

オンライン地震応答実験による高盛土の応答に及ぼす盛土材料の影響

山口大学大学院 学生会員 ○藤井恵美
 山口大学工学部 正会員 兵動正幸 吉本憲正
 復建調査設計(株) 正会員 藤井照久
 五洋建設(株) 正会員 福田賢二郎

1. まえがき 1995年に起こった兵庫県南部地震では、道路盛土や河川堤防など多くの土構造物が被害を受けた。この地震を契機に耐震設計の見直しが急がれるようになり、レベル2地震動に対する道路用高盛土の地震時安定設計法の確立が求められるようになった。そこで本研究では設計法の確立にむけて適切な等価震度を求めるための初期段階として、異なる盛土材料に対して地震波および正弦波を用いてオンライン地震応答実験を行ない、得られた結果を比較し、挙動を評価することを目的とした。

2. オンライン地震応答実験の概要 図1にオンライン地震応答実験の概念を示す。この実験は時々刻々と変化する地盤の非線形な復元力を要素試験の供試体から直接求め、オンラインで応答解析に結びつけ、地震時の地盤の挙動をシミュレートする方法である。この方法を用いれば、複雑な土の構成式に頼らずに実際の挙動を評価した地震応答解析が可能となる。

3. 実験条件 本研究では図2に示す高盛土の解析対象モデルのうち、変形量が大きいと予想されるS1～S3層までをオンライン層とし、他層を解析層としてモデル化し、オンライン地震応答実験を行なった。なお、対象断面は2次元であるが、実験では1次元の質点系に置き換えた。2次元的效果を出すために、静的FEM解析で求めた初期せん断応力を応答実験開始前に供試体に作用させた。また地盤要素は図3に示すように非排水状態で体積一定のもと、側方変形・鉛直変形を許容するシェイクダウンモードを想定した。土要素の実験は簡易直接せん断試験機により行った。入力波には兵庫県南部地震で観測された地震波3波（鷹取 N-S、鷹取 E-W、大阪ガス）と入力加速度振幅の大きさを変化させた正弦波(150、300、400、500、600、700Gal)を用いた。なお地震動の継続時間は主要動の10秒間とした。また、正弦波の周期は入力地震波3波の平均卓越周期に相当する1Hzとした。用いた試料は実際の施工で用いられた2種類の盛土材料（本郷川土・宇部まさ土）で、2mm以下に粒度調整したものである。図4の試料の粒径加積曲線から、本郷川土の方が細粒分が多く、宇部まさ土の方が砂分が多いことがわかる。供試体は現場の施工状況を考慮して、両試料の締固め試験による最大乾燥密度 ρ_{dmax} の90～95%を目標として、プレス機により静的に締固めて作製した。また含水比は最適含水比 w_{opt} よりやや湿潤側で、現場の含水比を参考に決定した。図5に試料の締固め曲線、表1に試料の物性値を示す。

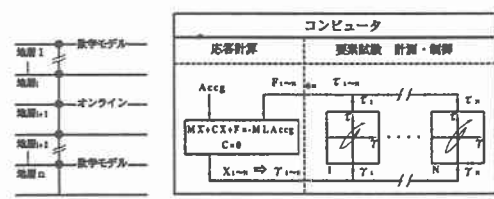


図1 オンライン概念図

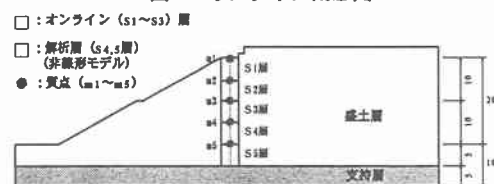


図2 実験対象モデル

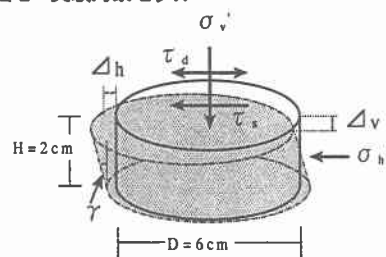


図3 供試体の変形モード

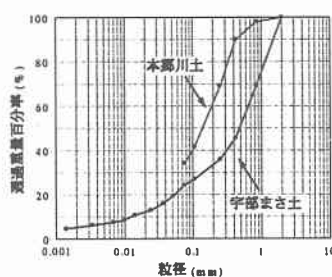


図4 粒径加積曲線

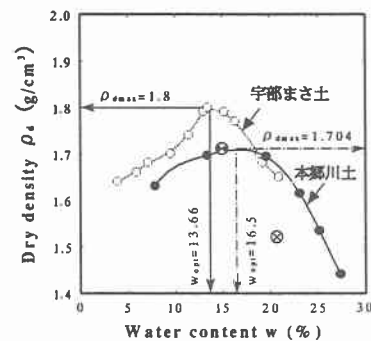


図5 締固め曲線

表1 供試体の物性値

	ρ_d (g/cm ³)	w (%)	G _s
本郷川土 ○	1.52	20.7	2.536
宇部まさ土 ⊙	1.71	15.0	2.603

4. 実験結果 図5は本郷川土・宇部まさ土を用いて地震波(大阪ガス)を入力した時の入力加速度と各質点の応答加速度の時刻歴を示したものである。基盤面から入力された加速度は m3、m4 までは減衰しているが、そこから盛土天端にかけては増幅しており、また上層にいくに従って長周期化する傾向が観察される。2つの試料を比較すると応答加速度の減衰・増幅の傾向や盛土天端にむけての長周期化の傾向は酷似している。また盛土天端では宇部まさ土の方が最大応答加速度が大きく生じている。図6、7にせん断応力比-せん断ひずみ関係、せん断応力比-鉛直ひずみ関係をそれぞれ示す。ここでは図5において長周期化の傾向が顕著であった m3~m4、つまり S3 層について考察する。図6より両試料とも初期せん断応力をかけた方向、つまり盛土斜面方向にせん断ひずみが残留していることがわかる。またせん断応力比にはそれほど差はないが、本郷川土の方が宇部まさ土よりもせん断ひずみが残留しており、剛性の低下が顕著に現れている様子が認められる。図7においては実験中供試体に常に一定の軸差応力が作用しているために、繰返しせん断応力を受けることによる土の劣化に伴い、鉛直ひずみが圧縮方向に蓄積していることがわかる。ここでも図6と同様に本郷川土の方が鉛直ひずみが大きく発生する傾向にある。これは本郷川土の方が細粒分が多いために剛性の劣化を引き起こすことが原因として考えられる。図8は地震波入力時の盛土天端の応答水平変位の時刻歴を示す。両試料の変位応答は酷似している。盛土天端における最大応答水平変位は入力加速度が最大値を経験する5秒付近で現れており、本郷川土・宇部まさ土ともに約60cmであるが、本郷川土の方が若干大きい。同様に残留変位は両試料とも50cm程度で、本郷川土の方が若干大きいことがわかる。図9は正弦波入力時の盛土天端の応答水平変位の時刻歴である。両試料ともに時間の経過とともにほぼ一定の割合で応答水平変位が残留していることがわかる。2つの試料を比較した時、時間がたつにつれて本郷川土の方が宇部まさ土より大きな変位が残留しており、その差は最大約10cmに及び、地震波入力の場合よりも顕著に現れた。つまり、衝撃的な外力の作用よりも規則的に一定の応力を作用させる方がより顕著に応答変位の蓄積が生じることがわかった。

5. まとめ オンライン地震応答実験を行なうことで、実際の盛土の非線形で複雑な挙動を表現できた。また、粒度や乾燥密度など試料の性質の違いによる変形量や剛性の違いが見られた。この違いは一瞬に大きな外力の働く地震波入力時よりも一定振幅で繰返し作用する正弦波入力時の方が顕著に現れた。

<参考文献> 兵動・藤井・福田・山根：オンライン地震応答実験による高盛土の挙動の評価 第52回土木学会中国支部研究発表会概要集
日下部・森尾・有本：オンライン地震応答実験による2層系砂地盤の液状化挙動 土質工學論文報告集



図6 地震波の入力加速度と応答加速度の時刻歴

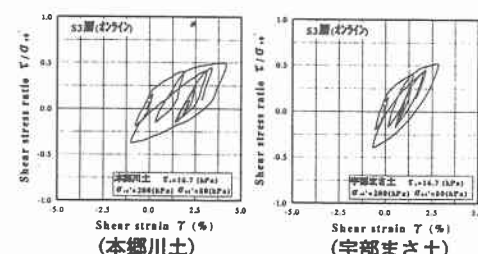


図7 せん断応力比-せん断ひずみ関係

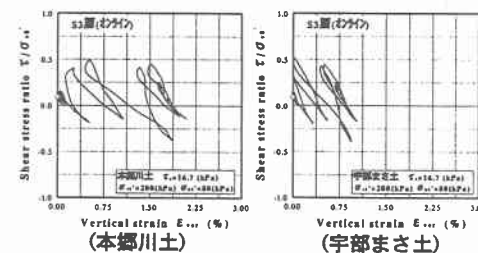


図8 せん断応力比-鉛直ひずみ関係

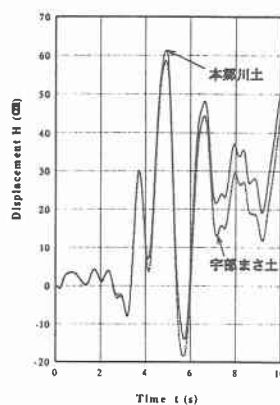


図9 地震波入力時の応答水平変位の時刻歴

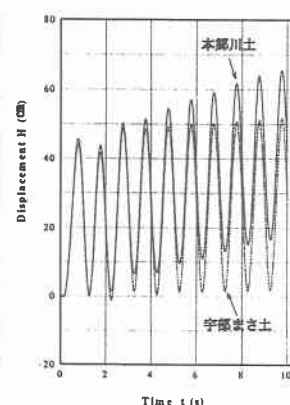


図10 正弦波入力時の応答水平変位の時刻歴