

近傍断層を想定した設計地震動の適用について

中日本建設コンサルタント（株） 正会員 ○庄村昌明

1. はじめに

構造物の耐震設計は、兵庫県南部地震以降、各種の規準で見直しが行われ、主に重要構造物に対する地震荷重は、従来の震度法に対応したレベル1地震動に加え、低頻度巨大地震動を想定したレベル2地震動を考慮するようになった。土木学会の第二次提言（平成8年1月10日）¹⁾では、このレベル2地震動の設定法として、想定した震源断層から発生する地震動を推定し、設計地震動とすることを基本としている。この断層を想定したレベル2地震動の算出については、現在、研究が進められており、その方法は幾つか提案されている²⁾。

本報告では、近傍断層から地上構造物の設計に用いる地震動の予測と液状化の検討についての適用例を紹介する。その内容は、①対象地点の近傍断層を想定して、その地点の工学的基盤面の波形を推定する。そして、②同地点のボーリング調査およびPS検層結果に基づいて、地盤の地震応答解析を行い、地表面の地震波形を算出し、構造物の設計地震動を評価する。また、③応答解析より得られる地盤のせん断応力を用いて、地盤の液状化検討も行う。

2. 設計地震動予測および液状化検討の流れ

近傍断層を想定した設計地震動の予測および液状化検討の流れを図-1に示す。

(1) 工学的基盤面における地震動予測

地震断層から対象地点における工学的基盤面の地震動を予測する手法として、後藤・杉戸・亀田らの手法³⁾を用いた。この方法は工学基盤面の地震動を時刻歴波形で得られる経験的手法であり、「名古屋市地震被害想定調査」⁴⁾でも用いられている。

(2) 表層地盤の地震応答解析

対象地点における地表面の地震波形を予測するために、表層地盤の地震応答解析を行う。地震応答解析は、「SHAKE」で代表される等価線形化手法⁵⁾に基づくものであり、工学的基盤面から地表面までを幾つかの層にモデル化し、基盤面の波形を入力して地表面の波形を算出する。

(3) せん断応力度による液状化の検討

地盤の液状化は、簡易判定手法としてよく用いられるFL値法により検討した。この方法は、地盤内のある深さにおけるN値や粒径から、その地盤の動的液状化強度比Rを推定し、一方、地盤に作用する最大せん断応力などから、地震時に加わる繰返しせん断応力比Lを推定し、式(1)に示すように両者の比をとって液状化に対する抵抗率FLを求め、液状化を判定する方法である。

$$FL=R / L$$

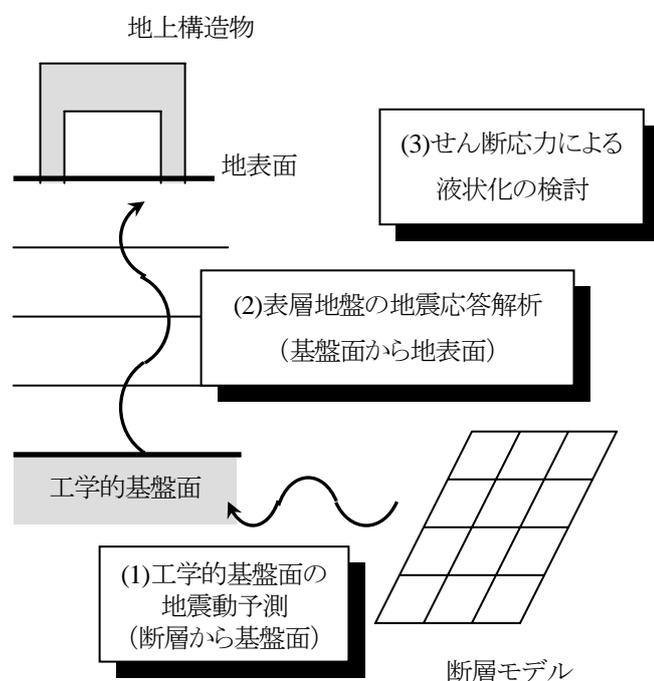


図-1 設計地震動算出の流れ

..... (1)

本検討では、動的液化化強度比 R を道路橋示方書（以下、道示）⁶⁾の式で求め、式（2）で示すように地盤応答解析より得られる最大せん断応力 τ_{max} で繰返しせん断応力 L を計算し、 FL を算出して液化化評価を行う。

$$L = \tau_{max} / \sigma'_v \text{ (2)}$$

3. 対象地点および想定断層

本検討の対象地点（設計地震動算出地点）は、図-2に示す静岡県天竜川河口付近であり、想定する近傍断層は、「想定東海地震（中央防災会議モデル）」とした。この断層モデルの諸元を表-1に示す。対象地点は地震断層の震央から約53km離れた位置である。

表-1 断層モデル諸元

マグニチュード	8.0
長さ	120km
幅	50km
食違い量	4m
食違い立上がり時間	6.3秒
破壊伝播速度	3.06km/秒

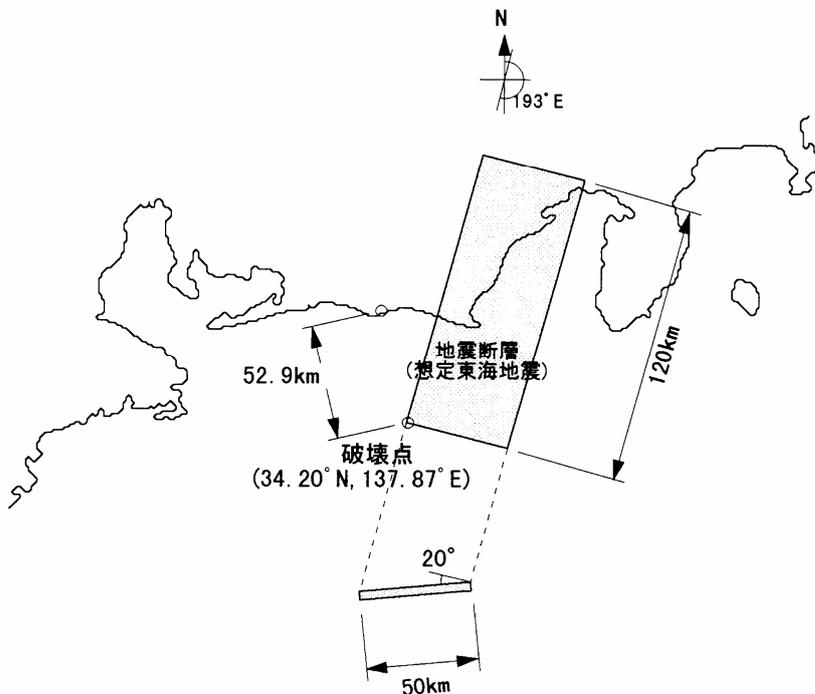


図-2 断層モデルと対象地点

4. 工学的基盤面の地震波形

以上の条件で想定東海地震による対象地点の工学的基盤面の地震波形を算出した。その加速度波形と加速度応答スペクトルを図-3、図-4に示す。本手法による基盤面地震動の最大加速度は539galとなった。

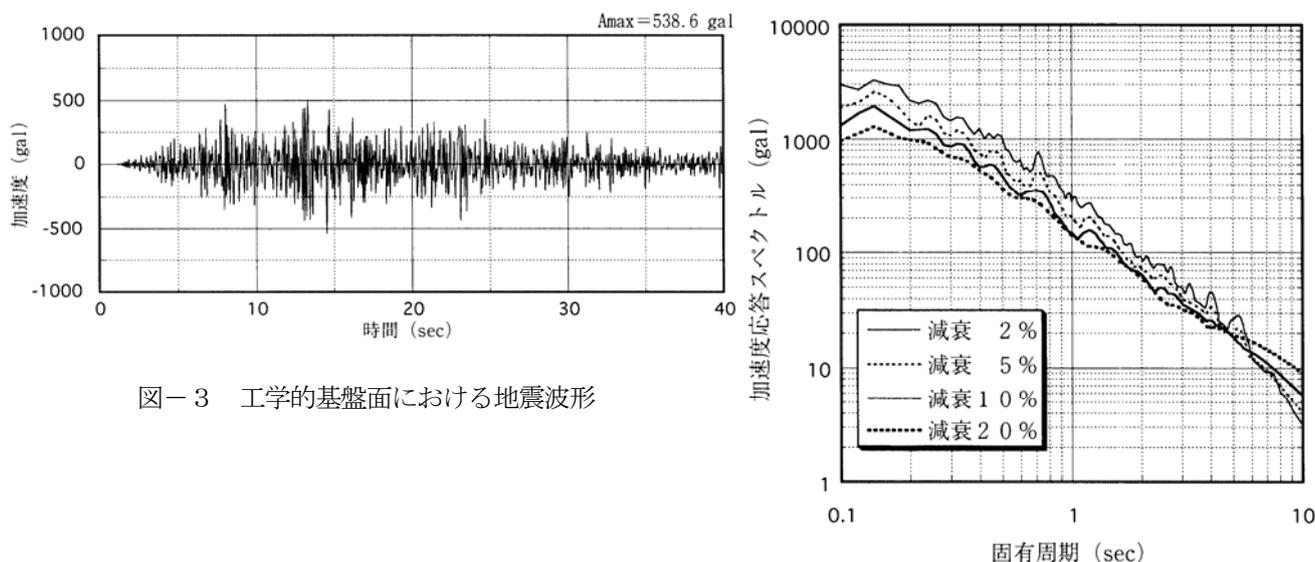


図-3 工学的基盤面における地震波形

5. 地盤の地震応答解析

(1) 対象地点における地質調査

対象地点では、ボーリング調査ならびにPS検層調査を行った。その調査結果を図-5に示す。本地点の地質はTP-0.27m～6.82mは砂礫層であるが、ほとんどが砂層で構成されている。地盤のせん断弾性波速度 V_s は200～300m/s程度であり、TP-38.72m以深の層でせん断弾性波速度 $V_s=350$ m/sとなる。したがって、この層を工学的基盤面として設定し、それより上層を表層地盤とした。この表層地盤について、式(3)で示す地盤特性値 T_G を計算すると0.656秒となり、道示によれば3種地盤と判定される。

$$T_G = 4 \sum H_i / V_i \dots\dots\dots (3)$$

(2) 地盤の地震応答解析

図-5の地質調査結果に基づいて、地盤モデルを設定し、図-3の地震波形を入力波とする地盤の地震応答解析を行った。なお、モデル化にあたり、地盤のせん断弾性係数 G および減衰定数 h のひずみ依存特性は土木研究所資料⁷⁾を参考にした。

この解析で得られた地表面の波形およびその波形の加速度応答スペクトルを図-6、図-7に示す。また、各層の最大加速度、最大速度、最大変位の分布図を図-8に示す。地表面の最大加速度は366galであった。地盤のひずみ依存特性により最大ひずみが大きくなっている層では減衰が大きくなり、加速度が小さくなる傾向にある。また、地盤の最大変位分布は、深さ15～40mは線形的に分布しているが、10～15m付近で変位の変化が大きくなっている。地表面の最大変位は4.3cmであった。

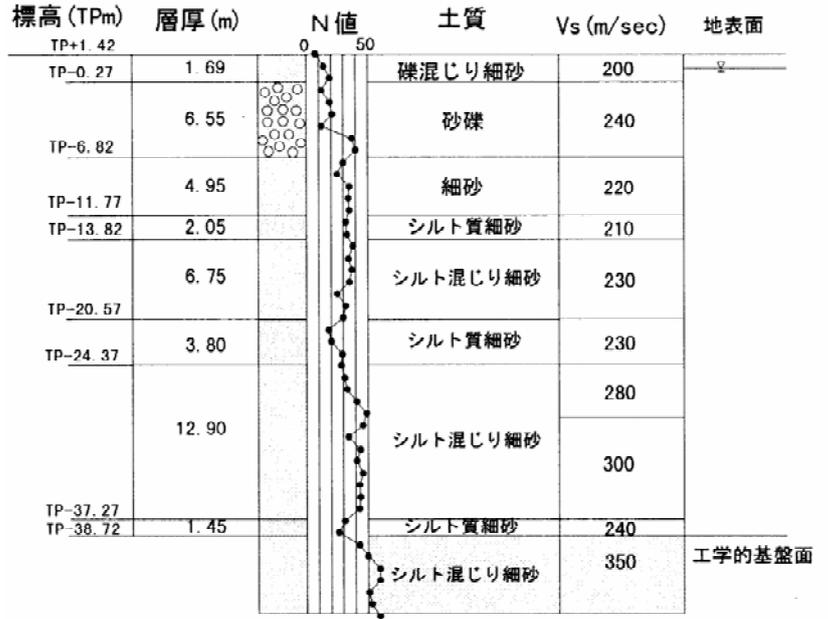


図-5 地質調査結果

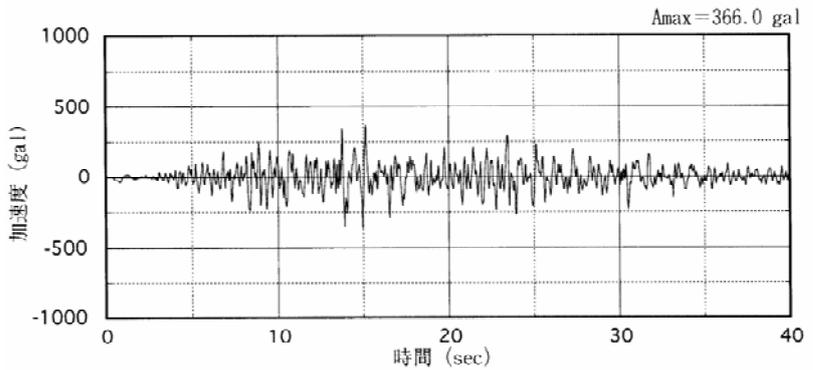


図-6 地表面の地震波形

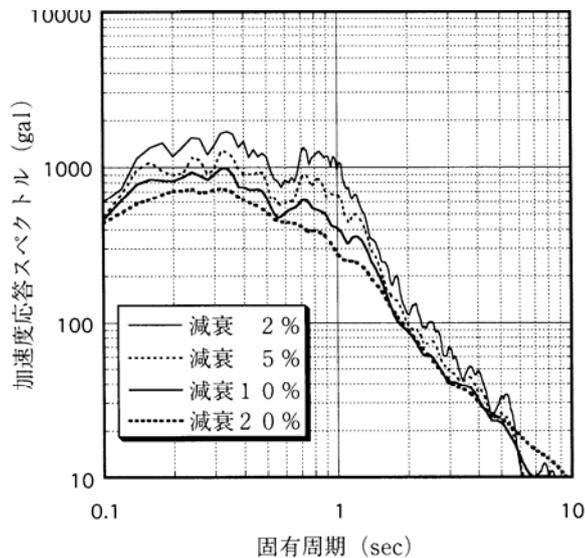


図-7 加速度応答スペクトル (地表面)

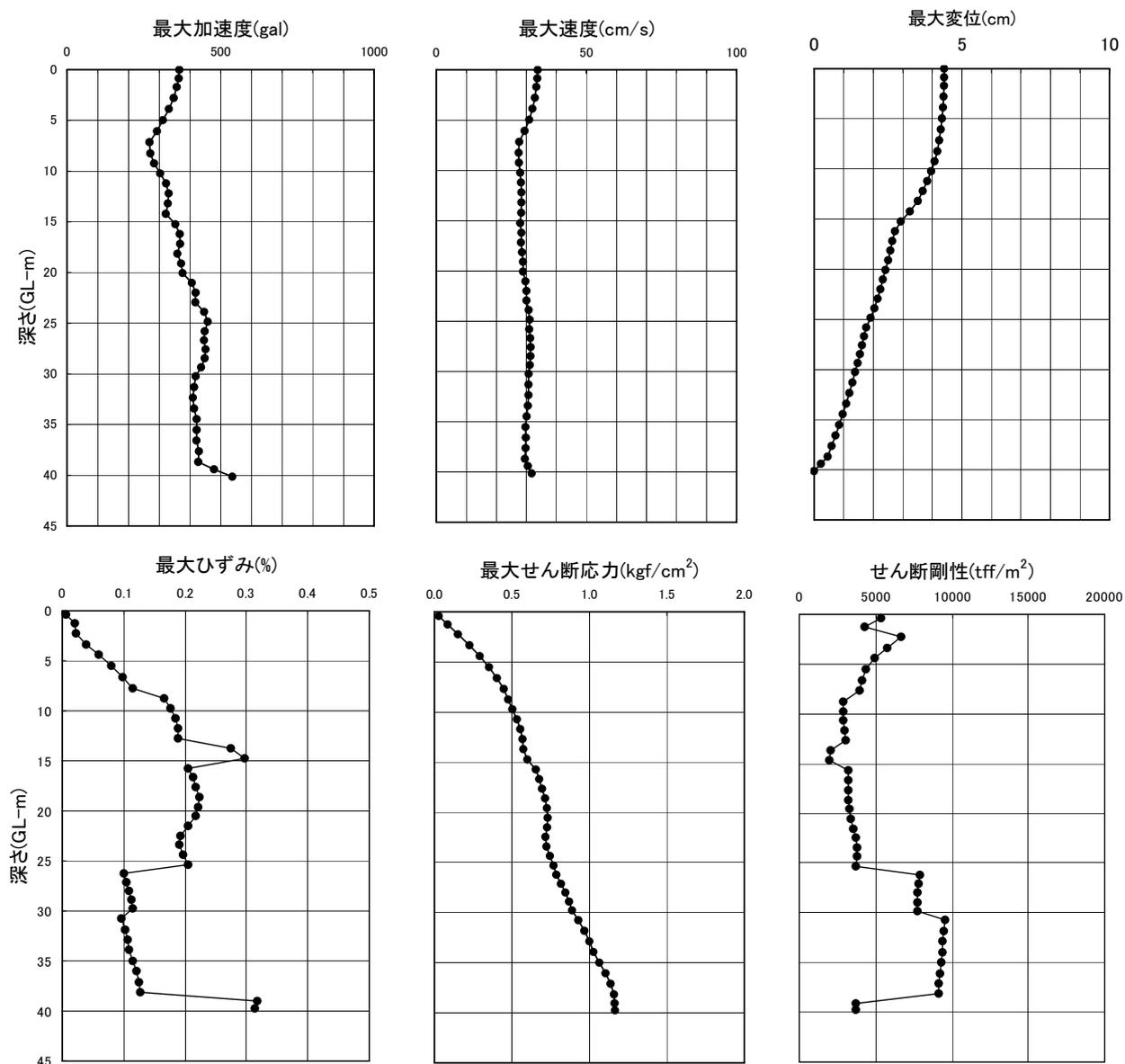


図-8 最大応答値分布図

6. 加速度応答スペクトルの比較

図-9は想定東海地震による地表加速度応答スペクトル（減衰 5%）と、道示の地震時保有水平耐力法によるタイプIIの設計用加速度応答スペクトルを比較したものである。

本地点は3種地盤であるが、想定東海地震の応答値は、固有周期が0.1~0.4秒の範囲内で道示の3種地盤の応答値を超える結果となり、固有周期が0.4秒を超えると道示3種地盤の値よりもかなり小さくなる。この違いは地震断層の規模、震源からの距離、表層地盤の特性などの条件によって変化し、それら設定条件が反映された応答値になると考えられる。今回設定した条件（断層および表層地盤）では、加速度応答ス

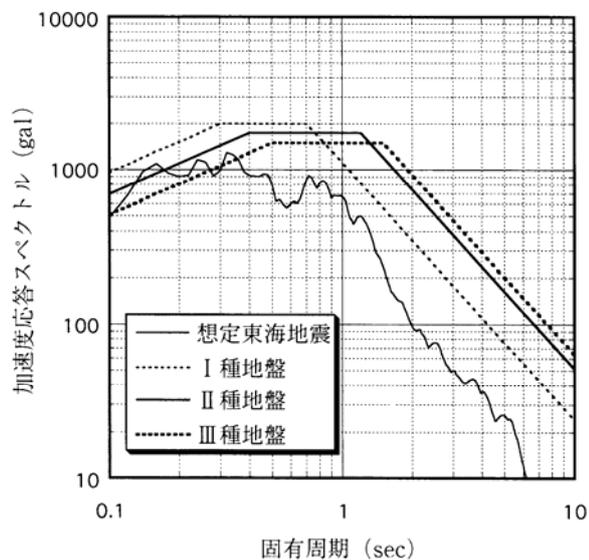


図-9 加速度応答スペクトルの比較

ペクトルがほぼ道示の値と同じ大きさとなり、道示で定義されているタイプⅡの地震動とほぼ同等の地震規模と考えられる。

7. 液状化の検討

本地点の地質はほとんどが砂質土で構成されているため、地震時に地盤の液状化が発生する可能性がある。ここでは、地盤の応答解析より求められるせん断応力 τ_{max} を用いて、液状化の検討を行い、道示による方法と比較する。液状化検討で用いた地盤条件を表-2に示す。層番号3~8までは砂礫層であるが、「平均粒径D50が10mm以下で、かつ10%粒径D10が1mm以下である土層」(道示)であるので、液状化の検討対象とした。

図-10は動的液状化強度比R、繰返しせん断応力比L、せん断抵抗率FLの分布を示す。Rは表2に示す条件より道示の式で計算した値である。また、LおよびFLは地震応答解析(想定東海地震)による結果と併せて道示の式による計算結果を表示している。

想定東海地震の繰返しせん断応力比Lの分布は、道示の値に比べ、5m程度まではほぼ同じ値であるが、5m以深では小さくなる結果となった。FL値の分布もLの分布の変化に伴うため、5m以深では想定東海地震の値が道示の値を上回る結果となっている。また、FL値は、想定東海地震および道示の両方で、動的液状化強度比Rが0.4~0.6程度と小さくなっている層(深さ2.0m~5.5m)で、FLが1.0を下回り、液状化の可能性があることがわかる。繰返しせん断応力比は、地震動の大きさによって異なるが、想定東海地震は道示の設定地震動と同規模であるため、類似した分布となり、液状化の判定もほぼ同じ結果となる。

表-2 液状化検討の条件一覧

層番号	深さ (GL-m)	標高 (TPm)	土質名称	N値	γ (tf/m ³)	γ' (tf/m ³)	σ_v (kgf/cm ²)	σ'_v (kgf/cm ²)	D ₅₀ (mm)	FC (%)	τ_{max} (kgf/cm ²)
1	0.42	1.00	砂質土	14	1.80	0.90	0.076	0.076	0.34	3.6	0.029
2	1.27	0.15	砂質土	19	1.80	0.90	0.228	0.186	0.34	3.6	0.086
3	2.24	-0.82	礫質土	12	1.90	1.00	0.408	0.279	5.50	1.7	0.153
4	3.33	-1.91	礫質土	19	1.90	1.00	0.615	0.388	5.50	1.7	0.226
5	4.42	-3.00	礫質土	21	1.90	1.00	0.823	0.497	5.50	1.7	0.293
6	5.51	-4.09	礫質土	12	1.90	1.00	1.030	0.606	5.50	1.7	0.352
7	6.60	-5.18	礫質土	37	1.90	1.00	1.238	0.715	5.50	1.7	0.404
8	7.69	-6.27	礫質土	40	1.90	1.00	1.445	0.825	5.50	1.7	0.447
9	8.74	-7.32	砂質土	30	2.00	1.10	1.648	0.934	0.35	6.2	0.476
10	9.73	-8.31	砂質土	25	2.00	1.10	1.846	1.042	0.35	6.2	0.504
11	10.72	-9.30	砂質土	35	2.00	1.10	2.044	1.151	0.35	6.2	0.532
12	11.71	-10.29	砂質土	34	2.00	1.10	2.242	1.260	0.35	6.2	0.554
13	12.70	-11.28	砂質土	35	2.00	1.10	2.440	1.369	0.35	6.2	0.569
14	13.70	-12.28	砂質土	32	1.90	1.00	2.636	1.475	0.23	11.7	0.574
15	14.73	-13.31	砂質土	33	1.90	1.00	2.831	1.577	0.23	11.7	0.600
16	15.72	-14.30	砂質土	38	1.90	1.00	3.020	1.677	0.27	7.7	0.654
17	16.69	-15.27	砂質土	34	1.90	1.00	3.203	1.773	0.27	7.7	0.677
18	17.65	-16.23	砂質土	37	1.90	1.00	3.386	1.870	0.27	7.7	0.695
19	18.62	-17.20	砂質土	35	1.90	1.00	3.569	1.966	0.27	7.7	0.715
20	19.58	-18.16	砂質土	25	1.90	1.00	3.753	2.063	0.27	7.7	0.727

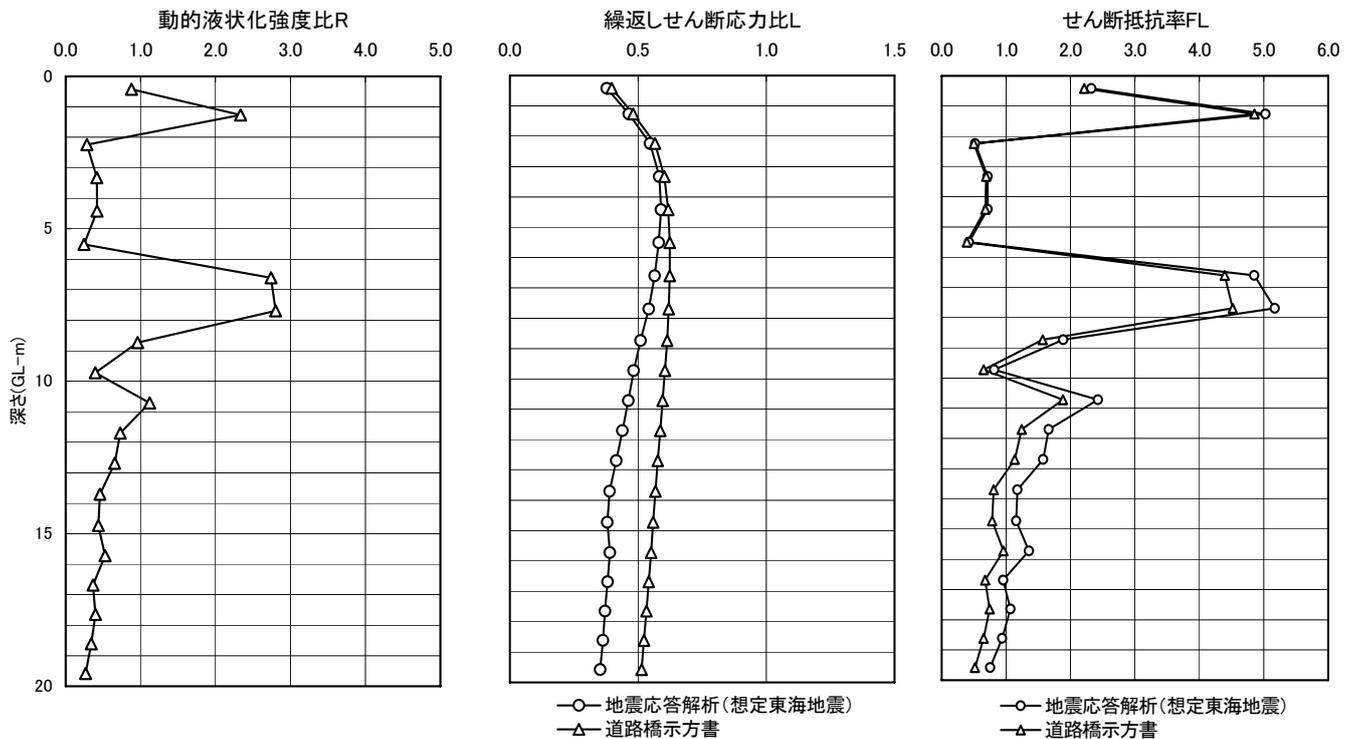


図-10 液状化判定値分布図(動的液状化強度比, 繰返しせん断応力比, せん断抵抗率)

8. あとがき

本報告は、近傍断層を想定した設計地震動の予測および液状化の検討についての1事例を示したものである。重要構造物の設計を進める上で、近傍断層や地盤特性などを考慮した検討を行うことも必要であり、ここで紹介した方法などにより、設計地震動を予測することも有効であると考えられる。しかし、断層に関する調査や地震動予測に関する研究が進められている中で、設計担当者が構造物の設計地点における最適な近傍断層(位置や大きさなど)を設定することは難しいと思われる。今後、地震断層に関する調査・研究が多く行われ、設計に適用できるようになることを期待したい。

参考文献

- 1) 土木学会：土木構造物の耐震基準等に関する「第二次提言」，平成8年1月
- 2) 土木学会地震工学委員会地震荷重研究小委員会：レベル2地震動と設計地震荷重の課題—地震荷重研究小委員会の活動報告—，平成9年10月
- 3) 後藤，杉戸，亀田ら：工学的基盤における地震動予測モデル，京都大学防災研究年報，第27号B-2，昭和59年4月
- 4) 名古屋市防災会議地震災害対策部会：名古屋市地震被害想定調査報告書，平成9年3月
- 5) 吉田望，末富岩雄：DYNEQ等価線形法に基づく水平成層地盤の地震応答解析プログラム，佐藤工業(株)技術研究所報，平成8年
- 6) 日本道路協会：道路橋示方書・同解説 V耐震設計編，平成8年12月
- 7) 建設省土木研究所地震防災部振動研究室：地盤の地震時応答特性の数値解析法—SHAKE：DESRA—，昭和57年2月