

StreetBlockage.py

シミュレーションモデル詳細

Contents

1	StreetBlockage.Soil	1
1.1	StreetBlockage.Soil.get_FL	1
1.2	StreetBlockage.Soil.get_PL	2
1.3	StreetBlockage.Soil.variogram_model	2
1.4	StreetBlockage.Soil.variogram_matrix_inv	2
2	StreetBlockage.CityObject	3
2.1	StreetBlockage.CityObject.get_pl	4
3	StreetBlockage.Bldg	4
3.1	StreetBlockage.Bldg.shaking	4
3.2	StreetBlockage.Bldg.liquefaction	5
3.3	StreetBlockage.Bldg.weak_axis_vector	5
3.4	StreetBlockage.Bldg.blocked_area	5
3.5	StreetBlockage.Bldg.debris_mass	6
4	StreetBlockage.Block	7
4.1	StreetBlockage.Block.shaking	7
4.2	StreetBlockage.Block.bldg	7
4.3	StreetBlockage.Block.blocked_area	8
4.4	StreetBlockage.Block.debris_mass	8
5	StreetBlockage.Pole	8
5.1	StreetBlockage.Pole.shaking	8
5.2	StreetBlockage.Pole.bldg	9
5.3	StreetBlockage.Pole.blocked_area	9
5.4	StreetBlockage.Pole.debris_mass	9
6	StreetBlockage.Road	9
6.1	StreetBlockage.Road.subsidence	9
7	StreetBlockage.Debris	11
8	StreetBlockage.RoadLink	11
8.1	StreetBlockage.RoadLink.blockage	11
9	StreetBlockage.TranNode	12
10	StreetBlockage.RoadNode	12
11	StreetBlockage.TranEdge	12
12	StreetBlockage.RoadEdge	12
13	StreetBlockage.BldgAccessEdge	12

14 StreetBlockage.TranGraph	12
14.1 StreetBlockage.TranGraph.dijkstra	13

1 StreetBlockage.Soil

土質情報

1.1 StreetBlockage.Soil.get_FL

液状化安全率 F_L 値の算出

1. 液状化判定対象土層の判定

液状化判定を要する土層を，地表面から 20 m 以浅であり細粒分含有率が $F_C < 35\%$ の土質の層とする．判定対象外の土層は以下の過程を省略し，安全率 $F_L = 1$ とする．

2. 深さ $z[\text{m}]$ における N 値の補正

各地表面からの深さ $z[\text{m}]$ における N 値を，次式によって深度やその他土質情報を考慮した補正 N 値 N_a へ変換する．

$$N_a = N_1 + \Delta N_f \quad (1)$$

$$N_1 = \sqrt{\frac{100}{\sigma'_z}} N \quad (2)$$

ここに， ΔN_f は補正 N 値増分であり，細粒分含有率 $F_C[\%]$ を用いて次式により求める．

$$\Delta N_f = \begin{cases} 0 & (F_C \leq 5) \\ 1.2 \cdot F_C - 6.0 & (5 < F_C \leq 10) \\ 0.2 \cdot F_C + 4.0 & (10 < F_C \leq 20) \\ 1.2 \cdot F_C - 6.0 & (F_C > 20) \end{cases} \quad (3)$$

さらに，50% 粒径 D_{50} の大きな土層については N 値に補正係数 C_{sb} を乗ずる．

3. 深さ $z[\text{m}]$ における液状化抵抗率 R の計算

液状化抵抗率 R は Tokimatsu & Yoshimi による次式から求める¹⁾．

$$R = 0.45 \cdot 0.57 \cdot \left[\frac{16\sqrt{N_a}}{100} + \left(\frac{16\sqrt{N_a}}{80} \right)^{14} \right] \quad (4)$$

4. 深さ $z[\text{m}]$ における等価な繰返しせん断応力比 L の計算

地震動により発生する等価な繰返しせん断応力比 L を次式から求める．

$$L = 0.1(M - 1) \frac{\alpha_{max}}{g} \frac{\sigma_z}{\sigma'_z} (1 - 0.015z) \quad (5)$$

ここに，

M : 地震のマグニチュード (7.5 と設定)

α_{max} : 地表面最大加速度

g : 重力加速度 (9.8 m/s²)

5. 深さ z [m] における各深さ地点における液状化安全率 F_L の計算
液状化安全率 F_L は次式で定める.

$$F_L = R/L \quad (6)$$

1.2 StreetBlockage.Soil.get_PL

P_L 値の算出

日本道路協会 (2017) による「道路橋示方書・同解説」における P_L 値の算出方法を用いる²⁾. 次式に示すように液状化の危険度を表す $(1 - F_L)$ を液状化判定対象土層に対して深さ z [m] に応じた重みをつけて積分する. なお, 液状化安全率 F_L が 1 を上回る土層は, $F_L = 1$ とする.

$$P_L = \int_0^{20} (1 - F_L)(10 - 0.5z) dz \quad (7)$$

1.3 StreetBlockage.Soil.variogram_model

クリギングによる空間補完の際のモデル化に用いる関数は, 式 8 に表した球形モデルを与える.

$$\gamma_m(h) = \begin{cases} c_0 + c \left(\frac{3h}{2a} - \frac{h^3}{2a^3} \right) & (0 < h < a) \\ c_0 + c & (h \geq a) \end{cases} \quad (8)$$

ここで, c_0 , a , c はそれぞれナゲット, レンジ, 部分シルである.

1.4 StreetBlockage.Soil.variogram_matrix_inv

P_L 値の空間補完

対象地区内とその周辺の P_L 値を対象地区全域に空間的に補完するため, Pokhrel et al. や梶原らの方法に倣い, 「通常クリギング」によりその分布を推定する³⁾⁴⁾. クリギングは以下の手順により行われる.

1. 経験セミバリオグラムの生成

経験バリオグラムとはデータの空間的距離と類似性の関係を示したものである. データのすべての 2 点 i, j 間において空間的距離 $h(i, j) = |\mathbf{r}(j) - \mathbf{r}(i)|$ と P_L 値の類似性 (セミバリアンス) $\gamma(i, j) = \frac{1}{2} (P_L(j) - P_L(i))^2$ を計算し, 適当な幅を持った距離の階級別に集計して階級 l における距離の平均 $h(l)$, セミバリアンスの平均 $\gamma(l)$ を得る. つまり $h(l)$, $\gamma(l)$ はそれぞれ次式で表現される.

$$h(l) = \frac{1}{N_C(l)} \sum_{(a,b) \in C(l)} |\mathbf{r}(b) - \mathbf{r}(a)| \quad (9)$$

$$\gamma(l) = \frac{1}{2N_C(l)} \sum_{(a,b) \in C(l)} (P_L(b) - P_L(a))^2 \quad (10)$$

ここで、 $C(l)$ は階級 l に含まれる二点の全組み合わせ、 $N_C(l)$ は $C(l)$ の個数を表す。これにより得られた距離 $h(l)$ 、セミバリエンス $\gamma(l)$ の関係が経験セミバリオグラムである。

2. 理論セミバリオグラムモデルへのフィッティング

経験セミバリオグラムに対して理論セミバリオグラム `StreetBlockage.Soil.variogram_model` へのモデル化を行う。経験セミバリオグラムと理論セミバリオグラムの残差の二乗和が可能な限り小さくなるようなナゲット c_0 、レンジ a 、部分シル c の値を最適化により求める。

3. バリオグラム行列の生成

全データ間に対して距離 $h(i, j) = |\mathbf{r}(j) - \mathbf{r}(i)|$ に対するセミバリエンス $\gamma(i, j) = \gamma_m(h)$ をフィッティングした理論セミバリオグラムによって計算し、下を示したバリオグラム行列を生成する。

$$\Gamma = \begin{bmatrix} \gamma(1,1) & \gamma(1,2) & \gamma(1,3) & \cdots & \gamma(1,n) \\ \gamma(2,1) & \gamma(2,2) & \gamma(2,3) & \cdots & \gamma(2,n) \\ \gamma(3,1) & \gamma(3,2) & \gamma(3,3) & \cdots & \gamma(3,n) \\ \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \gamma(n,1) & \gamma(n,2) & \gamma(n,3) & \cdots & \gamma(n,n) \end{bmatrix} \quad (11)$$

クリギング計算に使用するため、拡張したバリオグラム行列を次式のように用意し、この逆行列を求める。

$$\Gamma^* = \begin{bmatrix} \gamma(1,1) & \gamma(1,2) & \gamma(1,3) & \cdots & \gamma(1,n) & 1 \\ \gamma(2,1) & \gamma(2,2) & \gamma(2,3) & \cdots & \gamma(2,n) & 1 \\ \gamma(3,1) & \gamma(3,2) & \gamma(3,3) & \cdots & \gamma(3,n) & 1 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots & \vdots \\ \gamma(n,1) & \gamma(n,2) & \gamma(n,3) & \cdots & \gamma(n,n) & 1 \\ 1 & 1 & 1 & \cdots & 1 & 0 \end{bmatrix} \quad (12)$$

2 StreetBlockage.CityObject

市街地の構造物モデル

2.1 StreetBlockage.CityObject.get_pl

構造物の位置における P_L 値の算出

クリギング方程式を解くことで P_L 値を算出する．構造物の地点 0 における既知点 i との間のセミバリアンス $\gamma(i, 0)$ を、フィッティングした理論セミバリオグラムを用いて全既知点に対して計算し、 i 地点のデータの重み ω_i を求める．重み ω_i の制約として、この総和が 1 となるうえで、推定値と真値の二乗誤差の平均が最小となる条件を求めることとなる．ここで、 $\omega_1, \omega_2, \dots, \omega_n$ について解くためのクリギング方程式は、バリオグラム行列 Γ を拡張したものを用いて次式に表される．

$$\begin{bmatrix} \gamma(1,1) & \gamma(1,2) & \gamma(1,3) & \cdots & \gamma(1,n) & 1 \\ \gamma(2,1) & \gamma(2,2) & \gamma(2,3) & \cdots & \gamma(2,n) & 1 \\ \gamma(3,1) & \gamma(3,2) & \gamma(3,3) & \cdots & \gamma(3,n) & 1 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots & \vdots \\ \gamma(n,1) & \gamma(n,2) & \gamma(n,3) & \cdots & \gamma(n,n) & 1 \\ 1 & 1 & 1 & \cdots & 1 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \omega_1 \\ \omega_2 \\ \omega_3 \\ \vdots \\ \omega_n \\ \mu \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \gamma(1,0) \\ \gamma(2,0) \\ \gamma(3,0) \\ \vdots \\ \gamma(n,0) \\ 1 \end{bmatrix} \quad (13)$$

この方程式の両辺に左から拡張されたバリオグラム行列の逆行列を乗することで各既知データの重み ω_i が求められる．つまり、推定値 $P_L(0)$ は次式のように得られる．

$$P_L(0) = \sum_{i=1}^n \omega_i P_L(i) \quad (14)$$

3 StreetBlockage.Bldg

建物モデル

3.1 StreetBlockage.Bldg.shaking

地震動による建物倒壊モデル

各建物に対して建築年代と構造種別から建物全壊率を算出し、乱数によって全壊の判定を行う．地表面最大速度 $PGV[\text{cm/s}]$ における建物倒壊確率 $P_{bldg,shaking}(PGV)$ は、対数正規分布の累積確率分布関数 Φ により次式で表される．

$$P_{bldg,shaking}(PGV) = \Phi((\ln(PGV) - \lambda)/\xi) \quad (15)$$

ここで λ, ξ はそれぞれ $\ln(PGV)$ の平均値、標準偏差であり、木造建築については鳥澤らによる 2016 年熊本地震による値⁵⁾、鉄筋コンクリート造と鉄骨造については村尾・山崎による 1995 年兵庫県南部地震による値⁶⁾ を使用している．Table1 に使用した建物被害関数の回帰係数 λ, ξ の値を示す．

Table 1: 建物被害関数の回帰係数 ⁵⁾⁶⁾

構造種別	建築年代	λ	ξ	構造種別	建築年代	λ	ξ
木造	～ 1971	4.96	0.44	鉄筋コンクリート造	～ 1971	5.12	0.646
	1972 ～ 1981	5.16	0.50		1972 ～ 1981	5.33	0.575
	1982 ～ 1990	5.41	0.55		1982 ～	6.00	0.789
	1991 ～ 2000	5.83	0.72	鉄骨造	～ 1971	4.64	0.619
	2000 ～	6.09	0.72		1972 ～ 1981	4.97	0.490
					1982 ～	5.64	0.731

3.2 StreetBlockage.Bldg.liquefaction

液状化による建物倒壊モデル

木造建築を対象とし、若松や山本らの手法により建築年代と建物平面の図心における P_L 値から建物全壊率を算出し、乱数によって全壊の判定を行う ⁷⁾⁸⁾。液状化による建物全壊率 $P_{bldg,liquefaction}$ は内閣府防災担当による 2005 年の被害推定手法に従って、Table2 と Table3 に示した液状化面積率 α と液状化による木造住宅の全壊率 β から、式 16 により設定する ⁹⁾。

$$P_{bldg,liquefaction} = \alpha \times \beta \quad (16)$$

Table 2: 液状化面積率の設定 ⁹⁾

P_L 値	液状化面積率
$P_L > 15.0$	18%
$5.0 < P_L \leq 15.0$	5%
$0 < P_L \leq 5.0$	2%
$P_L = 0$	0%

Table 3: 木造建物全壊率の設定 ⁹⁾

建築年代	木造建物全壊率
1960 年以前	13.3%
1961 年以降	9.6%

3.3 StreetBlockage.Bldg.weak_axis_vector

弱軸方向の決定

3.4 StreetBlockage.Bldg.blocked_area

建物倒壊による瓦礫流出モデル

瓦礫流出方向 阪田・寺木による瓦礫流出範囲生成方法を参考に提案した、「瓦礫流出方向」と「(最大・最小) 瓦礫流出幅」を設定する瓦礫流出モデルである ¹⁰⁾。倒壊戸数が多いと予想される木造の建物に対してより適切と考えられる倒壊方向で安全側に考慮したものを Figure1 に示すように以下の手順によって定める。

1. 建物の平面ポリゴンに対して断面二次モーメント I を計算し、最も値が小さくなる軸を検索する

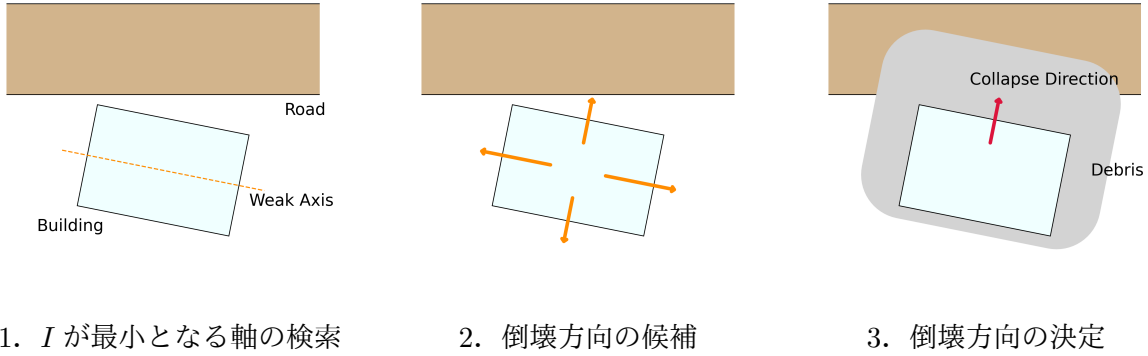


Figure 1: 建物倒壊による瓦礫流出方向の決定方法

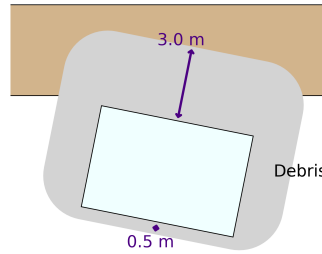


Figure 2: 建物倒壊による瓦礫流出幅

2. I が最小値をとった方向と直角に交わる全 4 方向を倒壊方向の候補とする
3. 倒壊方向の候補のうち、倒壊時に最も道路を閉塞させる方向をその建築の倒壊方向に決定する

瓦礫流出幅 建物によらず最大瓦礫流出幅を $W = 3.0 \text{ m}$ と固定し、その反対方向に最小瓦礫流出幅 $w = 0.5 \text{ m}$ 設定している。これにより生成される瓦礫の分布は Figure2 に示すような形状となる。

瓦礫流出範囲生成 設定した瓦礫流出方向 θ ・最大瓦礫流出幅 W ，最小瓦礫流出幅 w をもとに Figure3 に示すように、以下の手順によって方向性をもった瓦礫流出範囲を生成している。

1. 建物のまわりに一様に幅 $\frac{W+w}{2}$ のバッファを作る
2. バッファの輪郭線を取り出し、 θ の方向に長さ $\frac{W-w}{2}$ だけ平行移動する

3.5 StreetBlockage.Bldg.debris_mass

建物倒壊による瓦礫発生量

島岡が示している値をもとに、建物全壊時の床面積あたりの瓦礫発生量を、構造種別によって材質ごとに Table4 のように与える¹¹⁾。半壊時は全壊時の半分の量だけ瓦礫が発生すると仮定する。



1. 一様分布のバッファの作成

2. 瓦礫バッファの平行移動

Figure 3: 建物倒壊による瓦礫流出範囲の生成方法

Table 4: 建物瓦礫の原単位 [kg/m^2]
(島岡による表を参考に作成¹¹⁾)

	廃木材	コンクリートがら	金属くず	その他可燃	その他不燃
木造	76.3	84.4	7.79	17.8	126
鉄筋コンクリート造	19.0	1026	39.0	0.343	2.43
鉄骨造	204	566	27.0	0.403	2.87

4 StreetBlockage.Block

ブロック塀モデル

4.1 StreetBlockage.Block.shaking

地震動によるブロック塀倒壊モデル

すべてのブロック塀に対して一律に倒壊確率を与え、乱数により倒壊判定を行う。地表面最大加速度 $PGA[\text{cm}/\text{s}^2]$ における倒壊確率 $P_{block,shaking}(PGA)$ を望月・荏本が示している、1978 年宮城県沖地震の被害調査をもとに提案された推定式 17 により求める¹²⁾。

$$P_{block,shaking}(PGA) = -0.126 + 0.00070 \cdot (PGA) \quad (17)$$

4.2 StreetBlockage.Block.bldg

建物の倒壊によるブロック塀倒壊モデル

建物による瓦礫の流出範囲内のブロック塀は必ず倒壊すると仮定し、次式のように倒壊率を 1 と設定する。

$$\text{建物による瓦礫流出範囲内のブロック塀について } P_{block,debris} = 1 \quad (18)$$

4.3 StreetBlockage.Block.blocked_area

ブロック塀倒壊による瓦礫流出モデル

ブロック塀が基礎ごと円弧を描くように倒壊する様子を想定し，Figure4に示すように道路が隣接している方向にブロック塀の高さ h_{block} 分だけ瓦礫が広がると設定している．

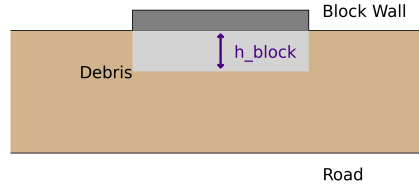


Figure 4: ブロック塀倒壊による瓦礫流出範囲

4.4 StreetBlockage.Block.debris_mass

ブロック塀倒壊による瓦礫発生量

コンクリートブロックを長さ 390 mm，高さ 190 mm と仮定し，コンクリートブロック一個あたりの重量を 13 kg として計算する．

5 StreetBlockage.Pole

電柱モデル

5.1 StreetBlockage.Pole.shaking

地震動による電柱倒壊モデル

阪神・淡路大震災の被害実態に基づき，震度 5 以上の各震度階における電柱折損率は Table5 のように想定されている¹³⁾．これをもとに，地震動による電柱倒壊確率 $P_{pole,shaking}$ をと定める．

Table 5: 地震動による電柱折損率

震度階	電柱折損率
震度 7 以上	0.8%
震度 6 以上	0.056%
震度 5 以上	0.00005%

5.2 StreetBlockage.Pole.bldg

建物の倒壊による電柱倒壊モデル

想定領域内の建物倒壊によるマクロな電柱折損率の想定式は、阪神・淡路大震災の被害実態に基づいて建物全壊率（木造建物全壊数/木造建物総数）の0.17155倍と設定されている¹³⁾。これを建物の倒壊による荷重を受けた電柱に対する倒壊率と読み替えて、建物倒壊による電柱倒壊確率 $P_{pole,debris}$ を次式のように定める。

$$\text{建物による瓦礫流出範囲内の電柱について } P_{pole,debris} = 0.17155 \quad (19)$$

5.3 StreetBlockage.Pole.blocked_area

電柱倒壊の影響範囲設定

Figure5に示すように、電柱の高さを h_{pole} としたとき、倒壊した電柱の根本から周囲に半径 h_{pole} の円内を電柱倒壊の影響を受ける範囲と設定している。

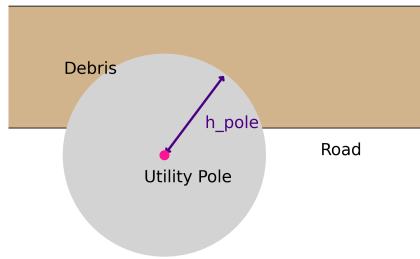


Figure 5: 電柱倒壊の影響範囲

5.4 StreetBlockage.Pole.debris_mass

電柱倒壊による瓦礫発生量

本柱を一本当たり 1000 kg，小柱と支線柱を一本当たり 500 kg と設定する。

6 StreetBlockage.Road

道路モデル

6.1 StreetBlockage.Road.subsidence

液状化による道路沈下モデル

須山らは液状化被害に関係する要因として道路舗装・路盤層厚に着目し、舗装・路盤層の薄い生活道路と厚い幹線道路では道路沈下量の平均とばらつきに違いがみられることを示している¹⁴⁾。梶原らは舗装・路盤厚を 65 cm 未満, 65 cm 以上 90 cm 以下, 115 cm と分類して Figure6 のように道路沈下量と P_L 値の関係を示している⁴⁾。また、梶原らは、生活道路を道路路盤・舗装厚 65 cm 未満, 市道の幹線道路を 65 cm 以上 90 cm 以下, 県道・国道を 115 cm の道路と設定して舗装・路盤厚の情報のない道路を分類して道路沈下量の推定を行っている⁴⁾。村上らは道路沈下量が 30 cm 以上のとき道路が噴砂・地下水により埋没して通行不可となるとし、道路閉塞と判定している¹⁵⁾。

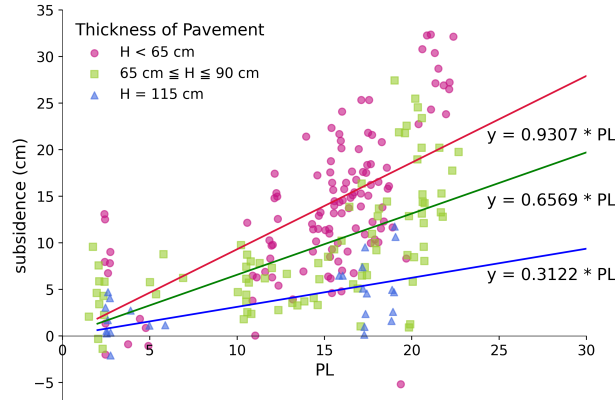


Figure 6: 道路沈下量と P_L 値の関係
(梶原らの図より引用・一部改変⁴⁾)

本モデルでは以上の知見をもとに乱数を用いてばらつきを考慮した道路沈下量を設定して道路閉塞の判定を行う。詳細を以下に示す。

1. ばらつきを考慮した P_L 値と道路沈下量の関係

Figure6より各舗装・路盤厚の分類に対して P_L 値と道路沈下量の回帰式を用いる。自然対数に変換した道路沈下量と回帰式の残差の標準偏差 σ を Table6に示す。ただし、沈下量が 0 cm 以下となる（つまり隆起している）値については沈下量を便宜上 0.1 cm として標準偏差を求めている。

Table 6: 舗装・路盤厚に対する P_L 値と道路沈下量の回帰式⁴⁾ とばらつき

舗装・路盤厚 H [cm]	回帰式 $f(P_L)$	σ
$H < 65$	$f(P_L) = 0.9307 \cdot P_L$	1.026
$65 \leq H \leq 90$	$f(P_L) = 0.6569 \cdot P_L$	0.897
$H = 115$	$f(P_L) = 0.3122 \cdot P_L$	1.206

2. 舗装・路盤厚の設定

主要道路 (type : 1) を 115 cm, 生活道路 (type : 0) を 65 cm 未満と設定する

3. 乱数を用いた道路沈下量の設定

各道路における P_L 値に対して乱数 Z を平均値 0, 標準偏差 σ の正規分布から生成し, Table6に示した回帰式 $f(P_L)$ を用いて次式により道路沈下量 S [cm] を算出する

$$S = f(P_L) \cdot e^Z \quad (20)$$

4. 道路閉塞判定

沈下量 30 cm 以上の道路は完全に閉塞すると設定する

7 StreetBlockage.Debris

瓦礫モデル

8 StreetBlockage.RoadLink

道路リンクモデル

8.1 StreetBlockage.RoadLink.blockage

道路閉塞モデル

道路の平面ポリゴンから、建物・ブロック塀の瓦礫流出範囲、電柱倒壊の影響範囲に相当するポリゴンをブーリアン演算により取り除いてその差を取得し、Figure7に示すように、残った部分の道路幅を計測する。道路幅の計測は予め設定した 0.75 m 以下の長さに分割した区間ごとに、その区間がもつ道路の方きに対して垂直方向に計測する。この区間ごとに道路幅の最小値を取得し、それぞれ得られた道路幅により閉塞評価を行う。

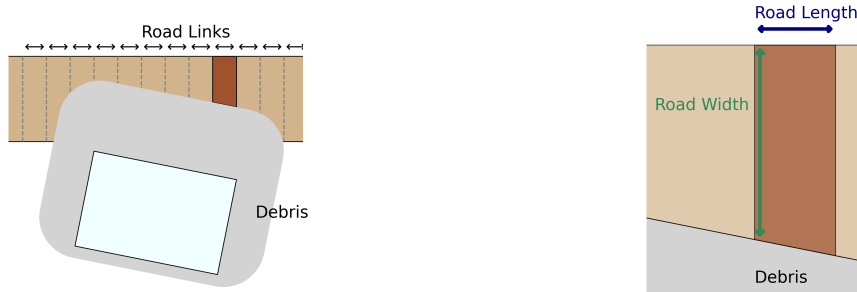


Figure 7: 道路幅計測方法

閉塞判定の基準は Table7に示した 3 段階のレベルを設けて行い、国土交通省 (2001) による『まちづくりにおける防災評価・対策技術の開発』報告書を参考に想定交通手段に対する通行不能となる幅員の値を設定する¹⁶⁾。ここで、道路幅員が 3.0 m 以下のときはレベル I 閉塞、2.0 m 以下のときはレベル II 閉塞、0.75 m 以下のときはレベル III 閉塞の状態にあると定義する。道路沈下による道路閉塞は必ずレベル III 閉塞となる。

Table 7: 道路幅員に対する閉塞評価
(国土交通省による基準を一部引用し作成¹⁶⁾)

	閉塞レベル		
	I	II	III
閉塞と判定される幅員	3.0 m 以下	2.0 m 以下	0.75 m 以下
通行不能な移動手段	大型車 (消防車, レスキュー隊用の車両)	小型車 (救急車)	徒歩

9 StreetBlockage.TranNode

10 StreetBlockage.RoadNode

11 StreetBlockage.TranEdge

12 StreetBlockage.RoadEdge

車両が通行する速度を消防車あるいはホースカーを想定し、通行可能な幅員に応じて Table8 のように仮定する。狹隘道路の通行速度については清水らによる関係式をもとに設定している¹⁷⁾。

Table 8: 車両通行速度¹⁷⁾

幅員 w [m]	速度 v [km/h]	設定根拠
$w < 1.0$	通行不能	ホースカーの通行限界幅員を下回るため
$1.0 \leq w < 3.0$	$v = 3.0$	ホースカーの運搬速度を想定
$3.0 \leq w < 6.6$	$v = 6.6 + 2.8 \cdot w$	清水ら ¹⁷⁾ による関係式
$6.6 \leq w < 12.0$	$v = 25.0$	生活道路での走行速度を想定
$w \geq 12.0$	$v = 40.0$	幹線道路の走行速度を想定

通行速度 v [km/h] とエッジの長さ l [m] からエッジの重み $weight$ [s] を次式により設定する。

$$weight = 3.6 \cdot \frac{l}{v} \quad (21)$$

13 StreetBlockage.BldgAccessEdge

終点である建物と隣接する道路ノードに重み 0 の仮想エッジを設定する。

14 StreetBlockage.TranGraph

道路のノード同士を接続する道路リンクに加え、起点とノード、終点（各建物）とノードとの接続を行い（以降これらをまとめて「エッジ」と記す）、各エッジに通行所要時間を与えてこれにより経路グラフを生成する。エッジの種別により以下のように通行所要時間を与え、これを「エッジの重み」とする。

14.1 StreetBlockage.TranGraph.dijkstra

最短経路探索

Dijkstra 法により重みが最小となる経路を探索し、この経路におけるエッジの重みの合計を到達所要時間として評価する。以下、起点からあるエッジを経由してノードに到達するために要する重みの合計を「起点からの距離」と呼び、重みが最小となる経路を「最短経路」と称する。Dijkstra 法は以下の手順により行われる。

初期化

- 各ノード ($node$) に対して、起点 ($start$) からの最短距離を記録するデータ配列 d を用意する。初期状態では起点に対して $d(start) = 0$ 、その他の全てのノードについて未訪問なので $d(node) = \infty, (node \neq start)$ と設定する。
- 訪問済みノード ($node$) に対して、直前ノードからの移動履歴（移動元のノード名・通過したエッジ名）を保存するための配列 $prev$ を用意する。初期状態では空である。
- 訪問すべきノード ($node$) に対して、起点からの距離を短い順に並べた優先度付き配列 Q を用意する。初期状態では要素は起点のみである ($Q = \{start\}$)。

探索計算 配列 Q が空になるまで、起点からの距離が最小のノード $u \in Q$ を順に取り出して以下の操作を行う。

- u が終点であるかどうかの判定：終点であれば経路復元のセクションへ移行し、終点でなければ続く操作を行う。
- u に隣接するノードの集合 V の、各要素のノード $v \in V$ に対して以下の操作を行う。
 - 起点からの距離 $l(v)$ の計算： $l(v) = d(u) + \text{weight}(\text{edge}(u, v))$ （ただし、 $\text{weight}(\text{edge}(u, v))$ はノード u, v を結ぶエッジ $\text{edge}(u, v)$ の重み）
 - 起点からの距離 $l(v)$ が $l(v) < d(v)$ であれば以下の操作を行う。
 - * 最短距離の記録 $d(v)$ の更新： $d(v) \leftarrow l(v)$
 - * 移動履歴 $prev(v)$ の更新： $prev(v) = (u, \text{edge}(u, v))$
 - * 配列 Q への要素 v の追加
- 配列 Q から要素 u を取り除く

終了条件

- u が終点と一致したとき：最短経路の決定
- 配列 Q が空になったとき：有限距離の経路が存在しない

経路復元 最短経路が見つかった場合、終点から移動履歴 $prev(u)$ によって前のノード名を逆にたどることで経路の復元を行い、通過したノードとエッジを取得する。

References

- [1] Kohji Tokimatsu and Yoshiaki Yoshimi. Empirical correlation of soil liquefaction based on spt n-value and fines content. Soils and Foundations, 23(4):56–74, December 1983.
- [2] 公益社団法人日本道路協会. 道路橋示方書・同解説, volume 5(耐震設計編). 丸善, 2017.
- [3] RM Pokhrel, T Kiyota, and K Kajihara. Contribution of geostatistical technique to investigate the spatial variation of liquefaction potential in urayasu city, japan. In Proc. of 6th International Conference on Earthquake Geotechnical Engineering, PaperID, volume 525, 2015.
- [4] 梶原和博, 清田隆, and 小長井一男. 液状化による道路沈下量と pl 値の関係に基づく新たな液状化危険度マップの構築. 土木学会論文集 A1 (構造・地震工学), 72(4):I-234–I-240, 2016.
- [5] Kazuaki TORISAWA, Masashi MATSUOKA, Kei HORIE, Munenari INOBUCHI, and Fumio YAMAZAKI. Building fragility curves based on disaster-victim certificate data of multiple local governments covering a wide range of seismic motion in the 2016 kumamoto earthquake. Journal of Japan Association for Earthquake Engineering, 21(5):5-98–5-118, 2021.
- [6] Osamu MURAO and Fumio YAMAZAKI. Development of fragility curves for buildings based on damage survey data of a local government after the 1995 hyogoken-nanbu earthquake. Journal of Structural and Construction Engineering (Transactions of AIJ), 65(527):189–196, 2000.
- [7] 若松加寿江. 首都直下地震による液状化の発生と被害. 地学雑誌, 116(3/4):480–489, 2007.
- [8] 山本明夫, 小丸安史, 吉村昌宏, and 山口亮. 微地形区分データを用いた広域の液状化危険度と液状化による建物被害率の予測に関する研究. 地域安全学会論文集, 11:275–285, 2009.
- [9] 内閣府防災担当. 首都直下地震に係る被害想定手法について. <https://www.bousai.go.jp/kaigirep/chuobou/senmon/shutochokkajishinsenmon/15/pdf/shiryoku3.pdf>, 2005. (Accessed on 11/6/2024).
- [10] 阪田知彦 and 寺木彰浩. 瓦礫流出の方向を考慮した道路閉塞シミュレーションの検討. 地域安全学会梗概集, (25):33–36, 2009.
- [11] 島岡隆行. 廃棄物資源循環学会シリーズ 3 災害廃棄物. 中央法規, March 2009.
- [12] 望月利男 and 荏本孝久. 建築物および付帯施設の被害想定手法. 総合都市研究, 38:25–50, 1989.
- [13] 東京都総務局総合防災部防災計画課. 首都直下地震等による東京の被害想定 (令和 4 年 5 月 25 日公表). <https://www.bousai.metro.tokyo.lg.jp/taisaku/torikumi/1000902/1021571.html>. (Accessed on 11/5/2024).
- [14] 須山翔太, 清田隆, and 小長井一男. 液状化による道路構造の被害に影響する要因分析. 生産研究, 64(6):859–864, 2012.
- [15] 村上啓介, 前原翔太, and 椎葉倫久. 浸水域の時間的広がりや地盤の液状化を考慮した津波避難困難エリアの抽出に関する研究. 土木学会論文集 B3 (海洋開発), 71(2):I-707–I-712, 2015.
- [16] 国土交通省. 市街地火災及びアクティビティ・シミュレーションプログラムについて. <https://www.nilim.go.jp/lab/jdg/result.htm>, 2001. (Accessed on 11/16/2024).

-
- [17] Kazuhiro SHIMIZU, Toshiyuki OKAMURA, Fumihiko NAKAMURA, and Rui WANG. A study of the influence of street and street-side characteristics on driving speeds in residential areas. Journal of Japan Society of Civil Engineers, Ser. D3 (Infrastructure Planning and Management), 68(5):I_1237–I_1242, 2012.