

2. 地表地震動の計算

2.1 計算手法の概略

(1) 概要説明

本調査では、中央防災会議で公開している工学的基盤 ($V_s=700\text{m/s}$) における地震波を入力波として、前章で設定した浅部地盤モデルを用いて地表での地震動の応答計算を行った。

地震動の応答計算は、重複反射理論に基づく等価線形解析を用い、浅部地盤の非線形性を考慮することとした。重複反射理論とは、基盤を覆う地層が水平に成層していると仮定し、基盤から入力される地震波が鉛直上方に伝達する間に、透過・反射を繰り返しながら地表の応答波形を形成して行くとする考え方である。

等価線形解析で求められた地表での地震動（加速度）から、気象庁の方法（1996）を用いて計測震度に換算した。また、PL法により液状化危険度を算出した。

本調査における工学的基盤面での強震波形の収集～液状化危険度解析までの流れを図 2-1 に示す。

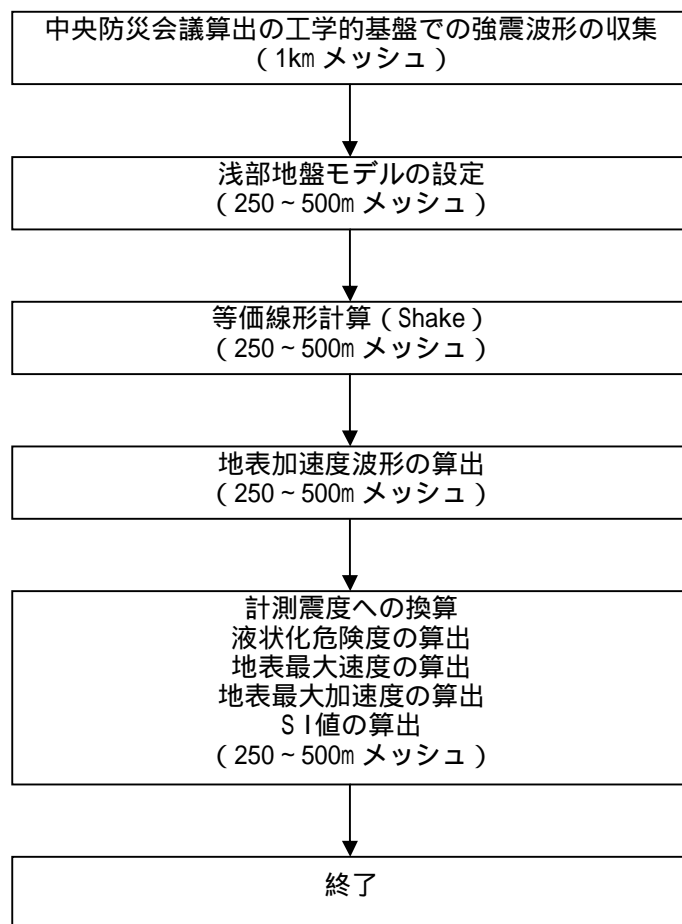


図 2-1 地震動解析の流れ

(2) 動的変形曲線

等価線形解析に用いる動的変形曲線は、以下のデータを参考に決定した。

- ・ 中央防災会議「東南海、南海地震等に関する専門調査会」(第5回)図表集から、「東海地震に関する専門調査会」で採用した、動的変形曲線
- ・ 今津・福武(1986)での動的変形曲線
- ・ 土木学会岩盤力学委員会(岩盤上の大型構造物基礎、平成10年,44p)

中央防災会議で採用されている動的変形曲線を見ると、 G/G_0 (剛性低下率)～(せん断ひずみ)では歪が大きくなっても G が低下しない側の値を採用し(変形しない側)、 h (減衰定数)～では、歪が大きくなっても h が大きくなる側(減衰しない側)の値を採用している。これらは、地震応答を考えた場合に、波が伝わりやすく加速度が大きく算出される安全側に考えられているものと推測される。中央防災会議の採用した曲線は、今津・福武の資料と大きな乖離はないため、土質については、中央防災会議の値を採用することとした。岩盤については、資料を収集したが一般に公開されているものが少なく、土木学会岩盤力学委員会の風化花崗岩に関する資料をもとに設定した。採用した動的変形曲線をまとめて、図2-2に示す。

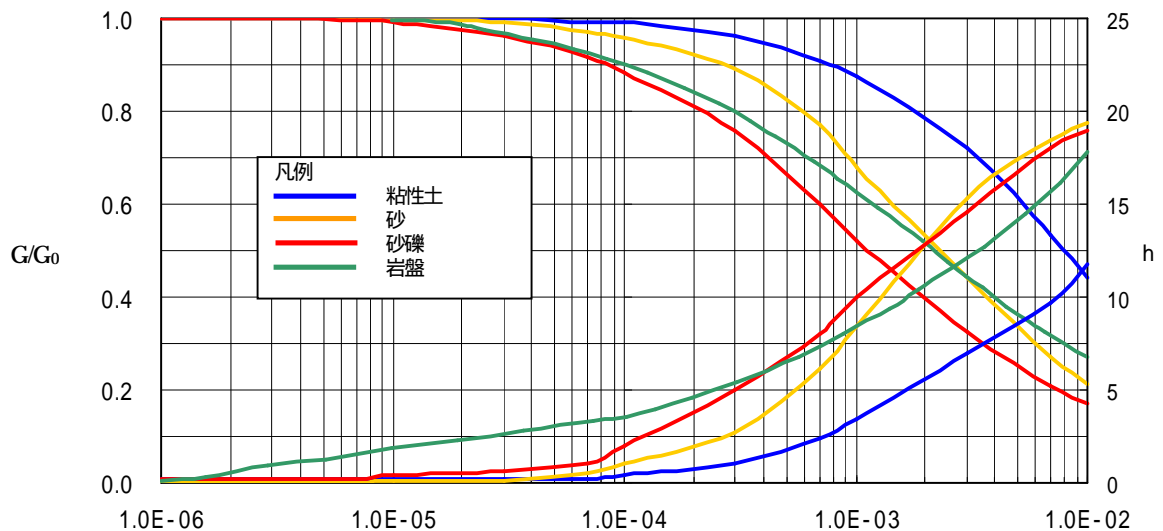


図 2-2 解析に使用した動的変形曲線

(3) S波速度・密度

S波速度・密度の設定については表2-4のように行った。

表2-4 物性値の設定方法

| 地質名 | | S波速度 | 密度 |
|------------------|-------|--|--|
| 甲府盆地 | 上部礫層 | 中央防災会議「東海地震に関する専門調査会」で示された式を用いてN値から換算（表2-2の沖積の部分） | 中央防災会議「東海地震に関する専門調査会」で示された表の中から沖積の密度を用いる（表2-2の沖積の部分） |
| | 下部 | 微動探査結果から420m/sと設定（N値50以上を全てN値50として整理しているため、N値からの換算では過小評価となる） | 中央防災会議「東海地震に関する専門調査会」で示された表の中から洪積の密度を用いる（表2-2の洪積の部分） |
| | 工学的基盤 | 微動探査結果から700m/sと設定 | 密度検層結果から2.0g/cm ³ と設定 |
| 甲府盆地以外の第四紀堆積物分布域 | | 甲府盆地に準ずる | 甲府盆地に準ずる |
| 岩盤露出部 | | 収集した資料からP波速度とS波速度の関係をを用いP波速度から換算 | 本四公団の風化花崗岩に関する岩盤分類資料と中央防災会議「東海地震に関する専門調査会」で示された表を参考に設定（表2-3） |

各物性値の算出について、補足事項を以下にまとめた。

- ・ 甲府盆地の上部礫層上部において中央防災会議のS波速度算出式を用いる際には、N値による分類を行わず、地盤モデルで示されたN値をそのまま計算に用いた。
- ・ 岩盤露出部に関して、S波速度とP波速度の関係を算出する際には、山梨県のみならず山梨県周辺も含めて収集したPS検層データで検討した。これらからS波速度とP波速度の関係を求めるためにプロットすると、S波速度VsとP波速度Vpの関係は $V_s = 0.4207 \times V_p$ となり、これをS波速度Vsの換算に用いることとした。

表 2-2 S波速度推定経験式

(中央防災会議「東海地震に関する専門調査会」第10回関連図表2, 12p :
<http://www.bousai.go.jp/jishin/chubou/tokai/10/siryou2-2.pdf> を編集・加筆)

設定した物性値

| | 地質名 | 記号 | N値 | 湿潤密度 (g/cm ³) | S波速度 Vs(km/s) | P波速度 Vp(km/s) |
|-----|-----|-------|-------|--|--|------------------|
| 沖積 | 埋土 | F1 | 0~4 | 1.6 | 112.73・N ^{0.256} ・1.000・0.885 | 5.099・Vs |
| | | F2 | 4~10 | 1.7 | | |
| | | F3 | 10~ | 2.0 | | |
| | 腐植土 | Ap1 | 0~1 | 1.2 | 112.73・N ^{0.256} ・1.000・1.000 | 5.099・Vs |
| | | Ap2 | 1~ | 1.3 | | |
| | ローム | Av1 | 0~4 | 1.4 | 112.73・N ^{0.256} ・1.223・1.000 | 5.099・Vs |
| | | Av2 | 4~ | 1.5 | | |
| | 粘性土 | Ac1 | 0~2 | 1.4 | 112.73・N ^{0.256} ・1.000・1.000 | 5.099・Vs |
| | | Ac2 | 2~4 | 1.5 | | |
| | | Ac3 | 4~8 | 1.6 | | |
| | | Ac4 | 8~15 | 1.7 | | |
| | | Ac5 | 15~30 | 1.8 | | |
| | | Ac6 | 30~ | 1.8 | | |
| | 砂質土 | As1 | 0~4 | 1.7 | 112.73・N ^{0.256} ・1.000・0.885 | 5.099・Vs |
| | | As2 | 4~10 | 1.8 | | |
| | | As3 | 10~30 | 1.9 | | |
| As4 | | 30~50 | 1.9 | | | |
| As5 | | 50~ | 1.9 | | | |
| 礫質土 | Ag1 | ~20 | 1.9 | 112.73・N ^{0.256} ・1.000・0.900 | 5.099・Vs | |
| | Ag2 | 20~30 | 2.0 | | | |
| | Ag3 | 30~50 | 2.0 | | | |
| | Ag4 | 50~ | 2.1 | | | |
| 洪積 | 腐植土 | Dp1 | 0~1 | 1.2 | 112.73・N ^{0.256} ・1.000・1.000 | 5.099・Vs |
| | | Dp2 | 1~ | 1.3 | | |
| | ローム | Lm1 | 0~4 | 1.4 | 112.73・N ^{0.256} ・1.223・1.000 | 5.099・Vs |
| | | Lm2 | 4~ | 1.5 | | |
| | 粘性土 | Dc1 | 0~2 | 1.5 | 112.73・N ^{0.256} ・1.223・1.000 | 5.099・Vs |
| | | Dc2 | 2~4 | 1.6 | | |
| | | Dc3 | 4~8 | 1.7 | | |
| | | Dc4 | 8~15 | 1.8 | | |
| | | Dc5 | 15~30 | 1.8 | | |
| | | Dc6 | 30~ | 1.8 | | |
| | 砂質土 | Ds1 | 0~4 | 1.8 | 112.73・N ^{0.256} ・1.223・0.885 | 5.099・Vs |
| | | Ds2 | 4~10 | 1.8 | | |
| | | Ds3 | 10~30 | 1.9 | | |
| | | Ds4 | 30~50 | 1.9 | | |
| | | Ds5 | 50~ | 2.0 | | |
| | 礫質土 | Dg1 | ~20 | 1.9 | 112.73・N ^{0.256} ・1.223・0.900 | 5.099・Vs |
| Dg2 | | 20~30 | 2.0 | | | |
| Dg3 | | 30~50 | 2.0 | | | |
| Dg4 | | 50~ | 2.1 | | | |
| 風化岩 | RW | 50~ | 2.1 | 300 | 5.099・Vs | |
| 岩盤 | R1 | 50~ | 2.1 | 500 | 1800 | |
| | R2 | 50~ | 2.0 | 700 | 2100 | |
| | R3 | 50~ | 2.2 | 1500 | 3100 | |
| | R4 | 50~ | 2.4 | 2500 | 4600 | |
| | R5 | 50~ | 2.5 | 3000 | 5100 | |

表 2-3 本四公団の風化花崗岩に関する岩盤分類資料 (岩盤分類, 応用地質特別号, 93p, 昭和 59 年)

| 手法 | ボーリングコア観察による岩区分 | | | | | | | | | | 調査坑内の肉眼観察による岩区分 | | | | | | | | |
|----------------|-----------------|---|---|---|---|-----------------------------------|------------|-------------------|-------------------|--|--|---|----------------|--------------------------------|--------------------------------|-----------------------------------|------------------------|---------------------------------------|------|
| | 色調 | ① 硬軟の程度 | ② 風化変質の程度 (細区分) | ③ 割れ目の状態 | ④ コアの状態 (細区分) | 参考データ(例) | | | | ⑤ 硬軟の程度 (細区分) | ⑥ 風化変質の程度 | ⑦ 割れ目間隔と状態 (細区分) | 参考データ(例) | | | | | | |
| | | | | | | E_{50} (kg/cm ²) | RQD (%) | V_p (km/sec) | V_s (km/sec) | | | | ショア硬度 S_A | 山中式 土壤硬度 γ_A (mm) | コンクリート びよう貫入量 D_A (mm) | シュミット ハンマー 反撥度 S_1 (%) | 間隔率 α (%) | 密度 γ (t/m ³) | |
| A | 青灰 ~乳灰 | 硬 ハンマーで叩くと 金属音。 D. B. で 2cm/ min以下。 | き裂面とも、お おむね新鮮。 未風化。 (A) | き裂少なく、お おむね20~50cm で密着している | 棒状~長柱状で おむね30cm以 上で採取される (I) | 15000< | 75~100 | 5< | 2.9< | 新解硬 (A) | 造岩鉱物の変質なし。 | 割れ目間隔50cm以上。 割れ目密着し、割れ目 に沿った変質、変色な し。 (I, a) | | | | | | | 2.65 |
| B | 乳灰~ (淡)灰褐 | 硬 ハンマーで軽い 金属音。 D. B. で 2~4 cm/min。 | おむね新鮮な るも、き裂面に 沿って若干風化 変質褐色を帯び る。 (B) | 割れ目間隔 5~ 15cmを主として いる。一部開口 している。 | 短柱~棒状で、 おむね20cm以 下。 (II) | 25000 ~8000 | 60~90 | 4.8< | 2.6< | 硬 (A) | 岩石は淡褐色をおび ている程度。 | 割れ目間隔15~50cm程 度。割れ目に沿って酸 化鉄付着。 (II~III, b) | | | | | | | 2.65 |
| C _H | 灰褐~ (淡)灰褐 | 中硬 ハンマーで金属 音~濁音を出す。 コア肌滑らか。 小刀で傷つく 硬さ。D. B. で 3cm/min以上。 | 割れ目に沿って 風化進行。長石 等は一部変色、 変質している。 (B)~(C) | 割れ目発達。開 口部に一部粘土 はさむ。ヘアク ラック発達。割 れやすい。 | 短柱状。コア長 5~15cm。 原形復旧可。 (III) | 5000 ~15000 | 25~75 | 4.1~5.0 | 2.0~2.5 | 岩石は割れ硬質 (B) | 黒雲母、斜長石は若干 変質 | 割れ目間隔5~30cm程 度。面密着。き裂面に 沿って薄い粘土をはさ む。 (III~IV, b-d) | 50~60 | | | | >31 | 3± | 2.60 |
| C _M | 灰褐 ~淡黄褐 | やや軟~硬 ハンマーで容易 に割れ濁音を出 す。コア肌やや 粗い。爪で傷 つくことあり。 D. B. で 掘進可。 | 岩内部の一部を 除き、風化進行。 長石、雲母はお むね変質して いる。 (C)~(D) | 割れ目多く発達 し、5cm以下。 開口して、粘土 をはさむ。 | 岩片~細片(角 礫)状。砕け易 く、不円形多い。 コア長5cm以下 で原形復旧困難 (IV) | 2000~8000 | 0~50 | 3.0~4.2 | 1.5~2.1 | ハンマーで砕くた いで割れる (C) | 斜長石の変質進む。 | 割れ目間隔5~15cm程 度。き裂面に沿って粘 土をはさむ。 (IV~V, e) | 40~49 | | | | 21~30 | 5± | 2.50 |
| C _L | 淡黄褐 ~黄褐 | 軟 ハンマーで容易 に砕ける。コア 肌非常に粗い。 強く脆弱で指で 割れ、つぶれる。 M.C. で掘進可。 | 岩内部まで風化 進行するも、岩 構造残し、石英 未風化で残る。 (C)~(E ₁) | 割れ目多いが、 粘土化進行。土 砂状で密着して いる。 | 岩片状~塊状。 指で砕けて粉状 円形コアなし (IV)~(V) | 800~4500 | 0~25 | 2.0~3.3 | 1.0~1.6 | ハンマーではほぼ 砕ける。指で砕 け、砂状で一部 砕ける。砂子は硬 軟~細片状 (D-C) | 黒雲母の黄変化は認め られるが、カリ長石の 粘土化は余り認められ ない。石英粒子は硬い。 斜長石は変質。 | 割れ目間隔5~50cm程 度。割れ目状況明りよ う。 (III, a-b) (II~IV, d) | 26~39 | >37 | <29 | 11~20 | 10± | 2.40 | |
| D _H | | 軟 ハンマーではほ ぼろに砕ける。 | おむね一様に 風化進行。 (I)~(E ₂) | 硬軟 (V~VI) | 指で砕ける。指 で砕けて粉状 円形コアなし (IV)~(V) | 800~1500 | 0~10 | 1.5~2.5 | 1.2> | ハンマーで砕ける ことは容易。指 で砕けてつぶ れ、石英周辺に 長石を残す。各 粒子硬く、塊 状~砂状 (D) | 黒雲母の黄変化が現 れ、周辺褐色粘土 化。斜長石の大部分は 変質粘土化 | みかけの割れ目間隔が 広がる。割れ目間隔 15~30cm程度。 (III, a-b) (II~III, b) | 13~25 | 33~36 | 30~69 | <10 | 14~20 | 2.30~2.20 | |
| D _M | 黄褐 | 極軟 まじ化。 | (E ₂) | 粘土化進行のた め、クラックな し。 | 砂状 (VI) | 300~800 | 0 | <1.5 | | 指で砕ける。石英カリ長 石の粒子細片を硬く砂 状になる。砂子は硬 い。 (E ₁) | 雲母は一部を除き、結 晶形は失われ、斜長石 はほとんど変質。 | みかけの割れ目間隔は さらに広がる。間隔 は30~50cm程度か、不 明である。割れ目面密 着。 (I~II, b-c) | 5~12 | 28~32 | 70~99 | | 20~35 | 2.10 | |
| D _L | | | | | 砂状 ~シルト状 (VI) | 50~300 | 0 | <1.2 | | 手の平での指で砕 け、多くは粉末状となる。 一部砂状 (E ₂) | 長石類のほとんどが、 変質粘土化している。 | 割れ目は不明か、あ っても50cm以上。 (I, c) (II, b) | <4 | <27 | >100 | | 35~43 | 1.90 | |

備考: ①②上位ランク③④下位ランク、①②下位ランク③④上位ランクのときは、いずれも下位ランクとして表示する。D.H.; クライビット、M.C.; メタルクラウン、: この表は文献のいくつかの表をまとめたものである。

表 2 4 P 波速度と密度

(中央防災会議「東海地震に関する専門調査会」第 10 回関連図表 2 , 6 p)

| P 波速度 (km/s) | 密度 (g/cm ³) |
|----------------|--------------------------|
| 2.1 | 2.0 |
| 3.1 | 2.1 |
| 4.7 | 2.6 |
| 5.5 | 2.6 |

以上の資料から盆地部については、中央防災会議資料から N 値から物性値を求め、岩盤露出部については表 2 5 のような物性値を設定した。

表 2 5 設定した物性値一覧

| 地質 | | 記号 | 層種 | Vp(m/s) | Vs(m/s) | 密度 (g/cm ³) | 層厚(m) |
|------------|-----|----|------|---------|---------|-------------------------|-------|
| 第四紀 火山岩 | 富士山 | FU | 強風化部 | 600 | 250 | 2.0 | 10 |
| | 八ヶ岳 | YA | 弱風化部 | 1200 | 500 | 2.1 | 15 |
| | 黒富士 | KR | 基盤 | | 700 | 2.6 | |
| 新第三紀火山岩 | | PL | 強風化部 | 600 | 250 | 2.0 | 10 |
| | | | 弱風化部 | 1400 | 590 | 2.1 | 10 |
| | | | 基盤 | | 700 | 2.6 | |
| 花崗岩及び貫入岩 | | GR | 強風化部 | 600 | 250 | 2.0 | 10 |
| | | | 弱風化部 | 1400 | 590 | 2.1 | 15 |
| | | | 基盤 | | 700 | 2.6 | |
| 新第三紀堆積岩 | | MI | 強風化部 | 600 | 250 | 2.0 | 10 |
| | | | 弱風化部 | 1400 | 590 | 2.1 | 10 |
| | | | 基盤 | | 700 | 2.6 | |
| 中・古生層 | | SH | 強風化部 | 600 | 250 | 2.0 | 5 |
| | | | 弱風化部 | 1400 | 590 | 2.1 | 10 |
| | | | 基盤 | | 700 | 2.6 | |

(4) 等価線形解析

等価線形解析には、Shake を用いた。Shake の全体的な流れを図 2 3 に示す。

- (1) 工学的基盤地震動、地盤定数、密度などのデータを読み込み、せん断弾性係数の初期値 G と減衰定数の初期値 h_1 を設定し、これらから有効ひずみ $eff(1)$ を算出する。
- (2) 算出された有効ひずみ $eff(1)$ に相当する G_n 、 h_2 を求め、 G_n 、 h_2 を用いて有効ひずみ $eff(2)$ を求めることを繰り返し行なう。
- (3) (2) を繰り返し、 G_n 、 h_n とこれらを用いて計算した $eff(n)$ に相当する G_{n+1} 、 h_{n+1} との差を比較して許容範囲に収まっていれば、収束したとみなし計算を終了する。

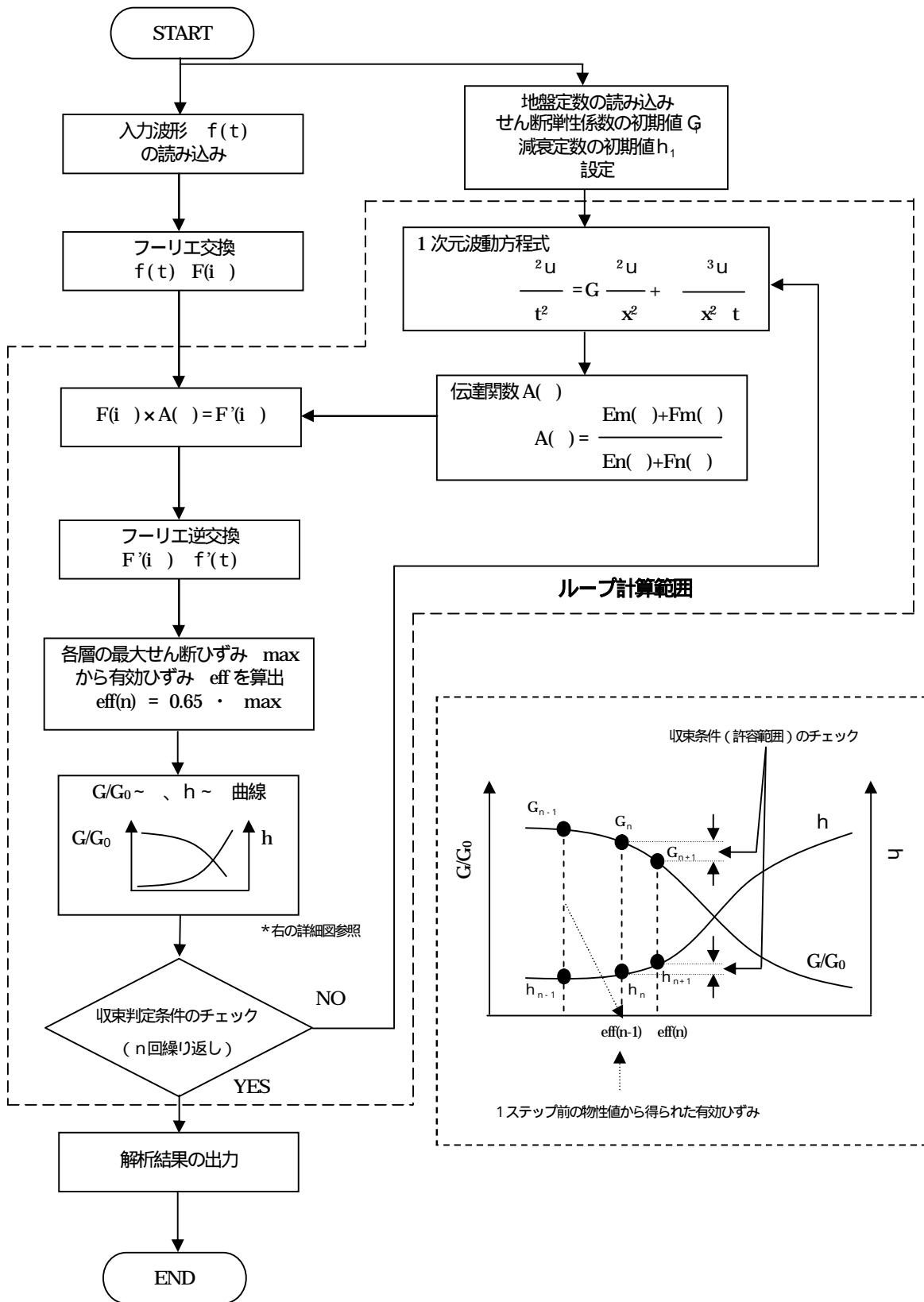


図 2-3 Shake の流れ (http://www.j-map.bosai.go.jp/j-map/result/tn_249/index.html から編集・加筆)

2.2 地盤モデルの厚さの違いによる地震動の差の検討

(1) 検討モデル

本業務で地盤モデルを作成する際には、5m単位で丸めることを前提条件とした。この前提条件がどの程度、地震動の差に影響を与えるか検討を行なった。検討したケースは、ボーリング3本についてであり、それぞれ、1cm、1m、2m、5m単位で丸めたモデルを作成した。作成したモデル表2-6を～表2-17に示す。

表 2-6 533 8-3475 孔における 1cm 精度区分のモデル

| 厚さ (m) | 減衰定数 | 密度 (t/m ³) | Vs (m/s) |
|-----------|-------|---------------------------|-------------|
| 11.39 | 0.014 | 1.40 | 106 |
| 2.56 | 0.014 | 1.40 | 97 |
| 2.35 | 0.014 | 1.50 | 128 |
| 5.38 | 0.014 | 1.60 | 138 |
| 3.11 | 0.014 | 1.90 | 160 |
| 3.08 | 0.014 | 1.90 | 217 |
| 2.13 | 0.014 | 1.90 | 165 |
| 10.00 | 0.005 | 1.90 | 500 |
| (1.00) | 0.005 | 2.00 | 700 |

表 2-7 533 8-3475 孔における 1m 精度区分のモデル

| 厚さ (m) | 減衰定数 | 密度 (t/m ³) | Vs (m/s) |
|-----------|-------|---------------------------|-------------|
| 11.00 | 0.014 | 1.40 | 106 |
| 3.00 | 0.014 | 1.40 | 97 |
| 2.00 | 0.014 | 1.50 | 128 |
| 6.00 | 0.014 | 1.60 | 138 |
| 3.00 | 0.014 | 1.90 | 160 |
| 3.00 | 0.014 | 1.90 | 217 |
| 2.00 | 0.014 | 1.90 | 165 |
| 10.00 | 0.005 | 1.90 | 500 |
| (1.00) | 0.005 | 2.00 | 700 |

表 2-8 533 8-3475 孔における 2m 精度区分のモデル

| 厚さ (m) | 減衰定数 | 密度 (t/m ³) | Vs (m/s) |
|-----------|-------|---------------------------|-------------|
| 10.00 | 0.014 | 1.40 | 106 |
| 2.00 | 0.014 | 1.40 | 97 |
| 2.00 | 0.014 | 1.50 | 128 |
| 6.00 | 0.014 | 1.60 | 138 |
| 4.00 | 0.014 | 1.90 | 160 |
| 4.00 | 0.014 | 1.90 | 217 |
| 2.00 | 0.014 | 1.90 | 165 |
| 10.00 | 0.005 | 1.90 | 500 |
| (1.00) | 0.005 | 2.00 | 700 |

表 2-9 533 8-3475 孔における 5m 精度区分のモデル

| 厚さ (m) | 減衰定数 | 密度 (t/m ³) | Vs (m/s) |
|-----------|-------|---------------------------|-------------|
| 10.00 | 0.014 | 1.40 | 106 |
| 5.00 | 0.014 | 1.40 | 97 |
| 5.00 | 0.014 | 1.60 | 138 |
| 5.00 | 0.014 | 1.90 | 160 |
| 5.00 | 0.014 | 1.90 | 217 |
| 10.00 | 0.005 | 1.90 | 500 |
| (1.00) | 0.005 | 2.00 | 700 |

表 2-10 533 8-3377 孔における 1cm 精度区分のモデル

| 厚さ (m) | 減衰定数 | 密度 (t/m ³) | Vs (m/s) |
|-----------|-------|---------------------------|-------------|
| 17.95 | 0.014 | 1.70 | 210 |
| 7.05 | 0.014 | 1.90 | 323 |
| 35.00 | 0.014 | 2.10 | 338 |
| 10.00 | 0.005 | 1.90 | 500 |
| (1.00) | 0.005 | 2.00 | 700 |

表 2-11 533 8-3377 孔における 1m 精度区分のモデル

| 厚さ (m) | 減衰定数 | 密度 (t/m ³) | Vs (m/s) |
|-----------|-------|---------------------------|-------------|
| 18.00 | 0.014 | 1.70 | 210 |
| 7.00 | 0.014 | 1.90 | 323 |
| 35.00 | 0.014 | 2.10 | 338 |
| 10.00 | 0.005 | 1.90 | 500 |
| (1.00) | 0.005 | 2.00 | 700 |

表 2-12 533 8-3377 孔における 2m 精度区分のモデル

| 厚さ (m) | 減衰定数 | 密度 (t/m ³) | Vs (m/s) |
|-----------|-------|---------------------------|-------------|
| 18.00 | 0.014 | 1.70 | 210 |
| 8.00 | 0.014 | 1.90 | 323 |
| 34.00 | 0.014 | 2.10 | 338 |
| 10.00 | 0.005 | 1.90 | 500 |
| (1.00) | 0.005 | 2.00 | 700 |

表 2-13 533 8-3377 孔における 5m 精度区分のモデル

| 厚さ (m) | 減衰定数 | 密度 (t/m ³) | Vs (m/s) |
|-----------|-------|---------------------------|-------------|
| 20.00 | 0.014 | 1.70 | 210 |
| 5.00 | 0.014 | 1.90 | 323 |
| 35.00 | 0.014 | 2.10 | 338 |
| 10.00 | 0.005 | 1.90 | 500 |
| (1.00) | 0.005 | 2.00 | 700 |

表 2-14 533 83577 孔における 1cm 精度区分のモデル

| 厚さ (m) | 減衰定数 | 密度 (t/m^3) | Vs (m/s) |
|-----------|-------|--------------------------|-------------|
| 6.38 | 0.014 | 1.80 | 153 |
| 2.73 | 0.014 | 1.90 | 183 |
| 4.21 | 0.014 | 1.50 | 156 |
| 1.68 | 0.014 | 1.80 | 178 |
| 5.80 | 0.014 | 1.90 | 298 |
| 26.74 | 0.014 | 1.80 | 373 |
| 4.46 | 0.014 | 2.10 | 338 |
| 10.00 | 0.005 | 1.90 | 500 |
| (1.00) | 0.005 | 2.00 | 700 |

表 2-15 533 83577 孔における 1m 精度区分のモデル

| 厚さ (m) | 減衰定数 | 密度 (t/m^3) | Vs (m/s) |
|-----------|-------|--------------------------|-------------|
| 6.00 | 0.014 | 1.80 | 153 |
| 3.00 | 0.014 | 1.90 | 183 |
| 4.00 | 0.014 | 1.50 | 156 |
| 2.00 | 0.014 | 1.80 | 178 |
| 6.00 | 0.014 | 1.90 | 298 |
| 27.00 | 0.014 | 1.80 | 373 |
| 4.00 | 0.014 | 2.10 | 338 |
| 10.00 | 0.005 | 1.90 | 500 |
| (1.00) | 0.005 | 2.00 | 700 |

表 2-16 533 83577 孔における 2m 精度区分のモデル

| 厚さ (m) | 減衰定数 | 密度 (t/m^3) | Vs (m/s) |
|-----------|-------|--------------------------|-------------|
| 6.00 | 0.014 | 1.80 | 153 |
| 4.00 | 0.014 | 1.90 | 183 |
| 4.00 | 0.014 | 1.50 | 156 |
| 2.00 | 0.014 | 1.80 | 178 |
| 6.00 | 0.014 | 1.90 | 298 |
| 26.00 | 0.014 | 1.80 | 373 |
| 4.00 | 0.014 | 2.10 | 338 |
| 10.00 | 0.005 | 1.90 | 500 |
| (1.00) | 0.005 | 2.00 | 700 |

表 2-17 533 83577 孔における 5m 精度区分のモデル

| 厚さ (m) | 減衰定数 | 密度 (t/m^3) | Vs (m/s) |
|-----------|-------|--------------------------|-------------|
| 5.00 | 0.014 | 1.80 | 153 |
| 5.00 | 0.014 | 1.90 | 183 |
| 5.00 | 0.014 | 1.50 | 156 |
| 5.00 | 0.014 | 1.90 | 298 |
| 25.00 | 0.014 | 1.80 | 373 |
| 5.00 | 0.014 | 2.10 | 338 |
| 10.00 | 0.005 | 1.90 | 500 |
| (1.00) | 0.005 | 2.00 | 700 |

(2) 計算結果

1) 533 8-3475 孔における結果

5338-3475 における結果を表 2-18 に示す。いずれのケースでも最大加速度の値に大きな差はない。最大加速度を示す水平動合成値でも、最大値である 1 m 区分モデルと 5m 区モデルの値とでも 5% 程度の差しかない。

表 2-18 533 8-3475 孔における結果一覧

| 震動方向 | 単位別の最大加速度 (gal) | | | | |
|-------|-----------------|-------|-------|-------|-----|
| | 1cm(8) | 1m(8) | 2m(8) | 5m(6) | 平均値 |
| NS | 329 | 336 | 320 | 335 | 330 |
| EW | 525 | 534 | 489 | 498 | 512 |
| UD | 154 | 155 | 148 | 156 | 153 |
| 水平動合成 | 620 | 631 | 584 | 600 | 609 |

単位の横の括弧書きは、計算に使用した地層の数、繰り返し回数：10 回、入力波：露頭波

2) 533 8-3377 孔における結果

5338-3377 における結果を表 2-19 に示す。上下成分以外の 5m 区分モデルで最小値を示すが、いずれのケースでも最大加速に大きな差はない。最大加速度を示す水平動合成値でも、1 m 区分モデルと 5m 区分モデルとの値の差は 5% 程度である。

表 2-19 533 8-3377 孔における結果一覧

| 震動方向 | 単位別の最大加速度 (gal) | | | | |
|-------|-----------------|-------|-------|-------|-----|
| | 1cm(4) | 1m(4) | 2m(4) | 5m(4) | 平均値 |
| NS | 109 | 109 | 109 | 102 | 107 |
| EW | 119 | 119 | 119 | 116 | 119 |
| UD | 98 | 98 | 99 | 103 | 99 |
| 水平動合成 | 162 | 161 | 162 | 155 | 160 |

単位の横の括弧書きは、計算に使用した地層の数、繰り返し回数：10 回、入力波：露頭波

3)533 8-3577 孔における結果

5338-3577 における結果を表 2-20 に示す。これらから明らかなように、いずれのケースでも最大加速に大きな差はなく、最も差が大きい NS 成分の 5m 区分モデルと 2m 区分モデルでも 8% 程度である。

表 2-20 533 8-3577 孔における結果一覧

| 震動方向 | 単位別の最大加速度 (gal) | | | | |
|-------|-----------------|-------|-------|-------|-----|
| | 1m(8) | 1m(8) | 2m(8) | 5m(7) | 平均値 |
| NS | 389 | 387 | 400 | 370 | 387 |
| EW | 449 | 446 | 430 | 463 | 447 |
| UD | 126 | 126 | 127 | 126 | 126 |
| 水平動合成 | 594 | 591 | 587 | 593 | 591 |

単位の横の括弧書きは、計算に使用した地層の数、繰り返し回数：10 回、入力波：露頭波

(3) 5m 区分モデルの妥当性

本業務で地盤モデルを作成する際に用いた 5m 区分モデルと、より薄い層厚の区分モデルの最大加速度を比較した。その結果、いずれのケースでも最大加速に大きな差はなく、5m 区分モデルと最大値を示すモデルでも最大加速度は 5% 程度の差にとどまる。したがって、隣接する他県の事例・作業性・経済性を考慮すると 5m 区分モデルは妥当と考える。

2.3 液状化危険度解析

液状化危険度の算出手法は、道路橋示方書・同解説 耐震設計編の方法を用いた。

(1) F_L の計算

「道路橋示方書・同解説 V 耐震設計編」による液状化に対する抵抗率 F_L の算出手法について、過去の地震時の山梨県における液状化履歴や最近の液状化の研究成果を考慮して、液状化対象とする土層やパラメータを以下のとおり見直した。

地下水位が現地盤面から 10m 以内にあり、かつ、現地盤面から 20m 以内の深さに存在する飽和土層であること。

本報告では、1章で示した工学的基盤より上位の地層である浅部地盤モデルで、地表から深度 20m 以内の各 5m 区間に砂質土または礫質土が分布しているメッシュを対象とする。粘性土は評価対象外とする。

地下水位は不明なため、地表まで飽和していると仮定する。ただし、段丘、山間地の狭小な扇状地、及び火山麓扇状地（沖積面と接する部分を除く）については、地形的にみて地下水位が相当低く、液状化する可能性が極めて低いところであることから、液状化評価対象から除外する。

細粒分含有率 FC が 35%以下の土層、又は、FC が 35%を超えても塑性指数 I_p が 15 以下の土層であること。本報告では、砂質土と礫質土の FC を安全側にみて 0%と仮定しているため、 I_p は使用しない。平均粒径 D_{50} が 10mm 以下で、かつ、10%粒径 D_{10} が 1mm 以下である土層であること。本報告では、礫質土の D_{50} を 2mm とする。

『日本の地盤液状化履歴図』では、関東地震時に液状化が 3 地域で発生したことが示されている。しかし、3 地域とも旧村名しか示されておらず、詳しいメッシュを特定できないため、地盤モデルの変更はしない。

上記条件に当てはまる場合、液状化の判定を行う。その手順を以下に示す。

有効上載圧 σ'_v の算出。

標準貫入試験の N 値と σ'_v から有効上載圧 100kN/m² 相当に換算した N 値 N_1 の算出。

補正係数 C_1 、 C_2 を細粒分含有率 FC から算出。

C_1 、 C_2 、 N_1 から粒度の影響を考慮した補正 N 値 N_a の算出。

$$N_a = c_1 N_1 + c_2$$
$$N_1 = 170N / (\sigma'_v + 70)$$
$$\text{砂質土の場合} : c_1 = \begin{cases} 1 & (0\% \quad FC < 10\%) \\ (FC + 40)/50 & (10\% \quad FC < 60\%) \\ FC/20 - 1 & (60\% \quad FC) \end{cases}$$
$$c_1 = \begin{cases} 0 & (0\% \quad FC < 10\%) \\ (FC - 10)/18 & (10\% \quad FC) \end{cases}$$
$$\text{れき質土の場合} : N_a = \{1 - 0.36 \log_{10}(D_{50}/2)\} N_1$$

Na から繰返し三軸強度比 R_L の算出。

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

R_L から地震動特性による補正係数 C_w を算出。

C_w と R_L から動的せん断強度比 R を算出。

$$R = c_w R_L$$

タイプ の地震動の場合： $c_w = 1.0$

$$\text{タイプ の地震動の場合： } c_w = \begin{cases} 1.0 & (R_L \leq 0.1) \\ 3.3R_L + 0.67 & (0.1 < R_L \leq 0.4) \\ 2.0 & (0.4 < R_L) \end{cases}$$

本報告では、タイプ を使用した。

地表からの深さ x から地震時せん断応力比の深さ方向の低減係数 r_d を算出。

$$r_d = 1.0 - 0.015x$$

レベル2地震動の地盤面における設計水平震度 h_g を求める。

$$h_g = C_z \cdot h_{g0}$$

h_{g0} はタイプ の場合、地盤種別が 種、種、種に対して、各々、0.3、0.35、0.4 とする。タイプ の場合、0.8、0.7、0.6 とする。

C_z ：地域別補正係数

全上載圧 σ_v 、有効上載圧 σ'_v の算出。計算に用いる値は表 2-23 を参照。

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

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

γ_{t1} ：地下水位面より浅い位置での土の湿潤単位体積重量 (kN/m³)

本報告では、地下水位を地表に設定するため、 γ_{t1} は設定が必要ない (使わない)。

γ_{t2} ：地下水位面より深い位置での土の飽和単位体積重量 (kN/m³)

本報告では、 $\gamma_{sat} \times 9.81 = \gamma_{t2}$ (kN/m³) として扱う (γ_{sat} は飽和密度 (g/cm³))。

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または水中単位体積重量 (kN/m³)

有効単位体積重量は $\gamma'_{t2} = (\gamma_{sat} - 1.0) \times 9.81$ (kN/m³) = $(\gamma_{t2} - 9.81)$ (kN/m³)

h_w ：地下水位の深さ(m)、ただし、今回の解析では地下水位が不明なため、地表まで飽和していると仮定し、 $h_w = 0$ とする。

r_d 、 h_g 、 σ_v 、 σ'_v から地震時せん断応力比 L の算出

$$L = r_d \kappa_{hg} \sigma_v / \sigma'_v$$

道路橋示方書では、上記の通りであるが、本報告では、Shake の結果より τ_{MAX} を得られるので、

$$L = \tau_{MAX} / \sigma'_v$$

² タイプ の地震動：プレート境界型の大規模な地震。

³ タイプ の地震動：兵庫県南部地震のような内陸直下型地震。

により計算する。

R と L から F_L 値の算出。

$$F_L = R/L$$

以上の計算から、液状化に対する抵抗率 F_L の算出が可能である。この値が 1.0 以下の土層については液状化するとみなすものとしている。

(2) P_L 値の計算

P_L 値の算出は以下の式で行う。

$$P_L = \int_0^{20} (1 - F_L)(10 - 0.5x)dx$$

算出された P_L 値から、液状化危険度を示したランク区分によって評価する。

表 2-21 P_L 値の評価

| 液状化危険度ランク | P_L 値 | 液状化ランク |
|-----------|--------------------|-----------------|
| 液状化危険度 大 | $P_L > 15.0$ | 液状化発生の可能性が高い |
| 液状化危険度 中 | $15.0 > P_L > 5.0$ | 液状化発生の可能性がある |
| 液状化危険度 小 | $5.0 > P_L > 0.0$ | 液状化発生の可能性が低い |
| 液状化危険度 極小 | $P_L = 0.0$ | 液状化発生の可能性が極めて低い |

表 2-22 土質分類と単位体積、平均粒径、細粒分含有率の概略値

(道路橋示方書・耐震設計編 H14、357p)

| 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 FC (%) |
|--------|--|--|-----------------------|------------------|
| 表土 | 17.0 | 15.0 | 0.02 | 80 |
| シルト | 17.5 | 15.5 | 0.025 | 75 |
| 砂質シルト | 18.0 | 16.0 | 0.04 | 65 |
| シルト質細砂 | 18.0 | 16.0 | 0.07 | 50 |
| 微細砂 | 18.5 | 16.5 | 0.1 | 40 |
| 細砂 | 19.5 | 17.5 | 0.15 | 30 |
| 中砂 | 20.0 | 18.0 | 0.35 | 10 |
| 粗砂 | 20.0 | 18.0 | 0.6 | 0 |
| 砂れき | 21.0 | 19.0 | 2.0 | 0 |

表 2-23 使用した値一覧

| | N 値の範囲 | 飽和密度 | 飽和単位体積重量 | 水中単位体積重量 |
|-----|--------|-------------------------------------|---------------------------------|------------------------------------|
| | | γ_{sat} (g/cm ³) | γ_t (kN/m ³) | γ_t' (kN/m ³) |
| | | | $\gamma_{sat} \times 9.81$ | $(\gamma_{sat} - 1.0) \times 9.81$ |
| 粘性土 | 0-1 | 1.4 | 13.7 | 3.9 |
| | 2-3 | 1.5 | 14.7 | 4.9 |
| | 4-7 | 1.6 | 15.7 | 5.9 |
| | 8-14 | 1.7 | 16.7 | 6.9 |
| | 15- | 1.8 | 17.7 | 7.8 |
| 砂質土 | 0-3 | 1.7 | 16.7 | 6.9 |
| | 4-9 | 1.8 | 17.7 | 7.8 |
| | 10- | 1.9 | 18.6 | 8.8 |
| 礫質土 | 0-19 | 1.9 | 18.6 | 8.8 |
| | 20-49 | 2.0 | 19.6 | 9.8 |
| | 50- | 2.1 | 20.6 | 10.8 |
| ローム | 0-3 | 1.4 | 13.7 | 3.9 |
| | 4- | 1.5 | 14.7 | 4.9 |