

第4章 地盤力学/工学と地震学の接点

筆者はかつて2018年10月に、地震調査研究推進本部（地震本部、文科省）の政策委員会に招かれて、

① 長周期地震動に対する地盤工学分野での取り組みの現況、と

② 地震本部への地盤工学会からの要望事項

をゆっくり説明できる機会があった。当時地盤工学会長であった大谷順 熊本大学教授（現名誉教授）が筆者に同道した。この章では、その時にした説明をごく簡潔に要約する。

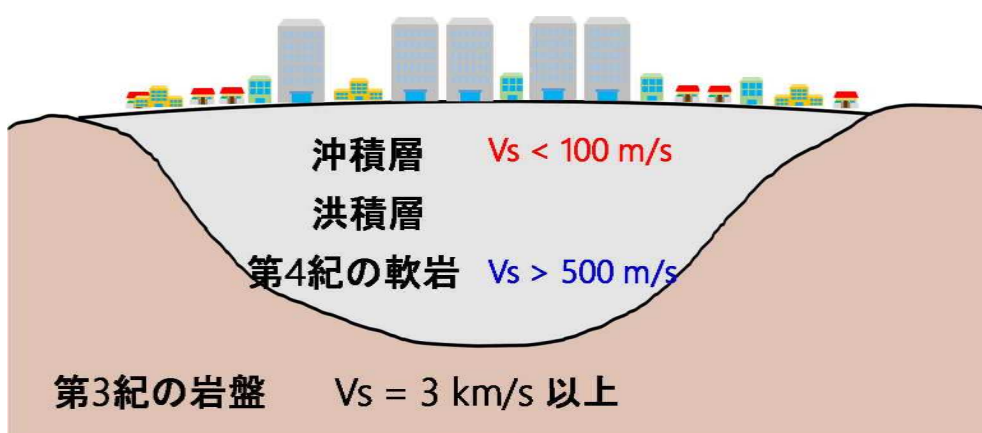
4.1 長周期地震動に対する地盤工学分野の取り組み

地震本部の強振動研究では、工学的基盤($V_s = 300 \sim 700 \text{ m/sec}$)での地震動を計算し出力している。しかしその地震動が、工学的基盤より上の表層地盤でどれほどの強振動になり、どのような地盤変状を引き起こすか、それを解く地盤力学を抜きにしては、防災の課題解決には結びつかない。

砂地盤の液状化や粘土地盤の流動、斜面の滑り破壊などの地盤変状は、地盤の塑性変形の帰結であり、塑性変形のメカニズムは弾性波動理論の枠組みの外にある。地盤変状の数値的実現には、地盤力学（弾塑性・水～土骨格連成多相混合体の有限変形の時刻歴解析）による計算は必須である。

東京・名古屋・大阪などは広大な堆積盆地に立地している。

「お盆」とその中の堆積平野の速度コントラスト



東京・埼玉・千葉・神奈川の首都直下地震域は、差し渡し約150km程度、厚さは1km弱から数キロの、広く薄いお盆の中。

図 4.1 堆積盆地

堆積盆地といえば、すぐに長周期地震動である表面波の生成と発達が思い起こされるが、中越沖地震（2007 年）の時に関東平野で観測された長周期地震動の様子を図 4.2 に示す。

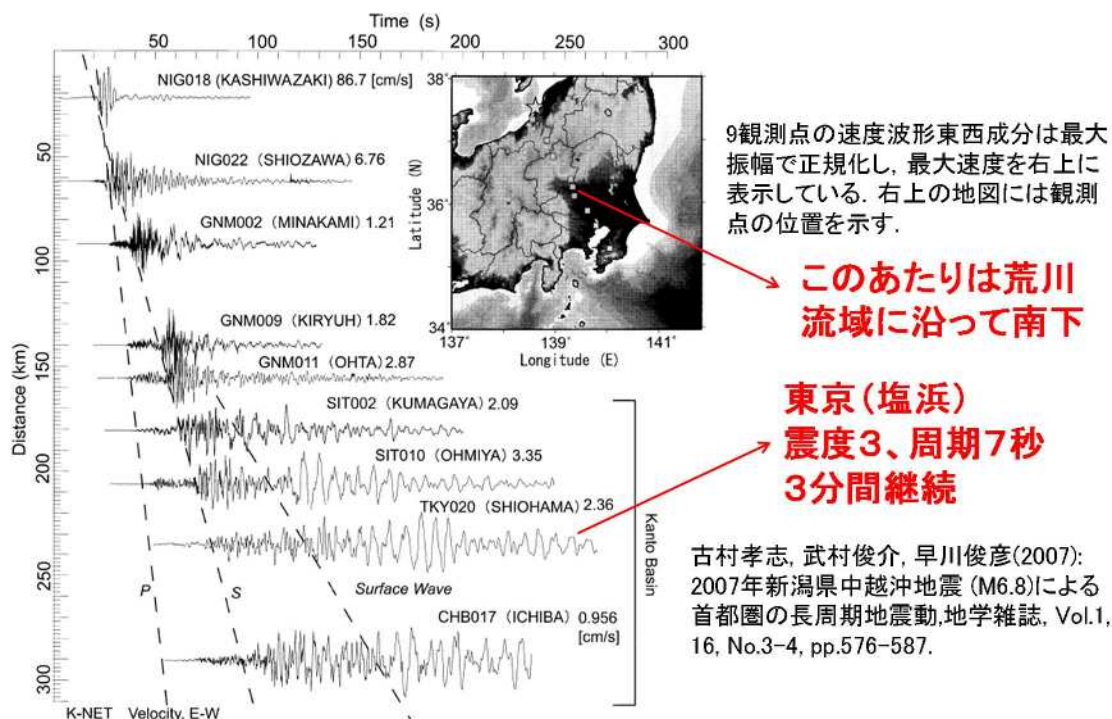


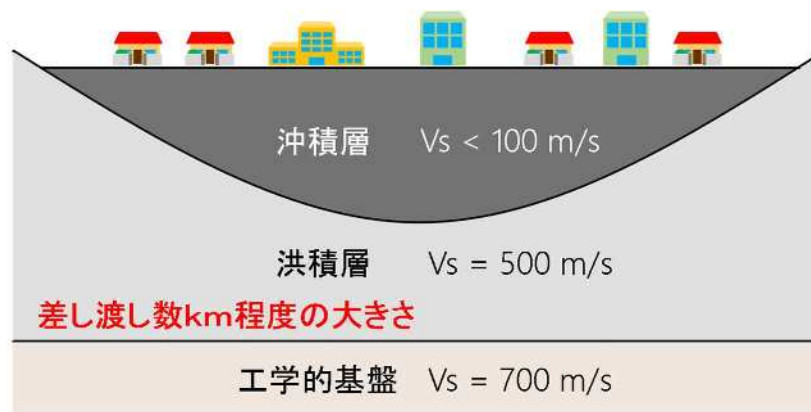
図 4.2 関東平野で生成発達した表面波

長周期地震動は、これまで長く「地震には鈍感」と思われてきた粘土地盤にも、実は大きな変状を来すことは、1985 年のメキシコ地震以来、2015 年のカトマンズ地震などでよく知られるようになってきた。湖を埋め立てたメキシコ盆地は高含水比粘土が厚く堆積しているが、このような地盤環境での粘土地盤の大変状は、地盤工学では現在以下のように理解されている。

- 「① 厚く堆積した軟弱粘土地盤では、入力地震動の長周期成分が大きく増幅される。
- ② 地盤の不整形性（谷地形・盆地地形）から励起される長周期表面波が、直達実態波と複雑に干渉する。

以上の二つは地盤の変位を大きくし繰り返し回数も多くなる。粘土地盤の場合、堤防や盛土荷重直下、斜面のように偏荷重受ける場所では粘土の骨格構造が大きく乱され、剛性の低下によって、地盤の固有周期がさらに長くなり一層揺れが大きくなり、結果として沈下や滑り、側方流動など大変状をもたらす。しかも、粘土地盤の変状は地震後も長期間継続する。」

以上に加えてもうひとつ問題なのが、堆積盆地内に無数に存在する、規模の小さな沖積谷などのミニ盆地、不整形地盤である。これを図 4.3 に示す。



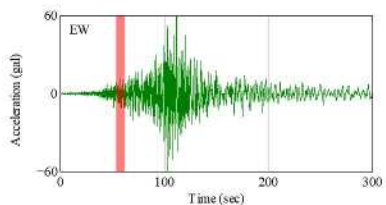
規模は小さく、速度コントラストも低く、卓越周期は少し短くなる。
 しかしなお、表面波の発生、S波との干渉は同じように起こる。

図 4.3 不整形地盤

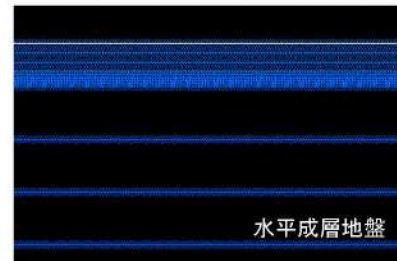
その典型が、東北地方太平洋沖地震（3.11 地震）での浦安の液状化である。概略はすでに第 3 章で述べているが、ここでは、典型的な計算出力を図 4.4 と図 4.5 に示す。

地層傾斜により**表面波**が発生 ～速度ベクトルの縦成分を着色～

細かく出力 50秒～60秒



水平成層では地表での液状化なし



表層で反時計回りに巻き上げるような表面波(Rayleigh波)が発生。
 Rayleigh波は傾斜基端部で発生し、図中の右側へ進行していく。
 水平成層地盤では発生しない。

図 4.4 浦安での地震時の傾斜地盤内での土要素の速度ベクトル

細かく出力 300秒～310秒

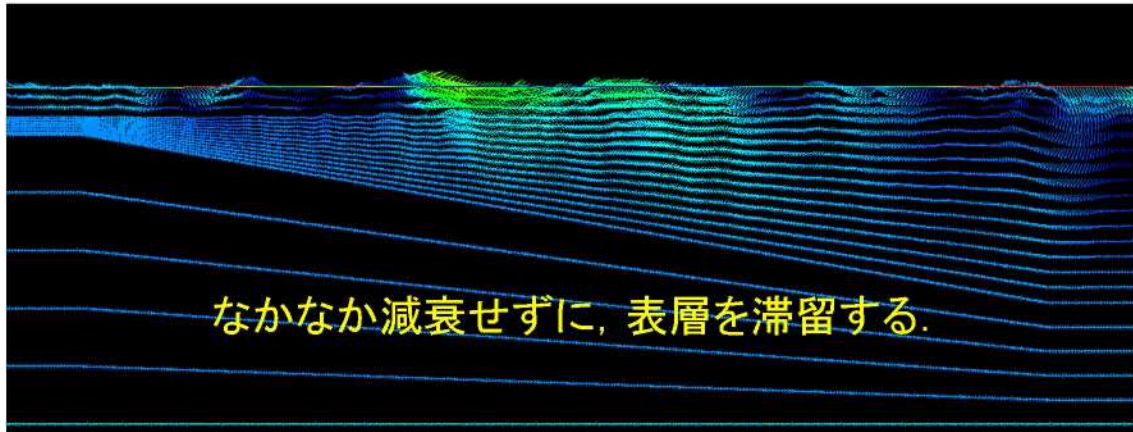
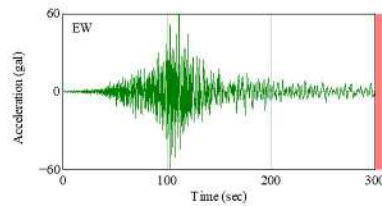


図 4.5 地震後も長く滞留する表面波

3.11 地震後それほど間もなく、図 4.4 や図 4.5 などの計算成果は地盤工学会などで公表されていたが、当時地震学分野では、浦安市内での不整形地盤による長周期地震動などは、議論された様子はまったく見られなかった。第 2 章のアスペリティのあたりでも書いたように、3.11 地震のメカニズムが、本当はとても難しく、東京近辺の表層地盤変状はもちろん大事なことになるのだが、それは地盤工学分野に全面的に任されていたのだと、筆者は今も強くそう思っている。

4.2 地震本部への要望事項

2018 年 10 月に地震調査研究推進本部に、以下の 5 つを要望している。

① 入力地震動

ゼロメートル地帯の堤防など、地盤変状が出れば大災害につながる都市部の重要構造物の多くは、沖積地盤上に立地していて、長周期の大きな揺れは、沖積粘性土地盤にも大きな変状をもたらす。

地震本部の強震動研究では、1 秒から 10 秒の長周期成分を含む、高精度かつ長時間の工学的基盤での地震動の解析結果を出力している。地盤工学ではこれを入力地震動として使うが、工学的基盤以浅の沖積・洪積地盤の地震時弾塑性応答の解析結果のフィードバックを通じて、入力した地震動の適否を協働して検討する。

② 地震被害予測

工学的基盤以浅の不整形性を考慮した正確な地盤モデルを用いた弾塑性解析に基づく被害予測は喫緊の課題である。

関東平野で進められている「浅部・深部統合地盤構造モデル」などの知見を基礎に、沖積・洪積層地盤の弾塑性材料としての地盤力学的情報が書き加えられた地盤構造モデルを作成し、大規模な縦断面解析を含め、弾塑性地盤の2・3次元での変状解析と、それに基づく地震被害予測を協働で進める。

③ 強振動記録

1次元問題ではあっても、弾性波動論では解釈不可能な表層地盤の強震動記録、あるいは、1次元等価線形解析による解釈が意味をなさないような多次元弾塑性地盤応答の帰結としての強震動記録について、地盤力学/地盤工学分野と協働の解析を進める。

④ 海底地震計

海底での地震動と水圧の計測、海底地盤内の間隙水圧の計測等が広まっている。海底地盤の調査やケーブルも含む設置機器の安定化の工法、得られた地震記録の逆解析などとともに、将来、海底地滑り等の地盤安定解析も協働して進める。

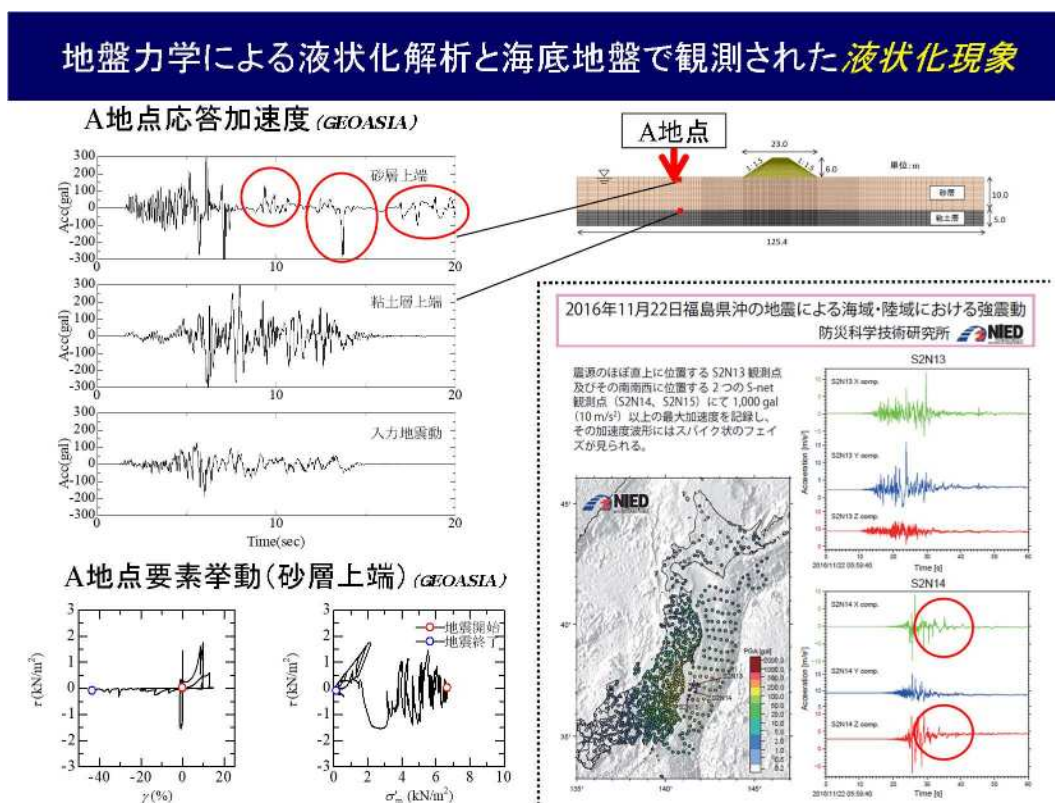


図 4.6 海底で観測された液状化現象と地盤力学による解析

⑤ 社会への提言

ハードで防ぐという 防災の課題を、減災つまり、「逃げる」にばかり、丸投げさせてはいけない。地震本部は、自治体や国交省へは、どこがどのように危険か、防災事業推進に資する正確で総合的な情報の発信を一層進める。