

# 地震時の過剰間隙水圧を考慮した盛土斜面の残留変位量算定手法に関する研究

環境防災研究室 野島 崇  
指導教員 大塚 悟，磯部公一

## 1. はじめに

盛土の安定性照査は円弧すべり法による極限釣合い法を用いて評価を行っている。しかし、現在では安定照査の対象としてレベルⅡ地震動などの設計地震振幅の増大化が問題とされており、すべての盛土構造物に対して安全率を 1 以上に設定することはコスト高になってしまう。このような大規模地震に対しては損傷がある程度許容することが合理的とされ、盛土構造物の耐震評価に変形量照査の導入が必要とされてきている。本研究では残留変位量の簡易算定手法として最も用いられているニューマーク法に着目し、液状化強度曲線を用いた過剰間隙水圧を算定することのできる方法を組み込むことにより、地震時に発生する過剰間隙水圧を考慮できる残留変位算定手法の提案を目的としている。また、構築された変位算定手法を用いて、振動台模型実験および実被害事例に対して変形計算を行い検証を行った。

## 2. 残留変位の評価方法

### 2.1. ニューマーク法による変位計算と問題点

ニューマーク法は簡易に変位予測を行うことができ、計算手法としては、水平震度のみを前提とした斜面安定計算から求められる限界水平震度 $k_{hc}$ と、時々刻々と変化する入力地震動とから超過震度成分を算出し、累計すべり変位量の水平成分を積分計算する手法である。しかし、地震時に発生する過剰間隙水圧を考慮する場合、過剰間隙水圧の影響により限界水平震度 $k_h$ は低下すると考えられる。過剰間隙水圧は地震が起こると同時に最大値を示すのではなく、実際は時刻歴変化しており、時刻歴変化を考慮せず残留変位量を算定すると変位量を過大に評価してしまうことが考えられる。よって、過剰間隙水圧の時刻歴を考慮する必要がある。

### 2.2. 過剰間隙水圧比の予測

過剰間隙水圧比の予測を模型実験および実地盤について行う。入力地震波は模型実験では規則波、実地盤では被害地付近で観測された地震波データを用いた。三軸試験より得られる液状化強度曲線を用いて過剰間隙水圧の簡易予測算定手順のフローチャートを図-1 示す。対象地盤の円弧すべり面を算出するため、斜面安定計算システム「Power SSA Pro」を用いて地震時のすべり円弧を算出する。得られた結果より、すべり面全体に働く $\tau/\sigma'$ を平均的な応力比と仮定し、図-2 に示すようにひずみ 5% 時の液状化強度曲線と対応させ、斜面崩壊時での液状化に達する繰返し回数 $N_0$ を算定する。ここで、不規則波では繰返し回数を定義しづらいため、加速度の最大値および振動時間の影響を考慮できる加

速度パワー<sup>1)</sup>を用いた。加速度パワーは地震波の大きさを表す指標に用いられ、式 (1) で定義される。

$$P = \int_0^T a^2 dt \quad (1)$$

これにより、不規則波の影響を単調増加関数に置き換えることができ、三軸圧縮試験の繰返し回数に対して評価できる指標となる。水圧は本来、上に凸または下に凸の曲線変化する関数であるが、ここでは簡易的に $N_0$ 時に完全液状化が発生する $u/\sigma'=1$ となるような直線を仮定してモデル化している。

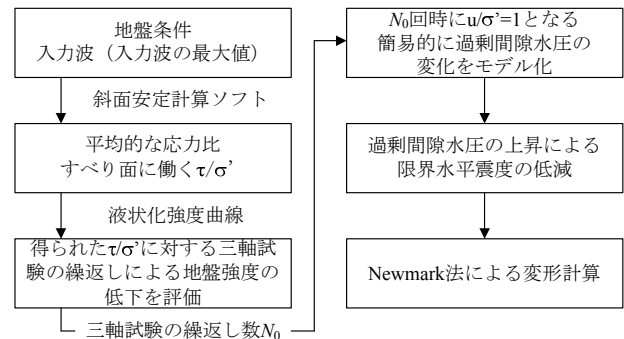


図-1 過剰間隙水圧比算定フロー

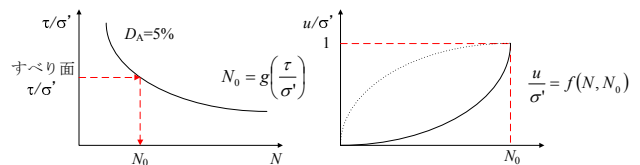


図-2 繰返しによる過剰間隙水圧比の変化

### 2.3. 過剰間隙水圧比を考慮した限界水平震度

得られた過剰間隙水圧比の時刻歴を用いて限界水平震度の算出を行う。式 (2) に示す。

$$k_h = k_{h0} \left( 1 - \alpha \frac{u}{\sigma'} \right) \quad (2)$$

$k_{h0}$  は対象地盤の初期限界水平震度、 $u/\sigma'$  は算出した過剰間隙水圧比の経時変化、 $\alpha$  を係数とした。初期限界水平震度 $k_{h0}$  は地震時安全率 $F_s=1$ となるような最小の限界水平震度であり、係数 $\alpha$ は地盤内の間隙水圧の発生状況に影響される。

## 3. 液状化を考慮した解析による変形計算

### 3.1. 振動台模型実験

すべり円弧算定に用いたパラメータを表-1 に示す。図-3 に Case 1 での崩壊時における繰返し回数による水圧発生を考慮した限界水平震度の経時変化および残留

変形量を示す。このとき係数 $\alpha$ は Case 1, Case 2 で $\alpha=0.02$ , Case 3 で $\alpha=0.03$ としている。これは、実験で得られた過剰間隙水圧比より繰返し回数  $N_0$  時での水圧比の値を準用している。実験値と解析値で同程度の変形量を表現できていることが確認できる。しかし、詳細に見ると変形開始時刻および進行過程において多少のずれが発生している。これは、繰返しによる過剰間隙水圧比の変化を直線で仮定しているためだと考えられる。本来水圧の時刻歴は曲線変化をしているため、直線仮定した水圧モデルとの違いが変位発生時刻、進行過程に影響を与えており、変形の進行過程は直線ではなく曲線を用いなければ表現できないことが考えられる。

### 3.2. 実被害事例

解析対象地には新潟県中越地震より被害を受けた高町団地を選定し、**図-4**に解析対象工区を示す。また、断面図、地下水位高さは詳細な把握ができていないため、鳥居ら<sup>2)</sup>の報告書を参考としており、入力地震動は K-NET 長岡市支所の N-S 成分<sup>3)</sup>を用いた。解析に用いたパラメータを**表-2**に示す。変形計算は対象 5 断面のうち崩壊地 II および非崩壊地 IV について行った。**図-5**に地盤内水位を低水位、高水位と変化させた変形量を示す。ここで低水位の場合では液状化が発生していないとして、強度低下を考慮していない解析を実施している。高水位の場合を見ると、両ケースとも完全液状化による自重崩壊が発生しており、変形計算はその直前までとしている。低水位の場合でも両崩壊地で変形量が確認され崩壊する可能性があることが考えられる。なお、本報において紙面の都合上、一部の結果のみ掲載しており、その他の結果については割愛する。

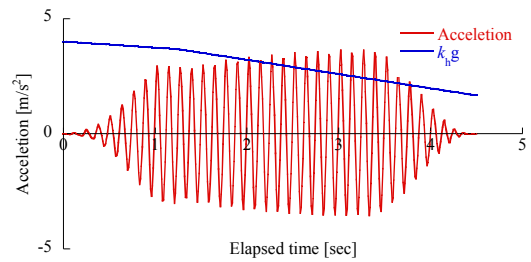
### 4. まとめ

簡易に地震時の過剰間隙水圧の算定手法として、修正 Fellenius 法を用いた解析を行い、三軸圧縮試験より得られる液状化強度曲線を組み合わせた手法を提案した。提案した手法を用いて模型実験および実被害事例として高町の宅地盛土を対象として解析を行い、地震動の大きさと地下水位の変化による残留変形量を再現できることを確認した。

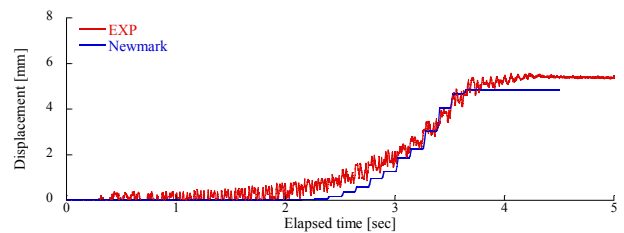
<参考文献>1)室野ら：盛土の耐震検討に用いる地震動波形に関する一考察, *Soils and foundations*, Vol.41, No.6, pp.7-14, 2001. 2)鳥居直之ら：修正ニューマーク法を用いた宅地盛土の地震時残留変形量に地下水位が及ぼす影響の検討, 神戸大学都市安全研究センター研究報告, 第 12 号, pp.143-153, 2008. 3)防災科学技術研究所：強震ネットワーク K-NET, <http://www.k-net.bosai.go.jp/k-net/>, 2011.1 閲覧。

**表-1** 入力物性値

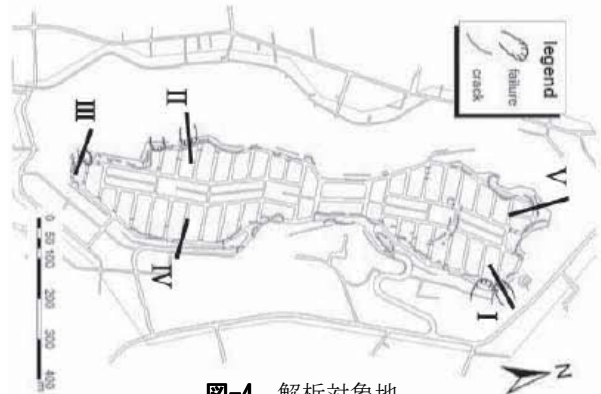
Case	地盤材料	粘着力 $c$ [kN/m <sup>2</sup> ]	内部摩擦角 $\phi$ [deg]	単位体積重量 $\gamma_t$ [kN/m <sup>3</sup> ]
1	3:1	0.2 <sup>**</sup>	33	13.94
2				
3				
地山	1:1	6.1	34	14.84



**図-3(a)** 崩壊時における限界水平震度の経時変化 (Case 1)



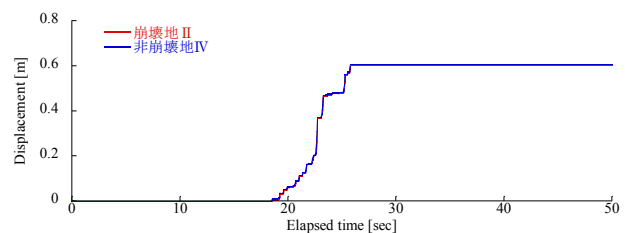
**図-3(b)** 残留変形量時刻歴 (Case 1)



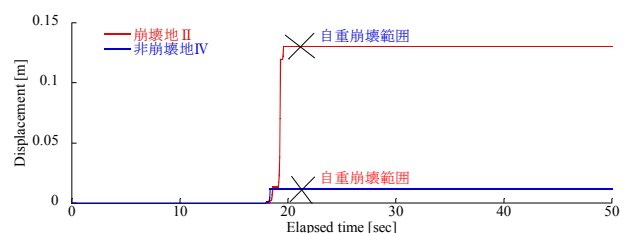
**図-4** 解析対象地

**表-2** 入力物性値

物性値 地層名	粘着力 $c$ [kN/m <sup>2</sup> ]	内部摩擦角 $\phi$ [deg]	単位体積重量 $\gamma_t$ [kN/m <sup>3</sup> ]
盛土	6.3	34.4	18
崖錐堆積物	15	15	16
御山	50	25	18
擁壁	50	45	22.9



**図-5(a)** 残留変位時刻歴 (低水位)



**図-5(b)** 残留変位時刻歴 (高水位)