

ベントナイトを用いた地中構造物の免震壁構造の検討 (その1：基本概念と免震材の力学特性の検証)

清水建設株式会社 正会員 ○張至鎬、福武毅芳、木全宏之、西村晋一

1. はじめに

近年、設計入力地震動の増大に伴い土木構造物においても、従来の構造体の耐力強化から地震力そのものを低減させる工法(以下、免震工法と呼称)の開発も行われつつある¹⁾。特に、地中構造物の耐震補強には、施工上の制限が数多くあるため、免震工法の開発ニーズは高まっている。本研究では、地中構造物の地震力や躯体応力低減に着目し、免震材の室内試験による力学特性の把握と、FEM解析による免震効果の検討を行った。

2. 地中免震壁構造の概念と免震材の特徴

一般に開削トンネルやボックスカルバートのような地中構造物は、構造物と地盤との相互作用「キネマティックインターアクション」が支配的であり、構造物に作用する地盤変形の影響をどのように低減させるかが重要となる。地中免震壁の基本構造は、図-1に示すように地盤変形の影響をなんらかの材料で構成された免震壁により緩衝させ、低減する方法である²⁾。

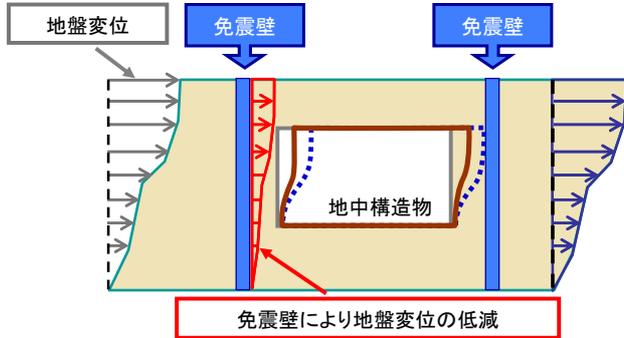


図-1 免震壁の基本概念²⁾

免震壁の要件としては、地震時の地盤変位が吸収できる材料(周辺地盤と比較し剛性の小さい材料)が前提条件となるが、免震壁は常時においても一定の土圧を受けるので常時安定性についても配慮しなければならない。この土圧に対しては単に免震材の剛性を小さくするだけでは、常時土圧に抵抗することができなくなり、常時安定性確保に問題がある。すなわち、初期(施工時)に設定した厚さに対する長期的な安定性は担保され難くなる。免震壁の厚さの変化は、地震時の繰り返し変形に対して地盤変位の吸収に影響を及ぼし、構造物への応力低減効果十分に発揮されない可能性がある。

この課題を解決するために、著者らは免震壁の材料としてベントナイトに着目した。ベントナイトは以下の性質を有しており、常時の土圧に十分に抵抗できると考えられる。

- ①ベントナイト(主成分：モンモリロナイト)は、吸水膨張性ならびに自己修復の性質を有している。
- ②ベントナイトの有効密度を調整することにより、所定の膨潤圧を発揮させることができるため、常時に作用する土圧に対する抵抗力を確保することができる。

(図-2 参照)

深度10~20mの地中構造物を対象とした場合、常時土圧に抵抗できるベントナイトの乾燥密度は、図-2に示したベントナイトの乾燥密度と膨潤圧の関係から逆算すると0.7~1.0Mg/m³の範囲となる。よって、この材料を免震壁として用いれば常時土圧に対する課題は解決され、壁状の施工が可能となる。

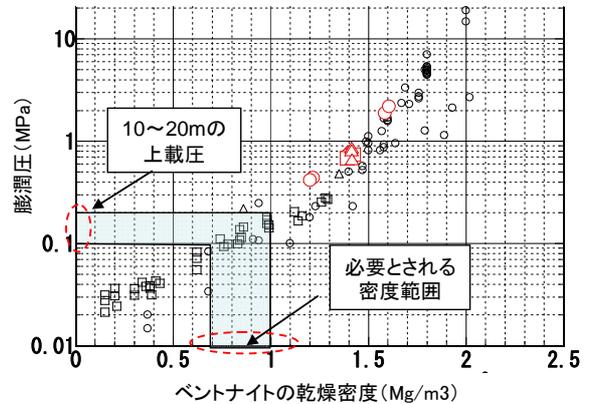


図-2 ベントナイト密度の膨潤圧の関係：文献3)に加筆

3. 免震材の力学特性

ベントナイトの力学特性について、図-3には三軸圧縮試験結果を、図-4には繰り返し三軸試験結果を示す。試験に用いた材料は山形産ベントナイトの粉末状態のものであり、乾燥密度は0.7、0.85、1.00.7~1.0Mg/m³の3種類である。

図-3には同拘束圧下で実施された豊浦砂の結果も併せて示すが、これより、ベントナイト材料は豊浦砂に比べて剛性はかなり小さいことがわかる。図-4に示した繰り返し三軸試験のG/Go~γ、h~γによれば、せん断ひずみγの増加に伴いせん断剛性は低下するが、

キーワード：地中構造物、免震、ベントナイト、キネマティックインターアクション、FEM解析

連絡先 〒135-8530 東京都江東区越中島3-4-17 清水建設株式会社 技術研究所 TEL03-3820-5455

その低下率は一般の粘土より小さく、減衰は非常に小さいことが分かる。

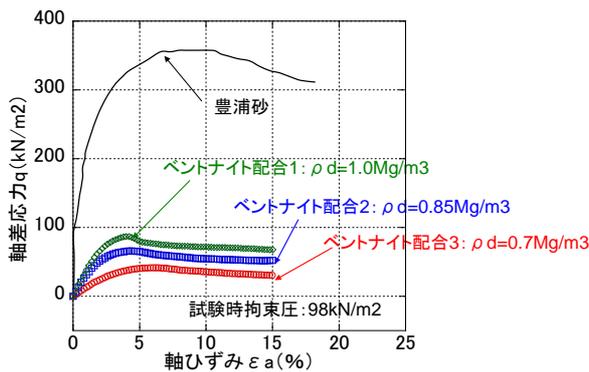


図-3 三軸試験結果

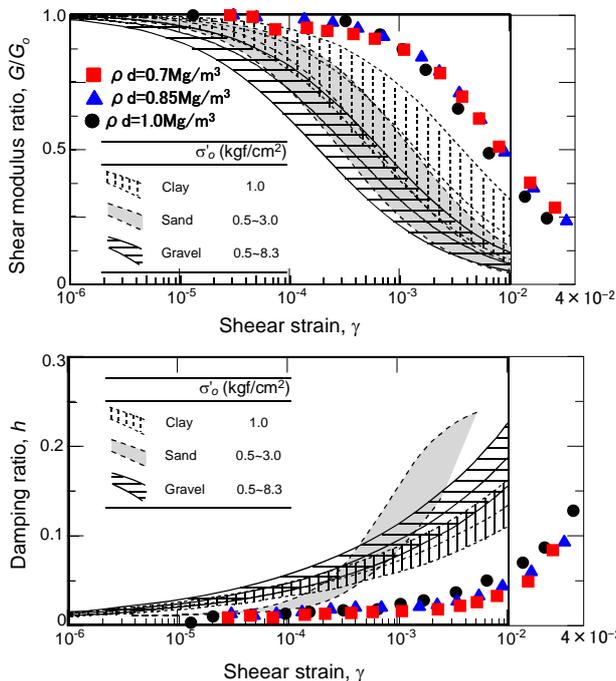


図-4 繰り返し三軸試験結果 (G/Go ~ γ, h ~ γ)

4. FEM 解析による免震効果の検証

図-5 に解析モデルと入力地震動を示す。解析には、2次元 FEM 動的非線形解析手法を用いた。地盤は軟質・硬質の2層構造とし、それぞれのせん断波速度は200m/s、500m/sとした。免震壁の応力～ひずみ関係は、図-4の試験結果をもとに Ramberg-Osgood (R-O) モデルにより表現した。本解析の条件は、ボックスカルバートと免震壁との離間距離は0(密着)とし、構造躯体の頂版は地表に一致させた(上載圧=0)。免震壁材料のベントナイト乾燥密度は0.7Mg/m³とし、免震壁のせん断波速度は35m/sである。ここで、上載圧(躯体頂版より上の地盤)を考慮しない理由は、「キネマティックインターラクション」の影響が最も大きいときの免震効果を明確にするためである。境界条件は、底面は粘性境界、側面は周期境界条件を用いた。免震効果の検証方法は、

免震壁を設置していない場合の部材最大せん断力を基準とし(無対策)、免震壁がある場合の最大せん断力を除することで判断した。ただし、最大発生せん断力の判定基準として部材隅角部のハンチは剛域として除外した。

図-6 に構造体の最大せん断力分布を示す。これより、無対策に比べ、免震壁を設置した場合には、構造躯体のせん断力が低減していることが分かる。

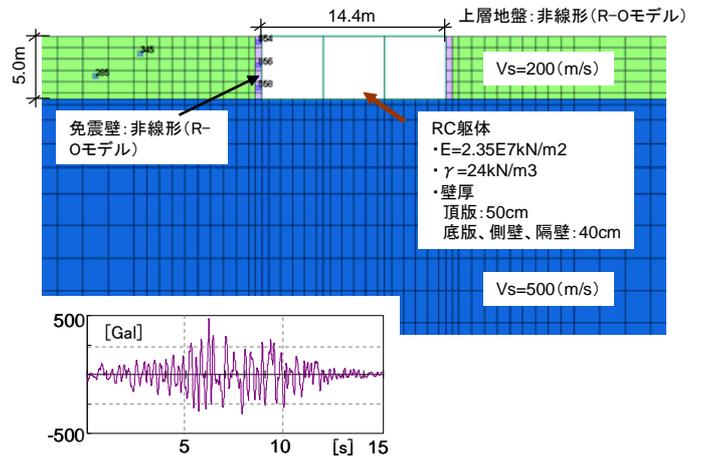


図-5 2次元 FEM 解析モデル

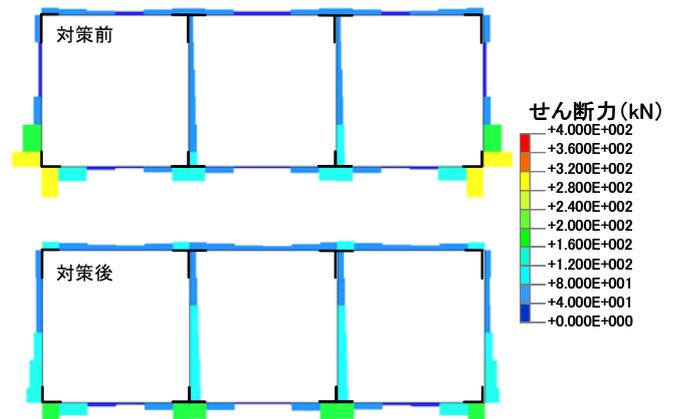


図-6 構造躯体の最大せん断力分布

5. まとめ

地盤変位を吸収し地中構造物の躯体応力を低減させる免震壁構造の材料として、ベントナイトが有効であることを示した。FEM 解析により、地中免震壁工法が構造躯体のせん断力を低減させる効果があることを示した。

参考文献

- 1)減震・免震・制震構造設計法ガイドライン(案)、土木学会地震工学委員会、2002.1.
- 2)桐生郷史、室野剛隆、盛川仁：ポリマー材を用いた既設開削トンネルのための免震工法の適用性、土木学会論文集 A、Vol.64No.4、905-914、2008.11
- 3)工藤他：締固めたベントナイト試料の膨潤圧測定方法に関する検討、第40回地盤工学研究発表会、pp.2573-2574(2005.7)