

発泡ウレタン軽量盛土の地震時挙動に関する解析的検討

宮崎大学 正会員 ○神山 惇 末次大輔 福林良典
鹿児島大学 正会員 審良善和
イノアック住環境 三田部均

1. はじめに

発泡ウレタン（以降、ウレタン）は、軽量盛土をはじめ地盤工学分野において幅広く使用されている。ウレタン軽量盛土工法には主に2種類の形式がある（図-1）。片盛土タイプは、傾斜地の道路拡幅等に適用されており、現在までに数百件ほどの施工例がある。一方、両直タイプの盛土は、側壁を鋼材で補強するが、トップヘビーな構造体であることに加え、全国でも数件しか施工例がない。また、近年では橋梁の老朽化対策として、既設橋梁の桁下空間にウレタンを充填し、橋梁を土工化する事例が増えつつある¹⁾。高架橋にウレタンを充填した場合は、上記の両直タイプと同様な形状となる。ウレタン軽量盛土の地震時安定性を検討した研究は少なく、ウレタンの形状や上載荷重が軽量盛土の地震時変形挙動に及ぼす影響は、必ずしも十分に明らかにされていない。そこで、本研究では両直タイプのウレタン軽量盛土に対して動的FEM解析を行い、盛土の地震時変形挙動を明らかにすることを目的とした。

2. FEM 解析概要

本研究では、はじめに小型のウレタンブロックを用いて振動台実験およびその再現解析を行い、解析モデルの妥当性を検討した。その後、実物大の軽量盛土モデルに対して時刻歴応答解析を実施した。図-2 に小型ウレタンブロックの振動台模型実験の概要を示す。供試体寸法は高さ 660mm×幅 300mm×奥行き 300mm である。安全の都合上、最大上載荷重 $w=5.4\text{kPa}$ とした。加振条件は1方向のスweep加振とし振動数 0.1~10Hz、振幅 0.5mm とした。再現解析モデルを図-2 に示す。ウレタンは平面応力要素、上載荷重は付加質量要素でモデル化した。実験ではウレタン底面から高さ 50mm までがアングルで固定されているため、モデル高さは 610mm とした。再現解析ではウレタン底面を剛バネ要素に多点拘束した。この剛バネ要素に、x 軸方向の強制変位として模型実験と同じスweep波形を入力した。ウレタンの解析パラメータを表-1 に示す。実際のウレタン軽量盛土に使用されている材料の設計値から引用した²⁾。動的変形特性は、ウレタンの繰返し三軸試験結果³⁾に基づき修正 GHE モデルを用いて設定した。減衰は剛性比例とし、1 次の振動モードに対して減衰率が 4.5%になるように設定した。

実物大盛土を想定した解析モデルを（高さ 5m，幅 5m）図-3 に示す。本解析では、表-2 に示すウレタンの形状と上載キーワード 軽量盛土，発泡ウレタン，地震応答解析

連絡先 〒889-2192 宮崎県宮崎市学園木花台西 1-1 宮崎大学工学部土木環境工学プログラム 神山 惇 TEL0985-58-7337

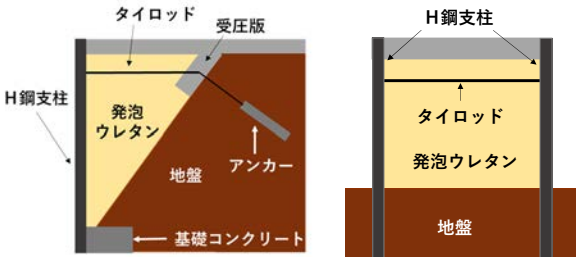


図-1 ウレタン軽量盛土の形状

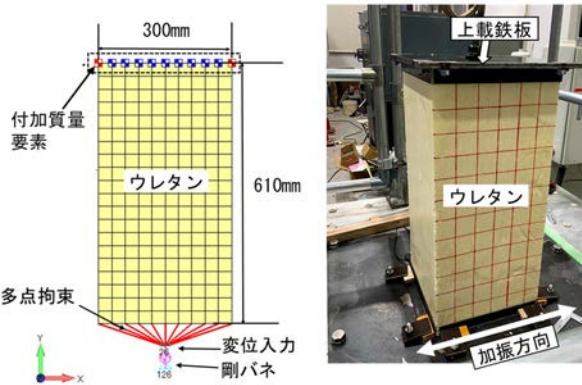


図-2 振動台実験および再現解析モデルの概要

表-1 ウレタンの解析パラメータ

単位体積重量 γ (kN/m ³)	0.35
弾性係数 E (kN/m ²)	5700
ポアソン比 ν	0.05
初期せん断弾性係数 G_0 (kN/m ²)	2714

表-2 実物大モデル解析ケース

ケース名	高さ H(m)	幅 B(m)	H/B	上載荷重 w (kPa)
H5_B5	5	5	1	0, 10, 20, 30
H10_B5	10	5	2	
H10_B10	10	10	1	

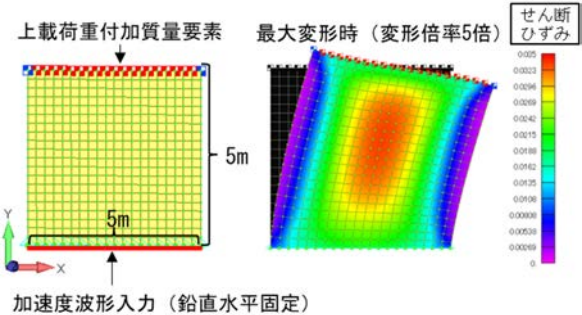


図-3 H5_B5の解析モデル

荷重を組み合わせ、各モデルにおける地震時変形挙動を検討した。モデル底面に道路橋示方書に記されているI種地盤のレベル2地震動の加速度波形(II-I-1)を入力した。解析ソフトにはISCEFを用いた。

3. 結果と考察

図-4に振動台模型実験および再現解析における加振時間とウレタン天端に生じた水平変位の関係を示す。解析結果は、実験値の振動挙動とほぼ一致している。図示していないが他の上載荷重のケースにおいても再現性が高かったため、本解析モデルと同様のパラメータを用いて、実物大ウレタンの解析を実施した。

図-5に実物大解析の代表例として、形状の異なるウレタン($w=20\text{kPa}$)の天端中央における水平変位の継時変化を示す。H10_B5の変位が最も大きく、長周期的な変形が生じている。また、本解析条件においては、H10_B10は加振終了時に残留変位が生じている。いずれの解析ケースにおいても、1次モードの変形が卓越していた(図-3)。図-6に、各形状のウレタンにおける w と加振で生じた天端中央の最大変位の関係を示す。ウレタン自体が軽量のため、 w を付加すると変位が著しく増加する。H5_B5では、 w の増加に伴い最大変位が増加しているが、それ以外の形状モデルでは、 $w=20\text{kPa}$ 以上になると、最大変位の増加が緩やかになり、H10_B10では $w=20\text{kPa}$ から 30kPa にかけて変位が減少した。図-7は、 w と天端中央の最大加速度の関係である。加速度は w の増加に伴い減少している。ウレタンの剛性が小さく、トップヘビー構造ため、本解析モデルにおいては、変形が大きくなると加速度が小さくなることが確認できた。

図-8に解析モデルH10_B10における入力地震波と応答波形のフーリエスペクトルを示す。地震波は約 1.5Hz に卓越振動数を示した。 w の増加に伴い、ウレタンの卓越振動数が低下している。卓越振動数が地震波の主成分とずれるため、 w が増加しても、加振時の最大変位が抑制されたと考えられる。

4. まとめ

本研究では、両直タイプのウレタン軽量盛土の地震時変形挙動を明らかにすることを目的として、振動台模型実験およびFEM地震応答解析を実施した。実験の再現解析では、実験結果を概ね再現できることを確認した。実物大のウレタンを想定した解析では、上載荷重が増加すると、天端の加速度が低下し、変位が増加した。今後は、H鋼側壁による変位の抑制効果や、橋梁とウレタンの相互作用を考慮した盛土の地震時安定性を検討していく。

謝辞：本研究はRBH技術研究会に多大なご協力を戴いた。関係者各位に感謝を表します。

参考文献 1) Koyama, A., Akira, Y., Mitabe, H., Fukubayashi, Y., Suetsugu, D.: Field experiment of vibration characteristics of lightweight embankments converted from bridges using rigid polyurethane foam filling under traffic load, Case Studies in Construction Materials, (18), 2023. 2) 土木研究センター：現場発泡ウレタン軽量盛土材料「フォームライトW」2001. 3) Koyama, A., Suetsugu, D., Fukubayashi, Y., Miabe, H.: Experimental study on the dynamic properties of rigid polyurethane foam in stress-controlled cyclic uniaxial tests. Construction and Building Materials, 321, 2022.

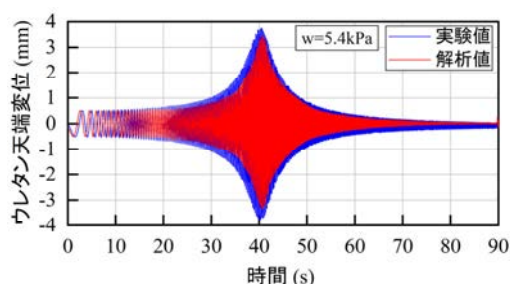


図-4 振動台実験と再現解析の比較

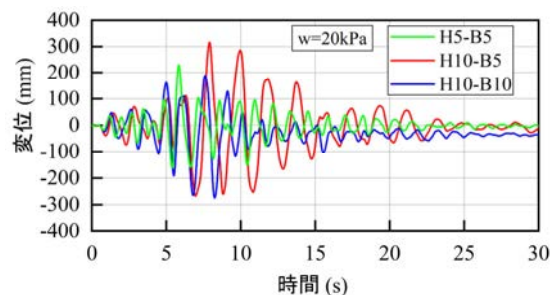


図-5 天端の水平変位の継時変化($w=20\text{kPa}$)

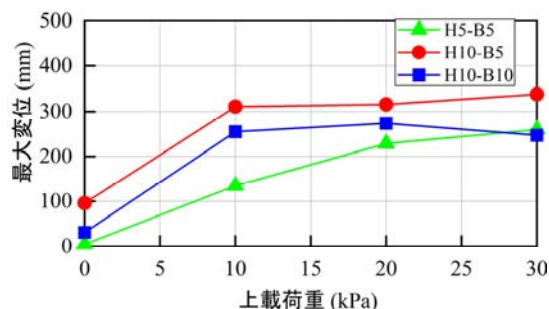


図-6 上載荷重と最大変位の関係

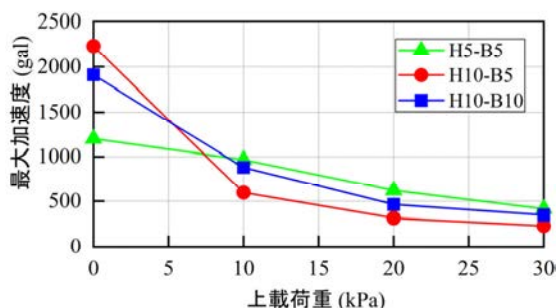


図-7 上載荷重と最大加速度の関係

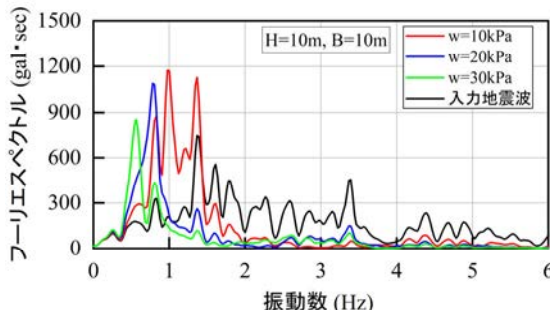


図-8 フーリエスペクトルの比較 ($H=10\text{m}$, $B=10\text{m}$)