

土地改良事業設計指針
「耐震設計」

平成 27 年 5 月

農林水産省農村振興局整備部監修
公益社団法人 農業農村工学会発行



27 農振第 208 号

平成 27 年 5 月 1 日

各 地 方 農 政 局 整 備 部 長 殿

国 土 交 通 省 北 海 道 開 発 局 農 業 水 産 部 長 殿

内 閣 府 沖 縄 総 合 事 務 局 農 林 水 産 部 長 殿

農 村 振 興 局 整 備 部 長

土 地 改 良 事 業 設 計 指 針 「 耐 震 設 計 」 に つ い て

土地改良事業設計指針「耐震設計」を別添のとおり取りまとめたので、事業の実施に当たって参考とされたい。

これに伴い、土地改良事業設計指針「耐震設計」について（昭和 57 年 11 月 1 日付け 57-78）及び土地改良施設 耐震設計の手引きは廃止する。

改定の要旨

1. 趣旨

土地改良事業設計指針「耐震設計」（以下、「設計指針「耐震設計」」という）は、レベル1地震動相当を対象とした基本的事項を示すものとして、昭和57年11月に制定され、その後、平成7年に発生した兵庫県南部地震による被災の教訓を踏まえ、従来の設計地震動よりも規模の大きな地震動（レベル2地震動）も考慮した耐震性についての考え方を取りまとめたものとして、平成16年1月に土地改良施設「耐震設計の手引き」（以下、「耐震設計の手引き」という）を制定した。

「耐震設計の手引き」制定後11年が経過し、この間、レベル2地震動を考慮した耐震設計の検証が進んだことを踏まえ、「耐震設計の手引き」を基として、①レベル2地震動を含む耐震設計に関する一般的事項について解説、②各施設で適用すべき基本条件（設計水平震度、耐震計算法）について、横断的に一覧で比較できるように整理、③耐震対策の事例や平行して検討している土地改良事業設計指針「ため池整備」（以下、「設計指針「ため池整備」」という）の改定内容等、最近の知見について反映という観点から、これらの内容を適切に整理・検討し、設計の一層の充実を図るため本指針を改定することとした。

2. 経緯

本指針の改定に当たっては、耐震設計に関する専門的な知識を有する学識経験者等を構成員とする「土地改良施設耐震性能設定等検討委員会（以下、検討委員会という）」を設置し、3回（平成26年8月11日；第1回、平成26年10月24日；第2回、平成27年1月23日；第3回）の委員会を開催し、原案の検討を行った。

検討委員会に参画したメンバーは次のとおりである。

委員長 青山 咸康

委員 河端 俊典、小林 晃、毛利 栄征、山中 浩明

【検討委員会等における検討経緯】

昭和57年	11月	1日	土地改良事業設計指針「耐震設計」制定
平成16年	1月		土地改良施設 耐震設計の手引き 取りまとめ
平成26年	3月	18日	食料・農業・農村政策審議会 平成25年度第4回農業農村振興整備部会（技術小委員会へ付託）
平成26年	8月	11日	平成26年度土地改良施設耐震性能設定等検討委員会（第1回）
平成26年	10月	24日	平成26年度土地改良施設耐震性能設定等検討委員会（第2回）
平成26年	11月	11日	食料・農業・農村政策審議会農業農村振興整備部会 平成26年度第2回技術小委員会（通算1回目）
平成26年	12月	12日	食料・農業・農村政策審議会農業農村振興整備部会 平成26年度第3回技術小委員会（通算2回目）

平成 26 年	1 月	19 日	～平成 26 年 2 月 1 日 意見・情報（パブリック・コメント）の募集
平成 27 年	1 月	23 日	平成 26 年度土地改良施設耐震性能設定等検討委員会（第 3 回）
平成 27 年	2 月	26 日	食料・農業・農村政策審議会農業農村振興整備部会 平成 26 年度第 4 回技術小委員会（通算 3 回目）
平成 27 年	3 月	26 日	食料・農業・農村政策審議会 平成 26 年度第 4 回農業農村振興整備部会

以上

3. 主要改定事項

「設計指針「耐震設計」」の改定に当たっては、「耐震設計の手引き」を基として、以下の観点から整理・検討を行った。

①レベル 2 地震動を含む耐震設計に関する一般的事項について解説

1) 基本的な考え方

耐震設計に用いる地震動、施設の重要度区分と保持すべき耐震性能等

2) 調査内容

既存資料による調査、一般的な土質調査、土の動的物性調査、地盤の動力学的性質の調査等

3) 設計条件

地域別補正係数、地盤種別、固有周期、耐震設計上の基盤面、荷重等

4) 耐震計算法の種類

震度法、地震時保有水平耐力法、応答変位法等

5) 耐震診断の方法

耐震診断の方法、整備方法等

なお、施設ごとの設計手順等については、施設別の設計基準・指針に記載済みであるため記載しない。

②各施設で適用すべき基本条件（設計水平震度、耐震計算法等）について、横断的に一覧で比較できるように整理

③耐震対策の事例や平行して検討している「設計指針「ため池整備」」の改定内容等、最近の知見について反映

目 次

改定の要旨	i
第1章 一般事項	1
1.1 指針の位置付け	1
1.2 用語の定義	4
1.3 記号の定義	7
第2章 基本方針	15
2.1 設計一般	15
2.2 耐震設計に用いる地震動	21
2.3 施設の重要度区分	33
2.4 保持すべき耐震性能	44
2.5 部材の限界状態と照査の基本	49
第3章 調査	56
3.1 調査項目	56
3.2 土質調査	59
第4章 耐震設計における設計条件	62
4.1 設計条件の設定	62
4.1.1 設計条件として設定する事項	62
4.2 耐震設計法に用いる諸係数及び設定事項	63
4.2.1 地域別補正係数	63
4.2.2 地盤種別	65
4.2.3 固有周期	68
4.2.4 耐震設計上の地盤面	87
4.3 荷重	90
4.3.1 慣性力	91
4.3.2 地盤変位による外力	92
4.3.3 地震時土圧	93
4.3.4 地震時動水圧	105
4.3.5 水面動揺	110
4.3.6 荷重の組合せ	111
第5章 耐震設計手法	113
5.1 耐震計算方法及び耐震性能照査方法の種類	113
5.2 設計水平震度	123

5.2.1	一般事項	123
5.2.2	固有周期を考慮しない設計水平震度の算定方法	126
5.2.3	固有周期を考慮する設計水平震度の算定方法	130
5.2.4	固有周期と構造物特性係数を考慮する設計水平震度の算定方法	131
5.2.5	固有周期と構造物特性補正係数を考慮する設計水平震度の算定方法	134
5.3	震度法	139
5.3.1	一般事項	139
5.3.2	震度法(固有周期を考慮しない)	140
5.3.3	震度法(固有周期を考慮する)	142
5.3.4	震度法(固有周期と構造物特性係数を考慮する)	144
5.3.5	震度法における安定計算と部材の断面力計算	146
5.4	地震時保有水平耐力法	150
5.4.1	一般事項	150
5.4.2	地震時保有水平耐力法による耐震計算の基本	153
5.4.3	応力度-ひずみ曲線	157
5.4.4	曲げモーメントと曲率の関係	159
5.4.5	水平耐力、水平変位及び降伏剛性	161
5.4.6	せん断耐力	163
5.4.7	破壊形態の判定	164
5.4.8	地震時保有水平耐力	164
5.4.9	許容塑性率	165
5.4.10	地震時保有水平耐力法による安全性の判定	166
5.4.11	部材の非線形性を考慮した静的増分解析(プッシュオーバー解析)の流れ	168
5.5	応答変位法	189
5.5.1	一般事項	189
5.5.2	応答変位法における設計地震動(速度応答スペクトル、設計水平震度)	194
5.5.3	応答変位法における地盤の水平変位振幅	197
5.5.4	応答変位法による地震力の算定	199
5.5.5	応答変位法の照査内容	207
5.6	動的解析法	209
5.7	耐震性能の照査法(一般)	226
5.7.1	許容応力度法	227
5.7.2	限界状態設計法	228
5.8	各種構造物の重要度区分、耐震性能、耐震計算法の適用区分	236
第6章	液状化の検討	256
6.1	液状化一般	256
6.2	水平地盤における液状化判定	256
6.3	液状化の詳細な検討方法	264
6.4	流動化の検討	269

6.5	液状化地盤の対策	275
6.6	各構造物に適用する液状化検討法	278
第7章	耐震診断	280
7.1	耐震診断の目的	280
7.2	耐震診断の手順	280
7.3	耐震診断の方法	282
7.3.1	耐震診断の調査	282
7.3.2	一次診断(簡易診断)	285
7.3.3	二次診断(詳細診断)	286
7.4	耐震対策	293
7.5	整備方法	296
7.5.1	優先順位	296
7.5.2	補修・補強工法による整備	297
7.5.3	その他の方法による整備	303
7.6	耐震補強情報のデータベース構築	304

第1章 一般事項

1.1 指針の位置付け

本指針は、以下の土地改良施設に関する設計基準、指針類の内容にもとづき土地改良施設の耐震設計に関する一般的な事項を示したものである。

①農道橋、②水路橋・水管橋、③頭首工、④擁壁、⑤開水路（水路擁壁含む）、⑥ファームポンド、⑦ため池、⑧パイプライン、⑨暗渠（ボックスカルバート）、⑩杭基礎、⑪ポンプ場（吸込、吐出し水槽）

[解説]

(1)背景及び経緯

平成23年3月11日に発生した東北地方太平洋沖地震では、津波により約2万1千haに及ぶ農地が流失・冠水等し、広範囲の農地において地盤沈下や液状化等が生じるなど、未曾有の被害となった。

これに対し、国は、「東日本大震災からの復興の基本方針」（平成23年7月29日 東日本大震災復興対策本部決定）及び「農業・農村の復興マスタープラン」（平成23年8月26日農林水産省決定、平成25年5月29日改正。以下「復興マスタープラン」という。）を策定し、国の総力を挙げて震災からの復旧及び将来を見据えた復興を進めることとしている。

このような状況を踏まえ、新たな土地改良長期計画（平成24年3月）では、「ハード・ソフト一体となった総合的な災害対策の推進による災害に強い農村社会の形成」を政策目標の1つに掲げ、近年の大規模地震等の多発する自然災害に対応して、農地・農業用施設の災害の防止による農業生産の維持及び農業経営の安定化を図るため、災害に対するリスク管理を行いつつ、大規模地震対策等の農地防災事業を推進している。

土地改良施設の耐震設計に関しては、昭和57年に土地改良事業設計指針「耐震設計」（農林水産省 構造改善局建設部）を制定するとともに、平成16年3月には、平成7年1月17日の兵庫県南部地震（以下「兵庫県南部地震」という。）による被災の教訓を踏まえた「平成7年兵庫県南部地震農地・農業用施設に係わる技術検討報告書」の提言などを取り入れて、従来の設計地震動よりも規模の大きな地震動（レベル2地震動）も考慮した耐震性について「土地改良施設 耐震設計の手引き（以下「手引き」という。）」を作成した。ただし、当時は、土地改良施設における耐震設計の実績が少なく、技術的に未解決な課題が多いなどの理由から、同書を「手引き」として位置付けた。「手引き」の作成後、頻発する大規模地震による被災経験（表-参1.1中 平成16年以降）や、各種事業における耐震設計や補強工法等の事例の蓄積により、土地改良事業計画設計基準 設計「農道」（平成17年3月）、土地改良事業計画設計基準及び運用・解説 設計「ポンプ場」（平成18年3月）、「頭首工」（平成20年3月）、「パイプライン」（平成21年3月）、「水路工」（平成26年3月）等の各設計基準類に、「手引き」に準じた耐震設計の内容を盛り込んだ。

このような状況を踏まえ、今回、「手引き」の内容を基にして、昭和57年制定の土地改良事業設計指針「耐震設計」（農林水産省 構造改善局建設部）を改定することとした。

(2)指針の運用

本指針は、土地改良施設の耐震設計に関する一般的な内容（総論）について定めたものである。

土地改良施設の耐震設計は、各施設の設計基準や設計指針によるものとし、本指針は、これらの考え方及び内容を横断的に比較できるように整理したものである。また、上記の各設計基準類

に明示されていない土地改良施設の耐震設計や既設構造物の耐震診断についても、本指針の適用条件を満足する範囲で準用できるものとして整理した。

(3) 主な改定の内容

本指針は、昭和57年制定の土地改良事業設計指針「耐震設計」を改定したものである。ただし、昭和57年当時からは30年以上が経過し、耐震設計に関しては、兵庫県南部地震以降、従来から考慮されてきた設計地震動（レベル1地震動）に加え、地震動強さの大きなレベル2地震動が導入されるなど、その考え方及び手法が大きく変っている状況を踏まえ、本指針の内容は、基本的に「手引き」に準じている。

本指針における「手引き」からの主な改定の内容や留意点は、以下のとおりである。

- ア) 「手引き」の作成以降、各施設の設計基準や設計指針の改定が進んだことから、その内容との整合を図るとともに、各施設の詳細な耐震設計法については、重複する内容は省略し、不足する内容を追加した。
- イ) 設計基準や設計指針との整合を図りつつ、可能な範囲で性能照査型設計の設計体系を考慮した構成に編成した（下記(4)参照）。
- ウ) 施設の一般的な要求性能（使用性、復旧性、安全性）の観点から、土地改良施設の耐震性能（3段階）を明確に定義した。
- エ) レベル2地震動に対する耐震設計をより合理的に行うために、施設全体の耐震性能を確保するための限界状態を構成部材の重要性に応じて設定するという考え方が橋梁や水道の設計指針で用いられている。そのため、本指針では、「2.5 部材の限界状態と照査の基本」として、それらの設計指針を参考とし、各施設の主要構成要素について、耐震性能と構造部材ごとの損傷度との対応を示した。
- オ) 膨大な数の土地改良施設のストックに対する耐震性能の確保が急務とされている現状を踏まえ、既設構造物の耐震診断に関する内容の充実を図った。
- カ) 東北地方太平洋沖地震（平成23年）等では、液状化による被害が多数見られたことから、液状化に対する検討方法及び対策工に関する内容の充実を図った。

(4) 本指針の構成

本指針は、性能照査型設計の考え方を取り入れた構成とした。図-1.1.1に耐震設計の階層化モデルを示す。各階層レベルと本指針の構成との対応状況を表-1.1.1に示す。1章では、指針の目的と用語の定義を示し、2章では、耐震設計の基本方針を示すとともに、重要度、耐震性能、設計地震動及び限界状態について記述した。3章以降は、検証方法や適合みなし仕様を示し、個別の状況に応じて適切な方法を適用できる内容を記述した。

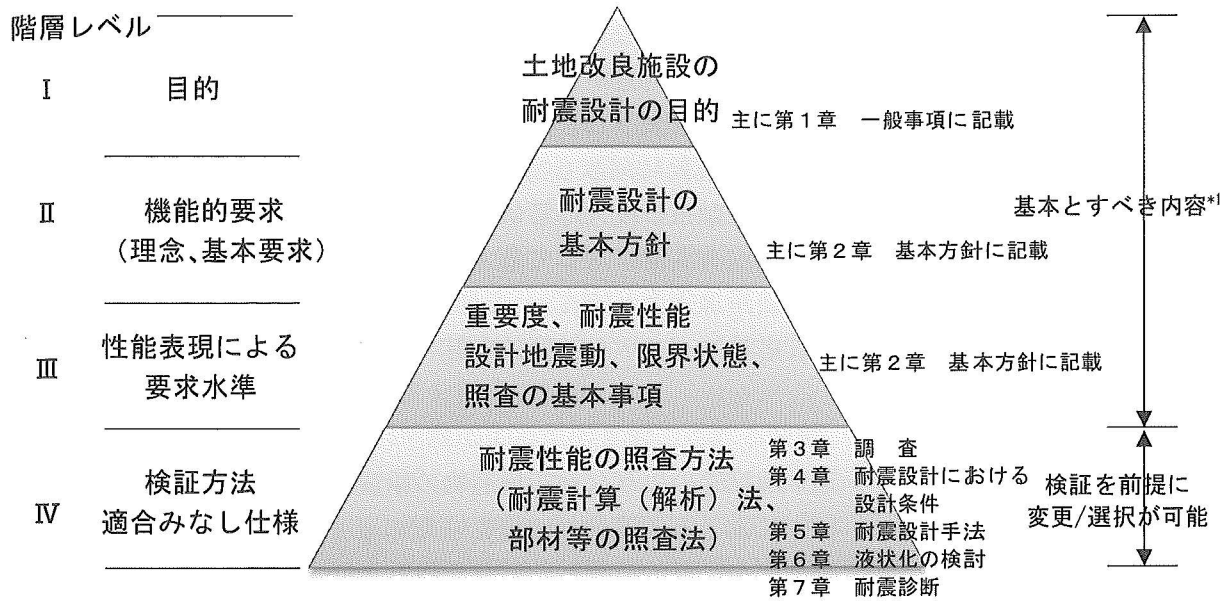


図-1.1.1 土地改良施設の耐震設計の階層化モデル

*1 各施設的设计基準、设计指針における記述内容の整合をとるため、「遵守すべき」という表現ではなく、“基本とすべき”としている。

表-1.1.1 性能照査型設計の観点を踏まえた耐震設計指針の構成

階層レベル	規定する内容	本指針における記述のポイント
基本とすべき事項	I 目的	設計コード（基準）の社会的目的 ・土地改良施設の耐震設計の目的 （背景、経緯） （主に1章に記載）
	II 機能的 要求	目的を実現するための機能的 要求 ・耐震設計の基本方針 （主に2章に記載）
	III 性能表現 による要 求水準	機能的要求を実現するための要 求水準や検証方法の原則 ・重要度、耐震性能、設計地震動、限界状 態、照査の基本事項 （主に2章に記載） ※各設計基準との整合
検証を前提 に変更/選 択が可能	IV 検証方 法適合み なし仕様	具体的な個々の検証方法や検証を 満足する具体的な「解」 ・調査（3章） ・耐震設計における設計条件（4章） ・耐震設計手法（5章） ・液状化の検討（6章） ・耐震診断（7章）

第2章 基本方針

2.1 設計一般

土地改良施設の耐震設計は、施設の重要度に応じて、2段階の地震動レベル（レベル1地震動、レベル2地震動）を考慮して、地震時にそれぞれの施設が保持すべき耐震性能を確保できるように設計する。

また、事業の進捗段階に応じて、適切な調査を実施し、その成果に基づいた耐震設計を行うことが大切である。

耐震設計に当たっては、施設の構造特性、周辺の地盤特性等を考慮し、それらに適合した耐震設計法を用いるものとする。

[解説]

(1) 基本的な考え方

施設が地震時に保持すべき耐震性能は、耐震設計で考える地震動レベルとそれぞれの施設の重要度の組み合わせにより、決定されるべきものである。

土地改良施設の耐震設計の方針としては、「手引き」の考え方を踏襲し、以下の2点を基本とした。

- ア) 土地改良施設の耐震性能は、レベル1地震動、レベル2地震動の2つの異なった大きさの設計地震動に対して照査する。レベル1地震動は施設の供用期間内に1～2度発生する確率を有する地震動であり、レベル2地震動は発生確率は低いが地震動強さの大きな地震動である。マグニチュード7クラスの断層近傍域の内陸直下型地震による地震動や、マグニチュード8クラスのプレート境界型地震による地震動が、このレベル2地震動に相当する。
- イ) 土地改良施設の目標耐震性能は、施設の重要度に基づいて設定する。そして、構造物全体系の耐震性能を保有するような基礎を含めた構造各部位の損傷度合を許容の範囲に収めなければならない。

ア)、イ)を考慮する耐震設計の考え方は、1977年に建設省の総合技術開発プロジェクト「新耐震設計法の開発」研究報告書で提案された「新耐震設計法（案）」の考え方を踏襲するものであり、いわゆる性能設計¹⁾を意識したものであり、国際規格に基づいた ISO 3010 にも対応できるものである。

地震動の大きさ、タイプ、重要度及び保持すべき性能の詳細については、「2.2 耐震設計に用いる地震動」、「2.3 施設の重要度区分」及び「2.4 保持すべき耐震性能」で説明する。

(2) 対象施設と関連する基準

土地改良施設は多種にわたり、構造特性も様々である。施設の種類、挙動特性（剛性、固有周期、埋設条件など）に応じて、各設計基準等に基づき適切な耐震設計法を用いる。

各施設(11工種)において用いる設計基準、指針類及び関連する他分野の基準類を表-2.1.1に示す。

1) 性能設計とは、与えられた外的条件（荷重）に対して、設定された目標性能（耐震性能）を満足するように行われる設計と位置づけられる。

土地改良施設の耐震設計の内容については、類似構造物を取り扱う関連基準として、道路橋示方書等の内容を参考としているが、その内容の取扱いについては、以下のとおりである。

表-2.1.1に示す土地改良施設の耐震設計に関しては、頭首工等の設計基準、指針（農道橋を除く）において、道路橋示方書の平成14年版の内容をもとにした耐震設計法を示し、運用している。

一方、道路橋示方書の平成24年版においては、平成14年版と比べて、以下の〔参考〕に示す項目について、広範に改定がなされているが、本指針では、平成24年版の改定内容については適用しない。

この理由は、東北地方太平洋沖地震において、土地改良施設の構造物に地震動そのものによる致命的な被害が少なかったこと、河川構造物等の他分野の動向を踏まえ、従来の地震動を用いた設計で十分に耐震性能が確保されると判断したためである。

農道橋については、土地改良事業計画設計基準 設計「農道」平成17年の内容に基づき、小規模農道橋は同示方書の平成2年版、それ以外の農道橋については平成24年版（最新版）を参照するものとし、上記の取扱いとは異なる。

以上のことから、本指針の第2章以降において示す内容は、同示方書の平成14年版の内容と対応している。農道橋の耐震設計等において、平成24年版の内容を適用する際は、同示方書を参照されたい。

〔参考〕道路橋示方書・V耐震設計編（平成24年版）における主な改定の内容

- 東海地震、東南海地震、南海地震等のプレート境界型の大規模地震を考慮するため、レベル2地震動（タイプI）を見直し、標準加速度応答スペクトル等を変更した。
- 従来の地域別補正係数とは別に、レベル2地震動（タイプI）に対して適用する地域別補正係数を新たに設定した。その際、大正12年関東地震において東京周辺で生じた地震動より強い影響を受けると推定される地域では、地域別補正係数を1.2とした。
- 鉄筋コンクリート橋脚の水平力—水平変位関係の算出方法において、塑性ヒンジの形成メカニズムを踏まえ、軸方向鉄筋の引張ひずみによって定義される限界状態に基づく評価方法を導入した。

(3)各事業段階における耐震設計

調査は、大枠から順次細部に進めるのが一般的であるが、段階により調査事項、範囲、方針、内容、精度等が異なるものである。したがって、対象となる土地改良施設に必要な調査となるように、事前に十分な調査計画を樹立して実施する。

調査の段階区分は、事業実施の手順と同様に、事業の全体的な構想と概略設計を行う計画段階の①計画調査、計画と事業費を固める設計段階の②全体実施設計調査、事業着手後の工事実施段階の③工事実施調査に区分される。

また、全体実施設計書、工事実施設計書の作成段階において耐震性能を決定する。調査並びに全体実施設計書及び工事実施設計書作成の手順は、図-2.1.1に示すとおりである。

(4)事業実施における耐震設計

各土地改良施設は、調査の成果に基づき施設を計画・設計し、重要度に応じて耐震設計を行う。

耐震設計の一般的な流れを図-2.1.2に示す。また、施設の設計におけるどの段階で耐震設計を行うのか、図-2.1.3に示す。

表-2.1.1 本指針で対象とする施設(11工種)別の参照する設計基準、指針類と関連基準

施設名		参照する設計基準、指針類	関連基準等	備考
①農道橋	小規模農道橋	・土地改良事業計画設計基準設計「農道」平成17年	・道路橋示方書 IV下部構造編（日本道路協会）平成24年 ・道路橋示方書 V耐震設計編（日本道路協会）平成24年	小規模農道橋を除く農道橋は、最新の道路橋示方書に準拠する。
	上記以外			
②水路橋・水管橋 ③頭首工		・土地改良事業計画設計基準及び運用・解説設計「頭首工」平成20年 ・土地改良事業計画設計基準及び運用・解説設計「水路工」平成26年	・道路橋示方書 IV下部構造編（日本道路協会）平成14年 ・道路橋示方書 V耐震設計編（日本道路協会）平成14年 ・水道施設耐震工法指針（日本水道協会）2009年（平成21年）	道路橋示方書の2012年の改定については、本指針では反映しない。
④擁壁		・土地改良事業計画設計基準設計「農道」平成17年	・道路土工擁壁工指針（日本道路協会）平成24年	コンクリート擁壁を対象とする。
⑤開水路 (水路擁壁含む)		・土地改良事業計画設計基準及び運用・解説設計「水路工」平成26年	・道路土工擁壁工指針（日本道路協会）平成24年	
⑥ファームポンド	R C構造	・土地改良事業設計指針「ファームポンド」平成11年	・道路橋示方書 V耐震設計編（日本道路協会）平成14年	道路橋示方書の2012年の改定については、本指針では反映しない。
	P C構造			
⑦ため池		・土地改良事業設計指針「ため池整備」平成27年		
⑧パイプライン		・土地改良事業計画設計基準及び運用・解説設計「パイプライン」平成21年	・水道施設耐震工法指針（日本水道協会）2009年（平成21年）	
⑨暗渠 (ボックスカルバート)		・土地改良事業計画設計基準及び運用・解説設計「水路工」平成26年	・水道施設耐震工法指針（日本水道協会）2009年（平成21年）	
⑩杭基礎		・土地改良事業計画設計基準及び運用・解説設計「頭首工」平成20年 ・土地改良事業計画設計基準及び運用・解説設計「ポンプ場」平成18年	・道路橋示方書 IV下部構造編（日本道路協会）平成14年 ・道路橋示方書 V耐震設計編（日本道路協会）平成14年	道路橋示方書の2012年の改定については、本指針では反映しない。
⑪ポンプ場 (吸込、吐出し水槽)		・土地改良事業計画設計基準及び運用・解説設計「ポンプ場」平成18年	・水道施設耐震工法指針（日本水道協会）2009年（平成21年） ・道路橋示方書 V耐震設計編（日本道路協会）平成14年	道路橋示方書の2012年の改定については、本指針では反映しない。

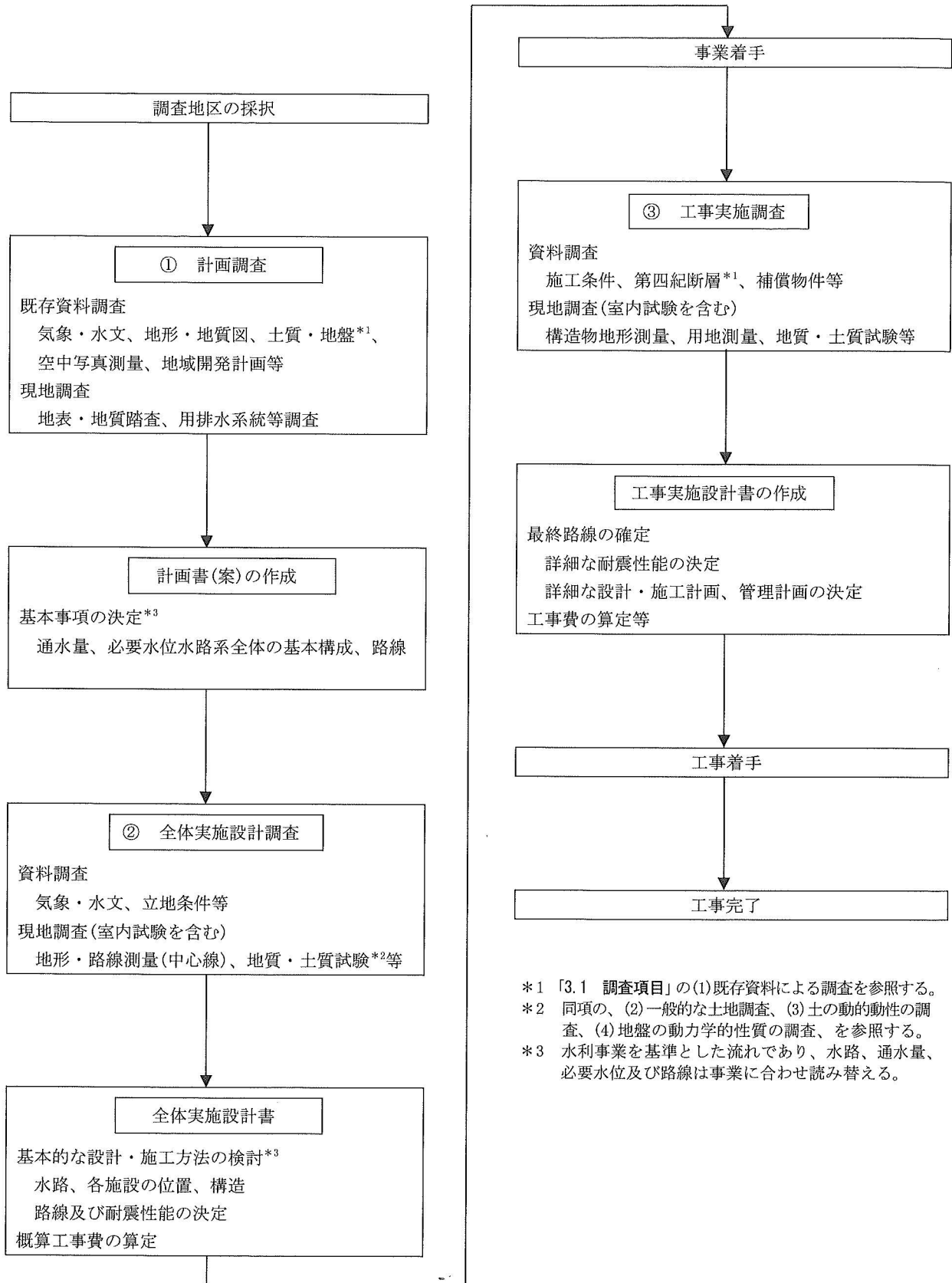


図-2.1.1 各事業段階における手順(耐震設計を考慮)

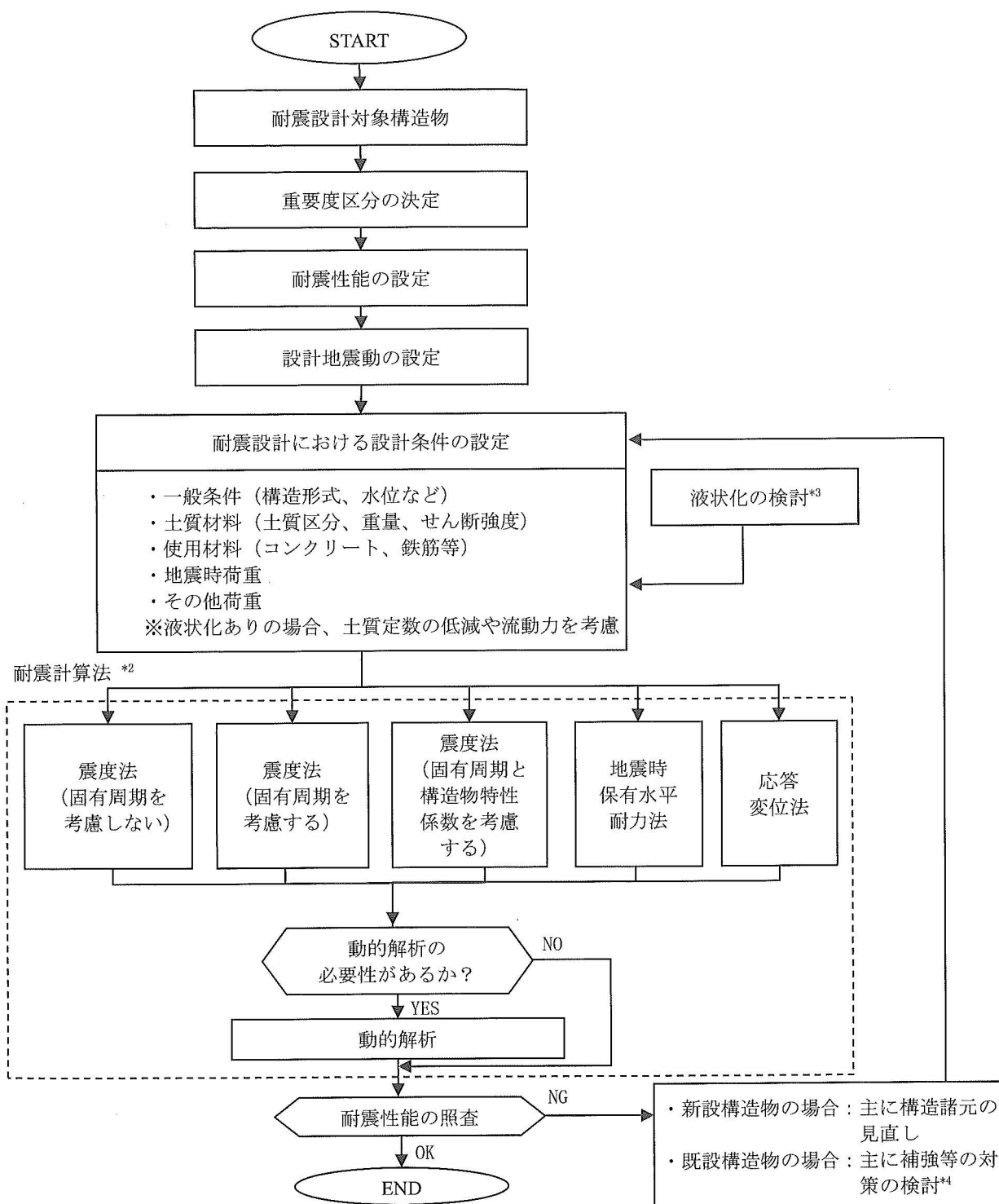


図-2.1.2 一般的な耐震設計の流れ*1

*1 本フローは、耐震設計の流れを分かりやすく説明するために、耐震設計の基本要素を抽出して示したものである。実際の耐震設計においては、新設農業水利構造物の場合を例にとると、図-2.1.3に示すような流れとなる。また、既設構造物の場合は、「第7章 耐震診断」の図-7.2.1のような流れとなる。

*2 土地改良施設の耐震設計では、静的解析を基本としていることから、代表的な5種類の静的解析法を示した。なお、本フローでは、静的解析の後、必要に応じて動的解析を行う流れとしているが、動的解析のみにより、所要の耐震性能が適切に照査出来る場合は、それを妨げるものではない。

*3 液状化判定の結果、液状化の可能性がある場合は、別途、地盤の液状化対策を検討する必要がある。（「第6章 液状化の検討」参照）

*4 補強対策においては、「第7章 耐震診断」の表-7.5.1に示す方法等による対応を検討する。

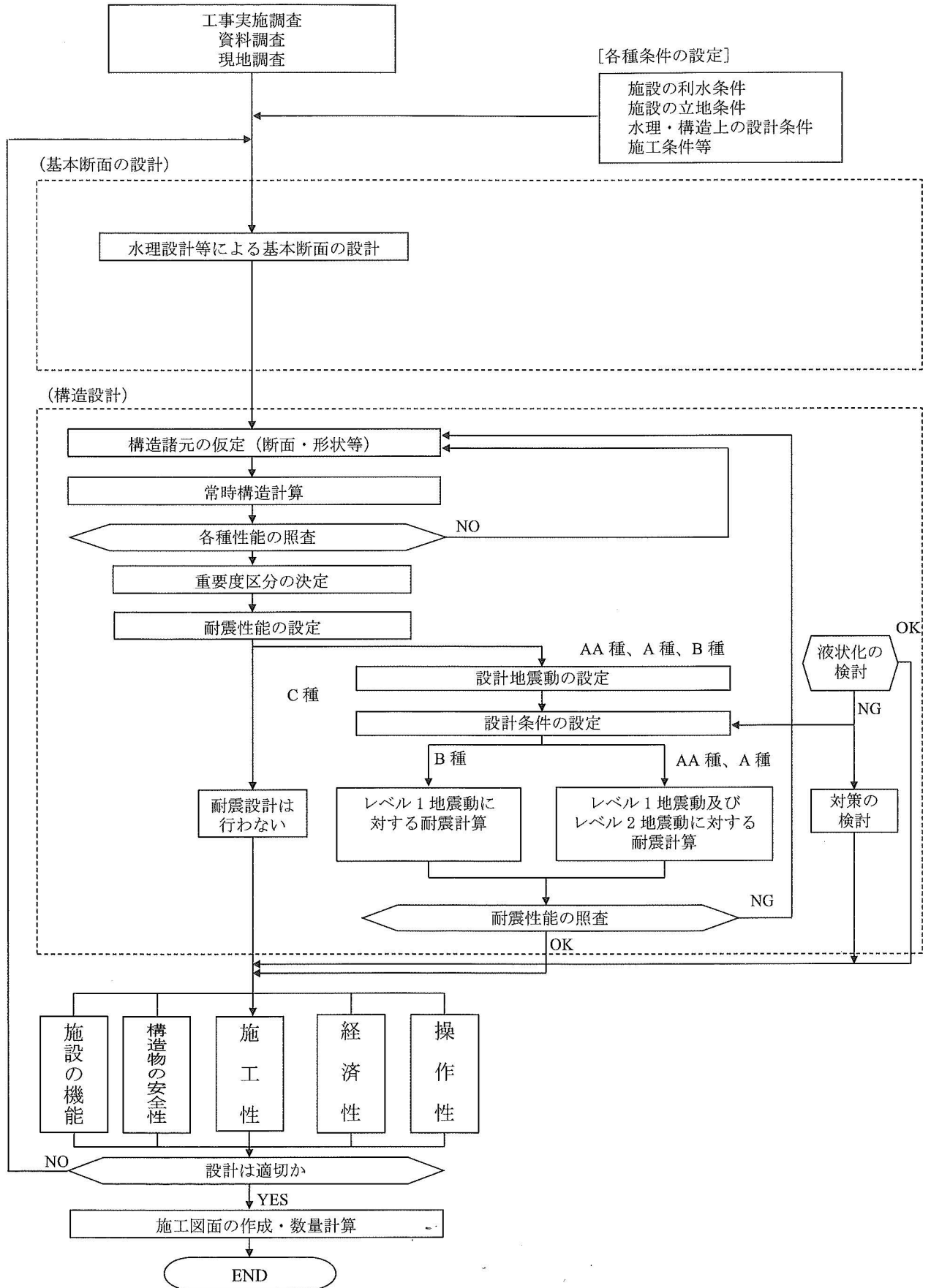


図-2.1.3 農業水利施設設計のフローチャート例(耐震設計を考慮)

2.2 耐震設計に用いる地震動

(1) 一般

耐震設計では、施設の供用期間内に1～2度発生する確率を有するレベル1地震動と、発生確率は低い地震動強さの大きなレベル2地震動を考慮する。

耐震設計に用いる地震動は、構造物の種別、耐震性能、地域特性、振動特性、地盤特性、地震環境等を考慮し、適切に設定しなければならない。

(2) レベル1地震動

レベル1地震動では、対象工種に応じて、関連する基準書等を基に、設計水平震度又は速度応答スペクトルを適切に設定する。

(3) レベル2地震動

レベル2地震動では、大規模なプレート境界型地震（タイプⅠ）や、平成7年の兵庫県南部地震のような内陸直下型地震による断層近傍域の地震動（タイプⅡ）を考慮し、対象工種に応じて、関連する基準書等を基に、設計水平震度又は速度応答スペクトル等を適切に定める。

[解説]

(1) 基本的考え方

耐震設計に用いる地震動は、構造物の種別、地域特性、構造物の固有周期、地盤特性等を考慮し、適切に設定する必要がある。

土地改良施設は、地上に設置される施設、地中に設置される施設、固有周期等の特性を考慮すべき施設など、様々な構造物がある。

近年では地震断層等によって生じる地震動を評価する強震動予測手法の発展により、対象地点における地震動特性（震源特性、伝播経路特性、対象地点の地盤特性）の調査結果を基に、対象地点に固有の性質を反映した地震動を設定する方法もあるが、それには多大な調査・計算が必要となる。そのため、適用は最重要な施設に限られることが多く、一般的な施設への適用例は少ない。

このため、対象施設の特性に応じて、表-2.2.1～表-2.2.13に示す標準的な設計水平震度又は速度応答スペクトルを用いることを基本とする。

なお、検討する地域が地震防災対策強化地域等に指定されている場合、検討する地域の防災計画との整合を図る必要がある場合、他の構造物群との整合を図る必要がある場合等にあっては、対象地点に固有の性質を反映した設計地震動の適用を検討するものとする。

(2) 地震動のレベル

土地改良施設の耐震設計においては、施設の重要度に応じ、以下の2段階の地震動レベルを考慮する。

a. レベル1地震動

レベル1地震動は、多くの土木構造物に対して従来から設定されていた地震動に相当し、対象となる構造物の供用期間内に1～2度発生する確率を有する地震動である。

b. レベル2地震動

レベル2地震動は、一般に土地改良施設が供用期間中にそのような地震動に遭遇する確率は低

第3章 調査

3.1 調査項目

土地改良施設の耐震設計に当たっては、施設の重要度に応じて、建設地点の地盤に関する調査計画を立て、以下の調査等を行うものとする。

- (1) 既存の資料による調査
- (2) 一般的な土質調査
- (3) 土の動的物性の調査
- (4) 地盤の動力学的性質の調査
- (5) 地震や地盤のデータベース等の活用

[解説]

(1) 既存の資料による調査

最初に、既存の資料を用いて、施設の建設地点の地盤における土質の概略の状態を把握する。既存の資料として、以下のものが挙げられる。

- a. 地形図
- b. 地質図
- c. 地盤図
- d. 土質柱状図
- e. 活断層に関する調査

施設によっては、上記の資料による調査だけを基にして建設が可能な場合もある。これらの調査が予備調査となる場合には、現地における踏査を基に計画を立て、以下の(2)～(4)に示す調査を行う。

(2) 一般的な土質調査

一般的な土質調査の項目は以下に示すとおりであり、建設計画、施設の耐震性能の検討において、必要と考えられる項目について調査を行う。

- a. 土質分類と層序
- b. 層厚
- c. 地下水位
- d. N 値
- e. 各層のせん断強さ (粘着力 C 、内部摩擦角 ϕ)
- f. 各層の変形係数 (弾性係数 E 、せん断弾性係数 G)
- g. 各層の密度

(3) 土の動的物性の調査

従来 of 土質調査における地盤の力学的性質は、 N 値、粘着力 C 、内部摩擦角 ϕ 等に代表されるように静的挙動に対するものである。しかし、地震時においては、土質定数に及ぼすひずみ速度効果や、ひずみ依存性の影響が問題になる場合がある。そのような検討が必要な場合には、以

下に示す土質定数を求める。

- a. 動的変形係数
- b. 減衰定数
- c. 動的ポアソン比
- d. 動的せん断強さ

(4) 地盤の動力学的性質の調査

適用する耐震計算法によっては、地盤の動力学的な性質を調査する必要がある。そのような場合には、以下の調査を行う。

- a. 弾性波速度（弾性波（縦波）速度 V_P 、せん断弾性波（横波）速度 V_S ）
- b. 地盤の卓越周期他

(5) 地震や地盤のデータベース等の活用

最近では、過去の地震、強震記録、表層地質等のデータベース化が進められ、容易にそれらのデータを入手できる環境の整備が進められていることから、それらの情報を活用し、合理的かつ効率的な耐震設計に役立てることが望ましい。

【参 考】 良好でない地盤の施設への影響

ここでいう土質調査とは、地形、地質、地盤及び土質に関する調査を総称したものである。良好な地盤、すなわち堅硬で一様な地盤では一般に震害が少ないため、土地改良施設はそのような地盤に建設することが必要である。しかし、土地改良施設の機能上の制限から、多くの施設は、軟弱な地盤、あるいは力学的性質に一様性のない地盤での建設を余儀なくされている。

(1) 良好でない地盤

地盤の状態は、地形、層序、層厚、各層の強さ、地下水位等の要因によって定まり、良好でない地盤としては、以下のようなものが列挙される。

- a. 地すべり、山崩れ、山腹崩壊の生じやすい地盤
- b. 山稜の法先、法肩その他地形の急激に変化する場所
- c. 斜面
- d. 土層の変化界、すなわち力学的性質の異なる土層の境界部分
- e. 軟弱地盤
- f. 埋立地
- g. 地震時に液状化及び側方流動の可能性のある地盤

(2) 施設への影響

- a. 山稜の法先、土層の変化界、軟弱地盤、埋立地等は地震時において変形が大きくなったり不同沈下を生じるなど、施設に好ましくない影響を与える。また、斜面には斜面崩壊が生じる可能性が高い。
- b. 砂質地盤に液状化現象が生じると、地盤の支持力は著しく低下して、重い構造物は沈下し、軽い構造物は浮上したりする。さらに、液状化した地盤が水平方向に数 m のオーダーで移動する現象、いわゆる側方流動現象が生じると埋設管路には大きなひずみが生じ、構造物の基礎には流動外力が作用することになる。

第4章 耐震設計における設計条件

4.1 設計条件の設定

構造物の耐震性能の照査は、地震動の作用を適切に考慮した耐震設計法によるものとする。考慮する荷重は、計算法に応じて適切に設定する。

[解説]

耐震性能の照査は、各施設の設計基準や設計指針の内容に準拠し、地震動の作用を適切に考慮した耐震計算法により行う。耐震設計法は、「第5章 耐震設計手法」に示す。

考慮する荷重の表現形式は、慣性力が支配的となる地上構造物に適用する震度法や、地盤挙動に支配される地中構造物に適用する応答変位法などの計算法により異なり、次に示す規定に基づいて適切に設定するものとする。

4.1.1 設計条件として設定する事項

耐震設計の設計条件として、以下の事項を考慮し、適切な設計を行うものとする。

- (1) 一般条件
 - a. 構造形式 b. 基礎形式 c. 計画高 d. 内水位 e. 地下水位 等
- (2) 土質条件 (単位体積重量、内部摩擦角、粘着力等)
- (3) 使用材料 (コンクリート、鉄筋など)
- (4) 常時荷重
- (5) 地震時荷重

[解説]

(1)から(4)までの条件は、常時考慮すべき事項であり、各施設の設計基準や設計指針に基づいて設定する。なお、既設構造物の耐震診断においては、実運用水位を考慮することにより合理的な耐震性能の照査が可能になる場合や、部材の劣化を適切に評価する必要がある場合などがあり、新規構造物の耐震設計とは異なる配慮が必要である。これらについては、「第7章 耐震診断」を参照されたい。

(5)の地震時荷重としては、地上構造物に作用する慣性力や地中構造物(暗渠(ボックスカルバート)等)に作用する地盤の応答変位から受ける換算荷重等を考慮する。

後述の「4.3 荷重」、「5.3 震度法」、「5.4 地震時保有水平耐力法」及び「5.5 応答変位法」の各項に詳細事項を記述した。また、液状化が懸念される地盤において考慮する荷重や土質条件については、「第6章 液状化の検討」に記述した。

地震時荷重の設定においては、「4.2 耐震設計法に用いる諸係数及び設定事項」に定める事項を設定する必要がある。

4.2 耐震設計法に用いる諸係数及び設定事項

耐震設計法に用いる諸係数及び設定事項は、以下のとおりである。

- (1) 地域別補正係数
- (2) 地盤種別
- (3) 固有周期
- (4) 耐震設計上の地盤面

[解説]

耐震設計法に用いる諸係数及び設定事項については、地震動レベル、構造物の種類、地形、地質等を考慮し、適切に定める必要がある。

4.2.1 地域別補正係数

耐震設計に用いる地域別補正係数 C_z は、図-4.2.1 の地域区分に従い、表-4.2.1 の値を用いる。

表-4.2.1 地域別補正係数 C_z

地域区分	地域別補正係数 C_z
A	1.0
B	0.85
C	0.7

[解説]

地域別補正係数 C_z は、震度法、地震時保有水平耐力法及び応答変位法の地震力の算定に用いる設計水平震度を計算するためのものである（「5.2 設計水平震度」参照）。

C_z は、図-4.2.1、表-4.2.2 の地域区分で分けられている地域に対して表-4.2.1 の値を用いる。ただし、対象構造物が地域区分の境界線上にある場合は、係数の大きい方を用いる。

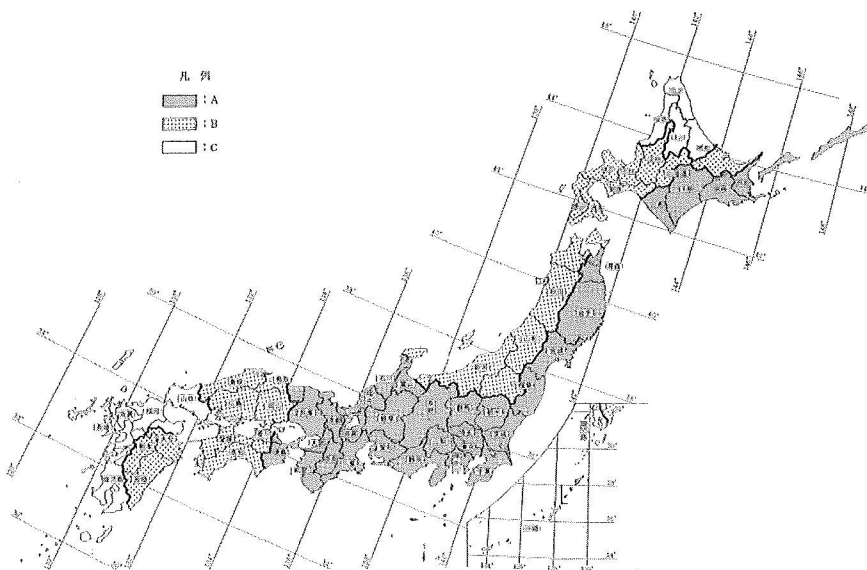


図-4.2.1 地域別補正係数の地域区分

第5章 耐震設計手法

5.1 耐震計算方法及び耐震性能照査方法の種類

耐震設計の計算法（応答値の算定）は、静的解析法と動的解析法の2つに大別される。適用に当たっては、静的解析法を基本とし、振動特性が複雑な構造物等については動的解析法も考慮するものとする。

土地改良施設に用いる主な静的解析法として、震度法（固有周期を考慮しない）、震度法（固有周期を考慮する）、震度法（固有周期と構造物特性係数を考慮する）、地震時保有水平耐力法、応答変位法がある。

耐震性能の照査法には、許容応力度法、地震時保有水平耐力法、限界状態設計法がある。

[解説]

- (1) 土地改良施設の耐震設計に適用する計算法は、各構造物の設計基準、指針類（「2.1 設計一般」参照）に準じ、表-5.1.1に示す静的解析法（震度法、地震時保有水平耐力法、応答変位法）を用いることを基本とする。震度法は、構造物の振動特性や考慮する地震動のレベルに応じて、「固有周期を考慮しない」、「固有周期を考慮する」、「固有周期と構造物特性係数を考慮する」の3つのタイプに分類される。ただし、振動特性が複雑な構造物などは、必要に応じて、動的解析法の適用も検討する。動的解析の適用条件や手法については、解説(3)及び「5.6 動的解析法」を参照されたい。

表-5.1.1 施設別の標準とする耐震計算法と参照する設計基準、指針類

施設名	耐震計算法 (重要度 AA 種または A 種)		耐震計算法 (重要度 B 種)		参照する設計基準、指針類 (「2.1 設計一般」参照)	備 考	
	レベル 1	レベル 2	レベル 1				
①農道橋(橋脚)	震度法	地震時保有 水平耐力法	震度法 (小規模農道橋)		・土地改良事業計画設計基準 設計「農道」平成 17 年	・重要度 AA 種も重要度 A 種と同じ設計法を用いる。 ・小規模農道橋農道橋(橋脚) については、左記の基準に 準じ、道路橋示方書(平成 2 年)の内容に対応 ¹⁾ ・これ以外の橋(橋脚)につ いては、最新の道路橋示方 書(平成 24 年)に準拠 ¹⁾	
②水路橋・水管橋(橋脚)	震度法	地震時保有 水平耐力法	震度法		・土地改良事業計画設計基準 及び運用・解説 設計 「水路工」平成 26 年	・耐震計算法は、左記の基準 に準じ、道路橋示方書(平 成 14 年)の内容に対応す る。	
③頭首工(堰柱)	震度法	地震時保有 水平耐力法	震度法		・土地改良事業計画設計基準 及び運用・解説 設計 「頭首工」平成 20 年	・重要度 AA 種も重要度 A 種と同じ設計法を用いる。 ・耐震計算法は、左記の基準 に準じ、道路橋示方書(平 成 14 年)の内容に対応す る。	
④擁 壁	震度法	震度法	震度法		・土地改良事業計画設計基準 設計「農道」平成 17 年		
⑤開水路(水路擁壁含む)	震度法	震度法	震度法		・土地改良事業計画設計基準 及び運用・解説 設計 「水路工」平成 26 年		
⑥ファームボン ド	RC 構造	震度法	震度法*	震度法		・土地改良事業設計指針 「ファームボンド」平成 11 年	・震度法*は構造物特性係数 と固有周期を考慮した設 計水平震度を用いる。PC においては重要度 B 種も 重要度 A 種と同じ設計を 行う。
	PC 構造	震度法	震度法*	レベル 1 震度法	レベル 2 震度法*		
⑦ため池		震度法	動的応答解析 又は塑性すべ り解析による 変形量の計算	震度法		・土地改良事業設計指針 「ため池整備」平成 27 年	・重要度区分 AA 種はレベル 1 及びレベル 2 地震動が対 象となる。A 種はレベル 1 地震動が対象となる。
⑧パイプライン	縦断 方向	応答変位法	応答変位法	応答変位法		・土地改良事業計画設計基準 及び運用・解説 設計 「パイプライン」平成 21 年	・左記の設計基準「パイプ ライン」では、応答変位法を 用いた地震動に対する検 討と地盤変状(地盤の永久 変位)に対する検討を行っ たあと、地震応答対策を検 討することとしている。
⑨暗 渠 (ボックスカ ルバート)	横断 方向	応答変位法 及び震度法	応答変位法 及び震度法	応答変位法 及び震度法		・土地改良事業計画設計基準 及び運用・解説 設計 「水路工」平成 26 年	
	縦断 方向	応答変位法 及び震度法	応答変位法 及び震度法	応答変位法 及び震度法			
⑩抗 基 礎		震度法	地震時保有 水平耐力法	震度法		・土地改良事業計画設計基準 及び運用・解説 設計 「頭首工」平成 20 年 ・土地改良事業計画設計基準 及び運用・解説 設計 「ポンプ場」平成 18 年	
⑪ポンプ場 (吸込、吐出し水槽)		震度法	震度法*	震度法		・土地改良事業計画設計基準 及び運用・解説 設計 「ポンプ場」平成 18 年	・震度法*は構造物特性係数 と固有周期を考慮した設 計水平震度を用いる。 ・構造物の特性によっては、 応答変位法や地震時保有 水平耐力法を用いる。

*1 以下で示す耐震計算については、道路橋示方書(平成 14 年)に対応しており、①農道橋(小規模農道橋以外)については、別途、最新の道路橋示方書(平成 24 年)を参照されたい。

(2) 静的解析法

各静的解析法の概要は以下のとおりである。各手法の詳細は、「5.2」～「5.6」を参照されたい。

a. 震度法（固有周期を考慮しない）

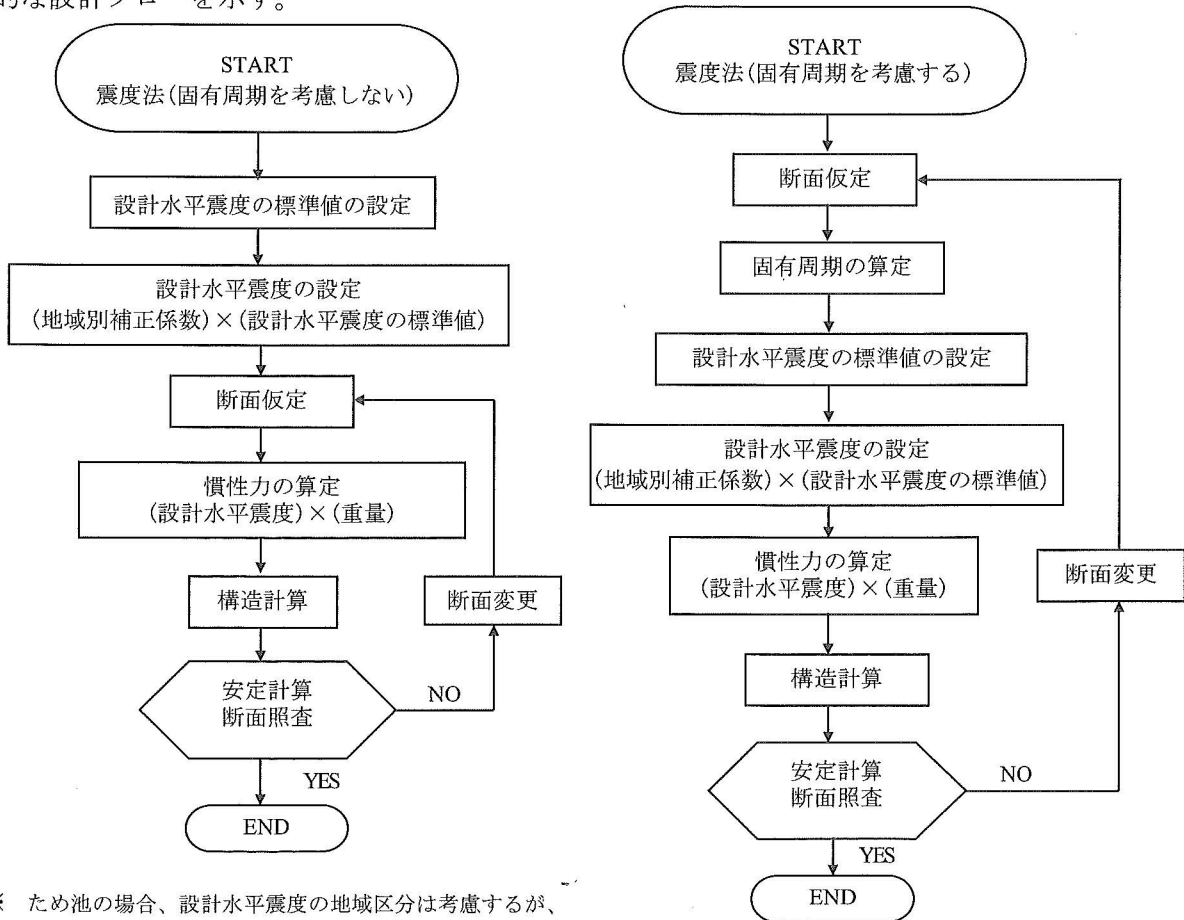
震度法は、地震力を静的な力(慣性力)に置き換え、それを構造物に作用させて地震力を計算する方法である。震度法（固有周期を考慮しない）は、土圧により地震時の振動変位が拘束される構造物や比較的剛性の高く固有周期の短い構造物に適用する方法で、構造物の固有周期を考慮しない設計水平震度を用いる。土地改良施設では、擁壁、開水路、ポンプ場（吸込、吐出し水槽、レベル1地震動）、ファームポンド（RC、レベル1地震動）などに適用される。

ため池は、土地改良事業設計指針「ため池整備」平成27年にに基づき、震度法を適用する。

b. 震度法（固有周期を考慮する）

震度法（固有周期を考慮する）は、構造物の振動特性である固有周期を考慮した設計水平震度を用いる方法であり、固有周期の比較的長い柔な地上構造物等に適用する。土地改良施設では、レベル1地震動の場合の橋梁（農道橋、水路橋・水管橋）、頭首工、ファームポンド（PC）及び杭基礎（杭仕様の決定）などに適用する。

図-5.1.1に、震度法（固有周期を考慮しない）及び震度法（固有周期を考慮する）による一般的な設計フローを示す。



※ ため池の場合、設計水平震度の地域区分は考慮するが、地域別補正係数は用いない。

図-5.1.1 震度法(固有周期を考慮しない)及び震度法(固有周期を考慮する)による設計フロー

第6章 液状化の検討

6.1 液状化一般

液状化及び流動化が生じると想定される場合は、施設への影響を適切に判定し耐震設計に取り入れなければならない。

[解説]

既往の震災事例によれば、ごく軟弱な粘性土層及びシルト質土層に生じる地震時の強度の低下と、飽和砂質土層に生じる液状化及びこれに伴う地盤の流動化は、橋梁等構造物の耐震性に大きな影響を与えるため、これらについて地震時の安定性を判定することを規定した。

液状化判定に用いる設計水平震度や対応方針については、各構造物の設計基準の内容に準拠するものとし、本指針では、「6.6 各構造物に適用する液状化検討法」において横断的に述べる。

また、各構造物への液状化の影響については、基本的にレベル2地震動に対する液状化判定結果に基づいて、「4.2.4 耐震設計上の地盤面」の内容に準じて考慮する。

6.2 水平地盤における液状化判定

液状化判定として、現在用いられている地盤の液状化判定法には、以下に示す3種類がある。設計レベルや構造物の規模・重要性に応じて、いずれかの方法で検討する必要がある。原則として(1)の方法によるものとする。

- (1) 一般の土質調査・試験結果を基にした簡易な判定法
- (2) FL値や室内液状化試験結果を用いて、静的または動的解析を行う詳細な判定法
- (3) 模型振動台実験や原位置液状化試験を行う判定法

[解説]

これらの中で、設計時によく用いられている判定法は(1)及び(2)である。特に、(1)は簡単に液状化判定ができ、精度もかなり高く、さらに必要な調査も標準貫入試験などのごく一般的なもので済むため、多くの基準類に取り入れられている。

また、(2)は(1)よりもさらに精度よく判定できるが、特別な試験・解析が必要になるため、時間も費用もかかる。このため、構造物の重要性が高いなどの理由から、より詳細な判定が必要な場合にのみ行われることが多い。ただし、数値計算ツールの発展と普及により、一次元地盤応答解析(全応力解析)については比較的容易に行える環境が整ってきたことから、(1)の簡易判定法においても同解析により地震時せん断応力を求めてもよい。

ここでは、(1)について述べ、(2)については、「6.3 液状化の詳細な検討方法」に示す。なお、(3)については設計時に用いられることは少ないため、ここでは示していない。

(1)の簡易判定法に関する検討の流れを図-6.2.1に示す。

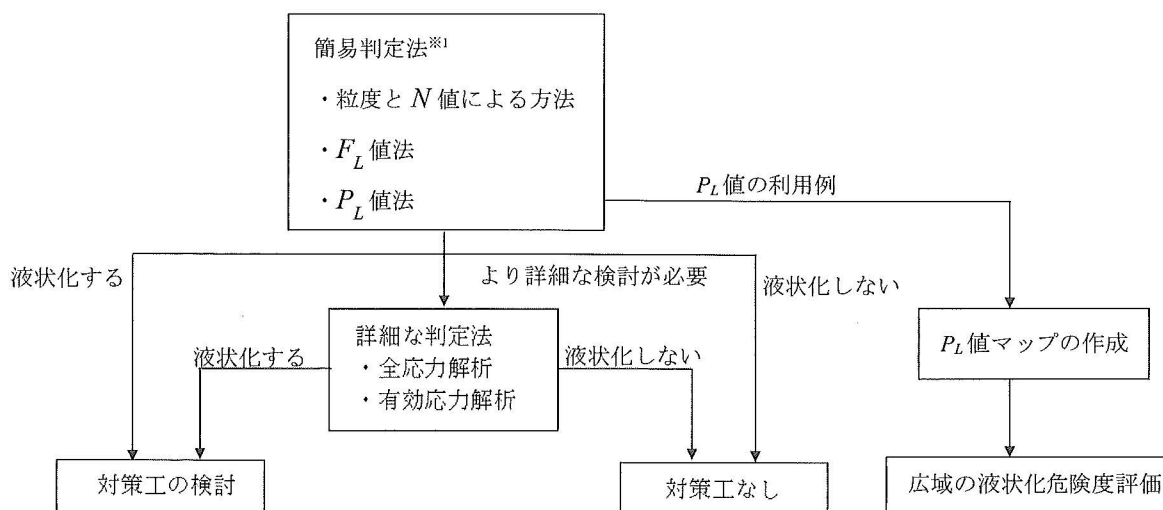


図-6.2.1 液状化判定フロー図

※1 このほか、パイプラインの埋戻し土については、土地改良事業計画設計基準及び運用・解説 設計「パイプライン」(平成21年)において、地下水位、埋設深度、周辺地盤の条件による液状化判定の考え方が示されている。詳細は、同設計基準「9.6.6 液状化の判定」を参照されたい。

(1) 簡易判定法

簡易判定法で最も一般的な方法は、標準貫入試験結果から得られる N 値を用いる方法である。その中でも主な方法は、「粒度と N 値による方法」と、「 F_L 値法」の2種類である。

また、 F_L 値を深さ方向に重み付けして積分した値である「液状化指数 (P_L 値)によって判定する方法」もある。

ア) 粒度と N 値による方法

粒度と N 値による方法は、粒度による判定を行い、次に等価 N 値と等価加速度による予測・判定を行う方法で、図-6.2.3にそのフロー図を示す。

等価 N 値は各土層の N 値を有効上載圧力が 65kN/m^2 の場合の同一の相対密度等の土層の N 値に換算したものをいい、図-6.2.2に關係を図示する。等価加速度は地盤応答解析により求まる最大せん断応力を用いて各土層について算出する。

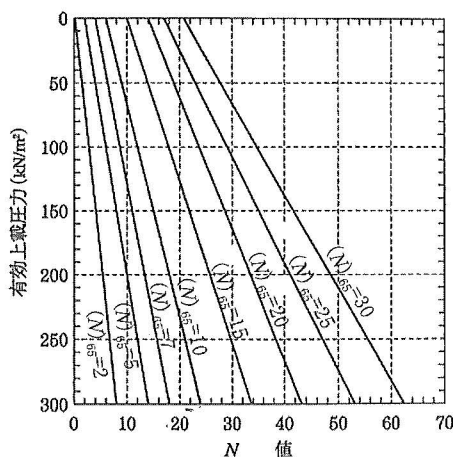


図-6.2.2 等価 N 値算定用チャート

(直線は、相対密度等が一定の場合の N 値と有効上載圧力の關係を表す)

第7章 耐震診断

7.1 耐震診断の目的

耐震診断は、既設構造物が本指針で示す要求耐震性能を確保しているかを評価するために行うことを目的とする。耐震診断結果に基づいて今後の耐震補強又は施設更新などの対策の検討を行う。

[解 説]

土地改良施設には、橋梁（農道橋、水路橋・水管橋）、頭首工、擁壁、開水路、ファームポンド、ため池、パイプライン、暗渠（ボックスカルバート）、ポンプ場（吸込、吐出し水槽）、杭基礎、さらに機械電気設備等と、その種類は多種多様である。

現状の構造物は建設当時の耐震性能は確保しているとしても、現時点の指針に照らして耐震性能が確保されていない可能性があるため、必要に応じて耐震診断を行う。

また、それぞれの施設が目標とする耐震性能への施設更新や施設補強、応急処置への策定及び既設構造物の劣化による耐力復元対策（機能保持）についても示す。

7.2 耐震診断の手順

耐震診断は、既設構造物の耐震性能が正確かつ効率的に評価できるように実施していかなければならない。このため、耐震診断は、概略的な方法による一次診断と、より詳細な方法による二次診断によって行うものとする。

一次診断は、対象となる既設構造物を本指針の重要度区分により選定し、建設年代・準拠基準等や設計図書等に基づく概略の構造特性及び地盤条件によって耐震性能を有していないと推定される構造物を抽出し、二次診断の詳細検討に供することを目的とする。

二次診断は、一次診断により耐震性能の詳細な検討が必要と判断された構造物に関して、必要に応じて現場計測、劣化診断及び地盤の調査を行い、要求される耐震性能を有しているか否かを診断する。

この時、当該構造物の機能の代替性や建設時からの施設条件の変化など、施設の重要度や位置付けの変化も考慮する。

[解 説]

今日まで建設された土地改良施設は大規模なものから小規模なものまであり、その数は膨大であり、他機関との共用施設も多数存在するのが現状である。耐震診断に当たって、これらの施設をそれぞれ詳細に実施することは現実的ではない。そこで、机上及び現地状況から整理することができる概略的な方法による一次診断と、詳細な構造検討を行う二次診断に区分した。

土地改良施設の耐震診断の一般的な流れを図-7.2.1に示す。

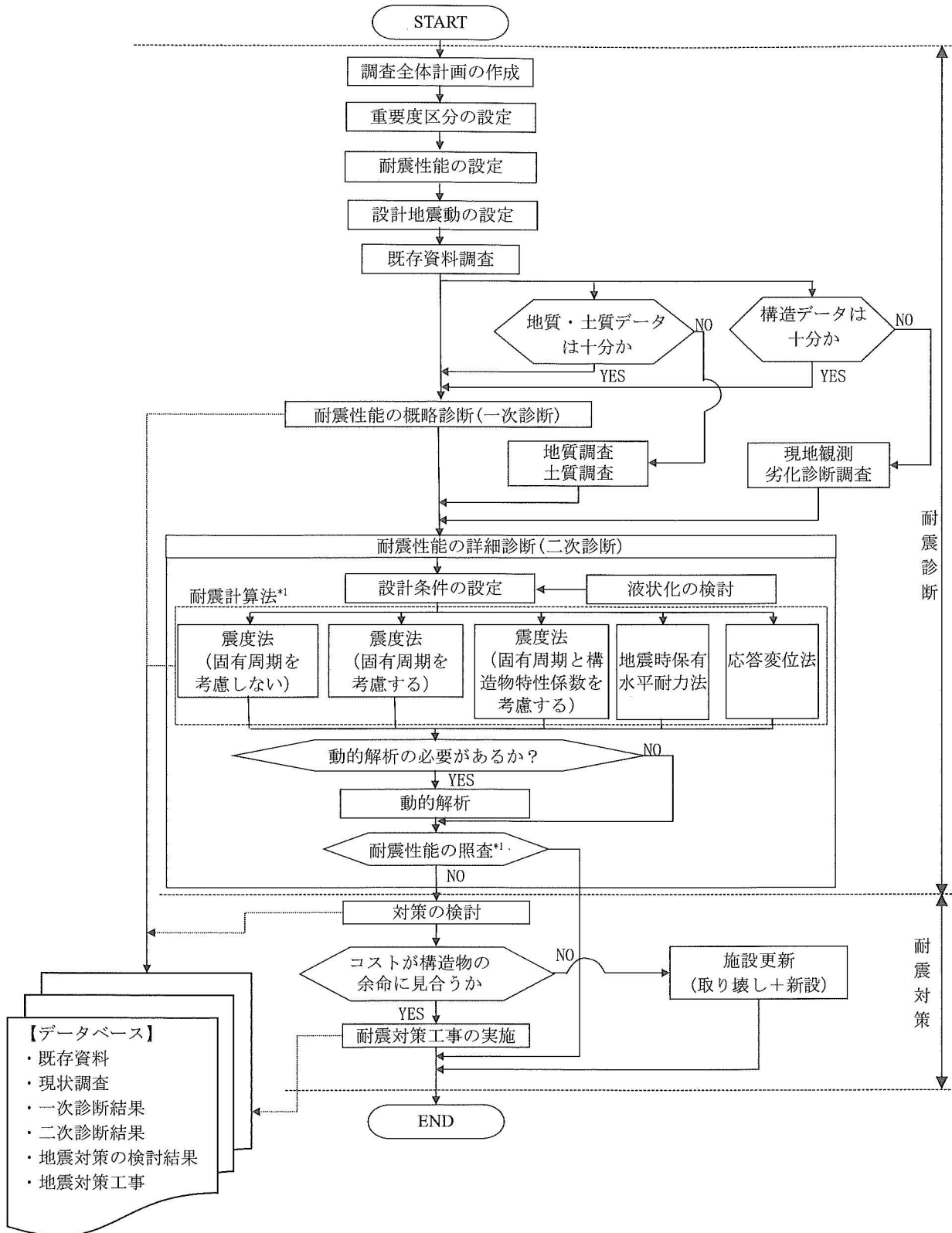


図-7.2.1 既設構造物の耐震診断及び耐震対策のフロー

*1 詳細診断における耐震計算は、第5章に示す耐震計算法及び照査法により実施する。ただし、計算における条件設定については、「7.3.3 二次診断（詳細診断）」に示す留意事項を踏まえて実施するものとする。