地盤調査と基礎等について

Ver2

平成 23 年 5 月

Copyright© 2011 Real Pro Holdings. Inc All Rights Reserved

はじめに

地盤調査に先立ち、事前に調査地点の問題点を抽出しておくことは、その後の地盤調査や既存建物の不同沈下の原因等の調査を円滑に進める上で、非常に重要です。事前調査は「調査方法の選定」「調査深度の想定」「調査個所数の決定」など、効率的な調査を遂行するためにも、また調査結果を適正に解釈するためにも有益なものとなります。

各自治体でも災害履歴と今後の地震等が発生した際に「液状化が予想される地域」、「津波」、「揺れの大きさ」等の危険とされる災害を地図上に落とした「ハザードマップ」を公表しており、これらは有益な情報源となります。
現地調査では、周辺地の異常として、「電柱の傾き」「道路の波打ち」「家屋の壁や基礎の亀裂」「塀の不陸・傾斜」等を目視する事も重要となります。

特に小規模建築物は中規模以上の建築物のように地盤調査に十分な費用をかける事が出来ないのが実情であり、事前調査は極めて重要なものとなります。

実際に調査を行なった際には、地層区分等のデータや地図資料によるデータが提供されるためここではそれらの説明は割愛しますが、本書は調査方法や調査データの内容を知る上で、欠かせない基本事項を表や図を交えながら、出来る限り平易に解説しています。

更に敷地の地盤にあった杭を選択する事は非常に重要です。杭は地震力による上部構造の破壊を防ぐ、又は被害を軽減させる極めて重要な役割を果たしています。

実際の耐震改修工事や新築工事等を計画される際には、本書と併せて、「耐震診断＆耐震改修に関する用語集」並びに「不同沈下の種類とその対処方法について」を参考資料としてお手元に置いて頂き、適切な工事を円滑に進めて頂く一助になれば幸いです。

以上

2011 年 6 月

Copyright© 2011 Real Pro Holdings. Inc All Rights Reserved

目次

1. 土地の事前調査・・・4
2. 国が定めた地盤の分類・・・7
3. 非常に悪い地形の分類（財団法人日本建築防災協会指針）・・・・・・・・・9
4. 液状化・・10
5. 日本建築防災協会による地盤地形に関する診断法の分類・・・・・・・・・17
6. 地盤と地質の調査・・18
7. 地盤の調査方法・・・21
8. 支持地盤並びに基礎の選定・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・28
9. 直接基礎・・・31
10. 杭基礎・・33
11. 既製杭・・35
12. 場所打ちコンクリート杭（現場造成杭）・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・37
13. 地盤の安定性が懸念される場所における杭基礎について・・・・・・・・・38
14. 杭基礎の被災例・・・39
15. 杭の耐震設計と軟弱地盤への対応について・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・42
16. 基礎スラブ並びに杭頭接合部・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・45
17. 併用基礎・・・47
18. 異種基礎・・・48
19. パイルド・ラフト基礎・・・52
20. 付録（地形・土質による基礎形式・地盤補強の選定例）・・・・・・・・・・54
20. 付録（SWS 試験の貫入抵抗値による基礎形式の選定例）・・・・・・・・・55
20. 付録（土の飽和度）・・56
20. 付録（液状化は繰り返し発生する可能性が高い）・・・・・・・・・・・・・・・・・57
21. 巻末表図索引・・58

Copyright© 2011 Real Pro Holdings. Inc All Rights Reserved

1. 土地の事前調査

建物を新築する、既存建物を購入する、地震に備えて耐震改修工事を行なう、大地震で被災した建物を修復する、といった際に、非常に重要なのが、当該地がどのような地盤で、またどのような地層になっているかという事です。特に小規模建築物においては、限られた予算の中で、判定を行なわなければならず、事前に調査地点の問題点を抽出しておくことが、その後の地盤調査を円滑に行ない、的確な投資判断を行なう重要な鍵となります。特に軟弱地盤においては、液状化による不同沈下といった災害の危険性も高く、これらの被害を最小限に留めるためにも事前調査は何より重要となります。

◆地震と地形及び地盤の関係

地形や地盤によって地震の被害に違いが見られます。以下に地形種別の相対的危険度の予測例を示します。

表 1【地震災害に関する地形種別の相対的危険度の予測例】

比較項目	小さい	←相対的危険度→	大きい
地形	台地	丘陵	低地、地形変化点
造成地	切土地	盛土地	切土盛土の境界付近
台地	段丘面		段丘崖
河成低地	扇状地 自然堤防	蛇行原 河川敷	三角州 後背湿地、旧河道 谷底低地
海岸低地	浜堤・砂丘 海岸洲	砂丘間低地	堤間低地 潟湖跡地
人口改変地			埋立地

参照文献：小規模建築物基礎設計指針

◆ハザードマップの活用

地方公共団体では自然災害に備えて、「液状化が予想される地域」、「揺れの大きさ」、「津波」、「河川の氾濫等による浸水」「内水による浸水」等の情報を「ハザードマップ」として公表しています。各地方公共団体もしくは国土交通省ハザードマップポータルサイト（http://disapotal.gsi.go.jp/）で公開しています。これにより、当該地域の地盤が軟弱地盤であるかどうかの察しがつきます。

Copyright© 2011 Real Pro Holdings. Inc All Rights Reserved

◆地形起源による地域特性

地名はそこに住む人との関わり合いの中で生まれたもので地形を期限とするものが多いので地名で使われる言葉で敷地周辺の地形を知る事が出来ます。特に「サンズイ」が入る地名は軟弱地盤が多いと言えます。但し、区画整理や大規模造成が行なわれた地域やニュータウンと呼ばれる地域は住所表記が変わっている場合が多いので注意が必要です。

旧住所は、図書館等で古い地図を閲覧したり、地方公共団体（市役所等）、物件の登記簿謄本で判ります。

表 2【地形を表す主な言葉や地名例】

地名で使われる言葉	敷地周辺の地形
沼（ぬ、ぬま、ぬり、ぬら、ぬる）	湿地帯
谷、作、裂、迫（さこ）	狭まった場所を表す。谷底低地
洲、須（す）	砂地、砂礫地、砂浜
田（た、でん）	湿地
井の頭（い）	水の集まる所
池（いけ）	湿地、氾濫原
久佐（くさ）	湿地、腐食土、腐って異臭を放つもの
土呂（とろ）	水の滞る所、泥地
深沢（ふかざわ）藤沢（ふじさわ）	湿地、入江
美濃（みの）	湿地
吉原（よし）	葦の生える湿地
淀川（よど）	河水が淀んだ所
浦野（うら）	入江
窪（くぼ）	低地
足立（あだち）	低湿地
浅草（あさくさ）	低地
江戸（えど）	砂洲・干潟
横浜（よこはま）	砂洲・干潟
新潟（にいがた）	砂洲・干潟
井草（いぐさ）	低湿地
稲城（いなぎ）	低湿地
渋谷（しぶや）碑文谷（ひもんや）	低地
雪が谷（ゆきがや）溝の口（みぞのくち）	低地

参照文献：角川小辞典、日本地名辞典、小規模建築物基礎設計指針付録他

Copyright© 2011 Real Pro Holdings. Inc All Rights Reserved

◆地域の植生による推測

植生は表層土の硬軟や水分の含み具合により左右されるため、地域の植生によって地盤状況を推定する事が出来ます。

表 3【植生による地盤の推測】

植生	地盤
竹	竹林を背後に控えた低地側の住宅地は湿潤な軟弱地盤である事が多い。竹は絶えず豊富な地下水が供給される場所を好み、根が浅く横に伸びるので水位が深い場所では群生しない。
灌木	地下水位が浅く、植物が深く根を張る事が出来ない場所
イネ科	湿潤な低地に繁茂する
アシ、ツルヨシ、マコモ、ガマ、コケ類	大抵の場合は、もともと湿地帯である事が多い。
ススキ、チガヤ、ハマヒルガオ、コウボウムギ	砂丘、砂地などの乾燥地
スギ	谷部
アカマツ	尾根部
ヒノキ	中間部

Copyright© 2011 Real Pro Holdings. Inc All Rights Reserved

2. 国が定めた地盤の分類

◆昭和 55 年建設省告示第 1793 号では「地盤が著しく軟弱な区域として特定行政庁が指定する基準」として下記のように地盤の分類を行なっています。

表 4【地盤の分類】

地盤の分類	判断基準	建設省告示第 1793 号
良い・普通の地盤	岩盤、硬質砂れき層その他主として第三紀以前の地層によって構成されているもの又は地盤周期等についての調査若しくは研究の結果に基づき、これと同程度の地盤周期を有すると認められるもの	第 1 種地盤
やや悪い地盤	第一種地盤及び第三種地盤以外のもの（30m よりも浅い沖積層で、埋立地及び盛土地で大規模な造成工事（転圧・地盤改良）によるもので宅地造成等規制法・同施行令に適合するもの）	第 2 種地盤
非常に悪い地盤	腐植土、泥土その他これらに類するもので大部分が構成されている沖積層(盛土がある場合においてはこれを含む。)で、その深さがおおむね 30m 以上のもの、沼沢、泥海等を埋め立てた地盤の深さがおおむね 3m 以上であり、かつ、これらで埋め立てられてからおおむね 30 年経過していないもの又は地盤周期等についての調査若しくは研究の結果に基づき、これらと同程度の地盤周期を有すると認められるもの	第 3 種地盤

参考文献：国土交通省ホームページ、木造住宅の耐震診断と補強方法（日本建築防災協会）

上記地盤の分類の判断材料としては

① 当該地及び付近の地盤調査資料

② ボーリング柱状図（土質及び N 値）

③ スウェーデン式サウンディングによる調査図

④ 地方自治体で作成している地盤図

⑤ 地震ハザードマップ

⑥ 表 2 及び表 3 で示した地名及び植生

を参考にして下さい。第 3 種地盤の場合には、地震による揺れがより大きくなるとして、木造住宅の壁量を 1.5 倍にする必要がある事からも地震は地盤災害であるとも言え、軟弱地盤に対しては地盤改良等、地盤に対する十分な検討が必要となります。

Copyright© 2011 Real Pro Holdings. Inc All Rights Reserved

◆軟弱地盤に対する国の規定

・平成 12 年の改正建築基準法の木造中心規定の改定では地耐力に応じて基礎を特定する事が定められました。

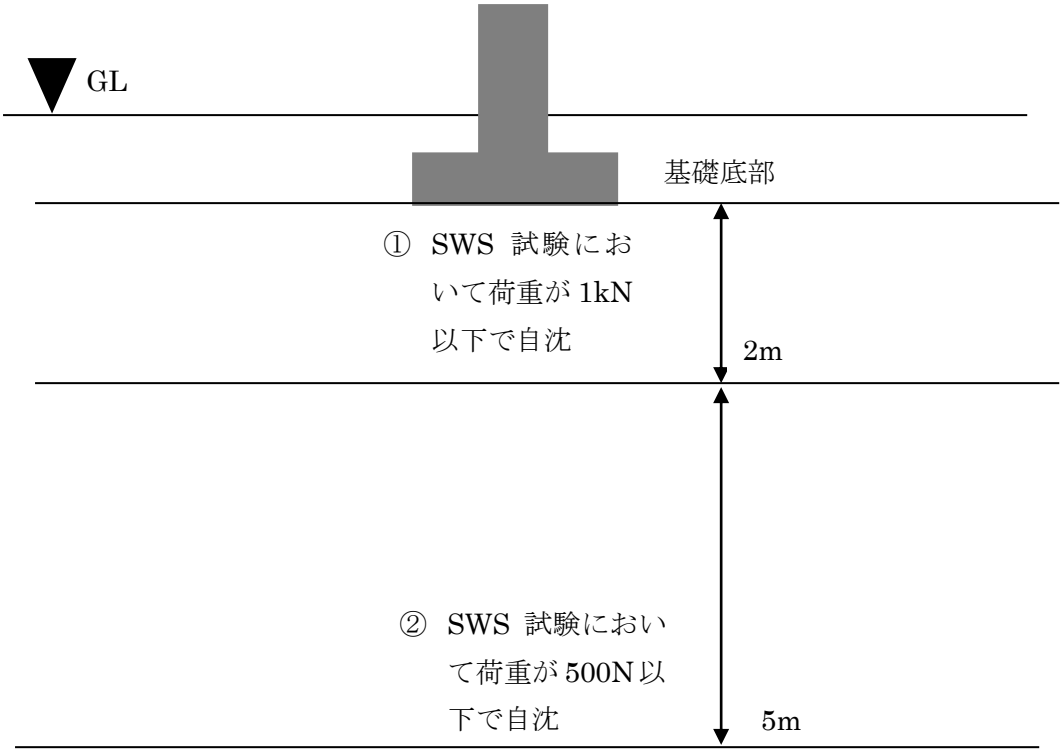
地耐力	20kN/㎡未満	20 kN/㎡以上~30 kN/㎡未満	30 kN/㎡以上
基礎種類	基礎杭	基礎杭又はべた基礎	布基礎も可

・平成 13 年国土交通省告示第 1113 号第 2 項「地盤の許容応力度及び基礎ぐいの許容支持力を求めるための地盤調査の方法並びにその結果に基づき地盤の許容応力度及び基礎ぐいの許容支持力を定める方法等を定める件」第 2 において

「地震時に液状化するおそれのある地盤の場合又は(三)項に掲げる式を用いる場合において、基礎の底部から下方二メートル以内の距離にある地盤にスウェーデン式サウンディングの荷重が一キロニュートン以下で自沈する層が存在する場合若しくは基礎の底部から下方二メートルを超え五メートル以内の距離にある地盤にスウェーデン式サウンディングの荷重が五〇〇ニュートン以下で自沈する層が存在する場合にあっては、建築物の自重による沈下その他の地盤の変形等を考慮して建築物又は建築物の部分に有害な損傷、変形及び沈下が生じないことを確かめなければならない。」と定められています。

図で示すと下記のようになります。

図 1【地盤改良を行なうか杭基礎とする必要がある地盤】



Copyright© 2011 Real Pro Holdings. Inc All Rights Reserved

3. 非常に悪い地形の分類（財団法人日本建築防災協会指針）

非常に悪い地形とは、地震時に地盤自体が破壊して、全体的又は部分的に建築物を支持できなくなる地盤を言います。

表 5【非常に悪い地形の分類】

地形の分類	判断基準
液状化地盤※1	・過去の地震災害において液状化した地盤 ・建築基礎構造設計指針（社団法人日本建築学会）※2 の液状化判定によって液状化の恐れがあるとされた地盤 ・小規模建築物基礎設計指針（社団法人日本建築学会）の砂の液状化簡易判定グラフ※3 により液状化の恐れがあるとされた地盤。 ・その他、砂地盤の細粒土含有率が低く、N 値が小さく、地下水位面が地表面に近く、液状化の恐れがあると判断された地盤。例としては沼地など低湿地をきれいな砂で埋め立てた造成地、旧河道地。ゆるく堆積した沖積砂質低地。
崖地 （隣地を含む）	・過去の地震災害において崖崩れ等が発生し、その補修が未了の地盤 ・住宅造成等規制法・同施行令によるがけで、施行令の技術的基準に適合しない地盤 ・その他、斜面の崩壊（山崩れ、崖崩れ、土砂崩れ、落石）によって倒壊、圧壊、流失の恐れがあると判断された地盤
造成地 （すべり、沈下）	・過去の地震災害において木造建築物が倒壊した盛土地盤 ・住宅造成等規制法・同施行令によるがけで、施行令の技術的基準に適合しない地盤 ・その他の盛土で「非常に悪い地盤」（液状化、不同沈下の恐れのある地盤）と判断された地盤

※1～※3 については、次の「3. 液状化」にて説明します。

Copyright© 2011 Real Pro Holdings. Inc All Rights Reserved

4．液状化（liquefaction）

水で飽和した砂が、振動や衝撃などによる間隙水圧の上昇のためにせん断抵抗を失う現象を液状化又は液状化現象と言います。震度 5 以上の揺れが長期にわたり続くと、軟弱地盤や埋立地において液状化が発生する可能性が高まります。

水道管や下水管と言った軽いものは浮いて地表に飛び出し、重い構造物は沈下します。液状化が直接原因で死者が出た言う事例はほとんどありませんが、建物や道路、水道、ガス、下水等のインフラに大きな被害が出ます。

※1 液状化を起こしやすい地盤

1964 年の新潟地震が契機になり研究が進んだ結果、下記のような発生メカニズムが次第に明らかになりました。

砂地盤の細粒分（74μｍより小さな土粒子）含有率が低い程確率が高い
地下水位面が地表面に近い（5m 以内）程確率が高い 木造住宅の液状化による顕著な被害は地下水位が 2m~3m 以内で N 値が 10 以下
標準貫入試験で得られる N 値の値が小さい程（10 以下）確率が高い

参考文献：木造住宅の耐震診断と補強方法（日本建築防災協会）

※2　建築基礎構造設計指針（社団法人日本建築学会）で液状化の判定を行なう必要があるとしている飽和土は下記の通りです。

表 6【液状化判定対象土層】

土層	土の種類
地表面から 20m 以浅の沖積層	細粒分含有率 35%以下の土
埋立地盤などの人口造成地盤	・細粒分含有率 35%以上の低塑性シルト ・液性限界に近い含水比を持ったシルト
埋立あるいは盛土地盤	粘土分（0.005mm 以下の粒径を持つ土粒子） 含有率が 10%以下、又は塑性指数が 15%以下

表 7【地表変位（D_{cy}）による液状化の指標】

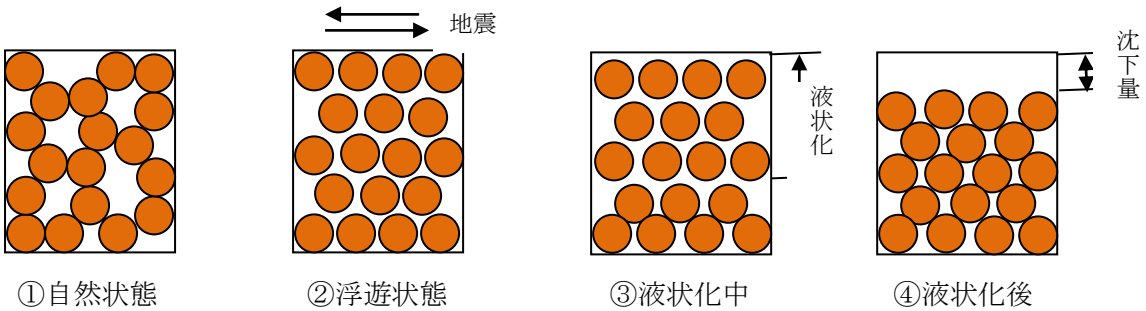
地表変位 D_{cy} （単位：cm）	液状化の程度
0	なし
－05	軽微
05－10	小
10－20	中
20－40	大
40－	甚大

Copyright© 2011 Real Pro Holdings. Inc All Rights Reserved

◆液状化のメカニズム

液状化は下記のような段階を踏んで発生します。

図 2【液状化のメカニズム】



① 液状化前の砂（粒子）が緩く堆積した状態

② 間隙水圧の上昇に伴い、全粒子が浮遊した状態（液状化の瞬間）

③ 上部では液状化が続いているが、下部は終了した状態

④ 全層にわたって液状化が終了し、砂が詰まった状態

液状化の程度及びその被害程度は土の密度によって大きく異なります。緩い砂では、強度や剛性が小さいまま変形が進行し、甚大な被害に繋がるのに対して、密な砂では変形がある程度生じると地盤強度が回復するため、被害も相対的に軽微となります。このような現象を、液状化と区別して「サイクリックモビリティ」と呼びます。

（東日本大震災で液状化した道路：東京都江東区新木場）

Copyright© 2011 Real Pro Holdings. Inc All Rights Reserved

（東日本大震災による液状化で不同沈下した建物：千葉県浦安市）

※3　小規模建築物基礎設計指針による液状化判定について

地震時に液状化しやすい地盤は、地下水位が高く、かつ緩やかに堆積した砂質地盤であり、主に埋立地盤など人口造成地盤や比較的最近に堆積した沖積層がこれに該当します。さらに、埋立地では、砂以外のシルトや礫が多く含まれる地盤でも液状化が発生する場合があります。

小規模建築物の設計の場合は、建築基礎構造設計指針に基づく液状化判定に必要な土質定数を得るための調査や試験が行なわれる事は稀であり、地盤調査としては SWS 試験のみが行なわれているのが実情です。また、小規模建築物のように軽量な構造物の液状化による被害は、過去の地震のデータで見ると概ね地表面から 5m 程度の深さまでの層の液状化に起因しています。これらから、液状化発生の可能性の検討は、地表面から 5m 程度までの地下水で飽和した砂層について行なえば良いとされています。

以上の事から、小規模建築物の設計における液状化の判定は、中地震動（地表面水平加速度 150～200cm/s^2）に対して、下記の表 8「液状化可能性微地形区分」に掲載した概略判定と併せて、簡易粒度分析と地下水位に基づく簡易判定によって行なう事を推奨しています。

Copyright© 2011 Real Pro Holdings. Inc All Rights Reserved

表 8【液状化可能性微地形区分】

液状化の可能性程度	微地形区分
大	自然堤防縁辺部、比高の小さい自然堤防、蛇行洲、旧河道、旧池沼、砂泥質の河原、砂丘末端緩斜面、人工海浜、砂丘間低地、堤間低地、埋立地、湧水池点（帯）、盛土地※1
中	デルタ型谷底平野、緩扇状地、自然堤防、後背湿地、湿地、三角州、砂洲、干拓地
小	扇状地型谷底平野、扇状地、砂礫質の河原、砂礫洲、砂丘、海浜

※1　崖・斜面に隣接した盛土地、低湿地、干拓地、谷底平野の上の盛土を指す。これ以外の盛土地は、盛土前の地形の区分と同等に扱う。

参考文献：小規模建築物基礎設計指針（日本建築学会）

簡易判定法は、沖積層を対象とした土質と地下水位を確認することにより、液状化によって判定する地表面上の変状の程度を推定しようとするものです。具体的には確認した土質と地下水位によって図 2 に基づき、非液状化層 H_1 とその下部の液状化層 H_2 を設定したうえで、図 1 によって液状化の影響が地表面に及ぶ影響を判定します。
これらの判定は、過去の地震で発生した液状化によって、その影響が地表面に及ぶか否か判定方法を示したものから、小規模建築物を対象として、地表面から深さ 5m までの範囲の、表層の非液状化層の厚さ H_1 とその下部の液状化層の厚さ H_2 との関係によって、地表面に被害が及ぶ程度を示しています。
ここで言う非液状化層とは、地下水位より浅い砂層、又は、粘性土（細粒分含有率 Fc＞35%の粒度の土層）を指し、液状化層とは、非液状化層下面から地表面下 5m までの砂層を言います。

◆液状化の問題点

液状化により下記のような障害が予測されます。

① 地盤が支持力を失ったり、見かけの剛性が低下することで、直接基礎の沈下と傾斜を引き起こす。
② 側方流動地盤で生じる動的及び残留水平変位と沈下が杭基礎の被害につながる場合がある。
③ 液状化により土圧が増加し、これに伴い擁壁や地下構造物の被害につながる場合がある。
④ 液状化した土は水の約 2 倍の単位体積重量をもつ液体のようにふるまうため、これより単位体積重量が小さい地中埋設物は、浮力の増加と摩擦力の減少により浮き上がる。

Copyright© 2011 Real Pro Holdings. Inc All Rights Reserved

【液状化の影響が表面に及ぶ程度の判定（地表面水平加速度 200cm/S² 相当）】

図 3【液状化簡易判定グラフ】

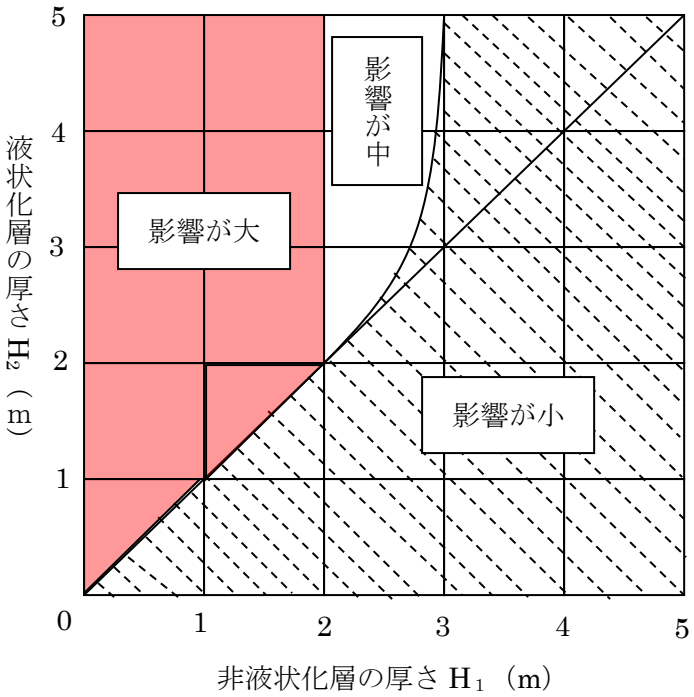
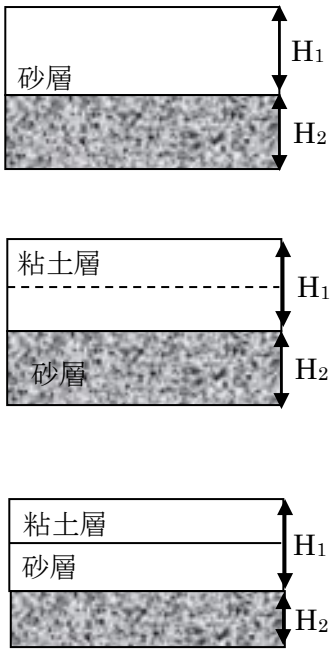


図 4【土質と地下水位】



◆液状化対策

液状化対策には下記のような 2 つの基本的考え方があります。

表 9【液状化対策の基本的な考え方と対策方法】

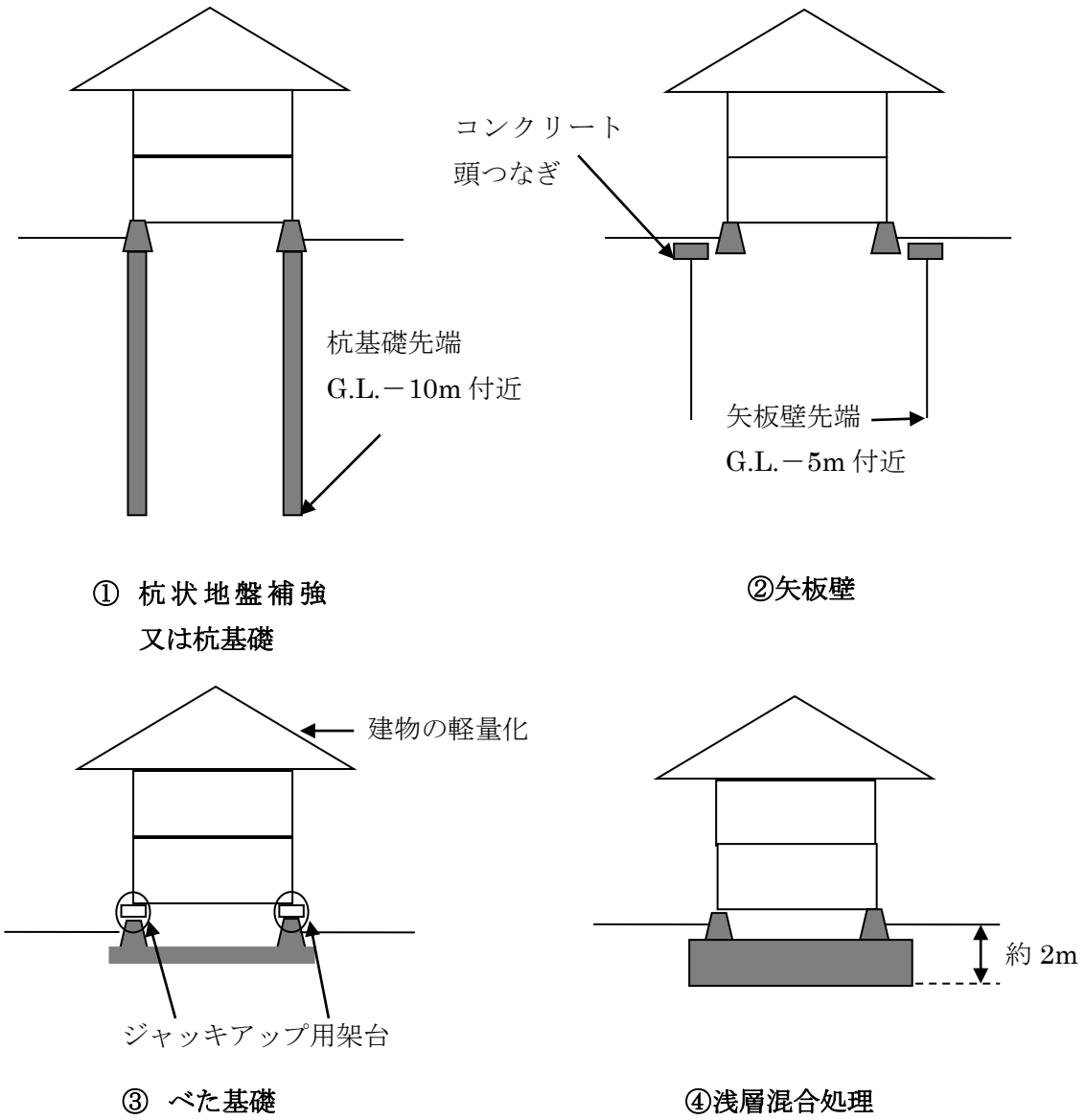
液状化対策の基本的考え	対策方法
液状化の防止及び低減	・締固めなどにより地盤の密度を高める ・セメント系を土と混合して地盤を科学的に固める ・損傷限界に対しては液状化させないが、終局限界に対しては液状化の発生をある程度許す構造対策
基礎構造により液状化に抵抗	杭や基礎梁の強化を行なう。基礎剛性によって ・地盤変形追従型（SC 杭、鋼管杭など） ・地盤変形抵抗型（壁杭、連壁など）

具体的な対策例として次頁に代表的な 4 工法を紹介します。特に小規模建築物における液状化対策の実施にあたっては、経済的に限界がある場合もあり、費用対効果を十分に考慮し、対策実施や改修工事の有無並びに工法の選定を行なう必要があります。

また、液状化を防止する目的で地盤改良を行なったり、剛性の高い基礎を採用すると、上部構造・基礎構造への地震荷重が大きくなる可能性のある事に留意する必要があります。

Copyright© 2011 Real Pro Holdings. Inc All Rights Reserved

図 5【液状化対策例】



① 杭状地盤補強
又は杭基礎

②矢板壁

③ べた基礎

④浅層混合処理

① 液状化によって地表面が変状あるいは地盤の支持力を失っても、杭状地盤補強や杭によって建築物の傾斜などを防止する工法。

② 建築物直下の地盤を拘束する事によって、液状化の発生やその影響を出来る限り抑制する工法。

③ 建築物の軽量化を図るとともに、基礎の剛性を高める事により、不同沈下による「への字型変形傾斜」などの被害を防止し、建築物が一体傾斜した場合でも、その復旧を可能にしようとする工法。

④ 基礎底面下の表層土を建築物位置全面にわたって地盤改良する事で、堅固な支持地盤を構築し、液状化の発生やその影響をできる限り抑制しようとする工法。

Copyright© 2011 Real Pro Holdings. Inc All Rights Reserved

◆軟弱地盤に対する地盤改良の種類

液状化が発生するような軟弱地盤を地盤改良する場合には、下記のような工法があります。他に示している置換とは、土の入れ替え等を言います。補強は基礎の補強等を指し、荷重軽減とは、例えば一部分が 2 階建てになっているように偏った建物の 2 階部分を取り壊して、建物荷重を低減させて荷重を均等にする等の方法を言います。

表 10【地盤改良の種類】

工法分類	具体的な方法
脱・排水工法	・載荷盛土。 ・地中にドレーンを設置し、排水距離を短くして圧密を促進する。 ・砂質土に砕石の柱や透水性の良いパイプを設置し排水効果を促進（液状化対策）。 ・生石灰などを注状に打設し、その化学的変化による軟弱粘性土の強度を増加。
締固め工法	・浅層：振動や衝撃を直接与える。 ・深層：砂や砂利を強制圧入する。 ：棒状の固形を介して振動エネルギーを与える。
固化法	浅層混合処理 深層混合処理

他には、置換（ちかん）、補強、荷重軽減等の方法があります。

◆液状化による杭基礎についての留意事項

杭周辺の摩擦抵抗力は、液状化層においては大幅に低下します。液状化層が中間層にある場合には、その上部への影響も考慮する必要があります。上部の非液状化層の層厚が、下部の液状化層と比較して薄い場合や透水性の地層である場合には、間隙水圧の上昇によって杭周面に沿って水と土砂が噴出する懸念があります。このような場合には、液状化層以浅の地層内における摩擦抵抗力を無視する必要性があります。

また、杭先端以浅の地盤が液状化すると、有効拘束圧の低下によって、先端支持力や先端地盤の剛性が低下し、沈下が増大する可能性があります。特に杭先端部が堅個とみなせないような砂質土系地盤では、その影響を受けやすいので注意が必要です。

新潟地震では、非液状化層への根入れ長が大きい杭基礎ほど、また、その非液状化層の N 値が大きいほど被害が少なく、逆に、杭先端が液状化層にとどまっている摩擦杭基礎の被害が顕著であった事が判っています。

一方、軽量で平面的に荷重分布の偏りがない建物を支持する摩擦杭で、表層部に液状化層が存在し、しかも地層構成がほぼ一様な成層を成している場合、下層部の液状化によって建物は地盤と共に沈下したものの、不同沈下による被害は軽微であった例もあります。

杭基礎の支持力や沈下の検討にあたっては、上記のような影響を適切に評価して、必要に応じて液状化対策を検討する必要があります。

Copyright© 2011 Real Pro Holdings. Inc All Rights Reserved

5. 日本建築防災協会による地盤地形に関する診断法の分類

耐震診断には簡易診断、精密診断、詳細診断、破壊検査、非破壊検査等様々な種類や呼び方があり、一概に統一する事は出来ません。

但し、改正耐震改修促進法施行と合わせて出された国土交通省告示第 184 号において耐震診断の指針が発表されています。木造住宅の耐震診断と補強方法（改訂版）ではこの指針に準じたものとして診断方法等が公表されています。その中では、「誰でもわかるわが家の耐震診断」「一般診断法」「精密診断法」と言う 3 つの診断方法を紹介しています。

表 9 はこの 3 つの分類法を一元化出来るように表したものです。地盤並びに地形の判断目安として参考になりますので下記に表示します。

資料（表 4、5）については本報告書の表 4（7 頁）、表 5（9 頁）を参照してください。

表 11【各診断法との分類比較表】

	資料（表 4、5）	一般診断法	精密診断法による分類
地盤	良い・普通の地盤	良い	良い・普通の地盤
	やや悪い地盤	普通	やや悪い地盤
	非常に悪い地盤	悪い	非常に悪い地盤
地形	液状化地盤 （軟弱地盤）		付近は液状化の可能性があると言われている 地耐力 30kN/㎡以下の層が 3m 以上ある
	崖地 （隣地含む）	崖地 急傾斜地	建物周囲に 1.5m 以上の擁壁がある
	造成地 （すべり、沈下）		敷地が傾斜地で、敷地内に盛土、切土部分がある 建物周囲に、1.5m 以上の擁壁がある 河川・湖沼。池などの埋立地である 田畑の造成地で造成後 5 年以内である

参考文献：木造住宅の耐震診断と補強方法（日本建築防災協会）

※本報告書は地盤と基礎に関するものなので、建物上部構造や建物本体等の診断については割愛しています。

Copyright© 2011 Real Pro Holdings. Inc All Rights Reserved

6. 地盤と地質の調査

◆地盤の許容応力度

地盤及び基礎ぐいに関しては建築基準法施行令第 93 条で以下のように定められています。

（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って、地質調査を行ない、その結果に基づいて定めなければならない。但し、次の表に掲げる地盤の共用応力度については、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。

表 12【法律によって定められた地盤の許容応力度の数値】

地盤	長期許容応力度（kN/㎡）	短期許容応力度（kN/㎡）
岩盤	1000	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
団結した砂	500	
土丹盤	300	
密実な礫層	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	

Copyright© 2011 Real Pro Holdings. Inc All Rights Reserved

◆地盤の長期許容地耐力の目安

以下に、地盤の長期許容地耐力の目安となる指標をいくつか紹介します。

表 13【長期許容地耐力表】注意 1

地盤		長期許容地耐力（kN/㎡）※4	備考	
			N 値	Nsw 値
土丹盤		300	30 以上	
礫層	密実なもの	600	50 以上	
	密実でないもの	300	30 以上	
砂質地盤	密なもの	300	30~50	400 以上
	中位	200	20~30	250~400
		100	10~20	125~250
	ゆるい※1	50	5~10	50~125
	非常にゆるい※1	30 以下	5 以下	50
粘土質地盤	非常に硬い	200	15~30	250 以上
	硬い	100	8~15	100~250
	中位	50	4~8	40~100
	軟らかい※2	30	2~4	0~40
	非常に軟らかい※2	20 以下	2 以下	*Wsw*1kN 以下※5
関東ローム	硬い	150	5 以上	50 以上
	やや硬い	100	3~5	0~50
	軟らかい※3	50 以下	3 以下	*Wsw*1kN 以下※5

※1　液状化の検討を要す。

※2　過大な沈下に注意を要す。

※3　2 次堆積土では長期許容地耐力 20kN/㎡以下のこともある。

※4　短期許容地耐力は長期の 1.5~2 倍をとることができる。

※5　スウェーデン式サウンディング試験で、自重 *Wsw* で自沈する。

参考文献：小規模建築物基礎設計指針の手引き 1988.1（社団法人日本建築学会）

表 14【N 値と長期許容地耐力の関係（kN/㎡）】注意 1

地盤の種別	砂質地盤	沖積粘性土	洪積粘性土	関東ローム
Dunham 式	10N	11.7N	－	－
（旧）日本住宅公団	8N	10N	（20~50）N	30N

参考文献：小規模建築物基礎設計指針の手引き（社団法人日本建築学会）

Copyright© 2011 Real Pro Holdings. Inc All Rights Reserved

表 15【試験掘りによる地層の簡易判別法】注意 1

	地層の硬さ	素掘り	オーガーボーリング	推定N値	推定長期許容地耐力 kN/㎡
粘性土	極軟	鉄筋を容易に押し込むことが出来る	孔壁が土圧でつぶれて掘りにくい	2 以下	20 以下※1
	軟	シャベルで容易に掘れる	容易に掘れる	2~4	30
	中位	シャベルに力を入れて掘る	力を入れて掘る	4~8	50
	硬	シャベルを強く踏んでようやく掘れる	力いっぱい回すとようやく掘れる	8~15	100
	極硬	つるはしが必要	掘進不能	15 以上	200
地下水面上の砂質土	非常に緩い	孔壁が崩れやすく、深い足跡が出来る	孔壁が崩れやすく、材料が落ちる	5 以下	30 以下※2
	ゆるい	シャベルで容易に掘れる	ようやく掘れる	5~10	50※2
	中位	シャベルに力を入れて掘る	力を入れて掘れる	10~20	100
		シャベルを強く踏んでようやく掘れる	力いっぱい回してようやく掘れる	20~30	200
	密	つるはしが必要	掘進不能	30 以上	300

※1　過大な沈下に注意を要す。

※2　地震時の液状化に注意を要す。

参考文献：小規模建築物基礎設計指針の手引き 1988.1（社団法人日本建築学会）

注意 1　これらの数式等はいずれも経験等に基づく提案式等です。また建築基準法施行令 93 条とも一部異なる数値を採用しているため、最新の日本建築学会基準類では「ばらつきが大きい」として削除される傾向にあります。これらの表で使われている数値等を設計にて直接適用する事は避けるべきですが、事前調査のための「目安」としては有効であると考えられるため、ここでは敢えて掲載しています。

Copyright© 2011 Real Pro Holdings. Inc All Rights Reserved

7. 地盤の調査方法

◆国が定める地盤の調査方法

平成 13 年国土交通省告示第 1113 号第 2 項「地盤の許容応力度及び基礎ぐいの許容支持力を求めるための地盤調査の方法並びにその結果に基づき地盤の許容応力度及び基礎ぐいの許容支持力を定める方法等を定める件」において地盤の許容応力度及び基礎ぐいの許容支持力を求めるための地盤調査の方法は下記の通りとなっています。

ボーリング調査
標準貫入試験
静的貫入試験
ベーン試験
土質試験
物理探査
平板載荷試験
くい打ち試験
引抜き試験

上記のうち代表的な試験を下記及び巻末資料に示します。原位置試験を行なう事により、基礎設計に必要な設計用地盤定数（地盤の支持力、地下水位、土質区分）を求める事が出来ます。

◆スウェーデン式サウンディング試験（SWS 試験）

小規模建築物の原位置試験で最も利用されている原位置試験です。費用が安価で、操作が簡便であるのがその理由です。SWS 試験は静的貫入試験の 1 種で、JIS A 1221 に規定されています。

圧密沈下量や液状化現象の可能性を検討する際には、少なくとも「土質の判定（砂質土又は粘性土)」や土の「含水比」及び「地下水位」の調査が必要になります。地下水位は SWS 試験を実施した孔内を利用するかハンドオーガーを用いて調べる事が出来ます。また、土質の判定に関しても、ハンドオーガーにより採取した土のサンプルや SWS 試験機に取り付けられたサンプラーにより明らかにする事が出来ます。

但し、SWS 試験では沈下の検討は難しいとされています。

◆標準貫入試験

SWS 試験では評価が難しい硬い支持層や深度の深い支持層、水位や土質区分の測定が出来ます。JIS A 1219 に規定されています。主に中規模以上建物の原位置試験として使われており、一般に重量構造物の設計に耐えられる N 値 50 以上の地盤層にあたるまで貫入を行ないます。軟弱な有機質土などは N=0 と判断してしまうため、微細な判定は出来ません。また費用は一般的に高額です。

Copyright© 2011 Real Pro Holdings. Inc All Rights Reserved

◆SWS 試験以外の地盤調査方法

SWS 試験以外には、下記のような試験方法があります。

表 16【調査項目による試験の種類】

調査項目	調査方法	概要
地盤支持力	平板載荷試験	地盤に平板を設置し、載荷重と変位計により支持力を測定
	標準貫入試験・ボーリング	N 値、内部摩擦角、粘着力などにより支持力を求める
	ラムサウンディング試験	動的貫入試験であり、標準貫入試験と同等の N 値が得られる
地下水位	ボーリング	孔内に水位計を挿入して測定
	ハンドオーガーボーリング	孔内に水位計を挿入して測定（主に浅層）
	三成分コーン貫入試験	コーン（先端が突起した専用器具）に整備されている間隙水圧計を利用して測定
土質区分	ボーリング ハンドオーガーボーリング	土試料を直接採取 土試料を直接採取（主に浅層）

参考文献：小規模建築物基礎設計指針（日本建築学会）

また、表面波探査試験というものがあります。カケヤや起振器で人工的に発生させた弾性波を地表面上に設けた受信器により速度としてとらえ、速度の深度方向の分布から地層の構成や地盤の硬軟の程度を把握する調査方法です。表面波は地震波の一種で、伝播する深さが周波数によって規制される分散性を利用したものです。この試験は物理探査の 1 種です。

Copyright© 2011 Real Pro Holdings. Inc All Rights Reserved

◆土質試験

原位置試験の大半が設計用地盤定数（一軸圧縮強さ、土の粘力、内部摩擦角など）を換算して求めるのに対して、室内土質試験は現場の土のサンプリングを使って直接求めることが出来る点で信頼性の高い試験です。室内土質試験には、土の物理試験、力学試験があり、圧密、支持力、液状化などの目的とする検討に必要な試験や精度を十分に把握して実施する事が必要です。

表 17【土試料の採取方法】

<table>
<tr><td rowspan="10">サンプリング
（試料採取）</td><td rowspan="5">乱した試料</td><td colspan="2">土の基本的な性質である粒度分布、含水比、液性限界、塑性限界などの物理的性質を調べるために使用する。採取方法は下記の通り</td></tr>
<tr><td>素掘り</td><td>丁寧に行なえばブロックサンプリングも可能</td></tr>
<tr><td>ハンドオーガー</td><td>地表面から 3m 程度以浅の主に軟らかい粘性土に適用</td></tr>
<tr><td>コアボーリング</td><td>ほとんど全ての土に適用</td></tr>
<tr><td>標準貫入試験</td><td>ほとんど全ての土に適用</td></tr>
<tr><td rowspan="5">乱さない試料</td><td colspan="2">圧密試験、一軸圧縮試験及び三軸圧縮試験を求めるために使用する。採取方法は下記の通り</td></tr>
<tr><td>固定ピストン式シンウォールサンプラー</td><td>最も広く普及しているサンプリング方法で N 値 3～4 以下の軟らかい粘性土や緩い砂質土に適用</td></tr>
<tr><td>ロータリー式二重管サンプラー</td><td>N 値 4～20 程度のやや硬質の粘性土に適用</td></tr>
<tr><td>ロータリー式三重管サンプラー</td><td>緩い砂層、礫質土を除く多くの土質に適用</td></tr>
<tr><td>原位地凍結サンプリング</td><td>凍結管を地中に挿入し、液体窒素などを用いて地盤を凍結させて採取する。細粒分の含有が少ない砂</td></tr>
<tr><td>ブロックサンプリング</td><td>地表付近の土を、現状のまま乱す事無く、土魂として切りだして採取</td></tr>
</table>

Copyright© 2011 Real Pro Holdings. Inc All Rights Reserved

表 18【室内土質試験の例】

目的	試験方法と種類	試料状態	区分	備考
土質分類	土の判別分類試験（一般観察）	乱した 乱さない	観察判断	簡易的な判断
安定処理土の効果	Ph 試験	乱した	化学的性質	固化材の水和飯能など
土の基本的性能 土の鋭敏度合	含水比試験（恒温乾燥炉による方法、電子レンジによる方法）		物理的性質	
土質分類 液状化判定	粒度試験（ふるい分析、沈降分析他）			主に砂質土地盤の液状化判定に用いられる
安定性 粘着度合	液性限界・塑性限界試験（コンシステンシー）			自然状態の粘性土の安定性の判定に用いる
土の基本的性質 土の締固め度	湿潤土の圧密試験（ノギス法、パラフィン法）	乱さない	力学的性質	地盤の支持力計算にも用いられる
圧密沈下量	圧密試験（段階載荷、定ひずみ速度載荷による方法）			粘性土地盤の圧密沈下量だけでなく沈下速度を求められる
基礎、擁壁の安定	一軸圧縮試験			粘性土地盤の基礎
液状化判定	三軸圧縮試験水、圧密-非圧密 圧密-非排水、圧密-排水			

参考文献：小規模建築物基礎設計指針（日本建築学会）

Copyright© 2011 Real Pro Holdings. Inc All Rights Reserved

◆土の分類

土は粒径により工学的性質（強度、圧縮性、透水性）が変化する事から、土粒子の大きさから分類するのが一般的です。粒径が 0.075mm を境に粘性土と砂質土に分ける事から 0.075mm 目のふるいで分け、通過する細粒土は沈降分析法が採用されます。

図 6【日本統一土質分類による大分類】

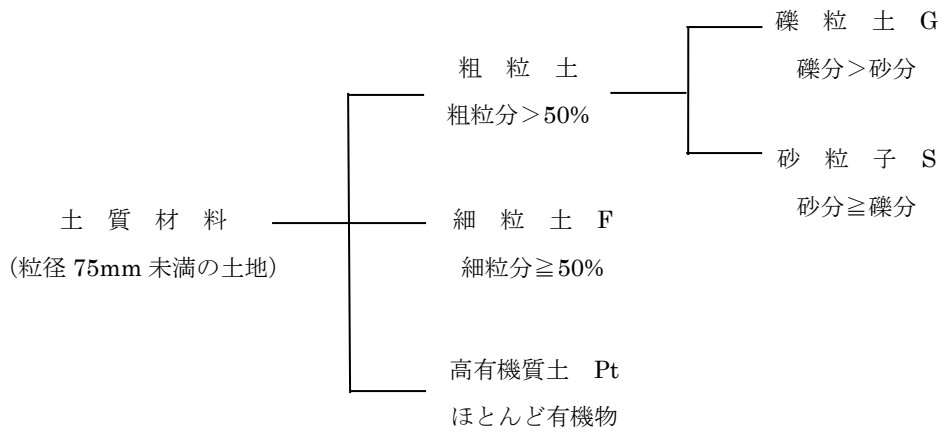


表 19【土の粒径による分類】

区　分	粘性土（細粒分）		砂質土（粗粒分）						
土の呼び名	粘土	シルト	砂		礫（れき）			石	
			細砂	粗砂	細礫	中礫	粗礫	粗石	巨石
粒径（mm）	～0.005	～0.075	～0.425	～2	～4.75	～19	～75	～300	

参考文献：スウェーデン式サウンディング試験と土の物理・力学試験

表 20【土の判別表（ローム層）】

土性名	略号	粘土含量	特徴
砂土	S	12.5 以下	ほとんど砂ばかりで粘りがない
砂質ローム	SL	12.5～25.0	肉眼的には 1/3～2/3 が砂
ローム	L	25.0～37.5	肉眼的には 1/3 以下が砂
シルト質ローム	S1L		粘り気のない粘土（シルトを多く含む）
粘土質ローム	CL	37.5～50.0	粘りのある粘土で砂が見られる
粘土	C	50.0 以下	粘りのある粘土で砂が見られない
礫質	G		2mm 以上の小石を含む時はこの形容詞をつける

参考文献：地学教育講座 5（松井健/福村書店）

Copyright© 2011 Real Pro Holdings. Inc All Rights Reserved

◆土の含水比と湿潤密度

土の含水比は土を構成している土粒子、水、空気の三相のうち、土粒子の質量に対する水の質量の百分率で表したものです。土粒子の質量は恒温乾燥炉又は電子レンジにより乾燥して残留する質量であり、水の質量が失われた質量となります。

表 21【含水比の測定例】

土質名	地域	含水比（%）
沖積粘土	東京	50~80
洪積粘土	東京	30~60
関東ローム	関東	80~150
まさ土	中国	6~30
しらす	南九州	15~33
黒ボク	九州	30~27
泥炭	石狩	110~1300

参考文献：土質工学会、小規模建築物基礎設計指針

土の湿潤密度は、土の体積質量で、一般的な土で 1.6~2.0g/cm^3、有機質が混入していると小さな値を示し、高有機質土の泥炭では 0.8~1.3 *g/cm^3*の値を示します。同じ種類の地盤では、湿潤密度の値が小さいほど軟弱地盤である事を示しています。

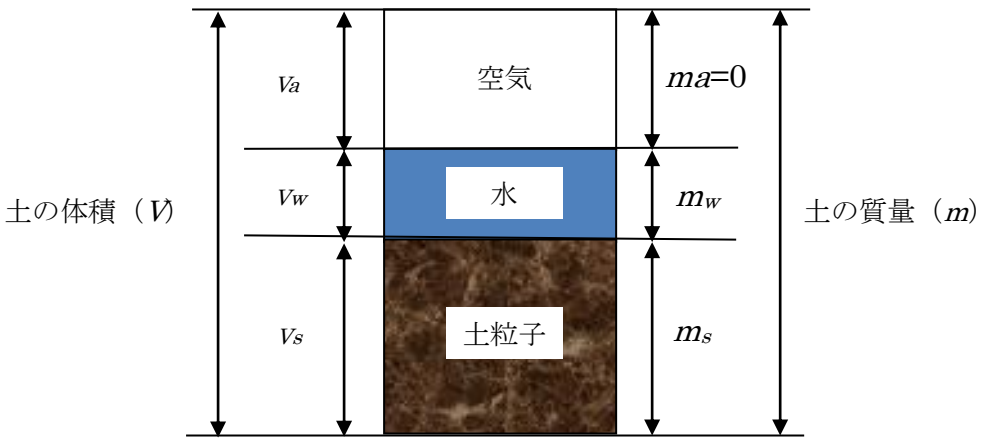
表 22【土の湿潤密度の目安】

土の種類	沖積層				洪積層			
	砂質土	シルト	粘性土	腐食土	砂質土	シルト	粘性土	ローム
湿潤密度	1.8	1.5	1.5	1	1.9	1.7	1.6	1.4
(*g/cm^3*)	(1.7~1.9)	(1.5~1.7)	(1.4~1.6)	(0.8~1.3)	(1.8~2.0)	(1.5~1.8)	(1.5~1.7)	(1.3~1.5)

※（）はばらつきの程度

参考文献：小規模建築物基礎設計指針

図 7【土の構成】



Copyright© 2011 Real Pro Holdings. Inc All Rights Reserved

土の単位体積重量γは、サンプリング試料の室内試験による事が望ましいと言えます。参考として下記に概略的な数値を示します。同じ種類の地盤では、湿潤密度の値が小さいほど軟弱地盤である事を示しています。

表 23【土の単位体積重量γの目安】

土の種類	沖積層				洪積層			
	砂質土	シルト	粘性土	腐食土	砂質土	シルト	粘性土	ローム
単位体積重量γ (kN/cm^3)	18 (17~19)	16 (15~17)	15 (14~16)	10 (8~13)	19 (18~20)	17 (16~18)	16 (15~17)	14 (12~15)

※（）はばらつきの程度

参考文献：小規模建築物基礎設計指針（日本建築学会）

◆沈下の特徴

以下に大別した沈下の特徴を示します。

表 24【沈下の特徴】

種類	対象地盤	原因	発生時期	影響度
即時沈下	砂地盤など	地盤の弾性的沈下	載荷とほぼ同時期	小
圧密沈下	高有機土や軟弱な沖積粘性土	増加荷重により土中の間隙水が長時間かかって排水され、結果として体積が減少するために生じる沈下	数ヵ月~数年	大

参考文献：小規模建築物基礎設計指針（日本建築学会）

下記は小規模建築物の基礎設計における計画において、圧密試験を行なった際の、沈下の種類、基礎形式などの許容される値を参考値として表 25 に示します。概略的に SWS 試験で判定する場合には、圧密対象層 *Wsw* が 0.75kN 程度の層と読み替えても構いません。この数値を超えた場合には沈下対策を施す必要があります。

表 25【許容沈下量の参考値（cm）】

沈下の種類	即時沈下		圧密沈下	
基礎形式	布基礎	べた基礎	布基礎	べた基礎
標準値※1	2.5	3~（4）	10	10~（15）
最大値※2	4	6~8（8）	20	20~（23）

※1 標準値とは不同沈下による亀裂がほとんど発生しない限度値

※2 最大値とは幾分かの不同沈下亀裂が発生するが障害には至らない限度値

※3（）は剛性の高い基礎の値

参考文献：小規模建築物基礎設計指針（日本建築学会）

Copyright© 2011 Real Pro Holdings. Inc All Rights Reserved

8. 支持地盤並びに基礎の選定

地盤調査においては「地盤の不均一性」と「地盤のばらつき」を考慮する必要があります。敷地地盤の地層は変化があるのが普通であり、深さ方向にも大きな変化をしているのが通常です。また、地盤自体のばらつきとサンプリングによるばらつきもあり、先述しました試験方法により調査データの信頼性を高める必要性があります。

例えば支持地盤の深さを調査する場合には基礎の種類等により下記のような調査が必要になります。

表 26【基礎工事等の違いによる地盤調査に必要な深さ等】

基礎等の種類	掘る目安
直接基礎	基礎幅の 1~2 倍を掘削。
杭基礎	支持杭であれば杭先端からさらに深く杭径の数倍まで調査が必要。
地盤の層序 地下壁の設計 根切り工事	その深さまでの調査

基礎形式は、建築物の特性、地形及び地盤などを十分に検討し、支持地盤の深さ、施工性、経済性及び敷地周辺に及ぼす影響などを考慮して最も合理的なものを選定します。

基礎の検討は鉛直荷重が問題となりますが、地震力は水平耐力の検討になります。地震力の検討は水平震度 0.2 が基本となっています。これは建物の重さの 2 割の水平耐力という事になります。この事からも地震力は建物の重さに比例する事がわかります。建物の重量が重くなればなる程、地震時の揺れも大きくなるという事になります。

また、第 3 種地盤（軟弱地盤）の場合には、木造住宅の壁量を必要保有耐力の 1.5 倍にしなければなりません（昭和 55 年建設省告示第 1793 号）。

このように地震の際に液状化等が起こりやすいとされる軟弱地盤については特に様々な検討が必要になります。

また、建物の基礎の新設や補強により、下記のような敷地地盤の安定性が損なわれる可能性もあるため、十分な事前調査が必要となります。

① 地中応力が増加し、斜面の安定状態が崩れたり、今まで敷地の安定を維持してきた擁壁や護岸などの土圧抵抗構造物の支持機能が失われるか安定を逸する場合、あるいは斜面上方下方の敷地に変状を生じる危険性

② 建物基礎の新たな建設等により、今まで安定状態を保ってきた斜面上方の隣接敷地が安定性を失う危険性がある場合や、基礎の建設によってあるいはその施工途上で隣接構造物に過大な変形を生じさせ、その安全性を脅かす危険性が生じる場合

Copyright© 2011 Real Pro Holdings. Inc All Rights Reserved

表 27【基礎構造の要求性能】

性能レベル（限界状態）	性能内容		
	基礎構造全体の性能（上部構造への影響に関する性能）	個々の基礎に関する性能	
		基礎部材に対する性能	地盤の強度・変形に関する性能
終局限界状態※1	基礎の破壊または変位によって、建物が倒壊または転倒しない。	基礎部材が脆性的に破壊しない。変形性能の限界に達して耐力の低下を生じない。	地盤の極限抵抗力を超過しない。
損傷限界状態※1	基礎の変位によって、建物に損傷を生じない。基礎の残留変形によって、建物の使用性や機能性、耐久性に支障を生じない。	基礎部材に構造上の補修・補強を必要とするような損傷が生じない。	上部構造や基礎の耐久性に有害な残留変形を生じない。
使用限界状態※2	基礎の変形によって、建物の使用性や機能性、耐久性に支障を生じない。	基礎部材の耐久性に支障が生じない。	上部構造の使用性、機能性や耐久性に障害を生じるような過大な沈下・変形を生じない。

※1　終局限界状態と損傷限界状態は、土圧荷重を例外として、地震荷重による荷重効果が設計に大きく影響する荷重組合せ（地震荷重が主荷重となる組合せ）を対象としています。

※2　使用限界状態は、各荷重組合せに対して基礎の沈下・変形が、建物の使用性を損なわない限界と定義して、基礎の沈下・変形性状を直接予測する事を求めています。

◆建物荷重

先述しましたように基礎の選定には、地盤だけでなく、建物の鉛直荷重も非常に重要な要素となります。ここでは小規模建築物についてのみの簡易的説明に留めますが、地震力は建物の重さに比例して増幅します。また、圧密沈下についても建物の重さが重要となります。下記の表は一般的な小規模建築物における基礎まで含めた建築面積当たりの荷重です。

表 28【一般的な木造・鉄骨造住宅の荷重（総荷重/建築面積）】

階数	荷重（kN/㎡）
1 階建て	7（5~9）
2 階建て	10（8~12）
3 階建て	14（12~16）

出典：小規模建築物基礎設計指針（社団法人日本建築学会）

Copyright© 2011 Real Pro Holdings. Inc All Rights Reserved

図 8【支持地盤の深度と適用可能な基礎形式】

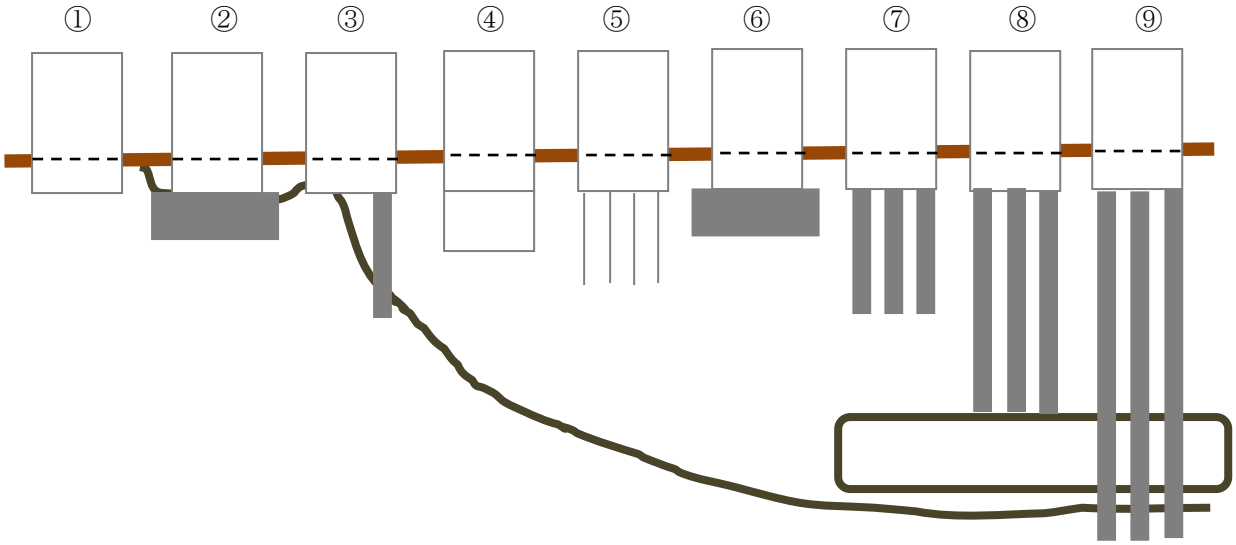


表 29【基礎形式ごとの検討事項】

基礎形式	基礎部材	検討事項
①直接基礎	基礎スラブ／べた基礎・布基礎・独立基礎等	地盤の鉛直支持力、滑動抵抗力、浮き上がり抵抗力、即時沈下、圧密沈下、凍結震度、地下水位
②直接基礎＋地盤改良工法（ラップルコンクリート地業を含む）	同上＋改良体、改良地盤	改良地盤の鉛直（水平）支持力、改良地盤の滑動抵抗力、支持地盤ぼ鉛直支持力、即時沈下、圧密沈下、改良体の設計基準強度、発生（圧縮・せん断）応力度
③併用基礎（異種基礎）	基礎スラブ、改良体、改良地盤、杭基礎（摩擦杭、中間支持層への支持杭、支持杭）	直接基礎、地盤改良方法、杭基礎の該当欄ほか、傾斜地盤の鉛直支持力、境界部応力、基礎のねじれ
④フローティング基礎	基礎スラブ	直接基礎の項のほか、排土重量、地中応力など
⑤併用基礎（パイルド・ラフト基盤）	べた基礎、摩擦杭	同上＋平均鉛直ばね定数、ラフトの相対剛性
⑥直接基礎＋地盤改良	同上＋改良体、改良地盤	②直接基礎＋地盤改良工法の検討事項＋層状地盤の鉛直支持力
⑦杭基礎（摩擦杭）	パイルキャップ、杭頭接合部各種の杭種、杭工法	杭の鉛直支持力、引抜き抵抗力、水平抵抗力、群杭効率、負の摩擦力、地盤変位を考慮した耐震設計、液状化地盤の水平抵抗、傾斜地盤の鉛直支持力・水平抵抗力、杭基礎の即時沈下、圧密沈下、基礎の変形角・傾斜角、杭体（圧縮、曲げ、せん断）耐力、杭頭接合部耐力
⑧杭基礎（中間支持層への支持杭）	同上	
⑨杭基礎（支持杭）	同上	

参考資料：建築基礎構造設計指針（日本建築学会）

Copyright© 2011 Real Pro Holdings. Inc All Rights Reserved

9. 直接基礎工法

構造物の荷重を直接地盤に伝達する形式の基礎を直接基礎と言います。直接基礎は布基礎とべた基礎に分類されます。一般的に地盤が良く構造物の荷重を十分に支える地盤で採用されます

下記表 30～表 32 に建築基礎構造設計指針（社団法人日本建築学会）による中低層建築物の沈下実測と沈下障害により導き出された構造別の限界値の例を 3 つの表に分けて示します。地盤条件や建物の基礎形式によって限界値が異なるのは、沈下の進行の早さなどの条件が異なるものと考えられ、構造別の沈下の限界値として一つの目目安として考えられますが、これらの値を用いる際には、その数値の意味する所を十分に理解して用いる必要があります。これらの数値を超えると建築物には沈下による何らかの障害が発生する（した）確率が高いと言えます。

表 30【直接基礎工法における構造別の限界変形角の例】

支持地盤	構造種別	基礎形式	下限変形角 $\times 10^{-3}$rad	上限変形角 $\times 10^{-3}$rad
厚密層	鉄筋コンクリート造 壁式鉄筋コンクリート造 コンクリートブロック造 木造	独立、布、べた 布 布 布	0.7 0.8 0.3 1.0	1.5 1.8 1.0 2.0～3.0
風化花崗岩 （まさ土）	鉄筋コンクリート造 壁式鉄筋コンクリート造	独立 布	0.6 0.7	1.4 1.7
砂層	鉄筋コンクリート造 壁式鉄筋コンクリート造 コンクリートブロック造	独立、布、べた 独立、布、べた 布	0.5 0.5 0.3	1.0 1.0 1.0
洪積粘性土	鉄筋コンクリート造	独立	0.5	1.0
すべての地盤	鉄骨造	独立、布（非たわみ性仕上げ）	2.0	3.5

下限変形角

亀裂の発生する区間数が発生しない区間数を超える変形角の事で、亀裂発生確率が 50%を超える変形角又は亀裂発生区間累計数が 30%を超える変形角の事を言います。

上限変形角

ほとんど亀裂の出る変形角の事で、亀裂発生区間累計数が 70%を超える変形角の事を言います。

Copyright© 2011 Real Pro Holdings. Inc All Rights Reserved

表 31【構造別の相対沈下量の限界値の例】　（単位：cm）

支持地盤	構造種別	コンクリートブロック造	鉄筋コンクリート造 壁式鉄筋コンクリート造		
厚密層	基礎形式	布	独立	布	べた
	標準値 最大値	1.0 2.0	1.5 3.0	2.0 4.0	2.0~3.0 4.0~6.0
風化花崗岩（まさ土）	標準値 最大値	—	1.0 2.0	1.2 2.4	—
砂層	標準値 最大値	0.5 1.0	0.8 1.5	—	—
洪積粘性土	標準値 最大値	—	0.7 1.5	—	—
すべての地盤	構造種別	仕上材		標準値	最大値
	鉄骨造	非たわみ性仕上げ		1.5	3.0
	木造	非たわみ性仕上げ		0.5	1.0

表 32【構造別の総沈下量の限界値の例】　（単位：cm）

支持地盤	構造種別	コンクリートブロック造	鉄筋コンクリート造 壁式鉄筋コンクリート造		
厚密層	基礎形式	布	独立	布	べた
	標準値 最大値	2 4	5 10	10 20	10~（15） 20~（30）
風化花崗岩（まさ土）	標準値 最大値	—	1.5 2.5	2.5 4.0	—
砂層	標準値 最大値	1.0 2.0	2.0 3.5	—	—
洪積粘性土	標準値 最大値	—	1.5~2.5 2.0~4.0	—	—
厚密層	構造種別	基礎形式		標準値	最大値
	木造	布 べた		2.5 2.5~（5.0）	5.0 5.0~（10.0）
即時沈下	木造	布		1.5	2.0

※厚密層については厚密終了時の沈下量（建物剛性無視の計算値）、その他については即時沈下量、（）は 2 重スラブなど十分剛性の大きい場合の数値です。

木造の全体の傾斜角は標準で 1/1000、最大で 2/1000~（3/1000）以下です。

Copyright© 2011 Real Pro Holdings. Inc All Rights Reserved

10. 杭基礎工法

主に軟弱地盤や構造物が中規模以上と大きい場合に、浅い基礎では構造物を支え切れない地盤の場合に、杭を構造物が支える事の出来る地層まで打ち込んで、構造物を支える基礎形式を言います。支持方式によって支持杭と摩擦杭に分けられます。支持杭では先端を支持層にまで到達させ、主として杭の先端に上向きに働く先端支持力によって荷重を支えます。 一方、摩擦杭では先端を支持層まで到達させずに、主として杭の側面と地盤との間に働く周面摩擦力によって荷重を支えます。摩擦杭は、支持層がかなり深い場合に採用されることが多い方式です。また、杭には既製杭と場所打ちコンクリート杭があります。

杭の劣化

杭基礎を選択する場合には、杭の劣化を考慮しなければなりません。鋼杭であれば鋼材の腐食があり、対策としては、鋼管の板厚に「腐食しろ（通常 1mm 低度）」を考慮して設計が行なわれています。一般の自然地盤では、鋼材の腐食進行速度はあまり大きくない事が判っていますが、産業廃棄物の埋土や地下水が強い酸性を示す、温泉地、迷走電流の有無等では腐食進度が大きくなる場合があるので、そのような立地の場合には対策が必要となります。また、酸性土壌では既製コンクリート杭や場所打ちコンクリート杭についてもコンクリートの中性化やひび割れにより PC 鋼材や鉄筋の腐食が問題になる場合があります。

杭径

現在は、大径化の傾向があり、柱 1 本に当たり、杭 1 本の配置が当たり前になっていますが、大径化による杭本数の減少は、杭の品質のばらつき度合いや杭径が大きい程、沈下量が大きいといった点も留意する必要があります。

杭長

杭の傾斜や曲がりなどの建入れ（鉛直）精度を考慮する必要があります。

杭の最小間隔

杭を密に打ち込むと、打設済みの杭が後打ちの杭によって水平変位を生じて変形したり、地盤の盛り上がりと共に浮き上がったり、あるいは地盤の締め固めによって後打ちの杭が貫入不能になったり、杭打ちの鉛直精度が低下するといった杭相互の障害が生じる可能性があります。また削孔方式では、隣接杭の周辺地盤を緩めるといった問題が生じる場合があるため、最小間隔の目安として下記の値を確保しています。

表 33【杭の最小間隔の目安】

打込み杭	杭径の 2.5 倍かつ 750mm 以上
埋込み杭	杭径の 2 倍以上
場所打ち杭	・非拡底杭は杭径の 2 倍以上、かつ杭径に 1m を加えた値以上 ・拡底杭は、軸部径を d、拡底径を d_1 として（$d+d_1$）以上、 かつ（d_1+1m）以上

Copyright© 2011 Real Pro Holdings. Inc All Rights Reserved

◆地震時における杭基礎の留意点

押込み側の杭の沈下及び引抜き側の杭の浮き上がりによって基礎の変形角・傾斜角が生じる事に留意する必要があります。基礎の変形角は、上部構造の柱位置に対応する基礎間の相対変位量を基礎間の距離で除した値とします。また建物荷重の偏在、地層の傾斜による杭の引抜き抵抗力の差異等の特殊な条件下で、引抜き荷重によって建物に傾斜が生じる可能性がある場合には、その影響についても検討する必要があります。

◆施工法による代表的な杭の分類

下記に、施工法による代表的な杭の分類を示します。

表 34【施工法による代表的な杭の分類】

<table>
<tr><th>杭の大分類</th><th colspan="3">中分類・小分類</th></tr>
<tr><td rowspan="3">既成杭</td><td rowspan="3">鋼杭
既製コンクリート杭</td><td>打込み工法</td><td>打撃工法
プレボーリング併用打撃工法</td></tr>
<tr><td>圧入工法</td><td>埋込み工法
回転貫入方法</td></tr>
<tr><td>埋込み工法</td><td>プレボーリング工法
中堀り工法</td></tr>
<tr><td>場所打ちコンクリート杭</td><td colspan="3">アースドリル工法
リバースサーキュレーションドリル工法
オールケーシング工法</td></tr>
</table>

表 35【杭の設置工法等の分類】

杭設置工法	打込み杭、埋込み杭、場所打杭
杭種	既製コンクリート杭、鋼管杭、場所打ち杭
杭形状	直杭、拡底杭、拡大根固杭

Copyright© 2011 Real Pro Holdings. Inc All Rights Reserved

11. 既成杭

工場で製造される杭で、木杭、鋼杭、既製コンクリート杭があります。既製杭は周辺環境への配慮から、騒音・振動の少ない埋込み工法が主流となっており、最近では鋼管杭を回転圧入させる工法も用いられています。また削孔時における杭周辺及び杭先端地盤の緩みやかく乱等による支持力の低下を防止するために杭体と周辺地盤との間にセメントミルクを充填したり、杭先端に拡大球根を造成して先端支持力の増強策を取っています。既製杭は施工中に杭体に破損が生じる場合があるので注意が必要です。また既製杭はある長さを超えると継杭となりますが、現在は、鋼管杭、既製コンクリート杭とも大半がアーク溶接による半自動溶接機による方式となっていますので信頼性は向上しています。

①鋼杭

鋼管杭と H 型鋼杭がありますが、基礎杭にはほとんどの場合、鋼管杭が使われます。通常は引張強度 400N/mm² もしくは 490N/mm² の鋼管が用いられ、杭径は 300mm～2000mm まで広範囲に及びます。杭長は 100m まで実績があります。先端部分の径を軸部よりも大きくして先端の支持力を増加させる拡底鋼管杭（ST 杭）や、回転貫入するスパイラル杭などもあります。鋼管杭は先端が閉塞形の閉端杭と先端開放形の開端杭がありますが、通常は打込みが容易な開端杭が利用されます。

鋼管杭は腐食の問題がありますが、10 年間に及ぶ実測結果報告によると、年間両面腐食率として、平均値に標準偏差の 2 倍を加えた値の 0.0206mm を採用し、腐食の進行速度を一定と仮定すると、50 年で 1mm、100 年で 2mm となり、腐食率が経過年数と共に、急減することを考慮すると、実際の腐食厚さは、これらの値よりもかなり小さいと考えられることから「腐食しろ」としては 1mm 程度を確保していれば十分と考えられます。但し、地盤や地下水が強い酸性を呈する場合には注意が必要となります。

表 36【鋼管杭の長所と短所】

長所	① 鋼材本来の特性である曲げや引張強度と変形性能に優れる ② コンクリートのようにひび割れによる曲げの剛性の低下がないので、弾性として扱える範囲が広い事 ③ 材料が均質なため品質に対する信頼度が高い ④ 既製コンクリート杭に比べ破損しにくく、取扱が容易
短所	① 打込み工法の場合、局部的な応力集中により、端部に局部座屈などの破損が生じやすい ② 設置後の鋼の腐食

Copyright© 2011 Real Pro Holdings. Inc All Rights Reserved

②既製コンクリート杭

現在はPHC杭が主流となっており、杭径は300mm～1200mm、有効プレストレスト量3.92 N/mm²（A種）、7.85N/mm²（B種）、9.81N/mm²（C種）がJIS規格で規定されています。杭長は最長で15m（杭径300mm、350mmのA種では13m）、最大施工長は80m程度です。圧縮強度の高いコンクリートとプレストレスの導入によって曲げや引張力によるひび割れを抑制していますが、鋼管杭や場所打ちコンクリート杭と比較して靭性に乏しい事は歪めません。靭性に乏しい部分を補うために、外周に鋼管を配した外殻鋼管付コンクリート杭（SC杭）や、PHC杭に鉄筋又は平鋼を入れた高強度コンクリート杭（PRC杭）などが開発されています。節杭は、摩擦杭若しくは中間支持杭として使われる事が多いのですが、兵庫県南部沖地震では、節杭を摩擦杭として使用した多くの建物が液状化による被害が少なかった事から、液状化対策としての複合効果も指摘されています。

表37【代表的な既製コンクリート杭の種類と内容】

代表的なコンクリート杭	内容等
鉄筋コンクリート杭（RC杭）	圧縮強度39.2 N/mm²以上のコンクリート異形鉄筋を用いた杭。現在はほとんど製造されていない。
プレストレストコンクリート杭（PC杭）	圧縮強度49.1 N/mm²以上のプレストレストコンクリート杭。現在は製造されておらず、JIS規格も1993年に廃止。
高強度プレストレストコンクリート杭（PHC杭）	圧縮強度78.5 N/mm²以上の高強度コンクリート。現在最も良く使用されている。以前はAC杭とも呼ばれていた。

Copyright© 2011 Real Pro Holdings. Inc All Rights Reserved

12. 場所打ちコンクリート杭（現場造成杭）

現場で造成される鉄筋コンクリート杭で、主に掘削方式によって種々の工法に分けられます。一般的な場所打ち杭の杭径は、800mm～3000mm 程度と既成杭と比較して大きいのが特徴です。コンクリートの設計基準強度は 18～32 N/mm² の範囲が一般的です。杭体の性能は、基本的には上部構造の RC 柱と同じで、PHC 杭と比較して靭性を有しています。場所打ちコンクリートは施工の良否、コンクリートや鉄筋の材料の品質により、性能が大きく左右されます。

場所打ちコンクリート杭の施工手順

① 地盤の削孔

② 1 次スライムの処理

③ 鉄筋かごの挿入

④ 2 次スライムの処理

⑤ コンクリート打設

Copyright© 2011 Real Pro Holdings. Inc All Rights Reserved

13. 地盤の安定性が懸念される場所における杭基礎について

◆地盤沈下

地盤沈下帯に設置された杭には、杭頭荷重に加えて地盤沈下に伴い負の摩擦力が作用します。そのため杭（支持杭、摩擦杭）の鉛直支持力の検討にあたっては負の摩擦力を考慮する必要があります。杭が周辺地盤の沈下によって地表面から突出した状態になると水平抵抗力が低下するため、予め突出長を想定し、その影響を考慮に入れた水平抵抗力を評価する必要があります。

◆液状化

地盤の液状化により下記のような問題が起きます。

① 鉛直支持力、引抜抵抗力及び水平抵抗力の低下
② 上記低下に伴う沈下、傾斜、水平変位の増大
③ 地下部分に作用する砂と水の混合液体の浮力による引抜力の作用の増加
④ 液状化層における周面摩擦力の低下又は喪失
⑤ 杭先端地盤に対する有効上載圧の減少による杭先端支持力の低下
⑥ 液状化層における地盤の抵抗力の抵抗に加えて、地震時の地盤変位に伴い液状化層と非液状化層の境界付近に大きな応力が作用する
⑦ 河川や海の護岸付近の液状化は、護岸に大きな傾斜や移動が生じ、護岸背面の地盤が広範囲にわたって測方流動が生じる可能性がある

◆軟弱性粘性土地盤

倉庫の土間床上に重量物を積み上げたり、杭基礎に隣接して盛土等を行なった場合、地盤が極限支持力付近に達すると、地盤は側方に大きく変形します。このような場合には載荷重の制限や地盤改良や杭によって載荷重を別途に支持するなどの対策が必要になります。

◆傾斜地盤

傾斜地盤において留意事項等は以下の通りです。

① 斜面上、斜面途中、斜面下等の斜面地盤又は傾斜地盤近傍に杭基礎を計画する場合には、施工前、施工途中、施工後の斜面の安定性の確保
② 建築物の支持杭を斜面安定の抑止工として併用を避ける
③ 傾斜地盤では切土と盛土部の両域にわたる杭設置
④ 支持層が傾斜している際の杭長の違う基礎の併用
⑤ 斜面近傍杭と斜面から離れた杭等、水平抵抗力が大きくなる場所での杭の選定

Copyright© 2011 Real Pro Holdings. Inc All Rights Reserved

14. 杭基礎の被災例

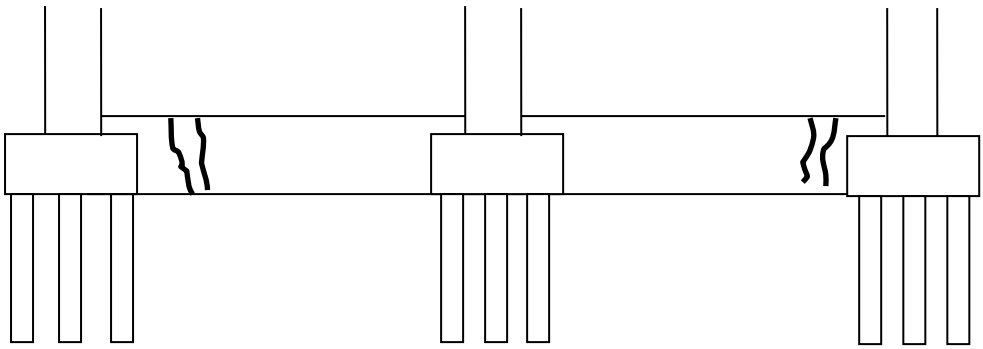
以下に杭基礎の代表的な被災例を紹介します。

図 9【杭基礎各部の被災例】

杭基礎は、基礎梁、基礎スラブ、杭頭接合部、杭体（継手を含み、以下同様とする）。地盤のいずれかまたはこれらの 2 つ以上が同時に終局限界に達することによって、崩壊形を形成します。これらの各部が終局限界に達するとき、上部構造や杭基礎は下記のような影響を受けると想定されます。

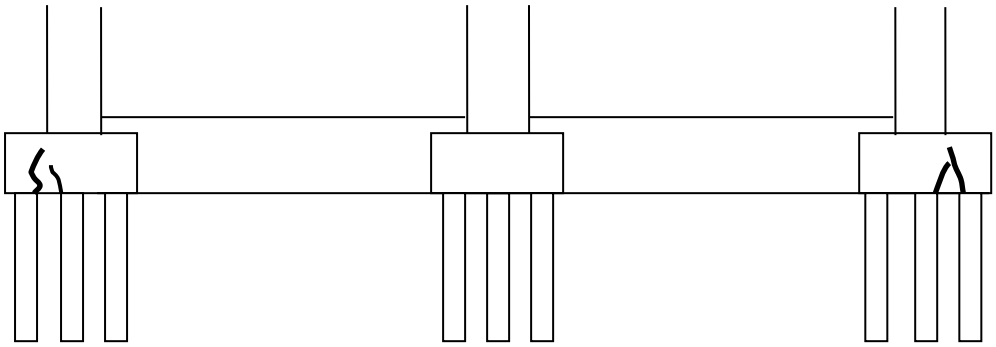
①基礎梁の被災例

1 階の柱脚の固定度が低下するため、1 階の柱頭及び 2 階以上の梁の応力が増大します。また杭頭の固定度が低下するため、杭頭モーメントが低下し、地中部の杭体の曲げモーメントが増大します。さらに、基礎梁の軸力とせん断力の伝達能力が失われると、剛床仮定が成立せずに、杭の軸力及び水平力の負担荷重が大幅に変化します。その結果、一部の杭の負担荷重が増大して破壊し、杭基礎全体としての性能が十分発揮されない可能性があります。



②基礎スラブの被災例

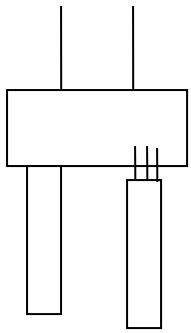
単杭よりもむしろ複数本の杭で支持された基礎スラブが終局限界に達すると影響が大きくなります。このような場合、上部構造から各杭への軸力や水平力の伝達に支障が生じ、各杭の負担荷重が大幅に増加する結果、負担荷重の大きな杭が早期に終局限界に達し、杭基礎全体としての性能が低下する可能性があります。



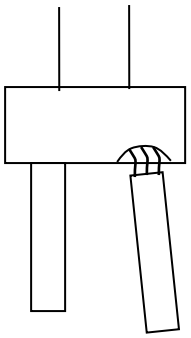
Copyright© 2011 Real Pro Holdings. Inc All Rights Reserved

③杭頭接合部の被災例

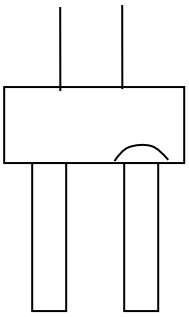
杭頭の回転剛性が低下するため、杭頭モーメントが低下し、地中部の杭体の曲げモーメントが増大します。基礎梁や基礎スラブの破壊同様、上部構造から杭への軸力や水平力の伝達に支障が生じ、各杭の負担荷重が大幅に変化して、杭基礎全体の性能が十分発揮されない可能性があります。



定着鉄筋の抜け出し



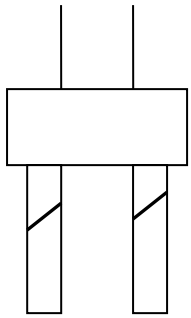
定着鉄筋の破断による
基礎スラブと杭のズレ



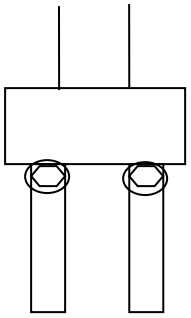
コンクリートの損傷

④杭の被災例

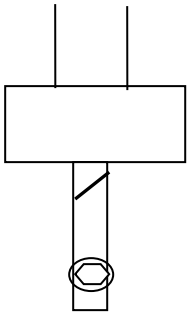
上部構造が、各杭の不同沈下、水平変位の不均一によって強制変形を受けて破壊したり、過大な傾斜、水平移動を生じたり、あるいは転倒する可能性があります。実際に、兵庫県南部地震において、敷地地盤の一部が大きな沈下と水平変位を生じたことがきっかけとなって、建物の一部が崩壊した例があります。



せん断破壊



圧壊



せん断破壊と圧壊

杭基礎には上記のような崩壊形が想定されますが、通常は基礎梁や基礎スラブが先行して終局限界に達しないように設計されています。特に基礎梁の損傷は上部構造への影響が大きくなります。杭基礎に対する要求性能は、上部構造への影響に関するものと杭基礎自体に関する性能に分け、更に、杭基礎に対する要求性能は、基礎部材と地盤とに分けて示します。

Copyright© 2011 Real Pro Holdings. Inc All Rights Reserved

◆杭基礎における各限界状態について

杭基礎における終局限界状態、損傷限界状態、使用限界状態は下記の通りです。

表 38【杭基礎の性能レベル】

性能レベル	状況
終局限界状態	① 地滑り、斜面崩壊等、敷地地盤全体の安定性が失われる状態（地盤の安定性は設計前に確保されている事が前提） ② 基礎部材（基礎梁、基礎スラブ、杭頭接合部、杭体、杭体の継手等）のいずれかの脆性的な破壊が生じ、各部材の軸力、曲げモーメント及びせん断力の伝達能力が喪失又は低下する状態 ③ 基礎部材のいずれかが変形性能の限界に達し、急激な耐力低下が生じる状態 ④ 想定される荷重に対して、地盤の抵抗力から定まる杭の鉛直支持力・引抜抵抗力・水平抵抗力によって負担される杭基礎全体の抵抗力が、最大値に達する状態 ⑤ 基礎部材の破壊又は杭基礎の沈下、浮上がり、水平変位等の影響によって、上部構造の部材が破壊する状態。あるいは上部構造が転倒する状態
損傷限界状態	① 基礎部材のいずれかに、構造上の補修、補強をせずに再使用できなくなるような損傷が生じる場合 ② 杭基礎の残留変位が大きくなる状態 ③ 杭基礎の変位によって、上部構造の躯体に、構造上の補修、補強をせずに再使用できなくなるような損傷が生じる場合
使用限界状態	① 基礎部材のコンクリート部分に過大なひび割れが発生、鋼材部分の腐食進行等によって、いずれかの基礎部材の耐久性に支障が生じる場合 ② 杭基礎の変位に伴う、上部構造の不同沈下、上部構造全体の傾斜、上部構造に発生するひび割れ等によって、上部構造の使用性・機能性・耐久性等に支障が生じる状態

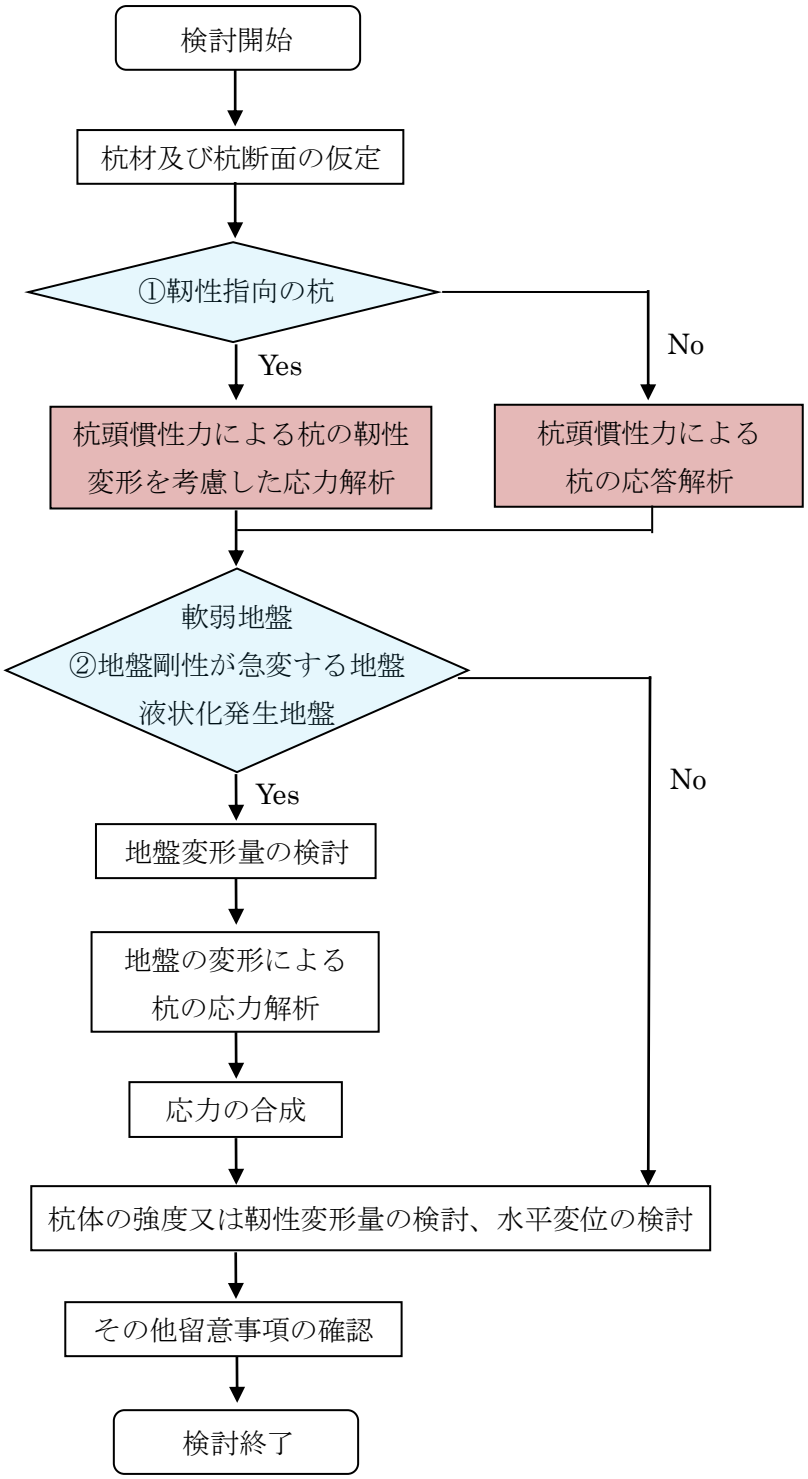
Copyright© 2011 Real Pro Holdings. Inc All Rights Reserved

15. 杭の耐震設計と軟弱地盤への対応について

◆杭の耐震設計

以下に杭の耐震設計の流れを示します。

図 10【杭の耐震設計の流れ図】



Copyright© 2011 Real Pro Holdings. Inc All Rights Reserved

①設計手順
始めに地盤変位の影響を考慮すべき地盤条件かどうかを判定し、考慮する必要の無い場合には、通常の杭頭慣性力のみを考慮した杭の設計を行ないます。地盤変位の影響を考慮する場合は、地震時の地盤の応答変位を設定し、これによる杭の応力を算定します。次に慣性力による杭の応力と地盤変位による杭の応力とを重ね合わせて設計用の杭応力を求めて、杭の断面設計を行ないます。

②検討すべき地盤条件
どのような地盤条件でも地震時には地盤変位が発生し、杭はその影響を受けますが、以下の地盤条件では地盤変位の影響を無視できない可能性が高いので、応答変位法による検討を行なう事が望ましいと言えます。
① 軟弱地盤
② 地震剛性が急変する地盤
③ 液状化発生地盤

表 39【軟弱地盤と地震剛性が急変する地盤の判断基準の目安※1】

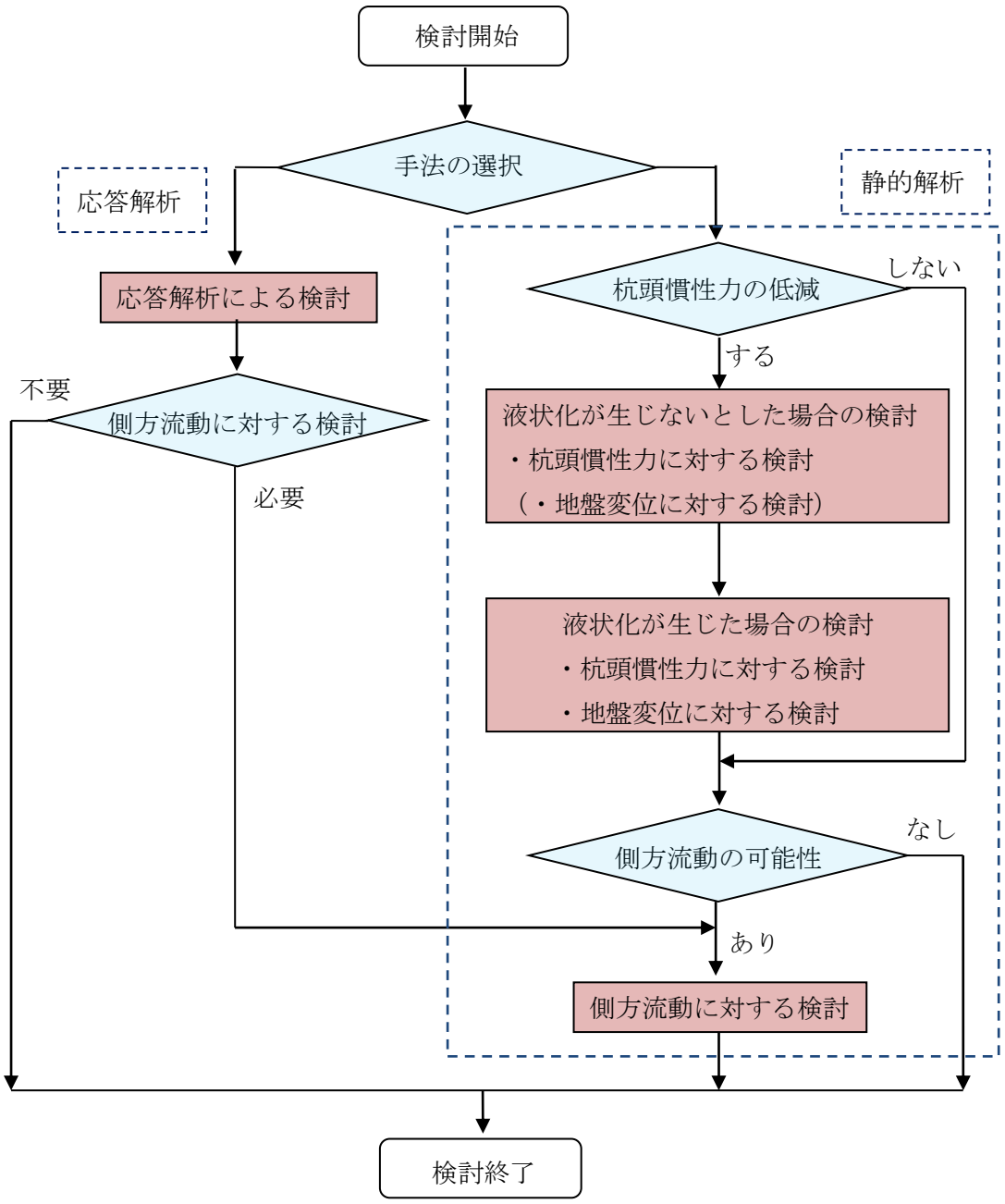
軟弱地盤	・地盤の固有周期 Tg＞0.75 秒の場合 ・基礎底から N値≦2 の粘性土層、あるいは N値≦5 の砂質土層が合わせて 5m 以上存在する場合
地盤剛性が急変する地盤	・地盤拡層上下の Vs 値の比が 2 を超える場合

※1 液状化発生地盤については下記並びに 10 頁の「4. 液状化」を参照。

◆杭基礎における液状化問題について
液状化が発生すると地盤の物性、及び地盤・構造物の応答性状が全く変化する事に注意が必要です。地盤が液状化すると地盤の支持力および変形係数は急激に減少し、動的変異が増大します。敷地条件によっては、過大な側方流動が発生する場合もあります。一方、地盤が液状化すると、それ以後、特に短周期成分の地震波は液状化層以浅に伝わりにくくなると考えられます。また、地盤の固有周期が延びる結果、地盤及び構造物系の応答性状も変化して、構造物へ作用する水平力は液状化前と比較して減少する可能性があります。
杭の水平抵抗力及び水平変位の検討に際しては、これらの影響を適切に予測・評価することが必要です。
以下に液状化に伴う地盤性状の変化を考慮した応答解析と従来の設計法の考え方を踏襲した静的解析により、液状化地盤の杭の水平抵抗力及び水平変位を検討する際のフローを示します。なお、液状化発生に対する安全率 F_L が 1 を超える場合であっても、過剰間隙水圧が発生する可能性がある場合には、過剰間隙水圧の上昇に伴う地盤物性の変化を評価する必要があります。

Copyright© 2011 Real Pro Holdings. Inc All Rights Reserved

図 11【杭基礎における液状化検討フロー】



Copyright© 2011 Real Pro Holdings. Inc All Rights Reserved

16. 基礎スラブ並びに杭頭接合部

基礎スラブには一般的に、杭、基礎梁及び最下階の柱が定着する事から、地震時の水平力等に対して複雑な応力が発生します。杭頭接合部の性能は杭や基礎梁主筋の付着性能、あるいはパイルキャップのせん断性能等に支配され、それらが相互に影響し合う事になります。

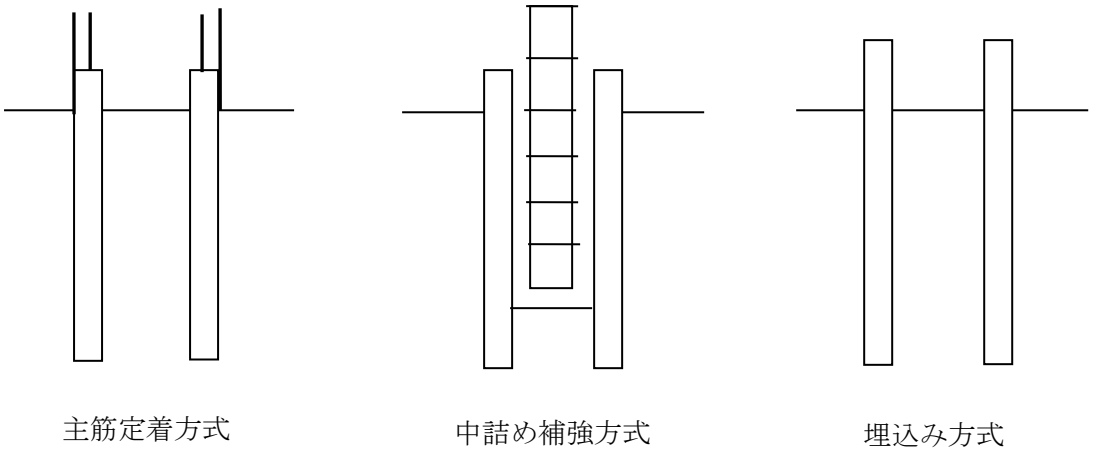
基礎スラブあるいは杭頭接合部の破壊は、基礎梁の破壊と同様に、上部構造全体の崩壊形に与える影響は大きいと言えます。また、杭の性能を十分に発揮させる意味からも、基礎スラブあるいは杭頭接合部を先行させて破壊させないように、設計用限界値を杭体に比べて安全側に設定する考え方がありますが、杭体が基礎スラブや杭頭接合部に比べて必ずしも靭性に富むわけではないので、損傷した場合の補修・補強はいずれも容易ではありません。以下に一般的な杭頭接合方法を示します。

表 40【杭接合部の種類と内容】

方式	内容
主筋定着方式	① 杭体主筋を延長あるいははつり出し、基礎スラブ内に定着。 ② 杭端板に鉄筋をスタッド溶接あるいはねじ接合し、基礎スラブ内に定着。通常杭体を 10mm 程度埋込む。 ③ 杭鋼管部に鉄筋をフレア溶接し、基礎スラブ内に定着。通常杭体を 10mm 程度埋込む。
中詰め補強方式	杭頭部を鉄筋あるいは中詰め鉄筋コンクリートで補強し、鉄筋を基礎スラブ内に定着。
埋込み方式	杭本体を基礎スラブ内に杭径程度埋込む。
その他	杭頭部の外周を鉄筋コンクリート、鋼管巻きコンクリート等で補強等。

※上記の方式を組み合わせたものも多い。

図 12【代表的な杭頭接合部】



Copyright© 2011 Real Pro Holdings. Inc All Rights Reserved

表 41【杭頭接合方式と杭種との組合せ】

杭種 / 接合方式		PHC 杭		鋼管杭 SC 杭	場所打ちｺﾝｸﾘｰﾄ杭	場所打ち鋼管ｺﾝｸﾘｰﾄ杭
		杭頭ｶｯﾄｵﾌ有	杭頭ｶｯﾄｵﾌ無			
主筋定着方式	①	○	－	－	○	－
	②	－	○	－	－	－
	③	－	－	○	－	○
中詰め補強方式		○	○	△	－	△
埋込み方式		○	○	○	－	○

注意事項

○：一般的

△：まれ

留意点としては、中詰め補強方式における杭体内への補強長さについてです。地震後の被害調査等によれば、中詰め補強方式での既製コンクリート杭の杭頭部での特徴的な破壊例がいくつか報告されています。破壊の原因としては、補強部分が短いと曲げ変形しにくく、だぼ効果によって杭体に支圧的な荷重が内部から作用したためと考えられています。補強長さを杭径の 2 倍とした実験では、中詰め補強部分も曲げ及び引抜き力に対して有効に機能し、局部的な応力集中が生じなかったという報告があります。そのため、杭体内への補強長さについては、杭径の 2 倍以上を確保する事を推奨します。

Copyright© 2011 Real Pro Holdings. Inc All Rights Reserved

17. 併用基礎

併用基礎とは、異なる基礎形式を併用するもので、単独の直接基礎や杭基礎よりもその挙動が複雑になります。併用基礎は①異種基礎、②パイルド・ラフト基礎、の二つに大別する事が出来ます。

①異種基礎

1 つの構造物に異なる 2 種類以上の基礎形式を用いるもので、部分的に見れば単独の基礎形式になっています。このため、基礎は部分的に別の基礎形式の鉛直支持性能を持ち、かつ地震時の水平支持性能を持つ事になります。そのため構造物全体の基礎の挙動は複雑になります。そのため通常の地盤条件や構造物の条件であればなるべく避けるべき基礎形式と言われています。しかし、特殊な地盤条件や上部構造物が異種の基礎の複雑な挙動に十分耐えうると判断されればこの基礎形式が採用される場合があります。

建築基礎は

①支持地盤の選定

②基礎形式（基礎スラブ形式と基礎の形式）の選定

を行なう事が最も基本的な課題となっています。この 2 つの選定にあたって、それぞれの建築物ごとに、敷地の状況、土質調査、上部構造の規模・用途・形状・構造特性、外力と荷重、工期、予算、施工性などの検討に加えて、種々の組合せの中から最終的に通常 1 つの支持地盤と 1 つの基礎形式を選定します。しかし、支持地盤が傾斜していたり、上部構造の荷重が平面的に大きく異なる場合などは、2 つ以上の基礎形式の併用がどうしても避けられない場合が生じます。

②パイルド・ラフト基礎

一般に布基礎やべた基礎などの直接基礎と杭基礎を併用した基礎形式で、荷重に対して直接基礎と杭基礎が複合して抵抗する基礎を言います。杭基礎の設計では、基礎スラブ底面の地盤の抵抗力は無視するのが原則ですが、パイルド・ラフト基礎では、ある程度の沈下を許容したときに基礎底面における地盤の抵抗力が期待できる場合について、この抵抗力を積極的に利用して基礎の合理化をはかろうとする工法です。

パイルド・ラフト基礎と異種基礎との違いは、基礎形式として平面位置で単独な基礎に分割出来ない事です。言い換えれば平面上のどの位置でも異なる基礎が複合しており、その両者で上部構造を支持する性能を発揮するという事です。パイルド・ラフト基礎は異種の基礎の併用とは基本的に異なるもので、基礎の変形量を減少させるために検討される基礎形式です。

Copyright© 2011 Real Pro Holdings. Inc All Rights Reserved

18. 異種基礎

以下に異種基礎の種類と検討課題等を示します。

表 42【異種基礎の種類と検討課題の重要度】

地業の組合せ	異種基礎の種類とその併用要因	対象荷重と検討課題の重要度			
		鉛直荷重	水平荷重		総合
		不同沈下	水平抵抗	全体回転	
直接基礎と杭基礎	タイプ A：支持層が傾斜している ・支持層が大きく傾斜している場合	Ⅲ	Ⅱ	Ⅱ	Ⅱ
	タイプ B：支持層が異なる ・高層棟と低層棟など基礎の接地圧が大きく異なる場合	Ⅰ	Ⅰ	Ⅱ	Ⅰ
	タイプ C：基礎底面深さが異なる ・基礎底面位置が異なる場合	Ⅲ	Ⅲ	Ⅲ	Ⅲ
直接基礎同士	タイプ D：支持層が異なる ・基礎底面深さが異なる	Ⅱ	Ⅳ	Ⅲ	Ⅱ
	タイプ E：基礎スラブ形式が異なる ・支持地盤が傾斜している場合 ・基礎の接地圧が異なる場合	Ⅳ	Ⅲ	Ⅲ	Ⅲ
杭基礎同士	タイプ F：支持層が異なる ・高層棟と低層棟など基礎の接地圧が大きく異なる場合	Ⅱ	Ⅲ	Ⅲ	Ⅱ
	タイプ G：支持杭と摩擦杭の併用 ・高層棟と低層棟など基礎の接地圧が大きく異なる場合	Ⅰ	Ⅲ	Ⅲ	Ⅰ
	タイプ H：施工法の異なる杭の併用 ・高層棟と低層棟など基礎の接地圧が大きく異なる場合	Ⅳ	Ⅲ	Ⅲ	Ⅲ

Ⅰ：障害が生じやすく精度の高い検討が必要（難易度が非常に高い）

Ⅱ：障害が起こる可能性があり十分な検討が必要（難易度が高い）

Ⅲ：障害が起こる事があり、場合によっては検討が必要（難易度は普通）

Ⅳ：障害が起こる可能性が低く特別な検討は不要（難易度は低い）

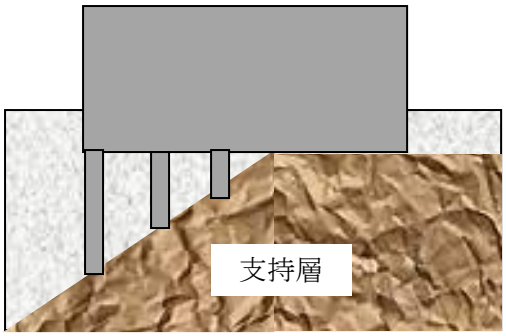
異種基礎に起こりうる基本的な問題は下記の 2 点です。

① 鉛直荷重時に沈下性状が異なることによって、不同沈下が発生し、上部構造に障害が生じること。

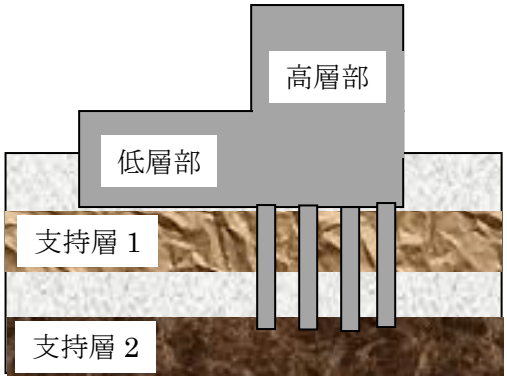
② 水平荷重時にその挙動が異なることによって、水平力の集中や基礎全体の回転が生じて、特定の基礎に応力集中が生じて基礎に障害が生じること。

Copyright© 2011 Real Pro Holdings. Inc All Rights Reserved

図 13【異種基礎の組合せ図】



タイプ A



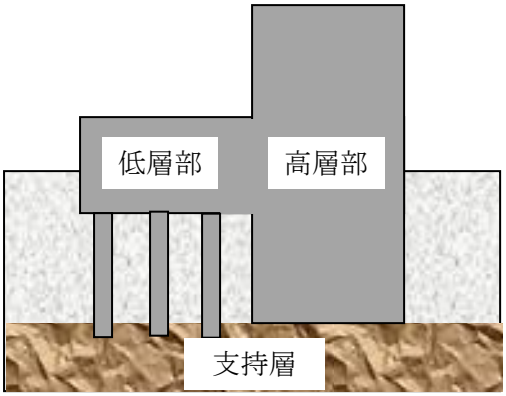
タイプ B

タイプ A

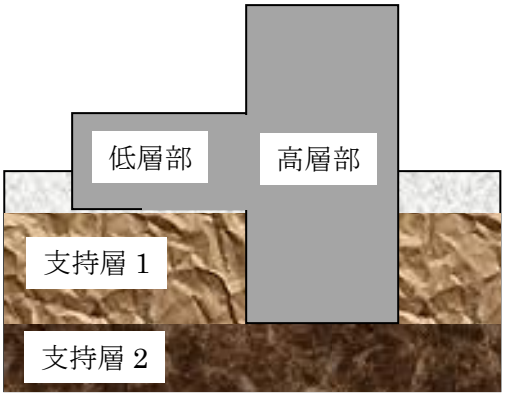
最も多い異種基礎で、丘陵地などの造成地で多く見られます。支持地盤が大きく傾斜しており、支持層が浅い部分を直接基礎とし、深い部分を杭基礎とするものです。

タイプ B

荷重の条件と地盤の条件から荷重の小さい低層部は直接基礎とし、荷重の大きい高層部は下部のより堅固な地盤に杭基礎を支持させるものです。この形式は異なる基礎形式の境界部分で不同沈下や地震時に杭の障害が発生しやすいため、出来るだけ避けた方が良い構造です。



タイプ C

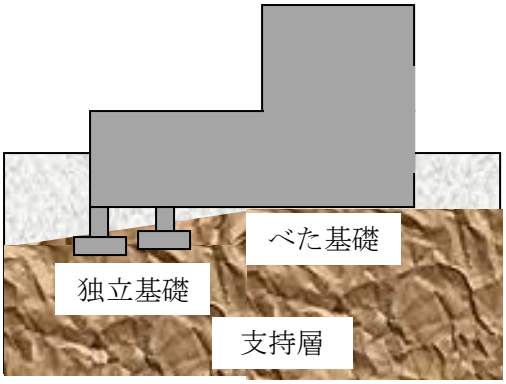


タイプ D

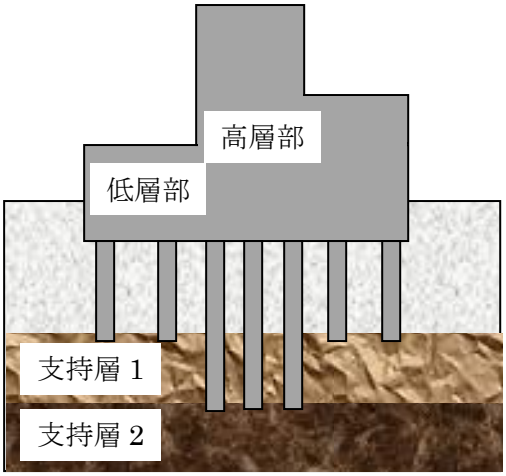
タイプ C

高層部と低層部の基礎底レベルに差があり、支持層に到達している高層部は直接基礎とし、支持層に届かない低層部は杭基礎とするものです。この形式は鉛直荷重時は比較的問題は少ないですが、地震時の水平力の片寄りや基礎の全体回転に対して剛性の低い杭基礎部分で障害が発生する可能性があります。

Copyright© 2011 Real Pro Holdings. Inc All Rights Reserved



タイプ E



タイプ F

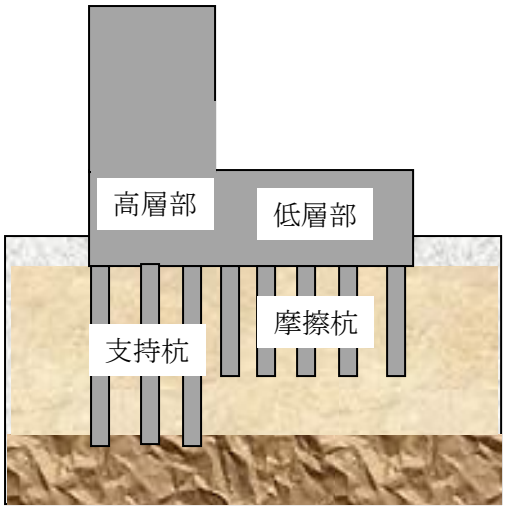
タイプ D 及びタイプ E

これらの組合せは基礎の形式が同じため、支持地盤の圧縮性が小さければ一般的には異種基礎として扱う必要はありません。しかし、支持地盤の圧縮性が比較的大きく、かつタイプ D の場合ではそれぞれの基礎の接地圧と地盤の変形係数との関係が大きく異なる場合、タイプ E では、支持地盤が水平であれば異種基礎として扱う必要はありませんが、傾斜している場合には、水平荷重時の基礎の回転により独立基礎部分（基礎柱）に応力集中が生じやすいために注意が必要です。

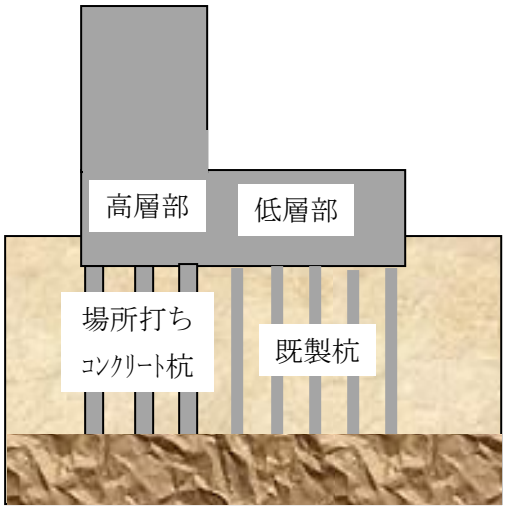
タイプ F

鉛直荷重時に、杭の支持形式の差による不同沈下の発生が懸念されるため、それぞれの杭の支持力特性を把握して、出来るだけ変形が同じとなるような計画にする必要があります。

Copyright© 2011 Real Pro Holdings. Inc All Rights Reserved



タイプ G



タイプ H

タイプ G

鉛直荷重時に、杭の支持形式の差による不同沈下の発生が懸念されるため、それぞれの杭の支持力特性を把握して、出来るだけ変形が同じとなるような計画にする必要があります。支持杭と摩擦杭は特に沈下性状の差が大きいために、境界部に障害が起きる可能性が高く、出来るだけ避けた方が良い構造です。

タイプ H

鉛直荷重時に大きな問題は生じませんが、地震時に杭剛性の違いにより水平力の分担が、特定の杭に集中する傾向にあります。

Copyright© 2011 Real Pro Holdings. Inc All Rights Reserved

19. パイルド・ラフト基礎

パイルド・ラフト基礎は直接基礎と杭基礎の中間にあたる基礎形式です。直接基礎に近いものや杭基礎に近いものもありますが、主に直接基礎単独では設計上の要求性能を満足しない場合に、沈下量及び不同沈下量を低減するための杭を直接基礎に付加して、パイルド・ラフト基礎とする事により、基礎全体としての荷重～沈下性状の改善を図ろうとする場合に用いられます。

図 14【他の基礎と比較したパイルド・ラフト基礎のイメージ図】

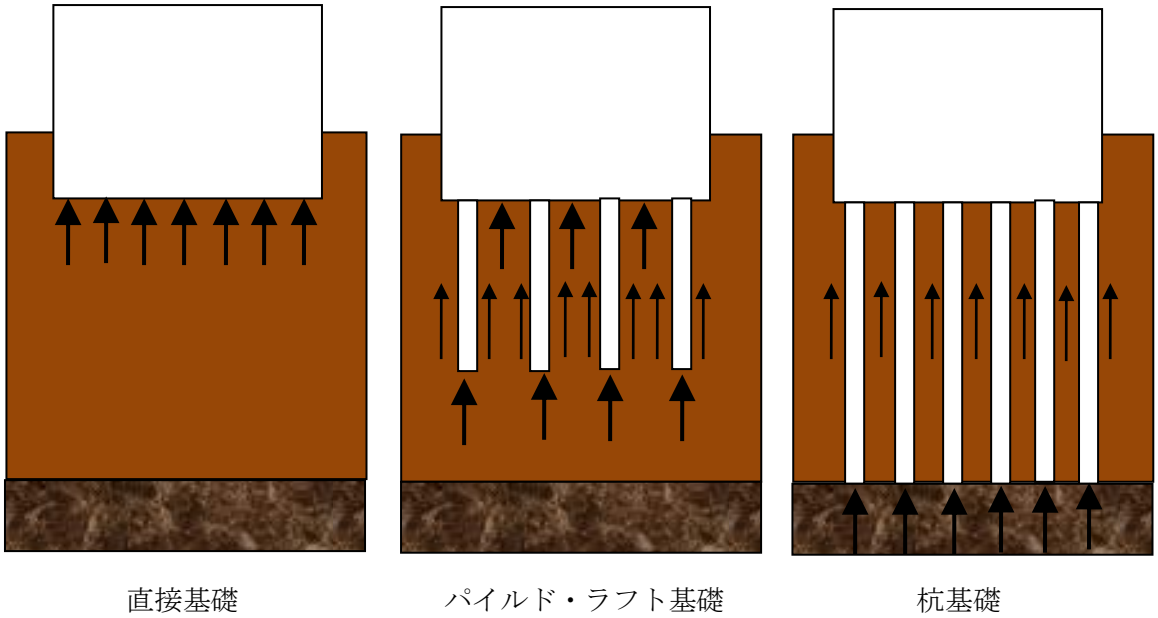
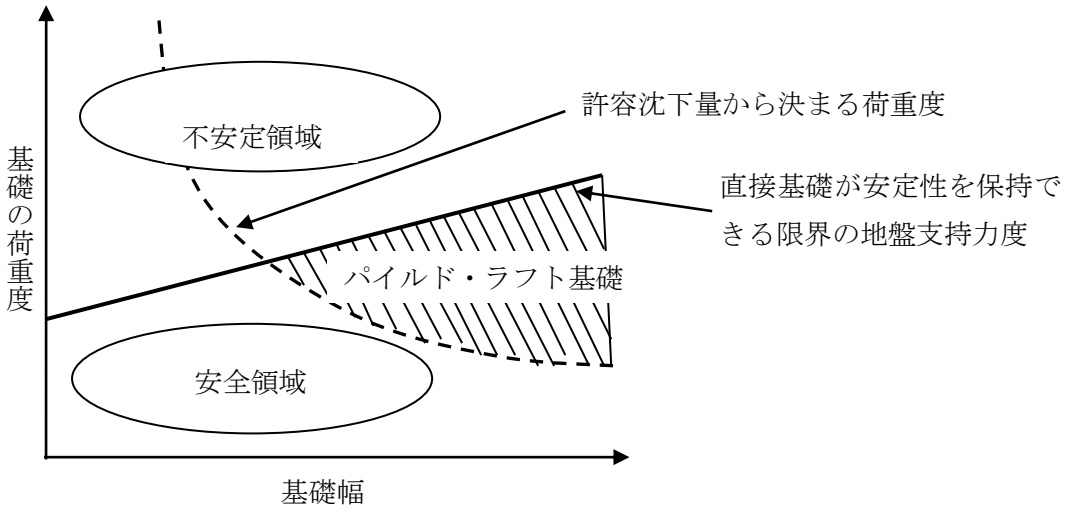


図 15【基礎の荷重度から見たパイルド・ラフト基礎の適用範囲】



Copyright© 2011 Real Pro Holdings. Inc All Rights Reserved

直接基礎をパイルド・ラフト基礎とする事により、一般に以下の点が改善されます。

① 基礎の平均沈下量及び不同沈下量の低減

② 荷重の偏心や予期しがたい表層の土質性状のばらつきによる基礎の全体傾斜の低減

③ 基礎梁、基礎スラブの曲げモーメント、せん断力の低減

④ 荷重が大きく異なる部分の境界部における沈下量差の低減

⑤ 基礎全体としての地盤破壊に対する支持力安全率の増加

◆パイルド・ラフト基礎の適用性が高い条件

直接基礎としての支持力は十分であるが沈下あるいは不同沈下が過大となる場合で、例えば直接基礎としての支持地盤が、比較的硬質の粘土あるいは密度の高い砂の場合

◆パイルド・ラフト基礎の適用が難しい地盤条件

表層地盤の強度が著しく小さい場合
広域の地盤沈下が生じている場合
支持地盤が地震時に液状化する恐れのある場合
基礎スラブ下の地盤の抵抗が長期的に期待出来ないと判断される場合

※上記の場合には直接基礎としての支持地盤に地盤改良などの対策を施した上で採用を検討する必要があります。

以上

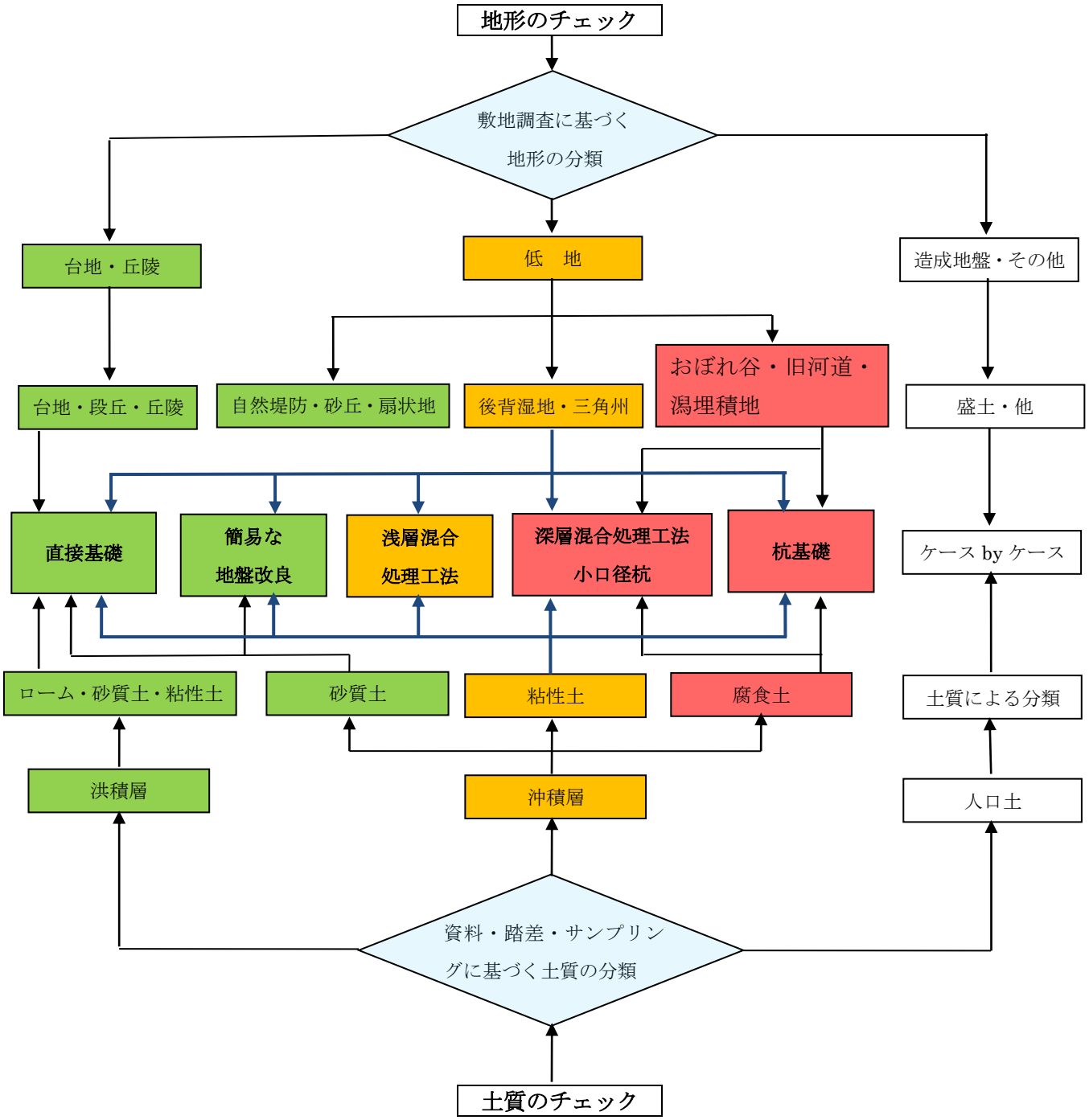
参考文献等

建築基礎構造設計指針（社団法人日本建築学会）
小規模建築物基礎設計指針（社団法人日本建築学会）
木造住宅の耐震診断と補強方法（財団法人日本建築防災協会）
国土交通省ホームページ他

Copyright© 2011 Real Pro Holdings. Inc All Rights Reserved

20. 付録

【地形・土質による基礎形式・地盤補強の選定例】

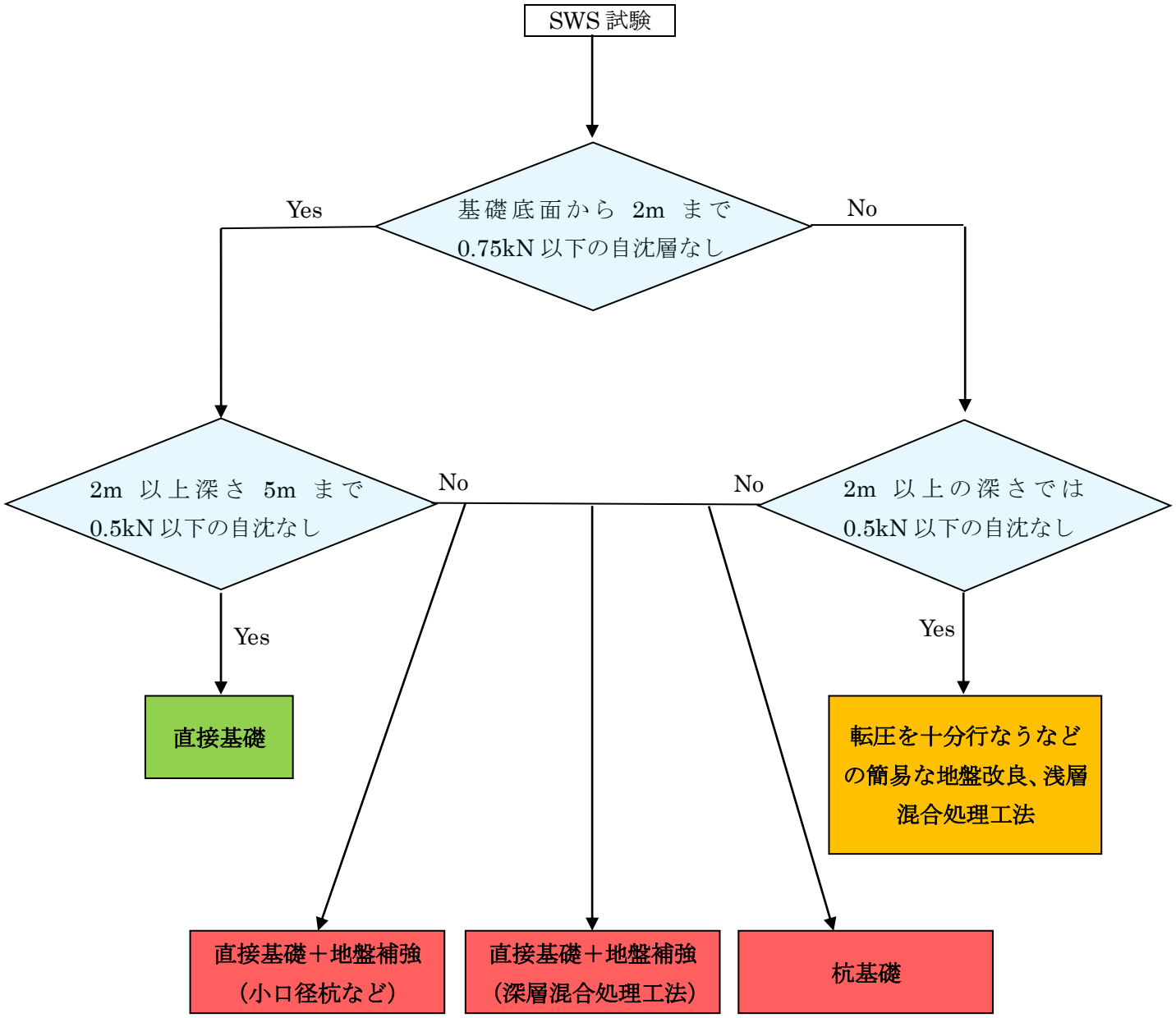


小規模建築物の基礎形式の選定については、事前に地形や地層に関する情報を的確に把握し、検討する事が重要となります。地形や大まかな地層を把握する事が出来れば、基礎の選定における大きな判断の誤りを回避出来る可能性が増加します。

Copyright© 2011 Real Pro Holdings. Inc All Rights Reserved

20. 付録

【SWS 試験の貫入抵抗値による基礎形式の選定例】



Copyright© 2011 Real Pro Holdings. Inc All Rights Reserved

20. 付録（土の飽和度）

26 頁「◆土の含水比と湿潤密度」の中で、記載しなかった、土の状態を示すもうひとつの目安となる「土の飽和度」について説明します。土の構成については 26 頁図 7【土の構成】を参照してください。

土の間隙中、水の占めている割合を表わすのに飽和度 Sr あるいは相対含水比という語が用いられます。飽和度とは、土の全間隙体積 Vv に対する間隙中の水の体積 Vw の比（または百分率）として次式のように算式で表わされます。

Sr=Vw÷ Vv

=Ww÷Wv

=w÷wsat

Ww：間隙中の水の重量

Wv：全間隙を満たしたときの水の重量

w：含水比

wsat：全間隙を水で満たしたときの含水比

また、間隙率で表わすと次式のようになります。

Sr＝ｎw／ｎ

飽和度によって土の相構成および間隙の状態は次のように分けられます。

（1）Sr＜1 ： 不飽和の状態を示す。固相－液相－気相の 3 相構成

（2）Sr＝1 ： 間隙が完全に水で満たされた飽和の状態を示す。固相－液相の 2 相構成

（3）Sr＝0 ： 完全乾燥の状態を示す。固相－気相の 2 相構成

以下に飽和度による土の状態を示した表を記載します。

表 43【飽和度と土の状態】

飽和度（Sr）	土の状態
0	乾ききった土
0～0.25	いくらか湿りのある土
0.26～0.5	湿った土
0.51～0.75	非常に湿った土
0.76～0.99	湿潤土
1.00	飽和土

Copyright© 2011 Real Pro Holdings. Inc All Rights Reserved

20. 付録（液状化は繰り返し発生する可能性が高い）

千葉県環境研究センターでは東日本大震災による千葉県内における液状化の調査結果を第1報（平成23年3月18日発表）～第3報（平成23年6月9日発表）に分けて発表しました。それによると1987年に発生した千葉県東方沖地震で液状化した地域が一部重複しているとの調査結果が明らかになりました。

一度液状化した場所は地盤が安定し、再び液状化しないという説がありますが、これは粗粒な地層の場合に地盤が締め固まるものであり、今回の調査により、細粒な地層の場合には、地震により液状化した地盤の多くは締め固まらず、以前より緩くなっている事が多いとしており、「千葉県で埋め立てに使われた房総半島の砂は粒子が細かく、一旦液状化した後も、地盤は固まりづらく、強い地震が起きれば再び液状化が起き可能性が高い。」としています。

これらの報告書や他の文献から推測すると

特に液状化し易い埋立地には泥層主体と砂層主体の埋立部分があり

◆砂層はゆる詰まりであり鉱物粒子（主な地層粒子）同士がくっつき合う作用はごく小さいので、間隙水圧が高まれば液状化しやすい。

◆泥層は一般に粘土鉱物を多く含み、これが鉱物粒子同士をくっつける作用を持つために液状化しにくい。

と言えます。

以上

Copyright© 2011 Real Pro Holdings. Inc All Rights Reserved

21. 巻末表図索引

表 1　地震災害に関する地形種別の相対的危険度の予測例・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・4
表 2　地形を表す主な言葉や地名例・・5
表 3　植生による地盤の推測・・6
表 4　地盤の分類・・7
表 5　非常に悪い地形の分類・・・9
表 6　液状化判定対象土層・・10
表 7　地表変位（D_{cy}）による液状化の指標・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・10
表 8　液状化可能性微地形区分・・・13
表 9　液状化対策の基本的な考え方と対策方法・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・14
表 10　地盤改良の種類・・16
表 11　各診断法との分類比較表・・・17
表 12　法律によって定められた地盤の許容応力度の数値・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・18
表 13　長期許容地耐力表・・・19
表 14　N 値と長期許容地耐力の関係（kN/㎡）・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・19
表 15　試験掘りによる地層の簡易判別法・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・20
表 16　調査項目による試験の種類・・・22
表 17　土試料の採取方法・・・23
表 18　室内土質試験の例・・・24
表 19　土の粒径による分類・・25
表 20　土の判別表（ローム層）・・・25
表 21　含水比の測定例・・26
表 22　土の湿潤密度の目安・・26
表 23　土の単位体積重量γの目安・・・27
表 24　沈下の特徴・・・27
表 25　許容沈下量の参考値（cm）・・・27
表 26　基礎工事等の違いによる地盤調査に必要な深さ等・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・28
表 27　基礎構造の要求性能・・29
表 28　一般的な木造・鉄骨造住宅の荷重（総荷重/建築面積）・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・29
表 29　基礎形式ごとの検討事項・・・30
表 30　直接基礎工法における構造別の限界変形角の例・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・31
表 31　構造別の相対沈下量の限界値の例・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・32
表 32　構造別の総沈下量の限界値の例・・32
表 33　杭の最小間隔の目安・・33
表 34　施工法による代表的な杭の分類・・・34

Copyright© 2011 Real Pro Holdings. Inc All Rights Reserved

表 35　杭の設置工法等の分類・・・34
表 36　鋼管杭の長所と短所・・・35
表 37　代表的な既製コンクリート杭の種類と内容・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・36
表 38　杭基礎の性能レベル・・・41
表 39　軟弱地盤と地震剛性が急変する地盤の判断基準の目安・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・43
表 40　杭接合部の種類と内容・・・45
表 41　杭頭接合方式と杭種との組合せ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・46
表 42　異種基礎の種類と検討課題の重要度・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・48
表 43　飽和土と土の状態・・・56

図 1　地盤改良を行なうか杭基礎とする必要がある地盤・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・8
図 2　液状化のメカニズム・・・11
図 3　液状化簡易判定グラフ・・・14
図 4　土質と地下水位・・・14
図 5　液状化対策例・・15
図 6　日本統一土質分類による大分類・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・25
図 7　土の構成・・26
図 8　支持地盤の深度と適用可能な基礎形式・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・30
図 9　杭基礎各部の被災例・・39
図 10　杭の耐震設計の流れ・・・42
図 11　杭基礎における液状化検討フロー・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・44
図 12　代表的な杭頭接合部・・・45
図 13　異種基礎の組合せ図・・・49
図 14　他の基礎と比較したパイルド･ラフト基礎のイメージ図・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・52
図 15　基礎の荷重度から見たパイルド･ラフト基礎の適用範囲・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・52

初版 2011 年 5 月 28 日

Copyright© 2011 Real Pro Holdings. Inc All Rights Reserved