

液状化・地盤流動化時における道路橋基礎の耐震性の検討

東京都土木技術研究所 ○ 中村正明、岡田佳久、小川好、草野都
日比野潤（現東京都西多摩建設事務所）

1. 研究の背景

東京都では、「地震に強い道路橋架の整備事業」¹⁾として、緊急交通路に架かる橋の橋脚を対象に、RC 巻立て工法及び鋼板巻立て工法による補強工事と落橋防止装置の設置を実施している。また、「東京都震災対策事業計画」²⁾に示されている橋梁の耐震補強計画によると、平成 14 年度までに緊急物資輸送路と緊急交通路の 165 橋の補強が完了し、平成 15 年度からは、2 次路線の緊急交通路を対象に耐震補強を実施することとなっている。

一方、地震時における地盤の液状化や地盤流動による橋梁基礎の被害は、古くは 1964 年新潟地震の昭和大橋の落橋にみられ、近年では兵庫県南部地震において、地盤流動による橋梁基礎の変動が確認されている。

このような背景において、平成 8 年(1996 年)に改訂された道路橋示方書³⁾では、「橋に影響を与える流動化が生じる可能性がある」と判定された地盤がある場合の基礎の耐震設計」が定められた。このため、液状化及び地盤流動の可能性のある地盤に位置する橋梁の管理者は、従来から実施されている上部工や橋脚の耐震補強と併せて、今後は基礎部分についても、耐震対策の有無を検討する必要性が生じてくるものと思われる。

以上の経緯をふまえて本報告では、東京低地に位置する既設橋梁を対象にした道路橋基礎液状化診断プログラムを紹介するとともに、本システムを利用して、液状化や地盤流動の影響を受ける橋梁を抽出する手法を提案する。

2. 検討内容とその概要

検討内容の概要を以下に示す。

第一に、橋梁及び地盤・液状化関係の諸資料のデータベース化を図り、「道路橋基礎液状化診断プログラム」を作成した。これにより、液状化及び地盤流動地域に位置する橋梁の抽出を可能とした。

第二に、これらの地盤に位置する橋梁基礎が、液状化や地盤流動に対して現在の照査基準（ここでは平成 8 年道路橋示方書）を満たしているか否かを検討するために、モデル橋梁、モデル地盤を想定して評価計算を行い、この結果と合わせて「液状化・地盤流動化対策を考慮する橋梁の判定フロー」を作成した。さらに、この判定フローに基づき既設橋梁の一次抽出を実施した。

第三に、本判定フローの妥当性を検証するために、地盤条件や設計年度等から既設橋梁を 3 橋選択し、平成 8 年の道路橋示方書を基準として構造計算を行った。そしてこの計算結果に基づき、判定フローの一部を修正し、再度橋梁の抽出を実施した。

3. 道路橋基礎液状化診断プログラムの開発

3.1 プログラムの概要

橋梁基礎が液状化や地盤流動の影響を受けるか否かの判断を行う場合、対象とする橋梁が液状化及び地盤流動の可能性のある地盤に位置しているか否かを把握することが重要である。今回開発した「道路橋基礎液状化診断プログラム」は、当研究所が従来から開発している「東京直下地震被害予測システム」⁴⁾をベースとして、これらの機能を持たせている。各システムの構成を以下に示す。

3.2 橋梁位置図

本システムでは、23 区内における 649 橋の道路橋の位置を表示することができる。また、各区及び各建設事務所毎に個々の橋梁を検索することも可能である。23 区北東部地域の橋梁位置の表示例を図-1 に示す。

3.3 液状化予測図

平成 8 年道路橋示方書及び土木技術研究所の推定式⁵⁾を用いて、タイプ I (プレート境界型の大規模な地震動を想定したもの、最大加速度 400gal)、タイプ II (内陸直下地震を想定したもの、最大加速度 600gal) の合計 4 種類の液状化予測図を表示する。

表示例として、図-1 の橋梁位置図と同一範囲である 23 区北東部地域における直下型(タイプ II)で土研推定式により作成した液状化予測図を図-2 に示す。濃灰色地域は液状化の可能性の大きいところで、葛飾区や足立区では、これらの地域が広範囲に分布していることが確認できる。

キーワード：液状化、地盤流動、液状化予測図、GIS、橋梁基礎、道路橋示方書

連絡先：(東京都江東区新砂 1-9-15 東京都土木技術研究所 電話 03-5683-1530 FAX 03-5683-1515)

3.4 地盤流動ポテンシャル図

地盤流動ポテンシャル図は、約4万本のボーリングデータを用いて作成した表層砂層厚分布図と前述で示した土木技術研究所の推定式を用いた液状化予測図(タイプI、タイプII)を重ね合わせて作成したものである。すなわち、表層の砂層が厚く分布しており、かつ液状化の可能性の大きい地域では地盤流動ポテンシャルも大きいという判断に基づいている。本内容の詳細は別途文献⁶⁾に示しているため、ここではその概略を説明する。

前図と同じ地域を対象とした表層砂層厚分布図の一例を図-3に示す。葛飾区の千葉県境付近では、砂層厚10m以上の地域が確認できる。

次に「砂層厚」と「液状化の可能性」の組合せから地盤流動の可能性の大小を表-1のように判断する。すなわち、砂層厚分布図に基づき、砂層の厚さを7.5mから2.5m未満の4区分に分類する。また、図-2の液状化予測図に基づき、液状化の程度を「液状化の可能性大」から「なし」までの4区分に分類する。そして、これらの条件の16通りの組み合わせの中から、「地盤流動の可能性極めて大」から「可能性なし」までの5区分にまとめる。表中の各枠の濃淡色はこれら5区分に対応するもので、各枠の数字(4~19)は地盤流動の可能性の順位を示す。

このようにして作成した地盤流動ポテンシャル図の一例を図-4に示す。灰色で示した「地盤流動の可能性極めて大」の地域が、葛飾区内に集中していることが確認できる。なお、台地部(地図上の西側)の黒色は、対象地域外となる。

3.5 橋梁位置図と主題図の重ね合わせ

本システムでは、先に示した橋梁位置図と種々の液状化予測図及び地盤流動ポテンシャル図を重ね合わせることが可能である。図-1の橋梁位置図と図-2の液状化予測図を重ね合わせた表示例を図-5に示す。このようなGIS機能により、液状化の可能性の有無と橋梁の位置関係を把握することができる。

3.6 橋梁別予測図領域判定

データベースの全橋を対象に、液状化予測図及び地盤流動ポテンシャル図とのマッチングを行う。本プログラムは、図-6の表示例に示すように、各橋梁位置(中心・始点・終点位置のそれぞれに対するジャストポイント及び半径100m以内)が液状化予測図及び地盤流動ポテンシャル図のどの分布範囲に入るのかを表示する機能を持っている。地盤流動の各数字は、表-1に示した地盤流動ポテンシャル図の凡例にある「可能性ランク」を示すものである。

3.7 橋梁別下部構造形式と地質柱状図の表示

本プログラムは、選択した橋梁の近傍に位置する地質柱状図、これらの地質柱状図を基に計算設定条件を指定して算出した F_L 値、 P_L 値及び橋梁の下部構造形式を同一画面上に表示することができる。表示例を図-7に示す。図面左側が地質柱状図であり、土質区分とN値を表示する。また、左下に示している計算設定条件を与えることにより、 F_L 値、 P_L 値を算定する。一方、図面右側は、橋梁基礎の長さ及び構造形式(杭基礎、フーチング基礎等)を模式的に示し

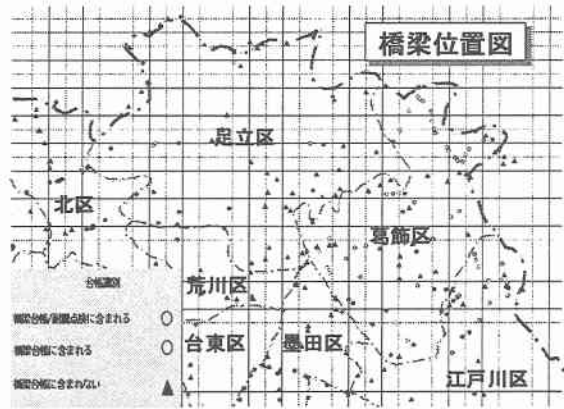


図-1 橋梁位置図の表示例

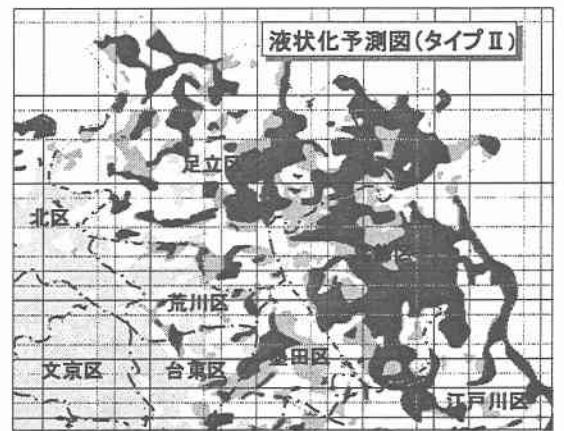


図-2 液状化予測図の一例

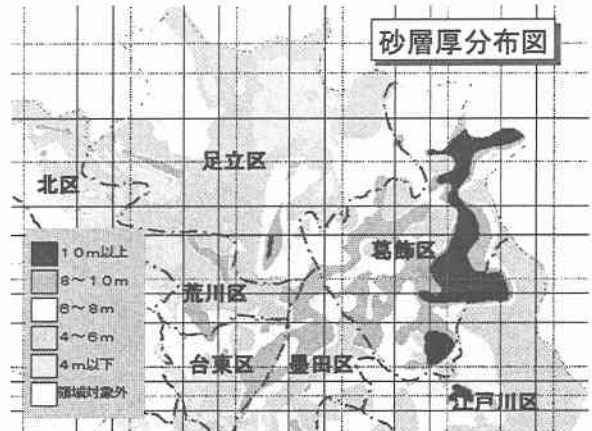


図-3 表層砂層厚分布図の一例

表-1 砂層厚と液状化の可能性の組合せ

液状化予測図	砂層厚分布図			
	7.5m以上	5.0m~7.5m	2.5m~5.0m	2.5m未満
可能性大	5	7	10	10
可能性中	6	8	11	15
可能性小	9	12	13	16
可能性なし	14	17	18	19

地盤流動の可能性極めて大
地盤流動の可能性大
地盤流動の可能性ややあり
地盤流動の可能性少ない
地盤流動の可能性なし

ている。

橋梁基礎の表示位置は、T.P.標高を基準としており、左側の地質柱状図と地盤高を対比できる。さらに、総径間数が2径間以上の橋梁の場合には、画面を切り替えることにより、本図を連続的に表示することが可能である。

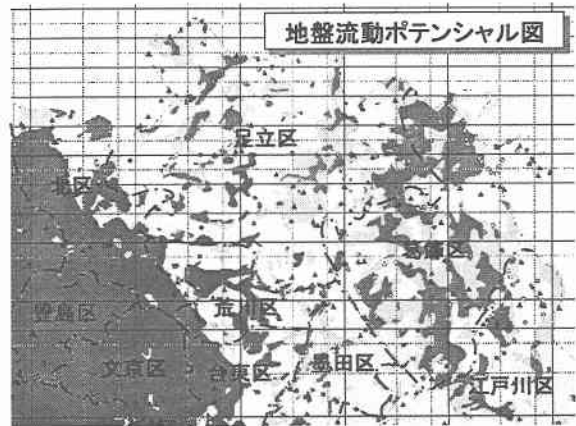


図-4 地盤流動ポテンシャル図の一例

4. モデル橋梁・モデル地盤による液状化及び地盤流動の影響評価

4.1 検討内容の概要

「道路橋基礎液状化診断プログラム」を利用して、各橋梁の位置が液状化及び地盤流動の可能性のある地盤に位置しているか否かを知ることができる。しかし、ここで注意しなければならないことは、液状化及び地盤流動の可能性の大きい地域に位置する橋梁が、すべてその被害を受けるわけではなく、橋梁構造が現在の照査基準を満足していれば、問題はないと考えるのが妥当である。

道路橋基礎に関する液状化判定手法およびその影響検討手法について具体的に提示されたのは、昭和55年の道路橋示方書⁷⁾からである。ところが、都内の既設橋梁はこれ以前に設計・施工されたものが多く、これらの橋梁が現在の基準でどのような耐震性を有するのか定量的に把握する必要がある。

このためには、本来ならば液状化及び地盤流動の可能性の大きい地域に位置する橋梁すべてを対象として、個々の橋梁毎に照査計算により耐震性を検討するべきであるが、それは膨大な作業となる。したがって、モデル橋梁、モデル地盤を想定し、過去のいくつかの示方書を適用して復元計算を行い、算定された基礎の形態が現在の基準となっている道路橋示方書の定める許容範囲に収まるか否かを判断することにより、橋梁抽出の基準を策定する。

4.2 モデル橋梁及びモデル地盤の設定

モデル橋梁としては、「道路橋の耐震設計に関する資料」⁸⁾を参考に設定を行った。対象モデル、構造条件等を図-8に示す。

検討対象のモデル地盤を図-9のように定めた。

液状化層はフーチングから杭頭部にかけて連続的に存在するものとし、液状化層の層厚については、3m,6m,9mの3通りを想定した。液状化層の下部には、N値=1~2の軟弱な粘性土が分布しているものとして、この粘性土層の厚さを最大で20mとした。杭基礎の支持層となる砂礫層までの深さはすべて33mとし、地下水位については、GL-1.5mとした。これらの設定は、典型的な東京低地の沖積地盤を再現している。なお、杭基礎の長さは、支持層となる砂礫層に1.6m入り込むと設定したため、34.6mとなる。

4.3 設計における計算条件と照査基準

前述のモデル橋梁について過去の基準を用いて復元設計を行い、これらの設計緒元に対して現在の基準を用いて、液状化・流動化に対する耐震性を評価する。

用いた過去の基準類は、「鋼道路橋示方書(昭和31年、

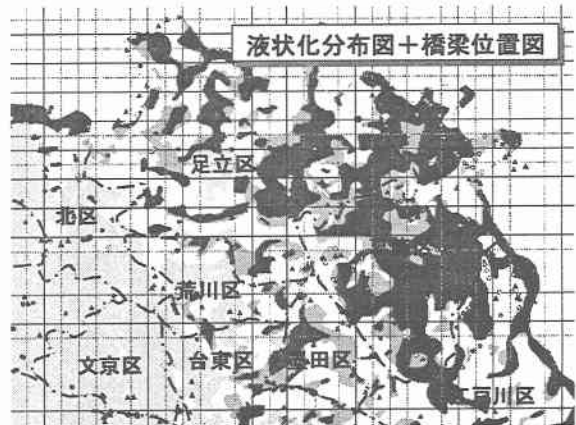


図-5 液状化予測図と橋梁位置図の重ね合わせ

橋梁地点	位置	液状化		地盤流動	
		タイプⅠ	タイプⅡ	タイプⅠ	タイプⅡ
橋梁中心位置	ジャストポイント	中	小	12	17
	半径100m以内	中	大	9	8
橋梁始点位置	ジャストポイント	中	小	12	17
	半径100m以内	中	大	9	8
橋梁終点位置	ジャストポイント	中	小	16	19
	半径100m以内	中	大	12	11

図-6 橋梁別予測図領域判定の一例

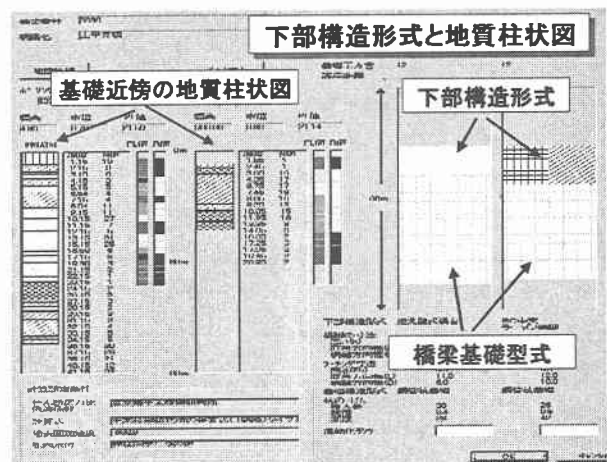


図-7 橋梁下部構造形式と地質柱状図

昭和 39 年)」⁹⁾、「道路橋耐震設計指針 (昭和 47 年)」¹⁰⁾、「道路橋示方書 V 耐震設計編 (昭和 55 年、平成 2 年)」⁷⁾ の 3 種類である。これら各示方書の液状化対策に対する方針を表-1 に示す。

設計における計算条件において、初期緒元の設定は、前述した「昭和 31 年」、「昭和 47 年」、「昭和 55 年」の各示方書類を用いた。一方、水平地盤反力係数など基本的な設計定数は、平成 8 年道路橋示方書の規定に従うものとした。主な計算条件とその根拠を表-2 に示す。

次に前述の条件で設定した初期緒元をもとに、現時点の手法 (平成 8 年道路橋示方書) で地盤健全時、液状化時、流動化時の 3 ケースについて照査を行った。主な照査基準とその根拠を表-3 に示す。計算上これらの照査基準を超えた場合、耐震性に問題がある、すなわち (N.G) と判定される。

4.4 検討結果

以上の諸条件の設定により、モデル橋梁を設定し、液状化層厚を変えたモデル地盤 (液状化層厚を変えた 3 ケース)、適用示方書 (液状化・流動化の異なる基準 3 ケース) の合わせて 9 ケースについて、震度法と地震時保有水平耐力法それぞれにおいて復元計算を行い、その結果を基に平成 8 年道路橋示方書に準拠して、「地盤健全時」、「液状化時」、「流動化時」の各状況における照査を実施した。照査に至るフローを図-10 に示す。

照査結果は、以下のとおりである。

- ① 地盤健全時には、いずれのケースも問題とはならない。
- ② 液状化時には、いずれのケースも問題とはならない。
- ③ 地盤流動化時には、昭和 31 年示方書で液状化層厚 9m の場合、杭頭水平変位 δ が基礎の降伏変位 δ_y の 2 倍を越え、 $\delta / 2 \delta_y = 1.23$ となる。
- ④ 昭和 47 年指針の液状化層厚 9m のケースは、震度法において杭基礎では成立しない。

以上より、問題となるのは、昭和 31 年示方書で液状化層厚 9m の場合における地盤流動化時のケースである。

4.5 P_L 値と耐震安全性

前述で示した結果を P_L 値と許容値に対する発生率の比率の関係で検討する。液状化層厚と P_L 値の関係は、図-10 に示すとおり、液状化層厚 3m で P_L 値 18.0、6m で P_L 値 29.3、9m で P_L 値 38.3 となる。また、許容値に対する発生率の比率は、液状化時には許容塑性率=4.0 に対する応答塑性率の比、地盤流動化時には許容変位 (基礎の降伏時、杭頭変位の 2 倍) に対する断面照査時の杭頭応答変位である。

以上から各示方書における液状化時と地盤流動化時における P_L 値と許容値に対する発生率の比率を図-11 に示す。本図でこれらの比率がゼロにな

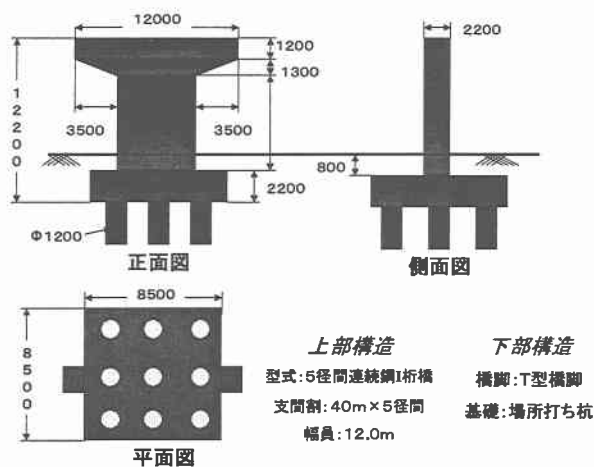


図-8 モデル橋梁、構造条件

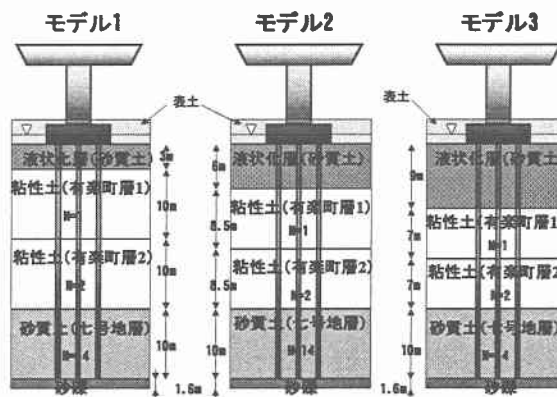


図-9 モデル地盤の設定

表-1 各示方書の液状化に対する方針

示方書	年	液状化層に対する考え方
鋼道路橋設計示方書	昭和 31 年	液状化層の記述なし。水平方向地盤反力係数は、地盤健全時と同じと考える。
道路橋耐震設計指針	昭和 47 年	液状化層では支持力を無視する。水平方向地盤反力係数は、全く考慮されない。
道路橋示方書 V 耐震設計編	昭和 55 年	液状化抵抗率 FL 値に応じて水平方向地盤反力係数の低減を行う。

表-2 計算条件とその根拠

条件	根拠
杭長は 34.6m	図-4.1 モデル橋梁による。
杭径は $\phi=1,200\text{mm}$ を基本とし、 $\phi=1,800\text{mm}$ を上限とする。	H8 道路橋示方書 IV 編 P370:10.9.3 杭とフーチング結合部
杭頭鉄筋は、最大で D35、最小で D22 とし、配筋は 1 段とする。	杭基礎設計便覧 P362:表-3.2.2
フーチング前面の地盤抵抗を考慮しない。	H8 道路橋示方書 IV 編 P378

るケースは、基礎が降伏しない（塑性化しない）ことを示している。また、比率が1を越えるのは、昭和31年示方書の流動化時で P_L 値が概ね35を超過するあたりからである。なお、昭和55年示方書の流動化時においても、 P_L 値の増加とともに比率も増加する傾向が認められ、 P_L 値がさらに大きくなれば、許容値が1を越えることも考えられるが、本図はグラフを比例計算で直線補完するだけの精度はなく、問題が生じる条件には含めていない。

このことより、地盤流動化の影響を受ける目安を「昭和47年より古い基準の設計で、 P_L 値35以上の地盤」と想定する。

5. 橋梁基礎における液状化・地盤流動判定フローの作成と橋梁の抽出

5.1 判定フローの作成と橋梁の抽出

前述で示したモデル橋梁、モデル地盤による検討結果により、既設橋梁で液状化や地盤流動が問題となる条件を整理した。ここでは、耐震評価に関わる他の構造的な要因等も加味して、液状化・地盤流動判定フローを作成する。作成にあたっての留意事項は次のとおりである。

第一に、液状化の影響を考えるにあたっては、橋梁位置を含む周辺部で液状化の生じることが前提となるため、土研式の液状化予測図において、橋梁の「始点」・「中心」・「終点」のいずれかが液状化の可能性のある範囲にかかる場合（半径100m以内を含む）、対象橋梁は液状化の可能性のある地点に位置しているものと定義した。なお、この判定では、個々の橋梁についてタイプⅠ、タイプⅡの予測図で検討を行い、条件の厳しい方を採用した。

第二に、地盤流動の影響を考えるにあたっては、平成8年道路橋示方書によると、「臨海部において、背後地盤と前面の水底との高低差が5m以上ある護岸によって形成された水際線から100m以内の範囲にある地盤」及び「液状化すると判定される層厚5m以上の砂質土層があり、かつ当該土層が水際線から水平方向に連続的に存在する地盤」と定めている。さらに、「河川部についてもこれらに該当する場合には、臨海部に準じて流動化の影響を考慮することが望ましい。」としている。また、「河川部における流動化については、今後の調査研究の進展に応じて適切に対応していくことが必要」とも記している。

しかしながら、検討の対象となるすべての橋梁に対して、地盤流動に関するこれらの事項を調査することは膨大な作業である。そこで、「道路橋基礎液状化診断プログラム」のデータベースにある「交差物の種類」を用いて水際条件を判別することとし、橋下種別が「河川」・「運河」・「海域」等であれば、「水際線からの距離が100m以内であり、流動化の可能性を検討するグループ」に含まれるものと定義した。

第三に、上部工構造形式については、単径間または一連の連続桁では地盤流動による被害は少なく、対策は不要

表-3 照査基準とその根拠

状態	照査基準	根拠
地盤健全時	すべての杭において杭体が降伏する。	H8道路橋示方書 V編 P183
液状化時	基礎の塑性化を許し、塑性率の制限値4.0を越える。	H8道路橋示方書 V編 P186
流動化時	杭頭水平変位が基礎の降伏変位の2倍を越える。	H8道路橋示方書 V編 P90
	いずれかのケースにおいて、杭頭変位が40cmを越える。	H8道路橋示方書 V編 P64

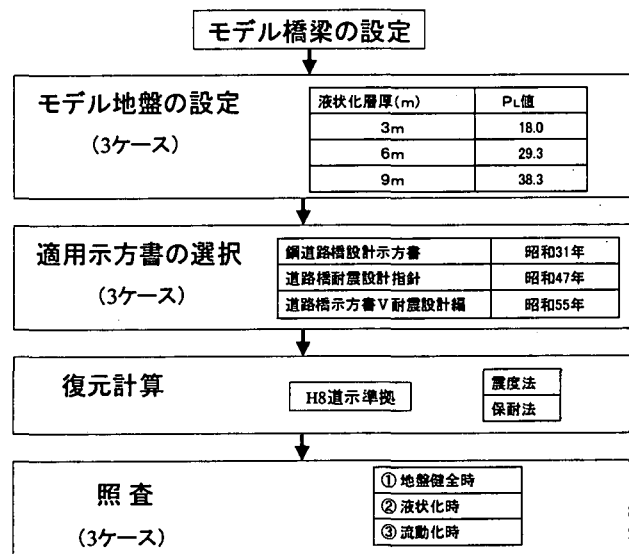


図-10 照査に至るフロー

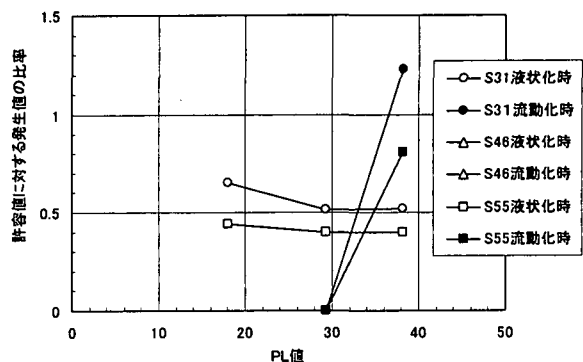


図-11 P_L 値と許容値に対する発生率の比率

と判断した。

以上の検討と前述のモデル橋梁、モデル地盤による検討結果を整理し、流動化に対する地盤流動判定フローを図-12のように定めた。本図には、判定フローを用いた橋梁の抽出結果も付記している。この結果、「地盤流動に対する検討を考慮すべき」に分類される橋梁は、20橋となった。

5.2 抽出結果の解釈と今後の課題

前述で示した「流動化対策の検討を考慮すべき」に分類された20橋の抽出結果は、多くの仮定条件を前提に作成した判定フローを用いており、あくまで一つの解釈例に過ぎない。例えば、次のような問題点が考えられる。

抽出した橋梁の構造的特徴をみると、径間数が3程度のものが多く見受けられる。これらの橋梁が架かる河川は比較的小規模で、堤防内の洪水敷が存在しないものが多い。このため、道路橋示方書の提示する水際線の条件を満たさないものが多く、地盤流動の検討条件から外れる場合がある。

また、昭和30年以前に施工された橋梁の基礎は、摩擦杭を採用しているものが多く、杭基礎を前提としているフローの考え方と合致しないものも存在する。

以上、橋梁の抽出までを示してきたが、この結果の妥当性を検証しなければ、実務での利用には結びつかない。そのためには、今回抽出した橋梁について、水際線と橋脚との位置関係、盛土堤防の有無と橋脚の位置等を調査し、地盤流動の影響を受ける要因を再確認する必要がある。さらに、摩擦杭の取り扱い方法も別途定める必要がある。

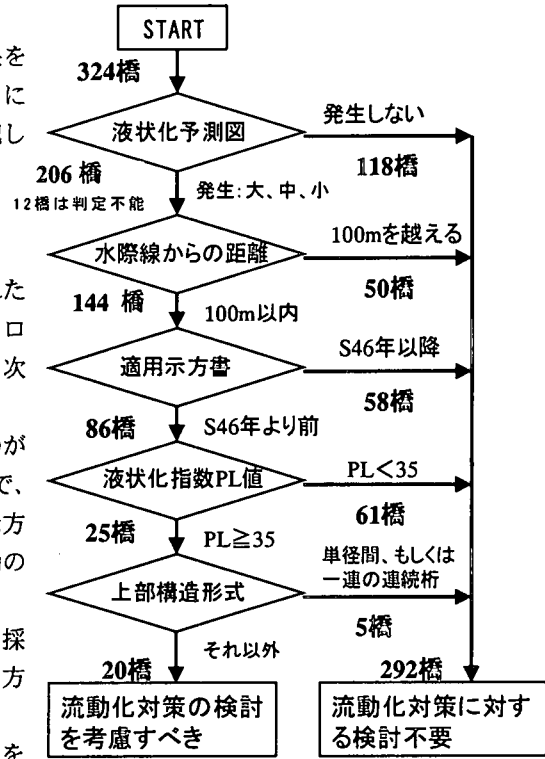


図-12 判定フローと橋梁分類

6. 既設橋梁による構造計算結果を考慮した液状化・地盤流動判定フローの再考

ここでは、抽出フローの妥当性を検討するために、施工年次、構造、地盤条件等を考慮して、実際の橋梁を3橋選び、液状化及び地盤流動に対する耐震性の評価を計算により検証する。この結果により、「地盤流動対策を考慮すべき橋梁の判定フロー」の一部を修正して、橋梁の抽出を再度行う。

6.1 既設橋梁による構造計算

3橋の諸条件を表-4に、平成8年道路橋示方書を計算条件とする3橋の計算結果のまとめを表-5に示す。これより、液状化時においては、3橋ともO.Kとなり、設計基準を満たしている。

一方、地盤流動化時においては、Z橋で地下水位設定によらずN.Gとなる。これは、液状化層厚（流動荷重を考慮する層）が20mと他の橋梁と比較し圧倒的に厚い条件となっており、Pl値も65と非常に大きな値を示していることによる。このため、流動化時の構造計算を行うときには、地盤抵抗を無視することとなり、非常に厳しい条件となる。したがって、Pl値が大きい値（50以上）であれば、適用示方書に関係なく、耐震上問題になることが予想される。なお、X橋については、構造条件等の変更により、NG解の得られるケースが認められた。

6.2 作成方針

新しいフローの作成方針を以下に示す。

- ① 液状化・流動化の影響について、「液状化が発生しない」範囲に位置する橋梁は対象外とした。
- ② 液状化が発生する範囲でかつ橋下種別が河川・運河等に区分される橋梁は、基本的に流動化の影響を受ける区分に分類した。
- ③ Z橋の計算結果を準用して、適用示方書に関係なくPl値50以上の橋梁については、耐震上問題になると判断した。
- ④ モデル橋梁・モデル地盤を用いた構造計算より、Pl値が35以上で適用示方書がS46以前の橋梁は、流動化の影響を考慮すべきとしたが、さらにX橋の計算結果を適用して、Pl値が25以上で適用示方書がS46以前の橋梁は、流動化の影響を考慮すべきとした。
- ⑤ 落橋しにくい構造の橋梁は、流動化の影響を受けても落橋にまでは至らず、それによる被害は基本的に生じないと考えた。したがって、これらに該当する構造形式として、単径間の橋梁は除外することとした。

6.3 判定フローと抽出結果

前述の作成方針に基づき、今回新たに作成した判定フローに抽出橋梁数を併記したものを図-13に示す。今回

の判定フローが前回のもものと比較して大きく変わった箇所は、① PL 値が 50 以上ならば適用示方書の年次にかかわらず流動化対策を考慮すること、② 昭和 46 年以前の示方書による設計の場合、今回は PL 値が 35 以上で流動化対策を考慮することとしたが、今回は 25 以上の場合とした点である。

このように、流動化対策に該当する条件を厳しくしたため、「流動化対策の検討を考慮すべき」に当てはまる橋梁数は増加し、前述では 20 橋であったものが、今回は 49 橋となった。

7. 今後の課題

7.1 判定フローの充実化

今回の検討において作成した液状化・流動化に対する判定フローは、モデル橋梁と既設橋梁 3 橋の限定された条件をもとに作成したものである。今後、設計成果の蓄積に伴い、必要に応じて判定フローの見直しを行い、より精度の高い判定フローを作成していくことが望ましい。

7.2 対策の優先順位

対策の優先順位については、今回の報告から判断すると、液状化指数 PL 値の大きい順となるが、実際は道路の機能上の重要度や被災した場合の影響度等を考慮して総合的に判断することが望ましい。

7.3 対策工における河川管理者との連携

流動化対策工として最も効果のあるものは、流動変位を生じさせない方法もしくは軽減する方法である。そのためには、河川堤防など護岸構造物の耐震対策を実施するのが最も効果的であるといえる。したがって、河川管理者との連携をとりながら、護岸および橋梁の耐震強化に関して費用対効果に優れた対策工法を選定することが重要と考えられる。

7.4 施工環境に応じた対策工法の開発

東京都内の既設橋梁周辺の対策工事など施工環境を考えると、近接施工、騒音・振動、空頭制限、用地の問題など様々な制約条件が存在するといえる。このような環境の中で、低コストでかつ対策効果が優れた対策工法について調査・研究を実施していくことが望ましい。

7.5 地盤流動に対する橋台基礎への検討

—平成14年道路橋示方書への対応—

今回の一連の研究は、橋脚基礎を対象に検討を行っており、橋台については考慮していない。これは、平成8年道路橋示方書では、橋台基礎の流動化の影響については考慮しなくてもいい旨が記載されていることが根拠であった。

一方、平成 14 年道路橋示方書から、「橋に影響を与える液状化が生じると判定される地盤にある橋台基礎」では、保耐法によってレベル 2 地震動に対する照査を行う旨が示されている。また、流動化に対する照査については、平成 14 年道路橋示方書においても特に定められてはいないが、流動化の可能性の大きいエリアが広域的に分

表-4 3橋(橋脚)の諸条件

橋梁名	適用示方書年度	検討対象橋脚	基礎型式	杭本数(本)	杭長(m)	液状化層厚(m)	PL値
X橋	昭和39年	P6	鋼管杭 φ610	14	40	5.0	25.78
Y橋	昭和55年	PA2	場所打ち 杭φ1200	11	54	9.3	49.00
Z橋	昭和55年	P6	場所打ち 杭φ1200	12	52	20.0	65.38

表-5 計算結果のまとめ

橋梁名	液状化時	流動化時		フーチング底面深さ
		設定水位		
		A.P.1.4m	フーチング底面	
X橋	O.K(N.G)	O.K	N.G	A.P.-5.4m
Y橋	O.K	O.K	O.K	A.P.-0.9m
Z橋	O.K	N.G	N.G	A.P.-1.9m

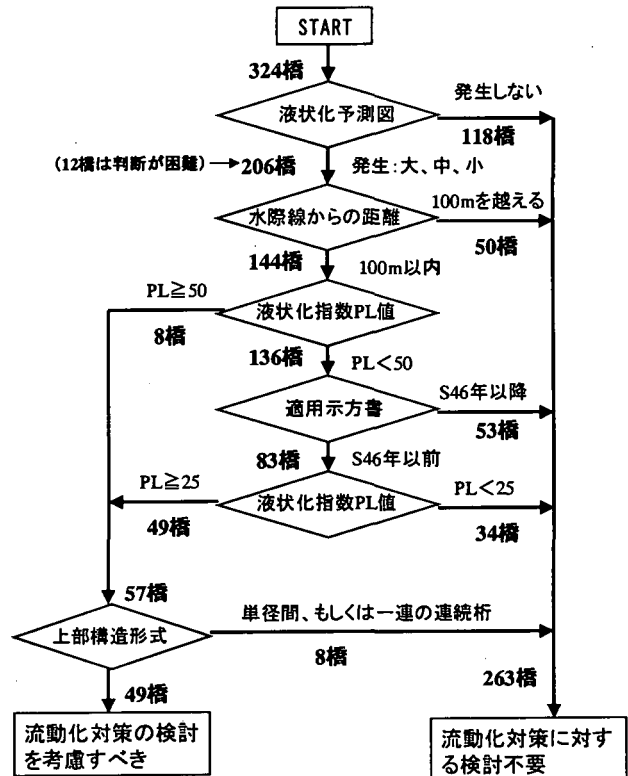


図-13 地盤流動対策を考慮すべき橋梁の判定フロー (再考後)

布している地域に数多くの橋梁が存在している東京低地においては、流動化に関する橋台の影響評価を独自に検討していく必要も考えられる。

8. まとめ

以上の結果をまとめると次のとおりとなる。

- (1) 道路橋基礎液状化診断プログラムを作成した。本プログラムは、東京 23 区内の各橋梁位置とその地点における液状化の程度及び地盤流動ポテンシャルの関係をマッチングさせる機能を持つ。
- (2) モデル橋梁、モデル地盤を設定し、過去の示方書類（S31,S47,S55）で設計を行い、それから得られる設計諸元について、現在の道路橋示方書（H8）で規定している液状化及び地盤流動に関する諸条件を満たしているか否かの評価を行った。
- (3) 東京低地の典型的な例として、支持層までの厚さを 33m とし、3 通りの液状化層厚（3m,6m,9m）を有するモデル地盤を設定した。
- (4) 上記の設定と計算により、昭和 47 年指針よりも古い基準で設計された橋梁は、 P_L 値が 35 以上の地盤になると、地盤流動の影響により耐震上問題となる結果が得られた。
- (5) 上記の結果及び構造的な要因をまとめて、道路橋基礎液状化・地盤流動判定フローを作成した。
- (6) 東京低地部に位置する 324 橋について、判定フローを用いて「地盤流動に対する対策の検討を考慮すべき橋梁」の抽出を行った。
- (7) 上記により 20 橋が抽出されたが、この結果はあくまで一つの解釈例であり、今後の検討課題を多く含むことが認められた。
- (8) 液状化・地盤流動に対する判定フローの精度向上を目的とし、道路橋示方書に基づき、既設橋梁の液状化時および流動化時に対する構造計算を実施した。
- (9) 上記の計算により、適用示方書によらず、 P_L 値が50程度以上の地盤条件を有する橋梁の場合、耐震上問題となる結果が得られた。
- (10) 上記の結果を考慮して、既設橋梁の液状化・流動化に対する判定フローを再考した。これにより、対策を考慮すべきとされる橋梁は 49 橋となった。
- (11) 今後の課題として、研究の対象を橋台基礎へ拡張する必要も考えられる。

9. あとがき

本成果は、従来から当所が積極的に実施してきている「液状化研究」と「直下地震被害予測システム」及び「地盤情報システム」の成果を用いて、東京低地に位置する橋梁基礎の耐震性を体系的に評価したものである。液状化や流動化の地域が複雑に分布している東京低地の全域を対象として、そこに位置する橋梁基礎の耐震性を評価した本成果は、非常に有用なものと考えられる。

一方、現在の橋梁耐震補強工事は、上部工と橋脚部を主体としているため、本成果が直ちに実務に利用される可能性は少ないと思われる。しかながら、今後、橋梁基礎の液状化・地盤流動対策を検討する機会が生じた場合、成果の活用が期待される。

なお、本研究内容における橋梁構造計算、フロー作成に関する内容は、日本技術開発株式会社（担当：真壁進氏、濱野雅裕氏）への委託成果によるものである。

<参考文献>

- 1) 東京都建設局(2001)：建設局事業概要平成 13 年度版、p50
- 2) 東京都総務局災害対策部(2002)：東京都震災対策事業計画－震災から首都東京を守る－、pp27-29
- 3) 社団法人 日本道路協会(1996)：道路橋示方書・同解説Ⅴ耐震設計編（平成 8 年 12 月）
- 4) 小川好、草野郁、関根淳(1999)：東京直下地震被害予測システムの開発(その 2)、平 11 都土木技研年報、pp143-154
- 5) 草野郁、小川好、森洋(1999)：直下地震を想定した東京区部の液状化予測、平 11 都土木技研年報、pp135-142
- 6) 草野郁、岡田佳久、森洋、中村正明、中山俊雄、小川好(2000)：タイプⅡ地震動を対象とした東京区部の地盤流動ポテンシャルマップ、平 12 都土木技研年報、pp219-229
- 7) 社団法人 日本道路協会(1980)：道路橋示方書・同解説Ⅴ耐震設計編（昭和 55 年 5 月）
- 8) 社団法人 日本道路協会(1997)：道路橋の耐震設計に関する資料（平成 9 年 3 月）
- 9) 社団法人 日本道路協会(1956)：鋼道路橋設計示方書（昭和 31 年）
- 10) 社団法人 日本道路協会(1972)：道路橋耐震設計指針・同解説（昭和 47 年 4 月）