

### ベンダーエレメント試験による薬液改良体の一軸圧縮強度推定

東京都市大学	学生会員	○中川健太郎
東京都市大学	正会員	末政 直晃
強化土(株)	フェロー会員	島田 俊介
強化土エンジニアリング(株)	正会員	佐々木隆光
(独)労働安全衛生総合研究所	正会員	堀 智仁

#### 1. はじめに

液状化対策工法の一つに薬液注入工法が挙げられる。本工法は、薬液の注入圧を低くして浸透注入を行うことにより、地盤の土骨格の破壊を抑えながら地盤内の間隙水を薬液に置換するものであり、地盤の強度増加や止水性の向上を目的としている。また、利点として比較的小型な施工機械を用いるため、施工スペースが狭く、既設構造物直下において適用できるという特徴が挙げられる<sup>1)</sup>。しかし、薬液で改良された地盤の改良強度発現メカニズムや注入材の浸透メカニズムについては未解明の部分が多く、室内配合強度は設計強度の2倍となるように設計している。本研究では、地盤に合わせた薬液の選定、薬液の改良範囲、強度特性を把握することにより最適な設計法を確立することを目的としている。本報告では、波動試験の一つであるベンダーエレメント(以下 BE と略す)試験に着目し、円柱型の供試体に対して非破壊で初期せん断弾性係数の計測が行えるように改良し、改良型 BE の有効性の検討および一軸圧縮強度の推定を行った。

#### 2. 改良型 BE 試験の概要

これまで、本研究では BE 間の距離が 3cm の土槽を用いて、作製時から経過時間毎に計測を行い、薬液改良体の固化発現メカニズムの解明を行っていた。これは、土槽と BE、薬液改良体が一体となった構造であった。本報告では、容易に設置し、かつ簡易的に複数の円柱供試体の計測が可能となるよう、BE の設置方法を改良した。これにより、BE 試験後、一軸圧縮試験や三軸圧縮試験を行えるため、初期せん断弾性係数と一軸圧縮強度、液状化強度等の関係を把握することが可能となる。写真-1 に BE 試験の様子を示す。試験で用いる器材は、PC、供試体、バイポーラ電源、BE(図-1)、ファンクションジェネレータ、オシロスコープで構成されている。表-1 に豊浦砂の物性値、表-2 に薬液の配合条件をそれぞれ示す。供試体は、混合法にて、豊浦砂を相対密度約 80% になるようにプラモールドに充填し、乾燥を防ぐために表面をラップで覆い、室内で養生した。その後、固化した供試体に BE を取り付け、試験を行った。送信用 BE に入力する電圧波形は±10V の単一 sin 波とし、使用周波数帯は、状況に応じて 5~20kHz で行った。

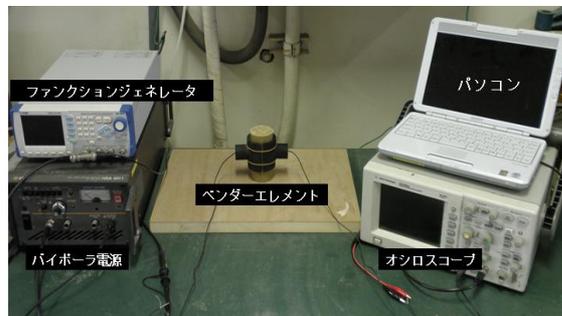


写真-1 BE 装置

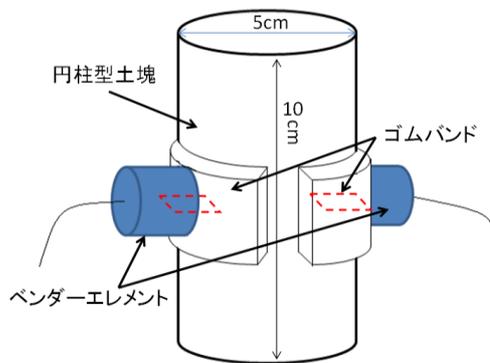


図-1 BE 改良後設置図

BE 試験の解析には、送信波と受信波の立ち上がりからせん断波の送信時間と到達時間を読み取り、その差分を伝播時間とする start-to-start 法を用いた。

#### 3. 改良型 BE 試験の有効性

一連の研究で用いた BE 試験のシステムは、計測可能な

キーワード ベンダーエレメント, 薬液注入, 初期せん断弾性係数

連絡先 〒158-8557 東京都世田谷区玉堤 1-28-1 東京都市大学 TEL03-5707-0104 E-mail:g1181710@tcu.ac.jp

BE 間距離は 3cm であった。これは、せん断波の減衰により受信波形が小さくなるためである。そのため、本研究では、バイポーラ電源を導入し、送信波の電圧を増幅させて、測定限界距離を長くした。図-2 に本試験で得られた受信波の一例を示す。グラフの横軸約 0.015sec/m (矢印の位置)に着目すると、波の立ち上がりを読み取れる。この結果から、BE 間の距離が 5cm でも、波を受信することが可能であることがわかった。図-3 に既往の研究<sup>2)</sup>で得られた薬液固化過程の初期せん断弾性係数と経過時間の関係に、本実験結果をプロットしたものを示す。図より、経過時間とともに初期せん断弾性係数が高くなっていることがわかる。また、既往の研究の結果と比較すると、類似した値を示していることから改良型 BE の有効性が明らかとなった。

**4. BE 試験による一軸圧縮強度推定**

図-4 に初期せん断弾性係数と一軸圧縮強度の関係を示す。初期せん断弾性係数と一軸圧縮強度はよく対応しており、強い正の相関関係( $R^2=0.859$ )が確認できる。この結果から、初期せん断弾性係数と一軸圧縮応力には比例関係があることが示唆された。

今後、データの蓄積を行い、一軸圧縮強度と初期せん断弾性係数の関係を明らかにすることで、BE 試験等の非破壊から一軸圧縮強度を推定することが可能であると考えられる。

**5. まとめ**

改良型 BE 試験を行った結果、以下の知見が得られた。

- 1) バイポーラ電源を導入することにより、BE 試験の計測可能距離が長くなった。
- 2) 簡易的に供試体に BE を取り付けることが可能となり、一組の BE 試験で複数の供試体を計測できることがわかった。
- 3) 一軸圧縮試験で用いられる供試体を計測することにより、初期せん断弾性係数と一軸圧縮強度との関係性を確認できた。

今後は、データの蓄積を行うとともに、初期せん断弾性係数と一軸圧縮強度の関係を明確にしていく。

<謝辞>本研究の実施にあたり、東京都市大学の長谷川裕己氏にはご協力を頂きました。ここに感謝の意を表します。

<参考文献>

- 1)地震と地盤の液状化-恒久・本設注入によるその対策：東畑郁生，島田俊介，米倉亮三，社本康広
- 2)山下直人：初期せん断弾性係数による薬液の固化過程の評価，武蔵工業大学論文 2011

表-1 豊浦砂の物性値

土粒子密度 $\rho_s$ (g/cm <sup>3</sup> )	最大間隙比 $e_{max}$	最小間隙比 $e_{min}$
2.64	0.986	0.621

表-2 薬液配合表 (シリカ濃度 6%)

		配合量 (ml)
A 液	ASF シリカ 30	9.5
	ASF シリカ 30 アクターM	16.0
	水	174.5
B 液	PR シリカ	60.0
	水	140.0

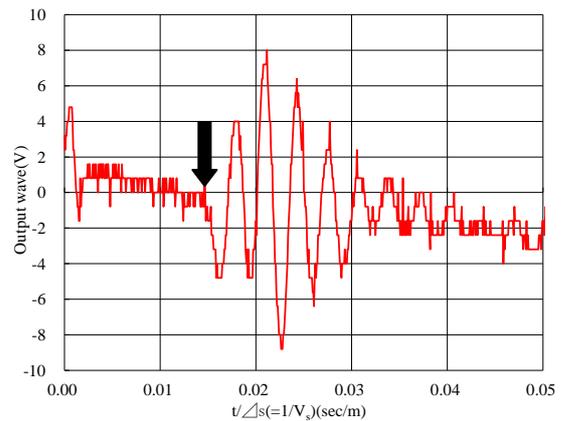


図-2 受信波結果

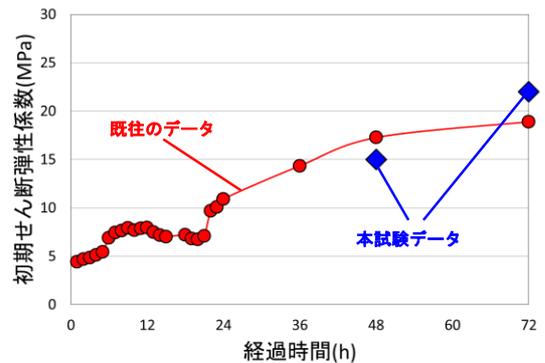


図-3 初期せん断弾性係数-計測時刻

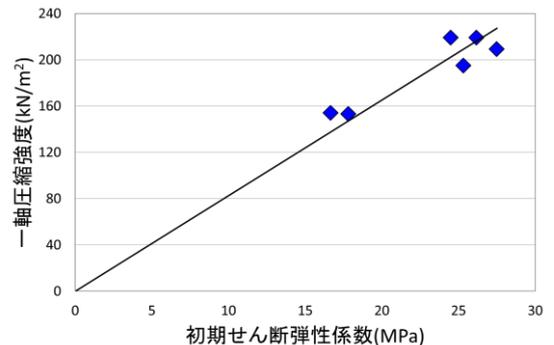


図-4 初期せん断弾性係数-一軸圧縮強度