

2. 対策工法の検討目的

東日本大震災により液状化被害を受けた家屋を対象に、再度の液状化による被害の抑制を図るため、考慮する地震動と目標性能を設定し、地盤条件や街区の条件等を考慮した経済的で所要の対策効果が得られる工法を得ることを目的とする。

3. 対策工法の検討方針

一般住宅へ適用可能な液状化対策工法としては、大きく区別して以下の2つの方法がある。

- ① 地下水位低下工法
- ② 格子状地中壁工法

これらの工法については、地盤条件により適・不適があることから、最初に国総研の簡易評価シートを用い、工法の適用可能性の目安を得ることとする。次に、検討地点に適した工法について、対策効果を定量的に評価できる方法により詳細な検討を実施する。

4. 対策工法の検討フロー

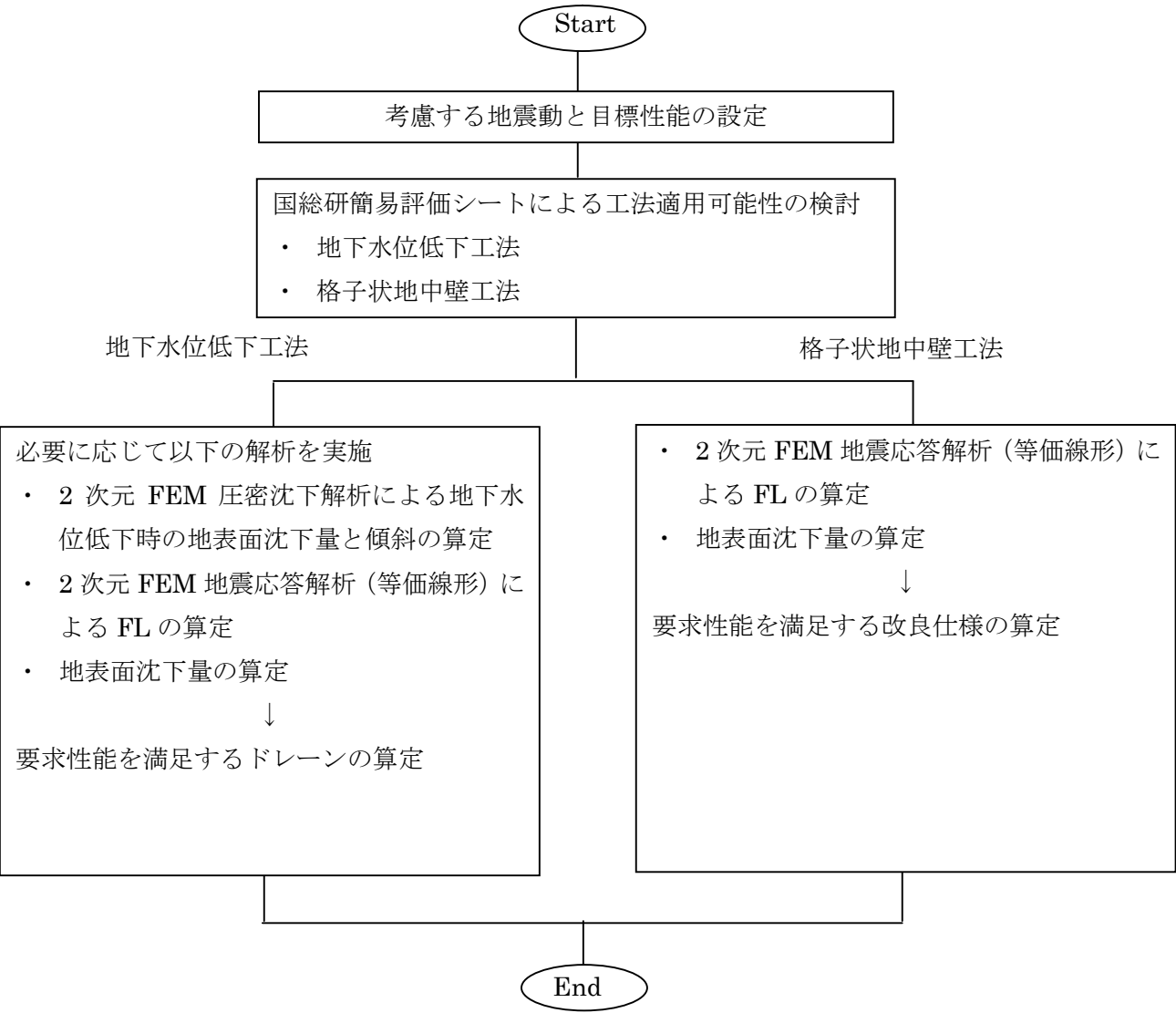


図-6.2 対策工法の検討フロー

5. 対策工法の検討において考慮する地震動と目標性能

(1) 対策工法の検討において考慮する地震動

ガイダンス案においては、想定地震動の大きさについて以下のように示されている。

出典：液状化被災市街地における地下水位低下工法の検討・調査について（ガイダンス(案)）

1) 想定地震動の大きさ

液状化対策の検討を行うためには、目標とする地盤の液状化による被害の抑制効果を想定することが必要となる。液状化対策として期待される水準を定めるには、対象とする地震動の大きさとこの荷重に対する応答値としてどのような指標により液状化の抑制効果を把握するかを想定しておくことが必要となる。

地震動の大きさとしては、各被災自治体（市町村等）において地域の社会的、経済的状況を踏まえた検討に資するため、基本的に以下の3タイプの検討が想定される。

- ① タイプ1：200gal、M7.5（中地震による中程度の揺れ）
- ② タイプ2：200gal、M9.0（巨大地震による中程度の揺れ）
- ③ タイプ3：350 gal、M7.5（直下型地震による大きな揺れ）

ここで、道路等の公共施設と宅地の一体的な対策を講じることを考えると、公共施設用地における要求水準と宅地における要求水準に一定の整合性が図られていることが求められる。地続きである公共施設と宅地の一体的な対策を考える場合には、液状化現象への対応を考慮する基本的な外力としては、まずは、中程度の揺れに対して安全性が確保されていることが重要となる。

ただし、即地的な状況を踏まえながら、例えば、被災を受けた地域における今次災害での地震動（東日本大震災において記録された巨大地震動のM9.0の等価繰り返し回数による影響）や、既往最大の地震（巨大地震による大きな揺れ）が発生した場合における地盤状況等についても把握し、液状化対策の効果や、液状化が発生した場合に想定される被害についても想定をしておくことで、事業に対する市民の理解の促進、合意形成等における目安とすることも考えられる。

この中では、以下の考えが示されている。

- ・ 公共施設における要求水準と宅地における要求水準に一定の整合性が求められる。
- ・ 一体的な対策を考える場合、まずは中程度の揺れに対して安全性が確保されることが重要。

（２）対策工法における目標性能

ガイドンス案においては、液状化抑制効果の指標として以下の事項が示されている。

- ・ 非液状化層厚（H1）の確保
- ・ 地表変位（沈下）（Dcy）の抑制

また、地下水位低下に伴う圧密沈下により、以下の問題が生じないこととしている。

- ・ 建物の不同沈下による傾斜が生じない
- ・ 長期にわたり宅地地盤が道路より高く、将来的に問題が生じない

1）非液状化層厚の確保

非液状化層厚については、地下水位低下工法と格子状地中壁工法で目安位置が異なっており、おのこの以下のように示されている。

2）一定の非液状化層厚の確保

地盤の液状化による家屋のめり込み沈下量や不同沈下量・傾斜量を推定することは、地震動や地質状況のみならず、基礎の構造形式、家屋の平面・立面形状、荷重分布、敷地条件等によって大きく異なり、個別の家屋についてそれらを定量的に把握することは困難であるが、まずは、液状化に対する宅地における対策の水準として、中程度の揺れに対して、家屋に軽微な損傷が生じる程度を目安とすることが考えられる。

また、これまでの研究成果等によると、

①一般的に、建築物の基礎の構造設計は地盤の許容応力度に基づいていることから、基礎下から 2.0 m 以上の支持地盤を確保することが望ましいこと

②非液状化層厚 H_1 を最低 3.0m 以上確保すれば、200gal 程度の揺れによる影響が少ないこと

③実験・解析等から、表層盤上改良等により、めり込み沈下による影響を軽減できることが想定されること

などから、図-6 に示すように非液状化層厚 $H_1 \geq 3.0\text{m}$ を確保すれば、地盤の液状化の抑制効果が見られ、中程度の揺れに対しての公共施設・家屋の安全性を確保するための条件の一つとなるものと見込まれる。

以上のような観点に留意しつつ、個別の被災市街地における地盤状況や家屋の被災状況の分布等を勘案しながら、より詳細な検討を行うことで、所要の非液状化層厚を設定することも想定される。

出典：液状化被災市街地における地下水位低下工法の検討・調査について（ガイドンス（案））国土交通省都市局 H25. 1

2）地表面から一定の層厚における地盤の液状化の抑制

地盤の液状化による家屋のめり込み沈下量や不同沈下量・傾斜量を推定することは、地震動や地質状況のみならず、基礎の構造形式、家屋の平面・立面形状、荷重分布、敷地条件等によって大きく異なり、個別の家屋についてそれらを定量的に把握することは困難である。そこでまずは、液状化に対する宅地における対策の水準として、中程度の揺れに対して、家屋に軽微な損傷が生じる程度までに被害を抑制することを目安とすることが考えられる。

一般的に、一定の層厚について建築物の支持地盤を確保することで、地震時のめり込み沈下による家屋への影響を軽減できることが想定される。しかし、格子状地中壁工法においては、地下水位の高さは対策前と同程度であるものと考えられ、地下水位が高い地域にあっては、めり込み沈下に対する影響についても十分に考慮する必要がある。

これらの状況を踏まえ、格子状地中壁工法の効果の発現にあたっては、一定以上の改良深さとするこ
とで、FL 値が 1 以上となる層厚について、地表面から 5m 程度を確保することが必要となるものと想定される。なお、5m より深い層が液状化する場合にはめり込み沈下は発生し難いものの液状化後に圧縮による地盤の沈下は発生するので、その影響に関して留意が必要である。

出典：液状化被災市街地における格子状地中壁工法の検討・調査について（ガイドンス（案））国土交通省都市局 H25. 4

表-6.4 ガイドンス案における液状化対策工における非液状化層厚 H1

対策工法	非液状化層厚 H1 の値（m）	備考
地下水位低下工法	3 m 以上	H1 を 3m 以上確保すれば、地盤の液状化の抑制効果が見られ、中程度の揺れ（200gal 程度）に対しての公共施設・家屋の安全性を確保するための条件のひとつとなるものと見込まれる。
格子状地中壁工法	5 m 以上	格子状地中壁工法においては、地下水位の高さは対策前と同程度であるものと考えられ、地下水位が高い地域にあっては、めり込み沈下に対する影響についても充分考慮する必要がある。 格子状地中壁工法の効果の発現にあたっては、一定以上の改良深さとするこ とで、FL 値が 1 以上となる層厚について、地表面から 5m 程度を確保することが必要となるものと想定される。

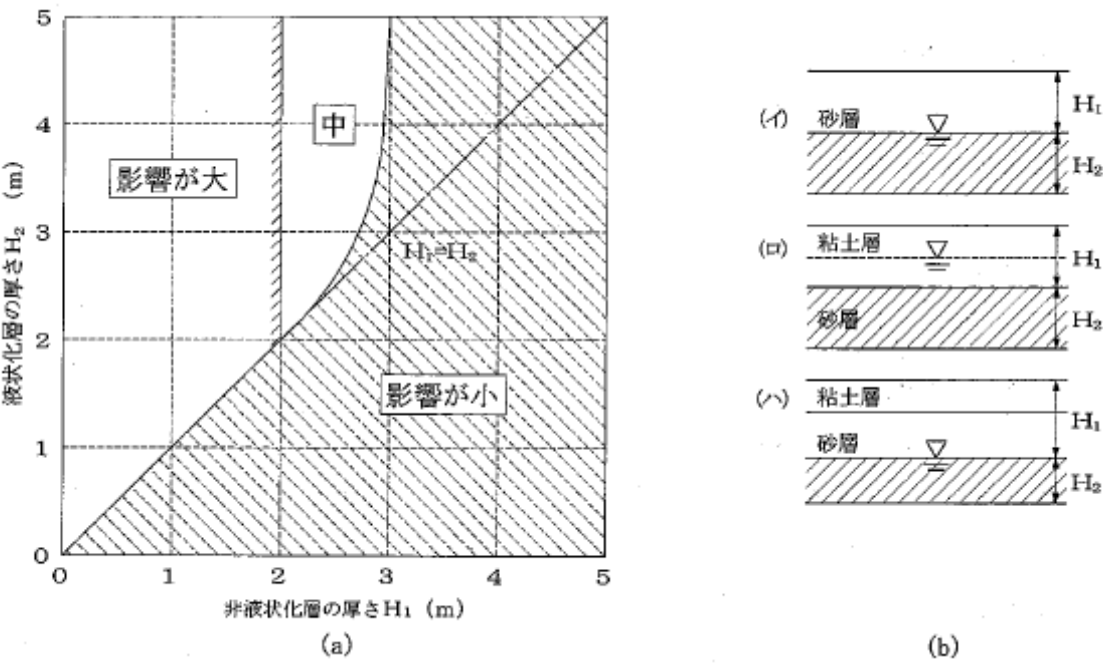


図-6.3 液状化の影響が値表面に及ぶ程度の判定（地表面水平加速度値 200cm/s2 相当）

（出典：小規模建築物基礎設計指針）

2) 地表変位 Dcy の抑制

地表変位の目安値としては、地下水位低下工法および格子状地中壁工法ともに以下の事項が示されている。

3) 地表変位 Dcy

道路、下水道などの公共施設（土木構造物）は、中程度の揺れに対して施設が損傷することなく、あるいは軽微な損傷があっても施設に求められる一定の性能が継続的に発揮できることが期待される。このため、公共施設と宅地の一体的な液状化対策を行う場合、公共用地については、これらの地震動に対して原則として液状化による被害が発生しないこと、または液状化による地盤の変形量が一定程度以下であることが想定される。また、宅地は、表-5 のように建築基礎構造設計指針（2001 年、日本建築学会）に定める液状化判定法（ F_L 法）に基づき、沖積砂層を含む地盤の変形を考慮した地表変位 Dcy が小さい（概ね 5～10cm 以内）ことが期待される。

道路と宅地の一体的な対策を講じる場合、それぞれの期待される要求水準に整合が図られることが求められるが、ここでは、地盤の変形を考慮した地表変位 $Dcy \leq 10\text{cm}$ を目安としつつ、この他の照査方法でも適切な方法があれば、その方法で検討を行うことも考えられる。例えば、過剰間隙水圧の消散に伴う体積圧縮ひずみによる地盤の沈下量の推定方法については、 Dcy から推定する方法以外にも、室内繰返しせん断試験により非排水状態で液状化試験を行った後に、排水状態にして過剰間隙水圧を消散させて液状化後の体積圧縮ひずみを直接求めた試験結果をもとに、液状化に対する安全率 F_L をパラメータとした図-7 に示す関係が、石原・吉嶺により提案されているので、これを用いることもできる。

表-5 地表変位（Dcy）と液状化の程度の関係⁸⁾

Dcy (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

表-6.5 ガイダンス案における液状化対策工における地表変位 Dcy

対策工法	地表変位 Dcy の値 (cm)	備考
地下水位低下工法 格子状地中壁工法	10cm 以下	道路と宅地の一体的な対策を講じる場合、それぞれの期待される要求水準に整合が図られることが求められる。 地盤お変形を考慮した地表変位 $Dcy \leq 10\text{cm}$ を目安としつつ、この他の照査方法でも適切な方法があれば、その方法で検討を行うことも考えられる。

3) 圧密沈下量の抑制

圧密沈下に対しては、ガイダンス案において以下の事項が示されている。

日本建築学会の「建築基礎構造設計指針」および「小規模建築物基礎設計指針」では、表-6 に示す通り、沈下の種類、基礎形式などに応じて、限度とする値が示されているが、参考値として沈下量がこれらを上回らないことを確認することが必要と想定される。

ただし、地下水位低下に伴う圧密沈下の影響は、敷地単位または公共施設用地と宅地にまたがり均等に圧密沈下が生じる場合においては、傾斜または高低差による機能障害等への影響は比較的小さいと想定される。地盤の沈下による影響、支障を考慮する際には、複数の地点における想定圧密沈下量（ $\angle S$ ）より、表-7、-8 に示されているように、傾斜または高低差を推定し、これらの傾斜量等による影響が軽微であることを確認することが求められる。この場合、例えば地質状況が比較的広域に渡り均質な状態であることが期待される地域については、工法の選択にあたり確認したボーリングデータ等から傾斜量等を推定することが考えられるが、地質状況が複雑であったり、不連続が発生していることが想定される場合等にあっては、必要に応じてより稠密なボーリングデータから傾斜量等を推定するなど、入念な調査が行われることが望ましいものと考えられる。

表-6 沈下量の限度値の参考値^{7),8)}

沈下の種類 基礎形式	即時沈下		圧密沈下	
	布基礎	べた基礎	布基礎	べた基礎
標準値	2.5	3 ～ (4)	10	10 ～ (15)
最大値	4	6 ～ (8)	20	20 ～ (30)

標準値：不同沈下による亀裂がほとんど発生しない限度値

最大値：幾分かの不同沈下亀裂が発生するが障害には至らない限度値

()：剛性の高いべた基礎の値

表-7 傾斜角と機能的障害程度の関係⁷⁾

傾斜角	障害程度	区分
3/1 000 以下	品確法技術的基準レベル-1 相当	1
4/1 000	不具合が見られる	2
5/1 000	不同沈下を意識する 水はけが悪くなる	
6/1 000	品確法技術的基準レベル-3 相当、不同 沈下を強く意識し申し立てが急増する	3
7/1 000	建具が自然に動くのが顕著に見られる	
8/1 000	ほとんどの建物で建具が自然に動く	4
10/1 000	配水管の逆勾配	
17/1 000	生理的な限界値	5

表-8 不同沈下の設計目標値の参考値⁷⁾

不同沈下	設計目標値
傾斜角	3 /1 000 以下
変形角	2.5/1 000 以下

出典：液状化被災市街地における地下水位低下工法の検討・調査について（ガイダンス(案)）

2) 格子状地中壁簡易計算シート

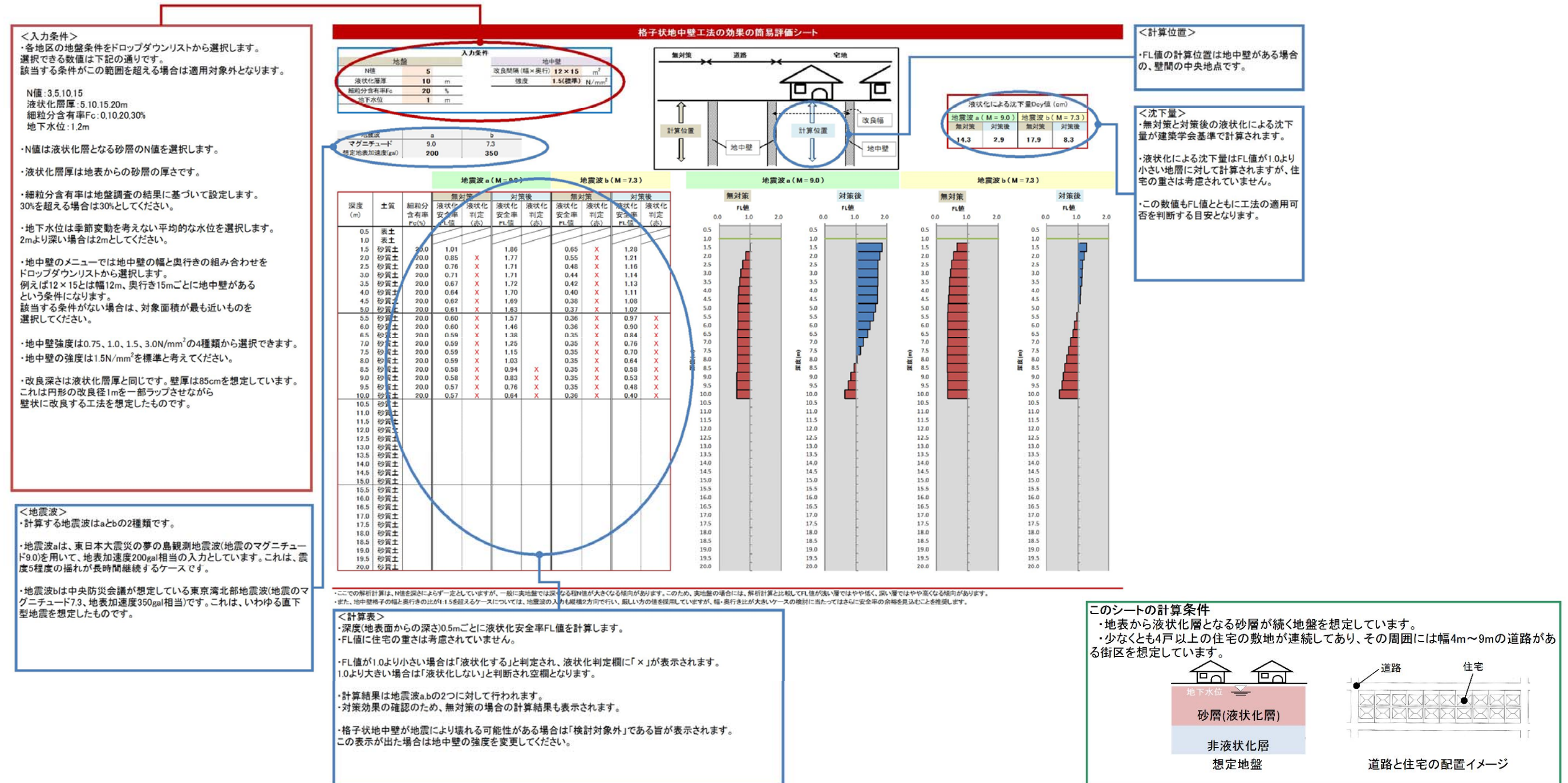
国総研より格子状地中壁工法について、地盤状況（N 値、液状化層厚、細粒分含有率など）と対策として適用する地中壁の格子の大きさや強度をプルダウンメニューから選択することによって液状化に対する安全率（FL 値）と液状化による沈下量（Dcy 値）を簡単に算定できる以下のエクセルシートが提供されている。

「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・影響簡易計算シート（試行版）」

2013.2 国土交通省 都市局・国土技術政策総合研究所

※格子状地中壁簡易計算シートで考慮する地震動は、以下の2種類

- ・地震波 a（タイプ 2）：地表面加速度 200gal、マグニチュード 9.0
- ・地震波 b（タイプ 3）：地表面加速度 350gal、マグニチュード 7.3



（２）２次元 FEM 圧密沈下解析

２次元 FEM 圧密沈下解析は、地下水位低下後の有効応力の増加に対する圧密沈下による地盤変形量を算定することができる。これにより、地表面の沈下量や建物位置の傾斜角を算定できる。解析モデル概念図を図-6.4 に示す。

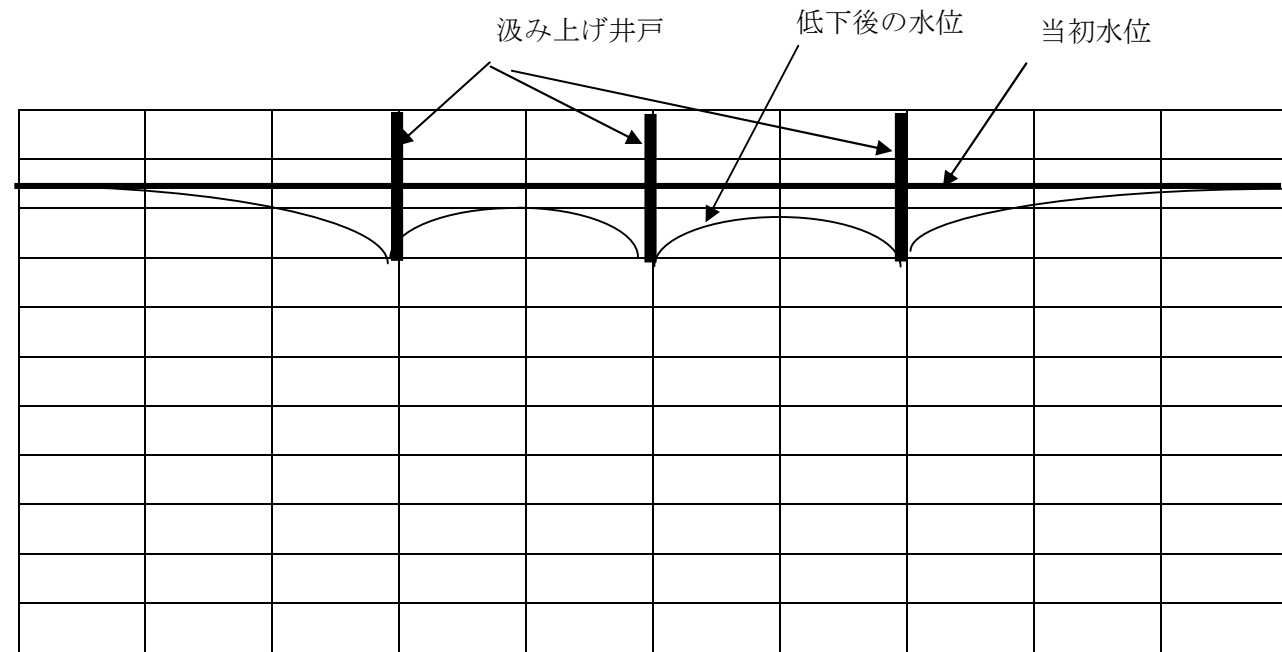


図-6.4 ２次元 FEM 圧密沈下解析モデル概念図

（３）２次元 FEM 等価線形地震応答解析

２次元 FEM 等価線形地震応答解析は、地下水位低下後の地盤条件や格子状地中壁による拘束効果をモデル化することができ、解析結果から地盤の液状化に対する安全率（FL 値）を算出することができる。解析モデル概念図を図-6.5 に示す。

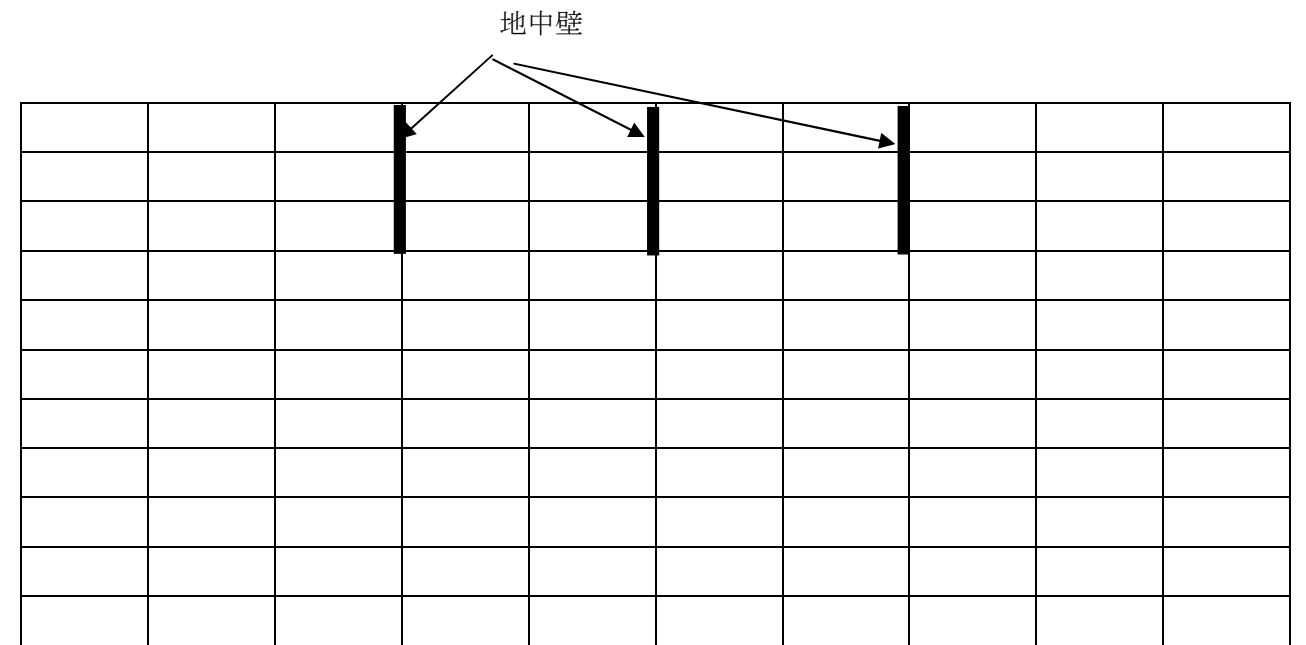


図-6.5 ２次元 FEM 等価線形地震応答解析モデル概念図