

積算資料

ポケット版

住宅建築編

2026年度版

設計事務所・工務店必携

特集

- I 自然災害（地震・台風）に備えた強い家づくり（制振・免震・地盤・液状化）
- II 住宅基礎設計の最新動向
- III 脱炭素時代のすまいづくり
一省エネルギー化を進める新たな基準「GX ZEH」のコスト試算一



「設計・見積り実例」掲載

● 推薦

(公社)日本建築士会連合会

(公社)日本建築家協会

(一社)日本建築士事務所協会連合会

(公社)日本建築積算協会

(一社)日本建築大工技能士会

(公社)東京中小建築業協会

全国建設労働組合総連合

(一社)JBN・全国工務店協会

(公社)商業施設技術団体連合会

住宅の設計と見積り
積算資料 **ポケット版** WEB
<https://www.pocket-ban.com/>

不同沈下対策として使用されている 砕石柱体の液状化対策工法としての利用例

エコジオ工法協会 会長 尾鍋哲也(株式会社 尾鍋組 代表取締役)
技術顧問 神村真(合同会社for 役員)

はじめに

住宅分野では、2000年代中頃から砕石を地中に柱状に打設することで軟弱地盤を改良する技術が複数開発されている。この砕石柱体は透水性が高く、液状化対策工法の一つである間隙水圧消散工法(以下、本工法と称す)でのドレーン材として活用できると考えられている¹⁾。しかし、砕石柱体をドレーン材として有効に機能させるためには、不同沈下対策工の検討時よりもより多くの情報を収集する必要がある、地盤調査費用が高額になる傾向にある。このため、本工法の住宅分野への適用事例は少ないのが実状である。

現在、液状化の危険度が高い地域での液状化リスクの調査内容、液状化対策の実施やその内容の決定については法律による明確な規定はなく、設計者(建築士)による液状化被害の実態、修復費用や補助金の存在そして対策工法の種類や工事費用の説明に基づき、発注者(消費者)自身が対策工事の実施の有無や工法を選定している。このため、建築士には液状化対策工法に関する幅広い見識が求められるが、本工法のように適用事例の少ない工法に関する設計・施工に関する詳細を記述した文献は少ない。このため、ここでは本工法のメカニズム、詳細な設計方法と必要な地盤調査項目を示すとともに、消費者への提案段階で行う簡易設計例と取扱い上の注意点を示すこととする。

1. 液状化現象のメカニズムと対策工法

(1) 液状化現象のメカニズム

ある容器にボールを詰め込む際、より多くのボールを納めるために容器を揺すった経験がある人は多いと思うが、地震動を受けた緩い砂も同じで、緩い砂地盤は、地下水がなければ地震動によって体積圧縮する。ところが、地下水位以深の緩い砂地盤では、このようにはいかない。

地震動の速度は、東北地方太平洋沖地震での千葉県中央区中央港では最大 $1 \times 10^{-1} \text{m/sec}$ (周期0.8秒付近)程度であった²⁾。砂地盤中の地下水流速は、式(1)から $5 \times 10^{-5} \text{m/sec}$ 程度と考えられ(砂地盤の透水係数 $1 \times 10^{-4} \text{m/sec}$ 、地震時の動水勾配0.5と仮定)、地震動の速度が地震時の地下水流速よりも2000倍速い。このことは、地震時に砂粒子に囲まれた地下水(間隙水)が、砂粒子によって圧縮されることで水圧上昇することを意味する。ところで、土粒子間に伝わる圧力は、式(2)のように自重や外力によって生じる圧力(全応力)から間隙水圧を差し引いた値(有効応力)で表される。また、砂地盤のせん断強さは、式(3)のように有効応力に砂地盤の強度に関する係数をかけることで与えられる。これらの式を見比べると間隙水圧が上昇すると有効応力が低下し、有効応力が低下すると砂地盤の強さが低下することが理解できる。つまり、液状化とは、地震動によって砂地盤中の間隙水圧が上昇することで有効応力が低下し、砂地盤がせん断強さを失う現象と言える。

- 地下水流速＝透水係数×動水勾配 (1)
 有効応力＝自重や外力による圧力(全応力)－間隙水圧 (2)
 砂地盤のせん断強さ＝有効応力×(砂地盤の強度に關係する係数) (3)

(2) さまざまな液状化対策工法

(1)から、有効応力がゼロにならないようにすれば液状化現象は発生しないことが分かる。その方法として以下の①～⑤の液状化対策工法がある。一方、液状化現象は発生するものの建築物に被害が生じないようにする工法(⑥)も存在する。①は締固めの影響が隣地にまで及び、③は広域な敷地内での対策を行うことに適していること等を考慮すれば、戸建て住宅あるいは小規模な造成宅地で採用可能な工法は四種類しかないことが分かる。

- ① 密度増大工法
- ② 固結および置換工法
- ③ 地下水位低下工法
- ④ 間隙水圧消散工法
- ⑤ せん断変形抑制工法
- ⑥ 液状化の発生を許容する工法

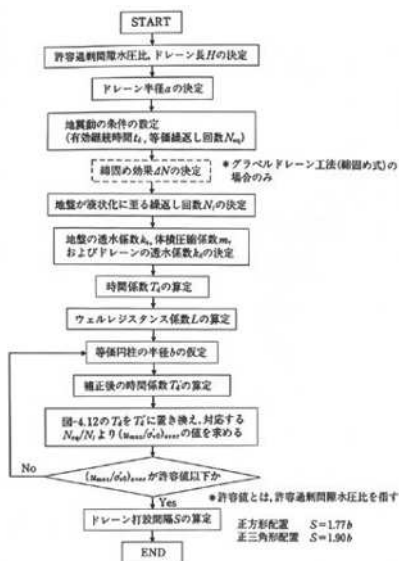


図1 本工法の設計の流れ³⁾

2. 間隙水圧消散工法の設計

(1) 設計の流れ

図1に本工法の設計の流れを示す³⁾。本工法の設計は、ドレーン材に囲まれた地盤で、過剰間隙水圧比が許容値以下になるためにドレーン材の間隔をどうすれば良いかを定める行為である。このため、地盤の透水係数、体積圧縮係数およびドレーン材の透水係数を土質試験や既存資料に基づいて設定する必要がある。

(2) 地盤定数の設定方法

①地盤の透水係数

地盤の透水係数はドレーンを設置する地層を対象に原位置透水試験を行うことで計測できるが、Creagerによる20%粒径と透水係数の関係からも推定することができる^{3), 4)}。

②地盤の体積圧縮係数

粘性土の過圧密領域での体積圧縮係数 m_v は、一軸圧縮強さによる推定式が提案されているが、砂質土については計測方法も確立されていない。このため、表1を参考に土質から推定する³⁾。

表1 mvの測定例³⁾

土質	相対密度	mv(m ² /kN)×98kPa
シルト質砂	—	0.005～0.02
緩い砂	20～40	0.005～0.01
中位砂	40～60	0.002～0.005
密な砂	60～80	0.001～0.002
礫	—	0.0005～0.001

③ ドレーン材の透水係数

ドレーン材の透水係数は動水勾配によって変化する。図2に動水勾配と透水係数の関係を示す。動水勾配は過剰間隙水圧比と密接な関係があるので、設定する許容過剰間隙水圧比から算定できる動水勾配での透水係数を選定しておけば安全側の設計が可能となる⁴⁾。許容過剰間隙水圧比は0.3～0.5とすることが一般的なので、限界動水勾配を0.8程度と仮定した場合、図2によればドレーン材の透水係数は6～20cm/sec程度となる。ドレーン材の透水係数を過大評価

するとドレーン材の間隔が大きくなるので、間隙水圧消散効果が十分に得られない可能性がある。上で記範囲内で適切に設定する必要がある。

(3) ドレーン材の目詰まり対策

ドレーン材(砕石柱体)の粒子径に対して周辺地盤の粒子径が小さければ、周辺地盤の土砂がドレーン材内部に侵入し、ドレーン材の透水係数に悪影響を及ぼすことが危惧される。これを防止するために、室内試験によってドレーン材の粒子径を決定する方法が提案されている⁵⁾。しかし、特殊な試験設備を要することから、目詰まりを防止するためのフィルター材の選定基準である以下の提案式を利用することがより現実的だと考えられる。ここで、 D_{G15} はドレーン材の15%粒径、 D_{S85} はドレーン材周辺地盤の85%粒径である。これらの式に土質試験で得られた D_{S85} を代入し D_{G15} を算定し、使用する砕石の粒子径を決定する。

$$D_{G15} / D_{S85} < 4 \quad 6)$$

$$D_{G15} / D_{S85} < 5 \quad 7)$$

$$D_{G15} / D_{S85} < 9 \quad 8)$$

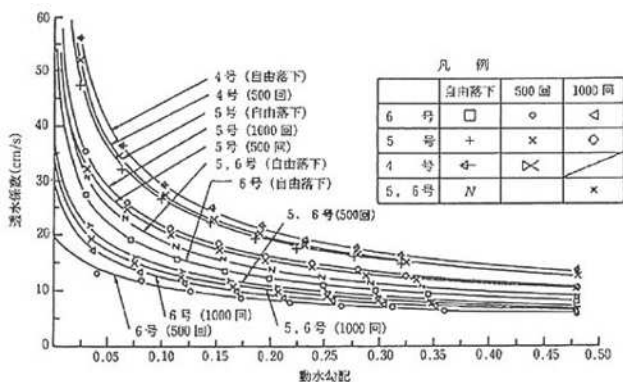


図2 動水勾配とドレーン材(砕石柱体)透水係数の関係⁴⁾

3. 住宅基礎地盤への適用のための簡易設計

住宅設計のための地盤調査では、SWS試験のみが利用されることが多いが、SWS試験結果のみでは本工法の詳細設計はできない。一方、近年は土地売却時に不同沈下対策のために打設した鋼管や柱状改良体の撤去を求められるケースが増えつつある。従って、液状化対策として鋼管や柱状改良体を施工した場合、将来の土地転売時に撤去費用相当額が売却価格から差し引かれる可能性がある。これに対して著者らが開発した工法(以下、エコジオ工法)では砕石柱体が基礎工事を阻害しないことを確認している^{9),10)}。さらに、自然砕石を使用することを前提とすれば、砕石柱体の撤去を求められる可能性が低いと考えられる。つまり、本工法には液状化対策としての性能だけでなく、「将来の負担が小さい」という技術的な価値以外の付加価値を期待できる。そのため、本工法を液状化対策の選択肢としてあらかじめ検討しておくことは、消費者にとっても有益である。

ただし、SWS試験と近隣ボーリングデータのみを用いた簡易設計結果には多くの仮定が含まれる。このため、条件によっては期待した効果が得られない場合もあり、事前に簡易設計の適用範囲やリスクを適切に説明する必要がある。そこで、以下では、簡易設計結果を示すとともに、液状化対策工法としての性能に影響を及ぼす項目を整理して示す。

(1) 設計条件の仮定

表2に設計条件と地盤およびドレーン材の設計定数を示す。ここで、想定する地震は建築基準法で想定している中規模地震(震度5強、地表面

加速度200gal)である。また、許容過剰間隙水圧比は文献^{3),4)}から0.5とする。なお、液状化対象層は、近隣ボーリングデータを参考にSWS試験結果から推定する。

表2 設計条件

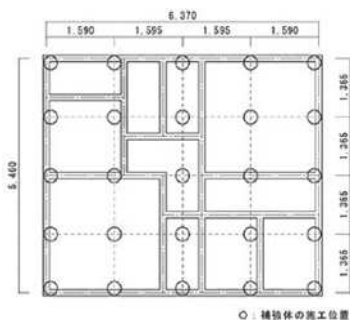
設計定数等	設定数値
震度	5強 ^{※1)}
マグニチュード	6 ^{※2)}
許容過剰間隙水圧比	0.5
地盤の透水係数ks(cm/sec)	5.1×10^{-3}
地盤の体積圧縮係数(m ³ /kN)	0.005(表1参照)
ドレーン材の透水係数kg(cm/sec)	10(図2参照)

※1 建築基準法上での中規模地震を想定

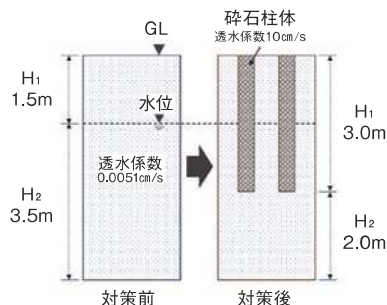
※2 平成28年から令和7年までの震度5強地震での平均値¹¹⁾

(2) 設定仕様による対策工効果の確認

図3に設定した対策仕様を示す。著者らが開発したエコジオ工法の施工可能深度は施工地盤面から下方に5mまでなので、液状化対象層がそれ以深にも分布する場合、無対策の液状化対象層が残されることになる。このようなケースでは、液状化対策効果を確認するため図4に示す非液状化層の層厚H₁と液状化対象層の層厚H₂から液状化の危険度を評価する図を用いて対策効果の評価する¹²⁾。ここでは、液状化の影響検討を地表面GLからGL-5mまで、H₁は地表面からドレーン材先端深度までとして、本工法による対策効果の評価することとした。



(i) 配置図



(ii) 碎石補強体打設深度

図3 対策仕様例

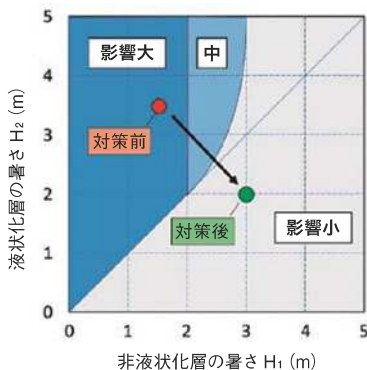


図4 対策効果の確認例

(3) 簡易設計の留意点

- ・**適用可能地形**：敷地内で液化化対象層の層厚が変化する地形や近傍に盛土や護岸等高低差がある敷地では、液化化によって側方流動が発生する可能性がある。このような敷地では本工法の対策効果の評価はできない。
- ・**余長の確保**：図3(i)では、基礎よりも外側にドレーン材を打設していない。設計で検討しているのはドレーン材に囲まれた範囲での対

策効果であるので、この仕様では基礎外周部付近の対策効果が担保されていない。住宅用の敷地は面積の制約が大きく、このような配置とせざるを得ない場合が多いが、敷地に余裕がある場合は余長を確保することを原則とする。

- ・**ドレーン材の粒径**：簡易設計では、ドレーン材周辺地盤の粒度分布を考慮せずにドレーン材の粒径を決定する。このため、ドレーン材の目詰まりに対する対策が不十分である可能性が残される。

・追加地盤調査：簡易設計は、対策に要する費用を把握することが目的であり、対策効果をより確実なものとするためには、追加の地盤調査が必要である。このことを、発注者に伝えることを忘れてはいけない。

おわりに

住宅分野で不同沈下対策として活用されている砕石柱体による液状化対策工法(間隙水圧消散工法)について、その設計方法および利用例を示した。簡易設計法で決定した対策仕様は、その効果が不明瞭ではあるものの、工法選定の予備検討としては十分な情報量を確保できていると考えられる。本工法の適用は土地の転売時にメリットを得られる可能性があるため、その他の工法とともに消費者に提示し消費者の損益検討の一材料とされることを勧めたい。

【参考文献】

- 1) 酒井俊典, 尾鍋哲也, 神村真, 川又良一: 液状化地盤を対象とした小型砕石地盤改良機による支持力及び透水性改良効果の検討, 地盤工学会誌, 第62巻, 第6号, pp18-21, 2014.
- 2) 気象庁: 協伸観測データ, 強震波形(平成23年(2011年)東北地方太平洋沖地震), https://www.data.jma.go.jp/eqev/data/kyoshin/jishin/110311_tohokuchiho-taiheiyouuki/index.html
- 3) 地盤工学会編: 地盤工学・実務シリーズ18 液状化対策工法, pp.363-389, 2006.
- 4) 建設省土木研究所耐震技術研究センター土質研究室他: 液状化対策工法設計・施工マニュアル(案), pp.136-154, 1999.
- 5) 伊藤克彦, 大北康治, 松沢宏: 砕石ドレーン工法にける目詰まり防止に関する研究, 土木学会論文集, No.439, III-17, pp.53-62, 1991.12.
- 6) Terzaghi, K.: Effect of Minor Geologic Detail on the Safety of Drains, Bulletin, American Institute of Mining Eng., Tech. Pub. 215, 1926.
- 7) 日本ダム会議: 改訂ダム設計基準.
- 8) 大野義男, 伊藤克彦, 南川洋士雄, 大北康治: 砕石ドレーンの短期目詰まり限界について, 第19回土質工学研究発表会, pp.191-192, 1984.
- 9) 尾鍋哲也, 大石新之介, 神村真, 酒井俊典: エコジオ工法による砕石補強体が地盤改良工事に及ぼす影響～施工について～, 第54回地盤工学研究発表会, 2019.
- 10) 大石新之介, 尾鍋哲也, 神村真, 酒井俊典: エコジオ工法による砕石補強体が地盤改良工事に及ぼす影響～品質について～, 第54回地盤工学研究発表会, 2019.
- 11) 気象庁: 日本付近で発生した主な地震被害(平成28年以降), 地震・津波・火山の過去の被害(最近の被害地震一覧), 日本付近で発生した主な被害地震(平成8年以降), <https://www.jma.go.jp/jma/menu/menureport.html>
- 12) 日本建築学会: 小規模建築物基礎設計指針, pp.93-98, 2025.