

基礎ぐいを有する建築物の転倒に対する検証・改修指針（案）

国土交通省

目次

はじめに.....	1
第1章 転倒防止に有効な条件の調査（スクリーニング）.....	3
1. 1 転倒シナリオと転倒防止に有効な条件.....	3
1. 2 転倒防止に有効な条件の確認と検証の必要性.....	3
(1) 基礎に関する条件とその調査.....	5
・基礎ぐいに関する条件.....	5
(a) 杭の耐震設計の実施（状態2）.....	5
(b) 靱性能の高い杭の使用（状態3）.....	7
・建築計画に関する条件.....	7
(c) 1階部分の全面に地下階がある（状態3）.....	7
(2) 上部構造に関する条件とその調査.....	8
・上部構造に関する条件.....	8
(a) 転倒の影響の小さな形状（塔状比2.5以下）（状態3）.....	8
(b) 鉛直荷重の偏りを生じにくい計画（柱の軸力分担）（状態3）.....	10
(c) 冗長性の高い支持条件（スパン数が3以上）（状態3）.....	11
第2章 基礎ぐいを有する建築物の転倒可能性の検証.....	12
2. 1 検証の基本方針.....	12
(1) 転倒メカニズム.....	12
(2) 転倒メカニズムに関する確認.....	12
(3) 特別な調査・研究.....	13
2. 2 良好な地盤の確認（直接基礎的な支持力確保の検討）.....	13
(1) 支持力に関する検討の内容.....	13
(2) 地盤調査等に基づく支持力の設定.....	15
(3) 基礎部材の調査.....	18
2. 3 基礎ぐいの性能確認.....	22
(a) 杭の耐震設計（一次設計）の検討.....	22
(b) 杭の靱性的破壊の検討.....	23
第3章 転倒に関する対策とその効果.....	24
3. 1 基本方針.....	24
3. 2 対策工法の選定と実施.....	24
・地震動による杭頭部の有害な破壊が生じないための対策.....	25
(1) 杭頭の補強.....	25
(2) 増し杭.....	26
・一部の杭への負担の集中が生じないための対策.....	27
(3) 減築（塔状比を下げる）.....	27
(4) 耐震改修（耐震要素の増設に合わせて杭負担を均等に近づける）.....	28

・建築物の著しい沈下が生じないための対策.....	28
（5）地盤改良（高圧噴射）	28
（6）地盤改良（深層・浅層改良）	28
（7）1階の床を構造床にする	29
【参考文献】	30

基礎ぐいを有する建築物の転倒に対する検証・改修指針（案）

はじめに

- 5 令和 7 年 12 月 23 日に公表された「令和 6 年能登半島地震における建築物構造被害の原因分析を行う委員会の最終とりまとめ」[†]（以下「最終とりまとめ」という。）において、鉄筋コンクリート造建築物の転倒被害の原因分析を行うとともに、以下の通り今後の対策の方向性が示された。

現行基準（平成 13 年国土交通省告示第 1113 号）以前に建築された建築物については、建築物の基礎、上部構造及び地盤について、次の要因が重なることによって、転倒の可能性が高まる。

- ・ 基礎が地震時に支持性能が容易に失われるおそれのある杭に支持されたもの。
- ・ 上部構造が地震時に片側への傾斜を生じやすい構造（計画）であるもの。
- ・ 杭の支持力が喪失した後、地盤の支持力不足により建築物が著しい沈下を生じるおそれのあるもの。

建築物が転倒するか否かを構造計算で直接的に確認することは、高度な技術を有する設計者であっても困難な現状であり、判断基準の明確化のためには、多くの技術的課題が残されている。また、建築物の転倒については未解明の部分も多いことや、これまでの震災では、杭に大きな被害を受けたものは数多く報告されているものの、今回のように転倒に至ったものはなく、当該建築物が転倒に至ったことは上述の要因が重なったことにより生じた非常に稀な被害であったと考えられることから、現行基準以前に建築された全ての建築物が直ちに危険であるとは言えないが、今後、その安全性の確保に向けた取り組みが必要である。

- 10 本資料は、上記の背景を踏まえて、現行基準以前に建築された基礎ぐいを有する建築物について

- ・ 転倒する可能性の有無を検証する方法の検討
- ・ 転倒する可能性がある場合の改修方法の整理 等

を行い、「基礎ぐいを有する建築物の転倒に対する検証・改修指針（案）」としてとりまとめたものである。本指針の適用に当たっては、令和 6 年能登半島地震において転倒被害を生じた鉄筋コンクリート

- 15 ト造建築物の詳細調査を含む調査報告[‡]において詳細な検討結果が示されており、参考にできる。

なお、現行基準による建築物において、転倒には至らないまでも、基礎・地盤の問題で著しい沈下や傾斜を生じた建築物は存在する。これらが転倒（安全上の支障）を生ずる可能性を極力減じるためには、本指針で整理した転倒防止に有効な条件を一つでも達成しておくことは重要であり、本指針を

20 適用して検討しておくことが望ましい。

[†] 国土技術政策総合研究所：「令和 6 年能登半島地震における建築物構造被害の原因分析を行う委員会最終とりまとめ（令和 7 年 12 月）」，https://www.nilim.go.jp/lab/hbg/iinkai/notohantouzisinnii/nnkai/file/251223_torimatome.pdf

[‡] 国土技術政策総合研究所・建築研究所：「令和 6 年能登半島地震建築物被害調査等報告」（第Ⅱ部 地震動等により転倒・沈下等を生じた鉄筋コンクリート造等建築物の被害），国土技術政策総合研究所資料 No. 1356，建築研究所資料 No. 218，2026.8，<https://www.nilim.go.jp/lab/bcg/siryuu/tnn/tnn1356.htm>

本指針の構成を検証の流れに沿って示すと、次の図の通りとなる。

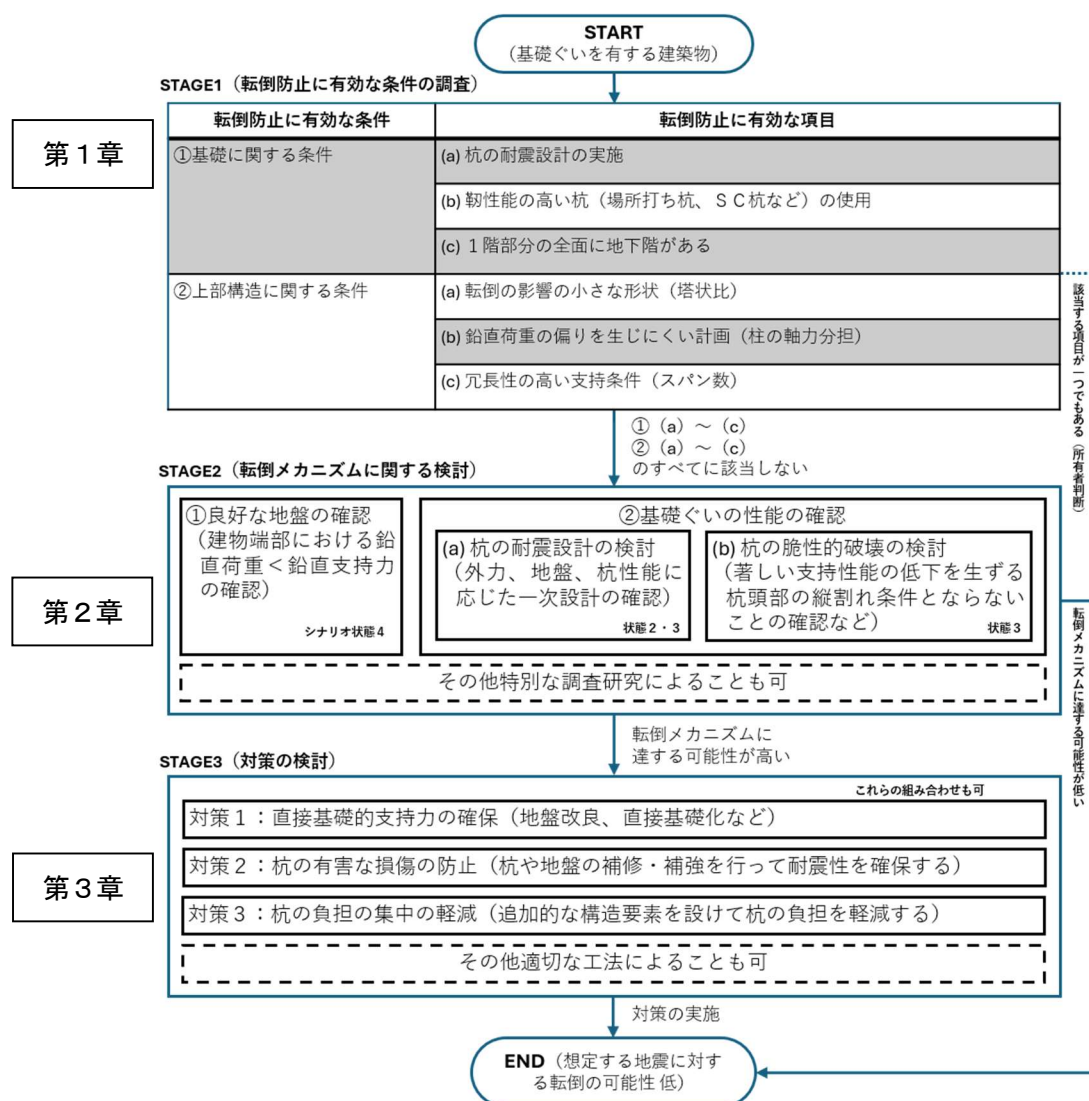


図 本指針の構成

5

第1章（STAGE1）は、地震に対して転倒の恐れのある建築物を、基礎に関する条件及び上部構造に関する条件に着目して抽出し、優先的に検証すべき対象を選定するための方針を、「最終とりまとめ」に示された建築物の転倒に関する転倒シナリオに基づき整理している。

第2章（STAGE2）は、第1章で検討の優先順位が高いとされた建築物を主な対象として、建築物の転倒リスクをより詳細に検証するため、できるだけ安全側の検証となるように配慮した上で、具体的な検証の流れとして示したものである。

第3章（STAGE3）は、第2章の検証において転倒メカニズムに達する可能性が高いとされた場合において、各種の対策により転倒を生じないようにするための方策について示したものである。

15

第1章 転倒防止に有効な条件の調査（スクリーニング）

1. 1 転倒シナリオと転倒防止に有効な条件

建築物の転倒に係る検証に先立って、基礎、上部構造について、転倒防止に有効な条件を中心に調査を行って現況を把握する。

転倒防止に有効な条件として、基礎に関するもの及び上部構造に関するものの両者を考慮する。

【解説】

- 地震による建築物の転倒被害の要因分析の結果が図1.1に示す転倒シナリオ¹⁾として取りまとめられている。本章では、建築物が地震による被害を受けて転倒に至る過程（状態2～状態4）に基づき、それぞれの状態における転倒防止に有効な項目を「転倒防止に有効な条件」とし、「基礎に関する条件」及び「上部構造に関する条件」の両者について適切に判断することを目的として、そのために必要となる調査の内容や判断基準について示す。

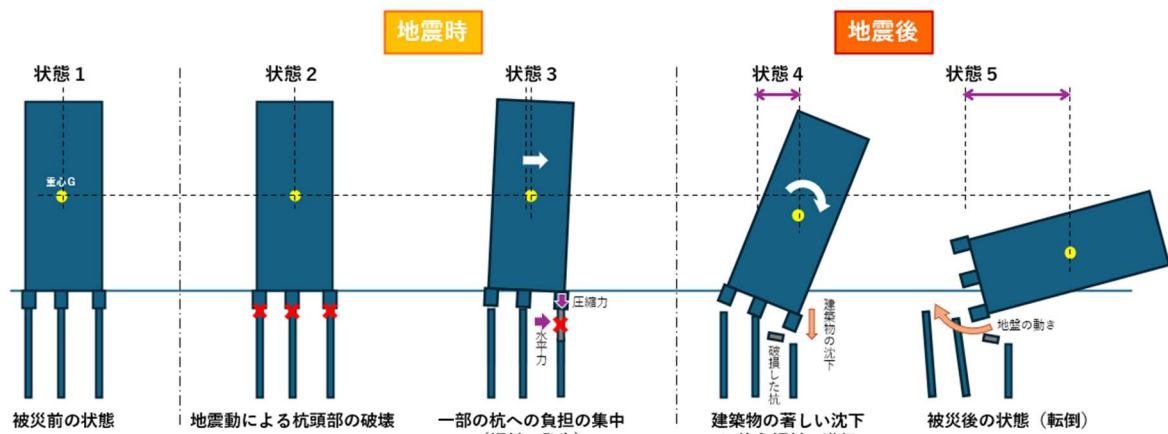


図1.1 地震により転倒被害を生じた建築物の転倒シナリオ¹⁾

なお、本資料において、転倒挙動を考える上で上部構造は原則として剛体と仮定している。転倒被害を生じた建築物の調査結果²⁾によれば、転倒を開始する時点で上部構造はおおむね無被害の状況であったことが推察されており、逆にそれ以前に上部構造に損傷を生ずる場合は、最終的には転倒には至らず倒壊・崩壊といった一般的な被害の形態を示すと考えられたためである。

1. 2 転倒防止に有効な条件の確認と検証の必要性

（1）基礎に関する条件は、以下の3項目とする。すべての項目に該当しない場合に、（2）の上部構造に関する検証を行うこととする。ただし、転倒を生ずる可能性を極力減じるためには、該当する項目がある場合においても上部構造の検証を行っておくことが望ましい。

- （a）杭の耐震設計の実施
- （b）靱性能の高い杭の使用
- （c）1階部分の全面に地下階がある

(2) 上部構造に関する条件は、以下の3項目とする。すべての項目に該当しない場合に、第2章の転倒可能性の検証を行うこととする。ただし、該当する項目がある場合においても、該当する項目が少ないほど転倒の可能性が高まるものとし、検証の対象とすることが望ましい。

- (a) 転倒の影響の小さな形状
- (b) 鉛直荷重の偏りを生じにくい計画
- (c) 冗長性の高い支持条件

【解説】

表 1.1 に、本指針で検討する「転倒防止に有効な条件」について示す。表の各項目は、最終とりまとめ等における建築物の転倒に影響したと考えられる要因に基づき、転倒防止に有効な項目を「基礎に関する条件」「上部構造に関する条件」として分類したものである。また、基礎、上部構造に関する条件について判断を行い、第2章の転倒メカニズムの検討、第3章の補修・補強の検討へ進む基本的な流れを図 1.2 に示す。

表 1.1 転倒防止に有効な条件

転倒防止に有効な条件	転倒防止に有効な項目
①基礎に関する条件	(a) 杭の耐震設計の実施
	(b) 靱性能の高い杭（場所打ち杭、S C杭など）の使用
	(c) 1階部分の全面に地下階がある
②上部構造に関する条件	(a) 転倒の影響の小さな形状（塔状比）
	(b) 鉛直荷重の偏りを生じにくい計画（柱の軸力分担）
	(c) 冗長性の高い支持条件（スパン数）

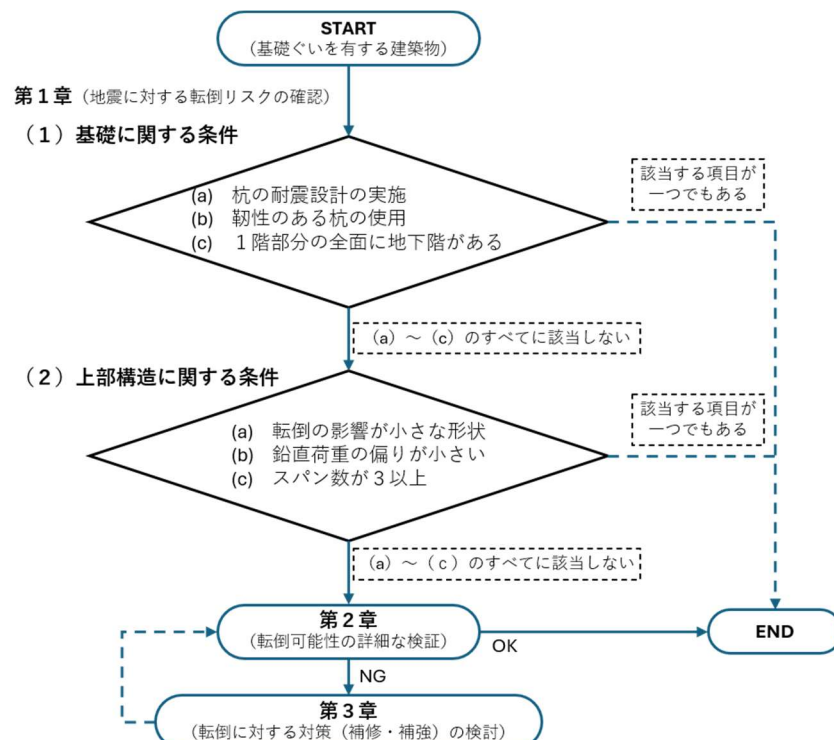


図 1.2 本指針の判断フロー

図 1.2 に示した本指針の判断フローでは、基礎に関する条件のすべての項目に該当しない場合に、上部構造に関する検証を行うものとしている。ただし、基礎に関する条件は転倒を生じ難くする可能性はあるものの確実に転倒を防止できるとは言えないことから、この条件は基本的には調査の優先順位を定めるための情報であって、転倒を生ずる可能性を極力減じるためには、第 2 章以降の検討をできるだけ実施することが望ましい。

上部構造に関する条件については、地震による杭の被害の集中やそれによる片側への沈下の進行など、転倒に至る挙動を防止する可能性の高い条件である。本指針の検討の契機となった転倒被害を生じた建築物がこれらすべての条件に該当しなかったものであった点を考慮し、すべての条件に該当しない場合に第 2 章以降の検討を実施することとしているが、本来は該当する項目の少ない建築物ほど転倒の可能性が高いものとして以降の章に進むことが望ましく、基礎に関する条件の各項目と同様に、調査の優先度や緊急度を判断するための情報と扱うべきものである。

なお、転倒防止に有効な条件を調査しない（できない）ことも考えられる。その場合は、安全側の判断として、調査しなかった項目については条件に該当しないものとして扱う。また、表 1.1 や図 1.2 では地盤について触れていない。これは、地盤の支持条件は上部構造の規模等によって変わるものであるため、事前調査（スクリーニング）に相当する本章の段階で特定の地盤条件で除外することは適切でないとの判断による。地盤の支持力に関する確認は、第 2 章において行う。

（１）基礎に関する条件とその調査

設計図書等の入手可能な情報に基づき、基礎に関する条件の調査を行う。

【解説】

基礎に関する条件は、転倒を防止できることを保証するものではないが、転倒防止に有効と考えられる項目である。

基礎に関する条件の項目ごとに、判断に必要となる情報と調査方法を表 1.2 に示す。転倒シナリオで想定する状態との対応と、主な検討対象を併記した。基礎に関する条件は、目視等によることが難しいことから、調査方法については、設計図書に基づくことを原則としたが、これらの情報がない、あるいは入手が困難である場合は、調査を省略して次の上部構造に関する条件の調査に進んでもよい。

表 1.2 基礎に関する条件の調査に必要となる情報

状態	主な対象	基礎に関する条件	判断に必要な情報	調査方法
状態 2	基礎ぐい	(a) 杭の耐震設計の実施	設計用外力	設計図書（復元を含む）
状態 3	基礎ぐい	(b) 靱性能の高い杭の使用	杭種、杭径等	設計図書（復元を含む）
状態 3	地下部分	(c) 1 階部分の全面に地下階がある	地下階平面図	設計図書、実測

・基礎ぐいに関する条件

(a) 杭の耐震設計の実施（状態 2）

令和 6 年能登半島地震で転倒被害を生じた建築物はいわゆる旧耐震に属する 1972 年の建設であり、また、杭の耐震設計が義務と扱われるようになった 2001 年以降の建築物では、基礎ぐいを有する建築物の転倒被害は報告されていないことから、杭の耐震設計の実施を基礎に関する条件の一つとした。

耐震設計が行われていない（鉛直力のみに対して設計されている）杭は、地中部の予期せぬ位置に損傷・破壊を生じる可能性が高いが、一方で杭の耐震設計が行われた杭は、杭頭や地中部に一定の耐力が確保されるほか、杭頭部の定着等の検討も行われる。通常は一次設計のみが行われ、大地震に対する状態を直接検討するものではないが、杭の損傷後に転倒に至る挙動を発生させる可能性を低減できるものとした。

基礎の耐震設計に関連する規定は、1981年の新耐震基準によって導入された地下部分の地震力（建築基準法施行令第88条）が最初である。また、基礎ぐいの許容支持力に関しても、鉛直荷重を想定した規定のみが設けられていた（昭和46年建設省告示第111号）。その後、基礎の耐震設計に関する「地震力に対する建築物の基礎の設計指針」³⁾が位置づけられた（昭和59年住指発第324号）が、「当分の間、望ましい水準の基準として推奨すべきもの」との扱いが長く続いていた。

一般に、基礎や基礎ぐいの耐震設計は、2001年に基礎ぐいについて水平力を想定した許容応力度等の数値が定められたこと（平成13年国土交通省告示1113号）により義務付けられたと見なされている。2001年以前でも設計者判断で耐震設計を行っていた事例も存在するが、同告示の施行以前であれば、図書がない建築物では杭の耐震設計を実施していないものとして扱う。

建設年代については、台帳等の記録が存在しない場合には厳密な特定は難しいが、国土地理院の航空写真⁴⁾など、時系列で撮影された資料から判断することもできる。

なお、耐震改修促進法に基づく診断を実施し、補強を行った建築物については、これまで過大な傾斜や沈下を生じたとの報告はないが、基礎や基礎ぐいについての検討が含まれていない場合は、杭の耐震設計を実施していないものとして扱う。

基礎ぐいの情報がある程度得られていれば、これに代わる検討として、以下の杭の二点ヒンジの確認を行うこともできる。検討の結果、杭が二点ヒンジの条件にならないことが確認できれば、杭の耐震設計を実施しているものとして扱う。

弾性支承梁理論(Chang 式)に基づいて、杭体の構造耐力の確認を行う。ここでは、現行の一次設計を踏襲し、地震荷重については中地震相当とする。なお、中地震時に支点の浮き上がり（支点の鉛直荷重が0となる状態）が生ずる場合、その支点の水平力は他の杭で負担するものとする。杭種が特定できない場合、建設年代や地域性から異なる杭種を想定して計算し、安全側の結果を採用する。敷地（近隣のデータも可）の標準貫入試験のデータから、「建築基礎構造設計指針」⁵⁾（2019改定版、以下「基礎指針(2019)」という。）にしたがって、水平地盤反力を評価する。

杭応力は、図1.3を参考に、以下の手順で評価する。

1. 杭頭回転拘束（固定）で、杭頭曲げモーメントを評価し、短期許容応力度または許容曲げ耐力以内であることを確認する。
2. 杭頭自由で、地中部最大曲げモーメントを評価し、短期許容応力度または許容曲げ耐力以内であることを確認する。
3. 両者ともにNGなら、二点ヒンジ形成と見なす。

このとき、杭の地中部のヒンジ位置 l_m も把握することで、沈下量及び傾斜の想定に活用することができる。

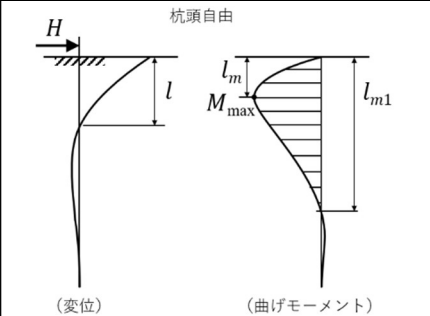
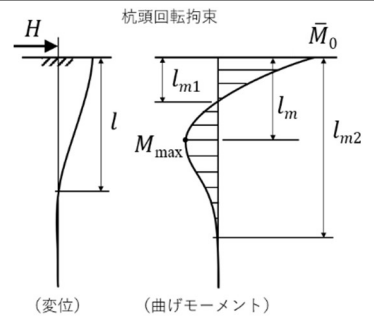
応力及び変位図	 杭頭自由 (変位) (曲げモーメント)	 杭頭回転拘束 (変位) (曲げモーメント)
地表面変位	$y_1 = \frac{H}{2EI\beta^3}$	$y_1 = \frac{H}{4EI\beta^3}$
杭頭たわみ角	$\theta_1 = \frac{H}{2EI\beta^2}$	$\theta_1 = 0$
杭頭曲げモーメント	$\bar{M}_0 = 0$	$\bar{M}_0 = \frac{H}{2\beta}$
地中部最大曲げモーメント	$M_{\max} = -\frac{H}{\sqrt{2}\beta} e^{-\pi/4} = -0.3224 H/\beta$	$M_{\max} = -\frac{H}{2\beta} e^{-\pi/2} = -0.2079 \bar{M}_0$

図 1.3 杭の二点ヒンジの検討⁵⁾

(b) 靱性能の高い杭の使用（状態 3）

転倒被害を生じた建築物には、既製コンクリート杭（P C 杭）が使用されていた。既製コンクリート杭については、比較的新しい仕様となる PHC 杭であっても、加力条件によって靱性に乏しい破壊性状となることが報告されている⁶⁾。こうした実験でみられるせん断破壊や軸方向せん断ひび割れを伴う破壊は、通常の曲げ破壊と異なり、杭体の一定の区間で支持力を喪失することになるため、大きな沈下につながる可能性が高い。このような杭の損傷後の支持力喪失を避けるためには、水平力に対する変形性能の高い杭を用いることが有効である。具体的には、場所打ちコンクリート杭や S C 杭、鋼管杭などが該当する。

基礎ぐいの情報がない段階では、杭体の種別を判断することは基本的に不可能であるため、既製コンクリート杭以外であることや、基礎ぐい以外に地盤改良等により支持されていることが直接確認された場合を除き、既製コンクリート杭（P C 杭）と想定しておくことが原則である。すなわち、情報がない場合は靱性能の高い杭を使用していないものとして扱う。

・建築計画に関する条件

(c) 1 階部分の全面に地下階がある（状態 3）

地階を有する場合、地下部分の地震力の低減や支持力に関する根入れ効果など、基礎の耐震性が相対的に向上することが期待される。また、底盤の全面が回転挙動に抵抗する、上部構造からの鉛直荷重の偏りが分散されるなど、転倒を防止する効果も高いと考えられる。したがって、建築物 1 階の下

の全面を地下階としていることを基礎に関する条件の一つとした。

なお、地階のない建築物について、基礎ぐいを用いる場合にべた基礎とすることは通常はないものと考えられるが、べた基礎と同程度に鉛直荷重に対する支持力発現が期待できるスラブが全面に設けられている場合は、1 階部分の全面に地下階のある場合に準じて扱うこととする。

(2) 上部構造に関する条件とその調査

入手可能な情報に基づき、上部構造に関する条件の調査を行う。

【解説】

表 1.1 における上部構造に関する条件について、それぞれの調査方法の概要を示す。

上部構造に関する条件については、上部構造の外形等からある程度概算で簡便に判断できる項目を中心とした。

上部構造に関する条件の項目ごとに、判断に必要となる情報及びその調査方法を表 1.3 に示す。表 1.2 と同様に、転倒シナリオにおける状態との対応を参考に付記した。設計図書の入手が困難な場合、実測などにより実況に応じた（安全側となる仮定の）数値を設定する。

なお、上部構造に関する条件の確認はすべての構面で行うこととなるが、構面ごとの分担に関する詳細な検討を行った場合を除き、一部の構面のみが条件に該当しない場合でも、安全側の判断として、建築物としてはその条件に該当しないものと見なす。

表 1.3 上部構造に関する条件の調査に必要となる情報

状態	主な対象	上部構造に関する条件	判断に必要な情報	調査方法
状態 3	上部構造	(a) 転倒の影響の小さな形状（塔状比 2.5 以下）	外形寸法（見付幅及び高さ）	設計図書、実測等
		(b) 鉛直荷重の偏りを生じにくい計画（柱の軸力分担）	各階平面図、固定荷重	設計図書、実測等
		(c) 冗長性の高い支持条件（スパン数）	1 階平面図	設計図書、実測等

・上部構造に関する条件

(a) 転倒の影響の小さな形状（塔状比 2.5 以下）（状態 3）

塔状比が大きい建築物では、地震時の水平力に対して転倒モーメントが大きくなりやすく、また、上部構造の回転（傾斜）に伴う重心の水平変位も大きく、転倒を生じた建築物のように上部構造の回転（傾斜）に沈下を伴う場合に、自重が回転を助長する P-Δ 効果が起こりやすくなるなど、転倒に対して不利な挙動を示す可能性が高いと考えられる。実際に転倒被害を生じた建築物について塔状比を計算したところ、転倒を生じた方向（東西）では最も大きな数値で 2.50 であり、生じなかった方向（南北）では同様に 1.69 であった²⁾。したがって、塔状比 2.5 を閾値とした。

なお、ここで建築物の塔状比の計算は、一般の構造計算における扱い（平成 19 年国土交通省告示第 594 号）と同様に、建築物の高さ（地盤面からの高さ）と架構の見付幅により計算した数値とする。構造計算により転倒に関する検討を行う場合の支点間距離は、建築物の支持の実況に応じて異なる数値となる場合があるため、注意が必要である。

上記の塔状比に関する数値は下記の沈下量を想定した検討も参考となる。

図 1.4 に基づき、建築物の重心が沈下する側の基礎の端部（圧縮端）を越える場合に転倒を生ずる可能性が高いものと判断すると、以下の式となる。なお、ここでは寸法については上記の通り計算用の数値として構造寸を用いる。

$$5 \quad \left(\frac{H}{2}\right) \times \left(\frac{\delta_v}{l_1}\right) \geq \frac{L}{2} \quad \therefore \text{塔状比 } \frac{H}{L} \geq \frac{l_1}{\delta_v}$$

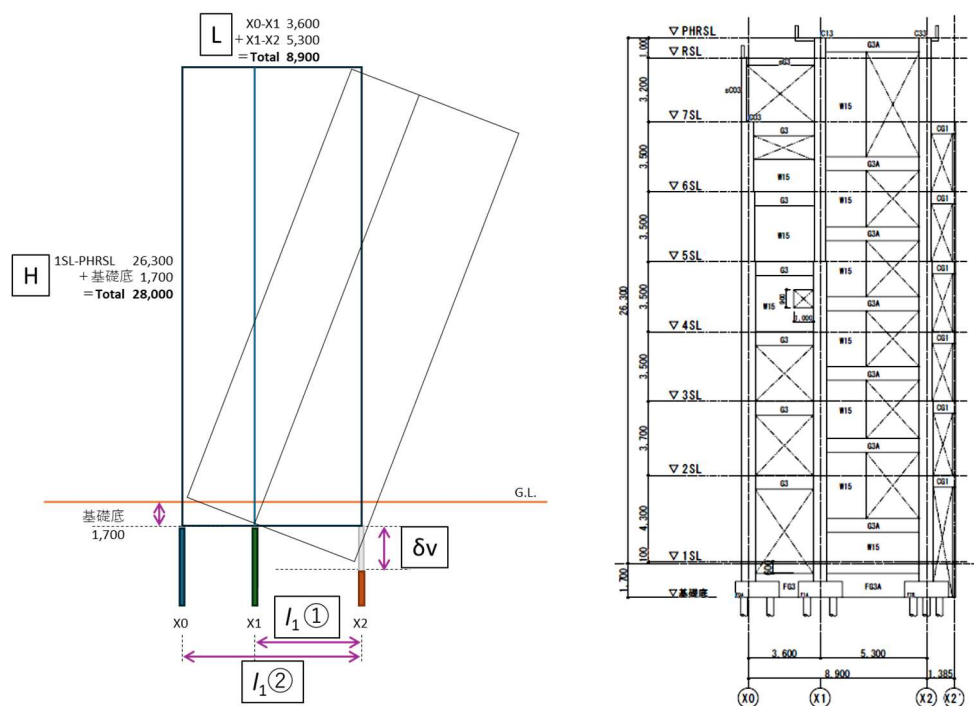
ここで、 δ_v : 沈下量

l_1 : 最短スパン

H, L : 建物高さ及び転倒方向の建物幅（建築物重心は $(L/2, H/2)$ と想定）

10 転倒被害を生じた建築物については、図 1.4 より $H=28,000\text{mm}$ 、 $L=8,900\text{mm}$ として、上式より沈下量 $\delta_v=1.7\text{m}$ （転倒に関するスパンが l_1 ①の場合）となる。一方、令和 6 年能登半島地震における調査結果⁷⁾のうち、大きな沈下を生じたものの転倒に至らなかった建築物の沈下量が約 1.8m と報告されており、沈下後に何らかの要因で支持力を発揮できる場合があるとしても、この 1.8m 程度の沈下量まではその効果が期待できない場合があることを考慮すると、転倒被害を生じた建築物は転倒の影響の大きな形状であったこととなる。

15 なお、図 1.4 で中間の X1 通りが存在しない（1 スパン）とした場合、 l_1 ②=8,900mm 及び沈下量 $\delta_v=2.8\text{m}$ となる。これについても、上記の転倒に至らなかった建築物における残存杭等による支持に期待できる条件が明確でなく、3m 程度の沈下を生じ、重心が圧縮端を越える可能性は十分に考えられる。



(a) 転倒の閾値（重心が圧縮端に達する状態） (b) 復元された立面図

図 1.4 転倒被害を生じた建築物の塔状比に係る形状

また、一般的なスパン長を 6 m、沈下量 2 m で転倒とした場合、構造計算上の塔状比 $H/L = 3$ となる。上部構造に関する条件の判定に用いる塔状比は地上部分の外寸を用いるためこれより一般に小さくなることから、上記の通り目安の数値として 2.5 が一つの指標となっているとも考えられる。

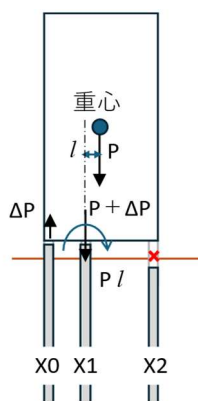
(b) 鉛直荷重の偏りを生じにくい計画（柱の軸力分担）（状態3）

柱の平面配置（支配面積）等により軸力分担に偏りがあると、特定の方向の地震力に対して長期軸力の小さい支点の反力が早期にゼロになり、結果として片側（押込み側）の杭に負担が集中する挙動を助長する恐れが高い。そのため、鉛直荷重の偏りを生じにくい計画であることを上部構造に関する条件の一つとした。

柱の軸力は、通常の構造設計と同様に、固定荷重・積載荷重を実況に応じて仮定し、支配面積に応じて算出する。転倒被害を生じた建築物においては北西端部の柱の軸力が他と比較して小さかった。そのため計算上で一部杭の支点反力がゼロとなる時点のベースシア係数 C_0 は方向ごとで差があり、転倒を生じる側の加力（西→東）で0.04と特に小さく、逆加力（東→西）では0.13程度であった。これは、図1.4に示した通りこの方向の中間に通り心（X1通り）が存在する影響で、一部の柱の支配面積が狭いことに起因している。したがって「偏り」としては、たとえば正負加力により支点反力がゼロとなる時点の地震層せん断力係数や水平震度を計算し、小さい方の数値を大きい方の数値で除した比率が0.5以下である場合とすることが考えられる。このとき、隣接構面及び直交部材による押さえ効果を適切に計算できれば、考慮してよい。また、このようにして正負いずれかの方向に偏りを生じやすいことが確認できれば、それ以外の方向についての転倒の検証を省略することもできる。

なお、この検討は、外端の柱について実施すればよく、中間の支点については検討不要とする。また、正負ともに中地震相当まで引抜き側の支点反力がゼロとならない、かつ押込み側の杭軸力が短期許容支持力以下である場合も、この条件に該当するものとして扱う。

柱の平面配置に関しては、軸力の分担以外にも、図 1.5 に示すように、中間の通り (X1) との位置関係によっては図 1.4 (a) に示すような傾斜による重心の移動が支持力の不足する側に偏り、転倒に関する挙動を助長する可能性も考えられるため、注意が必要である。



(c) 冗長性の高い支持条件（スパン数が3以上）（状態3）

過去の震災において大きな被害を受けた杭の報告はあるが、一つのパイルキャップの直下でも複数の杭がある場合にその破壊状況に差がある事例が多く、設計上同一の条件であってもすべて同時に破壊する（支持力を喪失する）ことは稀な事象と考えられる。柱スパンが多くなるほど、柱直下で支点となる部材も多くなるため、鉛直支持の冗長性の観点から、スパン数を上部構造に関する条件の一つとした。なお、スパン数は目視等の調査に基づき柱・はり等の部材配置を検討して判断するが、化粧柱など軸力を負担していない部材については除外する必要がある。転倒被害を生じた建築物においては、転倒を生じた方向（東西）ではスパン数は1及び2、生じなかった方向（南北）では3であったことから、スパン数3以上を条件とした。この東西方向のように、計算しようとする方向についてスパン数が構面ごとに異なる場合は、そのうち最も少ないスパン数に基づき判断する。

なお、外形的な要件としてスパン数を3以上としているが、転倒シナリオの状態3との対応の観点では、一部の杭（構面）への負担の集中が問題であることから、上記（b）の柱の軸力分担の判断と合わせて、「1スパンまたは軸力に偏りがある2スパン」をこの条件に該当しないものと判断することもできる。図1.6の2スパンのような状況であり、計画上是スパン数が2であっても、転倒の過程においては実質1スパンとして扱うことが適当な場合があると考えられる。これは、架構端部の支点で地震時に支点反力がゼロとなることが容易（明らか）なものについては除外してスパンを判断することに相当する。ここで「容易」の判断としては、法令で想定する中地震相当の外力($C_0=0.2$)を原則とする。

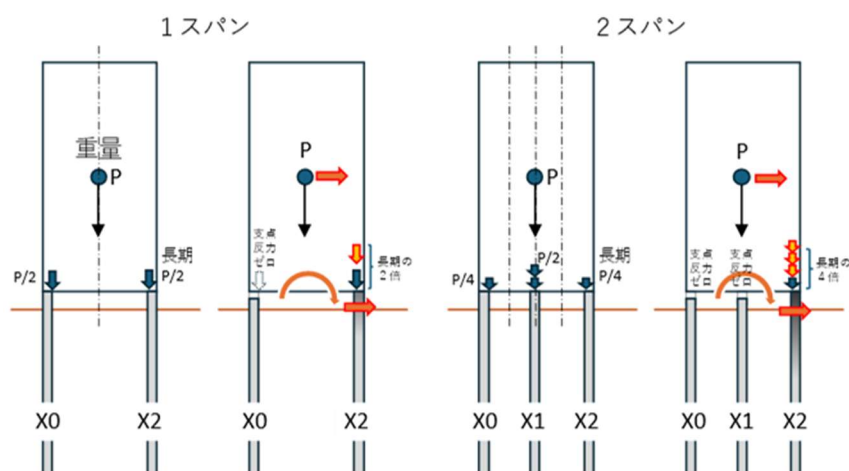


図1.6 スパン数と支持条件

第2章 基礎ぐいを有する建築物の転倒可能性の検証

2. 1 検証の基本方針

- (1) 基礎ぐいを有する建築物は、地震によって転倒メカニズム（建築物の基礎ぐいの破壊による特定の構面における基礎の鉛直支持力の不足等により著しい沈下や傾斜を生じることその他の要因によって建築物の全体が転倒に耐えられなくなる状態をいう。）に達する可能性の低いものとしなければならない。
- (2) 転倒メカニズムに達する可能性の低いことの確認は、原則として、以下のいずれかによる。ここで基礎ぐいや地盤等について適切な補修、補強を行った場合については、その効果を算入することができる。
- ①良好な地盤の確認（杭の支持力に期待しない直接基礎的な支持力の検討）
 - ②基礎ぐいの性能の確認（杭の損傷を生じても支持力を容易に喪失しないことの検討：
1. 2 (1) 項の基礎に関する条件(a) (b)に対応）
- (3) 基礎ぐいの耐震性能や地盤の支持力についての特別な調査又は研究に基づき、基礎ぐいを有する建築物が地震時に転倒を生じないことを確かめた場合は、この限りでない。

【解説】

5 (1) 転倒メカニズム

平成 19 年国土交通省告示第 594 号において、建築物の保有水平耐力の確認にあたり、「全体崩壊形」「部分崩壊形」「局部崩壊形」の三つを定めているが、建築物の転倒については触れていない。この点について、基準解説⁸⁾では、浮き上がりによって保有水平耐力が支配される可能性はあるものの評価が難しいため、浮き上がりによる転倒、つまり建物の重心が持ち上がるような現象をイメージして、

10 別途転倒を防止するための検討（同告示第四号の、塔状比が 4 を超える計画についての極限支持力の検討）を位置付けたとしている。

今回、実際に建築物の転倒被害を生じたことや現地調査等で観測された被害の形態を踏まえ、本指針では建築物全体の沈み込みを伴う傾斜・転倒を新たな崩壊形と見なし、転倒メカニズムとして「建築物の基礎ぐいの破壊による特定の構面における基礎の鉛直支持力の不足等により著しい沈下や傾斜

15 を生じることその他の要因によって建築物の全体が転倒に耐えられなくなる状態」と規定した。

(2) 転倒メカニズムに関する確認

上記のとおり、転倒メカニズムとは、転倒シナリオの状態 4 に示したような、転倒に係る限界の状況を想定したものである。本章では、表 2.1 に示す通り、「①良好な地盤」については杭に期待しない

20 直接基礎的な地盤の鉛直支持性能の確認を行い、「②基礎ぐいの性能」については第 1 章で示した「基礎ぐいに関する条件」の構造計算による確認を行うこととした。本章の構成を本文との対応で図 2.1 に示す。第 1 章の検討と同様、いずれかの項目について確認できればよいが、満足する項目が多いほど、転倒メカニズムを回避する上では有効と考えられる。

表 2.1 転倒メカニズムに関する検討項目の分類

確認事項	検討項目	検討の目的（転倒への対処）
①良好な地盤	直接基礎的な支持力	杭に期待しない支持力の確保
②基礎ぐいの性能	(a) 杭の耐震設計の実施 (b) 靱性能の高い杭の使用	杭の損傷を生じても支持力を容易に喪失しない 変形性能の確保（１．２（１）項(a)(b)に対応）

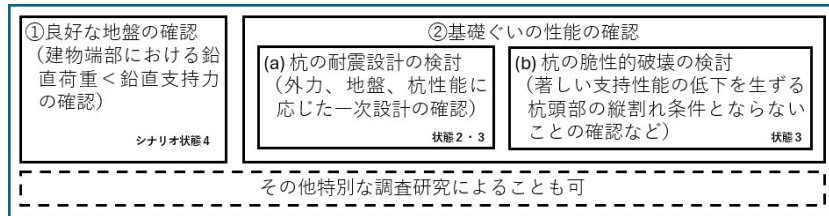


図 2.1 STAGE2（第2章）の記載事項

5 なお、既存建築物について現状のままこれらの条件に該当することは想定しておらず、必要な補修・補強を行った場合には、その効果を算入できることを規定している。補修・補強等の対策については、第3章において示す。

10 基礎又は地盤の対応を行うことで、規定上は基礎に関する条件を達成できることになるが、上部構造の計画的な部分が解消されるわけではない。可能な限りバランスの良い計画となるよう、上部構造についても配慮することが望ましい。

（３）特別な調査・研究

15 基礎ぐいを有する建築物の転倒に関しては、本資料で示したような比較的簡易な判断基準によらず、地盤や杭を適切にモデル化した詳細な解析（動的FEMなど）を用いて、地震時に基礎に過大な沈下が生じないことや、建築物が転倒しないことを直接確認することも考えられる。また、現状では困難と思われる状態4の検証も、今後の知見の蓄積によって可能となることも想定される。そこで、基本方針にはただし書きを設け、今後の技術の発展に備えることとした。なお、こうした高度な検証による場合は、第三者による評価を取得することが望ましい。

2. 2 良好な地盤の確認（直接基礎的な支持力確保の検討）

- （１）良好な地盤であることについては、転倒を生ずる方向における基礎ぐいの支持力は考慮せず、建築物の底面における地盤の支持力が転倒の防止上有効な数値以上であることを確認する。原則として、沈下に伴う根入れ効果の増大は考慮しない。
- （２）地盤の支持力は、地盤調査等に基づき適切に設定する。
- （３）基礎ばり、基礎ぐい、パイルキャップ及び床スラブの寸法等については、必要となる各部分の調査に基づき適切に設定する。

【解説】

（１）支持力に関する検討の内容

25 本規定に基づく地盤の支持性能の確認は、変形性能の乏しい杭が容易に破壊し、結果として杭の支持力に全く期待しないことを前提としている。杭頭の損傷の状況によっては、接触により鉛直力（圧

縮力) だけは伝達できるような場合も考えられるが、1. 2 (2) (a) 項でも記したとおり、相当の深さまでそのような現象が期待できない可能性もあることから、原則として支持力に考慮しないものとする。また、地震動(水平力)は考慮せず、自重の作用のみ考慮すればよい。ただし、地震後の支持力の検証であるため、地盤の液状化について考慮する。国土交通省のハザードマップポータルサイト⁹⁾や、液状化や地盤条件に関するハザードマップを自治体が整備していれば、それを参照することができるが、活用にあたっては前提となる地震レベルとの対応に注意が必要である。

検討にあたっては、図 2.2 に示す片側のみの支持力喪失(杭のない状態)を、原則としてXY方向・正負それぞれ仮定する。また、傾斜のない状況を起点とした確認とし、傾斜挙動が始まらなければよいこととする。このとき、転倒現象であることを考慮して、最も転倒しやすい場合の杭の支持力喪失や、転倒の回転軸を定めて地盤の支持力を評価するが、必要に応じ複数の仮定を設ける。例えば、転倒被害を生じた建築物で見られたように転倒の中心が構面の端部でなく内部に移動することもあり得る。これは、多スパンで地震時に杭に作用する荷重外力やそれによる被災状況がパイルキャップごとに異なり、中間の通りの杭に一定の鉛直支持力が残存することとなった結果、中間の杭を支点とする形で回転中心が内部に移動して片側が浮き上がる形となったものと考えられる。また、上部構造の荷重に偏りがある場合、沈下に伴って傾斜も進行し、片側に上向きの変位が生じるとの報告もある²⁾ 第Ⅱ部 5.5 節。このような場合は、さらに一部の構面に荷重が集中することとなるため、注意が必要である。

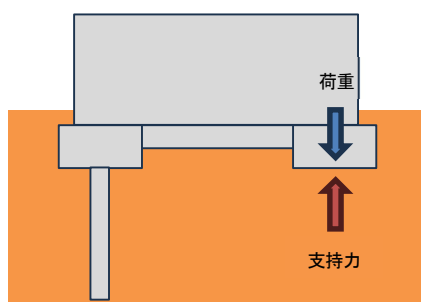


図 2.2 片側のみの支持力喪失

支持力の計算において、沈下に伴う根入れ効果は、将来的な周囲の掘削も含め前提を担保することは困難であるため、原則として算入しないこととした。なお、詳細な検討等に基づき算入できるとした場合でも、図 2.3 に示す被害事例のように内部空間を地盤が押し上げるような形になることから、階高に迫るような沈下量を想定することは安全上避けるべきである。



図 2.3 建築物の沈下に伴う床版の持ち上がり⁷⁾

上記のとおり、基礎ぐいの支持性能喪失後の基礎ばりやパイルキャップによる直接基礎的な支持条件に対して確認を行う。

検証に当たっては、建物荷重と極限支持力から下記の式(2.2)を満たすことを確認する。参考として、荷重と支持力の関係に応じたリスクの程度を併記した。本指針では地震直後の検討として極限支持力が建物荷重を超えていればよいこととしたが、転倒に対するリスクを低減するためには、建物荷重を上回る短期支持力を確保しておくことが望ましい。

$$\text{建物荷重} \leq \text{短期支持力} \rightarrow \bigcirc \text{ (リスク : 低) } \cdots (2.1)$$

$$\text{短期支持力} < \text{建物荷重} \leq \text{極限支持力} \rightarrow \triangle \text{ (リスク : 中) } \cdots (2.2)$$

$$\text{極限支持力} < \text{建物荷重} \rightarrow \times \text{ (リスク : 高) } \cdots (2.3)$$

なお、後述する通り、構造床による補強を採用する場合には、支持条件の実績等を考慮し、支持力を一定の安全率 α （当面は1.1程度とする）で低減するなどの配慮が必要である。

（２）地盤調査等に基づく支持力の設定

地盤のN値等の情報について、（一財）国土地盤情報センター（NGiC）¹⁰⁾や国土交通省の国土地盤情報検索サイト（KuniJiban）¹¹⁾などにおいて近隣の調査が行われていれば、それらを用いることも考えられる。その際、たとえば支持力確認に必要となる程度の情報が得られればよく、さらに深い支持層までの調査の必要はない。

極限支持力は、基礎指針(2019)に基づいて評価することを原則とする。この時、一つの建物の検証において粘着力に基づく評価と内部摩擦角に基づく評価を混在することは不可とする。その他、支持力の計算に当たっては各パイルキャップ、基礎梁に鉛直荷重のみ作用するものとし、各パイルキャップ間の相互作用は考慮しなくてよい。各パイルキャップ、基礎梁の鉛直荷重は、パイルキャップ、基礎梁の接地面積を考慮し、建物荷重を分配することができる。

支持力については、地盤調査等の実況によることが原則であるが、表2.2に示す建築基準法施行令第93条の表に規定された数値を適用することもできる。地盤の長期許容支持力度（許容応力度）に基づいて、短期許容支持力度は長期許容支持力度の2倍、極限支持力度は長期許容支持力度の3倍とする。表のうちいずれの地盤に該当するかについては、建築士が目視などで判断する。

表 2.2 地盤の許容支持力度（許容応力度）

（地盤及び基礎ぐい）

第93条 地盤の許容応力度及び基礎ぐいの許容支持力は、国土交通大臣が定める方法によつて、地盤調査を行い、その結果に基づいて定めなければならない。ただし、次の表に掲げる地盤の許容応力度については、地盤の種類に応じて、それぞれ次の表の数値によることができる。

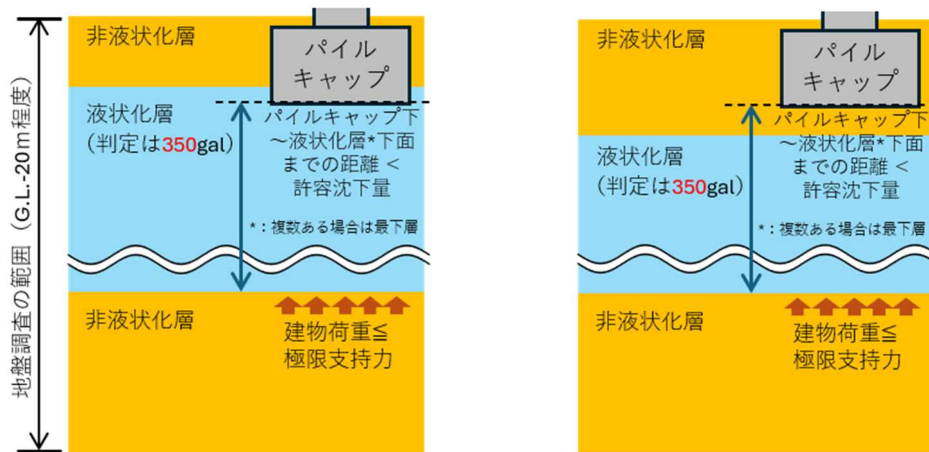
地 盤	長期に生ずる力に対する許容応力度(単位 1平方メートルにつきキロニュートン)	短期に生ずる力に対する許容応力度(単位 1平方メートルにつきキロニュートン)
岩盤	1,000	長期に生ずる力に対する許容応力度のそれぞれの数値の2倍とする。
固結した砂	500	
土丹盤	300	
密実な礫層 ^{れき}	300	
密実な砂質地盤	200	
砂質地盤（地震時に液状化のおそれのないものに限る。）	50	
堅い粘土質地盤	100	
粘土質地盤	20	
堅いローム層	100	
ローム層	50	

さらに、液状化の考慮にあたっては、パイルキャップ下部の状況に応じ、以下の①②のいずれかに基づき判断する。地盤調査の範囲は G.L. -20mとし、液状化層厚の判断に用いる地表面加速度の設定は 350gal とする。許容沈下量は図 1.4 に示した通り基礎幅とアスペクト比で決まる（建築物の重心が支点より内側であれば転倒しない）とする。

①パイルキャップの沈下量の検討

この検討では、パイルキャップ直下の状況に係わらず、液状化層下面までパイルキャップが沈下するとしている。

図 2.4 に示す通り、パイルキャップ下面から液状化層下面までの距離が許容沈下量よりも小さく、液状化層下部の地盤（非液状化層）について、パイルキャップ直下の荷重（建物荷重）が非液状化層の極限支持力以内であればよい。実際は沈下する範囲あるいは液状化層の下部には破損した杭があり、余力として働く可能性もあるが、安全側に無視して扱っている。



(a) パイルキャップ直下が液状化層の場合 (b) パイルキャップ直下が非液状化層の場合

図 2.4 液状化に伴うパイルキャップの沈下の想定

- 5 なお、パイルキャップの沈下量は、有効応力解析等の詳細な検討を行って算出することもできる。ただし、パイルキャップ直下が液状化層である場合に沈下量を精度よく計算することは難しく、過小評価とならないよう注意が必要である。この時には、パイルキャップを支持する層のパンチング破壊についても合わせて確認する。また、液状化層と非液状化層が互層となる場合、図 2.4 の沈下量は原則として調査範囲内で最も深い液状化層を対象として計算するが、このような条件では、非
- 10 液状化層の位置や土質によっては、同様に詳細な検討を行って中間の非液状化層の厚さを沈下量から除外することができる場合もあると考えられる。いずれの場合においても、2. 1 (3) 項の特別な調査又は研究として扱い、慎重な確認が必要となる。

②パイルキャップ下部が厚い非液状化層の場合の検討

- 15 図 2.5 に示す通り、パイルキャップ直下が非液状化層で、当該非液状化層の層厚がパイルキャップの幅の 2 倍程度ある場合には、パイルキャップ直下の荷重が非液状化層の極限支持力以内であることを確認すればよいこととする。この場合も、支持層のパンチング破壊について確認を行う。
- また、支持力の確認に代えて、有効応力解析等によりパイルキャップの沈下量が許容沈下量より
- 20 小くなることを確認してもよい。

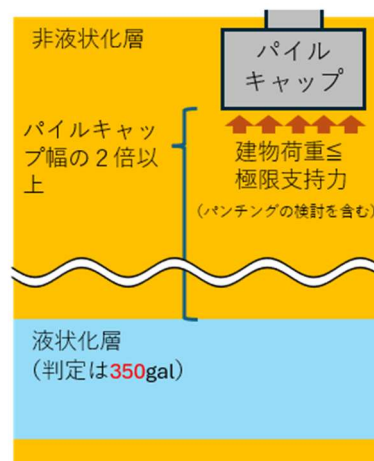


図 2.5 パイルキャップ直下に一定の非液状化層が存在する場合

(3) 基礎部材の調査

転倒に関する検討にあたり、杭の鉛直支持力の喪失を前提に直接的な支持力発現を想定する場合に、基礎ばりやパイルキャップの寸法等が必要となる。この時、構造床による支持力も算入できる。ここでは構造計算書等の図面等の入手が困難である場合を想定し、簡便に寸法等を把握するための方法を示す。なお、既存躯体の地下部分の現況の把握については、以下の資料を参考にすることもできる。

- ・ ベターリビング「基礎構造の耐震診断指針（案）」¹²⁾
- ・ ALLF「既存杭の撤去・埋戻しを考慮した地盤調査ガイドライン」¹³⁾
- ・ 日建連「既存杭利用の手引き ―現在と将来の利用に向けて―」¹⁴⁾

①基礎ばりについて

基礎ばりについては、建物内部から確認できる場合がある。ただし、幅はある程度推測可能としても、せい（埋め込み深さに関連）は困難である場合が多い。根入れの評価上は埋め込み深さを考慮しないことでもよいが、上部構造の部材断面等の調査により構造図の復元を行った上で、たとえば中地震程度の解析を行って短期許容耐力に収まる断面を仮定することで寸法を評価することも可能である。

基礎ばりの外寸を確認するため、建物外部から鋼棒などを用いて触診を行うことも考えられる。

②杭について

杭については、前述の通り、情報がない場合には既製コンクリート杭を仮定することが原則である。図2.6に既製コンクリート杭の杭種、図2.7に杭径の年度別生産実績（いずれも（一社）コンクリートパイル・ポール協会（COPITA）による）をそれぞれ示す。

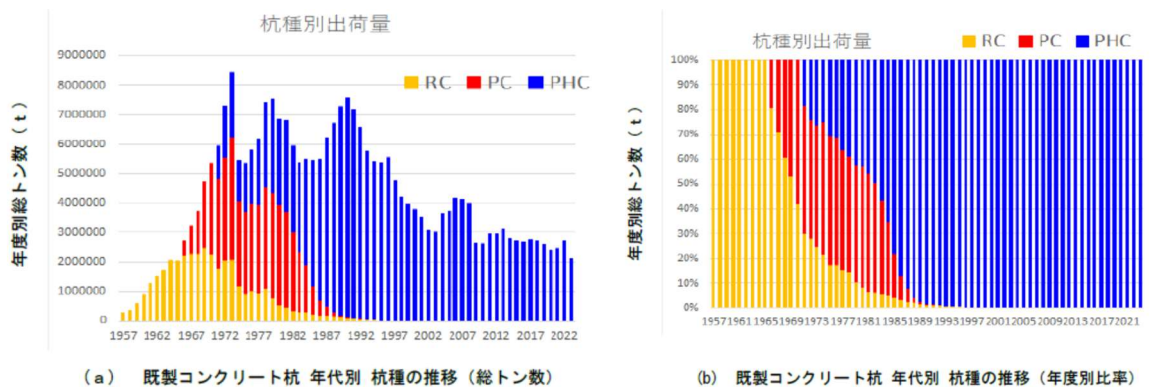


図 2.6 既製コンクリート杭 年代別 杭種の推移（年度計）

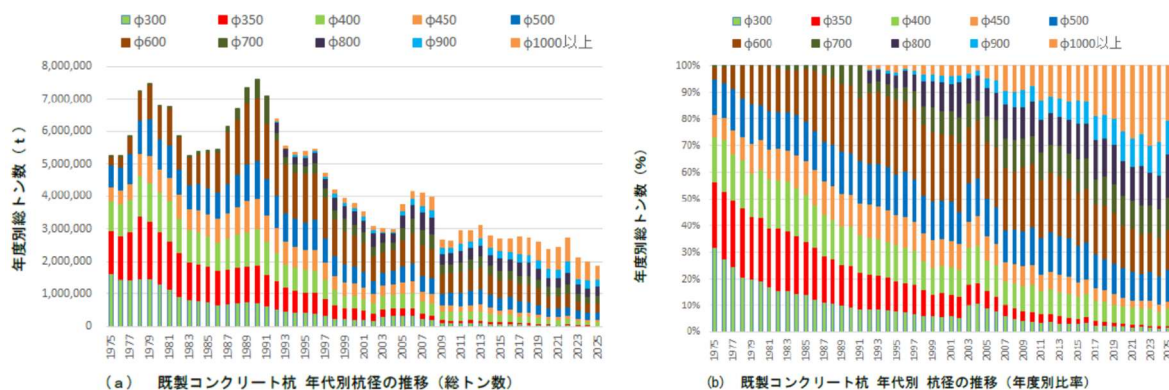


図 2.7 既製コンクリート杭 年代別 杭径の推移（年度計）

杭製品の変遷は、RC杭、PC杭、PHC杭に分けられ、次のようである¹⁵⁾。

(1) RC杭 (1957 - 1980)

- ・ 1960年代の建築用基礎杭は、直径300～400mm位のものが最も多かった。
- ・ コンクリート強度は35N/mm²以上と規定されている。

(2) PC杭 (1965 - 1990)

- ・ 建築に使用されるPC杭は、直径で300～450mmのものが大部分であった。
- ・ コンクリート強度は50N/mm²以上と規定されている。

(3) PHC杭 (1980 - 現在)

- ・ 建築に使用されるPHC杭は、1985年位以前ならば直径で500mm以下が主であった。
- ・ コンクリート強度は80N/mm²以上と規定されている。
- ・ 有効プレストレスが4.0N/mm²以下のものはコンクリート強度80N/mm²以上、4.0N/mm²を超えるものはコンクリート強度85N/mm²以上となっている。

施工法に関しては、次のような変遷であった。

- ・ 既製コンクリート杭の黎明期からRC～PC杭の打撃工法時代 1930年～1970年
- ・ PC杭～PHC杭 (Fc=85N/mm²) の認定工法、埋込み工法時代 1970年～2000年
- ・ PHC杭 (Fc=105N/mm²) の高支持力工法、埋込み工法時代 2000年～

したがって、実態を考慮すれば、既製コンクリート杭としてφ350程度を想定することでよいと考えられる。こうした杭は概算的に例えば1本あたりの支持力35t (SI化以前の表現) などが用いられている場合があり、支持杭であれば柱の支点反力 (基礎ばり・パイルキャップの自重も考慮) に応じて本数を設定することが考えられる。

なお、パイルキャップの面積を杭径から概算する上では、杭本数は少ない方が安全側の評価となる点に注意が必要である。

参考として、場所打ちコンクリート杭についても、(一社)日本基礎建設協会 (日基協) による生産状況の実績を示す。

場所打ちコンクリート杭の施工法の変遷を図2.8に、工法・年代別の本数及び杭径の推移を図2.9、図2.10に示す。なお、拡底杭の評定がリバース工法1971年、アースドリル工法1984年から始まっており、それ以降評定工法として、最大拡底径4.1m (有効径4.0m) クラスの杭も出現している (現在、評定での上限なし)。



図2.8 場所打ちコンクリート杭工法の変遷¹⁶⁾

	本数														
工法	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022
アースドリル	34,482	22,886	23,424	27,270	28,025	28,485	23,933	21,034	20,641	20,586	21,253	19,184	14,507	14,464	16,999
リバース	487	480	480	668	496	363	711	896	436	602	562	110	139	99	171
オールケーシング	12,194	10,866	11,211	10,973	10,034	13,451	13,250	11,878	13,430	11,959	13,417	12,956	10,098	7,283	8,786
その他	2,486	1,919	1,929	3,192	2,027	358	796	537	577	270	247	297	69	159	924
計	49,649	36,151	37,044	42,103	40,582	42,657	38,690	34,345	35,084	33,417	35,479	32,547	24,813	22,005	26,880

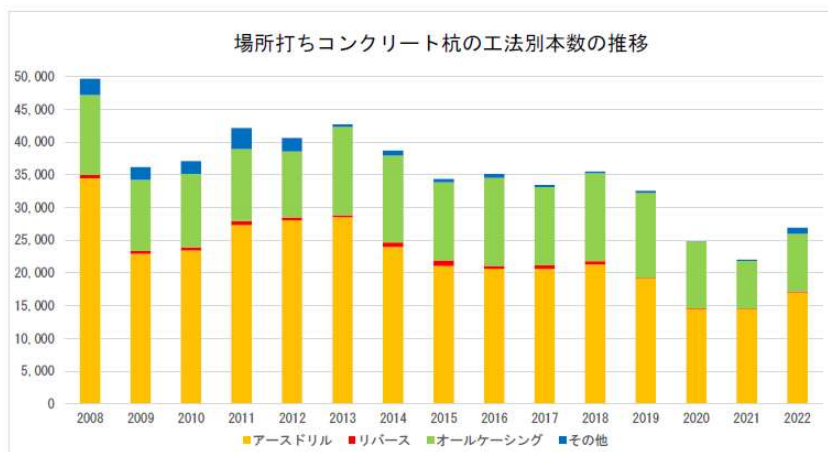


図 2.9 場所打ちコンクリート杭 年代別 杭本数の推移 (本)

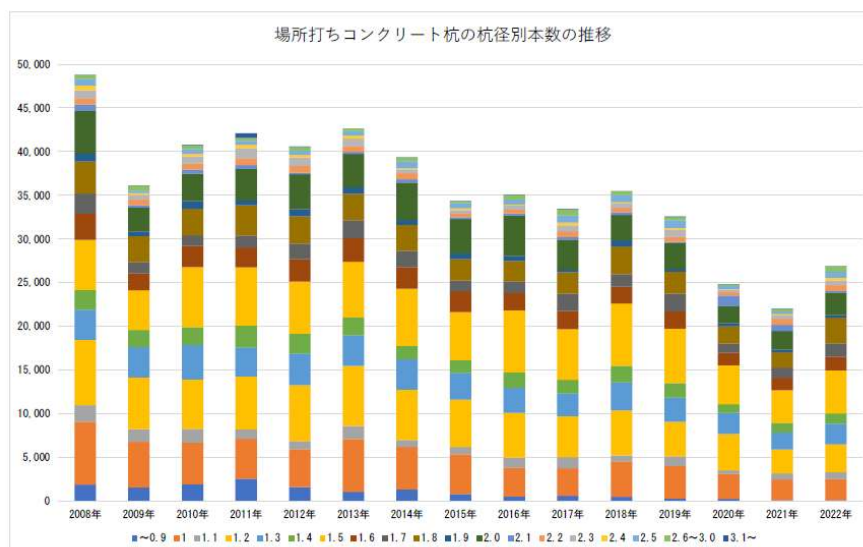


図 2.10 場所打ちコンクリート杭 年代別 杭径の推移 (本)

また、場所打ち杭のコンクリート強度の推移は、図 2.11 の通りである。なお、場所打ち杭に使用されるコンクリート強度と許容応力度は、表 2.3 に示した通りの変遷があり、上部構造に用いるコンクリートの場合の係数 1/3 に対して基礎ぐいでは 1/4 から始まり、1/5、1/4.5、1/4（評定工法）に分かれている。

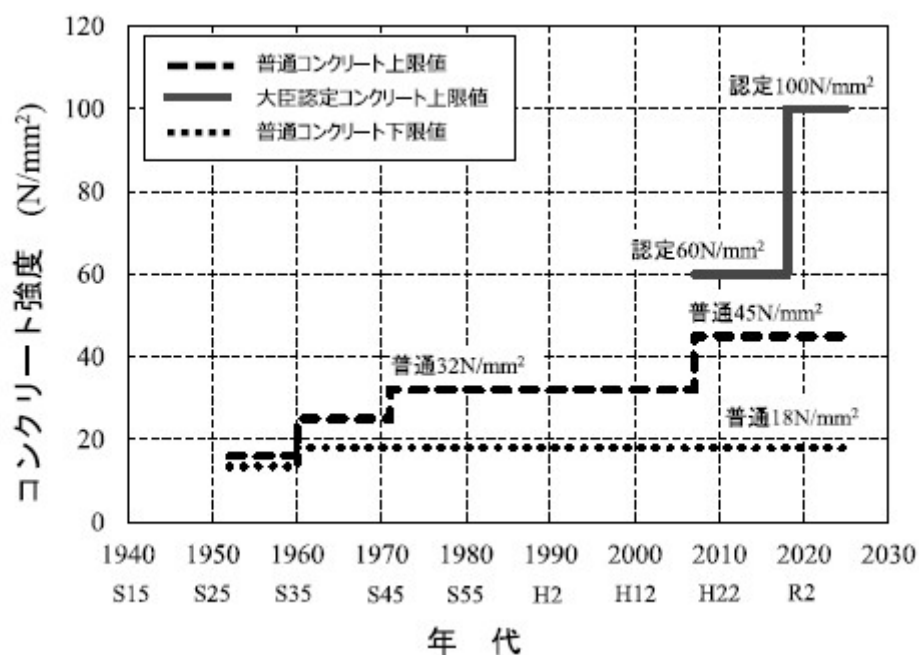


図 2.11 場所打ち杭のコンクリート強度の上限値と下限値の推移^{1 7)}

表 2.3 場所打ち杭に使用されるコンクリート強度と許容応力度の変遷^{1 7)}

出典年	コンクリート強度	許容圧縮応力度		出典
S27	135～160kg/cm ²	4週強度の1/4かつ40kg/cm ² 以下		規準※1
S35	180～250kg/cm ²	核を有しない場合	4週強度の1/5かつ50kg/cm ² 以下	規準※1
	180～240kg/cm ²	鋼製の外皮を有する場合	4週強度の1/4かつ60kg/cm ² 以下	
S46.8	240～320kg/cm ²	設計基準強度の1/4かつ80kg/cm ² 以下		評定※2
S53.6	180～320kg/cm ²	設計基準強度の1/4かつ80kg/cm ² 以下		評定※3
S53.11.7	180～250kg/cm ²	水または泥水がある状態	設計基準強度の1/5かつ50kg/cm ² 以下	住指発第806号
	180～240kg/cm ²	水または泥水がない状態	設計基準強度の1/4かつ60kg/cm ² 以下	
S59.11.1	180～270kg/cm ²	水または泥水がある状態	設計基準強度の1/4.5かつ60kg/cm ² 以下	住指発第392号
	180～280kg/cm ²	水または泥水がない状態	設計基準強度の1/4かつ70kg/cm ² 以下	
H13.7.2	18～27N/mm ²	水若しくは泥水を使用しない	設計基準強度の1/4.5かつ6N/mm ² 以下	告示第1113号
	18N/mm ² ～	水若しくは泥水を使用する	設計基準強度の1/4以下	
H19	最大60N/mm ²	設計基準強度の1/4以下		評定※4
H30	最大100N/mm ²	設計基準強度の1/4以下		証明※5

※1:建築基礎構造設計規準 ※2:日本建築センター（BCJ）評定OJP工法

※3:BCJ評定SH工法 ※4:BCJ評定TMB工法 ※5:ベターリング審査証明TMB工法

③パイルキャップについて

パイルキャップについては、構造耐力の観点以外に、施工仕様上で杭配置に関する規準が設けられている場合があり、建設された当時の基規準類を参照して寸法（特に下面の面積）を設定する。例えば杭相互の間隔については、打込み杭では杭径の2.5倍、埋込み杭及び場所打ち杭では杭径の2倍とする、また、パイルキャップからのへり空き（基礎スラブの端から杭の中心までの距離）については、打込み杭及び埋込み杭では杭径の1～1.5倍程度、場所打ち杭では杭径の0.5倍+100mmとするなどが一般的である。これと、前述の杭本数との関係でパイルキャップ下面の寸法を概算することが可能である。

なお、敷地境界等との取り合いの関係で、パイルキャップと柱の心が一致していないことがある。そのような場合は、通常、パイルキャップの中心が柱心（構造心）より内側に入っていることが多く、転倒の検討を行う上で、抵抗モーメントを過大に算定しないよう、適切に設定する必要がある。

④床スラブについて

杭基礎である建築物の場合、通常は1階の床（直接土に接する部分）は構造スラブとせず、いわゆる土間コンクリートとすることが多いが、構造スラブであれば、耐圧版として沈下や転倒時の地盤反力を支えることが可能な場合がある。対して、一部だけ構造スラブであることが転倒を助長する可能性もあり、床スラブの構造性能についても、調査を行うことが望ましい。

構造スラブかどうかの判定は、必要な配筋が行われているかどうかを、部分的な斫りや非破壊調査により確認して行うことが考えられる。

2. 3 基礎ぐいの性能確認

基礎ぐいの性能については、地震時に杭の損傷を生じても支持力を容易に喪失しないものであることとして、以下のいずれかについて確認する。

(a) 杭の耐震設計について、一次設計を満足すること

(b) 靱性能の高い杭であることについて、地震時に脆性的破壊を生じないことを確かめること

【解説】

地盤の支持性能に期待できない場合でも、著しい沈下を生じないような杭の性能が確保されていればよい。表2.1に示す通り、基礎ぐいに関する条件（1. 2（1）項(a)、(b)）に対応するものとして、杭の耐震設計または杭の靱性的破壊についての検討を行う。

(a) 杭の耐震設計（一次設計）の検討

ここでいう耐震設計とは、1. 2（1）(a)項の解説にあるように基礎の一次設計であり、被害の実態を考慮して、中地震時の検証を適切に行うことで、転倒メカニズムを防止できることとした。なお、上部構造の許容応力度計算までを厳密に求めているわけではなく、基礎及び基礎ぐいに作用する荷重及び外力を適切に評価できればよい。また耐震改修促進法に基づく設計が行われていれば、その結果を活用することもできる。

上記のとおり中地震時を想定した一次設計により、1. 2（1）(a)項で耐震設計の代替のチェックとして示した二点ヒンジとしないことの確認も行うことができる。ただし不確定要素に配慮した複数の検討は必要である。さらに、基礎ぐいの設計に当たっては一本杭の検討として各杭共通の条件が

設定されることも多いが、杭の損傷後の状況を想定する上では、基礎指針(2019)に示された群杭フレームモデルなど、個々の杭の条件の違いを考慮できる方法によることが望ましい。

(b) 杭の靱性的破壊の検討

- 5 前項の基礎ぐいの一次設計のほか、1. 2 (1) (b) 項の杭の靱性能に対応して、「大地震時に圧縮側（一部の杭）に負担が集中し、著しい鉛直支持性能の低下や過大な沈下等につながる破壊が生ずるか」を具体的に確認する検証を行うことでも、転倒メカニズムを防止できることとした。この時、地盤条件、地盤変位など、個別に条件を確認し、日本建築学会「基礎部材の強度と変形性能」¹⁸⁾に基づく検討を行う。ただし、特に既存建築物で多く用いられているP C杭については評価式の適用性が明らかでなく、実際の適用は2. 1 (3) 項の特別な調査・研究によることになると考えられる。今
- 10 後の知見の蓄積が求められる。

第3章 転倒に関する対策とその効果

3. 1 基本方針

転倒の可能性の検証の結果明らかとなった、転倒シナリオに応じた対策を講じて転倒の可能性を低減する。

状態2：杭の有害な損傷（破壊）・・・・・・・・・・杭の有害な損傷の防止

状態3：一部の杭への負担の集中・・・・・・・・・・杭の負担の集中の低減

状態4：支持力の不足に起因する建築物の著しい沈下（傾斜）・・・・直接基礎的支持力の確保

【解説】

- 5 第2章では建築物の転倒リスクを詳細に検証するため、第1章の基礎に関する条件を想定し、地盤及び基礎ぐいそれぞれについて対応する検討方法を示した。

第3章では、第2章において転倒の可能性が高いとされた場合の対策として、図3.1に示す通り、転倒シナリオに対応する状態のいずれかまたは複数を改善するため、杭の補修・補強、地盤改良などによって転倒に対して抵抗する方法について示す。

10

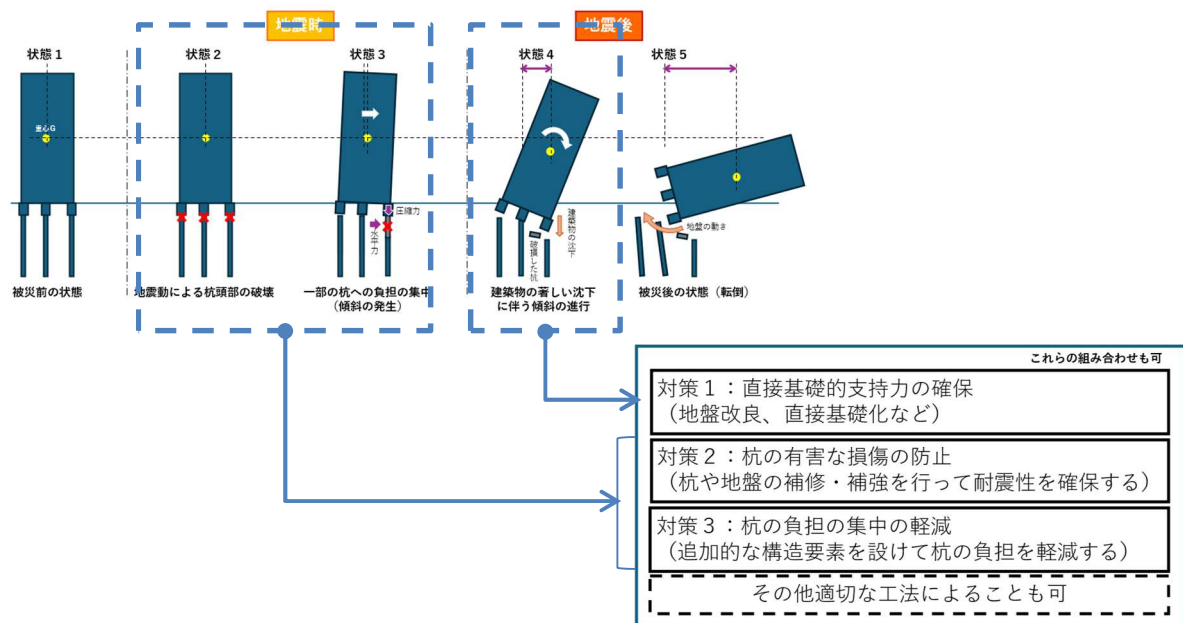


図3.1 STAGE3（第3章）の記載事項と転倒シナリオ（図2.1）との対応

- 15 第3章の検討において必要な調査は、設計施工を実施するために十分なものとなるよう、一般的な基規準類を参照する。

3. 2 対策工法の選定と実施

転倒の可能性が高いとされた要因に応じ、適切な工法を選定し、設計施工を行う。

【解説】

杭基礎の補修・補強に関して、ベターリビング「基礎構造の耐震診断指針（案）」⁸⁾では、図 3.2 に示す通り、補強工法が紹介されている。また、過去の震災における復旧や耐震診断及び改修に関する検討事例^{19・20)}等も参考にできる。これらは、直接的に転倒を防止するために行われたものではないと考えられるが、以下に、過去の補強・対策事例について代表的なものを紹介する。

5

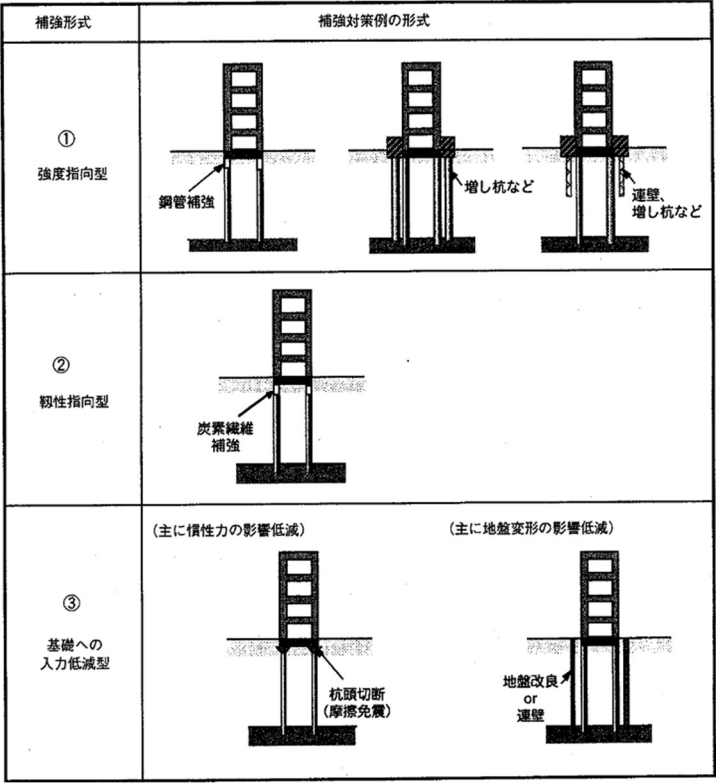


図 3.2 杭基礎の耐震補強工法の例

・地震動による杭頭部の有害な破壊が生じないための対策

10 (1) 杭頭の補強

パイルキャップを増し打ちする²¹⁾、杭頭部に鋼管を巻く²²⁾など、不足する強度、剛性等を直接補うものである。また、杭頭部周辺の地盤改良を行う際に、こうした補強効果を兼ねる事例²³⁾も存在する。

15

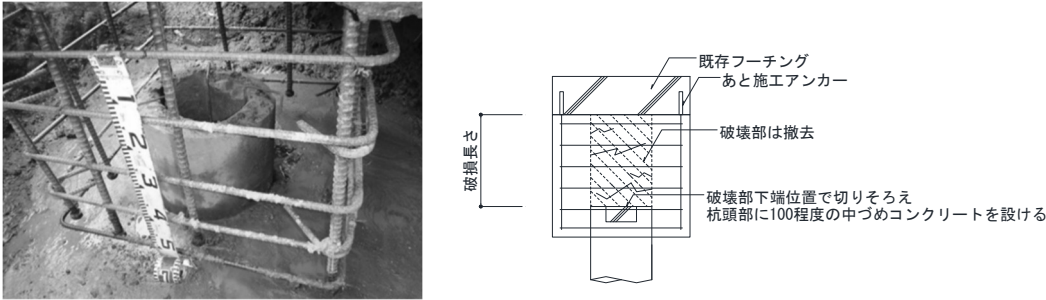


図 3.3 パイルキャップの増し打ちによる杭頭の補強²¹⁾

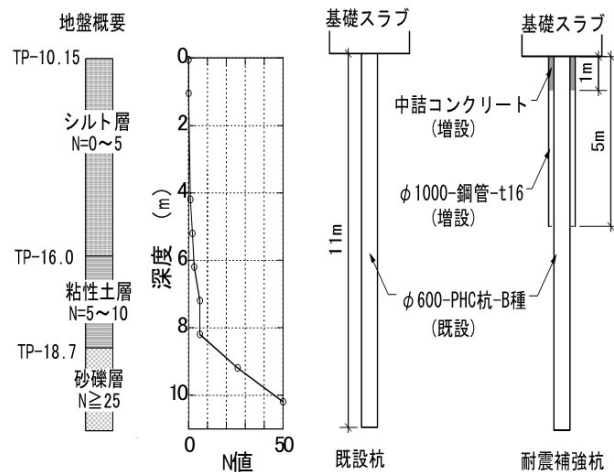


図 3.4 既設の杭の上部に鋼管を被せた耐震補強杭^{2 2)}

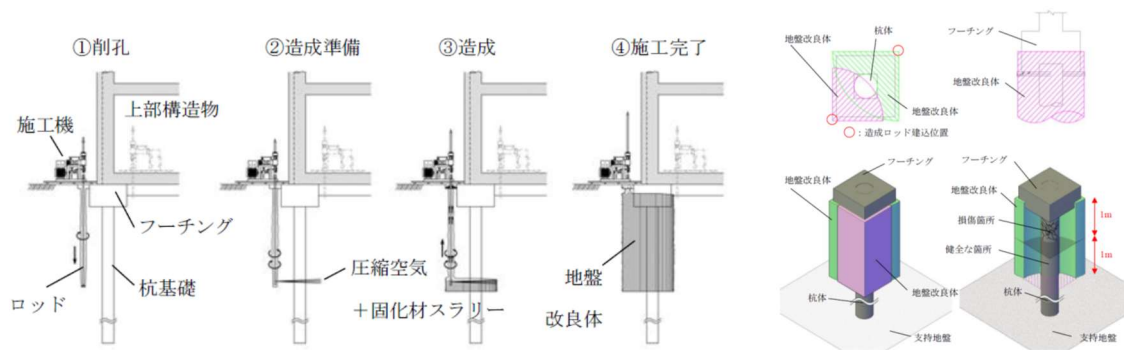


図 3.5 地盤改良（高圧噴射）による杭頭の補強^{2 3)}

(2) 増し杭

既存の杭の負担を軽減するため、新たな杭を増設するものである。通常、建物直下への増設は困難であり、建築物の側面からの施工となる。そのため、塔状比の改善についても期待できる。

- 10 令和 6 年能登半島地震の被災地（輪島市）では、既存建築物の外付けフレームによる耐震補強の実施の際に、増設部にも新たに杭が設けられ、結果として既存の杭についても無被害と判定された事例⁷⁾が見られた。

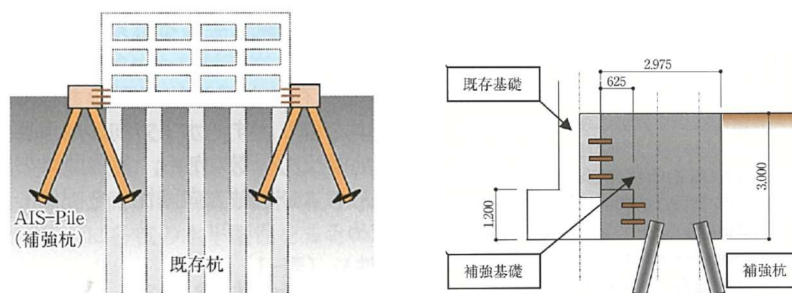


図 3.6 斜杭の増設による補強^{2 0)}

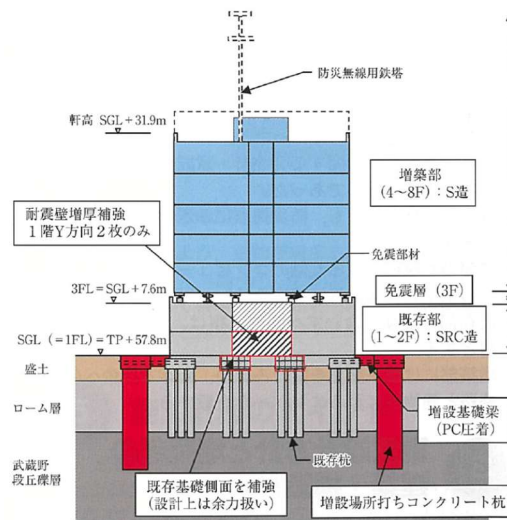
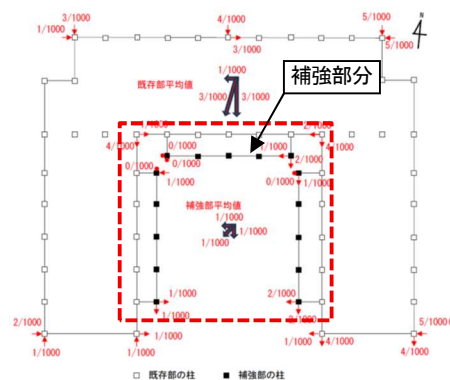


図 3.7 増し杭による補強²⁰⁾



(a) 補強外観 (地上部分のみ)



(b) 平面図

図 3.8 外付けフレーム補強 (直下に $\phi 267.4$ 、羽根径 700mm の鋼管杭を設置) ⁷⁾ 5.3 節に加筆

- ・一部の杭への負担の集中が生じないための対策
- (3) 減築 (塔状比を下げる)

10 建築物の耐震性の向上 (既存躯体の負担の軽減) のために、建築物の上層階を撤去する減築が行われることがある。塔状比を改善し、また、地震時の水平力による軸力変動の影響なども緩和されることが期待できる。



(a) 減築前 (b) 減築後

図 3.9 上層階の減築による改修²⁴⁾

5 (4) 耐震改修（耐震要素の増設に合わせて杭負担を均等に近づける）

上部構造の耐震改修にあたって、本指針にあるような杭の検討を行うほかにも、柱の鉛直荷重の偏りを改善する、減築を組み合わせるなど、上部構造に関する条件の解消も考慮した設計とすることで、一部の杭への負担の集中を避けることが考えられる。

10

・直接基礎的支持力を確保するための対策

(5) 地盤改良（高圧噴射）

構造物の直下の地盤を改良する方法の一つとして、固化剤を地中に噴射して改良体を築造する工法がある。既存の上部構造の内部・外部からの施工が可能である。

15

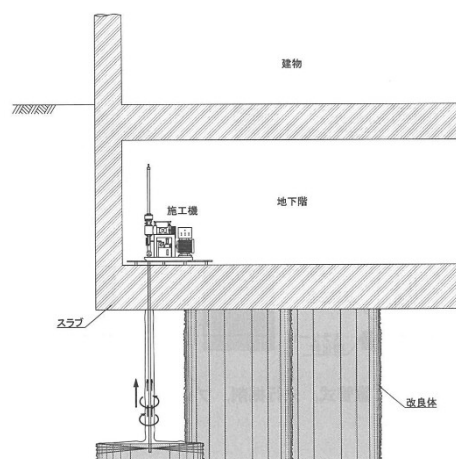


図 3.10 高圧噴射攪拌工法による地盤改良²⁵⁾

(6) 地盤改良（深層・浅層改良）

20

既設構造物の支持力確保としての採用事例は少ないが、液状化対策としてよく用いられている。

(7) 1階の床を構造床にする

杭体の損傷等を防止することはできないが、第1章の基礎に関する条件の解説にある通り、直接基礎的な支持力が確保できていれば、仮に沈下・傾斜といった挙動が生じた場合に、その進行を緩和する効果が高いと考えられる。

- 5 もともと杭基礎を用いているため、地表付近の支持力は小さいことが想定される。そのため、構造床に改修する場合に、直接基礎的な支持力を期待するために地盤改良を併用することが考えられる。

【参考文献】

- 1) 国土技術政策総合研究所：「令和6年能登半島地震における建築物構造被害の原因分析を行う委員会 最終とりまとめ（令和7年12月）」，https://www.nilim.go.jp/lab/hbg/iinkai/notohantouzisinniinnkai/file/251223_torimatome.pdf
- 5 2) 国土技術政策総合研究所・建築研究所：「令和6年能登半島地震建築物被害調査等報告」（第Ⅱ部 地震動等により転倒・沈下等を生じた鉄筋コンクリート造等建築物の被害），国土技術政策総合研究所資料 No.1356，建築研究所資料 No.218，2026.8，<https://www.nilim.go.jp/lab/bcg/siryou/tnn/tnn1356.htm>
- 3) (財)日本建築センター：「地震力に対する建築物の基礎の設計指針 付・設計例題」，1989.11
- 10 4) 国土地理院：航空写真 <https://service.gsi.go.jp/map-photos/>
- 5) (一社)日本建築学会：「建築基礎構造設計指針」，2019.11
- 6) 向井ほか：「大地震後の継続使用性を確保するためのコンクリート系杭基礎構造システムの構造的な評価に関する研究」第3章 既製コンクリート杭（PHC杭，PRC杭）のせん断破壊実験，建築研究資料 No.195，国立研究開発法人建築研究所，2019.10，<https://www.kenken.go.jp/japanese/contents/publications/data/195/index.html>
- 15 7) 国土技術政策総合研究所・建築研究所：「令和6年能登半島地震建築物被害調査等報告（速報）」，国土技術政策総合研究所資料 No.1296，建築研究所資料 No.212，2024.10，<https://www.nilim.go.jp/lab/bcg/siryou/tnn/tnn1296.htm>
- 8) (一財)建築行政情報センター・(一財)日本建築防災協会：「2025年版 建築物の構造関係技術基準解説書」，pp.368-369，2025.6
- 20 9) 国土地理院：ハザードマップポータルサイト <https://disaportal.gsi.go.jp/>
- 10) (一財)国土地盤情報センター（NGiC） <https://ngic.or.jp/>
- 11) 国土交通省：国土地盤情報検索サイト（KuniJiban） <https://www.kunijiban.pwri.go.jp/>
- 12) (一財)ベターリビング：「基礎構造の耐震診断指針（案）」，2013.6
- 25 13) (一社)建築基礎・地盤技術高度化推進協議会：「既存杭の撤去・埋戻しを考慮した地盤調査ガイドライン」，2023.2，http://all-foundations.org/GDL/guideline_dinfo.pdf
- 14) (一社)日本建設業連合会：「既存杭利用の手引き ー現在と将来の利用に向けてー」，2018.11，<https://www.nikkenren.com/publication/detail.html?ci=293>
- 15) 木谷好伸：既製コンクリート杭と施工法の変遷，日本建築学会大会構造部門（基礎構造）パネルディスカッション資料，pp.34-41，2025.9
- 30 16) 三反畑勇：掘削工法の変遷：昭和30年頃以降の場所打ち杭，基礎工 Vol.38，No.11，pp.16-19，2010.11
- 17) 宮本和徹：場所打ちコンクリート杭の施工法の変遷，日本建築学会大会構造部門（基礎構造）パネルディスカッション資料，pp.42-50，2025.9
- 35 18) (一社)日本建築学会：「基礎部材の強度と変形性能」，2022.3
- 19) 二木ほか：「建築基礎の被災度区分判定及び復旧技術例」，建築研究資料 No.90，1997.8
- 20) 総合土木研究所：基礎工（特集 建築基礎構造の耐震診断・耐震改修），Vol.42，No.5，2014.5
- 21) 小林治男：東日本大震災における基礎被害2（関東地方），日本建築学会大会構造部門（基礎構造）パネルディスカッション資料，pp.31-37，2012.9

- 2 2) 青島ほか：鋼管補強した既製コンクリート杭の原位置水平載荷実験，大成建設技術センター報 第 36 号（2003），pp. 15-1～15-5
- 2 3) 島村ほか：高圧噴射攪拌式の地盤改良による損傷杭の補修・補強に関する研究 その 1～その 3，日本建築学会大会学術講演梗概集，構造 I，No. 20322-20324，pp. 535～648
- 5 2 4) スターツ東海株式会社：事例のご紹介 高層物件を減築するという活用方法，
<https://www.starts.co.jp/tokai/case/detail/?id=4>
- 2 5) (一財) 日本建築センター・(一財) ベターリビング：「2018 年版 建築物のための改良地盤の設計及び品質管理指針 ーセメント系固化材を用いた深層・浅層混合処理工法ー」，p. 431，2018. 11