

道路液状化ハザードマップの高度化

わたなべ ただし なかじま のぞむ
渡辺 正¹・中島 望¹

¹ (株) オリエンタルコンサルタンツ関東支社 (〒151-0071 東京都渋谷区本町3-12-1)

本研究は、今後30年以内に70%の確率で発生するとされている首都直下地震等の大規模地震災害時において、人命救助や物資輸送に重要な役割を担う道路の機能維持を目的として、道路防災対策のうち液状化対策に資する基礎資料を作成することを目的に、新たな道路液状化ハザードマップ作成とその活用方法について研究したものである。

液状化による道路の被害想定は既往の被害事例を基にした道路沈下量・段差量とPL値との相関関係式を用いている。道路の被害想定結果に応じた車両の通行可否と管理者の復旧能力に基づき、液状化対策方針を定めることが可能となる。

Key Words : 大規模地震, 道路液状化, ハザードマップ, 被害想定, 液状化対策方針

1. はじめに

平成23年東北太平洋沖地震や平成28年熊本地震では、液状化に伴う道路の地盤沈下や橋梁部での段差被害により、緊急輸送道路や避難経路として十分に役割を果たせなかった道路があった。道路の液状化被害は、地震直後の救命活動を妨げるだけでなく、震災復興を遅らせる原因ともなるため、液状化による被害箇所と被害規模を想定し、限られた予算で効果的かつ効果的に対策を実施することが大規模地震発生時にも道路機能を継続して維持する上で重要な取り組みであると言える。

そこで、本研究では今後の道路液状化対策に資する道路専用の液状化ハザードマップ作成手法とその活用方法を検討した。

2. 道路管理上の液状化ハザードマップの課題

従来の液状化ハザードマップは、液状化発生の危険度をエリアごとに色分けして示したものが多く、道路の具体的な被害箇所と被害規模を把握するには情報が不足しており、道路液状化対策の計画・事業化が困難な資料となっている。道路の液状化被害をより具体的に把握するには、液状化による道路被害に着目した被害想定手法を用いて、被害想定結果を道路網に落とし込んだハザードマップとして表現することが課題となる。従来のハザードマップの例として、江東区を対象に東京都の液状化予測図平成24年度改訂版（東京都建設局東京都土木技術支援・人材育成センター）を図-1に示す。



図-1 東京都の液状化予測図平成24年度改訂版より

3. 道路液状化ハザードマップの高度化

(1) 道路液状化被害想定手法

被害想定手法は、平坦な道路における沈下量と盛土区間における橋台背面の発生段差量を対象とし、平成23年東北太平洋沖地震での被害事例を基に道路沈下量・段差量と液状化指数PL値との相関関係式を求める手法とした。

平坦道路の沈下量は、千葉県浦安市内251地点でPL値と道路沈下量を抽出し、さらに舗装厚ごとに傾向を整理した関係式¹⁾より求める。

$$y = \begin{cases} 0.9307 \cdot PL & (H < 65) \\ 0.6569 \cdot PL & (65 \leq H \leq 90) \\ 0.3122 \cdot PL & (H = 115) \end{cases} \quad (1)$$

ここに、yは想定道路沈下量(cm)，PLは液状化指数，Hは舗装厚(cm)である。

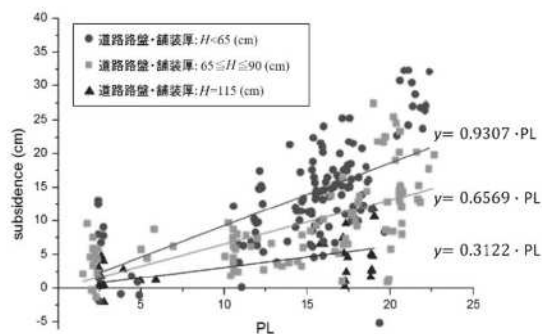


図-2 道路の平均沈下量とPL値の関係

盛土区間における橋台背面の発生段差量は、関東地方整備局常陸河川国道事務所管内での緊急点検結果から25箇所、の段差箇所よりPL値と盛土高に対する沈下率の関係式²⁾より求める。

$$y = 0.0776 \cdot PL + 0.3238 \quad (2)$$

ここに、yは沈下率，PLは液状化指数である。

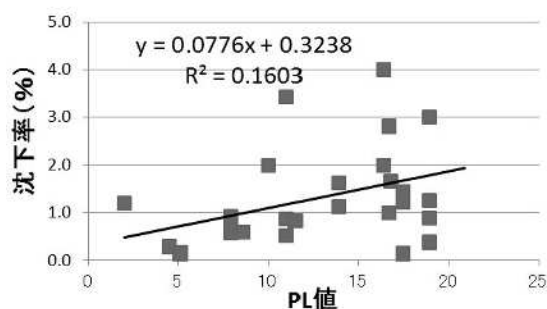


図-3 橋台背面の盛土高に対する沈下率とPL値の関係

被害想定に係る関係式(1)，(2)いずれも想定手法の特徴は、道路液状化ハザードマップを作成するにあたって比較的入手が容易な既往資料を用いて簡易に実施できるところにある。平坦な道路であれば道路舗装厚，橋台背面であれば盛土高が把握できれば従来のハザードマップで利用されている液状化指数PL値との相関から被害想定が可能となる。

(2) 道路液状化ハザードマップの作成

本研究では、図-1に示した江東区の範囲を対象にESRI社のArcGISを使用して道路液状化ハザードマップの作成を実施した。江東区の道路は平坦道路として扱う。作成するのに収集した基礎資料を表-1に示す。東京都の液状化予測図では液状化指数PL値の詳細データまでは公開されていないため、江東区で公開されているボーリングデータを用いて液状化判定から実施している。その他、道路液状化ハザードマップ作成に必要な道路舗装厚情報も江東区公開データを使用した。

表-1 収集資料一覧

項目	入手先	備考
背景地図	国土地理院	淡色地図
道路網	江東区ホームページ	道路番号図
舗装厚		舗装種別図
ボーリング		柱状図

(3) 基礎資料作成

a) 道路データ作成

都道等幹線道路に関しては国土地理院地図を基にArcGISでポリラインデータを作成した。区道に関しては江東区ホームページ内の道路番号図をダウンロードし、ArcGIS上で重ね合わせてポリラインデータを作成した。道路データの作成状況を図-4に示す。



図-4 道路データ作成状況

b) 舗装厚データの属性付与

a)で作成した道路のポリラインデータ全てに関して舗装厚データを属性として付与する。都道は舗装厚70cm，区道は江東区ホームページ内の道路舗装種別図より60cm，55cm，40cmの3種別とした。舗装厚の属性付与状況を図-5に示す。



図-5 舗装厚データの属性付与状況

c) ボーリングデータの作成

ボーリングデータに関しては江東区ホームページ内の江東区建築情報閲覧システムのボーリン

グ柱状図マップを基にGIS上にポイントデータで作成した。ボーリング位置のポイントデータ作成状況を図-6に示す。

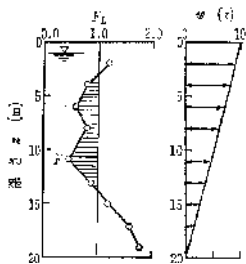


図-6 ボーリングデータ作成状況

(5) 液状化指数PL値の算定

液状化指数PL値は、式(3)により算定した。PL値とは、地表面から深さ20mまでの深さ毎の液状化に対する抵抗率FLを集計した値である。FLは道路橋示方書・同解説V耐震設計編H24.3³⁾の式(8.2.1)～(8.2.5)により算定した。FLの算定にあたっては、各地層の細粒含有率FCが必要となるが、江東区建築情報閲覧システムは柱状図のみの公開であり粒度試験等の結果が不明であるため、道路橋示方書・同解説V耐震設計編H14.3⁴⁾参考資料6.液状化の判定法に関する資料p357に示される概略値を用いた。また、設計水平震度はボーリングデータごとの地盤種別に応じてI種地盤は $k_{hgL0}=0.80$ 、II種地盤は $k_{hgL0}=0.70$ 、III種地盤は $k_{hgL0}=0.60$ を用いた。

$$P_L = \int_0^{20} F_L \cdot w(z) dz \quad (3)$$



$$F_L = R/L \quad (8.2.1)$$

$$R = c_p R_L \quad (8.2.2)$$

$$L = r_d k_{hgL} \sigma_v / \sigma_v' \quad (8.2.3)$$

$$r_d = 1.0 - 0.015x \quad (8.2.4)$$

$$k_{hgL} = c_z k_{hgL0} \quad (8.2.5)$$

(6) GISによる道路沈下量の解析

a) PL値の空間補完

道路沈下量はPL値と舗装厚の相関により求められるが、ボーリングデータは点の情報であり道路との重ね合わせに適さない。そこで、点情報を空間補完して面的な分布に返還し、道路と重ね合わせが可能な状態にする。ここでは、空間補完手法にクリギング処理を用いた。クリギングとは、地質学の分野で発達してきた高度な地球統計学的手法で、データの空間的自己相関を考慮した統計的モデルに基づいて空間補完を行う手法である。

サンプルポイント同士の空間的な配置を考慮することが可能で、サンプルポイントが空間的な自己相関を持ち、距離または方向の偏りがあるPL値の空間分布の推定に適した手法である。クリギングでは、最初にサンプルポイントの空間的な自己相関をセミバリオグラムから推定し、次にサーフェスの値の推定を行う。図-7にクリギングしたPL値分布を示す。

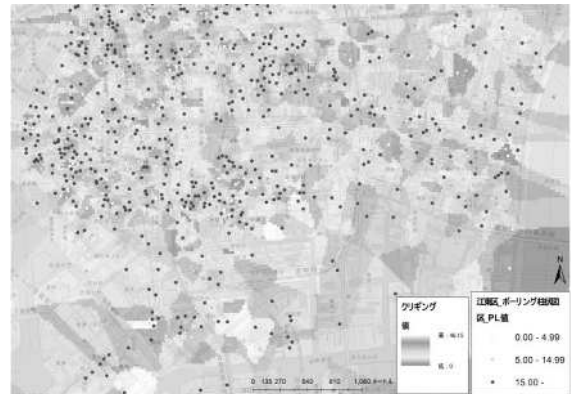


図-7 江東区のPL値分布

b) 道路へのPL値属性付与

道路のポリラインデータにPL値を属性として追加するため、PL値分布をポリゴンへ変換処理を行う。道路のポリラインをPL値分布の境界で切断(インターセクト)し、道路属性にPL値を追加した。道路ポリラインとPL分布の重ね合わせを図-8に、道路へのPL値属性付与状況を図-9に示す。



図-8 道路ポリラインとPL分布の重ね合わせ



図-9 道路のPL値属性付与状況

c) 道路沈下量の算定

道路の属性にPL値と舗装厚が追加された状態で式(1)の演算処理を行い、予測沈下量を算出する。道路液状化ハザードマップとして予測沈下量を表示した状態を図-10に、下図を航空写真とした状態を図-11に示す。



図-10 道路液状化ハザードマップ



図-11 道路液状化ハザードマップ

4. 道路液状化ハザードマップの活用

本研究の道路液状化ハザードマップは、被害規模が沈下量という指標で明らかになり、被害箇所も具体化される。交差している道路の沈下量の差分、または横断構造物がある箇所では構造物基礎がある状態であれば沈下量そのまま段差量として捉えられる。被害想定を定量的に示すことで、道路の液状化対策方針が策定可能となる。具体的には、地震発生後の道路機能維持を目的とした場合、想定段差量が車両通行に影響が無い規模であれば対策不要と判断可能で、真に必要な箇所に絞って事前対策すれば良いということになる。車両通行に影響が無い規模とは、既往の段差走行試験結果⁵⁾より段差20cm未満である。また、道路管理者の復旧能力が十分な場合で、例えば1両日中に複数箇所の段差復旧が40cmまで可能であれば、事前対策箇所の優先箇所がさらに絞り込み可能となる。

このように、道路液状化ハザードマップを作成して道路被害を具体化することで、ハードによる事前対策、復旧体制による事後対策の対策方針が道路管

理者の実情に合わせて作成することが可能となる。

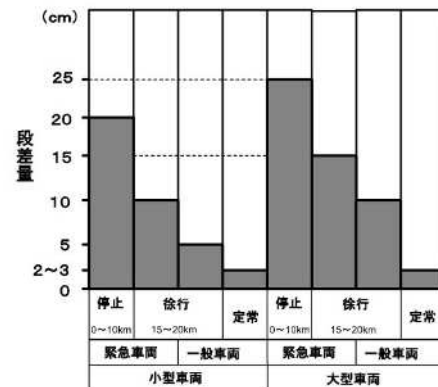


図-12 車両の段差走行性能

表-2 液状化対策方針

段差量	対策方針	対策工(案)
20cm未満	事後対策	応急復旧
20cm~40cm	事前対策	路盤安定処理
40cm超え		地盤改良

5. 今後の課題と展望

被害想定手法は事例に基づくため、被害想定精度向上にはデータの蓄積が必要となる。本研究の道路液状化ハザードマップは液状化対策の要否、優先度検討に有効な基礎資料となる。多くの道路管理者、自治体に採用頂けるよう建設コンサルタントとして提案していく所存である。

謝辞

本研究で道路液状化ハザードマップを作成するにあたり、道路関連データ、地質調査結果データの使用を承諾頂いた江東区道路課、並びに液状化による道路沈下量想定手法をご提供頂いた東京大学生産技術研究所の清田隆准教授に感謝の意を表します。

参考文献

- 梶原和博, R.M.Pokhrel, 清田隆, 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, Vol.72, No.4, I_234-I_240, 2016.
- 齋藤誠, 西尾崇, 中嶋宏治, 渡辺正: 被災データを用いた橋台背面被害段差量の推定手法, 第31回日本道路会議, 2015.10
- 道路橋示方書・同解説 V耐震設計編 平成24年3月 日本道路協会
- 道路橋示方書・同解説 V耐震設計編 平成14年3月 日本道路協会
- 常田賢一, 小田和広, 中平明憲, 林健二, 佐藤光代: 段差走行実験に基づく地震時の道路の性能評価および交通運用, 土木学会地震工学論文集, 2007.8