

オンライン地震応答実験による盛土の挙動

山口大学大学院 正会員 兵動正幸

山口大学工学部 正会員 中田幸男 吉本憲正

三井住友建設 正会員 高橋直樹

日本工営 正会員 市川昌治

山口大学大学院 学生会員 ○高橋翔 正木健太

1. はじめに

1995年兵庫県南部地震を契機に各種耐震設計指針に2段階設計法が導入された。道路用盛土においてもレベル2地震動に対してある程度の変形は許容する性能評価の考え方が取り入れられようとしている。このような中で、地震に対する盛土の変形に対する合理的な評価法の確立が急務となっている。そこで本研究では道路用高盛土にスポットをあて、オンライン地震応答実験を行った。本研究では、実験より得られた盛土内部の応答加速度や応答水平変位から、不規則な地震動をそれと等価な正弦波外力に置き換える等価震度の算出を行った。また、等価震度に及ぼす規則波の周波数特性、繰り返し回数の影響などについても調べた。

2. 実験装置及び実験方法

本研究で用いた装置は、直接せん断試験装置を6個連結させたオンライン地震応答実験装置¹⁾である。オンライン地震応答実験とは、時々刻々変化する地盤の非線形な復元力を土要素の実験から直接求め、オンラインで応答解析に取り込み、地震時の地盤挙動をシミュレートする方法である。図1に本研究で用いた実験対象断面図を示す。ここでは、盛土端部を一次元6質点系にモデル化し、それぞれの要素に、静的FEMより求めた上載圧と初期せん断

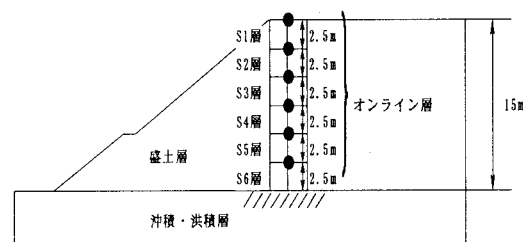


図1 実験対象断面

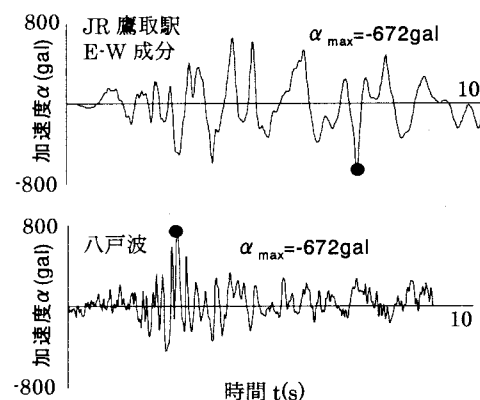


図2 不規則波の入力波形

応力を与えた後、入力波を加え応答解析を行った。入力波は、図2の1995年兵庫県南部地震で観測された（JR鷹取駅 E-W）、1968年十勝沖地震で観測された（八戸波）を用いた。これらの地震波と等価な応答変位を与える正弦波の大きさを調べるために、加速度振幅100、200、250、350、390、400、600galの7ケース、周期T=0.5s、1.0s、2.0s、2.5sの4パターンの正弦波をそれぞれ入力した。さらに、繰り返し回数をN=5、10、20、40回の4ケース行った。せん断モードは、非排水状態でせん断中に鉛直および水平方向を許容する、シェイクダウンモードとした。

3. 等価震度の算出

等価震度とは、地震時の不規則な外力（加速度）をそれと等価な静的な外力に置き換える時の係数である。その算出方法は、地震動の不規則性を補正する係数である等価化係数Crと基盤入力加速度に対する盛土内の応答加速度分布を考慮する係数βを用い以下の式から算出する。

$$\text{等価震度 } k_{eq} = Cr \cdot \beta \cdot \frac{\alpha_{\max}}{g} \quad \dots (1)$$

オンライン地震応答実験により得られた結果を用い等価震度を算出する。図3は、 $T=1s$ の正弦波入力により得られた最大応答水平変位をプロットしたものを直線で結んだものである。破線は、最大加速度672Galの鷹取E-W波を入力したオンライン実験より得られた盛土天端の最大水平変位と等価な応答変位を与える正弦波の加速度の大きさを示したものである。次に各振幅の正弦波入力に対する盛土内の応答を評価するために、盛土天端で加速度が最大値を示した時点における各質点の加速度の平均値を求め、入力加速度振幅で除した値を応答係数と名付け求めた。図4は、各入力加速度における応答係数を示す。この図から、先ほど算出した各繰返し回数における等価加速度に対応する応答係数をそれぞれ読み取る。さらに、式(1)に代入して等価震度を求める。表1に周期 $T=1s$ の場合の等価加速度、等価化係数、応答係数、そして等価震度を示している。表から等価震度は繰返し回数が多いほど小さくなることがわかる。ここで、等価震度は繰返し回数に影響されるため、設計震度として用いるには、繰返し回数を設定する必要がある。そこで、本研究では一般的な地震時の繰返し回数や盛土挙動が繰返し回数に影響されることを考慮して、繰返し回数20回に着目することにする。図5は、入力波の周期を変化させ求めた等価震度を示すものである。図中、鷹取波の最大加速度を3通り変化させ等価震度を求めた結果をプロットしている。図5から鷹取波のいずれの加速度においても、等価震度は周期に関係なくほぼ一定となることがわかる。しかし、 $T=0.5s$ のときのみ例外的に大きな値となり、外れていることがわかる。図6は各周期の正弦波入力に対する盛土天端の最大応答水平変位を示すものである。図中に3通りの最大加速度による結果も示した。図から、 $T=1.0\sim 2.5s$ の場合は、ほぼ同様の応答を示すが、 $0.5s$ の場合のみ鷹取波による最大応答水平変位を結んだ線よりも下方に位置していることがわかる。つまり、このような短周期は系の固有周期から大きく外れ、応答が低下したことによると考えられる。図7は盛土天端の最大応答水平変位と等価震度の関係を示したものである。この図から、入力波の周期の違いによらず等価震度の値はほぼ一定となっており、変位と等価震度の間には良好な相関性があることがわかる。また図中に八戸波672Galの結果を載せた。すると、八戸波で得られた等価震度も鷹取波で得られ直線上に乗る様子が認められる。このことから、変位と等価震度の関係は地震動の種類にもよらないことが明らかである。

4. まとめ

本研究では、オンライン地震応答実験により等価震度の算出やその繰返し回数、周波数依存性について調べた。その結果、繰返し回数が多くなれば等価震度は小さくなり、また等価震度と応答水平変位との関係は周波数や地震の種類に影響を受けないことが明らかとなった。

<参考文献> 1) 藤井照久・兵動正幸・日下部伸・福田賢二郎：オンライン地震応答実験による飽和砂地盤上の盛土の挙動，土木学会論文集 No.652 III-51, 229-243, 2000.

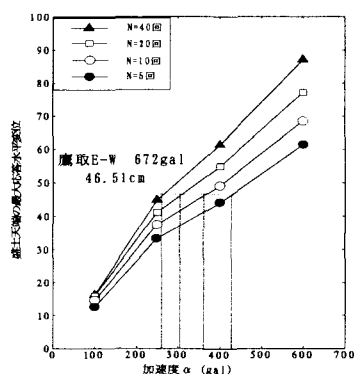


図3 等価化係数の算出図

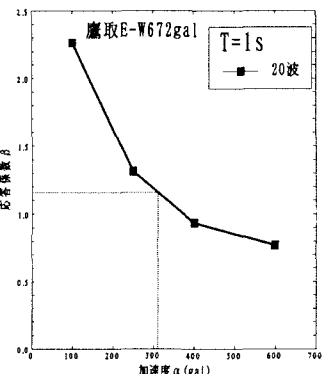


図4 応答係数の算出図

表1 等価震度算定表

T=1s				
N	α_{eq}	C_r	β	k_{eq}
40	267	0.397	1.28	0.348
20	311	0.463	1.16	0.368
10	367	0.546	1	0.374
5	429	0.638	0.93	0.407

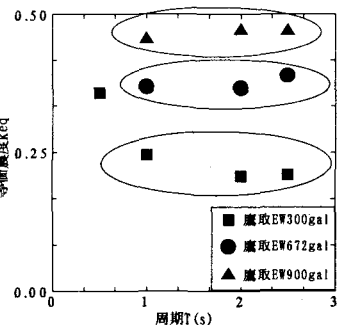


図5 等価震度と周期の関係

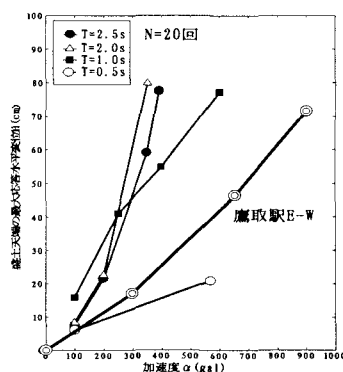


図6 変位と加速度の関係

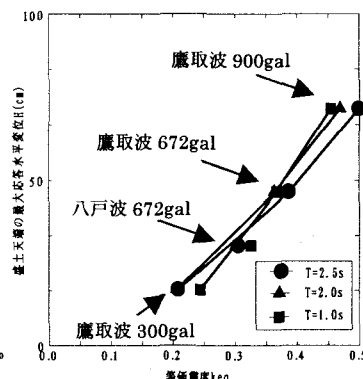


図7 変位と等価震度の関係