

5. 強震動予測結果と設計水平震度の捉え方

1. 南海トラフ巨大地震の内陸ケース

南海トラフ巨大地震では、地震調査委員会及び静岡県により、マグニチュード 9.1 の地震が基本ケースの他に、東側ケース、西側ケース、陸側ケースが設定されている。共に想定震源域は、図 1-1-1 のとおりであるが、強震動生成域が異なる。当該地において、最も大きな地震動となるのは、図 1-1-2 に示す陸側ケースの場合であり、**強震動域が当該地の直下となる。**

このケースで見た場合、図 1-1-3 にみられるように、陸側ケースの場合に、静岡県の内陸の山岳部も 6 強あるいは 6 弱の高い震度となり、浜名湖周辺では、震度 7 の最大の震度を示し、浜松市の沿岸部も極めて大きな震度となる。なお、静岡県では、陸側ケース、東側ケースをレベル 2 地震動と位置付けて基本ケースとはやや異なる扱いを示している。

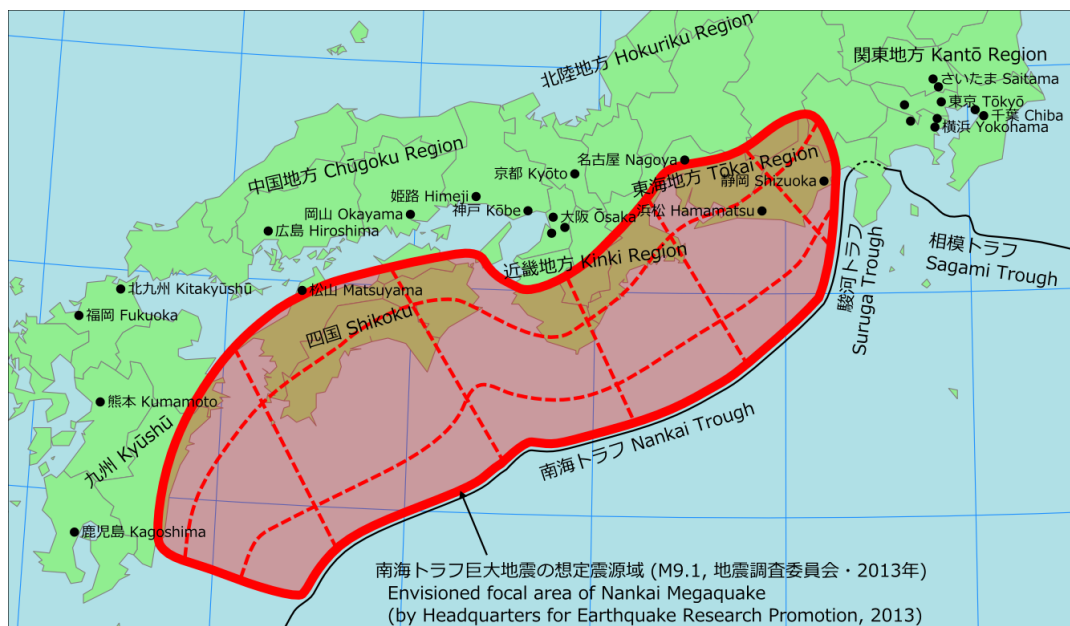


図 1-1-1 南海トラフ巨大地震の想定震源域

設定した地震動は、以下の通り。

- ・断層の長さ 365km：松田式による気象庁マグニチュード 9.1 の地震に相当する長さ
- ・断層の上端の深さ 3km：断層は地表に露出しないと設定
- ・断層傾斜 30°：逆断層として設定
- ・断層から当該地までの最短距離 0km：静岡県又は国の内陸ケースの強震動生成域の端からの距離で設定。

なお、この場合、静岡県などにより、図 1-1-3 に示すように、当該地では震度 6 強の揺

れが生じることが予測されており、この結果とも比較する。なお、この地震は、レベル 2 地震に位置付けられ、“極めて発生する確率は低いが、発生した場合、甚大な被害を及ぼす”地震である。

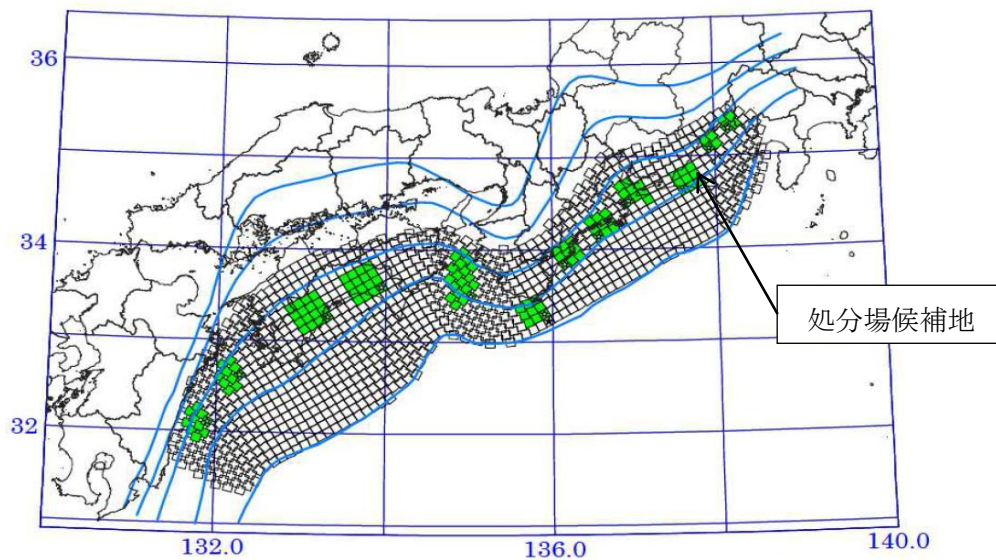


図 1-1-2 陸側ケースの強震動生成域

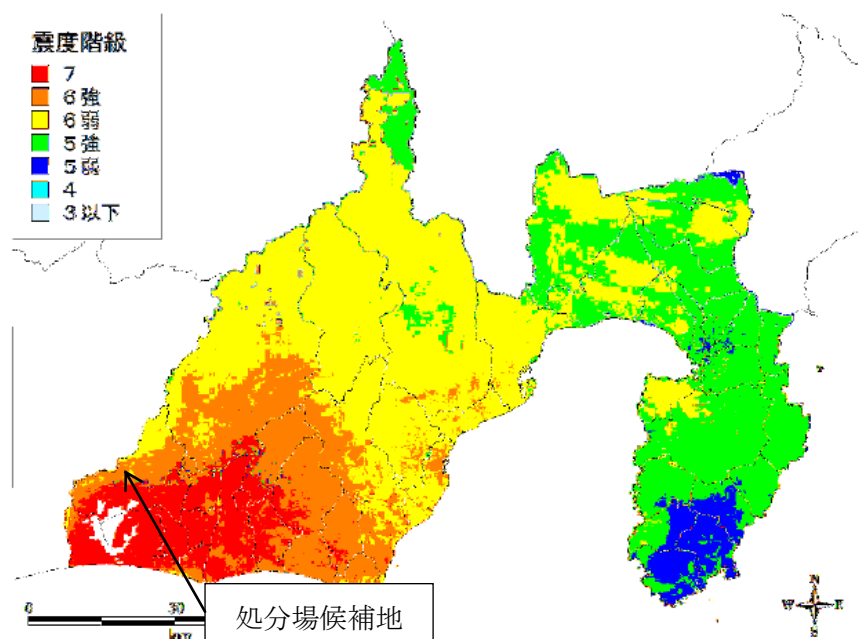


図 1-1-3 南海トラフ巨大地震の陸側ケースの震度分布図

強震動予測結果を、以下に示す。

想定する地震(内陸ケース)

想定地震名	中央構造線起震断層の地震
想定マグニチュード	9.1
想定断層の長さ	365 km

I) 地表の最大速度 PGVs より水平設計震度を求める場合

◆距離減衰式(基準基盤上の最大速度 PGV600)

$$\text{PGV600} = 95.557 \text{ cm/sec}$$

◆地表の最大速度 PGVs

藤本・翠川(2006)の手法による ARV

$$\text{PGVs} = 86.289 \text{ cm/sec}$$

◆計測震度 I

藤本・翠川(2006)の手法による ARV

$$I = 6.01 \Rightarrow \text{震度: 6強}$$

◆最大加速度 A

藤本・翠川(2006)の手法による ARV

$$A = 685 \text{ Gal}$$

◆設計水平震度 Kh

藤本・翠川(2006)の手法による ARV

$$\text{Kh} = \boxed{0.30}$$

ここに示すように、震度 6 強の地震となり、既往の予測値と同じ震度階である。そこから求められる設計水平震度は 0.30 である。

2. 安定解析結果

ここでは、設計水平震度 0.30 の場合の安定解析結果を示す。

設計水平震度 0.25 のときの最小安全率は 1.20 であったが、0.30 の場合の最小安全率は 1.11 であり、0.09 程度安全率が低下するものの、安全率は 1.00 以上であり、巨大地震においても安全であることが見て取れる。

ただし、この場合の設計条件としては、廃棄異物盛土内の地下水（保有水）を十分に集排水できる集排水施設が整備され、地下水位が十分に小さい場合である。したがって、**維持管理段階において、十分に集排水施設が機能するように維持する必要がある。**

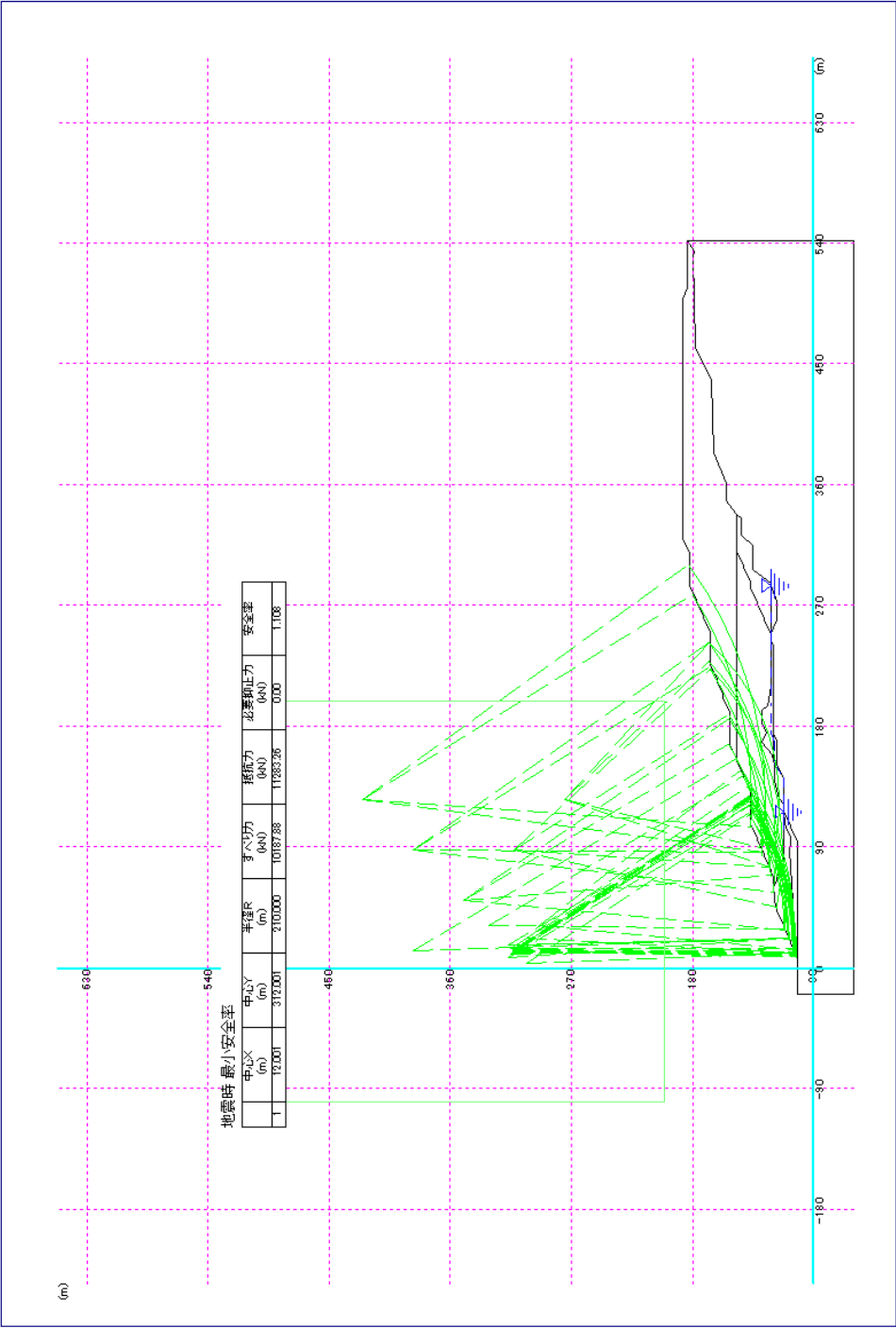


図 2-1-1 設計水平震度 $K_h=0.30$ の場合の安全率：最小 1.11 $\geq$ 要求安全率 1.0

3. 土木構造物におけるレベル2地震動の考え方

土木構造物においては、これまでに発生した地震を受けて、順次各種のマニュアルや指針が示され、その中で、レベル2地震動（あるいは大規模地震）と呼ばれる最大規模の地震が作用した時に対する考え方が示されている。ここでは、これらの考え方について以下に示す。

3. 1. 河川堤防の場合

3. 1. 1. 平成 28 年 3 月の改定

現在、河川堤防の最新の耐震性については、「国土交通省水管理・国土保全局治水課：河川構造物の耐震性能照査指針・解説－Ⅱ．堤防編－，平成 28 年 3 月」が示されている。

平成 24 年 2 月にも改定が行われているが、この改定は、平成 23 年 3 月 11 日の東北地方太平洋沖地震（通称、東日本大震災）により、東北地方から関東地方の広範囲にわたって河川堤防に甚大な被災が生じたことを受け、様々な課題がある中でその当時の知見を結集して行われた。今回の平成 28 年 3 月の改定は、平成 24 年 2 月の改定のときの課題のうち、堤防に係る範囲のみで一定の結論が得られたので、堤防に係る部分を集約し、新たな堤防編として改定している。

この平成 28 年 3 月の指針で取り扱う地震動は、「極めて発生する確率は低いが、**現在から将来にわたって考えられる最大級の強さを持つ地震動（以下、レベル2地震動）**を考慮する」指針である。レベル2地震動としては、「プレート境界型の大規模な地震を想定したレベル2-1地震動及び内陸直下型地震を想定したレベル2-2地震動の2種類を考慮する」こととなっている。

3. 1. 2. 耐震性能の考え方

平成 28 年 3 月改定の指針では、「盛土による堤防（土堤）については、その構造上、**地震に対して損傷を全く許容しないことは不合理である**とともに、一般に、地震による損傷を受けても短期間での修復が可能である。このような堤防の特性を踏まえて、堤防の種々の機能のうち、**地震によりある程度の損傷が生じた場合**においても、耐震性能の照査において考慮する外水位に対して**河川の流水の河川外への越流を防止する**という耐震性能照査上の堤防の機能を保持することを堤防の耐震性能とした」としている。

すなわち、河川堤防の場合、「河川の流水が河川外へ越流」してしまう場合には、甚大な被害をもたらすので、その**越流を防止する機能は保持させるが、多少の損傷は致し方ないとする考え方**をとっている。

3. 1. 3. 考慮する地震の影響

平成 28 年 3 月改定の指針では、「堤防の既往の地震被害のうち、大規模な変状が生じた被害の多くは堤防の基礎地盤の液状化に起因するものであったが、平成 23 年 3 月に発生した東北地方太平洋沖地震により堤体の液状化に起因する堤防の大規模な被害が多発したことから、地震の影響として基礎地盤と堤体の液状化を考慮する」としている。

こうした堤防被害の典型的な例としては、図 3-1-1 に示されるような、堤体が砂質土で構成され、基礎地盤が軟弱粘性土である時に、砂質土の堤体に雨水の浸入等が生じて飽和域が形成され、軟弱粘性土の基礎地盤の圧密沈下により堤体下部のめり込みが生じ、砂質土の堤体が緩んで密度が低下して液状化するという現象がこの指針に示されている。

さらに、「東北地方太平洋沖地震により、東北から関東にかけての広範囲に地殻変動に伴う地盤沈降が生じたことから、地震による広域な地盤沈降が予想される場合には、その影響を適切に考慮しなければならない」と指針では述べており、液状化の他に地盤沈降も考慮しなければならない。

すなわち、**地震による液状化や地盤沈降を問題としている**のであり、緩い砂質土で構成されていない堤体で、地盤沈降が極めて起きにくい硬質な岩盤の上に構築された堤防は、この耐震性能の照査の対象外となると考えられる。

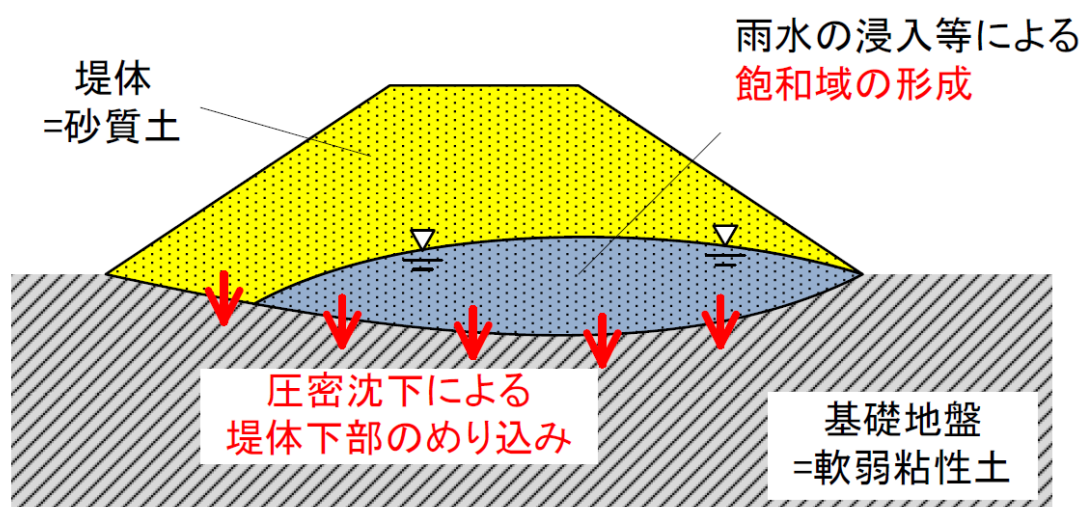


図 3-1-1 堤体の液状化による被災の典型的な状況（「河川構造物の耐震性能照査指針・解説 p. 4」より）

3. 2. 道路盛土の場合

道路の盛土工の場合、「社団法人日本道路協会：道路土工―盛土工指針（平成 22 年度版），平成 22 年 4 月」が最新版として示されている。

3. 2. 1. 道路の重要度とその性能

道路の盛土に対する性能は、その重要度によって異なってくる。表 3-2-1 に盛土の要求性能を示した。

この表に見られるように、万一損傷すると交通機能に著しい影響を与える場合や隣接する施設に重大な影響を与える場合の**重要度 1 の盛土では、レベル 2 地震動において性能 2 が要求**され、それ以外の盛土では、レベル 2 地震動において性能 3 が要求されている。

ここで、性能 1～3 は、次のように定義されている。

- ① 性能 1：想定する作用（地震力等）によって盛土としての健全性を損なわない性能
- ② 性能 2：想定する作用（地震力等）による損傷が限定的なものにとどまり、盛土としての機能の回復が速やかに行い得る性能
- ③ 性能 3：想定する作用（地震力等）による損傷が、盛土として致命的とならない性能

表 3-2-1 道路の盛土の要求性能（盛土工指針，p. 83-85）

想定する作用 \ 重要度		重要度 1	重要度 2
常時の作用		性能 1	性能 1
降雨の作用		性能 1	性能 1
地震動の作用	レベル 1 地震動	性能 1	性能 2
	レベル 2 地震動	性能 2	性能 3

(3) 盛土の重要度の区分は、以下を基本とする。

重要度 1：万一損傷すると交通機能に著しい影響を与える場合，あるいは，隣接する施設に重大な影響を与える場合

重要度 2：上記以外の場合

(4) 盛土の要求性能は、想定する作用と盛土の重要度に応じて、上記(2)に示す要求性能の水準から適切に選定する。

すなわち、道路土工の重要度 1 の盛土では、道路の機能に若干の支障をきたしても致し方ないが、構造物としての機能の回復が速やかに行える程度の損傷であることが求められている。

3. 2. 2. 地震動の作用の照査の考え方

盛土工指針では、重要度 1 の盛土にあっても「**十分な排水処理と入念な締固めを前提に**、レベル 1 地震動の照査を行えば、**レベル 2 地震動に対する照査を省略してよい**。ただし、極めて重大な二次的被害の恐れのある盛土についてはレベル 2 地震動に対する照査を行うことが望ましい。」としており、必ずしもレベル 2 地震動の検討を行わなくても良いことが示されている。

さらに、「地震動の作用に対する安定性の照査には、多くの仮定や不確定要素を含んでおり、想定する作用に対する盛土の挙動を的確に予測するのは容易ではない。したがって、数値解析等の結果のみで判断するのではなく、**数値解析等はあくまでも検討の一手段として取り扱い、周辺の道路等における類似盛土の条件（土質、盛土高等）、施工実績や災害事例等の調査も含めた総合的な検討を行う必要がある。**」と盛土工指針では述べられている。すなわち、様々な実績を基に安定解析などの結果を参考にしながら総合的に地震動の作用を考えなければならないことが述べられている。

3. 2. 3. レベル 2 地震動に対する性能 2

盛土工指針では、「レベル 2 地震動に対する設計水平震度に対して、円弧すべり面を仮定した安定解析法によって算出した地震時安全率の値が 1.0 以上であれば、盛土の変形量は限定的なものにとどまると考えられるため、レベル 2 地震動の作用に対して性能 2 を満足するとみなして良い。」とし、盛土工の設計水平震度を表 3-2-2 のように設定している。

表 3-2-2 道路の盛土の設計水平震度の標準値（盛土工指針，p.125）

	地盤種別		
	I 種	II 種	III 種
レベル 1 地震動	0.08	0.10	0.12
レベル 2 地震動	0.16	0.20	0.24

I 種地盤：良好な洪積地盤及び岩盤

II 種地盤：I 種地盤及び III 種地盤のいずれにも属さない洪積地盤及び沖積地盤

III 種地盤：沖積地盤のうち軟弱地盤

備考）地盤種別の説明は「日本道路協会：道路橋示方書・同解説－V 耐震設計編，平成 14 年 3 月，p.25」より。

盛土工指針では、レベル 2 地震動においても、**軟弱な地盤上の盛土で 0.24 の最大設計水平震度をとるが、岩盤上の盛土ではレベル 2 地震動でも 0.16 の設計水平震度しかとらない。**

「盛土工指針，pp.304～307」では、地震時の盛土の著しい被害として、次の 3 つの場合などを挙げている。

- ・ 平地部の盛土で基礎地盤が液状化しやすい緩い砂質土で構成されている場合
- ・ 山地部の沢地形を埋める盛土で浸透水が存在する場合
- ・ 地山勾配やのり面勾配が急であったりする場合

そして、盛土の地震被害のメカニズムに大きな影響を与えるものは“水”であるとしているが、「十分な排水処理と入念な締固め」を前提として、地下水が関与しない場合のすべり破壊について、図 3-2-1 のような関係を示している。

こうした事例を踏まえて、工学的判断として、レベル 2 地震動に対して水平設計震度 0.2 程度で良いとしている。

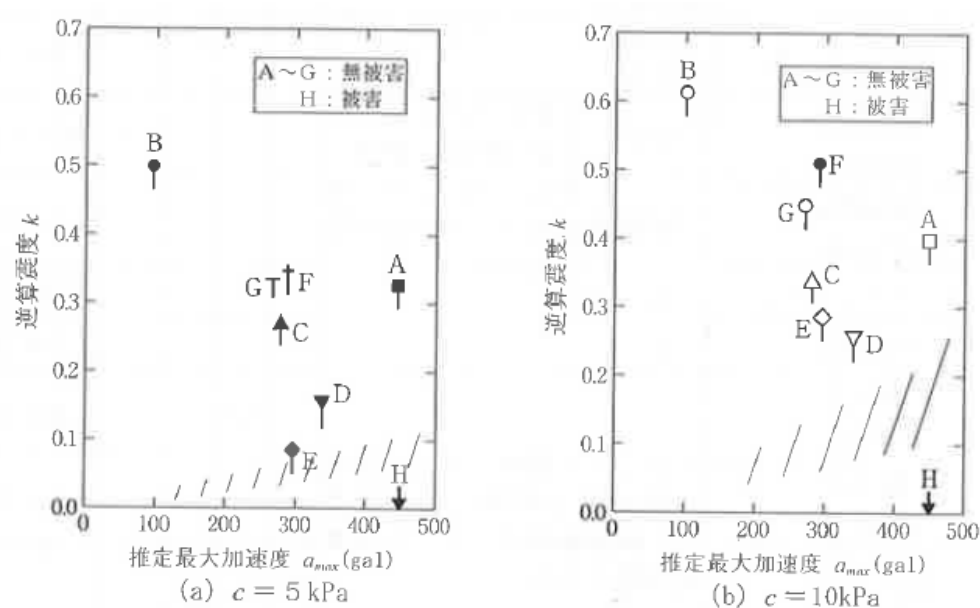


図 3-2-1 最大加速度と逆算（設計水平）震度との関係（「盛土工指針, p. 307」より）

なお、図 3-2-1 に示されるように、逆算震度が 0.3~0.5 でも水の影響が無いと考えられる盛土地点では、無被害となっている。すなわち、水が関与しなければ、地震の影響は比較的大きくないことを示した事例と言える。

3. 3. 宅地造成の場合

3. 3. 1. 宅地における安定性の検討と処分場

「宅地防災研究会(2007)：宅地防災マニュアルの解説，ぎょうせい」では、盛土の安定性の検討において、図 3-3-1 のような流れで検討すべきことが示されている。

この図に示されるように、まずは「盛土自体の条件がよいか」を検討しなければならない。これが NO となる盛土自体の条件とは、

- a) 盛土高が標準値を超える場合
- b) 盛土材料の含水比が高く、特にせん断強さが小さい土
- c) 盛土材料の含水比が高く、間隙水圧が増加しやすい土からなる場合

最終処分場の廃棄物層の盛土高は 15m 以上であることが多く、これは標準値を超える値である。以上のことから、一般的には NO となる場合が多いと思われる。

次に、「盛土の崩壊による影響が大きいか」ということに対しては、次の基準のいずれかを満たしている場合とされている。

- a) 万一崩壊すると隣接物に重大な損害を与える場合
- b) 万一崩壊すると復旧に長期間を要し、道路機能を著しく阻害する場合

一般的には、最終処分場の廃棄物層等が崩壊しても隣接物（住居等）は近傍ではなく、住居等に重大な損害を与えることはほとんどない。一方、崩壊物が道路（公道）等を覆うようなことも考えにくい。したがって、「盛土の崩壊による影響は大きいか」ということに対しては、NO ということになる。このように考えた場合には、最終処分場では、常時の安定の検討を行うだけで良いこととなる。

しかし、最終処分場は、貯留構造物下流に調整池や水処理施設などがあり、それらが複合したシステムとして、処分場からの有害物質の漏洩等を防いでいるので、これらの構造物（隣接物）に重大な損害を与えることは避けなければならない。したがって、ここでは、より安全のため、万一崩壊すると隣接物に重大な損害を与える場合に相当すると考え、「盛土の崩壊による影響は大きいか」ということに対しては、YES と考えるべきと思われる。

以上のことから、最終処分場に照らし合わせるとき、「常時の安定の検討」と「地震時の安定の検討」を行うべきと思われる。

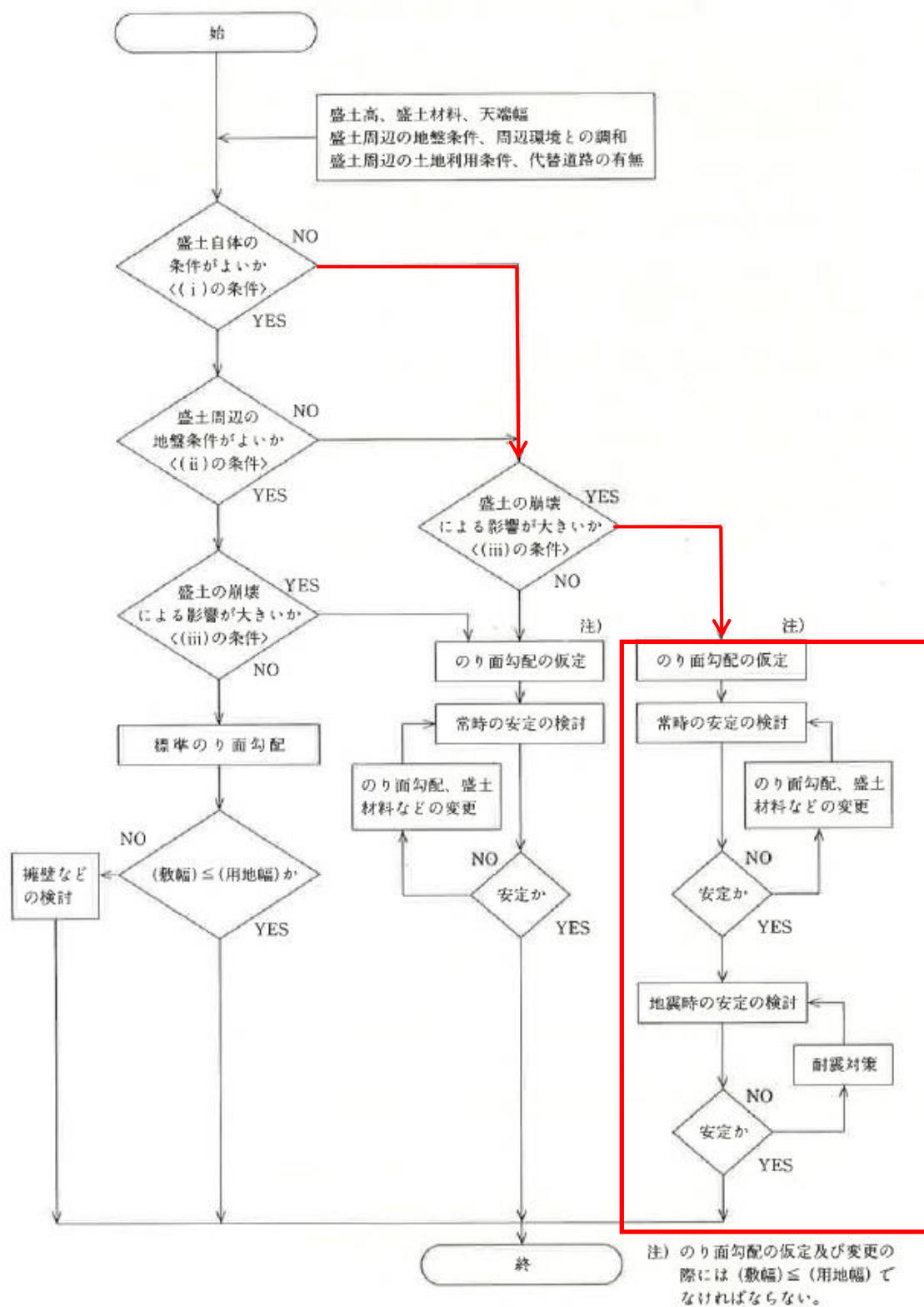


図 3-3-1 盛土法面の安定性の検討フローチャート（宅地防災マニュアルより）

「宅地防災マニュアルの解説」では、常時の盛土法面の安定に必要な安全率を 1.5 以上としている。一方、地震時では、大地震時に安全率 1.0 以上とすることとなっている。なお、大規模地震時の標準設計水平震度 k_0 は 0.25 としており、これに地域別補正係数 C_z （建築基準法施行令第 88 条第 1 項に規定する Z の数値）を掛けて設計水平震度を設定することとなっている。例えば、図 3-3-2 に示すように新潟県の場合は、 $Z=0.9$ である。したがって、新潟県では設計水平震度は $0.25 \times 0.9 = 0.225$ で計算することとなる。



図 3-3-2 建築基準法施行令第 88 条第 1 項に規定する Z の数値（東北大学 HP

「<http://www.archi.tohoku.ac.jp/labs-pages/rehabi/class/Sustainable/ApSeismicCode.pdf>」より)

3. 3. 2. 宅地造成における耐震の考え方

「宅地防災マニュアルの解説， pp.81～84」では、「開発事業において造成される土地、地盤、土木構造物等（以下「宅地」という）の耐震対策においては、宅地又は当該宅地を敷地とする建築物等の供用期間中に一～二度程度発生する確率を持つ一般的な地震（中地震）の地震動に際しては、宅地の機能に重大な支障が生じず、また、発生確率は低い直下型又は海溝型巨大地震に起因するさらに高レベルの地震（以下「大地震」という）の地震動に際しては、人命及び宅地の存続に重大な影響を与えないことを耐震対策の基本的な目標」としている。

そして、この中で“中地震”とは、一般に震度 5 程度の地震を想定し、“大地震”とは、一般に震度 6～7 程度の地震を想定している。

さらに、「機能に重大な支障が生じない」とは、原則として地震によって宅地に被害が発生しないことを要求する水準であり、地震の発生後において、通常の維持・管理の範疇を上回る補強工事や改修工事等の対策を要しないことをいう。

また、「人命及び宅地の存続に重大な影響を与えない」とは、宅地自体にある程度の被害が発生することは許容するが、宅地としての機能が失われ、崩壊や倒壊等により直接人命に危害を与えないことを要求する水準である。

すなわち、宅地防災マニュアルでも、“発生確率の低い震度 6～7 程度の地震を想定した大地震においては、宅地自体にある程度被害が生じるのはやむを得ないが、人命に危害が生じるようなことの無いようにする”ことが耐震における考え方である。

3. 3. 3. 耐震設計の基本

「宅地防災マニュアルの解説， p.90」では、「一般的に確立された耐震設計手法として、一般土木構造物の耐震設計等においても用いられている手法、すなわち盛土のり面、盛土全体と擁壁に関しては震度法を用いることを標準とする」と述べられ、耐震設計に関しては、設計水平震度を用いることが示されている。

3. 3. 4. 設計水平震度の設定

「宅地防災マニュアルの解説, p.94」では、「盛土に対しては**中規模地震(中地震)で0.2、大規模地震(大地震)で0.25の標準設計水平震度**とし、すべり安全率1.0を確保することにより、概ね中規模地震に対してはすべりが生じない、大規模地震に対しては限定された残留変形にとどめることができると考えられる」と述べ、標準の設計水平震度を設定している。

そして、地盤の動的解析を実施し、等価震度を算出した結果、次のような結論を得ている(宅地防災マニュアルの解説, pp.93-94)。

- ① 地盤に発生するせん断応力から求めた等価震度は、従来の地盤種別補正係数で考慮している、地盤の固有周期が長い地盤ほど震度が大きくなるような傾向は見られない。
- ② 中規模地震の等価震度は0.2以下となる。
- ③ 大規模地震の等価震度は0.25を大幅に超える。しかし、宅地が設計震度0.25に対してすべり安全率1.0が確保されていると仮定し、等価震度が0.25を上回る超過震度からニューマーク法に準じて残留変位を求めると概ね50cm以内となっている。盛土斜面の長さが20mとすると、この残留変位は2.5%にあたり、「大規模盛土造成地の変動予測調査ガイドライン, 平成19年4月」で示されている限界値に相当する。さらに、設計水平震度0.25ですべり安全率1.0を満足する盛土を対象に、動的FEM解析で大規模地震時の残留変位を求めた結果、残留変位と盛土斜面の長さの比は概ね2.5%以下であり、「大規模盛土造成地の変動予測調査ガイドライン, 平成19年4月」で示されている限界値以内となっている。

このようなことから、大規模地震では、標準設計水平震度は0.25としている。

4. 設計水平震度の考え方

4. 1. 既往の指針等の耐震の考え方のまとめ

これまでの設計水平震度の考え方をまとめると、以下のことが示される。

- ① **震度 6～7 程度が想定される大規模地震（レベル 2 地震動）**は、土構造物の供用中に発生する可能性は極めて低いが、もし発生した場合には、甚大な被害をもたらす可能性が高いので、この地震についても考慮する。
- ② **震度 6～7 程度が想定される大規模地震（レベル 2 地震動）**では、堤防・道路・宅地に係らず、**土構造物にある程度の被害が発生することを許容したもの**となっている。ただし、人命に危害が生じるような土構造物の被害は生じないように設計しなければならない。
- ③ **盛土やその基礎地盤に水（地下水や表流水など）が大きく関与しないことが**、すべり破壊の安定性の評価の前提となっている。
- ④ 十分な排水処理と入念な締固めが行われていれば、震度 5 程度が想定される中規模地震（レベル 1 地震動）の照査を行えば、**大規模地震（レベル 2 地震動）に対する照査を省略しても良い**。

4. 2. 南海トラフの最近の情報

海上保安庁は平成 28 年 5 月 24 日、南海トラフ巨大地震の想定震源域におけるプレートのひずみ状態を明らかにしたと発表した。

南海トラフの海底に設置された 15 カ所の観測点で 2006 年度～2015 年度にかけて取得された海底の地殻変動の実測データを用いて分析が行われた。その結果は、図 4-1 の通りである。

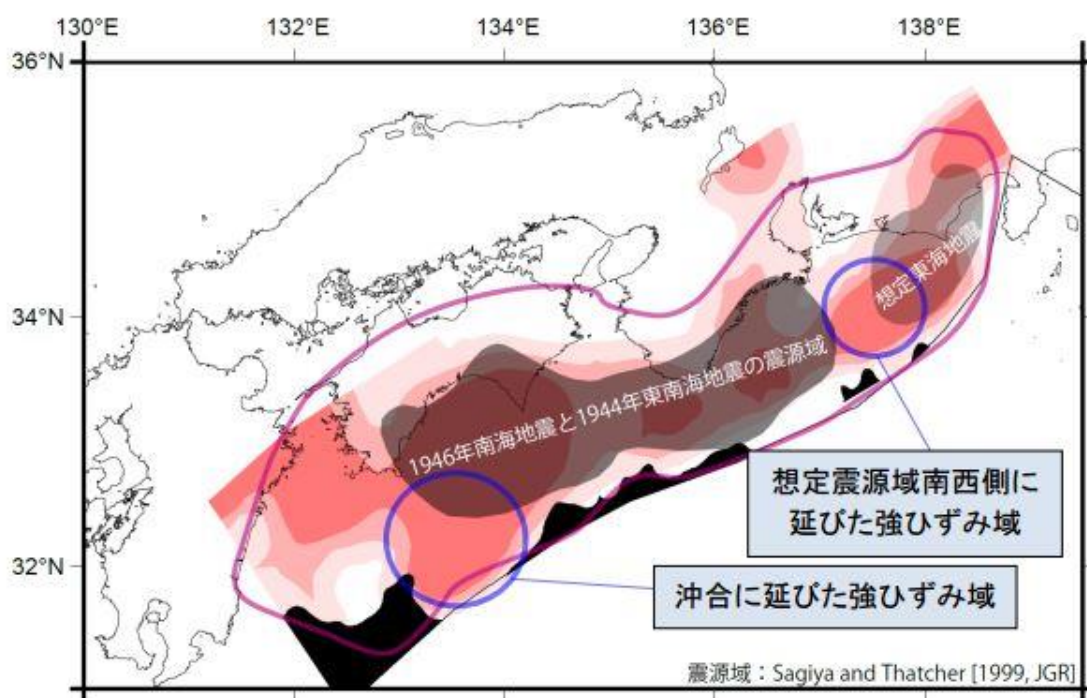


図 4-1 実測データより解析したひずみ領域分布（赤の濃い部分ほどひずみが大きい）

(<http://news.mynavi.jp/photo/news/2016/05/24/140/images/002l.jpg>)

現時点では、速報なので、確かなことは言えないが、南海トラフ巨大地震（陸側ケース）のように、**強震域が内陸に生じるような歪の集中は見られない。**

4. 3. 最終処分場の強震動予測の取り扱い

既往の指針等の耐震の考え方を考慮したとき、最終処分場における設計水平震度の捉え方として、以下のように考えることができる。

- ① 当該地に設けられる最終処分場は、管理型最終処分場であり、地下水集排水施設・浸出水集排水施設・表流水集排水施設・遮水工が適切に設置されと考えられるので、えん堤や埋立廃棄物による盛土、それらの基礎地盤には水が関与しにくい構造であると想定される。
- ② 上記①の適切な集排水施設等の設置を前提として、震度 6～7 程度が想定される大規模地震（レベル 2 地震動）では、これまでの指針等では、最大でも設計水平震度が 0.25 程度であり、それ以上のものは設定されていない。なお、この時の安全率は 1.0 以上を目安としている。
- ③ 以上のことから、水が関与しにくい構造となっている管理型最終処分場で、**設計水平震度 0.25 を超える値を設定するのは、これまでの工学的判断とは異なるものとなり、適当でないと判断できる。**
- ④ また、上記①の適切な集排水施設等の設置を前提とすれば、大規模地震（レベル 2 地震動）に対する照査は省略しても良いので、設計水平震度 0.30 の大きなものを報告書等に載せる必要はない。

以上のことから、「静岡県浜松市（ミダック）地震動等影響評価調査および工学的対策検討業務報告書、平成 28 年 3 月」には、水が関与しにくい構造となっている管理型最終処分場で、**設計水平震度 0.25 を超える値を設定した結果は掲載しなかったものである。**