

2. 検討方法

2.1 検討の流れ

東日本大震災における液状化に伴い被災した表 2.1-1 に示す合計 5 地区の道路を対象として、国及び各自治体から収集した①液状化被害の箇所及び被害状況、②道路構造等・埋設管等の諸条件、③地盤条件（ボーリング柱状図、液状化判定結果）に関するデータを整理し、被害に関する相関分析を効果的に行うことを念頭に、一元的にデータを管理できるように地理情報システム（以下、GIS という）を活用して整理した。

GIS に構築した各種データをもとに、液状化被害状況（被害形態、被災程度等）、道路構造等・埋設管等の諸条件、地盤条件との関連性について整理し、重ね合わせによる分析、数値による相関分析等を行った。重ね合わせ分析は、被災状況、地盤条件、道路諸元、埋設管情報等を道路延長 100m 区間毎の整理表に集計し、被害と各条件との相関を分析した。

以下に、液状化被害の箇所及び被害状況、道路構造等・埋設管等の諸条件、地盤条件の整理方法について詳述する。

(1) 液状化被害の箇所及び被害状況に関する整理

整理対象となる路線（延べ140路線、延長約80km）に対して、車道で発生した液状化による道路平面部の被災発生箇所について整理を行い、被害形態（噴砂、亀裂、段差、陥没、占用物件の突出等）、被災程度については、平面図に図示した。また、あわせて被災時の交通機能への影響について整理を行った。

(2) 道路構造等・埋設管等の諸条件に関する整理

対象路線の標準断面などの資料から舗装構成（路床改良も含む）を整理するとともに、下水道管路の位置情報を平面図上に整理した。

(3) 地盤条件の整理

検討対象箇所周辺のボーリングデータおよび土地造成の履歴等について整理するとともに、各ボーリング地点で、東日本大震災発生時の地震動強度に基づき液状化判定を行い液状化層厚、 P_L 値等を求めた。さらに、地下水位や液状化層厚等を、最適化手法によるコンター処理を行うことにより各検討箇所直下（100m区間毎に分割）の地盤条件として割り当てた。

表 2.1-1 整理対象地域一覧

	地域名または路線名
1	日立市(国道 245 号)
2	香取市
3	千葉市
4	神栖市
5	浦安市

2.2 資料の整理方法

2.2.1 液状化被害の箇所、被害状況に関する整理方法

(1) 液状化被害状況の整理

東日本大震災後の調査資料、災害査定資料、被災直後の緊急工事や復旧工事等の記録を用いて、車道で発生した液状化による道路地表面部の被災（噴砂、段差、クラック、隆起、陥没および付帯構造物・占用物件の損傷等）の発生箇所について整理を行った。

被災箇所の位置については、平面図上に被災箇所が記されている場合はその位置を読み取り、被害写真のみ資料がある場合はGoogle マップのストリートビュー等を用いて、写真から位置を推定し整理した。

また、段差が生じた相対変位量やクラックの長さ等の定量的な被害の指標については、各資料、平面図上および写真内に被害程度の記載がある場合はそれを読み取り整理した。写真があってもスケール等がなく定量的な指標が判断できない場合は不明とした。

以下に被災形態の代表的な写真を示す。噴砂が発生した場合は噴砂量が多いと通行が一時的に困難となるだけでなく、車道部の土砂の除去作業のため一時的でも通行規制が発生したと考えられる。また、段差・隆起・陥没などの鉛直変位が発生した場合は、変位量等の程度が大きいとその箇所の通行が困難になることが想定される。このため本検討では、被災形態の中で交通機能への影響が大きいと思われる、噴砂および段差・隆起・陥没などの鉛直変位を主な対象として被害状況の整理を行った。なお、下水道等のマンホールの浮き上がり被害は、路面の隆起による通行阻害と同様の交通機能への影響を及ぼすことから、隆起として整理を行った。



写真 2.2-1 被災写真（左：噴砂，右：段差）



写真 2.2-2 被災写真（左：クラック，右：隆起）



写真 2.2-3 被災写真（左：陥没，右：付帯構造物の損傷）

(2) 被害ランクの整理

被害ランクは、対象とした被災箇所について、交通機能に着目した場合と構造的な変形に着目した場合の2パターンでそれぞれ整理を行った。

交通機能に着目した被害ランクは、東日本大震災直後における緊急工事や通行止めの実施、中長期的な何らかの復旧工事の実施の有無に着目し、表 2.2-1 の3つのランクに区分した。ランク「大」は、交通上重要な道路において大規模な損傷が発生し、発災直後に通行不能となり、緊急工事の実施により仮復旧が行われた区間、ランク「中」は、被災後も通行可能であったが、損傷が確認されたため復旧工事が行われた区間、ランク「小」は「大」及び「中」以外の軽微な被災が確認された区間として整理した。

また、構造的な変形に着目した被害ランクは、表 2.2-2 のとおり車道部の舗装において段差・隆起・沈下等の鉛直変位が生じ、かつその変位量が資料等から判明している被災箇所について、変位量 5cm 単位でランク分けを行った。既往の研究¹⁾では、地震後に路面に発生した段差を車両が通過する際、段差が 5~10cm で走行速度が 10~15km/h 程度、段差が 10cm を超えると 5km/h 程度でないと走行できなくなるとともに、段差が 10cm を超えるとドライバーが危機感を感じやすくなる傾向が報告されている。このため、鉛直変位 0~5cm を被害ランク「小」、鉛直変位 5~10cm を被害ランク「中」、鉛直変位 10cm 以上を被害ランク「大」として整理した。

表 2.2-1 交通機能に着目した被害ランク

ランク	定義
大	緊急工事，通行止めがあった
中	復旧を行った路線
小	上記以外の路線

表 2.2-2 構造的な変形に着目した被害ランク

ランク	定義
大	鉛直変位 10cm 以上
中	鉛直変位 5~10cm
小	鉛直変位 0~5cm

2.2.2 道路構造, 埋設管, 埋立履歴, 交通規制情報等の諸条件の整理方法

(1) 道路構造の整理

2.2.1 にて整理を行った液状化被害が生じた路線を対象とし、道路構造の整理を行った。道路構造は、資料等から路線の代表断面の路盤材料、横断構成、舗装構成を読み取り整理を行った。また、資料内の平面図から路線位置、路線区間を確認し、GIS 上に路線のラインデータとして作成した。

なお、表 2.2-3 に示す 18 路線では、設計 CBR も確認できたことから、路線区間内で路床土の支持力の条件が大きく変化していないか（路線区間を一連区間と判断できるか）の確認に用いた。

表 2.2-3 設計 CBR が確認できた路線一覧

番号	地区名	路線名
1	浦安市	国道 357 号
2	浦安市	幹線 9 号線
3	浦安市	幹線 10 号線
4	浦安市	幹線 11 号線
5	浦安市	9-1 号線
6	浦安市	9-2 号線
7	浦安市	9-3 号線
8	浦安市	9-4 号線
9	浦安市	10-1 号線
10	浦安市	10-2 号線
11	浦安市	10-3 号線
12	浦安市	10-4 号線
13	浦安市	10-5 号線
14	浦安市	10-6 号線
15	浦安市	10-7 号線
16	浦安市	10-8 号線
17	浦安市	10-9 号線
18	浦安市	10-11 号線

(2) 埋設管の整理

道路下に埋設される管路については、自治体で管理している占用物件のうち、台帳（下水道の SHAPE 形式ファイル）に記載されているものについては全て GIS 上にラインデータとして整理した。管径については断面図で確認したのみであるが、概ね $\phi 500\sim 1000\text{mm}$ と考えられる。

なお、埋設深さの情報が得られた箇所については GIS データに反映したが、得られなかった箇所については、平面的な位置関係のみを GIS 上で整理した。また、埋戻し材に関する情報については、データ収集できなかった。

(3) 埋立履歴の整理

埋立造成履歴の資料等を用いて、検討対象地域における埋立範囲および埋立年の整理を行った。埋立範囲は資料内の平面図や過去の航空写真から読み取り整理した。また、埋立年は資料内の記述があればそれを整理し、記述がない場合は、資料内における過去の航空写真または平面図から埋め立てたことが確認できた時点を埋立年として整理した。

なお、地盤材料、埋立て方法等の情報は得られなかったため、埋立範囲と埋立年のみについて整理した。

(4) 交通規制情報の整理

(1)で整理した路線を対象として、被災後の交通規制情報の整理を行った。東日本大震災直後の混乱した状況の中で、交通規制状況や被災直後の緊急工事の実施状況などについては、情報が錯綜しており正確な情報がとりまとめられていない地区が多かったが、規制区間等が資料から把握可能な区間については、その規制内容を読み取り GIS 上に整理した。

(5) 道路周辺状況の把握

(1)で整理した路線を対象として、道路周辺状況の整理を行った。道路周辺状況は、地形図や Google マップ等から道路周辺の地形や土地利用状況（平地、住宅地、工業地帯等）、近接する構造物や各種施設（立体交差、河川堤防、河川護岸、商業施設等）を読み取り整理した。

2.2.3 地盤条件の整理, 液状化判定, (非)液状化層の算定, P_L 算定等の方法

(1) 地盤条件の整理

各地区の地盤情報（ボーリング柱状図, 土質試験結果, 地質断面図）を収集整理した。表 2.2-4 に地域毎に収集したボーリングデータ数と収集資料の一覧を示す。ボーリングデータについては, 地盤情報データベースに整理した。地盤情報データベースの表示例を次項に示す。

表 2.2-4 整理したボーリングデータ数

	地区名称 (路線等)	ボーリング数	収集資料
1	日立市 (国道 245 号)	10	・県単道修 第 101 号 災害復旧査定設計業務委託報告書 ・「新・関東の地盤(2014 版)」(地盤工学会関東支部)
2	香取市	41	・千葉県地質環境インフォメーションバンク ⁷⁾ ・国土地盤情報検索サイト「KuniJiban」 ⁸⁾ ・香取市 液状化対策検討委員会資料 ⁹⁾
3	千葉市	64	・千葉市 液状化対策推進委員会資料 ¹⁰⁾
4	神栖市	23	・平成 23 年度 23 災害市道液状化対策調査業務委託報告書
5	浦安市	214	・浦安市液状化対策技術検討調査委員会資料 ¹⁶⁾
	合計	352	

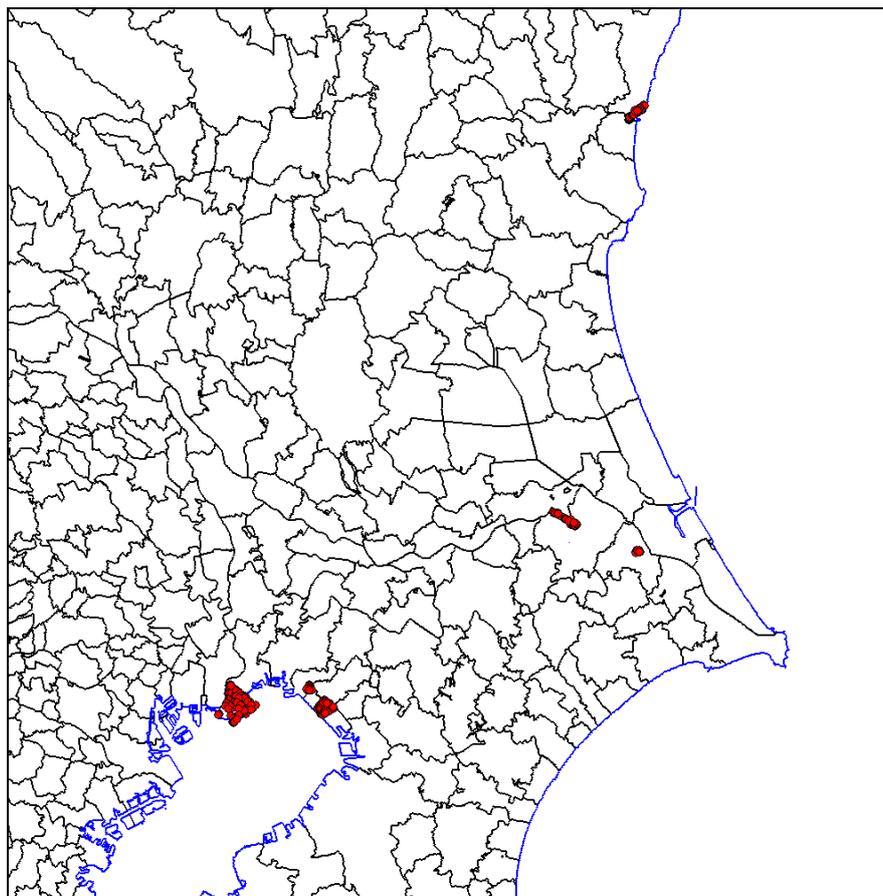


図 2.2-1 データベースに整理したボーリング位置図

調査件名：県単道修第101号 災害復旧査定設計業務委託

調査時期：平成23年3月18日～23年3月19日

ボーリングコード：TK H23 001

位置座標：北緯=36 29 32.3000 東経=140 36 56.1000

孔口標高：2.4m

孔内水位：2.85m

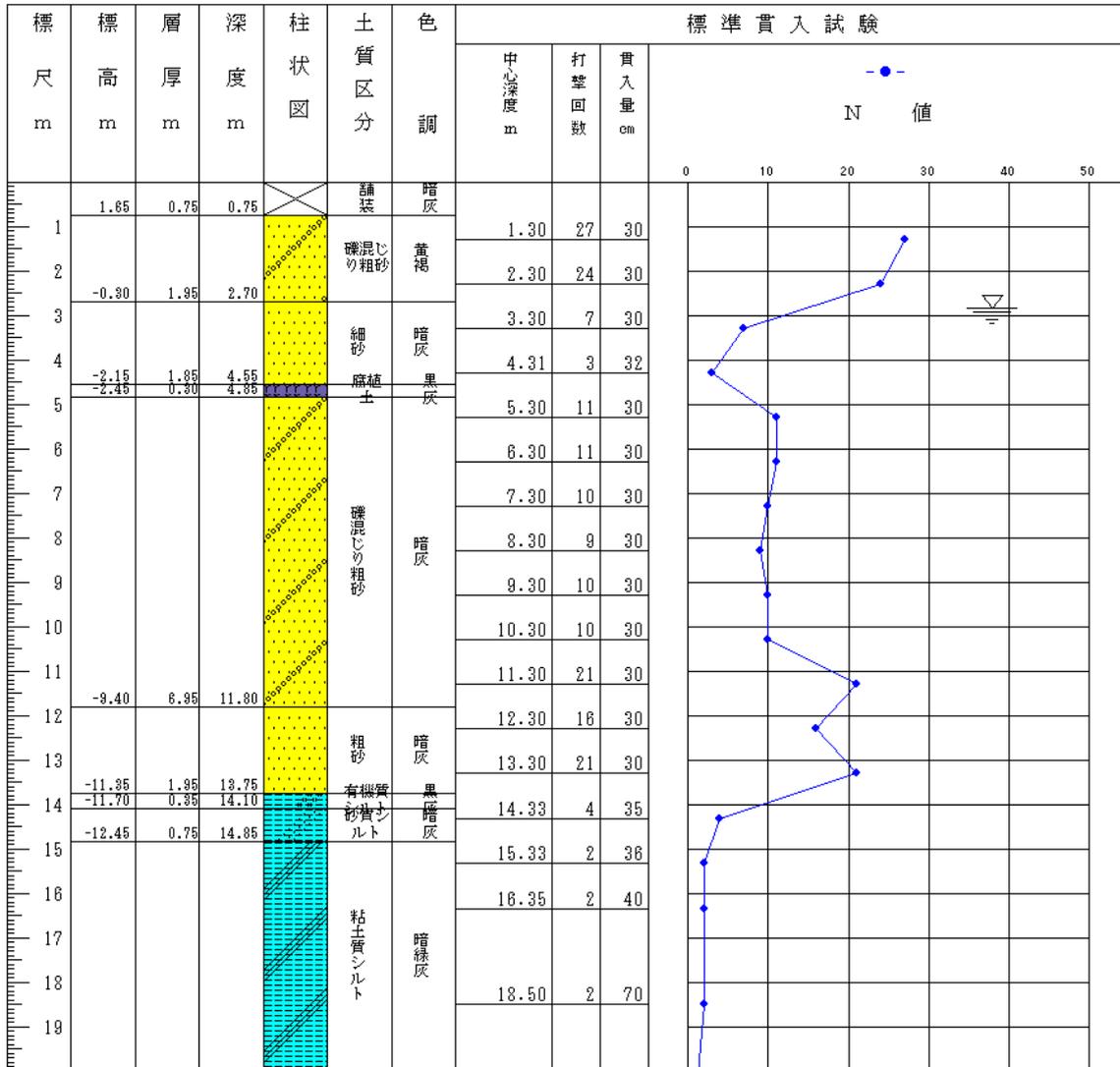


図 2.2-2 データベース化したボーリング柱状図の表示例

(2) 液状化判定手法

液状化判定手法としては、日立市、千葉市、神栖市、浦安市については、「道路橋示方書（平成24年）²⁾」の液状化判定法を用いたが、香取市においては液状化対策検討委員会で「建築基礎構造設計指針³⁾」の液状化判定法を採用していることから、整合を図るため本検討においてもこれを採用した。

以下に基準ごとの液状化判定手法を示す。

1) 道路橋示方書（平成 24 年）

図 2.2-3 に道路橋示方書（平成 24 年）の液状化判定フローを示す。

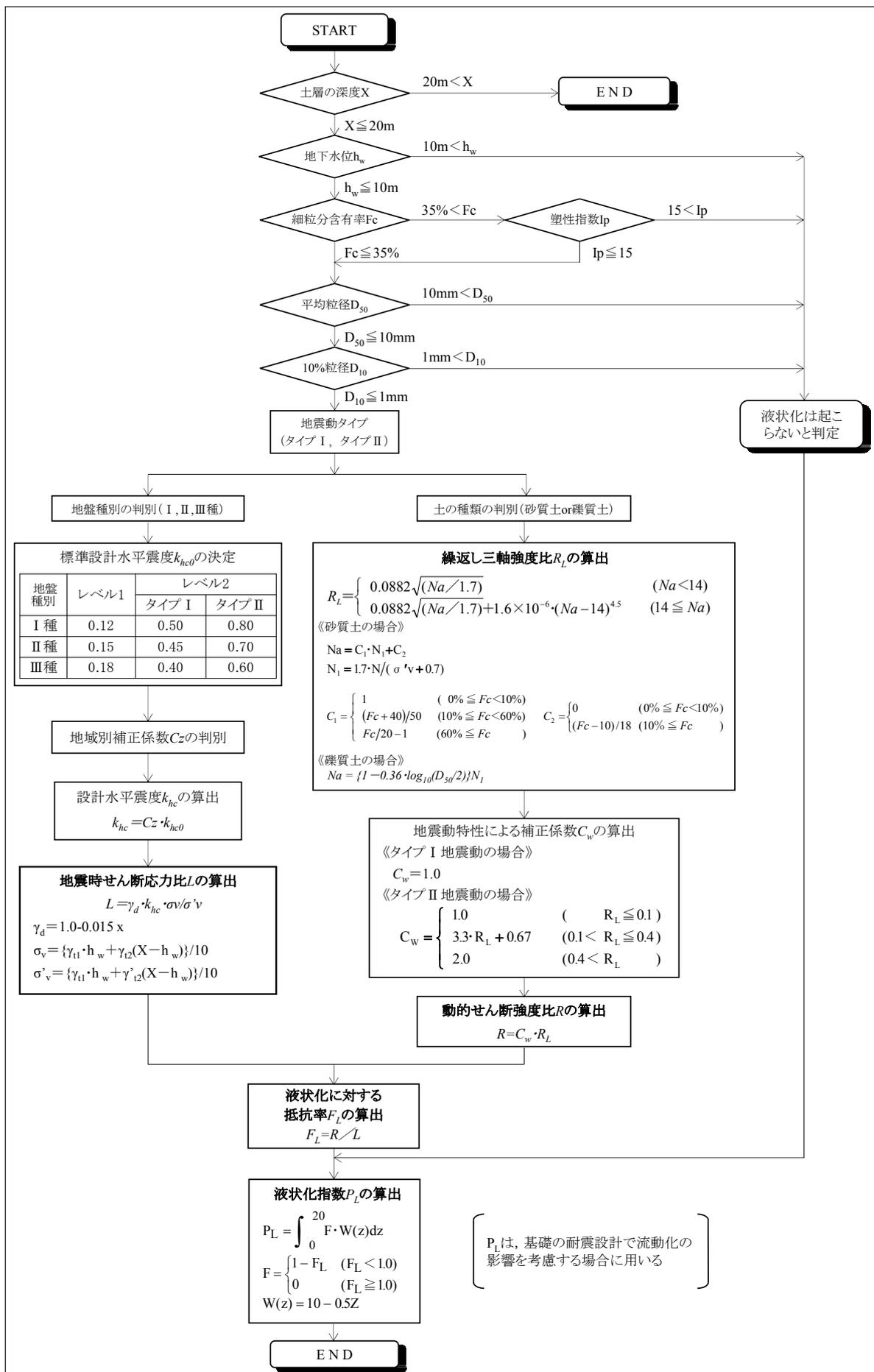


図2.2-3 道路橋示方書・同解説V耐震設計編（平成24年）による液状化判定フロー

①液状化の判定が必要な土層

本基準は次の条件すべてに該当する土層を液状化判定の対象とする。

- 沖積土層
(洪積土層のうちN値の低い土層や続成作用を喪失した土層等は判定を行うのがよい)
- 飽和砂質土層
- 対象深度: GL ± 0 ~ -20m
- 地下水位 ≥ GL-10m
- 細粒分含有率 $F_c \leq 35\%$ の土層, または $35\% < F_c$ でも塑性指数 $I_p \leq 15$ の土層
- 平均粒径 $D_{50} \leq 10\text{mm}$
- 10%粒径 $D_{10} \leq 1\text{mm}$

注) ここに示す各種粒径 (D_{10} , D_{50}) 及び細粒分含有率 F_c は, ボーリング調査で採取された試料のふるい分け試験により求めた粒度分布に基づいている。本検討では $D_{50} \leq 10\text{mm}$ となる土層を液状化判定が必要な土層としているが, ボーリング調査で採取した試料は粒子破碎により原位置より粒度が細くなる傾向があるため, 実際に原位置で考えると D_{50} が 10mm より大きい土層も液状化判定の対象となっているケースもあると考えられる。

②地震動タイプ

道路橋示方書では, 表 2.2-5 に示すように地震動タイプに応じて C_w により繰り返し三軸強度比 R_L の補正を行う。今回は, 東日本大震災を想定しているため, レベル2地震動プレート境界型(タイプI)地震動として C_w を設定した。

表 2.2-5 道路橋示方書における地震動タイプ

地震動レベル	タイプ	道路橋示方書における定義・特徴
1	—	<ul style="list-style-type: none"> • 橋の供用期間中に発生する確率が高い地震動 • 比較的生じる可能性の高い中規模程度の地震
2	I	<ul style="list-style-type: none"> • 橋の供用期間中に発生する確率は低いが大きな強度をもつ地震動 • 発生頻度が低いプレート境界型の大規模な地震 • 大きな振幅が長時間繰り返して作用する地震動
	II	<ul style="list-style-type: none"> • 橋の供用期間中に発生する確率は低いが大きな強度をもつ地震動 • 発生頻度が極めて低い内陸直下型地震 • 継続時間は短いが大きな強度を有する地震動

③地震時せん断応力比の算出

液状化判定に用いる設計水平震度 k_{hc} は次式で算出する。地表最大加速度 α_{max} については, 検討対象地域近傍で観測された代表的な強震記録の最大加速度に基づいて設定した。

$$k_{hc} = \frac{\alpha_{max}}{g}$$

α_{max} : 地表最大加速度 (gal)

g : 重力加速度 (980gal)

地震時せん断応力比 L を次式で算出する。

$$L = \gamma_d \cdot k_{hc} \cdot \frac{\sigma_v}{\sigma'_v}$$

$$\gamma_d = 1.0 - 0.015x$$

$$\sigma_v = \frac{\{\gamma_{t1} \cdot h_w + \gamma_{t2}(x - h_w)\}}{10}$$

$$\sigma'_v = \frac{\{\gamma'_{t1} \cdot h_w + \gamma'_{t2}(x - h_w)\}}{10}$$

γ_d : 地震時せん断応力比の深さ方向の低減係数

k_{hc} : 地震時保有水平耐力法に用いる設計水平震度

σ_v : 全上載圧 (kN/m^2)

σ'_v : 有効上載圧 (kN/m^2)

x : 地表面からの深さ (m)

γ_{t1} : 地下水位面より浅い位置での土の単位体積重量 (kN/m^3)

γ_{t2} : 地下水位面より深い位置での土の単位体積重量 (kN/m^3)

γ'_{t2} : 地下水位面より深い位置での土の有効単位体積重量 (kN/m^3)

h_w : 地下水位の深さ (m)

④動的せん断強度比の算出

繰返し三軸強度比 R_L を次式で算出する。

$$R_L = \begin{cases} 0.0882\sqrt{(Na/1.7)} & (Na < 14) \\ 0.0882\sqrt{(Na/1.7)} + 1.6 \times 10^{-6} \cdot (Na - 14)^{4.5} & (14 \leq Na) \end{cases}$$

《Na の算出方法》

$$N_1 = 1.7 \cdot N / (\sigma'_v + 0.7)$$

◆砂質土の場合

$$Na = C_1 \cdot N_1 + C_2$$

$$C_1 = \begin{cases} 1 & (0\% \leq F_c < 10\%) \\ (F_c + 40)/50 & (10\% \leq F_c < 60\%) \\ F_c/20 - 1 & (60\% \leq F_c) \end{cases} \quad C_2 = \begin{cases} 0 & (0\% \leq F_c < 10\%) \\ (F_c - 10)/18 & (10\% \leq F_c) \end{cases}$$

◆礫質土の場合 ($2\text{mm} \leq D_{50}$)

$$N_a = \{1 - 0.36 \cdot \log_{10}(D_{50}/2)\} N_1$$

N : 標準貫入試験から得られるN値

N_1 : 有効上載圧 $100kN/m^2$ 相当に換算したN値

N_a : 粒度の影響を考慮した補正N値

C_1, C_2 : 細粒分含有率によるN値の補正係数

F_c : 細粒分含有率 (%)

D_{50} : 平均粒径 (mm)

地震動特性による補正係数 C_w を地震動タイプにより以下のように算出する。

- ◆ レベル 1 地震動及びレベル 2 地震動（タイプ I）地震動の場合

$$c_w = 1.0$$

- ◆ レベル 2 地震動（タイプ II）地震動の場合

$$c_w = \begin{cases} 1.0 & (R_L \leq 0.1) \\ 3.3 \cdot R_L + 0.67 & (0.1 < R_L \leq 0.4) \\ 2.0 & (0.4 < R_L) \end{cases}$$

動的せん断強度比 R を次式で算出する。

$$R = c_w \cdot R_L$$

⑤液状化の判定

液状化に対する抵抗率 F_L を次式で算出する。

$$F_L = R / L$$

$$F_L \leq 1.0 \quad \text{-----} \quad \text{液状化する}$$

$$1.0 < F_L \quad \text{-----} \quad \text{液状化しない}$$

2) 建築基礎構造設計指針

図 2.2-4 に建築基礎構造設計指針の液状化判定フローを示す。

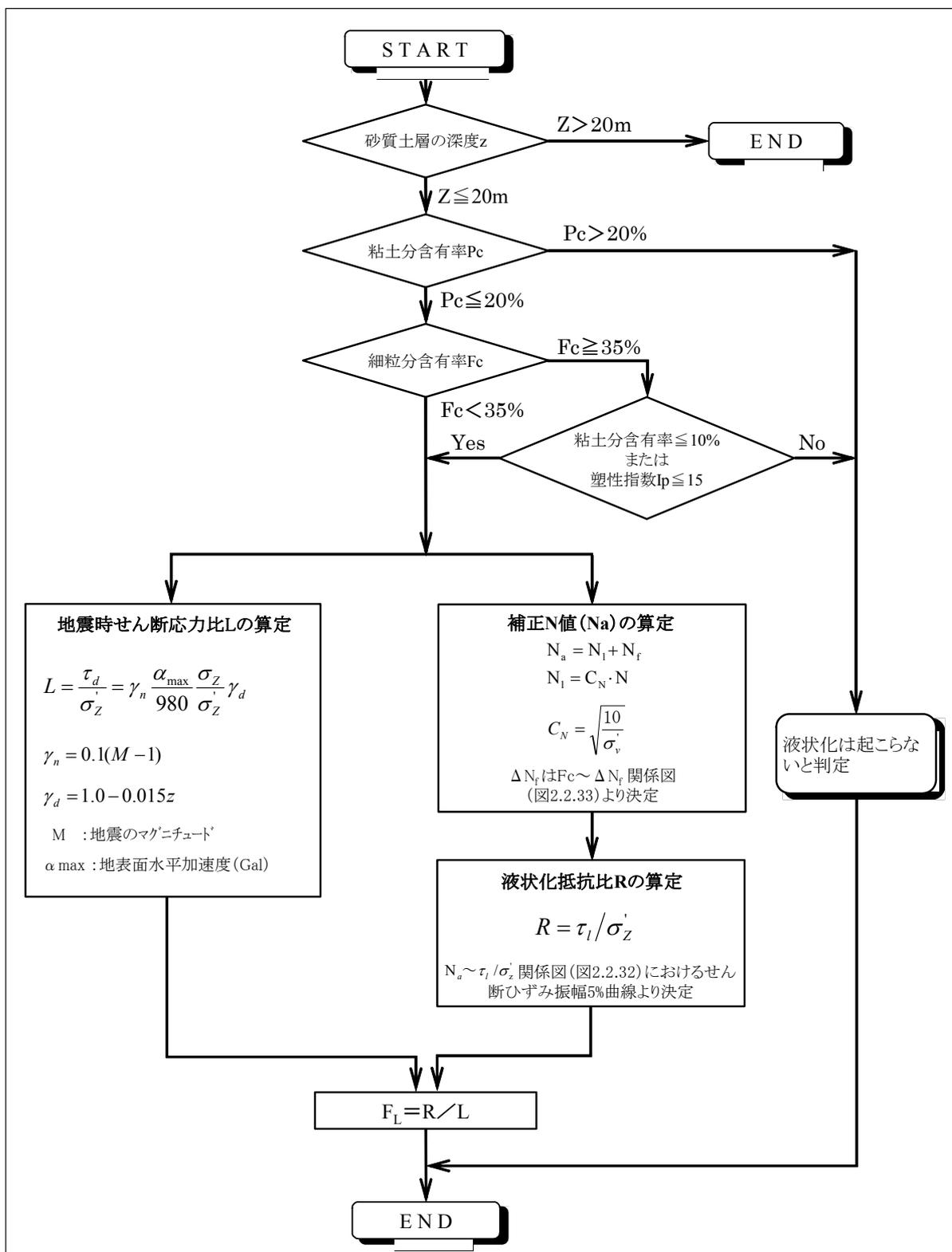


図 2.2-4 建築基礎構造設計指針による液状化判定フロー

①液状化判定が必要な土層

以下の土層を液状化判定の対象とした。

- 対象深度：GL±0～-20m
- 粘土分含有率 $P_c \leq 20\%$
- 細粒分含有率 $F_c < 35\%$ の土層（ただし $35\% \leq F_c$ でも $P_c \leq 10\%$ または塑性指数 $I_p \leq 15$ の土層）

②地震時せん断応力比の算定

等価な繰返しせん断応力比 L を次式で算定する。なお、地震のマグニチュードは気象庁発表のモーメントマグニチュード9.0とし、地表最大加速度 α_{max} については、検討対象地域近傍で観測された代表的な強震記録の最大加速度に基づいて設定した。

$$L = \frac{\tau_d}{\sigma'_z} = \gamma_n \cdot \frac{\alpha_{max}}{g} \cdot \frac{\sigma_z}{\sigma'_z} \cdot \gamma_d$$

$$\gamma_n = 0.1(M - 1)$$

$$\gamma_d = 1 - 0.015z$$

τ_d : 水平面に生じる等価な一定繰返しせん断応力振幅 (kN/m^2)

σ'_z : 検討深さにおける有効土被り圧 (kN/m^2)

γ_n : 等価な繰返し回数に関する補正係数

M : 地震のマグニチュード

α_{max} : 地表面における設計用水平加速度 (gal)

g : 重力加速度 ($980gal$)

σ_z : 検討深さにおける全土被り圧 (kN/m^2)

γ_d : 地盤が剛体でないことによる低減係数

z : 地表面からの検討深さ (m)

③液状化抵抗比の算定

次式より補正 N 値 N_a を求め、 N_a と液状化抵抗比 $R(= \tau_l / \sigma'_z)$ 関係図のせん断ひずみ振幅5%曲線を用いて液状化抵抗比 R を求める。

$$N_a = N_\lambda + \Delta N_f$$

$$N_\lambda = C_N \times N$$

$$C_N = \sqrt{10 / \sigma'_z}$$

N_a : 補正 N 値

N_l : 換算 N 値

ΔN_f : 細粒分含有率に応じた補正 N 値の増分

C_N : 換算 N 値係数

τ_l : 水平面における液状化抵抗 (kN/m^2)

σ'_z : 検討深さにおける有効土被り圧 (kN/m^2)

N : とんび法または自由落下法による実測 N 値(ただし、コーンプリー法を用いたときは、ロープをプリーから外してハンマを自由落下させる努力をした場合、1割程度、自由落下の努力をしなかった場合、2割程度割り引くこととする。)

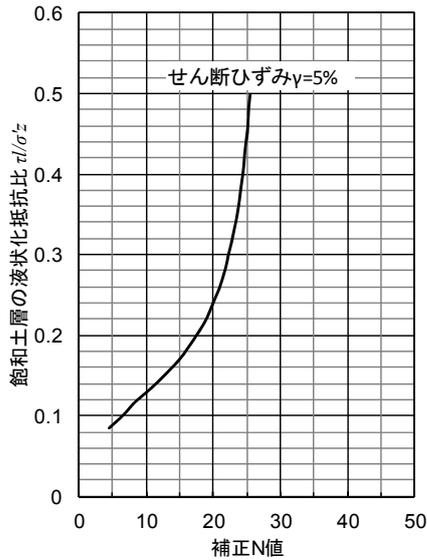


図 2.2-5 N_a と τ_λ/σ'_z の関係

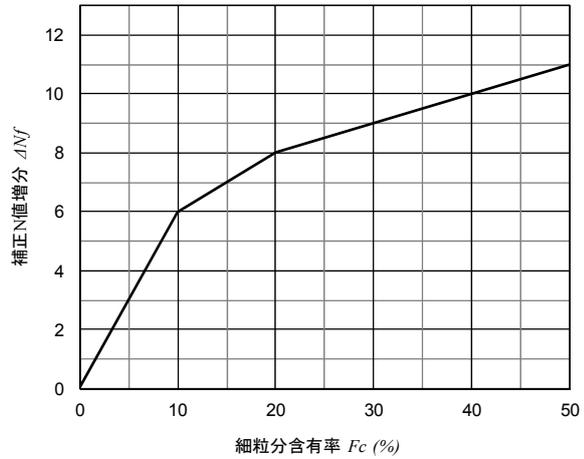


図 2.2-6 F_c と ΔN_f の関係

④液状化の判定

液状化発生に対する安全率 F_L を次式で算出する。

$$F_L = \frac{\tau_\lambda/\sigma'_z}{\tau_d/\sigma'_z} = \frac{\tau_\lambda}{\tau_d}$$

$F_L \leq 1.0$ … 液状化発生の可能性があり、値が小さくなるほど液状化発生危険度が高い

$1.0 < F_L$ … 液状化発生の可能性はない

ただし、 $F_L \leq 1.0$ でもサイクリックモビリティの影響で地盤のひずみがある範囲内に納まる可能性もある。

3) P_L 値の計算方法

F_L 値は液状化発生に対する安全率の深さ方向の分布として示されるが、被災箇所における被災ランクと液状化危険度の関係を検討する必要があることから、液状化判定地点における液状化危険度を示す指標である P_L 値を算出した。 P_L 値は、地下水位（地下水位が地表面と一致する場合は、地表面）より深度 G.L.-20m の間で、式(1)を用いて求めた。式(1)の積分は、 F_L 値が連続的でないために式(2)に示したように矩形法で行なった。なお、矩形法による積分を行なうに際し、後述のように土層境界深度や F_L の計算深度を考慮した計算を行なった。

$$P_L = \int_0^{20} (1 - F_{L,z})(10 - 0.5z) dz \quad \text{式(1)}$$

$F_{L,z}$: 深度 Z における液状化抵抗率（ただし、 $1 \leq F_{L,z}$ の場合は、 $F_{L,z}=1$ とする）

z : 深度 (m)

$$P_L = \sum_{i=1}^n (1 - F_{L,i})(10 - 0.5z_i) \Delta h_i \quad \text{式(2)}$$

$F_{L,i}$: 矩形 i における液状化抵抗率（ただし、 $1 \leq F_{L,i}$ の場合は、 $F_{L,i}=1$ とする）

z_i : $F_{L,i}$ の計算深度

Δh_i : 矩形 i の深度方向の長さ

n : 矩形の総数

4) シルト層の取り扱い

建築基礎構造設計指針によると、「埋立地盤など人工造成地盤では、細粒分含有率が 35%以上の低塑性シルト、液性限界に近い含水比を持ったシルトなどが液状化した事例も報告されているので、粘土分（0.005 mm以下の粒径を持つ土粒子）含有率が 10%以下、または塑性指数が 15%以下の埋立あるいは盛土地盤については液状化の検討を行う。」となっていることから、シルト層については、原則、液状化判定対象とした。

ただし、明らかに細粒分含有率が高いと想定できる粘土質シルトや土質試験で $I_p > 15$ が確認されている場合は、液状化判定対象外とした。

なお、香取市での検討では、シルト層の液状化判定に及ぼす影響を確認するために、シルト層を液状化判定対象外とした場合の検討も行った。

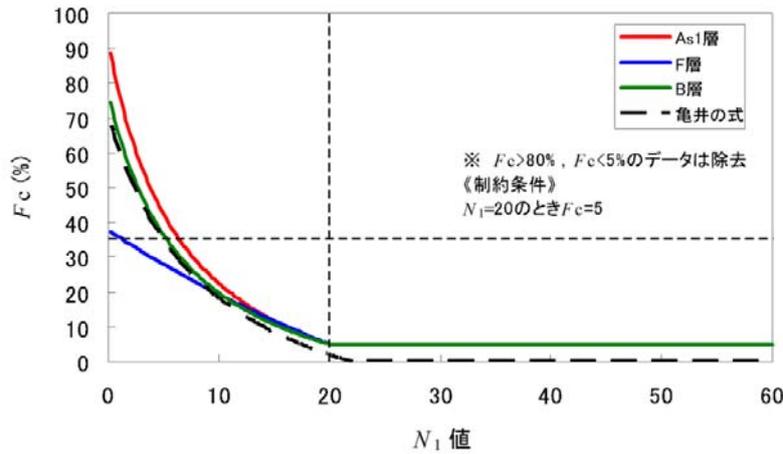
5) 土質物性値の取り扱い

液状化判定に使用する土質物性値は、土質試験結果を入手できた土層に対しては土質試験結果を使用し、土質試験結果がない場合は、浦安市以外の地区については「道路橋示方書 V 耐震設計編（平成 14 年）」に記載されている土質物性値の概略値等を参考に、表 2.2-6 に示す値を使用した。

また、浦安市については、「平成 23 年度 浦安市液状化対策技術検討調査 報告書 平成 24 年 3 月 浦安市液状化対策技術検討調査委員会」¹⁶⁾を参考に図 2.2-7 の方法で物性値を使用した。

表 2.2-6 土質試験結果がない場合に使用した土質物性値

土質分類	地下水位面下の 単位重量 γ_{t2} (kN/m ³)	地下水位面上の 単位重量 γ_{t1} (kN/m ³)	平均粒径 D_{50} (mm)	細粒分含有率 F_c (%)	液状化判定 の対象
表土	17.0	15.0	0.02	80	対象
シルト	17.5	15.5	0.025	75	対象
砂質シルト	18.0	16.0	0.04	65	対象
シルト質細砂	18.0	16.0	0.07	50	対象
微細砂	18.5	16.5	0.1	40	対象
細砂	19.5	17.5	0.15	30	対象
中砂	20.0	18.0	0.35	10	対象
粗砂	20.0	18.0	0.6	0	対象
砂れき	21.0	19.0	2.0	0	対象
素掘り	18.0	16.0	0.07	50	対象外
粘土	16.5	15.5	0.002	100	対象外
粘土質シルト	17.5	15.5	0.025	75	対象外
基岩盤	21.0	19.0	—	0	対象外



(全データ対象)
 ・Bs層 $FC = \frac{673.59}{N1+6.938} - 20.005$

・Fs層 $FC = \frac{10586}{N1+70.990} - 111.34$

・As1層 $FC = \frac{778.42}{N1+6.700} - 24.155$

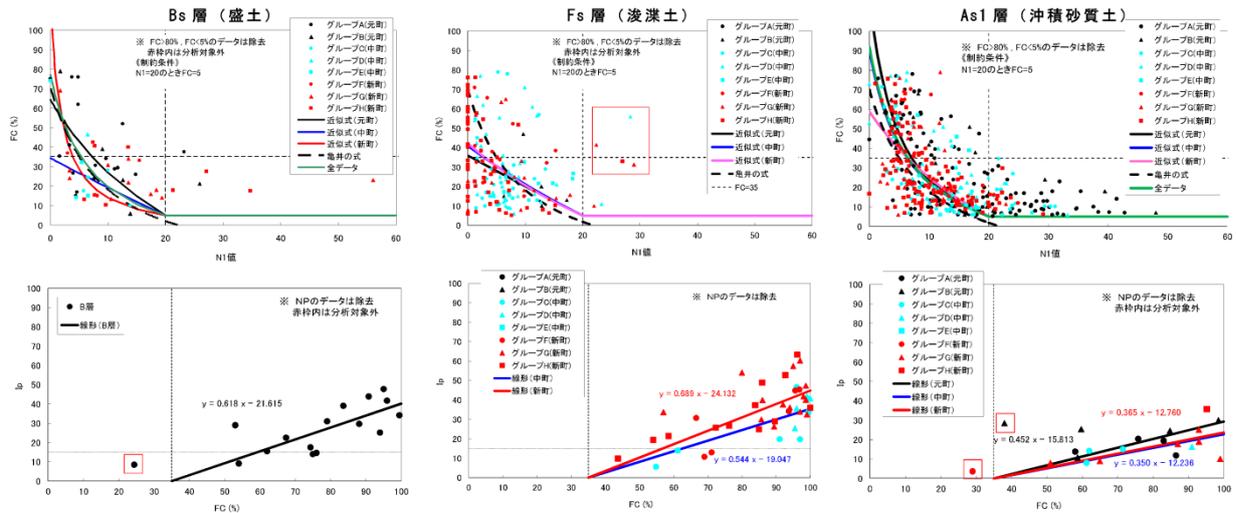


図 2.2-7 地盤物性値の設定方法(浦安市)

(3) 液状化層厚と非液状化層厚の算出方法

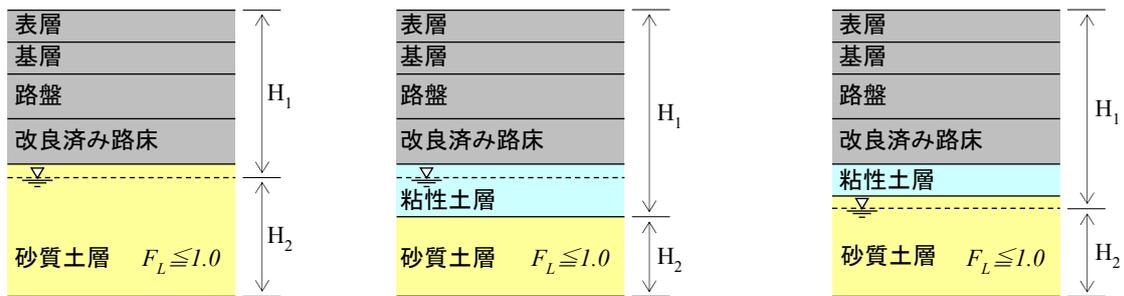
液状化層厚および非液状化層厚は、独立行政法人都市再生機構「宅地耐震設計マニュアル(案)」(平成20年)⁴⁾を基本に設定した。なお、浦安市の液状化層厚については、埋立土層(Fs層)の層厚から算出した。

1) 非液状化層厚(H₁)の算出方法

非液状化層厚は、表 2.2-7 及び図 2.2-8 のとおり地盤面から連続する液状化しないと判定された土層に、舗装厚や路床改良厚を加えた層とした。なお、路床についても液状化すると判定された場合は液状化層として取り扱うが、路床改良を行っている場合は、液状化判定対象外とした。

表 2.2-7 非液状化層厚(H₁)の定義

	地下水位より浅い層	地下水位より深い層			
		液状化の安全率 (FL値)が 1.0より大きい層	N値が2より大きい粘性土層 (埋立土・盛土)	細粒含有率35%を超える層 (沖積層・埋立土・盛土)	平均粒径10mm以上で、または10%粒径が1mm以上の土層 (沖積層・埋立土・盛土)
				粘土含有率が10%以上の層	塑性指数15以上の層
「建築基礎構造設計指針」を基本とする場合	○	○	○	○	○
道路橋示方書・同解説 V耐震設計編」を基本とする場合	○	○	○	-----	○



(a) 対象が全て砂層の場合 (b) 砂質土層の上に粘性土層がある場合 (地下水水位が粘性土層内) (c) 砂質土層の上に粘性土層がある場合 (地下水水位が砂質土層内)

図 2.2-8 非液状化層厚(H_1)の設定

2) 液状化層厚(H_2)の算出方法

液状化層厚は、図 2.2-9 のとおり F_L が 1.0 以下の層とし、1m 毎の計算深度において $F_L > 1.0$ が 2 回 (2.0m 以上) 連続する層の上面までの層とした。

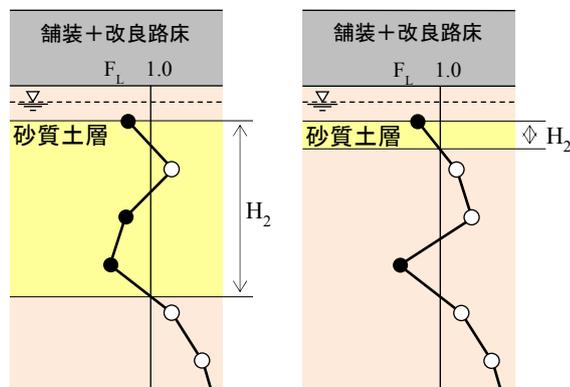


図 2.2-9 液状化層厚(H_2)の設定

3) 非液状化層厚(H_1)と液状化層厚(H_2)の設定

図 2.2-10 に、非液状化層厚、液状化層厚の設定例を 3 パターン示す。

- ①最も単純な 2 層パターン
- ②液状化層の途中で $F_L > 1$ が 2m 以上存在し非液状化層が挟まっていると判断したパターン
- ③液状化層の途中で $F_L > 1$ が存在するが 2m 以内なので液状化層が続くと判断したパターン

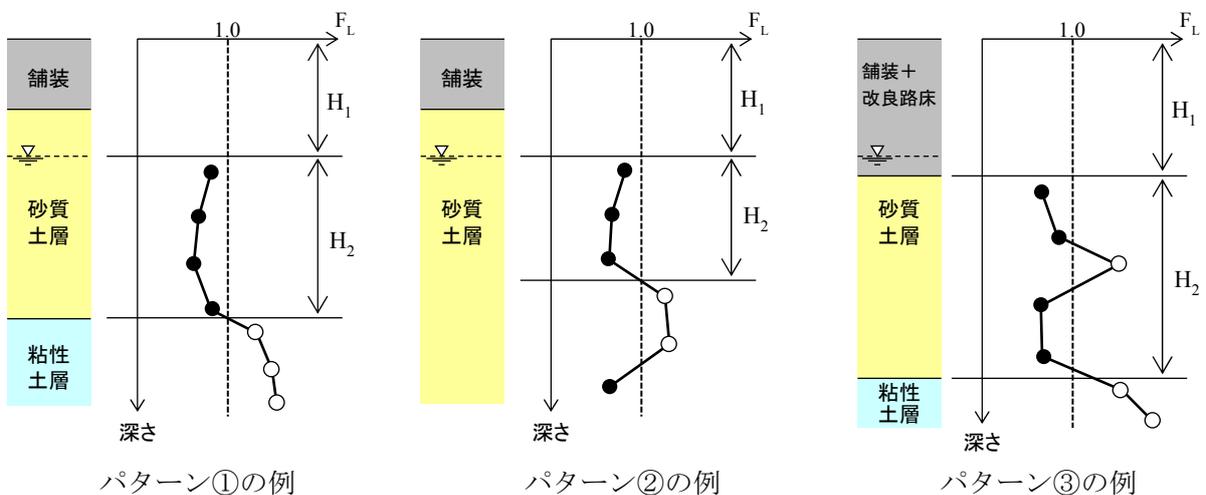


図 2.2-10 非液状化層厚・液状化層厚の設定例

(4) コンター計算

整理した地盤条件 (P_L 値, 地下水位, 液状化層厚, 非液状化層厚) については, 各地盤条件の値のコンター図を作成し, コンター図から分割した路線中心地点の各地盤条件の値を読み取った。コンター図の作成計算は, 地層の境界面を推定する際に一般的に用いられている「最適化原理法⁵⁾」を採用した。

最適化原理とは, ある曲面 f を f_{ij} で近似的に表現する場合, 曲率が最小となる, すなわち最も滑らかになる曲面を与える f_{ij} を解とする手法である。最適化原理は, 不規則に分布するデータを薄板のような弾性体に作用する質点力とみなし, それによって形成された曲面 f に対して, 目的関数と呼ばれる $J(f)$ が最小となる f_{ij} を求める手法である。

最適化原理を数式で表すと, 以下のようになる。

$$J(f) = m_1 J_1(f) + m_2 J_2(f)$$

$$J_1(f) = \iint_R \{(\partial f / \partial x)^2 + (\partial f / \partial y)^2\} dx dy / S$$

$$J_2(f) = \iint_R \{(\partial^2 f / \partial x^2)^2 + 2(\partial^2 f / \partial x \partial y)^2 + (\partial^2 f / \partial y^2)^2\} dx dy$$

ここで, 積分の範囲は設定した格子の領域 R である。 m_1 と m_2 は $J_1(f)$ と $J_2(f)$ のバランスを指定する定数であり, S は領域 R の面積として $J_1(f)$ と $J_2(f)$ の次元を一致させるために含まれるものである。

この式を用い, 不規則に分布する N 個の地点 (x_k, y_k) で測定した値を z_k とすると, 関数 $f(x, y)$ が満たさなければならない制約条件は,

$$f(x_k, y_k) - z_k = 0$$

となる。

この方法は, 不規則に分布する各種地質・地盤データから, 地層境界面を推定補間する場合などに用いられている。

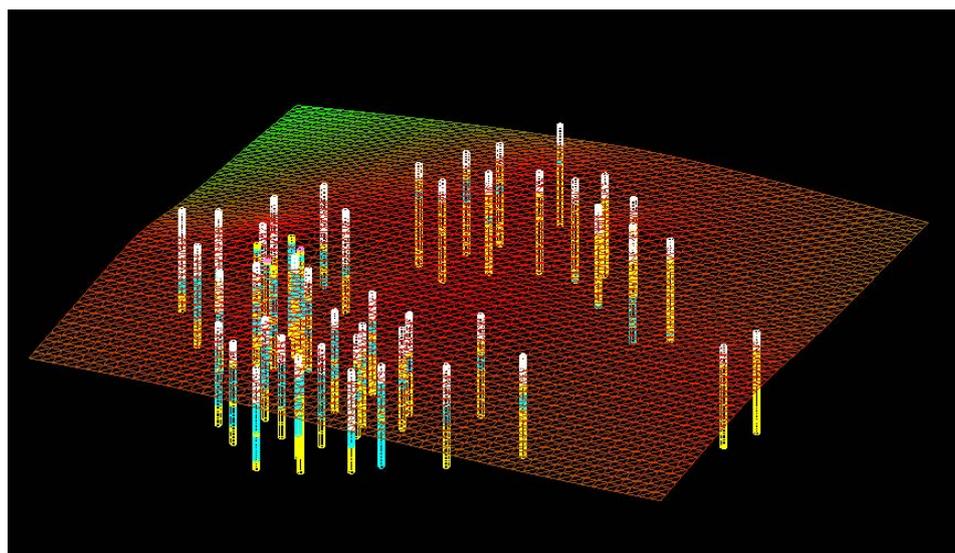


図 2.2-11 最適化原理法を用いた地下水位面の推定例(千葉市の例)

2.3 液状化被害，道路諸条件，地盤条件等の重ね合わせによる整理

2.2.1～2.2.3で整理したデータの位置情報に基づき重ね合わせを行うことで，それぞれの関連性について分析を行った。分析単位は道路延長を100mで分割した区間毎とし，分割区間毎に液状化被害状況，道路状況，埋設管情報，埋立履歴，交通規制情報，地盤状況の整理を行った。

図2.3-1～図2.3-4に，整理方法のイメージを示す。

(1) 液状化被害状況の整理

図2.3-1に示すとおり，分割区間（100m）内で確認された被害の数（以下，被害数という），それらの平均的な被害程度，噴砂発生の有無，被害ランク，最大水平変位，最大鉛直変位について整理した。ここで，最大水平変位は区間内で認められたひび割れ，クラックの被害のうち，生じた変位量の最大値とした。また，最大鉛直変位は区間内で認められた隆起，段差，沈下の被害のうち，生じた変位量の最大値とした。

(2) 道路状況の整理

分割区間毎に舗装構成，舗装厚，路床改良の有無を整理した。

(3) 埋設管情報の整理

図2.3-2に示すとおり，分割区間毎に埋設管（下水道管）の直上の被害の有無，被害数，最大水平変位，最大鉛直変位を整理した。ここで，下水道管の直上被害の有無は，下水道管と被害位置の平面的な位置関係から判断した。具体的には，GIS上で作成した下水道管のラインデータから0.5mのバッファ内にある被災箇所について，その下に下水道管が埋設されている（下水道管有り）として整理を行った。

また，最大水平変位および最大鉛直変位は，直上被害と判断した被災箇所について(1)と同様の整理を行った。

(4) 埋立履歴の整理

分割区間毎に埋立地かどうか，および埋立造成年を整理した。

(5) 交通規制情報の整理

分割区間毎に交通規制区間や通行止め等の実施について整理し，通行止め等を実施していれば交通機能に着目した被害ランクに反映させることとした。

(6) 地盤状況の整理

図2.3-3に示すとおり，分析区間毎に地盤状況の整理を行った。地盤状況は液状化層厚，非液状化層厚，地下水位， P_L 値についてコンターを作成し，分割区間の中心位置におけるそれぞれの値をコンターから読み取り整理した。

(7) データ整理および相関分析

図2.3-4に示すとおり，前記(1)～(6)をGIS上で整理し，各路線の分割区間（約100m単位）で整理表を作成し，このデータを元に各パラメータ間の相関分析を行うための相関図を作成した。

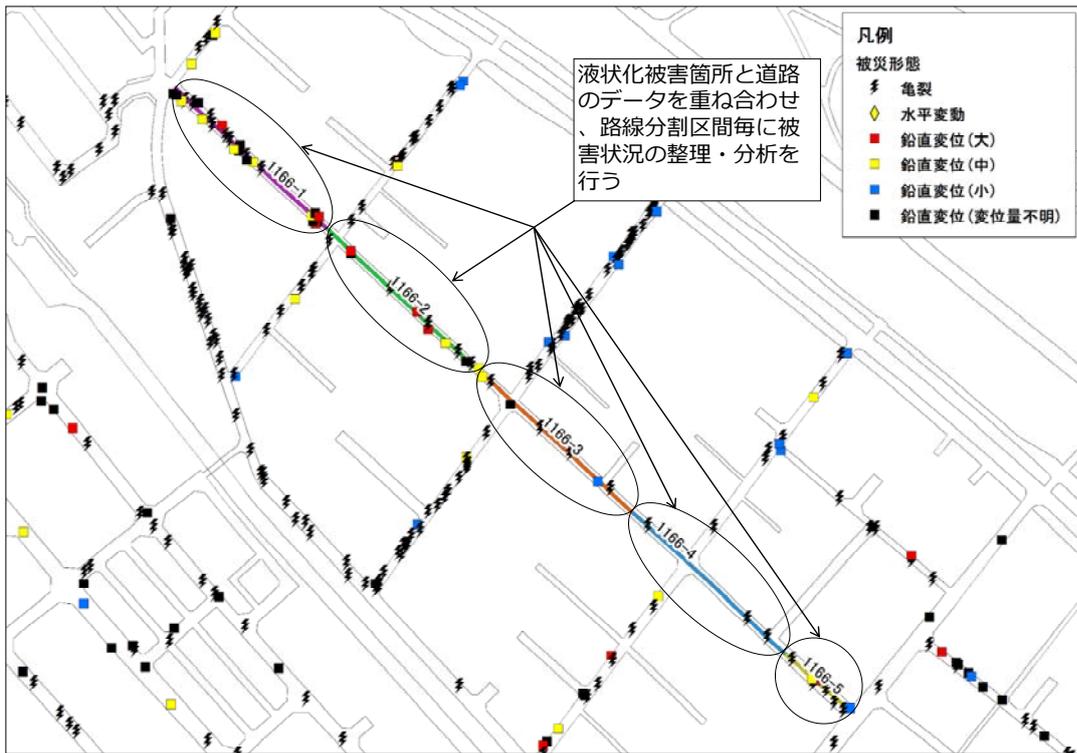


図 2.3-1 浦安市における重ね合わせによる整理例（液状化被害状況）

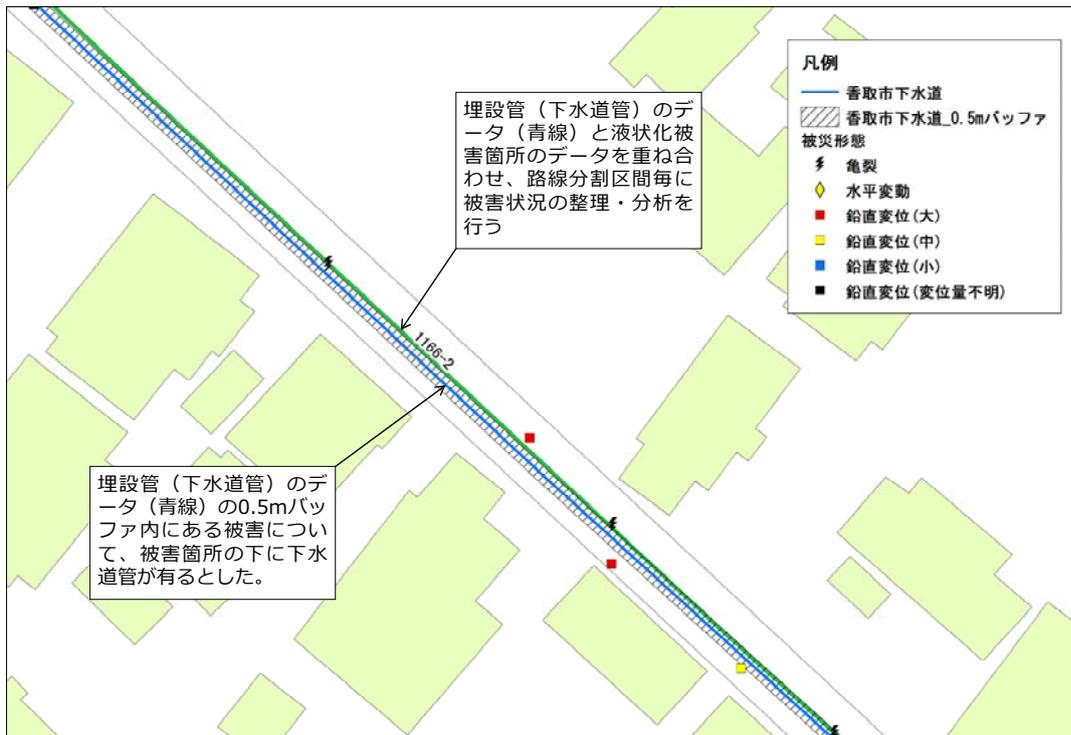


図 2.3-2 浦安市における重ね合わせによる整理例（埋設管情報）

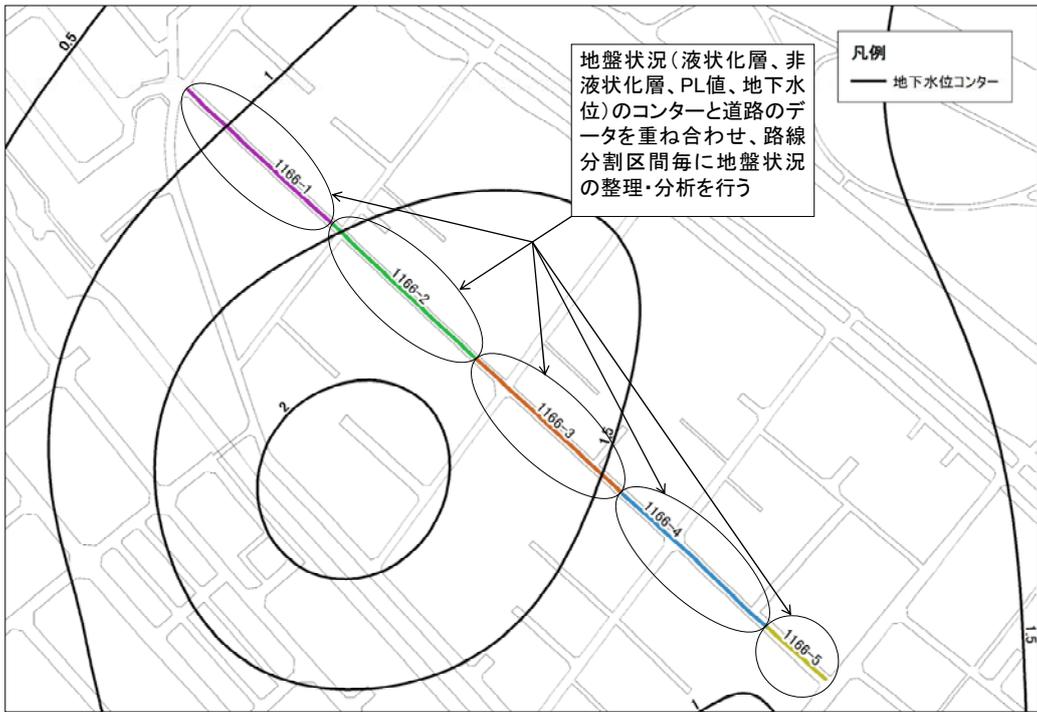


図 2.3-3 浦安市における重ね合わせによる整理例(地盤状況)

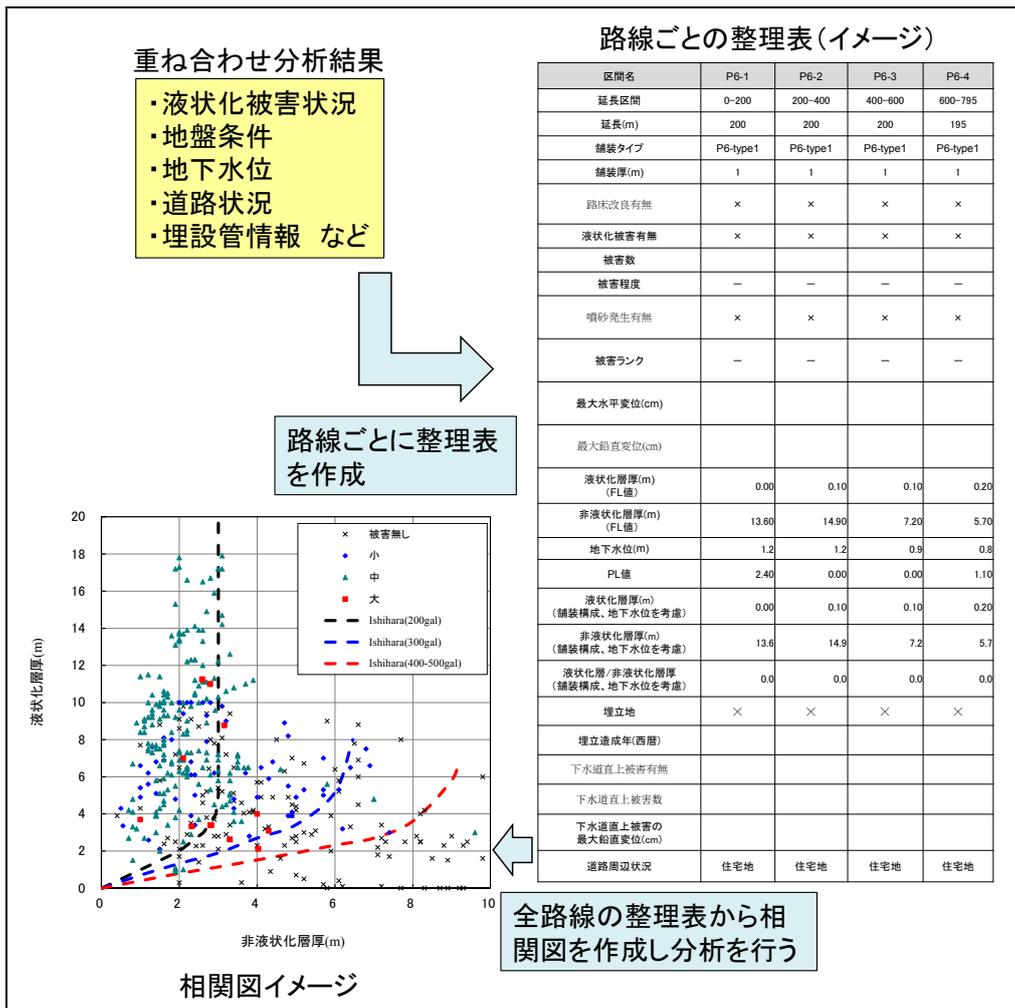


図 2.3-4 データ整理および相関分析方法イメージ