簡易RBSM三次元試行球面すべり面法を用いた 造成地盛土斜面の地震被害評価法

Risk evaluation of the earthquake triggered landslide on the land reclamation slope by three dimensional instability analysis of simplified RBSM

濱崎英作^{a)*}·宮城豊彦^{b)}·竹内則雄^{c)}·大西有三^{d)}

Eisaku HAMASAKI, Toyohiko MIYAGI, Norio TAKEUCHI and Yuzo OHNISHI

Abstract

The report discusses the methodology of the landslide risk evaluation of the earthquake triggered slope movement at the artificial land reclamation area. The two case studies are used to evaluate the adaptability of this method. One is the case of Takamachi New Residential area damaged by Mid Niigata Earthquake 2004 and the other is Tsurugaya New town damaged by the Miyagi-oki Earthquake 1978.

Recently, artificial land reclamation by civil earthwork in slope areas has been widely developed in and around urbanized area. Some area such as the valley filled with reclaimed soil is relatively weak compared with cut portion. In spite of the weakness of the ground, there were poor techniques of the evaluation of slope instability.

The authors have developed the risk evaluation technique titled "Three dimensional slope stability analysis based on the simplified RBSM" to apply to the artificial land reclamation area. This has the advantage of not only being simple but also including the earthquake force and direction of seismic wave for calculation. Thus, the technique will be used to get the spatial distribution of the degree of Safety Factor (Fs).

The Fs value distributions in the two case studies are evaluated by the analyses (Fig. 8 and 9) and well explain the real distributions of the slope damages (Fig. 7 to 10).

Key words : artificial land reclamation slope, three dimensional slope stability analysis, RBSM, risk evaluation, earthquake disaster

和文要旨

造成地盛土斜面においては、地震によって地すべりや崩壊などの甚大な被害が発生することが多く、それらの発生に対する危険 度評価手法の確立が求められている。我々はこれらの危険度予測をする手法として簡易RBSM三次元試行球面すべり面法を開発した。 この手法は、簡易ながら地震力とその方向を考慮した解析が可能で、評価結果として平面図上の最小安全率分布(Fs值)を得るこ とができる。このFs値について、これまでの地震被害のうち、2004年新潟中越地震の高町団地と、1978年宮城県沖地震での鶴ヶ谷 団地の各被害をもとに比較検証を試みた結果,極めて良い相関が得られた(図7~10)。このことから,当手法による危険度評価方 法の妥当性を示した

キーワード:人工地盤斜面,三次元安定解析,RBSM,危険度評価,地震災害

1. まえがき

造成団地や農地造成地などの人工盛土斜面では、地震 などの強い揺れにともない不同沈下、側方流動、地すべ り、崩壊などの様々な地盤災害が生じる。これら地盤災 害のうち、とりわけ崩壊や地すべりは最近の地震被害で も他の現象に比して被害の程度が大きくなることが多く、 また、人的な被害の恐れが少なからずあるため、人工盛 土斜面の災害予知の重要性は年々増してきているといえる。

これまで都市型の人工盛土地盤における斜面被害の評 価手法について、釜井他によって1978年宮城県沖地 震,1993年釧路沖地震,1995年兵庫県南部地震などで精 力的なデータ収集がなされ,数量化Ⅱ類や,ニューラル

Department of Art and Technology, Hosei Univ., Japan.

ネットワークの手法を用いた研究事例などが報告されて いる^{1,2)}。これらの研究によって、谷埋め盛土部について は、盛土幅(W)と盛土厚(D)のW/D比が10以上に なると地すべり変動が生じる場合が多くなることなど, 不安定要因に関する興味深い知見が示されている。ただ し、これらの手法は基本的に力学モデルではないことか ら,得られた予測モデル結果をもとに,次の対策工や計 画論へと直接に反映させることはできない。また、判定 すべきユニットの範囲を設定するに当たって地形地質的 な判断基準の取り決めが必要になってくる。

他方,著者らは、剛体ばねモデル(RBSM)を用い, 地すべりにおいて移動体の移動方向を既知とすることな く計算することができる簡易三次元安定解析手法につい て研究してきた^{3,4)}。この手法ではすべり面を与え,従来 法と同じ物性値(単体重量、粘着力、内部摩擦角)を適 切に与えるだけで三次元拘束効果を物理モデル的に評価 でき、また、カラム柱の移動方向も一度の計算のみで評 価しうるもので、従来の三次元安定解析と比べ利点の多

連絡著者/corresponding author 術アドバンテクノロジー

Advantechnology Co., Ltd 〒980-0013 宮城県仙台市青葉区花京院1-4-8チサンマンション花京院1202号 1-4-8-1202, Kakyouin, Aobaku, sendai, 980-0013 Japan

b) 東北学院大学教養学部地域構想学科

Department of Faculty of Liberal Arts, Touhokugakuin Univ., Japan. c)法政大学工学部システムデザイン学科

d) 京都大学大学院工学研究科都市環境工学専攻

Department of Urban and Environmental Engineering, Kyoto Univ., Japan.

い手法である。

今回,この計算手法を主要なアルゴリズムとして用い, さらに三次元の球面型すべり面を試行的に発生させ,こ れを繰り返し計算することで地盤を平面的に安定度評価 する手法を新たに開発した(ここでは,これを三次元試 行球面すべり面法と称する)。この手法では,精度の良 い地形情報が必要であるが,評価するにあたって地形形 状におけるアイテム,カテゴリーなどの特段の区分けを 用意する必要はない。

この手法を用いて2004年新潟県中越地震において顕著 な人工地盤被害が認められた長岡市高町団地の被害事例 について解析を試みた結果,地盤被害と危険度評価結果 との間で極めて高い相関性を示した。また,1978年宮城 県沖地震の鶴ヶ谷団地被害についても地盤被害との良好 な一致を示した。小論では,これらの解析手法を示すと ともに,高町団地並びに鶴ヶ谷団地での解析事例につい て紹介するものである。

2. 三次元試行球面すべり面法

2.1 計算の手順

二次元においては、切土・盛土地山などで安定度評価 を行う場合、円弧すべり面を円弧の中心や、半径を試行 的に変化させて最も不安定となるすべり面形状を探索す る手法が確立している。また、三次元空間斜面の安定解 析評価については周らによって、GISを用いた手法など が提案されている⁵。周らの方法では、ベースとなる解 析理論としてHovland法を用いており、モンテカルロ法 を使って最小安全率となるすべり面を空間試行捜索する ものである。他方、今回の提案手法は周らと同様、三次 元空間斜面で安全度評価をするものであるが、人工地盤 斜面全域での地すべり・崩壊等の災害ポテンシャルを一 様に評価するにはむしろモンテカルロ法は不向きであり, 各格子点に対して基本的に同様な試行計算することが望 ましい。また、今回用いたRBSMでは、すべり面が一つ の球面上にある斜面ではどの方向にあっても一つの安全 率しか存在しない。すなわち, RBSMを用いることで移 動方向の設定に関しては解析上必要とせず、また側方拘 東条件を厳密に取り得ることができる利点がある。図-1に今回提案する三次元試行球面すべり面法の解析の流 れと図-2, 図-3にその計算概念図を示す。

本手法では、GISなどを用いて検討すべき造成地盤の XY 平面上を幅dx, dyで分割し,そのカラム中心に旧地 表面高さ(造成前),新地形面高さ(造成後)の高さを 与え,また物性値(単位体積重量,粘着力,内部摩擦角) を与えれば、三次元安定解析を行うことができる。

図-1のフローに示すように三次元試行球面すべり計 算には、大きくわけて二つのステップがある。最初のス テップ(step I)は、カラム中心(X, Y)を通る空間 上の球面すべり面の中心座標(X, Y, Zr)をトライア ルし、その最小安全率を求めるものである。なお、Zr



図ー1 三次元試行球面すべり面法の計算フロー Fig.1 Flowchart of the calculation processes of the three dimensional spherical surface slide trial model method

は中心座標の高さを示す。また次のステップ(step II) では、それらの球面すべり面が、地盤内を通過する中で 最も小さい値を探索し、その値を最終的なカラムの安全 率として設定するものである。

1) step I (球面すべりの中心点安全率)

X方向,Y方向でそれぞれ,i,j番目のカラム(i, j)の中心座標を(X, Y)とし,その中心座標における地 表面高さをZc,基底面高さをZbとする。球面すべり中 心座標を(X, Y, Zr)とし,球面の半径をRとすると, 任意点 (X_0, Y_0) でのすべり面高さ Z_0 は

 $Z_0 = Zr - \sqrt{R^2 - a^2 - b^2}$ (1)

ここに,



図-2 三次元試行球面すべり面法のすべり面空間イメージ Fig.2 Spatial slip surface image of the three dimensional spherical surface slide trial model



図ー3 三次元試行球面すべり面法の断面での最小安全率 (Fs値)の求め方概念図

Fig. 3 Image of idea how to estimate a minimum Factor of safety value in cross section

 $a = X - X_0$ $b = Y - Y_0$

J. of the Jpn. Landslide Soc., Vol.43, No.5 253 (2007)

 $R \max \le R \le R \max$ $R \min = Zr - Zc$ $R \max = Zr - Zb$

ただし Zr>Zc

ここで、Rmin、Rmaxは、計算すべき球面半径Rの最 大値と最小値である。また、RはRmin、Rmaxの間で変 化するものとし、Rminを最小としてdzづつ増加するも のとする。またZrもdzづつ増加するものとする。カラ ム(i, j)の中心座標(X, Y)の中で、Zr及URを試 行変化させて得られた最も小さい安全率を Fs_{ij} とし、そ のときのZrと ReZ_{ij} 、 R_{ij} とする。

2) step II (カラムの安全率)

図-3に図-2のX方向もしくはY方向での計算の模 式的な概念を示す。断面図に示すようにカラムを通る球 面すべり面は複数内在しており,周辺のカラム中心座標 毎に設定される球面すべりの安全率は一つではない。し たがって,その複数存在するすべり面安全率を比較し, その最小値をもってカラムの安全率として設定する。す なわち,stepIの球面すべり面の中心座標(X,Y)だ けで評価しようとすると,すべり範囲外に中心点が存在 するなどの不都合が生じることがあり得る。しかしなが ら,カラム内を確実に通る球面すべり面の安全率を比較 することによりこの不都合が生じないばかりでなく,そ のカラムの実際的な安全率を設定することが可能である。 この結果,最終的に得られるカラム(*i*, *j*)の最小安全 率を危険度評価に用いるFs値として合理的に設定する ことができる。

図 - 4 はこれらの結果を*XY* 平面上で表した模式図で ある。

2.2 RBSM簡易三次元安定解析のアルゴリズム

RBSMは要素間に蓄えられるエネルギーを離散的に導 く手法であるが、一般の地すべり面や試行球面すべり面



図ー4 XY 平面上での解析結果の表現例(Fs 値分布図) Fig. 4 An example of the Fs value distribution in land reclamation area

を計算するに当たって,著者らは,これを極限平衡法並の簡便な三次元安定解析にまで拡張して使えるように工 夫した⁴。

すなわち,XY平面上でメッシュ分割されたカラム柱 どうしの側面間を,カラム変位に伴うエネルギー伝達の 場と考え,側面バネにペナルティ関数を導入するととも に,全体カラムをRBSM的に離散化してすべり面のみの 表面力を導いて計算した。このときカラム柱の自由度は 図-5に示すとおりである。

カラム(*i*、*j*)





ここで, 図-5のW はカラム自重であり, nはすべり 面の法線ベクトルを示す。また, u, v, wはx, y, z方 向の変位ベクトル成分である。

安定解析に用いられる各カラム柱底面(すべり面)の 法線力(N)と接線力(T)は剛性マトリックスによっ て導かれた相対変位ベクトル成分と抵抗する法線方向と せん断方向のペナルティバネのそれぞれの積によって表 現され,これをすべり面面積Aで積分した値となる。な おTxとTyはTのx,y方向での分力である。

これらの計算手法は竹内³³濱崎⁴の論文に詳しいが,斜 面の全体安全率Fsは(2)式から導かれる。

(2)式の ϕ はすべり面の内部摩擦角, Cは粘着力を表し ている。また,分子Rは,滑りに抵抗するせん断強さを, 分母Dはすべり面に発生しているせん断力の合力を表し ている。この手法では,従来の極限平衡法と同様に入力 条件としては移動体の単位体積重量(γ_i)と粘着力(C), 内部摩擦角(ϕ),及び自重(W)を低減させる水圧(U) のみしか必要でなく,条件設定が平易でありながら,個々 のカラムの相対的な移動方向を求めることが可能となる。 なお,人工地盤斜面では地震による被害が最も懸念され る。このような地震時の斜面安定解析に対し,一般の二 次元安定解析では,カラムの自重(W)に水平震度(kh) を乗じ,法線力,接線力に作用させて解析している。こ こで,三次元のXY平面の場合図 – 6に示すように各カ



図ー6 カラムに作用させる水平方向地震力 Fig. 6 Illustration of the horizontal direction and the forth of seismic wave in each column

ラムに対し作用する任意方向の水平地震力をW・khとす る。これがY軸からみてθだけ回転している位置におい て作用するものと仮定すると,図-6に示すように地震 力が交互に作用するのを表すには①と②の二つの方向で 個別に計算する配慮がいる。

すなわち,以下の2通りである。

①に対し,

X方向水平地震力: $KHx = -W \cdot kh \cdot \sin \theta$

Y方向水平地震力: $KHy = W \cdot kh \cdot \cos \theta$

一方②に対しても,

X方向水平地震力: $KHx = W \cdot kh \cdot \sin \theta$ (3)式

Y方向水平地震力: $KHy = -W \cdot kh \cdot \cos \theta$

解析に際しては①,②の2ケースについてそれぞれ別 途解析し、より低い安全率を採用することとなる。

また、これまでの三次元安定解析が移動方向の仮定に よって異なる安全率を与えるのとは違い、RBSM簡易三 次元安定解析ではすべり面を与えれば一義的に一つの安 全率を決定でき、三次元形状効果、特に滑り方向に対す る側方からの力を十分反映することが可能である⁴⁰。釜 井他^{1,2}によれば盛土側面の抵抗条件がすべり発生におい て非常に重要なファクターであることが指摘されており、 側方力を十分に発揮するアルゴリズムの導入は不可欠で あるが、本手法はこのような三次元形状による拘束効果 を十分に考慮できるものである。なお、試行球面すべり 計算での高速化を図るため、計算に用いるカラムは交点 座標において地表面が全てすべり面標高より高いものだ けを採用して計算することとする。

3. 計算手法の事例検証

3.1 高町団地での検証(2004年中越地震)

新潟県長岡市の高町団地は,長岡駅から南東方向3.5 kmにあり,魚沼丘陵の西縁に位置する。北北東-南南 西に細長く延びる約1,200m×300mの団地で,昭和40年 頃から55年頃にかけて造成されており,全体で500戸程 度の家屋がある。しかし,同団地は2004年10月23日に発 生した中越地震(M6.8の直下型地震,最大加速度1,500 gal) によって,主として盛土部にて40戸をこえる家屋 が全壊し,また,半壊家屋も20戸以上をこえる大被害を 被った。特に造成団地の北東部と南西部では幅50m~80 m程度の地すべり性の崩壊が計5箇所で発生しているほ か,団地の長軸方向に平行な亀裂や滑落,また,重力式 擁壁の変形などが多数発生した。

当地区での揺れは、家財の転倒被害の方向から東西方 向が卓越していることが確認された。また、長岡市幸町 で計測された気象庁の最大加速度は438.7galであり、高 町団地付近での記録はないものの被害の程度からみて、 おそらく震度6強相当の揺れがあったと推定されてい る⁶。基盤は,第四紀更新世の魚沼層のシルト・砂と御 山層の砂・粘土・砂礫層が分布する⁶ところで,北西部 には中位段丘の段丘礫層も認められている。盛土材とし ては,主として現地発生土が用いられている。

なお、以上のような当地区の被災現況を、試行球面す べり面法を用いて再現可能かどうか検証を試みた。モデ ル作成に当たって、空中写真(1975年国土地理院撮影, CCB-75-11, C24b-5, 6, 7)を用い写真測量図化にて 2mコンターを作成するとともに、これらから造成前の 地形の5mDEMデータを作成した。また1/2,500の都 市計画平面図から求めたDEMを重ね合わせて切り盛り



図ー7 高町団地の被害とFs 値予測モデルの比較 Fig.7 Real damage distributions of the Takamachi New town and the Fs value

地盤のGISデータを構築した。

ここで問題となる崩壊や地すべり現象を幅及び奥行き 20m以上と仮定し、計算すべきカラムをdx、dyともに5 mとして解析した。また、できるだけ球面滑り面の採用 されるカラム範囲を多く求めるため計算補助メッシュを 2.5mとして解析した。この2.5m地点での標高値は周辺 DEMを用いて補間して作っている。計算に用いた地盤 定数は単体重量(γ_t)、粘着力(C)、内部摩擦角(ϕ)に ついて盛土部に対し γ_t =17kN/m³、C=10kPa、 ϕ =30°、 基盤部に対し γ_t =18kN/m³、C=200kPa、 ϕ =35°とした。

盛土の強度は現場試験値を用いていないが、高町団地 の崩壊跡の材料からみて砂質土が主体であったことから, 宅地造成等規制法施行令を参考にしてγ_t = 17kN/m³が妥 当と判断した。また、これまでの宅地造成盛土での調査 実積をとりまとめた釜井²によるとN値の最頻値は10以 下である。これをTerzaghi and Peck, Meyerhof, Dunham, 大崎ら⁷の換算図を参考にすると ϕ =30°は概ね中 間値である。他方粘着力に関しては砂質土とはいえシル ト分もあるので見かけの粘着力をわずかに見込むものと してC=10kPaを使用した。基盤に関しては、野崎⁸は 新潟県下のダム現場でのせん断試験を収集し寺泊層から 魚沼層群までの力学特性について研究している。そこで, 泥岩,砂岩の粘着力については、概ねそれぞれ0.4-0.6 MPa, 0.2-0.4MPa, 内部摩擦角についてはそれぞれ 35°前後と30~35°であることを示しており、基盤部の解 析常数は概ね妥当な数値であることが分かる。

前述したように最大加速度は400gal強であったことか ら,港湾で用いられる野田・上部の式^{®)}を用いて水平震 度を求めると概ね*Kh* = 0.25と仮定できる。ここで野田・ 上部の式は以下のとおりである。

 $Kh = (\alpha/g)^{1/3}/3$ (4)

ここに, Kh:設計震度



図-8 地震時における被害毎のFs値ヒストグラム

Fig. 8 Fs value distribution in each damage types at the moment of earthquake

α :地表面加速度 (gal)

g:重力加速度 (gal)

また、中越地震での広域的な揺れの方向と、高町団地 内での揺れ方向から、団地の短軸方向である西北西 – 東 南東方向(N75W – S75E方向)に対し水平の地震力を設 定した。なお、地震発生前には台風23号による降水量が 10月20日に100mm以上を記録しており、地下水上昇も 懸念されるところであるが、地下水位の観測データがな いこと、及び平易な予測システムを目指す観点から間隙 水圧を考慮しないで解析した。

これらの解析結果をカラムの安全率Fs値分布として 表し,被害状況とを比較した結果を図-7に示す。この 結果から高町団地の縁辺部付近には,Fs<1に相当す るところが広がっており,Fs \leq 2の範囲と亀裂や滑落, 家屋の全壊および崩壊の頭部などで一致しているところ が多いのが分かる。ただ,南西方のFs < 1が広がって いる範囲で地震被害などの変状は確認されていない。そ の原因として南端における5mDEMデータの測量基準 点が少ないため本来未改変の地山を盛土として解析した ためと判断される。

この結果を定量的にみるため,被害調査を詳細に実施 した高町団地エリアで①家屋被害(全壊+半壊)と②穐 裂・滑落被害,③崩壊域,④道路補修箇所,及び⑤変状 なしの5項目について誤差を勘案した統計分析を試みた。 まず,1/2,500の都市計画のコンター線が2mであり, 地図の誤差を最大見積もってカラム一個に相当する±5 m程度と考え,当概現象のあるカラムを中心に前後1カ ラム分を加えた範囲-すなわち15m×15mの範囲-での 安全率を平均して,そのカラムの安全率(Fs値)とし た。図-8には,地震力を設定したときの各被害項目に 対するFs値のヒストグラムを示した。また比較のため に図-9に,地震力を考慮しない時のFs値のヒストグ ラムも示した。それぞれの図の下段には,各被害項目に おけるFs値の平均値(μ)と標準偏差値(σ)を示す。 地震時を考慮した図-8をみると,①-④の被害箇所





(変動)については地震時でFs値が5以下である。特に ②,③などに限ればFs値の平均は3以下でほとんど正 規分布に近いヒストグラムとなっている。他方, ⑤の被 害の認められないところ(非変動)では、Fs値は10以 上を超えているところがほとんどであり, 変動箇所とは 明瞭な差となっている。なお、①家屋被害のFs値が4.33 と意外に高い結果となったが、これは切土と評価される ところでの全壊家屋が2戸ほど存在しているためである。 これは詳細には盛土の疑いがあるところで、切り盛り図 の作成に注意を要することの証左ともいえる。一方、常 時のみの判定では地震時に比べ全体にFs値が倍程度に 上昇することと①家屋でややばらつきが大きくなる傾向 があるが、地震被害に対して①~④変動被害と⑤変状な しにおける違いがFs値30前後に明瞭に存在している。 このことから、トリガーとしての地震力を考慮する方が より明確に地震被害の予測が可能であるものの、常時の みで判定しても地盤の地震被害における脆弱性を示すこ とが可能であることを示唆するものと考える。

3.2 鶴ヶ谷団地での検証(1978年宮城県沖地震)

1978年6月12日の夕刻,宮城県沖約100Km,震度30Km を震源とするM7.4のプレート型巨大地震が発生した。 この地震の揺れは、宮城県はもとより東北一円におよび、 死者27名, 負傷者10,962名, 全壊家屋1,377戸, 半壊家 屋6,171戸という膨大な被害をもたらした100。最大水平 加速度は広い範囲で250galを超え最大400galに達した。 なお、墓石や灯籠などの転倒などから、仙台市の重要な 地盤の振動方向は北北西-南南東方向であるという推 論1¹⁰がある一方で、推定最大加速度はN-S方向に卓越 するという報告11.12)もある。この地震では、丘陵地で造 成した団地に、盛土の沈下・移動・崩壊あるいは切土地 と宅造地との地震応答特性の違い等と思われる各種被 害じが多数発生した。仙台市宮城野区の鶴ヶ谷団地もそ の一つで,ここは,地震直後に東北大学で詳細な現地調 査が行われ被害分布図が作成されている¹⁰⁾。当地区は, 第三紀の七北田層の砂岩・軽石凝灰岩等が分布するとこ ろで、地形的には富谷~七北田丘陵地にある。基本的に 当時の盛土材は造成切土による原位置発生土が使用され ている。なお、仙台周辺の丘陵地の特徴として、起伏量 が小さいものの樹枝状に広がる広い谷底と急な谷壁部よ り構成されている。

この地域においても、調査されている被害を試行球面 すべり面法を用いて検証した。モデル作成に当たって、 旧地形は1970年代の国土地理院撮影空中写真(1/8,000 ~1/10,000)を用いて作成するとともに、造成後の現地 形は1/2,500の都市計画図から2m毎の等高線データを デジタル化しTINデータに変換した後、5mDEMデータ とした。高町団地と同様に問題となる崩壊や地すべり現 象を幅及び奥行き20m以上と想定し、1カラムが家屋一 戸の範囲にマッチするように計算カラムの大きさをdx、 dyともに5mとした。また、計算補助メッシュを2.5m として内挿補間して作成し解析に用いた。ところで,当 団地も旧谷底部では地下水の存在などが懸念されるが詳 細には把握されていないので,これは考慮しないことと した。揺れの方向については諸説があり,実際複雑な谷 形状の中では揺れの方向が一方向とならない可能性もあ る。なお,前節の高町団地での解析では常時のみでも地 震被害の予測に利用可能であると判断された。したがっ て,ここでの解析でも地震力を考慮しないで解析するこ ととした。採用した諸定数は日本地すべり学会でまとめ られた仙台市内の造成盛土での安定解析に用いる提案値 である¹⁴⁰。これは,仙台市内近辺で実施されてきた*N*値 などを参考としてまとめられたもので,これをもとに基 盤部を $\gamma_i = 18$ kN/m³, *C* = 100kPa, $\phi = 35^\circ$,盛土部を γ_i = 17kN/m³, *C* = 10kPa, $\phi = 30^\circ$ と設定した。

図-10に,これらの解析結果と被害状況を比較して示 す。鶴ヶ谷の場合,北部の北東に延びる旧谷底付近の盛 土部で地すべりや崩壊の様な災害が多発しており解析領 域でも4箇所で発生している。このうちの2箇所では Fs値は30以下で良く一致しており,残りの2箇所につ いてもFs値は70以下である。またその他の亀裂分布と 低Fs値の分布も概ね整合する。このように鶴ヶ谷団地 の結果からみて,地震時の振動方向や大きさが前もって 明らかでなくとも閾値を適正に設定すれば,危険箇所を 判定することができる。このように試行球面すべり面法 を用いての造成盛土斜面の危険度評価手法は簡便であり, かつ利便性の高い手法と考える。

4. まとめ

造成盛土斜面などでの地震時の危険度評価は,精度の 良い空間地形データさえ得られれば今回紹介したように 三次元試行球面すべり法による安定解析から有効な評価 結果を得ることが可能である。また,本手法では,判断 すべき基本単位の境界領域設定は必要とせず,試行球面 すべりのカラム最小安全率(Fs值)分布にて土地の危 険度を評価しうる。なお,高町団地での解析モデルでは 地震力を考慮した解析も実施している。このように簡易 RBSMではカラムに対して物体力として地震力を作用さ せることができるので,例えば地震力の作用方向があら かじめ想定されている場合,その方向にのみ選択的に地 震力を考慮して導入することが可能である。

もちろん、本解析を行う条件としては精度の良い切り 盛り地盤の座標データ、および地下水条件の整備を必要 とし、試験値を含めた強度設定が十分詰められているこ とが妥当性評価において重要である。とはいえ、実際の 試験値が十分でない場合でもこれまで実施してきた著者 らの解析事例からみて、粘着力(もしくはせん断力)に ついて造成盛土地盤と基盤岩の強度コントラストを10倍 以上に設定すれば、盛土斜面の危険度を相対的ではある が知ることも可能と判断している。

なお、本解析手法をもとにしてハザードマップ作成な



図ー10 鶴ヶ谷団地の被害とFs 値予測モデルの比較 Fig. 10 Real damage distributions of the Tsurugaya New town and the Fs value

どに利用する場合,災害地での被害状況の調査のみなら ず土質試験値を数多く実施し,より適正な物性値の設定 や閾値の設定に関する研究を積み重ねて行くことが重要 と考えている。また,地下水の安定に関わる問題や過剰 間隙水圧発生の問題も評価には重要なファクターである と考えられるので,これらの研究も積み重ねることが重 要と考える。

謝 辞

本研究の事例解析で用いた材料データの収集・吟味に おいて地すべり学会東北支部の検討専門メンバーである ㈱復建技術コンサルタントの奈倉弘氏,㈱テクノ長谷の 前田修吾氏,国土防災技術㈱の柴崎達也氏,堤調査事務 所の堤昭一氏の4氏には多大なご協力,ご支援を賜った。 また,現場踏査,GISデータ構築において東北学院大学 の林一成氏にも,多くのご支援をいただいた。ここに感 謝します。

参考文献

- 31) 釜井俊孝,守随治雄,笠原亮一,小林慶之 (2004):地震時に おける大規模宅地盛土斜面の不安定化予測,地すべり, Vol. 40, No. 5, pp. 29-39.
- 2) 釜井俊孝,守随治雄(2002):斜面防災都市,理工図書,200p.
- 3) 竹内則雄, 濱崎英作, 草深守人 (2003): 有限要素を用いた簡 易斜面安定解析, 日本計算工学会計算工学講演会論文集, Vol.8, No.2, pp.567-570.

- 4) 濱崎英作,竹内則雄,大西有三(2005):三次元斜面安定問題 に対する簡易離散化極限解析法の開発,地すべり,Vol.42, No.5, pp.9-17.
- 5)周国伝,江崎哲郎,謝謨文,三谷泰浩(2002):GISとモンテ カルロ法を用いた新しい三次元空間斜面安定解析方法の提案, 土と基礎, vol. 50, No. 5, pp. 23 – 25.
- 6)保坂長寿,大塚悟(2005):新潟県中越地震における宅地造成 地被害の調査・研究,平成16年度長岡技術大学防災設計工学 研究室研究概要集,http://bousai.nagaokaut.ac.jp/pages2/ summary/pdf/1608.pdf,4p.
- 7) (紛地盤工学会改訂編集委員会編(2004):地盤調査の方法と解 説,(紛地盤工学会,889p.
- 8)野崎保(1995):新潟県下における地すべり母岩の力学特性(後編).地すべり, Vol.32, No.2, pp.17-25.
- 9)野田節男,上部達夫,千葉忠樹 (1975):重力式岸壁の震度と 地盤加速度,港湾技術研究所報告,vol.14, No.4, pp.67-117.
- 10)東北大学理学部地質学古生物学教室(1979):1978年宮城県沖 地震に伴う地盤現象と災害について,東北大学理学部地質学 古生物学教室研究邦文報告, No. 80, pp.1-97.
- 国井隆弘, 荏本孝久(1978):1978年6月宮城県沖地震における墓石調査による最大加速度の推定,総合都市研究,第5号, pp.103-114.
- 12) (社日本建築学会編 (1980):1978年宮城県沖地震災害調査報告, (社)日本建築学会,908p.
- 13)田村俊和,阿部隆,宮城豊彦(1978):丘陵地の宅地造成と地 震被害-1978年宮城県沖地震の被害を例として-,総合都市 研究,第5号,pp.115-131.
- 14) (社日本地すべり学会編(2004):平成15年度 宮城県地すべり 地形の危険度評価手法開発及び危険度評価業務報告書・巻末 資料5,(社日本地すべり学会,162p. (原稿受付2006年4月14日,原稿受理2006年9月19日)