

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

(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 井澤 淳

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¹⁾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。一方で、土の要素試験結果から得られる液状化強度曲線は、ある応力を作用させた場合に、あるひずみに至るための繰り返し回数、という非常に簡便かつ物理的に明瞭な表現である。本検討では、地盤の静的非線形解析法²⁾を拡張することで、地盤全体系の液状化強度曲線を算定する手法を提案する。

2. 地盤全体系を対象とした液状化強度曲線の算定法

(1) 地盤全体系の正負交番載荷試験

まず、地盤全体系を対象とした正負交番載荷試験を以下の手順で実施する。

Step1 目標変位までの単調載荷（正側載荷）：設定した地盤モデルに対し、目標変位 δ に到達するまで、地盤全体系の静的非線形解析を実施する。また、固有周期の変化 $T_g(x)$ を次式によって積分することで、地盤全体系を対象とした荷重 $K_h(\delta)$ －変位 δ 関係³⁾に相当するものを算出する。

$$K_h(\delta) = \int_0^\delta \left(\frac{1}{T_g(x)} \right)^2 dx \quad (1)$$

Step2 マイナス方向への単調載荷（負側載荷）：上記 Step1 の最終ステップの結果を引き継ぎ、目標変位が $-\delta$ に到達するまで、マイナス方向に静的に変位を作用させる。

Step3 正側載荷、その後繰り返し載荷：上記 Step2 の結果を初期状態とし、目標変位が $+\delta$ に到達するまで、プラス方向の静的解析を行う。引き続いて上記 Step1 と Step2 を N 回繰り返し、各ステップでの結果を出力、整理することで、 N 回繰り返しの正負交番載荷試験の結果が得られる。

(2) 地盤全体系を対象とした強度低下曲線の算定方法

地盤全体系の液状化強度曲線を算定する手順を図 1 に示す。まず、上記(1)の作業を目標とする地表面変位 δ を変化させて多数回実施する。この各地盤変位量 δ 、繰り返し回数 i における荷重 $K_h^{(i)}(\delta)$ を、水圧の影響を無視した場合の荷重 $K_h^{(0)}(\delta)$ で除することにより、変位 δ 、繰り返し回数 i 回目における地盤全体系の強度低下率 $\beta^{(i)}(\delta)$ を算定する。さらに、この結果を整理し、横軸に繰り返し回数 N 、縦軸に変位 δ を取ったグラフ上に、同一の強度低下率 β となるコンター線でプロットする。これを“地盤全体系を対象とした強度低下曲線”と呼ぶ。

3. 模擬地盤を対象とした提案手法の適用

提案した手法の適用性を評価するため、模擬地盤に対して試算を行う。対象としたのは、図 2 に示す深さ 43m の地盤である。このうち、6.0～10.35m の範囲が液状化対象層であり、水圧の影響を考慮することとした。液状化層以外の非線形特性は GHE-S モデル⁴⁾とし、液状化層においては骨格を GHE モデル、水圧の影響をおわんモデル⁵⁾によって評価することとした。各層に与えるパラメータは、鉄道の設計において用いられている標準的な値⁶⁾をもとに設定した。地盤全体系を対象とした静的繰り返し載荷を行う際の計算条件としては、増分変位 $\Delta\delta=0.01\text{cm}$ 、目標変位を 1cm～10cm の範囲で変化させ、繰り返し回数は最大 100 回とする。これによって得られた荷重 $K_h(\delta)$ －変位 δ 関係の一例を図 3 に示す。繰り返し載荷に伴って液状化対象層の水圧が上昇するとともに、地盤全体系の強度が徐々に低下している様子が適切に表現できている。続いてこの結果をもとに算

キーワード 液状化判定、液状化強度曲線、有効応力解析

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

定した地盤全体系を対象とした強度低下曲線を図4に示す。これより、同じ強度低下率 $\beta^{(i)}(\delta)$ となるためには、小さな荷重変位ではより多くの繰り返し回数を必要としていること、さらに $\beta^{(i)}(\delta)$ が小さくなるほどより繰り返し回数はより多くなっていること等、土単体の要素試験による液状化強度曲線と同一の傾向を示していることが確認できる。

4. まとめ

本検討では、地盤全体系の液状化強度曲線を評価する手法の提案を行うとともに、模擬地盤に対して試算を実施した。本手法を用いることで「地震動の繰り返し荷重に伴う地盤全体系の強度の変化」という明瞭な指標による液状化判定を簡易に行える可能性がある。

謝辞：おわんモデルの制御方法について、清水建設技術研究所の福武毅芳博士に御指導頂いた。

参考文献：1) 岩崎，龍岡，常田，安田：第5回日本地震工学シンポジウム講演集，1978. 2) 坂井，室野：土木学会論文集，2015. 3) 坂井，井澤，室野，日野：日本地震工学会論文集，2015. 4) 室野，野上：日本地震工学シンポジウム論文集，2006. 5) 福武：名古屋工業大学学位申請論文，1997. 6) 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.

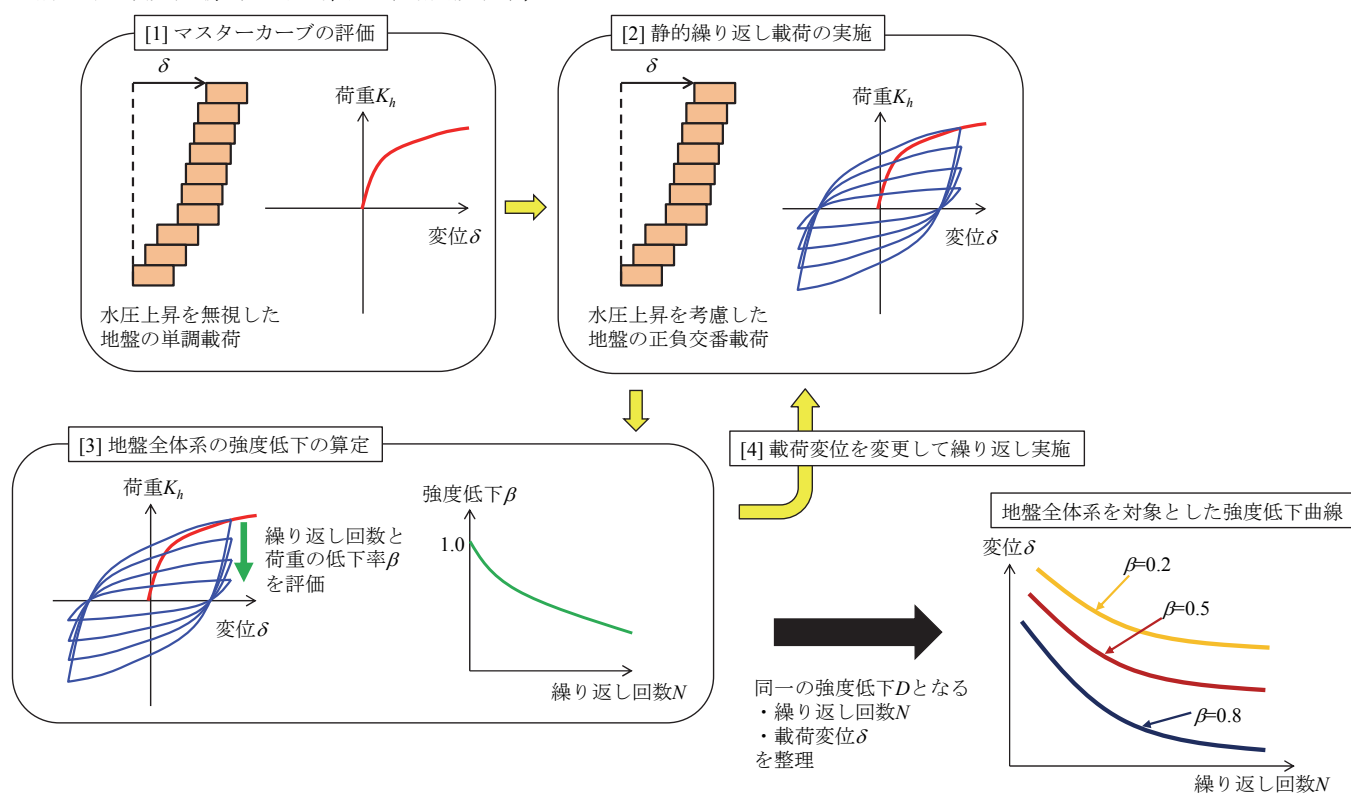


図1 地盤全体系の強度低下曲線の算定手順

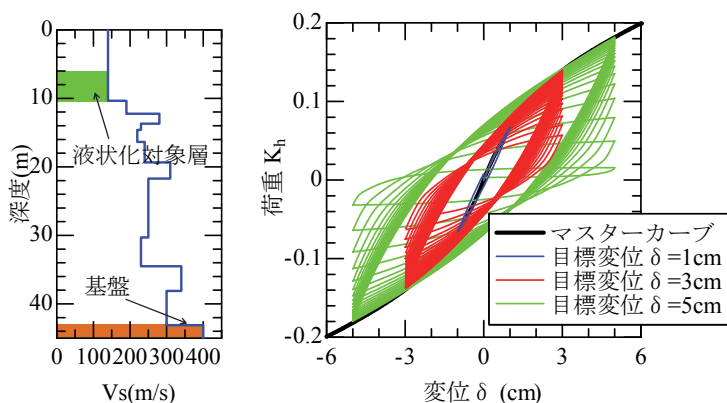


図2 対象地盤

図3 静的繰り返し荷重の結果

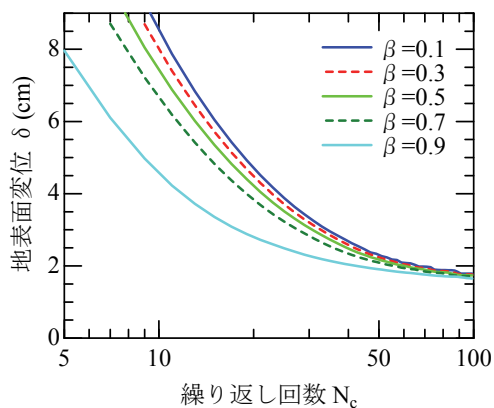


図4 地盤全体系の強度低下曲線の算定結果