮した結果の方が徐々に応答加速度が小さくなるとともに、変位が増大するなど、液状化に伴う地盤応答の特徴が顕著になってきている。この地表面地震動の変化の傾向は、強度変化率 β の減少と調和的であり、本手法によって液状化に伴う地表面地震動の変化を適切に判定できる可能性があると言える。

参考文献 1) 坂井公俊, 井澤淳: 地盤全体系の正負交番載荷試験の提案とこれを用いた液状化判定のための基礎的検討, 土木学会全国大会, 2016. 2) 室野剛隆, 野上雄太: S字型の履歴曲線の形状を考慮した土の応力~ひずみ関係, 第12回日本地震工学シンポジウム論文集, pp.494-497, 2006. 3) 福武毅芳: 土の多方向繰返しせん断特性を考慮した地盤・構造物系の三次元液状化解析に関する研究, 名古屋工業大学学位申請論文, 1997. 4) (公財) 鉄道総合技術研究所: 鉄道構造物等設計標準・同解説 耐震設計, 2012.

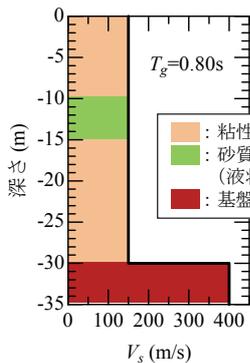


図1 対象地盤

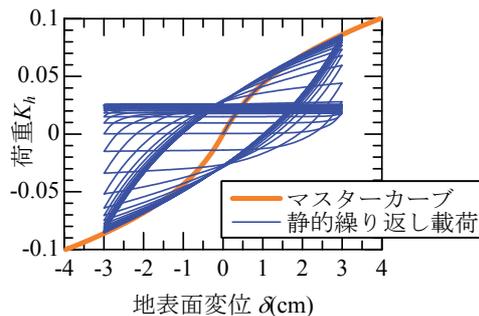


図2 地盤全体の繰返し載荷結果

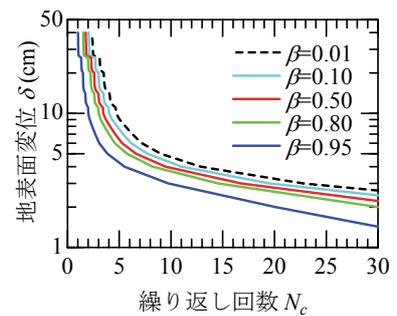
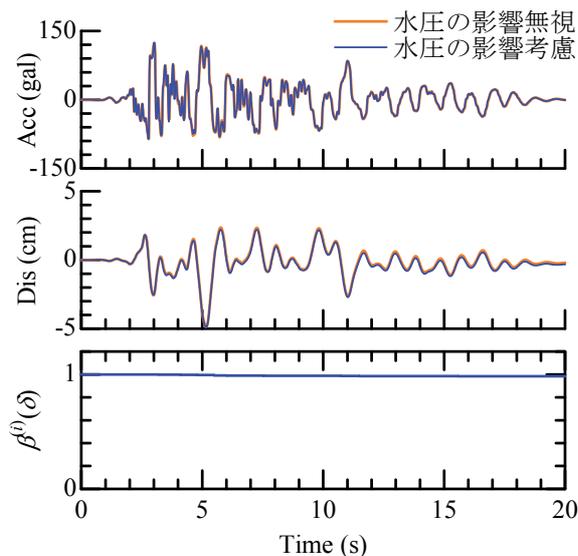
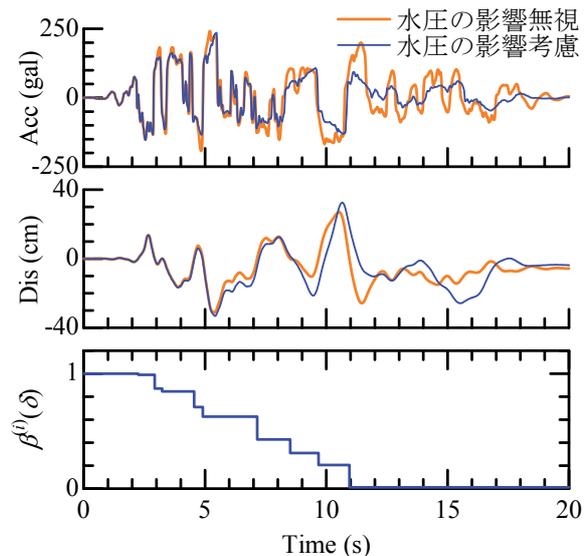


図3 地盤全体系の強度変化曲線



(a) 入力最大加速度200galの場合



(b) 入力最大加速度1000galの場合

図4 地盤全体系の強度変化率 β と地表面位置での地震動算出結果