

住宅基礎の構造性能評価技術

～地盤に起因する不具合は回避できるか？～

国際地震工学センター 上席研究員 田村昌仁

目 次

- I はじめに
 - II 研究の背景
 - (1) 住宅基礎地盤のリスクとコスト
 - (2) 住宅基礎地盤の設計施工
 - (3) 住宅基礎地盤の補修と補強
 - III 地盤に起因する不具合の現状
 - (1) 不具合の現状と対処の実態
 - (2) 不具合の事例分析
 - IV 住宅基礎地盤の基本課題
 - (1) 盛土等の造成地での基礎設計
 - (2) 擁壁や崖近傍での基礎設計
 - (3) 液状化地盤での基礎設計
 - (4) 杭や地盤改良の設計と品質検査
 - V 海外の住宅基礎地盤
 - (1) 設計基準, 構造方法, 地耐力と沈下修正
 - (2) 盛土造成やがけ付近の住宅基礎
 - VI 杭や地盤改良の現状と今後
 - (1) 杭や地盤改良の性能評価
 - (2) 小口径鋼管杭と木杭の支持力評価実験
 - VII 耐震設計の現状と今後
 - (1) 杭や改良地盤上の基礎
 - (2) 安定性が不明ながけや擁壁周辺の基礎
 - (3) 液状化のおそれのある敷地の基礎
 - VIII 住宅敷地の耐震性能評価に関する最新動向
 - (1) 耐震改修促進法と基礎及び敷地
 - (2) 宅地造成等規制法と宅地耐震化事業
 - (3) 普及型耐震改修技術の開発
 - IX 住宅会社と建築主の役割
 - (1) 基礎地盤に関する設計施工情報
 - (2) 地盤災害と地震保険
 - (3) 地盤保証制度
 - (4) 地盤に起因する不具合の軽減・防止
 - (5) 建築主のチェックシート
 - X おわりに
- 参考文献

I.はじめに

品確法の創設¹⁾や基準法の改正²⁾を契機とし、住宅建設における基礎地盤の重要性が強く認識されるようになってきた。住宅建設会社はむろん住宅関連団体・学会・行政など、各方面で住宅の基礎・地盤・宅地造成に係わる検討が進められ、設計施工技術は確実に合理化・高度化している。

木造住宅の場合、地盤調査すら実施されない場合もかつては少なくなかったが、建築基準法の改正などによりスウェーデン式サウンディング試験(SWS 試験)が定着し、地盤調査が当たり前のように行われるようになった。また、地盤改良や杭といった軟弱地盤対策も広く用いられるようになっており、住宅の沈下障害を回避するための技術開発も進められている。戸建て住宅を主対象とした小口径鋼管杭の許容支持力に関して、日本建築センター等の指定性能評価機関で設計図書省略を可能とする大臣認定を取得する工法も多く登場している(例えば、日本建築センターで旧認定工法を併せて 30 工法以上)。土とセメント系固化材を地中で攪拌混合する深層混合処理工法に関して、施工の確実性を図るため、施工審査証明を取得した工法も数多い(例えば、日本建築センターで 10 工法以上)。

しかしながら、新規の盛土による圧密沈下が予測される敷地や安定性が乏しい擁壁背面地盤など、地盤改良や杭を採用する場合であっても、その基礎設計法は未だに明確ではない。特に、古い既存擁壁の近傍に住宅を建設せざるを得ない場合、擁壁の状態を把握することが必要であるが、中古品である擁壁の性能は安易に請け負えるわけではなく、住宅建設において既存擁壁の安全性や住宅と擁壁の相互作用等にどこまで考慮すべきか、また技術的にどこまで可能か、現時点でも難しい問題である。地域によっては古い空石積み(既存不適格擁壁等)も多く存在し、大都市の高級住宅地でも、安定性が不明なけい・擁壁に遭遇することは少なくない。

このような状況のもと、2006 年には、建築物の耐震改修促進法に係わる告示改正が行われ、建築物だけでなく、建築物の敷地も耐震診断・改修の対象となっている。この敷地の耐震診断では、擁壁、がけ崩れ等、液状化が診断の対象として明確に位置づけられている³⁾。また、2006 年には、宅地造成等規制法の抜本的な法令改正が行われ、宅地のハザードマップの作成や宅地耐震化事業が進められつつある⁴⁾。宅地耐震化事業では、耐震性の乏しい大規模な盛土造成地などを対象とし、公的資金の助成などにより民間宅地の耐震化を図ろうとする制度である。これらの敷地・宅地に関する法令改正は、住宅建設における敷地の診断や補強等の必要性を

今まで以上に求めることにも繋がる。

また、技術的な課題が明確になりつつある一方で、基礎・地盤の沈下障害に対する修復費が多額であることなどを背景にして、不同沈下障害などを保証する地盤保証制度も整備されつつある。地盤保証制度とは、一般に、地盤条件などに応じて提示された地盤補強工事(地盤改良や杭)や基礎形式を選択すれば、不同沈下の再発を防ぐために必要な地盤補強工事や建物本体の不具合修補工事などを負担する制度である⁵⁾。このような制度の有用性は、基礎及び地盤補強工事の費用、沈下修正工事の費用⁶⁾、掛け金、障害の発生率などの関係から判断することになるが、地盤調査や地盤改良・杭工事の信頼性やレベルに大きく係わっている。

本稿は、上記を鑑み、住宅基礎地盤に係わるリスクや障害の現状⁷⁾、判例などにおける基礎・地盤のトラブルの現状⁸⁾、地盤保証の現状、住宅基礎地盤の設計施工技術の課題、佐賀市有明海沿岸の軟弱地盤地域で実施中の小口径鋼管杭や木杭の各種載荷試験の結果、基礎・地盤の不具合を回避するための住宅会社と建築主の役割、など、技術基準類の最新の動向や教訓的な障害例を併せて解説する。また、住宅基礎に関する国内外の基準類の相違等を紹介し、日本の住宅基礎の特徴と海外基準類に学ぶべき規定等を述べる¹⁰⁾。

II. 研究の背景

(1)住宅基礎地盤のリスクとコスト

①住宅基礎地盤の不具合の原因と瑕疵

住宅の安全性や使用性に関する居住者意識の高まりなどを背景に、住宅の不具合や瑕疵に対する関心が強まっている。品確法により、木造住宅の基礎も含めて新築住宅の構造耐力上主要な部分の瑕疵担保期間を 10 年とする制度が確立しているが、長期間に及ぶ地盤の沈下現象などを考えると、期間の持つ意味は大きい。粘土地盤などで生じる圧密現象(土中の間隙水が住宅建設による載荷荷重によって徐々に抜け出して地盤沈下が進行する状態)のように、理論的な沈下予測法が確立しているものもあるが、盤ぶくれ(基礎直下の地盤が硫酸塩の結晶化などのために隆起する現象など)やスレーキング(風化しやすい岩砕(泥岩、頁岩、蛇紋岩、凝灰岩、片岩など)を盛土材とした場合、乾燥・吸水を繰り返すことにより岩が崩れてバラバラになって地盤沈下が生じる現象など)、など地盤の特殊性が不同沈下の原因になることもある。沈下計算が可能な圧密沈下に関しても、住宅のための地盤調査の精度やばらつきの多い表層土の性状などを考えると、沈下予測の信頼性には限界がある。また、新規の造成

地では、盛土部分の転圧不足のため、梅雨/台風などによる雨水が盛土内に浸入して地盤が圧縮沈下することもあるので、盛土直下の地盤が良好であっても、盛土部分に十分雨水を浸みこませた後に基礎工事に着工することも必要となっている。これらの問題は、SWS 試験だけでは評価できないので、沈下障害を回避するには地域性や経験・実績も重要である。

障害・不具合には瑕疵が関わってくることもある。建設省告示 1653 号(2000)は、性能表示制度のもとでの建設性能評価書が交付された特定の住宅を対象とした規定ではあるが、床傾斜や基礎のひび割れ等が生じた場合、不具合の度合いに応じて瑕疵の可能性を判断する定量的な目安が示されている(表 1、図 1 参照)。

このような状況下において、建物の建替え費の支払いを巡る 2002 年 9 月の最高裁判決¹¹⁾は、今後の住宅保証に大きな意味を持つと考えられている。これは、民法第 653 条(損害賠償請求)のただし書き規定(建物その他土地の工作物については瑕疵によって契約を解除することができない)に係わる初めての最高裁判決であり、

表-1 住宅品質確保法における瑕疵の可能性を判断する目安の例

レベル	住宅の種類		構造耐力上腫瘍な部分に瑕疵が存在する可能性
	木造住宅、鉄骨造住宅、鉄筋コンクリート造住宅又は鉄骨鉄筋コンクリート造住宅	木造住宅、鉄骨造住宅、鉄筋コンクリート造住宅又は鉄骨鉄筋コンクリート造住宅	
1	3/1000 未満の勾配の傾斜 凹凸の少ない仕上げによる床の表面における 2 点(3m 程度以上は慣れているものに限り)の間を結ぶ直線の水平面に対する角度をいう。		低い
2	3/1000 以上 6/1000 未満の勾配の傾斜		一定程度存する
3	6/1000 以上の勾配の傾斜		高い

注：建設住宅性能評価書が交付された住宅を対象とした場合。

基礎のひび割れに対する瑕疵の可能性(湿式の仕上げの場合)

レベル	住宅の種類		構造耐力上腫瘍な部分に瑕疵が存在する可能性
	木造住宅、鉄骨造住宅、鉄筋コンクリート造住宅又は鉄骨鉄筋コンクリート造住宅	木造住宅、鉄骨造住宅、鉄筋コンクリート造住宅又は鉄骨鉄筋コンクリート造住宅	
1	レベル 2 及びレベル 3 に該当しないひび割れ		低い
2	仕上げと構造材にまたがった幅 0.3 mm 以上 0.5 mm 未満のひび割れ(レベル 3 に該当するものを除く)		一定程度存する
3	①仕上げと乾式の下地材にまたがったひび割れ ②仕上げと構造材にまたがった幅 0.5 mm 以上のひび割れ ③さび汁を伴うひび割れ		高い

注：建設住宅性能評価書が交付された住宅を対象とした場合。

湿式の仕上げと構造材にまたがった幅 0.5mm 以上のひび割れの例

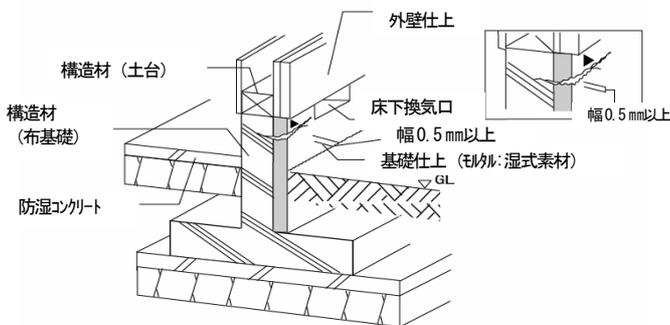


図-1 瑕疵の可能性を判断する目安の例
『住宅紛争処理の参考となるべき技術的基準の解説』、(財)住宅リホーム・紛争処理支援センター、平成 12 年度版

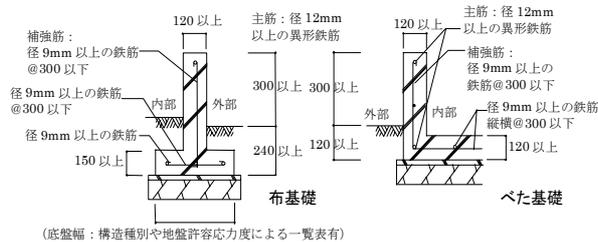
重大な瑕疵があるため建替えざるを得ない場合は建替え費相当額の損害賠償請求ができることと結審している。このことは、住宅の総工事費の 5~10%に過ぎない基礎・改良工事であっても、状況によっては、総工事費を上回る建替え費相当の損害賠償に繋がることを意味する。

②住宅基礎地盤を取り巻くコスト

基礎の不具合や対策を考える場合、住宅基礎を取り巻くコストの理解も重要である。そこで、かなり大雑把ではあるが、コストの現状について述べる。

一般的な延べ床 40 坪の木造 2 階を想定した場合、グレードにもよるが、布基礎で約 60 万円(1万円/m)、べた基礎で約 100 万円である。総工事費は 1800 万円前後とすると、その約 1/3 が基礎を含めた構造体に要するコストとなる。地盤調査に要する費用は、スウェーデン式サウンディングを前提にすると、約 5 万円である。ただし、契約前に工事費を見積もるには、地盤調査結果に基づいて地盤改良や杭の必要性を判断し、地盤改良の費用を把握することが必要であることから、住宅会社によっては契約前にサービスで地盤調査を実施することもある。なお、1 件 5 万円とし、新築住宅の約 8 割でこの調査がなされているとすると、戸建て住宅の SWS 試験は 40 万戸×5 万円=200 億円産業となる。次に、地盤改良や杭のコストであるが、50~200 万程度であり、新築住宅(年間 50 万戸)の約 3 割で採用され、平均 100 万円とすると、17 万戸×100 万円=1,700 億円産業となる。基礎と改良や杭に要するコストは、一般の木造住宅の地上部分(土台から上)の骨組のコストからみて大きな差異がないことを考えると、費用対効果を考慮した合理的な改良等の設計が必要であるが、改良等の費用は同一敷地であっても設計によってかなり異なる。条件によっては、改良工法の選定方法だけでなく、要不要の判定方法も住宅会社によって異なる。地上部分であれば設計上の仮定(荷重/外力や保有耐力の評価等)の差異は少ないが、地盤の評価となると既存擁壁の扱いや造成工事の評価によっては判断がケースバイケースで大きくわかることもある。

次に、沈下修正工事のコストについて考える。住宅の着工件数に対して沈下障害の発生割合を調査した例によると、個々の住宅建設会社の年間着工件数に対して 0.2%前後で障害が発生している¹²⁾。沈下障害の発生率は、住宅の建設年度・構造、保証条件、住宅会社の規模、地盤条件(地域や造成地の割合)などの条件の設定方法によってかなり異なると考えられるので統計的に扱うことは困難であるが、かりに 0.1~0.2% (1000 戸に 1,2 戸)の割合で障害が発生し、かつ全てに補修がなされているとすると、50 万戸×0.001~0.002 = 500~1000 戸/年の沈下修正工事がなされていることになり、沈



(底盤幅：構造種別や地盤許容応力度による一覧表有)

建築基準法告示 1347 号(平成 12 年)

図-2 基礎の構造方法

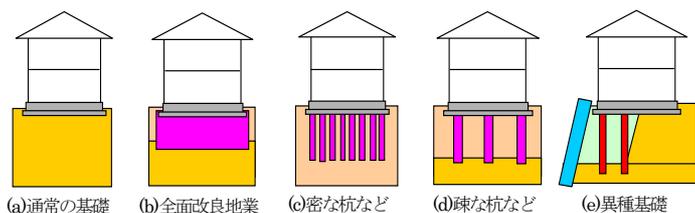


図-3 住宅における基礎・地業の種類

下修正工費を 1 戸 600 万円とすると、住宅の沈下修正は 500～1000 戸×600 万円=30～60 億円産業となる。

(2)住宅基礎地盤の設計施工¹³⁾

①住宅基礎の構造方法

2000 年国土交通省告示 1347 号の創設により、木造住宅の基礎に関しても、採用する基礎形式が明確になり、寸法・配筋の最低限の様子が明確になった。図-2 は、布基礎やべた基礎に関する仕様規定である。

しかし、基礎に作用する荷重状態に着目すると、単純な布基礎とべた基礎だけでなく、基礎形式は図-3 のように大別できる。(a)図は、通常の布基礎・べた基礎を対象としているが、(b)から(e)に向かうにつれ、基礎に作用する荷重状態が変化し、構造計算によって安全性の確認を必要とする度合いが高まる。(e)図は、切盛地盤上の住宅が同種の地盤に支持されるよう杭等を配しているが、異種基礎的な検討も必要である。これらの基礎形式は、地盤の支持性能や基礎の構造方法などを考慮して選択することになる。

②スウェーデン式サウンディング

基礎設計に必要な地盤情報は、1)地盤の長期・短期許容応力度 q_a , 2)沈下の恐れのある地層の存否, 3)沈下層の厚さや支持層深さの変化, の 3 点である。住宅周辺に擁壁やがけ面があるとこれらの影響も加味する必要がある。

これらの正確な把握は容易ではないが、地盤調査として簡便迅速なスウェーデン式サウンディング(SWS)が広まっている(図-4、写真-1)。ここでは、SWS に基づく基礎設計の現状と課題を述べる。

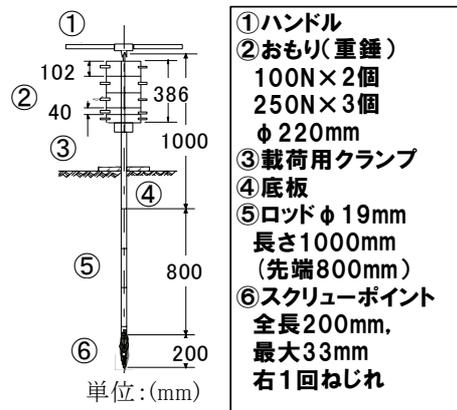


図-4 SWS 試験の装置



写真-1 SWS 試験(左より、手動式、自動式、自動式)



写真-2 スクリューポイントの形状

スクリューの原形

SWSは、国交省告示1113号に規定された『静的貫入試験』の一種で、直径19mmのロッドの先端にスクリューポイント(以下、スクリュー)を取り付け、荷重のみで貫入する自沈層と回転力で捻り込む回転層の 2 段階に分けて計測する調査法である。荷重は 150N,250N,500N,750N,1kNと段階的に増加させ、1kNまでの間に初めて貫入した荷重を自沈荷重 W_{sw} とし、貫入が停止すると荷重を 1kN まで徐々に増大させる。1kN で自沈しない場合に回転力を加えて 25cm 貫入させるための半回転数 N_a を求め、測定結果は N_a を 4 倍した 1m 当たりの半回転数 N_{sw} の値で評価することになる。なお、SWS は

JIS-A1221(2002)に規定された調査法であり、わが国に導入されたのは昭和30年前後であるが、スクリュー形状などが海外規格と異なっており、『スウェーデン式』というより『ジャパン式』である。この調査のスクリューの原形は角錐(1920年代のデンマーク)であり、これが捻った形状になっているが、JISと欧州規格CEN(2002)の形状は異なっている(写真-2)。Nswの定義も、欧州規格では貫入量20cm当たりの半回転数であり、記号が同じNswであっても、日本のNsw(貫入量1m当たりの半回転数)は欧州の5倍の値となる。

SWSによる地盤の許容支持力に関しては、告示第1113号第2(3)で(1)式による $qa(kN/m^2)$ の算定式が規定されている。

$$qa = 30 + 0.60Nsw \quad (1)$$

Nsw: 基礎底面から下2mまでの平均Nsw

ボーリング調査と標準貫入試験は、土性の目視確認も可能なため確実ではあるが、1m毎の測定値しか得られず、また、費用の関係から住宅建設では多くの地点で実施することは現実的に困難である。一方、SWS試験は、敷地4,5ヶ所まで深さ7,8mまでの調査が可能であることから、埋土や地中障害物などのために地盤条件の変化やばらつきがある表層部の地盤調査法として有用視されている。しかし、SWSは、簡便迅速な反面、試験法や結果の評価に多くの課題を残しており、以下に留意点を述べる。

1) 自沈荷重Wswの信頼性

Wswは調査手法の影響を受けやすい。自沈層が存在する場合は25cm毎に停止できるよう、重錘を地表面からあまり高く持ち上げない配慮が必要である。一気に1kN自沈すると地盤強度を過大評価するおそれがある。写真-3は、重錘を約1m持ち上げた測定状況であるが、



写真-3 自沈層に対して不適切な測定方法



写真-4 スクリューの寸法検査の例

自沈層を含む地盤では不適切な操作となる。

2) スクリューの磨耗

スクリューは、地盤にもよるが、数百メートルの調査で最大径に対し3mm程度の磨耗限界に達する。磨耗したまま使用すると地盤強度を過大に評価する。調査の都度、計測に先立ってデータシートに最大径の実測結果を記入することが重要である。磨耗度は、径の異なる丸孔を設けた鉄板等を用いて測定できる(写真-4)。

3) 天候の影響

地盤の許容支持力の評価区間は地表面から2,3m程度であるが、この表層部の調査結果は、天候にも影響を受ける。地盤によっては、雨水の浸入で表層が軟らかくなることがある。計測に際しては、降雨状況(前日豪雨など)を記載することが重要である(図-5)。

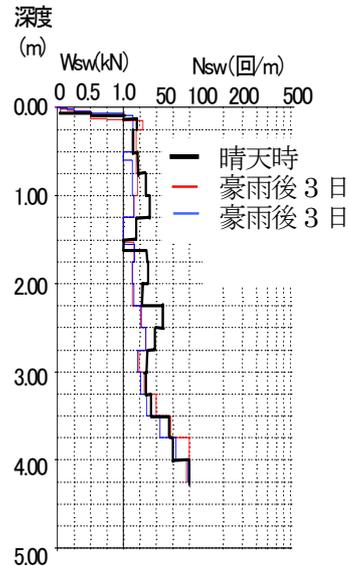


図-5 SWSに及ぼす降雨の影響の例

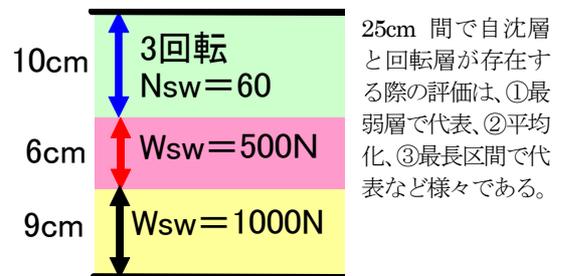


図-6 SWS試験の試験結果の評価区間と評価方法

4)測定結果の表示方法

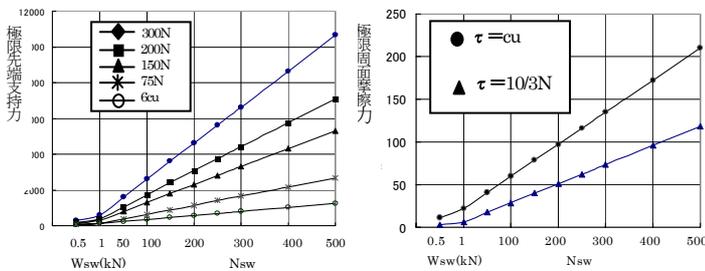
SWSの結果の利用に際しては、データの記載方法を明確にすることが重要である。調査結果は、深さ方向の測定結果をありのまま全て表示することが重要であるが、25cmごとの測定区間にわずかも自沈層が存在すると全層を自沈層とみなす場合や平均化する場合などもある(図-6)。設計段階では、経験・実績に基づいて各層の代表値を求めることも必要になるが、調査結果としては自沈層と回転層の区別を明確し、設計行為(25cm間の平均値、最弱層による25cm間の代表など)と区別することが重要である。

5)土質判定

SWSの重要課題のひとつに、土質判定が難しいことがあげられる。計測音やハンドルの触感から推定できることもあるが、信頼性は十分ではない。きれいな砂や粘土では判定しやすいが、礫混じり土などでは判定が特に難しい。調査報告書には、音(ガリガリ、ガリギリ、ジャリジャリ、サラサラ、シャリシャリ、ガリ、無音、ジンワリ)や貫入状況(ゆっくり、ストン、緩速無回転、自沈あり、強反発、回転緩速、ハイ、オソイ)などが記載され、砂質・中間・粘性土・PEATに分類されることもあるが、判定根拠のための試料採取も重要である。最近では、種々の採取装置(写真-5)が開発されている。土質判定は、圧密沈下のおそ



写真-5 試料土の採取装置の例



(a) 極限先端支持力と土質の関係 (b) 極限周面摩擦力と土質の関係
図-7 支持力算定に及ぼす土質判定の影響の例

れのある粘土層の層厚と分布を把握するために重要であるが、地盤改良や杭の設計にも密接に関わってくる。例えば、深層混合処理工法のコラムの場合、先端支持力 q_p は砂で75N程度、粘土で6c程度、周面摩擦は砂で10N/3程度、粘土で $qu/2$ 程度なので、 N_{sw} からN値や $qu(kN/m^2)$ への換算式($N(砂)=2W_{sw} + 0.067N_{sw}$, $qu(粘土)=45W_{sw}+0.75N_{sw}$, $W_{sw}:kN$)を用いると、図-7の結果が得られる。周面地盤を粘土、先端地盤を砂とした場合の支持力は、周面が砂で先端が粘土の場合より数倍大きくなりうる。沈下障害の原因になりやすい有機質土・腐植土・PEATと粘土が区別できない問題もある。

また、自沈層程度の軟弱地盤は、安易に粘土層と判定することが多いが、緩い細砂等を誤って粘土層とみなしている可能性もある。写真-6は、著しい液状化が生じた地点の噴砂の状況であるが、住宅建設時のSWS試験において液状化層の土質を粘土層としてみなしていた例もある。常時の沈下の検討に際しては、粘性土とみなした方が安全側ではあるが、自沈層であっても液状化が生じる砂層の場合もあるので、地下水水位が地表から約3m以浅にあつて著しい液状化被害が生じるおそれのある場合は土質判定が特に重要である。

6)特殊地盤

沈下障害は、軟弱層の厚さや支持層の傾斜といった地盤調査でおよその見当がつくこと以外にも、地域・地盤の特殊性などSWS試験で把握できない特殊地盤が原因となることもある。盤ぶくれやスレーキングなど、地盤自体が雨水の浸入、乾湿繰り返しや化学反応などにより地盤隆起や地盤沈下が生じることもある。黒ボクや腐植土も厄介である。地中障害物や強酸性地盤などが原因となることもある。セメント系固化材で地盤を固める場合、フミン酸などが含まれている地盤では固化しないこともある。これらの存否や影響の度合いは、SWS試験だけでは到底予期できないので、試験地の地形・地質や過去の経験実績などについても事前に調査し、通常の試験で支障がないかどうか確かめることが重要である。



写真-6 見附市における液状化による噴射の例

特殊地盤の可能性は、当該地域の地盤や造成に係わった専門家であれば十分熟知しておくべき事項であるが、一般解はない。新規の造成地、旧産炭地、風化した岩砕盛土、点在する青色の岩を含む表層土などの場合は十分な注意が必要である。風化した岩砕(泥岩、頁岩等)でも、十分細かく砕かれ空隙が少ないように締固められていると、特に支障ない場合もあるが、粒径が大きく空隙が多いとスレーキング等が生じやすい。

(3)住宅基礎地盤の補修と補強^{14),15)}

基礎・地盤のトラブルが深刻になる大きな理由は、補修・補強費が多くなるためである。新設時の基礎の設計施工が不適切であると、補修・補強の困難さはさらに増大する。特に、住宅周辺に安定性に乏しい既存擁壁が存在していると、修復時に大きな問題となる可能性もある。

建前は別にして、実態から見ると、修復工事の要求性能の考え方に定説はないが、沈下修正による現状復旧でよとするか、地盤条件、基礎の配置などを考慮した構造計算を必要とするか否かで、



写真-7 鋼管圧入工法

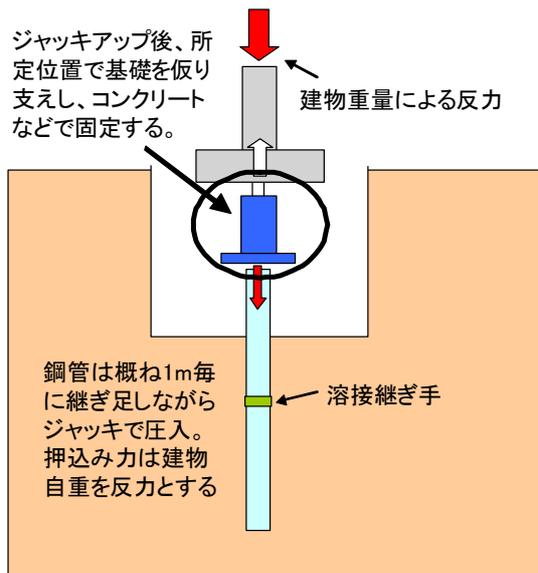


図-8 鋼管圧入工法によるジャッキアップ

補修費も大きく異なる。建築主の自己負担か瑕疵等による業者負担かによってもグレードは当然異なる。

一般的な沈下修正方法は、鋼管圧入工法である(写真-7)。これは、図-8に示すように長さ1m程度の鋼管を、建物荷重を反力として押し込みながら継ぎ足して、所定の支持層まで圧入するものであるが、この工法の信頼性を高めるためには、①鋼管の継ぎ手構造(裏当て、開先)、②溶接等の施工管理、③打ち止め管理、④鋼管工法の支持力評価、などに注意を要する。

鋼管圧入工法による鋼管の支持力算定法は必ずしも確立していないが、これまでの載荷試験結果から判断すると、概ね(2)式が採用できる¹⁶⁾。(2)式には周面摩擦を見込んでいないが、この工法の場合、施工段階から建物荷重が作用し、鋼管周面が乱されて強度回復していない場合もあることを考慮したためである。

$$Ra = 1/3 Ru = 1/3 (300 \cdot N \cdot Ap) \quad (2)$$

Ra: 圧入鋼管の長期許容支持力(kN) Ru: 極限支持力(kN)

N: 先端N値(上4D 下1D) Ap: 鋼管先端の有効断面積(m²)

III. 地盤に起因する不具合の現状

(1) 不具合の現状と対処の実態

①住宅の不具合と基礎・地盤に係わる保証の実態

住宅の不具合は、1)雨漏り、2)ひび割れ、3)傾斜、の3つに大別できるが、不同沈下がこれらの発生原因となる場合も少なくない。ここでは、まず、公表されている資料⁷⁸⁾に基づき、不具合の実態を考察する。

表-2～表-6には、(財)住宅リホーム・紛争処理支援センターに相談のあった住宅の不具合状況(2000年から2003年の相談案件14,304件)を示す。基礎の不具合の約半数はひび割れ、欠損といった構造被害であり、地盤の不具合の約7割は沈下となっている。また、表-5より、不具合が発生した建設住宅性能評価住宅のうち、約1割は基礎・地盤に何らかの障害が発生していることがわかる。表-4は、住宅各部の生じた様々な不具合に関して、発生するまでの期間の関係を示したものである。床、壁、柱といった構造的な部位だけでなく、建具・天井・設備・給排水などの不具合を全て含んでいるため、1年未満の割合が約半分で、2年未満では6割を超えている。

次に、基礎・地盤に係わる保証の実態について、(財)住宅保証機構(以下保証機構)が取りまとめた資料を紹介する。保証機構は、住宅の保証を行っているわが国で最大規模の保証機関である。現在、わが国の戸建て住宅の年間着工件数は約50万戸であり、大雑

表-2 基礎の不具合事象⁷⁾

不具合事象	基礎
ひび割れ	312
欠損	36
傾斜	31
漏水	31
沈下	25
はがれ	14
隙間	13
虫害	11
その他	184
合計	657

単位：件数

表-3 地盤の不具合事象⁷⁾

不具合事象	地盤
沈下	279
排水不良	38
ひび割れ	11
振動・揺れ	10
傾斜	5
欠損	5
隙間	5
かび	3
その他	51
合計	407

単位：件数

表-4 不具合の築後年数⁷⁾

築後年数	割合(%)
1年未満	4.8
1-2年	13.2
2-3年	8
3-4年	4.9
4-10年	16
10年以上	10.1

表-5 評価住宅の不具合部位⁷⁾

部位	件数
床	55
内壁	28
基礎	9
地盤	8
その他	103
合計	203

単位：件数

表-6 評価住宅の不具合事象⁷⁾

不具合事象	件数
ひび割れ	26
傾斜	12
振動・揺れ	8
沈下	2
その他	141
合計	189

単位：件数

把ではあるが、このうちの約2割に当たる約10万戸は(財)住宅保証機構の登録住宅である。その他、会社毎に独自に自社保証しているハウスメーカー系は約15万戸、残りの約25万戸が一般の在来工法と考えられる。

なお、保証機構は、登録業者約4万社、登録戸建住宅約100万戸であり、1998年以降概ね約10万戸/年が登録されている。保証機構以外の住宅保証・保険機関もいくつかあり、登録業者数として1万社前後が1機関、5千強が1機関などとなっている。

図-9、図-10は、保証機構で取りまとめられた住宅各部の保証状況である⁸⁾。基礎に係わる保証件数自体は、全体の約2割であり、件数的には雨漏りに係わる補修が約6割と多いが、補修費の割合でいうと基礎が全体の約7割を占め、1件あたり平均530万円である。基礎以外の付帯工事(不同沈下による内外装材の補修など)を含めると1千万円を超えることもある。基礎以外の補修費の大半は百万円であり、基礎の補修費が圧倒的に多いことがわかる。

②判例にみる基礎・地盤の紛争と障害¹⁷⁾

裁判以外の紛争処理機関は前章に述べたが、容易に和解できない場合や和解策の協議すら円滑にできない場合には裁判所への提訴となる。最終的な判決が下される以前に和解するケースが多いと思われるが、ここでは、判例にみる基礎・地盤の紛争と障害について述べる。

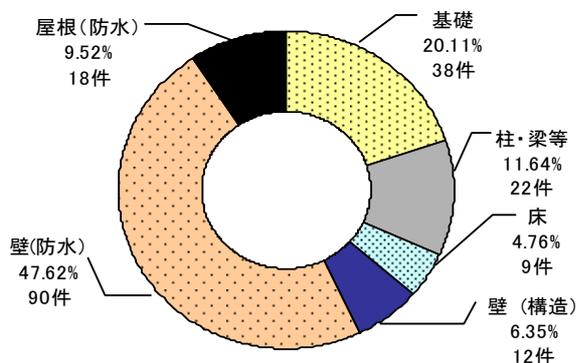


図-9 保証事故部位別支払い件数割合(平成14年度)

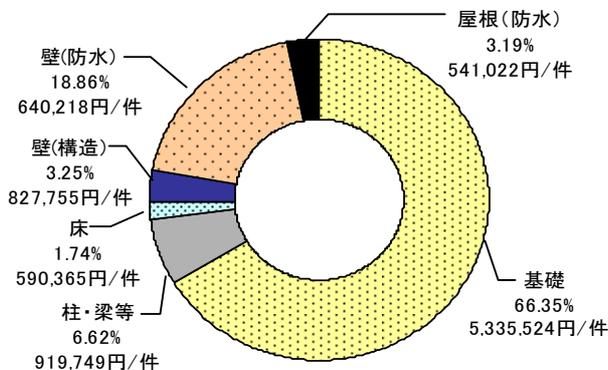


図-10 保証事故部位別支払い保険金額割合(平成14年)⁸⁾

日本における判例全文の公表の現状は概ね以下に大別される。

- ① 最高裁判所や行政機関が、判例委員会等を設置して公表判例を厳選して公表。
- ② 法律出版社が、独自に入手・編集して公表。
- ③ 関与弁護士や当事者が出版社や団体機関を経由して公表
- ④ 企業が業界団体を経由して公表

これらの情報に基づいて、住宅の沈下障害に関する判決内容の一部がインターネットなどで公表されているが、今回は、民間の判例データベース(LEX-DB インターネット)に収録されている内容に関して、キーワード検索を行い、全体的な傾向を把握することにした。なお、対象とした判例データベースは、公表された判例を100%収録しているわけではないが、戦後判例で約98%、戦前判例は約80%カバーしていると考えられている。

図-11から図-14には、検索キーワードをそれぞれ『①基礎 and 沈下 and 地盤 and 建物 and 瑕疵』、『②杭 and 基礎 and 沈下 and 瑕疵』、『③地形 and 基礎 and 沈下 and 瑕疵』、『④擁壁 and 沈下 and 建物 and 瑕疵』とした場合の判決の年次分布を示す。いずれの場合も昭

キーワード: 基礎and沈下and地盤and建物and瑕疵

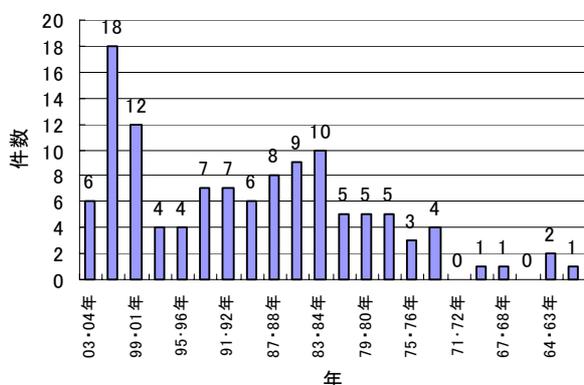


図-11 判例数の年度分布

(基礎、沈下、地盤、建物、瑕疵のキーワード検索結果)

キーワード: 地形and沈下and地盤and瑕疵

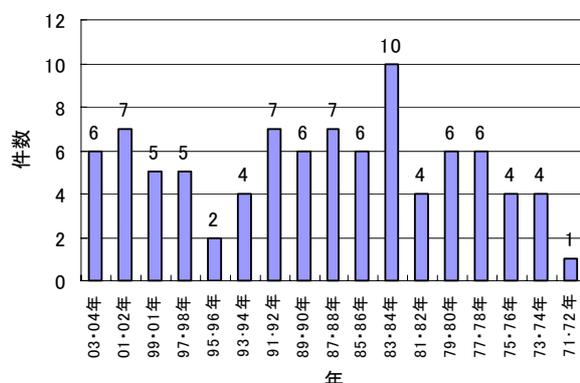


図-13 判例数の年度分布

(地形、沈下、地盤、瑕疵のキーワード検索結果)

キーワード: 杭and基礎and沈下and瑕疵

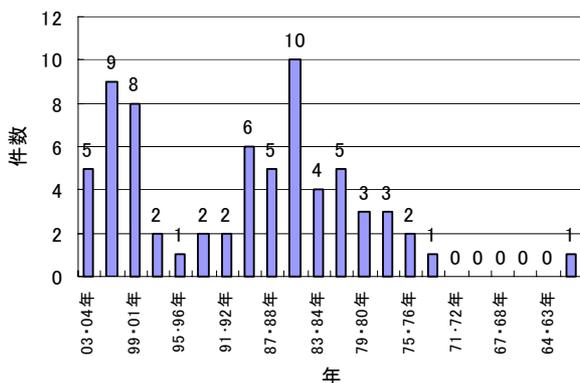


図-12 判例数の年度分布

(杭、基礎、沈下、瑕疵のキーワード検索結果)

キーワード: 擁壁and沈下and建物and瑕疵

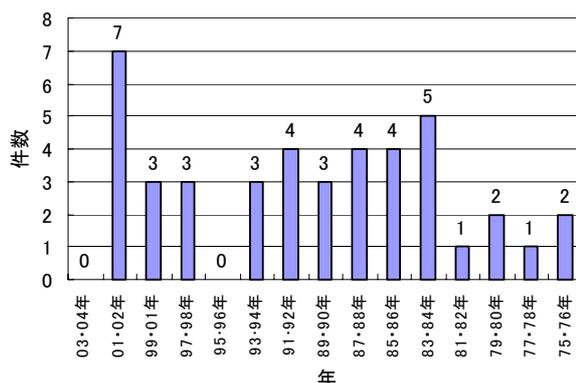


図-14 判例数の年度分布

(擁壁、沈下、建物、瑕疵のキーワード検索結果)

和50年以前の判例は非常に少ない。また、平成3,4年から平成7,8年にかけては判例数がやや減少しているが、その前後(昭和58年頃から昭和63年頃までと平成10年以降)は判例数が多い。平成15,16年度は判例数が少ないが、収録が十分でないためと考えられる。上記のキーワード群で区分した判例には重複もあるが、各キーワードに対して、①236件、②168件、③180件、④84件であった。

なお、同様の検索を明治や大正年間においても実施したが、1件もヒットしなかった。わが国でも古くから木杭や胴木といった軟弱地盤対策が存在していること判断すると、建物の不同沈下もある程度発生していたと考えられるが、上述したように、明治から昭和45年までにかけては判例上ほとんど認められなかった。この理由としては、①住宅購入者と住宅生産者の間で適度に和解されていた、②沈下障害に対してあまり神経質にならない状況であった、③沈下、

障害が生じやすい軟弱な造成地が宅地となるケースが少なかった(宅地造成の開発許可件数は昭和45~55年に急増)などが考えられる。また、図-11から図-14のいずれも平成になってやや判例数が減少している期間があるが、この理由としては沈下対策としての地盤改良が普及しはじめたことなども考えられる。住宅建設において地盤調査が普及しはじめたのは昭和50年以降であり、昭和55年ぐらいから深層混合処理工法(土とセメントを地中で混合攪拌して固める工法)などの地盤改良が広まった経緯がある。

これまで公表されている判決例としては、①型枠を使用しない基礎、②軟弱地盤を知りつつ対応を怠った場合、③基礎の寸法不足、④増し積み擁壁、のほか、⑤柱状改良体に作用する負の摩擦力、⑥現在生じていないが今後生じる障害に対する考え方、⑦適切な修復方法の考え方、など、専門的な事項もある。現在、著しい沈下

表-7 判例に学ぶ基礎・地盤のトラブルの例

概要	内容
増積み擁壁のひび割れと背面住宅の不同沈下	土地つき戸建て売り住宅で擁壁のひび割れや住宅の不同沈下発生。基礎構造や骨組みにも法令の規定を充たさない箇所あり。コンクリート擁壁のうえのブロックによる増積み擁壁に対する配慮不足が主な原因。建物が建築基準法20条1項の構造の安全性に欠けると認定し、擁壁のやり直しから建物の解体、取り壊しまでを認めた判決。工事監理者の名義を貸した建築士に対しても、民法709条の不法行為にあたるとして賠償責任を認めた判決。
型枠を使用しない基礎	木造二階建て建物。軸組みの緊結不良など数多くの木造部分の欠陥と型枠無しの「たれ流し基礎」。判決では、「基礎の破断や亀裂等及び支持地盤の不同沈下の状況は認められず」としながら、「地震等に対する耐力が低下していること、可能性としては、鉄筋を覆うコンクリートの厚さ(かぶり)不足から、雨水等がコンクリートから浸透して鉄筋が錆び易いことになり、鉄筋に錆びが生じると、その影響を受けてコンクリートに爆裂が生じ、不同沈下の原因にもなりかねないこと」とし、型枠なしの基礎自体の欠陥性を認定(欠陥現象が現状生じていなくても予期できるとした判断)。
掘の埋立地における不同沈下	代替地(土地が地耐力8tであるとの説明あり)に建設した木造住宅の不同沈下障害。床の揺れ、建具の不具合等が発生し、その原因として地盤沈下が発見。最大で21cmの不同沈下が確認。東と東石の間に楔を入れて隙間を埋めたり、U字溝の蓋を東石として設置するなどの対処療法。 ①ジャッキアップして杭基礎等による補強策、②ジャッキアップし基礎と土台との隙間をモルタルで補填する手法(沈下が停止したことを前提とした手法)の修復方法をめぐる論争。 土地が城の堀の埋立地であったことを知っていた宅地の売主は、事前地質調査を十分に行い、その結果を買主に説明すべき信義則上の義務があったのにこれを尽くさなかったとし、債務不履行ないし不法行為による賠償義務を肯定。
不同沈下障害に対する宅地造成業者と住宅建設会社	建物の不同沈下に関連して、宅地造成業者と住宅建設会社の双方に施工上の過失を認め、連帯した損害賠償命令。柱状改良体が支持層に到達していないために建物の沈下が生じたのか、それとも柱状改良体は支持層に到達していたが盛土の転圧不足のために圧縮沈下が起こりその際の負の摩擦力により柱状改良体が破損したため沈下が生じたのか、が最大の争点。負の摩擦力の大きさの計算根拠についての詳細な反対尋問あり。
木造2階建て増改築による建替、現在は生じていないが予期される沈下障害	木造2階建ての戸建て住宅の増改築。基礎幅不足の垂れ流し基礎、②壁量不足、③土台と基礎の緊結不良などあり。建物に目立った不具合現象が未だ現れていないにもかかわらず建替が認められた判決(斜地における立地条件や近隣建物が地盤沈下により数cmもの幅のクラックを生じている状況などから将来予測される不具合現象を考慮したもの)。スウェーデン式サウンディングの評価に関する争いあり。
布基礎の立上り幅	木造2階建ての注文住宅。基礎コンクリートの施工不良による契約解除をめぐる判決。 基礎の寸法不足に関しては、「本件布基礎は、その幅が120ミリメートル未満となる部分が少なくとも32か所存在し、その最小幅は110ミリメートルであった」「本件基礎工事は、本件布基礎の幅に関し、公庫基準に違反する瑕疵があるといふべきである」など。

<http://homepage2.nifty.com/kekkanzenkokonet/4-5=horei&tsutatsu.htm> (住宅紛争に関する法令、欠陥住宅法令ネット)

障害が生じていなくとも今後発生することが予期できるなどの理由で損害賠償請求が認められた事例があることにも注意を要する。

表-7には、公表されているいくつかの判決内容の概要を示す。また、最近では、判例による教訓事例がまとめられ、書物として発行されている。表-8は、文献⁹⁾で紹介されている地盤に係わる事例であるが、田んぼ、切土、盛土など、造成地と密接に関わっていることがわかる。

③基礎・地盤に係わるトラブルや沈下障害の実態

前節には、基礎・地盤に係わる紛争として公表されている判例について述べたが、ここでは基礎・地盤のトラブルについてまとめられた文献^{18)・20)}のタイトルを表-9から表-11に紹介する。この文献は、住宅基礎地盤に係わる団体がテキスト用に編集したものであるが、盛土に係わる失敗事例、擁壁に係わる失敗事例、地盤補強工事に関する失敗事例に大別されている。このことからみても、盛土や擁

壁は要注意であり、また、沈下対策として採用する地盤改良や杭に関しても設計施工法が未だ十分でないことが伺われる。その他、文献^{21)・22)}にも判例などのトラブル事例が紹介されている。

④住宅紛争の処理方法と処理機関

沈下障害が発生すると、被害状況の詳細調査、原因の追求などが行われるが、住宅供給者と住宅購入者の当事者間で円滑な解決策が見出せない場合に住宅紛争となる。紛争処理の方法としては、裁判所に提訴する方法もあるが、裁判以外にも第三者によって迅速に解決を図る機関がいくつかある。これらの機関は、「裁判外紛争処理(ADR; Alternative Dispute Resolution)機関」といい、機関毎に紛争の範囲や処理方法が異なる。

表-12には、代表的なADR機関の概要を示しているが、このほか不動産関係や住宅の部品に関するADR機関もある。

表-8 住宅基礎地盤の障害例(文献⁹⁾による)

タイトル(立地)	被害状況・紛争状況	原因・結果
基礎のひび割れの原因が沈下によるものだったとは…(田んぼ)	建売住宅購入後2年。建物周囲の地盤沈下、土間コンクリートはクラックだらけ。バルコニー傾斜。建物内部の壁紙が破れ、建具の上下に5mm程度の隙間。基礎の立ち上がり及び床下に大きなクラック。	布基礎。不動産会社より建物の下に杭を打つてあるとの説明だったが、6本の杭は荷重のかかる部分には打たれておらず、壁と壁の間のベタ基礎の下に打たれている。施工業者により、基礎工事の際施工、クロスの張替え。
補修をすれど家の沈下は治まらない 小手先の補修工事に不安増大(田んぼ)	鉄骨造3階賃貸マンション。築2,3年後1階各室床や建物周りの屋外通路、テラス、3~5cm沈下。排水枡の内部に3~5cmの隙間。内部にも玄関・ユニットバス部分に隙間が生じている。地盤沈下は現在も進行している。	埋め戻しの施工不良による地盤沈下。ガラを一緒に埋めたことによる転圧不良。裁判の後、ガラを除去し、地中梁に鉄筋をアンカーし、鉄筋を配した土間コンクリートを配置、改めて木組の床をつくったが、再び沈下による損傷が生じる。
切土、盛土による不同沈下。土地の良否の判断は専門家に(造成地)	入居直後から建具の開閉障害が発生し、販売会社による調整が行われた。3年後下水道引き込み部(道路側)に地盤沈下が発見され、建築主が充填工事を行う。その後も調整が行われたが、建具の開閉障害はなくなり、コンクリートのクラック、クロスの破断が広範に進行。	丘陵地を造成した際、切土と盛土が敷地内に混在し、擁壁周辺(道路側)の盛土部分での圧密沈下。盛土は、砂質粘土、シルト(粒径5mm~7.5mmの土粒子)、礫混じりの粘土が混ざっている。
地盤調査代を「節約」したために起きた典型的な不同沈下(切土・盛土)	住宅を建築し、入居後半年で不同沈下。別の業者に補修を依頼するが、約500万円かかると言われ裁判に。沈下している部分に立つと、それが感じられるほどである。建物の北側、東側の基礎に沈下。北東のコーナー付近が著しい。基礎に関する図面、資料がなく、布基礎の深さ・幅・配筋は不明。	高さの違う二つの宅地を土留めして一つにまとめ、盛土・切土している典型的な不同沈下。沈下後の地質調査によると北・東面の深さ50cmで自沈、N値3.1~3.9で地耐力はほとんどない。
地盤が弱く床が下がった建売住宅。23mmの誤差で平衡感覚を失う(切土・盛土)	完成後2年の建売住宅を購入したが、基礎が下がる。台所でのレベル計測は、左右の端で10mm差。長手方向にも10mm差。左端と長手方向では、20mmの差となっている。2階個室の建具枠の上下では8mmの誤差。外にまわって幅木の高さでは最大17mm差。	近くに小さな川が流れていて、基礎の下部に水が入り、基礎が下がったものと思われる。設計図面上での計算で桁行方向に対して筋かいが不足。地盤の強い部分と弱い部分との差があり、弱い地盤はおそらく盛土地盤。
盛土に補強がされていれば防げた…。欠陥を認め、追加工事費はゼロに(傾斜地)	完成後まもなく、家が傾き、基礎立ち上り部分ならびに土間部分にクラック亀裂。サッシの建付け不良。	盛土に対する補強対策の欠除に伴う沈下による構造クラック。南側部分の床下換気孔の取り付け位置に問題があり、換気孔真下の基礎に亀裂が入り強度低下を生じさせた。施工業者は地盤、基礎不良工事を認め、追加工事費ゼロ・契約残金の取り消し、和解へ。住宅は売却。
床が6m間60mmの傾斜。代替住宅もままならず、訴訟に(傾斜地、雑木林)	丘陵地の低い側に高さ3m超の擁壁を設置。擁壁に一番近い住宅。入居してすぐ床の傾斜に気づいたが放置し、2年間の空家状態の後再び住み始めたところ床の傾斜が大きくなっていった。4mほどの距離をゴルフボールがスピードを加速し転がることを確認。ひどい部屋では6m間で約60mmの傾斜。施工者側の大きな過失であり、対応も十分でない為訴訟へ。	4m近くの高い擁壁によって大量の客土を入れ、1年も経過していない宅地の地盤が、十分な地耐力を持っていない。

また、上記の紛争処理機関における紛争に至るまでにも、基礎・地盤の不具合や損傷を巡って、当事者双方で様々なやりとりがなされていると考えられるが、前述の(財)住宅リフォーム・紛争処理支援センターでは、住宅一般に対する相談窓口を設けており、相談事例が公表されている。ここでは、基礎地盤に係わる相談事例の特徴を以下に示す。

- 1) 軟弱地盤であることから地盤改良等の沈下対策を必要とした住宅会社の提案に対して、建築主が経済的などの理由から対策を不要とした場合の瑕疵担保責任(新築住宅10年保証)の考え方
- 2) 地盤改良等に要するコストが、住宅会社によって50~120万円と大きく異なる場合の扱い方。

これらの相談に対する1)の回答としては、

- a) 施主との話し合いで値引きをし、施主から一筆とったとしても、地

盤盤に合わない基礎工事した結果、構造耐力上主要な部分に瑕疵を生じたならば、その具体的な危険性を十分に説明し、その上で施主の指示を受けた旨を立証しない限り責任を免れることはできない。

- b) 施主が基礎についての瑕疵担保責任の追及をしないという念書や覚書を入れたとしても無効である。

といった記述がある。

⑤地盤に起因する国内外の住宅の障害

2005年9月、東京で国際住宅建設・性能保証会議が開催され、内外の住宅建設に係わる様々な課題が論じられた²³⁾。そのうち、「リス・マネジメント」に関してする分科会では4つのトピックスが取り上げられ、そのひとつが『soil』(土質、土壌)である。他の3つは、外断熱(Eifs)、施工瑕疵(Construction Defect)、カビ(Mold)であった。なお

表-9 盛土に係わる障害例(文献¹⁸⁾)

<p>【調査の際に留意した事例】</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. 盛土などに含まれる瓦礫がSWS試験値に及ぼす影響 2. 貫通できない砂礫(層)が盛土か原地盤かの判断例 <p>【盛土に起因した沈下事故事例集】</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. 河川浚渫土の残土捨て場を宅地化した場所での沈下事故 2. 支持層の傾斜地に盛土が加わった地盤での沈下事故 3. 建替新築時の盛土と敷地拡張に伴う盛土による沈下事故 4. 丘陵部の大型造成地に潜む埋谷土 5. 谷すじの造成地…そこは昔沼だった… 6. 造成不良による沈下 7. 軟弱地盤と基盤傾斜による沈下 8. 傾斜地の盛土による沈下 9. 脆弱な岩塊を含んだ盛土の沈下事故 10. 造成盛土(1.5m)為されている団地での沈下事故 11. 床下に砂と碎石を敷き詰めた(盛土した)ことによって生じた沈下事故 12. 下方の土質が異なることによって生じた沈下事故 13. 隣接盛土による沈下事故 14. 擁壁背面部埋め戻し施工不良による沈下事故 15. 谷底低地の造成宅地における沈下事故 16. 防火水槽に近接した家屋の沈下事故 17. 地盤改良を行ったにもかかわらず沈下事故を起こした 18. 傾斜地に不層厚に盛土造成が施された沈下事故 19. 厚さの違う盛土地盤と同じ厚さで表層改良をした為生じた沈下事故 20. 在来地盤と擁壁の埋め戻し地盤を跨って建築した為生じた沈下事故 21. 擁壁工事の埋め戻し地盤に不適切な改良工事をした為に生じた沈下事故 22. 盛土層に不適切な改良工事を行ったために生じた沈下事故 23. 造成盛土の圧縮沈下による沈下事故 24. 石積み背面盛土の緩みによる沈下事故 25. 圧密沈下にもない沈下した柱状改良 26. 丘陵地斜面上の擁壁と宅盤の沈下事故 27. 造成盛土がスレーキングにより沈下した事故 28. 後背湿地に盛土造成したために生じた沈下事故 29. 地形の変化点に盛土造成したために生じた沈下事故 30. 負の摩擦力による鋼管杭の沈下事故
--

施工瑕疵に関して、アイルランドのパネリストから、浸水・湿度が全体の50%で、床の沈下・基礎が25%の報告がなされていた。

『Soil』に関して、日本のパネリスト(保倉理事、住宅保証機構)からは、基礎・地盤に係わる不具合の件数は全体の約2割であるが、保証費となると沈下修正工事に要する費用が他より図抜けて大きい。ため、保証総額の約6割が基礎・地盤に係わっているとの説明がなされたが、この傾向は海外でも同様である。米国のパネリストによると、米国でも構造欠陥の7割は地盤に係わっており、テキサス、コロラド、ミシシッピ、ネバダ北部で地盤による住宅の障害が顕著である。海外にも日本と同様の住宅保証制度があるが、米国では1994年にHOW (Home Owners Warranty)といった当時最大の保証会社(登録業者7,000社、登録住宅170万戸以上で全米の保証住宅の半数以上)がニューメキシコで多発した不同沈下のために倒産した事実も

表-10 擁壁に係わる障害例(文献¹⁹⁾)

<ol style="list-style-type: none"> 1. 擁壁背面の盛土材の選定ミス(横須賀市) 2. 宅造法の規制を回避した擁壁(横浜市) 3. 石積み擁壁をはらませた柱状改良施工(金沢市) 4. 調査時に擁壁がなかったため判断を間違えた(新潟市) 5. ブロック積み擁壁のハラム事故は水抜きにあった(小野市) 6. SWS試験では杭の支持層はわからない(豊中市) 7. PHC杭で補強した擁壁が沈下したのは人為的なものであった?(池田市) 8. 擁壁の支持力不足と変位(岩沼市) 9. 不安定擁壁の検証と対策(仙台市) 10. 隅角部のクラック(設計と施工のミス)(仙台市) 11. 表層改良後の盤ぶくれによる既設RC擁壁と基礎の破損(岡山市) 12. 湿式柱状改良の施工不良によるRC擁壁の破損(倉敷市) 13. 圧密沈下による擁壁のたわみ(千葉市) 14. 埋め戻し土にガラが混入していた(横浜市) 15. 擁壁の沈下に伴って住宅までが沈下した(立川市) 16. 調査後に擁壁を造ったため不同沈下が生じた(松本市) 17. 腐植土層が発見できなかった(柏崎市)
--

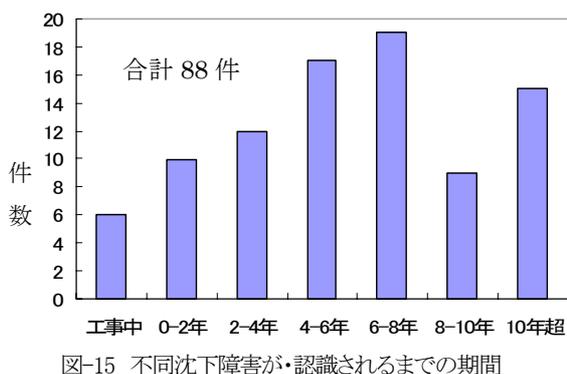
表-11 地盤改良及び杭に係わる障害例(文献²⁰⁾)

<p>【計画時点での失敗事例】</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. 表層改良工事に取掛かったところオガクズが出てきた(墨田区) 2. 表層改良が添加量不足で固まらない(高崎市) 3. 表層改良で黒ぼくが固まらない(東久留米市) 4. 玄関ポーチ、電気温水器置き場の補強を忘れた(福井市) 5. 柱状改良で改良長不足による不同沈下(木更津市) 6. 乾式柱状改良で黒ぼくが現れ工事を中止する羽目に(清水市) 7. 地震時の液状化対策を提案すべきか?(福岡市) 8. 鋼管杭がネガティブフリクションにより不同沈下(鳥取市) 9. 傾斜地で調査不足による不同沈下事例(横須賀市) 10. 柱状改良で火山灰質粘性土が固まらない(姫路市) 11. 柱状改良で腐植土が固まらない(角田市) 12. 石切り場跡の造成地で杭長に大きな誤差が生じた(東松島市) <p>【施工中のハプニング】</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. 柱状改良で農業用水配管を破損(上里町) 2. 鋼管杭工事で地中に大きな障害物(岩槻市) 3. 柱状改良工事でむかしの室跡に遭遇(東村山市) 4. 表層改良で思わぬ大量の湧水(軽井沢町) 5. 柱状改良で施工障害となる盛土の岩塊(登米市) <p>【施工時の不注意による失敗事例】</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. 鋼管杭工事で地中障害物撤去中に隣接擁壁が傾いた(上尾市) 2. 薬液注入工法で床下が盛り上がる(新潟市) 3. 表層改良で改良底の地盤の未確認による不同沈下(杉並区) 4. 柱状改良施工で擁壁を滑动させてしまった(仙台市) 5. 表層改良地盤が数年後に隆起した(春日井市) 6. 擁壁埋戻し土の締め固め不足による不同沈下(藤沢市)

ある。海外では、圧密沈下などが問題となる軟弱地盤だけでなく、膨張性土(Expansive soil)に係わるトラブルも多い。また、欧米等の主要12ヶ国中7ヶ国(米、日、英、仏、加、豪、スウェーデン)の半数以上が主なクレームとして基礎(Foundation)を取り上げている。上記から判断すると、地盤に起因する住宅の障害の軽減・防止は日

表-12 代表的な裁判外紛争処理機関(ADR 機関) (住宅・リフォーム・紛争処理支援センター:相談ネット等参照)

区分	概要
建設工事紛争審査会	紛争の範囲: 建設工事の請負契約に関する紛争(売買は対象外)、 処理方法: あっせん、調停、仲裁 概要: 発注者又は請負業者の申請による。審査会委員によるあっせんや調停により、和解による解決を目指す。
指定住宅紛争処理機関	紛争の範囲: 性能表示制度に基づく評価住宅の紛争(請負契約又は売買契約)、 処理方法: あっせん、調停、仲裁 概要: 評価住宅に関するトラブルが対象。表示性能が達成されていない欠陥なども含む。
簡易裁判所(地方裁判所)	紛争の範囲: 民事に関する紛争(家事事件を除く)、 処理方法: 調停、仲裁 概要: 裁判官と2人以上の調停委員による調停委員会にて調停案を提示し双方の合意を促す。調停が成立した場合は、調停調書に内容が記載され、確定判決と同等の効力が与えられる。
弁護士会紛争解決センター	紛争の範囲: 民事に関する紛争、 処理方法: あっせん、調停、仲裁 概要: 仲裁人が、申立人とその相手方の当事者双方から事情を聞き、解決を図る。
「あっせん」:「当事者双方の主張を聴き、当事者間の歩み寄りを勧め、解決を図ること」 「調停」 :「当事者双方の主張を聴き、争点を整理し、場合によっては調停案を勧告して解決を図ること」 「仲裁」 :「当事者双方の主張を聴き、必要に応じ証拠調べや立入検査をして、仲裁委員が仲裁判断を行うこと」	



本だけでなく世界共通の課題と考えられる。

(2)不具合の事例分析²⁴⁾

①住宅の不具合が認識されるまでの期間

沈下障害の原因には、長期に生じる圧密沈下や周辺工事の影響などもあるが、完成後一定期間未満は免責を前提として保証業務を実施している機関もあるので、不同沈下の不具合が発生するまでの期間の特徴を知ることも重要である。

図-15 は、収集した住宅の不同沈下障害に関して、建設後から発生が認識されるまで期間を整理したものである。合計 88 件の事例に対して、竣工までに約 8%に被害が生じ、2 年未満の割合が約 16%となっている。竣工までに不具合が認められた割合が 8%と多いことは意外であるが、造成や擁壁が関係していると竣工時にも不同沈下が発生する可能性もある。

なお、図-15 では、2-10 年までの間に被害が生じる割合は約 65%、10 年以降でも約 17%に達している。築 5 年以降に不同沈下が認められた例も多いが、リフォーム業者等の調査によって発見さ

れる例があることにも注意を要する。周辺工事などの影響を除くと、沈下障害の多くは築 1,2 年で発生すると考えられるが、認識するまでに期間を要するようである。品確法の創設によって、新築住宅で瑕疵担保責任 10 年が義務化されたことにより、今では 10 年保証が当たり前となり、10 年経過する以前に当該住宅を建設した住宅会社や一般のリフォーム業者によって点検がなされ、一定の水準を満たしている場合やその水準を満足させるよう修復する場合にはさらに 10 年間の保証を可能とする制度も既に存在しているが、この点検に際して不同沈下や傾斜、ひび割れなど、これまで表面化しなかった不具合が発見される可能性もある。今現在は品確法が創設してから 10 年経過していないため、現時点で発見された不具合に対する扱いは様々であろうが、同法が施行された 2000 年 4 月以降に建設された新築住宅では、基礎を含めた構造耐力上主要な部分は瑕疵担保責任 10 年の特例が法令で規定されているので、これらの住宅基礎の 10 年目点検は今よりも大きな意味をもつと考えられる。

②不同沈下障害の特徴

図-16-図-18 は、不同沈下障害の特徴をまとめたものである。図-16 より、沈下障害の約 4 割は、地盤改良や杭といった沈下対策を採用した基礎に生じている。また、図-17 より、地盤改良・杭を採用していたにもかかわらず沈下障害が発生した 45 例のうち約 85%は固化工法等の地盤改良が採用されていた例であり、そのうちの約半数は表層改良地盤で生じている(原因は攪拌不良や硬化不良等)。

図-18 は、基礎・地盤に何らかの障害が発生した 101 例の被害原因を示す。原因は独立しておらず互いに関連している可能性が高いが、多くは造成宅地・擁壁・改良等に係わる障害である。

③沈下修正事例の分析

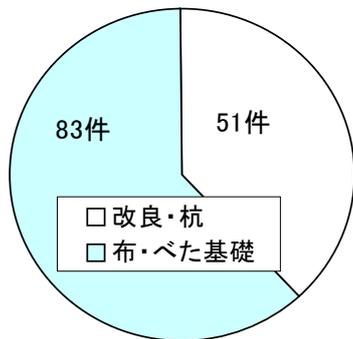


図-16 沈下障害と基礎形式

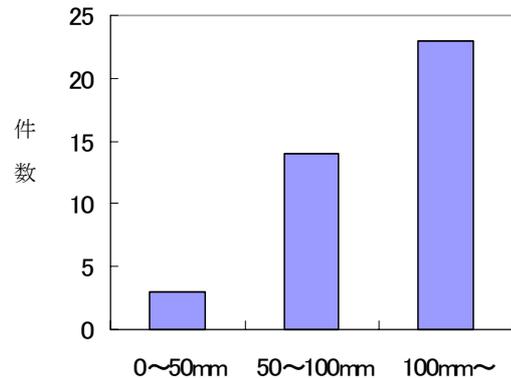


図-19 沈下修正工事を実施した住宅の最大不同沈下量(mm) 計40件

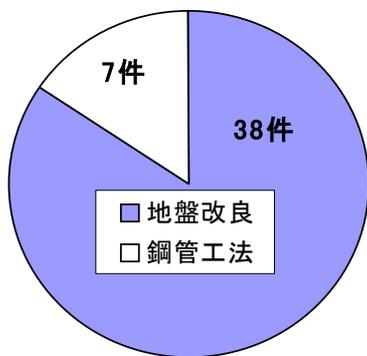


図-17 沈下障害と地盤改良等の方法

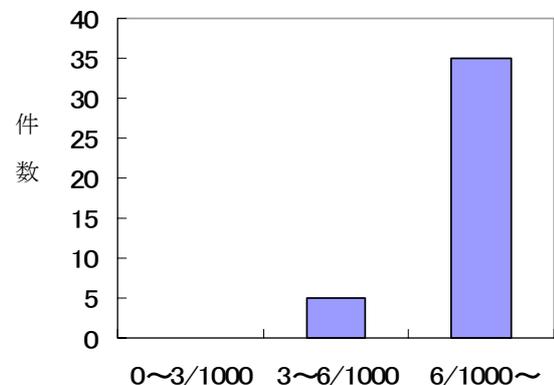


図-20 沈下修正工事を実施した住宅の最大傾斜角 計40件
例はなく、全体の約88%は傾斜角が6/1000以上である。

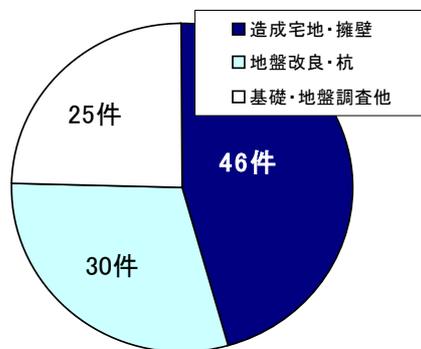


図-18 想定される沈下障害の原因

次に、基礎形式・沈下障害の状況などが詳細に調査されている沈下修正事例を収集し被害事例の分析を行った。全体40例である。40例のうち13例は、造成や擁壁に係わる障害であり、うち11例は傾斜地上の造成地で生じている。また、全体の1割に相当する4件は、周辺工事(地下水の汲み上げや掘削)が原因と考えられる事例である。

図-19、図-20は、これらの沈下修正工事を行った住宅の沈下障害の度合いを示したものである。約9割の住宅で最大沈下量は50mmを超えている。また、傾斜角3/1000未満で沈下修正を行った

IV.住宅基礎地盤の基本課題^{13),17)}

(1) 盛土等の造成地の基礎設計

基礎の障害の多くは、新規の盛土などの造成地で生じがちである(図-21、図-22)。平坦地で盛土をすると、盛土端部の住宅や周辺住宅に不同沈下をもたらすことがある。盛土端部の住宅は、盛土中心側に沈み込む。木造住宅の住宅重量は盛土厚にして40~70cm前後でしかないので、1~2mの盛土厚は住宅重量より遙かに大きな影響を地盤に及ぼすことに注意が必要である。

写真-8は、水田を高く盛り立てた宅地であるが、このような場合は、図-22のように周囲の地盤を引きずり込む場合があり、写真-9のシートパイルによる影響防止策も有効である。写真-8のように周囲が農地の段階での盛土造成は、周囲に及ぼす影響は少ないが、既存盛土宅地に隣接して、さらに水田を1~2m盛って造成する場合は既存住宅に大きな影響を及ぼすおそれがあり、注意を要する。盛土の問題点には、盛土下の地盤の沈下だけでなく、盛土自体の

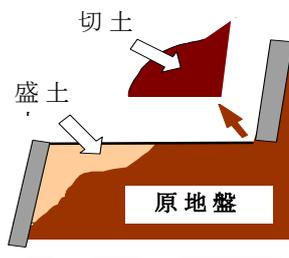


図-21 切土と盛地による宅地造成

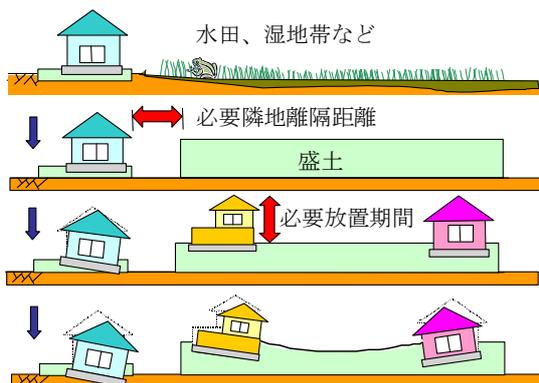


図-22 平坦盛土の放置期間と離間距離



写真-8 水田を高盛土して宅地に転用した例



写真-9 シートパイルによる周辺への影響防止策

沈下変形もある。盛土工事における盛土材や転圧方法は、造成規模や地域等によっても異なり、締固めが不十分な宅地や盛土材に不適なものが混じっていることもある。木の根やガラを含む場合も少なくない。このような場合は、地盤調査を実施しても地盤のばらつ

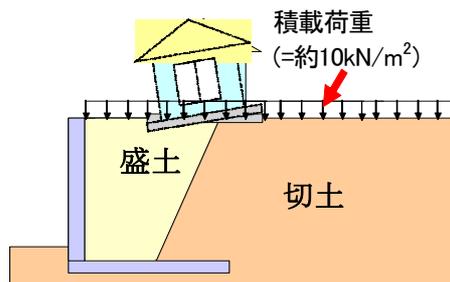


図-23 擁壁背面の切盛地盤における住宅の沈下障害
(積載荷重は擁壁の安定計算上の荷重であり、住宅の許容地耐力ではない)

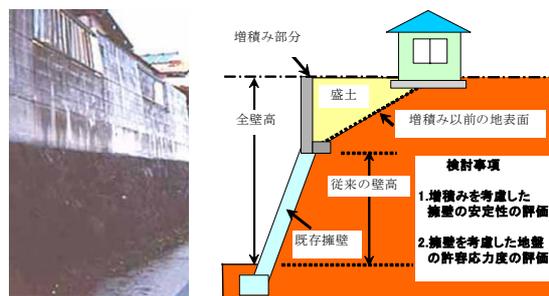


図-24 増し積み擁壁の危険性

きや変化を把握することが容易でない。海外では、管理盛土と称する住宅用盛土の特別の規定があることを考えると、日本でも盛土造成の技術水準を高めるが重要であり、住宅用盛土の常識として定着させることが必要である。米国の住宅盛土工事では、V章に述べるように造成情報の表示や締固め度の規定がある。これらの情報は基礎設計にとって重要であり、造成情報の表示が今後必要であろう。なお、盛土の方法に関して、宅地耐震化事業などを背景にした宅地造成等規制法の一連の改正により、2006.11月に宅造法令第5条3項及び都市計画法令第28条4項が改正され、従来は、盛土に際して地盤の緩み・沈下・崩壊が生じないように締め固めるといった規定が、概ね30cm毎に捲き出して各層毎にローラー等で締め固めるといった内容に改められたことにも注意を要する。一般の盛土工事では、海外基準類や都市再生機構の宅地土工指針に示されているような盛土材の品質や転圧度に関する規定はないため、締固め度の目標値の設定がなされていない場合もあると考えられるが、盛土の品質を高めることは、常時の住宅の沈下対策に限らず、敷地の耐震性能の向上にとっても非常に有効である。上記法令の適用範囲に限らず、住宅用盛土工事では沈下障害が生じないように締固めの徹底を図ることが重要である。

(2) 擁壁やがけ近傍の基礎設計(図-23,図-24)

がけ崩れ等を含めた敷地の安全性の確保は、建築基準法第19条で求められているが、2m超の擁壁を除くと、具体的な規定はなく、

がけ条例や宅地造成等規制法、都市計画法、土砂災害に関連する法令などに委ねている部分が多い。

地域によっては古い空石積み(既存不適格擁壁等)も多く存在している。大都市の高級住宅地でも、敷地の評価が重要ながけ・擁壁に遭遇することは少なくない(写真-10)。また、斜面地では、別荘地などで、俗にポールコンストラクションと称される掘立柱的な基礎が採用されることもあるが、このような基礎形式(独立基礎+地中梁、または独立基礎など)を採用する場合も、基礎・敷地の耐震性の評価が重要であろう(写真-11)。

実物大規模の実験による木造等の耐震性能の検証も進んでおり、巨大地震にも万全といった感もあるが、がけ付近が敷地となった場合、住宅周辺のがけや石積み等が、住宅に対して想定している地震にも耐えられるか否かの検討は現時点でもなされていないわけではない。敷地が決まった後の住宅建設に際して、住宅の耐震性と敷地の耐震性の関係がどのように扱われているのかわからないが、がけ地近傍での住宅の耐震性は、敷地の耐震性が評価できなければ論じられないといった当たり前の考え方を早く定着させることが重要である。

がけ上・がけ下の住宅建設に際しては、がけからの離間距離を確保することが基本であり、各行政庁のがけ条例などに具体的な間隔が示されている。がけ条例に類する規定は、世界各国に存在しているが、この種の規定はがけを擁壁で覆えば適用除外できる。しかし、擁壁が老朽化している場合、損傷・変状が生じている場合、現行基準を満たさない場合など、安定性が不明な場合は、適切な

配置を検討するとともに、がけや擁壁の耐震性にも配慮した基礎設計が重要である。鋼管杭を打設さえすれば住宅は大丈夫といった考えもあるが、擁壁の崩壊の影響が鋼管杭は無論、周囲に及ぼす影響についての検討が重要である。斜面地では、擁壁・盛土工事や独立基礎(写真-10)とせず、半地下・地下車庫等として住宅と一体化させる方が、耐震対策や沈下対策としても遙かに有用な場合があるので、これらの地下構造の耐震設計の考え方や外壁仕様なども今後より明確にすることが必要であろう(写真-12)。

なお、擁壁工事や盛土工事など、土地の改変を行う場合、建築の工作物擁壁を除くと、一般に開発許可を必要とし、造成に関する技術基準が整備されているが、すべての造成が対象となっているわけではなく、ミニ開発と称される小規模な造成工事では、開発許可が不要で具体的な基準はない。開発行為において許可を要する規模は、都市計画法施行令第19条で、市街化区域で1000m²以上、市街化の状況により特に必要な場合は300m²~3,000m²の範囲で条例により定める、などと規定されている。住宅建設に際しては、このような開発許可を得ていない宅地や検査済み証が確認できない擁壁の近傍が敷地となる場合は、入念な調査を行う場合が多い。

(3) 液状化地盤の基礎設計

木造住宅であっても、基礎形式に応じて必要とする地盤の長期許容応力度(支持力度)が建設省告示第1347号で定められている(図-2参照)。また、許容応力度計算を要する木造3階、鉄骨2階以上などの場合は、国交省告示第1113号に基づいて地盤の長期・短期許容応力度等を設定することも求められている。

液状化のおそれのある敷地・地盤に対して、地盤の支持性能は住宅建設でどのように扱われているのであろうか？ 中地震で液状化のおそれがある場合は、上記告示第1113号に規定されているように、建物に有害な損傷、沈下、変形が生じない確認が重要である。剛強なべた基礎等を設置すれば構造的な損傷は防止できるが、液状化の度合い、層厚、存在深度によっては、中地震でも過大な修復費を要する可能性もある。中地震により液状化が発生して、著



写真-10 擁壁近傍の住宅の例



写真-11 ポールコンストラクションの住宅



写真-12 擁壁に頼らない斜面地の地下構造の例



(a) 小口径鋼管工法



(b) 深層混合処理工法(柱状改良)



(c) 表層改良(浅層改良工法)



(d) 木杭

(e) 筏工法

写真-13 住宅用の地盤改良・杭工法

しく傾斜すると過大な沈下修正等の費用(条件にもよるが、住宅建設費の1/4から2/3)が必要となるので、過大な傾斜が生じないような基礎設計も重要である。傾斜の限度は、沈下修正工事での実績などが参考になる。最近では、液状化が発生しないことの確認を要する戸建免震住宅が普及しつつあり、液状化判定法を熟知している住宅会社も少なくない。中地震で過大な被害が生じうる地盤条件についても、既に評価法^{26),27),28)}が提案されており、参考にできる。ただし、過去の事例分析には無筋などの古い基礎も含んでいるので、

現在一般的な鉄筋コンクリート造の基礎に対する被害データを収集分析することも今後必要であろう。

(4) 杭や地盤改良の設計と品質管理

住宅の沈下対策として杭や改良を利用する割合は、全体の3.4割に達している。しかし、これらの杭や地盤改良は、布基礎、べた基礎を補強する程度の位置づけにすぎず、大臣認定を取得した鋼管杭を用いる場合であっても、基礎形式は杭基礎とはならず、布基礎やべた基礎として扱い、杭は沈下低減のための地業・地盤補強とみなすことが多い(写真-13)。バックホーなどでセメントと表層の土を攪拌混合して硬い盤を構築する表層改良も多用されていたが、最近では深層混合処理工法や鋼管工法が数多く用いられている。地域によっては、伝統的な木杭や筏工法を採用する場合もある。地盤改良は、基礎直下だけでなく、擁壁背面の盛土の確実な転圧が難しいためか、最近では背面の盛土部を固める場合も増えている。

最近、パイルド・ラフトは一般建築物の分野で注目されているが、このような沈下軽減のために杭を用いる方法こそ、古来の技法であるパイルド・ラフト(文字通りの杭付き筏基礎)であり、上述した現在の住宅用の杭や地盤改良の利用方法である。これらの住宅の杭や改良の場合、一般建築物と同様の耐震設計をすることは少ないが、杭であれ地盤改良・沈下対策であれ、杭等に作用する力に対する安全性を確認することは重要である。戸建て住宅のためのコラムの耐震設計法は、文献²⁹⁾で設計例を含めて既にまとめられている。住宅用の杭やコラムは、個々に耐震設計を実施するというより、耐震性に支障ない仕様(地盤や杭等の配置、杭等の径、肉厚、改良強度等)も有用であり、今後この種の仕様の例示が必要である。

特に、新規の盛土などで地盤沈下が予測される場合に鋼管を支持杭的に用いる場合は、杭頭が突出するおそれがあるので、それらの影響を確認することも重要である。構造計算が不要な木造住宅への利用を考えると、杭に必要な肉厚の目安などを事前に確かめておくことも有用である。杭頭が離間せず、地盤支持力も併せて期待できるような場合は、一般的なパイルド・ラフトで検討されているような手法で鉛直力や水平力の一部をスラブ直下の地盤が分担するとして試算し、パイルド・ラフトとしての設計の可能性(地盤構成と杭配置・長さとの関係など)を確かめておけば、新築段階だけでなく沈下修正時にも有用である。

また、杭や改良の採用する場合、図-3に示したように基礎底面に作用する荷重が通常の布基礎やべた基礎の場合と大きく異なることがあるので、3トン基礎、5トン基礎といった布基礎やべた基礎の一般的な仕様では構造耐力上不十分になる場合もあることに注意が

必要である。なお、性能保証住宅設計施工基準（平成 16 年改訂版、保証機構）では、杭や深層混合処理工法によるコラムの場合、柱直下及び耐力壁の両脇に配置し、基礎通りに対して一定間隔（1.8m程度）で配置するのが一般的であるといった記述がある。

その他、地盤改良を用いる場合の注意点として、固化系の地盤改良の場合、超軟弱地盤で摩擦杭的に使用すると地盤中にセメントミルクを大量に注入することによる重量増だけで沈下するおそれがあることにも注意が必要である。また、固化系の場合は、施工後の効果確認も重要である。戸建て住宅では費用対効果の観点で、固まった改良体からコアを切り取ることなく、施工直後の固まらない状態で改良部分から採取して型枠に充填した試料(モールドコア)の強度確認で済ますこともあるが、改良体の強度は深度方向で大きく異なる。頭部のコア強度が設計規準強度を満足していても地盤や施工によっては品質確認にはならないことに注意しなければならない(写真-14)。文献²⁹⁾に関するQ&A(ビルディングレター、日本建築センター,p.10, 2003.4)には、モールドコアではコア採取率(ボーリング長に対する硬化した試料の採取長の割合、採取できたとしても硬化していなければ採取長に含まない)が確かめられないので、採取方法を含め十分な注意を要するとなっている。また、昨年発行された『建築基礎のための地盤改良指針案(日本建築学会,2006.11)』においてもモールドコアによる強度確認については、



写真-14 コラムの品質不良

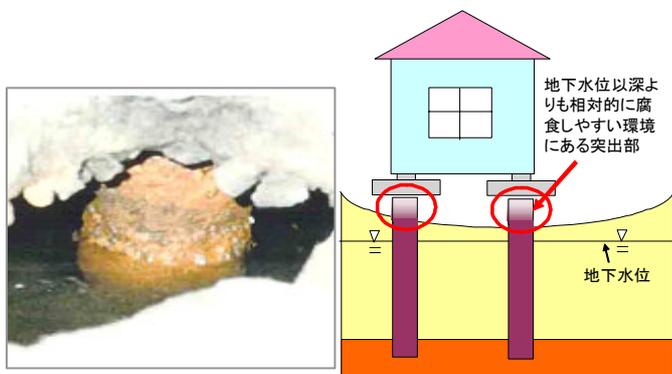


写真-15 小口径鋼管の腐食例

強度に及ぼすモールドへの充填方法などの影響が大きいことから、『モールドコアを用いた強度確認を行う場合は、設計対象層の深度と試料採取深度の関係を明確にするとともに、充填方法の影響を事前に確かめておくことが必要である』となっている。コラムの強度確認は、生コンクリートとは性質・性状がかなり異なるので、住宅といえども連続性を確認することが重要である。文献²⁹⁾では、戸建てであっても長さ 3m 以上の場合はボーリング等による連続性の確認を基本としている。

また、極めて稀な例と考えられるが、地盤沈下によって杭頭が突出した小口径鋼管の頭部が腐食したケースも確認されている(写真-15)。鋼管杭は通常は腐食代 1mm で支障ないと考えられるが、地中に埋まらずに突出している場合は腐食しやすい環境にあると考えられる。強酸性地盤など地盤条件等によっては腐食代に対しても注意が必要である。ちなみに、Eurocode.3-1993(Steel structure)では、地盤の種類と供用期間に応じた鋼管の腐食代の推奨値が示され、砂や粘土等の自然地盤では 25 年及び 100 年でそれぞれ 0.3mm 及び 1.2mm、自然の有機質土などでは 25 年及び 100 年でそれぞれ 1.0mm 及び 3.0mm、締め固められていない地盤では自然地盤を上回る値(例えば、非締固め Ashes/Slag では 100 年で 5.75mm)となっている。

杭や地盤改良の品質管理上の課題には、1)支持層が傾斜している場合の打ち止め管理、2)地中障害物等(ガラ、玉石、木の根、廃棄物など)の接触による貫入停止時の処置、3)頭部処理(基礎スラブ底面への接合方法など)、4)品質不良をもたらすおそれのある土質、5)杭等の配置不良や芯ずれ(地中障害物等への接触による増し杭を含む)、などが従前から取り上げられている。住宅の地盤改良等の工事は、1,2 日間で完了することが多く、天候や地中障害物との接触による施工の中断により、慌ただしい施工となるおそれもあるので、施工報告書などによる杭1本1本の施工位置、施工深度、施工状況の品質確認が重要である。

V. 海外の住宅基礎地盤¹⁰⁾

(1) 住宅基礎の設計規準、構造方法、地耐力及び沈下修正

世界各国にはそれぞれの国情に応じた建築基準類が存在する。建築基礎構造規準案(日本建築学会,1952)では海外基準類(UBC 等)の地耐力表を紹介しており、これらを参考に日本の基準や設計法を検討していた時期もあったように思うが、今では海外基準類が引用されることはほとんどない。

しかし、海外基準類を知ると、日本の現在の設計施工の常識がどれほどのものか知ることはできる。過去の経緯を知らないままに全く正し

いとして信じ切ってきた国内の設計法が、実は日本だけの取り決めでしかなく海外で通用するだけの一般性や根拠がないことを認識するきっかけになる。世界共通の規定を知ることできる。建築基礎の分野では、杭耐震や沈下計算の関心は高いが、日本のこれらの設計法は海外でも一般的かと聞かれると、違うと答えた方が無難である。地震国とそうでない国の違いを勘案してもなお設計思想に隔たりがある。

海外基準類には、日本では大胆と思われることでも堂々と規定され、合理的かつ重要なものもある。例えば、後述の欧米の基準類にある管理盛土の規定である。また、海外の設計施工技術の歴史にふれると、日本で各社が競ってきた新技術も、海外で同種の工法が古くから存在していたことにも気づく。例えば、鋼材によるスクリュー杭は、最近日本で盛んであるが、19世紀前半に英国で既に登場し、欧米では Helical Pier として低層構造物や鉄塔の基礎や沈下修正方法として多くの工法等が存在している。規模の大きい建物で用いられている場所打ちコンクリート拡底杭も、欧米でベル・パイルなどとして昔から存在している。

以下の内容は、住宅を対象として基礎の構造方法や地耐力、盛土造成に関する規定などを示したものである。なお、住宅基礎、杭基礎、擁壁・造成、に関する国内外の基準類の特徴や経緯・変遷は、文献^{10),30),31)}にそれぞれ紹介している。必要に応じて参照されたい。

①住宅基礎の設計基準類

歴史の古い海外諸国の住宅の多くは組積造(レンガ、ブロック等)である。日本は木造が主であるが、米国、加州、豪州等にも多い。米国の木造住宅は、日本の約2倍に当る年間着工件数(約90万戸)と推察されるが、米国の木造の大半はツーバイフォーであり、日本の軸組とは異なる。

戸建て住宅に限定した基準類で、広く普及しているのは米国の CABO(全米主事会議)による『One and Two Family Dwelling Code 1995, edition¹⁾』(以下、OTFD)である。OTFDの基礎の規定は、材料、構法・形状、排水、防水・防湿、床下の換気などで区分されている。住宅基礎に関して、わが国との違いをあげると、米国では、半地下や地下室が多いため、GLより床下が低い住宅が多いことがあげられる。OTFDは、IRC(International Residential Code -for one and two family Dwelling-)に引き継がれたようであるが、IRCの内容は、全世界で引用されているIBC(International Building Code) /UBC(Uniformed Building Code)とも一致している箇所が多く、米国ではかなり一般的なものともみることができる。

OTFDで特に重要な指摘は、標準仕様によらない特別の基礎が必要な場合として、下記の5ケースを取り上げている点である。

a)盛土(特に管理されたものを除く)

b)地盤沈下のおそれのある地域

c)膨張性地盤

d)高い圧縮性土

e)非拘束の砂・シルト地盤(緩い砂層など)

上記の考え方は、地盤工学の見地からすると極めて常識であるが、日本では敷地の実況に係わりなく、現位置のサウンディングから地盤の許容支持力を安易に求めている場合が少なくない。盛土や有機質土・腐植土などでは、簡単に評価できないと考えることが重要である。SWSでは、地盤構成を正しく推定することが難しい。

②基礎の構造方法

国内外における基礎の構造方法の基本は、異種基礎の回避、凍結深度より深い基礎根入れなどがあげられる。異種基礎には、異なる基礎形式・基礎深さ・支持地盤がある。また、海外では、Expansive soilへの配慮が重視され、IBCには判定法も示されているが、日本にはこの種の地盤はほとんどない。ロシアには、平均気温や継続期間などを考慮した凍結深度の算定式もある。

日本では、基礎は原則鉄筋コンクリート造となっているが、海外には無筋コンクリートだけでなく木質の基礎もある(図-25)。日本では、腐食の観点から木質の基礎は考えにくいが、米国では環境の違いや



図-25 木質基礎の例

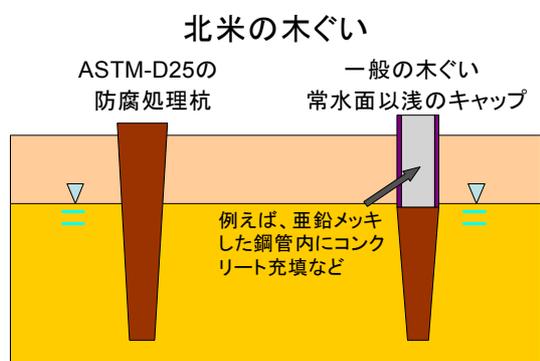


図-26 北米の木杭と防腐対策

防腐処理が徹底されているためか、Permanent Foundation System と称する本設の木質基礎もある。木杭に関しても、薬剤を圧力で浸み込ませた木杭の防食法が 19 世紀から欧米で広まり、必ずしも常水面下に設置する必要はないようである(図-26)。Environmental Protection Agency(米国環境保護庁)から木杭の防腐剤としての使用が認められている。木杭の材料規格や試験法に関しても ASTM-D25 など で詳細に示されている。

③基礎壁や階段状基礎とスラブ・オン基礎(図-27)

日本の住宅の基礎形式は、布基礎やべた基礎であるが、欧米には地下室や半地下を設けることが多く、基礎壁(Foundation wall)と称する地下外壁の仕様規定が存在する。日本では、斜面地であれば、まず擁壁を設置した後に基礎底がフラットな連続基礎を設けることが一般的であるが、欧米では上述の基礎壁や階段状基礎を設けることが少なくない(写真-16)。軟弱な斜面地では、土を盛り入れて擁壁を設置し住宅を載せるより、地下室等が沈下・耐震対策にとっても有用であ

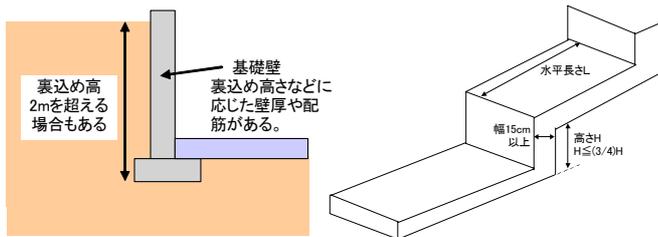


図-27 基礎壁と階段状基礎



写真-16 海外の基礎構造(基礎壁や階段状基礎)



写真-17 海外の基礎構造(プレストレスのべた基礎)

写真提供: 岡野泰三氏

る。盛土荷重は住宅荷重より大きい場合もあるので、沈下や耐震を考えると管理を含めて、慎重な対応が必要となることが少なくない

また、海外では、スラブ上面と床下面の間に空間がなく、床下を直にコンクリート等で固めること『Slab on grading』(スラブオングレーディング)が一般的である。これは、建物下面にスラブを設置するものであり、わが国では『土間床工法』と呼ばれている(なお、ここでいうスラブとはダブル配筋のべた基礎のような構造スラブだけではなく、土間コンクリートに類する床スラブも含む)。地中温度を利用して冬暖かく夏は涼しくすることも可能であり、基礎の外周さらには底部までも断熱材で覆うこともある。

プレストレス構造のスラブ・オンのべた基礎が採用されることもあるが(写真-17)、これは expansive soil への対策でもある。

④地耐力表(許容支持力表)

日本では、1950 年基準法創設以来、令 93 条に地耐力表(許容応力度表)が存在し、1971 年の改正を経て現在に至っているが、ほとんどの海外基準にも地耐力表が存在する(表-13)。日本では、地耐力が 20kN/m^2 (粘土質)、 50kN/m^2 (ローム)といった小さい値もあるが、海外では $72,100\text{kN/m}^2$ 以上が一般的である(日本でも 1950 年令 93 条では最小値は 100kN/m^2 であった)。海外では、盛土、有機質土、泥土は、一般に好ましくない地盤材料と扱われ、地耐力表の数値は示されていない。日本では、盛土、有機質土等の区別はなく、SWS でも土質を区別できないが、地盤工学の見地からみると当然である。

⑤低層建築物に対する沈下修正法

日本の沈下修正工法は、①鋼管圧入工法、②耐圧版工法、③土台揚屋工法、に大別できるが、海外の沈下修正工法とはかなり様相が異なる(図-28)。海外では、①鋼管杭によるジャッキアップ、②コンパクショングラウチング(スランプ 5 以下のモルタル等を地盤中に圧力注入することによる地盤の強制隆起)、③沈下していない側の基礎下の土砂を排出して沈下、④沈下していない側に水注入して脆弱化させて沈下、⑤メキシコでの伝統的なコントロールパイル、などがある(図-29)。①では、建物の外周に Helical pier と称する鋼管杭(スクリュー杭を含む)に多数打設し、場合によって内部のスラブを破って設置することが多い。建物外周の基礎壁と鋼管杭を接続するブラケットなどに多くの工夫がある。②は、日本でも一部技術が海外から導入されており、阪神大震災による建物の沈下修正で実績もある。⑤は、基礎底面のスラブをやぶって既製コンクリート杭を圧入し、スラブと建物内部に収容した杭頭をジャッキで接続した基礎であり、沈下量と沈下の範囲を考慮して適宜杭を延伸・収容バランスを確保しながら沈下修正するものである(図-30、写真-18)。

⑥基礎地盤の新技术

表-13 国内外の地盤の許容支持力（地耐力表）

基準名 (年、国)	地盤種別		許容支持力 (kN/m ²)	基準名 (年、国)	地盤種別		許容支持力 (kN/m ²)
IBC(2000) International Building Code Code (USA)	砂礫、礫		144	CABO (1995) One and Two Family Dwelling Code (USA)	固結した砂		287
	砂、シルト混じり砂など		96		土丹盤		
	粘土、シルトなど		72		密実な礫層/砂質地盤		
	泥土、有機質土、盛土等		— (推定不可)		砂質地盤		144
			粘土質地盤		96		
BS British Standard Code For Practice Foundation BS-8004 1986	粒状土 (基礎幅 1m 超が対 象)	密礫	>600	建築基準法 (2000) Building Standard Law of Japan (JAPAN)	自然地盤や管理盛土が前提		
		中砂・中礫	<200-600		土丹盤		300
		締まった砂	>300		密実な礫層		300
		中密砂	100-300		密実な砂質地盤		200
	粘性土 (長期にわたつ て沈下のおそ れのある場 合)	硬い粘土	300-600		砂質地盤		50
		締まった粘土	150-300		堅い粘土質地盤		100
		粘土	75-150		粘土質地盤		20
		軟らかい粘土	<75		堅いローム層		100
	超軟弱粘土・シル ト		推定不可		ローム層		50
	ピート、盛土など		推定不可				

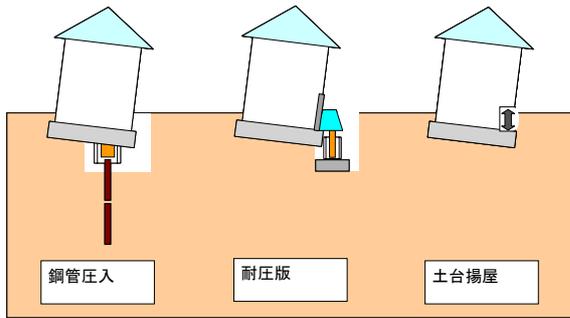


図-28 日本における住宅の沈下修正工法の例



写真-18 八角形の既製コンクリート杭（平出務氏提供）

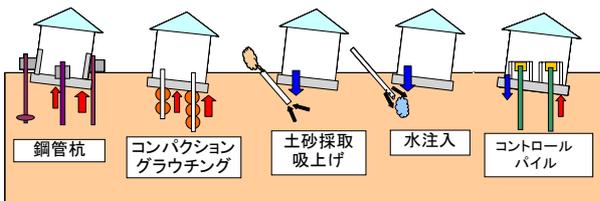


図-29 海外の沈下修正工法

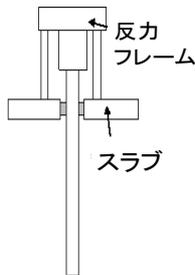


図-30 コントロールパイル

米国の ICC(IBC や IRC の発行機関)では、わが国の評価機関の評定等に類する技術評価を行っており、Evaluation Report といった評価書を与えている。この評価は、適合性判定のための参考にすぎず、最終判断は local code official にあるようであるが、ここでは、評価の特徴と住宅基礎に係わる事項を簡単に紹介する。

基礎部門(Site Construction)の評価対象は、1) 基礎及び荷重支持部材(Foundation system)、2)杭(コンクリートピアなど)、3)地中排水、4)擁壁、に大別されている。具体的な評価方法が設けられている例としては、①プラスチック等の基礎、②ポリマーコーティング(Ethylene Acrylic Acid, 厚さ 0.2~0.3mm)の鋼材基礎、③コンクリートピア(載荷面 0.09m² 以上)や小径鋼杭(steel pin)、④地中排水材(シートや排水層)、⑤組積造等の擁壁(ジオグリッドなどによる背面地盤の補強を含む)がある。

図-31 のコンクリートピア(Steel pin による Concrete Pier Foundation)は、対象は住宅というよりデッキなどが対象と思われるが、長期許容支持力 72kN/m² 以上の地盤に対する支持が基本になっており、載荷

試験さえすればどのような軟弱地盤であっても評価が得られるわけではないことが伺える。

(2)盛土造成と崖付近の住宅基礎

①盛土造成

日本では、盛土、切土といった宅地造成に関する技術基準は、宅地造成等規制法や都市計画法に存在し、基準法には擁壁を除くと、造成方法自体に関する具体的な規定はない。

しかし、海外の建築基準類には、盛土の造成方法を直接規定したものもある。米国(UBC/IBC)では、盛土は管理盛土(Control fill や Structural fill と呼ばれる)と非管理盛土に大別され、住宅を直接支持する管理盛土に対しては転圧方法などが詳細に示されている(表-14)。特に IBC では、盛土に基礎を設置する場合は建築主事に盛

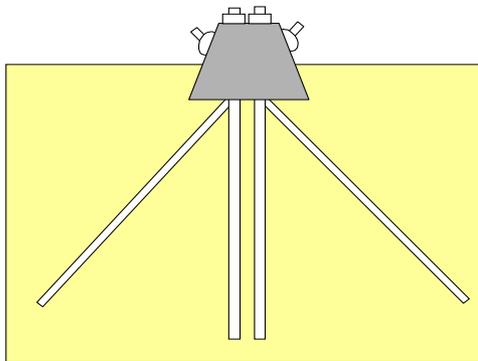


図-31 コンクリートピア基礎の例
(STEEL PIN による Concrete Pier Foundation)

土に関する詳細な報告(過去の敷地利用状況、盛土材、乾燥密度、撒きだし厚など)を求めており、転圧等の確認は主事が認めた資格検査員によることとなっている。締固め管理値は、IBC ではプロクター90%以上など、高い目標値が示されている。また、海外にも、日本と同様な開発許可(grading permit)に係わる規定が存在し、米国などの州・郡・市のなかには締固め度などの目標値を定めている地域もある。ニューヨーク市の建築基準では、盛土材の粒度分布で細粒分の上限を規正している点(粘土排除)が特筆される。

わが国では盛土の締固めに関する定量的な規定は基準類にはない。都市再生機構の宅地土工指針には、締固め度 Dc で 85%,88%といった値が示されている。日本では、造成段階では宅地の用途などが明確でないことから要求性能が明確に定められない状況もあるが、米国の建築基準類では管理盛土に対する要求性能について明確な目標を設定している。管理盛土の思想は、盛土に起因する障害が多い日本でも非常に有用と考えられる。

②がけ上・がけ下の建築物の配置

斜面上の住宅配置に関して、わが国ではがけ条例の規定があるが、米国では IBC にも同様の規定がある。フィリピンやベネズエラにも類似の基準がある(図-32)。なお、がけ下及びがけ上の離隔距離は、Building Clearance 及び Building Setback と呼ばれている。

VI. 杭や地盤改良の現状と今後

(1)杭や地盤改良の性能評価の現状

表-15には、現在使用されている杭や地盤改良の種類を示す。鋼

表-14 宅地盛土等に関する技術基準例

都計法令 28 条 宅造法令 5 条	盛土をする場合には、盛土に雨水その他の地表水又は地下水の浸透によるゆるみ緩み、沈下、崩壊又は崩壊滑りが生じないように、おおむね三十センチメートル以下の厚さの層に分けて土を盛り、かつ、その層の土を盛るごとに、これをローラーその他これに類する建設機械を用いて締め固めるなど。	
宅地防災マニュアルの解説 1998	盛土の端部すべりなどの検討の必要性。施工に関しては、①原地盤の処理、②傾斜地盤上の盛土、③盛土材料、④敷均し、⑤含水比調整、⑥締固め、⑦防災小堤に関する規定あり。盛土の締固めに関する定量的規定はなく、用途ごとの盛土材の要求品質を示した表が解説で紹介(宅地造成では締固め度 85%以上で撒きだし厚が 30~50cm ごと、φ37.5mm 以上の混入率 40%以下などの例示)。	
宅地土工指針 都市再生機構 2001	用途(のり面等を有する宅地盛土、擁壁背面埋め戻しなど)や土質(細粒分含有率 Fc など)に応じて、締固め度 Dc などの管理値が定められ、締固め度 Dc、空気間隙率 Va、コーン指数 qc などによる目標値がある。細粒分含有率 Fc に関しては、F<20、20≤Fc<50、Fc≥50 の 3 つに大別されている。締固め度 Dc/空気間隙率 Va/コーン指数 qc などによる目標値がある。盛土・埋土に対しては、GL.0 ~-0.5m までに対して Dc85%以上・Va15%以下、GL.-0.5~-2.5m までに対して Dc88%以上・Va12%以下、GL.-2.5~-5.5m (擁壁する盛土では、GL-2.5 から擁壁の底盤までの範囲)までに対しては Dc85%以上・Va15%以下などの規定がある。締固め度度に関して RI 法の場合は、前文の Dc88%を 90%、Dc85%を 87%として読み替える。コーン指数は 400kN/m ² (或いは 200kN/m ²) 以上等。	
International Building Code 2000	締固められた盛土に基礎を設置する場合の報告書は、①盛土以前の敷地の状況、②盛土材料の仕様、③最大乾燥密度と最適含水比の記載、④各層の最大許容まきだし厚さ、⑤乾燥密度の現位置試験法、⑥現位置の最小許容現位置乾燥密度(最大乾燥密度の割合で表現)、⑦現位置試験の数量と頻度。ただし、30.5cm より薄い盛土は報告書不要(プロクター法(ASTM D-1557)による最大乾燥密度の 90%以上の締固めの場合)。締固めの確認は、建築主事によって認められた資格検査員による。	
Building code of the city of New York, 2002	Controlled fills	Uncontrolled fills
	礫及び礫質土、は砂(細砂を除く)。盛土前の有機質土、木片、ごみ等の除去。盛土材は寸法 10.1cm 以下、19mm 残留が 30%以下。0.25mm ふるい通過が 40%を以下、もしくは 0.12mm ふるい通過が 12%以下で 19mm を通過する材料を使用。盛土は最適含水比になるよう 30.5cm (締固め後)以下の一定厚とし、各層は 95%以上の密度(RS11-3 基準による)。密度は現位置試験で確認。凍結部等に盛らない。など	低層戸建て住宅以外。試験掘り(基礎下から 2.4m 以浅の調査)で空隙・泥・ゴミなどが無い確認。ボーリング径 10.1cm 以上の連続採取。柱下のボーリングは、3.6m 以上かつ自然地盤まで実施。許容支持力は 210kN/m ² 以下

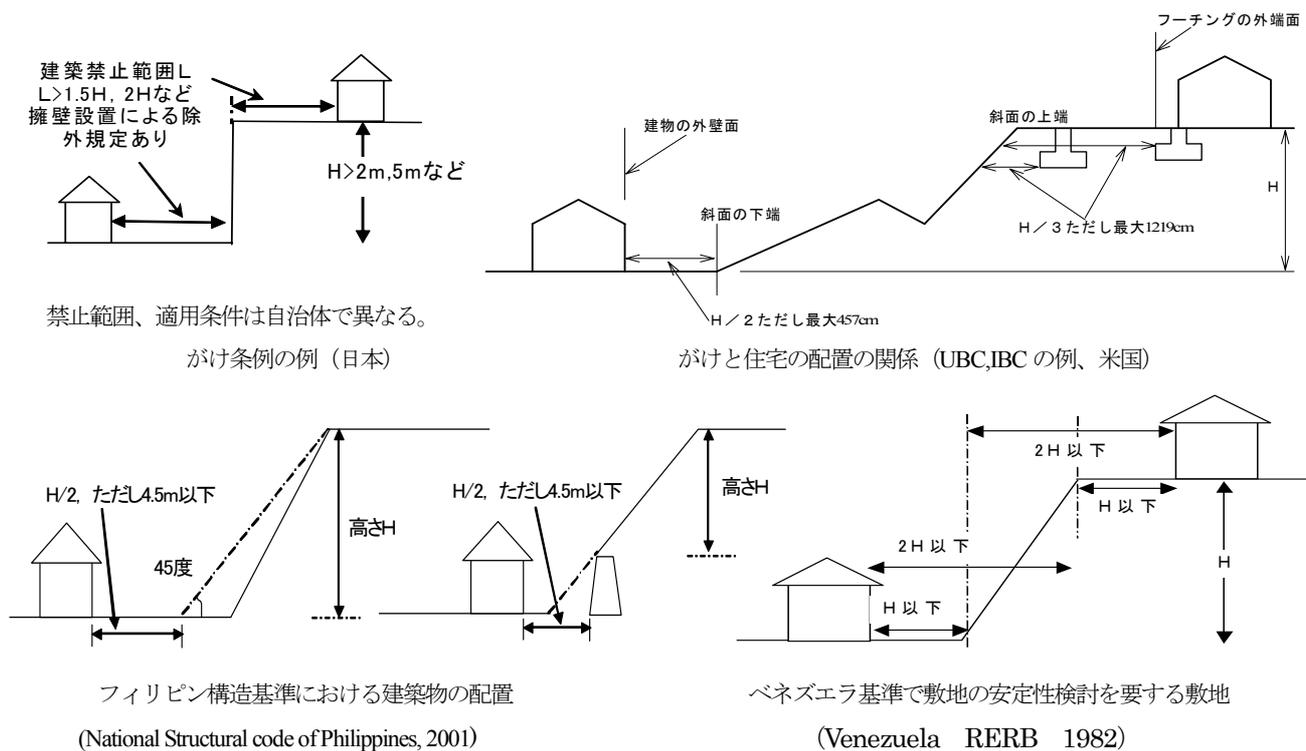


図-32 がけ地における建築物の配置に関する基準の規定例

表-15 戸建て住宅のための杭や地盤改良(文献1)に一部加筆

工法	概要	性能評価のための検討事項	
表層系	浅層混合処理工法	バックホーなどによる土と固化材との攪拌。表層改良ともいう。	改良範囲(改良面積、改良厚)、改良底の地盤の許容応力度、改良強度(設計基準強度など)、固化材量、強度確認の方法など
	補強土工法	鉄、繊維などの補強材の地盤中の設置	使用材料の材質・強度、設置範囲、改良底の地盤の許容応力度、改良地盤の許容応力度、腐食・耐久性に係わる事項など
	置換工法	特殊ブロック、良質土、軽量材による置換	
深層系	深層混合処理工法	機械式攪拌翼による土と固化材との攪拌。柱状改良ともいう。	改良径・長さ、1本当たりの支持力、本数、改良体の強度(目標強度、設計基準強度など)、固化材添加量、強度確認の方法など
	小口径鋼管工法 鋼管杭	回転貫入・圧入・打撃による施工。螺旋翼の場合あり。杭として扱うこともある。	鋼管径(軸杭、スクリュー径)・肉厚、長さ、1本当たりの支持力、本数、先端の仕様(開端、閉塞、螺旋付きなど)腐食対策など
	木杭	圧入・打撃などによる施工。地盤改良として扱われることがある。	径(元口、末口)、長さ、1本当たりの支持力、本数、材質、腐食対策など
	RC杭、PC杭など	一般のPHC杭などのほか、異形摩擦杭(節杭)など特殊な形状/材料を使用することがある。	径、長さ、1本当たりの支持力、本数、材質、腐食対策など

管杭や木杭などを用いる場合であっても、基礎ぐいとしては扱わず、沈下対策としての地盤改良として使用する場合もある。このような場合、小口径鋼管工法や木杭は地盤改良の位置づけとなる。これらの支持力に関して、杭的な形状の場合は、杭でも地盤改良でも一般に(3)式が基本となっている。

$$Ra = \text{Rup}/3 = (\alpha N_A p + \beta N L_s \phi + \gamma q u L_c \phi) / 3 \quad (3)$$

α, β, γ : 支持力係数 A_p : 杭先端の有効断面積 (m^2)
 N : 杭先端周辺のN値 ϕ : 杭の周長 (m) F : 安全率

N_s : 杭周の砂のN値 (回) q_u : 杭周の粘土の一軸圧縮強度 (kN/m^2)
 L_s : 杭周の砂の長さ (m) L_c : 杭周の粘土の長さ (m)

しかしながら、載荷試験などによる根拠がないまま支持力式を設定している場合もあるので、木造などに対して一般的に利用されている鋼管工法や木杭の支持性能を確認することが重要である。

また、これらの杭等の支持性能に関しては、地盤だけでなく施工法等に地域性があるので、地域の実績経験などに基づく検討も重要である。わが国には、腐植土や粘性土からなる超軟弱地盤が各

地に存在している。これらの超軟弱地盤地域において、適切な沈下対策が採用できない場合には、ジャッキアップ基礎(写真-19)の採用が費用対効果や経済性からみて有用な場合もあるが、不具合を未然に防ぐには、超軟弱地盤での杭や改良等の性能評価法を確立させることが必要である。次節では、現在、佐賀市の有明海沿岸の超軟弱地盤地域で実施している各種軟弱地盤工法の性能評価に関する実験の概要を紹介する。

(2)軟弱地盤における小口径鋼管杭と木杭の支持力評価実験

①実験目的

佐賀市の白石地区などの有明海沿岸には、超軟弱な粘土層が厚く堆積しており、造成や住宅建設に伴って地盤沈下が多発し、軟弱地盤対策が必要になっている。特に、当該地域では、現在わが国の大都市地域ではあまり見られない木杭が、経済性などを背景に現在でも広く使用されており、これらの木杭の支持力評価技術の開発も求められている(写真-20)。そこで、今回、佐賀市の超軟弱地盤地帯で鋼管杭や木杭の鉛直載荷試験を実施中であり、ここでは



写真-19 ジャッキアップ式基礎の例

支持力や沈下挙動等の調査結果を報告する(写真-21)。なお、以下の実験は、(財)住宅保証機構、(財)佐賀県土木建築技術協会、(独)建築研究所が多くの機関の協力のもと、実施している『佐賀県有明沿岸地区住宅地盤対策調査』の調査研究事業の一部である。

②調査地点及び実験概要

図-33は、試験地である佐賀市東与賀地区の柱状図を示す。このサイトで、単杭の鉛直載荷試験や引抜き試験の他、各種対策工を用いた実大基礎の長期観測などを行っており、ここでは単杭に関する静的載荷試験の結果を示す。



写真-20 有明海沿岸部での木杭 (右下:コンクリートキャップ)



写真-21 佐賀市で実施中の各種実験(フーチング付き各種策工法の比較(等分布、偏芯荷重)、単杭(鉛直載荷、長期載荷、引抜きなど)

標尺 (m)	土区 質分	N 値	標準貫入量試験			土区 質分	N 値	標準貫入量試験			N 値	標準貫入量試験		
			0	10	20			30	0	10		20	30	0
1	埋土	0				埋土	3				1.50			
2	砂混じりシルト	0				シルト混じり砂	4				2.00			
3	砂	2					2				1.67			
4	砂混じりシルト	0				砂質土	0				0.17			
5	砂	6				砂質粘土	0				0.00			
6	シルト混じり砂	7				砂	7				0.58			
7	シルト混じり砂	2				砂質シルト	1				2.56			
8		0					3				6.03			
9		0					7				6.50			
10		0					3				5.67			
11		0					1				5.33			
12		0					1				4.00			
13		0					1				2.20			
14		0					1				0.70			
15		0					1				0.50			
16		0					1				0.30			

図-33 試験地の地盤条件



写真-22 長期載荷試験における試験体

表-16 小口径鋼管杭と木杭の諸元

No	名称	杭種	杭径mm*	長さm	肉厚mm	テーパ角
1	C	松	130-120	5.5	-	0.001
2	E	松	230-180	5.5	-	0.005
3	F	松	240-180	8	-	0.004
4	え	松	120-110	5.5	-	0.001
5	G	鋼管	60.5	5.5	3.2	-
6	I	鋼管	190.7	5.5	5.3	-
7	K	鋼管	138.9(閉)	5.5	4	-
8	L	鋼管	138.9	5.5	4	-
9	あ1	鋼管	60.5	5.5	3.2	-
10	あ2	鋼管	60.5	5.5	3.2	-
11	あ4	鋼管	60.5	5.5	3.2	-
12	い	鋼管	139.8	5.5	4	-
13	D	松	190-180	4	-	0.001
14	お	松	180-170	5.5	-	0.001
15	H	鋼管	190.7	4	5.3	-
16	J	鋼管	190.7	8	5.3	-
17	あ3	鋼管	60.5	5.5	3.2	-
18	う	鋼管	190.7	5.5	5.3	-

注: 鋼管はNo.7を除き開端杭、木杭の杭径は元口・末
テーパ角 $\theta = (\text{元口} - \text{末口}) / 2 / \text{杭長}$

表-16には杭の種類と寸法・形状を示す。木杭は元口(頭部)が先端(末口)よりやや大きくテーパ状であるが、今回はテーパ角 $((\text{元口} - \text{末口}) / 2) / \text{杭長}$ は最大でも0.005程度で大きくはない。なお、鋼管杭は、試験体Kを除き、全て開端とした。現位置試験としては、通常の静的な鉛直載荷試験や引抜き試験のほか、一定荷重を長期間与えて沈下挙動を測定する試験も実施した。写真-22は、長期載荷試験の状況を示しているが、杭頭部に載荷盤を直接接合し、約10kNのブロックを積重ねて載荷重に利用したものである。

③鉛直載荷試験と引き抜き試験

図-34,35には、鉛直載荷試験及び引抜き試験の結果を示す。

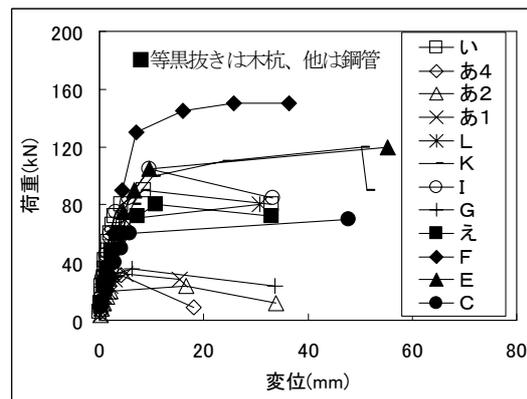


図-34 鉛直載荷試験の結果

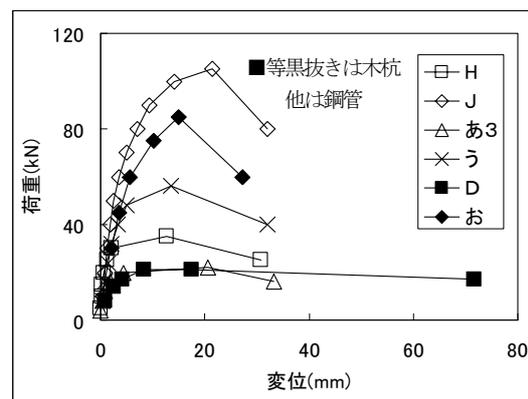


図-35 引抜き試験の結果

いずれも杭頭変位が10~20mmで最大値に達している。

④長期載荷試験

図-36には、Aサイトの長期載荷試験の結果を示す。いずれも経

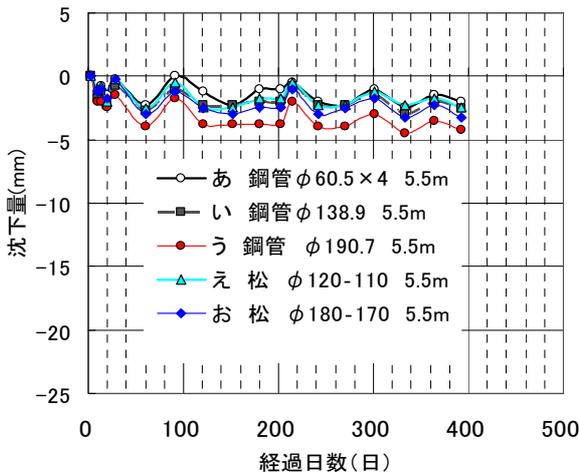


図-36 長期載荷試験の結果

時変化は少なく、2~4mm 前後であるが、載荷試験の同等荷重時の沈下量は約0.2~0.4mmであり、長期観測結果よりも大きい。

⑤試験結果の考察

図-37,38 には、図-34,35 で示した極限支持力・引き抜き抵抗力の実験値を一般的な打ち込み杭の支持力算定式と比較した結果を示す。打ち込み杭の鉛直支持力及び引き抜き抵抗力を次式に示す。先端N値は、下1D上1Dとすることもあるが、N値が下向きに急増する場合は、打止め管理が難しく、安全側の上4D下1Dとした。

$$Ra = 1/3 \cdot Ru = 1/3(300NAP + 10/3NsL\psi + 1/2quLc\psi) \quad (4)$$

$$Rap = 4/5(10/3NsL\psi + 1/2quLc\psi) \quad (5)$$

- Pa : 長期許容支持力、Pap : 長期許容引き抜き抵抗力、
- Ap : 先端有効断面積 (m²) N : 杭先端のN値 (上4D下1D)
- ψ : 杭の周長 (m) F : 安全率
- Ns : 杭周の砂のN値 (回) qu : 杭周の粘土の一軸圧縮強度 (kN/m²)
- Ls : 杭周の砂の長さ (m) Lc : 杭周の粘土の長さ (m)

土質定数は、一軸圧縮試験の結果において、深度約2~8mの粘土層のquが20~25(kN/m²)にあるので、ここでは深さによらず粘土質ではqu=22.5kN/m²として計算することにした(図-39参照)。このquの値はSWSからquの換算式(qu=45Wsw+0.075Nsw、Wsw:(kN)でWsw=0.5kNとしたことになるが、SWSの実測値もWsw=0.5kN前後である。なお、表層約1mは埋土で土性の評価が難しく、実務上支持力算定から除外することも多いので、ここでも除外した。

図-37,38から判断すると、実験値は、(4),(5)式のいずれの計算値も上回っていることから、(4),(5)式を用いても特に支障ないと判断される。木杭と鋼管杭の関係に関しては、図-37、図-38からみると特に傾向が認められず、鉛直杭径がほぼ同等であれば押し込み、引き

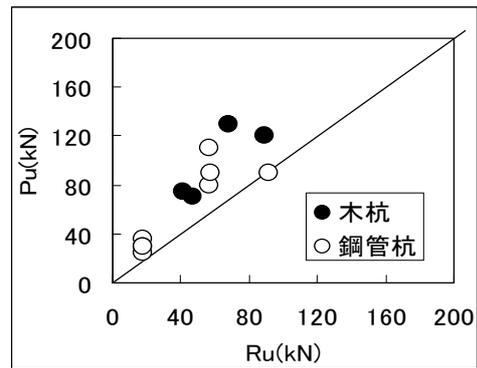


図-37 鉛直載荷試験の実験値と計算値(1)式の関係

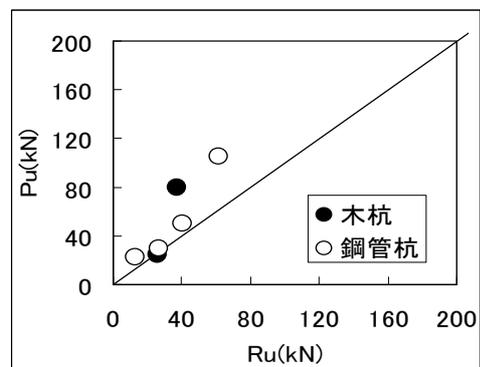


図-38 引抜き試験の実験値と計算値(2)式の関係

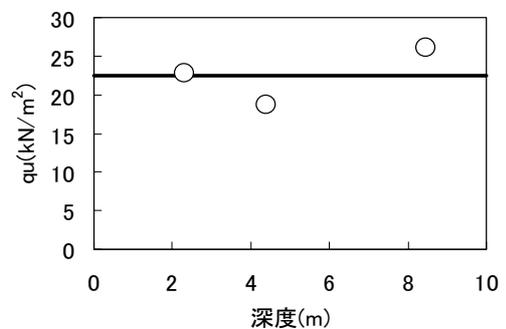


図-39 土質試験結果(粘性土の一軸圧縮強度)

抜きともほぼ同等の結果が得られている。木杭はテーパ形状であるため、押し込みと引き抜きで直杭と比較して支持機構が異なると考えられるが、テーパ角が小さいなどのためか差異が少なかったものと思われる。

また、引抜き試験における極限引き抜き抵抗力を杭周面積で除した平均摩擦抵抗力度τは、10~26kN/m²の範囲にあった。杭長4mの場合は、試験体H(鋼管)で約12kN/m²、試験体D(木杭)で約10kN/m²と共に比較的小さい値であったが、杭長8mの試験体(o)(木杭)では最大の約26kN/m²が得られた。

鋼管先端の開端と閉端との違いに関して、同位置地点で同一

長さの試験杭K(閉端)、試験杭L(開端)を比較すると、極限支持力は110kN、90kNとなり、開端がやや大きい。なお、開・閉だけでなく、先端掘削爪の大きさ・向きによっては周囲が乱される可能性があるため、これらの影響も最終的には考慮する必要がある。

極限支持力に及ぼす杭先端位置の影響については、試験体E、試験体Fの比較により調べた。試験体Eでは杭先端を当該地域でやや良好な層と考えられている深度5.5mの砂層に設置し、試験体Fでは砂層を突き抜けた深度8mに杭先端を到達させている。先端抵抗を考慮した(4)式的支持力算定式を適用すると、試験体Eで約90kN、試験体Fで約70kNとなり、砂層を突き抜けた場合が小さいことになるが、極限支持力の実験値は、杭長8mの試験体Fで130kN、杭長5.5mの試験体Eで120kNとなった。当該地域では、設計上の定着深さは深度5～6m前後に存在する薄い砂層とすることがあり、施工時に杭先端が砂層を突き抜けて下層の粘土質に到達し、耐力低下をもたらす管理上問題になる可能性もあるが、今回の結果から判断すると、この砂層を突き抜けても、周面摩擦も期待できるので、大きな支持力低下をもたらす可能性は少ないと考えられる。

図-40は、長期観測試験を実施した杭の静的鉛直載荷試験の結果と長期載荷の沈下量を比較したものである。長期の沈下量は同じ

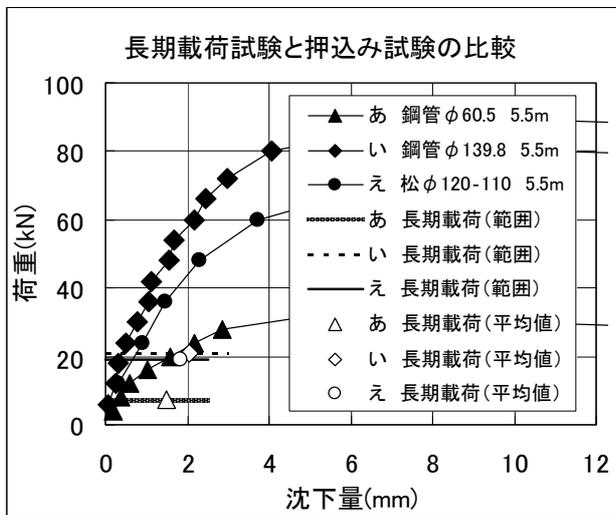


図-40 長期載荷試験と押し込み試験の関係

表-17 材令による極限支持力の変化の例

杭種	杭径	杭長	材令と極限支持力(kN)		倍率 P1/Po
			20日 Po	300日 P1	
鋼管杭	165.3	8.1	56	96	1.71
鋼管杭	165.3	8.1	100	150	1.50
木杭	180	8.1	165	193	1.17
木杭	200	8.1	170	210	1.24

荷重レベルにおける載荷試験における沈下量(0.2～0.4mm)と比較すると、2.3mm 大きいですが、経時変化は少なく、測定精度の影響もあり、実務上大きな差はないと考えられる。なお、長期載荷試験の荷重は、試験体(あ),(い),(え)で、それぞれ7.5kN(=30kN/4)、20kN、30kNであり、極限支持力の実験値及び(4)式による計算値に対する割合は25%、22%、27%及び41%、35%、48%である。

以上の結果から判断すると、(4)式の許容支持力(極限支持力の33%)を採用した木杭(静的圧入あるいはパイプロ圧入)や鋼管杭(開端の直杭、回転埋設あるいは静的圧入)は、支持力及び沈下の観点からみて特に支障ないと考えられる。

ただし、本試験は、材令は施工後500日の杭を対象としている。佐賀県唐津市で材令の影響を調べた試験結果を表-17に示しているが、材令20日と材令300日の違いは最大1.7倍にも達している。また、この試験結果から判断すると、直杭である鋼管杭がテーパ杭(先端が頭部より小さい)である木杭よりも材令の影響が大きい。過去に収集分析した小径杭の載荷試験結果のなかには、(4)式を満足しない例も認められるが、材令が短い場合が多いことも併せて考える必要である。鋼管の先端が開端で掘削刃が外爪の場合、材令によっては、施工の周面の乱れによる摩擦抵抗の回復が遅れるだけでなく、先端抵抗も十分発揮できない可能性も考えられる。現在、有明海沿岸さらには他の軟弱地盤地域で材令の影響なども考慮した載荷試験などを計画中であり、今後明確にしていきたい。

また、住宅用の杭は、住宅荷重をすべて杭で支える設計というより、沈下対策として補助的に用いられる場合も少なくない。沈下障害事例などから判断しても、地盤の支持力が不足している場合は少なく、圧密沈下などの沈下が原因である。通常の杭基礎として設計すると、地盤条件によっては杭1本10,20kNしか許容支持力が期待できず、多くの杭本数が必要となり、現実的な対策となりえない可能性もある。べた基礎として必要な地盤の支持力がわずかに不足するからといって、べた基礎を採用しながら、べた基礎下に設置する杭のみで住宅荷重を支える設計は合理性に欠ける部分もある。このため、今回の一連の試験結果などに基づいてパイルド・ラフトとしての設計についても検討を進める予定である。

⑥地域性を考慮した軟弱地盤対策のあり方

杭等の支持力は、載荷試験によって評価することはできるが、超軟弱地盤では、長期に生じる圧密沈下や造成などの影響が支配的であり、支持力上支障のない杭等を設置したからといって十分ではなく、地盤条件(圧密降伏荷重、地下水位、土の強度変形特性など)に応じた検討が必要である。このような検討は、多くの地盤調査などを必要とするが、住宅レベルで個々に行うことは費用だけでは

く、技術的にも困難な部分が多い。剛強な支持杭は確実であるが、杭頭突出のおそれがあり、一方摩擦杭では安易に杭長を決めると先端以深の地層での圧密沈下もありうる。

このような場合の対策工のあり方としては、まず、地域の地盤や土性、造成のパターンさらには前節の試験結果などを考慮して、基礎選定のための地盤種別の設定(ゾーニングや特殊土への配慮等)を行うことが基本であり、次に地盤種別に応じて対策工法の設計法を整備することが必要である。有明海沿岸地域だけでなく、全国各地に超軟弱地盤が散在しており、前節の結果などを考慮し、軟弱地盤での基礎設計法について、さらに検討する予定である。

VII.住宅基礎の耐震設計²⁵⁾

構造計算を要する建築物でも、低層住宅ではこれまで、基礎耐震に配慮してこなかった経緯があるが、今後は耐震設計も重要である。

(1)杭や改良地盤上の基礎(図-41)

一般に杭を基礎スラブ下に設置する場合は、固定相当の接合が求められ、固定度1.0で杭頭の設計がなされるが、住宅程度の場合は載せるだけでピンと安易に扱う設計もある。杭の耐震設計を要する建物規模は、以前は行政指針で規定され、一定の高さ以上が対象であったが、現在では構造計算を要する建物であれば同等の扱いが求められている³³⁾。

戸建て住宅では、小口径鋼管杭やコラムを利用するが多い。

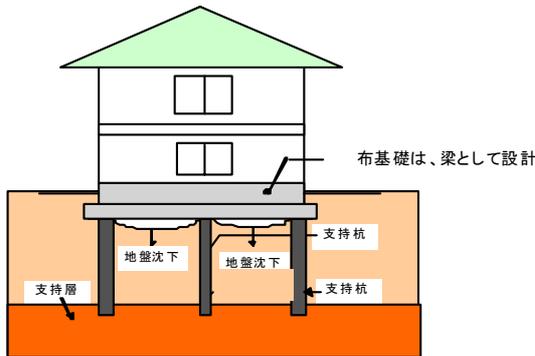


図-41 杭や地盤改良に対する基礎構造



写真-23 住宅用鋼管杭等の水平載荷試験

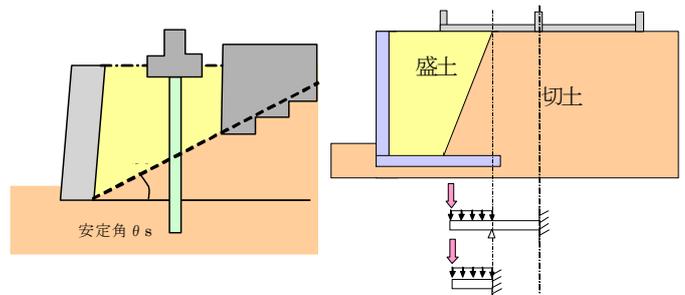
これらは沈下対策地業として扱われ、水平力に対する設計がなされないこともあるが、設計上の鉛直荷重は杭等で全て支える設計が一般的である。新規の盛土など地盤沈下が生じる地盤で使用される場合が多く、杭等の頭部が突出するおそれもある。鋼管杭の最小肉厚は原則6mm以上(告示1347号)であるが、地業用鋼管の鋼管厚は4.5mm以下のものもあり、突出する場合には特に耐震性に配慮することが重要である。液状化のおそれのある地盤での杭等も同様である。

また、住宅用杭の耐震設計に関して、小口径杭が一般の杭と比較して杭径・施工法が大きく異なることに注意が必要である。施工時に周辺地盤に及ぼす影響(乱れ等)が異なるおそれも皆無ではない。水平力に対する杭の設計では、水平方向地盤反力係数 k_H の評価が重要であるが、既往の評価法は既往の杭工法に対する水平載荷試験結果に基づいており、施工法が大きく異なる場合には、施工法や地盤条件を考慮した水平載荷試験などに基づいて k_H を適切に設定することが重要である(写真-23)。

(2)安定性が不明ながけや擁壁周辺の基礎(図-42、図-43)

建築物全体から見ると、基礎耐震の最重要課題は、不安定な崖・擁壁の周辺に低層住宅を近接させる場合である。古い空石積み、増し積み、既存不適格擁壁など、現行基準を満足しない擁壁の直近に住宅を建設する場合もあり、これらの耐震性にも注意が必要である。

安定性が不明な擁壁等の背面には、沈下対策の杭等を設けることが多いが、この耐震性は住宅の安全性に直結する。擁壁が地震等で



(a)深い基礎の例

(b)浅い基礎の例

図-42 がけ上の深基礎建築物のための基礎

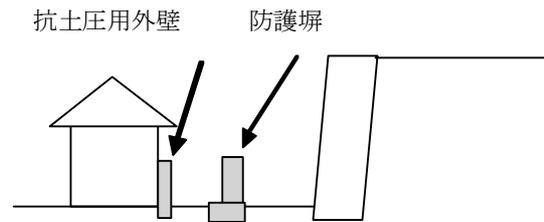


図-43 がけ下建築物のための外壁や防護壁

崩壊するおそれがあれば、沈下対策の杭等を設置すれば十分というわけではない。擁壁の崩壊が杭に及ぼす影響を評価することは難しい。崩土による水平力も考慮した突出杭を設計すれば、住宅は安全に支えられるが、周囲への影響は防止できない。図-42(a)は、がけ上建築物において有用とされる深い基礎の例である。既存擁壁の状況によっては、擁壁付近の掘削などが埋め戻しや擁壁の安全性に支障をもたらすおそれもあるので、図-42(b)図のように片持ちばり式の基礎とし、基礎剛性を高める方法が現実的な対策となる場合もある。

がけ下の建築物の場合、崖面に開口部を設けず、土砂の流入を防止するための防護扉や防護柵を設けたり、建築物を抗土圧構造の外壁等で覆って安全性を確保する方法が一般的である(図-43)。地震や豪雨による崖崩れ等のおそれを、入手可能な当該敷地周辺の地盤情報から、個々の住宅建設において診断・評価することは難しいので、住宅建設に際しては、土砂災害に関する各種ハザード情報に基づいて敷地の安全性を検討することが基本である。

土砂災害を防止するための法令の現状を概説すると、砂防法(1897)、地すべり等防止法(1958)、急傾斜地法(1969)などがあるが、1998年の広島県の豪雨災害を契機に土砂災害防止法が2000年に創設されている。この防止法の指定区域は、2005年3月現在で土石流273ヶ所、がけ崩れ217ヶ所、地すべり0ヶ所、計490ヶ所であったが、2007年1月現在ではそれぞれ10,711、15,360、86ヶ所、計26,517ヶ所と増加している。また、土砂災害のおそれのある地域は、国土交通省管轄の地域(他に林野庁や農水省管轄有り)だけでも、土石流危険渓流183,863渓流、地すべり危険箇所11,288ヶ所、急傾斜地崩壊危険箇所330,156ヶ所と膨大である。

なお、がけ崩れ等を考慮した外壁や基礎等の設計に関しては、土石流や急傾斜地の崩壊、地すべりによって建築物に作用する衝撃力や堆積土砂による土圧の算定法の規定(国土交通省告示第332号(H13))や土圧に対する建築物の外壁や基礎等の耐力の規定(国土交通省告示第383号(H13))を参考にすることができる。

(3)液状化のおそれのある敷地の基礎

液状化のおそれのある地盤で、地盤の短期許容支持力の設定が難しく、地盤改良等を採用することができない場合は、許容応力度計算において、当該地盤を液状化のおそれのある地盤とみなし、剛強な基礎を採用することで基礎の損傷を防止し、かつ、液状化の度合いや層厚・存在深度などを考慮に入れた検討に基づいて過度の沈下・傾斜が発生しない検討が重要である。適切な防止策を講じることができない場合は、まず、釣りのよい住宅構造とすることが基本である。写真-24は、兵庫県南部地震及び新潟県中越地震において液状化で大きく傾いて取り壊された住宅の例である。写真-24(左)の住宅



写真-24 液状化により著しく傾いた住宅の例
左:新潟県中越地震、右:兵庫県南部地震

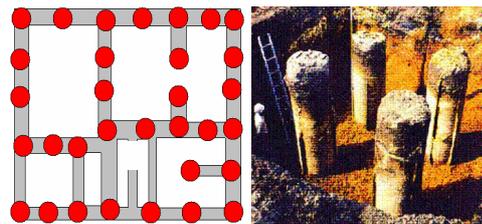


写真-25 液状化被害が生じなかった住宅の例
(写真-24に近接する住宅、柱状改良の採用)

に隣接する住宅は、写真-25に示すように地盤改良を採用し、かつ基礎の一体性に関しても特殊に支障なかったためか、沈下や傾斜はほとんど生じていなかった。図-44、図-45は、新潟県中越地震において戸建住宅に著しい液状化被害が発生した地点における地下水位と被害度との関係を調べた結果である。地下水位が50cm未満の地点での被害は特に顕著である。写真-26は、スコップでわずかに掘削すると地下水位が確認できた状況を示す。地下水位は、写真-27に示すように住宅建設時の表層地盤の土質確認時に併せて行うと容易である。地盤災害の多くが浅い地下水位に係わっているため、塩化ビニル管などで地下水位を測定する重要性を広めることも今後重要である。

液状化によって生じる傾斜の度合いの評価は、建物の種別や居住者の感覚にも左右されるので、一義的な評価は難しいが、沈下修正を必要としてきた過去の実績などを参考にできる。また、液状化による建物の傾斜の方向性に関しても、当該住宅の周辺の住宅配置や盛土高さの相違など関係があるので、敷地の実況を加味した検討も重要である。図-46は、傾斜の方向を示したものであるが、隣接する住宅

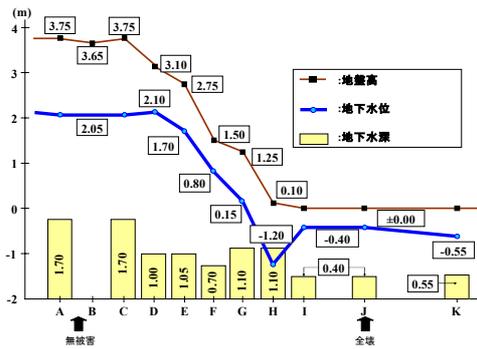


図-44 液状化被災地における地下水位

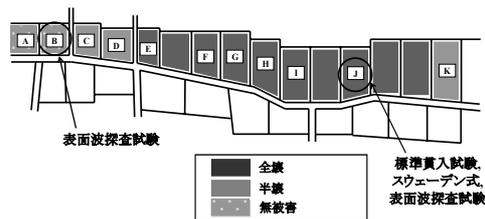


図-45 通り沿いの地下水位



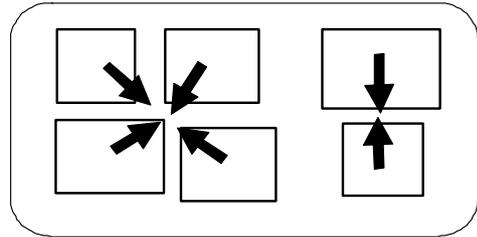
写真-26 液状化被災地での浅い地下水位



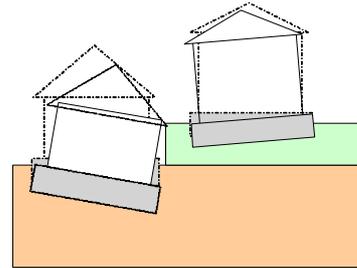
写真-27 容易に実施できる浅層部の地下水位観測

が重なり合う中央部側が沈む傾向にある。また、盛土等によって地表面に高低差があると傾斜が拡大する可能性がある。

新潟県中越地震では、観測結果などから判断すると地表面加速度が200gal前後の地域で、一体の鉄筋コンクリート造基礎の比較的新しい住宅に過大な傾斜が生じ、多大の修復費を要した場合もある。中地



液状化による住宅の不同沈下・傾斜の方向（隣棟側に傾斜）



液状化による住宅の不同沈下・傾斜と盛土の関係

図-46 液状化による住宅の傾斜の方向性

震では著しい修復費を要しない程度の被害にとどめる設計が望まれ、また、液状化に対する建築主への説明も特に重要である。

VIII. 敷地の耐震性能の最新動向

(1) 耐震改修促進法と基礎及び敷地

2005年に促進法が改正され、2006年1月国交省告示第184号『建築物の耐震診断及び耐震改修の促進を図るための基本的な方針』が策定された。また、診断・改修技術についても改正がなされたが、その対象は『木造』と『敷地』である。立地、地盤、基礎構造などによっては、人命に危害の及ぶ被害が発生するので敷地の診断は重要である(写真-28)。

木造の診断については、基礎種別(基礎形式と損傷度などを考慮して3種類に大別)などに応じて保有耐力に乗じる低減係数を定めている。一方、敷地の診断対象は、①擁壁、②がけ崩れ等、③液状化、となっており、鉛直に増し積まれた擁壁における上段と下段の一体性、アンカーによる擁壁の補修・補強、剛強なべた基礎や地盤改良による液状化による著しい被害の回避などが示されている(図-47)³⁾。

(2) 宅地造成等規制法と宅地耐震化事業

宅地造成等規制法の抜本改正が、2006年になされた⁴⁾。この背景は、近年の地震災害で大規模盛土造成地の崩壊が多いため(写真-29)、都道府県知事が新たに『造成宅地防災区域』と称する危険のある宅地を指定し、必要な勧告等を講じる制度を導入したところ



写真-28 人命に危害が及ぶおそれのある敷地の崩壊例(上段:崖つぶちの住宅の被害、下段左:石積みの崩壊により隣接する住宅の外壁が崩壊した例、下段中:石積みの崩壊で道路が閉塞した例、右:がけ崩れ・地すべりの例)

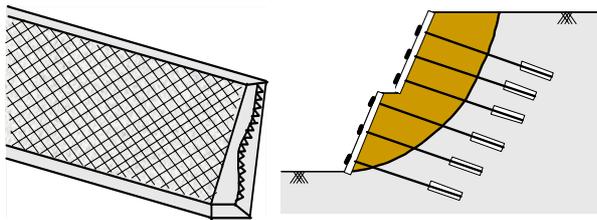


図-47 擁壁の補強方法例(左:添え打ち、右:アンカー)



写真-29 盛土造成地の地震被害(左:谷埋、右:腹付け)

に特徴がある。今後、大規模盛土造成地の変動予測調査ガイドラインや宅地ハザードマップ等が策定され、一定の要件を満たす危険宅地(盛土 3,000 m^2 以上など)に対して公的助成(国の補助率 1/4、残り 3/4 は住民及び地方自治体など)がなされ、宅地の耐震化を図るための補強工事が実施されると考えられる(図-48)。

2006年9月に政令改正がなされ、盛土の耐震性評価において、所定の水平震度(=0.25 \times Z、Z:基準法令 88 条の地域係数(=0.7~1.0))に対してすべり面の最大摩擦抵抗力で抵抗する考え方が示されている。また、造成宅地防災区域の指定基準として、『①盛土した土地の面積が 3,000 m^2 を超え、地下水位が盛土内に浸入した場合、②盛土前の地盤面の傾斜が 20 度以上、かつ盛土高さが 5m 以上、のいずれか』、又は『切土又は盛土後の地盤の滑動や崖の崩落などの事象が生じた造成宅地』などが示されている。

(3)普及型耐震改修技術の開発

(独)建築研究所では、2006 年度から「耐震化率向上を目指した普及型耐震改修技術の開発(2006-2008)」を開始している。ここでは、

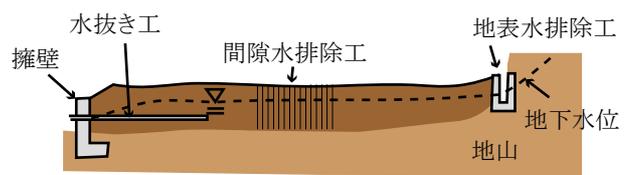
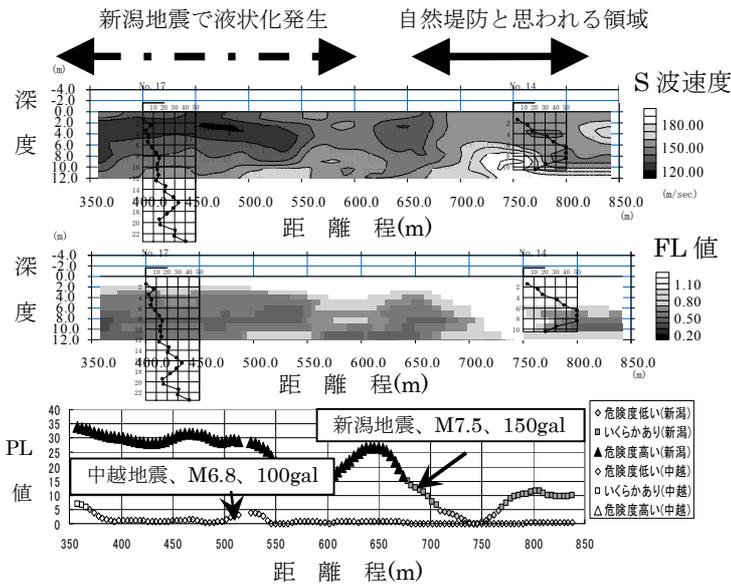


図-48 水抜きによる宅地耐震化工事の例

RC 造、S 造、木造、基礎といった各種構造の耐震改修に係わる技術開発と普及促進を図るための方策を検討することとしており、学識経験者、住団連、木住協、建築業協会、日本建築構造技術者協会の協力のもと、液状化や擁壁の被災事例の調査分析などに基づいて、『戸建て住宅の敷地・基礎の耐震診断・改修技術指針』や『住宅建設における宅地防災ユーザーズマニュアル』の作成を目指している(図-49)。なお、図-49(a)は、写真-30 の表面波探査で推定した S 波速度の地層断面図から液状化の判定指標である FL 値の地層断面図並びに深さ方向の FL 分布を考慮した PL 値を示したもの



(a)表面波探査によるS波速度地層断面とFL地層断面及びPL値(新潟市)



(b)敷地診断ユーザーズマニュアル

図-49 普及型耐震改修技術の開発における敷地・基礎分野の研究内容

である。土質判定など工夫を要する部分もあるが、このような断面図は計測後に瞬時に作成できるので、サウンディングとの併用を図ることで信頼性を確かめれば、敷地周辺全体の液状化の傾向を評価する方法として有用と考えられる。

IX.住宅生産者と建築主の役割

(1) 基礎・地盤に関する設計施工情報

住宅の地上部分と違って、基礎・地盤には建築主の嗜好が働かないため、建築主が関心を持つことは少ないが、地盤には支持性能だけでなく、土地・敷地としても役割もあり、基礎・地盤に係わるトラブルを回避するため、把握しておくべきことは以下に大別できる。

- a)基礎構造
- b)敷地・擁壁
- c)地盤改良・杭

a)の基礎構造については、布基礎やべた基礎の寸法・配筋やコンクリートの品質が確認が基本である。これらは、現場審査・検査で把握できるので、建築主が事後確認することも比較的容易である。また、布基礎やべた基礎の基礎形式に応じて必要とする地盤の許容支持力の最低値(布基礎 30kN/m²、べた基礎 20kN/m²)が規定されているので、基礎形式と併せて地盤調査結果との対比から地盤の許容支持力の設定根拠を確認することも重要である。

b),c)の各項目は、上述したように基礎形式ごとに必要な地盤の許容支持力が明確になっていることから、ほとんどは許容支持力の評価に

係わる問題ではあるが、b)に関しては、既存不適格擁壁や不安定な崖なども含まれる。擁壁の基準は、2000年の施行令142条改正と告示1449号第3の新設により、構造計算の方法や仕様が明確になったので注意が必要である。その他、土砂災害や液状化を含む地盤災害の可能性や地盤沈下地帯、地下水位、洪水などの情報も重要である。液状化マップ、土砂災害マップなども有用である。都心では、洪水マップなどに基つき基礎天端高さを変更することもある³⁵⁾。その他、特殊地盤(盤ぶくれ、スレーキング、強酸性地盤など)や活断層、ガス田、廃棄物などの地盤情報も住宅建設にとって重要な情報である。

また、建売住宅などでは、宅建業法に基づく重要事項説明において、地歴調査の結果などからみた土壤汚染の可能性、土壤汚染調査の有無、土壤汚染対策法第5条に定める指定区域(特定有害物質によって汚染されている区域として指定)の有無などの説明がなされている場合もあることに注意が必要である。

c)は、軟弱地盤対策として用いられる地盤改良や杭の情報である。現時点でこれらの設計情報は建築主に渡っていない場合が多いので、建築主自身が積極的に求めることが必要である。設計情報は、新築時の評価だけでなく、既存住宅の診断や補修・補強にとっても重要である。

地盤改良の情報に関しては、日本住宅性能表示制度の2004年改正において、地盤改良の方法の表示が新たに求められるようになった。杭を用いた場合は基礎ぐいを用いた構造となっており、日本住宅性能表示制度の創設時から、基礎ぐいの許容支持力、杭長、杭

径、支持形式(支持杭もしくは摩擦杭)の表示が必要になっていたが、杭とほぼ同様の目的で使用されている地盤改良に対しては表示の必要性や表示方法がこれまで明確ではなかった。また、一般の基礎ぐいと同様な考え方で用いられている住宅用の鋼管杭であっても、地盤改良の一種として扱われ、その鋼管杭の情報が表示されることもほとんどなかった。しかし、地盤改良の採用の有無についての情報は、改良地盤の許容支持力の設定根拠だけでなく、建替えなどの敷地の再利用や沈下障害が発生した場合の原因の究明及び修復を考える際に非常に重要である。このようなことから、今では、地盤改良として用いる鋼管杭を含めて、地盤改良の方法の表示が直接求められることになっていることにも注意を要する。

表-15は、文献²¹⁾に示されている地盤改良の種類である。どのような地盤改良であって改良地盤の許容支持力を適切に設定するためには、改良の条件(使用材料及び材料の品質、改良範囲、杭的な改良の場合は本数・径など)や改良前の地盤条件が明確になっていなければならないので、地盤改良の方法ごとに重要と考える内容を建築主に説明することが重要である。

また、地盤改良や杭は、地中に設置されることから、建設後の土地売買や増改築に際して、建築主が予期せぬ事態に遭遇するおそれもある。建売住宅の販売では、地盤改良に特別の配慮がなされるケースが増えている。具体的には、将来の解体撤去時に杭や地盤改良の撤去費などが生じるおそれがあることがあげられる。一般の基礎ぐいであっても近年は再利用される場合があり、状況によっては有効利用できるが、杭頭部のみを取り除くことによる埋め戻し不良や地中に残された既存杭のために新設杭の適切な配置が困難になることなどもある。注文住宅では建築主が地盤改良の採用を認識しているので、現時点では撤去のおそれ等に関する情報を建築主に説明する場合は少ないと考えられるが、建売住宅で地盤改良等を用いている場合、重要事項説明等の文書で、①地盤改良を採用していること、②建替え時に撤去が必要となる場合があること、③建替え・改築等の際には基礎補強が必要となる場合があること、④地下室の設置などに制限があること、などが記載されていることもある。

現時点では、改良地盤上の住宅の解体撤去はまだまだ少ないが、撤去に際しては解体された改良体の一部が崩されたまま埋設されて建て替え時の基礎工事の障害になるおそれや撤去後の埋め戻しによる転圧不足などが生じるおそれがあるので、地盤改良などが採用されている敷地で住宅建設を行う場合は、これらの影響についても注意が必要である。

その他、セメント系固化材を用いた地盤改良体から土壌環境基

準(環境庁告示46号)を上回る六価クロムが溶出するおそれが認められたため、平成12年3月に建設省(現国土交通省)よりセメント系固化材などを使用する場合の留意事項を示した通達(H12建設省技調発第48号)が近年だされていることにも注意が必要である。溶出の原因等に関する調査研究に基づいて平成13年4月に通達の一部変更がなされ、火山灰質粘性土以外は事後確認が省略できることになった(H13国官技第16号)。また、これらの通達を踏まえて、六価クロム対策としての新しい固化材の開発が行われ、実用に供されるようになった。上記の通達は、官庁営繕工事を含む国土交通省所管の建設工事を対象にしており、民間工事などは対象となっていないが、六価クロムの溶出は地盤環境を阻害することになるので、一般の民間工事でも通達の内容を理解した上で適切な措置を講じることが将来の敷地利用を考えるうえで重要である。上記通達の内容や土壌環境基準は、文献²⁹⁾にまとめて記載されている。

(2)地震保険と地盤災害

敷地周辺に擁壁が存在している場合に沈下障害が多いことは前節に述べたが、擁壁や造成がらみの沈下障害がどう扱われるのか、住宅購入者の立場からすると基礎・地盤に起因する障害と保証・保険の関係を知ることは重要である。

地震災害の軽減防止を図るには、地震保険が有効な場合も少なくない。現時点における地震保険の加入率は全国平均で2割弱である。年間保険料は、地域や建物の規模などにより異なるが、品確法の性能表示制度において耐震等級3の評価が得られると、保険料が30%減額できる優遇措置もある。木造住宅で保険金一千万円の場合、耐震等級3による優遇措置を利用すると、年間約1万円～約7万円の範囲にあり、30年間の保険料は概ね25万円(1等地)から200万円(4等地)になる。支払われる保険金は、全損で保険金額の全額、半損で保険金額の50%、一部損で保険金額の5%と定められている。4等地であっても30年間の保険料が200万以下であることは、液状化対策などの費用対効果を考える上でひとつの目安となる。ただし、地震保険といっても、建物に係わる保険であり、地すべりなどに起因する建物の被害も対象になっているが、宅地や工作物自体を直接対象としていないことに注意が必要である。

地震保険の「地震損害認定基準表」には、地震により地盤が崩壊したため建物に損害が生じた場合、損害が生じている建物の現状回復のため、地盤(擁壁を含む)の復旧を要する場合は、その復旧に直接必要とされる最小限の費用(建物の外壁線より外側へ2mの範囲内、壁高や崩壊長さに応じた表あり)は建物の損害額に加算できることになっている。また、地盤の損傷度評価は、地表面の変状だけでは評価が難しいため、現状回復の考え方も含めて個々に判

断されていると考えられる。なお、擁壁の高さが 3m を超える場合、崩壊の長さが 12m を超える場合は、別途調査されるようである。

住宅の液状化被害に関しては、上部構造が無被害で傾斜のみが生じた場合、『全壊』、『半壊』、『一部損壊』の区分のなかでどう扱われるのか、沈下修正費用と保険金の関係がどうなるのかといった点が液状化対策工法の費用対効果や技術開発を考えるうえで重要である。基礎構造の仕様は、開口部補強の高度化などが進んでいるので、今後の基礎の沈下障害は、構造的な損傷が無いまま傾斜のみが生じる状況になることが予測される。こういった障害に対する保証や修復のあり方も今後重要である。

(3)地盤保証制度

インターネットで『地盤保証制度』をキーワードとして検索すると、30万件以上ヒットする。保証保険機関や住宅建設会社によるもののほか、地盤改良や沈下修正などを行っている専門業者が、自ら地盤保証制度と称する制度を設けている場合もあるようである。個々の内容は、直接 URL を確認いただくことにし、ここでは基礎・地盤に関する保証の概要を以下に述べる。

- 1) 保証条件として一定水準の地盤調査と基礎選定基準(調査結果に基づく地盤改良等の選定)がある。
- 2) 5/1000 程度以上の不同沈下を保証要件としている場合が少なくない。
- 3) 基礎の障害に対する補償範囲について上部構造を含めている場合と含めていない場合がある。
- 4) 保証金額としては、5,000 万円程度といった提示が比較的多いようである。
- 5) 地震を含む自然災害や地盤変動など地盤に起因する被害は免責扱いになっている。
- 6) 保証期間は、品確法と同様、築後 10 年が基本であるが、引渡し後一定期間は免責としている保証機関もある。

建築主や契約者の立場からみて大事な点は、一般に保証要件とされる地盤調査や基礎選定基準と地盤に起因する免責事項の関係である。基礎選定基準はインターネット上では確認することはできなかったが、基礎形式は、敷地調査や地盤調査を十分に実施したうえで選定されるべきであるので、基礎の選定や設計の考え方をある程度明確にすることも今後重要であろう。

(4) 地盤に起因する不具合の回避

基礎地盤に起因する不具合や障害を回避するためには、多くの課題があるか、ここでは最も基本的な 3 課題を指摘する。

① 地盤調査技術の合理化・高度化

② 敷地の生い立ちに配慮した基礎等の設計

③ 地盤改良・杭と基礎構造の合理化

①の地盤調査法に関しては、SWS の信頼性が十分でないことがあげられる。土質判定の精度、ロッドの摩擦抵抗の影響、調査深度の限界、地中障害や礫等への接触による貫入停止など、従来からいくつかの課題がある。土質判定に関しては、自沈層や腐植土さらには特殊土の土質の見誤りなどがある。土質判定の誤りは、杭や改良の許容支持力や液状化判定に大きな影響を及ぼすことになるので、安易な判定は禁物である(II(2)②参照)。土質名を表示せず、Nsw などの数値や測定状況(音など)を記載することにどめた方が適切な場合もある。信頼性の向上を図るには、SWS と他の試験との併用も有用である。貫入力の優れたラムサウンディング、土質判定の精度が高く多くの情報が収集できる三成分コーン貫入試験、切盛等の情報が把握しやすい表面波探査など、敷地の実況に応じて試験方法を適切に選択することが重要である(写真-30)。また、地盤調査法の種類によるばらつきや変化の特徴を知ることも重要である。



(a)ラムサウンディング (b)3成分コーン (c)表面波探査

写真-30 今後期待される住宅用地盤調査法

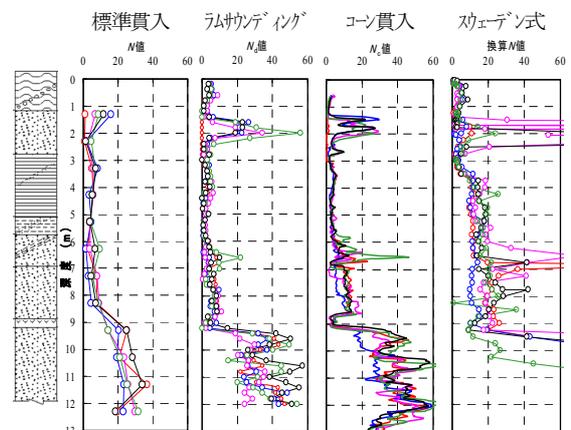


図-50 同一敷地で実施した各種地盤調査方における換算N値のばらつきと変化

図-50は、同一敷地(8m×8m)で5種の調査方法を各5本(4隅+中央)実施し、ばらつき・変化をしらべた結果であるが、ばらつきは調査法によってかなり異なっている。N値の変化やばらつきが少ない理由は、貫入量30cmの平均値を1mにつき1個しか測定していないことなどが考えられる。

②に敷地の生い立ちに関しては、沢や谷を埋めた盛土や旧河道などで地盤変状が多いことから、地形図や土地条件図などで地盤災害のおそれの大凡を把握することが重要である。図-51は、中越地震で液状化が発生した見附市南本町周辺の土地条件図を示しているが、旧河道の埋土の砂層が液状化していた。また、前述の写真-29などの谷埋盛土にも注意が必要である。図-52,写真-31は、川沿いの盛土造成地での地震被害の例であるが、軟弱層が厚い場合は大きな被害を受けやすく、造成履歴の確認が必要である。

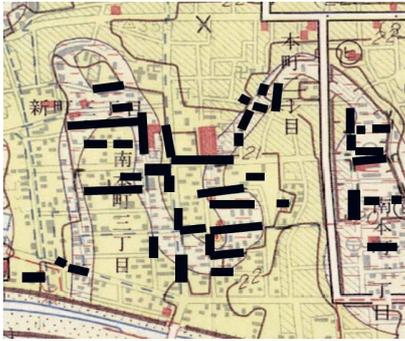


図-51 土地条件図と地震被害

(蛇行する旧河道に集中する液状化被害(黒太線は噴砂))

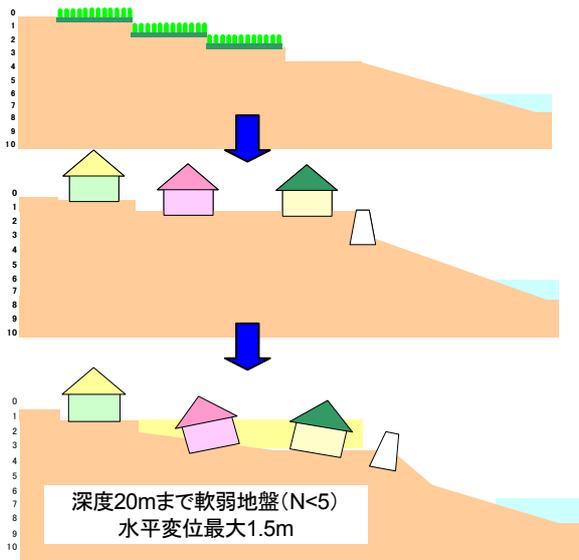


図-52 造成地の地震災害例

河川沿い3段水田の盛土、宅地造成は昭和50年頃

なお、写真-32、図-53は、緩斜面において地すべりが発生した被災地で実施している表面波探査の状況とその結果であるが、のり尻が著しく軟弱であり、このような場合は緩い斜面であっても地すべりなどが生じやすいので、切盛の状況や地層構成を把握することが特に重要である。新旧の地形図を重ね合わせることで切盛図(盛土厚や切土厚などの情報を色の濃淡などで表した図)などを作成することも容易になりつつあり、Google Earthなどの3次元の地形情報を併用すれば盛土斜面の存否やその状態を詳細に知ることもできる。文献³⁶⁾は、建築研究所が実施中のVIII(3)に関連し、日本情報地質学会の公開ソフトウェア Terramod2001 を使用して地形図から標高モデル(DEM)を作成する方法と作成例を示したものであるが、特別の専門家でなくとも新旧の地形図に基づいて切盛図を作成することは容易である(図-54)。

がけに近接して住宅を建設する場合、崖崩れに起因する被害が生じやすいので、既存崖や擁壁の影響なども考慮して、支持杭などの設計法を考えることが重要である(図-55)。文献³⁷⁾では、崖近傍



(a)住宅の被害状況

(b)解体撤去された住宅の跡

写真-31 川沿いの造成地の地震被害例



写真-32 緩斜面の地滑り被災地

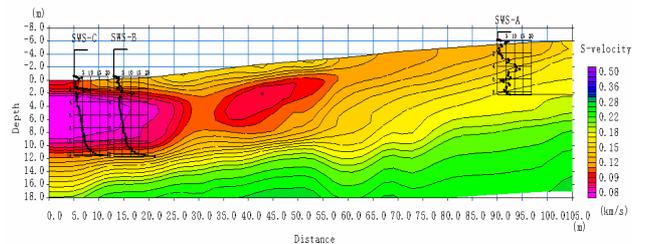


図-53 緩斜面の地震被災地における表面波探査結果

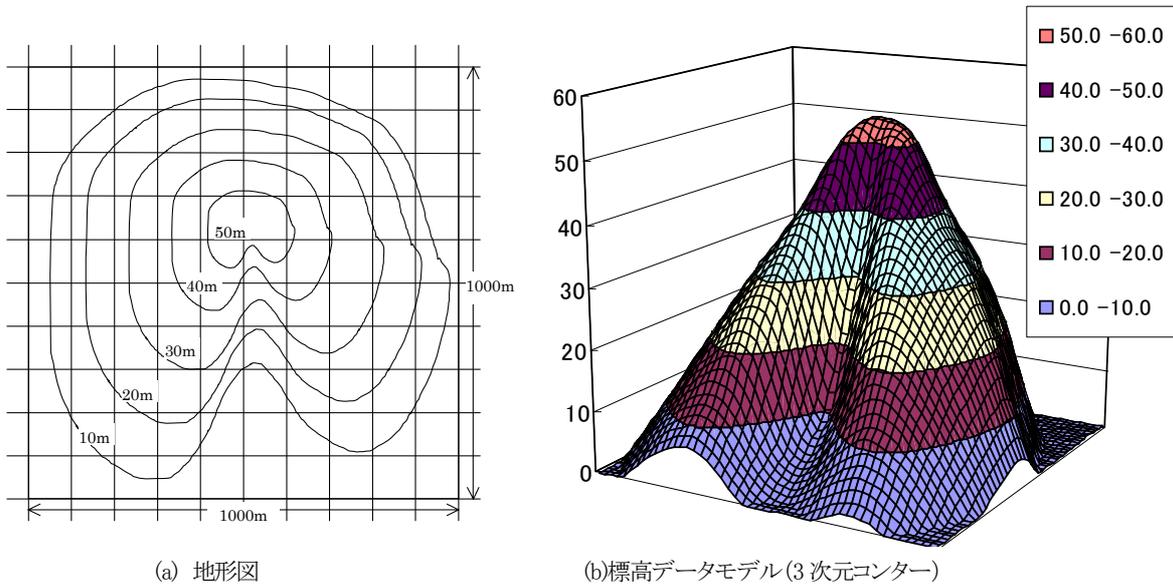


図-54 地形図と Terramod2001 を利用した3次元標高モデルの作成例 (平出、文献³⁶より)

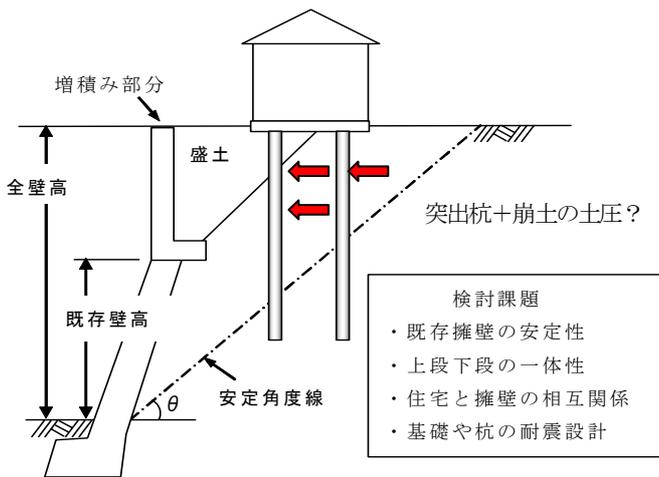


図-55 耐震性が不明の崖付近の基礎設計

の鋼管杭に関して、崩壊線以浅の部分突出杭として必要肉厚の試算結果を紹介しているが、突出長さによってはかなりの肉厚を必要とする場合がある。がけ上建築物の場合、基礎の工夫で対処できる部分もあるが、がけ下建築物は配置や外壁仕様が重要である。

そのほか、被災地では、一階床下を収容庫として用いられるように工夫した高床式基礎が広く用いられていたが、基礎の剛性・耐力に優れていたためか構造的な被害は少なかった。ただし、地すべりが発生した地域では高基礎の破断も認められたので(写真-33)、地盤変動に対しては高床式基礎であっても安全とは言えない。高基礎は、基礎の立ち上り部の耐力・剛性に優れているが、人通口や



写真-33 高床基礎の被害
布基礎形式であるため、布基礎構造の場合、内部の人通口などの影響で梁せいが大きくても地盤変動に対しては必ずしも有効ではない

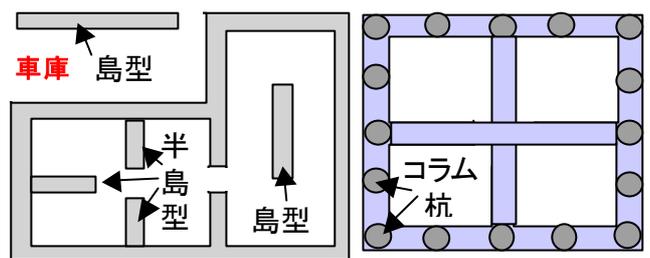
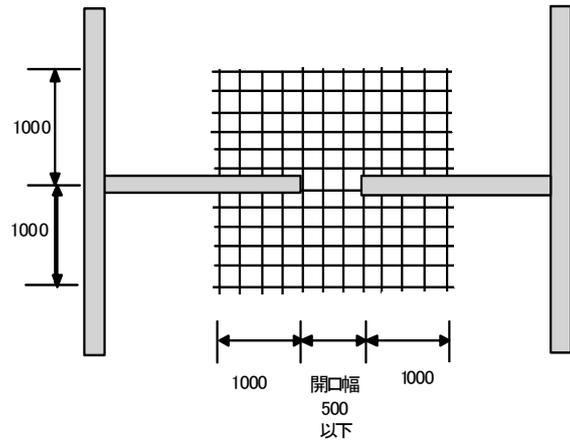
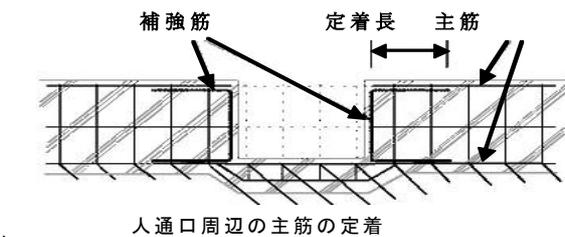
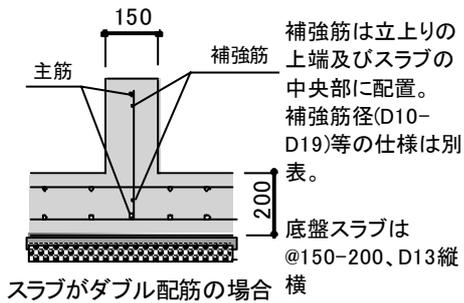


図-56 一体性を阻害する基礎配置と釣合いを欠く杭等の配置

換気口といった開口部が多いためか、基礎の一体性が十分ではない場合も決して少なくない(図-56)。地盤変動に強い基礎を目指すには、ダブル配筋のべた基礎とすることが基本であり、内部の開口部の補強も有用である(図-57)。また、写真-34は、増築による接合部における液状化被害の例であるが、接合が十分でなく、基礎の一体性が損なわれていたため、被害が増大したと考えられる。このため、基礎の増築に際しても基礎の一体性が確保できるような補



べた基礎開口部の直下スラブの補強

図-57 開口部補強を考慮したべた基礎の仕様例

強・接合が重要である。

③に関しては、住宅建設において地盤改良と基礎構造の設計施工が実質的に分離されている場合があるため、地盤改良等に見合った基礎構造(或いは基礎構造に見合った地盤改良等)になっていない可能性がある。改良や杭等の配置などに関しては特に注意が必要である。べた基礎において、基礎の立上り部分の直下でない底盤スラブの直下に杭等を配置してスラブが損傷した例もある。鉄筋コンクリート造の基礎であっても、図-56 のように換気口や人通りといった開口部が数多く存在し、島型或いは半島状基礎となり、基礎の一体性が確保されていない場合もあるので、地盤改良や杭の設計施工に際しては、これらの開口部の位置を事前に把握することが重要である。

基礎に対して適切な杭や改良の配置は、構造計算によって確認することが重要であるが、IV(4)で紹介したように、通常の基礎の場合、杭やコラムの場合、柱直下及び耐力壁の両脇に配置し、基礎通りに対して一定間隔(1.8m程度)で配置することが基本である。

(5) 建築主のチェックシート

表-16は、IXの各項に示した住宅基礎地盤に関する留意点を、建築主からのチェックシートの形でまとめたものである。品質が目視確認できない地盤改良や杭に要する費用は自家用車並みであるが、建築主には工法・施工会社・コストの選択枝がほとんどなく、同一条件でも工法選定や杭の本数/長さなどが大きく変わらうことを考えると、住宅会社に対してこの種のシートへの回答を求めることは有用であろう。建築主は、特別な知識を持つ必要はなく、記入例などをみて必要な情報を入手するだけで十分である。



写真-34 新旧の増築の接合部における液状化被害

X おわりに

住宅の沈下障害の多くは、敷地の実況や地盤に見合った基礎でないために発生している。どの程度予期できるかが問題であるが、不具合の多くは、盛土、擁壁、地盤改良・杭、に係わっている。

地盤保証制度は、確実に把握できない地盤や性能確認が難しい地盤改良・杭を対象とした場合に有効な制度であるが、沈下障害を生じさせないための設計施工が重要である。基礎選定基準や地盤改良・杭の設計施工法の合理化・標準化が今後重要である。

この解決策の第1歩は、建築主が基礎及び地盤改良等の設計の根拠や地盤改良等の品質確認の状況、周辺の擁壁の影響などを住宅会社に確認することである。基礎に関しては、建築主の嗜好がないため、コストのみが関心事になりがちであり、地盤改良等の必要性や詳細が建築主に十分に説明されないままに、杭等が設計施工されることもある。設計図書を求めることにより、住宅周辺の擁壁

表-16 建築主からのチェックリストの例

	質問内容
1	土地の履歴や地盤調査結果に基づいて適切に考慮して基礎を設計していると思いますが、地盤調査結果とその評価方法を教えて頂けないでしょうか？この敷地は盛土でしょうか？
2	液状化のおそれについて検討しているのでしょうか？液状化で大きく傾くことはないのでしょうか？液状化マップなどではどうなっているのでしょうか？
3	擁壁や宅地の安全性を十分考慮して基礎を設計しているのでしょうかから、沈下障害が発生することはないと思いますが、万一発生するとどうなるのでしょうか？
4	地盤調査結果から基礎の種類や地盤改良等を選定する基準はあるのでしょうか？どうして、この改良や杭を選んだのでしょうか？
5	基礎や地盤改良・杭の設計図書と施工報告書については、管理結果をふくめて見せていただけないでしょうか？

や造成への配慮の有無や液状化の扱い、地盤改良等の設計の考え方を知ることができる。改良等の設計に関しては、支持性能が期待できる地層の見方が一定でなく、多くの考え方がある。盛土を新規とみれば、杭の周面摩擦を加算せず、先端抵抗しか評価しないこともあるが、安定した地盤では摩擦杭的に設計することもある。

基礎の配置が複雑な場合、杭等の設置位置や本数も設計次第で大きくかわりうる。このため、設計条件を提示することは設計法の明確化・合理化にも繋がる。

また、建築主からの指摘に住宅会社が答えるためには、基礎や改良等の仕様についての理解が必要になる。戸建て住宅の基礎は、3トン(30kN/m²)基礎、5トン(50kN/m²)基礎といった地盤の許容支持力に応じた一定の仕様を採用することが多いが、敷地の耐震性評価、杭・改良の配置、開口部の大きさや位置なども考慮に入れた合理的な仕様も今後必要であろう。この標準仕様には、基礎だけでなく、耐震性に配慮した杭・改良の仕様(鋼管の径・肉厚、コラムの設計基準強度、配置・間隔、杭等の許容支持力の上限値など)も含まれる。住宅会社の規模にもよるが、杭や改良の設計施工について十分な知識・経験を有している技術者が少ないことから、杭・改良の設計・施工・品質管理に関するチェックシートを整備し、標準化を図ることも重要である。

技術的な課題としては、本稿で取り上げたような杭等の支持力・沈下、パイルド・ラフトとしての基礎設計の可能性などもあるが、わずかな工夫で沈下防止に有用な対策もある。例えば、新規の盛土で根入れの全くないべた基礎(基礎外周では根入れをとることもあるが中央部は根入れのない場合が多い)は、根入れを30cm程度設けた場合より、接地圧が4.5kN/m²ほど低減できる。これは、全荷重の3.4割に相当する。わずかな支持力不足のために住宅重量を全て杭等で支える設計をするより、根切って荷重減を指向した方が環境的にも有用な場合が多いと考えられる。また、地盤の許容支持

力を求める方法は、SWSからの方法や支持力算定式による方法など様々であるが、実際の沈下障害は支持力不足ではなく沈下によっている。VI(2)の実験地の地盤状況は、一般に地盤改良・杭を用いる地盤構成であるが、これらの地盤における杭等は実質的には沈下対策である。当該敷地で平板載荷試験により直接的に支持力を調べると径300mm及び600mmの載荷盤による許容支持力は約120kN/m²及び約90kN/m²であり、支持力上は布基礎でも特に支障ない敷地である。沈下問題が複雑で解決が難しいため、沈下のおそれがあれば基礎底面の支持力に全く期待せず、すべて改良や杭の許容支持力に頼った設計になっているが、実質的には沈下対策である。木造住宅では、べた基礎を杭やコラムで支持することも多いが、杭等の支持力で住宅を支える設計であるなら、べた基礎とする必要はなく、スラブの重量は余分な荷重となり、設計上は万一の対策でしかない。沈下対策としての設計は合理的であり、このようなパイルド・ラフトとしての住宅基礎設計の考え方や設計可能な地盤条件や基礎構造を探ることが今後必要である。

自然災害は一般に免責となっていることや技術的・経済的に個々の敷地では対処が難しい場合も多いため、液状化や地震時の既存擁壁やがけの安定性などの地盤災害に配慮した基礎の設計施工技術は十分ではなく、また技術開発のニーズが高いとは言えない。しかし、促進法や宅造法の改正など、敷地の耐震性評価の係わる法令等の最新動向から判断すると、常時だけでなく地震時に関しても地盤災害のおそれを敷地調査や地盤調査の段階で把握することが重要であり、このためには地盤調査報告書に液状化のおそれや既存擁壁の状況など、敷地の耐震性に係わる事項を記載する仕組みを構築することも重要である。

住宅基礎地盤に関する海外基準類との対比に関しては、米国(UBC/IBC)にみられる管理盛土(Control fill)の規定や盛土/有機質では地盤の許容支持力が容易に求められないとした規定が特筆さ



写真-35 基礎完成後に設置した沈下観測マーカー

れる。IBC では、盛土に住宅基礎を設置する場合は建築主事に対して盛土に関する詳細な報告(盛土前の状態、盛土材質、最大感想密度、試験の数量・頻度など)を求めている。締固め管理値も米国ではプロクター90%、95%以上など、高い目標値が示されている。この米国の管理盛土の思想は、盛土上の住宅で沈下障害が多い日本の現状を考えれば非常に有用と考えられる。また、ニュージーランド基準(New Zealand Standard)に基づく低層住宅用の盛土造成のコードには、92%以上、95%以上といった高い締固め度の規定のほか、Final Performance Measurementsとして、Permanent leveling Points の設置が示されている。写真-35 は、基礎完成後に設置した沈下観測用マーカーである。住宅であればこの種のレベル表示をすることもあるが、造成盛土に対してレベル表示に係わる上記の規定があることは注目に値する。

なお、本稿で紹介した内容は、『住宅基礎の構造性能評価技術の開発(平成 14-17 年)』、『耐震化率向上を目指した普及型耐震改修技術の開発(平成 18-20 年)』及び関連する研究成果の一部である。前者については、web-site³⁸⁾で構造計算の方法や調査・施工等のポイントについて写真及び動画で紹介している。必要に応じて参照されたい。また、本稿では不具合の回避が主題であることから、地盤調査技術及び設計施工技術の現状と課題、被害事例に加えて、紛争の状況や住宅の地盤に係わる様々な問題も文献等に基づいて紹介しているが、これらについては背景などの理解も重要であり、直接文献などを参照されたい。

参考文献

- 1) 日本住宅性能表示基準・評価方法基準 技術解説 2005 (第3章)、日本住宅性能表示基準・評価方法基準 技術解説 2005、工学図書株式会社、pp.131-133、2005.10
- 2) 2001 年度版建築物の構造関係技術基準解説書：編集：国土交通省住宅局建築指導課、日本建築主事会議、日本建築センター、編集協力：国土交通省建築研究所、工学図書、2001.3

- 3) 改正建築物の耐震改修の促進に関する法律・同施行令等の解説、株式会社ぎょうせい、pp.101-107,111-114、2006.2
- 4) 三輪賢志：宅地造成等規制法の改正と宅地耐震化事業について、基礎工、pp.15-18、2006.10
- 5) 地盤保証制度について、住宅保証だより、2006.6
- 6) 住宅紛争処理技術関連資料集、新築住宅用、木造住宅、補修方法編、2002、
- 7) 相談統計年報 2004、(財)住宅リフォーム・紛争処理支援センター、2004、11 月
- 8) 篠塚重夫：地盤・基礎に起因する戸建て住宅の瑕疵、基礎工、No.10、2003
- 9) 欠陥住宅問題 80 事例集、欠陥住宅紛争解決と予防、1999 年 3 月 20 日 (第 2 刷)、企業組合建築ジャーナル、欠陥住宅をつくらない住宅設計者の会、建築ジャーナル
- 10) 田村昌仁、Arion、Neritan、Jorge：戸建て住宅の基礎の設計基準類の国際的比較、シンポジウム講演論文、日本建築学会、pp.23-50、2006.11
- 11) 最高裁判所：損害賠償請求事件平成 14 年(受)第 605 号、平成 14 年 9 月 24 日判決
- 12) 佐藤真吾、田村昌仁、松下克也、岡野泰三、佐藤隆、若井明彦：住宅基礎地盤の性能評価技術の開発(その 1)、地盤工学会大会、2005、7 月
- 13) 田村昌仁、戸建て住宅のための基礎の設計と品質管理、住宅保証だより、8 月号～12 月号、2004
- 14) 建築物の基礎の被害と復旧方法(特集号)、建築技術、1995.9
- 15) 住宅基礎地盤の診断・補強と補修、特集号、建築技術、2006.4 (予定)
- 16) 間瀬哲、小島圭二、才上政則、田村昌仁、鋼管圧入工法の支持力特性の研究、土と基礎 vol.52 No.4、pp.17-19、2004.4
- 17) 住宅基礎地盤における「保証される技術」、田村昌仁、建築技術、9 月号、pp.54-60、2005
- 18) 盛土に関する沈下事故例に学ぶ、住宅地盤品質協会 2002
- 19) 擁壁に関わる失敗事例、住宅地盤品質協会、2003
- 20) 住宅地盤の補強工事にまつわる失敗事例、住宅地盤品質協会、2005
- 21) 建築士のためのテキスト-戸建て住宅を巡る建築紛争、日本建築学会、2006.7
- 22) 直井正之：住宅をつくるための [住宅基礎の基礎] がわかる本、建築技術、2002.1
- 23) 第 10 回国際住宅建設・性能保証会議報告書、(財)住宅保証機構、2006.3
- 24) 田村昌仁、岩本和也、松下克也、岡野泰三、佐藤隆：基礎・地盤に起因する戸建て住宅の沈下障害、建築学会学術講演梗概集、p.719-720、2005.9
- 25) 田村昌仁、建築基礎の耐震設計(建築基準法、学会基礎指針等)の歴史、現状及び展望、基礎工、2007.2
- 26) 宅地耐震設計マニュアル(案) 都市再生機構、2003
- 27) 液状化地域ゾーニングマニュアル(平成 10 年度)、国土庁防災局震災対策課、1999.1
- 28) 小規模建築物等のための液状化マップと対策工法、国土庁ほか、ぎょうせい 1994.7
- 29) 改訂版建築物のための改良地盤の設計及び品質管理指針、日本建築センター、2002
- 30) 田村昌仁：杭基礎の設計基準の国際的比較、シンポジウム論文、日本建築学会、pp.55-89、2006.4
- 31) 田村昌仁：擁壁を考える、全国宅地擁壁技術協会、講習会テキスト、2006.3
- 32) 田村昌仁、篠塚重夫、富永晃司、若井明彦ほか：軟弱地盤地域における小口径鋼管杭と木杭の鉛直載荷試験(その 1、その 2)、地盤工学会大会、2007、(予定)
- 33) ビルディングレター、日本建築センター、2001.7、pp.1-8
- 34) 林宏一、田村昌仁：表面波探査を用いた宅地地盤の耐震性評価、建築技術、2007.4(予定)
- 35) 岡野泰三：小規模建築物の基礎設計におけるハザード情報の利用事例、基礎工、2006.10、pp.50-53

- 36)平出務：切盛地形情報、建築技術、2007.4（予定）
- 37)金井重夫、田村昌仁：かひけ上小規模建築物の杭基礎の設計方法、建築技術、2007.4(予定)
- 38)<http://iisce.kenken.go.jp/staff/tamura/work/kisosekkei3/index.htm>