

III-62

震度法による盛土の地震時安定解析法における震度の大きさについて

建設省土木研究所 正員 古賀泰之
建設省土木研究所 正員 松尾 修
飛鳥建設株式会社 正員 武藤正人

1. まえがき

筆者らは、盛土の地震時安定解析法として従来より用いられてきている震度法すべり面計算法の合理化のための研究を進めている。^{1)~5)} その一環として、不規則に作用する地震力に対して置き換えられるべき等価震度の大きさについて盛土の模型振動実験の結果をもとに考察した結果を述べる。

2. 等価震度の考え方について

まず、上記計算法に用いるべき強度としては土要素に所定のひずみ量を生じさせる繰返し応力の大ききで定義されるいわゆる動的強度が最も妥当であることを前に示した。¹⁾ したがって、本文でもこの動的強度を用いることを前提とする。さて、図-1において、不規則せん断応力の履歴は、その土にある破壊ひずみ規準を与える規則波応力～載荷回数との関係、いわゆる疲労曲線と累積損傷理論を用いて、規則波応力と一定回数の載荷（ τ_{eq} , N_{eq} ）に等価化される。この等価化された応力に対比されるべき強度 τ_{df} は同一の波数 N_{eq} で規定する。このとき強度安全率は $F_s = \tau_{df} / \tau_{eq}$ である。すなわち、載荷応力や強度の動的特性は、不規則波を規則波に等価化すること及びそれぞれを一定の波数 N_{eq} に固定して考えることによって、それぞれが見かけ上静的な指標に置換されたことになる。一方、震度法においては、時間的・空間的に複雑に生じている地震力を静的な慣性力によって置き換えねばならない。あるすべりブロックを考え、すべり面上のせん断応力履歴 τ ともすべりブロック内の応答加速度履歴 α ともが近似的に相似であるとする。ここで近似的とは、すべりブロックの応答が剛体的、すなわちすべりブロック内の応答加速度分布がほぼ一様であるという仮定を意味する。そうすると震度に対しても材料特性を媒介として応力と同様の等価化が可能で次のように得ることができる。

$$k_{eq} = C_r \cdot (\alpha_{max} / g),$$

$$C_r = \tau_{eq} / \tau_{max}$$

（ k_{eq} ：等価震度、 α_{max} ：最大応答加速度、 g ：重力加速度、 C_r ：等価化のための係数）

ここに、 k_{eq} は、図-1に示すように波数 N_{eq} に等価化した応力振幅 τ_{eq} に対応する等価加速度 α_{eq} から求めるものである。したがって、震度は静的な荷重を与えと考えられてはいるが、背後には等価化のための載荷回数 N_{eq} の概念があり、この設定値によって k_{eq} の値は変わってくる。同時に、この N_{eq} によって安定計算に用いる動的強度も変わってくる。

3. 模型振動実験結果に対する安定解析

(1) 模型振動実験：飽和砂地盤上の盛土（高さ20cm）模型に対し、6種類の加速度波形で加振したものである。詳細は文献3)に譲り、加振条件のみを表-1に示す。

(2) 解析法：安定計算式としては修正フェレニウス法を用いた。土の動的強度は等価回数 $N_{eq}=20$ 、破壊ひずみ規準 $\gamma_f=5\%$ で規定した。なお、最小安全率を繰返し計算によって決める際、盛土の安定に関わるすべり面のみを考慮するようすべり円弧の大きさに制限を付けた。⁴⁾

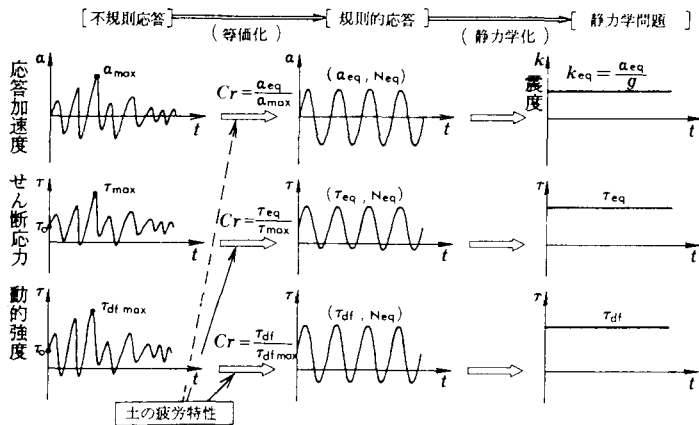


図-1 不規則応答の静力学問題への変換

表1 各ケースの加振条件と等価化係数

ケース	加振条件			等価化係数 C_r ($N_{eq}=20$)
	波形	周波数	加振時間	
1	規則波 (N=20波)	$f=2.5\text{Hz}$	8秒	1.0
2	規則波 (N=20波)	$f=10\text{Hz}$	2秒	1.0
3	規則波 (N=20波)	$f=5\text{Hz}$	4秒	1.0
4	不規則波 (衝撃型)	$f_0=5\text{Hz}$	5秒	0.46
5	不規則波 (振動型)	$f_0=5\text{Hz}$	5秒	0.67
6	不規則波 (振動型)	$f_0=2.5\text{Hz}$	10秒	0.71

f_0 ：卓越周波数

(3) 解析結果：図-2は実験結果であり、最大震度 $k_{max}=\alpha_{max}/g$ と盛土沈下量 δ との関係を示している。ここに α_{max} としては本来応答加速度とすべきであるが、ここでは近似的に入力加速度を用いている。いわゆる振動型、その典型である規則波の地震動のものほど損傷が大きいのがわかる。表-1の右欄に、入力地震加速度を累積損傷度理論により等価化した場合の等価係数を示す。図-3は安定解析の結果であり、これより安全率 $F_s=1.0$ となるべき等価震度は $k_{eq}=0.19$ と得られる。つぎに、盛土の地震時安全率 $F_s=1.0$ に対応すべき盛土の破壊規準として沈下量 δ_{crit} をとり、この沈下量と震度の等価係数 $Cr=k_{eq}/k_{max}$ ($k_{eq}=0.19$)の関係を決めると図-4のようになる。ここに、 k_{max} は図-2で $\delta=\delta_{crit}$ に対する各加振条件における値である。同図より、正弦波加振での Cr の値は1.0前後にあり、不規則波加振では1.0よりかなり小さい。細かく見ると同じ正弦波加振でも周波数が高くなると、 δ_{crit} が大きいくと小さくなる傾向にある。また、不規則波加振のグループでは衝撃型の Cr が小さく、土の要素試験における従来の知見と一致する。さらに、すべてのデータについて、 δ_{crit} を大きくすると Cr が小さくなっている。表-1に示した入力波形に対する等価係数を図-4にも示しているが、これを実験的に得られた値と比べると、規則波加振では1前後でほぼ近いこと、不規則波加振に対しても大小関係は一致し、絶対値では盛土の沈下量が1~2mmのところで一致している。ただし、上にも述べたように、盛土の破壊を規定する沈下量 δ_{crit} を大きくすると両者はかけ離れているが、これは土の動的強度を規定する破壊ひずみ規準 γ_f と δ_{crit} の大きさを連動させて考えねばならないことを示唆しているように思われる。なぜならば δ_{crit} を大きく設定する場合には γ_f も大きくとる必要があると考えられるが、この場合には $F_s=1.0$ となる k_{eq} も大きくなる。一方、 δ_{crit} を実験的に与える k_{max} も増加する。また、 δ_{crit} を大きくとる場合には、応答加速度を入力加速度で代用することの近似度は低下する。したがって、今後これらの点についてさらに考察を進めていく考えである。

参考文献 1)古賀, 松尾(1986); 第21回土質工学研究発表会講演集, pp.867~870

2)松尾, 古賀(1986); 土木学会第41回年次学術講演会講演概要集 第3部, pp.27~28

3)古賀, 松尾, 武藤, 唐沢(1987); 第22回土質工学研究発表会 (投稿中)

4)武藤, 古賀, 松尾(1987); 土木学会第42回年次学術講演会 (投稿中)

5)松尾, 古賀, 武藤(1987); 土木学会第42回年次学術講演会 (投稿中)

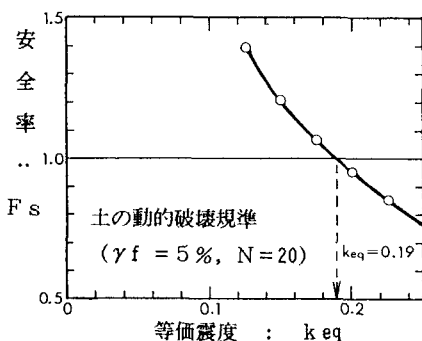


図-3 等価震度と安全率の関係

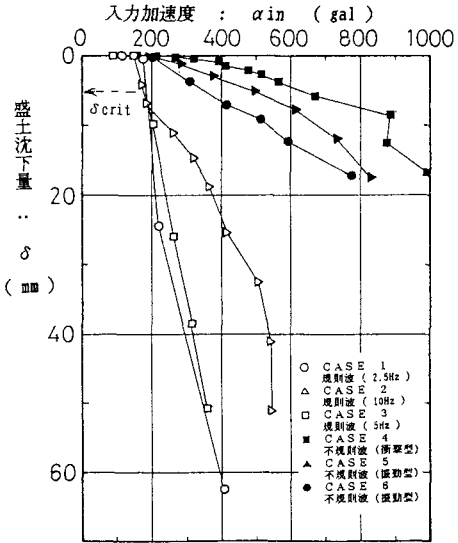


図-2 入力加速度と盛土沈下量の関係

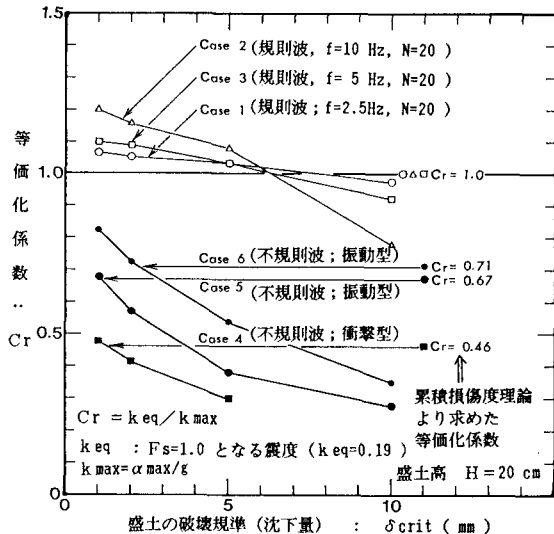


図-4 等価係数と盛土の破壊規準 (沈下量) との関係