

オンライン地震応答実験による高盛土の設計震度の評価

山口大学大学院○山根祐輔 山口大学工学部 兵動正幸、吉本憲正
復建調査設計(株) 藤井照久 日本道路公団 大中英輝 五洋建設(株) 福田賢二郎

1. まえがき 兵庫県南部地震レベルの地震を考慮にいたした設計法の確立が急務となっている。2 段階設計法において、レベルⅠ地震動に対しては震度法によるすべり安定解析法が適用されているが、レベルⅡ地震動に対しては適切な震度が不明なため震度法の適用を困難にしている現状にある。そこで本研究では、レベルⅠ地震動と同一の方法を用いてレベルⅡ地震動に対する安定評価を行うための適切な震度を設定することを試みた。すなわち、兵庫県南部地震で観測された地震波形（不規則波）および正弦波（規則波）を用いたオンライン実験結果¹⁾から、高盛土の地震時安定性の評価に用いる適切な設計震度を算出し、検討を行った。

2. 設計震度の算出について 設計震度の算出を行うにあたり本研究では、地震動の不規則性を補正する係数（等価化係数 C_r ）と、基盤入力加速度に対する盛土内部の応答加速度分布を考慮した応答係数 β の 2 つの係数を評価して等価震度 k_{eq} の算出を行った。図-1 に等価震度の算出のフローを示す。図-2 は、規則波実験で得られた盛土天端の最大応答水平変位と基盤の入力加速度振幅の関係を示したものである。図中には、宇部まさ土と本郷川土の両試料の結果を示した。盛土天端の最大応答水平変位は入力加速度振幅の増加に対し概ね比例関係で増加する傾向が認められる。2 つの試料を比較すると同一の加速度に対して、本郷川土の方が宇部まさ土より水平変位が大きく生じており、本郷川土の方が剛性が低いことを示唆している。この図中に 3 つの不規則波を入力した場合の盛土天端変位を示し、さらにそれぞれに等価な規則波の入力加速度を矢印で示した。この図から、不規則波実験により得られた盛土天端の最大応答水平変位と等価な損傷を与えるのに必要な規則波の基盤の入力加速度振幅 α_{eq} （以後、等価加速度と称す）を求め、次式のように α_{eq} と α_{max} の比により等価化係数 C_r の算出を行う。つまり式(1)は $\alpha_{eq}=C_r \alpha_{max}$ という形で表され、不規則な地震加速度波形をそれと等価な損傷を与えるために必要な規則波の加速度振幅に置き換えることができる。

$$C_r = \frac{\text{不規則波と等価な損傷を与える規則波の入力加速度振幅} (\alpha_{eq})}{\text{不規則波の基盤の最大加速度} (\alpha_{max})} \quad (1)$$

次に規則波のオンライン実験結果から得られた各質点の応答加速度の時刻歴より、盛土天端の応答加速度が最大となった時刻における各質点の応答加速度の平均値 α_{ave} を求め、この α_{ave} の規則波入力加速度振幅に対する割合を応答係数 β と定義した。

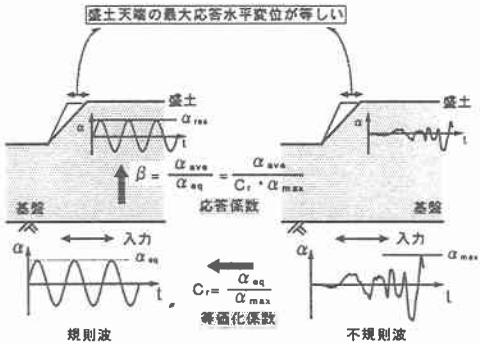


図-1 等価震度の算出フロー

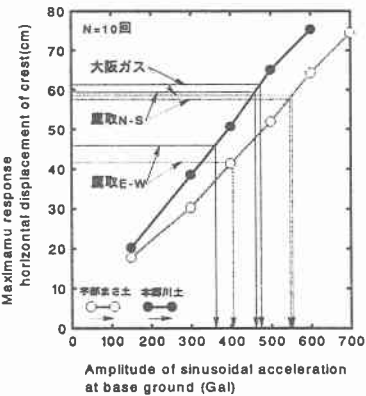


図-2 等価化係数の算定図

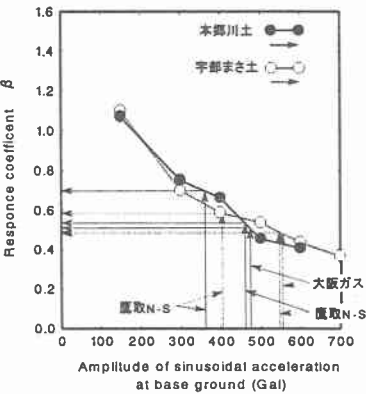


図-3 応答係数の算定図

表-1 等価震度の算定結果

地震波形	最大震度 K_{max}	試料名	等価化係数 C_r	応答係数 β	等価震度 k_{eq}
震取 N-S 成分	0.700	本郷川土	0.672	0.533	0.251
		宇部まさ土	0.797	0.488	0.272
震取 E-W 成分	0.686	本郷川土	0.638	0.696	0.257
		宇部まさ土	0.802	0.584	0.241
大阪ガス	0.751	本郷川土	0.645	0.507	0.246
		宇部まさ土	0.718	0.480	0.259

次式に応答係数 β の定義式を示す。

$$\beta = \frac{\text{盛土天端の応答加速度が最大となった時刻における各質点の応答加速度の平均値} (\alpha_{ave})}{\text{規則波の入力加速度振幅} (\alpha_{max})} \quad (2)$$

図-3 に、式(2)より算出した応答係数 β と入力加速度振幅の関係を示す。図中のプロットを見ると規則波実験から得られた応答係数 β は、入力加速度が大きくなると減少していく傾向がみられる。このことは、入力加速度振幅の増加により応答の非線形性が増加し、それによる位相差も増したことを示している。この図から、等価加速度 α_{eq} に対応する β の算出を行い、先に求めた等価係数 C_r と不規則波の最大震度 $k_{max} = \alpha_{max}/g$ を乗じることにより等価震度 k_{eq} が算出される。等価震度 k_{eq} は次式で定義される。

$$k_{eq} = C_r \cdot \beta \cdot \frac{\alpha_{max}}{g} \quad (3)$$

表-1 には、2 種類の盛土材料と 3 種類の地震波形を用いたオンライン実験から得られた等価係数 C_r 、応答係数 β 、等価震度 k_{eq} の算定結果を示す。算出した等価震度 k_{eq} は土の種類、入力地震波が異なるにもかかわらず概ね 0.24~0.27 であることが明らかとなった。したがって実用的にはこれらの平均値付近の震度を用いても差し支えないと判断できる。

3. 設計震度の妥当性 表-1 に示す等価震度 k_{eq} を用いて、レベルⅡ地震時における高盛土の円弧すべり安定解析を行った。なお、安定計算は修正 Fellenius 法によった。また、その際に用いる土の強度は、オンライン実験と同一の供試体作製条件、応力状態および試験機を用いて繰返しせん断試験を行うことにより決定した。図-4 は、本郷川土を用いた繰返しせん断試験の結果であり、各繰返し回数におけるせん断応力比と発生したせん断ひずみの関係を示している。なお、図中の点線は、単調せん断試験で得られた応力-ひずみ関係の曲線を示している。実験は、オンライン実験で最も変形が大きかった S3 層の初期応力条件付近を想定して行っている。図-4 より単調せん断試験結果と動的強度曲線が概ね一致しており、また繰返し回数が増加しても顕著なひずみの発達認められないことから、ここでは、設計の簡便性も考慮して非排水単調せん断試験から得られた強度をすべり安定解析に用いた。円弧すべり安定解析により算出された最小安全率は、震度として不規則波および規則波を用いたオンライン実験結果から所定の盛土の変形に対する両者の等価な関係を調べ算出した等価震度 k_{eq} を用いており、土の強度としてオンライン実験から得られたひずみ量を基準にせん断試験を行い決定した強度を用いたことから、最小安全率 1.0 以上を確保できれば、妥当な強度と震度を与えていることになる。図-5 は、円弧すべり解析により得られた最小の安全率を示す円弧の形状であり、盛土法肩から法先を通る円弧形状となった。図-6 は、各条件により得られた等価震度を用いた安定解析の結果で最小の安全率を示している。図中のプロットをみるといずれの条件においても最小の安全率は概ね 1.1 前後であり算出した等価震度と強度は、ほぼ対応関係にあると考えられる。

4.まとめ 本研究では、実地震波と規則波を入力した応答実験を行うことにより所定の盛土の変形に対する両者の等価な関係を調べ、盛土に作用する等価震度 k_{eq} の評価を行った。その結果、ここで対象としたレベルⅡの地震動についても適切な震度を与えることができ、現行の震度法を用いて盛土の安定性を適切に評価することが可能となった。【参考文献】1)藤井恵美・兵動正幸ら：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,第 53 回土木学会中国支部研究発表会(投稿中),2000。

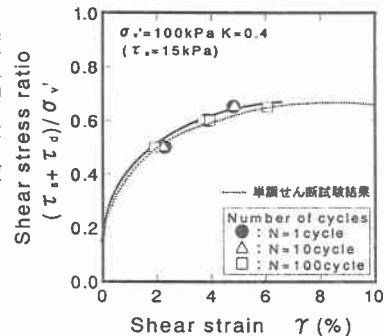


図-4 動的強度曲線（本郷川土）

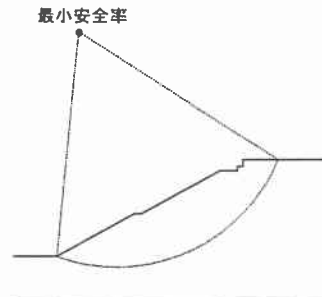


図-5 最小すべり安全率の円弧形状

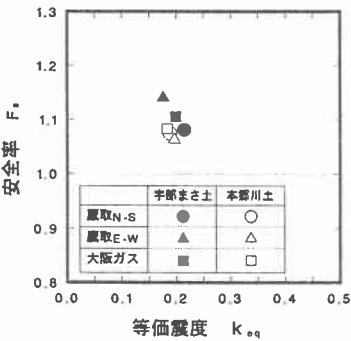


図-6 等価震度と安全率の関係