

# スウェーデン式サウンディング試験孔を利用した地下水位測定と 土質判定の適用性に関する検証事例

Verification Case with Applicability of Measuring the Groundwater Level and  
Soil Distinction Using the Hole of Swedish Weight Sounding Test

松下 克也 (まつした かつや)  
㈱ミサワホーム総合研究所 構造・振動研究室室長

金 哲 鎬 (キム チョルホ)  
報国エンジニアリング㈱ 技術部長

久保 豊 (くぼ ゆたか)  
システム計測㈱ 代表取締役

藤井 衛 (ふじい まもる)  
東海大学教授 工学部建築学科

岡野 泰三 (おかの たいぞう)  
三井ホーム㈱技術企画部 シニアマネージャー

千葉原 敦 (ちばはら あつし)  
ジャパンホームシールド㈱

## 1. はじめに

スウェーデン式サウンディング試験（以後、SWS 試験と呼ぶ）は、戸建住宅用の宅地地盤を評価する手法として広く使われており、SWS 試験から宅地地盤の支持力を算定する方法が、国土交通省告示第1113号で規定された。また、同告示では地震時に液状化するおそれのある地盤の場合は、建築物に有害な変形や沈下が生じないことを確かめることも義務づけている。

日本建築学会の「小規模建築物基礎設計指針<sup>1)</sup>」では、小規模建築物の場合、液状化による被害として人命が損なわれたことは過去の地震ではほとんどないが、中地震程度の地震動によって液状化が発生し、建築物に不同沈下の被害が生ずるなどの可能性が高いこと、また、小規模建築物のように軽量の構造物の液状化による被害は、中地震時の場合でみるとおおむね地表面から5m程度の深さまでの層の液状化に起因していることから、液状化発生の可能性の検討は、地表面から5m程度までの地下水で飽和した砂層について行うこととし、中地震動に対して微地形などからの概略判定と併せて、簡易粒度分析と地下水位に基づく経済性に配慮した簡易な液状化判定方法を推奨している。しかし、小規模建築物、特に戸建住宅においては、液状化判定に必要な土質定数を得るための調査や試験が行われることは極めてまれであり、SWS 試験のみが行われているケースが多い。

水位と土質が確認できれば、簡易な液状化判定が可能となることから、SWS 試験孔を利用した地下水位の確認や土質判定が実施され始めたが、現状、SWS 試験孔を利用した地下水位測定は、ロッドの湿り具合などで判断されており、その精度については明確ではない。また、土質の判別については、音や試験者の感覚で決定しているにすぎない。最近では、SWS 試験機のロッドにサンプリング機構を設けているものもあるが、信頼性の面で問題も多い。

そこで、本稿では SWS 試験孔を利用した地下水位の

確認方法と土質判定方法の適用性について検証を行ったので、その事例を報告する。

## 2. 地下水位の測定方法

### 2.1 実験概要

SWS 試験によるサウンディング孔を利用する地下水位測定は、砂質土の場合、サウンディング孔が崩壊することが多く、正確な水位の確認ができない場合もある。そこで、サウンディング孔の崩壊防止に SWS 試験用ロッドと同じ外径の中空のロッドを製作した。

実験に使用した有孔パイプは、側面に  $\phi 4$  mm の横穴を 250 mm 間隔で空けた、外径  $\phi 19$  mm、内径  $\phi 7$  mm、長さ 1 m の中空の鋼製ロッドである。水位の測定は、交流式の比抵抗水位計で、先端にセンサーの付いたメジャーケーブルは、中空ロッドに容易に挿入可能な  $\phi 5$  mm のものを使用した（図-1）。

実験に際し、図-2 に示すとおり、あらかじめ実験位置から対称にそれぞれ 1 m 離れた 2 箇所、最大 10 m まで先行掘りし、VP13 の塩ビ管（外径  $\phi 18$  mm、内径

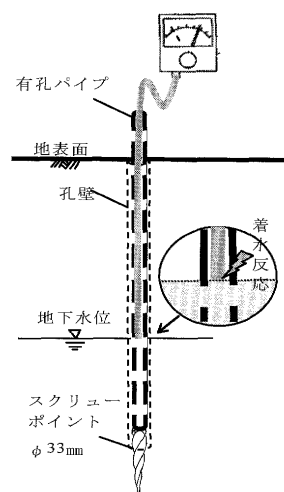


図-1 実験装置と測定方法

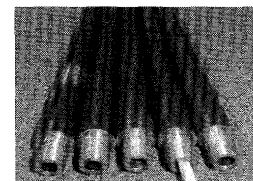


写真-1 有孔パイプ

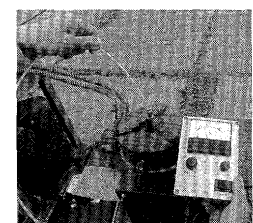


写真-2 小口径水位計

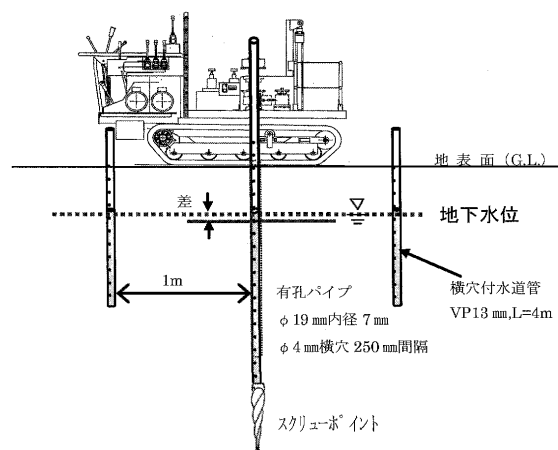


図-2 実験方法の概略

表-1 地下水位測定結果一覧

No.	調査場所	推定土質 (地下水付近)	微地形区分 (液状化可能性の程度)	液状化 可能性 の程度	調査 深度 G.L.-(m)	地下水 基準水位 との差 m	収束 時間 分
1	宮城県東松島市大曲	砂質土	堤間低地(浜堤)	大	3.00	1.53	25分
2	宮城県東松島市矢本	砂質土	堤間低地(浜堤)	大	3.20	1.10	5分
3	山形県山形市成安	粘性土	湿地	中	10.00	0.57	20分
4	福島県矢吹町新町	礫混じり砂	扇状地型谷底平野	小	5.97	2.39	15分
5	新潟県東区石山	砂質土	後背低地	中	3.50	3.02	1分
6	石川県小松市沖町	砂質土	後背低地	中	10.00	0.57	10分
7	栃木県鹿沼市日吉町	粘性土	湿地	中	10.00	1.84	3分
8	茨城県鉾田市上幡木	粘性土	湿地	中	10.00	0.53	12分
9	埼玉県葛蒲町葛蒲	粘性土	湿地	中	4.25	1.11	3分
10	埼玉県草加市柿木町	粘性土	後背低地	中	10.00	0.67	10分
11	千葉県花見川区大日町	粘性土	ローム台地(軽微)	軽微	10.00	3.79	2分
12	千葉県船橋市芝山	砂混じり粘土	湿地	中	10.00	0.85	3分
13	東京都東村山市秋津町	砂礫	台地	-	2.25	(3.0)	-
14	東京都八王子市大目町	砂礫	丘陵	-	6.00	(9.2)	-
15	東京都墨田区東向島	砂混りシルト	後背低地	中	10.00	1.30	2分
16	東京都足立区六木	細砂～シルト	後背低地	中	10.00	0.41	15分
17	東京都江戸川区鹿骨	砂質シルト	後背低地	中	8.95	1.12	2分
18	東京都葛飾区堤切	砂質シルト	後背低地	中	10.00	1.23	1分
19	山梨県笛吹市石和町種中島	砂質土	扇状地型谷底平野	小	2.80	2.40	5分
20	山梨県笛吹市御坂町二之宮	粘性土	扇状地型谷底平野	小	5.35	3.99	5分
21	静岡県藤枝市仮宿	粘性土/砂礫	扇状地	小	5.95	0.90	3分
22	静岡県浜松市南区白羽町	砂質土	自然堤防	中	3.50	1.82	15分
23	愛知県一宮市木曾川町	砂質シルト	後背低地	中	9.75	1.02	8分
24	岐阜県岐阜市細畑	砂質シルト	後背低地	中	7.95	0.62	30分
25	大阪府茨木市別院町	砂質土	後背低地	中	4.25	0.40	5分
26	岡山県倉敷市曾原	シルト混り砂	扇状地	小	10.70	1.12	5分
27	岡山市北区東花尻	粘土混り砂	扇状地	小	10.00	1.04	5分
28	福岡県久留米市城島町	砂質シルト	三角州性低地	中	12.75	1.72	30分
29	佐賀県唐津市原	砂～シルト	後背低地	中	5.00	1.98	3分
30	福岡県前原市新田	砂質土	後背低地	中	10.00	1.83	5分
31	熊本県熊本市島町	粘性土	後背低地	中	10.00	1.28	1分
32	鹿児島県姶良町東餅田	礫混じり砂	堤間低地(浜堤)	大	9.50	1.11	3分

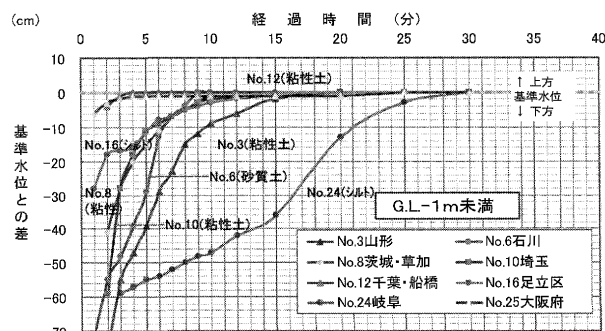
※液状化可能性の程度は「住宅の液状化被害の簡易予測法とその防止法」<sup>2)</sup>より判定。

( ) 地下水位は、近隣井戸の参考水位で、有孔パイプ貫入深度より深かったケース。

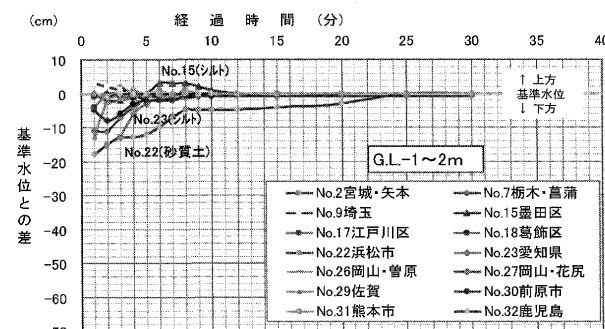
φ13 mm, 横穴 φ4 mm@250 mm) を挿入して置き、観測孔とした。2本の観測孔の水位が平行となり安定するまで観測孔設置から数時間放置し、安定した水位を基準地下水水位とした。

中空の鋼製ロッドの先端にSWS試験用のスクリーポイントを装着し、SWS試験機で貫入試験を実施する要領で地中に貫入した状態で水位を測定する。

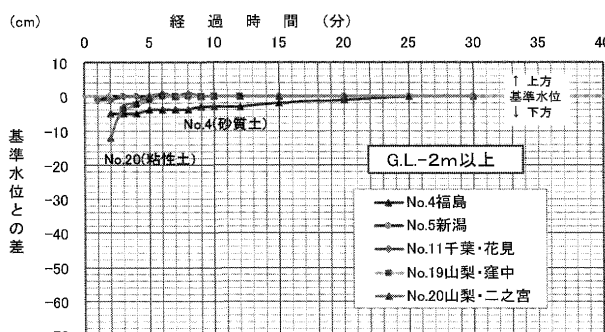
貫入完了直後から計測を開始し、実験用有効パイプ内の水位が基準地下水水位に収束するまでの時間と基準地下水水位との水位差を記録した。水位の測定は、有孔パイプの中空部に小口径水位計のケーブルを挿入し、電気抵抗の変化を利用して、パイプ内の水面の位置を測定した。



(a) 地下水位が地表面から1m以内の場合



(b) 地下水位が地表面から1~2mの場合



(c) 地下水位が地表面から2m以上の場合

図-3 測定水位と収束時間

## 2.2 実験結果

表-1に実験結果の一覧を、図-3に測定水位の基準地下水水位への収束時間の結果を示す。SWS試験のスクリーポイントの最大径は33mmと小さいため、安定した水位の確認が難しいと考えられたが、SWS試験孔で地下水位が観測された30例のすべてにおいて、深さに関係なく30分までに基準地下水水位に収束したことが確認できた。土質の違いによる水位の収束時間には明瞭な差は確認できなかった。

図-3(a)は、基準地下水水位が地表面から1m未満の極めて浅い位置に地下水が存在する場合の9例、図-3(b)は、基準地下水水位が1~2mの場合の14例、図-3(c)は、基準地下水水位が2m以上の場合の5例と地下水水位の深さに分けて分類して示した。地下水位が1m以内の収束時間が1m以上の結果より、相対的に時間を要している傾向が見られたが、SWS試験実施中に測定できる時間であり、測定時間が問題となるほどではなかった。

### 3. 土質の判定方法

#### 3.1 実験概要

SWS試験によるサウンディング孔を利用する電気検層法により、土質の判別を試みた。電気検層法は、本来、ボーリング孔を利用して土の電気比抵抗の大きさから薄い砂層を発見するのに有効な手段として利用されてきた。既往の研究<sup>3)</sup>では、比抵抗係数（土の比抵抗に対する間隙水の比抵抗の比）は、土の間隙率の大きさと密接な関係があることを指摘している。このように、電気検層法をSWS試験孔で実施することができれば、砂と粘性土の判別が可能となるので、室内と現場実験を通して、その適用性を調べてみた。

実験は、下記の項目について行った。

- i) 土の粒度と比抵抗係数との関係
- ii) 測定孔の大きさが比抵抗係数に及ぼす影響
- iii) 実地盤における土質判別の可能性

i)については、室内にて調整した人工配合土と比抵抗係数との関係を調べた。人工配合土は、笠岡粘土とけい砂7号を11種類の質量比で配合したものである。その粒度分布曲線を図-4に示す。

電気比抵抗は、それぞれの配合土に対して、含水比を3種類に変化させた状態で測定した。使用した溶液は、塩化カリウム水溶液（以下KCl溶液と略す）であり、規定濃度を0.1規定・0.01規定・0.005規定・0.003規定・0.001規定の5段階に変化させた。KCl溶液に使用した水は、蒸留水を用いており、塩化カリウムはJIS K 8121に規定する電気伝導率測定用の試薬を用いた。電気比抵抗の測定には、市販の電気伝導計を用いた。測定に用いた容器はφ50×100mmの鋼製型枠であり、この容器に試料を詰め込み、写真-3のようにして計測した。

ii)については、筆者らが使用した電気伝導コーン<sup>4)</sup>の精度や測定孔の大きさが比抵抗に及ぼす影響について検討を行った。測定容器はプラスチック製であり、寸法はφ100×200mmである。孔の径は、それぞれ、0, 19, 33, 50, 60mmとした。電気伝導コーンを図-5に示す。

iii)の実現場は、平塚市北金目1117にある東海大学湘南校舎の敷地内にて行った。実験に際しては、まずSWS試験を実施し、試験孔に水位が確認されなかった

ため、あらかじめ孔内を濃度0.001規定のKCl溶液で満たし、SWS試験孔であっても、通常の電気検層法と同様に比抵抗の計測が可能かどうかを調べた。

#### 3.2 実験結果

##### i) 土の粒度と比抵抗係数との関係

図-6は、KCl溶液の濃度0.001規定における土の比抵抗係数と土の配合比率との関係を示したものである。粘土と砂の配合比率が4:6より砂の配合が上回ると、比抵抗係数が急激に増大する。これは、図-7に示すように不飽和の影響が現れるからである。実際は、地下水位以深で計測することになるが、比抵抗係数が0.3を上回ると砂質土である可能性が高くなることを示唆している。また、配合比率と比抵抗係数との関係は間隙水の比抵抗の大きさによっても異なる。この3者の関係をまとめると、図-8のようになる。これにより、土と間隙水の比抵抗が測定できれば、砂と粘性土の判別が可能となる。

##### ii) 測定孔の大きさが比抵抗係数に及ぼす影響

図-9は、0.003規定のKCl溶液を笠岡粘土に含ませ

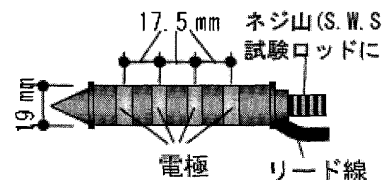


図-5 電導コーン



写真-3 孔内測定状況

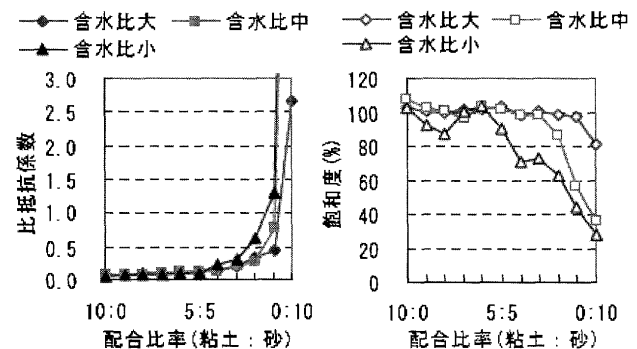


図-6 土の比抵抗係数と配合率の関係

図-7 土の飽和度と配合率の関係

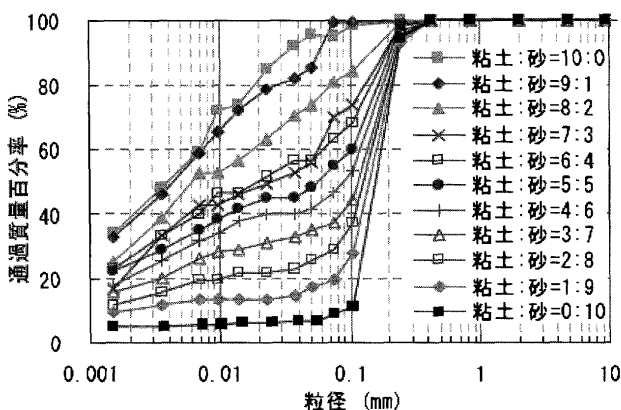


図-4 試料土の粒度分布

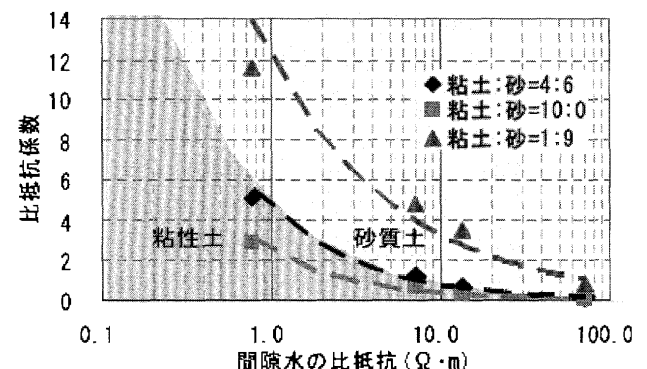


図-8 配合別の間隙水の電気比抵抗と比抵抗係数との関係

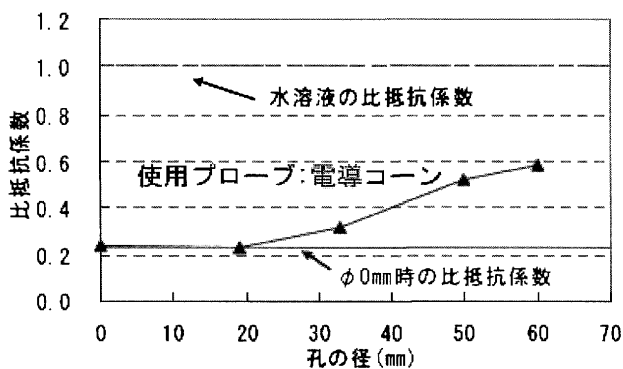


図-9 孔の径とプローブの比抵抗係数 (笠岡粘土)

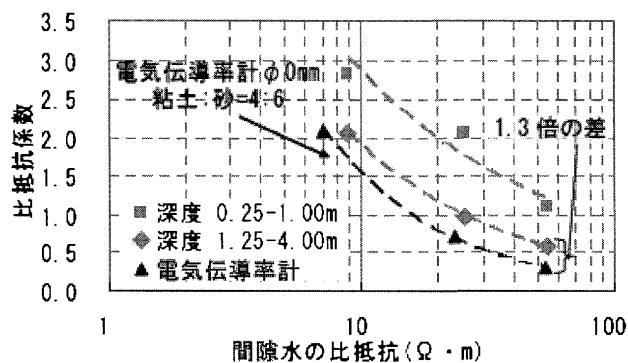


図-11 孔内溶液が KCl 濃度0.003規定時の比抵抗曲線

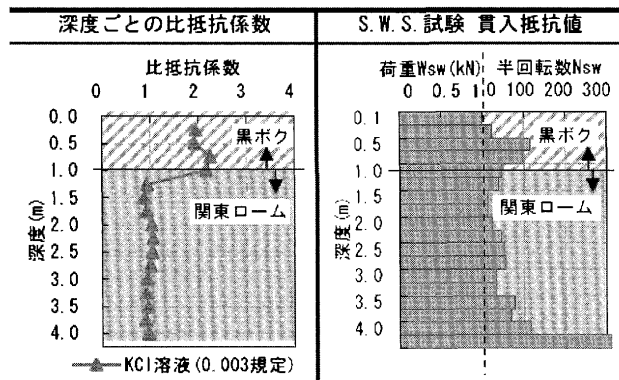


図-10 比抵抗係数と SWS 試験結果との関係

で、孔径を変えた時の比抵抗係数の変化を示したものである。SWS 試験の孔は直径が33 mmであり、直接的に試料土に電極を挿入した場合より、約1.5倍比抵抗係数が大きく現れている。φ19 mmではほとんど変化がなく、φ50 mmで約2.5倍、φ60 mmで約3倍になっている。今回の電気伝導計の径がφ19 mmであることから、孔の径による比抵抗係数の増大率は、孔の直径に対する電極計の直径にほぼ等しく現れていることがわかる。

iii) 実地盤における土質判別の可能性

図-10は比抵抗係数と SWS 試験結果の関係であり、図-11は KCl 溶液0.003規定で孔を満たした時の比抵抗曲線を表している。地表面から1.0 mまでは、礫混じりの黒ボクであり、1.0 m以深は均質な関東ローム層であるがスコリアが混じっており砂質土に近い。ここで、図-11において図-9で見られる孔径の影響を考慮し、比抵抗係数を1.3で除してみると、ほぼ粘土と砂の4:6の曲線に近くなる。また、電気検層法からも明確に SWS 試験で得られた地層の境界と同じ位置で比抵抗が変化していることがわかる。

4. まとめ

地表面から3 m程度まで非液状化層が存在すれば、中地震動での液状化が地表面に及ぼす影響が小さい<sup>1),5),6)</sup>。したがって、小規模建築物の場合3 m程度ま

での比較的浅い位置の地下水位が確認できれば、簡易な液状化判定に有効な手段となる。今回の実験では、SWS 試験によるサウンディング孔を使って短時間に地下水位が確認できることが分かった。通常、戸建住宅の SWS 試験は、計画建物の四隅と中心の計45箇所実施されている。地盤調査の試験実施中に地下水位が観測可能な時間である。

次に、土質判定については、今回は、地下水が存在しない状況下で人為的に水溶液を SWS 試験孔に満たしたこともあって、不飽和の影響が現れた可能性もあるが、SWS 試験によるサウンディング孔を利用した電気検層法による土質判別は可能であるとの見通しを付けることができた。今後は、数多くの実現場においてこの方法の適用性について検証を実施する。

以上のように、本報告で提案した方法は、SWS 試験の補問としての利用の他に、液状化対策工が計画されている地盤において、設計内容を着工時に検討することもできる。すなわち、施工段階での品質管理の向上を図ることも可能となる。

これらの結果は、SWS 試験が広く普及した戸建住宅の基礎設計において、今後、液状化に対する検討を積極的に取り入れていくのに際し、微地形区分や液状化履歴などと合わせて総合的に判断することにより、有用な情報となることが十分に期待できる。

参考文献

- 1) 日本建築学会編：「小規模建築物基礎設計指針」, 第5章, pp. 88~92, 2008.
- 2) 浅田秋江：住宅の液状化被害の簡易予測法とその防止法, 1983年日本海中部地震15周年記念誌.
- 3) 藤井 衛：電気検層法による土の間隙率測定法, 土質工学会論文報告集, Vol. 22, No. 3, pp. 145~151, 1982.
- 4) 福江正治ほか：電導コーンの開発とその応用, 土木学会論文集, No. 596/III-43, pp. 283~293, 1998.
- 5) Ishihara, K.: Stability of Natural Deposits during Earthquakes, 11th ICSMFE, Vol. 1, pp. 321~376, 1985.
- 6) 鈿都市再生機構「宅地耐震設計マニュアル(案)」(2003年版).

(原稿受理 2010.4.16)