

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2: FEM 解析による免震効果の考察)

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

前報 1)では、免震壁材(地盤変位吸収材)のベントナイトの力学特性の検討と、地盤と構造物の相互作用「キネマティックインターアクション」の影響が大きい条件での解析を実施し、免震壁による躯体応力の低減工法の基本概念について検討した。ここでは、地中免震壁工法の適用条件を明らかにするために、様々な条件での解析的な検討実施した。

まず、免震壁の厚さについて検討した。このときの荷重条件は、躯体頂版上の地盤上乗荷重、躯体内容水の影響など、構造物と慣性力との相互作用「イナーシャルインターアクション」の影響も考慮した。次に、免震壁の材料密度変化による周辺地盤との剛性比率変化に伴う検討、および免震壁の躯体側壁からの離間距離の検討も実施した。

2. 慣性力を考慮した場合の検討

図-1 に実施した解析ケースと荷重条件を示す。考慮した荷重条件は、①地盤変位、②ボックスカルバート内容水の慣性力、③上載地盤からの慣性力であり、①～③の荷重条件を組み合わせることで解析を実施した。このときのベントナイト免震壁の物性は、乾燥密度 0.7Mg/m^3 、 $V_s=35\text{m/s}$ であり、周辺地盤とのせん断波速度比は 0.18、躯体との離間距離は 0 (密着) である。免震壁の厚さは 0.5m～5.0m の範囲である。

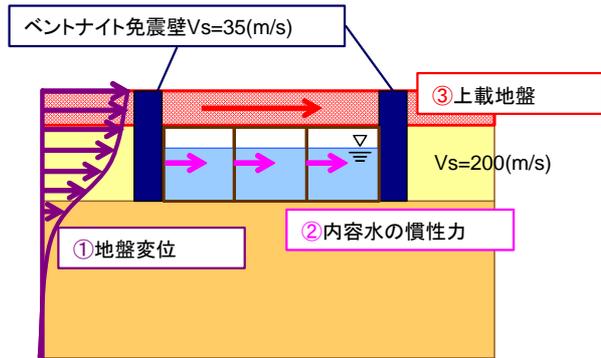


図-1 解析に用いた荷重条件

図-2 に免震壁の壁厚が躯体のせん断力低減に及ぼす影響を示す。同図の①(●-○)で示した地盤変位のみを考慮した解析結果によれば(厳密には躯体の慣性力は作用するが、地盤変位に比べ影響は小さい)、免震壁の

厚さは 0.25～2.0m の範囲であれば、躯体せん断力を低減する効果があることがわかる。最も、免震効果が発揮できる壁の厚さは 0.5m であり、躯体せん断力の低減率は 60% である。この工法は、既設構造物の対策として非常に有効であり、かつ隣接した構造物が存在する狭隘な場所においても十分に適用可能である。

「イナーシャルインターアクション」の影響を考慮した解析においても、免震壁の壁厚が 0.5m であれば、躯体せん断応力の低減効果がある。しかし、水の慣性力を考慮した②(●-○)、④(●-○)の解析結果では、免震壁の壁厚が 1.0m を超えるとせん断応力の低減率が 1.0 を超えており逆効果となる。これは、免震壁厚がある程度以上厚くなると周辺地盤が軟らかくなりすぎて、構造躯体自身の慣性力による振動を抑えることができなくなったためである。これは、「キネマティックインターアクション」のみを考慮した解析①(●-○)においても同様であり、逆効果となる免震壁の厚さは、2.5m 以上である。これらの結果は、開削トンネルの上部に建物が存在する場合を想定して検討した室野ら²⁾と同様な傾向を示している。

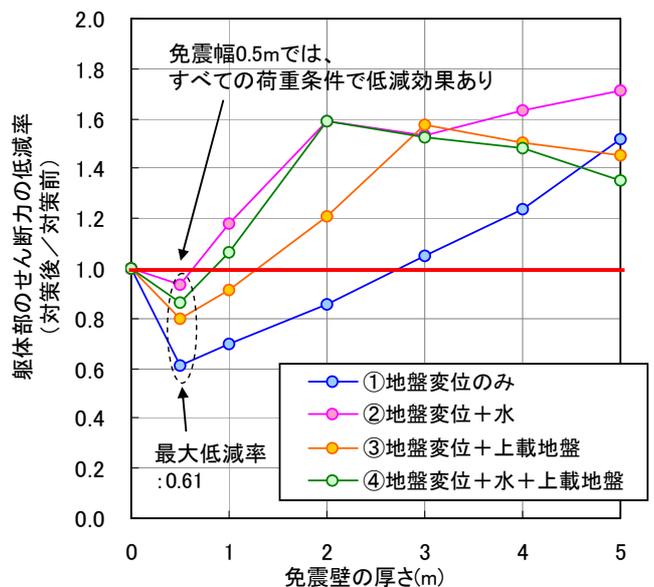


図-2 免震壁の厚さと躯体部におけるせん断力低減率の関係

キーワード：地下構造物、免震、イナーシャル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 TEL03-3820-8314

3. 免震壁と周辺地盤との Vs 比の検討

前報 1)では、免震壁を構成するベントナイト材料について乾燥密度が 0.70、0.85、1.0Mg/m³の3種類のベントナイト配合について力学特性を調べた。これらのせん断波速度 (Vs) は、それぞれ 35、42、55m/sとなり、周辺地盤とのVs比は変化する。これに伴い躯体応力の低減率も変化すると思われる。ここでは、免震壁の材料密度が変化した場合を想定し、上記の3種類のベントナイト材料について躯体応力の低減効果を検討した。

図-3 に解析モデルを示すが、解析モデルは「キネマティックインターアクション」の影響が大きい場合とし、免震壁周辺地盤の Vs は 100m/s と 200m/s とした。免震壁の厚さは 0.5m、1.0m で、免震壁は躯体と接する条件とした。図-4 に示した解析結果によれば、周辺地盤と免震壁材料の Vs 比が、0.6 以下の場合において躯体の応力低減効果が得られている。本検討では、Vs 比を幅広く検討しており、設計の観点からしても、免震壁の設定が容易で設計しやすい。

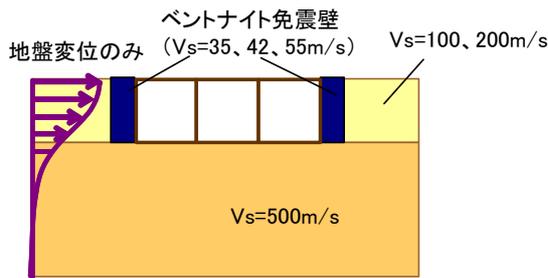


図-3 解析モデル (Vs 比の検討)

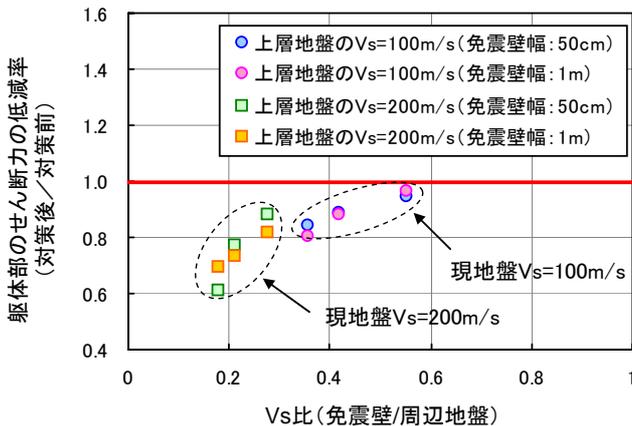


図-4 免震壁と地盤の Vs 比と躯体部のせん断力低減率の関係

4. 免震壁の設置位置に関する検討

免震壁の設置位置を地中構造物からどの程度離れた場所に設置するかも、免震壁の設計上検討しなければならない課題である。解析モデルと条件を図-5 に示す。躯体からの免震壁までの離間距離 0m (密着条件)、1.0m、2.0m での解析を実施した。このとき、免震壁と周辺地盤の Vs 比は 0.18 とし、免震壁の壁厚は 0.5、1.0、2.0m

とした。図-6 は、免震壁の設置位置に関する検討結果であるが、地下構造物と接していれば躯体部のせん断力低減効果は大きい、構造躯体から免震壁が離れると、せん断力の低減効果は次第に小さくなる。

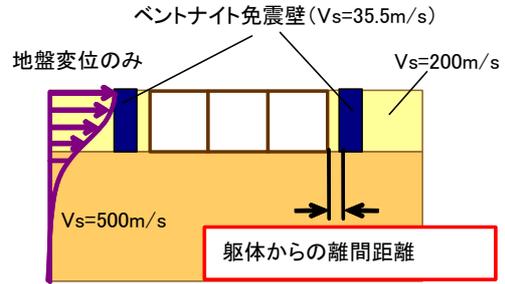


図-5 解析モデル (躯体からの離間距離の検討)

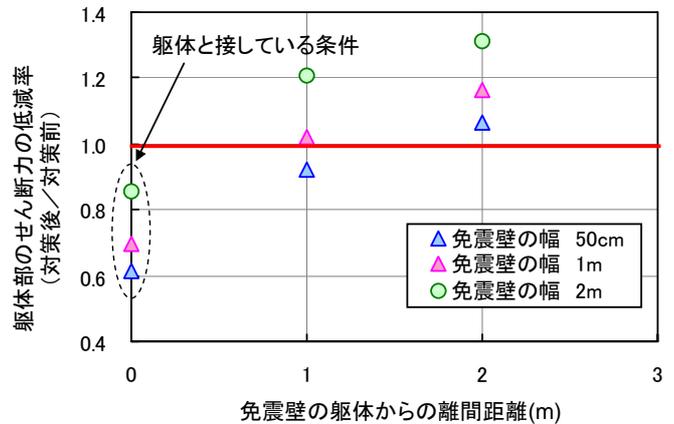


図-6 躯体からの離間距離と躯体せん断力低減率の関係

5. まとめ

- (1)地下構造躯体の応力を低減させる免震壁の材料としてベントナイトは有効な材料である。
- (2)最も躯体応力の低減効果がある免震壁の厚さは 0.5m である。0.5m の壁厚では、慣性力の影響を考慮しても躯体応力の低減効果がある。
- (3)周辺地盤と免震壁の Vs 比は、0.6 以下で躯体応力の低減効果があり、免震壁が構造躯体に接している場合に最も効果がある。

謝辞：本研究を進めるにあたり、(財)鉄道総合技術研究所の室野剛隆室長より貴重な意見を頂きました。ここに記して感謝の意を表します。

参考文献

- 1)張至鎬、福武毅芳、木全宏之、西村晋一：ベントナイトを用いた地下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)、土木学会、第 65 回年次学術講演会投稿中、2010。
- 2)室野剛隆、桐生郷史、館山勝、小林正介：ポリマー材を用いた開削トンネルの免震工法、土木学会地震工学論文集 Vol28、2005。