東京における地震時の地盤工学上の課題

安 田 進*

東京および周辺に首都直下地震が襲った場合に懸念される二つの地盤災害を取り上げ、筆者達が行ってきた研究を紹介し、今後の課題に関して述べた。一つは地盤の液状化である。1923 年関東地震では沖積低地の各地で液状化が発生したが、2011 年東北地方太平洋沖地震ではほとんど液状化しなかった。その原因として経年効果により液状化強度が増加したことが挙げられるが、定量的に明らかになっていない。将来の首都直下地震時の予測等に対し研究を進める必要がある。もう一つは谷底低地の地震応答である。関東地震時の水道管や家屋の被害は東京の谷底低地に被害が集中していた。そこで谷底低地で詳細な地盤調査を行い、それをもとに地震応答解析を行ったところ、谷底低地に堆積している腐植土が大きな地震応答を生じさせたと考えられた。将来の首都直下地震に対して局所的に堆積している腐植土を考慮して被害想定などを行っておく必要がある。

キーワード：東京、首都直下地震、液状化、地震応答、自然堤防、谷底低地、腐植土

I. はじめに

地盤工学で言う地震時や降雨時における地盤災害問題は主に浅部の地盤条件に影響される。このため第四紀学の研究との繋がりが深く、そこから学ぶことが多い。また、逆に地盤災害の研究から第四紀学の研究にフィードバックできることもあると考えられる。このような例として東京および周辺に首都直下地震が襲った場合に懸念される二つの地盤災害を取り上げてみる。一つは地盤の液状化で、特に経年効果が液状化の発生に与える影響に関する課題である。もう一つは谷底低地であり、懸念される大きな揺れに関する課題を示す。

II. 液状化の発生に与える経年効果

1. 東北地方太平洋沖地震における液状化発生箇所および被害の概要

2011 年の東北地方太平洋沖地震では東北から関東にかけての広い範囲で液状化が発生し、戸建て住宅やライフライン、平面道路などに甚大な被害をもたらした。首都圏でも東京湾岸の埋立地や利根川沿いなどで液状化が発生した。関東地方における液状化発生箇所を微地形で分類し、該当する地区名を示すと表 1 のようになる(安田

ほか, 2012)。

東京湾岸では震源に近かった北東部の新しい埋立地が液状化した。特に東京都江東区^{つみ}の辰巳から千葉市にかけて広がる住宅地で図 1 に示すように住宅やライフライン、道路に甚大な被害が生じた。ただし、背後の干拓地や三角州など自然堆積地盤では液状化しなかった。千葉県・茨城県の太平洋岸にも火力発電所などの埋立地があ

表 1 東北地方太平洋沖地震で東京および周辺で液状化した主な地区

分類	主な地区
海岸や浦・潟の埋立地	東京湾岸, 神栖, 潮来, 太平洋岸
平野の川・池などの埋立地	香取, 我孫子
河川堤防の基礎地盤や堤体	利根川, 小貝川, 霞ヶ浦
砂利や砂鉄を掘削して埋め戻した土	神栖, 鹿嶋, 旭
水田などの盛土地	佐倉
台地・丘陵の沢部の盛土地	東海

2017 年 2 月 13 日受付。2017 年 7 月 4 日受理。

* 東京電機大学理工学部 〒350-0394 埼玉県比企郡鳩山町石坂。E-mail : yasuda@g.dendai.ac.jp

図 1 東北地方太平洋沖地震による東京の辰巳における住宅地の被害 (2011 年 3 月 15 日撮影)

図 2 東北地方太平洋沖地震による東京の新木場での道路歩道の突き上げ (2011 年 3 月 14 日撮影)

り、液状化で被災した。また、千葉県旭市では砂鉄、茨城県の神栖市や鹿嶋市では砂利を採取し埋め戻した箇所でも液状化が発生し、住宅に甚大な被害を与えた。利根川流域には旧河道や、浦、池、沼などが数多く点在しているが、これらを埋め立てて宅地化した所も多く液状化した。さらに、茨城県東海村では台地の造成宅地盛土で液状化が発生した。

これらのうち東京湾岸では、過去の地震では目立たなかった特異な地盤変状として、①多量の噴砂と地盤の大きな沈下、②図 2 に示すような幹線道路の歩道や生活道路などの突き上げや迫り上がり (安田ほか, 2016)、が発生した。

液状化による被害のうち世間で最も注目されたのは戸建て住宅の被害である。国土交通省の調査によると、液状化により全国で 26,914 棟が被災し、被害の 95% は関東地方で発生した。液状化による平面道路の被害も大きく、前述した突き上げ以外にも多量の噴砂・噴水や波打ち・ずれによって車の走行が困難になり、杭基礎の建物では段差が出来て車が車庫に入りにくくなった。地震後しばらくしてから路面に陥没が発生する被害も生じた。ライフラインも甚大な被害を受け、下水道マンホールのずれや下水管渠の蛇行、継手のはずれといった過去の地震では見られなかった特異な被害も発生した。これは地震の継続時間が長かったため、液状化した後も大きく揺すられ続けた「揺動」により発生したのではないかと考えられる。逆にマンホールなどの地下埋設物の浮き上がりは少なかった (安田ほか, 2016)。

2. 関東地震における液状化発生箇所の概要

1964 年に発生した新潟地震とアラスカ地震で液状化による被害が多く発生し、液状化現象が広く認識される

ようになった (例えば、安田, 1988 : p.5-6)。1923 年関東地震当時には液状化の概念がまだなく、被害報告書にも液状化が発生した箇所は明記されていない。ただし、被害報告書などから噴砂・噴水があった箇所を調べてみると、関東地方では主に、①東京や川崎の海岸の埋立地、②図 3 に示す東京の古隅田川や中川沿いの自然堤防や旧河道、③埼玉県の春日部や杉戸などの古利根川沿いの自然堤防や旧河道、④神奈川県の茅ヶ崎付近の河道や旧河道、⑤千葉県の館山の砂州や砂州間低地、で液状化が発生したのではないかと考えられている (若松ほか, 1985)。

液状化に伴う地盤変状としては、東京都江戸川区の東篠崎で噴砂が 30 cm も堆積したと記され、さらに、地割れが古利根川や古隅田川沿いで多く発生したことが報告されている。これらの地区では、液状化に伴って自然堤防の傾斜地盤が現河道側や、現河道に面しない後背低地側に流動したため地割れが生じた可能性があるが断定できない。また、液状化によって発生した被害も明らかではないが、報告書から読み取ってみると、①住家の沈下や傾斜・土蔵の沈下、②工場や小菅刑務所の建物被害、③馬入川 (相模川) の橋梁などの橋の被害が液状化により生じたと考えられる。

3. 東北地方太平洋沖地震と関東地震の液状化発生箇所の違い

東北地方太平洋沖地震で液状化が発生した箇所を示した地図 (国土交通省関東地方整備局, 2011) に関東地震で液状化した区域を大まかに囲って示すと図 4 となる。関東地震では東京都内の古隅田川沿いや、春日部・杉戸付近の古利根川沿いで液状化が多く発生したのに対し、東北地方太平洋沖地震ではこれらの地区でほとんど液状

図 3 関東地震時に東京の古隅田川沿いで液状化による被害が発生した箇所（若松ほか，1985）

化しなかった。

図 3 には関東地震の時の古隅田川沿いの被害状況の聞き込み調査結果も示す。古隅田川は次第に川幅が狭くなって現在は一部の区間で暗渠になっているが、液状化したのは川が運んできた砂で出来た地層であり、現在でもその砂層は存在するはずである。関東地震と東北地方太平洋沖地震で液状化の有無を生じた理由の一つとしては、地震動の大きさが挙げられる。この地区の震度は関東地震の際は 6 弱程度であった（武村，2003）のに対し、東北地方太平洋沖地震では 5 弱程度と弱かった。

もう一つの理由として挙げられるのは、液状化強度に対する経年（エイジング）効果である。これに関しては長期圧密した供試体で繰返し三軸試験などの液状化試験を行って、液状化強度の増加を求めた例がある。ただし、長期といっても 1 年程度が最大である。より長期に関しては、堆積年代が明らかな地層を不攪乱で採取した試料と、それを人工的に乱して同一密度に詰め直した供試体で液状化試験を行って比較することも考えられる。後者では、堆積してから経年はゼロと仮定する。あるいは、埋立年代が異なる箇所から不攪乱試料を採取して液状化試験を行う、といった方法も考えられる。図 5 で

図 4 関東地震と国土交通省関東地方整備局（2011）による東北地方太平洋沖地震の時の液状化地点の比較

はこれらの既往の研究成果をプロットし、大まかな推定曲線を描いている(安田ほか, 2003)。ただし、1年より長期のデータは単なる推定程度の精度しかなく、今後データを蓄積していく必要がある。

いずれにせよ、緩い砂層といえども堆積後の時間の経過とともに液状化強度が上がり、例えば埋立地も100~200年位経つと液状化しにくくなるとのデータもある(Yasuda *et al.*, 1994)。したがって、古隅田川沿いで関東地震の際に液状化した砂も、それ以降の約90年の間に液状化強度が上がって、東北地方太平洋沖地震では液状化しなかった可能性がある。ただし、地震動の大きさや卓越周期なども関係してくるので、将来発生する首都直下地震で東北地方太平洋沖地震より強い地震動が襲った場合には、再び液状化する危険性もある。これを現段階での地盤調査結果をもとに定量的に評価するためには、沖積砂層の堆積年代や液状化強度の経年変化を考慮する必要がある、そのためにも図5のような関係を確立していく必要がある。

図5 液状化強度の経年変化(安田ほか, 2003)

長期圧密した供試体に対する試験とは、人工的に詰めた供試体を一定の時間圧密させた後に繰返し三軸試験で液状化強度比を求めたもの。ただし、浅間山砂では相対密度 D_r が80%になるように詰めた供試体で実験し、山砂と浅瀬土では30cmの落下高で詰めた供試体で実験してある。埋立砂および沖積砂は現地から不攪乱試料を採取して繰返し三軸試験で液状化強度比を求めたもの。 F_c は細粒分含有率(0.075mm以下の含有率)を示す。 $F_c=0\%$ 、40%、70%の破線は、プロットしたデータをもとにエイジングによる強度増加曲線を大まかに提案したもの(液状化強度はエイジングだけでなく、細粒分含有率や密度、拘束圧など多くの要因が影響しており、ここではエイジング効果が細粒分含有率によって変わることを示している)。液状化強度比とは正弦波を与えた繰返し三軸試験において20波で液状化する繰返しせん断応力を拘束圧で除した値を示す。

III. 東京中心部の谷底低地における地震時の揺れ

1. 関東地震と東北地方太平洋沖地震における被害の概要

東京の中心部において、関東地震の際に直径900mm以下の水道管が被災した箇所と、非木造建物の大破・中破・全壊箇所、木造建物が10棟以上被害を受けた箇所を、土木学会(1927)および震災予防調査会(1926)の報告書から調べてプロットすると図6となる(安田ほか, 1993)。下町の沖積低地や台地と低地の境で被害が多く発生しているが、山の手の谷底低地でも被害がかなり発生していたと考えられる。

東北地方太平洋沖地震の際、都心でも九段下付近の谷底低地で建物に揺れによる被害が発生した。関東地震の際にも九段下などの東京の谷底低地において家屋や水道管の被害が多く発生していた。谷底低地で被害が多い原因としては、谷底低地が周囲に比べて大きく揺れたのではないかと考えられた。そこで、谷底低地の表層地盤の動的特性に関し詳細な地盤調査、土質試験を行った。また、既往の地盤調査結果をもとに250mメッシュサイズで地盤をモデル化し、それを用いて地震応答解析を行っ

図6 関東地震による水道管や家屋の被害発生箇所と地形の関係(安田ほか, 1993)

て谷底低地における地震時の揺れの特性を調べてみた。

2. 地盤調査と土質試験から求めた谷底低地の地盤の動的性質

筆者達は東京の低地のうち東京都大田区南馬込^{まごめ}5丁目の1ヵ所を選び、詳細な地盤および土質試験を行った(安田ほか, 2010)。図7に土質柱状図, N値, PS検層で求めたせん断波速度 V_s を示す。この箇所では埋土および埋土前の表土であるシルト層の下に, N値が0~1の腐植土層が約4mの厚さで堆積していた。その下位にはN値が2の砂混じりシルト層, N値が3のシルト混じり細砂およびシルト層, N値が4~7の粘土質シルト層が堆積していた。この地盤の地下水位はGL-2.10m

と浅かった。なお, 腐植土は300%以上と高含水比であった。PS検層結果によると, 腐植土層の値は $V_s=100\text{m/s}$ とあまり小さくはなかった。その下位のシルト質土では $V_s=130\sim 180\text{m/s}$ であった。

不攪乱試料を採取して繰返しねじりせん断試験装置を用いて動的変形特性試験を行った結果のうち, 等価せん断剛性率 G とせん断ひずみ片振幅の関係を図8に示す。一般に土は拘束圧に応じて G が大きくなるので, 浅層にある腐植土で G が小さいのは当然であるが, 拘束圧の影響を差し引いても腐植土は極端に G が小さい。図7のPS検層データから求めた微小ひずみ時の G_0 と, 図8の繰返しねじりせん断試験結果から, せん断ひずみが

図7 東京都大田区の谷底低地における地盤調査結果(安田ほか, 2010)

■: 不攪乱試料採取深度, S波速度: PS検層で測定したS波速度。

図8 東京都大田区の谷底低地で採取した各層の試料の $G-\gamma$ 関係(安田ほか, 2010)

繰返しねじりせん断試験により繰返しせん断応力振幅を段階的に上げていったときのヒステリシスループから, せん断ひずみ片振幅と等価せん断剛性率を求めている。

10^{-6} の時の G を外挿により推定した G_0 と比較したのが図9である。この結果からは腐植土において特に両者に違いが大きくており、PS 検層結果をもとに腐植土層を含む地震応答解析を行う場合には注意が必要であると考えられた。

図9 腐植土における繰返しねじりせん断試験とPS 検層から得られる G_0 の比較(安田ほか, 2010)
繰返しねじりせん断試験からの G_0 : 図8において 10^{-6} のせん断ひずみ時の G を外挿により推定した値。PS 検層からの G_0 : 図7のPS 検層で得られたせん断波速度から換算した値。

この試験結果を用いて1次元地震応答解析を行った事例を図10に示す(安田・小澤, 2011)。上述したように繰返しねじりせん断試験とPS 検層で求めた腐植土層の微小ひずみ時のせん断剛性が異なるため、前者の結果を用いたCase 1と後者の結果を用いたCase 2の二通りの解析を行った。用いた解析コードは「SHAKE」である。これは成層地盤に対し土の応力～ひずみ関係を等価線形でモデル化し、1次元地震応答解析を行うプログラム(Schnabel *et al.*, 1972)であり、世界中で広く用いられている。入力地震波は東京湾臨海部模擬地震波(最大加速度 3.106 m/s^2)を使用した。図10を見るとCase 1の方がCase 2より地表最大速度で 10 cm/s 以上、最大変位ではおよそ4倍程度大きな値を示した。これはCase 1の方がCase 2より G_0 が小さいため、大きな地震応答となったことが考えられる。また、腐植土層での最大ひずみがCase 1の場合2.5%と、Case 2の最大ひずみ0.3%に比べ8倍程度ほど大きくなった。このように腐植土層が堆積している谷底低地では地震時に変形しやすく、地震応答が大きくなるのではないかと考えられた。なお、この図には、後述する250mメッシュでの地盤モデルを用いて同様の地震応答解析を行ったCase 3の結果も同時に示している。この地盤モデルでは付近の既往のボーリングデータも含めてモデル化しており、腐植土層が調査地点よりさらに厚くて5mの厚さになっている。そのため、加速度、速度、変位、ひずみの全てで

図10 大田区の調査箇所における1次元地震応答解析結果(安田・小澤, 2011)

Case 1: 調査地点の地盤モデルに対し 繰返しねじりせん断試験結果の $G/G_0 \sim \gamma$ 関係と G_0 を用いて解析。Case 2: 調査地点の地盤モデルに対し 繰返しねじりせん断試験結果の $G/G_0 \sim \gamma$ 関係とPS 検層結果の G_0 を用いて解析。Case 3: 調査地点を含む250mメッシュの地盤モデル(全国電子地盤図による)に対し、一般的な $G/G_0 \sim \gamma$ 関係と N 値から推定した G_0 を用いて解析。基盤入力波形は東京湾臨海部模擬地震波(最大加速度は 3.106 m/s^2)。

調査地点より大きく応答する結果となっている。

3. 250 メッシュの地盤モデルを用いた地震動分布の解析

地盤工学会では分散する表層地盤情報データベースを統合・連携し、地震ハザード評価等の全国的な活用に資するための体制作りを目的に、既往のボーリングデータを用い 250 m メッシュで地盤をモデル化する全国電子地盤図作成支援システムを開発し、大阪平野などに適用して改良を行ってきた。その一環として、筆者達は東京地区に対し、東京都土木技術センターにおいて収集されたボーリングデータを利用させていただいて電子地盤図を作成し、これを用いて地震時の揺れの平面分布に関して検討した(安田・渡部, 2010)。検討した区域は、東は錦糸町、西は東京都庁、北は巣鴨、南は品川で囲まれる 20 km×12 km の範囲である。

赤坂から溜池、虎ノ門、銀座を通る断面をとり、地震時の揺れの分布を試算した例を図 11 に示す。ここでは上述した南馬込における地盤調査・土質試験結果を用い、入力地震動も同じものを用いた。谷底低地で軟弱粘

性土や腐植土が堆積している赤坂～溜池と、軟弱粘土層が存在しない紀尾井町や銀座付近を比較してみると、前者の方が地表最大速度が大きい。ただし、この解析では「SHAKE」による 1 次元地震応答解析しか行っておらず、谷底低地のような工学的基盤が不整形な所では、2 次元、3 次元の地震応答解析を行うとその差がさらに大きくなると考えられる。次に、全メッシュの解析結果を低地、台地、谷底低地の 3 種類の微地形に分類して地表最大加速度 $A_{s,max}$ 、地表最大速度 $V_{s,max}$ の度数分布を描くと図 12 となった。これらから以下のことが考察された。

①低地においては、大部分のメッシュで地表最大加速度 $A_{s,max}$ は 300 cm/s^2 以下、地表最大速度 $V_{s,max}$ は $30 \sim 80 \text{ cm/s}$ と比較的小さい値となった。

②台地においては、 $A_{s,max}$ は $400 \sim 600 \text{ cm/s}^2$ 、 $V_{s,max}$ は $50 \sim 80 \text{ cm/s}$ となり低地と谷底低地の間となった。

③谷底低地においては、低地や台地に比べメッシュ数は少ないが、 $A_{s,max}$ が $400 \sim 1000 \text{ cm/s}^2$ 、 $V_{s,max}$ は

図 11 東京の谷底低地を通る断面沿いの 1 次元地震応答解析例(安田・渡部, 2010)

地盤モデルは 250 m メッシュで作成したもの(全国電子地盤図による)で図 6 中の C-C' 測線沿いのモデルを並べて表示。地表最大加速度と速度は 250 m メッシュの地盤モデルに対し、一般的な $G/G_0 \sim \gamma$ 関係と N 値から推定した G_0 を用いて 1 次元地震応答解析を行って求めたもの。

図 12 地形ごとの地表最大加速度と地表最大速度の度数分布 (安田・渡部, 2010)

50~130 cm/s と他と比べ大きな値を示した。

IV. 結 論

東京および周辺に首都直下地震が襲った場合に懸念される二つの地盤災害として、液状化と谷底低地の地震応答を取り上げ、これまで筆者達が行ってきた研究成果を紹介し、今後の研究の課題を述べた。主な結論は以下の通りである。

1. 1923 年関東地震と 2011 年東北地方太平洋沖地震とも東京および周辺で広範囲に液状化が発生した。ただし、関東地震では沖積低地の古隅田川沿いなどで液状化したのに対し、東北地方太平洋沖地震では東京湾岸の埋立地では広範囲で液状化が発生したにもかかわらず、関東地震で液状化した沖積低地ではほとんど液状化しなかった。この原因としては地震動の違いや経年変化による液状化強度の増加が挙げられる。特に後者の影響に関しては将来の首都直下地震における液状化発生の可能性を検討するために重要であるが、定量的に評価できるまでに至っておらず、今後の研究が必要である。

2. 東北地方太平洋沖地震では東京中心部の谷底低地で建物などの被害が集中した。大田区の谷底低地において詳細な地盤調査および土質試験を行い、その結果を用いて 1 次元地震応答解析を行ったところ、腐植土が揺れを大きくすることが定量的に把握された。

3. 東京中心部において 250m メッシュサイズの地盤モデルを作成し、全メッシュでの地震応答解析を行ったところ、谷底低地では一般の沖積低地や台地に比べて地震時に揺れやすいことが示された。近年谷底低地に重

要な構造物が建設されてきており、谷底低地では周囲の地盤に比べて揺れが大きいことを、今後の首都直下地震に対しても考慮しておく必要がある。谷底低地といってもその土層構成や基盤の不整形性は場所によって大きく異なることに留意する必要がある。

引 用 文 献

- 土木学会 (1927) 大正 12 年関東大地震震害調査報告。第 1 巻～第 3 巻。
- 国土交通省関東地方整備局 (2011) 東北地方太平洋沖地震による関東地方の地盤液状化現象の実態調査結果について。 <http://www.ktr.mlit.go.jp/bousai/bousai00000061.html>, 2017 年 1 月 20 日閲覧。
- Schnabel, P.B., Lysmer, J. and Seed, H.B. (1972) SHAKE : A computer program for earthquake response analysis of horizontally layered sites. EERC Report, 72 (12), University of California.
- 震災予防調査会 (1926) 震災予防調査会報告, 第百号。(甲)～(丁)。
- 武村雅之 (2003) 関東大震災。139 p, 鹿島出版会。
- 若松加寿江・浜田政則・安田 進 (1985) 1923 年関東地震による地盤変状の調査。第 20 回地盤工学研究発表会講演集, 225-228。
- 安田 進 (1988) 液状化の調査から対策工まで。243 p, 鹿島出版会。
- 安田 進・小澤直輝 (2011) 馬込における泥炭層を有する地盤の 1 次元地震応答解析。土木学会第 66 回年次学術講演会講演集Ⅲ, 299-330。

- 安田 進・渡部博一 (2010) 電子地盤図を用いた東京中心部の地震時の揺れに関する検討. 第 13 回日本地震工学シンポジウム講演集, 2019-2026.
- 安田 進・吉川洋一・牛島和子 (1993) 東京の谷底低地における地震被害と地層構成. 土木学会第 48 回年次学術講演会講演集Ⅲ, 422-423.
- Yasuda, S., Wakamatsu, K. and Nagase, H. (1994) Liquefaction of artificially filled silty sands, ground failures under seismic conditions. Geotechnical Special Publication, no. 44, 91-104.
- 安田 進・清水善久・小金丸健一・森本 巖 (2003) レベル 2 地震動下の液状化および液状化後の変形特性に与えるエイジング効果. レベル 2 地震動による液状化に関するシンポジウム論文集: 391-396, 土木学会地震工学委員会.
- 安田 進・會津健司・藤田義人・枋尾 健・直井賢治・松本真吾 (2010) 東京の谷底低地に堆積している腐植土の動的変形特性. 第 45 回地盤工学研究発表会講演集, 737-738.
- 安田 進・原田健二・石川敬祐 (2012) 東北地方太平洋沖地震による千葉県の被害. 地盤工学ジャーナル, 7, 103-115.
- 安田 進・石川敬祐・五十嵐翔太・田中佑典・畑中哲夫・岩瀬伸朗・並木武史・斉藤尚登 (2016) 東日本大震災における浦安市の水道管被害メカニズムの解明. 日本地震工学会論文集, 16 (3), 183-200.

Geotechnical problems to be studied to predict damage that may occur in Tokyo due to future earthquakes

Susumu Yasuda*

Our recent research on two geotechnical problems in Tokyo and its surrounding area to predict the damage by an epicentral earthquake is introduced, and future tasks are described. One of these problems is soil liquefaction in lowland areas where loose alluvial sand is deposited. During the 1923 Kanto Earthquake, liquefaction occurred in various places in the alluvial lowland, but almost no liquefaction occurred during the 2011 Great East Japan Earthquake. A possible reason for this is that liquefaction strength had increased due to aging, but this is still not proved quantitatively. It is necessary to advance research

on the aging effect to predict liquefiable sites by the future earthquakes. The other problem is that the response of the deposits under the valley floors to the earthquake. Damage to houses and buried pipes during the 1923 Kanto Earthquake was concentrated in valley floors. Detailed soil investigations and seismic response analyses in a valley floor revealed that soft humic soil filling the valley floor enhanced the ground response to the seismic motion. To predict the damage that might be caused by an epicentral earthquake, it is necessary to consider the distribution pattern of soft humic soil in the valley floors.

Keywords : Tokyo, Tokyo inland earthquake, liquefaction, earthquake response, natural levee, valley floor, humic soil

* School of Science and Engineering, Tokyo Denki University, Ishizaka, Hatoyama, Hiki-gun, Saitama, 350-0394, Japan. E-mail : yasuda@g.dendai.ac.jp