

市街地液状化対策推進ガイドンス

【資料編】

平成 26 年 3 月

国土交通省都市局都市安全課

目 次

資料編

1-1	東日本大震災で液状化した地形・地盤の分類	1
1-2	その他 復興事業・制度の概要	3
1-3	各事業・制度を活用した被災地区の復興の進め方	8
3-1	宅地地盤の被災宅地危険度判定例	14
3-2	宅地地盤の沈下量・建物の傾斜勾配と沈下量のデータ作成	16
4-1	宅地の液状化被害可能性判定計算シート	28
4-2	地盤の液状化判定	33
4-3	液状化に伴う地盤物性と地盤変形量の予測	35
4-4	宅地の平均地盤沈下と住宅の傾斜角の関係	39
4-5	建物の傾きによる健康障害	40
4-6	液状化による家屋被害と健康障害の関係	44
4-7	地盤に係る住宅被害認定の運用見直しについて	45
4-8	建物被害と液状化可能性の関係（液状化被害地区における実態調査）	46
5-1	地域で取り組む地盤の液状化対策のための地下水位低下の効果・影響簡易計算シート	50
5-2	液状化被害の軽減策を考える必要がある場合の例題	54
5-3	めり込み沈下が発生するメカニズム及び影響を与える要因	62
5-4	めり込み沈下量から建物傾斜角を推定する方法	67
5-5	弾性論の式を利用してめり込み沈下量を推定する方法	70
5-6	尼崎市築地地区における自然流下方式による地下水位低下工法実施例	74
5-7	山本団地地区における自然流下方式による地下水位低下工法実施例	81
5-8	地下水位低下の実証実験①（千葉県千葉市美浜区磯辺地区）	88
5-9	地下水位低下の実証実験②（茨城県神栖市鰐川地区）	96

5-10	川崎市の臨海埋立てにおける汲み上げ井戸方式による地下水位低下工法実施例	102
6-1	地域で取り組む地盤の液状化対策のための格子状地中壁工法の効果の簡易評価シート	108
6-2	2次元等価線形解析手法	112
6-3	阪神・淡路大震災を経験した格子状地盤改良による液状化対策を施した建築基礎の調査	117
6-4	東北地方太平洋沖地震における格子状地盤改良を施した建物基礎の挙動	123
7-1	公共事業に係る工事の施工に起因する地盤変動により生じた建物等の損害等に係る事務処理要領の制定について	128
7-2	構造部を矯正する要否の判定基準	133

1-1 東日本大震災で液状化した地形・地盤の分類

(出典：地盤工学会 関東支部：造成宅地の耐震対策に関する研究委員会報告書― 液状化から戸建て住宅を守るための手引書 一，平成 25 年 3 月)

2011年東日本大震災では東北から関東にかけて非常に広い範囲で液状化が発生したが、発生した液状化を地形分類によって大まかに区分すると表-2のようになる。

これらの概要を述べると以下のようになる。

①海岸の埋立地

海岸の埋立地の液状化は東京湾岸を始め、茨城県などの太平洋沿岸の多くの地区で発生した。ただし、太平洋沿岸では津波のために液状化の痕跡が分からなくなって、液状化が発生したか否か判断できない地区が多い。例えば名取市閑上では、津波来襲前に液状化が発生している写真が撮影されているが、津波でかき消されてしまった。

②平野の川、池などの埋立地

川、池などの埋立地の液状化は利根川沿いなどの平野部で多く発生した。

例えば千葉県我孫子市で液状化した箇所は、利根川堤防が決壊した際の沼地を埋め戻した箇所であり、香取市では利根川の一部を埋め立てたところである。また、茨城県潮来市で液状化により甚大な被害を受けた日の出地区は内浪逆浦を埋めた所である。

③砂鉄や砂利を採取するために掘削し埋め戻した箇所

千葉県旭市では砂鉄、また茨城県神栖市や茨城県鹿嶋市では砂利を採取するために掘削して埋め戻した土が液状化し、住宅などに被害を与えた。

表-1 東日本大震災で液状化が発生した地形・地盤分類と発生した地区¹⁾

分 類	主に発生した地区
海岸の埋立地	東京湾岸や太平洋沿い
平野の川、池などの埋立地	関東や東北の河川沿いなど
丘陵の造成宅地内の池などの埋立地	宮城・福島・茨城内の造成地
砂鉄や砂利を採取するために掘削し埋め戻した箇所	旭市、神栖市、鹿嶋市
河川堤防の基礎地盤や堤体	関東（特に利根川沿い）や東北の河川
埋設管敷設のために掘削	東北や関東の各地

特に、東京湾沿いには多くの埋立地が造成されてきている。そのうち、横浜市から川崎市、東京都、浦安市、市川市、船橋市、習志野市、千葉市にかけての広い範囲で液状化が発生した。

図-1に示すように東京の新木場から千葉市にかけての埋立地では非常に広い範囲で、しかも一面に液状化が発生した。図-2に浦安市の北西～南東にかけての地質断面図例を示す。

この地区では海底に堆積している沖積砂層(As)の上に、浚渫土層(F)が埋め立てられ、その上に盛土

層(B)が盛られている。地下水位は浚渫土層と盛土層の境界付近にあり、GL-1～2m程度と浅い。埋立材として使用した浚渫土層が液状化したと考えられ、液状化した深さは最大で8～10m程度と、1995年兵庫県南部地震で液状化した人工島に比べて浅かった。沖積砂層の下部には沖積粘性土層(Ac)が堆積している。図-2に示す浦安以外の埋立地もほぼ同様の地層構成をしている。



図-1 東京湾岸北部の液状化発生地区²⁾

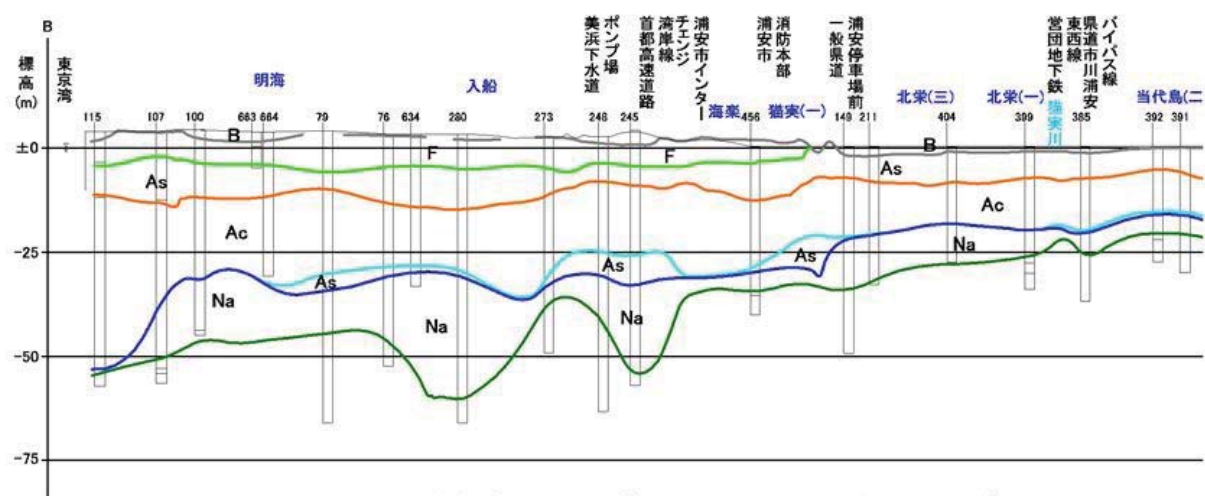


図-2 浦安市の北西～南東にかけての地質断面図例³⁾

<参考文献>

- 1) 公益社団法人 地盤工学会 関東支部：造成宅地の耐震対策に関する研究委員会報告書－液状化から戸建て住宅を守るための手引書 一，平成25年3月
- 2) 国土交通省関東地方整備局：東北地方太平洋沖地震による関東地方の地盤液状化現象の実態調査結果について，<http://www.ktr.mlit.go.jp/bousai/bousai00000061.html>,2011.
- 3) 浦安市液状化対策技術検討調査委員会・(公社)地盤工学会・(公社)土木学会・(社)日本建築学会：平成23 年度浦安市液状化対策技術検討調査報告書，2012.

1-2 その他復興事業・制度の概要

液状化対策を含めた被災地の復旧・復興にあたっては、様々な事業・制度の特徴を適切に捉え、住民及び行政の負担軽減が図られる事業手法を活用することが必要である。

ここでは、市街地液状化対策事業以外の各事業及び制度の概要について述べる。

1. 住宅地区改良事業

不良住宅が密集すること等によって保安、衛生等に関し危険又は有害な状況にある地区において、地方公共団体が不良住宅をすべて除去し、従前居住者向けの住宅（改良住宅）を建設するとともに、生活道路、児童公園等を整備する事業である。

主に老朽木造住宅密集市街地の整備を行う施策・公共事業である。国の対策において老朽住宅は自主建替を促進することを基本としているが、特に不良住宅が密集し、細街路率が高く、狭小な敷地や未接道敷地が多いといった自主建替がとうてい見込めない地域において限定的にこの事業を活用することで効率的かつ効果的な老朽住宅密集市街地整備を進め、その防災性及び住環境の向上を図るものである。

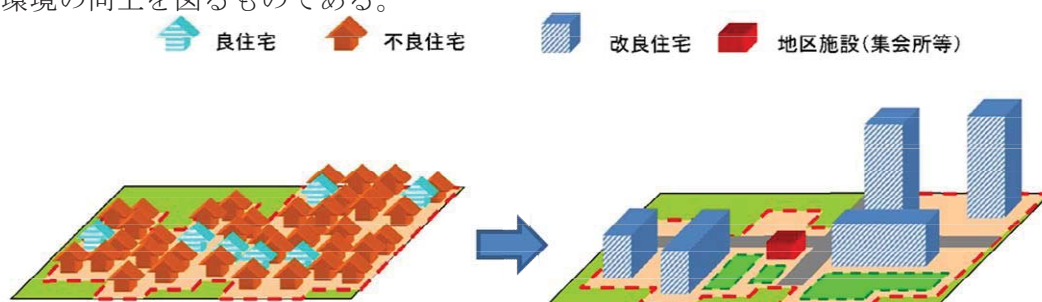


図-1 住宅地区改良事業のイメージ

2. 小規模住宅地区改良事業

不良住宅が集合すること等により生活環境が遅れている地区において、地方公共団体が不良住宅を除去し、従前居住者向け住宅（小規模改良住宅）を建設するとともに、生活道路、児童公園等を整備する事業である。

液状化被災市街地において、一定の区域内で、液状化による不同沈下等によって基礎等が損壊した住宅を不良住宅とみなし、行政がこれらの不良住宅を除却し、健全な住宅地区の整備を促進する事業である。

また、行政による不良住宅の買収・除却や公共施設の整備を行う費用等が補助対象となるが、居住者が自力再建する場合であっても、従前の住宅が不良住宅とみなされれば、当該住宅の除却費用等について本事業の活用が図られる。

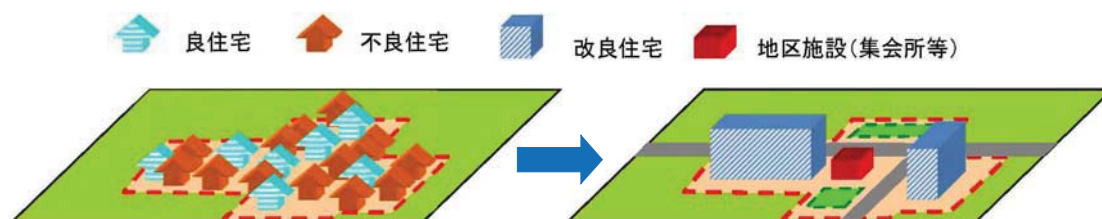


図-2 小規模住宅地区改良事業のイメージ

3. 市街地再開発事業

被災地の復興にあたり、被災地の限られた土地の有効利用を図りつつ、被災商店の再建や被災者の受け皿となる公的住宅との一体的整備を推進する事業。

商業施設、公的住宅等の施設建築物の整備に要する費用、都市計画道路等の公共施設の整備に要する費用が補助対象となる。

液状化被災市街地においては、杭基礎等による不燃高層の共同ビル等の建設を行うことにより再度災害の発生を抑制できる。

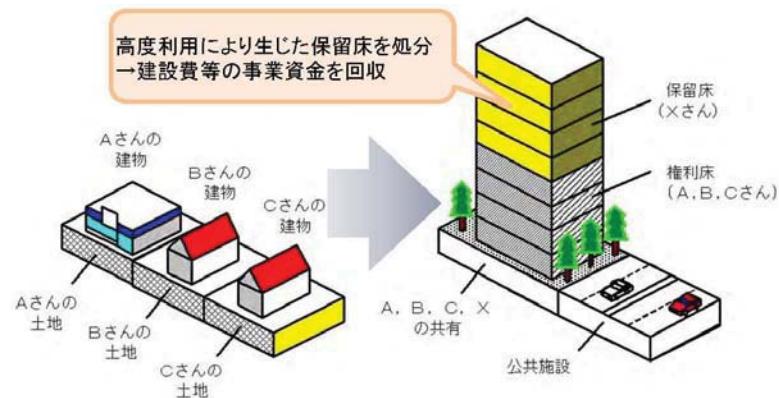


図-3 一般的な市街地再開発事業のイメージ

4. 都市再生区画整理事業

都市再生区画整理事業は、防災上危険な密集市街地及び空洞化が進行する中心市街地等、都市基盤が貧弱で整備の必要な既成市街地、並びに被災した市街地において、土地区画整理事業の実施により、都市基盤の整備と併せて街区の再編を行い、もって土地の有効利用を促進するとともに、安全で快適に暮らすことができ、活力ある経済活動の基盤となる市街地への再生・再構築を行うことを目的とする事業である。

次の4事業の制度から構成される。

①都市再生事業計画案作成事業

既成市街地等の再生・再構築を行う土地区画整理事業を実施するための事業計画の案の作成に対する補助事業

②都市再生土地区画整理事業

都市基盤が貧弱で整備が必要な既成市街地の再生・再構築を行う土地区画整理事業に対する補助事業

③被災市街地復興土地区画整理事業

大規模な災害により被災した市街地の復興を行う土地区画整理事業に対する補助事業

④緊急防災空地整備事業

既成市街地における土地区画整理事業予定地区において、事業化を促進するとともに、緊急に防災性の向上を図る事業に対する補助事業

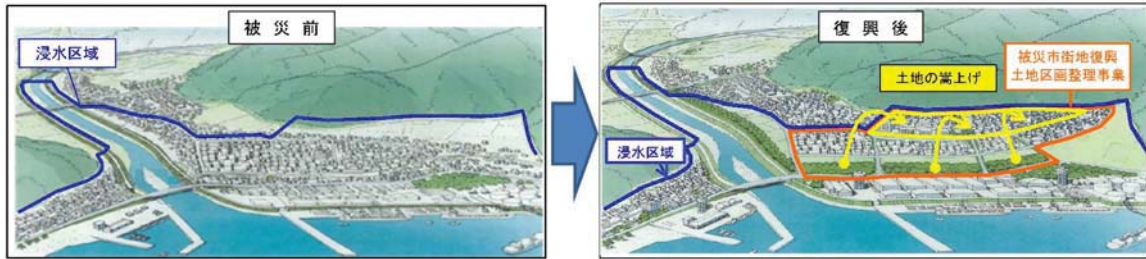


図-4 都市再生区画整理事業（被災市街地復興土地区画整理事業）

5. 防災集団移転促進事業

液状化被災市街地において、再度災害の発生のおそれがあるがその対策が困難であることから、住民の居住に適当でないと認められる区域内の集団移転を支援する事業である。

行政による住宅団地の用地取得造成や移転者の住宅建設・土地購入に対する補助費用、移転促進区域内宅地等の買取費用等が補助対象となる。

移転促進区域（移転跡地）は建築基準法第39条第1項に基づく災害危険区域に指定される。



図-5 防災集団移転促進事業
(北海道奥尻町の事例(H5 北海道南西沖地震))

6. 災害公営住宅整備事業・災害公営住宅家賃低廉化事業

災害公営住宅整備事業は、被災者の居住の安定確保を図るため、激甚災害に対処するための特別の財政援助等に関する法律第22条の規程に基づく災害公営住宅の整備等に係る費用を支援する事業である。

行政による災害公営住宅の建設や、災害公営住宅用地の取得の費用等が補助対象となる。

また、災害公営住宅家賃低廉化事業は、公営住宅法第17条第2項及び第3項の規定に基づき、当該災害公営住宅の家賃低廉化に係る費用を支援する事業である。

災害公営住宅を建設・買取りにより供給した場合は、20年の補助期間となる。

7. 被災者生活再建支援制度

都道府県が相互扶助の観点から拠出した被災者生活再建支援基金を活用して実施されるものであり、被災者生活再建支援法に基づき、自然災害により居住する住宅が全壊する等、生活基盤に著しい被害を受けた世帯に、被災者生活再建支援金が支給されるもの。

液状化による不同沈下等により住宅が全壊した等の世帯が対象となる。

住宅の被害程度に応じて支給する基礎支援金と住宅の再建方法に応じて支給する加算支援金があり、支援金の使途は限定しない。

8. 災害復興住宅融資・災害復興宅地融資

東日本大震災に対処するための特別の財政援助及び助成に関する法律第138条、独立行政法人住宅金融支援機構法第13条第1項第5号、第13条第2項第1号に基づく、独立行政法人住宅金融支援機構による融資制度。

液状化による不同沈下等により被害を受けた住宅の所有者が、住宅を復旧（建設、補修等）する場合、災害復興住宅融資が利用できる。

また、住宅に被害はないが、液状化による噴砂等により擁壁の損壊等が生じた宅地を補修する場合には、災害復興宅地融資が利用できる。

9. 地籍整備推進調査費補助制度

都市部における地籍整備の推進による街づくりへの支援を行うため、人口集中地区又は都市計画区域（ただし、地籍調査実施済地域は除く。）で、土地境界の情報の調査・測量を行い、国土調査法第19条第5項指定申請等を通じて成果を地籍情報として整備しようとする事業者に対する補助制度。

19条5項指定等を受けるために必要な、調査計画等作成、境界情報等整備、成果等作成の費用が補助対象となり、液状化により敷地境界等が混乱した地域において、地籍整備を行う場合の活用が想定される。

表-1 各事業・制度の比較

事業・制度名	小規模住宅地区改良事業	防災集団移転促進事業	市街地再開発事業	災害公営住宅整備事業	液状化対策推進事業		地籍整備推進調査費補助制度	被災者に対する支援・融資等
					都市再生区画整理事業	都市防災推進事業		
事業実施主体	・市町村 ・都道府県	・都道府県 ・市町村	・都道府県 ・市町村 ・民間事業者等	・都道府県 ・市町村 ・民間事業者等	・都道府県 ・市町村 ・土地区画整理組合等	・都道府県 ・市町村	・地方公共団体 ・民間事業者等	—
補助要件	・不良住宅戸数 15 戸 ・不良住宅率 50%	・住宅団地規模 5 戸以上	・地区面積 2,000 m ² 以上(原則) ・地区内の耐火建築物が概ね 1/3 以下	・なし	・液状化対策事業計画区域内	・都道府県 ・市町村	・面積要件 500 m ² 以上 ・人口集中地区又は都市計画区域(地籍調査実施済地域は除く)	・住宅が「全壊」した旨の「り災証明書」の発行を受けた者等
					・公共施設と宅地との一体的な液状化対策が行われていると認められるもの	・区域面積 3,000 m ² 以上かつ、区域内の家屋 10 戸以上 ・区域内の宅地の所有者等の 2/3 以上の同意		
液状化対策	—	—	特殊基礎工事	—	液状化対策推進工事	液状化対策推進工事	—	—
住宅建設	小規模改良住宅の建設	—	—	公営住宅の建設・買取	—	—	—	—
公共施設	公共施設、地区施設整備	住宅団地に係る公共施設等の整備	共同施設整備	共同施設整備	公共施設整備	—	—	—
既存住宅除却	不良住宅の買収・除却	移転促進区域内の宅地等の買収	建築物除却	既設建築物(既設公営住宅)の除却	—	—	—	—
用地取得・造成	用地取得・造成	住宅団地の用地取得・造成	—	用地取得・造成	公共施設用地取得	—	—	—
家賃低廉化補助	—	—	—	(※)	—	—	—	—
仮設住宅等整備	一時収容施設設置	—	—	—	仮設住宅等整備	—	—	—
地籍整備	—	—	—	—	地籍整備	—	地籍整備	—
個人住宅建設・補修等	—	・移転者の住宅建設・土地購入に対する補助 ・移転者の住居の移転に対する補助	—	—	—	—	・被災者生活再建支援制度 ・災害復興住宅融資 ・災害復興宅地融資	・被災者生活再建支援制度 ・災害復興住宅融資 ・災害復興宅地融資

(※) 災害公営住宅家賃低廉化事業を活用

1-3 各事業・制度を活用した被災地区の復興の進め方

様々な復興方針が考えられる被災地区における、各事業・制度を活用した復興の進め方の例を示す。被災地区の復興にあたっては、地区の状況や住民の意向等により、様々な復興方針が考えられる。以下は、種々な場合において、各事業・制度を活用することによる復興の進め方についての例を示したものである。

1. 現地において住宅再建する場合（図-1 参照）

液状化被害により損壊した住宅において、住民が現地での再建を目指している場合は、以下のような各種事業を活用し、液状化対策とともに、住民が再建する際の負担の軽減し、復興を進めることが想定される。

小規模住宅地区改良事業を活用することで、損壊住宅（不良住宅）を除却することにより、他の関連事業の施行や住民の再建の円滑化を図る。このとき、除却した損壊住宅に居住していた住民のための仮設住宅等の設置についても、本事業による補助の対象となる。

この後、市街地液状化対策事業の活用により、公共施設と隣接宅地との一体的な液状化対策を施すこととなる。

住宅の再建には、被災者生活再建支援制度や災害復興住宅融資等の利用が考えられる。

また、現状では自力再建が困難な住民に対しては、災害公営住宅整備事業の活用により、災害公営住宅の建設等を行い、居住の安定確保を図ることとする。また、災害公営住宅家賃低廉化事業の活用により、災害公営住宅入居者の家賃負担が軽減される。この災害公営住宅は一定期間経過後、入居者に対して譲渡処分も可能となる。

2. 公営住宅等を整備する場合（図-2 参照）

液状化により多くの住宅が被害を受け、また、自力での住宅再建が困難な高齢者等が多く居住している場合においては、地区内に公営住宅等を整備すること等が考えられる。この場合、以下のような各種事業の活用により、液状化対策とともに、居住の安定確保を図り、復興を進めることが想定される。

災害公営住宅整備事業の活用により、被災地区内において災害公営住宅を整備する。このとき、災害公営住宅に係る用地買収等は実施できるが、それ以外の箇所における損壊住宅（不良住宅）の除却等は、小規模住宅地区改良事業を合わせて活用することで可能となる。

この後、市街地液状化対策事業の活用により、公共施設と隣接宅地との一体的な液状化対策を施すこととなる。土地区画整理事業を活用することで、災害公営住宅用地内に良住宅がある場合でも、当該用地外への換地により移転が可能となる。なお、良住宅の移転戸数が少なく、かつ災害公営住宅用地以外に損壊住宅がある場合には、三者契約による良住宅の移転も検討することができる。この場合は換地操作が不要となり、都市防災推進事業により液状化対策を実施する。

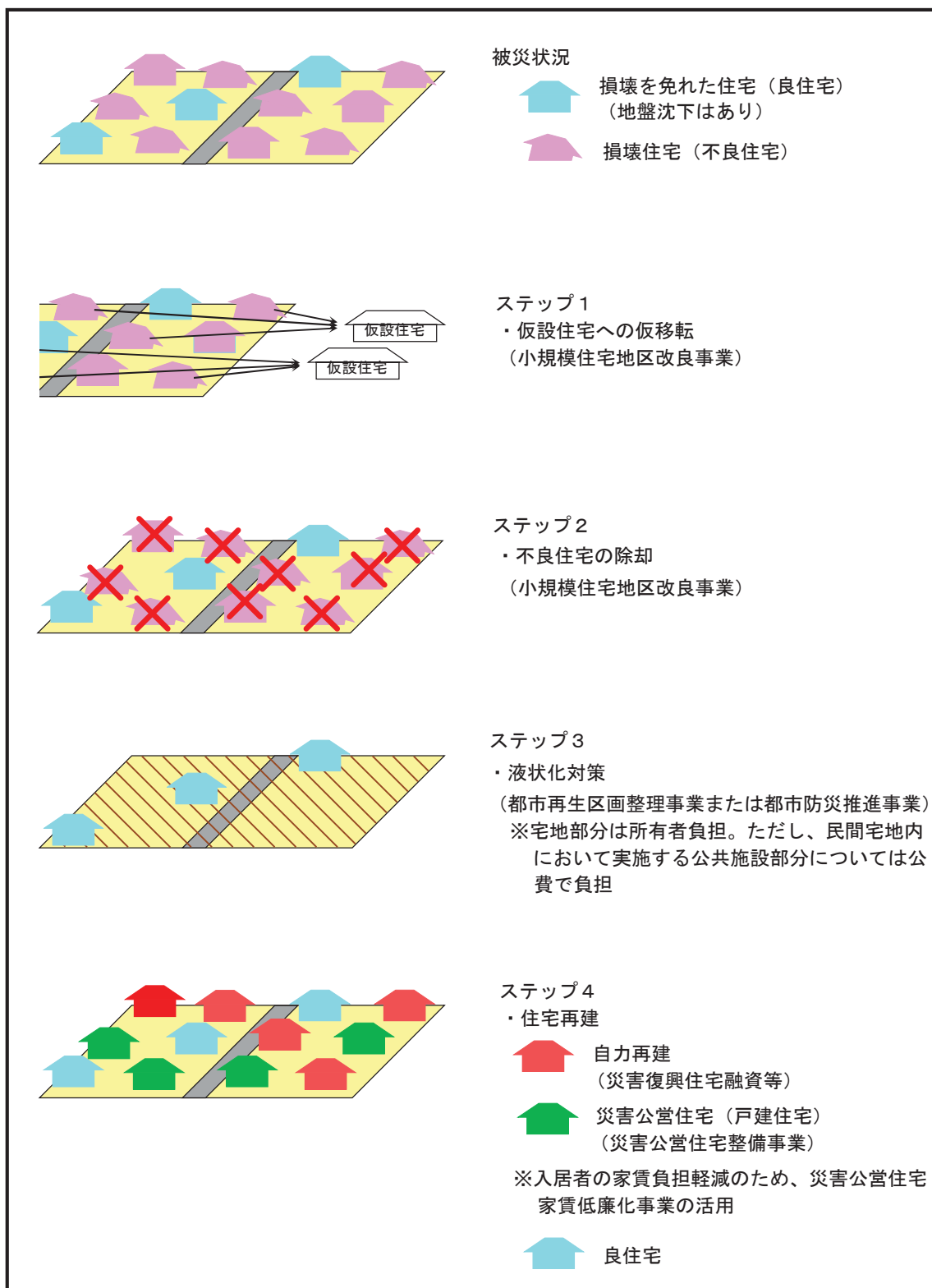


図-1 現地において住宅再建する場合における復興の進め方の例

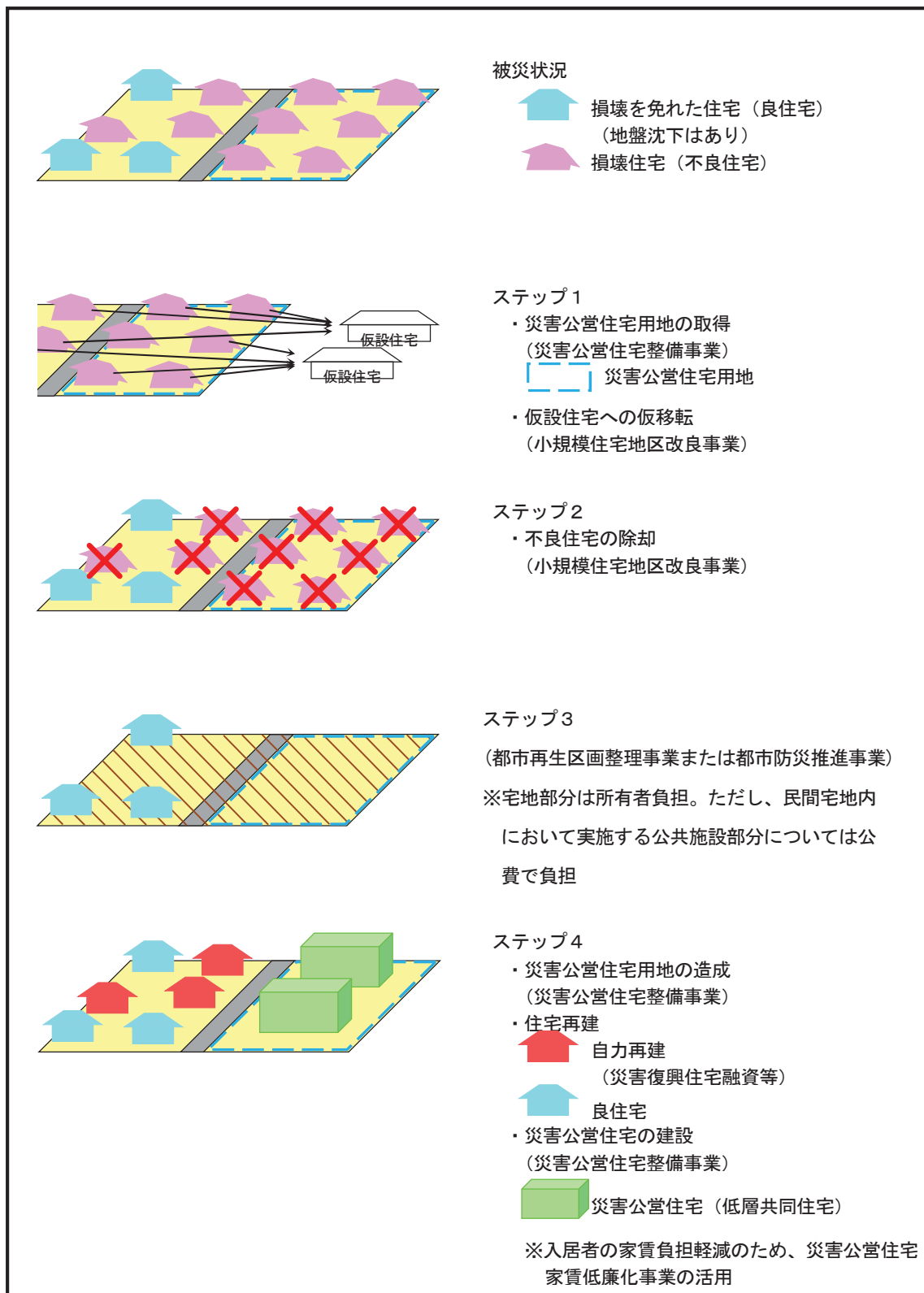


図-2 公営住宅等を整備する場合における復興の進め方の例

3. 集団移転が必要な場合（図-3 参照）

地盤状況等により液状化対策に莫大な費用がかかり、対策が困難であることから、再度災害が発生する可能性があり、居住に適当でないと認められる区域では、集団で安全な他地区へ移転することが必要となる。この場合、建築基準法第39条第1項の災害危険区域の指定を伴うことにより、防災集団移転促進事業の活用が考えられる。

居住に適当でないと認められる区域を移転促進区域（住民の移転を促進する区域）に設定し、安全な住宅団地への集団移転を促進する。

住宅団地の整備は、本事業の活用によるほか、土地区画整理事業の活用による先行整備も考えられる。

住宅団地における移転者の住宅の確保については、移転者が敷地を購入して住宅を建設または購入、あるいは、敷地を借地して住宅を建設または購入する場合には、防災集団移転促進事業の活用により住宅建設等に対する補助や移転者の住居の移転に対する補助が行える。更に、災害復興住宅融資等により、移転者の経済的負担を軽減できる。また、自力再建が困難な移転者に対しては、災害公営住宅整備事業の活用により災害公営住宅が提供できる。

移転跡地（移転促進区域）は災害危険区域に指定されることから、条例による建築制限の範囲内で復興計画に基づく土地利用が可能である。このため、当該用地は都市公園等としての利用が考えられるが、このように利用方針が定まっている場合は、防災集団移転促進事業による土地の買収は行わず、都市公園事業等の活用で買収を行うことが望ましい。また、民間企業等が立地する場合においても、土地売買は被災者と当該企業等との間で直接行うこととし、防災集団移転促進事業を活用した当該用地の買取りは行わないほうが望ましい。

4. 敷地を共同化する場合（図-4 参照）

首都近郊で利便性がよく、かつ地価も高い場所では、地域住民が敷地を共同化し、不燃化共同建築物を建設、また、公共施設の整備を一体的に図る市街地再開発事業の活用が想定される。

利便地域であることから、住宅が密集しており、個別の液状化対策が困難な場合であっても、建築物の再編により、個別に液状化対策を実施することなく安全性の高い居住空間が確保できる。

市街地再開発事業を実施する場合、小規模住宅地区改良事業等との合併施行により、以下のような採算性の向上が図られることとなる。

- ・市街地再開発事業区域内に過小宅地が存在する場合、権利変換によって過小床の発生の恐れがあるが、小規模住宅地区改良事業等との合併施行で不良住宅の除却と平行して過小宅地を買収し、過小床の発生を減少させることができる
- ・損壊住宅（不良住宅）の買収を小規模住宅地区改良事業等の施行者が行うため、市街地再開発事業に係る権利者数の削減が図られ、結果として市街地再開発事業における権利変換量の軽減につながる。
- ・市街地再開発事業の事業費の多くは、保留床の処分金により賄われることとなるが、保留床として改良住宅等が処分されることとなれば、保留床処分についての目処が立てやすくなるとともに、借家人等の住み替え対策も同時に図られることとなり、同事業の推進につながる。

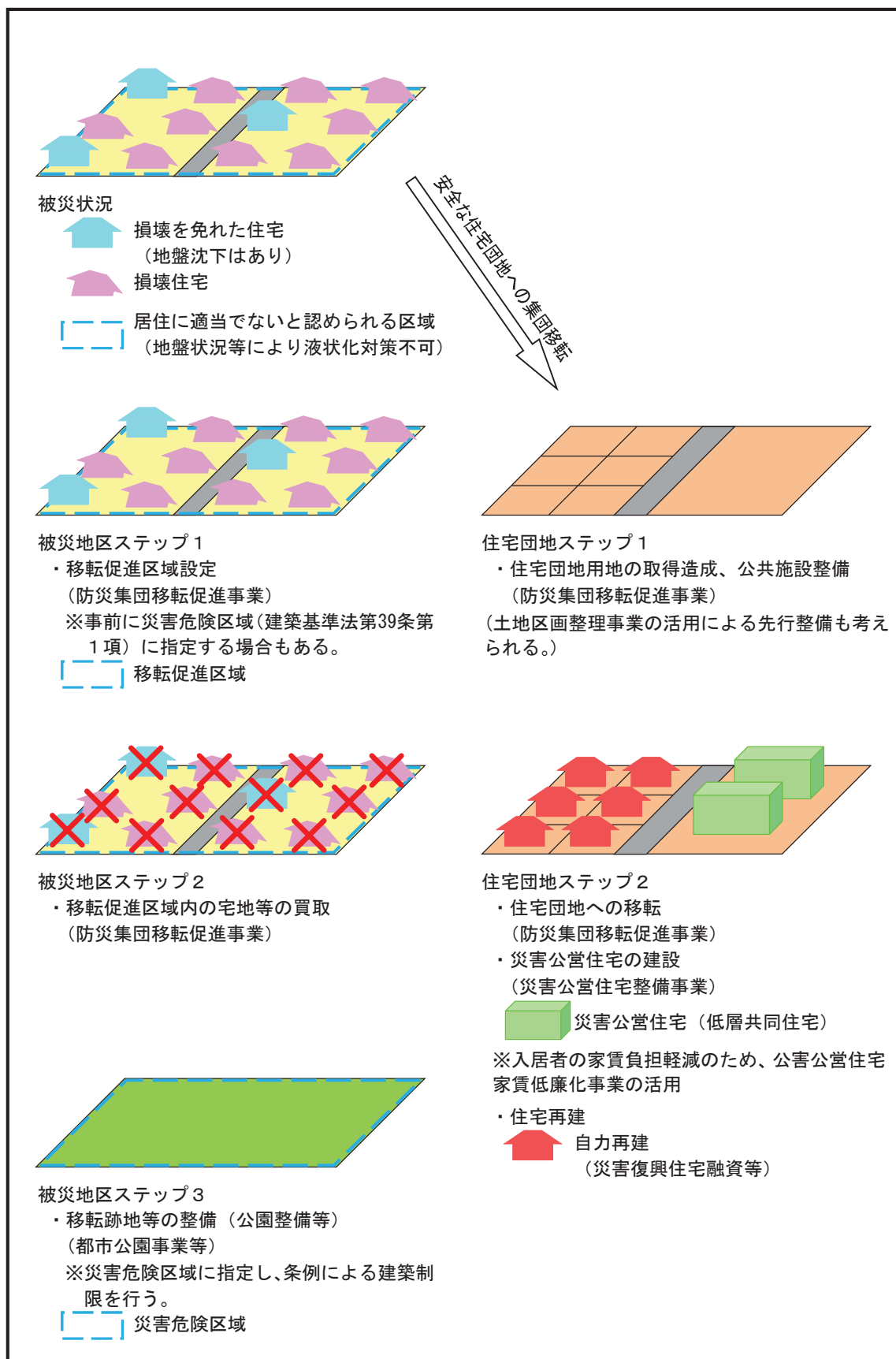


図-3 集団移転が必要な場合における復興の進め方の例

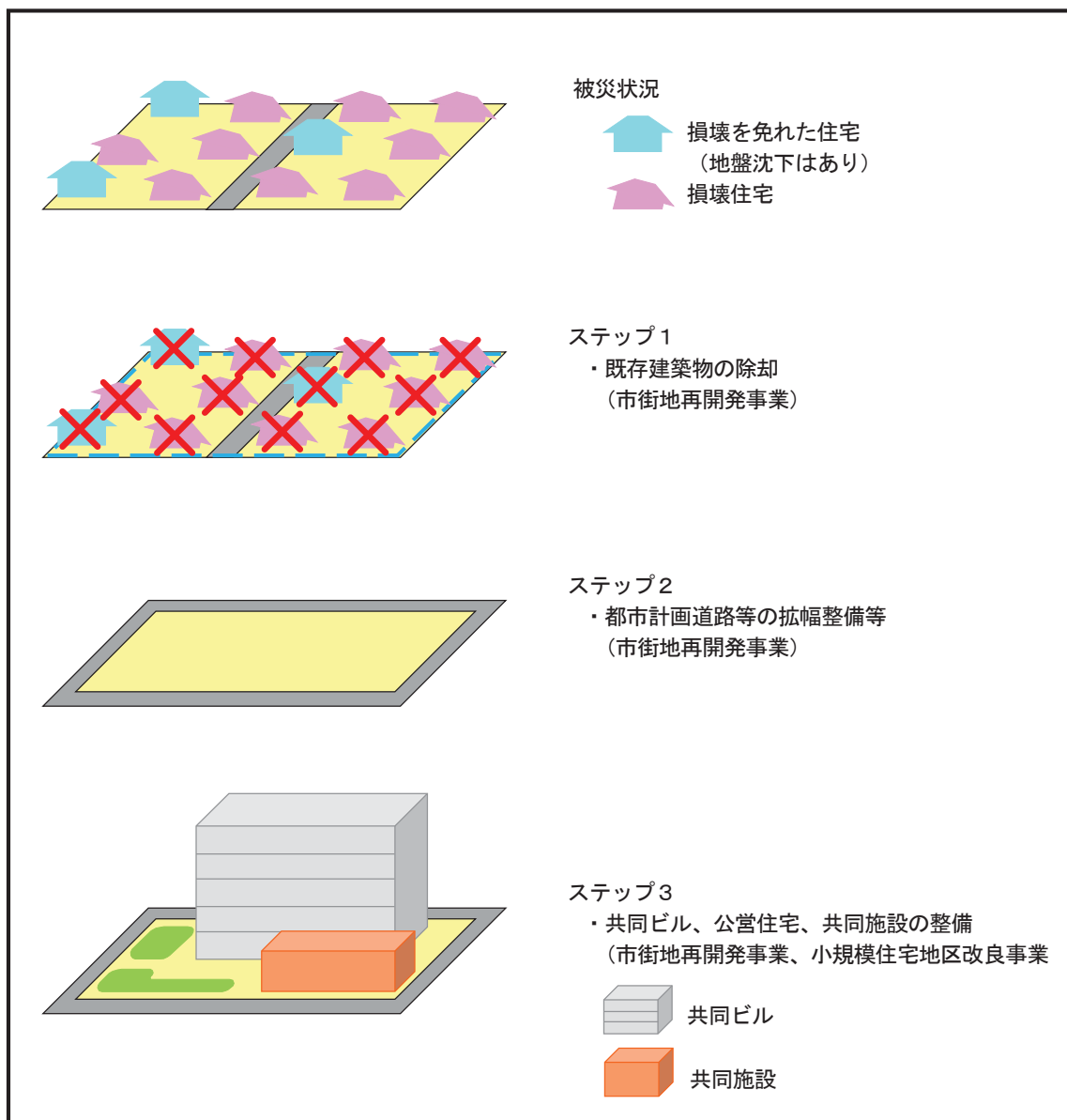


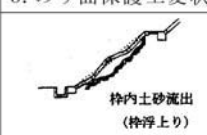
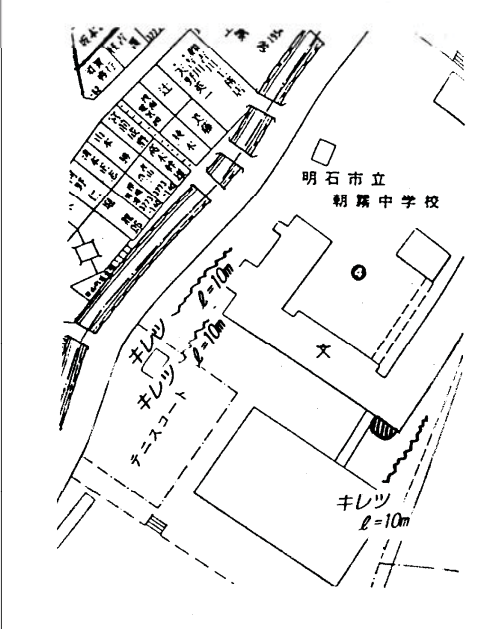
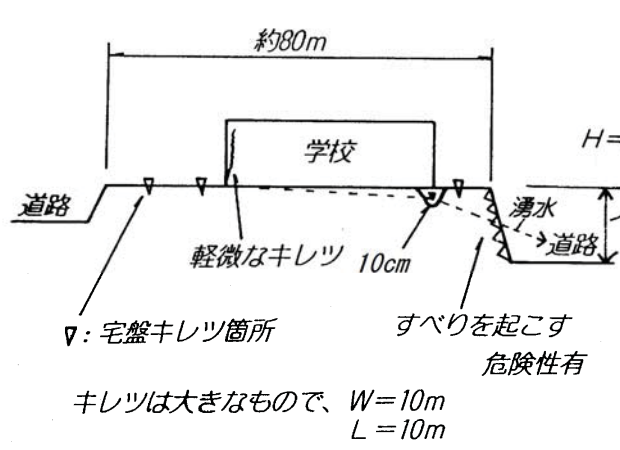
図-4 敷地を共同化する場合における復興の進め方の例

3-1 宅地地盤の被災宅地危険度判定例

(出典 被災宅地危険度判定連絡協議会：擁壁・のり面等被害状況調査・危険度判定票作成の手引)

記入例 2

(様式-2)

調 査 票		宅地地盤／のり面・自然斜面被害状況調査・危険度判定票	
調査日時		〇 年 〇 月 〇 日	時 調査番号 B-1
地震名又は降雨災害名		〇〇地震	
被害発生場所	〇〇都道府県 〇〇市郡 〇〇区(町)村 〇〇地区団地 5丁目 6番 7号		
所有者・管理者氏名	山野 次郎	記入者氏名	調査 太郎 TEL: 0987-65-4321
所有者・管理者の連絡先	自宅(〇市〇町 9-8-7) TEL: 0234-56-7890	居住者への説明	☐ 済 ☒ 未了 ☒ 居住者不在 ☐ 老人独居住宅
<被災状況図>		応急措置 ☐ 済 ☐ 未了	
宅地地盤		のり面・自然斜面	
1. クラック	2. 陥没	3. 沈下	4. 段差
5. 隆起	1. クラック	2-1. ハラミ	2-2. 盤ぶくれ
3. ガリ浸食	4-1. 滑落	4-2. 崩壊	
5. のり面保護工変状		6. 排水施設の変状	
 枠内土砂流出 (枠浮上り)			
 明石市立 朝霧中学校 道路 学校 約80m H=5.0m 湧水 道路 すべりを起こす 危険性有 軽微なキレツ 10cm ▽: 宅盤キレツ箇所 キレツは大きなもので、W=10m L=10m 陥没の深さ: 約30cm 陥没 3m×2m×0.3m=1.8m³ キレツ3箇所		 約80m H=5.0m 湧水 道路 すべりを起こす 危険性有 軽微なキレツ 10cm ▽: 宅盤キレツ箇所 キレツは大きなもので、W=10m L=10m 陥没の深さ: 約30cm 陥没 3m×2m×0.3m=1.8m³ キレツ3箇所	
[平面図]		[断面図]	
被災写真の有無	☐ 無 ☒ 有 → 写真番号 []		
特 記 事 項	キレツや陥没の被害自体は大きいが生住者のいない学校なので、避難するほど危険ではない。		

のり面・自然斜面の基礎的条件									
地盤	岩	☐ 軟岩 ☐ 硬岩 ☐ 不明	オーバーハング	☒ 無 ☐ 有					
	土 砂	☐ 砂質土 ☐ 礫質土 ☐ 粘性土 ☐ 不明	排水施設	☐ 無 ☒ 有 (のり肩) (小段排水)					
のり面高	最大高	5 m (平均高 4 m)	のり面保護工	☐ 無 ☐ 植生土 ☐ 構造物					
(複合のり面は擁壁高含)	(うち擁壁高	5 m)	擁壁配置	☐ のり面の上部 ☐ のり面の中部					
のり面勾配	1 : 0.5			☐ のり面の下部 ☒ 全面					
のり長さ	5.5 m		家屋の有無	上部 ☒ 有 ☐ 無 : 下部 ☐ 有 ☒ 無					
変 状 形 態 と 配 点 表									
宅地 地盤	変形状態のチェック(複数可)	小		中		大			
	1 クラック(幅)	3 cm未満	1	3~15cm 未満又は複数	3	15cm 以上又は全面	5		
	2 陥没(深さ)	20 cm未満	2	20~50 cm未満	4	50 cm以上	6		
	3 沈下(沈下量・規模)	10 cm未満	2	10~25 cm未満	4	25 cm以上	7		
	4 段差(段差量)	20 cm未満	3	20~50 cm未満	5	50 cm以上	8		
	5 隆起(隆起量・規模)	20 cm未満	7	20~50 cm未満	8	50 cm以上	9		
	6 湧水、噴砂	☐ 無 ☒ 有→+1点(上の点数に1点加える)							
のり面・ 自然斜面	変形状態のチェック(複数可)	小		中		大			
	1 クラック(幅)	3 cm未満又は単数	1	3~15 cm未満又は複数	2	15 cm 以上又は全面	3		
	2 ハラミ・盤ぶくれ (隆起量・規模)	10 cm未満又は1宅地ごとののり面等面積に対し10%未満	3	10~30 cm未満は1宅地ごとののり面等面積に対し10~50%未満	4	30 cm以上又は1宅地ごとののり面等面積に対し50%以上	5		
	3 ガリー浸食	クラックなどが誘因となって雨滴による浸食が現れはじめた段階。	6	のり面の表土が雨裂に陥没するなど放置していると被害が広がるおそれのあるもの。	7	洞穴状や滝壺状にガリーが進展して家屋の基礎やのり面等の下側に被害を御予防するような状態。	8		
	4 滑落・崩壊	部分的な表層すべり、又はのり面上部の小崩壊。	7	表層すべりが進んでえぐり取られたような状態。放置すると拡大するおそれのあるもの、又はのり面中部までの崩壊。	8	全面的なすべり崩壊で、さらに拡大のおそれがあるもの、又はのり面底部を含む全崩壊。	9		
	5 のり面保護工の変状 (植生工は除く)	例えば、のり枠の間詰め陥没。又はコンクリート吹付工にわずかにテンションクラックが見られるが吹付工のずれは認められない程度。	7	例えば、のり枠の部分的な破損。又はコンクリート吹付工のクラック部分で陥没・ずれが見受けられる。	8	例えば、のり枠の浮上り破壊。又はコンクリート吹付工のラス金網が露出し、コンクリート吹付面にも破損が見受けられる。	9		
	6 排水施設の変状	天端排水溝にずれ、欠損がある。又は、天端背面、舗装面にクラックが見られる。	3	左に加え、のり面のクラック、又は目地からの湧水がある。	5	排水溝が破断沈下するなど、排水機能が失われている。	7		
	7 のり面内の水道管等の破裂	破裂して水が流出している。					8		
	8 湧水、落石・転石	☐ 無 ☐ 有→+1点(上の点数に1点加える)							
	被害の判定値 (上記の最大値を被害程度の点数とする)	5 点		☆被害程度の点数と危険度判定☆ 小被害：1~3点(当面は防災上問題なし) 中被害：4~7点(制限付き立入。進行していれば避難) 大被害：8~10点(危険、要避難、立入禁止)					
危険度判定	☐ 大 ☒ 中 ☐ 小								
所見(記入者の意見)	緊 急 度	☐ 大 ☒ 中 ☐ 小		(人命・財産・交通の3点を判断基準とする。)					
	拡大の見込	☒ 有 ☐ 無 ☐ 判断不可		(備考：)					

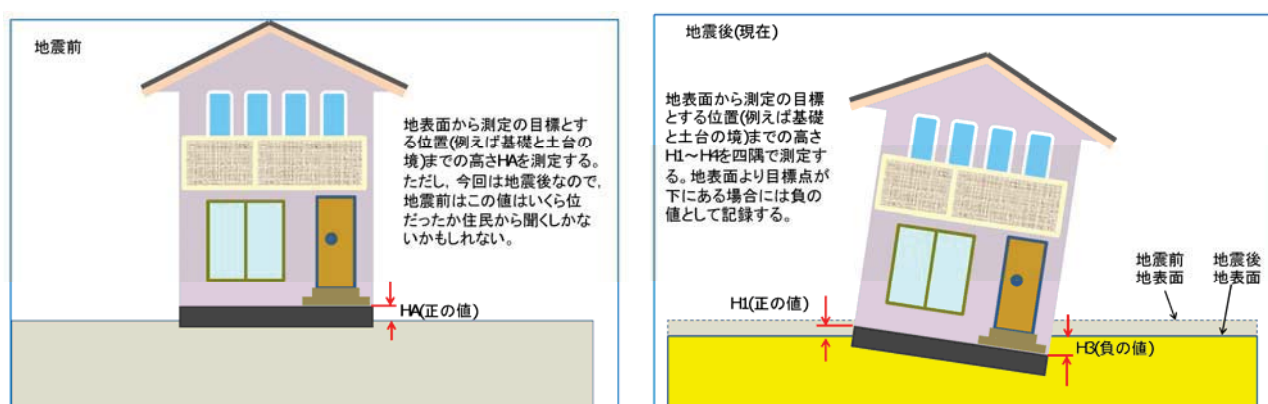
3-2 宅地地盤の沈下量・建物の傾斜勾配と沈下量のデータ作成

宅地地盤の沈下量・建物の傾斜勾配と沈下量のデータ作成は、対策検討を行うための基準値を作成するために重要な要素となる。

液状化被災市街地で宅地地盤の沈下量・建物の傾斜勾配と沈下量を測量し、以下の各マップ類を作成し整理する。

- ①宅地地盤の平均沈下マップ
- ②建物の平均傾斜マップ
- ③建物の平均沈下マップ
- ④路面より低い宅地マップ

「用語の定義」



- ・地震前の目標点の高さ： H_A
- ・地震後の地表面からの目標点の平均高さ： H_B

$$H_B = (H_1 + H_2 + H_3 + H_4) / 4$$
- ・建物平均めり込み沈下量： S_P

$$S_P = H_A - H_B$$
- ・建物不同沈下量： S_D

$$S_D = H_1 - H_3$$
- ・建物平均絶対沈下量： S_A

$$S_A = S_P + \text{地表面沈下量}$$

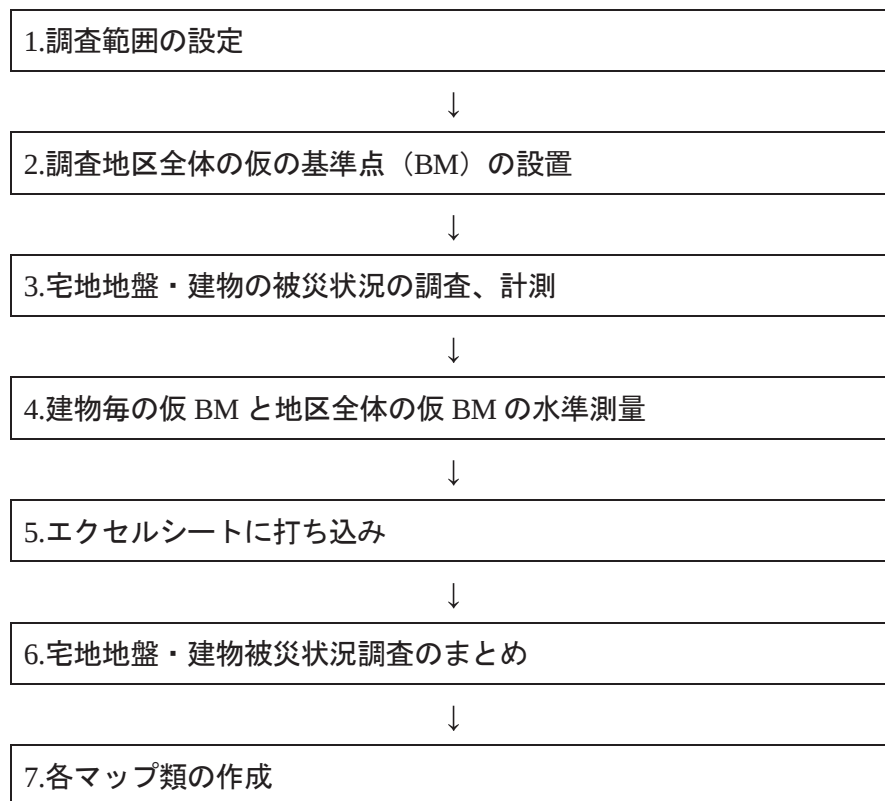


図-1 用語の解説図

本調査方法は、震災前の宅地地盤高が不明であることを想定している。震災前の宅地地盤高は、宅地内で数点計測した任意高さの最大値を震災前の宅地地盤高さと仮定し計算するものとした。

震災前の宅地の地盤高が明確な場合は、上記、震災前の宅地地盤高の仮定値に明確な震災前の宅地の地盤高を入力する。定めた宅地毎の仮BMの高さと宅地内の任意高さの平均から震災後の宅地地盤高をを求める。

「調査フロー」



1. 調査範囲の設定

本調査は液状化被災地の個人宅地内を調査するため、調査時期、調査範囲、作業内容を明確にし、個人情報等は一切公開しない旨、調査の前に周知しておく必要がある。

2. 調査地区全体の仮基準点（BM）の設置

液状化被災地においては地盤全体が沈下し既存の水準点の変動しているが、本調査においては震災前と震災後の高低差の把握が必要なため、測量範囲の近傍で幹線道路の人孔や橋梁等震災前の高さが明らかで、極力震災による変動が少ないと考えられる箇所に調査地区全体の仮基準点を設置する。震災後の水準点の測量成果が公表されている場合は、それをもとに地区全体の仮基準点を測定する。

3. 宅地地盤・建物の被災状況の調査、計測

(1) 調査項目

調査項目は、以下の内容である。

①建物構造

『木造・RC・鉄骨・その他』に分類

②基礎構造

『布基礎・ベタ基礎・独立基礎・その他』に分類

③建築面積

外周の寸法を見取図に記載し、階数を『1F・2F・3F・4F・5F・その他』に分類

④被災原因

『地震による直接損壊・液状化・地すべり等』に分類

⑤被災状況

1) 地盤の変状

クラック・段差について、見取図に記載

2) 沈下量

⑦測量結果の計測値をExcelに入力し、「建物の不同沈下量」、「建物の傾斜」、「建物の総沈下量」、「宅地地盤の沈下量」を算出する。

また、震災後に行われた、罹災証明の判定結果等も併せて記載する。

3) 基礎

クラックについて、見取図に記載した。

また、震災前の基礎高を計測し、記載した（基礎が埋まっている場合は少し掘り、埋没している基礎についている地盤高の跡を探し、計測）。

4) 外壁屋根

外壁屋根の液状化による被害を、住民の方にヒアリング

5) 建具

壁・扉・窓などの建物の外周となる部分の液状化による被害を住民の方にヒアリング

6) 外構

土間コンクリート、擁壁等についてのクラックを見取図に記載。

⑥見取図

建物、建物の外周の寸法、前面道路、方角及び宅地地盤のクラックや噴砂等の幅・段差・深さがわかるよう位置・状況を記載。

⑦測量結果

「建物隅の基礎天端高さ」、「前面道路の地盤高さ」及び「基礎天端高さを取った建物隅付近の敷地内の任意の地盤高さ」を計測。

(2) 計測方法

計測はオートレベルを用いて行ない、現地にて被災状況調査票に記入する。

- ①基準点（BM）を定める。オートレベルを任意の位置に設置し、基準点の高さを計測する。この高さを『基準高』とする。
- ②オートレベルを動かさず、調査宅地と道路の官民境界の、一番下がっている位置（側溝、境石等）の高さを計測する。これを、『計測の道路高』とする。
- ③オートレベルを動かさず、建物隅の基礎天端の高さを計測する。これを、『計測の建物基礎高』とする。
- ④オートレベルを動かさず、建物基礎高を計測した建物の隅付近の地盤の高さを計測する。これを、『計測の敷地内地盤高』とする。
- ⑤以上の『基準高』『計測の道路高』『計測の建物基礎高』『計測の敷地内任意点高』の数値を“測定値”とした。『計測の道路高』『計測の建物基礎高』『計測の敷地内任意点高』から、『基準高』を減じることにより、各高さを求めることができる。

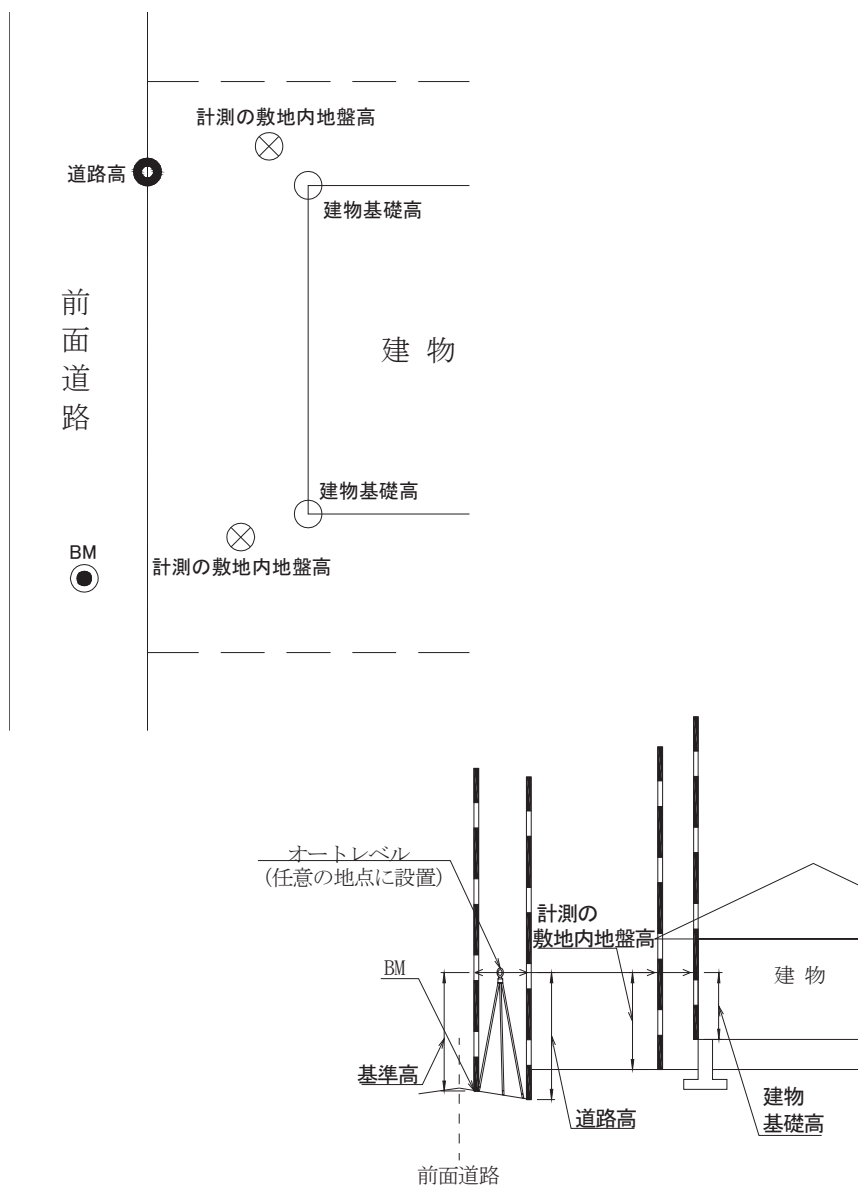


図-4 計測方法

宅地地盤・建物の被災状況調査票（一般住宅）

整理番号			住所、氏名			
調査可否	可、 不可		不可の理由			
沈下修正工法	※沈下修正工法確認資料等で居住者にヒアリングする					
建物構造	木造 RC 鉄骨 その他（ ）					
基礎構造	布基礎 ベタ基礎 独立基礎 その他（ ）					
建築面積	1F 2F 3F 4F 5F その他（ ）					
被災原因	地震による直接損壊、液状化、地すべり等					
被災状況	地盤変状	クラック 段差				
	沈下量	建物の不同沈下量 : 28mm 建物の傾斜 : 4.6/1000(最大) 2.9/1000(平均)			罹災証明の判定結果 : 半壊 罹災証明の傾斜 : 1.2(cm) : 10/1000 調査年月日	
		建物の総沈下量 : 96 mm 宅地地盤の平均沈下量 : 57mm 建物のめり込み沈下量 : 30mm				
		基礎	クラックの有無 mm × ケ所			
	外壁屋根	異常の有無及び状況 :				
	建具	異常の有無及び状況 :				
	外構	異常の有無及び状況 :				
見取り図、測量結果 BM は、前面道路 人孔等						
		建物基礎高		測定値	BM+	相対値
			1	689	742	
			2	711	720	
			3	721	710	
			4	744	687	
		道路高	A	1.511		
			B			
			C			
		地盤高	①	1.071		
			②	1.138		
			③	1.185		
			④	1.120		
				1.095		
		BM		1.431	0.00	
		測定結果を ↑		各々の最高点を 0 ↑		
震災前建物		45 cm				
建物寸法		m x m				
調査年月日						

注) 敷地内地盤はクラックの位置、状況等を記録(幅、段差、深さ等)

図-5 被災状況調査票の記載例

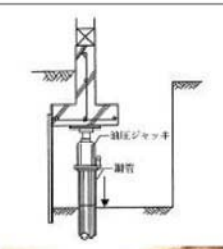
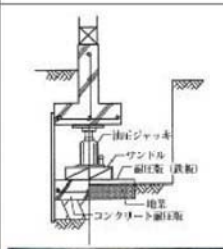
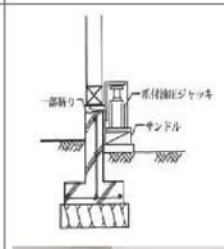
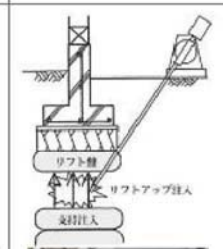
工法名	アンダーピニング工法	耐圧版工法	ポイントジャッキ工法	注入工法
工法の概要	 	 	 	 
	基礎下を掘削して建物荷重により1m程度の管杭を継ぎ足しながらジャッキで圧入する。支持層まで貫入後、これを反力にジャッキアップする。	基礎下を順次掘削して仮受けと打設を繰り返して良質な地盤面に一体の耐圧版を構築し、耐圧版を反力にジャッキアップする。	基礎を一部掘り土台下に爪付きジャッキを挿入してジャッキアップする。補強等を行い既存基礎を再使用する場合が多い。	基礎下へグラウトや薬液等を注入し、注入・膨張圧によりアップする。

図-6 液状化修正工法一覧¹⁾

4. 建物毎の仮 BM と地区全体の仮 BM の水準測量

建物毎に設置した仮BMと地区全体の仮BMを測定する。

5. エクセルシートに打ち込み

別途提供されるエクセルシートに被災建物の計測結果を入力し、宅地地盤の沈下量・建物の傾斜勾配と沈下量等の値を得る。建物沈下量・建物傾斜量の算出方法とエクセルシートの中で行われる計算過程を以下に示す。

(1) 建物沈下量・建物傾斜量算出方法

沈下量および、建物傾斜量は下記の方法で算出する。なお、アルファベットは、帳票の項目のアルファベットを示している。

◎建物不同沈下量：SD

- 計測値『基準高』（図-7, BM から各隅の『計測の建物基礎高』（図-7, 1～4）を減じ、高低差を算出する（図-8, 1～4）。算出した各隅の『建物基礎高』の中から、最高点と最低点が入るようバランスをとり、4点を抽出する。（図-8, 1'～4'）
- aで計測した最高点を0とし、他の3点との相対値を導く。
- 0とした点から、bで導いた相対値（1"～4"）の平均を不同沈下量とする。（相対値の最大値を1/2）

◎建物平均めりこみ沈下量：SP

- 計測値『基準高』（図-7, BM）から各隅の『計測の敷地内任意点高』を減じ、高低差を算出する。（図-8, ①～④）

d' dで計測した平均高さ

f. 震災後平均地盤高 d' + 震災前の基礎高 - 地震後の地表面からの目標点の平均高さ(HB)を、建物平均めりこみ沈下量 : SP とする。

※マイナスの値は、建物の浮き上がりを意味するが、建物沈下量が周辺地盤の沈下より小さい場合にもマイナスの値となり得ることから、マイナスの値となった場合には、等沈下量は 0 とする。

◎建物平均絶対沈下量 : SA

g. 宅地地盤の平均沈下量 e'' + 建物平均めり込み沈下量(SP) f を、建物平均絶対沈下量とした (ただし、 $f < 0$ の場合、 $f = 0$)。

◎建物傾斜

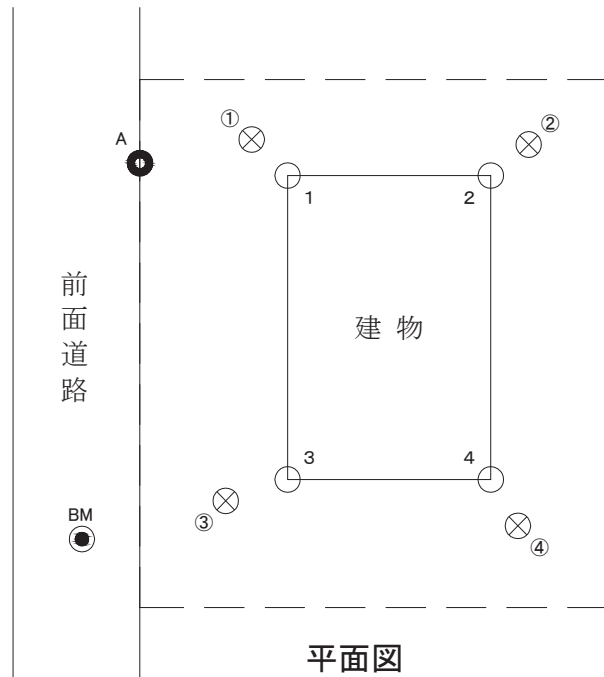
i. a で抽出した点 (図-7, 1' ~4') を結ぶ辺の長さを計測する (1'-2', 2'-3', ..., 2'-4')。

j. a で抽出した点の各辺間の相対値を、i で導いた辺の長さで割り、勾配を導く (1"-2", 2"-3", ..., 2"-4")。

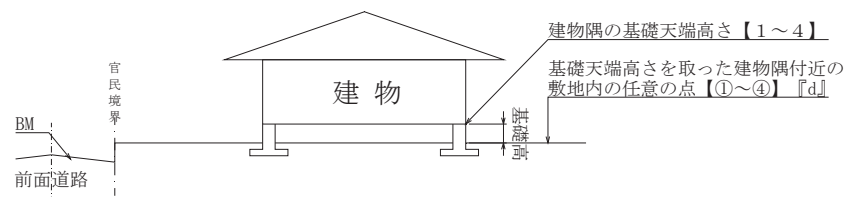
k. j で導いた勾配の最大値を、建物傾斜とする。

◎ 道路

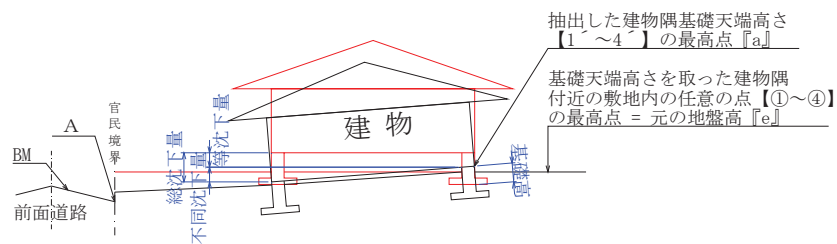
道路より宅地が下がっている箇所を抽出するため、『計測の道路高』(図-7, A) から各・『計測の敷地内任意点高』(図-7, ①~④) を減じ、負の数値の箇所について“道路より宅地が低い箇所”とする。



震災前



震災後



断面図

図-7 算出断面図

(2) エクセルシートの計算過程

別途提供されるエクセルシートに、建物調査・計測結果を入力する。計算は以下のように行われる。

建物No.	建物				備考
	構造	階数	構造	震災前基礎高 (cm)	
2	木	2	布	45	

計測値 (mm)	基準高	計測の建物基礎高							計測の敷地内任意点							計測の道路高		
	BM	1	2	3	4	5	6	7	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	A	B	C
	1500	100	200	300	500				600	700	800	850				1600		

基準高 - 各敷地内任意点

◎不同沈下量 (建物基礎高の 違いの平均値)	建物基礎高[基準高-計測の建物基礎高]							最高・最低値を含む抽出値 (mm)					最高点との相対値 (mm)				
	1	2	3	4	5	6	7	1'	2'	3'	4'	最大値(震災後 基礎天端高)	1''	2''	3''	4''	最大値/2(不 同沈下量)
	1400	1300	1200	1000				1400	1300	1200	1000	1400		100	200	400	200

最高値・最低値を含む、4点を抽出

最大値

最大値との高低差

最大値/2

建物No.	建物				備考
	構造	階数	構造	震災前基礎高 (cm)	
2	木	2	布	50	

計測値 (mm)	基準高	計測の建物基礎高							計測の敷地内任意点							計測の道路高		
	BM	1	2	3	4	5	6	7	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	A	B	C
	1500	100	200	300	500				600	700	800	850				1600		

基準高 - 各敷地内任意点

◎不同沈下量 (建物基礎高の 違いの平均値)	建物基礎高[基準高-計測の建物基礎高]							平均	最高・最低値を含む抽出値 (mm)					最高点との相対値 (mm)				
	1	2	3	4	5	6	7		1'	2'	3'	4'	最大値(震災後 基礎天端高)	1''	2''	3''	4''	最大値/2(不 同沈下量)
	1400	1300	1200	1000				1225	1400	1300	1200	1000	1400		100	200	400	200

◎地震後の地表面からの目標点の平均高さ(HB)

◎建物不同沈下量(SD)

◎等沈下量 (震災前後の基 礎高の絶対差)	敷地高[基準高-計測の敷地内任意点]							d'	e	e'	e''	f
	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	平均値	最大値	最小値	(e-e')/2	
	900	800	700	650				763	900	650	125	38

震災後平均地盤高

元地盤高と仮定

◎建物平均めり込み沈下量(SP)

震災後平均地盤高+震災前基礎高-震災後平均基礎天端高

◎総沈下量	0<f⇒e''+f		f<0⇒e''		g
	163				163

◎建物平均絶対沈下量(SA)

建物No.	建物				備考
	構造	階数	構造	震災前基礎高 (cm)	
2	木	2	布	45	

計測値 (mm)	基準高	計測の建物基礎高							計測の敷地内任意点							計測の道路高		
	BM	1	2	3	4	5	6	7	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	A	B	C
	1500	100	200	300	500				600	700	800	850				1600		

◎不同沈下量 (建物基礎高の 違いの平均値)	建物基礎高[基準高-計測の建物基礎高]							最高・最低値を含む抽出値 (mm)					最高点との相対値 (mm)				
	1	2	3	4	5	6	7	1'	2'	3'	4'	最大値(震災後 基礎天端高)	1''	2''	3''	4''	最大値/2(不 同沈下量)
	1400	1300	1200	1000				1400	1300	1200	1000	1400		100	200	400	200

◎等沈下量 (震災前後の基 礎高の絶対差)	敷地高[基準高-計測の敷地内任意点]							e	e'	e''	f
	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	最大値	最小値	(e-e')/2	
	900	800	700	650				900	650	125	38

◎傾斜	距離 (m)						勾配 (X/1000)						k	k'
	1'-2'	2'-3'	3'-4'	4'-1'	1'-3'	2'-4'	1''-2''	2''-3''	3''-4''	4''-1''	1''-3''	2''-4''	最大値	平均値
	10.00	10.00	10.00	10.00	14.14	14.14	10.0	10.0	20.0	40.0	14.1	21.2	40.0	19.2

計測値

計算

最大値

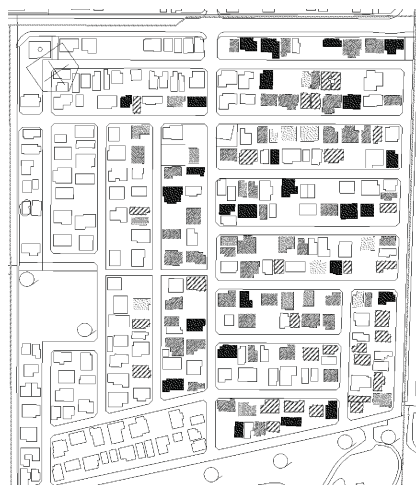
◎傾斜

各点の高さの差の絶対値 / 距離

◎道路	『計測の道路高』-『計測の敷地内任意点』						
	A	B	C	(1)	(2)	(3)	(4)
				1000	900	800	750

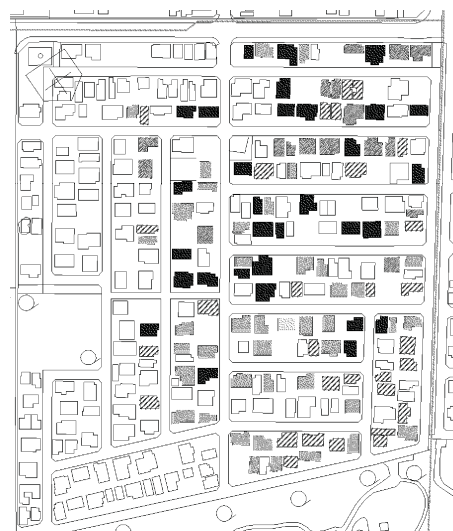
各道路高 - 各敷地内任意点(マイナスが、道路より宅盤が下がっている箇所)

図-8 エクセルシートの計算過程



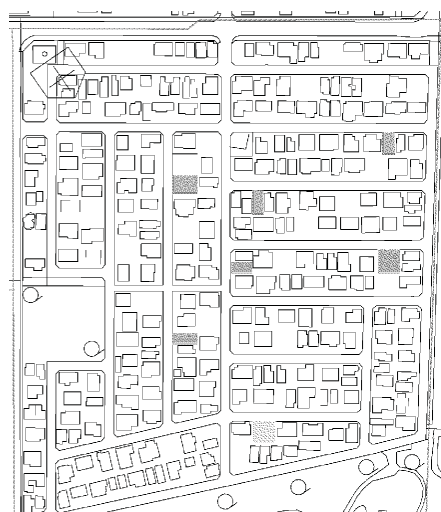
凡 例	
記 号	名 称
	地 区 界
<傾斜>	
	～ 6/1000
	6/1000～10/1000
	10/1000～20/1000
	20/1000～40/1000
	40/1000～60/1000
	60/1000～
	修復済み

図-11 建物の平均傾斜マップ



凡 例	
記 号	名 称
	地 区 界
<沈下>	
	0cm～10cm
	10cm～20cm
	20cm～30cm
	30cm～40cm
	40cm～50cm
	50cm～60cm
	60cm～
	修復済み

図-12 建物の平均沈下マップ



凡 例	
記 号	名 称
	地 区 界
<宅地沈下箇所> (最大値)	
	10cm未満
	30cm未満
	50cm未満
	50cm以上

図-13 路面より低い宅地マップ



図-14 住宅被害認定による建物の被害程度マップ

<参考文献>

- 1) 日本建築学会：住まいづくり支援建築会議の復旧・復興支援 WG「液状化被害の基礎知識」
<http://news-sv.aij.or.jp/shien/s2/ekijouka/>

4-1 宅地の液状化被害可能性判定計算シート

(出典：国土交通省 都市局国土技術政策総合研究所)

<http://www.nilim.go.jp/lab/jbg/takuti/takuti.html> よりダウンロード可能)

(1) 地盤条件の入力

調査地点ID ○○地区
メ宅等

項目名 1.0 m
地下水位は、0.5mごとに更新されます。

地下水位に關しては、入力した値を0.5mごとに安
全側に自動計算した数値が再入力されます。
例：入力値→3.0 更新値→3.0
また、入力の際にマイナス(－)を入力する必要
はありません。

地盤状態入力シート

条件	計算 方法	最大加速度 (gal)	マグニチュード(M)	表示設定項目	地震動タイプ
1	建築	200	7.5	想定震度 (mag)	レベル1
2	建築			0.2	
3	建築				

【建築】の場合
建築基礎構造設計資料を基本として判定を行います。最大加速度とマグニチュードを入力してください。

【表示】の場合
道路橋示方書、同様の耐震設計規程を基本として判定を行います。想定震度と地震動タイプを入力してください。

デフォルト値は以下の通りです。
【条件1】 建築 最大加速度: 200gal M7.5
【条件2】 建築 最大加速度: 200gal M7.5
【条件3】 建築 最大加速度: 200gal M7.5
【条件1】 建築 最大加速度: 200gal M7.5
【条件2】 建築 最大加速度: 200gal M7.5
【条件3】 建築 最大加速度: 200gal M7.5

○で示された範囲が液状化判定を行う対象層です。
入力された土質と試験結果から自動判定します。
また、青色で表示された層は地下水位以下であることを示しています。
(液状化判定対象層の判定は、建築と表示で異なる場合があります。)

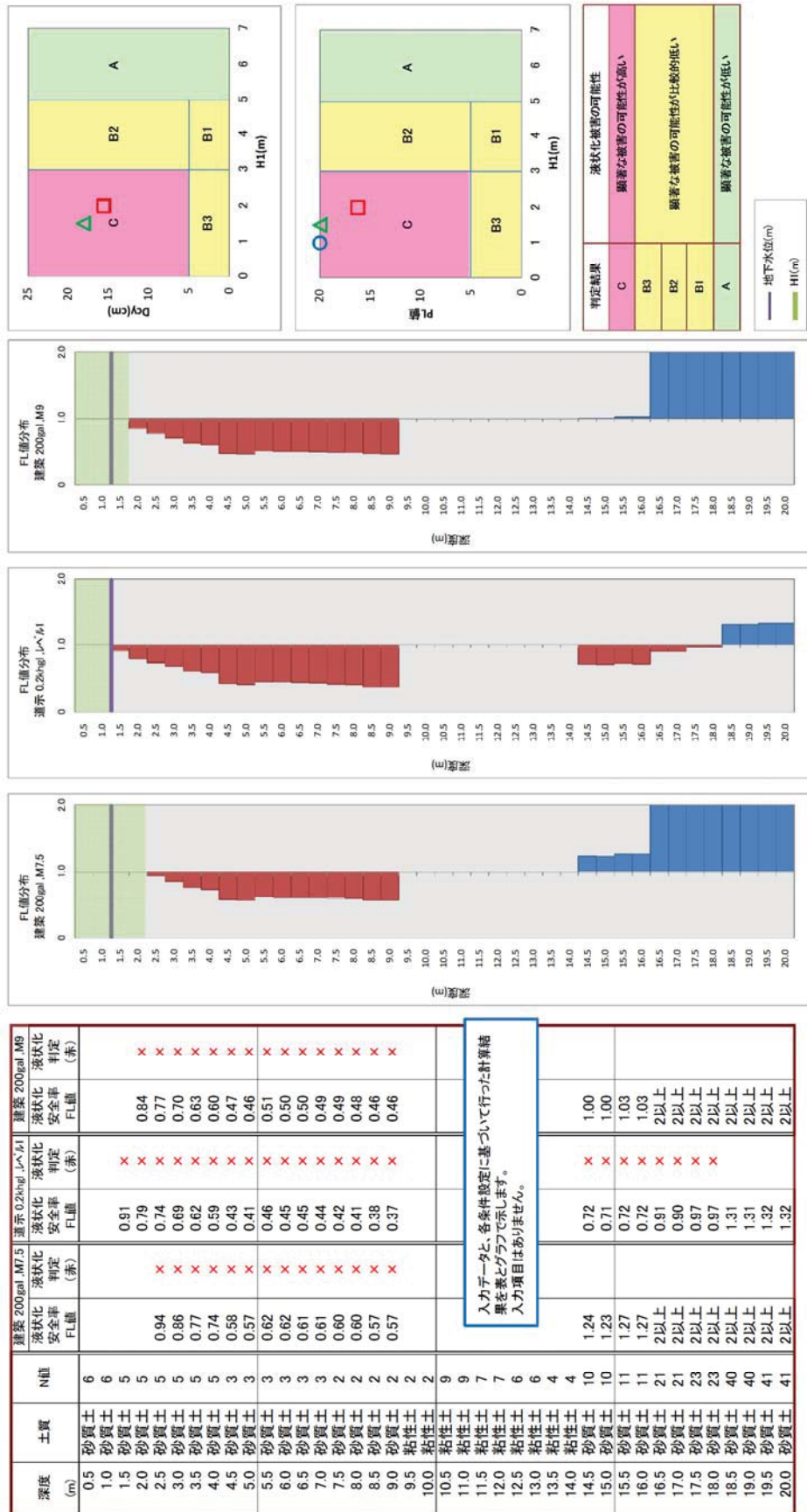
深度 (m)	土質	細粒分 含有率 FC (%)	N値	単位体積 重量 (kN/m ³)	粘土分 含有率 (%)	砂礫 50%粒徑 D50 (mm)	砂礫 10%粒徑 D10 (mm)	塑性指数 液性限界 PI (mm)	年代による 補正係数 (1.0~1.4)	地盤生成
0.5	砂質土	45.0	6	17.00	3	0.2	0.0		1.00	
1.0	砂質土	45.0	6	17.00	3	0.2	0.0		1.00	
1.5	砂質土	15.0	5	17.00	1	0.2	0.0		1.00	
2.0	砂質土	15.0	5	17.00	1	0.2	0.1		1.00	
2.5	砂質土	17.0	5	17.00	1	0.2	0.1		1.00	
3.0	砂質土	17.0	5	17.00	1	0.2	0.1		1.00	
3.5	砂質土	12.5	5	17.00	2	0.2	0.1		1.00	
4.0	砂質土	12.5	5	17.00	2	0.2	0.1		1.00	
4.5	砂質土	9.5	3	17.00	1	0.2	0.1		1.00	
5.0	砂質土	9.5	3	17.00	1	0.2	0.1		1.00	
5.5	砂質土	19.0	3	17.00	4	0.2	0.1		1.00	
6.0	砂質土	19.0	3	17.00	4	0.2	0.1		1.00	
6.5	砂質土	20.0	3	17.00	3	0.2	0.1		1.00	
7.0	砂質土	20.0	3	17.00	3	0.2	0.1		1.00	
7.5	砂質土	32.0	2	16.00	8	0.2	0.1		1.00	
8.0	砂質土	32.0	2	16.00	8	0.2	0.1		1.00	
8.5	砂質土	25.0	2	16.00	3	0.2	0.1		1.00	
9.0	砂質土	25.0	2	16.00	3	0.2	0.1		1.00	
9.5	粘性土	64.0	2	16.00	17	0.1	0.1	22.3	1.00	
10.0	粘性土	64.0	2	16.00	17	0.1	0.1	22.3	1.00	
10.5	粘性土	90.0	9	18.00	7	0.1	0.1	17.2	1.40	
11.0	粘性土	90.0	9	18.00	7	0.1	0.1	17.2	1.40	
11.5	粘性土	92.0	7	18.00	7	0.1	0.1	16.1	1.40	
12.0	粘性土	92.0	7	18.00	7	0.1	0.1	16.1	1.40	
12.5	粘性土	90.0	6	18.00	14	0.1	0.1	15.3	1.40	
13.0	粘性土	90.0	6	18.00	14	0.1	0.1	15.3	1.40	
13.5	粘性土	59.0	4	18.00	13	0.1	0.1	15.6	1.40	
14.0	粘性土	59.0	4	18.00	13	0.1	0.1	15.6	1.40	
14.5	砂質土	22.0	10	18.50	7	0.2	0.1		1.40	
15.0	砂質土	22.0	10	18.50	7	0.2	0.1		1.40	
15.5	砂質土	19.0	11	18.50	5	0.2	0.1		1.40	
16.0	砂質土	19.0	11	18.50	5	0.2	0.1		1.40	
16.5	砂質土	17.5	21	19.50	5	0.2	0.1		1.40	
17.0	砂質土	17.5	21	19.50	5	0.2	0.1		1.40	
17.5	砂質土	20.0	23	19.50	6	0.2	0.1		1.40	
18.0	砂質土	20.0	23	19.50	6	0.2	0.1		1.40	
18.5	砂質土	19.5	40	19.50	6	0.2	0.1		1.40	
19.0	砂質土	19.5	40	19.50	6	0.2	0.1		1.40	
19.5	砂質土	19.5	41	19.50	6	0.2	0.1		1.40	
20.0	砂質土	19.5	41	19.50	6	0.2	0.1		1.40	

(2) プレゼンテーションシート

プレゼンテーションシート

条件	計算	建築設定項目		道設設定項目		非液状化層		地表変位量		液状化指標値		グラフ内 凡例
		最大加速度 (gal)	マグニチュード (M)	水平震度 (Kkg/L)	地震動レベル	H1	Dey 数値(cm)	判定	数値	判定	PL値	
1	建築	200.0	7.5	-	-	2.0	15.6	C	16.24	C		
2	道示	-	-	0.2	レベル1	1.0	-	-	27.68	C		
3	建築	200.0	9.0	-	-	1.5	18.1	C	23.26	C		

調査地点ID	〇〇地区
項目名	メ等
地下水位	1.0 m



(3) 液状化計算シート

[illegible]

宅地の液状化被害可能性判定

(1) 判定手法

本判定は、ボーリング調査結果から、各層の液状化に対する安全率 (FL 値) を算定し、これを基に算定される非液状化層厚 (H1) と地表変位量 (Dey 値) または、液状化指標値 (PL 値) から (4K1) の判定図等を使用して液状化被害の可能性を判定する。FL 値に基づく各数値の算定は「建築基礎構造設計指針 (日本建築学会 平成 13 年 10 月)」(以下、建築)、「道路橋示方書・同解説 V 耐震設計編」(以下、道示) 等を基本とする。

(2) 想定する地震動

本判定は、震度 5 程度の地震動を対象としており、液状化に対する安全率 (FL 値) の算定には、下記の数値を用いるものとする。

- ① 「建築基礎構造設計指針」を基本とする場合
- ・マクニチュード : 7.5
 - ・想定最大加速度 α_{max} : 200 (gal)
- ② 「道路橋示方書・同解説 V 耐震設計編」を基本とする場合
- ・想定震度 $kmgL$: 0.20

また、上記の 2 条件をあらかじめデフォルト値とし、入力者が地域の実情にあわせて条件を変更して比較できるよう、シートには第 3 の欄を設けた。

なお、上記の地震動を上回る地震動を対象とする場合には、計算条件等を慎重に検討する必要がある。

(3) 想定する地盤面

判定対象地の地表面構造は、宅地の地盤面とする。

判定対象地によってボーリング調査時の地表面構造と判定対象宅地の地盤構造が異なる場合、深度の欄にはボーリング調査を優先して記入する。

(4) ボーリング調査毎の判定

(i) 判定図

ボーリング調査毎の判定は、図 1 の判定図等、及び表 1 判定図の数値表により、「A: 顕著な被害の可能性が低い」、「B: 顕著な被害の可能性が比較的低い」、「C: 顕著な被害の可能性が高い」の 3 ランクで判定する。

判定は下記の建築 H1-PL 法、道示 H1-PL 法、道示 H1-PL 法の内、いずれかの方法を適用して行うものとする。

・建築 H1-Dey 法 : 「建築基礎構造設計指針」を基本とし、非液状化層厚 (H1) と地表変位量 (Dey 値) の関係から判定する手法

・建築 H1-PL 法 : 「建築基礎構造設計指針」を基本とし、非液状化層厚 (H1) と液状化指標値 (PL 値) の関係から判定する手法

・道示 H1-PL 法 : 「道路橋示方書・同解説 V 耐震設計編」を基本とし、非液状化層厚 (H1) と液状化指標値 (PL 値) の関係から判定する手法

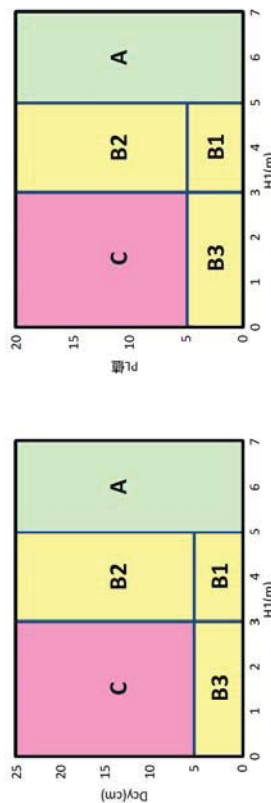


図 1 H1 値、Dey 値、PL 値による判定図

表 1 判定図の数値表

判定結果	H1 の範囲	Dey の範囲	PL 値の範囲	液状化被害の可能性
C	3m 以下	5cm 以上	5 以上	顕著な被害の可能性が高い
B2	3m を超え、5m 以下	5cm 未満	5 未満	顕著な被害の可能性が比較的低い
B1	5m を超える	5cm 以上	5 以上	顕著な被害の可能性が比較的低い
A	5m を超える	5cm 未満	5 未満	顕著な被害の可能性が低い

(ii) 判定対象層

判定対象層は表 2 のとおりとする

表 2 判定対象層

判定対象層	地表面から 20m 深度までの沖積層・埋立土・盛土		平均粒径 10mm 以下で、かつ 10% 粒径が 1mm 以下の土層	
	細粒分含有率 35% を超える層	細粒分含有率 35% 以下の層	細粒分含有率 35% を超える層	細粒分含有率 35% 以下の層
「建築基礎構造設計指針」を基本とする場合	○	○	○	○
「道路橋示方書・同解説 V 耐震設計編」を基本とする場合	○	○	○	○

(iii) 液状化に対する安全率 (FL 値)

液状化に対する安全率 (FL 値) は (ii) の判定対象層について「建築基礎構造設計指針」または「道路橋示方書・同解説 V 耐震設計編」を基本とし算定する。

ただし、沖積層で圧密時間が 400~500 年以上経過していることが明らかた場合には、地盤生成年代効果を考慮することができるものとする。

液状化に対する安全率 (FL 値) に乗ずる地盤生成年代による補正係数は、入力する数値に上限は設けていないが、指針にあるように最大で 1.4 としなければならない。

(iv) 非液状化層厚 (H1)

非液状化層厚は、地盤面から連続する表 3 の層とする

表 3 非液状化層厚 (H1)

判定対象層	地下水位より浅い層	液状化の安全率 (FL 値) が 1.0 より大きい層	N 値が 2 より大きい層 (埋立土・盛土)	細粒分含有率 30% を超える層 (沖積層・埋立土・盛土)	平均粒径 10mm 以上で、または 10% 粒径が 1mm 以上の土層 (沖積層・埋立土・盛土)
「建築基礎構造設計指針」を基本とする場合	○	○	○	○	○
「道路橋示方書・同解説 V 耐震設計編」を基本とする場合	○	○	○	○	○

*1 : 粘性土層とは、細粒分含有率が 50% 以上の地盤を想定している。

*2 : 粘土分含有率が 10% 以上と、あるいは塑性指数が 15 以上とを判定する。

*3 : この計算シートでは、粘性土層 (細粒分含有率が 50% 以上の層) であっても、N 値が 2 以下の層、または、上記 (ii) 及び (iii) による判定の結果、FL 値が 1 より小さい層については、H1 に含まないよう算定している。

(v) 地表変位量 (Dey 値) の算定方法

地表変位量 (Dey 値) は、「建築基礎構造設計指針 4.5 節地盤の液状化」2. 液状化に伴う地盤物性と地盤変形量の予測」を基本として算定し、判定対象層は (ii)、液状化に対する安全率 (FL 値) は (iii) によるものとする。

(vi) 液状化指標値 (PL 値)

液状化指標値 (PL 値) は、下記により算定し、判定対象層は (ii)、液状化に対する安全率 (FL 値) は (iii) によるものとする。

PL = $2F \cdot w(Z) \cdot \angle Z$

F = 1.0 - FL (FL ≤ 1.0 の場合) F = 0.0 (FL > 1.0 の場合)

ここで、FL : 液状化に対する安全率

w(Z) : 深さ方向の重力因数

判定深度 20m w(Z) = 10.0 - 0.5 · Z

Z : 地表面からの深さ (m)

∠Z : ある深度の FL が分布すると想定される土層厚

「建築基礎構造設計指針」を基本とした計算方法

FL 値の算定方法は以下のとおりである。

$$FL = \frac{v_1/\sigma'_z}{v_d/\sigma'_z} \quad : \text{液状化発生に対する安全率}$$

$$\frac{v_d}{\sigma'_z} = \gamma_n \cdot \frac{\alpha_{\max}}{g} \cdot \frac{\sigma_z}{\sigma'_z} \cdot \gamma_d \quad : \text{等価な繰返しせん断応力比}$$

$$\gamma_n = 0.1(M - 1) \quad : \text{等価な繰返し回数に対する補正係数}$$

$$\gamma_d = 1 - 0.015Z \quad : \text{地震が鋼体でないことによる低減係数}$$

$$\frac{v_1}{\sigma'_z} = 0.45 \times 0.57 \left\{ 0.16 \sqrt{N_a} + (0.2 \sqrt{N_s})^{1.4} \right\} \quad : \text{液状化抵抗比}$$

$$N_s = N_1 + \Delta N_f \quad : \text{補正N値}$$

$$N_1 = C_N \cdot N \quad : \text{換算N値}$$

$$C_N = \sqrt{98/\sigma'_z} \quad : \text{拘束圧に対する換算係数}$$

$$\Delta N_f = \begin{cases} 0 & (FC \leq 5) \\ 1.2FC - 6 & (5 < FC \leq 10) \\ 0.2FC + 4 & (10 < FC \leq 20) \\ 0.1FC + 6 & (20 < FC \leq 50) \end{cases}$$

また、PL 値は、次のようにして求められる。

$$PL = \int_0^{20} (1 - FL)(10 - 0.5z) dz \quad : \text{液状化の危険性を示す指標}$$

ここに、

- z : 地表面からの検討深さ(m)
- $\alpha_{\max}$: 地表面水平加速度値 (cm/sec²)
- g : 重力加速度(980cm/sec²)
- σ'_z : 検討深さにおける有効土張り圧(kPa)
- σ_z : 検討深さにおける全土張り圧(kPa)
- M : 地震のマグニチュード
- FC : 細粒分含有率(%)
- N : ボーリングにより得られたN値
- $N = C_{ab} \cdot N_0$

なお、N値が大きくなりやすい礫質土に対しては、その50%粒径 D_{50} によりN値を補正する。

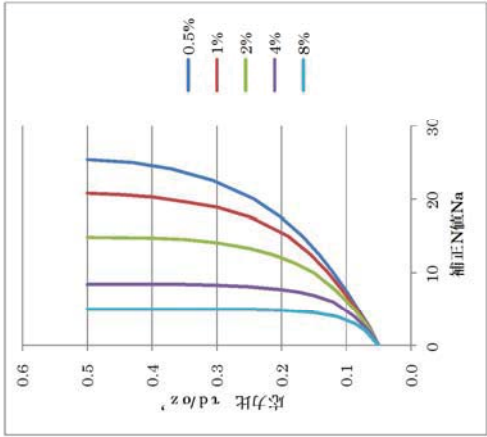
$$C_{ab} = \text{MIN}(1.15 + (0.4 - 1.15)/(\log_{10}(50)) \cdot (1 + \log_{10} \text{MAX}(D_{50}, 0.01)))$$

ここに、 N_0 は礫質土で求められたN値である。

液状化に伴う地盤変位量 Δy

下図（折線で近似）を用いて、補正N値 (N_a)、せん断応力比 (τ/σ'_z) に対する各層の繰返しせん断ひずみ γ_{cy} を求める。これを鉛直方向に積分して振動中の最大水平変位 Δy とする。沈下量を求めたい場合は、 γ_{cy} を体積ひずみ ϵ_v と読み換えれば良い。

γ_{cy}	0.5%	1%	2%	4%	8%
N_a	τ/σ'_z	τ/σ'_z	τ/σ'_z	τ/σ'_z	τ/σ'_z
0.00	0.050	0.050	0.050	0.050	0.050
2.50	0.064	0.065	0.066	0.065	0.060
5.00	0.082	0.084	0.088	0.088	0.070
7.50	0.100	0.105	0.115	0.120	0.086
10.00	0.120	0.128	0.150	0.150	0.115
12.50	0.142	0.155	0.180	0.175	0.150
15.00	0.168	0.190	0.214	0.200	0.200
17.50	0.200	0.246	0.250	0.250	0.250
20.00	0.242	0.300	0.300	0.300	0.300
22.50	0.305	0.350	0.350	0.350	0.350
24.10	0.370	0.400	0.400	0.400	0.400
25.00	0.430	0.450	0.450	0.450	0.450
25.40	0.500	0.500	0.500	0.500	0.500



4-2 地盤の液状化判定

(出典：日本建築学会，建築構造設計指針，pp.62～64，2000.10)

(1) 対象とすべき土層

液状化の判定を行う必要がある飽和土層は、一般に地表面から 20m 程度以浅の沖積層で、考慮すべき土の種類は、細粒分含有率が 35%以下の土とする。ただし、埋立地盤など人工造成地盤では、細粒分含有率が 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などが液状化した事例も報告されているので、粘土分 (0.005mm 以下の粒径を持つ土粒子) 含有率が 10%以下、または塑性指数が 15%以下の埋立あるいは盛土地盤については液状化の検討を行う。細粒土を含む礫や透水性の低い土層に囲まれた礫は液状化の可能性が否定できないので、そのような場合にも液状化の検討を行う。

(2) 液状化危険度予測

液状化判定は図-1～2を用い、以下の手順により行ってよい。

(a) 検討地点の地盤内の各深さに発生する等価な繰返しせん断応力比を次式から求める。

$$\frac{\tau_d}{\sigma'_z} = \gamma_n \frac{\alpha_{\max}}{g} \frac{\sigma_z}{\sigma'_z} \gamma_d \quad (1)$$

ここに、 τ_d は水平面に生じる等価な一定繰返しせん断応力振幅(kN/m²)、 σ'_z は検討深さにおける有効土被り圧 (鉛直有効応力)(kN/m²)、 γ_n は等価の繰返し回数に関する補正係数で $0.1(M-1)$ 、 M はマグニチュード、 $\alpha_{\max}$ は地表面における設計用水平加速度 (cm/s²)、 g は重力加速度 (980 cm/s²)、 σ_z は検討深さにおける全土被り圧 (鉛直全応力) (kN/m²)、 γ_d は地盤が剛体でないことによる低減係数で次式で与えられる。

$$\gamma_d = 1 - 0.015z \quad (2)$$

ここに、 z はメートル単位で表した地表面からの検討深さである。

(b) 対応する深度の補正 N 値 (N_a) を、次式から求める。

$$N_1 = C_N \cdot N \quad (3)$$

$$C_N = \sqrt{98 / \sigma'_z} \quad (4)$$

$$N_a = N_1 + \Delta N_f \quad (5)$$

ここに、 N_1 は換算 N 値 C_N は拘束圧に関する換算係数、 ΔN_f は細粒分含有率 F_c に応じた補正 N 値増分で、図-2による。 N はトンビ法または自動落下法による実測 N 値とする。

(c) 図-1 中の限界せん断ひずみ曲線 5 %を用いて、補正 N 値 (N_a) に対応する飽和土層の液状化抵抗比 $R = \tau_l / \sigma'_z$ を求める。ここに、 τ_l は、水平面における液状化抵抗である。

(d) 各深さにおける液状化発生に対する安全率 F_l を次式により計算する。

$$F_l = \frac{\tau_l / \sigma'_z}{\tau_d / \sigma'_z} \quad (6)$$

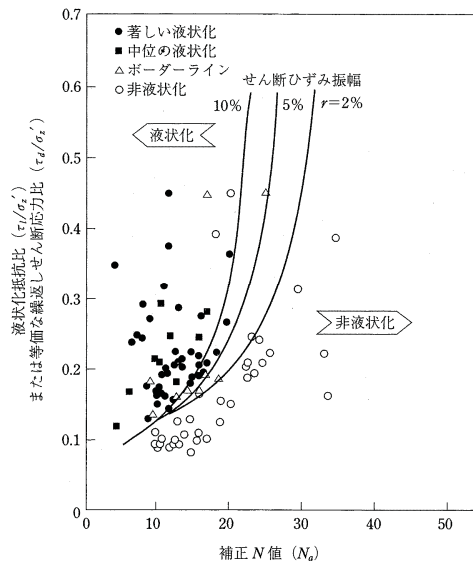


図-1 補正 N 値と液化化抵抗、動的せん断ひずみの関係

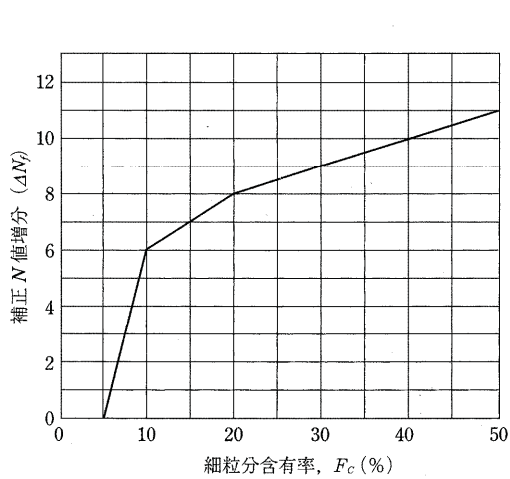


図-2 細粒分含有率と N 値の補正係数

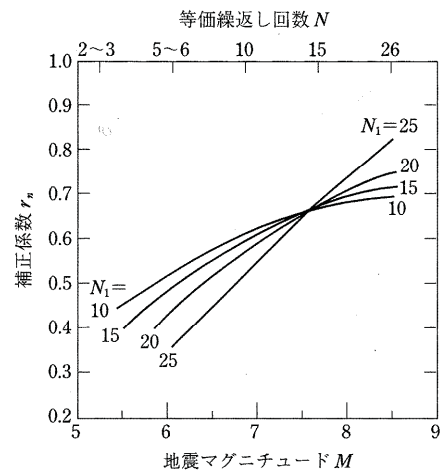


図-3 補正 N 値、マグニチュード、繰返し回数と補正係数の関係

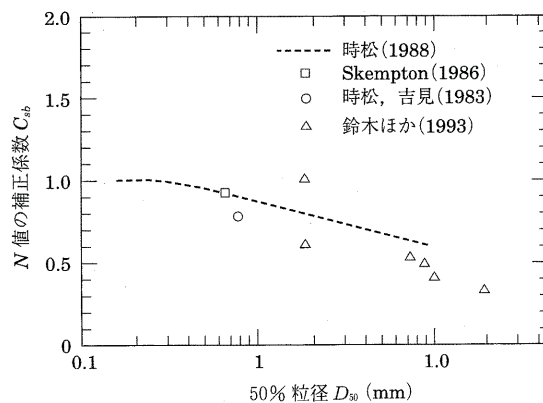


図-4 砂礫地盤の N 値補正係数

4-3 液状化に伴う地盤物性と地盤変形量の予測

(出典：日本建築学会，建築構造設計指針，pp.66，pp.445～448，2000.10)

液状化発生の可能性が高いと判断された地盤においては、対象とする建物の基礎設計に必要な情報を、下記の方法により評価するものとする。

(1) 液状化の程度と液状化・側方流動に伴う地盤変位の予測

(a) 水平地盤での動的水平変位、残留水平変位、沈下量、液状化の程度と動的水平変位の予測は、適当な応答解析によるほか、液状化判定の後、以下の手順によることができる。

- 1) 図-1 から N_a 、 τ_d/σ'_z に対応する各層の繰返しせん断ひずみ γ_{cy} を推定する。
- 2) 各層のせん断ひずみ γ_{cy} が同一方向に発生すると仮定して、これを鉛直方向に積分して、振動中の最大水平変位分布とする。

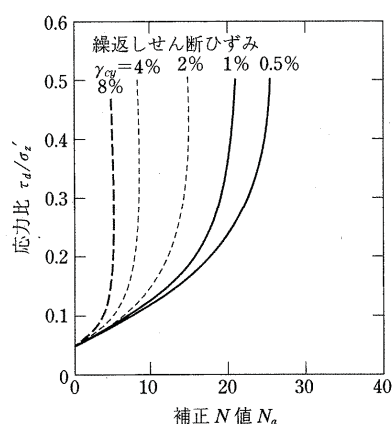


図-1 補正 N 値と繰返しせん断ひずみの関係

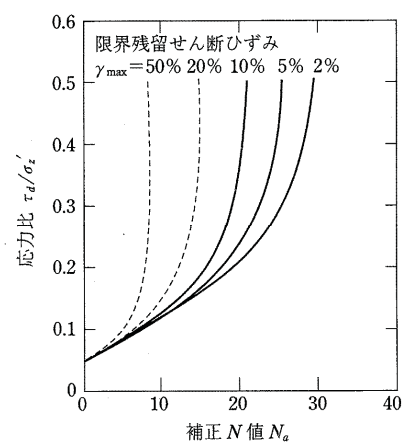


図-2 補正 N 値と限界残留せん断ひずみの関係

- 3) 地表変位を D_{cy} とし液状化程度の指標とする。液状化の程度は、 D_{cy} の値により表-1 のように評価する。

表-1 D_{cy} と液状化の程度の関係

D_{cy} (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

同様に、地盤沈下量 S を求めたい場合、図-1 をそのまま使い、 γ_{cy} を体積ひずみ ε_v と読み換えればよい。

〔計算例 1〕 液状化判定と動的水平変位および残留沈下量

図-3に示す沖積地盤について、液状化に対する安全率と液状化時の地表最大地盤変位、液状化後の地盤沈下量を求める。地下水位は深度2mである。なお、地表面加速度 $200 \text{ (cm/s}^2\text{)}$ 、地震マグニチュード $M=7.5$ とする。

深度 (m)	土質記号	土質名	標準貫入試験(とんび法)				土の潤滑 単位体積 重量(kN/m^3)	土の有効 単位体積 重量(kN/m^3)	細粒分 含有率 F_c (%)
			0	20	40	60			
0		シルト質細砂					17.6	17.6	25
									25
									5
									5
5		細砂					18.6	8.8	5
									5
									5
									15
10		細砂							15
									15
									100
15		粘土					14.7	4.9	100
									100
									100
									100
20		礫 混じり砂					18.6	8.8	0
									0
									0
									0
									0
25									0

図-3 地盤条件

〔解〕 (1) 深度 4m の深さにおける検討

(1) 式において、

$$M=7.5$$

$$\gamma_n=0.65$$

$$\alpha_{\max}=200 \text{ (cm/s}^2\text{)}$$

$$g=980 \text{ (cm/s}^2\text{)}$$

$$\sigma_z=17.6 \times 2.0 + 18.6 \times (4.0 - 2.0) = 72.4 \text{ (kN/m}^2\text{)}$$

$$\sigma'_z=17.6 \times 2.0 + 8.8 \times (4.0 - 2.0) = 52.8 \text{ (kN/m}^2\text{)}$$

これらを代入すると、

$$\begin{aligned} \tau_d / \sigma'_z &= 0.65 \times (200/980) \times (72.4/52.8) \times (1 - 0.015 \times 4) = 0.65 \times 0.204 \times 1.371 \times 0.94 \\ &= 0.17 \end{aligned}$$

4-2(3)～(5) 式より

$$\sigma'_z=52.8 \text{ (kN/m}^2\text{)}$$

$$N=2$$

$$\Delta N_f=0 \text{ (4-2 図-3 より)}$$

これらを代入すると、

$$N_a = \sqrt{\frac{98}{52.8}} \times 2 + 0 = 2.7$$

液状化抵抗比 τ_l / σ'_z は(4-2 図-1 より)

$$\tau_l / \sigma'_z = 0.07$$

よって、液状化発生に対する安全率 F_l は(4-2(6)) 式より

$$F_l = 0.07/0.17 = 0.41 < 1$$

したがって、液状化発生の危険度は高い。

(2) 深度 9m の深さにおける検討

$$\sigma_z = 17.6 \times 2.0 + 18.6 \times (9.0 - 2.0) = 165.4 \text{ (kN/m}^2\text{)}$$

$$\sigma'_z = 17.6 \times 2.0 + 8.8 \times (9.0 - 2.0) = 96.8 \text{ (kN/m}^2\text{)}$$

4-2(1) 式より

$$\tau_d / \sigma'_z = 0.65 \times 0.204 \times (165.4 / 96.8) \times (1 - 0.015 \times 9.0) = 0.65 \times 0.204 \times 1.709 \times 0.865 \\ = 0.20$$

$$N = 15$$

$$\Delta N_f = 7(4-2 \text{ 図-2 より})$$

4-2(3) ~ (5) 式より

$$N_a = \sqrt{\frac{98}{96.8}} \times 15 + 7 = 15.1 + 7 = 22.1$$

4-2 図-1 より

$$\tau_l / \sigma'_z = 0.28$$

4-2(6) 式より

$$F_l = 0.28 / 0.20 = 1.40 > 1$$

したがって、液状化発生の危険度は低い。

(3) 液状化の程度と水平地盤での動的水平変位、残留沈下量の検討

(1) および (2) で述べた手順に従って、対象地盤の地下水位以深から深度 20m までの液状化発生の危険度を検討した結果を表-2 に示す。この表により、深度 3~8m の層で液状化の危険性があると判断される。そこで、これらの層の動的水平変位および残留沈下量を求め、液状化の程度を予測する。深度 3~8m の層における動的水平変位を求めるにあたり、深度 4m での計算手順を示す。

表-2 液状化判定結果

* $N_a > 26$ の場合は液状化抵抗比を 0.60 とした。

深度 (m)	N 値	細粒分 F_c (%)	全応力 σ_z (kN/m ²)	有効応力 σ'_z (kN/m ²)	低減 係数 γ_r	換算 N 値 N_c	N 値 増分 ΔN_f	補正 N 値 N_a	液状化 抵抗比 τ_d / σ'_z	繰返しせん断 応力比 τ_v / σ'_z	安全率 F_l
1	8	25	17.6	17.6	0.985						
2	3	25	35.2	35.2	0.970						
3	2	5	59.8	44.0	0.966	3.0	0.0	3.0	0.07	0.16	0.47
4	2	5	72.4	52.8	0.940	2.7	0.0	2.7	0.07	0.17	0.41
5	12	5	91.0	61.6	0.925	15.1	0.0	15.1	0.17	0.18	0.94
6	10	5	109.6	70.4	0.910	11.8	0.0	11.8	0.14	0.19	0.74
7	16	5	128.2	79.2	0.895	16.7	0.0	16.7	0.18	0.19	0.95
8	10	5	146.8	88.0	0.880	10.5	0.0	10.5	0.19	0.19	0.68
9	16	15	165.4	96.8	0.865	15.1	7.0	22.1	0.28	0.20	1.40
10	22	15	184.0	105.6	0.850	21.2	7.0	28.2	0.80	0.20	3.00
11	28	15	202.6	114.4	0.835	21.3	7.0	28.3	0.60	0.20	3.00
12	2	100	217.9	119.9	0.820						
13	2	100	232.0	124.2	0.805						
14	3	100	246.7	129.1	0.790						
15	3	100	261.4	134.0	0.775						
16	18	100	276.1	138.9	0.760						
17	42	0	294.7	147.7	0.745	34.2	0.0	34.2	0.80	0.20	3.00
18	46	0	313.3	156.5	0.730	35.6	0.0	35.6	0.60	0.19	3.16
19	38	0	331.9	165.3	0.715	29.2	0.0	29.2	0.60	0.19	3.16
20	50	0	350.5	174.1	0.700	37.5	0.0	37.5	0.60	0.19	3.16

表-3

深度(m)	$\gamma_{cy}(\%)$, $\varepsilon_v(\%)$
3	8.0
4	8.0
5	1.0
6	2.0
7	1.0
8	3.0

(1) より深度 4m において

$$N_a=2.7$$

$$\tau_d/\sigma'_z=0.17$$

よって、繰返しせん断ひずみ γ_{cy} は、図-1 より

$$\gamma_{cy}=8.0 (\%)$$

同様に体積ひずみ ε_v は図-1 において γ_{cy} を ε_v と読み換えればよいので、

$$\varepsilon_v=8.0 (\%)$$

となる。

深度 3～8m の層における繰返しせん断ひずみ γ_{cy} と体積ひずみ ε_v は表-3 のようになる。

この結果から、振動中の最大水平変位 D_{cy} は、

$$\begin{aligned} D_{cy} &= \sum \gamma_{cy} \times H \quad (H: \text{層厚}) \\ &= 0.08 \times 1.0 + 0.08 \times 1.0 + 0.01 \times 1.0 + 0.02 \times 1.0 + 0.01 \times 1.0 + 0.03 \times 1.0 \\ &= 0.23 \text{ (m)} \\ &= 23 \text{ (cm)} \end{aligned}$$

同様に、残留沈下量 S は

$$S = \sum \varepsilon_v \times H = 23 \text{ (cm)}$$

地下水位以浅は検討を行わないので、上記の D_{cy} および S が、それぞれ地表水平変位、地表沈下量となる。

したがって、液状化の程度は表-1 より、「大」となる。

4-4 宅地の平均地盤沈下と住宅の傾斜角の関係

(出典: Kohji TOKIMATSU, Kota KATSUMATA: LIQUEFACTION-INDUCED DAMAGE TO BUILDINGS IN URAYASU CITY DURING THE 2011 TOHOKU PACIFIC EARTHQUAKE, Proceedings of the International Symposium on Engineering Lessons Learned from the 2011 Great East Japan Earthquake,) March 1-4, 2012, Tokyo, Japan

時松の浦安市の液状化被害を分析した論文によると、図-1は、宅地の平均地盤沈下を基準とした住宅の傾斜角の分布を示しており、宅地の平均地盤沈下の増加とともに、住宅の傾斜角が大きくなる傾向がある。

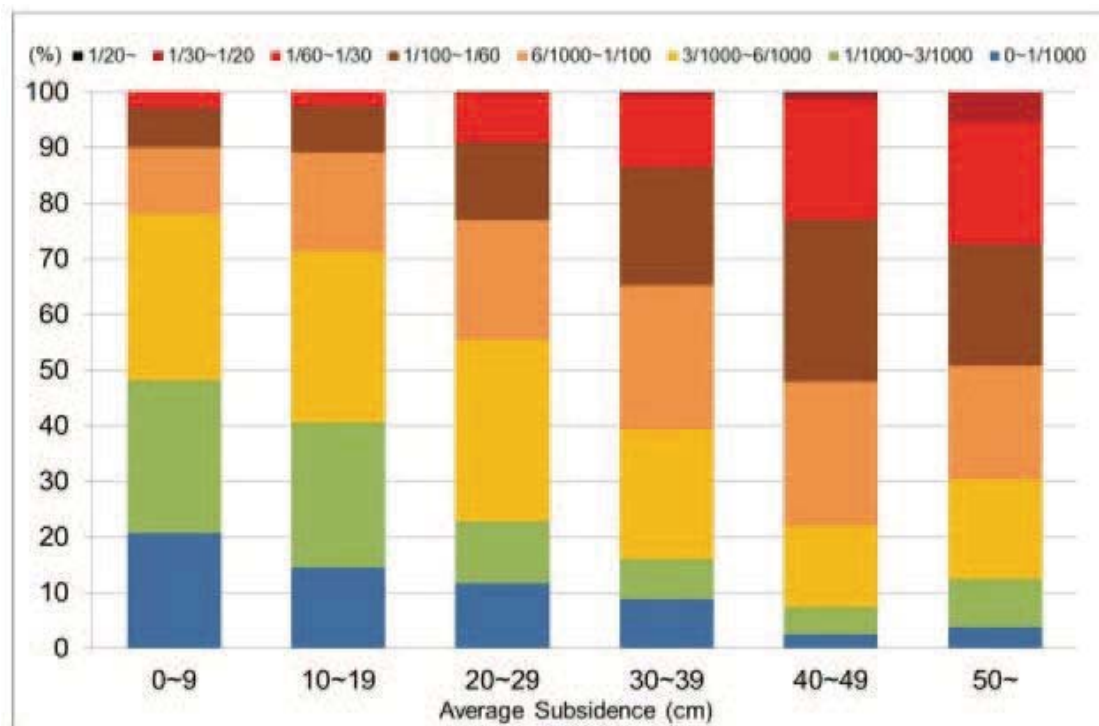


図-1 宅地の平均地盤沈下と住宅の傾斜角の関係¹¹⁾

4-5 建物の傾きによる健康障害

(出典：国土交通省都市局：平成 24 年度 市街地整備課関係予算概要（Ⅱ．東日本大震災からの復興等の推進），2012． <http://www.mlit.go.jp/crd/city/sigaiti/information/budget/budget/images/h24zentai.pdf>）

液状化による地盤沈下などで住宅が傾くと、戸の開け閉めの不具合、隙間風の発生、傾斜によるものの転がりといった障害だけでなく、めまいや吐き気などの健康障害が生じることがあります。建物の傾きと健康障害について、これまでに報告された学術研究をいくつか紹介します。ここで、健康障害には個人差があることに注意してください。

なお、床の傾きだけでなく、柱や壁の傾き、窓や窓の外に見える景色の傾きなどの視覚的刺激からも生理的・精神的影響があります。また、長期間居住することで感覚の麻痺が生じ、自覚症状が消えることがあります。

以下に紹介する文献について、床の傾斜角と健康障害の対応をまとめると、次の表のようになります。

表-1 床の傾斜角と健康障害

傾斜角		健康障害	文献
度	分数（ラジアン）		
0.29°	5/1000 (=1/200)	傾斜を感じる。	藤井ほか（1998）
0.34°	6/1000 (=1/167)	不同沈下を意識する。	藤井ほか（1998）
0.46°	8/1000(=1/125)	傾斜に対して強い意識、苦情の多発。	藤井ほか（1998）
0.6° 程度	1/100 程度	めまいや頭痛が生じて水平復元工事を行わざるを得ない。	安田・橋本（2002） 安田（2004）
～1°	～1/60	頭重感、浮動感を訴える人がある。	北原・宇野（1965）
1.3°	1/44	牽引感、ふらふら感、浮動感などの自覚症状が見られる。	宇野・遠藤（1996）
1.7°	1/34	半数の人に牽引感。	宇野・遠藤（1996）
2° ～3°	1/30～1/20	めまい、頭痛、はきけ、食欲不振などの比較的重い症状。	北原・宇野（1965）
4° ～6°	1/15～1/10	強い牽引感、疲労感、睡眠障害が現れ、正常な環境でもものが傾いて見えるこ	北原・宇野（1965）
7° ～9°	1/8～1/6	牽引感、めまい、吐き気、頭痛、疲労感が強くなり、半数以上で睡眠障害。	北原・宇野（1965）



日本建築学会：建築士のためのテキスト小規模建築物を対象とした地盤・基礎,p.31,2003 より引用・修正

床の傾斜角と健康障害に関する文献

以下、床の傾斜角と健康障害に関する文献を紹介します。

北原正章・宇野良二：傾斜室における眩暈と平衡—新潟地震による傾斜ビルの調査研究—, 耳鼻咽喉科臨床, 耳鼻咽喉科臨床学会, Vol.58, No.3, pp.145-151, 1965.3

1964年6月16日に発生した新潟地震で傾斜した建物に居住や勤務する人を対象に、同年11月に面接調査を行った結果を報告しています。

床の傾斜が1°以下では、1日中傾斜室内に生活しているもの6名中2名が頭重感、浮動感を訴えています。2°～3°では、めまい、頭痛、はきけ、食欲不振などの比較的重い症状が現れます。4°～6°では、一方へ強く引かれる感じ（牽引感）が主体的となり、疲労感、睡眠障害が現れ、正常な環境でものが傾いて見えることがあります。7°～9°では牽引感、めまい、吐き気、頭痛、疲労感が強くなり、半数以上で睡眠障害があります。

居住者の経験から出た対策として、時々外出、床の水平化工事が挙げられています。ベッドだけでも水平にすると寝つきがよく体が疲れないと回答した人があったことが報告されています。

また、めまいが発生する原因を以下のように考察しています。人間には頭を鉛直に保とうとする反射（立ち直り反射）があります。建物が傾いていると、まず重力による感覚から頭を鉛直に保とうとします。しかし、同時に視覚からの情報で床に垂直な方向に頭部を保とうとします。この筋肉の緊張に現れる2つの反射の葛藤がめまいや牽引感の原因として考えられると指摘しています。

宇野英隆・遠藤佳宏：人の平衡感覚に関する研究：傾いた床での生活の限界, 日本建築学会計画系論文集, No. 490, pp. 119-125, 1996.12

ジャッキで床を傾けることができる装置を使った被験者実験と、1964年新潟地震で傾いたある会社の女子寮に入居する女性42名に対し1981年10月に面接調査を行った結果について報告しています。面接調査の結果、床の傾斜角度と自覚症状について、以下の表・図のような関係が見られました。1.3°で牽引感、ふらふら感、浮動感などの自覚症状が見られ、1.7°で半数の人に牽引感が現れます。

表-2 床の傾斜角度と自覚症状

斜角度 (度)	牽引 感	ふら ふら 感	浮動 感	不眠	疲労 感	回転 感	頭 痛	めまい	腰痛	計	実対象者 数計 (人)
1.3	6	5	2	0	1	1	0	0	0	15	8
1.4	8	4	1	2	0	0	0	0	0	15	9
1.6	4	3	1	1	0	0	1	0	0	10	4
2	9	2	2	3	1	0	0	0	2	19	9
2.2	5	2	1	1	1	2	2	1	0	15	5
2.3	6	5	4	2	0	0	0	2	0	19	7
計 (人)	38	21	11	9	3	3	3	3	2	93	42

注：複数回答である

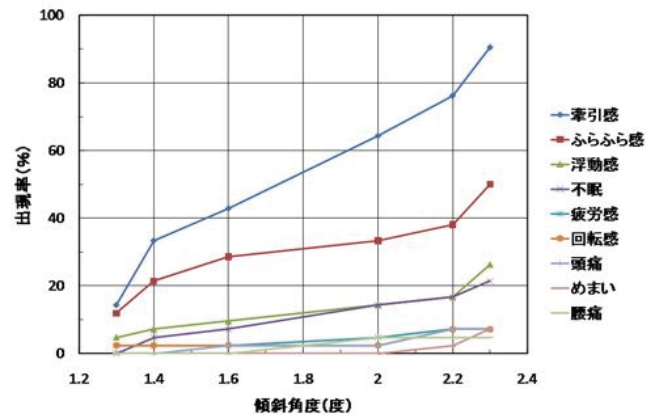


図-1 床の傾斜角度と自覚症状

実験結果については、長時間の滞在時の測定結果ではなかったため、ここでは割愛いたします。
 藤井衛・伊集院博・田村昌仁・伊奈潔：兵庫県南部地震の液状化地帯における戸建住宅の基礎の被害と修復—戸建住宅の基礎の修復に対する考え方—，土と基礎，地盤工学会，Vol. 46, No. 7, pp. 9-12, 1998.7

阪神・淡路大震災で液状化被害が発生した芦屋市の住宅約 100 棟を調査した結果を報告しています。この調査結果に加え、これまでの文献や、下水道の掘削工事によって被害を受けた住宅に対し著者らがアンケート調査した結果も踏まえ、傾斜角と機能上の障害について以下の表のようにまとめています。

表-3 床の傾斜角と機能上の障害

傾斜角 (rad)	傾斜角 (度に換算)	居住者の感覚
5/1000	0.29	傾斜を感じる。
6/1000	0.34	不同沈下を意識する。
8/1000	0.46	傾斜に対して強い意識、苦情の多発。

安田進・橋本隆雄：鳥取県西部地震における住宅の液状化による沈下について，土木学会第 57 回 年次学術講演会，pp. 1029-1030, 2002.9

安田進：鳥取県西部地震による団地の被害，総合論文誌，日本建築学会，No. 2, pp. 45-46, 2004.2

2000 年鳥取県西部地震で液状化被害が発生した米子市安倍彦名団地の調査結果を報告しています。安倍彦名団地では、169 棟の戸建て建物の傾きは以下ようになっていました。

- 傾き 5/1000 以下 (0.29° 以下) または未測定：53 棟
- 傾き 5/1000～10/1000 (0.29° ～0.57°)：39 棟
- 傾き 10/1000～15/1000 (0.57° ～0.86°)：30 棟
- 傾き 15/1000 以上 (0.86° 以上)：47 棟

合計すると、116 棟が 5/1000 以上（0.29° 以上）傾斜しました。

水平化工事を行ったか否かの境は、傾斜角が 5/1000～15/1000（0.29° ～0.86° ）の範囲でした。床が 10/1000 程度以上（0.6° 程度以上）傾斜するとめまいや頭痛が生じて水平復元工事を行わざるを得なかったと推定しています。

建物の傾斜は、地盤の液状化だけでなく、軟弱地盤にみられる圧密沈下（ゆっくりと時間をかけて沈下する現象）、近隣の掘削工事や重量物の設置でも生じます。頭痛などの自覚症状があり、調べてみると建物が傾斜していたといった事例もありますので、ご注意ください。

東日本大震災の液状化被害等の実態を踏まえ、災害による住家被害認定が一部見直しされました。基礎と柱が一体的に傾いたときの判定は以下のように追加されています。

表-4 基礎と柱が一体的に傾く不同沈下の場合の判定

四隅の柱の 傾斜の平均	判定	運用	備 考
1/100 以上、 1/60 未満	半壊	新規	1/100：医療関係者等にヒアリングを行い設定した居住者が苦痛を感じるとされている値
1/60 以上、1/20 未満	大規模 半壊	新規	1/60：従来から基準値として使われている構造上の支障が生じる値
1/20 以上	全壊	従来 通り	

参考文献 内閣府：防災情報のページ 災害に係る住家の被害認定（2011 年 6 月 17 日閲覧）

4-6 液状化による家屋被害と健康障害の関係

液状化による家屋被害は、家屋の倒壊にまで至ることがほとんどないため、一見居住者の身体への影響がないと考えられがちだが、実際には、家屋の傾きがめまい、頭痛、不眠といった健康被害をもたらす場合が少なくない。下記の東日本大震災後の浦安市における調査によれば、傾き 1/100 以上の被害となった家屋においては、約 6 割の住戸で体調不良になった居住者があった。

表-1 液状化による家屋被害と健康障害の関係

						(単位:戸)
		半壊以上の被害(傾き1/100以上)				
			大規模半壊	半壊	一部損壊	軽微
体調不良になった 家族がいる		70	49	21	31	2
		(58%)	(64%)	(47%)	(22%)	(22%)
	めまい	23	19	4	4	0
	頭痛	62	45	17	18	2
	不眠	37	27	10	13	1
	吐き気	17	15	2	4	0
	その他	27	20	7	9	0
精神不安定になった 家族がいる		66	46	20	57	3
		(55%)	(61%)	(44%)	(40%)	(33%)
回答戸数		121	76	45	144	9

(資料) 明海大学齊藤広子教授調べ。

表-2 罹災証明における住家被害認定の基準(地盤液状化)

	傾斜	潜り込み量
全壊	1/20以上	床上1mまで
大規模半壊	1/60以上1/20未満	床まで
半壊	1/100以上1/60未満	基礎の天端下25cmまで

4-7 地盤に係る住宅被害認定の運用見直しについて

(出典：内閣府 http://www.bousai.go.jp/hou/pdf/jiban_unyou.pdf)

【見直しの主なポイント】

1. 傾斜による判定の追加(基礎と柱が一体的に傾く(不同沈下)の場合)

基礎・床も含めた傾斜の場合は以下により判定

$1/20 \leq$ 四隅の傾斜の平均 $\Rightarrow$ 全壊(従来通り)

$1/60 \leq$ 四隅の傾斜の平均 $< 1/20 \Rightarrow$ 大規模半壊(新規)

$1/100 \leq$ 四隅の傾斜の平均 $< 1/60 \Rightarrow$ 半壊(新規)

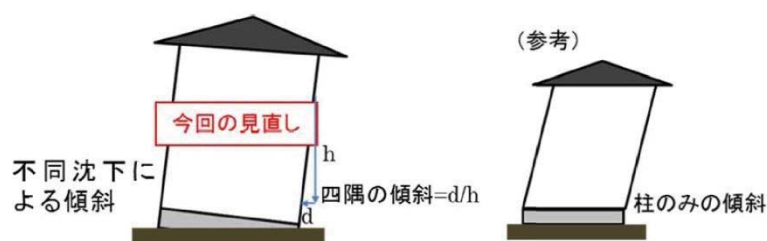


図-1 住宅の傾斜による判定

※ $1/20$ の傾きとは:20cmの垂直高さに対して1cmの水平方向のずれ。(分母が大きいほど傾きは小さい)

※ $1/60$:従来から基準値として使われている構造上の支障が生じる値

※ $1/100$:医療関係者等にヒアリングを行い設定した居住者が苦痛を感じるとされている値

2. 住家の基礎等の潜り込みによる判定の追加

住家の基礎等の地盤面下への潜り込み状況により判定

潜り込み量	被害の程度
床上1mまで	全壊
床まで	大規模半壊
基礎の天端下25cmまで	半壊



図-2 住宅の基礎等の潜り込みによる判定

※床上1mまで:雨が降ると恒常的に床上1mまで浸水することから設定

※床まで:雨が降ると恒常的に床上浸水することから設定

※基礎の天端下25cmまで:雨が降ると恒常的に床下浸水することから設定

4-8 建物被害と液状化可能性の関係（液状化被害地区における実態調査）

（出典：橋本 隆雄・宗川 清・明石 達生・大橋 征幹：東北地方太平洋沖地震における宅地の液状化被害可能性の簡易判定手法の検証、土木学会第 33 回地震工学研究発表会講演論文集, 2013. 10.）

1. 検討地区

「宅地の液状化被害可能性判定計算シート（国総研）」の入力に必要な、ボーリング調査と室内土質試験のデータについては、東日本大震災の液状化により戸建て住宅に被害のあった5地区（図-1）の中から、地震前にボーリング調査が行われていて、かつ罹災証明の調査により直上の建物被害程度の明確な場所を選定した。ただし、地震前のボーリング調査で室内土質試験値があるものは非常に少なく、この場合は、地震後に実施した室内土質試験値を用いた。

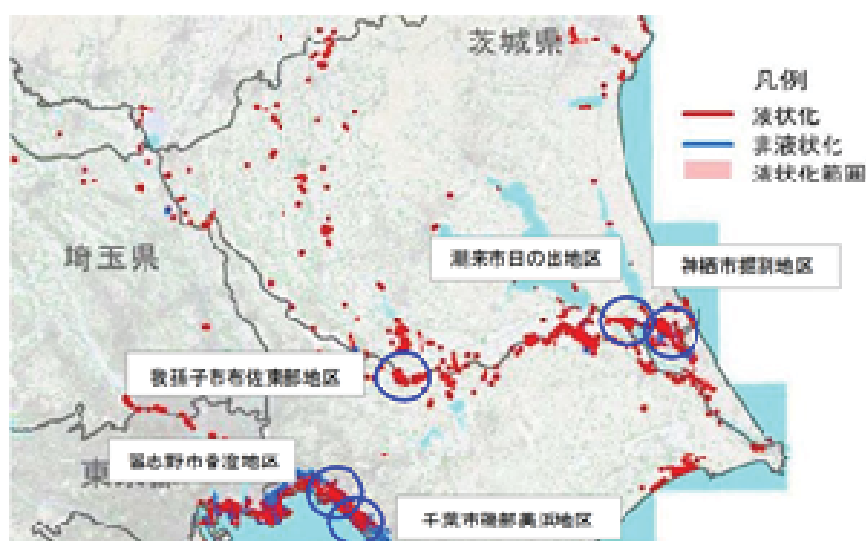


図-1 検討地区の選定箇所

2. 建物被害データ

各地区ともボーリングデータの直上の建物被害の罹災証明を入手し、被害程度（全壊・大規模半壊・半壊・一部損壊・被害なし）を分類することができたものをサンプルとして抽出した。このうち潮来市日の出地区については、地震前のボーリングデータが一部損壊・被害なしの場所にしかなかったため除いた。最終的なサンプル数は、全地区合計で48箇所である。

罹災証明は、表-1に示すように内閣府の東日本大震災の液状化被害に対応して発せられた「地盤に係る住家被害認定の調査・判定方法」（平成25年5月2日）と「災害に係る住家の被害認定基準運用指針」（平成25年6月）の改定基準が地震直後に出され、その基準に沿って調査したものである。

表-1 基礎と柱が一体的に傾く不同沈下の場合の判定

判定	四隅の柱の傾斜の平均	潜り込み量
半壊	1/100 以上, 1/60 未満	基礎の天端下 25cm まで
大規模半壊	1/60 以上, 1/20 未満	床まで
全壊	1/20 以上	床上 1m まで

3. 液状化判定対象層

判定対象層は、「宅地の液状化被害可能性判定に係る技術指針」に準じて地表面から20m程度以浅の沖積層、埋立層、盛土層とし、細粒分含有率35%以下の層及び35%を越える層でも粘土分含有率が10%以下または塑性指数15以下の層とした。想定する地盤面は、判定対象宅地の地表面標高とするが、盛土工事等によってボーリング調査時の地表面標高と判定対象宅地の地盤面標高が異なる場合には、ボーリング調査時の各層の液状化強度比をそのまま用いた。

4. 計算条件

想定地震動（表-2）は、M9.0とし、地表面最大加速度は、各地区の観測値を用いた。

指針では、400～500年経過した沖積層には、 F 値に補正係数1.4を乗じた「年代効果」の設定が認められているが、今回は「年代効果」の有り無しで計算し結果を比較した。

表-2 想定する地震動

宅地被害地区	地震前のボーリング箇所	加速度 (gal)					マグニチュード (M) 注2)
		出典	3成分	NS方向	EW方向	適用注1)	
神栖市掘割地区	10	kik-net神栖市溝口 (余震) 注3)	337.9	328.2	270.0	340	M9.0 (M7.6)
我孫子市布佐東部地区	23	電力中央研究所(我孫子)	—	203.9	199.8	200	M9.0
千葉市磯辺美浜地区	11	気象庁美浜区真砂 (本震)	276.5	190.8	207.9	200	M9.0
習志野市香澄地区	4	気象庁習志野市鷺沼 (本震)	245.7	226.4	202.5	200	M9.0

注1)：各液状化検討委員会で決定された検討箇所近傍の地表面における地震観測記録を適用した。

注2)：kik-net神栖市溝口 (余震) のマグニチュード (M) は7.6であるが、神栖市液状化検討委員会で決定された長時間地震動であることからM9.0を適用した。

注3)：電力中央研究所(我孫子)における観測波形を用いて、布佐東部地区の代表的な地盤構成に対して一次元地震応答解析 (SHAKE) を実施した結果である。

5. 指針の判定基準

指針の判定図や数値は、表-3 及び図-2～3に示す通りである。

表-3 判定図の数値表

判定結果	H_L の範囲	D_{cy} の範囲	P_L 値の範囲	液状化被害の可能性
C	3m 以下	5cm 以上	5 以上	顕著な被害の可能性が高い
B3		5cm 未満	5 未満	顕著な被害の可能性が比較的低い
B2	3mを超え、5m以下	5cm 以上	5 以上	
B1		5cm 未満	5 未満	
A	5m を超える	—	—	顕著な被害の可能性が低い

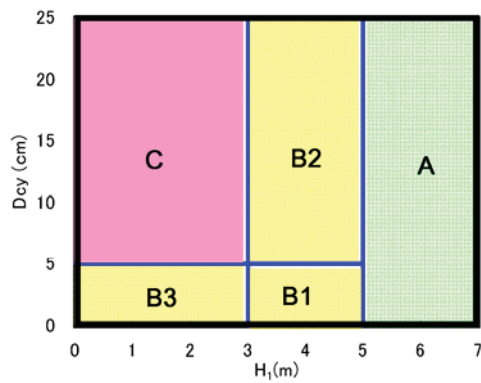


図-2 指針の H_1 -Dcy 判定図

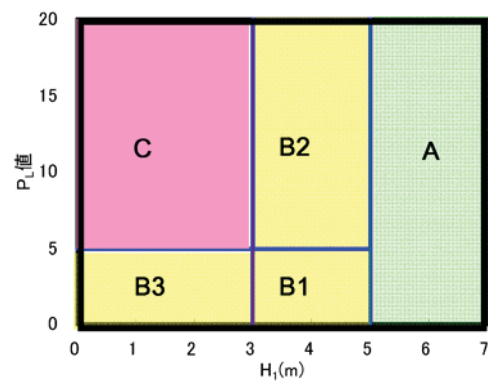


図-3 指針の H_1 - P_L 判定図

6. 計算結果

計算シートを用いて、指針の建築基礎構造設計指針に基づく計算法（建築 H_1 -Dcy 法、建築 H_1 - P_L 法）に準じて地表面変位量（Dcy）、液状化指標値（ P_L 値）を求め、判定図にプロットした結果を以下に示す。指針の判定図や数値は、表-3 及び図-2～3 に示す通りである。

<年代効果を考慮しない>

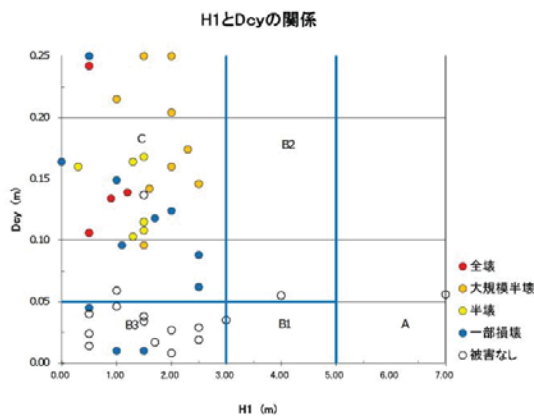


図-4 建築 H_1 -Dcy 法

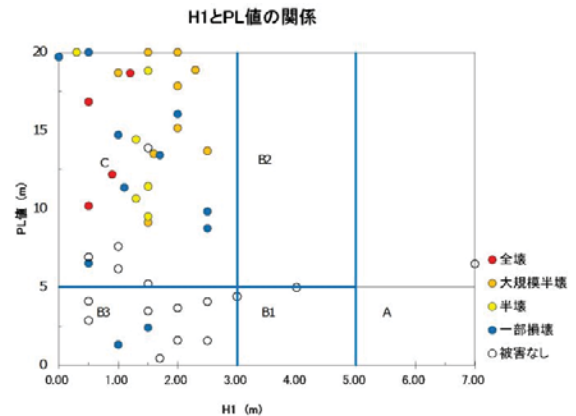


図-5 建築 H_1 - P_L 法

<年代効果を考慮する>

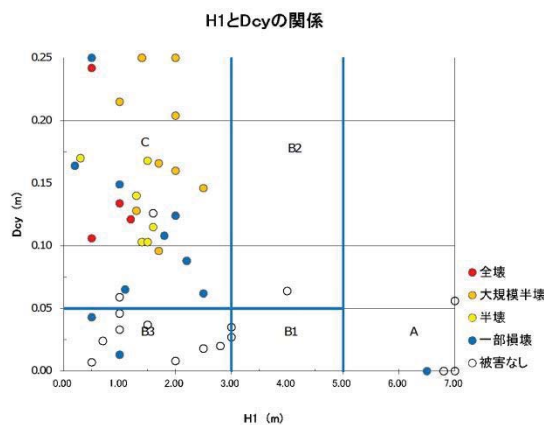


図-6 建築 H_1 -Dcy 法

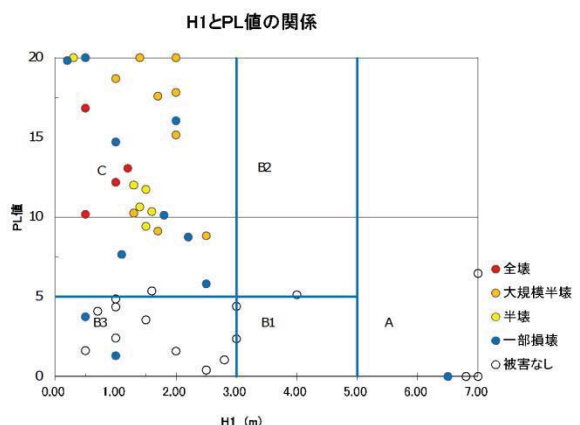


図-7 建築 H_1 - P_L 法

図-4 の建築 H_1 - D_{cy} 法「年代効果なし」による判定の結果を見ると、被害が大きい地点は「顕著な液状化の可能性が高い」と判定されており、被害の程度と D_{cy} 値が相対的に整合していると見てとれるが、「被害なし」の点も一部含まれている。また、図-5 の建築 H_1 - P_L 法「年代効果なし」による判定でも、被害が大きい地点は、「顕著な液状化の可能性が高い」と判定されており被害の程度と P_L 値が相対的に整合している傾向が見てとれるが、「被害なし」の点が一部含まれている。

図-6～7 では、指針に従い 400 年以上経過した沖積層については、建築基礎構造設計指針の液状化強度比の値を 1.4 倍した「年代効果あり」で F_L 値を算出した。「年代効果」を考慮することで、「顕著な液状化の可能性が高い」のエリアに含まれていた「被害なし」の点に改善が見られた。

なお、指針では M7.5, 200gal の中地震を対象に考えられているのに対して、今回の計算ではそれよりも大きな M9.0 のデータを用いている点が異なるので注意が必要である。

(7) まとめ

液状化強度に対する地盤生成年代の影響「年代効果」を与えない場合でも、被害が大きい地点の取りこぼしはなかった。また、「年代効果」を考慮することにより結果に改善が見られ、東日本大震災の宅地の液状化被害分布が概ね指針と一致する結果となることが確認された。これにより、建築 H_1 - D_{cy} 法、建築 H_1 - P_L 法のどちらの方法も ABC の 3 つのゾーンで区分される液状化被害の可能性を概ね評価できることが確認された。

なお、今回のガイダンスにおいて、公共施設・宅地一体型液状化対策の目標値に限り図-2～3に示した「B1ランク」の範囲をAランクと同等に「顕著な被害の可能性が低い」として取り扱っており、今回の事例においても「B1ランク」の範囲は被害なしとなっている。

5-1 地域で取り組む地盤の液状化対策のための地下水位低下の効果・影響簡易計算シート

(出典：国土交通省 都市局国土技術政策総合研究所

<http://www.nilim.go.jp/lab/jbg/takuti/takuti.html> よりダウンロード可能)

(1) 地盤条件の入力

調査地点ID

メモ等

初期地下水位

低下後地下水位

〇〇地区

メモ等

1

3

m

m

条件

地震

地表加速度 (gal)

(マグニチュード)

1.0

200

9.0

2.0

350

7.5

3.0

160

9.0

メルクマールの地震規模が規定値で入力されています。

地表加速度と震源のマグニチュードを任意に入力します。

〇で示された範囲が液状化判定を行う対象層です。液状化判定を行う対象は、地下水位以下で、かつ細粒分含有率が50%以下である層です。
青色で塗られた層は地下水位以下であることを示しています。
(なお、一般的には細粒分含有率が35%を超える層と液状化は起こりにくいとされています。)

調査地点IDやメモ等を入力します。
他のシートにも自動的に連動します。
初期地下水位と、低下させる地下水位を地表面からの深さで入力します。
地下水位低下を行わない場合には、初期地下水位と同じ値を、低下後地下水位として入力します。
地下水位の低下量を算出させ、液状化抑制効果と圧密沈下の影響の双方を検討することができます。

深度(地表面からの深さ)0.5m毎に、土質と試験結果(細粒分含有率、N値、単位体積重量)を入力します。
土質は、ドロップダウンリストから入力します。

土質を入力すると、デフォルト値として飽和度100%が入力されます。飽和度を100%以下にすると、地盤内空気混入率の列に「有」が表示され、液状化安全率の計算において、空気混入化処理に伴う補正を行います。

礫質土に関しては、砂礫50%粒径を入力することで、N値を補正します。礫質土の場合についてのみご利用ください。
(理論シート参照)

地盤状態入力シート

項目名

〇〇地区

メモ等

初期地下水位

低下後地下水位

1

3

m

m

条件

地震

地表加速度 (gal)

(マグニチュード)

1.0

200

9.0

2.0

350

7.5

3.0

160

9.0

メルクマールの地震規模が規定値で入力されています。

地表加速度と震源のマグニチュードを任意に入力します。

〇で示された範囲が液状化判定を行う対象層です。液状化判定を行う対象は、地下水位以下で、かつ細粒分含有率が50%以下である層です。
青色で塗られた層は地下水位以下であることを示しています。
(なお、一般的には細粒分含有率が35%を超える層と液状化は起こりにくいとされています。)

調査地点IDやメモ等を入力します。
他のシートにも自動的に連動します。
初期地下水位と、低下させる地下水位を地表面からの深さで入力します。
地下水位低下を行わない場合には、初期地下水位と同じ値を、低下後地下水位として入力します。
地下水位の低下量を算出させ、液状化抑制効果と圧密沈下の影響の双方を検討することができます。

深度(地表面からの深さ)0.5m毎に、土質と試験結果(細粒分含有率、N値、単位体積重量)を入力します。
土質は、ドロップダウンリストから入力します。

土質を入力すると、デフォルト値として飽和度100%が入力されます。飽和度を100%以下にすると、地盤内空気混入率の列に「有」が表示され、液状化安全率の計算において、空気混入化処理に伴う補正を行います。

礫質土に関しては、砂礫50%粒径を入力することで、N値を補正します。礫質土の場合についてのみご利用ください。
(理論シート参照)

深度 (m)	土質	細粒分含有率 FC (%)	N値	単位体積重量 (kN/m ³)	飽和度 (%)	砂礫 50%粒径 D50 (mm)	地盤内 空気 混入化
0.5	表土	66.0	2	15.68	100		
1.0	表土	66.0	2	15.68	100		
1.5	砂質土	21.0	4	15.68	100		
2.0	砂質土	21.0	5	15.68	100		
2.5	砂質土	21.0	5	15.97	100		
3.0	砂質土	21.0	5	15.97	100		
3.5	砂質土	21.0	5	15.97	95		
4.0	砂質土	21.0	5	15.97	95		
4.5	砂質土	21.0	6	15.97	100		
5.0	砂質土	21.0	6	15.97	100		
5.5	砂質土	21.0	6	15.97	100		
6.0	砂質土	21.0	6	15.97	100		
6.5	砂質土	21.0	7	16.37	100		
7.0	砂質土	21.0	7	16.37	100		
7.5	砂質土	21.0	7	16.37	100		
8.0	砂質土	21.0	7	16.37	100		
8.5	砂質土	21.0	7	16.37	100		
9.0	砂質土	21.0	7	16.37	100		
9.5	粘性土	45.0	2	16.76	100		
10.0	粘性土	45.0	2	16.76	100		
10.5	粘性土	45.0	2	16.76	100		
11.0	粘性土	45.0	2	16.76	100		
11.5	砂質土	6.0	22	16.46	100		
12.0	砂質土	6.0	22	16.46	100		
12.5	砂質土	6.0	22	16.46	100		
13.0	砂質土	6.0	22	16.46	100		
13.5	砂質土	6.0	22	16.46	100		
14.0	砂質土	6.0	22	16.46	100		
14.5	砂質土	6.0	43	16.86	100		
15.0	砂質土	6.0	43	16.86	100		
15.5	砂質土	6.0	43	16.86	100		
16.0	砂質土	6.0	43	16.86	100		
16.5	砂質土	6.0	43	16.86	100		
17.0	砂質土	6.0	43	16.86	100		
17.5							
18.0							
18.5							
19.0							
19.5							
20.0							

(2) 圧密沈下量の入力

圧密沈下量入力・計算シート

調査地点ID		〇〇地区	
項目名	メモ等		
初期地下水位	1	m	
低下後地下水位	3	m	
地下水低下量	1	m	

圧密沈下量	
e-logp法	3
Cc法	8

この色のセルに入力します。

深度 (m)	土質	層厚 (m)	単位体積 重量 (kN/m ³)	初期 間隙比 e ₀	圧縮係数 Cc	e-logp曲線 番号	地下水位 低下前の 有効応力 σ'z (kPa)	地下水位 低下後の 有効応力 σ'z (kPa)	Cc法による 圧密沈下量 (cm)	e-logp法 による 圧密沈下量 (cm)
2.0	表土	2.0	16.0	0.7	0.00		16.00	16.00	0.00	0.00
4.0	砂質土	2.0	16.3	1.7	0.00		28.70	48.30	0.00	0.00
6.0	砂質土	2.0	16.3	1.1	0.00		41.70	61.30	0.00	0.00
9.0	粘性土	3.0	16.7	1.1	0.46	1	58.55	78.15	8.40	3.21
11.0	砂質土	2.0	17.1	0.9	0.00		76.20	95.80	0.00	0.00
14.0	砂質土	3.0	16.8	1.5	0.00		94.00	113.60	0.00	0.00
17.0	砂質土	3.0	17.2	0.9	0.00		115.60	135.20	0.00	0.00
32.0	砂質土	15.0	17.6	1.0	0.00		185.20	204.80	0.00	0.00
47.0	礫質土	15.0	17.6	1.0	0.00		302.20	321.80	0.00	0.00

Cc法で地下水位低下に伴う圧密沈下量を計算するために、初期間隙比と圧縮係数を入力します。
e-logp法で圧密沈下量を計算するためには、右の表にe-logp曲線を入力したのち、対応する曲線番号を入力します。
圧密沈下量の計算は、粘性土に対して行います。

深度(地表面からの深さ)と、土質を入力します。
土質は、ドロップダウンリストから入力します。層厚は計算されます。
圧密沈下は、基盤層より上部であれば相当深い層でも起こります。必ず十分な深さまで入力可能な地盤調査データを用いてください。

二つの方法で計算された圧密沈下量を表示します。
Cc法は、圧密試験を行っていない場合に用いる簡易な計算法で、地下水位の低下量が小さい場合には、圧密沈下量が過大になる傾向があります(参考図参照)。

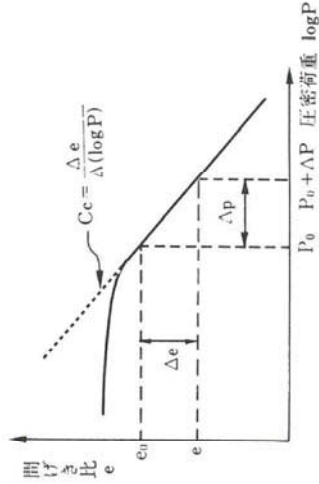
e-logp曲線入力										
番号	1		2		3		4		5	
	p(kN/m ²)	e	p(kN/m ²)	e	p(kN/m ²)	e	p(kN/m ²)	e	p(kN/m ²)	e
1	0	1.528	0	1.528						
2	9.8	1.513	19.61	1.494						
3	19.61	1.494	39.22	1.46						
4	39.22	1.46	74.43	1.408						
5	74.43	1.408	156.9	1.309						
6	156.9	1.309	313.7	1.171						
7	313.7	1.171	627.5	1.038						
8	627.5	1.038	1255	0.907						
9	1255	0.907								
10	9.8	0.987								

土質試験により得られたe-logp曲線を折線で入力します。5種類の曲線まで入力可能です。曲線の番号は、左表の「elogp曲線番号」に対応しています。

p: 圧縮応力 (kN/m²)
e: 間隙比

土質試験により得られたe-logp曲線を折線で入力します。5種類の曲線まで入力可能です。曲線の番号は、左表の「e-logp曲線番号」に対応しています。

e-logp曲線は、一般にある大きな荷重p_cで折れ曲がり点を越えた過圧密領域の直線部分の傾きを圧縮指数Ccと呼びます。このため、勾配の傾きが大きい場合、増加荷重(ΔP)が少なくても圧密沈下量が過大となります。



参考図 e-logp曲線と圧縮係数

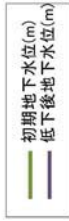
(3) プレゼンテーションシート

プレゼンテーションシート

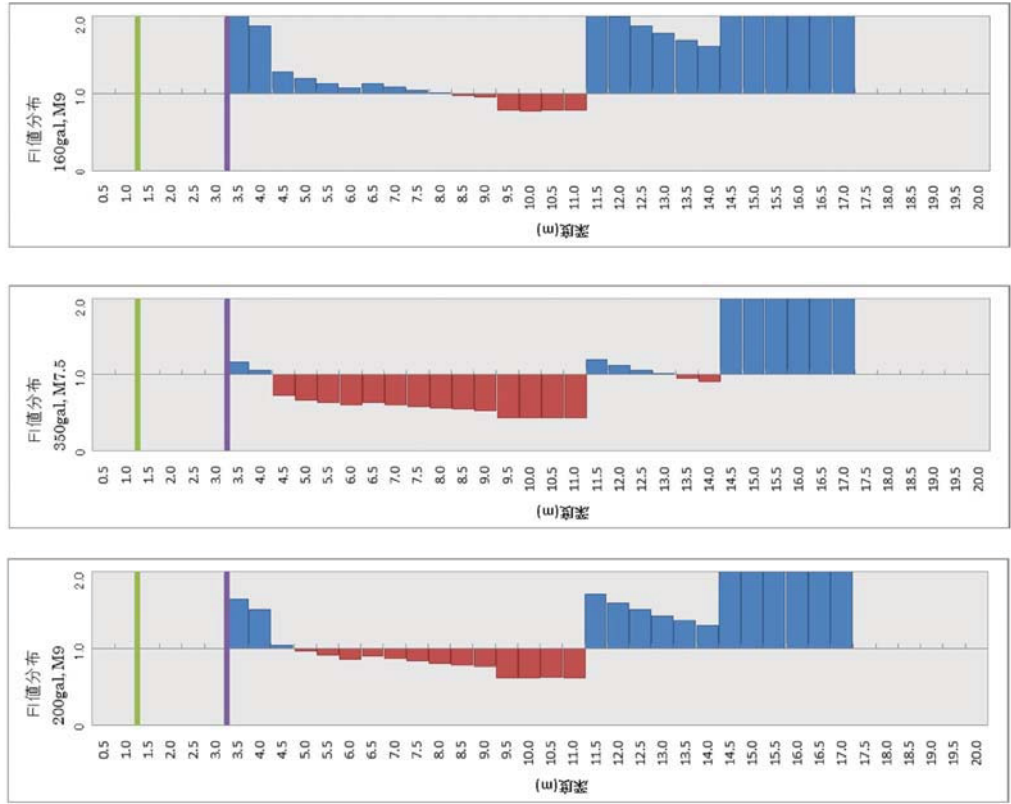
調査地点ID		〇〇地区	
項目名	メモ等		
初期地下水位	1	m	
低下後地下水位	3	m	

液状化による沈下量			
200gal, M9	8	cm	
350gal, M7.5	13	cm	
160gal, M9	4	cm	

圧密沈下量	
e-logp法	3 cm
Cc法	8 cm



深度 (m)	土質	細粒分 含有率 FG(%)	N値	飽和度 (m/s)	地盤内 空孔流入化 情報	200gal, M9 液状化 安全率 F値	350gal, M7.5 液状化 安全率 F値	160gal, M9 液状化 安全率 F値	液状化 判定 (赤)
0.5	表土	66.0	2	100					
1.0	表土	66.0	2	100					
1.5	砂質土	21.0	4	100					
2.0	砂質土	21.0	5	100					
2.5	砂質土	21.0	5	100					
3.0	砂質土	21.0	5	100					
3.5	砂質土	21.0	5	95	有	1.65	1.16	2以上	
4.0	砂質土	21.0	5	95	有	1.50	1.06	1.88	
4.5	砂質土	21.0	6	100		1.03	0.73	1.29	×
5.0	砂質土	21.0	6	100		0.96	0.68	1.20	×
5.5	砂質土	21.0	6	100		0.90	0.64	1.13	×
6.0	砂質土	21.0	6	100		0.86	0.60	1.07	×
6.5	砂質土	21.0	7	100		0.90	0.64	1.13	×
7.0	砂質土	21.0	7	100		0.86	0.64	1.13	×
7.5	砂質土	21.0	7	100		0.86	0.64	1.13	×
8.0	砂質土	21.0	7	100		0.86	0.64	1.13	×
8.5	砂質土	21.0	7	100		0.86	0.64	1.13	×
9.0	砂質土	21.0	7	100		0.86	0.64	1.13	×
9.5	粘性土	45.0	2	100		0.62	0.44	0.78	×
10.0	粘性土	45.0	2	100		0.62	0.43	0.77	×
10.5	粘性土	45.0	2	100		0.63	0.44	0.79	×
11.0	粘性土	45.0	2	100		0.62	0.44	0.78	×
11.5	砂質土	6.0	22	100		1.71	1.20	2以上	
12.0	砂質土	6.0	22	100		1.60	1.12	2.00	
12.5	砂質土	6.0	22	100		1.50	1.06	1.88	
13.0	砂質土	6.0	22	100		1.42	1.00	1.78	
13.5	砂質土	6.0	22	100		1.35	0.95	1.69	×
14.0	砂質土	6.0	22	100		1.30	0.91	1.62	×
14.5	砂質土	6.0	43	100		2以上	2以上	2以上	
15.0	砂質土	6.0	43	100		2以上	2以上	2以上	
15.5	砂質土	6.0	43	100		2以上	2以上	2以上	
16.0	砂質土	6.0	43	100		2以上	2以上	2以上	
16.5	砂質土	6.0	43	100		2以上	2以上	2以上	
17.0	砂質土	6.0	43	100		2以上	2以上	2以上	
17.5									
18.0									
18.5									
19.0									
19.5									
20.0									



入力データと、これに基づいて行った計算結果を表とグラフで示します。入力項目はありません。

(4) 液状化抑制効果計算シート

液状化抑制効果計算シート

調査地点ID		〇〇地区		条件		地表面加速度 (gal)		震源 (マシナート)		補正係数 γ _n		地表面変位量 D ₀ (cm)		地表面変位量 D ₀ (cm)		地表面変位量 D ₀ (cm)	
項目名		マモ等		1		2		3		4		5		6		7	
初期地下水位		1		2		3		4		5		6		7		8	
低下後地下水位		3		4		5		6		7		8		9		10	
低下後地下水位		3		4		5		6		7		8		9		10	
低下後地下水位		3		4		5		6		7		8		9		10	
低下後地下水位		3		4		5		6		7		8		9		10	
低下後地下水位		3		4		5		6		7		8		9		10	
低下後地下水位		3		4		5		6		7		8		9		10	
低下後地下水位		3		4		5		6		7		8		9		10	
低下後地下水位		3		4		5		6		7		8		9		10	
低下後地下水位		3		4		5		6		7		8		9		10	
低下後地下水位		3		4		5		6		7		8		9		10	
低下後地下水位		3		4		5		6		7		8		9		10	
低下後地下水位		3		4		5		6		7		8		9		10	
低下後地下水位		3		4		5		6		7		8		9		10	
低下後地下水位		3		4		5		6		7		8		9		10	
低下後地下水位		3		4		5		6		7		8		9		10	
低下後地下水位		3		4		5		6		7		8		9		10	
低下後地下水位		3		4		5		6		7		8		9		10	
低下後地下水位		3		4		5		6		7		8		9		10	
低下後地下水位		3		4		5		6		7		8		9		10	
低下後地下水位		3		4		5		6		7		8		9		10	
低下後地下水位		3		4		5		6		7		8		9		10	
低下後地下水位		3		4		5		6		7		8		9		10	
低下後地下水位		3		4		5		6		7		8		9		10	
低下後地下水位		3		4		5		6		7		8		9		10	
低下後地下水位		3		4		5		6		7		8		9		10	
低下後地下水位		3		4		5		6		7		8		9		10	
低下後地下水位		3		4		5		6		7		8		9		10	
低下後地下水位		3		4		5		6		7		8		9		10	
低下後地下水位		3		4		5		6		7		8		9		10	
低下後地下水位		3		4		5		6		7		8		9		10	
低下後地下水位		3		4		5		6		7		8		9		10	
低下後地下水位		3		4		5		6		7		8		9		10	
低下後地下水位		3		4		5		6		7		8		9		10	
低下後地下水位		3		4		5		6		7		8		9		10	
低下後地下水位		3		4		5		6		7		8		9		10	
低下後地下水位		3		4		5		6		7		8		9		10	
低下後地下水位		3		4		5		6		7		8		9		10	
低下後地下水位		3		4		5		6		7		8		9		10	
低下後地下水位		3		4		5		6		7		8		9		10	
低下後地下水位		3		4		5		6		7		8		9		10	
低下後地下水位		3		4		5		6		7		8		9		10	
低下後地下水位		3		4		5		6		7		8		9		10	
低下後地下水位		3		4		5		6		7		8		9		10	
低下後地下水位		3		4		5		6		7		8		9		10	
低下後地下水位		3		4		5		6		7		8		9		10	
低下後地下水位		3		4		5		6		7		8		9		10	
低下後地下水位		3		4		5		6		7		8		9		10	
低下後地下水位		3		4		5		6		7		8		9		10	
低下後地下水位		3		4		5		6		7		8		9		10	
低下後地下水位		3		4		5		6		7		8		9		10	
低下後地下水位		3		4		5		6		7		8		9		10	
低下後地下水位		3		4		5		6		7		8		9		10	
低下後地下水位		3		4		5		6		7		8		9		10	
低下後地下水位		3		4		5		6		7		8					

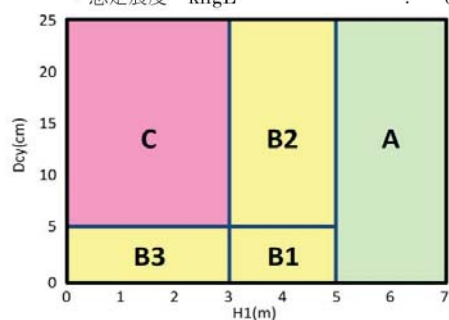
5-2 液状化被害の軽減策を考える必要がある場合の例題

戸建て住宅の液状化被害の可能性の判定は「宅地の液状化被害可能性判定に係る技術指針・同解説¹⁾」によると次のように示される。

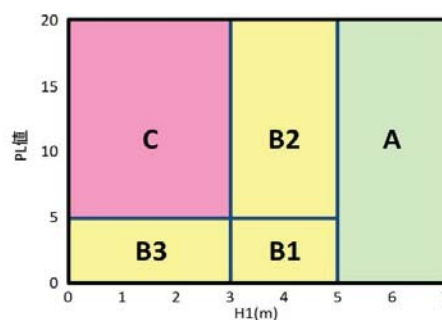
(2) 想定する地震動

本判定は、震度5程度の中地震を対象としており、液状化に対する安全率（FL値）の算定には、下記の数値を用いるものとする。

- ① 「建築基礎構造設計指針」を基本とする場合
 - ・マグニチュード : 7.5
 - ・想定最大加速度 α_{max} : 200 (gal)
- ② 「道路橋示方書・同解説 V耐震設計編」を基本とする場合
 - ・想定震度 $khgL$: 0.20



(A) H1-Dcy 判定図



(B) H1-PL 判定図

図1 H1値、Dcy値、PL値による判定図

判定結果	H ₁ の範囲	Dcyの範囲	P _L 値の範囲	液状化被害の可能性
C	3m 以下	5cm 以上	5 以上	顕著な被害の可能性が高い
B3		5cm 未満	5 未満	
B2	3mを超え、5m以下	5cm 以上	5 以上	顕著な被害の可能性が比較的低い
B1		5cm 未満	5 未満	
A	5m を超える	—	—	顕著な被害の可能性が低い

ここで、茨城県神栖市の砂利採掘跡地を例題に液状化被害の可能性について検討する。

地質タイプについては、表-13 に示す「タイプー4およびタイプー5」について想定し、いずれも地下水位はGL-1.0mに分布している。

(1) タイプ4：液状化層厚5mを想定

1) 対策前の検討：地下水位GL-1.0m

地表変位量（Dcy）および液状化指数（P_L）いずれにおいても、「c」に分類され「顕著な液状化被害の可能性が高い」と評価される。

条件	計算	建築設定項目		道示設定項目		非液状化層 H1	地表変位量 Dcy		液状化指標値 PL値		グラフ内 凡例
		最大加速度 (gal)	マグニチュード (M)	水平震度 (khgL)	地震動レベル		数値(cm)	判定	数値	判定	
1	建築	200.0	7.5	-	-	1.5	9.8	C	8.80	C	□
2	建築	200.0	9.0	-	-	1.0	11.4	C	12.96	C	○
3	建築	350.0	7.5	-	-	1.0	12.6	C	19.03	C	△

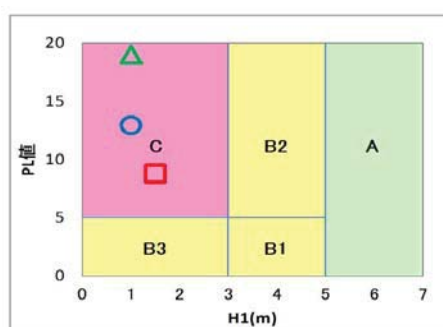
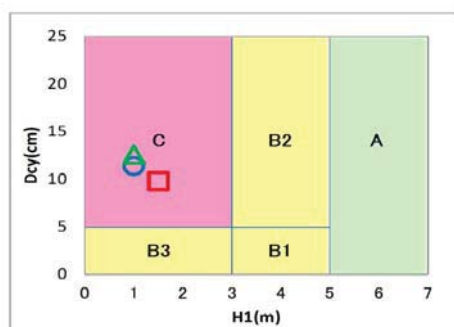


図-1 タイプー4（液状化層厚5mでの再液状化の検討）

2) 対策後の検討：地下水低下対策 GL-3m

中地震（M7.5 200gal）を想定した場合では、地表変位量（Dcy）および液状化指数（ P_L ）いずれにおいても、「B3」に分類され「顕著な液状化被害の可能性が比較的少ない」と評価され、地下水低下対策の有効性が高い。

条件	計算	建築設定項目		道示設定項目		非液状化層 H1	地表変位量 Dcy		液状化指標値 PL値		グラフ内 凡例
		最大加速度 (gal)	マグニチュード (M)	水平震度 (khg/L)	地震動レベル		数値(cm)	判定	数値	判定	
1	建築	200.0	7.5	-	-	3.0	5.0	B3	2.39	B3	□
2	建築	200.0	9.0	-	-	3.0	6.4	C	4.87	B3	○
3	建築	350.0	7.5	-	-	3.0	7.4	C	8.07	C	△

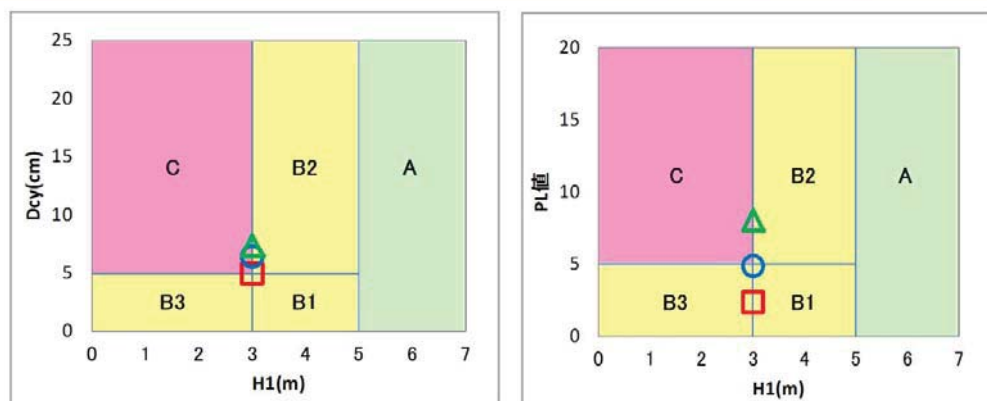


図-2 タイプ 4（液状化層厚 5mでの再液状化の検討）

（2）タイプ 5：液状化層厚 9mを想定

1) 対策前の検討：地下水位 GL-1.0m

地表変位量（Dcy）および液状化指数（ P_L ）いずれにおいても、「c」に分類され「顕著な液状化被害の可能性が高い」と評価される。特に地表変位量（Dcy）は中地震においても20cm以上を示し、液状化の程度は「大」に分類される。

条件	計算	建築設定項目		道示設定項目		非液状化層 H1	地表変位量 Dcy		液状化指標値 PL値		グラフ内 凡例
		最大加速度 (gal)	マグニチュード (M)	水平震度 (khg/L)	地震動レベル		数値(cm)	判定	数値	判定	
1	建築	200.0	7.5	-	-	1.5	20.2	C	17.63	C	□
2	建築	200.0	9.0	-	-	1.0	23.1	C	24.91	C	○
3	建築	350.0	7.5	-	-	1.0	25.3	C	34.98	C	△

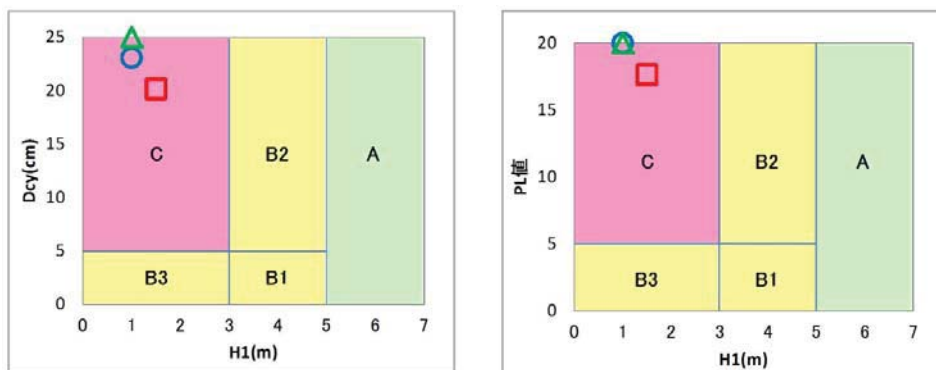


図-3 タイプ 5（液状化層厚 9mでの再液状化の検討）

2) 対策後の検討：地下水低下対策 GL-3m

地下水低下対策を実施した場合においても、中地震（M7.5 200gal）では、地表変位量（ D_{cy} ）および液状化指数（ P_L ）いずれも、「c」に分類され「顕著な液状化被害の可能性が高い」となり対策の優位性がない。技術指針・同解説（案）に示される対策効果（ $D_{cy} < 5\text{cm}$ ）を評価した場合では、地下水低下量がGL-5.5m以上必要であり、現状における地下水低下工法では適用が困難であり、液状化による被害の軽減策を考える必要がある。

条件	計算	建築設定項目		道示設定項目		非液状化層 H1	地表変位量 D_{cy}		液状化指標値 P_L 値		グラフ内 凡例
		最大加速度 (gal)	マグニチュード (M)	水平震度 (kgL)	地震動レベル		数値(cm)	判定	数値	判定	
1	建築	200.0	7.5	-	-	3.0	13.7	C	7.49	C	□
2	建築	200.0	9.0	-	-	3.0	17.6	C	13.79	C	○
3	建築	350.0	7.5	-	-	3.0	20.3	C	21.96	C	△

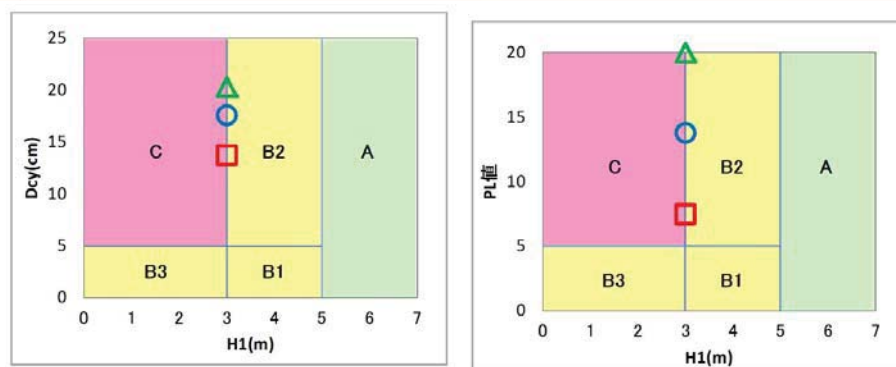


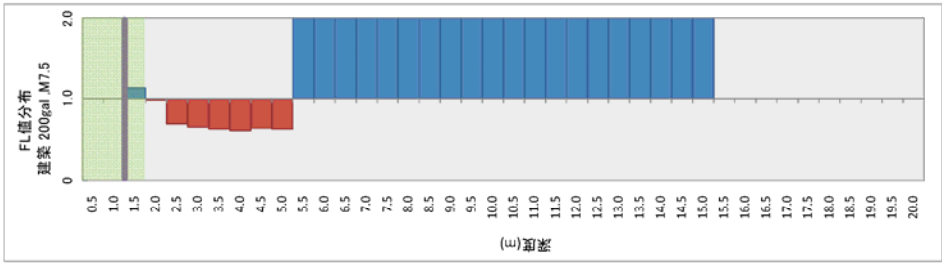
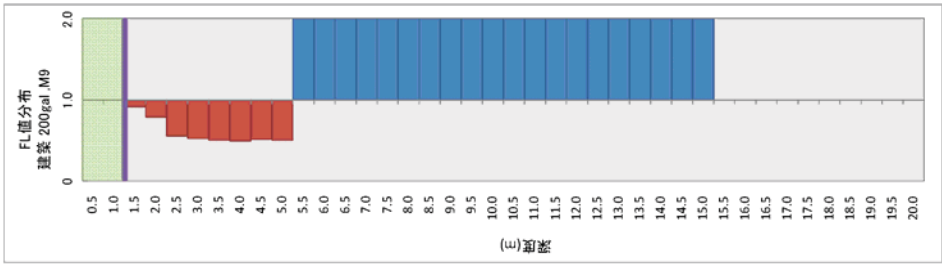
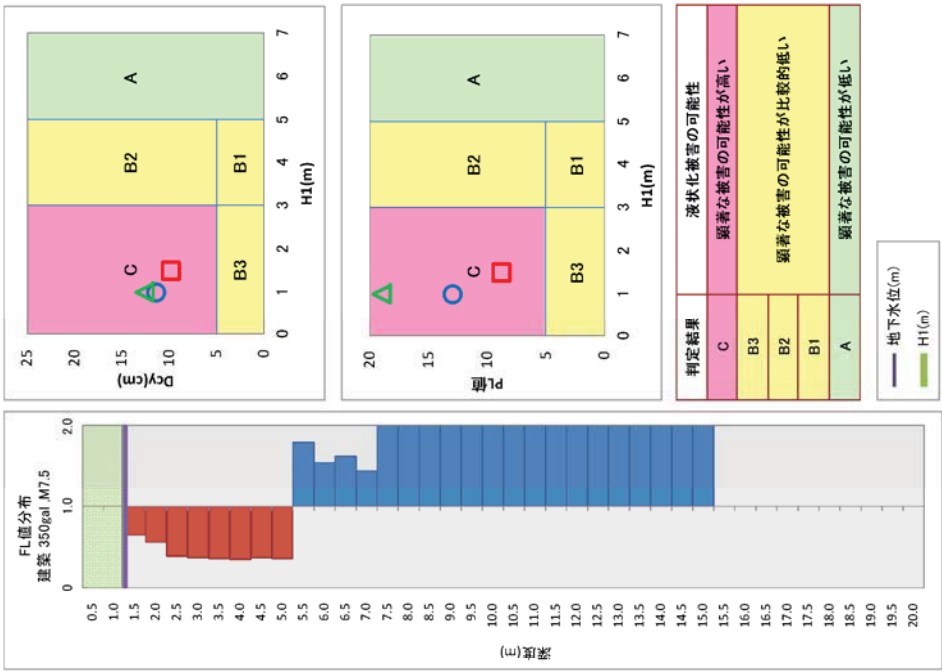
図-4 タイプ 5（対策後の検討：地下水低下対策 GL-3m、液状化層厚 9m）

以上のことから、地質タイプ 5 およびタイプ 6 の場合においては、地表変位量（ D_{cy} ）および液状化指数（ P_L ）からの可能性の判定は難しく、液状化被害の軽減策を考慮した場合は別途検討手法を考える必要がある。

条件	計算	建築設定項目		通示設定項目		非液化化層		地表変位量		液化化指標値		グラフ内 凡例
		最大加速度 (gal)	マグニチュード (M)	水平震度 (kkgL)	地震動レベル	H1	D _{0y} 数値(cm)	判定	D _{0y} 判定	PL値 数値	判定	
1	建築	200.0	7.5	-	-	1.5	9.8	C	C	8.80	C	□
2	建築	200.0	9.0	-	-	1.0	11.4	C	C	12.96	C	○
3	建築	350.0	7.5	-	-	1.0	12.6	C	C	19.03	C	△

調査地点ID	ガイダンス例題1	
	項目名	自然水位
地下水位	1.0	m

深度 (m)	土質	N値	建築 200gal M7.5		建築 200gal M9		建築 350gal M7.5	
			FL値 (m)	判定	FL値 (m)	判定	FL値 (m)	判定
0.5	表土	6						
1.0	表土	6						
1.5	表土	5						
2.0	表土	5	1.13	×	0.92	×	0.65	×
2.5	表土	2	0.98	×	0.79	×	0.56	×
3.0	表土	2	0.69	×	0.56	×	0.39	×
3.5	表土	2	0.65	×	0.53	×	0.37	×
4.0	表土	2	0.63	×	0.51	×	0.36	×
4.5	表土	2	0.61	×	0.50	×	0.35	×
5.0	表土	3	0.64	×	0.52	×	0.37	×
5.5	砂質土	3	0.63	×	0.51	×	0.36	×
6.0	砂質土	20	2以上		2以上		1.79	
6.5	砂質土	20	2以上		2以上		1.54	
7.0	砂質土	21	2以上		2以上		1.62	
7.5	砂質土	21	2以上		2以上		1.44	
8.0	砂質土	25	2以上		2以上		2以上	
8.5	砂質土	25	2以上		2以上		2以上	
9.0	砂質土	30	2以上		2以上		2以上	
9.5	砂質土	30	2以上		2以上		2以上	
10.0	砂質土	30	2以上		2以上		2以上	
10.5	砂質土	50	2以上		2以上		2以上	
11.0	礫質土	50	2以上		2以上		2以上	
11.5	礫質土	50	2以上		2以上		2以上	
12.0	礫質土	50	2以上		2以上		2以上	
12.5	礫質土	50	2以上		2以上		2以上	
13.0	礫質土	50	2以上		2以上		2以上	
13.5	礫質土	50	2以上		2以上		2以上	
14.0	礫質土	50	2以上		2以上		2以上	
14.5	礫質土	50	2以上		2以上		2以上	
15.0	礫質土	50	2以上		2以上		2以上	
15.5								
16.0								
16.5								
17.0								
17.5								
18.0								
18.5								
19.0								
19.5								
20.0								

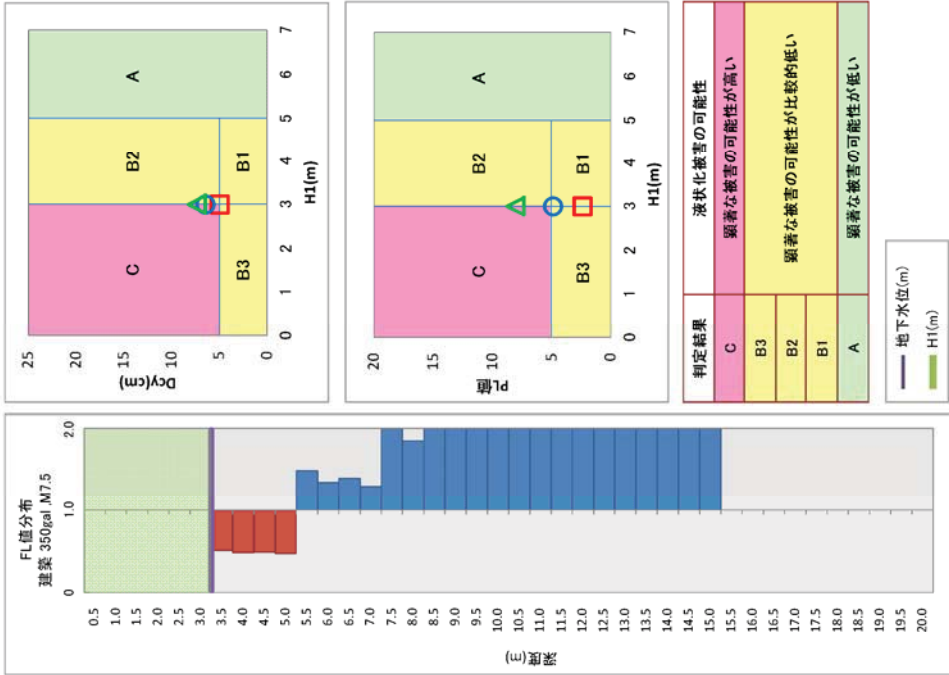


判定結果	C	顕著な被害の可能性が高い		B3	B2	B1	A	顕著な被害の可能性が低い
地下水位(m)								
H1(m)								

条件	計算	建築設定項目	道示設定項目	非液状化層	地表変位量	液状化指標値	グラフ内 凡例
		最大加速度 (gal)	マグニチュード (M)	水平震度 (kkgL)	地震動レベル	H1 数値(cm)	判定
						Dey 数値	PL値 判定
1	建築	200.0	7.5	-	-	3.0	B3
2	建築	200.0	9.0	-	-	3.0	C
3	建築	350.0	7.5	-	-	3.0	C

調査地点ID	ガイダンス例題1ー1
項目名	地下水低下ー2m
地下水位	3.0 m

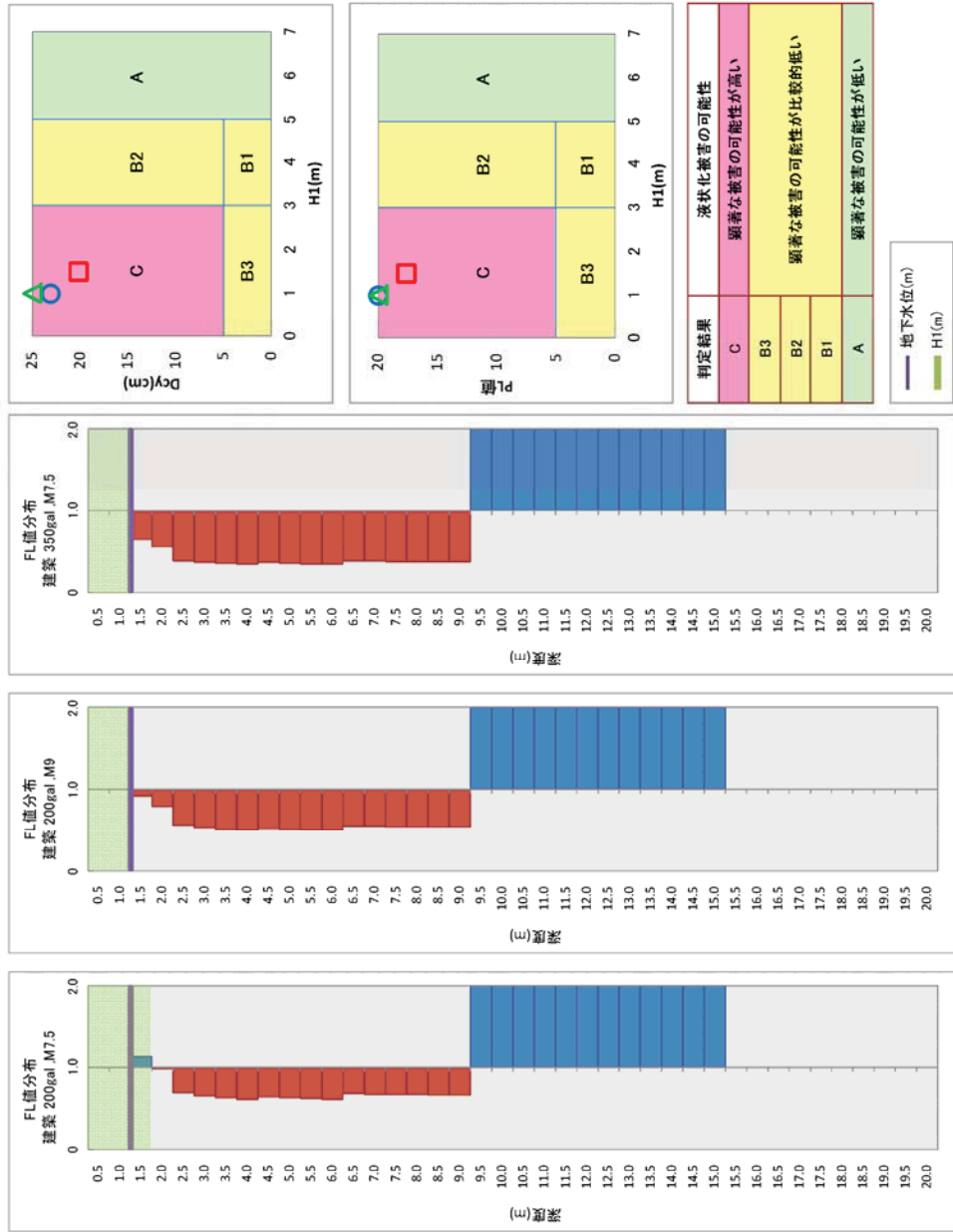
深度 (m)	土質	N値	建築 200gal M7.5 液状化 安全率 FL値	判定 (赤)	建築 200gal M9 液状化 安全率 FL値	判定 (赤)	建築 350gal M7.5 液状化 安全率 FL値	判定 (赤)
0.5	表土	6						
1.0	表土	6						
1.5	表土	5						
2.0	表土	5						
2.5	表土	2						
3.0	表土	2						
3.5	表土	2	0.88	×	0.72	×	0.51	×
4.0	表土	2	0.84	×	0.68	×	0.48	×
4.5	表土	3	0.85	×	0.69	×	0.49	×
5.0	表土	3	0.82	×	0.67	×	0.47	×
5.5	砂質土	20	2以上		2以上		1.48	
6.0	砂質土	20	2以上		1.91		1.34	
6.5	砂質土	21	2以上		1.98		1.39	
7.0	砂質土	21	2以上		1.83		1.29	
7.5	砂質土	25	2以上		2以上		2以上	
8.0	砂質土	25	2以上		2以上		1.85	
8.5	砂質土	30	2以上		2以上		2以上	
9.0	砂質土	30	2以上		2以上		2以上	
9.5	砂質土	30	2以上		2以上		2以上	
10.0	砂質土	30	2以上		2以上		2以上	
10.5	砂質土	50	2以上		2以上		2以上	
11.0	礫質土	50	2以上		2以上		2以上	
11.5	礫質土	50	2以上		2以上		2以上	
12.0	礫質土	50	2以上		2以上		2以上	
12.5	礫質土	50	2以上		2以上		2以上	
13.0	礫質土	50	2以上		2以上		2以上	
13.5	礫質土	50	2以上		2以上		2以上	
14.0	礫質土	50	2以上		2以上		2以上	
14.5	礫質土	50	2以上		2以上		2以上	
15.0	礫質土	50	2以上		2以上		2以上	
15.5	礫質土							
16.0								
16.5								
17.0								
17.5								
18.0								
18.5								
19.0								
19.5								
20.0								



調査地点ID	ガイダンス例題2
項目名	自然水位
地下水位	1.0 m

条件	計算	建築設定項目		表示設定項目		非液化化層		地表変位量		液状化指標値		グラフ内 凡例
		最大加速度 (gal)	マグニチュード (M)	水平震度 (kg/L)	地震動レベル	H1		Dey		PL値		
						数値(cm)	判定	数値	判定			
1	建築	200.0	7.5	-	-	1.5	C	20.2	C	17.63	C	□
2	建築	200.0	9.0	-	-	1.0	C	23.1	C	24.91	C	○
3	建築	350.0	7.5	-	-	1.0	C	25.3	C	34.98	C	△

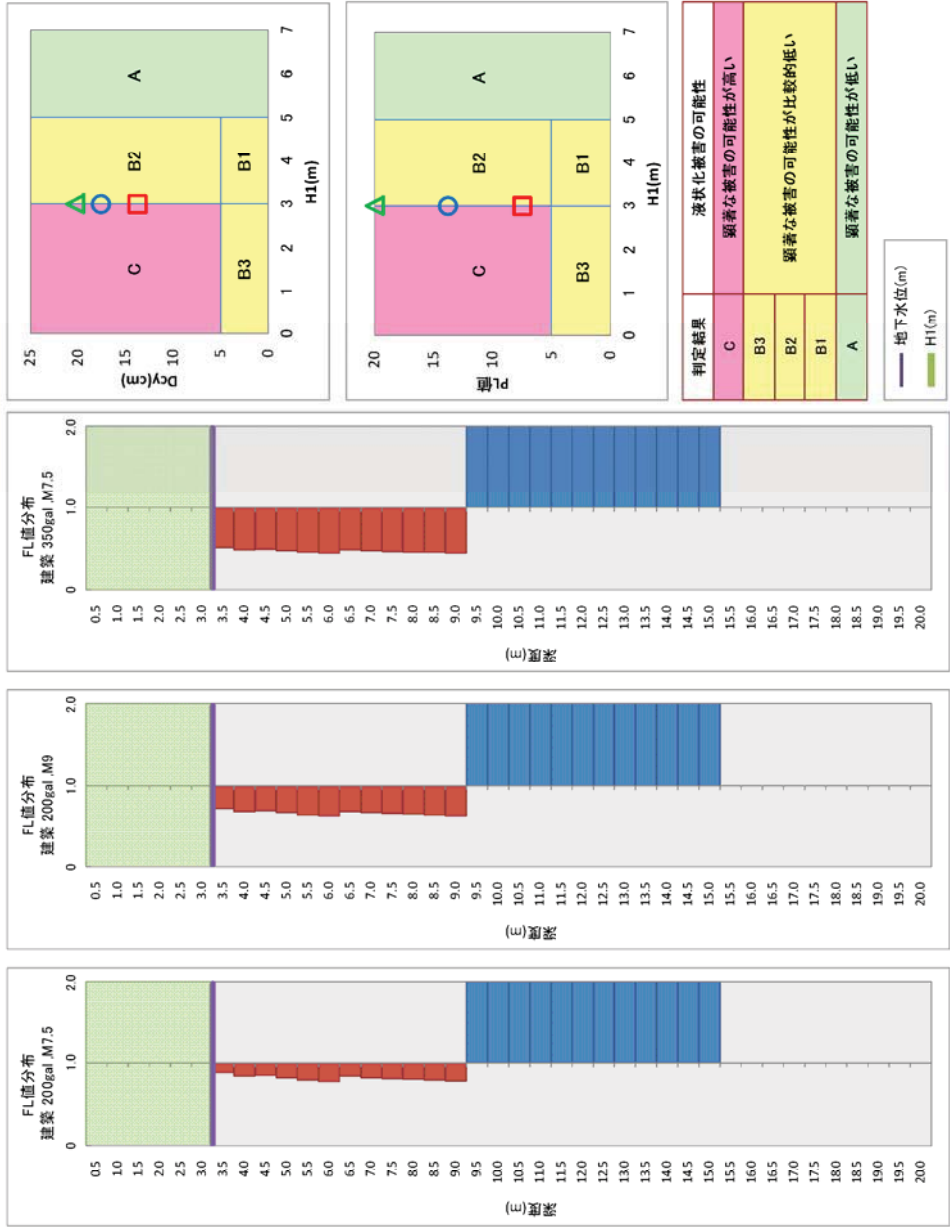
深さ (m)	土質	N値	建築 200gal M7.5 液状化 安全率 FL値	判定 (素)	建築 200gal M9 液状化 安全率 FL値	判定 (素)	建築 350gal M7.5 液状化 安全率 FL値	判定 (素)
0.5	表土	6	1.13	×	0.92	×	0.65	×
1.0	表土	5	0.98	×	0.79	×	0.56	×
1.5	表土	5	0.69	×	0.56	×	0.39	×
2.0	表土	2	0.65	×	0.53	×	0.37	×
2.5	表土	2	0.63	×	0.51	×	0.36	×
3.0	表土	2	0.61	×	0.50	×	0.35	×
3.5	表土	2	0.64	×	0.52	×	0.37	×
4.0	表土	3	0.63	×	0.51	×	0.36	×
4.5	表土	3	0.62	×	0.50	×	0.35	×
5.0	表土	3	0.61	×	0.50	×	0.35	×
5.5	表土	3	0.68	×	0.55	×	0.39	×
6.0	表土	5	0.67	×	0.54	×	0.38	×
6.5	表土	5	0.66	×	0.54	×	0.38	×
7.0	表土	5	0.66	×	0.54	×	0.38	×
7.5	表土	5	0.66	×	0.54	×	0.38	×
8.0	表土	5	0.66	×	0.54	×	0.38	×
8.5	表土	5	0.66	×	0.54	×	0.38	×
9.0	表土	5	0.66	×	0.54	×	0.38	×
9.5	砂質土	30	2以上	2以上	2以上	2以上	2以上	2以上
10.0	砂質土	30	2以上	2以上	2以上	2以上	2以上	2以上
10.5	砂質土	50	2以上	2以上	2以上	2以上	2以上	2以上
11.0	礫質土	50	2以上	2以上	2以上	2以上	2以上	2以上
11.5	礫質土	50	2以上	2以上	2以上	2以上	2以上	2以上
12.0	礫質土	50	2以上	2以上	2以上	2以上	2以上	2以上
12.5	礫質土	50	2以上	2以上	2以上	2以上	2以上	2以上
13.0	礫質土	50	2以上	2以上	2以上	2以上	2以上	2以上
13.5	礫質土	50	2以上	2以上	2以上	2以上	2以上	2以上
14.0	礫質土	50	2以上	2以上	2以上	2以上	2以上	2以上
14.5	礫質土	50	2以上	2以上	2以上	2以上	2以上	2以上
15.0	礫質土	50	2以上	2以上	2以上	2以上	2以上	2以上
15.5								
16.0								
16.5								
17.0								
17.5								
18.0								
18.5								
19.0								
19.5								
20.0								



調査地点ID	ガイダンス例題2-1
項目名	地下水低下-2m
地下水位	3.0 m

条件	計算	建築設定項目	表示設定項目	非液化化層	地表変位量	液化化指標値	グラフ内 凡例			
		最大加速度 マグニチュード	水平震度	地震動レベル	H1	Dcy	判定	PL値	数値	判定
		(gal)	(M)	(kgfL)		数値(cm)				
1	建築	200.0	7.5	-	-	3.0	C	7.49	7.49	C
2	建築	200.0	9.0	-	-	3.0	C	13.79	13.79	C
3	建築	350.0	7.5	-	-	3.0	C	21.96	21.96	C

深度 (m)	土質	N値	建築 200gal M7.5 液化化 安全率 FL値 (赤)	建築 200gal M9 液化化 安全率 FL値 (赤)	建築 350gal M7.5 液化化 安全率 FL値 (赤)
0.5	表土	6			
1.0	表土	6			
1.5	表土	5			
2.0	表土	5			
2.5	表土	2			
3.0	表土	2			
3.5	表土	2	0.88	0.72	0.51
4.0	表土	2	0.84	0.68	0.48
4.5	表土	3	0.85	0.69	0.49
5.0	表土	3	0.82	0.67	0.47
5.5	表土	3	0.79	0.64	0.45
6.0	表土	3	0.77	0.63	0.44
6.5	表土	5	0.84	0.68	0.48
7.0	表土	5	0.82	0.67	0.47
7.5	表土	5	0.81	0.66	0.46
8.0	表土	5	0.80	0.65	0.45
8.5	表土	5	0.79	0.64	0.45
9.0	表土	5	0.78	0.63	0.44
9.5	砂質土	30	2以上	2以上	2以上
10.0	砂質土	30	2以上	2以上	2以上
10.5	砂質土	50	2以上	2以上	2以上
11.0	砂質土	50	2以上	2以上	2以上
11.5	砂質土	50	2以上	2以上	2以上
12.0	砂質土	50	2以上	2以上	2以上
12.5	砂質土	50	2以上	2以上	2以上
13.0	砂質土	50	2以上	2以上	2以上
13.5	砂質土	50	2以上	2以上	2以上
14.0	砂質土	50	2以上	2以上	2以上
14.5	砂質土	50	2以上	2以上	2以上
15.0	砂質土	50	2以上	2以上	2以上
15.5	砂質土	50	2以上	2以上	2以上
16.0	砂質土	50	2以上	2以上	2以上
16.5	砂質土	50	2以上	2以上	2以上
17.0	砂質土	50	2以上	2以上	2以上
17.5	砂質土	50	2以上	2以上	2以上
18.0	砂質土	50	2以上	2以上	2以上
18.5	砂質土	50	2以上	2以上	2以上
19.0	砂質土	50	2以上	2以上	2以上
19.5	砂質土	50	2以上	2以上	2以上
20.0	砂質土	50	2以上	2以上	2以上



<参考文献>

- 1) 国土交通省都市局：宅地の液状化被害可能性判定に係る技術指針・同解説（案），
<http://www.mlit.go.jp/common/000993757.pdf>. （2014年1月7日閲覧）

5-3 めり込み沈下が発生するメカニズム及び影響を与える要因

(出典 地盤工学会 関東支部：造成宅地の耐震対策に関する研究委員会報告書―液状化から戸建て住宅を守るための手引書 一、平成25年3月)

(1) 液状化が戸建て住宅を沈下・傾斜させるメカニズム

液状化により戸建て住宅が沈下するメカニズムを考えると、液状化が発生した後間隙水が噴出することによって地盤全体が圧縮沈下し、建物はその中にさらにめり込んで沈下する。これを模式図で描くと図-1のようになる。このように沈下量は、以下を区別して考える必要がある。

- ①地盤自体の圧縮沈下量
- ②建物の絶対沈下量
- ③建物のめり込み沈下量

これらのうち①の地盤の圧縮沈下に関しては平面的に一樣に沈下すれば建物の傾斜もあまり生じないので一般に建物に甚大な被害を与えない。これに対し、③の地盤にめり込んで建物が沈下するのは、もともと支持力がある地盤が急に泥水化し、支持力を失って沈下するため、沈下と同時に傾斜や家屋のゆがみなども生じ建物にとって甚大な被害をもたらす。②の絶対沈下量は①と③の合計である。したがって、重要なのは③のめり込み沈下量になる。

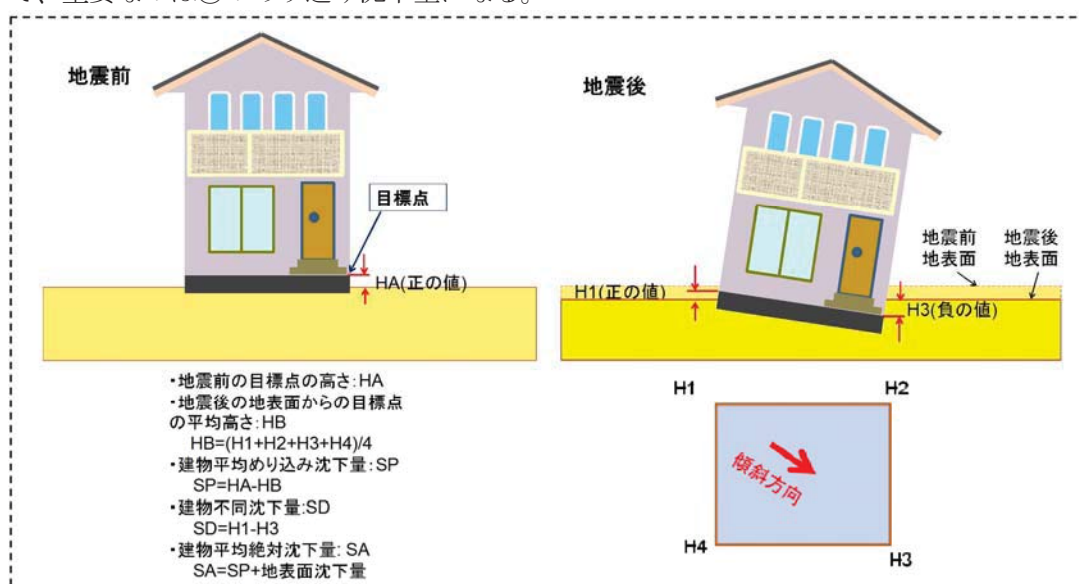


図-1 めり込み沈下量の定義 1)

また、めり込み沈下が発生するメカニズムの一つは、図-2のように建物が地盤内にめり込んでいくためには、その下の土を横方向に押し出す必要がある。これは地表面に押し出されるため、図-2に示したように建物近傍が盛り上がる。なお、この横方向に押し出すことを防げばめり込み沈下量も減ることになる。二つ目は、液状化した地盤から水が噴出することに伴う圧縮沈下も加わることである。したがって、めり込み沈下量は図-2に示したように、建物の絶対沈下量から周囲の地盤の沈下量を差し引いた値となる。

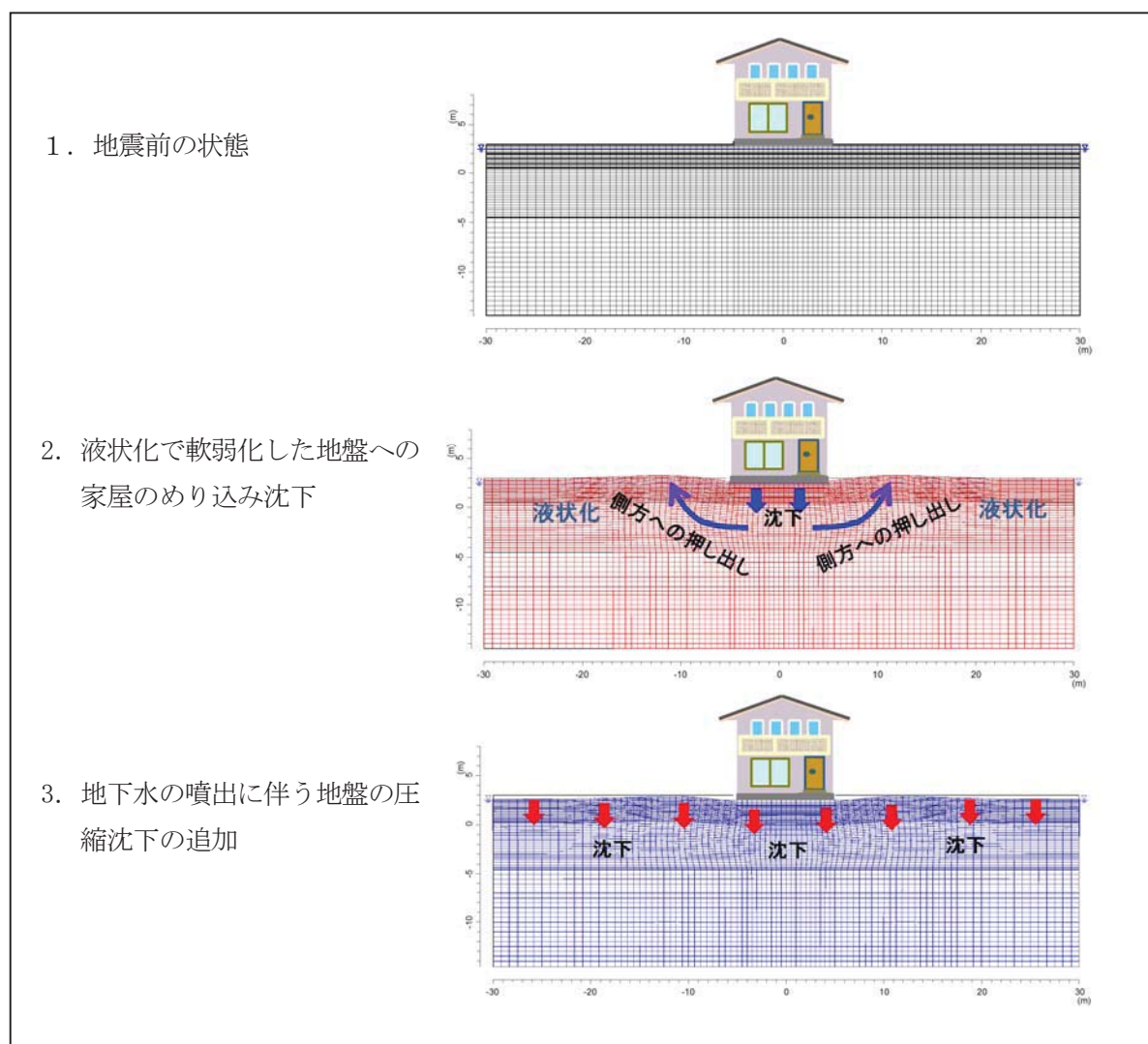


図-2 めり込み沈下が発生するメカニズム

(2) めり込み沈下に影響を与える要因

液状化は地下水位以下の地層しか直接的には発生しないが、住宅地では地下水面は地表面ではなくある深さのところに分布する。また、地下水面直下の層でも全て液状化するとは限らないので、必ず非液状化層が表層に存在する。この非液状化層とその下の液状化層の特性や、建物の諸元、地震動特性に関する下記の要因が戸建て住宅の沈下量に影響するのではないかと考えられる。

- ①地盤に関する要因：非液状化層の厚さや硬さ、地下水位、液状化層の厚さや粒径・緩さ
- ②建物に関する要因：建物荷重、建物幅、基礎の根入れ深さ
- ③地震動：地震動の大きさ、振幅、継続時間

東日本大震災後の浦安市での調査によると、図-3に示すように被害の程度が大きいほど地下水位は浅い傾向にあった。地下水位が深くなると、液状化層での有効上載圧が大きくなるので液状化し難くなる。それと同時に図-4に示すように住宅基礎下の非液状化層厚も厚くなりその分支持力（地耐力）も増えるため、沈下し難くなるのではないかと考えられる。

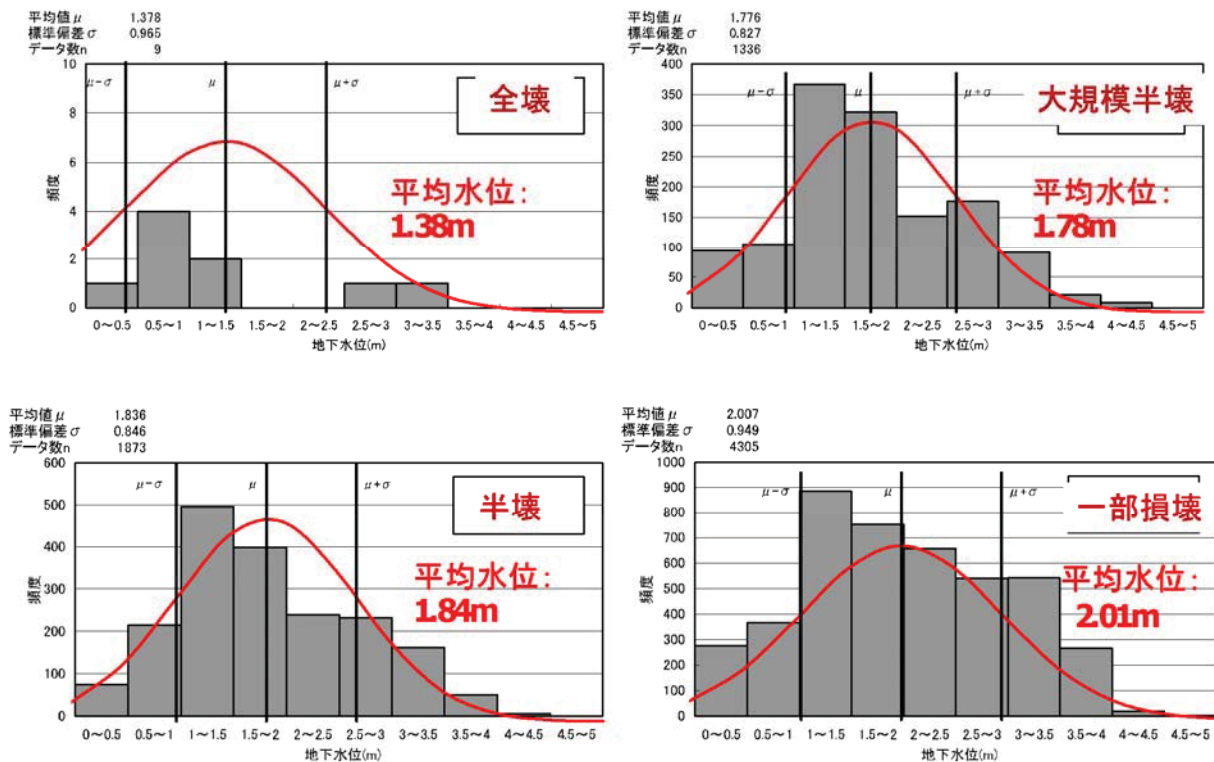


図-3 浦安市における戸建て住宅の被害と地下水位の影響²⁾

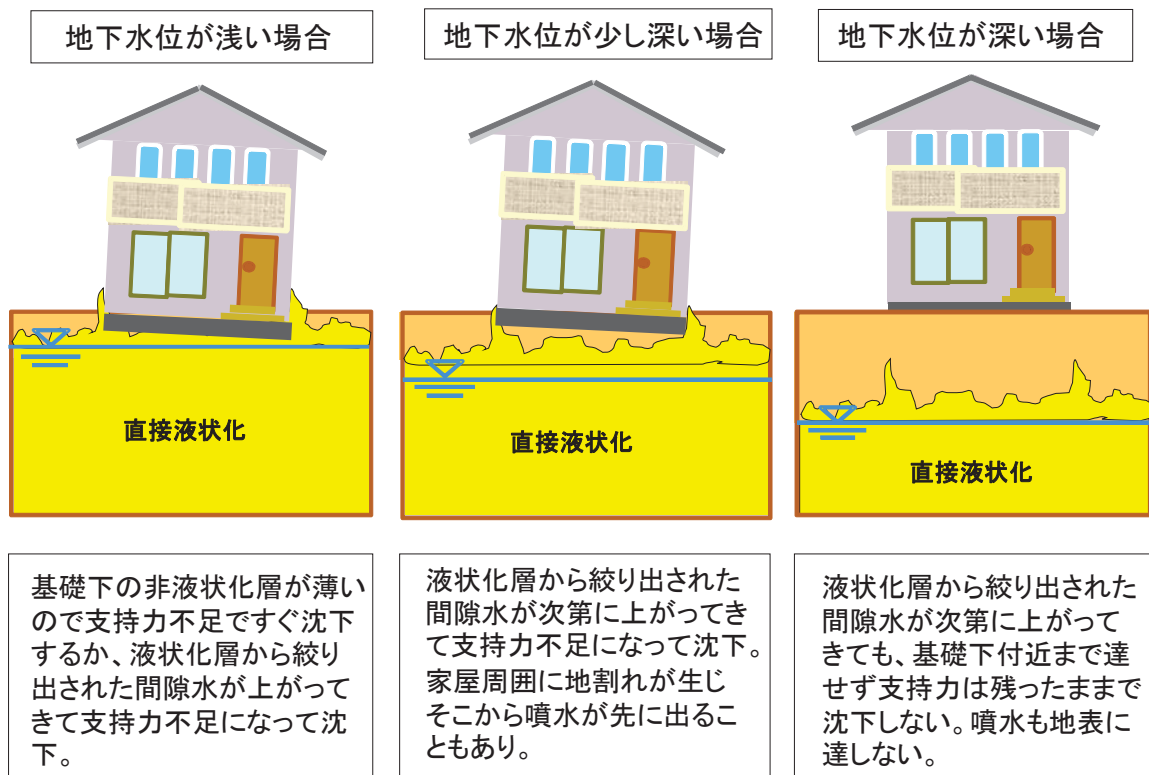


図-4 地下水位の影響による戸建て住宅の沈下¹⁾

また、2000年鳥取県西部地震の時の安倍彦名団地の事例³⁾⁴⁾では、建物の傾斜角と地下水位の分布などが詳細に調べられた。その結果、地下水位が浅いほど戸建て住宅の傾斜角が大きく、地下水位が1.6m程度より深いと傾斜角は「10/1,000」程度以下になり生活に支障がないことが示されている。

これらのことから、非液状化層厚をある一定値以上を確保することによって、液状化によるめり込み沈下量や建物傾斜を抑制できるものと考えられる。

「宅地耐震設計マニュアル（案）：UR都市機構、平成20年4月」⁵⁾では、図-5に示すように非液状化層厚 H_1 と液状化層厚 H_2 の関係を以下のように示している。

これによると、中地震（M7.5 200gal）においては、非液状化層 H_1 を3m確保することにより液状化の影響が地表面に及ばず（地下水位が深い場合）、液状化被害を抑制する目安になる。これらのことから、液状化被害の軽減策としては「液状化層厚 H_1 を3m確保することによりめり込み沈下量を少なくし建物傾斜を軽減する」ことが有効な軽減策と考えられる。

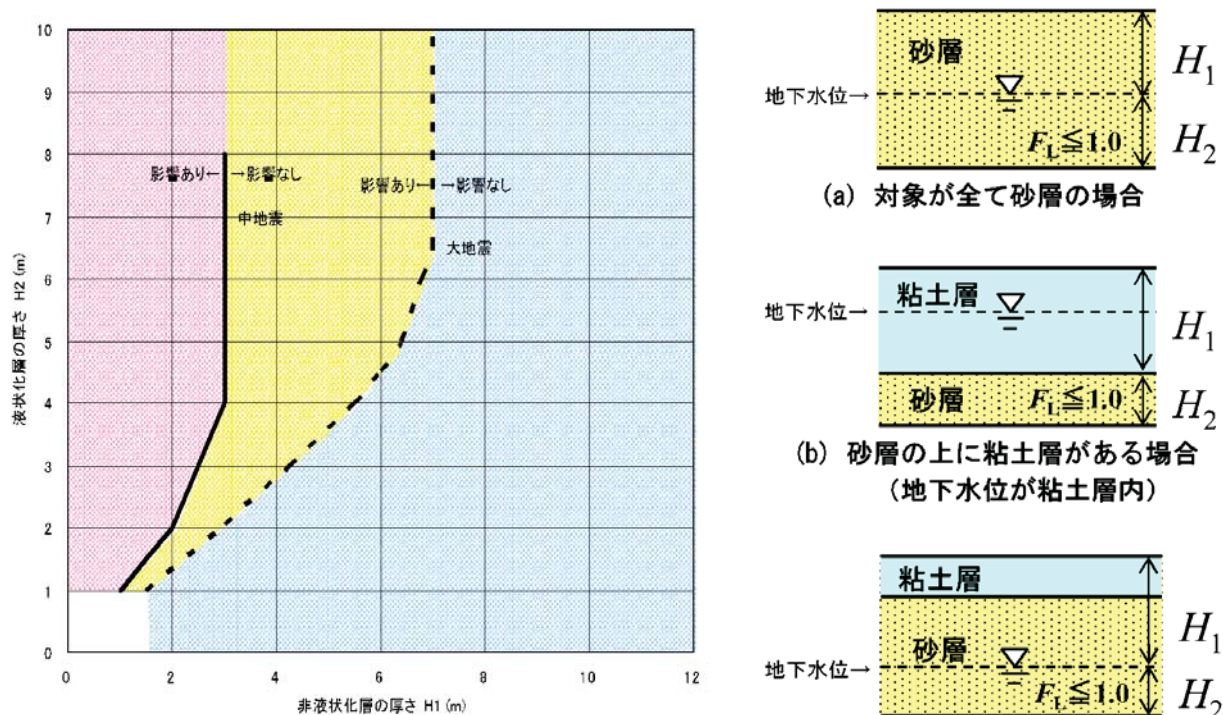


図-5 非液状化層厚 H_1 と液状化層厚 H_2 の関係⁵⁾

<参考文献>

- 1) 地盤工学会 関東支部：造成宅地の耐震対策に関する研究委員会報告書－ 液状化から戸建て住宅を守るための手引書 一， 2013.3.
 - 2) 浦安市液状化対策技術検討調査委員会・地盤工学会・土木学会・日本建築学会：平成23 年度浦安市液状化対策技術検討調査報告書， 2012.
 - 3) 安田進・橋本隆雄：鳥取県西部地震における住宅の液状化による沈下について,土木学会第57回年次学術講演会講演概要集, pp.1029-1030, 2002.
 - 4) 橋本隆雄・安田進：鳥取県西部地震における液状化被害と地下水位の関係, 土木学会第57 回年次学術講演会講演概要集,III-514,pp.1027-1028,2002.
 - 5) UR都市機構：宅地耐震設計マニュアル（案）,2008.4.
- Learned from Recent Strong Earthquakes, 15th ICSMGE, pp.33-42, 2001.

5-4. むり込み沈下量から建物傾斜角を推定する方法

(出典：地盤工学会 関東支部：造成宅地の耐震対策に関する研究委員会報告書― 液状化から戸建て住宅を守るための手引書 一，平成25年3月)

(1) むり込み沈下が戸建て住宅に与える影響の考え方と検討すべき事項

建物基礎直下の地盤が地震時に液状化すると、それまで建物荷重を支えていた硬い地盤が急に軟弱化するため、建物の荷重の大きさに応じて建物が沈下する。これがむり込み沈下を生じる原因であるが、図-1に示すように建物基礎直下の土は液状化しなくて硬くても（非液状化層と呼ぶ）その下の土が液状化（液状化層と呼ぶ）した場合、非液状化層厚 H_1 と液状化層厚 H_2 のバランスによってむり込み沈下が生じるか否か異なってくる。例えば、 H_1 が薄くて H_2 が厚いとむり込み沈下が生じ易い。

むり込み沈下量には H_1 、 H_2 の値以外に建物の荷重や底面積などいくつかの要因が影響する。

むり込み沈下が均等に生じて建物が傾斜しない場合には、ライフラインが被害を受けたり出入りが困難になったり、また、布基礎の場合は床が盛り上がるような被害は生じるものの、家の中での生活には大きな支障をきたさないこともある。ところが、むり込み沈下を生じる時には地盤が軟弱化しているので傾きながら沈下しやすい。特に、建物が隣接している場合には2棟間の地盤に応力集中が生じて2棟が内向きに傾きながらむり込み沈下している。

そこで、むり込み沈下が建物に与える影響を検討する場合にはむり込み沈下量だけでなく、傾斜角（不同沈下量）も求める必要がある。解析を行って推定する場合にはこの両者とも同時に推定できる。これに対し、経験式から求める場合には同時には求める方法がまだ開発されていない。ただし、一般にむり込み沈下量が大きいくほど傾斜角も大きくなるので、平均むり込み沈下量を求め、それを基に傾斜角を求める方法を示す。

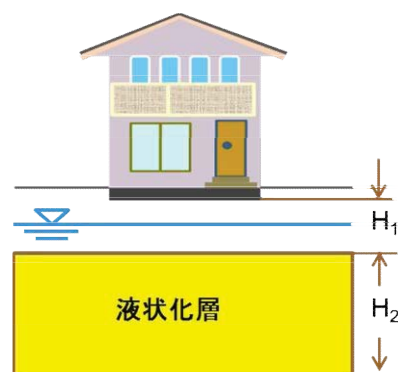


図-1 液状化層厚 H_1 とその上の非液状化層厚 H_2 ¹⁾

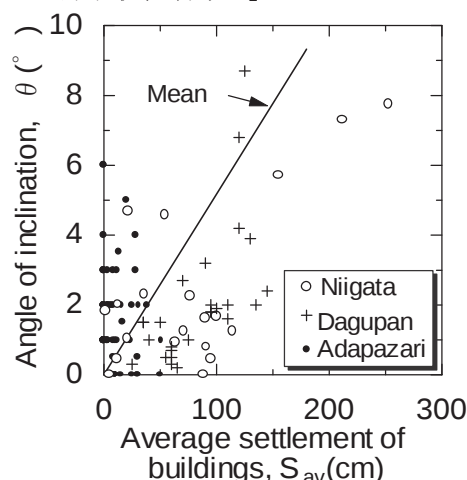


図-2 中層ビルにおける平均むり込み沈下量と傾斜角の関係²⁾

(2) むり込み沈下量から傾斜角を推定する方法

1964年新潟地震における新潟市、1991年フィリピン・ルソン島地震におけるダグupan市、1999年トルコ・コジャエリ地震におけるアダパザル市では、液状化による中層建物の沈下量や傾斜角が詳細に調べられている。これをもとに、平均むり込み沈下量と傾斜角の関係をプロットしたのが図-2である²⁰⁾。各地で関係が異なるが、平均的な関係としては以下のようになっている。

$$\theta(^{\circ}) = 0.05 \times S_{av} \text{ (cm)}$$

式(1)

なお、三つの事例のうちアダパザル市では特に傾斜角が大きくなっているが、アダパザル市では

中層建物が密集して建てられているため、建物間の相互作用で傾斜角が大きかったのではないかと考えられる。

一方、東日本大震災の際の戸建て住宅の被害を調査し、平均めり込み沈下量と傾斜角の関係が図-3のように求められている²⁾。ここで、平均めり込み沈下量とは周囲の地盤に対する家屋四隅のめり込み沈下量の平均値である。各都市で住宅の密集度などが異なるためデータはかなりばらついているが、全体に平均めり込み沈下量が大きくなると傾斜角も大きくなる傾向がある。

また、住宅が密集して隣接住宅との間隔が狭い千葉市や習志野市の方が、密集していない潮来市や神栖市に比べて、同じ平均めり込み沈下量でも傾斜角が大きい傾向がある。これは2棟間の影響で密集している方が傾き易いことに起因していると思われる。そこで、図-3をもとにすると、平均めり込み沈下量 $Sav(mm)$ から傾斜 $\theta(1/1,000)$ が下記の式で大まかに推定できることになる。

$$\text{住宅密集地区：}\theta(1/1,000)=0.13\times Sav(mm) \quad \text{式(1)}$$

《試算例》

$$Sav=75(mm) \Rightarrow \text{住宅密集地区：}\theta=0.13\times 75\div 10 \quad \theta=(10/1,000)$$

また、地震動レベルに応じて許容傾斜角を変えると良いと考えられるが、これに該当するめり込み沈下量を式(1)から推定すると、概ね表-1の最右欄のような値になると言えよう。

ただし、これはいくつか仮定のもとで求めたものであり、実際に対策工の設計をこのような簡便な方法で行う場合には、安全を見込んでこの値よりは少し小さい値の許容値を設定することも必要と考えられる。

表-1 許容傾斜角とめり込み沈下量の関係³⁾

地震動レベル	住宅に必要と考えられる性能	該当する平均めり込み沈下量
レベル1 地震動 または中地震	「全層にわたって液状化させない」、もしくは一部の深さが液状化しても有害な沈下や傾斜（例えば半壊程度に至らない10/1,000以下）を生じないようにする。	10cm程度。ただし、住宅が密集している地区ではこれより少し小さい値を、散在している地区では少し大きな値をとると良い。
レベル2 地震動 または大地震	液状化が発生してもある程度の損傷は許容し、大規模半壊程度に至らない（傾斜角では16.7/1,000(1/60)程度以下）ようになるようにする。	15cm程度。ただし、住宅が密集している地区ではこれより少し小さい値を、散在している地区では少し大きな値をとると良い。

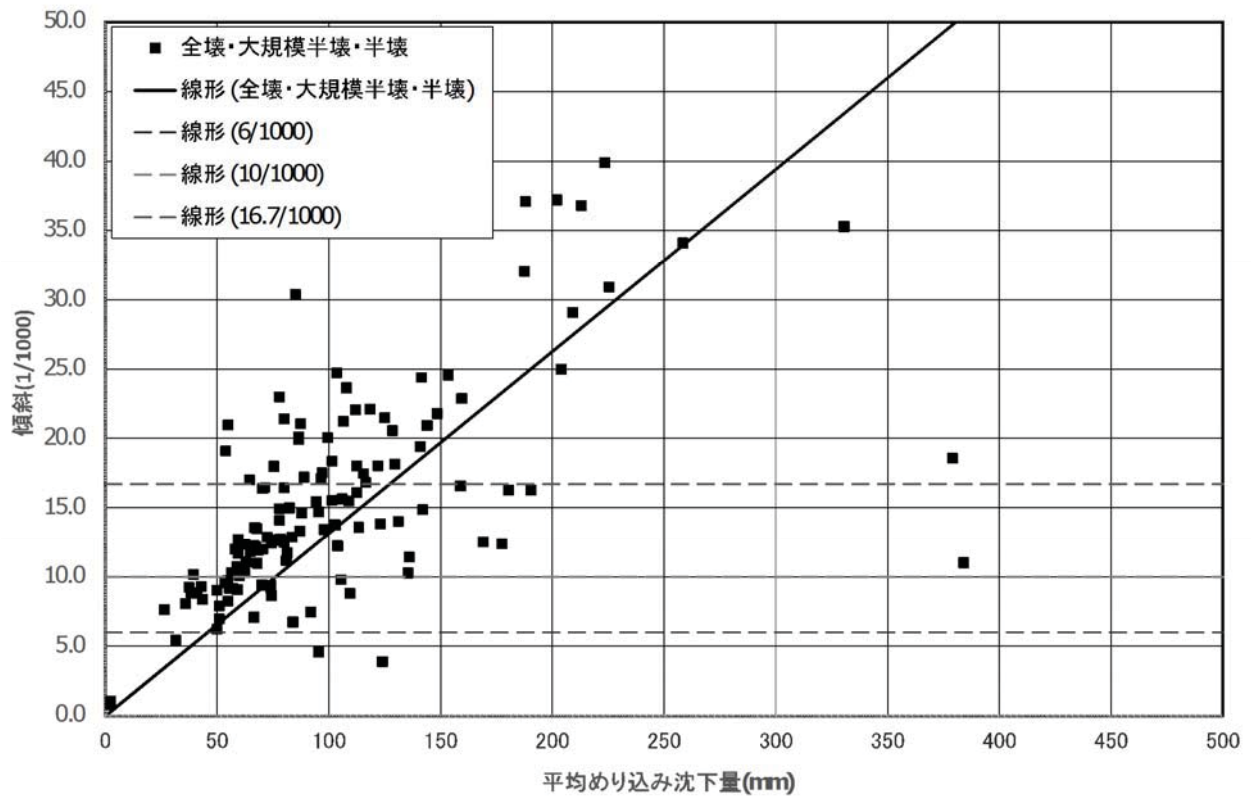


図-3 東日本大震災における戸建て住宅のめり込み沈下量と傾斜角の関係⁴⁾
(千葉市と習志野市の場合)

<参考文献>

- 1) UR都市機構：宅地耐震設計マニュアル（案），2008.4.
- 2) Yasuda, S., Irisawa, T. and Kazami, K. : Liquefaction-induced settlements of buildings and damages in coastal areas during the Kocaeli and other earthquakes, Proc. of the Satellite Conference on Lessons Learned from Recent Strong Earthquakes, 15th ICSMGE, pp.33-42, 2001.
- 3) 公益社団法人 地盤工学会 関東支部：造成宅地の耐震対策に関する研究委員会報告書ー 液状化から戸建て住宅を守るための手引書 ー，2013.3.
- 4) 橋本隆雄・安田進・山口亮：東北地方太平洋沖地震による液状化被災地区における住宅の傾斜とめり込み沈下量の関係、第47 回地盤工学研究発表, pp.1487-1488, 2012.

5-5 弾性論の式を利用してめり込み沈下量を推定する方法

水平成層地盤上に荷重が載荷した場合の弾性沈下量は理論的に求まる。これを利用し静的解析による残留変形解析と同様に液状化した地盤の弾性係数を低下させると、めり込み沈下量を求めることができる。

ちなみに、建築基礎構造設計指針に示されている図-1のような多層の場合の計算式を利用し、図-2に示す二層系を想定して、表-1のように液状化による弾性係数低下割合を1/100、1/500、1/1,000と仮定し下記の条件で計算してみると図-3のようになる。

また、液状化による弾性定数（せん断剛性）の低下割合は土の性質（粒径や液状化強度）や液状化の程度などによって異なる。繰返しねじりせん断試験によって繰返し載荷（液状化試験）後に単調載荷した際のせん断剛性を求めると図-4のようになるが、このような試験結果から液状化に伴うせん断剛性の低下割合を求めた例14)を図-5に示す。ここでは液状化した土の応力～ひずみ関係を図-4に示したようにバイリニアで仮定し、この第1勾配の G_1 を液状化前のせん断剛性（ N 値から求めた GN や $\gamma=10^{-3}$ での G_0 、 i ）で除した値と細粒分含有率 FC 、液状化の程度(FL で表示)との関係を整理してある。

このせん断剛性低下率は、細粒分含有率と液状化の程度で大きく異なり、数十分の1から千分の1程度まで減少している。その後、図-5にさらに広範囲な条件の試験データを付け加えて、液状化後のせん断剛性 G_1 を液状化強度比 RL 、 FL 、有効拘束圧 σ'_C と関係付けた15)のが図-6であり、FEMを用いた静的解析(残留変形解析)プログラムALIDではこの図を用いて建物などの沈下量を推定している16)。

ちなみに、この図を用いて東日本大震災における浦安の液状化状況を想定して $FL=0.8$ 、 $RL=0.27$ と仮定し、せん断剛性の低下割合を試算してみると約1/100となる。

したがって、このような計算でもある程度めり込み沈下量が求まると言えよう。

ただし、液状化後の間隙水の消散に伴う体積圧縮は別に計算する必要がある。

また、根入れ深さ、部分的な地盤改良などを考慮して計算する場合にはこの方法では無理であり、有限要素法による解析を行う必要がある。

＜多層系地盤の場合＞

図-1に示すような多層系地盤については、次のようにして近似的に即時沈下量を求めることができる。

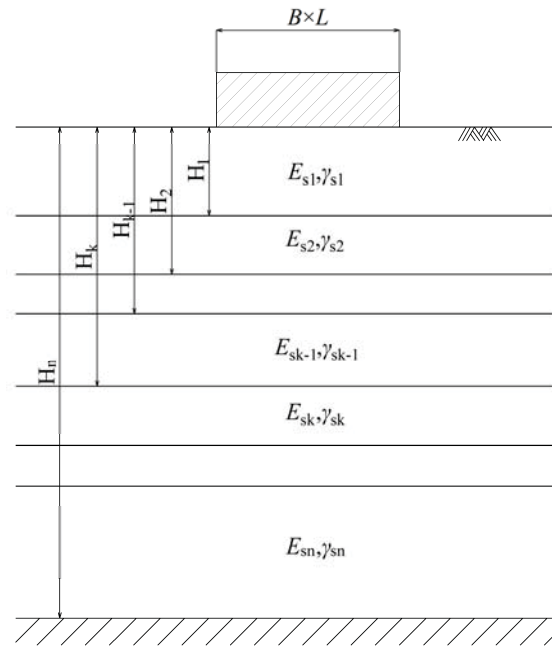


図-1 多層地盤の場合

$$S_E = \left\{ \frac{I_S(H_1, \gamma_{s1})}{E_{s1}} + \sum_{K=2}^n \frac{I_S(H_K, \gamma_{sK}) - I_S(H_{K-1}, \gamma_{sK-1})}{E_{sK}} \right\} qB$$

ここに、

$I_S(H_k, \gamma_{sk})$: 層厚 H_k 、ポアソン比 γ_{sk} の地盤における沈下係

H_K : 地表面から k 層下端までの距離(m)

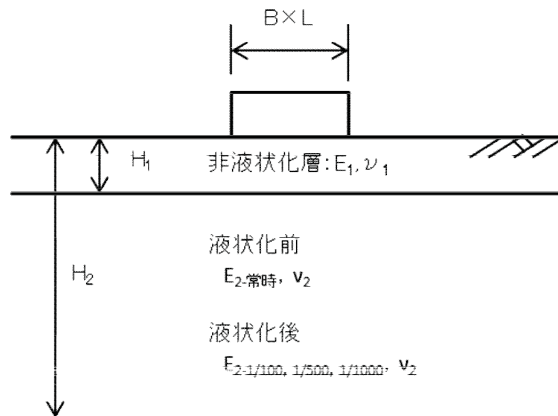


図-2 建築基礎構造設計指針における沈下量の計算方法と液化化による沈下量推定への利用方法⁸⁾

表-1 計算条件の仮定¹⁴⁾

矩形面の長さ	L	10	(m)	
矩形面の幅	B	10	(m)	
地盤の厚さ	H ₁	1	(m)	表層地盤深度
	H ₂	7	(m)	液状化地盤深度
地盤のヤング係数	E ₁	28000	(kN/m ²)	非液状化地盤 (N値=10回)
	E _{2-常時}	14000	(kN/m ²)	液状化対象地盤-地震前 (N値=5回)
	E _{2-1/100}	140	(kN/m ²)	液状化対象地盤-地震後 (E ₂ =1/100)
	E _{2-1/500}	28	(kN/m ²)	液状化対象地盤-地震後 (E ₂ =1/500)
	E _{2-1/1000}	14	(kN/m ²)	液状化対象地盤-地震後 (E ₂ =1/1000)
地盤のポアソン比	ν ₁	0.35		表層地盤
	ν ₂	0.35		液状化対象地盤
作用する荷重	q	10	(kN/m ²)	建屋荷重

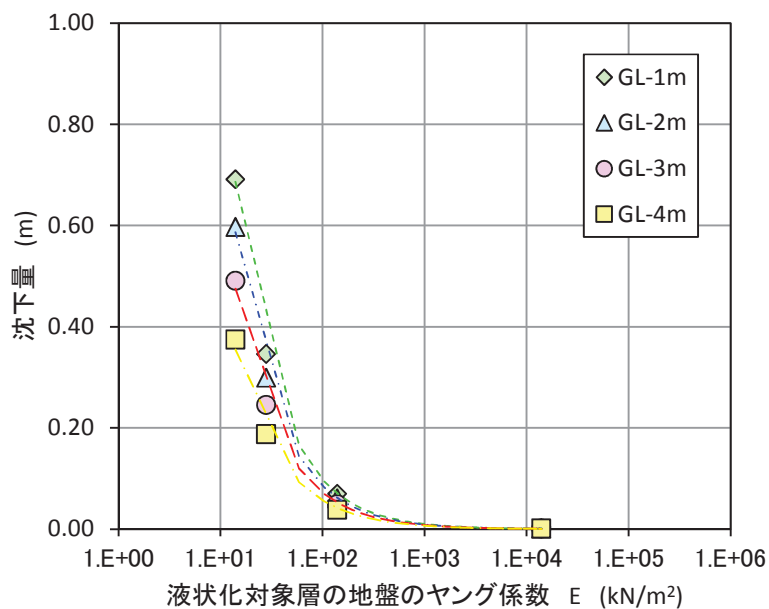


図-3 弾性論で計算した家屋のめり込み沈下量¹⁴⁾

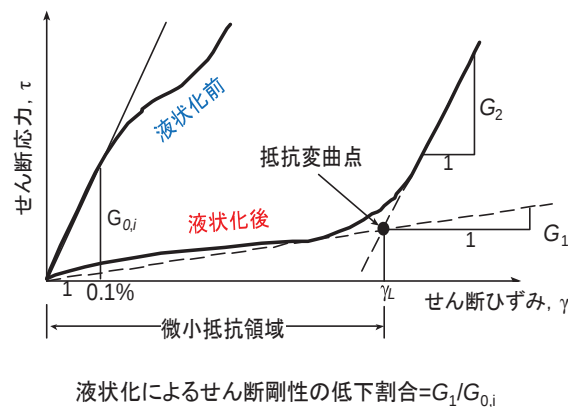


図-4 液状化に伴う応力～ひずみ、せん断剛性の低下の概念図¹⁵⁾

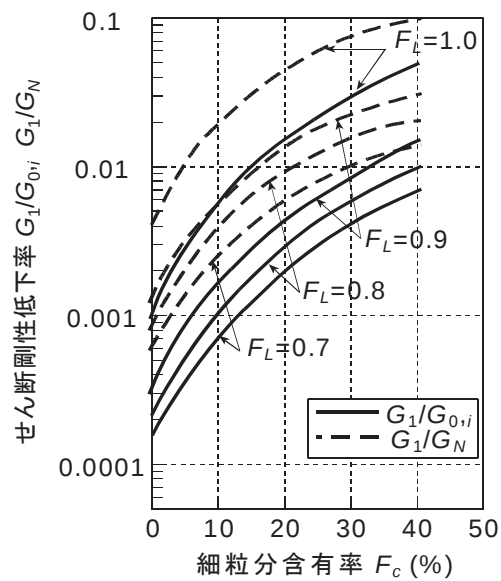


図-5 せん断剛性低下割合と F_L 、 F_c の関係¹⁶⁾

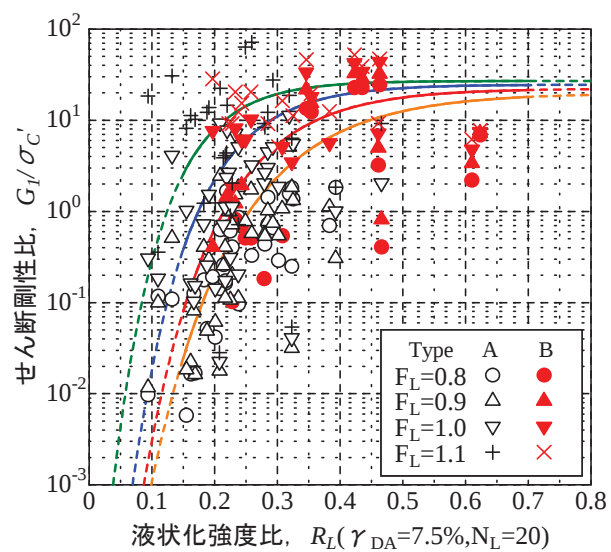


図-6 G_1 と R_L 、 F_L 、 σ_c' の関係¹⁵⁾