地震時における盛土斜面の変状評価への地震動強度としてのアイリアス強度の適用性

日本大学　正　○中村　晋
学　　長田　智

1. はじめに

1995年兵庫県南部地震から2008年岩手・宮城内陸地震に至る内陸地震により，震源域での斜面崩壊による中山間地の孤立化や河道閉塞，土構造物の被害など多数の被害が発生している．2004年新潟県中越地震や2009年駿河湾沖地震では，高速道路盛土の斜面崩壊が生じ，社会的に大きな影響を与えた．特に，駿河湾沖地震は夏の盆休み期間中の8月11日に発生し，帰省ラッシュの時期と重なり，社会的に大きな影響を与えることとなった．道路や鉄道のようなインフラ構造物はその損傷，さらに交通規制が社会に及ぼす経済的な損失を無視することが出来ない．その社会的な影響を評価するためには，インフラ構造物のリスク評価を行うことが必要である．しかし，インフラ構造物にはRC構造物，鋼構造物，土構造物など様々な構造形式があり，リスク評価に必要なフラジリティー曲線を評価する際，それらの損傷を支配する地震動の強度指標が明らかになっているとは言えない．

ここでは，インフラ構造物のうち土構造物に着目し，その被災の程度に応じたフラジリティー曲線を評価するための地震動強度指標として，アイリアス強度[1)]の適用性について検討を行う．フラジリティー曲線の評価手法，検討に用いる地震動と検討盛土モデルは，中村らの手法[2)]とその検討に用いた地震動とモデルを用いた．

2. 盛土の被災度に応じたフラジリティー曲線

2.1フラジリティー曲線の評価手法

盛土の被災度に応じたフラジリティー曲線とは，盛土への地震作用の大きさと，式(1)の限界状態関数g_dが負となる状態が生じる条件付確率との関係を表す．

$$g_d = D_a - D_R \tag{1}$$

ここで，D_aは地震後に生じた盛土の崩壊による段差の制限値であり，中村らの検討[2)]で用いた20cmを用いる．次に，D_Rは地震によって生じる段差の推定値である．段差の推定には，中村らにより提案されている地盤物性の空間的な不均質性を複数の対数らせんをすべり面として考慮し，地震動の増幅を考慮した安定性評価手法と，Newmark法とを組み合わせた永久変形の評価手法[3)]を用いる．さらに，地震応答としての段差の評価には，地震動の不確定性，地盤材料の強度特性の不均質性に起因するすべり面形状や位置とすべりが発生する強度など種々の不確定性を踏まえて評価する．

地震作用の大きさに応じた限界状態関数g_dが負になる条件付き確率は，モンテカルロ法により直接求める．すると，作用震度Csに対する被災の確率$P_d(C_S)$は，式(1)で定義した限界状態関数g_dが負となるケース数n($g_d \leqq 0$)と式(2)に示すようにモンテカルロ法による全ケース数Nとの比として求める．

$$P_d(C_S) = \frac{n(g_d \leq 0)}{N} \tag{2}$$

2.2 アイリアス強度

従来の力の釣り合いに基づくすべり安全率を用いた崩壊の可能性の有無に関するフラジリティー曲線では，力の釣り合いに関連している加速度の基準値である震度が地震動強さとして用いられている．しかし，段差のような地盤変形では，地震動の強さのみならず地盤の累加的な変形に影響を及ぼす継続時間の影響などが関連していると考えられる．アイリアス(Arias)は周波数毎の地震動が有するエネルギー振幅の積分値と関連している(3)式に示す地震動強さを提案している[1)]．また，この式により得られる値の単位は速度次元を有し，アイリアス(Arias)強度とも呼ばれている．その値は加速度自乗の時間積分として得られることから，地震動の累加的な大きさとも関係しており，地盤の変形との関連性を有することが期待される．

$$I_{Ar} = \frac{\pi}{2g}\int_0^{t_0} a^2(t)dt \tag{3}$$

3. 解析モデルおよび地盤材料モデル

アイリアス強度の適用性の検討に用いる土構造物のモデルには，図-1に示した高さ4.8m，天端幅3.5mで法面の勾配が

キーワード：斜面，フラジリティー，地震動強度，震度，アライアス強度，連絡先：〒963-0201　福島県郡山市田村町徳定字中河原 1024-956-8712

表-1　検討に用いた地震波

No.	地震	発生年 規模	観測点 (成分)	PGA m/s^2	PGV m/s
1	十勝沖地震	1968 7.9	八戸港(E W)	1.81	0.32
2	釧路沖地震	1993 7.8	釧路港(地中,N S)	2.04	0.2
3	三陸遥か沖地震	1994 7.5	八戸港(E W)	6.76	0.45
4	兵庫県南部地震	1995	ポートアイランド (GL-33m,EW)	5.35	0.51
5		7.2	葺合(NS)	8.03	1.23

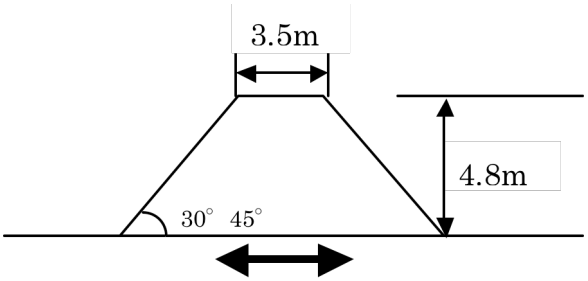

図-1　解析に用いる盛土モデル

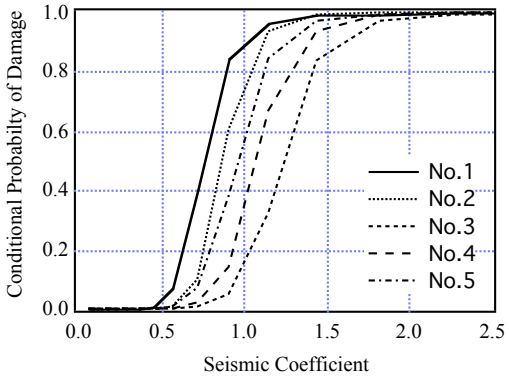

図-2　震度を指標としたﾌﾗｼﾞﾘﾃｨｰ曲線

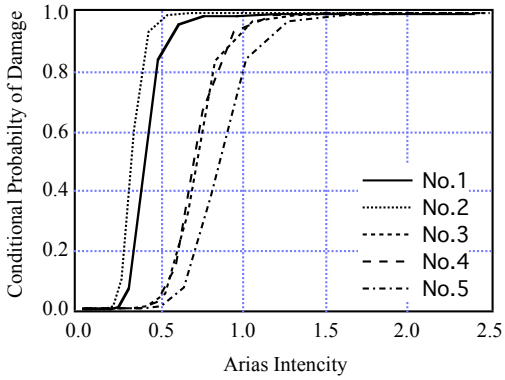

図-3 ｱﾗｲｱｽ強度を指標としたﾌﾗｼﾞﾘﾃｨｰ曲線

30°の単純な台形形状を有する盛土モデルを用いる．その盛土は基盤上に構築され，砂質土で構成されているとした．地盤材料特性のうち，空間変動を考慮するパラメータは強度特性を表す内部摩擦角とした．内部摩擦角の空間全体のばらつきを表す統計的性質として，平均値は35°，変動係数（C.O.V.）は0.1とした．その空間分布は鉛直方向の不均質性のみを考慮し，斜面全体を一様な強度特性を用いて表すモデルを用いた．他の強度特性である粘着力は確定量とし，その値は3.0kPaとした．

4. 解析結果

アイリアス強度の適用性の検討は，地震動の強度指標として最大加速度を重力加速度で除した震度，およびアイリアス強度として地盤材料特性の不確定性のみを考慮したフラジリティー曲線を算出し，地震動の強度特性に応じた地震動毎のフラジリティー曲線の比較により行う．ここで用いる地震動には，中村らの検討で用いられた17の地震動のうち表-1に示す5つの地震動を入力波として用い，それぞれの地震動に対する盛土内での増幅特性も中村らの検討結果を用いた．図-2，3に地震動の強度特性を震度，アイリアス強度としたフラジリティー曲線の比較を示す．地震動強度として震度を用いた場合，入力波に応じてフラジリティー曲線が異なっている．アイリアス強度を用いた場合，入力波1，2と入力波3，4および5の2つのグループに分けられている．このように，盛土の変状を表す地震動の強度指標としてアイリアス強度は，震度に比べ，被災との関連性が強いと考えられるが，被災との相間の高い強度指標であるとはいいがたい．

5. あとがき

最近，液状化判定などにスペクトル強度を活用する試みも行われているが，斜面崩壊などの地盤変状を対象とした被災の程度を定量的に関連づける適切な強度指標がないのが現状である．ここでは，盛土の変状を対象とし，アイリアス強度との関連性について検討を実施したが，良い結果が得られたとは言えない．しかし，累加的な損傷を表す指標としての有用性が認められることから，その修正により適用性の改善を図りたい．

参考文献

1) Arturo Arias: A MEASURE OF EARTHQUAKE INTENSITY, Seismic Design of Nuclear Power Plants, Hansen pp.438-483.
2) 中村晋，澤田純男，吉田望，地震時における盛土の被災程度に応じたフラジリティー曲線の評価に関する一考察，土木学会論文集，C部門，Vol.65，No.4，pp.977-988，2009
3) 中村晋，澤田純男，吉田望，多層構造を有する斜面の地震時永久変形の簡易評価手法とその適用性，土木学会論文集　C部門，Vol.62，No.2，pp.269-284，2007