

## セメント改良土の力学特性の解明と地盤改良への適用による コンクリート構造物の耐震性改善効果の定量化に関する研究

牧 剛 史 (理工学研究科・准教授)

### 1 研究の背景と目的

近年、超軟弱地盤での構造物構築や、耐震補強が困難な地中構造物の間接的補強工法として、浅層あるいは深層混合処理工法を用いたセメント系固化材混合による地盤改良工法が多く適用されるようになった。液状化対策工として適用されたセメント系固化材による地盤改良は、例えば阪神淡路大震災において、改良地盤上に建設された沿岸立地構造物が液状化被害を殆ど受けなかったことから、その効果は定性的には既に確認されている。しかし、セメント改良土自体の力学特性はまだ不明な点も多く、これを解明する必要があるとともに、地上に構築される構造物の構造形式や構造特性に応じて、最適な改良範囲や改良体強度を付与する手法の確立が急務である。

以上をふまえ、本研究は(1)セメント改良土の力学特性の解明、(2)セメント改良土の力学的構成則の定式化、(3)地盤改良された構造物の耐震性評価手法の開発、を目的として実施した。本研究は図-1に示すように、セメント改良土を土とコンクリートの中間的な材料と捉え、粒状体(土粒子あるいは骨材)間の微細空隙の一部を固結したセメントが占めているものと見なし、主としてコンクリート工学の地見に基づく検討を行うものである。

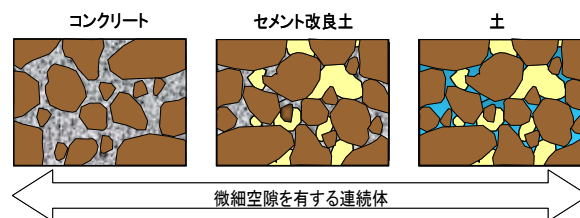


図-1 本研究におけるセメント改良土の位置づけ

### 2 セメント改良砂の基本的な力学特性

セメント固化された砂質土を念頭に置き、セメント改良砂試験体を作製して各種力学特性試験を行った。対象とするセメントは普通ポルトランドセメントおよび高炉セメントB種とした。水セメント比(質量比)を150%、170%、190%の3水準とし、ブリージングを抑制するためにベントナイトを対セメント質量比0.5にて混合した。試験は一軸圧縮試験( $\phi 50 \times 100\text{mm}$ ,  $\phi 100 \times 200\text{mm}$ ,  $\phi 150 \times 300\text{mm}$ )および曲げ試験を行った。一軸圧縮試験供試体は側面にひずみゲージを貼り付け、一軸圧縮強度と同時に静弾性係数およびポアソン比も併せて測定した。

寸法の異なる円柱供試体を用いた一軸圧縮試験の結果、供試体寸法が一軸圧縮強度に及ぼす影響は殆ど認められなかった。また、通常のコンクリートと同様、水セメント比が小さくなるほど、圧縮強度が高くなる傾向が見られた。圧縮強度到達時のひずみ(ピークひずみ $\epsilon'_{\text{peak}}$ )は、弱材令ではかなりばらつきが大きい。材令28日経過後はセメント種類や強度レベルによらず、ほぼ0.01(1%)程度であった。静弾性係数や曲げ強度は一軸圧縮強度との相関が見られ、コンクリートで一般に行われているように一軸圧縮強度による品質管理が可能であることが示唆された。

### 3 セメント改良砂の圧縮特性に関する材料構成則の検討

構造物に応じた最適な改良範囲や改良強度の設定を有限要素解析によって行うことを念頭に置き、セメント改良砂の材料構成則に関する検討を行った。本研究では、繰り返し载荷履歴を受けるコンクリートの材料構成則として既に提案されている弾塑性破壊モデルの適用性について検討した。弾塑性破壊モデルは、繰り返し载荷に伴う内部損傷と塑性ひずみの進展を記述するものであり、損傷を表す破壊パラ

メータ  $K$  (弾性剛性の低下率) と塑性ひずみ  $\epsilon'_p$  (非回復性ひずみ) を、次式のように経験最大ひずみ  $\epsilon'_{max}$  の関数として表すものである (図-2)。

$$K = \exp \left[ -0.73 \frac{\epsilon'_{max}}{\epsilon'_{peak}} \left\{ 1 - \exp \left( -1.25 \frac{\epsilon'_{max}}{\epsilon'_{peak}} \right) \right\} \right]$$

$$\epsilon'_p = \epsilon'_{max} - 2.86 \epsilon'_{peak} \left\{ 1 - \exp \left( -0.35 \frac{\epsilon'_{max}}{\epsilon'_{peak}} \right) \right\}$$

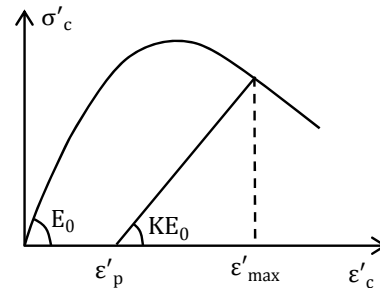


図-2 弾塑性破壊モデル

作製したセメント改良砂供試体の一軸繰返し圧縮試験から得られた破壊パラメータ  $K$  と塑性ひずみ  $\epsilon'_p$  を、上述した既往のモデルと比較した結果、一軸圧縮強度レベルや静弾性係数、圧縮ピークひずみ等の基本的力学特性値はコンクリートと大きく異なるにもかかわらず、コンクリート用の既往の弾塑性破壊モデルがセメント改良砂にも適用可能であることが明らかとなった。

#### 4 地盤改良された杭の復元力特性に関する有限要素解析

前述した構成モデルの適用性に関する検討結果をふまえ、実際に地盤改良された実杭の杭頭水平載荷実験のシミュレーションを3次元有限要素解析によって行った。杭体周囲の改良地盤には弾塑性破壊モデルを適用した。解析モデルを図-3に、杭頭水平荷重-変位関係を図-4にそれぞれ示す。解析は実験値を過小に評価する結果となった。原因は、杭体近傍の改良地盤要素に変形が局所化した点にあると考えられ、今後は要素寸法と破壊エネルギーの関係についても、さらに明らかにする必要がある。

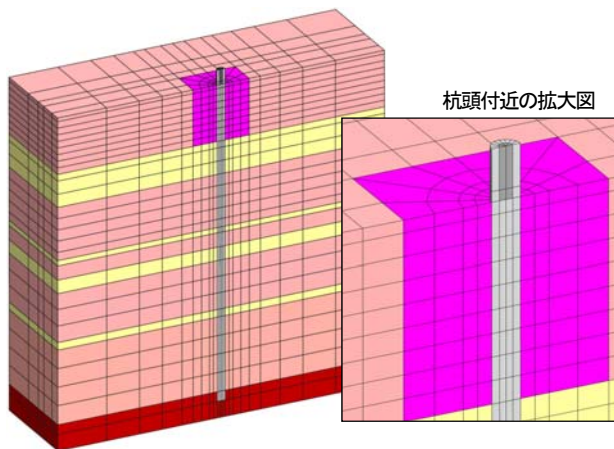


図-3 解析に用いた有限要素モデル

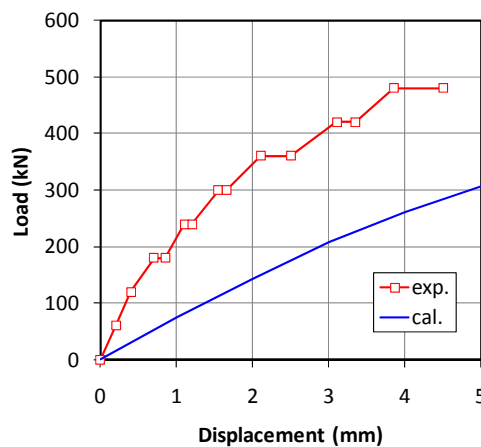


図-4 杭頭荷重-変位関係

#### 5 まとめ

セメント改良砂の基本的な力学特性を明らかにし、既往のコンクリート材料モデルの適用性について検討した。さらに、改良地盤上に設置された杭の水平載荷試験の有限要素解析によるシミュレーションを行い、解析モデルの妥当性を検証した。材料の構成モデルを有限要素解析に適用する際には、要素寸法と破壊エネルギーに十分配慮する必要がある。今後はこの点についてもさらに検討を進める必要がある。また、一軸圧縮応力下のみならず、多軸応力下における挙動およびひび割れを生じた状態における力学特性を明らかにすることによって、改良地盤上に構築された構造物の耐震性改善効果をさらに精度良く定量的に評価可能となることが期待される。